

Think, Play, Do

考え、試し、行う

Technology, Innovation, and Organization

技術、イノベーション、組織

Mark Dodgson

David Gann

Ammon Salter

OXFORD

UNIVERSITY PRESS

Provisional translation by Shigeaki Iwashita 2019

暫定翻訳 岩下繁昭@チェンマイ 2019

序文

なんらかの意味深いことが、イノベーションのプロセスに起こっている。イノベティブである、またはそうしたい組織や個人にとって、そしてイノベティブな活動を増やしたい政府にとって、そしてそれを研究する私たちのような人にとって、それは重要な意味を持って変化している。Think、Play、Do（考え、試し、実行する）では、私たちはイノベーション・プロセスに新しい素材と洞察を一つにまとめている。研究者として、私たちはイノベーションの研究に力を入れており、60 年の間この研究に費やされた。私たちはまた、戒めや方法に対する通常の学問的関心も抱いている。しかし慎重になる時間があり、そして大胆になる時間がある。この本は、非常に大胆で斬新な主張を数多くしている。たとえば、以下のような主張をしている。

- 私たちが「innovation technology（イノベーション技術）」と呼ぶ、新しいカテゴリーの技術は、ここ数年で出現してきており、イノベーション・プロセスにますます適用され、変化している。それは既存の技術を補完し、その上に構築される。
- この技術を適切に支援する組織やスキルと組み合わせると、イノベーションの激化につながる可能性がある。つまり、これらの技術はイノベーション・プロセスをより経済的にし、不確実性を少なくすることができる。
- 現代のイノベーション・プロセスは、「考え」、「試す」、および「実行する」の新しい枠組みによって特徴付けることができる。これは、研究、開発、およびエンジニアリングの従来の概念から脱却し、イノベーションにおけるデザインとプロトタイピングの重要性を強調している。
- イノベーション技術の成功裡の実施は、一連の新しい「craft（暗黙知）」スキルと、通例はプロジェクトベースの組織である、新しい形態の組織の開発と使用にかかっている。

私たちはこれらの主張を支えるために多様な証拠を提供している。私たちは多国籍大手企業の Procter & Gamble (P&G) および GlaxoSmithKline (GSK)、2 つのエンジニアリングサービス会社の Arup と Ricardo、そして Frank Gehry の建築設計実務のイノベーション活動を調査している。カメラやブラジャー、ファッション業界、フォーミュラ 1 レーシング、住宅建築、自動車、消費者向け製品などの新製品開発のケーススタディについても述べている。私たちはロンドンの混雑課金やピサの斜塔の崩壊を防ぐプロジェクトのような、公共のプログラムでのイノベーションの使用も考察している。事故後の化学反応器の安全性を確認し、高度な製造プロセスを計画するために、そして鉱業においてイノベーションがどのように使用されてきたかについても述べている。InnoCentive、Yet2.com、NineSigma など、新しいインターネットベースのイノベーション仲介者の例にも触れている。オーストラリアのシドニーオペラハウスでの音響性能の向上、ロンドンでのミレニアムブリッジのぐらつきの防止、およびニューヨ

ークのツインタワーの建て替えビルでの安全性の向上を計画するために、技術がどのように使用されたかを分析している。イノベーション技術と、イノベーション・プロセスでの「考え」、「試す」、および「実行する」におけるその使用に関しての、私たちの主張を裏付けてる多様な証拠は、どこにでもある。

私たちは、それぞれの Imperial College London と University of Queensland の多くの優秀な考える人、試す人、そして実行する人との交流から非常に恩恵を受けた。これらの同僚は、彼らの最先端の研究について事例研究資料をととても親切に提供してくれただけでなく、私たちの研究の草稿にコメントするのに、彼らの時間を寛大に与えてくれた。私たちのアイデアは世界中の数多くのセミナーや会議で批判的に検討されてきた。そしてそれらは多くの知識豊富な人々や企業グループでテストされてきた。それにもかかわらず、私たちはこれらのアイデアを発展させ疑問を呈する多くの研究がまだあると信じており、そして、私たちはそうする試みを歓迎している。私たちの主張の大胆さは、ある程度、イノベーションの研究で、新しくわくわくするようなアイデアが不足しているように思われるという懸念を反映している。私たちはイノベーションを研究している。私たちの「thinking（考える）」でイノベティブになろう。

これは、イノベーションプロセスに携わっている、または興味があるすべての人のための本である。これは、自社のイノベーションパフォーマンスの向上に戦略的な関心がある経営管理者のための、業界アナリスト向け、そしてビジネスや公共政策、そして、最も強力な競争力の源の一つの進化する性質を理解したいイノベーション研究するの研究者のためのものである。これは将来仕事をしようとしている世界がどのように変化するのか、そして将来最も価値がある貢献ができるものはどこかを認識したい学生、特にビジネスとエンジニアリングの学生のためのものである。

アイデアが生まれなくなることは決してなく、私たちが構築するための優れた作業が数多くある。より現代的な文学の中でも、私たちは特にそうである。認めたいのは、Henry Chesbrough、Stefan Thomke、Michael Michael の作品である。私たちはこれらの作家に莫大な知的恩義を負っている。

私たちの関心は、私たちの考えを理論的および概念的な文脈の中に置き、可能な限り経験的証拠でそれらを支えることであった。私たちは、進化経済学と技術経済パラダイムの理論、そしてビジネス戦略の文献から、資源ベース理論とダイナミック・ケイパビリティ論に言及している。

この分野の他の多くの本とは対照的に、私たちは歴史的なアプローチをとってきた。これは、「gee-whiz（あっと言わせるような）」という、単純な解決策から複雑な問題への対処法の本に慣れている読者にとっては、あまりにも「学術的」に見えるかもしれない。私たちはそうみられているとは信じていないが、いずれにせよ私たちの主張をそのまま提示したいと思うので弁解はしない。

本の中のアイデアは、以下のビジネススクールと大学でセミナーでテストされた。Imperial College London、Said Business School (Oxford University)、University of Brighton、Cranfield University Business School、Manchester School of Management、Copenhagen Business School、Hanken Helsinki Business School、London School of Economics、Salford University、National University

of Singapore、Australian National University Macquarie Graduate School of Management、University of Queensland、Melbourne Business School。学術論文がニュージーランドのウェリントンで開催された R&D Management Conference デンマークのエルシノアで開催された DRUID 会議、デンマークのコペンハーゲンでの EGOS 会議、英国のマンチェスターで開催された ASEAT 会議で発表された。

次の人々は私たちの研究のためのアイデアの開発に特に役立った。Mike Addison、Peter Bressington、John Burland、Keith Clarke、John Darlington、Andy Foster、Stephen Glaister、Richard Haryott、Tony Hey、Dame Julia Higgins、Nicole Hoffman、Hughes、Richard Jones、Steve Jones、Neil McGlip、Maureen McKelvey、John Miles、Mehmet Kizil、Tim NapierMunn、Toke Reichstein、Roger Ridsill Smith、Brendan Ritchie、Michael Schrage、Tony Sheehan、David Siddle、Anne Trefethen そして Glenn Wallington。

次の人々は特定の章と論文について、親切にコメントしてくれた。Andrew Amis、Erik Baark、Catelijne Coopmans、Andrew Davies、Mike Hobday、Alice Lam、Keld Laursen、Maureen McKelvey、John Steen、Bruce Tether、Anne Trefethen。

John Bessant、Jane Marceau、Denis Towill、そして Jennifer Whyte は、初期の草稿についてコメントしてくれた。

この研究の過程で Sheridan Ash が私たちに提供してくれた優れた研究支援に感謝する。彼女は多くのケーススタディを手助けし、インタビューの遂行での彼女の粘り強さはそれらの完成を助けてくれた。私たちはまた、テキストと参考書目を準備における Virginia Harris の支援に感謝している。

この本が基にしている研究は 4 年間にわたって行われた。それはイギリスとオーストラリアとの間の往復の莫大な量の旅行を伴った、そして私たちがそれぞれの雇用主である University of Queensland Business School および Tanaka Business School、Imperial College London から受けた大きな支援に感謝したいと思っている。

私たちは、the Engineering and Physical Sciences Research Council の英国での Innovative Manufacturing Programme、オーストラリアの the University of Queensland Business School そして University of Queensland の the Innovator-in-Residence Program からの財政的支援に特に感謝している。

この本は 8 つの章に分かれている。第 1 章では、イノベーション技術の考え方を紹介する。第 2 章では、イノベーションの性質について説明する。第 3 章では、P&G と Arup という 2 つの会社の詳細なケーススタディが、私たちの主張を説明するために提供されている。第 4 章、第 5 章、第 6 章では、「考える」、「試す」、「実行する」について考察している。各章には、さまざまな経験的およびケーススタディの資料が組み込まれている。第 7 章では、イノベーションの戦略的マネジメントについて考察する。第 8 章では、イノベーション技術の将来の発展と課題について考察している。この本を通して、私たちはケースと

技術資料を報告することによって議論に追加するように工夫されている短いセクションあるいは「Box」を含んでおり、そして関連する文献の短いレビューは議論の流れに影響することなく別々に読むことができるようになっている。

最後に、Roy Rothwell 教授はイノベーション研究の先駆者の一人であり、私たちが分析した変化の多くを他の誰よりもずっと以前から認識していた。Roy は、イノベーションプロセスを理解しており、および経営および公共政策に関する文献への貢献のすべては、その知識から導き出されたものである。彼は市場を理解せずにイノベーションについて話すのは、全く意味がないことを知っていた自然科学者であった。彼は、企業で頻繁に行われる、規律を犯す乱雑な活動を理解せずに、イノベーションについて書くべきではないということを知っていた、規律正しい学者であった。彼は学問的な傲慢さと官僚主義を軽蔑し、可能な限りその両方を覆すことに努めた。これらのやり方でも、そして他の多くのやり方でも、彼はこれからも素晴らしい私はたちのロールモデルのままである。

Mark Dodgson

David Gann

Ammon Salter

目 次

1 イノベーション技術	9
1.1 序論	9
1.2 3 つの一般的な技術	14
1.3 イノベーション・テクノロジー (IVT)	16
1.4 イノベーションの重要性	19
1.5 なぜイノベーションを研究するのか	22
1.6 イノベーションにおけるリスクと不確実	24
1.7 結論	29
2 イノベーションの理解	31
2.1 はじめに	31
2.2 原則 1 : 歴史的背景	33
2.3 原則 2 : 関係と相互依存性	42
2.4 原則 3 : イノベーションの社会的媒介	45
2.5 結論	48
3 イノベーション技術 : Procter & Gamble と Arup	49
3.1 はじめに	49
3.2 Procter & Gamble	50
3.3 Arup	62
3.4 結論	81
4 「考える (Think)」	82
4.1 はじめに	82
4.2 計装	82
4.3 研究と教育の拡大	85
4.4 新しいインフラストラクチャ : Grid (グリッド)	90
4.5 大企業の視点 : GlaxoSmithKline	91

4.6	公共政策の視点：交通混雑料金	95
4.7	データの作成、検索、およびマイニング	97
4.8	可視化	99
4.9	人工知能	100
4.10	学際性	101
4.11	結論	103
5	「試す (Play)」	105
5.1	はじめに	105
5.2	デザインの実践	108
5.3	デザインの新しい実践	111
5.4	IvT で試す利点と課題	129
5.5	暗黙知技能 (craft) と形式知 (code) の組み合わせ	130
5.6	省察	132
5.7	結論	134
6	「実行 (Do)」	135
6.1	はじめに	135
6.2	フォード主義：標準化とモジュール性	137
6.3	トヨタ主義：ワークフローとイノベーションプロセスの統合	138
6.4	ニューテクノロジー	141
6.5	製造プロセスへの IvT の影響	144
6.6	生産計画のための IvT	150
6.7	鉱業におけるプロセス改善	153
6.8	結論	155
7	イノベーションの戦略的マネジメント	158
7.1	はじめに	158
7.2	IvT のコンピテンシーへの影響	161
7.3	境界間の統合	162
7.4	内部構造とプロセスの構成	166
7.5	学習、創造性、知識	174
7.6	結論	179

8	新しいイノベーションプロセス	181
8.1	はじめに	181
8.2	主な議論のまとめ	182
8.3	IvT とイノベーションの強化	183
8.4	イノベーションにおける新しい暗黙知的スキル	185
8.5	イノベーションの新たなマネジメント課題	187
8.6	新しいイノベーションの公共政策課題	190
8.7	新しいイノベーションプロセスにおけるイノベーション研究の課題	192
補遺 研究手法		195

1 イノベーション技術

1.1 序論

ラテン語の *Nihil simul inventum est et perfectum* は、「発明と同時に完成されたものはない」という意味である。多くの諺のように、これは時の試練に耐えたものであり、依然として該当している。しかし、すべてが変わります。何も変わらないし、誕生と同時に「完璧」な「発明」を求めるのは、イノベーターにとって、継続的な探求であることは、ずっと以前から変わってはいない。さまざまな新しい技術やマネジメント方法を適用することで生まれた、今日のイノベーションプロセスの変化は、その探求の一部である。イノベーション技術 (IvT) として、シミュレーションやモデリングツール、バーチャルリアリティ、データマイニングやラピッドプロトタイピングなどの新しい技術について説明することにする。われわれは、これらの導入に伴う変化がイノベーション活動の強化要因となっていると論じている。われわれは、それが考える (thinking)、試す (playing)、そして実行する (doing) により特徴づけることができるイノベーション・プロセスに適用されていることを示している。

イノベーションは経済的、社会的、環境的資源を再構成して活用する手段であるので、これらの変化を理解することは重要である。産業とビジネスは、イノベーションの多くの増加する課題に、いかに対処するかを帰結として、繁栄し、衰退することになる。市場の需要と技術的な機会をうまく組み合わせるイノベーション・プロセスは、持続可能な競争上の優位性の重要な源泉である。本質的に、イノベーションは、企業と国家が世界に向けて道を開くことを可能にするものであり、イノベーションのプロセスの深い理解は、われわれがそれを支援しなければならない資源のより良い利用を可能にする。市場と顧客がますます洗練され、厳しいものになり、技術開発が絶えず拡大する機会と脅威を生み出している時に、イノベーション・プロセスをよりよく理解しマネジメントできるようなアプローチは、喜んで受け入れられるものである。'

IvT は、イノベーション・プロセスにも適用され、ますます変化しており、クリエイティブなタスクや知識が構築され、共有され、使用される方法に影響を与えている。われわれがイノベーションを考え、着想する方法に影響する。IvT は、新しい製品、プロセス、およびサービスを試し、テストし、試作する方法を変える (Thomke 2003)。イノベーション・プロセスの一環としてデザインとプロトタイピングを置くことは、Schrage (2000) が「真剣な遊び (serious play)」と呼ぶプロセスに貢献してくれる。コンピュータ支援工作機械、マーケティング、顧客管理システムなどの高度な製造および運用技術と統合することで、製品、サービス、プロセスのイノベーションを結びつけることができる。IvT は、さまざまなインプットをイノベーション・プロセスに統合するための技術的手段を提供してくれる。

IvT は、情報通信技術の巨大なパワーとスピード、そしてそれらが作り出すインフラストラクチャとツール、特にブロードバンドとソフトウェアとハードウェア製作のオープンシステムに基づいている。この

本の中で表現されている言葉使いでは、IVT にはイノベーション・プロセスにおける、考えること (thinking)、試すこと (playing)、そして実行すること (doing) に影響を与える能力がある。考えること (thinking) には、e サイエンス (または米国では知られているサイバーサイエンス) をサポートする技術などによって促進され、バーチャルな研究コミュニティを構築し、データ検索を通じて情報を見つけて組み合わせる新しい方法を可能にしている。最近のグリッドコンピューティングと人工知能の発展によって支援されている。試すこと (playing) は、コンピュータ支援設計 (CAD) などの既存のテクノロジープラットフォームと仮想現実感の開発能力を基盤にしたシミュレーション、モデリング、およびビジュアライゼーション技術によって促進される。既存の設計および製造システムを基盤とするラピッドプロトタイピング技術により、作業が容易になる。

イノベーションのスキーマ (体系) である「Think、Play、Do」が開発された理由にはいくつかある。まず、新しいアイデアをうまく活用するための経営的そして組織的実践という、イノベーションプロセスにおける関心である。イノベーションに関する多くの研究は、R&D 支出などのイノベーションインプットと、特許や新製品を含むアウトプットに焦点を当てており、インプットをアウトプットに変える接続された反復的な活動の流れについてはほとんど研究されていない。

第二に、「研究」、「開発」、「工学」の伝統的な説明は、いくつかの理由で役に立たない。伝統的な分野は組織の境界を意味する：組織 (大学/産業) 間；組織内 (研究機能/エンジニアリング機能)。職種間 (科学者/エンジニア、機械/化学/土木/電子エンジニア)。これは、より流動性の高い境界とネットワーク化された分散型の関与者によって特徴付けられる、現代のイノベーション・プロセスとは対照的である。われわれが考える「考えること (thinking)、試すこと (playing)、そして実行すること (doing)」というスキーマ (体系) は、イノベーション・プロセスのすべての段階で発生し、暗黙の直線性は存在しない。われわれが説明する IVT は、主に特定のアクティビティと関連してはいるが、すべての人がそれを使用している。

第三には、従来の区分けとは対照的に、われわれの提唱するスキーマ (体系) は、イノベーションにおけるデザインとプロトタイピングの重要性をよりよく把握することができる。デザイン (機能、コスト、品質、インパクト、審美性を含む)、プロトタイピング (開発の後期段階の基礎あるいは標準となる、新しいタイプや形態の作成) は、われわれの分析において、中心的な役割を果たしている。第 5 章で詳しく検討することにする。

第 4 に、Think、Play、Do スキーマ (体系) は、本書で説明されている進化的で創造的な企業、業種、実践において、イノベーション・プロセスのより有用で現代的な手法を提供している。研究開発の概念は、全体的なイノベーション活動の要素がますます小さくなっている、大規模な統合型製造企業に、より容易に適用される。実際、ほとんどの企業は正式な研究開発を行っておらず、通常の研究開発実態調査では、小規模企業のイノベーション活動やサービス分野でのイノベーションを完全には認識していない。Think、Play、Do は、新規および新興セクターにのみに適用されるのではなく、このスキーマ (体系)

は、鋳業や溶接、サービスや公共プロジェクトなど、非常に伝統的な産業分野にも適用できるものである。

上記のイノベーション技術を適用することで、イノベーション・プロセスとそれをサポートする Think、Play、Do 活動が強化されることになる。この強化は、生産性の向上に向けた激しい努力の結果であり、イノベーションにおいて、完全に絞られた目的に適用される資源の、より効率的かつ効果的な利用である。この強化の重要な特徴は、イノベーション投資において、努力のより大きな経済性と、目的の精度と明快性の追求である。図 1.1 は、イノベーションを強化し、リスクと不確実性を改善し、伝統的なアプローチよりも成果を上げるために、Think、Play、Do 活動が新しいイノベーションプロセス内で IvT（イノベーション技術）を使用することで、いかにサポートされるかを示している。

効果的に使用される IvT は、イノベーションがどのように起こるかを根本的に変え、それに伴う不確実性の多くを改善し、プロセスに予測性と方向性をもたらす可能性がある。しかし、イノベーション技術だけでは決して完全ではなく、イノベーションに伴う固有の不確実性とリスクを排除し、利用可能な技術的可能性と市場と顧客の要件の両方を捉える完全な効率的なプロセスを決して生み出すことはない。われわれが述べている技術は、Think、Play、Do と、これらの活動を新しい方法で繰り返すことを可能にするが、それらの使用法とイノベーションへの影響は、それを取り巻く社会的および組織的選択と行動によって決定される。イノベーションが、社会的に決定され、それゆえ予測不可能なプロセスであることは、今後も変わらない。

確かに IvT の利点の 1 つは、潜在的な科学技術的発想、実験、選択肢の多様性を広げ、イノベーションにおけるある種の不確実性を増やすことによって、思考と創造性を促進する能力である。劇的で急進的な技術革新の時期に、高度の流動性と新興技術の形態に関する不確実性がある場合、IvT の価値は、可能な技術的成果を加えることによって、イノベーションの機会を増やすことにある。それは利用可能な可能性の範囲を広げ、それなしで想像できなかった新しいものを作り出すことになる。

Think、Play、Do を支援するのに用いられる技術は、企業がさまざまなやり方で（いわゆる急進的なイノベーション）、既存のものをより良く（漸進的または通常的なイノベーション）するために貴重なものである。IvT は、企業がいつ、どのように新しいことを行うことができるかを理解するのを助け、製品とサービス開発のより良いプロセスを可能にする。

IvT は、既存の漸進的活動をより良く活用し、急進的な活動を探索するのに役立つが、イノベーション・プロセスを「制御」するものではない。技術と市場が安定しており、予測可能な状況では、制御された日常的なイノベーション・プロセスが魅力的かもしれない（「もっと同じことをするだけでよい場合」）。しかし、環境の不確実性が高い場合（「何をする必要があるのか、それをどうやって行うのか」）は、イノベーションに対するコントロールの強化が必要である。漸進的そして急進的なイノベーションの両方で、IvT はイノベーション・プロセスにおいて価値の高いものを生み出すことができる。

創造的な人々を平凡な仕事から解放し、より自由に広範囲に試みて、さまざまな選択肢を生み出すこと

ができる (think = 考える)。市場と技術のパターンがより明確になるまで、より安く効果的に設計、試作、テストを行い、投資に関する選択を遅らせることができる (play = 試す)。他の種類の技術とのデジタル的統合化は、イノベーターの新しいアイデアやデザインを製品やサービスに変換する能力に大きな恩恵をもたらす (do = 実行する)。

IvT は、アイデアと知識を効果的かつ経済的に表現し共有できるようにして、コラボレーション環境の構築を支援する技術である。IvT の価値は、人間の仕事が機械に置き換えられる、イノベーションのより大きな自動化であるが、イノベーションにおける明確かつ貴重な目的を得るために、人々を支援する方法に由来している。われわれが議論している技術は、われわれの心身から分離されるものではない。それは特定の目的を持った人々によって開発され使用される。ボックス 1.1 は、IvT があるエンジニアリング設計チームによって使用された方法を記述したものである。

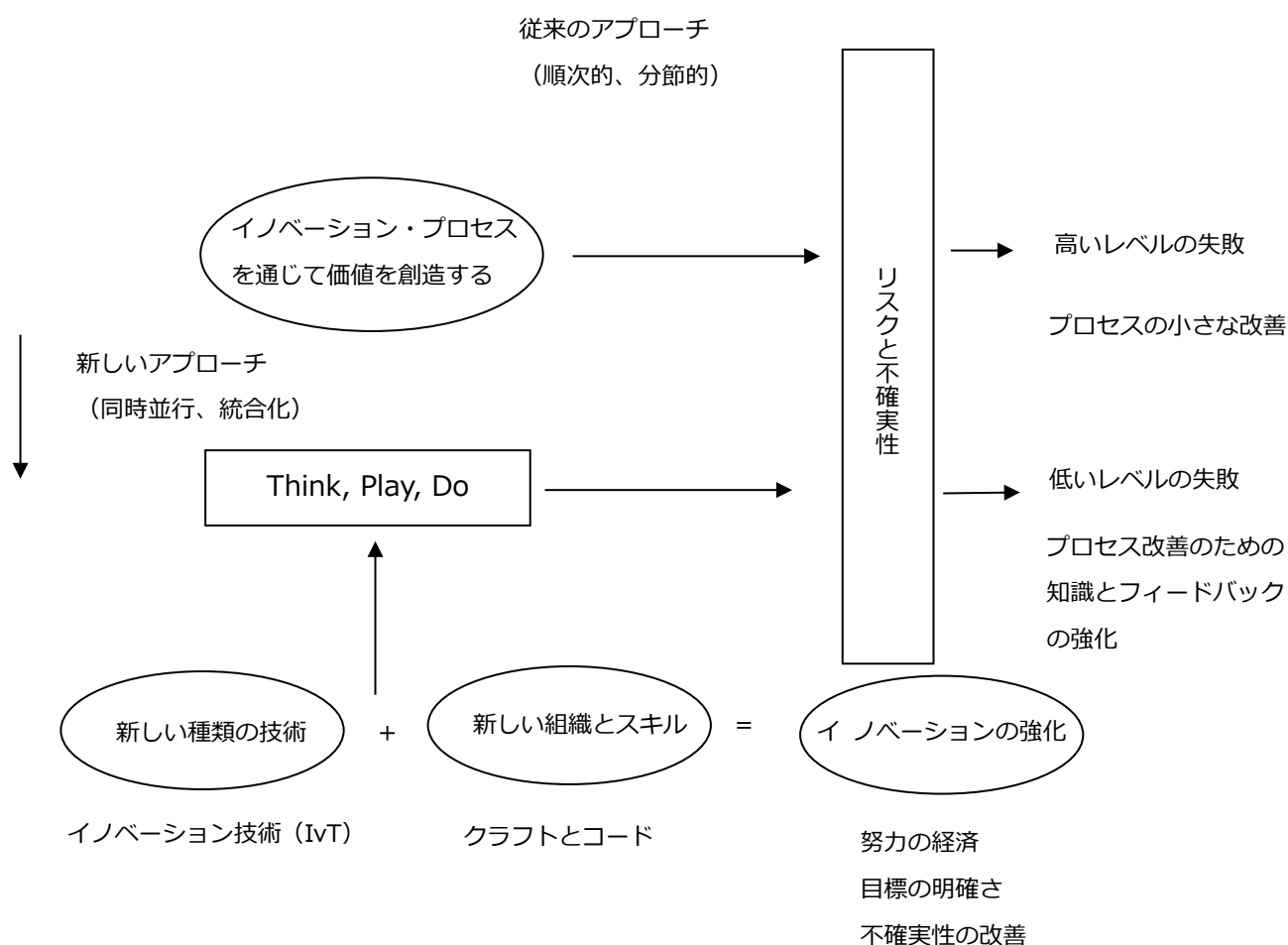


図 1. 1 イノベーションの強化

現代の経済社会におけるイノベーションの重要性を考えると、IvT とイノベーションの強化は、企業、政府、研究機関、そして技術変化から恩恵を得ようとするすべての組織や個人にとって大きな意味を持っている。イノベーション・プロセスとそれがどのように変化しているかを完全に理解していなければ、企

業や研究機関が戦略を策定したり、政府がイノベーションのための政策を策定することは不可能である。IvT に関連した変革はいたるところにある。IvT は、大規模な多国籍製造業や小規模のサービスプロバイダー、営利企業、公益団体などで使用されている。医薬品やバイオテクノロジーなどの「ハイテク」分野や、鉱業などの「ローテク」分野でも IvT を使用している。エンジニアリング設計会社によって提供されるような知識集約型サービスは、IvT を広く使用している。この技術は、Think、Play、Do を行う際に使用され、IvT はますます統合され、それらの間の差異を曖昧にしている。IvT は、市場の顧客を引き付け、顧客を満足させ、公共インフラのパフォーマンスを向上させる。医薬品から家庭用製品、金融サービスなどの製品、プロセス、サービスの機能と品質を向上させ、研究者やエンジニアが建物や衣服などの新製品を設計し、かつて私たちが夢見ていた、望ましい、手頃な人工産物を生み出した。

技術は、さまざまな活動分野で見られるが、それらが適用される分野によって、使用される方法も異なっている。以前の年代物の技術と同様に、技術自体によって限定された、単純なパターンでの使用方法ではない。第 3 章から第 6 章で説明した事例研究に示されているように、組織や企業は、その適用する選択肢および、これらの企業の新製品やサービスを開発する能力、市場での地位の形成に、深刻な影響を与える選択肢を持っている。以下に説明するエンジニアリング企業の場合に見られるように、IvT の使用には、IvT の新しいデジタルコードと既存および開発中の技能および、柔軟でしばしばプロジェクトおよびネットワークベースの組織の組み合わせが含まれる。

ボックス 1.1 新たな種類のプレイヤー

2003 年の初めに、ロンドンの Arup Fire の技術者が、2001 年 9 月 11 日にニューヨークでのテロ攻撃で破壊された「Twin Tower」の建て替えである Freedom Tower の設計の技術支援をしていた。技術者は、ニューヨークとロンドンにある他の Arup の同僚と同じように、多くの建築家との共同作業をしていた。Arup は、極限事象のエンジニアリングの世界的リーダーとしての評判を高めており、このプロジェクトでは、テーマが火災であるということで、新しい建物の避難が迅速かつ安全に行われるようにする設計ソリューションを模索している。Arup のエンジニアは、新技術と防火材料を十分に活用している。火災エンジニアリングは、新しいモデル、技術、手法の開発によって変革を起こした。Arup Fire のエンジニアは、異種の設計オプションを予測し探索するための IvT の、強力な計算機能の最前線に立っている。

Arup Fire の仕事は、IvT がエンジニアの設計方法にどのように影響するか、そしてビジネスとイノベーションの幅広い分野で起こる重要な変化について明確にしている。Arup Fire エンジニアは IvT を使用して、設計オプションを考え、迅速で経済的で決定的な方法で問題の解決策を見つけることができる。彼らが使用するソフトウェアは、社内開発されることが多く、専門的な知識と判断を補完して業務を達成するのに役立っている。エンジニアリング職人技術と並行してサポートすることで、物理的なプロトタイプを作成する必要性から生じるコストや遅延によって比較的制約されない方法で、アイデアや概念を実験し、テストし、有用な情報の蓄積を汲み上げることができる。

Arup Fire のチームは、新しい形態のバーチャル組織体系にも参加している。彼らのロンドンにあるデスクから、世界中の建築家、エンジニア、そして彼らの顧客と一緒に設計している。設計ソリューションを探すには、Amp Fire チームは次のような活動が求められている。

- 建築家と直接面談およびビデオ会議を行い、デザインを話し合う
 - 使用パターンについて学ぶ：建物内および各フロアの人数および人の種類（子供、障害者など）
 - 建物内で使用される材料および機械および電気システムについて学ぶ
 - 階段、窓、エレベータの位置などの建築特性の影響を理解する
- 予備計算：最初のアイデアのテストと新しい設計における火災コントロールの広範なアウトラインを決定する
- 設計のクイックレビュー、ブレインストーミング、マネジメント戦略の概要を含む、Arup Fire の同僚との最初の討論
- Arup 火災モデルとシミュレーションに、次のような初回火災戦略を組み込む
 - 避難モデル
 - 構造安定性モデル
 - 建物とその中を移動する人々の 3 次元（3D）仮想現実モデル
 - 燃焼および煙の運動に関する計算流体力学（CFD）モデル
- 火災、テロ、地震、ハリケーンなどの災害を引き起こす恐れのある極端な事象の概要
- 異なるシナリオでの模擬演習で、極端な出来事に対するデザインの反応を見る
- 3D モデルでは、これらのさまざまな条件で人や建物の動作を表示する
- 最新の事例や安全上のアイデアをデザインに組み込むことを目的にして、極端な事象を考慮した初期設計の開発と再構築を行うために、建築家やその他のプロジェクト関係者と協力して作業する

1.2 3つの一般的な技術

私たちは、情報通信技術（ICT）、運用製造技術（OMT）、イノベーション技術（IvT）に区別をつけている（図 1.2 参照）。

ICT は、情報やデータの安価で迅速かつ安全な保存と転送のためのユビキタス・デジタル・インフラストラクチャの提供を通じて、イノベーションを実現可能にする技術である。ある場所から別の場所に情報の移動やアイデアの交換を容易にする。ICT インフラストラクチャは、Web サービスのエンタープライズ・リソース・プランニングやカスタマー・リレーションシップ・マネジメントなど、付加価値の高い一連のサービスをサポートする。その開発の軌道は、速度、処理能力、接続性、および物理的インターフェースの改善に向けられている。ICT の利点は、これらの分野における大幅な改善と、コスト削減に伴う効

果と、技術進歩の累積的な発展を可能にするオープンなコンピュータ・システムアーキテクチャに基づいている。

OMT は、イノベーションを実装するか、運用するための技術である。OMT は本質的に、入力を出力に変換するための生産と調整における技術的なメカニズムを提供する。その開発の軌道は、信頼性、柔軟性、精度を向上させ、価格とコストを削減することに向けられている。この技術は、従来の製造業を超えた一般的な用途を持ち、エンターテインメントなどのようなサービスやバイオテクノロジーなどの科学に基づく分野にも適用できる。この軌道のデジタル要素と同様に、ナノテクノロジーのように、OMT を使用して材料分野でも非常に重要な開発が行われている。OMT の利点は、情報の管理を通じてネットワーキングと調整を改善する技術と並行して、予想通りに、迅速に、安価に製品を処理、製作、組み立てる、コンピュータ化された工作機械やロボットなどの様々な機械の組み合わせに基づいている。本質的には、OMT は、情報、コンポーネント、製品の流れ、およびその制御を支援する自動化と標準化に関係している。

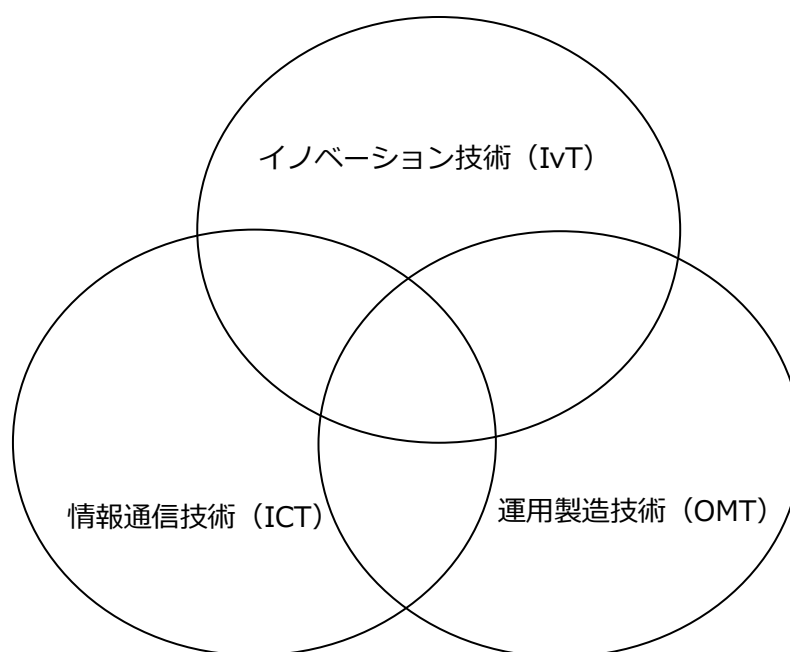


図 1.2 3つの一般的な技術

IVT はイノベーションを創り出す技術である。これは、人々が技術革新の仕事において、技術的に支援される手段を提供し、イノベーション・プロセスへの複数のインプットが統合される。IVT の開発軌道は、努力の経済性とイノベーションの目標の明確さを達成することに向けられている。これらの技術は、ユーザーを含む他の関係者とデザインにおいて、模擬体験あるいは問題のさまざまな解決策を試すために、そして ICT と OMT が製品の納入、プロセス、およびサービスのイノベーションに最大限に活用されるようにするために、新しいオプションについて人々が考える新しい環境を作り出すのに役立っている。

図 1.3 は、各カテゴリーのさまざまなタイプの技術のいくつかの例を示している。次に、いくつかのイ

ノバージョン技術について説明することにする。

1.3 イノベーション・テクノロジー (IVT)

コンピュータベースのシミュレーションとモデリングは、伝統的で面倒な製図作業、試作テスト、多くの設計業務のためのモデル構築のアプローチを置き換えている。モデルはシンプルなシステム表現を提供し、診断、解析、検証、設計最適化など、幅広い設計およびエンジニアリング業務で使用される。標準的なモデリングツールには、さまざまな動きや流れの特性をモデル化するために使用できる CFD (computational fluid dynamics = 計算流体力学) がある。非線形モデルを使用する傾向があり、CFD は、単純な予測に反する特性を調べることができる空気流などの領域でパターンを明らかにする。

コンピュータは、物質の凝集挙動を確実かつ現実的に模倣することができる。シミュレーション技術を使用する古典的な例は、自動車デザイナー向けのコンピュータ生成衝突テストである (第 3 章を参照)。この技術は、CAD プログラムに基づいて、衝突の挙動をシミュレートし、再設計段階を繰り返し設計の最適化を支援する。自動車メーカーにとってのメリットは大いにある。第一に、市場では新しいモデルの定期的な生産が必要とされ、設計プロセスの早い段階での、安全性テストのプロトタイプの時間のかかる生産を避けることで、開発時間が短縮される。

第二に、物理的なプロトタイプを衝突させるための費用が回避される。第三に、シミュレーションによるデータの品質は、物理プロトタイプから得られるデータの品質よりも優れており、結果として安全性が向上する。物理的テストは、後の段階ではいまだ実施されているが、しかしその時までにはプロトタイプははるかに優れたものになっており、大幅な時間とコストが節約されている。ヘリコプター (Sikorsky)、自動車 (Rolls-Royce、BMW、Volkswagen)、航空機 (Boeing)、建築 (Bilbao Guggenheim Museum)、靴 (Nike)、家電 (Braun) などの多様な製品の設計品質を向上させるために、CATIA などの高度な 3D および 4D CAD システムが使用されている (例えば、Debackere 1999; Debackere and von Looy 2003 参照)。

シミュレーションは、投資を行う前に経験を得るリスクのない方法であり、高価で時間のかかる一連のテストに代わるスマートな方法である。その目的は、常に分析し、予測し、将来の経験を得ることであり、改善することである。シミュレーションは、複雑なプロセスの概要を得ることを可能にする...現実には実現可能でないか、あまりにも高価で、危険すぎる、または倫理的に受け入れられないことを、コンピュータによる実験で行うことさえ可能である。(Miller 2001)

視覚化技術は、人々が膨大なデータセットから知識を抽出する、生まれついた能力の限界を克服することを可能にする。例えばバーチャルリアリティは、研究者やデザイナーが複雑なデータセットを視覚化し、高性能モデリングとプロトタイプ作成を可能にするために、最高レベルではスーパーコンピュータ、高速ネットワーク、画像生成ソフトウェア、グラフィカルインターフェイス、高度な曲面スクリーンプロ

ジェクションシステムを組み合わせたもので、また最下位レベルではパーソナルコンピュータを使用している (Whyte 2002)。このような技術は、初期のデザインコンセプトから詳細な表現へと設計思想を共有することを可能にしている (Dahl et al. 2001; Oxman 2002; Whyte 2002)。グラフィカルな画像は、複雑な情報のより効果的で迅速な統合化を可能にしている (Iohnson and Hansen 2004)。

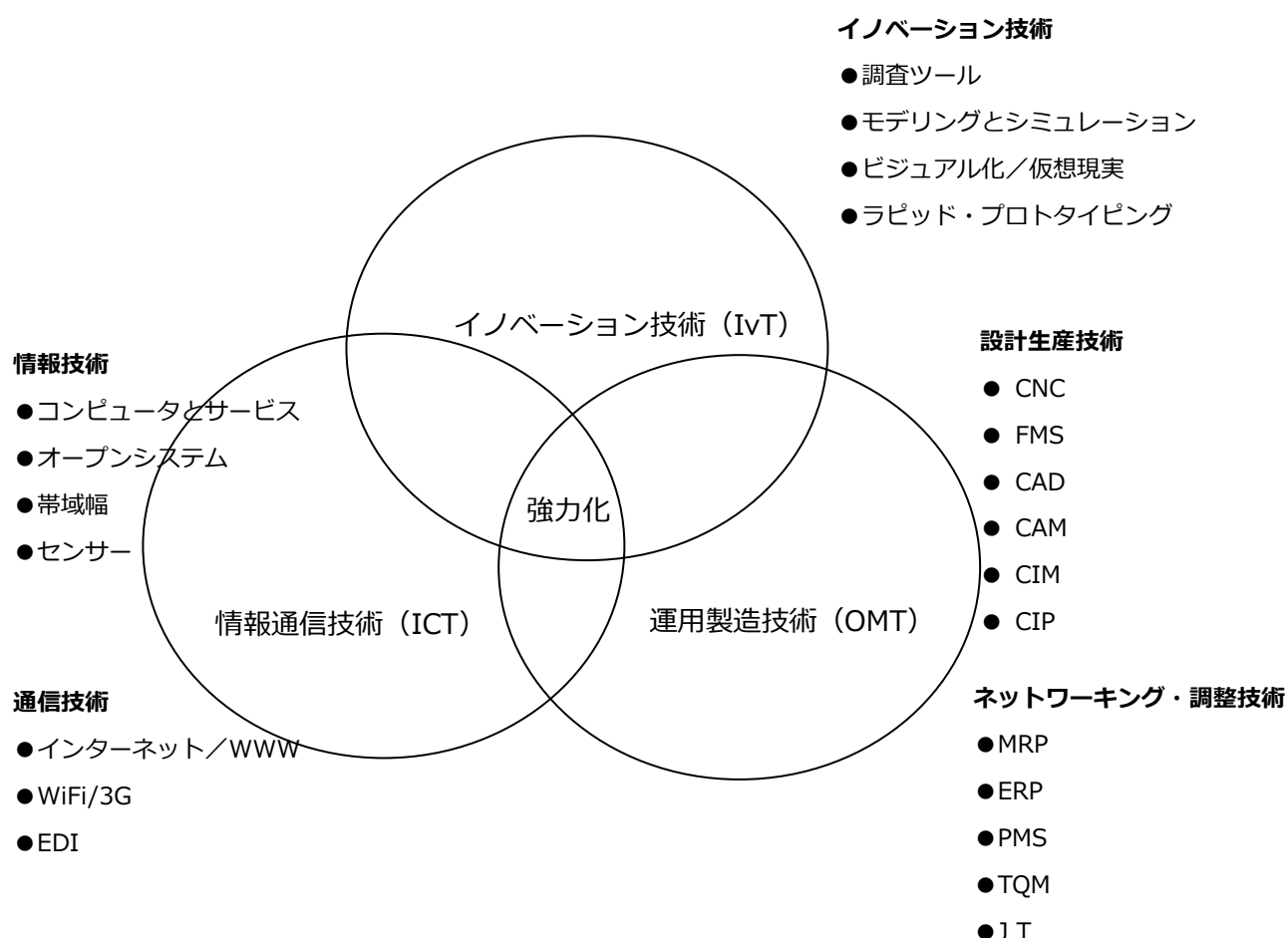


図 1. 3 3つの一般的な技術 (2)

医薬品開発から鉱業または演劇プロダクションの企画に至るまで幅広く使用されている。医薬品開発では、複雑な分子構造を表現することができ、化学結合の距離や角度、分子や原子の誘導や置換によって改変され、より創造的で効率的な薬物設計が可能になる。高処理合成化学とシミュレーションは、創薬プロセスのスピードを向上させる可能性がある。鉱業では、鉱石の特性を視覚化することで、経済的かつ環境に配慮した鉱業を可能にしている。劇場では、バーチャルリアリティを効果的な舞台セットデザインに使用することができ、特定の席からのステージの眺めを表現することもできる。

視覚的表現技術が、多様なグループの複雑なデータ、情報、パースペクティブ、嗜好を目に見えて分かりやすくする方法の例には、新しい建物の設計がある。バーチャル表現は、建築家が最終的な設計を視覚化

するのを助け、建設作業開始前に建物がどのように見えるかをよく理解させ、請負業者や建築業者に仕様や要件を知らせることができるので、顧客の期待を明確にするのに役立っている（Anumba ら 2000; Whyte 2002,2003）

ラピッドプロトタイピングは、CAD データから物理的 3D 立体オブジェクトを作成する。最終的に設計が修正される前に、さまざまな設計コンセプトの検討が可能である。プラスチックや木などの伝統的な素材からモデルを作るだけでなく、モデルは熱可塑性樹脂の層を重ねて、そして紫外線（UV）感光性エポキシ樹脂を使用するステレオリソグラフィーや選択的レーザー焼結で作ることができる。これは NASA の宇宙ステーション向けの部品の Boeing の設計から、ユニークなタイムリリース機能を備えた「デザイナーピル」を印刷できるようにする技術を使用している米国の製薬企業である Therics の仕事に至るまで多彩な目的で使用されている。サングラスなどの消費者向け製品で、数十万台の製造においても、またたった 1 つを生産するためにも使用することができる。25 m のヨットのような比較的大きなスケールの製品の開発にも、ラピッドプロトタイプを使用する研究が行われている。これらの技術は、例えば Hewlett-Packard 社が 3D プリンターの形でホームラピッドプロトタイピングキット市場に参入する計画など、実際に非常に広く普及する可能性がある。

データマイニング、検索、ブラウジング。さまざまなデータベースで収集された膨大な量の情報は、商業的かつ科学的に貴重な知識の発見を支援する「データマイニング」を可能にする。データマイニングは、以前は観察できない、または理解できないものから、価値のある意味づけを助けることができ、パターンを導き出すことができる、使いやすい、直感的なナビゲーションと検索ツールで助けられる。例えば、DNA マイクロアレイ技術は、数週間で標的領域に対し、数十万の化合物を試験することができる。以前は数百個の分析に数ヶ月かかっていた（Watson 2004 参照）。データセット内を視覚化してナビゲートし、パターンを認識し、新しい関係を見つける能力は、新しい「技能」スキルとして浮上している（Hutchins 1996; McCullough 1996）。ここでは、検索とブラウジングを区別している。検索とは、特定のデータまたは情報を検索することを意味する。これとは対照的に、ブラウジングとは、新たな偶然遭遇する情報や接続を求める気まぐれなスキャンを意味する。Google などのインターネット企業は、検索とブラウジングの両方を支援している。どちらもイノベーションのためには重要であるかもしれない。

人工知能は、このデータと情報を管理し、製品開発やエンジニアリングプロジェクトにおける意思決定プロセスをサポートし、優れた実践を導くのに役立つ。これは日本の住宅でのコンポーネントの選択から半導体、医療に至るまで、さまざまな分野で使用されている。Steinmueller（2000）は、半導体業界に関する彼の研究で、「ワーキングモデル（試作品）」の使用におけるユーザの認知プロセスのマネジメント、シミュレーション、および大規模なコンピュータ支援コラボレーションの自動化ツールの必要性を指摘している。彼は、シミュレーション技術における進展の程度と物理システムの仮想モデルの構築は議論の余地があるものの、それにもかかわらず、エレクトロニクスにおける設計と仕様の表現に広く使われている記号システムが存在すると主張している。彼は、非常に洗練された作業用電子システムおよ

びデバイスの再現を可能にする集積回路製造の説明として、電子回路のアナログ動作をシミュレーションするソフトウェア (SPICE) および他の回路シミュレーションモデルおよび記号言語の例を用いている (Steimnueller 2000; 372)

これらの技術は、幅広い業種や分野で効率と競争力を向上させ、付加価値を高める、次世代のツールを提供する。これらの使用については、次の章で説明する。個々の技術の境界は、非常に多孔性があるが、われわれは thinking, playing, doing という枠組みに集中させて、考察を行うことにする。それゆえわれわれは図 1.4 に示すモデルを使用している。

1.4 イノベーションの重要性

イノベーションの主要機関は企業であり、イノベーションの主な動機は価値と効率の創出を通じて競争力の強化である。これは、企業自身、そして総体的に、経済パフォーマンスを支える、競争の仕組みを通して、企業がイノベーションに動機づけられ、報われる道のりである。簡単に言えば、競争上の地位を維持または向上させる価格水準で、購入者が買いたいと思う製品やサービスを生み出すためにイノベーションを企業は行う。

効率性と価値の創造は、大学、研究機関、さまざまな公共機関などで、個別の事業を超えて、組織にとって重要である。実際には、いずれの組織も、イノベーションにおける目標の明確性と努力の経済性を達成することに関心がある。後の章では、ロンドンの渋滞課金の設計から大学の大規模な研究実験の実施まで、広範な公共分野の舞台での IVT の利点を示すことにする。これは住宅産業や保健医療提供者にとっても重要なものとなっている。

イノベーションはそれ自体で終わりではない。それは終わりの手段である。この本は、広い意味でのビジネス目的での技術の使用に関係している。本書は、物理学、生命科学、情報科学に現在見られる研究の驚異的な発展と技術的なすばらしい能力にはあまり関心がなく、むしろ効率性と価値を生み出すビジネスプロセスに技術が及ぼす影響にある。イノベーションプロセスの変換と統合のための IVT の使用に重点を置いており、組織が使用する方法、選択する方法、作成方法について説明している。重点は選択に関してで、組織が従うべき、技術があらかじめ定めた経路というものとは存在しない。

資本主義とイノベーションの密接な関係は長い間認識されてきた。60 年以上前、Schumpeter (1942) は、数えられる価格競争ではなく、新しい商品、新技術、新しい供給源、新しいタイプの組織との競争・・・決定的なコストや品質の優位性を要求する競争である。既存企業の売上高や利益の幅ではなく、企業基盤とその企業生命に打撃を与えるものである」と述べている。

現代のエコノミストは同意している。例えば Baumol (2002 : 13) は、「18 世紀以来起こっている事実上すべての経済成長は、最終的にはイノベーションに起因する」と述べている。彼はまた、「資本主義の下で、イノベーション活動は、・・・企業にとって生き死問題として必須になっている (2002 : 1)」と、

そして「イノベーションは多くの重要産業において、勝負の駆け引きの名のもとに価格を置き換えてきた（2002：4）」と主張している。本質的に、イノベーションは、企業や国が持続可能な方法で世界に踏み込んでいくことを可能にするものである。それは、企業が生き残り、成長し、給与と配当を支払うことを可能にし、政府に、保健や教育などのサービスに支払う資金を提供している。

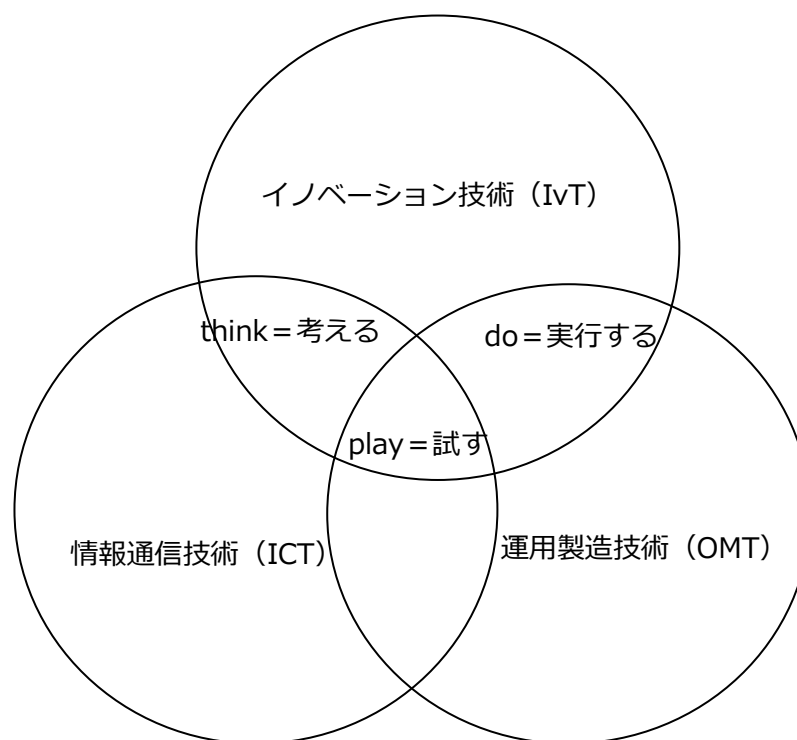


図 1. 4 3つの一般的なタイプの技術

経験的証拠

イノベーションの重要性は、それに費やされるリソースのレベルで見られる。経済協力開発機構(OECD) 諸国は毎年、研究開発のために 6,000 億ドルを費やしている。いくつかの大企業は毎年 50 億ドル以上の研究開発費を費やしており、医薬品やエレクトロニクスなどのハイテク分野では、年間売上高の 5~10%を研究開発費に配分することは珍しいことではない。そのような大規模な投資が行われるという事実は、イノベーションに関する正しい決定がなされたときに可能な、非常に大きなリターンを反映している。1990 年代初めに IBM が CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor) 技術に 10 億ドルを投資したことで、1997 年から 2001 年の間に 190 億ドルのリターンを得たと推定されている (Gerstner 2002)。その重要性を示すのは、イノベーション投資の絶対的なレベルだけではなく、相対的なレベルにもある。多くの起業家個人と企業は、イノベーション活動に資産や売上の相当額を投資している。

イノベーション活動に企業が行った投資レベルを見積もるのは難しい。R&D 支出のよく使われる測定値

は部分的なものであり、小規模企業やサービスプロバイダーの研究開発活動は報告されていないものである (Patel and Pravitt 2000)。産業部門で、組織的な R&D への投資を通じてイノベーションを展開させる傾向が異なっている。医薬品などの分野では、公式的な R&D 活動が一般的である。他の分野では、設計とエンジニアリング活動での非公式なイノベーションの取り組みが大部分を占めており、現在の R&D の定義の下ではカウントされない。R&D は、イノベーションを市場にもたらすために企業が必要とする投資水準を大幅に過小評価している。確かに、R&D 統計は、設計、製造、マーケティングのコストではなく、望むものができた最初の商用プロトタイプを作成するまでのコストにしか過ぎない。UK Innovation Survey のデータを使用して、これらの追加コストを大まかに見積もることができる。

この調査では、マーケティング、製造、トレーニングなど、R&D 統計に含まれていないイノベーション関連活動の範囲の支出を見積もるよう企業は依頼された。これらの数字を企業が計算するのは難しいが、R&D 費は、イノベーション総支出の 30%以下であることが示されている。これは、R&D 統計がイノベーション総投資を 3 倍以上過小評価している可能性があることを示している (Stockdale 2002)。これらの数値が国レベルでも維持されたとするならば、イノベーションへの総投資額は、OECD 諸国の典型的な国民総生産 (GNP) の 2~3%である R&D 費をはるかに上回っている。実際、イノベーション活動への実際の投資水準は、GNP の 6~9%に近くなる可能性がある。測定された R&D 投資レベルとこれらの大まかな見積もりとの間のギャップは、単にイノベーションのコストに関しての、われわれの知らないレベルでもあると言える。

サービス産業のイノベーション活動を測定することは複雑なものであるが、正式な R&D 活動がサービス産業においてますます重要な部分を占めるようになってきている。サービス産業での R&D は、OECD 全体の産業全体 R&D 支出のうち、これまで以上に多くの支出を占めている。1980 年代初めまでは、サービス産業 R&D は米国の R&D 総額の 5%未満でしあったが、2001 年までには 39%に増加した。(2002 年に 130 億ドル)。サービス分野では、米国における研究開発の成長はソフトウェア (2002 年には 130 億ドル)、専門および技術サービス (2002 年に 220 億ドル)、および通常は流通および小売に関連している商業 (2002 年に 240 億ドル) に集中している。(NSB 2004)。ノルウェー、オーストラリア、スペイン、デンマークでは、米国とともに、サービス産業は現在、産業全体の R&D 支出の 30%以上を占めている。サービス産業の R&D が全産業 R&D の 10%を占める程度の国は、測定上の欠点を反映している可能性がある。多くの OECD 諸国において、サービス R&D は R&D システムの中で最も急成長している部分を占めている (OECD 2004 : 7)。

R&D がイノベーションへのインプットの部分的な測定尺度であるとする、特許は部分的なアウトプットであると言える。1990 年代に米国で特許の数が大幅に増加した。1991 年には、96,512 件の特許が米国特許商標庁 (USPTO) によって与えられた。2001 年には、この数字は 166,037 (NSB 2004) に増加した。最も急速に成長している技術分野は、医薬品、バイオテクノロジー、機械機器、コンピュータ周辺機器である (Hicks et al. 2001)。これらの増加には、大学の特許と USPTO の特許審査官の数の増

加、ICT セクターの成長、産業財に関する正式な知的財産権の保護の重要性の強調など、さまざまな競合する解釈がある。この議論の総説については、Kortum と Lerner (1999) を参照。その理由を問わず、米国の R&D 費の支出は、特許数の増加に一部反映されていることは明らかである。米国の技術革新率が 1990 年代に劇的に変化したと単純に示唆することは賢明ではないが、米国の特許の増加は、革新的な取り組みの位置づけが正式な財産権につながっていることを示唆している。しかし、これは、営業秘密や早いリードタイムなど、他の非公式の革新的な技術革新がそれほど重要ではないことを示しているわけではない。産業 R&D 機関のカーネギーメロンの調査は、イノベーションを充当するための非公式な手段が引き続き重要であり、企業が知的財産権の取引にかかわるなど、革新的なアウトプットの測定尺度とはほとんど関係のない、戦略的理由から特許出願していることを示唆している (Cohen ら 2002)。英国では、2001 年のイノベーション・サーベイでは、公式的なものよりも非公式な専有可能性のある手段が広く使用されていることが示された (Laursen と Salter 2004)。

ほぼすべての企業が時にはイノベーションを試みているが、多くは失敗している。ヨーロッパやカナダの最近のイノベーション調査では、製造業やサービス企業の大多数が積極的にイノベーションを試みていることが明らかになった。しかし、ごくわずかしが成功することができていない。例えば、英国では、8%の企業が 1998 年から 2001 年の間に市場で新しい製品を開発することができた (Stockdale 2002)。実際、主要な根本的または破壊的なイノベーションはまれであり、一部の業種では 30 年に 1 回しか出現しない (Tushman と Anderson 1986)。ほとんどの企業は過去のイノベーションで生きており、製品に小さな変更を加えている。これらの企業にとって、重要なイノベーションは非常に珍しいものである。英国のイノベーターの間では、漸進的な製品イノベーションが総売上高の 35% 近くを占めている。売上高のわずか 8% が市場での新規製品からのものとなっている (Stockdale 2002)。

しかし、イノベーションからは大きな報酬を得ることができる。ある推定によると、過去 5 年間に導入された新製品は、多くの業界で年間販売の 50% を占めている (Schilling と Hill 1998)。またイノベーションは、企業の輸出可能性を高め (Bleaney and Wakelin 2002)、長期的かつ景気後退期の際にも利益を上げ (Geroski ら 1993)、信用格付け (Czarnitzki と Kraft 2004)、市場で生き残る機会 (Cef and Marsili 2004)、および市場価値 (Hall 2000; Toivanen と Stoneman 2002) を高める。

1.5 なぜイノベーションを研究するのか

イノベーションへの大きな投資とそれがもたらす大きな貢献は、それを研究する魅力的な理由を提供してくれる。マクロレベルでは、より多くの投資とより多くのイノベーション (Fagerberg 1987; Freeman 1994 参照) との関連を述べるのは比較的簡単であるが、個々のイノベーションと組織のミクロレベルでは、それははるかに困難なものである。イノベーションプロセス自体を管理する方法に関する選択肢が重要である。

本質的に、イノベーションは重要な活動であるが、それは高度の不確実性と失敗を特徴とするものである。実証研究によれば、R&D や新製品開発プロジェクトでは失敗するケースが多い。例えば、現在開発中の数千もの潜在的な新薬のうち、最終的には 1 つまたは 2 つしか市場で成功することはない。Schilling と Hill (1998) は、市場に実際に届いた新製品の約 3 分の 1 から 3 分の 2 が金銭的収益を生み出すことができないと推定している。政府は、イノベーションを促進するために展開した政策に失敗することが多い (Cohen と Noll 1991)。

Scherer (1999) の研究は、イノベーションからのリターンが非常に偏っていることを示している。ポートフォリオにおけるほんのわずかなイノベーションは、平均以上の収益を上回っている。同様に、少数の学術刊行物のみが非常に高い評価を得ており、少数の特許が最も多くの収入を生み出し、少数の製品が売上の大半を占めている。Scherer が主張しているように、イノベーションの成功のチャンスの適切な比喻は、宝くじのようなものであると言える。イノベーションにもっと費やすこと、または宝くじ券をもっと購入することは、成功のチャンスは増えるが、多額の支出でも勝つことはできない。

理論的には、イノベーションは、組織がさまざまな形でイノベーションを開発するために投資するプロセスとして考えられ、そのうちのいくつかは、市場、政府、またはパートナー組織によって用いられるために選択されており、それらのうちのいくつかは、その後、首尾良く実を結び、普及される。Nelson と Winter (1982)、Cohen と Malerba (2001)、Metcalfe (1997) などのエコノミストが述べるように、多様性は資本主義の成長の原動力である。進化論的なエコノミストの見解では、多様なものの生産と、選択プロセスに関わるあらゆる不確実性から生じるイノベーションの普及の間には、かなりの目盛りがある (この理論的アプローチは第 2 章でより広く触れることにする)。

イノベーションが非常に重要であるが、限られた数のイノベーションだけが成功する、このような状況では、組織がイノベーション活動においてどのように効率と予測性を向上させるかを研究することは明らかに重要なことである。予測可能性が高く、不確実性の低い選択プロセスにより、多様なものを生み出し、成功裏に普及できる可能性をいかに高めるかを知ることが有用である。節約されたリソースはより効果的に再投資され、失敗率の低下は投資の増加を刺激する可能性があるので、企業だけでなく、研究機関や国に、より大きな理解の恩恵がはっきりと現れるであろう。不確実性が機会をもたらし、破壊的な変化に企業が直面し、以前とは異なったことを行う必要がある状況においては、IVT は費用対効果の高い選択肢から幅広いイノベーションの選択肢を創出することができる。

イノベーション・プロセスが「管理され、組織化され、改善される」方法の変化を理解することは、以下のために重要である。

- 創造的で生産的な個人やチームのスキルとパフォーマンスを向上させ、組織の目標を達成するためのリソースの配分を改善する。
- コスト削減とわれわれを歓迎するものの創造を通じて、より良いユーティリティ、機能、および製品とサービスの品質を通じて消費者とユーザーに利益をもたらす。

- 不確実かつ予測不可能な環境において非常に重要である、企業や社会にとって利用可能な将来の選択肢の範囲を広げ、それらより良い選択を助け、開発と普及を確実にする。

組織のイノベーション能力は異なっており、長期間に渡って継続的にイノベーションを起こすことはほとんどない。組織にとってイノベーションを非常にやっかいなものにさせる主な理由の 1 つは、それを取り巻くさまざまな種類の不確実性が広範囲に及ぶことである。

1.6 イノベーションにおけるリスクと不確実性

Bernstein（1996：207）がリスクの歴史の中で述べているように、「われわれは決して見えていない。われわれはいつも多少無知である」。市場の変化、変動の激しさ、資源や人材の組織化の課題に伴う投資の通常のリスクに加え、いかにそれが本質的に危険なのかが説明される技術革新には多くの種類の不確実性がある。リスクの主要な決定要因の 1 つは、イノベーションに投資され、イノベーションが失敗した場合に失われる可能性のある実質的なリソースである。リスクは、イノベーションを取り巻く不確実性の関数でもある。1921 年フランク・ナイトの「リスク、不確実性、利益」のように、ここではリスク（計測できる）と不確実性（計測できない）を区別する必要がある。われわれの関心は、不確実性の評価と限定を支援する努力にある。技術、市場、社会、政治、文化、時間、スピード、複雑さから導かれる、さまざまな広範な形の不確実性を記述することができる。

技術的および市場的不確実性

最初の 2 つの形の不確実性には、将来どのような新技術が開発され、その市場への影響に関しての、広範な問題が含まれる。イノベーションがどのように出現するかをある程度確実に予測することは事実上不可能であり、現在の技術、製品、およびサービスに対して潜在的な脅威が存在するかどうかを評価することは事実上不可能である。Metcalf（1998：6）は次のように述べている。

われわれは、イノベーション・プロセスとそれらが、機会、インセンティブ、リソース、管理能力に一般的に依存するということを十分知ってはいるが、この知識を製品やプロセスのイノベーションが出現するかどうか予測できるほどのレベルにまで向上させたいと考えている。

このような状況では、インテルの創設者の Grove（1996 年）が、「誇大妄想者だけが生き残る」と述べたのははおそらく適切であろう。ある種の技術選択には、しばしば不確実性がある。エジソンは、白熱電球のための適切なフィラメントの長期にわたる探索に着手したとき、彼のチームを 14 ヶ月かかった。彼の助手の一人によれば、フィラメントの炭化に使用された繊維には、綿、麻、絹、麻、馬毛、釣り糸、チーク、スプルー、つげ材、加硫ゴム、コルク、セルロイド、タール紙、ラッピング紙、厚紙、ティッシュペーパー、羊皮紙、牡丹木、脱脂綿、籐、カリフォルニアレッドウッド、生ジュート、トウモロコシの

髭、ニュージーランド亜麻、および何人かの実験室作業員の髭髪などが含まれていた（Carey 1995 : 169）。

イノベーションが失敗する可能性には多くの方法がある。いくつかのイノベーションは、技術が期待されたものを提供しないため単純に失敗するもので、タイタニック号が考える。Concorde、Sony の Betamax、および IBM の OS / 2 は、技術的には成功したが失敗した例である。実際に、PC、ディスク、カウント小売業、オフロードバイクなどの破壊的な技術革新の研究者である Christensen（1997）は、開発時に未知であるこうした技術の、市場での適用だけでなく、技術そのものも知られていないと述べている。いくつかのイノベーションは両方の点で失敗する。フォードのエドセル自動車は設計が行き詰まり、製造が難しく、ドライバーにも愛されなかった。アップルニュートンは高価で、大きすぎて、技術的に不十分であった。その手書き認識ソフトウェアは当初はかなり不正確であり、効率的にするための、ユーザーの文体を学ぶのにかなりの時間を要した。1995 年にリリースされた任天堂のバーチャルボーイは、ゲームを 3D で表示するために両眼鏡式のプロジェクターを使用していたが、重くて持ち運びが難しく、ソフトウェアもほとんどなかった。訴訟を防止するため、任天堂はユーザに頻繁に休憩をとるように促す自動停止機能を追加した。この促しは多くの顧客を逃がすことになった。英国政府のミレニアム・ドームは、工期と予算を守って建設され、完全な商業目的であったが、1300 万人の見込み客に対して、600 万人だけが集客できた。2000 年 12 月に閉鎖された後も、公的資金の継続的な流出がなされている。

あいまいで粗雑な成功と失敗の概念は、イノベーションの議論に完全に組み込まれる必要がある。たとえば特定のイノベーションの貢献が正確に定量化され、実質的な投資収益率が得られたとしても、既存のビジネスの他の分野で、それはリソースをどれだけ流用し、既存の市場を危険にさらさせるかなど、イノベーションがどんな結果をもたらすかという問題がある。あるいはイノベーションは、長期的には最も有利なものとは限らない、技術的進路を企業にもたらすかもしれない。同様に、会計処理上は目を見張るほどの失敗であったイノベーションも、そのイノベーションの際に作られた関連知識が、他の用途に使用することができ、企業が実りのない道を下っていくのを防ぐなど、企業にとって大きな利益をもたらすかもしれない。

社会的、文化的、政治的な不確実性

技術とイノベーションは、それらが開発され使用される特定の社会的および文化的環境の状況においてのみ適切に理解されることができる。自動工作機械の開発に関する Noble（1977）の初期の作業から、Linux オペレーティングシステム（Tuomi 2002）の開発のより現代的な分析まで、こうした証拠は、強い社会的、文化的、政治的な影響の文脈の中で技術が創出され、使用されることを示している。「最良の技術」は自動的に市場で勝利する技術ではなく、それが形作られ受容される方法は、幅広い複雑な社会問題に左右され、潜在的で予測不可能な変数の数が増え、不確実性はそれに比例して増加する。

起業家の活動の結果としてイノベーションが起こる場合、それは協調性のない個人的な特性に起因する

可能性がある。起業家は、しばしば既存の技術やビジネスプロセスに不満を持つ。彼らは変化を好み、現状を嫌う。彼らの起業家精神は、個人的な表現と発展の手段である。彼らは産業界の不確実性を高め、その恩恵を受けることができる。Keynes（1936：161-2）が、イノベーションにとって決定的に重要な「animal spirits＝野心的意欲」と呼んだものを彼らは備えている。

おそらく、何か肯定的なことをするという私たちの決定の大部分は、来るべき多くの日にわたって、そのすべての結果が引き出されるだろうといった思いと、不作為ではなく自発的な行動への衝動、すなわち野心的意欲の結果としてとらえることができ、定量化できる利益の加重平均に、定量化された確率を掛けたものではない。企業精神は、主に自社の設立趣意書の記述によって、率直に誠実に発揮される。野心的意欲が影薄くなり、自発的な楽観主義が萎縮し、私たちが数学的な期待に頼るしかないならば、企業は消えてなくなることになる。

イノベーションへの刺激において、「数学的期待」を越えての、ケインズの「野心的意欲」の高さは、それを取り巻く不確実性を強調するものである。IoT の使用を中心に発展している新しい種類のリーダーシップスキルの問題については、第 7 章で論じることにする。

イノベーションが楽観的か否定的な結果をもたらすかは曖昧である。次の例に示すように、最も有用で単純なイノベーションであっても、否定的で危険な結果をもたらす可能性がある。有刺鉄線は 19 世紀の最も重要なイノベーションの 1 つであった。有刺鉄線は、空間を定義し、領土境界を確立する非常に貴重な機能を果たす。製品自体には、最も名高いイノベーションの特徴がある。それは 1874 年の当初の特許以来、事実上変更されていないことで見られるように、非常に堅牢なものである。これは絶え間ない多様な用途を持つ非常に卓越したイノベーションである。耐熱性があり、曲がりや折れが少なく、軽量で耐久性があり、適応性があり、簡単に設置でき、安価で購入できる。それは肯定的な利益をもたらした。例えば、経済発展のために米国西部を開放するのに役立った。しかし、それは多くの否定的な意味を持っている。第一次世界大戦の収容所や強制収容所あるいは塹壕、あるいはアメリカ西部の排除された先住民族のことを考えてみる（Razac 2002）。同じイノベーションが異なるグループに異なる結果をもたらしている。19 世紀の先住民は、植民地農家とはまったく違った有刺鉄線を見ていた。

一部の作物生産者や環境保護者によって大きく異なっている、遺伝子操作されたキャノーラ種子の場合、イノベーションの価値をめぐる曖昧さが、今日非常に見られる。

相当な利益とコストの両方を提供するイノベーションのリストには、おそらく 20 世紀の最も重要なイノベーションである自動車が含まれる。これは、安価で、数百万人に簡単に旅行できる民主的自由を提供し、多くの国で雇用と富の相当な部分を占めている。しかしこれは道路や環境汚染による殺戮に対して対象がなされる必要がある。ファストフードは便利で比較的安価であるが、肥満に伴う重度の健康問題に寄与する。電子メールは素晴らしく便利であるが、巨大なコンピュータ・セキュリティリスクをもたらし、就業日を動きをとれないものにする。DNA タイピングは犯罪者を捕まえるのに役立つが、しかし、人権にマイナスの影響を及ぼす可能性がある。このような意味でイノベーションは、認識されたリスク

に対する社会の受け入れに依存しており、これとは異なる形でもたらされる変動と変化は、時間とともに不確実性を増す。

時間とスピードの不確実性

イノベーションの成果に関し、時間が成功と失敗に影響を与える経路はかなり複雑である。哲学者である Francis Bacon は、17 世紀に次のように指摘している。「新しい救済策を適用しない者は、新たな被害を予期しなければならない。時間は最大のイノベーターだから」。時間の経過とともに成功の認識が変わったというイノベーションの例には、De Havilland Comet が含まれている。De Havilland Comet は民間航空機に初めて成功し、多くの点で民間航空業界の創造に貢献した。初期の成功の時には、金属の疲労とそれに続く悲惨な結果の問題に関して、ほとんど知られていなかった。ロンドンの Millennium Bridge は当初、悪名高い失敗として認識されていたが、その問題はその後解決され、最終的に橋梁設計技術が大きく前進した（第 5 章参照）。

生産とイノベーションのスピードを上げることは、常に企業にとって最大の関心事であった。Smith の分析（1812：22）では、分業の増加に起因する生産性の改善が重要であるとして、労働力のスキル、そこで使用される技術、仕事の品目（彼は「species=種」と呼んでいるもの）がシステムを移動する速度の、3つの要素を挙げている。初期の工業化に関する歴史家 Thompson は、それまでの農業における季節的変化に関係していた、労働力に対する産業規律の強化が、作業評価や時間測定によっていかに強く決定されたかを示している。彼は次のように述べている（1967：69）。産業生活の新しいリズムを規制する小さな計測機器は、産業資本主義がその進歩を活性化するために求めた新たなニーズのうち、より執拗に求められたものであった。

科学とイノベーションの発展における計測機器の重要な問題とその役割については、第 2 章で検討し、本書の中で計測機器と創造性との関係を探求することにする。

仕事の世界における時間とスピードの大きな影響は、Taylor の科学的マネジメントから派生した「時間・動作（Time and Motion）」研究で 20 世紀初頭まで続き、より大きな作業規律を発揮するために単位時間の正確で科学的な尺度を開発することを目的としていた。より現代的な経営思想は、「リーン生産（lean production）」と「リーン思考（lean thinking）」の進化、「早期市場参入（first-to-market）」、「素早い追従者（fast-followers）」への関心に見られる。「インターネット時代の競争」（Cusumano and Yoffi 1998）や Blur、「接続経済の変化のスピード」（Davis and Meyer 1998）などの書籍では、スピーディなイノベーションから導かれる競争上の利点について議論している。Bill Gates の本は「Business @ the Speed of Thought」というタイトルになっている。発明の登録に最初に付与された特許の所有権は、大きな競争上の利点をもたらすことができる。たとえば、IBM は 2001 年に知的財産のライセンス供与から 15 億ドルの収益を得た（Gerstner 2002）。先発優位性（First-mover advantages）は、競合他社に先駆けて市場の認識と地位を獲得しているか、有利な技術基準を確立している企業によって得られる。

しかし、スピードはリスクをもたらす可能性があります。必ずしも常に有利なわけではない。CAT スキャナーの EMI、オフィス・コンピューティングの Xerox のように、新技術を使って市場に登場した後に失敗した例が数多くあるが、PC での IBM や VHS ビデオレコーダーの松下電器など、追従者が成功した例もある。模倣に基づく戦略 (Schmaars 1994) の強力支持者もあり、Dell や Wal-Mart など非常に成功した企業は、素早い追従者 (fast-followers) という戦略で有名である。(Carr 2003)。ドット com ブームと倒産の狂乱は、その技術が実証されたか、市場が存在したか、あるいはビジネスモデルが妥当であったかの最初に考慮されていたかという実体ではなく、スピードに対する関心が反映している。実際、新技術の投機による金融市場の過熱は、歴史的な規則性を伴って発生している (Kindelberger 2001; Perez 2003)。

いっぽうで、速度は不確かさを取り除くこともできる。時間の短縮は、成功の可能性をすばやく評価し、予期せぬ開発の影響を抑制することができる (Mason-jones and Towill 1999; Towill 2003)。したがって、速度と不確実性との関係は非常に偶発的である。たとえば、イノベーション・プロセスがルーチン化され、結果が比較的明確に規定されている場合、イノベーション・プロセスをスピードアップすることは非常に有利かもしれない。イノベーションが既存の方法を破壊し、広範な反省と学習を保証する場合、スピードは不利になる可能性がある。飛行機や原子力発電所の設計のように、ミスの結果が大きい場合、スピードへの過度の重視も心配を招くものになる。

複雑さに起因する不確実性

企業が活動する技術的および事業的環境が際立って複雑なことも、イノベーターが負うリスクと不確実性に寄与している。複雑さは、グローバル化が、組織の活動領域に、潜在的かつ予測不可能なプレーヤーを潜在的に多くもたらしめているために発生する。国家間で広く普及し、迅速に変化することができる基準、予算、割り当ておよび環境に関する政府の規制への準拠は、新たな活動の複雑さをさらに高める。学術雑誌の継続的な増加に見られるように、「学際的な研究の増加と、例えばバイオテクノロジーにおける異なる種類の技術の融合」のように、知識の広大な拡大は、潜在的なイノベーションの「多様性」を広げる。具体的には、これは、競争するために必要な技術基盤の範囲を広げることが主張されている (Brusoni ら 2001)。さらに、さまざまな形態のシステムが特許の運用に影響を及ぼしている。研究機関や関係者の組み合わせからなるイノベーションシステムは、全国的、地域的、部門的、地域的に運営されている (Lundvall 1992; Nelson 1993; Edquist 1997; Malerba 2004)。生産者とそのサプライヤーの間には様々な形態の契約上および協調的関係の生産システムが存在する (Best 2001)。

規模と範囲の商業的優位性によって推進される技術システムは、オープンシステムのコンピュータアーキテクチャによって容易になり、インテグレータとサプライヤーの進化する階層構造に現れている。ヒースロー空港に隣接する第 5 ターミナルの建設などのような、インフラや長期固定資本にさまざまな技術を組み合わせた技術システムが混在しているため、複雑さが増している (Gann 2000)。これらの様々な

形態のシステムは、イノベーターが他者に依存しており、依存する程度を複合させ、相互依存性を目立たせ、イノベーションプロセスの複雑さを拡大する。

1.7 結論

イノベーションの本質的なパラドックスは、企業や国家の競争力、生活の質にとって、いかに重要なのか、成功の後には明らかに明白であるが、そのイノベーションが成功するかどうかは、事前には明らかではないということである。イノベーションを投資に結びつける、イノベーションのプロセスと成果には数多くの不確実性が伴う。これらの多様で多面的な不確実性は、予期せぬ実験結果、複雑さ、および体系的統合に関連する技術的問題から、タイミングおよび社会的および文化的受容の概念にまで及んでいる。イノベーションに多くの投資が行われているという事実は、高いリターンが可能であることを示し、イノベーションに投資しないという選択は、ほぼ確実にリスクが高いと言える。400 年前にフランシス・ベーコンが指摘したように、あなたがイノベーションしなければ、他の誰かがそうすることになる。課題は、イノベーションに関連するコストと不確実性を管理することであり、イノベーションの成果は非常にあいまいであり、成功と失敗の概念は必ずしも明確ではないということを受け入れることである。これらの不確実性を管理することは明らかに重要な問題である。シュンペーターが述べたように、イノベーションは企業生命そのものを根底から覆すものであり、イノベーションに関する決定は、どの企業が生き残り、どの企業が死ぬかを決定する。彼は極めて多彩に、イノベーションは「驚異的な報酬をちらつかせるニンジンや、困窮を助ける杖を提供する」と言っている。

イノベーションのために多くの資本を提供する金融市場で、迅速かつ一貫したリターンが期待される状況では、この課題は特に困難である。株式市場の要件 (Dore 2000) は、長期的にわたって、期待されるものを定期的に提供することができないイノベーション投資の現実と、矛盾する可能性がある。また、特定の投資に関する意思決定がリスクアセスメントにおいて、めったにないレベルの複雑さを伴う企業の場合、さらに困難である。第 4 章で述べるように、国際的な研究開発投資の総額は着実に増加しているが、大企業におけるこれらの増加の持続可能性についての疑問が生じている (Meyer-Krahmer and Reger 1999)、そしてそれに伴うリスクを軽減するために投資の規模を継続的に増加させる戦略は、ほんのわずかな企業でしか手に入らず、たぶん短期間でしかない。さらに、これらの集約データは、実績の国際的な違いを捕捉することができない。1990 年代のドイツ、フランス、英国の産業での R&D 支出は他の地域で見られた成長率と一致しなかった (第 4 章参照)。

代わりの解決策は、イノベーションをよりスマートにすることである。企業はこの目的のために多くの多様な努力を行っている。会計士および財務アナリストは、特定の技術投資で晒されるリスク (exposure) を定量化し、研究投資の実際のオプション価値を検討するための、より良い手段を開発している。マネージャーは、イノベーションのリスク、イノベーションを行わないリスク、競合他社が先にイノベーション

した場合の損害の評価を支援するツールを、予測とシナリオの計画で使用する。イノベーション投資の規模と範囲を創出して、リスクを軽減するために、さまざまな戦略的研究パートナーシップとアライアンスが使用されている。組織構造とシステムは、例えば「ヘビー級」チームと「タイガー」チーム（Clark and Wheelwright 1993）や「ステージゲートシステム」（Cooper 1998）の活用など、イノベーションプロジェクトの効率性を追求するように進化している。

この本は、IVT を考える（thinking）、試す（playing）、そして実行する（doing）のプロセスに応用することによるイノベーションの強化という、イノベーションをよりスマートにするための取り組みに貢献することも、もう一つの要素である。イノベーションは戦略的に重要な活動であり、そのプロセスは科学者、研究者、エンジニア、デザイナー、ゼネラルマネージャー、プロジェクトマネージャー、部門マネージャー、そしてスタッフまで注目を集めている。イノベーションプロセスを取り巻く伝統的な境界と階層が崩壊してきている。

以前にセグメント化された活動で使用されていた技術は、イノベーションをサポートし、不確実性を低減するために、統合された技術に向かって進化している。このように、Grid＝グリッドコンピューティング（第2章と第4章の議論を参照）などのe-サイエンス技術は、科学研究に業界を巻き込んだバーチャルな研究コミュニティを構築している。シミュレーション、モデリング、バーチャル・リアリティツールは、研究者と実務家、イノベーション・プロセスで考える（thinking）、試す（playing）、そして実行する（doing）を統合する。ラピッド・プロトタイピングは、製品イノベーションにおける製造のより積極的な関与を可能にする。膨大な量のデータをインテリジェントに処理するためのデータマイニングのような検索ツールの容量は、研究の科学者が市場に関するより良い情報を構築するのに助けることから、イノベーション・プロセスを支援する。以下の章では、組織や個人によるIVTのよりスマートなイノベーションの取り組みを可能にする方法を詳細に検討する。

記載された変更のどれもが実験的で、学習の試行錯誤のプロセスであり、知的好奇心によって引き起こされ、その予測不可能性と意外性の可能性によって生まれる機会が伴う。また、ルーチン化されたイノベーションは矛盾したまま残されることはない。クラフトスキルは、新しいIVTの自動化されたコードで提供されるもので、補完され構築され、それに置き換えることはできない。それにもかかわらず、イノベーション投資をより明確にし、より経済的にする方法は、民間および公的部門の投資家が同様に歓迎することが確実である。イノベーション・プロセスを強化する。次の章で説明する技術と新しいプロセスは、考える（thinking）、試す（playing）、そして実行する（doing）に効果的に使用すると、イノベーションを取り巻く不確実性を克服するために役立つ。

2 イノベーションの理解

2.1 はじめに

イノベーションの重要性はよく知られているが、多くの点で「イノベーション」自体をよりよく理解する必要がある。これは部分的には専門用語の混乱によるものである。イノベーションは、発明と混同されることもある。新しいアイデアの創造とその実践への還元である。新しいアイデアをうまく活用することによるイノベーションの定義には、アイデアの創造以上のものがあり、それらが開発し、普及し、利益を出すまでが含まれる。イノベーションは、一度の成果であるとともに、新しい製品、プロセス、サービス、組織と管理の組み合わせと意思決定のプロセスでもある。両者を同義的に扱うことはできない。定義によるイノベーションは成功しているものもある（これは限られているか短命であるかもしれないが、成功と失敗の定義を取り巻く曖昧さについては第1章の議論を念頭に置いている）。対照的に、いかなるイノベーション・プロセスも、新しいアイデアの首尾のよい活用を支援できるとは限らない。

さまざまな次元でイノベーションについて考えることが可能である。それはどのようなタイプのイノベーションなのか？それは、製品、プロセス、またはサービスのイノベーション（それらの間の境界がいまいで、ある企業の製品が他のプロセスかもしれないこともある）か？イノベーションの源泉は何か？それは大学の研究や起業家のビジョンから出てきたものか？あるいははっきりと明確化された顧客要件に対する対応か？イノベーションはどれほど広範なものか？それは、システムの小さなコンポーネントのイノベーションに対する少しずつの漸進的な改善か、あるいはシステム全体を変える急進的なイノベーションか？イノベーションは、企業、業界、国にとって新しいものか、世界に新しいものか？イノベーションは既存の技術とどのように関係しているか？イノベーションの成果は何か？それらはすべて肯定的であり、持続可能であるか？したがって、イノベーションをめぐる幅広いさまざまな問題が提起される可能性があり、累積的な理解の発展には、これらの問題の焦点の明確化とその理由が必要である。

イノベーションを理解する上での難しさのいくつかは、イノベーションに関連して使用される特定の異なる言語に由来し、それを研究することに関心のある幅広い学問分野の論点の違いによってもたらされた。経済学者、地理学者、心理学者、公共政策アナリスト、歴史家、科学者、そしてビジネス、経営、組織、イノベーション研究の学生、すべてがイノベーションの理論的、実証的理解に貢献している。しかし、彼らの特定のアプローチと偏見は、これらの理解を学問の境界を越えて伝えることを難しくさせることが多い。例えば、一部のエコノミストは、技術開発におけるパートナー間の協力は、「不自然」なものであり、将来の収入源の希薄化、不十分な経営才能の移転、反競争的な結託であると解釈されるべきだと見ているかもしれない。戦略的管理やイノベーション研究の他の観察者は、コラボレーションが貴重な戦略的オプションを提供したり、イノベーションに必要な刺激策を提供しているかもしれない。一部の社

会心理学者は、パートナーシップは自然の人間協調性の反映であると主張するかもしれない。

もう一つの問題は、複雑で不確実なイノベーション・プロセスそのものにある。しかし、イノベーションのプロセスは理解することができ、理解する必要がある。イノベーションが成果であるかプロセスであるかが理論的かつ実証的に正しく理解されるならば、それを分析者が遵守する必要があると、われわれが信じる 3 つの原則がある。

1. イノベーションはその歴史的文脈で位置づけられなければならない。
2. イノベーションは、個別的な事象や活動ではなく、広範な体系的関係や相互依存に由来し、それに貢献するものである。
3. イノベーションは社会的に媒介され、組織的、管理的、個人的な実践と決定から生まれたものである。

この章では、IVT とイノベーションの強化を歴史的背景から認識するためにこれらの原則を使用している。IVT の活動と職務の類型を作成し、ICT と OMT との相互依存性を示す。この章では、IVT が以前可能であったもの以上に、科学基盤、顧客、およびパートナーからのものを含め、イノベーション・プロセスに、まったく異ったインプットのはるかに大きな統合を可能にする方法に重点を置いている。この章では、以前の世代の技術と同様に IVT が管理上の選択と組織的な選択に依存する方法について検討する。IVT は、技術の「コード」と知識や技能の「クラフト」を、新しい想像力豊かで生産的な方法で組み合わせることで、個人の実務とスキルを必要とする。

イノベーションに関する文献は多数あり、多様である（表 2.1 参照）。この章では、イノベーションにおける重要な考え方について、強化増大および、考える（thinking）、試す（playing）、実行する（doing）に関するわれわれの議論にそれを適用するために、選択的に取り上げる。ボックス 2.1 は、われわれの分析の理論的根拠について簡単に説明している。

Box 2.1 イノベーションに対する理論的な分析的アプローチ

現代のイノベーションの現実の説明できる既存の統一的な理論は存在しない。イノベーションの複雑で不可欠な要素は、単一の枠組みのなかで理論に期待される説明力を証明することを不可能ではないにしても、難しくしている。それにもかかわらず、豊富な理論の集まりは、20 年ほどの間、不安定で進化的な経済、持続可能な発展、政治経済、システムの複雑さ、そして理論と組織の行動についての考え方で、イノベーションを説明している。この本に描かれた理論は比較的最近ではなく、いくつかの分野にまたがっている。それらの統合化と総合化は、イノベーション自体のように、実証的な研究を伴うかなりの程度の反復を必要とする、継続的な説得力のある努力であると言える。

さまざまな考え方が、イノベーションの創発意識を複雑かつ多次元的なものとして支持してきた。これには、市場力の仲介における機構の役割への関心の高まり、協調（連関）と経済の調整の重要性、イノベーションの全般的かつ内部的な恩恵の認識、さまざまな技術の開発パターンの違い、経済活動への「学習

と信頼」の貢献、ビジネス戦略の観点からは、企業の技術変化とグローバル化の課題への対応についての理解の向上などが含まれる。

現代的な有用性を持つ歴史的理論的見解は、研究中の現象が本質的に動的であることを中心的理解とする、シュンペーター主義経済学（Schumpeterian economics）であり、経済の要素を創造し、破壊し、経済全体の行動と成果に大きな影響を与えるイノベーションの群がりの歴史的集約を伴う。Shumpeterの仕事の踏まえて、Nelson や Winter（1982）のような進化論的経済学者は、イノベーションは、市場（顧客による購買意思決定）、政府（調達者と規制当局）、および協力パートナー（顧客、供給品、研究団体やコンサルタントなどの仲介機関）によって支援された多様性からの選択の多様なプロセスを創造することを含み、それに続くイノベーションの普及、そのうちのいくつかは成功し、さらに発展し、多様化するが、ほとんどが失敗する。われわれはこの理論的アプローチを本の中で描くことにする。

一般的な理論的アプローチとは対照的に、表 2.1 は、イノベーションに特に適用される分析レンズの深さと多様性を示している。これらのアプローチは実証的に基づいたものであり、理論の説明能力を持つための虚偽のものはほとんどない。

類型学の目的は、イノベーションにおける研究の範囲を示すことであり、われわれが引き続き取り上げるアプローチのいくつかを幅広いカテゴリーに位置付けることである。必然的に、カテゴリー分けでの分析は、過度の単純化と多くの作業関係組織の豊かさを損なう。それにもかかわらず、類型学は広く記述的であり、我々は、異なる分析レンズを用いてイノベーションに行われた研究を区別するのに役立つ。

2. 2 原則 1 : 歴史的背景

Aldous Huxley が私たちに歴史の魅力を教えてくれるのは、時代のに変化変わりなく、しかもすべてが完全に異なっているということである。シュンペーター主義 (Schumpeterian) の技術変化の歴史家は、新興の新技术の群れ、新しい投資のパターン、組織、経営、雇用に伴う変化を特徴とする産業革命以来の激しいイノベーションのパターンを指摘する。このパターンは罪深いままであるが、斬新な方法で現れる。Freeman と Perez（1988; Freeman と Louca 2001; Perez 2003）などの学者は、18 世紀半ば以降に起きた一連の技術革新を明らかにした。これらは表 2.2 の簡単な形式で記述されている。われわれはこの分析の中で、この章の後半で展開されるイノベーションの理想的な特徴付けを加えた。発生していた技術的な変化に加えて、イノベーションは、個人から企業への移行モデルによって特徴づけられる時代に変化している。

表 2.1 イノベーションに対する主要な分析アプローチのいくつか

主な焦点	イノベーションの概念またはカテゴリー	主要テキスト
発生源	サイエンスプッシュ マーケットプル 統合モデル	Bush (1946) Myers and Marquis (1969), Von Hippel (1988) Rothwell and Zegveld (1985)
特質と広がり	急進的または漸進的 連続または不連続な ライフサイクル モジュラーまたはアーキテクチャー 支配的なデザイン ロバストなデザイン 持続的または破壊的 オープンまたはクローズド イノベーションスペース 技術融合	Freeman (1974) Tushman and Anderson (1986) Abernathy and Utterback (1978) Henderson and Clark (1990) Utterback (1994) Rothwell and Gardiner (1988) Christensen (1997) Chesbrough (2003) Tidd et al. (1997) Kodama (1995)
タイプ	製品 サービス プロセス	Cooper (1998) Barras (1986) Bessant (1991)
システム	国 地域 部門別 技術的 ネットワーク クラスター 複雑な製品システム	Freeman (1987); Lundvall (1992); Nelson (1993) Cooke and Morgan (2000) Malerba (2004) Carlsson (1994) Freeman (1991); Tuomi (2002); Castells (1996) Porter (1990) Hobday (1998)
プロセス	チェーン連鎖モデル イノベーション行程 (journey) イノベーション/技術 戦略 知財管理	Kline and Rosenberg (1986) Van de Ven et al. (1999) Teece (1987); Dodgson (1989); Coombs (1994); Schilling (2005) Leonard-Barton (1995); Nonaka and Takeuchi (1995); Seely Brown

	運営と生産 管理 デザインマネジメント 研究開発マネジメント 第五世代	and Duguid (2000) Bessant (1991); Womack and Jones (1996) Petroski (1985); Baldrige and アンネ Clark (2000) Iansiti (1993); Gerybadze and Reger (1999) Rothwell (1992); Dodgson (2000)
成果	技術普及 技術的学習	Rogers (1995) Rosenberg (1982)

表 2.2 技術革命

技術革命	主要要素	新技術と新興ある 再定義産業	新興ある再定義 インフラ	イノベーションの 特徴
産業革命 1760-1820 年頃 蒸気機関と鉄道時代 1825-75 年頃	手工業を工場シ ステムに置換 経済のつながり の大幅な改善	綿、鉄、機械 蒸気機関と動力、 機械、鉄と石炭採 掘、蒸気機関車	運河、有料道路、 水力 鉄道、郵便、国際海 運、電信、巨大港湾 都市ガス	手作業、個人 エンジニアリン グ、手作業、個人
鉄鋼と電気の時代 1875-1920 年頃	大規模なエンジ ニアリングと経 済の電気化	ベッセマー鋼、重 化学工業、土木工 学、電気設備; 缶 とボトル入り食 品、紙と梱包	世界規模の海運と 電信、電力網、電 話、長大橋とトン ネル	個人と企業
石油と大量生産時代 1910-70 年頃	安価な商品の量 産	自動車、安い石油、 石油化学工業。家 電製品、冷蔵庫と 冷凍食品	道路網、空港、電力 共通化、世界的ア ナログ通信	企業
情報通信技術時代 1970 年～	デジタル経済	マイクロエレクト ロニクス、コンピ ュータ、ソフトウ エア、CAD/CAM 新素材	世界的デジタル通 信(光通信、衛星通 信)、インターネット /WWW	分散とオープン

Source: Based on Perez (2003)

これらの分析は、いくつかのサイクルでは議論の余地があり、学者は特定の技術の周期性と相対的貢献の正確さについて論じている（Edgerton 1999,2004）。議論は、これらの技術革新と経済サイクル（いわゆるコンドラティエフ波）との関係に議論が関係しているときに複合化される。それにもかかわらず、われわれは IVT の潜在的な開発軌道と結果を理解する上で、多くの点で役立つこの概念化を見つけた。第 1 に、このような歴史的分析の形式は、イノベーションに関わる時間スケールに対する認識を高めることができる。Arthur（2002：6）は、新技術の利点の実現にかなりの遅れがあると述べている。

技術革命が起こった過程で、革命全盛期を迎えるまでの間に、通常数十年ある。鉄鋼と電化革命（Bessemer 製鉄所と電動機と発電機）を可能にした技術は 1870 年代に到着したが、その効果は 1910 年代までは感じられなかった。ワットの蒸気機関は 1760 年代に開発されたが、1820 年代まで普及しなかった。現代の大量生産は 1913 年に到着したが、1950 年代から 1960 年代までピーク時代は来なかった。

さらに現代の時代においては、1980 年代と 1990 年代の ICT への重大な投資の成果は、生産性の向上において最近目に見えている（Lester 1998）。

第 2 に、歴史的分析は、様々な種類の新技術の相互依存性と既存の技術との継続的な関係を強調している。新技術は、既存の技術と投資を一晩で置き換えるものではない。異なった優良な年代物の技術の共存期間が生じてくる可能性がある。例えば、バイオテクノロジーに基づく創薬プロセスの新世代は、従来の発見方法と並んで存在している。

第 3 に、新たなインフラを可能にすることの重要性が強く強調されている。運河、鉄道、道路、電気ネットワーク、電気通信、インターネットはすべて、新しい製品、プロセス、サービスが開発され普及される基礎を提供している。ここでも、このインフラストラクチャの誕生とそれを利用する新しいビジネスの開発との間には、時差がある。Rosenberg（1963a、1963b）は、19 世紀半ばの米国の工作機械産業の発展を指摘し、鉄道の輸送改善と貨物コスト削減によって引き起こされたものに大きく依存していたが、全国の鉄道網の敷設から 30～40 年は遅れた。IVT は、革新を創出するために特別に開発された新しい形態のインフラストラクチャと考えることができる。

第 4 に、技術的变化は社会的変化と不可分である。各革命には、新たなベスト・プラクティスの組織形態と、職場における新しいスキル・ミックスが伴っている（Freeman と Soete 1997）。これらの変化のいくつかを第 7 章で探求することにする。

第 5 に、各革命に伴う変化はどこにも現れ、それは経済全体、したがって「テクノ経済パラダイム」（Dosi 1988; Freeman and Perez 1988）に影響を与える。第 5 の波の技術は、新技術や「高度な」技術には左右されない。食品、梱包、建設（Gann 2000）などの分野でもその用途は重要であり、鉄道などの古い技術は継続的にリニューアルされる（高速列車やリニア新幹線の形で見られる）。

歴史的な視点は、いかに技術が適用されているかの重要性を強調するのに役立つ。イノベーションと産業開発における資本財と工作機械の役割に対する理解を深め（Rosenberg 1963a、1963 b）、またアイ

デアの開発における計測器の重要性も強調している（Crump 2001; Galison 2003）。Poincaré と Einstein の物理学における、時間の計測器に関する Galison の分析（2003）は、科学的進歩におけるアイデアと計測器の間の再帰的關係を指摘する。「基本的な物的対象と、最終的なアイデアに関しての、歴史的な考えの終わりのない揺れ」を批判し、彼は、「時計、地図、電信、蒸気機関、コンピュータはすべて、思考と物とを対比する不毛な、二分法を拒否する論点を提起している」と言う（2003 : 325）。それぞれの場合において、物理学、哲学、技術の問題が交差する。同様に、Faraday が実験装置の専門的製作者であったことは、偶然のことではなかった（Hamilton 2003）。

歴史的要素（より最近ではあるが）を含むイノベーションへのアプローチは、Rothwell の第 5 世代イノベーション・プロセス（1992 年）である。表 2.2 に記載されている分類に従うと、イノベーション・プロセスの最初の 3 世代は、主にイノベーションの源に関係していた。次の 2 つの世代はイノベーションのプロセスにもっと関心がある。第 1 世代のイノベーションプロセスであるサイエンスプッシュモデルは、第二次世界大戦に続いて登場した。Vannevar Bush のような大きな科学的投資の支持者たちは、例えば、原子力工学、がん治療のための研究、そして後に宇宙開発のための大規模な研究投資が工業的な応用分野に絞り込むと主張した。図 2.1 では、科学技術が企業のボックスの中にプッシュされている。この世代のイノベーション・プロセスにおける公共政策と経営課題は比較的単純であり、R&D のための多大な予算を維持し、増加させることであった。R&D の結果が、イノベーションの主要な源であると考えられていた。

1950 年代に流行してきたこのシンプルで線形なイノベーション・モデルは、疑問視され始め、最終的には 1960 年代に取り替えられた。この時代到大消費者指向の企業が成長したことで、マーケティングが企業戦略の重要な要素となっていた。例えば、自動車の安全性に対する懸念のような消費者運動の成長は、顧客の選択の重要性に対する認識を高めた。また、この時代に、企業企画部門の成長は、企業を統制し、指揮する能力の自信を反映していた。

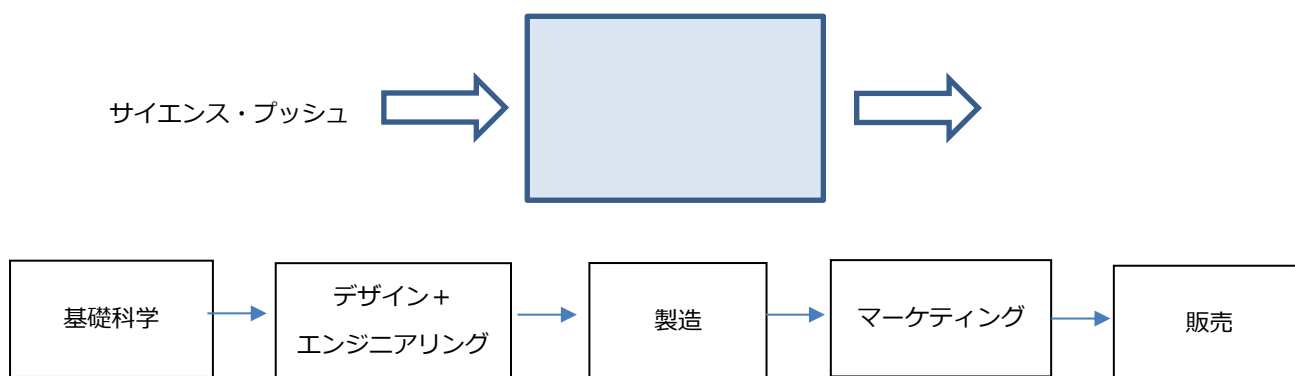


図 2.1 第 1 世代のイノベーション・プロセス : 科学/供給主導型モデル

1968 年に出版された Illinois Institute of Technology の TRACES プロジェクトのようなイノベーショ

ンの源（ソース）に関する初期の研究では、重要なイノベーション成果に対する大学や政府の研究機関の寄与が比較的小さいことを示した、（5つの重要なイノベーションとサンプルは少なかったが、この時点で米国国立科学財団が推進しているもう一つのプロジェクト（Hindsight プロジェクト＝第二次世界大戦後の兵器研究プロジェクトの有効性を判断するために実施された回顧的調査）は、依然として助成金が「需要側牽引（demand pull）」の働きをしているが、防衛部門の貢献は少なくとも大きいと判断した）。第2世代のイノベーション・プロセス（図2.2 参照）は、その時点でのこの研究の解釈は、市場側牽引（market pull）を強調しイノベーションの源についてのさらなる考えを注ぎ、もう1つの単純な線形モデルを現した。その結果、イノベーションの政策と経営課題は、比較的単純なものと見なされた。市場の需要を予測し、それに応じてイノベーション投資を計画し、配分する。R&Dは顧客需要に対応すると仮定され、好奇心で研究された結果から得られたイノベーションの機会は2次的に重要であると考えられた。

1970年代には、イノベーションへの研究努力のはるかに洗練されたものが見られた。SAPPHO（Rothwellら1974）のようなプロジェクトでは、プロジェクト・チャンピオンやトップマネジメント・サポーターなどの主要人材の重要性だけでなく、イノベーションのパターンにおける分野別の違いも明らかになった。たとえば、科学基盤とのリンクの重要性は、化学物質や科学機器のイノベーターにとって異なっていた。さらに、研究はますます企業の「ブラックボックス」内の活動に焦点を当て始め、研究と市場の間の情報の流れとフィードバック・メカニズムにははるかに大きな注意が払われた。科学技術情報源と市場情報との間の良好なコミュニケーションは、「技術的ゲートキーパー」（Allen 1977）と言われた職種を持つイノベティブな組織において強調され特徴付けられた。Langrishらによる84回の重要なイノベーションの研究（1972：57）は、技術的イノベーションを行うことが安全であるということは、ある種の技術的可能性を持って何らかのニーズの総合化を伴わなければならないという、おそらく最高レベルの一般化を行った。

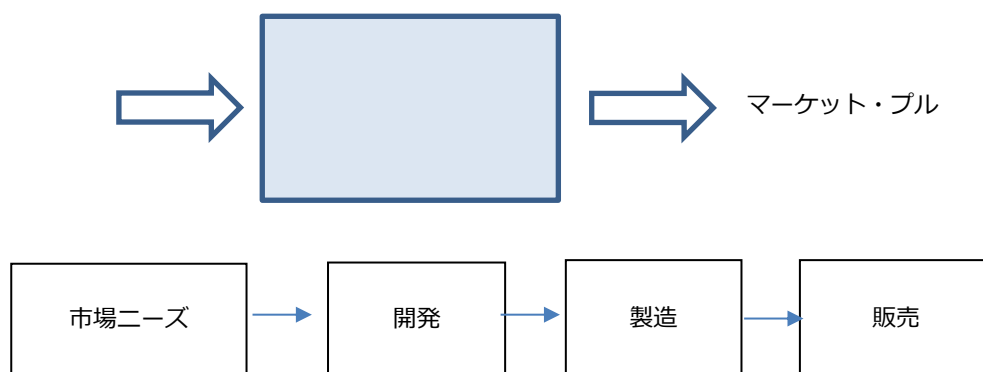


図 2.2 第2世代のイノベーション・プロセス：需要/市場主導モデル

複雑なコミュニケーション経路を重視することは、Rothwell と Zegveld（1985）と Kline と Rosenberg（1986）が開発した第3世代イノベーション・プロセスの特徴であった（図2.3 参照）。イノベーショ

ンの新たな経営方針と政策課題は、企業や政府の研究機関が、技術と市場の知識に関する内外の良好なコミュニケーションの必要性を認識し、持つことを確実にすることにある。

1980 年代のイノベーションについての主な変化は、日本におけるイノベーションの成功からの学習を取り入れた結果生じた。国際自動車プログラム（International Motor Vehicle Programme）などの主要な国際研究プロジェクトは、その結果は、世界を変えた機械（Womack ら 1990）の本にあるが、日本の自動車メーカーがイノベーション・プロセスから得た大きな利点は、研究、エンジニアリング、生産、およびマーケティング機能の密接な統合を、順次的な情報処理ではなく平行して行い、新製品開発プロセスにおける顧客とサプライヤーの積極的な関与であることが示された。Burns と d Stalker (1961 年) と Woodward (1965) 以来の学術文献では、組織のイノベーションへの影響は考慮されていたが、1980 年代には、成功した日本企業が採用した組織技術の研究が大幅に拡大した。品質サークル、継続的改善（kaizen）、ワークフロー管理（leanban）などの社内統合方法、トータル品質管理とジャストインタイムデリバリーシステム（これらを組み合わせ、「リーン生産」として知られる）。当時の日本の製品開発プロセスは、様々なスキルを共通の目的に同時に適用し、個人的な取り組みを引継ぎで行う西洋のリレーレースのアプローチとは対照的に、「ラグビーチーム・アプローチ」として記述されていた（Takeuchi と Nonaka 1986）。産業労働者の技能と訓練、特に職業訓練を通じた著しい投資が行われた（Dore と Sako 1998）。

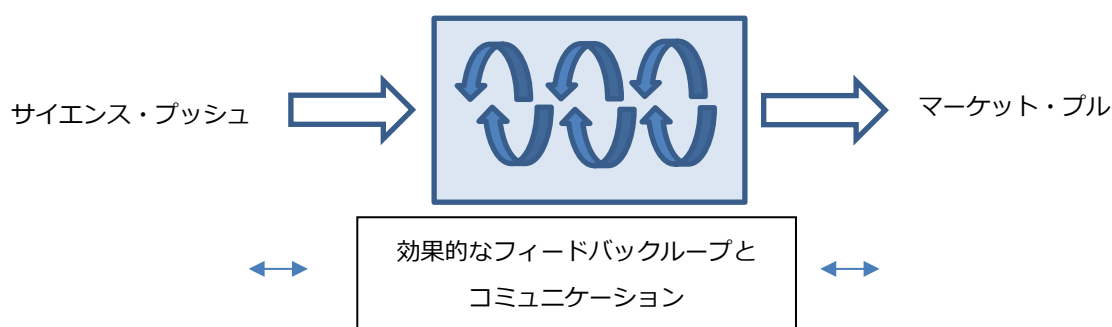


図 2.3 第 3 世代のイノベーション・プロセス：結合モデル

同時に、先進国の産業政策とイノベーション政策は、特に ICT における新技術の共同開発を促進するために設計された共同研究プロジェクトに対して、大きな財政的支援を提供し始めた。また、この期間中には、フレキシブルな製造システム（Bessant 1991）などの高度な製造技術によって達成される生産性の向上についての理解の強化も重要であった。特にその導入に組織の変更や新しいスキルやトレーニング制度が伴ったかによって、高度な製造技術では性能にかなりの違いがあったが、設計、調整、生産技術の密接な統合がイノベーション成果を高めるようになった（Kaplinsky 1984）。

これらの変化の結果、イノベーションの管理と政策課題はずっと複雑になった。第 4 世代のイノベーション・プロセス---統合化モデル---は、企業内で、さらに複数の潜在的なイノベーションの源泉（研究基

盤、顧客、サプライヤー、および共同パートナー）を伴う複雑な情報フローを伴っている。クロスファンクショナルチームを構築し、イントラネットや CAD / CAM システム（Dodgson 2000）（図 2.4 参照）を使用して社内の技術統合を理解し、使用することで、ビジネスプロセスを中心とした再編成の困難な管理タスクに注意を払う必要がある。多くの担い手に情報と知識の流れを調整し、管理する必要性は、IVT の開発の条件を同時に提供した。

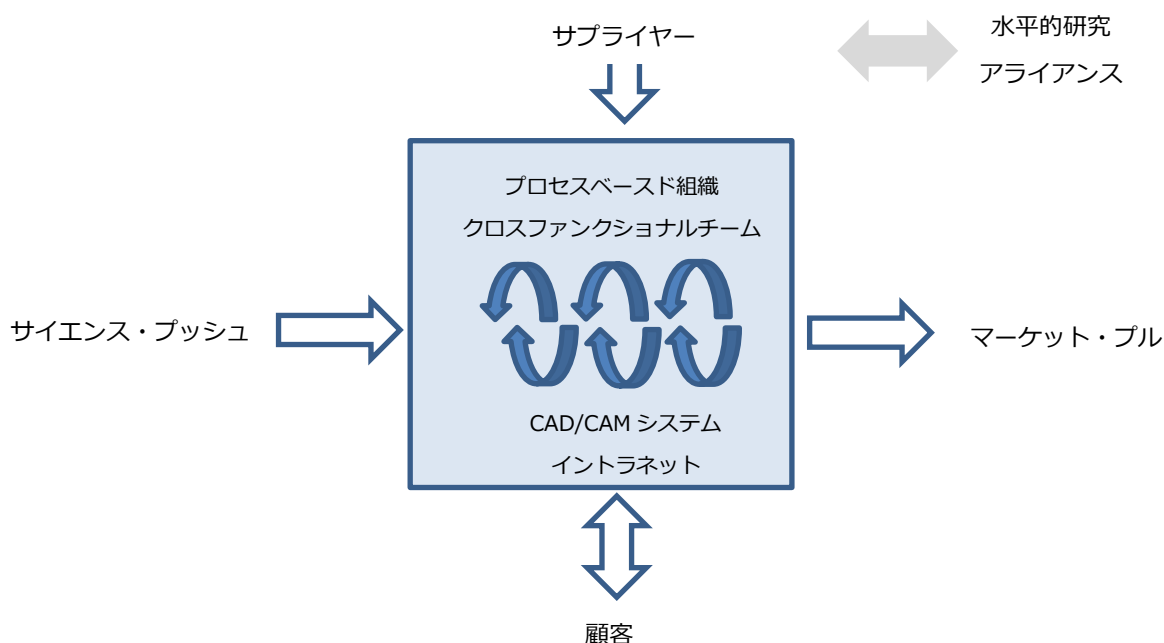


図 2.4 第 4 世代のイノベーション・プロセス：統合化モデル

第 5 世代のイノベーション・プロセス：システムインテグレーションとネットワーキングモデルは、いまだ新興のものであり、その多くの機能はまだ開発途上にある（図 2.5 参照）。企業では、知識、創造性、学習の役割をイノベーションの源泉と成果としてより深く認識している（Leonard-Barton 1995; Seely Brown と Duguid 2000）。イノベーション戦略——イノベーションに関連するコアリソースと能力の特定、開発、使用——は、より適切に策定され実行されている。企業内の変化だけでなく、経営環境や戦略的環境においても大きな変化が生じている。戦略的統合とネットワーク化のレベルは、市場、技術の源泉、パートナーのグローバル化（Archibugi と Michie 1998; Meyer-Krahmer と Reger 1999）を通じて拡大している。価値は、特定の資産の所有権ではなく、ネットワークにおけるそれらの資産の結びつきによってますます決定され、新しい形態のプロジェクト組織とプロジェクトベースの実践によって実現されている（Gann と Salter 2000）。異種知識セット（Kodama 1995）の組み合わせと融合によって技術統合の水準が高まり、価値はサービスソリューション（Davies ら 2003）における製品とサービスのつながりにもある。われわれの議論に特に関係しているのは、IVT の使用の増加、あるいは Rothwell が

新しい電子ツールキットとそれが相互依存しているシステムとして説明したものである。

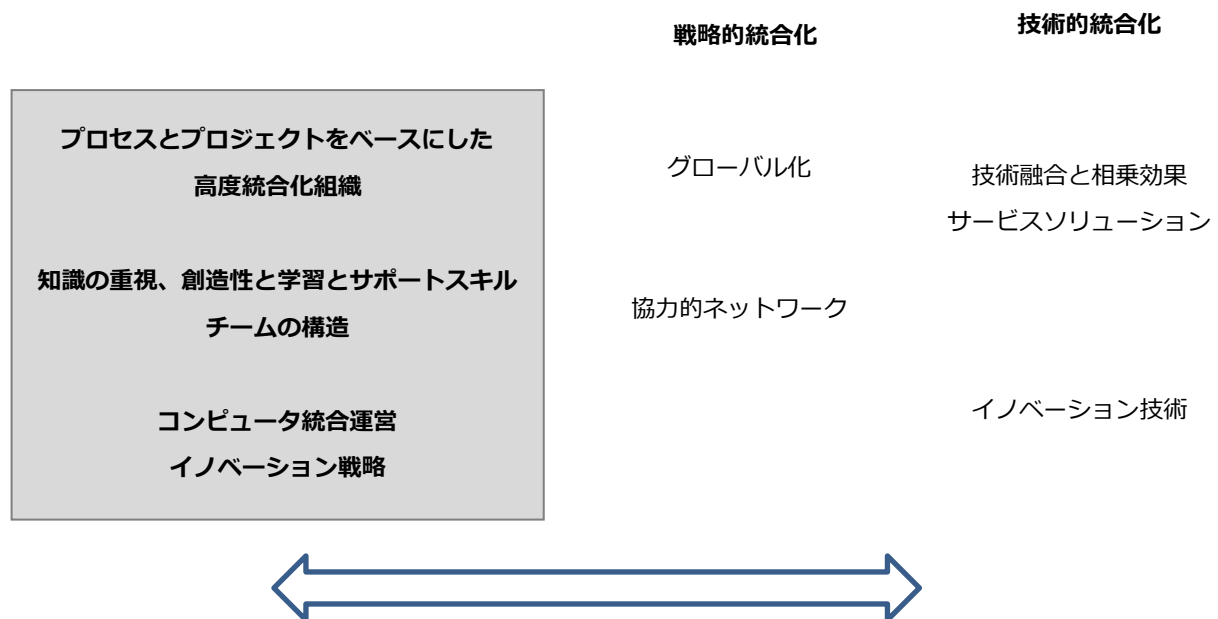


図 2.5 第 5 世代のイノベーションプロセス：システムインテグレーションとネットワークモデル

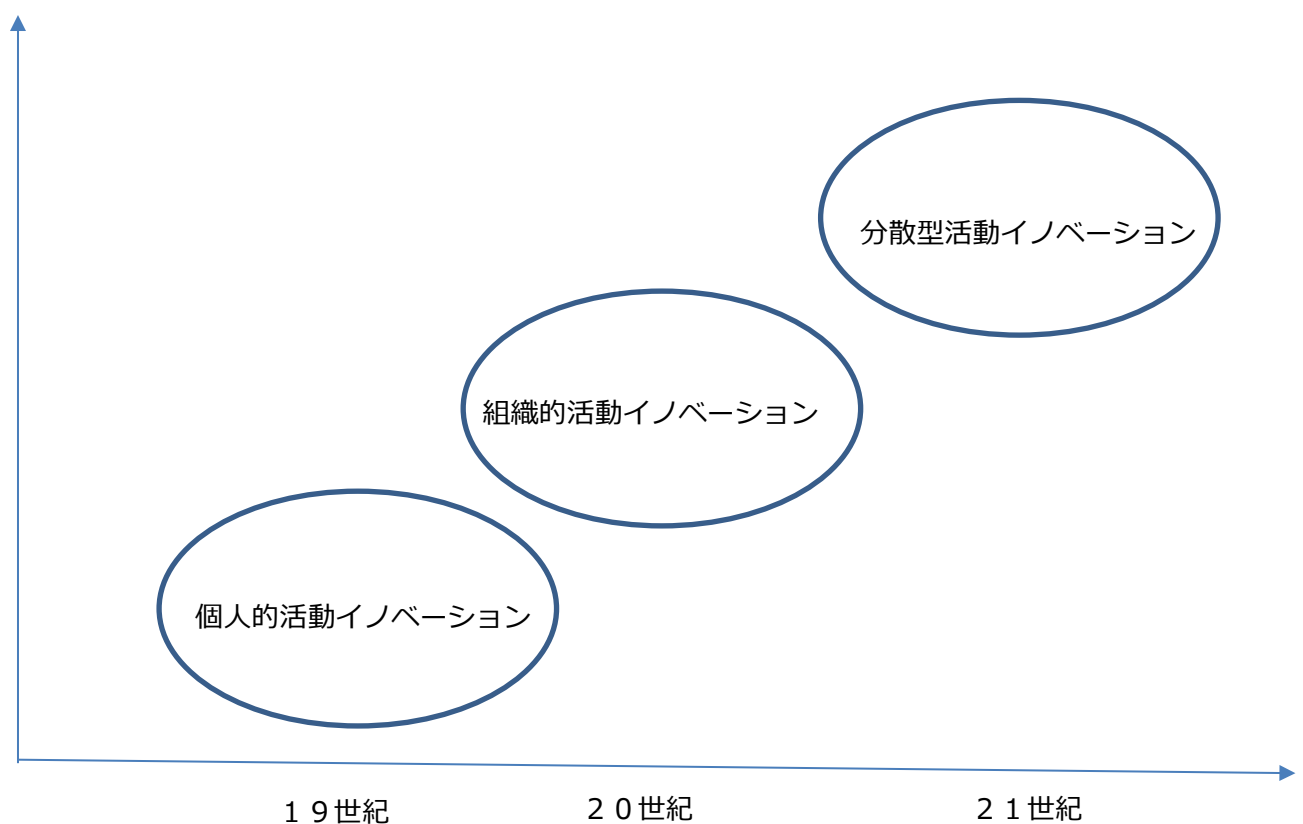


図 2.6 イノベーションの歴史的に理想的と考える特徴

イノベーションに関するもう一つの歴史的展望が図 2.6 に示唆されている。それは、イノベーションの基本的な性格における非常に単純化され、形式化された歴史的進歩を提示する。19 世紀の個人の活動から得られたイノベーションから、20 世紀の組織化活動を通して、21 世紀の「分散型」または「オープン型」イノベーションへの進展を示している。個人的活動イノベーションから組織的活動イノベーションへの移行は、エジソンの研究所の発達とヨーロッパとアメリカの大規模な企業の研究開発研究所の成長によって特徴付けられた (Freeman と Soete 1997)。組織的活動から分散化されたイノベーションへの移行はまだ続いており、R&D の投資から「連結と開発」(第 3 章で説明している) と呼ばれるものへ移行している P&G などの大企業の戦略によって代表されているが、R&D に投資する関係者の増大も拡大している (第 4 章参照)。組織的活動イノベーションは、科学技術知識と市場情報の源泉との、より多くの外部関係を必要としたが、比較的高い程度の自給自足経済が残っていた。対照的に、分散型イノベーションは重要な相互依存関係を示しているが、今われわれが変わるものはこれらではない。

2.3 原則 2 : 関係と相互依存性

イノベーションを理解するための第二の重要な原則は、相互依存関係を理解することである。(取り巻く相互依存関係や互惠関係。) 現在の分散型イノベーションの時代に、われわれは 2 つの相互依存性を見出している。Chesbrough (2003 年) が呼んでいる「オープンイノベーション」(Box 2.2 参照) での、企業の戦略的相互依存性、そして異なるタイプや時代の技術の間の技術的相互依存性。効果的なコミュニケーションを支援する高度な相互依存技術がある状況では、組織の境界を越えた活動の統合とマネジメントは非常に価値あるものである。

Box 2.2 オープンイノベーション

Chesbrough (2003) は、ビジネス戦略に重点を置いて、イノベーションのプロセスが企業内部の閉じたシステムから、サプライチェーンの上下に分散した様々なプレーヤーが関与している、オープンシステムの新しいモードに移行したという、シンプルで説得力の高い論拠を示している。彼は、特に新しい知識ベースの経済では、輝かしいアイデアを持っている人々が、その企業のために働くことによって利益を得られるわけではないと主張している。次の大きなアイデアは、競合相手のために働く独創的な起業家または研究者から生まれるかもしれない。情報は安価かつ瞬時に流れ、有能な人々が分散した場所から情報にアクセスすることができる。Chesbrough は、賢い人々が地理的に分散し、以前よりもより良いつながりを持つことができると考えている。彼らは機動性が高く、最も良いインセンティブを提供する企業で、自分の能力を発揮し、そして Florida (2003 年) が「創造的階級」と呼ぶ、特に生活様式、アメニティ、文化的多様性、寛容性などに関係した特徴を持っている。

オープンイノベーションに対する企業の反応の中には、競合他社が最善のアイデアを盗もうとしているという考えで、自らの研究開発を守ることがあった。Chesbrough によると、これらの事実は、閉鎖型イ

イノベーションの旧来のパラダイムに従っていることを示している。これは 20 世紀の企業の R&D システムは、大部分の良いアイデアが企業内にあり、すべて自社でやる必要がある（いわゆる独自技術症候群と呼ばれる）という前提に基づいている。この戦略は、垂直統合と排他的制御のモデルに基づいている。次第にこの孤立主義は、イノベーションを妨げるものと見なされてきている。オープンイノベーションの新しいモデルには、他者が使用するための内部専門知識を解放しながら、会社外の知識へのアクセスと活用に軽快なアプローチが必要である。したがって企業は外部から収穫したアイデアや、事業内で分かち合ったアイデアを得ることができる。情報と知識共有は、従来の共同作業だけでなく競合他社にも及んでいる。この考え方は、革新的なアイデアの取り込みと知的資本の排出を示している。Chesbrough は、われわれが技術融合と相乗効果の追求と呼ぶ、分野間の境界で多くの革新的なソリューションが開発されていることを示し、それゆえ新しいイノベーション・モデルは、社内のすべての機能を所有することができない場合に、これを活用する方法を見つけ出す必要がある。

Chesbrough が言及したオープンイノベーションへの動きを説明する追加的要素は、企業が内部的に導き出した R&D プロジェクトで選ばれたものが、実質的な外部入力からの結果として選ばれたものよりも悪い結果を生み出す可能性があることを認識している企業におけるやり方であるということである。P&G の場合と GSK のような企業で見られるように、R&D プロジェクトのために、ほとんど外部を見ているところに、明らかな利点がある。これらの企業は、内部利益をもたらすもののためだけでなく、Cohen と Levinthal（1990）が「吸収能力」と呼ぶ、外部からアイデアを探し開発するのに役立つ、外部の技術にアクセスする能力を向上させるためにも、研究開発に投資している。

イノベーションを探すのに、顧客、ユーザー、競合企業を活用して、従来の枠組みを超えた新しい方法がある。Chesbrough の論点の中心は、この探求でのビジネスの相互依存関係であるが、関連する技術的相互依存もある。分散型イノベーションにおける高い相互依存性は、優れた ICT 基盤に基づいている。この ICT 基盤が可能にならなければ、IvT は成果を生み出せる、イノベーション・プロセスの統合化レベルには至らなかった。

技術を通じてイノベーション・プロセスに顧客とユーザーを取り込む、いくつかの方法が、Hippel と Katz（2002：821）によって「user toolkit（ユーザーツールキット）」として示されている。

ユーザーイノベーション用のツールキットは、ユーザーが新しい製品イノベーションを自分で開発できるようにする、「ユーザーフレンドリーな」デザインツールのコーディネートされたセットである。これらの使用分野において、これらはユーザーにイノベーションの本当の自由を与え、反復的な試行錯誤を通じて生産可能なカスタム製品を開発することができる。すなわち、ユーザーは予備的なデザインを作成し、それをシミュレートまたはプロトタイプ作成し、自分の環境でその機能を評価し、満足するまで反復的に改善することができる。

これらのツールは、具体的な使用分野によって異なり、IvT の進歩はそれらがより強力になる機会を作り

出しており、イノベーションの選択を形成する上でより直接的な影響を及ぼす。需要側の観点から考えると、アイデアは第 4 章で説明した科学基盤のような他の思考の源泉ではなく、主にユーザーから来ると推定されている。これらの主要な技術的相互依存性の可能性は、以下の引用文献に例示されており、これらの技術が顧客をイノベーション・プロセスに導く方法を示している。

驚異的なビジュアライゼーション技術と結合された、大規模で複雑で非線形なシステムをシミュレートする今日のコンピュータの力を使って、顧客は設計プロセスに一層近づくことができる。(Seely Brown 2003 : x-xi)

この新しい技術のスピードとオープンなアーキテクチャにより、複雑なビジネスを構成する多様なプロセスを以前は非常に困難だった方法で統合することができる。..... 今日、われわれは創造的なアイデアから需要の評価、設計、エンジニアリング、製造、ロジスティクスまで、顧客との関係まであらゆることができる必要がある。それがこの新技術にわれわれが抱くビジョンである。(Nasser 2000)

基本的に企業は、顧客が望む製品を正確に理解するための努力を断念し、代わりにマイナーな変更から大きな新しいイノベーションまで、独自の新製品の設計と開発のためのツールを備えている。ユーザーフレンドリーなツールは、しばしばツールキット・パッケージに統合され、いくつかの技術を展開し..... (例えば、コンピュータシミュレーションおよびラピッドプロトタイピング)、イノベーションをより速くすることができる。安く、そして.... より良く。(Thomke 2003)

ユーザーツールキットは、IVT によってもたらされたイノベーション・プロセスのより広範な変化の一部である。これらは、漸進的なイノベーション戦略が適切である比較的安定した状況において、非常に貴重な顧客要件に関する詳細な情報を収集するのに役立つ。場合によっては、製品やサービスに新しいアイデアの組み合わせを提供して、サプライヤーをイノベティブなユーザーや顧客をつなげることができる。しかし、いくつかの制限がある。例えば、Christensen (1997) は、現世代の顧客のニーズを追跡する努力は、破壊的な技術が出現するときには、ほとんど価値がなくなることを明らかにしている。同様に、プロセス技術の改善からも価値を得ることはできない。

破壊的な変化の時代における、イノベーションを考える上での注目の的は、顧客のニーズではなく、科学的基礎である可能性がある。IVT は、e サイエンスとして知られているものを通じて、研究とビジネスの間の技術的相互依存性を支援する。広範で多様なデータベースの接続を支援し、大学や業界の研究者による容易なアクセス、データ解釈、知識抽出を可能にするために、e サイエンス技術の開発が始まっている。その一つの例は Grid によって提供され、英国のあらゆる地域の大学、産業界、国際的な共同研究者を含むインフラストラクチャが開発され、研究者の仮想コミュニティを構築するための取り組みが支援されている。英国政府は、Grid を、「計算能力、データストレージ設備、機器、広域ネットワークの動的なコレクションに基づいて、家庭の電力のように容易にアクセスできる、柔軟で、安全で組織化されたりソース共有基盤」として説明している。(DTI 2002)。Grid 上のパイロットプロジェクトには、航空機エンジンのテスト、診断、モデリング、ビジュアライゼーション、材料設計、高性能コンピューティング、

およびタンパク質フォールディングが含まれる。Grid の初期の産業ユーザーである Rolls Royce は、組織全体の設計と開発において「プラグアンドプレイ」機能を提供するために使用している。Rolls Royce の Research and Technology のチーフ・サイエンティストである Peter Cowley によると、Grid は R & D のプロセス改善を可能にしているという（e-science の詳細については第 4 章を参照）。

これらの相互依存性の増加の指標は、Maastricht Economic Research Institute on Innovation and Technology（マーストリヒト・イノベーション技術経済研究所＝MERIT）の協力協定技術指標（CATI）データベースがその証拠を提供している。1980 年代初め以来、国際的な技術提携の数が著しく増加したことを示している。1980 年には 185 の提携が調印されたが、2001 年までに 602 件となった（NSB 2004）。この数字は、資本提携および業務提携での共同研究または共同開発契約、R & D 契約、資本提携事業および研究企業の数に指している。

バイオテクノロジーと IT における提携の数は、これらの分野における科学技術活動の一般的な成長を反映して大きく成長した。バイオテクノロジーでは、提携数は 1980 年の 31 件から 2001 年に 350 件に増加し、IT 分野では 1980 年の 45 件から 2001 年の 168 件に増加した（NSB 2004）。データには年々変動があり、データは限られた範囲のソースから集められているが、全体のパターンは 1980 年代初めから国際的な技術提携のかなりの増加を示しており、これらの新たな提携は、急速に進む科学技術開発の分野に集中している。

これらの論考は、技術と組織の両面で、ますます相互依存し、かつイノベーションの関係性が高まり、原則 2 の重要性を強調している。それらは、いくつかの組織がよりオープンで分散したイノベーション戦略の実現を始めているメリットを示している。

2.4 原則 3：イノベーションの社会的媒介

イノベーションを理解するための第 3 の原則は、イノベーションを社会的文脈の中で位置づける必要があることである。社会とイノベーションの関係の研究の多くは、技術的变化と組織と仕事の性質との関係に焦点を当てている。このような研究は長い歴史を持ち、Adam Smith と Karl Marx にまで遡る。1960 年代から 1970 年代にかけて、この問題について堅実な議論が行われた。当時の一部の研究者は、作業組織を決定する際の新技术の影響を強調した（Woodward 1965; Kerr ら 1973）、そして労働力の技能について、新たな技術が技能レベルを高めると主張している（Touraine 1962; Blauner 1964）また他の人は、自動化が増えるにつれて脱熟練化が起こると主張している（Bright 1958; Braverman 1974）。議論の両極性は、中立で合理的な意思決定プロセスの結果として技術が登場した（最良の技術が勝った）というものから、集合的な労働力を少なくし、コストを削減する技術的な選択肢を見たものまで、広い見方で示されてきた。

1970 年代と 1980 年代の実証的研究の量の増大は、偶発的要因の範囲と、技術の開発や使用上の決定に

関する管理上の選択の範囲を明らかにし、こうした意見の末端を打ち砕いた。コンピューター数値制御（CNC）工作機械などの新技術は、脱技能化や技能再教育のために、また意思決定の一元化や分散化のために使われる可能性がある（Dodgson 1984）。特定の技術を取り巻く特定の状況に大きな注意が向けられ、技術決定論や資本主義的要請に基づく分析への拒否反応があった。

同時に、イノベーションに影響を及ぼす政治的ではなく、社会的および文化的な評価が高まった。例えば、Noble の CNC 工作機械の開発に関する徹底的な歴史的な研究では、技術開発で他のものではなくなぜその一つの道を進んだかの理由を尋ね始めた。Noble（1986 年:145）は、「客観的専門家」による技術開発の概念を非難し、技術的な「風潮」、文化的習慣、キャリア斟酌、知的熱狂、制度的インセンティブ、先行および並行開発の重視によって制約される人物などに惑わされる、科学者や技術者の仕事のやり方を指摘した。——プロジェクトマネージャーやサポーターのパフォーマンス仕様には言及していない。同様に、彼は実業家的経済合理主義が、技術に関しての意思決定を行い、彼らを「偏見があり、不可解で、熱狂的で...研究室のバカ仲間である」と述べた。Tuomi（2002 : 9）は、すべてのイノベーションが社会的なイノベーションであり、イノベーションは基本的に社会変革に関するものであるという論考を展開している。

新しい技術は、世界的既成品になるものではない。代わりに、既存の実践の文脈において、既存の関係者によって積極的に解釈され、専用化される。一つの技術的人工物が複数の用途を持つことができ、古い人工物のために新しい用途を考え出すことができる。しばしば製品は予期しない方法で使用されるが、設計者が使用することを期待した方法は、誰も使用していない可能性がある。Tuomi（2002 : 20）は、イノベティブな社会的実践を支援する上で、技術的ツールが果たす役割についても論究している（Box 2.3 参照）。

技術的人工物は、しばしば社会的実践の編成で重要な役割を果たし、精神的領域から具体的な物質的世界までその一部を変える。したがって実践は、ツール、概念、および期待の複雑なネットワークとして存在する。

Linux の成功は、いくつかの「実践関連コミュニティ」が効果的にコラボレーションすることを可能にした、オープンシステムの共通の技術的インターフェースにあることを、彼は示している。

Schrage は、プロトタイピングに関連する社会的および組織的要因の重要性を理解する上で、重要かつ洞察力のある貢献をしている。彼のモデルでのプロトタイピング自体は、システムの中心的な主体であり、誰もがそれらで play（試す）ことができ、試作ツールの恩恵は経済活動のすべてのセクターにわたって普及するはずである。プロトタイピングツールの普及は、様々なセクターにわたってかなりのものがあるが、その効果は既存の作業の仕方と統合されているかどうかによって決まることは明らかである。第 5 章では、エンジニアリング設計プロセスの多くが、科学的原則と再帰的实践によって引き出される、経験豊富なエンジニアの「情報に基づく推測」に依存していることを示している。これらのエンジニアが新しいツールを使用すると、より良い推測が可能になるが、イノベーション・プロセスに浸透している基

本的な不確実性を克服することになるかは、明らかではない。まじめな play（試す）は、楽しくて役立つかもしれないが、気配りされ首尾よいエンジニアリングは、しばしば「飛躍」よりも「辛い仕事」であり（Hobday 1998）、craft（暗黙知的技能）と code（明文化された規範）の組み合わせが必要である。IVT は、非常に複雑で技術的な計算を行うデザイナーの能力を強化し、最終製品に至るデザイナーにより多くの技をもたらす。

Box 2.3 プロトタイピングに関する新しい考え方

イノベーションを創造する際に社会的相互作用が融合するメカニズムを提供する技術的ツールの考え方は、Schrage のプロトタイピング作業にも適用できる。Schrage（2009）は、イノベーションのプロセスにおいて、——アイデアを「外部的に表現される」方法である——プロトタイプを中心に置いている。イノベーションに関する研究は、しばしば、問題の解決や新しいアイデアを決める際の外部的表現の役割を無視してきたが、Schrage は、これらのシミュレーションはイノベーションのその段階で中心的な役割を果たしていると述べている。彼は、製品開発者が「まじめな play（試す）」に携わる方法、そして製品の新しい価値を創造できる予期しない方法での即興について述べている。人々が不確実性を持って真剣にプレイする方法を改善するツール、技術、模型は、イノベーションの品質を向上させることが保証されていると彼は言及している。Edison が言うように、発明するためには、あなたには良い想像力とジャンクの山が必要である。

Schrage の主張は、プロトタイプがどのように問題を解決できるかということではなく、問題を解決するためにどのように使用できるかに焦点を当てるべきだということである。例えば、試作品はわれわれが必要があるものを発見する過程で使用されるべきであり、そして試作品は挑戦すべきものあり、確かめるのではなく、期待すべきものであると、彼は強く主張している。

彼の主張は、設計上の問題はその解決策と無関係に語られず、問題と解決策が共に進化するという、デザイン研究コミュニティ内の思考の伝統から来ている。先に論じた顧客のニーズに関し伝統的に管理された、最近行われたいくつかの作業の課題の中で、ソフトウェアエンジニアと一緒に作業をしている顧客まで含めて、顧客が完全に的確かつ正しく明記するのは不可能であると述べている。

むしろ、プロトタイピングのモデルは顧客とのやりとりの機会を作り出す。顧客は、新しいものを見て、さまざまな作業方法を試すことができる。それらは顧客と関わり、本当に必要なものを確かめるのを手助けする。

Schrage は、基本的にプロトタイプの目的は選択肢を創り出し、掘り出すことであり、最良のプロトタイプは最も有用で有力な選択肢を生み出すものであると述べている。

第 5 章でわれわれが表現している playing（試す）での craft skills（暗黙知技能）の継続的な役割について検討することにする。IVT を創造的に使用する最良の方法は、それが適用される問題の基本的な科学的

およびエンジニアリング的原則を理解することであると、われわれは論じている。

イノベーションを thinking（考え）、playing（試す）ことが社会的に媒介されるように、doing（実行する）も同様である。1980 年代初めの CNC 工作機械の登場において、技術に関する社会的選択の古典的な例が見られた。本質的に、企業は、工作機械からコンピュータプログラミング作業を取り除き、それらを集中プログラミング部門に配置するか、またはコンピュータ化されたタスクを工作機械自体に分散するかのいずれかを選択することができた。同じ分野の企業は、同じ技術で同様の製品を生産していたが、異なる選択を行っていた。これらの選択には、経営上のアプローチと労使関係の問題を反映する傾向があった。結局のところ、効率化の必要性は、ますます工作機械職人の役割にコンピュータ化された作業を組み入れるようになった（Dodgson 1985）。

2.5 結論

イノベーションの分析は多岐わたり、その対象の複雑さを反映している。イノベーションは、歴史的な文脈で、他の種類や時代の技術に関連して使用される方法で、その開発と使用を取り巻く社会的および組織的実践と関連で、のみ正しく理解されることができる。IvT は比較的新しい形の技術である。thinking（考え）、playing（試す）、doing（実行する）に取り組むために IvT が使用される方法や、作業組織に及ぼす影響については、依然として数多くの問題点がある。イノベーションの導入後数十年ではないにしても数年は続く、ビジネスの競争力と生産性に技術が及ぼす多くの影響を、歴史は教えてくれる。したがって、生産性についてのこれらの技術の影響は、まだまだ検討すべきではない。

イノベーションが個人または大企業の努力の結果であった過去とは対照的に、われわれは現在、個人、大規模および小規模企業、コンサルタントなど多数の関係者が貢献する分散型オープンイノベーションシステムの時代に生きている。「実験」と「serious play（まじめな模擬体験）」が重要視される、この「分散型イノベーション」の時代は、IvT、ICT、および OMT の汎用技術によって支えられている。IvT は、大規模なインフラストラクチャーや設備投資に価値を付加する、幅広い既存の技術を融合したものに基づいている。

IvT は現実の世界の不確実性をより効果的に処理し、失敗のコストを軽減するために、イノベーションの問題の多くを実世界から仮想の世界に移す。Schrage がある取材面談の中で「atoms（もの）でより bits（データ）で失敗する方が良い」が記憶に残っていると言う。重要なのは、この仮想世界の IvT として、イノベーションの現実世界的な問題や問題点を解消するものではないということである。IvT は、新しい顧客の期待に応える、より良い、より安全な自動車を生み出すなどして、商業的利益を得るために使用されている。IvT は人間的器用さ、創意工夫、技能をある種の cybertronics（電子制御システム）に置き換えるのではなく、これらの（すべての意味で）貴重な人間の特性を補完するものである。

3 イノベーション技術 : Procter & Gamble と Arup

3.1 はじめに

この章では、戦略上の一環として IVT を利用した 2 社の詳細なケーススタディを紹介する。このケースでは、消費者製品企業である Procter & Gamble (P&G) とエンジニアリング・サービス企業である Arup の進化するイノベーション戦略について説明する。この章では、さまざまな分野での IVT の重要性とその方法を示すよう計画されている。

- イノベーション戦略の開発と実施を支援し、容易にする。
- イノベーション顧客、サプライヤー、外部の知識源、規制当局、および企業内外のさまざまな実施関係者社会などさまざまな関係者間の効果的な統合を可能にする。
- より良い製品とサービスのより迅速で安価な開発を可能にする。
- デザイナーやエンジニアの技能の使用と拡張、そして問題解決のためのさまざまなアプローチをサポートする。

P&G は最近、分散型イノベーション・アプローチを採用した企業である。この戦略の特徴には、企業の境界を越えたコミュニケーションと理解を向上させるために企業が行った、いくつかの変更が含まれる。このケーススタディでは、P&G がイノベーション活動における外部供給からのインプット量を、特にインターネットベースの技術市場におけるその立場を通じて、実質的に増やす戦略をどのように展開したかを検討する。P&G の IVT の使用については、新製品開発を含むいくつかの重要な分野で検討されている。

Arup は、構造エンジニアリングと設計を基礎に多様化して成長してきた企業である。合併や買収によってではなく、内部的に生み出された新しい事業開発を通じて有機的に成長した。このケーススタディでは、シミュレーションとモデリングツールで専門技術（ノウハウ）と知識を活用して生み出したされた新しい Arup ビジネスをについて説明する。同社では IVT を幅広く使用しており、このケーススタディではエンジニアとデザイナーが作業して問題を解決する方法のいくつかの結果を説明している。

どちらのケーススタディも、その範囲は幅広い。これらは、IVT とイノベーションの強化を、企業の戦略的および組織的な特徴に照らして検討する。このケーススタディは主としてに描写的である。これらの分析は、以下に続く章にインプットされる。

3.2 Procter & Gamble

背景

P&G は、世界最大でかつ最も成功した消費者向けビジネスの 1 つである。世界中のほぼすべての国で営業しており、売上高は 400 億ドルを超え、従業員数は約 10 万人を超えている。製品には、Pampers、Pringles、Ariel、Tide などの世界有数のブランドが含まれる。2002 年に米国で新発売された非食品商品トップ 10 のうち 3 つが P&G がもたらしたものである。

P&G は、6,500 人以上の科学者を抱える実質的な研究開発組織である。同社は既存の特許を 29,000 件以上保有し、毎年平均で 5,000 件を追加しており、米国およびグローバル特許の最大の保有者の 1 つになっている。同等の数の特許を持つ企業には、マイクロソフトやインテルが含まれる。P&G は毎日平均して R&D に 500 万ドルを費やし、8 件の特許を登録している。

P&G は強いブランドを保有しており、常にブランドの成長を求めている (Swasy 1994; Dyer et al. 2004)。非常に競争的で、成熟したグローバル市場で事業を展開し、常に新しいイノベティブなアイデアを追求している。1990 年代後半に P&G は予想を下回る売上成長を経験し、これは消費者の変化するニーズを満たす新製品を生み出す能力の欠如に起因していた。20 年以上にわたり、Tide または Pampers のような規模の新しい主要製品は開発されていなかった。P&G は、売上成長目標を達成するためには、イノベーション、度合いを大幅に高める必要があると認識していた。P&G の経営陣はまた、研究開発、技術、イノベーションへの投資のコストが売上高の成長よりも速くなっており、これは持続不可能であることも理解していた。

しかし、イノベーションは P&G の戦略の鍵を握っている。「イノベーションは私たちの生命線で-消費者を作り出す新しいアイデアや新製品」、より良く暮らせ、顧客の売上と利益を築き、P&G の市場シェア、売上、利益、株主総利回りを築く。」と代表取締役兼会長兼 CEO の A.G. Lafley は述べている。

会社内の問題には、P&G が既存の知識から常に恩恵を受けるとは限らないということ、そして外部の世界から聞いたり、十分に学んだりしなかったという事実が含まれていた。最高技術責任者で国際 R & D 責任者の Gordon Brunner は 2000 年に次のように述べている。「われわれが知っていることを十分に使うだけで、私たちは 3 倍もイノベティブになれるだろう。」

Organization 2005—関係と開発

1999 年 6 月、P&G は Organization2005 と呼ばれるイノベーションを通じて成長を拡大する新しい戦略を開始した。Organization2005 の主な目的の 1 つは、P&G の内部集中で断片化されたコミュニケーションをより外向きかつ凝集性あるものにすることで、イノベーションを活気あるものにすることであった (Schilling 2005)。Brunner と彼の同僚は、人と技術をより効果的に結びつける文化を作りたいと

考えていた。この点に重きをおくために、Brunner は、研究開発は C&D－「連係と開発」になると語った。

C&D の概念は、Organization 2005 戦略にとって基本的なものであった。P&G は首尾の良いイノベーションな関係を構築することによって創設された。そのビジネスは、ろうそくと石鹸の間の結び付け、石鹸の動物脂肪から、初の全植物性ショートニングの移行まで進化した。これは、今日シャンプーや食器洗剤などの製品に使用されている乳化剤や界面活性剤の発見につながった。P&G の歴史は、明らかではないものを結びつけることによってイノベーションされた新製品に恵まれていた。P&G の Mike Addison 博士が 2003 年 2 月に C&D シンポジウムで発表したように、「イノベーションはすべて新しい結びつきである。画期的なイノベーションのほとんどは、既知の知識を新しい方法で組み合わせたり、あるドメインから別のドメインにアイデアをもたらすことである。」これは、Rothwell の第 5 世代イノベーション・プロセス（第 2 章を参照）の「技術相乗効果と融合」要素の特徴である。

P&G の問題解決する答の大部分が社外にあるという認識は、C&D の開発の重要な第一歩であった。P&G の国際 R&D 組織および知識イノベーション担当副社長、Larry Huston は、C&D 開発以前の P&G が約 150 の科学分野でいかにに運営されているかを説明している。当時、P&G は 7,500 人以上の R&D スタッフを雇用していたが、P&G 社内の専門知識と同等かそれ以上のレベルの研究者約 150 万人が世界中の科学技術分野で働いていたと推定されている。この外部リソースにアクセスし、P&G の企業文化を変えて、社外で必要な探索と学習を容易にし、促進することが課題であった。 _

P&G のイノベーションとイノベーションを通じた成長戦略は、それ自体新しいものではなく、新しいものは組織のイノベーションとその実施を支援する技術的媒体である。

組織改革と連係と開発

伝統的に P&G は、特許権を保護し、外部へのライセンス供与には慎重であった。1999 年に C&D プログラムが導入される以前は、P&G 自身の技術の 10 パーセント未満が製品に使用されていた（Sakkab 2002）。オープンイノベーションの新しい戦略の目的は、より多くの技術を製品に変えることである。P&G が現在 C&D の一環としてオープンイノベーションを行う主な方法の 1 つは、少なくとも 50% のケースで外部パートナーとのコラボレーションを通じてイノベーションを推進することである。そのプロセスを支援するために、いくつかの組織的取り組みが導入された（Sakkab 2002）。

これらの組織的取り組みの一環として、P&G は Technology Acquisition Group（TAG 技術買収グループ）を創設した。このグループは、P&G のライセンスに関する新たな姿勢の一部であり、メンバーは外部からの新しい補完的技術を積極的に探している。P&G は、それらの技術を製品に多く使用することに加えて、自社の技術をライセンスして積極的に投資収益率を上げている。

P&G は、最も有望な技術を展示した「取引形成/技術取引博覧会」であるイノベーション 2000 で、イノベーションのための多くの情報源を提示した。5000 人以上の P&G 研究者が参加した。出席できなかった

た人は、放送、ニュースフラッシュ、コマーシャルなどのニューステレビ局と同じように機能する、ウェブキャストと衛星技術を利用して参加することができた。さらに、P&G は従業員に携帯電話を配布し、そこに新しいアイデアを記録し、イノベーションのための新たな連係を作ることができた。新たなつながりを作りたいと考えている彼らの技術の展示会に、外部のサプライヤも招待された。このイベントは、P&G 技術の新しい活用と新製品のための 2,200 以上のアイデアが出現したことで、成功が告げられた。

P&G はまた、起業家精神に満ちた企業の買収や新製品開発のための社内起業資金の創出など、他の取り組みも追求した。Crest SpinBrush の買収は前者の例である。この製品は 4 人の起業家によって開発された。当初は P&G のライセンスを受けており、その後 P&G はその会社を買収し、3 人の創業者を雇った。この製品は傑出した成功を収め、わずか 2 年で 10 回以上の投資収益を戻した。

P&G は革新的な新しいアイデアのために 2 万～5 万ドルの社内起業資金を提供している。Pur Sachet は社内起業資金調達によって開発された製品の例である。この製品は、Newcastle にある同社の英国研究所の、洗剤を含むすすぎ水をリサイクルしたいと考えているプロジェクトチームから生まれた。関係する研究者は、汚れた水を飲用水に変える大きな問題を解決するために資金が提供された。そして、本当に意義深い世界的イノベーションであるとなりうる、製品 Pur Sachet がその成果である。

これらの両方のケースは、P&G の組織と文化の変化の成功を明らかにしている。中小企業の起業家的利点を活用することを含めて、外部からのアイデアを取り入れる準備が整っており、過去に新製品開発のためのハイレベルな管理体制に重点を置いていたものとは対照的に、若くて未熟な個人研究者が製品の開発に自由に参加することができた。

このケースの開発の全体を通して、多数の P&G スタッフは、オープンイノベーション戦略への移行に伴う重要な文化的変化を指摘している。法人 R&D パッケージングの責任者である Neil McGlip は次のように述べている。「C&D は技術戦略というよりも生き方である。それはあなたの考え方である。それはあなたが新しい可能性に対して昼も夜もオープンであることを確実にしている」。Larry Huston によると、このような組織の変化には深い文化的変化が必要であり、P&G のケースでは何十年にもわたってそれが行われている。この変化は、研究開発における歴史的な集中型自己開発と現行のグローバルネットワークモデルとの間の中間的な戦略を最初に追求した企業によって支援された。1980 年代、P&G は主要な世界市場を中心に分散型の研究活動を展開し、内部ネットワークモデルの R&D を採用した——評者によって「相互の相互依存」(Bartlett and Ghoshal 1989 : 129 : 2000) と記述された。このような内部分散型の戦略がまだ追求されていなかったならば、現在の変化が実現するのは難しかったのではないかと Huston は考えている。

P&G は、さまざまなインターネット対応の仕組みを開発し、新しい戦略の導入を支援している。これらは、オープンイノベーションに向けたその進化において重要な役割を持っており、そして果たしている。

ネットワーク化されたイノベーション市場

分散型イノベーション・システムがインターネットに基づいてより一般的になるにつれて、新しい種類の「イノベーション市場」が開発された。ここで P&G が使用する 3 つの例について説明する。

InnoCentive

InnoCentive は、製薬会社の Eli Lilly の e-business イニシアチブである。それは科学者が研究開発の課題にマッチする Web ベースのコミュニティであると自らを説明されている。企業は InnoCentive に「解決探索者」として登録し、R&D の問題やウェブサイト上の「課題」を投稿する。各課題では、問題、要件、締め切り日、報酬金額（通常 10,000 ドル～100,000 ドル）の詳細な説明が示される。探求企業の名前は InnoCentive にのみ知ることができる。世界中の科学者は「問題解決者」として登録することができる。誰でも投稿された課題の要約を見ることができるが、詳細にアクセスするには問題解決者として登録する必要がある。InnoCentive には、問題解決者の質問に答えることができ、解決探索者に解決策を提出する科学者チームを持っている。解決探索者は、目的が達成されたかどうか、また誰が報酬を受けかを決める。InnoCentive は、課題がうまく解決された場合、報酬と同額の揭示手数料を受け取る。2004 年の初めに、InnoCentive ネットワークには、100 ヶ国の科学者を含む 4 万人の人々がいた。P&G はこのサービスを活用し、InnoCentive に課題を掲載することで、ノースカロライナ州の特許弁護士、スペインの大学院生、米国の化学コンサルタント、インドのバンガロールにある化学研究者、カナダでの小規模な創業者からの、解決策を見出した。P&G には、InnoCentive との接点となる管理者が 1 人しかいない。Larry Huston が書いたように、P&G はこの 1 人で 4 万人に影響力を行使することができる。

YetZ.com

特許とライセンスの C&D 戦略をさらに進めるために、P&G はもう 1 つのインターネットベースの技術市場である YetZ.com と提携している。YetZ.com は 1999 年にポラロイドとデュポンの上級管理者によって設立された。スポンサーには、P&G、Bayer、Siemens、Dow Chemicals、Caterpillar、および Honeywell が含まれている。3M、Microsoft、Philips など約 500 社が YetZ.com を利用している。YetZ.com は、「売り手」企業の持つ知的財産や技術からの価値を現実化させ、「買い手」企業はリソースを強化したり、ギャップを埋めるために、知的財産や技術を見つける。ここは既存の技術や知的財産を仲介している。典型的には大企業と中小企業との間で取引が行われる。典型的には大企業と中小企業との間で取引が行われ、大企業は、彼らが興味を持つには潜在的な市場が小さすぎると考える技術を販売し、あるいは商業化するための資源を持たない小さな企業から技術を購入することもできる。YetZ.com は、可能な限り明瞭に書かれ、技術に関する機能的な抄録を投稿しており、そこには現在市場に出ていない技術の適用についてもしばしば推測されている。YetZ.com の投稿ページは、関連特許グループの参照もできるようになっている。YetZ.com は、その掲載のために 5,000 ドルの手数料を請求している。すで

に 80 万人以上のユーザーがいる重要な市場となっている。

P&G は YetZ.com の広範囲な利用者である。ある例では、YetZ.com では、P&G のビューティケア部門から、(無名の) 競合企業の 1 つに技術を販売しており、このロイヤリティは P&G の YetZ.com での投資に支払ったと推定されている。

NineSigma

NineSigma は 2000 年に設立され、P&G の支援を受けている。その役割は、科学者を企業に結びつけ、イノベティブなアイデア、技術、サービスのための外部 R&D リソースを、迅速にしかも費用対効果の高い価格で提供されることであると説明されている。イノベーション・マネージャーと新しい技術を創造するソリューション・プロバイダーを照合することを目指している。同社は、ソリューション探索企業の業界外からの情報を含む「明らかになっていないソリューション」を見つける上での先導者であると考えている。2004 年初めには約 40 のクライアントがあり、そのうち 3 分の 2 は Fortune 500 の企業である。ここは、プロジェクトリーダーが顧客と対面して対話し、提案要求書 (RFP=request for proposals) を投稿するのを支援する、管理された取引 (M : X= managed exchanger) サービスと呼ばれるものを運営している。

NineSigma のプロジェクトリーダーは、クライアントが解決したい問題の詳細な説明を書いた後、インターネットにリンクされた科学者から提案されたソリューションの集積を管理する。問題の記述を確定するには平均で約 2 週間かかり、科学者からの提案を集めるのに 3~4 週間かかる。RFP は世界中の何千人もの科学者に電子メールで送られている。

NineSigma は、pay-for-performance (実績ベースで課金される) の価格設定モデルを使用している。ここでは、各プロジェクトを実施するための「探索費用」と、成立された契約のパーセンテージとしての取引手数料で請求される。

P&G は InnoCentive を利用するよりも、より広い問題で NineSigma を使用する傾向がある。2004 年までに、P&G は 60 以上のプロジェクトに NineSigma を利用し、成功率は 50%であったが、その感触は良い結果であった。これら 60 件のプロジェクトについて、約 50 万人の専門家が連絡を取ったと推定されている。

このような仲介業者から利益を得ているのは大企業だけではない。12 人の従業員を持つベンチャー植物化学会社 ChromaDex の場合、世界最大の化学企業の 1 つである Bayer AG の主要な毒性スクリーニング技術のライセンスを取得するために YetZ.com が使用された。ChromaDex の社長兼最高経営責任者 (CEO) によると、この技術は会社にとって不可欠であり、開発するには高価であり、YetZ.com を通じてアクセスするのは容易であった。

InnoCentive、YetZ.com、NineSigma などのイノベーション仲介者の主要な経営上の関心の中には、仲介業者に求められる信頼と、貴重な反応を引き出すために必要な、高いレベルな具体的な焦点と詳細がある。信頼できるブローカーの仲介的役割には、身元を明らかにしないという解決策探索者の信頼と、彼

らの提案だとして提示するという解決者の信頼が含まれる。ユーザーにとっての利点は明らかである。広範囲にわたるサプライヤーから解決策を探ことができ、接触と知的財産の問題はユーザーとは別な場所で管理される。

労働市場の拡大

知的労働者は移動性が高いだけでなく、通常は高賃金でもある（第 7 章の知的労働者に関する検討を参照）。したがって、早期に退職する余裕があり、P&G の主要な社員のかなりは 55 歳で退職する。P&G は、早期退職者との生産的な関連を継続するための特別な仕組み、YourEncore を開発した。この仕組み自体にもパートナーシップが関係している。

YourEncore は 2003 年に P&G と Eli Lilly によって設立された。その目的は、退職者の能力を利用してメンバー企業のビジネスチャンスを築くことである。2004 年、設立当初の企業がサービスの主な利用者であったが、他の企業もより高い利用契約料で使用することができた。

早期退職するが、ビジネスで活発に活動を続け、同僚とのネットワークを維持したいと考えている、米国の多数の専門家にとって、YourEncore は彼らのつながりを維持する仕組みである。2004 年までにそのネットワークには約 160 人の退職者がいた。彼らは yourEncore の従業員になる。各設立メンバーの企業には、YourEncore 関係マネージャーがおり、クライアントと退職者と一緒に働き、退職者をクライアントとマッチングさせ、必要なすべての管理を実行する責任がある。退職者は、退職時給与の一日当たりの歩合を受け取る。YourEncore は、この歩合に知的財産契約の管理、基盤、スタッフのためになどの費用の負担を載せ料金を決めている。

YourEncore の設立で働いた Huston は、P&G のサプライヤーが退職者を雇って P&G への価値ある提案を作成するというのが、このサービスの予期せぬ利益の 1 つにあると述べている。彼らの参加は、P&G とそのサプライヤー間の相互依存関係を構築するのに役立ちつ。Huston は YourEncore のコンセプトを作成し、ビジネスモデルとキャッシュフローを確立し、コンセプトをテストし、退職者にインタビューし、報酬プランを策定し、P&G の弁護士を使い知的財産契約を確立した。Huston の言葉で「私たちはオープンイノベーションネットワークのモデルになりたかった」という理由で、P&G はインディアナポリスの企業にビジネスモデルを無償で提供した。YourEncore のウェブサイトによると、メンバー企業は、特定の科学技術的課題、他の企業や組織の創造的専門知識、新技術、製品やデザインの機会、新しい創造的アイデアのために退職者を利用している。

ICT、IvT、C&D

過去 10 年ほどの技術進歩、特に ICT と IvT によって、C&D プロジェクトができるようになっている。P&G の C&D 戦略は、企業イントラネットや知識シェアリングのための「スマート」報告システムなど

の社内外のリソースを連係する技術の使用に基づいている。P&G の R&D 担当上級副社長である Nabil Sakkab は、彼が最初に仕事を始めた頃、イノベーションのための連係が作られた、研究所ランチテーブルの現代版を、今日利用可能な技術がいかに提供してるか説明している。P&G は、「ランチテーブル」を近代化するために、ビジネス・ユニットの技術ディレクター、社内 R&D ディレクター、およびその他の主要な R&D 意思決定者で構成される Global Technology Council（グローバル技術会議）を創設した。Sakkab は、この会議は、P&G の技術を活用する方法を探求し、研究の探索と初期段階の新製品開発のための「インキュベーター」としての役割を果たしていると述べている。（Sakkab 2002）

P&G のグローバルコミュニティのメンバーは、InnovationNet という社内の Web サイトを通じて互いに話をすることができる。Sakkab は、innovationNet は P&G の「グローバルランチルーム」として機能していると述べている。研究者はこれを使って社内と社外の情報源からデータや情報を連係し共有する。すでに 900 万件を超えるオンライン文書があり、その数は増加を続けている。InnovationNet には、ユーザーが興味を持っている可能性のある情報と、同様に関心のある人々を結びつける、ユーザーの関心を考慮した Amazon.com と同様の方法でふるまう、自動化された人工知能サポートもある。Sakkab は、P&G における InnovationNet の真の貢献は、世界中の何千人ものイノベーターが新しいつながりを作り、同僚と協力し、さまざまな専門分野で知識を相互に豊かにさせることで、イノベーションを加速する能力だと考えている。InnovationNet はまた、外部ビジネスパートナーとのエクストラネット通信を提供し、外部データベースへのリンクとして機能する（Sakkab 2002）。

同社は、簡単な検索のためのキーワード、AskMe 検索エンジン、DiscoveryNet という別のウェブサイトがある、スマートラーニングレポート（Smart Learning Reports）の投稿にイントラネットを使っている。

これらのインターネットベースのシステムの目的の 1 つは、「実践コミュニティ」の間でのコミュニケーションを促進することである（Seely Brown と Duguid 2000）。P&G には、物理学、工学、生産、特にコロイドやポリマー、有機・分析化学、フレキシブルな自動化とロボティクス、高速サイクル開発、技術起業家など、数多くの実践コミュニティがある。研究者の個人的な開発計画の一部は、これらの実践コミュニティの 1 つ以上に関与している。

P&G によって開発された重要な外部能力源は、Technology Entrepreneurs ネットワークである。

これは、P&G を外部のイノベーションの可能性につなげるのに役立つ 50 人以上の個人のネットワークである。技術起業家は、P&G のグローバル・ビジネスユニットの 1 つの技術ニーズに対応するトップ科学者およびスペシャリストである。彼らは、数十億の Web ページ、科学文献データベース、およびグローバル特許データベースを検索するために、最も高度なデータマイニングと可視化ツールを使用する専門のデータマイニング・スペシャリストである。Sakkab（2002）は、P&G がこれを「干し草の山の中にある 1 本の針」を見つけてビジネスニーズに結び付けることができると言う。Huston は、「技術起業家は本当に連携と開発戦略の鍵である」と述べている。IVT は P&G が「よりスマートで、より速く、よ

り安価な」イノベーション・プロセスを探すために使用されている。

シミュレーションおよび最適化技術は、物流ネットワークの設計に使用されている。1995 年以来、P&G は、材料、製品の統合、財務活動を通じてサプライヤーを緊密に結合しようとした、「究極の供給システム」として知られているコンセプトの下で運営してきている。250 以上のブランドと 120 の製造施設では、サプライチェーン管理が明らかに重要である。このシステムの目的は、「売上を大幅に増やし、コストを削減し、キャッシュフローを増加させ、最終的に、適切なタイミングで適切な製品を適切な価格でお客様に提供すること」である (Wegryn and Siprelle, undated)。

P&G には、Global Analytics と呼ばれる社内業務調査グループがあり、供給ネットワークの設計に最適化技術とシミュレーション技術を使用している。これらの技術により、数千ものオプションの中から最も効果的なソリューションを選択し、サプライチェーンの構造を決定することができる。このプロセスで IvT を使用することの利点は、の P&G の IT ビジネス・ソリューション・グローバル・アナリティクスの主幹の Glenn Wegryn および、Simulation Dynamics Inc. の社長 Andrew Siprelle によって記述されている。

シミュレーション・モデリングにより、時間ベースの実行レベルのイベントを分析し、理解することができる。シミュレーションは、効果的な可能性がある運用戦略のための、異なったアプローチを実験する豊かな環境を提供する。最近まで、シミュレーションは、処理量のボトルネックを除去し、作業効率を改善し、一連の作業をテストし、マテリアルハンドリングなどの製造工程を調べるために広く使用されてきた。より幅広いサプライチェーンの問題に、シミュレーション技術を活用する例が増えている。

サプライチェーンの流れの中で、シミュレーションは、在庫、下流の需要シグナルから在庫の配備がどのような影響を受けるか、およびそれらのシグナルに応えるための在庫側で再発注方針を詳細に分析することをできるようにする。上流および下流のサプライチェーンパートナーと計画サイクルと生産スケジュールを同期させるとともに、サプライチェーンの緊密な連携に対応した設備稼働率の問題を把握することは、シミュレーションモデリングで取り組むことができる課題である。(Wegryn と Siprelle, 年不明)

製品とプロセスの設計

P&G の IvT の主要な使い方の 1 つは、試作活動である。ラピッドプロトタイピング・システムと試作物生産での迅速な工作機を使用して、できるだけ早くプロトタイプを開発することを目指している (ラピッドプロトタイピングについては第 6 章を参照)

ここでは、IvT に関しての P&G の 1 つの技術サプライヤーの見方を報告する。サプライヤーの一つである Silicon Graphics Inc. (SGI) が実施したケーススタディでは、P&G がシミュレーションとコンピュータ支援エンジニアリングを使用してイノベーションを促進する方法が強調されてれている。このケーススタディでは、P&G が SGI の Origin 3800 スーパーコンピュータを使用して、製品のプロトタイプ

と仮想状態で製造するマシンを作成してテストすることで、初期の物理的プロトタイプに対する通常求められるものを無用なものにしている。また、実際の設備を構築することなく、生産ライン変更の影響をシミュレートすることもできる。

このケーススタディでは、P&G の顧客にとって 2 つの「決定的瞬間」について説明している。まず、顧客が価格と知覚価値に基づいて製品を購入することを決定する時である。もう 1 つは、顧客が製品を開け、そのパフォーマンスを評価する時である。IVT は、この両方で P&G を助けるために使用されている。まず、適切な材料、その有効性、およびそれらを経済的に製造する能力を評価するのに役立つ。それは、落下時に製品の容器が壊れたり割れたりしないようにするのに役立ち、粘性のある液体は容器から容易に流れ、あらゆる種類の蓋を漏れないようにする。第二に、実際の消費者の使用中に製品がどのように機能するかを決める役割を果たす。シミュレーションは、さまざまな身体的特徴を持つ人々にとって、製品がどのように機能するかを評価するために使用される。

モデリング・シミュレーション・分析の主幹である Tom Lange は、事例研究で幅広く引用されている。彼は、これらの技術に関する企業の考え方を「デジタル的に探究し：物理的に確認する」と述べている。このような IVT の利点は、コストの削減とイノベティブな機会の増加であると、彼は述べている。IVT を使用することで、コストのかかるインフラストラクチャに投資することなく、消費者のニーズに応える幅広い創造的なソリューションを追求することができた。IVT の活用で、P&G は製品とそれを作る機械の両方で、開発期間中に数百万ドルと数ヶ月から数年の時間を節約したケースの記録文書には、Lange の発言が引用されている。

バーチャルプロトタイプは、P&G が物理的試作品を作る前に、製品を評価するために使用される「適合性、作業性および経済性が持った」コンポーネントを決定することができることによって、タイムリーかつコスト効率の高い手段を提供する。バーチャル・プロトタイピングは、われわれに起こりうる事態を問う機会を与えてくれ、次のステップを決定するためにいくつかの方法でそれをテストし、何もなければ先に進む。

また、P&G は、競合他社とは対照的に、バーチャルリアリティ・ショッピングモールなどのシミュレーションベースの製品評価ツールを使用して、製品に対する消費者の反応をテストしている。これらのツールは、従来のフォーカスグループ（市場調査のために抽出された消費者グループ）や電話による製品評価から容易に判断できない、eye movement analysis（眼球運動解析）などの要素から得た情報を提供する。またこれらには依然としてバーチャルリアリティで置き換えることができない本質的に巧妙な消費者の知見が多く残されているため、Lange は製品開発の後半段階で物理的プロトタイプを作成する方法にも言及している。

Huston によれば、その能力は... ..バーチャルモデルを仮想的に作成し、消費者とインタラクティブにインターネット上でテストする。その仮想製品を使用して保管庫をシミュレートし、人々がそれを購入するかどうかを確認する。... ..これは未来である、未来。

IvT と新製品開発 : CreatelInnovate

CreatelInnovate は、IvT の大規模なユーザーの中の小さなグループである。このグループは、P&G がブランドアイデンティティを創出するための新しいパッケージングを生み出している。パッケージングは消費者製品市場で極めて重要であり、製品の販売に役立つ。P&G は IvT を使用して、消費者とのパッケージデザインの表現をテストするために、ビジュアルライゼーション・セットを使用して製品のパッケージングとマーケティングのイノベーションを高めている。

CreatelInnovate はエガム、サリー、ブリュッセルに 18 人のスタッフを擁しており、設計とプロトタイプング企業の 18 人の非従業員と協力して、大幅な柔軟性ある能力を提供している。その目的は、パッケージングのための新しいアイデアを作り、次にデザインを開発して素早く試作することである。その目的は、「消費者が P&G 製品を購入して、あっと驚くようにする」ことが狙いである。

このグループは、IDEO（世界有数の製品デザインハウスの 1 つ : Sutton and Hargadon 1996 参照）などのデザインハウスで、社内外のブレインストーミングに多くの努力を払っている。これらのブレインストーミング演習の目的は、アイデアを作成するために関連する多数の経験を持つ熟練した人々を構造化してまとめることである。新しいパッケージングコンセプトのアイデアは、スケッチアーティストの助けを借りて、テキストとスケッチで描かれている。これは「ideation（観念化）」フェーズと呼ばれている。これらの概略的なスケッチから、通常 1~2 日で 3D CAD モデルが迅速に作成される。CAD モデルは、初期コンセプトから CNC 製造まで、開発および製造プロセス全体を通して使用される。社内 R & D、パッケージング、およびこのグループの主幹として、Neil McGlip は次のように述べている。「このデジタルモデルは、製造に至るまで製品アイデアとともに生き続ける。私たちは 1 つのモデルを作成し、そのモデルで play（試す）。

モデルが作成され、仮想製品テストが実行される。世界中の人々のチームが仮想モデルを見て、好きなものとそうでないものについてコメントする。仮想モデルは実際のものに非常に近い。それは同じように動く。McGlip は次のように述べている。

いったんデジタルで作成されると、それを人々に見せて、彼らが考えていることを理解することができる。それを変更または微調整して、それに対する人々の態度が改善するかどうかを見ることができる。また製品とその仕組みの短いビデオを作り、それをユーザーのメンバーに送信する。この時点では、物理的な製品を作成する必要はない。ユーザーにとって、百聞は一見にしかずである。彼らはさまざまなアイデアをより分け、何が効果的で何が効果がないかを素早く知ることができる。新しい技術を使用することで、新しいアイデアのより豊かな表現ができ、ユーザーからのほぼ即時のフィードバックが可能となる。そのプロセス全体は数か月ではなく数日ですむ。新しいツールは、人々が簡単に play（試す）ことを可能にする。いくつかの点で、仮想プロトタイプは、ユーザーがデザインで play（試す）ことができ、さまざまなデザイン選択肢を探索するゲームのようなものである。これは、プロジェクトの鮮明で正確な表

現を提供する。これは 100 のアイデアを手に入れ、良くないもの 98 を消してしまうことを可能にする。ラピッドプロトタイピング技術は広く使用されている。CreatelInnovate は、もともと高精度な部品を素早く作成することが不可欠な、Formula 1 自動車レース向けに開発されたラピッドプロトタイピング・マシンを使用している（第 6 章を参照）。このグループは、地域のラピッドプロトタイピング・ツール開発者と協力して、プロトタイプを開発する最善の方法についての経験を共有しようとしている。ラピッドプロトタイピングにより、それらがどのように見え感じるか、どのように一緒に収まるか、デザイナーは新しいコンポーネントを素早く確かめてみるができる。

実際にこのプロセスがどのように機能しているかの例には、現在行われている米国の市場での Tide StainBrush の開発がある。製品アイデアは、C&D の仕組みの適用から生じたものである。グループは Crest SpinBrush（低価格の電子歯ブラシ）を手に入れ、それで何ができるのかを見ようとした。出てきた 1 つのアイデアは、電動ブラシを使って汚れを取り除くことであった。Tide StainBrush は、Tide Liquid（液体洗剤）が汚れに浸透するのを助ける振動ヘッドを備えたバッテリー駆動のブラシである。布を傷つけないブラシは前後に回転し、液体を布の中に作用させ、汚れを緩める。

全体で、最初のコンセプトから完全な市場投入までに 1 年かかった。このプロセスは 2002 年 10 月に始まった。Crest SpinBrush の CAD デザインが利用可能であったが、デザインを根本的に変えて汚れ落としとして機能させる必要があった。ブラシを汚れに押し付けることができるように、新しいグリップを作る必要があった。より多くのパワーを得るためには、Crest SpinBrush の内部機構のいくつかを再設計する必要もあった。グループは Crest SpinBrush のデザインをできるだけ多く利用あるいは再利用しようとした。2002 年 12 月までに、最初の実証用プロトタイプが社内で開発された。それは粘着テープで部品と一緒に固定されていたが、それでもコンセプトが実行可能であることが示された。しかし、布をこすった際にモーターが失速する傾向があり、グループはこの問題を解決するのに着手した。新しいブラシの CAD ファイルを中国に送って、新製品の 100 個の物理的プロトタイプを製造した。これらのプロトタイプは、2003 年 4 月のテストのために送付されてきた。この製品は試験でうまくいき、2003 年 8 月に完全な市場投入が決定された。従業員の間でテストするための社内販売を含め、最初のアイデアから製品に至るまで 10 ヶ月間であった。米国の P&G 社内店にいったん登場すると、1 日で完売した。これは市場で大衆向けな製品である可能性があることを示している。量産は 2003 年の秋に始まり、2003 年 12 月に米国市場で発売された。

このプロセスのもう 1 つの例は、Swiffer の開発である。基本的には、ポールに取り付けられた雑巾である。製品のユーザーは、ポンプシステムの開発を必要とする、布への液体供給システムを望んでいた。このプロジェクトの基本的な考え方は、ポンプを持たない既存の製品を再開発することであった。全体として、製品を市場に出すには 12 ヶ月の設計と開発が必要であった。製品を働かせるための特殊なエンジニアリングを必要とした。ポールをモップエンドに取り付けるための新しいジョイントを開発しなければならなかった、そして液体を放出するための誘因機構も必要であった。また、ポールを通して流体

がどのように流れるか、モップ内の空洞がどのように満たされて反応するかをシミュレートする必要があった。

SpinBrush や Swiffer のような製品のための IVT グループで使われた技術は広く利用可能である。それは、もっぱら既製のシミュレーション・ソフトウェアを使用している。そこには社内ソフトウェアはまったくない。新しいモデリングパッケージと標準の CAD ツールに依存している。同社は、異なったシステム間での CAD モデルの移動に問題はないと報告している。

シミュレーションツールの使用により、グループのスタッフのプロフィールが変更された。これまでは、化学、生化学、化学工学の分野で比較的狭い人材をもっぱら雇っていた。ますますデザインに関わるようになったことで、例えば工業デザイナーや機械エンジニアなど、幅広い分野のスタッフを雇用し始めた。McGrip は、製品について多くの物理的テストをいまだ行う必要があると述べている。「梱包を床に落として、何が起こるか見る必要がある。それはピシャッとに行くのか？本当に効果があるのか？シミュレーションツールは予測的であるが、それでも物理的に試す必要がある。しかし、彼の全体的な評価は、ツールを使用する主な効果は、新製品の作成とプロトタイプ作成のための時間スケールを圧縮することであったということである。

IVT ができる貢献には限界がある：P&G のノベーションの問題に対するすべての答えを提供するわけではない。これは Okido のケースに見られる。Okido プロジェクトは、P&G から seed funding（開業資金）を受け、空気にさらされたときに熱を発生する技術から開発された。Okido で使用されていた技術は、従来、筋肉痛や筋肉痛の治療に使われていた。市場にすでにこのような製品が存在したため、P&G はその技術を異なる製品や市場で使用するための可能性ある方法を模索するための開業資金を提供した。化学分析者である研究リーダーは、1 年以内で新製品を開発するための開業資金を調達した。マーケティング、広告、スタッフからなる多機能チームが結成された。彼らは、持ち運びができ、安全で香りのよいキャンドルというコンセプトを思いついた。チームは、CAD やラピッドプロトタイピングを使用して製品のバリエーションを考案した。しかし、インターネットを介しての P&G スタッフによる製品の試用は不成功であった。当然のことながら、香りのある製品はインターネットで販売するのに理想的ではなかった。

大幅な開発コストの後、製品は廃棄された。同社は、このようなキャンドルの市場は、新しい製品が大きなインパクトを与えるには、あまりにも浸透していたという戦略的見解をとった。プロジェクト開始当初のキャンドル市場の潜在的可能性を戦略的に概観することにより、金銭と時間のコストを回避することができた。新製品開発が先に進む前に、明確な市場分析が行われていなければならなかった。それが先に進んだのは、おそらく、「私たちは技術を持っているので、何かをやるべきだ」という考えに起因している。

このケースでは、IVT の使用は設計と開発プロセス（その効率）を加速させるかもしれないが、それが製造に適した製品（その有効性）であるかどうかの戦略的決定を支援しなかった。

省察

イノベーションのための P&G のアプローチの劇的な変化が、新しい大ヒット製品で予想される結果を生み出すかどうかを、判断するのは時期尚早である。実際、大ヒット製品というのは過去のものになり、将来はより専門化された消費者製品になる可能性もある。明確なのは、同社が外部の技術ソースにアクセスし、イノベーションと製品開発戦略に役立つ IVT を使用することではるかに成功したことである。Huston の言う外部資産をイノベーションの 50% に活用するという同社の目標、非常に野心的である。同氏は、この変化はまだ進行中であり、2004 年にはおそらく 35% のイノベーションが外部からアクセスされたと述べている。これらの変化は急速に起こっており、彼は、外部ソースにリンクされ市場に出た製品の数が増加したと推定し、こうした外部ソーシングを伴う製品の経路は印象的である。

IVT の使用は、サプライチェーンのシミュレーションから新製品の設計まで、うまく根付いている。P&G の組織内のイノベーションプロセスの一体化と、新たな知識の源泉とより良い顧客関与を提供する外部関係の強化の両者を促進している。

3.3 Arup

背景

Arup は 1946 年に Ove Arup 卿によってロンドンに設立された。ここは、設計、エンジニアリング、および関連するサービスの分野を提供し、現在 50 カ国の 71 の事務所で 6,500 人以上の従業員を抱えている。Arup は、技術的および設計的知識が集中していると認識されている。シドニーオペラハウスやポンピドーセンターなど、20 世紀最大の建築プロジェクトに参加した。これらのプロジェクトや現在のプロジェクトでは、機械的、電気的、電子的システム、地震、火災、煙、音響、環境エンジニアリングなどの高度な専門知識を開発することによって、構造および土木の主要な課題に立ち向かっている。

Ove Arup 卿はエンジニアリングに情熱を持ち、会社の運営方法についての彼の考えは、その文化に強い影響を与えた。彼は、エンジニアリングは社会的役割を持っており、社会的条件の改善を支援するために、エンジニアはその技術スキルを使用するよう、努力しなければならないと考えていた。Ove Arup は、「総合的建築」の理想を達成しようとした。社会的に有用なプロジェクトの提供に集中し、すべての専門分野のエンジニアの活動を一体化した。

Arup の成長は、もっぱら自己生成により行われてきている。同社は構造エンジニアリング会社としてスタートし、新しいプロジェクトを獲得したことでその能力は幅広い分野に拡大した。Arup の前社長 Bob Emmerson は、「才能のある人々は予期しない方向に私たちを連れて行く」と述べている。環境コンサル

タントから音響まで幅広い 50 の専門家グループを抱えている。

Arup でのプロジェクトベースの組織

Arup は数千のプロジェクトを同時に処理し、さまざまな顧客をベースに専門家のアドバイスを提供している。その仕事のほとんどは、土木工学および構造工学、暖房および冷房などの建物用の機械および電気システムを含む建築用の設計サービスに集中している。Arup には、系列下にある建築設計の Arup Associates、専門エンジニアリングサービスの Arup Acoustic と Arup Fire、シミュレーションモデリングに重点を置く Advanced Technology Group などを含む、多くの専門エンジニアリンググループがある。建設業界は Arup の主要顧客のままであるが、過去 20 年間に自動車デザイン、製品設計、プロジェクト管理、経済と環境コンサルタントのサービスを提供している。

Arup は、競合他社に比べてプロジェクトに、幅広い種類のスキルを組み合わせることができるというメリットがあると考えている。創業者の視点を反映して、多様なスキルを織りなす「total problem solver（総合的問題解決者）」になることを目指している。競合他社の多くは、狭い範囲の分野でわずかな能力を備えた、小規模な設計サービスの専門提供者である。Arup が主張している別の利点は、優秀な卒業生を募集する能力である。複雑で要求の厳しいプロジェクトに参加し、豊かな仕事経験と訓練を提供する能力と、新しいビジネスへの多様化の機会があるため、学生は Arup に魅力を感じているということが、社内では信じられている。Arup は毎年 350 人の学生を雇用している。

いくつかの点で、Arup は、プロジェクトベースの好循環を見出した。同社は問題解決の評判から有名なプロジェクトを得ており、複雑でエキサイティングなプロジェクトを獲得する能力に、高度に熟練したエンジニアが Arup に魅力を感じている。しかし、Arup のプロジェクトの多くは型にはまったエンジニアリングが必要である。あるスタッフがコメントしたように、彼の仕事は権威あるプロジェクトに取り組むことは多くはないが、興味を持ち続けるには十分な仕事である。Emmerson は言う、「私たちは金持ちになるためにこれを行っているわけではない。私たちはデザイナーなので、それを行っている。私たちは実入りがいいわけではない。Arup では、5 つのプロジェクトのうちの 1 つ興味あるものである。他の企業では、それは 20 つのうち 1 つである」。しかし、様々な作業は、エンジニアがエキサイティングな分野で作業し、創造的なスキルを適用する新しい方法を見つけるための新たな機会を作り出している。同社の戦略は、本質的に注目を浴びる、複雑な製品をターゲットにして、その能力を磨だけでなく、企業に新しい人材を雇用し、エンジニアリングの卓越性に対する企業の評判を維持することである。

このプロジェクトベースの循環の一環として、Arup は「他社では得られない問題を得ている」、同社のシニアマネージャーは言っている。Arup は、「難しいプロジェクトを提供する」、「問題解決における創造性」、そしてその分野の指導者と一緒に働くことで評判を得ている。Arup の評判の強さは、建築家、クライアント、Arup スタッフの密接な関係に基づいている。こうした関係は、過去のプロジェクトの実績

から、そしてまた Arup の能力の高さによって構築されている。

Arup は積極的にプロジェクトを生み出すよう目指している。Emmerson は、Arup は仕事に来るのを待っていないと述べている。仕事に来るのを待っているなら、興味深い仕事の機会を得ることはまずあえない。「私たちは面白い仕事を作らなければならない」。Arup は顧客とは違う何かを提供したいと考えている。Arup がリスクを回避するようになると、それで終りであると Emmerson は言う。「Arup は他の人と同じように競争するわけにはいかない」。イノベーションの機会を求めなければならない。

イノベーションの管理には、建設業界での仕事の組織化の方法に起因する、数多くの問題がある。プロジェクト終了時に通常は解散するチームに、独立した専門企業が参加する。プロジェクトベースの活動の特徴は、分野に分かれて働く組織が、プロジェクトごとに学ぶのにしばしば苦勞することを意味する。プロジェクトは多くの場合、一回限りで職務指向である。プロジェクトチームが半自律的かつ企業の境界の外で運営されるため、1 つのプロジェクトで学んだことは、組織の他の分野にフィードバックされることはほとんどない (Gann and Salter 1998 参照)。さらに、設計活動は厳しい時間的制約の下で行われることが多く、この時間の不足はイノベーションの障害となっている。たとえば、Arup はいつでも世界中の何千ものプロジェクトに取り組んでおり、各地域または各部門のオフィスは大きな自主性を持って運営されている。Arup がこれらの問題のいくつかに対処するための、組織的および技術的手段については、次の Arup プロジェクトおよびビジネスの例で説明する (プロジェクトベース企業の詳細については第 7 章を参照)。

Arup の多様化戦略

Arup の成長は、社内の専門家グループの増加が伴っている。これらの新しいグループの多くは、既存のチームの内部で開発され、グループのプロジェクトリーダーが専門的なサービスを提供する新たな市場機会を見出したことで、新たなチームを作り出した。中央管理側は、これらのチームの事実上の独立性を認めている。Arup の上級管理職は、これらのグループの管理のために「千花斉放 (千の花を咲かす)」戦略を採用し、会社は分散化されている。彼らは、これらのグループの中央管理を課す試みが、彼らの発展を弱めるかもしれないと感じており、代わりに彼ら自身の市場や技術の開発を一層すすめるためにそのままにしておくべきだと述べている。

限定した管理の伝統は、上級管理職に「社内で何をなすべきか誰も教えられない」と言うように導いた。採用された管理スタイルは、高度に創造的な人々を採用して、多くのプロフェッショナルサービス企業に見られるものである (McKenna and Maister 2002)。Emmerson は述べている：

社内の人々は、自社の 5 年計画とは無関係に、それぞれ自分自身で物事を進める。オフィスの成長は、新しい分野で仕事を得て、それから一つのオフィスを立ち上げた人に基づいている。グローバルに進出する戦略や、特定の分野にオフィスを展開する戦略は取っていない。企業の成長は有機的なものである。私たちは、あちこちでいくつかの企業を買収したが、主に当社の成長は社内の人々からもたらされたも

ので、新しいスキルを開発している。Emmerson は、「Arup は実際には 124 の異なる企業の連合体である」と述べている。

社内の各グループは、社内中枢へ共通経費を支払うが、かなりの運用上の自律性がある。グループ間の統合化は、協力し合い、リソースを共有するための、各グループリーダーの合意によって維持されている。社内の中枢機関は、財務管理や財務報告、人事管理など、さまざまなサービスも提供している。また、社内中枢の R & D 活動のための共通経費もある。しかし、グループの多くは能力を開発し、新しい分野に進出するために、独自の資金を保持している。

Arup の新しい能力の誕生は、専門的でユニークなスキルと技術が開発された、特定なプロジェクトに取り組んだ経験からしばしば生じている。これらの能力は、その市場が拡大するにつれて磨かれ、他のプロジェクトに移転される。IvT は Arup の新しい専門家グループの中心にあり、その専門シミュレーションソフトウェアの多くは、社内で開発されたか、あるいはソフトウェア会社と緊密に協力して開発されている。IvT を使用したこの多様化プロセスの例は、Arup が原子力廃棄物を運ぶ列車の衝突の潜在的な影響を探るために採用されたケースと、これが自動車産業における設計業務を進化させた方法について後で説明する。

分散エンジニアリングネットワークにおける知識の管理

Arup のエンジニアリングにおけるデザイン、イノベーション、問題解決のアプローチは、多くの点で他のエンジニアリング企業と同様である。知識を共有し、アイデアを生み出すアプローチのいくつかは、異なる場所の組織内の専門家間のつながりを改善するために考案された InnovationNet と「グローバルなランチルーム」という P & G で見られたアプローチと類似している。Arup のようなプロジェクトベースの企業も、外部の専門家に大きく依存しており、イノベティブな活動で頻繁に他の組織と協力している (Tether and Hipp 2002; Salter and Gann 2003)。新たなアイデアの探索の多くは、新しい顧客や既存の顧客の要求によって推進され、多くの場合、深い相互作用を必要とし、他の専門家、顧客、およびサプライヤーと新たな知識を創出することになる (Den Hertog and Huizenga 2000; Bettencourt et al 2002 ; Miles 2003; Dougherty 2004)。この点で、Arup のような企業はオープンイノベーターとして行動し、さまざまなパートナーと協力してアイデアを開発し、さまざまな業界や状況間で新しいアイデアを仲介する (Hagardon 2003)。

Arup の問題解決能力の多くは、従業員が自らのプロフェッショナル・ネットワークを開発し、育成し、社内外の個人的な知識や能力を構築する能力に基づいている (Gallouj and Weinstein 1997; Tether と Hipp 2002 参照)。多くの知識は、繰り返される実践を通して開発され、人々がそれぞれの仕事を達成するための活動にとどまっている (Constant 2000)。この実践には、限られた資源を使って行う固有な状況で、専門的な原則をいかに適用するかを学ぶ「巧みな能力」が必要である (Dougherty 2004)。ナレ

ナレッジマネジメント・システムの開発と導入のリーダーであった、Arup のようなコンサルタント業務の企業の、調査と選択の仕組みの臨機応変な性質に、それはある程度よっている (Elder 2003; Gault と Foray 2003)。

Arup の「ナレッジマネジメント」戦略の正式な策定は、1990 年代後半に始まった。Arup の取締役は、「ビジネスプロセス・リエンジニアリング」については懐疑的であり、当時の他のマネジメントの流行として見ていた。彼らは、プロジェクトベースの活動で、分散した場所で働く専門家のグループを管理する場合、その利益が認められることから、ナレッジマネジメントに関心を持っていた。50 年以上の実績を持ち、10 万件を超えるプロジェクトでの経験を蓄積し、過去および現在の知識を活用する新しい方法を見つける必要があった。さらに、エンジニアリング知識の使用を改善する必要性という他の圧力も、その一因となっていた。Arup は成長し、多角化していた。その一部のエンジニアリング活動は海外に委託されており、新しい形の競争に直面していた。そのビジネス環境はより訴訟的になってきており、迅速な意思決定を行う必要性は、余分なストレスを作り出した。同時に、イノベーションの性質も変化しており、プロジェクトを提供する上で、より多くの専門家が同時に関わるようになってきている。個人の既存の知識ベースと新しい情報を吸収する能力とのギャップに連れて、アクセスのために必要な情報技術者の数も増加している。Arup は複雑なプロジェクトを提供するための過去の記録を保存しながら、ナレッジマネジメントに対する新しいアプローチを開発するという課題に直面した。ナレッジマネジメントの開発は、異なった 3 つの段階を追った。

第一段階は、ナレッジマネジメントを支援するケースを開発することであった。1999 年、Arup 役員会は Tony Sheehan を特命し、Arup R&D で作業し Arup のナレッジマネジメント戦略の提案書を 6 ヶ月間で作成した。Arup は、エンジニアリングコンサルタントとして、知識の創造、獲得、移転を伴うため、すでに充実したナレッジマネジメント活動を行っていた。それは、十分に蓄積された内部図書館、社内ジャーナル、イントラネット、およびその他のさまざまなツールが開発されていた。これらの活動はナレッジマネジメントと呼ばれていなかったが、広範囲にわたり、創業以来社内で運用されていたものもあった。しかし Arup は、分散したグローバルな組織全体で専門知識を共有するために ICT を新しい方法で利用できると考えていた。Sheehan は、Arup R&D での経験の結果、世界中の連絡ネットワークを持つことになり、どのタイプのアプローチを採用するかを評価するために、それを利用することができた。彼のフレームワークには、人、プロセス、テクノロジーという 3 つの要素を伴っていた。これらのそれぞれには、ツールに関する学習、Arup の職務環境を考慮、ケースの開発とサインオフの獲得、統合化と利点のデモンストレーション、自立的活動の確認という 5 つの開発段階がある。

第 2 段階では、小さなパイロットプロジェクトを通じたナレッジマネジメントの提供が見られた。ここでの課題は、新しいシステムがトップダウン方式（これは拒否反応を引き起こす可能性がある）で課されることなく、第 1 段階で開発されたフレームワークを用いて、それを行動に移すことであった。現時点では、ビジネスのさまざまな部分に小さなナレッジマネジメントプロジェクトが数多くあり、非常に小

さいものもあれば、多くのメンバーが関与しているものもあった。これらの小さなプロジェクトを通じて、さらなる発展の機会リストが明らかになった。

第3段階では、広範な実施が必要であり、その新たな取り組みにはかなりの政治的姿勢が必要であった。同社では、すでにナレッジマネジメントのように行われていたことを、改めて呼び直すことに対して強い意向があった。再開発された既存のシステムの1つの例は、社内の専門知識のイエローページである Arup People であった。当時、Arup 社内の誰が何を知っているかについての知識の多くは未知であった。担当部署が作成したその専門家のリストは、ロンドンを拠点にしたもので、まるで映画「常連の容疑者」のようなものが含まれていた。これは、組織全体に拡大する必要がある、全社でその過去そして現在のノウハウをより有効に利用するために、どこにいる人々にでもアクセスできるようになった。Arup は、人々のスキルを判断するための厳密なフォーマットや同僚の評価システムを課したくなかった。むしろ個々の Web ページの集積として社内のイエローページを開発した。個人は、自身のスキルと能力を記述する機会が与えられた。彼らは、自分自身に関する3組の情報を提供するように求められた：(a) 彼らのスキルのリスト。(b) 外部の組織および団体に提示を行った領域 (c) 興味や趣味を持っている領域。3番目の項目の興味深い結果は、イエローページの管理者が彼女の馬術の趣味を記録した際に起こった。彼女は乗馬イベントで好結果を納めたライダーであり、乗馬コースに深い知識を持っていた。彼女はその後、乗馬センターの設計と建設のために20以上の Arup プロジェクトに取り組んできた。

登録シートには、3つの自由記述欄が含まれている。全体的な情報は検索可能であるが、登録のスタイルと形式は個別な People によって決まっている。専門家のネットワークは相互参照され、「雪だるま効果」によって拡大される。Arup People の情報は検証されていないため、「買い手ご用心」というラベルが付いている。このような環境を考えると、相当な社会的プレッシャーがある。確かに、あるマネージャーは、もし誰かが持っていないスキルを主張して、それが公開されているとなれば、それは「儀礼的屈辱の時」となると言った。したがって、システムは自己規制された形で成長した。

Arup ナレッジマネジメントのもう一つの主要な分野は、「スキルネットワーク」の開発であった。このスキルネットワークには90以上のものがある。構造工学などの伝統的な工学分野に焦点を当てるものもあれば、CFD（計算流体力学）シミュレーションツールなどの設計技術を支えるものもある。スキルネットワークは、問題解決のための重要なメカニズムとして機能し、実践と新技術に関するアイデアを共有する。各スキルネットワークは、多くの場合さまざまなウェブサイト、ツール、実践があり少しずつ異なって組織されている。Arup のほとんどのメンバーは、複数のネットワークに属している。スキルネットワークが島国的になっており、異なるエンジニアリング分野で共通の問題を選択することができないという懸念がある。Arup は、さまざまなスキル分野にまたがる、主要な問題が発生したときに新しいネットワークを作り、この問題を解決しようとした。これに関する一例は、2001年9月11日の直後における極端な事象スキルネットワークの創設であった。この新しいネットワークは、火災、テロ、地震などの極端な事象に対する新しいエンジニアリング・ソリューションの開発に注力するため、スキルネットワ

ークのさまざまな分野の専門家を集めた。

プロジェクト間学習ツールを構築するには、非構造化データソースから有益な情報をすばやく収集できる検索エンジンが必要であった。Arup は、進行中のプロジェクトや技術的な問題で有用な情報や関係先を見つけるために、図面やテキストなどのさまざまな種類のデータをスキャンする技術を追求した。Arup は結局、非構造化データの検索に専門知識を持った Cambridge University の小さなスタートアップ企業である Autonomy とチームを組んだ。これらのデータベースのテキストパケットを統計的に分析し、テキストや図面を検索して、人々が存在を忘れてしまったり、他の手段でアクセスするのが難しかった情報を提供するツールが開発された。

Arup のイノベーション

Arup のイノベーション戦略の重要な部分は、毎日のプロジェクトと並行して研究に「相乗り (piggyback)」することである。この戦略は、同社がさまざまな複雑なプロジェクトに携わっていることから可能になっている。エンジニアリングの卓越性に対する評判は、挑戦と機会の両方を提供する、競争相手では得られない問題が提示されることになる。同社は、新しい技術的専門知識を開発し、研究能力を拡大するための、これらのプロジェクトで挑戦を意識して使おうとしている。複雑なプロジェクトにより、同社は新しい分野の技術にアクセスして探求することができる。クライアントは、自身の目標を達成するのに必要であるため、これらの研究プロジェクトの費用を負担するが、研究の教訓は Arup でより広く採用され、新しいアイデアやビジネスチャンスを開発するための重要な情報源を提供する。

Arup のような建造環境ビジネスの分野では、設計、エンジニアリングが、P&G のような企業の研究開発部門と似た役割を果たしている。そのビジネスの多くは、技術開発とサブコンによって管理される生産プロセスの応用研究である。エンジニアリングサービス会社ではあまり見られないが、Arup には中央 R&D ユニットがある。このユニットは、組織内で 2 つの異なった役割を果たしている。第一に、プロジェクトチームに技術サポートを提供し、新しいビジネス領域を開発し、将来の思考に取り組み、将来のさまざまなビジネス選択肢を構築するのに役立つことである。R&D グループは、「3N」と呼ぶものの間でその努力を分けている：Now（目下の）継続的なプロジェクトのための技術サポート。New（新しい）、新しいアイデアを導入してビジネスに価値を加える。Next（次期の）、長期的な将来の可能性を見る。既存プロジェクトの問題解決は、グループの時間と労力のおよそ 80～85%を占めている。新しいアイデアの導入に取り組みは約 15%を占め、より長期的な思考が約 5-10%とみなされている。後者は、通常、大学の研究グループと密接に協力して行われる。知識はいくつかの方法で取り込まれ、発展される。R&D グループは、一回限りの問題をより一般的な知識に変換するのを支援するように設計されている。スタッフは一般的に会社に長期間滞在しており、特定の問題が発生したときに、組織内のどこで専門知識を探すべきかを通常知っており、専門家のネットワークを積極的に維持している。これは後で論じられる

ミレニアム橋のケースで見ることができる。

エンジニアの仕事の組織化もイノベーションを促進する。デザイナーは、実践的に問題を解決し、この知識を将来の競争上の優位性に変えるための研究を行う「実践的研究者」(第 5 章を参照)として行動する。エンジニアリング設計のプロセスでは、通常、適切なソリューションを探す必要がある。Arup では、デザイナーの活動は創造的設計と運用的設計に分かれており、どちらもイノベーションの源泉となる。創造的設計は、新しい概念、構造、および活動を開発することを含んでいる。運用的設計はより一般的であり、標準、安全性、およびその他の規制条件を満たす設計を得るという実践的なビジネスが必要とされる。設計業務はプロジェクト間、そして時間の経過とともにプロジェクト内でも異なっている。設計者は創造性が創造的設計に限らず、実務に適用可能であることを明確に認識し、デザインを安全性と環境性能の基準に適合させる。デザイナーが IvT を使って創造性の助けとする方法を以下に説明する。

Arup の IvT とイノベーション

Arup は「総合的問題解決者」の役割を果たすため、ICT と IvT に大いに投資してきた。これらの技術への投資は、シミュレーションモデルの開発や、地理的に分散している企業のさまざまな部分とのコミュニケーションなど、直接的に設計活動をサポートする。次のセクションでは、Arup の IvT がどのように使用され、どのようにプロジェクトやビジネスに影響を与えるかについて、いくつかのミニケーススタディを紹介する。ロンドンの悪名高い橋の問題を解決するために IvT を使用することは、複雑な問題に対する解決策を見つける手段として述べられている。シドニーオペラハウスでの音響の過去のデザインでの使用は、技術が累積的にどのように構築されるかを示している。このケースは、Arup が歴史的に多角化の手段として技術を使用してきた方法の実例でもある。これは、衝突試験シミュレーションのケースにはっきりと示されている。自主開発システムの使用の場合、同社の非常に豊富な知識の管理に取り組む方法が検討されている。Arup の性能的火災安全設計で、いかに IvT を使用するかの方法が、より長めのケースが示されており、そこには規制当局へのこの技術の影響が記述されている。

ソリューションの開発：不安定な橋の修理

テート・モダン・ギャラリーとセント・ポール大聖堂を結ぶロンドンミレニアム橋は、100 年以上でテムズ川に渡る最初の歩行者橋であった。ブリッジデザインは、革新的で現代的な取り組みを目指した設計コンペティションを通じて選定された。勝利チームには、Foster and Partners architects、彫刻家の Sir Anthony Caro、そして Arup engineers の協力が伴っていた。チームは少なくとも 3 つの異なる実践コミュニティに広がっていた。共同作業で、彼らは車両の通行がなく、川の上の高所にあり、歩行者にロンドンの良好な景色を提供する、極小のデザインを作り出した。橋は全長 325m、わずか 4m の幅を

持つ複雑な構造で、アルミニウム製のデッキにはステンレス製の欄干があり、シティーの重要で保護された景観を侵害しないように両側のケーブルで支えられている。橋梁の長さとの幅の比は 63 : 1 で、従来の吊り橋より約 6 倍扁平である。この橋の環境への配慮は、車両の通行がなく、使用時に汚染がほとんどないということである。設計チームはこれを達成するために IvT を使用した。彼らは世界中の他の橋から教訓を引き出し、設計をテストするために、洗練されたコンピュータシミュレーションを構築した。その結果は、ロンドンへの美しい建築、エンジニアリング、彫刻の貢献として伝えられた。橋は 2000 年 6 月 10 日に開通した。祝賀の一環として、8 万~10 万人が歩いた。しかし、大きなグループの人々が横断していたとき、予想以上に横方向の動きが大きく、「揺れる橋」としての評判をすぐに得ることになった。この問題を十分に調査し、是正措置を講じるために、開通 2 日後に橋を閉鎖するという決定が下された。これにより、設計チームの当惑とコストがかかることになった。評判は危うくなり、エンジニアは、人々がグループで橋を渡って歩くときに起こる「着地増幅問題」をチェックしていないということで、報道やメディアで批判された。

エンジニアは実際にこれらの潜在的な問題をテストしていたが、その橋がなぜそんなに動いたのか不思議であった。Arup はインターネットを使用して、世界中の設計事務所ネットワークに問題を伝えた。問題を解決するための診断と解決のための国際的な調査が行われた。

3 つの研究ユニットが設置され、同時並行的に共同研究がなされた。第 1 のグループは世界中のオフィスからロンドンに招致され、橋をテストし、問題が元のコンピュータモデルのどこにあるかを発見するよう指示された。彼らはモデルに問題がないことを発見した。第 2 のグループは、橋梁設計における診断と問題解決の専門知識が最も優れていると判断された外部組織から選出された。Arup チームと協力しながら、外部のグループはソリューションを見つける上で重要な役割を果たした。Cambridge、Sheffield、Imperial College、そして Southampton の大学の研究グループは、橋の群衆行動パターンのテストを実施するよう依頼された。第 3 チームは、ショックを吸収し、横方向の動きを減らすために設置される新しいダンパーの設計に取り組んだ。若いエンジニアは問題について横方向で考えるよう促され、チームは探索の開始から 2 ヶ月後に可能性ある解決策を見つけた。このプロセス中、Arup のエンジニアは、地震の学術的ジャーナルで「橋の横方向の励起」に関する論文を見つけた。論文は定性的にその現象を記述していたが、定量化はしていなかった。他の検索でも、オークランドの非常に異なる構造の重装備の道路橋で同様の問題が発見された。最終的に橋梁のぐらつきを克服するダンパーの設計を開発する際に、自動車や鉄道産業およびそれらでのショックアブソーバの使い方から教訓が得られた。

これらのさまざまな情報源からのインプットを使用して、揺れる橋の問題が解決された。問題は関係する企業の一時的なきまり悪さであったが、解決策を見つけるプロセスは、彼らのために、および橋梁設計全体に、かなりの利益をもたらした。Arup はその結果をウェブサイト公開し、他の人がプロジェクトでこのプロジェクトからの学習を容易にし、活用できるように、その研究結果を自社のウェブサイトで公開した。

エンジニア、建築家、彫刻家を結集した橋の設計で使用されたシミュレーション技術を使用して、ソリューションを見つけた。これは、国際チームと大学の研究グループの広範囲な調整において重要なツールであった。その解決策を見いだした結果、橋梁設計に関する新しい知識が作成された。Arup のウェブサイトに掲載されたこの知識は、同社の新しい能力を実証し、市場機会を提供した。IvT のツールは、失敗から学習にうまく適用された。

再イノベーション：シドニーオペラハウス

シドニーオペラハウス（1956-73）の設計と建設は、Arup のエンジニアリング能力の評判の発展のマイルストーンであった。このプロジェクトは、イノベーション能力、問題解決能力、すばらしいソリューションを設計する能力と意味するようになった。同社が知られている多くの主要プロジェクトのうちの最初のものであり、この建物は 20 世紀のエンジニアリングおよび建築のシンボルである。30 年後、元の設計数値モデルと数学的な解法を引出してきて、Arup の構造と音響技術者チームが参加して改装された。チームは洗練されたソフトウェアプログラムを使用して構造と音響の選択肢を同時並行的に探索しながら、そのアプローチを統合することができる。その目的は、劇場の音響を大幅に改善することである。音響工学は構造工学に比べて比較的新しい分野であり、Arup は音響性能をモデル化してシミュレートする能力を持つ国際的に認められたいくつかの企業の 1 つである。

シドニーオペラハウス・プロジェクトは 1956 年のデザインコンテストに始まり、933 名の建築家から幅広い国際的関心を集め、そのうち 230 名がデザインを提出した。1957 年、Jorn Utzon のデザインが選ばれた。その時、Utzon はヨットの設計に取り組んできた、海軍のバックグラウンドを持つ、あまり知られていないデンマークの建築家であった。彼の計画は、その規模と野心と、その構造工学が完全に考え出されていないため、実現するのが難しいプロジェクトとみなされた。その後、Arup エンジニアのチームが、数学的モデリングの専門家が率いる構造エンジニアリング設計契約を獲得した。チームは屋根のシェル構造の選択肢を探求して、3 年を費やしプレキャスト、ポストテンションのコンクリート構造によって支えられた、いまも有名な「オレンジ飾り切り」に達した。かつて例のない程に使用された構造解析コンピュータプログラムを開発した。これは、建築構造設計における、コンピュータ解析の最初の大規模なアプリケーションの 1 つであり、この技術がその後の多くの開発につながった。この経験は、構造ソフトウェアプログラムの広範な開発につながった。それに基づいて、形態決定プログラムと解析パッケージと同様に、Arup は独自の CAD システム（CADRAW）を開発した。

このケースでは、Arup がイノベティブな構造を生み出すのに技術を使用したその歴史を通して、新しい技術の開発につながり、技術的な機会が累積的に増加する方法を示している。いったん電子データが存在すると、IvT の使用によって改装、または再補修が可能になる。

多角化能力：衝突試験シミュレーション

衝突試験エンジニアリングは、IvTに関連する技術能力とビジネスチャンスの拡大の一例である。同社が新しい市場にどのように多角化したかを示している。この分野での仕事は、使用済み核燃料容器の輸送に伴う列車事故の潜在的な影響を調査するために、英国中央発電所（UK's Central Electricity Generating Board）によって Arup が任された 1980 年代初めに始まった。このプロジェクトは、計算能力は限られていたが、シミュレーションにコンピュータを使用する機会が急速に拡大していた、1970 年代後半に振動制御のシミュレーションで Ph.D を取得した John Miles によって率いられた。Ph.D を取得した後、Miles は自動車エンジニアリング会社に入社する前に、地震に対する防御を備えた構造を設計するために 2 年間 Arup と仕事をしていた。Arup は衝突試験プロジェクトの仕事に彼を招聘した。それは事故あるいは脱線に対する鉄道コンテナの応答のシミュレーションを構築することを含んでいた。このシミュレーションモデルは、英国鉄道の機関車が 160km/h で明るい黄色容器を運び、その衝突に耐え抜いた、劇的な物理的試験で確認された。この仕事には、動的解析で特に有用であることが判明した非線形の有限要素法である LS Dyna というソフトウェアパッケージの使用が含まれていた。これは、車両と材料の設計、シミュレーションとテストについての新しい知識と、衝突試験のためのコンピュータ支援工学（CAE）の新しい処理方法の出現をもたらした。

この研究から得られた専門知識は、少なくとも 2 つの方向で進化してきた。第一は、Arup の伝統的なビジネスである建築設計のための構造エンジニアリングで、高層ビルの地震や風による振動制御シミュレーションが、Arup のロンドン事務所でのシミュレーション機能の拡大とともに成長した。地震地域の建物設計支援のために新たな受注を受け、Arup は東京オフィスに専門家を配置してシミュレーション機能を拡大した。第二は、自動車産業における Arup にとってまったく新しい市場である、。

1980 年代、自動車分野の設計要件は、より厳しい安全基準の結果としてかなり変化した。物理的プロトタイプのコストは相当なものであり、結果の受け取りの遅延から、業界の新製品開発の改善が妨げられていた。設計テストの需要が拡大し、大手自動車メーカーのための新しい仕事は Arup Automotive Design Group を設立することになった。しかし、1990 年代までは、シミュレーション技術が高価で柔軟性に欠けるため、物理的テスト、モックアップ、プロトタイプの結果を検証するために、ほとんどのシミュレーションが一般的にエンジニアリングプロセスの終わりに使用されていた。エンジニアは日常の物理的プロトタイプを CAE モデルに置き換えようとしたが、基本的な再設計では結果を使用する機会はほとんどなかった。1996 年、米国ファースト・テクノロジー・セーフティ・システム（First Technology Safety Systems）と共同開発した有限要素解析（FEA）コンピュータ・プログラムである FT-Arup FE-モデル・シリーズが発売された。このソフトウェアは、ダミーモデルの挙動を正確に予測する乗員シミュレーションを提供した。これにより、シミュレーション・ツールを設計活動の初期段階で、全く新しい方法で使用して、設計プロセスを強化し変更することができた。

Arup の自動車デザイングループ (Arup's Automotive Design Group) の市場は、専門的技術を拡大しながら、搭乗者と歩行者のためのより安全なエンジニアリングを重視して成長した。Arup Automotive の安全統合専門家、Bhavik Shah は次のように述べている。このアプローチにより、自動車製造業者はより短期間で、より低コストで設計の繰り返し回数を増やすことができ、結果として、より歩行者に優しい自動車を製造するのに役立てることができる。(歩行者の死傷者は、ヨーロッパの自動車事故の死者の約 25%を占めている)

1999 年、安全エンジニアリング設計と車両のスタイリングと統合する機会を活用するため、Arup は自動車スタイリング会社の Design Research Associates を買収した。エンジニアの一人である Neil Ridley によれば、スタイリングとエンジニアリングを統合する能力は、コンサルタント業界では稀である。これは、エンジニアリング構造物として機能する、あっと言わせるようなデザインを生み出すことができることを意味する。社内のリソースとは異なるアイデアを持っているため、クライアントはわれわれを使う。われわれは早期の実現可能性に特に強い。製造企業はアイデアを先に進める価値があるかどうかを知るために、われわれの所に来ている。

Ridley は、この技術により、典型的な新製品開発プログラムの時間が約 6 ヶ月短縮されたと推定している。しかし、いくつかのシナリオは複雑すぎて、要求される精度でコンピュータでは確実にシミュレーションできない。新たな開発努力は、エアバッグを、必要なときにのみ展開するようにする、エアバッグ感知などの用途に焦点を当てている。はまりそうな砂利の中へ自動車を運転してゆくとか、あるいは中に荷を載せたショッピングカートを押し込んでゆくなど、約 50 の異なる状況で物理的試験をしなければならない。たとえ優れたモデリングソフトがあっても、これはコンピュータ上で再現するのは困難である。Ridley の目的は、メーカーが物理的プロトタイプを完全に不要にできる段階に到達することである。これは、開発プログラムの時間をさらに 6 ヶ月短縮して、28 ヶ月～30 ヶ月にできると述べている。

われわれは、スタイリストから図面を受け取って、衝撃吸収力と剛性のために利用可能容量を見て、空間が構造的に機能するかどうか、あるいは車体の形のなにかを変更しなければならないかどうかを素早く判断することができる。

これは、開発コストを相殺しなければならない生産量を減少させる可能性の高い、プラットフォームの変更を基にした、ニッチ市場向けの自動車デザインに移行しているメーカーにとって、特に魅力的である (第 6 章の自動車生産の検討を参照)。

Arup の Automotive Design Group は、West Midlands (イギリス)、Detroit (米国)、および日本の 3 つの伝統ある自動車産業の中心地に拠点を置き約 140 人のスタッフを雇用している。この仕事から生じる結果には、非攻撃的なフロントエンドの形状、展開可能なボンネット、押しつぶせるヘッドライト、より柔らかいバンパー、壊れやすいボンネットヒンジおよびラッチ、折りたたみ可能なフロントグリルなどような、新しい車両および歩行者の安全性の開発を含んでおり、それらの多くは、新しい材料の配列から製造される。Arup のエンジニアは IvT を使用して、これらの衝撃試験を非常に高い精度でシミュレー

シオンする。Shah によれば：

新しい車両を設計することは、多くの妥協を伴う複雑なエンジニアリング作業である。自動車設計のより多くの分野でコンピュータモデリングを使用できるという事実は、典型的に 4 年の開発プログラムを今や 3 年に圧縮できることを意味している。

火災時の安全性を試す

2001 年 9 月 11 日のニューヨークでの恐ろしい出来事の分析の中で、世界貿易センターのエレベータと階段のデザインの欠陥からくる人命の喪失に関する有益な情報がある。ノースタワーでは、推定 1,360 人が衝突された場所で死亡した。ハイジャックされた航空機は、全ての階段とリフトが位置していた建物の中央コアを破壊し、上階にいる人は逃げ道がなく残された。サウスタワーでは、一つの階段を除いてすべてが破壊された。階段「A」は損傷なく残され、18 人が避難のために降りていった。さらに 600 人がサウスタワーの衝突場所の上階で死亡した。

かつては世界で最も高いビルであった、ツインタワーの巨大な高さ（1,360 フィート以上）は、ニューヨークの猛烈な風に対処するために特別な耐力を必要とした。設計には、建物の周辺部のメッシュ構造と、エレベータと階段の中心コアが含まれていた。中心コアは、人々が建物のすべての階にすばやく移動できるように作られた。設計は 3 つの別々のエレベータシステムで行われました。高速ノンストップエレベータは空中ロビーにつながっていた。そこでは、人々は行き先の階に頻繁に来るエレベータに都合よく乗り換えられた。

建物の設計者は、航空機が建物に衝突する可能性があると考えていた。しかし、彼らは当時どこにでもあったボーイング 707 の衝突を推定し、そのような衝突でも建物が存続できると考えた。ツインタワーに衝突した航空機は、もっと大きく、さらに速いボーイング 737 であった。設計者は、床支持体を座屈させ、建物を支持するメッシュ構造の崩壊を招いた、航空機燃料の燃焼の影響を考慮していなかった。

衝突ゾーンと上階で死亡した人々の惨事に加えて、ツインタワーズの階段の渋滞が多くの死亡者を引き起こしたとも考えられている。人々は建物からただちに避難することができなかったため、衝突した下の階で命を失った。人命のさらなる喪失は、逃げようとしている人々の流れに逆らって、階段を登らなければならなかったため、消防士が建物の現場階に到着することができなかったことによって引き起こされた。

高層ビルの将来の危機でそのような人命の損失を最小限に抑えられるようにするため、IVT は建築やエンジニアリング、特に Arup のような企業で使用されている。シミュレーション技術は、さまざまな種類の飛行体の衝突と、火災における個人や群衆の行動を容易にモデル化することができる。金属や材料の挙動とその設計構成は、物理的プロトタイプなしで応力をテストすることができる。利便性と経済性を損なうことなく建築物をより安全で回復力あるものにするために、世界貿易センターの建築家や構造エンジニアが利用できなかった技術を使用して、Arup のような企業で今できることがたくさんある。

Arup Fire

Arup Fire は、5 か国の 11 か所にオフィスを持つ 200 人以上のエンジニアのグループである。それは、火災モデリング、脱出と避難、火災検知と警報、火災戦略、煙モデリングを含む火災エンジニアリングのサービスを専門としている。

Arup Fire は 1998 年にロンドンに 4 名の専門エンジニアを雇用して設立された。もともと、Arup の部門には火災エンジニアリングがあったが、新しい市場機会の出現と同社の多角化戦略に従って、独立した専門事業部を設置することになった。Arup Fire の創設は、火災グループの拡大計画を策定した、Peter Bressington によって率いられた。Arup Fire はすぐに拡大した。2000 年には、ロンドンで約 20 人のエンジニアが働き、マンチェスター、ニューヨーク、香港、オーストラリアにもオフィスがオープンした。

Arup Fire は Arup の他の部門と密接に連携しており、社内プロジェクトが実施された業務のほぼ 60% を占めている。Arup Fire が実施する外部と内部の仕事の比率は、社内での役割についての独自の視点から形成されている。Blessington は、火災エンジニアリングを、他のプロジェクトとセットにすることにより、サービス提供の価値を高めることができると考えている。これにより、Arup エンジニアリングの他の分野でも、より革新的なソリューションを見つけることが可能になった、というのも Arup Fire のエンジニアの専門知識を引き出すことができるからである。

Arup の火災エンジニアリングの成長は、英国などで火災に関する規制方法の変化に密接に関連している。1990 年代後半のイギリスで、規範規定規制から性能規定規制への移行があった。古い規制モデルでは、火災エンジニアリングが業務として開発する機会は限られていた。火災エンジニアリングは建築家の責任であり、建築物への出入口に関する法令の要件を踏まえて設計されていた。しかし、性能規定規制への移行に伴い、規範規定に関係なく設計することが可能になり、建築家、エンジニア、およびそのクライアントが利用できるデザインの柔軟性が大幅に向上した。性能規定基準に基づいて、設計者が高いレベルの火災安全性を提供しているのを設計者が証明できる場合、その設計は地元の防火規制当局によって承認されることになる。Bressington は次のように述べている。

規範的規定の耐燃性にすることはできない、これらの極端な事象を設計することは不可能である、代わりに、具体的なシナリオを検討することにする。緊急時に人がエレベーターからどのように逃げることができるかに焦点を当てるなど、建物のパフォーマンスをよりよく理解することは、単純に規定を変更するよりもビル安全性に大きな影響を与える。

新しい建物の承認を得るプロセスに不可欠なことは、建物の占有者だけでなく救急サービス担当者にとっても安全な設計であることを防火および消防職員に確信させることである。設計の承認を得るには、設計者と地域の建築許可と消防当局との打ち合わせが必要である。

Arup Fire のエンジニアは、設計の安全性を実証するために、複数のシミュレーションおよびモデリング

ツールを使用している。Blessington は、「火災が起こった後に何が起こったのかを分析する方法ではなく、先制攻撃型設計ツールとしてモデリングを使用している」と述べている。シミュレーションツールを使用すると、シナリオがより現実的になり、出口の配置と人の流れを分析する非常に明快な方法である。

Evac 避難モデル

多くの Arup Fire の業務は、高層ビルの火災の危険性に焦点を当てているが、可能な限り早く多くの人々を火災の建物から避難させることが目標である。高層ビルでの脱出は非常に困難で、建物を離れようとする人々と、火災の高い階に入ろうとする救急隊員が、階段がいっぱいになることがある。高層階から階段を降りると時間がかかり、危険であり、しかも障害者は緊急時に 40 階もの階段を下りることができない可能性がある。高層階の人々は、しばしば階段を使うために列に並ぶ必要がある。

Arup Fire のエンジニアは、エレベーターを使用することで、高層ビルの非常脱出口問題の根本的な解決策を考案した。エレベータシャフトを加圧することで、煙や火を吹き飛ばしてエレベータで脱出する手段を提供することができる。エレベータ避難方策の開発の重要な部分は、高層ビルの人々の移動のシミュレーションモデルの使用である。これらのモデルの 1 つは Evac である。それは、各階の人数と、時間の経過とともに建物内をどのように移動するのかを示している。モデルはまた、避難の前にこれらの人々が集まるかどうかを示している。このシミュレーションは、「火災の場合、エレベーターを使わない」、そしていくつかの悪名高い火災で人々を首尾よく避難させるためにエレベーターが全く役に立たないという長く染み込まされた教訓を克服するために不可欠である、

2001 年 9 月 11 日以降、ロンドンの高層ビルの住民の多くは安全と避難を心配していた。Arup Fire には、HSBC Canary Wharf タワーの施設管理者から、その火災方策を調べ、適切かどうかを判断してほしいと話をもち掛けてきた。Arup Fire のエンジニアは、この建物の開発に深く関わっており、火災方策を立てていたが、クライアントは現在も、建物は安全であるという保証を求めている。Evack モデルを使用して、Arup のエンジニアは HSBC タワーを検討した。彼らはそのモデルを使って建物のさまざまな可能性を考え、模擬演習し、人々が階段を通して建物から歩いて出て行くという伝統的な戦略に従えば、建物からすべての人を避難させるのに 22 分かかっていた。対照的に、エレベーターを使用した場合、すべての人が 12 分で建物から避難することができる。エレベーター方策の利点は、障害者が建物から同時に脱出できるようにし、個人および雇用者にとって危険が少なくすることで高層ビルで障害者を雇用させることである。

火災戦略におけるエレベータの使用は、新しい建物の設計に著しい影響を与えている。高層階で働いている人には、火災などの際にエレベーター前のロビーに集まるよう勧められているため、建物のフロアプランでは、ロビーに多数の人が収容されなければならない。それにまた建物からの避難のために、エレベータは適切な階に到着しなければならない。Evac モデルにより、Arup Fire のエンジニアは、ロビーと階段のサイズ、スピード、エレベータの数、エレベータが避難するのを待っている人々の行動など、さ

さまざまなデザイン選択肢でシミュレーションすることができる。これらの可能性のそれぞれは、極端な事象の経験と、火災時の人々の行動や材料に関する深い知識を持つエンジニアによって開発されている。高層ビルからの避難のエレベーター方策は単に技術を変えるだけでは済まない。建物内で働く職員にはかなりの再訓練が必要である。エレベータが火災の際に生き残るための鍵になりえることを人々に教える必要がある。

火災と構造

火災は必ずしも建物の鉄骨構造を損なうとは限らない。鉄骨は建築用に非常に頑丈な材料であり、その使用は商業ビルを支配している。鋼製骨組は、多くの場合曲がるが、長い火災の場合でも構造的完全性は維持する、しかし最近まで火災と鉄骨構造の関係はあまり理解されていなかった。その結果、英国の従来の方策では、建物内のすべての鋼製骨組を難燃性材料で被覆することが行われた。これは、通常は現場で行われる非常に高価で時間のかかる作業である。鋼構造の従来試験では、材料がどの温度で不安定になったかを見るために溶融するまで部材を加熱していた。この方策は、建物の統合された構造との関連で構成部材の位置を特定して行うものではなく、その背後にある理論は、構造要素が耐火被覆されなくても、極端な火災の後でも多くの建物がなぜ立っているかを説明することができない。

新世代の構造モデリングを使用して、Arup Fire のエンジニアは、異なる鋼製部材が互いにどのように相互作用し、構造の強度を形成するかを考慮した設計アプローチを開発し始めた。このアプローチは、Arup Fire の大学との研究協力の 1 つで、エジンバラ大学の Ph.D が共同監督した。建物の平面とデザインが決まると、モデリングが開始される。Arup Fire のエンジニアは、構造物の梁、スラブの寸法を含む、建物の構造を表すデジタルメッシュを設定する。

このモデルは建物の 3D 画像を提供します。このツールの能力は視覚化に限定されたものではなく、エンジニアが様々な火災発生時での構造内のたわみや力をシミュレートすることもできる。「構造がどのように振る舞い、火災のために弱っているのか弱っていないのかを見ることができる。」このモデルにより、Arup Fire のエンジニアは、火災時に建物を保護する新しい方法について考えることができる。

あるプロジェクトでは、例えば、Arup Fire チームは、どの梁を保護する必要がある、建物の構造的安定性に害を及ぼさずに保護せずにすることができるかを示すことで、モデルを使用して鋼製梁の保護のための設計方策を変更することができた。鉄鋼のすべてを保護する必要性を無くすことで、チームは建設コストを 250,000 ポンド削減し、建設プロセスにおける現場で必要な時間を短縮した。

このモデルは保険会社にとっても非常に有益であり、建物に対する方針をより正確に作ることができる。保険会社は、局所的な小さな火災の影響に関心があり、こうしたケースについて Arup Fire チームに構造に関しての小さな火災の影響を調査するよう依頼した。このモデルは、ほとんどまたは全く影響がないことを示した。これにより、建物自体に小さな火災が発生した場合でも、火災後に構造用鋼材のすべてを取り除く必要がなくなる。保険会社は、火災後の損害賠償費用の見積もりを再検討することができる。

このモデルは視覚的にも洗練されており、クライアントや規制当局にも魅力的なものである。Arup の Advanced Technology Group と協力して、Arup Fire チームは視覚的に洗練されたモデルを開発している。Arup Fire のモデルを使用するにはかなりのスキルが必要である。一人のエンジニアは、次のように述べている。「FEA モデルを使用するのはスムーズでなければならないでしょう。それを行うには、経験豊富なモデラーでなければなりません。」IvT の使用には、広範で新しいスキルが必要であり、エンジニアやデザイナーにとって、この技術の意義については、以降の節で説明する。

モデルの開発における重要な要素は、規制当局とのやりとり、消防隊員、顧客、保険会社との打ち合わせで、彼らが何をやろうとしているかを話し合うことであった。火災規制当局は、規範的基準に基づかない設計には慎重で警戒しがちである。規制当局は、火災エンジニアリングの標準言語である表と図の情報を見るのに慣れていて、当局からの新しいモデルの支持を得るには、長い一連のミーティングとプレゼンテーションが必要であった。ロンドン市は 10 人の地区技監を送り、Arup Fire チームにモデルについての質問をした。彼らはモデルの背後にある概念とその仕組みを精査した。Arup の 1 人の火災エンジニアは、「それは Ph.D.の口頭試問よりもたちが悪かった」と言った。規制当局はまた、英国の大学に重複的審査のためにその火災計画を送った。

STEPS モデル

Arup の火災エンジニアである Nicole Hoffman は、火災避難シミュレーションモデルの開発に貢献している。大学を卒業後、火災モデリングに関する学術研究の数年の経験を積んだ後、Hoffman は 1996 年に民間企業に入った。彼女は、鉄道の換気とトンネルや鉄道駅での火災のシミュレーションに注力している Mott MacDonald のシミュレーショングループで働き始めた。Hoffman は、一時的な避難と歩行者の動きをシミュレートするモデル (STEPS) = 建物の中での人の動きの 3D モデル、の開発における主任エンジニアであった。STEPS はもともと Arup の競争相手 Mott MacDonald によって開発されたが、Arup Fire が使用する最も重要なシミュレーションツールの 1 つになっている。

建物内の人の動きのそれ以前のモデルは、未完成のツールでしであった。それらは人々が直線的に歩くと仮定したもので、Hoffman は、人々が他の人を追い越すの許さず、すべての人々が同じスピードで動くものであったと述べている。モデルでは、エンジニアは建物を出るために人がどこに向くのかを指定する。Hoffman はこのアプローチが不十分なもので、熟考したエンジニアならばより良くできると思っていた。数学での彼女の背景を使って、彼女はそれを論理問題として取り扱い、個々の行動主の決定の順序について考え、何ができるかの長期ビジョンを作成した。彼女はまた、フロアプランをプリントし、煙がどこで動いていたのかを知るために、「無感覚な小さな線」を描くことに疲れていた。

STEPS は、正常状態と緊急状態の両方で、人の動きをモデル化する。建物の中の人々の動きをリアルタイムで 3D シミュレーションし、簡単に理解できるグラフィカルな形で表示する。これにより、結果は

「専門家でもデザイナーでなくても」理解され、さまざまな緊急時の避難経路や計時変化のテストだけでなく、自然発生的なボトルネックや優先出口の確認に役立つ。STEPS は、建築基準規則に基づく設計と比較して検証され、推奨される方法および基準規則に従った避難および移動時間を計算することができる。同時に、高度な視覚化技術は、「設計のより直接的な最適化を可能にする、はるかに直感的なレベルでの人々の行動情報へのユーザーアクセス」を提供する。

Arup Fire は、2006 年冬季オリンピックのためのトリノ・アイスホッケー・スタジアムの設計と開発に STEPS を使用した。このケースでは、火災エンジニアは、建物のさまざまな用途によって、火災時の人々の行動がいかに形成されるかについて考える必要があった。STEPS モデルでは、行動主は個人として行動するが、ホッケーゲームのような大きな公的なイベントは社会的イベントであり、多くの家族や友人のグループが一緒に行動する。Arup Fire は、このグループの動きが建物の設計に与える影響を探った。彼らは、集団的行動が、緊急事態の際に人々が建物を出る方法を大きく変え、建物の火災方策がそれに応じて対応する必要があることを発見した。Mott MacDonald と提携して、彼らはグループの動きのための新しい機能を STEPS に作ることができた。このモデルを使用して、出口ドアの形状変更、階段の位置の変更など、建築家の設計に多くの変更が行われた。

エンジニアは、AutoCAD ファイルなどのさまざまな設計ツールからモデルに幾何学的データをインポートし、建物に存在する人々の特徴を明示する。このモデルでは、建物内の人の数、幅、奥行き、高さなどの特徴づけが可能になり、エンジニアは建物内の人の忍耐力、歩行速度、親密度を明示して、緊急事態と通常の状況の両方で建物内に存在する人の行動方法をより現実的に説明する。このモデルは 3D フライスルー（設計中の建造物などの疑似的な空間の中を、自由に飛び回る疑似体験をする技術）を提供し、エンジニアは建物の横断面および時間の両方で瞬間写真を見ることができる。

シミュレーションと規制

モデルは、その使用が法規制当局に容認されている場合にのみ、その可能性を最大限に引き出すことができる。当局と設計者との会話の性質は STEPS で変わった。当局が、人々が空間の中をた移動するのを見て、それは彼らのための「啓示」であったと、Hoffman は言っている。いくつかの初期のプロジェクトにおいては、火災当局はモデルの周りに集まって見ていたが、役に立たないものであるとわかると、彼らの失望は明白なものであった。Hoffman にとって、これはモデルの重要な側面である。それは「非常に多くの情報を伝え、うんざりするような計算を生き生きとしたアイデアに持ち上げる」。このシミュレーションにより、人々は退屈な 2D プロットから解放され、煙がどのように動くかを大げさに説明する。

「今、彼らはテクニカラーと動きのあるアニメーションでそれを見ることができる。それはずっと強力なものである。」このモデルは、「コンピュータゲーム感覚で模擬体験する」という人々の考えに基づいている。Hoffman にとって、この遊び心と退屈なデータの視覚化は常にモデルの中心にあった。

省察

Arup は、IvT が技術基盤の多角化を促進する方法の例を提供している。いくつかの点で、Arup は、音響、照明、暖房、人の移動などの建物や構造の新しいシミュレーションの開発のための「ソフトウェアハウス」になっている。この技術の豊富な専門知識を活用して、他のビジネスの構築を支援するだけでなく、IvT の一部をビジネスとして活用している。Arup は、社内ソフトウェア開発能力の成長から生まれた、Oasys と呼ばれる新しいビジネスを開始した。これは、コンピュータ支援設計ツール、ドキュメント管理ソフトウェア、構造および地盤解析ツール、FEA パッケージなど、設計のためのさまざまな種類のソフトウェア・スイートを提供している。専門的なシミュレーションは、他の専門的なシミュレーションと関係されている。

Arup の専門知識は幅広い分野で使用できるが、ここでの検討の多くは惨事に焦点を当てている。残念なことに、エンジニア、クライアント、保険会社が考えなければならない非常事がなくなることはない。Arup の取締役の Faith Wainwright (2003) によれば、仮想モデリングは、非常時や極端な環境での生命の安全に関する複雑な現象を理解するために使用される。これらには、次のようなものがある。

- 橋の支柱にタンカーが衝突。
- 橋のパラペットへの車両の衝突（衝突モデルには、エアバッグの起動と乗客への影響が含まれる）。
- 街路への高架橋の崩壊。
- 石油掘削プラットフォーム支柱に対する氷山の衝突。
- 上層階の災害により瓦礫が落下して建物の床がオーバーロードになる。
- 建物内への有毒ガスの拡散の分析。

将来の事故や事象を正確に定義することはできないため、エンジニアはさまざまなシナリオを探索する必要がある。モデリング技術は、エンジニアが必須な「もし何々だったら」という質問をし、平常時だけでなく異常時にも役に立つ答えを提供するのを助ける。

火災エンジニアリングでのモデルの使用は、エンジニアによって必要とされる（または保持すべき）スキルを変えた。Hoffman はモデルに高度に熟練した運用者が必要だと述べている。最初は、研究分野からモデルが出てきた。これを使用する人は、それらの働き方をよく理解していた。しかし、それらがより広く使用されるようになると、標準化され、既製品になった。誰でもそれらを購入して使用することができ、彼女の意見では、経験の浅いユーザーがモデルを誤用し、第一印象になるかもしれないが、誤解を招く可能性がある結果を生む危険性がある。運用者がモデルについての深い知識が不足しているので、間違いをしたことさえ気付かないかもしれない（第 5 章のピサの斜塔のケースでの検討を参照）。

Hoffman は、CFD モデリングは非常に熟練を必要とする仕事であると述べている。「非常にたくさんを知っている必要がある。より洗練されたモデルになればなるほど、モデルの背景をより理解する

必要がある。」モデル自体はかなり堅牢で、仕事を楽にしているように見えるが、彼女は訓練を受けていない人にこの仕事を与えることはできないと述べている。Hoffman は自動車整備士の例えを用いた。「あなたが車を整備にもって行くとき、それが無事に戻ってくるかを知りたいと思っている。」未熟な運用者は、数字の基礎となるより深いパターンを見ることができない。彼らは間違いを見ることはできない。Hoffman にとって、数字は語っている。彼女は次のように言っている。

あなたが画像を見たとする、コンピュータグラフィックスはすでに数字を翻訳したものである。あなたはすでに一定量の情報を失っている。あなたは数字を知る必要がある。あなたが間違った場所に小数点を入れると、すべてが間違った方向に行くことになる。方程式は入力データに対して非常に敏感である。あなたは突然、モデルを無意味な答えである別の方向に拍車をかけることができる。

3.4 結論

この章では、2つの非常に異なるタイプの企業、すなわちコンシューマ向け製品とプロフェッショナルサービスにおけるイノベーションの強化と IVT とについて述べてきた。どちらのケースでも、IVT はイノベーション戦略とその全体的な戦略開発を支援するのに役立っている。

P&G の場合、IVT を使用することで、外部ソースや技術市場への受容性を高める戦略を支援している。IVT は、情報交換と知識検索とコンテンツ表示を通して、さまざまな実践コミュニティを統合するのに役立っている。また、新製品開発活動への消費者のフィードバックを、新しい方法で迅速かつ安価かつ徹底的に支援した。

Arup では、IVT は、従業員のグループが会社の多角化戦略に従って新しい事業を立ち上げる機会を作り出した。また、複雑なものをわかりやすく表現する能力を活用して、とりわけ規制当局における、様々な重要な役割の関係者の情報を統合するのに役立っている。両社とも、IVT はコストを削減し、イノベーションのスピードを向上させた。

この技術は、競争戦略の実現と新製品開発のより運用的なマネジメントにおいて強力なツールとなっているが、両社は積極的な知識と専門知識の導入を重視し続けている。P&G の Technology Entrepreneurs、Arup の高度な経験を持つ R&D グループの専門家ネットワークは、知識と経験を組織のある部分から別の部分に移すために存在している。長年の経験を基に構築されたこれらの体系化されたスキルの重要性は、「デジタル的に探索し、物理的に確認する」、Hoffman のケースとマネージャーの実践で示されている。

どちらのケースも、イノベーションにおける技術的变化と同様に組織的および文化的変化を考慮することの重要性を強調している。イノベーションでは技術と組織が共存している。それらは表裏一体である。

4 「考える (Think)」

4.1 はじめに

Galileo が彼の望遠鏡を空に向けた時、彼は科学の発展と科学機器の関係の豊かな歴史の一部となった。この章では、科学とエンジニアリング的思考との関係を探りながら、道具や科学インフラの新しい形態としての IvT の役割を検討する。IvT は、費用対効果の高い迅速な方法でイノベーションを創造する新しい方法で、アイデアを探究し、新たな種類での実験を行い、考えることができる道具を科学者、エンジニア、研究者に提供する。IvT は、企業が利用できる技術的選択肢の多様性を高める。知識の共同生産を促進し、より包括的な方法で知識を表現する能力により、IvT は科学とイノベーターをより緊密に結びつける。

この章では、思考を増大させる幅広い文脈について検討する。拡張された教育と研究システム、広範な国際化とコラボレーションの両方が、イノベーションについて考える機会を増やしている。この章では、モデリング、シミュレーション、データ検索とデータマイニング、バーチャルリアリティ、人工知能など、IvT のアプリケーションから生じる強化を分析する。ここでは IvT が実験や問題解決活動において著しい節約と高い的確さを生むことができると論じている。この章では、学際および組織の境界を越えたアイデアの表現と思考を支援し、イノベーションの機会をさらに生み出す、研究のための共通のプラットフォームをこの技術が提供する方法を述べている。私たちの見解では、科学、エンジニアリング、イノベーションは、IvT の開発アプリケーションによってますます関係されている。それはまた、膨大な量のデータを生み出し、創造的に使用することになり、その管理と解釈に洗練された新しい思考が要求される。この思考はコンピュータの能力に刻まれた情報によって助けられるが、人間の知識と洞察力、直感、そして意外性に基づいて構築されたスキルに依存している。

この章では、主に科学と研究の関連で思考に触れることにする。しかし、思考はイノベーションのプロセス全体を通して起こる。私たちは思考 (thinking)、試す (playing)、そして実行 (doing) の連続的な進行を示唆していないが、同時に起こることはあるが、。しかし企業や個人の努力はいつでも 1 つの活動に特に集中しがちである。

4.2 計装

科学的思考は新しい道具を生みだし、さらなる発展のためにその使用に依存している。コンピュータである解析機関を設計した Babbage の夢は科学への応用であった。彼が 1832 年に次のように書いている。

分析の開発と運用の全ては、今や機械によって実行されることができ.....解析機関が現れるとすぐに、それは必ずや将来の科学の進路を導くことになる。(Babbage 1989)

科学機器の歴史家である Crump (2001) にとって、それは絶えず人類の創造性と科学のフロンティアを広げてきた、科学的ツールの設計と生産である。彼は、16 世紀と 17 世紀の「新しい科学」は、主としてそのために利用できる機器、特に望遠鏡と顕微鏡により成功したと述べている。その後の科学の歴史は、温度計や化学天秤、分光器、真空ポンプと X 線、粒子計数器や加速器、半導体、マイクロプロセッサなどの計測器の開発に関連していると彼は主張している。彼が「精密科学」(すなわち物理学)と呼ぶ例を用いて、これらの発展の速度は仮説を探るために必要な「機器」に関連していると述べている。物理学者は、事実が理論に合致するのを知りたいと思っている...実験と観測で確認するには...機器はより洗練され革新的になり、測定と計数の正確さは重要となる (Crump 2001 : xvii)。

これらの機器やツールが科学的、工学的に思考に主要なインプットを提供したのと同様に、最も重要な成果の 1 つを提供している。現時点では、コンピュータ、ワールドワイドウェブ、レーザーはすべて科学者が研究上の問題に答えるのを助けるために開発された。確かに、公的資金による研究の主な利点の 1 つは、新しい計測器の創り出すことであった (Salter and Martin 2001)。

利用可能な機器の使用は、実験的および理論的科学の両方の行為に大きな影響を与えるため、機器の開発と新しい思考の間には多くの相互依存関係が存在する。Einstein は、スイスの特許職員として、相対性理論の進展とともに実際に思考できる、分散電氣的時間信号と電気時計との特許出願の審査に深く関わっていた。Galison が述べているように、科学の発展において、哲学的思索と技術的発明は密接に関連している。

新しい機器はその世界をさまざまな角度から見える、新しい方法を作り出す。例えば電子顕微鏡は、ナノテクノロジーの原子を「見る」ことができる (Jones 2004)。King's College London の Rosalind Franklin と Maurice Wilkins による X 線結晶解析の開発と使用は、Crick と Watson による DNA 構造の発見に大きな役割を果たした。1953 年 1 月、Wilkins は King's College を訪れていた時、Watson への黒い反射のくっきりした十字を伴った、Franklin 監督の有名な映画 Photograph 51 に出てくる光景を何気なく見てしまった。1953 年 2 月、Max Perutz は Cavendish 研究所で、Watson と Crick に、Franklin の映画にあるようなものを含め、すべての主要研究者の研究をまとめた Medical Research Council (医学研究評議会) の報告書のコピーを見せてくれた。Crick と Watson が DNA の二重らせん構造に導いた重要な洞察を得ることができたのは、これらの新しい機器での実験の結果を見た後であった (Watson 1968, 2004; Maddox 2002)。

この分野におけるノーベル物理学賞を受賞した Robert Townes は、レーザーの開発の歴史において、レーザーの理論と実践がどのように両立して発展したかを述べている。彼は Bell 研究所で基礎研究を行うために、軍事用レーダー機器を使った経験と、その時の他の研究所が安価な軍事研究用科学機器をどのように利用していたかについて説明している。Townes は、ニューヨーク南部の露天商からいくつかのク

ライストロン（マイクロ波用真空管）を購入し、分子分光法の研究にいかに関与したかを書いている。機器に対する彼の戦時経験は、科学者としての彼のその後の展開に不可欠であった。戦時下の回り道は、レーダーに使用されているクライストロン・マグネートロンなどの電磁気発生器と、実用的なエンジニアリング技術を使って、エレクトロニクスに関する豊かで重要な経験を私に与えてくれた。(Townes 1999: 48)

この見習いの期間は、科学者としての彼の発展のために重要であった。「機器を使って賢くなり、測定を経験するには時間がかかる」(Townes, 1999: 48)。この引用は、IVT が科学、エンジニアリング、イノベーションの発展に及ぼす影響について多くを示している。Crump は、機器の重要性、特に実験の正確さや確かさへの貢献についてのヒント分析では正しいと思われるが、研究進歩との関係は彼が示唆しているよりはるかに再帰的である。複雑な繰り返しと、計装に包含された「符号 (code)」と、理論家の暗黙知の技 (craft) と、長い見習いによってもたらされた科学者の経験との組み合わせであり、進歩を導くものである。この技術は、理論と方法に熟練し、同種の訓練を理解し、側面的に考えることができる思考家によって使用される必要がある。

IVT が創造的思考を支援する方法は、皮膚科学における国際的・継続的な共同研究プロジェクトに関する以下の簡潔な論考の中で要約化されている。

Box 4.1 国際的な共同思考：皮膚科学

2 人の科学者、Colorado School of Mines の Annette Bunge 教授、そして Leeds University School of Computing の Martin Berzins 教授は、趣味のロッククライミングを楽しんでいた。Bunge の専門性は、岩石を通る石油の流れのシミュレーションである。Berzins の専門性は、クラゲの進化から機械の歯車や歯車の歯の変形まで、さまざまなシステムの表現のための数値シミュレーションを記述することである。彼らは、そのスキルを組み合わせ、化学物質が人間の皮膚にどのように浸透しているかを研究し、既存のモデルではしばしば欠けている微視的な細部を考慮した皮膚のモデルを開発することができることに気付いた。

この共同研究の利点は、農薬に見られるような化学物質の安全なレベルの評価、皮膚パッチによる新薬到達メカニズムの開発、および火傷などの皮膚外傷のより良い理解につながる可能性がある。

このコラボレーションの例では、科学分野で使用されている IVT シミュレーションおよびモデリング技法は、他の分野に移転され、共有され、理解と創造性の共有のための手段を提供することができる。遠く離れた研究者間のコミュニケーションは、データや情報を迅速かつ安価に、安全に（この場合は国境を越えて）転送するためのインフラストラクチャと、より効果的なデータ検索と管理を提供するソフトウェアによって支援される。皮膚浸透研究のためのウェブサイトが、最近開発された。

皮膚科学の簡潔な例は、IVT が科学研究とその実施で思考がどのように影響を及ぼすかを示している。

第1章で述べたように、IVTは、新しい科学、エンジニアリング、製品、いろいろなサービスの開発に必要な革新的な思考の実行に貢献することができる。これには、次のような特に重要な貢献が含まれている。

- このデータの処理に関する高度な検索や発掘ツールやサービスを駆使した研究によって、潜在的に有益なデータの大幅な増加を創造的に利用。
- 正確な実験とテストを支援する洗練された安価なモデリングとシミュレーション技術の開発。
- データが分析できるよりも速く生成されるため、科学とエンジニアリング分野で特に重要である、実験と問題解決のスピードを上げる。
- 知識を表現する能力を広く理解しやすく、より容易に移転できるように改善し、より良い学際的研究を可能にする。情報の表現の改善は、（例えば、ヒートマップなど）結果の視覚的表示および変化するパターンの分析に役立ち、人々を支援するように設計されたソフトウェアに依存する。
- ICTインフラストラクチャを通じて価値を付加する能力を高め、オープンソースやLinuxなどの一般的なプラットフォームやプロトコルでより効果的なコラボレーションを実現する。

強力なコンピュータと高度なグラフィカルインターフェイスでのIVTは、研究者が非常に複雑な物理現象を理解するのを助け、重要で新しい科学主導型イノベーションの基盤を提供している。

4.3 研究と教育の拡大

世界中の研究と教育で行われた大規模な投資は、科学的、エンジニアリング的思考の急速かつ歴史的に比類のない拡大をもたらした。教育制度は現在、国際性と開放性が高く、各国の学生、学者、研究者の流れが可能になっている。新しい研究システムはまた、国際的であり、ますます協力的であり、国家と機関間、および公共部門と民間部門との間で非常に競争が激しい。これらの変化は、思考活動の範囲と大きさに深く影響を与え、特に、潜在的な貢献者の規模と範囲を分散型イノベーションプロセスにまで広げていく。

教育

1970年から現在に至るまで、世界中の科学とエンジニアリング能力の伸びはこれまでにないものである。中国や他のアジア諸国の経済社会的変化に伴い、1970年代から10年ごとに科学者と技術者の数が倍増している。先進工業国にあっても、最近の科学技術の発展はかなりのものであった。1975年、39,800人の工学系学生が米国の大学を卒業した。1998年までに、この数は60,900に増加した。中国、インド、

日本、台湾、韓国を含むアジアでは、科学技術の発展は爆発的なものであった。1975 年、アジアで 92,780 人の大学院エンジニアが生まれた。1998 年までに、この数字は 372,900 に増加した。これらの成長パターンは、自然科学と社会科学の両方で一貫している (NSB 2002)。

博士課程のレベルでも、科学技術力の大幅な向上が見られる。英国、米国、フランス、ドイツで仕上げられた理工系博士論文の総数は、1975 年の 27,400 件から 1998 年の 54,900 件に倍増した (NSB 2002)。アジア諸国のうち、博士号の伸びはさらに劇的であった。1982 年には、中国では 13 人にしか博士号が授与されなかった。1999 年には 10,200 が授与された。韓国では博士号の授与が 1975 年の 557 件から 1998 年の 5,600 年に増大した。日本は博士号の数が 1975 年の 4,800 件から 1998 年の 14,000 件に急増した。

教育システムは、学生の源泉という意味でますます国際化されてきている。1999/2000 年に米国の大学に留学した留学生は 514,700 人を超え、うち 54,466 人が中国からやって来た。同じ年に米国の外国人大学院生の総数は 225,400 人であった。英国にはオランダ、フランス、オーストラリア、カナダも多く、外国人留学生を受け入れている。これらの学生の多くは、教育を受けた国に一時的または恒久的に居住することを選択している。多くの先進工業国では、大学で勉強している外国人の移民政策が歓迎されより柔軟になっている。米国は博士号取得者に滞在許可を与えている。米国で勉強している外国人の 70% 近くが、教育を終えてそこにとどまる予定である。NSB 2002)。英国では、政府は教育を終えた後に留学生の入国を許可するよう、移民規則を緩めるよう努めている。シンガポールでは、中国からの留学生は、教育を受けてから 5 年間滞在するよう求められている。これらの科学者とエンジニアの多くは、最終的に教育を受けた（そして働いているかもしれない）国々から帰国したときに、自国に移転することになる重要なスキルを持っている。

労働力での科学とエンジニアリング

労働力におけるシェアの増加は、科学と工学の活動と関わっている。1999 年には、米国で科学技術職に就いている科学者は 210 万人、エンジニアは 140 万人であった。米国の労働力全体で雇用された 1300 万人の熟練した科学者とエンジニアがおり、そのうち 48 万人が博士号を持っていた (NSB 2002)。1980 年代と 1990 年代には、OECD 諸国の間で、新しい知識、製品、プロセス、方法、システムの構想や創造を含む研究に従事する労働力のシェアも増加した。1981 年には、労働力の 1.7% が研究者であった。1997 年までに、労働力に占める研究者のシェアは 3.1% に増加した (Salter ら 2000)。

R&D への総投資額

研究費支出による「思考」への投資は、経済活動の重要な部分を占めている。OECD 全体では、1993 年の研究開発費は 400 億ドルから 2001 年には実質ドル額（購買力平価、PPP）で 6,000 億ドル近くに増

加した（OECD 2004）。OECD 内では、支出は国内総生産（GDP）の 2.2%を占める。1960 年代半ば以降、投資は着実に増加しているが、1995 年から 2001 年にかけて、OECD の支出は実質的に 4.5%増加し、経済システムにおける「思考」への投資が増加している（OECD 2004）。

このような研究開発費の増加は、1990 年の 9600 億ドルから 2000 年には 2,660 億ドル（1996 年実質ドル換算）の大幅な成長を遂げた、とりわけ米国での産業投資の増加に起因している（NSB2002）。しかし、フィンランド、アイルランド、スウェーデンをはじめとするいくつかのヨーロッパ諸国でも、産業研究開発の実質的な増加が大きく見られている。同様に、韓国、台湾、シンガポールなどのアジア諸国は、研究開発への投資を拡大した（OECD 2004）。しかし、この時期には、ドイツ、フランス、英国などの西欧諸国における産業研究開発の伸びが緩やかになった。

米国や他の地域の産業資金の割合の増加は、基礎研究への投資が伴っている。1990 年に米国では、基礎研究に 5.6%の産業研究開発費が投資され、2000 年には 9.1%に増加した。大学やカレッジで行われた基礎研究への産業支援の伸びは、1990 年の 8 億 1,500 万ドルから 2000 年には 13 億ドルに増加した（NSB 2002）。このような資金調達増大は、スイスのような欧州諸国でも見られる。これらの国における基礎研究の大半は民間企業に集中している（OECD 2004）。これらの資金調達パターンは、産業イノベーションにとって重要である、公的研究開発者と民間研究開発者との相互作用のパターンが拡大していることを示している（Mansfield 1998）。

研究システム

Gibbons ら（1994）は、知識生産が、より大きなコラボレーションと学際的な研究と、「アプリケーションの文脈で」実施されている研究を伴う、新しい方法に移行していると述べている。彼らは、この新しい方法では、無関係ではないにせよ、知識生産における公的と民間の区別が曖昧になっていると述べている。公的研究と民間研究についての伝統的な見方は、公的資金研究と民間資金研究かの区別に基づいている。Pavitt（1998）は、Price（1986）の初期の見解を反映して、「基礎研究は主に基礎研究に基づいており、技術は主に技術に基づいている」と述べた。2 つの研究の違いは、それぞれの目的に関連している。公的資金による基礎研究は、現実を説明し予測するための成文化された理論とモデルを生成するように計画されているが、民間資金による研究開発は有益かつ有益なモノの設計と開発に重点を置いている（Pavitt 1998 : 795）。しかし、多くの点で、この区別は、科学技術の重複した相互作用の性質、そしてイノベーションプロセスにおける思考、模擬体験、そして実行を過小評価するという点で、あまりに単純すぎる。さらに、科学技術の統合の増加を反映して、次のように特許の論文数が増加していることには言及していない。

公的資金研究と民間資金研究の境界は、ますます曖昧になっている。公的資金による研究の中には、例えば、国防に関連するプロジェクトでは、公的に資金を提供されている研究所と同様に、民間資金による研究機関でも行われている。民間研究機関の中には、学術出版のインセンティブや、多くの場合、他の組織

の同僚と協力して、個人が知的利益を追求するためのかなりの自由がある。この種の民間機関には、ゼロックスの PARC センター (Brown と Duguid 2000; Florida 2004) や Celltech (Dodgson 1991) などのバイオテクノロジー企業などがある。民間部門の知識プロデューサーが公的部門に類似して始めたように、逆もまた起こっている。ますます、大学の研究者は、特許やスピンオフ企業だけでなく、より伝統的な学術的手段やチャネルを通じて、研究の恩恵を受けることがある (Henderson ら 1998; Lambert 2003)。このような変化は必ずしも歓迎されるものではなく、この発展は大学の貴重かつ伝統的な役割の維持に懸念を生じさせた (Bok 2003)。

Price (1963) は、研究システムが自然に拡張された結果、15～25 年ごとに学術機関誌の数が 2 倍になる傾向があることを示唆している。1950 年代以降の学術機関誌や非学術雑誌の数の伸びは驚異的であった。1900 年には、700 以上の異なる学術機関誌があった。1950 年までに 3000、1970 年までに 7000 に増加した。最近の記録年 (2000 年) には、査読された学術機関誌が 17,000 あった。同時に、非学術雑誌の普及の拡大している。1900 年には、約 1 万の雑誌がああった。1950 年と 1970 年には、それぞれ 40,000 と 85,000 に増加した。2000 年には、165,000 以上の雑誌があった (Mabe と Amin 2001)。雑誌数の長期的な増加傾向は、PC とインターネットの出現のずっと前から始まったので、まったく ICT 利用の成果ではない。研究では、研究者数と雑誌数の間に強い相関関係を示している (Mabe と Amin 2001)。ジャーナル数の増加は、イノベーションをサポートするために利用可能な科学技術思考のプールの規模が拡大していることを示している。

知識生産システムの能力の増大と、そうした思考活動の拡大の結果の 1 つは、世界的科学組織からの科学論文の総数の増加に見ることができる。May (1997) は、1981 年から 1994 年の間に、世界の科学論文の数が年間 3.7%増加し、19 年ごとに世界の科学的成果が倍増したことを見出した。1981 年から 1985 年にかけて、世界をリードする科学者達は 216 万件を超える論文を作成した。しかし、1994 年から 1998 年にかけて、論文の数は 342 万に増加し、科学的成果の量の増加を示している。こうした数字には途上国の貢献度が含まれていないことを踏まえると、出版物数の増加は、示されるよりも劇的なものになる可能性がある。論文数の増加に伴い、論文の引用数が増加している。1981 年から 1985 年までの間に、世界の主要な科学者による科学論文の引用が 740 万件あった。1994 年から 1998 年にかけて、この数字は 1570 万人に増加した (Salter ら 2001)。これは、アイデアが他の人の仕事に基づいて構築される方法の証拠であり、思考がどのように累積的に成長するかを示している。

様々な情報源からのデータは、公的部門と民間部門の両方で、研究がますます共同的そして国際的な特徴を示している。複数著者の科学論文の数は、1980 年代初頭から増加している。1981 年から 1985 年の間に、世界をリードする科学者による全科学論文の 42.3%が複数の著者であったが、1991-95 年の間の全科学論文の 58.1%は複数の著者であった (Salter ら 2001)。Smith と Katz (2000) は、1981 年から 1994 年の間に、複数の機関が関わった世界の科学的成果物の数が 33%から 50%に増加したことを示し、1994 年に英国で高等教育機関の全論文の 88%は、共同研究で、55%は複数の機関が関わっ

ている。共同研究は普及しており、すべての研究分野にわたって拡大しているように思われる。この共同作業は、仮想研究コミュニティを作成する際に技術を使用することによって支援される。

科学研究システムもますます国際化されつつある。1981年から1985年にかけて、世界の科学研究先進国の論文の20.3%が国際的な共同研究の成果であった。しかし、1991～95年の間に、国際共著論文のシェアは31%に上昇した（Salterら2001）。欧州では、1998年には、国際共著論文が全論文の30～40%を占めていた。日米両国では、共著論文の数は1980年代の6%から9%に増加し、1990年代初めには13%から16%に増加した（NSB 1998）。

企業は、研究結果の発信のために、公的な雑誌に科学論文を発表している（Hicks 1995）。1990年代半ばまでに、大企業の科学的成果は、中規模の大学の成果と一致していた。産業出版物の数が増加したのと同時に、産学共同出版物の発行数も増加した。CalvertとPatelは、英国の大学と産業界の共同出版物の数が1981年の499から2000年の1885に増加したことを見出した。共同出版物の増加は、科学のすべての分野で生じた（CalvertとPatel 2002）。全体的に、共同出版活動の増加は、大学と産業の間でますます思考が共同的になっていることを示している。

これらの関係の増加は、工業特許においても見られる。1987-94年に出版された40万件の米国特許のフロントページを調べることで、Narinら（1997）は、Science Citation Index（サイエンス・サイテーション・インデックス、略称：SCI）が対象とする4,000のジャーナルに掲載された文献に含まれている430,000件の非特許文献が特許で引用されていることがわかった。少なくとも1人以上の米国人著者がいる42,000の文献に、米国および外国からの研究支援が明記されていることが認められた。彼らの発見は、特許に引用されている科学文献の数が増えていることを示している。同じ6年間で、米国特許での学術研究の引用数は3倍になった。こうした参照は、米国の科学から米国の産業への知識の流れの有意な増加を示すように思われ、調査研究者は、産業イノベーションが学術研究にますます依存していることを示している（Mansfield 1998 参照）。米国政府機関は、これらの特許に引用された研究の資金源として頻繁に挙げられていた。Narinら（1997）は、これが公的資金研究の結果に米国産業が強く依存していることを示している。これはいくつかの分野でより重要となっている。Hicksら（2001）は、公的研究と民間イノベーションとの間の相互依存性の増大の大部分は、健康と情報技術部門に集中していることを見出した。

IVTは、アイデアや才能のプールを拡大と使用において重要な役割を果たしている。それは、ゲームやシミュレーションを使って教育や学習を根本的に変える新しい手法を、研究スキルに結び付けることができる（Foreman 2004 参照）。上記の統計値に示されているように、知識プールのサイズが大きくなるにつれて、多様化する情報源からもたらされる潜在的なイノベティブなアイデアを、吸収するための個人や組織のより大きな能力を必要とする。知識生産者の数や情報が増加すると、思考をガイドし、サポートするためのより強力な検索、データ・マイニング、視覚化ツールが必要になる。IVTを使用すると、個人はより効果的で少ない努力でシステムを検索、採掘し、目に見えるようにすることができる。

多くの事例研究によって IVT が行う思考への貢献に、今から目を向けることにする。しかし、まず、これらの新しい開発の根底にある重要な技術、すなわちグリッド技術によって促進された e サイエンスの簡潔な検討を行うことにする。

4.4 新しいインフラストラクチャ：Grid（グリッド）

World Wide Web は、ジュネーブの CERN (Hafilier and Lyon 1996; Gillies and Cailliau 2000) の調査ベースの研究での科学者間のコミュニケーションを支援する必要から生まれた。しかし、強力なコンピューティングと通信ネットワークに対する科学者のニーズは、新しい技術インフラストラクチャの開発を推進し続けている。第 2 章で述べたように、英国の Grid (グリッド) は、e サイエンスの進化する技術プラットフォームの一例である。Grid (グリッド) 技術の定義は、スーパーコンピュータ同士の接続から、パーソナルコンピュータの非稼働時間の集成的利用 (SETI @ home などの Extra Terrestrial Intelligence プロジェクトの検索など) まで一様ではない。米国では、これらのシステムはサイバーインフラストラクチャ、またはサイバーサイエンス (Nentwich 2003) として知られている。われわれが参照するグリッド技術は、英国の e-Science Core program (e サイエンス・コア・プログラム) のディレクターによって、仮想研究組織の構築を可能にするソフトウェアを含む「ミドルウェア」インフラストラクチャーとして定義されている (Hey と Trefethen 2003b)。このミドルウェアには、コンピュータ、データ、設備、人などの共有リソースが含まれている。ダイナミックな相互運用性とシステムの可視化を可能にするミドルウェアに焦点を当てることで、天文学などの「巨大科学」アプリケーションを超えて、グリッド技術の有用性が産業および商業に拡大されている。このようなプラットフォームの目的は、さまざまなコミュニティを集め、幅広い分散リソースを活用して、新しく複雑な問題に取り組むための、堅牢で安全な仮想組織を作ることである (Hey と Trefethen 2003b)。英国貿易産業省が、グリッドイニシアチブの「コアプログラム」へ 2000 万ポンドを寄付し、2003 年までに英国および米国の 50 社以上の企業が、3000 万ポンドを寄付したことは注目に値する。

グリッド技術のイノベーションへの大きな貢献の 1 つは、研究者が作成するデータの量に対処する能力である。潜在的に有用なデータの量が大幅に増加している。Hey と Trefethen (2003b : 1811) が言うように、「人工衛星、高性能コンピュータシミュレーション、高スループットデバイス、科学画像、新しい実験設備から生成された e-science のデータの量は、科学探究の歴史全体で収集されたすべての科学データをはるかに小さく見せるはずである。」彼らは、 15×10^9 の塩基データに、現在 10 秒ごとに新しいエントリをともなった 14×10^6 のエントリがある、英国の欧州バイオインフォマティクス研究所 (European Bioinformatics Institute) の例を使用している。データベースは 1 年足らずで 3 倍になった。このデータを管理する問題の大きさは、ケンブリッジのサンガーセンター (Sanger Center) によって示されており、ここには 2003 年に 20 テラバイトの主要なゲノムデータがホストされている。データ

は毎年 4 倍に増加しているが、データを分析するために必要なコンピュータの能力は、倍増しているだけである。つまり、高度な検索、マイニング、ブラウジング、表示技術などの IvT を使用しないと、このデータの多くは役に立たないことになる。

データの膨大な編集を可能にするグリッド技術の処理能力は、航空機、船舶、および発電所におけるエンジンのメンテナンスとサービスが、収入のほぼ半分を占める Rolls Royce のケースで見られる。航空業界では、エンジン自体ではなく、時間当たりのパワーでエンジン能力を販売している。そして効率的なメンテナンスは、サービス用のエンジンの可用性を向上させる。企業が問題を迅速に認識すると、収益の流れに影響を与えることなく迅速に解決できる。問題の先進的な警告により、より良い計画が可能になり、旅客の遅延が回避される。同社は、分散型航空機保守環境（DAME）と呼ばれる、4 つの大学と 2 つの他の企業との共同 e サイエンス研究プログラムを進めている。グリッドと Web サービスがどのように診断と保守のためのシステムの設計と開発を容易にすることができるかを示すことを目的としている。世界各地で使用されている Rolls Royce のエンジンから（1 フライトあたり 1 ギガバイトの割合で蓄積される）情報を収集し、分析のためのツールを開発する。

グリッドコンピューティングは、主要パートナーである Boeing および Airbus との、Rolls Royce の協カプロジェクトに幅広く影響を与える可能性がある。ロールスロイスの研究技術部門のチーフ・サイエンティストである Peter Cowley は、これらのパートナーとのプロジェクトは、5 つのうち 4 つが同時並行で進められ、しばしば短期間であり、グリッドはその継続性と関係を構築するのに役立っている述べている。彼は次のようにも述べている。「私たちはパートナーシップ通じて統合されたシステムを構築し、新しいプロジェクトごとに、プラグを抜き、他のものをプラグインしたいと考えており、おそらく grids は私たちがそうしたことを行うのを助けることができるはずである。」つぎに、世界最大の製薬企業の 1 つでの IvT の使用事例を紹介する。

4.5 大企業の視点 : GlaxoSmithKline

GSK は 2000 年 12 月 27 日、Glaxo Wellcome と SmithKline Beecham の合併により設立された。その結果、売上高で世界の医薬品市場の 7% と推定される、世界的な研究ベースの製薬会社となった。

GSK の治療上の焦点は、中枢神経系、抗感染性、呼吸器系、および胃腸/代謝系の問題を対象としている。ワクチンの先導者であり、腫瘍製品のポートフォリオが拡大している。GSK には、Panadol、Zovirax、Gaviscon、Ribena、および Lucozade などのブランドを含む店頭販売薬品（OTC）ポートフォリオもある。

2003 年度の GSK の売上高は 214 億ユーロ（352 億ドル）、税引き前利益は 67 億ユーロ（110 億ドル）で、英国株式市場で最大の資本金を持つ企業である。

研究開発コストの上昇と研究開発成果の減少

ほとんどの製薬会社と同様に、GSK は新薬の製造に伴う膨大な資本コストを有している。主要な原価要素は次のとおりである。

- 研究開発：業界内では、2003 年の平均薬価は 1987 年の 2 倍以上になると推定されていた。他の要因の中でも ヒューマン・ゲノム・プロジェクトや関連する研究から生じた科学的機会の増加で、近年、GSK は研究開発費が増加している。
- 販売開始までの長いリードタイム：米国食品医薬品局（FDA : Food and Drug Administration）などの規制機関からの承認まで、創薬とテストの間のプロセスは 12~15 年かかる。
- 販売およびマーケティング費用：一部の医薬品の販売スタッフは数百人に上る可能性がある。

GSK は、同社のグローバルな取り組みの 40%を担う英国での研究開発に、年に 10 億ポンドを費やしている。

Glaxo Wellcome と SmithKline Beecham の合併により、当初は年間 18 億ポンドのコスト削減が見込まれていた。しかし、一部のアナリストによると、合併のコスト削減の可能性は完全に実現した。GSK の現在の大ヒット作（売上高が 10 億ドルを超える製品、例えば抗生物質の Augmentin など）と競合する市場での特価のジェネリック製品の増加と、将来のコスト節約の機会の不足は、GSK が新薬開発を通じて成長を維持し、増加させることをますます重要にさせている。

2001 年、GSK は研究機能を 6 つの優秀な自律的研究センターに分割して再構築を行った。各センターは、がんや AIDS の治療など、異なる治療領域に焦点を当てている。再構築の基本的理由の一部は、科学者が研究資金を競争するよりも、起業家的な環境を作り出すことであった。同社はまた、Nobex や Exelixis などのバイオテクノロジー企業と多くの重要な研究協力関係を結んでいる。

IVT と創薬

IVT はまた、新薬の探索やそのデザインにおける重要な刺激剤である。ヒトゲノムおよびヒト病原体ゲノムプロジェクトは、多くの新たな可能性ある薬物開発目標をもたらした。ハイスループット化学およびスクリーニングの自動化などの技術の開発は、これらの新しい機会に関連する化合物の同定速度を高める必要性と一致している（Watson 2004）。

GSK の研究開発部門の責任者である Tachi Yamada は、GSK の目標は「業界で最も生産性の高い研究開発組織になることである」と語る。GSK の研究開発がその目標を達成する 1 つの方法は、ハイスループット技術の使用と創薬研究の自動化による創薬の変革である。

IVT の使用は、GSK の研究組織の中で広く支持されているように思われる。GSK の Tachi Yamada は次

のように述べている。「当社の体系的なハイスループット・アプローチは、生産性を向上させ、薬剤の市場投入までの時間を 2 年も短縮している。」

Box 4.2 シミュレーションとプロセス：創薬の強化

最も単純なレベルでは、創薬プロセスの基本は長年変化していない。新規化合物は設計され、次いで化学者によって調製され、生物学的標的に対して評価分析（試験）される。これらの化合物の構造とその生物学的活性との間の関係の仮説が展開され、そしてそのサイクルが繰り返される。しかしながら、近年、新しい技術は、調製（ハイスループット化学）および評価分析（ハイスループットスクリーニング）能力の両方に劇的な影響を及ぼしている。10 年前、化学者は年間 50 の新しい化合物を作り出した。同じ化学者は、いまや何年にもわたって何千もの化合物を調合できるようになった。この新しい IvT により、熟練した科学者は、面倒で実践的な手続きを行うのではなく、創造的な時間に費やすことができた。

化合物の調製は、合成、精密検査、精製、定量化および品質管理を含む多段階プロセスである。さらに、他の大量生産産業とは異なり、医薬品ではすべての製品（化合物）が独特であるため、合成後にどのような下流プロセスが必要となるかを正確に予測することはできない。このような複雑な生産作業を効率的かつ効果的に進めるためには、各段階ごとに適切な技術を開発する必要がある。これらの技術がどのように適合し、どのようにプロセスの他の部分に影響を与えるかを理解することは、できる限り成功するために重要であり、大規模な投資が行われる前に、弱点を特定する必要がある。

離散事象シミュレーションは、個々のコンポーネント（技術）が変更される時、そしてシステムを通過するエンティティ（化合物）の数が増加する時に、プロセスステージ間の相互作用を理解するための有効なツールであることが証明されている。その強さは、スプレッドシート型分析で使用される固定値ではなく、統計的分布を使用することによって時間とともに変動するパラメータをモデル化する能力である。ハイスループットの化学プロセスでは、変動を避けることは難しく、それには合成活動の規模と頻度の多様性、下流の要件の予測不可能性、分析データの取得と解釈に必要な時間などがある。シミュレーションにより、GSK は「現実の世界」でそれらを実装する前に、さまざまな可能性の影響を調べることができる。

その一例は、合成後の化合物の精製に使用される分取高速液体クロマトグラフィー（HPLC）の使用にある。この手順は、化合物の溶液（不純物と共に）をいくつかの留分（fractions）に分離し、いくつかは純粋な化合物を含み、他は不純物を含み、他はおそらくは混合物を含有する。各留分の一定分量（aliquots）は分析のためにマイクロタイタープレートに移さなければならない。分析結果により、化学者は、どの留分に十分な純度で目的の化合物が含まれているかを判断することができる。次いで、これらの留分を合わせ、溶媒を蒸発させる。

GSK は液体移送の手作業の繰り返しに取って代わる統合ロボットソリューションを求めた。さらに、自動化された蒸発プロセスの統合は、この時間のかかるステージの無人の夜間運転の利点をもたらしてく

れる。したがって、最終的なロボットの構成は、液体ハンドリング、化合物および留分溶液の保管、および蒸発のための自動真空遠心分離機への試料の移送を含んでいる。可能性のあるスループットの範囲で、上記の各要素の必要容量を評価するという目的で、シミュレーション研究を開始した。シミュレーションは、システムへの留分の毎日の投入割合、ならびに化学者が様々な中間段階で決定を下すのに要する時間、および特定の化合物について再結合を必要とする留分の数にかなりの変動があったため、理想的なツールであった。

モデルから非常に有用な洞察が得られた。単一の蒸発装置で構成されたシステムは、すべての構成要素のバランスのとれた利用を提供するのに最適であることが示された。これは、2 つまたは 3 つ程はそうしユニットが必要ではないかといった予想に反し、大幅なコスト削減をもたらした。このモデルはまた、通常のメンテナンスのために運転停止期間中に必然的に発生する順番待ちから回復するのに十分な容量を示した。また、どんな時でも保管される留分を最小限に抑えるように改善された作業方法も脚光を浴びた。

離散事象シミュレーションのこれや他のアプリケーションは、創薬プロセスがますます自動化され、機能を横断して統合されるにつれ、その重要性が増した結果、実装前の新しいシステムとプロセスの動作と要件を理解する中で、この技法の有効性を実証している。

GSK の研究開発担当上級副社長である Peter Goodfellow は、「オートメーションは科学的戦略の実現を可能にし、熟練した科学者はこれらの新技術にとって非常に重要である。適切な分子をより多く作り出すことで、より多くの薬物を、より迅速かつ安価に製造することができる。」と述べている。

化学、技術開発担当副社長、Brian Warrington は、GSK のチームはシミュレーション技術を使用して、創薬プロセスを理解して改善できるようにしていると言う。技術開発チームのメンバーである Ian Hughes は、科学者の仕事の中で重要な変化は、「新しい自動化されたプロセスが、熟練した科学者に、面倒な実践的な手順を実行するのではなく、創造的（考える）時間を費やすのを可能にし、プロセスの出力品質をさらに向上させる」と言っている。

IVT は、GSK の新しい可能性ある製品の「開発ルート」の改善に貢献している。2003 年 12 月には、2001 年 10 月より開発ルートに 30 種類以上の全く新しい化合物があり、臨床試験段階 II および III のプログラム数は 23 から 44 に増加した。段階 I 試験の数は、2001 年の 10 件から 2003 年の 20 件に増加した。これらの製品開発データは、世界第 1 位の製薬会社であるファイザーと比べても優れている。非常に特異的な疾患の性質に関する科学的理解が、例えば、ヒトゲノムプロジェクトでは、特異的な分子のおよび遺伝的要件を考慮して、大ヒット薬の継続的な効果および特定の個人に合わせた薬物の必要度を推測することが可能である。

IVT の特徴の 1 つは、思考に提供する支援は必ずしも高価ではなく、アクセスも難しくなく、民間部門だけでなく公共部門にも幅広いアプリケーションがあることである。これは、次のケーススタディ、公共政

策立案における IVT の例で明確に示されている。

4.6 公共政策の視点：交通混雑料金

2002 年までに、ロンドンの平均道路速度は、200 年前に馬車で同じ区間を移動をするよりも、車での移動が遅くなったほどに低下した。英国全体では、道路の渋滞の結果、毎年何億もの時間が浪費されていると推定されている。この混雑は避けられず悪化していた。1980 年代の初め以来、道路の通行能力の増加はごくわずかであったが、交通量は年間 3%増加していた。2002 年から 2010 年の間に、交通量は 25%増加すると推定された。

渋滞を解消するソリューションを見つけることは、緊急の社会的、経済的、環境的な課題である。経済的な非効率性とは別に、政治家は 3,000 万人の運転者と潜在的な有権者の不満の増大を警戒している。

2003 年 2 月、ロンドンでは、中央区域への自動車進入の際に混雑料金を導入することにより、この問題に取り組むことを先導した。導入前の報道で広く批判された計画は成功したと見なされ、ピーク時には交通量が 30%まで削減されている。政府および自動車団体は、渋滞を軽減するための全国課金の見地から、ロンドンでの方策の成果を注意して見守っている。渋滞課金を続けるという決定は、IVT を使って創造的な思考の結果として生まれた。

Imperial College London の Centre for Transport Studies（運輸研究センター）は、イングランドにおける全国渋滞課金の研究プロジェクトの実施を、Independent Transport Commission（独立運輸委員会）から 2001 年に委託された。このプロジェクトの主な目的は、道路速度と財政収入へのこうした課金の影響を見極めることであった。このプロジェクトでは、課金は利用レベルによって変わり、渋滞、道路整備、事故、環境被害の水準を反映するものであるという仮説を立てた。

このプロジェクトは技術的、具象的な難しさに直面していた。どのようにデータを生成し、それを具象化し、それを意思決定者や意見形成者が理解できるようにするか？

このモデルでは、9 つの異なるタイプの運輸と、8,500 の異なるパラメータ（地域、時間など）を全国データベースで説明しなければならなかった。このような複雑さを反映したこの相互依存マトリックスを構築するには、大きな処理能力と基礎方程式の一連の詳細な反復式解法が必要である。このプロジェクトの結果は、政府高官、報道機関、および一般市民の対象者に提示する必要があった。9×8,500 の組み合わせで生成されたデータは、容易に理解できるものでなければならなかった。

英国全体の現在の交通状況を記述するために必要なデータ量の容量は、既製のソフトウェアパッケージの能力を超えているように思われた。チームリーダーである Stephen Glaister 教授は、これまで同様の問題を解決するために過去に使用していた Pascal などの高水準プログラム言語の使用を検討した。しかし、データの量は、必要となるコーディングの量から、これをほとんど不可能にした。

Glaister は、財務報告と基本統計分析のために従来使用されていた世界で最も人気のある office のスプ

レッドシートパッケージである Microsoft Excel の機能を検討した。現時点で Microsoft は、前世代の 2 倍の容量と多くの機能を備えた高度なバージョンの Excel XP を発表した。これは、ソリューションへの収斂を生み出し、外乱をシミュレートするための重要な要素である、プロジェクトの反復能力が特に重要であることを証明した。Glaister は、このバージョンの Excel がなければ、プロジェクト全体がより複雑になり、完了までに時間がかかることになり、そうしたコンピューティング機能によって以前は考えられなかったようなことが可能になったと述べている。

チームは、パラメータが変化すると各セルがどのように変化するかを記述した数学的関係の仮説を立てた。さまざまな既存のデータが利用可能であったが、例えばバスや列車の利用者など、新たに収集する必要があるデータもあった。

複雑な計算に合わせ、プロジェクトチームは地理情報に関連したヒートマップを作成する MapInfo というソフトウェアパッケージを使用して Excel XP の出力を可視化表現することに決めた。ヒートマッピングは、複雑なデータ間の関係を表すための一般的な視覚化の形式である。マップ上の色は、国の渋滞課金が導入された場合、既存の状況と比較して予測される速度の増加と交通量の減少を表している。MapInfo は、Excel の出力を選挙区境界を含むさまざまな地理情報に関連付けるために使用されている。Excel のように、MapInfo は最近、はるかに強力になり、XP と互換性があった。しかし、2 つのパッケージを統合するには、プロジェクトチームが持つ重要なソフトウェア・スキルが必要であった。

渋滞課金に起因する道路速度の変化を容易に理解できる形で表すことの他に、プロジェクトは他の利益を生み出した。特に、データのグラフ表示は、パターンをより容易に見ることを可能にした。全国渋滞課金には、道路利用者からの金額が比較的多額の移動を伴っていた。プロジェクトのアウトプットは、歳入が異なった地域に移転する程度も示していた。例えば、政府高官は、地域の「敗者」と「勝者」が財政的にバランスをとる収益中立システムについて語った。地図を見ることで、敗者は都市部に集中し、勝者は郊外にあることは明らかであった。しかし、こうした再配分は、都心の過密地域の再生のために資源を都市地域に移すという政府の政策の別の要素と矛盾している。これらの流れの詳細は、地図が作成されるまで明らかではなかった。このモデルは、政府が配分を決定をするのを助けた。新たな税金のような政治的に敏感な問題がある場合、懐疑派や批評家のために簡単にデータを表現する技術を使用できことは、コミュニケーションと関与のための貴重なツールになる。

このモデルを作成するだけでなく、プロジェクトはまたいくつかのシミュレーションを実施した。たとえば、チームはバスが他の交通手段とどのように相互作用するかを調べた。彼らは、色の点でバスを表示する視覚的シミュレーションを使うことによって、そのシステムの一般的な特性を理解できることを見出した。

このプロジェクトで使用された技術は、比較的小規模な予算ですばやく完了することができた。プロジェクトは約 18 ヶ月間続き、総予算は 50,000 ポンドであった。この問題に関する政府の大きなフォローアップ調査が 2003 年に発表された。

研究チームが持つ既存の知識とスキルは、プロジェクトの成功に不可欠であった。この 2 つのソフトウェアパッケージを統合することは、技術的にはいつでも実現可能であったが、高いレベルのソフトウェアスキルと建設的な想像力が必要であった。さらに、Glaister は、不可欠な経済的特徴が何であるかガイドし、何を妥協するかを判断するため、この種の経済モデリングの過去の経験に大きく依存した方法を参考にし、そしてモデルを有用な方法で働かせるためには単純化が必要であった。

4.7 データの作成、検索、およびマイニング

従来、データマイニングは、統計分析と目録作成を中心とした、繰り返しの認知作業を自動化するために使用されていた。しかし、新しい科学的知見の発見にもだんだん使用されてきている。Langley (2000) は、天文学（天空写真の星と銀河を分類するための）と惑星学（金星の火山を認識するための）の使用例を引き合いに出している。また、市場や金融サービスなどの分野での知識の創出にも使用されている。非常に重要な科学領域は、ロボットが遺伝物質に関するデータを生成するゲノム機能解析であり、そのデータから有益な知識を抽出するためにデータマイニングが使用されている。

Box 4.3 細胞生物学におけるデータマイニングの使用

クイーンズランド大学の研究者である Rohan Teasdale は、データマイニングを利用して、マウスやヒトのゲノムに含まれる細胞の働きについての情報を抽出している。彼は、データベースマイニングと従来の細胞生物学とを組み合わせることで、異なる細胞膜が生理学的プロセスにおいて果たす重要な役割をより深く理解するために、情報を識別するためのより多くのアプローチが可能になると考えている。細胞膜およびそれらに埋め込まれたタンパク質は、細胞とその環境との間、細胞内の区画間、および器官系の領域間の物質および情報の伝達の必須の架け橋（mediators）である。新たに合成されたタンパク質を異なる細胞膜に運ぶことは、基本的な細胞プロセスである。それは癌と高コレステロールに関連している。細胞膜の正常な機能を理解することは、こうした疾患との戦いに役立つものである。Teasdale は、次のように述べている。

「データベースマイニングと細胞生物学を組み合わせることで、マウスゲノムとヒトゲノムの膜タンパク質を同定し、細胞内の位置を予測する信頼できる予測方法を開発する。さらに、これらの予測戦略は、他の広範なゲノム研究グループによる異なる研究プロジェクトで確実に適用することができる。 コンピュータ生物学の分野では、経験的に私たちの計算上の予測を批判的に評価するのは初めてであるが、細胞生物学では、予測の価値を批判的に評価することで科学者が必要とする信頼度を提供する。」 Teasdale は、評価とコンピュータ計算を組み合わせたこの相乗的なアプローチが、大学、国内および国際的に著しい協力関係を構築すると主張して述べている。

Box 4.3 は、後の章で議論する新しいスキルのいくつかの要素を示している。コンピュータサイエンス

の多くの研究は、知識の管理を支援する意味論と概念体系の開発に向けられており、関連情報の自動処理と発見を可能にする。例えば、細胞断層撮影画像は、タグ付けされ、データベース情報で注釈付けされることが可能となる。これらのシステムの構築には、広範な科学的知識だけでなく、科学者が情報をどのように検索するかについての洗練された理解も必要である。

IVT のデータ管理への貢献には、結果の迅速なテストが含まれる。例えば、化学および化学工学で使用される分析装置の速度および能力の大きな進歩があった。自動テストが一般的になった。これは、分析者が結果を分析する前に、化学者が多数のステップによって基質を結晶化しなければならない従来の分析プロセスよりも迅速で信頼性が高くなった。分析はこれまで可能だったよりはるかに高速である。

英国をリードする化学技術者の 1 人である Dame Julia Higgins 教授によると、IVT は研究の煩わしさを取り除いているという。Higgins が物理化学者として仕事を始めたとき、彼女は Chemical Abstracts 誌を調べる必要があった。これらは、ライブラリ内の棚の列に格納された、化学式と検査の大量の文書であった。特定の反応に関する既知の文献をすべて追跡しなければならないので、これらを検索し参照するのに多くの時間を費やした（しかも必要なものは常に一番上の棚にある重いものであった）。今やこの作業は、インターネットにリンクされたデスクトップコンピュータでほぼ即座に行われ、より実り多い生産的な作業で、より重要な創造的思考のために時間とエネルギーを節約する。

Imperial College London のロンドン e サイエンスセンター（Imperial College London）の John Darlington 教授は、Grid はあらゆる種類の情報を一緒に「織り合わせる」ことができると述べている。これには、大量のさまざまな種類のデータ（文献、データベース、画像、操作データ、計測器データなど）といういろいろなアプリケーションが含まれる。集めるべき情報は、しばしば非常に複雑で、相互に関連し、変わりやすいものである。異質なアルゴリズムと実装、そして研究者とサービスプロバイダのコミュニティを含んでいる。情報の織り合わせの重要な特徴の 1 つは、ユーザ望むように使用できる高度の自主性であり、これはセマンティクスとオントロジーという新しい技法に大きく依存している。技術の「織り合わせ」を可能にする IVT は、個々の探査と思考をより大きく自由なものにする。この例は Arup の第 3 章の自主開発の検索エンジンの使用で示されている。

モデリングとシミュレーション

モデリングとシミュレーションツールは、気候モデルからコンピュータ計算生物学、ゲノム解析、プロテオミクス、財務シミュレーションまで、研究者が幅広く使用している。それらは非常に実用的な意味あいを持っている：ロンドンの商品オプション取引の価格設定の支援から、オーストラリアの農家のための降水量予測に合わせた、シカゴ商品取引所（Chicago Board of Trade）の大豆の先物価格の検討まで。後者の場合、University of Queensland の Kevin Burrage 教授らの研究では、オーストラリア全土の 8,000～10,000 か所の気象観測所で 100 年以上にわたり週ごとに記録された降雨量が、5km の格子で

補間されている。この結果は、干ばつや洪水に絶え間なく悩まされるれた、地球上で最も乾燥した大陸で、潜在的に大きなメリットをもたらす、農民の意思決定のためのソフトウェアパッケージを開発するのに役立った。

モデリングとシミュレーションが研究者を助けるもう一つの方法は、化学工学で見られる。物理的特性をモデリングすることで、化学において「スケールアップ」と呼ばれるものの時間を節約することができる。スケールアップは、一度観察されると、同じ条件が新しいスケールで適用されるかどうかを試験するために、特定の現象（反応）がより大きなサイズにスケールアップされることである。これは、化学技術者が実験台から本格生産に移行する可能性を検討する際に使用される一般的なプロセスである。スケールアップには通常一連のステップを伴うが、このプロセスの一部はシミュレーションで行うことができる。最初の実験から十分な情報を得て、モデルを構築し、シミュレーションの結果、いくつかのステップをスキップすることができる。これにより、時間と費用が節約され、実験から商業化に至る過程で、より早期に投資判断を行うことができる。スケールアップの問題は、バイオ医薬品製造を含むさまざまな分野で見られる。それにもかかわらず、モデルの検証および校正は、スケールアップのいろいろな段階での物理的試験に依然として依存することが多い。

いくつかの分野では、モデルが完全に試験されるまで物理的な作業を行うことはできない。IVT は高価な仕事や繊細な仕事を始まる前に、モデルへの信頼を寄せるを助けることができる。例えば、John Burland 教授のトンネル工事で誘発される地盤移動と地盤安定化の仕組みに関する研究は、ピサの斜塔（Leaning Tower of Pisa）の安定化（第 5 章を参照）の重要なアプリケーションと、その下に新しい地下鉄線を建設する前に、ビッグベン（Big Ben）で有名な英国の国会議事堂（British Houses of Parliament）の塔を安定させるための一時的な作業のためのデータを提供した。これらのケースでも、概念モデルが完全に試験されることで、建築当局は物理的な仕事を許可するだろう。

4.8 可視化

バーチャルリアリティのような視覚化技術は、生態系の表現から薬物設計、医学研究、訓練、都市開発シミュレーションに至るまで、幅広い創造的思考活動に使用されている。

バーチャルリアリティは医療で広く使われている。手術関連および解剖学的訓練に広く使用されており、例えば、心臓圧迫、あるいはポリープの成長を示すことにより診断に使用することができる。これまでできなかったことを行う上での、その価値の大きさを示す一例に、心理学的障害の臨床評価がある。バーチャルリアリティは、現在、精神病患者の視覚および聴覚の幻覚をシミュレーションすることによって、医学生の実験的学習成果を高めるために使用されている（Banks など 2003）。この視覚化は、創造された環境を中枢神経系の神経生理学的検査のための、構造化され、繰り返すことができるトリガーとして使用することができるので、精神病の脳内経路を理解するのを助け、それにより統合失調症などの病気の

謎を解明するのに役立つ (Banks など 2003)。バーチャルリアリティは、初めて臨床医が患者の幻覚が感じることを体験するのに役立つ改善された手段でもある。バーチャルリアリティは、精神病患者が自分の経験の性質を明確に表現するのを助け、より良いケアを促進するようになっている。

視覚化技術は、パターン認識を通じて複雑なデータに対する人間の認識を高めるのに有用である。本質的に、視覚的なイメージはパターンをより簡単に見る機会を創出する (Tufte 1983、1997 を参照)。環境問題の表現など、計算結果の分析が非常に複雑な場合、バーチャルリアリティは非常に有用である。この一例では、バーチャルリアリティが実際のサンゴをモデル化するために使用され、ハードサンゴとソフトサンゴの成長と魚の行動と動きの両方を示している (Jeffrey 2003)。このツールは、研究者がモデルを開発し、その結果をインタラクティブに調べることで、美しさを実証することによって、サンゴ礁の生態学を楽しませる一方、サンゴ礁の生態学について人々に教育するのに役立っている。この分野では技術が急速に向上しているため、携帯情報端末などのモバイル機器で洗練されたビジュアル表現を受信することがでは今日可能である。

4.9 人工知能

Herbert Simon の 1969 年の「人工物の科学 (The Sciences of the Artificial、システムの科学として 稲葉元吉、吉原英樹訳) の刊行以来、遺伝学や経済学のような多様な分野の複雑なシステムを研究するための数学の発展は、コンピュータ計算力の向上と並行して拡大した (Simon 1996 参照)。人工知能は、「エキスパートシステム」と呼ばれることもあるが、数学、天文学、冶金学、物理化学、生化学、医学、人類学言語学、生態学を含む幅広い分野の科学的発見に適用されている (Langley 2000)。Langley (2000) によれば、人工知能は、問題の定式化、表現工学、データとアルゴリズムの操作、科学の評価と伝達を含む科学的プロセスのすべての要素で使用されている。彼は、赤外線スペクトルからの恒星分類の開発、発癌性および突然変異誘発物質の予測、金属の挙動の理解、そしてグラフ理論、生態学的行動の時間的法則、有機分子の構造モデル、および触媒化学における反応経路などの定量的推測の生成での、その使用例を示している。

科学者ロボット

科学的思考における IvT の可能性の典型的な例は、King らの (2004)、機能的ゲノム仮説の生成と実験のための「ロボット科学者」の開発に関する Nature の記事で報告されている。研究者である彼らは、科学実験のサイクルを実行するためのロボットシステムを開発した。観測を説明するための仮説を自動的に生成し、これらの仮説を検証する実験を行い、実験室のロボットを使って物理的に実験を行い、その結果を解釈してデータと矛盾する仮説の誤りを立証し、このサイクルを繰り返す。(King ら 2004 : 247)

科学者ロボットは、酵母の機能ゲノミクス、特に 1 つの遺伝子が除去された株からのその遺伝子の機能の自動決定に利用される。モデル（遺伝子、タンパク質、代謝産物を含む）の部分を自動的に再構築する生物実験では、研究者らは、「インテリジェントな実験選択戦略は人間のパフォーマンスと競争力があり、そしてランダムな実験の選択は、著しくパフォーマンスがすぐれており、（それぞれ）3 倍と 100 倍のコスト削減を実現、両者は最も安価である」ことを明らかにした（King ら 2004 : 248）。

科学者ロボットはこれまで、新しい機械の有効性をテストするために、既知の機能の遺伝子の役割を再発見するためにのみ使用されてきた。しかし、研究者は、現在知られていない遺伝子の機能を明らかにするためにこのシステムを拡張する予定であり、化学合成の薬物設計と量子制御におけるその使用を積極的に検討している。

4.10 学際性

学問なく異なる学問分野にまたがって実施される学際的生産的思考は不可能であるが、科学技術における多くのエキサイティングな研究は、さまざまな研究分野のインターフェースで行われる。学際的研究の重要性は、特定分野の境界内で働く研究者にノーベル賞が授与されることが、ほとんどないという点で見られる。大部分は境界を越えて冒険する人に与えられている。

Hollingsworth ら（2005）の生物学における主要なブレークスルーの研究では、画期的なものを作り出している機関のタイプは、生産性の高い「普通の」科学を専門とする組織のタイプとは大きく異なることが分かった。彼らは、「急進的あるいは新しいアイデア、新しい方法論、新しい道具や発明品、あるいは新しいアイデアのセットの開発」として重大なブレークスルーを定義し、これらのブレークスルーを達成する可能性は、特有な制度的背景や環境によって形作られていることが分かった（Hollingsworth ら 2005）。多様性そのものは、先駆的思考を保証するものではない。

創造性やブレークスルーが起こる機運が高まるのは、個人が頻繁で強烈な相互作用にさらされるための、さまざまな分野と理論的枠組みである。作業グループのメンバー間での熱烈で頻繁な相互作用がない、学際的な環境での作業は、新しい考え方（例えば、重要な発見）につながりにくい。（Hollingsworth 2005 : 13）

Gunner Mydral がかつて述べたように、「問題は規律にはない」。新技術の主要メリットの 1 つを提供する分野間のコミュニケーションと理解を支援するのが IvT の能力である。障壁を解消するための IvT の役割、および第 5 世代のイノベーションプロセスの重要な要素であると以前に説明した「技術融合」を支援することは、ここでは一つの学問分野としてエンジニアリングの将来をみなして検討することにする。私たちは、Massachusetts Institute of Technology（MIT）の Rosalind Williams の仕事、特に学生部長としての彼女の経験を引き出すことにする。

Williams（2002 : 44）は、達成の基本単位が発見のままである科学と、達成の基本単位が問題解決であ

るエンジニアリングとを区別している。しかし、彼女は新しい分野で、そして MIT のあらゆる部分で容易に移転可能な「共通のデジタル言語」の役割で、科学とエンジニアリングの間の、「技術科学的取引」の量が増えたことに言及している。彼女は、Castells (1996 : 30) の次のような研究を引用している。生物学、電子工学、情報科学は、その用途、材料、より根本的に言えば、概念的なアプローチにおいて、融合し、相互作用しているように見える。さらに、技術変換の現在のプロセスは、情報が生成され、保存され、検索され、処理され、伝送される共通のデジタル言語を介して技術分野間のインターフェースを作り出す能力を通じて、指数関数的に拡大している。

Williams (2002 : 47) は、一般的なデジタル言語の形で、エンジニアリングの慣れ親しんだ境界を解消すると述べている。かつては最も実際的な専門分野であったエンジニアリングを、慣れ親しみのある実質性という場所から、それに新しいものを与え、その存在にぼんやりとした明るさを与える。エンジニアリングの教員で実際に物を作ったり建てたりする人がだんだん少なくなってきた。シンボルやモデルを扱う仕事をますます行うようになっている。

彼女は、構造を設計するのではなく、建設を管理するソフトウェアをデザインしている、MIT の土木工学教員の例を使い、土木工学が構造物から移行したのと同じように、機械工学は機械から移行したと述べている。多くの若手機械技術者は、従来のより機械的システムによって以前に実行された機能を肩代わりする、電子機器およびコンピュータを使用して、機械を置き換えるプログラムを設計している。彼女は、コンピュータグラフィックスを「想像力増幅器」として使用し、コンピュータを電卓としてではなく実験室として使用すると言う、ある若手教職員の逸話を載せている。ここで私たちは IVT が思考、試す、実行を促進し、分野の境界に開いた穴を拡張すると見ている。

こうした変化は、かなりの組織的ストレスがないわけではない。学生の視点から見ると、Williams はムーアの法則に相当するカリキュラムに言及している。18 ヶ月ごとに 1 人の学生の頭の中に詰め込みたい情報の量が 2 倍になる。教員とその学問分野そして専門的な忠誠心の観点から見ると、「われわれはずっと前に、ほとんどの学科で学生を「専門エンジニア」として訓練することをやめてきたように、私には思える。われわれは実のところ「技術イノベーター」を訓練している。」と言う教員の言葉を引用している。新しいタイプに対応するために、エンジニアはますます学際的になる必要がある。科学者、人文科学、経営学、そして芸術と一緒に仕事をする。もちろん、さまざまなエンジニアリングの境界を越えて仕事することもできる。Williams の分析では、エンジニアはシステムや設計への関与に移行している。どちらも本質的に学際的である。この移行は容易ではなく、Williams はエンジニアリング教育における独自性の転機に起因するエンジニアリングの転機に言及している。そうかもしれない、第 8 章でこれをさらに熟考し、IVT がより広く普及するにつれて、この種の転機がより多くの学問分野や機能的グループ全体で発生すると推測している。

IVT は必然的かつ包括的に学問分野の障壁を壊すことにはならない。既存の教育方法と、メンバーシップを制限し束縛する専門分野へ帰属化サービスせる心理的、社会的、政治的圧力が引き続き境界を作り出

す。しかし、IVT はこれまで以上に効率的な思考と分野間の連携を促進することができる。

Box 4.4 先見性のある過去

米国の科学技術研修の大御所である MIT は、IVT などの技術を開発して使用し、学際的な方法で作業することを学ぶ、新しい世代の科学者やエンジニアのための、今日と関連性の高い視野と、教育へのアプローチについて開花された視野を持っている。1954-5 年の MIT Bulletin によれば、人文社会学部の目的は、人間関係がどのように社会にどれほど重要であるかを学生に印象づけ、個人が市民として最大限の貢献をするためには、技術的能力に付随しなければならない、一流の人間のおよび社会的価値を学生に発現させることである (Friedmann 1961)。カリキュラムはこれらの価値を反映したものになっている。4 年間で科学技術の学位を取得するすべての学生は、最初の 2 年間で歴史、哲学、文学を含むコア科目を受講した。彼らは、解決策ではなく問題に焦点を当ており、教育は彼らが持っていたものではなく、継続して開発していくものであるという姿勢の発展であった (Friedmann 1961 : 147)。人文科学および社会科学科目は、学生の学位取得までの全期間に拡張された。最後の 2 年間の教育では、技術専門科目を何らかの形で落とした時、受講を受けなくても、学位取得に必要な 4 つのうち、2 つの人文科学と社会科学の科目を受講するという選択肢があった (Friedmann 1961 : 147)。学生は、歴史、文学、現代の言語、音楽、経済学、政治学、国際関係、労使関係、心理学などの分野から選ぶことができ、各分野には幅広い科目がああった。

技術者と人文学者を不必要に分けた不透明なカーテンを打ち破る MIT の実験 (MIT 文書 1955、Friedmann 1961 で引用) は、同等かそれ以上、科学技術と大学学部の組織について考える現代の課題に関連している。

4.11 結論

教育と研究、科学技術能力、国際化、コラボレーション、より多くの学術誌と特許のレベル増大は、企業や個人が新しい革新的なアイデアや機会を考える努力を支援する強力なシステムを作り出すのに役立つ。イノベーターが利用できる才能、アイデア、情報は、過去の世界の歴史よりも単純に多くある。アジアの経済の教育システムの台頭にともなって、特に中国では、さまざまな分野間で結果を統合するための新しいマネジメントの専門知識を必要とし、アイデアや才能のプールがさらに大きくなり、おそらくより専門的になることが期待される。

IVT はますます科学技術研究に使用されてきている。これは幅広い活動を支援し、比較的少ないリソースでより多くの、より速く、より良くできるという意味で、思考活動の強化につながる。強力なコンピュータや、グリッドのようなネットワーク、モデリング、シミュレーション、データマイニング、バーチャル

リアリティ、人工知能のツールを使って、科学的開発と計測の密接な相互依存の長い歴史が新しい段階に入りつつある。

科学者にとっての帰結は、今なお解明され続けられている。その多くの解明結果は既に学習されている。例えば、Langley (2000) は、人工知能が、自動化の側面を強調した以前の失敗からどのように学んだのか、そしてシステム内の人間を置き換えることを試みたことについて述べている。このアプローチは、人工知能を使用して、研究者が技術の原理体系と熟練者の技能を組み合わせるのを支援することである。King ら (2004) によると、科学の自動化の増大は不可避でかつ望ましいことであると述べている。新しい実験を低コストで行うことができるだけでなく、創造的な思考者が、優れた飛躍をすることを可能にする。IVT の開発者にとっての課題は、Langley (2000) が示したように、より直接的に相互作用をサポートするために、発見システムを変更することによって、人間と人工的科学者の間の相乗効果を高めることである。Langley (2000 : 407) は次のように述べている。その意味は、ユーザーが問題の定式化と表現の選択を記述したり改訂したり、データとシステムのパラメータを操作したり、アウトプットを理解できるように再作成できるようにするために、明示的な鍵でインターフェイスをインストールする必要があるということである。

課題には、過去の経験を積み重ねる方法、直感とインスピレーションを重視する方法、学問分野と組織の間の「不透明なカーテン」の除去を促進する方法などがある。

分散型で国際的な教育研究システムでは、IVT は問題解決に役立つ環境で効果を発揮する。わかりやすい検索活動の幅と深さを広げることで、IVT は思考する者が新しい組み合わせを見つけるのを助ける。それは、彼らの能力の境界でより効果的に働くのに役立つ。産業界の視点から見ると、この技術は分散型イノベーション実践の範囲を大学や研究機関の科学研究拠点にまで広げている。

5 「試す (Play)」

5.1 はじめに

建築家の Frank Gehry は、ビルバオ・グッゲンハイム美術館で代表される、非常に彫刻的なデザインで知られている。Gehry は設計する建物に最適な形状を選択するときにアイデアを Play (試す)。彼はスケッチと物理的モデルとコンピュータ生成モデルの間を繰り返すことで、形状や形態を選択する。Gehry は図面や物理的モデルを使って訓練を受けてきた。彼は厚紙、粘土、塑像用粘土などさまざまな材料で形態を形づくる、手での作業を愛するクラフトマンである。彼にとって、コンピューターは最初のうちは、創造性と表現力に制約のある媒体を示す、よそ者であった。しかし、彼のデザインはエンジニアや建設業者にとって困難であった。形づくられたモデルを建築された人工造形物に変換するには、通常、あまりにも多くの費用がかかる。その後、1990 年代初めに、デジタル設計ツールと生産物流の知識を持っている、自動車産業の生産エンジニアである James Glymph が、Gehry のサンタモニカでのワークショップに参加した。彼は先進的なコンピュータモデリングとシミュレーションの力を利用して Gehry のデザインを設計エンジニアリングし、それらを実行可能な建物に変えた。反復的なプロセスが進化し、Gehry はさまざまな選択肢で試すことができ、設計上の選択肢を選ぶことができた。ここで説明されている Gehry の作業の話は、エンジニアとデザイナーがソリューションで試しを可能にすることにより、さまざまな可能なデザイン選択肢の中から選ぶという、選択において IvT を使用する方法を簡潔に示している。この技術の使用について Gehry は次のように述べている。

それは私が造形物に近づく方法を提供してくれる。過去には、私の大まかなスケッチと最終的な建物の間に多くのレイヤーがあり、デザインの感触は作り手に達する前に失われる可能性があった。私は作り手に対して外国語を話していたように感じている、今は瞬間的に作り手が私を理解してくれる。この場合、コンピュータは非人間的なものではない。それは通訳者である。

Gehry と彼のデザインチームは、建築の原型のアイデアを開発することから、建設プロセスでのそれらの運用することまで、「思考、試す、実行」枠組みで多くの活動を行っている。しかし、この章の後半のケーススタディで見ると、Gehry をイノベティブにするのは、試す (play) 能力が大部分である。この例は、いかに心眼からアイデアを考え、それらの実現のための活動の準備をいかにするかを示している。第 4 章では、新しい知識の生成や発見とその実験など、探求型プロセスにおいて、問題を考えるのに役立つ IvT の使用方法について検討した。この章の主な焦点は、思考と行動の関係である。それは、いかに IvT を使って選択プロセスをサポートし、選択を助け、Schrage が「真面目な遊び」と呼んでいるもの (第 1 章を参照) で結果を形作るかを示している。第 3 章で述べた Arup のエンジニアリング設計や P&G の新製品開発における、IvT の使用状況の分析に基づいている。

多くの企業や組織は、新しい価値が満ちるアイデアを開発する必要性を認識しているが、ほとんどの場

合、どの選択肢を選択するのが難しいことがわかっている。これはデザイナーにとって商売道具である。また、選択肢を選択につながる他の熟練者や専門家と協力して繰り返しのプロセスを進めることでアイデアを試すことができる。この選択環境は、実現可能なアイデアの範囲を究極的に限定し、それによってイノベーションの「実行」段階での費用のかかる開発作業が行われる前に、リスクと不確実性を限定するようにする（第6章を参照）。

この章では、IVTを使用することにより、企業はより迅速かつ低コストで試す（play）ができるようになることを示している。科学者、技術者、エンジニア、デザイナーが知識やデータを共有し、アイデアや問題のさまざまな側面で同時に作業することで、繰り返しにより迅速に実行できる。それらは作業段階や少しずつ違ったプロジェクトやプロセスを電子的に管理する。物理的生産を開始する前に設計を変更するコストを大幅に削減することができる。IVTを使用する場合のクライアントおよび顧客は、新しい製品およびサービスの開発に、はるかに早い段階で関与することができ、設計に関する選択肢に参加することができる。費用がかかる意思決定が行われる前に、物理的または事実上の可能な結果を経験することができる。したがって、IVTを使用して選択肢を試す（play）と、効率が向上し、より正確で長持ちする適切なソリューションが作成される。イノベーションにおいて最も重要な活動の一つである、エンジニアリングデザインに焦点を当てている。非常に伝統的なものとして認識されている、建築と建築環境のイノベーションにもかかわらず、実際にIVTの可能性に基づいて構築された、さまざまな新しいイノベティブな実践を例示している。

「試す（play）」での意思決定と選択の側面は、設計プロセスに密接に関連している。この章では、イノベーションにおけるデザインの役割の概要を説明することにする。デザインを測定することの難しさと、イノベーションにおける「試す（play）」の役割については論じられている。IVTが提供する機会に適応するために、設計の実践そのものが変化しており、次の節ではこれらの新しい設計手法について検討している。ケーススタディは、異なる分野での「試す（play）」の側面を説明するために提示され、IVTを使用して選択が行われる方法を示している。最初のケース - 「モデルを使って試す」 - エンジニアリングデザインにおける問題解決のためのモデルの使用法を示し、ピサの斜塔を救うためのソリューションを見つける際にエンジニアリングの選択がいかになされたかを示す。さらに3つのケーススタディでは、Gehryの作業プロセスの分析、新しいデジタルカメラのポラロイドのプロトタイプ作成プロセスの研究、Ricardo エンジニアリングによるシミュレーションの使用などが含む、デザイナーが技術を使って試すさまざまな方法が示されている。ゲーム技術の使用については、軍事、健康および教育分野、エンターテインメント業界における重大なビジネス上の意思決定においても検討されている。この節では、ユーザーが新しい製品やプロセスに関する意思決定をより直接的に行う方法についても説明している。この章の終わりでは、IVTの利点、課題、限界、およびその使用上の危険性を検討しながら、新しいデザイン業務について検討している。

Box 5.1 試す (play) の評価測定

基礎研究、応用研究、実験開発では、「思考、試す、そして実行」の範疇のいずれかに対しても、従来の R&D 評価測定を使用するのは難しい。それにもかかわらず、第 4 章では、思考活動に関連する基礎的な研究データについて検討し、応用研究と実験的開発そして私たちが試すと記述するものとの関連も示されている。これらの評価測定の使用には大きな問題が残っている。

応用研究と実験的開発は、最初の作業用商品化プロトタイプの時点までの企業のすべての支出を対象としている。IvT が設計、開発、製造のさまざまな段階をシミュレーションし、迅速に試作し、繰り返す能力を備えているため、R&D のこの終点を設けるのは難しい。統計の収集に関する OECD のガイドブックである Frascati Manual は、研究開発とそれに続くイノベーション活動の間の近道を見つけるのが難しいことが、長い間認められてきた。実際、Frascati Manual は、実験的開発とイノベーションプロセスの他の段階との間の境界線が「不明瞭であり、産業によって異なる」と述べている (OECD 1992)。さらに、市場に向けて段階を進めるにつれ、実験的開発の支出の割合が高くなるため、イノベーションのコストは拡大している。企業が実験的開発の後に取り組むイノベティブな活動、あるいは最初の作業用商品化プロトタイプの作成後は、次第に費用と時間がかかり、危険にさらされる可能性がある。

Frascati Manual の根幹は、経済的に有用な新製品やサービスの供給を増やすことによって、投資がイノベーションの機会を増やすことを前提とした第 1 世代のイノベーションプロセスモデル (第 2 章を参照) である。われわれが知っているように、イノベーションプロセスはこれよりはるかに複雑である。

これらの欠点を考慮すると、試す (play) のコストを測定することは依然として困難である。イノベティブなインプットの測定評価でのメリット (または欠点) が何であれ、研究開発の第 3 の要素—実験的開発—に対する企業の支出のレベルは相当であり、この支出の程度は概ねの指標である。米国の企業は、1972 年に実験開発で 470 億ドル、1982 年に 660 億ドルを費やした。1992 年の支出は 920 億ドルに増加し、2002 年には 1300 億ドルに達した (すべての数字は 1996 年の基準価格) (NSB 2004)。こうした成長のパターンは、さまざまな OECD 諸国、特にフィンランド、アイルランド、韓国でも見られる。試す (play) 活動のもう一つの部分的な評価尺度は、デザインにおける支出に関連している。英国政府は、2000 年に英国企業が設計サービスに 267 億ユーロ支出をしたと推定している (DCMS 2001)。これらのデザインサービスには、ブランドアイデンティティ、企業アイデンティティ、新製品開発、インテリアおよび外部デザイン、および企業内のデザイン部門に対する支出が含まれる。これらのデザイン活動の大部分は社内で行われており、英国の大企業の 55% 近くが社内設計部門を抱えていると報告している (Design Council 2003)。しかし、英国には、3,000~4,000 人のデザインコンサルタント専門家をともなった、大きく多様なデザインサービス業界がある。英国の業界では、65,000~80,000 人のデザイナーがデザイン活動を行っている (DCMS 2001; Design Council 2003)。設計サービスは、英国の輸出額の 10 億ポンドを占めると見積もられている。

5.2 デザインの実践

デザインとエンジニアリングはイノベーションプロセスの中心であり、新製品やプロセスの開発に重要な役割を果たしている。デザインとエンジニアリングの問題解決の主な特徴は、「考え」で生成されたアイデアを引き出し、「実行 (do)」の作業に結び付けることで、イノベーションプロセスを統合することである。

IvT enables designers to play this important integrative role in the new innovation process but there are many necessary changes associated with its use. Before we begin to examine the role of IvT in 'play' we need to understand how engineers and designers actually work and appreciate some of the problems with existing practice.

IvT を使用すると、デザイナーは新しいイノベーションプロセスでこの重要な統合的役割を果たすことができるが、その使用に関連して仕事の進め方に多くの変化が必要である。「試す (play)」における IvT の役割の検討を始める前に、エンジニアとデザイナーが実際にどのように問題を解決しているかを理解する必要がある。

理論と実践の組み合わせ

これまでのデザインとエンジニアリングの研究では、科学と技術的問題解決の違いを強調している (Constant 1980; Vmcenti 1990 Simon 1996; Perlow 1999 参照)。前者は主に物理的世界に関する理論と予測の開発に関係するが、後者は通常、機能的な要件から始まり、科学的な原則と技術的な要素とシステムを使用して望まれる目標を達成することを目指している。この視点では、エンジニアとデザイナーは、機能要件とその目標を理解するのに役立たせるため、ユーザーなどイノベーションプロセスのさまざまな関係者と密接に協力して、科学者とは違った働きをしている。彼らは実用的で実際の目標指向の傾向がある (Nightingale 1998; Pavitt 1998)。しかし、ここで概説した大きな違いは、科学の重要な実用的な要素や、エンジニアリングの理論的根拠を無視しており、また IvT が科学者と技術者の境界をどのようにぼかすかは説明していない。

デザインとエンジニアリングには、問題や機会に対する洗練された効率的なソリューションの選択と適用が必要である。デザイナーやエンジニアがこれらの目的に使用する知識は徐々に増しているが、熱力学の第 2 法則などの「伝統的な」知識は、問題解決のルーチンや方法に不可欠な要素である。さらに、エンジニアリングは、エンジニアが作業している技術的な軌道の枠組で問題解決に関する「発見的問題解決法」に依存している (Dosi 1988)。エンジニアリングとデザインの知識は科学的な原則から引き出されているが、それはまた、実世界の問題を抱えた教育と経験を通じて構築された、「経験則」、「情報に

基づく推測」、「ルーチン」、「問題解決の規範」に大きく依存している。エンジニアやデザイナーは、実際の問題を解決するために物事がどのように働くかについての知識の膨大な知識に基づいて、問題指向のアプローチとしばしば物理的性質に関する理論を結びつける教育で、実践的で反復的なアプローチを使用することを学ぶ (Vincenti 1990)。一見シンプルなデザインでさえ、「通常の」デザインで使用される日常的な知識と「急進な」デザイン活動で実行されるあまり明確でない知識の両方を引利用している。Constant (1980) は、分析のために選択すべき潜在的な解決策についての判断と直感を含む、物事の仕組みとそれらがどのようにフィットするかについてのエンジニアリング的知識のゆっくりした着実な増加である反復的实践の開発に言及している。

社会的要因

エンジニアやデザイナーが行う決定は、物理的および技術的要因だけでなく、社会的、経済的、時には政治的要因にも基づいている。さらに、社会的および非公式的文化、コミュニケーションのネットワークおよびパターンは、エンジニアリングとデザインにおいて非常に重要なままである (参照: Allen 1977)。プロジェクトの作業は、通常、さまざまな組織にまたがるさまざまな分野のチームで実施される (第 7 章を参照)。チームメンバーは、ソリューションの開発を支援するために、関連するデザインやエンジニアリングプロジェクトについての話を言葉やスケッチで伝える。研究によると、デザイナーとエンジニアは対面して対話する時間と単独で働く時間が必要である (Perlow 1999; Salter と Gann 2003)。この対話する時間と単独で働く時間の必要性のバランスは、深刻な作業負荷、深夜、勇ましさと過労のサイクルが示されることが多い組織に、痛切で構造的な緊張を引き起こす (Perlow 1999) (第 7 章のクリエイティブワーカーと職場、参照)。

モジュール性

Simon (1996) は、エンジニアが複雑な問題を解決するには、モジュールや小さなパーツに分解する必要があると述べている。仕事を分解することで、エンジニアは扱いやすい複雑な領域に作業を集中させ、狭い範囲の仕事に自身の技術や能力を適用し、残りの問題を他のグループに任せることができる。このようにして、エンジニアは多くの異なるサブチームやユニットに仕事を分け、問題解決の効率と有効性を高めることができる。

モジュール性の概念とそこから出る設計ルールは、分解された設計プロセスを管理するための組織だてを行うのに役立つ (Eppinger ら 1990) (モジュール性の詳細については第 6 章を参照)。モジュール性が設計の指針である環境では、イノベーションには、特定の問題に適用される既存の技術の新しい組み合わせがしばしば伴っている。デザイナーやエンジニアの中には、コンポーネントと技術の選択や、さまざまな年代の技術を使った新しいコンポーネントを組み合わせた、異なったシステム間のインターフェ

イスの指定などのシステムインテグレータとして働く者もいる（Baldwin と Clark 2000; Brusoni ら 2001）。第 6 章で述べるように、モジュール性には限界があるので、非常に適切なエンジニアや設計者であっても、異なる技術や構成要素の深い知識とそれらをいかに適合させるかが依然として求められている。

逐次的プロセス

伝統的に、デザインの決定は順番に達成され、それらはゆっくりと閉鎖的になされ、次第に費用がかかるようになる。進行を変更するか、あるいはすべてを中止するかどうか決定を下す前に、大量の資源を消費することがある。建造環境のようないくつかの分野では、このプロセスは時折驚異的な、単発のイノベティブな結果を生み出すのに成功している。しかし、逐次的な意思決定では頻繁に、クライアントの期待に反し、建築家、エンジニア、サプライヤーの失望感を抱かせ、事態が悪化したときに責任と遂行を引き継いだ法律論争の中で、弁護士の手帳の肥やしになった。このような場合には、設計によって付加価値が低下するのはほとんど避けられなかった。良質の結果が生み出されるかどうかは、運が良かったかどうか、すべての関係者の好意の偶然の一致によって決まった（Gann 2000）。費用のかかる物理的プロトタイプングや開発作業が行われるまでは、選択肢の選択が不可能な伝統的な製品開発プロセスにも同様の問題が見られる。

伝統的な作業組織とスキル要件

建造環境は、多くの業界で見られる伝統的なデザインやエンジニアリングの問題の有用な事例を提供している。たとえば、建物の設計に使用されるスキルは、高度に成文化されており、実践が許されるまでに数年間の教育が必要である。この伝統的なモデルでは、専門的な境界で強く区切られた厳密な分業がある。誰もがそれぞれの場所と仕事それぞれの特有な手続き習慣で進めなければならないことを知っている。昇進は、責任と経験に関連した段階的に昇格に基づいている。多くの企業は、革新性、新しさ、創造性で評価される年功序列や経験をもとにした、パートナーシップとして事業を展開しており、報酬は定型的な仕事と代替可能な仕事に対しては標準化されている。設計会社間の競争は、大多数の伝統的なデザイン、エンジニアリング、製品開発の実践との間に「試す（play）」の違いがほとんどないため、価格に基づくことが多い。このビジネスモデルには、上流と下流の統合は、ほとんどあるいは、まったく見られない。

チーム編成次第で、異なるエンジニアが問題解決に向けてうまく協力することを可能にするので、設計には、しばしば多分野で時には大規模な、エンジニアと専門家のチームが関与する（Gann と Salter 2000）。しかし、これらのチームは、定常的に多くの時間を費やして図面を描き、小さくても重要なディテールをチェックする。Edison の「イノベーションには 1%のひらめきと 99%の努力が必要である」と

という言葉が当てはまる。問題解決は主に紙ベースであり、スケッチはソリューションの開発におけるコミュニケーションのための好ましい方法である。建造環境で仕事をする企業はコンピュータの早期採用者であったが、一般的に単純で反復的な作業に使用されていたが、一部の企業では CAD は高速かつ高価な消しゴムと例えられている。設計とエンジニアリングシステムは、品質チェックと、規制とガイドラインの使用を含む専門的な慣行に縛られている。エンジニアは数学モデルを使用し、設計者は高価な物理的プロトタイプを作成する。アイデアの相互交流の可能性はほとんどなく、プロジェクトやプロセスの「思考 (think)」段階でのアイデアの原型との関連付けもなく、マーケティング担当者や顧客へのリンクも限られている。「実行 (do)」段階の実施責任者との交流の機会は、サプライヤーや専門工事業者との関係がほとんどないため、同様に限られている。この線形の連続したプロセスには、フィードバックループがほとんどない。

5.3 デザインの新しい実践

上記の設計とエンジニアリングの実践の組織と構造は、専門家が個別にまたは共同して作業する方法に特定の意味を持ち、知識が開発され、移転される方法を形成している。次のケーススタディで見るように、IVT はこれらのすべての事柄に影響している。モデルの開発は、設計とエンジニアリングの知識の中心にあり、人々が解決策で試す方法を支え、それによって伝統的な実践を変える。

モデルで「試す」

1960 年代のシドニーオペラハウスで Arup と協力していた構造エンジニアとデザイナーの Ted Happold は、ソリューションの開発におけるモデリングの重要性を明確に示し、

ソリューションはひとつのモデルで表されており、最初はメンタルモデルである。これは、さまざまな方法で開発され、伝達される。記述、図面、物理的モデル（表現的または形態調査）、アナログモデル、数学的モデルまたはコンピュータモデルである。概念を想像して評価できるのは、モデルをコミュニケーション可能な形で開発することによってのみである。（Groak 1998 から引用）

シミュレーションとモデリングは、エンジニアリングの問題解決において常に中心的な役割を果たしてきている。モデルは、エンジニアが構築される前と後の人工物について学習するためのメカニズムを提供する。物理的プロトタイプは費用がかかり、作成に時間がかかるが、デザイン決定の開発と検証に重要な役割を果たす。モデルにより、エンジニアはさまざまな選択肢を検討し、構造要素、材料、およびコンポーネントの選択肢を相互に評価することができる。

1976 年に Happold は、2004 年までに 12 か国で働く 700 人以上のエンジニアを雇用する、Buro Happold というコンサルティング・エンジニアリングとデザインを行う会社を設立した。デザインプロセスへの彼の洞察は、エンジニアリング問題の解決策を、試すか評価することができる、モデルとその

開発を伴う、アイデア生成の創造的プロセスに結びつけることである。選択と検証の反復的な概念は、研究者が問題を研究し解決する方法から、「実践的研究者」としてデザイナーを説明する結果をもたらせた（Groak と Krimgold 1989）。実践的研究者は、芸術的、創造的、創造的な要素を実用的な実現可能な結果と結びつけ、アイデアと実践の架け橋として機能する。これは、あまりにも多くの能力を必要とする。

なぜなら、家具のデザイナーでメーカーである John Makepeace は次のように述べている。

芸術家はメーカーとは異なるベンチマークを設定する。メーカーは 10 回のうちに 10 回当てたいと考えている。芸術家はより捉えにくい目標を持っている。10 のうちの 1 つの成功で十分で、他の 9 つの作品は、その重要な芸術的結果への道に沿ってスケッチ、プロトタイプ、およびサポート資料としての役目をはたす。（Myerson 1995 : 195 で引用）

このプロセスの重要な部分は、さまざまなデザイナーとエンジニアが可視化を用いて「会話」できるようにアイデアを表現する方法である。デザインが開発のさまざまな段階で表現される方法は、ソリューションの開発においてどのように選択がなされるかに直接関係している（Croak 1998）。Croak は表現が、可能な解決策の探索、操作、および作成のための主要ツールの 1 つであることを示している。彼は Brunelleschi と Alberti による数学的な視点の発明から今日の多くの業界の生産図面に使用されている第 3 の角度投影の機械的描写まで、広範な表現力のあるテクニックを挙げている。異なる表現方法は、デザイナーやエンジニアに特定の問題とその解決策について異なる視点を提供する。こうした見方は、重要で興味深い非明白な事柄の全範囲を示すことができるので、Croak に調査における「遊び心（playfulness）」と呼ばせるものになっている。彼はデザイナーが「より多くの頭脳（brain）、より少ない腕力（brawn）」で問題に直面することを可能にする、デザイナーがユーザー、クライアント、および他のスペシャリストとのより大きい相互作用に参加できるようにする一連の方法とツールによって支えられる、将来の設計とエンジニアリングの実践のあり方を予測した。

デザイナーは、19 世紀末から 20 世紀の初頭にバルセロナのサグラダファミリアの構造を検証するために、Gaudi が使用していたハンギングチェーンのような、独自の物理的アナログモデルを作成することもある。これらのモデルは、紙と鉛筆を使用してスケッチして計算できるものよりもはるかに多くの情報を提供してくれる。Groak（1998）は、設計エンジニアが、表現されたものの間で対話を生み出すモデルを使用して、ソリューションをいかに試す（play）するかの例を示している。複雑な曲面の設計では、構造物のあらゆる点の座標位置を定義するために、ストッキングネットモデルの使用を挙げている。これをもとにプレテンションされたゴム膜を作成し、以前にモデルで定義されたシステムポイントにゴム膜部品を移動させる。これらから漆喰の型ピースを作り出し、湾曲した表面を作るピースを組み立てるために「仕立て作業」が行われた。1:10 のモデルは、どのように構造が原寸で作りに出されるかをデモンストレーションした。Croak は、同じ結果を得るために、図面と 2 次元シートで操るのは非常に難しいと述べている。

Groak が提供しているもう一つの例は、Alvar Aalto が空間の周りの音の動きを表すために、点光源を使

用したことである。その後、この技法を用いてオーディトリウム之音響がモデル化された。コンピュータモデルでは、「聴覚化 (auralization)」のプロセスでコンピュータモデル内で重ね合わされた録音された音と組み合わせて使用される音響特性を探索し、設計者が計画されたコンサートホールのさまざまな部分で音をシミュレートできるようにしている。レイトレーシングの使用は音響をより正確かつ予測可能にしているが、異なるユーザーグループを満足させるための設計を可能にする、結果を解釈するための判断が依然として必要である (Hough 1996)。この例は、設計者がソリューションを開発するときに行われる、物理的モデリングとデジタルモデリングの組み合わせを示している。

モデルの構築：ピサの斜塔

伝統的な工学の知識と実践との組み合わせでの IVT の使用の例は、ピサの斜塔の不安定性の問題に対する解決策に見出すことができる。塔の高さは約 60m、重さは 14,500t、基盤は 19.6m である。1990 年には、水平に対して約 5.5 度の南側に傾斜した基盤と、7 階のコーニスの位置が地面のレベルで約 4.5m 張り出していた。20 世紀のほとんどで、塔の傾きが増えていた。1990 年の傾斜率は 1930 年の 2 倍であり、石積みの瞬時座屈崩壊は警告なしに発生した可能性がある。塔のコンピュータモデリングは、その崩壊を防止する解決策を生み出した。

この塔は、大聖堂用の中空円筒形の鐘楼として建設された。建設は 1173 年に始まり、1178 年までに最終的な規模の約 4 分の 1 までなり、その後約 100 年間建設は停止された。作業は 1272 年に再開され、塔は 1278 年に 7 階のコーニスの高さに達した。鐘を吊る部分の仕事は 1360 年から 1370 年の間に行われた。建設が連続的に行われた場合、不安定な地盤条件のために塔が倒壊していった。しかしながら、建設活動の 2 つの長い休止は、地面を硬化させ構造物の荷重に抵抗する時間を提供した。

115

塔の安定化は革新的な土壌の取り替え方法で達成さ、無頓着な見物人には見えない傾きの小さな減少を引き起こした。この修復作業の実施には、例外的なレベルの継続的なモニタリングと日常的なコミュニケーションにより、プロジェクトのコントロールを維持するために、毎日の通信によるコンピュータモデリングと大規模な開発試行が必要であった (Burland 2004)。

ピサの塔の崩壊を防ぐプロジェクトのリーダーは、Imperial College London の土壌工学の名誉教授である John Burland であった。Burland の研究は、トンネル掘削に起因する地盤移動の仕組みと、地盤沈下と緩和への革新的な影響である。ピサの斜塔の研究に携わったのは、1990 年から 2001 年の終わりまでの 12 年間続いた。彼はピサでのプロジェクトでは月平均 2 日で、Imperial College では 1 日 3 から 4 時間を費やした。Burland は、彼の研究で、特にロンドンの新しい地下鉄路線建設の 30 の建物におよぼす潜在的な影響について研究で、モデルを広範に使用している。

エンジニアは常にモデリングをしている。これには単純な概念化や高度に洗練されたモデルが関わっている。ピサで何かをする前に、私たちはそれが倒れる時点にあり、非常に繊細であるということを知っていた。安定化対策を調べるために、良い物理的モデルや数値モデルを開発しなければならなかった。それは、それがうまくいってなくてもモデリングによって本当に支えられていなければ、何かを試して試しても想像もできませんでした。それがなくて何かを試してみることは考えられなかった、モデリングによって本当に支えられている。

ピサの斜塔の作業で Burland が最初に実行したことは、モデルを検証する方法であった。どのようにタワーが建設されたのか、元の建築業者が建設中に傾きを修正したときに、何を行ったかについて学ぶのに、彼は最初の年を費やした。塔の傾斜の歴史を再現することができるよう、彼は建築歴史家になって、元の建築業者がやっていたこと理解しなければならなかった。これにより、モデルの検証に使用される可能性のある挙動の履歴がチームに提供された。

Imperial College London の土木工学の責任者である David Potts 教授と Burland は、さまざまなレベルの精巧な塔の数値モデルを開発に時間を費やし、歴史的解釈と相関しているかどうかを確認した。塔のモデルは、歴史的な研究と照合されコンピュータ上に構築された。Burland と Potts は、そのモデルに自信を持つ前には、決して達成されなかった、非常にぴったりの感覚を得ることができた。

その後、チームは一時的に斜塔を安定させ、この作業に基づいてモデルをさらに精巧なものにした。1993 年には、600 トンの鉛が非常に優しく徐々に塔の北側に正確な測定値を用いて置かれた。この塔は、モデルの予測と非常に近似して応答した。

塔の傾斜への少なくとも 6 つの永続的な解決策がこれまで考案されており、これらはモデル上で評価された。それぞれの解決策には支持者がいたが、その多くは達成できるものが何なのか、いかに実行すべきかについて非常に独断的であった。このモデルは、それらの実施がそれぞれの場合に塔を倒壊させることを示した。土壌の抽出の最終的な解決策が決定される前に、モデリングは土壌を抽出する技術が原則的に機能することを示し、したがってモデルはこれらのアイデアをテストする上で非常に有用であった。Burland と彼のチームによって使用されたモデルの基礎は、1960 年代に Cambridge University から生まれた洗練された土壌行動モデルに遡る。Potts は、Imperial College でこれらの非線形で増分塑性 (incremental plasticity) モデルに長年の経験を持っていた。やっていることが正確な答えに向かって収束しすることを確実にするために、コンピュータ技術は、非常に厳格でなければならない。Burland によると、計算手順が正しくないため、信頼性のない多くのプログラムがあるという。Potts は、この種の唯一のプログラムであり、Imperial College が所有している、Imperial College Finite Element Program (ICFEP) と呼ばれる非常に大きな有限要素プログラムパッケージを使用している。

Burland が「シミュレーション」ではなく「モデリング」という言葉を使用するのは、物理的モデルが土木工学の分野で広く使われているからである。複雑な特性を理解する必要がある場合は特にそうである。例えば、土壌は非常に複雑な機械的挙動を示し、これを理解するために物理的および計算的モデリング

が用いられる。可能な限りプロジェクトの歴史を理解する必要がある、ピサでのモデリングの経験から生まれた、彼は普遍的な学習について述べている。このケースでは、彼は物理的に何が起きているのかを探るために、既存の建物をその設計と建設に戻って理解しなければならなかった。この事例は、モデリングの価値、構築に必要な注意点、大学の研究拠点とのつながりのメリットを示している。

技術で「試す (play)」

紙ベースの物理的なプロセスと新しい仮想的なデジタルプロセスを組み合わせ、IVT を使用することで、設計とエンジニアリングの実践は著しく変化している。多くの場合、従来のアプローチを補完する、物理的および仮想的設計環境の両方が使用されている。新しい設計プロセスは、アイデアの間を流動的に移動する能力を具現化し、さまざまな選択肢から選択や形をすることによって同時に影響しあう、顧客、サプライヤー、協力者などさまざまな参加者を伴い、それは以前よりも包括的である可能性がある。しかし、イノベーションそのもののようなデザインとエンジニアリングは、しばしば非常に不確実な活動である。間違いは一般的であり、失敗のコストは高くつく可能性がある。

IVT を導入に駆り立てるものには、コストの削減と精度の向上が含まれる。シミュレーションとモデリング技術は、人工造作物やシステムを構築する前に、物理的性質や挙動を試し、よりよく理解してすることができ、そして異なる技術や構成要素を試すこと、「実施する前に学ぶ」ことができる (Pisan 1997 参照)。

設計者やエンジニアがこのように試す (play) ことができる特別な技術は、コンピューティングパワーの進歩とビジュアルおよびその他のインターフェイスの改良によって、さまざまな分野やアプリケーションから出現している。CAD ツールやコンピュータゲームは、これらの技術の核心である。多くの設計およびエンジニアリング環境では、データベースへのアクセスと、ナビゲーションおよびビジュアル化機能を含むデータマイニングツールの使用によって、選出と選択が支援される。しかし、デザインとエンジニアリングにおける「試す (play)」をサポートするために IVT の種類を分類する決定的な方法はいまのところない。いくつかのシステムは多機能であり、他のシステムは高度に特殊化されている。それらの多くが「思考 (think)」と「実行 (do)」と「試す (play)」をサポートしている。

IVT は、さまざまな形態の統合が起こりうる手段を提供することで、エンジニアが複雑で、多分野にわたる、そして共同のプロジェクトを管理するのに役立っている。Simon (1996) が述べているように、エンジニアが複雑な問題を小さなコンポーネントに分割して解決する場合、IVT は分解レベルでの分析とそれらのコンポーネントの再統合を支援できる。それは、技術的な互換性があり、体系的な統合とインタフェースの要件によって情報が提供され、潜在的なソリューションを操り、試す (play) 費用対効果の高い方法を提供する。デザインとエンジニアリングをサポートする IVT のその他の例には、製品開発やコンカレントエンジニアリングにおける優れたプラクティスと意思決定プロセスを導くエキスパートシステム、デザイン・ストラクチャマトリックス (Eppinger 2001) などの設計とエンジニアリングにおける

情報フローを管理するための方法論とツールが含まれる。

この技術を使用する際の重要な課題の 1 つは、全体的なシミュレーションを成し遂げる方法である。サウンド、湿度、温度、照明、色などのさまざまな物理的条件で応答を評価できるように、個人の属性が埋め込まれ、シミュレーションする仮想環境内での人々を、デジタルで表現するアバターの使用が考えられる。これらは、身体のさまざまな部分について説明することができる。第 3 章で見てきたように、このような技術は、高価な自動車の衝突試験やダミーを破壊する代わりに、コンピュータモデルはアバターを生成し、ダミーを置き換えるシミュレーションが使用される。このツールは、衝突によって引き起こされた特定の種類の傷害をモデル化することができる。

IvT を適切な方法で使用すると、デザイナーやエンジニアは、機能、建設品質、インパクト、心と感覚に及ぼすデザインの影響などの知覚的影響など、さまざまな属性を使用して試すことができる (Gann ら 2003; Whyte and Gann 2003)。そうすることで、非専門家が選択と意思決定に参加する新しい機会が開かれる。設計システムはより流動的になる可能性がある。思考 (think) する人は実施段階での試し (play)、実施 (do) する人は思考 (think) するようになる、顧客は思考 (think) や実施 (do) の決定に関与することができる。

ほとんどのエンジニアは依然として紙のヘビーユーザーであるが (Salter and Gann 2001)、紙の上ではなくコンピューター上での設計作業の割合が増えている。コンピュータプログラムは、安定した環境で日常的な「通常の」設計の多くの局面を支援するために使用される。日常的な作業の自動化は、空気の動き、音響、照明、熱的快適性、エネルギー消費、安全性、ユーティリティなどの分野での精度と予測可能性を向上させることができる。同時に、IvT は以前はアクセス不可能だった機能、品質、およびインパクトについて新しい情報を生み出すことができるため、これらの技術を使用して「急進的」設計選択肢の開発をサポートすることができる。Zuboff (1988) が「プロセスの情報化 (informating)」と呼んでいるものである。例えば、IvT の使用は、伝統的な設計方法、技能判断、意思決定が表現と解釈の手段を持たなかった材料やシステムの基本的な挙動の様相を明らかにすることができる。

多くのデジタル設計ツールは手頃な価格で容易に入手できる。デザイナーは過去にできるもの以上のことを、より迅速に行うことができる。IvT は、物理的現象を抽象化するのに役立つデジタルモデルの基礎を提供し、設計者がさまざまな選択肢で実験、シミュレーション、および試すことができるようにする。これにより、伝統的な逐次的な設計の実践に、モデリングとシミュレーションの新しい文化がもたらされ、より多くの並行診断研究が始まっている (Schrage 2000)。

設計者は、ある選択肢または設計の一部を別のものに重ね合わせる技術を日常的に使用している。これらの手法は、探索、試す、そして最適なソリューションを決定するために使用されている。IvT は、ここではソリューションとの試すプロセスをサポートするために使用される。これらの技術の中には、コンピュータゲーム業界の発展から進化したものや、コンピューター視覚化インターフェースを使用したデジタルツールとして現在入手可能な Ashby の材料選択チャートから、構造解析用のソフトウェアまで、

選択と分析のプロセスをサポートするためのソフトウェアツールが開発されている。何千ものプログラムが利用可能であり、その多くは設計選択と分析の特定の分野における専門知識を持った、デザイナー、エンジニア、または研究者によって開発されたソフトウェアパッケージに由来している。

IVT がデザインで「試す (play)」ために使用されている方法や、これがいかにデザインのプロセスを変えるかは、次のケーススタディで説明されている。

Box 5.2 まじめなゲームで試してみる

シミュレーションと表現の領域で見られる多くの技術的利点は、ゲーム業界に由来している。任天堂の Game Boy、Microsoft の X-Box、そしてソニーの Play Station のような世界的プラットフォーム、そして Grand Theft Auto や Sims などのプログラムなどがある。これは、それ自体が相当な市場である。2003 年のゲームのソフトウェアの売上高は、70 億ドルに過ぎない。ゲームはどこにでもあり、コンピュータ、携帯電話、飛行機の座席の後ろにもある。ゲーム技術は、ゲーム機から漫画、映画の特殊効果に至るまで、エンターテインメント産業に大きく貢献している。しかし、何よりもとりわけ、啓発、軍事、および健康のアプリケーションに見られるような、これらの開発には「まじめなゲーム」要素もある。パイロット訓練の費用とリスクを考えてみよう。Thales Training and Simulation で作成されたシミュレータは、パイロットが夜間に飛行するために計測器を訓練し、限られたコストとゼロリスクで世界のすべての主要空港に事実上現実的に着陸できる環境を作り出す。パイロットは、将来的に人命を救う可能性のある、意思決定を改善するフィードバックループを使用して選択を行うことを学ぶことができる。軍隊はゲームの価値を長い間知っている。ペンタゴンはシミュレーションツールやソフトウェアに毎年 40 億ドルを費やしている推定され、兵士を訓練するために Full Spectrum Warrior や America's Army のような人気ゲームを開発していると、Jose Varga は、ワシントン・ポスト紙に書いている。後者のゲームには明らかに 400 万人の登録ユーザがいる。このゲームの人気は、米国の 50 万人以上の陸軍の平均年齢が 20 代のゲームボーイ世代であることを考えると、驚くべきことではない。

ゲーム技術は外科医の訓練に使用され、マネージャーはチーム育成について学び、外国為替業者には繰り返しのシミュレーションを通じてより良い意思決定を支援し、子供たちに科学について教えるために使用することができる。

建築家 : Frank Gehry

Frank Gehry の有名な作品には、スペインのビルバオにある Guggenheim Museum (1991~7)、プラハの「Ginger and Fred」オフィスビル (1992~6)、オハイオ州の Case Western Reserve University の Weatherhead School of Management、(1999~2002)、シアトルの Experience Music Project、(1999-2000)、ロサンゼルス W ilton 3 の Walt Disney Concert Hall (1989-2004) などがある。これらの表意

に基づいた複雑な形状の（gesture-based）建物は、従来の CAD システムを使用して流れるような表面形状やエンジニアリング構造をモデル化するのが容易ではなかったため、1980 年代後半には不可能ではないにせよ、技術的に困難であった。Gehry の顧客のための建物のビジョンは、新しい種類の技術アプリケーションなしには実現できなかった。

Gehry の作品は、物理的モデルとコンピュータモデルの反復的なプロセスによって作成された、緻密に彫刻された、幾何学的に複雑な形態に基づいている。クライスラーの自動車およびボーイングの航空機の設計で湾曲した形状を生み出すのに使用されてきた CATIA システムに、彼は 1990 年に購入した。このシステムは、生産プロセス設計の専門家である James Glymph によって管理され、設計、開発、および建設のための急進的な新しいアプローチの一つとして導入された。新しいアプローチは、Gehry がこれまで可能であったよりも、より多く設計プロセス全体的に関与する機会を作り出した。彼は物理的に彫刻された形を手作業で作っていた。スケールモデルは、Gehry のアシスタントによってこれらから生成され、当初脳外科手術のために人間の頭部の形状を記録するように設計されたデジタイザを使用して、3D コンピュータモデルにスキャンされた。デジタル化された形状は、IBM RISC 6000 マシンの CATIA ソフトウェアを使用して操作され、ビルディング内のすべてのスプラインおよびノードポイントを正確にモデル化してエンジニアリングする機能を提供する。これは、1990 年代のほとんどの CAD システムで使用されていたポリゴンレンダリング技術の進歩であった。Helysis のラピッドプロトタイピング・ソリッドモデラーを含め、ラピッドプロトタイピングマシンを使用し、設計検証のためにより多くの物理的モデルが作成される（ラピッドプロトタイピングの詳細は第 6 章を参照）。最終的な設計が合意されると、電子設計データは、鋼、石、ガラス、チタン、およびコンポジット材料で仕事をするさまざまな専門の製造業者にデジタルで転送することができる。デザイン事務所は、コストを削減して構築性を向上させるために、緊密に協力しているが、サプライヤや専門工事業者とは「関係が薄く」なっている。

このプロセスは、Ginger and Fred のオフィスビルディングのファサードなどの標準化されたコンポーネントを使用して、特有なデザインの生産を調整するのに成功した。それはまた、Guggenheim Museum の鉄骨構造のような個別な、特注部品で作られた建物を生産するためにも使用された。ビルバオの Guggenheim Museum の設計と製作プロセスは、CATIA ソフトウェアプログラムで設計されカリフォルニアのサンタモニカから、スペイン北部の製鉄所の BOCAD CNC ソフトウェアにデジタルで転送され、幾何学的データベースに自動的に変換された。このアプローチでは、作業図面や加工図面の開発など、プロセスの従来の逐次的なステップが省かれた。個々の鉄鋼部材はバーコード化され、CATIA モデルにリンクされたレーザー隅出しシステムを使用して位置決めされた。現場での巻き尺の使用は不要であった。

このプロセスでは、建築と建設に急進的な新しいアプローチが必要であった。Glymph が述べているように、同社は「デジタル革命の結果として業界全体の参加者の役割、責任、および報酬構造の急進的な換」を達成したいと考えている。Gehry の例では、物理的モデルとコンピュータモデルを組み合わせ、

複雑な建築形態の設計と構築における生産プロセスを改善している。このシステムは、全体的な設計において形状を犠牲にすることなく、生産における繰り返し使用からの、予測可能性を提供するのを支援する。これは、共有データベースが、さまざまな国のさまざまな専門家による、新しい統合設計および生産プロセスにおける不可欠なツールとして、どのように使用できるかを示している。その結果、デザイナーがプロセスの中心にあるチーム内に配置され、より良い価値をクライアントに提供できるように、設計の根本的な変更が行われる。他のすべての人が作業し、さまざまな選択肢を試す、データベースをデザイナーが生成するので、その責任は増してくる。

デザイン事務所は、同時に、建設会社、サプライヤ、専門工事業者とより緊密な関係にある。このアプローチは、建築設計とエンジニアリングが終わってから、建設が開始されるという伝統的な区別を曖昧にしている。仕事は、伝統的な設計—建設プロセスとは異なる方法で分割される。思考 (think)、試す (play)、実施 (do) がオーバーラップし、同じ IVT ツールキットでサポートされている。さらに、このプロセスは、プロジェクトが実施段階でのパフォーマンスを、例えば、変更注文回数、製造上の欠陥、現場アセンブリでの切断、調整および欠陥修正の必要性を低減するなど、よりよく改善する。

形を作る段階での、この根本的に新しいアプローチの開発は、Walt Disney のようなイノベーションのリスクを引き受ける心構えのある、イノベイティブな顧客の引き立てを明らかに必要とした。

これらの技術の使用の成功により、Gehry の実務では、2002 年に Gehry Technologies (GT) の会社が設立され、「建築実務における技術的な卓越性のレベルを上げる」ことができた。GT の CEO である James Glymph によれば、より高速で安価なコンピュータは、あらゆる規模の企業において、Gehry がその仕事で追及している、デジタル駆動プロセスを使用することを実現し、このプロセスは、Gehry を有名にしたハイエンドな文化的建物だけでなく、さまざまなプロジェクトタイプに適している。GT は、IBM と Dassault Systemes、米国建築家協会、Civil Engineering Research Foundation、MIT のメディアラボと連携している。

Gehry の成功を更に示すものは、脚光を浴びる博物館、ギャラリー、コンサートホールそして、大学図書館など公的に見える建物に関しての実務の新しい依頼の数である。

Gehry の例では、IVT を使用して建築設計をいかに全体の設計および施工プロセス内で再統合することができるかを示している。しかし、それはまた、さまざまな異なる市場での、社会的使用に関連して空間の設計について考えることを助けるかもしれない。空間の構成はかなりの数の建築家によって、空間そのものの物理的開発と同等の重要性を持つと見られている。これには、設計たものの使用についての理解が必要であり、空間構成が現時点で考えられたスペースを提供するだけでなく、ユーザーのビジネスプロセスのパフォーマンスを改善するための、空間構成の変更のエージェントとして、はるかに積極的にデザインに関与している。ユーザーとの共同作業でデジタルシステムの選択肢を「試す」機能は、効率的で効果的で魅力的な建物につながる可能性がある。

新しい Polaroid カメラ

1990 年代後半、Polaroid はパスポートの写真を印刷する新しいデジタルカメラを開発しようとした。新製品の主な市場はプロ写真家であった。Polaroid は、毎年パスポートの写真が 1200 万枚撮られていると推定していた。新製品のアイデアは、Polaroid の販売代理店が、パスポート写真家と話をしていたことからのものであった。

新しいカメラは、軽量で、フレキシブルで、人間工学的でなければならなかった。パスポートと大型写真の両方を迅速かつ高品質で印刷することができる必要がある。同じフィルムに個人の同一写真または異なる写真を印刷する必要もある。カメラは、音波距離計、バウンスフラッシュ（フラッシュの光を被写体の近くの壁や天井に当てて、被写体には間接的な光が当たるようにする）機能、高解像度プリンターなどの高度な写真技術を搭載していた。液晶ディスプレイは、印刷されるメモリ内の特定の画像を顧客が決めるを助けるために、比較的大きくかつ高品質でなければならなかった。

カメラ開発の第一段階は、マザーボードのサイズとデザインを決定することであった。このマザーボードには、ビジュアルプロセッサ、メモリチップ、電源カップリング、プリンタドライバなど、カメラ機能を実現するために必要なコンポーネントがすべて必要とした。マザーボードのサイズは、そのすべてが標準で市販されていた、コンポーネントの種類によって決まってきた。マザーボードの設計は、さまざまな電子モジュールの位置を特定し、基板全体で回路接続を描く電子回路設計ツールを使用して社内で行われた。この設計ツールは、Polaroid の仕様のマザーボードの実機版（physical version）をつくるため専門メーカーに渡す、初期仮想設計を作成した。

Polaroid のデザイナーは、新製品の完全な実用プロトタイプを構築し、ハンドルやプリンター用紙の排出場所などのさまざまな要素をマザーボードに配置するのを始めた。それらは、大まかに作られた一連の紙ベースのプロトタイプを使用することから始まった。ユーザーが、さまざまな人間工学的選択肢とプロトタイプ構成についてコメントするために招待された。最初の形状が合意され、設計者は CAD プログラムを使用して物理的モデルをデジタルモデルまたは仮想プロトタイプに変換した。デザイナーは、さまざまな機能を持つモジュールを組み込んで、さまざまな要素をモデルに追加した。CAD ソフトウェアは、異なるモジュール間での多数の不一致を見出した。デザイナーは、デザインの機能を改訂を反復することで、実用的な仮想モデルを完成させた。このモデルは、最初の実用プロトタイプを製造するための、製造および外部サプライヤに渡された。

新しいプロトタイプの試行で、小さな線の出現のために印刷された画像の品質が悪いことが発見された。大規模なテストの後、マザーボード上のさまざまなコンポーネントの位置が干渉を引き起こしていることがわかった。デジタル画像プロセッサ用のメモリチップは、電源結合などのマザーボード上の他のコンポーネントからの電氣的干渉に非常に敏感であった。その結果、マザーボードは再設計され、モジュールはデジタルピクチャプロセッサと電源結合の間のスペースを最大限に作るために移動した。マザーボ

ード用の新しい電子レイアウトは、外部委託製造に送られ、最終製品に組み込まれた。この製品は市場に回っている。小売業向けの新しい MiniPortrait カメラが 2003 年に発売された。全体として、製品アイデアの最初の着想から完全な立ち上げまで 1 年かかった。

Polaroid パスポートのカメのラケースでは、IvT がどのようにして設計プロセスの速度、柔軟性、および経済性を向上させるかを示している。マザーボードの設計上の問題は、さまざまなコンポーネントの再配置後に自動的に再配線される回路接続によって迅速に対処することができた。設計者はさまざまなソリューションで試すことができた。プロトタイプ of 仮想表現は、最初の物理的プロトタイプ of 生成前に識別されるコンポーネント間の不一致をわかるようにした。その結果、既存の技術やコンポーネントを中心とした新しい設計に基づく主要市場向けの新しい製品ファミリーが 1 年間で開発された。

新しいブラのデザイン

ブラジャーは大きなビジネスである。英国では、ブラ市場は 8 億 5000 万ポンド、米国市場では 46 億ドルと推定されている。現代のブラジャーには、プーリー、エアバッグ、先進のプラスチックモールド、シリコーン充填インサートなど、40 ものコンポーネントがある。エコノミストによると、それは長い間、エンジニアリングの小さな偉業であった。

1990 年代後半に、ブラ製造業者の Charnos は、既存のブラにいくつかの大きな問題があることを認識した。第一に、多くのブラジャーには洗濯が困難な金属製の物が含まれていた。第二に、イギリスにおいてブラジャーの平均サイズが 1950 年代の 34B から今日 36C に大きくなったように、胸の大きな女性にとって不十分なサポートを提供していた。第三に、ブラジャーのデザインのなかには、いわゆる「痛い要因」である、脇の下の周りの皮膚をつまんでいるものがある。Nottingham Trent University の調査によると、女性の 70% 近くが、自身に合わないブラジャーを装着していて、それは適切なサイズを見つけていけないこと、またはブラジャーのサイズが摩耗と洗濯によって変化することが原因である。これらの問題に対する 2 つの可能性のある設計上の解決策は、より強いサポート材料を用いるか、あるいはしばしばワイヤーであったが、問題を解決しなかったか、またはブラジャーのサポートが少なく、しかも不満足なものであった。Charnos は 1998 年に新しい種類のブラを作ることを決めた。優れたブラジャーを設計することは、大きなエンジニアリング的課題で、Charnos はエンジニアリングの基礎に遡って考えるため、英国のデザイン会社 Seymour Powell を引き込んだ。

ブラのデザインをよりよく理解するために、Seymour Powell は現世代の製品を使用している女性とさまざまなユーザー体験ワークショップを実施した。また、Adidas や Nike のようなスポーツウェアのウェアラブルプラスチックの開発での経験についても調査した。

この問題に対する解決策を見つけるためには、一連さまざまな IvT を使用した。Seymour Powell のデザイナーは、形態を生み出すために Alias Wavefront を使用して、最初のスケッチを CAD モデルにスキャンすることで解決策を探し始めた。その後、光造形法 (stereolithography) で作成された 3D エレメ

ントを早期に評価した後、Seymour Powell は厳格なドレスメーカー用マネキンのバストで試してみた。しかし、これらの硬いバストは、実際の挙動のガイドにはならなかった。

この段階で、Seymour Powell はロンドンに本拠を置くプロダクト・イノベーション・コンサルタントである Product Design and Development (PDD) に参加を依頼し、胸の形や動きをよりよく理解するために科学的な基礎に遡った。Nottingham University とコベントリーに本拠を置く 3D scanners の助けを借りて、180 人ものボランティアがレーザースキャンされた。各バストの画像を平均して、バスト形状のユニークなデータベースを作成した。このデータベースにより、Seymour Powell と PDD はカップの大きさと形状をよく理解でき、いくつかの一般的な構造的形状が進化し始めた。スキャンは正確なデータを提供していたが、サポートされていないバストのデジタルフォームを作成するためにのみ使用できた。しかし、スキャンされたデータは 3D フォームのスケールと比率の基準を提供し、従来の測定技術を使用するよりもはるかに迅速に最終的なデザインに近づくことができた。

PDD のシニアデザイナーである Phil Shade (Smart Technology 2001) は次のように述べている。

「幾何学が示すさまざまな形状は、単純平均よりもはるかに大きくなければならないことは明らかであった。」ラピッドプロトタイピングに基づいて、PDD は Alias Wavefront のサーフェスモデルからシリコンゴム型を作製し、発泡鋳造品を製造した。これらのワイヤーフォーム防護構造は、快適な試行で使用された。PDD に直面する初期の課題の 1 つは、新しいブラの構造要素である防護構造の厚さを選択することであった。着用者の視点から見ると、これは目立ちにくく快適なものにするには十分薄くする必要があったが、繰り返しの洗濯に耐える堅牢性と改善されたサポートを提供する必要もあった。

別の会社である Arrk Formation に、一連の 3D モデルが送信され、ラピッドプロトタイピングを使用して金型を作成した。しかし、これらの型はまだ予備的なものでかつ不完全なものであった。Adidas のランニングシューズデザインの経験から設計と描画の反復プロセスを経て、ソフトラバーサラウンドに囲まれたハードな中央部を持つ成型品を開発した。

ハードケースにソフトラバーを組み合わせたこの新しいデザインは、Charnos の既存の柔らかい布に縫い付けられ、消費者がテストした。この一連の作業では依然として完全に満足のいくデザインに至らず、チームは人体の動きや、これらの動きが成品のデザインにどのように関係しているかについて、まだ十分に理解していないことを認識した。1999 年の初めに、チームは乳房の FEA (有限要素解析) を実施するために Arup Advanced Technology Group に話を持ち掛けた。Arup 内では、このプロジェクトは Louise Waddingham によって率いられ、彼女のチームは、デザイナー、エンジニア、メーカーと協力して、そして「車両、原子力および地震工学産業の高度なエンジニアリング的手法」の使用に特化して開発された、幅広いスキルを習得していた。このシミュレーションのアイデアは、新しいデザインがストレスと負荷の下でどのように機能するかを確認することであった。

Arup は動的非線形有限要素法を用いてブラの構造性能を解析した。体に付けられたブラジャーの計算表現は、モデルの形状をスキャンすることによって作成された。ブラジャーのモデルは、自動車のエアバッ

グとシートベルトのモデリングで通常用いられる技術を使用して構築された。これにより、ブラジャー材料の非直線性、身体との接触相互作用、および表現されるべき大きな変位が可能になった。ブラジャーの性能は、軽くジョギングする人または勢いよく歩く人をシミュレーションするために、垂直加速度を適用することによって分析された。

この分析では、歩行パターンによって変化するブラカップおよびストラップの変動応力、およびブラジャーが身体にしっかりと引っ張られたベースバンド周りのより高い不変のストレスが示された。(Smart Technology 2001) この分析では、以前の設計や使用試験では見られなかったデザインの興味深い側面が明らかになった。アンダーワイヤーの挙動は、新しいデザインの適切な機能にとって不可欠であることが分かった。ブラジャーのアンダーワイヤーは 2 次元形状であり、着用されると、ブラジャーが乳房の重さを支えるので、ブラジャーが下がり、ワイヤーは 2 方向に曲がる。ワイヤの長さに沿った軸方向の力は、繰り返し摩耗した後にケーシングから飛び出す傾向が大きい (Smart Technology 2001)。

主席デザイナーの Dick Powell は、この時点ではブラジャーが最初に想像していたよりも複雑であり、プロジェクトチームに、新しいデザインのいくつかの側面を再考すべきであると伝えた。「乳房は東西に行きたいと思う傾向があるのに、ブラジャーは南北に行くことを望んでいる」と彼は説明する。「結果として生じる力は、かなりの量の擦れや刺激を引き起こす」(Smart Technology 2001)。

この問題の解決策は、内側コアまたは防護構造がアンダーワイヤーの働きをし、乳房を保持してを作るより軟質のポリマーに注入される、2 ショット成形プロセスを含むエアロビを使用することによって開発された。ブラカップは、高アイソタクチック・ポリプロピレン・ホモポリマーで支持された柔らかいボディ成形ポリプロピレン製の熱可塑性プラスチックエラストマー (TPE) で作られている。Arup の FEA はまた、ブラジャーの構造パフォーマンス能力を改良することができた、その結果 Charnos は 7 つのサイズの製造金型に絞れるという確信を持つことができた。最終的な生産製品は Charnos の熟練した裁縫師が、ブラジャーのモールドの位置を微調整して快適性をさらに向上させた。

Bioform シリーズは、2000 年に英国および米国市場に導入された。Charnos の業務執行取締役、Tony Hodges は次のように述べている。「Bioform の販売は、自社と小売業者の期待を超えている。Bioform は、幸運にもそれを扱う店舗では、売上ナンバーワンのブラジャーになっている」(Smart Technology 2001)。いくつかのコメンテーターはそれを「ミレニアムの最初の奇跡」と呼んだ (Weston Thomas 2004 / www.fashion-era.com)。Bioform の初期の成功にもかかわらず、Charnos は 2003 年に別の会社を買収され、Bioform ブラジャーは市場でかなりの地歩を失っている。このブラジャーのデザインは、人気のないファブリックによって損なわれているようである (Weston Thomas 2004)。

シミュレーションで試す (play)

Ricardo Engineering

Ricardo は、大手自動車メーカー向けに研究、設計、開発を行うエンジニアリング技術会社である。もともと英国を拠点とし、米国、チェコ、ドイツに拡大している。1,800 名の従業員を擁し、1999 年の 9100 万ポンドから、2003 年には 1 億 1,300 万ポンドに達した。自動車、エンジン、トランスミッションエンジニアリングに特化した専門知識を持ち、自動車メーカーの製品開発部門と緊密に連携している。また、試験および校正サービスを提供し、独自のソフトウェア部門でさまざまなシミュレーションツールを開発した。

エンジン設計用ソフトウェア

Ricardo のソフトウェア・エンジニアリンググループは、特殊なソフトウェア解析ツールの社内要請から 1980 年代後半に成長した。当時、利用可能なサードパーティのソフトウェア製品が無く、Ricardo が独自の分析ソフトウェアを開発してエンジン設計プロジェクトをサポートする必要があった。このソフトウェアは進化し、物理的プロセスの基本的な理解を可能にして、確かな情報に基づいた設計変更を行った。Ricardo の顧客はソフトウェアの使用を求め、同社は製品としてそれらを再パッケージ化した。この事業が成長するにつれて、外部からのソフトウェア能力を獲得した。1995 年には、Ricardo Software として独自のソフトウェアを設計、開発、販売、サポートする、ソフトウェアグループが設立された。その製品は、モータースポーツ、自動車、オートバイ、トラック、農業、機関車、海洋および発電を含む幅広い産業で使用されている。顧客の大半は大手自動車メーカーとそのサプライヤーである。主なシミュレーション・ソフトウェアには、流体システムと機械システムの 2 つがある。

シミュレーションが必要な要因の 1 つは、設計する製品の複雑さが増したことである。1980 年代初め、エンジンは機械的なものであり、その性能を制御する要素はほんのわずかであった。しかし、1980 年代から 1990 年代にかけて、エンジンと車両の他の構成要素との間の相互作用は、特に新しい電子制御システムを通じて、大幅に増加した。Ricardo Software の市場が拡大するにつれて、会社はこの新しい複雑さを管理するための今後の開発のアイデアや意見を、外部ユーザーに依存するようになった。2003 年、Ricardo Software は 55 人のスタッフを雇用し、Chicago、Shoreham-by-sea (West Sussex)、Prague の 3 か所に技術センターを設けていた。

Ricardo はさまざまなソフトウェアアプリケーションを統合する製品を開発している。さまざまなシミュレーションツールにより、設計者やアナリストが、車内のさまざまなシステムが相互にどのように相互作用しているかを確認し、これにより、設計者はある領域の決定がシステムの他の部分にどのように影響するかを見ることができ、複雑な統合化を管理することを可能にする。これは、Ricardo のビジネスのように、システムのさまざまな部分が世界中のさまざまな場所にある組織によって設計される可能性

があるため、技術的にかなりの難題である。たとえば、エンジンはX国、変速機はY国、車両はZ国で設計されている可能性がある。地理的な障壁に加えて、設計プロセスに関わったさまざまなパートナーは、それぞれ異なるシミュレーションソフトウェアを使用しており、システム統合の問題に加え、組織の境界を越えて協調して作業するための機会を制限する可能性がある。

業界内では、さらに多くの自動車メーカーが新しいエンジンプロジェクトに協力し合って、統合化の課題に取り組んでいることが見られる。エンジニアリングプロジェクトでは、あるパートナーから別のパートナーにデータや情報を送信する際の間違ひがあるのが一般的である。各組織や各国は独自のエンジニアリング的アプローチと文化を持っている。パートナーと共有する情報の量と種類については、パートナーごとに異なることがよくある。パートナーの数が増えるにつれ、誤ったコミュニケーションの可能性が大きく高まる。コラボレーティブ・エンジニアリングのためのこの新しい世代の統合ソフトウェアのアイデアは、こうした種類の危険性を取り除くことである。

コラボレーティブなエンジニアリングのためのソフトウェアは、オープンシステムの採用を必要とする。これにより、組織は社内で開発されたものを含め、さまざまなソフトウェアツールを「ミックス・アンド・マッチ」することができる。社内のソフトウェアツールは、長年にわたって進化してきた経験と、組み込みの方法や知識を持つため、多くの組織にとって非常に重要である。したがって、新しい統合ツールは、組織がこれらの異なるソフトウェア環境間で苦勞せずに情報を交換できるようにする必要がある。

第3章で説明した Arup のモデルと同様に、Ricardo のシミュレーションツールの多くは数年かけてゆっくりと構築され、社内の調査プロジェクトや外部のコンサルタント要請を満たすための要件から生まれている。先導的ユーザーは、特定のタスクのためのソフトウェアを開発するように会社に要請することがある。現在のシミュレーションツールのほとんどケースで、その能力は最初の意図をはるかに超えて開発されている。Ricardo Software の Richard Johns は、ソフトウェアのアーキテクチャを十分に考え抜けば、シミュレーションツールは柔軟性が高く、柔軟性があり、堅牢であり、将来の開発者はさまざまな新機能や設計要素を取り込むことができる。設計の堅牢性の例は、そのガスダイナミック・シミュレーションプログラムである WAVE の開発で見ることができる。もともとはエンジン性能のシミュレーションとして設計されており、ノイズの予測や制御、車両、機械システムとの統合など、多くの分野に拡張されている。これらのシミュレーションの初期設計者のほとんどが、最初に書かれたときにプログラムの最終用途を予測することはできなかったが、その柔軟性と堅牢性を考慮することで、こうした変換を可能にした。

IVT への動きは、デザイナーやアナリストが問題解決の方法を変えることができた。最も初期のシミュレーションツールでは、個々のコンポーネントや要素を段階的に分析する必要があり、比較的シンプルなシステムを理解して、それらが相互作用する他のシステムへの接続しばしば不正確である。モデルは互いに独立して実行される。これは、システムのある部分の出力の影響を、システムの次の部分の入力へ、変換する際にかかりの労力を必要とする、時間のかかる面倒なプロセスであった。Johns によると、シス

テムの相互作用を管理するプロセスは、熟練したオペレータと細心の注意を必要とする時間がかかり、エラーが発生しやすく、幅のあるプロセスであった。新世代のシミュレーションツールは、設計者やアナリストが相互作用するプロセスを結び付け、さまざまなシミュレーションツール間で共同シミュレーションができるようにすることで、この問題を解決するのに役立っている。

シミュレーションツールは、エンジン設計の全段階で使用される。しかし、システムの大規模で詳細なシミュレーションを進めるのは、設計が具体化するまでは、何の意味もない。代わりに、設計者は、内径、ストローク、シリンダ数、およびそれらの構成など、エンジンの主要機能に焦点を当てて開始する。そうすることで、彼らはさまざまな概念的なツールを使用し、過去の知識と経験を引き出す。この概念設計フェーズでは、設計のさまざまな部分が互いにどのように関係しているか示す、エンジンに関する基本的な幾何学的情報によって構成が確立される。この時点で、設計者は、システムがどのように機能し、その要素がどのように相互作用するかを探究しながら、「コスト」と「速さ」の分析を行う。デザインの要素は、時間とともに徐々に確立され、より詳細なシミュレーションにより、設計プロセスはコンセプト設計を精緻化することができる。

初期段階の設計者は、さまざまな選択肢について考え、探索し、それぞれの選択肢のパフォーマンスを設計目標と比較して評価し、次の段階での設計を最適化しようとしている。これらのツールを使用することで、物理的な試作やテストに要する時間と労力を削減することもできる。デザインがデジタルテストから物理テストに移行すると、設計を変更するコストは指数関数的に増加する。

Ricardo は、物理的なプロトタイプとテストに移る前に、設計が機能要件を満たすという自信を持っている。これにより、設計者は、シミュレーションツールの信頼性とシステムの実際の性能を予測する自信の能力をますます高める必要がある。

シミュレーションツールの使用は、エンジン設計の設計プロセスのスピードとコストの両方を変える。物理的なプロトタイプを作って、異なるピストンあるいはシリンダヘッドの使用などのような、燃焼システムの設計をテストするのは、時間がかかり、費用がかかる。それらをコンピュータで分析するのは、比較的安価である。すなわち、製品開発における具体的なコスト節約と市場投入までの時間短縮であり、大きな商業上の利点をもたらす可能性がある。ここ数年、Ricardo では物理的なモデルの数が劇的に減少していると推定されている。しかし、シミュレーションツールの性能に関係なく、モデルの性能を物理的にテストする必要があることを同社は認識している。

自動車エンジンの設計での新しい強力なシミュレーションの使用が増加は、デザイナーやアナリストのスキルと役割と密接な関係がある。デザイナーは概念的で詳細な寸法設定や製造に焦点を当てていたが、エンジン設計のシミュレーション作業はアナリストによって伝統的に行われていた。この場合、デザイナーは、材料、エンジン機能、および製造プロセスに関する知識を持つ総合職である。対照的に、アナリストは、入力の正確な設定と出力の解釈ができる高度に専門化されたシミュレーションユーザーである。製品の複雑化にもかかわらず、ユーザーインターフェイスが進歩することで、シミュレーションの実施

が容易になった。こうしたことで、デザイナーはますます分析に関わるようになっていく。しかし、多くのデザイナーが、分析を実践できるようにするには、ある分野における知識の深さがまだ不足している。

Johns によると：

デザイナーは非常に洗練された分析を行うことができ、10 回のうち 9 回は問題なくこれを行うことができる。しかし、より危険なことに、もっともらしいが間違っている分析を与えるモデリングの限界、あるいは入力や出力のミスを認識できる専門知識と経験を持たないため、10 のうち 1 回は、設計を分析して間違ってしまう。

分析の間違いの余地はまだまだあり、経験豊富な分析者でさえ、時々間違いを犯す可能性がある。分析を日常的にしていない場合は特にそうである。理論的には、デザイナーは、ツールに埋め込まれたデザインテンプレートから作業し、これらのデザインテンプレートを使用して、機能するエンジンを素早く作成することができた。しかし、このようなテンプレートを使用することにより、デザイナーはエンジンの設計におけるイノベーションの機会を制限することになる。Johns が言うように、「テンプレートは straightjackets（身体拘束衣）である。繰り返し分析をしたいが、イノベーションをしたいのであれば、それはうまくはいかない。」プログラムに埋め込まれたテンプレートを超える必要が生じたならば、専門のアナリストのスキルと経験が必要になってくる。シミュレーションのインプットとアウトプットの熟練したオペレータと解釈者だけが、設計の新機能や要素を扱うことができる。

このように、新しいツールを使用することで、熟練したアナリストやデザイナーの必要性が増えてくる。Ricardo にとって、今日の研究は明日の商品になる。間違いを避け、イノベーションのための新しい機会を確実に達成するためには、シミュレーションとシステムの深い知識が必要である。

エンジン設計におけるデザイナーとアナリストの関係は、新しいシミュレーションツールを使用した結果、より絡み合っている。デザイナーによる決定は、広範囲に干渉しあうシステムに影響を与える可能性がある。デザイナーと協力しているアナリストは、これらの相互作用を探求し解釈することで、システム全体でどのように変化が起こるかを知ることができる。このツールは、デザイナーやアナリストに、エンジンをいくつかのコンポーネントではなくシステムと見なすように強要する。それらはより多くの人々と協力し、設計プロセス全体で新しい関係を切り開くように強要する。

IVT を使用して、Ricardo はエンジン設計のイノベーション・プロセスを変えた。IVT は、組織全体や国をまたぐ新しい形の統合の可能性を生み出した。新しいシミュレーション統合パッケージにより、企業は異なるシミュレーションパッケージ間で共同シミュレーションを実施できるため、シミュレーションに「最高クラスの」アプローチを取り入れることができる。

ユーザーと試す

顧客やエンドユーザーとのコラボレーションにより、多くの業界で製品開発プロセスが改善されている

(von Hippel 1988)。製品やサービスのサプライヤーが特定の顧客と深い関係を築くとき、時には「堅牢」な設計や「優勢的」な設計を生み出すことができる (Gardiner and Rothwell 1985; Utterback 1994)。これらの製品の設計上の完全性は、機能および全体的なアーキテクチャを、後続の世代がそれに基づき、競合他社が模倣しようとする基準を作成するようなものである。ソニーウォークマンはその良い例である。

顧客からのフィードバックは、使用されている製品の性能に関する知識を向上させ、次世代の製品開発に使用する役立てることができ、デザインの繰り返し効果をもたらし、Gardiner と Rothwell は、ソニーウォークマン、デジタルカメラ、PC で世代を改善した例を挙げ、製品ファミリとして述べている。

IVT は、プロデューサーとユーザーがイノベーションについてコミュニケーションできるメディアを提供している。たとえば、製品や施設の使用をシミュレートすることで、企業は「設計対話 (design conversation)」の一環として選択肢を評価するためにユーザーと緊密に協力することができる。これは設計とエンジニアリングのプロセスの重要な部分になりつつある。P&G の場合、ユーザーによる参照グループが仮想製品をテストしている。これらのグループには、仮想ウォークスルー・シミュレーションで提供されるスーパーマーケットの棚への製品を配置についての質問や、評価するためのウェブサイト上の製品のビデオやシミュレーションが提供される。1990 年代には、積水ハウスやトヨタ、マツダは、日本で「顧客体験センター」を開設し、新製品のデザインで顧客にさらに近づくようにした (Barlow and Ozaki 1999)。Gann らの日本の住宅生産に関する研究 (Gann 1996; Gann and Salter 1998) は、いくつかの大規模生産者が顧客の選択を支援するために、技術をいかに使用しているかを示している。

積水ハウスは年間約 7 万戸の住宅を生産している。それぞれの住宅は、幅広いデザインのパターンブックからカスタマイズされている。全体的なサイズ、形状、レイアウト、外観には、手すりの位置や高さを含む取付部材や設備機器の選択肢がほぼ無限の可能性から決定される。同社は 200 万を超える可能性のある部品の在庫から、設計を生産に整合させるために、人工知能選択システムを使用している。顧客は、さまざまなコンポーネントに触れて感じるができる体験センター（納得工房）でデザイナーにガイドされて選択を行う。顧客が水着を着用すれば、特定のシャワーヘッドの品質をテストすることさえできる。デザイナーは、長時間の相談の過程で、これらの選択肢を CAD パッケージに入力する。初期の設計決定が完了した後（しばしば 2 日後）、仮想現実ウォークスルーを含むデジタルデザインの CD-ROM が顧客に提供される。顧客は選択肢を探索して後で修正することができ、家族や友人、隣人と相談して、デザインが適切かどうかを判断することができる。積水ハウス、顧客の体験センターや顧客のデザインコンサルティングからのフィードバックを使用して、次世代の製品開発に取り組んでいる。トヨタ、マツダなどの自動車メーカーは、同じように体験センターを利用している。これらのツールのいくつかはマーケティンググループと関連している。たとえば、1999 年には、Ford は ConsumerConnect という新しいビジネスグループを設立し、新しい顧客を獲得し、製品開発にフィードバックを提供できる、インターネットポータルサイトの開発を通じて販売を維持している (Vandermerwe and Taishoff 2000)。

ユーザーは、特に IT およびコンピュータゲーム分野の企業にとって、新しいサービスの開発におけるイノベーションの中心的なリソースとなっている。たとえば、Ebay の最高経営責任者(CEO) Meg Whitman は次のように述べている。「R&D ラボは私たちのユーザーコミュニティであり、それは方向付けのない R&D ラボである。彼らはこのプラットフォームをどのように使うのが最適かを考え出してくれる。このビジネスの有機性は本当に魅力的である」。コンピュータゲーム企業は、新しいゲームの試作版をテストするために彼らが「熱烈愛好家」と呼んでいる人たちにますます頼るようになっている。これらのユーザーは、ゲームがうまくいくかいかないか高精度に見分けることができる。あまりにも簡単な場合、人々はそれらを購入しない。また、あまりにも難しい場合は、小さな市場にのみの販売となる。しかし、ゲームのプレーに矛盾がある場合、熱烈愛好家は、インターネットや雑誌での批判的なレビューを通じて、他の世界中の友人や他の人々にすばやく伝え、売り上げを喪失させる。この問題は Lucas Arts によって開発された Star Wars Galaxies : Jump to Lightspeed ゲームの以前のバージョンで発生した。以前のバージョンでは、Wookiees と呼ばれるクマのようなキャラクターのスピーチに忠実さが欠けていて、それはゲームの視聴者の多くを遠ざけるに十分であった。現在、ゲームプロデューサーはユーザーグループを使ってベータテストを行うことが多く、時には小さな熱烈愛好家グループと一緒に作業することもある。だれに求めた試験結果なのかの問題は重要になってきており、プロデューサーはインターネット上の掲示板を使ってベータテスターを募集している。Atari のような企業は、ベータテスト段階でのレビューと、市場での長期的な成功の間に相関性を見出している。彼らはゲームの機能性を試験するために、そのゲームでユーザーがプレイできるよう、そのための開発予算を増やしている。

ユーザーとの交流の機会は、von Hippel (2002) が「ユーザーツールキット」と呼んでいるものの開発につながった。これらは、ユーザがさまざまなデザインで試すことを可能にする、リアルな、社会的、および仮想的環境を作り出し、しばしば既存のモジュールから作られた、高度にカスタマイズされた製品をもたらす。積水ハウスは、それぞれの住宅が異なるほどカスタマイズされた、いわゆる「market of one (1つの市場)」という好例を提供している。ユーザーツールキットは独自のメリットをもたらすことができるが、多くの場合、現在の世代のユーザーのニーズに焦点を当て、イノベーションへの漸進的アプローチにつながる。これらのツールの真の力は、「思考 (think)」での「調査」能力と「実行 (do)」の運営上の選択枝や手順に結び付けられ、より広い「思考、試す、実行 (think, play, do)」アプローチの一部として使用される時である。企業がこの能力を使用しない場合、市場と技術のより大きな、不連続な変化の機会と脅威を逃してしまう可能性があるので、顧客の要求に耳を傾け、それと密接に動く危険がある。

5.4 IvT で試す利点と課題

イノベティブなプロジェクトの失敗は比較的一般的であり、非常に高くつき、損害を与え、恥ずかしさがある。デザインとエンジニアリングの間でどのアイデアやソリューションを追求し、適切なコンポー

ネットやシステムを選択するかについての選択方法は、最終的な成功と失敗に強く影響する。これは、重要な公共プロジェクトの場合とりわけそうである。Millennium Bridge（ミレニアム・ブリッジ、第3章で説明）の揺れを是正しなければ、関係する主要な企業の評判が大きく損なわれていたであろう。ピサの塔の崩壊につながる誤算は、象徴的な歴史的記念碑を破壊したであろう。Bilbao Guggenheim Museum（ビルバオグッゲンハイム美術館）の野心的な設計目標を実現することができないことは、建物が重要な象徴的役割を果たすスペインのバスク地方における地域再生の大規模なプログラムに悪影響を及ぼしたであろう。第4章で説明した交通混雑課金の成り行きに関する不正確な予測は、ロンドン当局に重大な影響を及ぼし、道路の渋滞に対処する経済的および環境的な議題全体に悪影響を及ぼした可能性がある。新しいPolaroidカメラのマザーボードに適したレイアウトを適時かつ費用対効果の高い方法で選択できたことが重要な成功要因であった。これらのプロジェクトのすべてにおいて、デザイナーとエンジニアはIVTによってサポートされ、選択肢を試し、決定を下した。

5.5 暗黙知技能（craft）と形式知（code）の組み合わせ

Arupのような企業のエンジニアは、物理的テストを検証するために、事後にシミュレーションした。今、彼らは「デジタル的に探索し物理的に確認する」で、最初にシミュレーションを行い、シミュレーション結果を検証する物理的テストを実施する。これは、デザインのシーケンスとスピードに大きな影響を与える。しかし、IVTとそれ自身でソフトウェアプログラムに組み込まれたコード化された知識（形式知）は、成功を保証するには十分ではない。経験と創意工夫と他の分野の寄与を理解して使用する能力と一緒に、厳格な規律に基づくスキルは、成功のしるしである。これらの属性は、「技能」スキルとして言うことができ、本書で確認されたすべての成功事例で明白である。まじめな遊び（試す）に携わるデザイナーやエンジニアは、クラフト（暗黙知の世界のスキル）とコード（形式知の知識）の両方が必要である。第4章で説明した混雑課金モデルの場合、Glaister教授は、経済モデリングの過去の経験に基づいて、本質的な経済的特徴が何であるかをガイドし、モデルを役立てるためにどのような妥協や簡素化がなされなければならないかを判断する方法を示している。

地盤工学エンジニアの仕事はこれをよく表している。ボーリングや試掘テストをどこでも行うことは不可能であり、調査する場所を選択する必要があるため、インスピレーションを得なければならないかの、かれらは「魔法使い（wizards）」と呼ばれている（Hough 1996 : 22）。地盤工学エンジニアは、過去のデータ、調査、サンプル、テスト結果などのような証拠の判断および経験に頼らざるを得ない。直観と判断は依然として非常に重要であり、この理由から地質工学と地盤工学のエンジニアリング実務は暗黙知技能（craft）と言える。Houghが指摘しているように、エンジニアリング・デザインのほとんどの領域では、材料に対する直感的な感覚が、そうでない場合よりエンジニアが早期に選択を行うのに役立つ。強度、剛性、耐久性などの経験に基づく知識は、テストする必要がある問題点を選択できるため、エ

エンジニアにとって有益である。鍛造、プレス、鋳造、および押し出しの例を引用して、Hough（1996：20）は、材料の成形性の直観的な感覚が、大きな変形非線形応力解析の成長にもかかわらず、新製品形状を設計する際のそれを導く第一の源であると述べている。彼は、分析モデルの構築や詳細なテストの実行に時間やリソースがないことがあり、幅広い条件を表現するために必要な変数の数が原因で、その特性をモデル化することが非常に難しい場合があることにも触れている。エンジニアは、このような場合に直感に基づいて、コンピュータモデリング、シミュレーション、材料品質、および使用する製造技術テストの組み合わせを決定している。

暗黙知技能（craft）や経験に基づく判断や分析技能の重要性を評価することは、不正確な結果をもたらし、土木工事や建設プロジェクトで壊滅的な失敗につながるモデルの誤った使用の危険性に関するBurlandの懸念を裏付けている。

われわれが使用しているツールを使い、概念を説明するのに不適切な専門用語を使用してこの作業を仕立てるのは非常に容易であるが、これはそれにふさわしくないものを重視することになる。モデリングはあなたが何をしようとしているかを示すものである。それを専門用語の背後に隠れてはいけぬ。私れわれは非常に強力な数値技法を利用することができる。いずれの大学卒業者もこれららを理解することができる。しかし、それらが現実のモデリングの手段として使われていることを理解しない限り、結果は存在しない魔法の勘で伝えることになる。その価値は、ユーザーがデータの信頼性を理解しているかどうか、モデルに含まれる前提と単純化、および結果が出てくるかどうかによって決まってくる。

彼は検証に大きな注意を払う：

検証は非常に重要である。あなたのフル装備（all-singing-all-dancing）のモデルを持つことは、とても良いことである。しかし、それはどれほど信頼性があるか？あなたはそれを較正する必要があるのか？私の仕事の大部分では、使用している特定のプログラムについて懐疑的である。既知のケースに逆らってモデルをテストしている。私たちは物理学に逆らってそれをテストしている。実際に洗練されたモデルがどれほど頻繁にゴミになっているのかは驚異的である。非常にびっくりする。よく似た数値モデルの間にも、応答の差が大きくなる驚くべき違いがある。

Burlandは、「生まれつき、物事が広く振る舞う方法を理解し始めている」と述べている。彼はモデルが時々驚くべき答え出てくることを述べ続けており、これらは物理的性質の専門家の解釈によって疑問を呈される必要がある。熟練したエンジニアは、モデリングする前に、モデルが示すと思われるものを推定することが重要であるので、モデルから得られる結果がゴミであるかどうかを判断できる。モデルは、問題全体の流れの中に置かれなければならない、Burlandは、モデルがどのように進化したかについて常に学生に教えており、そうすることで、学生は自らの限界を理解し始める。物理的性質をモデル化するための適切な方法には多くの熟考と議論がある。人々は自身の個性をそのモデルに入れ、自らを盛んに守

ろうとする。

多くのソフトウェアプログラムは、使用時に想定される境界条件に敏感である。これらの制限が認識されない場合、デザイナーやエンジニアは、結果が使用できるものであるか否かを知るのが難しい。危険は、人々が「シミュレーションの魔法」によって誘惑され、彼らの判断と批判的能力を停止させてしまうことである (croak 1998)。入力小さな相違が出力に大きな差を生むことがあり、ツールを較正するために感度の検討が必要になることがある。入力に変更されたときに、十分に計画された信頼性テストとパラメトリック・スタディを使用して出力解をテストすることができる。これが行われな限り、エンジニアやデザイナーは、全体モデルの信頼性や脆さを判断するのは難しい。

5.6 省察

IVT の使用を中心に、新しい設計およびエンジニアリングプロセスが進化している。この新しく出現したモデルでは、勢力バランスは、従来の、狭義に区別されたデザイン分野から、デジタルデータを操作できる人に向けてシフトしている。場合によっては、コンピュータプログラマーが支配的な「プレイヤー」になりつつある。プログラマーの知識エンジニアは、時には実践的なデザイナーが集めたエビデンスや情報から、プログラムをデザインする。いくつかのケースでは、これらのデザインパッケージを書くプログラマーは、デザインの知識がほとんどまたはまったくなくてもそのようにする。エンジニアリングとコード作成のための知識のまさにもう一つの領域である。このシステムでは、プロフェッショナルなガイドラインを使用するのではなく、一連の基準に対してデザインをチェックするプログラムによって品質が保証されている。Arup によって開発されたソフトウェアツールのいくつか (第 3 章で解説) は、こうした方向を示しており、これは伝統的に訓練されたデザイナーの専門知識を補完するために使用できる。ケーススタディは、イノベティブなプロジェクトにおける不確実性のいくつかを IVT の使用によって改善できる方法を明らかにしている。Millennium Bridge の場合、IVT は国際的に分散したエンジニアとデザイナーのチームがとりわけ知られた問題を解決するための基礎を提供した。多くの技術的解決策が Pisa の斜塔が崩壊するのを防ぐために提案されているが、モデリングではこれらのいずれかが適用されていたとしても、斜塔は倒壊してしまったことを示している。歴史的な建築知識、コンピュータ化されたモデリング、物理的な変更の間の非常に慎重な繰り返しは、問題の正しい診断と修正を揺るぎないものにするに高い信頼をもたらした。Gehry の Guggenheim Museum (グッゲンハイム美術館) は IVT なしで建設することはできなかった。この技術は、建築設計や建設において技術的に実現可能なものの境を広げ、非常に多様な実践の共同体 (建築家、プランナー、プロジェクトマネージャー、コントラクター、サプライヤー) を結集するのに役立った。ソフトウェアパッケージを組み合わせることで、ロンドンの渋滞課金の担当者は、社会的、経済的、政治的に非常に複雑なプロジェクトを容易に理解できる形で評価することができた。

デザインと開発プロセスの付加価値は、デザイナーがモジュール設計用にルーチン化されたソフトウェアプログラムに埋め込まれた計算を超えた、急進的なソリューションを生み出す創造的かつ図式的な作業からも生じる。デザイナーは、IVT を使用して、特定の社会的および政治的状況における新しい仮想製品およびプロセスモデルに関して、お互にますます相互作用するための「視覚的手がかり」を作り出すことができる。この図式的な作業は、デザインプロセスのインターフェースを理解し、異なる専門家や関係者からコミットメントを得ることである。また、それはシステムインテグレーションの新しい形態に関しても、効果的にプロセスと製品をデザインすることができる。

IVT は比較的斬新な技術であり、エンジニアやデザイナーのスキルに及ぼす影響はまだ定まっていない。高度な製造技術へのコンピュータの適用によって予測されるものと同様の、脱熟練化の軌道を想定することが可能である (Braverman 1974)。いくつかの企業がその道を歩み始めるかもしれないが、その結果は脱熟練化のために OMT を活用して失敗に終わった企業に見られるものに似ているだろう。生産性は、新しい技術の可能性と、古い原則と「やり方」、すなわち確立された経験則 (rules of thumb) および規範の重視と過小評価との融合に依存する。IVT の最も効果的なユーザーは、IVT がなくても、とてもゆっくりで辛さを感じても、問題の解決策を見いだす人である可能性がある。

ケーススタディは、IVT が斬新な方法で、より伝統的なデザインや問題解決の方法と組み合わせられていることを示している。それは分散した場所で働く熟練した専門家を引き込むことが可能である。同時に、問題解決のための手法、特にモジュラーコンポーネントをめぐる手法がコンピュータモデルでルーチン化されている。これらは、問題を解決する方法を変えている。しかし、ケーススタディの裏付けによると、これは自動化と脱熟練化という単純なプロセスには至ってはいない。その代わりに、まったく逆の、深い暗黙知の知識がしばしば必要とされ、このノウハウは新しいデジタルツールの助けを借りてイノベティブなソリューションを提供することができる。ケーススタディは、暗黙知の知識の重要性と、エンジニアリング知識の多くの側面をルーチン化しようとする試みの限界を示している。

プロセスと実践としてのデザインの根底にある原則は、新らたに出現した世界である「試す」に持ちこたえるものである。想像力、経験、分析能力、判断力—理論と実践—はすべて必要であり、特に時間と予算における、資源の制約を迫られて選択が行われる。デザイナーが分析のための可能性あるソリューションを選択するのを支援し、イノベーションプロセスに価値を付加することで、これらの原則を生産的に活用することができる。IVT は、コンカレントプロセスと順次プロセスの両方を支援し、エンジニアがエラーが発生する可能性のある定常的な計算を苦勞して取り組む必要をなくしている。これにより、エンジニアリングの境界やインタフェースに専念できるようになっている。IVT は、より短く頻繁なフィードバックループの手段を提供し、デザイナーがより多くの選択肢を使用できるようにしている。

IVT は、科学者と技術者、そしてプロフェッショナルと組織の境界線の伝統的な境界を壊すだけでなく、デザインビジネスにダイナミズムをもたらす可能性も秘めている。新しい IVT 製品とサービスが新しいビジネスを創造する機会を提供することにより、参入障壁が軽減されている。

5.7 結論

新たな「試す」のプロセスはデザインを改善する。フィードバックを収集して学習する能力を強化し、新しいテストを実行できるようにすることで、以前よりも費用を抑えて、デザインの早期の洗練化を支援する。IVT の使用は、デザインと問題解決の異なる側面を一つにまとめ、デザイナーとエンジニアの暗黙知技能を向上させる。より重要なことに、「試す (play)」という概念は、思考 (think) と実行 (do) のつながりを可能にし、「試す (play)」という活動は「思考 (think)」と「実行 (do)」の間の媒体である。これは、アイデアを考える際にアイデアの可能な結果を探求し、どのアイデアが他のアイデアよりも多くの実を結ぶかを選択する機会を提供することによって、第 5 世代のイノベーションプロセスにおける価値を解き放つための主な活動である。これにより、新しい製品やサービスを決定する担当者が、選択プロセスの不可欠な部分となれるようにし、新しい製品やサービス開発の初期段階でユーザーと関わるのを支援する。「試す (play)」は、新しいアイデアの生成と実施におけるそれらの明確な表現との間の要である。IVT を活用して、スピード、効率、フォーカス、正確さを考慮して、考えたことを仮想化することができる。「試す (play)」は、アイデアを形にし、選択、操作、可能性について学び、行動する行為者の心理に焦点を合わせる。IVT は、思考、探究、および質問のためのツールとなる新しい形式の表現を提供する。しかし、すべての設計ツールと同様に、優れた設計者の手に渡ってのみ、すべての潜在能力を発揮するに過ぎない (Groak 1998)。

エンジニアリングの設計と問題解決には、さまざまな技術的な選択肢を選択するだけではない。技術的選択は、それらがなされた社会的および経済的状況によって形成され、そのため、通常、技術的原則はソリューションの一部のみを形成する。これらは、経済学、経営学、社会学、政治学などさまざまな分野からのアイデアの中に統合されなければならない。逆に、エンジニアリングは非常に普遍的なものになっており、エンジニアは社会や経済のほぼすべての面で人工物の生産と維持に関わっている。エンジニアリングは、一方ではより専門的になり、多くの新しいサブのエンジニアリング分野（消防エンジニアリング、音響エンジニアリング、照明など）が出現し、他方では、より総合化がされつつある。結果として、エンジニアの役割は、Williams (2002) が「エンジニアリング知識の拡張的な崩壊」と表現するものへ移行するのに伴って変化している。試す (play) の世界では、デザイナーやエンジニアは、非常に創造的な方法で、あるいは複数の専門分野のチームの作業をまとめたシステムインテグレータとして、仕事をする必要がますます増えている。IVT は両方を可能にすることができるが、いずれの場合も暗黙知技能はコード（形式知の知識）の使用をガイドする必要がある。分析的かつ予測的なソフトウェアは、IVT の限界を認識して、鋭敏かつ経験豊富な判断と結びつけられなければならない。しかし、エンジニアは結局のところ人間であるので、判断を誤ることがある (Petroski 1985)。

6 「実行 (Do)」

6.1 はじめに

2003 年、Andrew Amis 教授は、11 歳の Rosemary の顔の片側に顎骨を伸ばす繊細な手術を手助けするよう求められた。彼女は遺伝子異常の罹病から、顎の一部が他の部分よりもゆっくりと成長した。ロンドンの Imperial College で機械工学科の生物力学の Amis 教授は、Guy's Hospital で外科医とともに働き、生物力学の研究チームを率いている。過去にこのタイプの手術は、子どもが成長を停止するまで可能ではなく、プレートとスクリューを使って装着する移植片として肋骨の一部を採取するという大規模な手術を必要とした。外科医は、手術中に移植片およびプレートを適合させ、取り付けるための経験および工夫に頼らざるを得なかったであろう。

研究チームの一員として、Amis は、精度を高め、リスクを減らし、プロセスをスピードアップする目的で、より多くの情報を提供する手術前計画に新しいアプローチをとることができる。コンピュータ断層撮影 (CT) スキャンを使用して、彼は頭蓋骨のデジタル画像を作成し、問題を考えて可能性ある解決策を試すことができる。医用画像からのデータははるかに正確になり、手術前に非侵襲的な探査が可能になる。手術を行う前に、Imperial College の Engineering Faculty Design and Engineering Workshop のラピッドプロトタイピングマシンにデジタルデータを送信する。3D ジェット印刷プロトタイプのアナログ射出成形機が、Rosemary の頭蓋骨の正確なフルサイズの複製を作り出す。このモデルを使用して、外科医は骨を切断する最適な場所を選択し、切断端をどのように動かすかを定めることができる。

その知識に基づいて、Amis は操作に挿入するために作られた正確にフィットするフェイシャルプレートを有する。利点は、プレートが従来の場合よりもはるかに正確であり、必要とする切開部がより小さく、手術中の調整がより少なく、より迅速に、より少ないリスクで実行されることである。

別の例では、がん生存者は、9 年後にカスタムメイドのバイオ加工顎移植を受けてから、初めての固形食を食べることができた。ドイツの University of Kiel の Patrick Warnke 教授と教授のチームは、患者の顎の 3D CT スキャンを行い、CAD 技術を使って「理想的バーチャル顎骨置換」を行うことができた。このデータを用いて、チタンメッシュ骨組で構成し、それをテフロン (Teflon) で覆ったモデルを作成した。テフロンが除去され、チタン骨組みを骨ミネラルブロックおよび患者の骨髄から採取した組換えヒト骨タンパク質で満たした。新しい顎は患者の右肩の下に、彼自身の血液供給をとまって移植され、骨が成長することができた。7 週間後、新しい顎が外され、頭蓋骨に装着された。完璧な 3D 適合を実現した (Warnke ら 2004)。

正確な 3D 物理モデルを迅速かつ安価に生成する能力は、アイデアを行動に移すのに、多くの利点をもたらす。医用生体エンジニアリングは、従来の製造プロセスを含む多くのアプリケーションの 1 つにすぎない。これは、個々の要件を満たすよう注意深くデザインされ、選択された、個別の人工物を生成する能

力を示しており、プロセスにエンドユーザーが直接関わることが多い。生体医学では、医用イメージング、CAD、FEA、ラピッドプロトタイピング、特注のボディパーツの生産との間の関係によって、思考（think）、試す（play）、そして実行（do）の活動全体にわたって統合が行われる。これにより、医師や研究者はアイデアを探究し、さまざまなアプローチで実験し、解剖学的な問題の幅広い解決策を試すことができ、カスタマイズされたインプラントやプロテーゼのようなデバイスや新しい治療法のデザインにつながる。ラピッドプロトタイピングの使用は、ソリューションの選択と実装の間の関係の良い例となっている。この形の IvT は、コンピュータ支援組織工学から法医学目的での復元まで、ますます幅広く応用されている。後者の場合、実行される可能性のあるものを調べるのではなく、IvT を使用して、どのように行われたのかを説明する。

この章では、新しいあるいは改良された製品やサービスの開発において、選択肢を作り出す「考える（thinking）」活動と、「試す（playing）」活動で選択肢を選び、選ばれたアイデアを、「実行（doing）」に移し実践することを、IvT を使用して関係する方法について説明する。さまざまな業界の例では、どのようにして IvT が企業のソリューションの伝達と開発を可能にし、以前よりも迅速かつ費用対効果の高い方法で、アイデアを行動に移行するかを示している。IvT を使用して実装および実施する経路を迅速に探索する能力は、他の高度な製造および運用技術が使用されるところでの生産調整と制御への関係を提供する。この関係性はまた、生産からのフィードバックを提供し、データを提供して以前の運用からの評価を学習し、より大きな予測可能性を作り出し、商業的存続のためにさまざまな機能、品質、および美的側面をテストすることができる。IvT は、新製品とサービスの設計とその生産の間に新しい物理的および仮想的なインターフェースを提供する。

私たちは、イノベーションと生産の両方の観点から、これらのツールと手法の分析にアプローチすることにする。これにより、イノベーションと生産との間に、ますます並行した双方向性の探求が可能になってくる。技術的な観点から見ると、IvT と OMT の間の相互作用は、新製品開発プロセスと生産を結びつける。データ、場合によっては OMT で使用される計測器やツールは、イノベーションプロセスに「引き寄せられている」。これまで OMT は製造業の業績を向上させるために主に開発されたが、統合されたイノベーションプロセスをサポートするために使用され始めている。

この章では、フォード主義（Fordism）からトヨタ主義（Toyotism）まで、量産からリーン生産への移行によってもたらされるオペレーションと生産の進歩について説明する。製品の標準化とモジュール化の進展と、仕事の流れの構成と統合に向けた具体的な意味を強調している。その後、ラピッドプロトタイピング技術の説明を含む「イノベーションのための技術」についての論考が続く。IvT が生産計画立案を支援し、いかにオペレーションの実施に影響を与えているか、多くのケーススタディを通じて検証される。これらは、モータースポーツおよび自動車分野、ファッション業界、溶接および固定技術におけるラピッドプロトタイピングを含む、幅広い分野での IvT の使用のさまざまな側面を示している。この章では、IvT の限界と、設計と生産を結びつける新興のイノベーションプロセスでの、開発フェーズへの影響

6.2 フォード主義：標準化とモジュール性

製品イノベーションの可能性は、それぞれの設計選択肢と生産プロセスと経済性との間の関係の理解に依存する。この関係は、過去 150 年間に開発されたコンポーネントの標準化とモジュール化の概念と実践によって最もよく理解される。伝統的な大量生産は、他の製造システムに比べて 3 つの主な利点を提供する。生産量が増加するにつれて生産コストが上昇するよりも、単位当たりのコストがより急速に低下する場合、生産者に規模の経済の利点が与えられる。自動化資本設備を開発し、導入する技術的可能性を提供する。アウトプットの品質の予測可能性を高めることで、オペレーションに対するより厳しい経営管理の機会を提供する。

これらの利点は、Colt Armory のような企業によって 19 世紀半ばに開発され、その 50 年後、科学的管理と量産ラインの発明の採用により、互換性ある部品から作られた標準化製品の大量生産が容易にした、Henry Ford で有名となった。Womack ら（1990）は、このシステムの主な特長を要約している。その要点は、パーツの完全かつ一貫した互換性と、それらを互いに取り付けることの単純さである。同じ計測システムが製造プロセス全体を通じて使用され、その結果、組立コストを節約した。組立ラインを成功させるのは、これらのイノベーションであった。彼らは、高価な専用機械を使用することで、未熟労働者あるいは半熟練労働者を雇用して、労働の細分化を可能にした。専門機能として設計と管理は、専門的な職務として行なわれた。さらに、機械が高価だったため、工場は生産ラインの停止を許す余裕がなかった。スムーズな生産を保証するために、材料や労働力の追加供給などのバッファがシステムに追加された。生産者は、新製品を生産するための機械の変更が高価であったため、できるだけ長い間生産の標準設計を維持した。その結果、消費者は出費を削減することができたが、多様性と選択肢を犠牲にした。米国では、General Motors は、たとえそれが最初 Ford とは異なる色の車を生産することを意味していたとしても、顧客の好みに合わせて製品を差別化するというマーケティングの利点をすぐに示した。General Motors の新製品開発に対する Alfred Sloan のアプローチは、「あらゆる財布（purse）と目的（purpose）のための車」を作り出すことを目指していた。以前は異なる生産ラインが必要とされていたにもかかわらず、同じ生産設備を持つ、さまざまな製品を追加コストなしで生産することができるという「範囲の経済（economies of scope）」の可能性が開かれた（Chandler 1990）。

標準化とモジュール性は、多くの業種、特に大量販売が重要な業種において、競争上の成功の重要な特徴である。企業が標準モジュールを開発し、普遍的に要求されているコンポーネントやプラットフォームを開発する能力は、デファクトスタンダードになることがある。例えば、Intel のマイクロプロセッサチップや Microsoft の Windows オペレーティングシステムのような、他の製品やシステムが構築されている基本的な技術的アーキテクチャを提供している場合などである（Gawer と Cusumano 2002）。IVT を使用して、これらの市場で次世代のプラットフォーム技術を開発するためのプロセスを考えることで、企業は幅広いシステムに統合し、市場投入までの時間を短縮できるコンポーネントに明確な利点をもた

らす。

6.3 トヨタ主義：ワークフローとイノベーションプロセスの統合

生産の効率化を図りつつ、より幅広い顧客の選択肢を満たすためのブレークスルーは、日本からのものであった。日本の製造業における革命は、1940年代後半のトヨタでの実験から始まった。それは、生産組織、プラントおよび設備の使用、資源の管理、品質管理、生産者、顧客、および供給者間の関係に新しいアプローチをもたらした。第二次世界大戦後、日本の最大の自動車生産者であるトヨタは、大量生産者になり、国際市場で競争するのであれば、アメリカの大量生産の技術と一致させる必要があった。当時の現地の日本の自動車市場は小さかったが、さまざまな車が求められた。その生産技術は米国のものに比べて未発達なものであり、投資資金や大規模工場の土地も不足していた。日本の工場労働者も、Fordの工場システムで交換可能な部品のような、変動費として扱われたくはなかった。

トヨタの豊田英二社長は、1950年に米国のFordのRouge工場で3ヶ月を費やした。彼は工場の総生産量を賞賛した。工場の生産量は、1年間でトヨタが過去13年間に製造した車の数の2.5倍以上であった。しかし、生産量は印象的であったが、豊田はこの生産システムが労働、材料、時間を無駄にしていると考えた。彼には、余分な在庫のバッファを備えた高価な単目的機械や、円滑な生産と最終的な品質を確保するために必要な再作業領域、未熟な労働者を監督する専門のマネージャーと一緒に自動車を生産する余裕はなかった。トヨタの目的は、熟練技能の高コストと工場システムの硬直性を回避しながら、熟練技能的生産と量産の利点を組み合わせた生産体制を構築することであった。その結果、量産品と多種多様な製品を生産する柔軟性の高い自動機械と、組織のすべてのレベルで多能熟練労働者のチームを採用したリーン生産システムの進化があった。

1980年代までに、フォード主義の大量生産システムは、トヨタ主義、すなわち「リーン生産」として知られる、より効率的かつ応答性の高いシステムに変わっていった(Womack and Jones 1997)。このシステムは、米国の大量生産と比較して、労働力、製造スペース、保管スペース、すべてを少なく使用し、ツールへの投資を減らしている。重要なのは、私たちの視点からは、新製品を開発するためのエンジニアリング時間の短縮である。製品の欠陥は少なくなり、差別化された顧客の好みを満たすために、より大きく、いつまでも変化する多様性があった。リーン生産の成功は、緊密に結合された一連の製品と、プロセスのイノベーションと継続的改善の体制を通じて、システム全体の多くの改善に依存していた。これを達成するために、トヨタは生産とその製品の使用に関するより良い情報を得る必要があった。迅速な変更が可能な単純な金型や部品のジャストインタイムの供給など、新製品とプロセス技術の開発が必要であった。これには、消費者とのより緊密な連携が必要であり、顧客のニーズを把握し、製品とプロセスの両面で研究開発に投資し、サプライヤーとの共同技術開発活動を確立する必要があった。こうした手法は、トヨタを他の製造企業がベンチマークする世界的な自動車生産者にした。1980年代半ばまでにトヨ

ただだけでなく、日本の製造業が多くのマネジメント研究者によって研究の対象となったとき、このような例は、顧客、サプライヤー、および他の研究機関と協力して、実践的技術者を含む、密接に連携したネットワークを持つ第4世代のイノベーションプロセスの出現を示している（Graves 1994 および第2章参照）。

Box 6.1 Wal-Mart のサプライチェーンマネジメントを支援する予測技術

Wal-Mart は世界最大の小売業者で、世界中で 4,000 店舗を展開しており、2004 年には 2563 億ドルの売上を達成した。毎週 1 億人以上が米国の店舗を訪れる。2000 年以来、その口座に 1,000 億ドルの売上益を追加した。Wal-Mart の成功は、普遍性、高価値、しばしば低価格、そして強力でリーンなサプライチェーンに基づいている。また、バーコードを採用し、電子データ交換を使用する最初の小売業者の 1 つで、新技術の熟練したユーザーである。また、サプライチェーンとの緊密な連携により、販売データを共有し、サプライチェーンの合理化と自動化を図っている。2004 年には、無線 IC タグ（RFID）を使用して出荷品にタグを付け、販売するすべての品目の追跡を支援した。

Wal-Mart は、IVT を使用して顧客とそのサプライチェーンをよりよく理解するための創造的な可能性をますます意識している。顧客の購買意思決定とサプライチェーンの相互作用に関する 460 テラバイトのデータがある。この情報は、パワフルなデータマイニングツールと組み合わせると、いつ、どこで何が売られているのかを知ることができる。Wal-Mart の CIO（最高情報責任者）Linda Dillman によると、この情報により、同社は「予測技術」を開発することができる。それは、起こることを待つのではなく、何が起こるかを予測することができる（Hays 2004）。この技術が実際にどのように機能するかの一例は、ハリケーンが米国の南海岸に近づいたときであった。Wal-Mart は、懐中電灯などのハリケーンに関連する伝統的な商品だけでなく、Kellogg のストロベリー・ポップタルトやビールの販売も急増していることに気づいた。この情報を利用して、ウォルマートは店舗の在庫を先取りして、今後のハリケーンに通過するのに十分なポップタルトがあることを確認した。

IVT はまた、新しい店舗が潜在的な新規事業を最大限にするのはどこかを決定し、Wal-Mart の店舗用地決定を形成する。IVT により同社は、異なる時間帯に特定の店舗に必要なスタッフとキャッシャーの数を決定することもできる。

技術はその流通システムの中心である。Wal-Mart は、サプライヤーの配送時間を追跡し、その情報を使用して商品の流れを店舗につなげる。それはまた、在庫レベルが最適化されていることを確認し、ジャストインタイム情報をそのサプライヤーに送信し、補充するためにその情報を使用する。このデータは、組織のパフォーマンスを監視およびマッピングするのに役立つ。ウォルマートは用心深くそのデータを保護している。

Wal-Mart のデータマイニングツールは、組織の中枢神経システムとして機能し、実践を再現し、パフォーマンスをより良く理解し、新製品を提供する機会を提供する。その内部データを掘り起こす能力は、同社が野心的な成長目標を達成するのを助ける、全体的な競争戦略の重要な要素となっている。

さまざまなモデル選択肢に対する顧客の選択のレベルを高める必要性は、工場が何百万もの可能な組み立て順列に対処しなければならないことを意味する。新しいモデルの部品数を最小限に抑えることで、そして組み立て工場から組み立ての複雑さの一部を、顧客による選択ができる組み込みパッケージが導入されている、販売ネットワークに押しつけることで、トヨタはこれに対処した（Brooke 1994）。これにより、プラットフォーム設計と標準化されたサブアセンブリの使用が拡大し、研究、設計、およびエンジニアリングにおけるサプライヤの関わりがより緊密になった。中規模品種、中規模量の生産ラインにおける、コンピュータ統合製造（CIM）やフレキシブル製造システムを含む、高度な材料やプロセス技術など、先進材料や新しい生産プロセス手法などの分野における新しい技術を展開することで、トヨタは、ワークフローとイノベーションプロセスの開発と統合を続けてきた。この技術的と組織的イノベーションの組み合わせにより、2004 年のトヨタが最も収益性の高い自動車メーカーであったように、規模と範囲の経済性のメリットがもたらされた。

環境への影響を減らし、より安全な輸送手段を創出するなど、新たな課題への対応の必要性和競争の激しい自動車市場から生まれた、イノベーションの圧力を減らすものはない（第 3 章を参照）。次世代製品開発と現在の製品と生産システムに関する知識とを結びつけるトヨタの能力は、製品とプロセスのイノベーションの統合のメリットを示している。ラピッドプロトタイピング、工作機械器具、製造に定評があり、デザインとエンジニアリングの技術をこれらの生産システムに統合している。環境の持続可能性を向上させるという圧力に応じて、トヨタは燃料電池やプリウスなどのハイブリッドカーの開発において世界のリーダーとなっている。また、トヨタの 3%だけが製品寿命の末期に無駄になるというように、製品リサイクルや部品の再利用システムの開発に多額の投資を行っている。

これらの能力は、生産に関連するイノベーションプロセスを統合するための IVT の使用と、ハイブリッド車の 2 つの異なるタイプの技術を統合する能力に見られるように、技術の戦略的使用を実証する第 5 世代のイノベーターを示すものである。たとえば、Daimler Chrysler は 2001 年に、当時自動車業界で最も高度なバーチャル・リアリティ・センターを開設した。この機能により、生産エンジニアは、新しいコンポーネント部品の組み立てプロセスの統合をシミュレートしてから、メルセデス E クラスの生産システムを物理的にリエンジニアリングすることができる。これは、仮想現実の「Cave automatic virtual environment(CAVE)=没入型仮想現実体験装置」環境として知られているデータグローブを使用して行うことができる。この IVT のアプリケーションでは、エンジニアが仮想環境の一部となり、部品を配置するロボットアームを表す手の動きを仮想モデルで表示および評価することができる。このようにさまざまな IVT を使用による可能性は、製品とプロセスのイノベーションをよりよく結びつけ、私たちが「実行 (do)」と表現する活動に貢献する。

要約すると、生産の世界は、製品とプロセスのイノベーションの関係を直接的に支えている形で変化している。Box 6.2 には、現代の製造技術に見られる主要な技術動向のいくつかを載せている。従来の大規模かつエネルギー集約的な技術パラダイムは、ニッチ市場で個別の選択肢を提供する、差別化されカス

タマイズされた製品とサービスを、生産するための要件に挑戦されている。変化の圧力は、資源を節約し、廃棄物、排出物、エネルギー、物的消費を削減する必要性に起因している。製品とサービスの統合が進んでいるが、複雑なシステムを介して提供される設備やサービスの提供を通じて価値が生まれる場合、特にそうである（Davies ら 2003）。生産のツールや手法は、生産者がこれらの課題に対応できるように、製品開発のツールや手法とますます重なってきている。

Box 6.2 先進的製造の動向

- インテリジェントな自己学習システムを利用して、再構成可能な生産システムとフレキシブルな統合小規模組み立てシステムを使用することで、特注製品の生産におけるいくつかの分野を生む
- 高度なロボット工学の開発と使用、特に精密工学や危険なあるいは汚染労働環境での使用
- 特に、生化学や他のプロセス産業における「工場のチップ」などの非常に小規模なプラントを含む、プロセスの強化
 - (a) 伝統的な切削加工ではなく、材料や部品を開発するためのプロセスベースのアプローチの可能性、
 - (b) 「あつらえで作った (made to measure)」ものとして知られるようになった、材料およびコンポーネントにパフォーマンス特性を設計する機会を提供する (Ball 1997)
- 形状記憶材料を含むさまざまな使用条件に適応する能力を持つ「スマート材料」の開発と使用
- 生産プロセスにおけるマイクロセンサの使用や部品に埋め込まれたユビキタスコンピューティングの開発 (RFID チップの使用など)
- 新製品およびサービス開発のための供給ネットワークの上流下流の連係改善を含む、新しいサプライチェーンマネジメントアプローチおよび物流管理の採用
- 再生可能資源の幅広い利用、環境問題に対応したリサイクル、再利用、廃棄物削減
- 製品とその部品の全ライフサイクル特性の知識と管理の改善

6.4 ニューテクノロジー

これまでの検討では、運営、生産、プロセス技術の密接な関係について説明している。また、それらを支える科学的知識との密接な関係もある。先進的な製造の開発は、科学の進歩と、プロセス性能の検知と監視のための計装技術のような多くのコア技術と密接に関連している。例えば、Pilkington 製の自己洗浄ガラスの新しい形態である Activ の製造では、厚さ 15nm の二酸化チタンのフィルムが製造プロセス中でガラス表面に結合される。原子や分子を観察する電子トンネル顕微鏡のような新しい計測器が、生産を監視するために必要である。ナノテクノロジーを使用してガラス表面を工学的に加工することで、光触媒性と親水性が向上し、都市の汚れの付着を減らし、水滴の形成を止めて雨水が広がり、ガラスを洗い落とすようになる。科学、技術、工学、生産のより緊密な統合は、Activ Glass の開発など、製品やプロ

セス・イノベーションの新しい機会を刺激する可能性がある。IvT は、「試す (play)」と「行う (do)」の間のこの関係を可能にするためのインフラストラクチャーとツールのセットを提供する。

設計と生産に関する情報を共有する能力は、コンピュータ支援設計とコンピュータ支援製造 (CAD / CAM) との間のリンクに最もよく見られる。OMT、ICT、および IvT の統合により、製品およびサービスの設計、その生産、およびその使用に関する情報を収集して共有する機能が強化された。場合によっては、センサーと計測器が製品に組み込まれ、自動化されたテストと診断が可能になる。これにより、使用中の製品からのフィードバックが提供され、より効率的なメンテナンスサイクルが可能になり、次世代製品開発に役立つパフォーマンスの理解が深まる。例えば、オイル粘度などリアルタイムで多数の重要な指標が監視されるジェットエンジンから、洗濯機まで、広範な製品に見出すことができる。これらの両方のケースにおいて、シフトは、工場を出る時点での製品性能の伝統的な説明ではなく、設備あるいはサービスの供給後の性能を理解する方向に向かっている。

生産に使用される 1 つの主要な IvT はラピッドプロトタイピングであり、CAD データソースから物理的なオブジェクトを直接作成する。これらの方法は、材料を層状にして結合して物体を形成する点で独特である。このようなシステムは、固体自由形状製造 (solid free-form fabrication) または積層製造 (layered manufacturing) の一般名によっても知られている。Pham と Dimov (2003) は、これらの技術が、フライス加工や旋削加工などの従来の減法加工法と比較して、多くの用途で利点を提供すると述べている。

- 複雑な機械設定や最終的な組み立てを必要とせずに、幾何学的な複雑さや錯綜さを伴って物体を形成することができる。
- オブジェクトは、複数の材料から作成することも、コンポジットとして作成することも、材料をオブジェクトの任意の場所で制御して変更することもできる。
- 固体自由形状製作システム (Solid free-form fabrication systems) は、複雑なオブジェクトの構築を管理しやすく、簡単で、比較的高速なプロセスに短縮する。
- これらの特性は、製造における市場投入時間を短縮する方法として広く使用されてきた (Pham と Dimov 2003)。今日のシステムは、エンジニアが製品設計をよりよく理解し、伝え、それらの製品を製造するための迅速な工作機械器具設備を整えるために幅広く使用されている。外科医、建築家、アーティスト、および他の多くの分野の個人もまた、この技術を日常的に使用している。迅速なプロトタイプ作成により、物理的モデル、機能プロトタイプ、部品の小さな一群 (可動部品を含む) が迅速に製造される。
- 物理的表現を迅速かつ安価に提供し、設計や問題の調査と検証を可能にします。迅速なプロトタイプは、同僚や顧客とアイデアを伝達するための優れた視覚的支援を行いう。さらに、プロトタイプは航空宇宙での設計試験にも使用できる。たとえば、エンジニアが揚力や抗力を測定する風洞にモデル翼を取り付ける場合などである。ラピッドプロトタイピングの主な目的と利点の 1 つは時間圧縮であ

る（図 6.1 参照）。製造環境では、設計とエンジニアリングの同時並行作業をサポートすることで、市場投入までの時間を短縮することを目指している。場合によっては、これによりデザイン選択肢を探索するための時間を増やすことで、「試す（play）」の創造的な選択プロセスを強化することができる。設計者は常にプロトタイプを利用してきたが、ラピッドプロトタイピングを使用すると、プロトタイプの作成をより迅速に、より低コストで行うことができる。図 6.1 は、従来の連続的アプローチと比較して、新しい開発方法における同時性の速度の利点を示している。

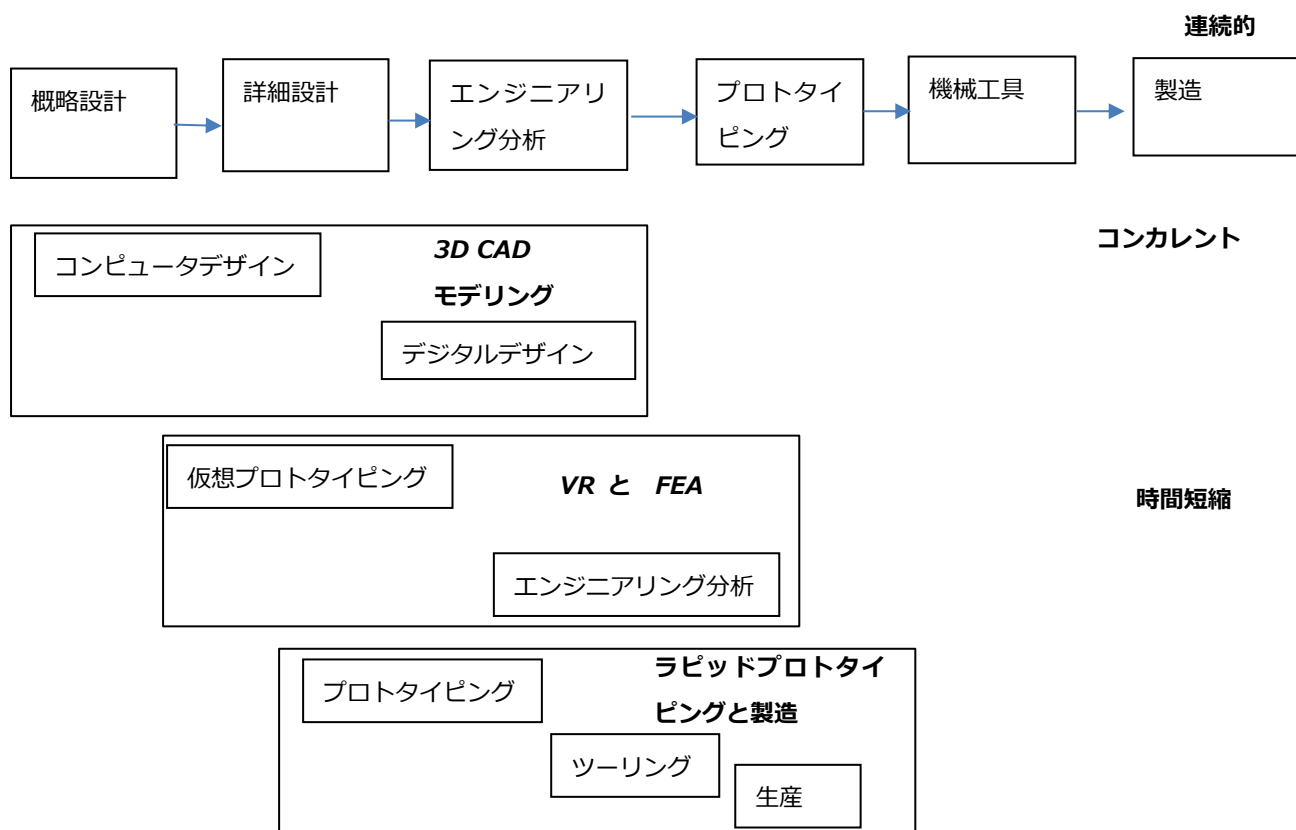


図 6.1 ラピッドプロトタイピングによる時間圧縮 出典：Pham と Dinov 2003

この技術は、製造の世界と、いかにデザインするかを選択する技術を結びつけている。イノベーションと生産の間の直接的な関係を提供する。デザインとエンジニアリングのデータは、単一の製品/プロジェクトモデルで管理される場合がある、プロジェクトに関わる全員が同時に作業することができる。その目的は、重複を排除し、分析、設計改訂、生産計画、および後の製造プロセスにおけるエラーの可能性を減らすことである。これは、エンジニアリングと生産の強化、時間の節約、予測可能性の向上、コストの削減につながる。Pham と Dimov（2003）は、2003 年に商業的に使用されているラピッドプロトタイピングマシンの 3 つの一般的なタイプについて述べている（Box 6.3 参照）。これらのマシンのコストは 7,000～100 万ドルの範囲であった。

Box 6.3 3種類のラピッドプロトタイピングマシン

1. ステレオリソグラフィー (SL) は、UV 光に曝されると固体ポリマーを形成する感光性液状樹脂に頼っている。ステレオリソグラフィックシステムは、樹脂のバットの中でと UV ヘリウム-カドミウムまたはアルゴンイオンレーザーでマウントされる、形成プラットフォーム (基質) で構成されている。部品の第 1 の層は、3D 立体 CAD モデルから得られた情報を使用して、レーザーによって樹脂表面上に描かれる。層の外形が走査され、内部がハッチングされると、プラットフォームが下げられ、樹脂の新しい層が塗布される。そして次の層が走査される。パーツが完成したら、それをバットから取り出し、余分な樹脂を排出する。「緑色」の部分に UV オープンに入れて後硬化させる。

2. 選択的レーザー焼結 (SLS) は、微粉末を使用し、二酸化炭素レーザーで加熱し、粒子の表面張力を弱らせ、融合させる。粉末が焼結される前に、熱変形を最小にし、前の層への融着を容易にするために、ベッド全体が材料の融点よりわずかに加熱される。レーザは、ビームと直接接触している粒子のみが影響を受けるように調整される。材料を焼結するためにレーザを使用して粉末層上に層を引く。ベッドを下降させ、粉体供給カートリッジを持ち上げて、粉体の覆いを逆回転ローラーによって造形領域上に均一に広げることができるようにする。焼結された材料は部品を形成し、未焼結の粉末は構造を支持するために所定の位置に留まり、形成が完了したら清掃してリサイクルすることができる。別のプロセスであるレーザー焼結技術 (LST) は、同じ物理的原理を採用している。現在、熱可塑性プラスチックおよび砂を処理するために、デュアルレーザーシステムが利用可能である。

3. 熱溶解積層法 (FDM) システムは、熔融材料の糸を基材上に堆積させる 2 つの可動ヘッド (部品を構築するためのものと支持体のためのもの) からなる。材料は、その融点より少し上に加熱され、押出直後に凝固し、前の層に冷間溶接される。

6.5 製造プロセスへの IvT の影響

モジュラー設計ルールを通じて標準化された部品を使用してカスタマイズされた製品を生産することが普及した。これは、製造業だけでなく、固定資本財や建物の生産など、多くのプロジェクトベースの業界で使用されている (Gann 2000)。これらの実践は、複雑なシステムや製品であっても、設計と生産の簡素化と同時進行を支援する、IvT の使用によってますますサポートされ、統合されてきている。

しかし、IvT と OMT の組み合わせにより提供される、より柔軟な機会と製造に直接関連するラピッドプロトタイピングシステムの開発により、モジュール化への依存が変化する可能性がある。例えば、コスト削減と品質向上は、建設部門の標準化とモジュラー設計によって推進されてきたが、この部門はしばしばユニークな一度限りの製品を生産する必要がある。

われわれの業界は、廃棄物、公害、コストを最小限に抑えるために標準的なフォームとコンポーネントを使用するようになっている。..... これは創造性を妨げる。まもなく、建物とコンポーネントの設計を

別の方法で見ることができるだろう。ラピッドプロトタイピングは現在の制約を緩和し、ユニークな建物を開発することができ、それらの個々のコンポーネントは、われわれの環境を実際に強化してくれる。

(Alvise Simondetti)

他の業界でも、この章の冒頭で議論した生体医学的移植や、歯科矯正、ファッション、またはスキーブーツのデザインにおけるモジュール性と特注部品の必要性など、同様の立場にある。課題は、どこに問題があるのかを個別化し、要求される品質を適切な価格で提供しながら、顧客との関係を持つ部品を特別仕立することである。これらの要件は、何をいかに作り出し、いつエンドユーザーの近くに置くかの情報が、より分散している市場の変化につながっている。ある市場、例えば建物や歯科、あるいはあらゆる種類のサービスなどでは、消費の時点で製品が完成することがある。このような場合、すべての製品はイノベティブであり、個々に考え（do）、試す（play）、および実行（do）のプロセスを必要とする。生産とイノベーションのプロセスは重複している。組織的配送のプロジェクトベースの方法が標準となり、成功はますます IVT を使用する能力に依存するようになってきている。多くの例がこのことを示している。

フォーミュラワンのカーデザインでの 3D ブループリント

レーシングカーを設計する際の重要な要素の 1 つは、空気力学がどのように性能に影響を及ぼし、抵抗力和ダウンフォースとの間のトレードオフに影響するかを理解することである。Renault Formula One（旧 Benetton Formula One）のテクニカル・ディレクターである Mike Gascoyne は実践訓練で学んだ空気力学者であり、彼のチームは空力開発プログラムに革命を起こす目的で IVT を導入した。CFD（計算流体力学）の進歩にもかかわらず、スケールモデル車に対するさまざまな風洞試験は、F1 チームの開発プログラムの基盤を形成している。主要なチームは風洞を所有し、設計ソリューションを迅速に進捗するためには、チームの開発プログラムは、テストのためのモデルの継続的な供給と風洞を運用するためのリソースを持っている必要がある。結果を迅速かつ効率的に分析する必要がある。歴史的に、Renault は他のチームと同様に、高度に熟練したモデル製作者を雇用して、風洞プログラムの部品を手作業で製作していた。

熟練したモデリングスタッフのコストは、豊かな F1 のエンジニアリング業界では苦勞していなかったが、チームの風洞試験の他のデータ要件に十分に対応できるほど速くモデルを構築することはできなかった。必要な許容誤差は、最も熟練したモデル製作者でさえも課題であった。Renault のエンジニアは、テストの結果を最大限に引き出すために、風洞モデルを分解して 0.1%の精度で再度組み立てる。2004 年、Renault はラピッドプロトタイピング機器メーカーである 3D Systems と提携して風洞試験プログラムを大幅に改造した。3D Systems SLA 7000 マシンで部品が迅速かつ正確に製造され、空気力学試験と設計の性能が大幅に向上されている。

Hendricks Motorsport のエンジニアリンググループマネージャである Jim Wall は、SL のラピッドプロトタイピングの使用についてコメントしている。

レーシングは絶えず変化するプロセスであり、その変化にうまく対処するのは非常に困難である。技術は、私たちが創造力を開発し使用するの、単にコンポーネントを作り直すスキルではなく、より高いレベルでの、より創造的なものにするのを、より速く実行できるようにした。誰もが間違いを犯すが、ステレオリソグラフィでは製造の前端部で間違いを犯すことができる。それは時間を節約する手順である。前端部で無駄な時間を排除することができれば、競争の激しい市場へ、素早く動くことができる。それが私たちにとっての最重要点である。... CAD で車の排気管の設計など、これまでにできなかったことが革命的なやり方で行われている。複雑な 3D チューブは、正確なプロトタイプとして再現するのは困難であるが、SLA システムを使用することで、テストと生産のための新しい排気管を設計、印刷、製造することができる。たとえば、シャーシ内に干渉の問題を設計することができる。コンピュータでチューブを設計して、それが適合するかを確認する前に直ちに生産に進むのではなく排気管の 3D CAD 設計を行い、それを SLA システムで印刷することができる。これにより、実際のレースカーでモックアップに使用できる非常に正確なプラスチック材料で作られた美しい 3D 部品が得られる。...基本的には、これは 3D の青写真である。

しかし、ある技術マネージャは、「モデル作りはボトルネックになっていた。いまはこうした短期間で利用できる大量のデータが、ボトルネックになっている」と話した。

試作がスピードを上げるもう一つの例は、最も成功したパーソナルデジタルアシスタント (PDA) の 1 つである PalmV ハンドヘルドコンピュータに見られる。その設計には、多数のプロトタイプを使用して多くの繰り返しが必要であった。この携帯機器は、前世代の半分の薄さで、110 グラムの軽量化を実現した。しかし、エンジニアリングの飛躍と思われるものは、実際には一連の段階的なステップであった。製作された各プロトタイプは、例えば、1 つのプロトタイプで、磁石を使用したスタイラスをケースに取り付ける方法と、最終製品のようにスタイラスを入れる溝をあける方法など、いくつかのアイデアを示した。迅速ではあるが大まかなプロトタイプを多数作成することで、設計プロセスの初期にミスが洗い流された。「初期段階で失敗し、頻繁に失敗」することは、その製品で Palm と働いていた IDEO デザイン会社の信念である。IDEO の Dennis Boyle は次のように述べている。

アイデアや問題を解決するための競合するアイデアがあれば、そのアイデアを人々が体験できるように視覚化する必要がある。プロトタイピングは最終的に購入して製品を使用する人々を、それを体験することに惹きつけることである。それらが粗削りなものでも、彼らが好むものを明確に表現することができる。そうすることができなくとも、少なくとも体験者の行動によってそうしたことを推論することができる。ラピッドプロトタイピングと CAD を組み合わせることで、早送りでのデザインの繰り返しが可能になってきた。

ファッション業界のスタイルで実行する

類似の技術は、ファッションや衣類産業の運営方法を変える上で重要な役割を果たしている。企業・企業間（B2B）市場と企業・消費者間（B2C）市場は IVT の恩恵を受けている。Benetton は、設計と製造を結びつける統合 CAD / CAM 技術を使用して衣料品の設計、製造、販売をスピードアップし、販売時点管理から収集した販売トレンドデータに連動した自動倉庫保管と流通を成功させた（Dodgson 2000）。設計者と製造者を支援し、顧客を設計と製造のプロセスに引き入れるために、他の多くの新技術が使用されている。

市場に速やかに出すために、さまざまな仮想技術とデジタル技術が開発されている。これらの技術の中には、製品のプロトタイプに至るまでデジタル形式で製品を設計して伝達できるものがあり、製品開発サイクルを月単位で、工数を千単位で削減できる。他のデジタル技術は、新製品を視覚化するために必要な労力を削減することにより、より迅速な製品設計を可能にする。他のデジタル技術は、消費者のニーズをよりよく満たす製品の迅速なカスタマイズを可能にする。

ラピッドプロトタイピングは、デザイナーが衣服の形状を「刻む」ツールとして使用されている。伝統的に衣服を作るプロセスは約 6 週間かかり、模様のデザインとカット、衣服の仕立て、マネキンでの試着が必要である。ラピッドプロトタイピング技術を使用して、フラットパターン切断からのデータが CAD / CAM ファイルに入力され、仮想プロトタイプが生成される。布のパラメータとファブリックアニメーションのリアルタイムシミュレーションを備えた 3D マネキンは、設計者に正確な仮想プロトタイプを提供する。6 週間ではなく、3 時間でドレスのプロトタイプを作成できるようになった。業界で使用されているラピッドプロトタイピング技術の例として、アニメーションプロトタイプ作成プログラムを備えた仮想試着 3D の、MIRADreams Fashionizer がある。

ロンドンの The School of Fashion, Central St Martins College of Art & Design のファッション・スクールのデジタル・ファッション・コンサルタントの SueJenkyn Jones は、ラピッドプロトタイピングはデザインに大きな利益をもたらしたと同時に、コレクションからアイテム数を減らすのを助けているとも言う。その結果、ファッションデザイナーは世界中のさまざまな場所でコレクションの全てを作る必要がなくなった。彼らは今実際にそれらを作ることなくコレクションから衣服を視覚化し、除外することができる。決定はビデオ会議で同時に行うことができる。全体のプロセスを大幅に高速化して生産する時代に近づいている。

IVT は、顧客が衣類や靴のデザインに参加することを可能にしている。

- 身体測定ソフトウェア：身体測定を工場ですべての衣服の生産指示データに変換する。
- 3D ソフトウェアと視覚化ツール。
- スマートカード：本体スキャンデータがポータブルデジタル形式で保存される。

- モデムとキオスク：小売店/顧客と製造業者間の情報通信に使用される。

これらの技術は顧客と製造業者を結びつける。顧客は、スタイル、色、ファブリックの選択肢を使用して試し（ただし、製造業者が顧客が利用できるオリジナルなデザインの選択肢を用意している）、製造業者がそれを「実行」する。これは、顧客、デザイナー、および製造業者の間の、より親密な対話と関係をスタートさせ、非常に競争の激しい市場において差別化要因として働くことができる。

以下の例は、サプライヤー、ユーザー、および研究者が IvT を使用する方法を示しています。Bodymetrics はこの技術のサプライヤーであり、Levi Strauss はそのユーザーである。University of Cambridge のエンジニアリングデザインセンターは、デザイナーと技術者が衣服の生産においてどのように相互作用するかを研究している。

Bodymetrics

Bodymetrics は、University College London から起業した、身体スキャンと視覚化システムのプロバイダである。彼らは次のような方法で衣服を買い物する未来を考えている。

あなたが身体スキャン・キュービクルに足を踏み入ると、あなたの個人用のクレジットカードまたはスマートカードにあなたの 3D イメージを暗号化し記録する。あなたは個人的な買い物客を脇にアームチェアに座って、店のさまざまなジャケット、シャツ、ズボンなどの中から、いくつかのアイテムを選択する。バーチャルリアリティ・ソフトウェアを使用すると、自分のデジタルな双子に服を着せ見ることができる。アクセサリを追加したり、髪の色を変えたり、バーチャル・キャットウォークを行ったり来たりすることができる。結果が気に入ったら、アシスタントがボタンを押して、デジタルボディマップを工場に転送してレーザー切断機で読み取り、ソフトウェアがあなたに合うようにパターンを修正する。数日後、あなたのジャケット、シャツ、ズボンがあなたに送られてくる。それらはフィットする。e-couture の世界へようこそ。

Bodymetrics の顧客には、Selfridges、Marks and Spencer、Boden と Wallis がある。Selfridges は Bodymetrics ボディスキャナーを使用して、顧客が理想的なジーンズを選択するのを助ける。

Levi Strauss

Levi Strauss には、カスタムメイドのジーンズキャンペーン「personal pair」がある。訓練を受けた販売員が顧客の採寸値を取り込み、それを Levi のコンピュータシステムに入力する。コンピュータは、顧客が望むものに最も近い試作可能なジーンズを提案する。これは、Levi が既に持っている実在の衣服、例えば 501 ジーンズである。顧客は提案されたジーンズを試着し、調整（例えば、よりタイトに、より短くなど）が発見されると、コンピュータに送られる。注文は工場に電子的に送信され、ジーンズはフレキシブル製造システムによって製造される。顧客は 2〜3 週間後にジーンズを受け取る。顧客へのコスト

は、既製のペアより約 10～15 ドル余分にかかる。

Cambridge エンジニアリングデザインセンター

University of Cambridge は、ニットウェアのデザイナーと製造業者の間のより良い相互協調を促進する視覚的表現とコンピュータツールの作成に関する研究プロジェクトを行っている。直面する問題が提起されている。ニットウェアのデザインは、エンジニアリングデザインの多くの特徴を備えている。厳しい最終期限と固定価格設定を満たすために、技術的デザインと審美的デザインとの複雑な相互作用が必要である。

ニットウェアのデザイナーは、衣服の視覚的および触覚的な外観をデザインする。技術者は、多くの詳細な設計上の問題を解決しながら、編み機用のプログラムを作成するために仕様を解釈しなければならない。技術的なフィードバックがないため、設計の 30%しか技術的に実行可能ではなく、最適ではない製品が市場に届くことになる。

この研究プロジェクトでは、設計における効果的な表現の問題と、これがデザイナーと製造業者間のコミュニケーションにどのように不可欠であるかを調査している。

有限要素解析による問題解決

IVT は、生産プロセスの問題解決や新しい製品やプロセスの設計に役立つ。さらに、イノベーションと生産の境界面で使用されているいくつかの技術は成熟している。この証拠は、リスクの高い環境にある顧客が、可能性ある結果としてのコンピュータモデルに基づいて、専門コンサルタントによって行われた決定を受け入れたという信頼にある。この例は、高価なプラントの計画外の停止に伴い、所有者のアウトプットがさらに低下し、予定外の修理にはコストがかかる、メンテナンス体制から引用している。このケースでは、FEA を使用した技術検査を通じて、コンサルタントのエンジニアは、非常に費用がかかるのが示されている化学反応炉の計画外の停止から、顧客を救うことができた。調査と技術モデリングの質には、安全が不可欠な環境にもかかわらず、ミスの費用が極端な財政的ストレスを引き起こした可能性がある、FEA モデルで行われた予測が正確であるという信頼を顧客が持つほどのものであった。この技術への信頼は、実際に実証された。

Welding Institute (TWI) は、英国に拠点を置く世界的に有名な研究技術組織で、材料接合技術に特化している。それには、さまざまなアドバイザリーと問題解決のサービスを提供する産業メンバーがいる。TWI の顧客の 1 人は、オランダの化学反応炉の柱に損傷を経験した。被害が問題ではなく、反応炉が「適格な」ものであることを安全検査官に迅速に証明することが切望された。修理に影響するために反応炉を閉鎖することは、同社に大きな影響を与えることになる。それは顧客契約を満たすことができず、遅れ

は潜在的に数十億ドルに達する財政的影響をもたらし、その全体的な財務安定性に悪影響を及ぼす。

国の規制では、反応炉コラムの定期的な点検が必要である。検査準備のために、厚さ 10mm のピースが壊れたときに同社はコラムを塗り直していた。これは、化学反応器の塔の幅がわずか 16.3mm であるため、一見大きなダメージを与えた。しかし、同社のエンジニアは、以前の経験とストレス解析の研究結果から、このダメージは何ら問題はなく、反応器はまだ使用可能であると推測していた。問題は、検査官にそれを証明する必要があったため、彼らは TWI に依頼してきた。

TWI のエンジニアは、圧力容器内の欠陥の FEA のために、標準商用シミュレーションパッケージ ABAQUS Standard 6.3 を使用することに決めた。FEA の出力は、材料の局所的な降伏が欠陥の底部で生じたが、コラムの他の部分の応力は急速に「正常」値に減少することを示した。反応炉コラムの分析にシミュレーションパッケージを使用することにより、TWI チームは反応炉が適格である証拠を提供することができた。顧客は、査察官にこの証拠を提示し、彼は反応炉が安全であることに同意した。

シミュレーション技術を使用する主な利点の 1 つはスピードであった。欠陥のシミュレーションにはわずか 2 日間しかかからなかった。会社が物理的溶接修理のためにコラムをシャットダウンしなければならない場合、物理的な修理が必要なばあいの必要な許可と健康安全規則に従うためにかなり長い時間がかかった。同社はある段階で物理的な修理を行う必要があるが、それは反応炉コラムの商業的要求に合わせた計画的停止時になるだろう。

6.6 生産計画のための IvT

プロトタイプ製品と同時に製造プロセスをシミュレートする能力は、企業が生産を計画し最適化する新しい可能性を提示する。生産サイクルの早い段階で物流や運営に関する情報を提供する可能性がある。時には詳細な製品設計と同時に情報を提供することができ、製品開発の最中に生産設備を開発または調整できるため、企業は市場投入までの時間を短縮できる。これは、イノベーションプロセスの「実行」活動に生産計画と物流を取り込むことになる。

あるケースにおいては、その関係が逆になる。生産エンジニアと研究者は、プロセスの理解を深めることで、新しい製品を設計して作成する機会を探ることができる。この例は、化学プロセスおよびシリコンウェーハの製造において見出すことができる。ここでは、製品とプロセスは生産時に共通の基準を共有している。シリコンウェーハの製造において、例えば、3 つの変数（温度、圧力、時間）が製品の種類を制御し、製造プロセスを調整する。1990 年代後半には、MIT の研究者が半導体設計および製造に関する知識を向上させるためにプロセスフロー表現を作成した。多くの点で、半導体製造は、個別部品から製造されるのではなく、生物が「成長」していく生物学的プロセスに類似している。MIT プロジェクトにおいて、チップ設計者達は、プロセスを少し変更するだけで、新しいタイプのチップを製造できるかどうかを知りたがっていた。半導体の設計空間は、製造空間である。言い換えれば、製造プロセスは、それぞれの

個別な製造プロセスが固有の製品をもたらすような設計選択を決定する。研究者は新製品の設計に新開発のプロセス・シミュレータを使用することができた。

イノベーションプロセスにおける「実行 (do)」と運営の間には、他の関連性もある。例えば、生産におけるセンサーの使用は、プロセスのモデルにフィードバックされる新しいデータを取得することができる。これらはその後、製品の段階的な改良と変更が直列して洗練される。品質管理体制は、製品とプロセス開発の最終段階で IVT を使用する能力にも関連している。たとえば、生産エンジニアは、製品モデルやプロセスモデルを使用して、プロセスの精度をテストし、製造が開始される前に何を行うかを検討し、エラーのリスクを低減することができる。

組織的な観点から、イノベーションプロセスを生産と結びつける能力は、新たなビジネスチャンスをもたらした。前者のケースでの組織 TWI は、生産プロセスに取り組む中で、材料に関する研究を多様化することができた。プロセスに関する新しい知識を開発し、プロジェクト NOMAD でプロセスをより効果的に管理する方法を開発した。

生産環境のシミュレーション：プロジェクト NOMAD

NOMAD (Autonomous Manufacturing of Large-Scale Steel Fabrications = 大型鉄骨製造の自律的製造) は、自律移動ロボットを使用してカスタマイズされた大型鉄骨製品を製造する製造システムを作成することを目的としたヨーロッパの研究プロジェクトである。これは欧州委員会の一部であり、2 つのロボット企業、製造ソフトウェアソリューション企業、溶接装置メーカー、構造用鉄骨製造企業、多国籍大型機器およびエンジンメーカー、2 つの産業研究および技術イノベーション組織が関わっている。このプロジェクトは、低コストの海外製造業者による市場参入、労働力不足、および別注製品の迅速な生産に対する顧客からの需要の増加に起因する、ヨーロッパの鉄鋼製造産業における競争の激化に対する対応である。このプロジェクトでは、溶接、ロボットプログラミング、ロボット搬送車の位置決めのための統合自動計画システムが開発された。ロボットアームの位置を最適化するのに役立つ、実際の作業環境におけるロボットおよび部品の位置に関するフィードバックを可能にするシミュレーションソフトウェアを含むいくつかの技術開発が行われてきた。これをサポートするために、NOMAD は、移動ロボットの正確なナビゲーションのための視覚システムと、実際のコンポーネントが溶接されるシミュレーションモデルの CAD データを関連付ける部品認識システムを開発した。

このプロセスは、CAD システムに設計データを入力することから始まる。CAD モデルが完成すると、シミュレーション・システムにロードされる。この時点で、シミュレーション・システムは、コンポーネントおよび溶接セルの 3D 仮想モデルを使用することができる。これを視覚システムからの画像と共に使用することにより、仮想部品の位置および向きを溶接セルの実部品の位置および向きに一致させることができる。次の段階は、シミュレーション・システムがロボット搬送車 (RTV) の経路とロボットアームの動作を開発することである。これはシミュレーションによって実証することができる。シミュレーシ

ョン・システムは、実際の機器を制御するために使用されるロボットのためのプログラムを生成する。実際の RTV とロボットの動きは、シミュレーション・システムによって作動される。視覚システムからのフィードバックを使用することにより、RTV およびロボットの位置を反復ベースで調整することができ、変更は前のコマンドセットが実行された後の RTV の最終的な行き先に基づいて行われる。シミュレーション・システムがコンポーネントを認識できる場合にのみ、作業が進められる。

TWI のエンジニアである Nick Spong によれば、技術の統合は高度なシミュレーション技術ソフトウェアの使用によってのみ可能になるという。シミュレーション技術がなければ、新しい製品ごとにロボットを物理的にプログラムする必要がある。NOMAD プロジェクトの双方向フィードバック・プロセスは、ロボットをオフラインにして新製品ごとに物理的にプログラミングする代わりに、閉ループプロセスを備え、システムは作業するために必要なすべての情報を持っている。

このプロジェクトは、IvT、OMT、および ICT のインターフェースと連動している。最終目標は、OMT を使用した一品生産製品の効率的な製造の実施である。このプロセスには、設計、計画、および運用の間で情報を転送できるインフラストラクチャである ICT が含まれる。それには IvT も含まれ、シミュレーションを使用して、システムの経済性と目標の明確さを促進する。

Spong は、シミュレーションを使用する利点と潜在的な危険性のいくつかを指摘している。

私は NOMAD プロジェクトが標準になると考えている。ソフトウェアがより洗練され、システムのより大きな統合化され、結果と利益の予測性の向上につながるにつれて、シミュレーション技術がますます使用されるようになってくる。シミュレーション技術はイノベーションを増やすことになるが、われわれが人的要素を完全に取り除くならば、あらゆる種類の間違いを犯す危険があり、シミュレーションがわれわれに示すことに全ての頼ってはいけないうちに注意する必要がある。現時点でのシミュレーションは実世界の例と比較してテストされているが、将来はシミュレーション技術が非常に安心できるものになり、現実世界に対するテストを中止する可能性もあるが、これは間違いである。

この章で説明されている IvT の使用は、これまで製品とプロセス開発の後半をサポートするために使用されてきた。第 3 章では、Arup が一連のインターネットツールを使用してコミュニケーションとデータ交換システムを構築し、自社のプロジェクト全体でイノベティブなソリューションを開発する方法を示した。IvT は、設計者、エンジニア、およびマネージャーが製品開発と生産プロセスを同時に改善するための選択を支援するために使用されている。ICT、IvT、および生産技術間の統合の多くの例は、住宅建設などの伝統的な産業でさえも見いだされている。

社会的住宅市場で働く個人所有の英国の住宅請負業者である Willmott Dixon Housing は、Matrix 1 と呼ばれるインタラクティブな Web サイトを介してリンクされている、プロジェクトのコンポーネント、製品、プロセス、および過去のケース履歴のデータベースを考案し、会社のイントラネットで利用でき

る。Matrix は、技術、サプライヤー、生産スケジュール、コスト、標準要素、詳細設計、環境評価、および時間、品質、廃棄物、および欠陥に関する生産データと関連する住宅設計と建設の多くの側面に関する情報を統合した検索可能なリレーショナルデータベースである。このツールの開発は 1990 年代後半から開始され、コンポーネント、プロジェクト、プロセスの情報が多くなるにつれて 5 年間にわたって構築された。

もともとは、住宅設計に潜む問題と、コンプライアンスに関する問題を含めて住宅請負業者が処理する必要があったプロセスの問題を結びつけるのを助ける、部品を特定するための社内ツールとして使用されていた。時間が経つにつれて、このツールは設計と生産管理のための信頼性の高い有用な情報ソースとなってきた。そのため、Willmott Dixon Housing はイントラネットサイトに、パートナーシップ契約を結んでいる多くのクライアントがアクセスできるようにした。また、主要な外部設計コンサルタントや一次サプライヤーにもアクセス権を提供した。これらの外部の協力者は、同社とのより深い相互作用を刺激するという、意図しなかった結果を伴って、住宅生産に関する意思決定を支援する上で有用なツールを見出し、Willmott Dixon Housing は、製品設計と生産プロセスを結びつける技術を導入したことから、イノベティブな業界リーダーと見なされた。

2003 年、同社は革新性と Matrix 1 の使用が認められ、英国全体での業界賞を受賞した。これにより、フルオーダーの受注を享受するなど、新しい注文の流れを確保することもできた。

IVT をプロトタイピング・プロセスと関連させて使用し、運用パフォーマンスを向上させることは、なぜ事故が起こったのかを実証し、いかにこれらのプロセスのイノベティブな変更を通じて改善することができるかを、分析するためのモデルの使用において、見出すことができる。オーストラリアの鉱山業界では、いかに IVT モデルとシミュレーションが、考える (think)、試す (play)、行う (do) ために使うことができるかを示している。これは、安全性能の向上を含む幅広い目的に、これらのツールをどのように使用できるかを示している。

6.7 鉱業におけるプロセス改善

鉱業は、伝統的には、主として比較的単純な技術の開発者およびユーザーとして見られてきた。この見方では、探鉱業者が鉱物鉱床を見つけるために単純な技術を使用している。巨大な規模で爆破されたり砕かれたり、巨大な塊で運ばれたりして、鉱石や金やダイヤモンドなどの貴重な物質を得るために粉碎され処理される。この象徴に加え、鉱業は環境に有害で、危険な場所で働くことで悪名高い。

現実には、鉱業は高度にイノベティブであり、その中で開発され使用されている新技術の一部は、この産業の経済性と効率性を改善するだけでなく、環境被害の軽減と安全性の向上に使われている。この業界の産業プロセスには、探鉱、鉱山計画、抽出、および処理が含まれる。すべて IVT の影響を受ける。

鉱物探査の分野では、衛星および航空リモートセンシングは、鉱物鉱床に関する実質的な新しいデータ

ソースを提供する。オーストラリアの CSIRO (Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization) で行われているいわゆる「グラス・アース (Glass Earth)」プロジェクトで行われている研究は、オーストラリアの大陸の地表から 1km を「透明」にして、将来の土地管理を支援するだけでなく、新しい鉱床の発見を可能にすることを目的としている。このプロジェクトは、空間データの管理、統合および解釈を可能にし、強化し、次世代の空中重力尺度、テンソル磁場勾配およびデータ統合および解釈のための関連ソフトウェアプラットフォームに基づく研究協力を可能にする地理情報学の開発を必要とする。

従来の地球物理学および地球化学的探査は、鉱山の設計を改善するために、新しいデータ処理、モデリング、および可視化技術と組み合わせられている。鉱石の 3D マッピングは正確な地質構造を決定し、より正確な標的抽出およびより効率的な抽出を可能にする。抽出作業の精度を上げることで、敷地周辺の付帯的な損傷を軽減し、エネルギー消費を改善し、鉱山作業者が地下で働く時間を短縮する。これらの技術は、新規鉱床に関する情報を提供するだけでなく、既存鉱山の耐用年数を延ばすこともできる。

Fractal Graphics などの新興企業は、新しいデータソースを使用するために作成され、意思決定を支援するための統合されたアクセス可能な視覚化環境を作り出している。Fractal Graphics のソフトウェアは、効率的なデータモデリングと、直感的に使用できる地球科学的情報の表現を目的としている。同社は、3D 環境で可視化されたさまざまなソースからのデータを処理、統合、検索請求することができる空間情報システムの開発など、さまざまな分野で共同研究を行っている (Vandermark 2003)。これらのツールを新しいデータソースに使用することで、より優れた鉱山設計が可能になり、現場の地質学者の必要な数が削減され (したがってコストとリスクが削減される)。

仮想現実は、鉱山設計の複雑な問題の多くを解決するために適用されるだけでなく、実験モデリング、事故復元、教育訓練、環境モニタリングにも使用されている。鉱業に関わるプロセスの多くは、観察不能であるか、あるいは観察するにはあまりにも危険なものである。仮想現実ツールは、これらの問題を克服するために使用されており、石炭の自発燃焼やガスの漏れや流れなどの検査に適用されている。

すべての致命的な鉱山事故は、広範なレビューの対象となる。事故の原因はしばしば複雑であり、理解が難しく、検査は非常に時間がかかる。仮想現実は、事故の原因の迅速な表現と理解を容易にし、迅速な対応を可能にする。安全性が非常に懸念され、機器の損傷 (特に地下) のコストが高いため、安全で生産的な実践、危険有害性の識別と対応についてスタッフを訓練するための仮想現実の使用は、著しいな節約を生み出すことができる。鉱山工学の学者は、鉱山開発、操業、設備のインタラクティブな 3D モデルの開発の結果、鉱山エンジニアの大学卒業後の教育が大幅に改善されたと述べている。

航空写真と地形図を組み合わせで作成された鉱山サイトの正確な仮想地図は、鉱山の環境への影響を視覚化することを可能にする。鉱山事業者は、これを操業目的で使うことができ、開発の視覚的影響を地域住民や関係する環境保護者に詳細に示すことができる。仮想現実は、貯蔵池などのサイトの特定の特徴を識別することができ、時間の経過とともにその化学構造および毒性をモデル化することができる。

IvT は、多くの分野で鉱物抽出に適用されている。世界的に有名な Julius Kruttschnitt Mineral Research Centre は、エンジニアが作業をよりよく設計し実行するのに役立つソフトウェアを伴うモデリング手法を開発した。典型的な用途は、粉碎回路（すなわち、貴重な成分を抽出するために処理前に鉱石を細かく砕き、粉碎するもの）を設計することである。粉碎は資本集約的であり、世界で最もエネルギー集約的なプロセスの 1 つであるため、プロセスをできるだけ効率的にする強いインセンティブがある。ソフトウェアはプロセスの定常状態シミュレーションを可能にし、エンジニアは装置のサイズを調整し、適切な製品サイズの鉱石を適切な供給速度（1 時間当たりのトン）で、最小の資本および運転コストで達成するために回路を最適にレイアウトすることができる。その一例は、ニューサウスウェールズ州の Cadia Gold Mine が示している。粉碎回路の設計は、主にシミュレーション技術を使用して 2 年間の研究と評価を行った。

広範囲の新技术が開発され、鉱物の加工に適用されている。物理的プロトタイプ（鉱業では規模と費用が大きくなる可能性がある）の製作を伴わずに、実験的開発作業を進めることを可能にする新しいツールが使用されている。例えば、多相流体処理システムの数学的モデルに基づく CFD の開発により、Rio Tinto の Hismelt 技術などの新しい精錬技術の設計において、より良い予測モデリングが可能になった（Vander-mark 2003）。

Hilist は、これらの新技术の多くが、鉱業の効率性と収益性に大きな影響を与える可能性があり、鉱業企業は技術進歩の使用に悪名高いほど保守的である。技術の多くはまだ創発しており、その広範な普及には数年かかるかもしれない。しかし、実証済みの技術を採用することが比較的早いことで業界は有名であり、技術が先導企業によって効果的に利用されると、業界全体での普及が急速に起こる可能性がある。

6.8 結論

この章では、IvT でサポートされているアイデアを実践するための新しい方法の開発について検討した。いったん選択されたアイディアを伝えるプロセスは、生体力学の問題を解決から、自動車のイノベーションに至るまで、さまざまな分野で実証されてきた。ラピッドプロトタイピング技術の使用は、イノベーションプロセスの「実行 (do)」フェーズにおける IvT ツールキットの必須コンポーネントであることが示されている。3D モデルは、製品開発プロセスの早い段階で部品をいかに噛み合わせるかに関する問題を強調している。ラピッドプロトタイピング・マシンの使用は、エンジニアリング分析、製品モデリング、建築、製造、建設、手術などの例をとめない、いたるところで見られるようになっている。新旧の分野でも等しく、ラピッドプロトタイピングを使用して、デザイナー、クリエイター、およびメーカーとの間で一種の対話を作成することができた。シミュレーション・ソフトウェアの開発と使用は、実際の生産活動と生産プロセスモデルの統合において特に重要である。

プロダクションプロセスでの優れた計測機能が利用できるようになれば、後に続くデザインの繰り返し

で使用で、細かいデータと豊富なフィードバックが得られる。ナノテクノロジーの応用やシリコンチップの製造に使用されるような新しい材料や高度なプロセスが使用される分野では、生産に使用される計器が次世代製品やプロセス革新に直接的に役立つデータを提供することが分かってきた。生体医学のような他の分野では、母集団の特定のセグメントで発生する可能性のある病気を探り、マクロデータの分析を特注のソリューションと組み合わせるなど、細かく調整された治療法を開発することが可能である。

生産プロセスから技術開発活動への緊密に結びつけられたフィードバックは、「行う (do)」に対するより科学的なアプローチの機会を作り出している。一部の業種では、製造と生産が科学と密接になってきている。生産プロセスは考え (think) と試す (play) と密接に結びついてきている。製造と OMT の観点からイノベーションプロセスを見ると、製造はこれまで以上に多くの科学知識を必要としているように思われる。いくつかの部門では、科学が成果を発揮できるかどうかは、それを適用する製造実践側の能力によって決まってくる。したがって、科学、技術、エンジニアリング、デザインの間の密接な統合が必要である。IvT はこの点で助けとなり、Think、Play、Do はこの知識を体系化するための枠組みを提供する。伝統的に別々の活動であったものを統合することは、プロトタイプを作る能力の重要な成果である。これは、イノベーションプロセスの中で、「試す (play)」と「考える (think)」および「考える (think)」と「行う (do)」の間のつながりを通じて起こっている。場合によっては、IvT を使用して製品開発および設計活動と統合することができる。しかし、一部の業種では、運営のスケールがこれらの開発プロセスとどのように関係しているかは不明である。ナノエンジニアリングの問題は、生産をナノレベルまで縮小することと関連している。ファインケミカルの開発など、他の分野では、実験室の試験管から商業生産設備への操作のスケールアップは、シミュレートまたはプロトタイプ化が困難であることが知られている。「行う (do)」と IvT のこうした特性は、3D モデルが (think)、試す (play)、そして実行する (do) ための中心的なデータセットとなるコンカレント・エンジニアリングの新たな機会を作り出している。ICT と OMT にリンクされた IvT の使用は、研究、設計、エンジニアリング、生産、運用、およびメンテナンスにおける異なる参加者間のプロセスおよび関係の構成に影響を及ぼしている。イノベーションプロセスにおけるパフォーマンス・データの収集と利用の恩恵を受けるために、企業は上流下流の供給ネットワークの情報を調整し始めている。これは、サプライチェーンのさまざまな部分から得た専門知識にアクセスして使用する機会を活用するために、サプライチェーンにおける新たな形でのパートナーシップと調整につながるがよくある。過去の製造では、サプライヤーと組立業者との連携により、製造者は製品をより効率的かつ効果的に製造することができた。IvT の出現により、このような連携は、供給ネットワークをイノベーションさせるために活用することができる。設計、製造、および調整のためのデジタルツールキットは、だんだん多数の目的で使用されるようになってきている。たとえば第 3 章では、P & G がシミュレーション・ツールを使用して、いかににより良いサプライチェーン・マネジメントを実現しているかを示した。

イノベーションプロセスにおける「実行 (do)」段階は、設計からの情報と生産および使用の情報を結びつけ、エンジニアと技術者がプロトタイプを作成し、商業的実行可能性をテストし、市場と生産の要件を予測し、それにより新しいアイデアを実現することを可能にする。イノベーションプロセスの「実行 (do)」部分は、IoT とプロセスの組織化の新しい方法が出現するにつれて急速に進化している。企業がニッチ市場向けに設計したり、個々の顧客のために個別の方法で製品やサービスを差別化しようとするため、多くの業界でシステムの密接な連携を想像することは可能である。将来的には、特に生体工学の進化を通じて、あるいはよりどりみどり (pick-and-mix) のあなた自身でザイン (design-your-own) のプロセスに従って、消費時点で製品を印刷することが、可能な場合がある。デザイナーの Ron Arad は、

あなたのお子さんのおもちゃを買うために店に行く必要はない。あなたはオンラインでクレジットカードで支払い、単に自宅でおもちゃをダウンロードする。または、配管工に電話して問題を確認し、パームトップコンピュータのデータベースから必要な製品を見つけて、彼のバンの後ろにあるモバイルの迅速な製造工具一式で製造する。それは簡単に済むはずだ。

7 イノベーションの戦略的マネジメント

7.1 はじめに

考え（think）、試す（play）、そして実行（do）における IvT の使用に関連するイノベーションプロセスの変化は、経営陣に少なからぬ影響を及ぼしている。イノベーションはコアビジネスプロセスであり、その成果は競争力にとって非常に重要である。イノベーションのマネジメントは成り行きに任せることはできない。それはあまりにも重要で、費用がかかりで、危険である。経営者は、結果を迅速かつ効率的に作成するために利用できるあらゆる手段を使用する必要がある。

IvT は、イノベーションのマネジメントを支援するが、適切な戦略が開発され、展開され、関連する組織やスキルの問題が解決された場合に限られる。戦略を策定し、効果的に組織化するためには、IvT の潜在的な用途や限界、そしてこの技術が ICT や OMT にどのように関係しているか、また特定の労働環境における考える（think）、試す（play）、行う（do）の新しいプロセスに深い理解が必要である。先行する章では、IvT が考える（think）を通じて多様性と選択肢をどのように増やすことができるか、試す（play）を通じて選択肢の選択肢を改善し、行う（do）を通じてアイデアを行動に導く効率を高めることができるかを示した。適切な組織構造とスキルの特性の明確化により、技術はコストを削減し、スピードを高め、イノベーションの不確実性のいくつかを改善することができる。これらはすべて、価値の創造と提供を行う経営管理者が、イノベーションを通じて持続可能な競争優位を構築するための全体的な目標に重要な貢献をしている。

これまでの章では、考え（think）、試す（play）、そして実行（do）を管理するために企業が採用したアプローチについて説明してきた。第 8 章では、新しいイノベーションプロセスにおける将来のマネジメント課題について検討している。この章では、経営管理者が IvT を使用して考え（think）、試す（play）、そして実行（do）を結びつける戦略的な利点を得る方法について説明する。

戦略的マネジメントの理論やアプローチには多くの異なる理論があり、私たちの意図はそれらを批判したり、テストしたり、開発したりすることではない。私たちの目的は、IvT がどのように戦略の策定と実施の主要な要素のいくつかに影響を及ぼす可能性があるかどうかを検討することである。そこで私たちは、戦略の比較的単純で高度に定型化された特性解析を提案する。私たちの定式化では、戦略的優位性は、企業が価値を創造し、コストや差別化に基づいて競争することを可能にする、リソースまたは competencies（能力）の「基盤」あるいは「コア」のセットを確立する方法から引き出される。以下、これらを単に「competencies（能力）」と呼ぶことにする。これらの competencies（能力）は、一部の研究者によって「dynamic capabilities（動的能力）」と呼ばれる、既存のものの再構成を容易にする企業の要素、新しい機会を満たすための新しい能力の創造などによって、時間とともに適応され、変更されている。以下、これらを単に「capabilities（能力）」と呼ぶことにする。この章では、IvT が企業の

competencies（能力）の確立を支援する方法と、新しい競争上の課題に対峙するために企業が再結合するのを支援する capabilities（能力）について検討する。

この章では、主に capabilities（能力）、あるいは変更の可能性を提供する要因に重点を置いている。capabilities（能力）の3つのグループがあると考えられる。すなわち境界を越えて統合する能力、内部構造とプロセスの編成能力、そして学習、創造性、知識などがある。これらの戦略的能力の実施および開発に関連する最も重要なマネジメント問題のいくつかについて議論する。IvT とこれらの capabilities（能力）との関係に重点が置かれている。事例研究と他の研究に基づいて、この章では、新興のイノベーションプロセスにおいて、IvT が戦略的に現在いかにマネジメントされているか、そして将来いかにマネジメントされるかに関するいくつかの推測についての両方の所見を提示している。この章の重要な要素を図 7.1 に示している。

IvT が competencies（能力）と capabilities（能力）に及ぼす影響を調べる前に、戦略の主な特徴のいくつかは Box 7.1 の戦略マネジメント理論に記述されている。これは、簡単な戦略マネジメントの概念が導き出された豊富な文献のいくつかを簡略に説明している。

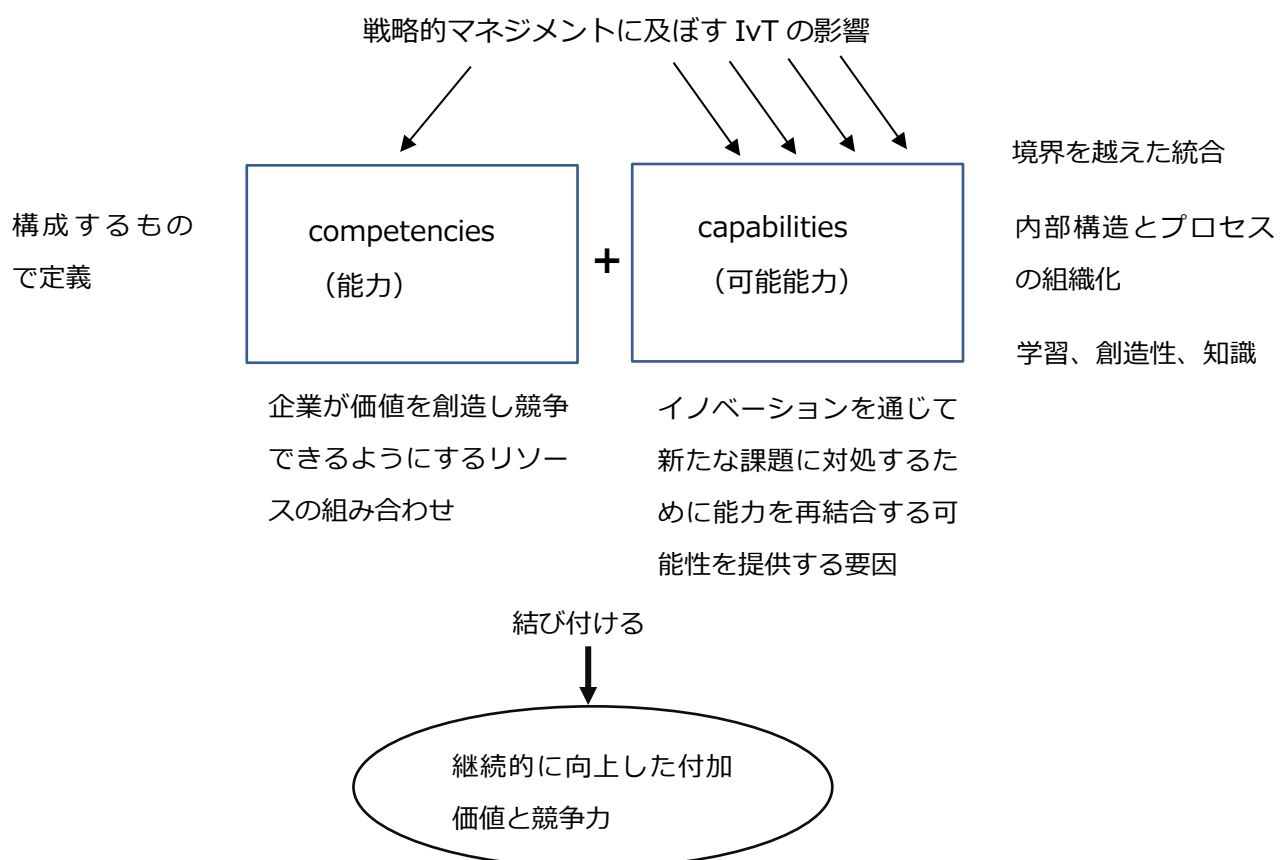


図 7.1 IvT の戦略的管理への影響

Box 7.1 戦略的マネジメント理論

戦略は、製品、サービス、市場、技術が迅速に、予測できない方向に、そして大きな混乱を招く可能性のある状況で特に重要である。ここでは、大量の選択肢と選択と企業を取り巻く不確実性の霧の中を通る道を、徐々に進むのを助ける戦略である。戦略ガイドは、企業が何をすべきか、そして何をすべきではないかについての決定を導く。戦略は、企業が何をすべきか、何をすべきではないかについての決定を導く。企業が顧客を引き付けて競争力を維持するために必要なビジネス活動と技術の選択を指示する。比較的専門化された「核心」あるいは「基盤」—すなわちその活動あるいは、企業の業務とアイデンティティに焦点を当てた「リソースの束」—の所有には利点があり、その周りに戦略が策定され実施される。この基盤は、正当化とリソース化のために、競合する開発とプロジェクトが参照される基準点を提供する。戦略のこの要素は、あなたが何をベストに尽くすべきかを知り、それに固執し、関連する開発を行えるようにする一方で、顧客を満足させるために必要な他のすべてのものをアウトソーシングすることである。40 年以上前に Edith Penrose (1959 : 137) は、戦略の重要性と特質の本質をうまくまとめている。長期的には、収益性の生存と企業の成長は、不透明で変化し、競争の激しい世界で事業を適応させ、拡大することができる、幅広く比較的難しい "基盤" を確立する能力に基づいているので、幅広く多様化した製品の生産を効率的に行うことには、あまり依存しない。

Penrose にとって、競争力を支えるリソース基盤を動的に調整するのは企業的能力である。動的変化も、生物学における遺伝子の経済的類似体としてのルーチンの意義を明らかにしている、進化論の特徴である (Nelson and Winter 1982)。ルーチンとは、組織のための組織的な記憶であり、知識とスキルのベースリポジトリである。これらの理論は、戦略の現代的な「リソースベース理論」(Barney 1986; Grant and MacNamara 1995) と、基盤の焦点と多様化を特定する「コア competencies (能力)」(Prahalad と Hamel 1990) の概念に共振するものである。IBM や Ericsson などの大企業のケーススタディでは、この基盤がどれほど重要であるか、そしてそれをどのように再構成することが可能かを示している。そのため、IBM は製品ベースの企業から e ビジネス・ベースのサービス企業 (Gerstner 2002) へと大きく変化し、Ericsson は製品ベースから統合ソリューション企業に変わった (Davies ら 2003)。これら両社は、その中核となる技術基盤に基づいて、この移行を行った。

戦略に重点を置くという概念は、大企業にのみ適用されるものではない。Roberts (1991 : 283) は、MIT からスピンオフしたハイテク企業の研究に基づき、論じている。

「若い会社の急速な成長のための最良の機会とは、明確に集中した技術分野でエンジニアの才能を内部的に重要な塊を構築することによってもたらされ、独自のコア技術を開発して製品開発の基盤を提供することができる」。

新しい知識、学習、創造性を競争上の優位性のために調整することができる「dynamic capabilities (動的能力)」によって、企業のコアまたはリソースの基盤がサポートされ、利用され、開発され、多角化される。dynamic capabilities (動的能力) は、知識資源の所有と再構成が競争上の優位性を生み出すため

の第一の手段であり、急速かつ不確実な環境において特に価値がある（Teece and Pisano 1994; Grant 1996; Kogut 1996）。それらは、「あいまいな産業構造、ぼやけた境界、流動的なビジネスモデル、あいまいで変化する担い手、非線形で予測不可能な変化」（Eisenhardt and Martin 2000 : 1115）に代表される「高速な市場」において最も有用である。dynamic capabilities（動的能力）は、コア competencies（能力）が「コアの硬直性」に至るのを防ぐメカニズムを提供する（Leonard-Barton 1995）。dynamic capabilities（動的能力）のアプローチは、とりわけ国際的バイオテクノロジー産業（Madhok と Osegowitsch 2000）、英国の小さな製造企業（Bessant et al. 2001）、ディスクドライブ産業（King と Tucci 2002）、検索エンジン企業である Yahoo! と Excite の成長（Rindova と Kotha 2001）戦略的マネジメントを分析するために使用されてきた。

dynamic capabilities（動的能力）は、リソースの再構成を操るツールとして最も簡略に概念化されている（Eisenhardt と Martin 2000 : 1118）。それらはそれ自体で終わりではない、それらは終わりの手段であり、価値と競争力を生み出す資源の組み合わせである。

7.2 IvT のコンピテンシーへの影響

IvT は、企業が戦略的な焦点と方向性を持つことを支援する。というのも、「基盤」を中心にグループ化された活動に特化し、その基盤から多様化する確信を提供できるからである。効果的に使用されると、IvT は、高度に特異的で複製が難しい competencies（能力）の作成を可能にする。また、それらの competencies（能力）を他者のものと比較的簡単に伝え合い統合する能力も提供する。それは高度な統合と学習、知識、創造性の応用を支援するイノベーションプロセスの方法で、イノベーション戦略の本質である competencies（能力）を活用して開発することができる。

IvT がユーザーと消費者をよりよく関与させ、統合し、より効果的に知識をマネジメントし、表現する能力により、産業専門化と分解の強化がもたらされる可能性がある。IvT を使用すると、企業はかなりの専門技術の分野に集中し、補完的な技術やサービスを探し出し、効果的にアクセスする能力があるので安心して価値を創出する活動の流れに身を置くことができる。この意味で、一連の活動を統合することができる技術は、風化した産業構造を支援することも可能である。一部の企業では、製品ベースからソリューションプロバイダーに移行している。伝統的な製造業とサービス業の区別が曖昧であるため、多くの経営管理者は、自社の活動の流れに関連して、自社の製品とサービスをいかに配置するのか、より大きな注意を払わなければならなかった。IvT の使用は、企業が価値の流れを再編する機会を提供し、一部の企業をシステムインテグレータとして位置づけられるようにしている。IBM は、サービス提供を社内外の機器と組み合わせたソリューション・プロバイダーとしての地位を確立した。

「考え（think）」と「試す（play）」の知識は、上流の組織が製品開発やソフトウェア・ハウスになることにつながっている。Ricardo や Arup などの企業は、ソフトウェアビジネス capabilities（能力）を開

発している。彼らはIVTの社内技術力を様々な分野を対象とした新しい製品やサービスに移行している。他のケースでは、企業は川下での運用サービスに注力している。IVT自体の使用は、必ずしも企業がバリューチェーンの下流または上流への移動を選択するのではなく、competencies（能力）、スキル、およびノウハウをほぼ継続的に再考することによって意思決定環境を鋭くする。

IVTは、企業が境界を越えて統合し、コア・アクティビティに重点を置く機会を促進することによって、戦略的な選択肢を企業に開放する。しかし、Box 7.1 に示されているように、戦略的マネジメント課題は、competencies（能力）の定義を超えて拡張され、それらの再結合を可能にする capabilities（能力）の開発を含んでいる。これらの capabilities（能力）の中で重要なのは、企業が境界を越えて統合し、組織し、知識、創造性、学習をマネジメントする方法であり、これらの問題に対して、いま私たちが目向けしている IVT との関係の問題である。イノベーション戦略が実際にどのように実施されるかを説明するために、IVTに関連するいくつかの具体的な組織およびスキルの問題が論じられている。

7.3 境界間の統合

Rothwell が第 5 世代の革新プロセスで「戦略的統合」と呼ぶ、境界を越えた統合は、企業内外の両方で重要であり、イノベーションプロセスにおいて考え（think）、試し（play）、そして行う（do）ために必要である。そのような統合は、特定のプロジェクトの必須のマネジメント要件であることが多いが、重要なのは、第 3 章の P&G の場合と同様に、企業の戦略的マネジメントの継続的な特徴である。統合化イノベーションプロセスへの貢献を効果的にマネジメントすることは、競争力を維持するための鍵である。

考え（think）、試し（play）、そして実行（do）は、IVT の使用の結果としてよりよく織り交ぜられ、統合される。それは、企業の社内外の環境に対する経営管理者の態度や関係に影響を与える可能性がある。効果的な新しいパートナーシップとビジネス関係を形成し、科学基盤、顧客、サプライヤー、パートナーを革新的な組織に近づけ、研究、エンジニアリング、製造、設計、運営、マーケティングなどさまざまな活動領域の内部統合を促進することができる。

企業境界を越えた技術協力の価値を示す大きな証拠があり、企業が新技術だけでなく新しい組織の実践や戦略についても学ぶことを可能にする（Dodgson 1993a; Powell ら 1996; Sakakibara 1997,2001; Child と Faulkner 1998）

企業とその外部環境との関係のネットワークは、戦略的な成果を形成するうえで重要な役割を果たすことができるので、経営管理者は組織構造と技術の両方が企業とその外部環境との関係のネットワークが戦略的な成果を形成するうえで重要な役割を果たすことができるため、経営管理者は組織構造と技術の両方がそうした連係を構築するのをサポートする必要がある（Dodgson 1993b）。以下のセクションでは、IVT がイノベーションに関わる組織間の境界を打ち破り、協力関係をサポートする上で果たす役割について説明する。

顧客との統合

境界を超えてうまくマネジメントするための最も重要な側面の 1 つは、イノベーションにおける顧客との連携の質である。1970 年代の Project SAPPHO (Rothwell ら 1974) 以来、多くの研究プロジェクトは、幅広い産業で成功したイノベーションが、異なる生産領域の研究、生産、マーケティング、および顧客の怒り関与の統合を必要としていることを示している。これは今でもそういうケースがある。2000 年の英国政府の 2,634 の製造企業に対するイノベーション調査では、66%の企業が顧客からのイノベーションに関する知識と情報を入手していることが分かった (DTI 2003)。

洗練されたエンドユーザーとの関わりにより、革新的な製品開発が促進され (von Hippel 1988)、「強固な」設計反復および製品ファミリの開発につながる可能性がある (Gardiner and Rothwell 1985)。この取り組みを支援するために、様々な種類の IvT が使用されている。第 5 章で見られるように、「イノベーション・ツールキット」は、新製品やサービスの開発に顧客を巻き込むために使用されている。これは、顧客関連イノベーションから顧客主導型イノベーションへの戦略的移行の過程の一部であり、仮想プロトタイピングなどの IvT の作成と開発によって、顧客の入力の容易さが促進される方法と関連している。

「デザイン会話」の一環として、製品の使用をシミュレートし、選択肢を評価するためにユーザーと作業することも、デザインとエンジニアリングのプロセスの新しい重要な部分である。私たちは住宅で積水ハウス、自動車ではトヨタ、マツダ、フォード、そしてコンピュータゲームやファッション業界の企業が仮想製品とシミュレーションに基づく顧客のフィードバックを組織的に利用して新製品開発プロセスを改善する方法を見てきた。P&G によるバーチャルな製品テストのアプローチでは、ユーザーと顧客が、詳細な製品開発コンセプトの洗練と選択の、中心的な役割を果たしていると考えられる。

サプライヤーとの統合

また、IvT はサプライヤーのイノベーション・プロセスへの統合をより効果的にマネジメントすることも可能にする。英国のイノベーション調査では、68%の企業が、機器、材料、コンポーネント、ソフトウェアのサプライヤーからの技術革新に関する知識と情報を得ている (DTI 2003)。この点での優れたケースは、Boeing 777 の設計における CATIA の使用であった。デザインとエンジニアリングが同時に関与することは、777 チームの「連携して働く」哲学の重要な要素であった。航空機の設計および製造の実質的な要素、特にエンジンおよび航空機の大きな舵は下請けされ、これらの様々な貢献者を組み合わせることは、プロセス全体の成功にとって非常に重要であった。IvT はこの統合において中心的な役割を果たした。Boeing は 777 設計チームの中に 2,200 個のコンピュータ端末を配備した。それらはすべて IBM メインフレームの世界最大のグループに接続されていた。日本の機体メーカー、英国および米国のエンジン、オーストラリアの舵のような主要サプライヤーは、このシステムにリンクされ、設計変更の即時通信を可能にした。航空機の組み立てに使用された大規模な工作機械である Automated Spar

Assembly Tool は、ツールの製造元およびボーイングのエンジニアと生産スタッフを含むチームによって設計された。ボーイングは 777 を生産するために、その多くが CATIA を使用して作業を支援された、250 のデザイン・ビルド・チームを作った。本質的に、IVT は、設計と製造の完全な内部的統合から遠ざかり、サプライヤーとパートナーシップを結び、システムインテグレーターになることに向かう、Boeing の決定を支援した。同社が新しい戦略を実現するのに役立った。

P&G は、独自の IVT 能力を開発するために、専門のサプライヤーに依存している。コンセプトデザインの初期段階では IDEO などの技術仲介業者と、製品の高度に洗練されたモデルを開発するためにはラピッドプロトタイピング機器のサプライヤーと密接に連携している。Gehry の複雑な建物の建設は、様々なコンポーネントの供給と供給を管理する IVT の機能に依存している。TWI などの仲介業者と InnoCentive などのインターネットベースの仲介業者と企業との関係は、IVT の使用によって支援される。

科学拠点との統合

イノベーションは常に市場主導というわけではなく、ロールスロイスのケースで見てきたように、Grid などの技術によって促進された科学基盤との統合は、特定の状況で非常に重要になる可能性がある。革新的な企業は、新技術の開発と商業化をするために企業を支援してくれる大学と協力することにより、知識を活用することができる。イノベーションプロセスにおける大学と産業のつながりを探る大規模な文献 (Hicks and Katz 1997; Meyer-Krahmer と Schmoch 1998; Mowery ら 2001; Cohen ら 2002; Lambert 2003) があり、産業界と大学の連係が産業間で異なっており、大学から商業製品への直接的なアイデアの転送はめったにないということが示されている。

実際、企業が大学システムへのアクセスや大学システムとの相互作用を管理するために、企業に使用されているさまざまな仕組みがある。大学との共同研究を行う企業は、それぞれ異なった非常にインタラクティブな方法で行っている。Cohen らは、例えば、大学は、新しいアイデアを生み出すだけでなく、既存の研究開発プロジェクトを完成させるのにも役立つていることを見つけた (2002)。最近の英国の研究によれば、企業のわずかな割合しかイノベーションの知識源として大学を利用しておらず、大学の共同研究と知識を他のアイデアと結びつける open-search 戦略を採用している傾向がある (Laursen and Salter 2004)。英国のイノベーション調査では、27%の企業が大学からのイノベーションに関する知識と情報を得ており、18%は政府の研究機関から得ている。

私たちのケーススタディは、企業や公共政策立案者が大学や研究機関の研究機関に、問題を解決するためにどのように頼っているかを示している。不安定な橋を分析してどう調整するか、交通混雑の告知をどう計画するか、歴史的建造物をどう保存するか、化学反応炉の安全性をどうチェックするか、新しいブラジャーをどのように設計をするかどうかにかかわらず、大学は、複雑な技術的問題を解決する。第 4 章で見てきたように、潜在的に有用な新しい選択肢について考える能力を増強した大学と研究部門の巨

大な拡大は、企業がそれに協力するためのさらなるインセンティブを提供している。

競合他社との統合

エンジニアリングサービス会社 Arup のケースは、IVT がどのように競合他社間に新しい関係を作り出したかを示している。Arup は競合相手の Mott MacDonald と協力して STEPS モデルを改良している。この場合、ソフトウェアの改善は両方の組織に利益をもたらし、協力の利点は競争の優位性を上回っている。一緒に働くことで、企業は絶えずソフトウェアを開発し、改良することができ、極端な出来事の間には建物内の人々の動きを常に精緻に理解することができる。英国のイノベーション調査によれば、企業の 54% が競合他社からのイノベーションに関する知識と情報を入手している。企業が協調しそして同時に競争する際の、こうした関係のマネジメントは、継続的な課題である。

システムインテグレーション

第 6 章では、生産におけるモジュール化の重要性が議論された。生産がますますモジュール化されるにつれ、システムインテグレーションがますます重要になっている。システムインテグレーションは、内部的または外部的に開発されたコンポーネントを用いて、設計し完成品に統合する機能として定義することができる (Brusoni ら 2001; Davies ら 2003; Prencipe ら 2003)。システムインテグレータは、上流のコンポーネントサプライヤーおよび下請け業者のネットワークを調整し、システムを設計および統合し、製品に付加価値のあるサービスを提供する責任がある。システムインテグレータである企業は、コンポーネントやシステムを統合できるようにするために、コンポーネントやシステムに関する深い技術知識を保持する必要がある。

IVT は、統合されたシステムの生産を支援するために、組織や国々でより多くの共同作業を行う可能性を提供する。企業は、異なる技術プラットフォーム間で技術情報や知識をより簡単に移転することができる。たとえば、Ricardo の新しいシミュレーションパッケージを使用すると、組織は「クラス最高の」ソフトウェアを使用し、さまざまなサービスプロバイダのツールを組み合わせることで混在させることができる。これらの統合パッケージを使用することで、エンジニアはシステムの一部の変更が他の部分にどのような影響を与えるかをよりよく知ることができる。そうすることで、システムインテグレーションをサポートし、経営管理者は、異なるシステム、モジュール、コンポーネントを組み合わせ、いかにビジネス上の利点を生み出すかをよりよく理解することができる。高度な ICT の使用と組み合わせることで、IVT は組織間のコミュニケーションと統合のための新たな機会を創造する。たとえば、Arup のプロジェクト・エクストラネットは、各組織が CAD の独立した能力を持たずに知識と図面を共有できるようにしている。P&G の場合、仮想モデルは、世界各地の一般ユーザーに電子メールで送信され、そこでさまざまな技術的選択肢を見たり操作したり試したりすることができる。

設計や開発においてモジュラー・コンポーネントを多く使用することは、IVT の使用を具体化することでもある。理論的には、個々の生産者がコンポーネントの設計と開発に専念できるようにすることによって、モジュール化は設計の効率化と生産システムのより高度な専門化を後押しすることができる。このような状況では、システム統合を支援する IVT の能力は非常に重要である。

これらの異なる種類の相互作用（顧客、サプライヤー、科学拠点との）は、イノベーション・プロセスのより分散的かつネットワーク化されたモデルへの動きの重要な部分であり、IVT への補完的かつ統合的な投資への取り組みと、よりオープンで協調的なマネジメントの実施が必要である。戦略的な経営課題は、IVT を最大限に活用して関係を構築し、イノベーションが共同作業になると同時に、Inriuvatic の価格管理や Strategic Management、知的財産の所有権などの問題を管理することです。課題は、外部の関係者との結び付きからすべてのつながり、機会、学習を使って、企業内の competencies（能力）を活用することである。

7.4 内部構造とプロセスの構成

IVT の恩恵を受けるために企業が構造化する方法に関する問題は、いかに企業が既存の方法を活用し、新しいものを探求するのかという、マネジメントと技術イノベーションの永続的な問題を再考させることになる（March 1991）。

多くの日常業務および生産活動では、組織的で一貫したプロセスのパフォーマンスを作成、補充、最適化することは、生産性向上の中心にある。プロセスの無駄をより少なくし、製品やサービスの提供に必要な時間を短縮する努力は、高度に進歩しており、OMT（第 6 章を参照）の使用によって企業や社会にもたらされる利益の不可欠な部分となっている。しかし、イノベーションと創造性には、非常にさまざまな組織的アプローチが必要である。非常に定式化されたプロセスと手順に依存する組織では、イノベーションが成功しない傾向がある。いくつかの点で、これらのプロセスは、製造業、サービス業、または創造的産業の創造的な人々には受け入れがたいものとなっている。これらの人々は、そのようなプロセスとルールが、自由度を制限し、タスクからタスク、成果から成果に移動する柔軟性を制限することがある。

私たちが研究した企業の従業員の観察から、IVT を使用するイノベイティブな人々—考える人、試す人、実行する人—は、熱意、機会、新しさ、そしてデリバリーを通じて達成するために対応している。この環境では、正式にな計画、指揮、調整するための経営管理者の試みが失敗することがある。IVT の使用は、内部と外部の境界を越えて仕事をすることを奨励することによって、イノベーションの機会を刺激するために IVT の周りの労働力のエネルギーとダイナミズムを活用する方法を見つけることができる経営管理者の必要性を生み出している。

IVT を使用することでより効果的な組織構造、スキル特性、およびマネジメントスタイルの種類は、急進的または漸進的なイノベーションに適用されても、類似しているものと推測できる。これは、IVT への投

資が新しい方法や組み合わせで既存の機能を活用したり、新しい選択肢を探索したりすることなど、コスト効率の高い継続的な検索と新しい選択肢の選択のためのインフラストラクチャを提供するからである。IVT 対応の作業環境が構築され、迅速かつ比較的安価に考え、試す、そして実行する能力を備えていれば、すべての可能性が、既存の開発や新製品、プロセス、サービスの改善のために考えることができる。IVT を使用する新たな機会は、以前は漸進的にしか改善されていなかった製品、プロセス、またはサービスの予期せぬ段階的変化の改善を生み出し、可能性ある急進的なイノベーションの早期警戒システムを提供し、IVT 対応ネットワークとその能力を迅速に評価する能力を引き出すことができる。第 1 章に見られるように、多くの企業の最善の努力にもかかわらず、イノベーションは依然として不確実である。漸進的なイノベーションが破壊的な変化や、急進的イノベーションに徐々に取って代わられる時期を予測することは困難である。したがって、両者のために IVT を使用することができれば便利である。この技術は、漸進的かつ急進的な状況のために組織化するために必要な「両手利き」を提供するのに役立っている。

以下のセクションでは、イノベーション戦略のこの組織要素の実装をサポートするいくつかの実践を分析する。

プロジェクトベースの構造

IVT を使用している一部の企業は、Mintzberg と McHugh の「adhocracy（アドホクラシー）」（1985）に類似した組織形態を採用しているように見える。アドホックな組織では、計画作業と設計作業とそれを実行する作業との間に正式な分かれ目はない。社内、外部のクライアントからのものどちらも、ほとんどの作業はプロジェクトとして行われる。Mintzberg と McHugh のアドホクラシーの本では、これらのアドホックな組織は、プロジェクトと日常業務の間の分業を反映して、組織の他の部分とは管理上分けられていると説明されている。

このようなプロジェクトベースの組織の特徴と利点は、特定のタスクを実行する高度に熟練した個人の緩やかなネットワークを機能させたための（DeFillippi と Arthur 1998）、そして様々な貢献者を伴う複雑なイノベーションのための（Hobday 1998）、新しいモデルを提供することである。Burns と Stalker の「有機的な」組織（1961 年）のように、この環境はイノベーションを促進するのに役立つ。特別なプロジェクトベースの組織では、経営管理者はスキルと capabilities（能力）をさまざまな時に、時には新しく偶然思いついたように組み合わせて再結合することができる。それらは、技術的または市場機会に関して、スタッフが内部的に、そして幅広い外部知識源と連携して作業することを可能にする、組織環境を提供する。プロジェクトに基づく仕事の本质は、スタッフがタスクからタスクに移ることができ、日常業務を行うことに関連した退屈さを避けることができることを意味している。アドホックは、退屈なスタッフのために活気あるものを維持し、創造的で熟練した専門家の仕事スタイルを直接的に訴求する。この本に記載されている専門的設計およびエンジニアリング企業の中には、企業の一部だけでなく企業

全体でも、アドホックなプロジェクトベースの構造がより好ましい形態となっている。会社の規模はここでは問題ではなく、市場の性質で、たとえば、Arup は大規模なプロジェクトベースの企業である。会社の日常的な活動の範囲に応じて、プロジェクトベースの組織は、会社の一部または全部で使うことができる。経営管理者の将来の課題の 1 つは、企業が「本来の目的からのプロセスと納入のためのものと、イノベーションのためのものという 2 つの異なる、両利的な組織構造を作り出す」、Tushman と O'Reilly の戦略（1997 年）を実現するのを支援するために、プロジェクトベースの組織が他の部門的、機能的、またはマトリックス的組織構造とともに存在する可能性を確立することである。

チームワーク

チームワーキングへの新しいアプローチは、IVT によって支援されることが可能である。これらのアプローチでは、チームがイノベーションを創造し、育成する能力に重点が置かれ、IVT はこれらのチームの構築と運営において役割を果たしている。

より伝統的な組織構造では、チームは多くの場合まとまりがあり、持続性があり、一貫性がある。数多くの研究プロジェクトは、プロジェクトチームのさまざまな分野の関与と活動のバランスをとる必要性と、いかにチームにおける組織的手順や記憶の構築に価値があるかを示している（Lansiti 1993）。そのようなチームには、さまざまな学問分野や背景を持つ人々が参加することがあり、メンバーは長期間にわたって協力して強力な手順、記憶、習慣を構築することができる。これらのチームは、特定の技術分野や市場分野で一連の関連プロジェクトを実施する上で非常に効果的である。これらのチームの多くは、特定の場所に集中しており、知識を共有するのに物理的に近接していることを利用している。しかし、イノベーションの促進や変革が必要になった場合、これらの長期的なチームは、多くの場合、自己主張傾向や情報の内部依存に起因するかなりの惰性に苦しむ傾向があるため、その制約になる可能性がある。組織的内観主義のこれらの問題を回避するために、経営学者は、チーム構造がより透過的かつ柔軟であるべきだと述べている（Wheelwright and Clark 1995）。課題に対処するために、多くの組織が、チームメンバー間の高度なローテーション、スタッフの専門分野や国籍の多様性、さまざまな地理的な場所からのチームの使用など、新しいチーム管理戦略を作り上げてきた。

企業は、その地域に存在するかもしれないイノベティブな機会の恩恵を受けるために、鍵となる場所にチームを配置している（Gerybadze and Reger 1999）。それらのチームは、世界中の様々な知識集約型コミュニティの恩恵を受けるための機会を創出し、ホームベースの活動を拡大し、うまく活用するというグローバルなイノベーションネットワークのローカル結節点として機能する（Kuemmerle 1997）。たとえば、英国の P&G チームは、新製品開発について米国、ベルギー、インド、中国のパートナーと協力している。このようなグローバルネットワークは、空間と時間を超えてアイデアを創造し、共有するための貴重なつながりをもたらすことができる。

IVT を使用することで、分散した多様なチームがさらに効果的になる。その使用は、製品、サービス、ま

たはプロジェクトのさまざまなコンポーネントまたは要素を統合するチームの能力に大きな自信をもたらし、複雑な設計をより理解しやすい方法で表現する能力によって、より効果的な知識の流れが促進される。容易にアクセス可能で直感的な検索ツールを通じて、考える人、試す人、実行する人は、知識の既存のリポジトリに依存することが少なくなり、限定的な方法で形式知化することができる。それらは、必要な情報を最も有用な方法で検索し、形成することができる。実験と失敗のコストが削減されれば、先例や過去の実践や行動に縛られることも少なくなる。

IVT は知識を作成し、表現し、流動的に変化させ、境界を変えることを可能にする一方で、ケーススタディに登場する経営管理者は、電子メディアと並んで、対面コミュニケーションも決して置き換えられることはないと認識している。技術を使用して費用対効果の高い迅速な方法で情報を共有することは、比較的簡単である。しかし知識を共有することはかなり複雑である。Lester と Piore (2004) は、情報を交換し、理解を共有して有用な知識にするプロセスを通じて、新しい製品とサービスを創出する上で必要な 2 つの重要な戦略的マネジメント活動を強調している。第一は、合理的な問題解決能力を使用して分析する能力であり、結果的に明確な意思決定が行われる。第二は、合理的な意思決定モデルに合わない機会と問題を見る、新しい洞察と方法を獲得し、解釈する能力である。両者を活用することで、イノベーション成果を大幅に向上させることができると述べている。

電子的に媒介される知識共有を観察する人々は、「認識共同体」(Steinmueller 2000)、「実践共同体」(Brown と Duguid 2000)、「共用空間」のコミュニティ (Schrage 2000) などと呼ぶ、何らかの共通のアイデンティティや信頼感を持つグループの中で、効果的な知識交換が行われることを強調している。Salter と Gann (2003) は、デザイナーが電子ツールの熱心なユーザであるにもかかわらず、問題を解決し、アイデアを開発し、仕事の質を評価し、その成功のために不可欠な効果的な「コミュニティ」の構築を行うのに、密接な、個人的なやりとりに大きく依存していることを示している。

物理的な作業環境

IVT の作業環境は、その使用の革新性を形作り、IVT は考え、試し、行うというイノベーションプロセスとともに、それに適した物理空間に対する新たな要求を提起している。Hawthorne は、1920 年代半ばから 1940 年代初めまで Western Electric Company で研究していたが、当時ワークスペースの物理的レイアウトがチームの生産性、革新性、有効性を形作っていることが広く認識されていた。Allen (1977) は、1970 年代初めに、職場の人々のコミュニケーションのパターンが、彼らの物理的な位置関係に強く依存していることを示した。例えば、30m 以上離れると、人々が同僚と話す傾向が劇的に低下する。考え、試し、そして実行するプロセスと結びついた IVT が、より強力的なイノベーションプロセスをもたらすのであれば、新しいイノベーション実践と技術に対応させるように設計された建物内で、適切な空間設定を行う必要がある。IVT の使用、考え、試し、行うと、イノベティブな人々が活動する物理的な空間の間には、多元的な関係がある。これらの問題が特定のビジネスプロセスでどのように関係して

いるかを理解し、適切な品質の物理環境を提供することは、マネジメントにとって戦略的な問題となっている。考え、試し、実行するに関連する新しい作業パターンは、特に IVT がその最大の効果を発揮するよう使用される場合、独特な空間構成を必要とする可能性がある。例えば、学際的なチームベースのプロジェクト作業には、形式ばらないミーティング、ブレインストーミング、ビジュアル表示ツールを使った小グループでの作業スペースが必要である。積水ハウスのような企業によって開発された「体験センター（納得工房）」のような施設では、デザイナーと一緒に試すことで、顧客やユーザーをイノベーションプロセスに導くのに有益な場合もある。

1980 年代の初めから、一部の企業は、物理空間の種類、量、品質が、スタッフがその役割を果たす方法に関連しているという認識に対応し始めている。企業によっては、オフィス、デザインスタジオ、ワークショップ、および生産施設における IVT、ICT、OMT の使用に関連する新しい形態の対話に対応する適切なスペースが、変化の道具、そしてイノベーションプロセスの中核部分となっている。SAS、British Airways、Boots、Capital One、BBC などの企業は、デジタル・メディアを使用したコミュニケーションの利点を最大限に活用するために空間利用を再構成し直した。これは、1980 年代後半の金融サービスと通信の拡大と自由化の中で、中央ビジネス地区における立地と建物種別に深刻な影響をもたらした（Gann 2000）。Duffy（1997）と Hillier（1996）の研究は、空間の分類法と空間利用の分析の両方を確立するのに役立っている。Duffy は、4 つのタイプの空間に分類している。

1. Cells（小部屋の空間）は、個人的、専門的、瞑想的、熟考的な仕事にとって重要である。小部屋空間は、深い歴史的なつながりを持っており、例えば、修道院の僧侶にとってなど、熟考する人によって使用される伝統的な空間の様式である。
2. Hives（ハチの巣箱的空間）は、専用の機器で作業する専門職によって、複数の同様の作業を個別に実行できる、上記とは反対の種類 of 空間を提供する。例えば、コールセンター環境でのデータ処理、または薬理学における特殊化されルーチン化された科学的試験などが含まれる。いくつかの環境では、これらのスペースは「Fordist（フォード的）」生産ライン空間に似ており、新しいイノベーションプロセスの「実行」フェーズで役に立つ。
3. Dens（隠れ家的空間）は、ブレインストーミング、ホワイトボードの使用、プロトタイプ作成、アイデアを試すなど、小規模で多分野のチームに環境を提供する。Dens（隠れ家的空間）は明らかに「試す」のためのスペースである。
4. Clubs（クラブ的空間）は、カジュアルでくだけた対話、ブラウジング、人との出会い、同僚との肩の擦り合わせる環境を提供する。これらは、そこでビジネスが取引され、快適でリラックスした環境でアイデアが交換された 19 世紀の議論室や「喫煙クラブ」に類似している。近代的な同等物は、いくつかの空港ビジネスラウンジ、ホテル、会議、ゴルフクラブなどのスポーツ施設で見つけることができる。これらの種類の空間は、異業種の人々が非公式な立場でアイデアを交換できるようにする。

大学の研究センターの研究によれば、情報の流れが良くなると情報消費が増加し、イノベーションプロセスを支援する可能性があることが示されている。例えば、空間の使用に関連する科学者の生産性の最も重要な決定要因の 2 つは、集中した作業（小部屋空間）をサポートし、自らの作業場や他の場所（隠れ家空間やクラブ空間）で即時のやりとりを行う能力である（Brill 2001）。Toker（2005）は、科学者たちの間で、対面的な相談が、情報資源とコミュニケーションの形式として電子メディアを圧倒していることを示している。彼は、空間利用の多くの特徴が、考えるや試す間に新しいアイデアを共有し、開発する機会を改善するよう、科学者間での重要な直接対面の相談が強化できていることを示している。これには、空間構成、可視性、歩行距離、知覚される環境品質、アメニティなどの空間利用を引き付けるものが含まれる（Toker 2005）。要約すると、科学者や研究者、特に他の科学者との接続性、ツールと材料、地域のアメニティ、プログラムされていない偶然の遭遇のための空間に近接性は今でも重要である。

しかし、人々はもはや研究室やスタジオで働くことができないので、予想外の将来の要件を満たすための柔軟性の提供、オフィスサイズに関連する状況をマネジメントする必要性、または散発的な使用に対処する必要性など、適切な空間の設計と利用は、投資決定の戦略的マネジメントに大きな問題をもたらしている。考える人は、静かでプライバシーに配慮された家の中で思考するのを好む場合があるので、より大きな柔軟性が求められる。IVT と試し実行する際に協力して対話する必要性は、創造的なガヤガヤを生み出す。いくつかの例では、創造的な従業員は、くだけた、ゆるやかで、友好的なクラブやカフェの場所に似た職場に引き付けられているが、これは常に望ましいということではないかもしれない。隠れ家的空間やオープンプランのオフィスでは、いくつかの活動にとっては、そして厳格な作業や考えるための瞑想的空間が必要な特定のタイプの人々にとっては、騒々しく混沌としている場合がある。

課題は、グループで新しいアイデアを創造し、共有するのに必要なガヤガヤとエネルギーを持ち、黙想に必要な静かなものに対応できる柔軟性のある職場を作り出すことである。WiFi とポータブルでパワフルなコンピュータを使用すれば、イノベーションプロセス内のいくつかの活動のための職場を、人が望む場所につくることができる。例えば、イングランドの Brighton にあるビーチにはワイヤレスネットワークがあり、近隣には約 400 の小さなスタートアップマルチメディア企業が稼働している。人々は地元のアメニティを享受し、時にはビーチで働いている。

技術によって可能になった広範なコミュニケーションの開放性には欠点がある。多すぎる相互作用は、「時間の飢餓」と過労や関連したストレスの循環を引き起こす可能性がある（Perlow ら 2002）。この本のために調査された IVT 環境の多くは、長い時間と労力が必要な作業に集中している。アイデアを創り出し、問題を解決するために試し、解決策を検討するためには、かなりの相互交流が必要である。したがって、IVT の時間を節約し、相互交流を支援する能力を備えているにもかかわらず、仕事のやりかたを変えるには時間がかかることが多く、人々は依然として孤独な仕事や熟考の時間を必要としている。マネジメント上の課題は、孤立した仕事と交流のバランスを見つけることである。バランスの選択は、特定の時間に人が関与している作業の種類に応じて変化する。1 日の中で複数の物理空間が必要になることが

ある。本質的に、IVT は、仕事と遊びの境界を壊している技術の 1 つである。これには利点と問題があり、どちらも繊細なマネジメントが必要である。

メディアの融合

ICT や IVT のような技術の使用は、多くの場合、ペーパーレスオフィスの先駆者と見られている。しかし、Seely Brown と Duguid (2000) が論じてきたように、ペーパーレスオフィスには遠く離れているように思われる。彼らは情報には、社会的な生活があると述べている。紙とデジタルの両方での視覚的表現は、イノベーションプロセスの中心になっている。P&G の場合に見られるように、それはエンジニアが構想を語り、考え、試すのを助ける。IVT を使用することはしばしば視覚的な活動であり、多くの紙やデジタル図面が必要である。IVT を使用しているエンジニアは、この 2 つのメディア間を頻繁に連続的に楽々と切り替えている。かれらが紙でのスケッチを使用するのは、それがより速くより即時的であるからである。スケッチは社会的活動でもあり、異なる問題解決者がグループで集まり、問題を解決し、相互にコミュニケーション、指導、刺激するためにスケッチを作り上げる (McGown ら 1998; Bilda と Demirkan 2003; Tovey ら 2003、第 5 章)。Henderson (1999) が述べているように、エンジニアは、さまざまなツールやテクノロジーを駆使して、問題を解決するためのさまざまな方法を組み合わせて使用している。

Arup のような企業のデザイナーやエンジニアの観察から、IVT が非常に異なる技術分野から来るかもしれないチームメンバー間の会話を成立させるメカニズムとして、スケッチの重要性がいかに高めているかが分かる。スケッチは、デザイナーが紙でより早く試し、これらのアイデアをデジタルモデルに入力するのを可能にする。デジタルモデルはプロトタイプ化され、さらにスケッチとモデリングによって洗練される。IVT を使用しているオフィスでは、紙、プロトタイプ、ツール、玩具、コンポーネント、人工生成物、およびデジタル画像が散在していることがよくある。これらの環境では、エンジニアはアイデアや問題解決のためにさまざまなメディアで「dance (演舞)」する。さまざまなメディアミックスを使った試行が奨励される、こうした作業スペースがますます多く提供されるようになることは、IVT がより広く普及するにつれて、経営管理者にとっては一つの問題になってくる。

スキルとスキルのミックス

彼らは、幅広い新しいスキルと分野を含め、スタッフのプールを多様化しなければならないので、IVT はそれを使って企業のスキル構成を変える。製品開発組織は、スケッチアーティスト、デザイナー、民族学者、社会学者、経済学者を、伝統的な科学者や技術者のスタッフとともに採用している。エンジニアリングは拡散し広がり、物質の物理的取り扱いにはあまり関心をもたないようになった。現在は、技術的ソリューションの社会的および経済的重大性と影響に焦点を当てる必要がある。技術がどのように外的環境

を形成し、相互作用するかを理解するために、経営管理者は新しい技術が提供する可能性をよりよく理解するために、社会科学やその他の分野から新しいスキルと実践を組織にもたらそうと努めてきた。

イノベーションの研究文献 (Alen 1977; MacDonald と Williams 1994、Dodgson と Bessant 1996、Hargadon 2003) では、「boundary-spanners (境界スパンナ)」、「technological gatekeepers (技術的ゲートキーパー)」、「technology brokers (技術仲介業者)」の価値は長い間評価されてきた。こうした人々や組織は、問題の潜在的な解決策を見つけるために組織や学問分野の境界を探索し、必要な場所に知識を伝えるのに熟練している。IVT を使用すると、考える人、試す人、および実行する人はより簡単かつ効果的に境界線を広げることができ、イノベティブな組織におけるその特定のタスクを与えられた人の、パフォーマンスを向上させるための改善されたツールを提供する。

Lester and Piore (2004) は、イノベーションのための分析的および解釈的スキルの必要性を強調した。これらは、モデリングとシミュレーションに IVT を使用する多くの部門で必要とされるよう思える、さまざまな重要な新しいスキルに関連している。これらのスキルにはパターン認識が含まれる。乱流系のパターンを認識する能力は、薬物発見のための組み合わせ化学や天気予報や気候変動の評価など、多様な作業において特に重要になっている。エコノミストも同様のアプローチを用いて株式市場の価格を研究している。数学のスキルは、しばしば、こうした形の分析と解釈の中心にある。微分方程式を使用した同様の形の数学的モデリングは、例えば、天気予報および経済傾向の分析に使用される手法に見出すことができる。エキスパートシステムなどの意思決定支援ツールは、医療など、ますます多くの専門的活動の中で複雑なデータ群から意思決定を支援するのに使用されている (Berg 1997)。

考え、試し、そして実行する上で IVT が作り出したデータを解釈して行動することによって、イノベーションを通じて新しい価値を創造するには、他の新しいスキルが必要である。アナロジーを活用してデータを分析するときには、しばしば新しいアイデアを開発することができるという証拠が示されている。これは幅広い洞察を発展させるのに役立っている (Schwartz 2004)。Schwartz は、多角的な洞察が、イノベーターが選択肢を作り出すのを助けると述べている。これらのスキルは、イノベーションプロセスの考え、試す段階で特に役立つものと思われる。彼はまた、組織的に考える能力は、より大きな社会的および技術的システムへの実装を通して、新しいアイデアを統合するために非常に重要であると述べている。ほとんどの場合、新しい製品とサービスは既存の技術とプロセスの脈絡の中で導入され、実装されており、多くの業界ではいくつかの年代物が存在している。システム的に考える、時にはシステムの構想システムを活用する能力は、考え、試し、実行する中で重要な戦略的マネジメントスキルであり、試し、実行する中で特に重要である。

顧客に関わることもできる新しい方法のビジネスのため、他のスキル要件が、IVT と考え、試し、実行すると関係づけられた、特定の戦略的マネジメントスキルとともに浮上している。これらには、次のようなものが含まれる。

- 重要なアカウント管理：特定の市場分野（航空業界、教育、健康、鉄道輸送など）における顧客の市場、ビジネスプロセス、および顧客に関する知識。これには、長期間にわたり顧客のビジネスに組み込まれるのを望むスタッフも含まれる。
- リスク分析と管理：イノベーションにおける選択肢の評価、リスク登録簿の管理、供給ストリームにおける長期的なリスクの理解能力を含む、リスクの特定、評価、管理における新しいスキルの導入
- 法的スキル：長期枠組み合意の締結、利権構築、合併事業、リスク軽減、知的財産所有の新しい能力
- 情報管理：非常に長い時間尺度やさまざまな年代物技術にわたる情報を管理するために必要なスキル
- ポートフォリオ管理：チームやコンソーシアムの構築、利権パートナーの組織と管理のスキル

リーダーシップ

考え、試し、実行するイノベーションプロセスをリードするには、リーダーシップの実践における多くの既存の路線の拡大が必要である。多くのプロフェッショナルサービス企業の経営管理者と同様、IVTのリーダーは、同輩に方向性や激励を提供し、パフォーマンスの責任を負うという課題に直面し、それと同時に伝統的な権限を行使することもできないので、「同輩中の第一人者」的なアプローチを取る必要がある。第3章で引用したAmpのシニアマネージャーは、「あなたは何をすべきかを人々に伝えることはできない」と述べている。リーダーに求められるものは、創造的な専門スタッフの独特な動機と組織の目的を融合させることである。

リーダーはまた、組織の境界を越えてマネジメントする必要がある。組織的制裁や規律に直接的に欠いた場合に、タイミング、投資、優先順位などの問題に対する要件を他の組織の人々が遵守するように求めるために、優れた擁護と外交的スキルが必要である。

これまで以上にIVTを使用して一体化してきたが、リーダーは、主に考える人、試す人、または実行する人として自身を考えているかも知れない、様々なタイプの人々の才能と貢献を組み合わせる必要がある。リーダーは主に考える人、試す人、または実行する人として自身を考えることができるが、自身の役割を間違えて考えている人、チーム、組織を導くことができる必要がある。イノベーションプロセス全体の理解を習得することで、真のイノベーションリーダーになるためには、3つの活動の背後にある相乗効果と繰り返し効果を理解する必要がある。これらの組織上の問題はすべて、能力（capabilities）を作り出す方法に影響する。それらはすべて、変化を促し、促進する、したがって、その組み合わせにおいて、重要な戦略的マネジメント上の関心ごとである。

7.5 学習、創造性、知識

学習と知識の創出と利用は、知識経済における企業戦略の中心的要素である（Box 7.2 参照）。知識、学

習、創造性は、企業がその能力（competencies）を変えるのを可能にする重要な機能（capabilities）であり、そのためのマネジメントは戦略的に重要な課題である。それぞれは IVT の影響を受ける。

Box 7.2 IVT、暗黙知、および成文化された知識

知識のマネジメントと経済性における技術の利用の可能性と限界についての議論は、知識の構築方法の分析に制約されてきた。知識の創造と使用に関する議論の重要な問題は、その暗黙の表現と明示的な表現の間の関係であり、これらの技術に関する多くの議論は、暗黙の知識のコード化の単一かつ限定的な問題に焦点を当ててきた。

「コード化された」知識とは、論文、図面、計画、特許、あるいは以前には書かれておらず、説明されていなかった、すなわち「暗黙知」を明示された知識である。体系化された知識は、移転と共有が容易である。

体系化された既存の知識を管理するための技術の価値は広く認識されている。Nonaka ら（2001）は、技術は現在主に、既存の情報と明確な知識を組み合わせる中で、効率を向上させるためのツールセットとして使用されていると述べている。しかし彼らは、「これらのツールは知識経済の文脈において、暗黙的および明示的な知識を扱うための総合的かつ全体的な方法を提供しない」と述べている（Nonaka ら 2001 : 827）。対照的に、Antonelli と Geuna（2000）は、新しい技術によって企業は暗黙的で明示的な知識をより体系的に蓄積できるようになると述べている。

実際には、暗黙的知識と明示的知識の間には重要な再帰的で反復的な関係がある（Nonaka と Takeuchi 1995）。どちらの形式も相互排他的でもなく、純粋に単独でも存在しない。追加の問題もある。12 の国際的なエンジニアリング設計会社の研究マッピングと技術的優秀性の測定では、「良い」設計を構成するものの定義について合意を確立することは困難であると判断された（Gann と Salter 1999）。これは、明確に成文化することが困難であった暗黙知的知識を目的としたデザイン活動の種類によるものであった。それにもかかわらず、企業グループはどのような作業環境がより良い設計結果をもたらしたかについての共通の理解を深めることができていた。

これらの問題は経営管理者に重大な影響を及ぼすことになる。IVT は以前暗黙的だった行動を、より明示的な行動にするか、成文化や説明化できる可能性があるが、いかに技術が自動化または成文化されても、最終的に競争優位性の決定的な要素を提供するかもしれないこれらの技術の使用に暗黙知的要素が残るはずである。

IVT、学習、そして知識

さまざまな理論と分析（Argyris と Schon 1978; Senge 1990; Do son 1993c; Brown と Duguid

2000) では、さまざまなレベルでの学習および知識の作成と適用、組織の業績に対する中心性、個人およびグループレベルでのその構築、そして個人の学習が組織の資産になる方法を検討している。動的能力理論 (Teece と Pisano 1994) は、変化する必要性を感知し、次に急速に変化する環境によって生み出された機会をつかむために内部および外部の能力を再構成することを学ぶという企業の能力に基づいて構築されている。この理論では、企業の本質は、模倣が困難な資産を作成、移転、組み立て、統合、および活用する能力であり、そのうち知識資産が重要となっている (Teece 2002)。この点で、IvT は、考え、試し、そして実行するを結びつけるという点で動的能力を技術的に補完している。もう 1 つの有益なアプローチは、吸収能力の概念である (Cohen と Levinthal 1990; Zahra と George 2002)。これは、企業自身の研究開発の遂行で他者から学ぶ能力を向上させることを示している。これは本質的に、外部の知識の統合が内部の研究開発で重要であるという理論である。IvT は、デジタルインフラストラクチャと、外部から派生した知識を社内の能力への追加を、促進する支援的な組織構造の構築に役立っている。

技術と知識創造の関係は複雑で、経営管理者に多くの課題を投げかけている。技術は、イノベーションプロセスにおける考える、試す、実行するを統合し、能力を構築するために重要である知識を保存、検索、結びつけ、表現、作成する能力によって評価することができる。

個人の記憶と組織の記憶の両方を支援するためのデジタルストアまたはリポジトリの作成における ICT と IvT の価値は明らかで、比較的議論を引き起こさない。どちらも、知識の源を探したり、結びつけたり、広めたりするのに役立つ。電子メールやイントラネットなどの ICT を介した連結は、文書、図表、式、記号、および画像の共有の効率と速度を向上させる。IvT を使用したデータマイニングは、検索プロセスを支援し、イノベーションプロセスを支援する方法でさまざまな素材の自動連結を支援している。P&G などの企業が使用しているインターネットベースのネットワーク化されたイノベーション市場は、技術仲介のための重要なメカニズムとなっている。グリッドベースのコンピューティングおよび可視化技術は、例えば皮膚科学および細胞生物学における様々な情報源および知識源を検索し、それらを結び付けるために使用されている。

これらの技術が知識の表現と創造に大きな影響を与えるという事実は、イノベーション研究の文献の中で高く評価され始めている (Antonelli と Geuna 2000; Pavitt 2002)。しかし、この論考は ICT に焦点を当てたものである。知識の創造とイノベーションはより複雑になってきており、ここで IvT は経営管理者がその能力を通して複雑さをモデル化し表現し、そして有用な知識の創造と普及に多くの心をもたらす仮想研究コミュニティを創造するのを助ける。IvT は、科学基盤に存在する知識と市場に存在する知識との間の技術的橋渡しを提供することができる。これは企業がこれらの外部の情報源を利用することを可能にするために、企業の吸収能力を生み出すのを助けることができる。

IVT と創造性

おそらく、IVT に関する最も興味深い問題の 1 つは、個人やグループの創造性に対するその影響の程度である。これらの技術は、より日常的で繰り返しの多いタスクの自動化を可能にし、アイデアを開発し共有するための創造的な人々の時間をより有効に活用することを可能にする。より良い、より包括的なコミュニケーションと表現を容易にすることによって、それらは生産性の低い活動に費やされる時間もまた減少させる。しかし、それらは実際に起こってくる創造性の量を高めてくれるのか？

これまで以上に、私たちは創造性の概念が至る所にあり、「創造性」が広く認識され、実現され、そして見返りがある時代に生きている。私たちは、「創造的産業」(Caves 2000) について述べ、労働者の「創造性に富んだ階級」(Florida 2002) は、個々の心の創造性に夢中になり (Boden 1990)、技術が創造性に与える影響を懸念している (Greenfield 2003)。

Florida (2002 : 56) は、創造性が、いまや、経済における競争優位性の決定的な源でになっているとした。「私たちは、経済と社会のあらゆる分野に浸透する広範な創造性の時代に旅立っている」。Florida は、創造的労働者の幅広い定義を採用している。彼は、多くの要因の組み合わせの結果として、新しい階級の労働者がアメリカで出現したと述べている。これらの要因には、研究開発への支出の増加、ハイテク新興企業および本格的なベンチャーキャピタルシステム、新技術を含む創造的工場のシステム、作業形態および下請け製造の形態、ならびに新たな創造的な社会環境が含まれる。

Florida は、米国では伝統的な労働者階級に 3300 万人の労働者が、あるいは米国の労働力の 25% がこの階級におり、そして米国で最大のグループはサービス従事階級で、5520 万人の労働者あるいは米国の労働人口の 43 パーセントが含まれていると述べている。しかし、アメリカで最も急成長しているグループは、彼が創造的階級と呼んでいるもので、これには現在 3,830 万人のアメリカ人が含まれ、全米の労働力の約 30 パーセントを占めている。創造的階級の中心にあるのは、1,500 万人の従業員、つまり従業員の 12% を占める「スーパークリエイティブコア」である。それは科学と工学、コンピューターと数学、教育と芸術、デザインと娯楽の分野で働いている人々で構成されている (Florida 2002 : 74)。

この創造的階級の出現の影響は、仕事が行われる方法、その仕事の場所、そしてオープンで分散型のイノベーションへの影響は非常に大きい。より創造的な人々は、創造的なコラボレーションのためのより大きな機会を提供している。

創造性の分野でも有数の研究者の一人である Margaret Boden は、彼女の著書 *The Creative Mind* の中で、創造的である能力は私たち全員にあると述べている。「創造性は私たちの通常的能力を決定的に左右している。気づくこと、覚えること、見ること、話すこと、聞くこと、言葉を理解すること、そして類似を認めること、ごく普通の人のこれらすべての才能は重要である。」彼女は、創造性は「私たち全員が共有する通常的能力と、私たち全員が目指すことができる実践的な専門知識に基づいた」ものでありうると続けている。IVT を使用して創造的にコラボレーションする機会が増えれば、経営管理者にとって、私

たち全員に存在するこれらの能力を向上させることができるという大きな利点が得られる可能性がある。IVT は、より広い範囲の考える人、試す人、そして実行する人に、普遍的でアクセス可能なツールを提供してくれる。Grid はアマチュア天文学者が彼自身の家から新しい星を発見することを可能にする。バーチャルリアリティにより、地方の演劇グループが舞台作品を迅速かつ安価に計画することができる。住宅の改装業者は、レンガを敷設する前に、工事計画を明確に想定することができる。アジア、東ヨーロッパ、およびラテンアメリカの遠隔研究者は、ネットワーク化されたイノベーション仲介者を介して、米国およびヨーロッパの主要な多国籍企業の開発プログラムに参加している。実験と試作が安く、素早くそして効果的に行われる仮想世界に産業の創造性を移すことによって、はるかに多くの人々が創造的な試みに参加することができる。

創造性をサポートする手段として、IVT は直感で結びつけられた、有用なデジタル連係を提供することができる。経験に基づく想像力と直感の価値は、Arup の取締役一人による、次の引用に示されている (Hough 1996 : 27)。

その技術の状態がどうであれ、最初に問題を組み立て、答えの形を見つけ、そしてその解決の技術的な詳細にそれを適用する際には、直感が常に私たちのガイドになるでしょう。私たちのエンジニアリングが人間の目的を支えている限り、そして私たちが技術の人間の側面を探求することに興味を持っている限り、それは真実であり続けるでしょう。

ライフサイエンスでの 2 つの例は、直感と判断の継続的な重要性を示している。「bioinformatics (生物情報学)」での特にゲノム科学における生物学的研究を促進するためのコンピュータデータベースおよびアルゴリズムの使用と、そして「bioprospecting (生物資源探査)」での、医薬品としての可能性を秘めた天然に存在する分子を検索するための高処理装置などの新しい技術の使用である。第 4 章の細胞生物学におけるデータマイニングの場合に見られるように、bioinformatics (生物情報学) の価値は、知識のある研究者の創造的な直感を使ってつながりを築く方法にある。「bioprospecting (生物資源探査)」は、用語それ自体に現わされている。伝統的な鉱山探鉱者は、どこでも掘るというものではない。彼らはデータと地質学的原理の理解に基づいて検索するが、経験と地形を「読む」能力も使う。同様に、bioprospecting (生物資源探査) はこれらの技術的なスキルを必要とする。科学的調査の性質について、そしてこれを支援する上で新しい技術的ツールが果たすことができる役割について、さらにデータから複雑であいまいな信号を読み取る能力について、明確に理解して遺伝子や DNA 配列に関する膨大なデータを検索する必要がある。

IVT と知識豊富で創造的な人々の組み合わせは、組織的、学問分野的、そして職業的な境界の開放性を増やすことによって学習を刺激する。それは共同的で、ネットワーク化され、そして分散化されたイノベーションプロセス、そして科学的方法と直感を使って取り入れ、仕立てる創造的プロセスを促進する。それは、研究から運用、そしてマーケティングに至るまで、会社のすべての要素を含むビジネスプロセスを統合し、組織の境界に「存在の驚くべき軽さ」を与える。

7.6 結論

IvT は、イノベーションプロセスにおける考え、試し、実行のマネジメントと統合、そして競争力の基盤となるこれらの competencies (能力) の構築、編成、および進化のための新しいメカニズムを提供する。イノベーションから競争上の優位性を得ることは、多くの要素の連携性にかかっている。すなわち戦略的に能力を集中させ、competencies (能力) を変える能力、組織の境界を越えたイノベティブな活動の統合、効果的な組織化の実践と構造そして創造性、学習、そして知識の管理。これらの問題を管理することによって、イノベーションに関する不確実性の一部が軽減される（第 8 章を参照）。

企業の創造的な原動力としてのイノベーションプロセスの一部での IvT の使用を理解することによって、企業はどのようにそしてどこで技術が戦略的マネジメントのために使われることができるか見始めることができる。知識、学習、および創造性の管理、特に研究における科学機器、設計におけるシミュレーションおよびモデリング、そして生産におけるラピッドプロトタイピングをサポートする技術は、イノベーションプロセスにますます統合されている。IvT は、これらの活動のパフォーマンスと技術的統合を改善するだけでなく、イノベーションプロセス全体の統合に向けてより戦略的なアプローチを採用することも可能にしている。P&G、Arup、GSK、Ricardo などの企業は、この新しい環境で IvT をうまく活用している。IvT は、内部プロセスと外部の関係を統合し、イノベーションを通じて新しい市場を開拓するために必要な考え、試し、そして実行を支援してきた。顧客はイノベーションプロセスに集中的に取り込まれ、ユーザーツールキットや仮想製品テストなどの技術は、顧客との関係を変化させるのに役立っている。企業は、IvT の成果として、イノベーションのための選択肢を開発し、それについて選択を行うことができるようになった。Grid などの新しい形態のインフラストラクチャの構築は、仮想研究コミュニティの構築に役立っている。それはデータマイニングや、実験やプロトタイプ作成に役立つさまざまなシミュレーションおよびモデリング技術を通じて、知識のマネジメントを支援している。

IvT の効果的な使用は、多くの場合、柔軟な組織形態に依存している。形式的で階層的な構造は、IvT と連携するスキルとチームの緩やかで流動的で学際的な性質から、不適切である。急速に変化する環境に適応し、イノベーション戦略を実行するために必要な機能を作り出すには、新しい形式のプロジェクト、チーム、スキルミックス、作業環境、およびリーダーシップが必要である。

IvT により、企業は自社の活動をコアまたはベースとなるものに集中させることもできる。これは、Arup によるシミュレーション技術の使用と同様に、企業が専門化してから多様化するためのコア技術を提供する。

それでも、IvT は依然としてツールそのものである。それは考える人、試す人、そして実行する人の直感と想像力を補うものである。熟練した、よく組織された、集中的な創造的かつ知識豊富な人々によって、それが効果的に使用され、そして組織の境界を越えて生産的に働いている時、IvT は、これまでに出現したイノベーションの戦略的マネジメントのための最も重要な技術的ツールとなる。その可能性を最大限

に活用すれば、経営管理者が企業の competencies（競争能力）と capabilities（対応能力）を構築するのに役立ち、第 8 章で説明するように、努力の経済性とイノベーションプロセスにおける目標の明確さといった、不確実な環境でも、最も歓迎すべき進歩をもたらすことができる。

8 新しいイノベーションプロセス

8.1 はじめに

Schumpeter のイノベーションは、イノベーションが壮大な報酬のエンジンまたは貧困の杖を提供していることを今日でも指摘し続けている。知識ベースの経済では、イノベーションをしない限り、企業は破綻する。イノベティブな企業における企業や賃金労働者が生み出す所得や納税がなければ、経済は停滞する。イノベティブな新製品やサービスは、携帯電話、金融証券化、そしてインターネットを基盤としたオークションや書店で驚くべき産業を急速に生み出した。しかし、イノベーションは商品、利益、そして富の創造だけではない。それはまた、より良い住宅、よりきれいな環境、そしてより健康的な生活を生み出している。イノベーションは古代のモニュメントの美しさを維持し、息をのむような新しいオペラハウス、美術館、そして橋を生み出している。より安全な産業、鉱山、そして輸送システムを生み出している。イノベーションは、研究者が精神障害を治療するのを助け、外科医がより良い手術を行えるようにしている。Marx の言葉では、他者との社会的関係を強調し、労働者自身が「自分の作っている目的への、そして自分の仕事の才能への関係」を変えることによって、イノベーションは、仕事を前向きで創造的な体験にするのに役立つ。

イノベーションは、で非常に多くの人にとって、多くの意味で非常に重要であり、われわれがその貢献とそれが変化している方法を理解することは不可欠である。私たちは、考え、試し、そして実行することとして記述された活動において、IVT を使った新しいイノベーションプロセスの出現に焦点を合わせてきた。これらの変更に関する私たちの最も基本的な主張が簡単に述べられている。製造技術は、運営の流れにリンクされた自動化された機械などの、生産技術に基づいて経済の産業部門を支えている。情報通信技術は、生成、普及、および配信サービスにおける情報の流れを可能にする技術に基づいて、経済におけるサービス部門を支えている。私たちが述べるように、IVT は、創造性と、イノベーションプロセスの流れの中での考え、試し、そして実行への知識の適用を奨励し促進する技術に基づく新興の知識経済を支えている。IVT は新経済の資本財である。

歴史はわれわれに技術的な未来を予測することに慎重になるように教えている。史上最も優れた科学者の一人である Lord Kelvin は、空気より重い飛行機は不可能であると述べたが、常温核融合のような新技術の可能性に対するとっぴな主張は定期的になされている。

この本の中の証拠は私たちの主張を実質的に支持しているが、Metcalf が第 1 章で指摘したように、技術的未来については常に不確実性があり、歴史は私たちに新技術の主張については慎重であることを教えている。それはまた私たちが分析で尊重するように注意してきた、技術的变化の背後にある要因の複雑な相互関係を私たちに気付かせてくれる。さまざまな年代物の技術の間の高いレベルの相互依存性を伴うイノベーションには、長い時間がかかり、インフラストラクチャが非常に重要であり、技術の変化に

は関連する社会的、組織的、経営的变化が必要であることを示している。この視点は、IVT の重要性和新しいイノベーションプロセスについての私たちの主張を検証しテストしたい人にとって大きな課題となってくる。とはいえ、この章では、新しいイノベーションプロセスの主な特徴と、IVT および激化、スキル、マネジメント、公共政策、および研究に関連するイノベーターが直面するいくつかの新しい問題および課題について概説する。最初に、この本を通して展開されたいくつかの重要な議論を要約することにする。

8.2 主な議論のまとめ

1. イノベーションプロセスには、「考える」、「試す」、「実行する」というさまざまな相互やり取りがある。「研究」と「開発」といった既存のカテゴリーは、企業のイノベティブな活動の幅を捉えることができず、「考える」、「試す」、「実行する」という新しい用語は、現代的な現実的なイノベーションプロセスをより正確に捉えている。「考え、試し、実行する」は、イノベーションの研究を機能的活動に結びつける、「研究」、「開発」、「エンジニアリング」という伝統的な用語を議論から遠ざける。分散型のオープンイノベーションプロセスには、必ずしも正式な研究開発を行っているとは限らないさまざまな組織が関与することがよくある。P&G のような大企業は研究開発部門への依存度が低くなっている。「考え、試し、実行する」は、イノベーションにおけるデザインとプロトタイピングの重要性をよりよく捉え、一方で科学的思考から他方で製品やサービスの実用的な提供に至るまでのイノベーションプロセスの広い範囲に光を当てている。

2. グリッドベースのコンピューティング、モデリングとシミュレーション、ビジュアライゼーション、データ検索とマイニング、仮想プロトタイプとラピッドプロトタイピングを含む、まったく新しいカテゴリの技術が「考え、試し、実行する」に適用されている。このカテゴリの技術はどこにでもあり、さまざまな企業や分野で見られる。IVT は、既存の情報通信技術（ICT）および運用製造技術（OMT）と共に存在し、その上に構築されている。グリッドコンピューティングなどの新技術に加えて、IVT には、シミュレーションやモデリングなど、以前の使用から特定な機能へと移行および開発した既存の技術が含まれ、イノベーションプロセスをより広くサポートしている。IVT によって、イノベーションに関する情報と知識はより正確になり、より速くより安く作られ、よりよく表現され、そしてより容易に伝達され、そして境界を越えて統合される。IVT は、役割、職業、分野、および組織間の障壁を打破し、分散型イノベーションを可能にする技術である。それは科学と市場の両方をイノベーターに近づけ、「考え、試し、そして実行する」を並行した活動に統合するのを助ける。イノベーションプロセスにおける複雑な関係と反復は IVT によって支援されるが、技術とその使用は社会的に組み込まれている。技術そのものは知識を生み出したり共有したりしない。人々が行うこと、技術を使用すること、そして個人や組織の動機、能力、そしてインセンティブが、その将来の貢献を決定する。

3. これらの技術を効果的に使用するには、すでに IvT に備わっている新しいデジタル「code（成文化規範）」と、習得中の「craft（暗黙知）」スキル、および柔軟な、多くの場合プロジェクトベースおよびチームベースの組織を組み合わせる必要がある。IvT の将来の有用性は、IvT を使用して、トレーニング、経験、および直感に基づいて構築されたアイデアの新しい組み合わせを探索し、それをさまざまな地域の特有な流れの中でうまく選択、活用、および提供することができる、次世代のイノベーションの担い手（デザイナー、エンジニア、研究者）の出現にかかっている。これらの新しいイノベーションの担い手は、新しい職場環境や知識空間の構築によって支えられている。これらの新しいスキルがなく、その使用の根底にある原則を理解せず、IvT ベースの技術的ソリューションに過度に依存するのにはかなりの危険がある。IvT の最も効果的な使用法は、時間がかかり、費用がかかるにもかかわらず、最終的にはこの技術なしで解決策を見つけることになる、その分野の技術に精通している人が導き出すことができる可能性がある。

4. これらすべての変化は、投資からより経済的で明確な成果を生み出し、イノベーションにおける多くの不確実性のいくつかを改善することによってイノベーションの強化につながり、それによって失敗のリスクを低下させる。成功した科学的ブレークスルー、急進的なイノベーション、そして創造的なデザインソリューションは、常にある程度の serendipity（偶然の幸運）に依存してきたし、おそらく依存するであろう。1854 年にレイパスツールが述べたように、「偶然は準備された心を好む」。IvT と「考え、試し、実行する」は、スマート企業がチャンス을 不当に扱われないようにするために、技術的インフラストラクチャと組織プロセスを提供する。

8.3 IvT とイノベーションの強化

新しいイノベーションプロセスはより早くそしてより計画的になってくる。私たちが集めた事例では、IvT が家庭用製品、衝突試験、薬品開発、化学および化学工学、建物、カメラ、エンジンデザイン、フォーミュラワンレーシングモデル、パームパイロット、ファッション業界のドレス、反応炉での安全性テストなどのさまざまな技術、産業、部門の開発期間を短縮したことを示している。私たちは、衝突試験や消費財をシミュレートし、高性能液体クロマトグラフィー（HPLC）と「ロボット科学者」を使って実験することによって、IvT が建築物で使用される被覆鋼の量を減らすことによって、イノベーションするコストを削減するのを見てきた。より正確な保険の評価を確立するために、火災中の建物の性能のシミュレーションを使用することによって、そして自動車、服、家の設計における顧客の要求に関するデータの質を向上させることによって、IvT が Grid およびデータ検索ツールを使用した実験室での実験からより質の高いデータを生成する方法を示している。

このような改善は歓迎されている、なぜならイノベーションは必要であるが、ますます高価で危険になったからである。より速く、より良く、そしてより安価なイノベーションプロセスは、効率性を高め、イ

ノベーションの量を増やすために、節約されたリソースを再投資する可能性を提供する。第 1 章で説明されているさまざまなタイプの不確実性を見てもわかるように、イノベーションを取り巻く多くの不確実性のいくつかを改善するのに役立つ。IvT の最大の貢献は、技術的な不確実性を改善する方法によるものである。

- ICT や OMT など、イノベーションプロセスに関与し、「考え、試し、実行する」に使用される異種の技術、およびその他の異なる年代物の技術をより適切に統合するのに役立つ。それは既存の、実績のある技術、特に CAD、CAM、および ICT 全般に基づいている。
- より正確でスピーディな実験を可能にし、より優れた新しい付随データでより多くの技術的選択肢を生み出す。
- 最良のものを選択するために、技術的な選択肢を使って安くかつ迅速に試されようになる。
- 導入前の新しい生産および運用システムとプロセスの要件を理解しやすくする。それは生産が始まる前に作られるものの精査を可能にし、それ故に設計されたものが作られることができるという確信を提供してくれる。シミュレーションは、生産におけるスケールアップの問題を克服するのに役立ち、サプライチェーンの運用計画を効率化することができる。
- 基礎知識と応用研究、公共部門と民間部門、製品とプロセスのイノベーション、科学者と研究者、エンジニアと設計者、そして分野と国境を越えた技術的な境界を越えたより効果的なコミュニケーションを支援する方法で技術的知識を示すことができる。
- さまざまな技術の融合と組み合わせを支援する。それは、例えばドラッグデザインの場合のように、技術や構成要素の組み合わせが適合しているかどうかを見られるようにする。

IvT は、さまざまな方法で市場の不確実性を改善するのに役立っている。それは顧客またはユーザーをイノベーションプロセスに導き、生産されるものが要求されたものである可能性が高いことを保証する。顧客は、費用のかかる決定がなされる前に、結果を経験することができ、それによって失望や失敗のリスクを軽減する。それは、グループやチームを結びつけ、問題の解決策についての「対話」を通して濃厚な相互作用を促進することによって、イノベーションにおける社会的な不確実性のいくつかを克服するのを助ける。第 2 章で説明した Linux の開発と同様に、IvT の使用は、経験と知識を共有する実践関係コミュニティの発展にかかっている。政治的および文化的な不確実性は、複雑な問題を単純に表現し、それによって問題および提案に対する理解と信頼を向上させることによって、規制当局、政治家、および利害関係者をイノベーションの対話に巻き込むことによって改善できる。仮想現実、採掘作業中および採掘作業後、どのように採掘地が見えるのかを関係する地元住民や環境保護活動家に示すために、オーストラリアの採掘会社によって使用されている。P&G の場合に見られるように、IvT とそれに関連する実践の効果的な使用は、外部からの入力に対する受容性が高まるなど、著しい文化的変化を伴っている。文化的な誤解を生む可能性が高いと考えられる国際的な共同作業は、IvT の共通言語によって支援され

ている。

時機とスピードに関するイノベーションの不確実性は、IvT によって改善することができる。たとえば、高処理化学による実験開発の高速化あるいは、ラピッドプロトタイピングによる時間圧縮は、成果を迅速に生み出すことができ、それが市場の要求であれば、これは大きな利益をもたらすことができる。動きが激しく乱れのある環境では、後半の設計を凍結することにより、イノベーターは新しい技術の改善や市場の情報を活用し、状況が明確になるまで経営資源の投入を遅らせることができる。

最終的に、IvT は、組織間の効果的なコラボレーションとシステムの統合を支援することによって、イノベーションにおける複雑さを克服するのを支援する。分散イノベーションプロセスには、さまざまな種類のイノベーションシステムや顧客、サプライヤ、コラボレータ間において、複雑な相互依存関係が多数あり、IvT はそれらをまとめるのに役立っている。Simon (1996) が示唆しているように、複雑さに対処する方法が要素をより小さな要素に分解することであるならば、IvT はこれらの分解された問題の分析を助け、そしてそれらの再統合を助けてくれる。Ricardo 社はさまざまなソフトウェアソースを統合するのに IvT を使用し、Pilkington 社はガラスなどの日常製品に科学を取り込むのに使用している。IvT は問題に対する可能性ある答えのソースを大幅に増加させる。60 のプロジェクトに対する解決策を見つけるために、P&G はそのイノベーション仲介業者の 1 つを通して 50 万人にアクセスした。

8.4 イノベーションにおける新しい暗黙知的スキル

新しいイノベーションプロセスでは、データ検索やマイニングからシミュレーションやモデリング、そして迅速な生産技術の使用に至るまで、その担い手の「暗黙知的」スキルの継続的な開拓が必要である。科学のおよび市場調査によって膨大な量の潜在的に有用な新しいデータが生み出されており、その使用を導くためには情報を見つけ、組み合わせ、そして広めるための新しいスキルが必要である。このデータを効果的かつ経済的に使用できるかどうかは、IvT のツールと手段にかかっている。特に、可視化技術、シミュレーション、仮想プロトタイプおよびラピッドプロトタイピングは、科学者、エンジニア、ユーザーが新しい方法でデータやデザインを見たり感じたりするための手段を提供している。モデルの基礎となる基本原理を理解する必要性とともに、パターンの認識と解釈のスキルがより重要になっている。

データマイニングのスキルは、データを織り交ぜる e-サイエンス環境において不可欠で、多くの場合、パーソナライズされているか、実際の研究コミュニティまたは仮想研究コミュニティのニーズに基づいて構築されているため、「thinking (考える)」のに非常に役立つ。情報が異なる視点や背景を持つ他の人が用いるために、構造化されたり事前にパッケージ化されたりしていないという意味で、異種の情報源を特異的に織り込むこの能力は、個人やイノベーションに関わるチームに大きな自立性を与える。

Grid、データ検索、およびシミュレーション技術は、科学的調査のための新しい手段を提供している。これらの技術の可能性は、Williams (2002) で引用された MIT の若手研究者によって要約された。それが

有用で直感的なインターフェースを持っていたとしても、その技術はそれを効果的に使うための専門知識を必要とする。ノーベル賞を受賞した物理学者、Robert Townes は、次のように述べている。

Arup と P&G の事例は、新しいデータマイニング技術の専門的ユーザーの重要性を示している。Arup の R&D 部門の専門家と P&G の技術起業家は、貴重な情報を探して照合し、プロジェクトや部門を越えて必要な場所にそれを広めることに非常に熟練している。これらの専門家は偶然の発見を理解するのに十分な知識を持っており、Alle の言う（1977）技術ゲートキーパーの現代の権化であるが、しかし彼らは当事者間の情報のパイプ役としてのみ機能するのではなく、ソリューションを集团的に探究するための貴重な貢献者である。

設計とエンジニアリングは、形式ばった方法だけのものではなく、決定が絶対的で結果が完璧であるという意味で決定論的になされるものでもない。エンジニアリングは芸術でも応用科学でもあり、「暗黙知的スキル」は問題に対するよく統合された解決策を見つけることにある。エンジニアは自分の想像力と直感を使って「心の目」で解決策を視覚化し、行動と実行のためにそれらを準備する。非常に動きの速い環境では、包括的なプロトタイピングや分析モデリングを実行するのに十分な時間やお金がない場合があり、限られた利用可能なデータに基づいて判断を下すには技術の知識が必要である。スケジュール的に、モデル化が生産と並行して進行することを要求することがあり、それはエンジニアの判断により大きく依存する。それにもかかわらず、状況によっては、逐次的に決定を下すことで、繰り返しやアイデアを熟考して浮上するまでの時間を増やすことができるため、多くの専門知識と判断が必要となる場合がある。

すべての新しい暗黙知的スキルの中で最も重要なのは、既存の境界を越えることを可能にするものである。私たちが見てきたように、IVT の何人かのユーザーは「考え、試し、そして実行する」活動を横断することができる人々で、「実務家でもある研究者」の権化である。

IVT を使うのはもちろん開発も行った、シミュレーションとモデリングの専門家、John Burland と Nicole Hoffman は、不適切に訓練された手でそれを使用する危険性を強く意識している。第 4 章で見られるように、IVT は、理論と実践に精通し、同僚の分野を認識し、横断的に考えることができる「考える人」によって最もよく使われる。この技術により、Ricardo の設計者は 10 回のうち 9 回は、「評論家的」仕事として引き受けることができる。深刻な問題は、10 のタスクのうちの 1 つに発生する。したがって、将来の IVT の結果として考えられることの 1 つは、わずかではあるが劇的な失敗する可能性がある。物事がうまくいかないとき、それらは劇的にそうなるかもしれない。

誰もがすべてを行えるわけではない。暗黙知的スキルと明文化スキルを組み合わせ、科学、技術、デザイン、そして市場と結びつけるために IVT で試すことに熟練した創造的で賢い人々は、企業の中でより多くの資源を獲得するだけでなく、特権的な階層的地位にもある。これは、IVT の効果的な利用を促進する、より有機的な組織構造に反することになり、そのため新しいスキルは新しい組織的緊張をもたらす可能性がある。例えば、企業内での IVT に関連する権力と資源のための内部競争は、異なるプロジェクトリ

ーダーと彼らのチームが互いに競争している間の緊張から生じるかもしれない。成功したプロジェクトチームは、IVT を使用して考えること、試すこと、および行うことから得られる利益を最大化するために、独立して新しい事業を設立する可能性が高くなる。これまでに見てきたように、これによって新しいビジネスチャンスが生まれてくるが、残りのグループには大きな能力格差が生じる可能性がある。

8.5 イノベーションの新たなマネジメント課題

第 7 章で見たように、新しいイノベーションプロセスの恩恵を受けるには、新しい作業慣行と戦略を確立し、新しい形式のチーム作業、作業スペース、パートナーシップ、および技術を習得した経営管理者が非常に求められている。ここでは、新しいイノベーションプロセスの結果として、経営管理者が将来直面する可能性がある新しい課題に注目することにする。

戦略的な焦点

私たちは、分散型イノベーションの文脈では、IVT の使用の結果として value stream（価値創造プロセス）内の関係が変化していると述べてきた。価値創造プロセス内の境界の透過性がより大きくなるにつれて、企業は、多少逆説的にはあるが、価値創造プロセスにおける自らの立場をさらに明確に確立する必要がある。企業には、技術、組織、および人に関する専門的で独特のリソースの基盤と、それらのリソースを再構成するための動的な機能が必要である。IVT は、基本的な competencies（適格性）の開発とそれらの周りで有用に起こる可能性のある多様化を支援することができる。このようにして、IVT は産業の分解レベルの向上に貢献することができる。

このような状況におけるマネジメント上の課題は、その基盤となる技術が比較的安価で簡単にアクセスできる場合、顧客にとって魅力的な容易に真似できない competencies（適格性）と専門性を引き続き提供することである。課題は資源の所有にあるのではなく、それらを取り巻く機能、特に企業が提供するインセンティブ、作業組織、および作業環境を備えることである。

新しい事業開発の機会

IVT は、企業が技術基盤を多様化する機会を提供する。企業がどのように開発し、その後その独自の IVT を販売してきたかを見てきた。Arup、Ricardo、および Gehry の場合、IVT は新たな事業開発の機会を生み出した。同様に、TWI は、IVT を使用することによって、その研究基盤の運用からプロセスの制御への多様化に成功した。SGI や Dassault のような大企業は IVT を開発しているが、小規模な起業家のスタートアップもそうである。大学部門からの混雑料金のモデル化、土壌力学、および体のスキャンのためのソフトウェアや機器の開発は、新興企業の商品化の機会を示している。P&G は、多数の外部の専

門業者によるサポートを受けながら、独自の機能を開発し維持するというハイブリッドモデルを使用している。企業が自社で IvT を制作していない場合は、他の技術分野への既存の投資を補完する方法を検討しながら、最適な供給元を確立する必要がある。

IvT と「考え、試し、実行する」が提供する探査、学習、および開発に基づいて新しい市場が出現することが可能となる。たとえば、サードパーティの技術仲介業およびデザインサービスはすでに確立されつつある。いくつかのケースでは、これらの新しいタイプのビジネスは、旧来の内部プロバイダーから仕事を奪っている。他の例では、CREAX、Triz、IDEA のような企業は全く新しい市場を創造している。

IvT の源が何であれ、それを使って新しいビジネスチャンスを開拓するには、かなりの吸収力が必要である。これは、サービスを提供するが、そのサービスのソースを開発する能力をもちや持たない、電気製品の Dell computers のように、多様な市場で過去 20 年間にわたっていくつかの会社によって首尾よく利用されたアプローチである、アウトソーシング技術に依存している企業に当てはまる。ネットワークと技術およびシステム統合からの機会を完全に実現するために、内部のイノベーション努力を位置付ける必要がある。これには、少なからずもっと深い技術的能力が必要である。

技術開発と組み合わされた製品/サービスの提供が、IvT を通じて市場とより密接にリンクされるようになり、顧客が個々の要件に合わせて最適な製品を選択できるようになっている。IvT によって生み出された製品とプロセスの間の密接な関係は、いくつかの業界でより一般的になっている市場で、より小さなニッチが経済的に魅力的になることを可能にする。これは、大規模生産や大ヒット商品が一般的になっている大衆市場で事業を営んでいた企業にとって、特に課題となってくる。それにもかかわらず、多くの大衆市場が存在し続ける可能性が高いが、これらの中でさえ、それらが変化し多様化するスピードは速くなるかもしれない。

作業組織とスキル

本書で紹介されているケーススタディからの証拠から、IvT が制約を受けていないことを示唆されている。IvT は部門を越えて異なる方法で、同じ部門内で多様な方法で、そして同じ企業で様々な方法で使用することができる。

Arup の場合に見られるように、やりがいのある仕事は、よりやりがいのある仕事を勝ち取ることに貢献するクリエイティブな人々を魅了する。イノベティブなプロジェクトを提供するという同社の技術力とその評判を強化するという好循環を生み出すことができる。IvT は、探索、実験、およびエンジニアリングを同時に行うための手段を提供する。人々が同時に考え、試し、そして行うことができる新しい学習モードが出現するかもしれない。工場は実験室になり、ロボットは科学を引き受ける。IvT のクリエイティブなユーザーをサポートする新しい種類の職場作業環境や、「考える、試す、実行する」まわりでは、職場の役割はかなりかすんだものになっている。

イノベーションのいくつかの要素を自動化する IvT の能力からくる 1 つの帰結は、その節約の可能性の

問題が生じるかもしれないということである。1980年代の高度な製造技術の経験と同様に、IVTを使用して労働力を削減しようとする企業もある。高度な製造技術と同様に、生産性には成文化スキルと暗黙知スキルの両方が必要であるため、そのような試みは結局無駄になることが証明されている。

デザイン、プロトタイピング、およびシステム統合がイノベーションプロセスの統合においてますます重要な活動となるにつれて、リアルメディアと仮想メディアの間、およびデザイナーとその顧客およびサプライヤの間の反復がきわめて大きくなっていく。たとえば、2005年に新しい建物を入手するクライアントは、1995年以前に可能だったよりも、多くのデザインコンテンツをIVTを使用してFrank Gehryから享受することができる。これらの相互作用からの恩恵を実現するには、スキルの新しい斬新な組み合わせが必要である。

より柔軟な分業の出現を想像するのは可能であり、それにより企業は設計者とエンジニアを互いのビジネスに配置することによって解決策を試すことが可能になる。IVTを使用すると、スキルを新しい方法で展開できる。エンジニアがファシリティーマネジメントの専門職になったり、建築家が特定のタイプの建物のブランドサプライヤになったり、建築家でない人が建築を設計したり、Swatchのような自動車を設計している時計会社、などなどである。

IVTはまた、メンバーが互いに離れていても、設計チームがより効果的に機能するのを可能にする。彼らが必要とする情報の中には、成文化されつつあるもので、吸着性が低く転送が困難なものがある。伝統的な対面接触やスケッチは重要性が減るかもしれないし、新世代のIVT指向のデザイナーは古いルール、手順、そして慣習にほとんど関心がないかもしれない。

パートナーシップ

IVTは、企業と顧客、サプライヤ、コラボレーションパートナーとの関係の戦略的特質に大きな影響を与える可能性がある。IVTはネットワーク内での企業間の関係構築を支援し、研究拠点、供給ネットワーク、および市場で、企業をイノベーションの源とより効果的に結び付けるのに役立つ。技術によってイノベーションに関する情報や知識をより簡単に共有できるようになると、経営管理者はパートナーシップへのその影響を評価する必要がある。IVTは、暗黙知や独占的知識を共有するために通常必要とされる、責任と信頼のレベルを低下させる可能性がある。膨大な量の情報を処理してイノベーションの目的で効果的に利用できる場合、質の高い関係に対するこれまでの必要性は、関係の量の増加によって置き換えられる可能性があり、経営管理者に新たな課題をもたらす。

競争力

イノベーションの激化を測定する新しい定量化可能な指標の開発、つまり、コストとリスクの削減が課題となってくる。イノベーションの強化による競争上の利点は数多くある。より多くのアイデアが創造

され、適切なものが選択されれば、企業はより良い、より効率的な価値創造の機会を持つことになる。企業が分散型イノベーションアプローチを活用し、より迅速で安価な応答性を得るために豊富な情報と知識を使用できるのであれば、この技術を使用しない企業と比較して明らかな競争上の優位性が得られる。同様に、企業内で働いている非常に成功している個々の人々、および外部からのイノベーションプロセスへの専門家の意見を提供している個々の人々に、より大きな認識と報酬を与えることができる。

これらの利点を測定するために、新しい評価方法を開発する必要がある。測定されるべき活動のいくつかはより早くそして同時に起こり、それらを別々に評価することを困難にしている。複雑な社会的および経済的環境での検証は依然として問題がある。より多くのアイデアが作成および評価されているため、設計および開発の総コストは実際には増加する可能性があるが、「モデル/シミュレーション/テスト」あたりの限界費用は減少する。あるモデルやシミュレーションが構築されたならば、考えられる限り多くのアイデアをそれに使い、テストしたりするのは比較的簡単なはずである。ただし、これは、必要とするものがはるかに大きくなるデータの収集と保存に影響する（Rolls Royce は、飛行中の各ジェットエンジンごとに 1 ギガバイトのデータを生成している）。

従業員が利益よりもむしろ「試して楽しみたい」という欲求に動かされる「過度に活発な」会社を描くことは可能である。試し過ぎて途方に暮れ、彼らはイノベーション・プロセスを、その商業的な目的のために完成させる動機と焦点を欠くことになる。そのビジネスは、収益性を維持するための市場シェアや必要な売上を確保するために必要なアイデアが、焦点、質および厳密さを欠いた、多様化の道をたどることになる。

さらに、知識のコピーがより簡単な IVT 環境では、先行者の利点は減るかもしれない。オープンイノベーションシステムで秘密を維持することは困難である。全体として、システムはより速く動くかもしれないが、それでもイノベーターへの利益を減らすことになるがちである。マネジメント上の課題は、そのような環境で競争を勝ち抜き、その先を行くために必要なダイナミックな対応能力を開発することである。

8.6 新しいイノベーションの公共政策課題

プロセス・イノベーションは公共部門で非常に重要であり、それはわれわれの生活の質を高めてる。IVT は、交通渋滞、公共住宅、および健康に関する公共政策の策定、廃棄物に対するイノベティブな解決策の発見、メンテナンスのための応答時間の改善、および環境への影響の緩和のためにすでに使用されている。政策立案者は、IVT が公共部門、特に医療、交通機関、教育、環境保護、芸術、レジャーにおいて、より深くそして広く普及する方法を理解することから利益を得ることになる。公共部門は、将来に向けて新たな選択肢を創造することを学び、問題に対するさまざまな解決策を試し、そして過去よりも早く、より安く、そしてより正確に新しいやり方を実行することから利益を得てであろう。

IvT のためのポリシー開発

産業界と共に政府は、高等教育機関や職業訓練機関が IvT に基づいた新しいスキルの重要性を認識し、その新しいスキルがその技術の生産的な使用を可能にすることを確かなものにする必要がある。これらのスキルは理論的で実用的であり、新技術を使用することを学ぶことに興味を持っていると思われる学生は、その使用の根底にある理論的原理には、それほど熱心でないかもしれない。既存の科学技術トレーニングに社会科学コースをいくつか追加するだけでなく、イノベティブな教育プログラムで考え、試し、実行するを支援するために IvT 自体を使用する可能性がある、新しいエンジニアリングおよび科学教育モデルが必要である。IvT は新しい教育体験のための手段を提供し、そのような環境では人々は、「考え、試し、そして実行」しながら学ぶことができる。これを達成するには、技術的および科学的スキルをイノベーション・プロセス全体の枠内に置き、市場、組織、および戦略の理解を含むスキル開発への新しいアプローチが必要である。第 4 章で説明されているように、エンジニアリング教育と社会科学を組み合わせるという 1950 年代の MIT のビジョンは、教育とスキルは過去に開発されたものではなく、継続的に開発されるものであるという考え共に必要とされる。

OMT などの前世代の技術と同様に、政府は IvT の認知度を高め、その普及を促進するうえで重要な役割を果たすことができる。イノベーション支援制度の有効性について、貴重な政策の教訓が過去に学ばれてきた。最も成功した政策は、税金や投資信用保証などのメカニズムを通じた技術投資に対する政府の支援を、スキル、トレーニング、組織の問題、そしてそれらの投資の競争上の目的に関する戦略的意思決定に結び付けるものである。このアプローチは IvT にも使用できるが、効果を最大限に引き出すためには、政府の現在の政策をはるかに統合化し、個々の種類の技術に焦点を絞らないようにする必要がある。政策は、イノベーションの協調的な性質とそれを支える統合された技術のサポートに焦点を合わせる必要がある。コラボレーションには深刻で絶え間ない市場の失敗があり、政府は国境や分野を横断し、伝統的な産業に不安なく適、合する研究あるいは部門別の方針、または確かな、学問的査読と研究評価演習を支援することによってここに手を差し伸べることができる。

政府は IvT の重要性を認識しているので、IvT プロデューサーのための産業支援メカニズムを構築するという政策課題を生み出すであろう。より戦略的には、政府はこの技術が特定の産業への参入障壁を下げるかどうか、そしてその結果としての国家競争力への影響は何かを、考慮する必要があるかもしれない。

Grid 技術とデータマイニングによって結び付けられた仮想研究コミュニティを可能にするための IvT インフラストラクチャーに対する政府の研究資金は、「公共財」投資である。しかし、私たちが説明してきた相互作用の増加と境界がはっきりしないこと考えると、それは私的利益のための革新を支える資金でもある。IvT は科学や研究の政策をイノベーション政策に近づけるため、再検討し明確化する必要がある政策目標を不鮮明なものにする。

普及の測定

政府は研究開発の測定に多額の投資を行い、また定期的かつだんだんと洗練されたイノベーション調査を実施している。しかし、「考え、試す、実行」を測定するのは、特定の入力や出力ではなく、むしろプロセスを測定しようとしているので、大きな課題をもたらすことになる。新しいイノベーションプロセスを測定する新しい方法を考案する必要がある（Dodgson と Hinze 2000）。

IvT の悪影響への取り組み

IvT と「考え、試し、さらに実行」には、さらに実証的に研究する必要がある、いくつかの潜在的な否定的な結果がある。これらは個人にとっても、会社のレベルでも、部門を横断しても、そして社会全体にとっても存在するかもしれない。探求型学習、問題解決、または設計方法の深い理解に基づいて徹底的にそして創造的に訓練する必要な暗黙知的や成文化知のスキルを決して習得できない人もいる。他の人たちは科学、エンジニアリング、デザインの基本原則を正しく理解していないかもしれず、コンピュータで生成された結果にあまりにも頼りすぎている。政府は、IvT に関連した配置転換と再教育のコストを考慮する必要がある。

イノベーションには勝者と敗者があり、IvT が提供するすべての創造的な新しい機会のために、失敗した企業もあり、それらすべてが失業と投資損失を伴う。一部の分野では、「考え、試し、実行」するプロセスにおいて IvT を活用するスキルを持っている、市場または技術的な機会を特定して活用することができる新規参入者に、既存のプレイヤーが負ける可能性がある。このような損失は関係者には直接的なコストがかかるため、これらのコストの一部を想定して相殺することは政府にとっての懸念材料となる可能性がある。

さらに、IvT は社会的排除の可能性がかなりある。誰もが IvT とイノベーションの世界に集中的に参加できるわけでも、参加しようとするわけでもない。イノベーションの激しさにもマイナス面があり、仕事が少なくなる人が多くなり、挫折するまで懸命に仕事をする人が減ることで、人々の職業的生活が悪影響を受ける可能性がある。政府はまた関連するコストに、そしておそらくそれらのうちのいくつかを軽減するのを助けすることに関心を持つであろう。

8.7 新しいイノベーションプロセスにおけるイノベーション研究の課題

研究者に対する私たちのアプローチの主な帰結の 1 つは、将来の重点がその入力、出力、そして結果よりも、むしろイノベーションのプロセス自体に置かれる必要があるということである。考え、試す、行う（TPD）は、研究、開発、および技術の連続的な概念よりも、はるかに流動的かつ全体的な枠組みである。TPD は研究開発とは違う。CAD などのこれまでの年代物の技術は、イノベーションプロセスの要素に大

実行委員会マーケティング、およびサービスのさまざまな領域を統合して、部分的な活動が他の人にとっても重要となる統合プロセスになるようにする。同じデジタルプラットフォームを使って考え、試し、実行することの間には、ますます密接な結びつきが出てくる。データはプロセスで一度だけ入力する必要がある。そのデジタル形式は、それが操作されることを可能にし、そしてプロセスの間に、以前にはまったく展開されたことがなかった、新しいデータが生成されることを可能にする。これは、それ自体がさらなる探索およびリアルタイムでの学習に使用されうる、より良くより洗練されたフィードバックの可能性を提供する。

結果として、研究は統合された技術、組織、そしてプロセスにもっと焦点を合わせる必要があり、そのためには、片方でイノベーションプロセスの流れが科学、技術、エンジニアリングによってどのように支えられているのか、そしてもう他方でマネジメントや組織の問題についても考察する、より学際的なアプローチが必要である。

私たちが分析したイノベーションプロセスのすべての分野が重要であるが、おそらく最も注目値するものは play（試す）の分野である。play（試す）はイノベーションエンジンの潤滑剤で、それは創造的活動のために部品が一緒に働くのを保ってくれるものである。試すこと、デザイン、そしてプロトタイピングの役割は、将来の研究に十分なものになっている。

本書で説明した変化は、第 2 章で説明したイノベーション研究の多くの理論や概念に影響を及ぼしている。たとえば、オープンイノベーションの概念は、米国の大企業以外の組織でのさらなる探求を当然なものにしている。私たちは、オープンまたは分散型のイノベーションが、さまざまな組織にとってどのように機会を生み出すのかを見てきており、この幅広い取り組みの規模と結果を理解するの価値があるはずである。イノベーションにおいて起こる変化のスピードは、優勢なデザインの形成と消滅の理解に影響を与える。IVT は非常に迅速かつ効果的にユーザーを取り込む可能性があるため、主要な設計は過去よりも急速に変更され、defacto standard（事実上の標準）に基づいて構築される可能性があり、その結果、潜在的なイノベーションが制限される可能性がある。技術や技術システムをすばやく設計して組み立てることができるとしたら、技術の軌跡、あるいは企業の在り方の境界、技術開発が制約されているのかを理解する上で、これがどのような意味があるだろうか。イノベーションの激化がどこでも起こるようになれば、技術進歩の長い波のためにタイムスケールの短縮が見込まれるのだろうか。

IVT は、漸進的および急進的イノベーションの両方に役立つ。IVT は、イノベーションを成功させる機会がどこにあるのかについてのより豊富な情報と知識を提供するだけでなく、新しいアイデアを効果的に活用する手段も提供する。これは、IVT が新たな要件への対応力と対応方法の評価を可能にすることを意味している。意図された結果により正確に焦点を当てることを可能にしながら、同時にそれは漸進的なイノベーションと急進的なイノベーションの両方のコストを削減する。これはまた、進歩が急激に 2 つの間を反転させる可能性があるように、漸進的技術的变化と急進的技術的变化の収束につながるかもしれない。これに起因する研究上の疑問もある。たとえば、知識とスキルの観点からすると、これは人々が

搾取と探索の両方に熟達することを望んでいることを意味している。

多くの企業は過去の行動パターンに固着して、過去に成功したことを将来的にやろうとする傾向がある。IVTは、研究と市場から新しいアイデアや組み合わせを探し続けることによって、これを克服するのに役立っている。しかし、問題は、使用されているツールがどの程度標準化されていて、モジュール化されたソリューションを押し付けてくるかということで、それらは新しい組み合わせを生み出すかもしれないが、イノベティブであるとは言えない。

IVTを使用すると、情報と知識をサプライチェーンの上下の流れに統合し、ユーザーと密接に連携させることができる。これにより、バンドルされた製品やサービスを開発する機会が生まれ、それは個別の特別なソリューションよりも、顧客にとってより価値があるかもしれない。また、製品およびサービスの開発と同時にプロセスもモデル化およびシミュレーションする可能性も提供されるため、より正確なコストおよび納期予測を可能にする。これは製品のライフサイクル理論に影響する。私たちが観察したものは、今後20年間に出現すると予想されるものの氷山の一角であるという仮説を立てることができる。たとえば、将来的には、製品とプロセスのイノベーションの間の密接な結びつきが見られるに違いない。これは、製品のモデル化とシミュレーションと同時に、プロセスの表現と操作のためのより洗練されたツールの開発を通して達成されるかもしれない。この分野の研究の将来はわくわくするものがある。「think, play, do（考え、試し、実行）」をめぐっては、考えること、試すこと、実行することについての計り知れない機会がある。

補遺

研究手法

本書の根底にある研究は経験的方法の混合に基づいています。研究の中核をなすのは、公的機関および民間組織がイノベーションの試みに取り組む際の IVT の使用と開発への関心である。私たちは、徹底的なインタビュー、ワークショップ、イノベティブな企業の観察、および以前に発表された資料など、調査の過程でさまざまな情報源を利用してきた。この技術の幅広い応用を考えると、私たちのアプローチは多少折衷的であった。私たちのこれまでの経験、接点、そしてアイデアから引き出された製品、人、そして組織の手頃なサンプルを使った。この研究では、私たちは他の人の研究からインスピレーションを得て、彼らの研究を拡大し、討論や議論のために新たな疑問と問題を前面に出すよう努めた。

ケーススタディは、特定の技術がどのように、そしてなぜ使用されているかの研究には、かなり適している。それらは、いくつかの裏付けとなる研究方法、たとえばインタビュー、参加者のワークショップ、文献、そして小規模なケーススタディの検索とレビューなどの使用を通じて、問題の深い理解を発展させることを可能にしている。それらは、その広がりや性質に関するさらなる情報を追加することによって、そして媒介する条件や要因を説明することによって、IVT の本質と使用に関する知識の充実にしている。

イノベーション技術と「think, play, do」に関する私たちの考え方の創出

この調査で使用された技術の分類法を開発する際には、Roy Rothwell がイノベーションのための「電子ツールキット」と呼んでいたものへの関心をもって始めた。Rothwell の研究では、この電子ツールキットにシミュレーションとラピッドプロトタイピングが含まれていた。Thomke と Schrage による最近の研究もこれらの技術に焦点を当てている。また、Imperial College の同僚である Jennifer Whyte の研究から、バーチャルリアリティの重要性が増していることも認識していた。研究の過程で、私たちは英国の工学物理科学研究評議会（EPSRC）の e-science プログラムを通して生まれた Grid 技術についてもっと学んだ。私たちの研究は、人工知能やラピッドプロトタイピングなどの他の技術、そしてそれらがイノベーションプロセスにおいてますます重要な役割を果たしていることに注目した。Rothwell の初期の作業では「ツールキット」の一部としてこれらの技術の重要性が指摘されていたが、

研究が発展するにつれて、私たちはこれらの技術がより本質的であり、ロボットシステムのような OMT とは異なる技術のカテゴリとインターネットのような ICT を構成する共通の特性と独自の属性を持っていることを、ますます確信するようになった。IVT はこれらの両方の技術分野を基盤としているが、イノベーションプロセスを統合する対応能力のために、それを使用するには非常に異なるマネジメント・アプローチと戦略が必要である。本研究の議論では、OMT と ICT に言及するためにイノベーション技術の

概念を開発した。

この概念には議論はない。私たちの同僚の中には、それが 2 つの非常に異なるものを捉えようとしていることに気づいた、「イノベーション」と「技術」。IvT は単に ICT のサブセットであると考える人もいた。他の人たちは単純さが要求される場所で私たちが複雑さを増していると思った。さらに他の人たちは、私たちが「イノベーションを可能にする技術」について話していると示唆した。しかし結局、「情報技術」という概念が浮かび上がったときの難しさを思い出して、簡潔さを選択し、「innovation technology (IvT=イノベーション技術)」を選ぶことにした。 私たちはこれらすべてのコメントを尊重し、この種の技術の理解を深め、発展させるのに役立てている。しかしながら、私たちの研究は、ICT や OMT の単なる付属物以上のものである技術を指し示していることを強く感じた。何かに新しい名前を付けると、新しい理解につながります。それはまた、反響と議論を引き起こし、言語と理解において新たな洗練をもたらすことになる。

同様に、何人かの同僚は、「考える、試す、実行する」というイノベーションの枠組みに対する懸念を表明している。1 人の非常に著名な友人はそれを「ややカリフォルニア的」と表現した。しかし、この枠組みは新しいイノベーションプロセスを表していると確信しており、そして私たちは、回答企業から「そう、私たちの仕事のやり方だ」と言った幅広い多様性の人々から、そして世界有数のエンジニアリング会社の会長、世界のトップビジネススクールおよびエンジニアリングスクールのリーダー、そして最もクリエイティブな思想家 Philip Pullman を含む人々からの熱心な反響に心を奪われた。

分析の単位

私たちは、IvT を使用するとき組織が直面する可能性がある主な課題を探る、半構造化されたインタビューテンプレートを開発することから、本書の研究を始めた。最初のインタビューのテンプレートは、ヨーロッパ、アメリカ、および東アジアの組織と連携した過去の調査および経験に基づいている。この最初のテンプレートのアイデアは、さまざまな組織が IvT のマネジメントと使用にどのようにアプローチしたかに関する具体的な情報を提供することであった。このテンプレートは、技術の種類、使用目的、組織の活動への影響など、技術のユーザーの情報と経験を収集するためのツールを提供した (Box A.1 を参照)。特に、私たちは、新しい技術がイノベーションに必要なプロセスとスキルをどのように作り変えているのかを知ることに関心があった。

Box A.1 インタビューテンプレート

背景

- 会社の種類 - 市場、規模、能力、製品
- 組織構造と周囲の状況
- イノベーションの問題と直面している課題

IVT の使用

- イノベーションプロセスではどのような技術が使用されているか。
- どのような種類の事業に適用されているか（製品、プロセス、フロー、規模など）。
- 技術の由来は何か？（どこから供給されたものか？オーダーメイドシステムか、それともパッケージシステムか？）。
- どのような時点で使用しているか（実験、概念設計、概略設計、詳細設計、テスト、および改良または実装）。
- どのように使っているのか？組織内のプロトタイピング文化の特徴は何か？（遊び心十分/生真面目、クローズド/オープン）
- なぜそれが使われたのか？
- その使用を可能にするために必要なもの（ソフトウェアの新しいスキルなど）。
- ツールの使用はどのようにマネジメントされているか。マネジメントツールは使用されているか？
- どのようなアウトプットが生成されているか（3D 視覚化、データ、プロトタイプなど）。

使用の影響

- 当面の問題、またはプロジェクトやチームのパフォーマンスにどのような影響があるか。
- エンジニアや科学者が問題を解決する方法にどのような影響があるか。それは彼らの働き方や方法を変えるか？
- エンジニアや科学者が、パートナー、クライアント、顧客、サプライヤ、そして役割や他の部門と横断して連携する方法に、その使用がどのような影響を与えるか。
- ツールの使用は、企業がイノベーションプロセスをマネジメントする方法を変えるか？
- ツールの使用から組織内でどのような教訓が得られたか。
- ツールをより効果的に使用し、イノベーションプロセスへの影響を高めるために何ができたか。

使用の証拠

- 組織内での使用の影響の証拠を提供する収集できるデータがあるか（実績データ、プロジェクトデータ）。

このテンプレートの開発では、研究チームの間で研究の意図と目的についていくつかの議論があった。これらの議論は私たちにプロジェクト、組織および企業を縦断する多重レベルの視点の採用に導いた。私たちはまた、公共部門と民間部門の組織に焦点を合わせることにした。これまでの経験を考慮すると、単一の組織は、活動中のプロジェクトでの新しい技術の使用を理解するためには、信頼性の低い分析単位であることが多いことがわかった。多くの場合、プロジェクトチームは、いくつかの異なる組織の知識とテクノロジーを、それぞれ独自の機能をはるかに超えて斬新で独自の方法で組み合わせている。プロジェクトはまた、伝統的な組織の慣習が不適切である可能性があるエピソードを提供し、個人が問題解決の試行済みおよびテスト済みツールを超えてうまく動くことを要求している。また、以前の IVT に関する研究は、大規模な、多くの場合米国を拠点とする製造会社の経験に焦点を当てる傾向があり、多くの場合、継続的な製品の流れにおける段階的な改善にイノベーション活動を向けていた。私たちの考えは、もっと広く見て、特に鉱業や建設など、ローテクの分野でよく働いているプロジェクトチームの経験を捉えることであった。私たちはまた、新しいツールの使用が、新しい形態の公共政策や大学と学術機関以外の機関との間の相互作用にどのようにつながるのか、公共機関の経験から引き出すことに熱心であった。私たちは、新技術の使用が組織に与える影響を理解しようとした。多くの組織のイノベーション活動での「考え、試し、実行する」における新技術の使用は、大きな外部からの貢献はあるものの、1 つの組織内に限定することができる。研究のいくつかの分野では、組織レベルの調査とプロジェクトレベルの調査を組み合わせ、特定の期間限定作業での組織の経験をよりよく理解することができた。特に Arup の場合は、組織の定常業務が個々のプロジェクトのソリューションにどのように変換されるかをよりよく理解するために、プロジェクトレベルと組織レベルの両方の調査を行った。私たちはまた、個々のプロジェクトからの教訓が組織によってどのように捉えられたかを理解することも熱心に行った。幅広い産業分野での IVT の使用に対する私たちの認識を踏まえて、私たちは公共部門の研究環境全体での新しい技術の使用を探求することを決めた。2 つの一流の国際的大学で働いている私たちは、研究活動を再構築するための新しい技術の可能性をよく知っていた。また、以前の IVT の研究では科学研究に重点が置かれていなかったこと、そしてより広い視点を採用することによってその普遍性についての洞察を得ることができるだろうとも感じていた。実際、私たちが公共機関や研究プロセスを研究して初めて、人々が新しい方法で考えていたやり方を、再構築する新しい技術の普及と可能性を、より完全に認識するようになった。私たちは、新しいツールが政策決定に与える潜在的な影響と、政府がさまざまな政策の選択肢を活用できるようにすることを認識した。

ケーススタディ

本書のための資料の主な情報源は、多くの帰納的なケーススタディであった。これらのケーススタディの選択は手頃なサンプルに基づいていた。このサンプルの開拓では、活動中のプロジェクトや製品でこれらの技術を使用している大学や産業界の同僚から引き出すことができたという点で、私たちは都合の

よい立場にあった。研究を動かしたのは彼らの経験であり、私たちは彼らの話に忠実であり続けるよう努めた。

それぞれのケーススタディーで行ったアプローチは、実施手順がわずかに異なるが、一般的な方法に基づいていた。いずれの場合も、インタビューのテンプレートを使用し、新しい技術を直接使用している人々とのインタビューを試みた。私たちのインタビューはすべて録音され、私たちは調査結果の詳細な要約を書いた。インタビューには事実表明による訂正や、情報を追加する機会が与えられた。私たちが調査した技術のいくつかの先進的な性質を考えると、それらの情報源に技術とプロセスの説明を通して「hold our hands（手をそえてもらう）」ことがしばしば必要であった。多くの場合、私たちの最初の説明は不完全であり、私たちの情報源は私たちの下書きに対して詳細で広範囲の修正を提供してくれた。本書のための研究の大部分は 2003 年に行われた。また、1996 年から 2002 年までの過去の研究の一部を利用することもできた。私たちは 2004 年にいくつかのインタビューを行い、新しいケースの資料を集めた。ケースによっては、産業界のパートナーとの研究関係は長期的かつ持続的なものである。Arup の場合、私たちは 16 年以上にわたって彼らと密接に仕事をしてきた。実際、このプロジェクトの重要な知的指導者の 1 人は、Arup R&D の元幹部である Steven Groak であった。この研究を終える前に Steven は亡くなったが、私たちは彼のアイデアを再考し、インスピレーションを得るために、そして私たち自身の混乱した問題を解決するために努力してきた。Steven は私たちをはるかに凌駕しており、彼がプロセスの表現と設計における新しい技術の使用について私たちと一緒に研究していた時間は、依然として永続的な洞察の源である。

この調査の一環として、過去 4 年間にわたり、Arup のスタッフとの間で、Swiss Re building、Millennium Bridge、HSBC Tower など、さまざまな小規模および大規模プロジェクトに取り組んでいる数多くのインタビューが行われた。John Miles、Chris Luebke、Tony Sheehan、Richard Haryott、John Berry、Neil Noble、Turlough O'Brien、Bob Emmerson、Duncan Michael、Andy Foster との継続的なディスカッションからも恩恵を受けた。私たちは Arup のスタッフとの 30 以上のインタビューを利用することができ、2003 年にロンドンの Arup Fire と Building Group 4 の内部で観察研究を行うために、彼らのオフィスで 1 ヶ月以上を費やした。Peter Bressington、Nicole Hoffman、そして Arup Fire チームの他の方々に特に感謝する。

この研究の観察部分は 3 ヶ月間にわたって行われ、参加者が作業方法やプロジェクトを観察した。著者の一人はデザインとクライアントのミーティング、グループディスカッション、インフォーマルな議論、デザイン評価、そして最新のデザインプロセスを構成するその他のさまざまな活動に参加した。私たちはこれらの観察がイノベーション技術の使用についての私たちの理解啓発の中心であることを見出し、そしてそれらは IVT の成功した使用が含む「暗黙知」と「成文化知」の組み合わせを、より私たちに意識させた。この資料は第 3 章の Arup ケーススタディーの大部分の基礎を提供している。

P&G の場合、私たちは公的情報源と私的情報源の両方を利用することができた。P&G のような大規模な

組織は多くの研究に注目を集めている。私たちのケーススタディーでは、2002年から2004年までの2年間にわたり、同社とさまざまなレベルで深く関わっていた。P&Gは、イノベーションクラブ（university of Sussex と university of Brighton とロンドンの Imperial College London によって設立された）の終日の会議に招待された4社のうちの1社であり、著者による「イノベーションの強化」に関する論文を議論した（Dodgson ら、2002）。本稿に対するP&Gの回答には、特に新興のコネクト・アンド・デベロップメント（C&D）戦略に関連したプレゼンテーションが含まれていた。これにより、継続的な対話が行われ、英国のニューカッスルにあるP&Gの研究所で「イノベーションと連係と開発」に関するワークショップを開催することが求められた。このワークショップでは、P&Gが顧客と製品開発に関わった方法を約40人の参加者が検討した。このイベントは、ICIの元研究責任者によって独自に促進され、その結果が文書化された。この過程で、Mike Addison（新規事業開発）、Larry Huston（知識およびイノベーション、P&G 国際 R&D 担当副社長）、および Neil McGlip（社内 R&D、パッケージング担当責任者）を含む多数のインタビュー候補者が特定された。

ワークショップとインタビューの前に、背景証拠は著者によって資料にまとめられ、そこから分散イノベーションにおける技術の使用に関して詳細な質問が作られた。半構造化質問はすべてのインタビューで使用された。質問がインタビュー相手の経験をよりよく反映するように、これは調査プロセス中にわずかに調整された。インタビューでは、P&Gの歴史と、問題解決とイノベーションに新技術を使用するためのマネジメント的アプローチの特徴に焦点をあてながら、さまざまな組織環境を調査する機会が与えられた。インタビューは調査チームの2人のメンバーによって行われ、録音され、転記され、書き上げられ、そして検証のためにインタビュー相手に返された。このメモは、確認と検証のためにプロジェクトチームの知識豊富なメンバーにも送信された。

P & GにおけるC & D戦略は、一般誌でもかなりの注目を集めており、インターネット上で利用可能な多数の報告およびインタビューがある（例えば、Fortune 誌のP & Gの最高経営責任者（CEO）とのインタビューを参照のこと）。これらは研究チームの背景知識を増やし、ワークショップの資料やインタビューと組み合わせることで、同社の開発に対する理解を深めることができた。さらに、P&Gに対する特定のIVTのサプライヤの事例が多数あり、そのうちSGIとSimulation Dynamicsの2つが第3章で報告されている。さらに、研究チームの一員がCranfield Business Schoolでの「非連続的イノベーションのマネジメント」に関する1日のワークショップに参加し、ヨーロッパでの新製品の方向性の設定とイノベーションについての責任を負っている、P&G Research FellowのRoy SandbachによってP&Gの主要ケースが、ここで発表された。

P&GとArupはこの本のために実施された主要なケーススタディであり、他のケーススタディはより短いものであるが、回答者数は少ないが同様の研究方法を使用した。二次情報に基づくケーススタディは、関連する情報源を引用した脚注で示されている。私たちは、Imperial College LondonとUniversity of Queenslandの同僚たちが、彼らの時間を提供してくれたことに感謝している。混雑課金のケースは

Steven Glaister と彼のチームへのインタビューに基づいている。ピサの斜塔のケースは、John Burland とのインタビューと以前に発表された記事から引き出されている。

最後に、IvT や考え、試し、実行するに関連するマネジメント上の問題のいくつかは、ワークショップ、シンポジウム、および私たちと協力してくれている、さまざまな企業や団体の主要役員および上級管理職との専門的トレーニング活動で開発およびテストされた。これらには、Arup、Ballast Needham、Broadway Malyan、Buro Happold、The Design Council、Constructing Excellence、DEGW、EPSRC、HBG、The Housing Forum、Institute for Manufacturing、The Innovation Club、PRP Ltd、Lemelson Foundation / LEAD、Mon MacDonald、P&G、Southern Housing Group、Sun Micro-systems、TWI、W.S. Atkins と Willmott Dixon Group が含まれる。私たちはこれらの考えについて話し合い、そして彼ら自身の経験と洞察を加えてくれたことに、参加したすべての人たちに感謝している。

ケース素材の分析

チームが分散しているこのような大規模なプロジェクトでは、ケース分析のための機会を見つけることは困難であった。この研究はロンドンとブリスベンへの頻繁な長期滞在旅行から恩恵を受けた。これらの長期滞在旅行は、ケース素材から出てくるアイデアについて討論し議論する機会を提供した。イノベーション技術 (IvT)、craft (暗黙知) と code (成文化知)、そして think, play, do (考え、試し、実行する) の概念は、これらの対面 (または肩をならべて) の対話の間の私たちのやりとりから生まれた。それぞれのケーススタディ、それらが何を意味するのか、そしてそれらが本の全体的なパターンにどのように適合するのかについて議論した。私たちの枠組みは、ケースについての議論から生まれた。私たちは、ホワイトボードに各ケースからの重要な教訓やアイデアを詰め込み、混乱、興奮、そして最終的に洗練されるという反復的なプロセスでそれらを介して作業することから始めた。この分析では、ケース素材の分析を使用し、形作るためのガイドとして単純な図を使用することを試みた。私たちは、ケーススタディの要素を説明するためにさまざまな用語や言葉を使って作業することで、このプロセスに恩恵をもたらした。全体的な枠組みは 2003 年後半に生まれ、かなりの改訂は、2004 年初めにこの本の中で体系化された後である。

この本の背後にある初期のアイデアのいくつかは、International Journal of Innovation Management (Dodgson ら 2002) の論文および、Technology, Knowledge and the Firm : 戦略と産業変革への影響 (Dodgson ら 2005) の本の章に掲載された。

今後の研究

私たちのケーススタディの多くが共通のパターンを明らかにしているという点で、研究が繰り返しの時点に達したと私たちは感じたが、IvT に関してまだなされるべきかなりの研究余地がある。私たちはこの

本が研究結果の単純な報告であることを意図してはいなかった。その代わりに、私たちはこれをより大きな経営上の注目喚起と、これらの新しい技術の使用に関する学術的研究への呼びかけと見なしている。これらの技術の普及、およびそれらの利用パターンが分野によって異なっているかについては、まだほとんどわかっていない。私たちは、新しい技術の使用とそれらが競争戦略をどのように形作るか、企業が他の組織と協力してイノベーションする方法、そしてこれらの新しいツールの使用が作業プロセスとイノベーションに必要な知識を、どのように変えるかについてもっと知りたい。分散環境、オープン環境、およびネットワーク環境でイノベーションがどのように行われるかをよりよく理解できるようにするには、新しい言葉と一連の概念が必要である。私たちは、生産における新技術の使用からどのようにイノベーションが生まれるのか、理解のための新しい概念的枠組みも必要である。

Marx と Engels が 150 年近く前に観察したように、資本主義の原動力は「all that is solid melts into air（あらゆる結晶物を溶解させる＝無になる）」ということには決してならない。IVT と「考え、試し、実行する」は、経済と社会関係を先に進める変革と回復のプロセスの最も現代的なものである。

経営管理者にとって、これら技術の課題と機会はわくわくするものである。この本は、IVT と、考える、試す、実行するという新しいイノベーション・プロセスへのさらなる注目を集めることを求めている。私たちは、IVT の可能性を活用することにより一層重点を置くことが、変化し適応することを望んでいる組織に、大きな利益をもたらすことになると思っている。この本がこれらの新しい技術の刺激的な可能性、それに関連する組織の課題、そしてアイデアが私たちが使う製品や私たちが必要とし、楽しむサービスを変える個人の創造力、分析力、そして解釈力にもっと注目されることを願っている。