

○宮崎久美子（東工大理工）

### 1. はじめに

多くの産業は、地球規模における激しい競争のために、急激な変化を経験しつつある。技術の変化が変革の主要な要因であり、ビジネスの各領域の境界をあいまいにしつつある。さらにその変化のスピードは、企業に時間の戦いというプレッシャーを与えている。しかしながら、色々な理由により、ますます増大する「複雑性」が産業界における意思決定者、及び政策立案者にとって重大な関心事である。技術戦略、または技術マネジメントと言われるものが今日の増大する「複雑性」の時代において意思決定者にとって優先事項となる。企業レベルにおいては、戦略的マネジメントは技術面だけでない高度な不確実性と取り組まなければならない。それは色々な要素、例えば、技術パラダイムシフト、増大する社会経済的、または外的な変革の圧力、幅広い知識ベースの管理、また、その企業の外部の領域との強い結合等を考慮しなければならない。それだけではない。グローバルスタンダード、知的財産なども重要な事項となる。本発表においては、技術マネジメントにおける増大する「複雑性」に関する課題を、研究室で行って来た様々な研究の成果をベースにとりまとめ、それを元に技術経営管理者や技術政策立案者にいくつかの提言をすることを試みた。

### 2. 増大する「複雑性」の時代における技術マネジメントに関する重大な要素

#### 不確実性

一般的に言えば、複雑な事情は、技術に関すること、技術に関しないことを問わず高度な複雑性を伴っている。技術の面では将来の技術の軌跡を予測することが困難となりつつある。多くの技術上の選択が存在し、その内どれが勝者となるか予測することは大変むずかしい。技術的に複雑な製品の場合、遅延や研究段階における思いがけない問題の発生とかのリスクは極めて大きい。Hobday と Brady(1996) はフライトシミュレーターの場合におけるスケジュールのリスク、組織上のリスク、また技術上のリスク等のいくつかのタイプのリスクに論じている。ハイテク産業の特徴として、Kodama(1989)の指摘するように、どこから競争相手が出現するかを知ることが難しいことがあげられる。旧来の産業別境界はあいまいになりつつある。つまり、新しい競争相手が未知の分野から現れるという事があり、従来異なった分野の企業が補完的資産を共有して手を結ぶという現象が現れている。将来どうなるか予測する事は困難になって来ている。

#### 技術的複雑性

最もベーシックなレベルでは、技術的複雑性はシステム、製品、製造過程を構成する複雑な技術の相互依存から生じる。製品を構成する技術的ポートフォリオの多様化が指摘されている(Granstrand 1991)。そしてこの傾向は益々はっきりして来よう。これはひるがえって、組織の複雑化を招く。成熟した技術と新技術は融合されながら新製品、及び新しいマーケットに路を開く。マルチメディアのケースに見られるように、自動車も技術の融合によって発展し続けて来た。材料、機械科学、エンジン、制御、バイオメカニクス、等である。また情報技術のような新しい技術も出現している。これは R&D、及び製造プロセスに深い影響を与えている。同時に製品やシステムの基礎となる主要な基本技術の多くは S 字型曲線の頂点に到着しているので更なる革新的イノベーションは非常に困難になっている。例えば DRAM のケースがそうである。自動車向けエネルギーを例にとっても電気自動車に見られるように、多くの経済分野でパラダイムシフトが起きている。かくして複雑性が増大する。

技術変化のスピードも複雑化を招くもう一つの要素である。これは特に IT の場合に於てはまる。また、増大する技術的複雑性と開発コストのために、企業はすべての関連部品、関連技術を社内で調達することは出来なくなっている。複雑システムは補完的資産の結合による他社との共同開発を必要とする。技術的複雑性は複雑なシステムを成立させるための一つの大切な要素ではあるが、必ずしも必要なものではない。サービス産業のような技術的には複雑ではない分野でも Callon 等(1997)が論じたように高度に複雑な状況に達することがある。

## 技術的ではないその他の影響

増大する複雑性は社会経済およびその他の影響によるところが大きい。環境保護についての規制、地球温暖化、及び遺伝子工学に関する安全措置等は例である。自動車に関する主要技術はすでに成熟したと考えられるけれども自動車メーカー各社は顧客の要求に答えるため、また、社会との調和を図るため、研究開発に大きく投資をして来た。そうするに当たっては技術的優先度が検討され、それに従ってリソースを割り当てる必要がある。自動車業界は日本の不況、金融危機、増大する環境問題、及び安全性、性能向上への要求、外資系企業による資本参加等によるプレッシャーを受けている。従って自動車産業はコスト、安全性、環境、その他の要素に関して、今まで以上に積極的に取り組まなければならない。

Miyazaki と Kijima (1999) は“技術的な複雑性”と“異なる主体(Institution)の見解によって発生する複雑性”の2つのパラメータを説明することによって、複雑性の問題を分類した。この結果、例えば、ある複雑なシステムは高い技術的複雑性と低い主体的複雑性のポジションが示され、また一方で、ある複雑なシステムは低い技術的複雑性と高い主体間の利害の対立による複雑性のポジションが示されるケースも存在した。

## 知識ベース

複雑性は取得し、また、それを管理しなかなければならない知識ベースの広さの中に存在すると言えよう。例えば必要となる知識ベースは、関係する科学技術の知識、システムの知識、デザインの知識、オペレーションの知識、市場のニーズについての知識、競合者の動向についての知識等を含む。複雑なシステムは上記のような多様な知識ベースの結合を必要とする。自動車を例にあげれば、それを単体製品として扱うのではなく、自動車をシステムとして扱うことが重要な課題である。換言すれば、自動車に伴う、開發生産システム、エネルギー供給システム、部品供給システム、交通システム、リサイクルシステム等の要素を総合的に把握して対応せねばならない。

昨年デジタル放送が始まったが、デジタルテレビのサービスを実現するためには、異種分野に存在する技術を取り入れて行く必要がある。それはテレビをデジタル放送に対応する技術、デジタル圧縮、デジタル伝送技術、テレビ機能を向上させる技術、PC 関連の応用技術、インターネットの技術、電子商取引技術、HDD (ハードディスク装置)、等である。技術統合のコンセプトを発展させ、各テレビメーカーの技術統合能力を分析した。(Sako, 2001)

## イノベーションの複雑性 ～ イノベーション軌跡のシフト

国家的イノベーションシステムは、国家のイノベーション能力を集約的に決定する主体 (Institution) のネットワークを基盤としており、革新性の拡大がこれらのネットワークを管理して入手可能で潜在的な資源をどのように効率的に組織するかに大きく依存している。イノベーションが基礎研究、応用研究、商業化から市場へのリニアな活動に従うとされたイノベーションのリニアモデルは非現実的であり、イノベーションの複雑性の説明をしていないことによって、無意味なものとなっている。現実のイノベーションプロセスはずっと複雑で双方向的なものである。イノベーションは研究あるいは市場の場からも刺激されることが出来、一連のフィードバックループを含み、科学技術知識の蓄積によって引き出される。イノベーションの双方向性の特徴は、外部的と同様に内部的からの適当な相互作用を引き起こすことを確実にする組織的な構造のメカニズムを必要とする。Callon によって定義された TEN (テクノエコノミックネットワーク) は国家、企業の変化するネットワークを精密に記すための包括的フレームワークである。TEN はイノベーションプロセスに集合的に参加する企業、公的機関、大学、金融機関等のアクターによって定義され、科学、技術、市場等の極の廻りで組織化される。どのようなアクターも孤立した手段によってイノベーションプロセスに寄与することはないというのが重要な特徴である。それらすべては、イノベーションプロセスに寄与するための相当な知識と情報の獲得を通じた、内部的、外部的、直接的、間接的にたくさん関係を備えている。よってイノベーションを起こす部分のはもはや単一の機関ではなく、むしろネットワークやその関係である。これは特に今日におけるニューエコノミーの時代において、重要な特徴である。我々はロボット産業の進化、発展過程、技術の相互依存やスピルオーバーなどを TEN に基づき、科学、技術、市場において総合的に分析した (Kumaresan, Miyazaki 1999)。その結果、日本は近年において科学極で強みを獲得したことが明らかになり、イノベーションシステムがより知識誘導を行っていることがわかった。一方米国の軌跡は日本と反対の動きを見せている。ロボット工学は日本のイノベーションシステムの成功例であり、科学、技術、市場極間に形成されるループより特徴づけられる。また、以前は主に生産現場で使用されていたロボットがアプリケーションの面でサービス産業や建設業、ガス電力業界を含む生産現場以外の様々な分野に普及している。技術面でもロボットはインテリジェンスやソフトウェアなどの新技術を既存の技術と融合していくプロ

セスを繰り返しながら進化して来ており、技術の多様化が起きている。

我々は以前の生産現場で使用されたロボットのイノベーションを *streamlined*（直線的）軌跡と呼ぶ。つまり、このタイプのイノベーションでは、各アクターはイノベーションが起きる方向性を比較的容易に予知することが出来る。その上、科学、技術、市場における不確実性が小さく、科学、技術、市場の3極で好循環なループを作ることが出来る。政策決定者はビジョンを明確にし、この種のイノベーションに対して3極間で好循環なループを作り、知識や情報の流れを促進するシステムを作ることが出来る。70~80年代に見られたパターンが当てはまる。

近年におけるロボットのイノベーションパターンは *Streamlined Trajectory* 軌跡を越え、はるかに複雑になった *Complex Trajectory* 複雑軌跡 (Kumaresan, Miyazaki 2001) というものに変化して来ている。このようなイノベーションパターンにおいて、政策決定者は以前のように科学、技術、市場において3極間を繋ぐ好循環なループを作り、操作することは困難になる。

### 3. 政策の課題

ロボット産業はイノベーションシステムの成功例であり、科学、技術、市場極間に形成されるループにより特徴づけられる。ロボット産業はオールドエコノミーであるが、知識主張型、パラダイムシフトの影響を受けている産業と言えよう。ニューエコノミーのイノベーションパターンでのダイナミックな移行は政策・管理レベルでの新しい関心事をもたらす。

我々はロボット産業におけるイノベーション軌跡のシフトによって起きる、経営の技術政策の課題を、研究開発の現場、アクター（企業の経営者、部局）、ネットワーク、国家の4つのレベルで分析した。ここではアクターレベルの経営の課題について紹介する。残る3つのレベルに関する詳細は(Kumaresan, Miyazaki 2001)を参照していただきたい。

イノベーション軌跡のシフトにより、アクターにおける技術経営の課題で重要な点は、①アクター間の統合と②柔軟性の確保である。3極において、イノベーション軌跡のシフトにより、大学、公的機関、企業のようなアクター間にギャップが生じていることが明らかになった。協同研究の促進などにより総合的な成果を生み出すためには、各アクター内に連携を管理する窓口を設ける必要があるであろう。協同が必要であるのと同時に競争も必要である。このようなことは大学においても重要な課題である。ニーズの変化に対してもっと機敏になるためには、柔軟な組織体制をベースに、組織が自己革新して行くメカニズムを構築することが必要である。

複雑性は先に述べたように多種多様な見解を持った異なるアクターの見解の不一致から生じることがしばしば起こる。日本では20年間で遠隔医療実験が200以上試みられたが、普及には至っていない。実際はいくつかの省庁が遠隔医療に関与している。通商経済省と旧郵政省は技術プッシュアップアプローチを採用しているが、厚生省は医療サービスの向上への遠隔医療の貢献に懐疑的であったので、始動が遅れてしまった。従って、政府、各省庁、地方自治体、医療器機メーカー、医療コミュニティーのネットワーク統合が不十分であり、急速な高齢化とともに起こるであろう遠隔医療の普及を妨げてしまった。(Fujimoto, Miyazaki 2000)

### 4. おわりに

技術経営は様々な要因により、近年においてますます複雑性が增大して来ている。その中でも特にイノベーション軌跡の変化による複雑性の増大に着目し、それに対応するためのいくつかの提言を行った。日本はオールドエコノミーには競争力を持っているが、オールドエコノミーモードに固定されてしまっているために、ニューエコノミーに対しては、未だにキャッチアップの状態にある。イノベーションパターンでのダイナミックな移行は政策・管理レベルでの新しい関心事をもたらす。我が国の政策は国の研究開発における役割を、長期的、高リスクの基礎研究の支援に焦点を当てて来た。従来通りの高リスクの基礎研究に着目した政府の役割を強調することは、オールドエコノミーの時代には適していたかもしれないが、現時点では不十分である。それと同時に、イノベーションシステムに関連したボトルネック解消や3極間の知識普及の促進、技術利用の普及に焦点を当てることを考えるために変化しなければならないであろう。

表1：アクターにおける技術経営の課題

経営の課題	近年における現象	社会経済への影響	可能なアプローチ
アクター統合の課題	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 科学極における大学の役割の増大</li> <li>・ 生産向けロボットの飽和</li> <li>・ モバイルやマイクロロボットの出現</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 基礎研究のアウトプットを経済発展に活用させるむずかしさ</li> <li>・ 国家的イノベーションパフォーマンスに影響</li> <li>・ 科学と技術、市場極におけるギャップが産業における研究開発の投資に悪影響をあたえる</li> <li>・ ミクロやモバイルロボットの市場極を形成するのが困難</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 協同研究の推進</li> <li>・ 情報インフラの整備</li> <li>・ 他のインフラの整備</li> <li>・ 3極間のギャップを縮小させるための他の政策</li> <li>・ 新しい市場の形成</li> </ul>
柔軟性の確保	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ アクターの部門間の連携を推進</li> <li>・ 変化するニーズに対応するのが遅い</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 連携する仕組みを作る困難さ</li> <li>・ 技術移転の難しさ</li> <li>・ 資源の最適分配</li> <li>・ 競争力の低下</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 知識を共有する意識改革</li> <li>・ 柔軟な経営組織体制</li> <li>・ 柔軟性の促進</li> <li>・ 組織が自己革新を行うメカニズムを構築</li> </ul>

### 参考文献

- O. Granstrand, The Economics of Multi-Tech Corporations in Japan, Sweden and the US, Paper presented to the International Conference on Changing Technology Issues and Trend of Policy Research, 1991
- M. Callon, G. Bell, Techno-Economic Networks and Science and Technology Policy, Working Paper for Technology and Economy Programme, OECD, Paris, 1994
- M. Hobday and T. Brady, Rational versus Soft Management in Complex Software: Lessons from Flight Simulation, International Journal of Innovation Management, 2(1), p1-43, 1998
- K. Miyazaki, Building Competences in the Firm: Lessons from Japanese and European Optoelectronics, Macmillan, 1995
- 宮崎久美子 (共著) 技術経済論、日科技連、1998
- K. Miyazaki and K. Kijima, Complexity in Technology Management: Theoretical Analysis and Case Study of Automobile Sector in Japan, Technological Forecasting and Social Change, 64, p39-65, 2000
- N. Kumaresan and K. Miyazaki, An Integrated Network Approach to Systems of Innovation ~ the Case of Robotics, Research Policy, 28, p563-585, 1999
- N. Kumaresan and K. Miyazaki, Management and Policy Concerns Over Shifts of Innovation Trajectories: the Case of the Robotics Industry, Technology Management and Strategic Management, 13,3, p433-462, 2001
- M. Fujimoto and K. Miyazaki, Industrial Innovation, Government and Society: Telemedicine and Healthcare Systems in Japan, Science and Public Policy, 27,5,p347-366, October, 2000
- 児玉文雄、ハイテク技術のパラダイム、中央公論社、1989
- 迫良介、平成12年度修士論文、我が国におけるデジタルテレビメーカーの技術管理と技術統合戦略 (指導教官 宮崎久美子)