

**<論 説>****技術革新におけるディレンマ**

小山 和 伸

**目 次**

## 序 章

## 第1章 研究活動と開発活動の異質性

## 第1節 研究活動の特質

## 第2節 開発活動の特質

## 第2章 要素技術間のトレードオフ関係

## 第1節 要素技術とは何か

## 第2節 トレードオフ関係について

## 第3章 研究能力と開発能力のディレンマ

## 第1節 技術的Sカーブについて

## 第2節 性能と安定性のトレードオフ

## 第3節 資源配分のためのマネジメント・ツール

## 第4章 結論と要約

**序 章**

本研究論文は、科学技術庁の平成4, 5年度科学技術振興調整費による「R & Dマネジメント総合研究」の一環として実施されている、「R & Dマネジメント・ツールの試行評価」(小山プロジェクト)に関する面接調査の成果に基づいて作成したものである。

今日、技術革新の経済的および経営的な意味が注目を浴びるようになってきている。ここに言う技術革新の経済的および経営的な意味とは、次の様な技術革新と経済および経営との相互的な影響過程を意味している。すなわち、技術革新がもたらす経済的な効果と、技術革新に必要とされる経済的資源の投入の

問題である。また、技術革新が個々の経済主体たる企業にいかなる影響を与えるか、逆に個別企業が技術革新を主体的に実現してゆくためにどのような取り組み方がみられるかといった問題である。

こうした問題が注目を浴びるようになった背景としては、第一に技術革新の規模が大がかりなものとなったことが考えられる。つまり、経済的な資金額を巨額化すると同時に、その成果の経済的影響も大きなものとなった。さらに、大がかりな技術革新をめざす活動は組織的な協働を必要とするようになった。第二に、今日では個別企業が主体的に技術革新をめざす活動をとるようになってきている背景を見ることができる。これは、現代の企業が技術革新を主体的にすすめられるだけの規模的水準に達していることによる。すなわち現代企業は、巨額の研究開発投資と多数の研究者・技術者の組織的協働、および広汎なマーケティング活動により、主体的に技術革新をすすめようとしている。

上記のような時代背景から、今日では個別企業の技術的問題への取り組みが、非常に重要な意味をもってきている。それ故に技術的問題に対する経営学的視点からのアプローチが、注目されるようになってきている。個別企業が技術革新をめざして研究開発活動を展開する際には、そこにどのような問題があるのだろうか。

本論では、この問題について、研究開発活動に内在する二律背反(ディレンマ)に焦点をあてて論じてゆきたい。技術革新をめざす企業は、企業内に研究開発の部門をつくって、研究活動および開発活動を行ない、さらに企業内の製造や販売の部門との協働を行なっている。しかし、こうした活動の中には、いくつかのディレンマが内在している。すなわち、技術革新のために必要なある1つの要素を向上させると、他の1つの要素が低下してしまうような関係が存在している。

本論では、このディレンマの問題を、研究活動と開発活動の異質性に注目して、研究能力と開発能力のディレンマについて論じる。

これまでも技術革新における様々なディレンマの問題が議論されてきている。その主なものを2つばかり参考に検討しておくことにしたい。そうするこ

とによって、本論の位置づけが明確になるとともに、本論の既存理論との相違点もはっきりするはずだからである。

先ず、W. J. アバーナシーは「生産性のディレンマ」として、技術革新の進行過程において生産性と革新性との間にディレンマが存在することを提唱し<sup>(1)</sup>た。技術革新は、企業の研究開発とともに、市場による受容によって生じてくるが、技術革新の初期の段階では、原型に多様性があり、ユーザーから広く支持される新しい製品（製法）の形態は未だ現れていない。この段階では、新しい製品（製法）の形態は流動的で、次々に新しい形態が試作される極めて革新性の高い時期である。しかし、こうした段階では製品生産はジョブショップ的にならざるを得ず、生産性は低くなる。ところが研究開発活動を続けているうちに、ユーザーから広く支持を受け、またメーカー側でも広く評価し得る形態が生み出されてくる。アバーナシーはこれをドミナント・デザインと呼んでいる。

ドミナント・デザインが成立すると、製品革新の焦点は、技術の中核的な部分から周辺的ないし付属的な分野に移ってゆく。革新の数も急速に減少し、製品の基本的な形態が安定し、固定化してくる。製品が安定してくると、それを大量に生産するための工程革新が行なわれるようになる。工程革新によって、製造コストが急速に削減され、生産性は上昇する。しかし、こうした量産化による高生産性が一度達成されると、製品の革新は抑制されるようになる。なぜなら、製品の大きな革新は既存の大量生産のための大規模設備を無意味なものにしてしまい、巨額の埋没費用を発生してしまうからである。

以上のように、高革新性は低生産性を伴ない、高生産性は低革新性を伴う。ここに、生産性と革新性との間にディレンマが存在するという訳である。

この命題は、製品革新と工程革新のタイムラグを説明しながら導き出されている。この問題は、ある意味では研究開発の段階を追って、研究開発活動の焦点の移行を説明してくれている。その点で、研究開発活動や技術革新に内在する本質的な問題を指摘しているといえる。

本論での関心は、製品にせよ製法にせよ、新しい形態がアイディアの段階から原型製造、実用化までのプロセスの範囲内にある。すなわち、原型製造以前

の研究段階とそれ以後の開発段階との間にあるディレンマを明らかにしようとしている点で、基本的な研究の焦点が、アバーナシーとは異なっている。ただし、「生産性のディレンマ」は、新製品・製法の成熟化過程という点で重要な示唆を与えてくれる。

次に、J. O. ウィルソンによって提唱された「ウィルソンのディレンマ」は、研究活動のためにふさわしい組織と、開発活動のために望ましい組織とが異なっていることを指摘するものである<sup>(2)</sup>。ウィルソンによれば、研究段階では多様なアイデアが活発に提案されるような自由度の高い組織が望ましいとされる。つまり、組織階層は比較的低層化構造で、水平的な相互作用が自由かつ活発になされる組織が望ましい。しかし、一度開発すべき新製品なり新製法のアイデアが固まると、原型製造に向けた開発活動は、凝集性の高い組織行動が必要となり、高階層構造の組織が適している。すなわち、研究段階では多様性を促すような組織構造が望ましいが、開発段階では統一的な行動のとりやすい組織構造が望ましいというものである。このため、研究開発部門の組織をどのようにしたら良いか、分化と統合の程度を決定する上でディレンマに陥るといふ訳である。こうした「ウィルソンのディレンマ」は、研究活動と開発活動を峻別し、各々の担当組織を別組織とすることによって解決できるはずである。現に今日多くの企業がこうした研究活動と開発活動の分離を実施している。しかし、こうした対応は研究活動と開発活動の異質性故に、さらに新しく困難な問題を生じる。この問題の検討こそ、本論の目的である。

「ウィルソンのディレンマ」は、本論の問題意識に近いものがあるが、しかしウィルソンは研究から開発への移行の問題をあまり論じていない。ウィルソンは研究と開発の異質性の問題を、すぐさまその活動のためにふさわしい組織の異質性の問題として論じている。本論では、研究と開発の活動の異質性故に、その移行段階に問題が生じ、また移行を円滑にしようとするれば、本来異質であるはずの研究活動と開発活動がある種の妥協を強いられ、相互に成果が阻害されてしまうという問題を論じてくる。この点にウィルソンと本論との間に研究アプローチの相違がある。

以下第一章では、研究活動と開発活動の異質性を、各々の活動の特質を検討することを通じて説明する。第二章においては、新製品・製法を構成する要素技術について考察し、各要素技術間のトレードオフ関係について説明する。第三章では、この要素技術間のトレードオフ関係から、研究活動と開発活動の間のトレードオフを演繹し、技術革新におけるディレンマを説明する。第四章では、結論と要約を述べる。

## 第1章 研究活動と開発活動の異質性

本章では、先ず研究活動と開発活動の特徴について検討し、両者の異質性がどのようなところにあるかについて分析してゆくことにしたい。研究の手法としては、我国企業数社の研究開発部門におけるインタビュー調査を基礎にして、そこで研究所を主体とした研究活動と、研究所と製造部門との連繫を主体とした開発活動および研究所と販売部門の連繫を主体とした開発活動を分類し、その各々の活動における特徴を分析する方法をとることとする。この際、研究開発部門メンバーを研究志向型と開発志向型に分類して議論を進めるが、この2つの型は理念型であり、モデルである。すなわち、実際に研究志向型の研究者や開発志向型の研究者も存在するが、研究志向的な態度を、研究志向型の研究者というモデルの中に表現し、同様に開発志向の研究態度を開発志向型研究者にモデル化して表現するものである。

先ず、第一節において、研究活動の特質を分析し、第二節において開発活動の特質を分析してゆくことにしたい。

### 第1節 研究活動の特質

研究活動は、普通基礎研究と応用研究に分けて考えられている。この場合、基礎研究については、「知識の増進を目的とする研究」と定義されるのが通常である。すなわち、製品・製法へのイメージをもたない段階での研究である。これに対して、応用研究は、「科学的知識を何らかの新製品・製法へのイメージに組み上げることを目的とする研究」と定義されるのが普通である。<sup>(3)</sup>

しかし、こうした定義に従って企業の研究活動を観察すると、基礎研究を本  
当に行なっている企業はほとんど無いということになってしまう。その意味  
で、前述のような定義では、現実企業の研究活動を分類する規準として不適當  
と言わざるを得ない。企業によっては、厳密な基礎研究ではないが、科学的知  
識の探究にかわる研究について、「目的基礎研究」ないし「基盤研究」などの用  
語を用いて表現している。これらの表現の中に共通してみられる特徴は、分析  
的な研究という意味あいである。これに対し、応用研究は諸知識の統合という  
点に特徴がある。

そこで本論では、基礎研究を「科学的知識の増進のための分析的研究」と定  
義したい。従って、ここでは新製品・製法へのイメージがあっても、それが分  
析的研究であり、その研究によって何らかの科学的知識を得ようとするもので  
ある限り、基礎研究と呼ぶことにする。一方、応用研究を「科学的諸知識を新  
製品・製法のイメージへ統合してゆく研究」と定義する。すなわち、応用研究  
は統合的なベクトルをもつ研究であり、分析的なベクトルをもつ基礎研究と  
は、研究の方向性において異なっている。

さて、以上のように基礎研究と応用研究を改めて定義しなおしてみると、企  
業における研究活動の実態が、より現実感覚をもって把握されるようになる。  
すなわち、現実の企業の研究開発は、基礎研究→応用研究→開発のように線型  
に進むのではなく、ある製品イメージの形成が、ある障害に突きあたると、新  
たな科学的現象の解明をめざして分析が再び行なわれるという動きをもってい  
<sup>(4)</sup>る。こうした、基礎研究と応用研究の相互関連性は、製品イメージをもつか否  
かという規準で基礎研究と応用研究を分類しては説明のできない行動であ  
る。

以上のように考えてくると、ある研究活動が基礎研究であるか応用研究であ  
るかは、必ずしも研究テーマによっては判別しがたいということが分かってく  
る。例えば、ある新製品プロジェクトに属する研究でも、それが何らかの科学  
的な障害を克服するために、科学的論理に立ち帰って実験している時には基礎  
研究をしているということになるからである。

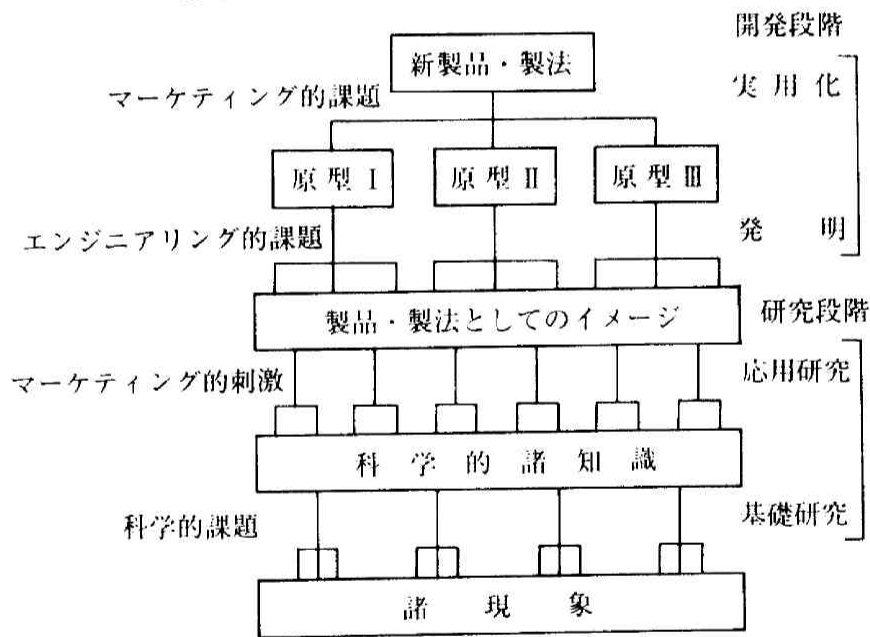


すなわち、新製品・製法の完成、販売を、企業としての最終目的として設定してみた場合、応用および基礎にかかわる研究は、その目的達成のための目的—手段の連鎖構造をなすプロセスとしてとらえることができる。

勿論、こうした目的—手段の連鎖は、下から上への一方向的な流れとしてとらえることはできない。必要に応じて相互的な流れが生じていると考えられる。

しかし [図—1] のように、最終目的に新製品・製法の完成をおいてみると、その対極に基礎研究をおいて考えることができる。いま製品・製法からの距離を、原型製造への具体的努力以前の段階にもつ研究活動について、主要な特徴を記述してみよう。

[図—1] 研究開発プロセスの構造



我国企業数社の研究開発部門メンバーに対して、職務遂行上意識している理念や姿勢をインタビュー調査した結果、研究活動への志向性が高い研究者と、開発活動への志向性が高い研究者がいることがわかった。しかし、中には研究志向と開発志向の両方を持ち、時と場合によってそれを使い分けている研究者もいることがわかった。ただし、ここに研究志向の研究者とは新製品ないし製

法としての実現可能性、またとりわけ販売可能性などに対する関心の低い研究者を意味している。また開発志向とは、新製品・製法としての実現可能性や、販売可能性に大きな関心を払う傾向を意味している。

以下に掲げる項目は、研究志向的傾向の特徴と考えられるものである。

- ① オリジナリティーを大切にする
- ② 論理的因果関係の明確化
- ③ 高品質へのこだわり
- ④ 基礎知識の習得

オリジナリティーを大切にするという事は、多くの場合常識との対立を意味するが、研究志向の研究者たちの多くは、サイエンティストとしての自覚を強調し、常識との対立の厳しさを訴えるとともに、それに負けない意志の強さの重要性を唱えている。すなわち、科学技術的な常識というものは、研究者自身の頭の中にも研究管理者の間にも定着しているので、先ず自らがそこから脱却するのに勇気が必要であり、さらにそこから生まれたアイデアを管理者に説得するのに困難を伴うという訳である。

次に、論理的因果関係の明確化とは、実験の成功、不成功にかかわらず、その原因と結果を明確に追跡し、論理的な流れを解明し記述する習慣をつけることを意味している。実験の成否は、運に左右されることもあるという。実験の成功は勿論望ましいが、科学者の役割としては、むしろ成否の結果そのものよりも、その結果を生んだ原因の構造を明らかにするということに重点があると主張する。

第三に、研究志向の研究者は高品質へのこだわりをもっている。新製品ないし新製法は、開発・実用化段階に至って、実行可能性の観点から品質のレベルダウンを要求されることがある。つまり、マーケティング関連の事情によって製品イメージの変更を求められたり、また開発時間の切迫などの理由で、当初計画されていた品質追及をレベルダウンする圧力がかかることがよくある。研究志向の研究者たちは、こうした時にこそ、この圧力に対抗して高品質の実現にこだわることを自らの責務と考えている。



第四に、研究志向の研究者たちは高い基礎的知識を十分にもっていることに誇りをもっていると同時に、それを研究者の必要条件であると考えている。すなわち、文献などによって十分な知識を得るとともに、学会への参加、研究論文の追試などの経験を積んでおくことの重要性を強調する。

以上を大まかに要約するに、研究志向の研究者たちは、ある技術的特性において未曾有の高水準値（チャンピオン・データ）の更新に主たる関心を抱いているといえよう。

## 第2節 開発活動の特質

前節において、研究活動の特質を主として研究志向の研究者がもっている理念と傾向を検討することによって明らかにしてきた。本節では、これと同様のアプローチで開発活動の特質を明らかにしてゆきたい。すなわち、開発志向の研究者の理念と傾向を検討することを通じて、開発活動の特質を解明してゆく。ここで、開発志向の研究者とは、新製品・製法の完成と販売可能性に大きな関心を払っている研究開発部門メンバーを意味している。

開発活動は、応用研究の結果生み出された新製品・製法のイメージに従って、原型を製造し、その原型を実用に耐える製品・製法として完成させるまでのプロセスを意味するものとする（[図-1] 参照）。従って、開発活動は、原型製造までの発明、試作の段階と、完成品製造までの実用化の段階を意味している。

開発志向の研究者の傾向は、製造・エンジニアリング的問題への配慮と、販売・マーケティング的問題への配慮に分けて考えることができる。以下では、先ず研究開発メンバーの製造・エンジニアリング的問題への配慮についてどのようなものがあるかを示しておきたい。インタビューの結果を要約すると、以下のようなようになる。

- ① 製品・製法の製造工程や手順をできるだけ簡略なものにする努力を払っている。
- ② 製品・製法の品質レベルの安定性を確保する努力を払っている。

- ③ 試作から量産化にいたる中間的段階で、中間規模のテスト生産を行なっている。
- ④ 製造現場で生じる問題に対応する体制を備えている。

開発志向の研究者は、生産段階での製造ミスを削減するために、工程や手順をできるだけ簡略化しようとしている。すなわち、開発志向の研究者は、品質レベルが多少犠牲にされても、生産段階での歩留り率が高くなるような配慮をしている。開発志向の研究者は、生産現場レベルにおける製造設備や、製造部門メンバーのノウハウに関する知識が豊富であり、そうした現場の実情に照らして安定的な生産が実現されるよう配慮している。

また、開発志向の研究者は、高品質の製品・製法を低い確率で試作することよりも、一定程度の品質が高い確率で実現されることを重視している。これは明らかに製品・製法としての実用化段階を既に意識しているからであり、製品・製法としての信頼性を高くするための準備を心がけていると考えることができる。

第三に、開発志向の研究者は中間規模による試作によって、量産段階で発生する問題を予測し、それに対する対応を考慮しようとしている。試作から量産化への移行は、必ずしも単なる量的な拡大として安易に考えることはできない。量的な拡大は何らかの質的な問題を引き起こす場合があるからである。例えば、製造プロセスにおける熱の発生など、試作段階では無視し得る程度のものが、量産化段階では重大な問題となることがある。試作段階から量産化段階への移行は、規模的に数百～数千倍になるが、数十倍の規模の中間的なテスト生産工程をもつことによって、試作段階では予期し得ぬ問題を、ある程度予測できることがある。

さらに、以上のような周到な配慮にもかかわらず、生産段階においては数多くの問題が発生するのが普通である。開発志向の研究者は、こうした事態に対して製造現場へ問題処理のために派遣され、問題の解決にあたっている。勿論、移行の段階に問題発生を未然に防ぐためにも、彼らは一定期間工場に派遣され詳細な問題の発見と解決にあたっている。

以上を要約するに、開発志向の研究者は、自らのアイデアが現実の製品ないし製法として実現されることに情熱を燃やしているということができる。さらに、何らかのいわゆるヒット商品を生み出そうという意識が強く働いているということもいえる。こうした販売業績を意識する開発志向型の研究者は、販売・マーケティング活動に対する配慮をもっている。

以下では、販売・マーケティングへの研究者の配慮を検討してみよう。インタビューの結果を総合すると、開発志向型研究者の販売・マーケティングに対する配慮は以下のようにまとめることができる。

- ① 営業・販売担当者からニーズ情報を収集する。
- ② 試作品の展示会などを通じてニーズ情報を収集する。
- ③ テスト販売・試験的使用によりユーザーの情報を収集する。

ヒット商品を意識する開発志向型の研究者は、研究のできるだけ早い段階から市場ニーズを入手し、研究の結果出て来るシーズからの製品イメージと、市場ニーズから出て来る製品イメージを融合しようとしている。すなわち、開発志向の研究者においては、研究志向の研究者にみられるような、「画期的製品をつくれればニーズはそれについてくる」といった考え方はほとんどない。むしろ自分のもつシーズを育ててゆく方向を、現在の市場ニーズの中に求めているということができる。

さらに、ヒット商品を生み出すためには、漠然としたユーザーを相手にニーズを探索しても無駄であると考えている。すなわち、ある程度焦点を絞って、ある製品なり製法を本当に必要とする人の意見に従って実用化を進めなければならない。試作品の展示会などにおいて、試作品に興味を示す人は、本当にそれを必要としている潜在的な顧客であるから、そうした機会を活用して、できるだけ詳細なニーズ情報を収集する。

しかし、上記のような情報収集のためには、先ず何よりも原型が試作されていなければならない。一口に試作といっても、試作には様々な段階がある。研究者が自らのアイデアを確認するためのごく初歩的な試作から始まり、上司を説得するための試作、テスト販売のための試作、新聞などで公表できる完成

度の高い試作などである。完成度の高い試作品は、テスト販売の段階に至って、ユーザーの試験的使用に基づいて極めて具体的かつ有用なニーズ情報を収集することができる。開発志向の研究者は、こうしたテスト販売に早くこぎつけて、改良の方向を知ろうとしている。

以上のように開発志向の研究者は、自らの研究業績をできるだけ早い段階で市場の動向に即したかたちで発展させようとしているととらえることができる。これを別の言葉で表現するならば、研究開発活動の前半を早い時期にひと区切りつけ、後半の市場ニーズに応じ得る新製品・製法への改良・改善という段階に努力の重点をおこうとしているということができる。このような傾向は、研究志向型の研究者が、「市場ニーズからは画期的な製品・製法は生じない」「画期的製品・製法には新市場が追随する」という考え方とは明らかに異なっている。

## 第2章 要素技術間のトレードオフ関係

前章では、研究志向型の研究者と開発志向型の研究者の行動パターンを検討することを通じて、研究活動と開発活動の異質性を見てきた。こうした異質の活動を、企業はどのようにして調整し、また統合しようとしているのであろうか。この異質の2つの活動は両立できるのであろうか。こうした研究活動と開発活動の間を知り手がかかりとして、本章では先ず新製品・製法を研究開発する上でポイントとなる構成要素技術について考えてみる。そして、構成要素技術間の関係の中に、研究活動と開発活動との関係を知り手がかかりを見い出してゆくことにしよう。

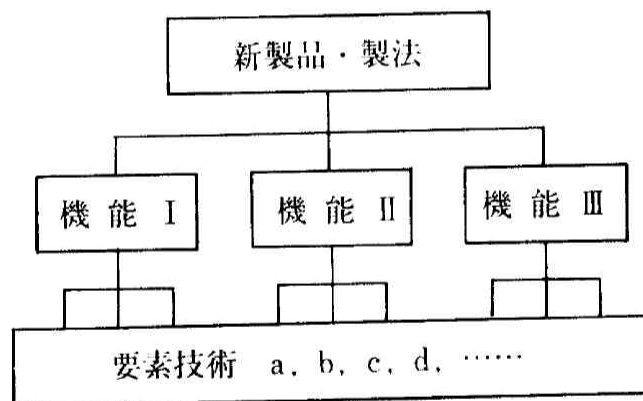
### 第1節 要素技術とは何か

どのような製品でも製法でも、いくつかの技術的パフォーマンスがある。例えば、自動車という製品には、馬力・速度・安定性・低価格・居住性・燃費などのパフォーマンスがある。レンズであれば、透明度・屈折率・強度・安定性・信頼性などのパフォーマンスがある。これを製品の技術的機能と呼ぶ。<sup>(5)</sup>

なわち、技術的機能とは、技術的な性能と製造コストの両方を含んだ概念である。例えば、新製品が既存製品と同じ性能をより低いコストで実現した時、その新製品は新しい機能を発揮したと表現する。性能は、コストや歩留り率などのような経済的側面を捨象したパフォーマンスを意味するものとする。従って、性能の高さはチャンピオン・データによって測ることができる。

さて、以上のように技術的機能を定義すると、1つの製品なり製法には、一群の機能の集合があることがわかる。そして、こうした機能が達成されるためには、クリアされなければならないいくつかの技術的要件がある。これにしても1つの機能の達成のために解決されねばならない技術的要件は、集合をなしているのが普通であろう。この技術的要件のことを要素技術と定義する。すなわち、新しい製品・製法の開発は、これらの要素技術→機能という目的-手段の連鎖を解決してゆくプロセスに他ならない。

〔図一2〕 製品・製法の機能と要素技術



このプロセスでは、要素技術は機能と必ずしも一意対応ではなく、複数の機能の達成に寄与する要素技術もあり得るであろう。

研究開発部門のメンバーは、この目的-手段の連鎖構造を上から下へ分解するとともに、下から上へと組み上げる双方向的な解決過程を繰り返している。すなわち、研究開発部門のメンバーは、一方で新製品ないし製法に求められている機能を予測し、そこから必要とされる要素技術の水準を計算するという目的-手段分析を行ない、要素技術の開発にかかわっている。しかし他方、現有の要素技術の組み合わせによって達成され得る機能を検討し、そこから製品イメー

ジをつくりあげるという方向からも研究を進めている。

機能は、その水準を向上させてゆくに従って、他の機能との間に二律背反的關係を示すようになる傾向がある。例えば、馬力をどんどん上昇させてゆくと、安全性との対立が表面化してくる。あるいは、ガラスの透明度を上昇させてゆくと、ある水準以上にしようとする時は、強度を犠牲にしなければならないような段階を迎える。

こうした、技術的機能間の代替的關係を、次節において説明する。先ず、コスト・歩留り率といった経済的側面を除いて、性能を構成する要素間の關係を検討し、次に性能とコスト・歩留り率との關係を検討する。

## 第2節 トレードオフ關係について

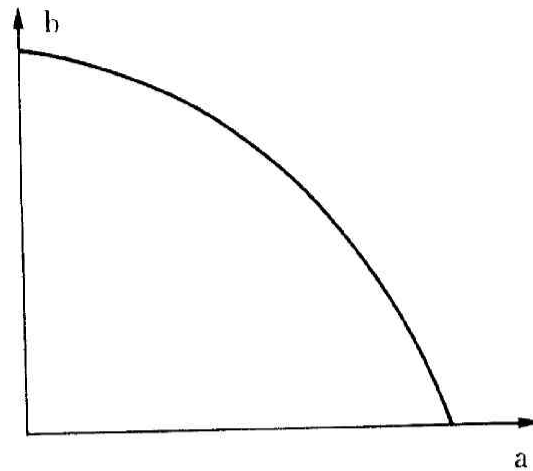
トレードオフ關係とは、2つの構成要素間において、一方の増大が他方の減少につながるような關係を意味している。前節において、製品ないし製法に備わっている技術的機能の集合について説明した。こうしたいくつかの技術的機能の間にも、1つの機能を突き詰めて追求してゆくと、他の機能が犠牲にされるような段階が訪れる。こうした機能間のトレードオフは、その機能達成のために活用されている要素技術間のトレードオフによって説明される。

要素技術間のトレードオフ關係とは、1つの要素技術を徹底して追求してゆくと、いずれ他の要素技術を圧迫するような段階に至るという現象を意味している。勿論、要素技術の達成水準が低い段階では、複数の要素技術が共に向上するような状況も生じ得る。しかし、こうした状況から要素技術の高度化がある水準に至るとき、もはや一方の増大が他方の減少を余儀なくするような段階を迎えたと考えられる。これを図に示すと〔図-3〕の如くなるであろう。

〔図-3〕において曲線が外側に凸となっているのは、限界代替率が遞増的になっていることを示している。すなわち、要素技術aの高度化を徹底して進めてゆくと、そのために犠牲にされる要素技術bの程度が次第に大きくなるということを示している。同様に、要素技術bの水準を高度化してゆくに従って、犠牲にされるaの程度も増大してゆく。



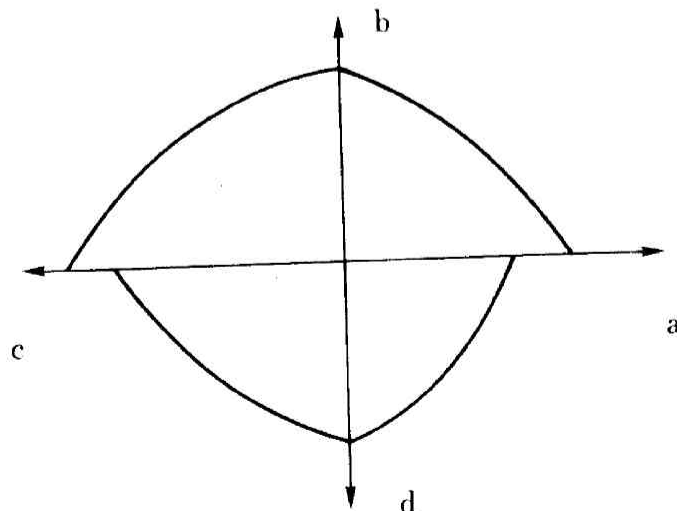
[図-3] 要素技術間のトレードオフ (1)



さて、いま要素技術の水準が  $a$  のような点にある場合、要素技術  $a$  とともに  $b$  の水準を向上させることができる。このような状況は、まだ要素技術水準が未成熟な段階にあると言える。しかし、いま要素技術水準の向上努力によって  $\beta$  のような点に至ると、ここからさらに要素技術  $a$  の水準を向上させようとする  $b$  の水準を犠牲にしなければならず、また  $b$  の水準を向上させようとするれば  $a$  の水準を犠牲にしなければならなくなる。要素技術の向上をはかってゆくと、いずれこうした飽和状態を迎えると考えられることができる。

こうした要素技術間のトレードオフ関係は、2要素間ばかりではなく、多数の要素技術間に存在していると仮定することができる。[図-4] は、4つの要素技術を想定した場合のトレードオフ関係を示している。

[図-4] 要素技術間のトレードオフ (2)

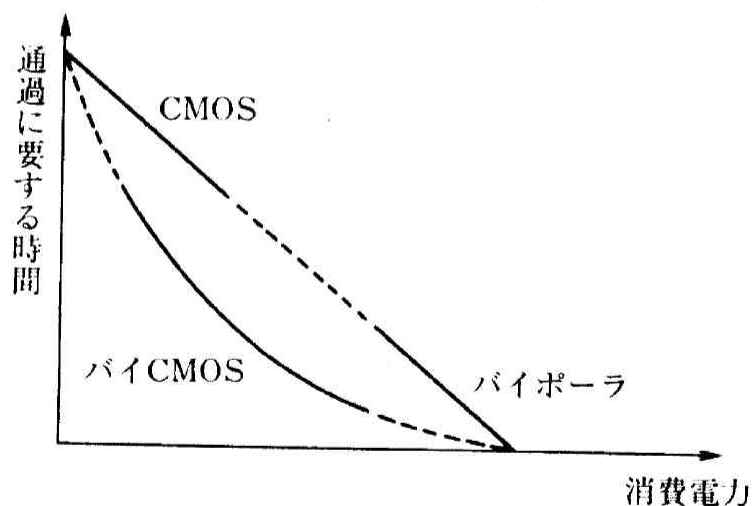


ここで、要素技術間のトレードオフ（構成機能のトレードオフ）の問題について、事例を1つ検討しておくことにしよう。<sup>(6)</sup>

半導体のうち、大型コンピュータ用の素子として用いられるバイポーラは、高速度だが消費電力が大きい。これに対して、腕時計などに内蔵されているCMOS型の素子は、速度は遅いが消費電力が小さい。このような素子の性質を考慮して、両方のメリットを生かしながらデメリットを抑える素子の開発が行なわれた。小型コンピュータ用の素子の開発のために、高速度、省消費電力の素子が必要とされたからである。日立製作所において開発されたバイCMOS素子は、CMOS並の消費電力で、バイポーラに近い速度を達成した。その後、バイCMOSは大型コンピュータにも部品の一部として使用され、さらにバイCMOS素子の高集積化が可能のため、バイポーラよりも小型化できるというメリットもあり、小型コンピュータの中核的な技術として大きな貢献があった。

いま素子の性能と、各種素子の守備範囲を図示すると、[図-5]のようになる。

[図-5] 素子の性能 (1)

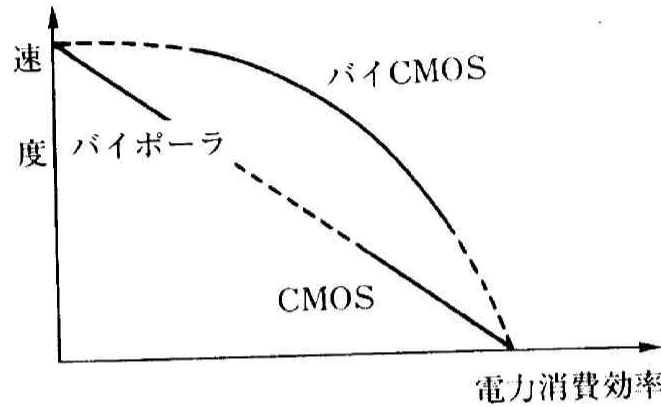


いまこの[図-5]における軸の尺度を電力消費効率と速度という表現に置き換えてみると、[図-6]の如くとなる。

以上の事例から、要素技術間にはトレードオフがあると同時に、その代替曲線が外側に凸になっていることが確認された。そして、外側に凸になっている

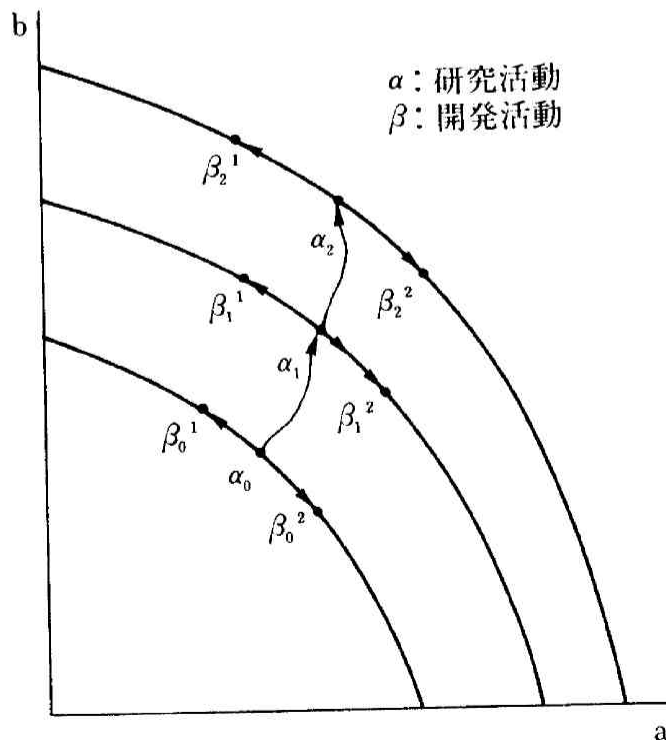
とすれば、要素技術の総和が最大になる点が存在する。バイ CMOS が、当初焦点としていたマイクロ・コンピュータばかりではなく、大型コンピュータやスーパーコンピュータの分野にも、部品として参入することができたのは、こうした総和としての要素技術の高さによって説明できるかも知れない。

【図-6】 素子の性能 (2)



ただし、研究活動の成果としての真のブレイクスルーは、この要素技術間の代替曲線を右上にシフトさせる効果をもつであろう。こう考えてみると、代替曲線はいくつかの段階で縞状をなしていると仮定することができる。ここで、

【図-7】 代替曲線上の研究と開発



研究活動と開発活動を対比してみると、研究活動を代替曲線の右上方へのシフトをめざす活動と捉え、開発活動をある代替曲線上の左上ないし右下方への配分率の決定として捉えることができるかも知れない（[図-7] 参照）。

### 第3章 研究能力と開発能力のディレンマ

本章では、研究活動と開発活動の異質性とその両立の難しさに基づいて、技術革新におけるディレンマを説明してゆく。ここで述べる技術革新におけるディレンマとは、研究能力の向上と開発能力の向上における二律背反を意味している。

すなわち、研究活動に力点を置いた資源配分を行なうと、高い性能を発揮する製品・製法のデザインが生み出されるが、一方それを安定的に製造する開発力が十分でなくなる。また高い性能を実用化するには、それだけ高い開発能力が必要なため、ますます開発は困難になる。

他方、開発重視の資源配分を行なうと、何らかの製品・製法のデザインを現実の原型として製作し、安定性を高めて実用化するポテンシャルは高くなるが、一方その開発活動に載せてゆく優れたアイデアやデザインが出にくくなる。

すなわち、高い開発能力がなければ高い性能を実用化できないが、他方高い研究能力がなければ質の高いアイデアと性能は生まれてこない。結局は限られた資源を研究と開発の間にどのようなバランスをもって配分するかという意思決定の問題が、そこには横たわっている。

こうした問題について、第1節では技術的Sカーブを説明し、技術的成果の成熟という視点から接近してみよう。

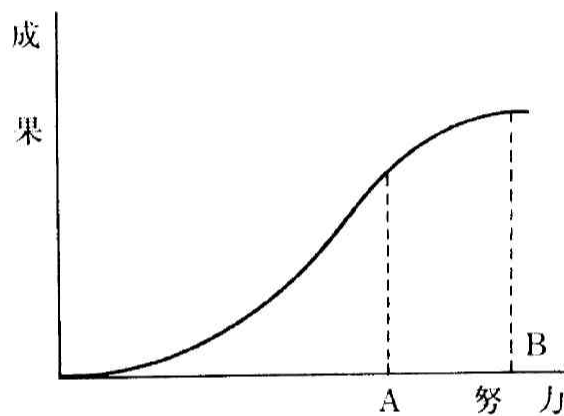
第2節では、前章での議論を踏まえて、研究と開発のディレンマを、要素技術のトレードオフとして描写してみたい。

さらに第3節においては、第2節の議論を前提として、技術革新のディレンマに対して、資源配分のバランスを考えるためのマネジメントのツールを試作してみよう。

### 第1節 技術的Sカーブについて

技術的Sカーブは、広く受け入れられている概念である。技術的Sカーブでは通常横軸に努力をとり、縦軸に成果をとる。Sカーブの意味するところは以下の如くである。すなわち、当初努力をしてもなかなか成果の増大につながらないが、しばらくこの苦しい努力を積み重ねていると、成果が急速に増大する段階を迎える。しかし、その後再び成果の増大は鈍り、限界に達するというものである。

〔図一8〕 技術的Sカーブ



横軸の努力は、技術開発に投入された時間や資金、人員などの累積量をもって計測される。縦軸の成果の測定は困難であるが、多くの場合売上げ高や特定の性能をもって表わされている。

本節では、この技術的Sカーブを研究開発管理のツールとして活用するための考察を加えてみよう。まず、技術的Sカーブを描くことができれば、研究開発努力をどこまで続け、どこで停止したら良いかを知ることができるであろう。例えば〔図一8〕におけるA点は、2回微分が負となる点であり、ここを境に追加的努力に対する収穫率が低下する。またB点は、1回微分がゼロとなる点であり、追加的努力に対して収穫は増加しなくなる。合理的な開発努力の停止点は、AとBとの間に位置づけられると考えられる。この意味から、A点を停止準備点、Bを限界点と呼ぶことができよう。

技術的Sカーブを実際に研究開発マネジメントのツールとして活用するた

めには、横軸と縦軸の測定と数量化が必要である。この問題について少し検討してみよう。

まず、横軸の努力については、研究開発に費やされた資金と時間、人員をもって計測できるものと思われる。すなわち、時間×人数×賃金+投入資金によって、金額で努力の程度を表示することができる。これを実際計測するためには、研究開発メンバーの行動記録によって投入された時間を記録しなければ

[表-1] 研究者の行動記録調査表<sup>(7)</sup>

平成 年 月 日 ( )

氏 名 \_\_\_\_\_

8時      12時13時      17時      24時

		8時	12時13時	17時	24時
文 献	学術論文				
	評論文				
	雑文				
	その他				
会 議	研究討論				
	非公式研究会				
	事務処理会議				
	その他				
実 施	実施・観察				
	準備				
	整理				
	その他				
思 索	新アイデア創出				
	既存アイデア検討				
	その他				
通 信	文書による研究相談				
	電話による研究相談				
	事務文書				
	事務電話連絡				
	その他				
そ の 他	製造現場の問題処理				



ならない。投入された資金については、会計記録によって比較的容易に知ることができるとは限らない。

研究者の行動記録は、例えば [表-1] のようにして収集することができるであろう。

この行動記録の中にテーマ名とともに実線で時間を記入してもらうことにより、あるテーマに費やされた研究時間、会議その他の時間を、おおまかではあるが計測することができるはずである。

縦軸の成果については、研究開発段階においては売上げ高は適当ではないであろう。これには、例えば特定の性能、例えば速度や強度、歩留り率などの指標をもって表示するのが適当であると思われる。この場合、その性能の限界値が想定され得る場合には、 $\text{達成値} / \text{限界値} \times 100$  というパーセンテージによる表示が望ましい。こうした表示によれば、Sカーブが端正に描かれるからである。

以上のように、実際の測定規準と測定方法を決めておけば、努力の投入額と成果を数量化し、ある時点での位置を図上にプロットすることができるはずである。

## 第2節 性能と安定性のトレードオフ

本論第1章では、研究活動と開発活動の異質性について説明し、各活動の特質を明らかにしてきた。すなわち、研究活動の典型的な特質は、製品・製法を構成する要素技術の性能を向上するという点に求められている。いわゆるチャンピオン・データの更新というところに努力の重点がおかれている。これに対し、開発活動では新製品・製法が実用的な商品として立ち上がってゆくための安定性・信頼性・低コスト化を追求するところに重点をおいている。

これをより簡潔に表現するならば、研究活動が独創性を重視しているのに対して、開発活動は創設性を重視していると言うことができよう。<sup>(8)</sup> 研究活動と開発活動のこのような努力の焦点の相違には、二律背反が見られる。すなわち、高い性能の達成のために資源を重点的に投資すれば、その実用化のための資源

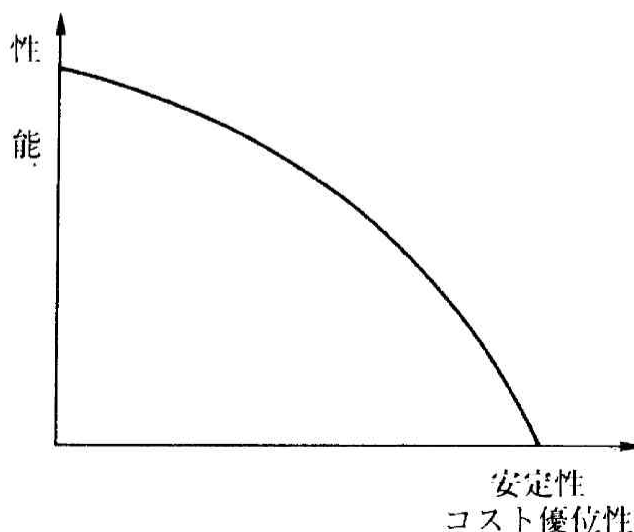
が減少し、また技術的にも性能が高くなれば、その安定的実現の確率は低くなるからである。逆に、実用化技術の向上に資源を重点的に投入すると、高い性能を達成するためのアイデアが抑圧される。

研究志向の研究者たちは、新製品・製法の実用化の段階で、工場への円滑な移管のために行なわれる工場派遣について、研究業績が停滞してしまうのがゆい時期であると考えている。また、開発志向の研究者たちは、製造現場の実情を熟知し、現場への配慮を払っているが、こうした姿勢からは、独創的で画期的なアイデアは生まれにくいと考えられる。

以上のような、研究と開発の間に見られる二律背反の問題を、第2章で論じた要素技術間のトレードオフ関係として表現することはできないであろうか。研究活動の重点が、性能の向上にあるという特質については既に述べた。また、開発活動の重点が安定性・低コスト化の追求にある特質についても、既に述べた通りである。このことからして、研究活動と開発活動との間にある二律背反の関係を、性能と安定性およびコスト優位性との間のトレードオフ関係として表現できるはずである。

この関係を図示すれば [図-9] のようになるであろう。すなわち、研究活動の成果として性能をとり、開発活動の成果として安定性とコスト優位をとるのであり、換言すれば、研究活動の成果を性能の向上で測り、開発活動の成果

[図-9] 性能と安定性のトレードオフ



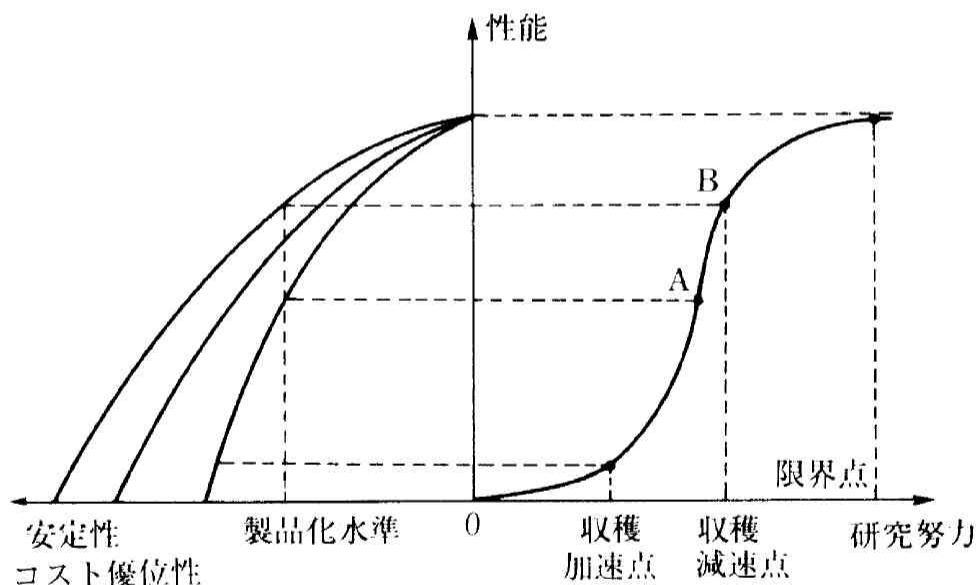
を安定性（歩留り率）とコスト優位性で測るのである。

### 第3節 資源配分のためのマネジメント・ツール

本節では、これまでの議論を踏まえて、研究と開発に対する適切な資源配分のためのマネジメント・ツールを考えてみることにしよう。研究開発のプロセスにおいて、研究と開発への資源の適正な配分を知ることができれば、無駄のない成果向上がはかれるはずである。

今、第1節で説明した技術的Sカーブと、第2節で説明した性能と安定性のトレードオフを一枚の図に表現して、研究活動の成果と開発活動の成果を描写してみよう。

[図—10] R&D 資源投入と成果



いま、横軸右側に研究努力を累積量でとり、縦軸に性能をとる。横軸左側には、安定性とコスト優位性をとる。右側のSカーブでは、研究努力とその成果としての性能の向上との関係が示されている。左側の外側に凸な曲線は性能の向上と安定性および低コスト化との代替的關係を示し、研究活動と開発活動間のディレンマを表わしている。左側の曲線が外側へ移動しているのは、開発努力による成果の向上、すなわち一定の性能の実用可能性が向上していることを示している。

製品化のために必要な安定性とコスト優位性の程度を、いま製品化水準として左横軸にとってみよう。研究努力と性能が時点1でAにあったとしよう。1時点での開発能力は左横の最も右寄りの曲線で示されるものとする。この時、A点の性能は新製品化に必要な安定性とコストで実用化される。

研究努力によって時点2ではB点まで移行したとしよう。この高い性能は、現有の開発能力では製品化に十分な安定性とコスト優位性を満たすことができない。こうした状況においては、R&D資源は開発活動に重点をおいた配分がとられることが望まれるであろう。何故なら、時点2において、さらに性能を向上させたとしても、実用化の可能性は極めて低いからである。時点3において、開発努力の成果によって、左側の曲線が最も左側に移行すれば、B点の水準の性能は製品化への実行が可能となる。逆に、開発能力が左側曲線で最も左側にあり、性能がA点にあるような場合には、R&D資源は研究活動に重点投入される必要があるであろう。

以上のように、研究努力と開発努力をその成果の向上と関係づけた、R&D資源投入と成果の関係図を描くことができれば、この図をR&Dマネジメント・ツールとして役立てることができる。

この図の具体的な作成プロセスには、いくつかの問題もあるが、研究努力と開発努力の総量は、第1節で示した研究者の行動記録と投入資金の記録によって計測可能なはずである。また、性能については、ある製品・製法の構成技術要素のチャンピオン・データの加重和によって表示可能となるはずである。そして、安定性は歩留り率をもって計上可能であるし、コスト優位性も原価計算によって計上可能なはずである。

研究開発の成果は、計画とは相容れない偶然によることもあり、長い間数量的な分析がなかなか行なわれなかった領域である。確かに研究開発努力と成果を測定することには多くの難しさが伴うであろう。しかし、今とにかく計測可能なものから測ってみると、意外に難なく研究開発の問題構造が明快に把握できるようになるかも知れない。

## 第4章 結論と要約

本論においては、技術革新のプロセスに内在しているディレンマを、研究活動と開発活動との間にある二律背反の問題として検討してきた。研究活動と開発活動との間にどのような二律背反があるのかについて、各々の活動の特徴を、研究開発部門メンバーに対するインタビューを通じて明らかにしてきた。

研究活動に特徴的な傾向を、研究志向型研究者という理念型にモデル化し、また開発活動に特徴的な傾向を開発志向型研究者にモデル化した。ここでは、研究活動の焦点と関心が要素技術の性能向上にあるのに対して、開発活動の焦点と関心は安定性とコスト優位性の増進にあることが明らかにされた。

そして、要素技術間のトレードオフ関係から演繹して、研究活動と開発活動間の二律背反を、性能と安定性およびコスト優位性とのトレードオフとして表現した。

また、本論においては研究開発活動を管理するためのツールの開発をいまひとつの目的としてきた。そこで、研究開発活動の努力と成果の測定と計量化のための方途を模索した。技術的Sカーブの描写のための努力と成果の測定がそれである。

さらに、技術的Sカーブと要素技術間のトレードオフ関係を描写することによって、研究開発資源の配分を適正化するためのツールができるという提案を示した。

日本企業は、新製品・製法の立ち上げが速く、そこに強みをもっているといわれている<sup>(8)</sup>。しかし、その高い創設力に載せるべき質の高いアイデアの多くを欧米に依存している。他方、欧米企業は質の高いアイデアを生み出し、そこに強みをもっている。しかし、その高い独創性にもかかわらず、それを立ち上げてゆく創設力に乏しく、アイデアの実用化に弱みを持ち、その多くを日本企業に委ねている。

こうした状況は、研究活動と開発活動という技術革新におけるディレンマを端的に示しているといえよう。そこには、研究と開発への資源配分のアンバラ

ンスを見ることができる。こうした問題に対しては、研究開発資源の配分をいかに適正化するかが、解決のための重要な鍵となっている。そのための手法として、1つの試行的ツールとして提示したものが、本論の「R&D資源配分のためのマネジメント・ツール」である。

研究開発活動を計測し計量化し、本論で提示した試行的ツールを実際を使用して、またその試験的使用によって現われる様々な効果を分析することが、今後の重要な課題である。

#### 注

- (1) Abernathy, W. J. *The Productivity Dilemma*, The Johns Hopkins University Press.(1978).
- (2) Wilson, J. Q. "Innovation in Organization : Notes Toward a Theory", in J. D. Thompson; *Organizational Design and Research*, University of Pittsburgh Press. Chap. 5, pp. 193-223 (1966).
- (3) 技術革新のプロセスにおいて、どのような研究活動および開発活動が含まれるかについては、以下のような諸説がある。
 

Rogers, E. M. *Diffusion of Innovations*, New York ; The Free Press. Chap. IV (1962).

Rogers, E. M. & Shoemaker, F. F. *Communication of Innovation : A Cross Cultural Approach*, New York : Free Press (1971).

Robertson, T. *Innovative Behavior and Communication*, New York : Holt, Rinehart and Winston (1971).

Zaltman, G. & G. Brooker, "A New Look at the Adoption Process", working paper, Northwestern University(1971).

Zaltman, G., R. Duncan & Holbek, *Innovations and Organizations*, John Wiley & Sons, Chap. 2 § 1-§ 3. p. p. 51-70 (1973).

Baker, S. W. & T. L. Whisler, "The Innovative Organization : A Selective View of Current Theory and Theory and Research", *The Journal of Business*, Vol. 40, p. p. 462-469 (Oct. 1977).

Shepard, H. A. "Innovation-Resisting and Innovation-Producing Organizations", *The Journal of Business*, Vol. 40, p. p. 470-477 (Oct. 1967).
- (4) Carlsson, B. et al., "R & D Organizations as Learning System", *Sloan Management Review*, p. p. 1-15 (Spring 1976).
- (5) 小山和伸『技術革新の戦略と組織行動』(白桃書房1992)第3章 第2節参照



- (6) この事例は、株式会社日立製作所における、筆者自身によるインタビューに基づく(1993.10).
- (7) この行動記録調査表は、東京大学教養学部基礎科学科、平澤冷教授と筆者との協力により作成されたものである。
- (8) Florida, R. & M. Kenney, *THE BREAK THROUGH ILLUSION*, Basic Books, (1990).

フロリダは同著の中で、日本企業の創設力(開発力)を Follow-through なる概念をもって説明し、アメリカ企業の独創力(Breakthrough)よりも、具体的な経済発展を実現する能力として注目している。