

○亀岡秋男, 高柳誠一 (東芝)

## はじめに

テクノストックの概念を企業レベルに敷衍し、コーポレート・テクノストック・モデル(Corporate Technology Stock Model)をもとに、企業における研究開発投資額の策定ガイドラインや効果的な投資のタイミング設定について、数値シミュレーションにより検討してきた<sup>(1)(4)(6)(7)(8)(11)</sup>。また、テクノストックの考えをベースに研究開発の生産性および効果的な共同研究のあり方等についても、マクロ的な視点から考察してきた<sup>(4)(6)(7)(8)(11)</sup>。テクノストック・モデルの重要な基本コンセプトは“陳腐化”であり、研究開発により蓄積された技術ストックは、時間の経過とともに減少し、その速度は技術進歩や市場の成熟度により分野によって異なる、という考え方である。これらの検討結果から、この概念モデルは実務経験と照らして妥当であり、企業の研究技術開発プロセスの全体を理解し、技術経営の諸問題をマクロ的に把握して、技術戦略を構想する上でかなり有効なものになりうると考えている。<sup>(12)</sup>

ここでは、幾つかの性格の異なる事業分野、つまり陳腐化率の異なる複数の事業分野を持つ企業を想定し、多角企業のテクノストック・モデルを検討する。

## 1. コーポレート・テクノストックの数値モデル

これまでコーポレート・テクノストック・モデルとして、単層構造モデルと二層構造モデルを導入してきた。単層モデルはテクノストックを全体的に同じものとして捉える。二層モデルでは、テクノストックの内容をより基盤的なものと、より応用的なものに分け、前者を基盤技術ストック(Basic Technology Stock)、後者を応用技術ストック(Application Technology Stock)と呼び、それぞれの内容と形態などの特性を類別して考える。したがって単層構造モデルは二層構造モデルの一形態で、場合によってこれらを使い分けることができる。これらテクノストックと研究開発リソース投入や売上高の関係は、数値モデルとして次のように数式的に表わすことができる。<sup>(1)</sup>

コーポレート・テクノストック・モデルに基づき、テクノストックの総量は応用技術ストック (*Application Technology Stock*) と基盤技術ストック (*Basic Technology Stock*) の和として、二層モデルでは次式のように表される。

$$S_t = S_{at} + S_{bt} = (1 - \rho_a)S_{at-1} + F_{at} + (1 - \rho_b)S_{bt-1} + F_{bt} \quad \dots\dots\dots (1)$$

但し  $S_t$  : t年度のテクノストック総量

$S_{at}$  : t年度の第1類テクノストック (応用技術テクノストック)

$S_{bt}$  : t年度の第2類テクノストック (基盤技術テクノストック)

$\rho_a, \rho_b$  : 第1類および第2類のテクノストックの陳腐化率

$F_{at}, F_{bt}$  : t年度に追加された第1類および第2類のテクノストック増加分

これら増加分は、所定のタイムラグの年数だけ遡った年の研究開発費投入に比例し次式で表される。

$$F_t = F_{at} + F_{bt} = \varepsilon_{at}E_{t-m_a} + \varepsilon_{bt}E_{t-m_b} \quad \dots\dots\dots (2)$$

但し  $\varepsilon_{at}, \varepsilon_{bt}$  : 研究開発費が第1類、第2類のテクノストックに転換する研究開発効率

$m_a, m_b$  : 研究開発費が各テクノストックに転化するまでのタイムラグ

$E_t$  : t年度の研究開発費

研究開発費とテクノストックの関係は (1)式と(2)式から次のように表される。

$$S_t = (1 - \rho_a)S_{at-1} + \varepsilon_{at}E_{t-m_a} + (1 - \rho_b)S_{bt-1} + \varepsilon_{bt}E_{t-m_b} \dots\dots\dots (3)$$

ここで、 $m_a = m_b = m$ ,  $\varepsilon_{at} + \varepsilon_{bt} = \varepsilon_t$  とすると、

$$S_t = (1 - \rho_a)S_{at-1} + (1 - \rho_b)S_{bt-1} + \varepsilon_t E_{t-m} \dots\dots\dots (4)$$

なお、単層構造モデルにおけるテクノストックは、(4)式において基盤技術ストックと応用技術ストックを統合し、次式のように単純化して表わすことができる。

$$S_t = (1 - \rho)S_{t-1} + \varepsilon_t E_{t-m} \dots\dots\dots (5)$$

このように二層構造モデルは単層構造モデルを拡張したもので、単層モデルは二層モデルの一つの形態である。また、研究開発における重要な指標である、売上高研究開発比率は次式によって表される。

$$\frac{E_t}{Q_t} = \frac{(1 + \beta)^{m-1} [\beta + \{(1 - \gamma_b)\rho_a + \gamma_b\rho_b\}]}{\kappa\eta\varepsilon} \dots\dots\dots (6)$$

単層構造モデルの場合には次式で表される。

$$\frac{E_t}{Q_t} = \frac{(1 + \beta)^{m-1} (\beta + \rho)}{\kappa\eta\varepsilon} = \frac{\rho}{\kappa\eta\varepsilon} (1 + \frac{\beta}{\rho})(1 + \beta)^{m-1} \dots\dots\dots (7)$$

ちなみに、(6)式の  $(1 - \gamma_b)\rho_a + \gamma_b\rho_b$  は、テクノストック総量の陳腐化率であり、 $\rho$  で置き換えると(7)式となり、(6)式で  $\gamma_b = 0$  とした場合の特殊ケースで、二層構造テクノストック・モデルは、単層の基本モデルを拡張したものであることが分かる。

## 2. 多角企業のコーポレート・テクノストック・モデル

ここでは、複数の事業分野を持つ多角企業について考える。多くの企業は性格の異なる事業を複数持っているのが一般的であり、これまでのコーポレート・テクノストック・モデルをベースにして“多角企業モデル”に拡張する。

多角企業は、一般的に図1のような組織図で表され、各事業部の技術開発および製品開発部門の他に、本社研究所を持つことも多い。

以下、この企業のコーポレート・テクノストック総量および、A、B、C 各事業分野のテクノストックは、先の諸式から簡単に次のように表すことが出来る。

$$S_{Tt} = S_{At} + S_{Bt} + S_{Ct} \dots\dots\dots (8)$$

$$S_{At} = (1 - \rho_A)S_{At-1} + F_{At} \dots\dots\dots (9-1)$$

$$S_{Bt} = (1 - \rho_B)S_{Bt-1} + F_{Bt} \dots\dots\dots (9-2)$$

$$S_{Ct} = (1 - \rho_C)S_{Ct-1} + F_{Ct} \dots\dots\dots (9-3)$$

となる。但し

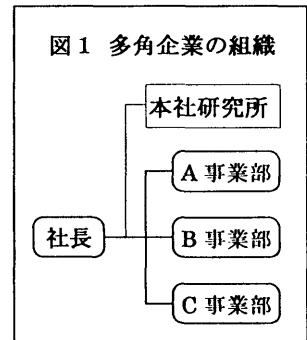
$S_{Tt}$  : t年度のテクノストック総量

$S_{At}, S_{Bt}, S_{Ct}$  : t年度の A、B、C事業分野のテクノストック

$\rho_A, \rho_B, \rho_C$  : A、B、C事業分野のテクノストックの陳腐化率

$F_{At}, F_{Bt}, F_{Ct}$  : t年度に追加されたA、B、C事業分野のテクノストック増加分

$\varepsilon_{At}, \varepsilon_{Bt}, \varepsilon_{Ct}$  : 研究開発費がA、B、C事業分野のテクノストックに転換する研究開発効率



$m_A, m_B, m_C$  : 研究開発費が各テクノストックに転化するまでのタイムラグ

$E_{At}, E_{Bt}, E_{Ct}$  :  $t$ 年度のA、B、C事業分野の研究開発費

基本モデルでは、テクノストックに研究者・技術者の技術活動が加わって新製品が創出される。この効率をテクノストックの商品化効率  $\eta_A, \eta_B, \eta_C$  と定義する。 $t$ 年度の売上は新製品の量に比例するものと仮定し、比例係数を  $\kappa_A, \kappa_B, \kappa_C$  とする。これらは販売能力、または販売効率に関する係数である。これらのパラメータを用いると一般的に次の関係式が成立する。

簡単のため  $\kappa_{it}, \eta_i, \varepsilon_i$  は、それぞれの年度に関係なく一定値をとるものとする。A、B、C各事業の売上高研究開発比率は、二層構造モデルでは (6)式より、それぞれ次式によって表される。

$$\frac{E_{At}}{Q_{At}} = \frac{(1 + \beta_{Aa})^{m-1} [\beta_{Aa} + \{(1 - \gamma_{Ab})\rho_{Aa} + \gamma_{Ab}\rho_{Ab}\}]}{\kappa\eta\varepsilon} \dots\dots\dots (10-1)$$

$$\frac{E_{Bt}}{Q_{Bt}} = \frac{(1 + \beta_{Ba})^{m-1} [\beta_{Ba} + \{(1 - \gamma_{Bb})\rho_{Ba} + \gamma_{Bb}\rho_{Bb}\}]}{\kappa\eta\varepsilon} \dots\dots\dots (10-2)$$

$$\frac{E_{Ct}}{Q_{Ct}} = \frac{(1 + \beta_{Ca})^{m-1} [\beta_{Ca} + \{(1 - \gamma_{Cb})\rho_{Ca} + \gamma_{Cb}\rho_{Cb}\}]}{\kappa\eta\varepsilon} \dots\dots\dots (10-3)$$

次に、全社売上高総額と研究開発投資総額は、A、B、C事業分野の総和として、

$$Q_T = Q_{At} + Q_{Bt} + Q_{Ct} \dots\dots\dots (11-1)$$

$$E_T = E_{At} + E_{Bt} + E_{Ct} \dots\dots\dots (11-2)$$

となり、全社売上高研究開発比率は、二層および単層モデルについてそれぞれ、

$$\frac{E_T}{Q_T} = \frac{(1 + \beta_{Aa})^{m-1} [\beta_{Aa} + \{(1 - \gamma_{Ab})\rho_{Aa} + \gamma_{Ab}\rho_{Ab}\}] Q_{At} + (1 + \beta_{Ba})^{m-1} [\beta_{Ba} + \{(1 - \gamma_{Bb})\rho_{Ba} + \gamma_{Bb}\rho_{Bb}\}] Q_{Bt} + (1 + \beta_{Ca})^{m-1} [\beta_{Ca} + \{(1 - \gamma_{Cb})\rho_{Ca} + \gamma_{Cb}\rho_{Cb}\}] Q_{Ct}}{\kappa\varepsilon \times Q_T}$$

$$\frac{E_T}{Q_T} = \frac{\{ (1 + \beta_{Aa})^{m-1} (\beta_{Aa} + \rho_A) \} Q_{At} + \{ (1 + \beta_{Ba})^{m-1} (\beta_{Ba} + \rho_B) \} Q_{Bt} + \{ (1 + \beta_{Ca})^{m-1} (\beta_{Ca} + \rho_C) \} Q_{Ct}}{\kappa\eta\varepsilon \times Q_T} \dots (12-1, 2)$$

となる。ところで、 $t$ 年度におけるA、B、C事業分野の売上高の割合をそれぞれ  $\omega_A, \omega_B, \omega_C$  とし、 $\kappa, \eta, \varepsilon$  を簡単のため 1.0 とすると、それぞれのモデルについて、全社売上高研究開発比率は、

$$\frac{E_T}{Q_T} = (1 + \beta_{Aa})^{m-1} [\beta_{Aa} + \{(1 - \gamma_{Ab})\rho_{Aa} + \gamma_{Ab}\rho_{Ab}\}] \omega_A + (1 + \beta_{Ba})^{m-1} [\beta_{Ba} + \{(1 - \gamma_{Bb})\rho_{Ba} + \gamma_{Bb}\rho_{Bb}\}] \omega_B + (1 + \beta_{Ca})^{m-1} [\beta_{Ca} + \{(1 - \gamma_{Cb})\rho_{Ca} + \gamma_{Cb}\rho_{Cb}\}] \omega_C$$

$$\frac{E_T}{Q_T} = \{ (1 + \beta_{Aa})^{m-1} (\beta_{Aa} + \rho_A) \} \omega_A + \{ (1 + \beta_{Ba})^{m-1} (\beta_{Ba} + \rho_B) \} \omega_B + \{ (1 + \beta_{Ca})^{m-1} (\beta_{Ca} + \rho_C) \} \omega_C \dots\dots (13-1, 2)$$

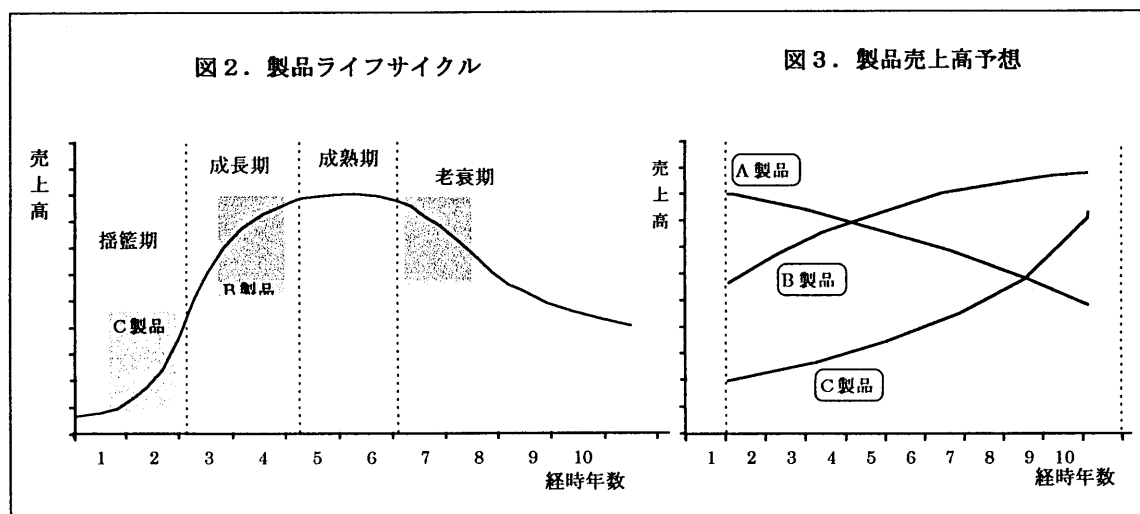
で表される。つまり、全社売上高研究開発比率は、各事業部ごとの売上高研究開発比率の売上高による加重平均となる。事業部門の数が  $j$  個の場合は、一般化して次式のように表すことが出来る。

$$\frac{E_T}{Q_T} = \sum_{i=1}^j (1 + \beta_{Xia})^{m-1} [\beta_{Xia} + \{(1 - \gamma_{Xib})\rho_{Xia} + \gamma_{Xib}\rho_{Xib}\}] \omega_{Xi} \dots\dots\dots (14-1)$$

$$\frac{E_T}{Q_T} = \sum_{i=1}^j \{ (1 + \beta_{Xia})^{m-1} (\beta_{Xia} + \rho_{Xi}) \} \omega_{Xi} \dots\dots\dots (14-2)$$

#### 4. 多角化企業のテクノストック・モデルに関する数値シミュレーション

多角的な事業形態の事例として、製品ライフサイクルの中で成熟度の違う3つのケースについて数値シミュレーションを行う。図2は製品ライフサイクルを示す。現在、A製品は売上高は最も多いが成熟期を迎え市場は徐々に衰退しつつある。現在の売上高は5000ポイントで、売上伸長率はマイナス3%、陳腐化の半減期は10年と設定する。B製品は成長期で売上高はかなり多く今後も成長が期待される。現在の売上高は、4000ポイント、半減期は6年とする。C製品は新規事業で揺籃期にあり今後大きな成長が予想される。現在は1000ポイントの売り上げであるが15%の成長が見込まれ、半減期は4年と短いものとする。



これらの条件のもとで、先の二層構造モデルにより、数値シミュレーションを行った結果を図4に示す。なお、二層モデルでの基盤技術ストックの割合は50%とし、基盤技術の陳腐化率は、簡単のためゼロとして計算した。

このような性格の異なる複数の製品事業にどのように研究開発資源を配分するかは、難しい問題であるが、こうした数値シミュレーションにより、意思決定のための思考実験を客観的に行うことが出来る。企業全体としての研究開発予算が足りない場合は、これらの3者をどのようにウエイトつけるか、そのためには、モデルをより現実的に改善していく必要がある。こうした諸条件を考察しながら、これまで経験的に体得しているメンタル・モデルに近づけるよう適切な修正を進めていく考えである。

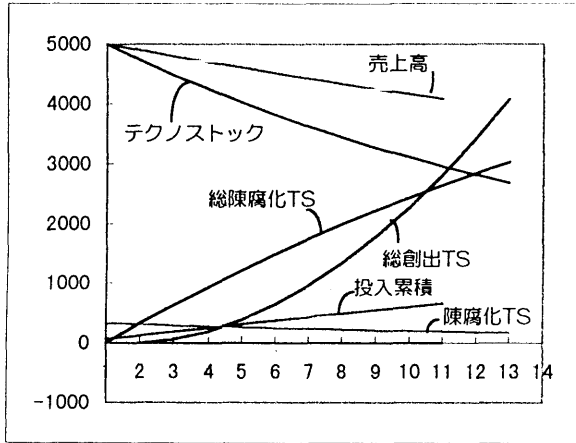
#### おわりに

以上、極めて単純化したモデルによる考察であるが、企業の研究開発現場にいた技術経営の経験から見ても、こうしたシミュレーション・モデルによる思考実験は多くの示唆を含んでいる。数値自体を絶対視するにはまだまだ不十分などころも多いが、経験的に持っているメンタル・モデルを数値モデルでビジュアルに働かせることで、そのインターアクションのやり取りの中で定量的な思考が働き意思決定に役立つことができると考えている。この場合、重要なことは人間が主体であることでモデルはその思考を助ける役目である。したがってモデルは直感的にきりだけ理解しやすい単純明快なものが望ましいと考えている。

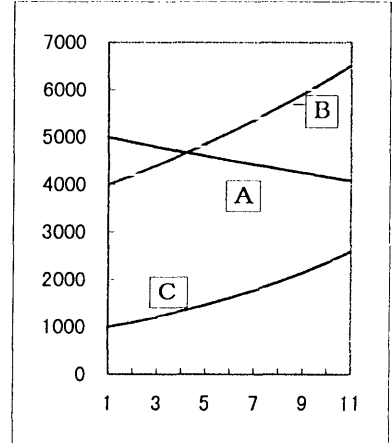
ここでは、投入からテクノストックの蓄積までの流れをマクロにフォローしているが、さらに利益を捉え、研究開発への再投資の循環プロセスを検討したい。コーポレート・テクノストック・モデルをさらにブラッシュアップして行く考えであり、いろいろの観点からご支援ご協力をお願いしたい。

図4. 多角化企業の複数事業への研究開発投資の数値シミュレーション実験

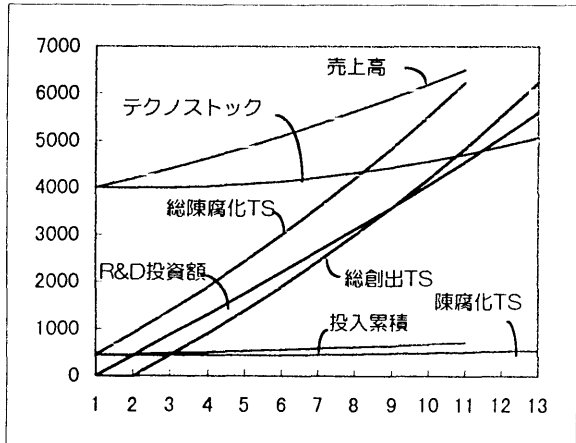
A 製品事業



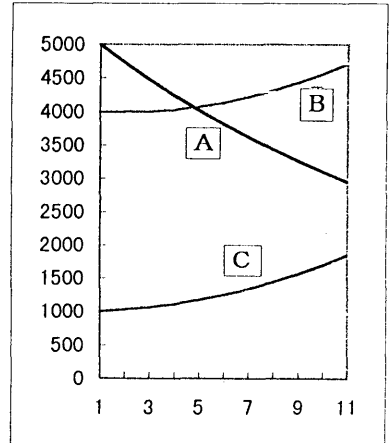
売上高



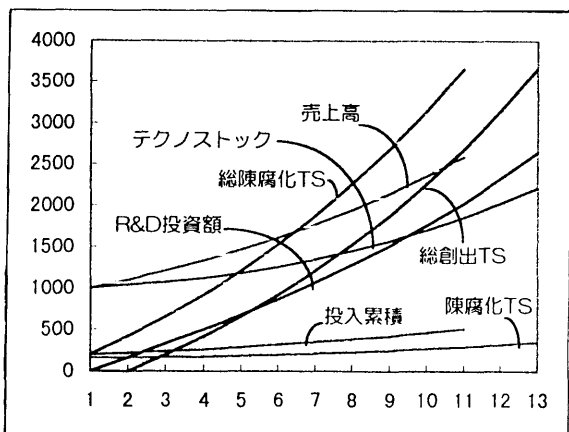
B 製品事業



テクノストック



C 製品事業



R&D投資額

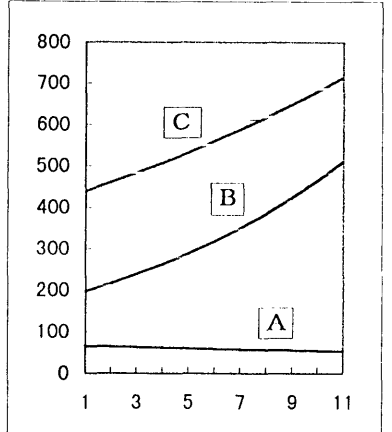
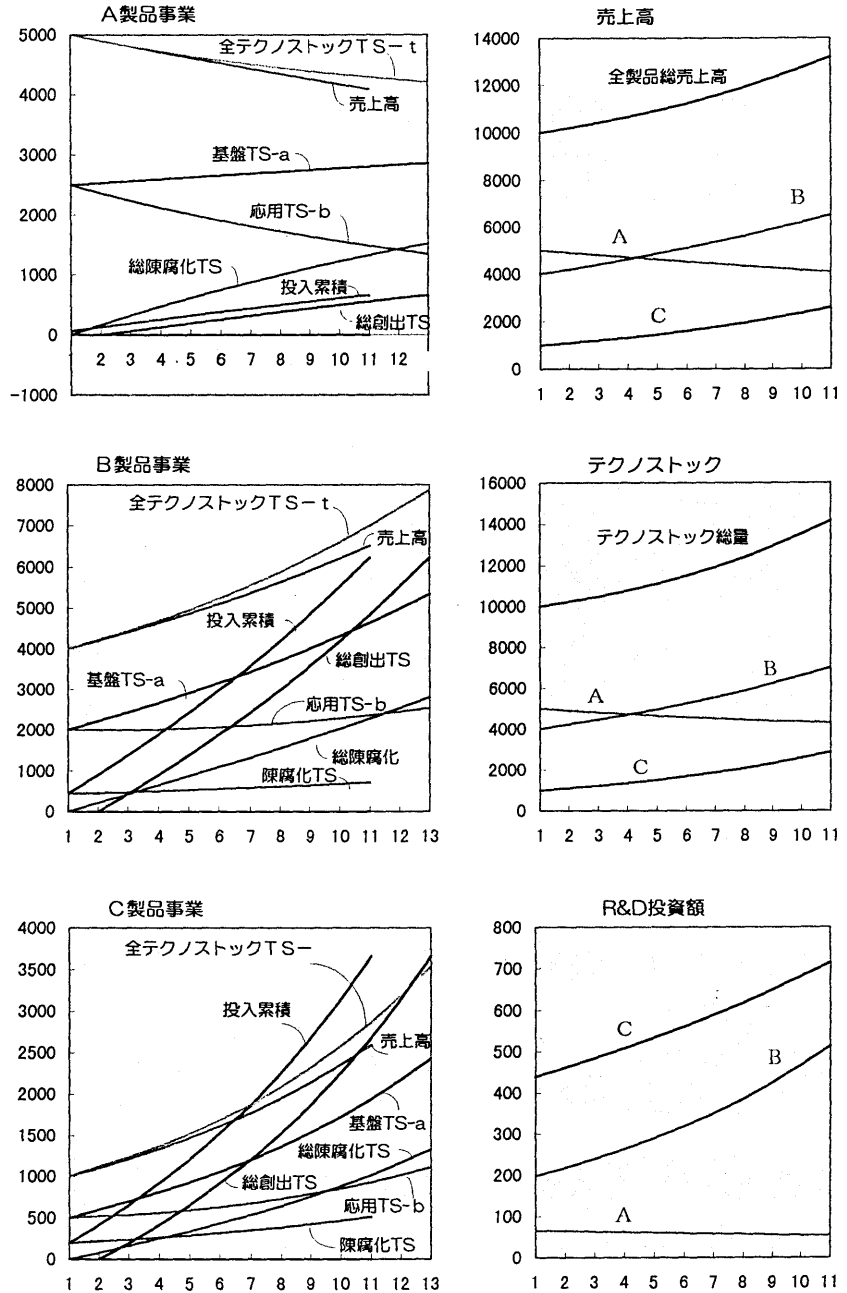


図4. 多角化企業の複数事業への研究開発投資の数値シミュレーション実験



## 参考文献

1. 高柳誠一「資産の視点から見た研究開発」研究・技術計画学会 第8回シンポジウム講演要旨集 P3-6 (1993)
2. 後藤晃、木城昇、鈴木和志、滝野沢守 「研究開発と技術進歩の経済分析」 経済分析 第103号 経済委企画庁 経済研究所 (1986)
3. 三菱総合研究所「日米テクノストックの定量的比較に関する調査研究」 財団法人 機械振興協会経済研究所委託事業 調査委員会委員長：渡辺千俣) (1991)
4. 亀岡秋男 「企業におけるR&D知的生産性向上のフレームワーク：リサーチ・オン・リサーチの視点から」 日本開発工学会 特別セミナー 平成6年2月1日 (1994)
5. 亀岡秋男 “ 知的財産と経済的効果に関する産業別の実態 — 電気機械産業 — ” 平成5年度「知的財産の経済的効果の関する基本問題調査研究」委託調査研究結果報告書 財団法人 知的財産研究所 p255 - 275 (1994)
6. 亀岡秋男 “ 測定の方法から見た所見と課題および対策への展望 ” 科学技術庁科学振興総合研究「知的生産活動における創造性支援に関する基礎的研究（平成5年度）」知的生産性指標に関する基礎研究報告書 財団法人 社会経済生産性本部 (1994)
7. 高柳誠一、亀岡秋男、有信陸弘 「コーポレート・テクノストック・モデル — 企業の研究開発費総額策定とR&D資産の蓄積・維持・活用 — 」 研究・技術計画学会 第9回年次学術大会講演論文集 P92-95, (1994)
8. Akio Kameoka “Evaluating Research Projects at Toshiba - A Conceptual Framework Design for Evaluating Research and Technology Development Programs - ”First International Conference on Evaluation of Research and Technology Developments (RTD), Thessaloniki, Greece April, 1995 The journal SCIENTOMETRICS, Vol. 34, No.3, 427-439 December, 1995)
9. 高柳誠一、亀岡秋男、有信陸弘 「コーポレート・テクノストック・モデル—二層構造モデルの試み—」 研究・技術計画学会 第10回 年次学術大会 講演論文集 P72-79, (1995)
10. Seii-chi Takayanagi “Corporate Technology Stock Model -Determining Corporate R&D Expenditure-”, Journal of Science Policy and Research Management, Vol.10 No.3-4 (1996)
11. Akio Kameoka “Corporate Technology Stock Model and Its Application -Determining RTD Investments and Technology Transfer for Collaboration”, International Conference on Technology Management : University/Industry/Government Collaboration, Istanbul Turkey June 24-26 1996, International Journal of Industry and High Education, Vol.12 December (1996)
12. Akio Kameoka, Sei-ichi Takayanagi “A Corporate Technology Stock Model -Determining Total R&D Expenditures and Effective Investment Patterns”, Portland International Conference on Management of Engineering and Technology (PICMET'97), Portland, Oregon, USA July 27-31 1997, Proceedings of the PICMET'97 p497-500, (1997.7)