

シンポジウム

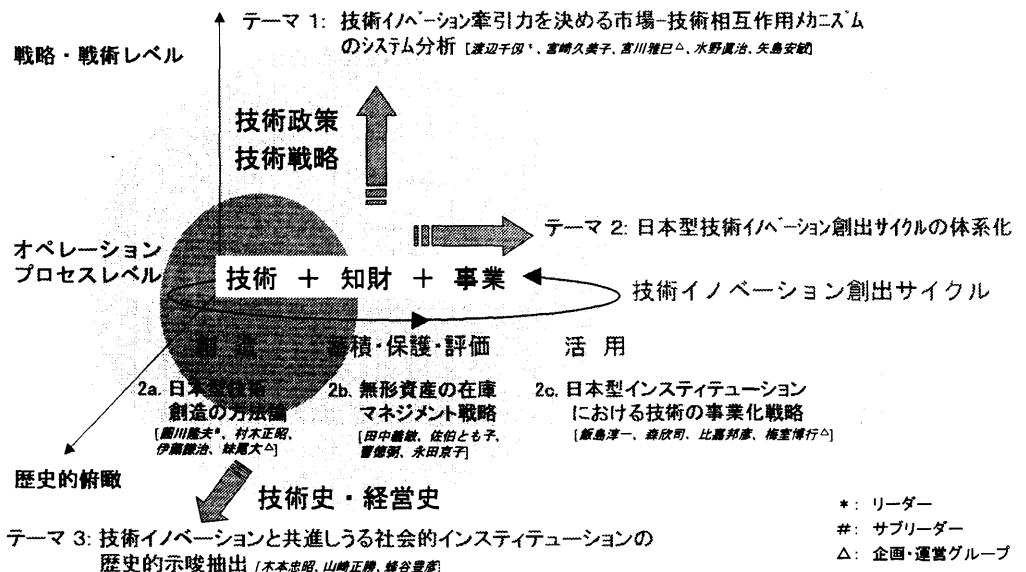
インスティテューショナル技術経営学のCOE拠点形成

渡辺 千仞 (東京工業大学大学院社会理工学研究科教授, 21世紀COE研究拠点リーダー)

日本経済の再生は、世界経済の活性化に不可欠であり、両者の好循環の構築が不可欠である。そのトリガーは技術経営の再生にあり、それは、「技術の創造から事業化までのイノベーション創出サイクルの活性化は、①国家戦略・社会制度、②企業レベルでの組織文化、③時代背景といった3つの次元で象られるインスティテューションとの共進のダイナミズムに大きく依存する」との認識を基本とする。両者がうまく適合すれば、イノベーションも進み、同時にインスティテューションも進化発展し、両者の共進的發展の好循環が図られる。日本型技術経営のシステムは、本来的にこの面の卓越した機能を内包し、世界的モデルと注目されてきた。それが、20世紀末に、反面教師に急転したのは、時代背景が情報化社会、成熟経済にシフトしている中で、国家戦略・社会制度や、企業の組織文化の方は、工業化社会、成長経済時の成功の慣性に流され、共進的ダイナミズムに齟齬を来たしたことによる。

本拠点は、以上の認識をベースに、この共進のダイナミズムを、解明し、可視化・操作化し、インスティテューションの異なる国でも適用可能な世界価値に昇華する新たな革新的な学術分野を構築することをねらいとする。このため、来年度設置予定のMOT大学院(イノベーションマネジメント研究科)との連携の下、それを受け皿とする研究センターとして、「インスティテューショナル技術経営学」への革新を図る拠点を形成するものである。

このような着想は、理工学分野のCOEを自負する東工大にあって、自然科学と社会科学とを融合させた社会理工学研究科を軸とする全学あげての学際的取り組みにより初めて可能となったものである。中でも、経営工学専攻の、開発・生産面を軸としたオペレーションレベルから、順次、技術経済システム講座(1992-)の戦略・戦術レベルや、技術構造分析講座(1996-)の歴史的俯瞰の視点も内包しつつ、エンジニアリング知的財産講座(2002-)の知的財産管理をも包摂し、開発・生産・流通・消費・廃棄のサイクルの総合価値を工学的・システムの的に研究・教育する58年の累積努力に負う。世界的に見ても、理工学分野の研究・教育を基盤に、下図に示す、戦略・戦術、オペレーション、歴史的俯瞰というインスティテューションの3軸に沿った3視点に立脚して、先の野心的命題に取り組む学術的研究・教育は本拠点をもって嚆矢とする。



1. インスティテューショナル技術経営学 (SIMOT) の構図

(1) インスティテューション - 拠点構想の根底

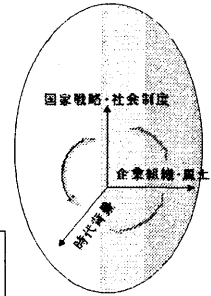
Douglass North (1993年 ノーベル経済学賞) の認識

The humanly devised constraints that structure human interaction. They are made up of formal constraints (e.g. rules, laws, constitutions), informal constraints (e.g. norms of behavior, conventions, self-imposed codes of conduct), and their enforcement characteristics. Together they define the incentive structure of societies and specifically economies (North, 1994).

技術経営システムの認識

『国家戦略・社会制度』、「企業レベルでの組織・風土」、「時代背景」等イノベーションを生み出す『土壌』

インスティテューションの3次元

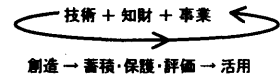


(2) 技術経営 (MOT: Management of Technology)

① 技術の創造から事業化までのイノベーション創出サイクルの経営

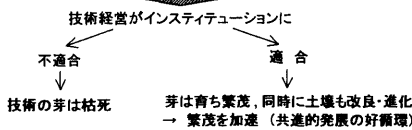
② 「イノベーション創出サイクル」は、「インスティテューション」との共進 (changing together) のダイナミズムに大きく依存。
(イノベーションのみならず「インスティテューション」の方も進化)

イノベーション創出サイクル



(3) インスティテューショナル技術経営学 のコンセプト

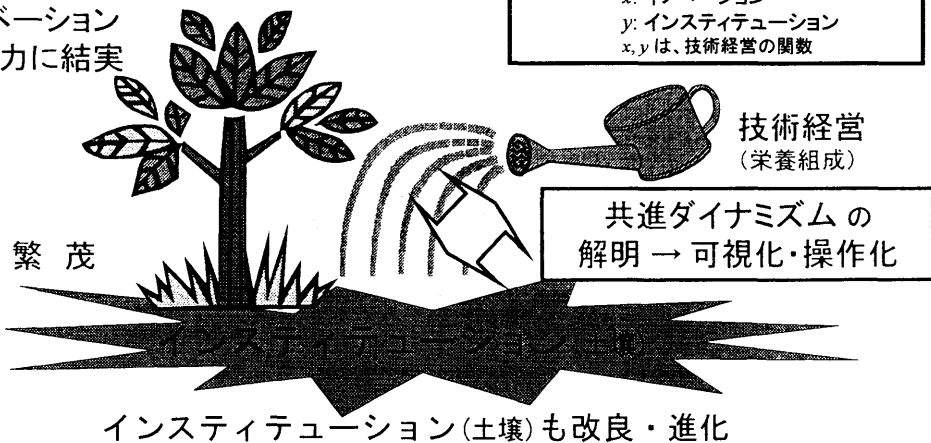
インスティテューション (土壌) に蒔かれた「技術の種」+ 技術経営 (栄養組成)



$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = x \cdot (a + bx + cy) \\ \frac{dy}{dt} = y \cdot (d + ex + fy) \end{cases}$$

x: イノベーション
y: インスティテューション
x, y は、技術経営の関数

イノベーション
牽引かに結実



工学アプローチ: 原理にさかのぼって徹底説明 → ブラックボックスをすべて開いて中のかくりを見えるようにする (可視化) → 誰でも使えるようにする (操作化)

2. 共進ダイナミズム - システムマッチ・システムヒッチ

2.1 日米逆転

(1) GDP成長要因

$$V = F(X, T) \quad V: \text{GDP}; X: \text{労働}(L), \text{資本}(K); T: \text{技術ストック} \quad (1)$$

$$\frac{dV}{dt} = \Delta V, \frac{dX}{dt} = \Delta X, \frac{dT}{dt} = \Delta T \approx R \quad (\text{研究開発投資})$$

$$\frac{\Delta V}{V} = \sum_{X=L,K} \left(\frac{\partial V}{\partial X} \cdot \frac{X}{V} \right) \frac{\Delta X}{X} + \left(\frac{\partial V}{\partial T} \cdot \frac{T}{V} \right) \frac{\Delta T}{T} \approx \sum_{X=L,K} \left(\frac{\partial V}{\partial X} \cdot \frac{X}{V} \right) \frac{\Delta X}{X} + \frac{\partial V}{\partial T} \cdot \frac{R}{V} \quad (2)$$

TFP成長率

TFP成長率 (技術進歩)

(2) TFPの急減

- ① 労働の高齢化、低成長下での資本の老朽化のもとで、産業の競争力は畢竟、全要素生産性 (TFP) 上昇率に依存。
- ② しかるに、80年代に圧倒的優位を誇った日本の全要素生産性上昇率は、90年代に急減 (表1, 図2-1)。

表1 日米のGDP成長率とTFP成長率の貢献の推移 - 年率%

	1960 - 1973	1975 - 1985	1985 - 1990	1990 - 1995	1995 - 2001
日本	9.7 (6.2)	2.2 (1.4)	3.4 (2.8)	2.0 (-0.3)	1.8 (0.2)
米国	3.8 (1.5)	3.4 (1.0)	3.2 (0.9)	2.4 (0.9)	3.9 (1.5)

a. GDP成長率 (TFP成長率)

資料: 1960-1973: OECD Economics Studies (1988).

1975-2001: European Competitiveness Report (2001)

3

(3) 技術の限界生産性の激減

- ① TFP成長率は技術の限界生産性と研究開発強度の積:

$$\text{全要素生産性上昇率} = \text{技術の限界生産性} (\partial V / \partial T) \times \text{研究開発強度} (R/V)$$

- ② 日本の研究開発強度は世界最高レベル (インプット大国: 図2-2)。
- ③ 格段に低い技術の限界生産性 (80年代のトップから90年代には最低レベルに激減: 図2-3)。

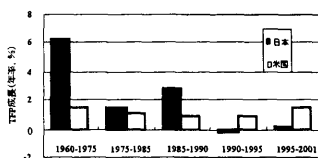


図2-1. 日米のTFP成長率の推移 (1960-2001).

Sources: 1960-1973: OECD Economic Studies (1988).
1975-2001: European Competitiveness Report (2001).

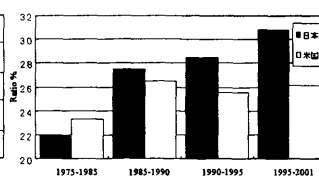


図2-2. 日米の研究開発強度 (GDP当り研究開発費)の推移 (1975-2001).

Source: White Paper on Japan's Science and Technology (annual issues).

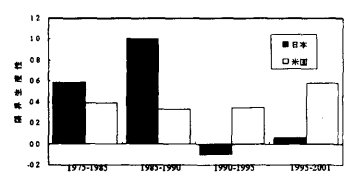


図2-3. 日米の技術の限界生産性の推移 (1975-2001).

a. 技術の限界生産性 = TFP成長率/研究開発強度

Sources: European Competitiveness Report (2001).
White Paper on Japan's Science and Technology (annual issues).

4

(4) 技術の限界生産性激減の構造的背景

技術の限界生産性の激減は、

- ① 工業化社会で培った製造技術が情報化社会とシステムヒッチをきたしていること、
- ② 工業化社会のビジネスモデルに執着する結果、成長軌道の選択ミスに陥っていること、に起因。

1) 情報化社会とのシステムヒッチ

(1)式は、情報化社会への適応性も加味して(3)式のように展開される。

$$\ln V = A + \alpha \ln L + \beta \ln K + \gamma_1 \ln T + \gamma_2 D_x \ln T \quad (3)$$

$$D_x = \frac{1}{1 + e^{-aT-b}} = \frac{1}{1 + e^{-\frac{\ln((1-\eta)/\eta)T + \ln(1-\eta) - \eta}{\eta} \frac{1-\epsilon}{\epsilon}}} \quad (4)$$

V: GDP, L: 労働, K: 資本, T: 技術ストック, A: スケールファクター, $\alpha, \beta, \gamma_1, \gamma_2$: 労働・資本・技術の弾性値;
 η : 情報化社会への転換期, ϵ : 同開始時点, a, b : 経過ペース

工業化社会から情報化社会へのパラダイムシフトへの適応性を示す係数 γ_2

表2 日米製造技術のGDPへの貢献軌道の比較 (1975-1999)

	α	β	γ_1	γ_2	adj. R ²	DW
日本	0.586 (5.77)	0.370 (3.00)	0.367 (3.39)	-0.009 (-4.08)	0.995	1.42
米国	0.667 (6.87)	0.312 (7.36)	0.357 (10.31)	0.003 (1.65)	0.990	1.17

γ_2 は情報化社会へのパラダイムシフト後の技術弾性値

米: 製造業技術の情報化社会へのシステムマッチ, 日: 同システムヒッチ

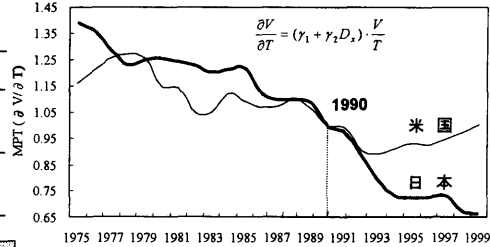


図3 製造技術の限界生産性の推移 (1975-1999)
 - 指数: 1990=1.

5

情報化社会へのシフトに対する製造技術のシステムヒッチ

技術の限界生産性の減少がシステムヒッチの結果によるものであることを実証 → 技術の限界生産性関数:

$$MPT = F(V, T, D_x) \quad (5)$$

2次項までテーラー展開:

$$\ln MPT = A + \alpha_1 \ln V + \alpha_2 \ln T + \alpha_3 \ln D_x + \beta_1 \ln V \ln T + \beta_2 \ln V \ln D_x + \beta_3 \ln T \ln D_x \quad (6)$$

「製造技術の限界生産性の情報化へのシフト弾性値」:

$$\frac{\partial \ln MPT}{\partial \ln D_x} = \alpha_3 + \beta_2 \ln V + \beta_3 \ln T + \alpha_1 P + \beta_2 P \ln D_x + \beta_1 P \ln T \quad (7)$$

$$P \equiv 2 r_T \ln T, \quad \frac{\partial \ln V}{\partial \ln T} = r_1 + r_2 D_x \equiv r_T \quad (8)$$

米国が1990年代以降この弾性値に弾み(システムマッチ)がついているのに対し、日本は減少傾向(ヒッチ)。

表3 製造技術の限界生産性支配要因の日米比較 (1980-1999)

	α_1	α_2	α_3	β_1	β_2	β_3	adj. R ²	DW
日本	2.430 (2.68)	0.517 (0.52)	0.249 (1.88)	-0.129 (-1.56)	0.064 (1.81)	-0.101 (-3.48)	0.990	0.90
米国	1.550 (5.26)	-0.402 (-1.33)	-0.241 (-10.25)	-0.082 (-1.92)	0.009 (1.84)	0.028 (4.95)	0.990	1.38

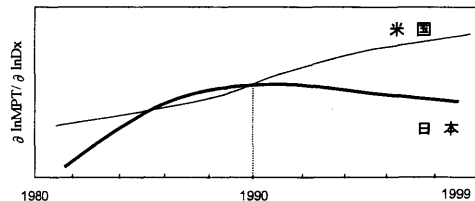


図4 製造技術の限界生産性の情報化シフト弾性値の推移の日米比較 (1980-1999) - 指数: 1990=100.

6

2) 成長軌道の選択ミス - 成長追求路線と新機能創出路線

表4 成熟経済への移行に対する認識、対応の日米比較

	移行の認識	対応
日本	素早く認知	従来モデルを踏襲 ^a
米国	認識がスロー ^b	新モデルに転換

a 1960年代の高度成長の成功に執着（組織の慣性）
 b 建國来の一貫した発展に対する慢心・常時大国であり続けるとの錯覚（組織の慣性）

日本
成長追求路線（高成長をバネに成長を追及）

$$\frac{\Delta V}{V} = \sum_{X=L,K} \left(\frac{\partial V}{\partial X} \cdot \frac{X}{V} \right) \frac{\Delta X}{X} + \frac{\partial V}{\partial T} \cdot \frac{R}{V}$$

$$\frac{\partial V}{\partial T} = aV \left(1 - \frac{1}{FD} \right)$$

米国
新機能創出路線（新機能の創出をテコに成長を維持）

$$\frac{\Delta V}{V} = \sum_{X=L,K} \left(\frac{\partial V}{\partial X} \cdot \frac{X}{V} \right) \frac{\Delta X}{X} + \frac{\partial V}{\partial T} \cdot \frac{R}{V}$$

$$\frac{\partial V}{\partial T} = aV \left(1 - \frac{1}{FD} \right)$$

a: 普及係数
FD = V/V: 新機能創出

図5. 成長軌道の選択.

米国における新機能創出路線へのスイッチ：生産性回復への累積努力
 - 80年代の一連の競争力戦略の累積努力が90年代初のインターネット商用化等と共鳴

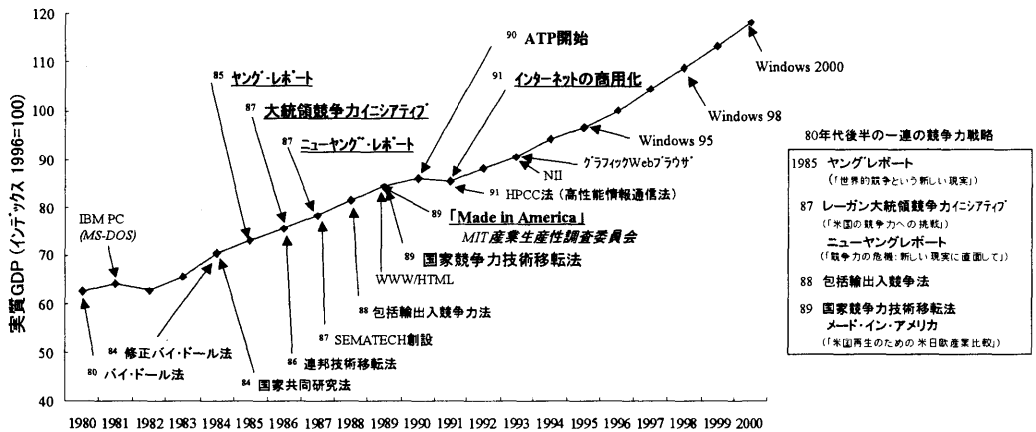


図6. 米国における生産性回復への累積努力.

2.2 ハイテク企業の好対照

(1) 技術多角化と収益構造 - 研究開発投資の質的深化と収益率

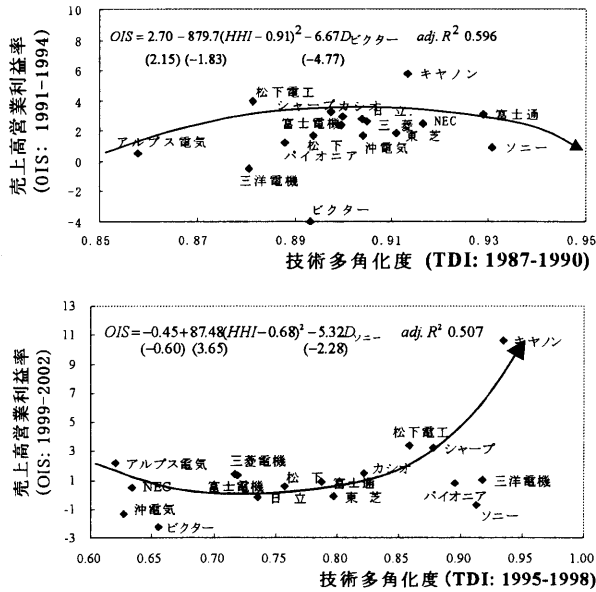


図7. 電気機械17社の技術多角化と売上高営業利益率の相関(単独).

- ① かつては、技術多角化は概して売上高営業利益率を阻害（選択と集中を奨励）。
- ② 最近では、技術多角化が売上高営業利益率に貢献。
- ③ これは、研究開発投資の収益率への貢献が、投資の量的増大から質的深化へと変化したことを示唆。

9

(2) 企業規模に応じた組織の慣性

- ① 企業規模に応じた組織の慣性による技術多角化への取り組みの違いを、以下の式を用いて分析

$$\ln TDI = \alpha + \beta_1 \ln R/S + \beta_2 D(S) \ln R/S$$

- ② 1995-1998年の間の主要電気機械企業10社を対象に、前節で求めたD(S)を用いて各種の ε 、 η のバリエーションをもとに相関分析を実施
- ③ AICを比較することにより、最も説明力の高いロジスティック・グロース型ダミー関数D(S)の軌道を特定。

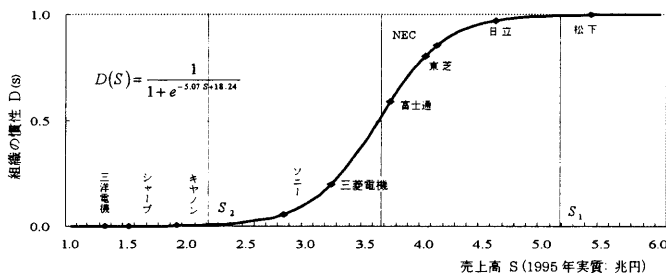


図8. 電気機械代表10社の売上高に対応した組織の慣性の軌道(1995-1998).

$$D(S) = \frac{1}{1 + e^{\ln\left(\frac{\eta}{1-\eta}\right)\left(\frac{1}{S_1 - S_0 + \varepsilon}\right)S - \ln\left(\frac{\eta}{1-\eta}\right)\left(\frac{S_0 + \varepsilon}{S_1 - S_0 + \varepsilon}\right)}} = \frac{1}{1 + e^{-5.07 S - 18.24}}$$

1995-1998

$S_0: 2.7, S_1: 5.1, \varepsilon: 0.9, \eta: 0.0005$

10

3. 共進ダイナミズムの歴史的検証

1) 日本の経営システムの共進的發展サイクル

- ① 1980年代までの日本の経営システムは、欧米の先進的な技術・システムを積極的に学習し、自らのインスティテューションの中で共進的に発展 (欧米が注目・発奮 → 日本が学習・発展 のサイクル)

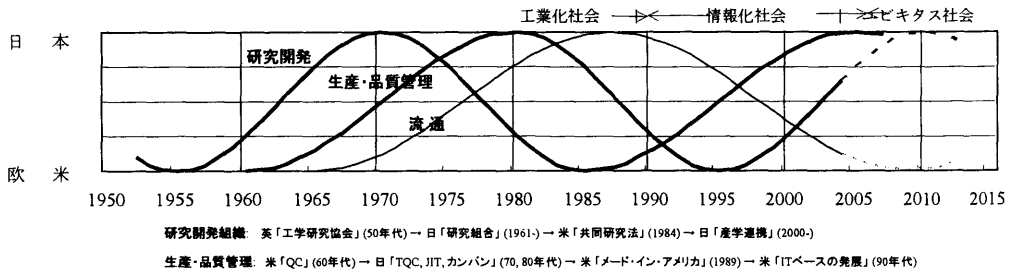


図9. 日本の経営システムの共進的發展のサイクル.

- ② たとえばTQMは、米国のQCを、本学経営工学、資源化学研究所及び東大の工学陣が、産業界を巻き込んで日本のインスティテューションの中で、工学的アプローチにより共進的に発展させて世界価値へ昇華。
- ③ MOTも、その発祥は、1980年代の米国 (日本企業の競争力に対抗すべく、当時の米産業界は技術経営教育に着目し、それが90年代の競争力回復に奏功)。

2) 学習努力の追跡

$$\text{学習係数 } \lambda = \alpha - \beta \cdot e^{-\gamma t} \quad (9)$$

$$\lambda = -\frac{\partial \ln P}{\partial \ln T} \quad P: \text{技術の実質価格}; T: \text{技術ストック}; \alpha, \beta, \gamma > 0: \text{係数}$$

λ は、学習努力に応じて、図10のように変化。

$$\begin{aligned} \lambda &= \alpha - \beta \cdot e^{-\gamma(t)t} \equiv \alpha - \beta e^{-(b_1 \cdot t + b_2 \cdot t^2 + b_3 \cdot t^3)} \\ &\approx (\alpha - \beta) + \beta \cdot b_1 \cdot t + \beta \cdot b_2 \cdot t^2 + \beta \cdot b_3 \cdot t^3 \end{aligned} \quad (10)$$



図10. 学習係数の変化.

3) 代表的ハイテク企業の学習努力

① 日本の代表的電気機械企業の実証分析

表5 日本の代表的電気機械4社の技術ストックと技術価格の相関 (1980-2003)

$$\ln P = \ln B^t - [(\alpha - \beta) + \beta \cdot b_1 \cdot t + \beta \cdot b_2 \cdot t^2 + \beta \cdot b_3 \cdot t^3] \ln T$$

	$\ln B$	$(\alpha - \beta)$	$\beta \cdot b_1$	$\beta \cdot b_2$	$\beta \cdot b_3$	adj. R ²	DW	1980 + $\frac{b_2}{2 \cdot b_1}$
松下電器	-9.94 (-5.61)	1.45 (4.92)	-0.030 (-5.01)	0.0008 (4.66)	-4.2*10 ⁻⁶ (-1.13)	0.994	2.81	1999
日立	-7.47 (-3.43)	1.11 (2.99)	-0.024 (-2.73)	0.0006 (3.64)	7.9*10 ⁻⁶ (2.13)	0.997	2.34	2000
キヤノン	-7.95 (-3.00)	1.47 (2.31)	-0.045 (-2.05)	0.0019 (2.62)	-3.4*10 ⁻⁵ (-3.37)	0.989	1.98	1992
シャープ	-11.80 (-2.53)	2.15 (-2.07)	-0.034 (-11.42)	0.0010 (10.95)	-2.5*10 ⁻⁵ (-2.57)	0.989	2.01	1997

② 学習係数 $\lambda = -\frac{\partial \ln P}{\partial \ln T} = (\alpha - \beta) + \beta \cdot b_1 \cdot t + \beta \cdot b_2 \cdot t^2 + \beta \cdot b_3 \cdot t^3$
 $\approx (\alpha - \beta) + \beta \cdot b_1 \cdot t + \beta \cdot b_2 \cdot t^2$

③ 4社の学習係数は凹型2次曲線で推移 ($t = -\frac{b_1}{2b_2}$ が最小時点)

13

⑤ 4社の学習係数は、2000年初頭にかけて回復

キヤノン: 1992以降, シャープ: 同1997, 松下電器: 1999, 日立: 2000

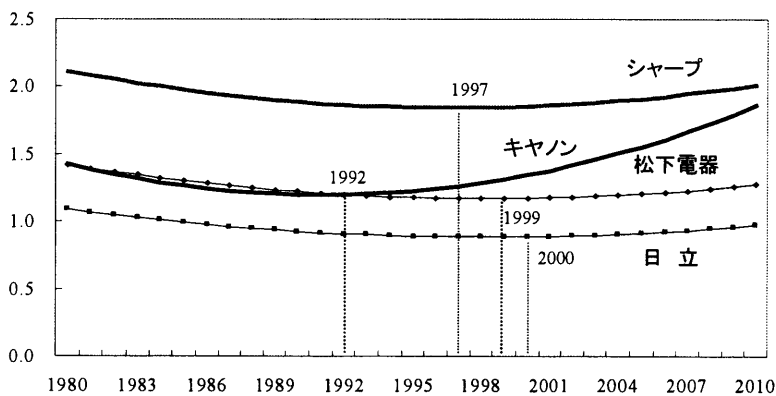


図11. 日本の代表的電気機械4社の学習係数の推移 (1980-2003).

14

4. 日本型技術経営システム復調への構造的うねり

1) 学習努力の新機能創出への奏功

普及カーブ
$$Y^*(t) = \frac{K_k}{1 + a_k e^{-bt} + \frac{a_k}{1 - b_k/b} e^{-b_k t} + a_k e^{b_k t^2}}$$

学習効果

動的普及天井

$$K(t) = \frac{K_k}{1 + a_k e^{-bt} + [b(b + 2b_k t)] a_k e^{b_k t^2}}$$

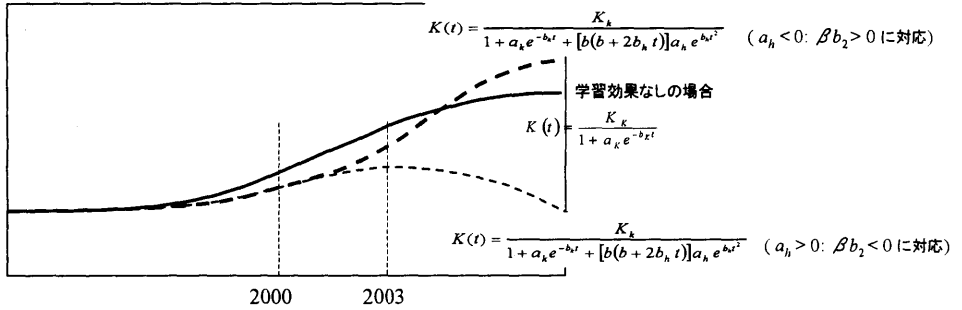
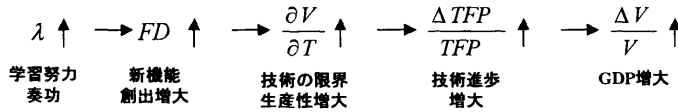


図12. 日本の代表的電気機械の普及天井の軌道。

表5. 図12より、日本の電気機械4社は、2000年初頭にかけて次の好循環軌道への回復兆候が検証。



15

2) 新たな技術革新フェーズへの脱皮

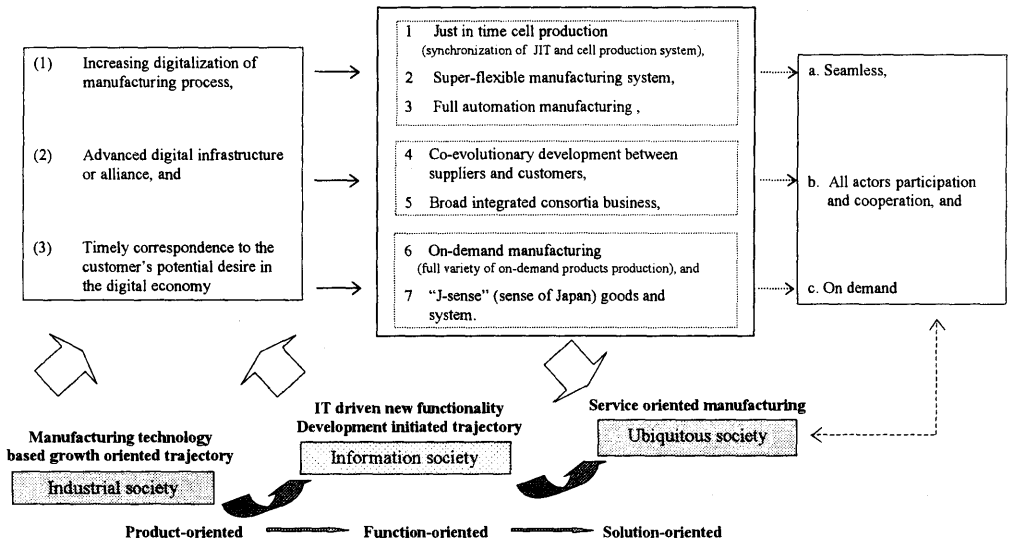


図13. 日本の製造業の新たな技術革新フェーズへの脱皮のうねり。

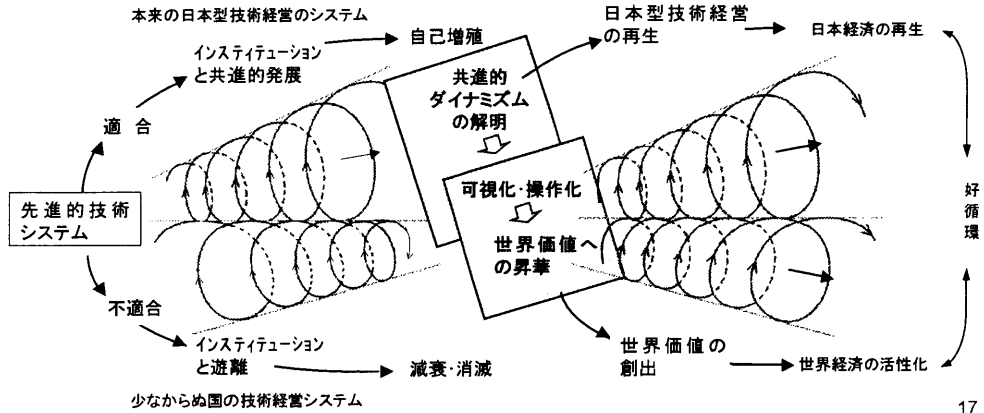
16

5. SIMOTの役割

(1) 日本型共進ダイナミズムの解明と世界価値への昇華

① SIMOTは、「イノベーション創出サイクル」と「インスティテューション」との共進的ダイナミズムを、

イ) 解明 → ロ) 可視化・操作化 → ハ) 世界価値に昇華



17

(2) 拠点形成計画

1) 革新性

	従来の支配的研究教育	本拠点の研究教育
① ねらいの革新性	日本の技術経営の説明と改良	日本の事例を中心として、イノベーションとインスティテューションとの共進的ダイナミズムを解明
② アプローチの革新性	社会科学的アプローチ： 現象分類、トレース	3軸工学アプローチ：可視化・操作化 (戦略・技術レベル、オペレーションレベル、歴史的俯瞰)
③ ビジョンの革新性	日本あるいは特定の国の国際競争優位	世界各国の相互発展に役立つ世界価値の創出（世界価値への昇華）

2) 時代的意義

- ① 日本経済の再生は、世界経済の活性化に不可欠。両者の好循環が不可欠。そのトリガーは技術経営の再生。
- ② 日本経済再生への処方箋・学術基礎・研究教育人材を提供。同時に、世界経済再活性化への重要な知的貢献。
- ③ 日本主導の学術・経済両面の稀有な国際貢献の地帯を開拓。

18