

# 3A10 技術サービス価格及び研究開発投資内部収益率の 同時計測

—計測手法の開発と実証分析 (1955-1993) —

○渡辺千仞 (東京工業大学)

## 1. 序 論

技術経営戦略において研究開発投資の収益性の計測がつとに重要化してきている。また、我が国技術革新構造の質的評価の重要性が叫ばれて久しい。しかるにこれらに応える評価・計測手法開発の努力は必ずしも十分とは言えない。本分析は、このような課題への挑戦として、技術サービス価格及び研究開発投資内部収益率の同時計測手法の開発を試みるとともに、開発した手法を用いて、1955-1993年の我が国の製造業を対象とした実証分析を行い、昨今の企業の研究開発離れの構造的要因を明らかにし、本手法が技術経営戦略検討に有効であることを示した。

## 2. 計測手法の開発

労働・資本等に対応する技術の本来的価格—技術サービス価格 Pt は次のように表される [2, 3]。Pt = (1-gs)(Rls \* Dl + Rms \* Dm + Res \* De) + Rks \* Pstc (1)

Pstc は技術資本のサービス価格で次のように表される。

$$Pstc = \frac{Dk(r+\rho)(1-gs)}{(1-ct)} \quad (2)$$

$$\therefore \frac{Dk(1-gs)}{(1-ct)} = \int_0^{\infty} Pstc * e^{-(r+\rho)t} dt = \frac{Pstc}{(r+\rho)}$$

Rls, Rks, Rms, Res は研究開発費を構成する人件費・資本・原材料・エネルギーの費用を、Dl, Dk, Dm, De は、それぞれのデフレーターを、gs, ct は政府支援の割合及び法人税率を、r 及び ρ は研究開発投資内部収益率及び技術の陳腐化率を示す。

研究開発内部収益率 r は次の式で表される。

$$e^{mr} = \int_0^{\infty} \frac{(\sigma V)}{(\sigma T)} e^{-(r+\rho)t} dt = \frac{(\sigma V)}{(\sigma T)} / (r+\rho) \quad (3)$$

m, V, T は研究開発から実用化までのリードタイム、付加価値及び技術知識ストックを示す。

Table 1 Data Construction and Sources of Data

### Data Construction

Y (production) = (1985 gross cost<sup>1)</sup> 1985 gross cost: gross cost at 1985 fixed prices  
 L (labor) = (number of employed persons<sup>2)</sup> x (working hours<sup>3</sup>),  
 K (capital) = (capital stock<sup>4)</sup> x (operating rate<sup>5</sup>),  
 M (materials: intermediate inputs except energy) = (1985 intermediate inputs<sup>6</sup>) - (1985 gross energy cost<sup>7,8,9</sup>),  
 E (energy) = (final energy consumption<sup>7</sup>), and  
 T (technology) = GTCt-m + (1-ρ)Tt-1,  
 GTCt-m: gross technology cost in time t-m  
 m: time lag from R&D to commercialization<sup>9</sup>  
 ρ: rate of obsolescence of technology<sup>9</sup>  
 Lr (labor for technology) = (number of researchers<sup>10</sup>) x (working hours<sup>10</sup>)  
 Kr (capital stock of R&D: KR) x (operating rate<sup>11</sup>)  
 KRt = GTCt + (1-ρkr)KRt-1  
 ρkr: rate of obsolescence of capital stock for R&D (inverse of the average of lifetime of tangible fixed assets for R&D<sup>11</sup>)  
 Mr (materials for R&D<sup>12</sup>)  
 Er (energy for R&D<sup>12</sup>)  
 GLC (gross labor cost) = (income of employed persons<sup>1</sup> + income of unincorporated enterprise<sup>12</sup>)  
 GCC (gross capital cost) = (gross domestic product<sup>1</sup> - gross labor cost)  
 GMC (gross materials cost) = (intermediate input) - (gross energy cost)  
 GEC (gross energy cost) = expenditures for fuels and electricity<sup>3</sup>  
 GTC (gross technology cost) = R&D expenditure and payment for technology import<sup>9</sup>  
 GTCl (R&D expenditure for labor)<sup>7</sup>  
 GTCk (R&D expenditure for capital)<sup>8,9</sup>  
 GTCm (R&D expenditure for materials)<sup>8,9</sup>  
 GTCe (R&D expenditure for energy)<sup>8</sup>

### Sources of data

- \*1 Annual Report on National Accounts (Economic Planning Agency)
- \*2 Year Book of Labor Statistics (Ministry of Labor)
- \*3 Statistics of Enterprises' Capital Stock (Economic Planning Agency)
- \*4 Annual Report on Indices on Mining and Manufacturing (MITI)
- \*5 Industrial Statistics (MITI)
- \*6 Economic Statistics Annual (The Bank of Japan)
- \*7 Comprehensive Energy Statistics (Agency of Natural Resources & Energy)
- \*8 Report on the Promotion of Research Industry (Institute of Economic Research, Japan Society for the Promotion of Machine Industry, 1990)
- \*9 Report on the Survey of Research & Development (Management and Coordination Agency)
- \*10 Survey on Researchers for the Promotion of Basic and Leading Science & Technology (Institute for Future Technology, 1990)
- \*11 Corporate Tax Law (MITI)
- \*12 Quarterly Report on Unincorporated Enterprise (Management and Coordination Agency)

(3) 式の左辺を一次のテイラー展開で近似すれば、(3) 式は次のように表される。

$$e^{mr} = \frac{1+mr}{1!} = 1+mr = \frac{(\sigma V)}{(\sigma T)}(r+\rho) \quad (4)$$

付加価値  $V$  の生産において、①労働 ( $L$ ) 及び資本ストック ( $K$ ) 並びにそれぞれのコスト ( $GLC, GCC$ ) に含まれる技術ストック関連要素を除去して (表 1 参照) 技術知識ストック ( $T$ ) 及びそのコスト ( $GTC$ ) との重複を排除するとともに [6]、②技術コスト ( $GTC$ ) を技術本来のサービスを反映したものとする ( $GTC \rightarrow GTC\#$ ) ことにより、 $T$  は技術の本来サービスをも反映した、 $L, K$  と整合的な生産要素として扱うことができ、かつ、③各コストが競争的に決定されているとすると、(3) 式右辺の  $\frac{\sigma V}{\sigma T}$  は次のように表される。

$$\frac{\sigma V}{\sigma T} = \left[ \frac{GTC\#}{(GLC+GCC+GTC\#)} \right] * \frac{(V)}{(T)} \quad (5)$$

ここに  $GTC\#$  は技術知識ストック本来の (潜在的) サービス価値をも反映した技術サービスコストであり、「資本価格計測的技術価格」[2]  $Pt' (= GTC/K)$  と技術サービス価格  $Pt$  との比  $Pt'/Pt (= PCT: \text{potential contributability of technology to production})$  を用いて次のように表される。

$$GTC\# = GTC * (Pt'/Pt) \quad (6)$$

(5), (6) を (4) に代入することにより次式が得られる。

$$1+mr = \frac{\frac{(Pt')}{(Pt)} * GTC * V}{[GLC+GCC+\frac{(Pt')}{(Pt)} * GTC] * [T * (r+\rho)]} \quad (7)$$

一方、(2) を (1) に代入することにより、技術サービス価格  $Pt$  は次式で表される。

$$Pt = (1-gs)[(Rls * Dl + Rms * Dm + Res * De) + Rks * Dk(r+\rho)] / (1-ct) \quad (8)$$

(7), (8) の連立方程式を解くことにより、技術サービス価格  $Pt$  及び研究開発投資内部収益率  $r$  が同時計測される。

### 3. 計測・評価

(7), (8) を用いて、日本の製造業の 1955-1993 の技術サービス価格  $Pt$ 、研究開発投資内部収益率  $r$  (IRR) 及び同収益率 (限界生産性: RRR) を計測した結果は表 2 に示す通りである (分析用のデータ構築及びベースデータは表 1 に示す通り)。

#### 3.1 研究開発投資内部収益率

図 1 に研究開発投資内部収益率及び同時期の全国銀行貸出し平均金利の推移を示すが、内部収益率は、1960 年代を通

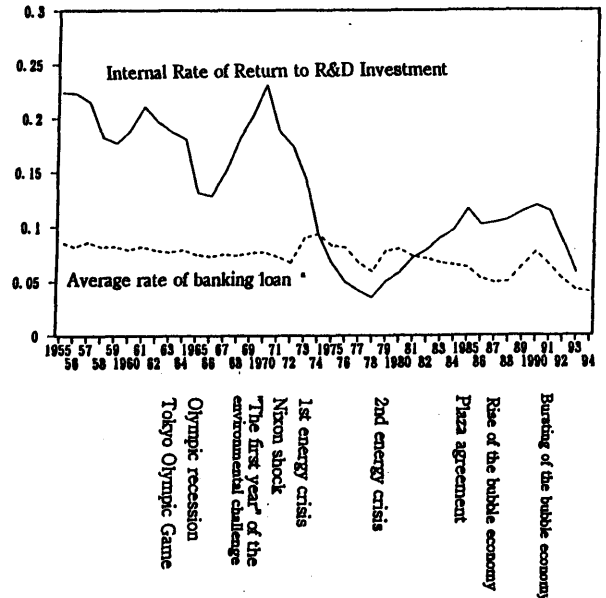


Fig. 1 Trends in Internal Rate of Return to R&D Investment in the Japanese Manufacturing Industry (1955-1993)

a Source: White paper on the Japanese Economy (Economic Planning Agency).

じ高水準を維持し、金利水準を大きく上回るも、70年代に入って急落し、石油危機直後の1974-81の期間は金利の水準を下回るに至ったが、70年代末から回復した。しかし、バブル崩壊後の90年代に入り再び急落し、金利水準に接近するに至ったこ

とが伺われる。

表3に50年代末から

70年代末にかけての米国製造業との比較を示すが、日本の内部収益率水準は米国の水準を上回っており、我が国製造業の旺盛な研究開発投資の構造的背景を示す。

### 3.2 研究開発投資収益率

(限界生産性)

図2は内部収益率と収益率(限界生産性)との関係及び資本と技術の限界生産性との比較の推移を示す。

これから伺われる通り、内部収益率とほぼパラレルなパターンで推移した技術の限界生産性は、資本のそれを上回り、旺盛な研究開発投資の構造的背景を示すが、内部収

Table 2  
Trends in Service Price of Technology, Internal Rate of Return to R&D Investment, and Rate of Return to R&D Investment (Marginal Productivity of Technology) in the Japanese Manufacturing Industry (1955-1993)

	Pt	IRR	RRR
1955	14.50039	0.22418	0.56061
56	15.17078	0.22512	0.55787
57	15.61905	0.21483	0.53461
58	14.83593	0.18182	0.44772
59	15.38419	0.17671	0.43491
1960	16.01628	0.18869	0.46520
61	16.93875	0.21109	0.52440
62	17.58235	0.19868	0.48595
63	18.62039	0.18733	0.46171
64	18.96596	0.18097	0.44557
1965	19.09798	0.13067	0.32728
66	20.33478	0.12798	0.32141
67	21.52500	0.15082	0.37267
68	23.57001	0.18098	0.44560
69	25.42309	0.20218	0.50048
1970	28.49505	0.23063	0.57874
71	28.79631	0.18658	0.45975
72	31.34381	0.17350	0.42694
73	38.44583	0.14417	0.35738
74	40.23387	0.09308	0.24977
1975	49.22974	0.08651	0.20082
76	54.30429	0.05002	0.17248
77	57.14359	0.04210	0.15957
78	58.42367	0.03517	0.14863
79	62.38423	0.04952	0.17183
1980	68.78235	0.05819	0.18620
81	71.62845	0.07171	0.20988
82	73.31712	0.07938	0.22385
83	74.52961	0.09004	0.24392
84	76.24859	0.09734	0.25809
1985	76.82673	0.11603	0.29597
86	73.92110	0.10217	0.26768
87	73.45994	0.10381	0.27054
88	75.55594	0.10669	0.27875
89	78.21811	0.11369	0.29111
1990	80.26114	0.11919	0.30281
91	80.56582	0.11365	0.29103
92	80.50193	0.08704	0.23820
93	79.75580	0.05829	0.18635

Pt: Service Price of Technology  
(index: 1985 capital price of technology = 100)

IRR: Internal Rate of Return to R&D Investment

RRR: Rate of Return to R&D Investment  
(Marginal Productivity of Technology)

Table 3 Comparison of Internal Rate of Return to R&D Investment in the Manufacturing Industry in Japan and the USA

Period	USA	Japan
1958	14 Terleckuj (1974)	18.2
1957-65	16 Griliches (1980)	18.6
1958-75	7 Nadiri (1979)	16.7
1960-77	10 Mansfield (1980)	15.3

a Source: [4].

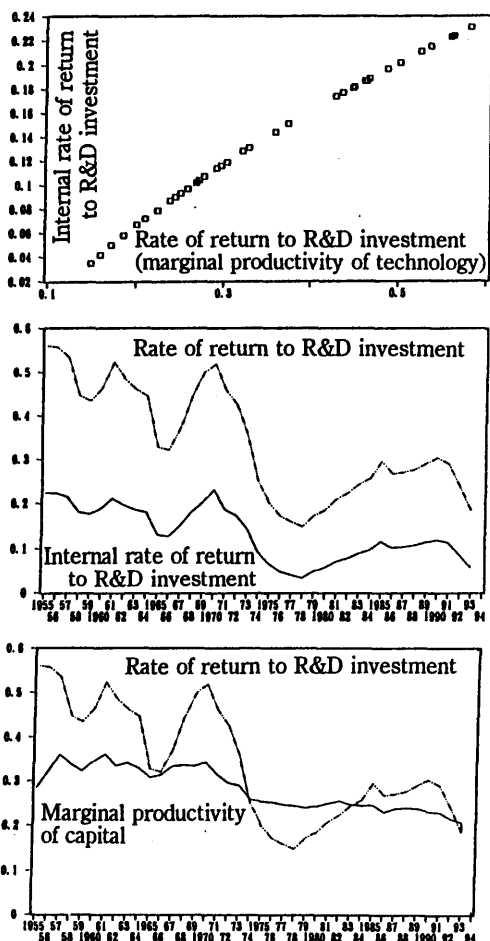


Fig. 2 Relationship between Internal Rate of Return to R&D Investment and Rate of Return to R&D Investment in the Japanese Manufacturing Industry (1955-1993)

益率と同様、80年代にかけて石油危機直後の急落を回復するも、90年代に入り再び急落し、資本の限界生産性を下回るに至っている。これは、昨今の、製造業における「設備投資全体に占める研究開発投資の割り合いの減少傾向」の背景構造の一端を示唆するものである。

### 3.3 技術サービス価格

図3は研究開発支出(含む技術輸入支払額)と技術知識ストックとの割合による技術価格( $Pt'$ :「資本価格計測的技術価格」[2])及び技術サービス価格( $Pt$ )の推移を示す。同一価格で生み出す技術のサービス価値として、前者は毎年の研究開発支出見合い分しか反映してない(単なる資本の投資と同様にしか評価していない[2])のに対して後者は当該支出が将来生み出す技術固有のサービスの価値をも反映している。図3には両者の割合( $Pt'/Pt$ )の推移も示しているがこの割合は「技術固有サービス度」(PCT: potential contributability of

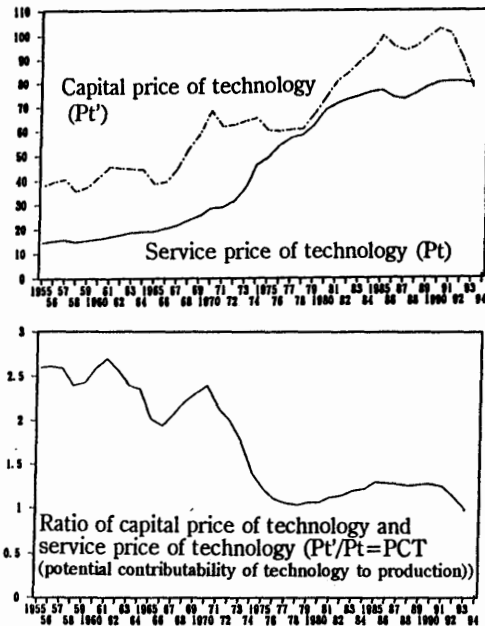


Fig. 3 Relationship between Service Price of Technology ( $Pt$ ) and Capital Price of Technology ( $Pt'$ ) in the Japanese Manufacturing Industry (1955-1993) - index: 1985 capital price of technology = 100

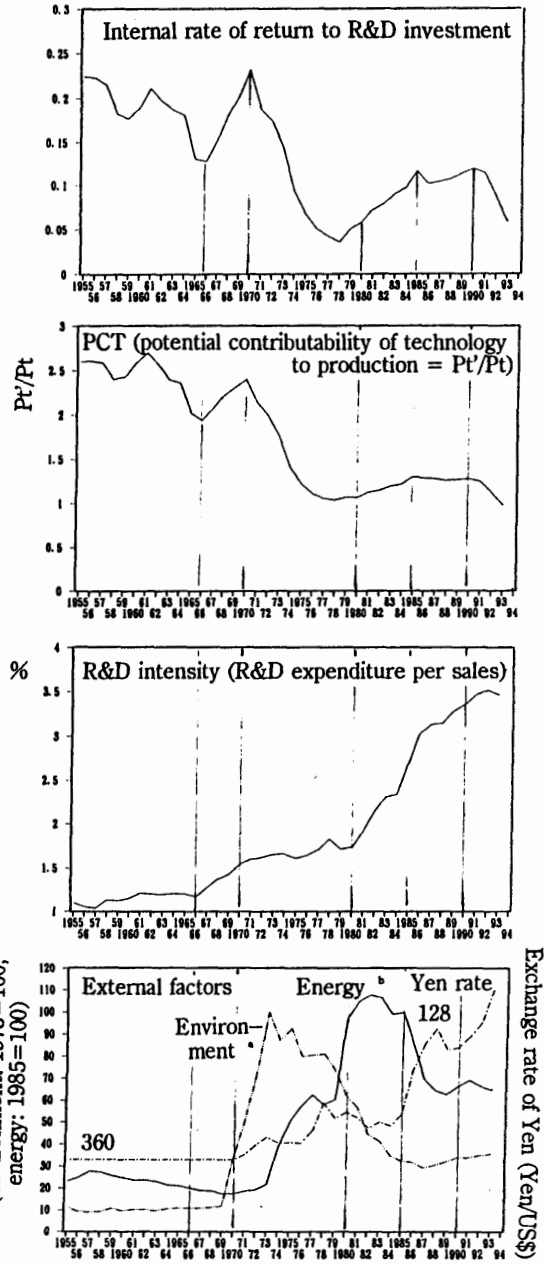


Fig. 4 Trends in Internal Rate of Return to R&D Investment, and Factors Governing its Change in the Japanese Manufacturing Industry (1955-1993)

- a Ratio of R&D expenditure for environmental protection and total R&D expenditure.
- b Prices of energy.



technology to production) とも言うべきもので、(単なる資本投資とは異なった) 技術本来のサービスのレベルを示すものである。図3を見るとこのサービスのレベルも、内部収益率等同様、70年代に急落し、80年代にやや回復したものの、90年代に入って再び急落傾向に入り、最近では、技術固有のサービス価値がほとんど失われる兆候が見られるに至っている。

#### 4. 技術収益率・サービス価格支配要因

各種の危機や外的ショックが技術革新を誘発・刺激してきたことは、つとに指摘されてきたところである(例えば、F. Kramer (1992))[注] )。

3. で分析した我が国製造業の技術収益率やサービス価格の変遷もこれらの要因と無関係には考えられない。

図4は研究開発投資内部収益率及び「技術固有サービス度」とあわせて、70年代以降我が国経済を席卷した公害・環境、エネルギー及び円高の3大危機並びに技術開発努力のトレンドを示したものである。

これらの「危機・外的ショック」や技術開発努力は、表4に示すように、研究開発投資内部収益率及び「技術固有サービス度」と極めて強い相関を有する。表4は、これらと併せて年々の遞減現象も看過できないことを示唆している。

Table 4 Correlation between Internal Rate of R&D Investment and Factors Governing its Change in the Japanese Manufacturing Industry (1955-1993)

PCT (potential contributability of technology to production = Pt'/Pt)

$$\ln(\text{PCT}) = 73.756 - 0.038 t + 0.999 \ln(\text{RS}) - 0.200 \ln(\text{Pe}) - 0.065 \ln(\text{Env}) - 0.354 \ln(\text{YR}) - 0.146 D$$

(-8.84) (7.59) (-8.58) (-3.79) (-4.65) (-3.87)

adj.R<sup>2</sup> 0.977 DW 1.23

IRR (internal rate of return to R&D investment)

$$\ln(\text{PCT}) = 140.346 - 0.075 t + 2.831 \ln(\text{RS}) - 0.287 \ln(\text{Pe}) - 0.091 \ln(\text{Env}) - 1.038 \ln(\text{YR}) - 0.559 D$$

(-7.71) (9.46) (-5.42) (-2.33) (-5.99) (-6.50)

adj.R<sup>2</sup> 0.943 DW 1.63

where t: time trend, RS: R&D intensity, Pe: prices of energy, Env: ratio of R&D expenditure for environmental protection and total R&D expenditure, YR: Yen value (US\$/Yen), and D: dummy variable (1976-78 =1, other years =0).

#### Comparison of coefficients

	t	RS	Pe	Env	YR
PCT	-0.038	0.999	-0.200	-0.065	-0.354
IRR	-0.075	2.831	-0.287	-0.091	-1.038

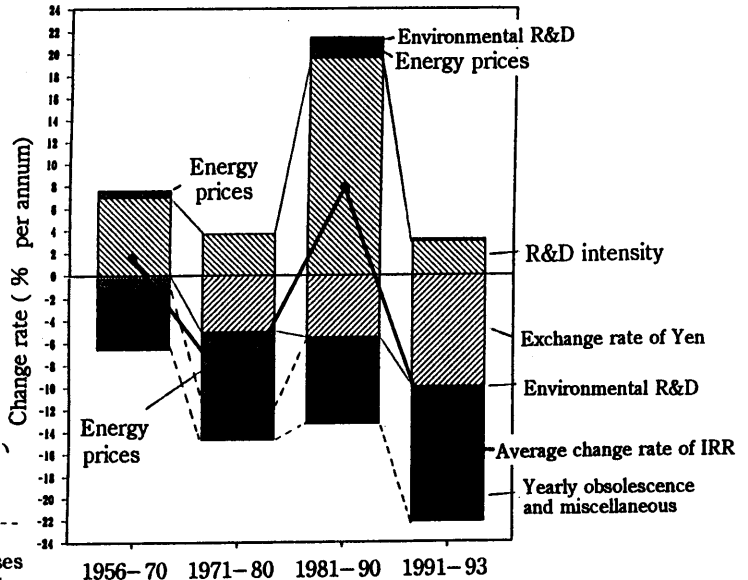


Fig. 5 Factors Contributing to Change in Internal Rate of Return to R&D Investment (IRR) in the Japanese Manufacturing Industry (1956-1993)

[注] "As innovation research has shown, crises and external shocks stimulate not only to a high degree the emergence of solutions to technical problems, but also structural change and economic developments" (Research Policy 21, No. 5, 435).