

# ライフサイクル・コストイングの研究

——その新たな展開の研究を基礎として——

岡 野 憲 治

## 1. ライフサイクル・コストイングの意義と研究のフレームワーク

ライフ・サイクルコスト概念は、1950年代においては兵器システムコスト (Weapon System Cost) としてオペレーションズ・リサーチ研究にも導入されていた<sup>1)</sup>。現在、アメリカ生まれのライフサイクル・コストイングは、イギリス、日本、ドイツにおいて理論と実践の両面において多様な研究が展開されている。例えば、ライフサイクル・コストイングの意義に関しても、次のようである。

ライフサイクル・コストイングとは、利用期間中の支出に関連するすべてのコスト総額を認識する支出評価方法である<sup>2)</sup>。

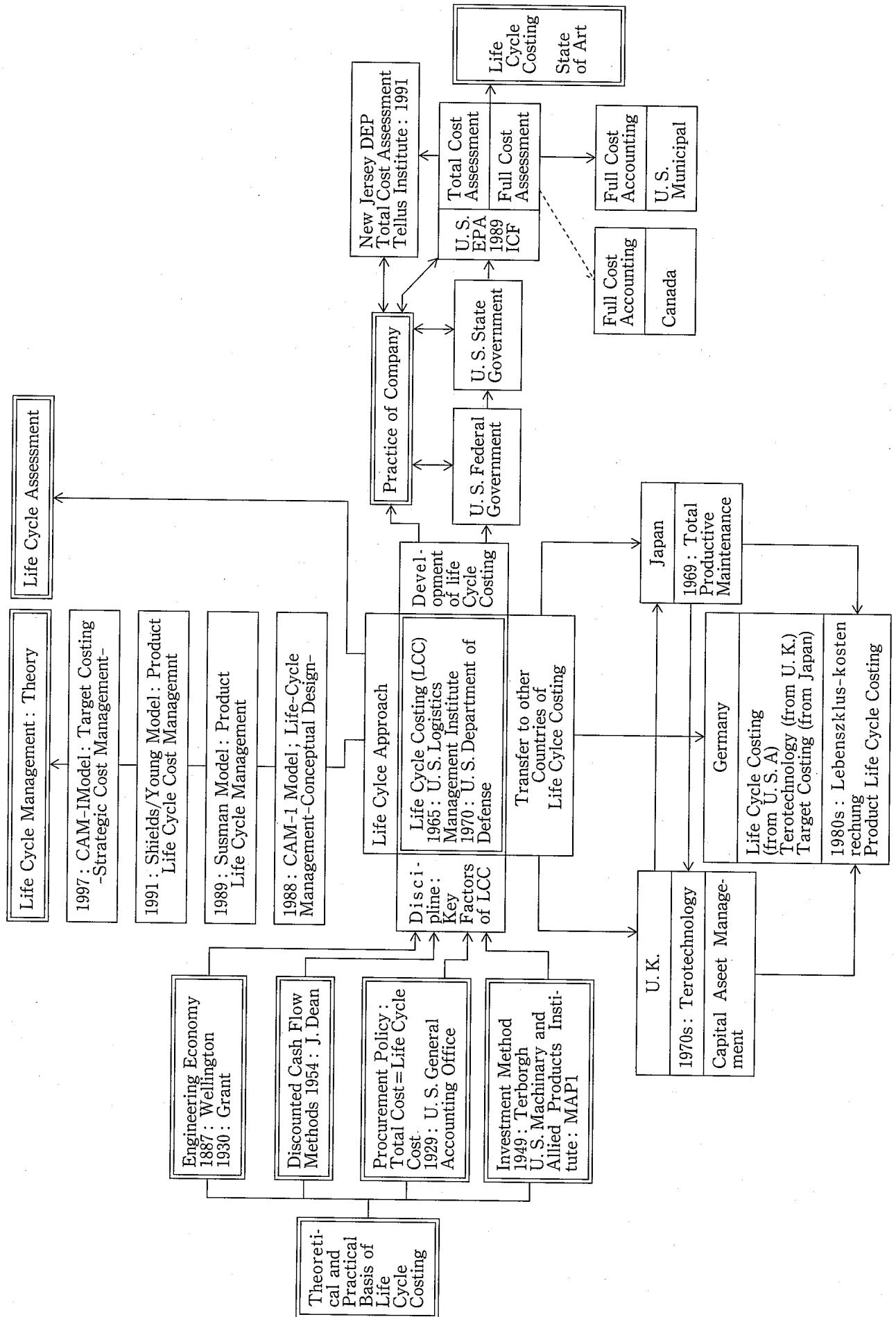
ライフサイクル・コストイング分析は、各代替的活動あるいはプロジェクト・ライフに関連するコストと便益を考慮し、代替案の経済性評価をする方法である<sup>3)</sup>。

ライフサイクルは、ライフサイクル・コストイングの基礎を構成する。ライフ・サイクルコストは、一定のライフ・サイクルに適用されるシステムに関連するコストを対象とし、すべての生産者、サプライヤー、顧客（ユーザー）などの関連コストを含んでいる<sup>4)</sup>。

ライフサイクル・コストイングとは、資産ライフスパンのオーナーシップ・トータル・コストを計算する方法である<sup>5)</sup>。

ライフサイクル・コストイングとは、製品の取得コストおよびオーナーシップ・コストというトータル・コストを評価する経済性分析のプロセスである<sup>6)</sup>。

図1 ライフサイクル・コスト研究のフレームワーク



ライフサイクル・コストイングは、未来コストがお金の時間価値を考慮に入れて計算されなければならないことを要求する<sup>7)</sup>

製品とシステムの計画ライフ・サイクルコストの多くの部分は、システム概念デザインの初期のプランニング中の意思決定の連続から生成することを経験は示している<sup>8)</sup>

ライフサイクル・コストイングが最初の書名となった1965年の報告書には「軍事用の装備品のライフサイクルコストとは、人的資源の使用を引き出す政府の考えについての検討に始まり、装備品のあらゆる部分が軍事用のロジスティクス・システムから取り除かれる間に、政府の発生するコスト総額である。」<sup>9)</sup>

われわれのライフサイクル・コストイング研究の全体像は図1のように示される。本稿では、この仮説に含まれるいくつかの研究を紹介する。

## 2. アメリカ・ライフサイクル・コストイングの研究

### (1) 調達方法としてのライフサイクル・コストイング研究

ライフサイクル・コストイング研究の起源は、1930年代のアメリカ会計検査局のトータル・コストによる調達政策にある<sup>10)</sup>。そしてアメリカ国防総省の調達政策が本格的な研究の起点となり<sup>11)</sup>「ライフサイクル・コストイングとは、ハードウェアおよび関連支援物に関する契約の裁定において、取得価格だけでなく、所有によって発生するオペレーティング・コスト、保全コストおよび他のコストなどを考慮に入れて取得する、あるいは調達する方法である。」<sup>12)</sup>「システムのライフサイクル・コストとは、その全ライフに渡り、政府が当該システムを取得し、所有するためのトータル・コストである。」<sup>13)</sup>

そしてその発展は、行政機関の採用によってなされた。エネルギー省のエネルギー・マネジメント・プログラムにおいてライフサイクル・コストイングとは、利用期間中の支出に関連するすべての原価総額を認識する支出評価方法であ

る。商務省の実験的技術インセンティブズ・プログラムの調達インセンティブは、提示価格が最低ではなくとも、技術革新による効率的な運用により、政府にとってのトータル原価が最小となる製品を、ライフサイクル・コストイングを活用して調達することにある。

## (2) ライフサイクル・コスト・マネジメントの研究

ライフサイクル・コストイング研究の拡大は、ライフサイクルコストマネジメントに関する行政機関と産業界の研究によってなされた。

### (A) 国防総省—顧客側のライフサイクルコストマネジメント—

国防総省は、契約に必要な技法とマネジメント概念を開発した。それらは低いライフサイクル・コストを達成するためのライフサイクルコストマネジメントにおいて体系的に利用される。その体系は、システムのトータル・ライフサイクル・コストに直接影響を及ぼす活動と意思決定マイルストーンにとって鍵となる段階別の取得プロセスから構成されている。図2が、フレームワークにおけるこれら要素の関連を示している。<sup>14)</sup>

### (B) サスマン・モデル—生産者側の製品ライフサイクル・マネジメント—

ライフサイクル・コストイングを製品ライフサイクル・マネジメントへと拡張するサスマンのフレームワークは、製品ライフサイクルを収益の創造とコストの低減という2つの視点と統合する。収益の創造は、その起源をマーケティングとビジネス戦略に置き、コストの低減は、その起源をデザイン・エンジニアリングとプロジェクト・マネジメントにしている。このモデルでは、生産者は、ライフ・サイクル利益の追求が求められる。<sup>15)</sup>

### (C) シールズ＝ヤング・モデル—生産者側の製品ライフサイクルコストマネジメント—

図2 ライフサイクル・コスト・マネジメントのフレームワーク

活動 (ACTIVITY)	ミッションの分析	マイルストーン0	マイルストーン1	マイルストーン2	マイルストーン3
		構想の研究	表明と有効性確認	フルスケール開発	製造と配備
・アフォードビリティ (AFFORDABILITY)	△	▲	▲	▲	▲
・ライフサイクル原価の見積 (LIFE CYCLE COST ESTIMATE)			▲	▲	▲
・原価の計算 (COSTING)			△	△	△
・デザイン・ツー・コスト (DESIGN TO COST)		△	▲	▲	▲
・価値工学 (VALUE ENGINEERING)				▲	▲
・価値工学のインセンティブズ (VALUE ENGINEERING INCENTIVES)				▲	▲
・信頼性改善保証 (RELIABILITY IMPROVEMENT WAR- RANTIES)					▲
・取得戦略 (ACQUISITION STRATEGY)		▲	▲	▲	▲
・調達プランニング (PROCUREMENT PLANNING)	▲	▲	▲	▲	▲
・プログラム・マネジメント (PROGRAM MANAGEMET)		▲	▲	▲	▲
・プロダクト・プランニング (PRODUCT PLANNING)	△	△	▲	▲	▲
・統合的ロジスティクス・サポート (INTEGRATED LOGISTICS SUPPORT) 統合的ロジスティクス分析 (INTEGRATED LOGISTICS ANALYSIS)	△	▲	▲	▲	▲
・信頼性 (RELIABILITY) と保全性 (MAINTAINABILITY)	▲	▲	▲	▲	▲
・品質プログラム (QUALITY PROGRAM)		▲	▲	▲	▲
・標準化 (STANDARDIZATION) と仕様決定 (SPRCIFICATIONS) プログラム		▲	▲	▲	▲
・部品 (PARTS) コントロール		△	△	△	△
・コンフィギュレーション・マネジメント (CONFIGURATION MANAGEMENT)				▲	▲
・テストと評価 (TEST & EVALUATION)		△	△	▲	▲
・人的資源と訓練 (MANPOWER&TRAINNING)		▲	▲	▲	▲
・仕様決定と標準化 (SPECIFICATIONS & STANDARDS)		▲	▲	▲	▲

記号の説明：▲＝強制される事柄

△＝自主裁量的な事柄

製品ライフサイクルコストマネジメントのシールズ＝ヤング・モデルは、ライフサイクル・コストイング概念を拡張し、製品ライフサイクル・コストが発生し、マネジメントされる、より広い組織関係を考察の対象とする。このモデルは、ライフサイクル・コストイング、製品ライフサイクル・マネジメント、組織構造、コスト低減方法などから構成され、その鍵となるのは、製品コストを継続的に引き下げることにある。製品ライフサイクル・コストを引き下げするための最も効果的な戦略は、コストを発生させる諸活動を対象とするコスト低減努力に焦点を置くことである<sup>16)</sup>

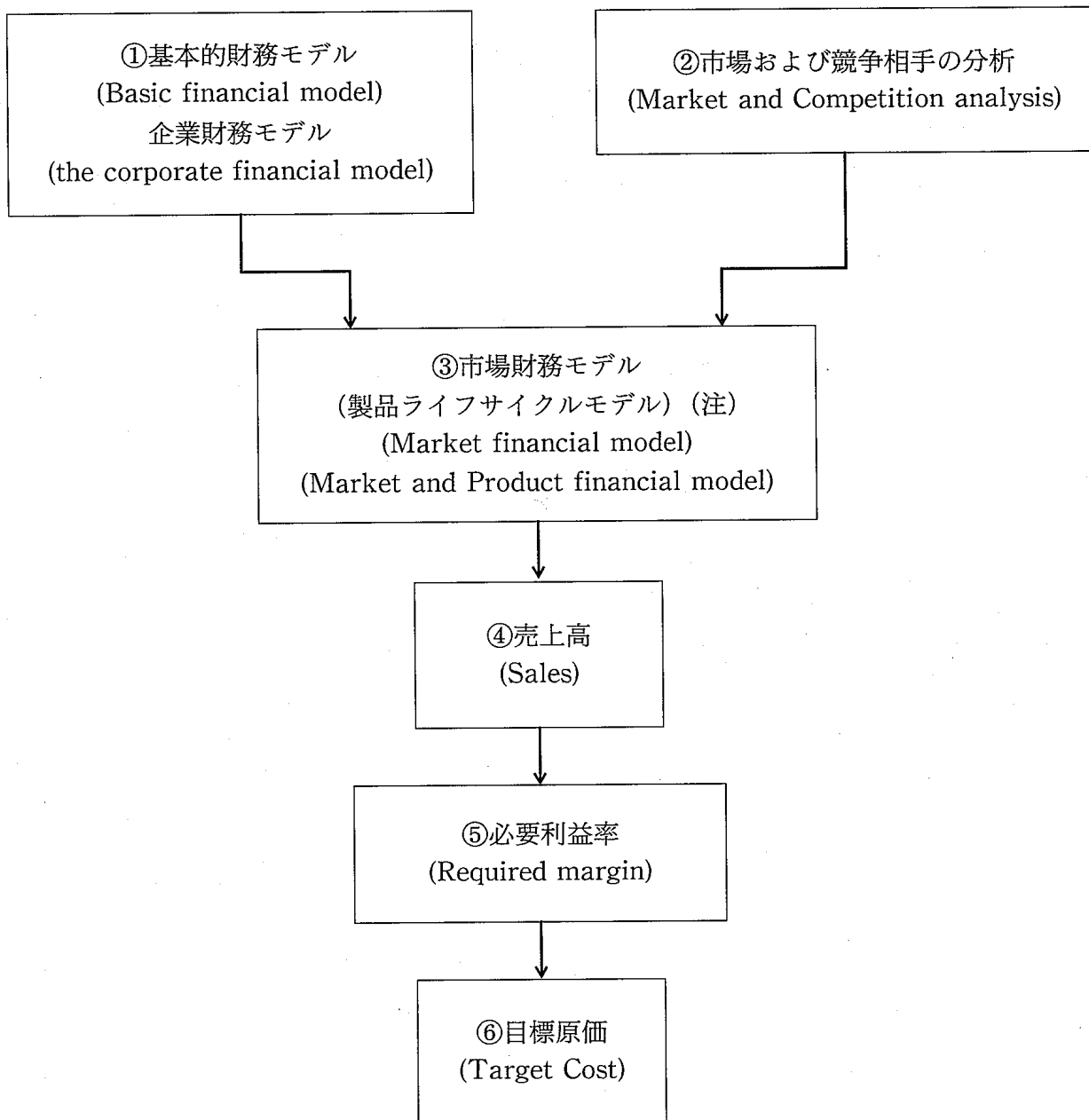
#### (D) CAM-I Model—生産者側のライフ・サイクルマネジメント—

ライフ・サイクルマネジメントは、最小のトータル・ライフ・サイクルコストを保証するために、製造の上流において発生する活動に焦点を置くものである。ライフサイクル・コストイングは、(1)長期的な製品収益性のより良い姿を提示するために、(2)ライフ・サイクルプランニングの効果性を示すために、(3)エンジニアリング・デザイン段階における代替案選択へのコスト影響を定量化するために、(4)技術を利用する製品に技術コストを割り当てるために必要とされる。企業財務を市場、競争相手分析と統合することによって、売上高、マージン、目標コスト情報を生み出す市場・製品・財務モデルである製品ライフ・サイクル・モデルは製品ライフ・サイクルコストに焦点をおき、図3のように表現される<sup>17)</sup>

### 3. イギリス・ライフサイクル・コストイングの研究 —テロテクノロジー政策が起点—

1970年代イギリスのライフサイクル・コストイングは、資産の所有期間に発生するすべての重要な正味支出を考慮するために、エンジニアリング、会計学、数学、統計学などの技法を集めて、それらの橋渡しをする概念である。それは、資産および資産形態の最適な選択を確定する選択案の定量化に関連し、そこで

図3 製品ライフサイクルモデルの位置づけ



(注) このモデルが「売上高」「必要利益率」「目標原価情報」を生み出す。  
売上高見積もりの担当者がこのモデルを用意する。

Berliner, C. and J. A. Brimson(eds.). *Cost Management for Today's Advanced Manufacturing: The CAM-I Conceptual Design*, Harvard Business School Press, Boston, MA., 1988 (長松秀志訳『先端企業のコスト・マネジメント』中央経済社, 1993年)。この本を参照。

利用される技法には、予測すること、コスト見積り、コスト便益分析、キャッシュ・フローの準備、感度分析、確率論などが含まれる。<sup>18)</sup>

イギリスにおいては、産業省によって有形資産マネジメントへのテロテクノロジー政策が導入された時に、ライフサイクル・コスト研究が開始された。テロテクノロジーは、経済的なライフ・サイクルコストを追求して、有形資産に適用されるマネジメント、財務、エンジニアリングそして、他の実際活動を総合したテクノロジーである。有形資産へのテロテクノロジーとライフサイクル・コストの適用は、ライフ・サイクルマネジメントの統合されたシステムと考えられ、図4が、仕様、コスト、時間、資本性コスト、収益性コストなどの関係を示している。<sup>19)</sup> これらの研究は、日本の研究に影響を与えている。<sup>20)</sup>

最近では、資本性資産マネジメントが研究されている。固定資産のデザイン、調達、利用、メンテナンスの協働的マネジメントであるこの概念は、メンテナンス・マネジメントへのライフ・サイクル・アプローチでもあり、装置ライフ・サイクルのトータル・メンテナンス・コストの最適化の考えに基礎を置き、図5がその枠組みを示している。<sup>21)</sup>

#### 4. ドイツ・ライフサイクル・コスト研究 (Lebenszykluskostenrechnung) の研究

ドイツ・ライフサイクル・コスト研究 (Lebenszykluskostenrechnung) の理論的研究は、1980年代に入ってから開始された。ここでは、アンケート調査の紹介に留めておき、その研究の本格的な検討は、今後の課題としておきたい。<sup>22)</sup>



図4 有形資産コスト要素とその相互作用

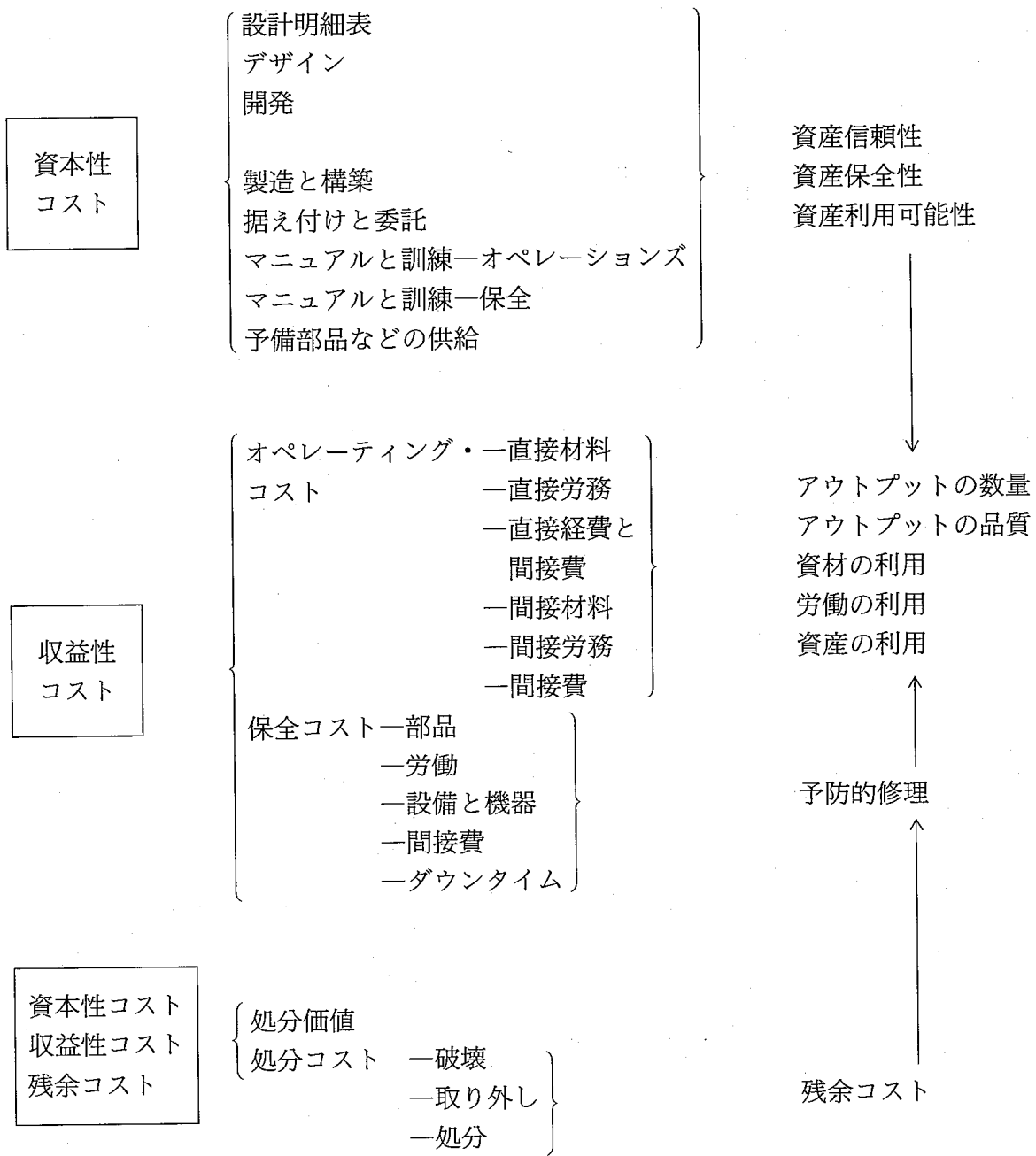


図5 資本性資産マネジメントコントロールシステム

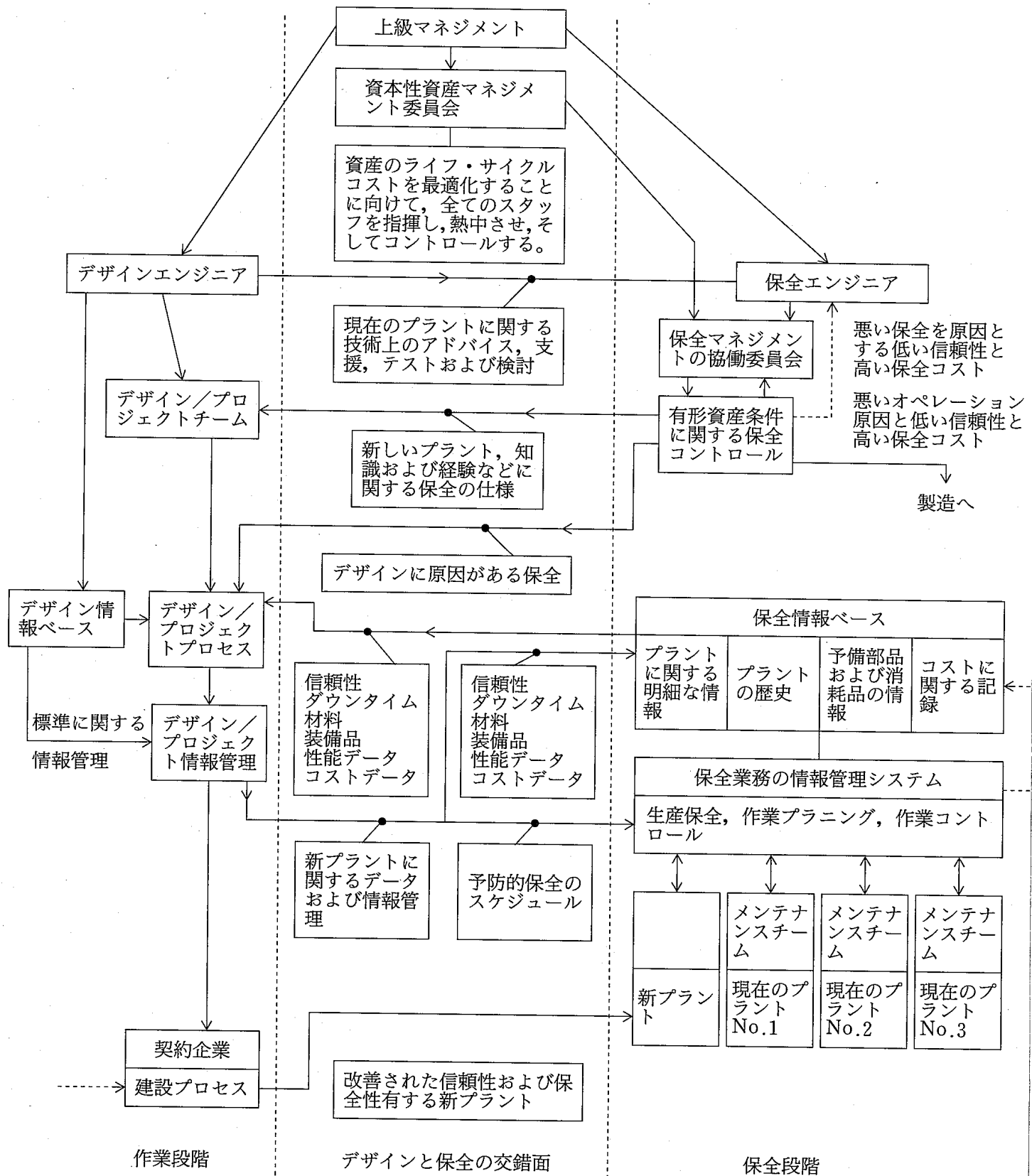


図6 ドイツにおけるライフサイクル・コストニングの普及状況

ライフサイクル・コストニング	n	知名度%	採用率%	使用頻度	使用開始		採用計画%	いつから採用	
					最も早い	最も遅い		最も早い	最も遅い
化学・薬品	12	92	25	3.33	1984	1992	0	—	—
電子工業・電気工業	8	88	63	3.00	1978	1990	33	1997	1997
自動車	5	100	80	4.25	1975	1985	0	—	—
自動車部品	4	75	50	3.50	1995	1995	0	—	—
一般機械器具製造業	10	90	40	2.67	1987	1993	0	—	—
食料品	4	50	0	—	—	—	25	1996	1996
その他の工業	4	75	25	3.00	1970	1970	0	—	—
エネルギー供給	5	80	0	—	—	—	0	—	—
鉱業	3	100	33	1.00	1975	1975	0	—	—
商業	9	78	33	2.33	1991	1995	0	—	—
銀行	13	54	0	—	—	—	15	1998	1998
保険	5	80	0	—	—	—	0	—	—
その他のサービス業	7	60	14	3.00	K.A.		0	—	—
全 体	89	76%	27%	3.09	1970	1995	6%	1996	1998

## 5. ライフサイクル・コストニングの新たな研究

### —外部コストと国際標準の研究—

潜在的コスト、企業外部コスト、社会的コストなどを識別しないライフサイクル・コストニングの限界の克服を試みる研究が<sup>23)</sup>フルコスト会計とトータル・コスト・アセスメントに関する研究であり、環境コスト・マネジメントへのライフサイクル・コストニングの機能に関する研究といえるものである<sup>24)</sup>

#### (1) フルコスト会計

フルコスト会計は、固体廃棄物マネジメントの実際コストを識別し、計算し、そして報告する体系的な方法である。フルコスト会計は、過去と未来の支出、

間接コスト（取り締まりのコスト、支援サービス・コスト）などを計算に入れる。フルコスト会計において使用される原価要素は、上流コスト (Up-front costs)、オペレーティング・コスト (Operating costs)、下流コスト (Back-end costs) であり、これら3つのコスト概念は、自治体の廃棄物マネジメント活動の揺りかごコスト (cradle: up-front costs) から墓場コスト (grave: back-end costs) までのライフ・サイクル・コストを対象とする。<sup>25)</sup>

フルコスト会計を導入するオンタリオ社の事例がある。<sup>26)</sup> この事例は、同社の活動に関連する潜在的な環境コストと負債コストを理解し、今日と将来におけるそれら負債コストの引き下げを考察している。フルコスト会計は、ビジネス意思決定による組織活動が環境へ及ぼす影響を統合する会計である。<sup>27)</sup>

また、フルコスト会計は(1)ライフサイクル・アセスメント、(2)評価方法、(3)割り引き計算などを構成要素とする会計であると理解され、環境コストを製品、プロセス、活動などのトータル・コスト (total cost) の中へ組み込む原価計算方法であり、意思決定プロセスに倫理上の問題を組み込む会計であるとも理解されている。<sup>28)</sup>

## (2) トータル・コスト・アセスメント

ニュージャージー州環境保護局は、プロジェクトの真の利益率を正確に見積る方法としてトータル・コスト・アセスメントと呼ばれる資本予算管理方法を創造した。

トータル・コスト・アセスメントは、汚染予防プロジェクト (pollution prevention project) におけるライフ・サイクルコストおよび節約額に関する包括的な財務分析であり、資本予算編成分野における「汚染予防への投資」が経済的な合理性を有することを確認する意思決定方法である。この方法は、a) フルコスト会計を通じて、製品ラインあるいはプロセスへ環境コストを配分すること、b) プロジェクトの財務分析の中に、直接費と間接費、短期コストと長期コスト、負債コストと無形コストなどを含めること、c) 10年ないし15年の長いプ

プロジェクト・コストおよび節約額の評価をすること、d) プロジェクトの長期収益性を把握する収益性測定に、正味現在価値法とか内部収益率法などを使用することなどを含んでいる<sup>29)</sup>

### (3) ライフサイクル・コストニングの国際標準

国際電気標準会議 (The International Electrotechnical Commission: IEC) は、電気・電子分野の国際的な協働を促進するために、製品のディペンダビリティ (総合的信頼性) に関する国際標準を公表した。製品ディペンダビリティ国際標準の中でライフサイクル・コストニングとは、製品のライフサイクルあるいはその一部において、そのライフ・サイクルコストを評価するための経済性分析のプロセスである<sup>30)</sup>

## 6. ライフサイクル・コストニング研究の今後の課題

合理的な予算管理を追求するアメリカ行政機関が、契約相手をマネジメントする方法としてライフサイクル・コストニングを研究し、その基本形態は、1970年代末において完成された<sup>31)</sup> ライフサイクル・コストニング実践にとって最大の障害は、短期的な思考にある<sup>32)</sup> この点を克服するために研究され、実践されたライフサイクル・コストニングに加えて、今日の課題に適用できる新たなライフサイクル・コストニング研究が展開されている。

企業にとって最適なことが社会全体にとって必ずしも最適とはならない現在では、生産者視点、消費者視点、社会的視点あるいは環境の視点が、企業におけるデザイン、調達、製造、マーケティングなどに関する意思決定の一部として考えられなければならない<sup>33)</sup> ライフサイクル・コストニングだけでなく、ライフサイクル思考の研究も今後の研究課題となっている。

(本稿は平成 13 年度松山大学特別研究助成金による研究成果である。)

## 注

- 1) Klick, Arnold (1968), Whither Life-Cycle Cost, *Economic Analysis and Military Source Allocation*, edited by T. Arthur Smith, Department of Army, Comptroller of the Army, Washington, D. C. 1968, pp. 79-99.
- 2) Reynolds, Smith and Hills Architects-Engineers-Planners, Inc. (1976), *Life Cycle Costing Emphasizing Energy Conservation Guidelines for Investment Analysis*. U. S. National Technical Information Service. p. 1-1, p. 1-2.
- 3) Ruegg, Rosalie T., John S. McConnaughey, G. Thomas Sab and Kimberly A. Hockenbery (1978), *Life-Cycle Costing, A Guide for Selecting Energy Conservation Projects for Public Buildings*, NBS Building Science Series 113. U. S. National Technical Information Service. pp. 2-3.
- 4) Blanchard, B. S. and Wolter J. Fabrycky (1998), *Systems Engineering and Analysis*, Third Edition, Prentice-Hall, pp. 557-602.
- 5) Brown, Robert J., and Rudolph R. Yanuck. (1985), *Introduction to Life Cycle Costing*. Prentice-Hall, p. 4.  
Brown, Robert J., and Rudolph R. Yanuck (1980), *Life Cycle Costing. A Practical Guide for Energy Manager*, The Fairmont Press. p. 1.
- 6) International Electrotechnical Commission (1996), *Dependability Management Part 3 : Application guide Section 3 : Life cycle costing*, (International Standard IEC 300-3 -3 has been prepared by IEC technical committee 56 : Dependability.) p. 7.
- 7) Dhillon, B. S. (1989), *Life Cycle Costing : Techniques, Models and Applications*, Gordon and Breach Science Publishers, p. 7.
- 8) Fabrycky, Wolter J. and Benjamin S. Blanchard (1991), *Life Cycle Cost and Economic Analysis*. Prentice Hall. p. 122.
- 9) United States Logistics Management Institute (1965), *Life Cycle Costing in Equipment Procurement*, Report No. LMI Task 4C-5, pp. 2-3.
- 10) Gupta Yash., and Wing Sing Chow (1985), Twenty-Five Years of Life Cycle Costing -Theory and Applications: A Survey, *The International Journal of Quality and Reliability Management*, Vol. 2, 1985. pp. 51-76.  
岡野憲治 (1997) 『ライフサイクル・コストニング研究序説—実践的展開を中心として—』松山大学総合研究所, 1997 年。
- 11) 岡野憲治 (1998) 『ライフサイクル・コストニングの展開—理論的展開を中心として—』松山大学総合研究所, 1998 年。  
岡野憲治 (2000) 『ライフサイクル・コストニング研究の基礎—歴史的展開過程の一断面を対象として—』松山大学総合研究所, 2000 年。

- 12) United States Department of Defense (1970), *Life Cycle Costing Procurement Guide (interim)*, Department of Defense Guide No. LCC-1. p. 1-1.
- 13) United States Department of Defense (1973), *Life Cycle Costing Guide for System Acquisitions (interim)* Department of Defense Guide No. LCC-3. p. 1-1.
- 14) U. S. Logistics Management Institute (1982), *The Framework for Life Cycle Cost Management*. U. S. National Technical Information Service. P. 3-6.
- 15) Susman, Gerald I. (1989). Product Life Cycle Management, *Journal of Cost Management*, vol. 3, no. 2 (summer) pp. 18-19.
- 16) Shields, M. D. And S. M. Young (1991). Managing Product Life Cycle Costs: An Organization Model, *Journal of Cost Management*, Fall. p. 43.
- 17) Berliner, Callie and James A. Brimson, (eds.). (1988) *Cost Management for Today's Advanced Manufacturing*. Harvard Business School Press, p. 139, 141, 146.
- 18) Committee for Terotechnology (1977), *Life Cycle Costing in the Management of Physical Assets : A Practical Guide*, HMSO. p. 2, 4.
- 19) Committee for Terotechnology (1977) op. cit. p. 14, 16.
- 20) Kiyoshi, Okamoto (1989), Planning and Control Maintenance Cost for Total Productive Maintenance, In *Japanese Management Accounting A World Class Approach to Profit Management*, Editors Yasuhiro Monden, Michiharu Sakurai, Productivity Process. pp. 97-113.  
 Michiharu, Sakurai (1996) *Integrated Cost Management, A Companywide Prescription for Higher Profits and Lower Costs*, Productivity Press. p. 163-190.  
 Committee for the Japan Institute of Life Cycle Costing. (1986), *Report of Research Project Concerning the Life Cycle Cost of Maintenance Technology in Manufacturing Plants*. Japan Institute of Plant Maintenance. pp. 175-191.
- 21) Kelly, Anthony (1999), *Maintenance Strategy*, Butterworth Heinemann. p. 10, 13.
- 22) Franz, K.-P. und Kajuter P. (1997), Kostenmanagement in Deutschland-Ergebnisse einer empirischen Untersuchung in deutschen Großunternehmen in Franz, K.-P. und Kajuter P. (Hrsg.), *Kostenmanagement-Wettbewerbsvorteile durch systematische Kostensteuerung*, Stuttgart. s. 494.  
 尾畑 裕 (2000) 「ドイツにおける原価企画の受容と展開」『会計』第 157 巻第 3 号, 2000 年 3 月。pp. 26-38.
- 23) Denton, D. K. (1994), *Enviro-Management : How Smart Companies Turn Environmental Costs into Profits ?*, Prentice-Hall. pp. 20-23.
- 24) United States Environmental Protection Agency (1989), *Pollution Prevention Benefits Manual Volume 1 : The Manual Phase II*, pp. 4-, pp. 1-3, 1-4, 1-5, 1-6.

- United States Environmental Protection Agency (1988), *The EPA Manual for Waste Minimization Opportunity Assessments*, 1988.
- 25) United States Environmental Protection Agency (1997), *Full Cost Accounting for Municipal Solid Waste Management : A Handbook*. p. 5, 7, 66.
- 26) United States Environmental Protection Agency (1996), *Environmental Accounting Case Studies : Full Cost Accounting for Decision Making at Ontario Hydro*.
- 27) Boone, Corinne and Helen Howes (1996), Accounting for the Environment, *CMA Magazine*, June 1996. p. 22.
- 28) Evaluation, Economics and Laboratory Services Branch Environmental Protection Division Ministry of Environment, Lands and Parks, *Full Cost Accounting & The Environment, Seminar Proceedings*, March 19, 1993.
- 29) White, A. M. Becker, and J. Goldstein (1991, Revised Executive Summary, June 1993), *Alternative Approaches to the Financial Evaluation of Industrial Pollution Prevention Investments*, Report prepared by Tellus Institute for the New Jersey Department of Environmental Protection, Division of Science and Research. p. G-4.
- 30) International Electrotechnical Commission (1996), *Dependability Management Part 3 : Application guide Section 3 : Life cycle costing*, (International Standard IEC 300-3 -3 has been prepared by IEC technical committee 56 : Dependability.) P.15.
- 31) Blanchard, B. S. (1978), *Design and Manage to Life Cycle Cost*, M/. A Press, Portland, Oregon.
- Seldom, M. R. (1979), *Life Cycle Costing : A Better Method of Government Procurement*, Westview Press. Preface.
- Brown, R. J, and R. R. Yanuck (1980), *Life Cycle Costing : A Practical Guide for Energy Managers*, The Fairmont Press, Inc., Atlanta, Georgia.
- Earles, M. E., Factors (1981), *Formulas and Structures for Life Cycle Costing, Second Edition*, Eddins-Earles, Privately Published, concord, Massachusetts.
- Dell'isola, A. J., and S. J. Kirk (1981), *Life Cycle Costing for Design Professionals*, McGraw-Hill Book Company, New York.
- Michaels, Jack V. and William P. Wood (1989), *Design to Cost*, A Wiley-Interscience Publication, John Wiley & Sons, New York.
- 32) Blanchard, B. S. and Wolter J. Fabrycky (1998), *Systems Engineering and Analysis, Third Edition*, Prentice-Hall, Prentice Hall, p. 557.
- 33) 國部克彦 (2000) 「環境調和型製品開発のためのマネジメント手法の統合—コスト情報と意思決定の関連性を求めて—」『原価計算研究』Vol. 24, No. 1, 2000 年。pp. 1-10.