

環境配慮型設備投資における設備更新分析

井 岡 大 度

目 次

1. はじめに
2. 経済寿命と設備更新
 - 2-1. 設備投資と経済寿命
 - 2-2. 新設備への更新のタイミング
3. 環境配慮型設備投資と設備更新
 - 3-1. 環境管理会計と環境コスト
 - 3-2. 環境配慮型設備投資の意思決定
 - 3-3. 環境配慮型設備の設備更新の分析
4. 環境配慮型の新設備更新モデル
 - 4-1. 環境配慮型の新設備更新の経済性評価法
 - 4-2. 環境配慮型の新設備更新評価モデルの構築
5. おわりに

1. はじめに

近年、企業における環境保全のための環境配慮の取組については、法的規制順守のみならず自発的環境保全活動も含め、経営戦略的にも重要なものとなってきている。環境保全活動については、その有効な実施のために環境管理会計において種々の手法が用意されており、国内外においても、様々な展開および研究がなされてきている。日本でも『環境管理会計手法ワークブック』で6つの手法が紹介されているが、その中でも、環境配慮型設備投資意思決定は、その意思決定の効果が長期にわたることから、企業の将来の環境保全活動の成否を決定する重要なもののひとつとなっている。

設備投資意思決定に関しては、従来から様々な研究がなされてきている。設

備投資意思決定において、設備の使用年数は分析の前提となる重要な要素であるが、本論文では、設備投資における経済的に最も有利な取替年数すなわち経済寿命について、その理論と考え方を整理するとともに、現有設備から新たに登場した経済的により有利な設備に取り替える場合、どのようなタイミングで更新すべきかについても検討・整理する。また、その理論をもとに環境配慮型の設備投資について、アメリカ環境保護庁 (US Environment Protection Agency: USEPA) のトータルコストアセスメントにおける4階層のコストを踏まえ、環境配慮型設備投資における設備更新問題を考える際に、環境配慮型設備の経済寿命および環境配慮型の新設備への経済的に有利な更新時期を導くための考え方について検討を行う。

2. 経済寿命と設備更新

2-1. 設備投資と経済寿命

機械、装置、車両等の設備についてはその使用とともに性能が劣化し、その維持および保全のためのコストが増加し、性能も悪くなる。一方で経済的にも、また性能的にも有利な新設備も登場し、現有設備を利用し続けることが不利な状況となることも多い。その際、物理的な寿命が到来する前に更新する方が経済的に有利であり、その経済的に最も有利な取替期間が経済寿命である。設備投資問題を検討する上では、この経済寿命についての分析が必要不可欠となる。そこで、設備の経済寿命を考える場合のポイントについては「限られた時間の中で総利益を最大に(収益が所与の場合では総費用を最小に)するにはどうすればよいか」という考え方であるとされる¹⁾。

経済寿命を考える際の重要な前提は、類似反復の取り替え (like-for-like replacement) の仮定である。すなわち同一種類の機能を果たす設備を一定期間ごとに永久的に反復して取り替える場合を前提とするものであり、これにもとづき、通常の維持保全を継続的に実施しながら、どのような間隔で取り替えることが経済的に最も有利かを分析することによって経済寿命が導かれる。な

お現実には物価上昇²⁾や技術進歩³⁾等があるが、これらに対しても考慮が可能であり展開がなされる。

設備の経済寿命を検討する場合、その投資におけるキャッシュ・アウト・フロー (cash out flow) の効果が、その後どのような効果をもたらすかにより大きく2つに分けられる。すなわち、設備投資によるキャッシュ・アウト・フローの効果が、その後の費用の減少のみをもたらす場合と、その後の収益の増加も伴う場合である。前者は費用最小化問題の場合と同様に経済寿命の検討がなされるが、後者の場合は、その後のキャッシュ・イン・フロー (cash in flow) の影響も加味し、利益最大化問題の場合と同様に経済寿命の検討がなされる。

経済寿命の検討にあたっては資金の時間価値の考慮が前提となるが、どの時点の価値で評価するかにより、大きく3つに分けられる⁴⁾。それは現在価値 (現価: present value)、終価 (final value)、年価 (年金価値: annual value) である⁵⁾。現在価値は、比較的、計算上扱いやすく従来から利用されてきた評価値であるが、資金の時間価値を考慮した平均的価値としての年価は、経済的規模が理解しやすいため、たとえば1日当たりあるいは月当たりの価値というように比較しやすく分析に適している。なお、経済寿命を検討する場合は、「設備を使用する全体の期間は限られているものであるから、その期間の中で利益を最大にするためには、年平均額 (いわゆる年価) を最大にするような間隔で取り替えていくのが最も経済的である。」⁶⁾という指摘にもあるように年価による分析が、経済寿命においては類似反復的取り替えの仮定を前提とすることから最も適するものとなる。

資金の時間価値の考慮にあたっては、時間を連続量として扱う場合と離散量として扱う場合に分けられるが、連続量の場合は解析的に分析しやすく、解の性質について検討しやすいという特徴があげられる。また時間を離散量として取り扱う場合は、複利計算と同様で現実に即した形式であり、状況が理解しやすいという利点がある。

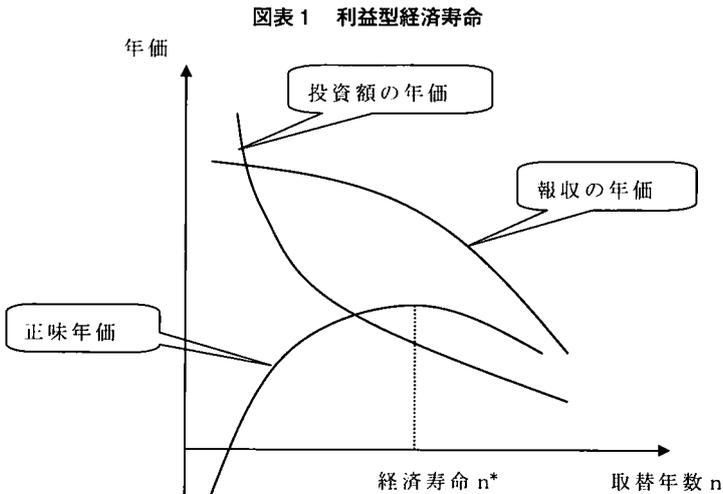
まず、キャッシュ・アウト・フローの効果が、その後の収益の増加も伴う場合であるが、その後のキャッシュ・イン・フロー (cash in flow) の影響も加

味し、利益最大化問題の場合と同様に経済寿命の検討がなされる。そこで時間を離散変数として取り扱った場合について、設備投資を行うことにより得られる第 j 期末の利益を R_j 、 n 期間経過後の売却価値を S_n 、設備投資額を C_0 すると、総利益の年価 $M_n(n)$ は、資本コスト率を i とし、 n 期間における現在価値合計に n 期間にわたる資本回収係数を掛けることにより次式のようにあらわされる。

$$M_n(n) = \left\{ \sum_{j=1}^n \frac{R_j}{(1+i)^j} + \frac{S_n}{(1+i)^n} - C_0 \right\} \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \quad (1)$$

そこで(1)式における年価を最大とするような期間 T が経済寿命 T^* であり、これは逐次計算等のシミュレーションにより求められる。

次に、これらの関係を図示すると図表 1 のとおりである。各期の利益 R_j の現在価値合計を取替年数 n にわたる年価に変換したものが右下がりの報収⁷⁾の年価であり、投資額 C_0 から売却価値 S_n を現在価値に割引いたものを差引き、それを取替年数 n にわたる年価に変換したものが右下がりの投資額の年価である。そこで報収の年価から投資額の年価を差し引いたものが正味年価であり、これを最大とする取替年数が経済寿命 n^* となり、経済的に最適な取替年数となる。



次に設備投資によるキャッシュ・アウト・フローの効果が、その後の費用の減少のみをもたらす場合であるが、費用最小化問題の場合と同様に経済寿命の検討がなされる。そこで時間を離散変数として取り扱った場合について、設備投資を行った場合の第 j 期末における設備の維持・修繕等のための操業費用（減価償却費および支払利息を含まない）の発生額を E_j 、 n 期間経過後の売却価値を S_n 、設備投資額を C_0 とすると、総費用の年価 $M_E(n)$ は、資本コスト率を i とし、 n 期間における現在価値合計に n 期間にわたる資本回収係数を掛けることにより次式のようにあらわされる。なお、操業費用には、故障が起こってから行われる事後保全のための修繕費、故障を事前に防ぐための予防保全の費用およびその他の設備維持費から構成される。

$$M_E(n) = \left\{ \sum_{j=1}^n \frac{E_j}{(1+i)^j} + C_0 - \frac{S_n}{(1+i)^n} \right\} \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \quad (2)$$

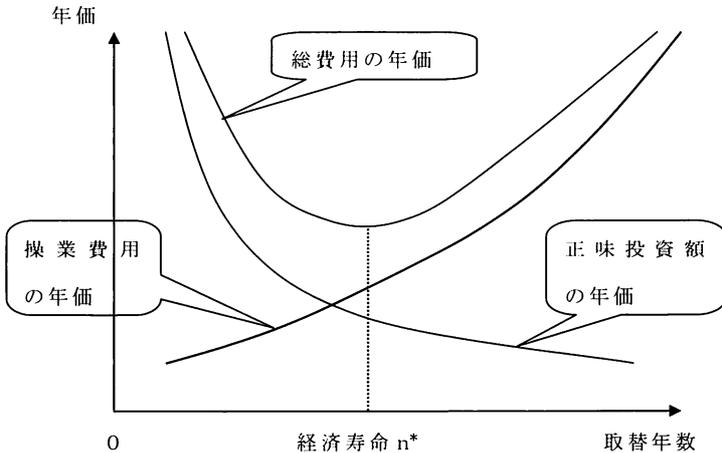
そこで(2)式における年価を最小とするような期間 n が経済寿命 n^* であり、これは逐次計算等のシミュレーションにより求められる。

売却価値の影響が無視しうる場合、すなわち(2)式の右辺中括弧の第3項を無視しうる場合については、次期の操業費用 E_{n+1} が総費用の年価 $M_E(n)$ 以上となるような状況、すなわち $M_E(n) \leq E_{n+1}$ を満たすような取替年数 n が経済寿命となる⁸⁾。

そこで、これらの関係を図示すると図表2のとおりとなる。各期の操業費用 E_j の現在価値合計を取替年数 n にわたる年価に変換したものが右上がりの操業費用の年価であり、売却価値 S_n を現在価値に割引いたものを投資額 C_0 から差引き、これを取替年数 n にわたる年価に変換したものが右下がりの正味投資額の年価である。そこで操業費用の年価と正味投資額の年価を合算したものが総費用の年価であり、これを最小とする取替年数が経済寿命 n^* となり、経済的に最適な取替年数となる。

(2)式により計算される年価は、例えば1年あたりという時間を単位にその期間あたりの操業費用をもとに算出し、その値が示すものは1年あたりの負担額を示すことになる。したがって投資の規模を、その単位期間あたりの大きさ

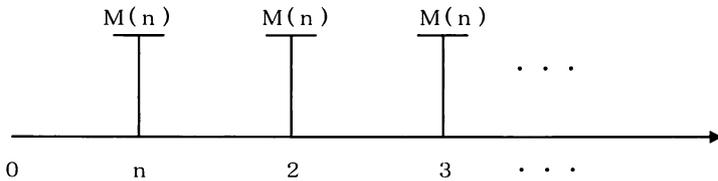
図表2 費用型経済寿命



で把握することができるというメリットがある。

なお、(2)式を満たす取替年数が経済寿命となることについては、類似反復的取替えの前提に関連して、次のように示される。経済寿命 n ごとに設備を取り替えることにより図表3のように毎期末に $M(n)$ が永久に生じるものを投資時点（時点0）の価値すなわち現在価値に変換することを考えればよい。

図表3 類似反復的取替え



永久に生じる年価 M を現在価値 P に変換するには、年価 M を資本コスト率 i で除することによって算出される⁹⁾。

したがって n 年ごとの反復的な設備取り替えを永久に行った場合、設備の総費用の現在価値は $P'(n)$ は、(2)式の年価 $M(n)$ を資本コスト率 i で除すること

により(3)式のようにあらわされる。

$$P'(n) = \frac{M_E(n)}{i} = \left\{ \sum_{j=1}^n \frac{E_j}{(1+i)^j} + C_0 - \frac{S_n}{(1+i)^n} \right\} \frac{(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \quad (3)$$

また、(3)式からもわかるように現在価値Pに資本コスト率*i*を掛けると、永久続く年価Mに変換できることに留意すべきであり、(2)式と(3)式の相違は定数としての資本コスト率*i*が掛けられているか否かであるので、*n*年ごとの反復的な設備取り替えを永久に行った場合の経済寿命は、(2)式を最小化する取替期間と同等である。

次に、解析的に分析しやすく、解の性質について検討しやすいという特徴があげられることから、時間を連続量として扱う場合について、次に示す。

利益型の経済寿命の場合、設備投資を行うことにより時点*t*において得られる利益額を*R(t)*、時点0における設備の投資額(初期投資額)を*C₀*、*T*期間使用後の設備の売却価値を時間に対する減少関数*S(T)*とあらわすと、時間を連続量とする場合の利益型経済寿命の年価関数は(4)式のようにあらわされる。ただし*e*は自然対数の底(ネイピア数)であり、(4)式右辺の中括弧に掛けられた係数は、時間を連続量とした場合の資本回収係数に相当する⁵⁾。

$$M_{\pi}(T) = \left\{ \int_0^T R(t)e^{-it} + S(T)e^{-iT} - C_0 \right\} \frac{i}{1 - e^{-iT}} \quad (4)$$

したがって、時間を連続量とする場合の利益型の経済寿命*T**は、(4)式の*M_π(T)*を最大とする取替年数*T*である。

費用型の経済寿命の場合、時点*t*における操業費用の発生額を*E(t)*、時点0における設備の投資額(初期投資額)を*C₀*、*T*期間使用後の設備の売却価値を時間に対する減少関数*S(T)*とあらわし、時間を連続量とする場合の費用型経済寿命の総費用の年価関数は(5)式のようにあらわされる。

$$M_E(T) = \left\{ \int_0^T E(t)e^{-it} + C_0 - S(T)e^{-iT} \right\} \frac{i}{1 - e^{-iT}} \quad (5)$$

したがって、時間を連続量とする場合の費用型の経済寿命*T**は、(5)式の*M_E(T)*を最小とする取替年数*T*である。

(5)式の $M_E(T)$ を最小とするような取替年数 T は、(5)式の1次微分が0、2次微分が正となる必要がある。したがって、(6)式および(7)式を満たす必要がある¹⁰⁾。

$$E(T) + iS(T) - \frac{dS(T)}{dT} = M_E(T) \quad (6)$$

$$\frac{dE(T)}{dT} + i \frac{dS(T)}{dT} - \frac{d^2S(T)}{dT^2} > 0 \quad (7)$$

なお、ここでは費用型の経済寿命についてのみ示したが、設備投資が収益にも影響を及ぼす利益型の場合についても同様に検討可能である。

設備投資計画を検討する際に、その設備の使用年数を前提として分析がなされるが、その使用年数は、当該設備をどのような年数で取り替えるのが経済的に有利かという経済寿命にもとづくものであり、以上に示した経済寿命の導出は、設備投資計画を行う上で必要不可欠となる。

2-2. 新設備への更新のタイミング

設備更新問題 (equipment replacement problem) には、経済寿命決定問題もその中に含まれるが、さらに現有設備から新設備への更新問題について、以下に検討を行う。なお解析的に分析しやすく、解の性質について検討しやすいという特徴があげられることから、時間を連続量として扱う場合について、次に示す。また、収益に影響を及ぼさない費用型について展開するが利益型についても同様に展開可能である。

環境配慮型の設備に関して、現有設備から新設備にどのようなタイミングで切り替えるのが有利かを検討するには、前述の経済寿命を前提として分析がなされる。

現有設備についてその設備に関しての経済寿命 T^* ごとに取り替えを行う場合の総費用の年価 $M(T^*)$ と新たに経済的に有利な設備が登場した場合、新設備をその設備の経済寿命 T_N^* ごとに取り替える場合の年価 $M_N(T_N^*)$ を比較し、新設備の方が経済的に有利すなわち $M_N(T_N^*) < M(T^*)$ の状況で、いつ新設備

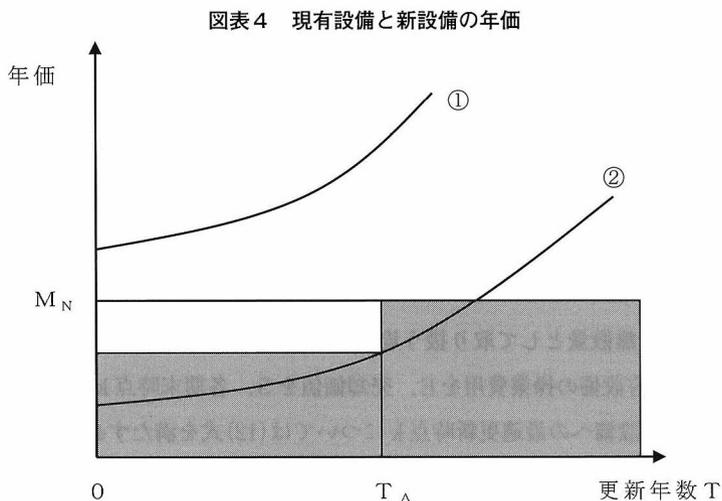
へ更新すべきかというタイミングが問題となる。そこで現有設備に関して現時点0から t 年経過時点における操業費用の発生額を $E_H(t)$ 、現時点から T 年経過後に現有設備を処分する場合の処分価値を $S_H(T)$ とする。新設備と比較する現有設備の年価に関しては、現有設備から新設備への更新問題の分析においては、現有設備の初期投資額は埋没費用であるので無視され、新設備と比較するための現有設備の総費用の年価 $M_H(T)$ は、(8)式のようにあらわされる。

$$M_H(T) = \left\{ \int_0^T E_H(t) e^{-it} - S_H(T) e^{-iT} \right\} \frac{i}{1 - e^{-iT}} \quad (8)$$

なお、ここで留意すべきは、(5)式と比較してわかるように(8)式では現有設備の初期投資額 C_0 は埋没費用であるので無視されることである。

新設備については、(5)式と同様に導かれた経済寿命ごとに取替えを行った場合の新設備の総費用の年価を M_N とあらわす。なお新設備の方が有利であり、新設備へ、いつ更新すべきかという状況であるので、 $M_N < M_H(T)$ である。

そこで、以上の状況を図示すると図表4のようになる。すなわち新設備の総費用の年価を M_N は一定の水平の直線であらわされる。



現有設備の総費用の年価が①の曲線のように現時点0において、すでに新設備の総費用の年価が M_N を上回る場合は、新設備への即時更新が経済的に有利となる。図表4の②の曲線のように現有設備の年価が現時点0において、新設備の総費用の年価が M_N を下回っている場合は、どの時点で新設備に更新すべきかが問題となる。

たとえば、時点 T_A で新設備に更新する場合の年価の総額は、色づけされた長方形の総面積であらわされる。そこで、この面積を最小とするような更新年数 T を考える必要がある。

現時点0から T 年経過時点まで現有設備を使用し、 T 年経過時点で新設備に更新し、その後は新設備と反復的に取替え使用する場合の現在価値の総額 $P(T)$ は(9)式のようにあらわされる。

$$P(T) = \int_0^T E_H(t) e^{-it} dt - S_H(T) e^{-iT} + \frac{M_N}{i} e^{-iT} \quad (9)$$

(9)式における右辺の第1項は、現有設備を時点 T まで使用することによる操業費用の現在価値の総額であり、第2項は現有設備の時点 T における処分価値を現在価値に変換したものであり、第3項は時点 T に新設備に更新し、その後、連続反復的に当該設備の取替えを行う場合の現在価値の総和である¹¹⁾。

現有設備から新設備への経済的に最も有利な更新時点は、(9)式を最小とするような時点 T である。そのためには(10)式および(11)式を満たす必要がある¹²⁾。

$$E_H(T) + iS_H(T) - \frac{dS_H(T)}{dT} = M_N \quad (10)$$

$$\frac{dE_H(T)}{dT} + i \frac{dS_H(T)}{dT} - \frac{d^2S_H(T)}{dT^2} > 0 \quad (11)$$

なお時間を離散量として取り扱う場合については、新設備の総費用の年価を M_N とし、現有設備の操業費用を E 、売却価値を S 、各期末時点 k を添え字であらわすと新規設備への最適更新時点 k については(12)式を満たす必要がある¹³⁾。

$$E_k - \{S_k - (1+i)S_{k-1}\} \leq M_N \leq E_{k+1} - \{S_{k+1} - (1+i)S_k\} \quad (12)$$

売却価値を無視しうる場合については、(12)式からわかるように最適更新時点

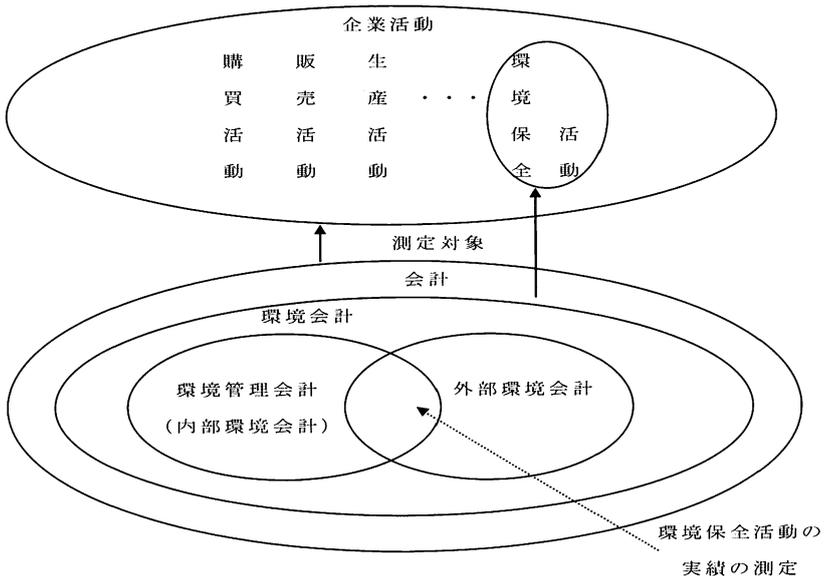
kは、現有設備の操業費用Eが、新設備を経済寿命ごとにと替えた場合の総費用の年価 M_N に等しくなった時点といえる。

3. 環境配慮型設備投資と設備更新

3-1. 環境管理会計と環境コスト

企業の環境に対する取組（配慮）は、従来にも増して重要となってきたり、企業における重要な戦略のひとつとなってきたりしている。すなわち、法的規制順守では事足らず、環境に優しい企業として環境保全活動に如何に積極的に取組み、それをステークホルダーにアピールしていくかは、経営戦略においても重要な課題となってきたりしている。企業における環境への取組については、環境報告書により各企業のホームページ等においても開示されるが、その中で貨幣価値によって表現される部分についても重要なものとなる。そこで企業における環境への取組についての測定システムが環境会計である。

図表5 環境保全活動と環境会計



環境会計は、非貨幣価値で評価される部分も含まれるが、企業の経済活動を貨幣価値で測定する会計システムとしての特性を有し、図表5のようにあらわされ、企業の購買活動、製造活動、物流活動、販売活動などに付随して実施される環境保全活動を主に貨幣価値で測定しようとするメカニズムであると考えられる。なお、「環境会計ガイドライン」においては、環境負荷を「事業活動その他の人の活動に伴って環境に加えられる影響であって、環境の良好な状態を維持する上での支障の原因となるおそれのあるもの」とし、環境保全とは、「環境負荷の発生の防止抑制又は回避、影響の除去、発生した被害の回復又はこれらに視する取組」としている。

図表5にあらわされるように、環境会計の財務会計的機能をはたす部分については、外部環境会計とよばれ、企業の利害関係者に対して、環境保全活動に関する社会的責任を果たしていることを、開示するものであるが、具体的には、環境報告書等に財務情報として掲載するものである。一方、環境会計の管理会計的部分については、内部環境会計あるいは環境管理会計 (environmental management accounting) とよばれる。これは、経営管理の中でも環境保全活動にかかわる管理にとって役立つ会計、すなわち環境保全活動の計画と統制に有用な概念と技法の総体ととらえることができる。また両者に共通する部分については、環境保全活動にかかわる実績の測定の部分となる。

環境保全活動の管理を行うためには、その活動を測定評価する必要があるが、全社的あるいは企業間を通じての管理のためにも、その貨幣的測定は、不可欠なものであり有用なものとなる。また、環境にやさしい企業を目指すとしてもその経済的裏付けが必要であり、その活動のためにいかなる犠牲を負担しているか貨幣額で把握することは不可欠と考えられる。そこで環境保全活動に関する原価測定は重要となる。そこで、その環境コストについてどのようなものがあげられるかについては次のとおりである。

アメリカでは1980年代末からアメリカ環境保護庁 (以下 USEPA) を中心として環境保全投資意思決定のための種々の研究がなされてきており、1992年から2002年まで「環境会計プロジェクト」を実施し、環境保全投資のための資本

予算手法の開発がなされてきた。その中でも環境保全投資意思決定を支援するためのトータルコストアセスメントにおける基本的な考え方は、投資プロジェクトの分析の対象となるコストの範囲を段階的に拡大し、検討を行うものである。そのコストの範囲は、次の4階層に区分される (USEPA 1995)。

階層0：通常コスト (usual cost)

資本設備、材料、労働、消耗品、公共料金、建造物、処分価額

階層1：隠れているコスト (hidden cost)

(1) 規制遵守コスト

通知、報告、監視・検査、研究・モデル化、修復、記録、計画、訓練、検査、登録、ラベリング、準備、保護設備、健康管理、環境保険、財務保証、汚染管理、漏洩の対応、雨水管理、廃棄物管理、税金・手数料

(2) 事前コスト

用地研究、用地準備、認可、研究開発、エンジニアリングおよび調達、設置

(3) 事後コスト

閉鎖・撤退、在庫処分、閉鎖後の管理、用地調査

(4) 自主的成本

地域との関係づくり、監視・検査、訓練、監査、サプライヤーの選定、報告書 (年次環境報告書等)、保険、計画、実行可能性調査、修復、リサイクル、環境調査、研究開発、生息地や湿地の保護、風景美化、その他の環境計画、環境団体や研究者への財政支援

階層2：負債コスト (liability cost)

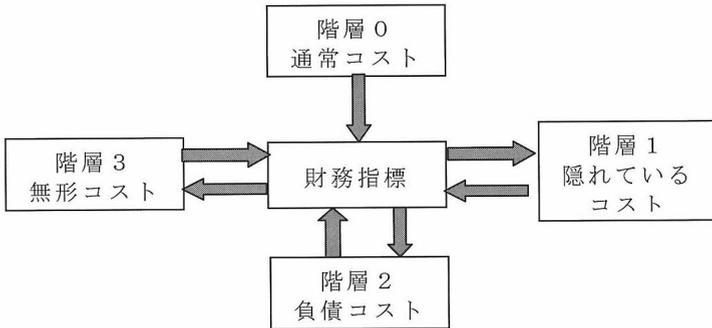
将来の遵守コスト、修復、法的費用、ペナルティ・罰金、財産の損害、自然資源の損害、将来の放出への対応、個人の負傷による損害、経済的損失による損害

階層3：無形コスト (less tangible cost)

企業イメージ、専門スタッフとの関係、債権者との関係、顧客との関係、従業員との関係、地域社会との関係、投資家との関係、サプライヤーとの関係、規制当局との関係、保険会社との関係

図表5に示されるように、トータルコストアセスメントでは、階層0の通常のコストの評価では棄却される案件であっても、さらに階層1の隠れているコストへ、次には階層2の負債コストへ、その次には階層3の無形コストへと評価の対象とするコストの範囲を拡大することによって将来におけるコスト削減あるいは無形のベネフィットを環境配慮型設備投資の評価に加味しようとするものである。ただし、階層1、さらに階層2、階層3へと進むにしたがってコスト・ベネフィットの発生に関して不確実性が高くなることは否めない。

図表5 トータルアセスメントの環境投資プロジェクトの評価プロセス



(出所) USEPA, 1992, p.28。

わが国においても環境配慮型設備投資意思決定における評価手法の開発はなされており、経済産業省において図表6に示すような環境設備投資プロジェクト比較表が提案されている。

3-2. 環境配慮型設備投資の意思決定

設備投資の効果は長期に及ぶが、環境配慮型設備投資についても同様であり、その投資は、環境保全の効果について長期的に決定づけるものとなる。なお、環境配慮型設備投資については、意思決定上、その考え方の相違から3つに分類される。それらは次のコストミニマム（最小投資費用）、トータルコスト・アセスメント、多目標意思決定アプローチによる考え方である¹⁴⁾。

ととなる。

(3) 多目標意思決定アプローチ

コストミニマム、トータルコスト・アセスメントのアプローチが、コストという単一尺度により評価するのに対して、設備投資の経済性だけでなく環境保全効果についても複数の尺度であらわし、それらの多目標をバランスよく達成しようとするものである。

なお、日本企業における環境配慮型設備投資に関しては、環境規制の遵守を目的とする投資の場合には、コストミニマムのアプローチをとり、環境経営の目標を達成するために行う自発的環境設備投資の場合については、多目標意思決定アプローチをとる場合が多いとされる¹⁵⁾。

3-3. 環境配慮型設備の設備更新の分析

環境配慮型設備投資において、伝統的設備投資決定法により資金の時間価値を考慮し、キャッシュインフローとキャッシュアウトフローを比較する方法では、環境を配慮した設備投資の効果が必ずしもキャッシュインフローの増加に反映されず低い評価となる場合が多いとされる¹⁶⁾。前述のUSEPAのトータルコストアセスメントでは、4階層のコストの範囲を段階的に、すなわち階層0の通常コストで検討した場合に棄却される設備投資であるとしても、階層1の隠れているコストを考慮し、それでも棄却される場合、階層2の負債コストを考慮、さらには階層3の無形コストを考慮するというようにその設備投資で考慮するコストの範囲を段階的に拡大し、検討を行うものである。ただし、このような方法は、前述のようにコストミニマムやトータルコスト・アセスメントのようなコストにかかわるアプローチとして位置づけられる。

なお、環境配慮型設備投資に関する分析のアプローチについては、前述のように多目標意思決定アプローチもあるが、本論文では、財務データによる分析を対象とする。

前述の設備投資における経済寿命に関連して、環境配慮型設備投資を検討すると、利益型と費用型の経済寿命モデルが想定されるが、以下では、利益型の

経済寿命モデルについては、費用型経済寿命にキャッシュインフローを考慮することにより容易に展開可能であることから、費用型の経済寿命モデルを中心として検討する。

費用型の経済寿命モデルは、費用の負担額を最小とするような取替年数すなわち経済寿命を導くものであるが、従来の設備投資評価については、USEPAのトータルコストアセスメントにおける4階層のコストの階層0の通常コストを対象とするものといえる。そこで、環境配慮型設備についての経済寿命にUSEPAのトータルコストアセスメントにおける4階層のコストの範囲を段階的に、すなわち、まず階層0の通常コスト、次に階層1の隠れているコスト、次に階層2の負債コスト、さらには階層3の無形コストを段階的に考慮することを検討する。

操業費用の年価については従来の設備投資において対象とされていたコストは、USEPAのトータルコストアセスメントの階層0の通常コストにあたる部分となるが、それ以外の階層1の隠れているコスト、階層2の負債コスト、階層3の無形コストを考慮すると、図表7のように、総費用の年価が実線から破線へと増加することとなる。なお、それに伴い総費用の年価も増加する。また総費用の年価を最小とするような取替年数、すなわち経済寿命はより短いものとなる。ただし、隠れているコスト、負債コストおよび無形コストを考慮することにより、操業費用の年価は実線の状態から破線の状態へと上昇するが、それは、環境配慮型の設備投資において考慮すべきコスト負担の部分であり、それにより、総費用の年価が上昇するのは、環境配慮による価値犠牲であり、環境経営を実施する上で、環境保全活動を有効に実施するためのコストであるといえる。また、それらのコストを加味することにより環境配慮によるコストの負担は増加するが、その状況でどのような取替年数が有利かを示すのが経済寿命モデルである。

したがって、時間を離散変数として取り扱った場合は、前出の(2)式にお設備投資を行った場合の第 j 期末における設備の維持・修繕等のための操業費用(減価償却費および支払利息を含まない)の発生額 E_j 以外に、隠れているコス

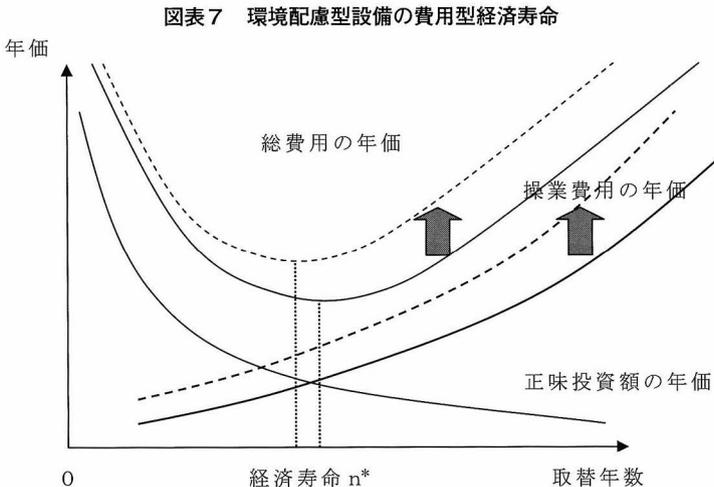
ト、負債コストおよび無形コストの額 E_j^E を考慮した操業費用 $E_j^T (= E_j + E_j^E)$ 、環境配慮型設備を n 期間経過後の売却価値を S_n^T 、環境配慮型設備の投資額を C_0^T すると、総費用の年価 $M_E^T(n)$ は、資本コスト率を i とし、 n 期間における現在価値を n 期間にわたる資本回収係数を掛けることにより次式のようにあらわされる。なお、操業費用には、故障が起こってから行われる事後保全のための修繕費、故障を事前に防ぐための予防保全の費用およびその他の設備維持費にさらに隠れているコスト、負債コストおよび無形コストから構成される。

$$M_E^T(n) = \left\{ \sum_{j=1}^n \frac{(E_j + E_j^E)}{(1+i)^j} + C_0 - \frac{S_n^T}{(1+i)^n} \right\} \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \quad (2)'$$

そこで(2)'式における年価を最小とするような期間 n^T が経済寿命 n^{T*} となる。

図表7に示されるように隠れているコスト、負債コストおよび無形コストの額 E_j^E を加味した分だけ実線から破線へと操業費用の年価が上昇し、それに伴い総費用の年価も実線から破線へと増加する。そこで、総費用の年価の最小となる経済寿命は変化することとなる。

時間を離散変数として取り扱った場合は、費用型の経済寿命については、時



点 t における操業費用の発生額 $E(t)$ 以外に隠れているコスト、負債コストおよび無形コストの額 $E^E(t)$ を考慮した操業費用の発生額を $E^T(t) (= E(t) + E^E(t))$ 、時点 0 における環境配慮型設備の投資額(初期投資額)を C_0 、 T 期間使用後の設備の売却価値を時間に対する減少関数 $S^T(T)$ とあわせ、時間を連続量とする場合の環境配慮型設備に関する費用型経済寿命の総費用の年価関数は(5)'式のようにあらわされる。

$$M_E^T(T) = \left\{ \int_0^T E^T(t) e^{-it} + C_0 - S^T(T) e^{-iT} \right\} \frac{i}{1 - e^{-iT}} \quad (5)'$$

したがって、時間を連続量とする場合の費用型経済寿命 T^{T*} は、(5)'式の $M_E^T(T)$ を最小とする取替年数 T である。

なお上述の環境配慮型の経済寿命の分析においては、従来の設備投資の分析における USEPA のトータルコストアセスメントの階層1の隠れているコスト、階層2の負債コスト、さらには階層3の無形コストを考慮することにより環境配慮型設備の経済寿命が導かれ、その取替年数で設備更新を行うことが最適となる。

4. 環境配慮型の新設備更新モデル

4-1. 環境配慮型の新設備更新の経済性評価法

環境配慮型設備について、現有設備から新設備にどのようなタイミングで切り替えるのが有利かを検討するには、新規設備について前述の経済寿命を前提として分析がなされる。

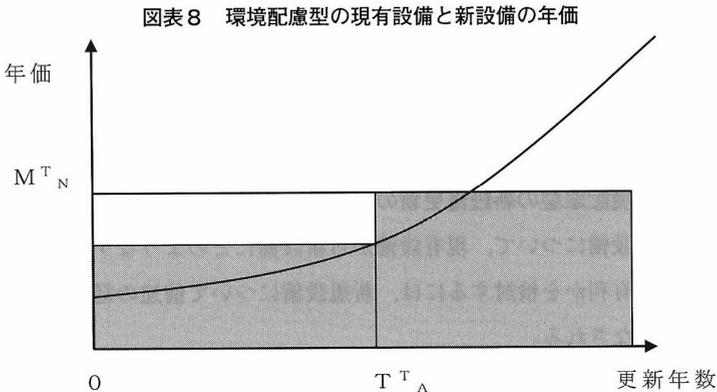
まず、環境配慮型の現有設備について、その設備に関しての経済寿命 T^{T*} ごとに取り替えを行う場合の総費用の年価 $M^T(T^{T*})$ とそれと比較すべき新設備をその設備の経済寿命 T_N^{T*} ごとに取り替える場合の年価 $M_N^T(T_N^{T*})$ を比較し、新設備の方が経済的に有利すなわち $M_N^T(T_N^{T*}) < M^T(T^{T*})$ の場合に、いつ新設備へ更新すべきかというタイミングが問題となる。そこで現有設備に関して、現時点 0 から t 年経過時点における操業費用の発生額 $E_H(t)$ 以外に隠れ

ているコスト、負債コストおよび無形コストの額 $E_H^E(t)$ を考慮した操業費用の発生額を $E_H^T(t) (= E_H(t) + E_H^E(t))$ 、現時点から T 年経過後に現有設備を処分する場合の処分価値を $S_H^T(T)$ とする。そこで、環境配慮型設備に関して、新設備と比較するための現有設備の総費用の年価 $M_H^T(T)$ は、(8)' 式のようにあらわされる。

$$M_H^T(T) = \left\{ \int_0^T E_H^T(t) e^{-it} - S_H^T(T) e^{-iT} \right\} \frac{i}{1 - e^{-iT}} \quad (8)'$$

環境配慮型の新設備については、(5)' 式と同様に導かれた経済寿命ごとに取り替えを行った場合の新設備の総費用の年価を M_N^T とあらわすと、新設備の方が有利であり、新設備へ、いつ更新すべきかという状況であるので、年価を比較すると $M_N^T < M_H^T(T^{T*})$ である。

そこで、以上の状況を図示すると図表 8 のようになる。すなわち新設備の総費用の年価を M_N^T は一定の水平の直線であらわされる。



環境配慮型の設備に関して、図表 8 の右上がり曲線のように現有設備の年価が現時点において、新設備の総費用の年価が M_N^T を下回っている場合は、どの時点で新設備に更新すべきかが問題となる。時点 T_A^T で新設備に更新する場合の年価の総額は、色づけされた長方形の面積であらわされるので、この面

積を最小とするような更新年数Tを考える必要があるが、これについても、前述の新設備への更新のタイミングの考え方と同様となる。

4-2. 環境配慮型の新設備更新評価モデルの構築

環境配慮型の設備について、現時点0からT年経過時点まで現有設備を使用し、T年経過時点で新設備に更新し、その後は新設備と反復的に取替え使用する場合の現在価値の総額 $P^T(T)$ は(9)'式のようにあらわされる。

$$P^T(T) = \int_0^T E_{H}^T(t) e^{-it} dt - S_{H}^T(T) e^{-iT} + \frac{M_N}{i} e^{-iT} \quad (9)'$$

(9)'式における右辺の第1項は、現有設備を時点Tまで使用することによる操業費用の現在価値の総額であり、第2項は現有設備の時点Tにおける処分価値を現在価値に変換したものであり、第3項は時点Tに新設備に更新し、その後、連続反復的に当該設備の取替えを行う場合の現在価値の総和である。

現有設備から新設備への経済的に最も有利な更新時点は、(10)'式および(11)'式を満たす必要がある。

$$E_{H}^T(T) + iS_{H}^T(T) - \frac{dS_{H}^T(T)}{dT} = M_N \quad (10)'$$

$$\frac{dE_{H}^T(T)}{dT} + i \frac{dS_{H}^T(T)}{dT} - \frac{d^2S_{H}^T(T)}{dT^2} > 0 \quad (11)'$$

なお時間を離散量として取り扱う場合については、新設備の総費用の年価を M_N^T とし、現有設備の操業費用を E^T 、売却価値を S^T 、各期末時点kを添え字であらわすと新規設備への最適更新時点kについては(12)'式を満たす必要がある。

$$E_k^T - \{S_k^T - (1+i)S_{k-1}^T\} \leq M_N^T \leq E_{k+1}^T - \{S_{k+1}^T - (1+i)S_k^T\} \quad (12)'$$

売却価値を無視しうる場合については、(12)'式からわかるように最適更新時点kは、現有設備の操業費用Eが、新設備を経済寿命ごとに取替えた場合の総費用の年価 M_N^T に等しくなった時点といえる。

環境配慮型の設備について現有設備から新設備へどのようなタイミングで更

新するのが経済的に有利かを考える場合、そのコストについて、USEPA のトータルコストアセスメントにおける4階層のコストの範囲のように、従来対象とした階層0の通常コスト以外に、階層1の隠れているコスト、階層2の負債コストさらには階層3の無形コストを考慮する必要がある。すなわち設備の維持・修繕等のための操業費用（減価償却費および支払利息を含まない）の発生額以外に、隠れているコスト、負債コストおよび無形コストの額を考慮した操業費用、さらに環境配慮型設備をn期間経過後の売却価値、また、環境配慮型設備の投資額を考慮して、上述の様な更新時期の分析を必要とする。

5. おわりに

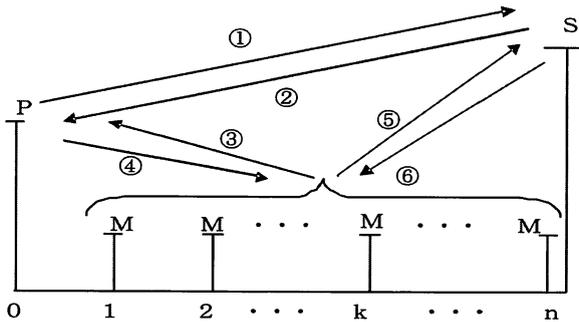
企業における環境保全のための環境保全活動については、その有効な実施のために環境管理会計において種々の手法が用意されているが、環境配慮型設備投資意思決定は、その意思決定の効果が長期にわたり、将来を決定づけるものである。そこで、本論文では、その設備投資における経済的に最も有利な取替年数すなわち経済寿命について、その理論と体系を整理するとともに、現有設備から新たに登場した経済的により有利な設備へ取り替える場合、どのようなタイミングで更新すべきかについても検討・整理を行った。また、その理論をもとに環境配慮型の設備投資にUSEPAのトータルコストアセスメントにおける4階層のコストを踏まえ、環境配慮型設備投資における設備更新問題について、環境配慮型設備の経済寿命および環境配慮型の新設備への経済的に有利な更新時期を導くための考え方について検討を行った。

なお、USEPAのトータルコストアセスメントにおける4階層のコストに対応して、環境配慮型設備投資における経済寿命に対する影響等についての分析については、行っていないが、それらについては今後の課題としたい。

注

- 1) 千住・伏見 [1983], p.202参照。
- 2) 「実際には将来取り替える設備の取得価額や報収が第1回目の設備のそれと同じということは減多になく、物価水準が上昇するために将来のものほど投資額や報収が大きくなる傾向がある。その場合は、将来の収入や支出を実質価値で測定し、資本の利率も実質価値で測定することになると、類似反復型の仮定においても大過ない場合が多い。」とされる(千住・伏見 1983, p.203)。
- 3) 千住・伏見 [1983], pp.209-211参照。
- 4) 千住・伏見 [1983], p.12に詳しい。
- 5) 経済性計算については、千住鎮雄・伏見多美雄 [1983], 千住鎮雄・伏見多美雄 [1994] に詳しい。

次の図に示すように、現在価値P、終価S、年価Mの価値変換は①～⑥の各係数をかけることにより計算される。



時間を連続量とする場合の資金の時間価値の変換およびその考え方について以下に示す。

現時点における資金価値Pのt年経過後の価値Sを考える。ただし資本コスト率は、単位期間の年あたり*i*とする。そこで、t年後の価値Sは、1年ごとの複利計算によると(i)式のようにあらわされる。

$$S = P \times (1+i)^t \quad (i)$$

次に単位期間を半年(1/2年)とすると資本コスト率は、半年あたり*i/2*となり、半年複利の計算によりt年後の価値Sは、(ii)式のようにあらわされる。

$$S = P \times (1+i/2)^{2t} \quad (ii)$$

同様に単位期間を1/k年とする場合、資本コスト率は、1/k年あたり*i/k*となり、t年後の価値Sは、(iii)式のようにあらわされる。

$$S = P \times (1+i/k)^{kt} \quad (iii)$$

ここで単位期間 $1/k$ を微小量とすることにより、時間を連続量とする。そのため(iii)式における k を無限に大きくすると(iv)式ようになる。

$$\lim_{k \rightarrow \infty} (1+i/k)^{kt} = \lim_{k \rightarrow \infty} (1+1/(k/i))^{(k/i)t} \quad (\text{iv})$$

(iv)式において $k/i=n$ とおくと(v)式のように変形される。ただし e は、ネイピア数(自然対数の底)である。

$$\begin{aligned} \lim_{k \rightarrow \infty} (1+i/k)^{kt} &= \lim_{n \rightarrow \infty} (1+1/n)^{nt} \\ &= e^{it} \\ &(\because \lim_{n \rightarrow \infty} (1+1/n)^n = e) \end{aligned} \quad (\text{v})$$

したがって、時間を連続量として取り扱った場合、現時点における資金価値 P の t 年経過後の価値 S は、(vi)式のようにあらわされる。

$$S = P \times e^{it} \quad (\text{vi})$$

なお(vi)式における係数 e^{it} は、時間を離散量にとった場合の終価係数に対応する。

なお、各変換係数は①～⑥のとおりであるが、各係数の最初の式が時間を離散量とした場合の式であり、その次の式は時間を連続量としたときの式である。ただし、 e は自然対数の底(ネイピア数)である。

現在価値 P 、終価 S 、年価 M 、利子率 i 、プロジェクト期間 n 、 T

①終価係数	$(1+i)^n$	e^{iT}
②現価係数	$\frac{1}{(1+i)^n} = (1+i)^{-n}$	$\frac{1}{e^{iT}} = e^{-iT}$
③年金現価係数	$\frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n}$	$\frac{(1 - e^{-iT})}{i}$
④資本回収係数	$\frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1}$	$\frac{i}{(1 - e^{-iT})}$
⑤年金終価係数	$\frac{(1+i)^n - 1}{i}$	$\frac{(e^{iT} - 1)}{i}$
⑥減債基金係数	$\frac{i}{(1+i)^n - 1}$	$\frac{i}{(e^{iT} - 1)}$

- 6) 千住・伏見 [1983], p.202参照。
- 7) 千住鎮雄・伏見多美雄 [1983] および千住鎮雄・伏見多美雄 [1994] においては、投資案の成果として生じる毎期の純収入を報収(return)とあらわしている。
- 8) 孟慶国・中村善太郎 [1993], 孟慶国 [1996] に詳しい。

- 9) まず、毎期末における年価Mを現在価値Pに変換する場合は、(i)式のように年価の現在価値の総和としてあらわされ、等比数列の和により求められる。なお年価を現在価値に変換する係数を年金現価係数とよぶ。

$$\begin{aligned}
 P &= \frac{M}{1+i} + \frac{M}{(1+i)^2} + \cdots + \frac{M}{(1+i)^n} = \sum_{k=1}^n \frac{M}{(1+i)^k} \\
 &= M \times \frac{1}{1+i} + \frac{1}{(1+i)^2} + \cdots + \frac{1}{(1+i)^n} = M \times \sum_{k=1}^n \frac{1}{(1+i)^k} \quad (i) \\
 &= M \times \frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n}
 \end{aligned}$$

そこで、永久に年価Mが生じる状況は、(i)式のnを無限大とする場合である。(ii)式のようにnを無限大とすると現在価値P'は、(i)式の年金現価係数の分母・分子を(1+i)ⁿで除することにより、年価Mを資本コスト率iで除することにより計算されることがわかる。

$$P' = M \times \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} = M \times \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1 + \frac{1}{(1+i)^n}}{i} = \frac{M}{i} \quad (ii)$$

- 10) 費用型の(5)式、M_E(T)を最小とするような取替年数Tは、(5)式を1次微分が0、2次微分が正となる必要がある。そこで(5)式の1次微分を行うと、(i)式のようになる。

$$\begin{aligned}
 \frac{dM_E(T)}{dT} &= \left\{ E(T) - \frac{dS(T)}{dT} + iS(T) \right\} \frac{ie^{-iT}}{1-e^{-iT}} - \left\{ \int_0^T E(t)e^{-it} dt + C_0 - S(T)e^{-iT} \right\} \frac{i^2 e^{-iT}}{(1-e^{-iT})^2} \\
 &= \left\{ E(T) - \frac{dS(T)}{dT} + iS(T) \right\} \frac{ie^{-iT}}{1-e^{-iT}} - M(T) \frac{ie^{-iT}}{1-e^{-iT}} \\
 &= \left\{ E(T) - \frac{dS(T)}{dT} + iS(T) - M(T) \right\} \frac{ie^{-iT}}{1-e^{-iT}} = 0 \quad (i)
 \end{aligned}$$

したがって、1次微分が0となるためには(ii)式を満たす必要がある。

$$E(T) + iS(T) - \frac{dS(T)}{dT} = M_E(T) \quad (ii)$$

また、2次微分については、(iii)式のようになり、これが正となる必要がある。

$$\begin{aligned}
 \frac{dM_E^2(T)}{dT^2} &= \left\{ \frac{dE(T)}{dT} - \frac{dS^2(T)}{dT^2} + i \frac{dS(T)}{dT} - \frac{dM(T)}{dT} \right\} \frac{ie^{-iT}}{1-e^{-iT}} \\
 &+ \left\{ E(T) - \frac{dS(T)}{dT} + iS(T) - M(T) \right\} \frac{(-i^2 e^{-iT})}{(1-e^{-iT})^2} \\
 &= \left\{ \frac{dE(T)}{dT} - \frac{dS^2(T)}{dT^2} + i \frac{dS(T)}{dT} - \frac{dM(T)}{dT} \right\} \frac{ie^{-iT}}{(1-e^{-iT})} - \frac{dM(T)}{dT} \frac{i}{(1-e^{-iT})} > 0
 \end{aligned} \tag{iii}$$

なお、(iii)式において、(i)式を前提とすると $\frac{dM(T)}{dT} = 0$ であるので、(iii)式を満たすには、(iv)式を満たせばよいこととなる。

$$\frac{dE(T)}{dT} + i \frac{dS(T)}{dT} - \frac{d^2S(T)}{dT^2} > 0 \tag{iv}$$

- 11) 更新時点T以降に新設備を取替え続ける場合について、時点Tにおける価値の総額は $\frac{M_N}{i}$ となるので、これを時点0における価値すなわち現在価値に変換するために e^{-iT} を乗じることにより、更新時点T以降に新設備を取替え続ける現在価値の総額は、 $\frac{M_N}{i} e^{-iT}$ となる。

- 12) T年経過時点で新設備に更新し、その後は新設備と反復的に取替え使用する場合の現在価値の総額 $P(T)$ をあらわす(9)式を最小とするような時点Tについては、(9)式の1次微分が0、2次微分が正となる必要がある。そこで(9)式の1次微分を行うと、(i)式ようになる。

$$\begin{aligned}
 \frac{dP(T)}{dT} &= E_H(T)e^{-iT} - \frac{dS_H(T)}{dT} e^{-iT} + iS_H(T)e^{-iT} - M_N e^{-iT} \\
 &= \left\{ E_H(T) - \frac{dS_H(T)}{dT} + iS_H(T) - M_N \right\} e^{-iT}
 \end{aligned} \tag{i}$$

したがって、 $E_H(T) - \frac{dS_H(T)}{dT} + iS_H(T) - M_N = 0$ を満たすとき、すなわち $E_H(T) - \frac{dS_H(T)}{dT} + iS_H(T) = M_N$ のとき1次微分が0となる。

さらに2次微分を行うと(ii)式ようになる。

$$\frac{dP^2(T)}{dT^2} = \left\{ \frac{dE_H(T)}{dT} - \frac{dS_H^2(T)}{dT^2} + i \frac{dS_H(T)}{dT} \right\} e^{-iT} - i \left\{ E_H(T) - \frac{dS_H(T)}{dT} + iS_H(T) - M_N \right\} e^{-iT} \tag{ii}$$

ただし、1次微分が0のとき(ii)式の右辺の2つ目の中括弧は0となる。

したがって、2次微分が正となるには、(ii)式の右辺の1つ目の中括弧が正となる必要があり、(iii)式が導かれる

$$\frac{dE_H(T)}{dT} - \frac{dS_H^2(T)}{dT^2} + i \frac{dS_H(T)}{dT} > 0 \quad (\text{iii})$$

- 13) 孟慶国・中村善太郎 [1993], 孟慶国 [1996] に詳しい。
- 14) 小倉昇 [2005] に詳しい。
- 15) 小倉昇 [2005], pp.87-88参照。
- 16) 浅田孝幸・伊藤嘉博責任編集 [2011], pp.226-227参照。

参考文献

[和文]

浅田孝幸・伊藤嘉博責任編集 [2011] 『戦略管理会計』中央経済社。

井岡大度 [1990] 「同種反復型設備投資の経済寿命と追加的な資本的支出」『産業経理』第50巻第3号, pp.110-117。

小倉昇 [2005] 「環境配慮型設備投資」河野正男責任編集『環境会計 A-Z』ビオシティ。

環境省総合環境政策局環境経済課 [2002] 『環境会計ガイドブック2002版』環境省。

環境省 [2005] 『環境会計ガイドライン2005年版』環境省。

片岡洋一 [1978] 『製品原価の測定理論』白桃書房。

河野正男 [2001] 『環境会計 理論と実践』中央経済社。

経済産業省 [2002] 『環境管理会計手法ワークブック』経済産業省。

経済産業省 [2008] 『マテリアルフローコスト会計手法導入ガイド』経済産業省。

國部克彦編著 [2004] 『環境管理会計入門』産業環境管理協会。

國部克彦編著 [2008] 『実践マテリアルフローコスト会計』産業環境管理協会。

國部克彦・伊坪徳宏・水口剛 [2012] 『環境経営・会計(第2版)』有斐閣。

柴田英樹・梨岡英里子 [2009] 『進化する環境会計(第2版)』中央経済社。

杉山善浩 [2002] 『投資効率を高める資本予算』中央経済社

中寫道靖・國部克彦 [2008] 『マテリアルフローコスト会計(第2版)』日本経済新聞社。

千住鎮雄・伏見多美雄 [1983] 『経済性工学の応用』日本能率協会。

千住鎮雄・伏見多美雄 [1994] 『新版 経済性工学の基礎』日本能率協会マネジメントセンター。

中村善太郎 [1991] 「設備更新計画における操業延長コストを用いた経済計算」『企業会計』第43巻第7号, pp.931-938。

日本会計研究学会特別委員会 [2010] 『環境経営意思決定と会計システムに関する研究(最終報告書)』日本会計研究学会特別委員会。

廣本敏郎 [2008] 『原価計算論(第2版)』中央経済社。

[論文] 環境配慮型設備投資における設備更新分析 (井岡)

- 孟慶国・中村善太郎 [1993] 「利回り指標による設備更新の経済性」『経営工学会誌』第44巻第4号, pp.331-337。
- 孟慶国 [1996] 「定期修理を行う設備更新問題の利回り指標による解法」『経営工学会誌』第47巻第4号, pp.229-238。
- 宮崎修行 [2002] 『統合的環境会計論(第2版)』創成社。
- 矢澤秀雄・湯田雅夫編著 [2004] 『環境管理会計概論』税務経理協会。
- 山根里香・小倉昇・國部克彦 [2013] 「マネジメント・プロセスの側面からみた県境配慮型設備投資の現状と課題」『原価計算研究』第37巻第2号, pp.33-45。

[欧文]

- Atkinson, A. A., R. S. Kaplan, and S. M. Young, (2004), *Management Accounting (4th Ed.)* Prentice-Hall.
- Hornigren, C. T., Srikant M. D., Foster, G., Rajan, M. and Ittner, C. (2009) George Foster, *Cost Accounting - A managerial Emphasis - , Thirteenth Edition , Prentice Hall , Upper Saddle River New Jersey .*
- IFAC (2005), *International Guidance Document: Environmental Management Accounting*, International Federation of Accountants.
- Jasch, C. (2008) *Environmental and Material Flow Cost Accounting: Principles and Procedures (Eco-Efficiency in Industry and Science)*, Springer.
- Strobel, M. and Redmann, C. (2000) *Flow Cost Accounting* (rev. ed.), IMU (Institute für Management und Umwelt), Germany.
- USEPA, (1992), *Total Cost Assessment: Accelerating Industrial Pollution Prevention through Innovative Project Financial Analysis with Application to the Pulp and Paper Industry*, U. S. Environmental Protection Agency.
- USEPA, (1995), *An Introduction to Environment Accounting as a Business Management Tool*, U. S. Environmental Protection Agency.
- USEPA (2000), *The Lean and Green Supply Chain: A Practical Guide for Material Managers and Supply Chain Managers to Reduce Costs and Improve Environmental Performance*, U. S. Environmental Protection Agency.