

温室効果ガスの削減費用の計算方法

著者	一方井 誠治, 栗田 郁真, 堀 勝彦
雑誌名	武蔵野大学環境研究所紀要
号	3
ページ	17-32
発行年	2014-03-01
URL	http://id.nii.ac.jp/1419/00000278/

温室効果ガスの削減費用の計算方法

On a Calculation Method for Greenhouse Gas Abatement Cost

一方井 誠 治*
Seiji Ikkatai

栗 田 郁 真†
Ikuma Kurita

堀 勝 彦‡
Katsuhiko Hori

1. はじめに

近年、環境経営という言葉は日本でも定着しつつあり、大企業を中心に多くの企業が担当部署を作りそれを実践してきている。一方で、中小零細企業などでは、必ずしも環境経営にかかる十分な組織体制が整備されておらず十分なノウハウがない状況も見受けられる。

環境経営とは、一般に、「企業と社会が持続可能な発展をしていくために、地球環境と調和した企業経営を行う」などと捉えられているが、必ずしも確立した定義があるわけではない。ただ、「企業イメージの向上のためには利益は考えず地球にやさしい経営をすること」と捉えられている場合も多く、経営環境が厳しくなってくると環境経営は後回しになるようなケースもまま見受けられる。しかしながら、本来の環境経営は、それが企業利益の増加や技術力の向上等に結び付くものである必要があり、そのような環境経営を行っていくことこそが、企業の持続可能な発展と地球環境の保全を同時に可能とする。

現代は気候変動問題をはじめとする地球規模での環境問題や新興途上国の発展を背景とした資源・エネルギー問題などにより、企業をめぐる環境的、経済的、政策的な条件が大きく変わりつつある。その中でどのような環境経営を進めていけば、企業の利益の向上につなげられるのかが、大きな課題である。特に、世界的に大幅な削減が求められている温室効果ガスの削減を今後どのように進めていくか、そのベースともなるエネルギーや資源の効率的な利用をどのように図っていくかということは、今後の企業利益のひとつの鍵を握っていると言っても過言ではない。

EUでは既に欧州排出量取引制度や国内炭素税・エネルギー税などの導入による炭素価格が企業経営における一つの大きな判断要素のひとつとなってきている。日本においても、2012年からはいわゆる環境税や再生可能エネルギーの固定価格買取制度などがスタートしており、今後、世界的な炭素価格の確立が進んでいくものと予測される。

*環境学部教授 † 京都大学経済研究所研究員 ‡ 帝塚山大学経済学部講師

本稿の目的は、特に、資源・エネルギーの効率の改善を踏まえ、また、市場における炭素価格の動向なども踏まえ、それぞれの企業がどのような温室効果ガスの削減方策をどのような優先順位で行っていくのが最も企業の利益に資するのかという点に関し、これまでに著者らが開発した具体的な計算モデルを提示することにある。

本稿の次節以降の構成は次の通りである。第2節で温室効果ガスの削減費用に関する先行研究を整理し、第3節で提示する企業における削減費用の計算式の定式化の意義を明確にする。第3節で環境省(2001)を参考に、個別設備の投資判断にも利用可能な温室効果ガスの削減費用計算式を提示する。最後に第4節で本稿をまとめる。

2. 温室効果ガスの削減方策とその費用計算

2.1 企業の現状と削減費用把握の必要性

気候変動の地球規模での進行を背景に、世界各国における温室効果ガスの排出削減への取り組みが続いており、京都議定書締結国を中心に、炭素税や排出量取引制度が検討・実施されてきた。また、日本においても、地球温暖化対策税が導入され、また東京都などの自治体規模で排出量取引制度が導入されるなど、その機運が高まりつつある。このような国内外の状況を背景として、日本の企業においても、温室効果ガスの排出削減にかかる費用に対する関心が高まっており、温室効果ガスを削減することにより生じる費用または便益を可視化するための様々な試みが行われてきた。

温室効果ガスの削減費用については、これまで環境経済学の分野において限界削減費用に関する多くの推計が行われ、環境会計の分野においても環境保全のための費用とその活動により得られた効果を測定・公表するための体制が整備されてきた。

他方、実際に企業は削減費用をどのように計算しているのだろうか。企業における温室効果ガスの削減費用の計算の現状を明らかにすることを目的として、著者らは2009年度および2010年度にアンケート調査を実施した¹。

2009年度調査では、環境会計を実際に導入している、または導入している可能性の高い企業800社に調査票を郵送し、179社から回答を得た。2010年度調査では東証および大証の上場企業2328社に調査票を郵送し、374社から回答を得た。これらのアンケート調査の結果は、以下のことが明らかとなった。

まず温室効果ガスの削減費用について、2010年度の時点で、4割近くの企業が把握しておらず、その理由として、削減費用の計算を検討したことがない、また計算を検討している場合でも、計算作業が繁雑、あるいは計算方法が分からないということであることが明らかとなった。

削減費用を計算している企業においては、会社全体あるいは事業所ごとに把握している企業が多い一方で、個別設備ごとに把握している企業は少ない。実際の算出の際、温室効果ガス1トンあたりの削減費用を算出している企業は多いものの、排出削減にともなう省エネルギー分を加味して算出している企業は少数である。複合設備における環境負荷削減費用の判断については、自社で定められた客観的な基準で判断しているケースがある一方で、担当者が経験的・直感的に判断しているケースも見られる。削減費用を計算する動機については、企業外部の利害関係者に

1 詳細については、一方井ほか(2013)、堀ほか(2013)を参照のこと。

伝達する目的・企業内部の意思決定プロセスに用いる目的ともに重視されているが、排出削減と削減クレジット購入を比較検討する段階には至っていない。

以上のアンケート調査の結果のとおり、多くの企業が削減費用の計算を実施しておらず、また削減費用の計算を実施している企業においても自社で温室効果ガスの削減費用の計算式を確立している企業は少ないことが明らかとなっており、企業自身による排出削減費用の把握が可能な統一された計算式の定式化が社会的に求められている状況にある。

2.2 削減費用把握の考え方

温室効果ガスの排出削減が国際的な政策課題として認知されている今日において、その対策にかかる費用または便益を可視化するための様々な試みが行われている。以下では、環境経済学における限界削減費用アプローチならびに環境会計における取り組みを概観する。

2.2.1 限界削減費用アプローチ

環境経済学では限界削減費用アプローチがよく用いられているが、それらはほとんどの場合、企業の温室効果ガスの削減投資の判断の手法としてではなく、国や地方自治体の政策分析を目的として利用・研究がなされている。以下では限界削減費用に関するこれらの成果を、①定義および②推計方法の側面から簡単に整理する。

(1) 限界削減費用とは

温室効果ガスの限界削減費用とは、一般に「温室効果ガスの排出量を追加的に削減するために必要な費用」と定義されている。しかし、より具体的な限界削減費用の定式化の方法は様々である（Klepper & Peterson, 2006）。その定義の方法を分類するならば、大きく二つに分けることができる。一つは、生産水準の増減を明示的に考慮せずに排出削減を実現するために必要となる追加的費用とするものであり、欧州委員会の PRIMES モデルによる分析（Capros, Kouvaritakis, & Mantzos, 2001）、日本エネルギー経済研究所の IEEJ モデルによる分析などで採用されている。もう一つの定義の方法は、温室効果ガスの排出を追加的一単位削減することによる利潤の減少分とするものであり、マサチューセッツ工科大学の EPPA モデルによる分析、Ellerman & Decaux (1998)、McKittrick (1999)、Klepper & Peterson (2006)、清野・新保 (2007) などで採用されている。また限界削減費用を排出の「影の価格」(shadow price) として定義する場合も多い²。

次節で提示する企業の温室効果ガスの削減投資の判断の手法としての削減費用式は、前者のアプローチに近く、サービスの生産水準を一定としたもとで温室効果ガスを 1 単位削減するために必要な費用を計算している。

(2) 推計方法

限界削減費用の推計方法についても様々な方法が提案されている。それらはトップダウン分析

2 排出の「影の価格」とは、排出制約が限界的に厳しくなった場合により生じる費用の増加分又は利潤の減少分である。「影の価格」に関する詳しい説明は、例えば Pittman (1981)、Klepper & Peterson (2006) などを参照されたい。

とボトムアップ（積み上げ型）分析に大きく分類できる³。以下では、これらの手法について概観する。

まず、トップダウン分析とは、マクロデータを用いて外生変数を推計することにより削減費用を求める手法である。その分析実績は数多くあり、大阪大学の伴モデル（Ban, 1992）、米国パテル研究所のSGM（Edmonds, Pitcher, Barns, & Baron, 1995）、東京大学のGDMEEM（Goto, 1995）、マサチューセッツ工科大学のEPPA（Ellerman & Decaux, 1998）、EUのPRIMES（Capros, Kouvaritakis, & Mantzos, 2001）、東京理科大学のMARIA（Mori, 2003）、キール世界経済研究所のDART（Klepper & Peterson, 2003）、国立環境研究所のAIM/CGE（Kanimura, Matsuoka, & Morita (1999), Masui (2004)）、OECDのGREEN、米国パデュー大学のGTAP、NordhausのDICE、ManneとRichelsのMERGEなどがある⁴。

他方、ボトムアップ分析は個別のミクロデータを積み上げて推計を行う分析手法であり、EUの分析（Hendriks, et al., 2001、環境省（2001）、Kaimura, Matsuoka, & Morita 2002）、国立環境研究所のAIM/Enduse（Hanaoka, Akashi, Kanamori, & Kainuma 2009）などにおいてボトムアップ分析に基づく推計が行われている⁵。

次節で提示する企業の温室効果ガスの削減投資の判断の手法としての削減費用率は、上記のうち後者のボトムアップ分析のアプローチに従った削減費用の計算方法として分類される。

2.2.2 環境会計

上記の限界削減費用の推計方法は、トップダウン分析・ボトムアップ分析ともに、将来において温室効果ガスのある目標値まで削減したと仮定した場合にかかる限界削減費用を算出したものである。一方で、企業自身による温室効果ガスの排出削減にかかる現在の費用および効果の把握については、環境会計における取り組みが進められてきている。

環境会計の分野においては、企業の環境対策に関する意思決定を支援するための様々な手法が提案されている。例えばアメリカ環境保護庁（EPA）は1992年から「環境会計計画」を実施し、その取り組みを通じてトータルコストアセスメント手法を開発・提案している。国際連合持続可能開発部（2001）でも環境管理会計手法の開発と普及に努めている。また、日本においては、環境省（2005）が「環境会計ガイドライン」を、経済産業省（2002）が「環境管理会計手法ワークブック」を提供しており、環境会計の手法開発を進めている⁶。

環境会計の機能は、環境保全のための費用とその活動により得られた効果について企業外部の利害関係者に伝達する外部機能、ならびに、それらを企業内部の意思決定プロセスに用いる内部機能に分けられ、「環境会計ガイドライン」は外部機能、「環境管理会計手法ワークブック」は内部機能に着目した方針と位置付けられる。

- 3 それぞれ一長一短があり、トップダウン分析では限界削減費用を過大評価する傾向にあり、ボトムアップ分析では過小評価する傾向にあることが指摘されている（Grubb, 1993）。
- 4 またトップダウン分析とボトムアップ分析の折衷型として、地球環境産業技術研究機構のDNE21+などがある。また限界削減費用計算モデルに関して整理したものとして、環境省（2001）、岡ほか（2002）、一方井（2008）第2章などがある。
- 5 その他NO_x、SO_xに関しては、例えばKarvosenoja & Johansson（2003）、Vijay, Decarolis, & Srivastava（2010）などがある。
- 6 その他の主要な文献として、国際会計士連盟（2005）などがある。また、環境管理会計に関する近年の入門書として例えば國部（2007）がある。

次節で提示する企業の温室効果ガスの削減投資の判断の手法としての削減費用式もまた、環境会計の一手法ととらえることができ、「外部機能」と「内部機能」の双方の機能を持つと考えられるが、特に後者の「内部機能」を重視した手法となっている。

(1) 環境会計ガイドライン

「環境会計ガイドライン」は環境会計の構成要素を、「環境保全コスト」（貨幣単位）、「環境保全効果」（物量単位）、「環境保全対策にともなう経済効果」（貨幣単位）に分類している。温室効果ガスの排出削減に関連する項目としては、「環境保全コスト」では地球温暖化対策に関するコストを、「環境保全効果」では温室効果ガス排出量（t-CO₂）を、「環境保全対策にともなう経済効果」では省エネルギーによるエネルギー節約分をそれぞれ記している。

環境会計のそれぞれの構成要素をどのように集計するかについて、「環境保全コスト」では、エンドオブパイプ設備のように直接識別できる場合は当該額をそのまま計上できるとする一方で、生産目的と環境負荷削減目的が一体となっている複合設備のように直接識別できない場合は、差額集計、合理的基準による按分集計、簡便な基準による按分集計という優先順位によっていずれかの方法で集計するとしている。

「環境保全効果」は基準期間の環境負荷量と当期の環境負荷量の差として算定され、基準期間は原則として前期と設定している。なお、基準期間と当期との間で事業活動量に大きな差があった場合、事業活動量の増減によって基準期間の環境負荷量等を調整し、調整後の値と当期の環境負荷量との差を算定する方法を提示している。

「環境保全対策にともなう経済効果」についても、基準期間における費用と当期における費用の差を算定し、それを環境保全活動を実施した結果として当期において発生が回避された費用として見なすとしている。また、基準期間と当期との間で事業活動量に大きな差があった場合、上記と同様に、事業活動量の増減によって基準期間の費用を調整し、調整後の値と当期の費用との差を算定する方法を提示している。

(2) 環境管理会計手法ワークブック

「環境管理会計手法ワークブック」では、中長期的な環境目標を達成するための手段として環境改善活動と環境設備投資の2つをあげている。そして、後者の環境設備投資の意思決定に対して必要な情報を提供するアプローチの一つに環境配慮型設備投資決定手法を提示があり、その意思決定の評価軸として経済性および効果性の2つをあげている。

経済性を評価する際には、初期投資額・設備運用コスト・設備の経済寿命・設備の廃棄費用に関する財務データが必要とされ、経済性を評価する方法例として、既存設備をそのまま使い続けた場合に予想される資本投資額・運用にかかる費用の見積額と新たに設備投資を実行した場合の資本投資額・運用にかかる費用を比較する方法が挙げられている。

また、効果性については、その評価指標がそれぞれの環境目標によって異なり、温室効果ガスの排出削減のための環境設備投資を行う場合には、温室効果ガスの排出削減量が効果性の評価指標とされる。具体的には、燃料・電気・熱の使用量を把握し、排出係数を用いて温室効果ガスの排出量を算定した後、現在検討中の環境設備投資について年間にかかる費用および排出削減量を

見積もることで、温室効果ガスの排出削減という目標に対するコストパフォーマンスを評価することで、その設備の採用可否を検討することになる。

「環境会計ガイドライン」は環境会計の外部機能、「環境管理会計手法ワークブック」は内部機能に主眼が置かれているという差違はあるものの、環境保全対策にかかる費用およびその効果を把握・算出するという点で共通した取り組みである。加えて、双方とも、本来生産や物流などを目的とする設備のなかに環境負荷を低減する設備を組み込んだ複合設備についてその環境保全対策費用を算定する場合には、本来の目的に充てられる設備費用の部分と環境負荷低減のための設備費用の部分とを分離する必要性を論じている点でも共通している。

「環境管理会計手法ワークブック」では、複合設備の構造が単純な場合には、構成するアイテムごとに、環境負荷低減のために必要性が高いかそうでないかによって環境設備部分と非環境設備部分とに分けることができるが、設備構造が複雑になると上記のアイテムごとの区分が難しくなり、その場合には、設備費用額をいったん集計したうえで適切な按分係数を用いて環境設備部分と非環境設備部分に区分する方法を提示している。

按分係数について、「環境会計ガイドライン」では、支出目的による合理的な按分基準を定めて按分集計することを求めているが、そのような合理的基準による按分集計ができない場合は、簡便な按分係数として0%・10%・50%・100%のように一定割合を集計すべき額として見なすことを定めている。

しかし、簡便な按分係数は客観的に定めることが難しく、担当者の経験的・直感的な判断に委ねられる場合が多い。また、これらの按分係数は環境負荷低減目的が含まれる設備投資にかかる費用全体に対して乗じるものであるため、複合設備投資について、その初期投資額における環境負荷低減目的のための費用を算出する際には按分係数の多寡によってその算出額が大きく左右されるおそれがある。

3. 温室効果ガスの削減費用計算

上記の事情を踏まえ、一方井ほか（2009）では個別企業の経営判断に資することを目的とした温室効果ガス削減費用計算式の提案を行っている。この報告書で提示された計算式の特徴として、削減対策費用を算出する際に、設備投資費用を削減対策費用とそれ以外の費用に按分するための係数を用いていることがある。この方法による削減費用計算の問題は、削減対策費用を抽出するための按分係数を客観的に算定することが困難であり、按分係数の値の決定は当事者の経験・主観に頼らざるを得ないことがある。その結果、按分係数が企業の事情により恣意的に決定されても、それを客観的に検証できない可能性が大きい。それに対して、本稿では上記のような客観的な算定の難しい按分係数を利用しない、合理的な削減費用の計算式を提案する。次節で、一方井ほか（2009）で提案された計算式を簡単に紹介した後、按分係数を用いない削減費用の計算式の提案を行う。

3.1 一方井ほか（2009）における温室効果ガス削減費用の計算式

一方井ほか（2009）において、企業における温室効果ガスの削減費用の実用的な計算モデルの提案を行った。計算モデルは以下の通りである。

$$A = \frac{a \times C_{\text{dep}} + C_{\text{run}} - M}{R}$$

上式において、Aは個別設備のCO₂の削減費用、Mは、その設備によるBaU比の年間エネルギー節約効果、Rはその設備によるBaU比の年間CO₂排出削減量を表す。C_{dep}は個別設備の初期投資費用の年価を表しており、以下のように定義される。

$$C_{\text{dep}} = \frac{I}{T}$$

ここで、Iは個別設備の初期投資費用の年価、Tは個別設備の耐用年数をあらわす。また、C_{run}は設備の年間人件費・維持管理費用を表しているが、この中にはエネルギー使用量は含まれていない。最後に、aは個別設備への投資総額のうちCO₂削減に対する費用の割合を表す按分係数であり、0以上1以下の値をとる。

上記の削減費用の計算式の定式化の問題点は、この按分係数aを客観的・理論整合的に定める方法が存在せず、計算を行う当事者の主観的な判断・基準に頼らざるを得ない、という点であった。そこで次節において、この問題を改善した削減費用計算式を提案する。

3.2 削減費用計算式

本稿で提示する削減費用計算式は、以下の通りである。

$$A = \frac{(D_N - qD_O) + (R - qR_O) + (F_N - qF_O)}{qG_O - G_N} \quad (1)$$

温室効果ガスを追加的に1トン削減するのにかかる費用（以下、削減費用）Aは、設備投資の初期費用（年価）、年間維持管理費用、年間エネルギー費用のそれぞれについて温室効果ガスの排出削減のために導入を検討している設備（以下、新規設備）を導入した場合と代替的な標準的設備（以下、基準設備）を導入した場合とで差をとったものの総和をそれぞれの設備の導入により生じる温室効果ガスの年間排出量の差で除することで求められる。言い換えると、温室効果ガスの削減費用を計算することは、新規設備の導入後と基準設備の導入後を比較することを意味しており、維持管理費用（R）、エネルギー費用（F）、温室効果ガス排出量（G）の両者の差として表される。(1)式では、新規設備導入後の状態を表す添字をN、基準設備導入後の状態を表す添字をOとしている。

ここで提示した削減費用計算式（1）により計算される値が合理的な意味を持つため、本稿で

は以下の点を前提とする。

- ① 現在利用中の設備の継続利用の是非を検討する目的で計算式を用いることはできない。従って計算式は、現在利用中の設備が老朽化するなどにより、設備更新は行うことが決定している場合に用いる。
 - ② 設備更新によって生産規模は変わらないことを前提としており、設備更新による生産規模の増強・縮減の効果を検討する目的で計算式を用いることはできない。
- 次節で(1)式で現れる各項について詳細に述べる。

3.3 削減費用計算に用いられる値

3.3.1 設備の設備能力比

前節で示した通り、本稿において設備更新によって生産規模が変わらないことを前提としているため、導入の比較対象となる設備の間で設備能力を等しくそろえる必要がある。例えば、基準設備となるボイラーの蒸気発生量が100kg/hであるのに対して、新規設備となるボイラーの蒸気発生量が200kg/hであるとき、新規設備となるボイラー1台の導入は、基準設備となるボイラー2台と置き換えられることとなる。基準設備と新規設備の間のこのような設備能力の違いを明示するため、設備能力比を以下のように表す。

$$q = (\text{新規設備の設備能力}) \div (\text{基準設備の設備能力}) \quad (2)$$

ここで設備能力とは、先のボイラーの例では蒸気発生量である。ボイラーの例では、(2)式は、新規設備1台の蒸気発生量は基準設備何台分の蒸気発生量に対応しているかを表している。

3.3.2 初期費用年価

新規設備の初期費用年価（すなわち新規設備に投資した場合の初期費用の年価） D_N 及び基準設備の初期費用年価（基準設備に投資した場合の初期費用の年価） D_O は下記で表わされる。

$$D_N = \frac{r}{1 - (1+r)^{-T_N}} I_N \quad (3)$$

$$D_O = \frac{r}{1 - (1+r)^{-T_O}} I_O \quad (4)$$

I_N は新規設備の初期費用総額、 I_O は基準設備の初期費用総額、 T_N は新規設備の耐用年数、 T_O は基準設備の耐用年数、 r は社会的割引率である。

本講では計算の簡便さを優先して社会的割引率は0とみなして計算することとする。この場合、(3)式及び(4)式は下記のように単純化できる。

$$D_N = \frac{I_N}{T_N} \quad (5)$$

$$D_0 = \frac{I_0}{T_0} \quad (6)$$

(5)式より、新規設備の初期費用年価（ D_N ）は、新規設備の投資総額を耐用年数で除したのとして求められることを意味している。同様に、(6)式より、基準設備の初期費用年価（ D_0 ）は、基準設備の投資総額を耐用年数で除したのとして求められることを意味している。

(5)式と(6)式を計算する際に必要となる値を設定する際の注意事項は以下の通りである。

(1) 初期費用総額 (I)

まず、新規設備の初期費用総額（ I_N ）には設備費そのものとともに設備の稼働までにかかる工事費等も含めて設定する。ただし例えば、LED 灯設置に伴う OA コンフォートの交換工事費のように、付随する工事費が次回以降の初期費用総額も低減する場合は、算出される削減費用は過大となることに注意する必要がある。反対に、工事費用を初期費用総額に含めない場合は、削減費用は過少となる。

基準設備の初期費用総額（ I_0 ）についても、新規設備の初期費用総額と同様の方法で設定する。ただし、基準設備の初期費用総額を設定する際には、過去の実績をそのまま利用せず、今後基準設備を導入した場合の初期費用総額として設定するように気を付ける。また、太陽光発電や採光天窗などのように既存の設備が存在しない新規設備の導入する場合は、基準設備として既存の設備を採用し（すなわち基準設備は存在しないとし）、初期費用総額は 0 であると想定すれば計算は容易となる。

(2) 耐用年数 (T)

新規設備の耐用年数（ T_N ）については、新規設備を仮に導入するとした場合の設備運用期間がある程度正確に予測できる場合はその期間を耐用年数とする。もし、新規設備の運用期間の予測が困難な場合は、カタログ値を用いる。それも困難な場合は、設備の法定耐用年数を代用するなどして、耐用年数を設定する。ただし、初期費用総額が 0 である場合は、耐用年数を 1 に設定する。これは、設備の初期費用総額（ I_N ）が 0 である場合においても、初期費用年価（ D_N ）を計算できるようにするためという技術的理由からである。

基準設備の耐用年数（ T_0 ）についても、新規設備の耐用年数と同様の方法で設定する。ただし、基準設備の耐用年数を設定する際には、過去の実績をそのまま利用せず、今後基準設備を導入した場合の耐用年数として設定するように気を付ける。

以上の表記を用いると、新規設備と基準設備の初期費用年価の差額は、以下のように表すことができる。

$$D_N - qD_0$$

ここで第 2 項に現れる q は、新規設備と基準設備の設備能力が同等となるように基準設備の台数を調整する役割を果たしている。

■数値例

以下で提示するすべての数値例において、老朽化した既存のボイラーの更新設備として、既存設備と同等の能力を持つボイラー（基準設備）を導入すべきか、温室効果ガス削減効果の高い高効率ボイラー（新規設備）を導入すべきかを判断をする上での温室効果ガスの削減費用を計算する事案を考える。この事案においての基準設備と新規設備の詳細は、以下表の通りとする。

項目	基準設備（1台当り）	新規設備（1台当り）
初期費用（総額）	1000万円	2000万円
耐用年数	10年	10年
維持管理費用	200万円	400万円
重油使用量	200 kl/年	100 kl/年
蒸気発生量	100 kg/h	200 kg/h

また、重油価格と排出係数は、それぞれ以下の表の通りとする。

項目	値
重油価格	4万円
排出係数	2 CO ₂ -t/kWh

上表より、初期費用（年価）の差額は以下のように計算される。

項目	記号	値
新規設備（1台当り）の初期費用総額	I_N	2000万円
新規設備（1台当り）の耐用年数	T_N	10年
新規設備（1台当り）の初期費用年価	D_N	200万円/年
基準設備（1台当り）の初期費用総額	I_O	1000万円
基準設備（1台当り）の耐用年数	T_O	10年
基準設備（1台当り）の初期費用年価	D_O	100万円/年
新規設備（1台当り）の蒸気発生量	—	200 kg/h
基準設備（1台当り）の蒸気発生量	—	100 kg/h
設備能力比	q	2
初期費用年価の差額	$D_N - qD_O$	0万円/年

3.3.3 維持管理費用

新規設備導入後の年間維持管理費用（ R_N ）、基準設備導入後の年間維持管理費用（ R_O ）は、当設備の運転に必要な年間人件費ならびに年間メンテナンス費用が含まれる。なお、基準設備の維持管理費用を設定する際には、過去の実績をそのまま利用せず、今後基準設備を導入した場合の値を用いるように気を付ける。

以上の表記を用いると、新規設備と基準設備の維持管理費用の差額は、以下のように表示することができる。

$$R_N - qR_O$$

ここで第2項に現れる q は、新規設備と基準設備の設備能力が同等となるように基準設備の台数を調整する役割を果たしている。

■数値例

新規設備（1台当り）の維持管理費用と基準設備（1台当り）の維持管理費用が与えられた下で、維持管理費用の差額は下表の通り計算することができる。

項目	記号	値
新規設備（1台当り）の維持管理費用	R_N	400万円
基準設備（1台当り）の維持管理費用	R_O	200万円
設備能力比	q	2
維持管理費用の差額	$R_N - qR_O$	0万円/年

3.3.4 エネルギー費用

新規設備導入後の年間エネルギー費用（ F_N ）、基準設備導入後の年間エネルギー費用（ F_O ）は下記で表わされる。

$$F_N = \sum_{i \in \Omega} P_{Ei} E_{Ni}$$

$$F_O = \sum_{i \in \Omega} P_{Ei} E_{Oi}$$

P_{Ei} はエネルギー i の価格、 E_{Ni} は新規設備導入後におけるエネルギー i の年間使用量、 E_{Oi} は基準設備導入後におけるエネルギー i の年間使用量、 Ω はエネルギーの種類に関する添字集合を表わしている。設備の運転にあたっては燃料・電気・熱など様々なエネルギーの使用が考えられるため、エネルギー使用量を表わす単位はエネルギーの種類に応じて l 、 kWh 、 m^3 等となる。

基準設備のエネルギー費用の算出の際も維持管理費用の場合と同様、過去の実績をそのまま利用せず、現在や予測する将来のエネルギー単価を用いるなど、今後基準設備を導入した場合に予測されるエネルギー費用を算出するよう注意する。

以上の表記を用いると、新規設備と基準設備のエネルギー費用の差額は、以下のように表示することができる。

$$F_N - qF_O$$

ここで第二項に現れる q は、新規設備と基準設備の設備能力が同等となるように基準設備の台数を調整する役割を果たしている。

新規設備導入後のエネルギー費用 (F_N) が基準設備導入後のエネルギー費用 (F_O) を下回る時、($F_N - qF_O$) は負の値をとり、その値は対策を実施したことによるエネルギー費用の節約額と見なされる。

なお、太陽光発電や採光天窓などのように既存の設備が存在しない新規設備の導入する場合で、基準設備は存在しないとした場合は、新規設備と基準設備のエネルギー費用の差額として、太陽光発電や採光天窓などの導入により得られると予測されるエネルギー費用の削減額を計上する。

■数値例

新規設備（1台当り）と基準設備（1台当り）のエネルギー使用量及び重油価格が与えられた下で、エネルギー費用の差額は下表の通り計算することができる。

項目	記号	値
新規設備（1台当り）のエネルギー使用量	E_N	100 kl/年
基準設備（1台当り）のエネルギー使用量	E_O	200 kl/年
重油価格	P_E	4万円/kl
新規設備（1台当り）のエネルギー費用	F_N	400万円/年
基準設備（1台当り）のエネルギー費用	F_O	800万円/年
設備能力比	q	2
エネルギー費用の差額	$F_N - qF_O$	1200万円/年

3.3.5 温室効果ガスの排出量

基準設備導入後の年間温室効果ガス排出量 (G_O)、新規設備導入後の年間温室効果ガス排出量 (G_N) は下記で表わされる。

$$G_O = \sum_{i \in \Omega} U_i E_{O_i}$$

$$G_N = \sum_{i \in \Omega} U_i E_{N_i}$$

ここで、 U_i はエネルギー i の排出係数を表わしている。

基準設備の排出量の算出の際も維持管理費用やエネルギー費用を算出した場合と同様に、過去の実績をそのまま利用せず、現在や予測する将来の排出係数を用いるなど、今後基準設備を導入した場合に予測される排出量を算出するよう注意する。

以上の表記を用いると、基準設備導入の場合と比較した新規設備導入による排出削減量は、以下のように表すことができる。

$$qG_O - G_N$$

ここで第2項に現れる q は、新規設備と基準設備の設備能力が同等となるように基準設備の台数を調整する役割を果たしている。

なお、新規設備導入後の排出量 (G_N) が基準設備導入後の排出量 (G_O) を下回る場合に温室効果ガス削減量 ($qG_O - G_N$) は正の値をとるが、上回る場合は削減量は負の値をとり、その設備投資によって排出量が増加することを意味する。その場合、削減費用 (A) の解釈に混乱が困難となるため、排出量の増加をもたらす設備投資は削減費用の計算対象に含めないこととする。また、太陽光発電や採光天窓などのように既存の設備が存在しない新規設備の導入する場合で、基準設備は存在しないとした場合は、温室効果ガス削減量として、太陽光発電や採光天窓などの導入により得られると予測される温室効果ガス削減量を計上する。

■数値例

新規設備（1台当り）と基準設備（1台当り）のエネルギー使用量及び重油の排出係数が与えられた下で、排出削減量は下表の通り計算することができる。

項目	記号	値
新規設備（1台当り）のエネルギー使用量	E_N	100 kl/年
基準設備（1台当り）のエネルギー使用量	E_O	200 kl/年
重油の排出係数	U	2 CO ₂ -t/kl
新規設備（1台当り）の排出量	G_N	200 kl/年
基準設備（1台当り）の排出量	G_O	400 kl/年
設備能力比	q	2
排出削減量	$qG_O - G_N$	600 CO ₂ -t/年

これまでの数値例で得た結果をまとめると、削減費用は下表の通り計算することができる。

項目	記号	値
初期費用年価の差額	$D_N - qD_O$	0万円/年
維持管理費用の差額	$R_N - qR_O$	0万円/年
エネルギー費用の差額	$F_N - qF_O$	1200万円/年
排出削減量	$qG_O - G_N$	600 CO ₂ -t/年
CO ₂ 削減費用	$F_N - qF_O$	-2万円/CO ₂ -t

3.4 削減費用計算式と排出価格

(1)式は、主に温室効果ガスの排出削減を目的とした設備を新たに設置するのにかかる費用をその導入による削減量で除することで、温室効果ガス削減1トン当たりの費用を算出したものである。(1)式のこの意味を環境税や排出取引制度との関連でもう少し詳しく見るため、仮に、企業活動における温室効果ガスの排出に対して環境税あるいは排出量取引制度が課せられた場合、1トン当たりの税率あるいは排出クレジット価格 (P_{GHG}) と削減費用 (A) との比較することでどのような判断が可能となるかを考える。

$$P_{GHG} \cong A \quad (7)$$

ここで排出削減量 ($qG_O - G_N$) が正ならば削減費用式(1)より、(7)式は以下のように書き改めることができる。

$$q(D_O + R_O + F_O + P_{GHG}G_O) \cong D_N + R_N + F_N + P_{GHG}G_N \quad (8)$$

(8)式の左辺は基準設備を導入した場合にかかる環境税あるいは許可証の費用負担を含めた総費用を表し、右辺は新規設備を導入した場合にかかる総費用を表す。そこで、削減費用 (A) が環境税・許可証の費用負担 (P_{GHG}) より小さな値となると、排出量が大きく、環境税・許可証の費用負担がより大きい基準設備を導入するより、排出量の小さく、環境税・許可証の費用負担がより小さい新規設備を導入する方が総費用は小さくなることが分かる。

4. まとめ

現状においては、多くの企業が削減費用の計算を実施しておらず、また削減費用の計算を実施している企業においても自社で温室効果ガスの削減費用の計算式を確立している企業は少ない。このような現状を踏まえ、一方井ほか (2009) では、企業自身による排出削減費用の把握が可能な計算式を提示している。しかしながら、一方井ほか (2009) において提示された削減費用計算式は、削減対策費用を算出する際に、設備投資費用を削減対策費用とそれ以外の費用に按分するための係数を用いている。この按分係数は、客観的に算定することが困難であり、その値の決定は当事者の経験・主観に頼らざるを得ない。その結果、按分係数が企業の事情により恣意的に按分係数の値が決定される可能性があり、またそれを客観的に検証することは困難であるという問題があった。そこで本稿では、一方井ほか (2009) で用いられている客観的な算定の難しい按分係数を利用しない削減費用計算式を提示した。

前節の末尾で示したとおり、この削減費用計算式は、排出取引制度が導入され正の排出価格がついている状況でも、排出価格との比較により企業の合理的な判断を可能とするものである。しかしながら、本稿で提示した削減費用計算式から得られる値が合理的な意味を持つには、3.2節で挙げた前提が求められる点に注意する必要がある。削減費用計算式を用いる上でのこれらの制限をどのように除去し、また対処するかについては、今後の課題としたい。

引用文献

- Ban, K. (1992). An econometric approach to CO₂ emissions in Japan. *Global Warming and Economic Growth*, 44-49.
- Capros, P., Kouvaritakis, N., & Mantzos, L. (2001). Top-down analysis of greenhouse gas emission reduction possibilities in the EU. *Final Report to EC-DG ENV*.
- Edmonds, J. A., Pitcher, H. M., Barns, D., Baron, R., & Wise, M. A. (1995). Modeling future greenhouse gas emissions: the second generation model description. *Modelling Global Change*, 295-340.
- Ellerman, A. D., & Decaux, A. (2013). Analysis of post-Kyoto CO₂ emissions trading using marginal abatement curves.
- Goto, N. (1995). Macroeconomic and sectoral impacts of carbon taxation: a case for the Japanese economy. *Energy Economics*, 17(4), 277-292.
- Grubb, M., Edmonds, J., Ten Brink, P., & Morrison, M. (1993). The costs of limiting fossil-fuel CO₂ emissions: a survey and analysis. *Annual Review of Energy and the Environment*, 18(1), 397-478.
- Hanaoka, T., Akashi, O., Hasegawa, T., Hibino, G., Fujiwara, K., Kanamori, Y., ... & Kainuma, M. (2009). Global emissions and mitigation of greenhouse gases in 2020. *Journal of Global Environment Engineering*, 14, 15-26.
- Hendriks, C., De Jager, D., Blok, K., De Beer, J., Harnisch, J., Joosen, S., ... & Hill, N. (2001). Economic Evaluation of Sectoral Emission Reduction Objectives for Climate Change: Bottom-Up Analysis of Emission Reduction Potentials and Costs for Greenhouse Gases in the EU. *ECOFYS, Utrecht*.
- Kainuma, M., Matsuoka, Y. & Morita, T. (1999). Analysis of post-Kyoto scenarios: the Asian-Pacific Integrated Model. *Energy Journal*, 20 (Special Issue), 207-220.
- Kainuma, M., Matsuoka, Y., & Morita, T. (Eds.). (2003). *Climate Policy Assessment: Asia-Pacific Integrated Modeling*. Springer.
- Klepper, G., & Peterson, S. (2006). Marginal abatement cost curves in general equilibrium: The influence of world energy prices. *Resource and Energy Economics*, 28(1), 1-23.
- Klepper, G., Peterson, S., & Springer, K. (2003). *DART97: A Description of the Multi-Regional, Multi-Sectoral Trade Model for the Analysis of Climate Policies* (No. 1149). Kieler Arbeitspapiere.
- Masui, T. (2005). Policy evaluations under environmental constraints using a computable general equilibrium model. *European Journal of Operational Research*, 166(3), 843-855.
- McKittrick, R. (1999). A derivation of the marginal abatement cost curve. *Journal of Environmental Economics and Management*, 37(3), 306-314.
- Morgenstern, R. D., Pizer, W. A., & Shih, J. S. (2001). The cost of environmental protection. *Review of Economics and Statistics*, 83(4), 732-738.
- Mori, S. (2003). Energy and technology strategies in long-term global views: simulations of the integrated assessment model MARIA. *International Frameworks and Technological Strategies to Prevent Climate Change*, 205-222.
- Pittman, R. W. (1981). Issue in pollution control: interplant cost differences and economies of scale. *Land Economics*, 57(1), 1-17.
- Vijay, S., DeCarolis, J. F., & Srivastava, R. K. (2010). A bottom-up method to develop pollution abatement cost curves for coal-fired utility boilers. *Energy Policy*, 38(5), 2255-2261.
- 一方井誠治. (2008). 低炭素化時代の日本の選択 環境経済政策と企業経営. 岩波書店.
- 一方井誠治, 石川大輔, 佐々木健吾. (2009). 平成 20 年度 地球温暖化対策の経済的側面に関する調査研究報告書. 京都大学経済研究所附属先端政策分析研究センター.
- 一方井誠治, 栗田郁真, 堀勝彦. (2013). 企業における温室効果ガス削減費用の算出方法に関するアンケート調査. 武蔵野大学環境研究所紀要 (2), 1-15.
- 岡敏弘, 藤井美文, 石川雅紀, 須佐美周, 加藤悟, 松野裕. (2002). 環境影響物質の限界削減費用を用いた環境配慮商品の社会的効果の測定. 環境経済・政策学会.

- 環境省. (2005). 環境会計ガイドライン 2005年版. 環境省.
- 環境省. (2001). 中央環境審議会地球環境部会「目標達成シナリオ小委員会」中間とりまとめ. 環境省.
- 清野一浩, 新保一成. (2007). 地球環境保護への制度設計. 東京大学出版会.
- 経済産業省. (2002). 環境管理会計ワークブック. 経済産業省.
- 国際会計士連盟. (2005). 国際ガイダンス文書 環境管理会計. 国際会計士連盟.
- 国際連合持続可能開発部. (2001). 環境管理会計の手続きと原則－環境管理会計の促進における政府の役割の改善に関する専門家会合に備えて－. ニューヨーク：国際連合持続可能開発部.
- 國部克彦. (2007). 環境経営・会計. 有斐閣アルマ.
- 西村清彦. (1990). 経済学のための最適化理論入門. 東京大学出版会.
- 堀勝彦, 栗田郁真, 一方井誠治. (2013). 企業の温室効果ガスの排出削減の動機と取組に関する実証分析. 帝塚山経済・経営論集, 23, 87-112.