

6. エネルギー起源炭素表

6-1. 基礎的推計原理

6-1-1. エネルギー起源炭素表の基本的考え方

(1) エネルギー起源炭素表の意味 - 「エネルギーに付随する炭素の流れの表現」 -

エネルギー起源炭素表とは、化石燃料に由来する各種のエネルギー源の消費に伴い、各エネルギー源・各部門毎に、どの程度の炭素が一次エネルギー供給に伴ってもたらされ、エネルギー転換により転換あるいは燃焼され、さらに最終消費により燃焼されて大気中に放散されているのかを近似的に表現するものである。

(2) エネルギー起源炭素表の表記単位 - 「炭素表記」 -

各種エネルギー源物質に炭素が含有されている形態は多くの場合炭化水素であり二酸化炭素ではないこと、炭素排出量は燃焼した化石燃料の重量と桁が同じであり直感的把握や誤差の確認が行いやすいこと、エネルギー転換による水素・酸素などの付加・乖離を表現することが煩瑣であることから、エネルギー起源炭素表は、二酸化炭素換算表記(tCO_2)ではなく、炭素換算表記(tC)により表現する。

両者は、炭素の原子量12.011、酸素の原子量15.999から、 $1.00tC = 3.66tCO_2$ (いわゆる"44/12倍")として容易に換算できる。

(3) エネルギー起源炭素排出の基礎算定単位 - 「物理的基礎単位法」 -

一般に、エネルギー起源炭素排出の主体別算定方法には、以下の2つの方法がある。

○ 企業・家計などの「経済基礎算定単位」による方法

○ 工場・事業所・住宅・移動体などの「物理的基礎算定単位」による方法

総合エネルギー統計では、エネルギー起源炭素排出の基礎算定単位は原則として物理的基礎単位法を用い、その統計的出典に従い、産業・民生業務他部門においては「工場・事業所」、民生家庭部門においては「住宅」、運輸部門においては「移動体」を基礎算定主体としている。さらに、エネルギー転換については、産業部門の工場・事業所内の機械設備の一部(コークス炉、エチレン分解炉など)を基礎算定単位としている。

総合エネルギー統計で物理的基礎単位法を用いる理由は、工場・事業所や住宅、移動体は建設・製造された後廃止されるまでの期間、保有・運営・管理する主体が変更になることはあっても、企業や家計のように清算・解散することはないためである。

物理的基礎単位法を、企業・家計など経済基礎単位法による算定に再分類する際には、原則として以下のように再集計することにより算定される。

- 1- 当該主体が保有・運営・管理する工場・事業所のエネルギー消費全部
- 2- 当該主体が、出資・契約などにより部分的に保有・運営・管理している工場・事業所・住宅については、契約比率・生産量引取比率・出資比率などに応じた、工場・事業所・住宅のエネルギー消費の一部
- 3- 当該主体が保有・運営・管理する移動体のエネルギー消費全部
- 4- 当該主体が、出資・契約により専用する移動体については、専用比率・出資比率などに応じた、移動体のエネルギー消費の一部

(4) 外部から供給された電力・熱に関する寄与の考え方 - 「間接排出法・直接排出法」

エネルギー起源炭素排出の算定を、工場・事業所・住宅などの物理的基礎単位法とする場合、外部から受けた電力・熱の供給については、実質的に特定の部門の企業・家計の電力・熱の消費量が排出に直接寄与するにもかかわらず、発電所など電力・熱の供給

元となる他の部門の工場・事業所で排出が計上されることとなる。

さらに、企業部門が生産した自動車・家電製品や輸送サービスなどの財・サービスを製造・提供する際のエネルギー消費についても、本来これらの財・サービスを消費した者に排出寄与を再分配し分担させるべきとの考え方や、製品の品質・性能によりこれらの製品を使用する際のエネルギー消費が相対的に減少する場合、消費者のエネルギー消費減少分の一部を製造元の企業の寄与として再分配し評価せよ、という考え方もあるが、これらの取扱いについて考え方を整理しておく必要がある。

当該問題については、実質的な排出寄与と削減・対策措置の実施可能性に従い、大きく分けて直接排出法・間接排出法という2通りの整理法が用いられている。

6-1-2. エネルギー起源炭素排出係数

(1) 化石燃料の単位エネルギー量(発熱量)と炭素排出係数

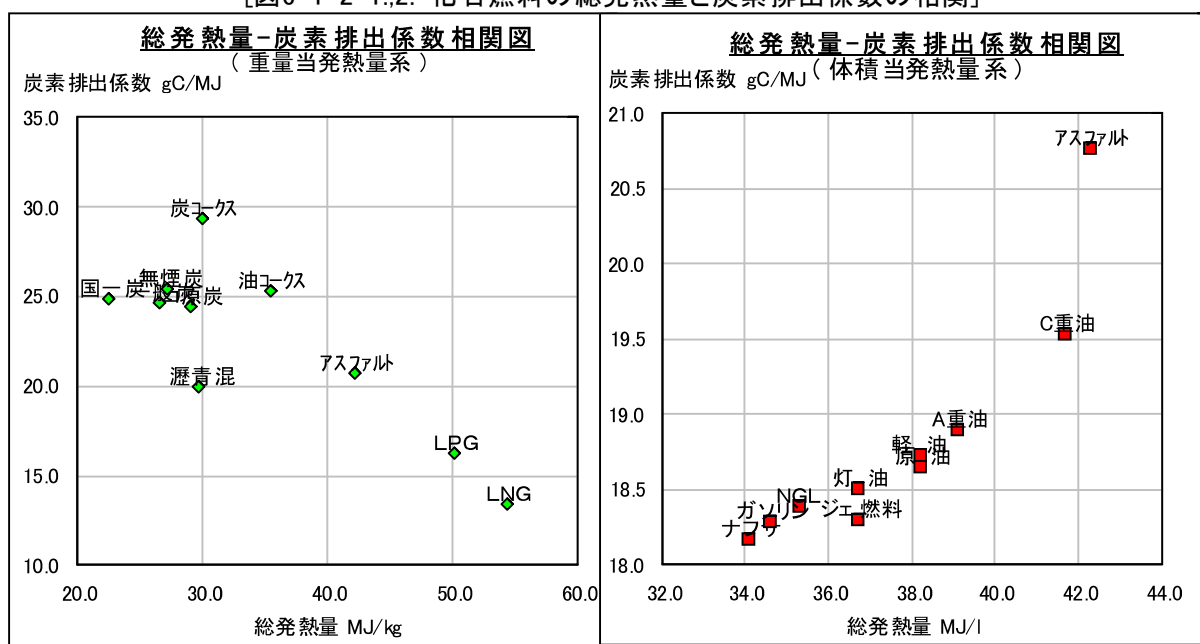
化石燃料には様々な種類があるが、その大部分は炭化水素で構成されている。

水素と炭素では、単位重量当たりのエネルギー量(発熱量)は水素の方が炭素より大きく、単位重量の炭化水素を完全燃焼させた際のエネルギー量は炭化水素の炭素/水素比に逆比例する。一方、炭化水素中の水素分が炭素分より多いと密度が小さくなり、炭化水素の密度はその炭素/水素の構成比に比例する。

従って、理論的に、炭素/水素の構成比(炭素排出係数)と炭化水素の「重量当」のエネルギー量(発熱量)はほぼ逆比例の関係となるが、炭素/水素の構成比(炭素排出係数)と炭化水素の「体積当」のエネルギー量(発熱量)では、炭素/水素の構成比は「体積当」エネルギー量の2乗とほぼ比例する関係となる。

実際には、水分・灰分などの不純物、硫黄分によるエネルギー量、炭化水素分子中の酸素・窒素分の介在や不飽和炭化水素などの影響があり、それぞれ完全な直線・二次曲線でその相関関係にはならないが、日本で使用されている代表的な化石燃料の2000年度改訂標準発熱量と2005年改訂炭素排出係数の関係については、上記の理論にほぼ従う結果となっている(図6-1-2-1.2 参照)。特に、石炭製品・石油製品や、LPG・LNGなど工業製品として産出されるエネルギー源では、ほぼ理論に一致する結果が観察される。

[図6-1-2-1.2. 化石燃料の総発熱量と炭素排出係数の相関]



(2) 炭素排出係数の設定

エネルギー起源炭素表においては、総発熱量によるエネルギー消費量あたりの炭素排出係数(gC/MJ)として、表2-2-4-1.「炭素排出係数表」(別掲)を用いる。

当該炭素排出係数は、「気候変動に関する国際連合枠組条約(UNFCCC)に基づく日本国政府報告書(1992年)」に記載された「燃料の排出係数」における数値を基礎に、2005年度に各種炭化水素の理論値やIPCC標準値(真発熱量を総発熱量に換算)、各種実測値などと比較分析し改訂したものである。

詳細な分析・改訂内容については、補論11「エネルギー源別炭素排出係数の改訂について」を参照ありたい。

(3) 炭素排出係数の算定の例外 - 高炉ガス・一般ガスの炭素排出係数 -

エネルギー起源炭素排出係数については、対象となるエネルギー源の性状のうち、炭素と水素に関する部分の構成が変化しない^{*88}ことを前提に一定の値を用いている。

ところが、1) 高炉ガスのように、コークス・吹込用原料炭の使用比率などの操業形態が時系列で変遷しているもの、あるいは 2) 一般ガスのように、石油・石炭系ガス、LPG、LNGなど一般ガスの原材料構成比が事業者の転換措置により時系列で変化しているものについて、固定的な炭素排出係数を設定することは、実態を反映しておらず、また炭素の物質収支に関する誤差を生じる原因となる。

従って、これら炭化水素部分の構成比が時系列で変化していると考えられるガス体については、固定的な炭素排出係数を設定するのではなく、原材料として投入されたエネルギー源と、産出・副生した固体・液体のエネルギー源のエネルギー収支・物質収支から毎年度炭素排出係数を更正して設定することが合理的である。

具体的には、\$172 高炉ガスについては#2550 鉄鋼系ガス、\$460 一般ガスについては、#2400 一般ガス製造のそれぞれのエネルギー転換に関する物質収支が成立していると仮定し、炭素排出係数を算定する。

一方、副生ガスであっても、コークス炉での原料炭乾留や製鋼工程の転炉操業に関する技術的特性から性状が安定している\$171 コークス炉ガスや\$175 転炉ガス、石油精製工程での技術的特性から大部分がメタンであり水素の含有量のみが時系列で変化したことが判明している\$380 製油所ガスについては、同様の炭素排出係数の物質収支からの推計を行わず、固定的炭素排出係数を使用することとしている^{*89}。

6-1-3. 化石燃料消費に伴う炭素排出量の推計

(1) 基礎的推計方法

一般に、同種の化石燃料を燃焼させた際には、炭素排出量はエネルギー消費量と比例する性質があるため、IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change)において

*88 エネルギー源中の水分・灰分などが変動した場合、水分・灰分にはエネルギー量がないので、総発熱量と炭素排出係数から算定した炭素排出量には影響を与えない。硫黄分についてはエネルギー量に影響を与えるが、硫黄分は最大でも3%以下、石炭製品・石油製品では1%を大きく下回ること、硫黄の重量当標準発熱量は炭化水素の半分以下であることから、通常は誤差として処理して差支えないと考えられる。

*89 2001年度改訂の総合エネルギー統計では、製油所ガスの炭素排出係数を、#2610 石油精製に関する炭素の物質収支から推計し、これを調整する方法を実施していたが、2003年度の環境省温室効果ガス排出量算定方法検討会インベントリWG、UNFCCC対日審査において当該調整方法が不適切とされたため、調整なしでエネルギー収支・炭素収支が成立するよう、関連部分の見直しを実施しており、当該調整措置は廃止している。

当該石油精製の炭素収支に関する措置について、関係者を混乱させ御迷惑をお掛けしたことを深謝する。

は、エネルギー起源の炭素排出量を、活動量(=エネルギー消費量)と炭素排出係数(=エネルギー消費1単位に伴う炭素排出)の積により算定することを推奨している。

エネルギーを得る目的で化石燃料を燃焼・酸化させた場合、完全燃焼^{*90}を仮定すれば、ある部門でのエネルギー起源炭素排出量は以下により推計される。

$$C_j = \sum_i [(E_{ij} - N_{ij}) * F_i] \quad (\text{エネルギー起源炭素排出量の基礎算定式})$$

- i: 化石エネルギー源(コークス原料炭～都市ガス)
- j: 部門(エネルギー転換～産業・民生・運輸)
- C_j: 部門jのエネルギー起源炭素排出量(gC)
- E_{ij}: エネルギー源iのエネルギー損失量・消費量(MJ)
- N_{ij}: エネルギー源iのエネルギー損失・消費のうち、非エネルギー利用量(MJ)
- F_i: エネルギー源iの炭素排出係数(gC/MJ)

(2) 排出量推計の例外-1 - 化石燃料の多段階での部分消費 -

エネルギー転換を経て産出されるエネルギー源の一部においては、エネルギー転換の過程で炭化水素が部分的に燃焼され一酸化炭素となり、エネルギーの一部が消費された状態で発電など他の部門へ産出されているものがある。

具体的には、鉄鋼系ガス(高炉ガス・転炉ガス)がこれに該当し、高炉に投入されたコークスや吹込用原料炭が部分燃焼・酸化して副生するエネルギー源であるため、ガス中の二酸化炭素分(既に燃焼・排出された量)と、一酸化炭素・炭化水素(未燃焼・排出の量)の量を分けて正確に計測しなければ、エネルギー転換と最終エネルギー消費の各段階での排出量を確定することができないが、そのようなことは事実上不可能である。

この場合、実際に鉄鋼系ガス中の成分を厳密に区分定量し測定することは困難なので、多段階の燃焼・排出における各段階でのエネルギー収支から炭素収支を推計する方法が考えられる^{*91}(補論3.「鉄鋼業内部での石炭のエネルギー転換について」参照)。

化石燃料の多段階での部分消費の算定にあたっては、上記(1)のエネルギー起源炭素排出量の基礎算定式において、E(エネルギー損失量・消費量)を各段階でのエネルギー源の投入量、N(非エネルギー利用)を各段階での副生エネルギー源の産出量と読替えて算定する。

(3) 排出量推計の例外-2 - 燃焼・酸化過程を殆ど伴わない化石燃料の転換損失分 -

エネルギー転換の一部においては、石油精製のように密閉された装置内での精製工程で各エネルギー源が生産される場合^{*92}や、石油品種振替のように単に調合するだけで別の石油製品が生産される場合など、燃焼・酸化過程を殆ど伴わないエネルギー転換が存在する。

これらのエネルギー転換においても、出典統計上の物量の誤差・不整合や、実質発熱量が含有する誤差などにより、エネルギー転換損失がわずかながら計上されている。

これらのエネルギー転換損失は、エネルギー需給上非エネルギー消費と見なしているが、炭素排出の算定においても排出量の算定から除外して取扱う。

*90 日本でのエネルギー起源炭素排出の計算においては、不完全燃焼を伴うようなエネルギー消費形態は殆ど行われていないので、酸化率(Oxidization factor)は採らず、完全燃焼を仮定している。発展途上国や移行経済国の排出量計算においては、旧式な塊炭燃焼炉やボイラーなどの燃焼で酸化率を仮定していることがある。

*91 IPCCではこのような「多段階消費」について、算定を「直接排出法」で統一する観点から「大気中への最終排出時点での排出」として計上するよう推奨している。次節参照。

*92 精製に必要な加熱用のエネルギー源は別途自家消費で計上されており、ここでは原料用に投入された原油などの原材料と産出した各石油製品との関係を論じている。

6-1-4. 廃棄物のエネルギー利用に伴う炭素排出量の推計について

IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change) 1996年温室効果ガス排出量算定ガイドラインにおいては、化石燃料同様に、廃棄物をエネルギー利用の目的で燃焼・酸化した場合にも、これをエネルギー起源の炭素排出量として化石燃料に準じてエネルギー起源炭素排出量を算定すべき旨述べている。

しかし、現状において総合エネルギー統計では以下の理由から廃棄物発電などの廃棄物のエネルギー利用に伴う排出量を計上していない。

a. エネルギーの副生性

日本の地方公共団体が行っている一般廃棄物による廃棄物発電は、その主目的は公衆衛生保持とごみの減容化のための可燃性廃棄物の焼却処理であり、発電はあくまで副次的目的として行われているに過ぎない。

従って、仮に発電を行わなかったとしても可燃性廃棄物のほぼ全量が焼却処理されるため、発電に伴い追加的に可燃性廃棄物の焼却処理が行われる訳ではなく、一般廃棄物を発電のための燃料として考えることは本来妥当ではない。

IPCCが想定しているのは、欧州・米国において一般廃棄物が焼却されずにほぼ全量埋設処分(Deposit Disposal)されている状態を基準として、発電のためにわざわざ廃棄物を焼却(Incineration)するような場合を考えている。

これらの理由から、日本の廃棄物発電における実態は、エネルギー利用のための廃棄物の意図的燃焼というよりも、ごみ焼却炉における廃熱を発電によりエネルギー回収している「未活用熱エネルギーの回収」と考える方が妥当である。

b. 炭素排出原単位の相対的過大性

日本の地方公共団体が行っている一般廃棄物による廃棄物発電では、焼却炉の発生エネルギーの大部分は、可燃ごみ中に約50%も含まれている水分を15～20%迄蒸発乾燥させ、燃焼が持続可能な状態にするために消費されている。

また、廃棄物発電の心臓部である廃棄物ボイラーは、化石燃料を用いるボイラーと比べ塩素や硫酸・硝酸イオンなどの腐食性物質が格段に多く、設備寿命確保と操業安全確保の観点から炉内最高温度を上げられないため、得られる蒸気温度が低くタービン効率も非常に悪い。

このため、投入される一般廃棄物の総エネルギー量・総炭素量に対して回収される電力量は非常に小さく、エネルギー効率で見た場合、化石燃料を用いた火力発電のエネルギー転換効率が40～50%であるのに対して、廃棄物発電のエネルギー転換効率は5～15%程度、最高でも25%程度となっている。

従って、仮に現状の廃棄物発電の炭素収支から得られる電力の排出源単位を算定した場合、400gC/kWh以上の原単位となり、石炭火力発電(～220gC/kWh)を大幅に超えることになってしまう。前述のとおり、仮に発電を行わなかったとしても可燃性廃棄物のほぼ全量が焼却処理され炭素排出が行われる訳であり、廃棄物発電に仮にこのような大きな炭素排出原単位を与えることは、廃棄物発電の電力購入が手控えられてしまうおそれがあり不適切である。

一方、日本国総排出量の算定においては、当該ガイドラインに適合する必要上から、エネルギー起源の温室効果ガス排出量と廃棄物起源の温室効果ガス排出量を全く別の体系で計量し、国連への報告時点でエネルギー起源の温室効果ガス排出量に廃棄物のエネルギー利用分の排出量を便宜的に移項し加算する方法を採っている。

6-2. 直接排出量・間接排出量の推計

6-2-1. 基本的考え方

(1) 直接排出法・間接排出法の基礎概念

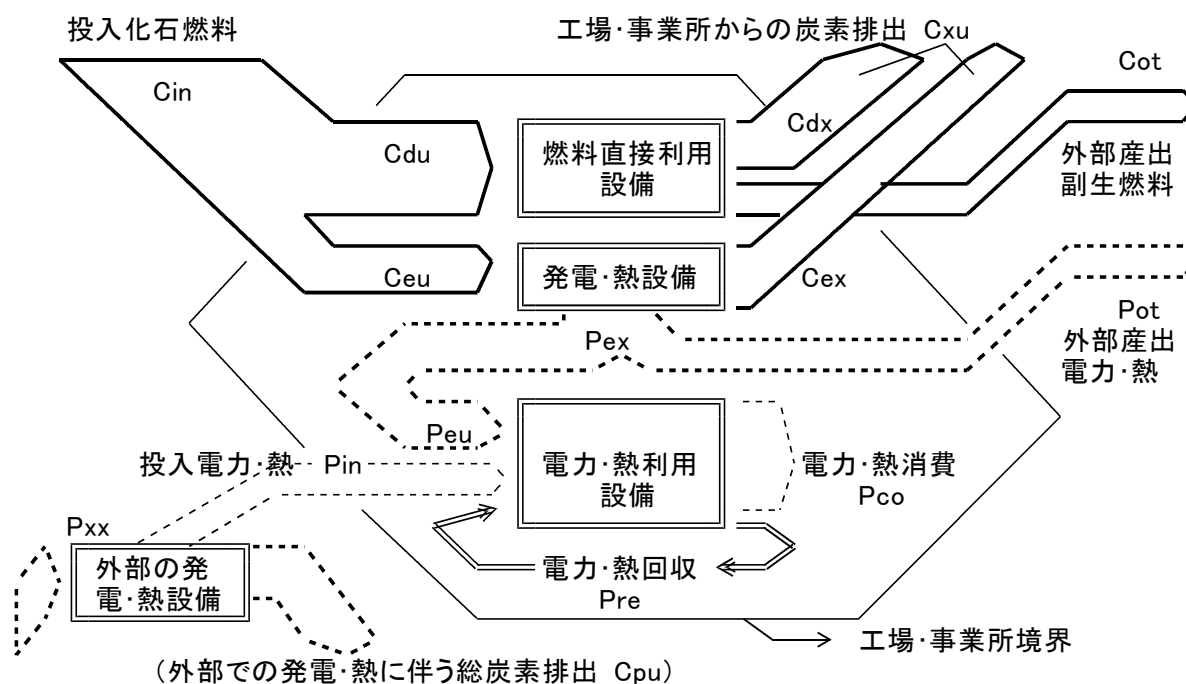
エネルギー起源炭素排出量を物理的基礎単位法により算定する場合、その算定の考え方については、大きく分けて直接排出法と間接排出法に分類される^{*93}。

本問題が典型的に問題となるのは、電力・熱の産出に関する場合であるため、以下電力・熱の外部とのやりとりがある工場・事業所の場合を例に解説する(図6-2-1-1.)。

直接排出法は、ある工場・事業所の内部で化石燃料の燃焼・酸化により直接排出されたエネルギー起源炭素排出量のみを算定する方式であり、電力・熱を含めて外部から供給された財・サービスに伴うエネルギー起源炭素排出量を加算せず、外部へ供給した電力・熱などの財・サービスに伴うエネルギー起源炭素排出を控除しない方法である。

間接排出法は、ある工場・事業所の内部で化石燃料の燃焼・酸化により直接排出されたエネルギー起源炭素排出量に加えて、外部から供給された電力・熱などの生産に要したエネルギー起源炭素排出量を加算し、一方当該工場・事業所が外部に供給した電力・熱などの生産に要したエネルギー起源炭素排出量を控除して算定する方法である。

「図6-2-1-1. 工場・事業所と直接排出法・間接排出法(電力・熱)の概念」



図注) 発電・熱や副生燃料の生産・回収に伴う自家消費は考慮しない。

*93 経済的基礎単位法によりエネルギー起源炭素排出量を計量する場合には、直接排出量のみが存在し、間接排出量は考慮する必要がない。経済的基礎単位法では、例えば、電力・熱を供給するためのエネルギー消費やエネルギー起源炭素排出に関する措置の費用を含めて、電力会社・熱供給会社への報酬・対価が支払われており、電力会社・熱供給会社の問題と考えるためである。

経済的基礎単位法では、直接排出量・間接排出量に関する物理的整合性の問題がない代わりに、企業部門の事業部や工場・事業所の統合・売却、企業合併や分社化・アウトソーシングなど組織の時系列整合性についての問題が存在するため、両者は単純に優劣がつけられる性質の問題ではない。

(2) 直接排出量・間接排出量の具体的算定方法

図6-2-1-1. において、直接排出量、間接排出量を算定すると以下のとおり。

$$\begin{aligned}
 \text{a. 直接排出量:} \quad & C_{in} - C_{ot} \\
 & = C_{du} + C_{eu} - C_{ot} \\
 & \doteq C_{dx} + C_{ex} \\
 & = C_{xu} \\
 \text{b. 間接排出量:} \quad & C_{in} - C_{ot} + P_{in} \cdot C_{pu} / P_{xx} - P_{ot} \cdot C_{eu} / P_{ex} \\
 & = C_{du} - C_{ot} + P_{in} \cdot C_{pu} / P_{xx} + P_{eu} \cdot C_{eu} / P_{ex} \\
 & \doteq C_{dx} + P_{in} \cdot C_{pu} / P_{xx} + P_{eu} \cdot C_{eu} / P_{ex} \\
 & = C_{xu} + P_{in} \cdot C_{pu} / P_{xx} - P_{ot} \cdot C_{eu} / P_{ex}
 \end{aligned}$$

C_{in} : ($=C_{du}+C_{eu}$)	内部への投入化石燃料に伴う総炭素量
C_{du} :	内部の燃料直接利用設備への化石燃料投入に伴う炭素量
C_{ot} :	外部への内部の燃料直接利用設備からの副生燃料産出に伴う炭素量
C_{eu} :	内部の発電・熱設備への化石燃料投入に伴う炭素量
C_{xu} : ($=C_{du}+C_{ex}$)	内部の化石燃料の燃焼に伴う総炭素排出量
C_{dx} :	内部の燃料直接利用設備からの炭素排出量
C_{ex} :	内部の発電・熱設備からの炭素排出量
P_{ex} : ($=P_{eu}+P_{ot}$)	内部の発電・熱設備の電力・熱の総発生量
P_{eu} :	内部の発電・熱設備からの電力・熱のうち内部での消費量
P_{ot} :	外部への内部の発電・熱設備からの電力・熱の産出量
P_{in} :	外部から供給を受けた電力・熱の量
C_{pu} :	外部から供給を受けた電力・熱の産出に伴う総炭素排出量
P_{xx} :	内部へ電力・熱を供給する外部の発電・熱設備の電力・熱の総発生量
C_{pu}/P_{xx}	内部へ電力・熱を供給する外部の発電・熱設備の炭素原単位
C_{eu}/P_{ex}	内部の発電・熱設備の炭素原単位
P_{co} : ($=P_{eu}+P_{in}+P_{re}$)	内部での電力・熱の総消費量
P_{re} :	内部での電力・熱の回収利用量（相殺）

6-2-2. 直接排出法・間接排出法を巡る議論

(1) 直接排出法の論点

直接排出法においては、ある特定の工場・事業所・住宅・移動体が排出したエネルギー起源の炭素排出量は、当該工場・事業所・住宅・移動体に帰属する。

つまり、第三者に電力・熱や財・サービスなどを供給している場合でも、直接の排出場所を管理する主体がその排出に責任を負い、電力・熱や財・サービスの消費者は責任を負わないという考え方をとる。

この考え方においては、電力・熱や財・サービスを生産・供給する企業部門においては、その電力・熱や財・サービスを1単位生産・供給する際の炭素排出量(=炭素原単位)を減少させる動機づけは機能することとなる。

一方、電力・熱や財・サービスの消費者には排出量が計上されず、直接の責任を負わないこととなるため、自分で燃料を燃焼しない限りいくら電力・熱や財・サービスを消費しても構わないこととなり、消費者への省エネルギーの動機づけは機能しないこととなる。

さらに、当該考え方の下では、自家発電や燃焼型の暖房機器などのエネルギー直接利用設備・機器を現在利用している者は、外部からの購入電力・熱供給にエネルギー源を切替えることによって、いとも簡単に「見掛け上の排出削減」を行うことが可能である。

従って、仮にこの考え方に従って炭素排出の削減を行うとした場合には、電力・熱や財

・サービスを生産・供給する企業部門で省エネルギー対策やエネルギー源の低炭素化のための対策が実施され、消費者は対策に必要な費用が転嫁された分を支払うか、あるいは転嫁が不十分であれば、企業部門の収益率が変化し賃金や配当が相対的に低下することで家計行動に反映され問題が解決されることとなる。

実際に、欧州委員会(EU)における排出権取引制度では、直接排出法による排出割当が行われている。

欧州では、欧州固有の事情として、東欧など域外国との電力取引が盛んに行われているが域外国の電力原単位を正確に知ることは事実上不可能であり間接排出量を計算できないこと、旧式な石炭(褐炭)火力発電所や石炭熱供給設備が多数存在し電力・熱の供給側で天然ガス転換を行えば比較的簡単に炭素原単位の改善が見込まれることなどの事情から当該制度が選択されたと考えられる。

一方、仮に日本において直接排出法による排出計算を採用したならば、相対的に電力消費の多い民生業務他部門や民生家庭部門は、最終エネルギー消費が増加しているにもかかわらず、灯油やLPG、都市ガス以外には殆ど排出を行っていないこととなる。

つまり、オール電化住宅の居住者やインテリジェントビルのテナント企業、電池式電気自動車の保有者は、どれだけ電力を浪費的に使用しても一切排出が計上されない反面、電気事業法による供給義務を負っているにもかかわらず一般電気事業者はその発電に関する排出に全ての責任を負うこととなり、電力消費が増えた場合相応の炭素原単位の改善努力を強いられることとなる。

(2) 間接排出法の論点(電力・熱に関する間接排出)

間接排出法においては、ある特定の工場・事業所・住宅・移動体が排出したエネルギー起源の炭素排出量のうち、化石燃料・副生燃料・電力・熱の消費を介して、当該工場・事業所・住宅・移動体が排出したと見なされる量を計上する。

つまり、第三者に電力・熱や財・サービスなどを供給している場合、供給分だけ直接の排出場所を管理する主体は免責され、自家消費分などを除き、電力・熱や財・サービスの消費者が責任の大部分を負担するという考え方をとる。

この考え方においては、直接排出法と反対に、電力・熱を生産・供給する企業部門においては、その電力・熱の炭素原単位を減少させる動機は殆ど機能しないこととなる。

一方、電力・熱や財・サービスの消費者には排出量が計上され、直接の責任を負うこととなるため、消費者への省エネルギーの動機づけは機能することとなる。

従って、仮に炭素排出の削減の必要があるのなら、電力・熱の消費者である企業・家計部門で省エネルギーが行なわれ、電力・熱を供給する企業部門では供給量の減少を介して影響が波及することとなる。但し、供給量(=売上高)が減少した場合、電力・熱の供給部門での炭素原単位が増加するか減少するかは当該部門の供給状況や供給量の減り方に依存するため不確実である。

日本において間接排出法による排出計算を採用したならば、相対的に電力消費の多い民生業務他部門や民生家庭部門は、電力の最終エネルギー消費に応じた排出が計上され、省エネルギー努力を通じた責任を分担することとなるが、一般電気事業者は如何なる炭素排出原単位の供給を行っても殆ど責任を負わないこととなる。

(3) 直接排出法・間接排出法の補完的併用 - 寄与度分解法 -

(1),(2)で見たように、直接排出法、間接排出法を単独で用いた場合には、いずれも複数の主体が関与する電力・熱に関する排出を特定の主体にのみ寄与させて整理する結果、排出削減に関しての責任分担に何らかの問題を生じていることが理解される。

ここで、原点に立ち返って、間接排出に関する電力・熱の排出の算定方法を再度考え

てみる。簡略化のため、電力の場合を例に解説する。

$$C \text{ [gC]} = P \text{ [kWh]} * Co/Po \text{ [gC/kWh]} \quad (\text{間接排出に関する排出量の算定式})$$

$$= P \text{ [kWh]} * F \text{ [gC/kWh]}$$

C: 対象主体の電力(・熱)の間接排出に関する排出量 [gC]

P: 対象主体の電力(・熱)の消費量 [kWh]

Co: 対象主体に供給される電力(・熱)の発生による総排出量 [gC]

Po: 対象主体に供給される電力(・熱)の総発生量 [kWh]

F (= Co/Po): 対象主体に供給される電力(・熱)の炭素原単位 [gC/kWh]

ここで、問題は排出量C が 2つの主体の行動(消費者の電力・熱消費量P、電力(・熱)の供給者の炭素原単位F)の積で決定されるため、いずれか一方のみに排出寄与を全部計上することができない点にあり、何らかの方法で、消費量と炭素原単位に関する情報を使って、排出量Cを 2つの主体の寄与に近似的に分割することができれば、直接排出法・間接排出法の欠陥が補完されることがわかる。

基準時点での排出量C がある期間内に ΔC だけ増減した際に、電力・熱消費量P、炭素原単位F にも当然に何らかの変化があるはずであり、この場合の間接排出に関する算定式を書き直すと下記ようになる。

$$C + \Delta C = (P + \Delta P) * (F + \Delta F)$$

$$= P * F + \Delta F * P + F * \Delta P + \Delta F * \Delta P$$

$$\therefore \Delta C = \Delta F * P + F * \Delta P + \Delta F * \Delta P$$

a. 第一次近似による分割

交絡項($\Delta F * \Delta P$)が無視できる程度に小さければ、第1次近似として排出量変化の寄与を供給側・消費側に分割することができる(図6-2-2-1.)。

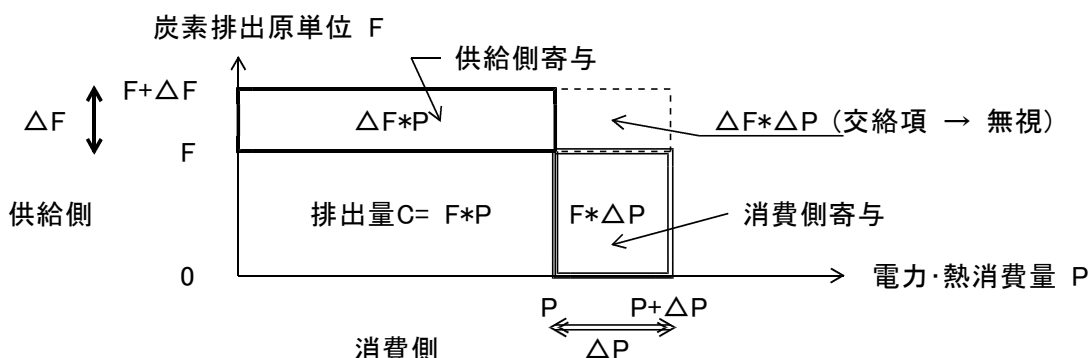
[図6-2-2-1. 電力・熱の排出量の供給者・消費者への寄与度分解: 第1次近似]

(第1次近似)

$$\Delta C = \Delta F * P + F * \Delta P + \Delta F * \Delta P \quad (\text{交絡項} \rightarrow \text{無視(第1次近似)})$$

$$\Delta C = \Delta F * P \quad (\text{炭素原単位の変化の寄与})$$

$$+ F * \Delta P \quad (\text{電力・熱の消費量の変化の寄与})$$



b. 第二次近似(幾何近似)による分割

あるいは、両者の行動の結果が複合して生じる交絡項が無視できない大きさである場合には、交絡項を両者に近似的に均等に分配した第2次近似(幾何近似)として排出量全体を供給側・消費側に完全に分割することができる(図6-2-2-2.)。

さらに、第2次近似の方法で時系列の排出量C を遡及し、基準時点での排出量C を無視できる程度に小さくすることができれば、排出量C 全体をも供給者・消費者の寄与に近

似的に分割することができる(図6-2-2-3.)。

この場合に、ある特定の起算時点を決めておき、当該時点からの増減を以て供給者・消費者の寄与と考えることも可能である。

[図6-2-2-2. 電力・熱の排出量の供給者・消費者への寄与度分解: 第2次近似(幾何近似)]

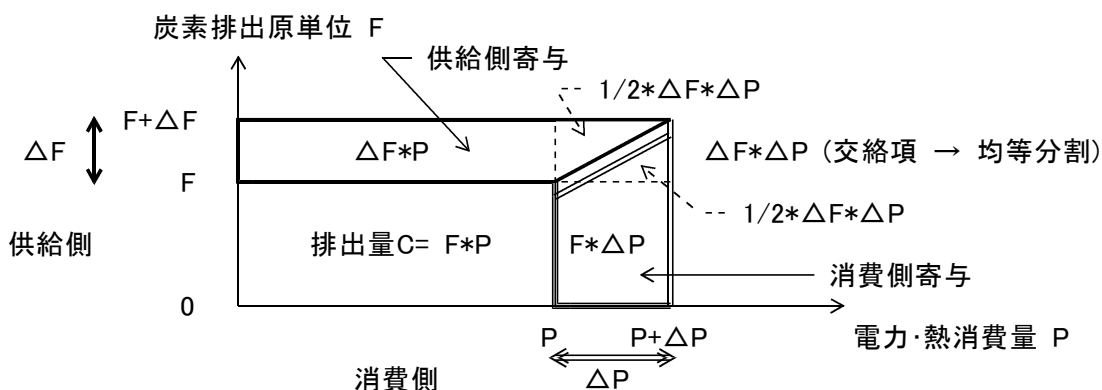
(第2次近似(幾何近似))

$$\Delta C = \Delta F \cdot P + F \cdot \Delta P + \Delta F \cdot \Delta P$$

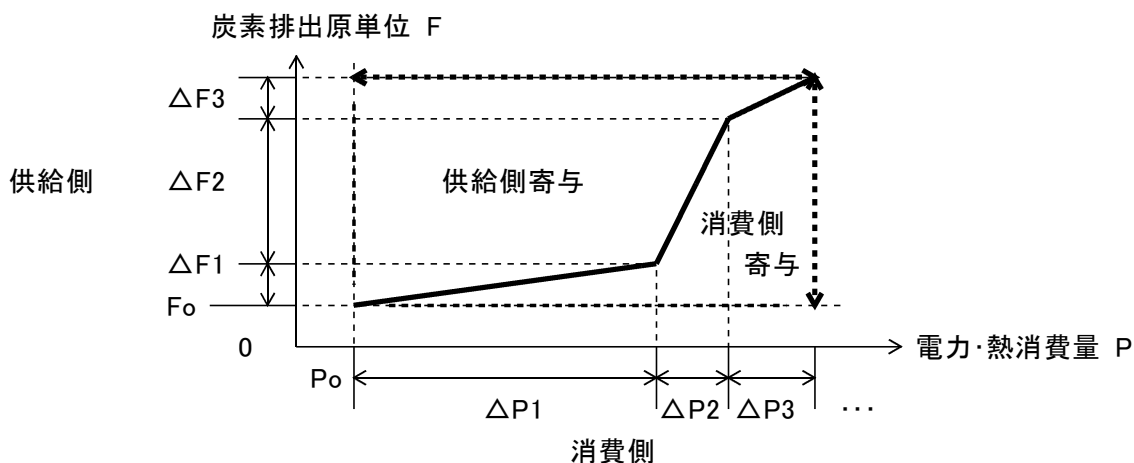
$$\Delta C = \Delta F \cdot P + 1/2 \cdot \Delta F \cdot \Delta P + F \cdot \Delta P + 1/2 \cdot \Delta F \cdot \Delta P$$

$$= \Delta F \cdot (P + 1/2 \Delta P) \quad (\text{炭素原単位の変化の寄与})$$

$$+ (F + 1/2 \Delta F) \cdot \Delta P \quad (\text{電力・熱の消費量の変化の寄与})$$



[図6-2-2-3. 電力・熱の排出量の供給者・消費者への寄与度分解: 第2次近似の時系列化]



図注) 仮に ΔF_i , ΔP_i のいずれか又は両方が負(原単位削減、エネルギー消費削減)であっても、上の近似は成立し、片方のみが負の場合、負の方の排出削減寄与を他方の排出増加寄与が相殺する結果となる。

6-2-3. エネルギー起源炭素表を用いた直接排出量・間接排出量の算定

(1) エネルギー起源炭素表における直接排出量・間接排出量の算定

総合エネルギー統計のエネルギー起源炭素表は、直接排出法・間接排出法(電力・熱)の両方の考え方に一長一短があることを認識した上で、各部門のエネルギー起源炭素排出量を両方の方法で簡単に算定できるように構成されている。

さらに、これらの排出量、電力・熱消費量、炭素原単位の時系列変化を用いて、排出量の寄与度分解による評価を試みることも可能である。

各部門の直接排出法による排出量は、各部門に属するエネルギー転換(含自家消費)

と最終エネルギー消費の\$900 合計部分の合計量である。

各部門の間接排出法(電力・熱)による排出量は、各部門に属する最終エネルギー消費の\$990 電力・熱寄与損失/排出量配分後合計^{*94}の量である。

(2) 間接排出量の電力・熱以外への展開・拡大とLCA問題

総合エネルギー統計のエネルギー起源炭素表を用いて、さらに、最終エネルギー消費のうち貨物輸送部門など特定の財・サービス産出部門の産出額(・物量)と\$990 電力・熱寄与損失/排出量配分後合計の値の関係から、「平均産出額(・物量)当炭素排出原単位」を求め、これを当該財・サービスの需給に基づいて再配分することにより、電力・熱以外に拡張された間接排出量の算定へこれを展開することも可能である。

あるいは、企業部門が生産した自動車・家電製品や輸送サービスなどの財・サービスを製造・提供する際のエネルギー消費についても、本来これらの財・サービスを消費した者に排出寄与を再分配し分担させるべきとの考え方や、製品の品質・性能によりこれらの製品を使用する際のエネルギー消費が相対的に減少する場合消費者のエネルギー消費減少分の一部を製造元の企業の寄与として再分配し評価するといった考え方を採る場合も、適切な財・サービスの生産量や、特定の機器のエネルギー消費効率などの情報を補完することによってこれを算定することも可能である。

究極的には、総合エネルギー統計の本表とエネルギー起源炭素表の接続表の投入係数の逆行列表は、各エネルギー消費1単位当たりが直接・間接に誘発するエネルギー起源炭素排出量の総量を表現していることになる。

しかし、こうした拡張による試算結果の解釈・評価においては、多くのLCAに関する問題同様に、どこ迄の境界(Boundary)を考慮の対象とするのか、またどこ迄の精度を以て結果を解釈・評価するのか、という問題についての考え方をまず整理しておく必要があることに注意しなければならない。

特に、総合エネルギー統計は、現実のエネルギー需給を「均一性の仮定」(2-1-1. 参照)に基づいて、平均的なエネルギー需給の姿に置換えて仮想的に描いていること、多くのエネルギー源では誤差を特定の部門に集めて処理していること、海外部門については何の情報もないことから、個々の部門のエネルギー消費1単位の増減の影響評価を確実に行い得る迄の精度は保証されておらず、こうした「均一化に伴う歪み」が随所に生じていることをまず認識・考慮した上で、試算結果を解釈・評価しなければならないものと考えられる。

*94 厳密には、各エネルギー転換部門の自家消費・送配損失は\$990 電力・熱寄与損失/排出量合計において再配分されておらず、エネルギー転換部門における消費としている。

エネルギー転換部門の自家消費・送配損失をも含めて間接排出量を算定する場合には、理論上は#2900 自家消費・送配損失を該当する各エネルギー転換部門の生産量に応じて最終エネルギー消費部門に再配分すればよいが、実際は石油製品を使って発電した電力を石油精製部門が再度使ったり、その逆に電力を使って生産した石油製品を再度電力部門が燃料利用しているため、極めて複雑な均衡計算(逆行列計算)を行わなければ再配分することはできず、またその計算結果の解釈は極めて難解なものとなってしまう問題がある。従って、総合エネルギー統計では自家消費・送配損失を再配分していない。