

エネルギー源別炭素排出係数の妥当性の評価と分析

2005年 9月

戒能 一成 (C)

要 旨

日本国の温室効果ガスの約90%を占めるエネルギー起源二酸化炭素の排出量については、エネルギー源別の発熱量により表した活動量に、炭素排出係数などを乗じて算定されている。

従来、当該排出量の計算に用いる炭素排出係数については、1992年環境庁地球環境部(当時)調査値を使用してきたが、当該調査値は算定から10年以上が経過している、算定根拠が明示されていないものがある、1996年IPCCインベントリガイドライン標準値から乖離しているものがあるなどの問題が指摘されている。

一方、当該炭素排出係数は国内で広く使用されており、これを安易に改訂することは時系列での算定結果の一貫性保持上問題があり、利用者の便宜を大きく損ない、温室効果ガス排出量の削減評価を困難にするおそれがあるため、有意な乖離が存在していない場合に改訂を行うことや、不用意に過去への遡及改訂を行うことは妥当ではないと考えられる。

このため、2001年度から総合エネルギー統計が改訂され、さらに大幅な精度向上のための追加的改訂作業が行われていること、2002年に環境省により炭素排出係数の実測が行われていること、1996年IPCCインベントリガイドライン標準値自身についても改訂作業が行われており信頼性などの統計指標が利用可能であることなどを考慮し、現時点で利用可能な各種の情報を活用して、1992年環境庁地球環境部(当時)調査値についての妥当性の評価分析を試み、客観的・統計的手法により改訂案を策定することを試みた。

さらに、当該「2005年改訂炭素排出係数」を用いて、エネルギー起源炭素排出量の試算・評価を行い、今後検討すべき課題を抽出した。

キーワード: 温室効果ガス、炭素排出係数、不確実性評価

* 独立行政法人経済産業研究所 兼 IPCC-NGGIP Energy Lead Author

本資料中の分析・試算結果等は筆者個人の見解を示すものであって、筆者が現在所属する独立行政法人経済産業研究所、IPCC-NGGIP (Intergovernmental Panel on Climate Change - National Greenhouse Gas Inventory Program) 2006 Guideline Energy Group などの組織の見解を示すものではないことに注意ありたい。

- 目 次 -

要 旨

目 次

本 論

1. 評価分析の背景と方法論

- 1-1. エネルギー起源二酸化炭素排出量の算定精度向上
- 1-2. 炭素排出係数の評価分析についての方法論

2. 石炭・石炭製品の炭素排出係数の評価分析

- 2-1. 石炭・石炭製品の個別評価
- 2-2. 石炭・石炭製品の群評価

3. 原油・石油製品・天然ガスの炭素排出係数の評価分析

- 3-1. 原油・天然ガスの個別評価
- 3-2. 石油製品の個別評価
- 3-3. 原油・石油製品の群評価

4. 特殊な炭素排出係数・算定方法についての評価分析

- 4-1. 都市ガス
- 4-2. バイオマス・廃棄物エネルギー利用

5. 結 論

- 5-1. 2005年改訂炭素排出係数とエネルギー起源炭素排出
- 5-2. 今後検討・調整を要する事項と提言

参考文献

2005年 9月
戒能一成 (C)

注意事項: 本稿中 IPCC '06 試算値とあるのは、IPCC-NGGIP 2006 G/L の標準値とすべく
筆者が IPCC-NGGIP において参考文献 13) により試算した数値です。

現在、IPCC-NGGIP 2006 G/L は、第1回専門家Review を終え、第2回専門家
Review と政府 Review の最中であり、当該数値は 2006 G/L の標準値としてまだ
正式に採択されていないことに注意して下さい。

また、2006年の G/L 正式採択迄は、数値に変更があり得るので本稿の再引用を
しないで下さい。

1. 評価分析の背景と方法論

1-1. エネルギー起源二酸化炭素排出量の算定精度向上

1-1-1. エネルギー起源二酸化炭素排出量の算定精度

エネルギー起源二酸化炭素排出量の算定は、エネルギー量で表現した活動量に、エネルギー単位当炭素排出量(炭素排出係数)を乗じ、さらに酸化係数(日本では1.00)、換算係数(44/12、炭素表記を二酸化炭素表記に換算する係数)を乗じて行われている。

当該算定方法から明らかなように、算定されたエネルギー起源二酸化炭素排出量の精度は活動量の精度と炭素排出係数の精度の合成値で決定されるため、エネルギー源別活動量とエネルギー源別炭素排出係数の両方の精度を向上させていくことが必要であることが理解される。

[式1-1-1-1. エネルギー起源二酸化炭素排出量の算定方法]

$$CDEi = ACLi * CEFi * COFi * 44 / 12 \quad \dots \text{式 1-1-1-1)}$$

$$ACLi = ACUi * GCVi * 1000 \quad \dots \text{式 1-1-1-2)}$$

i	エネルギー源の種類(一般炭、ガソリン…)
CDEi	エネルギー源別二酸化炭素排出量 (t-CO ₂)
ACLi	エネルギー源別エネルギー単位活動量 (GJ) 但し非エネルギー利用は除く
ACUi	エネルギー源別固有単位活動量 (t, kl, m ³ …) 但し非エネルギー利用は除く
GCVi	エネルギー源別固有単位総発熱量(MJ/kg, MJ/l, MJ/m ³ …)
CEFi	エネルギー源別炭素排出係数 (tC/GJ)
COFi	エネルギー源別酸化係数 (= 1.00)

1-1-2. エネルギー起源二酸化炭素排出量の算定精度向上の経緯

1) 第1期 1992～1998年

エネルギー起源二酸化炭素排出量の算定については、1970年代から経済産業省資源エネルギー庁による「旧・総合エネルギー統計」によって活動量のみが判明していた状態から、1992年環境庁地球環境部(当時)「二酸化炭素排出量調査報告書」によって公式に炭素排出係数が与えられ、算定が開始された。

当該「旧・総合エネルギー統計」と「1992年炭素排出係数」を用いて1994年に「気候変動に関する国際連合枠組条約に基づく日本国政府報告書(第1回)」、1997年に同第2回報告書が作成・提出されている。

しかし、当時の「旧・総合エネルギー統計」は精度が低く、全体のエネルギー収支精度で±3%、部門別エネルギー収支精度では±10%以上の誤差が存在し、またその算定根拠が明示されていないものがあるという問題があった。

2) 第2期 1999年～2002年

1998年の気候変動枠組条約京都議定書の署名と、これに付随する温室効果ガス排出量の算定報告制度の国際交渉結果を受けて、エネルギー起源二酸化炭素排出量の算定についての精度向上のための取組みが開始された。

具体的には、活動量については、経済産業省資源エネルギー庁による2000年度標準発熱量の改訂、2001年度「新・総合エネルギー統計」の策定などの措置が講じられた。

炭素排出係数については、環境省温室効果ガス排出量算定方法検討会エネルギー・工業プロセス分科会により、2002年度に「エネルギー・工業プロセス分科会報告書(燃料)」が炭素排出係数の再実測を行ったが、「旧・総合エネルギー統計」を基礎として評価が行われていたことなどから採用されず、引き続き「1992年炭素排出係数」が使用されて現在に至っている。

この結果、2002年度の「気候変動に関する国際連合枠組条約に基づく日本国政府報告書(第3回)」は、「新・総合エネルギー統計」と「1992年炭素排出係数」が用いられている。

3) 第3期 2003年～現在

「新・総合エネルギー統計」においては、全体のエネルギー収支精度の±1%水準への向上、算定根拠の明示などの進歩はあったものの、各部門別に見た場合には石油製品・石炭製品のエネルギー収支・炭素収支が十分な精度が確保されておらず、供給側のレファレンス・アプローチと消費側(需要側)の算定結果が大きく乖離しているという問題点が残っていた。

2003年度の国連気候変動枠組条約下における日本国審査と前後して、上述の石油製品・石炭製品のエネルギー収支・炭素収支が問題となり、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により、当該問題の抜本的改善策を講じるべきことが決定された。

当該決定を受け、新・総合エネルギー統計の石油精製・石炭製品製造などの部門の全面改定、エネルギー源別発熱量の毎年度算定化などの措置を講じ、総合エネルギー統計の部門精度も±1%水準へ向上させることによって問題を解決し、2004年度版(2005年度中に算定公表予定)から「一訂・総合エネルギー統計」とすることが既に決定している。

[表1-1-2-1. エネルギー起源二酸化炭素排出量の算定精度向上の経緯]

	主要事象	炭素排出係数	活動量		誤差水準	
			標準総発熱量	エネルギー統計	全体	部門
～		(未知)	75標準熱量	旧型統計	--	
1992年	環境省排出係数調査	<u>92排出係数</u>	75標準熱量	旧型統計	3%	>10%
～						
1994年	日本国第1回報告	92排出係数	75標準熱量	旧型統計	3%	>10%
～						
1997年	日本国第2回報告	92排出係数	75標準熱量	旧型統計	3%	>10%
～	京都議定書制定・署名					
2000年	資工庁標準熱量改訂	92排出係数	<u>00標準熱量</u>	旧型統計	<u>3%</u>	>10%
2001年	資工庁エネ統計改訂	92排出係数	00標準熱量	<u>新型統計</u>	1%	<10%
2002年	(環境省排出係数調査)	(不採用)	00標準熱量	新型統計	1%	<10%
	日本国第3回報告	92排出係数	00標準熱量	新型統計	1%	<10%
2003年	UNFCCC対日審査	92排出係数	00標準熱量	新型統計	1%	<10%
2004年	資工庁エネ統計改訂(予定)	92排出係数	<u>年度別熱量</u>	<u>一訂型統計</u>	1%	<5%
2005年	現在	<u>92排出係数</u>	年度別熱量	一訂型統計	1%	<5%

表注) ある年度の総合エネルギー統計が策定公表されるのは、当該年度の約1年後であることに注意。

1-1-3. エネルギー源別炭素排出係数の論点と対策

1998年からの一連の措置により、活動量の基礎となる総合エネルギー統計は全体・部分とも±1%水準の高精度が実現し、またその算定根拠が情報公開され、2003年度の国連気候変動枠組条約下における日本国審査時の状態からさらに進歩が見られているところである。

しかし、炭素排出係数については、1992年調査値から改訂されておらず、以下のような問題点が指摘されているところである。

- 1992年調査値は算定から10年以上が経過している
- 1992年調査値には算定根拠が明示されていないものがある
- 1992年調査値には1996年IPCCインベントリガイドライン標準値から乖離しているものがある

このため、活動量側の精度の向上を活かした形で、1992年炭素排出係数を再度評価分析し、これらの問題点に対応する方法を検討することが必要である。

1-2. 炭素排出係数の評価分析についての方法論

1-2-1. エネルギー源別炭素排出係数の評価分析方法

エネルギー源別炭素排出係数の妥当性の評価分析の方法としては、以下の3つの方法が考えられる。

- 理論上限値・下限値との比較による評価分析
- 1996年 IPCCガイドライン標準値などとの比較による評価分析
- 総合エネルギー統計を用いた炭素収支による評価分析

1) 理論上限値・下限値との比較による評価分析

炭素排出係数の評価を必要とするエネルギー源の大部分は若干の不純物を含んだ炭化水素であり、純粋な炭化水素の標準総発熱量と炭素排出係数の間には物理化学的な対応関係が存在していることから、係数の妥当性をある程度評価することができる。

従って、水素、メタン、一酸化炭素などの純粋物質の0.1気圧の標準状態での標準生成エンタルピーなどから算定される炭素排出係数と、評価対象であるエネルギー源の炭素排出係数などを比較することにより、炭素排出係数の妥当性を大まかに判断することが可能である。

2) 1996年 IPCCガイドライン標準値(換算値)などとの比較による評価分析

1996年 IPCCガイドライン標準値や、2006年改訂予定のIPCC ガイドライン試算値とその統計的な信頼性(不確実性)情報を利用して、エネルギー源別の炭素排出係数¹⁾の妥当性を判断することが可能である。

この際、1992年炭素排出係数は総発熱量(Gross Calorific Value: GCV)と固有単位を用いて算定されており、'96, '06-IPCCガイドライン標準値は真発熱量(Net Calorific Value: NCV²⁾)のみを用いて算定されているため、換算が必要である。

2000年 IPCC Good Practice Guidance では、炭素排出係数策定時には 1996年 IPCCガイドライン標準値に信頼性(不確実性)情報が与えられていないため、絶対値の ±2%を判断尺度として乖離を評価することとしている。

但し、IPCCガイドラインが想定する平均的なエネルギー源の性状と、日本が固有に利用するエネルギー源の性状は必ずしも同一ではないため、数値が乖離している場合であっても当該乖離を説明する正当な根拠が存在する場合³⁾、後述する「群評価分析」などの統計的な検討・検証を加えた上で、適切な判断を行い炭素排出係数を決定するものとする。

3) 総合エネルギー統計を用いた炭素収支による「群評価分析」

エネルギー源別炭素排出係数のうち、石油製品、石炭製品の係数群の一部については、一訂版総合エネルギー統計を用いてその妥当性を評価することが可能である。

現状の一訂版総合エネルギー統計付表の炭素収支表においては、1992年炭素排出係数を用いて精度確認が行われているが、一訂版総合エネルギー統計の統計値自体を与件として、仮に炭素排出係数群を交換した場合に当該精度が向上するか否かを以て炭素排出係数(群)の精度を評価することが可能である。

但し、当該方法では個々のエネルギー源の炭素排出係数の妥当性を評価することは原理的に困難である。このため、本手法については、1)、2)の方法でエネルギー源別に個別評価・分析を行った後、石炭・石炭製品や原油・石油製品全体として群評価を行うこととする。

*1 2006年 IPCCガイドラインから、従来の炭素排出係数(Carbon Emission Factor)に代えて、炭素含有係数(Carbon Content Factor)に名称変更される予定である。

*2 総発熱量(GCV)は高位発熱量(HHV)、真発熱量(NCV)は低位発熱量(LHV)と呼ばれることがある。

*3 乖離の正当性を説明する具体的な例としては、揮発油等品質確保法による品質規制、輸入形態の相違、国際調達相手国の偏差、実測値や技術的情報の存在など具体的事実関係を示すことができる場合が挙げられる。

1-2-2. エネルギー源別炭素排出係数の評価分析手順

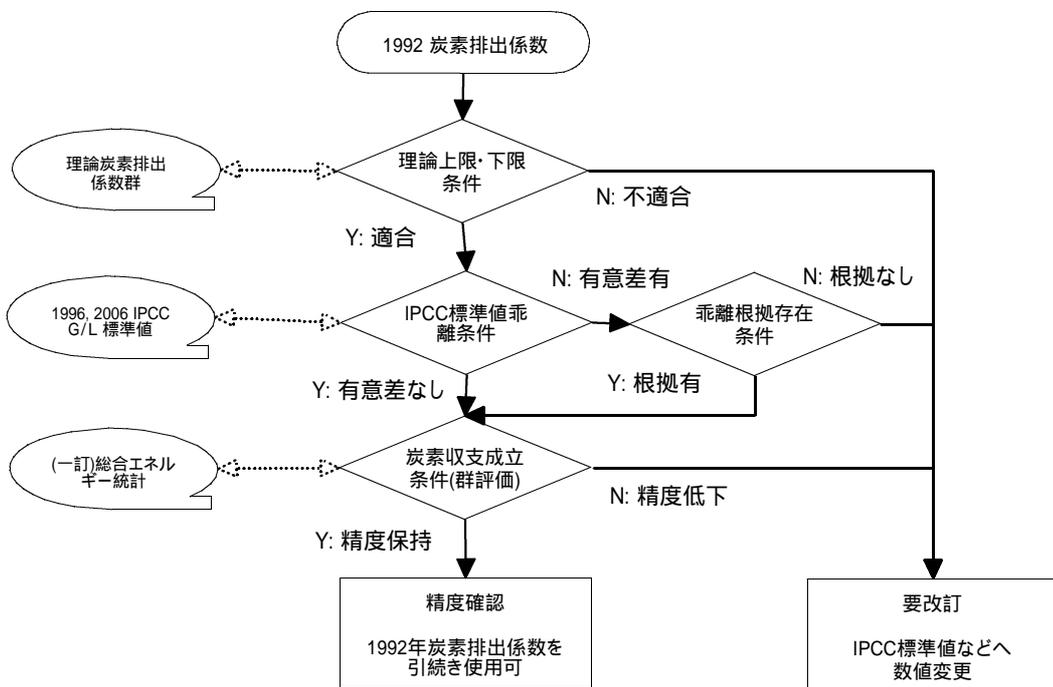
1-2-1. におけるエネルギー源別炭素排出係数の妥当性評価の方法については、以下の手順でこれを1992年炭素排出係数に適用し、評価分析を行うものとする。

1992年炭素排出係数については、算定から10年以上の時間が経過している、算定根拠が明らかでないなどの問題点が指摘されているが、仮に当該評価分析手順を経て妥当性が確認された場合、引続き使用に耐えるものと判断して差支えないと考えられる。

一方、1992年炭素排出係数が妥当性がないと評価され、IPCC標準値を換算した値を採択した方がより妥当性があると評価された場合には、当該エネルギー源については1992年炭素排出係数をIPCC標準値を換算した炭素排出係数に取り替えることが必要であると考えられる。

[図1-2-2-1. エネルギー源別炭素排出係数の評価分析手順]

1992年炭素排出係数の評価分析手順



1-2-3. エネルギー源別炭素排出係数の表記単位・評価精度

エネルギー源別炭素排出係数の妥当性の評価に用いる表記単位については、特に断らない限り総発熱量当炭素量(tC/TJ)に換算した数値を使用する。

真発熱量から総発熱量への換算、液体・気体の密度換算などについては、「新・総合エネルギー統計」に準拠し、2006年IPCC試算値の策定に用いた換算方法を用いる。

エネルギー源別炭素排出係数の妥当性を統計的に検定する必要がある場合の評価精度については、一般的な統計検定などで使用されている「95%」を用いるものとする。

当該評価精度は、総合エネルギー統計における標準発熱量の評価精度(有効数字の考え方)に等しく、また現在検討中の2006年IPCC標準値の信頼性(不確実性)の評価精度と等しい。

2. 石炭・石炭製品の炭素排出係数の評価分析

2-1. 石炭・石炭製品の個別評価

2-1-1. コークス用原料炭

1) 1992年炭素排出係数 23.6 tC/TJ ('92JP) / 31.8(~'99), 29.1 TJ/kt

2) 理論値との比較

1992年炭素排出係数は、純炭素、コークスなどの上限値基準を満たしている。

上限値: 純炭素 30.5 tC/TJ (理論) / 32.7 TJ/kt

コークス 29.4 tC/TJ ('92係数) / 30.1 TJ/kt

29.5 tC/TJ ('96IPCC) / NA

29.5 tC/TJ ('06IPCC) / 28.2 TJ./kt

3) 換算IPCC標準値との比較

1992年炭素排出係数は、'96,'06-IPCC標準値と比較して -3.5%相対的に値が小さい結果が観察される。'06-IPCC標準値のサンプル数・標準偏差などを用いたt検定においても95%有意差の存在が確認される。

1996年標準値 Coking Coal 24.5 tC/TJ (1992年係数が -3.5%小) / NA

2006年試算値 Coking Coal 24.5 tC/TJ (1992年係数が -3.5%小) / 29.7 TJ/kt

日本で使われているコークス原料炭については、コスト低減のため、単価の高い強粘結炭に、相対的に廉価な弱粘結炭とオイルコークスやアスファルト抽出物を配合してコークス原料として使用することが広く行われており、諸外国でコークス原料として使用されている強粘結炭とはコークス用原料炭の性状が異なっている可能性がある。

(日本貿易統計)	1990年度	1995年度	2000年度
原料炭総輸入量 (Mt; a)	60.87	58.61	57.60
強粘結炭 (Mt)	45.58	36.12	27.03
弱粘結炭 (Mt; b)	15.28	22.50	30.57
(弱粘結炭構成比; b/a)	25.10%	38.38%	53.07%

表注) 原料炭のうち弱粘結炭の一部は一般炭として通関する場合があります、日本貿易統計が必ずしも全部の原料炭を網羅していないことに注意。

4) 2002年環境省調査値について

2002年環境省調査値については、サンプル数が14(PCI除く)と非常に少ない、発熱量などの物性が「無水有灰」基準⁴で計測されておりその代表性が確認できない、3)で述べたような技術的特性があるにもかかわらずIPCC標準値を上回る値を示しているなどの問題があり、参考とすることが困難である。

2002年調査値 24.7 tC/TJ (1992年係数が -4.3%小) / 32.1 TJ/kt(無水有灰)

5) 評価

1992年炭素排出係数は、IPCC標準値に対して -3.5%小さい結果となっているが、コークス製造に関する技術的情報からその差異を説明する正当な根拠が存在すると考えられる。

このため、総合エネルギー統計を用いてコークス・コークス炉ガスなどとの群評価を行った上で、現行の炭素排出係数を用いるか、IPCC標準値を採択するかを判断することが妥当であると考えられる。

*4 日本の通関統計、電力調査統計、石油等消費動態統計などの統計調査における石炭消費量・投入量は、「有水有灰」基準で統一されていること、石炭の水分量は5~15%とばらつきが大きいことから、「無水有灰」基準での活動量を正確に知ることは不可能である。総発熱量のエネルギー当炭素排出係数は原理的に水分量の影響を受けないが、現実には「有水有灰」基準での総発熱量が判明しなければサンプルの妥当性を評価できない、測定のための乾燥中に揮発分の組成が変化・減少してしまうなどの問題を生じるおそれがある。

2-1-2. 吹込用原料炭

1) 1992年炭素排出係数 23.7 tC/TJ ('92JP) / 31.8 (~'99), 28.2 TJ/kt

2) 理論値との比較

1992年炭素排出係数は、純炭素、コークスなどの上限値基準を満たしている。

上限値: 純炭素 30.5 tC/TJ (理論) / 32.7 TJ/kt

コークス 29.4 tC/TJ ('92係数) / 30.1 TJ/kt

29.5 tC/TJ ('96IPCC) / NA

29.5 tC/TJ ('06IPCC) / 28.2 TJ./kt

3) 換算IPCC標準値との比較

'96,'06-IPCC標準値とも、エネルギー源の区分においては吹込用原料炭に該当する石炭種はなく、コークス用原料炭以外は性状区分(瀝青炭、亜瀝青炭など)で標準値が示されているため、単純な比較はできない。

4) 2002年環境省調査値について

2002年環境省調査値については、サンプル数が3と非常に少ない、発熱量などの物性が「無水有灰」基準で計測されておりその代表性が確認できないなどの問題があり、参考とすることが困難である。

2002年調査値 24.4 tC/TJ (1992年係数が -3.1%小) / 31.0 TJ/kt(無水有灰)

5) 評価

1992年炭素排出係数は、これに該当するIPCC標準値が存在しないため、その用途にかんがみてコークス用原料炭と同じ炭素排出係数を用いることが妥当であると考えられる。

2-1-3. 輸入一般炭

1) 1992年炭素排出係数 24.7 tC/TJ ('92JP) / 26.0 (~'99), 26.6 TJ/kt

2) 理論値との比較

1992年炭素排出係数は、純炭素、コークスなどの上限値基準を満たしている。

上限値: 純炭素 30.5 tC/TJ (理論) / 32.7 TJ/kt

コークス 29.4 tC/TJ ('92係数) / 30.1 TJ/kt

29.5 tC/TJ ('96IPCC) / NA

29.5 tC/TJ ('06IPCC) / 28.2 TJ./kt

3) 換算IPCC標準値との比較

1992年炭素排出係数は、'96,'06-IPCC標準値(Other Bit. Coal)と比較して +1.7%炭素排出係数が大きい、その差は2%以内であり、ほぼ同様の水準であるという結果が観察される。

このような一致性が見られる理由は、日本で使われている輸入一般炭については、瀝青炭が多いことから、瀝青炭のIPCC標準値と高い一致が見られるものと考えられる。

1996年標準値 Other Bit. Coal 24.5 tC/TJ (1992年係数が +1.7%大) / NA

2006年試算値 Other Bit. Coal 24.5 tC/TJ (1992年係数が +1.7%大) / 27.2 TJ/kt

4) 2002年環境省調査値について

2002年環境省調査値については、サンプル数が20しかない、総発熱量などの物性が「無水有灰」基準で計測されておりその代表性が確認できないなどの問題があり、参考とすることは困難であるが、炭素排出係数自体は1992年炭素排出係数と高い一致が見られる。

2002年調査値 24.6 tC/TJ (1992年係数が +0.6%大) / 29.7 TJ/kt(無水有灰)

5) 評価

1992年炭素排出係数は、IPCC標準値と概ね一致することが確認されたため、現行の炭素排出係数を用いることが妥当であると考えられる。

2-1-4. 国産一般炭

1) 1992年炭素排出係数 24.9 tC/TJ ('92JP) / 24.3 (~'99), 22.5 TJ/kt

2) 理論値との比較

1992年炭素排出係数は、純炭素、コークスなどの上限値基準を満たしている。

上限値: 純炭素 30.5 tC/TJ (理論) / 32.7 TJ/kt

コークス 29.4 tC/TJ ('92JP) / 30.1 TJ/kt

29.5 tC/TJ ('96IP) / NA

29.5 tC/TJ ('06IP) / 28.2 TJ./kt

3) 換算IPCC標準値との比較

1992年炭素排出係数は、'96,'06-IPCC標準値(Sub-Bit. Coal)とほぼ完全に一致しているという結果が観察される。

このような一致性が見られる理由は、国内で産出する国産一般炭の大部分は亜瀝青炭であることから、亜瀝青炭のIPCC標準値と高い一致が見られるものと考えられる。

1996年標準値 Sub-Bit. Coal 24.9 tC/TJ (1992年係数が +0.0%大) / NA

2006年試算値 Sub-Bit. Coal 24.9 tC/TJ (1992年係数が +0.0%大) / 19.9 TJ/kt

4) 2002年環境省調査値について

2002年環境省調査値については、サンプル数が17しかない、総発熱量などの物性が「無水有灰」基準で計測されておりその代表性が確認できないなどの問題があり、参考とすることは困難である。

さらに、2002年調査と前後して国内炭鉱は相次いで出炭停止・閉山が続いており、こうした変動の大きな期間での実測値の採用については大きな問題があると考えられる。

2002年調査値 23.9 tC/TJ (1992年調査値が +4.3%大) / 24.5 TJ/kt(無水有灰)

5) 評価

1992年炭素排出係数は、IPCC標準値と高い一致性が確認されたため、現行の炭素排出係数を用いることが妥当であると考えられる。

2-1-5. 輸入無煙炭

1) 1992年炭素排出係数 24.7 tC/TJ ('92JP) / 27.2 (~'99), 27.2 TJ/kt

2) 理論値との比較

1992年炭素排出係数は、純炭素、コークスなどの上限値基準を満たしている。

上限値: 純炭素 30.5 tC/TJ (理論) / 32.7 TJ/kt

コークス 29.4 tC/TJ ('92JP) / 30.1 TJ/kt

29.5 tC/TJ ('96IP) / NA

29.5 tC/TJ ('06IP) / 28.2 TJ./kt

3) 換算IPCC標準値との比較

1992年炭素排出係数は、'96,'06-IPCC標準値(Anturacite)と比較して -2.9%相対的に値が小さい結果が観察される。'06-IPCC標準値のサンプル数・標準偏差などを用いたt検定においても95%有意差の存在が確認される。

1992年炭素排出係数は輸入一般炭の数値を基準に定められているが、これは総合エネルギー統計において「無煙炭」の統計項目には亜炭・泥炭などの低品位炭が含まれており、純粋な無煙炭の量を必ずしも表していなかったことによるものと考えられる。

現状において、エネルギー効率の向上や大気汚染防止などの見地から、水分・灰分が多く微粉炭にできない亜炭・泥炭などの低品位炭がエネルギー源として利用されることは殆どないため、無煙炭の項目に輸入一般炭の炭素排出係数を適用することは不相当と考えられる。

1996年標準値 Anturacite 25.5 tC/TJ (1992年係数が -2.9%小) / NA

2006年試算値 Anturacite 25.5 tC/TJ (1992年係数が -2.9%小) / 28.1 TJ/kt

4) 2002年環境省調査値について

2002年環境省調査値については、1992年炭素排出係数の考え方を踏襲し、輸入一般炭の数値をそのまま用いている。3) で述べたとおり、当該取扱いは不相当であると考えられる。

2002年調査値 24.6 tC/TJ (1992年係数が +0.6%大) / 29.7 TJ/kt(無水有灰)

5) 評価

1992年炭素排出係数は、IPCC標準値と比較して -2.9%の差異が存在するが、当該差異を説明する正当な根拠がないため、IPCC標準値を用いることが妥当であると考えられる。

2-1-6. コークス

1) 1992年炭素排出係数 29.4 tC/TJ ('92JP) / 30.1(~'99), 30.1 TJ/kt

但し、実際のインベントリでは毎年度炭素製品全体の平均炭素収支により算定。

2) 理論値との比較

1992年炭素排出係数は、純炭素の上限値基準を満たしている。

上限値: 純炭素 30.5 tC/TJ (理論) / 32.7 TJ/kt

3) 換算IPCC標準値との比較

1992年炭素排出係数は、'96,'06-IPCC標準値(Coal Coke)とほぼ一致しているという結果が観察される。

このような一致性が見られる理由は、コークスが高炉製鋼に適した性状に最適化されて製造された「炭素の塊」であり、灰分を除いて考えればその性状が非常に安定しているためであると考えられる。

1996年標準値 Coal Coke 29.5 tC/TJ (1992年係数が -0.4%小) / NA

2006年試算値 Coal Coke 29.5 tC/TJ (1992年係数が -0.4%小) / 28.2 TJ/kt

4) 2002年環境省調査値について

2002年環境省調査値は存在しない。

5) 評価

1992年炭素排出係数は、IPCC標準値と高い一致性が確認されたため、現行の炭素排出係数を用いることが妥当であると考えられる。

2-1-7. コークス炉ガス

1) 1992年炭素排出係数 29.4 tC/TJ ('92JP) / 20.1(~'99), 21.1 TJ/Mm³N

但し、実際のインベントリでは毎年度炭素製品全体の平均炭素収支により算定。

2) 理論値との比較

1992年炭素排出係数は、コークスの炭素排出係数を基準に定められているが、気体炭化水素の上限値を超える異常に大きな値となっていること、コークス炉ガスに一酸化炭素は10%程度しか含まれていないことから、当該数値の設定は不適切であると考えられる。

(参考値)	ブタン(n-)	16.6 tC/TJ (理論) / 99.1 TJ/Mm ³ N
	プロパン	16.2 tC/TJ (理論) / 129.1 TJ/Mm ³ N
	一酸化炭素	42.4 tC/TJ (理論) / 12.6 TJ/Mm ³ N
	メタン	13.5 tC/TJ (理論) / 39.8 TJ/Mm ³ N
	水素	0.0 tC/TJ (理論) / 12.8 TJ/Mm ³ N

コークス炉ガスの組成例 (JFE21世紀財団資料による)

H₂ 50.0%, CH₄ 30.0%, CO 10.0%, N₂ 5.6%, 他4.4%

3) 換算IPCC標準値との比較

1992年炭素排出係数は、'96,'06-IPCC標準値と比較して 100%以上値が大きい結果が観察され、1) の結果を裏付けている。

1996年標準値 Coke Oven Gas 11.8 tC/TJ (1992年係数が +149%大) / NA

2006年試算値 Coke Oven Gas 11.0 tC/TJ (1992年係数が +164%大) / 21.1TJ/Mm³N

4) 2002年環境省調査値について

2002年環境省調査値については、日本鉄鋼連盟提供の実測値5例による平均値を採っており、1992年炭素排出係数とは大きく異なるが、IPCC標準値とほぼ同じ値となっている。

2002年調査値 11.0 tC/TJ (1992年係数が +167%大) / 21.1 TJ/Mm³N

5) 評価

1992年炭素排出係数は、IPCC標準値と大きく異なり、乖離を説明する合理的な根拠がないため、IPCC試算値(2002年環境省調査値)を用いることが妥当であると考えられる。

2-1-8. 高炉ガス(BFG)・転炉ガス(OSG)

1) 1992年炭素排出係数 BFG: 29.4 tC/TJ ('92JP) / 3.35(~ '99), 3.41 TJ/Mm³N

OSG: 29.4 tC/TJ ('92JP) / 8.37(~ '99), 8.41 TJ/Mm³N

但し、実際のインベントリでは毎年度炭素製品全体の平均炭素収支により算定。

2) 理論値との比較

1992年炭素排出係数は、高炉ガス・転炉ガスともコークスの炭素排出係数を基準に定められているが、高炉ガスや転炉ガスの組成中、可燃分の大部分を一酸化炭素が占め水素や炭化水素は少量であるため、当該数値の設定は不適切であると考えられる。

(参考値)	一酸化炭素	42.4 tC/TJ (理論) / 12.6 TJ/Mm ³ N
	ブタン(n-)	16.6 tC/TJ (理論) / 99.1 TJ/Mm ³ N
	プロパン	16.2 tC/TJ (理論) / 129.1 TJ/Mm ³ N
	メタン	13.5 tC/TJ (理論) / 39.8 TJ/Mm ³ N
	水素	0.0 tC/TJ (理論) / 12.8 TJ/Mm ³ N

高炉ガス・転炉ガスの組成例 (JFE21世紀財団資料による)

BFG: N₂ 55.0%, CO₂ 20.0%, CO 20.0%, H₂ 4.0%, 他1.0%

OSG: CO 70.0%, CO₂ 15.0%, N₂ 10.0%, O₂ 2.5% , H₂ 2.5%

3) 換算IPCC標準値との比較

1992年炭素排出係数は、高炉ガス・転炉ガス内に含まれている二酸化炭素の炭素分を除いた可燃炭素法での炭素排出係数であるため、総炭素法による'06-IPCC標準値の算定基礎となった、可燃炭素法による参考値の炭素排出係数と比較すると、高炉ガスで-19.5%、転炉ガスで-23.6%小さい結果が観察され、1) の結果を裏付けている。

2006年参考値 BFG(可燃炭素) 36.5 tC/TJ (1992年係数が -19.5%小) / 3.73TJ/Mm³N
(2006年試算値 BFG(総炭素) 69.0 tC/TJ)

2006年参考値 OSG(可燃炭素) 38.4 tC/TJ (1992年係数が -23.6%小) / 9.16TJ/Mm³N
(2006年試算値 OSG(総炭素) 49.6 tC/TJ)

4) 2002年環境省調査値について

2002年環境省調査値については、日本鉄鋼連盟提供の実測値による平均値となっているが、IPCC標準値同様に総炭素法⁵⁾による排出係数を算定してしまっているため、これを直接の参考とすることは困難である。

2002年調査値 BFG: 70.3 tC/TJ (1992年係数が - 58.2%小) / 3.31 TJ/Mm³N

OSG: 49.7 tC/TJ (1992年係数が - 40.9%小) / 8.72 TJ/Mm³N

5) 評価

高炉ガス・転炉ガスとも、1992年炭素排出係数は、IPCC参考値(可燃炭素法)と大きく異なるため不適切であると考えられ、'06-IPCC参考値(可燃炭素法)を採択することが考えられる。

*5 総炭素法を用いるのは、炭素排出は排出地点で「直接法」により計算する場合であり、高炉へ投入した炭素(コークス、PCI炭、石灰石、ドロマイト)から、高炉ガス・転炉ガスとして燃焼後排出される炭素分を控除することとなり、還元剤としてのエネルギー源の消費があるにもかかわらず、高炉自体からの炭素排出はゼロとして計算することとなる。

従来の日本のインベントリでは、炭素排出をエネルギー消費寄与度に応じ按分して考える「間接法」により計算している。

このため、総合エネルギー統計を用いてコークスなどとの群評価を行った上で、IPCC参考値(可燃炭素法)採択の是非を判断することが妥当であると考えられる。

2-1-9. コールタール

- 1) 1992年炭素排出係数 (該当なし) / (該当なし)(~'99), 37.3 TJ/kt
- 2) 理論値との比較 (比較不能)
- 3) 換算IPCC標準値との比較

'06-IPCC標準値と日本の標準発熱量を比較すると日本の標準発熱量が+ 27%大きいという結果が観察される。

日本における「コールタール」では、水分・硫黄分・アンモニア分などの副生成成分を含まない精製後のコールタールが計量されているが、IPCCにおけるコールタールでは、発熱量の大きさから考えて、こうした副生成成分を含んだ「コークス炉から産出した未精製の副生液体製品一般」を表している可能性がある。

2006年試算値	Coal Tar	20.9 tC/TJ (-)	/	29.5 TJ/kt (日本発熱量が+27.3%大)
(参考)	Bitumen	('06 IPCC)		41.9 TJ/kt
	Petroleum Coke	('06 IPCC)		33.3 TJ/kt
	Coal Coke	('06 IPCC)		28.2 TJ/kt

- 4) 2002年環境省調査値について (該当なし)
- 5) 評価

コールタールについては、1992年炭素排出係数が存在しないが、新・総合エネルギー統計において活動量が計上されているため、炭素排出係数についてIPCC標準値を採択することが考えられる。

このため、総合エネルギー統計を用いて原料炭・コークスなどとの群評価を行った上で、IPCC試算値採択の是非を判断することが妥当であると考えられる。

2-2. 石炭・石炭製品の群評価

2-2-1. 石炭・石炭製品のエネルギー収支・炭素収支

石炭・石炭製品のうち、コークス用原料炭、吹込用原料炭、コークス炉ガス、高炉ガス・転炉ガス、コールタールなどについては、鉄鋼業における製鋼過程に沿って以下の3つの工程でエネルギー転換される関係にある。

これらのエネルギー転換においては、炭素収支が成立していなければならないことから、新・総合エネルギー統計の時系列での統計値を用いてこれらの炭素排出係数群の妥当性を評価することができる。

1) コークス炉工程

$$\begin{aligned}
 CCCL + COCX &= CCCC + CCRT + CCOG && \text{式 2-2-1-1)} \\
 Cccl * Eccl + Cocx * Eocx &= Cccc * Eccc + Ccrt * Ecrt + Ccog * Ecrt
 \end{aligned}$$

投入側:	CCCL	コークス用原料炭中炭素	Cccc: 排出係数	Eccc: エネルギー量
	COCX	オイルコークス中炭素	Ccrt: 排出係数	Ecrt: エネルギー量
産出側:	CCCC	コークス中炭素	Cccc: 排出係数	Eccc: エネルギー量
	CCRT	コールタール中炭素	Ccrt: 排出係数	Ecrt: エネルギー量
	CCOG	コークス炉ガス中炭素	Ccog: 排出係数	Ecog: エネルギー量

2) 高炉工程

$$\begin{aligned}
 CPCI + CCCC &= CCFG + CPIM \\
 Cpci * Epci + Cccc * Eccc &= Ccfg * Ecfg + Cpim * Ipim && \text{式 2-2-1-2)}
 \end{aligned}$$

投入側 ^{*6}	CPCI	吹込用原料炭中炭素	Cpci: 排出係数	Epci: エネルギー量
	CCCC	コークス中炭素	Cccc: 排出係数	Eccc: エネルギー量
産出側:	CBFG	高炉ガス中炭素	Cbfg: 排出係数	Ebfg: エネルギー量
	CPIM	銑鉄中溶解炭素	Cpim: 炭素濃度	Ipim: 銑鉄量

3) 転炉工程

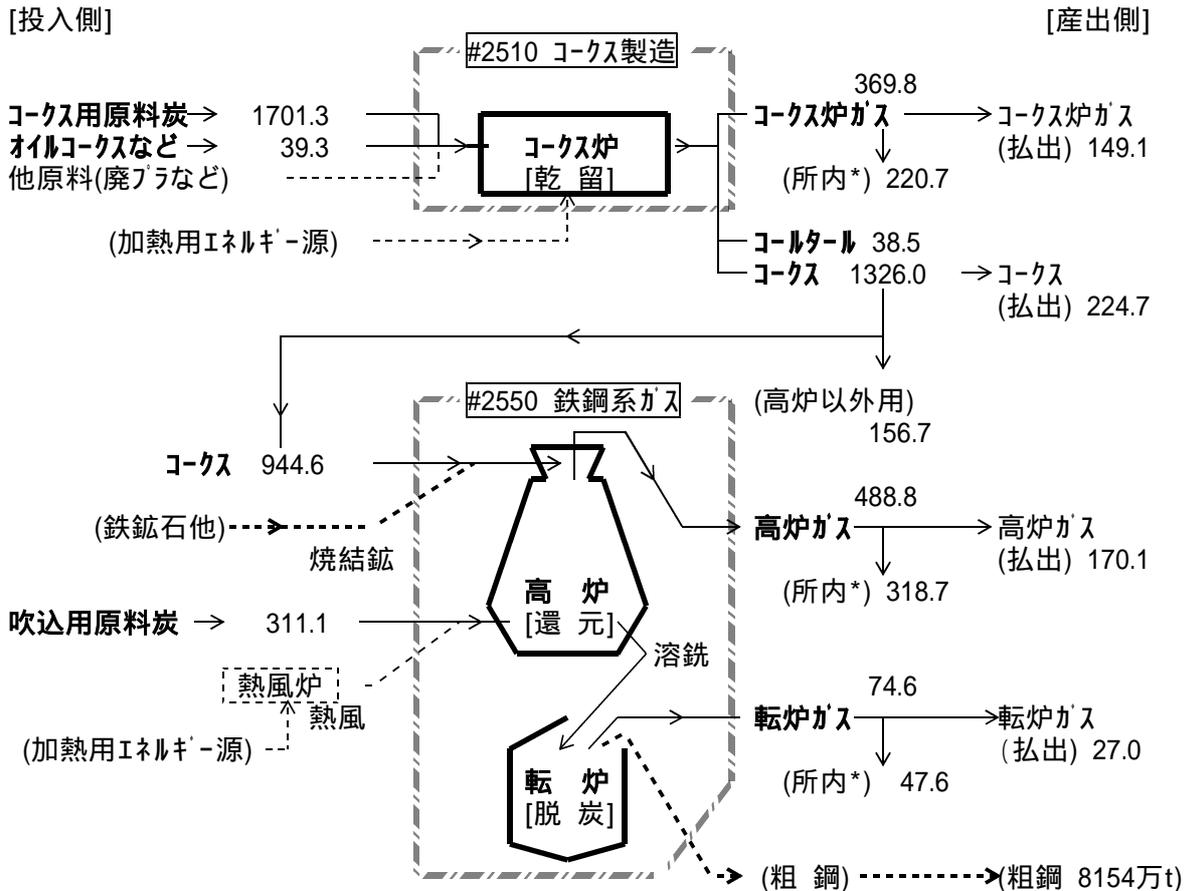
$$CPIM = COSF$$

$$Cpim * Ipim = Cosf * Eosf \quad \text{式 2-2-1-3)}$$

投入側:	CPIM	銑鉄中溶解炭素	Cpim: 炭素濃度	Ipim: 銑鉄量
産出側 ^{*7} :	COSF	転炉ガス中炭素	Cosf: 排出係数	Eosf: エネルギー量

[図2-2-1-1. 石炭の主要なエネルギー転換に関するエネルギー鳥瞰図]

(単位 PJ、2002年度実績値、#(番号)と名称は新・総合エネルギー統計の部門番号・名称)



産出側(所内*) は、#2915,#6580,#2217,#2307 の合計値

2-2-2. 石炭・石炭製品の炭素排出係数精度と評価対象群

エネルギー源のうち、コークス、転炉ガスについては原理的に物理化学的性状が安定していると考えられるため、これらの数値については、コークスは1992年炭素排出係数、転炉ガスは2006年IPCC標準値である旨仮定して差支えないと考えられる。また、コールタール、オイルコークスなどは量が少ないためIPCC標準値や1992年炭素排出係数を用いても精度上問題がないと考えられる。

当該仮定により、式2-2-1-3) から転炉工程の炭素収支に従い直ちに銑鉄中炭素溶解炭素量と

*6 ここでは、エネルギー起源炭素の収支を考察しているため、高炉に直接投入される石灰石・ドロマイトなどの非エネルギー由来炭素分は別途工業プロセス分野において算定されていると仮定し、算定から除外する。

*7 厳密には製鋼製品中炭素分を考慮する必要があるが、通常鋼中の炭素分は重量の 0.05% 以下であり、炭素分は製品別に大きく異なることから、ここでは捨象して誤差として取扱う。