



RIETI Discussion Paper Series 15-J-007

総合エネルギー統計における石油精製部門の エネルギー・炭素収支の改善について

戒能 一成
経済産業研究所



Research Institute of Economy, Trade & Industry, IAA

独立行政法人経済産業研究所

<http://www.rieti.go.jp/jp/>

総合エネルギー統計における石油精製部門のエネルギー・炭素収支の改善について*

戒能一成（経済産業研究所）

要 旨

現行の総合エネルギー統計においては、石油精製部門のエネルギー・炭素収支について、原油などの投入側とガソリンなどの産出側の数量のみを基準としてこれを算定しており、投入と産出の差分は全て誤差としてエネルギー消費やエネルギー起源CO₂排出の算定から除外している。

しかし、重質油分解触媒の再生時に発生するオイルコークスの焼却分など、当該差分のうちエネルギー起源CO₂の排出源となっている部分が存在する可能性が環境省の関連検討会において指摘されており、石油精製部門についてのエネルギー・炭素収支の統計精度の向上が課題となっていた。

本稿においては、関連する各種の公的統計値を基礎に2013年度から適用される新たな標準発熱量及び炭素排出係数など最新の知見を用いて過去の石油精製部門のエネルギー・炭素収支を正確に再計測し、重質油分解触媒の再生時の排出などと推定される部分と、なお誤差と推定される部分を分離して推計する手法を開発した。

当該結果から、総合エネルギー統計において当該手法を用いて算定される石油精製部門における重質油分解触媒の再生時のエネルギー損失及びCO₂排出などを新たにエネルギー消費及びエネルギー起源CO₂排出として位置づけ、今後当該消費及び排出分を公式に計上・報告していくことが妥当であると考えられる。

キーワード：エネルギー統計石油精製エネルギー・炭素収支

JEL classification：C54 L71 Q40

RIETI ディスカッション・ペーパーは、専門論文の形式でまとめられた研究成果を公開し、活発な議論を喚起することを目的としています。論文に述べられている見解は執筆者個人の責任で発表するものであり、所属する組織及び（独）経済産業研究所としての見解を示すものではありません。

*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、国立大学法人東京大学公共政策大学院、UNFCCC-CDM理事会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。

総合エネルギー統計における石油精製部門のエネルギー・炭素収支改善方策について

- 目 次 -

要 旨

目 次

本 論

1. 現状と問題意識

- 1-1. 現行総合エネルギー統計における石油精製部門のエネルギー・炭素収支算定手法 - 1
- 1-2. 現行算定手法の問題点と改善の必要性 - 2

2. 改善における方法論

- 2-1. 石油精製部門のエネルギー・炭素収支の算定手法改善案 - 4
- 2-2. 使用する推計手法及び基礎とする公的統計値 - 5

3. 改善結果

- 3-1. 石油精製部門のエネルギー・炭素収支再算定結果 - 9
- 3-2. 現行統計及び石油連盟推計値との比較 -11

4. 結論及び提言

- 4-1. 結果の評価 -13
- 4-2. 総合エネルギー統計における石油精製部門の算定手法改善提案 -13

別掲図表 -14

参考文献 -23

2015年 1月
戒能 一成(C)

1. 現状と問題意識

1-1. 現行総合エネルギー統計における石油精製部門のエネルギー・炭素収支算定手法

1-1-1. 総合エネルギー統計における石油精製部門

現行の総合エネルギー統計における石油精製部門は、発電や石炭製品製造と並ぶエネルギー転換部門の最も重要な項目の1つであり、日本に輸入された原油からガソリン・灯油・軽油など各種石油製品が生産され国内供給される過程を表現する役割を担っている。

総合エネルギー統計における石油精製部門が表現している現実の事象は、国内石油会社が保有する25ヶ所の製油所^{*1}における原油の処理と各種石油製品の製造・供給などの活動であるが、現実の製油所においては製油所毎に設置設備が異なり製造・供給している石油製品の種類・構成もまた異なっている。このため、総合エネルギー統計における石油精製部門では国内25ヶ所の製油所での活動を集約した模式的な製油所を考え、当該模式的な製油所での原油の処理と各種石油製品の製造・供給につき公的統計を基礎とした数値モデルを用いて表現している。

現行の総合エネルギー統計における石油精製部門の数値モデルは、2004年度以前の数値モデルにおける精度上の問題を改善すべく2005年度に関係諸方面の協力を得て筆者が開発したものであるが、開発から既に約10年が経過しており見直しが必要な状況にある。

1-1-2. 現行総合エネルギー統計における石油精製部門のエネルギー・炭素収支算定手法

(1) 現行数値モデルでの標準発熱量・炭素排出係数

現行総合エネルギー統計における石油精製部門の数値モデルでは、投入側の原油・NGLコンデンセート及び産出側の各石油製品について、経済産業省資源エネルギー庁制定の2005年度標準発熱量及び環境省地球環境局制定の1992年度炭素排出係数^{*2}を使用して、石油精製部門のエネルギー収支・炭素収支をそれぞれ算定している。

当該標準発熱量・炭素排出係数については、2013年度以降同一の実測試料などから整合的に算定・推計した2013年度標準発熱量・炭素排出係数に更新される予定である。

(2) 現行数値モデルでの基礎統計

現行総合エネルギー統計における石油精製部門の数値モデルでは、製油所での現実の工程に倣って原油・NGLコンデンセート^{*3}の処理と各種石油製品の製造・供給を大まかに5工程に分割し、それぞれの工程でのエネルギー・炭素収支を以下のとおりの公的統計値を基礎として算定・推計している。

- 常圧蒸留（原油・NGLコンデンセートからの各中間留分の生産）
- 揮発油留分・精製原料戻
- 灯油留分
- 軽油留分
- 常圧残油・減圧残油・分解処理

別掲図表；図1-1-2-1. 現行総合エネルギー統計における石油精製部門の数値モデル概要

*1 石油連盟「今日の石油産業2014」による。参考文献1を参照ありたい。

*2 当該炭素排出係数については、2006年度にIPCCガイドラインの標準値などとの比較による妥当性確認が行われている参考文献2を参照ありたい。

*3 石油精製部門において精製用途に使用される原油の一部には、海外製油所から輸入された常圧残油(Straight Run Fuel Oil)が含まれているが、本稿ではこれを識別せず原油の一部として扱う。

1-1-3. 現行総合エネルギー統計における石油精製部門のエネルギー・炭素収支

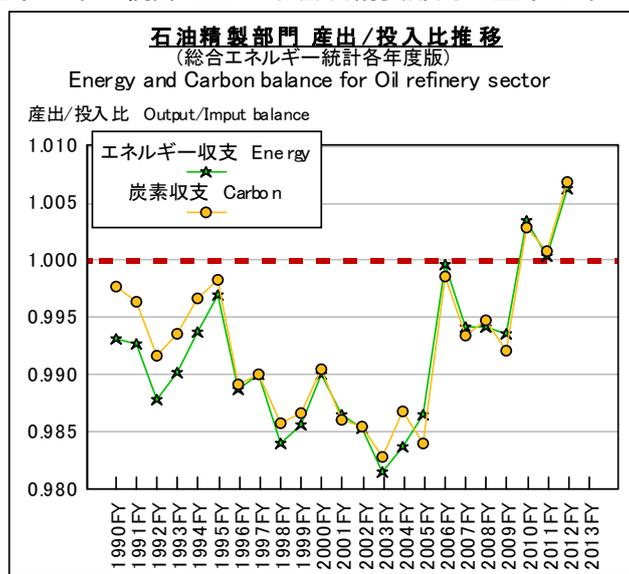
1-1-2. の数値モデルにより算定した石油精製部門のエネルギー・炭素収支推移を示す。

当該エネルギー・炭素収支については、現実の石油精製部門は原油が密閉された配管・機器内で蒸留・分解処理されて各種石油製品が生産される工程であるため、本来は非常に小さな値でかつ安定的に損失・排出側となっているべきものである。従って現状のように数%の大きな変動が連続する状況は問題であり、投入側・産出側での標準発熱量・炭素排出係数の誤差や基礎統計の誤差、あるいは数値モデル上の問題がなお存在していると推察される。

しかし、石油精製部門においては投入側・産出側とも潜在的に問題となり得る要素が非常に多いことから、現在の総合エネルギー統計における石油精製部門の数値モデルでは問題が特定できていない状況にある。

このため、当該エネルギー・炭素収支の残差分については投入側での問題に起因するものなのか産出側での問題に起因するものなのかが判断できないことから、現状ではエネルギー消費・エネルギー起源CO₂排出の算定から除外し、誤差として「非エネルギー利用分」に計上している。また、現行の地球温暖化防止法における日本国温室効果ガス総排出量の算定においては、総合エネルギー統計をほぼそのまま引用しているため、燃料からの漏出分などを除いた当該残差分の大部分は温室効果ガスの算定から除外されている状況にある。

[図1-1-3-1. 現行総合エネルギー統計における石油精製部門のエネルギー・炭素投入/産出比推移]



1-2. 現行算定手法の問題点と改善の必要性

1-2-1. 環境省温室効果ガス算定方法検討会における指摘と石油連盟推計値

現行地球温暖化防止法第21条の2 においては、温室効果ガスの排出量の多い事業者に対し毎年度排出量の算定・公表を行うことを義務づけている。当該制度は省エネルギー法上のエネルギー消費量報告制度と連携して運用されており、両者をまとめて一般に「企業別算定・公表制度」として理解されている。

当該企業別算定・公表制度においては、石油精製各社も全て制度対象となっており毎年度エネルギー消費量・温室効果ガス排出量が報告されているが、一部の企業においてその内訳として「接触流動床分解触媒(FCC)の再生時に発生するオイルコークスの焼却分」や「触媒再

生塔からの排出分^{*4}が報告されていることが判明し、2013年度の環境省地球環境局「温室効果ガス算定方法検討会」において問題が提起された。

当該触媒再生焼却分については、1-1-3. で述べたとおり現行の総合エネルギー統計における石油精製部門の数値モデルでは誤差としてエネルギー消費・エネルギー起源CO₂排出の算定から除外している部分の内数に当たるものであり、当該検討会での議論の結果、温室効果ガス排出量の算定に「捕捉漏れ」が生じている可能性が高いと判断された。

このため、環境省地球環境局「温室効果ガス算定方法検討会」においては、2014年夏期に公表する2013年度温室効果ガス排出量速報値について暫定的に石油連盟の協力による石油連盟推計値を当該触媒再生焼却分及び水素製造に伴う排出分として計上する^{*5}こととし、併せて総合エネルギー統計における石油精製部門の早期の精度改善が要請されたところである。

1-2-2. 現行総合エネルギー統計における算定手法の問題点

1-1-2. での現行の総合エネルギー統計における石油精製部門の数値モデルによる算定方法上の問題点を再整理した結果は以下のとおり^{*6}。

1-2-1. での環境省検討会での指摘に応えるためには、これらの問題点を再検討し可能な限りの対策を講じることによって、総合エネルギー統計における石油精製部門の更なる算定精度改善を図ることが必要であると考えられる。

1) 原油・NGLコンデンセートの標準発熱量・炭素排出係数の精度の問題

原油の標準発熱量については、現状代表的な原油銘柄 34種の加重平均値から毎年度推計しているが、現実に輸入されている銘柄は 200以上あり、当該 34銘柄の数量捕捉率は約 70%しかないため、当該推計が誤差因となっている可能性がある。

原油・NGLコンデンセートの炭素排出係数、NGLコンデンセートの標準発熱量については、現状いずれも銘柄と無関係に単一の標準炭素排出係数・標準発熱量を用いており、当該固定的な数値の使用が誤差因となっている可能性がある。

2) 数値モデルの問題(1) 常圧蒸留と中間留分精製得率の精度

原油を常圧蒸留した際の中間留分精製得率については、現状代表的な原油銘柄 34種の加重平均値から毎年度推計しているが、現実に輸入されている原油に対して数量捕捉率が約 70%しかないため、当該推計が誤差因となっている可能性がある。

3) 数値モデルの問題(2) 石油精製・潤滑油製造などの混在

現行の数値モデルでは、石油精製・潤滑油製造などを識別せず、原油を処理する工程を全て 1-1-2 (2) の数値モデルに当てはめていることから、当該推計手法が誤差因となっている可能性がある。

1-2-3. 石油精製部門のエネルギー・炭素収支改善の必要性和本稿の問題意識

本稿においては、総合エネルギー統計における石油精製部門でのエネルギー・炭素収支に関する問題点の指摘にかんがみ、当該部門に関連する発熱量・炭素排出係数など最新の知見を応用して現行数値モデルの見直しを実施し、当該部門のエネルギー・炭素収支を時系列で精密に再計算することにより、以て当該部門のエネルギー・炭素収支の精度向上及び我が国温室効果ガス排出量の算定に関する精度向上を図るものである。

*4 以下両者を総称して「触媒再生焼却分」と呼称する。

*5 環境省平成26年度温室効果ガス排出量算定方法検討会配付資料参照。参考文献 3 を参照ありたい。

*6 ここに提示した問題点の他に、資源エネルギー統計・石油等消費動態統計など基礎統計自体の精度改善という問題が考えられるが、残念ながら著者の権能の範疇を超える問題であるためここでは当該問題には立入らない。

2. 改善における方法論

2-1. 石油精製部門のエネルギー・炭素収支の算定手法改善案

2-1-1. 原油・NGLコンデンセートの発熱量・炭素排出係数

原油・NGLコンデンセートの発熱量・炭素排出係数については、戒能(2014)^{*7}において 2013年度から適用すべき新たな標準発熱量・炭素排出係数が提示されるとともに、さらに密度などからの発熱量・炭素排出係数の補間推計式が提示されており、今後においては原油・NGLコンデンセートについて銘柄別の密度などから推計した値を加重平均した発熱量・炭素排出係数を用いるべき旨提言されている。

本稿においては当該提言に従い、日本に輸入されている約 200銘柄の原油・NGLコンデンセートの全てについて資源エネルギー統計/石油統計^{*8}に基づく輸入銘柄別・年度別の密度を算定し、これを戒能(2014)における原油密度と総発熱量・炭素排出係数の補間推計式に当てはめた値を毎年度加重平均し、石油精製部門における原油・NGLコンデンセートの投入側の発熱量・炭素排出係数を算定する。

2-1-2. 石油精製部門の数値モデル (1) 常圧蒸留と中間留分精製得率・密度

原油・NGLコンデンセートを常圧蒸留して得られる中間留分については、代表的な 34銘柄の中間留分精製得率と中間留分密度が石油連盟(1998)^{*9}において示されている。現状では当該 34銘柄の得率・密度のみを用いているが、当該数値を用いて原油・NGLコンデンセートの密度と中間留分精製得率・密度の関係を推計する数値モデルを構築することが考えられる。

さらに、当該密度を 2-1-1.同様に戒能(2014)における石油製品の発熱量・炭素排出係数の補間推計式に当てはめることにより、各中間留分の発熱量・炭素排出係数を推計することが可能である。

本稿においては、日本に輸入されている約 200銘柄全部の密度から、これらを常圧蒸留した際に得られる中間留分精製得率・性状につき数値モデルを構築して推計し、当該中間留分精製得率・密度を毎年度算定することにより、常圧蒸留により得られる中間留分の数量及び発熱量・炭素排出係数を揮発油留分・灯油留分・軽油留分及び常圧残油の 4区分について推計する。

2-1-3. 石油精製部門の数値モデル (2) 石油精製と潤滑油製造の数値モデル分離

資源エネルギー統計/石油統計においては、原油処理について石油精製業と潤滑油製造などその他石油製品製造業を識別して統計値が計上されており、両者を数値モデル上分離して計上することが可能である。

本稿においては、当該資源エネルギー統計/石油統計に従い、石油精製業と潤滑油製造業などを分離して数値モデルを新たに構築し、石油精製部門のエネルギー・炭素収支を精密に再計測する。

*7 参考文献 2 を参照ありたい。

*8 参考文献 4 を参照ありたい。但し、原油・NGLコンデンセートの銘柄別API密度・輸入量の数値自体は公開されていない。

*9 石油連盟「石油製品のできるまで」(1998)、参考文献 5 を参照ありたい。

2-2. 使用する推計手法及び基礎とする公的統計値

2-2-1. 原油・NGLコンデンセートの発熱量・炭素排出係数

(基礎統計)

原油・NGLコンデンセートの発熱量については、現行どおり 1990～2012年度につき過去の代表的銘柄 34種からの推計値を用い^{*10}、炭素排出係数については、基礎統計として経済産業省資源エネルギー統計/石油統計における毎年度の銘柄別 API密度、硫黄分及び輸入量を基礎統計として用いた推計値とする。

ここで、原油・NGLコンデンセートの銘柄別灰分・水分は不明であるが非常に小さい値であるため、戒能(2014)における原油の平均値を一律に使用する。

(推計手法)

上記銘柄別 API比重を通常の密度に換算した値及び硫黄分の値などを、戒能(2014)における原油密度などからの総発熱量・炭素排出係数の推計式(式4-1-1-1, 4-1-1-5)に当てはめた銘柄別炭素排出係数を、毎年度の銘柄別原油・NGLコンデンセート輸入量で加重平均した値を算定する。

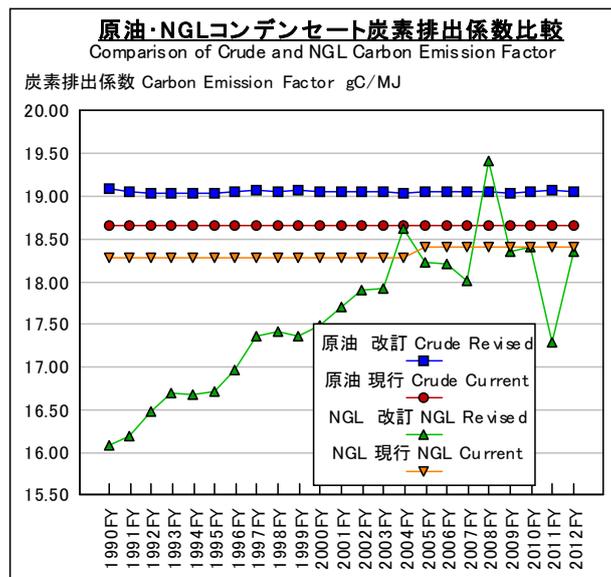
当該推計の結果、原油の炭素排出係数は一貫して過小、NGLコンデンセートの炭素排出係数は過去分は過大で不安定に変化していたものと推計された。

[式2-2-1-1. 原油・NGLコンデンセートの銘柄別・年度別発熱量・炭素排出係数の推計]

$$\begin{aligned}
 Di(t) &= 141.5 \cdot (Dai(t) + 131.5)^{-1} \\
 Gi(t) &= -23.0196 \cdot Di(t)^2 + 73.7305 \cdot Di(t) - 0.2740 \cdot Si(t) - 7.4694 \cdot A - 0.2384 \cdot W - 7.3339 \\
 Ci(t) &= -0.4490 \cdot Gi(t) + 35.4841 \cdot Di(t) - 7.3198 \cdot Di(t)^2 - 0.1627 \cdot Si(t) + 11.5173
 \end{aligned}$$

Di(t) 銘柄i t年度 原油・NGLコンデンセート平均密度 (15℃)
 Dai(t) 銘柄i t年度 平均API密度; 資源エネルギー統計/石油統計
 Gi(t) 銘柄i t年度 原油・NGLコンデンセート総発熱量 (MJ/l)
 Ci(t) 銘柄i t年度 原油・NGLコンデンセート炭素排出係数 (gC/MJ)
 Si(t) t年度 銘柄i 硫黄分(wt%); 資源エネルギー統計/石油統計
 A 原油平均灰分(wt%) (= 0.007); 戒能(2014)
 W 原油平均水分(wt%) (= 0.028); 戒能(2014)

[図2-2-1-2. 原油・NGLコンデンセート炭素排出係数比較]



原油 改訂
 原油 現行
 NGL 現行
 NGL 改訂

*10 誠に残念ながら、経済産業省資源エネルギー統計/石油統計における銘柄別密度等のデータについては、2003年度以前分の原本が失われており、総発熱量については現行総合エネルギー統計の推計値が正しいものと仮定せざるを得ない。

2-2-2. 石油精製部門の数値モデル (1) 常圧蒸留と中間留分精製得率・密度
(基礎統計)

原油・NGLコンデンセートを常圧蒸留して得られる中間留分の数量(得率)及び性状については、基礎統計として経済産業省資源エネルギー統計/石油統計における毎年度の銘柄別 API密度、硫黄分及び輸入量を基礎統計として用いる。

(推計手法)

石油連盟(1998)における代表的 34銘柄別中間留分精製得率を用いて原油・NGLコンデンセート密度を説明変数とした Logit回帰モデルを構築し、毎年度の銘柄別密度から当該モデルを用いて銘柄別中間留分の得率を推計する。

同様に中間留分の密度については代表的 34銘柄別中間留分密度を用いて原油・NGLコンデンセート密度を説明変数とした線形回帰モデルを構築し、毎年度の銘柄別密度から当該モデルを用いて銘柄別中間留分の密度を推計する。

さらに当該密度を戒能(2014)における石油製品密度などからの発熱量・炭素排出係数の推計式(式4-2-8-1, 4-2-8-8)に当てはめた留分総発熱量・炭素排出係数を毎年度加重平均した値を算定する。

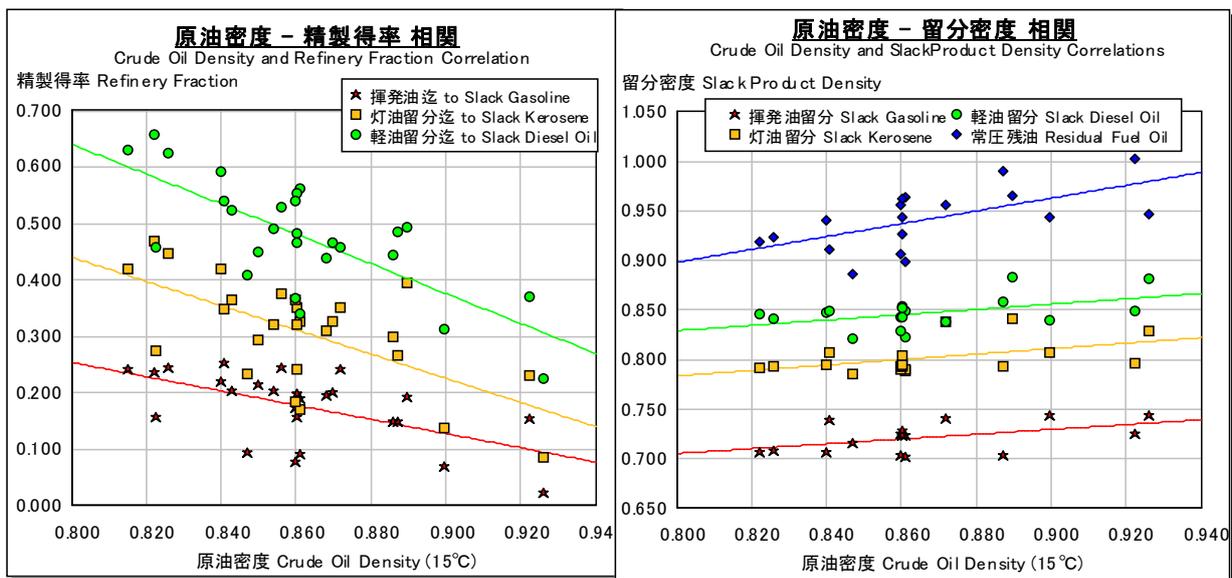
[式2-2-2-1. 原油・NGLコンデンセートの銘柄別・年度別中間留分得率・密度の推計]

$$F_{ij}(t) = (1 + \exp(a_j + \beta_j \cdot D_i(t)))^{-1} + e_{ij}(t)$$

$$Q_{ij}(t) = \gamma_j + \delta_j \cdot D_i(t) + e_{ij}(t)$$

F _{ij} (t)	銘柄i	留分j	t年度	原油・NGLコンデンセート精製得率
Q _{ij} (t)	銘柄i	留分j	t年度	原油・NGLコンデンセート中間留分密度
a _j , β _j	留分j	別得率係数		a _j (p値) β _j (p値)
		揮発油留分迄		-9.278 (0.057) 12.666 (0.029)
		灯油留分迄		-9.402 (0.005) 11.908 (0.003)
		軽油留分迄		-9.578 (0.000) 11.228 (0.000)
γ _j , δ _j	留分j	別密度係数		γ _j (p値) δ _j (p値)
		揮発油留分		0.463 (0.001) 0.305 (0.028)
		灯油留分		0.502 (0.001) 0.353 (0.024)
		軽油留分		0.533 (0.001) 0.371 (0.028)
e _{ij} (t)	誤差			常圧残油 0.373 (0.025) 0.659 (0.001)
D _i (t)	銘柄i	t年度		原油・NGLコンデンセート密度 (式2-2-2-1 参照)

[図2-2-2-1, -2 原油密度-精製得率相関、原油密度-留分密度相関]



2-2-3. 石油精製部門の数値モデル (2) 石油精製と潤滑油製造の数値モデル分離

石油精製部門については、下記のとおり基礎統計から投入・産出を推計し、各留分別のエネルギー・炭素収支を算定する。

当該モデルの基本的考え方につき揮発油留分を例に説明すると、各銘柄の原油・NGLコンデンセートから常圧蒸留で生産された揮発油留分の投入量と、資源エネルギー統計/石油統計から推計されるガソリン・ナフサなどの産出量の差に相当するエネルギー量が、常圧残油など重質油の分解によって賄われていると仮定し、各留分別のエネルギー・炭素収支を順に推計していくというものである。

この際、常圧残油よりも揮発油留分の方が炭素排出係数が大きいため、1MJの常圧残油から1MJの揮発油留分を生産した場合、炭素排出係数の差分だけ炭素が残差として計上されることとなるが、これが常圧残油などの分解時の触媒への析出・焼却分に該当すると考えられる。仮に当該析出・焼却分の一部がオイルコークスや製油所ガスなどの形態で回収されていたとしても、収支計算上は算定脱漏や二重計上が生じるおそれはなく、各工程の炭素残差分は石油製品などとして産出されなかった炭素分の量を表しているものと考えられる。

1) 石油精製モデル

a 常圧蒸留

投入：原油,NGLコンデンセート（資源エネルギー統計/精製業者原油処理量）

産出：揮発油留分,灯油留分,軽油留分,常圧残油（2-2-2.の方法による推計）

収支：エネルギー収支を算定、炭素収支は常圧残油で補正し0と仮定

b 揮発油留分・精製原料戻分

(揮発油留分)

投入：揮発油留分（常圧蒸留推計値及び精製原料戻受入分,在庫変動分）

常圧残油・残差油分解分（エネルギー収支からの推計値）

産出：ガソリン,ナフサ,精製混合原料油,製油所ガス,LPG（資源エネルギー統計/製油所生産量）

収支：エネルギー収支は0と仮定、炭素収支を算定

(精製原料戻分)

投入：各石油製品原料戻入分（石油等消費動態統計/石油製品/原料用使用分）

産出：揮発油留分（投入エネルギー量の合計から推計）

収支：エネルギー収支は0と仮定、炭素収支を算定

c 灯油留分

投入：灯油留分（常圧蒸留推計値,在庫変動分）

軽油留分融通分（エネルギー収支からの推計値）

産出：灯油,ジェット燃料油（資源エネルギー統計/製油所生産量）

収支：エネルギー収支は0と仮定、炭素収支を算定

d 軽油留分

投入：軽油留分（常圧蒸留推計値,在庫変動分）

常圧残油・残差油分解分（エネルギー収支からの推計値）

産出：軽油（資源エネルギー統計/製油所生産量）

灯油留分への融通分(灯油留分での推計値)

A重油・B重油への混合分（エネルギー収支からの推計値）

収支：エネルギー収支は0と仮定、炭素収支を算定

e 常圧残油・減圧蒸留・分解処理

投入：常圧残油（常圧蒸留推計値,在庫変動分）

蒸気 (石油等消費動態統計/石油精製用)

産出: C重油,アスファルト,潤滑油,他重質製品,オイルコークス,製油所ガス,回収硫黄
(資源エネルギー統計/製油所生産分)

A重油・B重油への混合分 (エネルギー収支からの推計値)

接触分解などによるガソリン・軽油生産分 (揮発油留分・軽油留分での推計値)

収支: エネルギー収支・炭素収支ともに算定

2) 潤滑油製造モデル

投入: 原油,NGLコンデンセート (資源エネルギー統計/潤滑油製造・その他業者原油
処理量)

産出: 各種石油製品 (資源エネルギー統計/潤滑油製造・その他業者石油製品生産量)
精製混合原料油 (エネルギー収支からの推計値)

収支: エネルギー収支は 0 と仮定、炭素収支を算定

3. 改善結果

3-1. 石油精製部門のエネルギー・炭素収支再算定結果

3-1-1. 常圧蒸留

常圧蒸留工程は、原油・NGLコンデンセートが常圧蒸留装置内で揮発油留分～常圧残油の各留分に沸点分離される工程を表現している。

常圧蒸留装置はほぼ密閉された装置であり、エネルギー損失は生じ得るが物質損失は生じ得ないと考えられるため、石油精製部門での数値モデルでは炭素収支は常圧残油で補正して常に 0 と仮定しエネルギー収支のみを算定する。

2-3. の常圧蒸留の数値モデルにより新たに算定した 1990～2013年度の常圧蒸留工程のエネルギー投入/産出比は平均 0.9981、標準偏差 0.0019 という結果となった。

幾つかの年度で統計誤差により 1 をわずかに上回っているものの、当該数値モデルにより常圧蒸留工程でのエネルギー損失が安定的に算定されているものと考えられる。

別掲図表; 図3-1-1-1. 石油精製部門/常圧蒸留工程のエネルギー投入/産出比推移

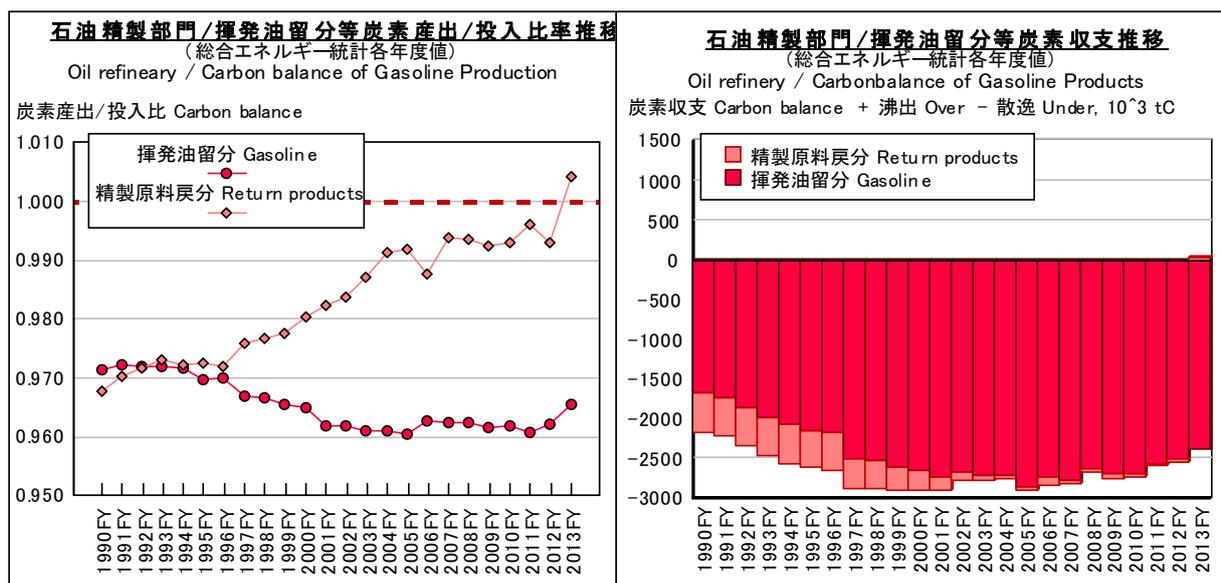
3-1-2. 揮発油留分・精製原料戻分

揮発油留分・精製原料戻分は、常圧蒸留により得られた揮発油留分と、常圧残油など各種石油製品・半製品からの分解処理により得られた揮発油留分から、ガソリン・ナフサ・LPGなど最も軽質な石油製品が生産される工程を表現している。

揮発油留分・精製原料戻分の工程には、接触流動床触媒などの作用により常圧残油などの分解処理工程を含むため、エネルギー損失・炭素損失の両方が生じ得ると考えられるが、その両方を同時に推計する方法がないため、エネルギー収支が成立していると仮定した場合での炭素収支のみを算定する。

2-3. の揮発油留分・精製原料戻分の数値モデルにより新たに算定した 1990～2013年度の揮発油留分・精製原料戻分の炭素産出/投入比は平均 0.9654、標準偏差 0.0043 という結果となり、2012年度時点で 2.5 Mt-C 相当の炭素分が当該工程で分解触媒表面への析出などにより損失しているものと推定された。

[図3-1-2-1,-2 石油精製部門/揮発油留分等炭素産出/投入比. 同炭素収支推移]



3-1-3. 灯油・軽油留分

灯油留分・軽油留分は、常圧蒸留により得られた灯油留分・軽油留分と、常圧残油の減圧蒸留や分解処理により得られた軽油留分から、灯油・ジェット燃料油・軽油などの中質石油製品や A重油などへの混合基材が生産される工程を表現している。

灯油留分・軽油留分とも揮発油留分等同様の理由からエネルギー収支が成立していると仮定した場合での炭素収支のみを算定する。

2-3. の灯油留分・軽油留分の数値モデルにより新たに算定した 1990～2013年度の灯油留分・軽油留分の炭素炭出/投入比は、灯油留分が平均 0.9835、標準偏差 0.0031、軽油留分が平均 0.9899、標準偏差 0.0021 となり、合計 0.5～1.0 Mt-C 弱相当の炭素分が当該工程で損失しているものと推定された^{*11}。

別掲図表；図3-1-3-1. 石油精製部門/灯油留分・軽油留分の炭素投入/産出比推移

図3-1-3-2. 石油精製部門/灯油留分・軽油留分の炭素収支推移

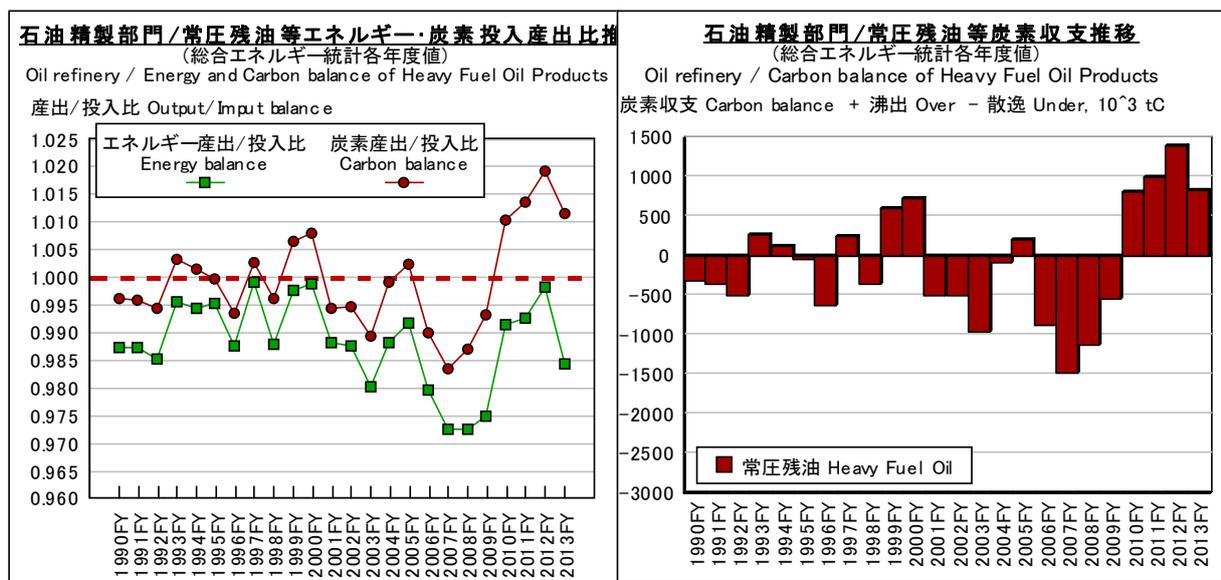
3-1-4. 常圧残油・減圧残油・分解処理

常圧残油・減圧残油・分解処理は、常圧蒸留により得られた常圧残油から潤滑油・C重油などの重質石油製品が生産され、また当該常圧残油が揮発油・軽油などの分解処理の原材料として投入される工程を表現している。

2-3. の数値モデルにより新たに算定した 1990～2013年度の当該工程のエネルギー・炭素投入/産出比は、エネルギー投入/産出比が平均 0.9883、標準偏差 0.0079 と約 1%分だけ 100% を下回っているが、炭素投入/産出比は平均 0.9994、標準偏差 0.0089 となり、ほぼ 100% と見なせるものと推定された。

当該数値モデルの結果は、巨視的に見て当該部門での物質収支がほぼ成立しエネルギー損失のみが存在している状態を示していると解釈され、本質的にここでの各年度でのエネルギー・炭素収支の変動は誤差であり、エネルギー収支が平均的に 100% を下回っている部分は石油製品製造各工程で累計されたエネルギー損失に相当するものと考えられる。

[図3-1-4-1.,-2 石油精製部門/常圧残油等エネルギー・炭素産出/投入比, 同炭素収支推移]



*11 2013年度において灯油留分・軽油留分の炭素産出/投入比率が急激に変化し 100%に接近しているが、当該変化は 2013年度における標準発熱量・炭素排出係数の更新の影響であると推察される。

3-1-5. 潤滑油製造他

潤滑油製造他は、原油などから潤滑油と各種石油製品を生産する工程を表現している。

資源エネルギー統計/石油統計によれば、潤滑油製造他の部門で生産される石油製品の大部分が精製混合原料油として産出されているため、エネルギー収支が成立していると仮定して炭素収支のみを算定する。

2-3. での数値モデルにより新たに算定した 1990～2013年度の当該工程の炭素投入/産出比は平均 1.0745、標準偏差 0.0347 であり、誤差はあるものの^{*12}ほぼ物質収支が成立しているものと推定された。

別掲図表；図3-1-5-1. 石油精製部門/潤滑油製造他の炭素収支推移

3-2. 現行統計及び石油連盟推計値との比較

3-2-1. 現行統計との比較

3-1. での改訂結果を現行の総合エネルギー統計における石油精製部門のエネルギー・炭素産出/投入比と比較した結果を示す。

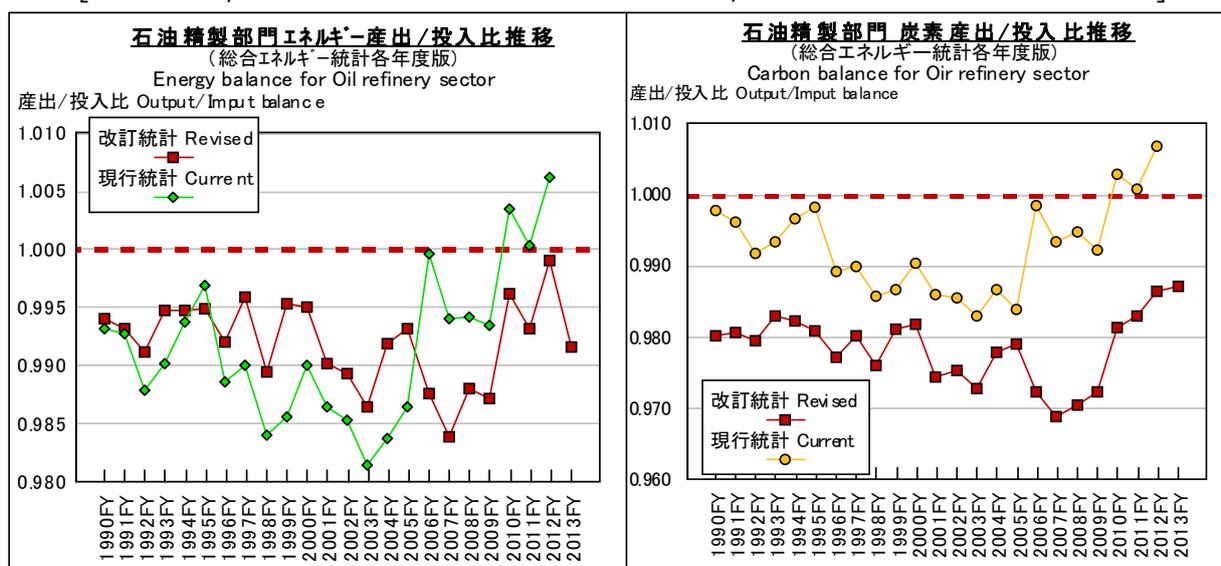
エネルギー産出/投入比の平均値については現行統計と改訂統計で殆ど変化がないが、標準偏差が大幅に減少しており、改訂統計がより安定的となったものと推察される。

炭素産出/投入比については、改訂統計が平均して約 2% 損失側となっており、重質油分解触媒などの再生時の析出・焼却分に相当する炭素損失が推計できるようになったものと推察される。また標準偏差も減少しており、安定性も増したものと推察される。

[表3-2-1-1. 石油精製部門エネルギー・炭素産出/投入比の現行統計・改訂統計の比較]

(1990～2013年度)		平均	標準偏差
エネルギー収支	現行統計	0.9917	0.0065
	改訂統計	0.9920	0.0037
炭素収支	現行統計	0.9927	0.0064
	改訂統計	0.9786	0.0048

[図3-2-1-1, -2 石油精製部門エネルギー・炭素産出/投入比の現行統計・改訂統計比較]



*12 潤滑油製造他部門においては炭素収支が 100% を恒常的に上回っているが、「沸出し」分が量的に少量であること、生産工程及び産出製品が多様であり数値モデルの精緻化が困難であることから、当該「沸出し」部分は誤差として処理する。

3-2-2. 石油連盟推計値との比較

1-2-1. で述べたとおり石油精製部門における接触流動床分解触媒再生焼却分及び水素製造に伴う排出量については、2014年度に石油連盟が環境省に推計値を提出しているが、当該石油連盟推計値と 3-1. での改訂結果を比較した結果^{*13}を示す。

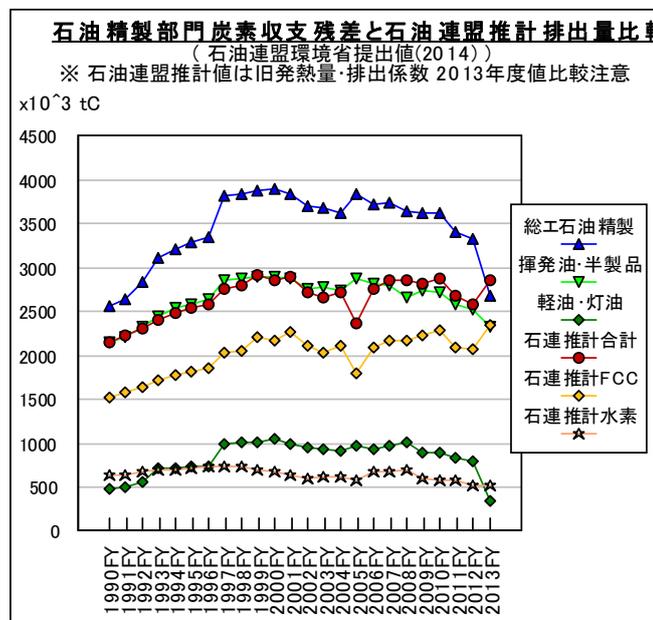
比較の結果、改訂統計における揮発油留分・精製半製品戻部門の合計値が石油連盟推計値と良好に一致していることが観察される。

ここで、石油連盟推計値は旧標準発熱量・炭素排出係数基準であると推定されるため、新標準発熱量・炭素排出係数を用いている改訂統計の 2013年度値とは一致しない。

また石油連盟推計値においては、改訂統計における灯油留分・軽油留分の炭素収支に対応する部分が存在しないものと推察される。

いずれにせよ、誤差と推定される 3-1-4 で算定した常圧残油・減圧残油・分解処理の炭素残差分を除いた改訂統計における石油精製部門の炭素収支の残差は、石油連盟推計値による接触流動床分解触媒再生焼却分及び水素製造に伴う排出量を包含しているものと推察される。

[図3-2-2-1. 石油精製部門における炭素収支残差と石油連盟推計排出量の比較(抄)]



*13 比較のため CO2換算値による石油連盟推計値を炭素換算し、3-1. での改訂統計の数詞残差を正負反転させている。

4. 結論及び提言

4-1. 結果の評価

4-1-1. 結果の評価

総合エネルギー統計における石油精製部門のエネルギー・炭素収支の算定について、2. で述べたとおり

- 原油・NGLコンデンサートの発熱量・炭素排出係数の銘柄別算定化
- 石油精製部門の数値モデルにおける常圧蒸留での中間留分精製得率・密度推計法改善
- 石油精製部門の数値モデルにおける石油精製と潤滑油製造他の分離

の3点の改善策を講じ改訂を試みた。

当該結果による改訂統計を現行統計と比較した結果、3-1. で見たとおり現行統計と比較してエネルギー・炭素投入/産出比のいずれもが統計精度的に見て改善しており、これらの方策はエネルギー・炭素収支の改善に一定の寄与があったものと評価される。

さらに、当該結果による改訂統計のうち、常圧残油等部分を除く他の部分の集計値を石油連盟推計値と比較した結果、3-2. で見たとおり改訂統計における炭素収支残差は石油連盟推計値を概ね包含した値となっており、1-2. での問題点の指摘についても一定の精度で対応ができたものと考えられる。

また、当該結果による改訂統計のうち、常圧残油等部分はその時系列での推移から見てエネルギー・炭素収支とも石油製品生産工程の誤差が集積したものと考えられ、石油精製部門全体のエネルギー・炭素収支残差から、エネルギー消費及びエネルギー起源CO₂排出と推定される部分と、誤差と推定される部分が明確に分離できたものと考えられる。

従って、今後の総合エネルギー統計においては、上記3点のエネルギー・炭素収支の改善方策を導入すべきであると考えられる。

4-2. 総合エネルギー統計における石油精製部門の算定手法改善提案

4-2-1. 総合エネルギー統計における改善提案

2013年度実績値から改訂を予定する総合エネルギー統計においては、本稿2. において述べた石油精製部門におけるエネルギー・炭素収支の改善策を導入すべきである。

既に石油精製業の一部においては省エネルギー法傘下の報告制度において触媒再生焼却分などのエネルギー消費が報告されていることにかんがみ、石油精製部門のうち揮発油留分・精製半製品戻分、灯油留分、軽油留分及び潤滑油製造他部分のエネルギー・炭素収支は、転換部門のうち石油精製部門におけるエネルギー消費及びエネルギー起源CO₂排出として取扱うべきである。

一方、石油精製部門のうち常圧残油等部分のエネルギー・炭素収支は、誤差であると考えられるため、エネルギー消費及びエネルギー起源CO₂排出の算定から除外すべきである。

4-2-2. 日本国温室効果ガスインベントリ算定方法における改善提案

日本国温室効果ガスインベントリの算定においては、上記4-2-1. で算定された、石油精製部門のうち揮発油留分・精製半製品戻分、灯油留分、軽油留分及び潤滑油製造他部分の炭素収支分を、石油精製部門における排出(1.A.1.b)としてエネルギー起源CO₂に追加計上すべきである。

仮に該当部分の算定に今後とも石油連盟推計値を使用することが妥当と判断される場合であっても、算定方法間の整合性にかんがみ、当該推計値が上記総合エネルギー統計上の該当部分の算定結果を上回らないよう留意しつつ計上を行うべきである。

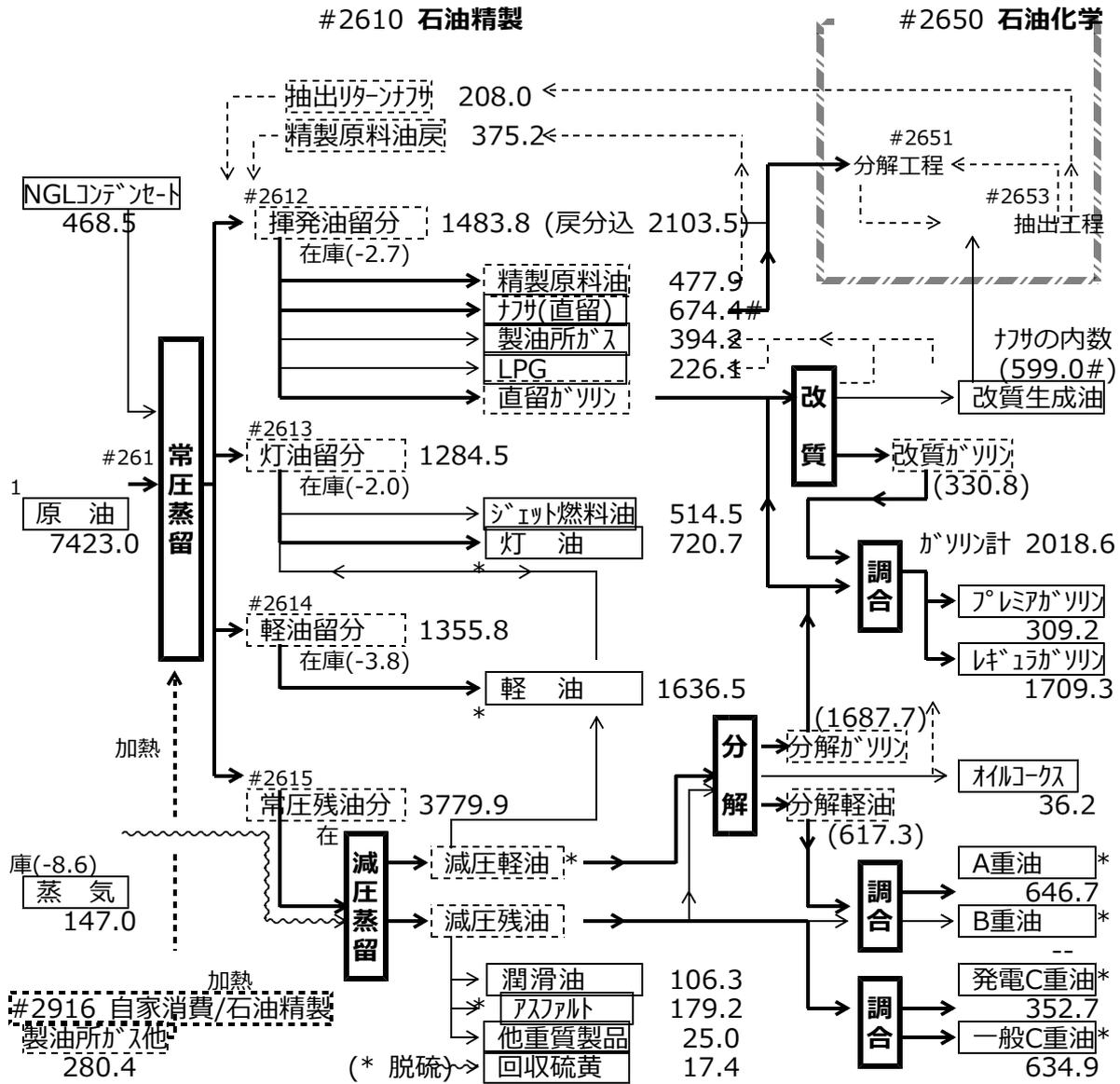
別掲図表

[図1-1-2-1. 現行総合エネルギー統計における石油精製部門の数値モデル概要]

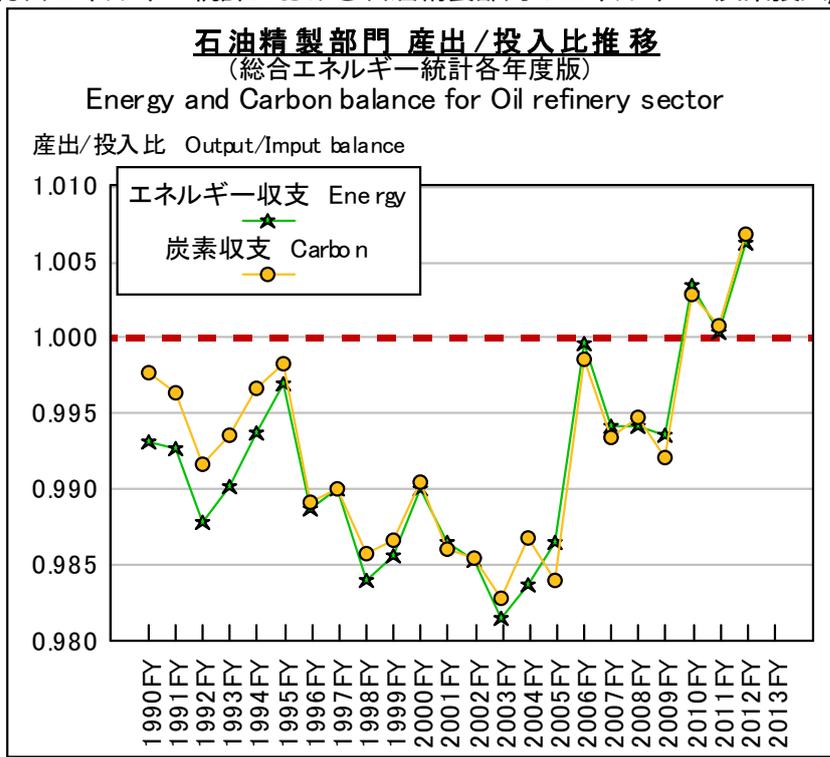
(単位 PJ、2010年度実績値)

[投入側]

[産出側]



[図1-1-3-1. 現行総合エネルギー統計における石油精製部門のエネルギー・炭素投入/産出比推移]



[式2-2-1-1. 原油・NGLコンデンセートの銘柄別・年度別発熱量・炭素排出係数の推計]

$$\begin{aligned}
 Di(t) &= 141.5 \cdot (Dai(t) + 131.5)^{-1} \\
 Gi(t) &= -23.0196 \cdot Di(t)^2 + 73.7305 \cdot Di(t) - 0.2740 \cdot Si(t) - 7.4694 \cdot A - 0.2384 \cdot W - 7.3339 \\
 Ci(t) &= -0.4490 \cdot Gi(t) + 35.4841 \cdot Di(t) - 7.3198 \cdot Di(t)^2 - 0.1627 \cdot Si(t) + 11.5173
 \end{aligned}$$

$Di(t)$ 銘柄 i t年度 原油・NGLコンデンセート平均密度 (15℃)
 $Dai(t)$ 銘柄 i t年度 平均API密度; 資源エネルギー統計/石油統計
 $Gi(t)$ 銘柄 i t年度 原油・NGLコンデンセート総発熱量 (MJ/l)
 $Ci(t)$ 銘柄 i t年度 原油・NGLコンデンセート炭素排出係数 (gC/MJ)
 $Si(t)$ t年度 銘柄 i 硫黄分(wt%); 資源エネルギー統計/石油統計
 A 原油平均灰分(wt%) (= 0.007); 戒能(2014)
 W 原油平均水分(wt%) (= 0.028); 戒能(2014)

[式2-2-2-1. 原油・NGLコンデンセートの銘柄別・年度別中間留分得率・密度の推計]

$$\begin{aligned}
 Fij(t) &= (1 + \exp(\alpha_j + \beta_j \cdot Di(t)))^{-1} + eij(t) \\
 Qij(t) &= \gamma_j + \delta \cdot D(t) + eij(t)
 \end{aligned}$$

$Fij(t)$ 銘柄 i 留分 j t年度 原油・NGLコンデンセート精製得率
 $Qij(t)$ 銘柄 i 留分 j t年度 原油・NGLコンデンセート中間留分密度
 α_j, β_j 留分 j 別得率係数

	α_j (p値)	β_j (p値)
揮発油留分迄	-9.278 (0.057)	12.666 (0.029)
灯油留分迄	-9.402 (0.005)	11.908 (0.003)
軽油留分迄	-9.578 (0.000)	11.228 (0.000)

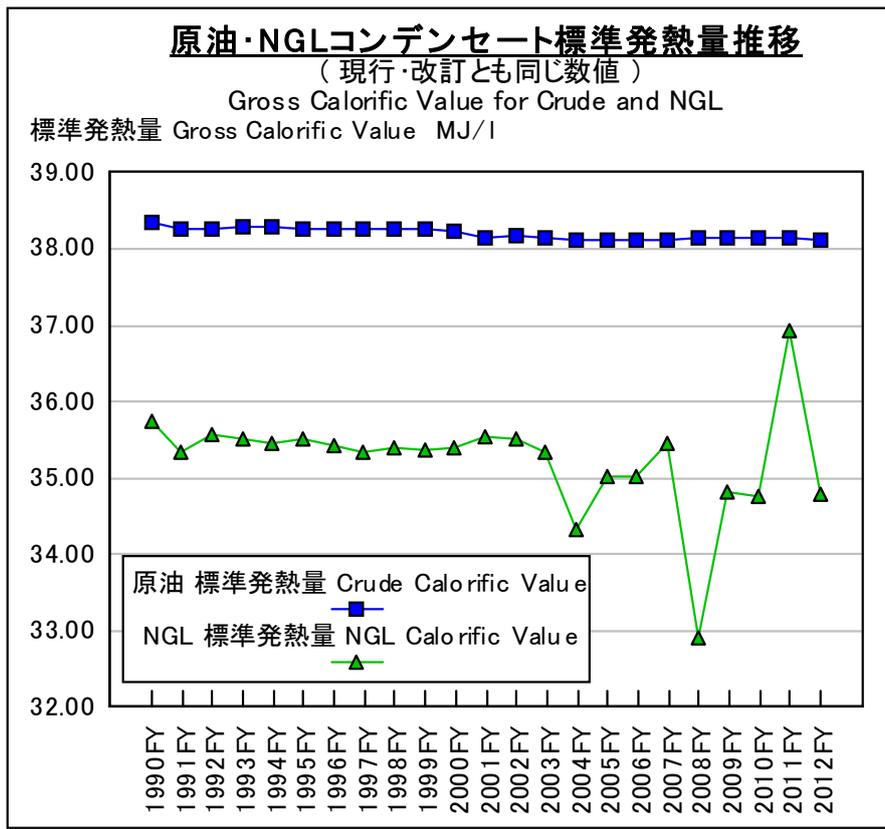
γ_j, δ_j 留分 j 別密度係数

	γ_j (p値)	δ_j (p値)
揮発油留分	0.463 (0.001)	0.305 (0.028)
灯油留分	0.502 (0.001)	0.353 (0.024)
軽油留分	0.533 (0.001)	0.371 (0.028)

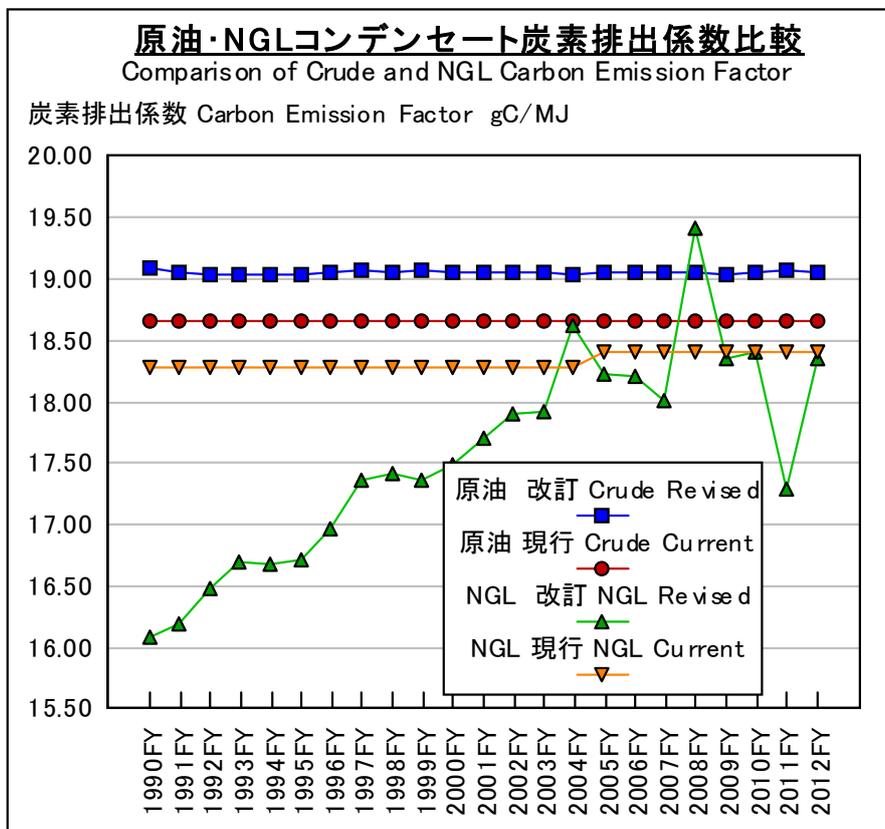
$eij(t)$ 誤差
 常圧残油 0.373 (0.025) 0.659 (0.001)

$Di(t)$ 銘柄 i t年度 原油・NGLコンデンセート密度 (式2-2-2-1 参照)

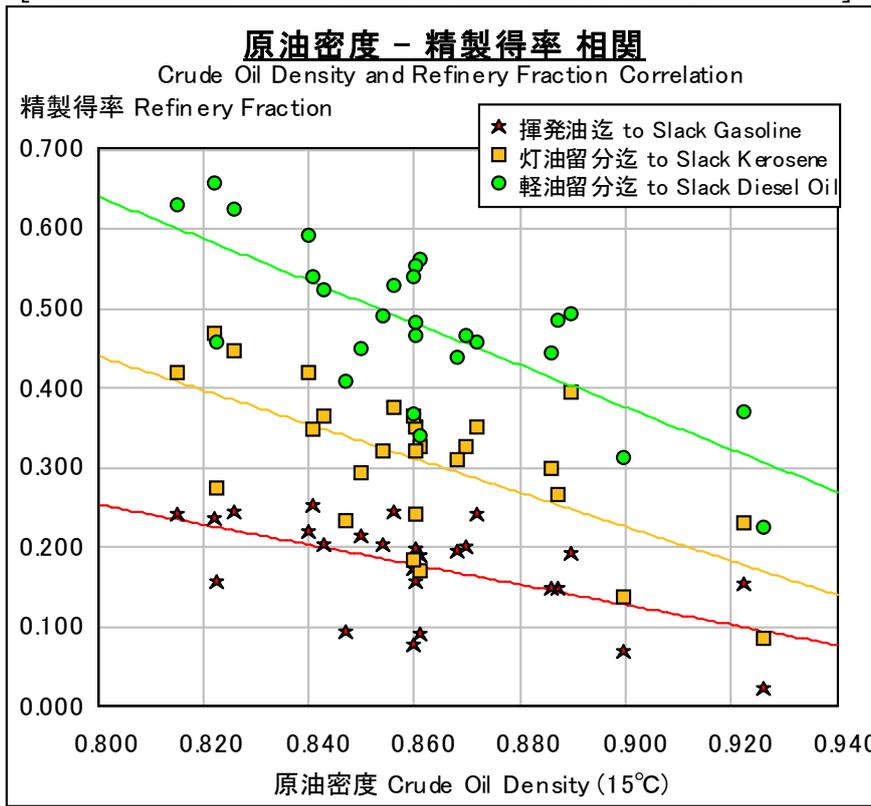
[図2-2-2-1. 原油・NGLコンデンセート標準発熱量推移(現行・改訂とも同じ数値)]



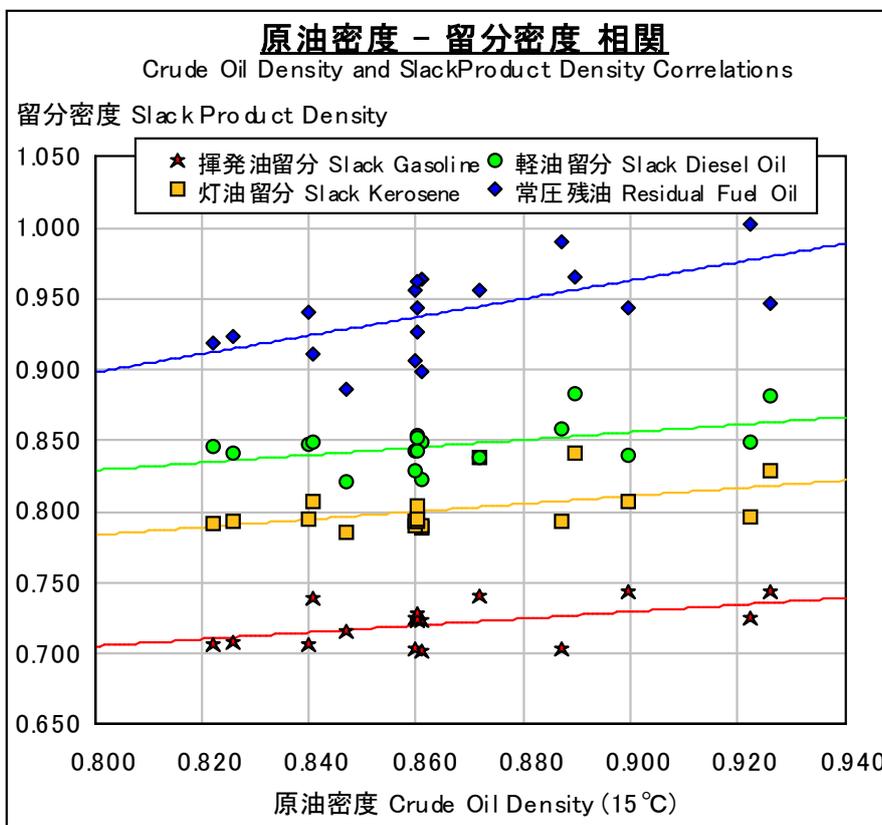
[図2-2-2-2. 原油・NGLコンデンセートの炭素排出係数比較]



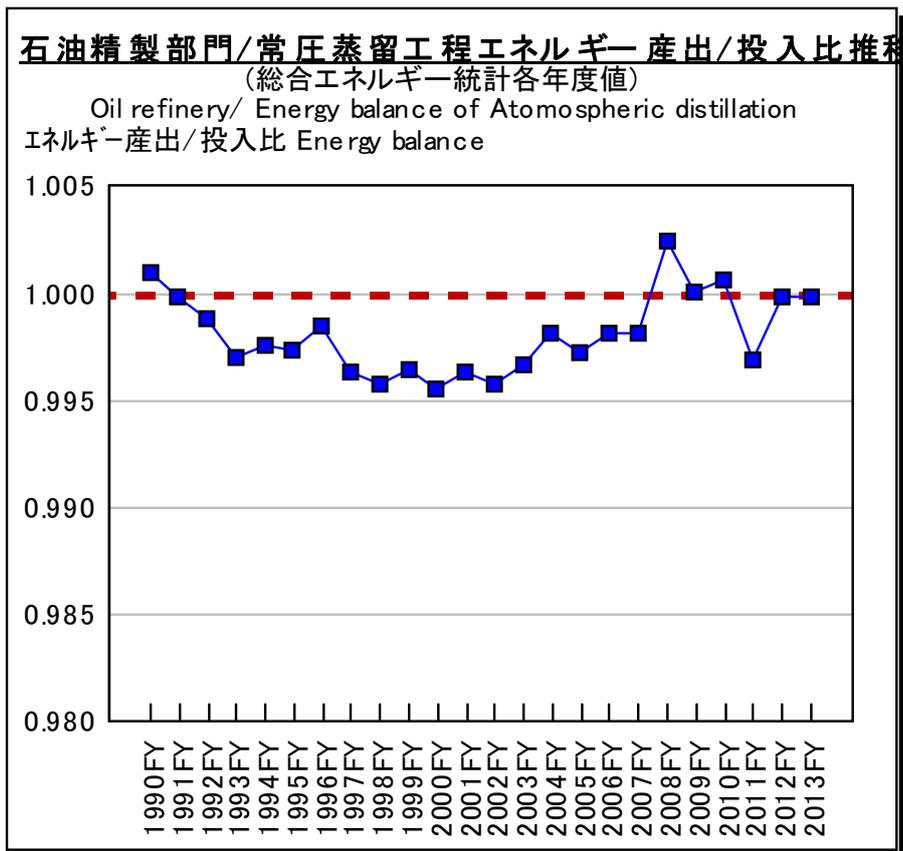
[図2-2-2-1. 原油・NGLコンデンセート銘柄別密度-精製得率相関]



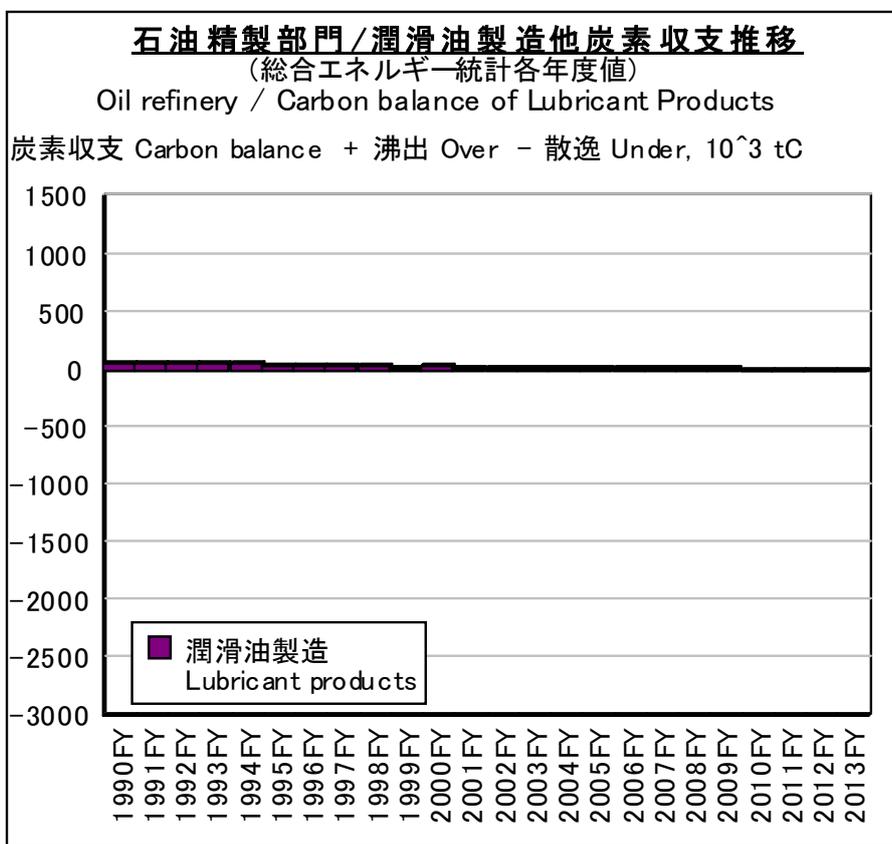
[図2-2-2-2. 原油・NGLコンデンセート銘柄別密度-中間留分密度相関]



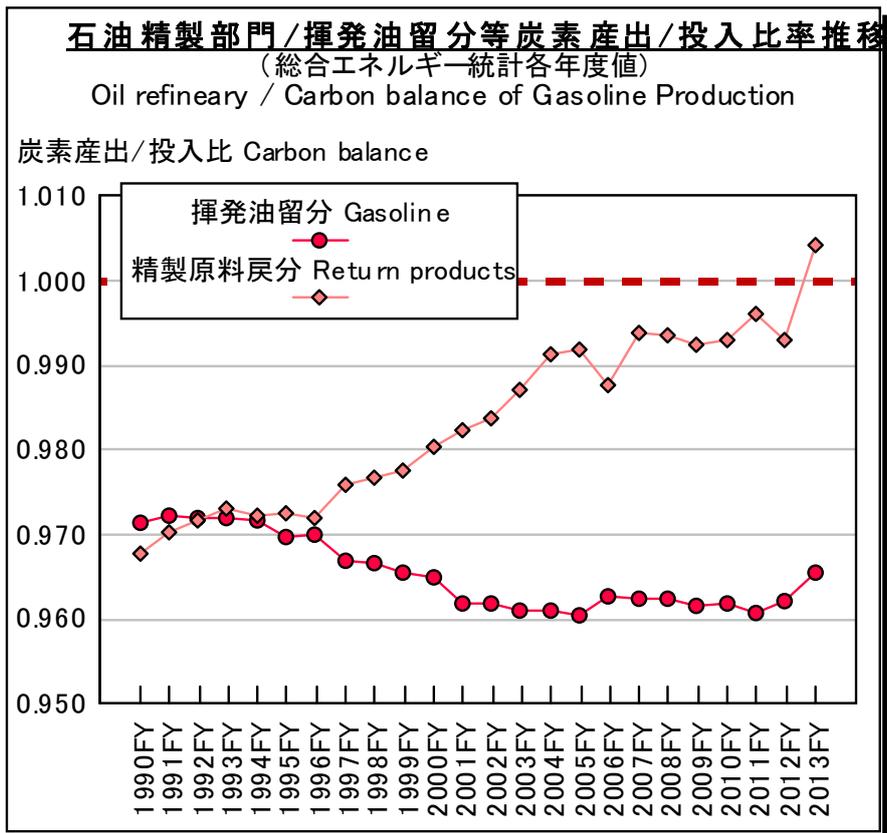
[図3-1-1-1. 石油精製部門/常圧蒸留工程エネルギー産出/投入比推移]



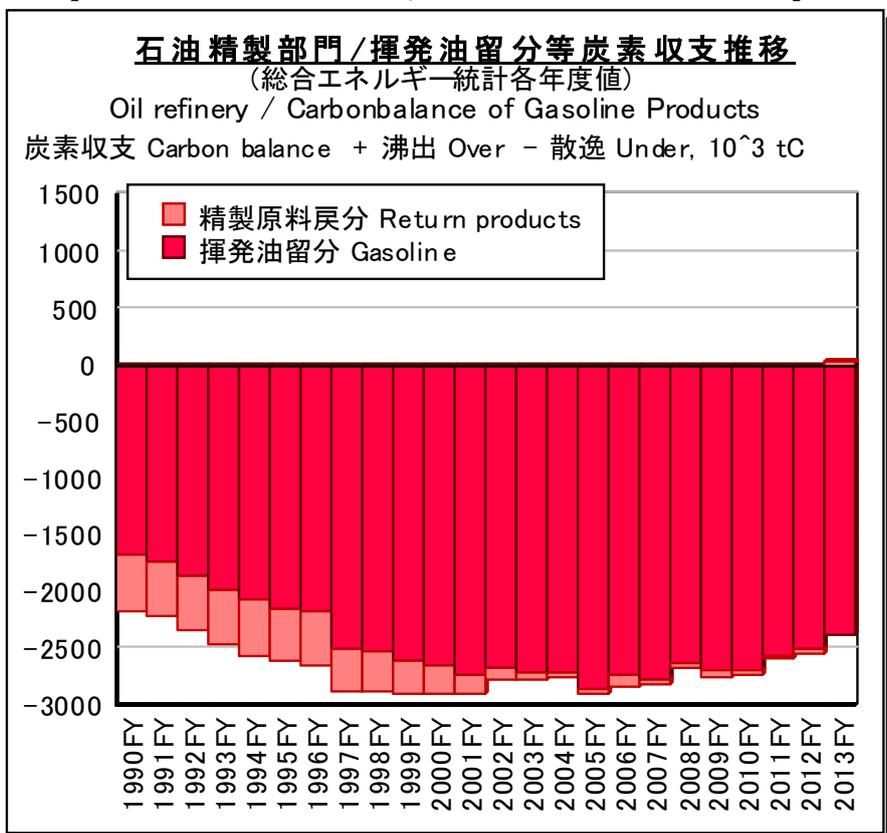
[図3-1-5-1. 石油精製部門/潤滑油製造他の炭素収支推移]



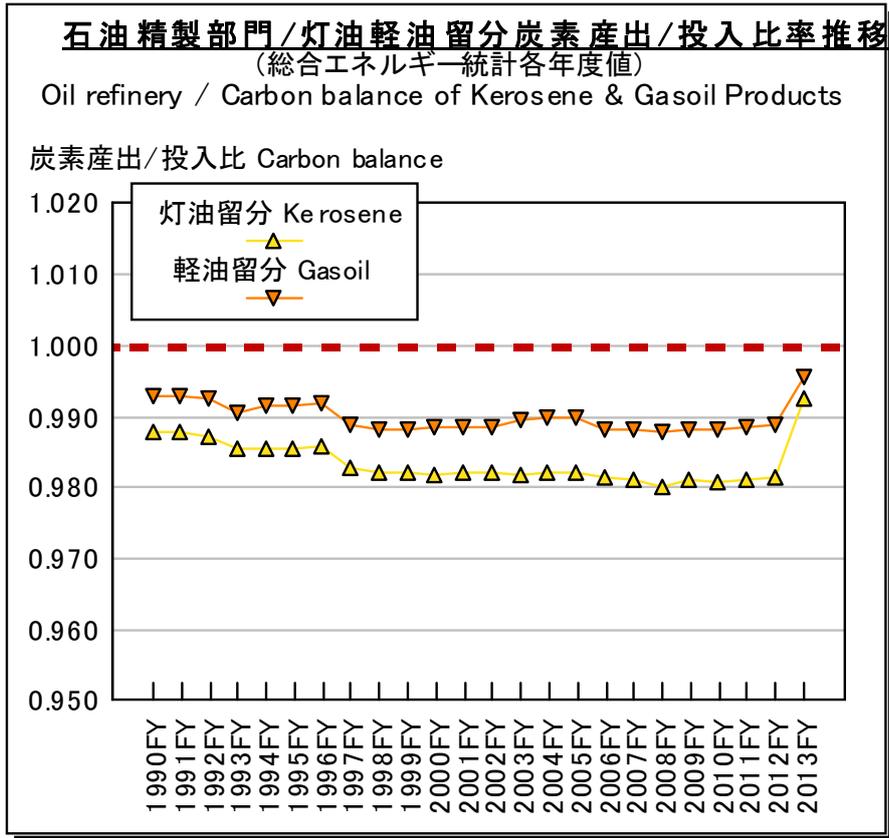
[図3-1-2-1. 石油精製部門/揮発油留分等炭素産出/投入比推移]



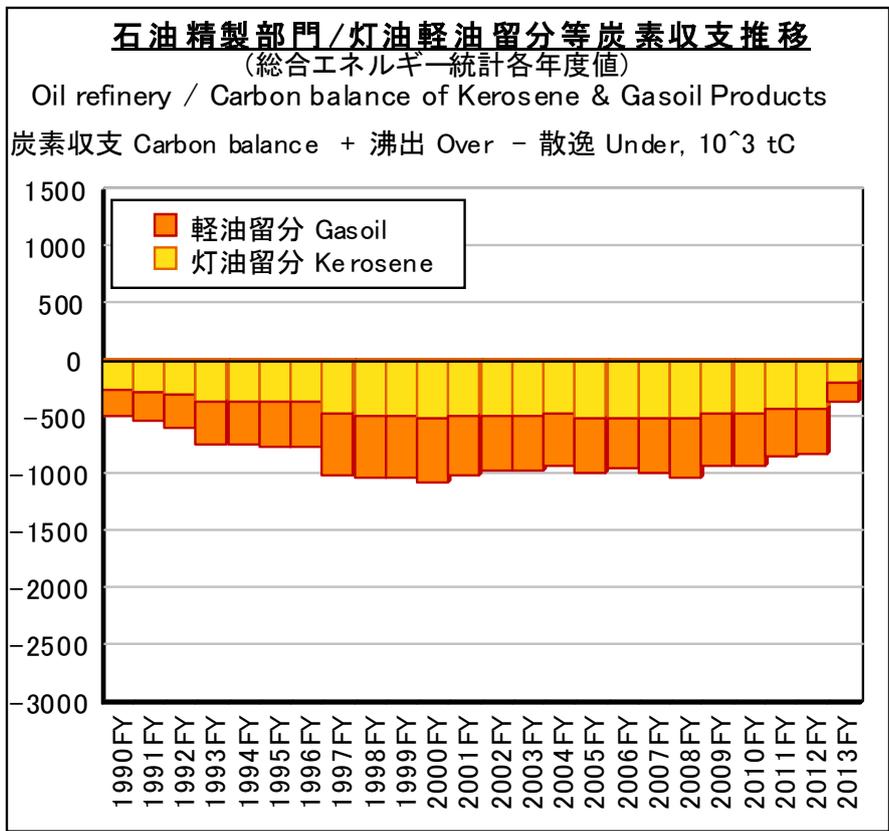
[図3-1-2-2. 石油精製部門/揮発油留分等の炭素収支推移]



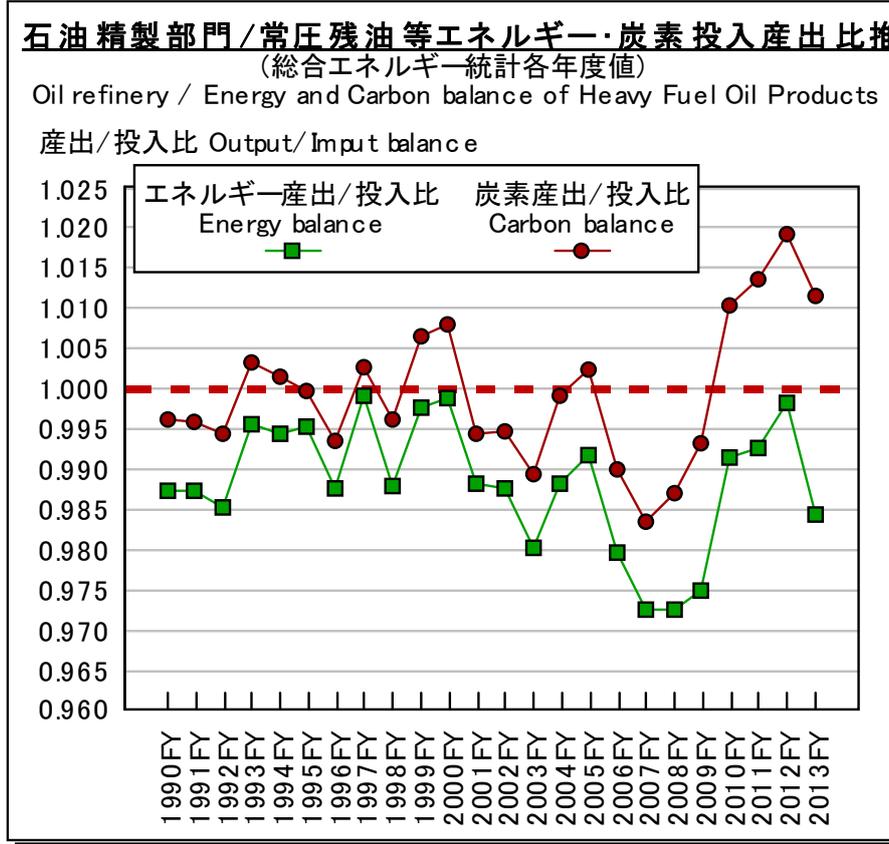
[図3-1-3-1. 石油精製部門/灯油留分・軽油留分炭素産出/投入比率推移]



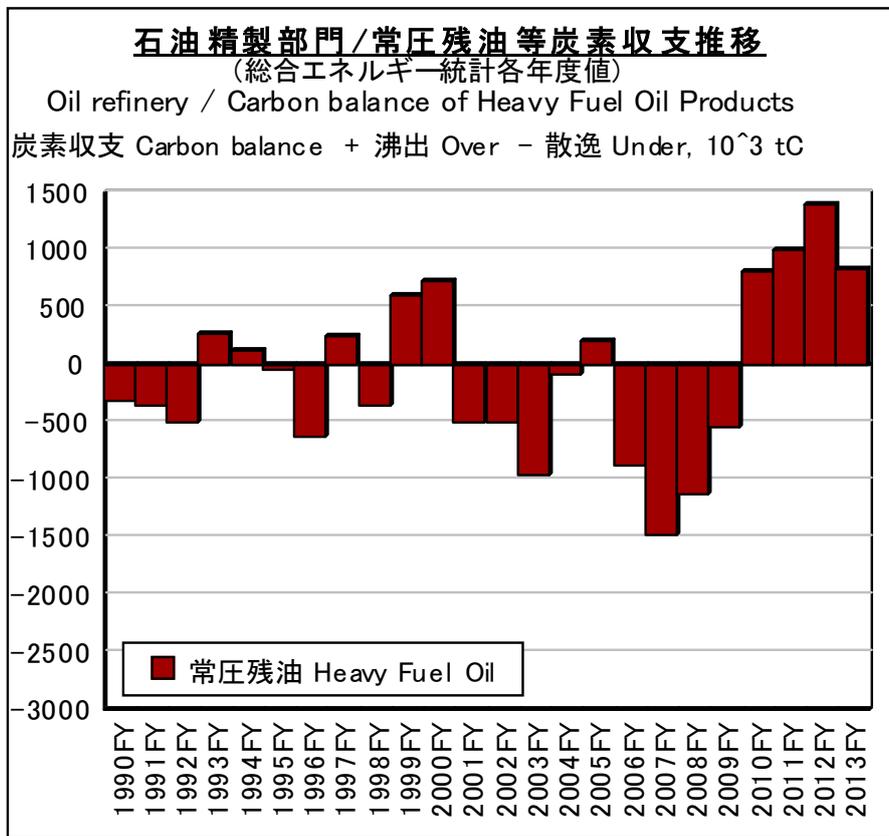
[図3-1-3-2. 石油精製部門/灯油留分・軽油留分の炭素収支推移]



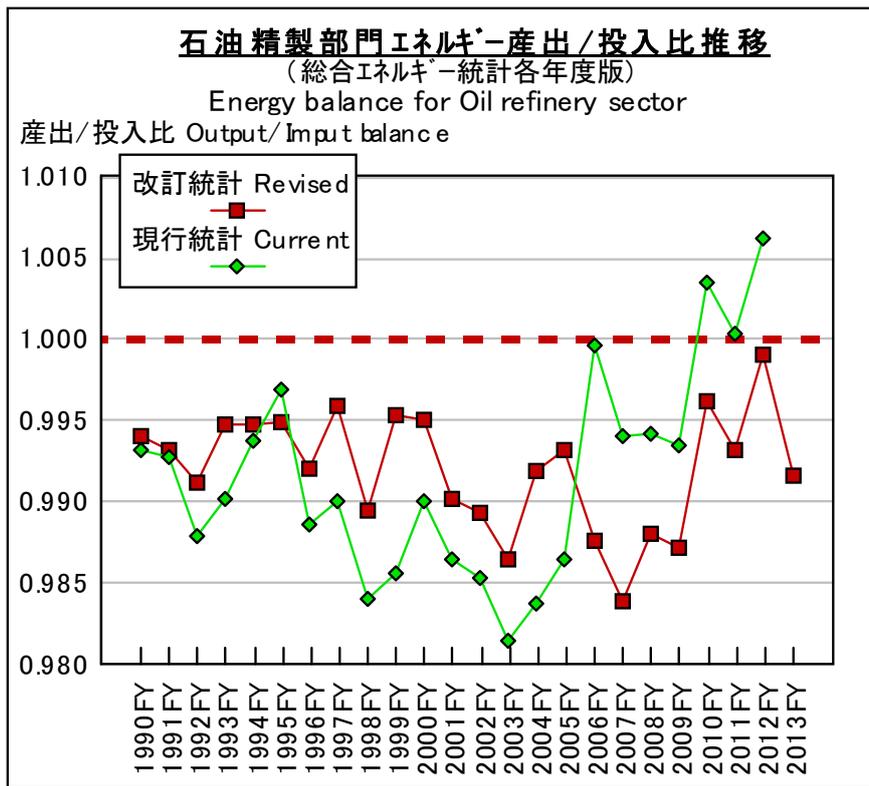
[図3-1-4-1. 石油精製部門/常圧残油等エネルギー・炭素産出/投入比推移]



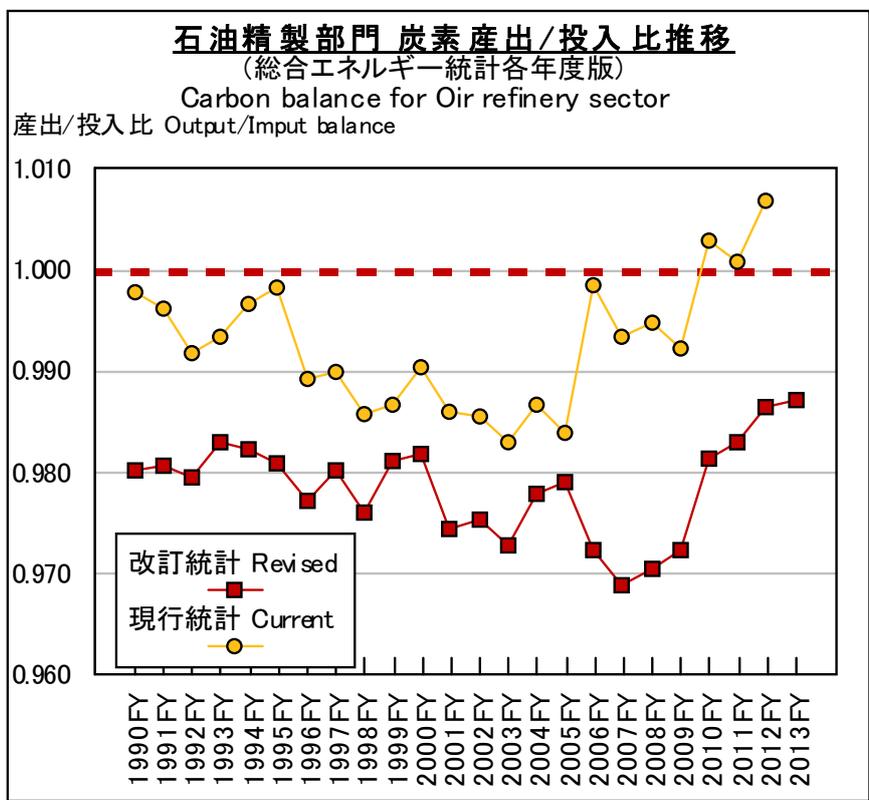
[図3-1-4-2. 石油精製部門/常圧残油等の炭素収支推移]



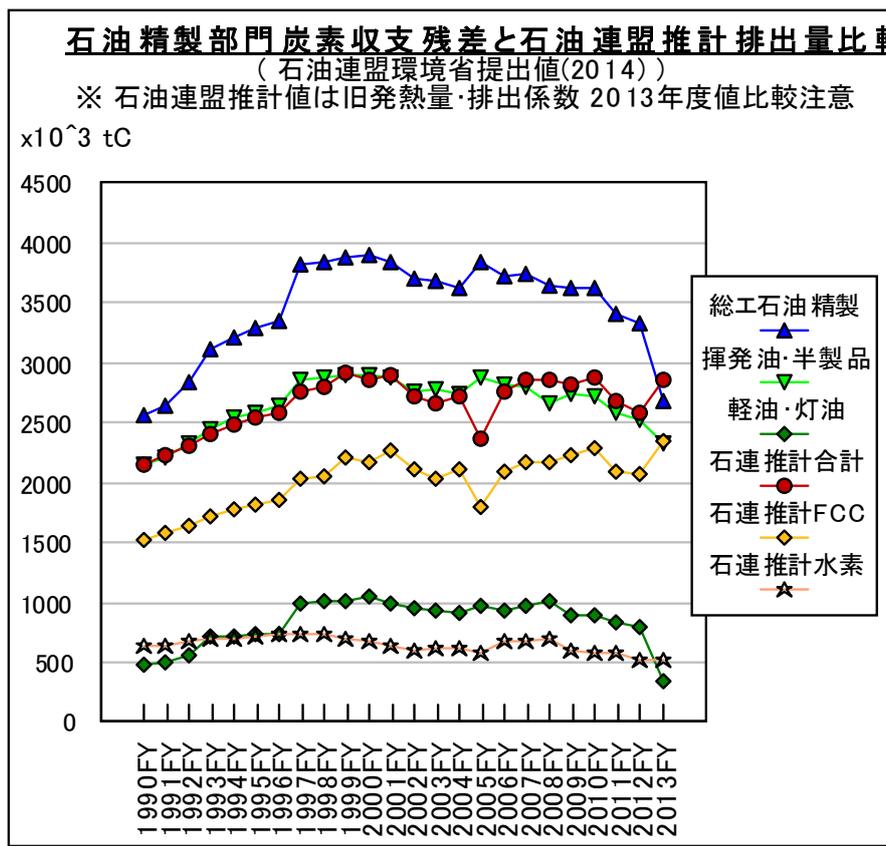
[図3-2-1-1. 石油精製部門エネルギー産出/投入比推移現行統計・改訂統計比較]



[図3-2-1-2. 石油精製部門炭素産出/投入比推移現行統計・改訂統計比較]



[図3-2-2-1. 石油精製部門における炭素収支残差と石油連盟推計排出量の比較]



参考文献

- 1) 石油連盟「今日の石油産業 2014」(2014) 石油連盟HP
www.paj.gr.jp
- 2) 戒能「エネルギー源別標準発熱量・炭素排出係数の改訂について」(2014) 経済産業研究所
 RIETI-Discussion Paper Series 14-J-047
- 3) 環境省地球環境局温室効果ガス算定方法検討会「エネルギー・工業プロセス分野におけるインベントリ算定方法の設定改善について」(2014)
http://www.env.go.jp/earth/ondanka/santei_k/26_01/mat02_2.pdf
- 4) 経済産業省資源エネルギー庁「資源エネルギー統計/石油統計」(各年度版)
 経済産業省「経済産業省特定業種石油等消費統計調査(石油等消費動態統計)」(各年度版)
- 5) 石油連盟「石油製品のできるまで」(1998) 石油連盟広報部
- 6) 国立環境研究所「日本国温室効果ガスインベントリ報告書」(2014)
http://www-gio.nies.go.jp/aboutghg/nir/2014/NIR-JPN-2014-v3.0_J.pdf