

図注)

- ・ 実線圏は原材料・製品、破線圏は中間原料・半製品を示す。実線は主要な製品の流れを示し、破線は副産物の流れ、波線は蒸気などの流れを示す。*印は脱硫装置を示す。
- ・ 図においては簡略化のため水素・硫黄(硫化水素)・回収蒸気などの流れに関する表現を省略している。
- ・ 図においてはLPG回収装置、アルキレーション装置、MTBE装置など揮発油留分間での製品移行の表現を省略している。
- ・ 現実の製油所では、製油所毎に設備の構成が異なっており、また石油製品の規格・銘柄に対応しさらに工程が細分化されているため、図と同じ製油所が存在するわけではない。

2. 常圧蒸留におけるエネルギー転換

(1) 工程の主目的: 原油の半製品への分離

石油精製工程の目的は、様々な性状の炭化水素の混合物である原油を、ガソリン、軽油など目的とする製品の性状にあうよう分離・分解・合成し、生産することである。

常圧蒸留装置は、原油のほぼ全量を最初に処理する工程であり、原油に含まれる炭化水素の沸点差を利用して、大まかに4つの半製品(中間留分)に分離する工程である。

- 揮発油留分(直留ナフサ、直留ガソリン、LPGなど)
- 灯油留分
- 軽油留分(軽質軽油・重質軽油)
- 常圧残油分

(2) 常圧蒸留の原材料: 精製用原油

原油は様々な成分の炭化水素の混合物であり、各油田・油井毎に成分が異なるため、通常出荷元で調合されアラビアンライト、ドバイなどの「銘柄」別に区分されて出荷されている。

各銘柄の原油を常圧蒸留した際の各留分別の得率はほぼ決まっているが、銘柄別に価格が異なっているため、石油会社は調達可能な原油と、産出したい製品の組み合わせを最適化するよう、原油の調達比率と製油所の操業形態や設備構成を決定していくこととなる。

原油の性状を表す代表的指標としてはAPI比重が用いられているが、API比重は大きい程軽質で、小さい程重質であることを示している。

代表的な原油銘柄の性状とこれを常圧蒸留した際の各中間留分別得率を表補 4-1 に示す。

[表: 補 4-1. 代表的な原油銘柄別性状と中間留分得率(vol%)]

銘柄名	密度	API比重	硫黄分	揮発油留分	灯油留分	軽油留分	常圧残油
マーバン	0.84	36.9	1.40%	21.9	20.1	17.3	38.6
セリアライト	0.85	34.4	0.10%	21.4	25.5	28.7	21.0
アラビアンライト	0.86	33.0	1.73%	17.3	19.1	17.6	45.2
ドバイ	0.87	33.0	1.38%	19.7	12.7	14.3	50.7
アラビアンヘビー	0.89	28.1	2.84%	14.8	15.2	14.3	53.7
カフジ	0.89	27.9	2.90%	14.9	11.8	21.7	49.1
デュリー	0.93	21.2	0.21%	2.2	6.3	14.1	77.3

出典: 石油連盟「石油製品のできるまで」

NGL・コンデンセートは原油の一種であるが、油田での油ガス分離工程から産出する軽質NGLと、天然ガス田から産出する重質NGLがあり、多くの場合出荷元で調合され「～コンデンセート」という銘柄で出荷されている。NGL・コンデンセートは硫黄分や常圧残油分を殆ど含まず、揮発油留分～灯油留分に近い性状で産出するため、ナフサの代替として石油化学でのエチレン分解工程の原料に用いられることがある。石油精製工程においては、常圧蒸留にかける場合と、そのまま揮発油留分として用いる場合がある。

(3) 常圧蒸留装置の構造とエネルギー転換

常圧蒸留装置の基本的な構造^{*1}を図補 4-2. に示す。

精製用原油は熱交換機で予熱され、脱硫・脱水処理後、加熱炉で 350 程度に加熱されて常圧蒸留装置に投入される。350 の条件下では精製用原油の 50 %程度は蒸発し、装置上部の精留塔に行く。蒸発しなかった成分は常圧残油分として装置下部に溜まる。

精留塔には多数の細弁や細孔を底面に設けた棚(トレイ)が何段も設けてあり、上部に行く程温度が低くなるよう設定されている。蒸発した原油中の炭化水素は、精留塔の棚の細弁・細孔を通過する際に液化した留分と熱交換を繰返しながら、各棚の設定温度の沸点範囲で捕集されていくため、沸点が高く重質な留分から順に下の段の棚から取出されいく。図は 4(5)留分であるが、実際には各段からさらに細かい温度範囲の留分で取出しが行われている。

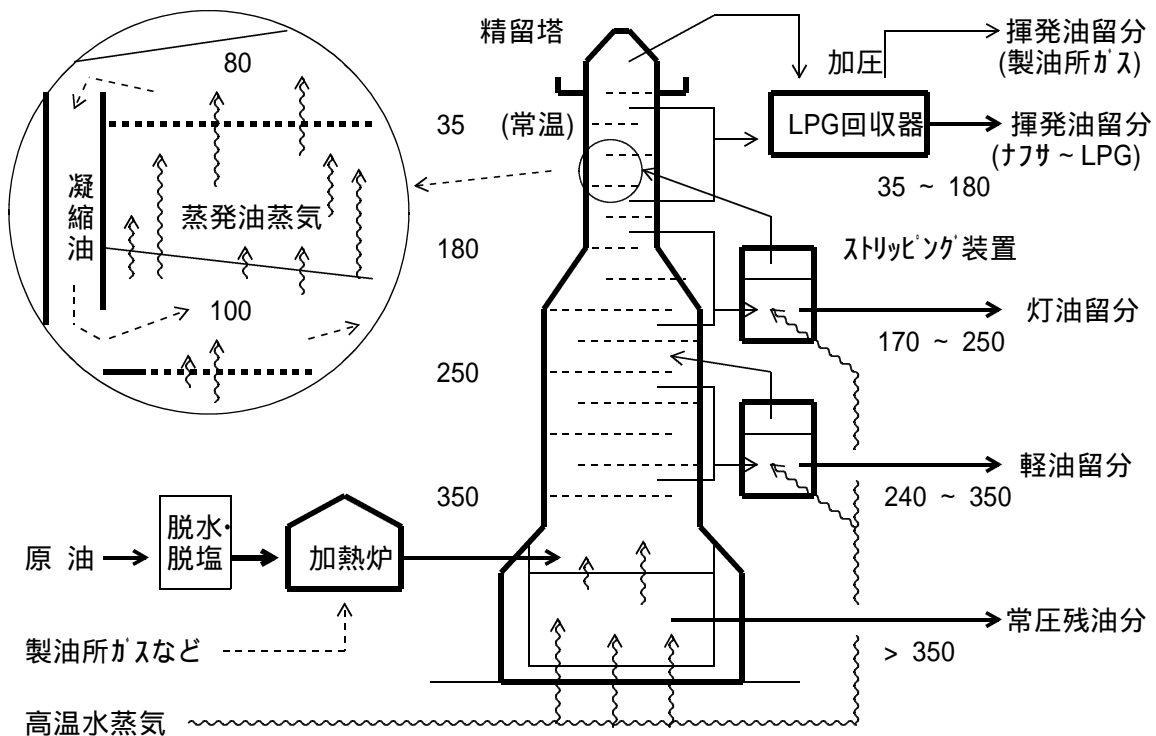
常圧蒸留装置では、常圧残油～灯油留分はさらに軽質な留分を溶解したまま精留塔を出てくるため、高温水蒸気を吹込み軽質留分を再沸騰させ回収すること(ストリッピング)が行われており、精留塔底部やストリッピング装置で少量の高温水蒸気が吹込まれている。

精留塔頂部から出てくるガスには、LPG分(プロパン・ブタン)が含まれているため、LPG回収装置へ送り加圧下で揮発油留分にLPG分を溶解させて回収する。実際の常圧蒸留装置からは、LPGを溶解した液体留分(ナフサ)と、メタン・エタンなどからなる製油所ガスが別々に産出するが、便宜上いずれも揮発油留分として一括して取扱う。

2002 年度現在の国内設備容量は $288.83 \times 10^6 \text{kl/年}$ 、平均稼働率は約 80.9 %である。

常圧蒸留装置で行われるエネルギー転換は原油の蒸留による分離であり、蒸留のためのエネルギーは加熱炉で外部から与えられるため、原理的に投入された原油と産出する各留分の間ではエネルギー損失は殆ど生じない。

[図: 補 4-2. 常圧蒸留装置の基本的構造]



*1 実際の常圧蒸留装置には、温度制御や蒸留精度向上のためにリフラックス設備などの内部熱交換設備が付属しているが、これらの付属設備の説明は省略する。

3. 減圧蒸留におけるエネルギー転換

(1) 工程の主目的: 常圧残油からの軽質留分の回収

石油製品のうち、揮発油留分～軽油留分(「白油」)の付加価値は高いが、常圧残油(「黒油」)は付加価値が低いため、常圧残油からなるべく合理的に軽質留分を回収することが求められている。常圧残油には、なお軽油として使える留分が5～30%含まれているが、常圧残油をそのまま350℃以上に加熱すると分解が始まってしまう、軽質留分が分解してガス分が増加したり、装置内でオイルコークスが生成し合理的な操業ができない。

このため、常圧残油を0.1気圧以下迄減圧し減圧による沸点降下を利用して400℃前後に加熱し、さらに高温水蒸気を吹込み不溶2液相の共沸による沸点降下を援用して、常圧残油を減圧軽油と減圧残油の2つの半製品^{*2}に分離する減圧蒸留が広く行われている。

(2) 減圧蒸留の投入原材料: 常圧残油

常圧残油は、常圧下で沸点が350℃以上ある炭化水素の混合物であり、密度は0.9～1.0と重質で、また原油中の硫黄分や重金属分など不純物の大半が常圧残油中に含まれている。

常圧残油は、通常30℃以下では凝固してしまうため、常圧蒸留装置を出た後直ちに減圧蒸留装置へ送られるか、あるいは蒸気などで予熱して取扱われる。

(3) 減圧蒸留のエネルギー転換と産出半製品

2002年度現在国内の減圧蒸留装置容量は102.3*10⁶kl/年であり、常圧残油の80%以上が減圧蒸留装置で処理されているものと推定される。

減圧蒸留装置で行われるエネルギー転換は、常圧残油の減圧下での蒸留による分離であり、蒸留のためのエネルギーは加熱炉や蒸気により外部から与えられるため、原理的に投入された常圧残油と産出する減圧軽油・減圧残油の間ではエネルギー損失は殆ど生じない。

減圧軽油は、そのまま軽油として用いられることもあるが、ガソリンを得るために脱硫処理を行い接触分解装置などの分解工程の原材料として投入されることが多い。

減圧残油は、常圧下での沸点550℃以上の超重質な留分であり、さらに精製してアスファルト、潤滑油・グリースなどの原料として一部を用いるが、その大部分は脱硫処理を行い重油の基材として用いられている。

4. 分解(熱分解・水素化分解・接触分解)におけるエネルギー転換

(1) 工程の主目的: 常圧残油や重質半製品からのガソリンの増産

石油製品のうち、最も付加価値が高いのはガソリンと潤滑油であり、特にガソリンは量が多く需要が増加を続けているため、原油から如何に多くのガソリンを産出するかということが、世界各国の石油会社にとって普遍的な経営課題となっている。

一方、石炭との価格面での競合により産業用燃料としてのC重油の需要は減少しており、常圧残油・減圧残油から直接得られる製品は慢性的に余剰気味の状況となっている。

このため、余剰気味の常圧残油やその半製品から、ガソリンとして使える留分を生産できれば理想的であり、単なる減圧蒸留だけの処理にとどまらず、古くから様々な方法で常圧残油やその半製品を分解してガソリン基材などを生産することが行われてきた。

分解工程には、熱分解、水素化分解、接触分解の3方式があるが、製油所毎に各分解装置が単独で用いられたり、熱分解装置-接触分解装置の組合わせで用いられたりその態様は様々である。

*2 減圧蒸留装置の中には、減圧軽油、減圧残油の産出と同時に潤滑油の基材を取出す機能を持ったものもある。

熱分解は分解条件が厳しく品質のよいガソリン基材が得られないこと、収率が悪くオイルコークスや製油所ガスの発生量が多いことなどの問題がある。このため、現在では接触分解に投入する重質半製品のの前処理として緩い分解条件で熱分解処理が行われることが多い。

水素化分解は、改質工程などから得られる水素を利用し、減圧軽油などの中質炭化水素を触媒による水素添加反応によって切断し、ガソリン基材などを得る方法である。優れたガソリン基材が得られ、また操業条件の設定によりガソリン～軽油の産出構成を変化させることができる利点があるが、製油所内で利用価値の高い水素を多量に消費してしまう問題がある。

接触分解(FCC)は、減圧軽油などの中質～重質の半製品を高温高压下で触媒に接触させて分解しガソリン基材などを生産する方法であり、最も多く行われている。

2002年度現在の国内の常圧残油の分解に関する設備容量は、熱分解装置 8.5×10^6 kl/年、水素化分解装置 8.3×10^6 kl/年、接触分解装置 57.0×10^6 kl/年である。

以下、日本で代表的に用いられている接触分解(FCC)について解説する。

(2) 分解(接触分解)の投入原材料: 減圧軽油など

接触分解(FCC)では、減圧軽油を主原料とするが、触媒条件の許す限り減圧残油や常圧残油を混合して分解させる場合が多い。近年では特殊な触媒の開発により常圧残油・減圧残油を直接分解することも行われている。

(3) 分解(接触分解)のエネルギー転換と産出半製品

接触分解(FCC)は、減圧軽油などの中質～重質の半製品を、高温高压下で触媒に接触させて分解しガソリン基材を得る方法である。

原材料となる炭化水素は、水蒸気の存在下で、ゼオライト系触媒による脱水素反応と水素添加反応の同時進行により切断され、分子量が小さく軽質な炭化水素に分解される。この際過度に脱水素された炭化水素は炭素分の多いオイルコークスとなって触媒表面に析出し、過度に水素添加され過小な分子量で切断された炭化水素分子は分解ガスとなって排出される。

触媒の表面には徐々にオイルコークスが析出していくため、触媒は一定頻度で水蒸気洗浄されて装置から取出され、オイルコークスを回収して再生^{*3}した後再度装置に投入される。

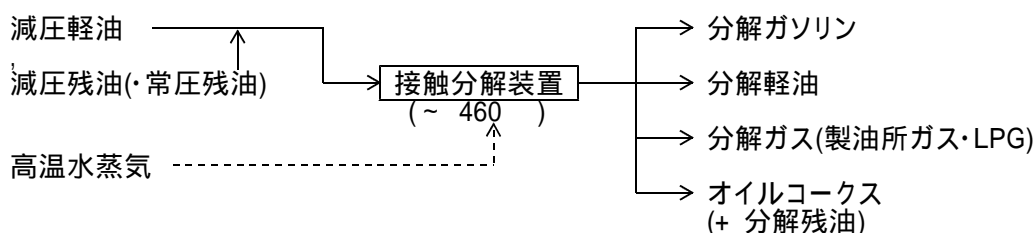
接触分解法では、触媒の表面に硫黄分や重金属などの不純物が析出・結合すると分解ができなくなる(「触媒被毒」という)ため、不純物の多い常圧残油や減圧残油を直接分解する際には高価で特殊な触媒が必要となる。

減圧軽油を主な原料とした接触分解では、分解ガソリン、分解軽油、分解ガスが産出する。

常圧残油・減圧残油を原料とした場合、分解ガソリン、分解軽油、分解ガスの他に、オイルコークス又は分解残油が産出する。

接触分解の産出半製品別の収率は、原材料、触媒や装置の種類によりまちまちであり、また操業条件により産出半製品の収率を変えられるようになっている装置があり、一定しない。

[図: 補 4-3. 接触分解のエネルギー転換]



*3 接触分解装置の触媒表面に析出したオイルコークスについては、再生時に機械的にオイルコークスを回収し微量の残渣分を焼却する方式の装置と、オイルコークス分を部分酸化により一酸化炭素に転換し製油所ガスとして回収する方式の装置がある。

5. 改質(接触改質)におけるエネルギー転換

(1) 工程の主目的: ガソリンの品質向上

石油精製で製造されるガソリンは、その大部分が自動車用燃料として利用されるため、自動車での使用に適した仕様に調整することが求められる。

自動車用ガソリンの要求仕様のうち、ガソリンを製造する側から見て重要なものはオクタン価、硫黄濃度、ベンゼン濃度である。

オクタン価が大きなガソリンは、エンジン内部でガソリン混合気が圧縮される際に自己着火(ノッキング)を起こしにくい、大きな出力を発生させることができる。ところが、原油を常圧蒸留しただけの揮発油留分から得られるガソリン(直留ガソリン)は、直鎖炭化水素(パラフィン分)が多く、そのままではオクタン価が低過ぎてガソリンエンジンでの使用に適さない問題がある。また、重質油の分解により得られる分解ガソリンは不飽和・芳香族炭化水素が比較的多く、レギュラーガソリンとしては十分なオクタン価があるが、高付加価値のプレミアムガソリンとしてはオクタン価がなお不足する問題がある。

このため、オクタン価を上げる方法として、炭化水素の側鎖を増やす(異性化・アルキル化)、二重結合を増やす(不飽和化)、環状炭化水素・芳香族を増やす(環状化・環状不飽和化)などガソリン基材中の炭化水素の構造を変える方法のほか、MTBEなどの添加剤を加える方法などが用いられている。このうち、アルキル化にはLPG留分中の不飽和炭化水素を直留ガソリン中の炭化水素に接合して側鎖を増やすアルキレーションが、環状化・環状不飽和化には直留ガソリン・分解ガソリンの接触改質が多く用いられている。

一方、硫黄濃度、ベンゼン濃度については、揮発油等品質確保法により環境安全上の理由からガソリン中の許容濃度が規制されており、これらの要求仕様は必ず満たす必要がある。

以下代表的に用いられている接触改質と関連する処理工程について解説する。

(2) 改質(接触改質)の投入原材料: 直留ガソリン

接触改質では、常圧蒸留による揮発油留分のうち比較的重質な成分である直留ガソリンや、重質油の分解により生成する分解ガソリンを原料として用いる。

直留ガソリンや分解ガソリンには微量の硫黄分が含まれているが、接触改質の妨げとなり、また揮発油等品質確保法上の要求仕様への適合に問題を生じるため、接触改質装置から得られる水素を使って脱硫処理(水素化脱硫)をした上で接触改質装置に投入される。

(3) 改質(接触改質)のエネルギー転換と産出半製品

接触改質は、白金系触媒を用いて直鎖炭化水素を脱水素反応させ、シクロヘキサンなど環状炭化水素、さらにトルエンなどベンゼン核を持つ芳香族(環状不飽和)炭化水素を生成する反応であり、ガソリンのオクタン価を向上させる有力な方法として広く用いられている。

脱硫処理された直留ガソリンや分解ガソリンは、加圧して水素ガスを吹込み、500 程度迄加熱して接触改質装置に投入する。装置内では、触媒により直鎖炭化水素分が分解・脱水素・環状化されて、環状炭化水素、芳香族炭化水素と水素を生成する。

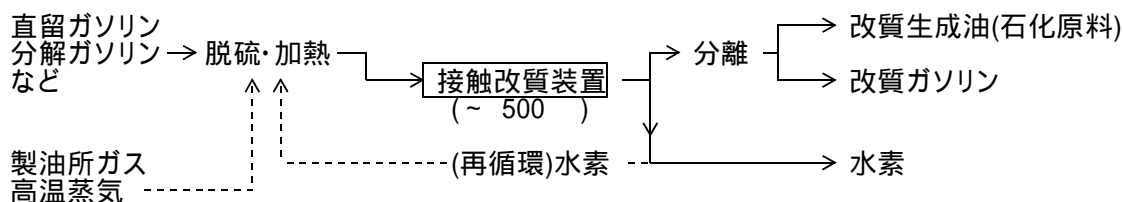
ここで、揮発油等品質確保法上のベンゼン濃度に関する要求仕様へ適合するため、接触改質装置の生成物は、冷却過程で沸点差を利用してベンゼンなど芳香族炭化水素(BTX)を多く含む改質生成油分と、BTXを殆ど含まない改質ガソリンに分離して産出される。

改質生成油は、化学原料であるベンゼン(B)・トルエン(T)・キシレン(X)などを多く含むため、石油化学原料としてこれらの成分の抽出に用いられる。

水素分は、一部が触媒の活性維持のため再循環して用いられるほか、大部分が製油所内で各種製品の水素化脱硫や水素化分解の原材料として用いられている。

改質ガソリンは、オクタン価が非常に高いため、主にプレミアムガソリンの基材として用いられるほか、分解ガソリンなど他のガソリン基材と調合されレギュラーガソリンに用いられる。

[図: 補 4-4. 接触改質のエネルギー転換]



6. 石油精製のエネルギー転換に関する推計と問題点

(1) 石油精製の重要性

石油精製は、発電部門とならぶ最大のエネルギー転換部門の一つであり、2002年度実績において石油精製へのエネルギー投入は一次エネルギー供給の約40%を占める。従って、石油精製部門の統計精度は総合エネルギー統計全体の精度を左右する非常に重要な問題である。

石油精製部門が表現しているエネルギー転換は、石油精製業が操業する製油所の投入・産出過程そのものであるが、実際の各製油所の構造や操業形態は複雑かつ多様であり、統計上の数値から現実の投入・産出を再現することはそのままでは極めて困難である。

(2) 2001年度改訂総合エネルギー統計での状況

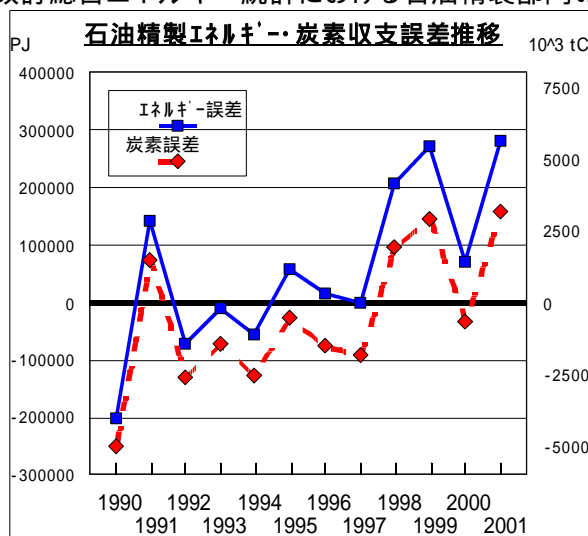
2001年度改訂総合エネルギー統計においては、石油精製部門のエネルギー投入・産出は、エネルギー源別標準発熱量を基礎に、エネルギー生産・需給統計における精製用原油投入量と各石油製品の産出量から計量している。

ここで、石油精製は原油と各石油製品を1段のエネルギー転換として取扱っている。

(3) 問題点

2001年度改訂総合エネルギー統計における石油精製部門においては、エネルギー・炭素物質収支において最大で3%に達する大きな誤差が存在し、かつ誤差が正号(プラス= 湧出し)方向へ偏時性を持つという問題があった(図補 4-5)。

[図: 補 4-5 2001年度改訂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・炭素収支誤差]



この問題に対して、2001年度改訂総合エネルギー統計においては、製油所ガスの標準発熱量や炭素排出係数を調整して石油精製部門におけるエネルギー・炭素物質収支を人為的に成立させる補正を行い、産出側で誤差を調整することによって事実上投入側からエネルギー起源炭素排出量を求める方法を探っていた。

しかし、エネルギー起源炭素排出量の計算においてこのような補正を行うことは問題があるとして、2003年8月の環境省温室効果ガス排出量検討会インベントリWG、2003年12月のUNFCCC対日審査により指摘を受けたため、抜本的改善のための検討を実施した。

(4) 精度向上方策の考え方

2001年度改訂総合エネルギー統計の石油精製部門において、エネルギー・物質収支の誤差を生じている原因としては、以下のような要因が考えられる。

- 1) 発熱量の誤差
 - a. 投入側(精製用原油)の誤差
 - b. 産出側(各石油製品)の誤差
- 2) 物質量の誤差
 - a. 未計上量に関する誤差
 - 精製半製品投入・産出
 - 製油所内半製品在庫
 - 回収硫黄産出
 - b. 既計上量に関する誤差
 - 数値誤差(本源的誤差)

従って、既存の統計資料に基づいて、上記のような要因を可能な限り改善し、エネルギー・物質収支が補正なしでも近似的に成立するよう算定方式を改訂することとした。

7. 石油精製に関する統計値と推計方法

(1) エネルギー源別発熱量の逐年改訂(実質発熱量化)

エネルギー源別の発熱量については、油種別に下記の方法により毎年度の実質発熱量を求め、発熱量に関する誤差を低減することを試みた。

当該手法は、標準発熱量を5年毎に校正・設定する際に用いている手法と原則同じ手法であり、これを毎年度について行ったものである。

1) 投入側

a. 原油

精製用原油については、資源エネルギー庁「石油輸入調査」及び石油連盟資料による代表的な輸入原油の銘柄別物性値(API比重、硫黄分、水分・灰分をアラビアンライトなど33銘柄について調査)からJIS-K2279 付属書法により銘柄別発熱量を推計する。

$$H_g [\text{cal/g}] = 238.889 * [(51.916 - 8.792 * D^2) * (1 - 0.01 * (W + A + S)) + 0.09420 * S]$$

$$H_d [\text{cal/cm}^3] = H_g [\text{cal/g}] * D [\text{g/cm}^3]$$

D: 15 での密度 [g/cm³]

S: 硫黄分 [Wt %]

A, W: 灰分及び水分 [Wt %]

$$\text{API度} = 141.5 / (60 - F(15.6)) \text{ での水との相対密度} - 131.5$$

さらに、エネルギー生産・需給統計における油種別輸入量(精製用・非精製用別)から、上記銘柄別実質発熱量が判明している代表的な油種について、実質発熱量を加重平均により求め、毎年度の精製用・非精製用原油の実質発熱量を求める。

b. NGL・コンデンセート

NGL・コンデンセートについては、その産状から成分構成が極めて安定していると考えられる。「電力需給の概要」に国内でNGL・コンデンセートを使用している14の火力発電所での実測値が年度別に記載されており、当該値の算術平均から毎年度のNGL・コンデンセートの実質発熱量を求める。

c. 精製半製品(揮発油留分・灯油留分・軽油留分・常圧残油)

石油連盟資料「石油製品のできるまで」に、代表的な原油33銘柄の各原油を常圧蒸留した場合の揮発油留分・灯油留分・軽油留分・常圧残油の収率・API比重・硫黄分などの物性値が掲載されている。当該物性値の欠測値を発熱量が類似する油種から補綴し、原油同様にJIS-K2279の方法による推計式を適用することにより、代表的な原油33銘柄別の各留分別の実質発熱量を求め、さらにこれをエネルギー生産需給統計の銘柄別輸入量で加重平均し、各留分別の実質発熱量^{*4}を求める。

2) 産出側

a. LPG

LPGについては、ブタン・プロパンの2つの成分のみからなり実質的に性状が変化しないと考えられることから、標準発熱量を用いる。

b. ナフサ・改質生成油・精製混合原料油

ナフサについては、常圧蒸留時の揮発油留分から直接製造されることから、精製半製品で推計した揮発油留分の実質発熱量を適用する。

改質生成油については、ほぼ同様の製造過程で生産されるプレミアムガソリンに性状が類似していることから、プレミアムガソリンの実質発熱量を適用する。

精製混合原料油については、性状が不明であるため、精製用原油の実質発熱量を適用する。

c. ガソリン

ガソリンについては、プレミアム・レギュラー別に品質規格が厳格に定められており、当該規格に見合うよう各種の基材を用いて改質などの工程を経て製造されるため、性状が変化していないと考えられる。1998年度に石油連盟・日本自動車工業会が実測したプレミアム・レギュラー別の比重から、JIS-K2279 付属書の推計式により硫黄分・水分・灰分を0としてプレミアム・レギュラー別の実質発熱量を求める。

d. ジェット燃料油

ジェット燃料油については、事故防止の観点から民間航空用(Jet-A, Jet-A1)・防衛用(JP-4, -5, -8)とも品質規格が厳格に定められており性状が安定していると考えられるため、各種規格値に基づいて算定された標準発熱量を用いる。

e. 灯油

灯油については、常圧蒸留時の灯油留分から直接製造されることから、精製半製品で推計した灯油留分の実質発熱量を適用する。

f. 軽油

軽油については、「電力需給の概要」に国内で軽油を使用している(又は過去に使用したことのある)106ヶ所の火力発電所での実測値が年度別に記載されており、当該値の算術平均から毎年度の軽油の実質発熱量^{*5}を求める。軽油留分の発熱量を用いない

*4 JIS-K2279 付属書ではC重油とそれ以外の油種で推計式が異なるため、常圧残油ではC重油の推計式を用いた。

*5 軽油等について加重平均ではなく算術平均を用いる理由は、発電所の運転開始時の試運転の有無などにより発電用に用いた軽油の消費量は毎年度大きく変動しており、加重平均を行うと特定の発電所が調達した特定の軽油に平均が偏ってしまい、安定した時系列推計結果が得られないためである。

理由は、軽油は品質規制の関係上軽油留分・灯油留分・分解軽油などの各種の基材などから深度脱硫などの処理を経て製造されており、現状においてその品質は直接軽油留分とは対応していないためである。

g. A重油/発電用C重油

A重油と発電用C重油については、「電力需給の概要」に国内で重油を使用している(又は過去に使用したことがある)発電所 109ヶ所での実測値が年度別に記載されているが、このうち 1990～2001年度の平均で発熱量 40.5MJ/l未満の重油を使用している発電所 18ヶ所の重油の発熱量の算術平均から毎年度のA重油の実質発熱量を求め

る。
また、1990～2001年度の平均で発熱量 40.5MJ以上の重油を使用している発電所 91ヶ所の加重平均から毎年度の発電用C重油の実質発熱量を求める。

h. B重油

B重油については、量的に少なく厳格な議論を行う必然性に乏しいため標準発熱量を用いる。

i. 一般用C重油・アスファルト他重質石油製品

一般用C重油・アスファルト・他重質石油製品については、減圧蒸留時の減圧残油から製造されること、発電用C重油と連産されることから、精製半製品で推計した常圧残油留分の生産量・実質発熱量と発電用C重油の生産量・実質発熱量から推計した発熱量を適用する。

j. オイルコークス・潤滑油・製油所ガス

オイルコークス・潤滑油・製油所ガスについては、実測値が殆ど存在しないことから、標準発熱量を用いる。

k. 産業用蒸気・回収硫黄

産業用蒸気については、工程内で分解・改質などの化学エネルギーを基材に与えていることからこれを原料として評価し、標準発熱量(2.68MJ/kg)を用いる。

回収硫黄については、エネルギー量を評価することとし、硫黄の理論発熱量 9.29MJ/kgを用いる。

(2) 石油精製部門のモデル化と細目部門分割(計量方法の改善)

1) 石油精製部門の工程別モデル化

石油精製に関するエネルギー収支の推計・計算方法については、2001年度改訂総合エネルギー統計においては、投入・産出合計で 20以上のエネルギー源(=変数)について「石油精製」というたった 1行の収支式でエネルギー収支を計算しているため、恒常的に未知数過剰となりこのままでは誤差因を見つけることができず、例えば項目間で誤差が偶然相殺していることを見落とす可能性も否定できない状況にある。

このため、常圧蒸留、揮発油留分～常圧残油の処理を表現する 4工程の合計 5工程にエネルギー収支の計算過程を仮想的に分割し、変数が 5～7個のエネルギー収支式に分解してエネルギー収支を計算・評価することによって、異常値の検出と誤差因の探求、推計方法の改善を容易化することとした。

本補論冒頭の図 1. は当該工程別のモデル化に用いた概念図である。

2) 原油常圧蒸留 #2611

精製用原油については、常圧蒸留により揮発油～常圧残油の留分に分離されるが、当該工程を仮想的に再現することにより、精製用原油の発熱量と、各半製品留分の発熱量の推計における誤差を評価する。

投入: [精製用原油]

産出: [揮発油留分]+[灯油留分]+[軽油留分]+[常圧残油留分]

3) 揮発油留分・改質処理 #2612

揮発油留分のエネルギー収支の投入・産出は、以下のように定式化できる。

投入: [揮発油留分投入]+[NGL・コンデンセート投入]+[揮発油半製品在庫増減]
+[リターンナフサ]+[精製用半製品戻]+[品種振替残差]+[分解揮発油]

産出: [ナフサ]+[精製混合原料油]+[プレミアムガソリン]+[レギュラーガソリン]+[製油
所ガス]+[LPG]

このうち、各エネルギー源の実質発熱量は既知であり、分解揮発油以外の投入・産出の物量はエネルギー生産・需給統計などから得られることから、投入・産出の差を分解揮発油の物量として推計することができ、収支を評価できる。

揮発油留分・改質処理において、分解揮発油の投入が負(=ガソリンから重油ができてい
る)となった場合や極端に経年変動する場合、異常値と評価できる。

4) 灯油留分 #2613

灯油留分のエネルギー収支の投入・産出は、以下のように定式化できる。

投入: [灯油留分投入]+[灯油半製品在庫増減]
産出: [ジェット燃料油]+[灯油]+[灯油-軽油混合材料投入]

このうち、各エネルギー源の実質発熱量は既知であり、灯油-軽油混合材料投入以外の投入・産出の物量はエネルギー生産・需給統計などから得られることから、投入・産出の差を灯油-軽油混合材料の物量として推計することができ、収支を評価できる。

通常、灯油留分が寒冷地用軽油の材料などに用いられることから、灯油-軽油混合材料の投入が長期間負となった場合、異常値と評価できる。

5) 軽油留分 #2614

軽油留分のエネルギー収支の投入・産出は、以下のように定式化できる。

投入: [軽油留分投入]+[灯油-軽油混合材料投入]+[分解軽油投入]+[軽油半製品在庫増減]

産出: [軽油]+[A重油(軽油成分)]+[B重油(軽油成分)]

このうち、各エネルギー源の実質発熱量は既知であり、分解軽油投入以外の投入・産出の物量はエネルギー生産・需給統計などから得られること、A重油・B重油の軽油留分と常圧残油の混合比は各重油の実質発熱量から推計できることから、投入・産出の差を分解軽油の物量として推計することができ、収支を評価できる。

軽油留分において、分解軽油の投入が長期間負(=軽油から重油ができてい、あるいは
せっかく作った軽油を重油に戻している)となった場合、異常値と評価できる。

6) 常圧残油・減圧蒸留・分解処理 #2615

常圧残油などのエネルギー収支の投入・産出は、以下のように定式化できる。

投入: [常圧残油投入]+[産業蒸気投入]+[常圧残油他在庫増減]

産出: [A重油(残油成分)]+[B重油(残油成分)]+[一般用C重油]+[発電用C重油]+[潤滑
油]+[アスファルト]+[他重質石油製品]+[オイルコークス]+[回収硫黄]
+[分解揮発油]+[分解軽油]+[精製誤差]

このうち、各エネルギー源の実質発熱量は既知であり、[合計誤差]以外の投入・産出の物量はエネルギー生産・需給統計などから得られること、A重油・B重油の軽油留分と常圧残油の混合比は各重油の実質発熱量から推計できることから、投入・産出の差を一連の精製過程の推計誤差として評価できる。

精製誤差が偏時性を持った場合や、恒常的に正・負の値を取った場合、なおいずれかの推計過程において異常値が含まれていると評価できる。

7) 精製半製品戻、リターンナフサ、品種振替 #2619,#2653,#2750

精製半製品戻、リターンナフサ、品種振替など他部門から石油精製に返還される物量の収支については、誤差因となっている可能性があるため、各部門でのエネルギー収支を

考慮した上で精製部門への返還量を計上することとした。
 (石油化学部門からのリターンナフサの計量については、補論 5. 参照)

8. 石油精製に関するエネルギー収支・物質収支に関する試算結果と評価

(1) エネルギー・物質収支の試算結果

石油精製部門に関連するエネルギー源別発熱量の年度別推計、エネルギー収支の計算・推計方法の変更の措置^{*6}により、石油製品製造部門でのエネルギー収支・炭素収支誤差は大幅に改善し、偏時性はほぼ完全に解消する結果となった。

具体的に、石油製品部門での誤差 e を時系列推計式にあてはめ、誤差の時系列での推移の評価を行った結果を表 1. に、時系列推移を可視化した結果を図補 4-6. に示す。

7. の各種改善措置を講じた結果、偏時性係数はエネルギー収支に関して 0、炭素物質収支については年約 0.04 %「散逸」というごくわずかな偏時性のみが残る結果となった。

毎年のエネルギー収支・物質収支については、ほぼ 0.99 前後で安定的に推移しており、収支の成立が確認されたものと考えられる。

[表: 補 4-2. 石油製品製造部門での誤差の時系列推移に関する評価]

$$e(t) = a * t + b + u$$

$e(t)$: 毎年度の収支誤差($e > 1$; 湧出, $e < 1$; 散逸)

t : 時系列 (1990=1, 1991=2, ... 2002FY=13)

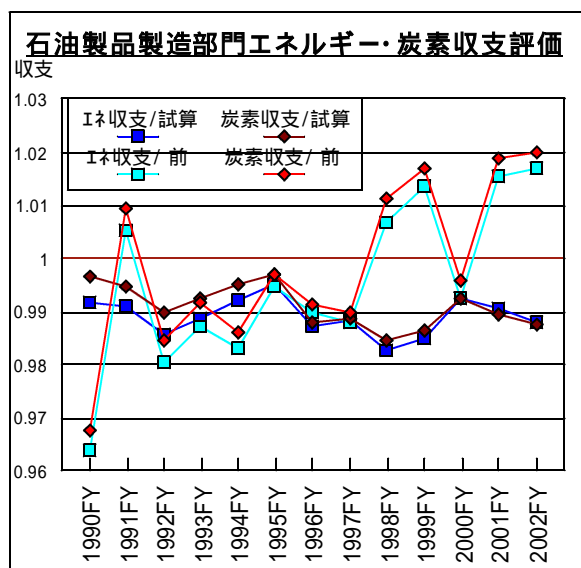
a : e の偏時性係数(/年)

b : e の偏位性定数(平均偏位)

u : 誤差項

エネルギー収支	偏時性係数 a (/年) (同 t 値)	偏位性定数 (同 t 値)	R^2
改善措置実施前	0.00294 (3.562)	0.9747 (87.42)	0.5356
改善措置実施後	-0.00005 (-0.226)x	0.9898 (274.50)	0.0042
炭素物質収支	偏時性係数 a (/年) (同 t 値)	偏位性定数 (同 t 値)	R^2
改善措置実施前	0.00289 (3.397)	0.9783 (85.26)	0.5120
改善措置実施後	-0.00043 (-1.803)	0.9945 (274.07)	0.2132

[図: 補 4-6. 石油製品製造部門エネルギー・炭素物質収支評価]

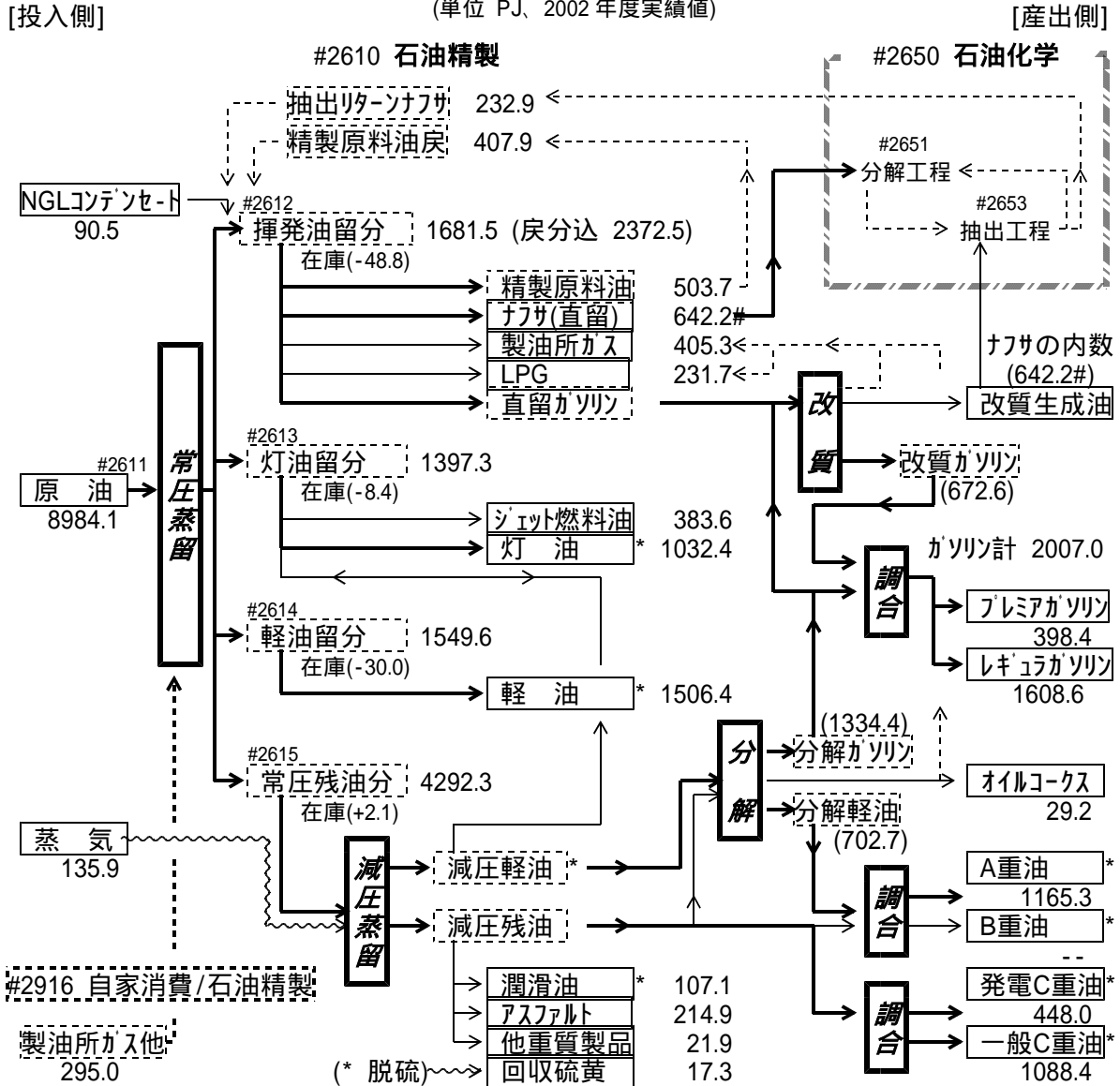


*6 石油精製部門におけるエネルギー源別発熱量の年度別推計などの変更措置は、石油化学部門のエネルギー収支・物質収支との間で再帰的な影響を与えるため、ここでは石油精製・石油化学を併せた石油製品製造部門全体での収支と誤差を評価する。

(2) 石油精製部門の工程別モデル化

本補論 7. における計量方法から推計した 2002 年度の石油精製全体についてのエネルギー収支に関する鳥瞰図を図: 補 4-7. に示す。

[図: 補 4-7. 石油精製に関するエネルギー鳥瞰図]
(単位 PJ、2002 年度実績値)



(3) エネルギー・物質収支の評価結果と総合エネルギー統計への反映

石油精製部門におけるエネルギー・炭素物質収支については、エネルギー源別発熱量の年度別推計、石油精製に関するエネルギー収支の計算・推計方法の変更の措置により、石油精製部門でのエネルギー収支・炭素収支誤差は大幅に改善し、偏時性はほぼ完全に解消する結果となった。

従って、総合エネルギー統計における石油精製部門の計量については、本補論の 7. における計量方法を採用している。