

■ 特集

- ◎技術報告「製油所水素の最適化に係る技術開発」(第2報) _____ 1
- ◎調査報告「欧州石油エネルギー事情」
～欧州石油精製業界の現状と関連政策の最新動向について～ _____ 5
- ◎技術報告「ペトロリオミクス技術開発への取り組み」
- 先導的適応技術調査 - _____ 17
- ◎調査報告「IMO船舶用燃料の硫黄分規制動向」 _____ 22

一般財団法人石油エネルギー技術センター
ホームページアドレス <http://www.pecj.or.jp/>

編集・発行 一般財団法人石油エネルギー技術センター
〒105-0011 東京都港区芝公園2丁目11番1号 住友不動産芝公園タワー
TEL 03-5402-8500 FAX 03-5402-8511

特集

技術報告 「製油所水素の最適化に係る技術開発」 (第2報)

1. はじめに

当センターでは、平成23年度から「重質油等高度対応処理技術開発事業」を開始し、革新的な石油精製プロセスの開発を進めています。本事業で開発を行っている新規石油精製プロセスはもとより、既存の石油精製プロセスの多くは水素を用いた水素化脱硫・水素化分解プロセスであり、プロセスで消費される水素の供給コストがプロセスの価値を左右するといっても過言ではありません。そこで、製油所内での水素供給の最適化を支援するための技術開発として、平成26年度から「重質油等高度対応処理技術開発事業」の一部として「重質油脱硫・分解ユーティリティ技術開発」を開始しています（JPEC ニュース2014年11月号参照）。

開発テーマは、製油所内の未利用水素資源から膜分離により水素を回収する「省エネルギー型水素精製プロセス開発」と、水素キャリアである有機ヒドライド（メチルシクロヘキサン：MCH）から効率良く水素を取り出す「高効率水素発生プロセス開発」の2テーマです。開始から1年半が経過し、成果の一部が出つつありますので、本稿でその概要についてご紹介します。

2. 省エネルギー型水素精製プロセス開発

このテーマの目的は、価値の高い原料からの水素製造ではなく、加熱炉燃料となっている製油所の未利用水素資源（FCC分解オフガス、PSAオフガス等）から、膜分離プロセスを用いて水素を回収・利用することにより、水素プラント新設なしに水素製造能力を強化することにあります。

これにより、水素の供給コストが低減され、コスト競争力ある重質油処理を実現しようとするものです。

① パイロット装置を用いた評価結果

開発するプロセスは、平成 25 年度まで実施した「高効率水素製造等技術開発」におけるハイブリッド分離膜型水素精製装置（水素分離膜と CO₂ 分離膜を組み合わせた装置）をベースとし、製油所に適用可能なものとししました。ハイブリッド分離膜型水素精製パイロット装置で実施した、LPG 改質で生成された粗水素ガスによる実環境下での評価結果を図 1 に示します。前事業で得られた知見を活かし、水素分離膜はパラジウム - 銅の結晶粒子境界線から亀裂が進展しないように改良し、CO₂ 分離膜は水蒸気による分離能低下を抑えたゼオライト膜を用いました。連続運転中、水素の精製速度の指標である水素透過係数は安定しており、かつ透過水素中の不純物（CO₂、CH₄、CO）濃度は燃料電池自動車用水素の国際規格（ISO14687-2）を満たしています。

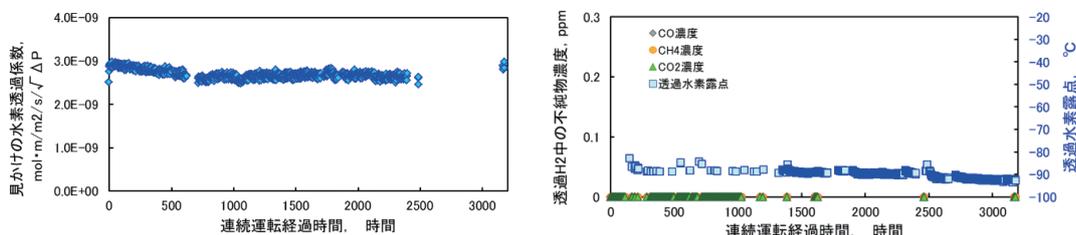


図 1 パイロット装置での評価結果（左図：水素透過係数、右図：不純物濃度）

② 分離膜の寿命予測シミュレーション

次に、分離膜の寿命を予測するために、計算化学シミュレーションによるパラジウム - 銅の劣化モデルを構築しました。

水素分離膜については、水が表面吸着し、その後パラジウム - 銅膜表面を酸化させ、水素透過係数を低下させる劣化モデルを用いて寿命予測シミュレーターを構築しました。具体的

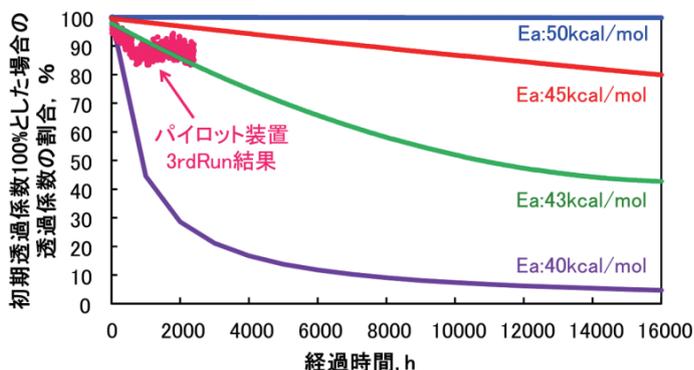


図 2 Ea と水素透過係数低下の関係

には、いくつかの酸化反応のモデルを構築し、その遷移状態計算から反応の活性化エネルギー Ea を計算し、反応進行の可能性を検討しました（図 2 参照）。今後、パイロット装置の運転結果との比較などによるシミュレーションの精度向上を行い、分離膜の寿命予測を行うことにしています。

また、CO₂ 分離膜（ゼオライト膜）については、劣化モデルとして CO₂ と水蒸気との競争吸着を想定した CO₂ 透過モデルを今後構築する予定にしています。

③ 熱交換器一体型分離膜モジュールの設計、製作

水素分離膜の性能を発揮するためには、分離膜の温度が重要な要素となります。現在、図 3 に示すような熱の分布が均一になるような熱交換器一体型分離膜モジュールを設計し製作しています。水素分離膜エレメント 3 本を 1 ユニットとし、モジュールの左右に 19 ユニットずつ、全部で 114 本の水素分離膜エレメントを装着したモジュールとなります。これで、およそ 200Nm³/h の水素分離能力があると計算されており、11 月から運転を開始し、データを取得する予定にしています。



図3 熱交換器一体型分離膜モジュール (左図: 全体図 右図: ユニット装着の様子)

3. 高効率水素発生プロセス開発

本テーマは、水素キャリアである有機ハイドライド（メチルシクロヘキサン：MCH）から、製油所においてオンデマンドで水素を取り出すための高効率なプロセスの開発を目的としています。

① 小規模装置を用いた大規模装置設計のためのエンジニアリングデータ採取

製油所向け大規模装置設計用エンジニアリングデータを採取するための小規模装置（ $10\text{Nm}^3/\text{h-H}_2$ ）を設計し、製作を完了しました。外観写真を図4、フロー図を図5に示します。本設備は、製油所の水素利用率を高め、省エネルギー化に貢献することを目的としているため、水素精製における水素回収率を95%以上、水素キャリアであるトルエン（TOL）の回収率を99%以上となるように設計しました。運転を行った結果、純度99%以上の水素を95%以上で回収することができ、目標を達成することができました。



図4 小規模装置 外観写真

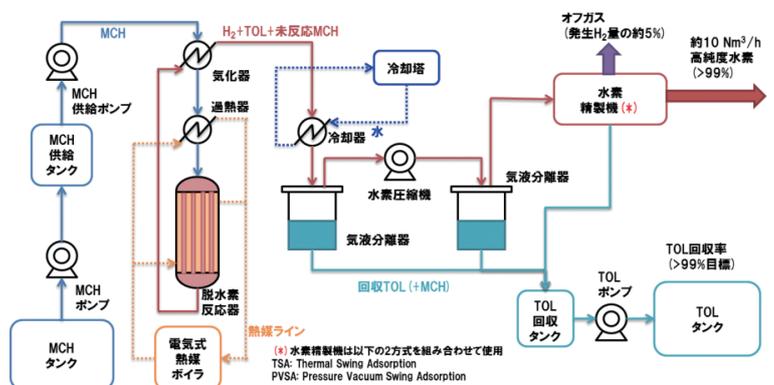


図5 小規模装置フロー図

運転を行った結果、純度99%以上の水素を95%以上で回収することができ、目標を達成することができました。

② 脱水素触媒の量産化技術確立

参画会社が開発した脱水素触媒について、製油所導入を想定した規模での量産化検討を実施しました。量産化検討にて製造した脱水素触媒について、活性評価や触媒表面積等の物性評価を行った結果、量産触媒は、ラボレベルで作製した脱水素触媒の評価結果と比較して、同等以上の活性を示すことが確認できました。また、触媒表面積についても同等以上であることを確認できました。量産触媒について耐久試験を行った結果、耐久時間 4000 時間にて転化率 93% 維持（目標 90% 以上）を確認しました（図 6 参照）。

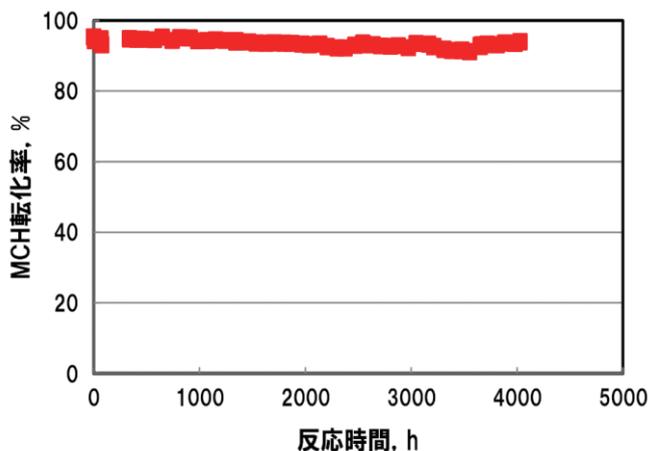


図 6 量産触媒の耐久試験結果

③ 水素キャリアの繰り返し使用の評価

水素キャリアの繰り返し使用に伴い生成する副生物が脱水素触媒に与える影響を把握するために、水素キャリアを繰り返し使用した時の副生物生成挙動の定量的な評価を行いました。

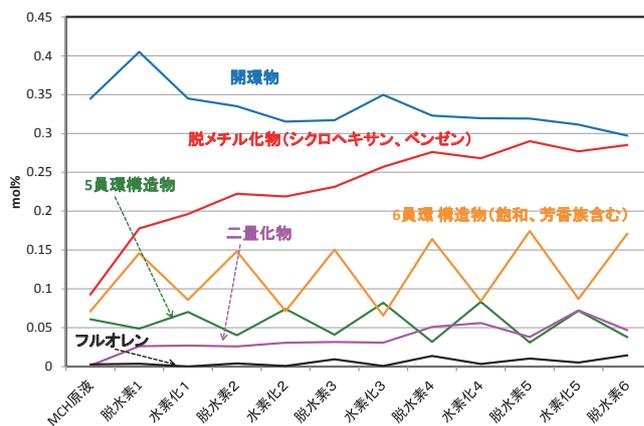


図 7 反応物種別の生成量（回収液 GC 分析）

MCH を出発原料として、脱水素、水素化反応を繰り返し行い、回収液中の副生成物について、構造別種にまとめて解析を行いました。その結果、繰り返し脱水素 6 回までの試験において、MCH、TOL の脱メチル化物であるシクロヘキサン、ベンゼンの増加傾向が見られました。また、二量化物、6 員環構造物についてもわずかに増加傾向が認められました（図 7 参照）。

4. おわりに

本技術開発は、これまでの当センターの燃料電池自動車用の水素製造に係る研究成果をベースにして、製油所内の水素最適化のプロセスとして開発すべく、平成 26 年度、平成 27 年度の 2 年間で実施します。これまではほぼ計画通り進捗し、順調に成果が出つつあります。残り半年となり、最終目標達成に向けて、外部有識者の助言を得つつ効率的に取り組んでいきたいと考えております。

調査報告 「欧州石油エネルギー事情」 ～欧州石油精製業界の現状と関連政策の 最新動向について～

1. はじめに

欧州石油精製業界を取り巻く環境は、日本の石油精製業界を取り巻く環境と類似する点が多くあります。①厳しい環境規制、②石油需要のピークアウトによる石油精製設備の余剰問題、③高いエネルギーコスト、の3点は日本にも共通します。欧州においては更に④自動車ディーゼルシフトに伴う輸送用燃料の需要と供給の不均衡、⑤欧州政府の先進的な気候変動政策への取組による石油産業への負荷が加わることで、グローバル競争においてより厳しい環境に置かれていると言えます。このように、日本と比較してより厳しい環境で戦っている欧州石油精製産業から学ぶことは多く、当センターでは欧州長期出張員事務所を活用し、現地に密着した情報収集活動を行っております。ここでは、当センター欧州事務所が実施した情報収集調査に基づいて、欧州石油精製業界を取り巻く環境について紹介させていただきます。

2. 欧州石油精製業界の現状

(1) 世界と欧州の石油精製需給バランス

2014年時点の世界における地域別需要及び原油処理量のバランスは図1のとおりです。ほとんどのエリアで処理量を需要が上回り、ネットの輸入によってバランスを調整している一方で、ロシアは需要に対して原油処理量が大幅に超過しており、欧州を始めとした他地域への輸出国となっています。

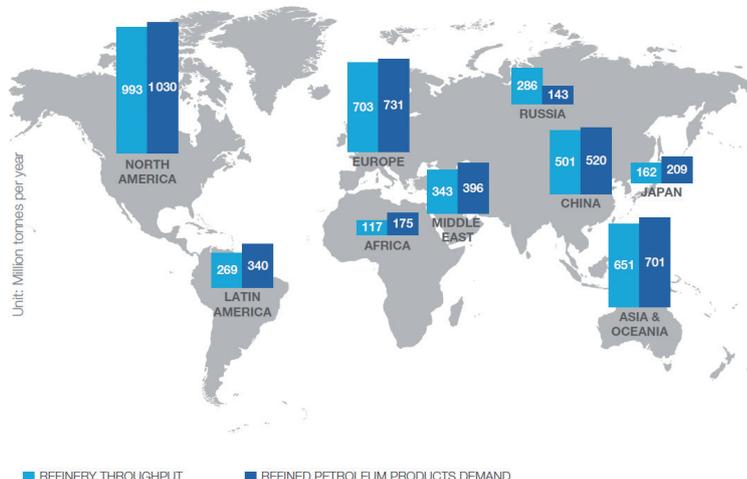


図1 世界の石油製品需給バランス (2014年)
(出典: FuelsEurope statistical report 2015)

欧州は石油製品全体で見ると需要と原油処理量がほぼバランスしているように見えますが、実際には1990年以降の乗用車のディーゼルシフトにより需要と供給の不均衡が拡大し、余剰のガソリンを米国・アフリカ・アジア等へ輸出し、不足の軽油をロシア・米国・アジア等から輸入している状況です（図2参照）。

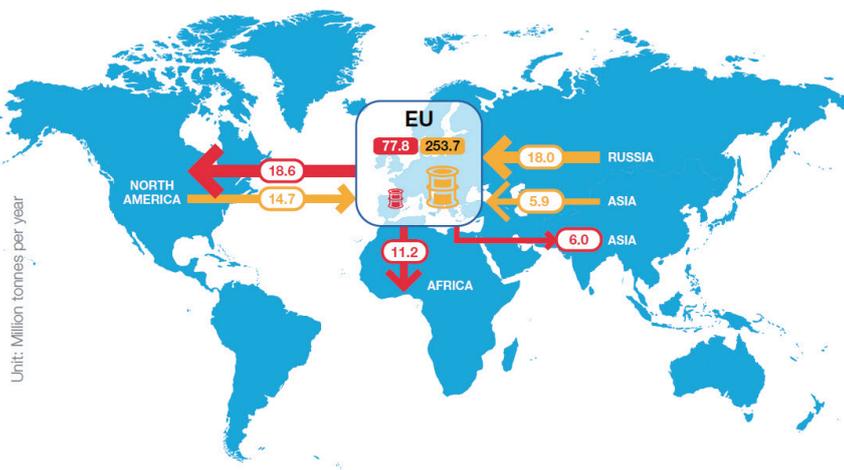


図2 EUにおけるガソリン・ディーゼル輸出入フロー (2013年)
(出典：FuelsEurope statistical report 2015)

(2) 欧州における石油製品需要動向

欧州の石油製品需要は2005年にピークを迎え、2009年より大幅な減少トレンドが継続しており、過去5年間で石油製品需要は8%減少しています。これは乗用車のディーゼルシフトによってガソリン需要が過去5年間で▲17%と大幅に減少していることが影響しています（図3参照）。

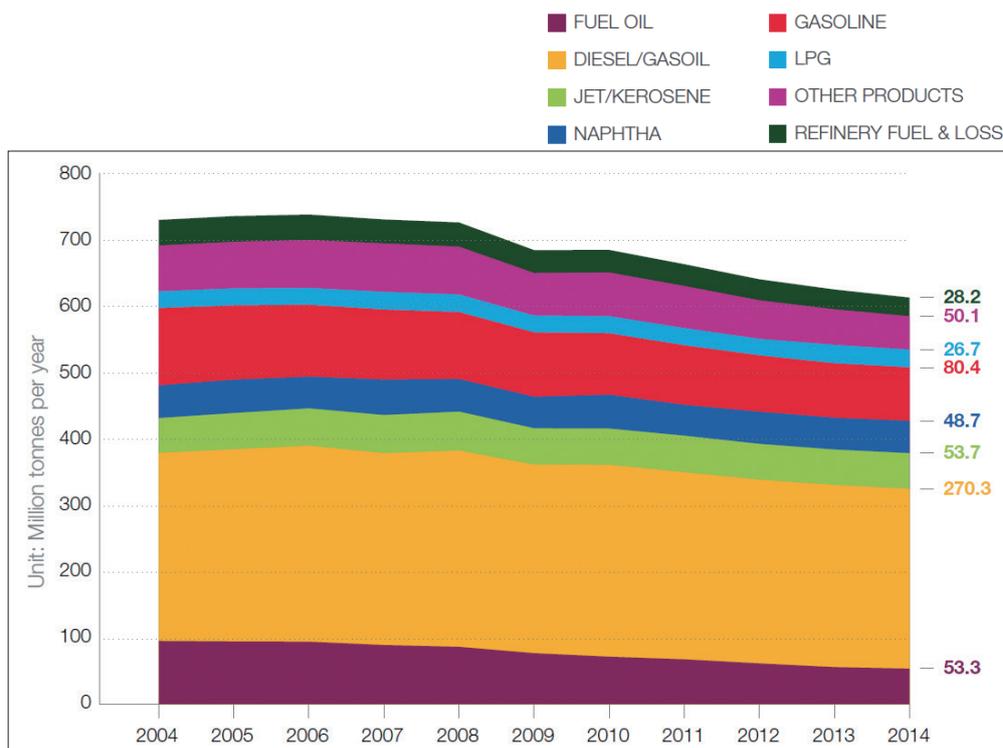


図3 EUにおける石油製品需要推移
(出典：FuelsEurope statistical report 2015)

2014年時点でのEU全体での石油製品需要は611.4百万トン/年と前年比▲3.3%です。加盟国毎の石油製品需要は図4のとおりで、需要の大きい順にドイツ（115.1Mt/y前年比▲1.6%）、フランス（81.2Mt/y前年比▲1.1%）、英国（68.6Mt/y前年比▲2.4%）、イタリア（60.8Mt/y前年比▲6.5%）、スペイン（60.0Mt/y前年比▲5.2%）という状況で、イタリア及びスペインについては欧州債務危機後の経済低迷によりEU平均よりも需要減少が顕著です。これら上位5ヵ国でEU石油製品需要全体に対する構成比は63.1%を占めています。

| COUNTRY | Mt/y | COUNTRY | Mt/y |
|-----------------|-------|----------------|------|
| Austria | 12.6 | Italy | 60.8 |
| Belgium | 28.9 | Latvia | 1.7 |
| Bulgaria | 4.5 | Lithuania | 2.5 |
| Croatia | 3.3 | Luxembourg | 2.7 |
| Cyprus | 2.7 | Malta | 2.6 |
| Czech Republic | 9.1 | Netherlands | 47.2 |
| Denmark | 7.3 | Poland | 23.9 |
| Estonia | 1.5 | Portugal | 10.9 |
| Finland | 9.3 | Romania | 9.7 |
| France | 81.2 | Slovakia | 3.6 |
| Germany | 115.1 | Slovenia | 2.4 |
| Greece | 13.2 | Spain | 60.0 |
| Hungary | 6.3 | Sweden | 13.3 |
| Ireland | 6.6 | United Kingdom | 68.6 |
| EU TOTAL | | 611.4 | |

Unit: Million tonnes per year

図4 EU28加盟各国の石油製品需要（2014年）
（出典：FuelsEurope statistical report 2015）

（3）欧州製油所処理能力と稼働率の推移

欧州では2005年から2014年にかけて年率2.1%のペースで需要が減少しています（日本は2005年から2014年にかけては年率2.4%での需要減少）。需要減少による競争激化の影響で精製マージンは低迷します（図5参照）。特にリーマンショック後の2009年以降は好調であった2012年度を除くとマージンは常に5\$/バレル（仮に1\$ = 120円とすると3.8円/L）を下回っている状況となっており、製油所の淘汰が進みました。実際に2008年～2014年にかけて欧州では17の製油所が閉鎖しています。しかし、2014年の需要は12.5百万BDと2005年の15.1百万BDと比較して17.2%減少しているのに対し、原油処理能力は2014年時点で11.1百万BDと2005年の13.7百万BDに対して10.8%しか減少していないため、製油所の稼働率が低迷しており、2005年に86.1%であった製油所稼働率は2014年には78.2%となっています（図6参照）。

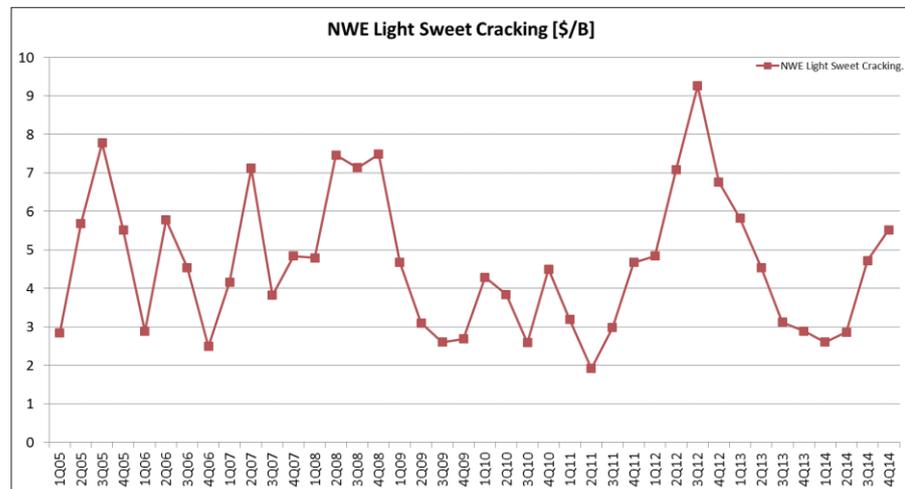


図5 北西欧における軽質低硫黄原油ベースの精製マージン推移【ドル/バレル】
（出典：BP統計2015データよりJPEC作成）

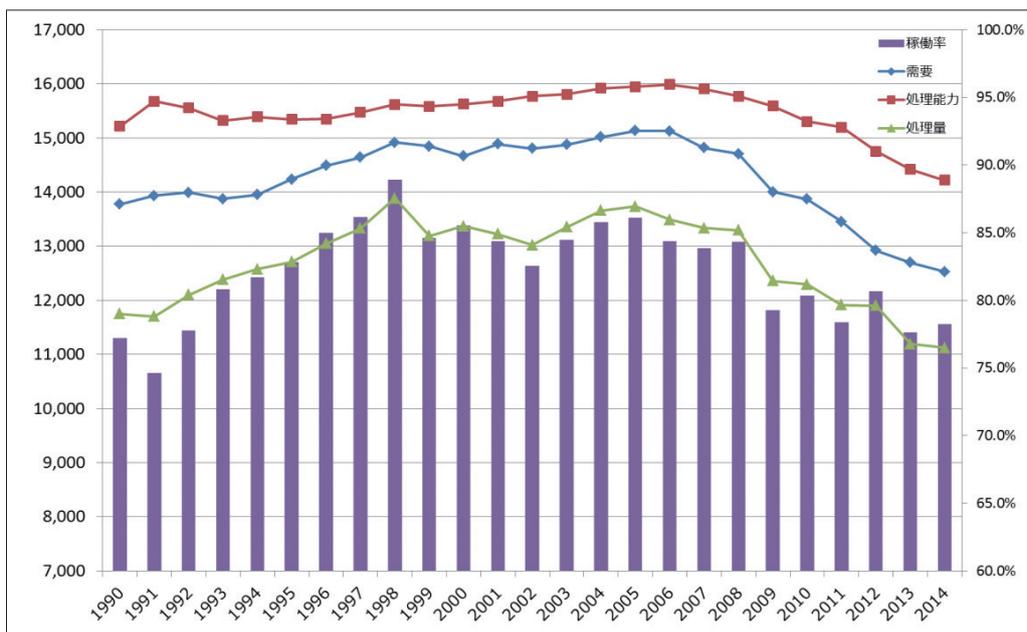


図6 欧州石油製品需要と原油処理能力、処理量、稼働率推移【左軸：千 BD、右軸：%】
(出典：BP 統計 2015 データより JPEC 作成)

(4) 欧州と日本の製油所稼働率比較

需要のピークアウトに伴い長期にわたり製油所稼働率の低下に苦しんでいる欧州ですが、日本はエネルギー供給構造高度化法への対応のため、元売各社が能力の削減を行ったことで2013年及び2014年の製油所稼働率は回復しており、欧州と日本は対照的な状況となっています(図7参照)。

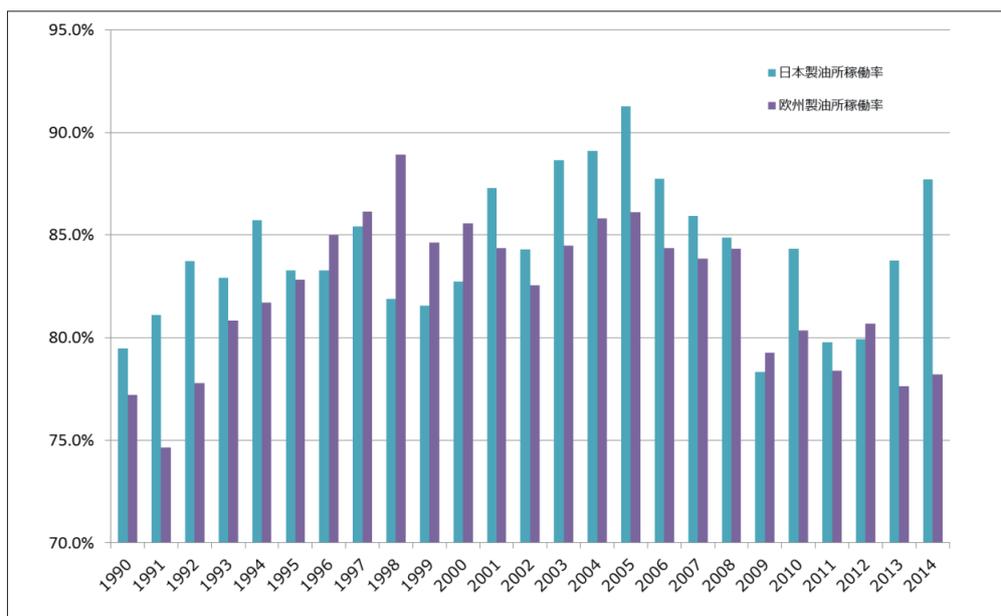


図7 欧州及び日本における製油所稼働率推移 (1990年～2014年)
(出典：BP 統計 2015 データより JPEC 作成)

(5) 原油価格急落以降好調な欧州の石油精製マージン

継続した需要減少やガソリン/軽油のインバランスといった構造的要因は改善していないながらも、2015年夏までの欧州石油精製業界は前年を上回る需要とWTI-ブレント格差の縮小により、近年稀にみる高マージンとなりました。欧州景気の回復基調と原油安の相乗効果で2015年上半期のEUにおける乗用車新車登録台数は716万台と前年対比8.2%増と好調で、特に2015年6月は前年比14.6%増という2009年12月以来22ヶ月ぶりの大幅な増加となっています(図8参照)。2015年上半期の主要加盟国伸長率を伸び率が高い順にみるとスペイン(+22.0%)、イタリア(+15.2%)、英国(+7.0%)、フランス(+6.1%)、ドイツ(+5.2%)となっており、スペイン・イタリアが全体を牽引していることがわかります。

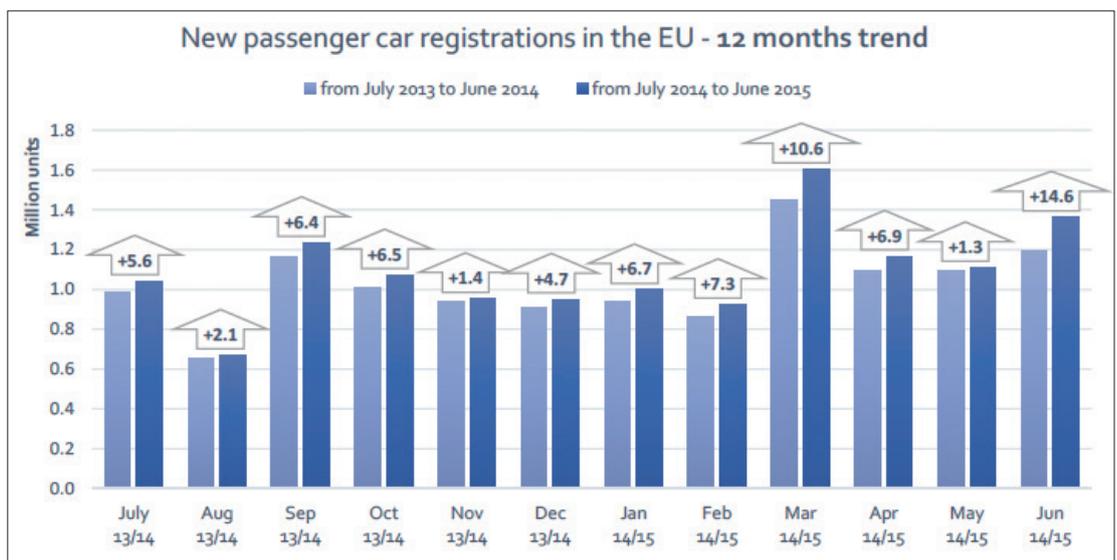


図8 EUにおける乗用車新車登録台数推移(出典 ACEA)

OECD 欧州の石油製品需要は図9に示すとおり堅調な軽油留分需要が全体需要を牽引し、2014年を上回る需要で推移しており、2015年第1四半期は前年対比3.7%増加、第2四半期は前年対比1.3%の増加となっています(IEA Oil Market Report 9月号時点)。第2四半期の需要伸長率を国別にみるとスウェーデン(+10%)、イタリア(+8.8%)、ポーランド(+12.1%)の需要増が全体を牽引しています。

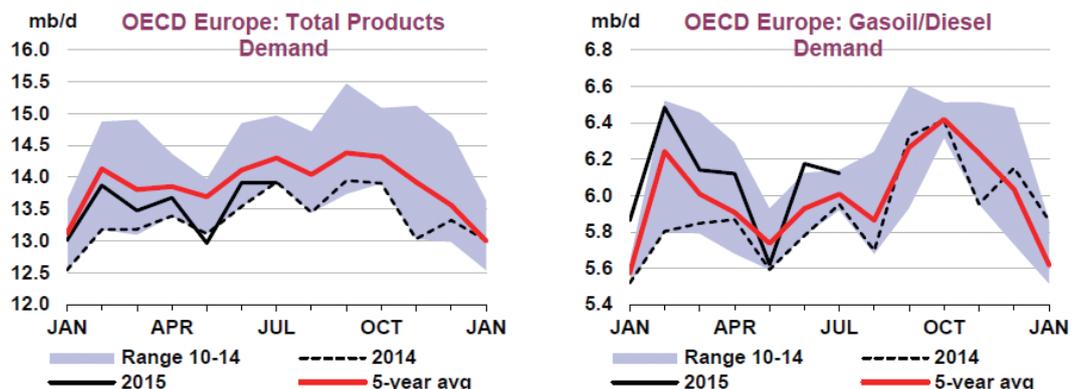


図9 OECD 欧州の石油製品需要推移【左：全石油製品、右：軽油留分】(出典：IEA Oil Market Report 9月号)

北西欧エリアの分解型製油所の精製マージンは図10のとおり、2015年8月時点では10.05ドル/バレル（1\$ = 120円で換算すると7.5円/L）と2012年9月を除くと2008年以来の高マージンに達しています。

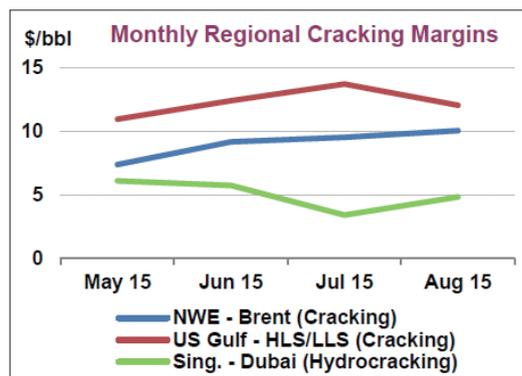


図10 地域別石油精製マージンの推移
(出典：IEA Oil Market Report 9月号)

加えてOECD欧州の製油所原油処理量も堅調に推移しています（図11参照）。7月の原油処理量は12.4百万バレル/日と6月対比75万バレル/日の増加となり、2012年夏以来の最高値となっています。特にドイツが製油所稼働率94%と好調です。

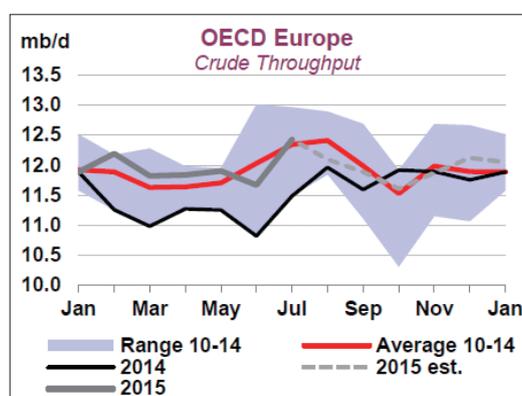


図11 OECD欧州の原油処理量推移
(出典：IEA Oil Market Report 9月号)

(6) 欧州における原油の生産量推移（北米との比較）

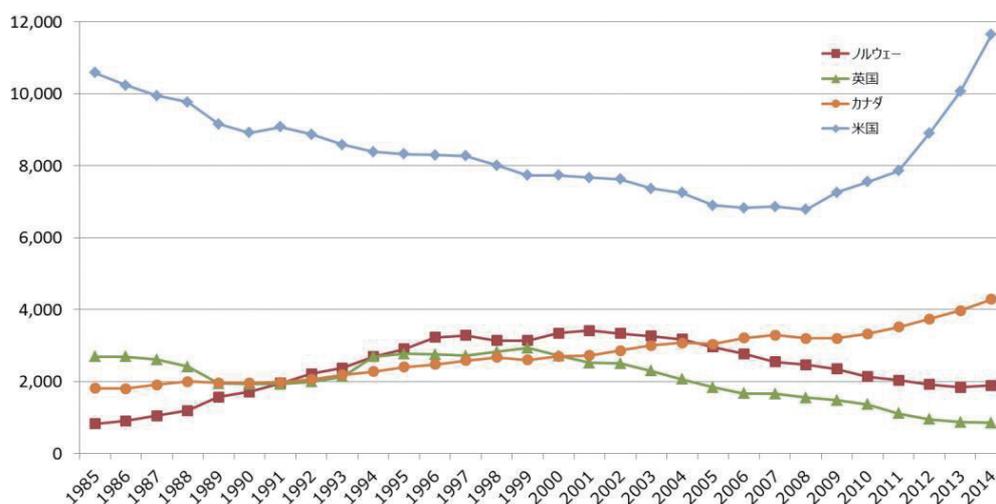


図12 欧州主要国及び北米における原油生産量推移【千バレル/日】
(出典：BP統計2015データよりJPEC作成)

米国も足下は原油価格の低迷の影響により、掘削オイルリグ数が急減しており、原油生産量の増加傾向に変化が表れているものの、2014年実績までをみた場合には、やはりシェール革命によって2008年以降急激に原油生産量を拡大しています。一方欧州における主要原油生産国である英国・ノルウェーについては、英国が1999年、ノルウェーにおいては2001年をピークに原油生産量は減少しています（図12参照）。

（7）欧州における処理輸入原油構成の変化

欧州における輸入原油構成の状況は近年大きく変化しています。欧州域内需要の減少により原油輸入総量が減少するなかで、2009年対比の2014年実績ではロシアからの輸入量減少が顕著となっています。これはロシア国内の製油所処理量の増加及びロシアからの極東向け原油輸出が増加したことが背景にあります。ロシアからの原油輸入減少とは対照的に西アフリカ及び中南米から欧州への原油輸入は増加しています。この輸入増加の原因の一つには米国の原油輸入量の減少があげられます。米国ではシェールオイル増産により、同様に軽質原油である西アフリカ産原油の輸入のほとんどが国産の原油に振り替えられている一方でカナダ産原油の輸入量増加の影響で中南米産の原油の輸入量が減少しています。この影響により欧州製油所における西アフリカ・中南米産の原油輸入量が増加しています（図13参照）。

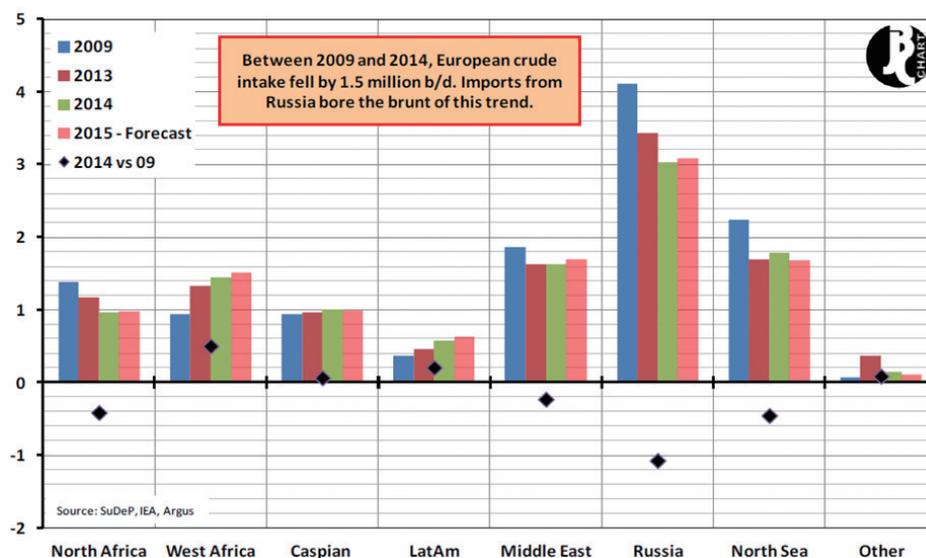


図13 欧州における輸入原油構成の推移【100万バレル/日】（出典：JBC エナジー）

3. 欧州気候変動エネルギー政策

欧州委員会ユンカー委員長は、2015年9月9日にストラスブールで開催された欧州議会本会議で、自身初の一般教書演説を行い、欧州連合の気候変動対策についても言及しました。欧州委員会は既に2014年1月に「2030年気候変動及びエネルギー政策フレームワーク」として、2030年までに温室効果ガス（GHG）を1990年対比40%削減する目標を発表し、同年10月欧州理事会において採択されています。また、2015年9月15日には年内にパリで開催される国連の気候変動会議（国連気候変動枠組条約締約国会議第21回会合：以下COP21）に向けた「COP21に向けてのEUの方針に関する結論」を欧州理事会において採択しています。

ユンカー委員長は演説の中で『国際的なパートナーに対して明確に言いたい。EU はただ合意することはしない。EU の優先事項は野心的で強固なグローバルに法的拘束力のある気候変動対策を合意することだ。』と COP21 に向けた強い意思を示し、EU が地球の気温上昇を産業革命前に比べ 2℃未満に抑えるという目的に基づき覚悟をもって COP21 に臨む姿勢を明らかにしました。また『先を見据えた気候変動政策は自身の掲げるエネルギー政策「エネルギー連合パッケージ」を実行する上でも重要である』とも述べました。「COP21 に向けての EU の方針に関する結論」及び「エネルギー連合パッケージ」について以下に概要をまとめます。

(1) エネルギー連合政策【Energy Union Package】

【目的】

エネルギー連合政策は、2015 年 2 月 25 日に欧州委員会ユンカー新政権初の総合エネルギー政策としてコミュニケーション文書の形 [COM (2015) 80final] で発表されました。背景には EU がこのまま現在の道を進んだ場合、低炭素経済への変革がより難しくなるという危機感があり、今こそ正しい選択をし、EU のエネルギー政策をリセットしようという意図があります。意欲的な気候変動政策を含めた弾力性のあるエネルギー連合政策の目的は、EU における企業や家庭に安全、持続可能性も備えた競争力あるエネルギーを安定供給することです。この目的を達成するために欧州エネルギーシステムの構造変革が必要と考えられています。

【5つのビジョン】

エネルギー連合政策は図 14 のとおり、①エネルギー供給の安全保障、② EU エネルギー統合市場の形成、③エネルギー効率の向上、④低炭素社会の実現、⑤研究開発・技術革新と競争力という 5 つのビジョンが柱となっています。これらのビジョンに向けて EU は化石燃料に依存した在来型技術による時代遅れのビジネスモデルから脱却し、



図 14 エネルギー連合政策の 5 つのビジョン
(出典：JPEC 作成)

エネルギーの需要と供給の柔軟性を創造することで消費者が様々な情報から自らエネルギーを選択できるエネルギーシステムを構築しようとしています。また、現状、欧州は加盟国毎のエネルギー政策や市場障壁があり、エネルギーシステムとして孤立しているエリアもあるといった課題を克服し、分断されたエネルギーシステムからの脱却が必要であるとしています。

【EU のエネルギー事情】

実際に EU はエネルギーの 53% を輸入に頼り、そのコストは 4,000 億ユーロにも上ります。EU は世界最大のエネルギー輸入者です。エネルギー輸入量が多いことは、エネルギー効率向上のメリットも大きく、1% のエネルギー効率改善で 2.6% 天然ガスの輸入を減らすことができます。輸送用燃料需要の 94% はガソリン・軽油を中心とした石油製品でカバーされており、石油製品は



全体の90%を輸入に依存しています。EU全体で毎年1,200億ユーロが直接または間接的にエネルギー補助金として支払われています。また2020年までにはエネルギーセクタへの投資金額が1兆ユーロを超えると試算されています。

欧州各国における電力卸売価格は比較的安価であるものの、米国と比較するとまだ30%も割高な状況です。家庭用電力小売価格は2013年で2012年対比4.4%も上昇しており、ガスの卸売価格については米国の2倍以上となっています。このように相対的に高コストなエネルギー価格は、EUにおける特にエネルギー集約型産業の産業競争力に非常に大きく影響しています。

一方、再生可能エネルギービジネスは1,290億ユーロの市場規模まで成長し、100万人を超える雇用を生み出しています。EUの企業は世界における再生可能エネルギー関連特許の40%を保有しています。EUは再生可能エネルギーへのグローバルな投資におけるリーダー的役割を今後も保持していくことに意欲を示しています。

【天然ガス・LNG 関連政策】

エネルギー連合政策立案の背景の一つにはウクライナ問題によるロシアとの関係の緊迫化があると考えられます。そのためロシアが主たる輸出元である天然ガスに関連する政策について最も具体的かつ包括的に提示されています。

- 欧州委員会は包括的な LNG 戦略を作る
- 中央アジアからのガス供給を可能とするべく南回廊に取り組む
- 天然ガス共同購入に向けた有事における需要集約メカニズム構築の検討
- アルジェリア、トルコ、アゼルバイジャン、トルクメニスタン、中東、アフリカ等の重要な生産国・通過国と戦略的エネルギー協力関係構築を検討
- ウクライナとの戦略的パートナーシップもアップグレードを検討
- 条件が整えば、Win-Win を前提としたロシアとの関係再構築を検討
- 商取引上のガス契約であってもエネルギー安全保障に関連する契約は透明性確保

【原子力関連政策】

- 原子力は EU の電源構成において 30% を占める
- 最高レベルの安全基準を確保
- 核燃料及び関連サービスの EU 域外依存度が高いため、求める情報を強化

【エネルギー効率の向上～エネルギー需要の近代化～】

欧州理事会は2014年10月に2030年に向けたエネルギー効率改善目標『最低でも27%のエネルギー効率改善』を制定しました。本目標については、30%への目標引き上げも視野に入れて2020年までにレビューが実施される予定となっています。

欧州委員会はこの目標を達成するために既存のEU規制（エネルギーラベル、エコデザイン規制等）を進めるとともに、大きなエネルギー効率改善の余地がある輸送部門と建築物部門に焦点をあて、『廃棄物からエネルギーへ』というキーワードも視野に入れつつ、エネルギー効率政策、資産効率政策及び循環型経済の更なるシナジー効果を生み出すよう検討することとしています。

特に輸送部門は、欧州における最終エネルギー消費の30%以上を占めており、乗用車及び商用車向けのCO₂排出規制についてより厳格なポスト2020年目標や大型自動車・バス向けのCO₂

*¹ モーダルシフト：
貨物や人の輸送
手段の転換を図
ること

*² モビリティー：
移動体のこと

排出削減及び燃費向上のための法案を検討する必要があるとしています。また道路輸送から鉄道・海上輸送・運河輸送へのモーダルシフト*¹ 推進を阻害する障壁の撤去にも対応するとしています。

【石油関連政策】

欧州委員会は、上記の道路輸送部門におけるエネルギー効率改善と低炭素化推進という文脈のなかで、石油製品を燃料とした従来型の道路輸送における低炭素化推進を目的とした、代替燃料供給ネットワークの整備等のシステム変革が必要であることを主張しています。欧州委員会は今後代替燃料及び充電設備ネットワークの構築の促進策を打ち出していく予定です。

特に短・中距離道路輸送と鉄道輸送において脱炭素化を進め、石油依存からの脱却を図る上では、電気駆動のモビリティー*² 普及が重要との認識を示しています。そのため、欧州は輸送部門における電力駆動への転換を加速し、電力駆動モビリティーとエネルギー貯蔵技術において世界を牽引していく必要があるとしています。そのために、都市モビリティー政策においてエネルギー消費と同時にエネルギー貯蔵設備となりうる完全に統合された電気自動車とスマートグリッドが必要であると明記しています。

エネルギー安全保障の観点からの石油製品の安定供給に向けた対応としては、既に2009年に施行している原油及び石油製品に関する備蓄指令に従って各加盟国が原油及び石油製品の備蓄義務を果たしていくことで対応可能という認識に留まっています。EUの厳しい環境規制や高いエネルギーコストによりグローバル競争で不利な重荷を背負っているために製油所の淘汰が進んでいることに対しては全く言及がありません。

欧州石油連盟 (FuelsEurope) は本政策について「自由で開かれたエネルギー市場の重要性に焦点をあてているという点では正しいが、その戦略がどのように雇用や成長を引き出していくかという重要な観点が欠けている。また、EU経済における石油製品の継続的重要性という観点が欠落している。」とコメントしています。

【気候変動政策】

気候変動政策については2014年1月に発表し、同10月に採択された「2030気候変動エネルギーフレームワーク」において設定されたGHG40%削減目標を取り上げ、本フレームワークの柱である修正版欧州排出量取引制度 (EU-ETS) を着実に進めていくことがコスト効率の向上と低炭素・エネルギー効率改善に関連する技術への投資を促進させるという観点で重要な役割を果たすことを期待しています。気候変動政策及び修正版EU-ETSの概要については次項「COP21に向けてのEUの方針に関する結論」の中で述べたいと思います。

【研究開発とイノベーション (R&I)】

R&I促進のための新たな戦略こそがエネルギー連合政策の心臓部と位置付けられています。特に再生可能エネルギー分野でEUが世界一になるために次世代型の再生可能エネルギー技術や蓄電を含むエネルギー貯蔵システムの分野に注力することが重要としています。また同様にスマートグリッドやスマートハウス技術、クリーン燃料、世界一安全な原子力発電などの分野における技術開発についても、エネルギー連合政策がEUに成長と雇用と競争力をもたらすために重要とされています。二酸化炭素回収貯留技術 (CCS: Carbon Capture and Storage) 及び二酸化炭素回収利用技術 (CCU: Carbon Capture and Use) については、EUが掲げる2050年に向けた気候変動対策目標をより経済的に達成する上で極めて重要な技術であると位置付けられています。

【今後の展開（一部抜粋）】

- ・天然ガス供給安全保障規制の見直しによるガス安全保障政策の提案
⇒ 2015年～2016年
- ・エネルギーインフラ整備フォーラムの開催
⇒ 2015年後半
- ・電力供給網安全保障規制の提案
⇒ 2016年
- ・新欧州電力マーケット構想の提案
⇒ 2015年、規制提案は2016年
- ・再生可能エネルギーパッケージの提案
⇒ 2016～2017年
- ・戦略的エネルギー技術及び戦略的輸送 R&I アジェンダのアップグレードを含む
欧州エネルギー R&I アプローチの提案
⇒ 2015～2016年

(2) COP21 に向けての EU の方針に関する結論

欧州理事会（The Council of the European Union）は2015年9月18日に「COP21 に向けての EU の方針に関する結論（657/15）」をプレスリリースしました。

欧州理事会の発表文書では気候変動に関する政府間パネル（IPCC）第5次評価報告書にて報告されているとおり、地球温暖化は明白であり、20世紀半ばより観測されている温暖化は人類の活動による影響が原因となっているという考え方が最も有力であるとされています。また、地球温暖化を2℃に留めるためにはグローバルな GHG 排出量を2020年までにピークを迎え減少に向かうようにする必要があり、2050年までには1990年対比50%削減し、2100年までには1990年レベルまたはそれ以下に抑える必要があるとしています。EUはこの文脈に従い、2050年までに1990年対比80%～95%のGHG排出量を削減することを目標としています。

欧州理事会はCOP21においては以下の3つの点が重要であると強調しています。

- ① パリ合意は全ての参加国にとって適用できかつバランスや効果的な削減措置、資金調達、技術開発、明確な行動、気候変動への適用、支援措置等を考慮した野心的で持続性のある法的強制力のあるコミットメントである。
- ② 「パリ合意」発効までの間の対応についても道筋を定めた実行性のある包括的パッケージである。
- ③ COP20において支持されたリマパリア行動アジェンダに記載されているとおり、各国は2020年までのGHG削減の野心的目標をさらに高める必要がある。

EU及びEU加盟国は2015年3月6日にすでに提出しているとおり、2030年までに1990年対比40%のGHG排出量削減を達成することを改めて明言しています。加えて各国に対し地球温暖化を2℃に留めるという目標に見合ったGHG排出削減目標を提出するように求めています。

【EU-ETS の修正について】

EUがCOP21に提出した2030年GHG排出量40%削減目標を達成するための最も重要な政策がEU-ETS（2003/87/EC）です。EU-ETSは2005年1月に開始された世界初の多国間GHG排出量取引制度です。EU-ETSの制度期間は、第一期間2005～2007年、第二期間2008～2012年、第三期間2013～2020年に分かれています。京都議定書の第一約束期間に合わせて第二期間が設けられ、そのための試行期間として第一期間が設定されました。2015年現在、制度開始から11年目、第三期間の3年目を迎えています。欧州委員会はCOP21に提出した2030年目標を達成するための手段として、2015年7月15日にEU-ETSの修正提案を発表しています。修正案の内容についてポイントを以下にまとめます。

【2030年目標の導入】

- ① EU-ETS 対象セクターは 2030 年までに 2005 年対比 43%の排出量削減を実施する。
- ② 2021 年以降毎年 2.2%の排出枠を削減する（2020 年までは毎年 1.74%削減）。

【排出枠の割り当てについて】

- ③ 炭素リーケージリスクを防ぐ目的で無償排出枠は 2021 年以降も継続する。
- ④ 2021 年以降のオークション割当は全体の 57%とする（原案では 70%）。
- ⑤ 2027 年以降 100%オークション割当とするという条項は削除

（3） EU-ETS 修正案が欧州石油精製産業に与える影響

欧州石油環境保全連盟 (Concawe) は今回の EU-ETS 修正案が 2021 年～2030 年の第四期間に欧州石油精製産業に与えるコスト影響について、図 15 のとおり試算しています。その影響は現行の第三期間（2013 年～2020 年）が 24 億ユーロ（排出量価格 10 ユーロ/トンの前提）であるのに対し、第四期間では 103 億ユーロにも達する見込みです。この金額は 1 バレルあたりの運転コストに換算すると 0.23 ユーロとなります。Concawe は EU-ETS 修正案による追加コストによって欧州石油精製産業がグローバル競争のなかで更に不利な立場となりかねない状況に懸念を示しています。

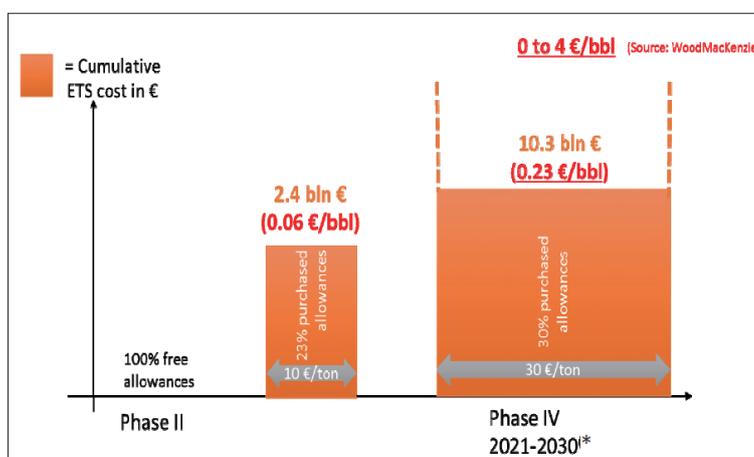


図 15 EU-ETS 修正案が欧州石油精製産業に与える影響
(出典：Concawe)

4. まとめ

冒頭で述べたとおり、世界に先駆けて積極的な気候変動政策を展開する EU で石油精製業を営む欧州石油精製業界は世界で最も厳しい環境での経営を強いられているとも言えます。しかし欧州石油精製産業は厳しい環境の中において、欧州石油連盟の先導による科学的事実に基づいたロビー活動の展開や、経営の再構築プランとセットでの選別製油所におけるアップグレード投資を実行し、しなやかに力強く生き残ろうとしているように思います。今後も世界の最先端を進むことが想定される欧州気候変動・エネルギー政策動向と欧州石油精製産業の対応について、引き続き注視していきます。

技術報告 「ペトロリオミクス技術開発への取り組み」 —先導的適応技術調査—

1. はじめに

ペトロリオミクス技術開発は、原油の重質化や非在来型原油の処理並びに石油製品需要の軽質化等に対して高度な精製技術により対応するための技術開発です。既存の石油精製技術では、重質油を蒸留等で分離・分割した留分の一般性状（密度、蒸留、粘度など）や仮定や推測に基づく平均構造式などを拠り所としています。これに対して当センターでは、石油成分の組成と反応性を分子レベルで把握することにより、重質油の処理にかかわる現場的な問題（詰まり、汚れ、触媒失活など）の解決から超高効率な精製プロセス開発まで、幅広く対応できる技術開発を進めています。

本技術開発事業では、まず重質油の分析・解析などの基盤技術を開発し、並行して、開発技術を既存プロセスの性能改善や新規プロセス開発テーマで使うことにより、基盤技術を確立するという手順で進めてきました。さらに、開発したペトロリオミクスの基盤技術を、精製プロセスの単位操作の新規開発や、これまで困難であった斬新なコンセプトによる触媒の開発など、革新性に富む技術開発につなげる可能性や潜在的なテーマなどを調査してきました。

本稿では、調査結果から選択した、先導的な適応技術にかかわる調査研究テーマの取組状況をご紹介します。

2. 先導的適応技術調査の背景と目的

ペトロリオミクス技術の開発を進めていくと、製油所の姿はどのように変わるでしょうか。その姿を想像し、それを実現するために必要となる技術はどのような技術でしょうか。

ペトロリオミクス技術を製油所実装置で活用する場面を考えてみます。例えば重質油中の金属化合物の構造・反応性と存在量が分かると、その除去の方法をより木目細かく検討することができるようになります。重質油中の多環芳香族類や腐食性化合物、汚れ・スラッジ生成物質等に対しても同様です。不純物質の除去に留まらず、石油中の成分の特性に合わせて高効率に処理するといったニーズには、分子構造の違いを活かした分離技術等が有用と思われます。実際に現場での活用を考えると、開発中のペトロリオミクス基盤技術だけでは充分ではなく、現場で実現したいこととのギャップを埋める様々な応用的な要素技術が必要となります。それらを繋ぐ技術を「先導的適応技術」と称し、委託事業の中で調査を進めました。

3. 先導的適応技術調査の実行体制

先導的適応技術調査は、平成 23～24 年度、石油学会への予備的な調査の委託から開始しました。石油学会には受託事業委員会が設置されています。図 1 に示すとおり、本事業の調査に当たってペトロリオミクス調査分科会を新設し、分離技術、触媒技術、及びプロセス技術の 3 つのワーキンググループ（WG）が設置されました。各 WG には学側と産側の有識者に参加頂きました。

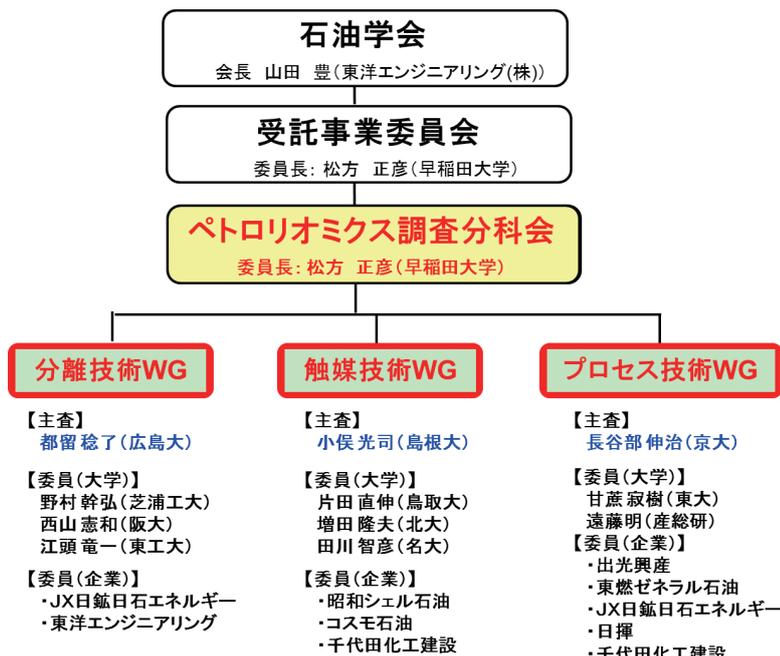


図1 先導的適応技術調査の推進体制 (敬称略)

4. 先導的適応技術調査のテーマ選定

先導的適応技術の対象として、図2に示す3つの視点からテーマ選定を進めました。

具体的な先導的適応技術調査のテーマは、ペトロリオミクス技術の特徴を活かす技術、普遍性・波及効果のある技術開発であることなどを条件として考慮しています。石油学会での受託調査の結果を元に、①ヘテロ・アロマの選択的分離技術【分離・精製】、②超選択的脱アルキル・核水添プロセス技術【選択的触媒】、③残油の水素化分解・脱メタル技術【残油処理技術】の3つを選定しました。

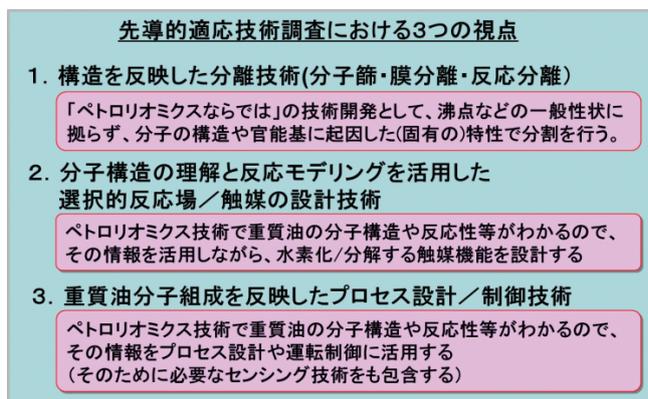


図2 先導的適応技術調査における3つの視点

平成25年度以降は、選定した3テーマについて①東京工業大学、②鳥取大学、③鳥根大学に実証化研究段階への移行を目指して調査研究を委託しました。加えて、石油学会に、これらの3つの技術の実現も想定し将来的な製油所像について継続調査を委託しました。プロセス技術WGは、3つの開発技術に対してパフォーマンス目標を設定するなど、調査研究全体の道標的役割を担っています。

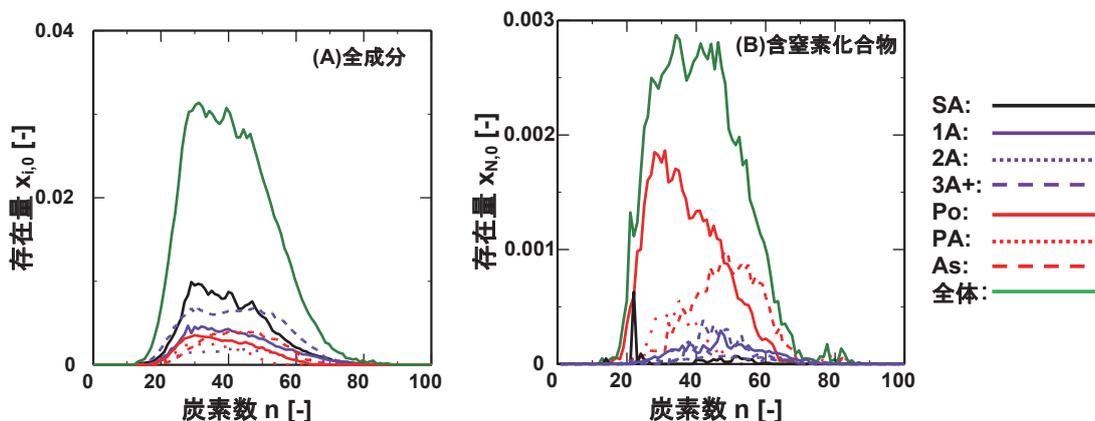


図4 (A) 全成分及び (B) 含窒素化合物の分画物別分布状態

分画操作では、分離カラムと溶剤を用いてタイプ別の分離を行うことにより、例えば極性レジ
ンPoやアスファルテンAsに含窒素化合物が濃縮されている様子が分かります。一方で、含窒素
化合物は分子の大きさによらず広く分布していることが分かります。

溶剤による抽出分離においては、分子の持つ官能基の極性等が分離挙動に大きく寄与すると共
に、分子の大きさそのものも重要な要素となります。図5(左)に炭素数すなわち分子の大きさ
に対する抽出分離挙動の計算結果(UNIFAC法)を示します。沸点範囲が広く分子の大きさ分布が
幅広い留分に対しては、溶剤抽出法だけで窒素化合物や芳香族を分離することは難しいことが分
かります。しかし、蒸留など分子サイズに起因した何らかの分離方法を加えることで(図5(右))、
抽出分離の有効性が高められると考えており、現在、そのような検討も含めて調査を進めています。

溶剤抽出については、単に窒素化合物が取れたかどうかというだけでなく、どのような分子構
造のものが優先的に抽出されるのかといった、詳細な選択性についても興味を持たれます。

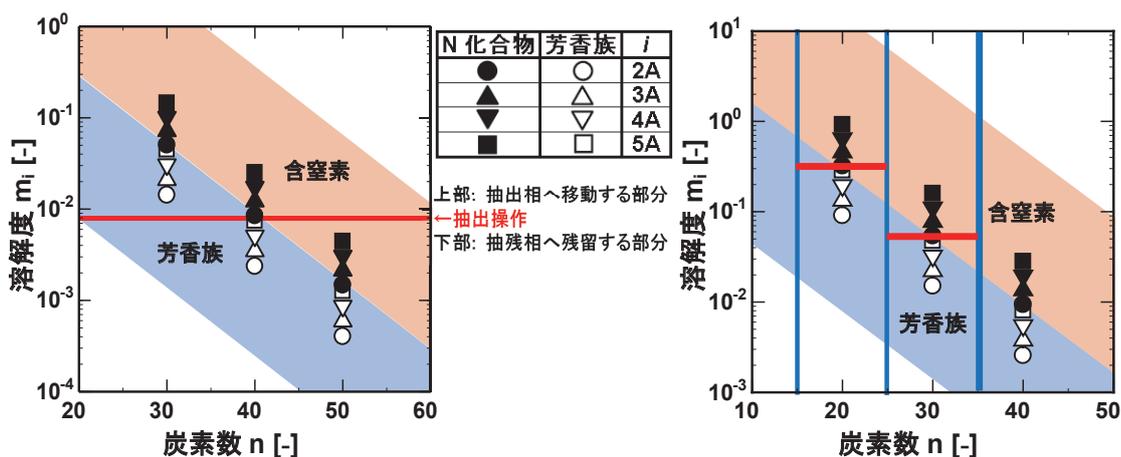


図5 分子の大きさに対する抽出分離挙動(左)と他の分離方法と組み合わせた抽出分離操作の例(右)

(2) 超選択的脱アルキル・核水添プロセス技術【選択的触媒】

ペトロリオミクス技術から得られた分子構造の情報を活用して、付加価値の高い製品を効率的
に製造する方法を検討するのが、本テーマの取組です。本事業内では、超選択的脱アルキル・核
水添技術によって、長鎖アルキル芳香族類から灯軽油・芳香族類を選択的に製造する方法の開発

について調査研究を行っています（図6）。通常の水素化精製では、脱硫や脱窒素、脱メタル、脱残炭等の目的のために、水素化精製装置の条件・触媒が選定されていますが、その際、側鎖分解や核水添反応等の好ましくない反応も進行してしまいます。これは、蒸留により分離した留分に含まれる微量の難反応性化合物を除去しなければならないために、過酷な条件を設定することが原因です。

たとえば、原料油を分子の構造・反応性に応じて分割した後、精製処理すれば、より選択的な反応を実現できます。これまでの調査研究において、実際、原料油の塩基性窒素化合物を除去することで、通常の水素化精製よりもマイルドな条件で超選択的脱アルキル反応が高活性（転化率80%以上）・高選択性（選択率80%以上）で進行することが確認されています。

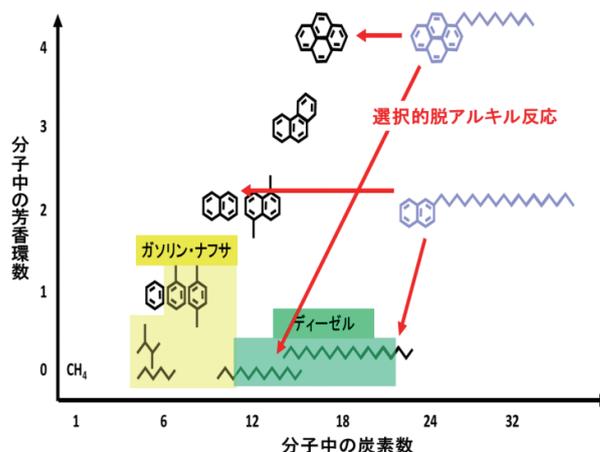


図6 超選択的脱アルキル反応によって目的生成物を得る方法（模式図）

（3）残油の水素化分解・脱メタル技術【残油処理技術】

ペトロリオミクス技術により、重質油中の金属化合物や多環芳香族分の構造・組成が分かるようになってきました（図7）。これによって、メタル除去や残炭（コーク分）低減等への新たな方法論が提示されつつあります。たとえば重質油中に含まれるメタル化合物について、その反応挙動を知ることで、その効率的な除去のための触媒及び触媒システムの設計が可能になります。

現在、脱メタル反応や残油分解反応について、その反応メカニズムを解明し、その反応特性と関連する触媒特性との相関性を求め、触媒システムの設計指針を構築しようと取り組んでいます。

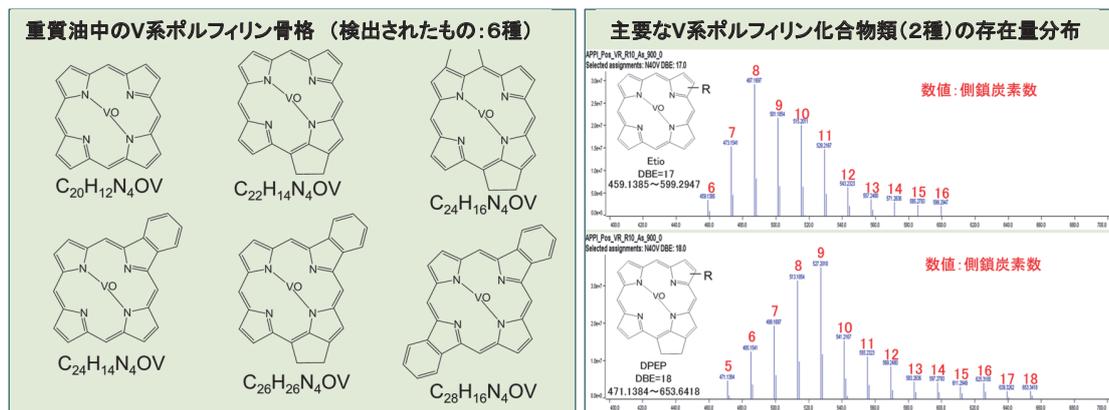


図7 重質油中に存在するメタル化合物の種類と存在量の分析（例）

6. おわりに

当センターでは開発技術を様々な場面で活用して頂けるよう、今後とも基盤技術をしっかりと固めつつ、製油所でその有効性を実感できる実用的な技術開発を進めてまいります。今後の展開にご期待ください。

特集

調査報告 「IMO船舶用燃料の硫黄分規制動向」

1. はじめに

国際海事機関（IMO：International Maritime Organization）により採択された、船舶燃料の硫黄含有量に関わる国際条約議定書の規則（MARPOL 条約議定書付属書VI規則 14）が、2005年5月に実施されてから10年が経過しています。

この間、船舶燃料油の硫黄含有量規制値は段階的に低減化が図られ、IMOが一般海域より厳しい規制値を設定しているECA（Emission Control Area）海域においては、本年1月より0.1%を上限値とする最終規制が開始されました。これによりMARPOL条約議定書付属書VIによる当該硫黄分規制も、一般海域における0.5%の上限規制値への移行を残すのみとなっています。

2020年からの実施が予定されているこの一般海域における最終規制の実施時期については、2020年時点で規制に適合する低硫黄燃料油が十分に供給されるかどうか、2018年までにレビュー（需給予測等調査）を行い、その結果によっては最長で2025年に延期することができることになっています。

本年5月に開催されたIMOの第68回海洋環境保護委員会（Marine Environment Protection Committee（MEPC68））で、当該レビューを本年9月から開始し、来年秋に開催されるMEPC70において、その結果が報告されることになりました。このレビュー結果を以て最終規制開始時期の決定が審議されれば、当初2018年までとされていた決定期限がもう少し前倒されて決着するかもしれません。

仮に2020年から硫黄分の0.5%上限規制が実施されることになれば、船舶業界においては短期間での対応が要求され、石油精製業界においても低硫黄燃料油の供給のみならず、余剰高硫黄重油発生の懸念など、その影響は甚大であると予想されています。

2. 調査の目的と内容

当センターでは、IMO最終規制の一般海域における硫黄分0.5%上限規制が及ぼす石油業界への影響を分析するため、数年にわたり内外の船舶燃料関連の需給データ、政策動向等の資料、及びインターネットや文献等からの関連情報等を収集し調査・分析を継続しています。本稿においては、その内容を整理するとともに、今後のアジアにおけるIMO規制進展の参考になるであろう、本年1月より欧米のECA海域で開始された硫黄分0.1%の上限規制導入後の動向や、現在のアジア諸国における船舶の硫黄分規制強化に関する取組等についてご報告します。

なお、本稿で取り上げた内容の詳細については、本年10月に発行したJPECレポート第17回及び第18回のIMO関連レポートをご参照ください。

- ・JPECレポート第17回 http://www.pecj.or.jp/japanese/minireport/pdf/H27_2015/2015-017.pdf
- ・JPECレポート第18回 http://www.pecj.or.jp/japanese/minireport/pdf/H27_2015/2015-018.pdf

3. 船舶用燃料油の概要

バンカー重油（Bunker Fuel）とも呼ばれている船舶用燃料油には、残渣油ベースの燃料油（重質で硫黄含有量が高い）と留出油ベースの燃料油（中間留分）の多様な製品が含まれています。

（1）残渣燃料油（IFO、Intermediate Fuel Oil）

- ・ IFO は主に外洋を航行する 5,000 トン級以上の大型の船舶に多く使用されている燃料油です。
- ・ 外洋航行船舶の一日の平均燃料使用量は、30 トンから 90 トンと大量であるため、船舶運航会社は、従来より低廉で高硫黄な残渣油燃料の使用を追求してきました。
- ・ IFO は一般的に、熱分解残渣油、HCO、LCO をブレンドしたものです。

（2）留出燃料油

留出燃料油には、2つのタイプがあります。

①船舶用ガスオイル（MGO、Marine Gas Oil）

- ・ 一般的に接触分解装置のブレンド製品である LCO（Light Cycle Oil）と留出油をブレンドしたものです。
- ・ 本来は、小型の船舶エンジンや自家発電等に用いる補機用の燃料です。
- ・ しかし、昨今は、一部大型船においても、超低硫黄燃料の使用を義務付けられる特定の海域内を航行する際、主力エンジンに使用されています。

②船舶用ディーゼルオイル（MDO、Marine Diesel Oil）

- ・ MGO よりも低いセタン価で使用される小型船舶用燃料であり、LCO も多めにブレンドされている留出油です。
- ・ 小型沿岸船、漁船、戦艦、地震探査船などに使用されています。

船舶用燃料油の品質は、ISO8217：2012（国際標準化機構、International Organization for Standardization）のクラス F に規定され、船用留出油及び船用残渣油に分類されています。ISO の品質基準は、船舶用の燃料品質を規制するものではなく、船舶用機材の設計者や船舶用燃料油市場関係者間において指針として活用されているものです。主要な品質基準項目の指針は以下のとおりです。

- ・ 硫黄含有量はエンジンの性能や操船上の問題となるものではなく、主として環境的な問題であり、本調査の目的とする船舶燃料の硫黄分規制に係るものである。
- ・ 粘度は、特定温度における燃料の流動性の尺度である。
流体の粘度は、船用ディーゼルエンジンの燃料噴射時に最適なスプレーパターンを得るためにエンジン設計の範囲内でなければならず、さもなければ不完全燃焼によりエネルギーが失われ、堆積物が生成されてしまう。
- ・ 燃料の密度は、製品クラスごとの着火性の指標である。低粘度燃料では、最大密度を守ること
で十分な着火性が得られる。
また、重質残渣燃料を燃焼前に洗浄処理する場合も、一般的な清浄機は密度差を利用して水分除去するため、最大密度は重要な設計条件でもある。
- ・ 流動点は、燃料を規定の標準条件下で冷却した場合に継続して流れる（あるいは注ぐ）最低温度を指す。

この基準は、加熱されない留出油系船舶燃料油がタンク内で「固まる」ことを防ぐために重要である。冬季の低い気温を考慮して、夏季と冬季で別の基準が設けられている。

- ・アルミニウムとシリコンは、製油所の接触分解装置で生成したヘビー・サイクル・オイル (HCO) をブレンドしたために生じる触媒微粒子の尺度である。

船の燃料システムに及ぼす摩損を防ぐため、アルミニウムとシリコンの上限を設けて、燃料の洗浄処理システムで適切に除去できるようにしている。

ISO の品質基準は、現在 2012 年版が最新のものですが、船舶用留出油は 4 グレード、船舶用残渣油は 11 グレードに分けられています。代表的な船舶用燃料油の ISO 品質基準を表 1 に抜粋しました。なお、船舶用留出油に性状が似ている JIS 銘柄としては、DMA は軽油、DMB は A 重油に相当します。

船舶用燃料油の製造工程の基本的な概略例は図 1 のとおりです。

表 1 船舶用燃料 ISO 主要品質基準抜粋 (ISO8217 : 2012)

| 項目 | 単位 | 限界 | 船舶用留出燃料油 | | | 船舶用残渣燃料油 | | |
|-------------|--------------------|-----|----------|-----|------|------------------------|----------|----|
| | | | MGO | | MDO | IFO180 | IFO380 | |
| | | | DMX | DMA | DMB | RMG(180) | RMG(380) | |
| 硫黄含有量 | mass% | Max | 1.0 | 1.5 | 2.0 | Statutory requirements | | |
| 動粘度 (40°C) | mm ² /s | Max | 5.5 | 6.0 | 11.0 | (50°C) | (50°C) | |
| | mm ² /s | Min | 1.4 | 2.0 | 2.0 | 180 | 380 | |
| 密度 (15°C) | Kg/m ³ | Max | - | 890 | 900 | 991 | 991 | |
| 流動点 (upper) | 冬用 | °C | Max | - | -6 | 0 | 30 | 30 |
| | 夏用 | °C | Max | - | 0 | 6 | 30 | 30 |
| アルミニウム・シリコン | mg/kg | Max | - | - | - | 50 | 60 | |

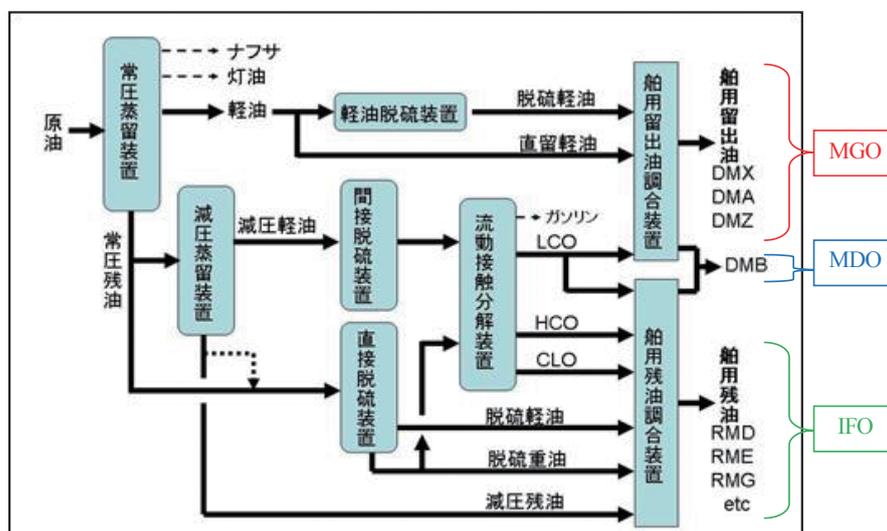


図 1 一般的な船用燃料油の製造フロー (JPEC にて作成)

4. IMO 船舶燃料硫黄分規制の概要

IMO は、船舶の安全及び船舶からの海洋汚染の防止等、海事問題に関する国際協力を促進するための国連の専門機関として、1958年に設立されました。現在、171の国・地域が正式に加盟し、3地域（香港、マカオ、フェロー諸島）が準加盟国となっています。

加盟各国は、IMOにより採択された規制を採用しなければならず、各国政府は、規制の実効責任を担うこととされています。船舶産業は各々の異なる地区や地域の規制だけでなく、IMOの国際的な規制に適合しなければなりません。

IMOは、船舶の航行や事故による海洋汚染を防止することを目的として、規制物質の投棄・排出の禁止、通報義務、その手続き等について規定するため、国際条約とその議定書を作成、改定しています。

船舶の航行に起因する環境汚染（油、有害液体物質、危険物、汚水、廃棄物及び排ガス（エネルギー効率の改善を含みます））を防止するため、構造設備等に関する基準を定めたものをMARPOL条約といいます。

MARPOL条約議定書附属書VIは、船舶からの排出物に含まれる以下の物質の排出規制を規定しています。

(1) 窒素酸化物 (NOx) の排出規制

NOxは、燃料中の窒素分に由来するものよりもエンジン内での燃焼中に生成される方が圧倒的に多いことから、エンジン規制を段階的に行う方法が採用されています。

(2) 硫黄酸化物 (SOx)、及び微粒子物質 (PM、particulate matter) の排出規制

この二つの物質に対しては、船舶燃料中の硫黄含有量の削減による規制が行われており、本稿のテーマです。

さらにIMOの排出規制では、海域により対象汚染物質の種類 (SOx、PM、NOx) や規制値が異なって設定されています。すなわち、全世界の海域で共通して要求される規制値が設定されている一方で、より環境にセンシティブで海岸に近接している海域は、排出規制区域 (ECA、Emission Control Area) に指定され、世界共通の規制よりさらに厳しい規制が適用されています。

世界の船舶用燃料油に係る硫黄分上限規制値は図2及び図3のとおりです。

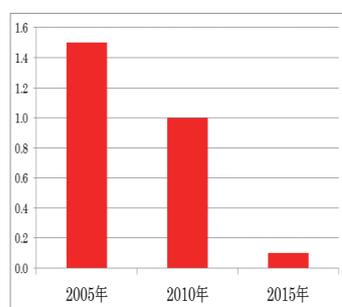


図2 ECA海域の硫黄分規制推移 (単位: wt%)

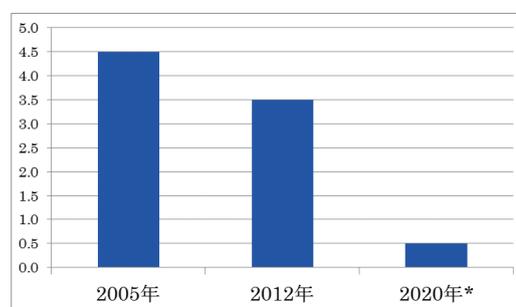


図3 一般海域の硫黄分規制推移 (単位: wt%)
※最長で2025年から実施に変更される可能性あり

なお、一般海域の硫黄含有量0.5%上限規制の実施時期については、冒頭に述べたとおり規制に適合する低硫黄燃料油の供給可能性が不確実なため、開始時期が2025年までの延期も考慮された形となっており、来年秋口に報告される予定のレビューをもとに審議決定されることになっています。

重要な規制の実施時期が未決定であるということが、燃料を使用する船舶業界、供給する石油業界双方にとり、今後の対応決定や準備における大きな障害となっています。

現在設定されている ECA 海域は 4 海域です（図 4 参照）。

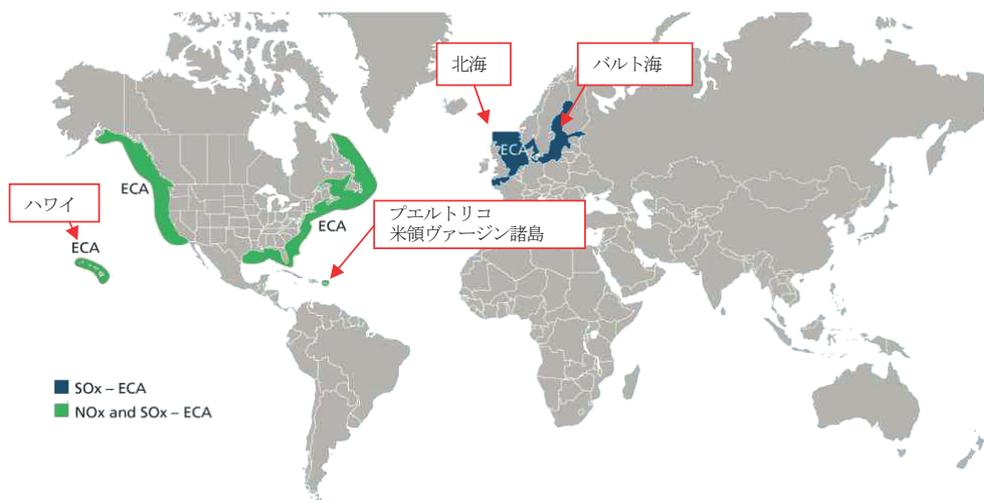


図 4 ECA 海域（出所：IEA Report より）

【ECA 4 海域と指定汚染物質】

- ① バルト海周辺海域（SOx）
- ② 北海周辺海域（SOx）
- ③ 米国（含むハワイ）とカナダ沿岸部の 200 海里内の北米海域（SOx、PM、NOx）
- ④ プエルトリコと米領ヴァージン諸島を含むカリブ海海域（SOx、PM、NOx）

ECA 海域は、同海域の指定を希望する各国からの提案に基づき、定められた基準及び手続きへの適合性を IMO で審議の上、MARPOL 条約附属書 VI の改正により指定することができることとなっています。

現在、アジア地区には ECA 海域は存在していませんが、今後いくつかの国々で、新たな ECA 海域が生まれる可能性もあります。

日本も、国土交通省が設置した「船舶からの大気汚染物質放出規制海域に関する技術委員会」が ECA 海域設定の必要性について検討を行いました。しかし、同委員会において 2013 年 6 月に、「大気質改善効果は小さいかまたは明確でないため、現時点では ECA 海域を設定する必要性があるとは判断されない」とされ、「今後とも大気汚染物質に関する世界の取組状況に注視しつつ、化学的知見の蓄積等により国全体としての対応に見直しがあった場合などには、ECA 海域設定の必要性について改めて検討すべし。」との結論付けがなされました。

5. IMO 船舶用燃料硫黄分規制適用の選択肢とその動向

IMO の硫黄分規制に対応するため、船舶運航会社には次の 3 つの選択肢が有力であると考えられています。

- ・ 現行燃料油より割高になると予想されている低硫黄燃料油を使用する。

- ・ 現行の高硫黄燃料油を引き続き使用するが、規制に適合する低硫黄燃料と同等の SOx 排出削減効果を発揮できる排出ガス洗浄装置（ESGC、あるいはスクラバーと呼ばれる装置）を船舶に設置する。
- ・ 極めて硫黄含有量の低い代替燃料（LNG 他）に転換する。

この3つの選択肢は、船舶運航会社にとり、いずれの方法も追加費用が発生しコストアップ分を運賃に転嫁できなければ経営を圧迫する可能性があります。船舶運航会社はどの方法を採用するか決定するにあたり、経済性、供給体制、及び NOx 規制との関連性等を比較検討しなければなりません。さらに外洋航海に従事する船舶運航会社は、ECA 海域内を航行する割合、船舶の機械構成、船齢などの様々な要因を分析して総合的な判断を下す必要があります。現時点では、各々の選択肢には一長一短があり、容易に取捨選択することが極めて難しい状況です。

3つの選択肢について、それぞれの長所と短所を説明します。

（1）低硫黄燃料油の使用

船舶運航会社、とりわけ外洋を航行し IFO を主燃料としている大型船舶の運航会社にとり、在来の残渣油ベースでの 0.5%以下の低硫黄燃料が、運航面でも経済性の観点からも、最良の燃料です。

しかしながら、今後世界で最も船舶燃料需要の増加が見込まれるアジア地域では、新規制に適合する低硫黄残渣油燃料の供給力の増強が極めて難しいといわれています。

ヨーロッパでは、低硫黄残渣油燃料の生産能力が需要に対して不足しているといわれていますが 2025 年までに予定されている全世界における新しい製油所の建設のほとんどは、中東とアジア地域であり、かつその多くはディレイドコーカーの設置等による重質原油からの製品アップグレード化を目的とした装置仕様であるため、低硫黄残渣油の大幅な増産は見込めません。

このため最終規制に適合する燃料油は、低硫黄の残渣燃料油だけでなく、本年1月より開始された ECA 海域の新規制に適合する MGO (LSMGO と呼ばれている) や、一部残渣油の特性を持ち、IFO を使用する船用エンジンへの適応しやすさを訴求し市場に投入されたニュータイプの燃料油があります。しかし船舶業界としては一般的な残渣油よりも割高な燃料油を使用していかなければならないかもしれません（ニュータイプの燃料については後述します）。

（2）排出ガス洗浄装置（スクラバー）設置による IFO の使用

スクラバー技術は、既に高硫黄重油を使用する発電所や工場等で確立されている排出ガス洗浄・除去技術です。

船舶用のスクラバーにおいては、アルカリ性の水源を用いて、排気ガス中の硫酸酸化物を中和、吸収する Wet Scrubber が主流で普及され始めていますが、機構の異なるものがあります。それぞれの仕組みと特徴を表2に示します。

船舶用スクラバーの採用は、投資コストの大きいことが課題ですが、すでに欧米及び日本のメーカーでモジュール化された種々の装置は商品化されています。同装置は、投資回収期間が3～5年程度との報告も多く、既存船へのレトロフィット及び新造船への導入が着実に進む可能性があります。

図5は昨年調査したエンジン出力が12kwの船舶の諸元を基に、当該船舶を一般海域とECA海域の航行時間割合別に航行した場合のスクラバー装置の投資回収年数の試算を行ったものです。概略の試算ですが、直近のMGOとIFO市場価格を反映して、燃料関連コスト差メリットより、

設備投資額の回収年数を算定したものです。昨年来大幅な燃料価格の下落に伴い燃料価格差も縮小しましたが、その縮小幅は、価格の下落幅ほど大きくはありません。

上記の試算によると、ECA 海域内を 100% 航行する船舶へのスクラバー投資は、2 年で投資回収可能となります。

表2 船舶用スクラバー装置の仕組・特徴

| | 仕組・特徴 | 長所・短所 |
|---------------------|---|---|
| 湿式スクラバー オープンループ式 | ・天然のアルカリ水である海水を使用 ・洗浄水はスラッジ除去後に海洋に廃棄する | ・化学物質の添加不用で操作が容易 ・海水のアルカリ性と温度にばらつきがあるため性能が不安定 ・排水規制地域では使用不可 |
| クローズドループ式 | ・苛性ソーダにより処理した真水を循環させて使用する | ・海水の性質に左右されず、一定した清浄性を発揮する ・苛性ソーダ使用によりコストが高い |
| ハイブリッド式 | ・オープンループ式とクローズドループ式の両方が使用可能 | ・両方式の長所の組み合わせ可能 ・機材が増えて操作も複雑になる |
| 乾式スクラバー | ・吸収剤を使用して化学反応により排ガス中のSoxを除去する。 ・球状粒子形態の水酸化カルシウムを用い、これが硫酸化物と反応して、石膏(硫酸カルシウム)を形成する | ・用済吸収剤を回収して、港で船外に廃棄するまで保管が必要 |

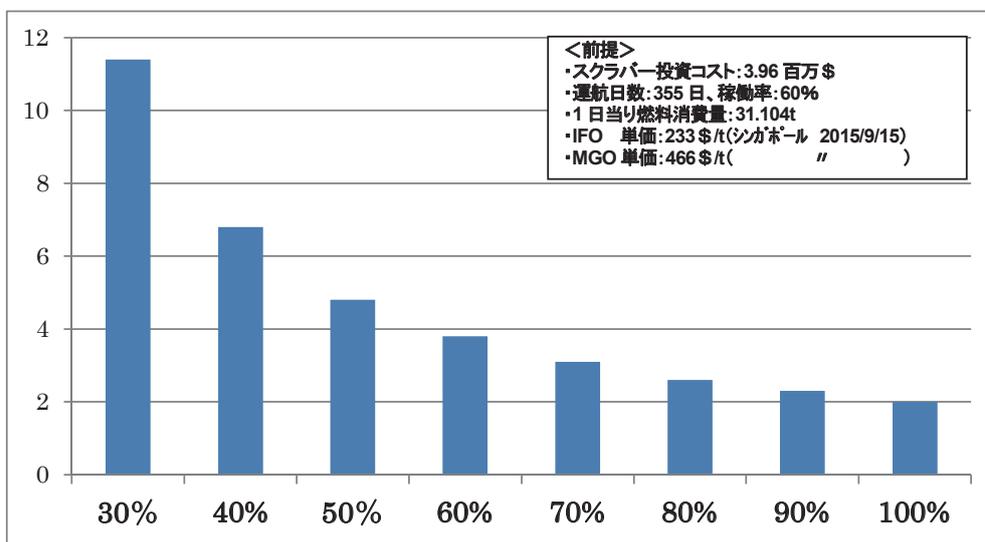


図5 12MW 船舶スクラバー投資回収年数試算
 (縦軸：投資回収年数、横軸：船舶の全航行時間のうち、ECA 域内を航行する時間の比率)

(3) 硫黄含有量の低い代替燃料への切替

規制適合の3番目の選択肢は、代替燃料への切替です。

液化天然ガス (LNG) は、当該燃料を使用する船舶の開発も進んでおり、規制適合のための重要な選択肢のひとつとして、船舶業界においても期待されています。

その他の代替燃料として、メタノールとエタンも、燃料の選択肢として可能性があると考えられていますが、開発はまだ初期段階にあり、LNG に比べると世界的により早く普及する可能性は、現時点では低いと思われます。

LNG を代替燃料として使用する上での最大のメリットは、在来燃料油に比べて最も汚染物質が少ないことです。

- ・カーボン排出量は、およそ 25% 減少する。
- ・SOx はほぼ 100% 減少する。PM も 95% 減少する。
- ・NOx は、85% 減少する。

一方、既存の石油燃料船を改造する上では、タンクの貯蔵容量、燃料補給時間、安全性増加等が要求されますが、最大の課題は、船舶への LNG 供給インフラの不足を解決する莫大な投資コストへの挑戦です。

6. 2015年1月以降のECA海域での動向

表3 船用として公表されている主な燃料（硫黄分0.1%）の性状（出所：各石油会社のHPより）

| 項目 | 単位 | 限界 | Premium HDME50 | Fuel Oil | ULSFO | ULSFO | Eco Marine | 参考 |
|------------|----------------------|----|----------------|----------|---------|-----------|------------|--------|
| 販売会社 | | | ExxonMobil | Chemoil | Shell | SK Energy | Lukoil | |
| ISO8217 相当 | | | RMD80 | | RMD80 | RME180 | | RMG380 |
| 動粘度 (50℃) | mm ² /sec | 上限 | 45 | 26.3 | 60 | 20～40 | 65 | 380 |
| | | 下限 | 30 | | 10 | | | |
| 密度 (15℃) | kg/m ³ | 上限 | 900～915 | 896 | 790～910 | 928 | 910 | 991 |
| CCAI | - | 上限 | 795～810 | 795 | 800 | 790～800 | 860 | 870 |
| 硫黄分 | mass% | 上限 | 0.1 | <0.1 | <0.1 | <0.1 | 0.095 | |
| 引火点 | ℃ | 下限 | 70 | 60 | 60 | 100 | 60 | 60 |
| 残留炭素分 | mass% | 上限 | 0.3 | 3.8 | 2.0 | 2.7 | 14.0 | 18.0 |
| 流動点 | ℃ | 上限 | 6～12 | -6 | 18 | 20～25 | 20 | 30 |
| アルミナ+シリコン | mg/kg | 上限 | 5 | <10 | 12～20 | | 17 | 60 |

2015年1月1日からのECA硫黄分新上限規制（0.1%以下）適用開始に伴い、ECA海域で運航するほとんどの船舶（LNG燃料船、スクラバー搭載船等を除く）は、燃料を留出油のLSMGO（Low Sulphur Marine Gas Oil）へ切り替えることで当該規制に対応しています。新規制開始後約10か月経過した段階ですが、規制適合燃料油の需給上や価格面の大きな混乱は報道されていません。これは、2014年後半からの原油価格急落による油価の低下及び船舶運航会社の入念な準備（低硫黄燃料でのテスト運航、設備改修、運転条件整備及び船員への教育訓練等）があったことが理由として挙げられています。

昨年後半からの原油価格の急落は、ECA海域で操業する多くの船舶運航会社の経営者を安心させましたが、2020年以降の最終一般海域規制に備える対応マインドを低下させているといった指摘もあります。スクラバー投資やLNGへの転換等、将来の規制に向けた対応意欲が後退したと警鐘を鳴らす報道もあります。

一方こうした中で、新しい規制適合低硫黄燃料油がリリースされるなど、厳しくなった規制に対する新たな試みも行われています。

2015年に入り、各石油会社から硫黄分0.1%以下のULSFO（Ultra Low Sulphur Fuel Oil、超低硫黄残渣油）の販売が本格化しています。ULSFOは、密度と動粘度から脱硫重油と深度脱硫軽油のブレンド品の可能性が高く、さらに、これらのULSFOは、潤滑性や動粘度が規制前燃料に近い場合、残渣油系の燃料を使用していた船舶運航会社の関心も高まっています。

ULSFOを新規に販売している企業と製品の動向は次のとおりです。

ExxonMobilが2015年1月から販売開始した船用燃料Premium HDME 50は、船用留出油と船用残渣油の両方の利点を持ち、船用エンジン及びボイラーへのダメージリスクを下げた製品です。同油は、ECA0.1%硫黄分規制適用品で、高引火点、低揮発性、高粘度であり、ISO8217のRMD80相当以上と発表されています。

Chemoil（シンガポール）は、米国に多数の船舶燃料供給拠点を保有している燃料販売会社です。同社は、Los Angeles地区では硫黄分0.1%のDMBを、Houston及びNewYork地区では、硫黄分0.1%のULSFOを販売しています。

Shellは、2014年12月ULSFOの販売を開始し、欧州（Antwerp、Rotterdam港）、北米（New Orleans、Montreal港）及び中米Bahamasの各港湾で供給しています。

SK Energy（韓国）は、2015年5月 Trefoil Trading（オランダ）と協力して、ULSFO の販売を ARA 地区（Antwerp、Rotterdam 及び Amsterdam 港）で行っています。情報では、最小納入数量が 100 トンになっており、中小型船では注文が難しいとされています。また、ULSFO が納入できる港が限定されているため、採用に躊躇する状況もみられます。同社はさらに 2015 年 7 月より Singapore 港で ULSFO（硫黄分 0.1%）の販売供給を開始しており、同港では、品質確保の点から専用バージ船を用船し同油の供給を行っています。なお、2015 年 8 月上旬の報道では、同油は ISO8217 RME180 相当品であり、LSMGO より 1 トン当たり約 22 米ドル安く取引されています。

Lukoil-Bunker（ロシア）は、同社の Ukhta 製油所で製造した ECA 適合レベルの Eco Marine を販売しています。

以上、各社からリリースされた ECA 海域用 ULSFO は、価格面においても LSMGO 比 20～80\$/t ほど割安で販売されているようであり、採用した船舶航行会社からの評価は高いようです。ただし、ULSFO の供給できる港湾はまだ限られていることや、一回の給油ロットが 100t 以上からといった制約があるなど、ECA 域外も航行する中距離型船舶の中には、タンク容量等から供給面で制約されるといったケースも聞かれます。なお、ULSFO の今後のアベイラビリティ（供給可能性）は現時点では未知数です。また、品質面において ULSFO の製造元から他社製品との混合が推奨されていないため、コンパチビリティ（混合適合性）を懸念して在来の LSMGO からの切替に踏み切れない船舶運航会社もあるようです。

こうした ECA 海域での経験と事例は、将来のアジアでの ECA 出現時や、2020 年以降のグローバルな最終硫黄分規制開始に向けての参考となるため、同エリアの動向については引き続き注意を払っていく必要があります。

7. 船舶用燃料の今後の予測シナリオ

これまで説明してきました IMO 規制や対応の選択肢等の動向をもとに、昨年度当センターが作成した全世界の 2030 年までの船舶燃料の需要予測シナリオを紹介します。

- ① 世界の船用燃料油の需要は、主としてアジア、中東地域を中心とした経済成長と船腹数の増加により需要は拡大傾向にあると想定されます（図 6 参照、2010 年までは実績、2014 年以降は予測）。
- ② 残渣油船舶用燃料である HSFO と硫黄分 1.0% 上限の LSFO は、

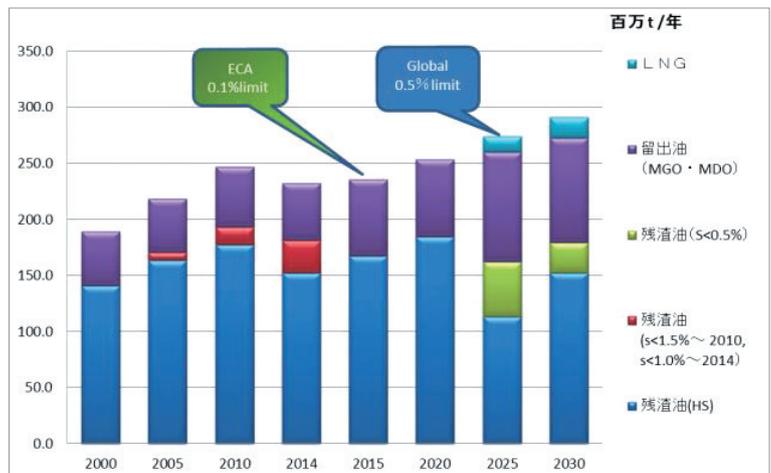


図 6 船舶用燃料需要予測 (全世界、～2030)

- 2014 年においては、船舶用燃料市場の 78% を占めていました。
- ③ 2015 年の ECA 内硫黄分 0.1% 上限規制開始に伴い、北米及び欧州西部における ECA 内航行時の使用燃料がほぼ留出船舶燃料 (MGO、MDO) と一部硫黄分 0.1% の新燃料 (ULSFO) に切り替わるため、HSFO の需要は一時的に全燃料の 71% まで低下します。

- 
- ④ 一般海域における世界的な硫黄分 0.5% 上限規制（グローバル規制）は 2020 年開始が予定されていますが、現時点における製油所の設備動向等より、LSFO 増産ソースの増加が見込まれていないことから、当センターは 2025 年から実施されると予想しました。
 - ⑤ 硫黄分 0.5% 以下の残渣油が 2030 年に再び減少に向かう理由は、スクラバー搭載船が普及してくることにより、船舶運航会社が経済性から比較的安価な高硫黄残渣油に戻ることが予測されているためです。
 - ⑥ LNG は、2020 年以降、船舶用燃料インフラへの投資が増え、さらに広く採用されるようになると思われ、2030 年の全世界における船舶向け需要は、t 換算で全船舶燃料需要の約 6% 程度になるものと見込んでいます。

以上のシナリオどおり推移するかは断言できません。船舶燃料の需要は、今後の世界各国の経済動向やエネルギー需給動向により大きな変動を伴います。しかし、現在全世界の船舶関係者が抱いている規制とその対応選択肢における課題との関係はご理解いただけるのではないのでしょうか。

8. まとめ

- (1) 本年 1 月より実施された ECA 海域における硫黄含有量 0.1% の上限規制は、当該海域を航行する船舶所有者たちの入念な準備に加えて、原油価格の急落によりかつての IF0380 価格並みで規制に適合する低硫黄の MGO が供給されたことなどにより、比較的スムーズに実行されました。
- (2) 一方、原油価格の急落は、ECA 海域で操業する船舶運航会社を安心させましたが、2020 年以降の最終一般海域規制に備える対応マインドは低下し、スクラバー投資や LNG への転換が足踏みしていると言われています。
- (3) しかし、新しい規制適合低硫黄燃料油がリリースされるなど、規制への対応策は、ECA 海域でさまざまなトライアル（試行）がなされ、進展しています。ECA の動向は将来我が国やアジア地域の今後の規制に備えるための有用な事例として、注意を払っていくべきです。
- (4) IMO 規制適合の主要な 3 つの選択肢には、それぞれ以下に示した課題があります。

<低硫黄重油>

- ① 競合燃料との価格競争力
- ② 世界共通品質、世界的な供給ネットワーク、技術サービス向上（製品の混合適合性）の必要性

<スクラバー投資>

- ① 信頼性の向上（ECA 海域におけるトライアル）
- ② 汚染水処理に係わる IMO ガイドライン、及び排水システムの確立
- ③ スクラバー設置コストの低減化

<LNG>

- ① 大規模なインフラ投資の実現
 - ② 供給ネットワークの進展（主に定期客船や近距離航行船舶から普及する見込み）
- (5) 来年の秋に MEPC70 でリリースされる予定の IMO レビューに注目する必要があります。いつ一般海域の最終規制が実行されるかが決定されていないことが最大の問題点です。

一般財団法人 石油エネルギー技術センター

ホームページアドレス <http://www.pecj.or.jp/>

本 部 〒105-0011 東京都港区芝公園2丁目11番1号 住友不動産芝公園タワー

| | | |
|------------------|------------------|------------------|
| ●総務部 | TEL・03(5402)8500 | FAX・03(5402)8511 |
| ●調査情報部 | 8502 | 8512 |
| ●技術企画部 | 8503 | 8520 |
| ●自動車・新燃料部 | 8506 | 8527 |
| ○水素利用推進室 | 8513 | 8527 |
| ○自動車・燃料研究(JATOP) | 8505 | 8520 |
| ○企画・規制見直し担当 | 8506 | 8527 |
| ●統計解析部 | 8507 | 8514 |

石油基盤技術研究所

〒267-0056 千葉県千葉市緑区大野台1丁目4番10号
TEL:043(295)2233(代) FAX:043(295)2250

米国長期出張員事務所

Japan Petroleum Energy Center (JPEC)
Chicago Office
c/o JETRO Chicago, 1E. Wacker Dr., Suite 3350 Chicago, IL 60601, USA
TEL:+1-312-832-6000 FAX:+1-312-832-6066

欧州長期出張員事務所

Japan Petroleum Energy Center (JPEC)
Brussels Office
Bastion Tower Level 20, Place du Champ de Mars 5, 1050 Brussels/BELGIUM
TEL:+32-0-2-550-3819 FAX:+32-0-2-550-3737

中国長期出張員事務所

北京市朝陽区建国門外大街甲26号
長富宮弁公楼401
郵便100022
TEL:+86-10-6513-9832 FAX:+86-10-6513-9832



無断転載を禁止します。