

CONTENTS

■特集

◎ 調査報告「米国石油業界を取り巻く市場動向」 1

◎ 技術報告「製油所向けプラットフォームの開発」 23

■トピックス

◎ 「革新的石油精製技術のシーズ発掘事業」 28

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

調査報告

「米国石油業界を取り巻く市場動向」

1. はじめに

世界最大の石油消費国である米国は、世界最大の精製能力を有しており、また世界最大の石油製品輸出国でもあります。

水平坑井掘削や水圧破碎法などの技術進歩がもたらしたいわゆるシェール革命によって、かつては採算上生産が困難であったシェール(頁岩)やタイト・サンド¹からの天然ガスや原油の商業生産が可能になったことをご存じの読者も多いと思いますが、米国はこれら技術の適用をさらに進化させ原油・天然ガスの生産を増加させているフロント・ランナーでもあります。(シェールからの生産は中国などでも行われていますが、生産規模の面では米国が圧倒的に大きくなっています。) 米国では、原油生産拡大に伴い原油輸出が急速に増加している

¹ 在来型の油田やガス田は、地下の貯留層が砂岩であるケースが多いが、砂岩のうち浸透率が非常の低いもの(浸透率 1 ミリダルシ未満の砂岩)をタイト・サンドと呼ぶ。頁岩同様に浸透率が低いため原油や天然ガスの生産効率が悪く、シェール革命より以前は商業生産が進んでいなかった。

ほか、シェール・ガス鉱床から豊富に産出される安価な NGL(天然ガス液²)を原料とする石油化学関連プラントの新・増設も進んでいます。

シェールやタイト・サンドから産出するタイト・オイル、タイト・ガスの増産により世界最大の産油国、産ガス国の地位を占めるにいたった米国の石油市場の需給面に関して、米国長期出張員よりご紹介いたします。

2. タイト・オイル開発と原油生産量の増加

(1) 米国における原油生産量の長期的トレンド

米国の原油生産量は 1970 年代初頭にピークを迎えた後、在来型陸上油田の減退が大きく、メキシコ湾の海洋油田やアラスカでの石油開発にもかかわらず下降トレンドを辿っていました。この、トレンドを大きく変えたのがいわゆるシェール革命です。米国にはシェールやタイト・サンドからの天然ガスや原油が豊富に賦存することは以前から知られていたものの、採算上生産が困難であったものが、水平坑井掘削や水圧破碎法、さらにマイクロサイズミックと呼ばれる微小地震波の解析などの技術進歩に伴う生産の効率化によって、商業生産が可能となり、図 1 に示されているように 2009 年以降原油や天然ガスの生産が飛躍的に増加しました。

米国エネルギー省のエネルギー情報局の統計によれば、2018 年 10 月の平均原油生産量は 10 年前の 2.5 倍の水準まで増加し、月別では米国史上最高の日量約 1,106 万バレルを記録しています。2018 年第 3 四半期(7~9 月)の平均原油生産量と比較すると、米国の生産量は日量約 1,098 万バレルであり、同時期のサウジアラビアの平均原油生産量日量約 1,040 万バレル³を上回っています。(同時期の日本の原油輸入量は日量 308 万バレルで、日本の輸入量の 3.6 年分に相当します。⁴)

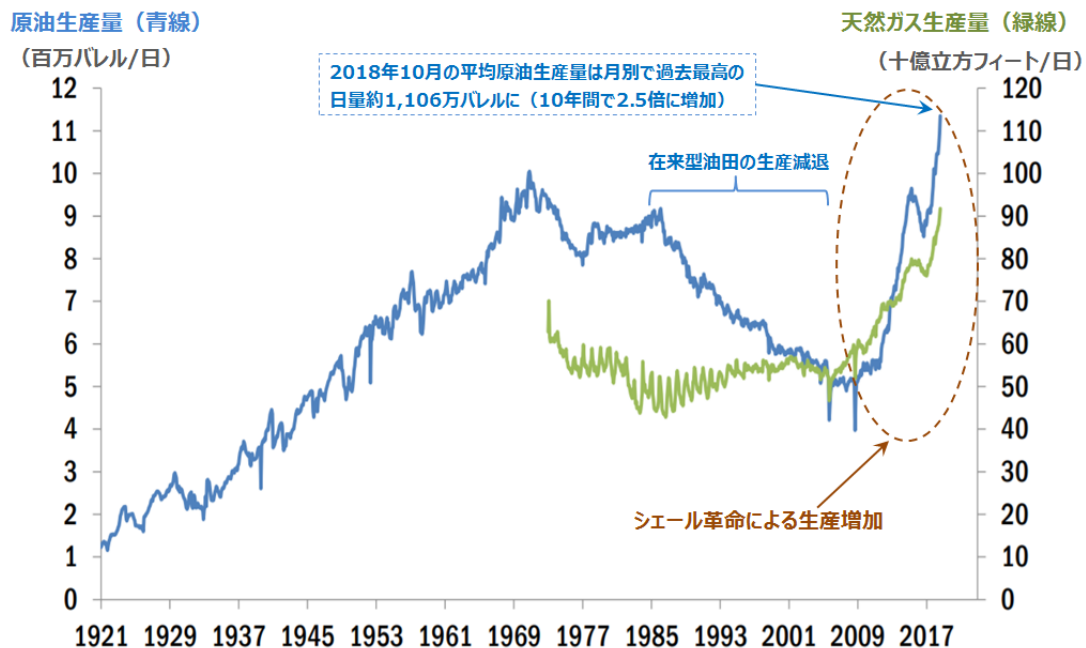
天然ガスに関しても、2016 年以来、米国はロシアを抜いて世界一の天然ガス生産国となっています。天然ガスの増産に伴い、シェール・ガスなどの生産に随伴して産出されるコンデンセート分(NGL：天然ガス液)の生産も増加していて、原油に天然ガス液などを加えた米国石油生産量は、2017 年において世界全体の石油生産量である日量約 9,800 万バレルの 16%に達しています。サウジの 12%、ロシアの 11%を大きく凌いでおり⁵、米国は世界最大の石油産出国としての地位を強固なものにしつつあるといえます。

² 天然ガスが貯留層から地表に産出する際に凝縮・分離する超軽質炭化水素液。

³ 2018 年 10 月 11 日公表の OPEC Monthly Oil Market Report による。

⁴ 経済産業省 2018 年 11 月 14 日公表の石油統計速報(確報) による。

⁵ 米エネルギー省 2018 年 9 月 24 日公表の Fact of the week 1048 号による。



(米エネルギー情報局データを JPEC で加工)

図 1 米国における原油生産量および天然ガス販売用生産量の長期トレンド

(2) タイト・オイルの増産状況

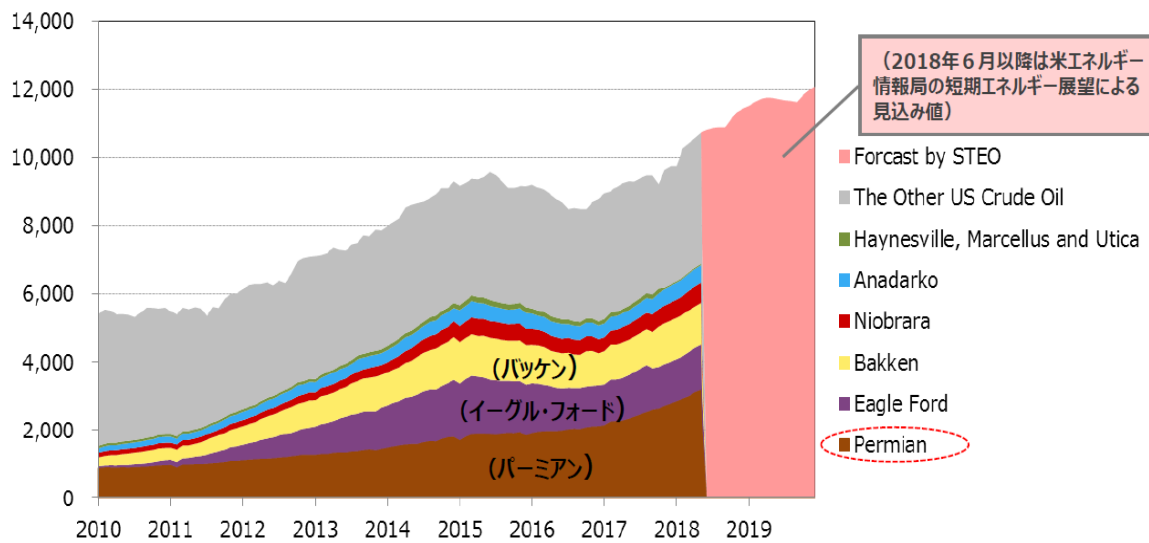
好調が持続している米国の原油生産ですが、図 2 から分かる通り、今やタイト・オイルの 3 大産地(テキサス州のパーミアン地域とイーグル・フォード地域、ノース・ダコタ州のバッケン地域(図 3 参照))における生産量だけで、米国全体の原油生産量の約 50%を占めています。特に、広い鉱床を有し、生産性・経済性に優れるテキサス州中西部パーミアン堆積盆地に開発が集中しており、2018 年 7～9 月平均では、国内原油生産量全体の 3 割以上に相当する日量 339 万バレルを生産しています。

また、パーミアン堆積盆地では、2017 年以降、坑井の仕上げ数が新規掘削数の 70～80%に留まっています。この結果、掘削済みだが仕上げ作業⁶未了のため生産が開始されていない坑井(DUC : Drilled but uncompleted well)の数が 2016 年第 4 四半期以降、大幅に増加しており、本年 9 月現在、2 年前の約 3 倍にあたる 3,700 坑井以上が、比較的早期に生産を開始できる状態にあります。

掘削コスト、操業コストの低減、輸送用パイプラインの拡充などとも相まって、今後数年間は同地域からの増産が継続すると見込まれています。

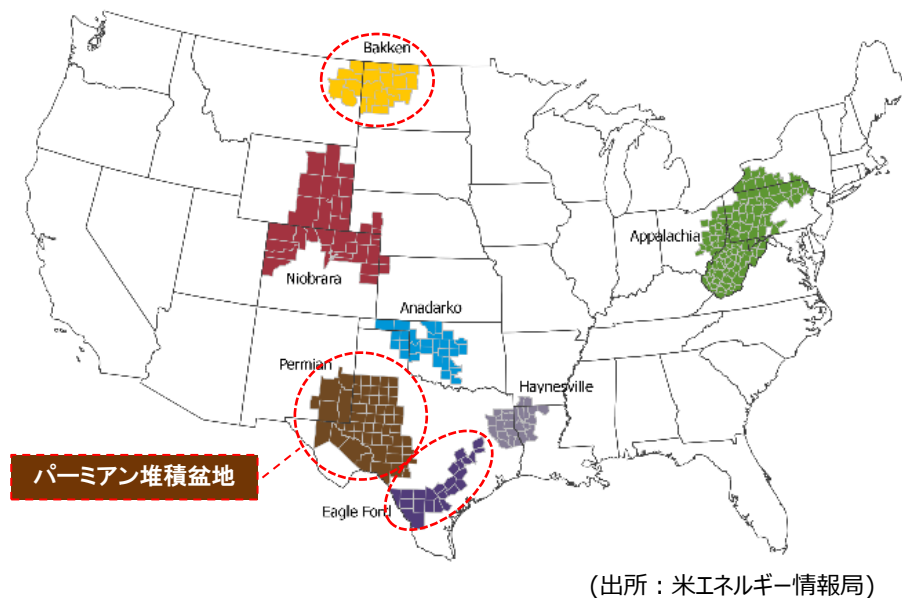
⁶ 仕上げとは、坑井の掘削終了後、石油・ガス生産用の鋼管を坑井にセットし、貯留層の部分の鋼管を穿孔することにより原油や天然ガスが鋼管内に流入する状態を作り、併せてバルブを何段にも重ねた安全装置などを坑口部に設置する作業。

(単位：千バレル/日)



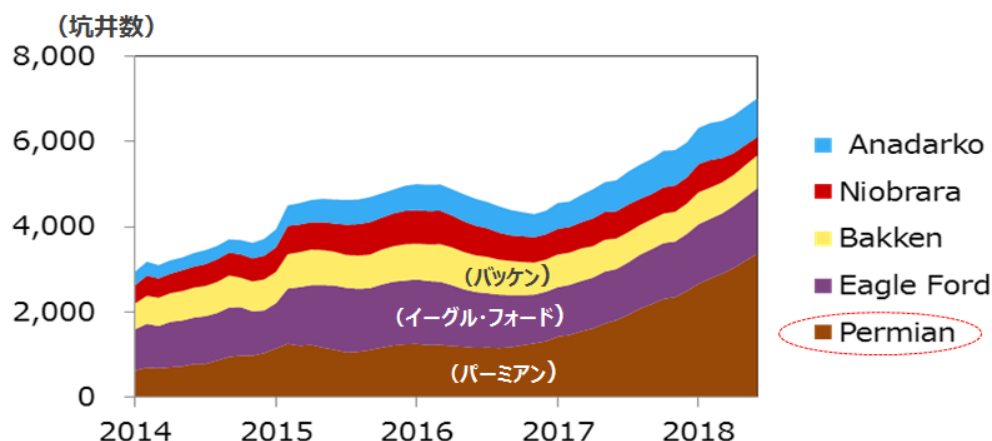
(米エネルギー情報局公表月間データを基に JPEC 作成)

図 2 2010 年以降の鉱床別米国原油生産量推移



(出所：米エネルギー情報局)

図 3 タイト・オイル鉱床図



(米エネルギー情報局公表月間データを基に JPEC 作成)

図 4 主要タイト・オイル鉱床における、掘削済み未仕上げの坑井数推移

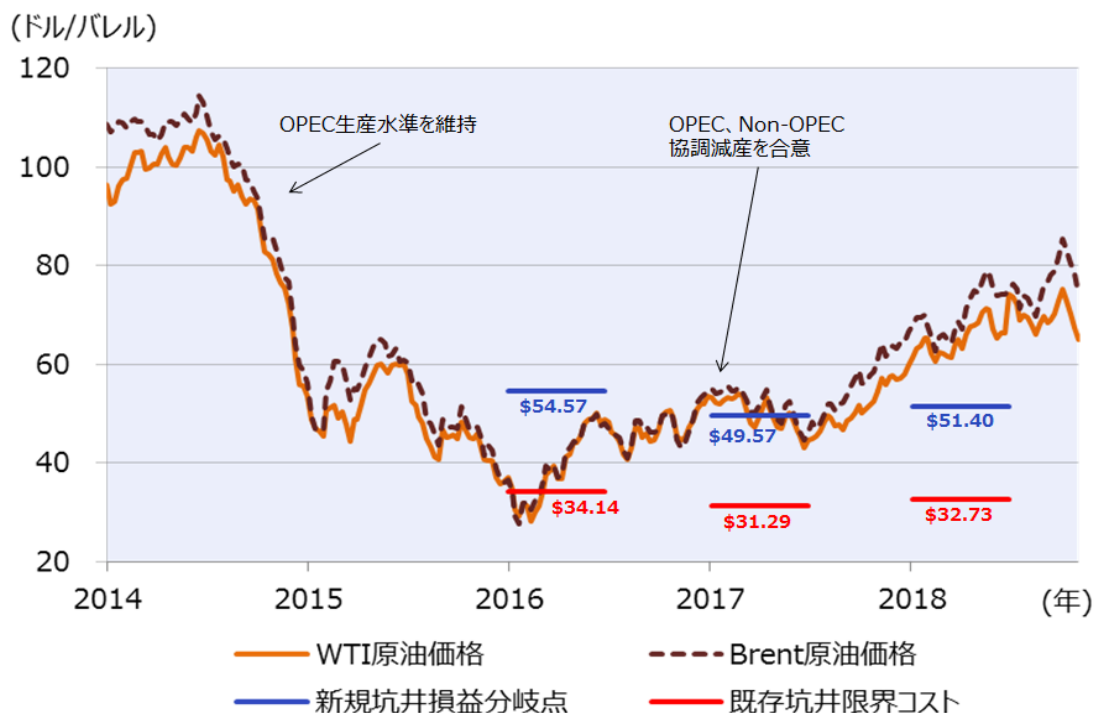
(3)タイト・オイルの生産コスト水準

図 5 は、米国の指標原油である WTI のスポット価格と、WTI よりも国際的な指標原油といわれている Brent のスポット価格データの推移に、ダラス連邦準備銀行が毎年第 1 四半期に行っている石油関連企業へのアンケート結果をもとに試算した米国産シェール・オイル生産に係る新規掘削坑井の損益分岐点価格および既存生産井の操業費をカバーできる限界コストを重ねたものです。

原油価格の変動は大きいものの、2016 年初頭の一時期を除けば、原油価格は既存生産井の操業費をカバーできる限界コストを上回っており、原油価格の大幅な下落局面においてもシェール・オイルの生産を停止せざるを得ないような事態には至らなかったと推測できます。(現実には、シェール・オイル生産者の多くは、原油価格の変動が採算性に与える影響を軽減するために、先物商品を使って原油価格をヘッジしているという事情もあります。)

前述の技術進歩や生産ノウハウの蓄積などにより、新規開発油井の損益分岐点は、2017 年第 1 四半期にバレル当たり 50 ドルを下回るレベルまで低下しましたが、その後の原油価格の上昇に伴い、2018 年第 1 四半期はやや上昇し、\$ 51 程度となっています。一方で、WTI 原油価格は 2017 年半ば以降、上昇トレンドにあり、新規に掘削する油井の利益確保が可能だと思われる水準で推移しています。

図 5 から、2017 年半ば以降、WTI 原油価格が Brent 価格に比べて割安で推移していることが分かりますが、3. (2)で後述する米国産原油のアジアや欧州諸国などへの輸出増加は、この価格差が一因だと考えられています。



(米エネルギー情報局およびダラス連邦準備銀行データより、JPEC 作成)

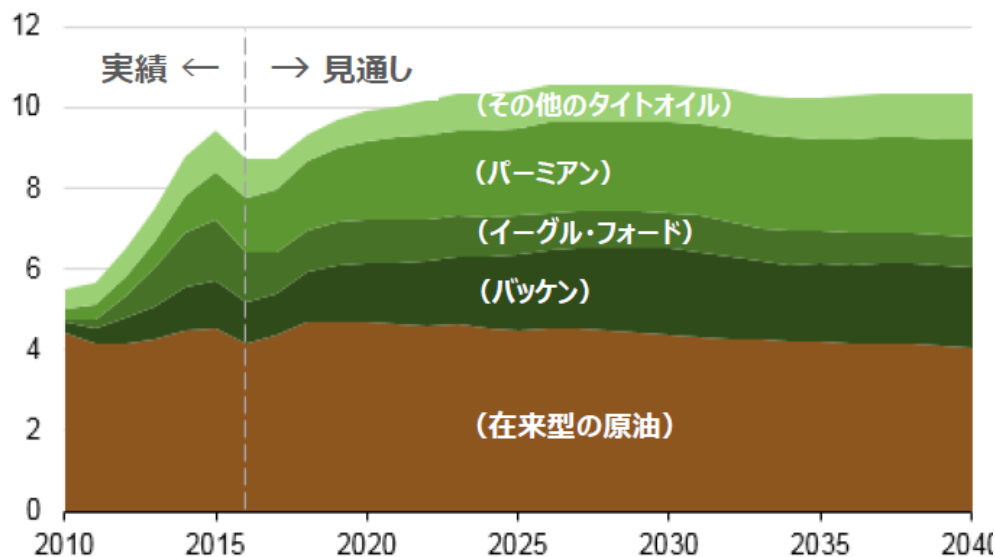
図 5 原油の国際指標原油のスポット価格推移と、米国における新規掘削坑井の損益分岐点および既存生産井の限界コストの推定値

(4) 米エネルギー情報局による米国原油生産量の将来見通し

- タイト・オイルのさらなる増産により軽質低硫黄原油の供給がさらに拡大

米国エネルギー情報局の予測では図 6 に示すように、今後数年間は、パーミアン地域、バッケン地域などにおけるタイト・オイルの増産が継続する見込みです。2017 年はタイト・オイルの生産増により、米国産原油の 56%が軽質低硫黄原油(API35 度以上、硫黄分 0.3%以下)でした。2020 年には米国産原油に占める軽質低硫黄原油の割合は 60%に達し、その後も、タイト・オイルの生産量は堅調に推移するとのシナリオが描かれています。他方、在来型の原油生産は長期的に減退し、2050 年には軽質低硫黄原油が占める割合が 70%になると見込まれています。

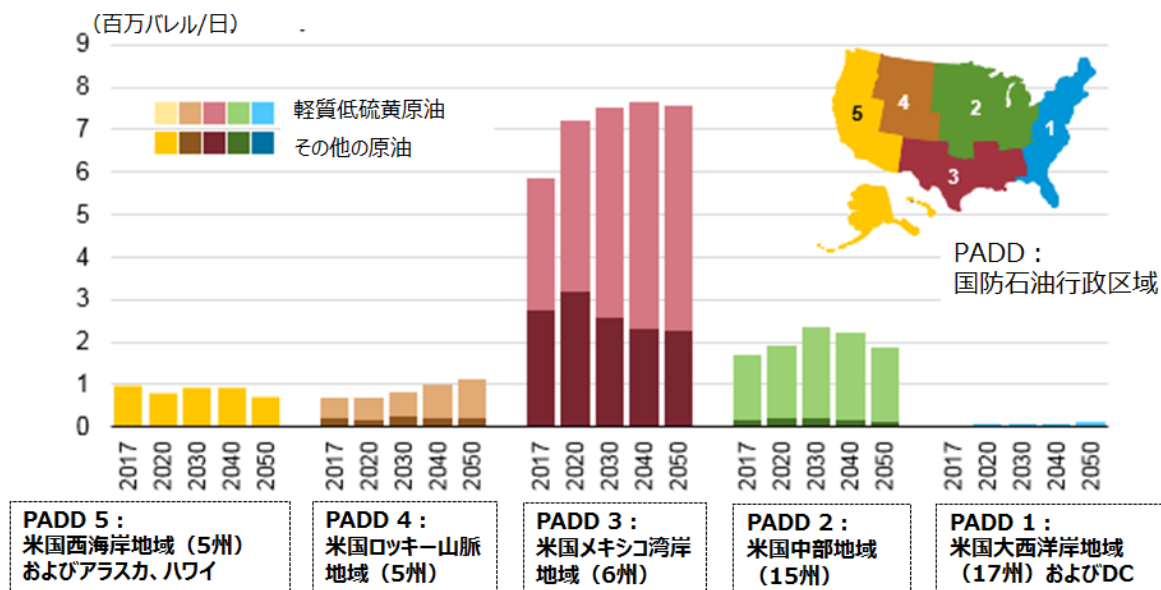
(単位：百万バレル/日)



(米エネルギー情報局データを JPEC で加工)

図 6 年次エネルギー展望(2018)におけるベース・シナリオ

今後の米国原油生産量は、テキサス州のパーミアン地域とイーグル・フォード地域を擁するメキシコ湾岸地域の占める割合がさらに増加する見込みですが、図 7 でも見られるようにノース・ダコタ州のバッケン地域を擁する中西部地域を加えた、2 地域からの原油生産量は、中長期的に米国の全生産量の約 8 割に達する見込みとなっています。メキシコ湾岸地域、バッケン地域ともに軽質低硫黄原油の生産割合が高いことが分かります。



(米エネルギー情報局データを JPEC で加工)

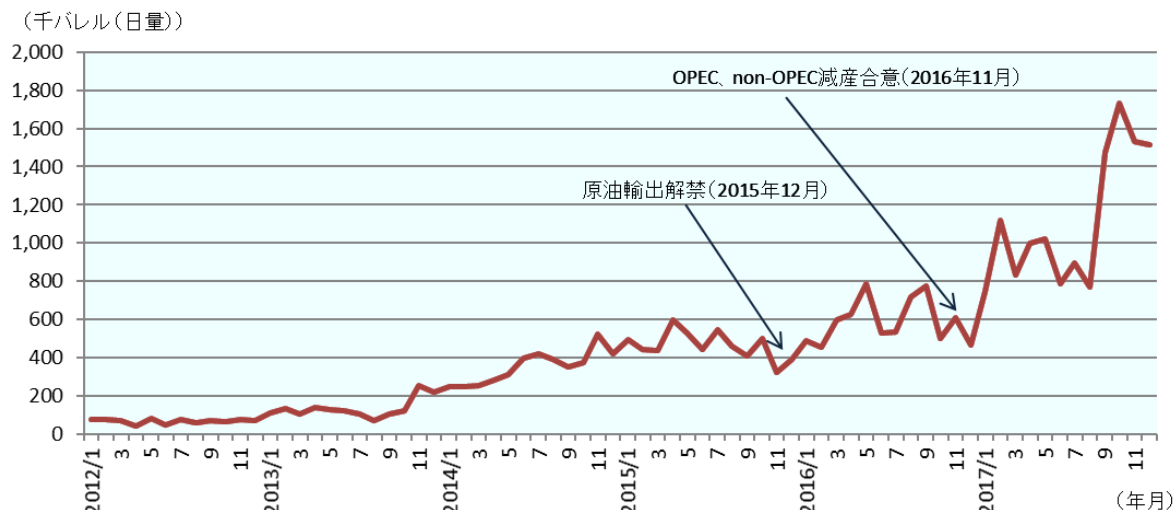
図 7 年次エネルギー展望(2018)における地域別米国原油生産量のベース・シナリオ

3. 原油輸出および原油輸入の現状

(1) 米国産原油輸出の長期推移

米国では、1973 年から 1974 年にかけて発生したアラブ諸国の石油禁輸に伴う米国内のガソリンをはじめとする石油製品価格の急騰に対応して、1975 年にエネルギー政策・保全法(Energy Policy and Conservation Act)が制定され、米国産の原油や NGL(製油所で生産されるブラント・コンデンセートは除く)の輸出は厳重に規制されることとなりました。その後、1980 年代にはカナダ国内での消費を目的とする輸出が、また 1990 年代にはアラスカ原油のアジア市場への輸出などに認可が与えられましたが、2000 年代に入り、最初の 10 年間は極めて少量の原油輸出しか行われませんでした。その後、2012 年以降、カナダの大西洋沿岸地域の製油所が米国中部地域で生産される軽質原油の調達を開始し、当該地域製油所の主要な輸入原油であった西アフリカ産原油は米国産原油に置き換えられていき、2015 年 4 月には、カナダが日量 52 万バレルの米国産原油を輸入するまでに至りました。しかし、カナダの原油輸入市場は飽和状態に近づく結果となり、米国の石油産業は増産するシェール・オイルの輸出先として、カナダ以外にも売り先を確保する必要性に迫られていました。

こうしたことを背景に、2015 年 12 月には、原油輸出解禁(共和党主張)と再生可能エネルギーの税優遇措置(民主党主張)を両議会が承認、オバマ前大統領は、再生可能エネルギー対策が含まれていた背景もあり、2015 年 12 月に原油輸出解禁法案に署名しました。もって米国産原油の輸出は、40 年にわたる実質的な禁輸期間を経て、全面的に解禁されることとなりました。



(米エネルギー情報局提供データより JPEC 作成)

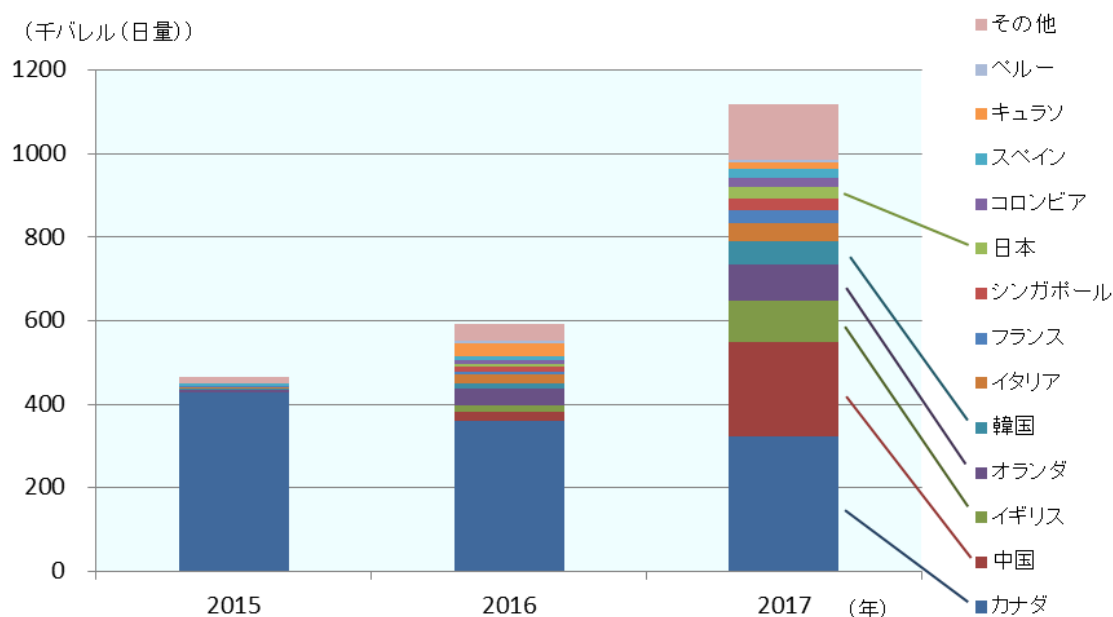
図 8 米国産原油輸出量推移

(2) 2017 年以降は原油輸出量が急増し輸出先も多様化

原油輸出解禁直後の 2016 年は、米国産原油の指標価格である WTI 原油と国際指標価格とされるブレント原油の価格差がほとんど消失してしまい米国産原油に価格競争力が生じなかったこと、原油輸出用のイ

ンフラがまだ未整備であったことなどから、輸出量は日量 40 から 80 万バレル程度の範囲で推移し、従来から禁輸を免除されていたカナダ向けの輸出が総輸出量の約 6 割を占めていました。しかし、米国産原油の生産増に加え、国際指標である Brent 油価が米国国内指標である WTI 価格よりも高価格水準で推移したことから、原油輸出解禁後 2 年目にあたる 2017 年以降は、原油輸出により収益を求める傾向が顕著になっており、図 9 に示されているとおり 2017 年の原油輸出量は日量約 110 万バレル(原油生産量の 10%以上)と 2016 年平均から倍増しています。2018 年に入ってからこの傾向は続き、2018 年 1～6 月の原油輸出量は日量約 180 万バレル程度まで増加(原油生産量の 17%程度)しています。2018 年 6 月単月では日量 230 万バレル水準に達しましたが、その後中国向け輸出の減少などもあり、同年 7～9 月の輸出量は日量 184 万バレル程度となっています。

原油輸出の急増を可能としたのは輸出先の多様化であり、米国からカナダ向け輸出の割合が 2016 年の 61%から 2017 年には 29%へと半減した一方で、中国、韓国、台湾などのアジア向け輸出や、英国、オランダなど欧州向け輸出が増加しているのが特筆されます。特に、軽質原油の需要がある中国は、2017 年に米国からの輸出量の 20%を占める日量 22 万バレル、2018 年 1～6 月には日量 38 万バレルの米国産原油を購入しており、これは米国にとっても中国との間の貿易赤字の削減に寄与する効果がありました。本年 7 月に発動された米国通商法 301 条による中国製品への追加関税賦課への報復措置として、当初 25%の追加関税賦課の対象とされていた米国産原油の中国への輸入は、最終的には報復関税措置の対象外となりましたが、2018 年 8 月以降、中国は米国からの原油輸入を停止していると報じられています。(米エネルギー情報局のデータでも 8 月の中国向け輸出はゼロ。) 11 月末にも行われる予定のトランプ大統領と習近平国家主席の首脳会談の結果、現在の状態に何らかの変化が現れるかどうかが目玉されます。



(米エネルギー情報局提供データより JPEC 作成)

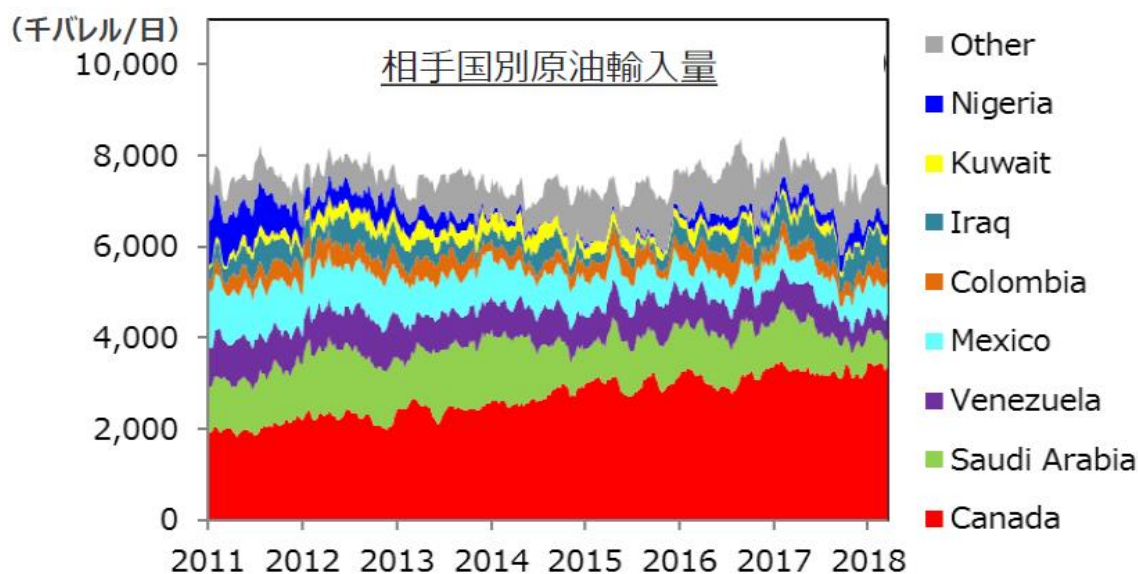
図 9 米国産原油の国別輸出量推移

このような状況の中、米国側では、テキサス州のメキシコ湾岸地域において輸出港やパイプライン輸送能力の拡充など輸出インフラの整備が着々と進んでいます。米国の原油・天然ガス輸送企業 Enterprise Products Partners が、テキサス州ガルベストン港に原油積み込み能力日量約 200 万バレルの VLCC 対応の原油輸出ターミナルの建設計画を進めている⁷ほか、米投資ファンド Carlyle Group⁸ やトレーディング企業 Trafigura⁹なども同州コーパス・クリスティー港に VLCC タンカーへ原油の積み込みが可能なターミナルを建設する計画を進めており、今後も米国産原油の輸出増加と、世界の原油貿易フローの変化が見込まれます。

(3) 原油輸入量は堅調に推移

2015 年 12 月の米国原油輸出の解禁後も、米国の原油輸入量は堅調に推移し、2016 年および 2017 年の輸入量の平均は日量 790 万バレル程度、2018 年 1～9 月の平均輸入量もほぼ同水準の 795 万バレルでした。

米国の石油精製能力の過半数を占めるメキシコ湾岸地域に立地する製油所の多くは、主に南米やカナダ産等の割安な重質原油を輸入し精製することを前提とした装置構成となっており、これらの製油所で処理する原油を軽質なシェール・オイルに置き換えることは技術的・経済的にも困難となっているため、シェール・オイルの増産が続いている一方で、原油輸入量は大きくは減少していません。



(米エネルギー情報局提供データより JPEC 作成)

図 10 米国産原油の国別輸出力推移

⁷ 2018 年 9 月 6 日付ロイター電、ヒューストン・クロニクル紙(電子版) などの報道による。

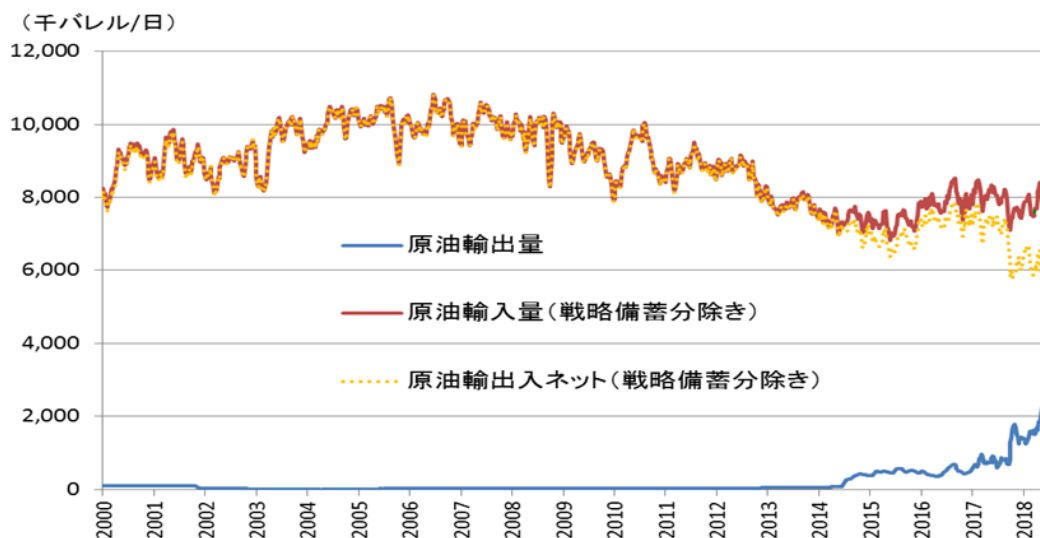
⁸ The Carlyle Group の 10 月 29 日付プレスリリースによる。

⁹ 2018 年 8 月 6 日付ロイター電による。<https://www.reuters.com/article/trafigura-usa-oil/trading-firm-trafigura-looks-to-build-u-s-deep-water-oil-port-idUSL5N1UX4XW>

アクセスが容易で安価なカナダからの輸入は増加傾向にあり、2018 年 1～9 月には輸入量の 4 割以上にあたる日量 344 万バレルの原油がカナダから輸入されています。原油生産量が低下しているメキシコからの輸入は減少傾向ですが、カナダにメキシコを加えた北米からの輸入が総輸入量の約半分となっています。NAFTA の再交渉が妥結し、今後、米国、カナダ、メキシコの 3 国での貿易協定が締結される見込みとなりましたが、今後も米国産原油よりさらに割安なカナダの重質油の米国への輸入は、パイプラインなどの原油輸送インフラの制約の範囲内で増加していくものと考えられます。

(4) 原油のネット輸入超過量は、輸出増加により減少傾向

図 11 に示されているとおり、ピークの 2006 年には平均で日量約 1,010 万バレルに達していた原油の純輸入量は、2017 年平均では日量 680 万バレル程度まで減少、2018 年に入っても減少傾向は継続しており、1～6 月平均では日量 620 万バレル水準まで減少しています。



(米エネルギー情報局提供データより JPEC 作成)

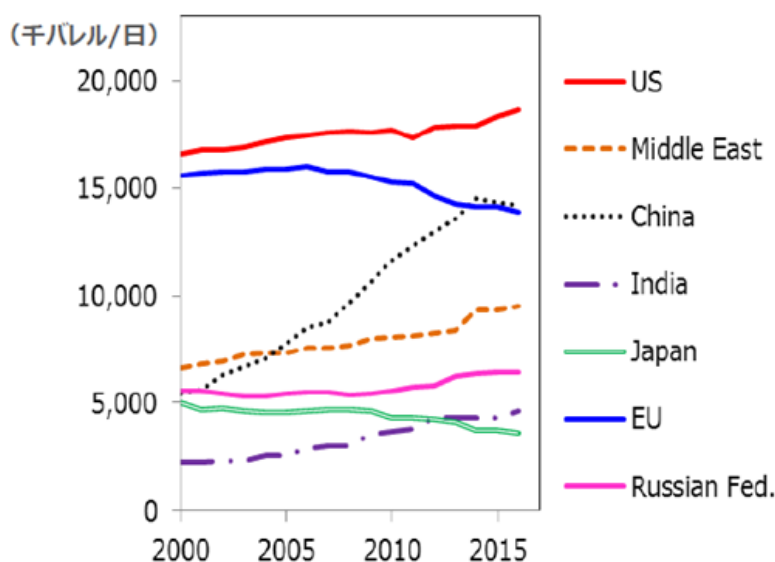
図 11 米国における原油の輸出入量(輸出入ネット)推移

純輸入量減少の原因としては、米国内製油所の処理原油の一部が輸入品から米国産シェール・オイルに置き換えられたことに加え、前述のとおり、原油輸出が全面的に解禁された 2015 年末以降 WTI 油価が Brent 油価より割安に推移していることにより原油輸出が急激に増加していることが挙げられます。しかし、国際エネルギー機関(IEA)をはじめとする各調査機関は、この先 10 年程度は米国が原油のネット輸出国に転じる見込みはないと予測しています。

4. 米国製油所の状況

(1) 世界最大の石油精製能力と高稼働率の維持

米国は過去から世界最大の石油精製能力を誇ってきました。図 12 に見られるように、EU や日本などの先進諸国では 2000 年以降原油精製能力が削減されてきていますが、米国では精製能力が日量約 200 万バレル増強されており、本年 10 月末現在の原油処理能力は日量 1,860 万バレルと日本の約 5 倍以上の規模¹⁰に達しています。

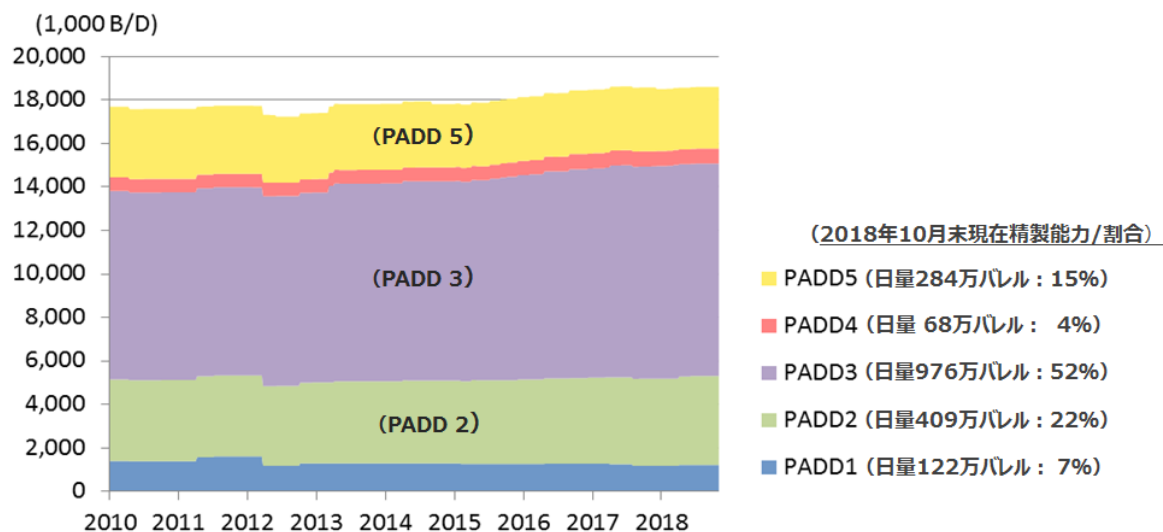


(BP 統計 2017 年版データを基に JPEC 作成)

図 12 主要国の石油精製能力の推移

そして、その巨大な精製能力の 52%にあたる日量 976 万バレルが PADD3(メキシコ湾岸地域)に集中しています。PADD3 に立地する製油所は、米国の大産油地であるテキサス州のパーミアン地域およびイーグル・フォード地域から近く、また豊富で低廉な天然ガスを燃料として利用できるメリットがあります。高度化された設備群、充実したインフラを有し、国際的にも高い競争力を維持しており、近年は石油製品の海外輸出基地としても機能しています。

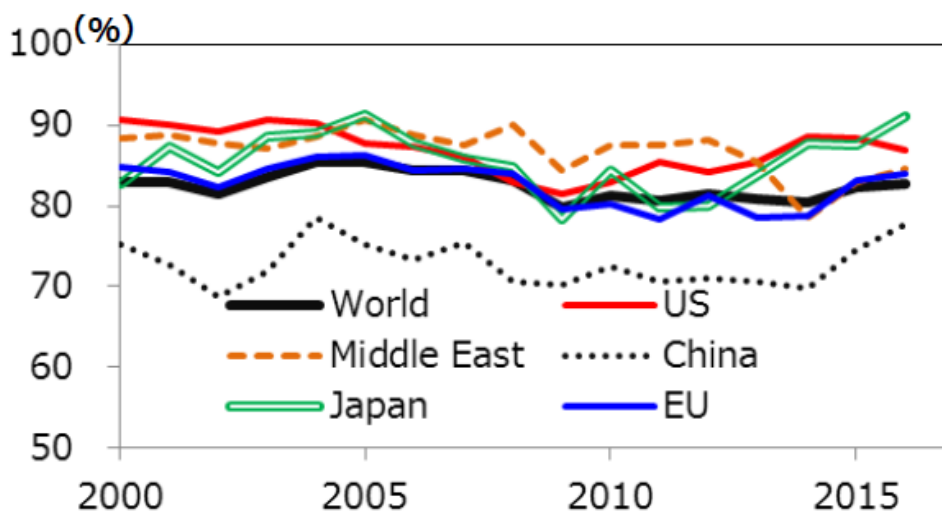
¹⁰ 日本の原油処理能力は 2018 年 3 月末現在で日量約 352 万バレル。



(米エネルギー情報局提供データより JPEC 作成)

図 13 米国の地域別精製能力の推移

また、全米平均の製油所稼働率も、シェール革命による米国産原油の増産と呼応し、2010 年以降上昇しており、世界平均を上回る水準にあります。2017 年 9 月上旬にハリケーン Harvey の影響による停止に伴いメキシコ湾岸地域(PADD3)の稼働率は一時低下しましたが、2018 年 1～9 月の全米平均稼働率は 93%以上となっており、ガソリンや軽油などの生産量も増加しています。



(BP 統計 2017 年版データを基に JPEC 作成)

図 14 主要国の製油所稼働率の推移

以下は米国製油所の地域別(PADD 1~5)の特徴をまとめたものです。

PADD1 大西洋岸地域(17州) およびワシントンDC	・国内原油へのアクセスは限定的。大需要地に近いメリットはあるが、PADD3製油所や海外製油所(EU)との競合により経済性が厳しい環境。近年は精製能力も減少傾向。 ・今後、PADD2製油所から石油製品の流入が増加するとさらに厳しくなると予想される。
PADD2 中西部地域(15州)	・国内原油(バッケン地域より産出)およびカナダ原油のアクセスが良好。 ・現在はPADD3製油所からガソリン供給を受けている。
PADD3 メキシコ湾岸地域(6州)	・国内原油(パーミアン地域、イーグルフォード地域より産出)のアクセス良好。 ・Keystone XLパイプラインが建設されれば、中長期的にカナダ原油も増加見込み。 ・米国の精製能力の過半数を占めるだけでなく、高度化された設備群、充実したインフラを有する。近年は豊富で低廉な天然ガス供給の恩恵を享受。 ・国際的にも競争力が高く、石油製品の海外輸出基地として機能。輸出施設なども拡充。 ・IMO船舶規制(2020年)によりLSFO(低硫黄燃料油)の需要が増加すれば、軽油輸出が増加する可能性。
PADD4 ロッキー山脈地域(5州)	・精製能力は5地域中で最少。 ・地場のガソリンおよび軽油需要に対応。
PADD5 米国西海岸地域(5州) およびアラスカ、ハワイ	・国内原油へのアクセスは限定的。 ・加州では環境規制が厳しく(LCFS、Cap&Tradeなど)、ガソリン需要減に加え精製コスト増加が見込まれる。

5. 米国における石油消費の状況

(1) 輸送用燃料が中心の米国石油製品市場

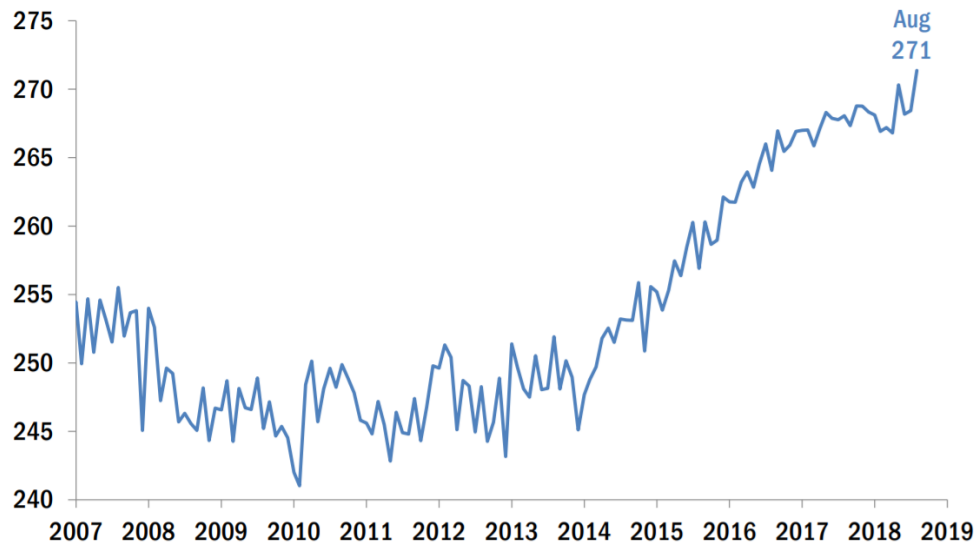
米国は世界最大の石油消費国であり、2017 年においては全世界の石油消費量(日量換算で約 9,840 万バレル)の 20%にあたる日量約 1,990 万バレルを消費しました。(同年に、中国は約 1,240 万バレル、日本は約 390 万バレルの石油を消費しています。) 2010 年と比較した場合、中国やインドなどの石油消費の増加により世界全体の石油消費量は約 11%増加していますが、米国では、同期間の自動車の総走行距離が約 8%伸びていると推定されている一方で(図 15 参照)¹¹、石油消費量の増加は 4%に留まっています。¹²

¹¹ 米国連邦道路管理局による推定値。

¹² 米エネルギー省 2018 年 10 月 1 日公表の Fact of the week 1049 号による。

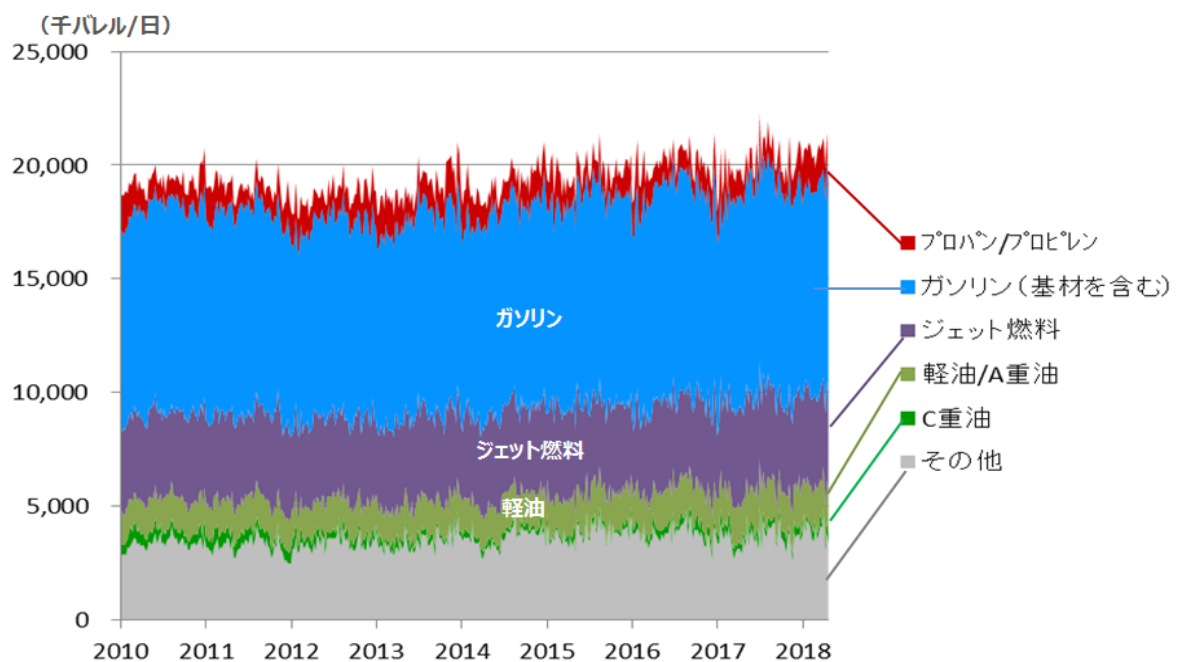
図 16 に示されているように、米国では国内出荷量の 4 割以上がガソリンであり、ガソリンに軽油(日本における A 重油を含む)やジェット燃料を加えた輸送用燃料が、国内出荷量の 7 割以上を占めているのが特徴です。

(10 億マイル)



(出所：米国連邦道路管理局)

図 15 米国における自動車の総走行距離推定値



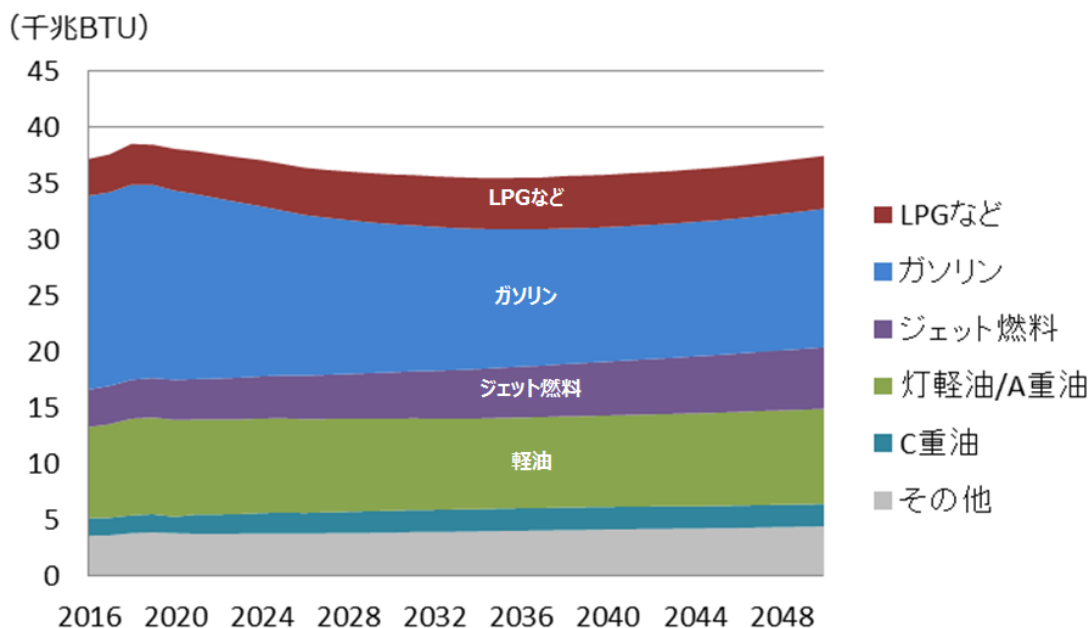
(米エネルギー情報局提供データより JPEC 作成)

図 16 石油製品の米国内出荷の推移

(2) 緩やかな減少が見込まれる国内石油消費

米エネルギー情報局が公表している「年次エネルギー展望(2018 年版)」¹³においては、米国内の石油製品の今後の需要に関して、今後 20 年程度は緩やかに減少するものの、堅調に推移するとのベース・シナリオを描いています。2050 年に向けて米国における乗用車の総走行距離は引き続いて伸びると予想される一方で、内燃機関の燃費のさらなる改善等によって、ガソリンの消費量は 2050 年までの期間で年率 1.0%の割合で減少していくと見込まれています。ジェット燃料は、航空輸送需要の伸びにより 2050 年までの期間で年率 1.5%の割合で増加するシナリオとなっていて、輸送用燃料に占めるガソリンおよび軽油の割合は 2017 年の 84%から 2050 年には 70%まで減少すると見込まれます。

カリフォルニア州など一部の州が、政策的に導入を進めてきた電気自動車にハイブリッド車も加えた乗用車のマーケット・シェアは、2017 年の 4%から大きく増加するものの、2050 年においてもその割合は約 2 割に留まり、ガソリン車のシェアは 2050 年においても 8 割を占めるというベース・ケースが示されています。しかし、このシナリオは、蓄電技術が飛躍的に進歩した場合などには、大きく変わることも想定されます。なお、2017 年における米国のガソリン消費量は日量 933 万バレルでしたが、同年における電気自動車(プラグイン・ハイブリッドを含む)利用によるガソリン消費量の削減効果は日量 1.4 万バレルであったとエネルギー省は試算しています。¹⁴



(米エネルギー情報局の「年次エネルギー展望(2018 年版)」の基準ケースをもとに JPEC 作成)

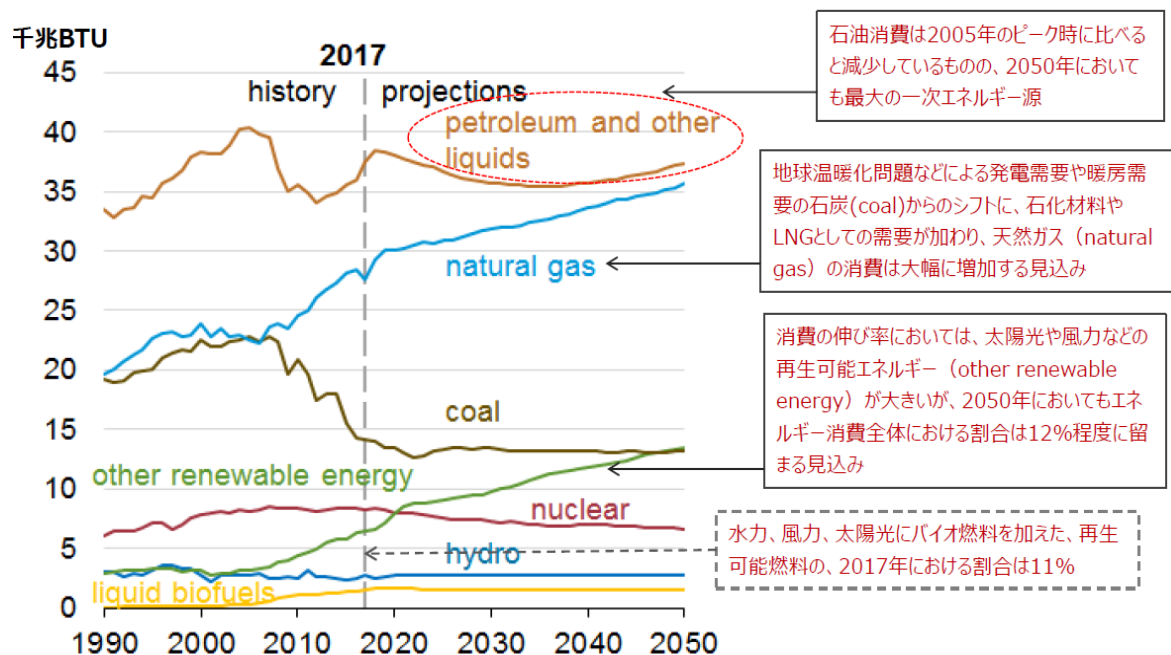
図 17 石油製品消費の将来見通し(熱量ベース)

¹³ <https://www.eia.gov/outlooks/aeo/pdf/AEO2018.pdf>

¹⁴米エネルギー省 2018 年 5 月 14 日公表の Fact of the week 1029 号による。

また、安価で豊富な国産天然ガスの供給を背景として、ディーゼルやガソリンに比べて温室効果ガス削減効果が大きい天然ガスを燃料とする大型輸送用車両が増加しています。米国の輸送部門においては、2017年に天然ガスを434億立方フィート(LNG換算で約90万トン)の天然ガスを消費しましたが、その約8割は大型トラックおよびバスによるものです。1990年から比較すると米国運輸部門での天然ガス消費量は年平均20%以上のペースで増加したことになります。¹⁵

図18に示されているとおり、「年次エネルギー展望(2018年版)」では、石油(petroleum and other liquid)は、2050年までの全ての期間において、エネルギー消費需要を満たす最大のエネルギー源としての地位を占めると見込んでいます。また、地球温暖化問題などによる発電需要や暖房需要の石炭からのシフトに、石化材料やLNGとしての需要が加わり、天然ガスの消費は大幅に増加していく見込みであり、水力、風力、太陽光にバイオ燃料を加えた再生可能燃料の消費の伸び率は大きいものの、2050年においても米国においては化石燃料が一次エネルギー源の太宗を占めるというシナリオとなっています。再生可能燃料に関する技術進歩や環境規制の強化などにより図18のシナリオは変わりえますが、米国全土で考えた場合、再生可能燃料が近い将来化石燃料にとって代わるといったシナリオが実現する蓋然性は極めて低いものと考えられます。



(米エネルギー情報局「年次エネルギー展望(2018年版)」のベース・シナリオ)

図18 米国におけるエネルギー消費の将来見通し(熱量ベース)

¹⁵米エネルギー省 2018年11月5日公表の Fact of the week 1054 号による。

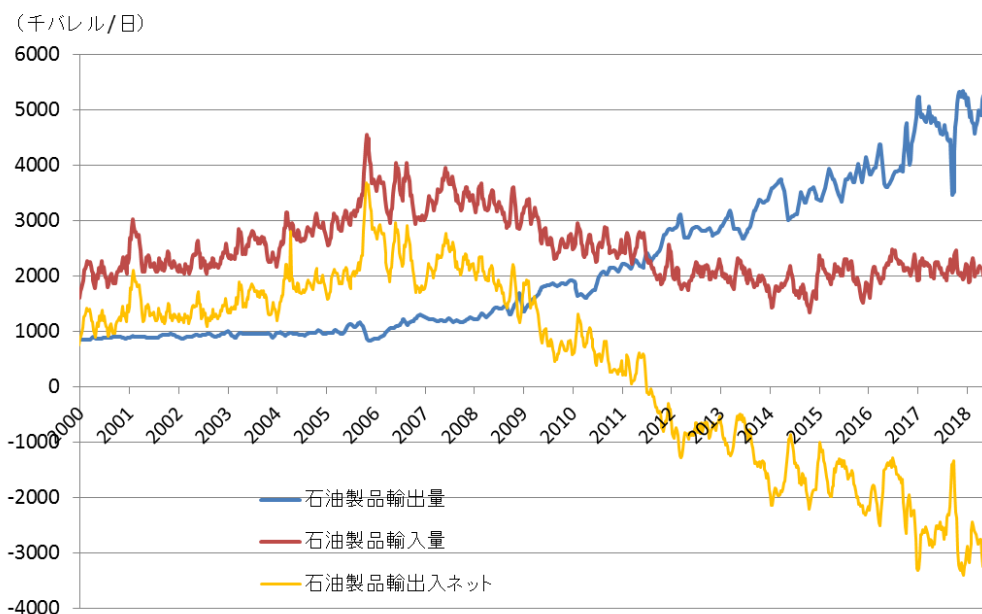
6.石油製品輸出入の状況

(1) 輸出拡大により輸出超過に転じた米国産石油製品

米国では図 19 に示すように、かつては石油製品において総輸入量(グラフの赤線)が総輸出量(グラフの青線)を上回っていましたが、シェール革命による影響などにより 2011 年半ばから、総輸出量が総輸入量を上回るようになりました。これは LPG や軽油留分の増産／輸出量増加に加え、欧州などからのガソリン輸入量が減少したのが主な要因です。2016 年平均では石油製品の総輸出量が、総輸入量を日量 200 万バレル程度上回り、2017 年にはネット輸出量が日量 260 万バレルを上回りました。なお、2018 年 1～6 月の平均は日量 280 万バレル程度の輸出超過となっています。(グラフの黄線はプラスが輸入超過、マイナスが輸出超過を表します。)

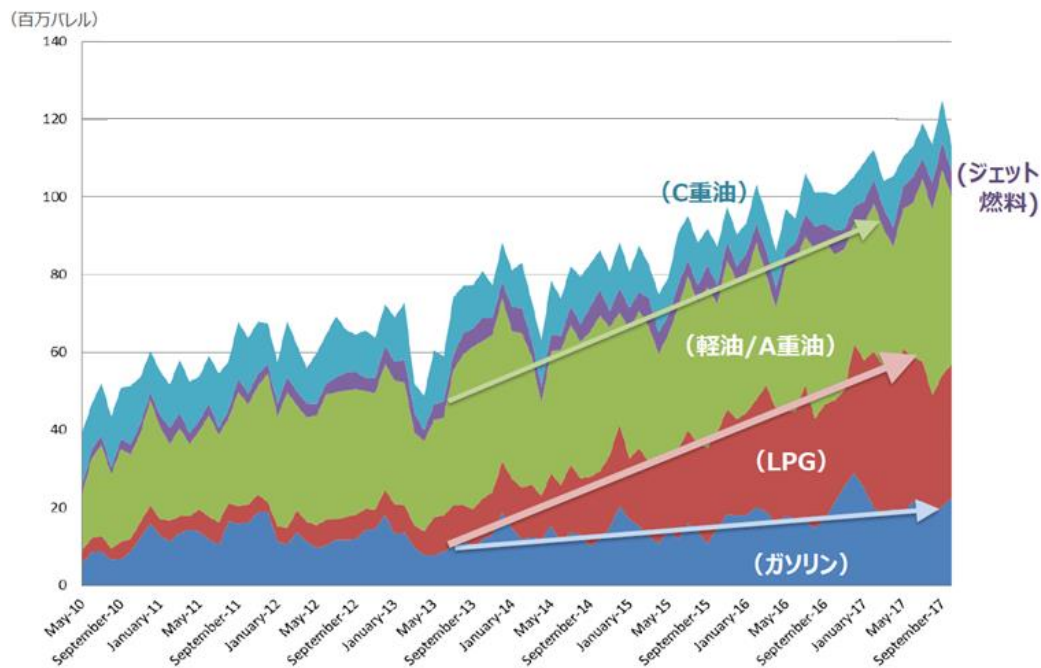
図 20 に示すように、米国からの石油製品輸出は 2013 年頃までは、軽油/A 重油やガソリンなど輸送用燃料油が主でしたが、2014 年ころより LPG の輸出が急増しています。米国の LPG の輸出は 2010 年に輸出超過となって以来、年平均ベースで毎年増加していますが、これはシェール・ガスに随伴されて生産される天然ガス液(NGL)より精留される LPG の生産量増加が主な要因だと考えられています。さらにトランプ政権下では、エネルギー輸出振興政策が取られていて、LPG 輸出のための設備投資も行われています。ガソリンについては東海岸において欧州からの輸入が続いている一方で、ガソリンの国内生産が低迷しているメキシコなど中南米諸国への輸出が米メキシコ湾地域の製油所から行われています。

また、IMO による一般海域航行用船舶の硫黄分規制が 2020 年に強化されることにより、今後 LSFO(低硫黄燃料油)の需要が増加すれば、軽油/A 重油の輸出が増加すると見込まれています。



(米エネルギー情報局公表の週間データを基に JPEC 作成)

図 19 米国石油製品の輸出入量バランス推移



(出所：Nexant 社)

図 20 米国石油製品の輸出推移

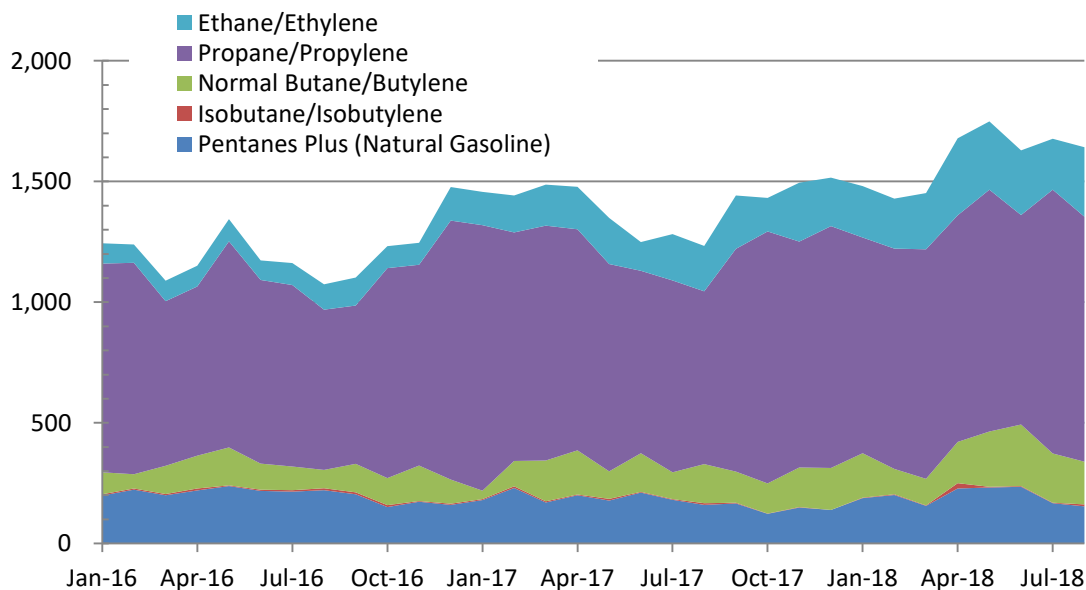
(2) 急拡大した NGL(天然ガス液)輸出

天然ガスの増産に伴い、タイト・ガスなどの生産に随伴して産出されるコンデンセート分である NGL(天然ガス液)の生産が増加していることは既に触れましたが¹⁶、これに呼応して NGL 輸出量も増加し、2017 年 3 月には日量 150 万バレル近い水準に達しました。その後いったん減少したものの、12 月には 150 万バレルを超過し、2018 年 1～6 月では平均で日量 157 万バレルに達しています。米国から輸出されている NGL のうち約 9 割は PADD3(メキシコ湾岸)地域の製油所で生産されたものです。

NGL のうち天然ガソリンと呼ばれるペンタンより重い留分以外は全て LPG として区分されています。輸出される LPG の性状はプロパンが主でしたが、2024 年以降はエタンやブタンの輸出も増加傾向にあり、2018 年 1～6 月平均のプロパンの LNG 輸出に占める割合は 7 割程度となっています(図 21 参照)。

¹⁶ 本稿 2.(1)項

US Exports of Natural Gas Liquid (Unit:Thousand B/D)

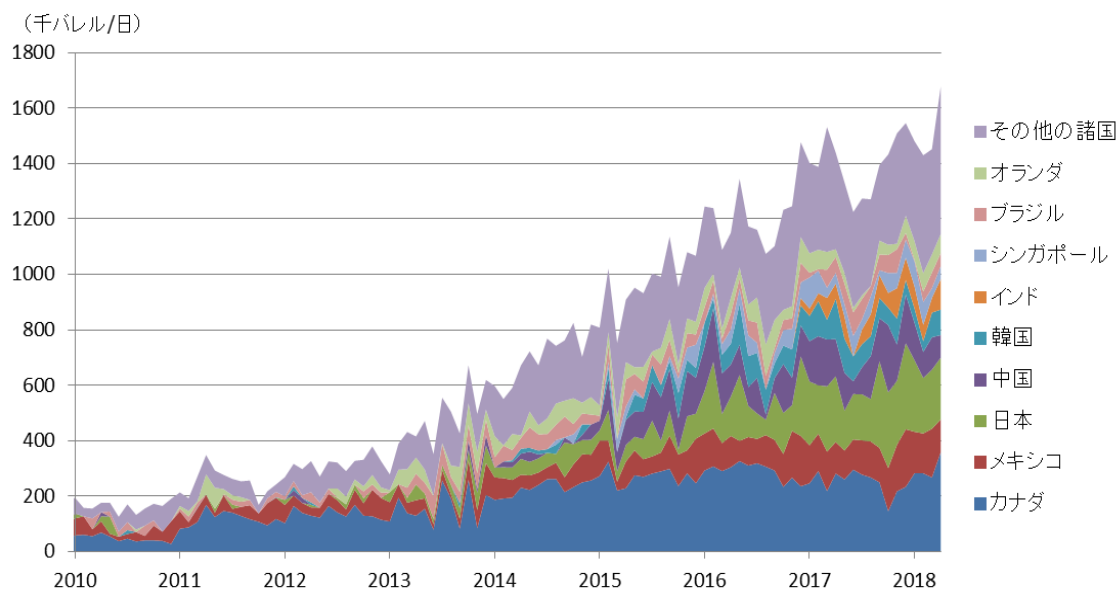


(米エネルギー情報局公表月間データを基に JPEC 作成)

図 21 米国産天然ガス液(NGL)の輸出量推移

米国からの NGL 輸出の増加に伴い、図 22 から分かるように、輸出先にも大きな変化がみられます。2012 年には、NGL 輸出は日量 32 万バレルでしたが、その約 6 割にあたる 19 万バレルは NAFTA 圏内のカナダおよびメキシコへ輸出されていました。しかし、NGL の輸出量が増加するにつれ、アジア向け輸出が大幅に増加し、2017 年平均では、日本、中国、韓国への輸出が全体の 33%にあたる日量 46 万バレル、さらにインドとシンガポールを加えた 5 カ国への輸出が 58 万バレルと、カナダおよびメキシコへの輸出量である日量 39 万バレル(全体の 28%)を大きく上回っています。

日本への輸出は 2017 年平均で全体の 16%にあたる日量 22 万バレルでしたが、2018 年 1~6 月平均ではやや減少し日量 20 万バレルとなっています。一方で、2017 年に日量 15 万バレル(全体の 11%)の NGL を米国から輸入していた中国に対する輸出量は 2018 年に入り減少傾向にあり 1~6 月平均で日量 10 万バレルを割り込んでいます。中国は、米通商法 301 条発動の報復措置として 2018 年 8 月から米国産 LPG や NGL にも 25%の追加関税を課しており、米中貿易摩擦が解決の方向に向かわない限り、中国による米国石油製品の輸入は当面の間、きわめて低い水準となると考えられます。



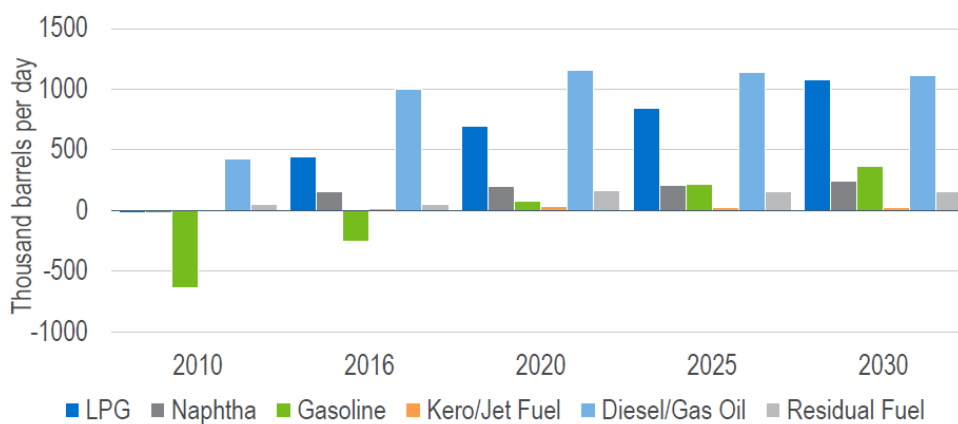
(米エネルギー情報局公表月間データを基に JPEC 作成)

図 22 米国産天然ガス液(NGL)の相手国別輸出货量推移

(3) 米国の石油製品輸出入バランス見込み

JPEC が Nexant 社と行った調査の結果では、巨大な国内需要を満たすために、かつて欧州などから大量に輸入していたガソリンについても 2020 年頃にはネット輸出国に転じると見込んでいます。原油については当面純輸入国に留まるものの、石油製品に関しては全ての油種においてネット輸出国となり、当面は世界最大の石油製品輸出国の立場を維持していくものと予測しています。

United States Refined Products Net Trade



(出所：Nexant 社)

図 23 石油製品輸出入バランスの見込み

7. おわりに

米国では、豊富に賦存するタイト・ガスやタイト・オイルを効率的かつ低コストで生産する技術やノウハウが蓄積され、原油、天然ガスの生産量は飛躍的に増加して、輸出国としての経済効果も出つつあります。米エネルギー情報局は、今後 25 年程度はテキサス州を中心とするタイト・オイルの生産が堅調とのシナリオを描いていますが、国際価格と比べて安価な原油や天然ガスの供給増加により、石油製品や石化製品の生産も増加しています。

最近まで数十年間にわたり、エネルギーの世界ではサウジアラビアやロシアなどが巨大生産国としてエネルギー供給面で優位にあり、1973 年の第一次石油危機以来、米国にとってのエネルギー政策の優先課題は「エネルギーの自立(Energy Independence)」¹⁷、すなわちエネルギーの自給率を高め、中東諸国など他国への依存を軽減して、エネルギー安全保障を高めるというものでした。しかし、本稿で述べてきたような状況の変化も踏まえ、トランプ政権では、米国のエネルギーを束縛から解放(Unleashing American Energy)、米国によるエネルギー支配(Energy Dominance)を目指すという方向に政策を変更しています。¹⁷米国の豊富なエネルギー資源を開発しこれを輸出することにより、国内での雇用創出のみならず、米国の同盟国、友好国などのエネルギー安全保障にも寄与するとの考え方であり、原油、石油製品、LNG などの生産と輸出をさらに振興するために、オバマ政権下で制定された規制の撤廃を次々と進めてきています。

また、長らく世界最大の石油消費国であった米国ですが、米国内の石油消費は緩やかに減少していくと見込まれており、経済性の確保が前提とはなりますが、米国の関連企業は、原油や LNG を含めた石油製品の世界最大の成長市場であるアジアを視野に入れた輸出拡大を図っています。米国産軽質原油の輸出増加による原油貿易の変化や、天然ガスの増産に伴い産出される安価な天然ガス液を原料とした米国内での石油化学プラントの増設とそれに伴うエチレン誘導品の輸出増加は、今後我が国を含むアジア地域における石油製品や石化製品の需給にも影響をおよぼす可能性があります。

現在の米国の石油市場をめぐる動向は、世界の石油製品・石油化学市場に大きな影響を与える存在となっており、引き続き、米国の石油業界の動向に注視してゆきます。

¹⁷ 2017 年 6 月 29 日のトランプ大統領のエネルギー省における公式スピーチより
<https://www.whitehouse.gov/briefings-statements/remarks-president-trump-unleashing-american-energy-event/>

特集

技術報告

「製油所向けプラットフォームの開発」

1. はじめに

我が国の石油産業にとって、製油所の稼働信頼性向上は最重要課題の一つであり、IoT や AI 技術等を活用した製油所設備の異常診断・異常予測は、稼働信頼性向上に資する新たな設備保安管理手法として注目を集めています。

これまで、この種の検討を行う場合は、個社単位、製油所単位で行うことが普通でした。しかし、多種多様の設備の異常解析や異常予測を全て個社や各製油所で検討していたのでは、人的・経済的な負担が大きく、また、いつも十分な量のデータを集められるとは限りません。このような取組みは、個社単位ではなく石油業界全体で行い、得られた技術・データ・知見等を共有した方が、より効率的に進められる可能性があります。

このような背景を受けて、当センターは、設備の異常診断・異常予測のために開発された解析モデル(以下、「解析モデル」と略)や、解析に必要なデータを石油業界全体で共有するための場である「製油所向けプラットフォーム(以下、「PF」と略)」の開発を進めています。本稿では、昨年度の成果を中心に、PF 開発の取組みの概要をご紹介します。

なお、本事業は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の平成 29～30 年度委託事業として実施しているものです。

2. PF の構築

(1)PF のコンセプト

製油所が有する設備データ・点検データ・運転データは、各製油所のルールや導入されているシステムによって、データの種類、表現、単位等が決められています。したがって、複数の製油所のデータを統合して一元管理したり、それを活用した異常診断や異常予測等の解析を行うことは大変困難でした。また、製油所設備の解析モデルを構築する場合、たとえ同種の設備であったとしても、製油所毎でそれぞれ作らなければならず、人的・経済的な負担増、あるいは十分なデータが集まらないことによる精度不足につながっていました。

当センターは、この問題を解決するために、データや解析モデルを集積し、共有する場としての PF の開発、およびそれを可能にするデータプロファイルについて検討を進めています。

図 1 に PF のコンセプトを示します。

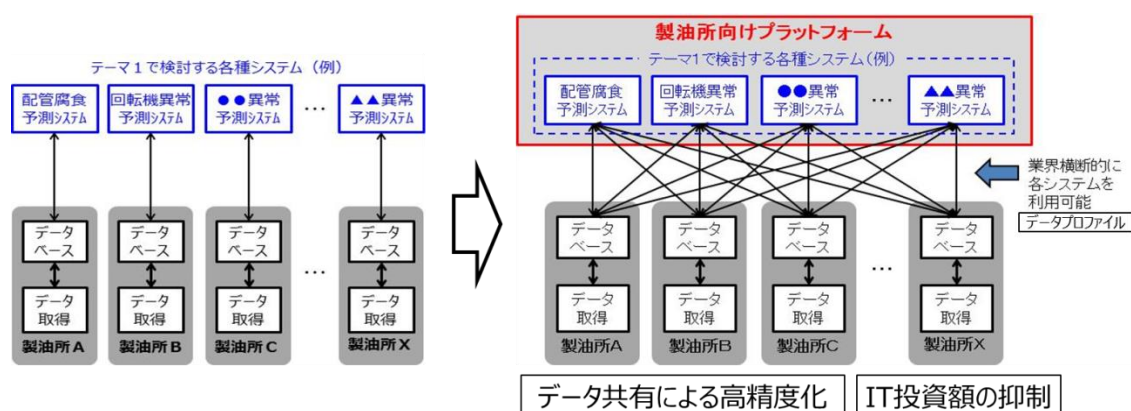


図 1 PF のコンセプト

(2)PF の仕様

PF 構築にあたり、ユーザーである石油精製 6 社からなる PF 仕様検討 WG を設置し、PF の構成、機能、セキュリティなどのあるべき姿について議論を重ねてきました。その結果として取りまとめられた PF の要求仕様について、以下にポイントを記載します。

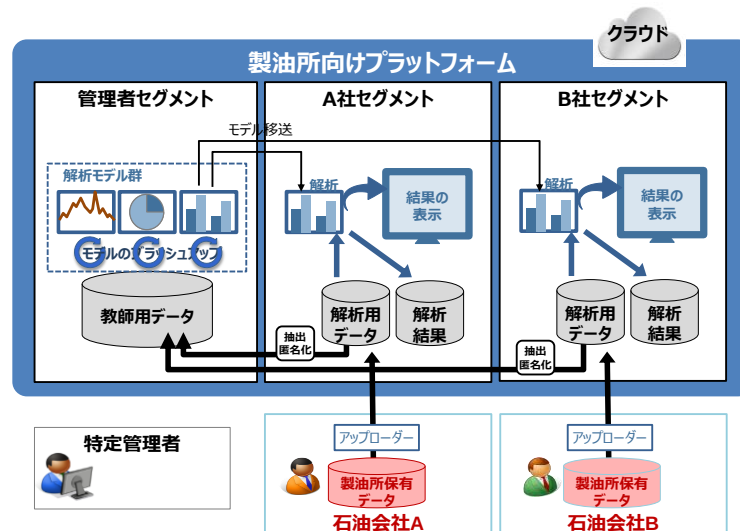
データ解析に係る PF の機能として、

- ・ビッグデータとして蓄積された共有データを用いて、解析モデルの精度向上のための学習を実施。マスターとなる解析モデルを管理者セグメント上に搭載し、共有データを教師データとして用いて学習させることで、配管腐食速度算出のパラメータや、腐食箇所の画像認識の精度向上を実施。
- ・精度向上を図ったマスターの解析モデルは、管理者セグメントから各社セグメントに移送され、ユーザーは自由に解析モデルを活用して解析を実施。

また、取り扱いデータのセキュリティの観点として、

- ・PF はクラウド上に構築し、特定管理者だけがアクセスできる「管理者セグメント」と、ユーザーである各社毎に独立したエリアに分けられ、各社がデータ保管、解析、解析結果の閲覧を行う「各社セグメント」で構成。
- ・ユーザーのデータは各社セグメントにアップロードされ、各社毎のデータを保管。その際、データはデータプロファイルにしたがって標準の形式に変換される。このデータを用いて各社セグメントの解析モデルで解析し、結果を表示。また、各社セグメントには管理者や他社はアクセスできないため、各社のセキュリティを担保。
- ・各社セグメントに保管されたデータの一部が抽出され、さらにどの会社のどの設備のデータかわからないよう匿名化処理がなされ、管理者セグメントに「共有データ」として蓄積。

上記ポイントをまとめた PF の基本構成を図 2 に示します。



(3) 実装する解析モデルとデータプロファイル

各モデルの概要と解析に使用するデータ項目を表 1 に示します。これらのデータ項目は、会社毎・製油所毎で表記方法や単位が異なっていることが多く、このままでは共有データを作成したり、解析モデルによる解析を行うことができません。そこで、当センターでは、データ項目の種類、データストラクチャ、データ型、表記、単位、あるいは選択肢などの統一ルールを定めた「データプロファイル」の策定に取り組んでいます。

解析モデル名	開発者	使用するデータ項目		本事業での検討
		解析用データ	教師用データ	
腐食画像解析	アクセシチュア	・画像データ・腐食判定 ・配管カテゴリ・撮影日 ・ロケーション・配管名など	・画像データ ・腐食判定 ・配管カテゴリ	データプロファイル策定およびPFへの実装
配管内面腐食予測	日揮PI	・腐食系統・使用年数 ・配管形状・材質分類 ・運転温度・配管サイズなど	解析用データと同じ（一部匿名化）	データプロファイル策定まで
CUI発生予測	旭化成	・設備名・使用期間 ・設計・環境/温度条件 ・保温材/塗装情報など	解析用データと同じ（一部匿名化）	データプロファイル策定まで

(4) PF の試作

作成した要求仕様に合わせて、アクセンチュア株式会社で要件定義をして、PF を試作しました。試作段階であるため、PF 上には画像解析による腐食評価システムのみを実装しています。

試作した画面を図 3 に示します。ユーザーは、それぞれ割り当てられた ID とパスワードを使って、製油所横断 PF のトップ画面に入ります。この画面では使用する解析モデルを選択することができます。画像解析による腐食評価システムを選択した場合は、図 3(下)に示すように、解析モデルの画面に遷移し、使用することができます。

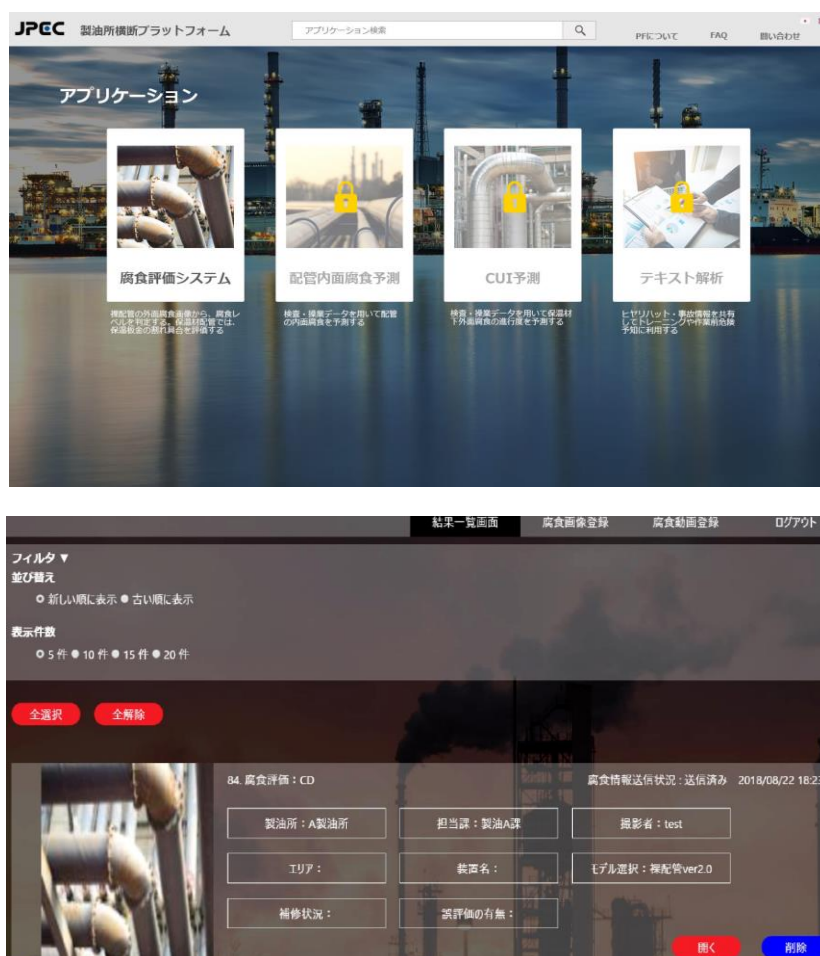


図 3 製油所横断プラットフォーム
(上)トップ画面 (下)腐食評価システム画面

3. PF の今後の展開

ここまで石油産業内でのデータ共有、解析モデル共有を前提として検討を進めてきました。しかしながら、例えば、配管の外面腐食の解析モデルなどは、製油所だけではなくプラント装置産業であれば、同様に活用できると考えられます。また、共有するデータ量を増やすことができれば、解析モデルの精度もさらに上げられる可能性があります。そこで、今後の展開として、当センターでは石油産業だけではなく、他産業として石油化学と連携し、データ共有によって広がる様々な可能性について調査していく予定です。

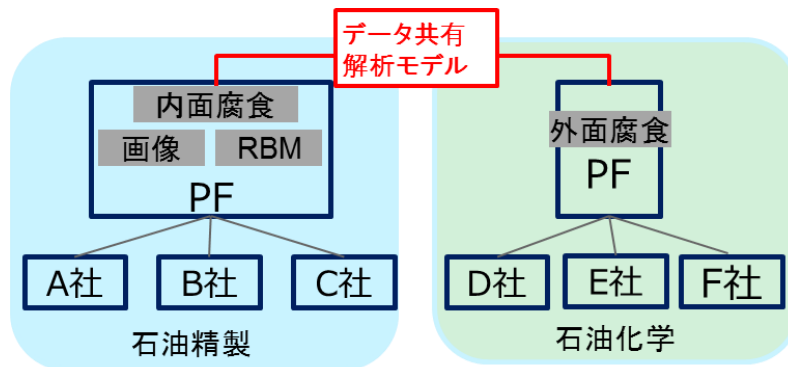


図 4 PF の連携について

トピックス

「革新的石油精製技術のシーズ発掘事業」

2018 年 1 月号で概要を紹介した若手研究者を対象とした上記事業が 3 年目の最終年度となりました。7 月号、9 月号に続き、本号では、「簡易型プロセス監視・制御シミュレータを用いたノンテクニカルスキル実践訓練手法の開発(東北大学)」を紹介します。

簡易型プロセス監視・制御シミュレータを用いたノンテクニカルスキル実践訓練手法の開発

東北大学大学院工学研究科

准教授 狩川大輔

(1)研究の背景と目的

生産設備の安定した稼働を実現するためには、機器のトラブルに対する対策に加えて、ヒューマンエラーの発生やその影響拡大を防止する能力の向上を図ることが必要不可欠と言えるでしょう。近年、航空、海運、医療、原子力等の産業分野では、チームによるエラーマネジメントを行う上で重要なスキルとして、業務に直接的に関係する専門知識やスキルである Technical Skill に加えて、それを補完する認知的・社会的スキルである Non-Technical Skill (NTS)¹⁾に関する訓練が実施されています。例えば、コミュニケーションスキルやワークロードマネジメントスキルなどが NTS の一部です。NTS に対する関心の広がりにも見られるように、組織的なヒューマンエラー対策の重要性に対する認識は様々な産業界において高まっていると言えるでしょう。しかしながら、NTS 訓練の導入等のエラー対策が現場に受け入れられ、期待された効果を発揮するためには、「人は誰でも間違える」というヒューマンファクターズの基本に対する理解の促進を図り、組織を構成する個人個人にヒューマンエラーを自分自身の問題として捉えてもらう基盤を作ることが最も重要です。

そこで本研究では、石油精製プラントのオペレータを主たる対象として想定し、全ての NTS の基礎となる基本的なコミュニケーションスキルに特化した NTS 訓練手法の開発を行っています。その際、単に表面的なスキルの習得のみに着目することなく、訓練中における体験を通じてコミュニケーションスキルの重要性に対する訓練参加者の気づきと納得を促し、ヒューマンファクターズの基本に対する理解の促進を重視した訓練とすることを目指しています。「コミュニケーションスキル」という用語は非常に幅広い意味を持ちますが、ここでは、「製油所のオペレータが、聞き手にとって分かりやすいように考えて、操作指示や報告、あるいは確認等の発話を行えるスキル」を意味することとします。

(2)提案する訓練の概要

NTS 訓練の特徴は、インストラクタが訓練参加者に対してスキルを教示し、望ましい行動をとることができるように「躡ける」のではなく、訓練参加者自身がその重要性に気づき、自発的にスキルを発揮できるようにする点にあります。それを支援することがインストラクタの役割となるため、NTS 訓練では、インストラクタではなく「ファシリテータ」と呼ばれます。明らかな正解がある訓練の場合とは違い(例えば、訓練の場合では、多くの時間や手間暇をかけてでも「安全最優先」の行動をとって何らかの問題や不利益が生じることなど皆無でしょう)、実際の現場では、安全性と生産性のトレードオフや、タイムプレッシャーなど適切な対処を困難にする様々な条件が存在する中で、意思決定を行わなければなりません。そのような状況下でも NTS を重視して行動し、ヒューマンエラーを防ぎながらオペレーションを行えるようにするためには、単なる「躡け」ではなく、なぜその行動が重要なのかを本人自身が理解していることが必要不可欠なのです。このような考え方に基づいて、本研究では、2名のチームによって簡単な模擬プラントシミュレータを操作するタスクを通じて、コミュニケーションスキルがコミュニケーションエラーの発生に与える影響について体験的に学ぶ訓練を開発しました。

① 訓練用シミュレータ²⁾

図1に訓練用模擬プラントシミュレータの画面例を示します。本シミュレータは、操作者と指示者の2名によって運転され、その目的は、上部の2つのタンク(図1(a))の中のナフサを攪拌しながら混合し、下部中央のタンク(図1(b))に所定の量の混合ナフサ(製品)を作ることです。操作者は、指示者が発出する指示に従って4つの弁と3つのミキサーを操作し、制限時間内に前述の目的を達成しなければなりません。本シミュレータは、実際の石油精製プラントに比べればはるかに単純ではありますが、操作者は指示者の指示を聞くことと、可燃物であるナフサを扱うプラントの状態を監視することの2つのタスクを同時に実行することを求められるなど、コミュニケーション訓練用として十分な複雑さと難度を備えているとのコメントを実際に本システムの操作を体験した石油業界関係者から頂いています。もちろん、実際のプラントの操作時に適切なコミュニケーションスキルを発揮できるようにすることが本来の訓練目的であり、現実的なプラントシミュレータを用いた訓練も重要であることは言うまでもありません。しかし、本研究では、まず石油業界の皆様へ NTS について広く知って頂くこと、そしてヒューマンファクターズの理解促進に貢献することを目的として、短時間で容易に実施可能な訓練方式をとることとしました。



図1 訓練用模擬プラントシミュレータ²⁾

② 訓練の流れ

本訓練では、表 1 に示す 5 つの基本コミュニケーションスキルに配慮された形で指示が発出される場合(良コミュニケーション条件)と、配慮されていない指示が発出される場合(悪コミュニケーション条件)の 2 つの条件下におけるシミュレータ操作を体験してもらい、その体験に基づくデブリーフィングを通じて、コミュニケーションスキルの向上を図ります。本訓練は、訓練参加者 2 名、ファシリテータ 1 名で実施します。初めにファシリテータが訓練の趣旨等の最低限の説明を行った後、参加者が指示者と操作者に分かれてシミュレータの運転を行います(事前評価フェーズ)。次に、参加者が一人ずつ順番に操作者となり、合成音声によって発出される良コミュニケーション条件、悪コミュニケーション条件それぞれに対応した指示を受け操作を行います(訓練フェーズ)。その後、訓練フェーズにおけるコミュニケーションエラーや運転操作のしやすさ等の体験をもとに、望ましいコミュニケーション条件に関して議論してもらいます。また表 1 に示す基本コミュニケーションスキルや、コミュニケーションエラーが関係する事故事例などの説明を行い、それらを踏まえて自身のコミュニケーション改善に向けた具体的な目標を 1 つ決めてもらいます。最後に、事後評価フェーズとして、改善目標を意識しながら再度参加者 2 名によるシミュレータ操作を行い、事前フェーズにおける評価結果との比較を通じて、基本コミュニケーションスキルを意識しながらコミュニケーションを行うことの効果を実感してもらうというのが本訓練の流れです。

表 1 基本コミュニケーションスキル

1	用語の統一
2	適切なタイミング
3	適切な情報量
4	適切な速さ
5	重要箇所の強調

(※参考文献 3)より一部改変の上、引用)

(3) 予備的有効性評価

本訓練の有効性評価実験は、実際のオペレータの方々を対象に行うことが望ましいことは言うまでもありません。しかし、その前段階として、平成 29 年度は、大学生 15 組 30 名(うち男性 17 名、女性 13 名)を実験参加者とした評価実験を行いました。実験は前節で述べた各訓練フェーズに沿って行いましたが、参加者が実務経験のない学生であるため、デブリーフィングでは、アルバイトや研究室等におけるコミュニケーションエラー経験について議論・共有し、実生活と結び付けて理解と納得を促すようにしました。実験では、(1)実験者 2 名による行動指標を用いたコミュニケーション状態の評価(事前評価フェーズと事後評価フェーズを比較して、コミュニケーションが改善したか)、(2)参加者に対するアンケートの 2 つの方法により評価を行いましたが、ここではスペースの都合により、アンケート結果の一部についてのみ紹介します。

アンケートのうち、5 段階評価での回答を求めた設問に関する結果を表 2 に示します。回答結果には天井効果が見られるため詳細な結果の解釈は不可能ですが、少なくとも各質問項目について肯定的な回答を得ることができていると考えられます。

表 2 アンケート結果(5 段階評価)

質問項目	平均	標準偏差
この研修内容の分量は適切であった	4.70	0.78
研修時間は適切であった	4.77	0.67
資料はわかりやすかった	4.53	0.62
この研修におけるシミュレータ操作やグループ討議は、内容の理解に役立った	4.97	0.18
グループ討議では自分の意見を出しやすかった	4.93	0.25
研修内容について納得できた	4.93	0.25

※1(同意できない)-5(同意できる)の 5 段階による回答

また自由記述回答の中から、本訓練の訓練構成に関するコメントを以下に列挙します。

- ・ 「操作→デブリーフィング→操作」により、スキルの向上を実感しやすかった。
- ・ コミュニケーションの要点を実感し、実践することができ、勉強になった。
- ・ 実体験との結びつきがあって良かった。

上記の各回答に見られるように、シミュレータ操作体験の間にデブリーフィングを挟んだ構成や、実生活との関連付けを含んだデブリーフィングなど、本研究が提案する一連の訓練の枠組みが参加者の納得感向上に寄与していることを示唆する結果を得ることができました。

(4)まとめ

これまでに述べてきたように、本研究では、NTS の基盤であるコミュニケーションスキルの向上とその重要性に対する気付きを促す体験型訓練の開発と予備的評価を行ってきました。紙面の都合で割愛しましたが、訓練効果の評価に用いる行動指標や、ファシリテータ向けのガイドラインの開発も行っており、今後はそれらの訓練用ツールの充実を図ると共に、実際のオペレータの方々を対象とした訓練の試行にも取り組んでいきたいと考えています。なお、本訓練で取り上げている基本コミュニケーションスキルは、NTS 全体のごく一部にすぎません。分かりやすい参考書⁴⁾もありますので、これらの書籍や本訓練をきっかけとして NTS を広く知って頂き、石油産業界の現場を熟知した皆様方の手でさらに発展させ、安全・安定操業のために活用して頂くことができれば望外の幸いです。

参考文献

- 1) Flin, R., et. al.: “Safety at the sharp end”, Ashgate Publishing Limited, 2008.
(邦訳: 小松原他訳: “現場安全の技術－ノンテクニカルスキル・ガイドブック”, 海文堂, 2012.)
- 2) 今他: “体験型コミュニケーションスキル訓練の開発と展望”, ヒューマンインタフェース学会研究会報告集, Vol. 20, No. 1, pp. 1-4, 2018.
- 3) 熊野他: “コミュニケーションスキル検証環境の開発と評価”, ヒューマンファクターズ, pp. 2-17, 2017.
- 4) 異業種交流 安全研究会編: “命を支える現場力－安全・安心のために実務者ができること－”, 海文堂, 2011.

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(J-MAP)	8505	8520

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 Center)

1 E. 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

長富宮井公楼 401

郵便 100022

TEL: +86-10-6513-9832 FAX: +86-10-6513-9832



本調査は経済産業省の「平成 30 年度石油精製に係る諸外国における技術動向・規制動向等の調査・分析事業」として JPEC が実施しています。無断転載を禁止します。