

I. 石油を取り巻く環境

究極の重質油分解装置

(消費地精製の総仕上げ)

SCE-NET エネルギー研究会
原 晋一*

*E-mail : sharasetsu@yahoo.co.jp



1. はじめに

石油エネルギーは、気候変動の問題もあり、世界的にはその伸びの抑制が叫ばれているが、エネルギーとしての利便性から今後30年はエネルギーの主役であると予想されている。一方我が国においては人口減少による需要の減少が大きく、石油産業の規模の縮小が避けられず、企業の統合や連携が進められている。

この統合・連携により、生産効率の低い製油所は生産停止となると考えられるが、その先、今後考えられる船舶燃料の低硫黄化や、電気自動車の普及等による製品構成の変化、さらには地政学的要因による原油ソースの不安定化や温暖化問題から、装置産業である石油精製においては装置構成を大きく変えて対応する必要であると考えられる。

そのためには、石油資源量が多くかつ中東地域以外の地域に賦存している超重質原油の処理可能化や、需要がほぼなくなる重油生産の停止や、質的に需要の持続性が続くと考えられる中間留分石油製品の生産への特化が必要である。その方法は、原油中にある重質残渣油、特に減圧残渣油を、分解する能力を拡大することだが、現在進んでいる企業の統合・連携により原油処理装置の停止、引いては減圧残渣油分解能力の上昇が行われる事は一つの動きである。ただこの動きのみでは、さらに将来必要と考えられる燃料重油生産の完全停止化や、原油ソースの重質化に対しては、不十分で、中間留分を多く生産でき、かつ超重質原油を含む重質油を完全分解できる重質油分解装置の新設、その中でも原油中の最重質留分である減圧残渣油をほぼ完全に分解できるスラリー床水素化分解装置

の新設が、効果的である。

その時、投資効果を大きくするには、現在進んでいる統合・連携の動きを更に進め、装置産業の特性を生かすべく、各製油所・企業が共同で大規模な重質油分解装置を建設・運営することが効果的である。

このことにより、原油がほとんどない我が国が石油産業の基本方針として設定して来た、消費地精製主義の総仕上げが行われると考えられる。

今回、石油産業の統合・連携の生産サイドから見た意味と、その動きを受け継ぎ、今後さらに必要とされる生産効率化のあり方を経済性を含め、石油精製技術の面から、以降3回に涉って解説する。

2. 石油の情況

2-1. 特徴と用途

エネルギーを必要とする2大用途は表1に示すように発電と輸送である。このうち、石油は値段が比較的高い事と、温暖化に影響する炭酸ガスの排出係数が高い事から、発電用途には使われなくなってきた。ただ、石油は単位容量当たりの発熱量が大きく、常圧下液体である事から燃料として取り扱いが容易であるため、自動車や、航空機や船舶等の内燃機関を駆動機とする輸送用エネルギーに使われ、今後もエネルギー源として重要な役割を担っている。

表1 エネルギー源の用途と特徴

種類	主たる用途	発熱量 ¹⁾ [kcal/L]	排出係数 ¹⁾ [kg-CO ₂ /kWh]	価格 ²⁾ [\$/T]	発電単価 ³⁾ [円/kWh]	密度 [kg/L]
石油	輸送用燃料	8,462	0.264	480	22.1~36.0	0.837
石炭	発電	5,104	0.354	81	9.5~10.3	0.8 ⁴⁾
天然ガス	発電	5,276	0.202	490	10.7~10.9	0.46 ⁴⁾
太陽光	発電	—	—	—	20.0~38.3	—
風力	発電	—	—	—	17.3~23.1	—

1) 2006 IPCC Guideline for National Greenhouse Gas Inventories × 比重

2) 2013年平均

3) 2011「コスト等検証委員会報告書」エネルギー・環境会議

4) 石炭：充填かさ密度、天然ガス：LNG

2-2. 世界エネルギー需要見通し

石油は世界的に、将来の温暖化の主要原因燃料である事や、値段も比較的高い事から、需要の伸びがこれまでより低くなると予想されているが、輸送用燃料としての利便性を基に今後も需要の伸びは続き、**図1**に示されるように2030年においてもまだエネルギーの主役と考えられている。日本においては、後述の通り需要の伸びはマイナスと考えられるが、航空機や重量車両燃料として使用され、主要なエネルギー源として位置づけられる。

すなわち、将来の需要変化に対応した石油製品を、効率よく生産するための石油精製装置について、今、考えておくべきであると考えられる。

3. 石油を取り巻く環境と見通し

3-1. 国内石油の情勢

現在我が国の石油産業における主要な動きは、精製と販売を取り扱う中・下流部門の統合と連携である。これは、売り上げ高1位と3位の企業統合と、2位と5位の企業による連携の動きである。

これは、自動車燃費の向上や少子化による石油製品需要の低下と、それに伴う製品価格の低下による収益性の悪化に対応するため、精製装置の効率化と販売網

表2 石油製品需要減少 (石連「今日の石油産業」2016年)

油種別需要減少割合 (2010 → 2014)			
ガソリン	: 2.1 %減/年	灯油	: 4.9 %減/年
石化ナフサ	: 3.2 %減/年	軽油	: 1.2 %減/年
ジェット燃料 (国際航空含)	: 2.0 %増/年	A重油	: 5.2 %減/年
		B・C重油	: 3.2 %減/年
全体: 2.3 %減/年			

表3 各石油製品の対原油価格差 (2012年8月～2016年7月、業転価格一ドバイ原油 (FOB) 価格)

製品—原油	[\$/B]	製品—原油	[\$/B]
ガソリン	18.9	HSFO	-2.5
灯油	17.4	原油	82.8
軽油	18.9	(API: 36)	

表4 真空残渣油分解装置能力の対常圧蒸留装置能力比較

国名	対ADU	国名	対ADU	国名	対ADU
中国	12%	米国	8.40%	日本	3.50%

(真空残渣油分解装置: デイレードコーカー, 沸騰床水素化分解装置, フレキシコーカー, ユリカ)

の整備に向けた動きである。

表2に各石油製品の需要動向, **図2**に製品と原油の価格差動向, **表3**に製品油種別の対原油価格差を示す。これから分かるように、収益性改善策の要点は、対原油価格差がマイナスの重油の生産を減らすことと、安価な原油を原料として製品の生産を行う事である。後述するが、原油は重質であるほど安価である。重油の生産を減らし、重油留分を多く含む重質原油を処理すれば収益は上がる。それには、重質油分解装置が必要だが、日本には米国や中国に比べて重質油の分解装置が少ない。その状態を**表4**に示す。

3-2. 世界の石油情勢

3-2-1. 原油情勢

原油情勢を原油重軽価格差という指標で考えてみる。それは今話題の軽質原油であるシェールオイルの動向や、今後生産割合が増えて来ると考えられる重質なオイルサンドやイラク原油の動向により影響される指標だからである。

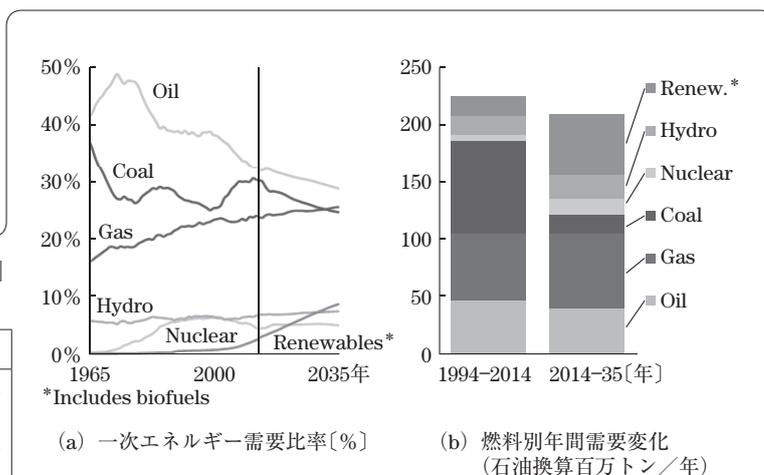


図1 世界1次エネルギー需要見通し (BP World Energy Outlook 2016)

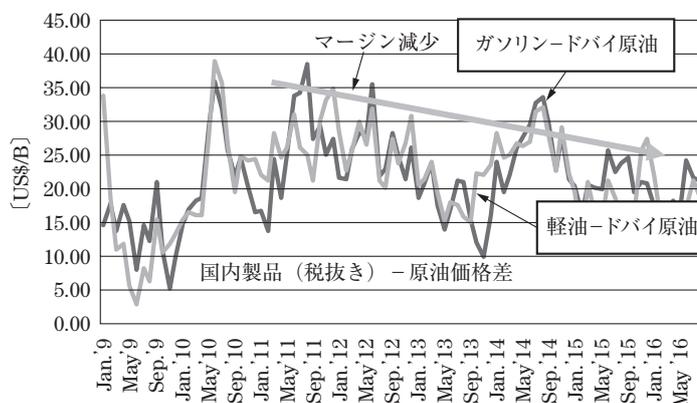


図2 石油製品価格 (業転) —原油価 (FOB) 格差の動向

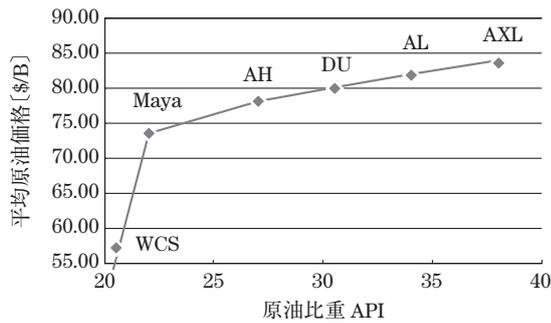


図3 原油比重と原油価格の関係 (2010~2014年)

(1) 原油重軽価格差の意味

原油価格は比重が小さい(軽い)ほど高く、大きい(重たい)ほど低い関係にある。その状態を図3に示す。ここでAPIとは、アメリカ石油学会が制定した油の重さを表す値で、 $API = 141.5 / \text{比重} - 131.5$ で計算される。価格データ採取の期間は2012年8月から2016年7月である。AXL (Arabian Extra-Light Oil) からAH (Arabian Heavy Oil) はサウジアラビアの原油である。Mayaはメキシコ、WCS (Western Canadian Select) はカナダのオイルサンドに軽質油をブレンドした原油で、カナダのオイルサンドベースの原油は他の原油に比べ格安である。また、この図には載せていないが、中東にも多量の重質原油がある。例えばイラクとの国境近くで生産されるクウェートのLower-Farsと言う原油のAPIは16であり、価格はこの時期60\$/Bで、同じく格安の原油だと言える。なおALはArabian Light OilでDUはDubai Crude Oilの略である。

今後このような、これまで我が国では処理していなかった原油を処理する事は、収益性が大きく上がる方法だと考えられる。また、この図3に示されるようにAPIと価格の間には相関があり、1API当たりの原油価格差の値を俗にAPI価格差(API differential)と呼ぶことがあり、この値は構造的な原油価格の変化には影響されるが、短期的な原油価格の上下に対し比較的変動が少なく、投資による重質油分解能力の改善等を計画する場合、この値の将来の動向が一つの重要な判断要素となる。原油価格と原油重軽価格差(API diff.)推移を図4に、API diff.と製品価格の相関図を図5に示す。

(2) 原油重軽価格差に影響する要因

原油重軽価格差は、図5に示すように軽質な石油製品と重質な石油製品の価格差との相関が比較的強くあるが、世界の石油情勢、すなわち石油の埋蔵地

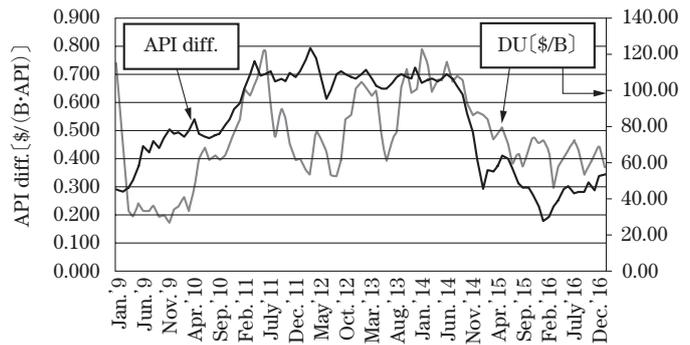


図4 原油価格(DU)と原油重軽価格差推移

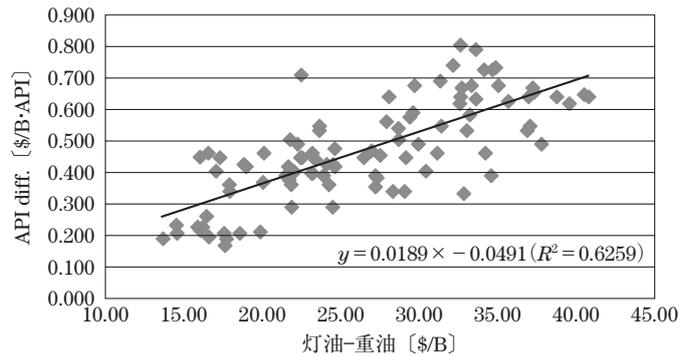


図5 灯油-重油価格差(K-FO)とAPI diff.の相関 (2009 Sep.~2017 Jan.)

域の政治・経済動向や生産動向、あるいは世界的な化石燃料需要動向等エネルギー全般を取り巻く構造にも影響を受ける。

現状において考慮すべき要因は、次のようなものがあると考えられる。

- ・世界の石油需要と、中東の在来型原油の生産動向
- ・シェールオイルの生産動向
- ・米大陸と中東の超重質・重質原油の生産・輸送インフラ動向
- ・世界の石油製品油種別需要動向

次に各動向につき説明する。

3-2-2. 原油重軽価格差への原油の需要と生産の影響

(1) 世界の石油需要と中東在来型原油の生産動向
 昨年末、IEAのWorld Energy Outlook (WEO2016)が発表され、その中で2015年に日量92.5百万バレルの石油消費が、2040年には日量103.5百万バレルになると見通しが示された(図6)。これは年率0.45%の伸びで、これまでの石油消費の伸びの予測が1%/年以上(WEO2012: 1.6%/y)であったのに比べ大幅な低下である。これは将来の世界気候変動に対する緩和策を考慮した結果である。

この伸び率を2030年の需要予測に使うと、日量6.4百万バレルの原油の増産が必要である。

ところが現在、在来型原油生産のうち64%に当たる59百万バレル/日の原油において年率5%から7%の生産減少が起こっている (HSBC Global Reserch, Kim Fustier etc., “Global Oil Supply, 2016 September) と (図7), その減少分約30百万バレル/日需要増分を合わせて合計約35百万バレル/日の原油が新たに生産される必要がある。増産が行われると予想される主要な原油は、軽い原油では、米国のシェールオイル、重たい原油では埋蔵量の多い米大陸の超重質原油や、チグリス・ユーフラテス河南部の重質原油等がある。以下これらの生産動向や油田状況を見ていく。

(2) 軽質原油 (シェールオイル) の動向

シェールオイルは頁岩の隙間に賦存するAPI比重が40以上ある非在来型軽質原油で、生産コストが約40\$/B以上の原油で、生産は水平に油井パイプを水平方向に伸展し、頁岩の隙間に高圧水を注入し岩石を割り、かつその隙間の間にプラバントと呼ばれる砂を入れ、開かれた隙間が閉じるのを防止し

ながら油分を抽出して生産する比較的高コストの方法で行う。一つの油井の寿命は5年から10年と短いため、次々に井戸の掘削が必要で、多額の掘削費用の手当てが必要なため、金融システムが整った環境が必要である。これまで2011年から生産量が急激に増え始め、2015年1月に5百万バレル/日弱の生産でピークを打った。その間2014年6月から始まっていた世界的原油価格の低下による影響により新たな生産井の減少が起き、生産の減少が起こっていた。

しかし新たな米国政権の自国原油生産支援の方針への期待と、2016年末のOPECによる原油生産カットの合意を受け、今年の2月から生産の増加に転じた。埋蔵量は生産が進み油田の情報が豊富になると、生産技術の進歩も伴い増えており、技術的回収可能埋蔵量は、2010年に330億バレルだったものが、2013年1月には782億バレルとなっている。

将来の生産見通しについて2017年1月にEIAがAnnual Energy Outlook 2017 (AEO 2017) を発表しており (図8), それによると基準ケースにおいて、Brent原油価格が100\$/Bで賦存量が800億バレル弱の場合、2025年に現状(4百万バレル/日強)より2百万バレル/日生産増加が行われ、その後2040年までその状態を保つことができると見通している。すなわちシェールオイルの生産は今後2025年までに6百万バレル/日強となり、それを15年間は維持できるとの事である。しかし2013年から2040年までの累積生産量は590億バレルとなり、技術的回収可能埋蔵量の75%強生産することになり、この値はこれまでのシェールオイルの歴史においては高過ぎるとの見方もある (J David Hughes, Post Carbon Institute “2016 Tight Oil Reality Check” Dec.

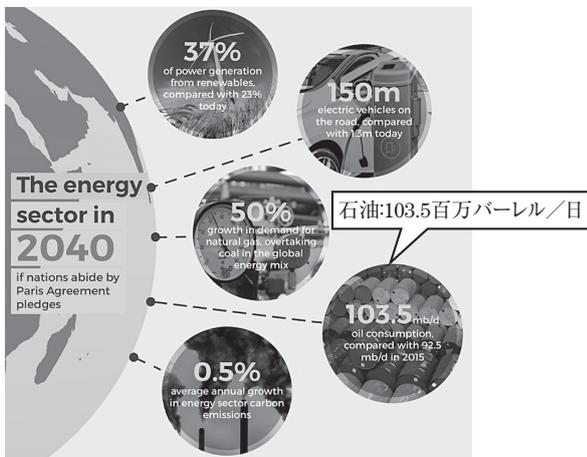


図6 IEA World Energy Outlook 2040 (IEA 2016 Nov.)

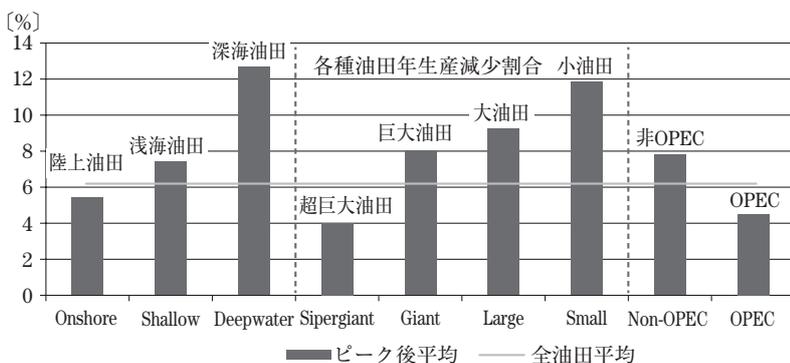


図7 在来油田の生産減少 (HSBC “Global Oil Supply” Sept. 2016)

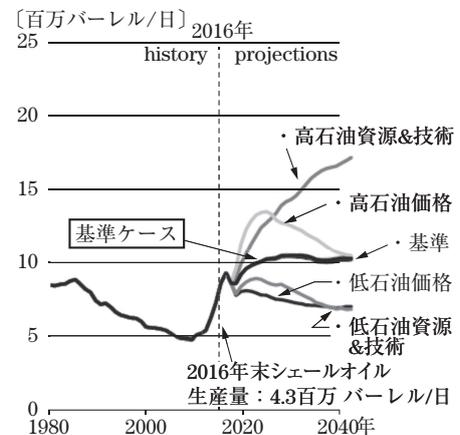


図8 米国原油生産見通し (Annual Energy Outlook 2017, EIA 2017 Jan.)

2016)。

米国のこの生産見通しから米国石油の輸出の見通しを図9に示す。この図で分かるように基準ケースでは輸出はないと見通している。すなわち、シェールオイルは大きい増産量が考えられるが、米国がこれまで輸入していた原油の輸入減少が起こるとしている。そのためこれまで米国が輸入していた軽質原油が他の地域に出回ってくると考えられ、それは2030年までに増産が必要な原油量の内約30%程度に対しその影響が出ると考えられる。

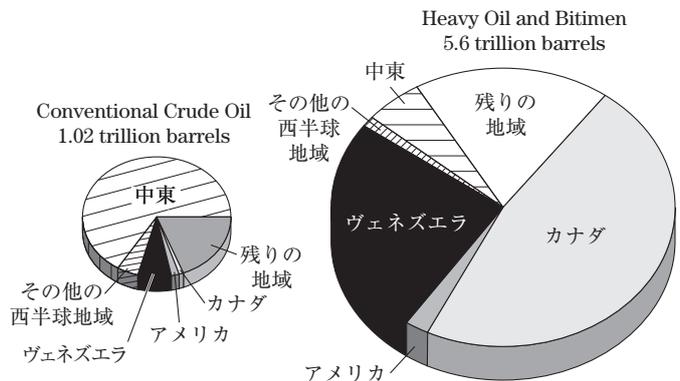
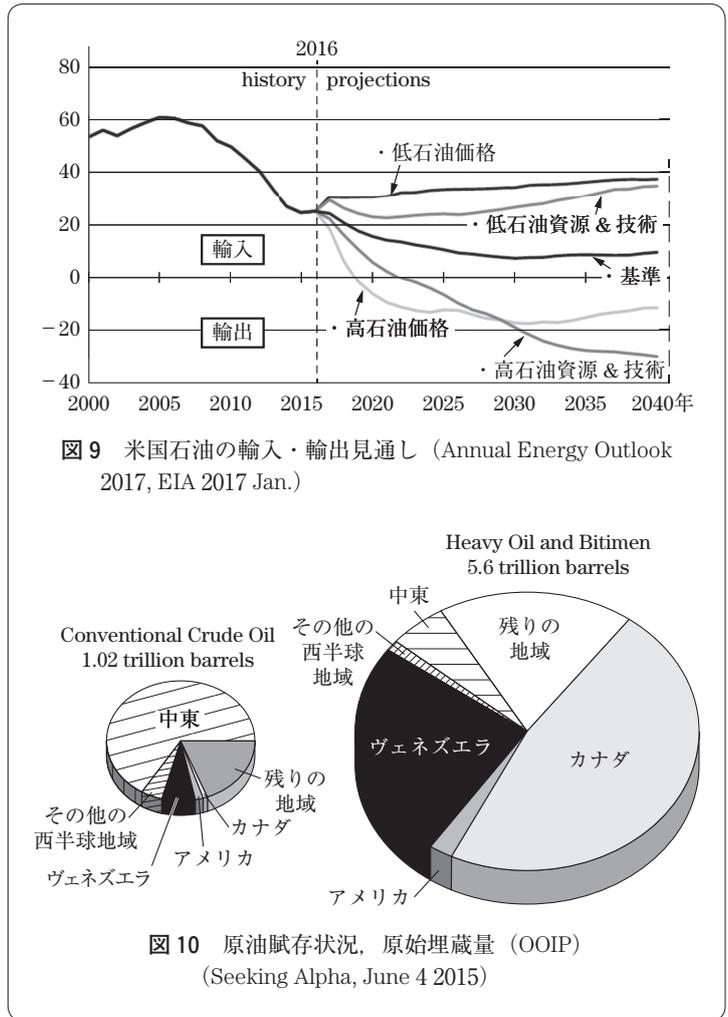
(3) 超重質原油（カナダのオイルサンドと、
ヴェネズエラのオリノコータル）の動向

超重質原油について述べる前に、世界の重質原油の賦存状況のデータを図10に示す。この図からも分かる通りカナダとヴェネズエラには超巨大な油田がある。カナダの原油はオイルサンド、ヴェネズエラの原油はオリノコータルとも称され、APIが10以下の超重質原油で（Oil Sands：6～8 API, Oronoco Tar：4 API）、原油生産操業活動において重要な確認埋蔵量では、それぞれ約200 Billion Barrel および約300 Billion Barrel で、サウジアラビアの確認埋蔵量260 Billion Barrel に匹敵する超巨大油田の非在来型原油である。

なお、中東にも重質原油があるが、多くはイラクの中・南部およびその周辺国に賦存している。また、残りの地域（Rest of World）として表示されている重質原油の多くはロシアの原油が占めている。図10に示されているConventional Crude Oilは在来型原油でサウジアラビア原油等中東に多く賦存している原油であり、Bitumenはオイルサンドやオリノコータル等の超重質原油である。また、Other W. H.は、その他の西半球に賦存する重質原油である。

カナダのオイルサンドはカナダの西部のアルバータ州の地表から数百mまでの地下に賦存し、シャベルトラックで掘削採取したり、地下にスチームを注入しその熱で流動化して抽出する方法で採取されている。最近では後者の方法の内のSAGD（Steam Assisted Gravity Drainage）と言うスチームパイプと油採取パイプを1本ずつ上下水平に進展させる方法が主力の方法になっている。採掘法で採取された油は砂と一緒に採取され、界面活性剤が混入され温水中で油が浮遊分離される。

またSAGDで温水と一緒に地下から採集された油は油水分離装置で重力分離される。分離回収され



た油は常温では流動しない粘濁な油のため、現地でディレドコーカー等の分解装置で分解・軽質化されたり、軽質な天然ガスオイルを約25%混合して粘度を下げて輸送可能な油にして出荷されている。これらの状況を図11から図12に示す。

なお、カナダのNational Energy Board (NEB)は2016年6月に2040年にかけての超重質原油の生産見通しをだしており、図13に示す。ここでMined Bitumenは掘削法で採取される超重質原油で、InSitu Bitumenは地中から採取する方法、すなわちSAGD法で採取される超重質原油である。またMMb/dは百万パーレル/日を表す単位である。

カナダオイルサンドの生産地域は太平洋側からはロッキー山脈の向こうにあるアルバータ州にあり、生産地から日本に原油を輸送する場合パイプラインに余裕がなく、現状では貨車で運ぶとしてもせいぜい数万パーレル/日しか輸送できない。しかし長年かかって進められてきたTrans Mountain Pipelineの拡張計画、図14の環境審査が今年初British Columbia州においてパスし、パイプラインの終点Burnaby

市の了解を取るのみとなり、計画は大きく進んだ。パイプラインの輸送能力は、現状の30万バレル/日から89万バレル/日へと拡張され、完成は2019年の予定である。なお、このパイプラインの他もう一本52.5万バレル/日能力のパイプラインをEdmontonからBritish Colombia州北部太平洋岸のKitimatに引くNorth Gate Way Pipeline計画があり、東アジアをマーケットとした原油輸出のインフラが整いつつある。

次に、ヴェネズエラでは1900年の終わりから2000年初めにかけて約3百万バレル/日以上原油生産を誇っていたが、近年は政治・社会的問題から生産量は減少している。図15にその状況を示す。

なお、ブラジル原油を含めメキシコ湾サイドから東アジアに油を輸送する場合パナマ運河の能力がネックだが、昨年6月拡張工事が完成し、石油タンカーサイズを約3割拡大できた。まだ10万トン以下のタンカーだが、さらに運河の閘門整備案もあり、

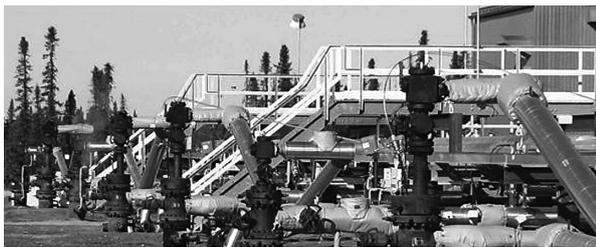


図11 SAGD Well Head (SAGD Facility) Skhneftegaz Engineering LLC



図12 SAGD Boiler (SAGD Facility) Skhneftegaz Engineering LLC

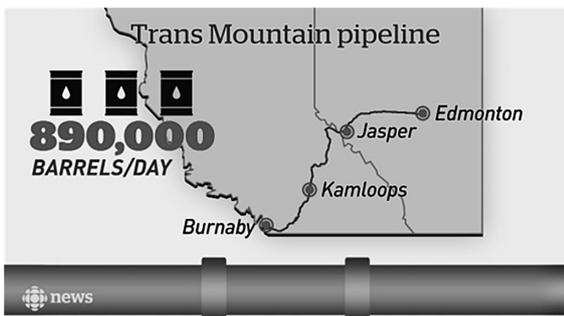


図14 Trans Mountain Pipeline (CBC News, 11 Jan. 2017)

順次通行能力のボトルネックの解消が図られると考えられる。

(4) 中東重質原油の動向

イラクにはAPI比重が24~28の中重質原油が原始埋蔵量で1,200~1,500億バレル賦存している(表5)。この原油はMishrif層原油と呼ばれていて、主に南部のWest Qurna油田や、Majnoon油田や、Rumaila油田に含まれており、現在Basra Heavy原油として約1.3百万バレル/日輸出されている。

今後イラク原油は2030年にかけて、9百万バレル/日まで増産されるとも言われており、このうちの約40%がこの原油種になると考えられており、在来型原油の減少に対する補充原油として有力な原油である。

その他、API比重16ともう少し重質な原油の開発プロジェクトがKuwaitの北部油田で行われようとしている。それはRatqa油田のLower Fars重質原油の開発プロジェクトで、スチームを原油の約5倍注入し粘度を下げ抽出しようというもので、2019年に原油を6万バレル/日生産する計画である。

また、開発を計画中のものがOmanの原始埋蔵量10億バレルのHabhab油田の開発計画で、対象原油のAPI比重は10~14である。

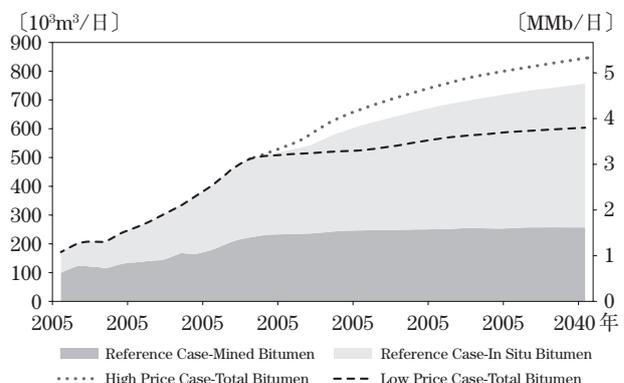


図13 カナダ石油生産見通し (NEB "Canada's Energy Future 2016" June 2016)

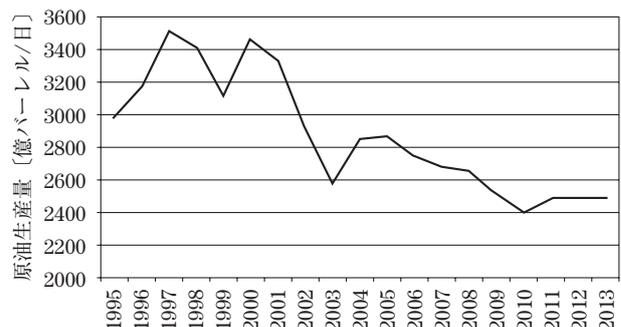


図15 ヴェネズエラ原油生産推移 (Oilprice.com July 2014)

表5 イラク主要油種賦存状況 (Neftex, Nov. 2010)

油種	API 比重	賦存量* [10億バレル]	油田含有率 [%]		
			Rumaila	West Quruna	Majnoon
Mishrif	24~28	150	25	50	50
Zubair	34~36	75	60	5	3
Yamama	37~44	60	20	40	20

*原始埋蔵量

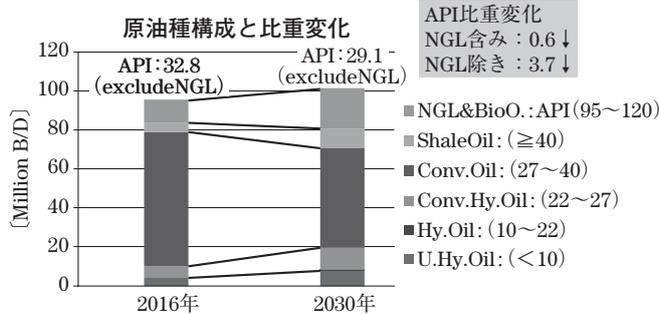


図16 2016年~2030年の原油種構成とAPI比重の変化

(5) 今後の原油比重の変化予測

以上述べた原油の需要と生産動向を基に、原油のAPI比重が現状と2030年でどのように変化するか推算して見たのが図16である。

この推算では、天然ガスオイル (NGL) やバイオ燃料油を含む液体油の需要が、IEA WEO 2016 で見通された年率0.45%伸びる事、HSBC Global が昨年レポートした、現状生産されている原油のうち在来型原油の64%に当たる59百万バレル/日の生産分の原油で年率5%生産が低下するという条件下、上述した各原油の動向を基に構成したものである。

その結果、NGLとバイオ油を除く原油のAPI比重は3.7分重質化すると推算された。その中で比重の変化に大きく影響したのは、在来型原油の大幅な生産減少に対し、米国シェールオイルの増加はあるものの、イラクの比較的軽質な原油の増加や、オイルサンド等重質および超重質原油の増加が大きいと

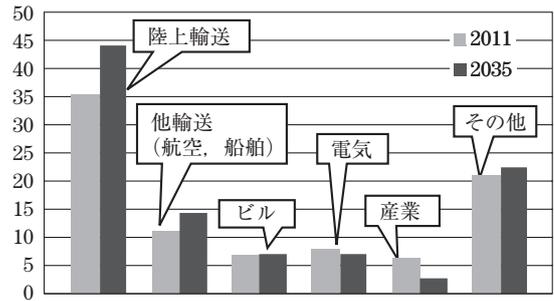


図17 世界石油セクター別需要変化 (IEA WEO2012)

いうことである。

これらから考えられる事は、NGLは軽質で石化原料にはなるが、輸送用燃料の原料にはならないので、いわゆる原油の重質軽質価格差は、原油ソースの構造的変化、すなわち中東湾岸諸国の原油からイラクや米大陸をソースとする原油増大の変化により、広がるものと

考えられる。

3-2-3. 原油重軽価格差への製品需要の影響

世界の石油製品の需要は、発電用および船舶用に使用される高硫黄重油の消費が減少し、輸送用燃料が大きい割合を占めてくる(図17)。中でも軽質な乗用車燃料は省燃費化したり、電気自動車へのシフトが加速すると考えられる。しかし、重量の大きい車両や、航空燃料や、硫黄分の低い船舶燃料の需要低下は少ないと考えられている(図18)。なお、船舶燃料は国際船舶協会 (INMO) が船舶から排出される排ガスの硫黄分の規制を行い、従来の硫黄分の多いバンカー燃料油の需要は低下すると考えられる(図19)。以上から、重油需要の低下と、ガソリンに比べて中間品の相対的需要の増加が大きくなると考えられる。また、中間品と重油製品の価格差は2030年にかけて拡大すると考えられ、原油重軽価格差は大きくなると考えられる。(以下、次号に続く)

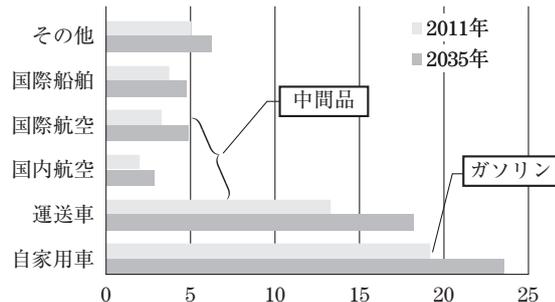


図18 世界輸送用燃料の需要 (IEA WEO 2012)

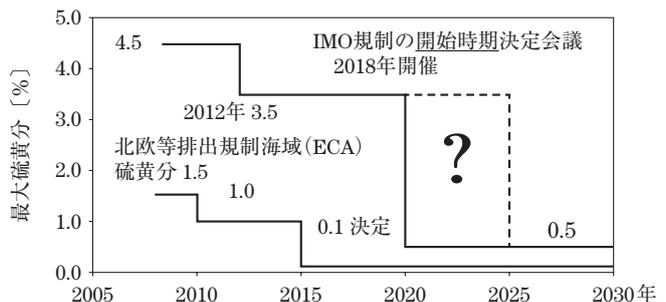


図19 船舶燃料硫黄規制 (JPEC 2010)