

製油所からの水素供給能力評価（調査）

JX 日鉱日石リサーチ株式会社

○田嶋 良一、山上 浩司、山崎 雄二、茂木 章、田中 咲雄

1. 調査の目的

今後の我が国のエネルギー政策の要となる新しい「エネルギー基本計画」、日本経済の再生手段となる「グリーン成長戦略」の取りまとめが予定されている。いずれの政策においても、重点課題のひとつとして水素エネルギーの利用促進が謳われている。

一方、製油所からの水素供給余力については、平成 18 年度に実施された調査結果がその後見直されていないが、その後高度化法の成立等石油業界の事業環境変化やエネルギー政策見直し等の水素供給余力に大きな影響を及ぼす変化が生じている。

そこで、昨今の国内環境を踏まえ、最新の精製設備能力、石油製品生産量等の統計データ及びヒアリング調査等により、製油所における水素供給余力に関する再評価を行うとともに、来るべき水素社会における石油産業の位置づけの再評価と、石油産業が主要な水素供給者として水素エネルギー社会実現に向けて着実に貢献するための必要な提言を行う。

2. 調査の内容

2.1 水素供給余力の定義

本調査では、水素供給余力を国内製油所の水素製造装置能力の合計から水素消費量の合計を差し引いた値と定義する。接触改質装置由来の副生水素は、全て製油所内の脱硫装置等で消費するものとして、水素消費量の合計から予め差し引いておく。

また、水素供給余力の数値は、年間平均値として計算する。通常製油所における常圧蒸留塔の稼働率には季節変動があり、水素製造装置の稼働率も連動する。国内製油所には水素貯蔵設備が無いので、月単位で水素供給余力を計算した場合、数値は図 2.1^{脚注 2.1)}のブロック矢印のように毎月変動することになる。本調査では、このような月単位の変動は考慮しない。

脚注 2.1) 図 2.1 は、一般的な製油所における常圧蒸留塔稼働率から予想した、モデル製油所における水素製造装置稼働率の月単位での変化を表している。定義から、ブロック矢印の長さは、各時点での水素供給余力を水素製造装置能力で除した値を示すことになる。

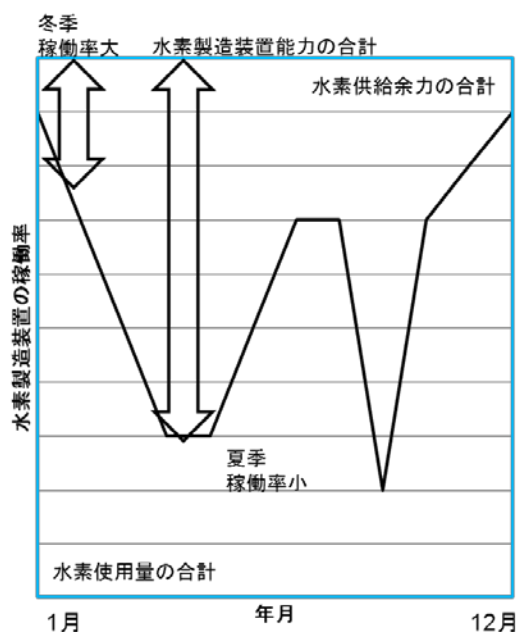


図 2.1 モデル製油所の水素製造装置稼働率

2.2 モデル製油所

水素供給余力を計算するために、国内製油所を1つにまとめたモデル製油所を作成した(図 2.2)。

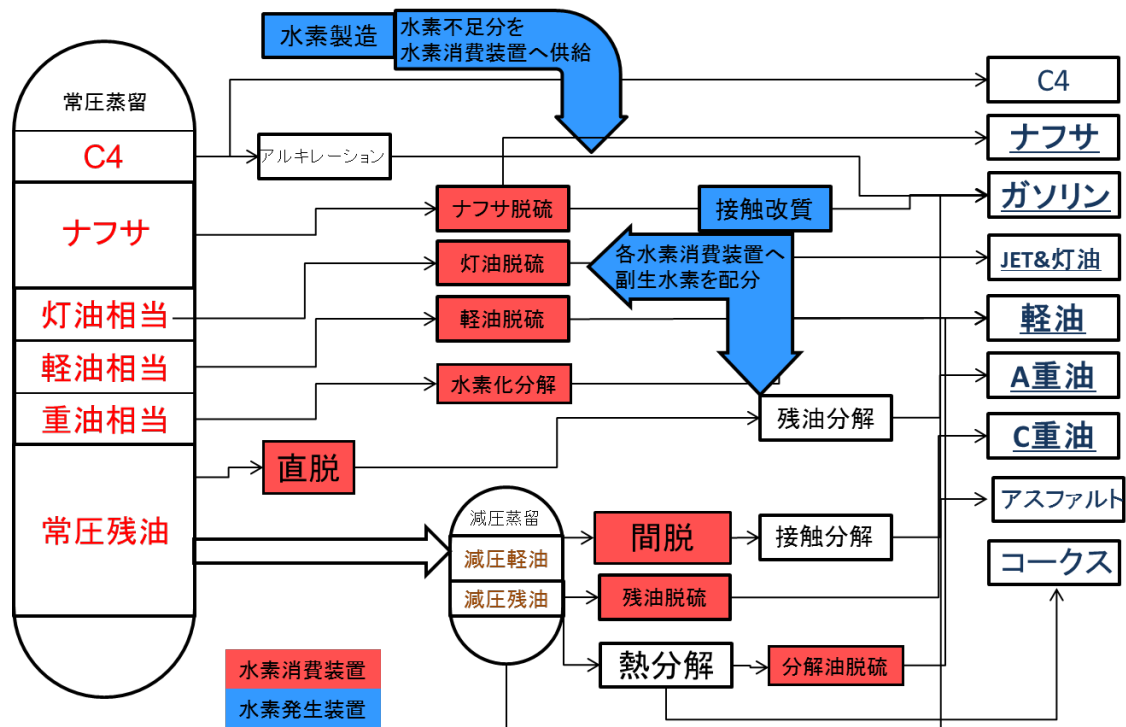


図 2.2 モデル製油所

図中、左側の図形は常圧蒸留塔を、右側の四角形は石油製品を、蒸留塔と石油製品の間にある四角形は代表的な精製装置を表している。水素製造装置と接触改質装置は水素を発生する装置であり、脱硫装置及び水素化分解装置は水素を消費する装置である。

モデル製油所の水素フローでは、まず接触改質装置の副生水素全量を各水素消費装置に配分する。不足分を水素製造装置の稼働で賄う。従って、水素供給余力は、水素製造装置能力から水素製造装置を除いた各精製装置の水素消費量の合計を差し引いた値になる。各精製装置の水素消費量は、各精製装置の通油量と水素消費原単位の積で計算した。水素消費原単位は定数として、平成 18 年度の調査報告書から数値^{脚注 2.2)}を引用した。通油量は、輸入原油の統計データを用いてモデル製油所における常圧留分を計算して、モデル製油所の石油製品生産量が統計データと一致するように、各精製装置の運転条件と通油量を調整することで算出した。

脚注 2.2) 下表に各精製装置の水素消費原単位 [Nm³(水素)/kL(通油量)]を示す。

常圧蒸留	減圧蒸留	接触分解	残油分解	水素化分解	アルキレーション	接触改質	
0	0	0	0	312	0	-232	
ナフサ脱硫	灯油脱硫	軽油脱硫	直脱	間脱	分解油脱硫	残油脱硫	熱分解
10	35	80	160	110	110	220	0

なお、接触改質装置は水素を発生するので、符号をマイナスとした。

2.3 輸入原油の動向

輸入原油は今後重質化することが予想されているが、2004年以降2011年11月までの輸入原油のAPIと硫黄分は変化していなかった(図2.3.1)ことから、2030年まで輸入原油の性状は変化しないと想定した。モデル製油所における原油性状は、2010年における輸入原油の輸入量上位18種を対象として、原油性状の加重平均から計算した(表2.3.2)。

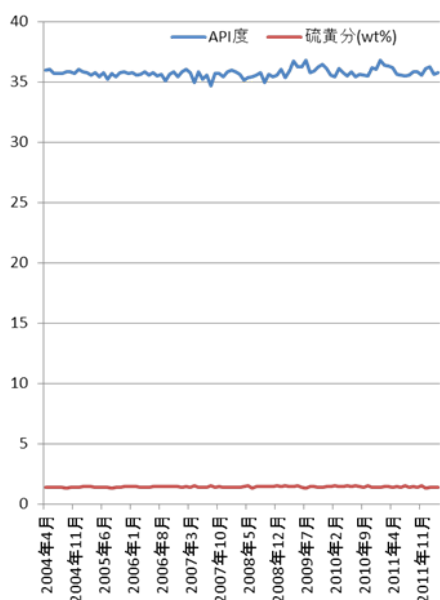


図 2.3.1 輸入原油性状の動向

表 2.3.2 輸入原油上位 18 種の加重平均

API		35.7
比重(15°C/15°C)		0.8468
S, wt%		1.63
LPG	LPG	2.6
LT NAP	C5/70	6.4
HVY NAP	70/145	12.7
SWHNER	145/155	1.9
KER	155/230	14.7
SWKERLG1/2	230/260	5.6
LGO	260/330	12.5
SWLGO/HGO	330/343	2.2
HGO	343/360	2.1
AR	360+	39.2
VGO	360/565	67.7
VR	565+	32.3

2.4 石油製品生産量の動向

2030年までの日本における石油製品生産量は様々な調査会社等によって予測されているが、本調査では、石油通信社、日本エネルギー経済研究所及び

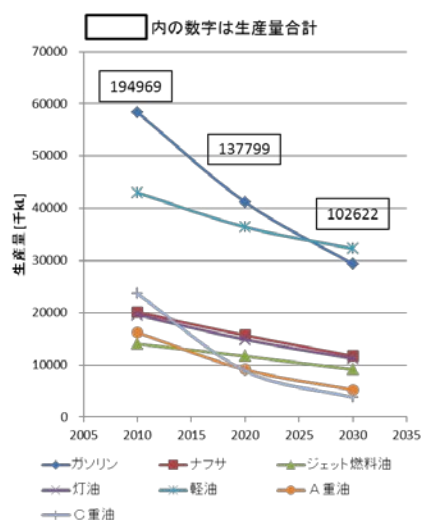


図 2.4.1 生産量予測(ケース 1)
出典；石油通信社から推定

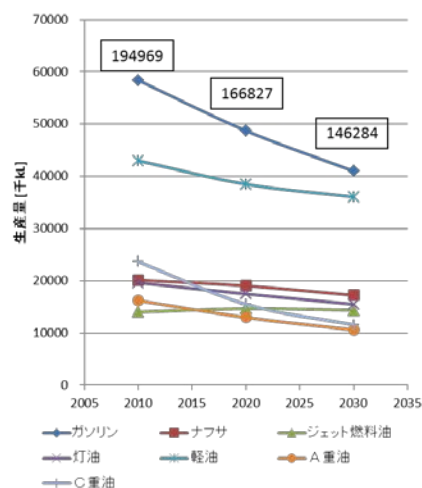


図 2.4.2 生産量予測(ケース 2)
出典；日本エネルギー経済研究所
IEA World Energy Outlook(2012)、
から推定

IEA World Energy Outlook(2002)の予測に基づいて、ガソリン、ナフサ、ジェット燃料、灯油、軽油、A重油とC重油、それぞれの2030年までの石油製品生産量を予測した(図2.4.1と図2.4.2)。ここで、石油製品生産量は国内製油所で製造された製品量であり、輸入量は含まれていない。なお、元のデータは東日本大震災以降に公表された予測数値であるが、原発再稼働を前提としていることを付記しておく。

ケーススタディーにおいて、図2.4.1と図2.4.2の両方を用いてシミュレーションを行い、それぞれをリファレンスケース1、リファレンスケース2などと表記した。

2.5 リファレンスケース

リファレンスケースは、現状のエネルギー政策が2030年まで継続して、モデル製油所におけるシミュレーションに変更が必要になる新しい規制等を想定しない、所謂現状維持のケースである。現状のエネルギー基本計画は、一次エネルギー供給における石油等の比率を42%(2009年度)から31%(2030年度)に引き下げることが計画していた(図2.5.1-1)が、東日本大震災後大幅な見直しが行われることになった。

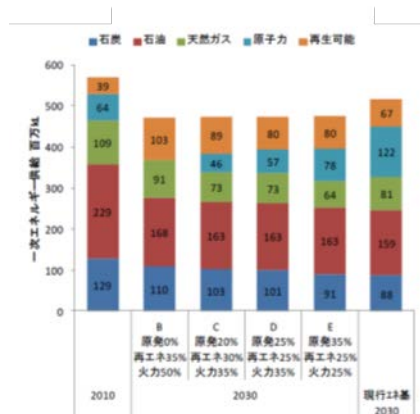


図 2.5.1-2 一次エネルギー供給(絶対値)

2012年4月11日

第18回基本問題委員会試算結果

図 2.5.1-1 2010年度エネルギー基本計画

特に、一次エネルギー供給における原発依存度を引き下げる方向で、様々な試算が検討されてきた(図2.5.1-2)。しかし、2013年5月20日 総合資源エネルギー調査会 総合部会 第3回会合(出典 資料1)においても、燃料電池の利用拡大等による水素エネルギーの可能性、という記述があるのみで、定量的な目標等はまだ提案されていない。

このような状況を踏まえて、リファレンスケースにおける2020年以降の予測では、2010年度までの法規制がそのまま継続して、新たな規制等は行われなことを想定した。また、モデル製油所の精製装置の新設と増設は行わず、石油製品生産量の減少には稼働率の削減で対処することとした。

一方、モデル製油所におけるシミュレーションでは、原油留分と石油製品生産量を決定しただけでは、各精製装置の通油量の組み合わせを1つに特定することが出来ない。この

理由は、精製装置の運転条件を変更することにより、特定の石油製品用の中間製品量を制御することが出来るためである。例えば、間脱装置の中間製品は主に接触分解装置の原料油である(図 2.2 参照)が、運転条件の変更により接触分解装置の原料油を減らして、A 重油基材量を増やすことが可能である。このような中間製品の性状制御は複数の精製装置で可能であるため、有効な通油量の組み合わせも複数出来ることになる。シミュレーションの解を 1 つに限定しかつ現実性を担保するために、下記の条件を課した。

- (1) 接触分解装置(補正)稼働率=85±5%

定義式=(フィード量÷装置能力)×(2010 年の原油処理量÷該当年の原油処理量)

- (2) 接触分解装置フィード中の常圧残油比率<=20%

- (3) 改質ガソリン比率=45±1%

定義式=改質ガソリン量(接触改質装置の中間製品)÷全ガソリン生産量

石油精製会社へのヒアリング等から、国内製油所ではガソリン基材の製造を優先しており、今後ガソリン生産量が減少していくこと(図 2.4.1 または図 2.4.2 参照)を考慮しても、2030 年まではガソリン基材優先の運転モードを維持する必要があると判断した。モデル製油所におけるガソリン基材製造装置は主に接触改質装置と接触分解装置であるので、両方の装置の稼働率等を現状値に維持することにより単一解と現実性を担保した。

以上のエネルギー政策とシミュレーション条件を踏まえて、シミュレーションを実行した。2010 年の原油処理量^{脚注 2.5.1)}は統計データ(2010 年では 210.4 [百万 kL]、出所 石油便覧)を用い、2020 年と 2030 年の原油処理量は 2010 年の原油処理量と石油製品生産量から比例計算した。

脚注 2.5.1) 実際には、灯油相当留分を基準にして数値を補正している。

算出した原油処理量と得率から、ケース 1 の原油留分を計算した(図 2.5.2)。ケース 2 も

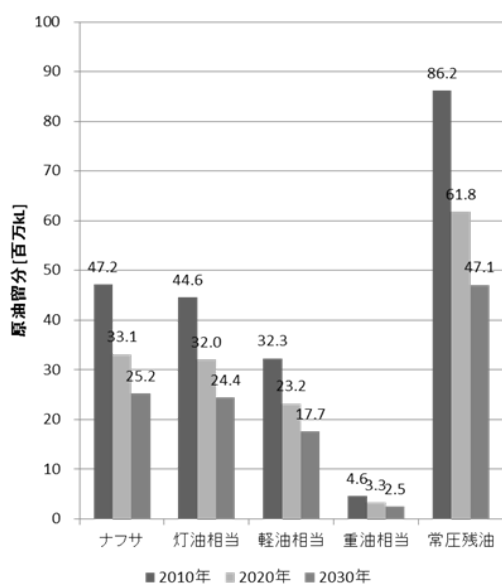


図 2.5.2 原油留分(ケース 1)

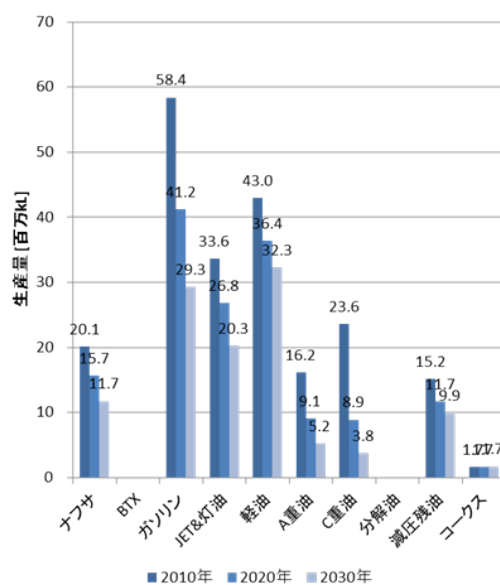


図 2.5.3 石油製品生産量計算結果(ケース 1)

同様にして原油留分を計算した(図省略)。石油製品生産量が図 2.4.1 と一致するように、各精製装置の通油量と運転条件を調整した。ケース 1 では、全ての石油製品生産量を図 2.4.1 の数値と一致させることが出来た(図 2.5.3)。ケース 2 でも、全ての石油製品生産量を図 2.4.2 の数値と一致させることが出来た(図省略)。

ケース 1 の通油量(図 2.5.4)は、一部の精製装置を除いて、原油留分の減少に伴って減少した。ケース 2 も同様の傾向を示した(図省略)。

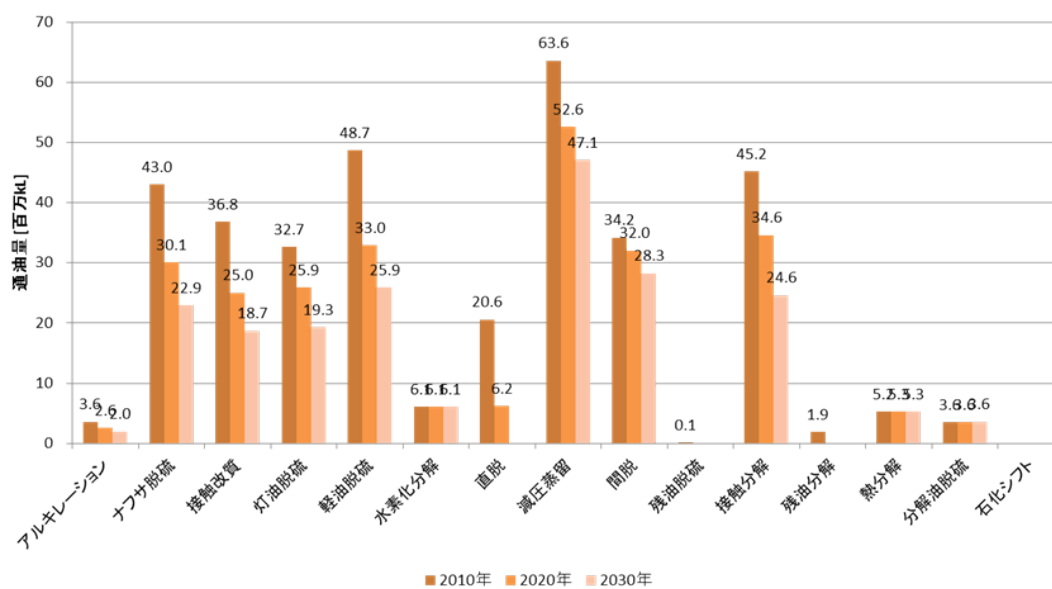


図 2.5.4 通油量(ケース 1)

この結果、接触改質装置を除く各精製装置の水素消費量(図 2.5.5)は減少した。

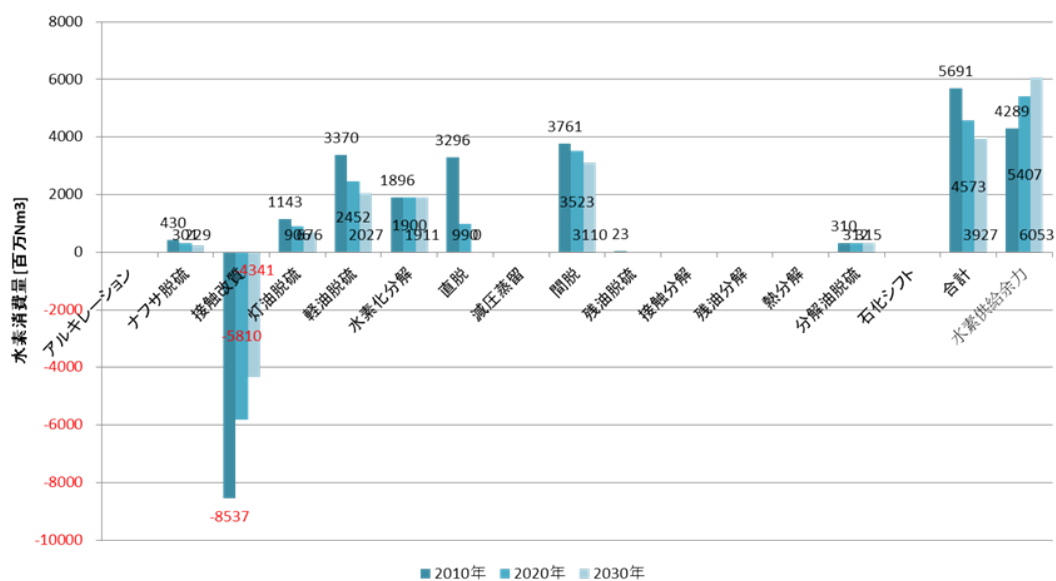


図 2.5.5 水素供給余力(ケース 1)

接触改質装置の副生水素量は減少したが、水素消費装置の水素消費量の減少が上回り、モデル製油所における水素消費量の合計は減少した。ケース 1 の水素供給余力は、2010 年で 43 [億 Nm³]、2020 年で 54 [億 Nm³]、2030 年で 61 [億 Nm³]となった。

一方、ケース 2 の水素供給余力は、2010 年で 43 [億 Nm³]、2020 年で 49 [億 Nm³]、2030 年で 45 [億 Nm³]となった(図 3.1 参照)。

2.6 IMO 規制対応ケース

IMO 規制とは国際海事機関による海洋汚染防止規制であり、2005 年に発行された「船舶からの大気汚染防止のための規則」は船舶の排気ガス中の SO_x・PM 量を規制している。本規則の実施が決定された場合、2020 年から一般海域を航行する船舶の排気ガス処理が義務付けられる。このような規制に対する対応案として、i) 船舶への海上スクラバー設置、ii) 現行燃料の硫黄分規制、が提案されているが、本調査では、ii) が実施された場合を想定する。ii) を実施する場合、2020 年以降全船舶用燃料中の硫黄分を、0.5%に規制する必要がある(出典；日本マリンエンジニアリング学会誌, 44(3), 425(2009))。このような船舶用燃料(以下、船舶用軽油)の製造方法にも複数の対応案があるが、本調査では、減圧残油(図 2.2 参照)を熱分解して得られる分解油を原料とする方法を採用した(出典；平成 20 年度 JPEC 調査報告書「石油製品動向及び石化原料・石油系燃料供給の影響に関する調査」)。

IMO 規制対応ケースでは、リファレンスケースに加えて、2020 年以降船舶用軽油が生産されることを想定してシミュレーションを行った。

一方、2020 年以降の船舶用軽油の生産量は、2010 年における重油生産量に対する比率から予測した(図 2.6.1)。具体的には、2010 年における船舶用 A 重油の生産量は 4.2 [百万 kL]であったので、A 重油生産量(16.2 [百万 kL])に対する比率は 25.9%になる。同様に、船用重油とバンカー重油の生産量は 9 [百万 kL]であったので、C 重油生産量(23.6 [百万 kL])に対する比率は 38.1%になる。このような比率が 2020 年以降も変わらないことを仮定した。

このとき、2020 年における船舶用軽油生産量は 5.8 [百万 kL]になる。ところが、必要な減圧残油量が 14.2 [百万 kL]であるのに対し、利用可能な減圧残油の余剰量は 11.7 [百万 kL]であるので、原料が 2.5 [百万 kL]不足する。更に、余剰の減圧残油を熱分解するためには、熱分解装置を増設する必要がある。

このような状況を是正するために、IMO 規制対応ケースでは、リファレンスケースのシミュレーション条件に、i) 熱分解装置の増設、ii) 減圧残油全量を船舶用に使用、iii) 一般用軽油の一部を船舶用に転用、の 3 条件を加えた。

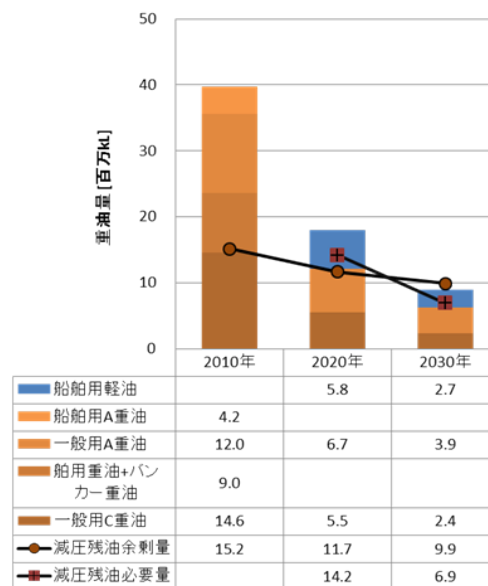


図 2.6.1 船舶用軽油生産量予測

以上の変更を踏まえて、リファレンスケースと同様にして、IMO 規制対応ケースにおける水素消費量を計算した(図 2.6.2)。

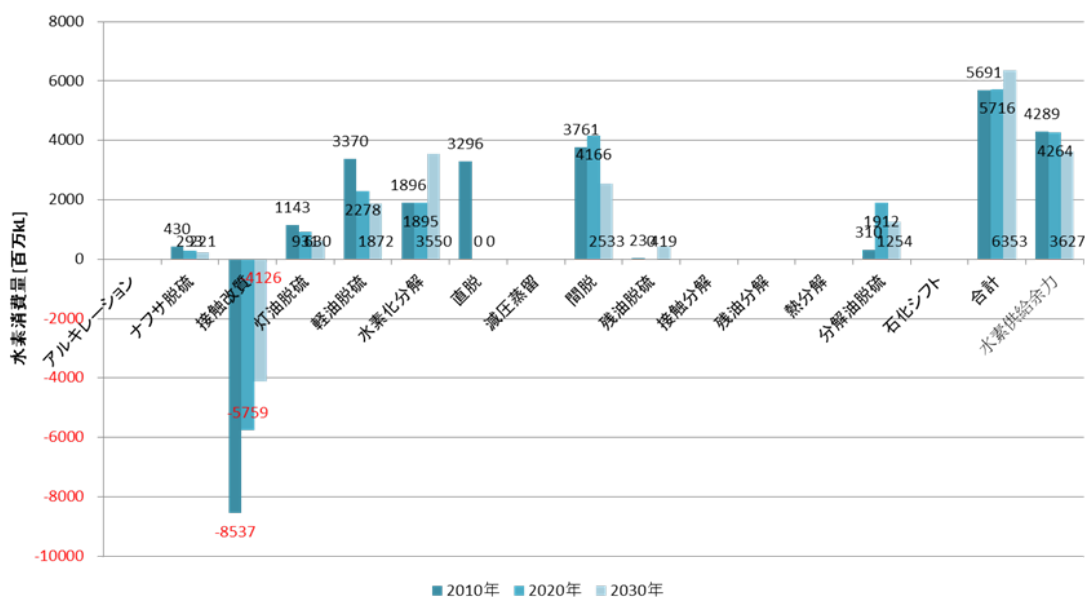


図 2.6.2 水素供給余力(ケース 1)

船舶用軽油を製造するためには、分解油の一部を脱硫(図中、分解油脱硫)或いは水素化分解(図中、水素化分解)しなければならない。このため、リファレンスケース 1 と比べて、分解油脱硫と水素化分解の水素消費量は大幅に上昇した。結果として、水素消費量の合計は上昇して、水素供給余力は減少した。リファレンスケース 2 も同様であった(図 3.1 参照)。

2.7 石化シフトケース

石化シフトケースは、石化原料生産が中国や韓国に移り、日本国内のエチレンクラッカー及びナフサクラッカーの稼働率が減少していくことを想定した。この場合、ナフサクラッカー由来の BTX 生産量が減少することになるが、本調査では、BTX 生産量が上記減少分だけ国内需要量を下回ることを仮定した。

2010 年における国内の BTX 生産量は 13.9 [百万 kL]であり、その内約 3 割がナフサクラッカー由来、約 7 割が製油所の接触改質装置由来であった。仮定に従えば、2010 年以降、BTX の国内需要量に対する生産量の不足分(図 2.7.1)を、接触改質装置の稼働率アップで賄うことになる。この場合、接触改質装置へのフィード増加分は、2020 年で 0.8 [百万 kL]、

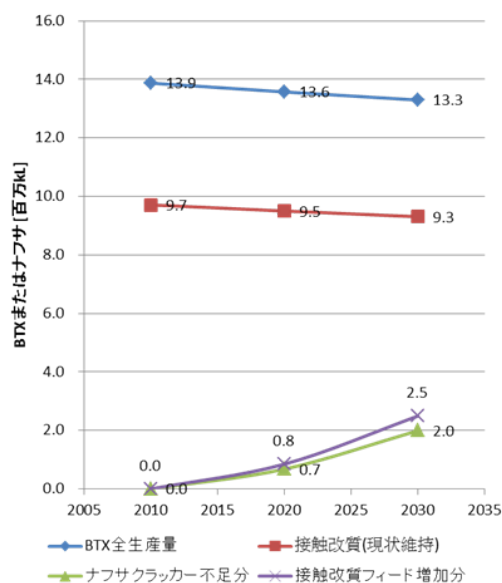


図 2.7.1 日本国内の BTX 生産量予測

2030年で2.5 [百万 kL]と計算できる。

石化シフトケースでは、リファレンスケースに加えて、接触改質装置へのフィード量が上昇することを想定してシミュレーションを行った。ここで、2010年における接触改質装置の能力は44 [百万 kL/年]、稼働率は84%であり、今後フィード量は減少していく(図 2.5.4 参照)。従って、増加分が最大の2.5 [百万 kL]に達しても、稼働率は2010年の数値を超えることはないので、石化シフトケースにおけるシミュレーション条件は、リファレンスケースと同一とした。

石化シフトケース 1 において、接触改質装置の副生水素量は、リファレンスケース 1 に比べて上昇した(図 2.7.2 の石化シフト)。この結果、副生水素量の増加分だけ、水素供給余力は上昇した。石化シフトケース 2 も同様であった(図省略)。

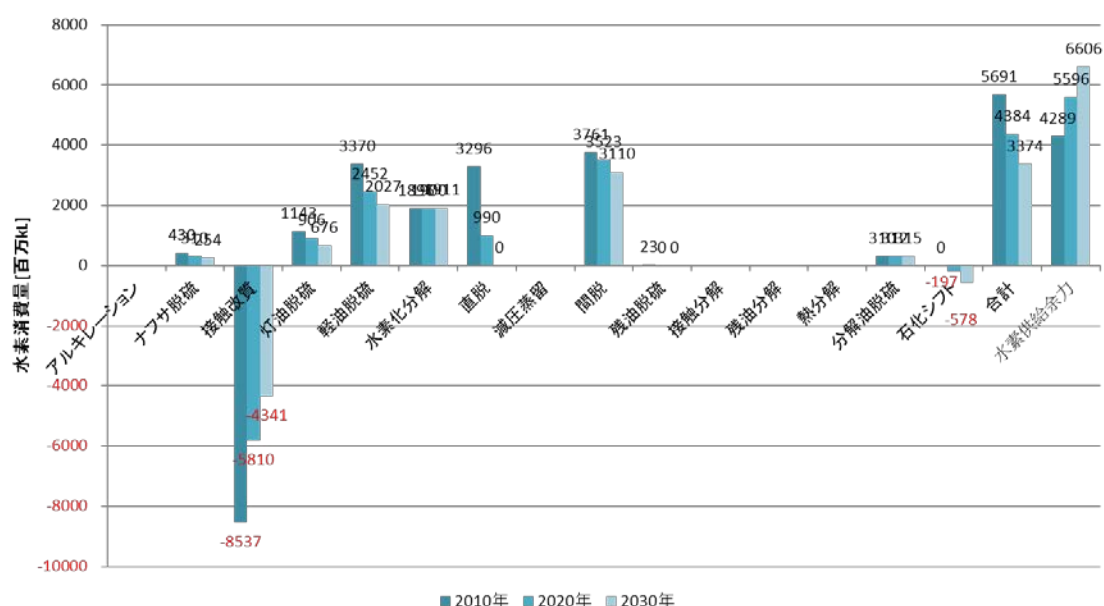


図 2.7.2 水素供給余力(ケース 1)

3. 調査の結果

調査の結果、各ケーススタディーにおける水素供給余力が明らかになった。次項の図 3.1 に、平成 18 年度の調査結果(2004 年における水素供給余力と水素製造装置能力)、及び全ての水素供給余力計算結果と水素製造装置能力を示す。

2010 年の水素供給余力は、43 [億 Nm³]であった。平成 18 年度の 47 [億 Nm³]と比べて、約 4 [億 Nm³]の減少となったが、この減少は水素製造装置能力の減少によるもので、水素消費量には変化がなかった。

リファレンスケース 1 とリファレンスケース 2 の相違は石油製品生産量予測の差異によるが、特にガソリン生産量予測と軽油生産量予測の差異によるところが大きい(詳細は調査報告書を参照)。ガソリンは接触改質装置と接触分解装置の中間製品を原料とするので、ガソリン生産量は接触改質装置の稼働率に決定的な影響を与えるとともに、間脱装置の運転条件と稼働率に影響する。接触改質装置と間脱装置の水素消費原単位は比較的大きい

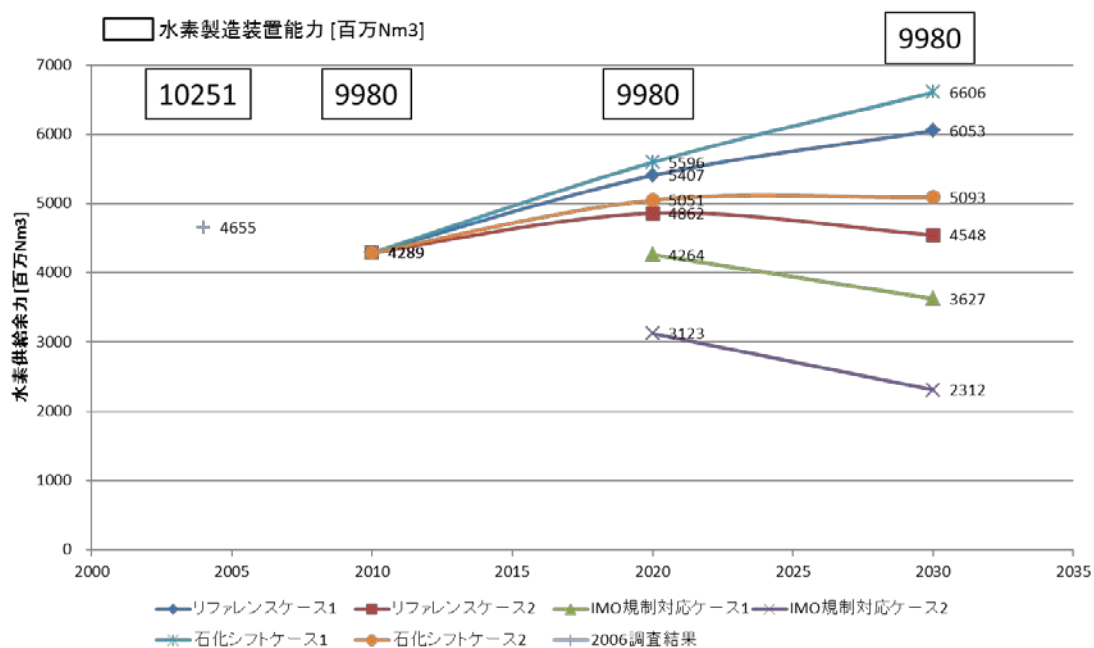


図 3.1 水素供給余力のまとめ

(脚注 2.2)ので、ガソリン生産量は水素供給余力に最も影響を与える。一方、軽油は軽油相当留分を原料とするので、軽油生産量は軽油脱硫装置の水素消費量を決定する。軽油脱硫装置の水素消費原単位は原油留分の脱硫装置の中では最大であり、軽油生産量はガソリン生産量に次いで多いので、ガソリンの次に水素供給余力に影響を与える。リファレンスケース 1 とリファレンスケース 2 のガソリン生産量予測と軽油生産量予測は明確に異なっており、この差異が水素供給余力に影響したということが出来る。

IMO 規制対応ケースでは、水素供給余力が大幅に減少した。船舶用軽油の生産量は他の燃料に比べて小さい値であるが、脱硫と水素化分解の水素消費原単位が大きく、分解油の処理に多量の水素を必要としたことが原因である。石化シフトケースでは、接触改質装置のフィード増加に相当する副生水素量の増加があり、水素供給余力を押し上げた。

4. まとめ

現時点での日本のエネルギー政策或いは水素供給余力に影響する国内外の状況を考慮して、最新の精製設備能力、石油製品生産量等の統計データ及びヒアリング調査等により、製油所における水素供給余力を再評価した。調査の結果から、2010 年から 2030 年における水素供給余力及び IMO 規制等が実施された場合の変化、及び水素供給余力に影響する要因を明確にすることが出来た。

一方、調査結果が現実的であるためには、製油所の定修や緊急時等の需給変化への対応が必要になるので、製油所における水素貯蔵方法の確立が必要不可欠になる。今後石油産業が主要な水素供給者であるためにも、水素貯蔵技術の開発と具体的な水素貯蔵手段の保有が極めて重要であることを提言としたい。