

平成 29 年度 四日市コンビナート先進化に向けた  
水素有効活用検討委員会 報告書（公開版）

平成 30 年 3 月

四日市コンビナート先進化に向けた  
水素有効活用検討委員会



## 目次

要約	5
1. エネルギー需給の構造的変化	9
1. 1 世界のエネルギー需給	10
1. 2 日本のエネルギー需給	11
1. 3 水素の意義と重要性	14
2. 地域の特徴と産業の優位性	18
2. 1 中部地域の特徴	18
2. 2 四日市コンビナートの特徴	21
2. 3 先進化に向けた課題の分析	23
3. 水素基本戦略	26
3. 1 日本の水素基本戦略	27
3. 2 四日市コンビナートの水素基本戦略	30
3. 3 水素インフラ	32
3. 4 水素キャリア（アンモニア等）	34
4. 水素に関連する技術革新の進捗状況	35
4. 1 SIP「エネルギーキャリア」	36
4. 2 JST「グリーンアンモニアコンソーシアム」	39
4. 3 アンモニア混焼技術	41
4. 4 アンモニア合成技術	42
5. 国際競争力の強化	43
5. 1 地域内コンビナート全体最適化の推進	43
5. 2 具体的な検討テーマ	48
6. まとめ	50
【委員名簿】	52
【委員会開催状況】	52
【注釈】	53



## 要約

四日市コンビナートは、過去 60 年を超える関係者の尽力により、エネルギー・素材の安定供給および地域の振興・産業の発展のため、環境との調和を図りながら、歴史を積み上げてきた。これまでは CO2 排出量削減や国際競争力強化に関する検討を、事業所および企業の単位で実施してきた。しかし、地球環境問題や新興国の発展などに起因する急速で大きな環境変化が想定される状況下では、単一事業所による省資源・省エネルギーの検討には限界があり、たとえ複数企業による検討であっても、長期的な視点に立った大きな構想立案はなかなか容易ではない。コンビナートの現状に甘んじることなく、企業の枠を超えて地域の知恵を結集し、コンビナートの競争力強化を続けていくことがますます重要になってきている。そこで、来たる水素社会に向けて、四日市コンビナートの先進化を図る目的で、本委員会が設置された。

報告書の構成、各章のつながり、各章の検討内容を以下に紹介する。

- 1 章では、まずエネルギー需給の構造の変化を分析した。
- 2 章では、地域の特徴と産業の優位性を分析した。
- 3 章では、日本の「水素基本戦略」に注目した。
- 3 章後半では、「四日市コンビナートの水素基本戦略」をまとめた。
- 4 章では、水素関連の技術革新の進捗状況について調査した。
- 5 章では、国際競争力の強化に関する議論を実施した。
- 6 章のまとめでは、本委員会の 3 つの成果を示す。

1 章では、まずエネルギー需給の構造の変化を分析した。外部環境の変化として、世界的に地球環境問題に対する意識が高まり、再生可能エネルギーの利用が進むとともに、CO2 排出量を削減していくという社会的要請が生じている。燃料油需要が先進国を中心に減少し、日本では需要に合わせた事業所規模の最適化が進んでいる。

一方、日本の温室効果ガス排出量の推移と目標（図表 1.2.1 環境省）によると、2030 年度には 2013 年度比で 26%削減、2050 年迄には CO2 排出量を 80%以上削減する目標である。また、日本のエネルギーミックスの内訳（図表 1.2.2 資源エネルギー庁）によると、2030 年の電源別の比率について、火力発電を 56%まで低減し、原子力を 22%上限として、再生可能エネルギーを 22~24%に高めるとしている。

このような CO2 排出量の大幅な削減目標を達成するためには、今後海外からの CO2 フリーエネルギーを大規模に導入する革新的な取り組みが必要となる。そこで水素は、エネル

ギーの大量配送と需給ギャップの緩衝機能という重要な役割を果たす（図表 1.3.6）。

水素は、再生可能エネルギーなど、多様なエネルギー源からの製造・貯蔵・運搬に適している。また、特定のエネルギー源や特定の地域に依存しないため、調達・供給リスクを根本的に低減することが可能である。水素は、利用時に CO<sub>2</sub> を排出しないので、製造段階での二酸化炭素地中貯留（CCS）や再生可能エネルギーと組合せで、トータルで CO<sub>2</sub> フリーのエネルギー源となり得る。従来の燃料または燃料電池との組合せで、電力・運輸・熱・産業プロセスのあらゆる分野で究極的な低炭素化が可能である。さらに、産業振興の観点では、日本の水素・燃料電池技術は世界最高水準であり、国内外での積極的な展開により、新たな成長産業の一つになり得る特徴を有する。

2 章では、地域の特徴と産業の優位性を分析した。四日市コンビナートは、日本の約 20% の工業出荷額を誇る中部地域に位置する。製造品出荷額の業種別シェア（図表 2.1.3）で見ると、製造業全体が 21.5% に対し、化学品やその他（含石油製品）が 10% 台であり、域内供給を拡大し得る可能性がある。最終ユーザーとして自動車・電子・航空機などの産業に恵まれた（図表 5.1.2）コンビナートと言える。

四日市コンビナートを取り巻く事業環境を踏まえた上で、石油精製業・石油化学業の基本動作に沿って、先進化に向けた検討課題を分析した。基本動作とは、燃料油の安定供給、副製品の徹底活用、原料・燃料の多様化と安定調達、そして新技術の導入のことである。具体的には、委員会および各企業のヒアリングを通じて収集した情報の整理と分析を実施し、強み・弱み・機会・脅威、ビジョン・技術革新・コンビナートの先進化の方向性について、キーワードを抽出した。その際には、国の総合資源エネルギー調査会資源・燃料分科会において配布されたエネルギー供給構造高度化法 3 次告示に関連する資料などを参照した。

3 章では、日本の「水素基本戦略」に注目した。これは、本検討委員会の検討活動と同時期、平成 29 年 12 月 26 日に国の関係閣僚会議において決定された戦略であり、2050 年を視野に、将来目指すべきビジョンであるとともに、その実現に向けた 2030 年までの行動計画である。水素の供給・水素源・コスト・発電利用・モビリティ利用・燃料電池利用に関するシナリオに沿って、定量的な目標が記載されている。ガソリンや LNG などの従来エネルギーと同程度の水素コストの実現を目標として掲げ、その実現に向け、水素の生産から利用まで、関係省庁にまたがる政策群を共通目標の下に統合している。この水素基本戦略に基づき、CO<sub>2</sub> フリーな水素を実現することで、水素を新しいエネルギーの選択肢として提示するとともに、日本の強みを活かし、日本が世界の CO<sub>2</sub> フリー化を牽引していくと表明している。

3章後半では、「四日市コンビナートの水素基本戦略」をまとめた。日本の水素基本戦略の公表を踏まえて、前提となる技術革新の進捗状況の調査研究（4章）と並行しながら、2つの連携案について議論を重ねた。1つ目は「水素インフラを軸とした連携案」について、その実現性に関して意見交換を実施し、コンビナートを繋ぐ水素導管を想定したフロー（図表 3.3.1）に整理した。2つ目は「水素キャリア（アンモニア等）を軸とした連携案」として、コンビナートに水素キャリア利用基盤を構築することを想定した意見交換を実施し、海外再生可能エネルギー拠点からの水素キャリアによる輸送とコンビナート内の配送を想定したフロー（図表 3.4.1）に整理した。

これらをもとに、日本の水素基本戦略に準じ、四日市コンビナートの先進化に向けて、企業・行政関連機関・地域が共有すべき大きな方向性・ビジョンを示すものとして「四日市コンビナートの水素基本戦略」（図表 3.2.2）をまとめた。

4章では、水素関連の技術革新の進捗状況についての調査結果をまとめた。前述の「四日市コンビナートの水素基本戦略」の実現に寄与するであろう、革新的な技術に注目した。水素社会に向けた産業の変化を促す要因に注目すると、太陽光や風力などの再生可能エネルギー利用に係わる技術革新が進んでおり、その発電コストが急速に低下している。並行して、エネルギーキャリア（水電解・水素キャリア合成・輸送・貯蔵・燃焼・水素分離など）の技術開発も進んでおり、将来的には、大規模・安定・輸送可能なエネルギー源として、CO<sub>2</sub>フリーエネルギーの調達が始まる可能性が高い（図表 4.1）。そこで、コンビナートにおける燃焼利用および原料利用を前提として、水素キャリアの直接燃焼技術、水素キャリアの合成技術および推進機関であるグリーンアンモニアコンソーシアムについて調査を実施した。現在、その技術開発は概ね順調に進捗している。

5章では、国際競争力の強化に関する議論を実施した。委員会検討の過程において、水素利用だけではなく、国際競争力を加味した検討課題候補の抽出が必要との認識で一致したため、地域内コンビナートの全体最適化を通じた「国際競争力の強化」について議論した。コンビナートの全体最適化については、石油コンビナート高度統合運営技術研究組合（RING）が原油を起点にしたバリューチェーンと連携拡大の構想を整理・分析しており（図表 5.1.1）、これを参考にして、四日市固有のバリューチェーン（図表 5.1.2）を作成し、検討を進めた。

委員会検討としては、強みを伸ばし、コスト競争力を上げることを狙って、石油精製と石油化学の連携と統合運営、さらに用役や共通インフラなどの課題候補を抽出した。コンビナートの付加価値向上策として、収益に影響する課題に注目すると、余剰となる重油ま

たは LPG から製造する基礎化学品、安価な CO<sub>2</sub> フリー水素を利用した燃料油の脱硫、水素と CO<sub>2</sub> を組み合わせた化学品、CO<sub>2</sub> とアンモニアを組み合わせた化学品などの製造などの候補を抽出した。

6章のまとめでは、本委員会による3つの成果を示す。四日市コンビナート先進化に向けた水素有効活用検討委員会では、石油・石化産業を取り巻く内外環境の変化に関する分析結果を踏まえて、将来に向けてより優位性のある新事業の展開を探ることおよび水素社会に向けてコンビナート先進化を図ることを狙いとして、議論を展開してきた。その成果として、一つ目は、水素社会実現に向けた「四日市コンビナートの水素基本戦略」（図表 6.1）をまとめた。二つ目は、今後の議論のベースとして「四日市コンビナートの国際競争力強化に向けた検討課題候補」（図表 6.2）をまとめた。そして三つ目は、「将来的にコンビナート企業に影響を及ぼすリスクシナリオとその時間軸の想定」（図表 6.3）をまとめた。

今後は、内外環境の変化に対して、コンビナートも変化していかなければ、生き残ることは難しい。また、地球環境問題への対応と水素社会に向けた課題の解決を図るためには、事業所単独でアプローチすることには限界があり、コンビナート全体の視点に立った企画推進が必要である。幸い、技術革新に関する分析によると、社会の変化を克服するために、いろいろな研究開発成果が報告されている。コンビナートの現状に甘んじることなく、地域の豊かさと発展に貢献するために、企業の枠を超えて地域の知恵や革新的な技術を結集し、コンビナートの国際競争力の強化を計画的に進めることが必要である。本委員会の報告をもとに、コンビナート企業・行政関連機関等が連携し、事業所戦略・コンビナート戦略・地域戦略の整合を図り、水素社会に向けた「四日市コンビナートの先進化」の実現に向け、継続的に検討を進めていくことが必要である。

以上



## 1. エネルギー需給の構造的変化

1章では、まずエネルギー需給の構造の変化を分析した。外部環境の変化として、世界的に地球環境問題に対する意識が高まり、再生可能エネルギーの利用が進むとともに、CO<sub>2</sub>排出量を削減していくという社会的要請が生じている。燃料油需要が先進国を中心に減少し、日本では需要に合わせた事業所規模の最適化が進んでいる。

一方、日本の温室効果ガス排出量の推移と目標（図表 1.2.1 環境省）によると、2030年度には2013年度比で26%削減、2050年迄にはCO<sub>2</sub>排出量を80%以上削減するとしている。また、日本のエネルギーミックスの内訳（図表 1.2.2 資源エネルギー庁）によると、2030年の電源別の比率について、火力発電を56%まで低減し、原子力を22%上限として、再生可能エネルギーを22~24%に高めるとしている。

このようなCO<sub>2</sub>排出量の大幅な削減目標を達成するためには、今後海外からのCO<sub>2</sub>フリーエネルギーを大規模に導入する革新的な取組みが必要となる。そこで水素は、エネルギーの大量配送と需給ギャップの緩衝機能という重要な役割を果たす（図表 1.3.6）。

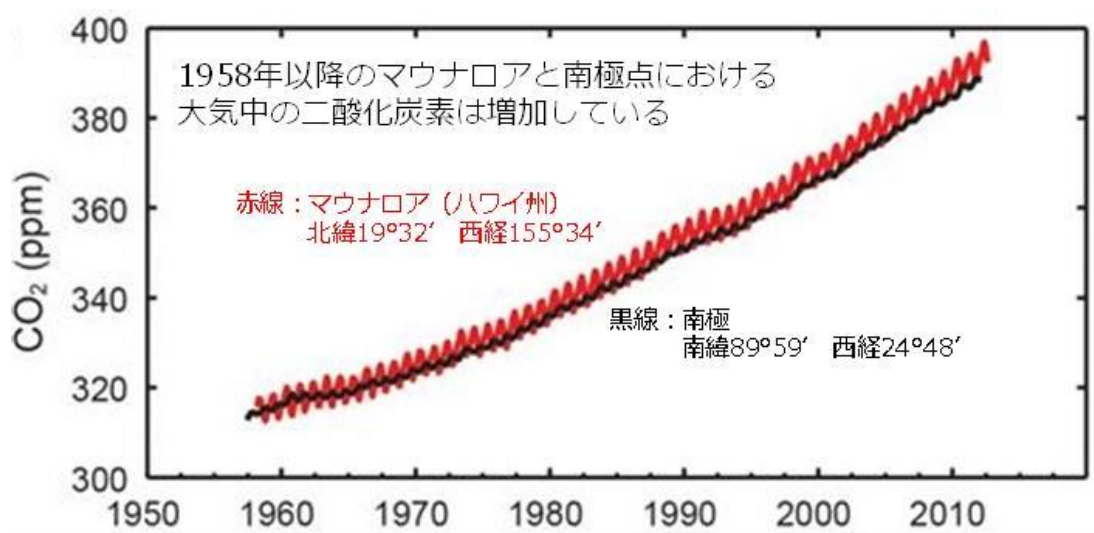
水素は、再生可能エネルギーなど、多様なエネルギー源からの製造・貯蔵・運搬に適している。また、特定のエネルギー源や特定の地域に依存しないため、調達・供給リスクを根本的に低減することが可能である。水素は、利用時にCO<sub>2</sub>を排出しないので、製造段階での二酸化炭素地中貯留（CCS）や再生可能エネルギーと組合せで、トータルでCO<sub>2</sub>フリーのエネルギー源となり得る。従来の燃料または燃料電池との組合せで、電力・運輸・熱・産業プロセスのあらゆる分野で究極的な低炭素化が可能である。さらに、産業振興の観点では、日本の水素・燃料電池技術は世界最高水準であり、国内外での積極的な展開により、新たな成長産業の一つになり得る特徴を有する。

一方、コンビナートの主製品である燃料油は化石資源であり、供給先の社会インフラ、エネルギー産業や交通輸送産業において燃料転換が進むと言われている。また、高度な情報通信インフラの発達により、エネルギーの利用効率が高まり、一層、燃料油の需要は下落すると言われている。このような厳しい外部環境を認識した上で、水素社会に向けたコンビナートの外部環境について整理する。もちろん、燃料油は液体ゆえにガスより密度が高く、輸送性・貯蔵性に優れているため、一定割合の利用は継続する見込みである。

## 1. 1 世界のエネルギー需給

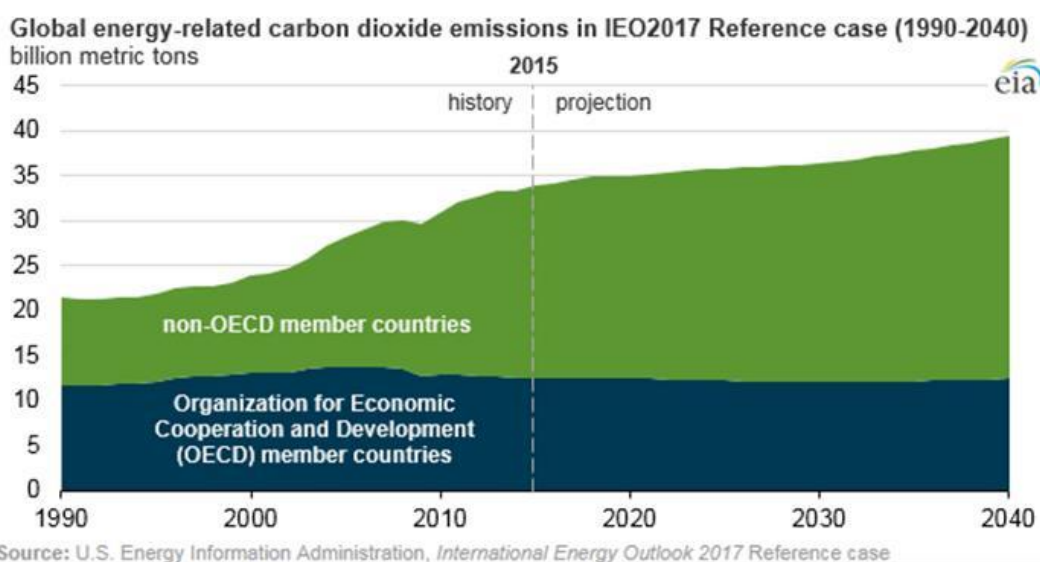
大気中の二酸化炭素濃度は化石燃料の消費による排出および森林破壊などの土地利用変化により、1960年以前より40%増加した(図表 1.1.1)。温室効果ガスである二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)、メタン(CH<sub>4</sub>)、一酸化二窒素(N<sub>2</sub>O)の大気中濃度は、人間活動により1750年以降すべて増加している。

図表 1.1.1 二酸化炭素濃度は増え続けている(環境省)



環境省 IPCC第5次評価報告書の概要(第1作業部会)より  
 原典 <http://www.climatechange2013.org/report/reports-graphic/report-graphics/>

図 1.1.2 世界 CO<sub>2</sub> 排出量(米国エネルギー情報局 EIA)  
<https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=33772#>



2030年・2040年・2050年などを意識した各種未来予測や国際エネルギー機関IEAの分析によると、先進国を中心に地球環境問題に対する社会的意識が高まり、地球温暖化ガスであるCO<sub>2</sub>排出量(図表 1.1.2)の削減が求められる方向にある。

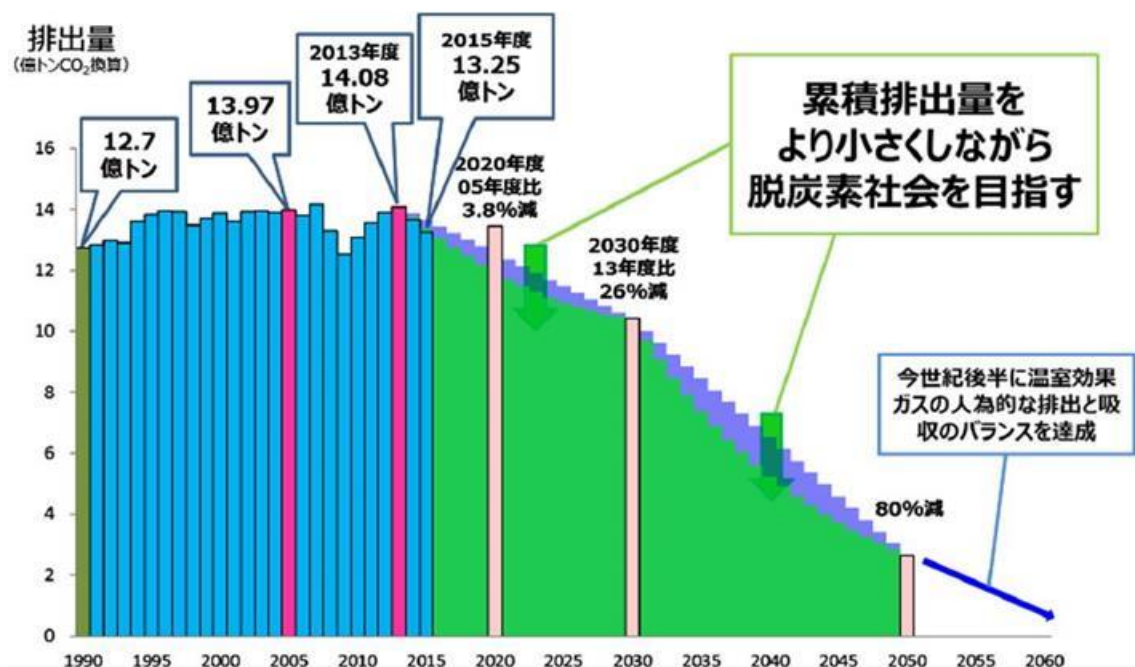
## 1. 2 日本のエネルギー需給

日本の温室効果ガス排出量の推移と目標（図表 1.2.1 環境省）によると、CO<sub>2</sub> 換算で排出量を 2030 年度には 2013 年度比で 26%削減、2050 年迄には 80%以上削減する目標である。また、日本のエネルギーミックスの内訳（図表 1.2.2 資源エネルギー庁）によると、2030 年の電源別の比率について、火力発電を 56%まで低減し、原子力を 22%上限として、再生可能エネルギーを 22%以上まで高めるとしている。

エネルギーセキュリティ（自給率）面では、一次エネルギー供給の約 92%を海外化石燃料に依存している（図表 1.2.3）。自動車は、燃料の 98%が石油系、うち約 87%を中東に依存している。エネルギー自給率は 6~7%（図表 1.2.4）で低迷し、OECD34 か国中 2 番目に低い水準にあるのが実態である。

なお、日本の部門別（産業・運輸・業務その他・家庭・エネルギー転換）エネルギー起源 CO<sub>2</sub> 排出量の推移を図表 1.2.5 に示す。産業部門は、継続的に CO<sub>2</sub> 排出量を削減しているが、部門別では最大である。運輸部門は 2000 年以降、低下傾向にある。

図表 1.2.1 日本の温室効果ガス排出量の推移と目標（環境省）  
<http://www.env.go.jp/earth/ondanka/cp/arikata/conf07.html>



図表 1.2.2 日本の 2030 年のエネルギーミックスの内訳 (資源エネルギー庁)

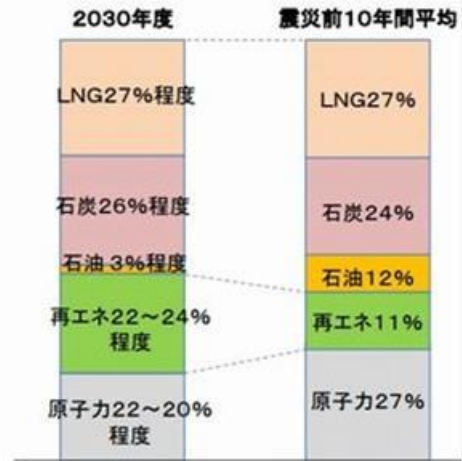
[http://www.enecho.meti.go.jp/category/others/basic\\_plan/#energy\\_mix](http://www.enecho.meti.go.jp/category/others/basic_plan/#energy_mix)

電源構成・発電電力量(億kWh)

2030年度		
石油	315	3%
石炭	2,810	26%
LNG	2,845	27%
原子力	2,317~2,168	22~20%
再エネ	2,366~2,515	22~24%
合計	10,650	100%

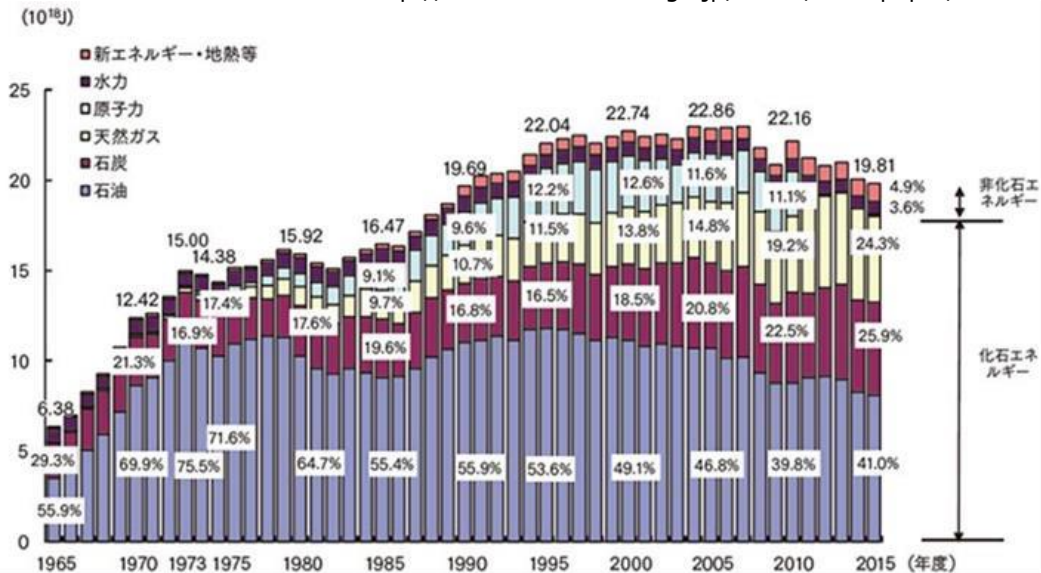
  

2030年度		
太陽光	749	7.0%
風力	182	1.7%
地熱	102~113	1.0~1.1%
水力	939~981	8.8~9.2%
バイオマス	394~490	3.7~4.6%



図表 1.2.3 日本のエネルギー供給 (資源エネルギー庁)

エネルギー白書 (H28 年度版) 第 2 部 <http://www.enecho.meti.go.jp/about/whitepaper/2017.html/>

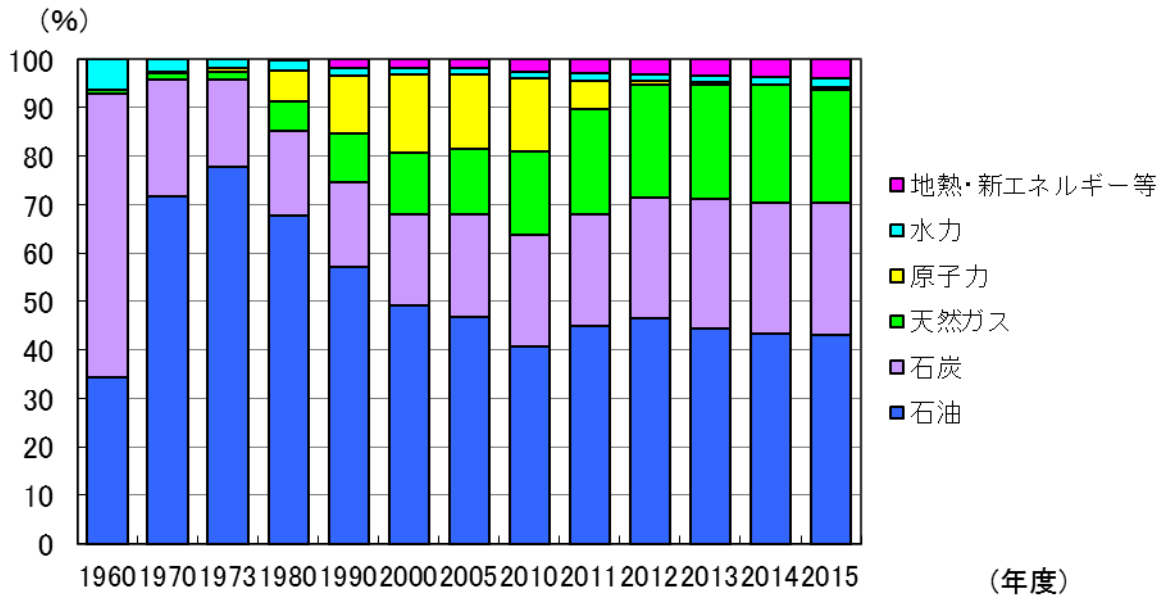


(注1)「総合エネルギー統計」では、1990年度以降、数値について算出方法が変更されている。

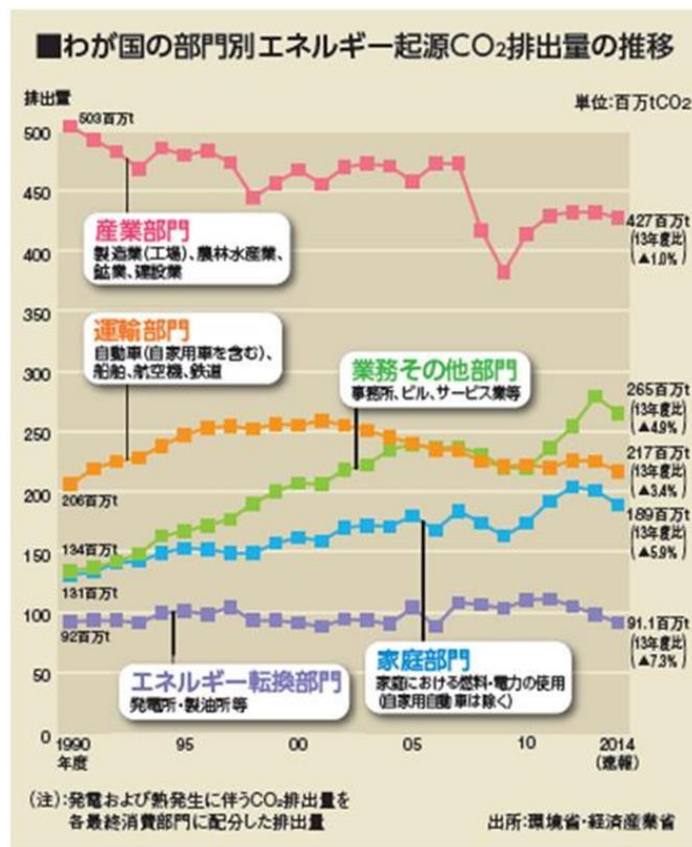
(注2)「新エネルギー・地熱等」は、太陽光、風力、バイオマス、地熱などのこと(以下同様)。

出典：資源エネルギー庁「総合エネルギー統計」を基に作成

図表 1.2.4 日本のエネルギー国内供給構成（資源エネルギー庁）  
 エネルギー白書（H28 年度版）第 2 部 <http://www.enecho.meti.go.jp/about/whitepaper/2017html/>



図表 1.2.5 日本部門別 CO2 排出量（石油連盟）  
 今日の石油産業 2016 p56 [www.paj.gr.jp/statis/data/data/2016\\_data.pdf](http://www.paj.gr.jp/statis/data/data/2016_data.pdf)





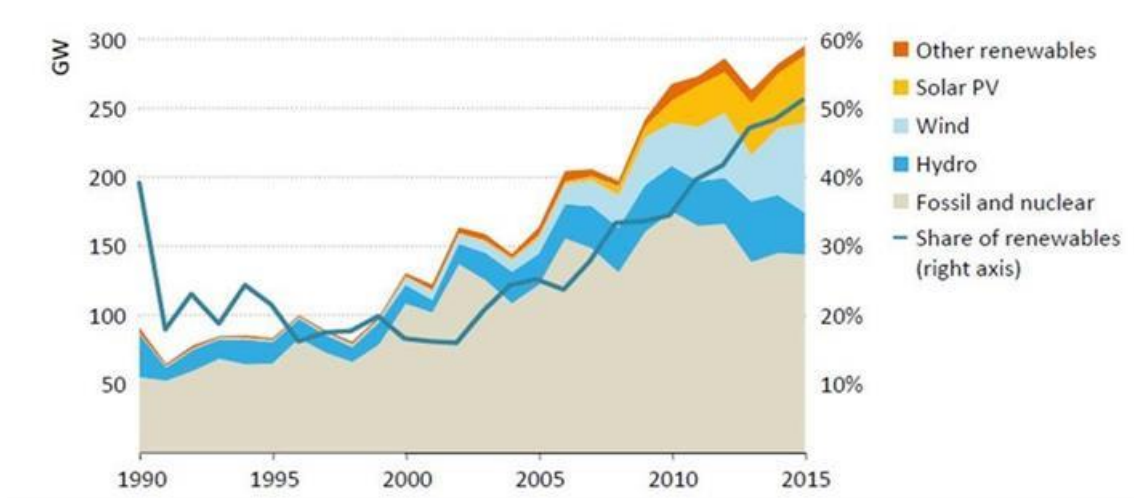
### 1. 3 水素の意義と重要性

水素は、再生可能エネルギーを含め多様なエネルギー源からの製造・貯蔵・運搬が可能と考えられ、特定のエネルギー源に依存しない調達・供給リスクを根本的に低減することが可能である。また、水素は利用時に CO<sub>2</sub> を排出しないので、製造段階での CCS や再生可能エネルギーの活用で、トータルで CO<sub>2</sub> フリーのエネルギー源となる。燃料または燃料電池との組合せで、電力、運輸、熱・産業プロセスのあらゆる分野での究極的な低炭素化が可能である。さらに、産業振興の観点では、日本の水素・燃料電池技術は世界最高水準であり、国内外での積極展開により、新たな成長産業の一つになり得る。

世界の発電設備導入量と再生可能エネルギーの割合の推移を図表 1.3.1 に示す。太陽光発電・風力発電などの新エネルギーの設備導入割合が 2015 年に 50% を超え、この傾向が続けば、化石燃料を使う火力発電の比率が将来的に低下する。

図表 1.3.1 世界の発電設備導入量と再生可能エネルギーの割合の推移  
(資源エネルギー庁 出典 IEA WEO 2016)

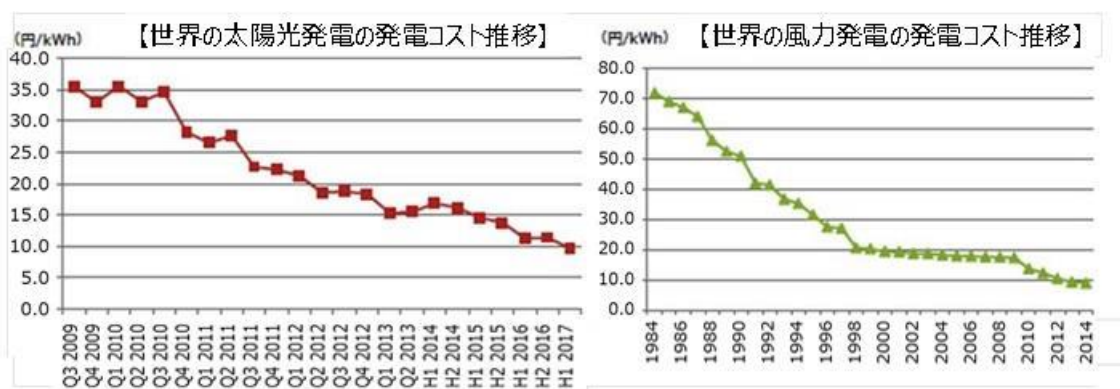
[http://www.meti.go.jp/committee/kenkyukai/energy\\_environment/saisei\\_dounyu/001\\_giji.html](http://www.meti.go.jp/committee/kenkyukai/energy_environment/saisei_dounyu/001_giji.html)



図表 1.3.2 世界太陽光発電コスト

図表 1.3.3 世界風力発電コスト

(1 ドル=113 円、1 ユーロ=121 円)

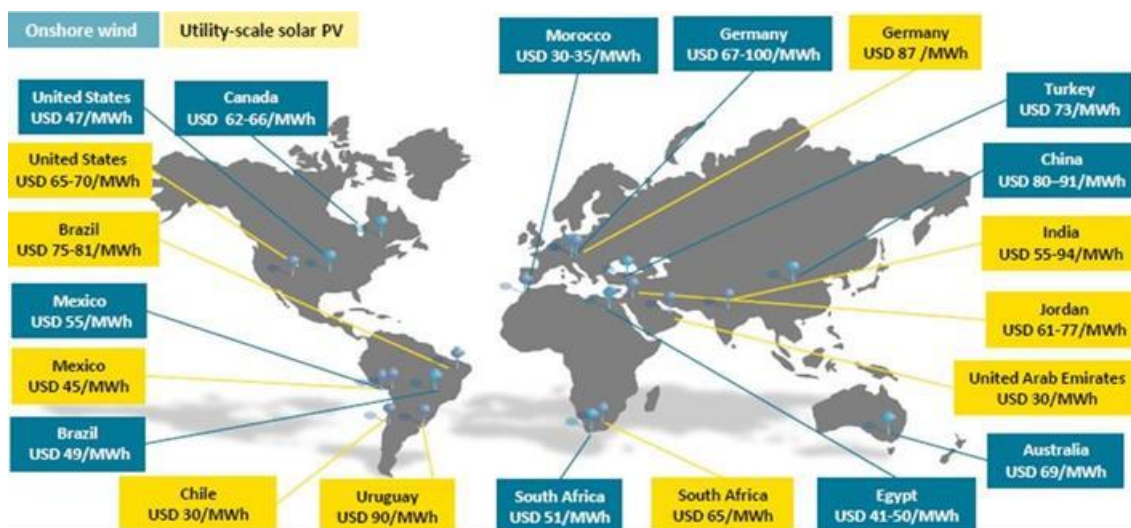


資源エネルギー庁、出典 Bloomberg new energy finance

[http://www.meti.go.jp/committee/kenkyukai/energy\\_environment/saisei\\_dounyu/001\\_giji.html](http://www.meti.go.jp/committee/kenkyukai/energy_environment/saisei_dounyu/001_giji.html)

太陽光発電については、2009年以降のシリコン価格の低減等による価格低下と、固定価格買取制度（FIT Feed-in Tariff）の価格引き下げなどの要因で大幅なコストダウンが続く（図表 1.3.2）。風力発電については、発電設備の大型化・市場の拡大に伴い大幅に価格低下した。2010年以降はさらなる大型化と数量拡大によって、もう一段のコストダウンが進んでいる（図表 1.3.3）。太陽光、風力とも 10 円/kWh 水準まで低下している。

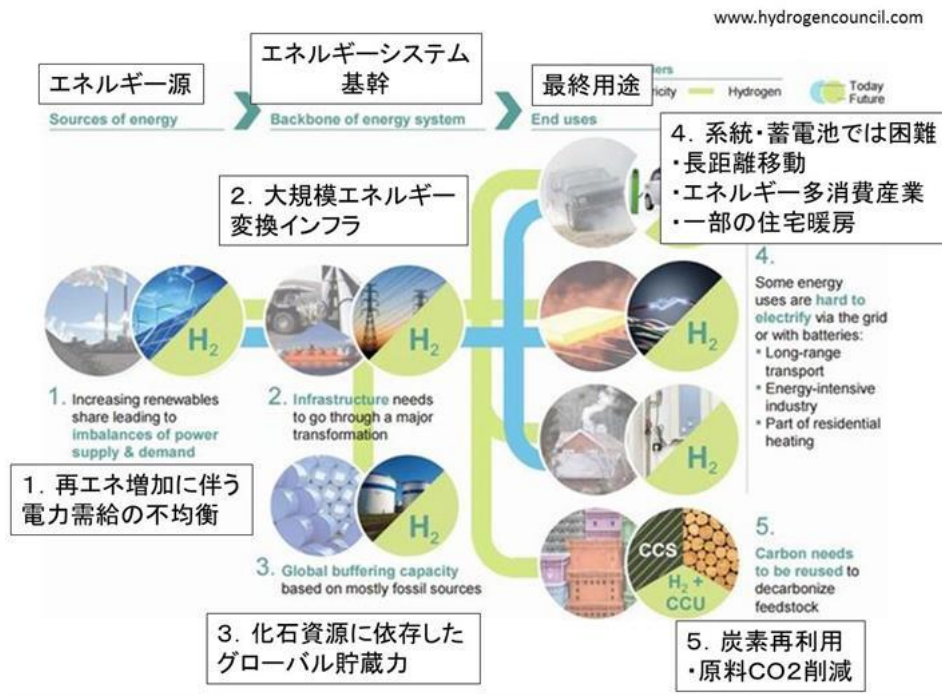
図表 1.3.4 世界の太陽光・風力発電の低コスト事例（IEA）



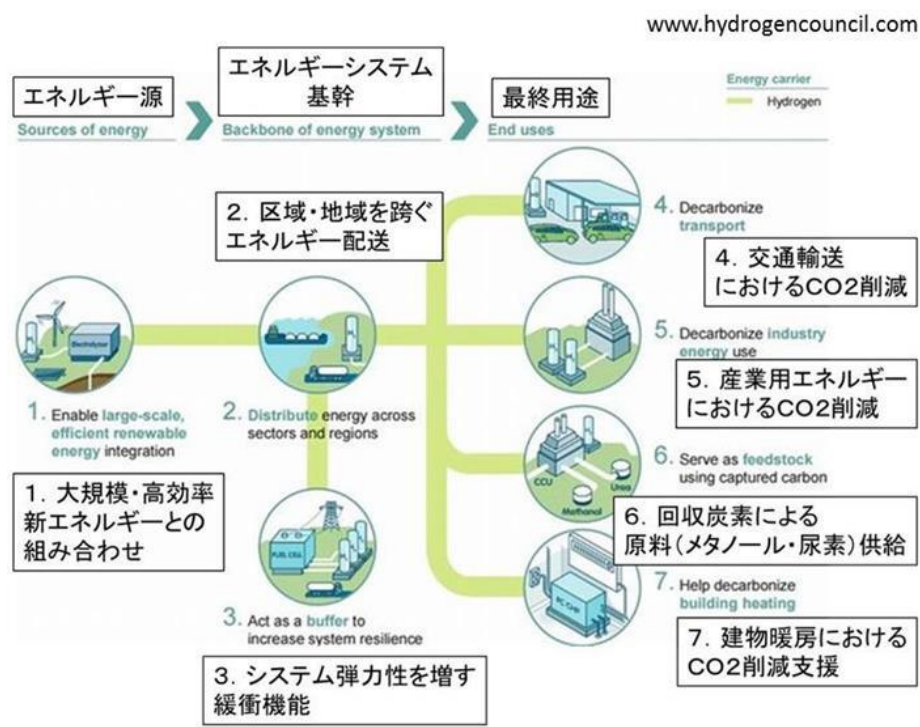
また、太陽光発電・風力発電のコスト（2016~2019年入札価格）は、条件<sup>1</sup>によっては現状でも数円/kWhを下回るものがある（図表 1.3.4 国際エネルギー機関 IEA）。

<sup>1</sup>良質の資源（風力、太陽光）を安定に入手可能である場合の長期契約価格

図表 1.3.5 水素が解決するエネルギーの課題 (Hydrogen Council)



図表 1.3.6 CO2 削減に向けた水素の役割 (Hydrogen Council)





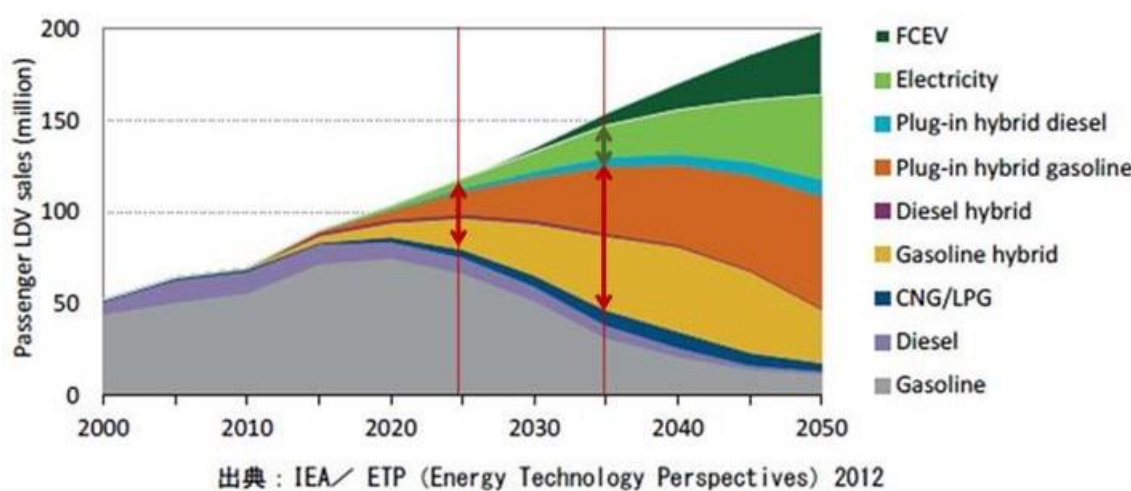
Hydrogen Council が提示している「水素が解決するエネルギーの課題」と「CO2 削減目標に向けた水素の役割」（図表 1.3.5 および図表 1.3.6）から、水素は、新エネルギーの大量配送と需給ギャップの緩衝機能という重要な役割を果たすことが考えられる。

交通輸送における CO2 削減という観点から、図表 1.3.7 には世界の車種別販売台数の将来予測を示す。

- 2025 年 EV が約 4%、HEV・PHEV が約 28%
- 2036 年 EV が約 11%、HEV・PHEV が約 52%

出所は、国際エネルギー機関 IEA International Energy Agency による推定である。

図表 1.3.7 世界の車種別販売台数の将来予測（経済産業省 自動車産業戦略 2014）  
自動車産業戦略 2014 [www.meti.go.jp/press/2014/11/20141117003/20141117003-A.pdf](http://www.meti.go.jp/press/2014/11/20141117003/20141117003-A.pdf)



## 2. 地域の特徴と産業の優位性

2章では、地域の特徴と産業の優位性を分析した。四日市コンビナートは、日本の約20%の工業出荷額を誇る中部地域に位置する。製造品出荷額の業種別シェア（図表 2.1.3）で見ると、製造業全体が21.5%に対し、化学品やその他（含石油製品）が10%台であり、域内供給を拡大し得る可能性がある。最終ユーザーとして自動車・電子・航空機などの産業に恵まれたコンビナートと言える。

四日市コンビナートを取り巻く事業環境を踏まえた上で、石油精製業・石油化学業の基本動作に沿って、先進化に向けた検討課題を分析した。基本動作とは、燃料油の安定供給、副製品の徹底活用、原料・燃料の多様化と安定調達、そして新技術の導入のことである。具体的には、委員会および各企業のヒアリングを通じて収集した情報の整理と分析を実施し、強み・弱み・機会・脅威、ビジョン・技術革新・コンビナートの先進化の方向性について、キーワードを抽出した。その際には、国の総合資源エネルギー調査会資源・燃料分科会において配布されたエネルギー供給構造高度化法 3次告示に関連する資料などを参照した。

### 2. 1 中部地域の特徴

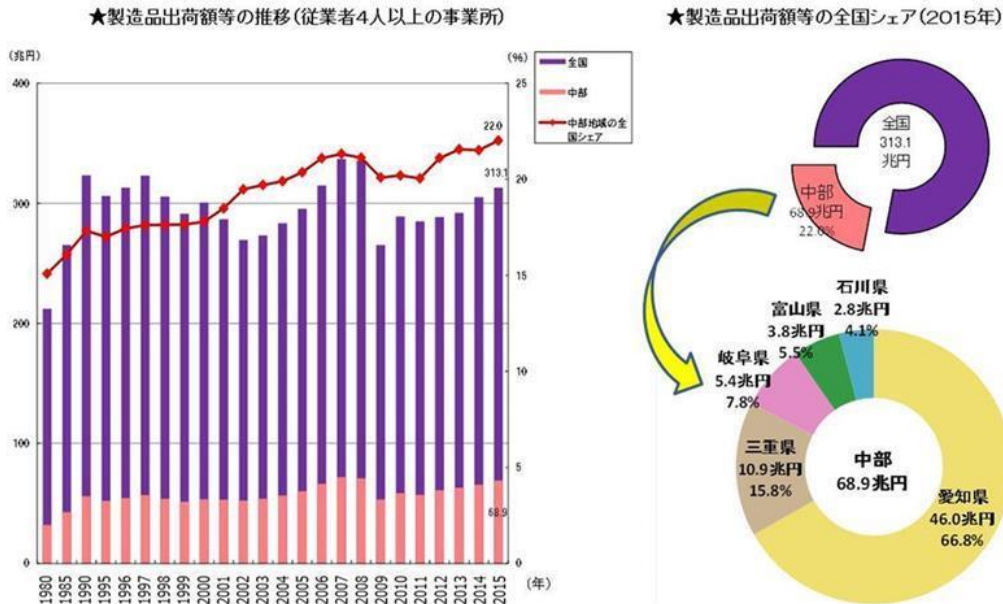
中部地域は、一大消費地である名古屋圏を中心として、自動車・航空機・半導体・電子部品などの産業が集積している国内有数のエリアである。

伊勢湾沿いには、素材・基礎化学品・中間化学品・最終化学品などの生産拠点が立地している。三重県北部の四日市コンビナートでは、石油・石化産業が生産する燃料・基礎化学品をパイプで供給している企業群が、事業を展開している。これらの石油・石化産業は、これまでエネルギーおよび素材の安定供給を担い、原料・燃料の多様化、省資源・省エネルギー・環境対策を進め、地域の豊かさと発展に貢献してきた。

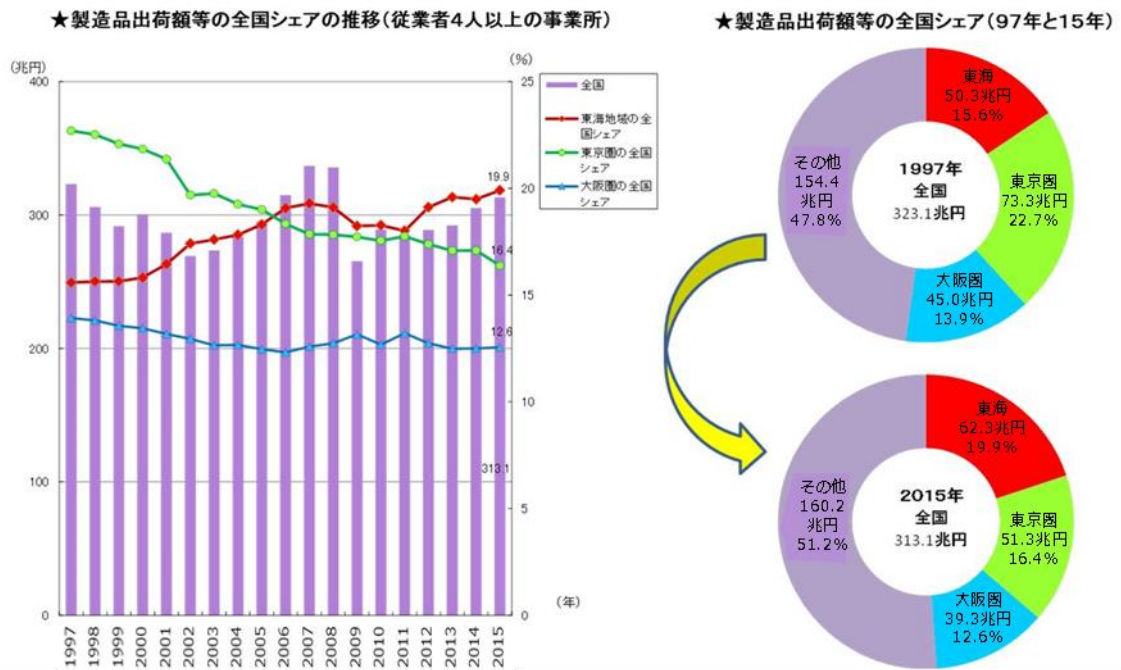
中部地域の製造品出荷額は全国シェア約22%（図表 2.1.1）、東京・大阪・東海の3大都市圏ではトップ（図表 2.1.2）である。一方、中部地域の製造品出荷額の業種別全国シェア（図表 2.1.3）に注目すると、製造業計21.5%、輸送用機械器具44.9%に対して、化学工業12.8%、その他（含む石油製品）10.5%と低いことがわかる。需要が供給に対して約2倍という需給ギャップが存在しており、潜在的に石油製品・化学製品の域内供給を拡大し得る可能性がある。

一方、三重県単独で見ると、コンビナート関連企業が立地している地域としては、電子・化学・電気・プラスチック・非鉄・食料・金属など、材料から製造品への加工度が高く、高付加価値な材料需要が存在している（図表 2.1.4）。

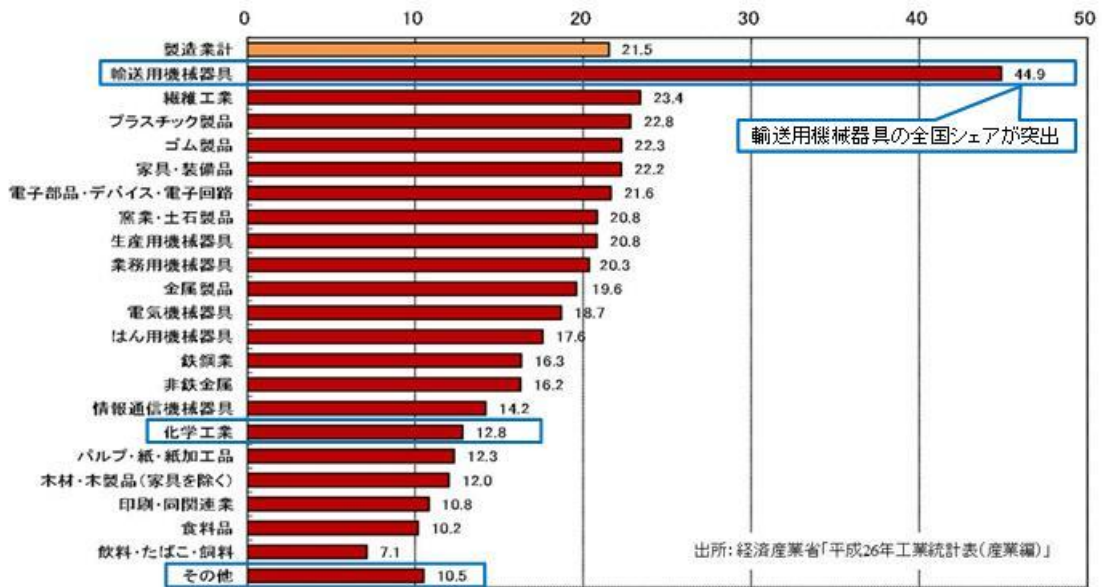
図表 2.1.1 中部地域の製造品出荷額の推移と全国シェア（中部経済産業局）  
 中部経済のポイント 2017 <http://www.chubu.meti.go.jp/a51chosa/point.html>



図表 2.1.2 製造品出荷額等の全国シェアの推移（中部経済産業局 3大経済圏比較）  
 東海経済のポイント 2017 <http://www.chubu.meti.go.jp/a51chosa/point.html>

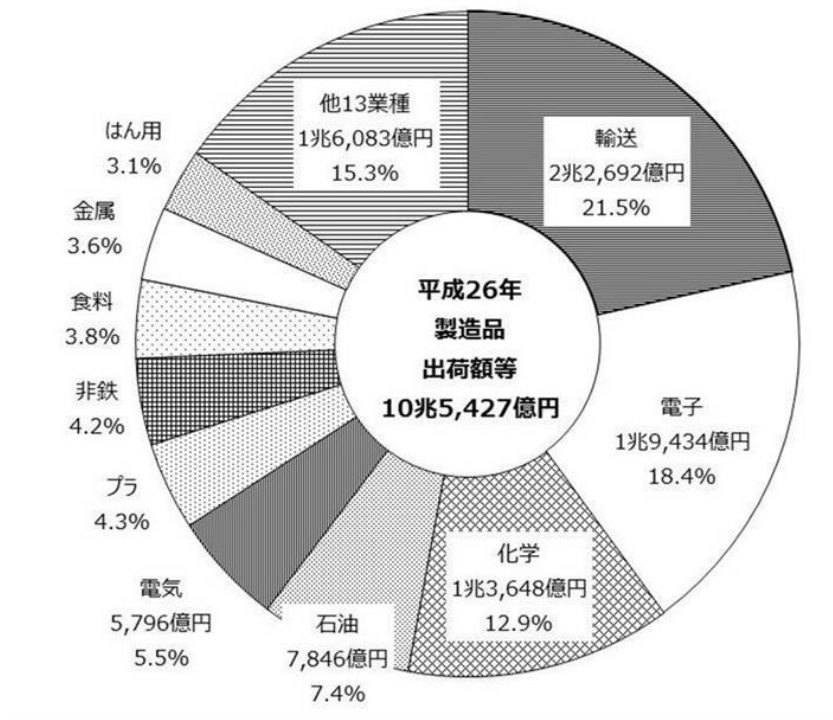


図表 2.1.3 中部地域経済 製品出荷額の業種別全国シェア（中部経済産業局）  
 中部経済産業局 経済動向・統計データ <http://www.chubu.meti.go.jp/a51chosa/point.html>



(注)その他は、「石油製品・石炭製品」、「なめし革・同製品・毛皮」、「その他の製造業」の合計

図表 2.1.4 中部地域製造品出荷額等の産業別構成比（三重県）  
 平成 26 年工業統計調査結果報告書（三重県） <http://www.pref.mie.lg.jp/DATABOX/8791400001-08.htm>



## 2. 2 四日市コンビナートの特徴

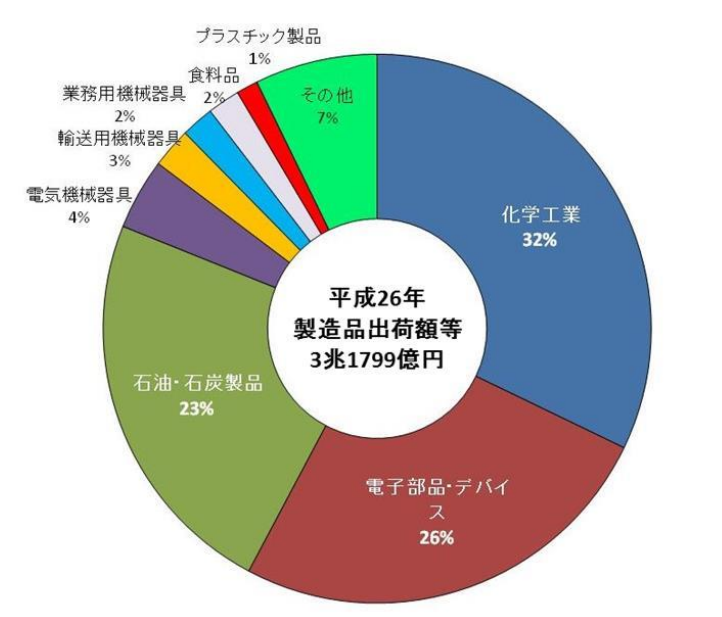
四日市市は、製造品出荷額等は3兆1799億円（平成26年工業統計）で全国の都市の中で第9位（図表2.2.1）と、日本を代表する工業都市の一つである。また、石油・化学、電子部品・デバイス、石油・石炭などの産業が集積している（図表2.2.2）。

図表 2.2.1 製造品出荷額等の市町村ランキング

順位	市区町村	人口	製造品出荷額等 (平成26年確報値)
1	豊田市	42万人	13兆847億円
2	市原市	28万人	5兆3372億円
3	倉敷市	48万人	4兆6592億円
4	川崎市	144万人	4兆5484億円
5	横浜市	372万人	4兆3329億円
6	堺市	84万人	3兆8212億円
7	大阪市	267万人	3兆6348億円
8	名古屋市	226万人	3兆5493億円
<b>9</b>	<b>四日市市</b>	<b>31万人</b>	<b>3兆1799億円</b>
10	大分市	47万人	3兆1165億円
11	神戸市	155万人	2兆8318億円
12	広島市	118万人	2兆7145億円
13	太田市	22万人	2兆6178億円
14	姫路市	54万人	2兆4087億円
15	北九州市	97万人	2兆1282億円

図表 2.2.2 四日市市の産業別製造品出荷額等の割合

四日市市統計情報 <http://www.city.yokkaichi.lg.jp/www/contents/1494809209646/index.html>





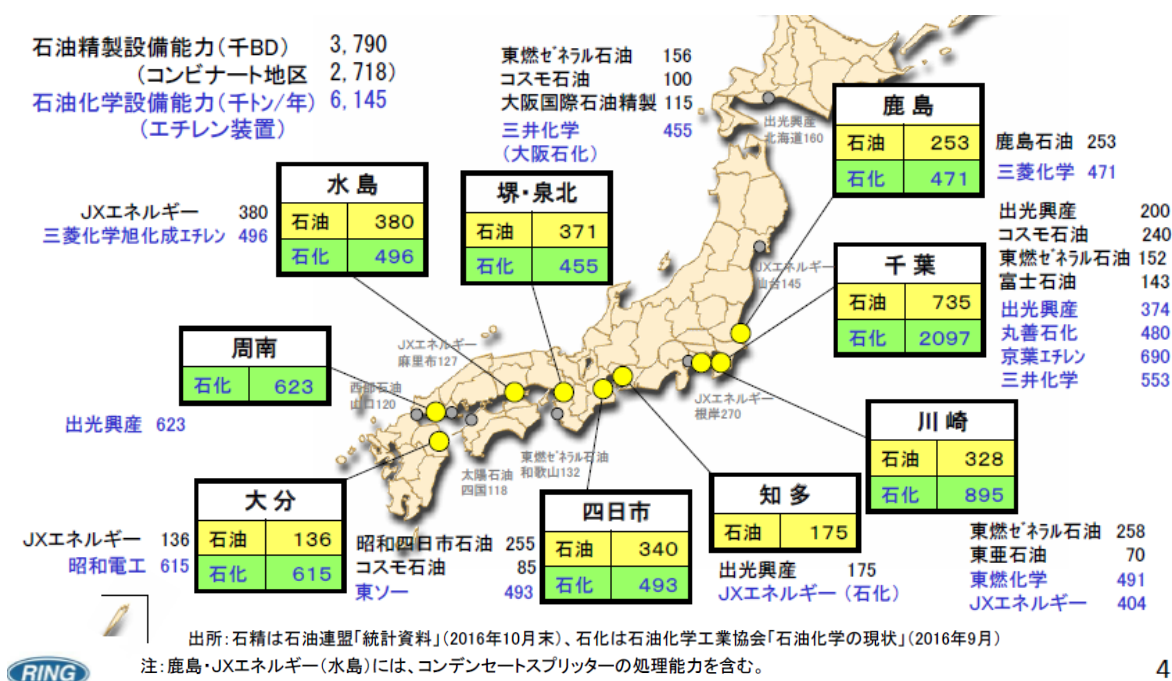
現在のわが国における石油精製設備能力は、3,790千BD（バレル<sup>2</sup>/日）、そのうちコンビナート地区に7割の2,718千BDが立地している。また、エチレン装置能力は6,145千ト/年である。

四日市コンビナートの石油精製業の常圧蒸留装置能力は、昭和四日市石油社が255千BD、コスモ石油社が85千BD（2018年3月現在は86千BD）と合計340千BDで、全国シェア9%である。また、石油化学業のエチレン製造装置能力に注目すると、東ソー社が493千ト/年であり、全国シェア8%である（図表2.2.3）。

図表 2.2.3 四日市コンビナート（石油・石化）規模の位置づけ

第4回石油精製・流通研究会 資料4 RING

[http://www.meti.go.jp/committee/kenkyukai/energy\\_environment/sekiyu\\_seisei/004\\_haifu.html](http://www.meti.go.jp/committee/kenkyukai/energy_environment/sekiyu_seisei/004_haifu.html)



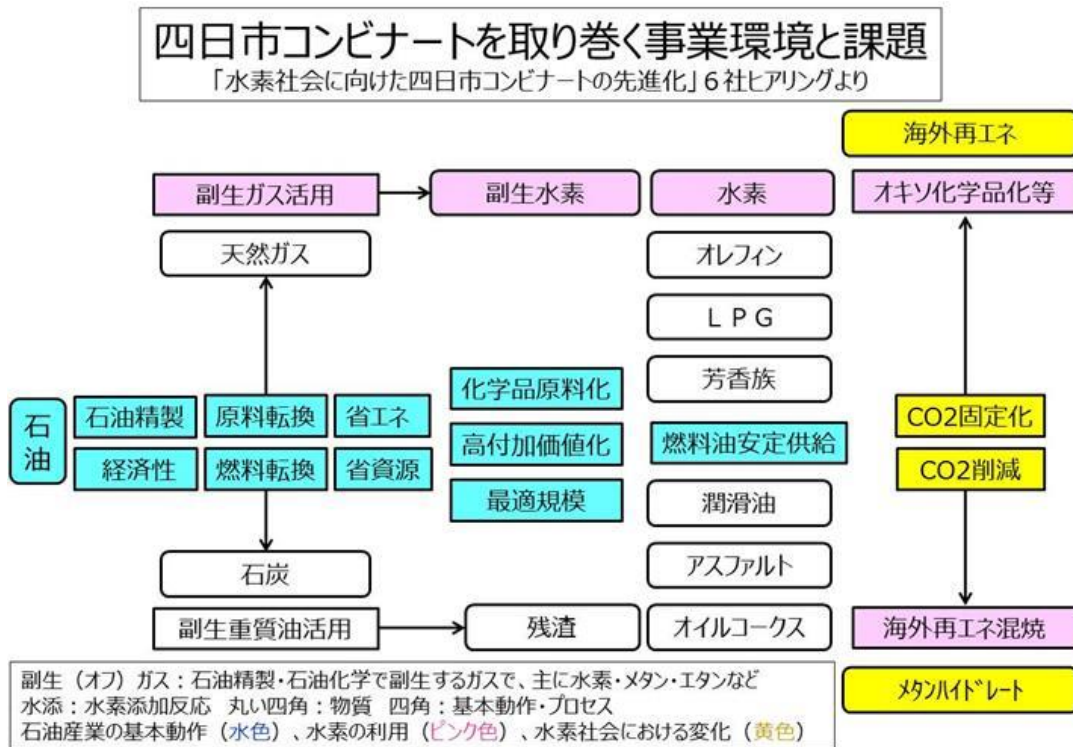
伊勢湾に拡げて、出光興産社の175千BDを加えても、石油精製業3社合計の常圧蒸留装置能力は、515千BDと全国シェア13%である。中部地域の製造品出荷額全国シェアは約22%であるため、工場出荷額の全国比率に対し石油精製能力の全国シェアは半分に過ぎず、地域を賄えていないと考えられる。

<sup>2</sup> BD (Barrel/Day) とは製油所の精製能力を示す単位であり、1日当たりの原油処理能力を示している。Barrel とはドラム缶1本159Lに相当する。

## 2.3 先進化に向けた課題の分析

本委員会検討では、四日市コンビナートを取り巻く事業環境について、石油精製業・石油化学業の基本動作に沿って分析した(図表 2.3.1)。基本動作とは、燃料油の安定供給、副産品の徹底活用、原料・燃料の多様化と安定調達、そして新技術の導入のことである。

図表 2.3.1 コンビナートの基本動作



昨年度の委員会討議内容から、四日市コンビナートの国際競争力強化に注目し、中長期的な観点を含めて、石油・石化産業の基本行動に沿って検討課題候補を抽出した(図表 2.3.2)。具体的には、多様な変化が予測される将来に向けて、コンビナートの基本行動原理である原料の多様化・燃料の多様化、そして安定供給をベースに置き、国際競争力の強化、地球環境にやさしい原料・燃料の導入、地域バリューチェーンの進化と連結拡大について議論を実施した。

地球環境問題の観点については、CO2 排出量の削減に向けた各事業所単独の省資・省エネ努力はかなりのレベルまで進んでおり、今後の投資効率を確保するのが容易ではない状況にある。その打開策としては、4章に示す再生可能エネルギーに関連する技術革新の進捗と成果を活用し、コンビナート企業が連携して取り組む方向が想定される。

図表 2.3.2 論点の整理

論点の整理		
<b>情報の整理</b> ① 中部・伊勢湾の特徴 ② 三重県の特徴 ③ 四日市市の特徴 ④ 四日市コンビナートの特徴	<b>ビジョン</b> ① コンビナートの先進化 ② CO <sub>2</sub> フリーの循環社会 ③ 化石燃料をグリーンに使う ④ コンビナートの競争力強化 ⑤ 政策（RING）を活用する ⑥ 各社のメリットに結び付く	<b>技術革新</b> ① 太陽光・風力発電 ② Power to Gas ③ 水素キャリア ④ H <sub>2</sub> 燃焼 ⑤ NH <sub>3</sub> 合成・分解
<b>情報の分析</b> ① 他の地域との比較 ② 他のコンビナートとの比較 ③ 製油所の比較		<b>コンビナート先進化の方向性</b> ① 水素の大規模利用 ② メタンの大規模利用 ③ 原料転換・燃料転換 ④ 地産地消に向けた規模拡大 ⑤ 先進化のロードマップ ⑥ 大きなビジネスチャンスを作る
<b>強み</b> ① 一大消費地 ② 多様な工業集積 ③ 高度な工業集積 ④ 地域需給ギャップ	<b>弱み</b> ① チェーンが多様・錯綜 ② リードする組織が無い ③ 危機意識が薄い ④ 連産品コスト意識	
<b>脅威</b> ① 地球環境問題 ② エネルギー動向（再エネ・炭素税） ③ 産業構造改革 ④ 国内先進地域 ⑤ アジア新興国	<b>機会</b> ① CO <sub>2</sub> フリー・安価な水素（再エネ・未利用エネ+CCS） ② メタンハイドレート ③ RING投資 ④ 水素利用の実証試験	

国の産業政策については、平成 29 年 3 月末が期限であったエネルギー供給構造高度化法（以下、高度化法）2 次告示対応に沿って、四日市コンビナートにおいても常圧蒸留塔の削減が企業間連携を通じて成立している。その後、経済産業省資源エネルギー庁石油精製備蓄課によれば、国内石油需要の減少、新興国を含めた国際競争の激化が懸念材料として示されており、その対応として、平成 29 年 5 月に高度化法 3 次告示が資源エネルギー庁から示された。

高度化法 3 次告示では、引き続き、法目的である原油の有効利用の推進を図るとしている。国内製油所の国際競争力強化の観点からも、重質油分解装置の有効活用（稼働率向上、製油所間連携、能力増強等）を促し、より一層の重質油分解能力の活用を実現としている（図表 2.3.3）。各社毎に、今後 5 年間の改善目標を設定し、国内全体で輸入品に負けない生産性の実現を目指すとともに、一部製油所における輸出可能な生産性の獲得を促す内容となっている（図表 2.3.4）。



図表 2.3.3 エネルギー供給構造高度化法（資源エネルギー庁 資源・燃料部）

総合資源エネルギー調査会 資源・燃料分科会（第21回）資料6

[http://www.meti.go.jp/committee/sougouenergy/shigen\\_nenryo/021\\_haifu.html](http://www.meti.go.jp/committee/sougouenergy/shigen_nenryo/021_haifu.html)

### 高度化法3次告示の基本的考え方

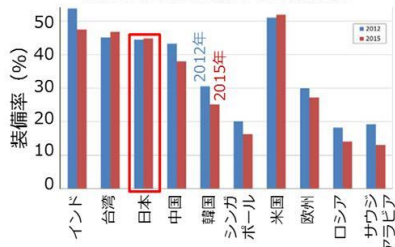
- エネルギー供給構造高度化法の法目的である、「原油の有効利用」の推進は、国内資源に乏しい我が国にとって、原油調達の柔軟性向上等を通じた供給安定性の向上、さらには、原油調達コスト低減ひいては国内石油製品価格の安定にも資するため、引き続き重要。
- 国内製油所の維持に資する「国際競争力強化」の観点からも、IMO規制強化や電力用燃料の需要減少に伴う重油需要の減少が見込まれる中、**より一層、重質油を分解することの重要性が高まる可能性**。



- これまでの取組により、既に各社の重質油分解装置の「装備率」は世界的に高い水準を実現。一方、実際の分解能力の活用は十分ではなく、国際競争力の高い他国の製油所と比して、多くの残渣油を生産しているとの指摘。

⇒ 次期の告示においては、各社による重質油分解装置の有効活用（稼働率向上、製油所間連携、能力増強等）を促し、より一層の重質油分解能力の活用を実現する。

＜残渣処理装置装備率の国際比較＞



＜日本の製油所の残渣得率＞

残渣得率 (%)	2012	2014
日本製油所の平均	11.8	10.4
世界最良の製油所	4.9	3.8

出典：ソロモン アソシエイツ

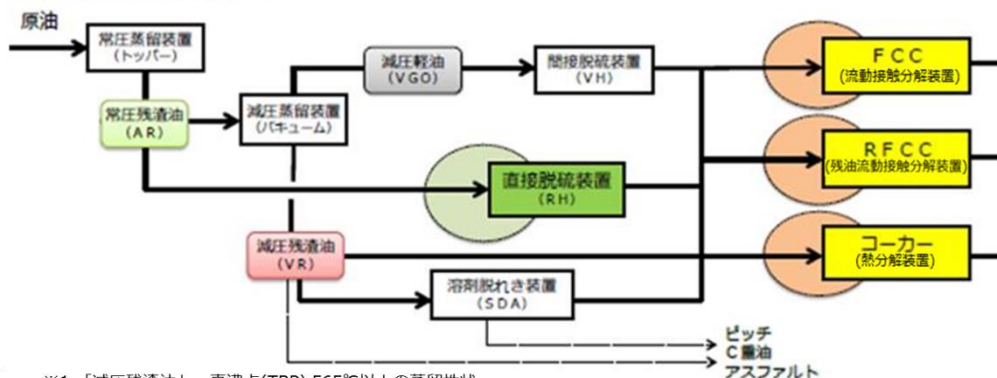
※日本以外はSDA（溶剤脱れき装置）能力を含まず  
出典：エネルギー調べ

図表 2.3.4 高度化法3次告示の評価指標（資源エネルギー庁 資源・燃料部）

### 3次告知の評価指標について

- 重質油分解装置等(FCC,RFCC,コーカー,直接脱硫装置)の有効活用・重質油分解能力の向上を促すため、同装置への減圧残渣油(※)の通油量を増加させることを目標とする。  
(※) 減圧蒸留装置処理後の残渣油等を指す。原油に含まれる物質の中で、特に重質であり、分解・白油化が困難な成分。
- 各社毎に、現状に応じた今後5年間の改善目標を設定。国内全体で輸入品に負けない生産性（インポートパリティ）の実現を目指すとともに、一部製油所における輸出可能な生産性（エクスポート・パリティ）の獲得を促す。

＜評価指標の考え方＞



※1 「減圧残渣油」= 真沸点(TBP) 565℃以上の蒸留性状。

※2 直接脱硫装置における分解量およびFCC, RFCC, コーカーにおける通油量で評価。

※3 直接脱硫装置の分解量評価は、同装置への減圧残渣油の通油量および減圧残渣油の収率の差から算出。

※4 コーカーにはH-Oilを含む。

### 3. 水素基本戦略

3章では、日本の「水素基本戦略」に注目した。本検討委員会の検討活動と同時期、平成29年12月26日に国の関係閣僚会議において決定された。2050年を視野に、将来目指すべきビジョンであるとともに、その実現に向けた2030年までの行動計画である。水素の供給・水素源・コスト・発電利用・モビリティ利用・燃料電池利用に関するシナリオに沿って、定量的な目標が記載されている。ガソリンやLNGなどの従来エネルギーと同程度の水素コストの実現を目標として掲げ、その実現に向け、水素の生産から利用まで、関係省庁にまたがる政策群を共通目標の下に統合している。この水素基本戦略に基づき、CO<sub>2</sub>フリーな水素を実現することで、水素を新しいエネルギーの選択肢として提示するとともに、日本の強みを活かし、日本が世界のCO<sub>2</sub>フリー化を牽引していくと表明している。

3章後半では、「四日市コンビナートの水素基本戦略」をまとめた。日本の水素基本戦略の公表を踏まえて、前提となる技術革新の進捗状況の調査研究（4章）と並行しながら、2つの連携案について議論を重ねた。1つ目は「水素インフラを軸とした連携案」について実現性に関して意見交換を実施し、コンビナートを繋ぐ水素導管を想定したフロー（図表3.3.1）に整理した。2つ目は「水素キャリア（アンモニア等）を軸とした連携案」として、コンビナートに水素キャリア利用基盤を構築することを想定した意見交換を実施し、海外再生可能エネルギー拠点からの水素キャリアによる輸送とコンビナート内の配送を想定したフロー（図表3.4.1）に整理した。

これらをもとに、日本の水素基本戦略に準じ、四日市コンビナートの先進化に向けて、企業・行政関連機関・地域が共有すべき大きな方向性・ビジョンを示すものとして「四日市コンビナートの水素基本戦略」（図表3.2.2）をまとめた。

### 3. 1 日本の水素基本戦略

本委員会検討と並行して「水素基本戦略」が平成 29 年 12 月 26 日に日本政府から発表された（図表 3.1.1）。これは、水素の供給・水素源・コスト・発電利用・モビリティ利用・燃料電池利用に関する、2050 年に向けたシナリオである。このシナリオ（図表 3.1.2）には定量的な目標が記載されている。この日本の水素基本戦略から、四日市コンビナートに関連する項目 1)から 8)を抽出し、コメントを付記した。

#### 1) 低コスト水素の利用

水素社会の実現には、水素の大量調達および供給コストの低減が不可欠である。海外の安価な未利用エネルギーまたは再生可能エネルギーから、水素を大量調達する方向としている。

→ CO<sub>2</sub> フリーエネルギー源として、二酸化炭素回収・貯留 CCS (Carbon dioxide Capture and Storage) が有効であれば、褐炭などの未利用エネルギー（未利用エネ）を水素源とすることも可能である。

2030 年頃に、商用規模の国際サプライチェーンの構築が進めば、30 円/Nm<sup>3</sup> 程度の水素コスト、将来的には 20 円/Nm<sup>3</sup> 程度までコストが低減されるとしている。

→ 環境価値も含め、既存のエネルギーコストと同等以上の競争力実現の源泉として、コンビナートにおける水素利用の可能性がある。

#### 2) 電力分野での利用

国際的な水素サプライチェーンとともに 2030 年頃の商用化、17 円/kWh のコスト、年間 30 万 t 程度（発電容量で 1GW）を目標としている。将来的には、環境価値も含め、既存の LNG 火力発電と同等のコスト競争力を目指している。

→ コンビナートへの導入に当たっては、経済性の確立、環境価値の評価、他の制度設計に係る議論などを注視しつつ、検討を進める必要がある。

#### 3) 水素サプライチェーンの開発

効率的な水素の輸送・貯蔵を可能とするエネルギーキャリア技術の開発を実施としている。主なエネルギーキャリアは、液体水素・有機ヒドライド・アンモニアの 3 種である（4.1 項参照）。容積当たりの水素輸送効率が高く、直接燃焼可能なアンモニアについて、燃焼時の NO<sub>x</sub> 低減、可燃性劇物に係る安全性確保等を図り、2020 年代半ば迄に CO<sub>2</sub> フリーアンモニアの利用開始を目指している。

→ アンモニア輸入インフラは、ボイラー排ガス脱硝用等で既設だが、規模拡大を要する。

図表 3.1.1 日本の水素基本戦略の概要

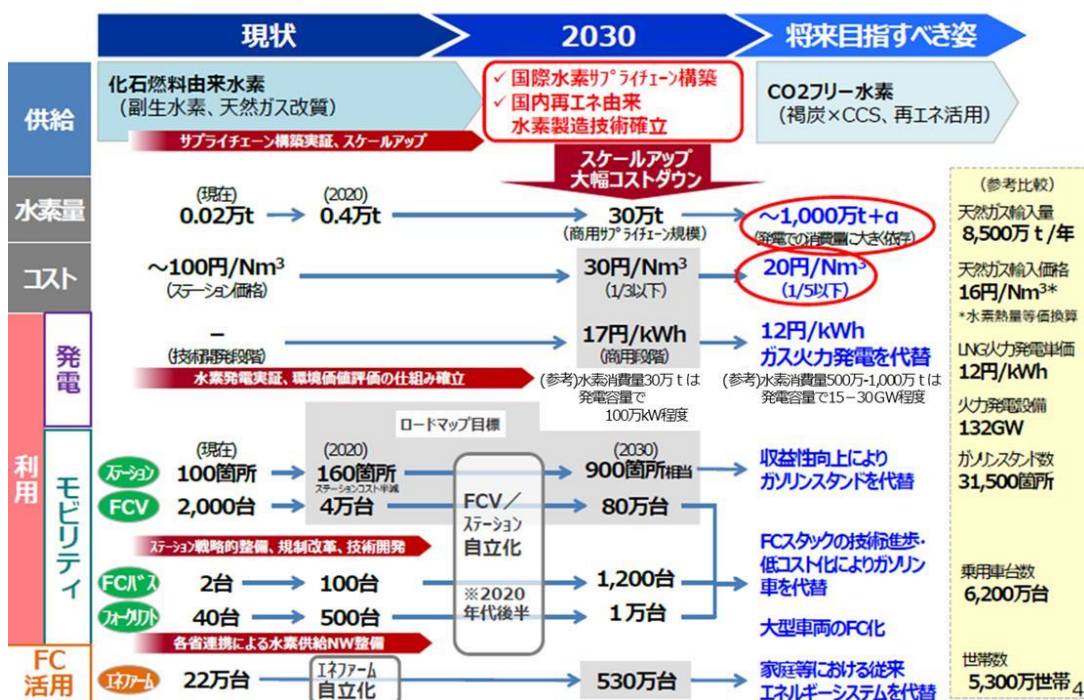
経産省水素基本戦略 <http://www.meti.go.jp/press/2017/12/20171226002/20171226002.html>

水素基本戦略（2017年12月26日公表）	
水素基本戦略は、2050年を視野に将来目指すべきビジョンであると同時に、その実現に向けた2030年までの行動計画です。基本戦略では、目標として、従来エネルギー（ガソリンやLNG等）と同等程度の水素コストの実現を掲げ、その実現に向け、水素の生産から利用まで、各省にまたがる政策群を共通目標の下に統合しました。	
水素社会実現に向けた基本戦略（概要）	
(1)低コストな水素利用の実現	(5)モビリティでの利用
<ul style="list-style-type: none"> <li>海外未利用エネルギー／再生可能エネルギーの活用</li> <li>2030年ごろに商用規模のサプライチェーン構築、30 t/y 規模で30円/Nm<sup>3</sup>程度を目指す</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>2020年代後半までにST事業の自立化</li> </ul>
(2)国際的な水素サプライチェーンの開発	(6)産業プロセス・熱利用での水素活用の可能性
<ul style="list-style-type: none"> <li>効率的な水素の貯蔵・輸送を可能とするエネルギーキャリア技術を開発</li> <li>液化水素は2030年ごろ商用化、有機ハイドライドは2025年以降商用化、アンモニアは2020年台半ばまでの利用開始。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>原燃料への適用による低炭素化の実現</li> </ul>
(3)国内再生可能エネルギーの導入拡大と地方創生	(7)燃料電池技術活用
<ul style="list-style-type: none"> <li>国内再生可能エネルギー由来水素の利用拡大（P2G技術の開発）</li> <li>地域資源の活用及び地方創生（新たな地域産業の構築支援と低炭素な水素サプライチェーン構築の支援）</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>燃料電池技術活用</li> <li>エネファームの価格ダウンによる自立的普及を図る</li> <li>2030年以降はCO<sub>2</sub>フリー水素による 純水素燃料電池コジェネ導入の拡大を図る</li> </ul>
(4)電力分野での利用	(8)革新的技術活用
<ul style="list-style-type: none"> <li>水素発電技術の開発。2030年頃商用化、目標コスト17円/kWh（発電容量1GW）</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>2050年を見据え、水素製造技術・エネルギーキャリア、燃料電池の開発を省庁連携でシームレスに推進</li> </ul>
	(9)国際展開：国際標準化
	(10)国民の理解促進、地域連携
	<ul style="list-style-type: none"> <li>水素の安全性・水素利用の意義に関する認識共有のため国・地方自治体の連携による情報発信</li> </ul>

図表 3.1.2 日本の水素基本戦略のシナリオ

経産省水素基本戦略 <http://www.meti.go.jp/press/2017/12/20171226002/20171226002.html>

### 水素基本戦略のシナリオ



#### 4) 国内再生可能エネルギーの導入拡大

再生可能エネルギー利用の拡大には、調整電源の確保とともに、余剰電力の貯蔵技術が必要である。国内再生可能エネルギー由来水素の利用拡大（国策）に対して、蓄電池では対応の難しい長周期の変動に適した水電解（水素製造）システムについて、2032年頃には商用化が予定されている。

#### 5) 副生水素の活用と水素インフラ

地域資源のひとつとして、副生水素が注目されている。

→ コンビナートにて副生する水素を、燃焼処理ではなく、付加価値を生む原料として融通することが望ましい。

→ 水素インフラは、副生水素と海外由来水素を意識した共通化が望ましい。

→ 水素インフラは、周辺地域への供給を想定した分岐を設置することが望ましい。

#### 6) 産業プロセス・熱利用での水素活用の可能性

CO<sub>2</sub>フリー水素を燃料として利用することで、工業炉で使用されている化石燃料を代替し、産業分野の低炭素化を図ることも可能としている。

#### 7) 燃料電池

アンモニアを燃料とする直接燃料電池技術に注目している。

→ その開発動向を注視する。水素キャリア（アンモニア等）インフラを利用した、地域供給の可能性もある。

#### 8) 地域の理解促進、行政機関との連携

水素の安全性に対する理解、水素利用の意義について地域全体での認識共有が必要であるとしている。

→ 地域での協議会等の場を積極的に活用し、国・県・市・関連研究機関と連携しながら、情報共有を図り、適切に情報を発信する必要がある。

→ 情報発信・技術開発のインフラという観点からは、公益財団法人 国際環境技術移転センター（ICETT）、高度部材イノベーションセンター（AMIC）、燃料電池研究に取り組む三重県工業研究所などとの連携が想定される。



### 3. 2 四日市コンビナートの水素基本戦略

四日市コンビナートの水素基本戦略をまとめる前段として、コンビナートに関連する主要な検討課題の抽出を実施した。平成 29 年 8 月から 9 月の企業委員ヒアリングにおいて、水素利用だけではなく、国際競争力や地球環境問題への対応を加味した検討課題候補の抽出が必要との意見が多くあった。そこで委員会に於いて、水素社会・国際競争力・地球環境への対応を対象として、地域内コンビナートの全体最適化を通じた、国際競争力の強化に関する議論を実施した。同時に、水素基本戦略実現の鍵となる、主要な技術革新の進捗状況について調査研究を実施した（4 章参照）。

図表 3.2.1 主要な検討課題

「水素社会に向けた四日市コンビナートの先進化」委員会

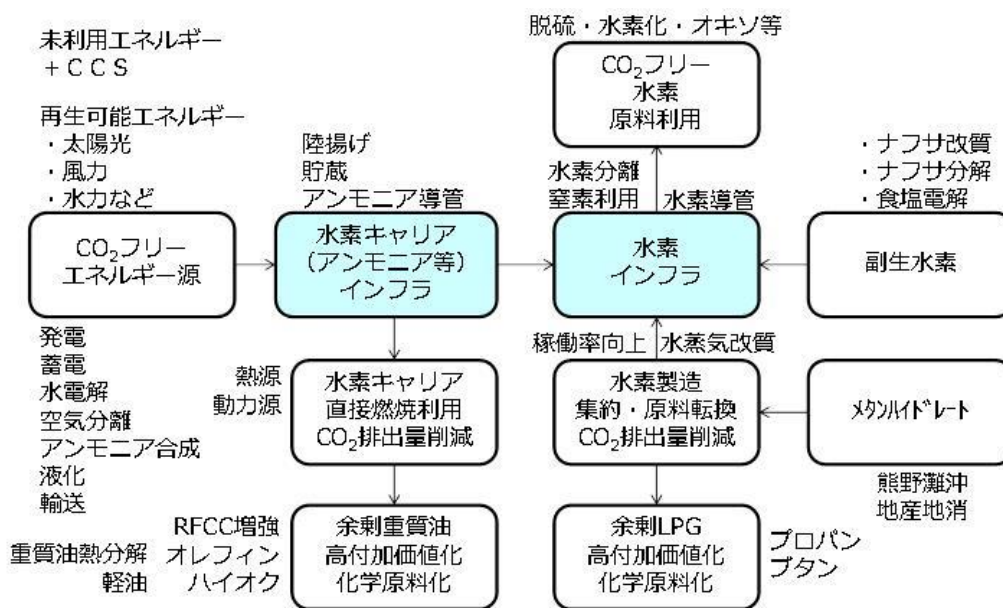
A 水素社会	B 国際競争力	C 地球環境
A1 副生水素活用	B1 副生ガス活用	C1 CO <sub>2</sub> 排出削減
A2 水素原料転換	B2 副生重質油活用	C2 CO <sub>2</sub> 固定
A3 水素供給網	B3 高付加価値化	C3 最適規模
A4 海外再エネ利用	B4 化学品化	C4 省資・省エネ
A5 水素キャリア	B5 燃料油安定供給	
A6 水素貯蔵	B6 燃料転換	
	B7 原料転換	

水素社会・国際競争力・地球環境に関して実施した委員会における討議および情報共有の内容を図表 3.2.1 に示す。委員会では、CO<sub>2</sub> フリーエネルギー源に注目し、CO<sub>2</sub> 排出量削減による地球環境問題への対応の可能性、水素供給網と水素キャリアインフラの整備を進める可能性などについて議論した。委員会討議の中では、企業委員より国際競争力との両立に関する懸念が表明され、質疑が活発に行われた。

具体的には、エネルギーのベストミックスの変化、再生可能エネルギーの利用などに伴い、余剰となる重油および LPG から製造する基礎化学品、安価な CO<sub>2</sub> フリー水素を利用した燃料油の脱硫、水素と CO<sub>2</sub> を組み合わせた化学品、CO<sub>2</sub> とアンモニアを組み合わせた化学品などの製造について、コンビナートの付加価値向上策としての効果などについて意見交換を実施した。また、事業強化の際の障壁について聴取し、規制緩和・環境枠の運用など、各種行政支援策を考えるヒントを抽出した。

四日市コンビナートの水素基本戦略をまとめる後段として、日本の水素基本戦略（図表 3.1.1 および図表 3.1.2）に準じて、2050 年を視野に入れ、将来目指すべき姿として「四日市コンビナートの水素基本戦略」（図表 3.2.2）をまとめた。四日市コンビナートの先進化を図るため、グローバルな動向を常に把握し、地域社会への貢献を図りながら、日本の水素技術を実装し、我が国コンビナートの低炭素化をリードする構想である。

図表 3.2.2 四日市コンビナートの水素基本戦略  
「四日市コンビナートの先進化に向けて」



CO2フリー水素に注目し、水素インフラおよび水素キャリアインフラの整備を進め、地球環境問題対応（CO2 排出量削減）と国際競争力強化（高付加価値化）の両立を図る戦略である。

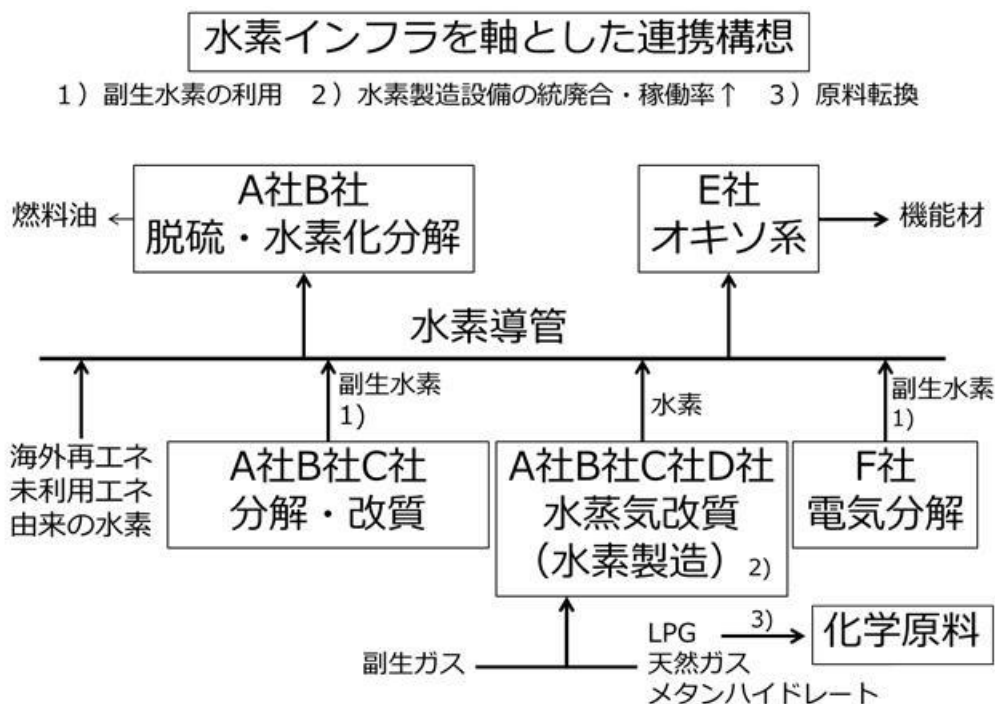
例えば、水素キャリアに注目すると、化石燃料の混焼を実施し、蒸気・電気を得て熱源・動力源として利用し、CO2 排出量削減を図ることが出来る。混焼する化石燃料としては CO2 排出量が多い石炭・重油などが標的となるであろう。その際に、石油・石化コンビナートにとっては、重油需要が落ちること（現時点でも電力用需要が低下傾向）になるため、石油精製稼働をあるレベルでキープするためにも、余剰重油の利活用が望ましい。コンビナート内には重油を原料として使用可能な残油接触流動分解 RFCC プロセスが既存であり、このプロセスの増強がひとつの候補となる。製品はハイオクガソリンや化学原料であるオレフィンの増産を通じた、高付加価値化に繋げることが想定される。

### 3.3 水素インフラ

これまで述べてきた内外環境の分析、検討課題の抽出、日本の水素基本戦略などを踏まえて、四日市コンビナートの水素基本戦略の基盤整備案として2つのインフラ構築について議論を重ねた。1つ目は水素インフラの構築であり、2つ目は水素キャリア（アンモニア等）インフラの構築である。これらのインフラを整備すると、コンビナートに隣接する地域に対してもCO<sub>2</sub>フリーエネルギーを安定供給することが可能となる。CO<sub>2</sub>フリーエネルギー源に注目し、水素インフラと水素キャリア（アンモニア等）インフラの整備を進め、地球環境問題対応（CO<sub>2</sub>排出量削減）と国際競争力強化（高付加価値化）の両立を図る戦略である。

1つ目の水素インフラの構築について本委員会では、水素社会実現に向けて、副生水素の活用と水素原料の転換、水素キャリア技術の開発と海外からの大量調達、海外未利用エネルギー（+二酸化炭素地中貯留 CCS）の利用、海外再生可能エネルギーの利用、水素の貯蔵、水素の供給網について議論した。地球環境問題への対応については、省資源・省エネルギー、石油産業の最適規模、CO<sub>2</sub>排出量の削減、CO<sub>2</sub>の固定化技術について議論し、「水素インフラを軸とした連携構想」として、コンビナートを繋ぐ水素導管を想定したフロー（図表 3.3.1）に整理した。

図表 3.3.1 コンビナートをつなぐ水素導管を想定したフロー





例えば、オレフィン・アロマ・ガソリンを生産するナフサ熱分解、アロマ・ガソリンを生産するナフサ改質、塩素を生産する食塩電解の工程で副生する副生水素を、水素導管を介して事業所間の境界を越えて融通することが出来れば、従来の燃焼利用から原料利用機会が増えて、付加価値を向上することが出来る。

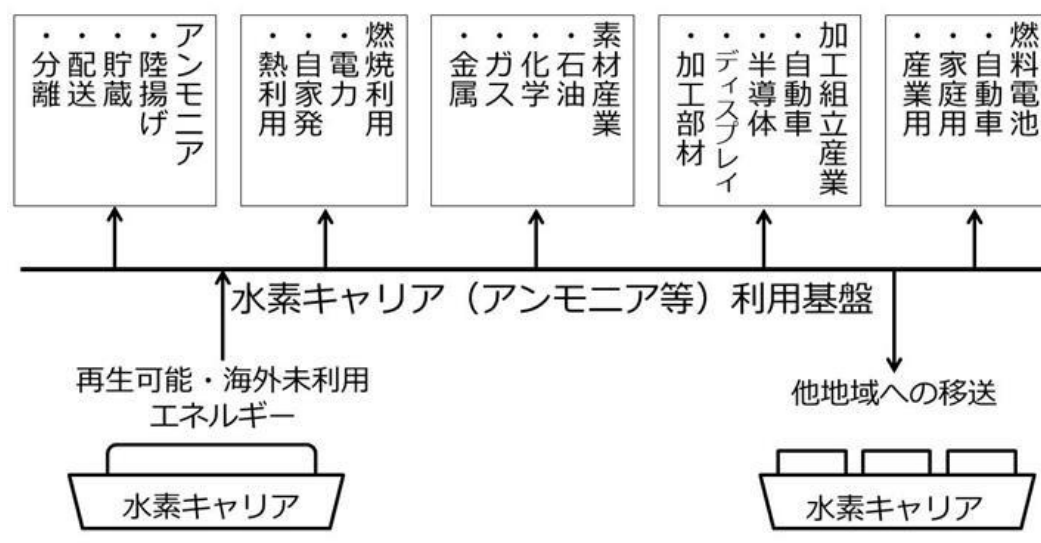
ここで、水素需要の一部を賄う水素製造装置（水蒸気改質装置）に注目すると、製油負荷の低下および再生可能エネルギーの導入により、固定資産の圧縮・設備集約・稼働率向上・固定費削減などが期待可能である。

また、天然ガスによる都市ガス導管網の拡張に伴い、余剰傾向にある LPG（プロパン・ブタン）を、ナフサ代替の熱分解原料に利用すると、収益増加が期待可能である。将来においては、熊野灘沖の地元エネルギー源として期待されるメタンハイドレートを利用して、天然ガスの供給源の転換を進め、LNG 輸送コストの削減を図ることも期待できる。

### 3. 4 水素キャリア（アンモニア等）

2つ目は水素キャリア（アンモニア等）インフラの構築である。水素キャリア（アンモニア等）を軸とした連携構想（図表 3.4.1）では、コンビナートに水素キャリア（アンモニア等）利用基盤を構築することを想定し、海外再生可能エネルギー拠点からの水素キャリアによる輸送とコンビナート内の配送を想定したフローに整理した。

図表 3.4.1 水素キャリア（アンモニア等）を軸とした連携構想



それでは、液体アンモニアをどうやってコンビナートに届けるのであろうか。

燃焼利用を想定すると、既存の液体アンモニア物流システム（主にボイラー脱硝用途）よりも、一桁大きな設備が必要となると言われている。CO<sub>2</sub>フリーエネルギーインフラとして、コンビナートにおいて共通的な整備と保安・安全・安定的な運用を行うことを考えると、陸揚げ・貯蔵・アンモニア導管を、コンビナート内に設置・運用することが望ましい。

例えば、水素キャリアであるアンモニアから水素の原料利用を想定すると、アンモニア改質プロセスによる水素分離・窒素分離が必要となる。こちらのプロセスにおいても触媒に関する技術開発が進んでいる。副生する窒素は、コンビナートであれば保安シール用として利用することができる。一方、アンモニア改質装置から発生した水素は、水素導管を経て接続された各事業所において、脱硫・水素化・オキシソ等などの原料利用が想定される。

#### 4. 水素に関連する技術革新の進捗状況

4章では、水素関連の技術革新の進捗状況について調査した結果を示す。前述の「四日市コンビナートの水素基本戦略」の実現に寄与するであろう、革新的な技術を調査した。

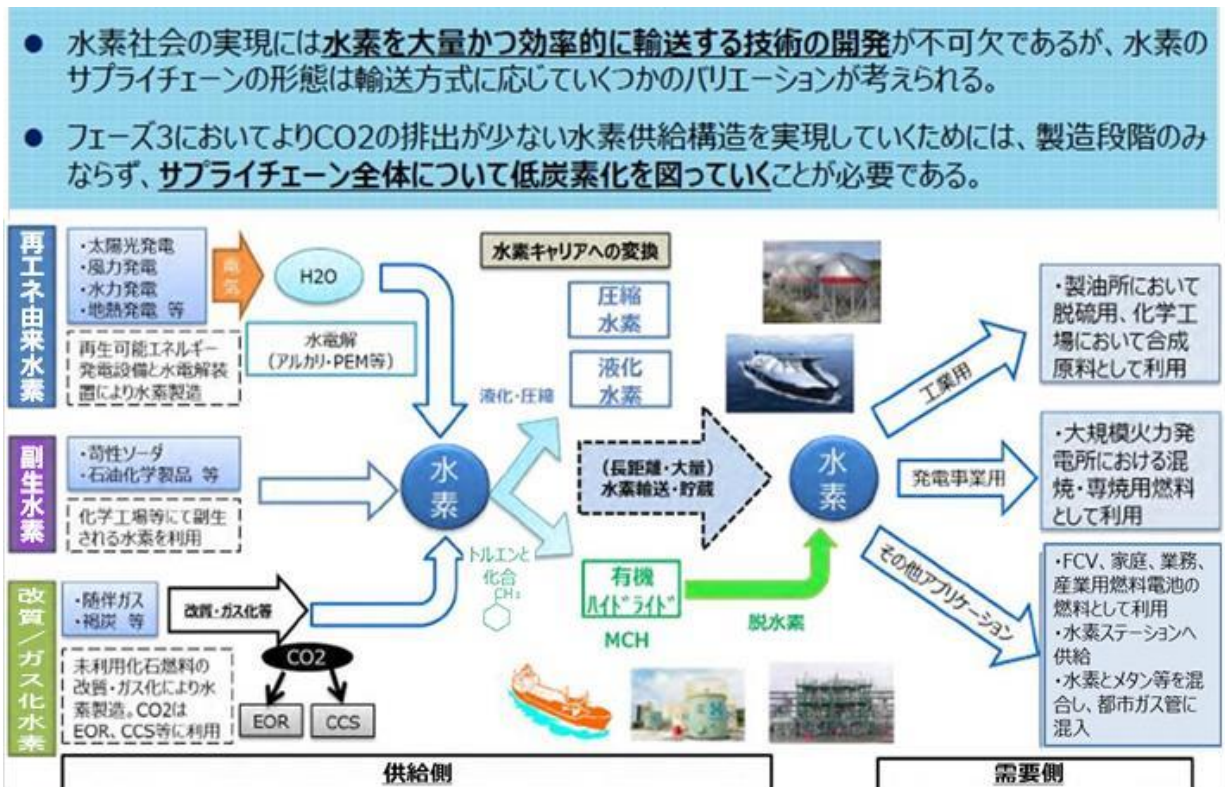
水素社会に向けた産業の変化を促す要因に注目すると、太陽光や風力などの再生可能エネルギー利用に係わる技術革新が進んでおり、その発電コストが急速に低下している。並行して、エネルギーキャリア（水電解・水素キャリア合成・輸送・貯蔵・燃焼・水素分離など）の技術開発も進んでおり、将来的には、大規模・安定・輸送可能なエネルギー源として、CO<sub>2</sub>フリーエネルギーの調達が始まる可能性が高い（図表 4.1）。

そこで、コンビナートにおける燃焼利用および原料利用を前提として、水素キャリアの直接燃焼技術、水素キャリアの合成技術および推進機関であるグリーンアンモニアコンソシアムについて調査を実施した。現在、概ね順調に進捗している。

図表 4.1 水素サプライチェーンの低炭素化（資源エネルギー庁）

水素・燃料電池戦略協議会（第8回）-配布資料3

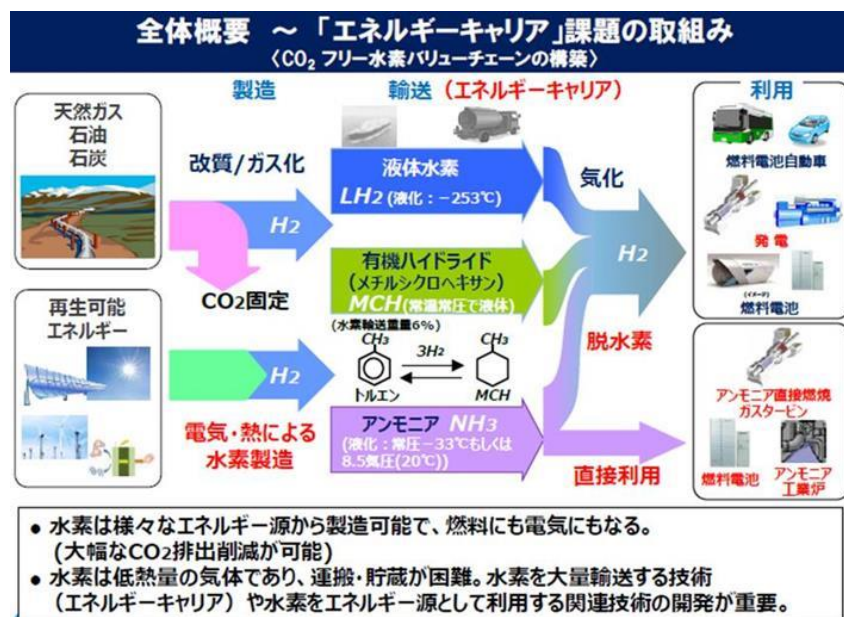
[http://www.meti.go.jp/committee/kenkyukai/energy/suiso\\_nenryodenchi/008\\_haifu.html](http://www.meti.go.jp/committee/kenkyukai/energy/suiso_nenryodenchi/008_haifu.html)



#### 4. 1 SIP「エネルギーキャリア」

現在、内閣府が中心となり関係府省・機関が連携して推進している戦略的イノベーション創造プログラム SIP には、課題のひとつとして「エネルギーキャリア」がある。水素ならびに水素エネルギーキャリアの円滑な導入により、日本の地球温暖化対策とエネルギーセキュリティの向上に貢献するための研究開発を推進してきた。

図表 4.1.1 エネルギーキャリアの取組み (SIP)



主要なエネルギーキャリアとしては、川崎重工が中心となって推進している液化水素、千代田化工建設が中心となって推進している有機ハイドライド、及び日揮が中心となって推進しているアンモニアの3種がある。

液化水素は、水素を気体のまま冷却したあと、圧縮→冷却→膨張を繰り返すことで液化する-253°Cまで温度を下げる。この冷却に要するエネルギーをどれだけ減らせるかが課題となっている。また、輸送する際の揺れで液化水素の温度が上昇することもあり、一部の液化水素は再び気体に戻ってしまう。この気体に戻る現象をボイルオフといい、タンク内が高圧になり危険なため、気体の水素を外部に放出する必要がある。一方、液化水素のボイルオフ量を少なくする研究が進められており、ボイルオフする量を1日で1%以下にする技術も確立している。液化アンモニアは、常温下8気圧で液体であり、輸送・貯蔵設備が相対的に安く、さらにボイラー脱硝用などの目的で輸送実績(2万トン級液化アンモニアタンカー)が豊富にある。また、燃料利用を考えると、アンモニアは直接燃焼が可能であるが、有機ハイドライド(メチルシクロヘキサン⇄トルエンのシャトル方式)は直接燃焼できない。以下に3つの水素キャリアの比較例を示す。

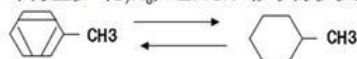


図表 4.1.2 エネルギーキャリアの比較

IEEI 塩沢 水素社会を拓くエネルギーキャリア (最終回) <http://ieei.or.jp/2015/05/exp1150501/>

	気体水素との体積水素密度の比 (kg-H <sub>2</sub> /m <sup>3</sup> )	必要なインフラ	用途	課題等	その他	
MCH*	・常温で500倍の体積水素密度	・ガソリン用のインフラの利用が可能。	発電	・脱水素が必要。(他は液体水素と同じ)	・脱水素の際に400℃の熱源とエネルギーが必要。 ・そのエネルギー量はMCHが運ぶことのできる水素エネルギーの約30%になる。 ・分子量98のMCHで3分子の水素を運ぶため、取扱いのためのインフラの規模が大きくなりがち。	・実証段階
			水素ST	・脱水素+精製が必要。		
液体水素	・800倍の体積水素密度 ・-253℃の冷却が不可欠	・液体水素用のインフラを整備する必要あり。	発電	・70%までの混焼は商業化済み。 ・専焼は技術開発が必要。	・液化効率の改善(液化コストの低減)が必要。 ・液化の際に、最低でも水素の持つエネルギーの約15%の損失が避けられない。 ・ボイルオフの抑制が必要。(長期備蓄は困難)	・小規模では既に実用化済み。 ・大規模利用に向けたインフラ整備はこれから。
			水素ST	・利用の際の精製不要		
アンモニア	・-33℃または8気圧の圧力下で約1,200倍の体積水素密度	・プロパンガスと同様のインフラで取扱い可能。	発電	・直接利用ができる可能性(実証研究が必要)	・毒性と臭気の管理が必要。 ・専門家による取扱い、管理が必要。 ・脱水素して利用する場合にはエネルギーが必要。 ・エネルギー・キャリアの中では最も安価な可能性。	・研究開発段階 ・一部実証段階
			水素ST	・脱水素+精製が必要。		
			その他	・工業炉、セメントキルン等での直接利用可能性		

\* : MCH トルエン (C<sub>7</sub>H<sub>8</sub>) とMCH (メチルシクロヘキサン) (C<sub>7</sub>H<sub>14</sub>) の水素の差により水素を運ぶ



図表 4.1.3 エネルギーキャリアの物性値

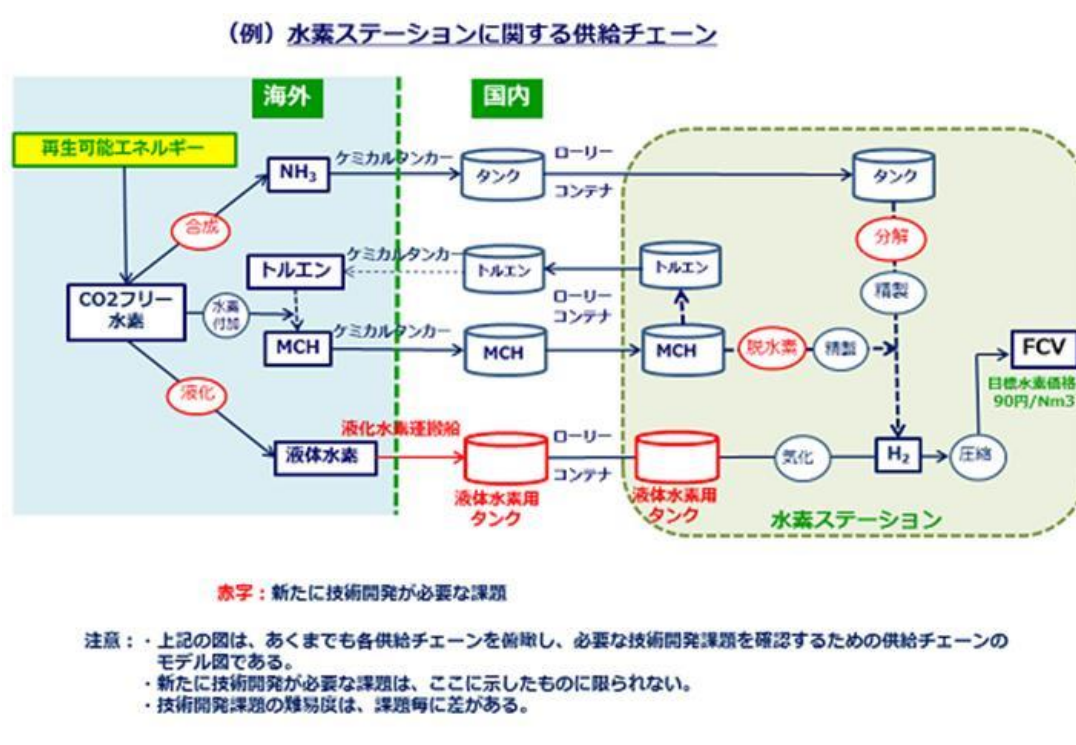
IEEI 塩沢 水素社会を拓くエネルギーキャリア (第8回) <http://ieei.or.jp/2015/02/exp1150206/>

		重量当たり水素含有率 (重量%)	体積当たり水素含有量 (kg-H <sub>2</sub> /m <sup>3</sup> )	沸点 (℃)	燃焼時のCO <sub>2</sub> 排出量 (g-CO <sub>2</sub> /MJ)	その他の特性***
SIPの対象	液体水素	100	70.8	-253	0	強引火性、強可燃性、爆発性
	メチルシクロヘキサン	6.16	47.3	101	**	引火性、刺激性
	アンモニア	17.8	121.0	-33.4 (*)	0	急性毒性、腐食性
(参考)						
	圧縮水素 (350気圧)	100	23.2	-	0	強引火性、強可燃性、爆発性
	圧縮水素 (700気圧)	100	39.6	-	0	

\* アンモニアは大気圧の下では-33.4℃、または、20℃、約8気圧の圧力の下で液化する。  
 \*\* メチルシクロヘキサンは利用時には水素に戻して使用するため、使用時のCO<sub>2</sub>排出量は0。  
 \*\*\* 「その他の特性」の記載事項は、MSDSの「危険有害性情報」のサマリーから引用。各物質の正確な特性については、それぞれの物質のMSDSを参照のこと。

前述の3つの水素キャリアについて、燃料電池車FCVへの水素供給のためのサプライチェーンを図表4.1.4に示す。これを例に、水素キャリアの技術開発課題を示す。アンモニアは合成プロセスの技術開発、水素を取り出す分解プロセスの技術開発を要する。なお、アンモニア直接燃焼の際には、分解プロセスは不要である。有機ハイドライドでは、MCHからの脱水素プロセスの技術開発を要する。液体水素については、液化技術、液化水素運搬船、液化水素タンク、液化水素ローリーまたはコンテナの技術開発を要する。

図表 4.1.4 水素ステーションに関する供給チェーンと技術開発課題  
IEEI 塩沢 水素社会を拓くエネルギーキャリア（最終回） <http://ieei.or.jp/2015/05/exp1150501/>



## 4. 2 JST「グリーンアンモニアコンソーシアム」

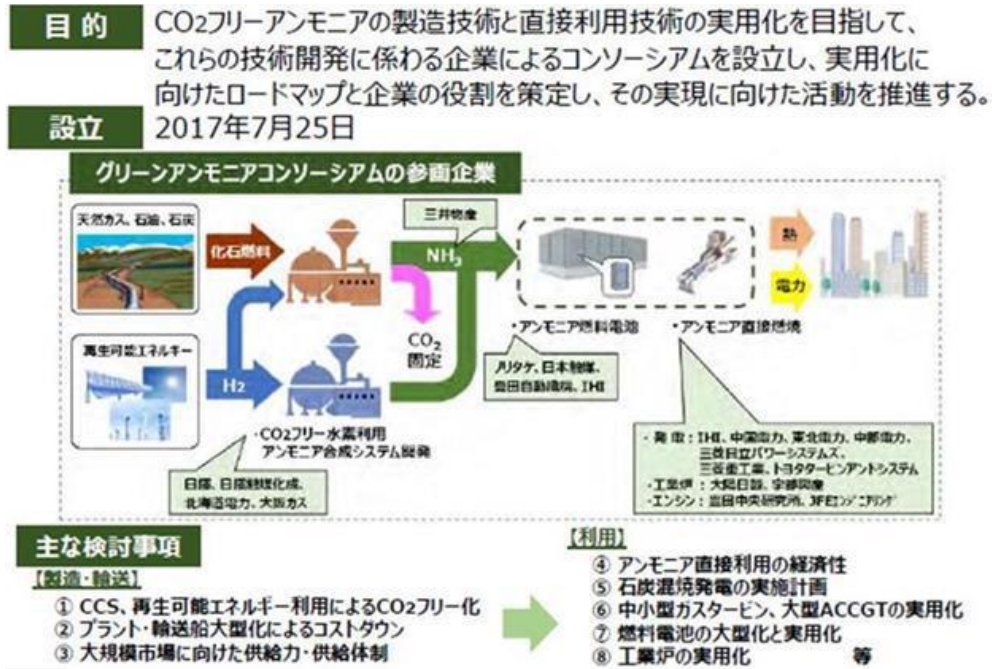
CO<sub>2</sub>フリー燃料としてのアンモニアバリューチェーン形成に向けた取組みを検討する目的で、平成29年7月25日に、内閣府総合科学技術・イノベーション会議の戦略的イノベーション創造プログラムSIP「エネルギーキャリア」の管理法人である、国立研究開発法人科学技術振興機構JST（理事長 濱口道成）が、事業の一環として「グリーンアンモニアコンソーシアム」を設立した（図表4.2.1）。SIPは平成30年度末に終了するが、今後も継続的にこれらの成果を実用化・事業化へ発展させる取組みが望まれる。そこでJSTは、SIP終了後の研究の発展を見据えた運営に関して検討することを目的として本コンソーシアムを設立した（図表4.2.2）。

本コンソーシアムでは、アンモニアの直接利用分野だけでなく、CO<sub>2</sub>フリー燃料としてのアンモニアの供給から利用までのバリューチェーン形成（図表4.2.3）に向けて、研究開発ならびに社会実装に向けた取組みを検討する。当面は、当該分野でSIPに参画する企業および公的研究機関などで意見・情報交換を行い、より効率的かつ効果的な研究開発項目および目標設定のあり方（図表4.2.2）、その他社会実装に向けた課題の解決策などを検討する。併せて、日本の産業が世界市場をリードし、高いプレゼンスを発揮できるビジネスモデルの構築を目指している。

図表 4.2.1 「グリーンアンモニアコンソーシアム」

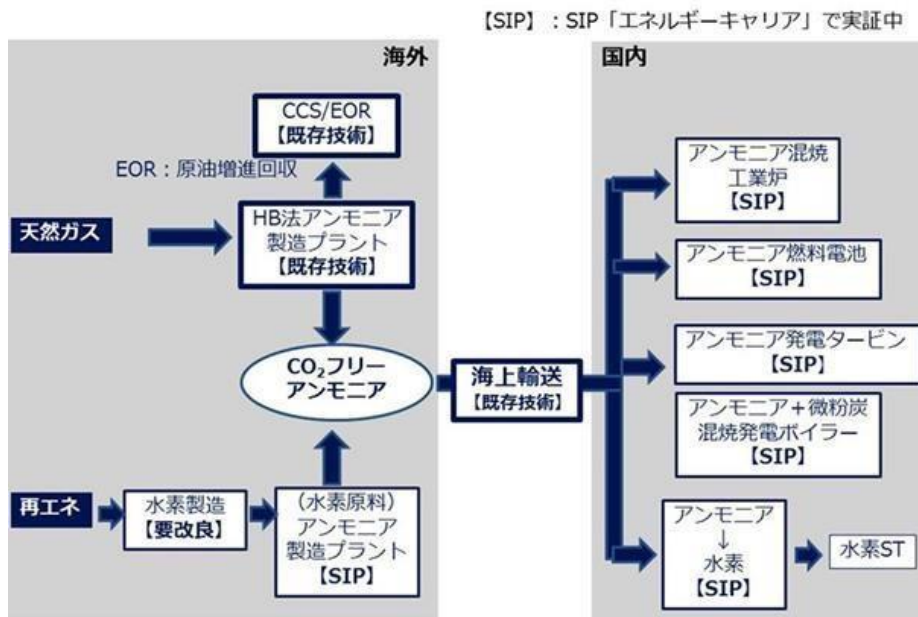
<p>・設立年月日：平成29年7月25日</p> <p>・議長：村木 茂（SIP「エネルギーキャリア」 プログラムディレクター）</p> <p>・議長代理：塩沢 文朗（SIP「エネルギーキャリア」 サブプログラムディレクター）</p> <p>・構成員：（五十音順）</p> <p><b>【企業】 19社</b></p> <p>株式会社IHI、宇部興産株式会社、大阪ガス株式会社、JFEエンジニアリング株式会社、太陽日酸株式会社、中国電力株式会社、中部電力株式会社、東北電力株式会社、株式会社豊田自動織機、株式会社トヨタタービンアンドシステム、株式会社豊田中央研究所、日揮株式会社、日揮触媒化成株式会社、株式会社日本触媒、株式会社ノリタケカンパニーリミテド、北海道電力株式会社、三井物産株式会社、三菱重工業株式会社、三菱日立パワーシステムズ株式会社</p> <p><b>【公的研究機関】 3機関</b></p> <p>国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所、同 産業技術総合研究所、一般財団法人 電力中央研究所</p> <p>・活動内容の概要：</p> <p>○CO<sub>2</sub>フリー燃料としてのアンモニアバリューチェーンの実用化・事業化を推進する「ポストSIP」事業に向けた提案</p> <p>○研究成果の早期実証案件の創出に関する検討</p> <p>○アンモニアバリューチェーン形成に向けた戦略の検討</p>
--

図表 4.2.2 グリーンアンモニアコンソーシアムの概要  
 SIP (戦略的イノベーション創造プログラム) シンポジウム 2017 エネルギーキャリア  
<http://www8.cao.go.jp/cstp/gaiyo/sip/sympo1709/sympo2017.html>



図表 4.2.3 CO<sub>2</sub>フリーアンモニア供給・利用チェーン (SIP)  
 IEEI 塩沢アンモニア：エネルギーキャリアとしての可能性 (その2) <http://ieei.or.jp/2017/05/expl170525/>

【図1】 CO<sub>2</sub>フリー-NH<sub>3</sub>供給、利用チェーンの現状



有力な水素キャリア候補であるアンモニアではあるが、実用化に向けては、研究開発による各プロセスの効率向上が望まれている。研究テーマ数は5テーマ6種類。

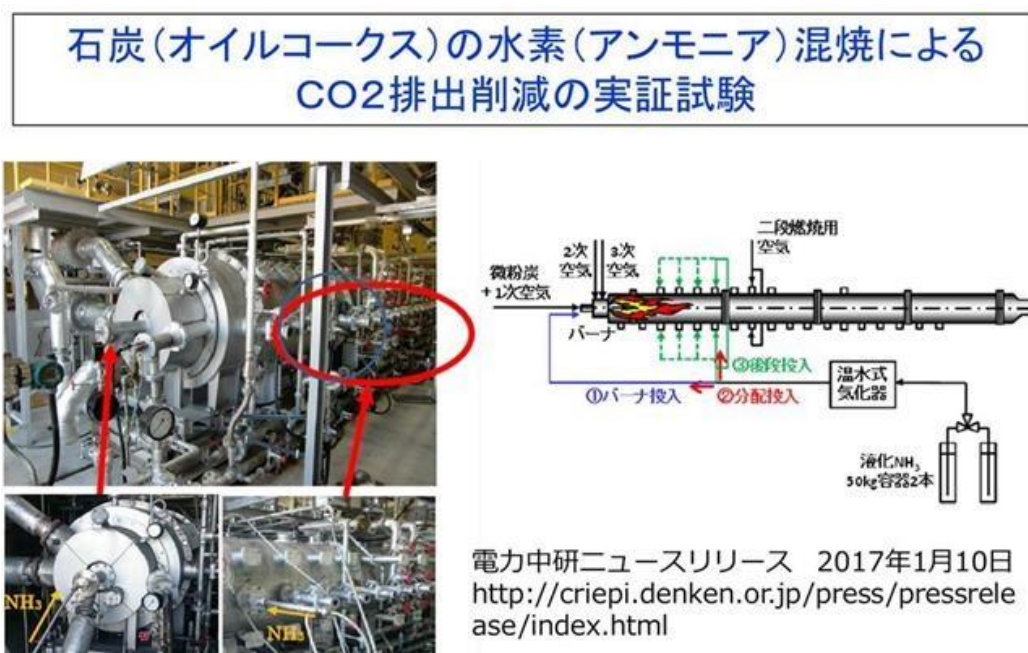


### 4. 3 アンモニア混焼技術

石炭火力発電所からのCO<sub>2</sub>排出量を低減するため、燃焼してもCO<sub>2</sub>を排出しないアンモニアNH<sub>3</sub>を燃料として利用する技術開発を、内閣府総合科学技術・イノベーション会議の戦略的イノベーション創造プログラムSIP「エネルギーキャリア」の委託研究課題「アンモニア直接燃焼」において実施している。研究開発責任者は、東北大学流体科学研究所教授の小林秀昭氏である。

アンモニアと微粉炭を混焼利用するには、脱硝装置の大幅な改造等による新たなコストを生じさせることなく、ボイラー排ガス中のNO<sub>x</sub>濃度の増加を抑える技術が必要となる。そこで電力中央研究所のシングルバーナー炉にて、微粉炭燃焼場にアンモニアを投入する割合および投入位置を変えて、NO<sub>x</sub>濃度の測定を主眼とした燃焼試験を実施した(図表4.3.1)。その結果、アンモニアを投入した場合に、石炭の専焼とほぼ同等のNO<sub>x</sub>排出濃度で燃焼できることを確認した。今後、実炉に近いマルチバーナー、多段バーナーによるアンモニア混焼特性を評価する予定である。(電力中央研究所2017年1月10日プレスリリースより抜粋)

図表 4.3.1 アンモニアと石炭の混焼 (電力中央研究所)



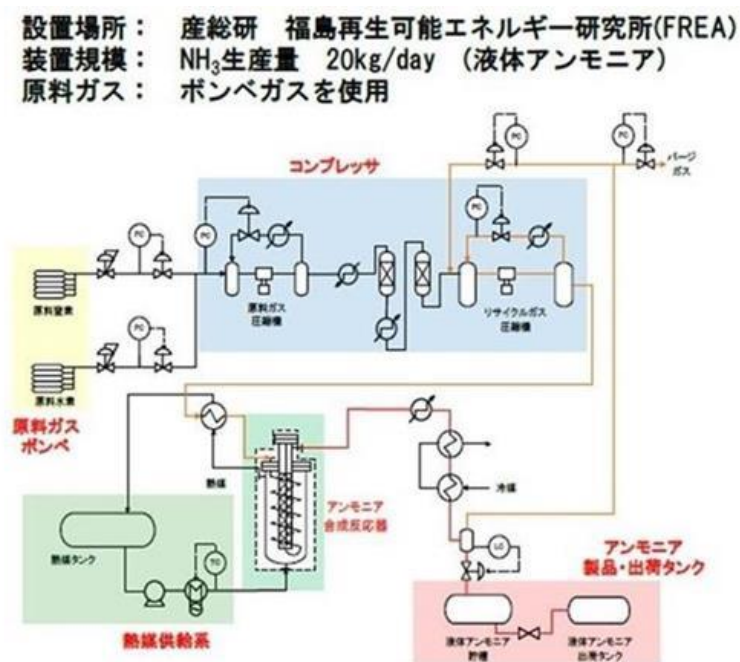
また、中国電力の試算によると、アンモニア20%混焼を実施すると、石炭火力15.6万kWhにおいて、CO<sub>2</sub>削減量は134千トン/年に相当する。

#### 4. 4 アンモニア合成技術

再生可能エネルギー由来の電力を活用して、水電解により水素を製造し、空気分離による窒素を合わせて、アンモニアの合成を行う技術開発が進んでいる。古くから続いてきたハーバー・ボッシュ法 (Haber-Bosch process) は、温度 500~600℃、圧力 300 気圧であったが、近年の触媒研究の結果、400℃、80 気圧の低温・低圧化に成功し、実用化に向けた研究開発が進んでいる。

内閣府総合科学技術・イノベーション会議の戦略的イノベーション創造プログラム SIP「エネルギーキャリア」の委託研究課題「CO<sub>2</sub> フリー水素利用アンモニア合成システム開発」において、Ru 系などのアンモニア合成触媒の研究開発を実施している。研究開発責任者は、日揮株式会社・技術イノベーションセンター技術研究所長の藤村靖氏である。2018 年度には、産総研の FREA に設置された研究施設で再エネ水素を作り、開発触媒によりアンモニアを合成するプロセスの実証試験を実施する予定である (図表 4. 4. 1)。

図表 4.4.1 アンモニア合成プロセスの実証試験 (SIP 研究課題)  
日揮(株)作成資料



また、新アンモニア合成プロセス用として、チタン系触媒を理化学研究所、モリブデン系触媒を東大/九大などが研究開発を推進している。

## 5. 国際競争力の強化

5章では、国際競争力の強化に関する議論を実施した内容を示す。委員会検討の過程において、水素利用だけではなく、国際競争力を加味した検討課題候補の抽出が必要との認識で一致したため、地域内コンビナートの全体最適化を通じた「国際競争力の強化」について議論した。コンビナートの全体最適化については、石油コンビナート高度統合運営技術研究組合 RING が、原油を起点にしたバリューチェーンと連携拡大の構想を整理・分析しており（図表 5.1.1）、これを参考にして、四日市固有のバリューチェーン（図表 5.1.2）を作成し、検討を進めた。

検討では、時間軸・リスクシナリオを整理し、強みを伸ばすこと、コスト競争力を上げることを狙って、石油精製と石油化学の連携・統合運営、さらに用役や共通インフラなどの課題候補を抽出した。

具体的に収益に影響する課題としては、コンビナートの付加価値向上策として、余剰となる重油または LPG から製造する基礎化学品、安価な CO<sub>2</sub> フリー水素を利用した燃料油の脱硫、水素と CO<sub>2</sub> を組み合わせた化学品、CO<sub>2</sub> とアンモニアを組み合わせた化学品などの製造などである。

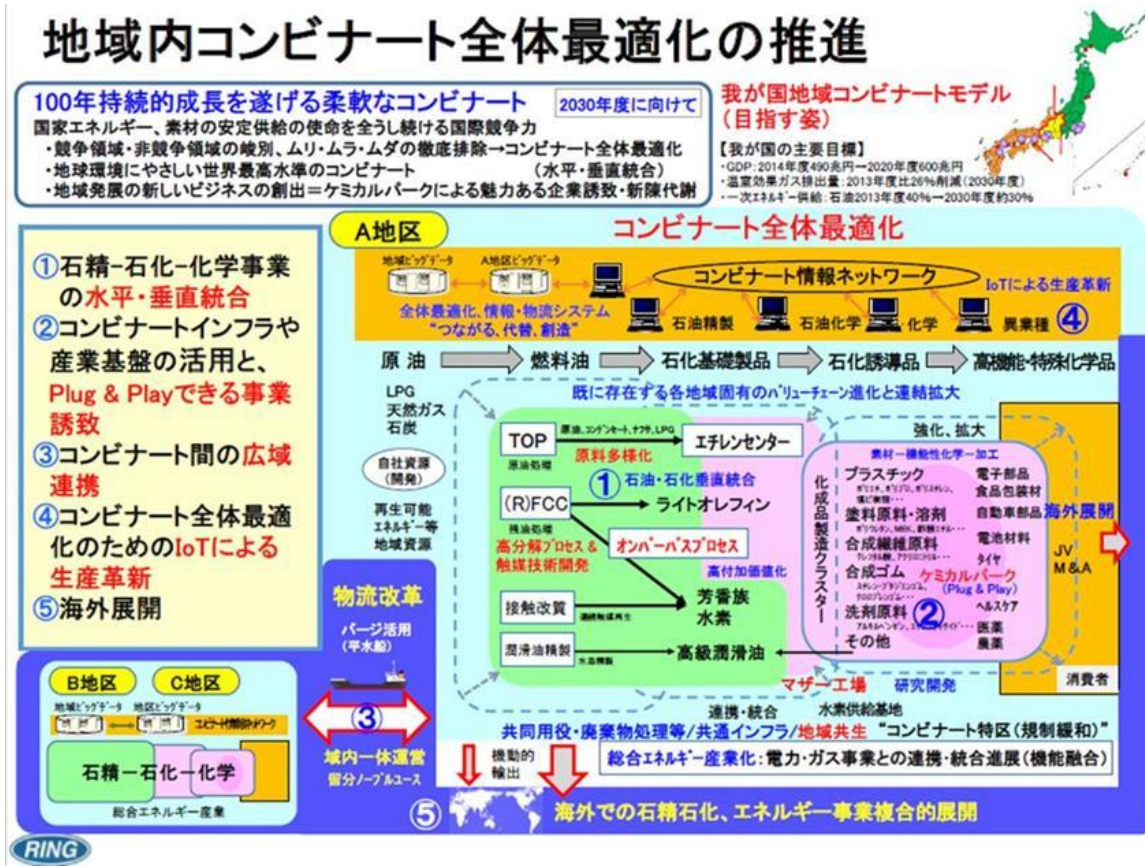
### 5. 1 地域内コンビナート全体最適化の推進

委員会討議に際しては、石油コンビナート高度統合運営技術研究組合 RING 事務局が、コンビナートの全体最適化の推進を目的として、原油を起点にしたバリューチェーンと連携拡大の構想を整理・分析しており（図表 5.1.1）、これを参考にして、四日市固有の地域バリューチェーンの連結拡大とプレーヤ（図表 5.1.2）を作成した。

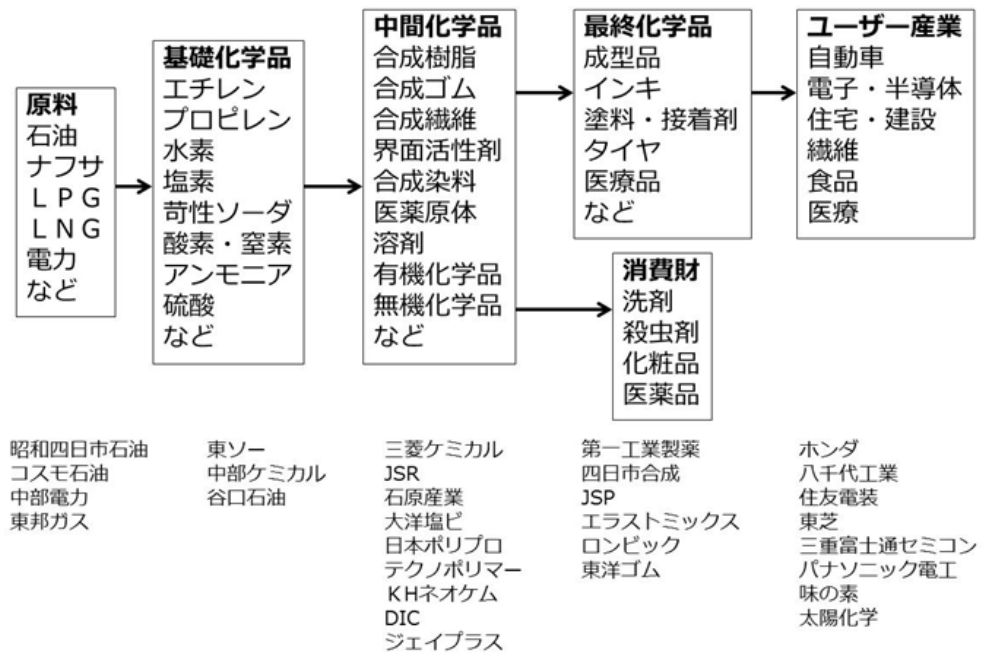
地域バリューチェーンの始点に位置するのが、石油・石化産業で、燃料および基礎化学品を供給している。四日市コンビナートは、地域の高付加価値ユーザー産業に至る高度バリューチェーンに繋がっている。

図表 5.1.1 第4回石油精製・流通研究会 RING 作成資料

http://www.meti.go.jp/committee/kenkyukai/energy\_environment/sekiyu\_seisei/004\_haifu.html



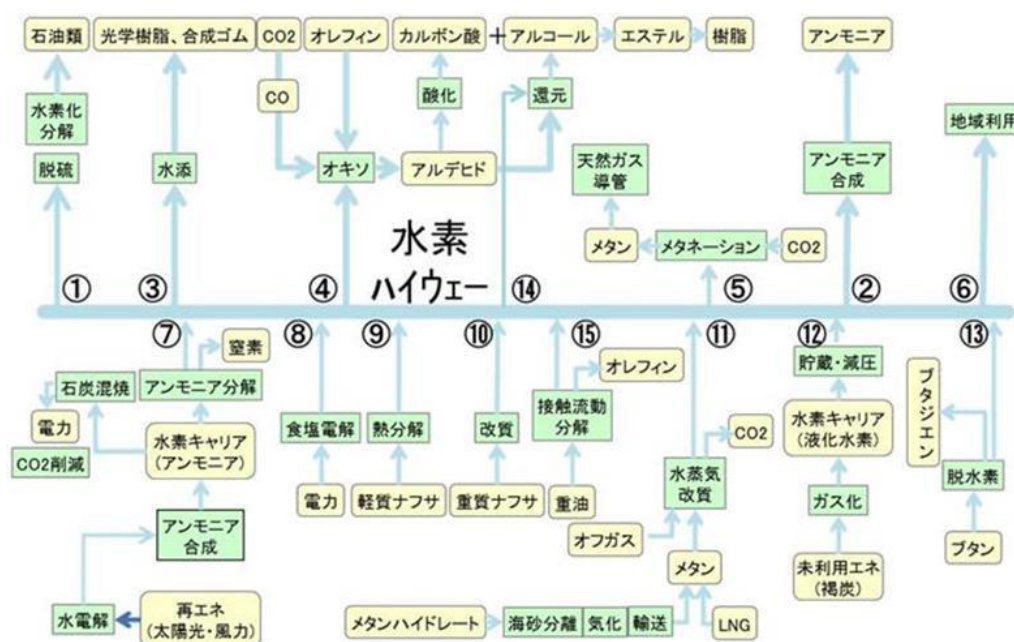
図表 5.1.2 四日市固有のバリューチェーンの連結拡大とプレーヤ





次に、コンビナート先進化に向けて、経済産業省、資源エネルギー庁、石油精製備蓄課、素材産業課などが作成した関連資料（図表 2.2.3, 2.3.3, 2.3.4, 3.1.1, 3.1.2, 4.1, 5.1.1）を参照しながら、国際競争力強化のための検討課題候補に関する議論を実施した。具体的には、時間軸・リスクシナリオを整理し、エチレンセンターが抱える課題、C2 エチレン生産減による併産品 C3・C4・C5 への影響を分析した。さらに、強みを伸ばすこと、コスト競争力を上げることを狙って、石油精製と石油化学の連携・統合運営、用役・共通インフラなどの取組課題候補を抽出した。以下 1)から 9)はその概要である。また、議論の全体像を図表 5.1.3 に示す。図表 5.1.3 は、委員会討議および企業委員ヒアリングに際して、検討用資料として作成し、議論をもとに加筆修正したものである。

図表 5.1.3 四日市コンビナート先進化構想 検討用資料



### 1) 時間軸の整理

2018 年には、米国でシェールガス由来の石油化学プラントが本格的に立ち上がり、コスト競争力のあるポリエチレンがアジア市場に流入する可能性が大である。2018 年までに、中国では石炭化学プラントが新たに増設され、中国のオレフィン生産量が大幅に増加する可能性がある。また 2022 年には、国内のエチレンセンターの稼働年数は半数が 50 年以上になり、メンテナンスコストの増大、運転員の減少等への対応が必要となる。このように、2018 年以降に市場構造が大きく変化する可能性が高い。

### 2) リスクシナリオの整理

想定される主要なリスクシナリオは下記の 5 項目である。仮に①②③⑤が具現化すると、

国内エチレン生産量は、2012年 610万トン→2020年 470万トンに減少すると予測されている。

- |                         |
|-------------------------|
| ①シェール革命による北米の化学製造コストの低下 |
| ②中東における化学産業への投資拡大       |
| ③中国の石炭化学による生産拡大         |
| ④中国の化学製品需要の減退           |
| ⑤日本の化学製品需要の減退           |

### 3) エチレンセンターが抱える課題

2020年に、国内生産能力は100万トン以上の生産能力が過剰になるおそれがある。今後、複数基のナフサ熱分解を有する地域で更なる生産能力の削減があったとしても、低稼働率を余儀なくされる可能性がある。稼働率低下はエチレン等のコスト上昇を招き、誘導品の競争力の低下により、海外品への代替が加速し、結果として内需見合いの生産能力に収斂していく可能性が高い。

### 4) C2エチレン生産減による併産品C3・C4・C5への影響

エチレン生産量が400～450万トンを下回った場合、不足分は高い市況価格のC4・C5を輸入することになる。国際競争力のある併産品C3・C4・C5チェーンに対するマイナスの影響であり、日本のマザー工場機能を維持することが難しくなる可能性がある。その場合には、用役コストの増加、雇用の減少に繋がるので、これを防ぐために、石油精製の重油FCC接触流動分解の利用による競争力強化などが検討課題となると考える。

### 5) 強みを伸ばす

リチウムイオン電池やディスプレイの素材などに用いられる機能性化学品において、我が国の化学企業が高いシェアを有する分野が多く存在している。そこで競争力のある高付加価値な誘導品の強みを活かすためにも、機能性誘導品の基礎原料の競争力の確保が重要である。

### 6) コスト競争力の向上

事業所単独の検討では限界があるため、組織の壁を超えて、地域の石油精製と石油化学の連携強化・統合運営を実施し、副生留分・水素の融通、電力や蒸気のエネルギーの融通、港湾やタンクの共有化、市況に応じて化学製品を生産できる柔軟性の確保、ナフサ・LPG・灯軽油・重油など幅広い原料に対応できる柔軟性の確保、設備メンテナンス部門の共有化などを実施して、コスト競争力の向上を図ることが望ましい。



## 7) 石油精製と石油化学の連携・統合運営

これまで国際競争力強化を目指して活動してきた、石油コンビナート高度統合運営技術研究組合 RING (2000 年～) 等では、留分の徹底的な活用などで一定の成果を上げている。今後、最大の効果を得るためには、石油精製と石油化学を、連携を越えた一体の事業として統合運営を行う可能性を検討する必要がある。

石油精製業では、急速に内需が減少し、品質の差異化も図りにくい。従って石油製品から化学製品に展開していくことによる収益性向上を図る方向に進む。石油精製の柔軟性を高めるため、FCC 接触流動分解とともに、ナフサ熱分解を二次処理装置として活用していく方向も考えられる。

石油化学業では、原料多様化や用役共有化による固定費削減、経営資源を誘導品分野に集中する方向、石油精製の多様な原料（ナフサ、LPG、灯軽油、重油等）に柔軟に対応できるナフサ熱分解、ナフサ熱分解と FCC 接触流動分解の連携によるコストミニマムなオレフィン供給、副生留分・エネルギーの融通、港湾・タンク等の設備共用・集約化・廃棄の促進などが検討課題として考えられる。

## 8) 原料に対する柔軟性の確保

コスト最小化の観点から、原料市況を見ながら、ナフサ以外の LPG・灯軽油等の幅広い原料に柔軟に対応できる熱分解プロセスの導入が必要である。常圧蒸留装置に対する 2 次処理装置としてのナフサ熱分解と FCC 接触流動分解の一体的な運用によるオレフィン供給体制等への移行を図り、目的生産を狙ったオレフィンコンバージョン技術（例えば C2+C4 →2C3）の実装を加えて、原料に柔軟に対応できる設備の導入することが想定される。

## 9) 用役や共通インフラ・部門の共有化等への取組

海外と比較して、国内では電力料金などの用役費が相対的に高い。分散している電源や熱源をコンビナート内で共有・集約・大規模化することにより、設備効率の向上を図ることも有効である。また、石炭やペトロコークスなど、より安い燃料への転換又は活用も検討課題の候補である。電力会社と連携して発電を行い、電力の一部は市場で売って固定費を削減する可能性もある。CO<sub>2</sub> フリー燃料として水素キャリア（アンモニア等）による再生可能エネルギーの利用も候補となる。

また、共通部門の共有化等では、港湾やタンク等のインフラ設備の共用・集約化・廃棄等の促進、物流や購買等に関する共通部門の共有化又は集約、副生留分やエネルギーの融通による省エネなどが想定される。温暖化対策や事業再編に利用可能な税制等を活用して、用役や共通部門の事業統合等を促進することも可能である。

## 5. 2 具体的な検討テーマ

次に、国際競争力の強化をねらいとして、コンビナートの基本動作、燃料および素材の安定供給、原料・燃料の多様化、低コスト水素の利用、副生ガス・副生重質油の活用等による高付加価値化・化学品化、コンビナートに係わるエネルギー効率の向上について議論した。具体的な検討テーマ例として、再生可能エネルギーの利用、設備稼働率の向上、CO<sub>2</sub>フリー水素の利用、水素キャリア（アンモニア等）の利用などを加味して、概要を 1) から 5) にまとめた。

### 1) 重質油の化学原料化（RFCC によるオレフィン生産）

基礎化学品であるオレフィンのコストは、原料が 90% 以上を占める。従って、原料をナフサから重油に変更することにより、製品オレフィン C<sub>3</sub>・C<sub>4</sub> の競争力が向上する。重油を原料とするためには、残油接触流動分解 Residue Fluid Catalytic Cracking (RFCC) プロセスの触媒最適化と周辺設備の増強を伴う（図表 5.2.1）。

### 2) LPG の化学原料化（熱分解によるオレフィン生産）

石油化学の中心プロセスである熱分解では、一般的には軽質ナフサ留分を原料とするが、季節的に需給バランスの変動が大きい LPG を原料とすることも可能である。原料の変更は、製品組成が変化するため、需要に合わせた対応を要する。LPG 原料において製品得率が落ちることが想定されるアロマ C<sub>6</sub>・C<sub>7</sub>・C<sub>8</sub> に関しては、石油精製の重質ナフサ改質プロセスで補完することが想定される（図表 5.2.2）。家庭用熱源として天然ガスの普及に伴い、LPG 需要が低下するため、化学原料化が想定される。

### 3) CO<sub>2</sub> フリーエネルギーの導入（水素キャリア利用、共同ボイラー）

地球温暖化に対する社会認識の向上に伴い、自動車部品産業や消費財産業からの要請により、原料を供給するコンビナート各社も、プロセスの低炭素化・CO<sub>2</sub> フリー生産に対応する必要が高まると考える。そこで、大規模な再生可能エネルギーの貯蔵・運搬に適した水素キャリアを利用し、石炭や重油などの CO<sub>2</sub> 排出負荷が高い化石燃料との混焼や置き換えが想定される。今後、関連する技術革新の進捗を注視しながら、新エネルギーの導入に向けて準備することが望ましい。導入リスクを低減するため、コンビナート内の既存ボイラーを転用した共同ボイラーにおける運用が想定される。

### 4) CO<sub>2</sub> フリー水素の導入（水素キャリアからの水素分離、共同水素製造）

CO<sub>2</sub> フリーエネルギーの導入と並行して、水素キャリアからの水素分離が合理的に可能となれば、CO<sub>2</sub> フリー水素の原料利用を目的とした共同水素製造が想定される。

5) 上記に係わる域内需給バランスの試算

コンビナートはパイプで相互にプロセスが繋がっているため、燃料・原料の変更は広範に影響を及ぼす。従って、定常・スタート・ストップ・緊急事態など、様々な場面を想定した域内需給バランスの試算など、事前計画が必要である。

図表 5.2.1 RFCC (残油接触流動分解) の強化とメリット試算例

代表的なC4留分 参照：石油学会編「石油化学プロセス」表2.12より  
(Shell社LRFCCの製品収率はC3が5wt%、C4が9wt%前後である。)

化合物名	化学式	沸点℃	ナフサ熱分解 wt%	VGOFCC接触分解 wt%
n-ブタン	C4H10	-0.5	0.40	22.07
イソブタン	C4H10	-11.7	0.75	27.18
イソブテン	C4H8	-6.9	22.83	11.82
1-ブテン	C4H8	-6.3	15.40	12.56
cis-2-ブテン	C4H8	3.7	3.41	7.29
trans-2-ブテン	C4H8	0.9	4.93	11.48
1,3-ブタジエン	C4H6	-4.4	50.54	0.90
1,2-ブタジエン	C4H6	11	0.13	
ビニルアセチレン	C4H4	5	1.27	0.02以下
エチルアセチレン	C4H6	8	0.18	
C3-			0.16	4.07
C5+			-	2.65

対象	着眼	数量	メリット	億円/年	注釈
オレフィン	原料転換	50,000	10	5	ナフサから重油への転換
		ton/Y	Δ¥/kg		

図表 5.2.2 中部圏企業とのアロマ連携とメリット試算例



対象	着眼	数量	メリット	億円/年	注釈
アロマ	域外輸出品種	50,000	10	5	脱アル・異性化・不均化
		ton/Y	Δ¥/kg		アロマプラント相互活用

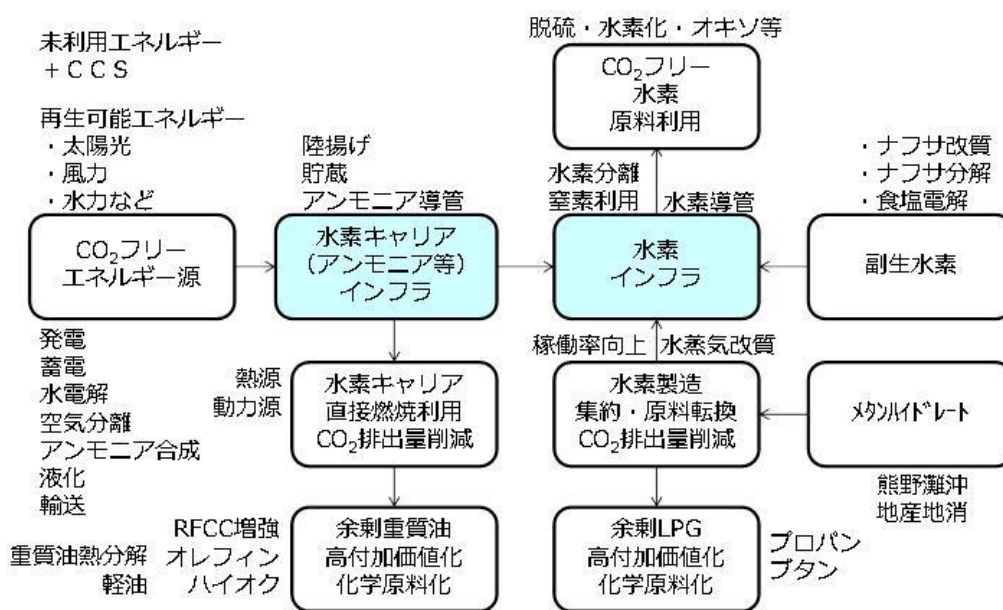
## 6. まとめ

6章のまとめでは、本委員会による3つの成果を示す。四日市コンビナート先進化に向けた水素有効活用検討委員会では、石油・石化産業を取り巻く内外環境の変化に関する分析結果を踏まえて、将来に向けてより優位性のある新事業の展開を巡ることおよび水素社会に向けてコンビナート先進化を図ることを狙いとして、議論を展開してきた。その成果として、一つ目は、水素社会実現に向けた「四日市コンビナートの水素基本戦略」(図表 6.1)をまとめた。二つ目は、今後の議論のベースとして「四日市コンビナートの国際競争力強化に向けた検討課題候補」(図表 6.2)をまとめた。そして三つ目は、「将来的にコンビナート企業に影響を及ぼすリスクシナリオとその時間軸」(図表 6.3)をまとめた。

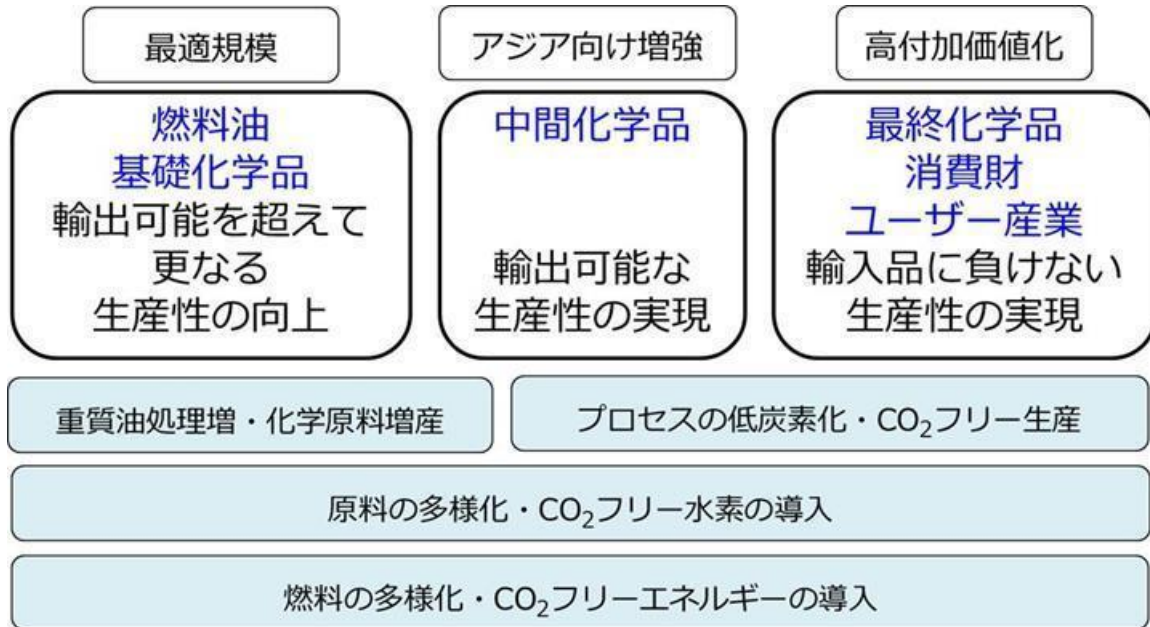
今後は、内外環境の変化に対して、コンビナートも変化していかなければ、生き残ることは難しい。また、地球環境問題への対応と水素社会に向けた課題の解決を図るためには、事業所単独でアプローチすることには限界があり、コンビナート全体の視点に立った企画推進が必要である。幸い、技術革新に関する分析によると、社会の変化を克服するために、いろいろな研究開発成果が報告されている。コンビナートの現状に甘んじることなく、地域の豊かさと発展に貢献するために、企業の枠を超えて地域の知恵や革新的な技術を結集し、コンビナートの国際競争力の強化を計画的に進めることが重要である。本委員会の報告をもとに、コンビナート企業・行政関連機関等が連携し、事業所戦略・コンビナート戦略・地域戦略の整合を図り、水素社会に向けた「四日市コンビナートの先進化」の実現に向け、継続的に検討を進めていくことが必要である。

図表 6.1 (図表 3.2.2 再掲) 四日市コンビナートの水素基本戦略

「四日市コンビナートの先進化に向けて」



図表 6.2 四日市コンビナートの国際競争力強化に向けた検討課題候補



図表 6.3 コンビナート企業に影響を及ぼすリスクシナリオとその時間軸の想定

- ～5年後では、
- a) 再生可能エネルギーの普及、電気自動車の普及、蓄電池の性能向上に伴い、燃料油需要が低下する。
  - b) ナフサ熱分解由来とシェールガス由来の C2 エチレンが競合する。
  - c) ナフサ熱分解由来、シェールガス由来および重油由来の C3・C4・C5 オレフィンの競合が発生する。
- 5～10年後では、
- d) 消費地であった新興国が生産を始めて誘導品で輸入品と競合する。
  - e) 先進国では、自動車部品産業、消費財産業からの CO<sub>2</sub> フリー生産を要求される。
- 5～20年後には
- f) 地球温暖化対策に伴う炭素税の導入の可能性もある。

日本の「稼ぐ力」創出研究会（内閣府）公開資料などを参照して作成

## 【委員名簿】

〔委員〕

(敬称略)

氏 名	所属団体及び役職
和田 正武*	帝京大学名誉教授 元 通商産業省 中国通商産業局長 前 公益財団法人三重県産業支援センター高度部材イノベーションセンター長
伊藤 響	中部大学 工学部創造理工学実験教育科／応用化学科・大学院工学研究科創造エネルギー理工学専攻 教授
小俣 香織	鈴鹿工業高等専門学校 材料工学科 助教
山本 真生	石原産業株式会社四日市工場 設備管理部マネージャー
村田 繁	KHネオケム株式会社四日市工場 管理部長
中島 元	コスモ石油株式会社四日市製油所 製造担当副所長兼技術課長
若本 明	昭和四日市石油株式会社四日市製油所 副所長兼管理部長
塩川 豊	東ソー株式会社四日市事業所 生産・技術管理グループリーダー
藤巻 精一	三菱ケミカル株式会社四日市事業所 企画管理部長

\*・・・委員長

〔関係行政機関等〕

氏 名	所属団体及び役職
中島 弘志	経済産業省中部経済産業局 資源エネルギー環境部 燃料課長
大平 英二	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) 新エネルギー部燃料電池・水素グループ主任研究員プロジェクトマネージャー
長谷川 茂	三重県 雇用経済部 エネルギー政策・ICT活用課長
藤井 信雄	四日市市 副市長
佐藤 恒樹	四日市市 商工農水部長

## 【委員会開催状況】

	開 催 日	場 所
第1回	平成29年7月7日(金)	四日市市役所6階 本部員会議室
第2回	平成29年10月4日(水)	四日市市役所6階 本部員会議室
第3回	平成29年12月18日(月)	四日市市役所6階 本部員会議室
第4回	平成30年3月12日(月)	四日市市役所6階 本部員会議室



## 【注釈】

### 1) エネルギー供給構造高度化法（略称 高度化法）

エネルギー供給事業者による非化石エネルギー源の利用及び化石エネルギー原料の有効な利用の促進に関する法律（以下「エネルギー供給構造高度化法」という。）は、電気やガス、石油事業者といったエネルギー供給事業者に対して、太陽光、風力等の再生可能エネルギー源、原子力等の非化石エネルギー源の利用や化石エネルギー原料の有効な利用を促進するために必要な措置を講じる法律。

### 2) 石油産業・化学産業における法規対応など

取扱い物質である水素キャリア種・取扱量等によって適用法規は変わる。工程として、陸揚・貯蔵・分解・供給・利用が対象となる。設備の新設・改造などの際には、工場立地に関する法規（用地）、危険物・有害物等の法規、生産施設・設備等に関する法規、環境汚染防止法規、公害防止協定などを検討する必要がある。

### 3) エチレンプラント（ナフサクラッカー、ナフサ熱分解）

ナフサ（粗製ガソリン）を分解・精製して、エチレンやプロピレンなどの基礎化学品を生産するプロセス。需給などに応じて、各社がそれぞれの生産量を調整している。現時点の高稼働の根本的な要因は、内需などの追い風はあるものの、ここ 3 年で進んだプラント統廃合である。三菱化学（現・三菱ケミカル）・住友化学・旭化成がそれぞれ 1 基ずつ停止して、年産能力が合計で約 110 万トン削減された。中長期的に見れば国内の汎用化学品市場は人口減少などで縮小が確実であり、供給サイドの構造改革が奏功した形である。（参照：日刊工業新聞）

### 4) 流動接触分解

流動接触分解とは、分子の大きい重質油留分を低分子のガソリンや中間留分に分解する反応を言う。500℃以上の高温で重質油と分解触媒を接触させることにより進行する。流動接触分解を行なうと、そのままでは使用することが難しい重質油からクリーンなガソリンやオレフィンを生産できるため、石油精製分野では非常に重要な反応であると同時に、限りある資源を有効に活用できる、環境にやさしい反応でもある。（参照：コスモ石油 HP）

### 5) 接触改質

重質ナフサを原料として、接触改質により、改質ガソリンや化学品原料 BTX（ベンゼン、トルエン、キシレン）を生産するプロセス。同時に副生水素が発生する。BTX は樹脂原料・繊維原料・溶剤などに使用する。

#### 6) 水蒸気改質

天然ガス・ブタンなどの炭化水素を原料として、水蒸気改質により水素を生産するプロセス。同時に二酸化炭素を副生する。生産した水素は、主に石油留分の脱硫・水素化プロセスにおいて使用する。

#### 7) 脱硫

主に燃料・原料に含まれる不純物の硫黄分を、水素と反応させて硫化水素として除去するプロセス。主にガソリン・ナフサ・灯油・軽油・重油などの燃料油を対象とする。

#### 8) 水添、水素化

水素を還元剤として化合物を還元するプロセス。水素化と呼ばれることもある。代表的なプロセスとしては、炭素と炭素の二重結合・三重結合の水素化、芳香族を飽和の環とする水素化、炭素と酸素の二重結合の水素化などである。さらに、長鎖の炭素間を切断するプロセスなどは、水素化分解と呼ばれている。

#### 9) オキシ反応

オキシ反応とは、オレフィンと一酸化炭素 CO と水素 H<sub>2</sub> を反応させ、アルデヒドを合成する反応である。別名、ヒドロホルミル化反応とも呼ばれている。オレフィンと一酸化炭素と水素を反応させて、元のオレフィンよりも炭素数が1個多い飽和アルデヒドを合成する方法である。一酸化炭素は、排出二酸化炭素を原料とすることが出来るので、オキシ合成は二酸化炭素固定化プロセスと言える。アルデヒドからは、さらにアルコール、合成脂肪酸、エステルなどのさまざまな誘導体を合成することができる。

#### 10) 水素キャリア

水素キャリアを文字どおり解釈すれば“エネルギーを運ぶもの”ということ。水素エネルギーを輸送・貯蔵する手段という意味で使う場合も多い。水素を燃焼させることによって得られる水素エネルギーは、燃焼時に水しか排出せず、二酸化炭素を排出しない。また、水素は、再生可能エネルギーによる水電解プロセスを通じて、地球上に豊富に存在する水から生産することができる。しかし、水素の利用にあたっては、その基本物性に由来するいろいろな問題を解決する必要がある。水素は、重量当たりの発熱量はガソリンの約3倍に上るほど大きいですが、体積当たりの密度が低いという短所がある。また、水素は輸送・貯蔵などの取扱いが非常に難しい物質でもある。そこで、水素を液化・圧縮するなどによって体積当たりの水素密度を高めるといった方法や、体積当たりの水素密度が大きく取扱いが容易な別の物質に変換する方法、燃料として使用する際にその物質から水素を取り出して利用するといった方法などが考案されている。このようにして用いられる物質は、水素

キャリア（水素を運ぶ物質）と呼ばれている。

（参照 <http://ieei.or.jp/2014/09/exp1140916/>）

#### 1 1) メタネーション

再生可能エネルギーで生産した水素（または副生水素）と、炭化水素の燃焼により排出した二酸化炭素 (CO<sub>2</sub>) からメタンを合成するプロセス。二酸化炭素固定化技術の一種であり、メタンを水素キャリアとして用いる。まず、二酸化炭素を水素で還元して一酸化炭素 (CO) を合成（逆シフト反応）、次いで一酸化炭素と水素から再びメタンを合成する（メタネーション反応）2段階反応である。

以上