

# 1. 水素社会における水素供給者のビジネスモデルと 石油産業の位置付けに関する調査

PEC 企画調査部 早内 義隆  
(株) 価値総合研究所 石倉 雅裕

## 1. 本調査の背景と目的

地球温暖化対策や、地域的な環境汚染対策として、燃料の脱炭素化の流れが加速されつつあり、将来的には全く炭素を含まない水素を主たるエネルギー源とする水素社会が展望されている。

また、水素エネルギーを有効に利用するためのキーデバイスである燃料電池の技術開発が加速化されており、その実用化が期待されているところである。

しかし、燃料電池に対し水素を具体的にどの業界がどのように供給していくかについては十分に議論がなされていないのが現状である。

現在、水素は石油を初めとして化学や鉄鋼等の業界でそれぞれの生産工程で副次的に発生する水素（副生水素）と製品を生産するために製造する水素（目的生産水素）が存在する。そして一部の石油化学コンビナートでは水素の融通活用もなされている。

一方、石油業界は製油所において大量の水素を利用しており、また、石油製品生産から油槽所、給油所、物流システムまで全ての石油エネルギー供給インフラを既に構築済みである。

本調査は、石油化学コンビナートを構成する化学、アンモニア、ソーダ、石油及び産業ガスの各業界から出てくる副生水素や各業界が保有する既存の水素製造設備の余力などを活用して、オフサイトで燃料電池用水素に精製し、石油業界が保有する既存エネルギー供給インフラを有効に活用してその水素をどのように供給していくのがよいかのシナリオ（ビジネスモデル）を短期、中期、長期の各段階に分けて検討し、水素社会の基盤整備における石油業界の位置付けを明らかにしようとするものである。

## 2. 燃料電池にかかる水素について

### 2. 1 水素需要量等の見通し

燃料電池向けの水素需要は、主として自動車用と定置用があるが、本調査では、自動車用の水素需要のみを対象とした。定置用を除いた理由は、定置型燃料電池への純水素供給インフラの構築は容易ではなく、定置型燃料電池が普及したとしても既存の燃料を用いるタイプとなる可能性が高く、石油業界への影響は小さいと予想されるためである。

表1に示すように、2020年時点の燃料電池自動車の政府導入目標は500万台であり、その水素需要は、37.5億～61.7億Nm<sup>3</sup>/年と予測されている。(燃料電池実用化戦略研究会、NEDOの予測を引用)

表1 政府目標（2020年・500万台）達成時の水素需要

機関	2020年・水素需要 (億 Nm <sup>3</sup> /年)	(参考)水素消費原単位
燃料電池実用化戦略研究会	37.5	乗用車 @750Nm <sup>3</sup> /年
平成13年度WE-NET第Ⅱ期 研究開発タスク1	オンボード車有り:42.5 オンボード車無し:61.7	ガソリン自家用車 @900Nm <sup>3</sup> /年 ディーゼル自家用車@1,510Nm <sup>3</sup> /年 ディーゼルトラック @16,120Nm <sup>3</sup> /年 ディーゼルバス @15,790Nm <sup>3</sup> /年

(注) ガソリン車燃費=12.6km/リットル、FC車燃費(効率3倍の想定)=13.7km/Nm<sup>3</sup>-純水素  
⇒ ガソリン1リットルは0.92Nm<sup>3</sup>に相当

## 2.2 燃料電池が要求する水素スペック

固体高分子形燃料電池は水素純度70~80%でも発電は可能であるが、現時点では不純物による燃料電池の耐久性等への悪影響を排除するため、極めて高い純度の水素が燃料電池の燃料として要求されているのが実態である。燃料電池用の水素燃料の要求スペック（水素純度等）は、今のところ明確に定められてはいないが、水素ステーション等では99.99%以上の高純度が求められており、日本からISOへ提案している水素燃料の標準化提案も非常に厳しいものとなっている。

表2 燃料電池自動車用水素の日本からの標準化提案

項目		標準化提案	ISO14687
			Type I Grade A
水素純度 (minimum mole fraction,%)		99.99	98.0
Para-hydrogen (minimum mole fraction,%)		NS	NS
不純物 (最大許容量)	水分[cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup> ]	NC	NC b
	トータル炭化水素	NS	100 μ mol/mol
	NMHC(Non-Methane Hydrocarbon)	2ppm	
	酸素	NS	b
	アルゴン	NS	b
	窒素	NS	b
	CO <sub>2</sub>	NS	
	CO	0.2ppm	1
	Mercury	-	
	硫黄	ND(0.02ppm)	2.0
	HCHO	0.1ppm	
	HCOOH	0.4ppm	
	Permanent Particulates	A	a
Density			

(注) NS : Not Specified NC : Not to be Condensed ND : Not Detected

a : ステーションや車に害を与えない量、b : 合計で最大 1900 μ mol/mol

(出所) 平成15年3月 NEDO「固体高分子形燃料電池/水素エネルギー利用成果報告会 予稿集」

## 2.3 水素社会における環境負荷の低減について

燃料電池が使われる水素社会では、化石燃料系の水素を使用する場合でも、燃料電池の

効率が高く、Well to Wheel の総合効率で現行ガソリン車の 2 倍～3 倍の効率が得られると見込まれるため、運輸部門からの CO2 排出量は大きく削減できる。また、燃料電池車の有害物質排出量は極めて少なく、ガソリン車の約 0.3% 程度しか有害物質を排出しないという試算結果もある。

### 3. 水素需給バランスの現状と水素の供給可能性

#### 3. 1 水素需給バランスの現状

石油業界、石油化学業界、ソーダ業界、アンモニア業界の合計の水素バランスは、供給 273 億 Nm<sup>3</sup>/年、需要 175 億 Nm<sup>3</sup>/年、98 億 Nm<sup>3</sup>/年の余剰と試算された。(石油業界及びアンモニア業界の水素製造の余力は 100% 活用すると仮定)

石油業界は供給と需要共に全体の 7 割弱を占めており、水素の大量供給(生産)者であるとともに大量消費者でもある。

表 3 現状の水素需給バランスのまとめ

単位: 億 Nm<sup>3</sup>/年

業界	供給	需要	バランス
石油業界	189	125	64
石油化学業界	31	18	13
ソーダ業界	12	1	11
アンモニア業界	42	32	10
合計	273	175	98
産業ガス業界	4	4	0
鉄鋼業界	86	0	86
総合計	363	179	184

(注 1) 石油、アンモニア業界の水素製造装置は、稼働率 100% と仮定。

(注 2) 石油業界の水素製造装置以外の装置は、全て稼働率 85% と仮定。

(注 3) 石油化学、ソーダ、アンモニア業界の各装置は実稼働ベース。(2001 年、化学工業統計年報等)

石油業界の製油所における水素発生及び水素製造の量は、接触改質装置(リフォーマー)から副生する水素量が約 85 億 Nm<sup>3</sup>/年、水素製造装置(炭化水素の水蒸気改質装置)で生産可能な水素量が約 104 億 Nm<sup>3</sup>/年で合計 189 億 Nm<sup>3</sup>/年と見積もられた。一方、水素消費(需要)の現状は、水素化脱硫用に約 36 億 Nm<sup>3</sup>/年、重油脱硫用に約 70 億 Nm<sup>3</sup>/年、水素化分解用に約 19 億 Nm<sup>3</sup>/年など合計で約 125 億 Nm<sup>3</sup>/年と見積もられた。その結果、現在の水素需給バランスは約 64 億 Nm<sup>3</sup>/年である。

軽油に対する規制は、現状、硫黄分(サルファー) 500ppm 以下であるが、今後規制が強化される見通しであり、石油業界の脱硫用の水素需要が増加する見込みである。規制が 50ppm 以下に強化された場合には水素バランスは約 57 億 Nm<sup>3</sup>/年に減少し、規制が 10ppm 以下となった場合には約 49 億 Nm<sup>3</sup>/年まで減少すると試算される。

表 4 石油業界における製油所の水素バランス

(単位：百万 Nm<sup>3</sup>/年)

区分	装置	軽油 500ppm	軽油 10ppm
水素の発生・製造	接触改質装置	8,457	8,457
	水素製造装置	10,437	10,437
	発生・製造の合計	18,894	18,894
水素の消費	脱硫装置	10,524	12,046
	水素化分解装置	1,924	1,924
	その他	23	23
	消費の合計	12,471	13,993
水素の発生・製造 - 消費		6,423	4,901

(注) 推計に使用した水素発生・消費の原単位は、石油学会が発行するプロセスハンドブックの情報、及び石油精製各社への聞き取り調査をもとに、平均的な原単位を想定した。

### 3. 2 高純度水素の供給可能性

石油業界及び化学業界における水素源からの水素の純度は 70%～98%の範囲であり、自動車向けに水素を供給することを想定すると、99.99%程度まで純度を高めるプロセスが必要となる。高純度精製装置として PSA (Pressure Swing Adsorption) プロセスが主に使われており、この装置を用いると 25%から 30%の水素回収ロスが発生する。(ソーダ業界のみ PSA ではなくドライヤーを仮定)

この回収ロスと各業界の将来見通しを勘案し、各業界別の高純度水素供給可能量の見通しを試算したところ、石油業界は 2020 年に向けてやや供給可能量は低下するものの依然として大きな位置を占め、石油・化学業界の合計ではやや供給可能量は増加するという結果となった。

2020 年時点の石油・化学業界合計の水素供給可能量は 71 億 Nm<sup>3</sup>/年と試算されており、燃料電池自動車用水素需要 37.5 億～61.7 億 Nm<sup>3</sup>/年の全てを賄うことが可能な量である。

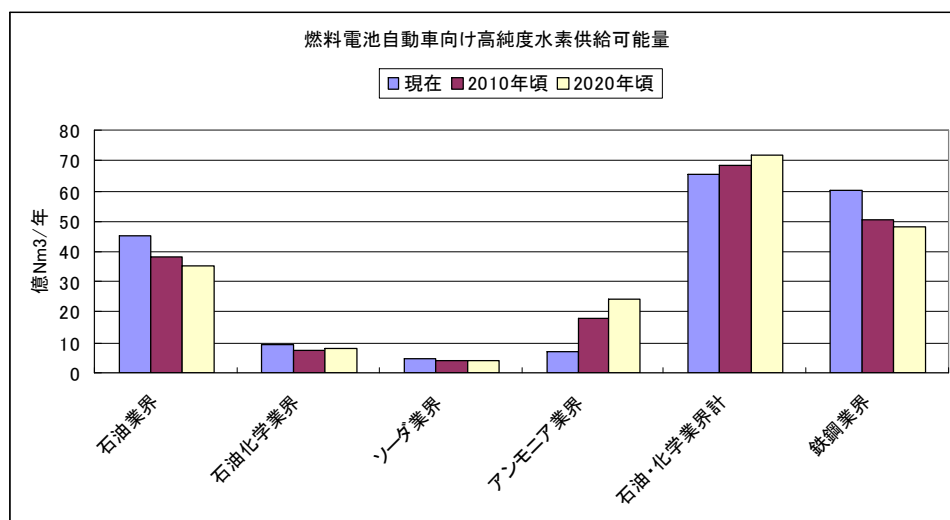


図 1 業界別高純度水素供給可能量の見通し

### 3. 3 高純度水素の製造コスト

石油精製業界からの高純度水素（99.999％）の工場渡し価格は 11.1 円/Nm<sup>3</sup> ～12.0 円/Nm<sup>3</sup>と試算された。一方、鉄鋼 COG を原料とする高純度水素は 16.3 円/ Nm<sup>3</sup>～18.1 円/Nm<sup>3</sup>と試算されており（WE-NET による結果）、石油業界の方が鉄鋼業界と比べ 5 円～6 円程度安く供給できるという結果となった。

石油業界の方が安価に高純度水素を供給できる主な理由は、i）既存の水素製造装置を活用できることから固定費を抑えられること ii）原料となる水素の濃度及び圧力が高いことから、高純度に精製するためのコストを抑えられること の2点である。

表 5 石油精製水素製造と鉄鋼 COG からの高純度水素の製造コスト比較

水素生産能力		高純度水素製造・精製回収コスト(円/Nm <sup>3</sup> )			相対コスト	
万Nm <sup>3</sup> /日	Nm <sup>3</sup> /時	石油精製	鉄鋼COG	石油-鉄鋼	石油精製	鉄鋼COG
100	41,667	11.1	16.3	-5.2	68	100
60	25,000	11.4	16.9	-5.5	67	100
30	12,500	12.0	18.1	-6.1	66	100

<水素製造コスト試算における前提条件>

#### ①石油精製

- ・既存の水素製造装置の余力を活用し、高純度水素に精製するために PSA を新設することを前提とした。想定規模は 100 万 Nm<sup>3</sup>/日とした。
- ・資本コストの算定には、水素製造装置が新設プラントの 26.5%（石油精製業界の全装置の平均残存評価率）にて取得できるものと仮定した。
- ・原料として製油所内のオフガス等の安価な原料が活用できることから、原料単価は、原油調達コスト+10%（18.2 円/kg）で評価した。

#### ②鉄鋼 COG

- ・平成 11 年度「WE-NET 第Ⅱ期研究開発タスク 1 システム評価に関する調査研究」の「コークス炉副生ガスからの水素ガス製造」に示されたコストデータをベースに、建設費はスケールを 0.7 乗ルールにて修正し、その他は必要に応じて石油精製の前提との整合性を勘案し試算した。

水素を高純度に精製するためのコストは、フィードガスの水素濃度（低いほどコスト大）と圧力（低いほどコスト大）により増減する。石油精製プラントとアンモニアプラントからの水素は、高純度かつ高圧であることから、精製・回収コストは低い。ソーダ・エチレンからの水素は圧力がやや低いことから、精製・回収コストはやや高くなる。鉄鋼 COG からの水素は、水素濃度、圧力ともに低く精製・回収コストは高い。

石油・化学業界の既存設備を活用した高純度水素は、比較的安価と考えられ、オフサイト方式の水素供給源として極めて有望と考えられる。

## 4. 自動車用燃料電池への水素供給形態について

### 4. 1 自動車用燃料電池への水素供給形態

オフサイト型水素供給方式と天然ガスのオンサイト改質型水素ステーション方式の水素供給コストを比較すると、ステーション規模 500Nm<sup>3</sup>/h では、オフサイト方式 87.0～96.9

円/Nm<sup>3</sup>、オンサイト改質方式 109.5 円/Nm<sup>3</sup>、ステーション規模 300Nm<sup>3</sup>/h では、オフサイト方式 93.5～104.9 円/Nm<sup>3</sup>、オンサイト改質方式 123.5 円/Nm<sup>3</sup> であり、オフサイト方式の方がコスト優位と考えられる。

<水素供給コスト試算における前提条件>

①オフサイト方式

石油精製のオフサイト方式における水素供給コストは、表 5 に示した水素精製コストのみ本調査にて試算した。圧縮 or 液化、輸送、ステーションの各コストは平成 13 年度「WE-NET 第Ⅱ期研究開発タスク 1 システム評価に関する調査研究」からの引用。

②天然ガスのオンサイト改質方式

平成 13 年度「WE-NET 第Ⅱ期研究開発タスク 1 システム評価に関する調査研究」からの引用。

また、天然ガス改質水素ステーションと石油系燃料改質水素ステーション（ともにオンサイト型）の水素供給コスト試算については、設備費や運転費等に著しいコストの差異が無いと仮定し、燃料の違いによるコスト差のみを検討した。その結果、天然ガスと石油系では最大 3.5 円/Nm<sup>3</sup> 差があったが、石油系ではほとんど差がないという結果となった。

しかし、水素ステーションの設備機器や水素の貯蔵・輸送に関する技術開発などが盛んに行われていることから、コストの優劣はまだまだ変わる余地が大きく、これらの結果をもって優劣を判断することは困難と考えられる。つまり、現時点の情報からは石油業界の水素はコスト優位と考えられるが、将来的に、オフサイト/オンサイト/オンボードのいずれが優位性をもつか、また、オフサイトの場合にパイプライン/ローリー/トレーラー、液体水素/圧縮水素/その他の何れが有利かについては、未だ結論を出すことができないのが現状といえる。また、改質器や水素貯蔵の今後の技術開発動向に加えて、水素需要量・需要密度、既存の燃料供給インフラ、立地場所などの様々な要因が影響を与えられられる。

#### 4. 2 水素供給形態ごとの石油業界への影響

将来の水素の供給形態は定かではないが、石油業界への影響は、オンボード/オンサイト/オフサイトのいずれの水素供給方式となるかにより異なる。

特に、オフサイト方式となる場合には、自動車用燃料としてのガソリン・軽油の流通量が減少することになり、精製業、流通業とも大きな影響を受ける。

しかし、石油業界が、大量の純水素を安価に供給することが可能であるという位置付けを活かし、ガソリン・軽油の代替としての純水素も供給する仕組みを構築していけば、石油業界への影響は軽減される。

表6 水素供給形態別の石油業界への影響

水素供給形態	石油業界への影響		
	主な競合相手	生産への影響	流通・小売への影響
(イ) オンボード改質方式	都市ガス メタノール	1) 燃料スペック変更への対応 (FCV 向け燃料 CHF 等) 2) 比較的影響は小さい	
(ロ) オンサイト型水素ステーション方式	都市ガス		1) ガソリンスタンドを水素ステーション(改質器付き)へ転換
(ハ) オフサイト方式	電解 石化 アンモニア 鉄鋼 工業ガス 新規参入	1) 自動車用のガソリン・軽油需要が水素に代替。 2) 石油業界は、コスト競争力があるので、リファイナリーからの水素供給に前向きに取り組む	1) ガソリンスタンドを水素ステーション(改質器無し)へ転換 2) 燃料供給設備、流通網等を純水素用へ転換

## 5. 中長期の水素供給構造のシナリオ

### 5. 1 短期、中長期の水素供給システムのイメージ

#### (1) 短期

オンサイト改質型ステーションは、固定費負担が大きいことから、普及初期の段階から商用ベースで多数建設されることは考えづらい。よって短期的には、既存のプラント等で発生する副生水素等を収集し、高純度に精製、圧縮して、各ステーションに配送する形態が最も現実的と考えられる。

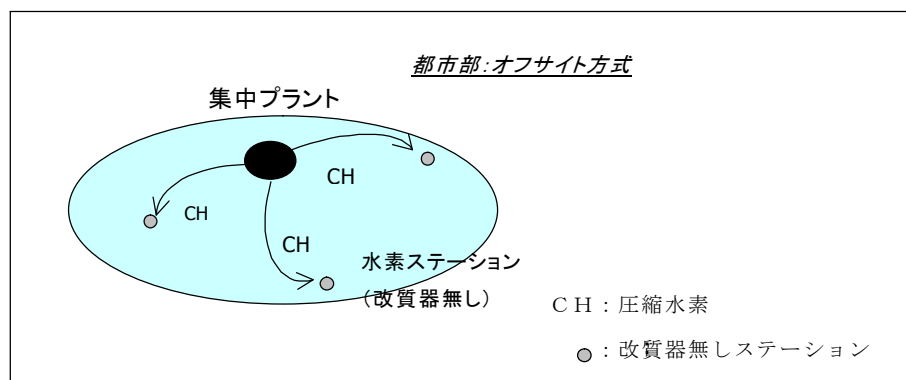


図2 短期的な水素供給システムイメージ

#### (2) 中長期

中長期的には、水素需要量が増大し、純水素の供給エリアは全国に拡大していくことが想定される。集中型プラントを中心とした地域への供給を想定したオフサイト方式と、プラントから離れた地域への供給を想定したオンサイト改質方式の並存の可能性が高いと考

えられる。

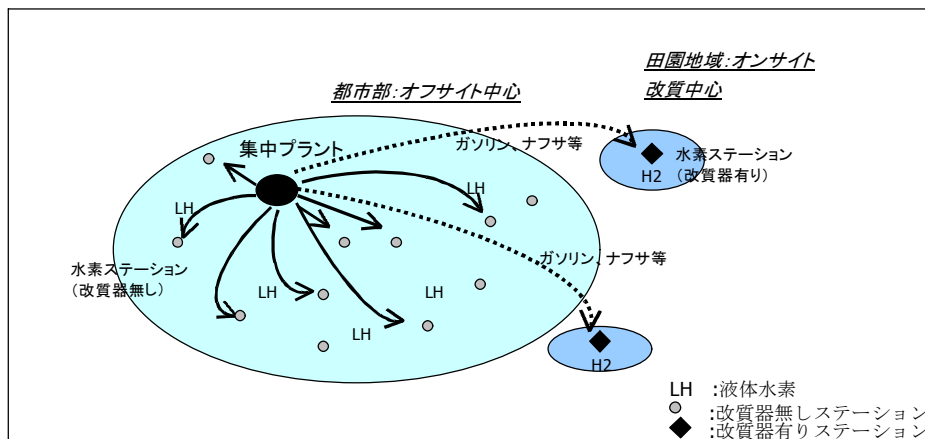


図3 中長期的な水素供給システムイメージ

## 5. 2 オフサイト型水素供給システムにおける水素供給者

オフサイト方式の水素供給者としては、一般に、純度の高い副生水素をもつソーダ業界・エチレン業界、既存の水素製造装置をもつ石油業界・アンモニア業界、副生水素をもつ鉄鋼業界の順に優先順位が高いと考えられる。

表7 水素供給ビジネスへの各業界の参入順序のイメージ

業界	水素源	
1. ソーダ業界	高純度副生水素の活用	} ...既存設備の活用
2. エチレン業界	高純度副生水素の活用	
3. 石油業界 アンモニア業界	目的水素製造	} ...設備の新設
4. 鉄鋼COG	副生水素の活用	
5. 新規参入者	目的水素製造	

ただし、実際には、地域によって燃料電池車の普及速度は異なると思われ、地域に存在する水素源も一様ではなく、また各業界の戦略によっても、水素の供給構造は異なってくると考えられる。

## 6. 石油業界における水素社会に向けた戦略的取り組みの提言

### 6. 1 水素社会に向けた各業界が保有するエネルギー供給インフラの活用可能性

各業界が保有するエネルギー・水素供給インフラを検討すると、生産から流通、小売販



売に至るまで、大規模でかつ一貫したエネルギー供給インフラを保有している業界は、石油業界のみといえる。

表 8 各業界が保有するインフラ

業界	生産	流通	小売販売
1. 石油	・水素製造装置	・油槽所600ヶ所、タンク約4000ヶ所 ・内航タンカー約800隻、ローリー約53,000台、セミトレーラー約3,700台 ・全国規模の大規模配送システム ・LPG充填所約2,700ヶ所	・小売店約24,000店 ・サービスステーション約45,000ヶ所 ・LPGスタンド約1,900ヶ所 ・消費者ブランドイメージ
2. エチレン	・副生水素	・一部の副生水素を他社へ供給	
3. ソーダ	・副生水素	・一部の副生水素を他社へ供給	
4. アンモニア	・アンモニア合成用の水素製造装置	・一部の副生水素を他社へ供給	
5. 工業ガス	・高純度水素製造設備 ・高純度水素製造ノウハウ ・水素液化/圧縮技術	・規模は大きくないが既に高純度水素供給システムを構築済み。 ・ローリー拠点を全国に設置(トレーラー約1,000台、液水ローリー数十台)	
6. 鉄鋼	・副生水素	・一部の副生水素を他社へ供給	

オンボード改質方式、オンサイト改質型水素ステーション方式、オフサイト方式のいずれのシステムになるかにより、各業界のインフラ活用の方向性は異なるが、石油業界は、いずれの水素供給システムとなった場合でも重要な位置付けにあるといえる。

特に、オフサイト方式の水素供給システムの場合、石油業界を含めて産業界は大きな対応が必要となる。オフサイト方式の水素供給システムには、多くの業界が関連する可能性があり、効率的で安価な水素供給システムを構築していくにあたり、各業界が保有するインフラを有効活用しながら、お互いに連携して取り組むことが重要と思われる。

表 9 各業界のインフラ活用の方向性

業界	(イ)オンボード改質方式	(ロ)オンサイト改質型水素ステーション方式	(ハ)オフサイト方式
1.石油	1)CHF 等の燃料供給	1)ガソリンスタンドに水素ステーション(改質器付き)を併設、あるいは新設	1)既存の水素製造装置稼働による水素生産 2)石油製品流通網の純水素対応への転換 3)ガソリンスタンドに水素ステーション(改質器無し)の併設、あるいは新設
2.石油化学			1)副生ガスの外販
3.ソーダ			1)副生ガスの外販
4.アンモニア			1)既存の水素製造装置稼働による水素生産(転用 or 余力活用)
5.工業ガス		1)水素関連技術のステーションへの適用	1)水素関連技術のステーションへの適用 2)既存の水素供給システムの拡張

## 6. 2 水素社会に向けた石油業界の戦略的取り組みの提言

オフサイト方式における具体的な水素供給の方法としては、石油化学コンビナート内の各業界から余剰・余力水素を集約し、精製・圧縮／液化・貯蔵を行う組織を新設し、水素の需要に合わせて水素を供給していく方法が考えられる。

水素供給者のビジネスモデル

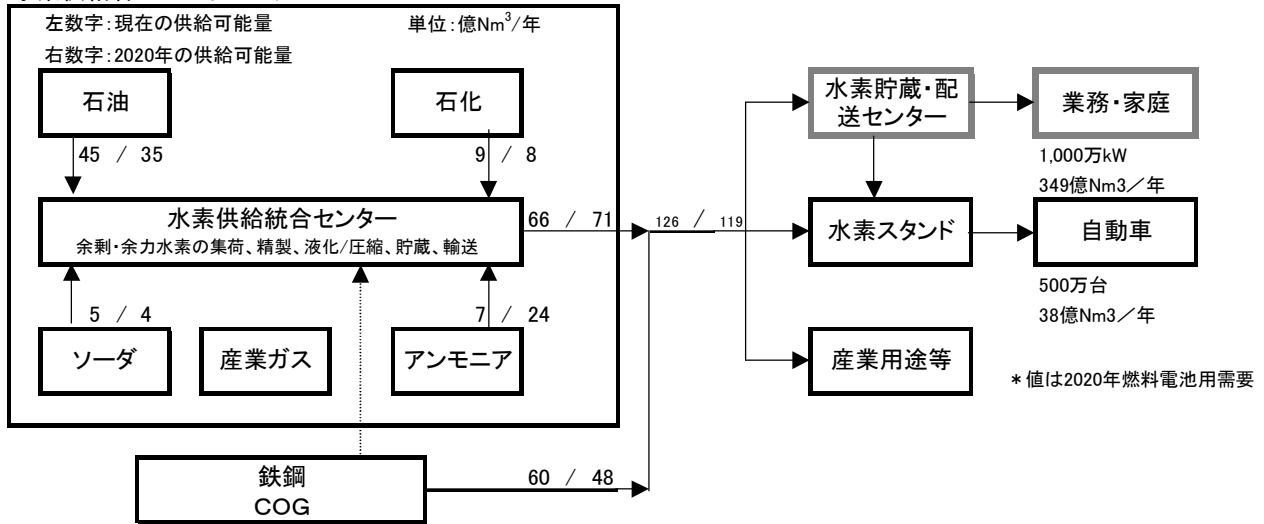


図4 各業界が連携した水素供給システム

各業界が連携して取り組むことによるメリットは、コストの安い副生水素が活用できること、安定供給が可能となること、水素流通にかかる設備のスケールメリットの発揮、水素取扱いノウハウが活用できること、石油業界が保有する既存燃料の流通・小売網が活用できること等があげられる。

石油業界は、コンビナート内で最大の水素供給ポテンシャルを有し、かつ水素の流通・小売網の構築においても大きな役割を担うことが期待されている業界であることから、各業界の連携を先導していくことが望まれる。

## 6. 3 石油業界における戦略的取り組みの提言のまとめ

### (1) 水素社会における石油業界の位置付けの重要性

オンボード改質方式・オンサイト改質型水素ステーション方式・オフサイト方式の何れの水素供給形態になるとしても、石油業界は重要な位置付けにある。

### (2) 石油、及び石油化学業界の既存の設備からの水素供給の有効性

石油、及び石油化学業界の既存の設備からの水素だけで、2020年の燃料電池車導入目標数に相当する水素需要の全てを賄うことが可能。かつ、コスト競争力が高い。

(3) コンビナート内連携による水素供給戦略の先導

オフサイト方式の場合、水素の生産面では、コンビナート内の各業界と連携し、既存の水素源を有効活用することが有効。石油業界は、連携の先導役として期待される。

(4) 石油業界のインフラを活用した水素供給システムの構築

石油業界は、燃料油の生産から流通、小売まで一貫したインフラを保有している。この強みを活かしつつ、かつ他の業界とも連携しながら、消費者までの水素供給システムを構築することが期待される。

## 7. 今後の課題

(1) オフサイト方式における純水素のデリバリーシステムのあり方の検討

オフサイト方式における純水素のデリバリーシステムは、現時点では、圧縮／液体、トラック／ローリー／パイプラインなどがあるが、どの水素輸送方法が効率的なのか明確ではない。石油業界として、望ましいデリバリーシステムの姿を今後具体的に検討していく必要がある。

(2) 地域特性の違いによる望ましい水素供給システムの検討

地域により水素需要量や水素供給源、使用できる既存のインフラ等が異なるため、地域ごとに効率的な水素供給システムの姿が異なると考えられる。

今後、具体的な地域を設定し、具体的な水素供給源からの距離や輸送コスト、需要量・需要密度等を想定しながら具体的なケーススタディを行いつつ、地域ごとに適した水素供給システムの具体的な姿を描いていくことが必要である。