

【産業競争力懇談会 2015年度 プロジェクト 最終報告】

【安定な未利用エネルギーによる水素社会の実現】

2016年3月3日

産業競争力懇談会 **COCN**

【エグゼクティブサマリ】

1. 本研究会の背景と目的

固定価格買い取り制度が発効され、太陽光発電や風力発電などの大容量の再生可能エネルギーが広く事業化したが、これらは自然条件に大きく左右され、利用に際しては系統に負担をかける点が課題である。一方、小水力や電車の回生エネルギー、バイオマスなどは、安定なエネルギーが期待できるにもかかわらず、小規模で分散していることからエネルギー効率が悪くコスト高ともなるため、十分に活用されていない。

このため、これら安定な未利用エネルギーを、エネルギー密度が高く、貯蔵性に優れ、燃料電池車などに活用できる水素エネルギーに変換することにより、通常時の地域コミュニティでの利用だけでなく、災害時におけるレジリエントな活用にも資することを目的とした。

2. 検討内容

(1) 要素技術

鉄道の回生エネルギー、小水力、バイオマスエネルギーについての現状技術と、これらの未利用エネルギーによる水素製造について実現性に係る課題点について調査検討した結果、装置の低コスト化、高効率化、小型化、相互接続のためのインターフェース等が課題であることを明らかとした。

鉄道の回生エネルギー： 列車から駅へ回生する電源装置がすでに開発されており、採算性について検討するレベルに既に来ており、回生エネルギーが十分に得られ、需要も確保される場所の選定をする段階に来ている。

小水力： 10kW程度のマイクロ水力では縦軸クロスフローを活用して設置に係る土木工事費や維持管理コストに優れた技術として既に市場に出てきているが、機器コストの低減が課題である。

バイオマス： 大規模な農業廃棄物や下水汚泥が発酵により生じたメタンを水蒸気改質し水素製造する手法は実証レベルにあり、事業性について明確化される段階にある。発酵におけるオゾン生成によるメタン製造を活性化する手法も開発されており、効率化が課題となっている。

水素製造装置： 小規模向で自動車用として開発されてきている。水素の生成量と蓄積容量に制約があるため、将来の燃料電池車等の台数が多くなる地域では、配車充填計画など情報通信技術の適用が必要である。電氣的接続インターフェース等については、系統からの電力が不可欠であり、完全独立とするためには蓄電池等の併用が必要となる。大規模水素製造にかかる実証実験は既にい

くつか実施されている一方で、小規模システムについては一部の地域に限定される傾向にある。

(2) ビジネスモデル

本提案では、以下を前提として地域再エネ水素利用社会を構築するビジネスモデルを提案する。

1) 地域分散を担うエネルギー者を想定

2) CO₂ フリーとなる再生可能・未利用エネルギーを地産地消での活用

従って、初期に於いてはエネルギー供給者及び利用者の経済的合理性は、非化石燃料で小規模であるために成立しない。したがって、高コストとなり、所謂民間が事業主となって投資するに可能なレベルには至らず、地方自治体などが政策的に進める事業に限られ、更に、当面は国の補助も必要である。経済合理性を成立させる取組として、無人運転、建築の制約に対する規制の緩和によりランニングコストを低減させることが必要となる。

事業性が厳しいことから、地方公共団体、地域交通会社、農業組合などの公共機関が運営主体となった特定目的会社(SPC)が運営母体となる。小水力や再生エネルギー、バイオマスエネルギーから水素を製造し、自身が所有する機器の管理・運営にあたる。更に、地域を中心にして水素のエネルギー利用、燃料電池車、燃料電池バス、公共輸送機関等へ供給への活用を図る。

蓄電池活用と本提案については補完的な関係であり、小規模・分散・地方主体が前提のため、主として電力ネットワークに接続されないオンサイト型システムを想定しており、活用の利便性、貯蔵のスクーラビリティ等の観点から、蓄電池活用についても共存の形での活用を図る。

事業例を対象として、下水汚泥処理場と公共機関で運営するSPCを想定して検討した。その結果以下の条件の元では運営が可能であることを明らかとした。

- 1) 公共機関など事業者により水素活用機器が確保されていること、
- 2) 下水汚泥より製造する余剰のCO₂フリー水素が安価で入手できること、
- 3) 水素の供給者とユーザーが同一であり自給自足での運営であること、

(3) 期待できる効果

経済的効果: 直接的効果として2050年に全国500ヶ所、1000億円が見込まれた。

地域活性化: 波及効果による間接的効果を社会科学の専門家を起用して産業連関表を活用し、3000億円規模での経済効果が想定された。

災害時の対応: 地域における自給自足のエネルギーの拠点を 500 ヶ所構築でき、災害時での備えを準備できる。

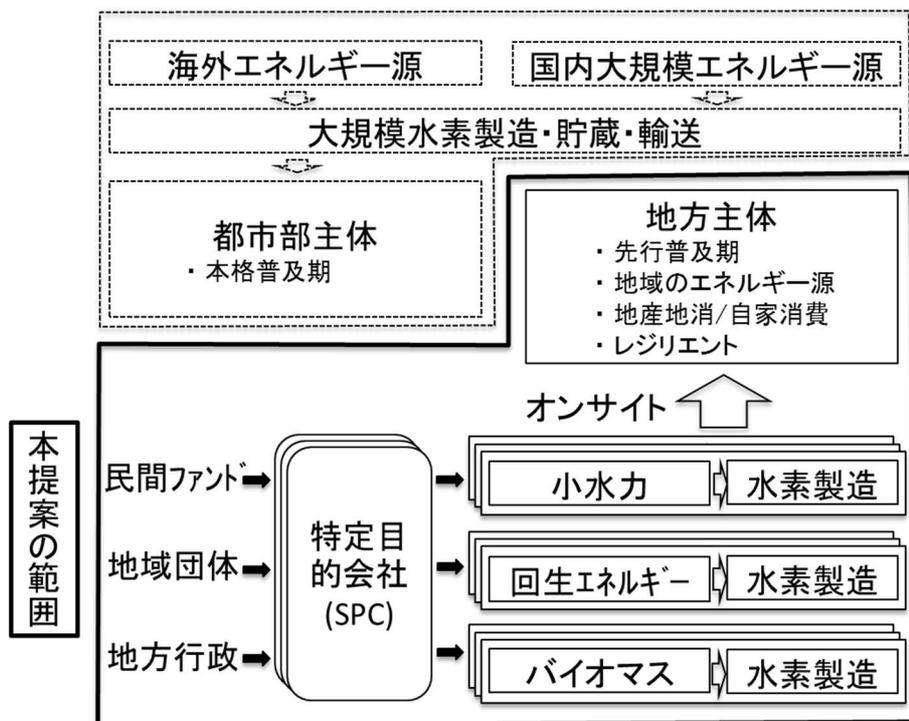


図 本提案の範囲とビジネスモデル

3. 実現のための提言

【国への要望】

地域再エネ水素社会構築に対する建設の助成、実証プロト検証への公的支援
 小型で再エネを活用するので初期建設コストが割高で、売上が低いので、運営での回収が厳しい。将来は技術進展や燃料電池車等普及で経済性が成立すると予測されるが、現状は助成金が必要であり、ビジネスモデルや実証のシステム検証も併せて必須となる。

地域再エネ水素社会の運営に対する規制緩和

既に提案されている水素ステーションに関する規制緩和に加え、安全や運営条件を限定した管理者の削減、住宅地、商業地での設置の認可他

【事業モデルの課題及び目標】

事業主体(公共団体、農協他)の取り纏めによる事業モデル構築を提言

要素技術の標準化、小型化及び性能向上による低コスト化

電気分解水素製造装置、小水力発電設備、回生エネルギー電源設備

【目 次】

はじめに

プロジェクトメンバー

1. 背景

2. 現状分析

2.1 鉄道駅の回生エネルギーによる水素製造・貯蔵・利活用

2.1.1 回生技術の概要

2.1.2 小型水素製造装置の概要

2.1.3 鉄道駅を中心とした水素コミュニティ

2.2 河川等に設置した小水力による水素製造・貯蔵・利活用

2.2.1 小水力発電の概要

2.2.2 大規模電気分解水素製造の概要

2.2.3 農業拠点を活用した水素コミュニティ

2.2.4 事業化の経済性検討

2.3 バイオマスの改質による水素製造・利活用

2.3.1 バイオマスによる水素製造

2.3.2 北海道における家畜ふん尿由来の水素サプライチェーン

2.3.3 地域でのバイオマスによる水素コミュニティ

2.4 地域における水素の取組例

2.4.1 東京都での取組み

2.4.2 横浜市での取組み

2.4.3 地域での水素の活用の取組（長崎県対馬市の事例）

2.4.4 地域でのビジネスモデル

3. 今後の我が国における取組み体制案の提言

3.1 地域でのビジネスモデル

3.2 本提案の経済効果とビジネスモデル

- 3.2.1 実用化、事業化の経済効果（市場規模、売り上げ、雇用規模など）
 - 3.2.2 実用化、事業化までの大まかな日程あるいはロードマップ
 - 3.2.3 小水力でのビジネスモデル
 - 3.2.4 バイオマスでのビジネスモデル
 - 3.2.5 バイオマスでの収支モデル
-
- 4. 普及施策検討における論点と方向性
 - 4.1 水素コミュニティの産業連関分析にむけて
 - 4.2 事業成立の為の規制緩和、政府への提言

【はじめに】

固定価格買い取り制度が発効され、太陽光発電や風力発電などの大容量の再生可能エネルギーが広く事業化しましたが、これらは自然条件に大きく左右され、利用に際しては系統に負担をかける点が課題と考えられます。一方、小水力や電車の回生エネルギー、バイオマスなどは、安定なエネルギーが期待できるにもかかわらず、小規模で分散していることからエネルギー効率が悪くコスト高ともなるため、十分に活用されていないのが現状です。

このため、これら安定な未利用エネルギーを、エネルギー密度が高く、貯蔵性に優れ、燃料電池車等に活用できる水素エネルギーに変換することにより、通常時の地域コミュニティでの利用だけでなく、災害時におけるレジリエントな活用にも資することを目的と致しました。

本提案は、地域分散を担う事業者を想定している事、CO₂フリーとなる再生可能、未利用エネルギーを地産地消での活用を前提とした水素社会を構築するビジネスモデルを目指しました。また、事業モデルとしては民間投資のレベルには達しない為、地方自治体が主体となるモデルを提案する事です。この結果、下水汚泥などのバイオマスを活用することにより、未利用なCO₂フリー消化ガスより生成した水素で公共機関での自給自足の運営に可能性を見出しました。

地域再エネ水素利用を促進するためのプロジェクトは既に官民をあげて、プロジェクトが開始されています。本プロジェクトではこれら施策の規制緩和、事業運営の時期的且つ地域的に、相補関係での普及シナリオを示しました。また、産業競争力強化上の効果について、直接的効果だけでなく、波及効果による間接的効果も社会科学の専門家を起用して産業連関表を活用することで一定量の市場やCO₂削減効果についても示しました。

本研究会では「安定な未利用エネルギーによる水素社会の実現」における、導入シナリオとロードマップの具体化案と各フェーズでの取り組み案について提言致します。

産業競争力懇談会
理事長
小林 喜光

【プロジェクトメンバー】

担当実行委員：	市毛 正行	(三菱電機株式会社)
	五十嵐 仁一	(JX エルギー-株式会社)
企画小委員：	五日市 敦	(株式会社東芝)
	金枝上 敦史	(三菱電機株式会社)
	佐藤 桂樹	(トヨタ自動車株式会社)
	田中 克二	(三菱ケミカルホールディングス)
	寺田 透	(富士通株式会社)
プロジェクトリーダー：	大槻 晃嗣	(三菱商事株式会社)
リーダー代行：	森原 淳	(三菱商事株式会社)
サブリーダー：	植村 憲嗣	(三菱電機株式会社)
メンバー：	三浦 真一	(株式会社神戸製鋼所)
〈順不同〉	坂田 和昭	(株式会社神鋼環境ソリューション)
	三宅 明子	(株式会社神鋼環境ソリューション)
	八村 幸一	(鹿島建設株式会社)
	重清 秀雄	(日本エアープロダクツ(株))
	中村 勉	(JX エルギー-株式会社)
	横山 翔	(JX エルギー-株式会社)
	平井 健一郎	(水 ing 株式会社)
	桑原 一也	(住友電気工業株式会社)
	飯野 公夫	(大陽日酸株式会社)
	浅井 潤一郎	(大陽日酸株式会社)
	下 正純	(株式会社竹中工務店)
	中村 慎	(株式会社竹中工務店)
	嶋田 雄二郎	(株式会社東芝)
	山根 史之	(株式会社東芝)
	逸見 直也	(日本電気株式会社)
	蛭田 道夫	(株式会社日本環境認証機構)
	後藤田 龍介	(株式会社日立製作所)
	杉政 昌俊	(株式会社日立製作所)
	河越 智之	(富士電機株式会社)
	小倉 英之	(富士電機株式会社)
	松嶋 稔郎	(本田技研工業株式会社)

岩田 和之	(本田技研工業株式会社)
宮川 春香	(本田技研工業株式会社)
中西 保彦	(三菱樹脂株式会社)
猪飼 誉夫	(三菱電機株式会社)
西澤 浩樹	(三菱電機株式会社)
尾崎 葉一	(三菱電機株式会社)
龍 智明	(三菱電機株式会社)
松村 寧	(三菱電機株式会社)
小橋 秀一	(三菱電機株式会社)
川原 直久	(三菱電機株式会社)
谷村 泰宏	(三菱電機株式会社)
平敷 勇	(三菱電機株式会社)
鈴木 直彦	(三菱電機株式会社)
岩田 雅史	(三菱電機株式会社)
橋本 博幸	(三菱電機株式会社)
長江 偉	(三菱電機株式会社)
上伊倉 弘幸	(三菱電機プラントエンジニアリング株式会社)
岡本 崇史	(一般社団法人グリーンファインズ推進機構)
榑 浩司	(産業技術総合研究所)
藤代 芳伸	(産業技術総合研究所)
岡崎 健	(東京工業大学)
小田 拓也	(東京工業大学)
小林 直人	(早稲田大学)
鷲津 明由	(早稲田大学)

事務局 :	小林 修二	(三菱商事株式会社)
事務局 (サブ) :	泉井 良夫	(三菱電機株式会社)
オブザーバー :	澤木 勉	(横浜市)
	藤原 孝行	(東京都環境公社)
	武藤 康司	(東日本旅客鉄道株式会社)
	黒崎 勇	(長崎県)
	佐々木 恭	(株式会社フラットフィルド)

【本文】

1. 背景

固定価格買い取り制度が発効されて以来、太陽光発電や風力発電などの大容量の再生可能エネルギーが広く事業化した。しかし、これらのエネルギーは、自然条件に大きく左右され、利用する場合、系統に対して負担をかける。これに対して、小水力や電車の回生エネルギー、バイオマスなどは、安定なエネルギーが期待できるにもかかわらず、小規模で分散していることからエネルギー効率が悪くコスト高ともなるため、十分に活用されていない。

一方で、このような小規模・分散型エネルギーは、地域コミュニティでのエネルギー源として通常時だけでなく、災害時に関しても活用ができ、レジリエント的な観点でも有効である。また、小規模・分散型エネルギー源を活用するためには、水素化等による活用を具体化する必要がある。

本提案では、これら安定な未利用エネルギーを、貯蔵性があり、且つ燃料電池車など様々な活用に優れた水素エネルギー等に変換し、地域コミュニティでの活用を図るものである。

2. 現状分析

2.1 鉄道駅の回生エネルギーによる水素製造・貯蔵・利活用

2.1.1 回生技術の概要

(1) 鉄道のエネルギー使用状況

鉄道は国内全体で 172 億 kWh/年の電力を消費しており、大口電力使用業種の 6%、日本全体の 2%の電力を利用している。鉄道使用電力の主な内訳としては、電車自体で 60～80%、駅などの付帯設備で 20～40%である。都市部の地下鉄では、駅内の空調・昇降機等の設備が多いため、付帯設備の割合が高くなる。

(2) 鉄道における回生エネルギー利用(列車間)

近年、多くの鉄道車両は回生機能を持ったブレーキを備えている。回生機能とは、パワーエレクトロニクス技術を活用して、減速時に鉄道車両の運動エネルギーを、一旦、電力に変換し、その電力を加速中の鉄道車両に供給するもの

である。この回生機能により、鉄道における電力利用の、より一層の効率化が図れるようになった。減速時に車両から架線を通じて加速中の他車両に供給する様子を図 2. 1. 1-1 に示す。

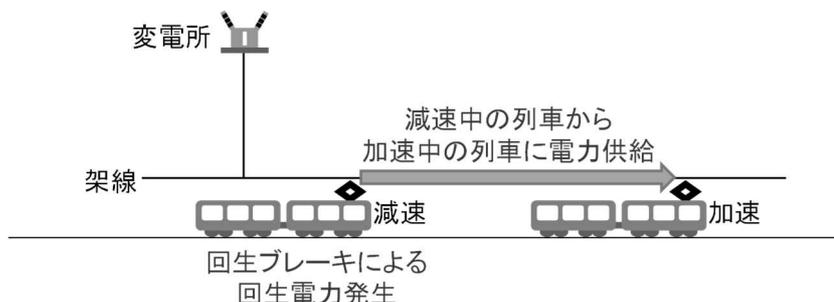


図 2. 1. 1-1. 回生ブレーキによる電力供給

車両数・運行密度によって異なるが、都市部を想定したモデル路線では 1 停止あたり 10kWh(30 秒)の回生電力を発生し、路線全体で 80~100MWh/日の回生電力が得られる。仮に回生電力をすべて水素製造に振り向けたとすると、燃料電池車を、一日当り 300 台~400 台満タンにできる。ただし燃料電池車 1 台の満タンに必要な水素を 5kg、これを生成するのに必要な電力量を 250kWh と仮定した。

(3) 鉄道における回生エネルギー利用(列車→駅)

駅に設置された付帯設備は多くの電力を消費し、駅近辺で列車は加減速することから、車両回生エネルギーを駅側に吸収する活用方法も考えられている。図 2. 1. 1-2 に示した駅舎補助電源装置により、列車の回生電力を駅側に供給することが可能となっている。なお、列車間の直接的な回生は、減速する車両と加速する車両が適切なタイミングと距離で相対することが必要である。このため、減速する車両だけが存在する場合は、駅舎補助電源装置を活用すれば、エネルギーを有効に回生して活用することができる。



図 2. 1. 1-2. 駅舎補助電源

但し、列車密度が高い区間では、空調などの補機類により列車だけでも回生エネルギーの回収が行われている。

(4) 鉄道における回生エネルギー利用(列車回生電力融通技術)

架線を通じて回生電力を融通する際には、現状は、変電所・機器の電圧の制約により一部の電力は必ずしも十分に利用することができずにいた。

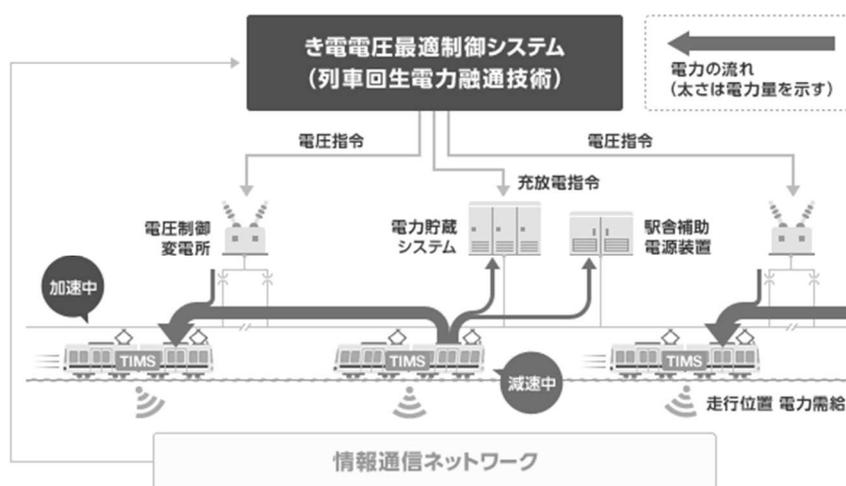


図 2.1.1-3. 列車回生電力融通技術

そこで図 2.1.1-3 に示したように列車の位置・加減速状態に合わせて、変電所の電圧を最適に制御することにより、回生電力を最大限利用できるようにしたものが列車回生電力融通技術である。この技術により、従来、放出されていた電力が回生可能となるため、鉄道システム全体の消費電力量を最大 5%削減することができる。

(5) 鉄道回生エネルギーの課題

鉄道の回生エネルギーの更なる利用には、周辺施設における利用拡大、機器の小型化および低コスト化、水素生成装置への電力供給方式が今後の課題である。

2.1.2 小型水素製造装置の概要

(1) 水素バリューチェーン

水素を「つくる」「つかう」「つながる」というコンセプトを、自動車会社であるホンダ(株)では研究開発を進められている。「エネルギーを創る」=水素を「つくる」ために、独自技術の高圧水電解システムを活用し、岩谷産業(株)と共同で小型水素製造装置 SHS (SHS : Smart Hydrgen Station) が開発されている。

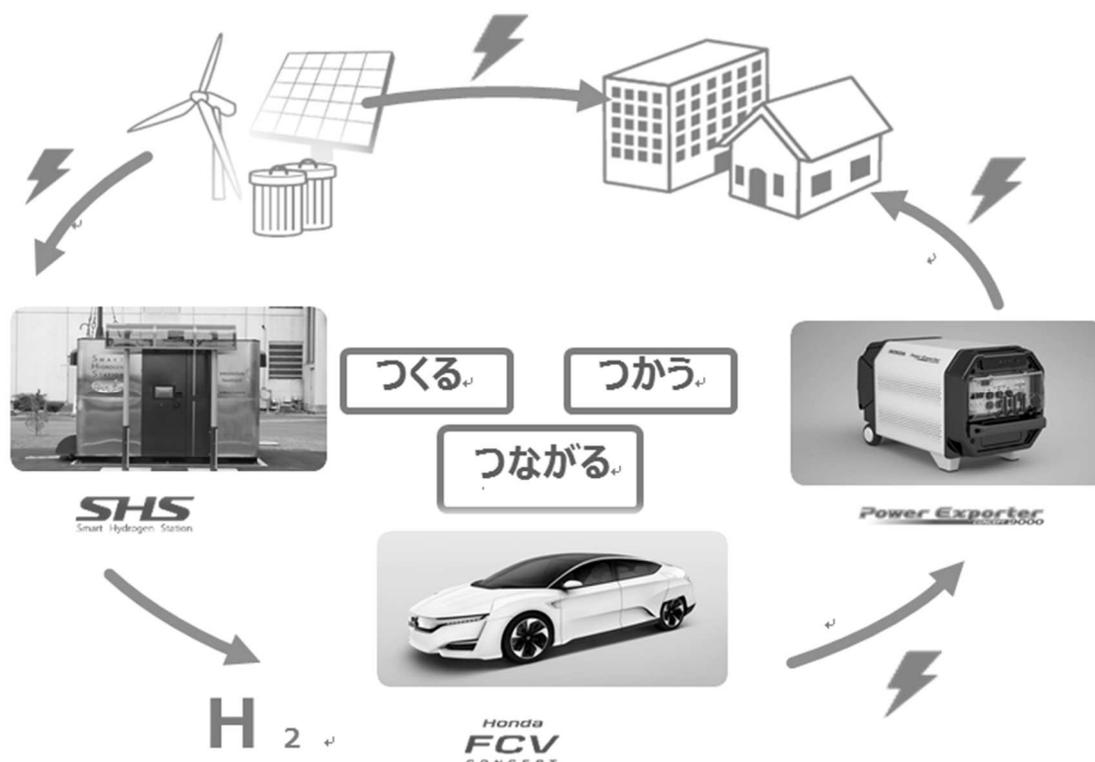


図 2.1.2-1. ホンダ(株)より提案されているコンセプト

(2) 高圧小型水素製造装置の特徴

高圧水電解装置を採用し、水素の製造タンクから充填ノズルまでをパッケージ型に収納することに成功した。これにより幅 3.2 尺、奥行き 2.4 尺、高さ 2.4 尺の 10ft コンテナサイズが達成され、設置面積と設置工事期間の大幅な削減がなされ、現地設置工事も一日程度で完了するとされている。

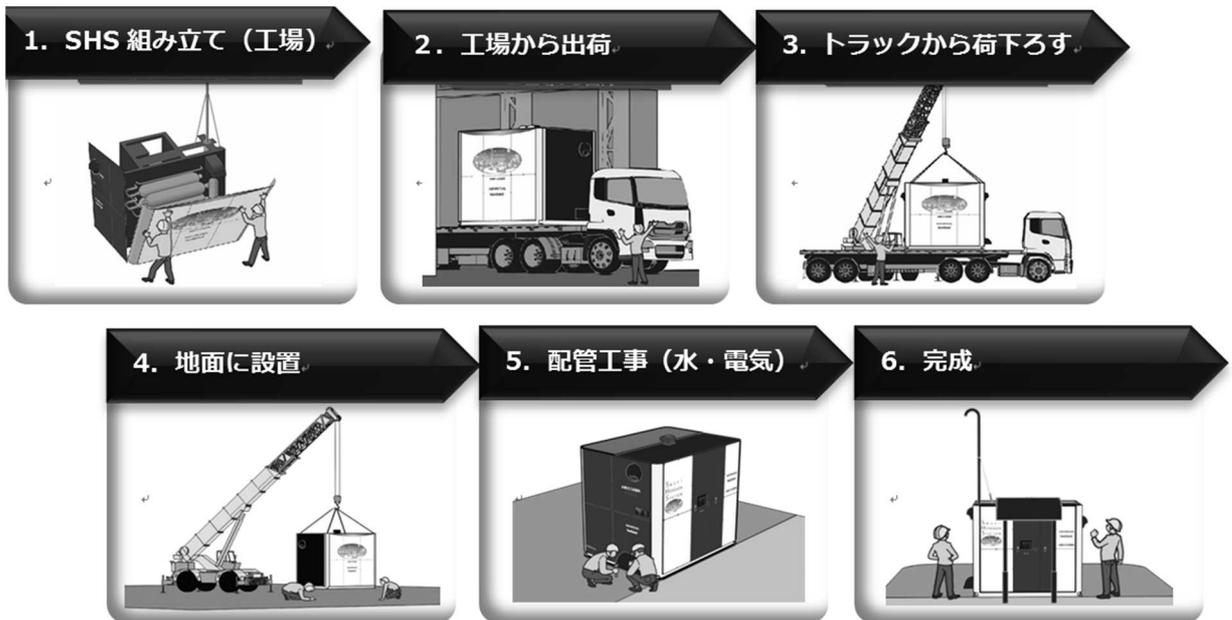


図 2.1.2-2. 組立・設置

再生可能エネルギー由来の電力と水道水を接続することで、クリーンな水素を製造し貯蔵することができる。バイオマスや太陽光、風力等、地域の特性を活かした様々な資源を活用して水素を製造し、エネルギーの地産池消を実現する水素製造装置として、利用の拡大が期待されている。

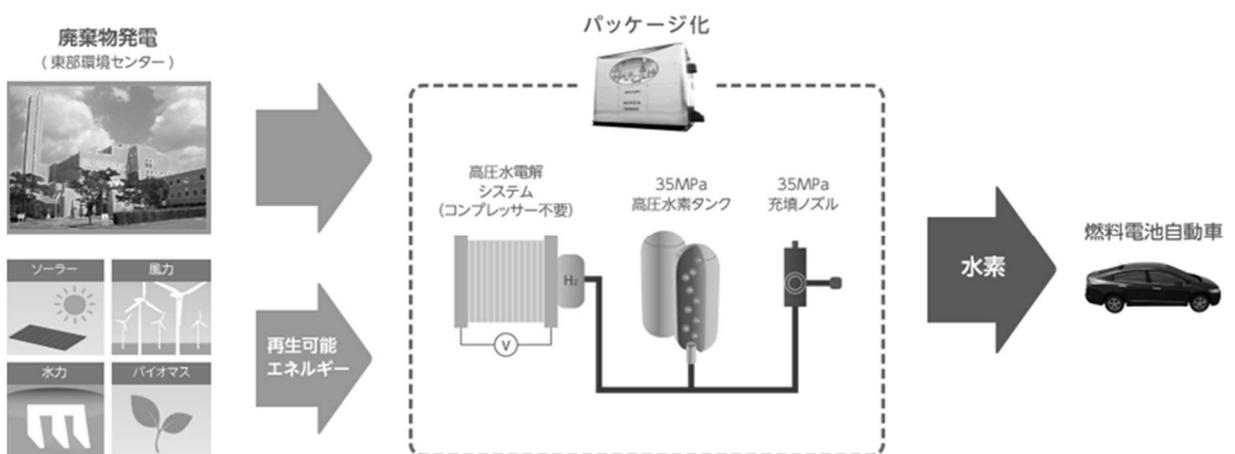


図 2.1.2-3. システムフロー

SHSの主要諸元は下記のとおりである。

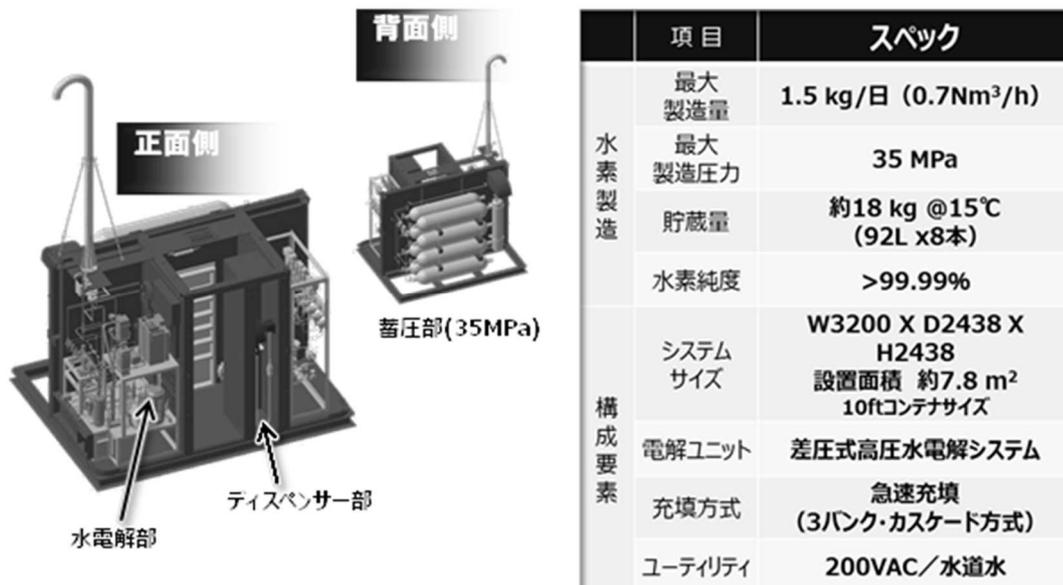


図 2.1.2-4. 主要諸元

本設備は、2014年よりさいたま市の東部環境センターと北九州市のエコタウンセンターに1基ずつ設置し、実証実験を進めており、このうちさいたま市ではごみ焼却の余熱を利用した廃棄物発電の電力により水素を製造している。



さいたま市東部環境センター
(廃棄物利用発電)



北九州市エコタウンセンター
(太陽光発電利用)

図 2.1.2-5. 設置事例

燃料電池自動車への充填を行うほか、フル充填した燃料電池自動車を外部給電機能と接続することで、約 18kg の水素で一般家庭 1 カ月分の電力に相当する 270kWh 以上の外部出力が可能になるため、例えば災害時の非常用電源として活

用することが期待されている。

2.1.3 鉄道駅を中心とした水素コミュニティ

鉄道の列車がブレーキを掛けると回生電力が発生する。この電力は他の列車の発車・加速や空調などのエネルギーに消費されているが、使いきれていない電力が生じており、蓄電池や駅舎補助電源を活用して列車や駅舎のインフラ等で省エネに利用することが始まっている。この余剰電力を利用して、電気分解により水素を製造し、これを燃料電池車等へ活用することにより、駅のスマート化を図る。

一方で、災害時には、ここで発生して蓄えられた水素を利用して、避難場所として地域社会における中心となり、系統停電時での電源として活用する。

未利用エネルギーを蓄電池併用も考慮しながら水素など災害時に利用可能なエネルギーに変換し、例えば、鉄道駅での利活用やローカルコミュニティーである燃料電池車等、電気自動車で活用するビジネスモデルや実証検証などを検討する。具体的な構成図を図2.1.3-1に示す。

地方の駅からレジリエントターミナルに機能拡大



図2.1.3-1 水素製造装置を中心としたローカルコミュニティ

2.2 河川等に設置した小水力による水素製造・貯蔵・利活用

2.2.1 小水力発電の概要

マイクロ水力発電は、今まで利用されていなかった河川や水路の水のエネルギーを電力として回収する発電装置である。水力発電は再生可能エネルギーの中では、高稼働で連続した運転が可能であり、発生させた電力で夜間でも水素の生成が可能となる。

従来水力発電装置は、数十メートル以上の大きな落差を必要とし、ダムや貯水池および配管等の大規模な土木工事を必要としていた。マイクロ水力発電装置 BESTAQUA は落差の少ない開放水路に設置が可能で 40 cm の水位差があれば発電することができるため、河川の勾配補正用に設置された落差工等の水位差を利用すれば、大規模な土木工事を必要とせずに、比較的安定的に再生可能エネルギーを電力に変換することが可能となる。

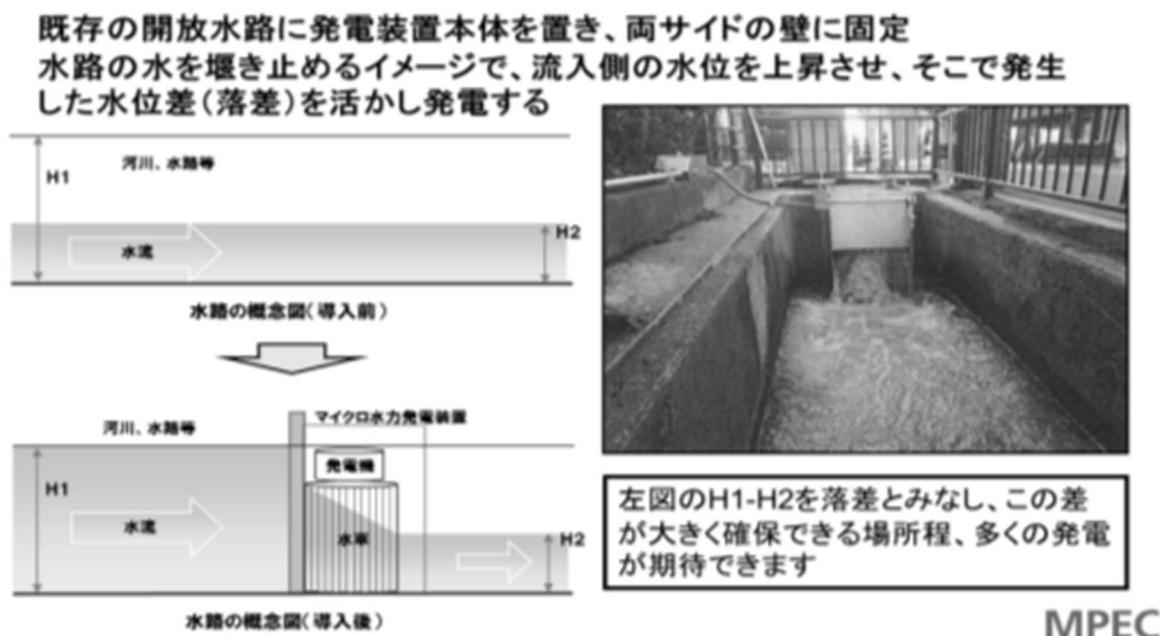


図 2.2.1-1. BESTAQUA の原理

水素製造装置との関係に関しては、山間部・離島の水素製造装置を設置する場合の水素発生電力源としての利用が期待できる。比較的斜面の多い山間部・離島においては、マイクロ水力発電装置 BESTAQUA の設置条件に合う落差工が多数存在する。1 個所の発電量は少なくとも複数個所で発電ができるため、水素製

造装置設置場所近郊の複数個所からマイクロ水力発電で発生させた電力を集めて水素ガス生成の電力にでき、再生可能エネルギーの地産地消を可能にする。

東京都を含む首都圏・大都市圏でも、公園等の親水・観光用河川を利用したマイクロ水力発電は可能であり、水素製造装置の小規模システムに電源を供給することで、都市圏においても再生可能エネルギーの有効利用が可能となる。

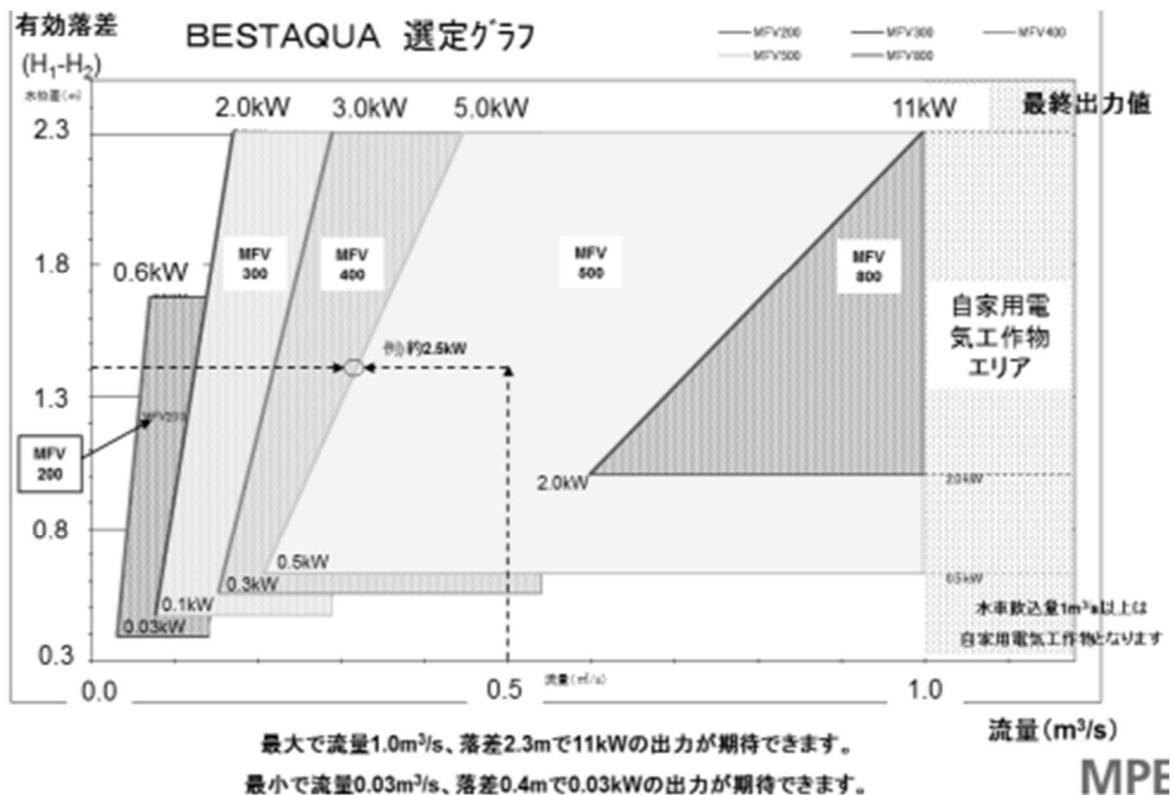


図 2. 2. 1-2. 機種選定

2.2.2 電気分解水素製造の概要

(1) 水の電気分解による水素製造の現状

現在、実用化されている水電解は、電解液を使用するアルカリ水電解と電解液を使用せず純水を電気分解することが可能な固体高分子（PEM：Polymer Electrolyte Membrane）型水電解がある。PEM型水電解は、

- 1) 精製装置なしで高純度（99.999%以上）の水素が得られる。とくに、燃料電池車の被毒原因となるCOを含まないため、燃料電池自動車用の水素燃料に適している。
- 2) 有害・危険な化学物質を使用しないため、クリーンで安全である。
- 3) 高電流密度化が可能であり、装置がコンパクトである。
- 4) 電源ON/OFFで瞬時に起動/停止し、0～100%の出力範囲で運転可能であり、操作性が良く、変動電源に対して柔軟に対応出来る。

といった特長があり、高圧水素ポンプの代替として、半導体製造やコンデンサ製造などの電子産業向け、発電所の発電機冷却用、金属熱処理向けなどの産業ガス分野で、水素発生量1Nm³/hから60Nm³/hの装置が多数使用されている。

代表的な装置の写真を図2.2.2-1に示す。

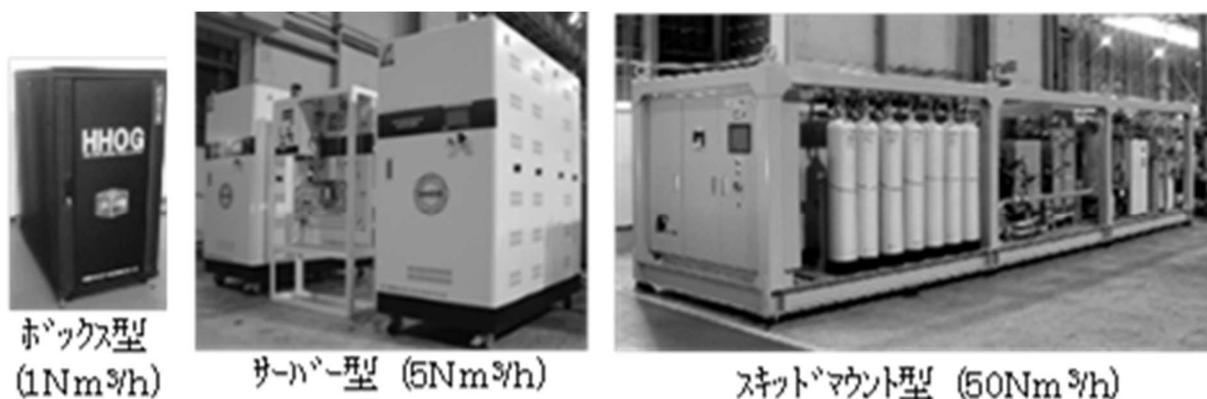


図 2.2.2-1 PEM型水電解装置

(2) PEM型水電解による再エネ由来水素製造

2012年7月の再エネ固定価格買取制度の施行により、MW級の太陽光発電や風力発電設備が急増し、気象条件によって出力が大きく変動する不安定な電力の系統への影響から、系統接続可能量が問題になっている。変動は、数十秒から数分間の急激な出力変動（短周期変動）と、電力需要の少ない時期や時間帯に発電量が電力需要を大きく上回る長周期変動がある。水素による貯蔵は、時間単位、日単位、週単位の長期間の電力貯蔵に適しており、輸送も可能である。余剰電力から水電解により水素を製造し利用するPower-to-Gasの大規模実証が欧

州で進められているが、国内でも長周期変動対策として水電解による水素貯蔵が注目される。

山梨県で、国立大学法人山梨大学と山梨県企業局と当社が共同で実施している「クリーンエネルギーによる水電解実証実験」を紹介する。山梨県では東京電力株式会社との共同事業により 10MW のメガソーラー発電施設「米倉山太陽光発電所」の運用を 2012 年 1 月から開始している。その PR 施設である「ゆめソーラー館やまなし」において、短周期蓄電（電気二重層コンデンサ）、中周期蓄電（リチウムイオン電池）および長周期蓄電（水素貯蔵：水電解＋純水素型燃料電池発電）を全て導入したエネルギー自給自足の小規模モデルを実証している。

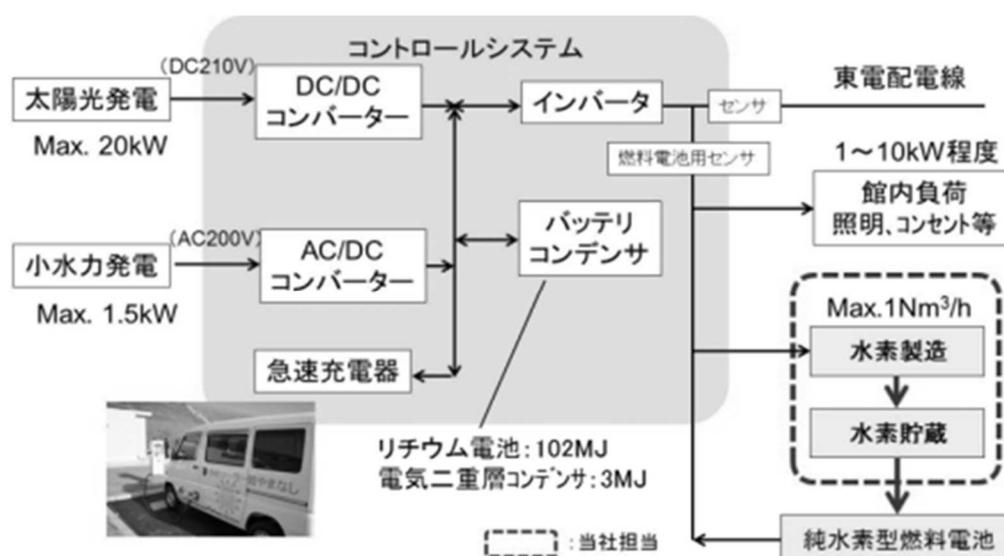


図 2.2.2-2 「ゆめソーラー館やまなし」の電力管理システムの概要

図 2.2.2-2 に、「ゆめソーラー館やまなし」の電力管理システムの概要を示す。PR 施設の屋根上に 20kW の太陽電池パネルを設置し、補足的に 1.5kW の小水力発電も設置されている。

太陽光発電 (PV) は直流/直流変換、小水力発電は交流/直流変換により一旦、直流に変換してコンデンサやバッテリーに充電する。コンデンサでは急激な負荷変動や PV 出力変動を吸収し、バッテリーでは数秒から数時間の負荷変動を調整しながら、インバータで交流変換して館内の照明などに電力 (1~10kW 程度) を供給している。バッテリーやコンデンサの充電が完了したあと、余剰電力を売電せずに水電解で水素に変換して貯蔵している。水電解では、PR 施設内の負荷変動や PV 出力変動を水素製造量の増減で制御し、変動を吸収している。PEM 型水電解

(水素発生量: $1\text{Nm}^3/\text{h}$ 、水素圧力: 0.7MPaG)と水素貯蔵タンク(貯蔵量: 約 16Nm^3)を設置し、貯蔵した水素は電力需要に応じて純水素型燃料電池(発電: 0.7kW)へ供給し、施設内へ電力供給している。実証試験開始から、水電解の積算運転時間 $3,300\text{h}$ が経過し、耐久性評価試験を継続中である。

(3) 小水力発電による水素製造の課題

2004～2006年に、屋久島の急峻な地形と豊富な降雨量を利用した水力発電で水素を製造し、燃料電池車へ水素供給する「屋久島ゼロエミッションプロジェクト」が、鹿児島大学などの大学共同研究チームと屋久島電気および本田技研により行われた。PEM型水電解(水素発生量: $1.25\text{Nm}^3/\text{h}$ 、水素圧力: 0.85MPa)を使用し、生成した水素は 35MPa に昇圧してFCXに充填し走行試験を行った。化石燃料に頼らない水素エネルギーの可能性を示した国内初の実証である。

本研究会で検討する 10kW 程度の小水力発電による水電解では、PEM型水電解の一般的な消費電力量 $4\sim 6.5\text{kWh}/\text{Nm}^3$ (電解効率 $90\sim 55\%$) より、発電量全量の水素変換する場合、約 $2\text{Nm}^3/\text{h}$ 規模の装置が必要となる。この規模のPEM型水電解は技術的に確立しているが、分散配置による数量効果だけでなく、設備コスト、ランニングコスト両面でのコスト削減により、利用者の水素購入単価を下げることが重要な課題である。また、水素貯蔵については、高圧ガスでの貯蔵が最も簡便であると考えられ、高圧ガス保安法の規制緩和が進めば、小型高圧水電解の適用も検討すべきと思われる。

2.3 バイオマスの改質による水素製造・利活用

2.3.1 バイオマスによる水素製造

(1) バイオマスのポテンシャルと利活用状況

バイオマスは、再生可能な生物由来の有機性資源（化石資源を除く）であり、カーボンニュートラルであることから、その有効活用への努力が継続的に行なわれている。日本のバイオマスエネルギーのポテンシャルは、NEDO 再生可能エネルギー技術白書第2版第4章バイオマスエネルギー（p8）によると、年間510PJ（=1,400億kWh）である。一方、2015年4月に閣議決定されたエネルギー基本計画では、2030年度のバイオマスによる発電電力量は、その時点の総発電電力量10,650億kWhの3.7~4.6%程度とされており、これは、およそ、150PJ（=430億kWh）に相当する。すなわち、2030年度時点で、およそ1,000億kWhが未利用となる。仮に、これらを全て水素に変換できたとすると、その潜在量は、 2.5×10^9 kgとなり、燃料電池車を約5億回満タンにでき、台数換算では燃料電池車1700万台に相当する。ただし、200kWh=水素5kg、燃料電池車のタンク容量を5kgと仮定した。

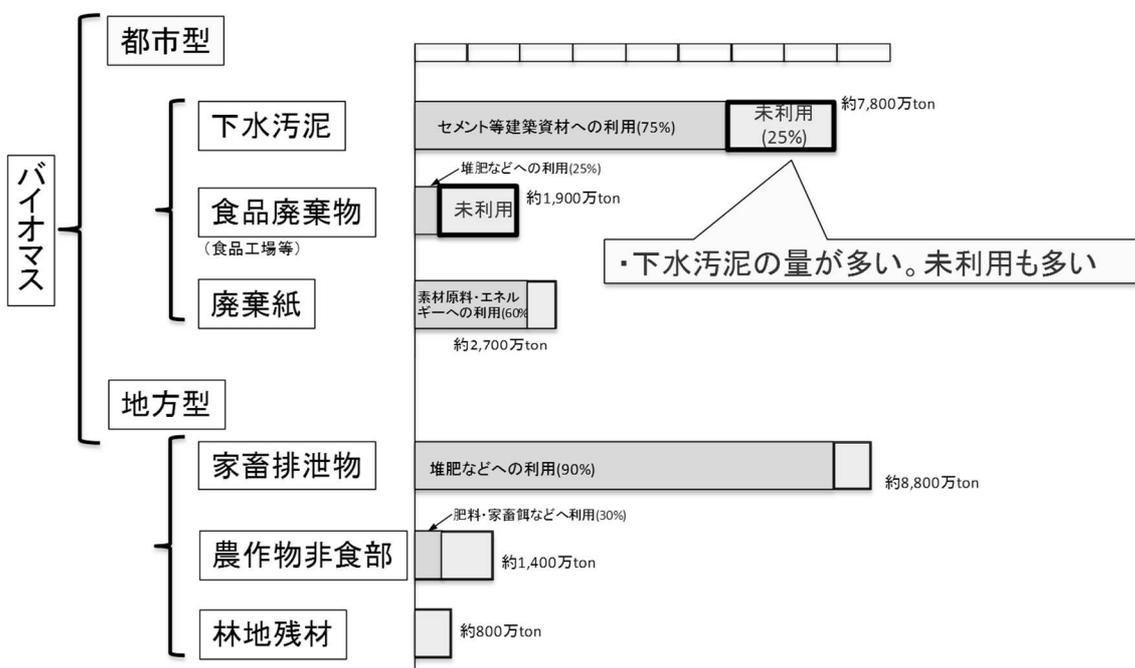


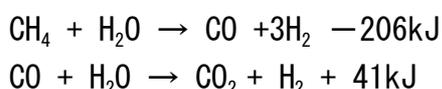
図 2.3.1-1 国内のバイオマス

上記の数値はポテンシャルであり、必ずしもそのまま直ちに実現できるものではないが、図 2.3.1-1 に示すように、現に発生しているバイオマス（=約100PJ）についても、いまだ相当量が未利用であり、まずは、この部分を含めての有効

活用を進める必要がある。

(2) バイオマスからのメタン製造

バイオマスからエネルギーを回収する方法の一つとして、バイオマスを微生物の作用でメタンに変える方法（メタン発酵）がある。特に下水道処理で発生した汚泥は、その量を減らし、またメタンガスを得るために消化と呼ばれる生物処理が実施されている。バイオマスから得たメタンは、触媒を利用して高温で水蒸気と反応（水蒸気改質反応）させると下記の反応により水素を得ることができる。よってバイオマスからの水素を得るこれら一連の反応は、水素生産の方法として注目されている。



バイオマスは様々な種類に分類されるが、メタン発酵が比較的利用しやすいバイオマスとして、下水道処理で得られる汚泥、食品廃棄物、家畜排泄物などがある。例えば下水処理からの汚泥は、その未利用分部分が汚泥全体の約 25%であり、エネルギー回収の余地が多く残されている（図 2.3.1-1）。既に利用されている汚泥の中にも、メタン発酵（消化処理）によりメタンを得て、メタンを燃焼させることで熱エネルギーや電気エネルギーに変え、下水処理場内での自家消費や、近年では売電を計画しているケースも見られるようになった。

(3) 下水汚泥からの未利用メタンを活用した水素生成量可能量

全国に下水処理場は約 2,200 か所あり、その中の約 300 か所でメタン発酵処理（消化）が実施されている。現在でも汚泥のメタン発酵で得たガスの約 3 割（85 百万 m³/年）は焼却や保温用途に使用されており、発電や都市ガスエネルギーとして再利用されていない。この未利用のメタンを水素に変えると年間約 1.3 億 Nm³ と試算され（国土交通省 下水道企画課 「下水道における水素製造・利用の取組」より）、下水汚泥の恒常的発生を考えれば、安定的にかつ大量の水素供給源としても期待が持たれる。上記の 1.3 億 Nm³ は、水素 1.3 × 10⁷ kg に相当することから、燃料電池車 1 台を約 260 万回満タンにでき、台数換算では約 10 万台に相当する。

なお、下水処理場の全てでメタン発酵が実施されていない理由としては、余剰の汚泥処理コスト差や、得られるメタン量の規模による経済性の優劣等が考えられる。またメタンをさらに水素へと変えていくプロセス自体も、水蒸気改

質反応では熱エネルギーをいかに安価に効率的に反応に投入できるかが課題であり、経済性改善の余地が残されていると考えられる。

(4) 下水汚泥からのメタン製造の効率化

下水汚泥からのメタン回収量が増えると、結果的にバイオマスから水素を得るプロセス全体のコスト低減につながる。メタン回収量を増やす方法として、オゾンとアルカリを用いた汚泥の前処理技術がある。

独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO 技術開発機構）の基盤技術研究促進事業（民間基盤技術研究支援制度）にて三菱電機株式会社が委託を受けた「資源循環型エネルギー・リン回収型システムの開発」が一例である。この方法を取り入れれば、通常の消化処理（メタン発酵）に対し約 1.9 倍のメタンを得ることができ、コスト低減に寄与できると考えられる。

(5) メタンから水蒸気改質による水素製造の課題

一方、メタンから水素を得る水蒸気改質反応は、現行の反応温度（700～1,000℃）を下げ、熱エネルギーコストを下げるため、より低温で効率的に働く触媒の研究や反応場へのエネルギー供給方法の研究（電界付与など）が進められている。より規模の小さい汚泥処理設備でも効率的な水蒸気改質をおこなうため、これらの研究開発を促進する必要がある。より効率的なバイオマスからの水素製造システムを構築すれば、大規模な設備に大きなコストメリットを生み出すのみならず、分散して存在するバイオマスから水素を得る設備の設置を促進できるであろう。例えば人口分布に従って、様々な規模の下水処理場が存在するが、それぞれの下水処理場で水素製造を稼働できるようにすれば、水素を通じたエネルギーの地産地消にも貢献できると考えられる。

(6) 今後の課題

下水汚泥などのバイオマスからのメタン製造のさらなる効率化や低コスト化、メタンから水蒸気改質反応による水素生成の効率化と低コスト化が今後の課題である。

2.3.2 北海道における家畜ふん尿由来の水素サプライチェーン

北海道における牛の家畜ふん尿の量は、2,300万tで、十勝総合振興局管内で700万t、このうち、バイオガス化施設に使用している家畜ふん尿の量は13万t（1.8%）である（2013年度）。家畜ふん尿のバイオガス化施設は、生ふん尿の農地散布による臭気、水質汚濁、農地からのメタンガス放出による地球温暖化などの環境問題を解決し、液肥利用による資源循環や地域農業の競争力を高める効果がある。北海道十勝19市町村は、「十勝バイオマス産業都市構想」を策定し、平成25年6月にバイオマス産業都市として認定され、家畜ふん尿に由来するバイオガスや消化液の有効利用などを通じた十勝の農・食・エネ自給社会形成を目指しているところである。

しかし、地域の電線網の容量が不足しているためにFITによる売電ができない地域では、メタン発酵の新たな普及が進んでいないのが現状である。一方で、北海道の農業地域では、自動車および農業用機械（トラクタ、フォークリフト等）の使用があり、さらに寒冷地であることから暖房などの熱利用も多い。このような背景を考慮し、家畜ふん尿由来のバイオガスから水素を製造・利用するモデルの検討が有効であると考え、北海道大学、北海道庁、民間企業等が産官学連携の研究会（エコセーフエナジー分野北海道大学寄付講座）において、その研究が行われてきた。

研究成果を活用し、家畜ふん尿のバイオガス化事業で先進的な取り組みを行う鹿追町で実証事業を行うことで、環境省「平成27年度地域連携・低炭素水素技術実証事業」に「家畜ふん尿由来水素を活用した水素サプライチェーン実証事業」として応募し、採択された。

表2.3.2-1に実証事業の概要、図2.3.2-1に実証事業の全体フローを示す。

表2.3.2-1 実証事業の概要（提案段階）

環境省事業名	平成27年度地域連携・低炭素水素技術実証事業（低炭素な水素サプライチェーン実証事業）
採択事業名	家畜ふん尿由来水素を活用した水素サプライチェーン実証事業
事業実施者	エア・ウォーター株式会社（代表企業） 鹿島建設株式会社 日鉄住金パ이프ライン&エンジニアリング株式会社 日本エアプロダクツ(株)

実施場所	北海道 鹿追町、帯広市
実施期間	平成27年度～平成31年度

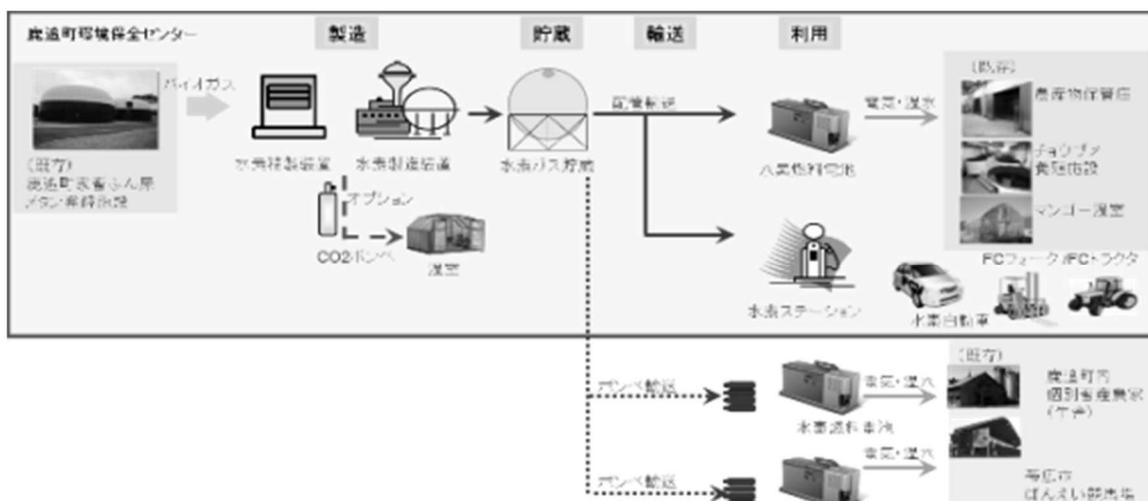


図 2.3.2-1 全体フロー（提案時）

環境省の事業の目的は、地域の再生可能エネルギーや未利用エネルギーを活用して水素を製造、貯蔵、輸送、供給し、燃料電池自動車や燃料電池等へ利用するまでの一貫した水素サプライチェーンの実証を行うことである。

本採択事業では、鹿追町の環境保全センター内で稼働している家畜ふん尿のバイオガス化施設で回収されたバイオガスを原料に、水素製造を行う。バイオガスから膜分離によりメタンを濃縮し、このメタンを水蒸気改質反応によって水素を製造する。

同敷地内に水素製造装置を設置し、水素を供給する。水素の利用は、燃料電池車に加え、農業等で利用するFCフォークリフト等を想定している。水素は、敷地内外に設置する水素燃料電池にも供給、利用する。水素ガスボンベ（カードル）による宅送で水素を供給する。

実証事業を通じて、農業地域、寒冷地特有の課題に対応した水素サプライチェーンの実証を行い、さらなる省エネ化、低コスト化に向けた課題を抽出し、水素サプライチェーンの実現に向けた課題の解決を図る。

本実証事業で期待される効果は、表 2.3.2-2 の通りである。

表2.3.2-2 実証事業の効果

バイオガス化施設の普及	<ul style="list-style-type: none"> ・バイオガスに水素化という新たな活用先が増えることで、家畜ふん尿のバイオガス化施設の普及が促進される
水素社会の促進	<ul style="list-style-type: none"> ・地域バイオマスを原料とする自前の水素生産により、水素製造装置の設置が北海道全域に広がる ・水素をLPガスとのボンベ宅送にて供給するシステムが確立することで、各種施設への燃料電池設置が加速する。
低炭素化	<ul style="list-style-type: none"> ・水素利用をFCフォークリフト、FCトラクタ、FCトラックへと拡大することで、化石燃料利用が大幅に削減され、低炭素地域構造が拡充される。
地域経済活性化	<ul style="list-style-type: none"> ・農業用車両を化石燃料ではなく水素で動かすことができれば、ゼロカーボン農産品としての出荷も可能となり、地域農業の差別化に貢献できる。 ・副産物である液肥やCO₂は、地域農業に還元され、また、水素関連機器の製造整備産業が興るなど、地域産業の構造強化に寄与する。
地域の強靱化	<ul style="list-style-type: none"> ・自立・分散型エネルギーシステムとしての燃料電池車や水素燃料電池 は、災害時、停電時、特に畜産業の非常用コージェネシステムとして、地域の強靱化に貢献する。

※実証内容は今後、環境省との協議で変更する可能性があります

現状、都市部を中心に考えられている水素社会であるが、農業地域における、地産地消型の水素サプライチェーンを実現することは、将来の水素社会の構築にとっても重要な取り組みである。これにより、様々な価値があるバイオガス化施設の普及を促進し、地産地消型の水素サプライチェーンと合わせて、地域社会の活性化、特に農業の競争力強化、分散型エネルギーによる強靱化を図ることができる。（図 2.3.2-2）

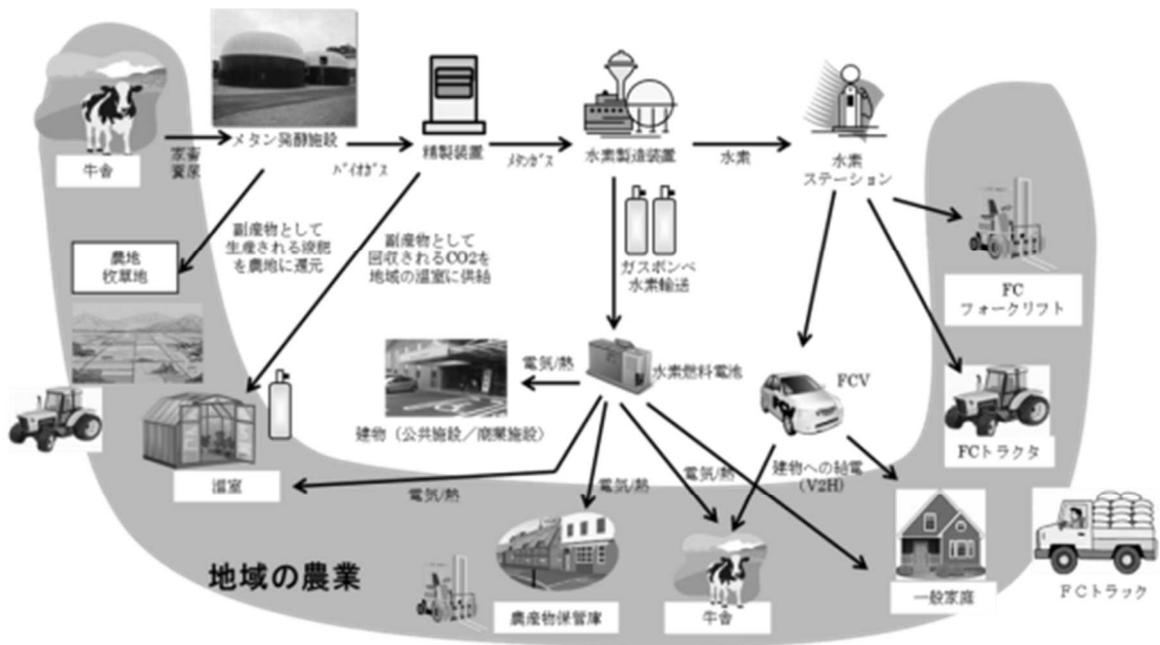


図 2.3.2-2 将来の農業地域水素サプライチェーン イメージ

このためには、農業で非常に多くの台数が使用されているトラクタへの水素利用、畜舎における業務用水素燃料電池の利用など技術革新が必要となってくる。

農業地域における地産地消型水素サプライチェーン実現のためには、こうした技術開発を含め、導入可能性のある地域の選定、可能性の検討など、産官学が連携して地域のビジョンやロードマップを作成し、その推進を図る必要がある。

2.3.3 地域でのバイオマスによる水素コミュニティ

バイオマスは、従来は大部分がそのまま捨てられており、改質による水素生成は一部で始まったばかりである。一方、水素社会の普及促進のため、水素生成コストの一層の低減が求められている。触媒反応時のエネルギー効率を高めた高効率な水素製造システムを開発する。この技術を活用して、コストメリットを追求しつつ、燃料電池車等、エネファームなどの地域での水素活用に繋ぐ。

2.4 地域における水素の取組例

2.4.1 東京都での取り組み

東京都では、東京都長期ビジョンを策定し、その中で都民の安心な生活を守るためエネルギーの安定確保に焦点を当て、水素社会の実現をあげている。その中で特記すべきことは、再生可能エネルギー由来の水素利用を目指していることである。この実現に向けて、いくつかの戦略目標を策定しているが、その中の予算措置など一部を以下に紹介する。

平成27年度予算

○予算総額 412億円

(1) 平成27年度分予算	<予算 12億円>
①燃料電池バス導入促進	10億円
②水素社会実現に向けた普及促進	0.2億円
③中小ガソリンスタンドの水素ステーション 導入実現に向けた実態把握調査	0.3億円
④都庁舎周辺における水素ステーションの整備	0.2億円
(2) 基金積立金	<予算400億円>

図 2.4.1-1 東京都平成27年度予算(事業期間28~32年度)(その1)

27年度予算（事業期間28～32年度）

<400億円>

水素ステーション整備や燃料電池車導入の導入支援を
今後も継続 等

水素社会・スマートエネルギー都市づくり 推進基金の創設

水素社会実現に向けた都の強い意欲と継続的な取組を
示すため、2020年オリンピック・パラリンピック大
会までの取組に要する費用を基金として計上

<対象事業>

- 水素ステーション設備等導入促進
- 燃料電池自動車等（燃料電池バス含む）導入促進
- 燃料電池（業務・産業用）導入支援 等

図 2.4.1-2 東京都平成27年度予算（事業期間28～32年度）（その2）

また、長期ビジョンの政策目標は、エネルギー消費量を2020年までに20%、2030年までに30%削減（2000年比）、再生可能エネルギーによる電力利用割合を2024年までに20%程度に拡大するとしている（2024年までに都内太陽光発電導入累計100万KW、2020年までに都有施設への太陽光発電導入累計2万2千KW 目標）

更に、東京都の水道局、下水道局、交通局、財務局、清掃工場、環境科学研究所においては、以下の様な取り組み及び目標設定を行っている。

(1) 水道局

- ・水道施設/屋上への太陽光発電導入累計目標 2020年までに8千KW、2024年までに1万KW、
- ・貯水池と浄水場の標高差を活用した小水力発電、
- ・浄水場から標高の低い給水所へ圧送し場合の余剰圧力による小水力発電、の導入

(2) 下水道局・清掃工場

- ・2024年における総エネルギー使用量の内、再生可能エネルギー量と省エネによる削減割合20%目標設定、
- ・水処理施設への太陽光発電拡大、

- ・ 汚泥焼却時の低温排熱発電拡大、
- ・ 下水熱エネルギーの利用拡大、
- ・ 太陽熱集熱器による熱利用の拡大、
- ・ 焼却炉廃熱による汚泥乾燥拡大、
- ・ 水再生センターからの放水落差による小水力発電拡大、
- ・ 消化ガス発電の継続、
- ・ 焼却炉廃熱発電の継続

(3) 交通局 :

- ・ 地下鉄地上駅への太陽光発電設備導入、
- ・ 駅/車両/停留所の照明のLED化、
- ・ トンネル湧水の河川等への放流

(4) 環境科学研究所 :

- ・ 東京国際フォーラムでの太陽熱バイナリー発電実験等

2.4.2 横浜市での取り組み

横浜市では、平成 27 年 3 月に「横浜市エネルギーアクションプラン」を策定し、この中で「水素の利活用」を主要施策の一つに位置付け、水素社会の実現を目指して、様々な取組を進めている。



公用車 MIRAI



MIRAI 納車式 (H27. 3. 5)

(1) 主な指標

2020 年度に向けた主な指標として、以下を掲げている。

- ・ 燃料電池自動車普及台数 2,000 台
- ・ 水素ステーション整備数 10 か所
- ・ 家庭用燃料電池普及台数 40,000 台

(2) 主な取組

① 燃料電池自動車の普及促進

- ・ 燃料電池自動車の導入補助の実施 (50 万円/台)
- ・ 公用車への導入 (4 台)

② 水素ステーションの整備促進・支援

- ・ 固定式水素ステーションの整備補助 (7000 万円)
- ・ 固定式水素ステーションの整備 (4 か所)

※港北区では、市有地を活用した事業者を公募により決定

- ・ 移動式水素ステーションの設置 (2 か所)

③ 定置用燃料電池の導入促進

- ・ 停電対応型燃料電池システムの導入補助の実施
- ・ 新市庁舎への導入検討

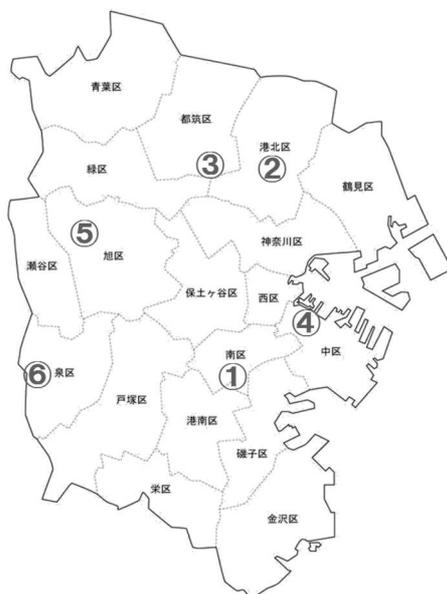


図 2.4.2 -1 市内の水素ステーション整備状況
(H28.2 現在、予定含む)

④下水バイオガスを活用した水素等マルチエネルギー創造の研究

横浜市は、下水汚泥を処理する過程でカーボンニュートラルな再生可能エネルギーである下水バイオガスが発生する日本最大規模の汚泥処理システムを保有している。このバイオガスの有効活用に向けた研究・技術開発として、水素や電気といった様々なエネルギーを創造する研究を、最先端技術を有する民間企業と連携して進めている。

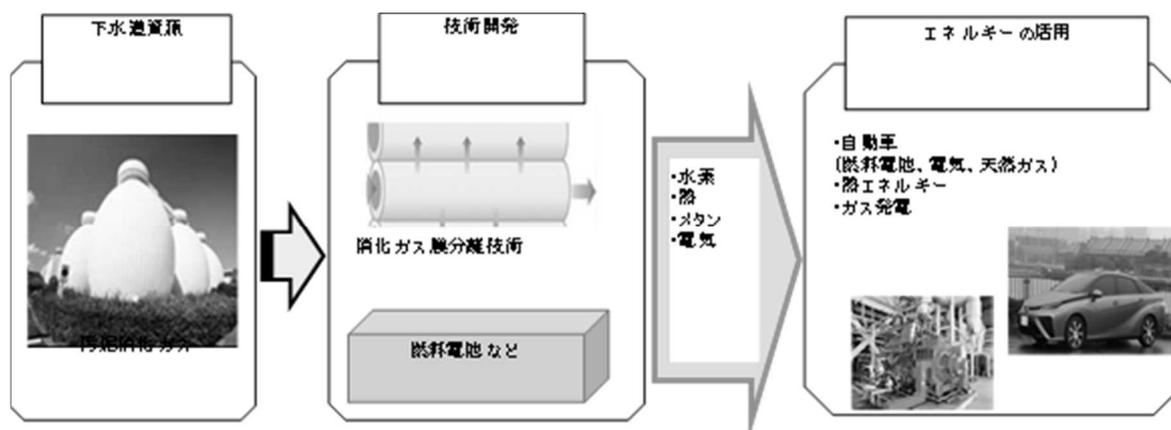


図 2.4.2-2 下水バイオガスの活用

⑤ 京浜臨海部での「低炭素水素」活用実証プロジェクト

27年度中に京浜臨海部において民間企業と連携し、水素の製造から運搬・利用までのシステム全体の構築実証の取組を開始。28年度から燃料電池フォークリフトを導入、29年度からハマウイングが発電した電気による水素製造を予定している。

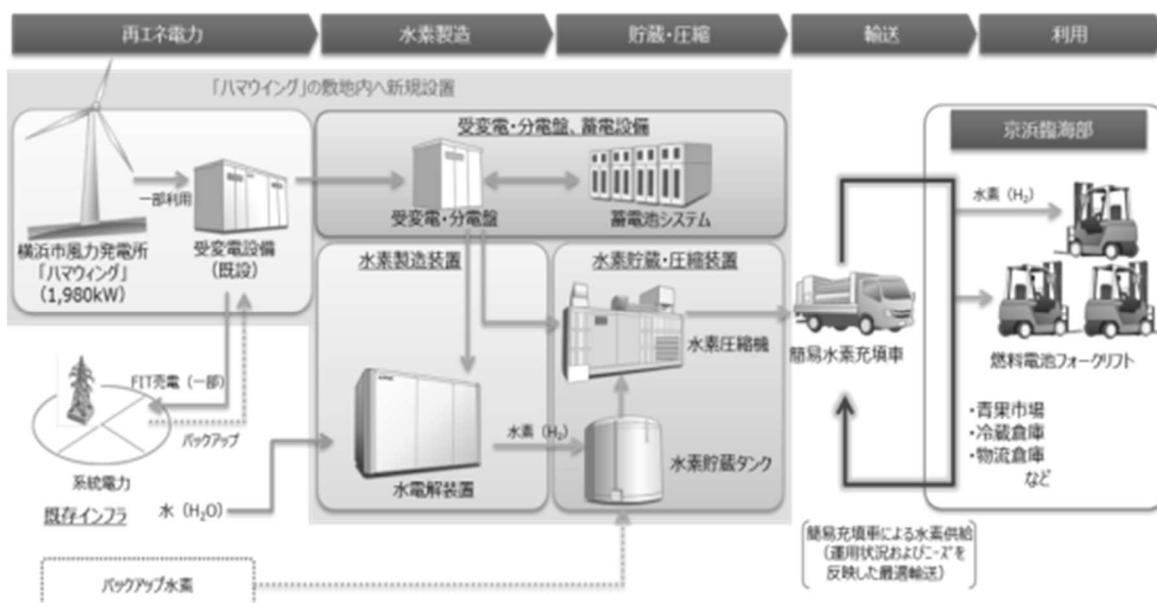


図 2. 4. 2-3 京浜臨海部での実証プロジェクト

⑥水素安全国際会議の開催を契機とした普及啓発

昨年 10 月に本市で開催された水素安全国際会議にあわせ「よこはま水素エネルギー協議会※」主催の市民向けセミナーの実施等により、水素エネルギーの利活用に関する市民への普及啓発を実施している。

※横浜国立大学が中心となり、水素エネルギーに関する企業や自治体（県、横浜市、川崎市、相模原市）と連携した組織

(3) 今後の展開

市内には、水素の製造・輸送・貯蔵・利用の各段階で技術・知見を持つ企業が多数立地している。こうしたポテンシャルを十分に活かし、これまで行ってきた水素ステーションの整備促進やエネファームの普及支援などの取組を出発点として、産業・業務・家庭・運輸の各部門において、水素が日常的に利用される社会に向けて公民連携で取り組む。

2.4.3 地域での水素の活用取組（長崎県対馬市の事例）

(1) 対馬市の概要

長崎県対馬市は九州・福岡と韓国・釜山の間位置する国境離島であり、本土からの送電線がないので、必要なエネルギーの大半を島外からの供給で賅っている。資源・エネルギーの問題は、地域の社会・経済の存続に関わる重要な問題であるため、再生可能エネルギーを活用した持続可能な資源循環型社会の構築を通じて、化石燃料に頼らない、安心・快適で豊かな「次世代型・エネルギー自立の島」を実現し、電力の安定供給、森林資源の活用及び交流人口の拡大を目指している。

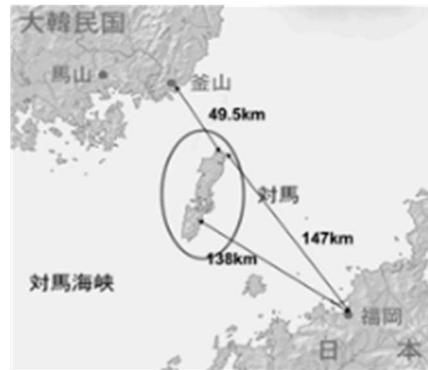


図 2.4.3-1 対馬市の位置

(2) 対馬市エネルギーマスタープラン

東京工業大学 AES センターは長崎県および対馬市と連携して「対馬環境エネルギーコンソーシアム」および平成 25・26 年度の総務省委託「分散型エネルギーインフラプロジェクト」を通じて、対馬のエネルギー自給率向上を図るため計画策定に協力している。

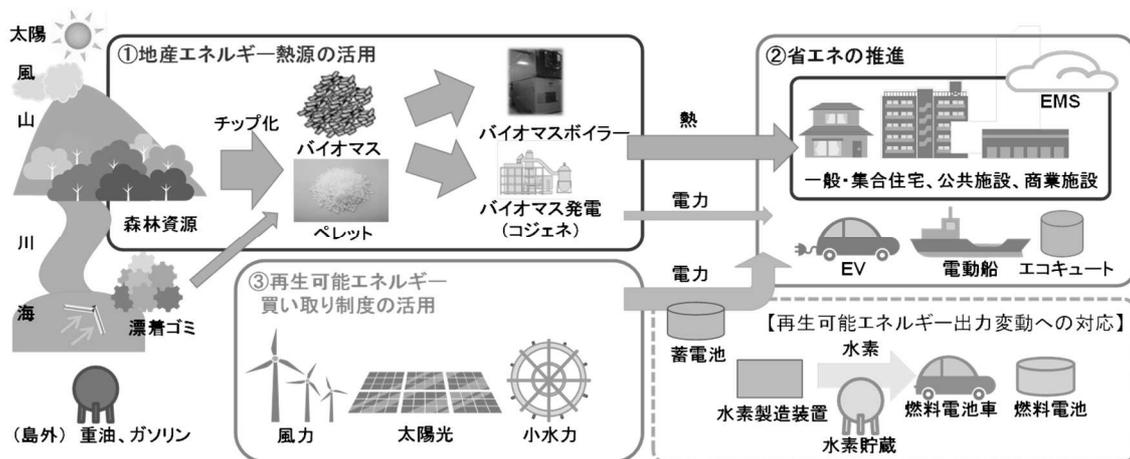


図 2.4.3-2 対馬市エネルギーマスタープランコンセプト

(3) 水素エネルギー導入可能性検証

対馬市エネルギーマスタープランの中で、島内産のエネルギーを用いた分散型エネルギーのあり方として、国がエネルギー基本計画に示した水素社会を基

にコミュニティレベルで取り組める水素の活用方法について検討している。現段階では経済性の成立が非常に難しい技術ではあるが、①不安定な再生可能エネルギーのバッファとしての活用、②バイオマス産業と熱ネットワークに連携した水素コミュニティを構築することによる熱利用効率の高まりと雇用創出・産業育成、③地域経済活性化（離島モデル）、④水素技術の実証における有意義な成果展開、という面から対馬市で先行実証を行う意義がある。

対馬市での検討対象モデルとして、市役所に近い居住地域に建てられている複合施設（商業、集会場、図書館）「対馬交流センター」の入り口付近にスマート水素製造装置（SHS）を設置し、燃料電池自動車に水素を供給することを基本としており、時期や規模に応じて3つのケースを考えている。

1) ケース 1（2020 年代前半まで）：居住地域としての実証設備モデル

SHS を設置し、外部給電装置を用いて停電時にセンター建物への保安用電力を供給する（FCV2Building）。SHS の電源に太陽光発電を利用することにより、CO2 排出ゼロのモビリティが実現する。

2) ケース 2（2020 年代半ばから 2030 年頃）：実証設備の稼働率拡大モデル

ケース 1 のモデルに加えて、純水素型燃料電池を導入して余剰水素を建物側の設備で活用する。

3) ケース 3（2040 年頃）：コミュニティレベルのエネルギー地産モデル

再生可能エネルギー（太陽光や風力等）を用いた水素製造と水素貯蔵、水電解水素製造と施設用純水素型燃料電池による電熱併給、水素貯蔵による BCP（事業継続計画）対応能力の強化を目指している。

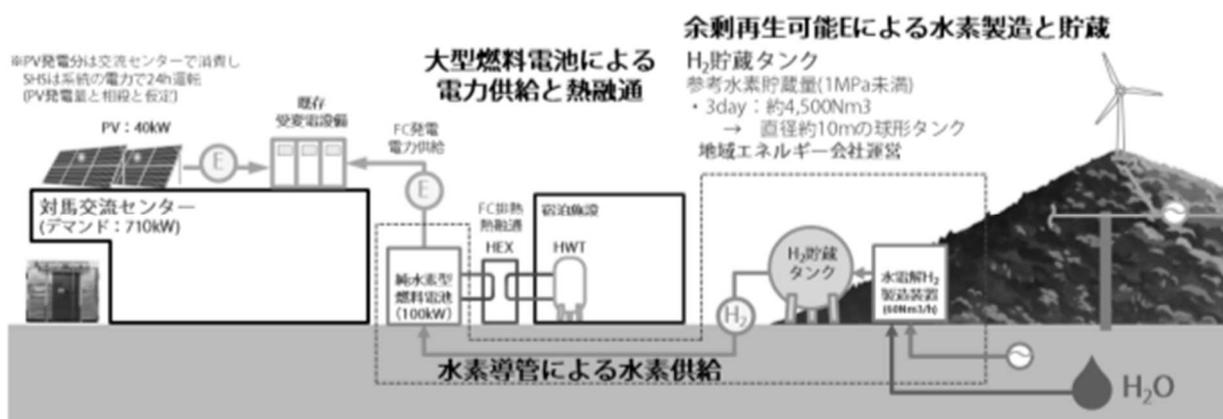


図 2.4.3-3 実証モデルのイメージ（ケース 3）

3. 今後の我が国における取組体制案の提言

3.1 地域でのビジネスモデル

以下を前提として地域再エネ水素利用社会を構築するビジネスモデルを目指す。

- 1) 地域分散を担う事業者を想定、
- 2) CO2 フリーとなる再生可能、未利用エネルギーを地産地消での活用

従って、利用者の経済的合理性の成立のためには、非化石燃料で小規模であるために高コストとなり、当面は政府補助が必要である。また、無人運転、建築の制約に対する規制の緩和によりランニングコストを低減させる。長期的に経営的側面からすると、本製造装置の利用者となる可能性の高い地方公共団体、地域交通会社、農業組合が事業主体となった特定目的会社 (SPC) による運営を検討中である。現段階では定性的ではあるが、小水力や回生エネルギーを個々にではなく、地域で一括管理・運営することにより、コスト低減効果を想定している。更に、地域を中心に水素エネルギーや燃料電池車等の導入により地域経済の活性化に対して大きく貢献するものと期待される。

蓄電池活用と本提案についても補完的な関係である。すなわち、本提案では、小規模・分散・地方主体が前提のため、主として電力ネットワークに接続されないオンサイト型システムを想定しており、活用の利便性、貯蔵のスケールバリエーション等の観点から、本提案では、蓄電池活用についても共存の形で積極的な検討を行なう。

産業競争力強化上の効果について、直接的効果だけでなく、波及効果による間接的効果も社会科学の専門家を起用して産業連関表を活用することにより検討する。

3.2 本提案の経済効果とビジネスモデル

3.2.1 実用化、事業化の経済効果（市場規模、売り上げ、雇用規模など）

2030年の想定市場規模 約1000億円 経済波及効果は約3000億円と推定される。これは、産業連関から水素ステーションの経済効果は売上の約3倍と推定されるためである。（早稲田大学 鷲津教授試算）

この根拠となるものを以下に示す。

- 1) 公共施設型 全国市区町村数 2000ヶ所の10% (200ヶ所)
- 2) 下水処理場型 下水処理場数 2200ヶ所のうち、
メタン発酵は約300ヶ所が稼働中の70% (200ヶ所)
- 3) 全国の電車の駅、約10000ヶ所の1% (100ヶ所)
地産地消型水素製造施設(再生可能エネルギー他含む)
500ヶ所×地域再エネ水素製造装置(2億円) : 1000億円

また、本提案が実現すれば、ガソリン：0.7億リットル/年、CO₂：14万トン/年
が、2030年度に削減できる見込みである。これは、運輸部門全体では、約6000
万トンの削減目標と比較して、ある一定量の効果があるものとみなされる。
(COP21日本の約束草案、地球温暖化対策推進本部より)

これらは、現状は水素の利用について燃料電池車が中心だが、地域交通機関(電
車、船舶、業務車両等)へ利用拡大すれば、更なるCO₂削減に貢献が期待される。
また、スマートコミュニティでの大規模水素利用への拡大も期待できる。



図3. 2. 1-1 事業化の対象

3. 2. 2 実用化、事業化までの大まかな日程あるいはロードマップ

本提案の位置づけと国の水素ロードマップとの関係について、図3. 2. 2にて説明
する。現在は4大都市圏を中心に100ヶ所の本格的な水素ステーションの設置が
計画され、建設されつつある。これは、フェーズ1と言われているもので、燃
料電池自動車の普及拡大を促進する水素価格・車両価格の実現を目指すもの
である。

これに対して、フェーズ2では、海外からの水素供給、水素発電の本格化に対
応するものであり、2020~2030年の間に開始する予定である。そして、フェー

ズ3では、再生可能エネルギーからの水素や、褐炭をガス化して、CO2を取り除いてCCS（炭素の地中貯蔵）によりCO2フリーを達成するものである。

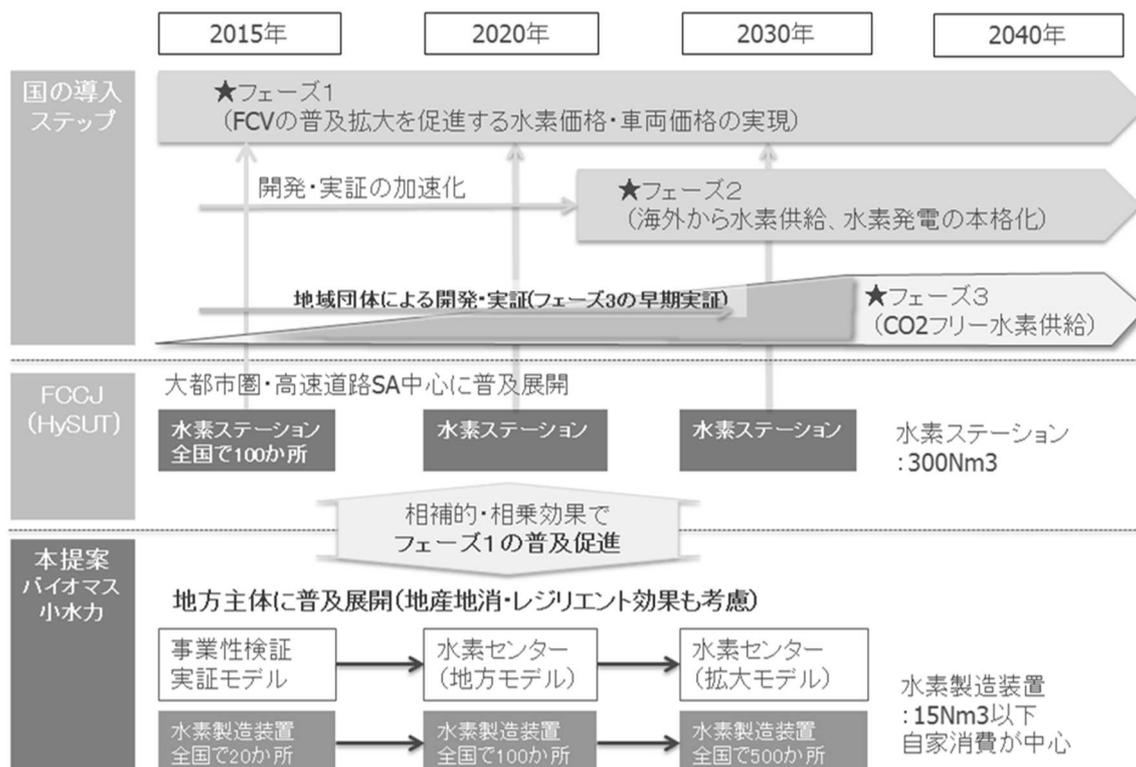


図3.2.2-1 本提案の水素ロードマップにおける位置づけ

これに対して、本提案は、フェーズ3の再生可能エネルギーによる水素製造を早期に始めようとするものである。水素エネルギーの特長は、あらゆる場所で作り出すことができる事であり、この特性を生かし、地産地消で水素を製造して、フェーズ3の社会をいち早く作りだそうとしている。

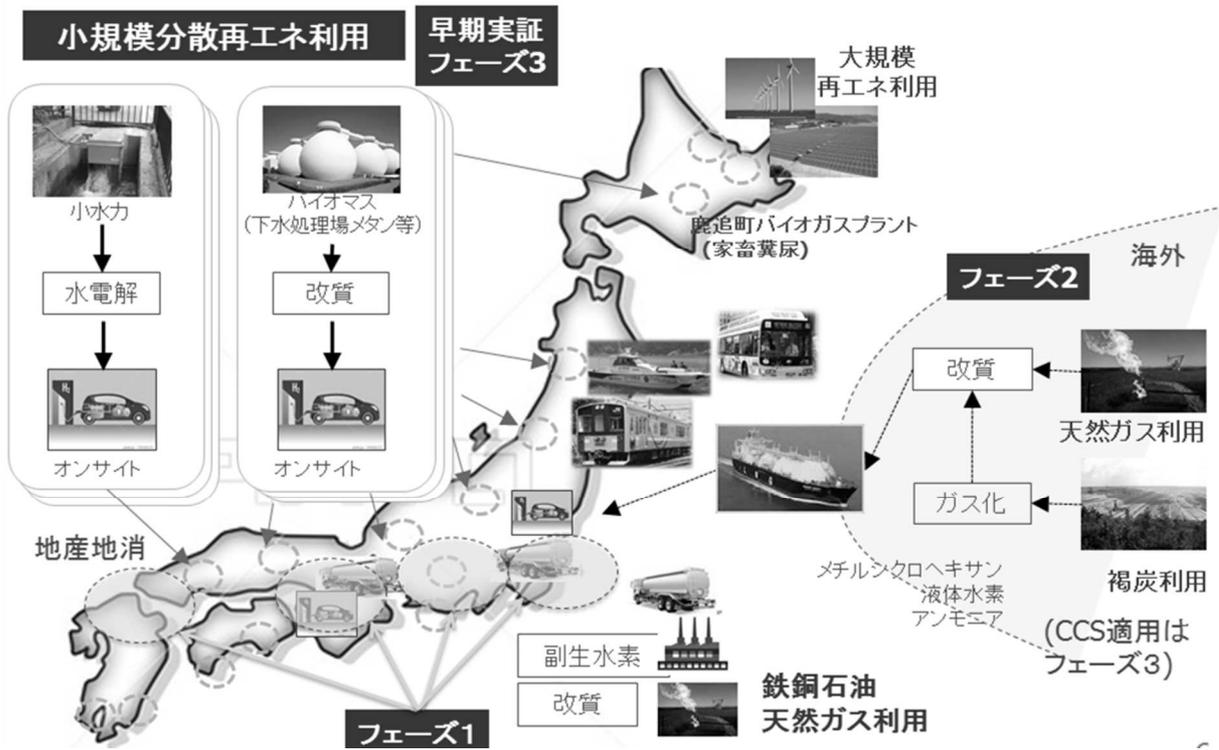


図3. 2. 2-2 本提案の概念

3.2.3 小水力でのビジネスモデル

10kW程度のマイクロ水力では縦軸クロスフローを活用して設置土木工事費や維持管理コストに優れた技術として既に市場に出てきている。

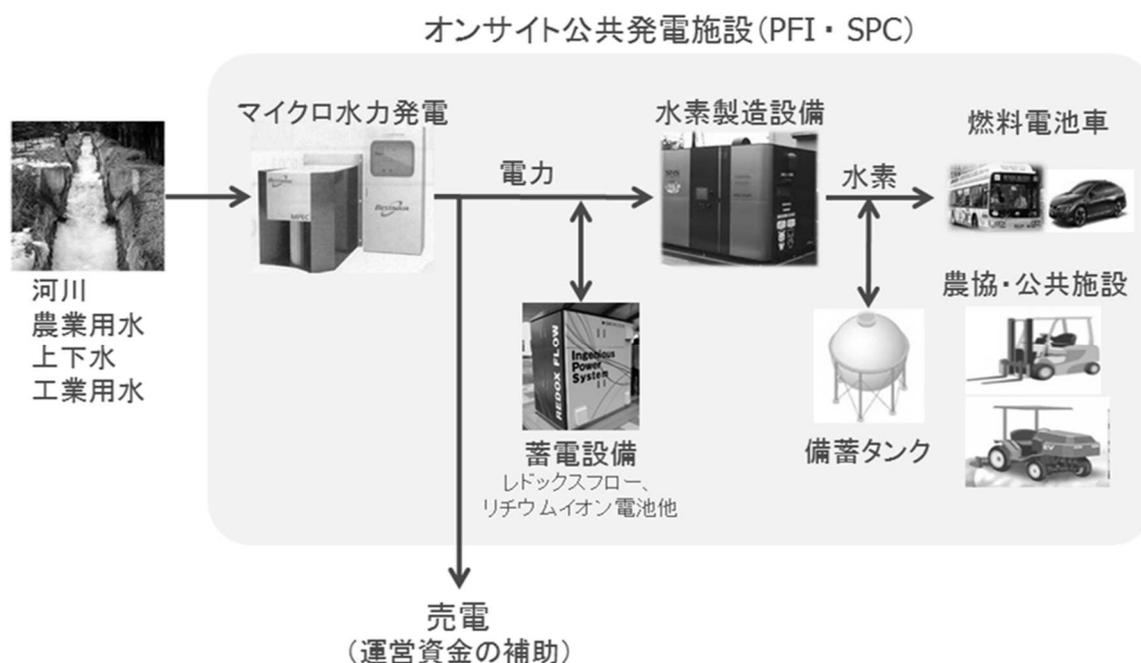


図3.2.3-1 本提案の概念

3.2.4 バイオマスでのビジネスモデル

発酵等により生じたメタンを水蒸気改質し水素製造する手法は実証レベルにあり、事業性について明確化される段階にある。

家畜糞尿では、2,000頭以上の乳牛を対象として、畜産業が盛んな地域に30か所程度（北海道15か所、岩手、宮城、茨城、栃木、群馬、千葉、愛知、熊本に各2か所）地産地消型水素製造施設は約30か所が想定されている。

下水処理場で発生した汚泥は、消化槽に入り発酵してメタンを発生する。その量は季節により異なるため、通常の高スループットエンジンでは全量を活用する事ができず、一部は余剰となる。この余剰となったメタンは、焼却炉に導入され、燃焼により温暖化ガスの元となるCH₄はリニューアブルCO₂として排出される。この

余剰となるメタンを一部利用して、水蒸気改質により水素を製造する。

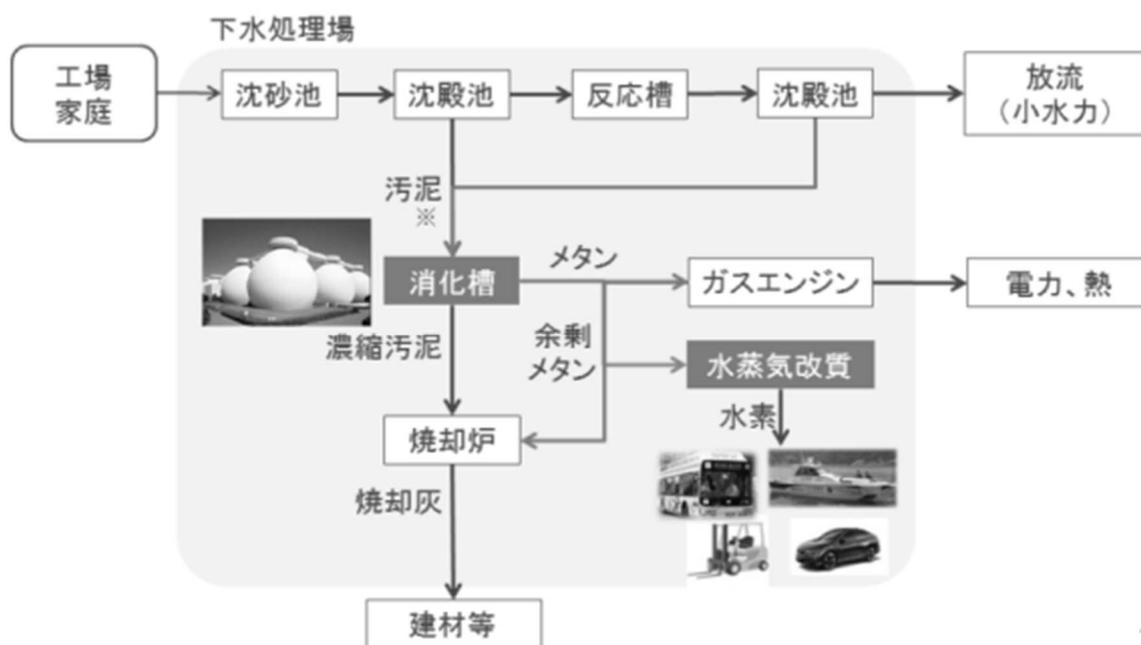


図3. 2. 4-1 下水汚泥で発生したメタンの活用

なお、発酵におけるメタン生成量を増やすため、発酵の原料となる下水汚泥をオゾン+アルカリで前処理する方法も開発されており(リンの回収に有利)、メタン生成の効率化が課題

3.2.5 バイオマスでの水素製造での収支モデル

3ページのエクゼティブサマリーで示した事業モデルのうち、地方行政を中心とした事業体などを設立することを想定したモデルにおける、コスト目標として、以下の算出を実施しました。

想定モデルは、水素生成能力 15Nm³/h、24 時間、365 日/年の稼働を前提に、水素 1kg≒1,000 円により収入を算出して、運営コストを差し引いて、水素供給事業の収支が合うように減価償却費コストを算出・想定したものである。

また、減価償却費、修繕費、労務費、人件費の数値は、平成 23 年 3 月第 2 期 JHFC プロジェクト「燃料電池システム等実証研究 報告書」データを引用した。これを表 3.2.5-1 に示す。また、60Nm³/h について同様に計算したものも併せて表に示す。ここで、燃料電池バスや業務車であるパッカー車の購入コストは別途必要となる。

表 3.2.5-1 再エネ水素製造のコスト目標（単位：千円/年）

	再エネ水素製造	再エネ水素製造	備考
水素供給量	15 Nm ³ /h	60 Nm ³ /h	
稼働時間	24h	24h	
想定FCV台数	約200台/ST	約800台/ST	
減価償却費	6,200	35,000	10年償却
修繕費	1,860	10,500	減価償却費の約30%
保険料	250	1,400	簿価の0.77%の平均値
固定資産税	0	0	既存敷地内を想定
労務費	700	700	人件費の20%
土地代	0	0	既存敷地内を想定
人件費	3,500	3,500	兼任の為、0.5人分
運営コスト(小計)	12,510	51,100	
収入	13,140	52,560	1kg≒1000円相当で換算

前提条件として、24 時間、365 日/年の稼働、製造した水素は 100% 全量 FC バスや FC 業務車に利用されることを想定し、既存施設内に設置することから土地代、固定資産税（簿価の 1.4%）はかからなことを想定した。人件費は通常水素 ST で

は1.5人分（現状のGSでは1.0人分）だが、セルフまたは兼務とすることで高圧法対応の施設管理責任者分の0.5人分、7百万円/人・年だけを見込んだ。

収入については、水素1kg≒1000円で水素生成量から算出した。減価償却費（償却年数10年）は、収入から運営コスト〔保険料（簿価の0.77%）、修繕費（建設費の3%≒減価償却費の30%）、人件費、労務費（人件費の20%）〕を差し引いて算出した。収入と運営コストの差額は、用役費（電気代等）及びメンテ等の非稼働分を見込んだ。

以上のことから、減価償却費が算出されるが、5Nm³/hの場合、約6千万円で水素製造設備を作る必要があり、将来の目標コストのレベルとなる。一方、この場合の燃料電池車の台数は、ステーション当たり燃料電池車で約200台相当であり、これを燃料電池バスとした場合には2~3台レベルである。この数値は、公共機関として燃料電池バスやパッカー車（ごみ収集車）を対象とした場合には、ある程度の妥当な需要であると想定される。

次に60Nm³/hの場合には、3.5億円程度の費用を見積もる事が出来る。これは、現状の技術レベルに対しては十分なコスト範囲といえる。一方で、ステーション当たり燃料電池車で800台、パッカー車では10台程度となり、これだけの需要を確保できることが必要となる。

4 普及施策検討における論点と方向性

4.1 水素コミュニティの産業連関分析にむけて

図 4.1-1 は産業連関表の概念図である。産業連関表はロシア生まれのアメリカの経済学者 W. レオンティエフによって開発された経済統計表である。表では経済がいくつかの部門に分割され¹、それらの部門間で財がどのように取引されたかが記述されている。この表の縦方向と横方向にはそれらの部門が同じ順番で並んでいる。いま、ある部門について、表を縦方向に見ていくと、その部門が1年間の生産活動を行うのに、ほかの各部門からどのような原材料や部品をどれ

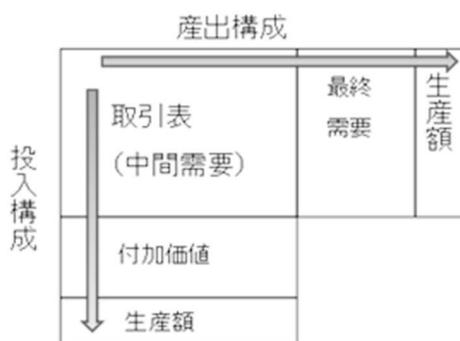


図 4.1-1 産業連関表の概念図

だけ購入したか、付加価値要素として、どれだけの労働や資本費用を投入したかがわかる。またある部門について表を横方向に見ていくと、その部門が1年間に生産した生産物が、ほかの各部門に原材料や部品としてどれだけ販売されたのか、消費財や投資財として家計や企業にはどれだけ販売されたのかを知ることができる。ある部門について、縦方向の投入金額の合計値と、横方向の販売金額の合計値はいずれも国内生産額であり、一致している。図 4.1-2 は産業連関分析の概念図である。産業連関分析によれば、図のように、自動車1単位当たりの生産による、部品とその原材料の生産過程（サプライチェーンの全過程）を通じた、経済全体への波及効果を計算することができる²。

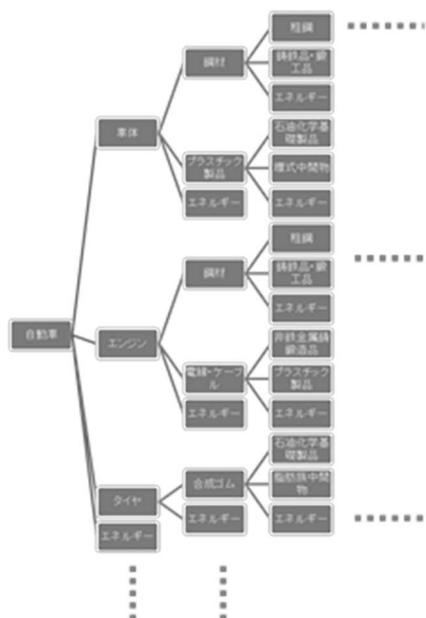


図 4.1-2 産業連関分析の概念図

¹日本の産業連関表は最も細かいレベルで、経済全体の生産活動が約 400 部門に分割されている。これは諸外国の産業連関表と比べても細かい分類であるといえる。

²いま、図 4.1-1 の「取引表」の部分を生産額単位当たりの数値（各部門で1単位の生産を行うときに必要とされる原材料や資材の量）に係数化したマトリックスを A（投入係数行列と呼ぶ）とおくと、経済全体の需給均衡は $AX+F=X$ （ただし X は生産額ベクトル、F は最終需要ベクトル）と表せる。これを X について解くと、 $X=(I-A)^{-1}F$ となる、 $(I-A)^{-1}$ はレオンティエフ逆行列と呼ばれ、最終需要される財（例えば自動車）を1単位作るときに、経済全体で直接間接にどれだけの生産活動が必要とされるかを示す。詳しくは宮沢健一編「産業連関分析入門」（日経文庫）等を参照。

早稲田大学 スマート社会技術研究機構 次世代科学技術経済分析研究所では、再生可能エネルギー導入や電力制度改革への関心の高まりに対応するため、「次世代エネルギーシステム分析用産業連関表」を開発し公表してきた。

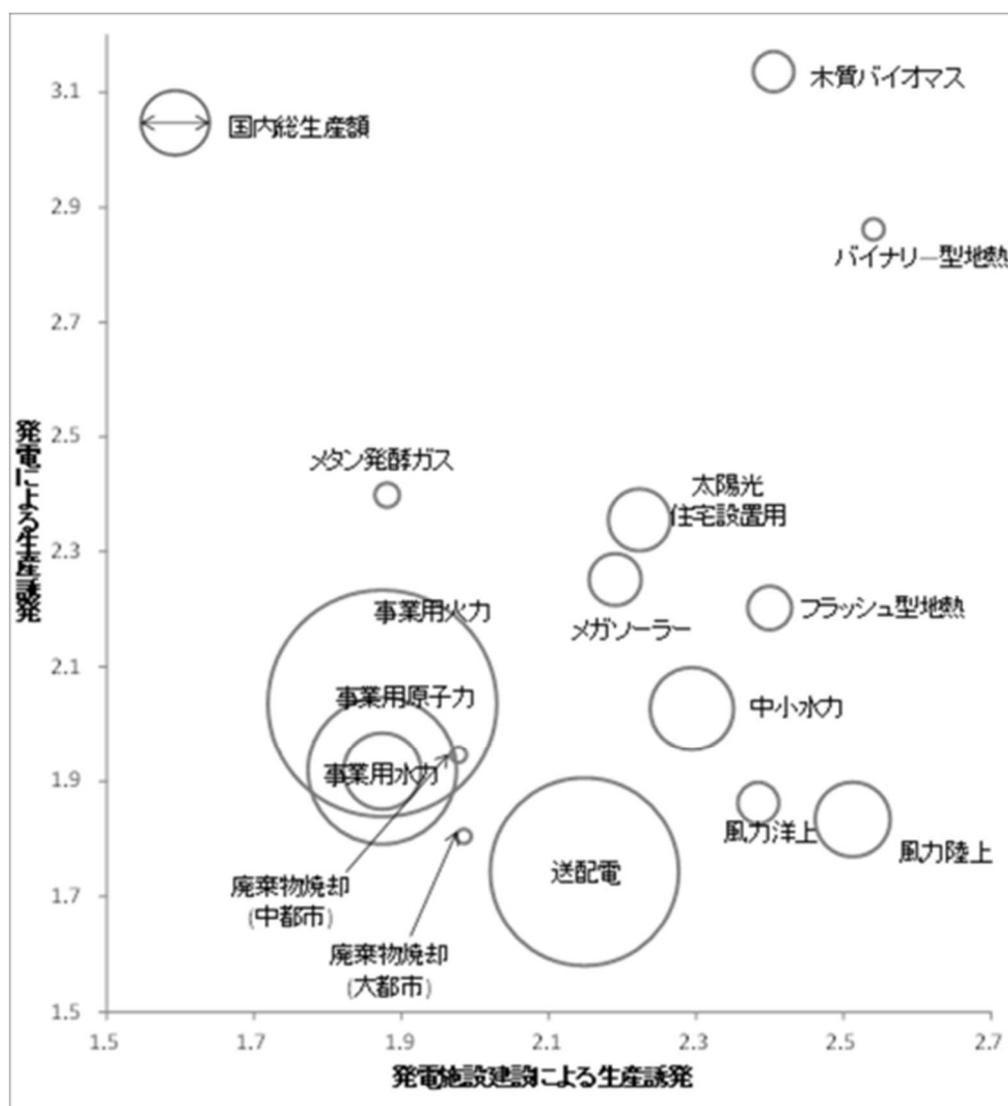


図 4.1-3 発電施設の建設時と運用時の誘発

これは、総務省 2005 年産業連関表の事業用電力部門を発電部門と送配電部門に分離したうえ、行列ともに発電部門を原子力、火力、水力部門に分割し、さらに再生可能エネルギー発電関連アクティビティ（発電および電力施設建設）を追加し、拡充した表である。ここで再生可能エネルギー発電とは、FIT の買い取り価格を利用して売電を目的とするアクティビティのことである。図 4.1-3 に同表による分析結果の一部を示す。

図の縦軸は、各再生可能エネルギーの1単位（たとえば百万円）の発電活動が、経済全体にその何倍の生産活動を誘発しているかを示す。すなわち、発電活動に加え、発電に必要とされる投入資材の生産活動、およびその資材のサプライチェーン全過程で引き起こされる生産活動をあわせた大きさが、発電活動そのものの何倍に当たるかを表示している。一方、図の横軸は、各発電施設1単位の建設活動に対する、同様の大きさを示している。また、丸の大きさには2030年に想定されている各電源の生産額の大きさ（発電量）が示されている。図から、多くの再生可能エネルギーは、発電活動においても、施設建設活動においても、既存電力よりも単位当たりの生産誘発が大きく、経済全体への影響力が大きいことがわかる。特に、木質バイオマス発電と温泉バイナリー発電の影響力が大きい。風力発電は、建設時の影響力は大きいですが、発電時の影響力は既存電源と同程度である。

このように産業連関分析によれば異なる発電システムによる経済効果を俯瞰的に比較することが可能である。現在、電力や熱を生成するエネルギーとして水素エネルギーが注目を浴びているところであるが、その利用システムを具体的にどのように構築するかについても同様の俯瞰的評価を慎重に行うことが必要である。エネルギーインフラは、社会の基礎であると同時に、一度構築されたインフラを再構成することは容易ではないからである。

表 4.1-1 3つの水素利用システム

大規模システム	海外の余剰再生可能エネルギーから精製された水素を有機ハイドライドで輸送し、国内で水素発電利用する。 大規模長距離輸送を担う燃料電池自動車と市街地の近距離移動手段（路線バス等を含む）としての電気自動車のベストミックスが成立している。
中規模システム	国内のメガソーラーや風力発電サイトに水素生成装置とガスタービン発電機を併設し、変動電源のアンシラリー効果を水素が担う。
小規模システム	地域局所的な小規模分散型発電を利用して水素を生成し、農業用トラクタ等で利用する。

近未来の水素エネルギーの具体的な利用形態として、本研究所では表 4.1-1 の3つのシステムを想定しそれぞれのシステム構築時と運用時にもたらされる生産

誘発効果を分析したいと考えている。そのためには、次世代エネルギーシステム分析用産業連関表に、さらに水素関連アクティビティ（水素製造装置、燃料電池、燃料電池自動車、燃料電池トラクタ、等）を追加する必要がある、現在取り組みを開始している。

第4次エネルギー基本計画では、「将来の二次エネルギーでは、電気、熱に加え、水素が中心的役割を担うことが期待される。」とされている。それを受けて総合科学技術・イノベーション会議が、府省・分野の枠を超えて基礎研究から実用化・事業化までを見据えた取り組みを推進するために設けられた戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）の対象課題として、水素の活用（「エネルギーキャリア」）を取り上げた。東京オリンピック・パラリンピック開催エリアは、そこで開発された水素技術の実証が行われる予定である。ただし、ここでは海外で生産された大規模なCO₂フリー水素の利活用が想定されていると言わざるを得ない。

CO₂フリー水素とは本来、化石エネルギーによらず、再生可能エネルギーから生み出されたものであることが望ましい。そのような水素の利活用を考えるときには、上記SIPにおける取り組みだけでは不十分である。再生可能エネルギーは、本来小規模分散型のエネルギーだからである。

地域に遍在する再生可能エネルギーを有効活用するためには、新たなエネルギーマネジメントサービスを産業として各地域に育成することが必要と考えられ、そのための産業政策は、現政権の重要な政策の柱である「地方創生」とも一致するはずである。そのとき、地域的エネルギーマネジメントのための技術的選択肢のうちの一つとして、水素によるエネルギーの保存や輸送も考察されるべきと考えられるが、SIPにおける構想にはそれが十分含まれているとは言えない。そこで、SIPの取り組みと並列させて、地域の小規模分散型再生可能エネルギーを利活用するための技術開発から実用化・事業化までを見据えた取り組みとして、本推進テーマの課題を推進することが重要になる。

ここで、地域的エネルギーの最適利活用の方法は、ケースごとに多様であることが予測されるため、画一的な事業化計画を打ち出すことには困難が予想される。中央政府や大企業が、地方の自治体や大学・研究機関、中小企業や農林漁業団体を含む多くの関係者と連携し、きめ細かなビジネスモデルを生み出すことが極めて重要であろう。本推進テーマを推進するにあたり、このようなソフト的な連携関係の構築方法についても知見が積み重ねられることが望まれる。

4.2 事業成立の為の規制緩和、政府への提言

【国への要望】

■国交省・経産省

- ・燃料電池電車、並びに、燃料電池船の実用化に向けて、安全基準ガイドラインの早期策定、及び高圧ガス法対応の推進サポートが必要である。
- ・燃料電池電車においては、貯蔵、消費、移動の各行為、及び容器において、高圧ガス保安法への対応が必要であり、現状では、駅に停車できない、及び鉄道車両用の水素容器の形式がない等、実質的には、走行出来ない状況。
- ・燃料電池船においても、燃料電池を起動させた状態では運行できない状況。

■経産省・環境省

- ・地域再エネ水素社会構築に対する建設の助成、実証プロト検証への公的支援
小型で再エネを活用するので初期建設コストが割高で、売上が低いので、運営での回収が厳しい。将来は技術進展や燃料電池車等普及で経済性が成立すると予測されるが、現状は助成金が必要であり、ビジネスモデルや実証のシステム検証も併せて必須となる。

■環境省

- ・地域再エネ水素社会の運営に対する規制緩和
現状既に提案されている水素ステーションに関する規制緩和に加え、安全や運営条件を限定し管理者の削減の推進、住宅地、商業地及びその近隣での設置の認可他

【事業モデルの課題及び目標】

■農水省

- ・事業主体(公共団体、農協他)の取り纏めによる事業モデル構築を提言
- ・要素技術の標準化、小型化及び性能向上による低コスト化
電気分解水素製造装置、小水力発電設備、回生エネルギー電源設備

以上

一般社団法人 産業競争力懇談会（COCN）

〒100-0011 東京都千代田区内幸町 2-2-1

日本プレスセンタービル 4階

Tel : 03-5510-6931 Fax : 03-5510-6932

E-mail : jimukyoku@cocn.jp

URL : <http://www.cocn.jp/>

事務局長 中塚隆雄