

水素活用型分散型エネルギーシステムの開発

Development of Hydrogen-Based Distributed Energy System

遠藤 巧 資源・エネルギー・環境事業領域カーボンソリューション SBU 技術センター基本設計部 主査
須田 俊之 戦略技術統括本部戦略技術プロジェクト部 主幹 博士（工学）
稲村 彰信 ソリューション統括本部ソリューションエンジニアリング部 主査

国内外での再生可能エネルギーの普及、多面的な水素の利用を進めるためには、グローバルな水素・アンモニアバリューチェーンの構築とともに、水素を活用した分散型エネルギーが重要である。本稿では、水素活用型分散型エネルギーの特徴・課題を述べるとともに、福岡県北九州市響灘（ひびきなだ）地区の水電解活用型エネルギーマネジメントシステム、水素エネルギー利用技術の開発など、近年の IHI の取組み事例を紹介する。

In order to promote the spread of renewable energy and the use of hydrogen in various ways worldwide, it is important to develop locally distributed energy system that utilizes hydrogen in addition to a global hydrogen and ammonia value chain. This report describes the features and issues of hydrogen-based distributed energy, and introduces recent examples of IHI's activities, such as the development of a "water electrolysis-based energy management system" in the Hibikinada area of Kitakyushu in Japan.

1. 緒言

エネルギー利用における温室効果ガス（Greenhouse Gas：GHG）排出量削減は、持続型社会を実現するための喫緊の課題であるが、近年、本取組みに対する国内外の動きが大幅に加速している。日本政府は、2020年10月に、2050年カーボンニュートラルを実現する宣言を行い、その具体的な戦略として、同年12月に2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略を策定した⁽¹⁾。このなかでは、エネルギー関連産業、輸送・製造関連産業、家庭・オフィス関連産業の三つの分野で合計14の成長産業が示され、それぞれの目標と工程表が示された。さらには、2021年4月に開催された気候変動サミットにおいては、各国が新たなGHG排出削減目標についての国が決定する貢献（Nationally Determined Contribution：NDC）を表明するなか、日本は2030年までのNDCとして、従来の2013年度比26%から、同年度比46%まで引き上げる方針を表明した。このように、GHG削減に対する取組みは、各国の経済政策とも関連し、ますます加速することが求められている。

グリーン成長戦略においては、カーボンニュートラルを達成するための国内のエネルギーミックスの参考値が示されている。電力部門において再生可能エネルギーは50～60%、水素・アンモニアは10%を一つのターゲットとすることが示されており、さらには非電力部門において水素

やメタネーション、合成燃料を用いてカーボンニュートラル化を達成することが示されている。このように、国内においては、再生可能エネルギーの普及拡大とともに、水素（エネルギーキャリアとしてはアンモニア）や二酸化炭素（CO₂）を回収して資源として利用するカーボンリサイクル、CCU（Carbon Capture and Utilization）⁽²⁾などの技術をさまざまな分野へ応用し、全体としてカーボンニュートラル化を図ることが重要となっている。

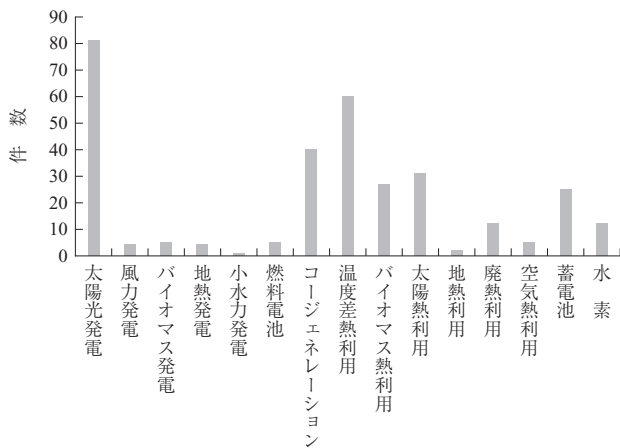
2. 水素を活用した分散型エネルギー

国内外での再生可能エネルギーの普及、多面的な水素の利用を進めるためには、グローバルな水素・アンモニアバリューチェーンの構築とともに、各地域における水素を活用した分散型エネルギーが重要である。

分散型エネルギーとは、比較的小規模で、かつさまざまな地域に分散しているエネルギーの総称⁽³⁾である。需給調整が必要な再生可能エネルギーの地産地消による効率的利用、地域資源の有効活用・産業の育成による地域活性化、激甚化している災害に対する非常時のエネルギー供給の確保など、さまざまなメリットがあるため近年注目されている。例えば、そうま IHI グリーンエネルギーセンター（SIGC）では、コミュニティ内の電力需給バランスをとることができ、また、大規模災害などで停電が起こった場合には、近隣避難所へ電気を供給する設備を利用することができる⁽⁴⁾。海外においては、自治体はその地域に

根ざしたエネルギー供給などの総合インフラサービスを行うドイツのシュタットベルケが有名であるが、国内でもさまざまなエネルギー源を利用した取組みが始まっているところである⁽⁵⁾。国内におけるエネルギー源別分散型エネルギーの導入件数を第1図に示す。

分散型エネルギーの特徴の一つとして、地域固有のさまざまなエネルギー源と需要に対し、さまざまな機器の組合せで対応していることが挙げられる。分散型エネルギーの構成要素例を第1表に示す。分散型エネルギーで対象と



第1図 国内におけるエネルギー源別分散型エネルギーの導入件数⁽⁵⁾

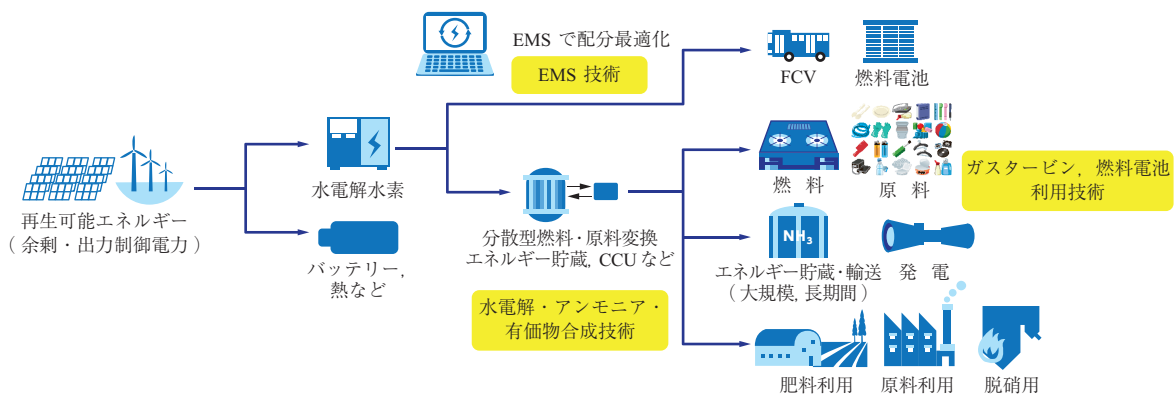
Fig. 1 Number of distributed energy introduction by energy source in Japan⁽⁵⁾

第1表 分散型エネルギーの構成要素例
Table 1 Examples of components of distributed energy

対象	主要構成機器
エネルギー源	再生可能エネルギー（太陽光、風力、水力、地熱、バイオマスなど）、コージェネレーション（ガスエンジン、ガスタービン、燃料電池など）、系統電源など
需要	電力、熱、ガス、原料、サービスなど
システム構成	発電機（コージェネレーション、燃料電池など）、蓄エネルギー装置（蓄電池、蓄熱など）、変換器（熱、水電解水素、炭化水素（メタン・オレフィン）など）、CO ₂ 回収（アミン法、DACなど）、EMS

なるエネルギー源、需要、システムの主要構成機器の例を示している。エネルギー源としては地域の再生可能エネルギーが中心となるが、コージェネレーションなど分散型電源の利用や系統との連系も重要となる。供給側は地域特有の需要に合わせる必要があり、電力だけでなく、熱や燃料、原料、さらには再生可能エネルギー電源の供給、事業継続計画（Business Continuity Plan：BCP）といったさまざまなサービスなどに変換し、地域に貢献することが必要となる。これら供給側と需要側をつなぐシステム構成要素としては、発電機やさまざまな蓄エネルギー装置や変換器などのハードウェアだけでなく、それらを統合して制御するエネルギーマネジメントシステム（Energy Management System：EMS）などのソフトウェアが必要となる。このように、火力発電所など従来の集中型エネルギーとは全く異なる考え方、設計手法が必要となる。

第1表に示すシステムのなかで、筆者らは水素の利用を含んだ分散型エネルギーシステムが今後の主流になると考えている。水素活用型分散型エネルギーシステムの概念図を第2図に示す。水素は燃料として利用できるため、燃料電池自動車（Fuel Cell Vehicle：FCV）などで直接利用するほか、貯蔵することで蓄エネルギー手段の一つとなり、緊急時や災害時に燃料電池で発電し、電力供給を行うことができる。さらには、水素は還元剤であるため、メタネーション⁽⁶⁾などCCUの原料として利用可能であり、さまざまな炭化水素を合成することが可能となる。このように、水素を活用することで再生可能エネルギーの利用先が大幅に増えることとなり、再生可能エネルギーの付加価値向上・さまざまな地域特有の需要に対応することが可能となると考えられる。具体的なカーボンリサイクルとしては、触媒を利用することで水素（H₂）を一酸化炭素（CO）やCO₂などの炭素源と反応させ、メタン（CH₄）などの



第2図 水素活用型分散型エネルギーシステムの概念図
Fig. 2 Conceptual diagram of hydrogen-based distributed energy system

炭化水素を合成することが可能である。変換には必ず損失が発生するため、むやみに変換するべきではないが、地域特有の再生可能エネルギーを、地域特有の需要に合わせたさまざまなモノ・サービスに変換するシステムを提供することで、分散型エネルギーの導入が促進され、さらに再生可能エネルギーや水素の利用につなげることができると考えられる。

3. 水素活用型分散型エネルギーシステムの課題

水素を活用した分散型エネルギーの課題としては、全体システム・制御の最適化、水素コストの低減、変換技術の高度化、などが考えられる。

3.1 全体システム、制御の最適化

最も重要なのは、地域特有の再生可能エネルギー源、ニーズ・需要を把握し、それに合わせた最適なシステム・制御方法を決定することである。地域により太陽光以外にも、風力、水力、地熱、バイオマスなどさまざまな再生可能エネルギー源が賦存している。系統から再生可能エネルギー由来の電力を購入する可能性もあるので、系統との連系も考慮する必要がある。需要としては電力利用以外も考える必要がある。熱は、一般に貯蔵・輸送が困難で未利用である場合が多いが、分散型エネルギーでは重要なエネルギー媒体となる。それ以外にも、水素や、水素から合成される燃料・原料の需要もある。これら需要に対し、付加価値の高いサービスを組み合わせれば、経済性が成り立つ仕組みが構築できる可能性が高くなる。

このように供給側と需要側が把握できれば、それをつなぐ最適なシステム・ハードウェアの検討が必要となる。第1表に示したようにシステムにはさまざまな構成要素があるため、コスト低減や省エネの最大化など最適な組合せが必要となる。また、最適化はハードウェアだけでなく、それぞれの構成要素の運用を最適化するEMSの開発が必要となる。例えば、電力需要が供給を下回った際、余剰電力

を何に使えば最も付加価値を高めるのかを検討し、それが水素や水素から合成される燃料などであるならば、水電解装置へ優先的に電力を供給し水素を製造するなどの制御が考えられる。

なお、システムの検討に当たっては、水素を利用することは必須ではない。水素を利用することがその地域の最適な分散型エネルギーにつながらなければ、システムの構成要素から外すことを検討すべきである。

3.2 水素コストの低減

3.1節で述べたように、水素は水電解装置を使うことで再生可能エネルギーからの電力により製造することが可能である。主な水電解装置の特徴を第2表に示す。水電解装置は電解質の種類によっていくつか種類があり、代表的なものとして、アルカリ溶液を用いるアルカリ水電解装置と固体高分子膜 (Polymer Electrolyte Membrane : PEM) を用いる PEM 型水電解装置がある。アルカリ水電解装置は大型化に向いている、PEM 型は負荷追従性に優れるなど、求められる仕様によって適切な水電解装置を選択する必要がある。近年、高温で動作する固体酸化物型水電解や、水 (H₂O) と CO₂ を同時に還元し CO + H₂ ガスなどを発生させる共電解技術も開発されている。

水電解からの水素製造の課題の一つとして、そのコストの高さがある。通常、水電解からの水素製造原単位はおおよそ 5 kWh/Nm³-H₂ といわれているが、例えば電力単価が 5 円 / kWh とすれば、水素コストはそれだけで 25 円 / Nm³-H₂ となる。さらには、水電解装置の設備コストも現状では高く、トータルの水素製造コストは、天然ガスの水蒸気改質など化石燃料からの水素製造コストには現状では到底及ばないレベルである。水電解からの水素製造コストを低減する手法としては、① これまでより安い電力の調達、② 水電解装置の性能向上 (変換効率向上)、③ 水電解装置の設備コスト低減、④ 設備利用率向上、などが挙げられる。特に太陽光や風力からの電力は出力が変

第2表 主な水電解装置の特徴

Table 2 Features of major water electrolyzers

型式	アルカリ水電解	固体高分子水電解 (PEM)	固体酸化物型高温水蒸気電解 (SOEC)	プロトン伝導型固体酸化物高温水蒸気電解 (PCEC)	(参考) CO ₂ , 水共電解
電解質	KOH 溶液	固体高分子	固体酸化物	プロトン伝導性酸化物	固体酸化物型, プロトン型
動作温度	50℃	100℃	700 ~ 800℃	400 ~ 600℃	高温
効率	低	中	高	高	水電解の応用として、CO ₂ と水を同時に還元し、CO + H ₂ を製造、触媒によりメタンなどを製造する。 基礎研究レベル
大型化	◎	○	△	△	
コスト	低	中	-	-	
備考	技術的に成熟 水素に水が混入	負荷追従性良 触媒に白金使用	実証レベル 水素に水が混入	基礎研究レベル	

動するとともに、太陽光からの電力は夜間には発生しない。水電解装置を直接太陽光発電や風力発電に接続すると、水電解装置の負荷は常時変動することとなり、設備利用率は低下、水素製造原価に対する設備コストの影響が大きくなってしまふ。水電解装置の設備利用率を向上させるためには、蓄電池などの蓄エネルギー手段を用い、水電解装置を最大負荷で運転する時間を極力長くすることが必要となる。

3.3 変換技術の高度化

水電解装置も変換技術の一つであるが、2章で述べたように、水素とCO₂の反応によって炭化水素を合成できれば、再生可能エネルギーからの電力の価値を高め、地域の需要に適合する可能性も高くすることができると考えられる。本技術は一般的にはCCU技術と呼ばれ、CO₂排出源から回収したCO₂と、再生可能エネルギーからの水素を反応させ炭化水素に戻すことで、炭素を循環利用することが可能となる。従来用いていた化石燃料を、これら水素・CO₂から合成した燃料・原料に置き換えることで、トータルとしてのCO₂削減に貢献できる。

CCU技術は、CO₂回収技術、水素製造技術、炭化水素合成技術の組合せとなる。CO₂回収技術としては、化学吸収法や酸素燃焼法などがあるが、近年、大気中のCO₂を回収するDAC (Direct Air Capture) などの技術も開発されている。炭化水素合成技術のコアは触媒技術と反応器の技術である。メタンやオレフィンなどを合成する触媒の開発⁽⁶⁾が進められているが、これらの反応は発熱反応で

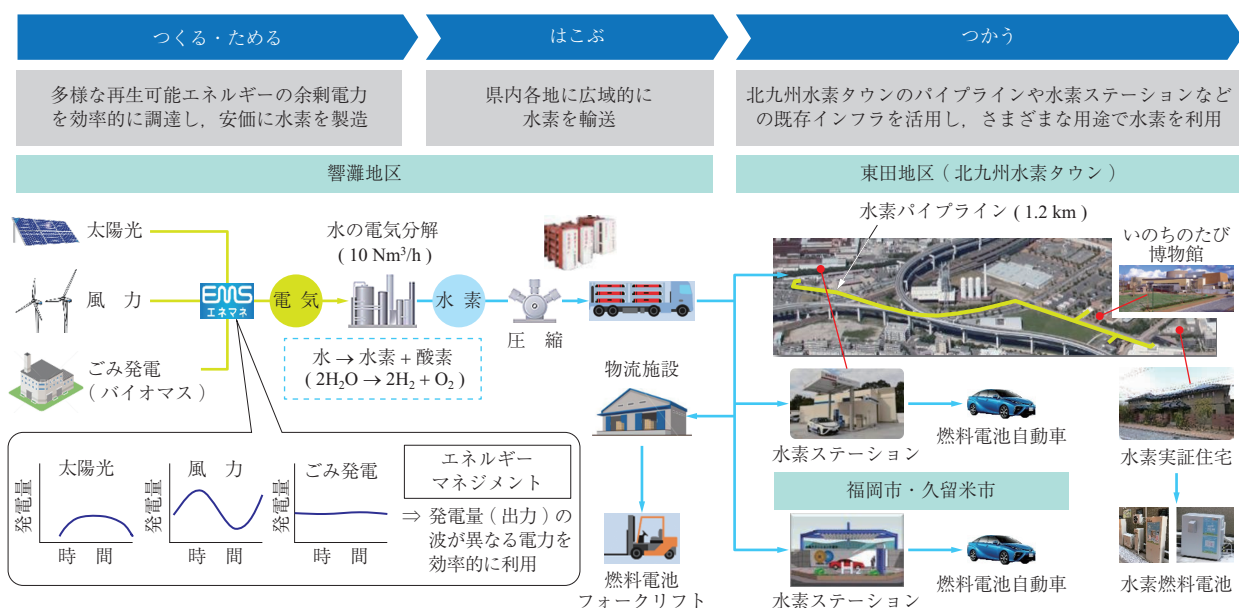
あり、触媒温度を適切にコントロールする反応器の技術も求められる。特に将来の大規模化に備え、反応器の大型化、システムとしての熱マネジメントなど、再生可能エネルギーの電力から、高効率・大規模に炭化水素を合成するシステム化技術が求められる。

4. 水素活用型分散型エネルギーシステムの事例

IHIでは、水素活用型分散型エネルギーシステムの実証プロジェクトを複数進めている。

2018年に開設した「そうま IHI グリーンエネルギーセンター」においては、メガソーラーからの電力を、下水処理場のための電力のほか、熱に変換することで下水汚泥の乾燥、さらには水電解装置により水素を製造し、水素関連の研究に役立てている⁽⁷⁾、⁽⁸⁾。現在、パイロット規模のメタネーション試験を実施しており、目標とするガス組成・CO₂転換率など達成したところである。

さらには、北九州市響灘地区において、次世代のクリーンエネルギーCO₂フリー水素の製造・供給拠点化を目指し、水素を「つくり」「はこび」「つかう」実証事業を環境省より委託を受けて開始している。水電解活用型EMS実証事業の概要⁽⁹⁾を第3図に示す。本事業は、株式会社北九州パワー、北九州市、福岡県、福岡酸素株式会社、ENEOS株式会社とともに、太陽光、風力、ごみ発電(バイオマス)など、複数の再生可能エネルギーを同時に制御可能な水電解活用型EMSの国内初の実証、さらにCO₂フリー水素サプライチェーンの構築を目指す実証事



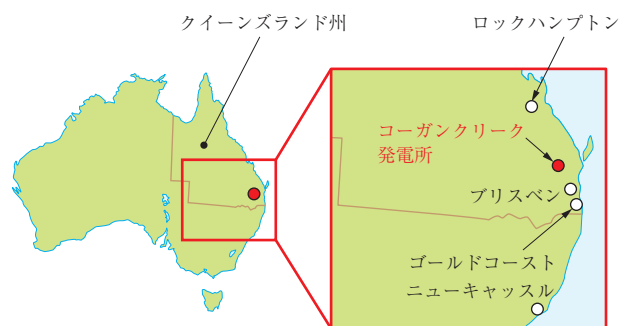
第3図 水電解活用型EMS実証事業の概要⁽⁹⁾
 Fig. 3 Outline of demonstration project of water electrolysis-based energy management system⁽⁹⁾

業である。IHI は、特に上記の複数の再生可能エネルギー電力から水電解装置で効率よく水素を製造するための、EMS の開発・運用を担当している。ごみ発電からの余剰電力とともに、変動する太陽光・風力発電からの電力を利用し、水電解装置を効率的に動かし水素を製造することが求められる。また、出力抑制時に本来捨てざるを得ない電力を利用することで水素コストの低減を目指す。本プロジェクトで製造した水素は、圧縮水素としてカードルに充填、輸送後、地域のパイプライン・水素ステーションを経て、燃料電池を搭載した車やフォークリフトで実証される。将来的には、2章で述べたメタネーションなどの変換技術と組み合わせて利用することで、今後増大するであろう再生可能エネルギーからの余剰電力を、地域に合わせたさまざまな需要に変換利用することで、再生可能エネルギーの普及に資することができると考えられる。

このような取組みは海外への展開も進めているところである。IHI では、オーストラリアのクイーンズランド州営電力会社である CS Energy 社と共同で、同社が所有するコーガンクリーク発電所隣接地に設置する太陽光発電から水素を製造・販売するコーガン水素実証プロジェクトの事業化に向けて検討している⁽¹⁰⁾。コーガン水素実証プロジェクト予定地を第4図に示す。オーストラリアは太陽光など再生可能エネルギーの賦存量が大きく、水素の地産地消的な利用とともに、水素をアンモニアの形で日本などに輸出する大規模アンモニアサプライチェーンの拠点となることも期待できる。今後、オーストラリア国内でのプロジェクトの拡大とともに、他国への展開も進めていく予定である。

5. 結 言

GHG 排出量削減への取組みがますます求められているなか、IHI では、水素・アンモニアバリューチェーンの構



第4図 コーガン水素実証プロジェクト予定地⁽¹⁰⁾
Fig. 4 Location of Kogan Hydrogen Demonstration Project⁽¹⁰⁾

築、CCU 技術の開発のほか、本稿で示したような水素活用型分散型エネルギーの開発・実証などを進めている。そうした活動をとおしてさまざまな分野における GHG 排出量削減に貢献することを考えている。特に、再生可能エネルギーの普及のためには、再生可能エネルギーの地産地消、効率的な利用やレジリエンスの向上に資する分散型エネルギーの普及が重要であり、水素を利用することはその普及拡大に役立つものと考えている。

一方で、このような分散型エネルギーの課題の一つとして、経済性を成立させることが重要である。従来型の大規模集中発電に比較すれば設備・運用コストは増加すると考えられ、一般的にはレジリエンス向上などの付加価値や、補助金などの支援がないと経済性は成立しにくいと考えられる。3.2節で述べたとおり、水素の製造コストは現状では高く、解決すべき課題となっている。分散型エネルギーシステムや水素製造コストの低減とともに、地域の需要に則した、より付加価値の高いモノ・コトに変換するなどシステム全体の価値を検討し、極力補助金などの支援がなくても経済性を成立させることが必要である。今後の持続型社会の実現には必須の取組みであり、技術、ビジネスモデルを検討、構築し、社会実装を進めていく所存である。

— 謝 辞 —

北九州市響灘地区での「水電解活用型エネルギーマネジメントシステム」の開発は、環境省「既存の再エネを活用した水素供給低コスト化に向けたモデル構築・実証事業（北九州市における地域の再エネを有効活用した CO₂フリー水素製造・供給実証事業）」の委託を受けて実施しているものです。ここに記して謝意を表します。

参 考 文 献

- (1) 経済産業省：2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略, <https://www.meti.go.jp/press/2020/12/20201225012/20201225012.html>, (参照 2021. 3. 31)
- (2) 株式会社 IHI：カーボンリサイクル技術による脱 CO₂・炭素循環型社会の実現への加速, IHI 技報, Vol. 61, No. 1, 2021年2月, pp. 18 - 21
- (3) 資源エネルギー庁：総合資源エネルギー調査会 基本政策分科会 長期エネルギー需給見通し小委員会（第6回）資料, https://www.enecho.meti.go.jp/committee/council/basic_policy_subcommittee/mitoshi/006/

- pdf/006_05.pdf, (参照 2016. 3. 31)
- (4) 株式会社 IHI: 地産地消システムによるエネルギー循環型社会の幕開け, IHI 技報, Vol. 58, No. 2, 2018 年 6 月, pp. 4 - 7
- (5) 低炭素投資促進機構: 分散型エネルギーシステム構築ガイドブック, <https://www.teitanso.or.jp/sc/guidebook/>, (参照 2020. 3. 31)
- (6) 株式会社 IHI: 温室効果ガスの CO₂ を高付加価値物質へ変換する, IHI 技報, Vol. 59, No. 3, 2019 年 9 月, pp. 20 - 21
- (7) 株式会社 IHI: プレスリリース「福島県相馬市に再生可能エネルギー利用の水素研究棟「そうまラボ」を開所～CO₂フリー水素を活用した研究を推進～」, 2020 年 9 月 10 日, https://www.ihico.jp/ihico/all_news/2020/other/1196903_1611.html, (参照 2020. 9. 10)
- (8) 稲村彰信, 高井紀浩, 矢野美沙子, 濱口謙一, 高見 彰: 再生可能エネルギー地産地消型エネルギーマネジメントシステム, IHI 技報, Vol. 59, No. 4, 2019 年 12 月, pp. 36 - 42
- (9) 株式会社 IHI: プレスリリース「次世代のクリーンエネルギー CO₂ フリー水素の製造・供給拠点化を目指し, 水素を「つくり」「はこんで」「つかう」実証事業を環境省からの委託を受けて開始～国内初, 複数の再エネを同時制御する「水電解活用型エネルギーマネジメントシステム」を開発～」, 2020 年 11 月 24 日, https://www.ihico.jp/ihico/all_news/2020/resources_energy_environment/1196962_1601.html, (参照 2020. 11. 24)
- (10) 株式会社 IHI: プレスリリース「オーストラリアでカーボンフリー水素の製造・販売を目指す「コーガン水素実証プロジェクト」の検討を CS Energy と共同で実施」, 2021 年 2 月 3 日, https://www.ihico.jp/ihico/all_news/2020/resources_energy_environment/1197000_1601.html, (参照 2021. 2. 3)