

初歩的な自立式再生エネルギーシステムの構築

田中 武*・甲斐 健***・山崎 勇***・織田 浩二**・岡光 序治*・田中 秀治***

(平成29年10月31日受付)

Construction of a preliminary autonomous energy system using regenerative energy

Takeshi TANAKA, Ken KAI, Isamu YAMASAKI, Koji ODA,
Nobuharu OKAMITSU and Hideharu TANAKA

(Received Oct. 31, 2017)

Abstract

Global warming problems, local energy problems, etc. are expected to become serious problems as the aging society in Japan progresses. In addition, the introduction of renewable energy is important not only for measures against global warming, but also from the viewpoints of securing energy security, building independent and distributed energy systems, creating new industries and jobs. In the case of peacetime, a system that supplies CO₂-free hydrogen made only by electricity generated by solar power generation to fuel cell vehicles and supplies electricity generated using stored hydrogen in emergency is important. In this work, the construction of a preliminary autonomous energy system using regenerative energy was reported.

Key Words: autonomous energy, regenerative energy, solar cell, hydrogen, lithium battery, fuel cell, electrolysis of water

1. はじめに

地球温暖化問題や、地域のエネルギー問題等は、日本の高齢化社会の進展とともに大きな問題になっていくことが予想される。

また、再生可能エネルギーの導入は、地球温暖化対策のみならず、エネルギーセキュリティの確保、自立・分散型エネルギーシステムの構築、新規産業・雇用創出等の観点からも重要です¹⁾。

自立型水素エネルギー供給システムの例として、ハウステンボス株式会社(以下、ハウステンボス)の「変なホテル」第2期棟(ウエストアーム)があります。そのシステムは、太陽光発電、蓄電池、水素製造装置、水素吸蔵合金タンク、純水素燃料電池により構成されています。日照時間が長い夏季に太陽光で発電した電気の余剰電力を利用し

て、水素製造装置で水を電気分解し、製造した水素をタンクに貯蔵します。冬季には、その貯蔵した水素を利用し、純水素燃料電池で発電することにより、水と太陽光発電のみで年間を通じてホテル1棟12室分の電力を供給することができます。水素を高密度で貯蔵できる水素吸蔵合金を用いたタンクを採用しており、従来のタンクサイズと比較して10分の1まで小型化した貯蔵タンクによりシステムの省スペース化を実現しています²⁾。

また、自動車のガソリン・軽油の供給するための、ガソリンスタンドは減少の一途をたどっている。全国のサービスステーション(SS)数は、ガソリン需要の減少、後継者難等により減少し続けています。これに伴い市町村内のSS数が3カ所以下の地域も増加しており、平成27年3月末時点で283カ所となっています³⁾。

過疎地では、都市部に比較して、この問題に早く直面す

* 広島工業大学工学部電子情報工学科

** 株式会社デジコム

*** 株式会社中電工技術本部技術センター

ることが予想される。中山間地、島しょ部のエネルギー問題は重要である。寒冷地における灯油等の供給もあげられる。自動車や運送事業者へのエネルギー供給に灯油では、用いることができない。最初に島しょ部へのガソリンスタンドの維持も困難になってきている。これらの地域のうち、近隣にSSがない住民にとっては、自家用車や農業機械への給油や移動手段を持たない高齢者への冬場の灯油配送などに支障を来している。

平時は太陽光発電による電力だけで作ったCO₂フリー水素を燃料電池車に供給し、非常時には貯蔵した水素を使って発電した電力を供給するシステムが報告されています⁴⁾。

本研究では、太陽電池、リチウム電池、水の電気分解装置、水素タンク、燃料電池等からなる初歩的な自立式再生エネルギーシステムの構築を試みた。太陽電池の変換効率や、燃料電池の動作原理、各部の説明、太陽電池の運転を通して、実証可能なモデルの構築を検討する。

2. 太陽電池の変換効率, 燃料電池の動作原理, および水の電気分解

2-1 太陽電池の変換効率⁵⁾

光は、エネルギーを持っています。真夏の正午の太陽光の場合、日本ではだいたい1平方メートルあたり1キロワット(1kW=1000W)のエネルギーを持っています。照射された太陽光のエネルギーのうち、何%を電力に変換できるかを、変換効率という値で表します。この変換率は「ソーラーシミュレーター」で発生させた疑似太陽光を用いて測定されます(図1)。この時の光の強度やスペクトル、温度などの測定条件は世界共通の測定条件として定められていて、基準状態(STC)と呼ばれます。このSTCは、おおまかには「エアマス1.5, 25°C, 1kW/平方メートル」という条件で表されます。変換効率は気温などの設置条件によっても変化しますが、特にこのSTCで測定された変換効率が、モジュールの絶対性能を表す指標のひとつとして用いられます。

光が当たっている時の太陽電池は、図2のような形の出力特性を示します。そのままでは、接続されている負荷の特性によって取り出せる電力が変化します。このため太陽電池は通常、外部の電力制御回路によって、取り出せる電力が最大になる条件(最適動作点)付近で利用されます。最適動作点における出力が最大出力で、STCにおける最大出力を、太陽電池に照射された光のエネルギーで割ったものが、変換効率となります。

変換効率は面積あたりの発電量に比例し、太陽電池の種類や製造法によって大きく変わります。また、同じ変換効率ならばより安価に、同じ価格ならばより高い変換効率へと、時と共に技術開発も進んでいます(図3)。それぞれの太陽

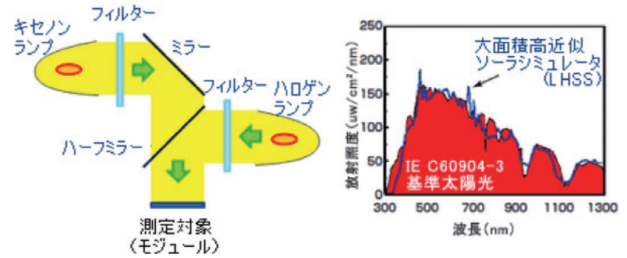
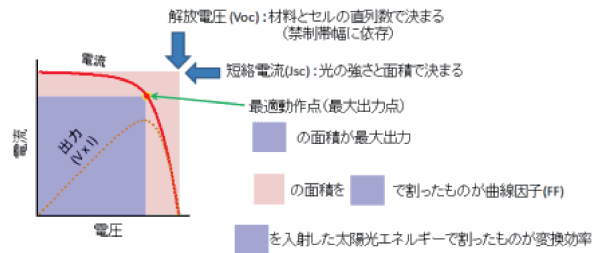


図1 疑似太陽光を発生するソーラシミュレータの構成と、出力スペクトルの例



最大のパワーを取り出すには、最適動作点(Maximum Power Point)付近で動作させる

図2 光照射時における太陽電池の電流-電圧特性の概念図

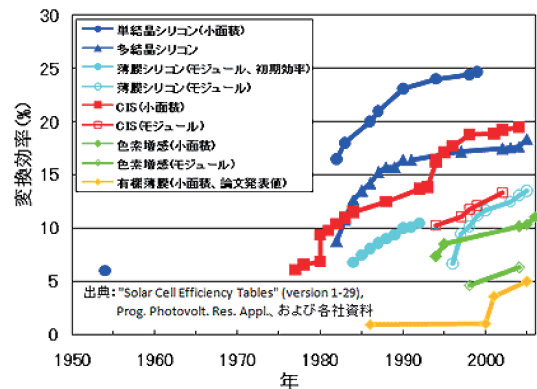


図3 各種の太陽電池の変換効率向上の歩み(世界記録の推移, 民生向け非集光型のみ)

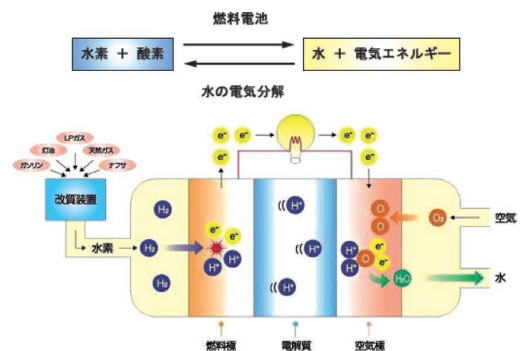


図4 燃料電池の動作の概略図

電池は市場ニーズに応じて棲み分けながら、性能の向上と共に市場でのシェアが変わっていくと予測されています。より高い性能と多くの市場シェアを求めて、世界での競争も激しさを増しています。

2-2 燃料電池の構造と仕組み⁶⁾

水に電気を通すと水素と酸素の泡が出てくるのは「水の電気分解」。燃料電池の仕組みはその逆で、水素と酸素を反応させて電気を取り出すものです。燃料電池という言葉から、乾電池や蓄電池のように電気を貯めておく装置を連想しがちですが、燃料電池とは水素と酸素のもつ化学エネルギーを電気エネルギーに変換する「発電設備」のことなのです。燃料電池の発電実験が初めて成功したのは1839年。今からもう170年以上も昔のことです。

従来の発電の仕組み（例：火力発電所）は、燃料を燃やした熱で水を沸騰させ、その蒸気でタービンを回して発電します。つまり、燃料の持つ化学エネルギーを熱エネルギーに変換し、さらに運動エネルギーに変えてからようやく電気エネルギーを得ているのです。エネルギーが形を変えるそれぞれの過程で損失が生じます。

一方、燃料電池は、燃料の持つ化学エネルギーから直接電気エネルギーを得るため、損失が非常に少なくて済み、発電効率が高いことが特長です。

2-3 水の電気分解⁷⁾

「水の電気分解」とは、水に電圧をかけることにより起こる水の酸化還元反応のことをいいます。この時、陰極（-）で還元反応が起こり水素が、陽極（+）で酸化反応が起こり酸素が発生します。

電解液の中では、水（H₂O）は、水素イオン（H⁺）と水酸化物イオン（OH⁻）に分離しています。



この電解液の中に入れられた電極に電圧をかけると、陰極（-）では水素イオンに電子が与えられ、還元が起こり、水素が発生します。



陽極（+）では、水酸化物イオンから電子が奪われ、酸化が起こり、酸素と水が生成されます。



●水の電気分解

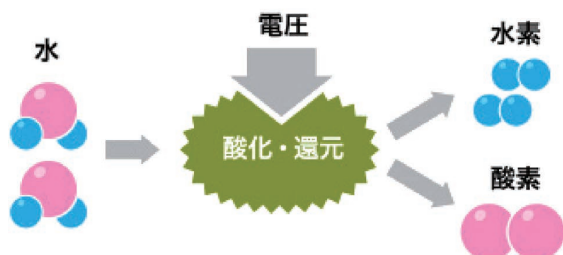


図5 水の電気分解の概略図

3. 初歩的な自立式再生エネルギーシステムの概要

最初に、初歩的な自立式再生エネルギーシステムの概略図を図6に示す。

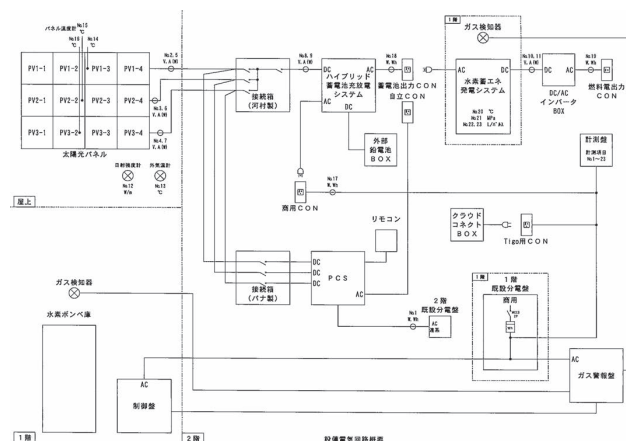


図6 初歩的な自立式再生エネルギーシステムの概略図

A. 太陽光設備

- ・ シャープ ND-260MB 260 W 8枚
- ・ 三菱電機 PV-MG J 270 CBF 270W 4枚
- ・ 田淵電機 EPC-S49 MP 3-L 単相 3 線式 4.9 kW1台



図7 太陽光の設備

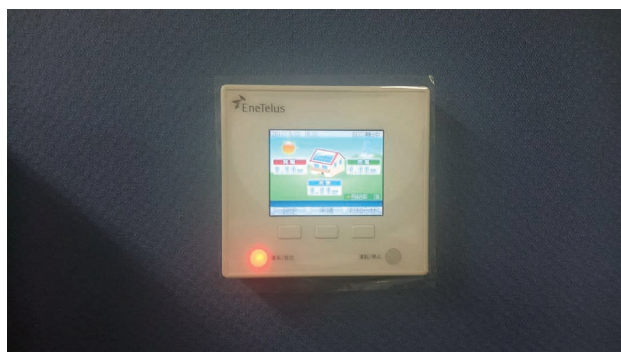


図8 太陽電池の発電状況

B. ハイブリッド蓄電池充放電システム (昭和電子産業製)

- ・ソーラー入力：DC 130 V ~ 350 V
- ・商用入力：AC 87 ~ 265 V
- ・発電機入力：AC 87 ~ 265 V
- ・電池入力：鉛 12 V 2直列 DC24V 65 Ah
Li 7直列 DC 25.9 V 1500 Wh



図9 ハイブリッド蓄電池充放電システム



図11 水素発生装置

C. 水素蓄エネ発電システム (エノア製)



図10 水素蓄エネ発電システム (エノア製)

②水素タンク

- ・材質：SUS304
- ・内容量：3リットル前後



図12 水素タンク

①水素発生装置

- ・流量：0-500 NmLPM
- ・圧力：0-0.7 MPaG
- ・供給水：純水 (水の抵抗率 > 1 M Ω · cm)
- ・電源：AC100 V



図13 燃料電池供給用水素ガス圧を測定するための圧力ゲージ



図16 供給用の水素ガスボンベ (47リットル 15 MPa)

③燃料電池

- ・タイプ：PEFC
- ・定格出力：200-300 W
- ・電圧範囲：18-36 Vdc
- ・冷却方式：空冷式



図14 燃料電池の外観

④ DC/AC インバーター

- ・出力：AC100 V/60 Hz



図15 燃料電池の負荷として用いたランプ



図17 水素ガス用警報盤



図18 遮断バルブと駆動用窒素ガス



図19 水素ガスボンベ用水素ガスセンサー



図22 太陽電池の設置場所の状態



図20 水素ガス発生装置用水素ガスセンサー



図23 2017年9月29日12時の発電量

4. 太陽電池の運転状態

設置された太陽電池の運転状態を、Tigo⁸⁾のシステムをパネル1枚1枚に設置し、太陽電池の状態を測定した。Tigoのシステムは、下記に示すような比類なき設計柔軟性を持っている。

- 1) 不揃いのストリングを接続する
- 2) 多方向でストリングを分割する
- 3) あらゆるモジュール、インバータ、設計戦略で利用できる
- 4) アーク放電、火災、安全上の問題を監視する
- 5) 今後の安全上の法規制のために準備する

測定した結果を下記に示す。



図21 太陽電池全体の状態



図24 2017年9月29日12時の電圧

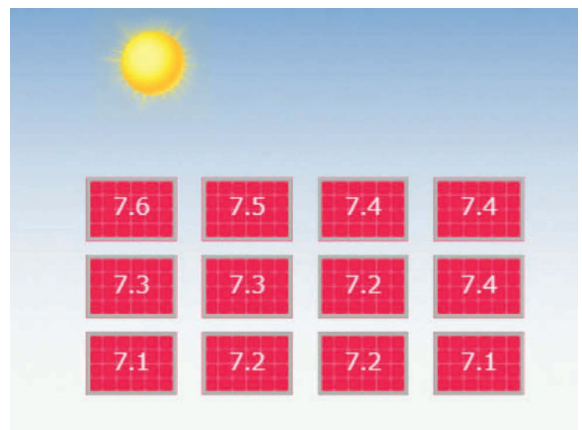


図25 2017年9月29日12時の電流



図26 2017年9月29日9時の発電量



図27 2017年9月29日9時の電圧



図28 2017年9月29日9時の電流



図29 2017年9月29日の影の部分の太陽電池の出力

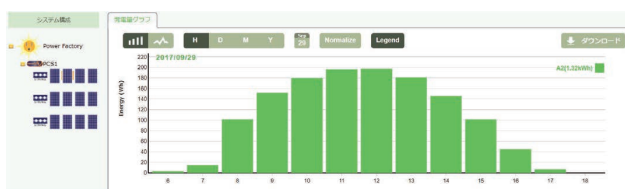


図30 2017年9月29日の影の部分の隣の太陽電池の出力

午前9時と12時のデータの比較により、太陽電池の右上のパネルが影になり、太陽電池の出力が低下していることが明らかになった。

5. 水素の貯蔵技術について

各種電力貯蔵技術の位置付けを図31に示す⁹⁾。

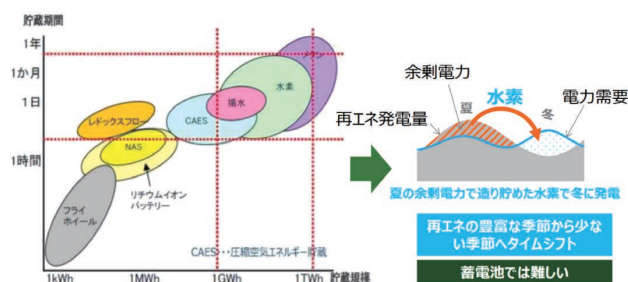


図31 各種電力貯蔵技術の位置付け

水素は、大容量（1 GWh～1 TWh）の貯蔵規模で、約1年程度の貯蔵期間が適していることが示された。

具体的な例を図32に示す¹⁰⁾。

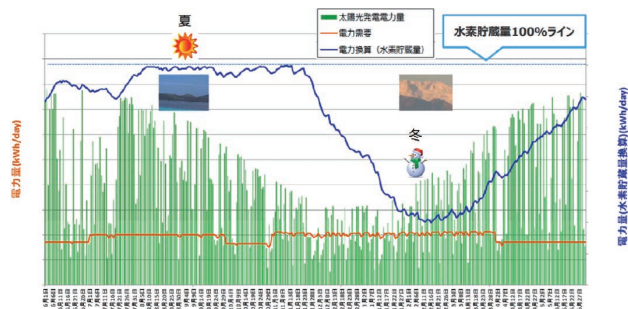


図32 水素を用いた再生可能エネルギーの季節シフト

夏季～秋季：PV出力が需要を上回るので、余剰分を水素として貯蔵し、秋季～冬季：需要に対し、PV発電量が下回り始める。貯めた水素による発電と蓄電池の発電を合わせて、PV出力の不足分をカバーする。春季～夏季：PV出力が回復し、減った水素貯蔵量を徐々に回復させる。

水素を活用することで、再生可能エネルギーだけで年間の総電力需要を賄うことが可能になる。

6. 自立エネルギーシステムの例

6-1 JR南武線武蔵溝ノ口駅¹¹⁾

株式会社東芝が2016年3月に東日本旅客鉄道株式会社（以下、JR東日本）から受注した自立型水素エネルギー供給システム「H2One™」の納入が完了し、このたび、川崎市にあるJR南武線武蔵溝ノ口駅構内において営業運転を開始しました。「H2One™」は、当社独自の水素エネルギーマネジメントシステム「H2EMS™」により、再生可能エネルギーと水素を活用して、電力を安定的に供給できるCO₂フリーの自立型水素エネルギー供給システムです。本システムは、太陽光発電、蓄電池、水素製造装置、水素貯蔵タ



図33 営業運転を開始した H2One™

ンク、純水素燃料電池により構成されています。

6-2 離島マイクログリッド¹²⁾

離島のような独立した小規模電力系統に、太陽光発電などを大量に導入する場合の系統安定化の実証試験が、九州電力(株)様および沖縄電力(株)様によって行われています。

富士電機は、この実証試験向けにマイクログリッドシステムを九州と沖縄の九つの離島に納入しました。本システムは、太陽光発電や風力発電などの変動する出力を蓄電装置の充放電制御で緩和し、系統の安定化を図ります。(図35参照)

九州の離島では、出力特性に優れたリチウムイオン電池(九州電力(株)様開発品)や長寿命型鉛蓄電池を用い、太

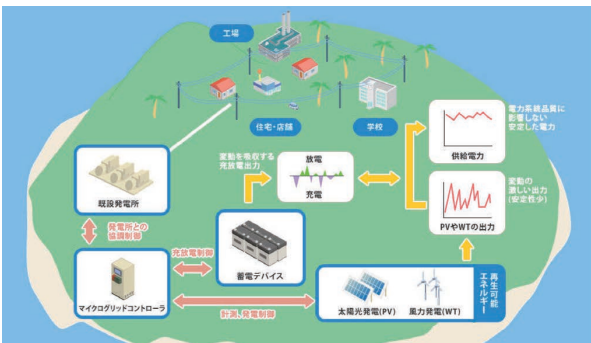


図34 離島マイクログリッドの概要

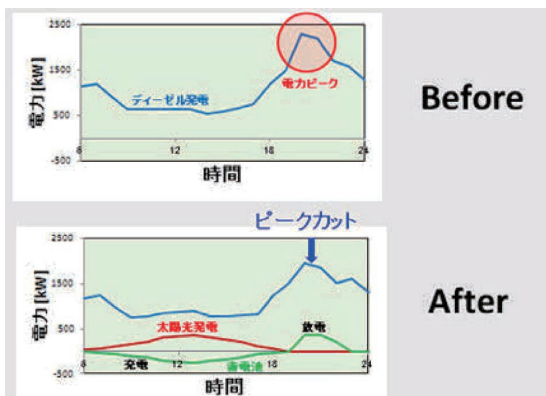


図35 出力変動補償機能

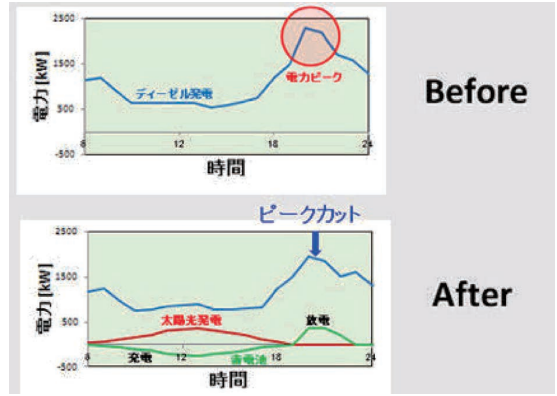


図36 ピークシフト運転機能

陽光発電や風力発電の出力変動補償と、その出力制御による既設発電機の高効率領域で運転を行っています。

沖縄の離島では、耐環境性に優れたサイクル寿命が長いリチウムイオンキャパシタを用いて、系統周波数の変動抑制制御を行います。(図36参照)

7. 水素関連の試験設備を持つ施設の一例

7-1 国立大学法人九州大学水素エネルギー国際研究センター¹³⁾

水素エネルギー国際研究センターは、九州大学の水素利用技術研究の拠点として、平成17年度に建設されました(998㎡平屋建て)。平成18年度に設備関係の整備を終え、水素・燃料電池関係の研究を本格的に開始しています。当研究センターは、水素・燃料電池に関する多様なシーズを生み出すための学内共同利用施設であり、低圧水素コラボ実



図37 水素エネルギー国際研究センター外観



図38 低圧水素コラボ実験室

験室，システム実験室，データ解析室，精密測定室等，目的に応じた11の部屋から構成されています。低圧水素コラボ実験室には，11の実験ブースが設けられ，各ブースに排気フード，水素検知器，水素ガス緊急遮断弁などを設置し，1 MPa 未満の水素ガスを用いた実験を安全に行うことが可能です。さらに，センターの隣には，水素暴露実験棟，水素材料強度実験棟を設けており，より高圧（100 MPa 未満）の水素環境下での材料強度試験を行うことができます。

7-2 公益社団法人水素エネルギー製品研究試験センター¹⁴⁾

現在，水素エネルギーの実用化に向け，産業界において研究開発・製品開発が活発に進められています。

しかし，開発された製品の性能・信頼性を評価する第三者機関が国内に存在しないため，自社製品の性能・信頼性を客観的に証明することができず，中小・ベンチャー企業等が新規参入する際の妨げとなっていました。

当センターは，このような中小・ベンチャー企業等の新規参入の阻害要因を解消するための機関として，福岡県が中心となり平成21年3月6日に設立されました。

当センターは，水素関連製品の性能や信頼性を評価する第三者機関として，中小・ベンチャー企業等の研究開発・製品試験を支援することにより，水素エネルギーの実用化，水素エネルギー新産業の育成を推進していきます。



図39 水素エネルギー製品研究試験センター外観

7-3 一般社団法人日本自動車研究所

一般社団法人日本自動車研究所の活動の一例を，ホームページから引用し，7-3-1に示します¹⁵⁾。

7-3-1 自動車用圧縮水素容器等の安全性評価

自動車用圧縮水素容器や水素供給インフラの安全基準の国内規制の適正化，国際基準調和および国際標準化に資する研究を行っています。具体的には，国際的に審議される水素容器の樹脂製ライナーの劣化や圧力サイクル試験後の破裂圧力に関するデータを取得するとともに，水素充填時における充填ノズルなどの水結・固着現象や，燃料電池バスや二輪車用の水素容器へ安全に水素を充填するための充填プロトコルの検証試験などを行い，適正な試験法策定に貢献しています。



図40 水素充填時の充填ノズル水結・固着試験

8. おわりに

太陽電池，リチウム電池，水の電気分解装置，水素タンク，燃料電池等からなる初歩的な自立式再生エネルギーシステムの構築できた。水素の貯蔵技術の例や，自立エネルギーのシステムの例を参考にして，今後のシステムの改善に役立てる予定である。

水素関連の試験設備を持つ施設の一例を参考にして，現在，水素のシステム等の試験を参考して，新しい水素関連機器を検討していきたいと思います。

文 献

- (1) <http://www.env.go.jp/earth/zoning/index.html>
- (2) https://www.toshiba.co.jp/about/press/2016_03/pr_jl1402.htm
- (3) http://www.enecho.meti.go.jp/category/resources_and_fuel/distribution/sskasochi/
- (4) <http://www.cic-solar.jp/info/2017/0403095327.html>
- (5) https://unit.aist.go.jp/rcpv/ci/about_pv/principle/principle_4.html
- (6) <http://www.iwatani.co.jp/jpn/h2/battery/structure.html>
- (7) https://panasonic.biz/appliance/FC/construction_02.html
- (8) <https://www.tigoenergy.com/ja>
- (9) <http://www.pref.yamaguchi.lg.jp/cmsdata/b/6/1/b619e9f36f53d207b9445220a494d539.pdf>
- (10) http://www.iee.jp/wp-content/uploads/honbu/03-conference/data-31/symp_160224/doc04.pdf
- (11) http://www.toshiba.co.jp/about/press/2017_04/pr_jl1701.htm
- (12) <http://www.fujielectric.co.jp/products/smartcommunity/example/index.html#efforts01>
- (13) <http://h2.kyushu-u.ac.jp/infra/index.html>
- (14) <https://www.hytreco.jp/>
- (15) <http://www.jari.or.jp/tabid/103/Default.aspx>