

地球環境に優しい水素エネルギーの実用化に関する取組

－民生利用が可能な小規模水素発生装置の開発－

神奈川工科大学工学部機械工学科・水素&水素エネルギー研究室
地球温暖化防止コミュニケーター・准教授・工学博士 矢田 直之

1. はじめに

近年世界各国で報告が相次いでいる異常気象や大規模自然災害の原因は、地球の温暖化にあるとされている。また、地球温暖化の要因として指摘されているのが二酸化炭素（CO₂）をはじめとする温室効果ガスの放出量の増加である。温室効果ガスの中でも、最も地球温暖化に悪影響を与えているものはCO₂であるが、この排出量の増加と我々の豊かな暮らしとは極めて密接な関係がある。

地球全体で我々が使用しているエネルギーの約6割は電力であり、その電力の約7割は火力発電によって生産されている。その火力発電では、石油、石炭、天然ガスなどの化石燃料を燃焼させて水蒸気を製造し、その水蒸気がタービンを回して発電するため、必然的に電力の生産はCO₂を大量に排出することになる。

CO₂を排出しない発電方法としては、太陽光発電や風力発電などの自然エネルギーを利用した発電方法の普及が広がっているが、化石燃料を燃焼させることでCO₂を排出する火力発電の割合は依然として高いままである。また、化石燃料の燃焼は、我々の生活において電力以外のエネルギー源としても非常に多く活用されて

おり、燃料として化石燃料の使用量を減らすことはCO₂の排出量を削減する一番の近道であるとも言えよう。

2. 農業用温室の水素燃焼による暖房実験

我々の研究グループ（神奈川工科大学・水素&水素エネルギー研究室）では、化石燃料に替わる新しい燃料として、燃焼してもCO₂を発生することがない水素に着目し、10年以上前からその有効性について実験的研究を継続している。

水素の燃焼に関する最初の実験は、都内の韓国系の企業が、水素発生装置および燃焼器の性能計測を依頼してきたことが切っ掛けである。すなわち、農業用温室の冬期の暖房装置として、重油炊き加温器の代替設備として使用の可能性を検討して欲しい、ということで共同研究として始まった。

実験は、岡山県鏡野町の山田養蜂場ミツバチ農園のイチゴの温室をお借りして実施した。実験準備中に生じた水素発生装置の不備や技術的なアクシデントなどで、実験が行えた期間は約10日間と短かったが、水素を発生させて燃焼させた温室が重油を燃焼させて暖房した温室と同等以上に暖房が可能なが確認できた¹⁻³⁾。

その後、スポンサー企業の撤退などがあり、この水素燃焼を利用した技術の実用化は頓挫していたが、2014年に再び静岡県袋井市のメロン農家の協力で、水素燃焼による中型農業用温室（約50坪）の暖房実験を改めて行った。その際の実験装置の概略を図1に示した。



図1 静岡県における実験装置概略

静岡県での実験で使用した水素発生装置（図中A）は、中国製の機械を日本の業者が国内で使用可能なように電源部分に改良を加えたものであった。すなわち実験では、温室内に設置した水素発生装置を稼働させて、それから生成される水素および酸素を図中Fに示した燃焼器に導いて燃焼させ、温室内を加温させることを行い、その時の温度や湿度の時間的な推移および水素発生装置が消費した消費電力量を計測した。

図2にはその時の実験において燃焼中の水素の様子を示した。



図2 燃焼中の水素

の様子を示した。水素は単に空気中に存在する酸素と結合して燃焼する際には微弱な炎しか発生しないが、この実験のように酸素を水素の約50%の量を供給して燃焼させると、十分に暖房に寄与

することが可能な火勢を得ることができる。

このときの実験結果および（独法）農業・食品産業技術総合研究機構が提供している温室暖房燃料消費試算ツールを用いて算出したシミュレーション結果を比較した表が図3である。

経済的な効果				
	CO ₂ emission by combustion	Power consumption (CO ₂ emission)	Total CO ₂ emission	Running cost
Hydrogen-fueled heaters	0 kg	8,393 kWh (4,331 kg)	4,331 kg	147,215 JPY
Heavy fuel oil heaters	17,613 kg	2,087 kWh (1,077 kg)	18,689 kg	605,347 JPY
Reduction	100%	-302%	76.8%	75.7%

図3 水素加温と重油加温の比較

図3においての算出条件としては、暖房使用期間を11～3月までの5ヶ月、暖房時間を午後6時～翌日午前7時までの13時間、電力料金を1kWhあたり17.54円（中部電力管内）とした。図3から明らかのように、50坪の温室を暖房する場合に水素燃焼を用いた場合は、重油炊き加温器を使用した場合に比較して、そのコストは70%以上削減が可能であり、水素発生装置に使用する電力を自然エネルギーに求めることにより更なるコスト削減が期待できる⁴⁾。

3. 水素燃焼暖房の問題点

今回の実験により、水素燃焼による農業用温室の暖房が十分可能であり、かつそのランニングコストも重油暖房に比較して大きなメリットがある。しかしながら、問題点もいくつか存在する。第一の問題点は、水素発生装置の信頼性である。我々の研究グループでは岡山県での実験、静岡県での実験と2カ所で水素燃焼による暖房実験を行ったが、いずれの実験で使用した水素発生装置も実質海外製（国産製品として購入したが実際には岡山で使用したものは韓国

製、静岡で使用したものは中国製)であり、いずれも実験を開始するまでには、様々なアクシデントが発生した。すなわち、工業用プラントレベルの大型水素発生装置は、本当の日本製品が主流をなしているが、本研究で使用したような中型以下の水素発生装置は、価格が非常に高価であることもあり、ほとんど国産の製品が存在しないため、その品質も不安定なことが大きな問題点であることが判明した。さらに、前述のように水素燃焼を暖房に利用すること自体は環境面ではCO₂の排出抑制、経済的にもランニングコストの低減と大きなメリットがあるが、従来の暖房装置または温室用加温器の代替機械として投入するためには、それなりの初期投資が必要であり、そのインシヤルコストの削減も今後の課題の一つである。しかしながら、安全で信頼性の高い水素発生装置が開発・供給されることは、地球温暖化を防止するための水素・水素エネルギーの活用第一段階であることには変わりがない。

そこで我々のグループでは、工科大学の機械工学科というメリットを活かして、小型の水素発生装置の開発・製造を目指すことにした^{5,6)}。

4. 新たな水素発生装置の開発

新たに小型の水素発生装置を開発するに当たり、以下の点に配慮して開発・設計を行った。

まず1点目は、水素を水の電気分解により生成することである。工業的な水素の生成方法としては、鉄の製錬工程の副産物として排出する水素を利用することが、最も安価で大量に生成されるとされているが、我々の研究グループでは、農作物ひいては人体への影響も考慮して、水の電気分解による水素生成にこだわった。水の電気分解により水素を大量生成する方法としては、岡山県で使用した水素発生装置(韓国製)のように、その効率を高めるために触媒剤とし

て水酸化カリウムなどの強アルカリ溶液を使用する方法が一般的である。しかし強アルカリ溶液は、言うまでも無く劇物であり、その取り扱いにはかなりの熟練を必要とする。そこで我々のグループでは、農家ばかりでなく一般家庭でも安心して使用可能な純水を原料とした水素発生装置の開発を行った。

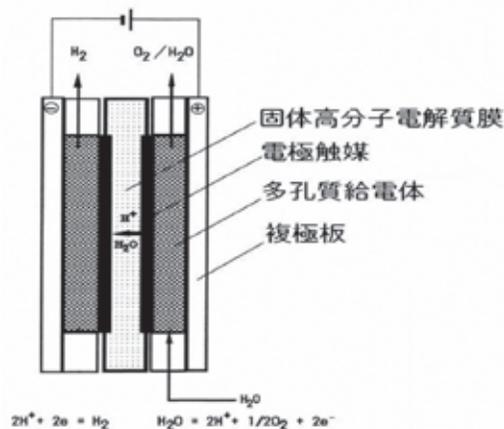


図4 固体高分子膜水電解法

図4にはその原理である固体高分子膜水電解法(PEM法)の原理を示した。

この方法では、水素と酸素を固体高分子膜により確実に分離することが可能であり、かつ電極の表面積を増やすことでアルカリ溶液を使用しなくても十分な水素の発生量を確保することができる。

もう1点は、2つの海外製水素発生装置とともにアクシデントが発生した、水電気分解セルへ直流電流を供給する電源装置の新たな開発である。岡山県や静岡県で実験を行った際に発生したトラブルの多くは、水を電気分解する過程における電源装置におけるトラブルであった。そこで我々のグループでは、国内DC電源メーカーと共同で、新たな装置で使用する電解セルに適した専用電源を開発することに成功した。

このような方針で開発した、独自の水素発生装置の試作機の内部が図5である。

図5において、試作機は2層に分かれており、

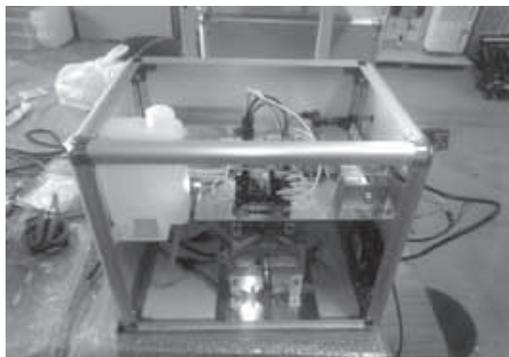


図5 試作機の内蔵

下層の中央に見える円盤状の金属部品がPEM方式による水の電気分解セルである。左側の白いポリタンクは原料である純水のタンクであり、その容量は900 mlである。上層には電源装置や圧力スイッチ、タイマーなどの各種安全装置を設置し、万一の水漏れの際にも電気部品に水滴がかからないように配置を工夫した。図5から明らかなように、開発した水素発生装置は故障のリスクを低減するために、電子基板等の使用を回避し、基本的にはセルやセンサーと電源をケーブルで結線する構造とした。こうして試作した小型水素発生装置の外観を図6に示した。



図6 試作した小型水素発生装置

試作した水素発生装置の完成は、2013年であったが、それ以来いくつかの改良を加えて現在では図7に示すような量産化モデルを開発し、学生ベンチャー企業(株)M&Kテクノロジー⁷⁾が、安全で小型の国産水素発生装置としてユー



図7 量産化モデル

ザーに供給している。

図7に示した量産型のモデルは、水素発生量が1分間で約500 mlと、暖房を目的とする水素燃焼のためには発生量が不足

しているが、良質な水素を安全に確保したいというユーザーには好評を博している。導入していただいた実績としてはアンチエイジングを目指す美容サロンや医療機関、水素水の農業への応用を目指している農家やアトピー持ちのお子様をお持ちの一般家庭など、幅広い分野にわたっている。なお、量産化モデルも発表してから3年目になるが、今まで1台も故障が発生していないことも、本水素発生装置の特長としてあげることができる⁸⁻¹¹⁾。

5. これからの水素・水素エネルギー研究

東日本大震災による福島原発の事故により、水素爆発が着目されて、水素=危険な物質というイメージが定着していたが、昨今の水素ブームのため水素自体の危険な物質というイメージは払拭されつつある。水素水はその効用の疑問性も指摘されているが、水素自体は、その直接吸引が先端治療として厚生労働省に認可される¹²⁾など、今後の展開が期待されている。

また水素を燃焼させること自体は、初等教育の理科教科書にも記されているように周知の技術であり、その燃焼自体は地球温暖化の原因物質であるCO₂を排出しないことから、地球環境をこれ以上悪化させないためにも、水素および水素エネルギーを活用する技術は、我々人類にとって不可欠な技術であると考えられる。

図7で紹介した小型の水素発生装置は、水素燃焼のための水素供給装置としては、水素生成能力が小さく不十分であるが、この装置のノウハウを活用して現在我々の研究グループでは、静岡県で実験を行った際に使用した中国製の水素発生装置と同規模の装置の開発・製作に着手している。そして2017年冬期には、新たに製造した国産水素発生装置を使用して燃焼試験および農業用温室の暖房実験を計画している。また、同時並行で加湿と暖房が1台の機械で実施可能な水素燃焼小型暖房機の開発も現在計画中である。

水素は、燃料電池の原料や水素自動車の燃料として大規模に生成・供給するだけのものではない。本研究のように、より小規模の水素発生装置に関しては、使用する場所においてオンサイトで発生・使用する方が、輸送・貯蔵の安全性やエネルギー効率的にも好ましいことは言うまでもない。人類の生活圏が当分の間地球の表面から外部に出る可能性が低い（宇宙空間へ人類の生活圏が広がる可能性が低い）ことを鑑みると、現在の地球環境を可能ならば良くすること、最悪でもこれ以上地球環境を悪化させないことは、これからの技術者にとって将来の人類および生物に対して重大な責務と言えよう。そのため有効な方策の一つが水素・水素エネルギーの活用にあると言っても過言ではあるまい。

参考文献

- 1) 日刊工業新聞, 平成21年4月16日(木) 第20605号, p.21 (2009).
- 2) 化学工業日報, 平成21年4月20日(月) 第21594号, p.4 (2009).
- 3) Naoyuki Yada and Takeshi Yamazaki, Proceedings of Renewable Energy 2010 (RE2010), P-Hf-28, Yokohama (2010, /27-7/2).
- 4) Mika MITSUI, Naoyuki YADA, Yutarou

JOUKURA and Hiro YOSHIDA, International Workshop on Environment & Engineering 2014 (IWEE 2014), 421 (2014).

5) 矢田直之, 第3回創・蓄・省エネフォーラム, 2013年7月19日, 相模原市(サン・エールさがみはら).

6) 矢田直之, 2015年度桐蔭学園フロンティアセミナー, #407, 2015年9月27日, 桐蔭学園高等学校(横浜市).

7) 2016(平成28)年2月18日~19日, 「川崎国際環境技術展2016」, とどろきアリーナ.

8) 株式会社M&Kテクノロジー
<http://www.mk-teck.co.jp> (2017).

9) 2016(平成28)年7月6日~8日, 「第29回先端技術見本市 テクノトランスファー in かわさき2016」, かながわサイエンスパーク(KSP).

10) 2016(平成28)年10月19日~20日, 「第5回ふくしま復興 再生可能エネルギー産業フェア2016」, ビッグパレットふくしま.

11) 2017(平成29)年2月16日~17日, 「川崎国際環境技術展2017」, とどろきアリーナ.

12) 厚生労働省ホームページ (2017).
http://www.mhlw.go.jp/file/05-Shingikai-1080100-0-Iseikyoku-Soumuka/0000125069_2.pdf#search=%27%E5%8E%9A%E7%94%9F%E5%8A%B4%E5%83%8D%E7%9C%81+%E5%85%88%E7%AB%AF%E5%8C%BB%E7%99%82B+%E6%B0%B4%E7%B4%A0%27