

# 燃料電池・水素そして直流を包括する エネルギー変換研究室の紹介

岩崎 和市

筑波大学大学院 システム情報工学科

〒305 茨城県つくば市天王台1-1-1

## 1. はじめに

本書では、筑波大学大学院 システム情報工学科 エネルギー変換研究室の研究開発概要を述べる。そして当研究室研究開発内容の一つであるカーボンニュートラル対応エネルギー開発実験・実証試験（直流－水素ネットワークシステム）について紹介する。また研究室の雰囲気を理解して頂くために学生が主体として行っている年間のイベントなどについて紹介する。更に当大学の特徴について付言しつつ今後の研究開発とその応用展開そして大学教育に関する抱負について述べる。

## 2. 研究開発活動内容の概要

筑波大学大学院 システム情報工学科 エネルギー変換研究室の研究開発内容は概ね次の範囲をカバーしている。

”化石燃料から脱却するエネルギー技術を確立するために、地域の自然から得られるエネルギーを最大限に利用しつつ、使い手のニーズに応えられる信頼性を兼ね備えたシステム開発を進めている。具体的には、各種分散型電源を直流で連系するとともに藻類バイオマス起源等の純水素ネットワークを適用して、付加価値が高く経済性に優れた環境時代に相応しいエネルギー供給技術を開発する。”

研究内容はこうしたエネルギー供給システムと要素技術に対応するもので多岐にわたっている。例えば現在進行中の研究内容の一例として下記内容等が挙げられる。

- ①カーボンニュートラル対応エネルギー開発実験・実証試験
- ②「環境省地球温暖化対策技術開発等事業（神戸製鋼所との共同研究）」

改質器と水素貯蔵合金の間にCO吸着除去器を導入することによって改質ガス中のCOを取り除けるCOA-MIB（水素の精製・貯蔵プロセス）法に関する実証試験

- ③「NEDO蓄電複合システム化技術開発（日揮との共同研究）」
- ④太陽光発電の余剰電力活用によるCO<sub>2</sub>排出量削減にむけた電気自動車の新規充電方策
- ⑤変動電力需給調整用高効率キャパシタ・バッテリー蓄電複合システムの制御手法検討
- ⑥水素発生のための液体アンモニア電気分解の電極材料に関する研究
- ⑦Liイオン電池のカソードの表面修飾効果に関する研究
- ⑧リバーシブル型燃料電池のカソードの拡散層におけるチタン合金の効果
- ⑨蓄電と水電解水素貯蔵を併用する系統非依存型電源システムの容量計画および制御方法の確立
- ⑩住宅地域におけるエネルギーネットワークを基調とした水素エネルギーコミュニティの形成方策と環境負荷低減効果

まず最初に当研究室の研究にも関係が深い燃料電池に関するわが国の技術進展について簡単に復習する。家庭用燃料電池は2009年にエネファームと命名され商品化された。家庭用燃料電池は2001年に、燃料電池自動車（FCV）と共に水素で発電する家庭用燃料電池の実用化を目指して国家プロジェクトとしてスタートした経緯がある。当時家庭用燃料電池に必要な水素供給インフラが無く、水素配管に関する基準の整備もなかった。そこで将来的には純水素を供給するためのインフラが整備され純水素型燃料電池が普及するであろうという前提で既にインフラが整っている都市ガス、LPG、灯油を燃料とする改質型燃料電池の実用化が望まれた。こうした

背景からガスや石油などのエネルギー会社とメーカーが国プロに参画し実用化を目指した。エネファームは様々な家庭に独立に納入され運転されている。各家庭の電力消費量、お湯の使用量についてはバラつきがあり一次エネルギー削減量等で代表される各家庭のメリットにバラつきがある。図1.に示す如く、1日当たり一次エネルギー削減量は1日当たりの熱需要と電力需要に左右される<sup>2)</sup>。このことはエネファームの技術面や運用面での課題となっている。

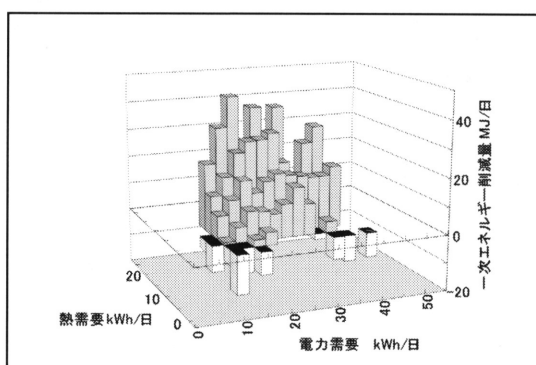


図1. 一次エネルギー削減量、熱需要、電力需要の関係<sup>2)</sup>

FCVの実用化の時期が5年シフトされた理由もあり燃料電池のブームが過ぎ去り2005年頃より電気自動車 (EV) やスマートコミュニティに関する商品開発、実証試験が盛んになった。一方その頃当大学では文部科学省特別経費「次世代環境エネルギー技術開発研究拠点」により、藻類エネルギー技術開発の国際拠点を作することを目的として、産学独連携および国際連携を推進してきた。環境・生物多様性研究室では、オイル生産効率を一桁増進させることを目的として、科学技術振興機構のCRESTによるプロジェクトを2008年10月より推進している。このプロジェクト (代表：渡邊信教授) は、生物、化学、工学の3つのグループに分け、研究を進めている。またに2010年4月、プロジェクト研究を加速し、さらに日本が国際的役割を果たすため、藻類をベースとした環境エネルギーの国際研究拠点を設置した。この国際研究拠点の工学エネルギー部門として”カーボンニュートラル対応エネルギー開発実験・実証試験 (直流-水素ネットワークシステム)”を並行して進めている。次章で直流-水素ネットワークエネルギーシステムの概要について述べる。

### 3. 直流-水素ネットワークエネルギーシステム

本研究の目的は”再生可能エネルギーを極限まで利用するとともに安定的な電力供給を実現するために、直流連系と純水素供給の二つのネットワークを適用した、低環境負荷、高信頼性、低コストに加え、安全、安心に資する、先進のエネルギーシステムを開発する。”である。

図2.に実証試験の概要を示す。藻を代表するカーボンニュートラルなバイオは炭化水素系燃料であり、改質することにより、水素を製造することができる。この水素製造過程では水蒸気改質法とCOA-MIB法の二種類の装置を設けている。製造された水素を燃料として純水素型燃料電池 (FC) は直流発電する。FCは1kW級低温型2台、10kW級低温型1台、1kW級中温型1台で発電する。直流は家庭向けの100V、そして事業所等向けの400V直流バスに導かれる。PVや風力での発電は直流として100Vクラス、400Vクラスに分けて、それぞれの直流バスに導かれる。水電解装置 (WE) を設け、直流から水素を製造することも可能である。この様に直流連系 (直流ネットワーク) と純水素供給 (水素ネットワーク) の二つのネットワークをFCとWEの二つの装置で結びつけた直流-水素ネットワークシステムは直流と水素の双方向の変換が可能であることを特徴としている。従来のエネルギー供給システムと比較し直流-水素ネットワークエネルギーシステムの優位性を箇条書きとして下記に示す。

- (1) 直流連系では、電圧の調整のみで出入力の方向や大きさを制御できるので、運用での負荷分担調整や制御が容易である。
- (2) 太陽電池などの分散型電源や負荷機器のほとんどは本質的に直流作動であり、電力変換プロセスが削減できるとともに、その分だけエネルギーロスも少なくなる。
- (3) 集中的な純水素製造は転換効率が高く、純水素を直接利用する燃料電池では発電効率と負荷追従性が格段に向上する。
- (4) 多様な燃料でバックアップされる燃料電池の優れた電力需給調整機能を活用することで、出力が不安定な再生可能エネルギー電源の導入を促進でき、コージェネレーションと合わせて相乗的な環境負荷低減が見込める。

(5) 純水素、直流電力、熱のネットワークを構成することで、需要側で平準化とパターン化が進み、供給側の定格出力削減や運用制御の簡素化に繋がる。さらに自律分散制御の付加でシステムのロバスト性が増し、災害発生時等でもエネルギー確保が担える。

統と接続されており、直流連系をすると同時に、各々の直流機器への電圧、電流を行う。

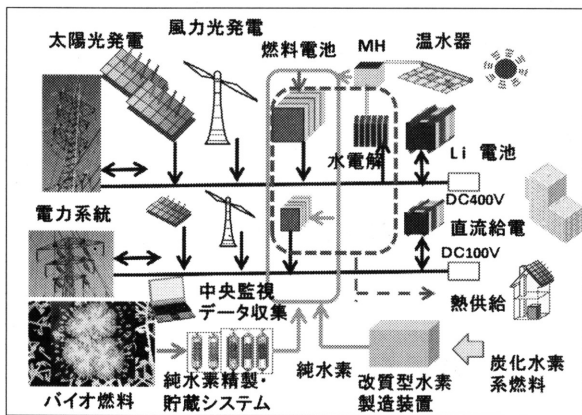


図2. 直流-水素ネットワークシステムの概要図



写真1. 実験・実証設備の俯瞰

写真1. に建設された実験・実証設備の俯瞰を示す。

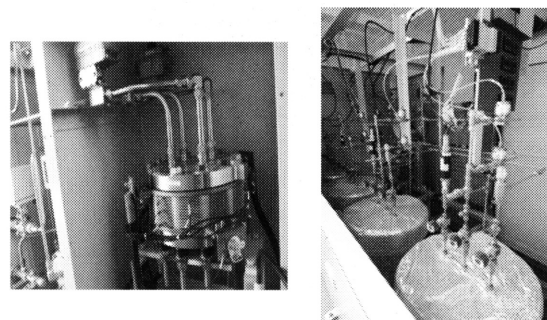


10kW級固体高分子形燃料電池(1台): 発電効率40%(作動温度:80℃)  
 1 kW級固体高分子形燃料電池(2台): 発電効率 40%(作動温度:80℃)  
 1 kW級固体高分子形燃料電池(1台): 発電効率 35%(作動温度:120℃)

写真2. 純水素型燃料電池の概観と仕様

写真2.に固体高分子形燃料電池(FC)の概観と仕様を示す。FCは小規模(家庭)向けとして1kW級、大規模(事業所)向けとして10kW級を設置している。

1kW級FCは作動温度80℃の低温型2台、作動温度120℃の中温型1台を設けている。写真3. に水電解装置のセルスタックと水素貯蔵装置の水素吸蔵合金タンク概観と仕様を示す。太陽光発電や風力発電により得られた直流電力で水電解セルスタックで水素を製造する。この水素を4台のタンク内の水素吸蔵合金で蓄える。タンクへの熱の出入りを調整することで高効率に水素を吸蔵放出することができる。写真4.に改質型水素製造装置の概観と仕様を示す。都市ガスを改質・精製し純水素を製造する。写真5.に、太陽光発電装置と風力発電装置の概観と仕様を示す。太陽光発電装置は小規模(家庭向け)として5kW級、大規模(事業所向け)として15kW級を設置している。風力発電装置は小規模向けとして1kW級、大規模向けは5kW級としている。写真6.にリチウムイオン二次電池の概観と仕様を示す。小規模向けとして5kW級、大規模向けとして15kW級を装置化している。太陽光発電、風力発電はこの二次電池を使用することで安定した直流ネットワークの運用ができる。燃料電池などの直流機器待機電力用としても使用される。直流バスは電力系



水電解セルスタック  
 ・固体高分子形  
 ・効率: 71%  
 ・水素発生流量: 2.0 Nm<sup>3</sup>/h  
 ・水素発生圧力: 0.95Mpa(G)

水素吸蔵合金タンク  
 ・入出力流量: 2.0 Nm<sup>3</sup>/h  
 ・水素貯蔵量: 30 Nm<sup>3</sup>  
 ・水素吸蔵合金: 70kg/台 × 4台  
 (LaNi<sub>5</sub>系合金)

写真3. 水電解装置のセルスタックと水素吸蔵合金タンク概観と仕様

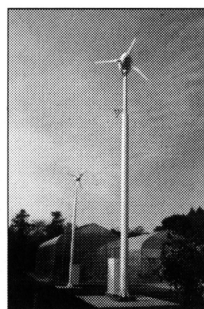


水素製造能力：15Nm<sup>3</sup>/h(公称最大：30Nm<sup>3</sup>/h)  
 燃料ガス：天然ガス  
 水素精製塔(PSA)：3基

写真4. 改質型水素製造装置の概観と仕様

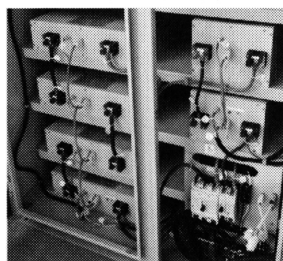


太陽光発電装置  
 ・パネル枚数：84枚、30枚  
 ・太陽電池パネル  
 ①公称最大出力：180W  
 ②単結晶シリコン  
 ③変換効率：13.7%



風力発電装置  
 ・最大出力：4kW(5kW級)  
 :1.5kW(1kW級)

写真5. 太陽光発電装置と風力発電装置の概観と仕様



リチウムイオン二次電池  
 5kW級  
 ①電池容量：2.5kWh ②ユニット数：2ユニット ③セル数：14セル/ユニット  
 1.5kW級  
 ①電池容量：7.5kWh ②ユニット数：4ユニット ③セル数：14セル/ユニット

写真6. リチウムイオン二次電池の概観と仕様

今後、要素研究開発のアプローチとして各々の構成機器個別の運転特性データを取得する。1kW級FC(低温)、1kW級FC(中温)、10kW級FC(低温)、純水素精製・貯蔵システムはまだ市販化されていない。そのため商品化に必要な運転面、性能面、環境負荷低減面、経済性面からの評価と運転データの取得を行う。システム開発の

アプローチとして例えば直流バス(コンバータ)ー水素製造装置ー純水素型燃料電池の組み合わせ連合運転については従来技術には無い。また今後実施する予定のPV、風力、二次電池、水電解、燃料電池、水素製造装置、直流バスの全体組み合わせ連合運転についても初めての試みであり、直流バスでの電圧一定制御との調和された各装置の総合運転の特性把握も実用化に当たって貴重なエンジニアリングデータとなる。更に災害時や停電時を考慮した商用電源から完全に独立した分散電源の実現にあたっては直流ネットワークの運転データを評価しつつ改善内容を整理していく。要素研究開発と直流ー水素ネットワークシステムの全体のシステム複合運転に関する情報を積み重ね、2015年以降の実用化を確実なものにしていく。

#### 4. 研究室の年間イベント紹介

エネルギー変換研究室では学生が主体で高校生等への研究室紹介、ほぼ毎週実施されるゼミの開催、年間のイベントの計画と実施を行っている。本章では当研究室の学生が実施した年間イベントを写真で紹介する。年度の始まりは、当研究室に配属された学部4年生の歓迎会(写真7.)からスタートする。当研究室を選んだ学部4年生がまだ研究に関して手探り状態の頃、そして修士課程2年生の就職活動が活発となり企業の内定が決まる頃、夏期合宿を実施した。2011年度は研究室全員で浅間山登頂を果たした。写真8.に合宿中のバーベキュー大会実施模様、写真9.に浅間山頂上での学生の喜びの表情を示す。運動会、セミナーや、学会が多い秋に大学学園祭が開催される。毎年当研究室メンバーを中心したバンドを編成し学園祭で披露している。学園祭での演奏披露の場面を写真10.に示す。秋も深まった頃当研究室としては初めての試みとして2011年度の芋煮会を実施した。大学から車で20分程した距離の市営屋外バーベキュー会場で素材が異なる3種類の芋に鍋を囲んで、筑波の冷たい空気の中、団欒した。学生や教員が食事をしている場面を写真11に示す。

1年は過ぎ去ると早い。師走の月には忘年会シーズンとなる。当研究室も大学近郊の居酒屋で盛り上がり、二次会に突入する。学生達は芸が達者なのか、場を盛り上げるのが好きなのか、女装したグループが前日に工夫し練習したダンス(踊り?)を披露した。忘年会のダンス



写真7. 新入生歓迎会



写真8. 夏合宿中のバーベキュー  
大会模様



写真9. 浅間山頂上での  
学生の喜びの表情



写真10. 学園祭での演奏披露の場面



写真11. 芋煮会の状況



写真12. 忘年会のダンスの模様

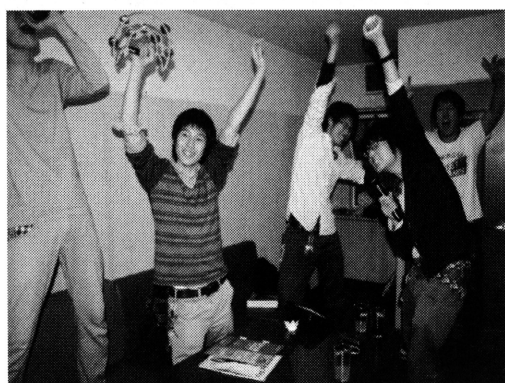


写真13. 忘年会カラオケの雰囲気



写真14. ゲレンデと民宿での夜の団樂の場面

の模様を写真12.に示す。若さは素晴らしい、疲れを知らない学生は二次会のカラオケ会場に向かいエネルギーを発散する。つくば市内のカラオケ会場で、若者に合ったテンポの速い曲に合わせて学生達は仲間と楽しい時間を共有しながらエネルギーを発散する。カラオケ会場の雰囲気を写真13.に示す。

2月には学部の卒業論文が修了する季節である。卒論終了と共に学生達はスキー合宿を楽しむ。2010年度は長野県の戸狩スキー場ゲレンデから眺めた風景と民宿での夜の団樂の雰囲気を写真14.に示す。

## 5. 今後の研究開発と教育活動に関する所見

当研究室で行っている様々なエネルギーシステム開発については、学問のための研究のみではなく、実社会への応用を十分に考慮した積極的な研究開発を実施していく。例えば現在進行している直流-水素ネットワークエネルギーシステムについては、産業界に成果を公表しつつ、2015年度以降の実用化を目指していく。図3.は自動車業界への提案内容である。直流と水素は双方向に変換しやすく密接な関係がある。その特性を生かし、環

境に優しい国際商品としてのEVやFCVに関するインフラ提供、車単体だけではなく車単体を含むロバスト性のローカルエネルギーシステムとして実現させていく。

フィールドを開拓していくオープンマインドで世界の舞台上で活躍している場面を思い浮かべ若者の育成に努めている。

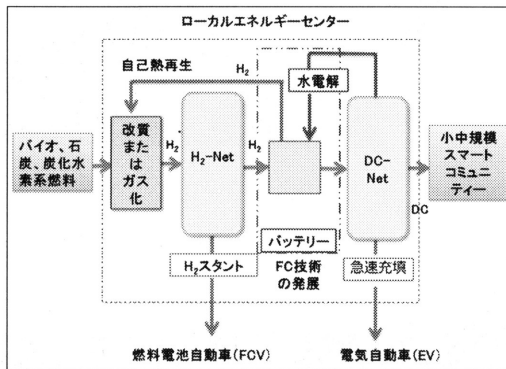


図3. FCV・EV用直流-水素ネットワークエネルギーシステム

筑波大学建学の理念はHP<sup>3)</sup>に述べられている。特徴的な文章を箇条書きにすると

- ①国内外の教育・研究機関及び社会との自由、かつ、綿密な交流関係を深める。
- ②創造的な知性と豊かな人間性を備えた人材を育成する。
- ③国内的にも国際的にも開かれた大学であることを基本的性格とする。
- ④国際性豊かにして、多様性と柔軟性を持った新しい教育・研究の機能及び運営の組織を開発する。
- ⑤諸活動を実施する責任ある管理体制を確立する。

筑波大学は国内の他の総合大学と異なり看護・医療、芸術やスポーツなど他大学が有する殆ど全ての学部学科が学群・学類として広大な一つのキャンパスに集まっている。その特色は全ての学群・学類の学生が参加する学園祭を見ると解る。あらゆる分野の学生が一つの場所でバザーや催し物を楽しむ。写真14は学園祭での芸術専門学群 美術主専攻主体の絵画展示会、写真15は医学専門学群 医学類看護・医療科学類 看護学主専攻の学生による癒し提供のための趣味で習得したマッサージ実演模様を示す。

この様に当大学は他大学と比較して専門分野間の垣根が低く、海外の研究者も多い。こうした特徴を生かし、学生達がまず、自らのフィールドで足場を固めそして成長し、堅苦しい専門分野の垣根を外して新たな価値ある



写真15. 学園祭での絵画展示会



写真16. 学園祭でのマッサージ実演模様

参考文献

1. 岩崎和市 他“1kW級家庭用燃料電池の大規模実証と水素機開発の現状”東芝レビュー Vol. 62No.2 (2007)
2. 岩崎和市, “第1回電池製造技術分科会講演会発表資料”, 日本粉体工業技術協 (2010)
3. <http://www.tsukuba.ac.jp/about/concept.html> (2011)