

# Production- and Utilization-Technology of Hydrogen Aiming at the Hydrogen Energy Society 水素エネルギー社会を目指す水素製造・利用技術



プロジェクトリーダー 塩路昌宏  
京都大学  
大学院エネルギー科学研究科 教授

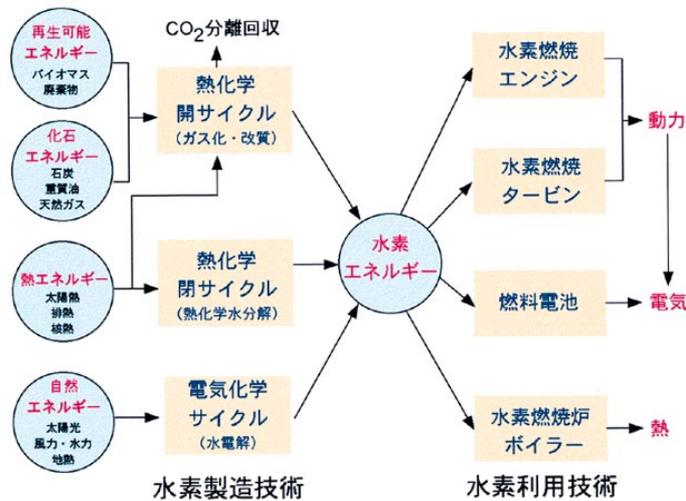
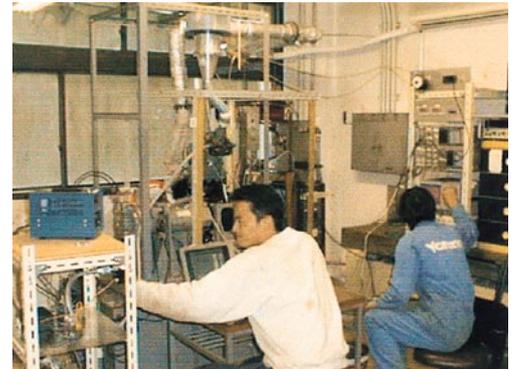


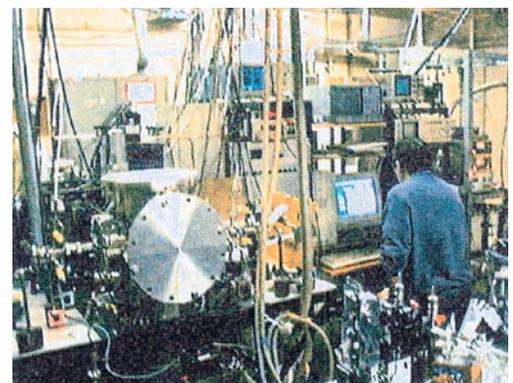
図1 水素エネルギー社会



高速エンジン性能試験



走査型電子顕微鏡観察



ラジカル反応測定  
図2 実験風景

## 1. 研究の目的

21世紀の高度環境保全型社会を構築するには、水素を二次エネルギーとするトータルエネルギーシステムの導入が極めて有望である。本研究では、その実用化のための水素製造・利用技術の進展を図ることを目的とし、従来から進められてきた技術革新の成果と問題点を見極めるとともに、これまでと異なった発想に基づく新技術の萌芽を目指す。

まず水素の効率的利用の観点から、これまでの大規模・集積化の指向に対して、水素のHC・CO<sub>2</sub>無排出急速燃焼特性を積極的に利用できる小規模分散型高性能動力変換システムとしての水素エンジン技術の要件と方法を示す。水素エネルギー社会成立の前提となる水素製造に関しては、とくに実用規模の発生量が期待できる固体電解質水分解、熱化学水分解および炭化水素資源の改質について新技術の提案と応用・発展・実用化を図る。併せて、高性能分離膜の開発による水素高純度化についても進展を目指す。さらに、これら水素製造・利用技術開発の基礎となる高温・高圧反応物性に関するデータベースを構築するとともに、新しい反応機構に基づく水素エネルギー変換過程の最適反応経路設計を行う。

本研究の対象とする水素エネルギーシステムはエネルギーの有効利用と地球規模を含めた環境保全を図るものであり、21世紀社会の基盤エネルギー形態となり得る資質を有する。その意味から、ここで計画している水素製造・利用に関する独創的な新技術の提案とその実現・成果は、エネルギー社会へ直接大きい影響を及ぼすと同時に、新たな理工学技術創生の契機となる。

## 2. 研究の内容

### (1) 急速燃焼高性能水素エンジンの開発

水素燃料は希薄混合気でも安定した着火が確保できる反面、高負荷では過早着火、逆火などの異常燃焼が発生しやすく、出力および運転条件は著しく制約されるうえ、他の気体燃料と比較して比較的熱効率が低い。ここでは、この水素の急速燃焼特性を積極的に利用し、HC・CO<sub>2</sub>フリー燃焼とともに小規模分散型高性能動力変換システムとしてフィージビリティの大幅な改善を図る。そのため、ショートストローク高速エンジンの運転を試み、急速膨張に伴う温度上昇抑制作用によって異常燃焼を防ぐとともに出力低下を補完し、併せて超希薄燃焼および高圧縮比化による高効率化を図る。さらに、水素の特徴的な燃焼特性を最大限に活用し、動力性能を飛躍的に高めるため、Zクランクおよびダブルアクティングの新機構エンジンの開発を試みる。

### (2) 高温水蒸気電解および水素分離・精製に関する新技術

水の電気分解により水素を製造するとき、高温になるほど全エネルギーに占めるエントロピーの寄与が大きくなって理論分解電圧を低くできる。さらに、電気分解の反応速度が大きくなり、分極による過電圧が低下し、電流密度が増加する。したがって、高温で水蒸気の電気分解を行うことにより、高いエネルギー効率で水素を製造することが可能となる。ここでは、この高温水蒸気電解の実用化のための耐熱性高性能混合導電性セラミックアノードおよびカソード、高イオン導電性セラミック電解質からなる電解セルの開発とその大規模集積化について検討し、電力・水素変換の高効率化・高密度化を図る。さらに、水素の高純度化のためのプロトン導電性セラミック分離薄膜の開発およびセラミック複合化を試み、これにより水素分離・精製速度を飛躍的に高める。

### (3) 熱化学エネルギー変換水素製造プロセスの開発と高性能化

太陽エネルギーなどの再生可能なエネルギーあるいは製鉄プラントなどから出る未利用廃熱エネルギーを利用して、熱エネルギーとバイオマス・化石エネルギーから熱化学エネルギー変換により高効率で水素を製造するプロセスの開発を行う。熱化学閉サイクルとしては、熱化学水分解サイクル UT-3 を採り上げ、断熱型充填層反応器による熱効率の向上、高性能水素分離膜の開発、反応物の構造制御およびプロセスの最適設計・最適操作条件を示す。また、太陽熱や排熱を利用してバイオマスや化石エネルギーから水素を製造する熱化学閉サイクルとして、炭化水素資源のガス化・改質反応を採り上げ、その反応機構の解明およびプロセスを提案するとともに、水素熱化学再生燃焼技術を開発する。

### (4) 水素混合気の高温反応物性に関するデータベース作成及び最適システム設計

水素は最も単純な燃料であり、その燃焼反応は典型的な連鎖伝播・分岐反応機構によって説明される。水素反応素過程の詳細については多くの研究があるが、高圧条件下での燃焼反応素過程、とくに爆発第二限界の外側の領域や第三限界近傍の領域での反応素過程には不明な点が多い。ここでは、レーザー光分解・質量分析法および衝撃波管の反射波を利用して高温・高圧状態での水素混合気反応機構を実験的に調査し、とくに水素の着火性に重要なHO<sub>2</sub>ラジカルの反応経路の解明を試みる。併せて、量子化学計算および詳細化学反応理論により速度定数を評価し、圧力依存性について明らかにするとともに、得られた知見に基づいて水素エネルギー変換過程の最適反応経路設計を行う。

## 3. 研究の体制

期間：1997年8月～2002年3月

構成：プロジェクトリーダー1名、コアメンバー3名、研究協力者7名(内ポスドク2名)ほか

実施場所：京都大学エネルギー科学研究科(エネルギー変換科学、エネルギー基礎科学)

東京大学工学系研究科(化学システム工学、機械工学)

徳島大学工学研究科(エコシステム工学)

北海道大学エネルギー先端工学研究センター

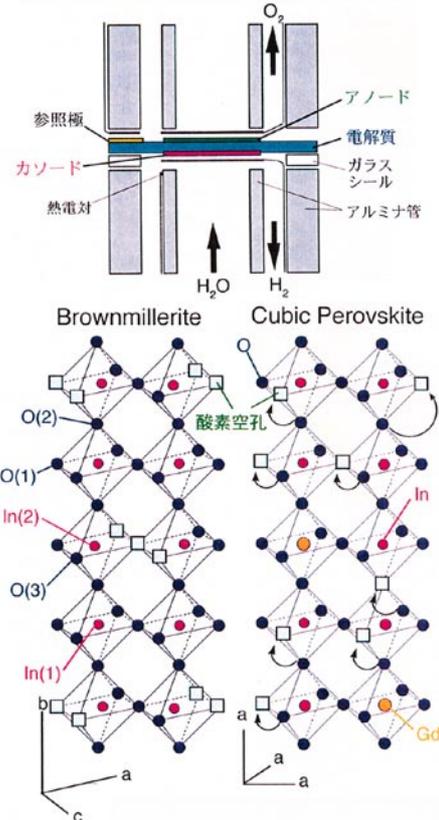


図3 高温水蒸気電解槽単セルの模式図と新規イオン導電性酸化物の結晶構造

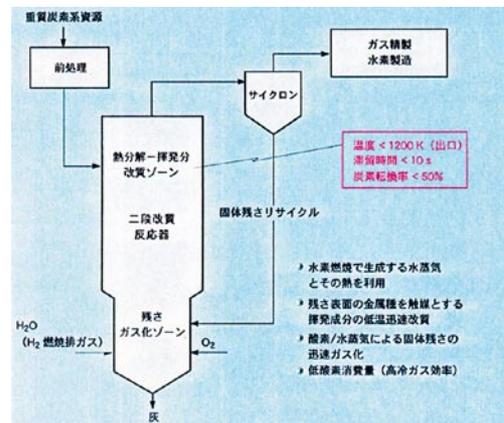


図4 二段改質ガス化プロセス