

ATTAATC A AAGA C CTA ACT CTCAGACC
 CT CTC GCC AATTAATA
 TAA TAATC
 TTGCAATTGGA CCCC
 AATTCC AAAA GGCCTTAA CCTAC
 ATAAGA CTCTAACT CTC GCC
 AA TAATC
 AAT A TCTATAAGA CTCTAACT CTAAT A TCTAT
 CTC GCC AATTAATA
 ATTAATC A AAGA C CTA ACT CTCAGACC
 AAT A TCTATAAGA CTCTAACT
 CTC GCC AATTAATA
 TTAATC A AAGA C CTA ACT CTCAGACC
 AAT A TCTATAAGA CTCTAACT

戦略プログラム
**水素エネルギーシステムの
 分子・イオンテクノロジー**

0100 11100 11100 101010000111
 001100 110010
 0001 0011 11110 000101
 0011 00011111100 0

平成19年3月

00 11 001010 1



独立行政法人科学技術振興機構 研究開発戦略センター
 Center for Research and Development Strategy Japan Science and Technology Agency

001101 0001 0000110
 0101 11

00110 11111100 00010101 011

戦略イニシアティブ：

国として大々的に推進すべき研究で、社会ビジョンの実現に貢献し、科学技術の促進に寄与する

戦略プログラム：

研究分野を設定し、各チームが協調、競争的に研究することによって、その分野を発展させる

戦略プロジェクト：

共通目的を設定し、各チームがこれに向かって研究することによって、その分野を発展させると同時に共通の目的を達成する

エクゼクティブサマリー

燃料電池を中心とした水素エネルギーシステムは高いエネルギー効率を達成するポテンシャルを有しており、研究開発が進められているが、一次エネルギーの採取から消費までのエネルギー効率である総合効率において、既存のシステムに比べ優位性を持つに至っていない。コストや耐久性などの大きな問題にも直面している。

このような背景を踏まえ、当センターでは有識者・研究者による、戦略ワークショップ¹⁾を開催し、水素エネルギーシステムの可能性と課題について検討した。このワークショップにおいて、上記課題の克服には現行技術の延長ではない大きなブレークスルーを要し、燃料電池、水素吸蔵材料内部の反応・劣化メカニズム解明や、それに基づく新材料の探索など基礎物理・化学に立ち戻った研究開発が必要との結論を得た。これらの議論を踏まえ、本プロポーザルでは、以下の研究課題を推進方法も含め提案する。

① 燃料電池内の物理・化学メカニズムの解明と材料探索

- ・燃料電池の触媒電極、電解質膜内での水素（分子、イオン）や、水、触媒元素の移動・輸送・反応と、それに伴う劣化メカニズムの解明
- ・高導電率・高安定性の電解質膜の探索
- ・高活性・高安定性・低コスト触媒電極の材料・構造の探索 など

② 水素貯蔵材料内の物理・化学メカニズムの解明と材料探索

- ・水素貯蔵材料中の水素分子の吸蔵・放出およびそれに伴う劣化メカニズムの解明
- ・高貯蔵密度かつ、貯蔵・放出のための投入エネルギーが小さい水素貯蔵材料の探索 など

③ システム構成材料の挙動を把握する計測技術の研究開発

- ・水素イオン、水分子、触媒、担体、電解質膜の挙動を観測できるIn-Situ可視化技術
- ・水素貯蔵材料の吸蔵・放出時の挙動を観測できるIn-Situ測定技術 など

水素は天然ガスや石炭などの非石油燃料、バイオマスなどの再生可能エネルギーからも製造できることから、特に運輸部門での石油依存度の低減にもつながる。さらに、燃料電池自動車、家庭の給湯・発電コージェネレーションシステム、モバイル機器の電源、再生可能エネルギーの貯蔵など水素エネルギーシステムは幅広い応用が考えられ、実現したときの社会へのインパクトが大きい。上記に示した研究開発によって得られた知見を元に実用化開発がなされることで、初めて実用的な水素エネルギーシステムが実現する可能性がある。

目 次

エグゼクティブサマリー

[1]	提案の内容	1
[2]	研究投資する意義	2
[3]	具体的な研究開発課題	4
[4]	研究開発の推進方法	7
[5]	科学技術上の効果	8
[6]	社会・経済的効果	11
[7]	時間軸に関する考察	13
[8]	検討の経緯	14

[1] 提案の内容

「水素エネルギーシステムのみ分子・イオンテクノロジー」とは、水素エネルギーシステムを構成する燃料電池、水素貯蔵装置などにおける水素の分子、イオン挙動およびそれらと構成材料との相互作用を解明するもので、高効率、低コスト、高耐久性を実現する新規材料、および構造の探索、開発を可能にする基盤技術である。

燃料電池を中心とした水素エネルギーシステムは、高いエネルギー効率やクリーンな排気などのポテンシャルを有し、開発が急がれているが、エネルギー効率、コスト、耐久性などの大きな問題に直面している。

一次エネルギーから水素製造、輸送、利用までを含めたエネルギー総合効率は、他のエネルギーシステムと比べ、優位性を持つまでに至っていない。また想定される用途で要求される寿命やコストを達成できる見込みはたっていない。

一方で、燃料電池の寿命や機能の低下には触媒の凝集や過酸化水素ラジカルによる高分子電解質膜の分解が、また効率には、分極や水素分子・イオンの移動のしやすさや、水素貯蔵装置での水素貯蔵・放出時のエネルギー損失が大きく関与していることがわかってきている。

このような状況を踏まえ、分子レベルの現象解明や、それに基づく新材料の探索、創成、およびそれに必要な測定装置など、以下に示す研究開発の推進を戦略プログラムとして提案する。

① 燃料電池内の物理・化学メカニズムの解明と材料探索

- ・燃料電池の触媒電極、電解質膜内での水素（分子、イオン）や、水、触媒元素の移動・輸送・反応と、それに伴う劣化メカニズムの解明
- ・高導電率・高安定性の電解質膜の探索
- ・活性・高安定性・低コスト触媒電極の材料・構造の探索 など

② 水素貯蔵材料内の物理・化学メカニズムの解明と材料探索

- ・水素貯蔵材料中の水素分子の吸蔵・放出現象およびそれに伴う劣化メカニズムの解明
- ・高貯蔵密度かつ、貯蔵・放出のための投入エネルギーが小さい水素貯蔵材料の探索 など

③ システム構成材料の挙動を把握する計測技術の研究開発

- ・水素イオン、水分子、触媒、担体、電解質膜の挙動を観測できるIn-Situ可視化技術の研究開発
- ・水素貯蔵材料の吸蔵・放出時の挙動を観測できるIn-Situ測定技術の研究開発 など

[2] 研究投資する意義

水素エネルギーシステムは、高いエネルギー効率を達成するポテンシャルを有しているだけでなく、水素という二次エネルギーを用いることでバイオマスなどを始め様々な一次エネルギー利用の可能性が広がる。また燃料電池自動車、家庭用の給湯・発電コージェネレーションシステム、発展著しい携帯電話などの情報端末や、開発が進むロボット技術において二次電池の代替としても利用でき、我が国の産業に大きく寄与する可能性がある。

このように水素エネルギーシステムの重要性、必要性は広く認識されているが、実用化や普及に向けての課題は多い。その中でも、ブレークスルーを必要とする重要な課題として、図2-1に示すように、「燃料電池の劣化」、「高コスト」、「総合効率の低さ」が挙げられる。燃料電池の耐久性は重要な問題であり、運転条件によっては、急速に発電量が低下してしまう。この原因は、主に燃料電池の核心部分である触媒や、電解質膜の劣化によるものである。自動車用、家庭用に用いることを考えた場合、必要とする長時間運転を可能にするだけの耐久性確保は必要不可欠であり、各企業も緊急の課題として取り組んでいる。また1億円近いといわれる燃料電池自動車の製造コストに代表されるように、燃料電池システムのコストや、総合効率で、既存のエネルギーシステムと比べ十分な優位性を持っていない^{*1、*3、*4}などの問題があげられる。

上記の課題の克服が困難となっている背景には、水素エネルギーシステムの要素技術に関する基礎研究の不十分さが上げられる。現在の国内の研究開発投資は、実用化開発の部分に集中している。燃料電池や水素貯蔵材料内での基本的な反応のメカニズムが充分解明されず、また材料の探索、創成などの基礎研究が不足し、既存の不十分な知見、技術をベースに手探りで実用化開発を行っている状況である。現在行われている実用化開発の無駄を排除し、効率よく進めるには、今一度基礎研究に立ち戻り、その成果をもとに開発の方向性を明確にすることが必要である。

本提案は、燃料電池内の触媒反応や、電解質でのプロトン（水素イオン）輸送メカニズムなどを計測、モデル化することで、燃料電池内の劣化原因の解明や対策を目指すものである。触媒や、電解質膜の材料に関しても、幅広く基礎研究を行うことにより、耐久性が高く、かつ高性能な材料開発を目指す。

克服すべきもうひとつの課題である燃料電池のコストは、当初は白金など希少金属を利用する触媒のコストが指摘されていたが、現在では、劣化を防ぐための燃料電池内の補機（センサー等）のコストも重要な要因となってきている^{*2}。電解質膜等が劣化しにくい特定の環境下で燃料電池が運転されるよう各種センサー等で厳密に運転管理を行っているためである。改質器の性能や、電池材料の耐久性が改善すれば、使用条件の幅が広がり、補機が簡略化できることから燃料電池のコストの低減も期待できる。

水素エネルギーシステムの総合効率を大きく下げる要因となっている水素貯蔵に関しても、基礎研究とそれに基づく新たな材料の開発が必要となっている。現在の高圧ガスによる貯蔵は、圧縮の際に多くのエネルギーを必要とする。また水素吸蔵合金などは貯蔵時に

高圧を必要としないが、放出時に加熱を必要とする。総合効率を改善するには、貯蔵時の加圧や放出時の加熱などのエネルギー投入が少ない水素貯蔵材料の開発が不可欠である。現在、水素吸蔵合金などの材料開発が進んでいるが、十分な貯蔵密度を持ち、貯蔵・放出の際のエネルギーロスの少ない材料は開発されていない。無機、有機、または複合材料など幅広い材料における水素の吸収・保持・放出の時の水素の移動、貯蔵材料の分子構造とその変化等を解明し、新材料の探索を進めることで、初めてエネルギーロスの少ない貯蔵装置の開発が可能になると考える。

*1:科学技術の未来を展望する戦略ワークショップ

—水素エネルギーシステムの可能性と課題— 報告書

(研究開発戦略センター報告書CRDS-FY2004-WR-02、平成16年8月)

*2:定置用燃料電池市場化戦略検討会報告書(2005年4月11日)

*3:第四回JHFCセミナー

(http://www.jhfc.jp/data/seminar_report/04/exhibition.html)

*4:JHFC「総合効率検討結果」

(http://www.jhfc.jp/data/seminar_report/04/pdf/06_h17seminar.pdf)

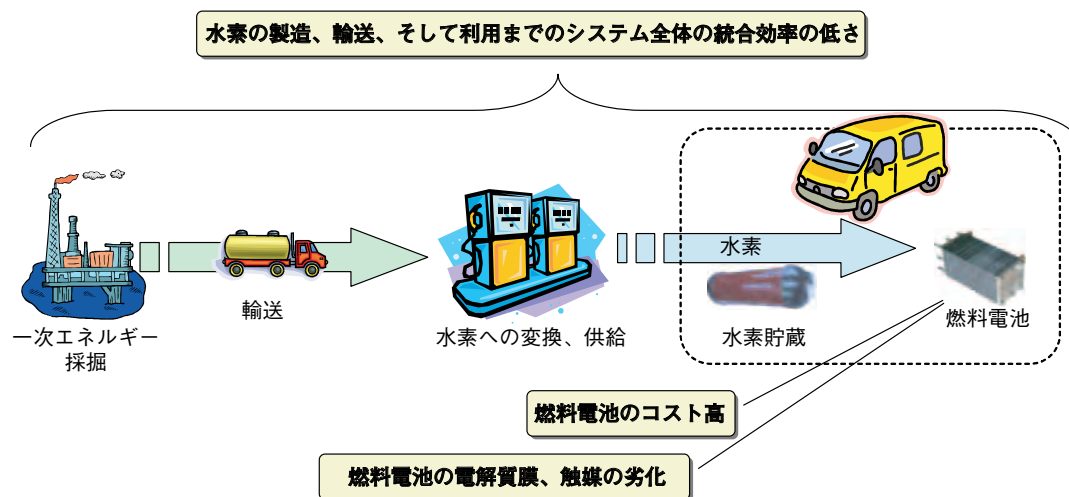


図2-1 水素エネルギーシステムの課題

[3] 具体的な研究開発課題

民間企業での研究開発はもとより公的資金によるプロジェクトの多くは実用化の部分に集中している（図3-2）。本戦略プロポーザルでは、これら既存のプロジェクトで欠けている以下に示すような基礎的・基盤的な研究開発を提案するものである。

① 燃料電池内の物理・化学メカニズムの解明と材料探索

- ・燃料電池の触媒電極、電解質膜内での水素（分子、イオン）や、水、触媒元素の移動・輸送・反応と、それに伴う劣化メカニズムの解明
- ・高導電率・高安定性の電解質膜の探索
- ・高活性・高安定性・低コスト触媒電極の材料・構造の探索 など

代表的な燃料電池であるPEFC（固体高分子形）の中核部品であるMEA（Membrane Electrode Assembly、膜電極複合体（図3-1））内では、水素が触媒電極でイオン化され、電解質膜中を移動し、電極で酸素と反応する一連の物理・化学反応によって発電されている。しかしながら、個々の詳細な反応メカニズムは充分解明されていない。特に水素のイオン化、酸化反応における触媒の挙動、電解質膜中での水素イオンの移動などは充分分かっていない。また燃料電池内の触媒の凝集や溶出、電解質膜の減肉などの劣化が大きな問題となっているが、これらの劣化メカニズムが充分に解明されておらず、対策は手探りの状態である。例えば、電解質膜の水分が不十分であると、性能低下や劣化が起こることがわかっているが、その原因は不明である。このような燃料電池の触媒電極、電解質膜内での水素（分子、イオン）や、水、触媒元素の移動・輸送・反応と、それに伴う劣化の解明を進め、得られた知見に基づき、効率や耐久性改善につながる高導電率・高安定性の電解質膜の探索、高活性・高安定性・低コストの触媒電極の材料・構造の探索を行っていく必要がある。

② 水素貯蔵材料内の物理・化学メカニズムの解明と材料探索

- ・水素貯蔵材料中の水素分子の吸蔵・放出現象およびそれに伴う劣化メカニズムの解明
- ・高貯蔵密度かつ、貯蔵・放出のための投入エネルギーが小さい水素貯蔵材料の探索 など

水素貯蔵材料として検討されている材料としては合金系、有機ハイドライド系、カーボン系などがあげられる。この中でも、リチウムやマグネシウムを用いた金属錯体材料では高い貯蔵密度を有することがわかり、積極的な研究開発が進められているが、耐久性や、吸放出速度の改善、放出の際に熱源を必要とするなど、課題も多い。水素貯蔵材料の多くは吸蔵時に発熱、放出時に吸熱を伴う複雑な反応機構となるため、吸放出、および劣化の反応機構は未解明な部分が多い。また放出速度に強く関係する材料中の水素移動機構も充分には解明されていない。これらの解明には、結晶構

造などを正確に把握できる計測装置や、物理モデルの構築、数値シミュレーション技術などを用いて進める必要がある。水素貯蔵材料の性能を決定するメカニズムを把握することで、高い性能を有する貯蔵材料を効率よく探索することができる。

③ システム構成材料の挙動についての計測技術の研究開発

・水素イオン、水分子、触媒、担体、電解質膜の挙動を把握できるIn-Situ可視化技術の開発

・水素貯蔵材料の吸蔵・放出時の挙動を観測できるIn-Situ測定技術の開発 など

現在、研究開発が停滞している原因に、燃料電池内部の反応状況を把握するための測定技術が不十分であることがあげられる。特に燃料電池の劣化の進行状況を運転中に把握するには電解質膜内の水素イオンや水分の移動、酸素濃度などを、運転を止めることなく観測、可視化する技術が必要になる（In-Situ可視化技術）。また同様に水素貯蔵材料内の水素の貯蔵状態を把握することも貯蔵材料開発には必要である。現在、磁気共鳴画像（MRI：Magnetic Resonance Imaging）や、中性子ビーム、放射光などの可視化技術を用いて、燃料電池内部の水分、水素などの挙動観測や、色素分子が発する蛍光を利用した酸素濃度の計測など、水素貯蔵材料内での反応を計測する試みが行われている。このような研究開発を加速させ、測定技術を確立することが急務である。

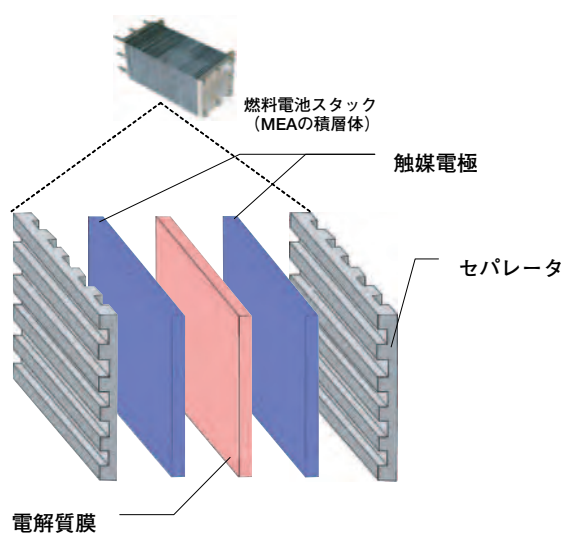
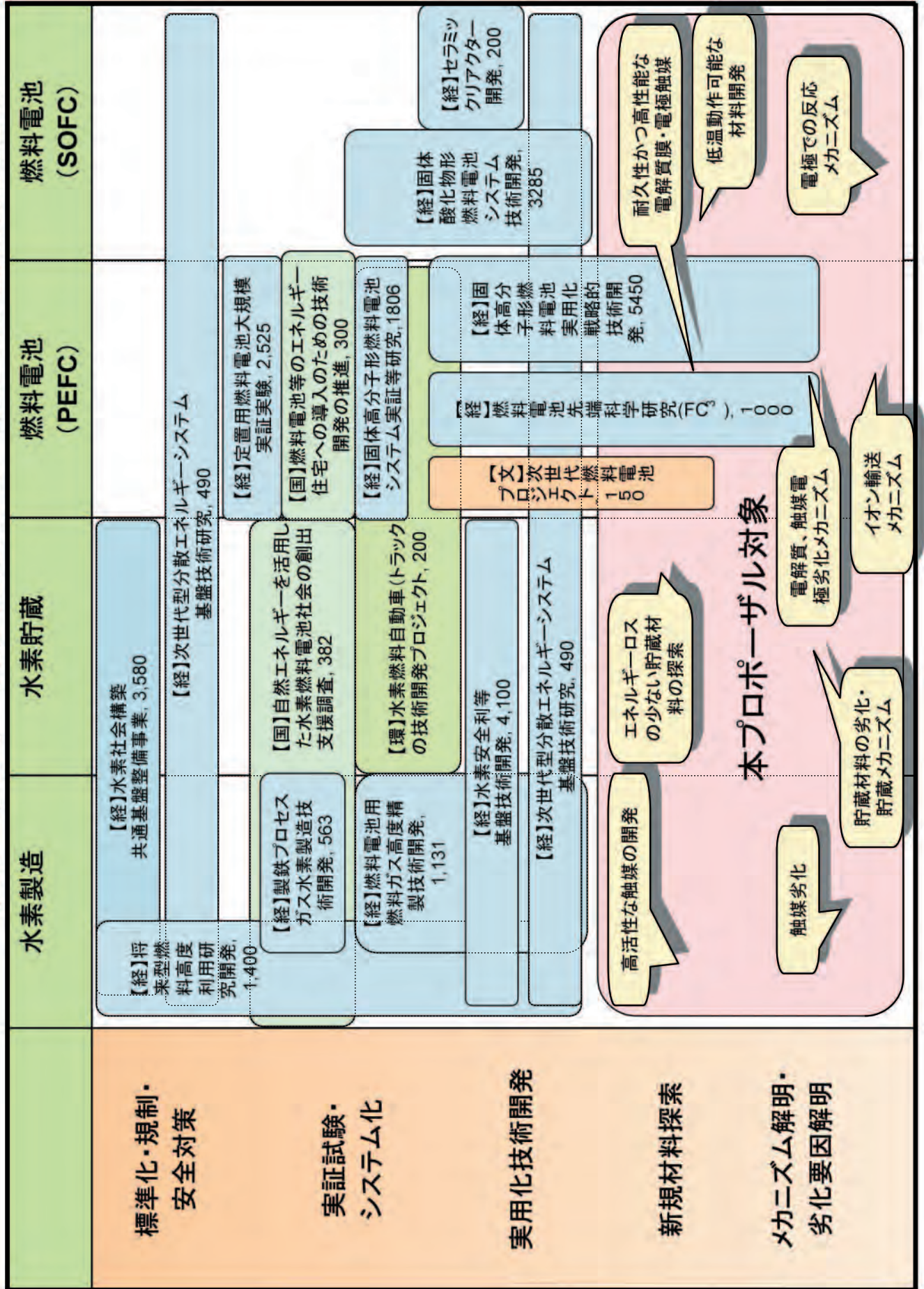


図3-1 燃料電池の構造（MEA）

図3-2 水素エネルギーに関する国の研究開発ファンド一覧

水素エネルギー関連事業(H17) (数字は、平成17年度概算要求額(百万円))



[4] 研究開発の推進方法

本プロポーザルでは、従来、企業を中心とした研究開発では充分に行われなかった水素エネルギー技術の核心部分の物理・化学メカニズムの解明や新規材料探索など基礎研究の推進を提言した。企業での実用化開発が多くの困難な課題に直面しているのも、企業の営利活動の一環として行われる研究開発ではカバーしきれない広汎かつハイリスクの基礎研究が不足しているためである。このことから、従来の研究開発プロジェクトとは異なる推進方法が必要となる。

(1) 物理・化学メカニズムの解明と新規材料開発

現在行われている水素エネルギーシステムの開発を大きく飛躍させるには、水素貯蔵材料の貯蔵メカニズムや、燃料電池の触媒電極上での反応、電解質膜内でのプロトン（水素）の移動メカニズムなど未解明な物理・化学メカニズムの解明と、効率の大幅な改善を目指した幅広い材料開発などを「具体的な研究開発課題」として提案した。これらは広汎かつハイリスクの基礎研究であることから、大学や公的研究機関の研究者等、特に今まで燃料電池の研究に携わってこなかった研究者等を含めた学際的な研究コミュニティによる推進が必要不可欠と考える。公的資金での支援も、このような研究体制の構築を指向する必要がある。また新規材料開発の探索などは、まず幅広い可能性試験（Feasibility Study）を行い、その結果を見て成果が出る可能性の高い研究についてさらに支援を行うような絞り込みを行う研究スキームが必要である。

(2) 測定装置の開発

水素貯蔵材料や、燃料電池内部など直接可視化できない部分での現象を把握、解明するには、測定装置が重要となる。特に燃料電池内部の劣化状況を運転中に把握するためのIn-Situでの可視化技術は必要不可欠である。これらを可能にするには、磁気共鳴画像（MRI：Magnetic Resonance Imaging）、走査トンネル顕微鏡（STM：Scanning Tunneling Microscope）、中性子スピン干渉計、放射光、シミュレーションなど最先端の技術が必要となり、これら最先端の測定技術を研究する研究者、研究機関との共同研究体制をとる必要がある。

[5] 科学技術上の効果

1839年にイギリスのグローブ卿によって発明された燃料電池（Fuel Cell）は、燃料のもつ化学エネルギーを直接電気エネルギーに変換する発電装置である。原理はすでに160年以上前に考えられ、熱力学に依存せず、直接電気エネルギーの取り出しを可能とするこの技術は注目されつつも、実用化は、ごく限られた範囲のみであった。再び燃料電池に注目が集まったのは、1991年カナダのベンチャー企業であったバラード社が、固体高分子膜を用い、小型化、低温動作が可能な燃料電池を開発したことによる。この開発により、自動車や家庭などへの燃料電池の応用の可能性が広がり、その市場規模の大きさから企業を中心に実用化開発への投資が行われている。

しかしながら、固体高分子膜の開発から、十分な基礎基盤を持たずに早急に実用化開発を行った結果、多くの課題に直面し、開発が困難となっているのが現状である。本プロポーザルで期待される科学技術的な成果として以下が上げられる。

(1) 総合効率改善技術

総合効率は一次エネルギー（原油、天然ガス、原子力、バイオマスなど）の採掘から二次エネルギー（ガソリン、ディーゼル、水素など）への変換、配送、貯蔵をへて最終的に自動車等で利用されるまでの全体としての効率をさす（図5-1）。

総合効率が低いことの大きな原因として、化石燃料から水素を製造、貯蔵するまでの効率（Well to Tank効率）の低さが挙げられる。Well to Tank効率の計算の例（*2）によれば、原料の一次エネルギーが持つエネルギーを1とした場合、軽油は0.916、ガソリンは0.839と高い値を持つ（LHVで計算、以下同様）。これに対し水素は、天然ガスから水素製造、圧縮水素による貯蔵（LNG→都市ガス→改質→圧縮による水素貯蔵）をした場合、利用前の段階ですでに0.622と既存燃料に比べ大幅にエネルギーのロスを起こしている。その主な理由は気体である水素を圧縮する際に必要なエネルギーの消費である。液体で運べるガソリン、軽油では輸送・貯蔵でのエネルギーロスはほとんどない。このため、水素エネルギーシステム、特に燃料電池自動車の普及には輸送・貯蔵に向かない水素をエネルギーロスなく、貯蔵・輸送する技術がキーになる。またWell to Tank効率が低い欠点をカバーするだけの高効率な燃料電池の開発も必要であることは明白である。

このような総合効率の大幅な改善には、新規材料の探索が重要である。水素貯蔵においては、圧縮水素や、液体水素ではエネルギーロスが大きく総合効率は大きく下がってしまい、水素エネルギーシステムの普及は難しい。マグネシウム系材料など水素吸蔵材料に貯蔵することが有望と考えられるが、これも水素の取り出しの際に加熱などのエネルギーを必要とするなどの問題がある。このような水素貯蔵でのブレークスルーを行うため、既存の材料系の研究開発だけでなく、新規の水素貯蔵材料を探索する。燃料電池も同様で、効率改善には、高温動作を可能にする電極触

媒、電解質膜の材料探索は重要である。高温動作を可能にすることで、燃料電池内の抵抗減少に伴う効率改善があるだけでなく、高温を水素吸蔵材料からの水素放出の際の熱源として利用するなど考えられ、効率改善につながる。このような大幅な総合効率改善は既存の材料系では困難な見通しである。燃料電池内の未解明な物理・化学メカニズムの解明とともに、それらをベースとした新規の材料探索の基礎研究を積極的に推進することで総合効率を改善する技術が開発できる。

(2) 燃料電池耐久性向上技術

総合効率改善だけでなく、燃料電池の耐久性も大きな問題である。燃料電池を長時間運転することで、表面積を広げるために分散させている白金触媒が凝集、あるいは溶出する現象が発生する。また電解質膜そのものも劣化してしまう。この劣化が進行するメカニズムは未だ十分に解明されていない。現在は劣化が進みにくい運転モードを経験的に蓄積し、劣化が進まないように燃料電池をセンサー等で厳密に管理し運転することで長期運転を可能にしようとしている。しかし、この厳密な制御のために多数のセンサーや流動制御などの補機が必要になり、燃料電池のコスト高の主要因となっているのが現状である。

このように燃料電池の耐久性、コスト高を克服するには、触媒、電解質膜の耐久性向上が必要であるが、そのためにはメカニズム解明が必要不可欠である。重要なメカニズムは、触媒での反応や、電解質膜でのプロトン（水素イオン）の移動、電解質膜での劣化、触媒の劣化などである。これらメカニズムの解明が、既存の研究開発を大きく進めるだけでなく、新規の材料探索を行う上で、重要な情報となる。実用化研究重視の背景の中、企業などでは充分に行われてこなかったが、最近では、大学などでこのメカニズム解明を積極的に行う動きが出てきた。この動きを加速することで、燃料電池の耐久性向上技術が開発できる。

(3) 測定装置の開発

水素貯蔵材料や、燃料電池内部での現象を把握、解明することを目的に、磁気共鳴画像（MRI：Magnetic Resonance Imaging）や、走査トンネル顕微鏡（STM：Scanning Tunneling Microscope）、中性子ビームや、放射光などの量子ビーム利用、シミュレーションなど最先端の技術を利用した装置開発の試みが行われつつある。このような最先端技術を用いた測定方法の確立は、上述した研究開発について新しい知見を得る強力な武器となり、他国との開発競争においても、有利に立つことができる。また、第三期科学技術基本計画のものづくり技術分野においても経験ではなく、その背景の科学を理解したうえでのものづくり、つまり科学に立脚したものづくりを目標とし、それを可能にする計測分析技術などをものづくりの「可視化」技術として戦略的重点科学技術に設定している。

*1:JHFC「総合効率検討結果」

(http://www.jhfc.jp/data/seminar_report/04/pdf/06_h17seminar.pdf)

*2:研究レポート「輸送用燃料のWell-to-Wheel評価 日本における輸送用燃料製造 (Well-to-Tank) を中心とした温室効果ガス排出量に関する研究報告」

(<http://www.mizuho-ir.co.jp/research/documents/wtwghg041130.pdf>)

*3:トヨタ自動車(株)ホームページ 研究・技術

(<http://www.toyota.co.jp/jp/tech/environment/ths2/kankyo.html>)

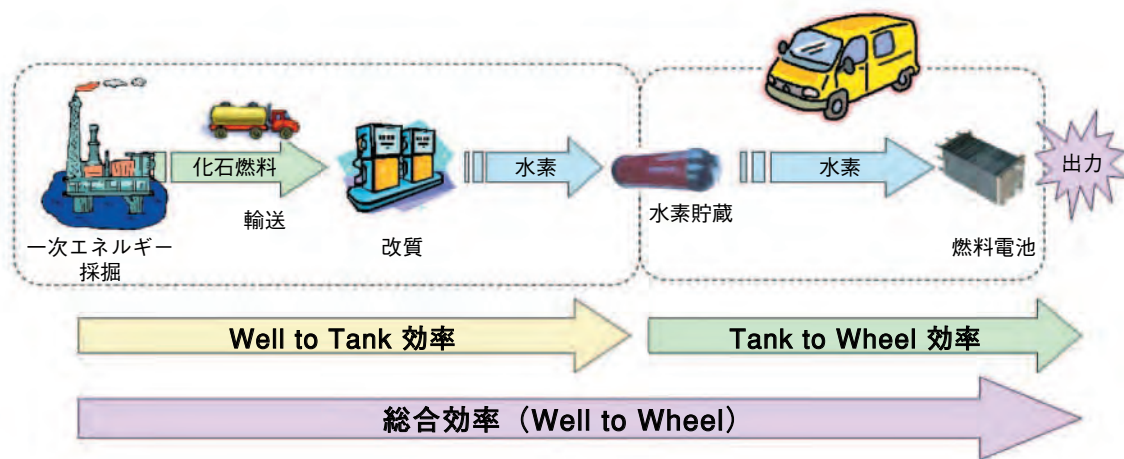


図5-1 燃料電池自動車の総合効率

[6] 社会・経済的効果

本プロポーザルの実施により、水素エネルギーシステムの普及の障害であった効率の低さと耐久性の問題を解決できる。

直接的に電気エネルギーを取り出すことができる水素エネルギー技術は、高いエネルギー利用効率を可能にすると期待されている。特に運輸、民生部門での応用として燃料電池自動車と、家庭において高効率なコージェネレーションを可能にする燃料電池には期待が集まっている。また水素は様々な一次エネルギーからの製造が可能のため、運輸部門で多く使われている石油起源の燃料を比較的温室効果ガスの発生が少ない天然ガスや、バイオマスなどの再生可能エネルギーなどへの置換が可能になることから、環境問題や、エネルギーセキュリティの点から有効な技術となりうる。

水素エネルギーシステムは、今後の我が国の産業競争力強化にも大きく寄与できる技術となる。我が国の自動車製造業の製造品出荷額は、43兆円（2002年、*1）と国内機械工業全体の35%を占め、輸出も12兆5千億円（2004年）と巨額なものとなっており、自動車産業は我が国の基幹産業の地位を築いている。しかしながら海外自動車メーカーとの競争は激しい。現状では燃料電池自動車の研究開発では日本が優位であるが、欧米などではさらなる研究開発の投資を行い、将来の自動車産業の競争力維持を目指している。2003年11月には米国の提案の下、日米欧など15ヶ国による「水素経済のためのパートナーシップ」(IPHE)が発足し、研究開発、基準策定などで国際間の連携をとる動きもあるが、その一方で、米国は“FreedomCAR (Cooperative Automotive Research) Initiative”を2002年1月に発表し、燃料電池自動車開発にむけて国と自動車会社とが積極的に取り組むことを計画し、最近の一般教書演説（2006年1月）でもその推進を明記している。またEUでも次期フレームワークプログラムFP7での重要テーマの一つであるエネルギー分野に水素エネルギー利用技術の推進を明記し、予算も増額する予定である²。その他、自動車産業に限らず、燃料電池を始めとする水素エネルギー利用技術は様々な分野へ応用が考えられる基幹技術となりうる分野であり、広範囲の分野の産業競争力維持に直結する技術となる。

*1: (社) 日本自動車工業会

(<http://www.jama.or.jp/industry/industry/index.html>)

*2: 「水素エネルギー社会に関するヨーロッパ調査報告書」

(エネルギー・資源学会) (平成18年2月)

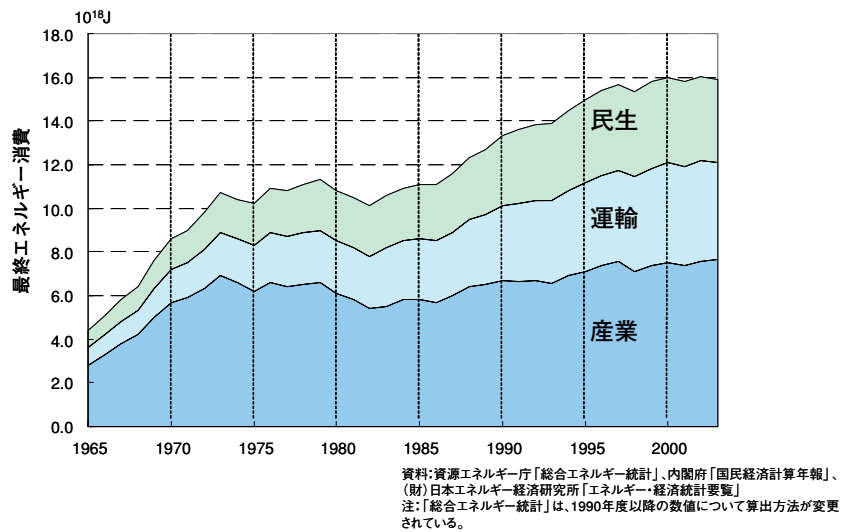


図6-1 最終エネルギー消費の推移

【7】時間軸に関する考察

地球温暖化や、原油価格高騰に直面している現在、水素エネルギー利用技術は早急に実用化が望まれている技術の一つである。多くの企業が早期の実用化を目指して開発を行っているものの、困難な課題に直面しており、普及までには長期かつ、広範囲のハイリスクの研究開発が必要と考えられる。このような研究開発を企業中心の今の研究体制で行うのは困難である。本プログラムで指摘した水素エネルギー利用技術の基礎研究を推進し、10年程度の長期の研究期間を設定する必要がある。このような研究から得られた成果を順次発信していくことで、企業は現在行っている研究開発の方向性を明確に設定することができ、実用化研究を効率良く推進することが可能になる。

[8] 検討の経緯

(1) 科学技術の未来を展望する戦略ワークショップ—水素エネルギーシステムの可能性と課題—

本ワークショップは、水素エネルギーシステムの研究開発戦略の形成に資する事を目的とし、平成16年4月10日、11日に開催した（研究開発戦略センターワークショップ報告書CRDS-FY2004-WR-02）。

本ワークショップでは、水素・燃料電池研究開発の中で特に重要な位置を占める家庭用小型コージェネレーションシステムおよび燃料電池自動車等に使用する固体高分子形燃料電池（PEFC）を対象を絞り、水素エネルギーシステムが定着する上で必要となる具体的なブレークスルー技術とその実現に不可欠な重要研究課題、および、その研究開発の推進方法の明確化を目的に横浜国立大学の太田健一郎教授を代表コーディネータとし、文科省、経産省、NEDOなどの責任者、担当者を含む水素エネルギー分野の有識者25名の参加のもと、「水素製造」、「水素貯蔵・輸送」「燃料電池（水素利用）」「水素エネルギーシステムの評価とまとめ」のセッションを設け、現状の研究についての発表とそれに基づく討論を行った。

水素エネルギーシステムが実用化されるには多くの困難な技術的課題を抱え、様々な技術において大きなブレークスルーが必要であることが指摘された。特に燃料電池車の一次エネルギー消費効率を示す総合効率（Well to Wheel効率）の解析では、燃料電池そのものの効率は比較的高いものの、水素の製造、貯蔵・輸送の際のエネルギー損失が大きく、現状の技術の延長ではエンジン自動車（特にハイブリッド自動車）と比べて効率の面で大幅に優位とはならない。また化石燃料から水素を製造する場合には、ガソリンハイブリッド車に比べ、温室効果ガス排出量（GHG）が多くなる場合もあることなどが指摘された。水素を使用する側である燃料電池の効率改善と共に、貯蔵・輸送の際のエネルギーロスを少なくすることが必要である。また燃料電池の劣化対策は重要な課題であるが、従来のような対処療法的な対策ではなく、劣化のメカニズムの解明など根本的、基礎的な部分の研究開発を進める必要があり、またそのためには燃料電池内部や、水素吸蔵合金内の反応を可視化する計測装置の開発も重要であるとの認識を参加者で共有した。

本ワークショップでは、「総合効率を向上するために必要とされる課題」、および「実用化のためにブレークスルーを必要とする技術」「基礎的、長期的研究課題」の項目について課題を抽出している。抽出された項目の内、特に大学、公的研究機関等で行うことが期待される「基礎的、長期的研究課題」として抽出された課題を以下に示す。

【水素製造】

- ・多様な水素製造についての幅広い視点からの基礎研究

【水素貯蔵・輸送】

- ・ 吸収量が多く、かつ低温で水素放出が可能な新規水素貯蔵材料の基礎研究（吸蔵・放出・劣化メカニズム解明を含む）

- ・ 液体水素のエネルギーロスの低減技術

【燃料電池（水素利用）】

- ・ セルスタック（特に燃料電池システムの最小構成単位であるMEA（Membrane Electrode Assembly）内部）での反応メカニズム、劣化メカニズムの解明

- ・ 現象解明や、性能評価のための測定技術の開発

(2) 水素エネルギー社会に関するヨーロッパ調査（平成17年9月11日～21日）

エネルギー・資源学会では、2004年4月から「水素エネルギー社会に関する調査研究」プロジェクトを発足させ、東京大学 山地 憲治教授を委員長に、24社の参画により調査を実施中である。本プロジェクトの一環で、諸外国の状況を調査するために当センターからの1名を含めた総勢15名の欧州調査団を派遣し、欧州（アイスランド、イギリス、ドイツ、スイス、ベルギー）調査研究並びに情報交流を行い、FCバスの試験運行、水素ステーション爆破実験、バイオマス水素、SOFC開発、およびEU委員会の政策についてヒヤリングを実施し、意見交換を行った。詳細は、エネルギー資源学会「水素エネルギー社会に関するヨーロッパ調査報告書」（平成18年2月）参照。

本プロポーザルは、上記の活動をベースに、国内外の文献調査、有識者・研究者との意見交換、学会等での議論をもとに、CRDSで検討を行いまとめたものである。

戦略プログラム

**水素エネルギーシステムの
分子・イオンテクノロジー
CRDS-FY2006-SP-15**

独立行政法人 科学技術振興機構 研究開発戦略センター
井上グループ

〒102-0084 東京都千代田区二番町3番地

電話 03-5214-7485

ファクス 03-5214-7385

<http://crds.jst.go.jp/>

平成19年3月

©2007 CRDS/JST

許可なく複写・複製することを禁じます。
引用を行う際は、必ず出典を記述願います。

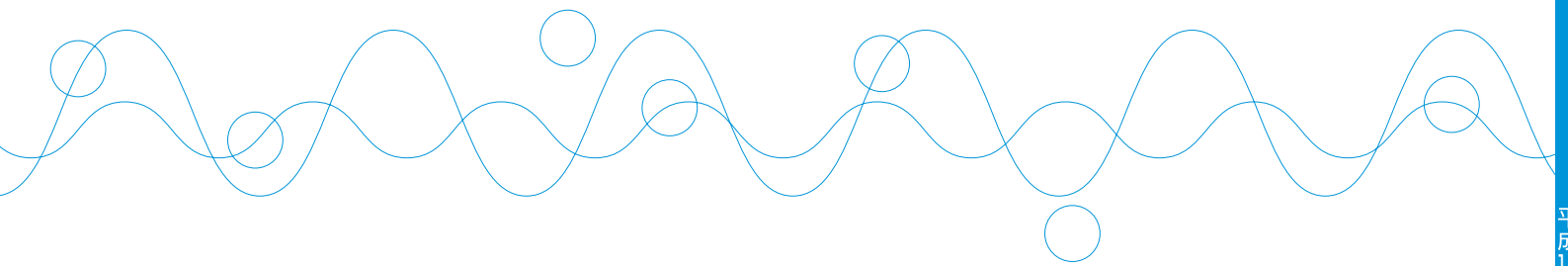
ATTAATC A AAGA CCTAACT CTCAGACC
CT CTCGCC AATTAATA
TAA TAATC
TTGCAATTGGA CCCC
AATTCC AAAA GGCCTTAA CCTAC
ATAAGA CTCTAACT CTCGCC
AA TAATC

AAT A TCTATAAGA CTCTAACT CTAAT A TCTAT
CTCGCC AATTAATA
ATTAATC A AAGA CCTAACT CTCAGACC

AAT A TCTATAAGA CTCTAACT
CTCGCC AATTAATA
TTAATC A AAGA CCTAACT CTCAGACC

AAT A TCTATAAGA CTCTAACT
ATTAATC A AAGA CCT
GA CCTAACT CTCAGACC

0011 1110 000
00 11 001010 1
0011 1110 000
0100 11100 11100 101010000111
001100 110010
0001 0011 11110 000101



00 11 001010 1
0011 1110 000001 001 00001 0111101
0101 000111 0101 00001
001101 0001 0000110
0101 11
00110 11111100 00010101 011