

# 調 査

第 83 号  
(2005 年 5 月)

---

## 内 容

### 燃料電池の現状と普及に向けた課題

世界的なエネルギー需要の増大に伴い、地球温暖化の進展や将来的なエネルギー資源の逼迫が見込まれるなか、水素をエネルギー源とする燃料電池への期待が高まっている。本レポートでは、燃料電池の導入が見込まれる携帯機器用、家庭用、自動車用の3分野についての現状を纏めるとともに、水素供給インフラの動向や海外諸国の燃料電池の取り組みについても触れ、燃料電池の普及に向けた課題を整理した。

# 燃料電池の現状と普及に向けた課題

## 【要 旨】

1. 世界的なエネルギー需要の増大に伴い、地球温暖化の進展や将来的なエネルギー資源の逼迫が見込まれるなか、水や炭化水素などの構成原子として豊富に存在する水素をエネルギー源とする次世代のエネルギーシステムである燃料電池への期待が高まっている。燃料電池は、経済産業省が策定した「新産業創造戦略」（2004年5月）においても、戦略7分野のひとつに掲げられ、現在、定置用（家庭用、産業用）、自動車用、携帯機器用電源として、広範な業界において、実用化に向けた取り組みがなされている。また、総合資源エネルギー調査会需給部会「2030年のエネルギー需給展望（中間とりまとめ）」（2004年10月）では、省エネが進んだケースで、自動車が1,500万台、定置用が1,250万kWに拡大する可能性があるとしている。
2. 燃料電池（fuel cell）は、使い切りの乾電池や、充電により電気をためておく2次電池とは違い、水素や、水素を含んだメタノールなどの燃料を投入することにより、繰り返し利用が可能な発電器といえる。燃料電池は、携帯機器用からオフィスビルや工場用の発電装置としてまで、幅広い分野での導入が見込まれている。既に、産業用のりん酸型燃料電池の製品化が先行したものの、コスト面の課題などから普及は進んでいない。一方、出力は限られるが、常温での作動も可能な固体高分子型燃料電池の実用化に向けた動きが活発となっている。
3. 携帯機器用燃料電池（1～15W程度）は、今後のユビキタス社会に向けて、携帯機器の利用増大に伴う電池容量の一層の拡大ニーズに対応する技術として期待されており、電機メーカーに加えて、携帯電話会社が実用化に向けた研究開発に取り組んでいる。現在、携帯電話やノートパソコンなどの電源として利用されているリチウムイオン電池と比較して、①エネルギー密度を数倍（理論的には10倍、現実的にも3倍程度）に増加させることが可能、②メタノールなどを充填した燃料カートリッジを交換すれば継続使用が可能となり充電時間が不要、などの利点を有している。ただし、主要メーカーでは、将来的には携帯電話への内蔵タイプの導入を目標としているものの、小型化技術の確立には時間を要するとみられるため、従来の二次電池を内蔵し、燃料電池で充電する方式の開発を先行させている。
4. 家庭用燃料電池（1kW程度）は、各家庭で消費される電力の一部を、個々の住宅内に設置した発電システムで賄うとともに、排熱を給湯などに利用することができるため、消費エネルギーの低減およびCO<sub>2</sub>の排出削減が期待されている。2005年2月から都市ガスを利用した家庭用燃料電池のリース販売が開始されたのを皮切りに、3月にはLPGを燃料源とする機器も投入され、さらに灯油タイプなどの開発も進められている。なお、家庭用給湯部門では、これまで省エネの取り組みが遅れていたが、近年、CO<sub>2</sub>冷媒ヒートポンプ電気給湯機（エコキュート）などの新技術製品が投入されており、利用形態に合わせて、燃料電

池を含めたこれらの画期的なシステムを広く導入することにより、省エネ、環境対策面での効果拡大が期待される。

5. 自動車用燃料電池（50～100kW 程度）は、従来型の内燃機関を利用した自動車に比べ、エネルギー利用効率が高く、走行時の環境負荷が小さいなどの利点があり、また、将来の化石燃料逼迫に備えた次世代の有力システムとして期待されている。既に 2002 年から一部メーカーが、燃料電池関連ビジネスへの参入を目指す企業や官公庁などへのリース販売を実施している。近年、ガソリンハイブリット車に関する性能が著しく向上していることもあり、燃料電池車の普及ペースが緩やかになる可能性も考えられるが、現在、主要メーカー各社では、実用化に向けたエネルギー効率の向上やコスト低減、耐久性向上、走行距離延伸などのための技術開発に取り組んでいる。
6. 燃料電池で利用する水素の供給源および供給方法については、出力や用途により大きく異なる。携帯機器用では、メタノールが有力な燃料とされており、小売店などで購入した液体燃料のカートリッジを装着して利用する方法が想定されている。また、定置用（家庭用・産業用）では、水素改質装置を附設することにより、既存インフラを利用して各家庭に配送されている都市ガスや LPG、灯油などから改質した水素を使用できることから、大掛かりなインフラ整備の必要がない。一方、自動車用は、燃料電池を限られたスペースに収納し走行するといった条件を満たすためには、高純度の高圧水素を燃料タンクに搭載する方式が有力とみられている。水素の安定的かつ効率的な製造、輸送および供給のための体制整備が不可欠であり、段階的な取り組みが求められる。
7. 海外においても、燃料電池普及に向けた取り組みが進められている。ヨーロッパやアメリカにおいても、関連企業による技術開発と平行して、水素ステーションの設置やバスによるフリート走行実験など、インフラ整備のための課題抽出やデータ収集とともに、燃料電池の知名度向上のためのプロジェクトが展開されている。また、中国や韓国でも、日本同様に、目標期間を定めた導入計画を策定し、取り組みがはじまっている。
8. 今後の燃料電池の普及にはコストや耐久性など、技術面での課題に加え、各用途分野毎に固有の問題点もあることから、その動向次第で、燃料電池の普及度合いやスピードは大きく左右されることとなろう。携帯機器用では、燃料カートリッジ方式が消費者に受け入れられれば急速に普及する可能性もあり、家庭用では、ライバル機器並みの性能が得られれば導入が進むものとみられる。自動車用では、エネルギー需給・価格、インフラ整備の動向による影響が大きいと思われるが、将来の自動車動力システムとして重要な位置を占めるものとみられる。

京都議定書が発効し、地球温暖化ガス排出削減のための対策強化が求められる我が国にとって、燃料電池の導入は有効な手段であり、早期普及に向けて、技術的な課題解決への対応と合わせ、需要を喚起するための施策が求められる。さらに、クリーンエネルギー社会の実現を目指し、副生水素の有効活用や未利用エネルギー・自然エネルギー活用のための新技術への取り組みに期待したい。

[担当： 國見<sup>くにみ</sup> 寛通<sup>ひろみち</sup> (e-mail : hikunim@dbj.go.jp)]

## 【目 次】

要 旨	2
はじめに	6
第1章 燃料電池とは	7
1. 燃料電池の仕組み	7
2. 燃料電池の効果	8
3. 燃料電池の種類と用途	9
4. 燃料電池の歴史	10
5. 燃料電池の普及見通し	13
第2章 最近のエネルギーの動向	16
1. 世界のエネルギー消費の現状と見通し	16
2. 日本のエネルギー消費の現状と見通し	17
第3章 携帯機器用燃料電池の現状と課題	19
1. 携帯機器用燃料電池市場の動向	19
2. 携帯機器用燃料電池に関する企業の主な取り組み	22
第4章 家庭用燃料電池の現状と課題	26
1. 家庭用燃料電池の特徴	26
2. 家庭用燃料電池の構造	26
3. 家庭部門におけるエネルギー消費の動向	29
4. 家庭用燃料電池に関する企業の主な取り組み	30
5. 家庭用給湯器市場の動向	32
6. CO <sub>2</sub> 冷媒ヒートポンプ給湯機（エコキュート）の概要	34
第5章 燃料電池自動車の現状と課題	35
1. 燃料電池自動車の特徴	35
2. 燃料電池自動車に関する企業の主な取り組み	37

第6章 燃料供給インフラの動向	41
1. 燃料電池への水素供給方法	41
2. 副生水素の動向	42
3. 再生可能エネルギーおよび未利用エネルギー活用への取り組み	45
4. 国内における水素ステーションの動向	45
第7章 海外諸国の燃料電池プロジェクトの動向	50
1. アメリカの燃料電池プロジェクト (CaFCP)	51
2. ヨーロッパの燃料電池プロジェクト (CUTE)	53
3. アイスランドの燃料電池プロジェクト (ECTOS)	55
4. 韓国の燃料電池への取り組み	58
5. 中国の燃料電池への取り組み	59
第8章 燃料電池の普及に向けた課題	61
参考文献	64

## はじめに

世界的なエネルギー需要の増大に伴い、地球温暖化の進展や将来的なエネルギー資源の逼迫が見込まれるなか、水や炭化水素の構成原子として豊富に存在する水素をエネルギー源とする、次世代のエネルギーシステムである燃料電池への期待が高まっている。燃料電池は、経済産業省が策定した「新産業創造戦略」（2004年5月）においても、戦略7分野のひとつに掲げられ、携帯機器用の電源から、オフィスビルや工場用の発電装置としてまで、幅広い分野での導入が見込まれ、産業界でも実用化に向けた取り組みが広がっている。

燃料電池は、1800年代に原理が発見されて以来、人類にとって夢の技術と思われ続けてきたが、ようやく実用化段階まで到達したといえる。日本では、2002年12月に燃料電池自動車のリース販売が開始され、2005年2月に家庭用燃料電池のリース販売も開始された。また、携帯機器用燃料電池も、今年の3月に開幕した愛知万博「愛・地球博」で実際に利用されるなど、普及に向けて期待が高まっている。

しかし、コスト面、耐久性、発電効率等、燃料電池の本格的な普及には技術的課題が数多く残っているとともに、水素供給設備や、水素の流通経路等、燃料供給インフラ面での課題も克服していく必要がある。

そこで本稿は、実用化への動きが急速に進展している携帯機器用、家庭用、自動車用についてそれぞれの現状と普及に向けた課題を整理したものである。また、燃料電池の燃料源となる水素供給のためのインフラ整備の動向や海外諸国の燃料電池の取り組みについても触れている。

全体の構成は、第1章で、燃料電池の概況について、第2章で、燃料電池普及のための前提条件としてのエネルギー全体の動向についてみていく。第3章、第4章、第5章では、燃料電池を携帯機器用、家庭用、自動車用という3つの分野毎にみていく。第6章では、国内における水素供給インフラの動向、第7章では、海外事例を取り上げ、第8章で、燃料電池の普及に向けた課題を纏めている。

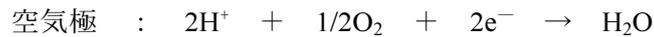
# 第1章 燃料電池とは

## 1. 燃料電池の仕組み

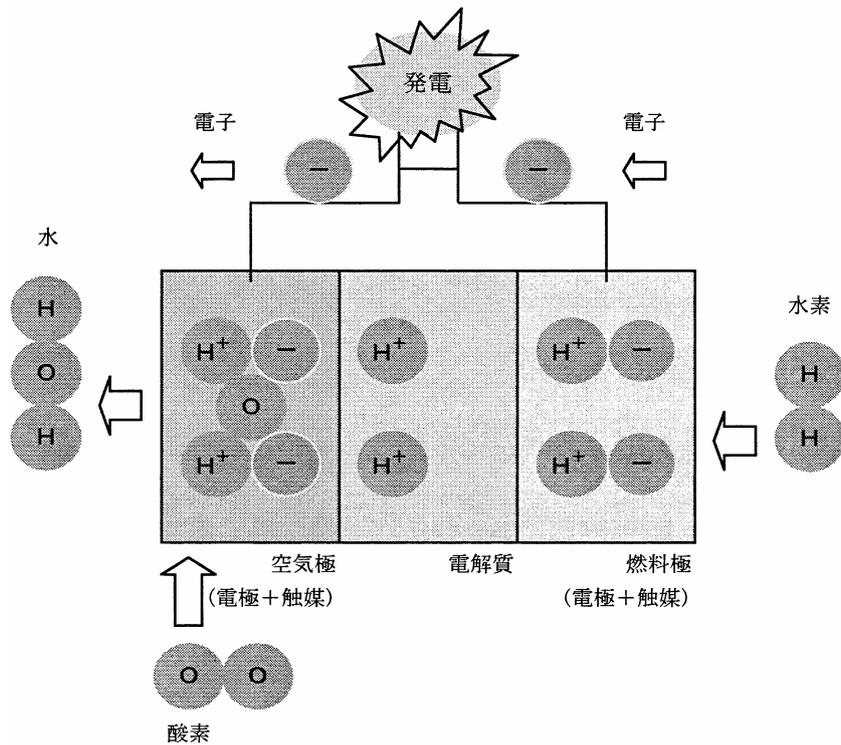
燃料電池とは、水素と酸素の化学反応により発電を行うシステムである。英語では、Fuel Cell と表現されており、日本ではそれを直訳し、燃料電池という名称で使用されている。ただ電池といっても、使い切りの乾電池や、充電により電気をためておく2次電池とは違い、水素や、水素を含んだメタノールなどの燃料を投入することにより、繰り返し利用が可能な発電器といえる。

燃料電池は、電解質、燃料極、空気極、セパレーターから構成されるセルと呼ばれるユニットを最小単位として、これを多数組み合わせることにより、需要にあった電力量を作り出す。

燃料電池のセル内で起こる化学反応式を示すと、燃料極では、触媒上で水素が電子を放出し水素イオンになる反応が起こる。発生した水素イオンは電解質を通過して空気極に到達し、一方、電子は外部回路を通過して電気を発生させる。そして、空気極では、外部の空気から取り入れた酸素と、水素イオン、外部回路を通過した電子が反応して水が生成される。



図表 1 - 1 燃料電池の仕組み

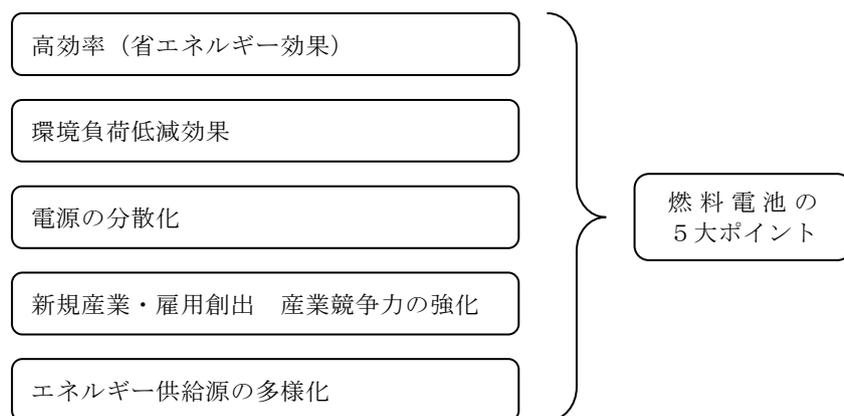


(出所) 各種資料により政策銀作成

## 2. 燃料電池の効果

資源エネルギー庁「燃料電池に関する政府の取り組み」のなかで、燃料電池の効果として、省エネ、環境、エネルギーセキュリティ、産業活性化などの観点から、図表1-2にあるような5つのポイントがあげられている。

図表1-2 燃料電池の意義



（出所）資源エネルギー庁「燃料電池に関する政府の取り組み」（平成16年3月）より作成

燃料電池は、水素と酸素の化学反応によって発電を行うことから、火力発電のような内燃機関を使って発電を行う従来システムよりもエネルギーロスが小さく、効率性が高いため、省エネルギーに繋がるとされている。

また、発電の基本的な仕組みとしては、水素と酸素を投入し、排出されるのは水だけということで、二酸化炭素（CO<sub>2</sub>）をはじめ、窒素酸化物（NO<sub>x</sub>）、硫黄酸化物（SO<sub>x</sub>）等の排出削減が図られ、環境負荷低減効果が大きい超クリーンシステムである。ただし、現実的には、水素は地球上で単体の物質として通常存在しないため、当面は、化石燃料から改質した水素を燃料源として利用する方法が、技術水準やコストなどからみて主流になると考えられる。この場合、ライフサイクルでは、燃料電池もCO<sub>2</sub>を発生することになるが、エネルギー効率の向上により従来に比べてCO<sub>2</sub>抑制効果が得られるともいわれている。

別の効果としては、燃料電池は、産業用、家庭用の分野では、電気を使用する場所で発電を行う分散型発電システムであるため、大規模集中発電方式と比べて環境負荷低減効果があるとともに、排熱利用によるコージェネシステム<sup>1</sup>の構築も容易である。また、分散型発電システムは、災害時の停電等に対するバックアップ電源としての効果も得られる。

さらに、燃料電池は、水素を製造するエネルギー関連企業、本体を製造する電気機械メーカー、自動車メーカーをはじめ、幅広い業界に関連する裾野の広い産業であり、新規産業創造・雇用創出効果が期待されている。加えて、実用的な水素の貯蔵および運搬技術が確立さ

<sup>1</sup> 発電と熱供給を同時に行うシステム。

れば、安定供給およびコスト面での課題が指摘されている再生可能エネルギーにより発電した電気を使って、水の電気分解で水素を製造し燃料電池で発電を行うといったシステムの構築も可能となり、再生可能エネルギーの利用拡大によるエネルギー供給源の多様化にも資することとなる。また、原子力発電炉の排熱を利用した水の熱分解による水素製造技術確立のための研究開発も進められており、未利用エネルギーの有効活用も期待されている。

### 3. 燃料電池の種類と用途

燃料電池は、1～15W程度の携帯機器用から、100MWクラスの工場用発電装置まで、様々な分野への導入が期待されており、用途や出力の異なる各種システムの開発が進められてきた。これらを、燃料電池の主要部分である電解質の違いにより整理すると図表1-3のとおりとなる。

図表1-3 燃料電池の種類

	アルカリ型 AFC (Alkaline Fuel Cell)	りん酸型 PAFC (Phosphoric Acid Fuel Cell)	熔融炭酸塩型 MCFC (Molten Carbonate Fuel Cell)	固体酸化物型 SOFC (Solid Oxide Fuel Cell)	固体高分子型 PEFC (Polymer Electrolyte Fuel Cell)	ダイレクトメタノール型 DMFC (Direct Methanol Fuel Cell)
電解質	水酸化カリウム (KOH)	りん酸 (H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> )	炭酸リチウム (Li <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> ) 炭酸ナトリウム (Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> )	安定化ジルコニア (ZrO <sub>2</sub> +Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	イオン交換膜	水酸化カリウム (KOH) 硫酸 (K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )
触媒	ニッケル・銀系	白金系	ニッケル酸化物	白金系	白金系	白金系
作動温度	常温～100℃	190～200℃	600～700℃	800～1000℃	常温～100℃	常温～100℃
発電効率 (HMV)	30～40%	35～42%	45～60%	45～60%	30～40%	30～40%
イオン伝導性	OH <sup>-</sup>	H <sup>+</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	O <sup>2-</sup>	H <sup>+</sup>	
燃料極	H <sub>2</sub> +2OH <sup>-</sup> → 2H <sub>2</sub> O+2e <sup>-</sup>	H <sub>2</sub> → 2H <sup>+</sup> +2e <sup>-</sup>	H <sub>2</sub> +CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> → H <sub>2</sub> O+CO <sub>2</sub> +2e <sup>-</sup>	H <sub>2</sub> +O <sup>2-</sup> → H <sub>2</sub> O+2e <sup>-</sup>	H <sub>2</sub> → 2H <sup>+</sup> +2e <sup>-</sup>	CH <sub>3</sub> OH+H <sub>2</sub> O → CO <sub>2</sub> +6H <sup>+</sup> +6e <sup>-</sup>
空気極	1/2O <sub>2</sub> +H <sub>2</sub> O+2e <sup>-</sup> → 2OH <sup>-</sup>	1/2O <sub>2</sub> +H <sup>+</sup> +2e <sup>-</sup> → H <sub>2</sub> O	1/2O <sub>2</sub> +CO <sub>2</sub> +2e <sup>-</sup> → CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	1/2O <sub>2</sub> +2e <sup>-</sup> → O <sup>2-</sup>	1/2O <sub>2</sub> +H <sup>+</sup> +2e <sup>-</sup> → H <sub>2</sub> O	3/2O <sub>2</sub> +6H <sup>+</sup> +6e <sup>-</sup> → 3H <sub>2</sub> O
備考	1970年代前後に研究開発。価格面等の課題により商品化には至らなかった。	1990年代に商品化。価格面の課題等により普及は進んでいない。	研究開発段階。高発電効率。	研究開発段階。高発電効率。	低温作動。家庭用については2005年2月に実用化。	PEFCの一種ともいえる。低温作動。携帯機器用で注目。
主な利用分野	—	産業用	産業用	産業用	民生用、自動車用	携帯機器用

(出所) 燃料電池開発実用化課題調査委員会「燃料電池開発等の経緯と成果および課題」(平成16年7月)等より作成

日本における燃料電池の動向をみると、上記のうち既に、りん酸型燃料電池の製品化が先行したものの、コスト面の課題等から普及は進んでいない。一方、最近では、出力は限られるが、常温での作動も可能な固体高分子型燃料電池の実用化に向けた動きが活発となっている。

固体高分子型燃料電池(PEFC)は、作動温度が低い(常温～100℃程度)ため、用途の制

限が少なく民生用にも適しており、電池を構成する材料の範囲が広くコストダウンの可能性が大きいことに加え、起動時間が他の燃料電池に比べて短いなどの特徴を有しており、近年注目を集めている。主な用途としては、自動車用、家庭用が想定されており、限定的ではあるが、自動車用は、2002年12月から、家庭用については、2005年2月からそれぞれリース販売が開始されている。また、携帯機器用に使われるダイレクトメタノール型燃料電池（DMFC）も PEFC の一種であり、メタノールを直接燃料極に供給する型式である。DMFC は、現在、主に携帯電話やノートパソコンへの搭載に向けて電機メーカー等が研究開発に取り組んでいるが、特に携帯電話用については、NTT ドコモや KDDI といった携帯電話会社との共同研究体制が取られている。また、日立製作所では、一般消費者にも燃料電池を体験してもらうべく、「愛・地球博」に DMFC を搭載した情報端末機器を出展している。

アルカリ型燃料電池（AFC）は、1970年代前後の燃料電池開発の中心的存在であったが、コストが非現実的水準から抜けられない等の課題が解決できず、商品化には至らなかった。

りん酸型燃料電池（PAFC）は、1980～1990年代に公的試験研究機関、電力会社、ガス会社のほか各種工場向けに200台余りが販売された実績があるとみられている。その後もコスト低減や性能向上のための研究開発は継続されているが、現在でも、燃料電池本体のコストが市場要求の2倍以上の45万円/kW程度の水準にあり、導入は進んでいない。2001年以降の年間受注は2～4台程度といわれている。

熔融炭酸塩型燃料電池（MCFC）および固体酸化物型燃料電池（SOFC）は、作動温度が高い一方、発電効率が高いことから、産業用の発電装置としての利用に向けて、1980年頃から研究開発が進められてきたが、依然実用化には至っていない。ただし、発電効率の高さに対する期待は大きく、現在も低コスト化やコンパクト化のための研究開発が続けられている。

#### 4. 燃料電池の歴史

次に、燃料電池の歴史を振り返ってみると、そのはじまりは、200年以上も前にさかのぼる。1801年に、イギリスのデービーが燃料として固体の炭素を用いる燃料電池の原理を発明し、これが、燃料を供給することにより繰り返し発電が可能な燃料電池の発端であるといわれている。その後、1839年にイギリスのグローブが、硫酸に浸した2つの白金電極を用いて、水素と酸素を反応させることにより電流を得る実験に成功した。この発見を燃料電池のはじまりという人もいる。1889年には、イギリスのモンドとランジャーが粗製水素を用いた、現在のりん酸型燃料電池の原型といわれる装置を世界で初めて作り、その10年後の1899年には、ドイツのNernstが固体酸化物型燃料電池の原理を示した。

その後、燃料電池の実用化に向けて大きなインパクトを与えたのが、イギリスのベーコンによる研究である。イギリスのベーコンは、1932年に燃料電池の研究を開始し、1952年に、電解質に水酸化カリウム（KOH）の水溶液を用いたベーコン電池と呼ばれる燃料電池を開発し、特許を取得した。さらに1959年には同じタイプの5kWの燃料電池の試験に成功し、燃料電池に関する研究開発が一気に加速した。

さらに、燃料電池の研究開発はアメリカでも行われ、1965年には、燃料電池実用化の第1号として、アメリカ GE 社製の固体高分子型燃料電池が、有人宇宙船のジェミニ5号に搭載された。また、ベーコンの特許権を獲得したユナイテッド・テクノロジー社のアルカリ型燃料電池が、有人宇宙船アポロ7号に搭載されるとともに、その後のスペースシャトル計画にも採用された。アメリカでは、上述のような宇宙船用の燃料電池開発と並行して、産業用燃料電池の研究開発も進められた。また、TARGET 計画では、定置用のりん酸型燃料電池の研究開発が行われ、それとともに、大出力燃料電池の実用化を目標とした FCG-1 計画も進められた。

図表 1 - 4 燃料電池の歴史

年代	概要	備考
1801年	燃料電池の発明	デービー（英）が燃料電池の原理を発明。
1839年	初の燃料電池の実験成功	グローブ（英）が燃料電池の発電実験に成功。
1932年	実用化研究	ベーコン（英）が実用化の研究を開始。
1952年	特許の取得	ベーコン（英）が現在の燃料電池の原型となる実験に成功。特許取得。その後、5kWの発電試験成功。
1958年	アルカリ型の実用化	ユナイテッド・エアクラフト社（米）がベーコンの特許権を獲得。アルカリ型燃料電池の実用化成功。
1965年	実用化第1号	米国のジェミニ計画で、宇宙船ジェミニ5号に燃料電池搭載。
1968年	アポロ計画で採用	アポロ計画に燃料電池が採用。
1972年	民生用の開発スタート	米国 TARGET 計画で、定置用りん酸型燃料電池の開発開始。12.5kWの実証実験が行われた。

（出所）各種資料より作成

日本では、1960年代から燃料電池に関する研究への取り組みがはじまった。当初は、アルカリ型燃料電池が研究対象として取り上げられ、その後、りん酸型燃料電池が積極的に研究開発されるようになり、1990年頃より、固体高分子型燃料電池が注目されるようになった。

りん酸型燃料電池に関する研究開発の取り組みは、通商産業省工業技術院が進めた省エネルギー技術研究開発計画（ムーンライト計画、1978年度）において、高効率ガスタービンや新型電池電力貯蔵システムなどとともに開発対象として取り上げられて以来、急速に広がった。ムーンライト計画では、1987年に産業用燃料電池（1,000kWプラント）を2基設置し、異なる運転条件で稼働させるなどの実証実験を行った。その後、新エネルギー、省エネルギー技術および環境対策技術を、総合的、効率的かつ加速的に推進することを目的に発足したエネルギー・環境領域総合技術開発促進計画（ニューサンシャイン計画、1993年度）において、同じく産業用燃料電池（5,000kWプラント、1,000kWプラント）を設置し、1994年より発電を行っている。さらに、1990年代中頃より、国・自治体・病院・関連企業を中心に導入され、2003年3月末までに、累計で209台（51,428kW）のりん酸型燃料電池が実用化ベースで設置され、2003年3月末時点では、51台（8,750kW）が運転中である（財団法人 大



## 5. 燃料電池の普及見通し

燃料電池は、次世代の主要なエネルギーシステムとして大きな期待が寄せられているが、経済産業省燃料電池実用化戦略研究会資料（2004年3月）によると、将来的な市場規模として、燃料電池自動車で、2010年には公用車、バス、小型貨物等を中心に5万台程度、その後、一般乗用車の普及も進み、2030年には1,500万台程度に拡大すると予測している。

また、家庭用や産業用の定置用では2010年が220万kW、2020年で1,000万kW、2030年には1,250万kWとなるとの見通しを立てている。

こうした燃料電池の導入拡大に伴い、燃料源となる水素の需要は、2010年の約4万tから2030年には約151万tに達すると想定され、燃料電池自動車等に水素を供給する水素ステーションの整備を2030年で約8,500カ所とみている。一方、水素の供給源としては、化石燃料からの改質のほか、製鉄工程や石油化学プラントから副次的に生成される副生水素に加え、水の電気分解が想定されるほか、将来的には、バイオマスや水の熱分解等、自然エネルギーおよび未利用エネルギーの有効活用も期待されており、その実現に向けた研究開発が進められている。

図表1-6 燃料電池の市場規模見通し

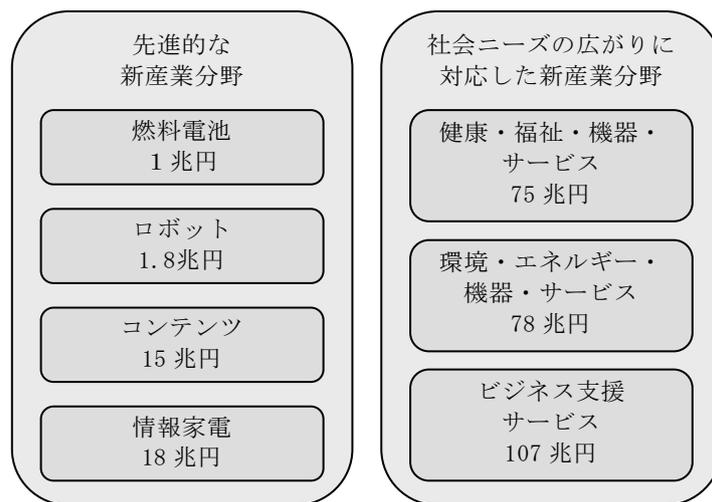
	2010年	2020年	2030年
燃料電池自動車	5万台	500万台	1,500万台
導入車種	業務用車等		
	—	一般乗用車	
定置用燃料電池	220万kW	1,000万kW	1,250万kW
想定される水素需要	約4万t	約58万t	約151万t
想定される水素ステーション	約500カ所	約3,500カ所	約8,500カ所
想定される水素の供給	化石燃料改質、副生水素、水の電気分解		
	—	バイオマス、水の熱分解	

（出所）経済産業省資料より作成

また、燃料電池は、経済産業省が2004年5月に取り纏めた「新産業創造戦略」でも、戦略7分野のひとつとして取り上げられている。

新産業創造戦略では、燃料電池、情報家電、ロボット、コンテンツなど先進的な新産業分野、環境、健康、ビジネス支援等の社会ニーズの広がりに対応した新産業分野の7分野に絞り、現在200兆円強の市場規模を2010年に300兆円に育て上げることを目標としている。このうち燃料電池の市場規模として、2010年の1兆円から2020年には8兆円程度までの拡大を見込んでいる。

図表 1 - 7 「新産業創造戦略」戦略 7 分野の 2010 年の市場規模予想



(出所) 経済産業省「新産業創造戦略」(平成 16 年 5 月)より作成

このように燃料電池の市場規模拡大が期待されているなか、機器メーカーのみならず材料や部品等を含めた多様な業界での取り組みが広がっている。例えば、電解質膜では旭硝子や旭化成、電極では東レや三菱レイヨン等があげられるほか、高圧水素流量計を開発したオーバル<sup>2</sup>等のように、燃料電池の実用化に不可欠な関連技術の取り組みもみられる。

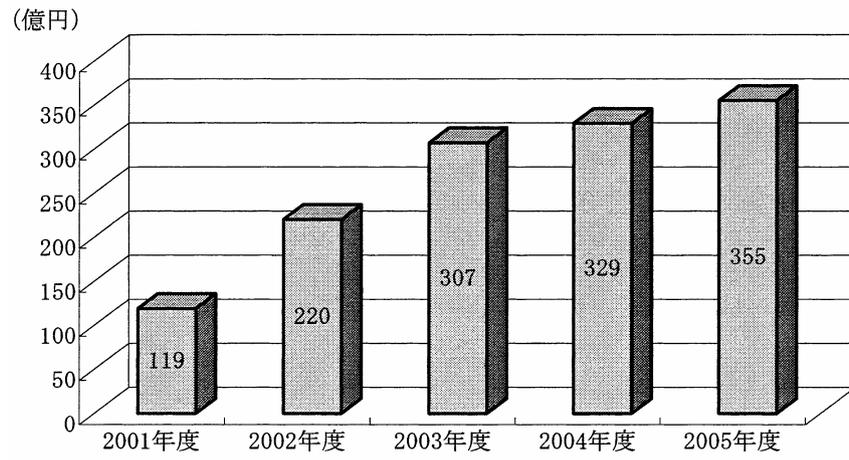
2005 年度の政府の予算要求をみると、燃料電池関連は 355 億円(前年度比 8%増)であり<sup>3</sup>、家庭用燃料電池に関する実証実験など 3 つのプロジェクトを新規に計画している。時系列でも、燃料電池関連予算は、年々増加しており、国の燃料電池への期待が窺える。

近年、燃料電池の実用化に向けて技術水準が向上し、限定的とはいえ、一般消費者への燃料電池導入の動きが広がってきており、そのポテンシャルの大きさと合わせ、今後の普及が大いに期待される場所である。ただし、依然コスト面や耐久性等の面での課題は残されており、また、各分野でのライバル機器に関する技術水準も向上していることから、そうした動向も注視しつつ、燃料電池の一層の性能向上や社会システムとの融合への取り組みなどにも留意する必要があるだろう。

<sup>2</sup> オーバルは、水素量を計測できる質量流量計を開発し、2005 年 2 月に販売開始。コリオリと呼ばれる計測原理を使った流量計で、燃料電池車の研究開発や水素ステーションでの利用が可能であるとのこと。高圧で充填する水素流量計の開発は国内メーカーで初めてであり、この流量計は、95 メガパスカルまで対応可能。

<sup>3</sup> 新産業創造戦略に沿った重点プロジェクトに関する予算(2005 年度要求: 億円)は、燃料電池(355) 情報家電(206) ロボット(63) 健康・福祉(192) 環境・エネルギー(239) ナノテクノロジー・材料(144) である。戦略 7 分野の予算のうち、燃料電池に関する予算が最も多くなっている。

図表 1 - 8 国の燃料電池関連予算の推移



(出所) 経済産業省資料より作成

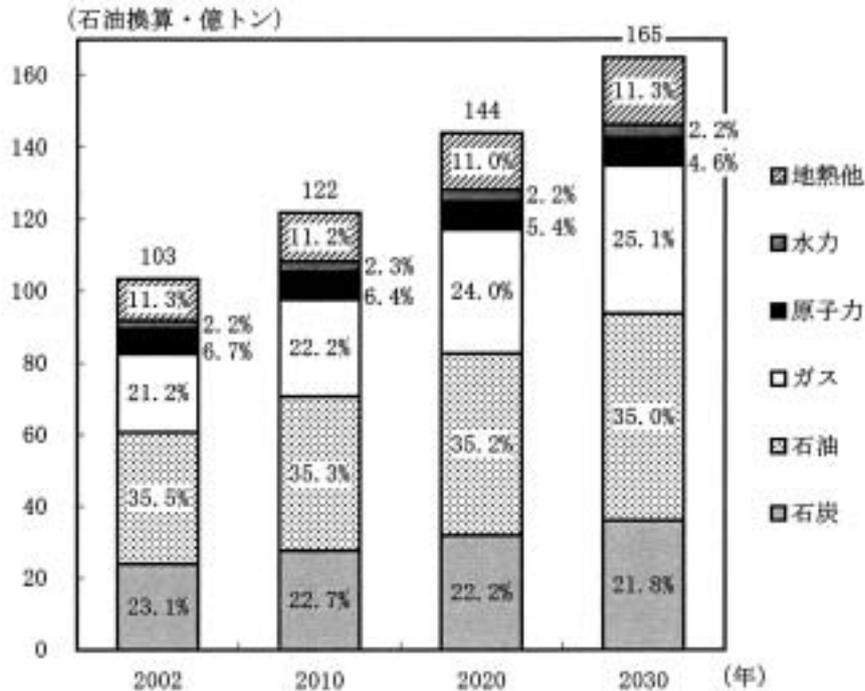
## 第2章 最近のエネルギーの動向

本章では、世界、日本のエネルギーに関する現状を整理した上で、今後の化石燃料の逼迫および地球温暖化への対策として期待されている燃料電池の見通しについてみていく。

### 1. 世界のエネルギー消費の現状と見通し

国際エネルギー機関（IEA）の「世界エネルギー概観 2004年版」（2004年10月）によると、2030年の世界の一次エネルギー消費は、2002年比で約60%増加する見通しにある。個別燃料ごとにみていくと、石油の占める割合は低下しているものの（2002年：35.5%→2030年：35.0%）、絶対量としては増加傾向にあり、シェアは依然としてトップが続くとみられている。また、天然ガスは、絶対量が急激に拡大し、割合も高まっていく（2002年：21.2%→2030年：25.1%）一方、原子力の割合は、低くなっていくと予想されている（2002年：6.7%→2030年：4.6%）。

図表2-1 世界のエネルギー消費の推移と見通し



(出所) OECD/IEA「WORLD ENERGY OUTLOOK2004」より作成

このように、世界のエネルギー消費量が拡大するなか、世界のエネルギー資源の可採年数は、石炭が4資源のなかで、一番長く204年であるが、残り3つの主要資源は40～60年前後とみられている。今後、資源探査や掘削技術等の進展に加え、石油価格の上昇により資源開発投資の拡大余地が広がり、現状の可採年数が伸びる可能性が考えられるものの、いずれ資源の埋蔵量は有限であり、今後も世界の消費量の累増が見込まれるなか、化石燃料の効率活用に努めるとともに、将来の化石燃料枯渇に備えた対策を進める必要がある。また、化石燃料の効率活用によって、CO<sub>2</sub>の発生を抑え、地球温暖化対策を進めることも重要である。

図表2-2 主な化石燃料の特徴

	石炭	石油	天然ガス	ウラン	
可採年数(2002年、ウランは2001年)	204年	40.6年	60.7年	61.1年	
年間消費量(=A)	46億4,880万トン	35億1,060万トン	2兆4,049億m <sup>3</sup>	6.4万トン	
(2001年、石炭は2000年)	うち日本(=B)	1億4,933万トン	2億4,720万トン	1.1万トン	
	(B/A)	3.2%	7.0%	17.1%	
日本の輸入依存度(石炭、ウランは2000年度、石油、天然ガスは2002年度)	98.4%	99.7%	96.6%	100.0%	
日本の主な輸入先 (2002年度、ウランは1999年度)	オーストラリア:56.5%	アラブ首長国連邦:22.9%	インドネシア:31.8%	カナダ:28.0%	
	中国:19.1%	サウジアラビア:22.4%	マレーシア:19.8%	オーストラリア:17.0%	
	インドネシア:11.9%	イラン:13.9%	オーストラリア:13.1%	イギリス:15.0%	
	上位三カ国の割合	87.5%	59.2%	64.7%	60.0%
確認可採埋蔵量 (2002年、ウランは2001年)	9,845億トン	1兆477億バレル	155兆m <sup>3</sup>	393万トンU	
	北米	26.2%	4.8%	4.6%	17.9%
	中南米	2.2%	9.4%	4.5%	6.5%
	旧ソ連	22.9%	7.5%	35.4%	30.6%
	欧州	13.2%	1.8%	3.8%	3.5%
	中東	0.2%	65.4%	36.0%	0.0%
	アフリカ	5.6%	7.4%	7.6%	17.8%
アジア・大洋州	29.7%	3.7%	8.1%	23.8%	
年間生産量 (2002年、ウランは2001年)	23.8億トン	270億バレル	2.5兆m <sup>3</sup>	3.7万トン	

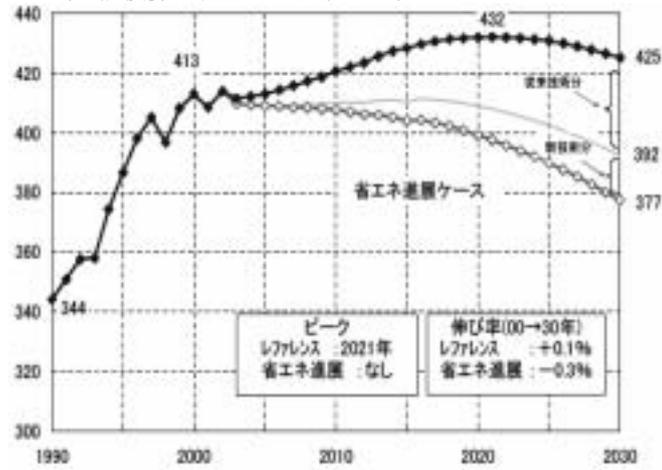
(出所) 経済産業省資源エネルギー庁「日本のエネルギー2003」より作成(筆者加筆)

## 2. 日本のエネルギー消費の現状と見通し

次に、我が国の需給見通しについてみてみると、総合資源エネルギー調査会需給部会「2030年のエネルギー需給展望(中間とりまとめ)」(平成16年10月)では、日本のエネルギー需要は、人口の減少や経済の成熟化などを織り込み、自然体で行けば、2021年にピークに達し、その後緩やかに減少するとしている。長期エネルギー需給見通しが策定されるのは、前回の2001年7月から3年ぶり、今回は、水素、新燃料に関する需要見通しを取り上げられている。

図表 2-3 日本のエネルギー消費の見通し

(石油換算・百万キロリットル)



(出所) 総合資源エネルギー調査会需給部会「2030年のエネルギー需給展望(中間とりまとめ)」  
(平成16年10月)より引用

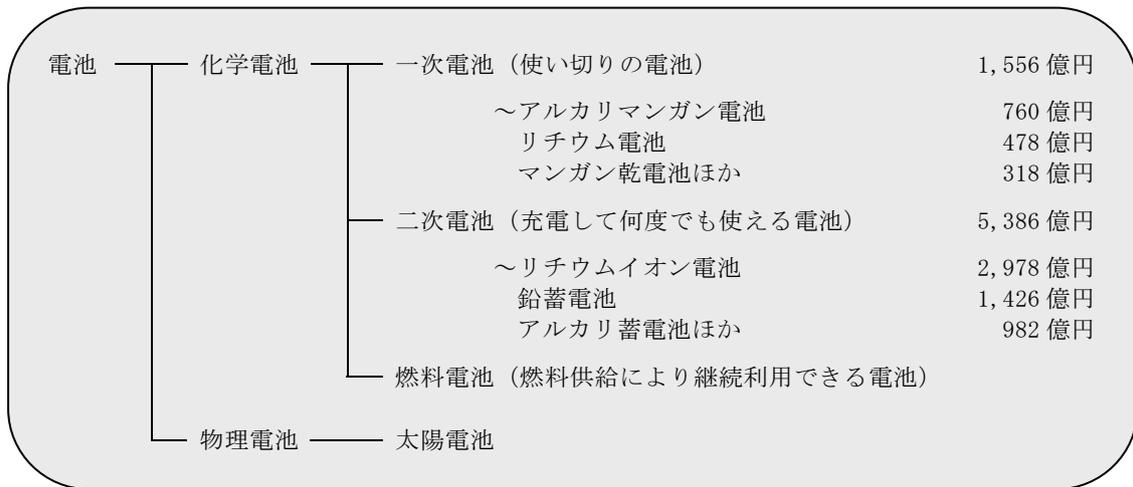
### 第3章 携帯機器用燃料電池の現状と課題

#### 1. 携帯機器用燃料電池市場の動向

携帯機器用燃料電池（1～15W程度）は、今後のユビキタス社会に向けて、携帯機器の利用増大に伴う電池容量の一層の拡大ニーズに対応する技術として期待されている。現在、携帯電話やノートパソコン等の電源として利用されているリチウムイオン電池と比較して、①エネルギー密度を数倍（理論的には10倍、現実的にも3倍程度）に増加させることが可能、②メタノール等を充填した燃料カートリッジを交換すれば継続使用が可能となり充電時間が不要、などの利点を有している。

まず、電池市場を概観してみると、携帯機器用等の電池としては化学電池と物理電池に分類される。化学電池は、使い切りの一次電池と、充電して何度でも使用することのできる二次電池に分けられ、そして燃料電池も性格的には化学電池に含まれることとなる。このような電池市場のなかで、特に燃料電池の導入が見込まれる分野としては、リチウムイオン電池が利用されている分野が有力とみられる。現状、燃料電池の開発は、携帯電話やノートパソコン、携帯情報端末等の分野で先行している。

図表3-1 電池の分類

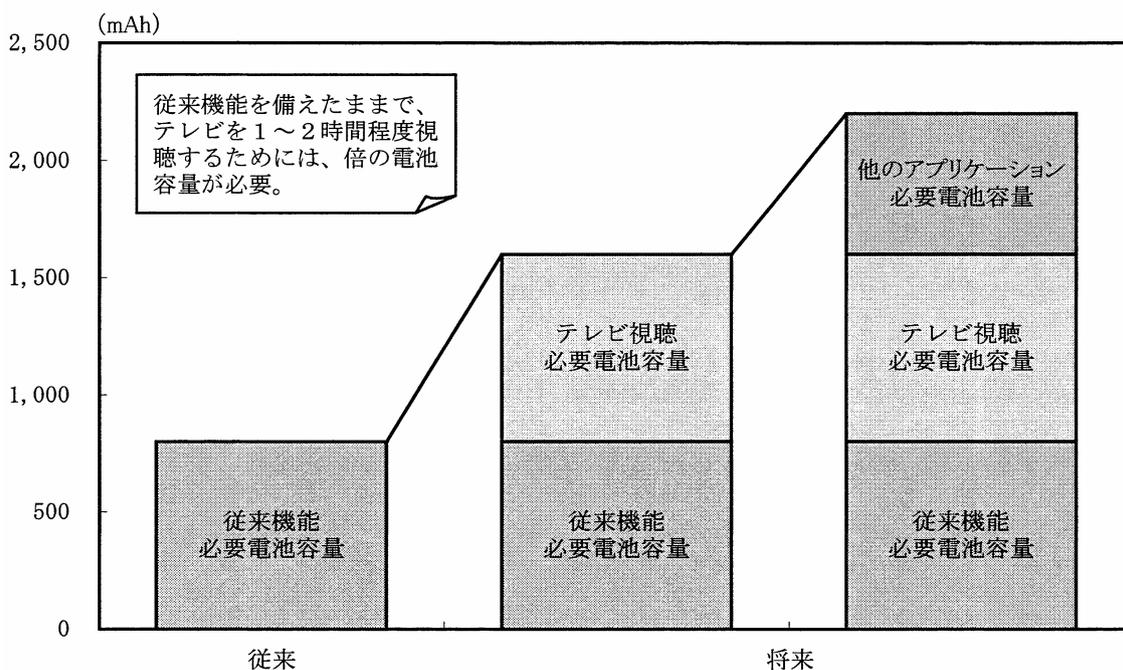


(出所) (社) 電池工業会資料より作成

(注) 金額は2003年生産額 (原典は経済産業省「機械統計」)

ノートパソコンに関しては、CPUの高速化やユーティリティーの向上、光通信等の高性能化に伴い消費電力量が拡大しており、携帯電話でも、メール、インターネットに加え、今後は地上波デジタル放送が普及していくことで、要求される消費電力量が大幅に拡大するとみられている。特に、携帯電話でテレビをみる場合、1～2時間程度の視聴で、従来の電池容量を使い切り、通話や待ち受けができなくなることから、少なくとも従来の電池容量の倍以上が必要となる。さらに、無線LAN等のアプリケーションも利用しようとするれば、一層の電池容量の増加が求められ、従来型のリチウムイオン電池での対応では困難といわれている。

図表 3 - 2 携帯電話の用途拡大と電池容量の見通し

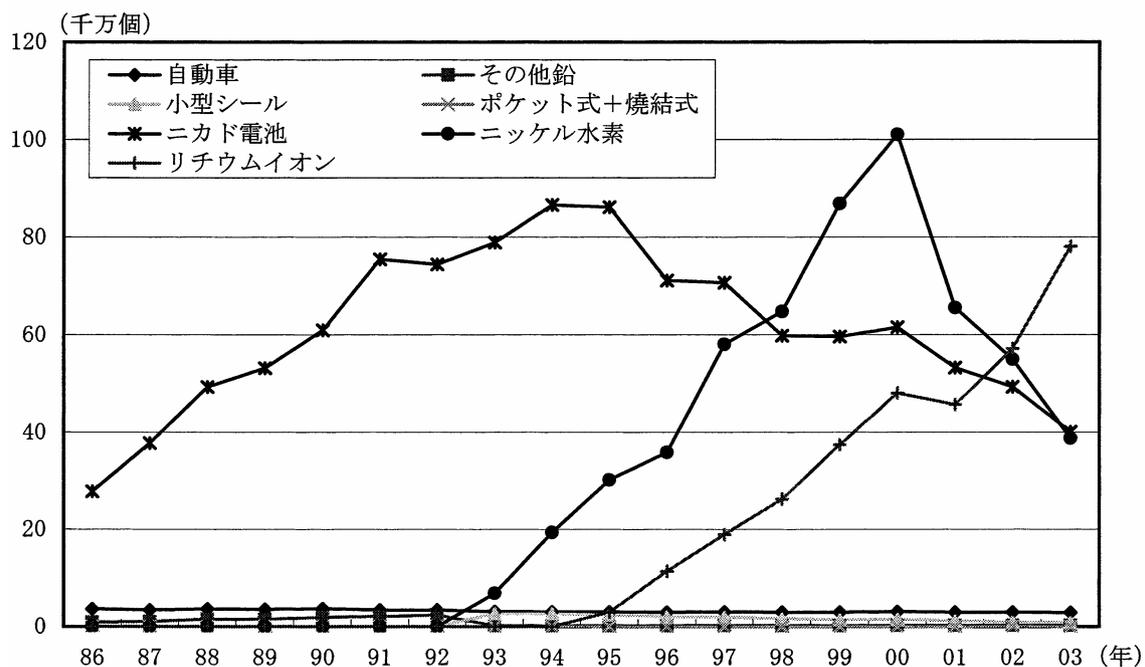


(出所) 各種資料、ヒアリング等より作成

- (注) 1. 従来機能とは、待ち受け、通話等のこと。  
 2. 他のアプリケーションとは、無線 LAN 等のこと。

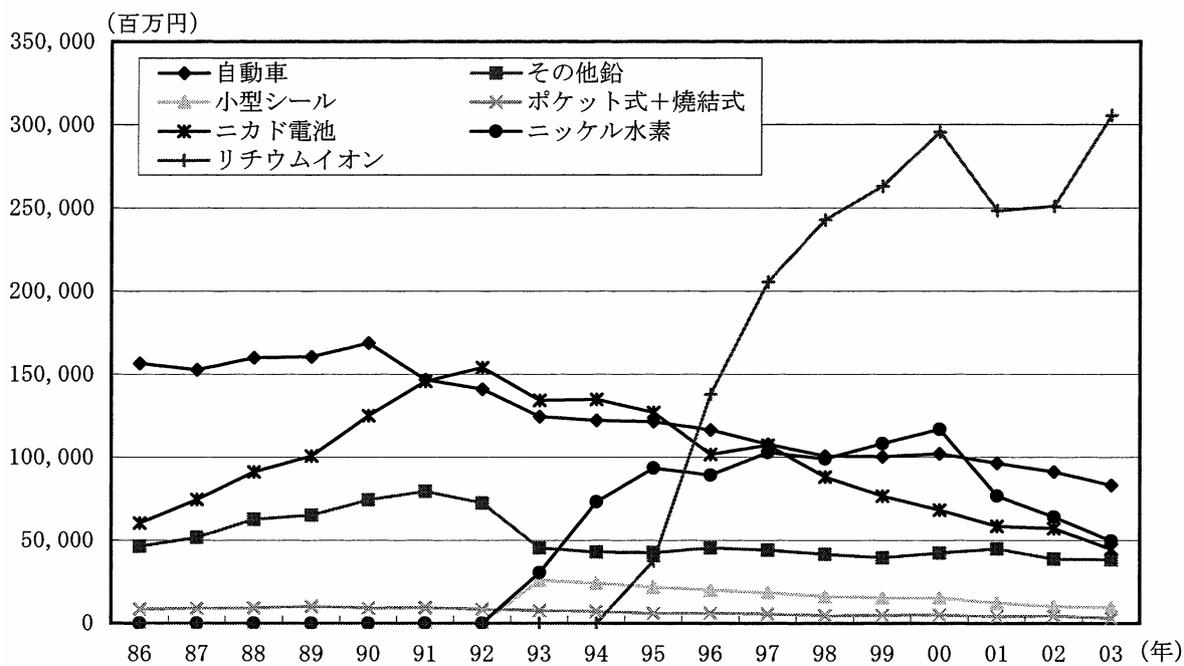
携帯機器用燃料電池の競合技術であるリチウムイオン電池について簡単に整理しておく。リチウムイオン電池は、ニカド電池やニッケル水素電池に比べて、小型化が可能であり、高い電圧を発生することができる電池であり、1991年にソニーが販売を開始した後、市場は急拡大した。(社)電池工業会の統計によると、リチウムイオン電池は1996年に二次電池の販売金額で最大となり、販売数量でも1998年にトップに立っている。現在、リチウムイオン電池の研究開発も続けられており、年5～10%程度ずつ効率が改善しているといわれているが、携帯電話によるデジタルテレビ放送の視聴が急速に進んだ場合、既存技術の延長では対応が困難とみられている。

図表 3-3 二次電池販売数量



(出所) (社) 電池工業会資料より作成

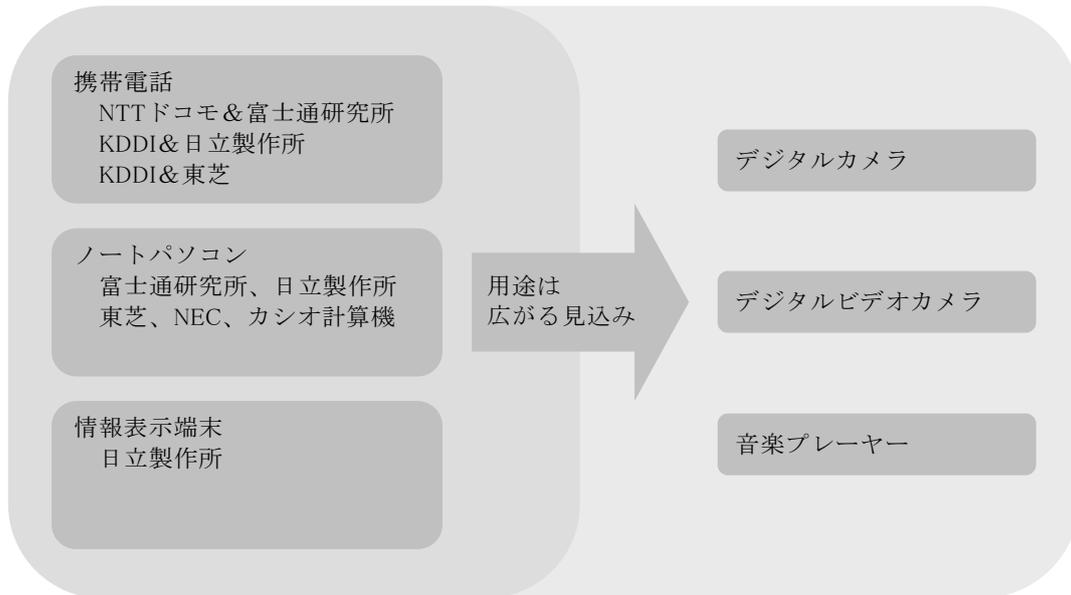
図表 3-4 二次電池販売金額



(出所) (社) 電池工業会資料より作成

これまでのところ試作品として発表されている携帯機器向けの主な燃料電池としては、携帯電話、ノートパソコン、情報表示端末があるが、さらにデジカメ、ビデオカメラ等にも広がっていくものと思われる。

図表 3-5 携帯機器用燃料電池の用途と主要企業の取り組み



(出所) 政策銀作成

## 2. 携帯機器用燃料電池に関する企業の主な取り組み

携帯電話に関しては、携帯電話会社と大手家電メーカーが、提携して研究開発を進めている。NTTドコモは、富士通研究所と共同で第三世代携帯電話「FOMA」の端末を充電できる小型燃料電池の開発を行っている。2004年10月に発表された試作器は、持ち運び可能な充電器タイプのクレドール型（置き台型）を採用し、メタノールを交換すれば常時携帯電話を使用できるモデルとなっている。また、体積は180ccで、重さは190gであり、燃料はメタノールを使用し、一回の充填で400～500時間の待ち受けに必要な分を発電できる。現状タイプの開発を2005年度末までに終了し、さらに内蔵型の研究開発を進める方針にある。また、NTTでは、メタノールに比べ出力を高めることができる水素を直接燃料に使うタイプの開発にも取り組んでおり、今後の動向が注目される。

図表 3 - 6 携帯機器用燃料電池に関する企業の取り組み

	メーカー	機構方式	特 徴
携帯電話	NTT ドコモ & 富士通研究所	パッシブ	<ul style="list-style-type: none"> <li>濃度の薄いメタノールカートリッジを使用。</li> <li>2005 年度末までに開発終了。2006 年度の商用化が目標。</li> <li>2007 年度以降には、現行のリチウムイオン電池の代わりに燃料電池を内蔵した携帯電話機も商用化する方針。</li> </ul>
	KDDI & 東芝	パッシブ	<ul style="list-style-type: none"> <li>100%濃度のメタノールカートリッジを使用。</li> <li>2007 年の商用化が目標。</li> </ul>
	KDDI & 日立製作所	パッシブ	<ul style="list-style-type: none"> <li>濃度の薄いメタノールカートリッジを使用。</li> <li>ライターを製造している東海とカートリッジ分野で提携。</li> <li>2007 年の商用化が目標。</li> </ul>
ノートパソコン	東芝	アクティブ	<ul style="list-style-type: none"> <li>動作時間は、約 5 時間 (03 年 3 月会社発表)。</li> </ul>
	NEC	アクティブ	<ul style="list-style-type: none"> <li>動作時間は、約 10 時間 (04 年 10 月会社発表)。</li> </ul>
	富士通研究所	パッシブ	<ul style="list-style-type: none"> <li>電解質にナノ技術を使用。</li> <li>動作時間は、約 8 ~ 10 時間 (04 年 1 月会社発表)。</li> </ul>
小型オーディオプレーヤー等	東芝	パッシブ	<ul style="list-style-type: none"> <li>2005 年の商用化が目標 (04 年 6 月)。</li> </ul>
携帯情報端末	日立製作所	パッシブ	<ul style="list-style-type: none"> <li>「2005 年国際博覧会 (愛・地球博)」に出展。約 500 台を準備し、1 日約 1 万人に貸し出し中。カートリッジ 1 本で約 2 時間以上稼動。</li> </ul>

(出所) 各種資料、新聞報道、ヒアリング等より作成

(注) パッシブとは、燃料ポンプやファンを用いないシステム。アクティブとは、燃料ポンプやファンを用いるシステム。

図表 3 - 7 NTT ドコモと富士通研究所の携帯電話用燃料電池



(出所) NTT ドコモホームページ (2005 NTT DoCoMo, Inc. All Rights Reserved.)

KDDI は、日立製作所、東芝とそれぞれ個別に共同開発を行っている。KDDI が技術仕様をまとめ、日立製作所と東芝がそれに沿って開発を進める体制が取られている模様である。また、日立製作所は、燃料電池が普及したときの燃料調達にも着目し、ライター業界の東海と業務提携し、燃料用カートリッジへの取り組みを行っている。

ノートパソコンに関しては、電機メーカーを中心に研究開発が進められている。

富士通研究所は、2004 年 1 月に従来は使用が難しかった 30% の高濃度メタノール燃料を希釈することなくそのまま使用できる燃料電池の材料技術開発に成功したと発表した。この燃料電池は、厚さが 15 ミリメートルと非常に薄いわりに、出力は 15W と大きく 30% 濃度のメタノール燃料 300 ミリリットルで、ノート PC を 8 ～ 10 時間利用することが可能となっている。

図表 3 - 8 富士通研究所のノートパソコン用燃料電池



(出所) 富士通研究所ホームページ

また、東芝のノートパソコン用燃料電池は、発電時に発生する水を燃料の希釈に利用したり、燃料を効率的に供給するためのポンプなどのメカニズムを搭載したアクティブ方式を採用している。2004 年 3 月に発表されたモデルは、重量が 1.2kg (カートリッジを含む)、燃料カートリッジの容量は 100cc、平均出力 12W で 10 時間動かすことが可能となっている。

また、その他にもノートパソコン向け燃料電池については、日立製作所、カシオ計算機、NEC などが取り組んでおり、海外勢では、韓国サムスン電子などが研究開発を進めている。

次に、情報端末向けに関しては、日立製作所が、愛知万博で燃料電池を搭載した携帯情報表示端末「Nature Viewer」を 500 台出展しており、一般利用者が燃料電池を体験することができる。この情報表示端末は、2つのボタンと 3.5 インチの液晶ディスプレイで構成され、燃料には、約 5 ミリリットルのメタノールカートリッジが装着されている。カートリッジ 1 本で 2 時間以上使用でき、カートリッジの交換により 1 日約 13 時間の稼働が可能である。万博開催期間の 6 ヶ月間でユーザーの使用状況、使用時の感触などの情報も収集し、今後の燃料電池開発に活用される。

図表 3-9 日立製作所が愛知万博に出展している燃料電池を搭載した情報表示端末



(出所) 愛・地球博 日立グループ館公式サイトホームページ

以上のとおり、現在、携帯機器用燃料電池の開発が急速に進められており、数年内に市場投入されるものとみられるが、今後の普及にあたっては、いくつかの課題も想定される。

燃料電池の共通課題であるコストおよび効率性・耐久性の向上に加え、携帯機器用固有の問題として、発電時に発生する水の処理や、携帯電話への内蔵型燃料電池開発に不可欠な小型化技術の確立のほか、規制緩和の必要性が大きい。さらに、従来の家庭用電源からの充電方式から、燃料カートリッジの交換方式といった、エネルギー源に関するスタイル変更がユーザーに受け入れられるか、といった点がポイントとなろう。従来であれば、携帯電話については、自宅に帰って充電器に設置すればよかったものが、燃料電池では、燃料販売店から燃料カートリッジを買い置きしておく必要がある。この点がユーザーに受け入れられることが普及のための大きな条件であろう。

なお、コスト、効率性、耐久性など、燃料電池に共通の課題について、携帯機器用の場合、他分野ほどハードルは高くないとみられる。コストは、自動車の数十倍に対して数倍程度、耐久性も、例えば携帯電話の買い換えサイクルは2～3年程度であり、自動車や家庭用給湯器の10年前後に比べれば短くて済む。

一方、他の競合技術の動向についても留意する必要がある。産業技術総合研究所では、ナノテク技術を利用し、パワー密度（瞬時に電力を取り出したり、ため込んだりする性能値）が従来の40～100倍に向上することができる新電極を開発したと発表している。この電極をリチウムイオン電池に使うと、リチウムイオン電池の充電時間を大幅に短縮（理論上は1～2分で可能）することも可能になるといわれている。新技術の実用化には時間を要するものと思われるが、燃料電池の定着には、ライバル技術の動向もにらみながら、優位性を早急に確保する必要がある。

## 第4章 家庭用燃料電池の現状と課題

### 1. 家庭用燃料電池の特徴

燃料電池は、発電を行う際に反応熱を発生することから、コージェネレーションシステムとして電気のほか、排熱も給湯や床暖房等に利用し、総合的なエネルギー効率を高めることが可能となる。

家庭用燃料電池は、理論的には、投入する水素エネルギーに対して約35～40%の電気エネルギーと約35～40%の熱エネルギーを利用することができ、合計70～80%の総合効率が達成できるとされており、化石燃料の消費量抑制が期待されている。

図表4-1 東京ガスからリース発売された家庭用燃料電池



(松下電器産業製)

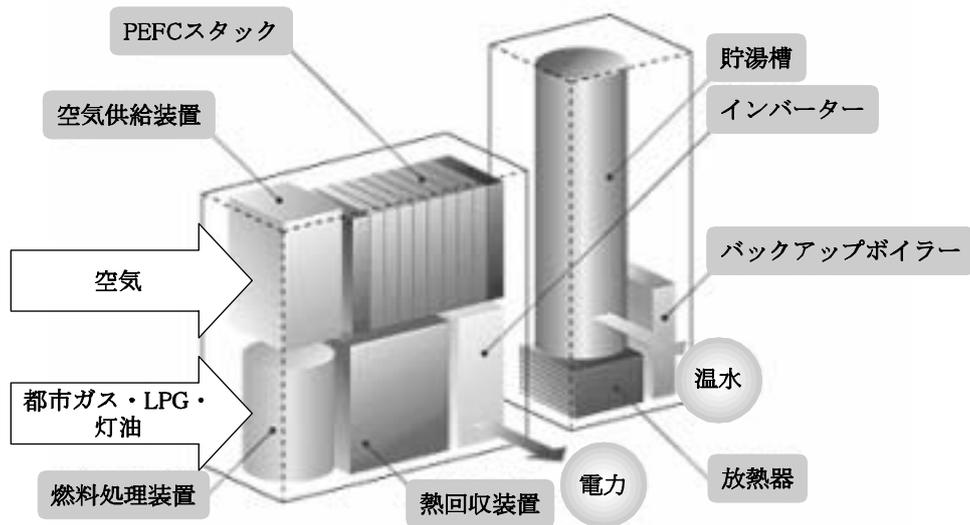
(荏原バラード製)

(出所) 東京ガスホームページより引用 (一部加筆)

### 2. 家庭用燃料電池の構造

家庭用燃料電池は、図表4-2のような構造であり、発電を行うユニットと、温水を貯めておく貯湯ユニットから構成される。また、燃料電池ユニットは、①都市ガス、灯油などから水素を取り出す燃料処理装置、②燃料処理装置で製造された水素と空気中の酸素を使った化学反応により電気を発生させるPEFCスタック、③PEFCスタックで発電された電気を直流から家庭で使える交流に交換するインバーターなどから構成される。一方、貯湯ユニットは、④発電時の排熱で加温した温水を貯めておく貯湯槽、⑤貯湯槽内の温水で給湯需要に対応できない場合のためのバックアップボイラーなどから構成される。

図表 4 - 2 燃料電池の構造



(家庭用燃料電池ユニット)

燃料処理装置：原燃料の都市ガス・LPG・灯油などを、水素に改質する装置。

PEFCスタック：水素と空気中の酸素を使って化学反応により電気を発生させる装置。

インバーター：発電された直流の電気を商用電力として使用可能な交流に変換する装置。

熱回収装置：燃料処理装置やPEFCスタックからの排熱を回収する装置。

(貯湯ユニット)

貯湯槽：熱回収装置で回収したお湯を貯めておく槽。給湯需要に合わせて利用する。

バックアップボイラー：貯湯槽内のお湯で給湯需要に対応できない場合に対応するボイラー。

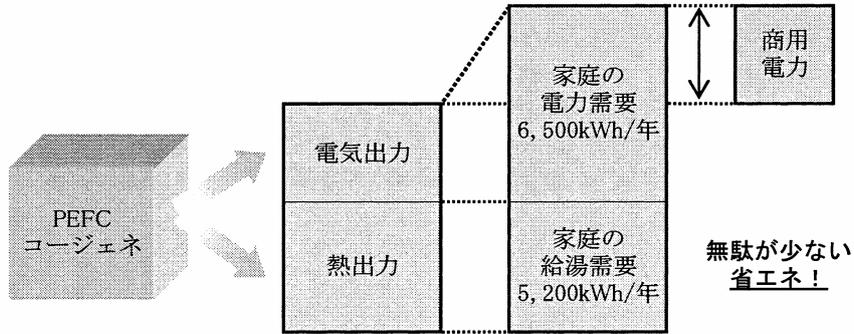
放熱器：熱回収装置で回収しきれない排熱を廃棄する機器。

(出所) 新日本石油ホームページ、ヒアリングなどより作成

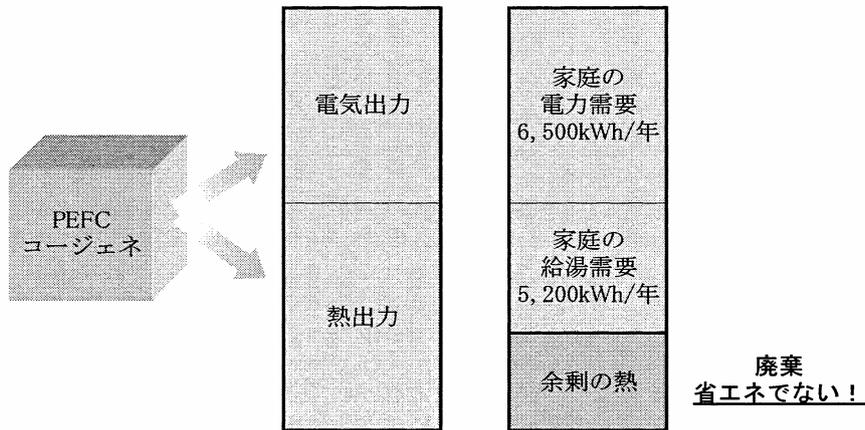
また、家庭用燃料電池は、電気と熱をより効率的に利用するため、システムの運転を電気需要に合わせてするのか、熱需要に合わせてのかが重要となる。東京ガスが2005年2月にリース販売を開始した、松下電器産業製、荏原バラード製の家庭用燃料電池は、標準家庭における使用電力量の6割程度の電力（不足分の電力は電力会社より購入）と温水の供給を行うタイプで、排熱を最大限有効利用すべく、ユーザーの温水利用サイクルを学習し、その時間に合わせて温水が供給されるように発電を行うシステムとなっている。

図表 4-3 家庭用燃料電池の運転方法

お湯を余らせない運転



電力需要に合わせた運転

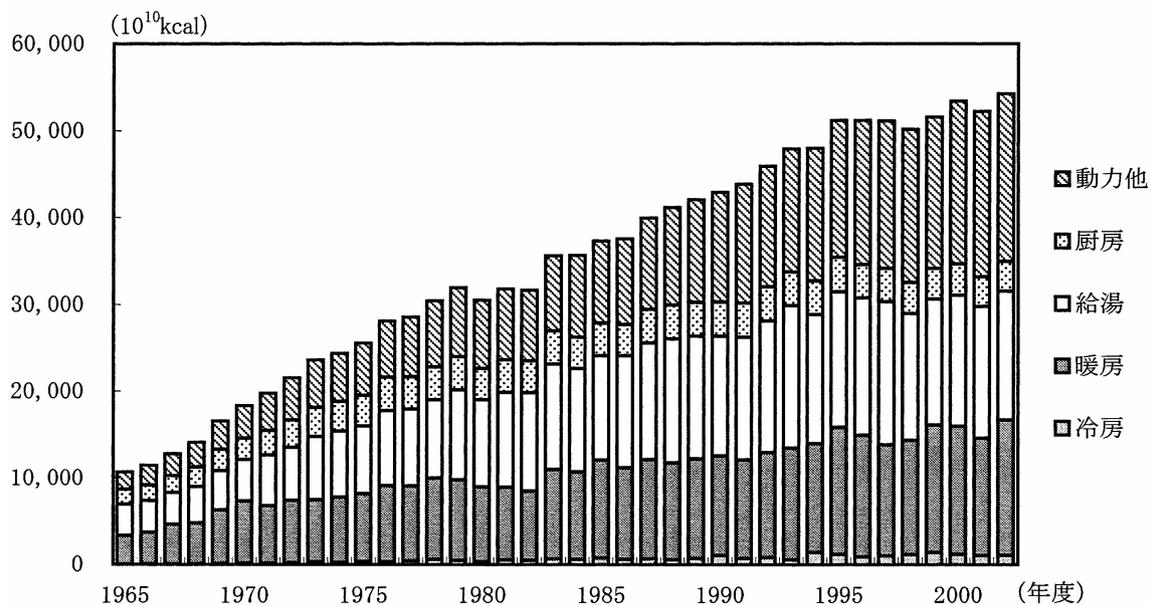


(出所) 松下電器産業ホームページより作成

### 3. 家庭部門におけるエネルギー消費の動向

ここでは、家庭部門のエネルギー消費量の動向をみている。図表4-4は、家庭部門における用途別エネルギー消費量の推移であり、冷房用、暖房用、給湯用、厨房用、その他に分けられている。家庭用燃料電池の導入による省エネ効果が期待される給湯部門をみると、家庭部門におけるエネルギー消費量の3分の1程度を占めており、1972年度から2002年度にかけて2.4倍になっている。家庭用の風呂の普及拡大とともに、温水が利用可能な住宅が増加したことにより、給湯用エネルギー消費量が増大している。

図表4-4 家庭部門用途別エネルギー消費量

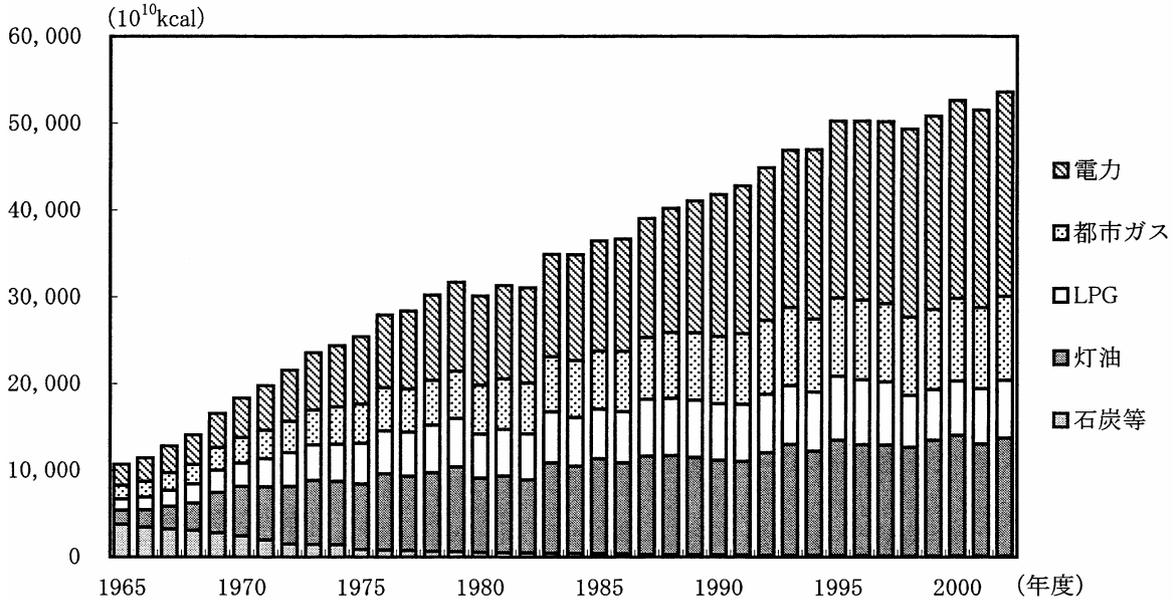


(10 <sup>10</sup> kcal)	1972年度	2002年度	増減率
冷房	185	1,084	486%
暖房	7,227	15,608	116%
給湯	6,104	14,829	143%
厨房	3,161	3,421	8%
動力他	4,864	19,314	297%

(出所) エネルギー・統計要覧2004より作成

次に家庭部門の消費エネルギーの推移を源泉別にみてみたのが図表4-5である。現在、家庭部門のエネルギー源泉別消費量のうち、電力が5割程度を占めている状況にあり、デジタル家電の導入拡大などによりエネルギー消費量は近年においても拡大傾向にある。一方、都市ガス、LPG、灯油なども、その消費量は拡大しているものの、伸び率は電力に比べ高くない状況である。

図表4-5 家庭部門エネルギー源泉別エネルギー消費量



(10 <sup>10</sup> kcal)	1972 年度	2002 年度	増減率
石炭等	1,468	94	-94%
灯油	6,668	13,615	104%
LPG	3,905	6,710	72%
都市ガス	3,591	9,673	169%
電力	5,909	23,507	298%
太陽熱	—	657	—

(出所) エネルギー・統計要覧 2004 より作成

#### 4. 家庭用燃料電池に関する企業の主な取り組み

前節までで、家庭用燃料電池の概要と家庭用エネルギーの動向をみてきた。ここでは企業の主な取り組みを紹介したい。

図表4-6は、家庭用燃料電池に関する代表的な企業の動きを纏めたものである。ガスや石油会社が、それぞれ都市ガスおよびLPG、灯油などから生成した水素を使った燃料電池の導入に積極的に取り組んでおり、電気機械メーカーとの共同開発を進めている。

図表 4-6 家庭用燃料電池の企業の取り組み

	企業名	導入開始時期	備 考
ガ ス	東京ガス	2005年2月	・松下電器産業、荏原バラード製をリース販売。 ・契約金額は年10万円。契約期間は10年。
	大阪ガス	2005年度	・電機メーカー4社と研究開発。
	東邦ガス	2006年3月	・トヨタ自動車／アイシン精機、荏原バラード、松下電器産業の3社と試験実施。
石 油	新日本石油	2005年3月	・三洋電機製をリース販売。 ・契約金額は年6万円。
	ジャパンエナジー	2005年5月	・東芝製をレンタルかリース販売する予定。 ・契約金額は年6万円前後。
	出光興産	2006年度	・灯油から不純物の硫黄を除去する能力が高い触媒を独自開発したことで、市販の灯油を燃料に使用可能。
電 気 機 械	荏原バラード	2005年2月	・東京ガスよりリース販売。
	松下電器産業	2005年2月	・東京ガスよりリース販売。
	三洋電機	2005年3月	・新日本石油から販売。
	東芝 IFC	2005年5月	・ジャパンエナジーより販売。

(出所) 各社発表資料、新聞情報等より作成

家庭用燃料電池を初めて商品化したのは、東京ガスである。東京ガスは、2005年2月に、松下電器産業と荏原バラード製の家庭用燃料電池のリース販売を開始した。2005年度末までに限定200台で、そのうち2ヵ月半程度の第一期募集期間に20台の家庭用燃料電池の募集を受ける予定である。利用者は、10年間のリース料として100万円を支払うとともに、年間データ収集などに協力する。この燃料電池は、従来と比べ、CO<sub>2</sub>の発生を約4割低減できるとともに、年間の光熱費を3万円程度抑制可能（東京ガス資料）といわれている。また、住宅メーカーでも、家庭用燃料電池を設置した住宅の販売に乗り出す動きがみられる。

一方、石油業界に関しては、新日本石油が、三洋電機と共同開発した液化石油ガス（LPG）を燃料とする家庭用燃料電池を2005年3月に商品化した。同社の燃料電池は、各家庭にあるボンベ内のLPGを改質して水素を取り出し、空気中の酸素と反応させる方法が採用されており、主な仕様は、出力が750W、発電効率34%で、熱利用を含めたエネルギーの総合効率は76%である。3年間をレンタル期間とし、料金は年間6万円に設定している。当初はレンタルであるが、2008年度からは売り切りも併用する。初年度は、関東周辺の一都十県で150台の販売を見込むとともに、2006年度からは全国に展開する予定である。また、新日本石油は、灯油型燃料電池についても研究開発を進めており2006年度の発売を目指している。

なお、東京ガスおよび新日本石油の設置契約の概要は図表4-7のとおりであるが、同一基準にすると発電効率、熱回収効率はほぼ同等とみられ、設備費および燃料費等のユーザーの総負担額も概ね同水準とみられている。

図表 4-7 家庭用燃料電池設置契約の概要

事業会社		東京ガス	新日本石油
事業開始時期		平成 17 年 2 月	平成 17 年 3 月
システム概要	燃料	都市ガス	LPG (液化石油ガス)
	定格発電容量	1 kW	750W
	発電効率	31%以上 (HHV 基準)	34% (LHV 基準)
	熱回収効率	40%以上 (HHV 基準)	42% (LHV 基準)
	貯湯槽容量	200 リットル	200 リットル
契約条件	期間・金額	10 万円/年 (10 年間) (メンテナンス費用含む)	6 万円/年 (3 年間)
	燃料費	一般料金から 3%割引 月額上限 9,500 円 (税込)	詳細不明
	その他	設置稼働後 3 年間は運転 データモニタリング等に協力	運転データ提供等の協力
導入規模	導入台数	限定 200 台 (2005 年度末まで)	限定 150 台 (2005 年度中)
	対象エリア	東京ガス供給エリア内の メンテナンス体制の整った地域	関東圏 1 都 10 県

(出所) 各社発表資料、新聞情報等より作成

(注) 燃料費およびリース料の合計金額では、ほぼ同水準の負担となる模様。

## 5. 家庭用給湯器市場の動向

図表 4-8 は、家庭用燃料電池の競争相手となる給湯機器の概要を整理したものである。現在使用されている家庭用給湯器は、従来型の燃焼式給湯器が主流であり、ガス、電気、石油をエネルギー源とする 3 種類の給湯器で年間約 350 万台が販売されている。これら 3 種類のうちガス給湯器が 8 割程度を占めている。販売価格は、機能の違いなどにより多少のバラツキはあるが、おおよそ 25 万円程度である。

次に、上述の一般的なタイプに比べ、廃棄熱を回収し再利用することにより一次エネルギー効率を 80~95%程度まで高めた潜熱回収型ガス給湯器 (エコジョーズ) がある。製品価格帯は 50 万円程度であるが、効率性の向上により燃料費を抑えることができる。

また、近年、大阪ガス、東邦ガスなどではガスコージェネシステム (エコウィル) の導入に積極的に取り組んでいる。これまでガスタイプが主流であった家庭用給湯器や調理用コンロなどの分野において電気タイプの強力な新製品が投入されてきていることから、ガス業界としては危機感を強めており、逆に、分散型電源によるコージェネシステムの導入といった対抗手段に出ているものと思われる。なお、コージェネシステムでは、給湯のみならず電力の供給も行うことから、従来型給湯器との単純な比較はできないが、集中発電方式による大規模火力発電に比べ、排熱を利用できることから、国全体のエネルギー消費量削減に繋がるとして期待されている。ただし、発電量に対して熱エネルギーの比率が大きいことから、実際運転時のエネルギーロスや、電力会社からの電力購入の割合拡大も見込まれ、温水利用量

が多い家庭に向いているシステムといえる。

一方、電力業界が熱心に取り組んでいるのが CO<sub>2</sub> 冷媒ヒートポンプ給湯機（エコキュート）である。エコキュートは、大気熱を吸収した冷媒（CO<sub>2</sub>）を圧縮する際に得られる熱によって温水を作るシステムであり、圧縮機（コンプレッサー）の動力源として投入される電気エネルギー 1 に対し、3～6 倍程度の熱エネルギーを得ることができるものである。

図表 4－8 主な家庭用給湯器の概要

名称	電気給湯器	石油給湯器	ガス給湯器	潜熱回収型給湯器（エコジョーズ）	家庭用ガスコージェネ（エコウィル）	CO <sub>2</sub> 冷媒ヒートポンプ給湯機（エコキュート）	家庭用燃料電池
エネルギー転換方式	電気→熱	石油→熱	ガス→熱	ガス→熱	ガス→電気+熱	電気→熱	水素→電気+熱
特徴	ヒーターに通電し水を温める構造。	石油を燃焼させて水を温める給湯器。	ガスを燃料させて水を温める給湯器。	排熱を回収して再利用することにより熱効率を改善した給湯器。	天然ガスコージェネレーションシステム（熱電併給）。	大気熱を吸収した冷媒(CO <sub>2</sub> )を圧縮する際に得られる熱によって温水を作る構造。	ガスや石油等から水素を精製し、空気中の酸素と反応させて発電し、排熱を利用。
単年度実績（台）	約 25 万台	約 65 万台	約 270 万台	—	約 6 千台	約 8 万台（2003 年度）	—
価格（注 1）	約 25 万円	約 25 万円	約 25 万円	約 45 万円	約 75 万円	約 75 万円	不明
発電効率	—	—	—	—	20%	—	30%
熱回収効率	不明	80%	80%	95%	65%	300%	40%
一次エネルギー効率	不明	80%	80%	95%	85%（注 2）	110%（注 3）	70%（注 2）
導入見通し（注 4）	—	—	—	280 万台	—	520 万台	220 万 kW
補助金	—	—	—	従来型給湯器との差額の 2 分の 1 以内			検討中

（出所）各種資料、ヒアリング等より作成

（注）

1. 価格については、概ね標準と思われる機種の種類を記載。
2. エコウィルと家庭用燃料電池は、発電と給湯を行うのに対し、それ以外の機器は、給湯のみであることから横並びの比較はできない。ただ、家庭用燃料電池は、発電のウエイトが高く効率的といわれている。
3. 火力発電所（平均発電効率 36.6%）で発電した電気を利用し、エネルギー消費効率が 3.0 倍とした場合。なお、最新の火力発電所では発電効率が 50%超、エコキュートのエネルギー消費効率は 4.0 以上を達成している機種もあり、本表は、一定の目安として整理したものである。
4. 家庭用ガスコージェネ、家庭用燃料電池の導入見通しは、総合資源エネルギー調査会需給部会「2030 年のエネルギー需給展望（中間とりまとめ）」（平成 16 年 10 月）の 2010 年追加対策ケース。家庭用燃料電池の導入見通しは家庭用以外も含む。

エコウィルおよびエコキュートともに現在の価格帯は 75 万円前後であり、従来型給湯器に比べて省エネ効果が得られ、地球温暖化対策にもなることから、エコジョーズを合わせた 3 タイプについて、従来型機種との差額の 2 分の 1 を上限に国から補助金が得られる制度が導入されている。ただし、エコキュートについては、2001 年の販売開始以来、販売台数が急速に増加しており、補助予算額を上回る設置希望があり、全てに対応できない状況にある。

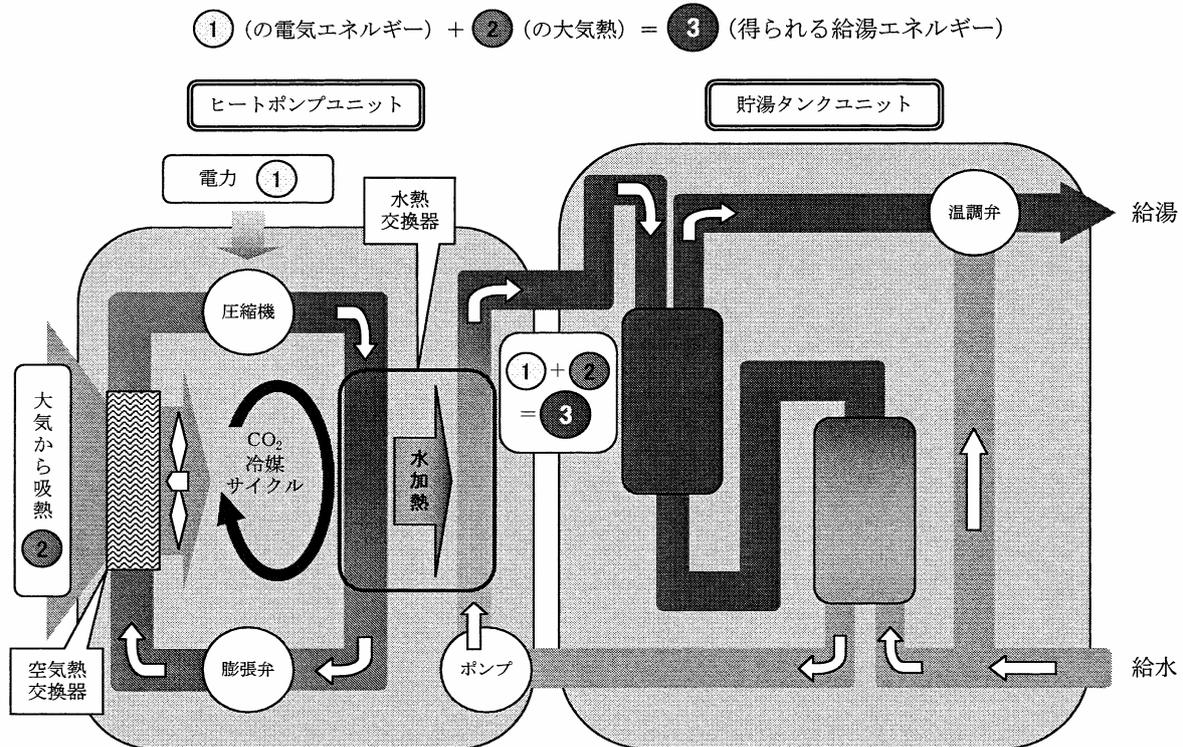
家庭用給湯部門では、これまで省エネの取り組みが遅れていたが、近年、上述のようなエコキュートをはじめとした新技術製品が投入されており、各家庭の利用型態に合わせて、燃

料電池を含めたこれらのシステムを広く導入することにより、省エネ、環境対策面での効果拡大が期待される。

## 6. CO<sub>2</sub>冷媒ヒートポンプ給湯機（エコキュート）の概要

エコキュートは、前述の通り、CO<sub>2</sub>を冷媒に使ったヒートポンプ式給湯機で、大気熱を吸収することにより、投入電気エネルギーの3～6倍の熱エネルギーを得ることができる画期的なシステムであり、平成13年4月に、東京電力、デンソー、電力中央研究所の共同開発により世界で初めて実用化された。冷媒ヒートポンプ方式は、エアコンにも使われている技術（エアコンの場合には、冷媒を膨張させ放熱することによって得られる冷気を利用）で、冷媒としてはフロンなどが使われている。エコキュートでは、冷媒としてCO<sub>2</sub>を使うことにより高温出湯が可能となり、最新機種のCOP（エネルギー消費効率）は、4.2に達しており、さらに効率向上した機種の販売も予定されている。エコキュートの普及状況を見ると、販売開始以来、既に24万台程度の販売実績があり、順調に台数を伸ばしている。なお、エネルギー効率の高いエコキュートを普及促進するため2002年度より購入者に対する国の補助制度（従来給湯器との差額の2分の1以内）が実施されており、2004年度下期の募集（17,000件）では、予定を上回る申込があった模様である。

図表4-9 CO<sub>2</sub>冷媒ヒートポンプ給湯機（エコキュート）の仕組み



(出所) ヒートポンプ蓄熱センター、東京電力資料などより作成

## 第5章 燃料電池自動車の現状と課題

### 1. 燃料電池自動車の特徴

現代社会において自動車が果たしている役割はいうまでもなく、我々の生活には欠かせない存在となっており、今後のガソリンなど化石燃料の逼迫への対応や、地球環境への負荷低減への取り組みが重要性を増している。そうしたなか、次世代の有力システムとして大きく期待されているのが燃料電池自動車である。燃料電池自動車は、従来型の内燃機関を利用した自動車に比べ、エネルギー利用効率が高く、走行時には水しか排出しない等、環境負荷が小さいといった利点を有している。当面は、燃料電池自動車の燃料源となる水素の製造は化石燃料を改質する方法が主流とみられているため、ライフサイクルでは地球温暖化の原因といわれている CO<sub>2</sub> を排出することになるものの、従来よりは排出量を削減することができ、さらに将来的には、バイオマス等の自然エネルギーから得られた水素を燃料源とすることにより、超クリーンなシステムとして稼動することも可能となる。

図表5-1は、ガソリン自動車、ディーゼル自動車、ガソリンハイブリッド自動車、燃料電池自動車の性能などを比較したものである。燃料電池自動車とガソリンハイブリッド自動車を比較すると、環境面では、燃料電池自動車がやや有利にある一方、車両特性では、現在のところハイブリッド自動車が優れている。1997年に販売を開始したガソリンハイブリッド自動車は、その後の性能向上とともに、販売台数を急速に伸ばしている。一方、燃料電池自動車は、2002年にリース販売が開始されているとはいえ、依然改善すべき課題は多く、限定的な商品化段階にある。

トヨタ自動車の公表資料によると、ハイブリッド燃料電池車の総合効率は現状、燃料効率が58%（天然ガスから水素を作る場合の効率）、車両効率が50%であり、総合効率では29%程度となっている。これは、従来のガソリン車の総合効率（14%）の約2倍に達するが、ガソリンハイブリッド車の総合効率（32%）よりは若干劣っている。車両効率では、ガソリンハイブリッド車の37%に比べ燃料電池車が50%と上回っているものの、燃料電池車は燃料となる水素製造の効率が大幅に低いため、総合効率ではガソリンハイブリッド車の水準に達していない。そのため、今後の取り組みとしては、燃料電池を中心とした車両本体の研究開発とともに、燃料効率の向上を図るべく水素運搬段階での効率改善に向けた研究開発などが重要であり、自動車関連業界のみならず、幅広い産業界での積極的な取り組みに期待したい。

図表 5 - 1 自動車の動力源別性能比較

名 称		ガソリン自動車	ディーゼル自動車	ガソリンハイブリッド自動車	燃料電池自動車
特 徴		・国内では主流。	・ヨーロッパでは主流になりつつある。	・エンジン動力と電気や圧力など他の動力とを組み合わせ、効率的に使用する自動車。	・燃料である水素を搭載した場合は、走行時には水しか排出しない超低公害車。
排出ガス	NO <sub>x</sub>	○	▲～△	△～◎	☆
	CO <sub>2</sub>	○	◎	◎～☆	☆
車両特性	出 力	○	△	△～○	△～○
	航続距離	○	◎	○～☆	△～○
台数 (台)	2001 年度	9,747,891		25,089	0
	2002 年度	10,237,746		15,514	0
	2003 年度	10,239,980		42,423	14
		生産台数		販売台数	販売台数

(出所) (社) 日本自動車工業会「2002 日本の自動車工業」、同法人ホームページなどより作成

(注)

1. 性能比較はガソリン自動車を基準(○)とした場合の相対比較。排出ガスには燃料製造段階の排出量は含まず。
2. 排出ガス、車両特性の項目は、【劣る ▲←△←○←◎←☆ 優れる】という意味である。
3. 生産台数は、乗用車、貨物車、トラックの合計。
4. ガソリン、ディーゼルの生産台数は、全体の生産台数からガソリンハイブリッドと燃料電池の台数を引いたものである。

図表 5 - 2 燃料電池車の効率比較 (※天然ガスから水素を作る場合)

	燃料効率 Well to Tank (%)	車両効率 Tank to Wheel (%)	総合効率 Well to Wheel (%)
ガソリン車	88	16	14
ガソリンハイブリッド車 (プリウス)	88	37	32
高圧水素燃料電池自動車	※58	38	22
トヨタ FCHV (ハイブリッド制御有)	※58	50	29
FCHV (目標)	70	60	42

燃料効率 (%) × 車両効率 (%) = 総合効率 (%)
--------------------------------

(出所) トヨタ自動車ホームページより作成

(注)

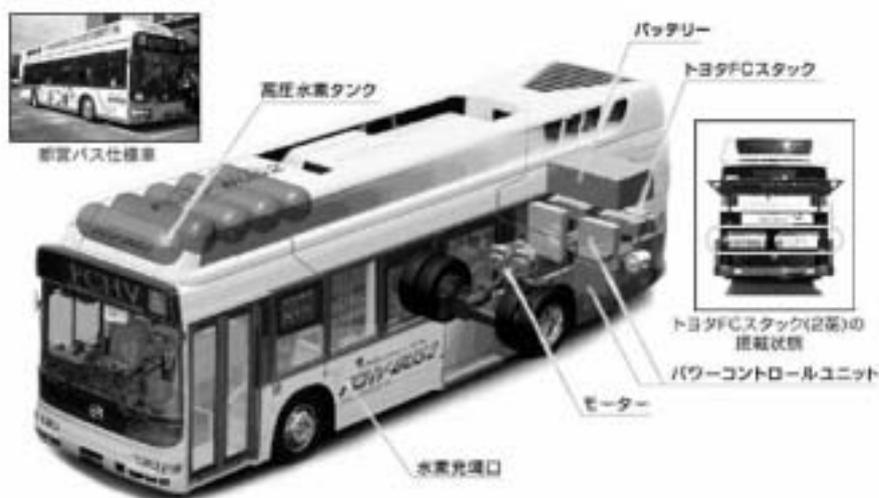
1. 燃料効率 (Well to Tank) : 燃料を採掘・製造して給油するまでの効率。
2. 車両効率 (Tank to Wheel) : タンク内の燃料を消費して、車が車輪で走行する効率。
3. 総合効率は、燃料効率と車両効率が掛け合わされて算出されている。
4. FCHV (Fuel Cell Hybrid Vehicle) とは、水素で走る燃料電池ハイブリッド車のことである。

## 2. 燃料電池自動車に関する企業の主な取り組み

国内の燃料電池自動車の取り組みに関しては、トヨタ自動車が、1992年に本格的な研究開発を開始している。トヨタ自動車は、グループ企業とも連携しながら、乗用車、大型バス、軽自動車などの様々な種類の自動車に独自開発したFCスタックを搭載し、実証実験を行っている。例えば、FCHV-BUS2は、トヨタ自動車と日野自動車が共同で開発を行った大型バスであり、トヨタFCスタックを2基搭載している。また、トヨタ自動車とダイハツ工業が共同開発した燃料電池車ムーヴFCV-K-2は、軽自動車用のコンパクトなタイプである。2001年6月には、高圧水素タンクと自社開発のトヨタFCスタックを搭載したFCHV-4を開発し、日米で乗用車の公道テストを行った。

本田技研工業（ホンダ）も、燃料電池の研究開発を行っており、2001年7月に、燃料電池車FCX-V3の公道テストを開始している。2002年12月には、トヨタ自動車とホンダが、世界初の市販燃料電池自動車を中央官庁に納入し首相官邸で開かれた納車式には首相も参加した。その後両社に加え、日産が2003年12月に、ダイハツも2004年6月に、燃料電池関連ビジネスへの参入を目指す企業や官公庁などへの燃料電池自動車のリース販売を開始している。

図表5-3 トヨタ自動車と日野自動車の燃料電池バス



(出所) トヨタ自動車ホームページ

図表5-4 燃料電池自動車に関する国内企業の取り組み

企業名	備 考
トヨタ	1992年 : 材料・部品・システム・制御・生産技術にいたるまで、総合的な開発に着手。
	1996年10月 : 自社開発の燃料電池と水素吸蔵合金タンクを搭載したFCHVを開発。大阪・御堂筋のパレードに参加。
	2001年6月 : (FCHV-4) 高圧水素タンクと自社開発のトヨタFCスタックを搭載したFCHV-4を開発。日米で乗用車の公道テストを開始。
	2002年12月 : (トヨタFCHV) FCHV-4をベースにしたトヨタFCHVの限定販売を開始。まず日本で4台、米国で2台をリース販売(120万円/月)。
	2003年8月 : (FCHV-BUS2) 都営バスとして日本で初めての営業運行を開始。
	2005年3月 : (FCHV-BUS2) 愛・地球博の会場内で来場者の移動手段として使用。
ホンダ	1999年9月 : (FCX-V1、FCX-V2) バラード社製の燃料電池を搭載したFCX-V1、メタノール燃料を使用するFCX-V2という2タイプの実験車を公開。
	2001年7月 : (FCX-V3) 乗用車の公道テストを開始。
	2002年12月 : (Honda FCX) 内閣府(80万円/月)、ロスアンゼルス市にリース販売。
日産	2002年12月 : (X-TRAIL FCV) 乗用車の公道テスト開始。
	2003年12月 : (X-TRAIL FCV03年モデル) リース販売を開始(100万円/月)。
ダイハツ	2004年6月 : トヨタ自動車と共同開発した軽乗用車ベースの燃料電池車(MOVE FCV-K-II)大阪府庁に納入(20万円/月)。
マツダ	2001年2月 : (プレマシーFC-EV) 乗用車の公道テスト開始。
三菱	2004年1月 : (MITSUBISHI FCV) 乗用車の公道テスト開始。
スズキ	2004年1月 : (WagonR) 乗用車の公道テスト開始。

(出所) (財) 日本自動車研究所「平成15年燃料電池自動車に関する調査報告書」、各社ニュースリリース、新聞報道などより作成

次に海外企業に関しては、ダイムラークライスラーが、いち早く燃料電池自動車の開発に着手したといわれている。元々ダイムラークライスラーは、新たな燃料供給のためのインフラ整備が必要ないように、従来の自動車燃料から車上で水素を改質して利用する方式の開発に取り組んできた。しかし、容量の大きい車上改質器の大幅な小型化が難しいことなどから、その後、主要各社とも、圧縮水素を搭載するタイプへの取り組みを強化している。そのような経緯などもあり、ダイムラークライスラーは商用化に関して、日本メーカーにやや遅れをとってしまったかたちとなった。しかし、2002年10月に発表した、F-Cellが現在では欧州、米国、日本などに60台納入され、また、Citaroという燃料電池バスを、後述する欧州の燃料電池プロジェクト“CUTE”において各水素ステーションに3台ずつの計30台導入されている。また、愛知万博でも、会場内の移動手段として、F-Cellを2台提供している。

その他、フォードやGMなど世界の主要自動車メーカーでは、企業間連携なども活かしながら、次世代有力システムとして期待されている燃料電池車への戦略的な取り組みを加速させている。

図表 5 - 5 燃料電池自動車に関する海外企業の取り組み

企業名	備 考
ダイムラー クライスラー	2001年 : (Necar5) 日本で乗用車の公道走行試験実施。
	2002年10月 : (F-Cell) 高圧水素形燃料電池車を発表。
	2003年3月 : (F-Cell) 日本で乗用車の公道走行試験開始。
	2003年10月 : (F-Cell) 東京ガス、ブリヂストンとの間でパートナーシップ契約。リース料 (120万円/月)。
	2005年2月 : 世界中で100台の燃料電池車の納入達成。
フォード	2000年 : (Focus FCV) 高圧水素形燃料電池車を発表。
	2003年6月 : (Focus FCV) 燃料電池車のリース販売を2004年に開始する計画を発表。
	2004年7月 : 2004年末までに燃料電池車のリース販売を50-60台レベルに倍増する。
GM	1997年 : (Zafira) メタノール改質形を発表。
	2002年5月 : (ChevroletS-10) ガソリン改質形燃料電池車の試走に成功。
	2003年2月 : (HydroGen3) 乗用車の公道走行試験成功。
	2003年3月 : (HydroGen3) 日本で乗用車の公道走行試験開始。
	2005年2月 : 世界でリース販売する燃料電池車は、2007年にも米国で40台、日本と中国各1台の計42台になる見通し。
ルノー	2002年2月 : 日産とのスタック部分共同開発合意。
第一汽車集団	2003年10月 : トヨタ自動車の燃料電池車技術導入を発表。

(出所) (財) 日本自動車研究所「平成15年燃料電池自動車に関する調査報告書」、各社ニュースリリース、新聞報道等より作成

図表 5 - 6 は、FC スタックメーカーと自動車メーカーとの提携関係などを整理したものである。世界各国の燃料電池自動車開発は、大きく分けて、バラードグループ、UTC Fuel Cells グループ、自動車メーカー内製グループに分かれる。

バラードグループでは、カナダの FC スタックメーカーであるバラード社を中心に、ダイムラークライスラーやフォードが同社に出資も行っており、アライアンスの関係が構築されている。また、バラード社は、ホンダ、日産、のほか、フォルクスワーゲンや韓国・現代にもスタックの供給を行っている模様である。

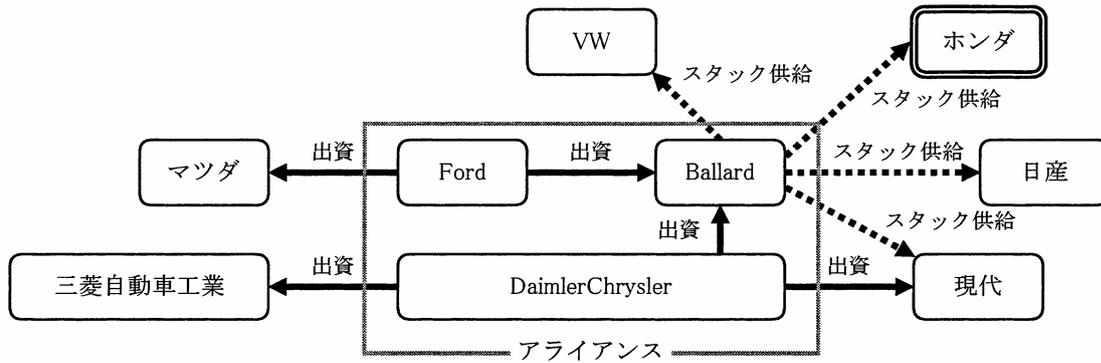
米国・UTC 社 (United Technologies Corporation) の 100%出資会社である UTC Fuel Cells 社は、日産と共同で自動車用燃料電池の開発に取り組んでいるほか、フォルクスワーゲンや BMW 社などにもスタックの供給を行っている。

その他、自動車メーカー内製グループでは、GM とトヨタ自動車が共同で燃料電池の開発を行うなど、日頃の競合関係を超えた取り組みがなされている。また、それぞれ、グループ内企業にもスタック供給を行っており、グループ内での強みを活かした取り組みを進めている。

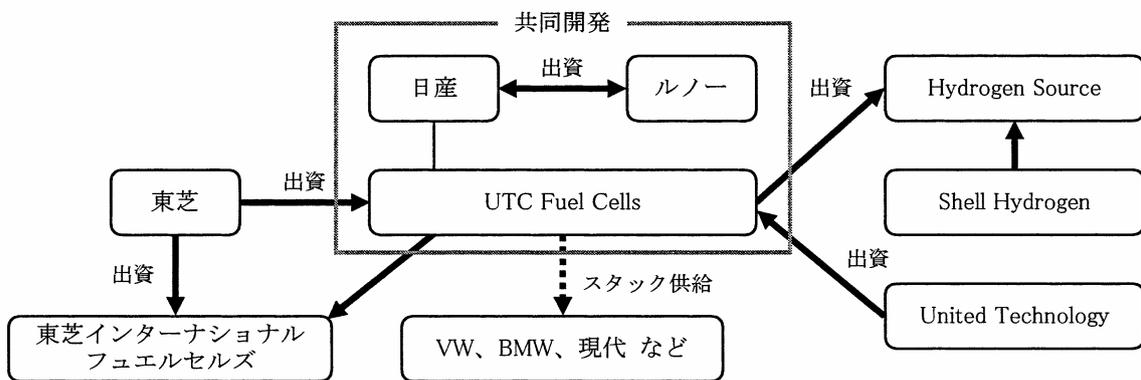
これまで主要企業が発表した燃料電池車の性能をみると、概ね、最高速度が 150km 前後、1 回あたりの燃料充填での走行距離が 300~400km 程度と、一般での利用にはもう一段の性能向上が必要となるほか、寒冷地での排水処理など、解決すべき課題が残されている。さらに、燃料電池を含めた現状の車両製造コストは 1 億円以上ともいわれており、大幅なコスト低減に向けた取り組みが不可欠となる。

図表5-6 FCスタックメーカーと自動車メーカーとの関係

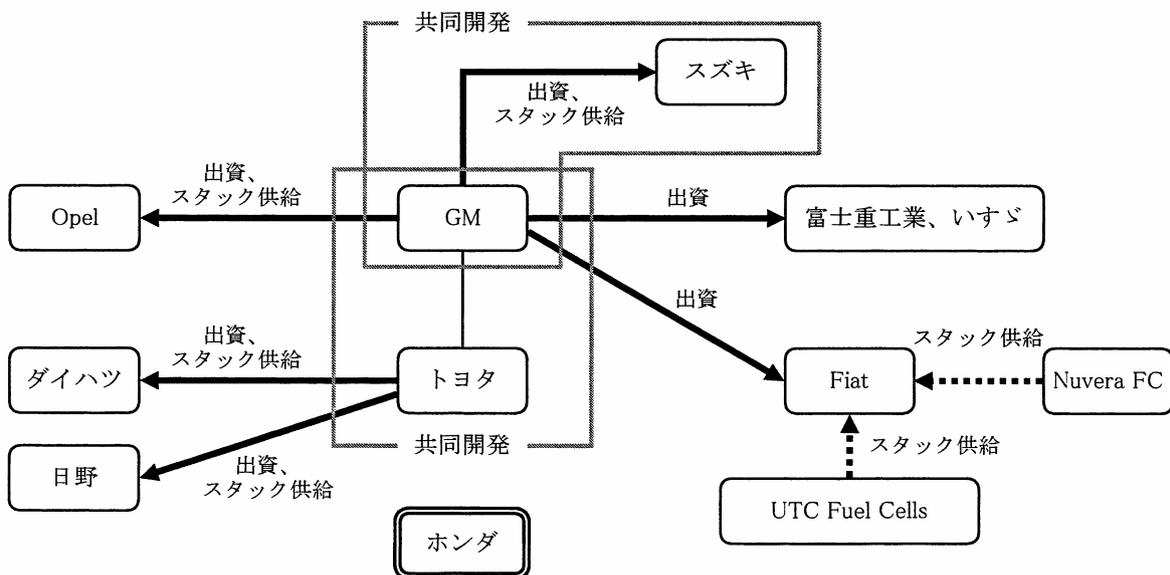
a) Ballardグループ



b) UTC Fuel Cellsグループ



c) 自動車メーカー内製グループ



(出所) (財) 日本自動車研究所「平成15年燃料電池自動車に関する調査報告書」