

国土交通政策研究 第59号

# 水素エネルギー社会におけるインフラ及び 都市・住宅に関する研究

2005年12月

国土交通省国土交通政策研究所

前研究調整官 瀬本 浩史

研究調整官 山田 哲也

前研究官 江岡 幸司

研究官 山形 創一

## はじめに

現在、世界で消費されているエネルギーの約 85%は、化石燃料から得られている。今後発展途上国のエネルギー需要の増大が見込まれる中、このような化石燃料に大きく依存したエネルギー供給には、大きな問題が存在している。最大の問題は、化石燃料の燃焼に伴って発生する二酸化炭素の増大による地球温暖化問題である。その他にも、化石燃料が早晩、枯渇する可能性が高いこと、また政情が不安定な中東諸国に偏在していることなどから、化石燃料は持続可能なエネルギー資源とは言えず、代替のエネルギー開発が急務となっている。

以上の化石燃料の問題点を克服する新しいエネルギー源として、現在世界で注目を集めているのが水素エネルギーである。水素は単体では殆ど存在しないが、化合物の形であらゆる場所に存在する元素であり、エネルギーを取り出した結果として水蒸気のみ発生させ、二酸化炭素等環境負荷物質を発生させない。この水素の性質は、上記の化石燃料の問題点を克服しうるものとされている。そして、化石燃料に依存した社会から水素エネルギー社会への移行を促す鍵となる技術が燃料電池である。燃料電池は水素と酸素を電気化学的に反応させて、水の電気分解とは逆の反応で発電する装置である。また、電気化学反応で発電するため騒音・振動を発生せず、電気と熱と水のみ排出するクリーンな発電装置である。

燃料電池の開発は、近年始まったものではなく、わが国でも、1981年にはNEDOが政府の研究開発援助を受けて開発に着手し、その後1990年代には地球温暖化問題の深刻化とともに、実用化への取組が活発化した。現在、燃料電池自動車等で一部実用化がされているが、技術的に研究開発段階である部分もまだ数多く、本格的に普及するには、技術的な課題とともにコストの低減、インフラの整備などさまざまな課題が存在している。

そこで本調査研究では、水素エネルギー社会への円滑な移行という観点から、水素エネルギー社会の将来展望、日本をはじめとする各国の水素エネルギー社会への戦略的取組、及び水素エネルギー社会におけるインフラ及び都市・住宅のあり方などについて、検討・整理を行った。

本報告書では、第1章を水素エネルギー協会 岡野一清理事、第3, 4章を京都大学国際融合創造センター・フェロー 大橋一彦氏、第5章を株式会社住環境計画研究所 中上英俊所長にご執筆いただいた。ここに厚く御礼申し上げます。

2005年12月

国土交通省国土交通政策研究所

前研究調整官 瀬本 浩史

研究調整官 山田 哲也

前研究官 江岡 幸司

研究官 山形 創一

# 本研究の要旨

## 1. 本研究の目的

本研究では、水素エネルギー社会への円滑な転換に資することを目的として、水素エネルギー社会におけるインフラ及び都市住宅のあり方について検討を行うこととし、以下の5つの項目について検討・整理を行った。

- ・水素エネルギー社会とその将来展望
- ・わが国の水素エネルギー社会への取組
- ・水素エネルギー社会を目指す各国の戦略的取組
- ・水素エネルギー社会における新たなインフラのあり方
- ・水素エネルギー社会における新たな都市・住宅のあり方

## 2. 本報告書の内容

### 第1章 水素エネルギー社会とその将来展望

(執筆：水素エネルギー協会 岡野一清理事)

現在までの水素エネルギー技術開発の状況等を踏まえた上で、水素エネルギー社会実現に向けての課題、水素エネルギー社会の将来展望について執筆いただいた。

### 第2章 わが国の水素エネルギー社会への取組

わが国での水素エネルギー社会への取組は近年始まったものではないが、1990年代に地球温暖化問題の深刻化とともに、燃料電池実用化への取組が活発化した。本章では、そのような流れを受けた近年のわが国の水素エネルギー社会へ向けた取組及びわが国の水素エネルギー社会への移行シナリオについて整理を行った。

### 第3章 水素エネルギー社会を目指す各国の戦略的取組

(執筆：京都大学国際融合創造センター・フェロー 大橋一彦氏)

現在欧米を中心とした世界各国で、水素エネルギー社会を目指す戦略的な取組が行われているところであるが、各国の国土構造、エネルギー依存構造、エネルギー需要、技術水準等、各種要因によって水素エネルギー社会への取組や位置付けには差異がある。本章ではそのような各種要因も踏まえて、世界各国の取組状況・今後の取組方針等を執筆いただいた。

### 第4章 水素エネルギー社会における新たなインフラのあり方

(執筆：京都大学国際融合創造センター・フェロー 大橋一彦氏)

水素エネルギー社会を実現する上で、水素を燃料電池に供給する水素供給インフラの整備が必要となる。この場合、水素供給インフラの整備として、現在と全く異なる大規模なエネルギーインフラを構築することは財政上、環境面での制約等に鑑みると困難であり、既存の社会資本を有効利用する形で整備されるのが一つの選択肢と考えられる。本章では、以上を踏まえた望ましい水素供給インフラのあり方について執筆いただいた。

## 第5章 水素エネルギー社会における新たな都市・住宅のあり方

(執筆：株式会社住環境計画研究所 中上英俊所長)

現在家庭用の定置型燃料電池の開発が活発に行われており、燃料電池車より先に普及段階に入るといふ予測もされている状況にある。その家庭用燃料電池の普及に当たり、都市内においての水素の貯蔵の方法や運搬方法、また住宅での使用方法のさまざまな課題が存在している。本章では以上を踏まえた水素エネルギー社会における都市・住宅のあり方について執筆いただいた。

キーワード：水素エネルギー社会、燃料電池、水素インフラ、コージェネレーション  
分散型エネルギーシステム

# Summary

## 1. Objectives

In this research, we have studied as to what the infrastructure and cities/houses should be for the harmonious transition to hydrogen energy oriented society. We have examined and analyzed following 5 issues to be considered:

- Future prospects of hydrogen energy oriented society
- Japan's approach to hydrogen energy oriented society
- Strategic operations in every country aiming for hydrogen energy oriented society
- What the infrastructure should be in hydrogen energy oriented society
- What cities/houses should be in hydrogen energy oriented society

## 2. Contents

Chapter 1: Future prospects of hydrogen energy oriented society.

Based on available technologies and progress in development of hydrogen energy, future prospects and issues of hydrogen energy are described.

Chapter 2: Japan's approach to hydrogen energy oriented society

The approach toward the transition to hydrogen energy in Japan is not new. In the 1990s when global warming problems became serious, Japan actively considered to apply the fuel cell system. Japan is currently trying to apply the hydrogen energy in accordance with the trend that the hydrogen energy is one of best substitutes. In this chapter, the baseline scenario of Japan's approach to hydrogen energy is prepared for further discussions.

Chapter 3: Strategic operations in every country aiming for hydrogen energy oriented society

At present, many countries in Europe and America are trying to make strategic operations in adopting the hydrogen energy. But each country differs in territorial structure, energy reliance, energy requirement, and technological standards. In this chapter, strategic operations in every country aiming for hydrogen energy oriented society are described with the full consideration of above said differentiated characteristics and future policies.

Chapter 4: What the infrastructure should be in hydrogen energy oriented society

To make hydrogen energy oriented society sustainable, it is necessary to develop an infrastructure to supply hydrogen to fuel cells. Since in developing the infrastructure for supplying hydrogen, there would be financial, constructional and

environmental issues in developing a completely different energy infrastructure from the existing one, the effective utilization of existing social capital should be one of best alternatives. In this chapter, what a good hydrogen supply infrastructure should be is described.

#### Chapter 5: What cities/houses should be in hydrogen energy oriented society

At present, the stationary fuel cell for domestic use are under active development. The spread of them would be earlier than these of fuel cell cars. With the spread of fuel cells for domestic use, problems arise as a process of the consideration for the storage and transportation of hydrogen in the city. There are many problems in considering uses in the house. In this chapter, what cities/houses should be in hydrogen energy oriented society are described with the full consideration of urban issues.

Key word: hydrogen energy oriented society, fuel cell, hydrogen infrastructure, co-generation, dispersed type energy system

# 目 次

第1章 水素エネルギー社会とその将来展望	
1．水素の歴史	1
2．水素エネルギーへの期待	1
3．水素の性質と特長及び安全性	1
(1) 水素の性質と特長	1
(2) 水素の安全性	2
4．わが国における水素エネルギー技術開発の経過	2
(1) WE-NET 計画	2
(2) 「水素安全利用等基盤技術開発」プロジェクト	3
(3) 水素・燃料電池実証プロジェクト (JHFC プロジェクト)	4
5．水素利用技術	5
(1) 燃料電池	5
(2) 燃料電池自動車	6
(3) 燃料電池応用製品	7
(4) 熱機関	7
(5) 水素ステーション	7
6．わが国の水素・燃料電池導入目標	8
7．水素の供給源	8
(1) 多種多様で豊富な将来の水素源	8
(2) 即利用可能な水素源	10
8．水素エネルギー社会の実現に向けての課題	10
(1) 短期課題	10
(2) 長期課題	10
(3) その他の課題	11
9．将来展望	11
第2章 わが国の水素エネルギー社会への取組	
1．わが国の水素エネルギー社会への取組	13
(1) 地球温暖化対策推進大綱	14
(2) 燃料電池実用化戦略研究会	14
(3) 小泉内閣の取組	15
(4) 副大臣燃料電池プロジェクトチーム	17
(5) 燃料電池実用化に関する関係省庁連絡会議	17
2．わが国の水素エネルギー社会への移行シナリオ	25
第3章 水素エネルギー社会を目指す各国の戦略的取組	
1．まえがき	29

2 . 世界の水素供給インフラの現況	29
3 . 水素プロジェクトの注目地域	30
4 . 技術開発上の課題	30
5 . 水素に関する世界統一規格・基準	33
6 . 進行中の世界の代表的実証プロジェクト	34
6 . 1 . 北米の水素実証プロジェクト	34
( 1 ) カリフォルニア燃料電池パートナーシップ ( CaFCP )	34
( 2 ) 圧縮水素インフラ・プログラム ( CH2IP )	35
6 . 2 . 欧州の水素実証プロジェクト	35
( 1 ) CUTE と ECTOS プロジェクト	35
( 2 ) ベルリン地域水素供給・管理プロジェクト	36
6 . 3 . 日本の水素実証プロジェクト	36
( 1 ) JHFC(水素燃料電池実証プロジェクト)	36
( 2 ) WE-NET ( 世界エネルギー・ネットワーク )	38
7 . 世界の代表的な新規水素実証プロジェクト	38
7 . 1 . 北米の新規水素実証プロジェクト	38
( 1 ) カリフォルニア州南岸地区大気質管理委員会 ( AQMD )	38
( 2 ) カリフォルニア水素ハイウエー	39
( 3 ) 水素燃料電池車およびインフラ実証・確認プロジェクト	39
( 4 ) 水素回廊プロジェクト	40
( 5 ) 水素ハイウエー	40
( 6 ) イリノイ州水素・燃料電池プロジェクト	41
( 7 ) 米国中西部水素ハイウエー・イニシアティブ	42
7 . 2 . 欧州の新規水素実証プロジェクト	42
( 1 ) クリーンエネルギー・パートナーシップ	42
( 2 ) 水素チェーン・プロジェクト	43
( 3 ) ノルウエー水素ハイウエー	44
8 . あとがき	44

#### 第4章 水素エネルギー社会における新たな水素インフラのあり方

1 . まえがき	47
2 . 水素エネルギー社会へ移行するためのドライバーとビジョン	48
3 . 水素インフラと将来の水素供給方法	49
4 . 現在の水素利用とインフラ	51
5 . 米国、日本および欧州における水素インフラと実証イニシアティブ	52
6 . 水素インフラの長期ビジョンと課題	55
7 . 欧州の水素インフラ建設コスト試算例	55
8 . わが国の水素インフラ構築のシナリオ案	56
9 . あとがき	59

第5章 水素エネルギー社会における新たな都市・住宅のあり方	
1．家庭用エネルギー消費量の推移	61
2．燃料電池導入見通し	63
3．住宅のあり方	63
4．住宅における熱需要と電力需要	63
5．水素エネルギー社会における地域社会のあり方	66
6．まとめ	67
参考資料	71
参考資料1	73
参考資料2	147
参考資料3	163
参考文献	185

# 第 1 章

## 水素エネルギー社会とその将来展望

# 第1章 水素エネルギー社会とその将来展望

岡野 一清  
水素エネルギー協会 理事

## 1. 水素の歴史

水素の歴史は古く、1776年にイギリスの科学者ヘンリー・キャベンディッシュが当時まだ名前のなかった2種類のガス（生命空気と可燃性空気）を電気火花で結合させて水を作った実験の論文を発表した。そして1785年にフランスのアントワース・ローラン・ラボアジエが再現実験に成功し生命空気を酸素、可燃性空気を水素と名付けて水素の歴史が始まった。1790年代終わりにはフランスにおいて戦争の偵察用気球に使用する水素を製造するために軍隊の駐屯地で水素発生器が製作され、200年以上前から水素が利用されていた。

その後水素は1900年代になってからアンモニア合成や石油、化学、金属、半導体、食品などの産業用、ロケット用などに大量に利用されるようになり、2000年代になってから燃料電池自動車の燃料として、即ち石油代替エネルギーとしての市場導入が期待される状況になってきた。

## 2. 水素エネルギーへの期待

埋蔵量に限界がある化石燃料に全面依存する石油、石炭、天然ガスなど炭化水素の時代は全盛期にさしかかっており、やがては衰退の道を進むことになる。既に太陽光発電や風力発電などの自然エネルギー利用設備が社会へ導入されているが、自然エネルギーの大量利用による未来社会を目指す時、それらのエネルギーにより発電した電力で水を電気分解して作れる水素がクリーンなエネルギー媒体として欠くことのできない存在となる。即ち自然エネルギーは大量貯蔵ができないが、作られた水素は大量輸送、大量貯蔵ができるため必要な時に必要な場所で燃料電池、エンジンやタービン発電などの燃料として使用し電力を得ることができる。しかも水素は化学的活性が高いのでこれらのエネルギー変換を高効率で行うことができる。現在、二酸化炭素の排出量の増加による地球温暖化が進み世界が有効な対策に苦慮している中で、水素は燃焼時に二酸化炭素を排出する原因となる炭素原子を含まない唯一の実用的燃料であり燃料電池や熱機関の燃料に使用される。そのため水素の利用は地球環境問題への対応策として期待されているが、最近の原油の高騰により特にエネルギーの安全保障の観点から、輸入に頼ることなく国内資源で生産できる水素への期待がアメリカを始め世界的に高まっている。

## 3. 水素の性質と特長及び安全性

### (1) 水素の性質と特長

水素は単独では地球上に存在せず炭素や酸素その他の化合物として大量に存在している。

水素は各種エネルギーを利用してそれらの化合物から水素を分離して作る二次エネルギーである。水素の性状は無色、無味、無臭、無毒で比重は0.0695（空気=1とする）と空気の重さの1/14の軽い気体である。マイナス253の極低温では液体になる。水素の最も優れた性質は燃やせば多量の熱を発生するが、反応生成物は水だけで他に類のないクリー

んな燃料である。エネルギーとしての水素は下記のような優れた特長を持っている。

- ・大量生産が可能でクリーンな二次エネルギーである。
- ・化学的活性が高く電気から水素（水電解）、水素から電気（燃料電池）への高効率のエネルギー変換ができる。（従って燃料電池の最適燃料となる）
- ・水素の利用により高効率の燃料電池発電が可能になるので、水素製造時のエネルギー損失を補うことができる。
- ・大量輸送・貯蔵が可能でエネルギーキャリアーとしてエネルギーの有効利用を可能にする。
- ・発熱量が高くエンジンやタービンの燃料として使用できる。

## (2)水素の安全性

水素は爆発限界が広い（空気中で4～74.5%、天然ガスの主成分のメタンは4～15%）、燃焼速度が速い（2.65m/秒、メタンは0.4m/秒）、発火エネルギーが小さい（0.02mJ、メタンは0.28mJ）、分子が小さく漏れやすいことなどから爆発しやすい危険なガスと誤解されている。

しかし水素は天然ガスなどと同様に閉鎖空間に滞留し濃度が爆発限界内にある状態で火が入らない限り爆発は起こさず、まして自然に爆発することはない。

水素を安全に利用するには天然ガスやLPGなど他の可燃性ガスと同様に漏らさないこと、万一漏れて滞留しても濃度が爆発限界の4～74.5%にならないよう換気に注意すること、そして点火源となる火種（裸火や静電気火花など）を近づけないような管理をすることが鉄則である。そして水素は非常に軽いため、漏れても爆発限界に入らないような換気が容易にできると、屋外では瞬時に大気中に拡散するなど安全管理が他の可燃性ガスより容易にできるので過度に危険視する必要はない。

水素を扱う水素ステーションには換気、漏洩検知、インターロックシステム、機器の運転状況の異常検知、火災検知、静電気防止の接地、過剰圧充填防止などの万全の安全対策が施されている。水素を大量に扱っているヨーロッパやアメリカには長距離パイプラインがあり、大量の水素が工業原料や産業用として利用されており安全に利用できることが実証されている。また、炭素鋼材料に対する水素脆性を懸念する向きもあるが、200℃以下の温度では問題はなく、ヨーロッパでは炭素鋼鋼管による全長1000kmに及ぶ60気圧の長距離パイプラインが30年以上無事故で使用されている。

自動車用コンポジット水素容器については、衝撃試験、落下試験、火災試験、銃撃試験などの安全性の確認試験がここ数年間カナダのPowertech研究所を中心に行われてきたが、他の燃料と同じように火災は起きても爆発しないことが確認されている。

わが国でも2002年から水素に関する規制緩和の技術的裏付けを取るための研究が国のプロジェクトで行われており、2004年には直径18m、高さ16mのドーム内で水素や燃料電池車の火災や爆発実験ができる世界初の大規模な試験施設が（財）自動車研究所に設置され各種の安全性試験が行われている。

## 4. わが国における水素エネルギー技術開発の経過

### (1)WE-NET計画

わが国では1974年のオイルショックを契機として、新エネルギー技術開発を行う通商産業省工業技術院のサンシャイン計画が発足し水素関連技術としては、アルカリ形燃料電

池、水素水素吸蔵合金、高温高圧型アルカリ水電解技術などの開発が行われた。

その後事前の予備調査を行ってから 1993 年度末より工業技術院/新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) のプロジェクトとして「水素利用国際クリーンエネルギーシステム技術」開発プロジェクト、通称 WE-NET (World Energy Network) 計画が発足した。

この計画は壮大な長期開発計画として世界中に大きなインパクトを与えた。アメリカでもほぼ同じ頃 1990 年に水素エネルギー技術開発を国家プロジェクトとして行うことを決めたスパークマツナガ法案が可決され 1992 年より DOE (エネルギー省) 水素プログラムとして長期の組織的な研究開発が開始された。

WE-NET 計画は世界各地に偏在する未利用の再生可能エネルギー(水力、太陽光、風力、地熱などの自然エネルギー)で発電した電力で水を電気分解して水素を生産し、大量輸送できるように液化して液体水素を巨大なタンカーで消費地に運搬して貯蔵する。消費地では水素燃焼タービン発電や燃料電池発電、自動車燃料などに利用し、水素の製造から利用まで CO<sub>2</sub>を発生させない完全にクリーンなエネルギーの一貫システムを構築することを目的とした。

そして 1998 年度までの第 1 期計画ではそのために必要な大容量の水素の製造技術として大容量の固体高分子電解質水電解装置、水素液化装置、液体水素輸送タンカー、液体水素貯蔵タンク、500MW の水素燃焼タービン発電システムなどの研究が行われた。そのほか、水素が低圧で安全に貯蔵できる高性能水素吸蔵合金、MW 級水素ディーゼルエンジン、水素雰囲気で使用できる金属材料研究も行われた。1999 年度から開始された第 2 期計画では 1996 年頃から自動車会社が燃料電池自動車の試作車を発表するようになってきたことから、自動車用水素ステーション技術の開発に着手し、2001 年にわが国初の天然ガス改質型水素ステーションを大阪に、固体高分子電解質水電解型水素ステーションを高松に完成させた。さらに翌年には 3 つ目の水素ステーションとして副生水素貯蔵型水素ステーションを横浜鶴見に完成させた。

WE-NET 計画は世界で最も大きい長期の水素プロジェクトとして注目を集め各国の水素技術開発に大きな影響を与えた。しかしながら国の方針が短期に実用化できる燃料電池自動車関連の技術開発を集中して行う方針に変更されたため、WE-NET 計画は予定より早く 2002 年度をもって終了し大規模な水素インフラ構築を目指した長期の技術開発は中止された。

## (2) 「水素安全利用等基盤技術開発」プロジェクト

WE-NET 計画の終了の後新たに発足した経済産業省の「固体高分子形燃料電池 / 水素エネルギー利用プログラム」の一貫として NEDO 担当の「水素安全利用等基盤技術開発」プロジェクトが 2003 年から 2007 年までの 5 年計画として開始された。このプロジェクトは短期に実用可能な燃料電池自動車や水素ステーション関連や水素吸蔵合金などの実用化技術開発と水素の安全技術研究に対象が絞られた。

実用化技術開発では、燃料電池自動車関連機器として圧縮水素容器の超高压化技術、液体水素容器技術の開発を行っている。水素インフラ関連では 70MPa 級水素ステーション用圧縮機、水素製造装置と組み合わせて使用される水素精製装置、水素ステーション用ディスプレイ技術、水素貯蔵技術として水素吸蔵合金の研究開発などが行われている。

水素安全技術研究は水素の安全に係わる法規制緩和のための裏付け調査を主目的として行われた。即ち 2002 年に関係 5 省庁連絡会議が産業界から提案された燃料電池・水素に

係わる規制を再点検して平成 16 年度中に見直しを完了する方針を打ち出した。

自動車関連法令については（社）自動車工業会、水素インフラについては（財）石油産業活性化センター、定置用燃料電池については（社）日本電機工業会が見直し作業のとりまとめを担当した。そして水素安全の関する多くの実験データを参考にして 6 法律（高圧ガス保安法、建築基準法、道路法、道路運送車両法、消防法、電気事業法）28 項目の見直しが行われて規制緩和が 2005 年 4 月から実施された。これにより当面の大きな障害はなくなったが、さらに普及を促進するために第二段の見直しが行われる計画である。

### (3)水素・燃料電池実証プロジェクト(JHFC プロジェクト)

2002 年度から経済産業省の JHFC 燃料電池自動車実証プロジェクトが開始され、2003 年 3 月から 8 月にかけてナフサ、脱硫ガソリン、LP ガス、メタノールの改質型と液体水素貯蔵型の各種水素ステーションを首都圏に完成させ各種水素源を利用する技術を実証した。さらに 2004 年 3 月にアルカリ水電解型、天然ガス改質移動型、灯油改質型水素ステーションを完成させた。表 1-1 にこれらの全ステーションを示す。

表 1-1 JHFC の水素ステーション

プロジェクト	設置場所	水素源・方式	開所時期
JHFC (WE-NET)	横浜鶴見	副生水素	2002.8
JHFC	東京霞ヶ関	圧縮水素貯蔵	2002.12
JHFC	横浜大黒	脱硫ガソリン改質	2003.3
JHFC	横浜旭	ナフサ改質	2003.4
JHFC	東京千住	LPG改質	2003.5
JHFC	東京有明	液体水素貯蔵	2003.6
JHFC	川崎	メタノール改質	2003.9
JHFC	秦野	灯油改質	2004.4
JHFC	相模原	アルカリ水電解(移動)	2004.5
JHFC	青梅	天然ガス改質(移動)	2004.6
JHFC	愛知、瀬戸南	天然ガス改質	2005.3
JHFC	愛知、瀬戸北	副生水素	2005.3

JHFC プロジェクトの中心となる横浜市鶴見区大黒町の JHFC パークには脱硫ガソリン改質型水素ステーション、燃料電池車の車庫や保守作業室、プレゼンテーションルーム、ショールームなどが設けられた。現在も各ステーションを利用してトヨタ、日産、ホンダ、ダイムラークライスラー、GM、三菱、スズキの燃料電池車の走行とこれらのステーションの実証運転により実用性、信頼性、安全性、経済性などの検証と一般への PR 活動が行われている。現在までに得られた 60km/h 走行時の各社の車の平均の総合エネルギー効率（燃料掘削から車の走行まで）は燃料電池車約 27%、ハイブリッドエンジン車約 23%、ガソリンエンジン車約 14%で燃料電池車の効率が最も良い。このデータは 4 月から 12 月の間でエアコンが作動している実走行で得たデータ<sup>1)</sup>である。そのほかトヨタ・日野製の燃料電池バスが 2003 年 8 月から 2004 年 12 月まで都内の路線で毎日午前中運行された。また、2005 年には愛知の愛・地球博の会場に隣接して水素ステーションが 2 ヶ所建設され、8 台の燃料電池バスによって会場間の乗客輸送が行われている。燃料電池車の走行のほか

に製鉄所の副生水素を液化して配送する実証も行われている。新日鉄君津製鉄所に液化設備を設置して液体水素を製造し東京有明の水素ステーションまで配送して貯蔵し、液体水素と気化した圧縮水素の両方を燃料電池車に供給している。

この実証プロジェクトでは燃料電池車のほかに1kW級の家庭用燃料電池と一部5kWの業務用燃料電池の実証運転が2003年度は12地点、2004年度は31地点で開始された。これらの実証プロジェクトにより実用運転での課題の抽出ができたため、技術的改良が進展して特に燃料電池システムの信頼性は大きく向上した。

## 5. 水素利用技術

### (1) 燃料電池

水素エネルギー社会構築の中核になるのは水素利用技術である。即ち水素の優れた特長が生かして、石油に代わって水素をエネルギーとして有効かつ安全に利用できる技術が必要となる。そのような条件に最も適した水素利用技術が燃料電池である。燃料電池は水素と空気中の酸素が結合して水を作る反応を起こす際に得られる電子の流れを電力として取り出して利用する化学発電装置である。

燃料電池には使用する電解質の種類によりりん酸形、熔融炭酸塩形、固体高分子形、固体酸化物形、アルカリ形があるが、現在家庭用や自動車用として期待されているのが電解質にフッ素系の薄い高分子膜を使う固体高分子形燃料電池である。

燃料電池のシステムには使用する燃料と用途によって図1-1に示すようなシステムが使われる。

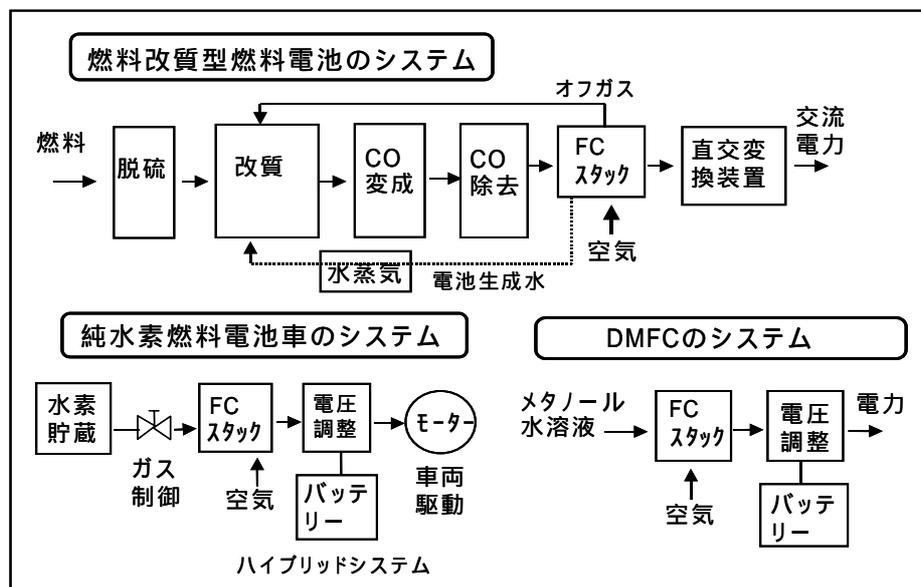


図1-1 各種燃料電池のシステム

家庭用燃料電池など燃料に天然ガスや灯油を利用する燃料改質型はその燃料から水素を取り出す機器を発電装置に内蔵するのでシステムがやや複雑になる。燃料が純水素である自動車用燃料電池はシステムが簡単になるが、バッテリーやキャパシターと連結してハイブリッドシステムにして利用する。また、パソコン用燃料電池などに使用されるDMFC

システムはメタノール水溶液を燃料電池に注入し電極内で水素を作るのでさらにシステムを簡素にすることができる。但し発電効率は低く出力も小さい。

将来、水素エネルギー社会が実現すれば市内に水素パイプラインが敷設されて家庭や工場に水素が送られることが予想される。家庭用燃料電池や産業用燃料電池は水素を作る改質装置が不要になるのでシステムが単純になり、コスト低減、効率向上(発電効率 50%)、装置の小型化、長寿命化などが可能となる。従って定置用燃料電池の普及に拍車がかかる。またその場合家庭に小さい圧縮機を設置して燃料電池自動車に自宅で水素を充填することも可能になる。

現在の固体高分子形燃料電池の課題はセルスタックの寿命とコストである。セルスタックの寿命は自動車用で 5,000 時間、定置用で 40,000 時間(約 5 年)以上が要求されているが、実力は 20,000 時間程度である。セルの性能劣化現象の解明はメーカーや研究所、大学などで行われているが未だ解決されていない。しかし存在する多くの要因の解明は徐々に進んでいる。コストの問題は材料コストが高いのと試作的生産体制で作られていることもあって約 1,000 万円/kW 程度である。将来の量産時の目標コストは定置用が 30 万円/kW 以下、自動車用が 5,000 円/kW となっている。コスト低減の課題解決は容易でなく、コストの 60%以上を占める材料コストを設計改良や安価な新材料の開発によって低減する技術的改善によるコスト低減が先決である。

## (2)燃料電池自動車

燃料電池自動車は高圧水素タンク又は液体水素タンクを搭載し、燃料電池に水素と空気を送り化学反応で発電した電力でモーターを回して走行する電気自動車である。

電源のシステムとしてはバッテリー(又はキャパシター)を燃料電池に接続してハイブリッドシステムとする。バッテリーは発進や加速のピーク時に電力を供給するほか、燃料電池を効率の良い条件下で運転できるようにするほか回生ブレーキによる電力回収を行うことなどにより自動車の走行効率を著しく向上させることができる。それにより燃料電池車の燃料掘削から走行までの総合エネルギー効率は前述のようにガソリンエンジン車の 2 倍以上となる。従ってその分 CO<sub>2</sub> の排出量が低減できる。また、燃料電池車の排気ガスはクリーンで水蒸気だけである。

わが国ではトヨタ、日産、ホンダ、三菱、ダイハツ、スズキが乗用車を、トヨタと日野自動車が燃料電池バスを開発していずれも実用的路上運転を行っている。トヨタ、日産、ホンダは燃料電池車をリース販売しているほか、燃料電池バスは 1 台が都バス路線で運転されたり、愛・地球博では 8 台が会場間の観客輸送に使用されている。海外では GM、フォード、ダイムラークライスラーが各地で実用運転を行っているほか、トヨタ、ホンダ、日産がアメリカで、また、30 台以上の燃料電池バスが世界の各都市で運転されている。

これらの燃料電池自動車は技術的には実用可能のレベルに達しているが、燃料電池の長期寿命が明確でない問題と車上での水素貯蔵量が少なく 500km 走行を要求するユーザーニーズを満たしていない問題がある。現在水素は軽量コンポジット容器に 350 気圧の高圧で貯蔵されるが走行距離が 350km 程度なので、貯蔵圧力を 700 気圧にして 500km 走行を可能にする開発が行われている。液体水素を搭載すれば 600km 走行が可能になるが、数日間運転しないでおくと液体水素がガス化して圧力が上昇しタンクの安全弁が作動する問題がある。理想の水素貯蔵技術とされる水素吸蔵合金は世界中で研究開発が行われているが有効貯蔵量が目標の半分の 3wt% である。今後燃料電池車の大々的普及を図るためには

水素貯蔵技術の改良による走行距離の延長と燃料電池の大幅なコスト削減が必要となる。

### (3) 燃料電池応用製品

将来の燃料電池の用途としては、バス、乗用車、荷物配送車、ごみ収集車、鉄道車両、大小船舶、スクーター、自転車、車椅子、移動用電源、ロボット用電源など多くの燃料電池応用製品が考えられる。スクーター、自転車、車椅子、移動用電源は試作機が既に開発されている。これらの製品が市場に導入されるようになれば都市の環境改善に貢献できるほか、利便性の面でも市民生活に大きな影響を与えるであろう。

### (4) 熱機関

燃料電池のほかの水素利用技術としては水素エンジン自動車、水素エンジン船舶、コージェネレーション用の水素エンジン、大容量の発電用水素燃焼タービンなどがある。

このうち水素エンジン自動車は BWM、マツダ、フォードなどの自動車メーカーが開発しているほか、ベンチャー企業が既存のガソリンエンジン車やハイブリッド車を水素エンジンに改造するなどの開発を行っており既に実用にできる車が完成している。

アメリカでは燃料電池車が本格的に普及する 2020 年頃までは水素利用のつなぎとして価格が大幅に安い水素エンジン車を導入しようとする動きが活発になっている。

また、将来の課題として水素エネルギーの導入量を増大して化石燃料に置き換えるために大量の水素を発電用に使用する 500MW 級大容量水素燃焼タービンの開発が必要となる。

このような大容量発電は燃料電池では技術的、経済的に対応できない分野であるので長期の水素導入戦略を考える際に欠かせない技術と思われる。

### (5) 水素ステーション

WE-NET プロジェクトや JHFC 実証プロジェクトで各方式の水素ステーションが建設されたが、水素ステーションの方式には工場などで製造された水素を圧縮ガスか液体でステーションに運搬して貯蔵しておくオフサイト式と、ステーションに天然ガスなどを改質する水素製造装置か水の電気分解による水素製造装置を設置してその場で水素を製造するオンサイト式がある。図 1-2 に示すように水素ステーションには多種多様な水素源が利用可能でその内の一つが選択される。

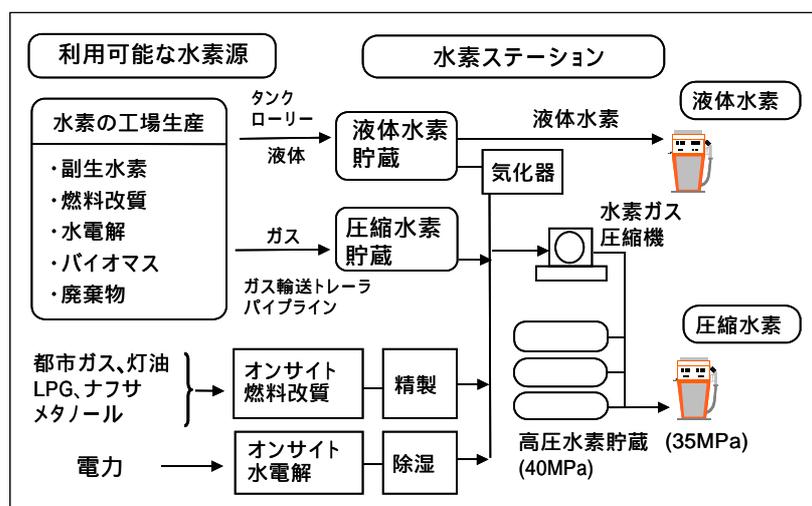


図 1-2 水素ステーションの水素源とシステム

その水素は圧縮機で 400 気圧に加圧して蓄圧器に貯蔵されディスペンサーを介して自動車の水素タンクに 350 気圧で充填される。液体水素を搭載する車には液体水素貯蔵タンクからポンプで充填する。

どの水素源が良いかは設置場所、ステーションの規模、利用する車の台数その他の条件により最適な方式が選択される。例えば天然ガス改質型ステーションは都市ガスインフラが利用できる地域で、利用する車が多い場所に適しており、副生水素輸送型ステーションは副生水素発生工場から比較的近く、利用する車が多いのは勿論、車の利用が間歇的で少ない場所にも適している。

## 6. わが国の水素・燃料電池導入目標

経済産業省はわが国の燃料電池車と水素ステーション及び定置用燃料電池の導入目標を表 1-2 のように設定している。そして導入シナリオとして 2005 年までは実証試験や規制緩和などの導入準備、2010 年までは政府の導入支援で 2010 年の目標を達成し、それ以降は産業界の努力で 2020 年の目標を達成するとしている。

水素ステーションの建設投資は 2020 年に 3,500 ヶ所で約 7,000 億円となるであろう。

表 1-2 わが国の水素・燃料電池の導入目標

年	燃料電池自動車	水素需要量と水素ステーション数	定置用燃料電池
2005- 2010	5万台	4億Nm <sup>3</sup> /年 500ヵ所	210万kW
2010- 2020	500万台	65億Nm <sup>3</sup> /年 3,500ヵ所	1,000万kW
2020- 2030	1,500万台	170億Nm <sup>3</sup> /年 8,500ヵ所	1,250万kW

## 7. 水素の供給源

### (1) 多種多様で豊富な将来の水素源

水素エネルギー社会を実現するための二つのキーとなる課題は燃料電池などの水素利用技術の商品化と水素を供給するインフラ網の構築である。

水素は水や炭化水素など水素を含んだ多種多様の化合物と各種エネルギーにより生産できる二次エネルギーである。例えば電気エネルギーを使って水 (H<sub>2</sub>O) を電気分解すれば水素が生産できるし、天然ガス (CH<sub>4</sub>) と水蒸気を触媒により高温で化学反応させて水素を生産することができる。水素源は地球上に豊富にあり極言すれば太陽エネルギーと水があれば水素が作れる (太陽電池による水の電気分解や高温の太陽熱による水分解) ので、水素エネルギーは永遠に枯渇することのないエネルギーであると言える。しかし実際に水素エネルギーを市場で利用するには水素が経済的かつ環境負荷を増やさない方法で大量生産できなければならない。そこで高効率で安価な水素が製造できる各種の水素製造技術開発が必要となる。水素源と水素エネルギーシステムを図 1-3 に示す。

水素源として環境面から理想的なものは水力、太陽光、風力などの自然エネルギーで発電した電力で水電解して水素を製造する方法であるが、国内では資源的には大量に利用することが難しい。当面の水素源としては天然ガスや灯油などの化石燃料を改質して水素を

生産できるが、CO<sub>2</sub>の発生を伴うのでその対策を検討する必要がある。埋蔵量が300年以上とされている石炭はガス化により水素が得られる将来の有力な水素源であるが大量のCO<sub>2</sub>を排出するのでCO<sub>2</sub>固定化などCO<sub>2</sub>を排出させない技術開発が必要となる。アメリカは石炭を将来の重要な水素源と位置付け石炭ガス化とCO<sub>2</sub>固定化技術を開発する「FutureGen」プロジェクトを大々的に展開している。

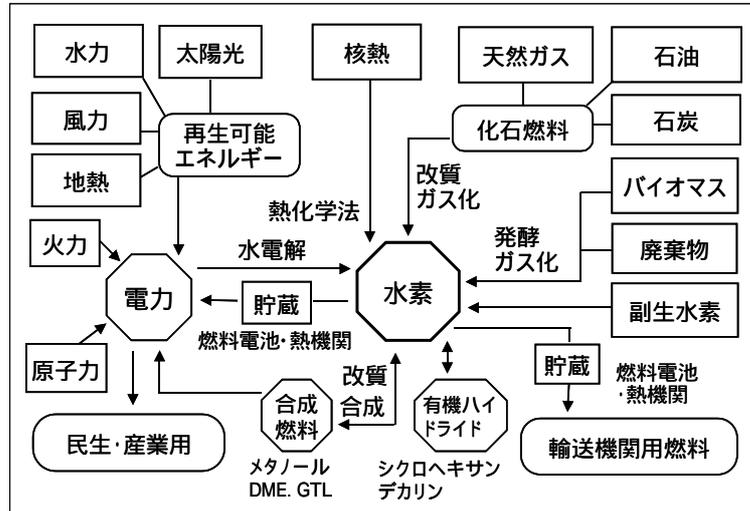


図 1-3 水素源と水素エネルギーシステム

木材や農業廃棄物など植物資源、廃プラスチックのガス化、生ごみや食品廃棄物、家畜のし尿、下水汚泥などの有機廃棄物の発酵などバイオマス水素製造技術は完成しており、廃棄物資源は量的にも豊富にあり年間数 100 億 m<sup>3</sup> 以上の水素生産ができるので将来の有力な水素源と期待されている。

しかし現在は廃棄物資源の回収コストや高価な設備が必要となるため安価な天然ガスや石油から生産される水素に経済性で競合できない問題がある。下水汚泥から水素を取り出して燃料電池を運転する実用プラントも数ヶ所の下水処理場で運転されているがごく一部でしか利用されていない。今後廃棄物のガス化や発酵技術の改良による水素製造の効率向上と設備の小型化、低価格化など技術開発により経済性の向上を図ることと効率的な廃棄物回収システムの検討などが必要と思われる。

さらに将来の水素源としては高温ガス炉の核熱を利用する熱化学法の開発も行われている。原子力利用の水素製造はCO<sub>2</sub>を発生しない利点があるが実用技術の開発にはかなりの期間が必要であり、高温ガス炉の建設の課題もあるので実用化の時期はかなり先になるであろう。

超長期の水素源を考えると WE-NET 構想のような海外の未利用水資源を活用する安価な水力発電電力で水を電気分解して液体水素を生産してタンカー輸送する方法や、各所で太陽電池や風力発電を利用する小規模な水素ステーションを多数建設するなど完全にクリーンでCO<sub>2</sub>を発生させない自然エネルギー利用の水素インフラの構築が望まれる。以上に述べた各種の水素源はそれぞれ一長一短があるので、実際には水素の用途や供給立地などに応じてその条件に合った最適の製造方法が採用される。

## (2) 即利用可能な水素源

即利用可能な水素源としては苛性ソーダや塩素を生産する食塩電解工場から副産物として発生する副生水素や、製鉄所のコークス炉ガスから得られる副生水素がある。これらは現在一部では市販されているが、多くはボイラー燃料などに利用されている。自動車用として利用可能と思われる副生水素の量は約 65 億 Nm<sup>3</sup>/年で 500 万台の燃料電池車を走行させることができる量である。但しボイラー燃料として水素に代わる天然ガスなどの代替燃料が必要となる。また、全国の石油精製工場には脱硫用の水素製造プラントがあり、石油から水素を生産しているがその生産余力は 35 億 Nm<sup>3</sup>/年と言われている。

そのほか既に商業化技術が確立し、既存の一次エネルギーのインフラが利用できる天然ガス、LPG、灯油、メタノールなどの改質による水素は即供給可能である。

以上のように水素源は豊富にあるのでそれぞれの使用場所の状況に適した水素源が利用されるであろう。水素のコストはガソリンエンジンの燃料費と競合するためには 100 円/Nm<sup>3</sup>以下であることが必要で、できれば 50 円～70 円/Nm<sup>3</sup>が望ましい。水素のコストは消費地の立地条件や水素源、生産量、水素ステーションの設備費などにより大きく変動するので一概には言えない。しかし市場要求コストは将来十分達成可能と思われる。

## 8. 水素エネルギー社会の実現に向けての課題

### (1) 短期課題

水素エネルギー社会が目指すものは化石燃料から水素エネルギーへの転換を図り、大気汚染や地球温暖化などの環境問題とエネルギーの安定供給問題を解決し、快適でクリーンな社会を構築することである。水素エネルギーの利用のためには水素を利用する技術を確認し、商品化して普及させることが先決となる。その鍵を握るのが燃料電池で、特に自動車などの輸送機関や小型発電装置に適した固体高分子形燃料電池の商品化が重要な鍵を握っている。しかしながら水素利用技術の中心となる燃料電池は、基礎的問題や化学反応にまつわる現象に関して解明されていないことが残されている。燃料電池の電極の耐久性などはその典型的な問題であるが、早期実用化を図るためには技術的課題の解決と燃料電池のコスト低減などの課題の解決が必要である。さらに水素利用技術が確立されても化石燃料への全面依存から水素へのエネルギー転換は急速に行うことは難しく段階的に進める必要がある。短期的には燃料電池自動車と小型燃料電池応用製品の普及が中心になるが、燃料電池自動車の市場導入と自動車用水素ステーション網の構築が実現されればその社会的インパクトはきわめて大きくその後の水素エネルギーの多面的利用が容易になる。

### (2) 長期課題

長期的には多量の化石燃料を消費している大容量火力発電、コージェネレーション、鉄道、船舶、航空機などの産業用機器や家庭など民生用の機器を水素燃料の燃料電池や水素エンジン、水素燃焼タービンなどの熱機関に置き換えて水素の使用量を増大しなければならない。従ってそれらの水素利用技術の開発が必要となるほか、水素の供給については再生可能エネルギー利用のほか CO<sub>2</sub>フリーの水素製造による大規模な水素インフラの確立が必要となる。そのために今後大容量の水素製造技術、輸送技術、貯蔵技術の開発や水素を市中に配送するパイプライン網などの構築が必要となるが、これらは長期間を要するので今から研究を開始しても早すぎることはないであろう。

### (3) その他の課題

そのほかに水素の市場導入に関しては技術の国際標準化や法規制の緩和、社会の受容性を醸成し市民の理解と協力を得るための教育などが必要となる。法規制の緩和は関係5省庁の協力で第一次緩和が2005年4月から実施に移されたほか、国際標準化は各国が協力しISO/TC197の国際委員会で精力的に審議が進められている。

このように水素への期待が高まる中で、市場導入の障害となる課題の解決は着々と進められているが、水素エネルギーの本格導入の開始は燃料電池車の大量普及が始まる2020年頃と予測されている。水素エネルギー社会構築のために解決を必要とする短期及び中長期の課題を図4にまとめて示す。

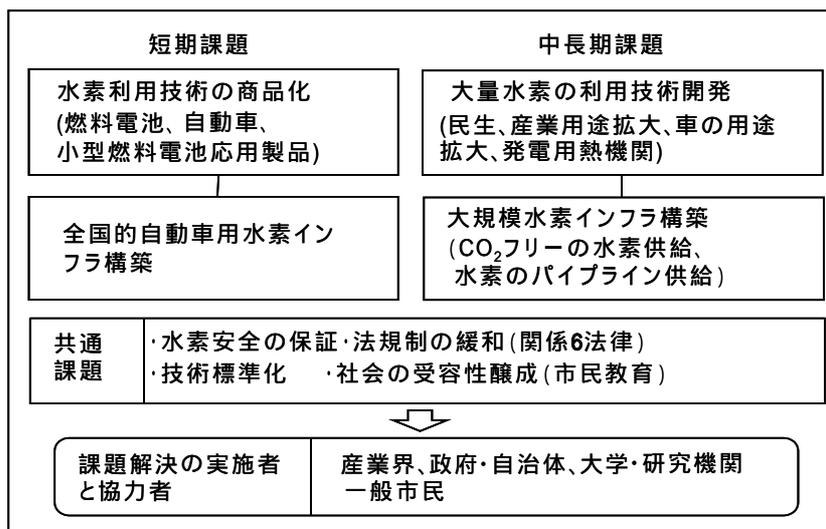


図 1-4 水素エネルギー社会構築のために解決を要する課題

## 9. 将来展望

経済産業省は水素エネルギーの普及に関して、実証試験、規制緩和、国の導入助成などにより、燃料電池車と水素インフラの導入を2010年までに軌道に乗せ、2010年以降は産業界が自力で市場拡大を図るとのシナリオを設定している。

今後の燃料電池の普及は定置用では天然ガス改質が中心となり、燃料電池車は純水素型が中心となるが、燃料電池車が大々的に普及すると予想される2020年以降には水素の需要に伴って水素の供給量が増大し、水素インフラ網が拡大されて地域単位のローカルな水素パイプラインの設置が期待される。当面、天然ガスの都市ガスインフラ、LPG、灯油などを利用する家庭用燃料電池も水素インフラの整備に応じて水素で運転される時代がくるであろう。

多種多様な水素源の中でも、現在は回収コストが高いため利用されていない有機廃棄物はCO<sub>2</sub>削減対策にも有効で、廃棄物処理を兼ねて利用できるため、将来は有力な水素資源として利用が拡大されるであろう。その他長期的には石炭ガス化や原子力の核熱利用も視野に入れて大容量の水素製造技術を確認する必要がある。また超長期では海外の余剰水力発電電力で生産する液体水素の大量輸入も期待される。

水素の利用は当面、燃料電池車と水素エンジン車など自動車関係に焦点が絞られている

が、導入初期は業務用車やバスが中心となり燃料電池のコスト低減が進めば一般車の導入が始まるであろう。自動車向けの水素燃料消費量は 2030 年に車が 15 百万台になってもエネルギー全体の 10%以下なので CO<sub>2</sub> 削減効果はさほど大きくない。従って燃料電池車の種類、台数を増やすこと、大量に化石燃料を使用している発電分野において MW 級の水素エンジンコージェネレーションや 500MW 級水素燃焼タービンなどを開発し少なくとも全エネルギーの 10%以上を水素に置き換えることを考慮する必要があるであろう。図 1-5 に将来展望を示す。

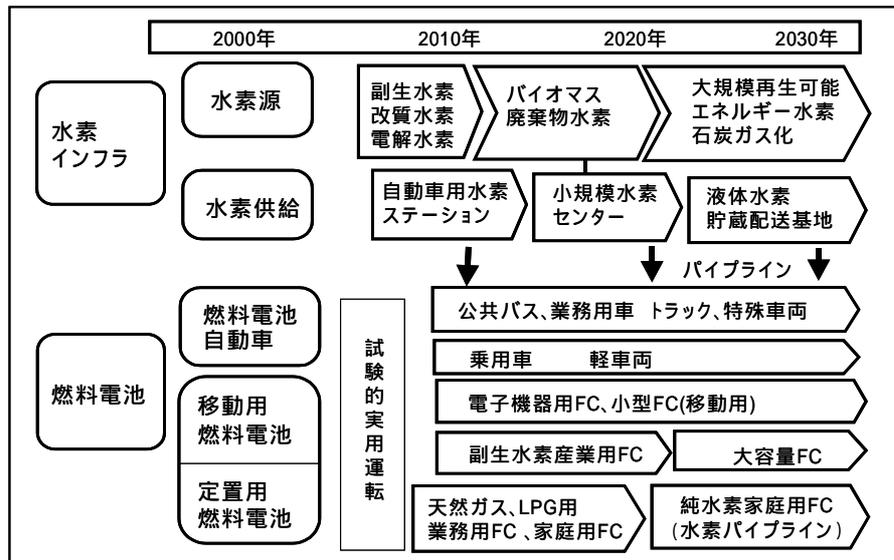


図 1-5 水素と燃料電池の将来展望

## 第 2 章

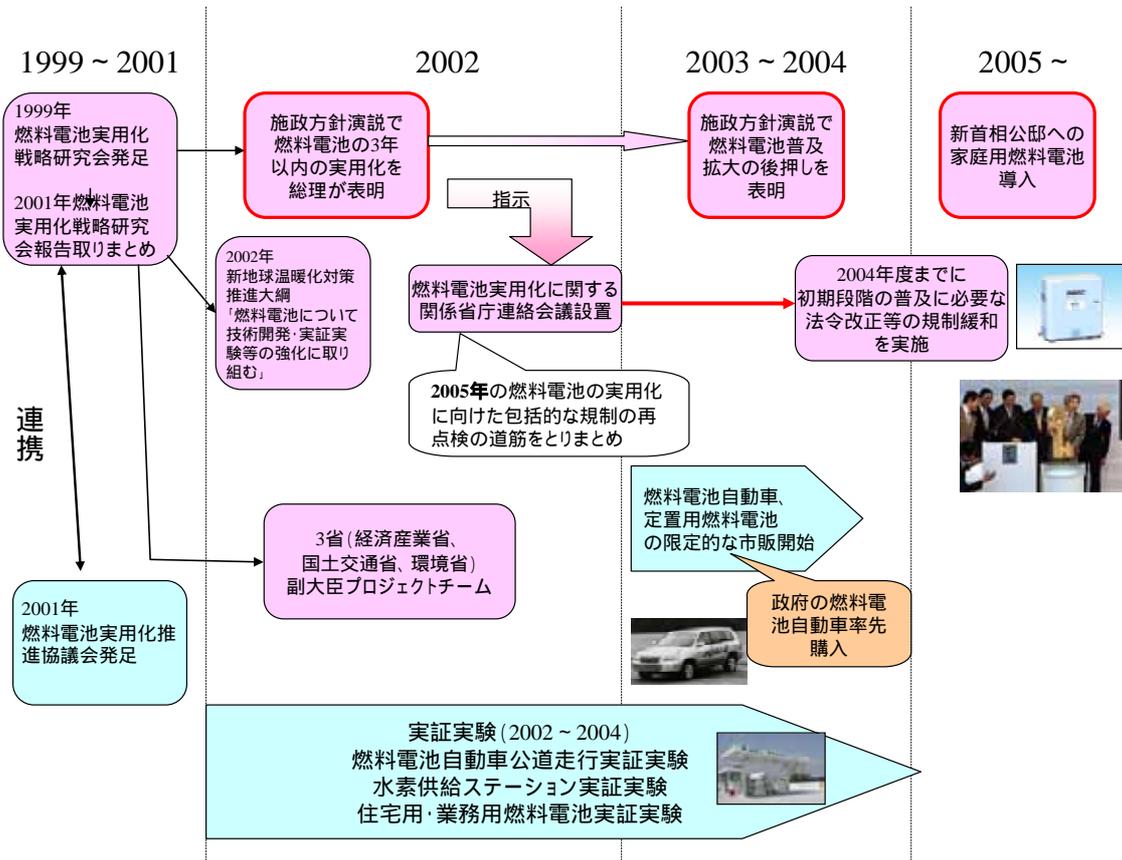
### わが国の水素エネルギー社会への取組

## 第2章 わが国の水素エネルギー社会への取組

### 1. わが国の水素エネルギー社会への取組

わが国における水素エネルギー社会への取組は、近年始まったものではない。前述の通り、二度の石油ショックの後、石油代替エネルギー、省エネルギーの機運が高まり、1981年には NEDO<sup>1</sup>が政府の研究開発援助を受けて、水素エネルギー社会へのキーテクノロジーとして燃料電池の開発に着手した<sup>2</sup>。その後 1990 年代には地球温暖化問題の深刻化とともに、燃料電池実用化への取組が活発化した。燃料電池の導入の意義は、省エネルギー、環境負荷低減、エネルギー供給多様化・石油代替効果、分散型エネルギーとしての利点、産業競争力強化<sup>3</sup>という点から重要技術と位置づけられている。2005 年 2 月 16 日には京都議定書が発効し、地球環境問題の観点から益々その重要性は増加してきている。本稿では、そのような流れを受けた近年のわが国の水素エネルギー社会へ向けた取組についての整理及びわが国の水素エネルギー社会への移行シナリオについて整理する。

図 2-1 わが国の水素エネルギー社会への取組



<sup>1</sup> 独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構

<sup>2</sup> 旧通商産業省工業技術院のムーンライト計画でリン酸型燃料電池(PAFC)を開発しようとした。

<sup>3</sup> 燃料電池実用化戦略研究会報告書(2001)

## (1)地球温暖化対策推進大綱

1997年12月京都において気候変動に関する国際連合枠組条約第3回締約国会議(The Conference of the Parties: COP3)が開催され、京都議定書が採択された。これを受けて、地球温暖化防止に係る具体的かつ実効ある対策を総合的に推進するため、1997年12月19日、閣議決定により内閣総理大臣を本部長とする地球温暖化対策推進本部が内閣に設置された。1998年には地球温暖化対策推進本部が、2010年に向けて緊急に推進すべき地球温暖化対策として地球温暖化対策推進大綱(旧大綱)を策定した。また、「地球温暖化対策の推進に関する法律」(平成10年法律第117号。「地球温暖化対策推進法」)の制定及びそれに基づき基本方針を策定することなどを通じて、わが国における温暖化防止対策推進の基礎的な枠組みを構築するとともに、「エネルギーの使用の合理化に関する法律」(昭和54年法律第49号。「省エネルギー法」)の改正等の各種の対策を実施した。

しかしながら、わが国の温室効果ガスの排出量は依然として増加しており、エネルギー効率が既に世界最高水準にあるわが国にとって、京都議定書におけるわが国の6%の削減約束を達成していくことは、決して容易なことではない状況である。こうした状況を踏まえ、国、地方公共団体、事業者、国民の総力を挙げた取組を推し進めるため、地球温暖化対策推進大綱の見直し(新大綱)が2002年3月に実施された。新大綱では、エネルギー供給面での追加対策として、燃料電池について技術開発・実証実験等の強化に取り組むこととされた<sup>4</sup>。

## (2)燃料電池実用化戦略研究会

燃料電池の実用化には、燃料電池の高効率化、高耐久性、低コスト化等の技術開発、燃料電池の市場受容性を高めるために必要な標準・安全基準等の整備・見直し、燃料供給をどのようにするかといった数々の大きな検討課題が存在している。さらにこうした課題を解決するためには自動車業界、電気機器業界、素材業界、エネルギー業界をはじめとする関係業界、大学・国立研究所等の研究機関及び政府が一体となった幅広い検討の枠組みが必要であると認識された。そのため1999年12月に資源エネルギー庁長官の私的研究会として産学官から構成される「燃料電池実用化研究会(戦略研究会)」が設置された。

戦略研究会は、2001年1月に「燃料電池実用化戦略研究会報告」を取りまとめ、燃料電池の意義の明確化、燃料電池実用化・普及に向けた課題の整理、課題解決の基本的な方向性の提示を行った。また2001年8月には固体高分子型燃料電池/水素エネルギー利用技術開発戦略を策定し、固体高分子型燃料電池関連技術の現状レベルの整理、システム及び個別要素技術の開発目標の設定、最重要技術課題の特定、技術開発における産学官の役割分担の明確化などを行った。

また2001年3月には戦略研究会報告を踏まえ、民間企業から構成される任意団体として「燃料電池実用化推進協議会」が設立された。推進協議会は、わが国の燃料電池実用化・普及に向けた取組において、産学官の有機的な連携を図る際の民間側の検討・協議の場として活動しており、2001年7月に燃料電池施策への提言及び検討状況報告を取りまとめた。

以上の成果を踏まえて、以後の政府の燃料電池実用化・普及に向けた具体的な施策が実施されているところである。

---

<sup>4</sup> 首相官邸地球温暖化対策推進本部HP：<http://www.kantei.go.jp/jp/singi/ondanka/index.html>

### (3)小泉内閣の取組

小泉総理大臣は総理就任以来、以下のような燃料電池早期実用化に向けた取組を積極的に推進している。

#### ）施政方針演説

小泉総理大臣は2002年2月3日の第154回国会施政方針演説にて、以下の演説を行い総理自ら3年以内の実用化という明確な目標を掲げた。

#### <演説>（抜粋）

「燃料電池は、水素をエネルギーとして利用する時代の扉を開く鍵です。自動車の動力や家庭の電源として、3年以内の実用化を目指します。」

#### ）閣僚懇談会（2002年4月26日）

2002年4月26日の閣僚懇談会で、関係閣僚に以下の通り、燃料電池実用化に向けた指示を行った。

#### <閣僚懇談会での指示内容>

2003年にも試験的な市販が想定される燃料電池自動車の第一号車を含め、数台を政府として率先して導入を行うこととしたい。

燃料電池自動車について、環境問題への対応、エネルギーセキュリティの確保、わが国産業の競争力確保の観点から、わが国において、世界に先駆けた早期実用化を図ることが重要である。

関係閣僚においては、率先導入に必要となる措置を、2002年度中に講じるとともに、初期段階の普及を睨み、2005年を目途に、安全性の確保を前提としつつ、包括的な規制の再点検を進めていただきたい。

#### ）政府の燃料電池の率先導入

前述の世界に先駆けた早期実用化を図るために、政府としての燃料電池の率先導入が行われた。概要は以下の通りである。

#### 燃料電池自動車

小泉総理は、2001年12月13日、国会前庭駐車場にて、平沼経済産業大臣、川口環境大臣（いずれも当時）とともに、国内自動車メーカー4社が開発した燃料電池自動車の試乗を行った。試乗した総理は、「乗り心地は普通の車より静かで快適。環境にやさしい究極の車。日本のエネルギー安全保障を考えても、非常に重要な研究開発である。2003年に実用化されれば各閣僚は全員これに乗るべきである」と政府としても率先導入を行い、普及に努める考えを示した。

これを受けて、2002年12月2日、総理大臣官邸において燃料電池自動車の納入式が行われ（図2-2）小泉総理は政府に納入された燃料電池自動車の市販車第1号の試乗を行った。小泉総理は、挨拶の中で「燃料電池自動車の完成はもっと先だと思っていたが、予想よりも早く世界に先駆けて市販されることになった。日本は自然との共生と経済発展の両方に成功したと言われるよう、今後とも技術開発面での活躍を期待します。」と述べた。

図 2-2 燃料電池自動車納車式の様子<sup>5</sup>



### 家庭用燃料電池

2005年4月8日に、新首相公邸に家庭用燃料電池が導入され、世界初商用第1号機の導入式典が執り行われた(図2-3)。新公邸には2基の家庭用燃料電池が設置され、小泉総理が電源を入れ、「『もったいない』という気持ちと環境を大事にする技術を結びつけ、素晴らしい環境を残していきたい。」と挨拶を行った。

図 2-3 新首相公邸への家庭用燃料電池の導入式<sup>6</sup>



導入された燃料電池の発電容量は1キロワットで、湯と電力を同時に供給するコージェネレーションシステムで、家庭のエネルギーの約2割、CO<sub>2</sub>排出量の約3割を削減する効果がある(表2-1)。

表 2-1 新首相公邸に導入された家庭用燃料電池性能<sup>7</sup>

性 能	定格発電容量	1 kW
	発電効率	31%以上
	熱回収効率	40%以上
	貯湯槽容量	200リットル
燃 料		都市ガス13A

<sup>5</sup> 首相官邸HP : <http://www.kantei.go.jp/>

<sup>6</sup> 同上

<sup>7</sup> 東京ガスHP : <http://www.tokyo-gas.co.jp/>

(4) 副大臣燃料電池プロジェクトチーム

2002年2月、経済産業省古屋副大臣及び大島副大臣、国土交通省佐藤副大臣及び月原副大臣、並びに環境省山下副大臣の5副大臣の構成により副大臣燃料電池プロジェクトチームが発足した。このプロジェクトチームは、近年エネルギー消費量の伸びが大きい運輸部門、民生部門での二酸化炭素排出抑制を目指し、燃料電池自動車や定置型燃料電池の実用化・普及を推進するために設置された。2002年2月から5月まで日本国内での燃料電池実用化・普及に向けた取組みの現状把握、燃料電池の実用化・普及に向け拡充・強化すべき施策の抽出等に関して検討を行った。その後5月にはプロジェクトチーム報告書が発表された。報告書では燃料電池実用化・普及に向けた課題、燃料電池実用化・普及に向けた今後の取組の方向性の整理及び燃料電池プロジェクトチームからの提言が行われた。

(5) 燃料電池実用化に関する関係省庁連絡会議

(3)の閣僚懇談会での指示を受けて、燃料電池の実用化を図るに当たり、安全性の確保を前提とした燃料電池に係る包括的な規制の再点検等について、関係省庁の緊密な連携を図ることを目的として、2002年5月に内閣官房に、内閣府及び関連省庁<sup>8</sup>の局長等で構成される「燃料電池実用化に関する関係省庁連絡会議(以下「関係省庁連絡会議」)」が、設置された。また連絡会議に併せて、内閣府及び関連省庁の課長等で構成される連絡会議幹事会(以下「幹事会」)が設置され、事業者団体から規制再点検に係る要望項目のヒアリングを実施(6法律28項目(表2-2))し、規制再点検に必要なデータ等の明確化、規制項目毎の官民の役割分担の明確化、規制再点検の手順・スケジュールの明確化等について検討を行った。

表2-2 規制の検討要望項目(6法律28項目)<sup>9</sup>

	規制法	項 目	所管省庁
2002年	道路運送車両法	・燃料電池自動車が公道走行する際、国土交通大臣の指定が必要であるが、①届出内容の明確化、手続きの明確化・簡素化、②指定を受けた燃料電池自動車の第三者譲渡	国土交通省
	道路法	・水素トンネル等の通行規制に関して、制限の要件が不明確であるが、①通行制限範囲の明確化、②国土交通大臣の指定を受けた燃料電池自動車の通行の可否	
	道路運送車両法 高圧ガス保安法	・燃料電池自動車の①地下駐車場等への進入制限範囲の明確化、②国土交通大臣の指定を受けた燃料電池自動車の通行の可否 ・燃料電池自動車等外国から日本に持ち込む際、車体から燃料電池を取り外さない等の措置	経済産業省
自動車	高圧ガス保安法	・移動式水素供給設備に係る保安規格等について数値的数値での責任・義務の要否の明確化	経済産業省
	道路法	・燃料電池自動車の水素トンネル等の通行制限について、通行制限される換気水素数量の緩和 ・水素燃料用容器の表示基準がなく、容器の型式毎の検査が複雑で、手続き等が負担となっているが、①圧縮天然ガス自動車と同様の容器表示基準化に必要なデータ取得項目の明確化、②表示基準作成事業の円滑化のための協力	国土交通省
	高圧ガス保安法	・水素燃料用容器の耐圧試験基準が、他外国に比べて厳しいが、国際規格の観点も踏まえ、圧縮天然ガス並みの試験圧力への見直し ・水素燃料用容器に関する検査項目に関して、①高圧化及び容器容量拡大のために必要な試験データ取得項目の明確化、②表示基準策定事業の円滑化のための協力 ・高圧容器の再検査実施時期については、道路運送車両法による自動車の検査周期(車検周期)と異なるが、③再検査の周期を車検周期に合わせること、④車検状態で再検査を可能とすること	経済産業省
2004年	道路運送車両法	・燃料電池自動車に係る車両重量の策定による型式認定制度の整備	国土交通省
	消防法	・燃料電池自動車の地下駐車場等への進入制限について、地下駐車場等の消火設備対応も含め、燃料電池自動車の地下駐車場等への進入制限の緩和	消防省
	高圧ガス保安法	・水素供給スタンド設置に関する保安距離確保のため、用地の制限が大きいが、燃料供給スタンドにおける保安距離等の責任・責任範囲について、圧縮天然ガス並みへの見直し ・水素供給スタンドの覆い被せ装置について、付帯物以外の覆い被せ装置による代替手段の採用(付帯物を不要とする) ・移動式水素供給設備から車両への水素の充填は、高圧ガスの製造許可を受けた事業所内及び予め都道府県知事へ届出た場所にて行われているが、燃料切れへの対応措置等が可能なよう及び充填可能場所の要件の明確化 ・移動式充てん設備の繊維強化プラスチック製容器について、①高圧化のために必要な試験データ取得項目の明確化、②表示基準作成事業の円滑化のための協力 ・高圧ガス製造設備の充填率の上限の改定並みへの見直し ・水素供給スタンドの保安検査の検査周期が1年であり、メンテナンスコストが高くなることから、検査周期の延長 ・水素供給スタンド等の可燃性ガス及び圧縮ガスの製造を行う建築物は、工業用施設、工業専用施設以外に建設できないが、圧縮天然ガススタンド並みへの見直し(準工業用施設、商業施設、幼稚園施設、居住用施設、第2種住居地域、第1種住居地域での建設を可能にする) ・用途別毎に水素貯蔵量の制限があり、市街地にスタンドを建設する場合は、小規模にせざるを得ないが、制限数値の増加見直しの可否	経済産業省
建築基準法	・充気車両輸送(トレーラー)について、水素トンネル等の通行制限があるが、①指定トンネルの削減、②換気水素の制限数値の増加	国土交通省	
定置型	道路法	・水素スタンド等を設置する際、ガソリンスタンドとの併設は認められていないが、圧縮天然ガススタンドと併設が基準での併設への見直し	国土交通省
	消防法	・家庭用燃料電池は現状自家用電気工作物扱いとなるため、保安規程の届出、電気主任技術者の選任の義務が発生するが、小出力発電設備(一般用電気工作物)に位置付け、保安規程届出及び電気主任技術者の選任の不要化 ・家庭用燃料電池の運転停止時に可燃性ガス漏洩防止のため、不活性ガス(窒素等)による可燃性ガスの置換(パージ)義務があるが、窒素パージの不要化	経済産業省
	電気事業法	・家庭用燃料電池が発電設備に該当、あるいは内燃機関に準ずるものとされた場合、消防長への設置届出が必要であるが、設置届出の不要化 ・家庭用燃料電池が発電設備に該当、あるいは内燃機関に準ずるものとされた場合、建築物からの騒音規制を設ける必要があるが、必要な騒音規制の緩和 ・家庭用燃料電池の交換時に防火防止装置を設置する必要があるが、防火防止装置の不要化	経済産業省

<sup>8</sup> 内閣官房、内閣府、警察庁、消防庁、経済産業省、国土交通省、環境省がメンバーとなっている

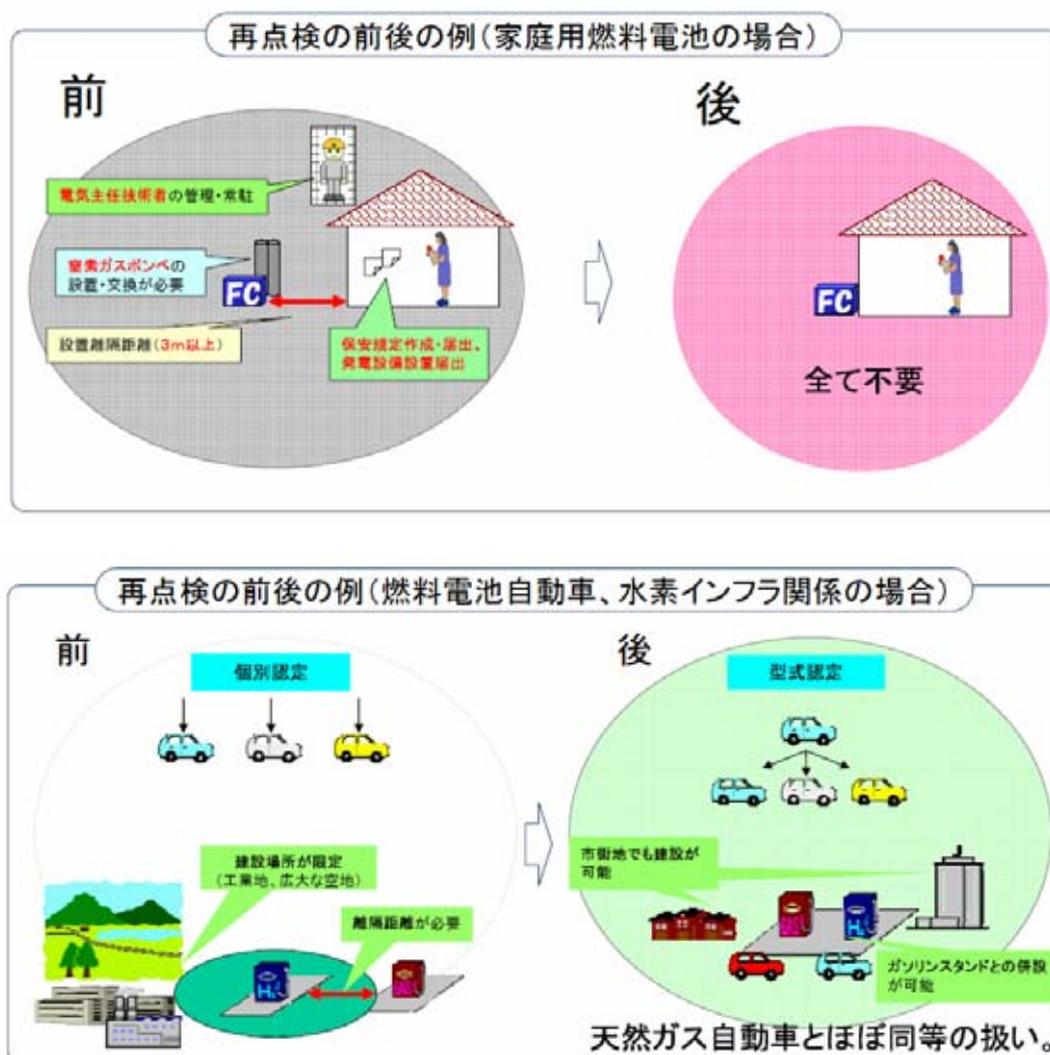
<sup>9</sup> 経済産業省HP : <http://www.meti.go.jp/>

以上の検討を踏まえ、関係省庁連絡会議では、2002年10月に燃料電池の初期段階の普及を睨んだ規制の再点検スケジュールが取りまとめられた。規制の再点検は、2002年度中にも予定される燃料電池自動車の試験的な市販に際して、規制が円滑な導入の阻害要因にならないように環境整備を行うとともに、2005年以降の導入段階までには、水素をエネルギーとして利用する燃料電池の導入を想定した規制の体系を構築するとの観点から以下の2つの段階に分けて再点検のスケジュールを取りまとめた。

- ・燃料電池自動車の試験的な市販に支障のないよう、遅くとも2002年末までに実施すべき事項
- ・2002年末の試験的な市販には支障がないが、商用レベルの燃料電池の初期導入が想定される2004年度末までに実施すべき事項

その後関係省庁において、上記の2002年末まで、及び2004年度末までの二段階に分けて燃料電池に関する規制の再点検を実施し、法令の改正等、必要な対応が取られた(図2-4、表2-3, 4参照)。

図2-4 燃料電池実用化に関する規制再点検の成果<sup>10</sup>



<sup>10</sup> 経済産業省HP : <http://www.meti.go.jp/>

表 2-3 規制の再点検結果 遅くとも 2002 年末までに実施すべき事項

N O	種 別	法令名	関係省庁	検討事項	再点検後		備 考
					法令等の整備	概 要	
1	自 動 車	道路運 送車両 法	国土交通省	燃料電池自動車公道走行する場合、 国土交通大臣の認定が必要であるが、 ① 届出内容の明確化、手続きの明確 化・簡素化 ② 認定を受けた燃料電池自動車の第三 者譲渡	○ 道路運送車両の保安基準第 5 6 条第 4 項の 規定による試験自動車の認定要領 ▽平成 1 4 年 1 0 月 2 5 日：公布・施行	認定要領を策定し、届出内容の明確化、手続きの明確化・簡素化 を実施した。燃料電池自動車の第三者譲渡については、対象とな るのが認定車両であるなど安全に必要な措置を確保できる状況に あり問題ないとの判断である。	
2	#	道路法	国土交通省	水底トンネル等の通行規制に関して、 制限の要件が不明確であるが、 ① 通行制限範囲の明確化 ② 国土交通大臣の認定を受けた燃料電 池自動車の通行の可否	該当事項なし	現行の通行制限は、危険物を積載物として輸送する場合の数量を 規制しているものであり、燃料電池自動車が水底トンネル等を走 行することについての制限はない。	
3	#	※該当 法令 なし	総務省 経済産業省 国土交通省	燃料電池自動車の ① 地下駐車場等への進入制限範囲の明 確化 ② 国土交通大臣の認定を受けた燃料電 池自動車の進入の可否	該当事項なし	地下駐車場等への燃料電池自動車の進入制限はない。	
4	#	高压ガ ス保安 法	経済産業省	燃料電池自動車を外国から日本に持ち 込む際、車体から燃料容器を取り外さな いでの検査	該当事項なし	米国、ドイツ、フランス、英国、豪州の高压ガス容器の規格への 適合性及び我が国の容器検査の規格への適合性を示した書類を掲 出することにより、車体から容器を取り外さずに検査は可能であ る。	
5	水 素 イ ン フ ラ	高压ガ ス保安 法	経済産業省	移動式水素供給設備に係る保安統括者 等について敷地所有者側での選任・常駐 の要否の明確化	該当事項なし	保安統括者等の選任・常駐義務は水素供給を行う者に対してのみ 課しており、単に移動式水素供給設備を受け入れるだけで水素供 給を行わない敷地所有者側には保安統括者等の選任・常駐義務は ない。	

( 出典：内閣官房 H P <sup>11</sup> )

<sup>11</sup> 燃料電池実用化に関する関係省庁連絡会議：http://www.cas.go.jp/jp/seisaku/nenryoudenti/index.html

表 2-4 規制の再点検結果 遅くとも 2004 年度末までに実施すべき事項 1 / 5

N O	種 別	法令名	関係省庁	検討事項	再点検後		備 考
					法令等の整備	概 要	
6	自 動 車	道路法	国土交通省	燃料電池自動車の水底トンネル等の通行制限について、通行制限される積載水素数量の緩和	該当事項なし	現行の通行制限は、危険物を積載物として輸送する場合の数量を規制しているものであり、燃料電池自動車の水底トンネル等を走行することについての制限はない。	
7	#	高圧ガ ス保安 法	経済産業省	水素燃料用容器の例示基準がなく、容器の型式毎の検査が複雑で、手続等が負担となっているが、 ①圧縮天然ガス自動車と同様の容器例示基準化に必要なデータ取得項目の明確化 ②例示基準作成事業の円滑化のための協力	○ 容器保安規則の改正 ○ 容器保安規則の機能性基準の運用について(例示基準)の改正 ▽平成17年3月30日：公布 ▽平成17年3月31日：施行	容器例示基準化に必要な試験データ項目については、平成14年12月の高圧ガス保安協会報告書「水素ガススタンド基準に係る技術検討委員会・燃料電池用水素容器技術検討委員会 報告書」において明確化した。 水素燃料用容器について、ステンレスライナー製、アルミニウムライナー製及びプラスチックライナー製の繊維強化複合容器の例示基準並びに附属品の例示基準を定めた。	
8	#	高圧ガ ス保安 法	経済産業省	水素燃料容器用バルブの耐圧試験基準が、諸外国に比べて厳しいが、国際調和の視点を踏まえ、圧縮天然ガス自動車並みの試験圧力への見直し	○ 容器保安規則の改正 ○ 一般高圧ガス保安規則の改正 ○ コンビナート等保安規則の改正 ▽平成16年3月24日：公布 ▽平成16年3月31日：施行	水素燃料容器用バルブの耐圧試験圧力を、欧米並みの2分の3倍とした。(従来は3分の5倍)	
9	#	高圧ガ ス保安 法	経済産業省	水素燃料用容器に関する複合容器に関して、 ①高圧化及び容器容量拡大のために必要な試験データ取得項目の明確化 ②例示基準作成事業の円滑化のための協力	○ 容器保安規則の改正 ○ 容器保安規則の機能性基準の運用について(例示基準)の改正 ▽平成17年3月30日：公布 ▽平成17年3月31日：施行	高圧化及び容器容量拡大のために必要な試験データ項目については、平成14年12月の高圧ガス保安協会報告書「水素ガススタンド基準に係る技術検討委員会・燃料電池用水素容器技術検討委員会 報告書」において明確化した。 水素燃料用容器について、ステンレスライナー製、アルミニウムライナー製及びプラスチックライナー製の繊維強化複合容器の例示基準並びに附属品の例示基準を定めた。	
10	#	高圧ガ ス保安 法	経済産業省	高圧容器の再検査実施期間については、道路運送車両法による自動車の検査周期(車検期間)と異なるが、 ①再検査の周期を車検期間に合わせるこ ②車載状態での検査を可能にすること	○ 容器保安規則の改正 ○ 容器保安規則に基づき表示等の細目、容器再検査の方法等を定める告示の改正 ▽平成17年3月30日：公布 ▽平成17年3月31日：施行	水素燃料用容器の再検査の周期について、初回の検査より経過年数4年以下のものは4年、経過年数4年を超えるものは2年1月とした。その結果、同容器の再検査の周期を車検期間に合わせることが可能となった。(従来の検査周期は3年) また、車載状態での検査を可能とした。	

(出典：内閣官房HP<sup>12</sup>)

<sup>12</sup> 燃料電池実用化に関する関係省庁連絡会議：http://www.cas.go.jp/jp/seisaku/nenryoudenti/index.html

表 2-4 規制の再点検結果 遅くとも 2004 年度末までに実施すべき事項 2 / 5

N O	種 別	法令名	関係省庁	検討事項	再点検後		備 考
					法令等の整備	概 要	
11	自動車	道路運送車両法	国土交通省	燃料電池自動車に係る車両適合基準の策定による型式認証制度の整備	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 道路運送車両の保安基準の改正</li> <li>○ 道路運送車両の保安基準の細目を定める告示の改正</li> <li>○ 道路運送車両の保安基準第二章及び第三章の規定の適用関係の整理のための必要な事項を定める告示の改正</li> </ul> ▽平成17年3月31日：交付・施行	改正前までは燃料電池自動車が公道走行する場合、国土交通大臣の認定が必要であったが、基準の整備を行ったことにより、一般車両と同様に、大量生産が可能な型式認証が取得できるようになった。	
12	#	消防法	総務省	燃料電池自動車の地下駐車場等への進入制限について、地下駐車場等の消火設備対応も含め、燃料電池自動車の地下駐車場等への進入制限の緩和	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 燃料電池自動車に対応した地下駐車場等における防火安全対策について（消防予第48号）</li> </ul> ▽平成17年3月18日：通知	「燃料電池自動車の地下駐車場等における防火安全対策検討会」における検討の結果、燃料電池自動車が駐車する駐車場に設置すべき消火設備については、現行の消防法上の基準により対応可能であるとの結論を得たところであり、各都道府県・消防機関にその旨周知を図ったところ。	
13	水素インフラ	高圧ガス保安法	経済産業省	水素供給スタンド設置に関する保安距離について、圧縮天然ガススタンド並みの保安距離への見直し。	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 一般高圧ガス保安規則の改正</li> <li>○ コンビナート等保安規則の改正</li> </ul> ▽平成17年3月24日：公布 ▽平成17年3月31日：施行	都市型安全付加型水素スタンドの保安距離を、ほぼ圧縮天然ガススタンド並みに6mに緩和した。	
14	#	高圧ガス保安法	経済産業省	水素供給スタンドにおける保安統括者等の選任・常駐義務について、圧縮天然ガススタンド並みへの見直し。	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 一般高圧ガス保安規則の改正</li> <li>○ コンビナート等保安規則の改正</li> </ul> ▽平成17年3月24日：公布 ▽平成17年3月31日：施行	水素供給スタンドにおける保安統括者等の選任については、圧縮天然ガススタンド並みに「圧縮水素の製造に関し6月以上の経験を有する者に保安について監督させる」場合は、保安統括者等の選任を不要とした。	
15	#	高圧ガス保安法	経済産業省	水素供給スタンドの漏れ検知手段について、付臭剤以外の漏れ検知装置等による代替手段の採用（付臭剤を不要とする）。	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 一般高圧ガス保安規則の改正</li> <li>○ コンビナート等保安規則の改正</li> </ul> ▽平成17年3月24日：公布 ▽平成17年3月31日：施行	漏れ検知手段について、付臭剤を義務化せず、水素ガスの漏れを検知し、警報し、運転を自動的に停止するための装置の設置を義務付けた。	

表 2-4 規制の再点検結果 遅くとも 2004 年度末までに実施すべき事項 3 / 5

N O	種 別	法令名	関係省庁	検討事項	再点検後		備 考
					法令等の整備	概 要	
16	水 素 イ ン フ ラ	高圧ガ ス保安 法	経済産業省	移動式水素供給設備から車両への水素の充填は、高圧ガスの製造許可を受けた事業所内及び予め都道府県知事に届出た場所に限定されているが、燃料切れへの応急措置等が可能となるような充填可能場所の要件の明確化。	該当事項なし	移動式水素供給設備から車両への水素の充填が可能な場所の要件は省令で既に明確化されており、この要件を満たす場所をあらかじめ届け出れば、何回でも充填は可能である。	
17	#	高圧ガ ス保安 法	経済産業省	移動式充填設備の繊維強化プラスチック複合容器について、 ①高圧化のために必要な試験データ取得項目の明確化 ②例示基準作成事業の円滑化のための協力。	○ 容器保安規則の改正 ○ 一般高圧ガス保安規則の改正 ○ コンビナート等保安規則の改正 ○ 容器保安規則の機能性基準の運用について（例示基準）の改正 ▽平成17年3月30日：公布 ▽平成17年3月31日：施行	高圧化のために必要な試験データ項目については、平成14年12月の高圧ガス保安協会報告書「水素ガススタンド基準に係る技術検討委員会・燃料電池用水素容器技術検討委員会 報告書」において明確化した。 移動式充填設備用容器について、ステンレスライナー製、アルミニウムライナー製及びプラスチックライナー製の繊維強化複合容器の例示基準並びに附属品の例示基準を策定した。	
18	#	高圧ガ ス保安 法	経済産業省	液化ガス輸送容器の充填率の上限の欧米並みへの見直し。	○ 容器保安規則の改正 ▽平成17年3月30日：公布 ▽平成17年3月31日：施行	容器保安規則を改正し、液化水素ガス輸送容器の充填率を、従来の90パーセントから欧米並みの98パーセントとした。	
19	#	高圧ガ ス保安 法	経済産業省	水素供給スタンドの保安検査の検査周期が1年であり、メンテナンスコストが増大することから、検査周期の延長。	○ 一般高圧ガス保安規則の改正 ○ コンビナート等保安規則の改正 ▽平成17年3月24日：公布 ▽平成17年3月31日：施行	検査項目のうちメンテナンスコストの大きい、耐圧性能・強度に係る検査を、外部からの目視及び非破壊検査のみとし、検査内容の簡略化を図った。	
20	#	建築基 準法	国土交通省	水素供給スタンド等の可燃性ガス及び圧縮ガスの製造を行う建築物は、工業地域・工業専用地域以外に建設できないが、圧縮天然ガススタンド並みへの見直し（準工業地域、商業地域、近隣商業地域、準住居地域、第2種住居地域、第1種住居地域での建設を可能にする。）	○ 建築基準法施行令の改正 ▽平成17年3月25日：公布・施行  ○ 国土交通省告示第359号 ▽平成17年3月29日：告示・施行	自動車に充てんするための圧縮水素の製造で一定の製造設備を用いる施設について、第1種住居地域、第2種住居地域、準住居地域、近隣商業地域、商業地域及び準工業地域における圧縮ガスの製造に係る用途規制を適用しないこととした。	

表 2-4 規制の再点検結果 遅くとも 2004 年度末までに実施すべき事項 4 / 5

N O	種 別	法令名	関係省庁	検討事項	再点検後		備 考
					法令等の整備	概 要	
21	#	建築基準法	国土交通省	用途地域毎に水素貯蔵量の制限があり、市街地にスタンドを建設する場合小規模にならざるを得ないが、制限数量の増加見直しの可否。	○ 建築基準法施行令の一部を改正する政令等の施行について（国住街第 298 号） ▽平成 17 年 3 月 29 日：通知	圧縮水素の貯蔵量については、より制限の厳しい可燃性ガスではなく、圧縮ガスの数量による制限が適用されることを通知した。なお、制限数量を超えるものについては、建築基準法第 48 条の規定に関する許可制度の活用により建築を認めることが可能であり、今後、水素供給スタンドの安全に関わる技術基準の策定を受けた後、技術的助言として通知を行う予定である。	
22	#	道路法	国土交通省	完成車輸送車両(トレーラー)について、水底トンネル等の通行制限があるが、 ①指定トンネルの削減 ②搭載水素の制限数量の増加	○ 道路法第 46 条第 3 項に基づく危険物積載車両の通行制限について【道路局長通知】 ○ 水素を燃料とする自動車の完成車両を輸送する車両の通行規制の緩和について【道路交通管理課長通知】 ▽平成 17 年 3 月 31 日：通知	これまでは、道路法第 46 条第 3 項に基づく各道路管理者の公示により、24 箇所のトンネルについては一定数量以上の水素を積載する車両の通行が制限されていたが国土交通省において、燃料電池自動車に係るトンネル内における安全性検討委員会の検討結果を踏まえ、保安基準、容器基準等を満たす水素を燃料とする自動車を運搬する車両に係る通行制限の緩和についての考え方を各道路管理者に通知した。今後、各道路管理者においては、この通知を踏まえ、各公安委員会との調整の上、各トンネルの通行制限の緩和について検討し、公示をする予定である。	
23	#	消防法	総務省	水素供給スタンド等を設置する場合、ガソリンスタンドとの併設は認められていないが、圧縮天然ガススタンドと同等な基準での併設への見直し。	○ 危険物の規制に関する政令の一部を改正する政令（平成 17 年政令第 23 号） ▽平成 17 年 2 月 18 日：公布 ▽平成 17 年 4 月 1 日：施行  ○ 危険物の規制に関する規則の一部を改正する省令（平成 17 年総務省令第 37 号） ▽平成 17 年 3 月 24 日：公布 ▽平成 17 年 4 月 1 日：施行	燃料電池自動車に水素を充てんする設備を設ける給油取扱所に係る位置、構造及び設備の技術上の基準を新設し、水素供給スタンドをガソリンスタンドに併設することが可能となった。	
24	家庭用	電気事業法	経済産業省	家庭用燃料電池は自家用電気工作物扱いとなるため、保安規程の届出、電気主任技術者の選任の義務が発生するが、小出力発電設備（一般電気工作物）に位置づけ、保安規程届出及び電気主任技術者の選任の不要化。	○ 発電用火力設備に関する技術基準を定める省令の一部を改正する省令（平成 17 年経済産業省令第 17 号） ○ 電気設備に関する技術基準を定める省令の一部を改正する省令（平成 17 年経済産業省令第 18 号） ○ 電気事業法施行規則の一部を改正する省令（平成 17 年経済産業省令第 19 号） ▽平成 17 年 3 月 10 日：公布・施行	これまでは、全ての燃料電池発電設備を電気事業法第 38 条第 3 項の事業用電気工作物に位置付けており、同法第 42 条に基づく保安規程の届出及び同法第 43 条に基づく電気主任技術者の選任を義務付けていたが、再点検の結果、電気事業法施行規則第 48 条第 4 項を改正し、ある一定の要件を満たすものを同法第 38 条第 1 項の一般用電気工作物に位置付け、上記義務を不要とした。また、上記改正とともに、一般用電気工作物を満たすべき要件について、発電用火力設備に関する技術基準を定める省令及び電気設備に関する技術基準を定める省令を改正し整備した。	
25	#	電気事業法	経済産業省	家庭用燃料電池の運転停止時に可燃性ガス滞留防止のため、不活性ガス（窒素等）による可燃性ガスの置換（パージ）義務があるが、窒素パージの不要化。	○ 発電用火力設備に関する技術基準を定める省令の一部を改正する省令（平成 16 年経済産業省令第 50 号） ▽平成 16 年 3 月 31 日：公布・施行  ○ 発電用火力設備に関する技術基準を定める省令の一部を改正する省令（平成 17 年経済産業省令第 17 号） ▽平成 17 年 3 月 10 日：公布・施行	再点検の前までは、発電用火力設備に関する技術基準を定める省令第 35 条に基づき、全ての燃料電池設備について不活性ガスによるパージを義務付けていたが、再点検の結果、平成 16 年 3 月に同省令を改正して、ある一定の要件を満たす事業用電気工作物について不活性ガスパージを不要とし、平成 17 年 3 月に同省令を改正して、ある一定の要件を満たす一般用電気工作物についても不活性ガスパージを不要とした。	

表 2-4 規制の再点検結果 遅くとも 2004 年度末までに実施すべき事項 5 / 5

N O	種 別	法令名	関係省庁	検討事項	再点検後		備 考
					法令等の整備	概 要	
26	家 庭 用	消防法	総務省	家庭用燃料電池が発電設備に該当、あるいは内燃機関による発電設備に準ずるものとされた場合、消防長への設置届出が必要であるが、設置届出の不要化。	○ 火災予防条例（例）の一部改正について （消防安第 50 号） ▽平成 17 年 3 月 22 日：通知	家庭で用いられると想定される出力であって、その使用に際し異常が発生した場合に安全を確保するための措置を講じたものについては、設置届出を要しないこととした。	
27	#	消防法	総務省	家庭用燃料電池が発電設備に該当、あるいは内燃機関による発電設備に準ずるものとされた場合、建築物から離隔距離を取る必要があるが、必要な離隔距離の縮小。	○ 対象火気設備等の位置、構造及び管理並びに対象火気器具等の取扱いに関する条例の制定に関する基準を定める省令の一部を改正する省令（消防安第 56 号） ▽平成 17 年 3 月 22 日：公布 ▽平成 17 年 10 月 1 日：施行  ○ 火災予防条例（例）の一部改正について （消防安第 50 号） ▽平成 17 年 3 月 22 日：通知	家庭で用いられると想定される出力であって、その使用に際し異常が発生した場合に安全を確保するための措置を講じたものについては、保有距離を要しないこととした。	
28	#	消防法	総務省	家庭用燃料電池の改質器に逆火防止装置を設置する必要があるが、逆火防止装置の不要化。	○ 対象火気設備等の位置、構造及び管理並びに対象火気器具等の取扱いに関する条例の制定に関する基準を定める省令の一部を改正する省令（消防安第 56 号） ▽平成 17 年 3 月 22 日：公布 ▽平成 17 年 10 月 1 日：施行  ○ 火災予防条例（例）の一部改正について （消防安第 50 号） ▽平成 17 年 3 月 22 日：通知	燃料電池発電設備（固体高分子型燃料電池、りん酸型燃料電池又は熔融炭酸塩型燃料電池であって火を使用するもの）については、逆火防止装置を要しないこととした。	

2. わが国の水素エネルギー社会への移行シナリオ

図 2-5 わが国の水素エネルギー社会への移行シナリオ<sup>13</sup>

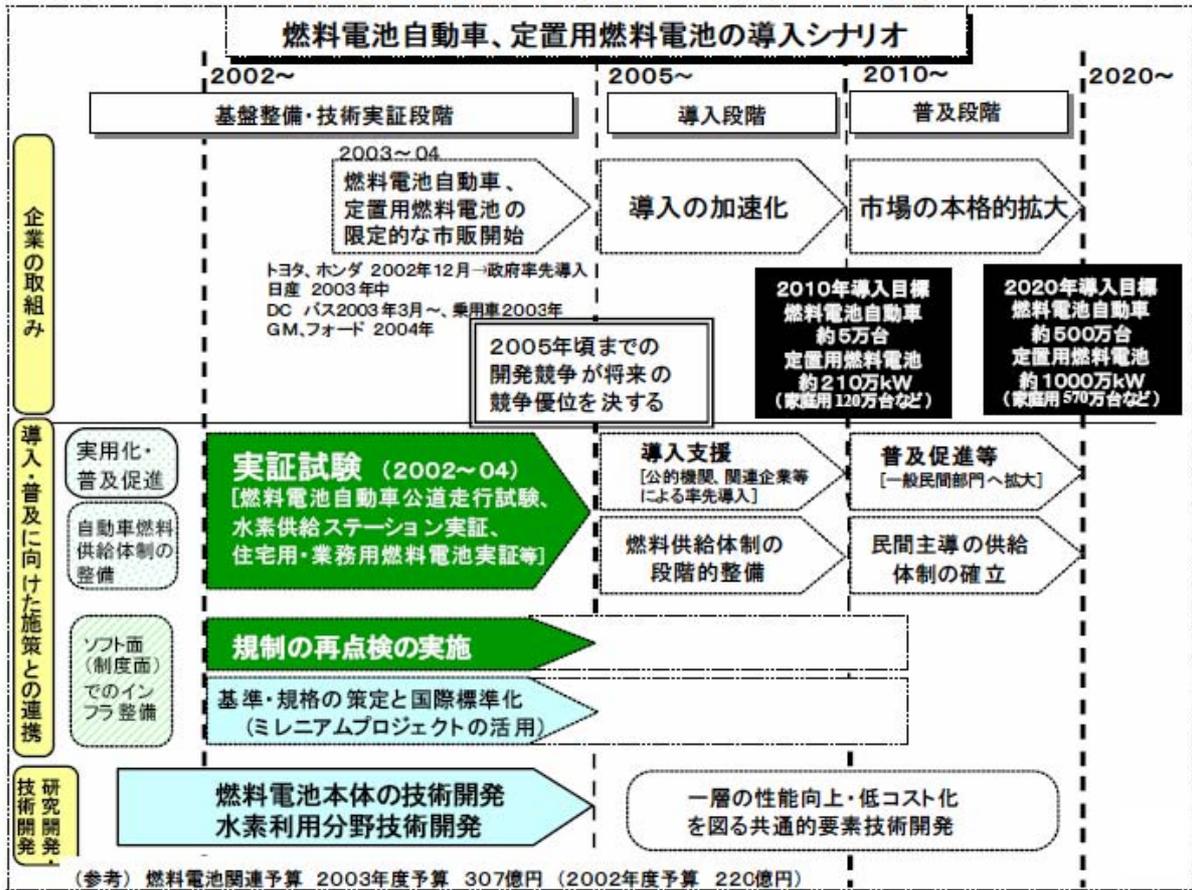
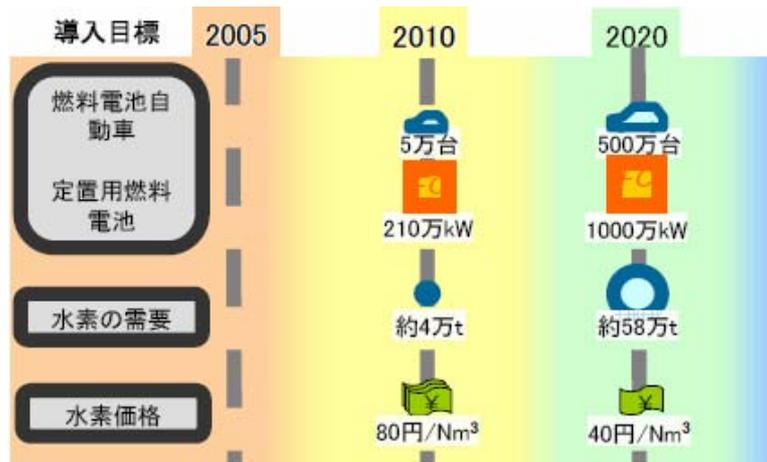


図 2-6 わが国の水素エネルギー導入目標<sup>14</sup>



<sup>13</sup> 経済産業省HP : <http://www.meti.go.jp/>

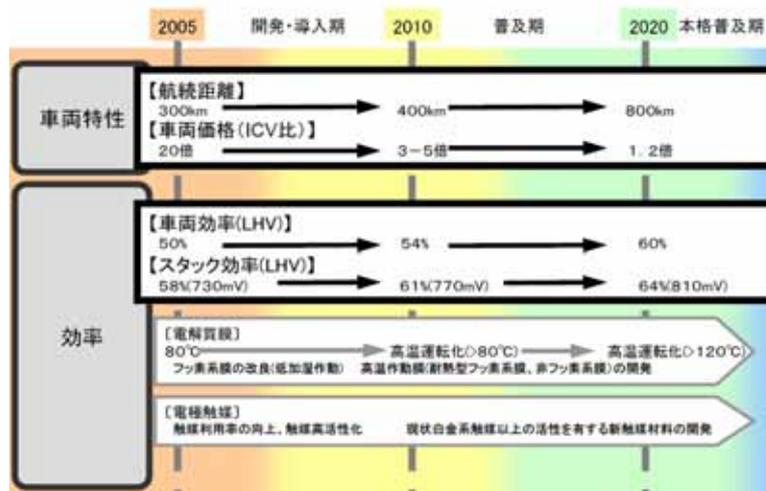
<sup>14</sup> 同上

わが国の水素エネルギー社会への移行シナリオ及び水素エネルギーの導入目標は図 2-5、2-6 の通りである。移行シナリオによれば、2004 年までに基盤整備及び技術実証を行い、2005 年以降を導入段階と位置づけ、2010 年には燃料電池自動車 5 万台、定置型燃料電池 210 万 kW の導入を目標としている。さらに本格的な普及段階に入る 2020 年には燃料電池自動車が 500 万台、定置型燃料電池が 1000 万 kW となる目標を掲げている。

シナリオにおける官民の役割については、2010 年までは政府の導入支援が中心で、2010 年からは民間主導による目標達成を行うことを計画している。

以下図 2-7、8 は燃料電池自動車、図 2-9、10 は定置用燃料電池の具体的な導入に向けての性能目標数値である。

図 2-7 燃料電池自動車性能目標



(出典：経済産業省)

図 2-8 燃料電池自動車性能目標



(出典：経済産業省)

図 2-9 定置用燃料電池性能目標



(出典：経済産業省)

図 2-10 定置用燃料電池性能目標



(出典：経済産業省)



## 第 3 章

### 水素エネルギー社会を目指す各国の戦略的取組

### 第3章 水素エネルギー社会を目指す各国の戦略的取組

工博 大橋 一彦  
京都大学国際融合創造センター・フェロー

#### 1. まえがき:

水素エネルギー社会への移行は、燃料電池車と定置式燃料電池の普及拡大が鍵を握ると考えられている。このため世界の主要水素関連企業は、近年、燃料電池車や定置式燃料電池設備の研究開発にさらに拍車をかけている。わが国は、燃料電池車分野では世界をリードしているものの、本格的な水素輸送・配送インフラの計画・整備では欧米に一步遅れている感がある。本稿は世界の最新水素エネルギー戦略の一端を紹介するものである。

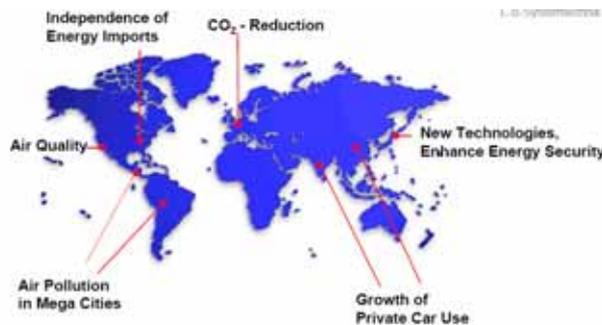


図 3-1 世界の主要水素プロジェクト推進場所

#### 2. 世界の水素供給インフラの現況:

本格的な商業設備ではなく、全てが水素実証プロジェクトの一環ではあるが、2004 年中期までに世界の 87 箇所に水素供給ステーションが建設されている。

2004 年に入って、水素供給方法に関する関心が特別高まっている。種々の新たなイニシアティブやプログラムが議論され、開始されたが、その中でもカリフォルニア州のアーノルド・シュワルツェネッガー知事の今後 5~6 年以内に同州を縦断するハイウエーに沿って 200 箇所の水素ステーションを建設するという発表は、多くの議論を呼び、メディアの注目を集めている。今後、世界でもさらに 25~30 箇所の水素ステーションが建設されるものと期待されている。

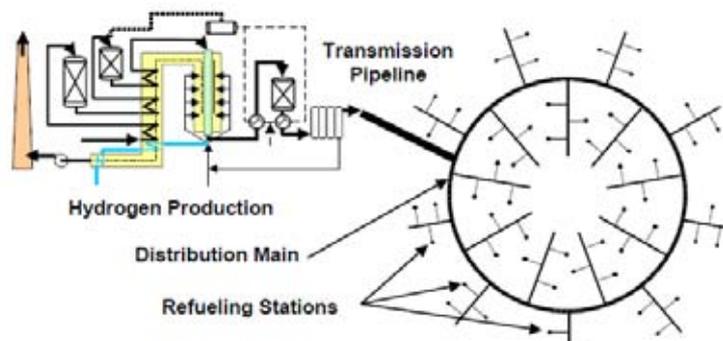


図 3-2 中央大規模水素製造プラントからの水素輸送・配送パイプラインと水素ステーションのイメージ(出典:Argonne 国立研究所、2004 年)

### 3. 水素プロジェクトの注目地域:

2004年に幾つかの実証プロジェクト、例えば、欧州のCUTEプロジェクトや日本のJHFCプロジェクトが拡大推進されたことから、これらの2つの地域でのステーションの割合が高くなっている。一方、2004年に米国、カナダ、その他の世界の国々でも同様規模の実証プロジェクトが開始されている。水素エネルギー社会への移行の重要性が、欧州、日本、そして北米以外の国々でも理解され始め、豪州、中国、シンガポール、台湾などでも水素ステーションが建設されている。また、多くのアジアの国々の政府がよりクリーンな自動車を導入する計画に熱心であることから、これらの地域も今後、数年で仲間入りをするものと考えられる。例えば、中国では2008年の北京オリンピックと2010年の上海万博の際に数十台の燃料電池バスの導入を計画しているが、台湾と韓国もオートバイ産業を、水素や燃料電池の利用を含むよりクリーンな燃料にスイッチすると伝えられている。



図 3-3 CUTE および ECTOS プロジェクト推進都市



図 3-4 2003年4月24日に開所式を行ったECTOS水素ステーション(レイキャビック)

### 4. 技術開発上の課題:

水素供給ステーションでの水素価格を現在のガソリンと同等の価格にすることが当面の目標ではあるが、水素のコストは、多くの人が予想するよりも高くないのが実態である。Air Products, L-B-Systemtechnik、さらにはVES(CEP)(ドイツ)により実施された種々の研究データに基づくと、Honda FCEV 燃料電池車を 100km 走行させるに必要な水素(大規模中央製造設備による天然ガスの水蒸気改質)コストは、同じ距離を従来の石油

内燃エンジン車(100km 当たりで 8 リットル)で走行するのに必要な燃料コストと同程度となる。これは主として燃料電池車の高い効率と中央水素製造プラントの大規模水素製造能力からもたらされるものである。

実施都市		エネルギー源	水素製造方法
アムステルダム	オランダ	廃棄物 焼却発電	オンサイト 電気分解
バルセロナ	スペイン	太陽光発電 +買電	
ハンブルグ	ドイツ	風力発電	
ストックホルム	スウェーデン	水力発電	
レイキャビック	アイスランド	地熱発電 +水力発電	
ロンドン	イギリス	原油	石油精製所 で製造
マドリード	スペイン	天然ガス	オンサイト 水蒸気改質
ポルト	ポルトガル		
シュツットガルト	ドイツ		
ルクセンブルグ	ルクセンブルグ		
		電力(買電)	プラントで電気分解

図 3-5 欧州の水素ステーションの種類(出典;JHFC,2004)

一般に水素供給チェーンでの主たるコスト要因は、製造部門はそれほどではなく、燃料の配送と貯蔵からのものである。水素を配送する最も安価な方法は、パイプラインによるものであるが、Air Products, Air Liquide, BOC そして Praxair などの産業ガス製造企業の有する既存のパイプライン・ネットワークは、延長が 4,000km 程度であり、欧州や米国の極めて特定地域に集中しており、これらのネットワークは、石油、天然ガス、そして石油製品パイプライン・ネットワークに比べてまだまだ十分とは言えない。

試験場所	ベルリン
試験車両	水素利用車(FCV,水素自動車)
ステーション	水素ステーション1基 再生可能エネルギーによる水素製造
走行試験期間	2003~2006年(4年間)
予算	25Mユーロ(約30億円) ドイツ運輸省と参加会社々々負担
運営組織	委員会及び Working Group

図 3-6 ドイツの CEP プロジェクトの概要(出典:JHFC,2004 年)



図 3-7 CEP プロジェクトの水素ステーション(圧縮水素、液体水素、ガソリン、軽油、天然ガス等の燃料充填に加えて、洗車場や店舗、喫茶などを併設)(出典:JHFC,2004 年)

短期的には、恐らく圧縮水素としてトラックなどで配送するのがより経済的となるが、今後、公道上にさらに多くの燃料電池車が出現するようになれば、天然ガス（あるいは同様な燃料）のオンサイト改質による水素製造が主流になるものと思われる。しかし、長期的な解決策は、水素パイプライン・ネットワークの構築にあることは論を待たない。

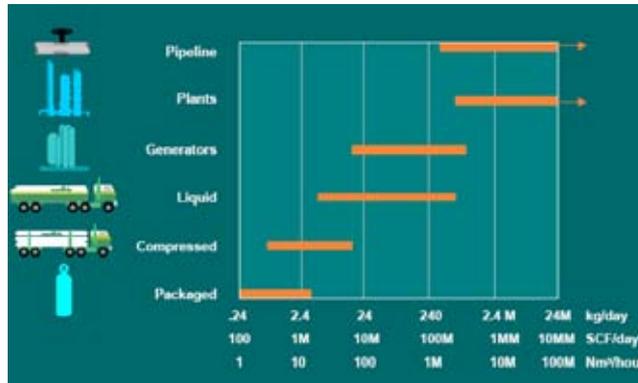


図 3-8 水素の輸送・配送モード比較 (出典: Air Products, 2003 年)

しかしながら、当面の課題として、今まず真っ先に実施すべきことは、さらに多くの燃料電池車を普及、走行させることである。燃料電池車が燃料供給設備を利用すればするほど、水素価格は益々安くなるからで、TOTAL や Opel (GM の子会社) による 2003 年の調査によると、欧州中の自動車燃料電池車にスイッチするには、欧州の 135,000 箇所の燃料ステーションのおよそ 10~15% に水素設備の設置が不可欠であるとの結果が示されている。しかし、ステーションでの燃料コストを 5 ドル/kg 以下にするには、欧州だけで 675 万台の自動車が存在するので、少なくとも各ステーションは 500 台に供給する必要がある。欧州で最大の水素製造設備でも年間で 10 億 m<sup>3</sup> しか製造できないが、これらの燃料電池車は、140 億 m<sup>3</sup> 程度の気体水素を消費するものと思われる。

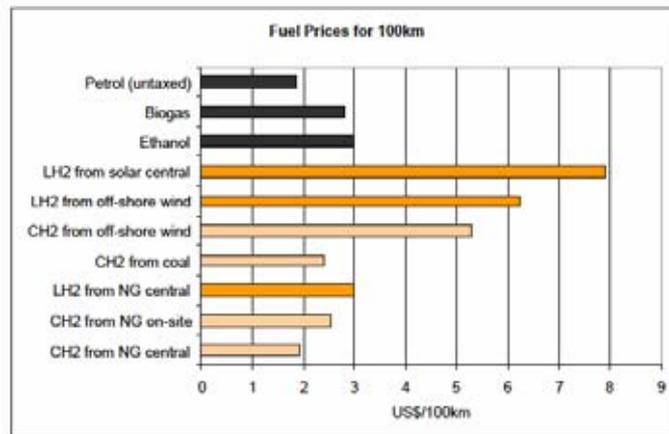


図 3-9 従来車(黒色)と燃料電池車(オレンジ色)を 100km 走行させるに必要な燃料費 (出典: FuelCell Today, 2004 年)

水素供給設備を有する上述のステーションの 10~15% の設備コストは、3~5 年間に亘り、既存の従来型ステーションの 10~15% を維持する分のコストと同等と考えられる。従って、正しいインセンティブが与えられれば、既存設備にネットワークを構築することはそれ程

高コストになるとは思われない。さらに加えて、60～70年前、世界各国は、国内高速道路や石油インフラを構築するために膨大な資金を費やしたことを忘れてはならない。米国だけでも、1956年～1966年の間に、州間道路網とそれに必要な燃料インフラを構築するために、今日の金額でおよそ5,000億ドル以上を費やしている。

最近では、世界中の政府がそういったネットワークを構築する際の独自の問題を分析するために国の水素エネルギー社会移行を目指すロードマップを策定し始めている。QuickStart と呼ばれ、2004年～2014年で水素製造と利用に関する20億ユーロの予算を持つ欧州連合のロードマップや韓国の科学技術省による、2019年までに28.43億ドルの予算を持つ水素エネルギー・イニシアティブ、そして2003年～2015年の間で2.27億ドルの予算を持つ米国の水素燃料に関する水素促進計画などは、多くの中のほんの1例である。

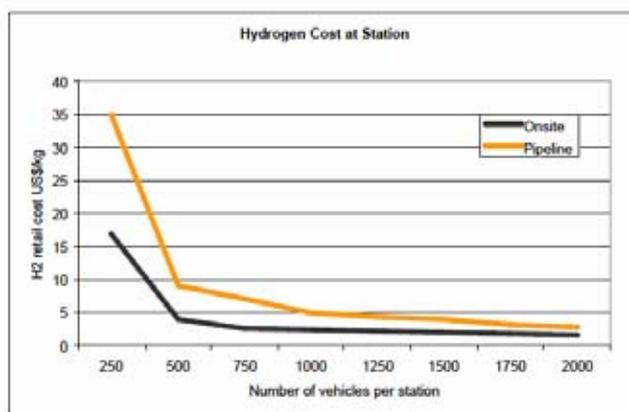


図 3-10 ステーション数と水素コストの関係(出典: FuelCellToday、2004年)

### 5. 水素に関する世界統一規格・基準:

産業界が水素インフラ実現のために直面しているもう1つの課題は、水素の純度、燃料電池、供給設備仕様等に関する国際統一規格や基準がまだ制定されていないことである。しかしながら、幸にも、このための作業は種々の場所で始まっている。カナダ標準局(CSA)、その米国のパートナーである米国国立標準化研究所(ANSI)、米国機械工学会(ASME)、米国エネルギー省(DOE)、そして保険料査定研究所(UL)は、種々の燃料電池車について作業を行っており、北米での水素製造や貯蔵に関する規格・基準を2005年までに策定したい意向である。



図 3-11 IPHE のメンバー国(出典: DOE, 2004年)

日本政府と欧州連合の代表もまた、自動車メーカーと国際標準化機構(ISO)と米国と同様

な標準化に関して共同作業中である。

加えて、豪州、ブラジル、カナダ、中国、欧州委員会、フランス、ドイツ、アイスランド、インド、イタリア、日本、韓国、ノルウェー、ロシア、英国が『水素社会のための国際共同研究 (IPHE)』の下で共同作業を行っている。この IPHE は、水素と燃料電池に関する研究を組織化し、テーマを絞り、そして開発プログラムを選定し、実用化することを目的としている。中でも特に、水素製造、貯蔵、輸送、配送の実証、そして水素燃料の利用に関する共通規格・基準の制定に重点が置かれている。

## 6. 進行中の世界の代表的実証プロジェクト:

### 6.1. 北米の水素実証プロジェクト:

北米の代表的な水素燃料電池車およびバス実証プロジェクトは、下図の通りである。これらのプロジェクトを中心にして、色々な水素インフラ関連プロジェクトが推進されている。

- 1. FCV実証試験
  - CaFCP (California Fuel Cell Partnership)
  - FreedomCAR & Hydrogen Fuel Initiatives (Cooperative Automotive Research)
  - VFCVP (Vancouver Fuel Cell Vehicle Project)
- 2. FCバス実証試験
  - CaFCP (California Fuel Cell Partnership)
  - AC Transit, SunLine Transit, VTA (Santa Clara Valley Transportation Authority)

図 3-12 北米での代表的な水素燃料電池車およびバス実証プロジェクト  
(出典: JHFC, 2004 年)

#### (1) カリフォルニア燃料電池パートナーシップ (CaFCP):

このパートナーシップは、自動車メーカー、エネルギー企業、燃料電池企業、そして政府による 4 年間に亘る共同プロジェクトとして、1999 年に開始されたものである。主たる目的は、燃料電池車やバスをカリフォルニア州の公道で実証試験し、現実的な規格・基準の制定を促進し、燃料電池車の利点を一般大衆に啓蒙することにある。これまでに、2 箇所の水素供給ステーションを建設し、40 台以上の燃料電池車を試験走行させてきた。このプロジェクトは、エネルギー省と民間企業からの資金援助を得て、さらに 4 年間の延長がなされたところである。2007 年までに、このパートナーシップは 300 台の自動車ですべて試験走行する計画である。主要パートナーとして、Air Products, Ballard, BP, ChevronTexaco, Daimler-Chrysler, エネルギー省、運輸省、EPA, ExxonMobil, Ford, General Motors(GM), Honda, Hyundai, Methanex, Nissan, Pacific Gas & Electric, Praxair, Proton Energy, Shell Hydrogen, Stuart Energy, Toyota, UTC Fuel Cells, Volkswagen および Ztek が参加している。



図 3-13 カリフォルニア州西サクラメントにある CaFCP 事務所と燃料電池車ラインナップ

## (2) 圧縮水素インフラ・プログラム(CH2IP) :

圧縮水素インフラ・プログラム(Compressed Hydrogen Infrastructure Program)は、輸送と発電分野の水素インフラの実行性を実証試験することを主目的としている。このためのコンソーシアムとして、BCHydroGen(BC Hydroの一部)、BOC, BP, ChevronTexaco, Dynatek, Fuel Cell Canada, JFE, Powertech, Shell Hydrogen、そして Stuart Energy が参加しており、最近、3つのインフラ・プロジェクトを開始している。第1ステージでは、350barの圧力を持つ水素供給ステーションが開発され、第2ステージでは、700bar圧力の定置式水素ステーションが、第3ステージでは、250barと700barで水素を供給する可動式サテライト圧縮水素ステーションが開発される予定である。



図 3-14 Powertech の可動式水素供給ステーション



図 3-15 Westport の PowerTech の 700bar 水素供給ステーション

## 6.2. 欧州の水素実証プロジェクト:

### (1) CUTE と ECTOS プロジェクト:

CUTE (欧州クリーン都市輸送) プロジェクトは、水素燃料電池バスを都市公共交通システムに導入した 1,850 万ユーロの欧州連合予算を持つプログラムである。欧州の 9 都市 (アムステルダム、バルセロナ、ハンブルグ、ロンドン、ルクセンブルグ、マドリッド、ポルト、ストックホルム、シュツツガルト) は、夫々、3 台の Daimler-Chrysler の燃料電池バス Citaro を受け入れ、種々の方法で必要な燃料を製造する水素ステーションを建設している。バスは、Ballard 社の 225kW PEM 燃料電池で駆動し、毎日、定期運行されている。このプロジェクトは、3 台の燃料電池バスを受け入れた世界最初のプロジェクトでもある。アイスランドの首都のレイキャビック (プロジェクト名は ECTOS エコロジカル都市輸送システム) と、2004 年に実証試験が始まった豪州のパーズ (プロジェクト名

は、STEP - 持続可能輸送エネルギー・パス)を含め種々のプロジェクトに普及、拡大されてきた。主要な燃料とインフラを提供するためのパートナーとして、BP, Norsk Hydro, そして Shell Hydrogen が参加している。2004 年 4 月、Daimler-Chrysler はさらにまた、BC Transport の一環として、1 台の Citaro を中国に引き渡している。



図 3-16 .ECTOS の燃料電池バス  
MVV・OEG・AG - Citaro バス(左)と DaimlerChrysler の Citaro バス(右)

(2) ベルリン地域水素供給・管理プロジェクト(Wasserstoff-Kompetenzzentrum Berlin):

ドイツの地域企業の Berliner Verkehrsbetriebe(BVG), Linde Gas, MAN, Opel, Proton Energy, ,そして TOTAL Deutschland が含まれ、欧州連合からの資金援助を得て、1 箇所の供給ステーションと地域水素管理センター『Wasserstoff-Kompetenzzentrum Berlin』を 2002 年に開設している。

コペンハーゲンとリスボンでも同様なプロジェクトを運営するパートナーと共に、2005 年までにドイツの首都に 10 台のバスを導入することを目的としている。2005 年には、このグループはもう 1 箇所の供給ステーションをベルリンに開設する計画である。



図 3-17 TOTAL の水素ステーション  
(Berlin, 2002 年 10 月開設、Linde の液体水素タンク、Proton Energy Systems の気体水素)

6.3. 日本の水素実証プロジェクト:

(1) JHFC(水素燃料電池実証プロジェクト):

日本の水素燃料電池実証プロジェクト(JHFC)は、燃料電池車を日常の使用条件下で実証することを目的としたものである。このプロジェクトは、2002 年~2005 年の間推進され経済産業省(METI)、日本自動車研究所(JARI)、日本エンジニアリング振興協会(ENAA)の資金援助を得て実施されている。



図 3-18 昭和シェルと岩谷産業による有明水素供給ステーション(出典: JHFC、2004 年)



図 3-19 愛知万博に導入された日野・トヨタ製水素燃料電池バス(出典: JHFC、2005 年)



図 3-20 愛知万博の水素ステーション(提供・新日鉄、2005 年)

Daimler-Chrysler、GM、日野、ホンダ、三菱、日産、スズキ、そしてトヨタを含む自動車メーカーは、自社の燃料電池車やバスを東京、千葉、神奈川地域を走行させている。さらに公益企業、エネルギー企業、石油企業が色々な原料から燃料を製造する水素供給ステーションを建設・管理することでこのプロジェクトを支援している。これまでに 12 箇所(関東 10 箇所 + 万博 2 箇所)のステーションが完成している。これに参加しているのは、パブコック日立、コスモ石油、出光興産、出光 Enex、岩谷インターナショナル、日本エアーガス (Air Liquide と大阪酸素工業の JV)、クリタ、新日石(ENEOS)、日本酸素、新日鉄、品燃、昭和シェル、東京ガス、東邦ガスなどの企業である。

(2) WE-NET(世界エネルギー・ネットワーク) :

WE-NET は、1993 年に輸送用の新技術と燃料を開発する目的で開始されたものである。METI の資金援助を得て、第 1 フェーズである 1993 年～1998 年には、燃料としての水素を用いた長期的な概念の開発に焦点が絞られた。第 2 フェーズの 1999 年～2002 年では、日本国内に 3 箇所の水素供給ステーションが設置され、実用化検討がなされ、種々の燃料電池車が試験走行された。このプロジェクトは、現在、その名称を『水素安全等基盤技術開発』と変え、プロジェクト・メンバーとして、NEDO をはじめ、種々の研究所が参加し、既存のステーションを操業しながら、規格・基準の検討、安全性の向上に焦点が当てられている。

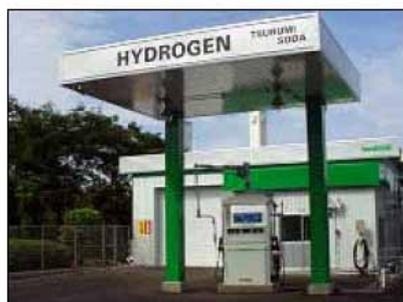


図 3-21 香川県高松市の水素供給ステーション(WE-NET)

7. 世界の代表的な新規水素実証プロジェクト

7.1. 北米の新規水素実証プロジェクト:

(1) カリフォルニア州南岸地区大気質管理委員会(AQMD):

『カリフォルニア州南岸地区大気質委員会 (AQMD) 』は、30 台の内燃エンジン車(H2-ICE)を導入し、2004 年～2005 年に 5 箇所の水素供給ステーションを建設して燃料電池車を試験走行させるプロジェクトに資金を供与している。Quantum 社は、トヨタの Prius を水素燃料車に代替する予定であり、5 箇所のステーションが Burbank, Ontario, Riverside, Santa Ana, Santa Monica に建設される予定である。Stuart Energy は、最初のステーションを AQMD 事務所に建設している。この 250 万ドルのプロジェクトに国防省傘下の国立自動車センター(NAC)が参加することになれば、燃料電池車は 35 台まで増加する予定である。



図 3-22 AQMD 最初の水素ハイウエー・ネットワークの水素供給ステーションの開所式  
(南カリフォルニア)

(2)カリフォルニア水素ハイウエー：

水素インフラの構築に関しては、これまでで恐らく最も野心的な構想は、最近、カリフォルニア州で発表された、2010年までに、同州の主要ハイウエーに沿っておよそ200箇所の供給ステーションを設置するこの計画であろう。2004年末までに、カリフォルニア州は、既に、北米の全既存水素ステーションの半分を占める15箇所の水素供給設備を有している。特に、シュワルツェネッガー知事が就任以来、同州のイニシアティブは活況を呈し、また大衆からの支持を得ている。しかしながら、このハイウエー構想は、AQMDやCaFCP等の同州の他の既存活動を組み込んだ包括的なプロジェクトであることにも注目する必要がある。



図 3-23 カリフォルニア州の水素ハイウエー計画(出典:CaFCP,2004年)



図 3-24 シュワルツェネッガー知事による水素ステーション開所式

(3)水素燃料電池車およびインフラ実証・確認プロジェクト(Contorlled Hydrogen Fleet & Infrastructure Demonstration and Validation Project):

このプロジェクトの目的は、実際の使用条件下で燃料としての水素を多角的に研究することである。米国のエネルギー省は、この2004年～2009年までの5年間に、1.9億ドルを供与し、さらに同額の資金が民間企業からもたらされる予定である。しかし、提案され

た金額のある部分は、既に、ブッシュ大統領の『FreedomCar 水素燃料イニシアティブ』の一部に組み込まれているものでもある。この CHFDVP は、種々の小テーマに細分されているが、全体の目標設定は、風力と水素パイプラインの利用など色々な再生可能エネルギー源から燃料を製造し、カリフォルニア州に 24 箇所の定置式と可動式水素供給ステーションを建設し、試験することにある。このプロジェクトでの主導的な企業は、Air Products, BMW, BP, ConocoPhillips, Daimler-Chrysler, Ford, GM, ホンダ、Hyundai, 日産、Shell、Texaco Energy/Chevron Texaco で、さらに CaFCP 同様に追加された他の 32 のサブ・メンバーが参画している。Daimler-Chrysler は、既に、このプログラム期間中にさらに 37 台の燃料電池車を北米の公道上を走行させると発表している。Ford は、他の 30 台の燃料電池車を実証試験する予定であり、Hyundai は 32 台の燃料電池車を予定している。日産とトヨタは、全部で 65 台の燃料電池車を展開させる計画であり、BMW は 15 台の水素駆動内燃エンジン車(H2-ICE)を公道上に配備する予定である。

名 称	Controlled Hydrogen and Infrastructure Demonstration and Validation Program
期 間	2004年～2008年までの5年間
予 算	1.5～2.4億ドル
費用負担	米国メーカー：官50% / 民50% その他：官が1万ドル / 月負担
参加形態	自動車メーカーとエネルギー会社がペアで基本チームを形成 FC供給会社・大学などを加え、プロジェクトチームで活動

図 3-25 CHIDVP プロジェクトの概要(出典：JHFC,2004 年)

(4)水素回廊プロジェクト(Hydrogen Corridor) :

カナダの燃料電池企業は、モントリオールから Windsor までの主要幹線道路の 1 つに沿って十分な供給ステーションを持つ延長 900km の水素回廊のモデル化を推進している。このプロジェクトは、燃料電池と水素の開発と実証を推進するためのより幅広い、9,500 万ドルの政府資金プロジェクトである。このプロジェクトは非常に初期の段階であり、その詳細はまだ発表されていない。



図 3-26 GM は 2008 年までに 40 台の水素燃料電池車を走行させる計画。  
2006 年は 19 台の予定。

(5)水素ハイウエー(Hydrogen Highway) :

カナダ政府は、冬季オリンピックが開催される 2020 年までに、水素インフラでバンクーバーと Whistler 間の 2 つの都市を結ぶためのイニシアティブに 80 万ドルの資金を供与する予定である。Sacre-Davey Engineering, Powertech Labs ,Fueling Technologies は、供給施設の設計を担当しているが、今日まで、何基の新たなステーションが建設されるの

が決定がなされていない。他のパートナーには、Ballard、BC Hydro, Fuel Cell Canada, Natural Resources Canada(NRCan)、The National Research Council Canada、そして QuestAir が含まれる。このプロジェクトは、拡大されたカナダ輸送燃料アライアンス(CTFCA)の一部で、7年間の2,500万ドルのカナダ政府予算を持つもので、種々の燃料電池車や色々な供給方法を実証する目的を持つ、カナダ天然資源省(NRCan)が主導するプログラムである。

このプロジェクトを開始し、初期段階で相当程度の経験を得るために、Ford は燃料電池車を2004年には、バンクーバーに配置することに合意している。また、カリフォルニア州での活動と緊密に連携するように、さらに、最終的にはバンクーバーからロスアンジェルスまでのインフラを構築することが計画されている。

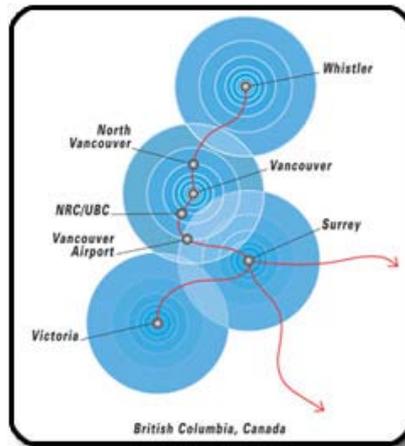


図 3-27 カナダの水素ハイウエー構想

(6)イリノイ州水素・燃料電池プロジェクト(Illinois Hydrogen Path)(2H2):

エネルギー・キャリアーとしての水素を導入し、同州を水素と燃料電池の中心都市にするために設立された産官学組織の『Illinois 2H2 パートナーシップ』は、2004年3月24日、イリノイ工科大学にて、『水素ハイウエー・持続可能社会と環境都市へのイリノイ州の道程』を発表した。これによると、この組織には、水素と燃料電池の開発のために同州のあらゆる地域の産業界を代表する400人以上が協力を確約し、特に同州を通過する国道90号線に沿って設置される水素実証プロジェクト回廊となる水素ハイウエーを実現し、水素燃料電池産業で同州を世界の中心地とすることを最終目標とするものである。このプロジェクトの中心となる都市はシカゴで、ここに4箇所の水素ステーションを建設して、実証プロジェクトを推進するが、これまで30年間に亘り、米国の水素の最先端研究を推進してきた Argonne 国立研究所やイリノイ工科大学がそのリーダーシップを取るものと考えられている。

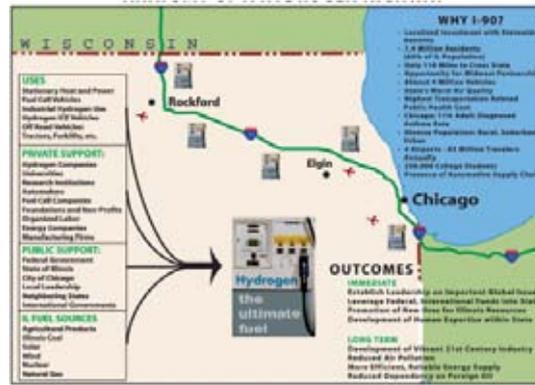


図 3-28 国道 90 号線とイリノイ州水素ハイウエー構想

(7) 米国中西部水素ハイウエー・イニシアティブ(NH2CI):

『Northern H2 Corridor Initiative』は、米国の中西部の北方域に水素供給インフラを構築するための 2003 年～2013 年までの 10 年間に亘るプロジェクトである。このプロジェクトは、風力、バイオマス、ソーラー、水力、石炭から水素を製造、供給することを目的とする産業組織、『Upper Midwest Hydrogen Initiative』が主導するものである。この計画には、米国のアイオワ、ミネソタ、北ダコタ、南ダコタからカナダの Winnipeg までの主要州間ハイウエーに沿った種々の供給ステーションの建設が含まれている。現在のところ、プロジェクト資金措置が決まっておらず、また詳細計画も公表されていない。



図 3-29 NH2CIプロジェクトの燃料電池バス

7.2. 欧州の新規水素実証プロジェクト:

(1) クリーンエネルギー・パートナーシップ (CEP):

ベルリンの CEP (Clean Energy Partnership) は、約 20 台の燃料電池車を投入し、代替燃料用のインフラを実現するための中長期戦略を推進することを目的とするドイツ連邦政府が資金供与している組織『VES-Verkehrswirtschaftliche Energie Strategie』(TES-Transport Energy Strategy)による 5 年に亘るプロジェクトである。CEP プログラムは、Aral (BP グループの一部)、BMW, Daimler-Chrysler、Ford、GM/Opel、Hydro/GHW、Linde、および Vattenfall Europe が含まれる企業コンソーシアムから構成されている。2004 年後半、液体と気体水素を供給するステーションが、日常の燃料電池車の利用を通じた水素の信頼性を実証するためにベルリンにお目見えしている。



図 3-30 世界最大のベルリンの水素供給ステーション



図 3-31 左から、Hydro/GHW の電気分解装置、Linde の水素貯蔵タンク、Aral の水素供給ステーション

(2)水素チェーン・プロジェクト(HYCHAIN) :

欧州の HYCHAIN プロジェクト ( Ruhr-Alps-Milan Hydrogen Supply Chain Integrated Project ) は、生産から配送までの水素供給チェーンと輸送,および定置式装置での水素利用を実現するための欧州の 3 つの大きなコミュニティを統合しようとするものである。これまでは、Air Liquide, ZBT を含む 65 のプロジェクト・パートナーが、目下、6,600 万ユーロのプロジェクト予算措置の最終決定を待っているところである。



図 3-32 HYCHAIN 概念図(出典: Air Liquide)

### (3) ノルウエー水素ハイウエー (HyNor) :

ノルウエーの HyNor プロジェクトは、オスロとスタバンガー間の幹線道路に沿った 580km の水素エネルギー・インフラの実現を目的とする実証プログラムである。Shell Hydrogen, Norsk Hydro, Statkraft その他を含む種々の企業グループが 5 基のステーションを建設し、バスやタクシー、自家用車などを実証走行させることを目的としている。このプロジェクトは、2003 年にスタートし、参加企業は最初の燃料電池車を 2005 年までに公道上に走らせる計画である。その際は、地域と都市間の連絡交通として、また、都市内交通としても利用するものである。



図 3-33 2005 年～2008 年にかけて、スタバンガーからオスロの 560km 間は水素燃料電池車でドライブが可能となる。

### 8. あとがき:

世界は 2030 年ごろから始まると考えられている本格的な水素エネルギー社会へ向けて、着々と水素実証プロジェクトを推進している。わが国も水素燃料電池車の開発では、世界をリードし、また、実証用水素供給ステーションも全国 10 数箇所に建設されているが、水素の輸送・供給インフラについては、欧米に一步も二歩も遅れをとっている。北米の 230 万 km、そして欧州の 80 万 km の既存天然ガス・パイプライン網を利用した水素輸送ハイウエー構想が目下、熱心に推進されている。筆者らは、この 20 年間、平田東大名誉教授とともに、北東アジア地域に、まず第一段階として、天然ガス・パイプライン網を建設し、化石燃料中で最もクリーンな天然ガスへエネルギー転換することによる域内環境の改善とエネルギーの高効率利用、次の第 2 段階では、その天然ガスの水蒸気改質による水素製造と、パイプラインによる各家庭やコミュニティへのハイタン輸送によるトリ・ジェネレーション、第 3 段階では、次第に水素量を増やしていき、最終的には域内の再生可能エネルギー（水力、地熱、風力、ソーラー、バイオマス等）で製造された 100%水素をこのパイプラインで輸送・配送することで究極のクリーンな社会を構築することを提唱してきた。わが国がリーダーシップをとり、エネルギーによる北東アジア協力を押し進め、域内の環境改善、エネルギー・セキュリティーの確立を実現すれば、やがては EU に匹敵する北東アジアエネルギー共同体が構築されるものと考えている。

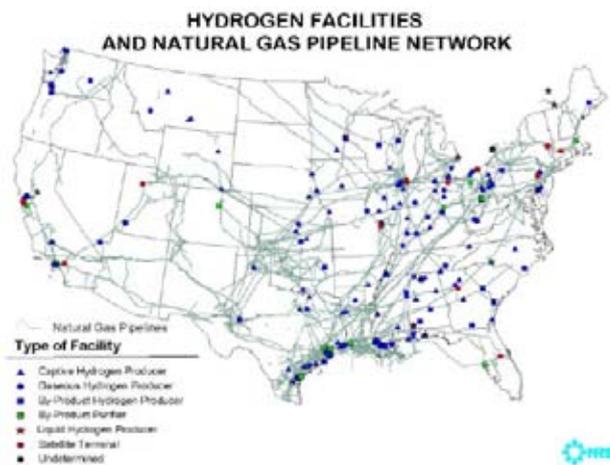


図 3-34 米国の水素関連設備と天然ガス・パイプライン網  
 (出典: 米国再生可能エネルギー研究所、2004 年)



## 第 4 章

水素エネルギー社会における新たな  
水素インフラのあり方

## 第4章 水素エネルギー社会における新たな水素インフラのあり方

工博 大橋 一彦  
京都大学国際融合創造センター・フェロー

### 1. まえがき:

水素エネルギー社会への移行は、水素燃料電池車によるモータリゼーションの変革と定置式燃料電池設備の普及が鍵になるものと見られている。本稿は、そのための水素インフラの構築に関する現況と私見を述べるものである。なお、本稿での水素インフラとは、水素製造場所と消費場所との間を物理的に繋ぐものと定義する。この水素インフラには、長距離パイプライン、道路・鉄道・河川等による輸送、大規模水素貯蔵設備や供給ステーションなどが含まれる。



図 4-1 米国における水素の色々な輸送・配送法(出典: Air Products, 2003 年)

エネルギー・キャリアーとしての水素は、今日使用されている殆ど全ての燃料に取って代わる可能性が高い。水素の大量需要は、まず最初に輸送分野、特に道路輸送で出現するものと考えられる。他の重要な水素需要としては、携帯用電子機器、可動式発電装置、定置式発電設備のような分野であろう。燃料電池による小型分散型コージェネレーション・システムは、これまでの大規模発電とその巨大な送電ネットワークのイメージを一新し、水素エネルギー社会の核になるものと思われる。初期のこれらの水素需要は、地理的に分散するので、そのインフラの選択については、特別な需要タイプ、規模、品質要求や特定の水素供給方法により大きく異なる。一般に、供給者側のオプションとしては、中央集中型の大規模設備か分散型もしくは小規模設備のどちらかになると思われる。本稿は、道路輸送用とまもなく市場に出現すると思われる水素関連技術分野での供給インフラを発展させる道程について述べるものである。



図 4-2 カリフォルニア燃料電池パートナーシップ(CaFCP)主催の燃料電池車ラリーと可動式水素供給設備

## 2. 水素エネルギー社会へ移行するためのドライバーとビジョン:

輸送分野へ水素を導入するための重要なドライバーは、特に米国のカリフォルニア州等で顕著な都市部での道路交通からの大気汚染、およびこれが引き起こす健康問題に関する世論の高まりである。このため水以外の排出物を出さない水素燃料電池車は、1つの解決策を提供するものである。水素エネルギー社会への移行の必要性を認識させる他のドライバーとしては、将来の輸送用エネルギーの供給不足問題である。現在、この輸送分野では、殆ど全て石油に依存しているが、水素は、現実的にどのようなエネルギー源からも製造可能であるので、エネルギー生産を多様化し、供給保障を増大する良い方法となる。

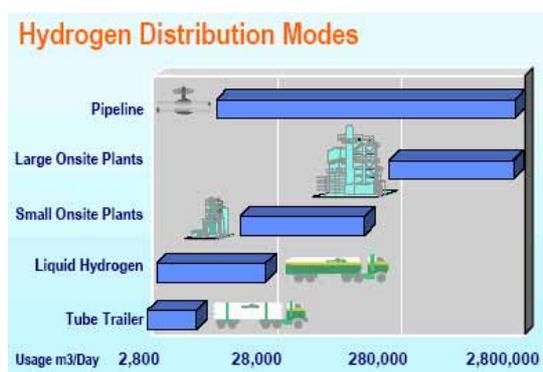


図 4-3 現在の水素の輸送モードと輸送能力比較 (出典: Air Products, 2003 年)

しかし水素エネルギー社会へのビジョンは、輸送ばかりではない。水素関連技術は、現在、社会で利用されている殆どあらゆるエネルギー・サイクルに浸透しながら、その持続性、多様性、高効率、柔軟性を提供することが出来るものと考えられる。エネルギー・キャリアーとしての水素ベースのエネルギー供給システムは、電力、熱、そして輸送燃料としての水素のマルチ製造にとって最適なものである。こういった水素システムは、非常に高い効率を達成することが可能であり、燃料電池技術の持つ特性から、分散型、中央集中型、あるいはその中間型など自由度が高いのが特徴である。従って、道路輸送のための広範な水素供給インフラの完備が、まず喫緊の課題である。プロトタイプの水素燃料電池車は、既に、欧州、日本、米国などで実証試験が継続されており、幾つかの大手自動車メーカーは、既に、燃料電池車を 2025 年までには市場に本格投入すると発表している。現在、大量の水素自動車は、2015 年～2020 年までの間に市場に本格登場するとは考えにくいものの、燃料電池車をサポートするインフラの整備、発展のために顕著な多くの努力が、国や自動車産業界を中心に、種々の研究開発や実証プログラムとして実施されている。これらの研究開発は日々加速されているが、一方で、水素普及のための世界共通規格、基準、規則等の迅速なる制定の声もたらされている。圧縮水素ガスの供給ステーションは、初期の水素インフラの基本的な一部となるものと考えられ、700bar までに圧縮されたガスとして貯蔵される水素は、液体水素、メタルハイドライド、その他の貯蔵方法を支援するインフラが今のところ我々の近傍ではまだ珍しいものの、既に今日の水素自動車でも従来の自動車に匹敵する走行距離を可能とさせている。最近相次いで発表されている輸送用水素の導入に向けた短期的な目標や戦略を表す各国のロードマップは、水素インフラの整備・拡充に向けた段階的開発程度を示すもので、第 1 段階では、水素供給ステーションは、大規模な都市の限られた地域内での公共バスや自動車に水素を供給するために建設されるものと考えられる。人口密度が高い地域での水素供給ステーションは、大勢の利用者にサービスを提供

することが出来、水素の環境や健康上のメリットを真っ先に享受出来るものである。これは一般大衆の認識や水素技術の受け入れを増大する最適な方法となろう。

第2段階は、既に夫々の水素供給ステーションを有している地域や大規模な都市を繋ぐ主要幹線道路に沿って供給ステーションを建設することである。こうすることにより、既存の水素自動車にその走行範囲を拡大させ、水素自動車の市場規模拡大に寄与するものである。

	2000年	2010年	2020年	2030年	2040年	2050年
日本	→ 基盤整備実証段階					
		→ 導入段階				
		→ 普及段階				
			→ 本格普及段階			
米国	→ 技術開発段階					
		→ 初期導入段階				
			→ 設備投資段階			
				→ 水素経済実現		
欧州	→ 研究開発実証実験、ニッチ、市場					
	→ 市場普及段階					

図 4-4 日米欧の水素エネルギー社会を目指すロードマップ概要

### 3. 水素インフラと将来の水素供給方法:

供給ステーション・ネットワークへ供給する水素の適切な製造法は、大いに地域や地方の状況に左右される。初期の段階では、水素の製造と供給は、電力と天然ガスの既存インフラを最大限利用して行うことが経済合理性に合致するものと考えられる。

水の電気分解によっても水素は製造可能で、水源さえあれば、殆どいかなる場所でも供給可能である。電気分解技術の性格から、大規模でも小規模プラントでもどちらでも可能となり、夫々の水素供給ステーションには、例えば、高圧電気分解装置やコンプレッサー、貯蔵設備、そして高圧水素用の供給設備等が設置されるものと考えられる。非常に小型の家庭用水素供給装置は、将来の電気分解による水素製造の重要な選択肢の1つになるものと思われる。

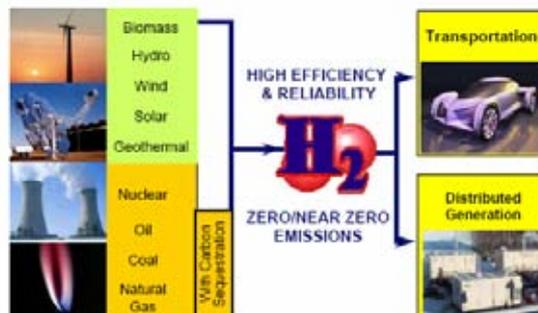


図 4-5 どのような原料、エネルギーからも水素製造は可能(出典:DOE, 2004年3月)  
電気分解による水素製造は、例えば、一次エネルギーのインプットやCO2処理などのよ

うな問題を持つこれまでの発電システムの特徴から、一部は輸送用に適用される可能性もあり、総合発電システムの燃料弾力性やシステム開発方法もまた同様に輸送用の選択肢の1つになり得るものである。



図 4-6 CO<sub>2</sub>の回収～地中隔離を伴う化石燃料ベースの水素エネルギー社会への移行段階イメージ図(出典: Statoil, 2003年)

天然ガスが容易に入手可能であれば、その水蒸気改質が経済的な水素の供給選択肢となる。その水蒸気改質プラントは、コミュニティ等の近傍に設置されるか、あるいは水素供給ステーション内に設置されると考えられるが、規模の経済から見て、水素供給ステーションまでパイプラインを建設するよりも、大規模水蒸気改質プラントが好まれる傾向がある。

水素供給インフラの段階的建設の初期には、パイプラインの材料や圧力、末端ユーザー向け技術によっても異なるものの、容量にして15%程度までの水素を天然ガス・パイプラインに注入し、所謂、ハイタン（欧州では Naturalhy と称する）として輸送する方法がある。このハイタンを直接、公共バスや自家用車で使用して、温室効果ガスや大気汚染物質を50%程度まで削減するメリットを享受している都市が欧米で増加しつつある。種々の供給源からの水素は、このような天然ガスと水素の混合ガス(ハイタン・米国の Brehon Energy PLC の商標登録用語)パイプラインにより配送されると思われる。



図 4-7 フランスで実証中のハイタン・バスと乗用車(左)、米国での温室効果ガスの著しい削減効果データ(右)

ハイタン・パイプラインで水素供給ステーションに配送された後は、自動車燃料として、天然ガスから水素を分離し、純度を高め、昇圧して供給することになる。

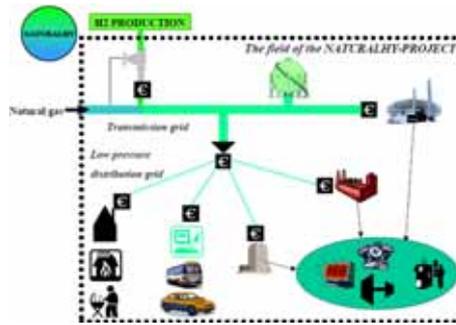


図4-8 EUで2004年5月から開始された既存天然ガス・パイプライン網に水素を注入(最大50%)してハイタン輸送を実証する Naturalhy プロジェクト

大抵のユーザーは、問題なくそのハイタンを家庭や工場で簡単に燃焼使用することも可能である。唯一の問題は、天然ガスで駆動する内燃エンジン装置であろう。デンマークでは、旧型の小型エンジンを有する小規模のコージェネレーション・ステーションが大量に存在し、その燃料ガス中の水素レベルはおよそ 1~2%で、操業上の問題、即ち、輸送量の減少を生じている。しかしながら、ハイタン用に新規開発されたエンジンでは、既にこれらの問題は解決されている。また、天然ガス・パイプライン中に添加可能な水素量以外にも、水素の混合比率を制限する他の種々の要因がある。ガスの燃焼品質を維持する必要がある際には、密度からの制限があり、最大で水素 17%まで可能であるが、体積にして 25%以下に水素量を制限することになる。最も厳しい制限は、漏洩防止と材料の適合性からもたらされ、およそ 15%以上の水素、漏洩、腐食、ポリエチレン・パイプの劣化や鋼管の脆性等がこれらの課題に該当する。2003年に、純粋水素を輸送するため、デンマークの中圧の天然ガス・パイプラインを用いて実証試験が実施された。1年間に亘って実施されたこの試験の結果から、材質変化は、4barの天然ガス配送ラインでも生じることが判明した。また漏洩調査から、接続部やシール部は、天然ガス・パイプライン以上に頻繁にチェックする必要があることが再確認された。

水素のエネルギー密度は、天然ガスのわずか 1/3 程度であるので、水素パイプラインと地下空洞での貯蔵は、同様なエネルギー量を確保するには、同圧力下で、天然ガスの 3 倍の容量を持つものにする必要がある。現在のところ、安全上の理由から、水素パイプラインは、一般に天然ガス・パイプラインよりも低圧で操業されている。一般論として、天然ガスよりも輸送量を多くする必要があるので、純粋水素用のパイプラインは、天然ガスよりも高価になると考えられている。

高圧での気体水素の貯蔵は、今日、良く知られた技術である。水素供給ステーションは、大まかに 1 日分に相当する水素を貯蔵する圧力容器が必要となる。さらに大規模な場合には、水素も天然ガスと同様に、地下の水溶性構造や空洞部に貯蔵することが可能である。

#### 4. 現在の水素利用とインフラ:

現在の世界の水素製造は、世界のエネルギー生産量の 1%以下の 73Mte (年間 450 億 kg) である。産業用ガス会社は、現在、一般に、水素をもっぱら製油所や工場、あるいは宇宙開発や水素自動車の実証試験用に供給している。米国と欧州には、50 箇所の大規模水素プラントと 4,000km 程度の純粋水素輸送パイプラインが存在し、ガス会社は製造から産業用需要家までの全水素チェーンを網羅するノウハウを既に有している。



図 4-9 北ヨーロッパの水素輸送パイプライン・システム(出典: Air Liquide, 2004 年)



図 4-10 NASA 向けの液体水素のタンク・ローリー輸送(出典: Air Products, 2004 年)

現在の水素貯蔵設備には、産業用の液体や気体水素の小規模～中規模貯蔵から、米国の NASA による大規模液体水素貯蔵が含まれる。

水素インフラは、化石燃料から製造される水素用に開発されたインフラの大部分が、将来の再生可能エネルギーや原子力による水素と共存すると考えられるので、そのためのエネルギー変換や製造技術の革新が近い将来実現すると予測される。これらのインフラ開発は、パイロット・プロジェクトで始められ、地方、地域、そして最終的には国家や国際プロジェクトに進展するものである。現在、世界の主要な水素インフラへの大規模投資期間は、2015 年～2035 年になるものと考えられている。

#### 5. 米国、日本および欧州における水素インフラと実証イニシアティブ:

米国は最近、エネルギー安全保障と環境上の理由から、化石燃料代替として水素へ移行するとの明確な主張を展開している。米国政府は、今後 5 年間に水素燃料電池、水素インフラ、先進水素自動車に関する技術開発のために 17 億ドルを予算化している。米国の水素ビジョンは、定置式燃料電池設備と、さらに国産の多様な資源からもたらされる水素ベースの交通システムに焦点が置かれている。

日本の水素開発は、燃料電池、燃料電池車、および水素インフラの商業化と普及のための研究開発に特化している。日本政府は、2010 年までに 5 万台、2020 年までに 500 万台、そして 2030 年までに 1,500 万台の燃料電池車を普及するという野心的な目標設定を行っている。2030 年目標には、8,500 箇所の水素供給ステーションを有する全国の水素インフラ

の構築が含まれている。2003年～2007年でおよそ310億円の予算を持つプログラムが計画されている。



図 4-11 世界初のガソリン・ステーションと併設された水素ステーション  
(出典: Shell, 2004年、米国・Washington D.C.)

EU 諸国は、水素エネルギー社会への移行を確認する技術や概念の開発に最も積極的な活動を展開している。EU は、エネルギー使用による環境へのマイナスな影響を低減し、エネルギーの供給保障の確立を目標として、この地域でのさらなる強い協調、資源の共同プール、調和のとれた研究開発を推進しようとしている。

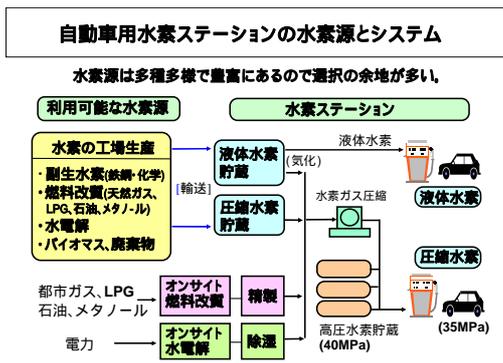


図 4-12 我が国の水素自動車用供給ステーションの水素源とシステム案  
(出典: ENAA, 2004年)

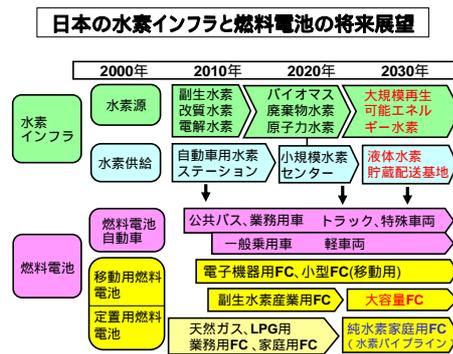


図 4-13 我が国の水素インフラと燃料電池の将来展望  
(出典: ENAA, 2004年)

EU の長期ビジョンは、究極のエネルギー・キャリアーとしての水素と電気で、20年～30年以内に再生可能エネルギーと燃料電池ベースによるエネルギー供給システムを確立しようとするものである。

2002年に欧州委員会は、欧州各国の『水素と燃料電池に関するハイレベル・グループ (HLG)』を設立した。このHLGの目標は、水素エネルギーの導入に関する欧州のコンセンサスを進展させるためのハイレベルな戦略的議論を助長することである。

2004年1月、欧州委員会は、さらに『欧州水素と燃料電池技術プラットフォーム』を立ち上げた。3番目の欧州のイニシアティブである HyNet と呼ばれるネットワーク『欧州水素エネルギー問題ネットワーク』が1999年に、産業と技術の幅広い分野からのおよそ40社のリーディング企業により設置された。2004年5月、HyNet はEU が資金提供している HyWay

プロジェクトの一環として欧州水素ロードマップを発表している。

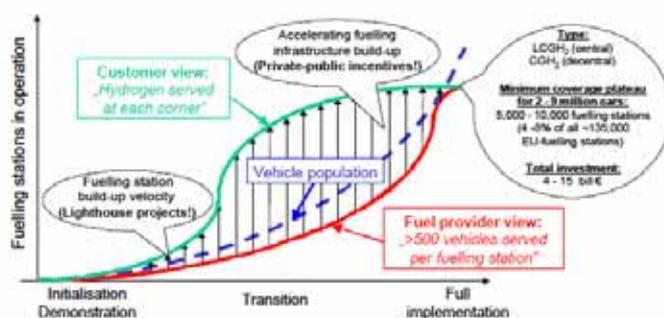


図 4-14 EU の HLG による水素ロードマップ検討資料(出典:2004 年 5 月、HyNet 報告書)

他の欧州水素プロジェクトは、2003 年から、燃料として圧縮水素を用い、欧州の 10 都市で、30 台の DaimlerChrysler 社の Citaro 燃料電池バスを導入し、運行する CUTE と ECTOS がある。EU は、このプロジェクトに対し 2,100 万ユーロを拠出している。ドイツは、水素燃料電池技術の開発と実証プログラムで世界をリードし、DaimlerChrysler、Opel、Ford、BMW、Ballard Power Systems 等の間で強い企業協調がなされている。特に良く知られているものは、『公共バス実証プロジェクト NEBUS』で、他には、ミュンヘン空港の水素サービス・ステーションがある。



図 4-15 CUTE プロジェクトの水素ステーションと燃料電池バス(出典:BP,バルセロナ、2003 年)

さらに、興味あるイニシアティブは、官民間の、代替燃料として水素、メタノール、天然ガスによる研究開発を支援する『輸送エネルギー戦略(TES)』である。ドイツ政府の水素に関する出資金の全額はおよそ年間に 1 億ユーロである。

アイスランド政府は、世界最初の水素エネルギー社会を構築するビジョンを打ち出している。同国のエネルギーの 70%以上は、再生可能と環境に優しいエネルギー源からもたらされているので、アイスランドにおける研究開発の最大の焦点は、輸送分野に合わされている。水素エネルギー社会を構築するための計画は、種々の官民パートナーシップを通じた共同研究開発作業で実現されている。最も重要な、『Icelandic New Energy(INE)社』は、輸送用燃料として水素の利用を促進するための JV として設立されたものである。INE の主たる業務は、バス、乗用車、漁船の実証プロジェクトである。公共バスの実証プロジェクトは、ECTOS として、2001 年～2005 年の予定で、既に進行中である。

## 6. 水素インフラの長期ビジョンと課題:

水素の長期ビジョンは、多様で、堅実で、環境的に優しく、豊富なエネルギー・システムを代表するものでなくてはならない。燃料電池と電気分解装置、あるいはリバーシブル燃料電池、それに加えて、水素配送ネットワークと貯蔵システムは、送電網をバランスさせるための鍵となる技術と考えられている。水素は輸送、熱供給、発電分野の間を繋ぐものになる可能性がある。そういったシステムによる柔軟性は、風力やソーラー・セルなどの変動するエネルギー・インプットを補完することが可能で、輸送用燃料、熱、電力供給のための再生可能エネルギーの利用を促進するものである。

このビジョンの問題は、既存のエネルギー技術に対する水素の経済性で、それらと競合可能な点まで水素の有用性や関連技術をさらに改善する必要がある。特にこれは燃料電池の性能向上、可動式水素貯蔵技術の改善を意味している。各国の水素ビジョンを開始するには、特に輸送分野、主として都市部のタクシーやバスのような大量の自動車にサービスするために、水素供給ステーションの段階的増設が不可欠である。水素インフラとして、水素やハイタン用パイプラインを段階的に整備・建設する次の段階では、マンションや学校、病院等の公共建物を有する特定の区域への水素供給が可能になるものと考えられる。欧州の自動車燃料としての水素のシェアは、2015年までに2%、2020年までに5%となると想定されており、その水素需要に対応するためには、2020年までに10,000箇所の水素供給ステーションが必要となることを意味している。しかし、オンサイト型SMRでの水素製造技術や水の電気分解による水素製造法も既存技術である。

これからの20年~40年間のビジョンの中核としては、自動車用と個人住宅用の従来のエネルギー源と完全に競争出来る経済的な水素システムを開発することである。これは広範な水素配送ネットワークと密度の濃い都市供給ステーションのネットワークを構築することに他ならない。



図 4-16 東京有明水素ステーションと日野・トヨタ製燃料電池バス(出典:Shell,2004年)

## 7. 欧州の水素インフラ建設コスト試算例:

2005年2月24日に発表されたドイツのベルリンに本社を置く世界的な低温技術企業のLinde社により実施された欧州の水素インフラ構築コストに関するフィージビリティ・スタディー結果によると、2020年までにトータルでおよそ35億ユーロと見積もられ、これより先に発表された欧州の水素インフラ建設費想定を大幅に下回っている。このスタディー結果から、水素エネルギー社会への移行が可能であることが裏付けられたと、Linde社CEOのDr.Wolfgang Reitzleが語っている。Linde社の委託を受けたコンサルタントのe4tech社とロンドンのImperial Collegeが実施したこのスタディーによると、自動車用水素の製造と配送に関する12種類のシナリオが検討された。筆者の友人でもあるImperial CollegeのDavid Hart教授は、2020年までにおよそ610万台の水素燃料電池車が欧州の道

路上を走行するとの前提の下、800 箇所の水素供給ステーションが必要になるので、それに必要なインフラの建設費を見積もったものである。これらのコストは、計画中の欧州全域のインフラ・プロジェクトと比較しても十分に対応可能な金額としている。例えば、2020 年までに完成が計画されている欧州横断輸送ネットワーク(TEN-T)は、2.2 億ユーロと見積もられている。今回の Linde 社のスタディーでは、欧州の人口密度の高い地域に優先的に水素インフラを整備する計画で、必要な水素製造設備や供給ステーションは、段階的に建設されるものである。この計画は、また、長距離ドライブが可能となるように主要幹線ハイウェイに沿って供給ステーションを整備する予定である。これにより、ほぼ全欧州の人口の 30%、即ち、1.2 億人に水素供給が可能になるとしている。このスタディーによれば、供給ステーションで直接分散型で水素製造するよりも、燃料電池車が増大するにつれて急激に投資コストが上昇するので、中央集中型水素製造の方が経済的になると評価している。



図 4-17 米国メキシコ湾岸に建設された世界最大クラスの水素製造プラント  
(出典:Linde, 2004 年)

#### 8. わが国の水素インフラ構築のシナリオ案:

本格的な水素エネルギー社会への移行には、幾つかのハードルを越えなくてはならないが、多くの専門家の言によれば、水素燃料電池車と定置式燃料電池装置の開発・普及が成功すれば、2030 年～2040 年頃から本格的な水素エネルギー社会が始まるものと考えられる。究極的な再生可能エネルギー源による水の電気分解からの水素製造が可能となるまでの過渡期間には、経済的で、広く入手出来、環境に優しい水素原料の確保が不可欠である。このために世界では、目下、化石燃料中で最もクリーンな天然ガスの争奪戦が水面下で始まっている。

Northeast Asian Natural Gas Pipeline Network Plan



図 4-18 北東アジアの天然ガス・パイプライン構想(出典:アジアパイプライン研究会、2000 年)

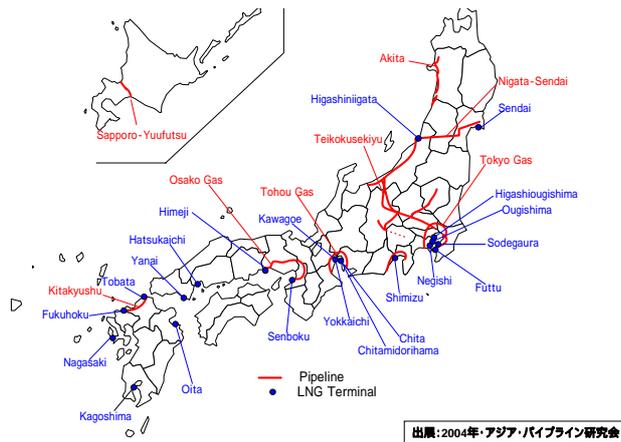


図 4-19 我が国の天然ガス・パイプラインと LNG 基地

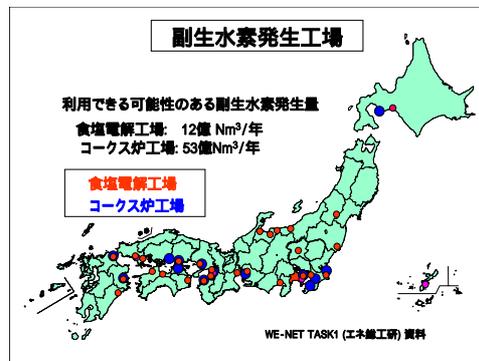


図 4-20 我が国の製鉄所副生ガス発生位置図(出典:ENAA,2004年)

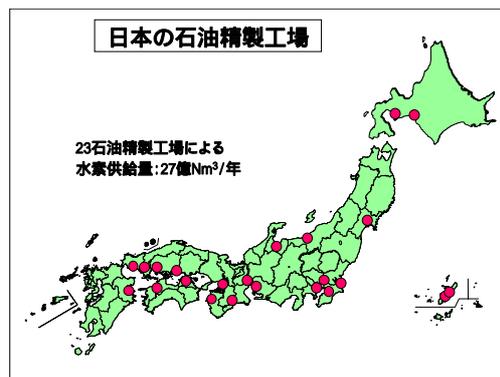


図 4-21 我が国の石油精製所位置(出典:ENAA,2004年)

我が国には、北米の(230 万 km)や欧州(80 万 km)のように全国に張り巡らされた天然ガス・パイプライン網が不在のために、水素エネルギー社会の初期段階でのハイタン輸送もままならない状況である。これまで液化天然ガス(LNG)一辺倒の我が国の天然ガス輸入パターンがネックとなっている。この 20 年間、平田東大名誉教授とともに筆者等は、北東ア

ジアの天然ガス・パイプライン網の建設とエネルギー共同体の構築の必要性を訴えてきたが、未だ、サハリンからの天然ガス・パイプラインも実現していない状況である。

今後は、 可及的速やかに、サハリンや東シベリアからの天然ガス・パイプラインの実現を図り、 それと連結させる北海道から九州までの国内縦貫パイプラインを建設する、 さらに、 そのラインパイプ材は、 将来の水素輸送を前提に、 水素仕様とする、 水素エネルギー社会への移行の初期段階では、 水素原料としての製鉄所や製油所等の副生水素、 あるいは既存のLNG基地からの天然ガスを収集する支線ラインを連結する、 このパイプラインの敷設専用帯としては、 幹線道路や新幹線、 河川の側道、 沿岸海域等を優先的に利用出来るようにする、 さらに、 大都市周辺部においては、 平成12年5月に公共使用に関する法律が成立した「大深度地下」の利用を検討するなどの働きかけが不可欠であろう。



図 4-22 良好な地下空洞が乏しい我が国の岩盤貯蔵システムのイメージ(出典:ENAA)

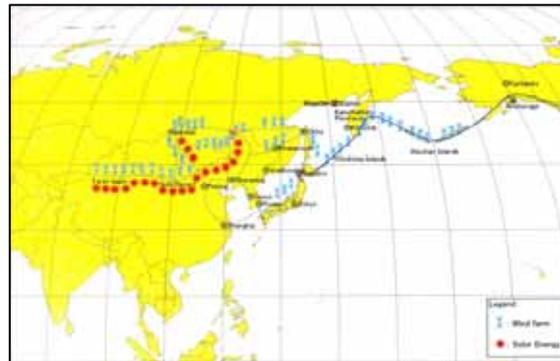


図 4-23 将来の北東アジア域内での再生可能エネルギーによる水素製造と輸送パイプライン (出典:大橋、1999年)

	2010年	2020年	2030年	2040年	2050年
	→	サハリンからの天然ガス・パイプラインの建設			
	→	北海道～九州までの全国縦貫天然ガス・パイプラインの建設			
	→	全国の製鉄所、製油所等からの副生ガスの連結パイプラインの建設			
	→	パイプライン沿線の水素供給ステーション建設			
再生可能資源	→	再生可能資源		→	海岸線に風力ファームを建設
	→	燃料電池車・・・	5万台		
	→	燃料電池車・・・	500万台		
	→	燃料電池車・・・	1,500万台普及		

図 4-24 我が国の水素インフラ構築のシナリオ案(出典:大橋、2005年)

### 9. あとがき:

原子力発電所増設や核廃棄物処理施設の建設問題も絡んで、ここに来て、天然ガスの重要性が再認識されている。その一環として、サハリンからの天然ガスを北海道から九州までの国土縦貫パイプラインで全国に輸送・配送しようとの気運が盛り上がっている<sup>15</sup>。筆者は、1988年から1997年まで、平田東大名誉教授を中心に、広域天然ガス・パイプライン研究会を立ち上げ、我が国の代表的企業45社を会員として、北海道から九州までの国土縦貫天然ガス・パイプラインの早期建設の重要性を各方面に働きかけてきた。その活動は、やがて1997年に、国内外の声に押されて、アジア・パイプライン研究会、そしてその姉妹組織である北東アジア天然ガス&パイプライン・フォーラムに拡大されてきた。

欧米のような完璧な天然ガス・パイプライン網は無理としても、是非とも、近隣の東シベリアやサハリンの天然ガス資源地を結ぶこの北東アジアでの基本的な幹線パイプラインを早急に敷設して、域内環境改善とエネルギー・セキュリティの確保を図ると同時に、近い将来の水素化社会への最重要なインフラ構築の布石としたいものである。今こそ、我が国の関係者の総合力を駆使して、我々の孫やひ孫が暮らしやすい、クリーンで無尽蔵なエネルギー(再生可能エネルギー)をベースにした水素化社会実現の第一歩を踏み出したいと願っている。

<sup>15</sup> 超党派の国会議員で構成されている国土幹線パイプライン建設推進議員連盟などがある。



## 第 5 章

水素エネルギー社会における新たな都市・住宅の  
あり方

## 第5章 水素エネルギー社会における新たな都市・住宅のあり方

中上 英俊  
株式会社住環境計画研究所 所長

### 1. 家庭用エネルギー消費量の推移

水素エネルギー社会における新たな都市・住宅のあり方を論じる前に、わが国の家庭用エネルギー消費量の実態について概観する。

住宅用に使用されるエネルギーは、昭和40年代半ばに薪や炭といった固体燃料から灯油、ガス等の流体燃料へ転換され、近年では、電力、ガス、灯油間の激しい競合が見られる。さらに、太陽熱、太陽光をはじめとする自然エネルギーが一部の家庭に普及することを考慮すると、今後の住宅用エネルギー需要の動向は、量的変化のみならず質的变化を伴い推移していくものと考えられる。また、居住地域の変化、住宅構造の変化、少子・高齢化、家族構成の変化、女性の社会進出、就業形態の変化、各種技術革新、IT化等、様々な社会の変化に伴う暮らしの変化が住宅用エネルギー需要にも大きく影響するものと考えられる。

わが国の世帯数は、国立社会保障・人口問題研究所「日本の世帯数の将来推計 H15 年 10 月」中位推定によると、今後 2020 年頃をピークに 2030 年まで年率約 - 0.3% の減少傾向に転じると推計されている。一方、1 世帯あたりのエネルギー消費量は、1970 年から 2000 年まで年率約 2% で増加し、2000 年以降ほぼ横這いではあるが、2003 年は対 1990 年比 15.0% の増加となっている。2003 年のエネルギー種別のおおよその構成割合は、電気 40%、都市ガス 30%、LPG 10%、灯油 20% である。過去 5 年間の年平均伸び率が最も大きいものは電気であり約 2%/年となっているが、他の燃料はほぼ横這いまたは減少傾向で、住宅におけるエネルギーの電力シフトが顕著である。

用途別の構成割合は、照明・家電製品・他用が 40% 弱、給湯用 35%、暖房用 25%、冷房用数% である。最近 5 年間の伸びは、暖房用（暖房度日補正值）- 1.3%/年、冷房用（冷房度日補正值）4.5%/年、給湯用 0.5%/年、照明・家電製品・他用 1.2%/年となっており冷房用の伸びが極めて高く、次いで照明・家電である。これが近年の電力消費の伸びの高さの原因である。

わが国の住宅における温熱需要のうち、給湯需要はほぼ充足水準に達していると考えられるが、暖房水準については欧米先進諸国と比較して未だ低水準にあり、今後も需要増大が見込まれ、機器の高効率化や住宅の保温構造化等による省エネルギーが推進される一方、今後もエネルギー消費原単位の増加につながる可能性は十分に考えられる。

したがって、2005 年 2 月に発効された京都議定書の目標を達成するためには、わが国の最終エネルギー消費の 13% を占める住宅用のエネルギー需要分野においても十分な省エネルギー努力が必要とされることを示唆していると言えよう。

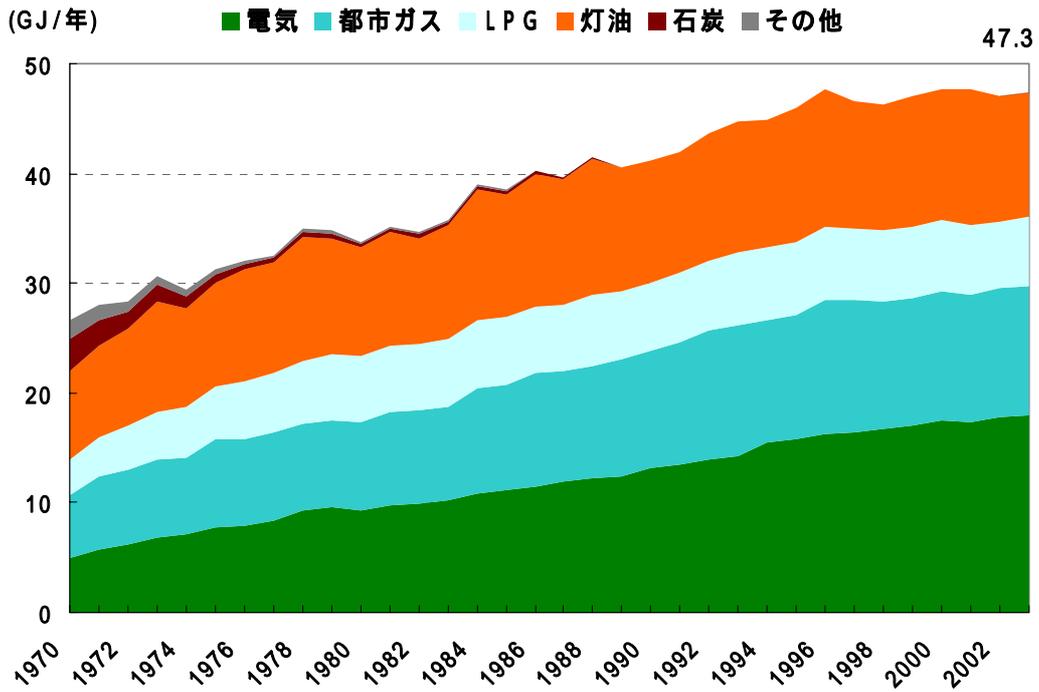


図 5-1 エネルギー源別家庭用エネルギー源単位の推移  
 出所：「家庭用エネルギー統計年報 2003 年度版」住環境計画研究所

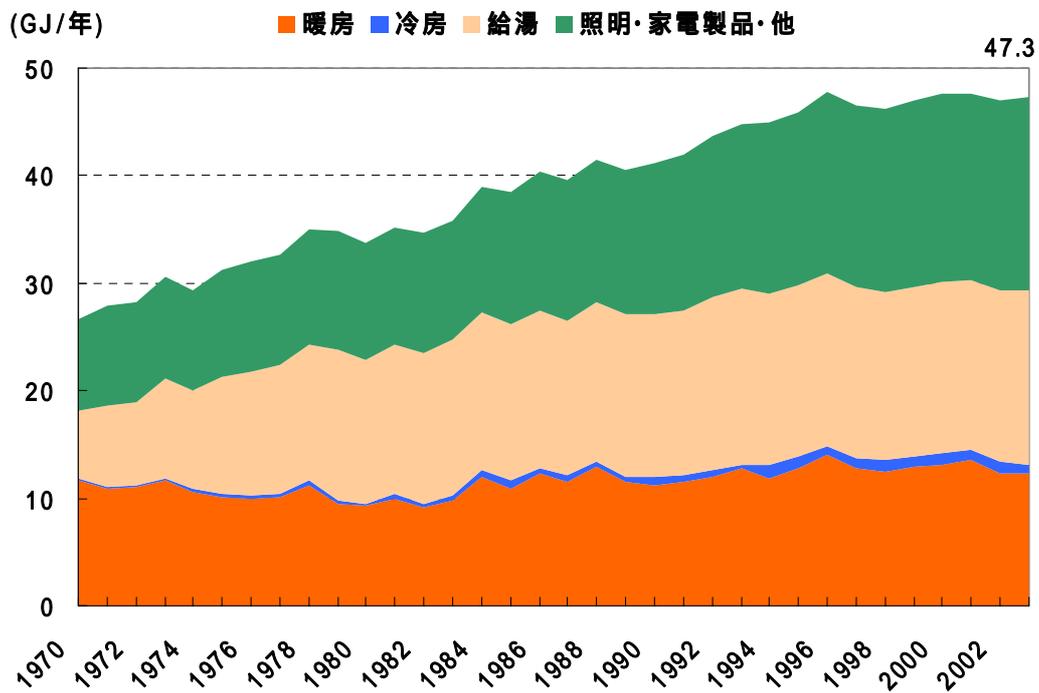


図 5-2 用途別別家庭用エネルギー源単位の推移  
 出所：「家庭用エネルギー統計年報 2003 年度版」住環境計画研究所

## 2. 燃料電池導入見通し

総合資源エネルギー調査会需給部会が発表した「2030年のエネルギー需給展望(中間とりまとめ)」によると、基準ケースにおける定置型燃料電池(家庭用及び業務用)の2030年における導入量は12万kWであるものの、エネルギー技術進展ケースでは約1250万kWと、なんと100倍の普及を想定している。現在商品化されている家庭用燃料電池は1kWであることから、1000万世帯、全世帯の約2割に普及する想定である。これは1年あたり40万台の導入スピードとなり、かなりのペースであると思われるが、期待の大きさの現れでもある。

## 3. 住宅のあり方

今後、一般消費者はより良い快適性を求めていくと考えられることから、欧米先進諸国と比較して著しく劣っている暖房水準の向上が予測される。すなわち、住宅の保温構造化と一体となったセントラル暖房や床暖房の普及が拡大すると考えられる。これら増大が見込まれる熱需要に対して、燃料電池の排熱有効利用が期待される。

PCや携帯電話機用の燃料電池バッテリーの開発は現在も行われているが、さらに燃料電池を利用した家電製品が開発導入されることも考えられる。例えば、エアコンは燃料電池駆動タイプや排熱吸収式冷凍機タイプも考えられる。掃除機等の可動型家電製品には小型燃料電池が搭載されることにもなるであろう。

また、一般に燃料電池から生成される水は1kWhの発電あたり約0.5Lと言われている。1台あたり1日で5kWhの発電を仮定すると2.5Lの水が発生する。平均的な家庭における1日の水使用量約500L<sup>1</sup>と比較すれば少量ではあるが、雨水と併せて中水利用の可能性も考えられる。

## 4. 住宅における熱需要と電力需要

上述したように、現在の住宅における1世帯あたりのエネルギー消費量約50GJ/年のうち、熱需要用エネルギー消費量(暖房用+給湯用)は60%、電力需要用(冷房用+照明・家電製品・他用)は40%である。給湯器、暖冷房機器の効率を考慮した負荷レベルでも、その構成割合はほぼ変わらず、熱需要は約30GJ/年、電力需要は約20GJ/年である。

図5-3の左図には、世帯類型別のある1日における電力ロードカーブの例を、図5-4左図には、世帯類型親子20世帯の給湯ガス消費ロードカーブを示す。

家庭における熱需要、電力需要の使用パターン、量は千差万別であり、各戸に1台の燃料電池を導入すると、その運転時間、運転モードが制約され、効率的運用の妨げとなる。燃料電池のみならず、全てのコージェネレーションシステムは熱と電力負荷の関係に効率が左右される。図5-3及び図5-4の右図は、複数世帯の平均のロードカーブであり、当然各世帯の時間的分散が減少していることがわかる。

<sup>1</sup>東京都水道局HP参照：<http://www.waterworks.metro.tokyo.jp/koe/qa-14.htm>

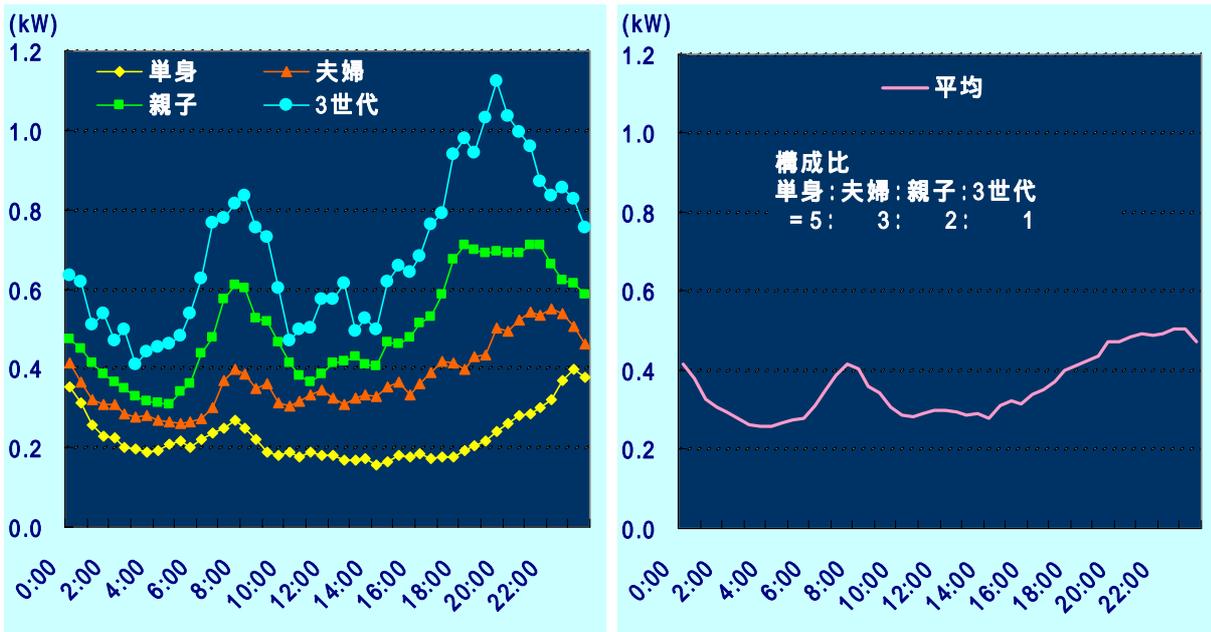


図 5-3 電力ロードカーブの例

注：左図は 4 世帯類型のサンプル。右図はこれらの世帯類型を 5 : 3 : 2 : 1 の割合で加重平均したもの

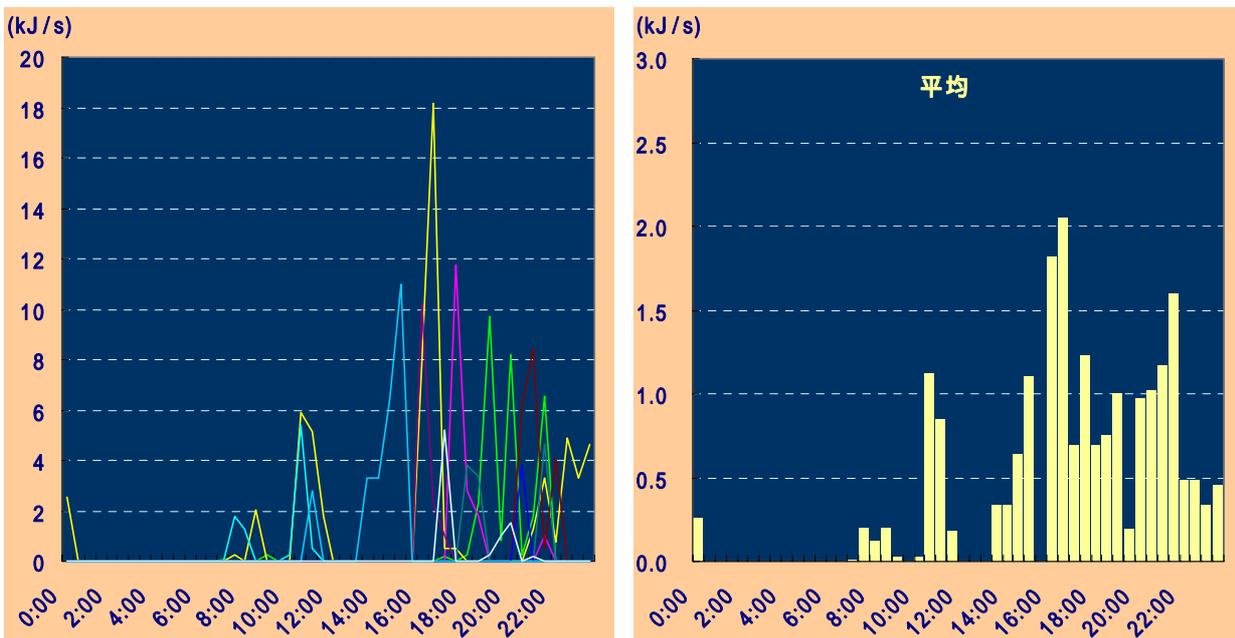


図 5-4 給湯ロードカーブの例

注：左図は 10 世帯のサンプル。右図はこれらの平均

従って、燃料電池と世帯の1対1の導入以外に、例えば次のような導入形態を考えると、より効率的な運用が実現できるものと考えられている。

- ・ 1つの燃料電池を2世帯住宅へ導入
- ・ マンションコジェネシステムの活用
- ・ マイクログリッドの活用等

2世帯住宅への導入は、例えば老夫婦世帯が1階に、親子世帯や単身者が2階に居住する住宅へ1つの燃料電池を導入する形式である。マンションコジェネは1集合住宅に1つの燃料電池を導入し、主に共用部分の電力需要（廊下照明、エレベーター等）に発電電力を供給するという形態である。エレベーターや給水ポンプを装備する規模の集合住宅では、1住戸あたりの電力消費量の10～25%に相当する共用部分電力消費量があることから（図5-5）、発電電力を有効に活用できる。マイクログリッド方式は、もう少し対象範囲を拡大した概念であり、複数の戸建住宅や集合住宅を一つの需要グループと見なして、燃料電池を共有し、各住宅間を電力・熱・水素のネットワークで相互接続し、システムの連携・協調運用を行うことでエネルギーを自在に融通できるシステムのことである。複数の戸建住宅や一つの集合住宅で、改質器や燃料電池本体を共有できることから、機器のメンテナンス費用負担の削減や、燃料電池の発停、部分負荷運転等の非効率的運用や低寿命化を妨げることが可能となる。

これらのネットワーク化の実現に向けた技術的課題に関する研究は盛んに行われているが、ここでは、ネットワークに居住する人々の生活という観点から水素エネルギー社会を素描してみることにする。

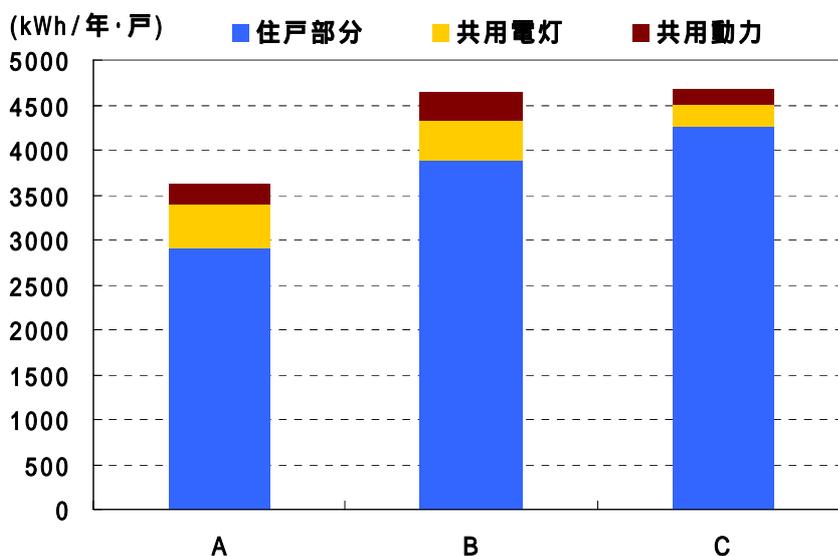


図 5-5 集合住宅における共用部分電力消費量

出所：「エネルギー需要実態データの計測及び分析調査」科学技術振興事業団 戦略的基礎研究推進事業  
平成10年 住環境計画研究所

## 5. 水素エネルギー社会における地域社会のあり方

システム全体のロードカーブが可能な限り平準化されている程、燃料電池の効率は向上すると考えられるため、集合住宅やマイクログリッド内の住宅では、多種多様な世帯が混在していることが望ましいことは上述した。

では、このような多種多様な世帯が混在する集合住宅や戸建団地を形成するにはどうすればよいか。単に従来型の住宅を建設した後に、燃料電池システムの効率的利用を第一目的に掲げて世帯を募集することはできない。様々な世帯が自然に集まるような住宅というハード及びコミュニティというソフトを新たな概念に基づき整備しなければならない。

まず、ハード面では、老夫婦向けマンション、若年夫婦向けマンション、1人暮らし用マンションといった単一世帯類型用集合住宅ではなく、様々な世帯が住むことができる集合住宅の整備が必要である。その際、SI住宅<sup>2</sup>という概念を活用した集合住宅や戸建団地の形成が必要と考えられる。SI住宅とは、住宅を躯体（Skelton）部と、室内設備（Infill）部に分けて設計・建設するものであり、Infill部がSkelton部と分離可能である。この構造、システムを採用することで、各世帯のライフステージに応じた間取り変更が容易になる。例えば、子供が幼く親と同居の時には部屋数は多いが、子供が親元を離れて夫婦のみになると間仕切壁を取り払い、複数の部屋を結合させることができる。各ライフステージが変化する毎に転居する必要がなくなる。その結果様々な世帯が暮らせる集合住宅を実現できる。そうすると、集合住宅や戸建団地から形成されるコミュニティ内の世代間のコミュニケーションを盛んにするといった、一種の町づくり、町興しが実現できる。その副産物として、水素エネルギー社会における燃料電池の効率的利用があるという位置づけである。

ソフト面では、SI住宅の技術的概念をも内包した地域住民参加型のコミュニティの創生を目指した、Open Buildingという概念がある。Open Buildingとは、居住環境変化に対する、消費者（居住者）の意思決定力を強力なものにする概念である。この意思決定プロセスは、変化スピードや規模の異なる幾つかの段階（レベル）によって区分される。一般に、レベルには、都市レベル（City Structure）、地域レベル（Urban Tissue）、サポートレベル（Support または Skelton）、インフィル（Infill）がある。現在及び将来における間取りの変更や設備更新における意思決定が効率的に行えるように、建設者と居住者間で責任範囲や影響力の区分を行うことが、建物建設におけるOpen Buildingの目的である。水素エネルギー社会をこの区分で見ると、都市レベルには、従来型の都市ガスや電力等のインフラや他地域からの水素供給ネットワークが、地域レベルにはマイクログリッドが、サポートレベルにはマンションコジェネが、インフィルレベルには宅内の水素・電力・熱供給配管がそれぞれ属することになる。

都市レベルのインフラに関しては、住民の積極的な関与は難しいかもしれないが、他のレベルでは次のような住民参画が考えられる。インフィルレベルでは、上述のSI住宅のように居住者の自由裁量で配線や配管を容易に変更できるため、ライフステージの進展に対応できる。サポートレベルでのマンションコジェネは、居住者の共同管理や運営・管理の外部委託が考えられる。地域レベルのマイクログリッドに関しても、地域住民の要望や意見等を反映したシステム作りが可能となる。

Open Buildingは技術のオープン性、つまり一つのシステムに複数のシステムが対応し、

---

<sup>2</sup> 都市機構HP参照 <http://www.ur-net.go.jp/rd/ksi/>

取り替えが容易であることと、社会のオープン性、つまり地域住民に開かれたコミュニティであることに特徴がある。

また、このような住宅やコミュニティが形成されると、ライフステージに応じて改修工事が行われることから、その際、特にインフィルレベルでは廃材等が発生することとなる。これらは、貴重な資源として地域内でリサイクル、リユースすることも考えられる。と同時に、燃料電池に使用される触媒は白金、ルテニウム等高価な貴金属であり、それらのリサイクルは必要不可欠になると思われる。このように、ローカルレベルでの資源循環社会形成にもつながることとなる。

水素エネルギー社会においては、燃料電池の効率的運用を目指すことは重要な課題であるが、需要側をこの目的に対応する形で強制的に誘致、構成することはできない。よって、発想を転換し、Open Building のような概念に基づいたコミュニティを形成することで、結果として、燃料電池の効率的運用が実現できるという流れが重要と考えられる。コミュニティの活性化は付随的に、社会的には、まちづくりや犯罪の減少、経済的には、地域活性化、雇用創出、地場産業主導の市場形成や情報交換、材料・エネルギー等地域資源の積極的活用といった効果も期待できる。

共同での意思決定

個人での意思決定

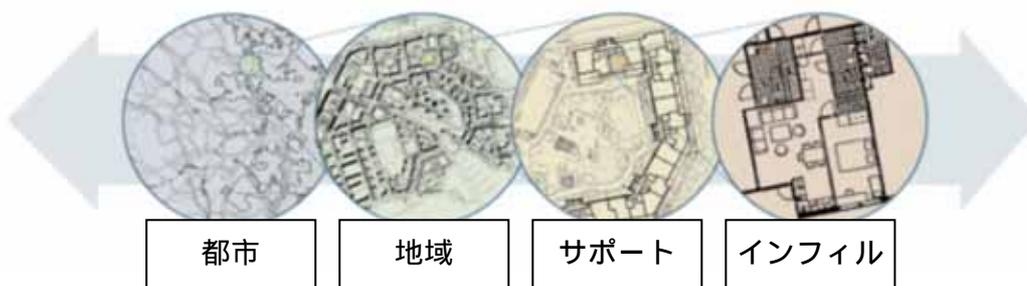


図 5-6 Open Building の概念

出所：Helsinki University of Technology, Department of Architecture, Professor Ulpu Tiuri

## 6. まとめ

燃料電池の効率向上の可能性について述べてきたように、水素エネルギー社会のメリットとして、わが国では、その環境性のアドバンテージが強調されている。しかし、環境性のみをターゲットとした普及拡大だけでは水素エネルギー社会の実現は困難である。元来、分散型エネルギーシステムの利点を地域社会、住民の要望と結び付けてこそ、このような社会の実現があると思われる。

また、エネルギー資源の9割以上を輸入に頼っているわが国の現状では、水素エネルギーがもたらすエネルギーセキュリティ向上の面も併せて重要視しなければならないと考える。水素は、天然ガス、石油、石炭、原子力、新エネルギー等様々なエネルギーから製造することが可能であるユビキタスなエネルギーであり、地域特有のエネルギー源を有効活用できる。農業廃棄物のバイオマスからのメタンガス、下水処理場で発生する消化ガスを水素製造用に活用する。ローカルな資源から水素を作ることが分散型エネルギーシステ

ムの特徴の一つとも言える。現在の中央集約的大規模なエネルギー供給システムと異なり、個々に独立したシステムを構築することができ、災害、テロ等が引起す惨事に対するロバスト性を発揮する。また、水素供給は、長期的には、太陽光発電、風力発電、バイオマス等自然エネルギーの開発を促進することになる。

表 5-1 分散型エネルギーシステムとの類似性

	現在	将来	その利点
エネルギー	大規模単一型	分散型	エネルギーセキュリティー、省エネ
環境	多消費型	循環型	環境低負荷
経済	一極集中型	地域分業型	地場産業の創生
社会(コミュニティー)	崩壊	形成	人的交流の活発化
政治	中央集権	地方分権	地域活性化

分散型とは、地域密着型でもあり、地場産業を振興することにもなる。地域レベルで水素製造・供給産業が創生され、自動車、住宅、事務所ビル、工場等への水素・電力・熱供給が行われるようになる。また、多種多様な世帯が混在するコミュニティーの形成を促すことになり、よりよい町づくりに貢献するものと考えられる。

このように、水素エネルギー社会の形成には、技術的な課題のみならず、地域コミュニティーという社会ソフトの整備が非常に重要な鍵となる。

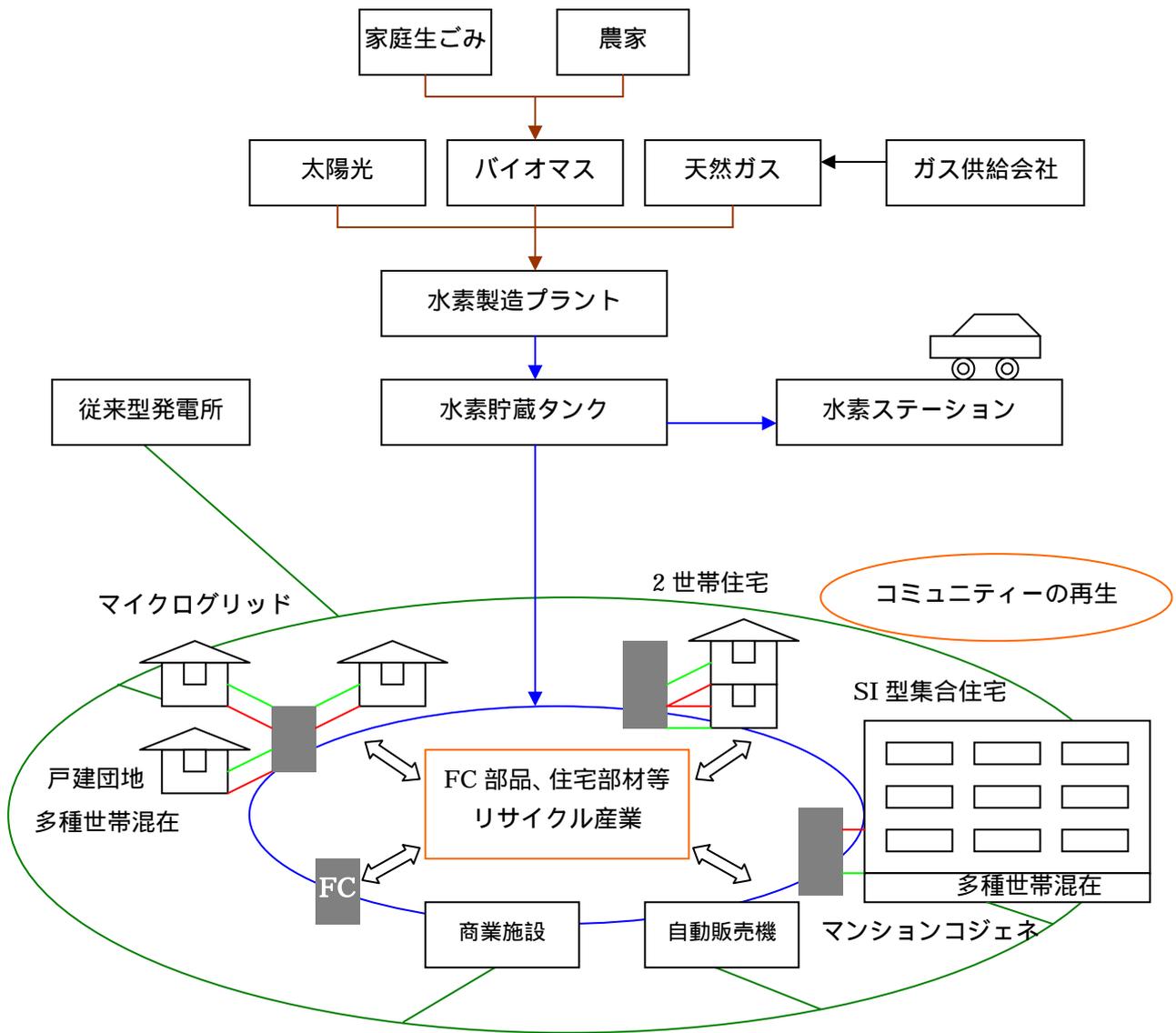


図 5-7 水素エネルギー社会のイメージ



## 参 考 资 料

## 参考資料

本研究の推進の一環として、2004年5月19日に新日本製鐵株式会社鉄鋼海洋エネルギー事業部・担当部長大橋一彦氏、また7月7日に東京ガス株式会社R&D本部技術開発部PEFCプロジェクトグループマネージャー里見知英氏、8月25日に水素エネルギー協会理事岡野一清氏に当研究所主催の政策課題勉強会にて貴重な講演を賜った。ここに参考資料として当勉強会資料で配付された以下の資料を掲載する。また貴重な講演を賜った講師の三氏に心から感謝申し上げる。

- ・参考資料1

「世界最初の水素社会を目指すアイスランド」

2004年5月19日開催

講師：新日本製鐵株式会社鉄鋼海洋エネルギー事業部・担当部長 大橋一彦氏

- ・参考資料2

「家庭用燃料電池の開発状況」

2004年7月7日開催

講師：東京ガス株式会社R&D本部技術開発部PEFC  
プロジェクトグループマネージャー 里見知英氏

- ・参考資料3

「水素エネルギー社会への課題」

2004年8月25日開催

講師：水素エネルギー協会理事岡野一清氏

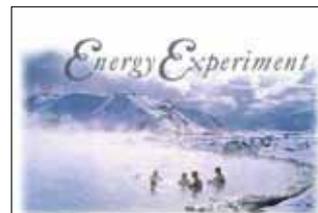
# 參考資料目次

參考資料 1 ..... 73

參考資料 2 ..... 147

參考資料 3 ..... 163

## 世界最初の水素社会を目指すアイスランド



2004年5月

新日鉄(株)鉄構海洋・エネルギー事業部

### 大橋 一彦

京大 国際融合創造センター・フェロー  
北大 北ユーラシア北太平洋地域研究センター 客員研究員  
芝浦工大・アジアパイプライン研究センター 客員研究員  
経団連・日露経済委員会 科学技術委員等

## 本日の話題内容

- 1.何故、今、世界は水素化社会を目指すのか？・・・化石燃料資源量
- 2.これまでの国内での活動経緯・・・平田 東大名誉教授とのNPO活動
- 3.地球温暖化の実態・・・ワールドウォッチ研究所等の警告
- 4.欧州の水素化社会を目指す代表的プロジェクト・・・**モータリゼーションが水素化をリード**
- 5.ECTOSとCUTEの実態
- 6.アイスランドとはどんな国？
- 7.何故、アイスランドが水素化社会を目指すのか？
- 8.アイスランドの実験内容
- 9.参考事例・・・欧米や日本の水素化社会への諸活動例
- 10.その他

## 本日の参考文献例

1. 最新の水素技術 II 共著・日刊工業出版社 (2004年5月9日)
2. 最新の水素技術： 共著・日刊工業出版社 (2003年6月30日)
3. 第2回欧米最新水素エネルギー研究開発調査報告 ~ 大橋 一彦 & 越後屋 佐助  
クリーン エネルギー (2004.1-5)
4. パイプラインと日本 大橋 一彦 配管・装置・プラント技術 (2003.10.)
5. 海峡の世紀が終わる日 :アジアエネルギー共同体特別取材班 講談社 (1998.6.30) ・中山 太郎元外務大臣へ協力作成
6. 人類は80年で死滅する (CO2地獄からの脱出) 西澤 清一、上野 助實 東洋経済新報社 (2000年12月)
7. 21世紀における水素社会構築を目指す各国の取り組み(概要編) 大橋・クリーンエネルギー (2002.1)
8. 水素エコノミー(エネルギー・ウェブの時代) ジェレミー・リフキン NHK出版 (2003.4.25)
9. 水素エネルギー システム最新欧米水素調査報告(前編 後編) 大橋 一彦 配管技術・(2003.4-5)
10. 北方4島を再生可能エネルギーの日米露のエネルギー管理基地に 大橋 一彦 配管技術 (2001.7)  
(沖縄サミットでプーチン大統領と小淵首相へ提案)
11. 水素のパイプライン輸送 大橋 一彦 天然ガスの高度利用技術 (2001.4)

## 何故、今、水素化社会を目指すのか？ (日本の場合)

世界中で地球温暖化の弊害が顕著  
……京都議定書の履行

中東等からの輸入エネルギーへの依存  
を低減し、国産エネルギーの開発が急務

<やるべきこと>

コージェネレーションや燃料電池などエネルギー利用効率の向上  
化石燃料の脱炭素 水素化  
完全な水素化社会までの過渡期の化石燃料エネルギー利用による炭素回収・隔離

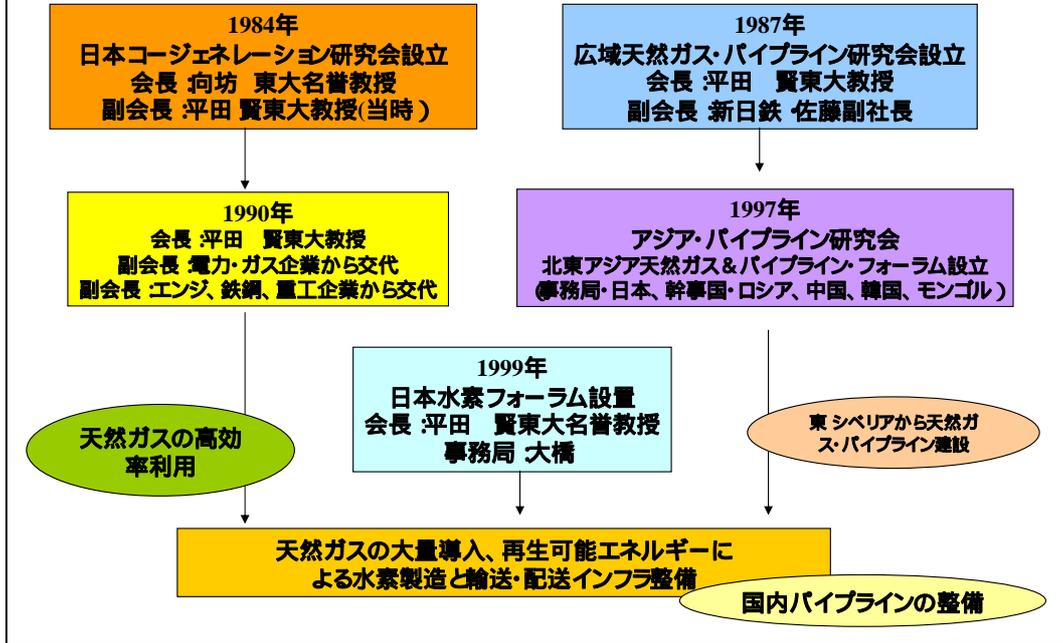
原発の不祥事、垂れ流し状態の核廃棄物処理  
で今後多くを望めない→その代替燃料

ダーティーな石炭、石油に代わり、化石燃料中  
で最もクリーンな天然ガスの大量導入

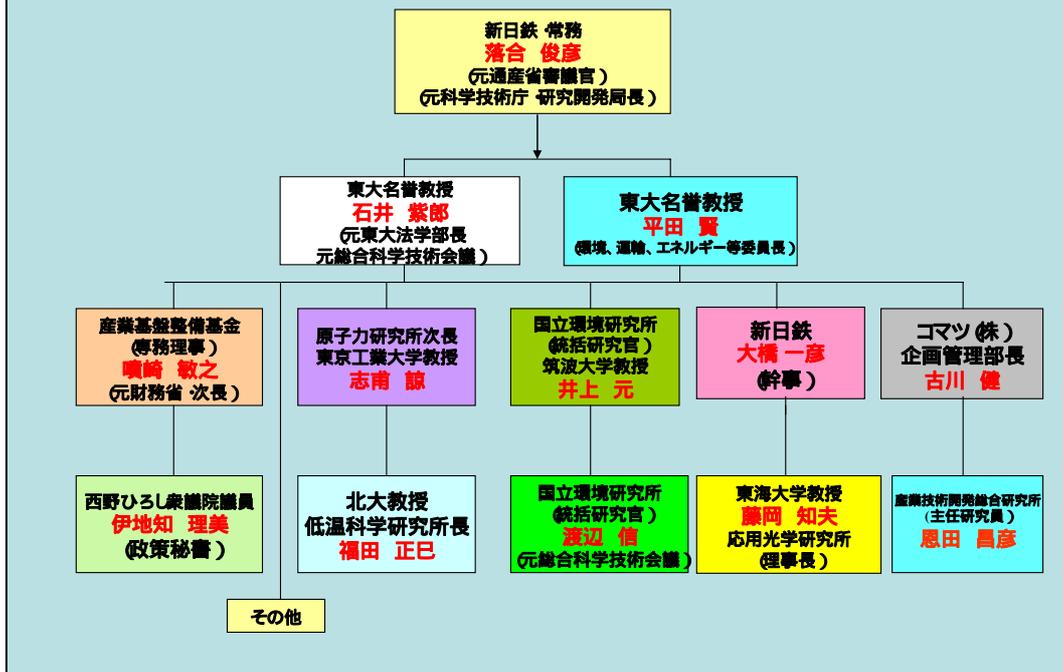
中近東や東南アジアからのLNG船輸入はエネルギー・セキュリティ上問題であり  
コストがかかる。サハラ以南や東シベリアからの天然ガス・パイプライン輸入が経済的

当初は天然ガスの水蒸気改質で水素製造し、パイプラインで輸送。次第に、再生可能エネルギーからの電力を利用して、水の電気分解で水素を製造し、燃料電池で貯蔵したり、パイプラインで輸送する。

## これまでの水素社会を目指す活動経緯



## 最近の諸活動の核となる勉強会(落合会)



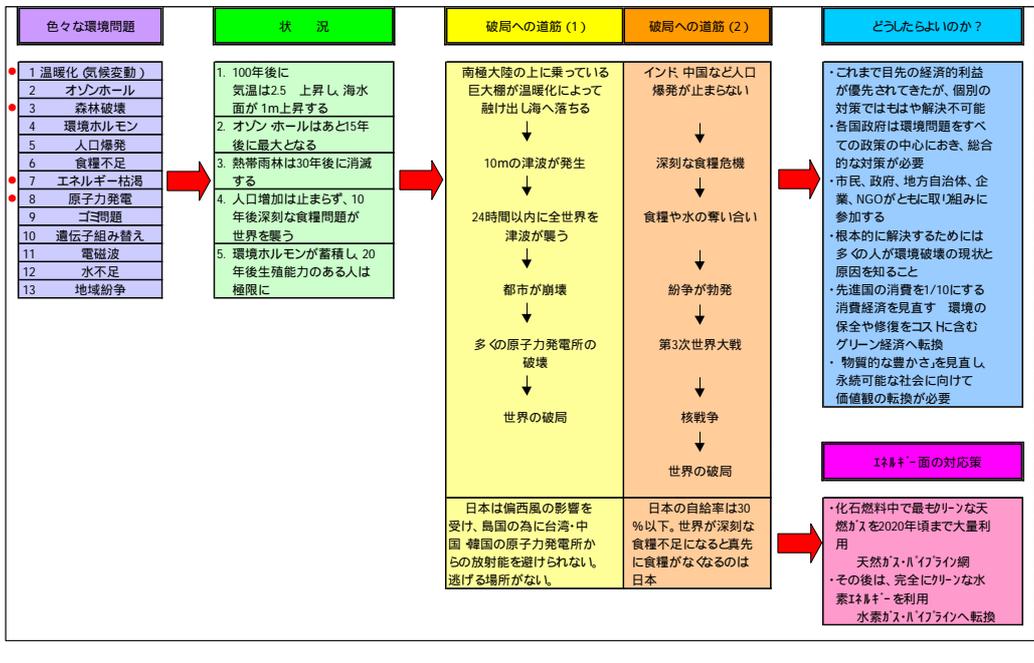
環境省委託の世界の水素エネルギー研究開発調査ミッション  
(2003年9月・アラスカ選出の著名なMr.Gordon上院議員を訪ねて)



元・ワールドウォッチ研究所理事長、現 地球政策研究所長のDr.Lester Brownとの会談  
(2003年9月水素調査ミッション)



## UNDP等が警告する地球温暖化による地球破滅シナリオ(2001年)



### 2004年2月22日 英国のオブザーバーが暴露した米国国防省の極秘文書“地球温暖化から第三次世界大戦が始まる”

急激な地球温暖化によってテロ問題などをはるかに上回る世界的な大規模戦争が起きる、と予測した米国国防省の極秘研究レポートがリークされて大波紋を投げかけている。

このレポートは、ラムズフェルト国防長官が推し進めている米軍改革のブレインで何十年も国防総省の顧問を務めているアンドリュー・マ・シヤル (62) の命令によって作成されたもの。研究チームを率いたのはCIAのコンサルタントのピーター・シュワルツ。その極秘レポートを英誌『オブザーヴァー』が入手したもので、内容は衝撃的である。

地球温暖化によって、近い将来、世界規模の気象災害が多発し、水位の上昇や砂漠化によって難民が大量に発生、水資源 食料を巡って世界中で紛争が起き、数百万人の犠牲が出る破滅的な状況になると予測しているのだ。いくつか具体的な予測を挙げてと……

- 1)ヨーロッパの気温は2020年までに急激に低下し、イギリスの冬は現在のシベリアと同じ気温になる。
- 2)2007年までに、激しい暴風雨によってオランダの大部分が居住不可能な状態になる。カリフォルニアにおける給水システムが破壊され、南カリフォルニアの人口密集地帯への給水が困難になる。
- 3)海面水位の上昇による国土の水没および旱魃による農地が荒地化し、数百万人の難民が発生する。これに対しヨーロッパとアメリカは受け入れを拒否し、事実上、要塞化せざるを得なくなるだろう
- 4)2020年までに破滅的な飲料水・エネルギー不足が発生し世界規模での戦争が勃発するだろう

そしてレポートは、地球温暖化 環境破壊の問題を科学的な問題から政治的・軍事的な戦略問題に転換することが、指導者が行うべき困難だが不可避の課題だとしている。

このレポートが衝撃的なのは、反体制のエコジストグループなどから出されたものではなく、米国国防総省という保守派の拠点から出てきたものだけに、その悪夢のような未来図に信憑性があるからだ。さらにこのレポートは、政治的な大混乱を招く弾に化ける可能性が高い。

アメリカは世界最大の温室効果ガスの排出国であるにも関わらず、経済への影響を優先して近視眼的に地球温暖化防止会議が定めた京都議定書を拒否している。このレポートは、ブッシュ政権が、こうした地球温暖化に関する科学的調査をシステムティックに矮小化して、世論を誤った方向に誘導したことを裏付けるものだ。当然、今後、大統領選挙の問題を通して浮上り、ブッシュの命取りになる可能性が十分にある。

# GLOBAL WARMING: Early Warning Signs



<http://www.climateornmap.org>

## Fingerprints and Harbingers



Heat waves and periods of unusually warm weather



Glaciers melting



Sea level rise and coastal flooding



Arctic and Antarctic warming



Spreading disease



Earlier spring arrival



Plant and animal range shifts and population declines



Coral reef bleaching

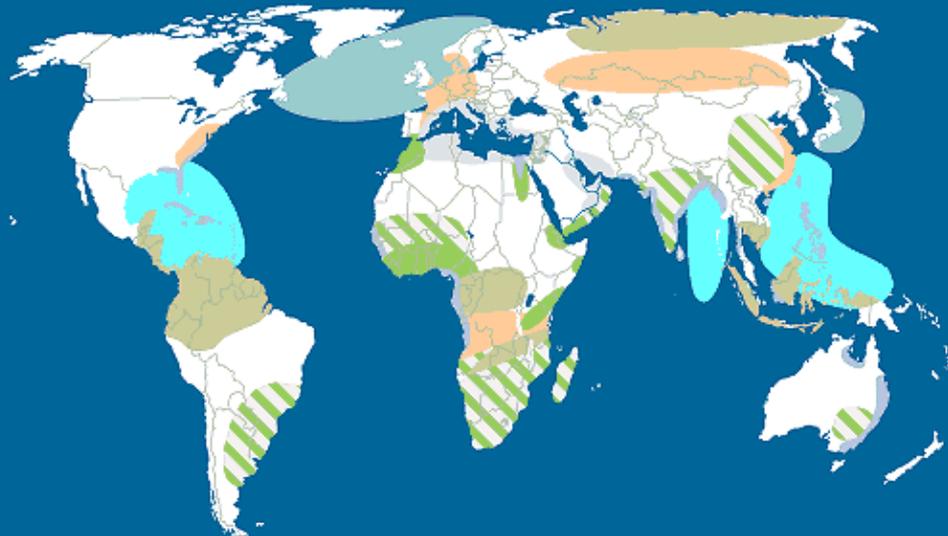


Downpours, heavy snowfalls, and flooding



Droughts and fires

## The world in the 2050s Assuming 'business as usual'



Deforestation

Sea-level rise

Decreasing crop yields

Water conflicts

Increased severity/frequency of tropical storms

Greater disease risk

Main fisheries affected



Photographed in 1928



Photographed in 2000

北米の氷河の減退状況



太平洋の島(ソロモン群島)は沈没の危機

地球温暖化がそのまま進むと海岸部の土地は海水面下となる

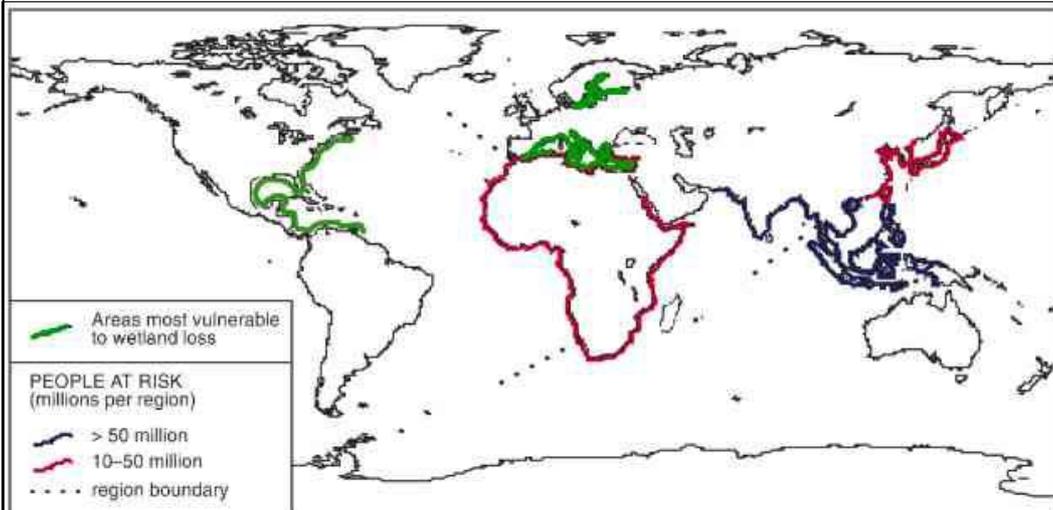
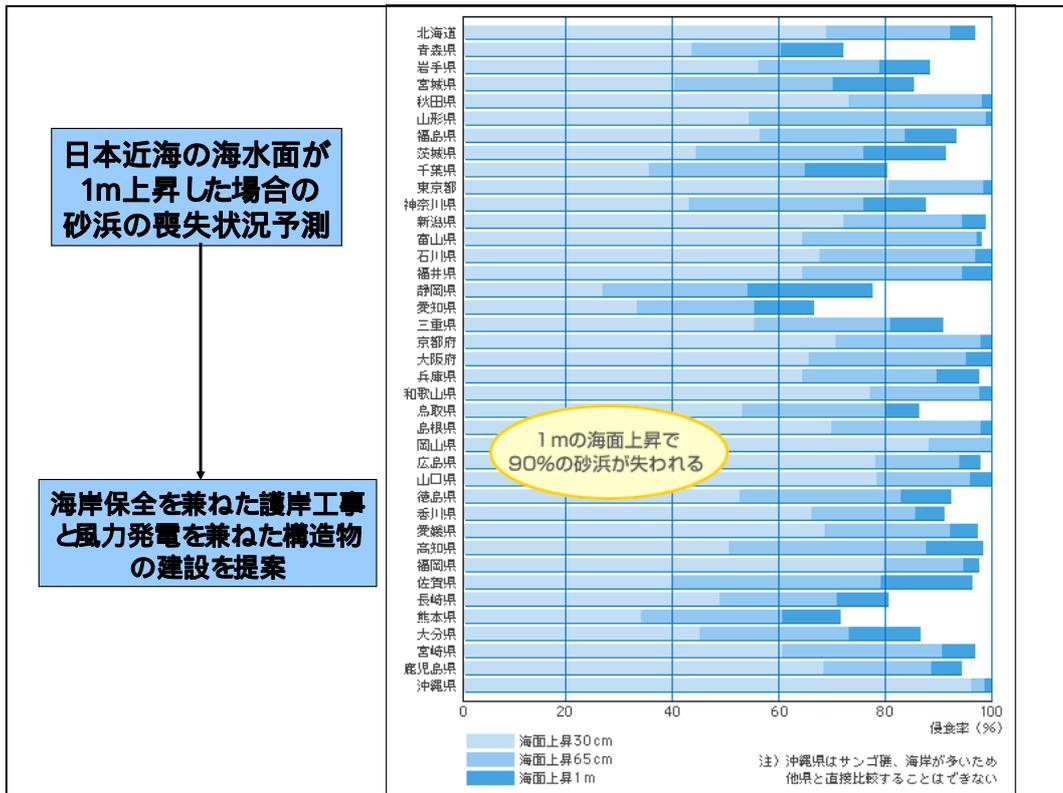


Figure 11. People at risk from a 44 cm sea level rise by the 2080s, assuming 1980s level of flood protection (from Meteorological Office UK, 1997)



何故、アイスランドの水素化社会に関心を持ったか？

## Hydrogen Age of Asia

主催 :日本水素フォーラム + 日本経済新聞社

日程 2001年11月27日 ~ 28日

場所 :日本経済新聞社ホール (大手町)

講演者 :米国、英国、ドイツ、豪州、カナダ、フランス、日本の官界、学会、産業界からの第一線水素エネルギー研究者  
(米国のWorld Watch InstituteのSeth Dunからのアドバイス)

参加者 :ジャーナリストを含む500名が参加

### “ニュースウイーク 2001年 4月 8日号の抜粋”

水に存在している水素をエネルギー源とする社会を提言したブラギ・アルナソン  
(Blagi Amasonのビジョンを人々は長年嘲笑してきた。  
今、彼の国アイスランドで最初の水素化社会の試みが始まろうとしている。  
その次は世界中で行われるのであろうか？

水素経済  
Hydrogen Economy -

もしアイスランドでうまくいけば、他の国でも  
うまくいけよう。アイスランドはスタートする  
のには最適の場所である。」  
タイムラー社 F. Pani 載。

アイスランドでは、豊富な自然エネルギーを使い、風力、水力、地熱などによる様々な発電が行なわれている。そこで発電された電気で水を分解し、水素を生成することで、環境負荷の少ない産業基盤を組み立て、世界をリードする水素経済社会に発展させようというビジョンを持っている。

自然エネルギーから得た水素で、自動車を走らせ、船を動かす、さらに家庭用電気まで視野に入れた水素社会の実現を目指している

## アイスランドの水素化社会推進の第一人者

Prof.Bragi Arnasonは、Prof.Hydrogen と呼ばれ、25年以上前からアイスランドの水素化社会を提唱し続けている。当初は狂人扱いされた、水素エネルギーの世界の先覚者で、アイスランド大学 科学研究所 化学工学部長である。

“アイスランド漁船は、25年以内に水素駆動となるだろう。アイスランドの再生可能な地熱エネルギーからの水素を利用すれば、汚染の無い環境に向けての第一歩となる。”と述べている。

Prof.Bragi Arnasonは、1935年3月10日生まれで、今年、69歳になる。



## 世界の水素燃料電池車実証プロジェクトの実態(2004年)

- 世界の水素化社会は、**モータリゼーションから始まるもの**と考えられる。
- 2000年3月に開始された**ECTOS (Ecological City Transport System)**は、**レイキャビク**で路線バスに3台の燃料電池バスを導入することを目標にしている。
- **CUTE (Clean Urban Transport of Europe)**プロジェクトは、ヨーロッパ最大の水素プロジェクトと位置づけられ、**9都市での燃料電池バスの実証である**。ECTOSもCUTEも運行ルートが決まった、公共交通のための燃料インフラ整備からスタートし、徐々に水素補給拠点を増やしていく水素インフラの普及戦略。
- EU諸国では、従来からの自然エネルギーへの取り組みが活発であったので、自然エネルギーによる水素製造を前提に検討が進められる。水素の製造を、**自然エネルギーによる水の電気分解50%、天然ガス由来40%、石油由来10%**と想定している。
- 米国では、1993年 エネルギー省、環境保護局など七つの国家機関と**ダイムラーベンツ社、フォード社、GM社**といった自動車メーカーが共同し、次世代車開発プロジェクト **PNGV: Partnership for a Next Generation Vehicle**を開始。ガソリン改質で34キロメートル/リットルの燃費を目標に。2002年には**脱石油を明確に打ち出したフリーダム・カー・プロジェクト**を発表。
- 2003年の施政方針演説では今後5年間で17億ドルの予算を投入。まず石油エネルギーから天然ガス等の代替燃料に移行を図り、**天然ガスパイプラインなどインフラ整備を行った後、それらのインフラを利用した水素供給を行う**
- 一方日本では、**水素燃料電池実証プロジェクト JHFC (Japan Hydrogen & Fuel Cell Demonstration Project)**によって**計9カ所の水素ステーションを首都圏に建設**、2003年8月から東京駅八重洲口～東京テレポー  
ト駅間と門前仲町～東京テレポー ト駅間で燃料電池バスの運行が開始されている。

## 欧州の燃料電池バス実証プロジェクト

### 1. FCバス実証試験

- CUTE  
(Clean Urban Transport for Europe)
- ECTOS  
(Ecological City Transport System)
- その他 (CITY CELL, BVG, München)

### 2. FCV実証試験

- CEP  
(Clean Energy Partnership)

## Clean Urban Transportation For Europe(CUTE) Project

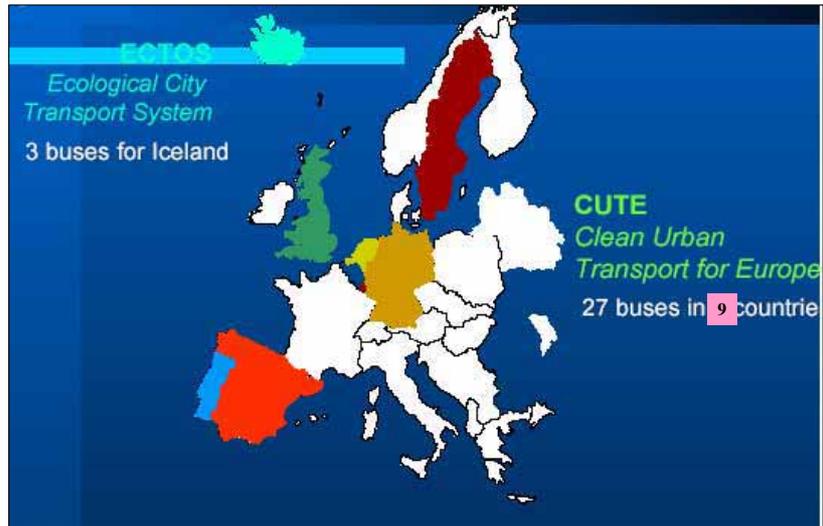
欧州連合(EU)プロジェクト



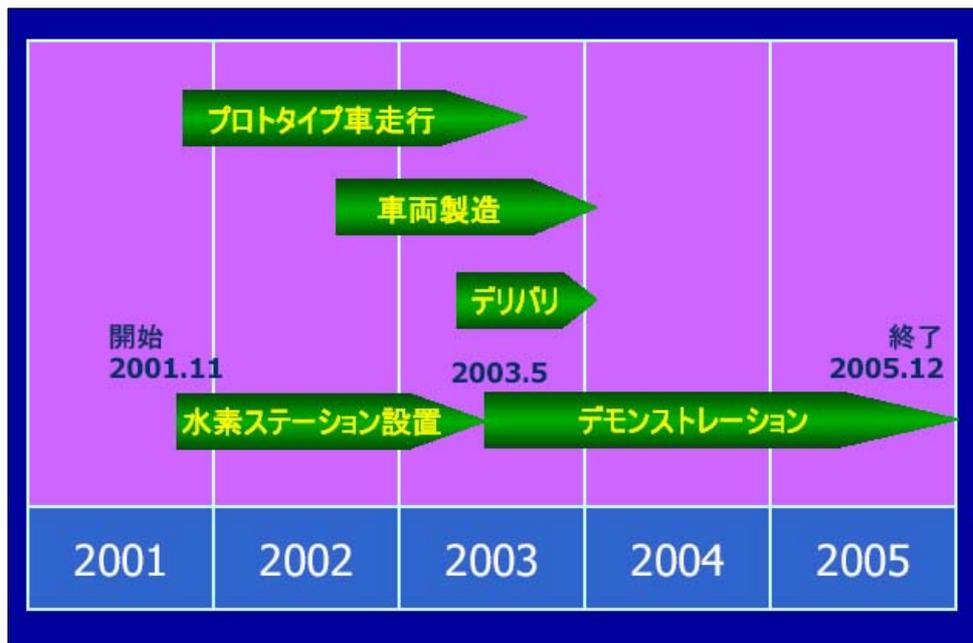
以下の欧州の9都市で3台の燃料電池バス(Citaro)を試験運行するプロジェクト。

アムステルダム  
バルセロナ  
ハンブルグ  
ロンドン  
ルクセンブルグ  
マドリッド  
ポルト  
ストックホルム  
スツツガルト

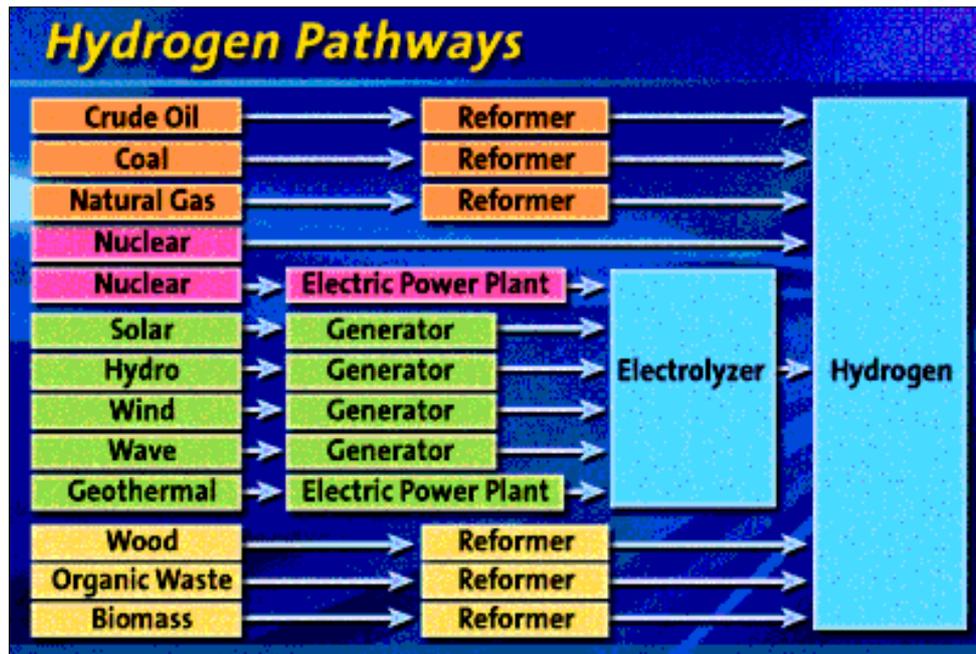
## CUTEとECTOSプロジェクトの参加国



## CUTEとECTOSプロジェクトのスケジュール



## 水素の色々な製造法



## CUTEとECTOSプロジェクトの概要

実施都市		エネルギー源	水素製造方法
アムステルダム	オランダ	廃棄物 焼却発電	オンサイト 電気分解
バルセロナ	スペイン	太陽光発電 +買電	
ハンブルグ	ドイツ	風力発電	
ストックホルム	スウェーデン	水力発電	
レイキャビック	アイスランド	地熱発電 +水力発電	
ロンドン	イギリス	原油	石油精製所 で製造
マドリード	スペイン	天然ガス	オンサイト 水蒸気改質
ポルト	ポルトガル		
シュツットガルト	ドイツ		
ルクセンブルグ	ルクセンブルグ		
		電力（買電）	プラントで電気分解

## CUTEおよびECTOSプロジェクトで使用される DaimlerChrysler社のCitaroバスの概要



### Citaro の仕様

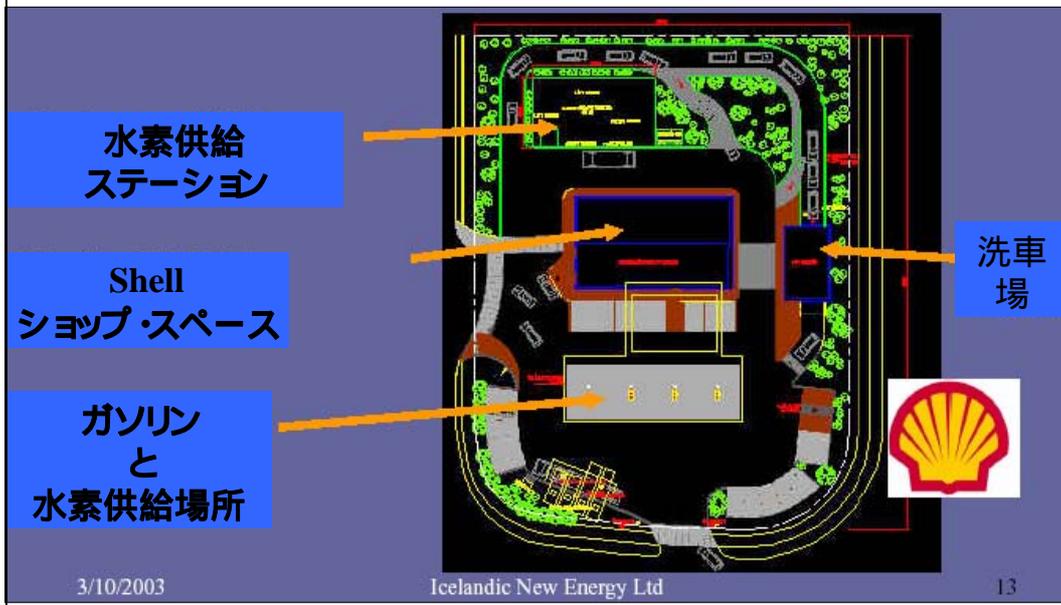
バス	Evo Bus
FC Sys.	Ballard製200kW以上
乗員	70人
燃料	圧縮水素(35MPa)
最高速度	80km/h
航続距離	200km

## アイスランド水素供給ステーションの開所式 (2003年4月24日)

Shellの既存のガソリン・ステーションに併設された  
世界で初のガソリンも水素も可能なステーション



## ECTOSプロジェクトのインフラ



## 世界最初の水素社会を目指すアイスランドとは？

- \* アイスランドは、グリーンランドの東、北緯圏に近くの大西洋にある島国。島の大きさは韓国と同じ位の面積であるが、人口は28万人と少なく、韓国の約168分の1ほどの国。
- \* 漁業が盛んで、火山活動が盛んな島国である点などは日本と似ている。一方、空気のおいしい国としても知られているが、火山灰の影響で草木はあまり生えておらず、水は豊富だが緑は少ない。しかし、他国ではあまり見られない、アイスランドならではの自然も存在する。地下熱で暖められた水が吹き出す間欠泉があったり、冰山が残っていたり、火と氷が共存する、原始的な地球の姿が今に残されている場所である。
- \* そのアイスランドが、水素経済社会のビジネスモデルを提言した。
- \* 2003年4月24日に各国から関係者を集めワールドコンファレンスを開き、水素社会の在り方を示した。
- \* コンファレンスでは、そのプロジェクトが官民一体の国家的プロジェクトであること、そのプロジェクトは発足からすでに4年が経過して、すでに水素燃料を用いた公共機関サービスを始められる段階にあること、そして、世界規模の大企業がプロジェクトに参加しており水素経済の見通しが立っていることなどが発表された。

## アイスランドの概要(2004年4月現在)

- <一般事項>
- 1. **面積** :10.3万km2 (日本の約 1/4)
- 2. **人口** :28.3万人 (2001年)
- 3. **首都** :レイキャビック
- 4. **人種** :主として北方ベルマン系
- 5. **言語** :アイスランド語
- 6. **宗教** :大多数が福音ルーテル教
- 7. **略史** : 870~930年 ノースマン移住、アイスランド連邦国を形成
- 1918年 デンマークとの君主連合の下で独立
- 1940~1941年 デンマークがナチス・ドイツに占領される状況下で英軍に占領され、その後 米軍下に置かれる
- 1944年 アイスランド共和国成立
- 1949年 NATO加盟
- 欧州経済領域 (EEA)に参加
- <政治体制 内政>
- 1. **政体** :立憲共和制
- 2. **元首** :オラフル・ラグナル・グリンソン大統領
- 3. **議会** :一院制 (1991年5月の憲法改正で完全一院制に移行。議員定数63、任期4年)
- 4. **政府** :首相 (ダビッド・オットソン=独立等)、外相 (ビルトール・アウスグリンソン=進歩党)
- 5. **内政** : 2003年5月の総選挙結果、オットソン首相率いる独立党が僅差で野党の社会民主同盟に勝利を収め、進歩党との連立政権を維持した。
- 連立政権の主要政策
  - 1 経済の安定成長、外国資本の導入促進
  - 2 EEA協定を基礎とするEUとの関係強化

- 3) 北欧協力強化
- 4) 対NATO協力および米国との防衛協定を通じた安全保障体制の維持
- 5) 水力発電所建設等に伴う環境問題対策

- <経済 (単位:米ドル)>
- 1. **主要産業** :水産業、水産加工業、アルミニウム精練
- 2. **GDP** : 84億ドル(2002年、OECD統計)
- 3. **1人当たりGDP** : 29,400ドル (同上)
- 4. **経済成長率** : -0.5% (同上)
- 5. **物価上昇率** : 1.9% (同上)
- 6. **失業率** : 2.3%(同上)
- 7. **総貿易額** : 輸出 :187.5百万ドル、輸入 :191.8百万ドル
- 8. **主要貿易品目** : **輸出** :水産物、水産加工品、アルミニウム加工品
- **輸入** :自動車、機械類、食料品
- 9. **主要貿易相手国** : **輸出** :英、独、オランダ、米、  
**輸入** :独、米、デンマーク、ルウエー
- 10. **通貨** : アイスランドクローネ
- 11. **為替レート** : 1クローネ = 約1.59円 (2003年4月)

- 12. **経済概況** :
- **主要産業** :水産業および水産加工業が盛んで、水産物輸出が経済において大きな比重を占める。また、再生可能エネルギー(地熱および水力)によるアルミニウム精練やフェローシリコン(鉄鋼原料)生産が盛ん。
- **経済情勢** :アイスランドは人口30万人弱であるが、国民1人当たりの国内総生産(GDP)は、先進国中でも高水準にある。マクロ経済については、1996年以降、3%台後半から5%台の成長率を継続したものの、2001年以降は、世界経済の低迷を受けた水産物の輸出伸び悩みなどに見舞われ景気は減速傾向となり、2002年はわずかながらマイナス成長を記録した。しかし、2003年は、上昇傾向に転じ、2%程度が予測される。

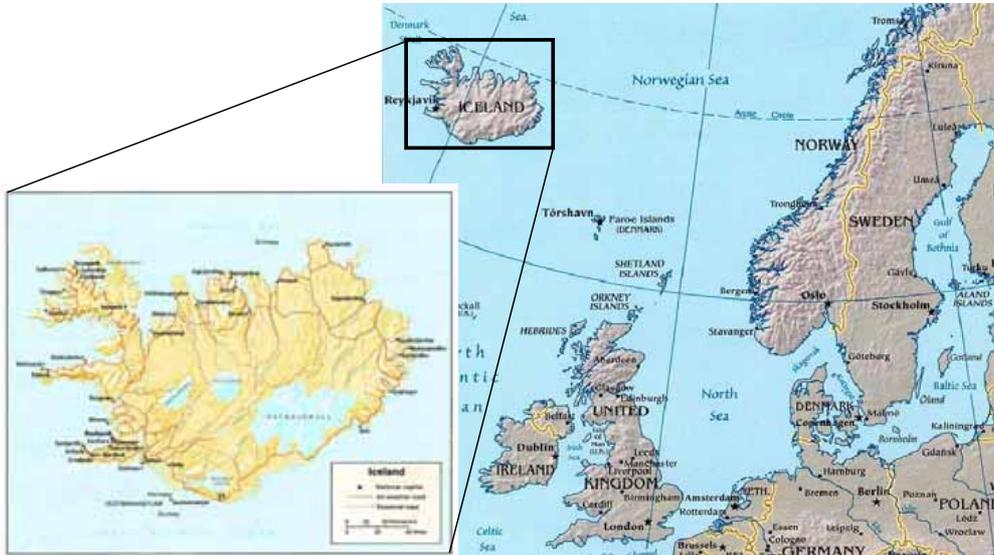
- エネルギー供給のうち、再生可能エネルギーが世界最高率の72%を占め、また市バスを用いて水素燃料の実用実験を開始するなど、世界のバイオエナジーを目指したエネルギー政策を行っている。
- **失業率** :1990年代前半に5%を越えていた失業率は、1995年以降低下し1999年には2%に達した。その後、経済の減速により微増したものの2%台前半の低水準で推移している。
- **財政状況** :1997年に一般財政収支が均衡し、その後、財政黒字が継続している。
- <2国関係>
- 1. **政治関係** :1956年外交関係設立。政治的懸念はなく、両国関係は順調に推移。過去にはフィンボガトッティル大統領が6度訪日しているほか、わが国からは1999年に小渕首相が日・北欧首脳会議出席のためにアイスランドを訪問している。
- アイスランドは、水産物の重要な輸出先として日本を重視(シシャモや甘エビの多くがアイスランド産)しているほか、日本人観光客の誘致など経済面での関係強化を強く望んでいる。日本は、2001年2月に在アイスランド大使館を開設し、アイスランドは同年10月に在京大使館を開設した。
- 2. **経済関係** : **対アイスランド貿易-貿易額** (2002年) - 輸入:38億円、輸出:121億円、**主要品目** - 輸出:乗用車、貨物自動車、光学器械、輸入:水産物、フェローアロイ(鉄鋼原料)
- **日本からの直接投資** - 3件、約600万ドル
- 3. **文化関係** :1985年6月 日・友好議連設立
- 1991年10月 日ア協会設立
- 2001年10月 日本でアイスランドフェア開催
- 4. **在留邦人** :40人 (2002年12月)
- 5. **在日アイスランド人** :32人 (1999年12月)
- 6. **2国間条約 取極** :1966年査証および査証料免除取極



首都レイキャビックの夕暮れ



## アイスランドの位置図



人口 28万人で新宿区と同じ、面積は、韓国、オーストリア、あるいは米国のケンタッキー州と同等。人口の40%が首都のレイキヤークに集中。経済は、漁業、アルミニウム工業、地熱発電、観光を中心に賄っている。

北米大陸とユーラシア大陸の2つのプレートが創り出したギャウは、中央大西洋海嶺の軸の上に、活発な火山活動と広く符合しながら、1年に東西夫々1~1.5m、合計で2~3mずつ離れ、アイスランドの国土を広げ続けている。



北半球プレート図。米国やカナダが載っている北米プレートとは不思議に聞こえるかもしれない。しかし北米プレートとユーラシアプレートの境は北へたどると、北極圏を越えて大西洋中央海嶺に続いている。この二つのプレートはシベリアの北部に軸があって、そこを中心にして回転している。軸の向こう側の大西洋中央海嶺ではプレートが新しく生まれていてユーラシアプレートと北米プレートが矢印のように広がっている一方、軸のこちら側では、二つのプレートどうしが矢印のように押し合っているのである。(高村英紀著『地震列島との共生』(岩波書店)から)





アイスランドは世界で火山活動が最も活発な国の1つである。およそ200の後氷河期の火山のうち、少なくとも30の火山はアイスランド移住が始まる紀元9世紀以降に噴火しており、その回数は150と記録されている。過去1万年の間に火山活動は平均して1つの火山の噴火が終わって5年後に起きています。火山活動の形態は様々であるが、**世界で観測されている殆どの形態がアイスランドには存在する**。その火山形態は、局地的に噴火する中央集中型噴火と溶岩が地殻の割れ目に沿って一連のマグマ通路から流出する噴火に大別される。

地質的には、大西洋中央海嶺の延長上にあり、1,600~2,000万年前に北大西洋の海底火山噴火によって誕生した。**ヨーロッパでは最も若い国である**。北米大陸とユーラシア大陸の2つのプレートが創り出したギャウは、中央大西洋海嶺の軸の上に、活発な火山活動と広く符号しながら、**1年に東西夫々に、1~1.5cm、合計で2~3cmずつ成長を続け、アイスランドの国土を広げ続けている**。正に、活きている島と言える。



## アイスランドの歴史 (9世紀 ~ 13世紀)

### 1. 最初の移民:

9世紀後半、時のルウエーのハラルト国王との政争に破れた貴族達とその家族や一族とともに、国王の独裁から逃れるために大挙して、この島に移り住んだことに始まる。

### 2. その後の移民:

9世紀後半から10世紀にかけて、多くの移住者が出現し、この移住者にはルウエーばかりでなく、イギリスのケルト系の人々(アイスランド修道士)の姿もあった。このケルト系の人々は約30%を占めていたという。アイスランド人は、このために、他のスカンジナビア諸国と比べると、黒っぽい髪と目を持つ人の割合が多い。

### 3. 世界最古の民主議会:

圧制から逃れてきた人々が多かったためか、自由で、より民主的な政体を作ろうとして、930年には、世界の歴史にその名を留める“**アルシング**”と呼ばれる世界最古の民主議会を設立した。この議会のもと、島の人々は1つになり、共和制国家を誕生させた。その民主議会が開催された場所がレイキャビークの東方50kmにある、地球の割れ目ギャウで有名なシンクベドリル(議会平原)である。

### 4. 伝承文学:

この共和制の時代の後半、12世紀~13世紀にかけて建国の人々の由来を伝える“Saga”や古代ゲルマン詩の伝統を引いている北欧の古詩“**Edda**”等の文学が開花した。12世紀~13世紀のヨーロッパ文学を代表するものと言えば、このSagaやEddaが挙げられることを考えると、如何にこの時代がその後重要な役割を果たしたかが理解出来る。

## アイスランドの歴史 (その2)

- **5. デンマークの属国化：**
- 1262年になるとルウエー国王の支配を受けるようになり この共和制は終焉。1380年には、ルウエーがデンマークの属領になるとともに、デンマークに編入されてしまう。デンマーク支配は、1874年にデ国王がアイスランドに憲法と財政的独立を認め、1904年に全面的に自治権を勝ち取り、デンマーク主権下の独立国になる1918年まで続く。
- **6. 悲惨な出来事：**
- その間、18世紀末には、疫病の流行やラキ山の大噴火などの天災により、多くの人々の生命や家畜を失うなどアイスランド史上最も悲惨な時期であった。
- **7. アイスランド共和国誕生：**
- 19世紀中頃の独立運動の主導者でアイスランドの国民的英雄であるヨウン・シグルズソンの生誕の日である1944年6月17日、民主議会の聖地シンクベトルでアイスランド共和国が誕生し、現在に至る。
- **8. 世界最初の女性大統領：**
- 1980年には、世界ではじめての女性大統領としてビグディス・フィンボガデュティル女史が就任した。彼女は、4期16年、大統領の職務を果たし、1996年に多くの国民に惜しまれながら退任した。
- **9. 現職の大統領：**
- 現職の大統領は、オウラブル・ラグナル・グリームソン氏。また、1996年の10月から11月にかけてパトナ氷河で起きた氷河底噴火とそれに伴って引き起こされた大洪水は、記憶に新しい。橋や道路も見ても無残に破壊されたが、3週間後には応急的ではあるが修復され通行が可能になった。バイクの時代から受け継がれてきたアイスランド人のたくましさの一端を見る思いである。



アイスランド大使館  
インギムンドル・  
シグフースソン駐日大使





11世紀の飢餓、疫病（ペスト）、火山の噴火等の様々な辛苦を味わったアイスランドの人々は、同国史上最大の功績と世界中から称えられる大長編中世歴史物語“*Saga*”（日本の古事記に相当）（下の写真）や往時の英雄を称えるロマンチックな伝説“*Edda*”などの古典文学を完成している。

10世紀の初めに**世界で最初の民主議会**“*アルシンキ*”が設立された。バイキングが作った世界最古のデモクラシーとして世界史上に残るアイスランド人の功績である。アイスランドバイキングは、982年に赤毛のエリックがグリーンランドを発見し、また、1000年にはエリックの息子が北米大陸を発見している。米国で最初に産まれたヨーロッパ人がアイスランド人であることは隠れた歴史上の事実である。

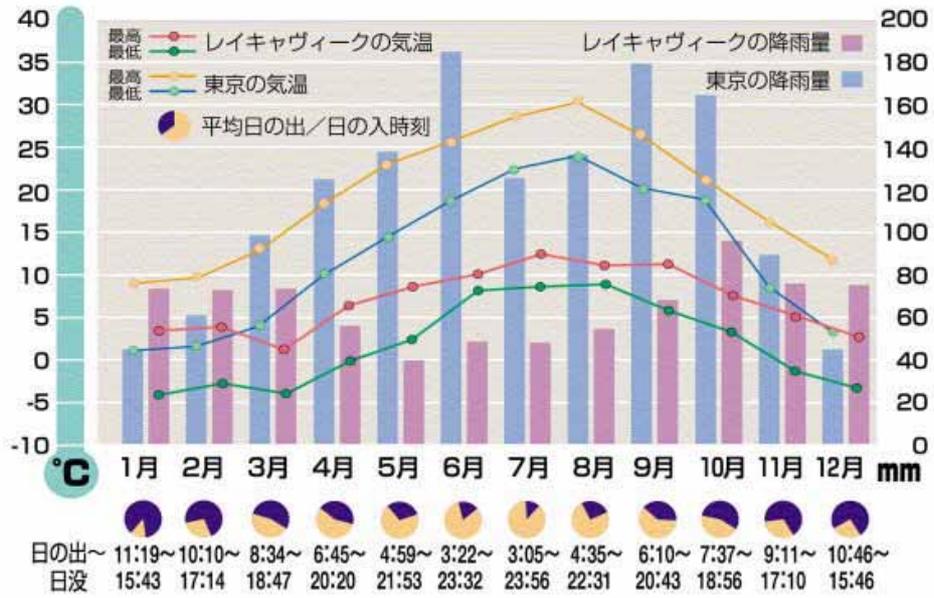


## アイスランドの気候の特徴



アイスランドは、北極圏のほぼ南に位置しているにもかかわらず、暖流メキシコ海流の恩恵を受け夏は涼しく、冬はびっくりする程穏やかな気候である。平地での気温は、夏は12~15、一番寒い1月でも秋田市なみで、シカゴやウーンよりも高い。位置する緯度とその国名“アイスランド”から受けるイメージのために相当寒い印象を持ちがちだが、首都レイキヤークビークでの冬の積雪も1回に4~5日続くこともあるが年平均数回程度で札幌のように冬の間積雪が残ることはない。

### レイキャヴィークの気候



### アイスランドの国鳥 Puffin (ツノメドリ-ウミツバメ科)



アイスランドの経済は漁業に大いに依存している。魚製品の輸出は、アイスランドでの製品輸出の80%を占め、外貨獲得高の50%を占めている。

漁業のGDPへの直接、間接的貢献度は、45%にも上る。漁獲は、近海の底引き網による鱈漁である。遠洋漁業も重要であり、ニシン漁が主である。その他、海老蟹漁も重要である。



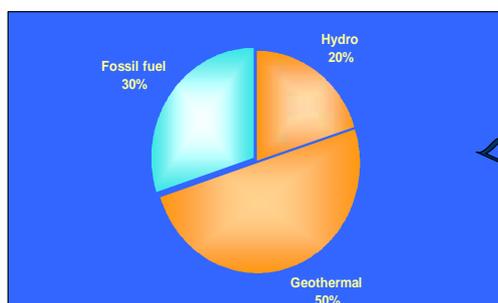
アイスランドの道路延長12,691km (舗装 3,262km、未舗装 106,523km)



一周およそ2,000km

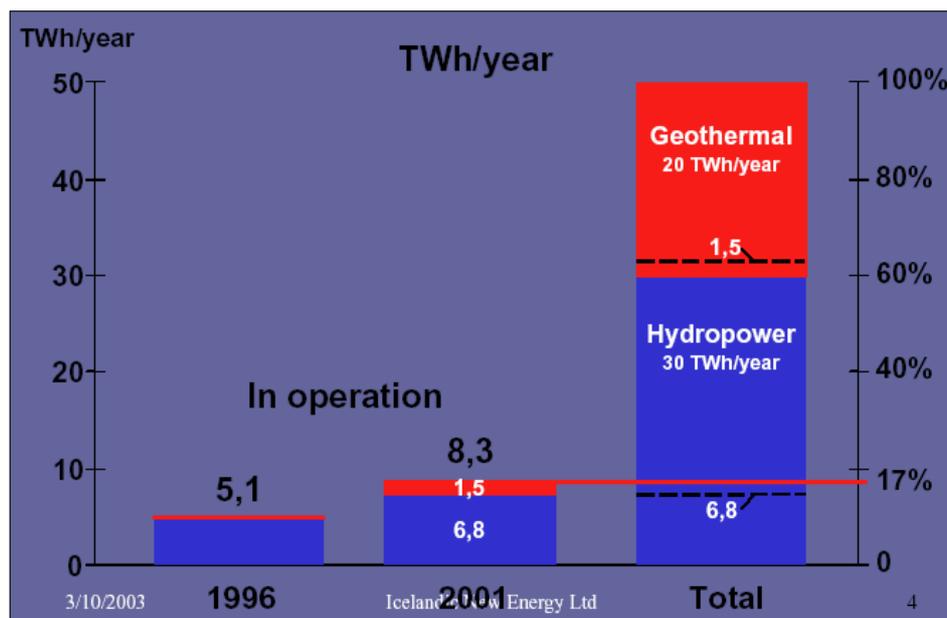
## アイスランドにおけるエネルギーの実態

- 1) 殆ど化石燃料資源がなく、強いて言えば僅かな石油が存在するだけである。
- (2) しかし、人口に比して、アイスランドは豊富な再生可能エネルギーを有している。
- (3) 経済開発可能な水力発電は、30TWh/年で、そのうち、僅かに15%しか利用されていない。
- (4) 包蔵地熱エネルギーは、20TWh/年であるが、そのうち僅か1.5%しか利用されていない。
- (5) 現在のエネルギー利用形態は、水力が20%、地熱が50%、そして化石燃料が30%となっている。

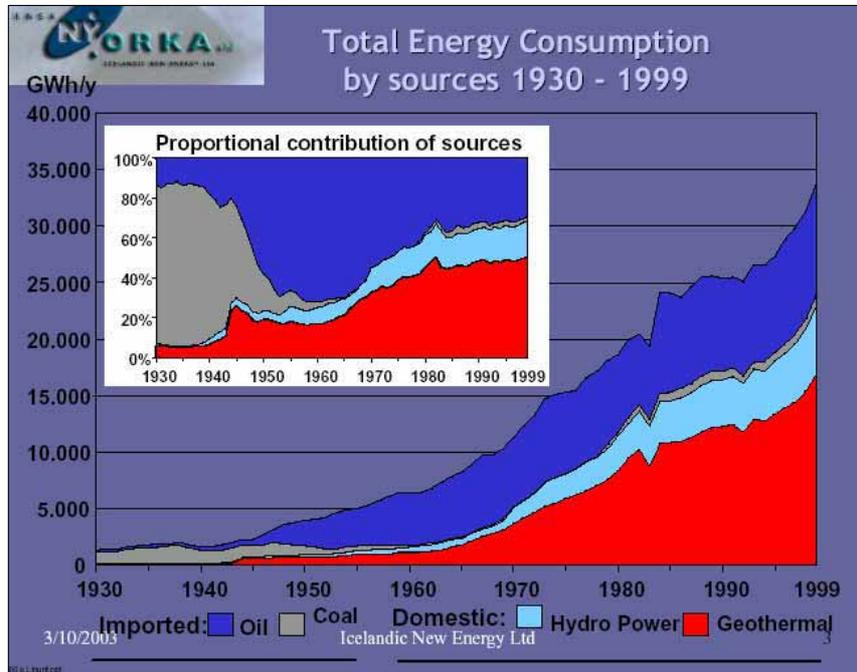


Renewable

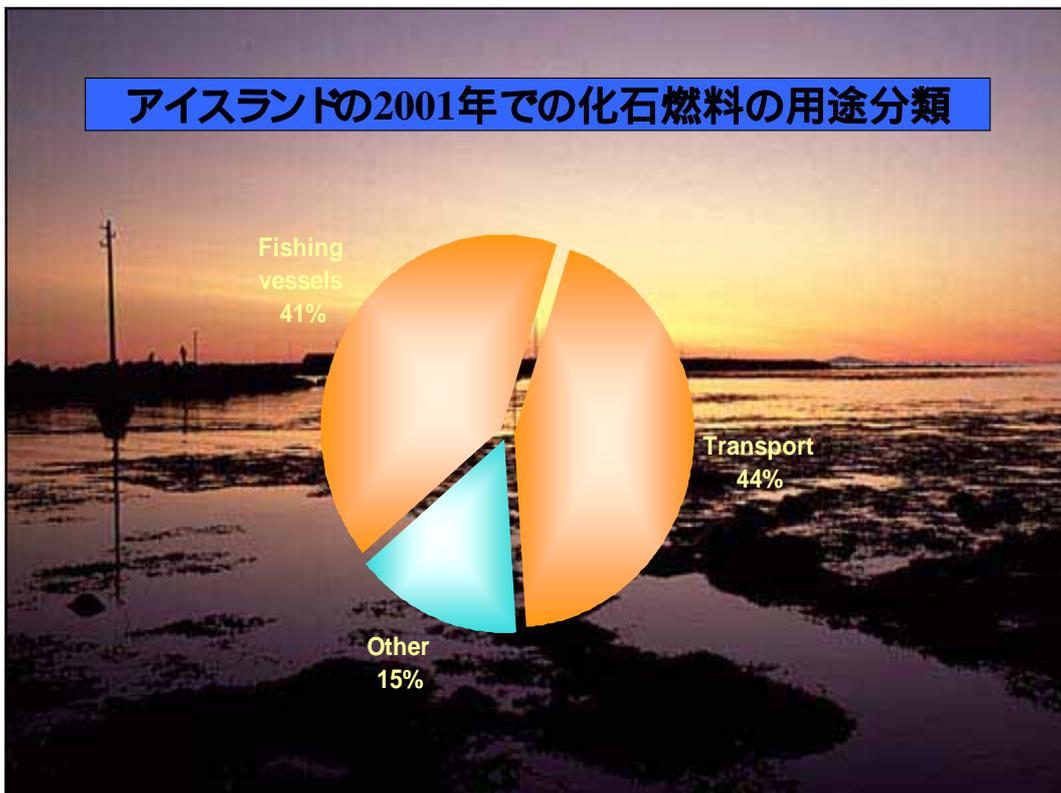
## アイスランドの発電能力と実績比較



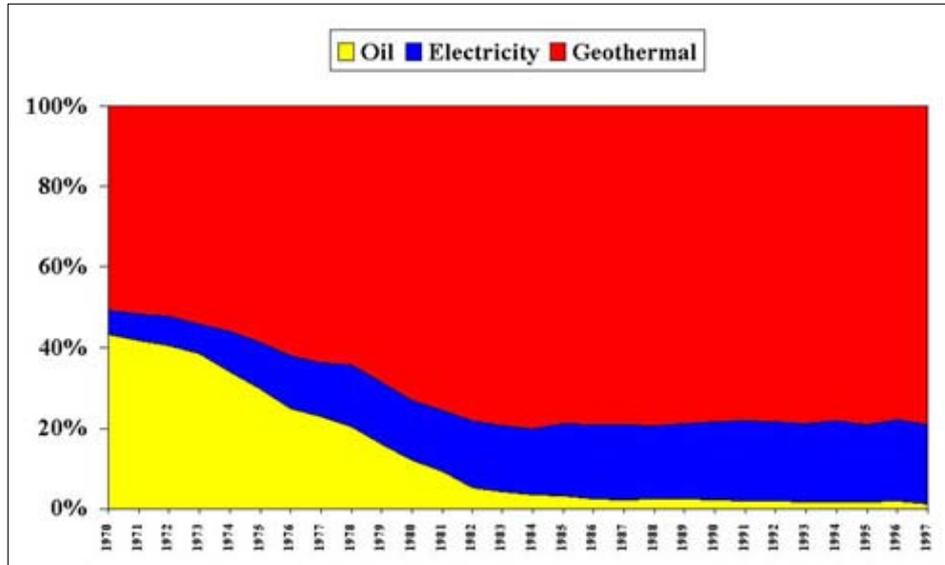
## 1930年～1999年のエネルギー総消費量



## アイスランドの2001年での化石燃料の用途分類



## アイスランドの地域暖房



レイキャビークは95%が地熱利用のためにクリーンである



## 豊富な水力発電がアイスランドの電力需要を賅う



## アイスランドのエネルギー

1. **水力**と**地熱**エネルギーから、一次エネルギーの72%を賅っている。
2. 電力の**99.9%**は、**水力**と**地熱**エネルギーからもたらされている。
3. **地熱**の蒸気と発電電力により、地域暖房用のエネルギーの**99%**を賅っている。
4. **電気**と**地熱**エネルギーで、ほぼ全固定エネルギー需要を賅っている。
5. 再生可能エネルギーの大部分は、まだ**未利用**である。

## Iceland's dilemma

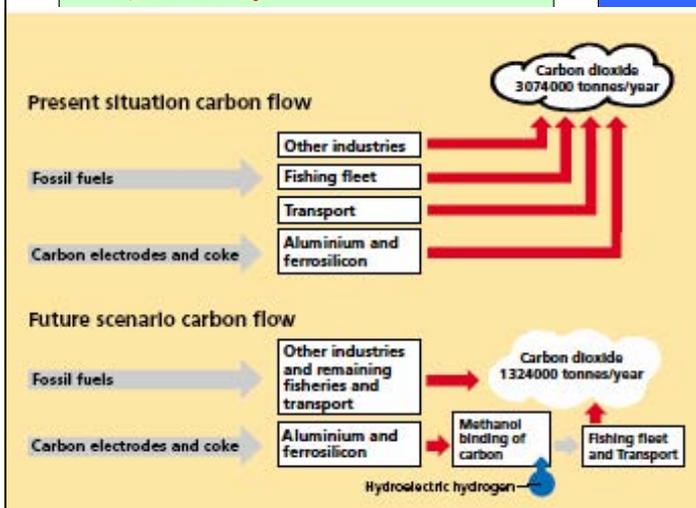
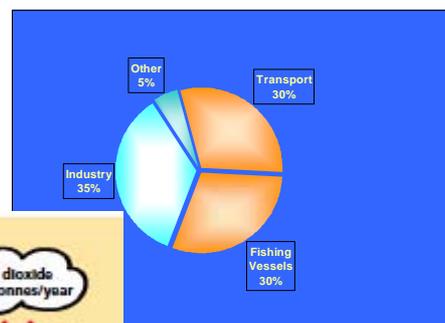
- (1) 京都議定書によると、アイスランドは、1990年レベルの温室効果ガス排出量の**10%分**を増加出来る余裕がある。
- (2) アイスランドは、**10%以上**の温室効果ガスを排出する新たなエネルギー集中型の金属工業(アルミ フェローシリコン・一部住友商事が参加)を設立する予定である。
- (3) 全ての暖房は、再生可能エネルギーである**地熱**に依存している。
- (4) 全ての電力は、**水力発電と地熱発電**から得られている。
- (5) これらの温室効果ガスを削減する唯一の手段は、**化石燃料の使用量を削減**することしかない。

## アイスランドのCO2排出量

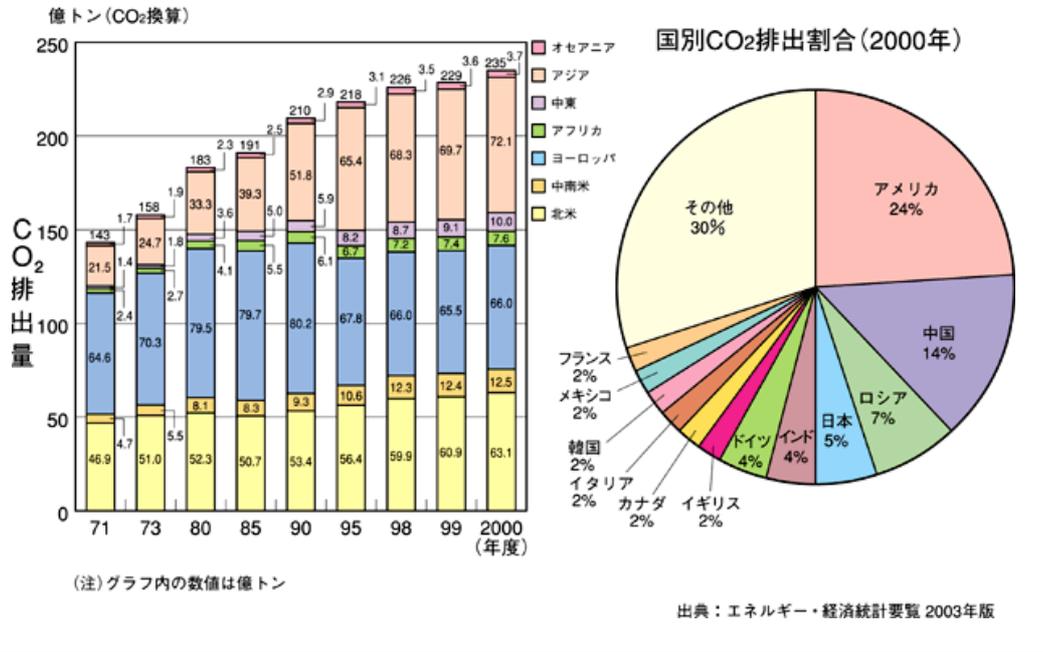
< CO2排出ガスの割合 >

輸送分野 = 1 / 3 ,  
 漁業分野 = 1 / 3 ,  
 その他工業分野 = 1 / 3 ,

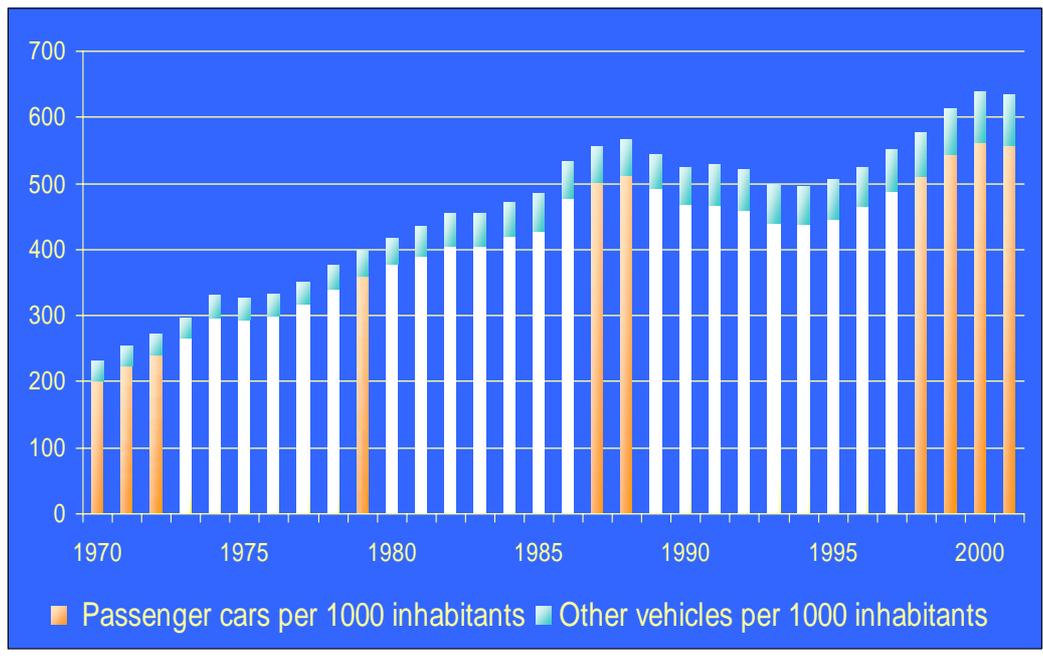
1999年における、人為的なCO2排出量は、およそ**300万トン**である。



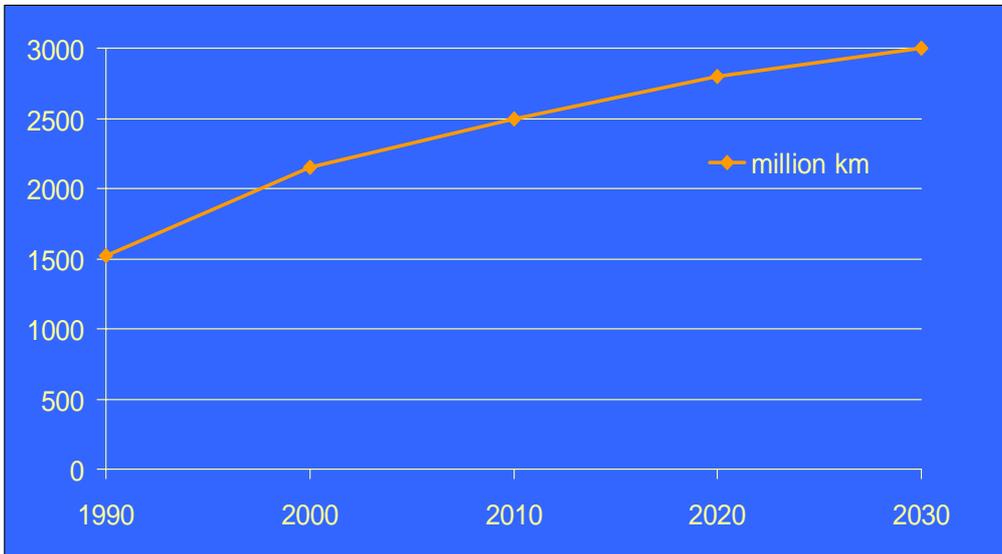
## 世界のCO<sub>2</sub>排出量



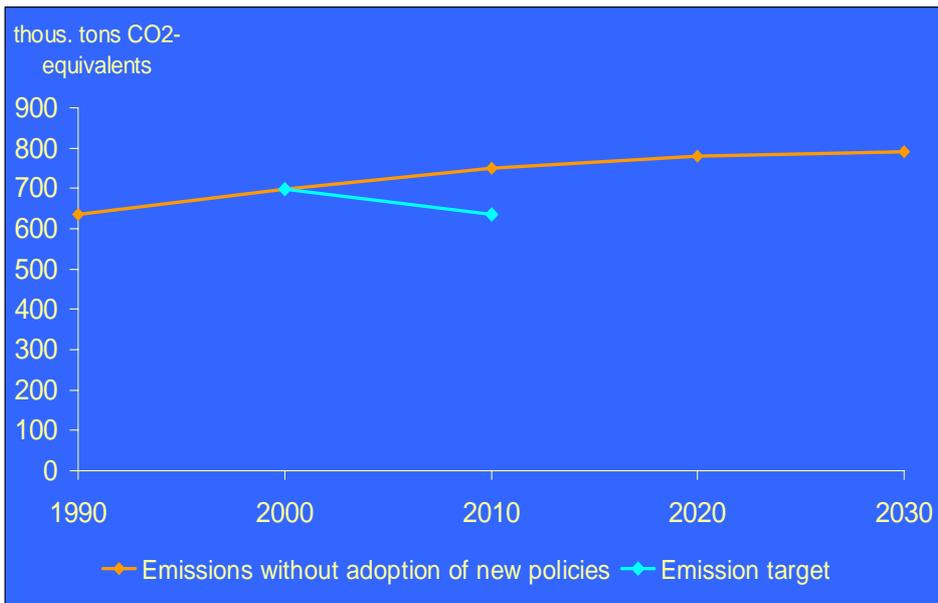
## 1970年～2001年 アイスランドの人口1,000人当たりの自動車保有台数



### 2030年までの自動車保有台数増加予測



### 温室効果ガス排出量の予測と削減目標

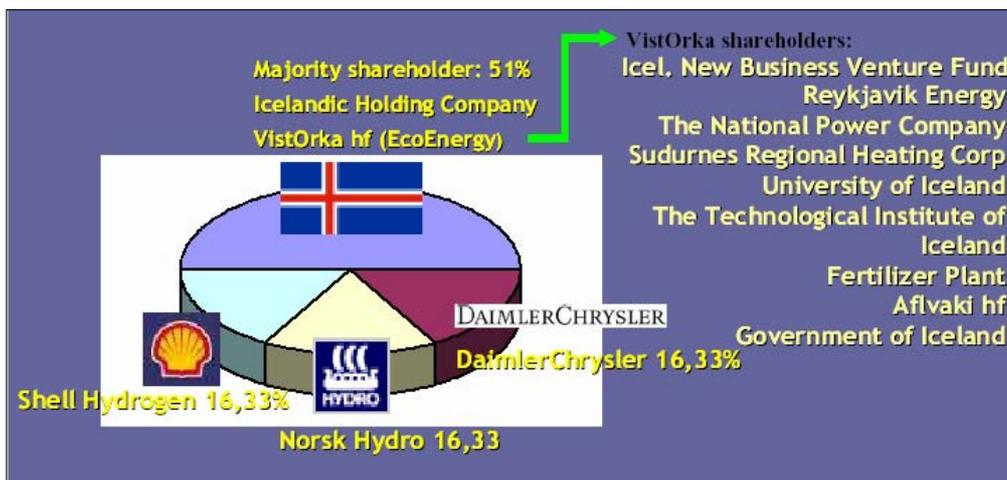


## Icelandic New Energy社の設立目的

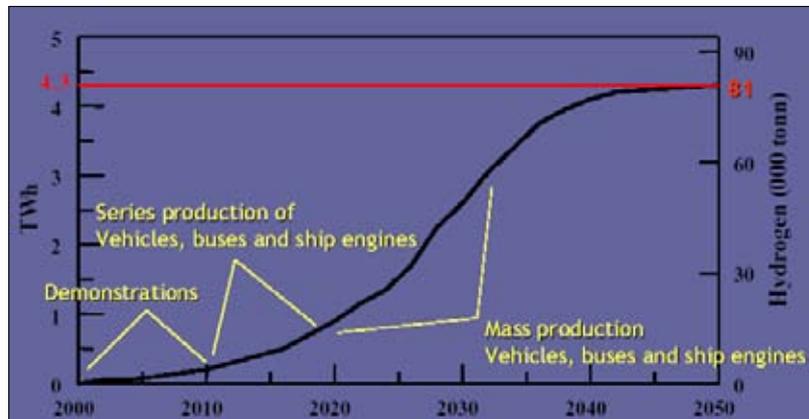
INE社の設立(1999年2月)の目的は、化石燃料を水素で置き換えるための可能性を調査し、水素燃料電池あるいは水素エネルギー・キャリアーを利用する種々の機器を試験し、そして水素の製造、貯蔵、および配送のためのシステムを開発すること。



## Icelandic New Energy Ltd (INE) 社の株主構成



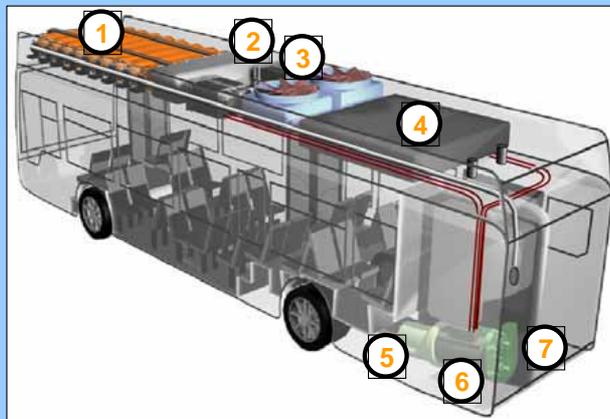
## アイスランドの水素化社会でのエネルギー需要予測



- (1)アイスランドでの水素生産は、現在、2,000トン程度である。
- (2)全ての自動車と漁船を駆動させる水素は、8~9万トンが必要である。
- (3)水素が全自動車や船舶を駆動させる燃料電池に直接使用されれば、年間で4~5TWh (これは、アイスランドで経済的に開発可能な再生可能エネルギーの10%以下である)が必要となる。

## アイスランドの水素化社会への6段階プロジェクト

1. 第一段階プロジェクトは、2つに分けられる。2001年~2003年は、準備、インフラの整備、維持管理設備の整備、経済・社会影響調査等が実施される。



- 1) Hydrogen Tanks
- 2) Fuel Cell Supply Unit
- 3) Fuel Cells
- 4) Air Condition
- 5) Transmission
- 6) Electric Motor
- 7) Auxiliary Components

## アイスランドの水素化社会への6段階プロジェクト

**第2段階** 次第に首都のレイキヤークのバス (現在77台) を水素燃料電池バスに代替する。

**第3段階** 水素駆動の自家用車を導入する。

**第4段階** 燃料電池船舶の実証および評価プロジェクトの実施。100トン・クラスの漁船用500kW燃料電池を想定。4~5日分の水素 (1,000kg)の貯蔵法が課題。

**第5段階** 現在の化石燃料駆動船を燃料電池駆動船舶とする。

**第6段階** :アイスランドから欧州へ水素の輸出を開始する。



## アイスランドの水素プロジェクトの概要とタイムライン

### 1. Fuel cell bus demonstration: ECTOS



Demonstration program

Gradual introduction into bus fleet



### 2. Fuel cell passenger vehicles



Demonstration program

Gradual introduction into passenger car fleet

### 3. Fuel cell fishing vessel demonstration



Demonstration program

Gradual introduction into fishing fleet

2000

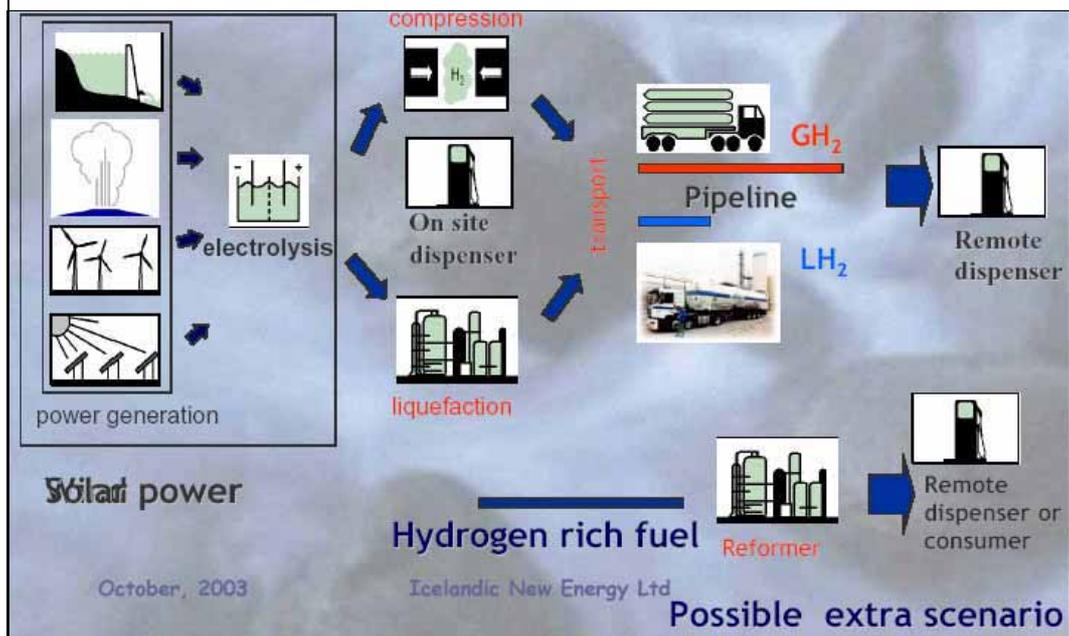
2003

Time

## 何故アイスランドが世界最初の水素化社会を目指すのか？

- (1)アイスランドは、小さな高度に発達した社会である。
- (2)近年、地域暖房用の地熱から、水力発電にエネルギー源の転換を経験している。
- (3)CO<sub>2</sub>の排出量をゼロに抑える水素ベースの燃料プロジェクトを推進する可能性が高い。
- (4)他の先進諸国と同様な技術基準、輸送システムを有している。
- (5)政治的支援が約束されている。
- (6)厳しい気象条件、季節変化、多様な地形を有している。

## 将来のアイスランドの水素インフラストラクチャー



# ルウエーのUtsira島の風力エネルギーによる水素社会の構築例

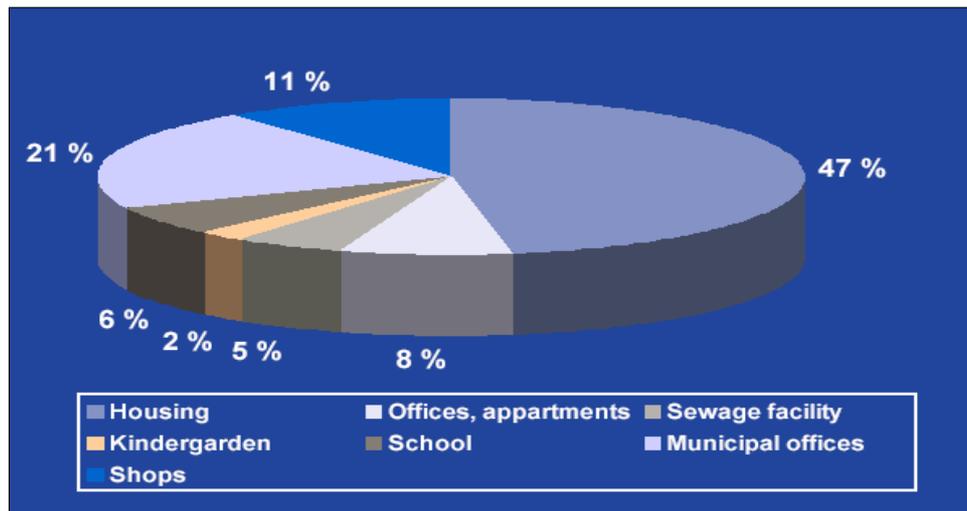
2004年6月完成予定



## Norway 南西部の小さな島—Utsira



## Utsiraのエネルギー需要パターン



## Utsiraプロジェクトの概要

### I.概要:

- 再生可能エネルギーによる実規模での実証試験、新しい技術開発、およびエネルギー供給システムの確認用パイロット・プロジェクトである。
- 風力エネルギーを利用し、必要に応じて水素を電気に変換する。

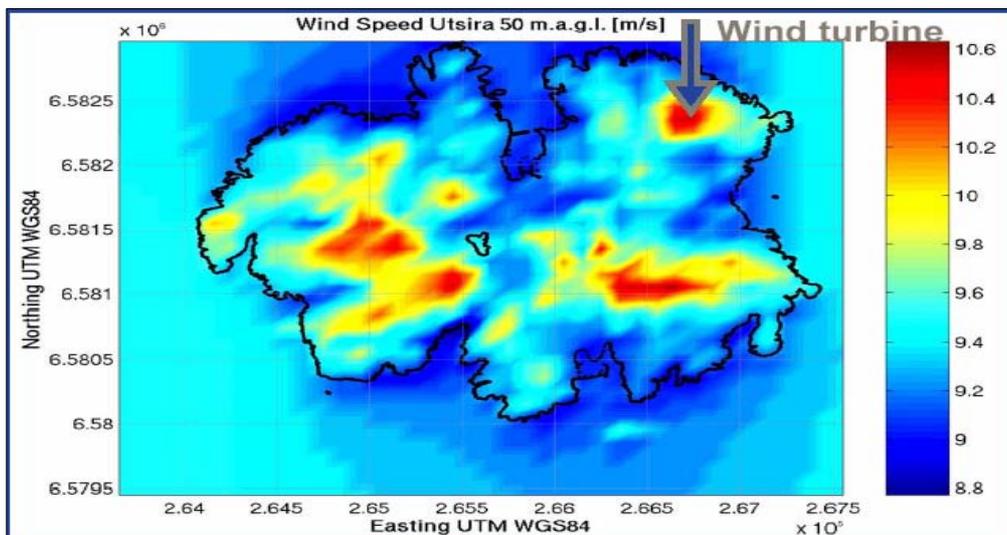
### II.目的と役割分担

- 十分なエネルギー供給インフラストラクチャーを有していないような僻地で、どのように再生可能エネルギーが安全で効率的なエネルギー供給が可能かを実証すること。
- Utsiraで風力と水素エネルギーシステムの实規模試験と開発のためのR&Dパイロットシステムを構築すること。
- Norsk Hydro :プロジェクト総合管理とUtsiraプロジェクトと水素システムの供給の全責任を持つ。
- Enercon:世界最大の風力タービン製造企業の1社。

## Utsira自立エネルギー システム構成と工程

- **I. 構成要素**
- 1. 2基の風力タービン (600kW)
- 2. フライホイール (6kWh)
- 3. 鉛酸電池スタック (100kWh)
- 4. 水素エンジンと燃料電池発電装置 (ピーク時総合出力60kW)
- 5. 電気分解装置 (10Nm<sup>3</sup>/h, 50kW)
- 6. コンプレッサー (3kW)
- 7. 貯蔵容器 (2,000Nm<sup>3</sup>)
- 8. コントロールシステム
  
- **II. 工程計画**
- 1. 決定 2003年4月8日
- 2. 現場建設の開始 2003年6月1日
- 3. 風力タービンの完成 2003年9月15日
- 4. 電気分解装置と水素発電装置の現地到着 2004年春
- 5. 操業開始 2004年夏
- 6. 燃料電池装置の完成 2004年末

## 平均風速 10m/sが期待できるUtsira

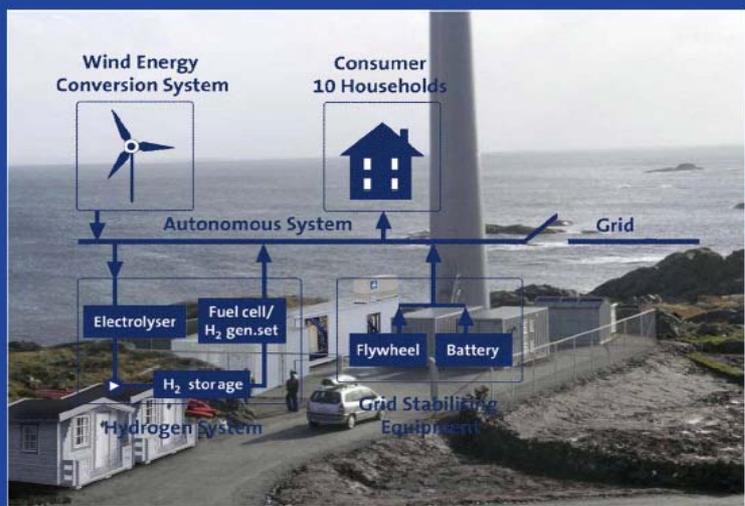


## 風力ファーム外観

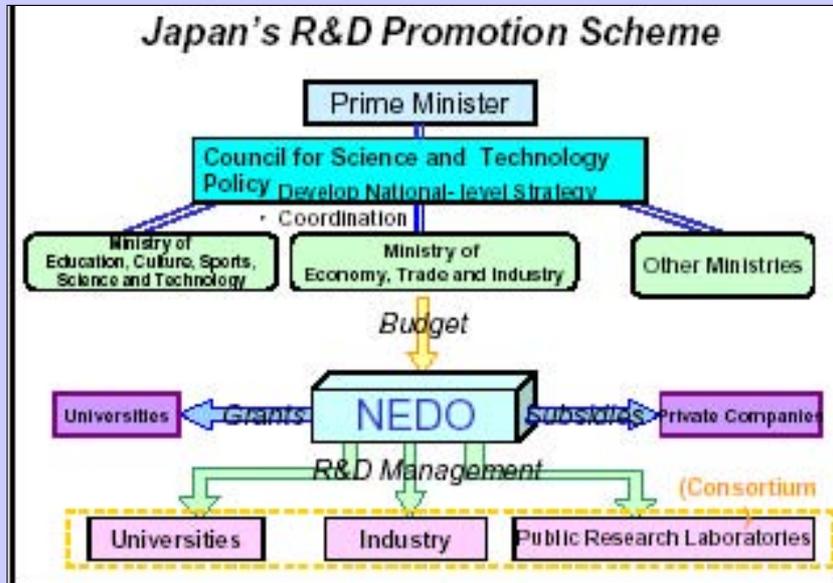


## Utsira島の風力-水素ハイブリッドシステム

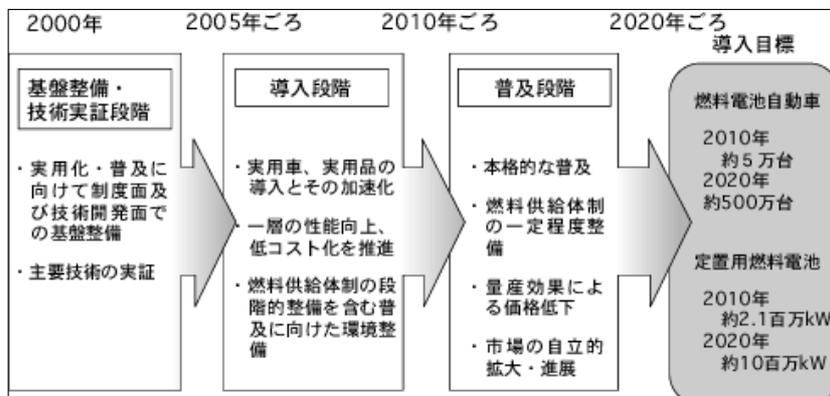
- 2 wind mills
- Hydrogen as energy carrier
- R&D demo-project for 2-3 years
- Ten households completely self-contained

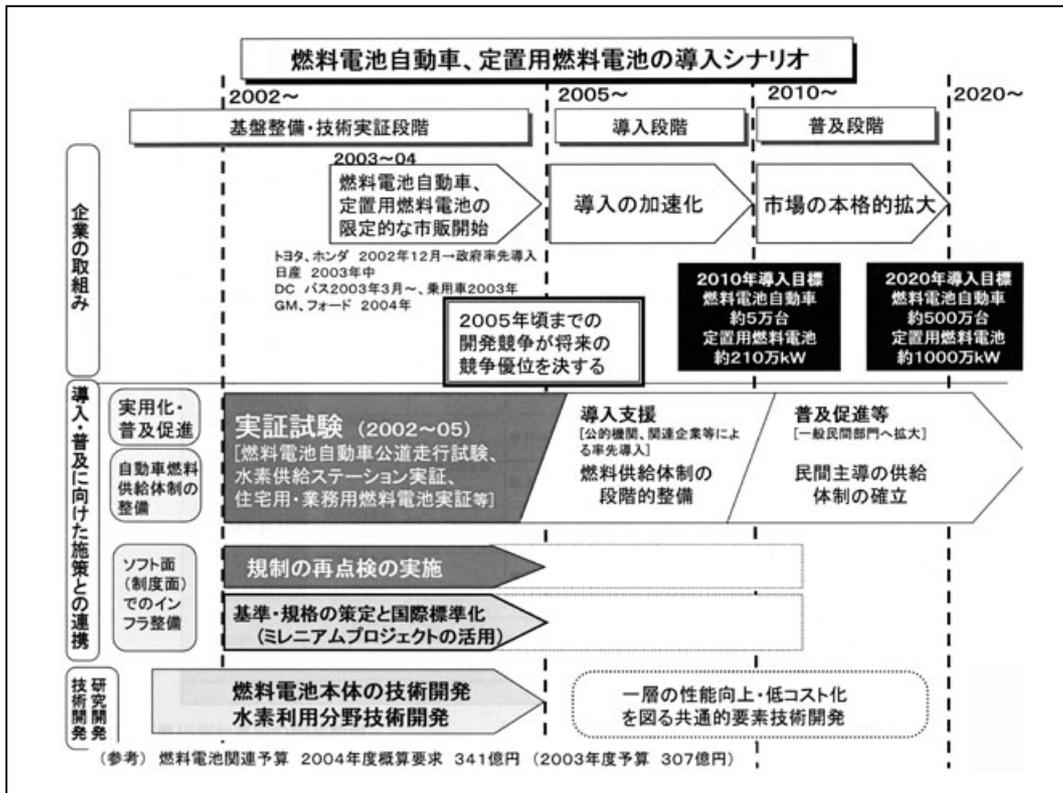


## 日本の水素エネルギー研究開発の推進体制とプロジェクト例



## 資源エネルギー庁の燃料電池実用化戦略研究会 実用化・普及に至る3つの時期分けた取り組み実施の必要性を提言





### METI - NEDOからの第一次WE-NET水素委託調査業務

システム研究	タスク1	【財】エネルギー総合工学研究所	: システム評価に関する調査・研究
	タスク2	【財】エネルギー総合工学研究所	: 安全対策に関する調査・研究
	タスク3	【財】エンジニアリング振興協会	: 国際協力に関する調査・研究
水素利用技術	タスク4	【財】エンジニアリング振興協会	: 動力発生技術の開発
	タスク5	【財】エンジニアリング振興協会	: 水素燃料タンクシステムの開発
	タスク6	【財】エンジニアリング振興協会	: 純水素供給固体高分子型燃料電池の開発
	タスク7	【財】エンジニアリング振興協会	: 水素供給ステーションの開発
水素製造技術	タスク8	【財】エンジニアリング振興協会	: 水素製造技術の開発
輸送貯蔵技術	タスク9	【財】エンジニアリング振興協会	: 水素輸送・貯蔵技術の開発
	タスク10	【財】金属系材料研究開発センター	: 低温材料の開発
	タスク11	【財】大阪科学技術センター	: 水素貯蔵材料の開発
革新的・先導的技術	タスク12	【財】エネルギー総合工学研究所	: 革新的・先導的技術に関する調査・研究

## 参考：主要なエネルギー科学技術施策 (省庁ヒアリングより作成)

### 経済産業省

- ・省エネルギー及びエネルギー利用高度化 技術開発
- ・新エネルギーの為の技術開発
- ・資源の安定供給確保の為の技術開発
- ・エネルギー利用に関する原子力の技術開発
- ・電力・ガス関連の技術開発

### 国土交通省

- ・輸送機器の省エネルギー技術開発
- ・交通・輸送システムの効率化
- ・住宅・建築物の省エネルギー性向上のための技術開発
- ・ヒートアイランド抑制技術の開発

### 文部科学省

- ・高速増殖炉サイクルの科学技術に関する研究開発
- ・核融合研究開発
- ・原子力・放射線を利用した多様な科学技術の推進
- ・原子力に関する科学技術の推進を支える研究開発
- ・新エネルギー研究開発

### 環境省

- ・生ゴミ燃料電池発電、バイオマス等を活用した地域エネルギーシステムの開発・検証
- ・環境負荷低減のための新エネルギーエネ技術の研究推進、普及のための技術評価

8



### 水素・燃料電池実証プロジェクト(JHFC) (Japan Hydrogen & Fuel Cell Demonstration Project)

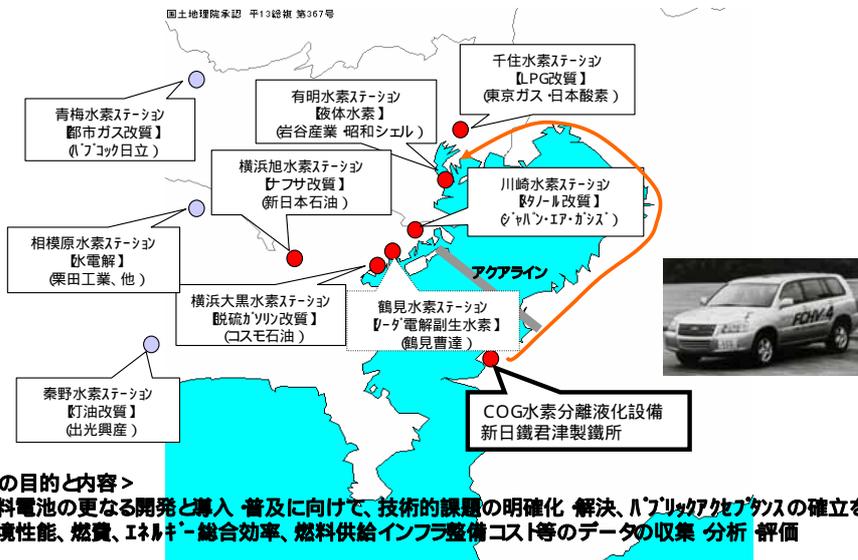


1. 期間：2002～2004年度
2. 場所：東京・横浜地域
3. 目的：燃料電池自動車及び水素ステーションについて
  - ① 導入意義の明確化（エネルギーセキュリティ、効率、環境）
  - ② 安全等に係る規格、基準作成のためのデータ取得
  - ③ 社会からの認知度を高めるための啓発活動

### 水素ステーションリスト

JHFC施設名	場所	水素製造法	建設年度
横浜・大黒水素ステーション (JHFCパーク内)	横浜市鶴見区大黒町	脱硫カノリン改質	2002
横浜・旭水素ステーション	横浜市旭区上白根町	ナフサ改質	
千住水素ステーション	東京都荒川区南千住	LPG改質	
有明水素ステーション	東京都江東区有明	液体水素貯蔵 (オフサイト)	
川崎水素ステーション	川崎市川崎区小島町	メタノール改質	
移動式水素ステーション	東京都千代田区霞が関	高压水素貯蔵	
横浜・鶴見ステーション	横浜市鶴見区末広町	工場副生水素 (オフサイト)	
相模原水素ステーション	神奈川県相模原市	アルカリ水電解 (移動式)	2003
秦野水素ステーション	神奈川県秦野市	灯油改質	
青梅水素ステーション	東京都青梅市	都市ガス改質 (移動式)	

# 水素 燃料電池実証プロジェクト(JHFC)



## 資源エネルギー庁の燃料電池車開発戦略

- 1. 1999年12月から、固体高分子型燃料電池(PEMFC)を対象とした **燃料電池実用化戦略研究会** を組織し、2001年1月までに精力的な技術開発、実用化を目指した戦略を議論した。
- 2. その報告書には、技術課題から開発スケジュール、主体別役割などが明記され、**FC研究開発政策の基本方針**と見なされている。
- 3. その特徴は、**国と産業界、国公立研究所や大学など研究開発機関の夫々の役割を明確にし**、またR&Dから実用化までの道筋を3段階に分割し、格段階毎の目標を明示したことにある。
- 4. この研究会には、関心を持つ産業、研究者などが参加して、PEMFCのR&Dに関する内外の現状と課題、将来の開発戦略などを検討した。その結果、PEMFCの実用化に**対するべき政策課題として、次の7項目を指摘した。**
  - 基本性能の向上 特に据え置き用としての耐久性、車両搭載改質器、水素貯蔵
  - 経済性の向上
  - 燃料とインフラストラクチャー 水素の輸送・貯蔵、1次燃料からの改質技術
  - 資源制約(触媒用貴金属) 廃棄問題
  - 基準・標準および規制見直し等のソフトインフラの整備
  - 水素利用に対する社会の理解と受容性
  - FCの研究・開発の人材確保

## トヨタ・日野製水素燃料電池バス



### < 主要諸元 >

製作者	トヨタ自動車株式会社 日野自動車株式会社
用途	乗合
乗車定員	60人
長さ	10.515メ-トル
幅	2.490メ-トル
高さ	3.360メ-トル
燃料	高圧水素ガス
最高出力	80キロワット× 2個 (109馬力× 2)
最高速度	80 km / h
大臣認定日	平成14年 9月27日

## 日本における水素製造と小売価格目標 (METI)



### 新日鉄君津製鉄所、液体水素の実証実験設備を稼働

新日本製鉄君津製鉄所(千葉県君津市)は燃料電池自動車向けの液体水素を製造する実証実験施設の稼働を始めた。コークスの製造時に生じるガスから液体水素を製造する実験は世界初といふ。製鉄所のインフラを活用し、新エネルギーとして注目を集める水素の研究・開発を進める。

経済産業省の研究補助事業で、水素の製造方法や安全性のデータ収集などを進める「水素 燃料電池実証 (JHFC) プロジェクト」の一環。総事業費は約8億円。

製鉄に用いるコークスの製造過程では、水素を約55%含んだガスが副産物として生じる。このガスを分解して水素を回収、冷却して液体水素を製造する。1日当たりの液体水素製造能力は約0.2トン。

取り出した液体水素はタンクで貯蔵後、タンクローリーで東京都江東区で岩谷産業と昭和シェル石油が共同運営する燃料電池自動車向け水素供給拠点に供給する。



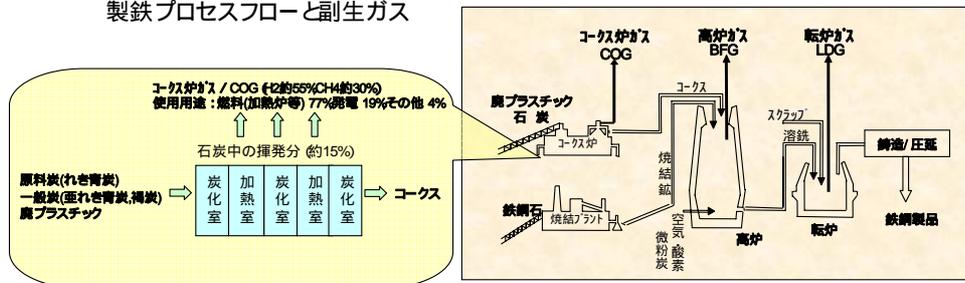
ステーション方式	液体水素ローリー供給によるオフサイト型
液体水素貯蔵	10,000L
水素製造能力	50Nm <sup>3</sup> /h (乗用車1台分を約40分で製造)
水素の純度	99.99%以上(燃料電池に有害なCOは1ppm以下)
充填能力	< 圧縮水素 > 25/35MPaG、充填時間10分以内 < 液体水素 > 140L/台、充填時間10分以内
特長	日本初の液体水素ステーション。 圧縮水素、液体水素自動車双方への充填が可能。 システムの立ち上げまでに必要な時間が短い。

## 製鉄所副生ガスの概要

製鉄副生ガスの組成 (一例)

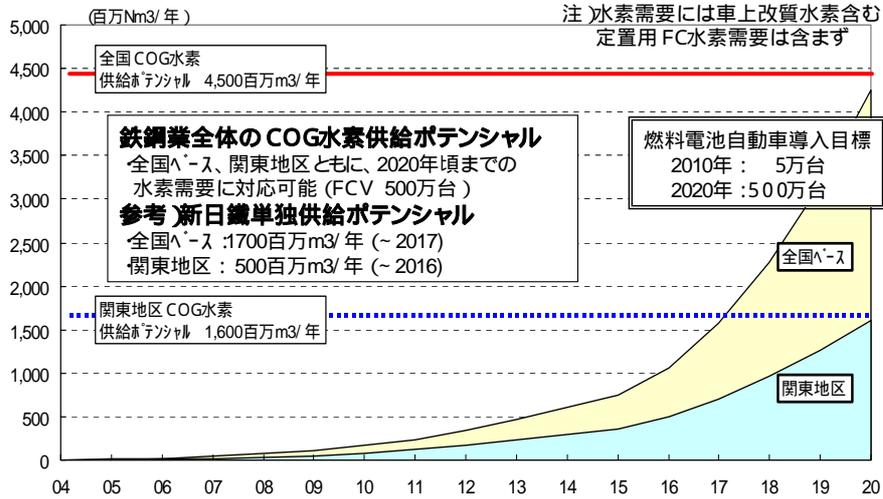
	H <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	CO	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub>
COG	56.2	0.1	2.3	6.3	2.5	29.3	2.5	0.8	0.1
LDG	1.1	0.1	13.9	70.9	14.1	-	-	-	-
BFG	3.9	0.0	52.2	22.5	21.4	-	-	-	-

製鉄プロセスフローと副生ガス

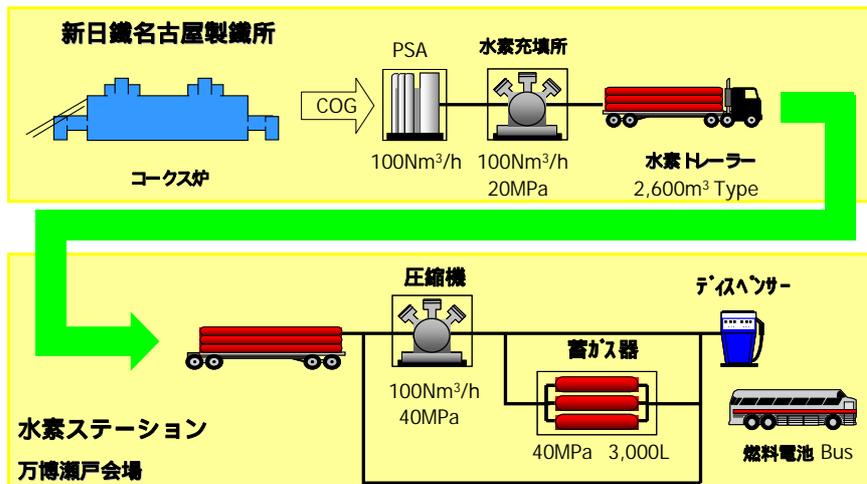


# COG水素供給ポテンシャル

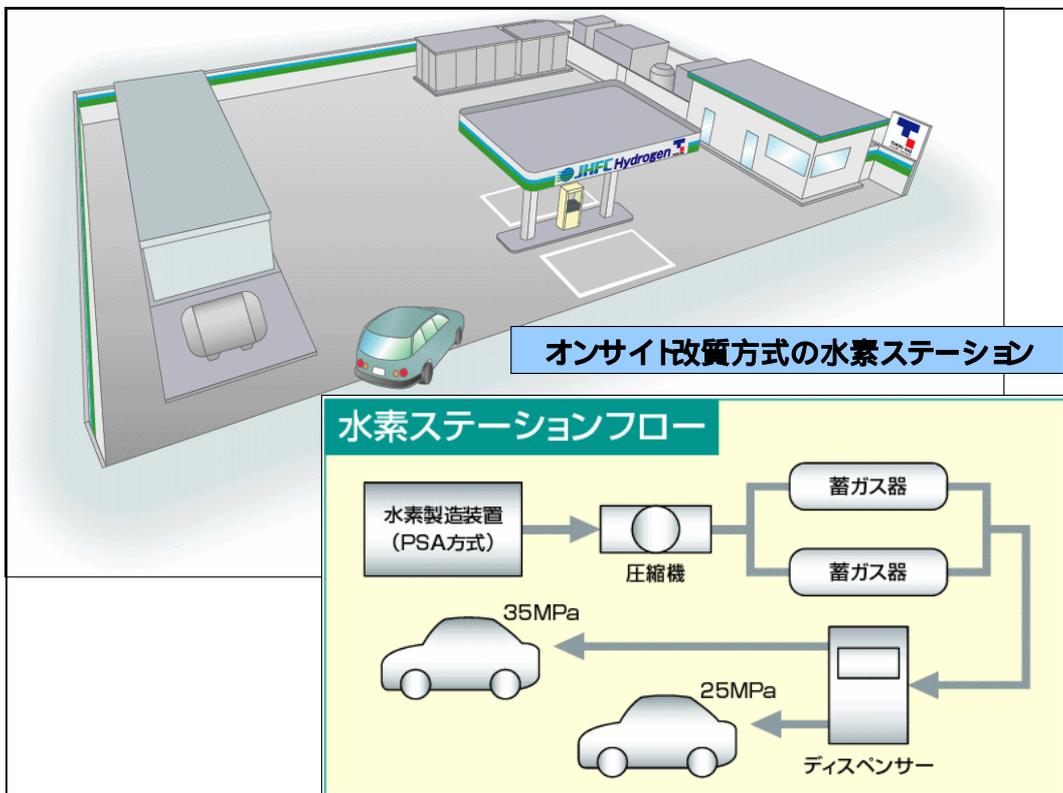
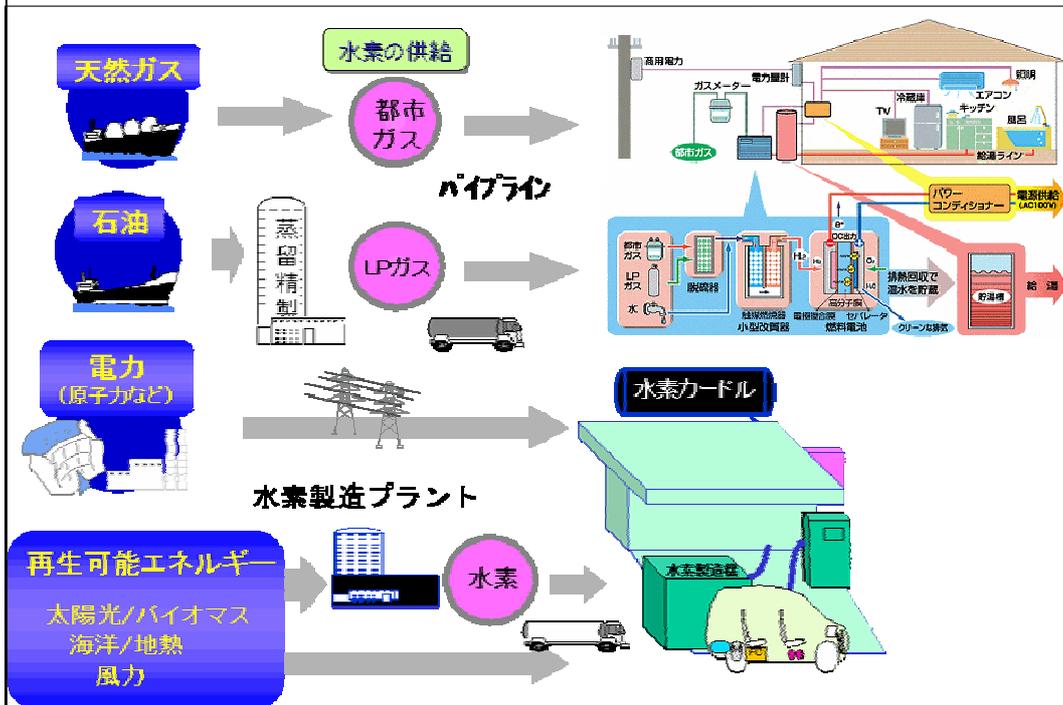
FCV用水素需要とCOG水素供給ポテンシャル



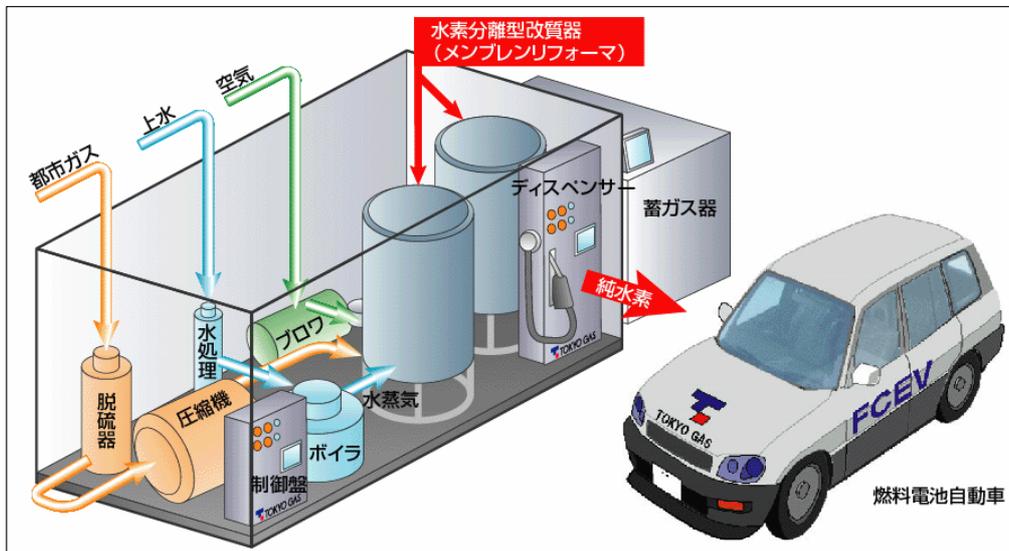
## 燃料電池バス向け水素ステーション ~2004 愛知万博



## 水素利用社会のシステム概念図



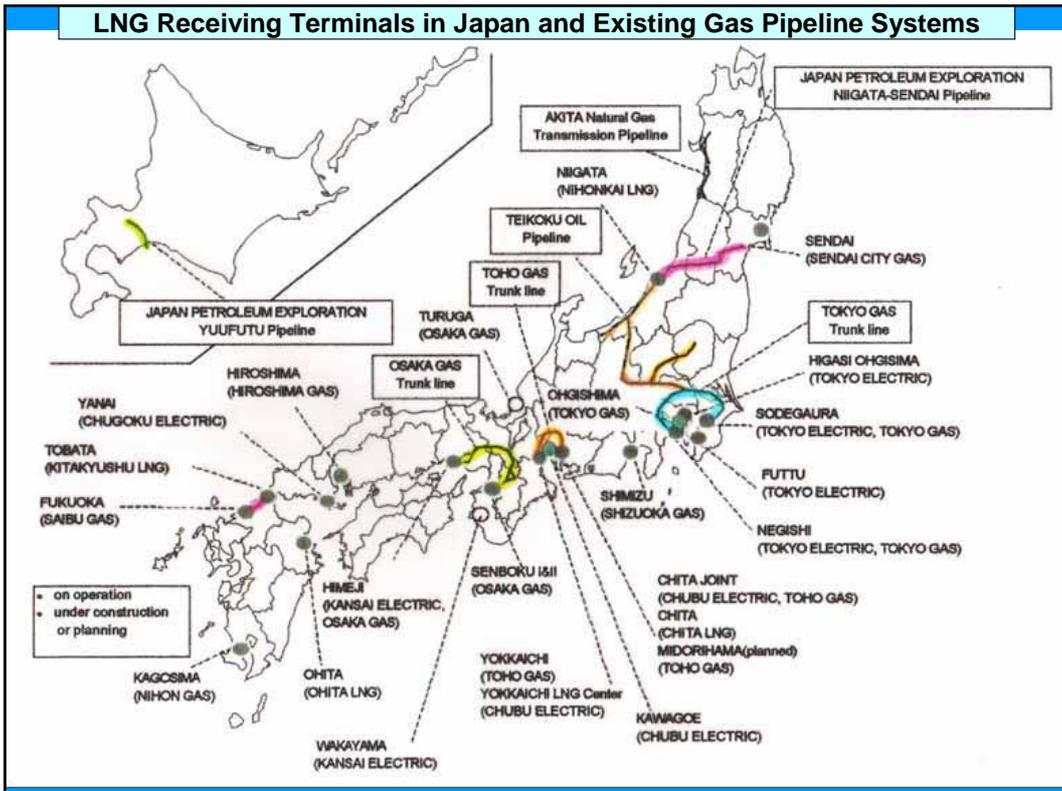
## 水素分離改質器による水素ステーション



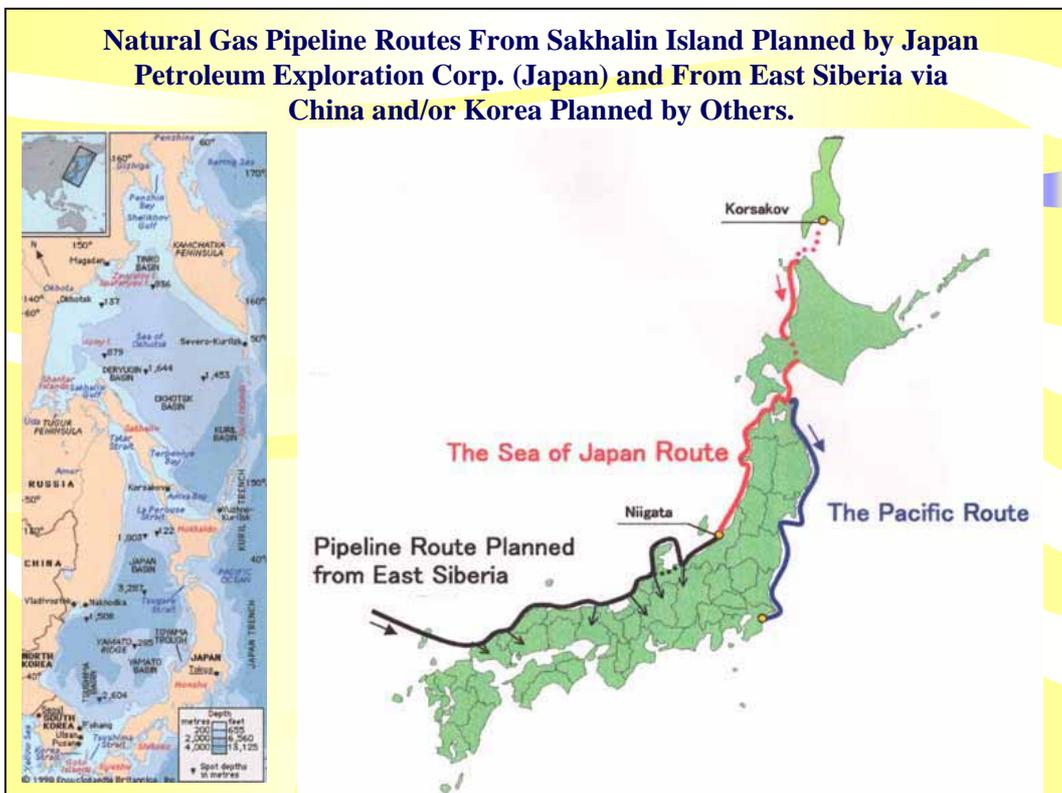
## 今後、15年間に何をすべきか



### LNG Receiving Terminals in Japan and Existing Gas Pipeline Systems



### Natural Gas Pipeline Routes From Sakhalin Island Planned by Japan Petroleum Exploration Corp. (Japan) and From East Siberia via China and/or Korea Planned by Others.



### 水素のパイプライン輸送に関する欧米での研究例

量にもよるが、水素は海上・陸上タンカーやパイプラインで輸送できる。ドイツのルール地方では1938年以來、軟鋼のパイプラインで安全上の問題もなく生産者と消費者の間を輸送している。安全については**センサーによるモニターと保守点検を併用**している。注意せねばならないのは、その地域における炭鉱による沈下で、これはパイプの敷設に影響し、漏洩の原因となる。

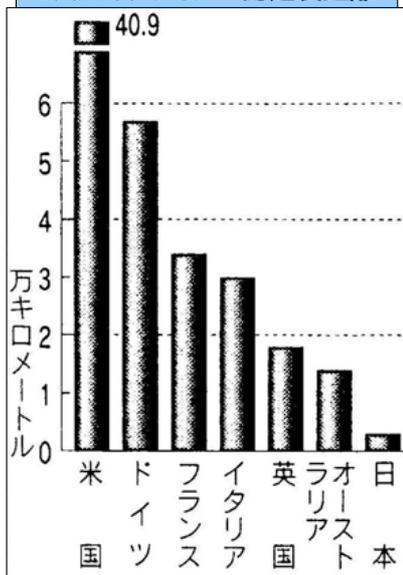
他には**北フランスに170 kmのシステム**があり、**欧州全体では約1500 kmの水素パイプライン**を持つ。**北米は少なくとも700 km**を有する。これらの水素パイプラインは、現在、地方で天然ガスに用いられている小規模パイプライン（パイプ直径25～30 cm、10～20バールで運転、100バールまで運転可能）と同程度の仕様で運転されている。

規模の上では、水素と天然ガスのパイプラインネットワークは同程度のものが可能であるが、コストは材質やポンプ施設の違いにより**50%増し**になると試算されている。また水素は、**温度や圧力の上昇により炭素鋼中の炭素と置換し、材料脆化をもたらすため厳しい条件では、ラインパイプ材として、クロム及びモリブデン合金鋼が用いられることが好ましい**。水素は天然ガスよりもエネルギー密度は低い、粘性も低いため、適当な修正により同一容量のパイプラインでほぼ等価のエネルギー量を輸送できる。特殊例としてNASAの宇宙船は、発射台上で液体水素パイプラインから直接水素の補給を受けるが、特殊技術を必要とし、価格も民生向きではない。

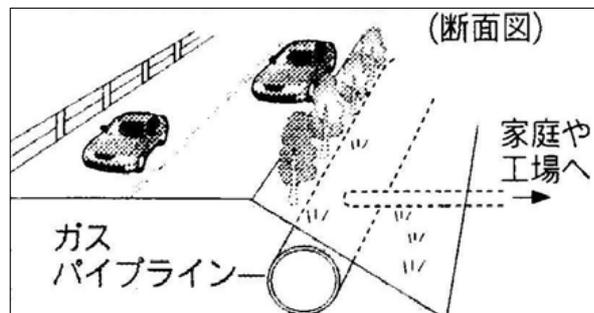
水素の運搬コストは方法によって大きくばらつく。パイプと圧縮設備のコストをならせば天然ガスのそれと同じであるとの試算結果もあり、天然ガスの1.5～3倍になるとの結果もある。**給配コストは500km当たり0.1 \$ / GJと試算されている**。陸上タンク輸送のような**従来方法による輸送コストは20 \$ / GJ以上**である。またある研究によれば水素の長距離・大量輸送は電力よりも安価であるとし、その分岐点は当該地域の地勢と輸送システムに基づくコストに依存する。したがって実際には地域の固有条件を検討する必要がある。

### 国土交通省と経済産業省の天然ガス利用拡大に関する研究会が計画する、埋設工期・費用が半減する高速道路内へのパイプライン敷設工法

ガスパイプラインの総延長距離



高速道路への埋設イメージ



2002年6月30日・日経新聞

都心部に都市ガス・パイプライン網を保有するガス会社は  
今後有利にビジネス展開が出来る

## ・都市ガスオンサイト改質水素ステーションの展開



## 水素ステーション実用化への課題

< 実証段階における課題 > ~ 2004年度末目標

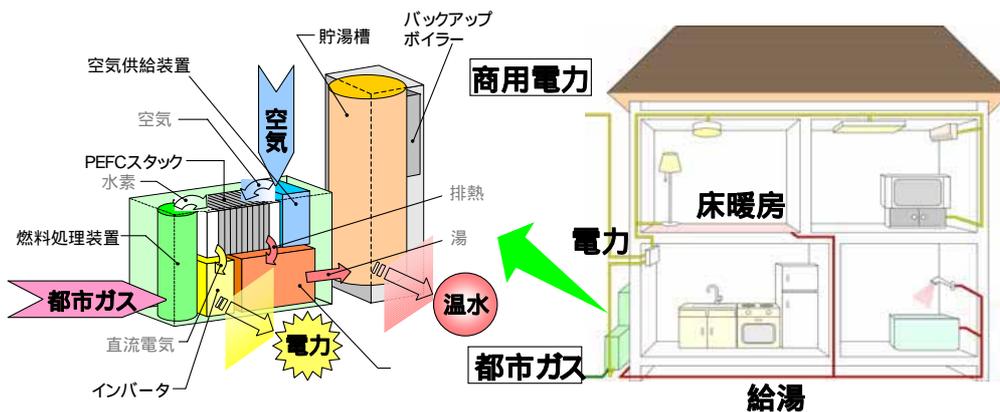
- ・ 水素製造装置の**高効率化、小型化、低コスト化**
- ・ 水素貯蔵・昇圧・充填装置の高効率化、低コスト化
- ・ ステーション実運転での**効率、環境性、経済性、安全性、耐久性、操作性**等の実証
- ・ **規制緩和**・基準整備

# 家庭用燃料電池コージェネ

東京ガスの例

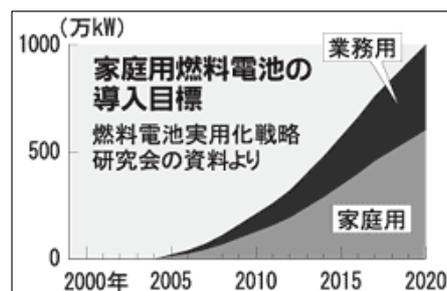
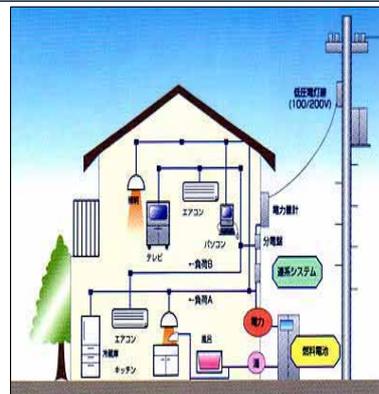
システム構成

導入のイメージ



## 1kWクラス家庭用燃料電池システム (東邦ガス)

- 家庭で燃料電池を設置する場合は、**1kWクラス**のコージェネレーション(電力と熱を同時に供給する)定置型燃料電池が、当初は主になる。
- 燃料電池用の水素は、すでに家庭で利用可能な、都市ガス、天然ガスやLPGから取り出して利用されている。**PEFC型(固体高分子電解質型)**と呼ばれる方式が有力視されている。
- すでに**天然ガスは約2000万世帯、LPGは約2700万世帯にインフラとして整備**されている。
- また**0 ~ 100** という常温に近い温度で作動し、設置面積もコンパクトで振動、騒音も発生せず、廃熱を利用することで**総合エネルギー効率70%以上を達成**できるのが特徴。



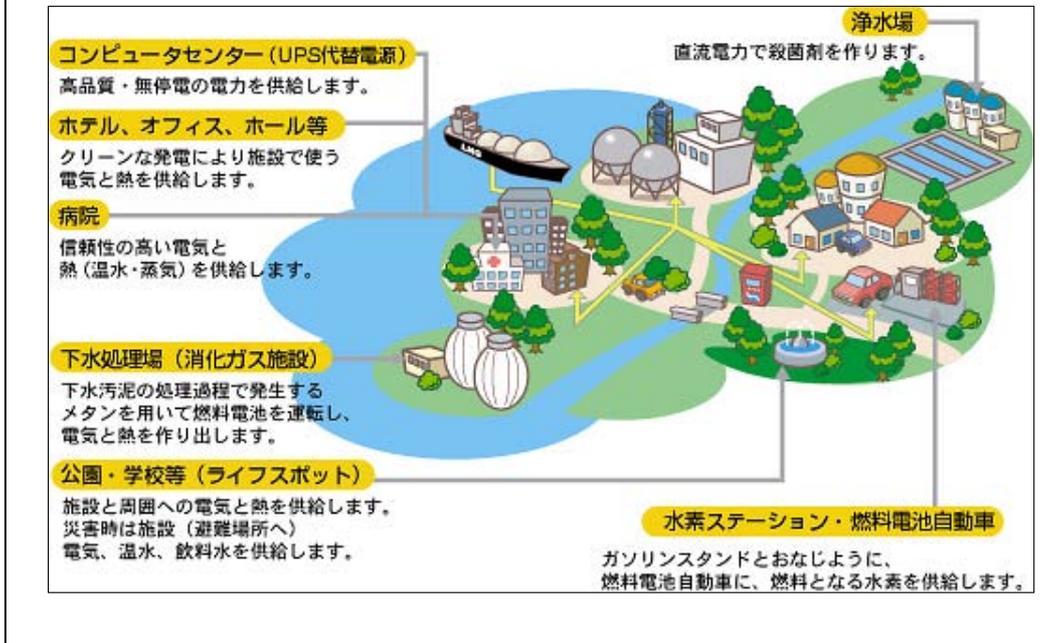
燃料電池車実用化、普及に向けた規制再点検のポイントとスケジュールの一例

N. No.	種別	法令名	関係省庁	検査項目	再点検のポイント
1	自動車	道路運送車両法	国土交通省	大臣認定手続きの見直し	試験的市販に支障なし 国土交通省より指針を公表する
2	"	道路法	国土交通省	燃料電池自動車の水底トンネル等の通行制限範囲の明確化	試験的市販に支障なし 水底トンネル等の走行は可能
3	"	（該当法令なし）	総務省 経済産業省	燃料電池自動車の地下駐車場等への進入制限範囲の明確化	試験的市販に支障なし 地下駐車場等への進入を規制する法令はない
4	"	高圧ガス保安法	国土交通省 経済産業省	車載した水素燃料用容器の検査方法の見直し（車載状態での輸入用容器検査）	試験的市販に支障なし 諸外国の規制定設備等が証する書類により、わが国の容器検査規格への適合がなされれば、車載状態での検査は可能
5	水素インフラ	高圧ガス保安法	経済産業省	移動式水素供給設備における敷地所有者側での保安統括者等の常駐義務範囲の明確化	試験的市販に支障なし 設備を受け入れるだけで水素供給を行わない敷地所有者側には保安統括者等の常駐義務はない
6	自動車	道路法	国土交通省	燃料電池自動車の水底トンネル等の通行制限の見直し（積載水素数量の緩和）	規制対象外であり、2004年時点においても支障はない
7	"	高圧ガス保安法	経済産業省	水素燃料用容器の例示基準がなく、容器型式ごとの検査が複雑で手続き等が負担	例示基準の作成で対応可能
8	"	高圧ガス保安法	経済産業省	水素燃料用容器（JILP）の耐圧試験基準の見直し	技術基準の特例を設けることで対応可能
9	"	高圧ガス保安法	経済産業省	水素燃料用容器に関する例示基準の充填圧力及び容量の上限値の見直し	例示基準の作成で対応可能
10	"	高圧ガス保安法	経済産業省	自動車の車検に合わせた高圧容器再検査の実施（車載状態にて検査）	車検期間に合わせることは可能 車載状態での検査は、技術基準の特例を設けることで対応可能
11	"	道路運送車両法	国土交通省	車両適合基準の策定による車両認定制度の見直し	保安基準等の整備で対応可能
12	"	消防法	総務省	燃料電池自動車の地下駐車場等への進入制限の見直し	消防法で進入を制限はしないが、消火設備の基準検討は必要 省民で実験データを取得し、消防庁が技術基準を検討
13	水素インフラ	高圧ガス保安法	経済産業省	水素供給スタンド設置に関する保安距離の見直し	技術基準の特例を設けることで対応可能
14	"	高圧ガス保安法	経済産業省	水素供給スタンドにおける保安統括者等の常駐義務の見直し	技術基準の特例を設けることで対応可能
15	"	高圧ガス保安法	経済産業省	水素供給スタンドの漏れ検知手段の多様性の容認	技術基準の特例を設けることで対応可能 スタンドにおける付具以外の代替手段の具体化と有効性をデータで示す必要がある
16	"	高圧ガス保安法	経済産業省	移動式水素供給設備による充填場所の要件の明確化	充填可能場所の要件は省令で明確化済みであり、あらかじめ届け出れば何回でも充填可能
17	"	高圧ガス保安法	経済産業省	充填設備用の繊維強化プラスチック複合容器例示基準の最高圧力の見直し	例示基準の作成で対応可能
18	"	高圧ガス保安法	経済産業省	液化ガス輸送容器充填率上限の見直し	技術基準の特例を設けることで対応可能
19	"	高圧ガス保安法	経済産業省	水素供給スタンドの保安検査の周期の延長	技術基準の特例を設けることで対応可能
20	"	建築基準法	国土交通省	水素供給スタンドの建設可能地域の制限見直し	他法令の技術基準策定と合わせ、規制の再点検及び見直しを実施
21	"	建築基準法	国土交通省	用途地域による水素貯蔵量の制限（スタンド規模の制約）の見直し	他法令の技術基準策定と合わせ、規制の再点検及び見直しを実施
22	"	道路法	国土交通省	完成車輸送車両のトンネル通行制限の見直し	指定トンネルの削減は困難 搭載水素の制限数量増加について、国土交通省で検討する
23	"	消防法	総務省	水素供給スタンドとガソリンスタンドの併設の制限の見直し	技術基準の整備で対応可能

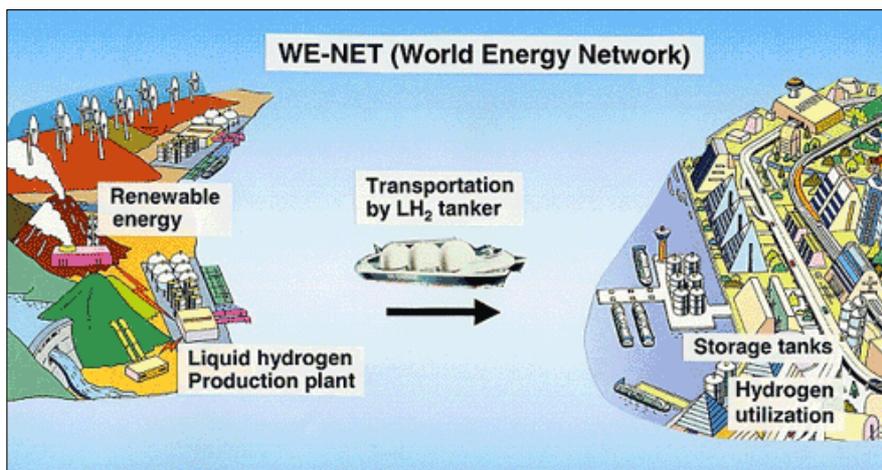
資源エネルギー庁の燃料電池戦略研究会による用途別水素需要予測

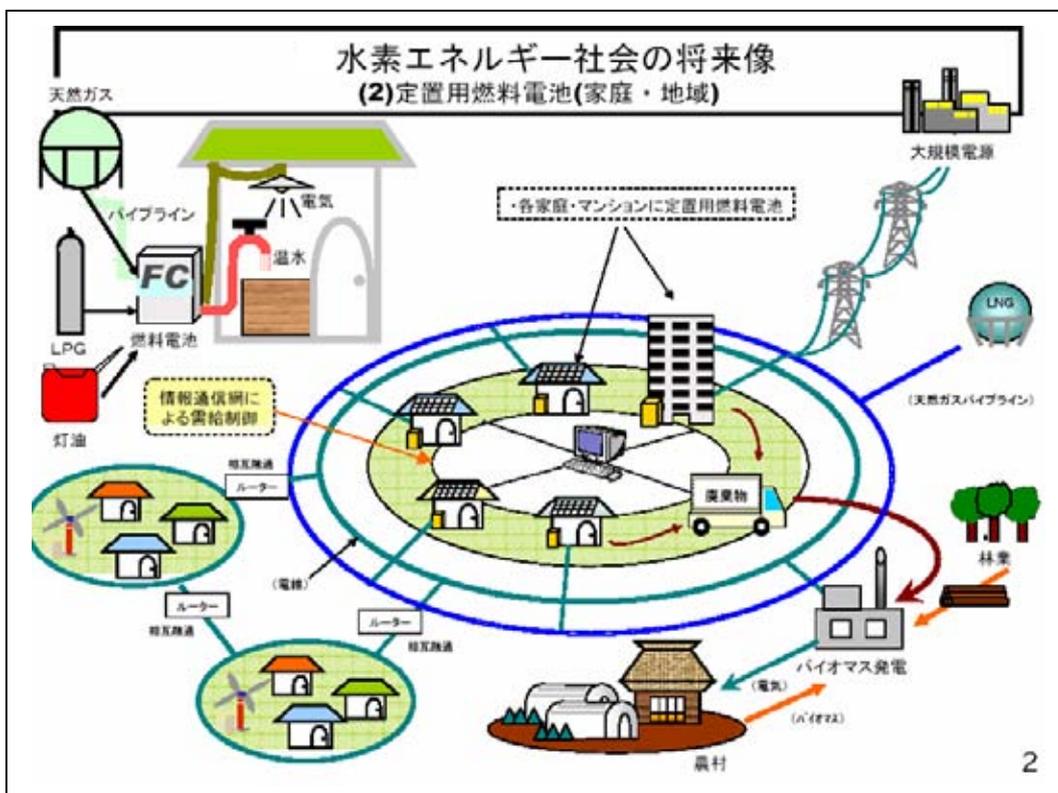
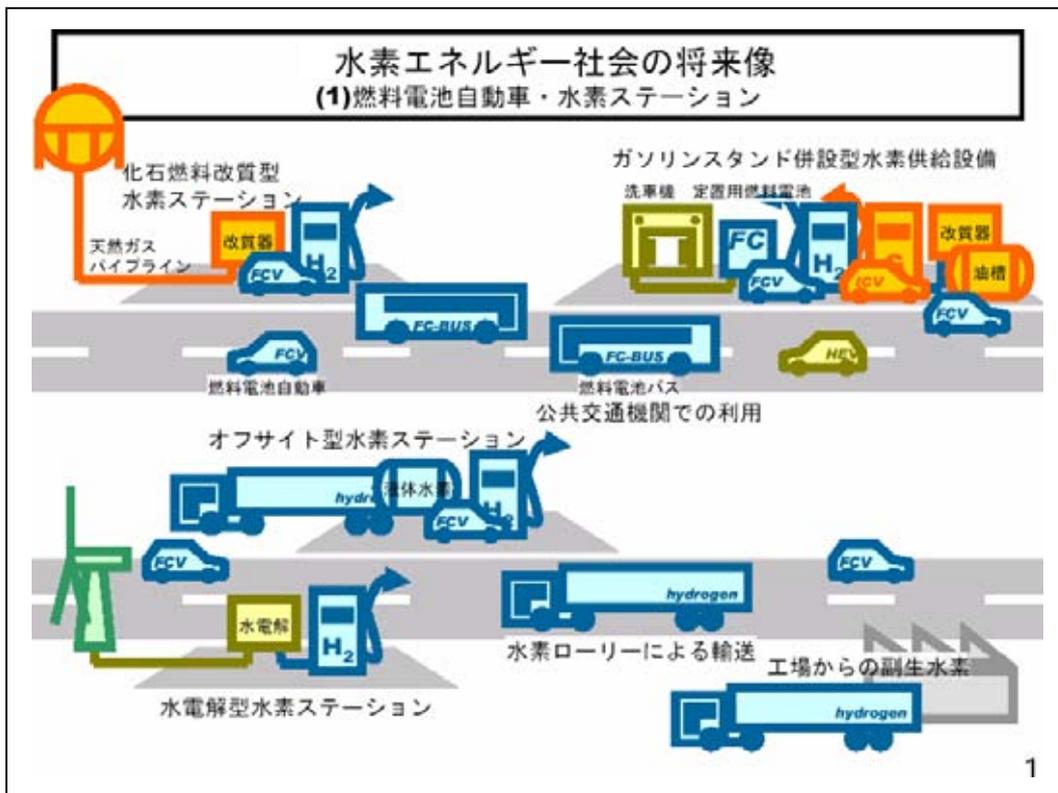
	2010年	2020年	2030年
自動車用燃料電池 台数 水素需要	5万台 4億M3	500万台 38億M3	1000万台 75億M3
定置用燃料電池 設置容量 水素需要	210万kW 73億M3	1000万kW 349億M3	1000万kW 349億M3
発電、ディーゼル及びタービン用		10万kW	210万kW
ポータブル燃料電池用 設置容量 水素需要	20万kW 0.4億M3	50万kW 1.1億M3	80万kW 1.7億M3
全水素需要 年間	77.4億M3	391億M3	496億M3

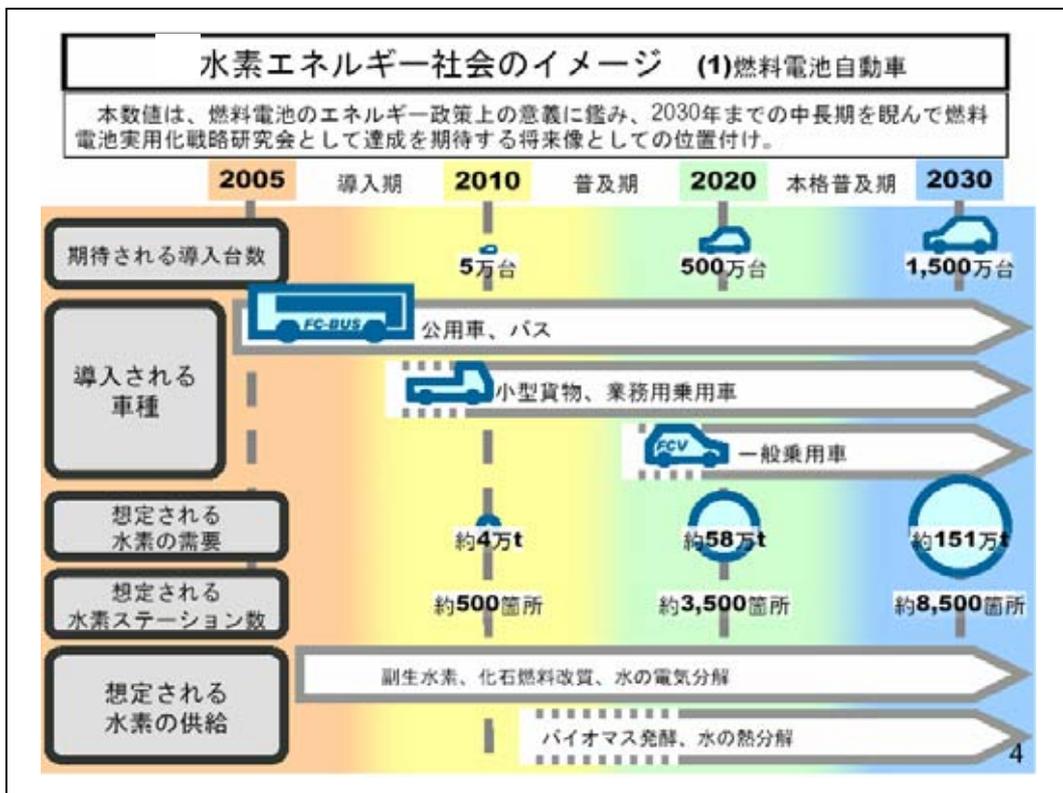
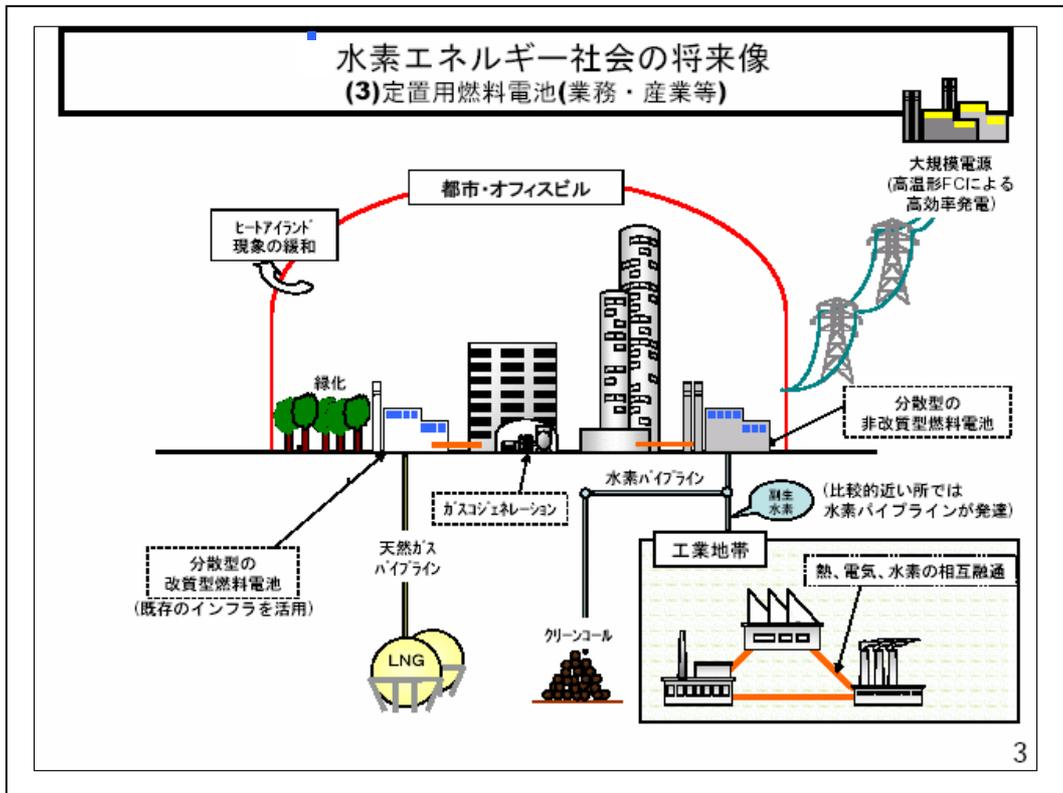
## 日本ガス協会による将来の水素社会のイメージ

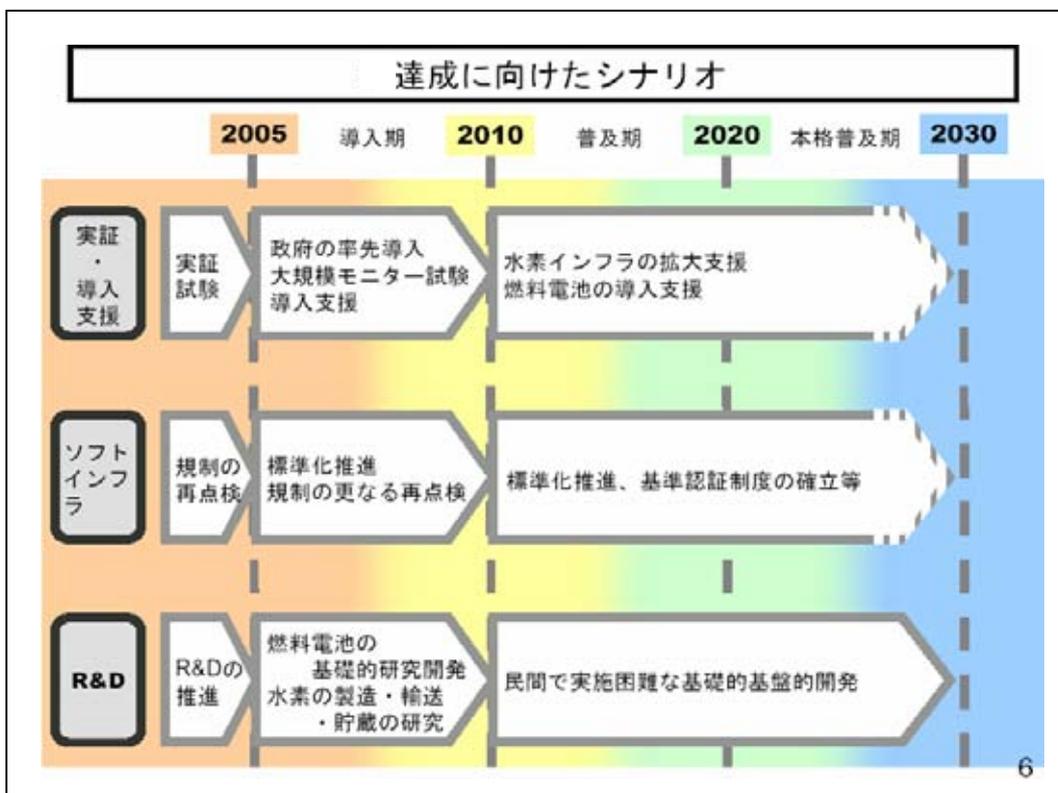
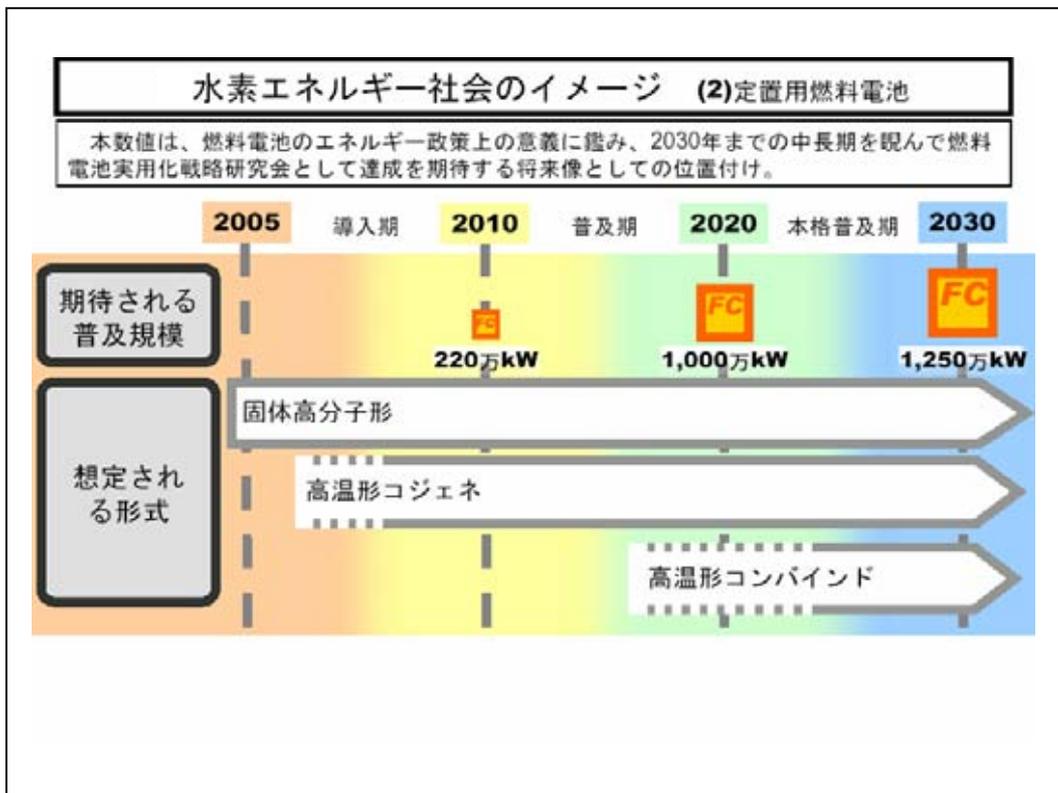


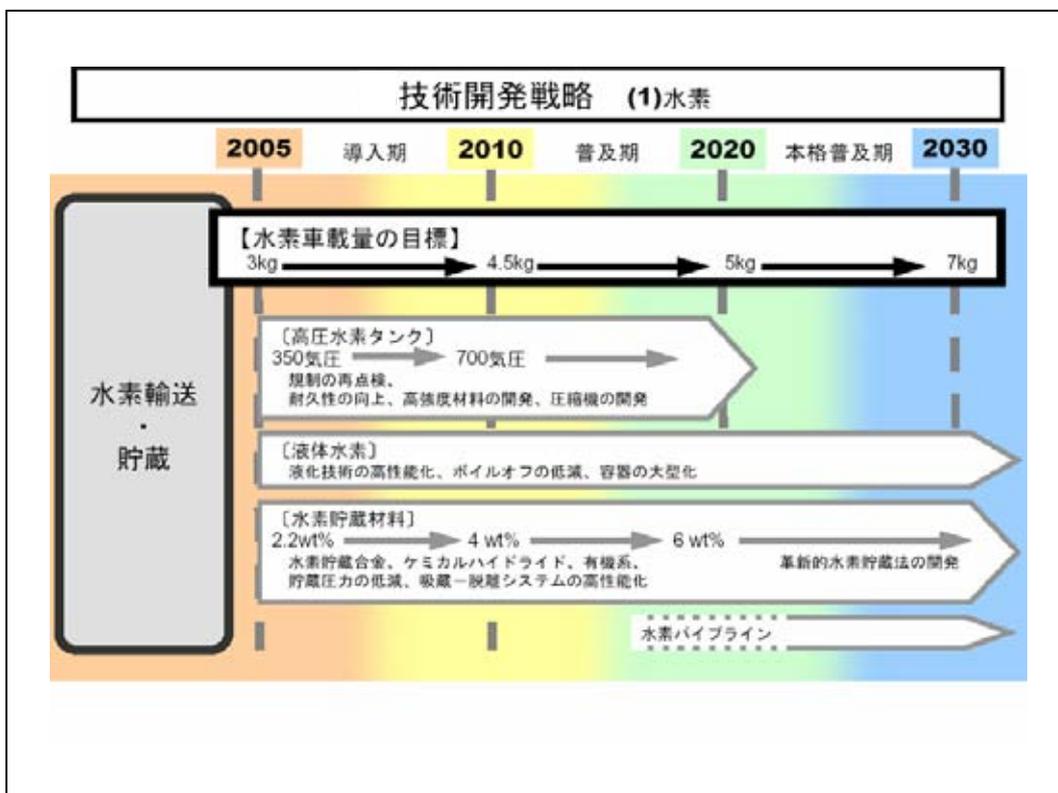
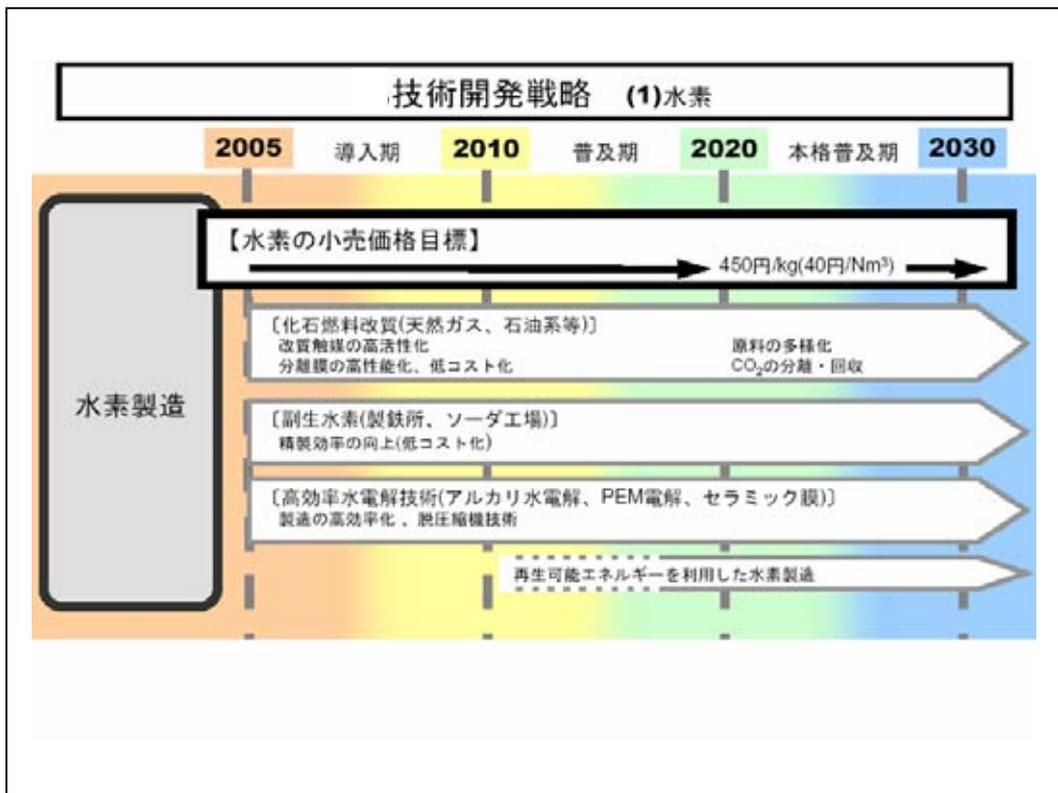
## 日本が世界に誇る水素プロジェクト・WE-NET



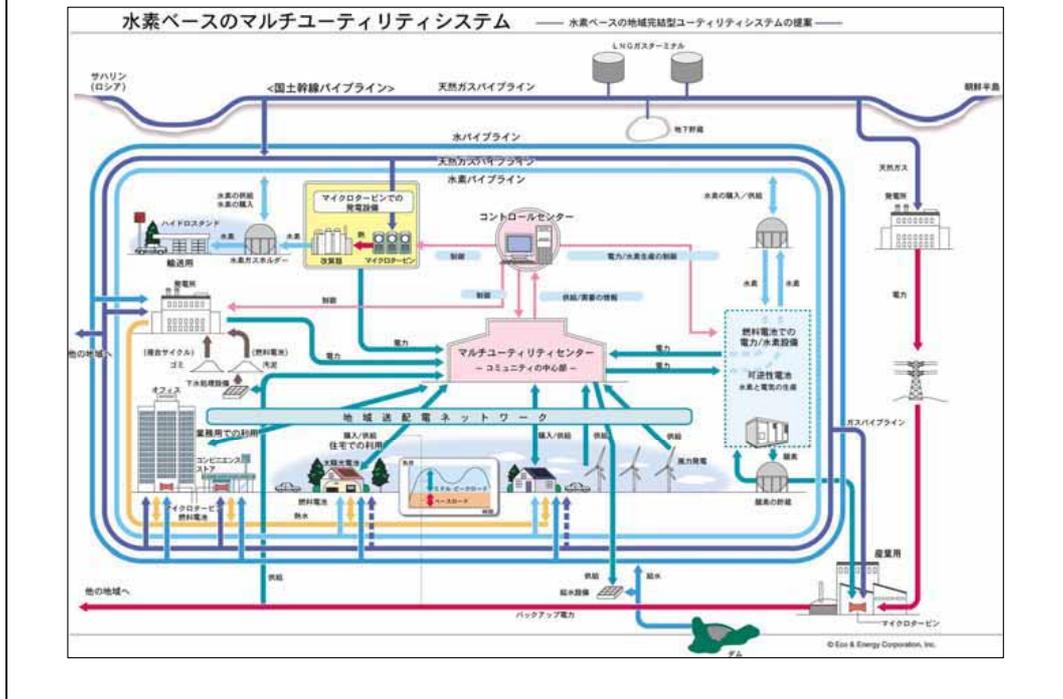








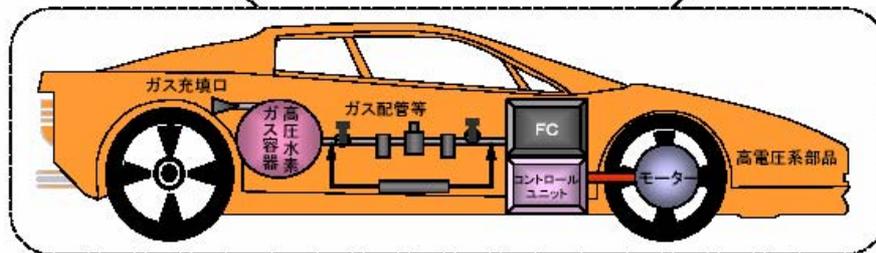
## 平田先生の提唱するわが国の水素化社会のモデル



## 燃料電池自動車の大量普及のために必要となる基準のイメージ

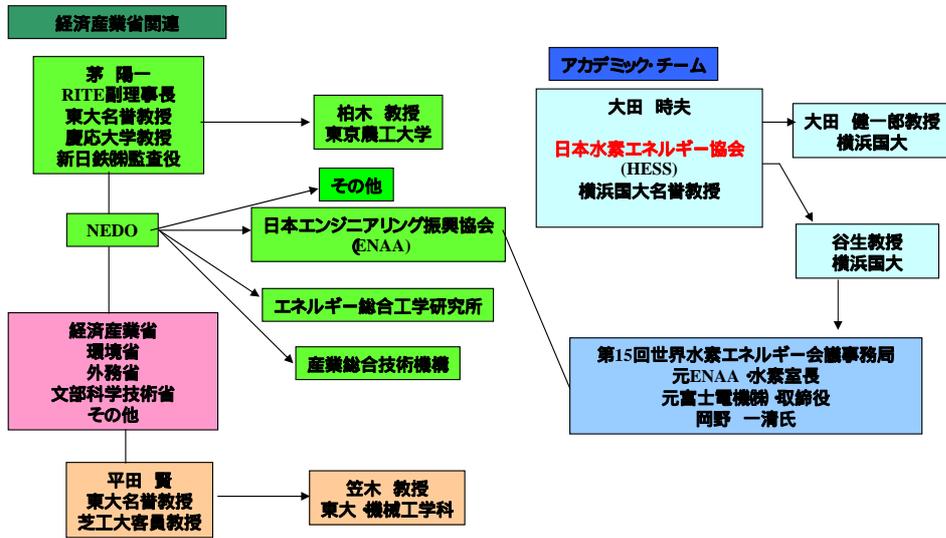
- 個別部品の基準**
- ・ガス配管等の基準
  - ・燃料電池スタック等の高電圧部品等の基準
  - ・ガス容器及び容器付属品等の基準

- システムの基準**
- ◆水素安全システム
  - ◆高電圧安全システム
  - ・水素漏れ警報システム
  - ・絶縁故障時等の警報システム など
  - ・水素ガスの排出量等

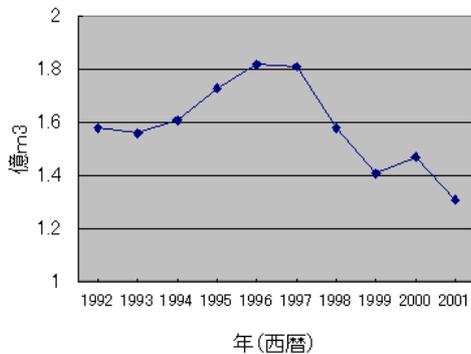


- 車両全体の基準**
- ・水素ガスの滞留防止構造
  - ・衝突時の水素系遮断システム
  - ・衝突時の高電圧系遮断システム
  - ・ガス容器等の取付基準等

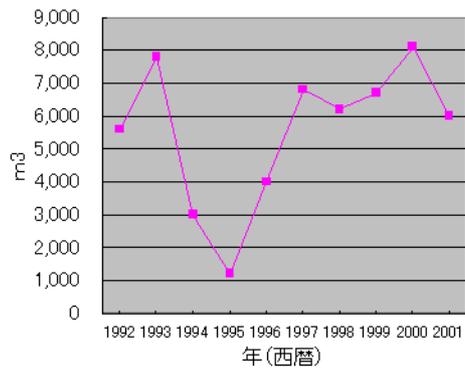
## 日本の水素化社会への移行へのオピニオン・リーダーの一例



我が国の外販水素量の推移

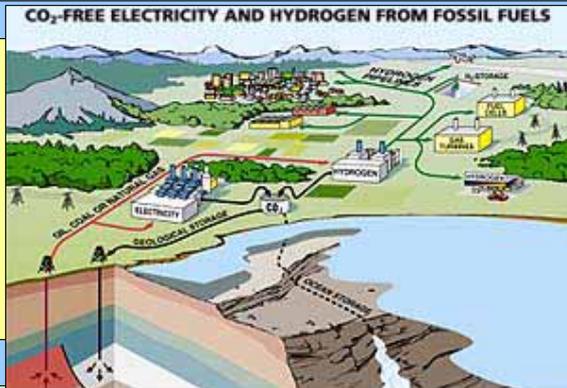


我が国の液体水素需要の推移(m³/年)



**1. ~2010年:**

水素導入量は、最終エネルギー需要の1%  
ローカル大気環境の改善。  
要素技術の開発。  
FCV等の利用技術の有効性実証、実用化  
天然ガス等の化石燃料からの高効率水素  
製造(水素併産IGCC, CO2回収石炭ガス化等  
を含む)  
バイオマス・ガス化。  
水素供給価格は、70~100円/Nm3程度。



Integrated system - Courtesy of Statoil

**2. 2010年~2020年:**

水素導入は、同上の5%程度。  
地球環境問題への対応。  
エネルギー・セキュリティ確保への寄与。  
水素ローカル・インフラの拡大。  
FCV、定置用燃料電池の普及。  
水素燃料熱機関技術開発の開発、実用化  
初期段階。  
太陽光エネルギーの水素への直接変換黎明期。  
水素供給価格は、40~100円/Nm3程度。

**3. 2020年~2030年:**

水素導入量は、同左の10%程度。  
地球環境問題への寄与拡大。  
エネルギー・セキュリティ確保への寄与拡大。  
太陽市場、水素インフラの拡大。  
水素利用の多面的展開と普及拡大。  
高効率太陽エネルギーと水素変換の拡大。  
生物学的水素製造。  
水素供給価格は、40円/Nm3以下。

## 米国の水素化社会へのロードマップ

- Abrahamエネルギー長官、トラックの効率改善ビジョンと水素ロードマップを発表(2002/11/14号)
- エネルギー省(DOE)のSpencer Abraham長官がミシガン州で開催された世界輸送フォーラムにおいて、「21世紀トラック提携の新ビジョン(New Vision for 21st Century Truck Partnership)」と「国家水素エネルギーロードマップ(National Hydrogen Energy Roadmap)」を発表。

## 2002年2月に発表された米国の水素基盤整備ロードマップ例

アクションとスコープ	主要な成果物	研究開発スケジュール	中心機関と支援組織	次のステップ
実証プロジェクトを通じて知名度を獲得	今後の目標となるビルディング、概念、用途の確認 資金調達計画、教訓、費用便益分析の立案	既存技術を対象とする短期プロジェクト	DOEが中心機関となり、官民パートナーシップが支援。	2002年9月までに協力プロセスを設立。 製造業者の参加促進。 提案要請の発行、技術移転策の策定。
教育・訓練・普及プログラムの策定。	利用可能資源の目録、目指す教育計画の立案、成功例	短期、中期、長期	上記、および、米国燃料電池委員会	全米水素財団のビルディング連合に参加。
燃料電池と電力系統との連携を認める法案の可決。	連携技術計画およびインセンティブの策定。	短期	同業組合、全米農村電気協力協会、電気エレクトロニクス・エンジニア協会(IEEE)。	現行活動の確認。 現状の査定評価。 議会への適切なメッセージを確認。 ロビー活動。
燃料電池の為の市場ベースライン創設。環境面、非エネルギー一面での価値評価。	既存技術の目録、技術・市場・機会を明確にする燃料電池性能データベースの策定。	短期	市場調査機関、国立再生可能エネルギー技術研究所、DOE傘下国立研究所。	燃料電池をDOEの技術特性に追加するよう要請。
規約(Codes)基準の策定。	規約の更新、担当者の教育、ASME・米国防火協会等の様々な燃料電池基準の統合。	進行中	DOE傘下の国立研究所。	燃料電池サミット
マーケティングと広報。	早期採用者の確認。 インセンティブ創設。 情報の共有。	短期	ASME, IEEE	相互連携基準。
ビルディング向けの命令統制システム策定。	プロトコルおよびシステム構成基準の策定。 既存構造の調査。	短期	DOEの分散型エネルギー資源計画。	支援予算の確保。

**短期 = 2002年～2005年、中期 = 2005年～2010年、長期 = 2010年-2020年**

## Future Car Congress 2002



### Fuels and Fuels Infrastructure to Meet New Demands: The National Hydrogen Energy Vision and Roadmap Process



June 4, 2002

## 米国の進める水素社会への移行戦略

京都議定書の批准メンバーから脱退した米国にとって、**燃料電池は極めて重要な技術**である。技術力によって地球温暖化問題に取り組む姿勢を示すことで、脱退した批判をかわすとともに、**経済・エネルギー安全保障上の観点からも、燃料電池の研究開発に関連した協力体制を強化している。**

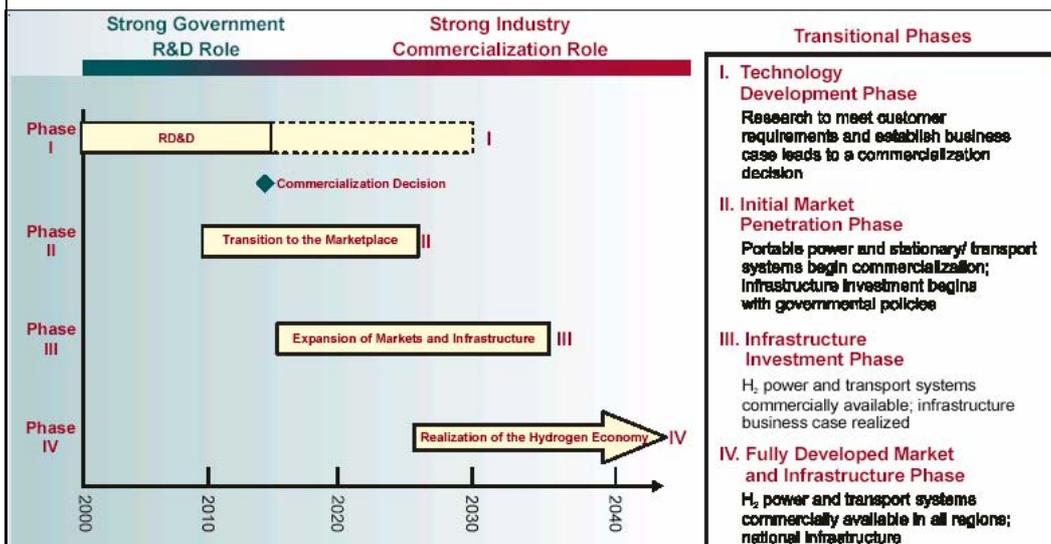
2003年3月には、**水素・燃料電池に関わる技術開発、基準・標準化、情報共有**という目的「**水素経済社会のための国際的パートナーシップ**」を打ち出した。**参加国15カ国 + EU**で協力体制の枠組みを構築している。

また2003年6月には、**EUと、燃料電池付属条項を含む協力協定 (US-EU Non-nuclear Energy Cooperation Agreement)**に署名し、**実施することに同意している。**

1997年に最初に策定された燃料電池付属条項は、両者が欧州委員会の様々な研究機関と共同研究を開始するための法律上、契約上の枠組みを整備するもの。

さらに、**日本とは2004年初頭に共同声明を発表した。**内容としては、両国間での情報共有をはじめとして、**次世代原子力技術開発に日米共同で取り組むため、交渉中の二国間研究開発の取り決めなどを早急に締結することや、気候変動問題を解決するための相互連携を強化することでも合意している。**

## 米国の水素化社会へのロードマップ

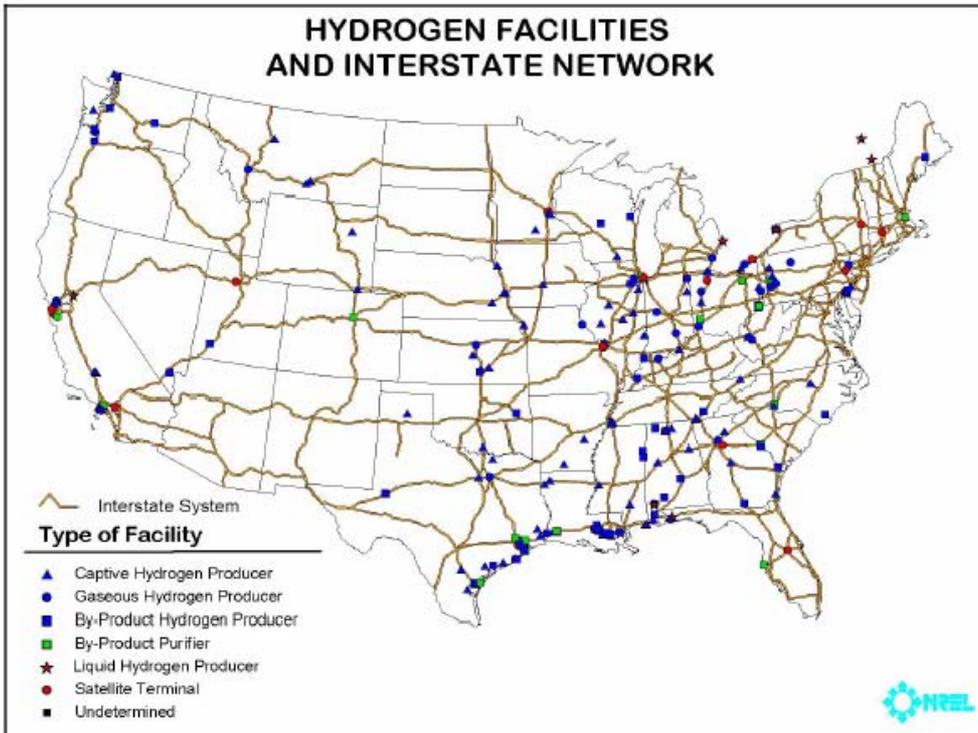


*The timeframe is long and the investment is large to develop a hydrogen and transportation market that reduces our Nation's dependence on foreign sources of energy while minimizing environmental impacts.*

# Canadian & U.S. Natural Gas Pipelines



## HYDROGEN FACILITIES AND INTERSTATE NETWORK





## ジェレミー・ルフキンの“水素エコノミー”から

**燃料電池によって、百年続いた内燃機関の世の中はついに幕を閉じると確信している」(フォード社社長 ビル・フォード)**

水素燃料電池車への移行は、計り知れぬほど重大な影響をもたらす。現在、乗用車とする自動車は世界で**7億5千万台**も走っており、その数は今後25年で倍増すると見られている。どの車もまだ化石燃料で走っている。アメリカだけを見ると、石油の年間消費量の**54%**は交通機関に使われている。世界では、一次エネルギーの二割以上が交通機関の燃料に消えている。そのうえ、国際エネルギー機関の推定によると、**世界の二酸化炭素排出量の17%は道路交通で石油がもやされるのが原因だ**と推定されている。

(中略)

新しい水素燃料電池時代には、**自動車自体が出力20キロワットの動く発電所**となるのだ。一般に乗用車は、一日の**96%**は駐車している。その時間を利用して家庭や、オフィスや、商業用の双方向電力ネットワークにつなげば、電力系統に高品質電力を提供することができる。売電で得た収入で、車のリースや購入の費用をまかなうこともできる。車で発電した電力を電力系統に戻して売るとドライバーが何割かいれば、アメリカ国内の発電所はあらかた不要になる。水素燃料電池車が2億台あれば、その発電量は国内の全発電所の4倍にもなるからだ。

(中略)

また委員会(注:米国内閣エネルギー省 水素政策審議委員会)は、当初はオンサイト用の小型水素製造装置、つまり天然ガス・パイプラインにつないだ水蒸気改質器が電力系統に接続した電解装置を、各地のガソリンスタンドに設置して水素を製造・貯蔵できるという、トーマスたちと同じ見解を示している。燃料電池車の台数が増えたら、大規模な集中型プラントを建設して水素ガス・パイプラインで燃料ステーションに水素を送るか、小型のオンサイト装置で水素を製造するかして、引き続き消費者の需要に応じていけばいい、と委員会は提言している。

1999年1月13日、ドイツは他のヨーロッパ諸国に先駆けて、ハンブルグ市に商業用の水素補給ステーションを開設した。オープニングセレモニーで市長のオットー・リンデは、水素燃料自動車によってハンブルグのような都市の生活の質がどれほど向上するか考えてほしい、と市民によびかけ、感慨を込めてこう語った。

通りは静かになります。車が走り過ぎて、タイヤの音がして一陣の風を感じるだけです。排気管からの騒音はありません。街の空気はきれいなようになります。排気ガスがほとんど出ないからです。歩道を散策する人々が顔をしかめることも、旅行者が往來の悪臭を嫌ってカフェに逃げ込むこともありません。夕暮れどきの一杯を屋外で楽しめるようになります。

**ロッキーマウンテン研究所のエイモリー・B・ロヴィンズとブレット・D・ウィリアムズは、燃料電池用の水素を確保するのに、少しちがったアプローチを提案している。**水素燃料電池車への移行の初期段階では、家庭やオフィスの定置型燃料電池ユニットの改質装置から水素を得るといふのだ。自家用の燃料電池ユニットを設置する建物の数は、今後数年間でますます増える。だから、オフピークで発電能力に余裕がある時間に、家庭やオフィスの燃料電池設備を使って水素を製造すればいい、とふたりは言う。

## ジェレミー・ルフキン著“水素エコノミー”から

一般に「**分散型電源(Distributed Generation)**」とは、システムの一部として、あるいは独立して、最終需要地(工場、民間企業、公共施設、住宅区域、個人の住宅など)またはその近くに設置される小型の発電設備を指す。

現在、**最も人気のある小型発電技術は、ディーゼル燃料が天然ガスで動くシプロエンジン**だ。化石燃料を原料とするガスタービンやマイクロタービンも、小型発電市場でシェアを拡大しつつある。しかし、**ゆくゆくは水素燃料電池が主流となり、分散型電源市場を席巻する**との見方が、この分野の専門家のあいだでますます強まっている。燃料電池はユニット販売されるため、ユーザーは自分の発電需要にあわせてシステムを組むことができる。将来もっと電力が必要になれば、新たに燃料電池ユニットを買い足せばよく、追加コストもわずしかかからない。

(中略)

**分散型電源を、業界で言うピークカットに利用する消費者が増えている。**電力の価格は、需要や発電設備の稼働状況によって刻々と変化する。この変動をもとに、オフピーク料金、オンピーク料金、ショルダー料金といった、季節や時間帯で分けた料金区分が設定されている。需要の大きいピーク時、電力会社は旧式で効率の劣る設備もやむを得ず稼働させることが多い。その追加コストは、電力料金の割り増しとなって消費者に転嫁される。**分散型電源システムがあれば、消費者はピーク時に商用電力系統から自家発電に切り替えて料金を軽減できる。**

将来は、インターネットや、電気自体に埋め込まれたデジタル信号を通じて、燃料電池が価格をモニターできるようになる、とジャーナリストのピーター・フェアリーは「テクノロジーレビュー」誌に記している。たとえば、リアルタイムで入ってくる天然ガスと電気の価格情報を燃料電池が分析し、分散型電源に切り替えたほうが安くついたら、マイクロ発電ユニットのスイッチが自動的に入る、という具合だ。

民間企業と住宅所有者のほとんどは複雑なエネルギー・ビジネスに通じていないので、ウィリアムズ・インターナショナル社のような新しいタイプの仲介業者が、総合的なサービスプロバイダーの役割を果たすようになる。ウィリアムズ・インターナショナルはオクラホマ州タルサに本拠を置くエネルギー企業で、すでに全米の天然ガス供給の二割をパイプラインで移送している。同社は、「すべてがそろったエネルギー・サービスをパッケージで提供している。それには、マイクロ発電ユニット購入のための融資や、電力系統を介した電力供給、ピークカットへの切り替えなどを判断するための消費者への手助けが含まれる」

経済産業省が2002年7月に発表した「**燃料電池実用化 普及に向けた取り組みの現状**」によると、システム効率 40% (HHV、受電端)以上、総合効率 30% (HHV)、体積150L/kWh以下、耐久性 4万時間以上、システム価格 30万円/台以下等であり、**普及時期の目標は2010年以降とされている。**

これに対して、メーカーが掲げている当面の目標は、システム効率 32% (HHV、インバータ効率 90%、補機効率90%として)、総合効率: 70% (HHV)、耐久性 :10年 (4万時間)、システム価格 30万 ~ 50万円/kWh。

## 米国調査会社ABIの調査報告(2004年)

- 一般消費者によって使用される燃料電池車の総数が2015年までに100万台に達すると米調査会社ABIの最新英文市場調査報告書が伝えている。
- 燃料電池車は水素燃料インフラ構築に力を入れている米9州とカナダ2州で普及するとしている。
- ABIエネルギー調査部門のディレクターであるAtakan Ozbek氏は「水素利用による燃料電池展開問題は、昔から鶏が先か、卵が先かの議論である。しかしこの問題も水素燃料電池部門のすべての主要ステークホルダーによる精力的でたゆみない努力で克服できる。水素燃料インフラが進展するためには、米、カナダ両政府が決定版となるしっかりしたロードマップを提供することが不可欠である」と指摘する。
- 健全な水素インフラに向けての合理的な道筋について合意を形成することも世界ベースで行わなければならない。しかしそれは、すべての世界市場が画一的な水素燃料インフラを構築・維持することを意味しない。長期的水素インフラネットワークを展開するためには政治的、社会的に受け入れられるかどうかだけでなく、技術的、宗教的特徴も考慮しなければならない。
- Ozbek氏はさらに「カリフォルニア州では2015年までに燃料電池車のために2千ヵ所の水素燃料ステーションが必要になるとABIは予測する。米、カナダ両政府は、燃料電池部門全体のための財政的優遇措置を規定し、水素燃料インフラの早期導入を促し2015年までに商用車と都市圏における一部の乗用車が燃料電池に転換できるようにすべきである」と提言する。
- 技術、法規、規則、また政治的介入など、取り巻く状況が不透明なことから、燃料電池の普及がどのようなルートを通るかを予測するのは困難である。過渡期のルートとして最適とされる戦略は依然として不確かな点が多くあり現時点での実現可能性は薄い。



# Hydrogen Highway

調査





カリフォルニア州のシュワルツネッカー知事が宣言し、カナダからカリフォルニアまでのHighway沿い130km毎に水素供給ステーションを設置しようというもの。



**AirGenの燃料電池発電装置**  
 米国のAirGen社は、世界で初のポータブル室内発電装置を発売した。停電時などのバックアップ電源としての機能を持ち、ガソリン発電機と比べて、有害な排出ガスはないので室内でクリーンに静かに使用できる。

日本・米国・欧州などの15カ国は「**水素経済のためのパートナーシップ**」(IPHE)をワシントンで開催し、水素エネルギーの普及や燃料電池の技術開発協力を行っていくことで合意した。基準・規制の国際統一に向けて、エネルギーや自動車などの民間企業を加えて国際間の連携をめざす。

IPHEは米政府が創設を提案していたもの。米国は、地球温暖化防止のための京都議定書に批准しなかったことから、独自の温暖化防止案として、開催をよびかけていた。**今後、15カ国は、水素エネルギー利用のための規格・基準の国際統一をめざすことになる。**

ただ、米国は京都議定書に反対することで、地球温暖化防止に向けた日欧などの国際的な動きに水を差しただけに、IPHEで各国の足並みがどこまで揃うか、不透明だ。**また、次世代クリーンエネルギーの本命とされる燃料電池分野では、日本の自動車メーカーなどが先行しているだけに、機密漏洩の危険もありそうだ**

**IPHE Vision**



"The vision of the International Partnership for the Hydrogen Economy is that a participating country's consumers will have the practical option of purchasing a competitively priced hydrogen power vehicle, and be able to refuel it near their homes and places of work, by 2020."



Secretary of Energy Spencer Abraham,  
 April 28, 2003

これからの時代は燃料電池、と言われて久しいが、水素を充填することの困難さから、やはり無公害よりも低公害が基本」という路線になりつつある。今年のミュンヘン主催のピエンダム（総費を競う大会）でも、ディーゼルの用いたハイブリッドの健闘が目立った。

しかし、アメリカでいち早く水素ステーションの設置に踏み切ったホンダでは、家庭で比較的簡単に水素を充填できる機械を開発した、と伝えられ、これがアメリカで大きな反響を呼んでいる。

「ホーム・エナジー・ステーション」と名付けられたこの機械は、普通の電気プラグを使い、場所も4平方メートルを占める程度のコンパクト型。ホンダ製の燃料電池車を動かすのに十分な水素を誰でも充填できる、という。また、この機械は家庭での電気やガスに変わるエネルギーとして利用することも念頭に置かれている。

現在アメリカでは、カリフォルニアを中心にトヨタとホンダがそれぞれ政府機関、大学研究室などに燃料電池車をリースしている。ハイブリッドでも市販車を有する2つのメーカーだけに、「どちらがより先端か」ということは注目されている。

技術的にはトヨタ優位、という見方が強いが、水素ステーションなど露の技術をしっかりと固めるホンダをより高く評価する声もある。

現在カリフォルニア州 トランスにあるアメリカンホンダの本社に設置され、実用テストが行われているホーム・エナジー・センターは、燃料電池の開発の上でのひとつの大きな指標になる、と期待されている。



## 米国・水素エネルギー協会が考える水素社会へ移行のための役割

- ・ **<米国政府>**
- ・ 米国政府は、水素供給ステーション、駐車場、橋梁、トンネル等での工事に必要な許認可の支援を行う役割を担わなければならない。さらに加えて、国は、保険会社に対し、水素燃料プロジェクトに保険付与することを奨励する積極的な役割を担わなければならない。最後に、国は、クリーン燃料車使用を促進する税金面でのインセンティブを提供することにより、コスト障壁を削減することが可能である。さらに、国は、幾つかの代替燃料車と水素車を同等に扱い、水素燃料電池車の普及のインセンティブを高めることが可能である。
- ・ **<地方政府>**
- ・ 地方政府は、米国水素エネルギー協会(NHA)を通じ、産業界とともに開発した水素関連基準・標準類のようなツールを用い、国や地方政府と共同して、諸許認可事項での重要な役割を演じることが出来る。
- ・ **<産業界>**
- ・ バリュー・チェーンのあらゆるレベルで水素技術の商業化を促進するために、産業界は短期、中期、長期的観点から多面的なアプローチを行わなければならない。生産から貯蔵、そして安全や輸送から末端利用を可能とするまで、直ぐに出現するエネルギー・インフラの統合部分として、水素の将来性を、現在化石燃料が占めている立場に近いものとすべきである。水素用市場を規定する際に、産業界は現状を分析し、そのユニークな将来性からの成長分野を決定し、そして水素の商業化を促進するシステムや要素の導入や継続した開発を含む、新規および既存市場の開発で現実的な青写真を持つ中期～長期計画を策定しなければならない。
- ・ **<学会>**
- ・ 学会の重要な役割は、水素システムに関する高校や大学教育を通じた一般大衆の認知や許容を増幅させ、供給地点での単純な価格からずっとかけ離れた化石燃料の実際の価格について一般大衆に告知することである。さらに、学会は将来の発電に関する長期的技術課題を、研究開発を通じて解決することが可能である。これは、政府や産業界の支援を得て達成されるものと思われる。

**ダコタ州～シカゴ風力 水素パイプライン**

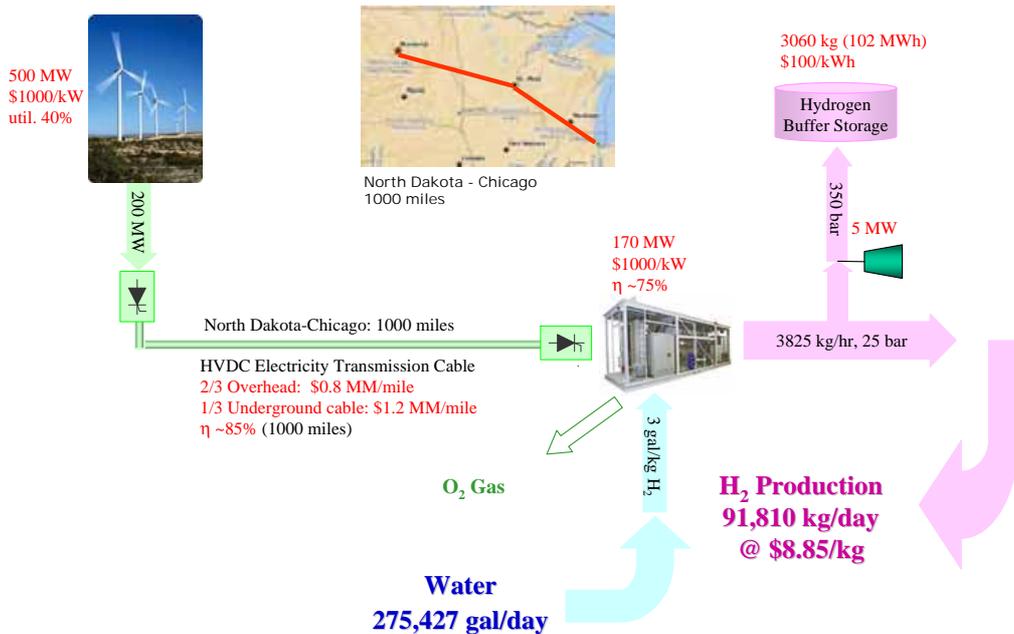


**風力発電による水素製造 + 燃料電池での貯蔵、発電 + 水素パイプライン輸送構想**



By: Dr. K. O'Hepp  
Date: 20, 1999

**HVDC Transmission (ND-Chicago) – H<sub>2</sub> Production**



## 欧州の水素化社会への活動例

- 欧州統合水素プロジェクトなど

## EUの水素 燃料電池技術会議の新設

欧州連合 (EU)の欧州委員会は2004年 1月20日、**欧州水素 燃料電池技術 会議**を設置した。EUが化石燃料を基盤とする社会から水素を主要エネルギー源とする社会へスムーズに移行するための戦略を策定するのが目的。

同会議は、EU域内の公的機関や企業のパートナーシップで運営される。同会議の諮問委員会には、EU加盟各国から、BP、シェル、ルノーなどの企業を含む、**水素 燃料電池技術分野の主な関係者35人が参加する。**

1月20日から21日にかけて開催された第1回会合では、EUが水素社会へ移行するために必要な、**輸送分野での利用、発電分野での利用、水素インフラ**という3つの課題が提言された。

EUでは、これまで加盟各国で、水素の燃料利用や燃料電池に関する調査や技術開発が進められてきた。だが、**各国の研究機関や企業が個別に行っており、重複や無駄が多かった。**そこでEU全体として効率的な調査や技術開発を進めるため、同会議を設置した。

EUは現在、域内で使用する石油の50%を輸入に頼っており、2025年には輸入量の割合は70%以上に増えると予測されている。欧州委員会は、**水素社会への移行は、EUのエネルギー安全保障を強化すると同時に、大気汚染を改善し、温暖化の防止にもつながると期待している。**

また、ひと足早い水素社会への移行で、**同分野で国際的なリーダーシップをとりたい**考えた。今後は、同会議のもとにワーキング・グループを設置し、作業を進めていくという。(日経エコロジー)

## EUのNatural-hyプロジェクト

欧米では、既に多くの天然ガス用パイプラインが敷設されており、もし水素がこのネットで併給出来れば天然ガス単独よりもCO<sub>2</sub>やNO<sub>x</sub>、VOCs(揮発性有機化合物)の排出を削減し、水素利用開発を助長することになる。

現存の天然ガス給配網への水素の添加が、天然ガス車用及び定置型装置用の両面で研究されている。天然ガス車への水素添加ガスの利用研究はモントリオールでテストが実施されている。また水素添加量に対するNO<sub>x</sub>、VOCsの排出低減効果は比例関係を遙かに上回ることが明らかにされている。

さらに、オランダで政府支援のもとに「CO<sub>2</sub>低減化計画」と呼ばれる研究が行われている。オランダのガステックNV社は、大きな改良なしに如何に多量の水素を添加するかについてフイージビリティー研究を実施している。このプロジェクト(Naturalhy)では、天然ガス/水素ブレンドに対して短期目標として従来型の暖房用、料理用器具の使用や、プラスチックパイプによる給配、ブレンドガスに対する従来型メーターの使用などを検討している。長期的目標としてはミックスガスをパイプラインで給配し、末端利用者の利便性を損なうことなくCO<sub>2</sub>排出を減らしていき、その際の現存インフラにおける限界に関する情報を得る。

また、既存の小規模天然ガスグリッドを利用して、使用場所の近くで分離膜などを用いて天然ガスから水素を製造することもできる。これによって用途幅が拡大し、大規模パイプラインによる本格的な水素エネルギー経済確立までの移行期の役割を受け持たせることができる。

なお、米国では、1970年代に同様の目的で、ハイトン(hydrogen + methane = hythane)(GHI社の商標登録)プロジェクトが各種実施された。現在、Sunline Transit社がこの実験プロジェクトを実施中。

## BPの考える水素社会を目指す政府の役割

- 燃料電池車の初期の利用者は、燃料コストがかさむ大型車は避ける傾向があることを確認すること。
- 完全な水素供給チェーンに則った、インフラストラクチャーの建設は、そのコストに応じて補助を行うこと。
- ゼロ・エミッション自動車を購入する顧客たちのために、長期的に燃料税を取らず、購入意欲を高めること。
- トータル・ライフ・サイクルに亘って炭素の排出の少ない自動車や水素燃料の優遇のための長期的な戦略を構築すること。
- 地方規制当局に認可権限を与え、規格・基準の制定を支援することを確約すること。

## 2004年の水素燃料電池産業の活動実態

### 欧米と日本の開発状況

### 2004年の世界の産業界での燃料電池技術の開発活動

企業間では同業種だけでなく業界の強みを生かし、**垣根を越えた連携体制の研究開発**が盛んに行われている。

**独BMWと米ゼネラル・モーターズ(GM)**は、**液体水素燃料の供給装置の共同開発**を行っている。日本にも自動車メーカーやサプライヤーなどに参加を呼びかけ**世界標準規格の確立**に乗り出した。

**独ダイムラー・クライスラー**は、**燃料電池車の普及促進を目指し、2004年までに日、独、米、シンガポールの4カ国で合計60台を対象にパートナーシップ契約を締結する方針**を打ち出している。

日本では、**東京ガス、プリヂストンと契約を締結**した。契約の内容はダイムラー・クライスラー日本が車両を提供し、パートナー企業は車両を日常的に使用することによって得られる性能や信頼性などの情報をフィードバックする。サービス面では、三菱自動車と情報を共有する。契約を締結した企業も、燃料電池を実際に活用することで、商品企画や研究開発を推進することができる。

また、蓄電池業界の**YUASAと日本電池は経営統合**し、燃料電池分野へ本格的に進出する。従来は個別に進めてきた燃料電池開発についても、統合によって新たな展開が期待できる。同社は**松下電器産業とニッケル水素電池の開発、二輪大手ヤマハ発動機と二輪車用燃料電池セルスタックの共同開発**を行っている。

## 2004年の各国政府、産業界での水素共同プロジェクトの実態

政府間、企業間だけでなく燃料電池を取り巻く多くの関係者が参画することによって、現実化や効率化に向けた一層の研究開発に弾みがつく

**米国、英国、カナダでは、低炭素技術同盟 (Low Carbon Technology Alliance) と呼ばれる政府と民間のパートナーシップによる取り組みが生まれている。**これは、今まで各国の諸機関で知識の共有がないために、地方自治体、企業、NGOなどのプレーヤー間での重要情報も共有できていないという反省に基づき設立されたもの。

また、2003年5月には、カナダで水素と燃料電池の国際会議とトレードショーが開かれた。世界の水素に関連する企業や機関、国のメンバーが集まって広範な技術に関する交流と展示をしたもので、世界から700人以上が参加した。そこから、**カナダのウィッスラーとバンクーバーを結ぶ水素スタンドを設置する燃料電池ハイウエー構想、米国カリフォルニアからバンクーバーを結ぶ燃料電池ハイウエー構想などの大規模な計画の発表、水素経済の社会的効果や日本を含む各国の水素研究開発の状況についての報告が行われた。**

国内では、新エネルギー開発に取り組む**中部電力、トヨタ自動車、三菱重工業、京セラ、日本ガイシ、NTTファシリティーズ、日本環境技研の7社と愛知県、および同県で開催予定の環境博覧会「愛地球博」**を主催する「2005年日本博覧会協会」が、コンソーシアムを設立している。**燃料電池発電と太陽光発電のハイブリッド化による大規模な地域発電システムの実用化や、世界でも初の試みである複数の新エネルギーと制御システムを組み合わせた実証研究などを行うことが目的である。**

## 燃料電池市場の本名は各国の住宅産業

現在、国内の自動車普及台数は約700万台で、仮に1%の自動車がピーク時間に電力を供給したとしても、**発電能力は3500~7000万キロワット**にもなり、東京電力の夏場のピーク需要を上回る規模となる。電力インフラの最適化が進み、時間帯によって電力の値段が大きく変わる状況になれば、ユーザーのピーク時のコスト対応という意味で、あながち非現実的な考え方でもないようだ。

現状では、まだ燃料電池のコストも高く、技術的な課題も多いが、熱と電力を組み合わせる扱い、**省スペース、長寿命を実現するためには、日本の総合家電メーカーの持つノウハウが大きな競争力がある。**アメリカの燃料電池ベンチャーが日本のメーカーと提携を結び、共同開発を進める理由には、**製品化するための日本メーカーの総合力があげられる。**Balac社と荏原パワード社、United Technologies社傘下のUTCFC社と東芝(東芝IFC)、PlugPower社とクボタ丸紅、などがその例。日本勢では松下電器、三洋電機がリードし、トヨタ自動車、三菱電機が続く形のような。

住宅向けに設置する際には**9万時間の連続運転が要求される。**耐久性に関しては、燃料電池のセルの劣化、天然ガス改質による耐久性の劣化、インバーターの耐久性などが課題となる。PEFCは固体の電解質を利用しているため、**理論的にはメンテナンスフリーにすることも可能。**インターネットなどによって、**家庭の燃料電池の運転状況を遠隔モニタリングし、安全確認と制御を行うようなサービスを提供することも可能**と思われる。

天然ガスを改質する方法は、既存のインフラを活用出来る点でメリットが大きい、一方で改質装置によるデメリットもある。一つは**燃料電池が発電するまでの起動時間で、現状では40分程度かかってしまうが、この原因は改質装置にある。**直接、**水素を供給して発電する場合には数分で起動**できる。改質装置には、天然ガスの硫黄分を除去する触媒など、定期的にメンテナンスが必要な部品もあり、耐久性、コスト面からも直接水素を供給できることが理想である。

太陽電池を設置する家庭も増えており、多様なエネルギー源をつまみ合わせて、家庭内での需要と供給のバランスを最適にコントロールする必要もある。**究極的には、晴れた日の太陽電池の発電から水素を生成、ピーク時の家庭用燃料電池を利用したり、余剰電力を地域の水素ガスステーションに提供するなどのエネルギー利用サイクルが実現することも想定出来ると思われる。**

## 矢野経済研究所による水素自動車の普及予測(2004年)

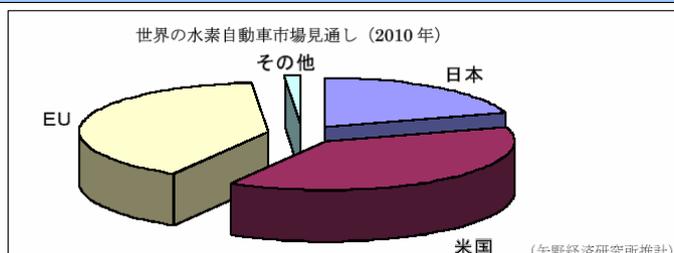
矢野経済研究所は、水素自動車の現状の技術動向と2010年に向けた将来展開についてまとめた。調査は自動車メーカー、関係研究機関、関連業界団体、政府系研究間に対して、2003年9月から10月にかけて面談や電話などで調査した。

この結果、水素自動車の市場投入は2005年で、2008年以降には量産化が進展し、2010年には世界全体の水素自動車の普及台数は4万台に達する。

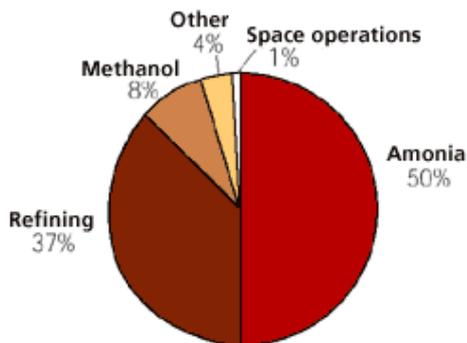
水素自動車の普及は水素インフラの整備状況に応じて、地域別で異なる動きが出る。このため、世界的にはドイツを中心とした欧州で先行、米国はカリフォルニアなどの西海岸からインフラ整備が進展する。日本はインフラ整備の遅れで、欧米の50%程度の普及率にとどまる。

研究開発の実績では、日本に大きな蓄積があるが実用化では欧米企業が先行する見通し。中心となるのは積極的に開発しているBMWになる。

水素社会への移行で先導するのは燃料電池車ではなく水素内燃機関の可能性の方が高い。BMWが開発してきた水素内燃機関の実用化に対する取り組みが自動車業界で評価されてきており、フォード、マツダも開発を表明しており、実用化のテンポがアップしている。



## 現在の水素の利用分野

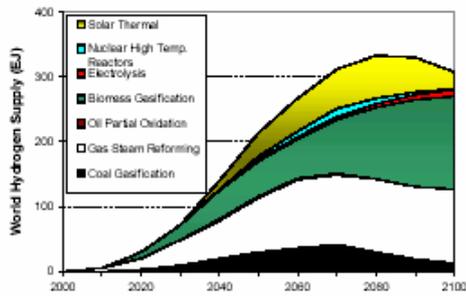


## Norsk Hydro社の大型電気分解装置

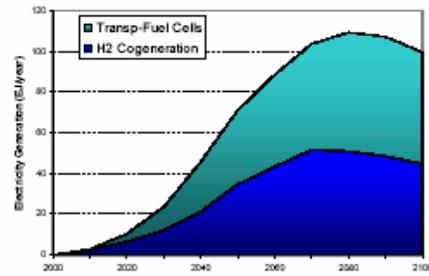


これまでこのような石油精製所の副産物として、水素が製造されてきたが、今後は、再生可能エネルギーからの水素製造が期待される。

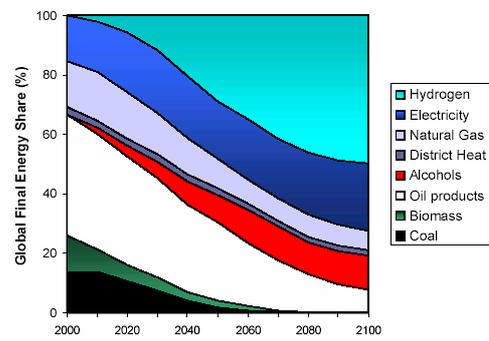
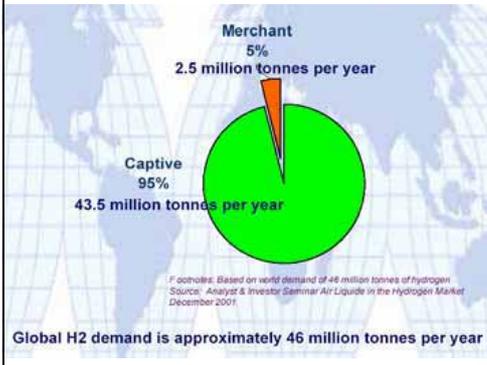
## Global Hydrogen Supply



## H<sub>2</sub>-Fuel Cells and Electricity



## H<sub>2</sub> as Main Final Energy Carrier



国土交通政策研究所

政策課題勉強会

# 家庭用燃料電池の開発状況

平成16年7月7日

東京ガス(株) 技術開発部  
里見知英



## 燃料電池の種類

	リン酸形燃料電池 PAFC	熔融炭酸塩燃料電池 MCFC	固体酸化物燃料電池 SOFC	固体高分子形燃料電池 PEFC
電解質	リン酸水溶液	炭酸塩	セラミクス	高分子膜
作動温度	200	650~700	700~1000	常温~90
発電効率 (HV)	35~40%	40~50%	40~50%	30~35% (改質ガスを用いた場合)



PAFC商品機  
(業務用)



MCFC  
セルスタック



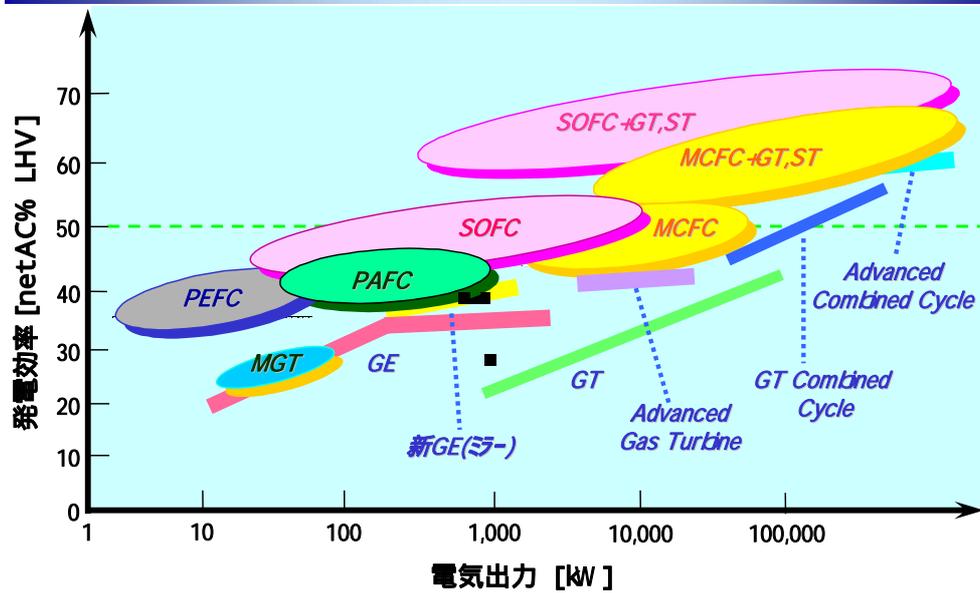
SOFC  
セルスタック



PEFC試作機  
(家庭用)



## 各種発電システムの効率比較



TOKYO GAS

## 固体高分子形燃料電池(PEFC)の特徴

低温で発電可能



・スタート、ストップが容易  
・低価格材料が使用可能

容積あたりの出力が大



・小型軽量化が可能

幅広い分野で利用可能



自動車用



小規模定置用



携帯用

TOKYO GAS

## 定置用燃料電池の特徴

規模が小さくても高効率

総合熱効率 : 70 ~ 75% (HHV), CO<sub>2</sub>削減

部分負荷運転時でも効率維持

排気がクリーン : ほぼゼロエミッション

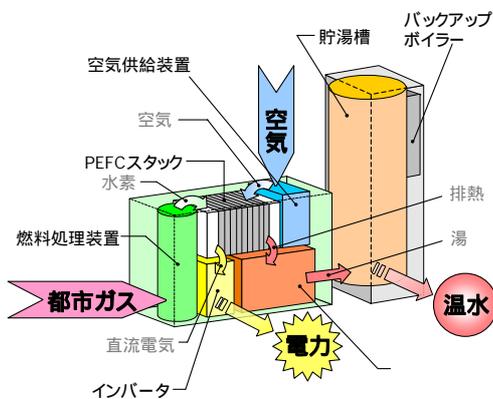
NO<sub>x</sub> : 5ppm以下、SO<sub>x</sub> : 検出限界以下

騒音・振動が少ない

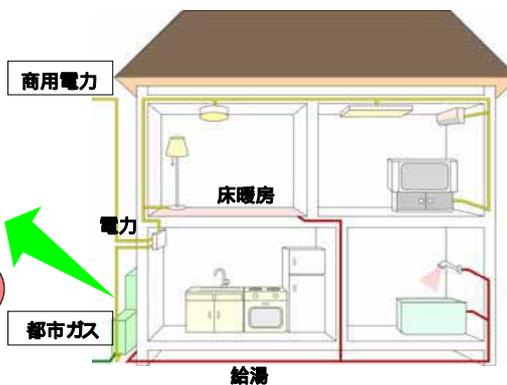
TOKYO GAS

## 家庭用燃料電池コージェネレーションの構成

### システム構成

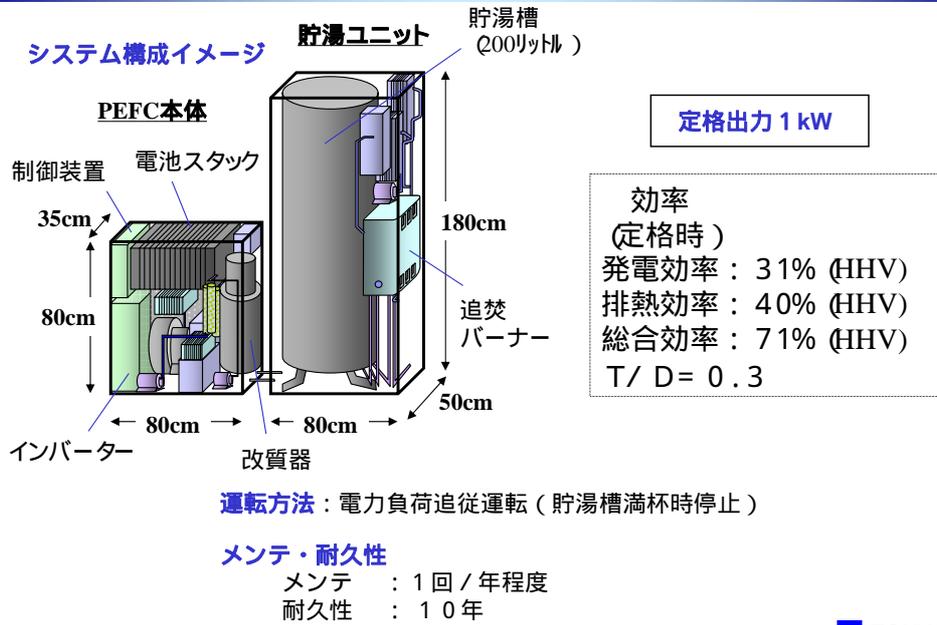


### 設置のイメージ



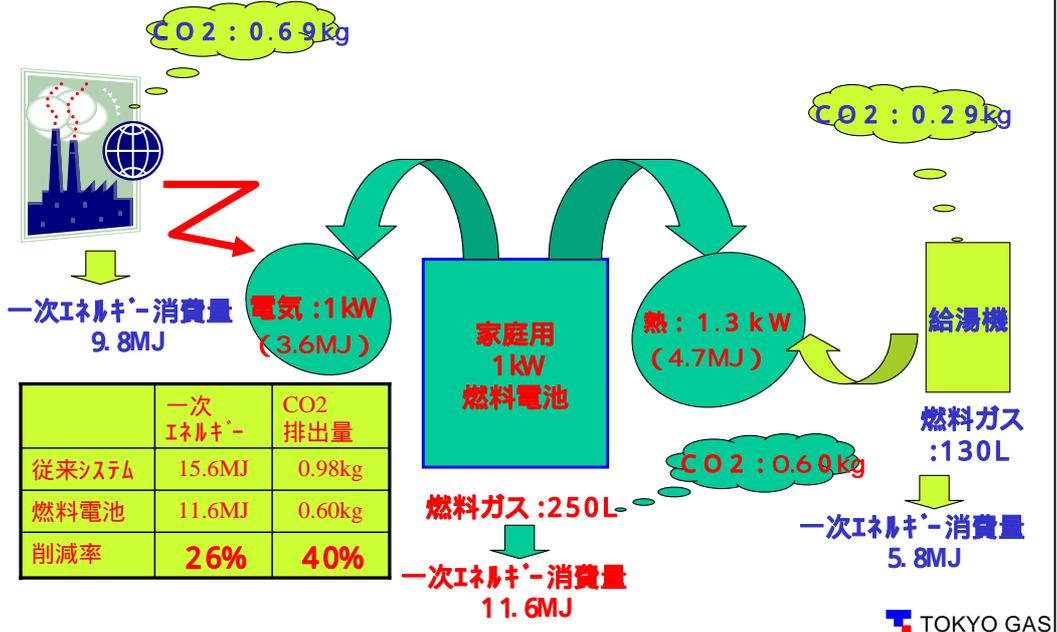
TOKYO GAS

# 家庭用燃料電池の開発目標仕様

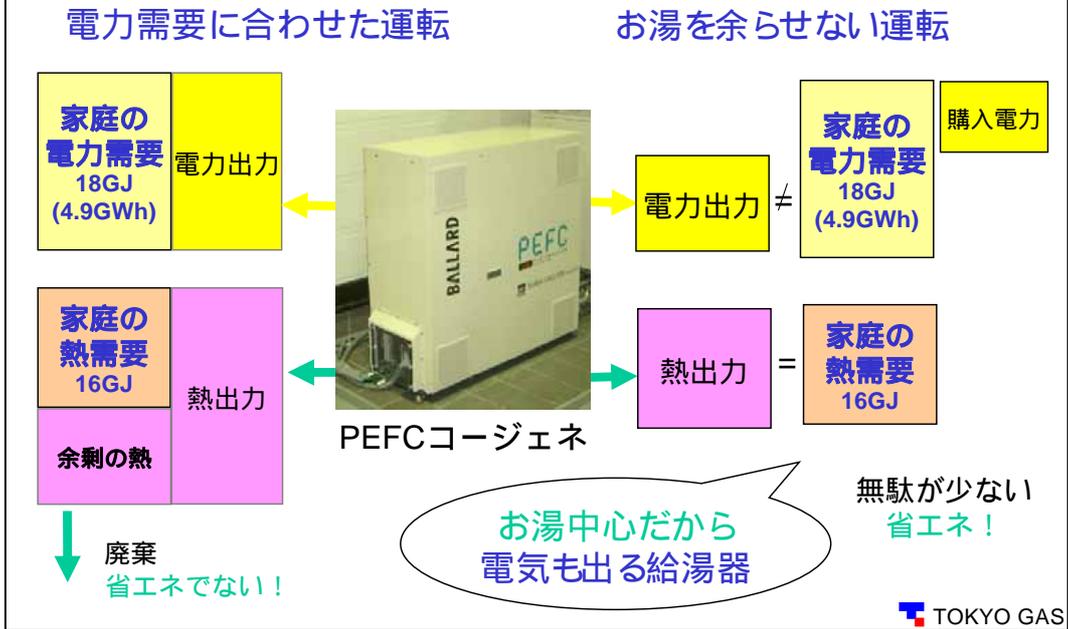


TOKYO GAS

# 家庭用燃料電池の機器性能比較



# エネルギー需要と運転方法

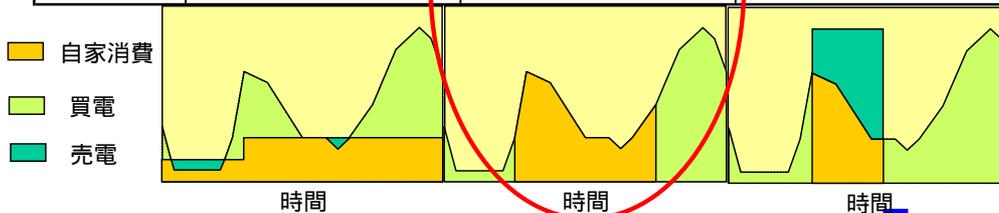


# 電力需要と燃料電池の運転方法

熱需要に合わせて電力需要の2/3程度を燃料電池コージェネで発電  
効果的な発電のタイミング 運転方式は？

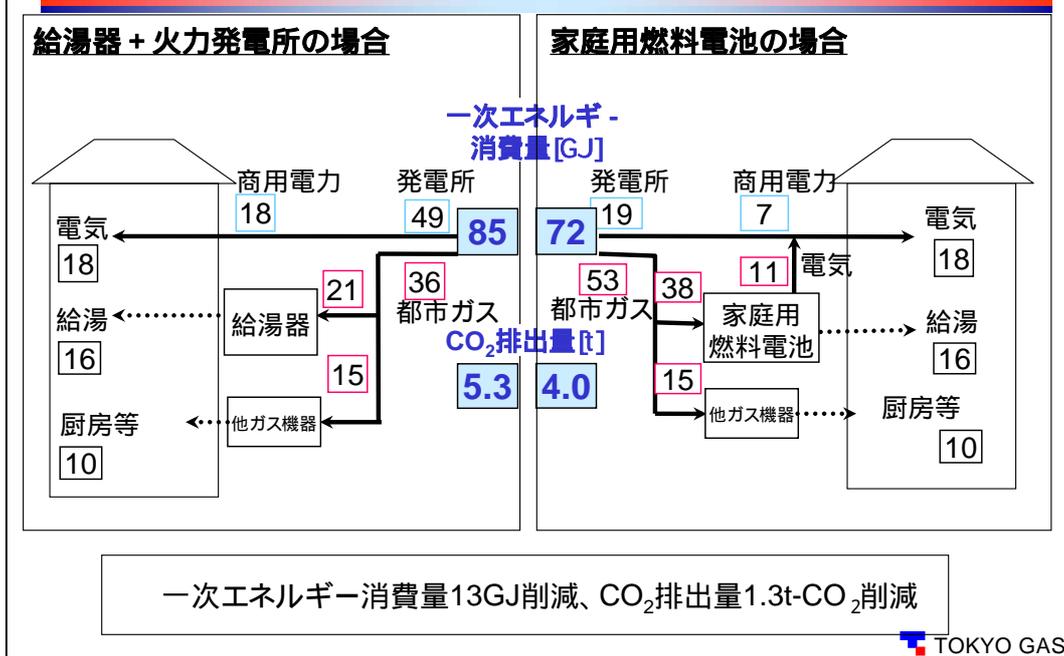


燃料電池コージェネ容量	小	中	大
技術的課題	長寿命化・高効率化	起動停止、負荷応答性	起動停止
ピークカット効果	小	中	大
逆潮流	少ない	ない	多い



TOKYO GAS

## 家庭用燃料電池の導入効果試算例



## 二酸化炭素削減効果

2010年度における導入目標値 :210万kW  
(総合資源エネルギー調査会新エネルギー部会 より)

二酸化炭素削減量 :年間約 3百万 tCO<sub>2</sub>

エネルギー起源  
CO<sub>2</sub>削減目標(2010年度)  
107百万 tCO<sub>2</sub>  
(地球温暖化防止大綱より)

貢献度 約 3%

植林に例えると  
ユーカリの木 約3億本

植林面積では  
神奈川県に匹敵

TOKYO GAS

## 定置用PEFCの開発動向

[北米]

送電網整備コスト回避のための独立電源、バックアップ用電源等として、連邦政府、州政府、電力・ガス会社を中心としたサポートによる開発。モノジェネも許容。

[日本]

排熱の給湯利用 (コージェネ) による高効率エネルギーシステムとして、多くの家電・電機メーカーが開発。2004~5年頃の商品化を目指す。

### 米国における開発メーカー

PlugPower	Nuvera Fuel Cells
H-Power	UTC Fuel Cells
IdaTech	MOSAIC
Ballard Generation Systems	
General Motors	

### 日本における開発メーカー

荏原バロード	三洋電機
松下電器産業	東芝IFC
トヨタ自動車	三菱重工業
三菱電機	富士電機
石川島播磨重工業	日立製作所

TOKYO GAS

## 北米での定置用燃料電池フィールドテスト



DOD Watervilet arsenal (NY)

01年から全米各地の米軍基地でフィールドテストを実施中  
8000時間・90%以上のAvailabilityを達成



LIPA (NY)

NY州政府のプログラムで延100基以上のシステムの運転を実証

TOKYO GAS

## 主なPEFC関連国家プロジェクト

### 普及基盤整備事業 (ミレニアムプロジェクト)

目的 : PEFCの標準化、安全基準策定のためのデータ整備  
 委託先 : 定置用 - (社)日本ガス協会  
 自動車用 - (財)日本自動車研究所  
 平成16年度政府予算 : 25億円

### システム技術開発事業

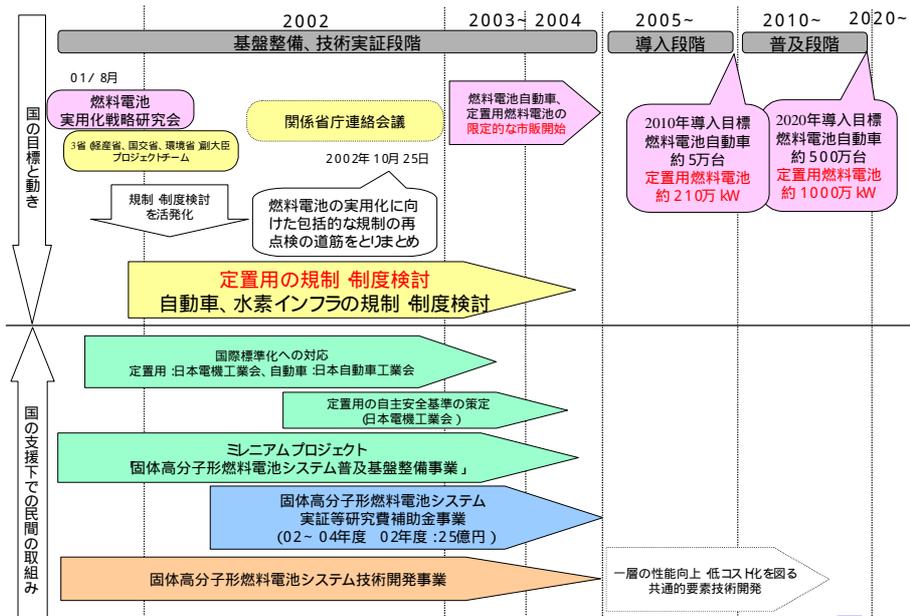
目的 : PEFC実用化のための要素技術開発  
 委託先 : システムメーカー、部品・素材メーカー、日本ガス協会他  
 平成16年度政府予算 : 43億円

### システム実証等研究事業

目的 : 実使用条件における技術課題の抽出  
 実施 : 定置用 - NEF 自動車用 - JARI ENAA  
 平成16年度政府予算 : 30億円



## わが国における燃料電池開発・普及政策



## 国家プロジェクトでの家庭用燃料電池試験状況

ミレニアム PEFCプラザ東京  
(JA東京事業所)



2003 - 2004年度

TOKYO GAS

## 開発中の家庭用燃料電池試作機 (04年)



石川島播磨重工業(株) 「5 kW」



荏原バラー(株) 「1 kW」



三洋電機(株) 「0.8 kW」



(株)東芝インターナショナル  
フュエルセルズ 「0.7 kW」



トヨタ自動車(株) 「1 kW」



松下電器産業(株) 「1 kW」



三菱重工業(株) 「1 kW」



新日石(株) 「1 kW」



Nuvera 「3.3 kW」

TOKYO GAS

## 民間によるシステム開発

開発者	容量	燃料種
石川島播磨重工業	5kW級	都市ガス
荏原パワード	1kW級	都市ガス
三洋電機	1kW級	都市ガス
新日本石油	1kW級	LPG
	5kW級	ナフサ・灯油
東芝インターナショナルフュエルセルズ	1kW級	都市ガス・LPG
トヨタ自動車	1kW級	都市ガス
松下電器産業	1kW級	都市ガス
松下電工	1kW級	LPG
出光興産(株)	5kW級	LPG・灯油
日立製作所、パブコック日立	1kW級	都市ガス
富士電機(株)	1kW級	都市ガス
三菱重工業	1kW級	都市ガス・LPG
三菱電機	1kW級	都市ガス
UTC Fuel Cells (米国)	5kW級	都市ガス
Plug Power (米国)	5kW級	都市ガス・LPG
Nuvera Fuel Cells (米国)	5kW級	都市ガス

TOKYO GAS

## NEF定置用燃料電池実証研究(H15年度)

全国31サイト

< 運転試験者 22法人 >

・日本ガス協会

・電力会社関係

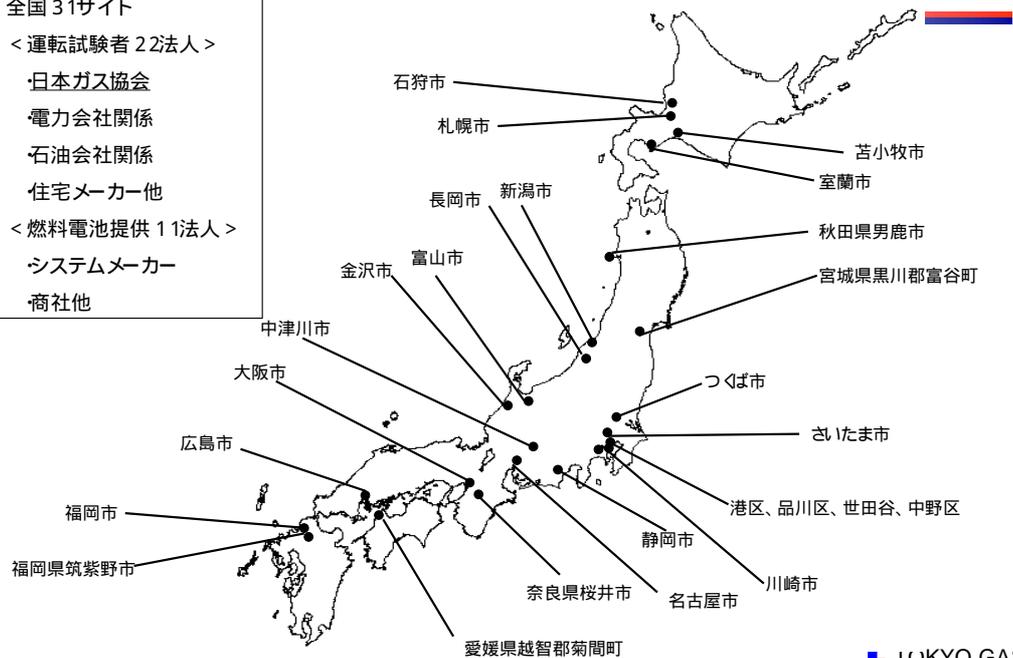
・石油会社関係

・住宅メーカー他

< 燃料電池提供 11法人 >

・システムメーカー

・商社他



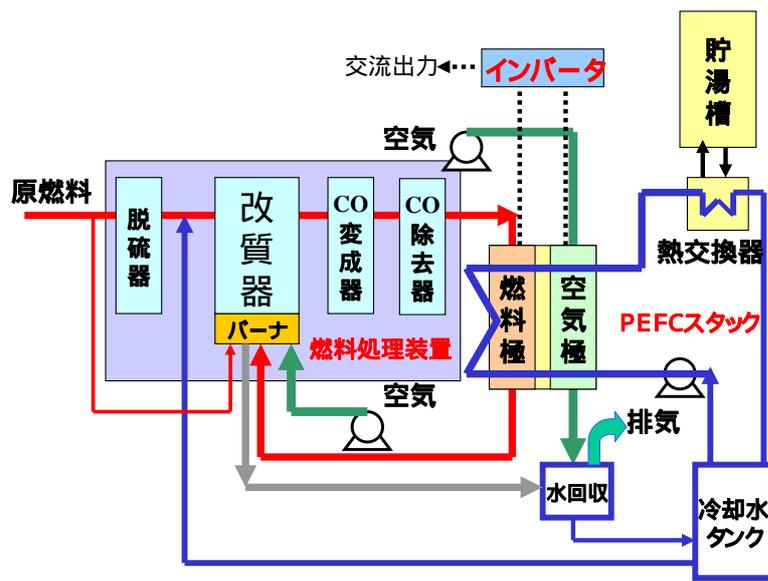
TOKYO GAS

## NEF 実証試験研究 燃料電池設置状況



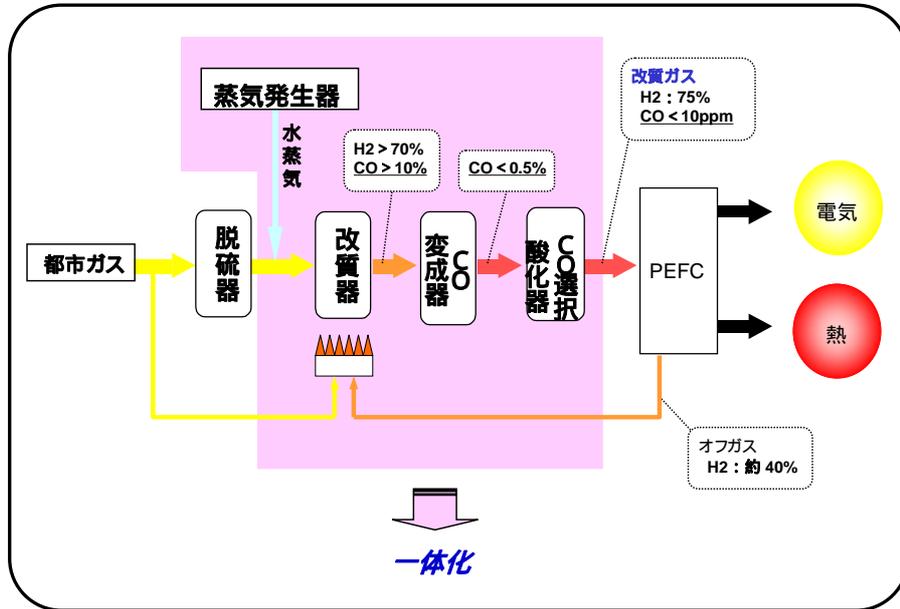
TOKYO GAS

## 燃料電池コージェネのシステムフロー例



TOKYO GAS

## 燃料改質処理系の一体化



TOKYO GAS

## 1 kWe級 一体型燃料処理装置の開発例

\* 1kWe級の燃料処理装置として**世界最高水準**の性能  
 都市ガス 水素の製造効率 : 8.3%(HHV)  
 外部保温材込みの大きさ : 1.9L

\* 荏原バード、Ballard Generation Systemsへ技術供与  
 本技術を採用した1kWe級システム試作機は、  
**送電端発電効率 : 3.1%(HHV)** を達成。  
 平成14年1月8日バードグループよりプレスリリース

\* さらに性能維持で重量1/2のコストダウンも実現 (02年)  
 \* 他のPEFCシステムメーカーへの技術供与も実施  
 \* 今後は、**耐久性を主眼とした改良開発**を継続

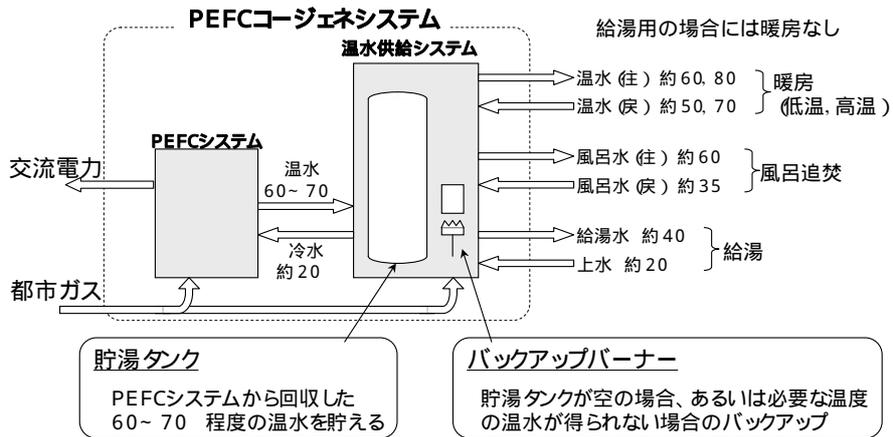


TOKYO GAS

# 温水供給システムの開発

## 目的

PEFCシステムの運転状態や、その排熱温水を貯める貯湯槽の状態に関係なく、常に安定して熱需要に対応した温水を供給できるコージェネシステムの開発



TOKYO GAS

# 実家庭設置による実証運転試験 (平成14年3月~)

テストサイト：さいたま市 戸建住宅



温水供給システム

燃料電池

タンク容量	2000リットル
お湯利用	給湯 風呂湯はり 風呂追焚 (バックアップ用 補助熱源付)
メーカー	松下電器産業

定格出力	1.0 kW
系統連系	逆潮流・売電有り
メーカー	松下電器産業

テストサイト：横浜市 戸建住宅



燃料電池

温水供給システム

定格出力	1 kW
系統連系	TG燃料処理技術内蔵 逆潮流・売電有り
メーカー	荏原バラード

タンク容量	2000リットル
お湯利用	給湯 風呂湯はり 風呂追焚 (バックアップ用 補助熱源付)
メーカー	荏原バラード

TOKYO GAS

## 家庭用燃料電池最適運転制御システム

### 目的

省エネ率 / CO<sub>2</sub>削減率を最大化する自動無人運転の実現  
 起動 / 停止回数を少なくし,システムの耐久性を改善

### 基本的な考え方

熱を余らせず ,かつ ,昼間負荷追従運転を実現

- ◆ 家庭の電力需要 ,熱需要を予測
- ◆ 貯湯槽を満杯にすべき時刻 (時刻A )を予測
- ◆ 時刻Aと電力需要を勘案し ,運転開始時刻 (時刻B )を決定
- ◆ 決定した時刻BにFCが自動的に運転を開始



## フィールドテストの運転実績

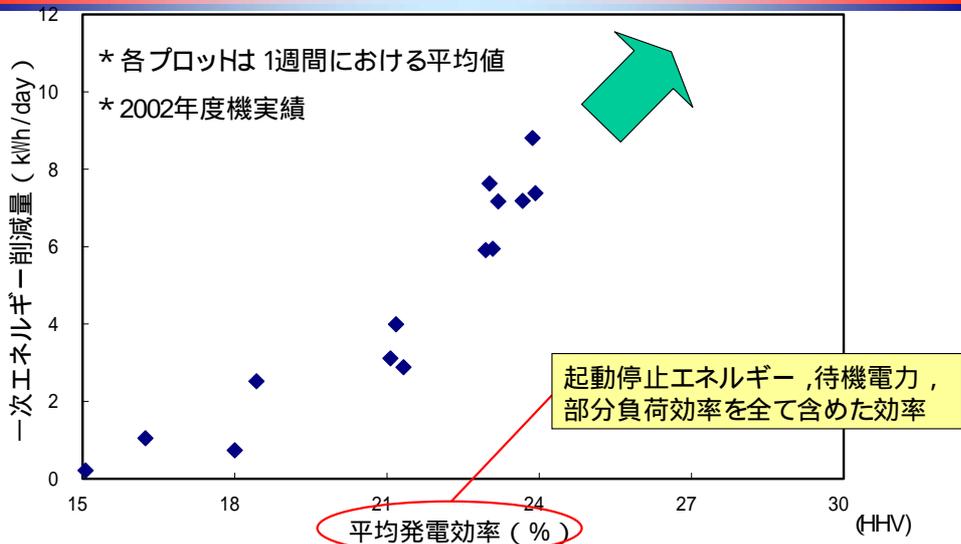
	サイトA		サイトB	
	2001年度機 (02/03 ~ 03/02)	2002年度機 (03/03 ~ )	2001年度機 (02/03 ~ 02/12)	2002年度機 (03/03 ~ )
運転回数	305 回	272 回	264 回	273 回
発電回数	271 回	259 回	226 回	257 回
発電時間 (発電 1回あたり)	1304 hr (4.8 hr/回)	2139 hr (8.3 hr/回)	909 hr (4.0 hr/回)	2608 hr (10.1 hr/回)
発電電力量	1081 kWh	1690 kWh	872 kWh	2110 kWh
熱回収量	1673 kWh	2306 kWh	1796 kWh	3329 kWh

\* 2004年4月末現在

運転回数低減しつつ発電時間・発電電力量が増加



## 一次エネルギーの削減効果



平均発電効率と一次エネルギー削減量には強い相関あり

TOKYO GAS

## 実用化への課題～市場導入に向けて

省エネルギーに貢献する、発電効率 30% HHVと排熱回収効率 40% HHVを超える実績が得られてきた

### 耐久性、信頼性確保

耐環境性、実用条件での信頼性

寿命目標 :10年、4万時間、起動停止3000～4000回

### セルスタック

電極の経時劣化、高分子膜の耐久性、運転条件最適化

### 燃料処理器

改質触媒の経時劣化、耐起動停止サイクル

### システム等

システム 制御の簡素化、補機類の耐久性向上

TOKYO GAS

## 実用化への課題～市場導入に向けて

省エネルギーに貢献する、発電効率 30% HHVと排熱回収効率 40% HHVを超える実績が得られてきた

### コストダウン

エンドユーザ負担で 50～ 60万円 / セット

#### ・セルスタック

高性能化、材料・加工の低コスト化

#### ・燃料処理器

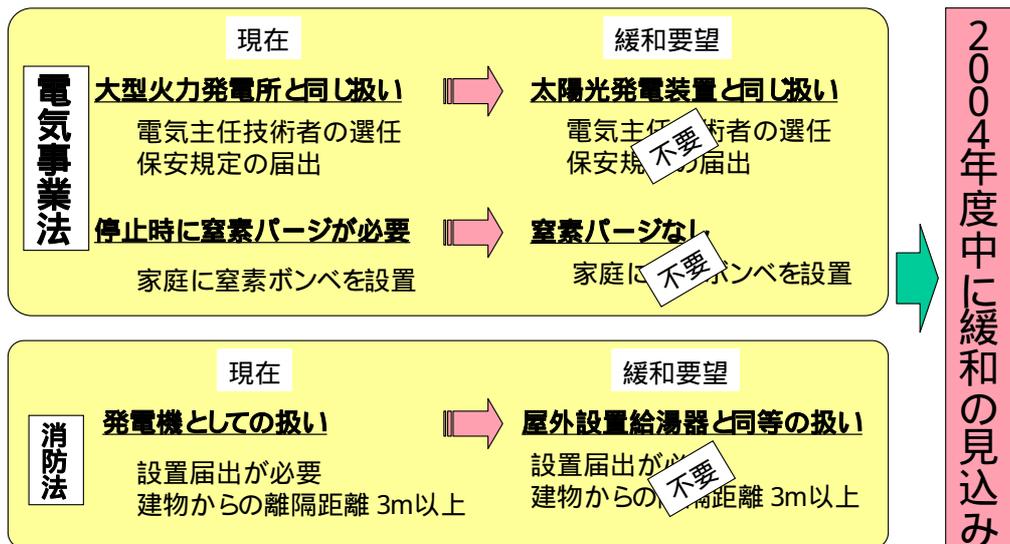
貴金属触媒低減、触媒の高性能化、構造のシンプル化

#### ・システム等

システム制御の簡素化、構成部材・機器の汎用化

TOKYO GAS

## 規制・制度に係わる整備



TOKYO GAS

国土交通政策研究所政策課題勉強会

## 水素エネルギー社会への課題

2004. 8. 25

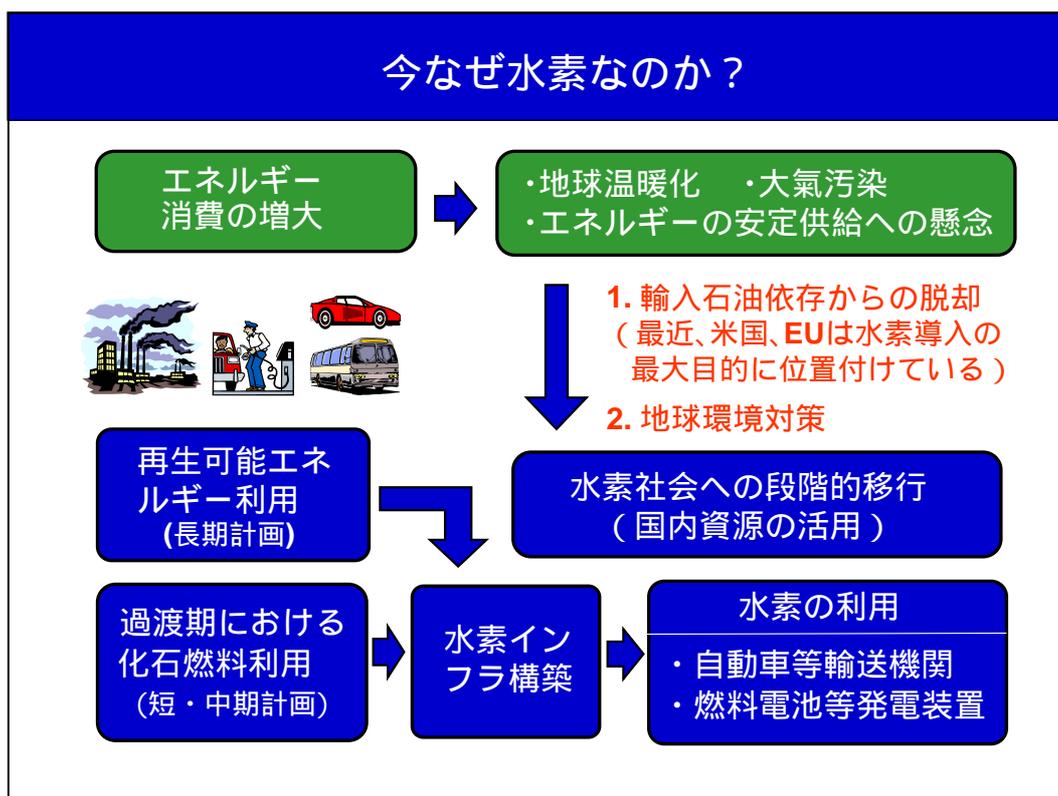
岡野一清

水素エネルギー協会理事

## 内 容

1. 水素社会構築に必要なステップと課題
2. 水素エネルギーシステムと水素の安全性
3. 燃料電池等水素利用技術の現状と課題
4. 水素エネルギーの技術開発と導入に関する国内外の動向（政策、導入シナリオ）
5. 水素ステーション技術と開発の現状
6. 規制緩和、経済効果、将来展望
7. 水素に関する将来の諸問題

## 今なぜ水素なのか？



## 水素社会に向かって世界は動いている

原油の高騰が欧米で水素の導入ムードを高めている。

- ・ 米国は石炭利用など水素源確保のための技術開発を開始
- ・ 水素・燃料電池の国際会議の参加者が世界的に急増
- ・ 燃料電池バスや燃料電池車の実用デモ運転計画が増大  
(欧州でバス27台導入完了。フォードが米国で30台、ダイムラーがベルリンで10台など大口導入計画が進行中)
- ・ 水素ハイウエー構想(CA州、カナダ)、今後拡大の方向に。

アメリカ、カナダ、欧州、日本政府の動きが顕著。

- ・ アメリカ主導で14カ国の国際協力組織IHEP設立
- ・ 各国開発予算の増額、日本の政府主導による規制緩和

水素・燃料電池技術の国際標準化活動が様変わりに活発化

世界の自動車会社が燃料電池車開発に莫大な資金を投入  
(ダイムラーとフォードがバラードのFC開発部門を買収)

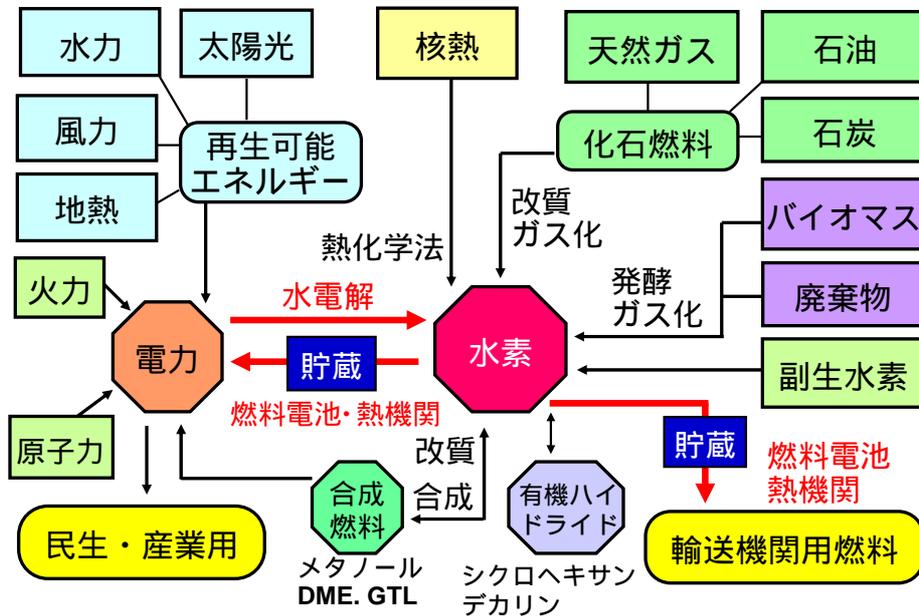
## 水素社会の構築に必要なステップと課題

	ステップ	解決を要する課題	国の支援策
短期	燃料電池と燃料電池車の商品化 自動車用水素インフラ確立	<ul style="list-style-type: none"> <li>FCVのコスト低減、信頼性確立</li> <li>実用的水素貯蔵技術の確立</li> <li>燃料電池の長寿命化、低コスト化</li> <li>水素のコスト低減</li> <li>FCVと水素ステーション導入支援</li> </ul>	研究開発 実証試験 補助金制度 導入支援
	↓		
	国際標準化 安全性検証 規制緩和 市民の教育	<ul style="list-style-type: none"> <li>関連技術の国際標準化</li> <li>水素漏洩、火災、車両事故時の安全性</li> <li>水素ステーションの事故時の安全性</li> <li>高圧ガス保安法など6法律28項目</li> <li>計画的体験教育・啓発活動の実施</li> </ul>	標準化活動 検証、研究 実験・検討 教育・啓発
長期	大容量水素利用技術の確立 大規模水素インフラ確立	<ul style="list-style-type: none"> <li>MW級エンジン（発電用、動力用）</li> <li>500MW級タービン発電技術の確立</li> <li>大規模水素インフラの確立</li> <li>国際協力による水素調達</li> </ul>	研究開発 技術実証 導入支援 国際協力

### 水素エネルギーシステムと 水素の性質

- 水素は多様な水素源から生産できる2次エネルギーである。当面水素は化石燃料から生産せざるを得ないが、再生可能エネルギーの利用拡大などを推進することが望ましい。

## 水素エネルギーシステム



## 水素の性質とエネルギーとしての特長

水素の性質（無色、無味、無臭、無害）

	比重		沸点	発熱量 (LHV) Kcal/Nm <sup>3</sup>	発火エネルギー- mJ	着火温度	爆発限界 %
	ガス (空気=1)	液体 (水)					
水素	0.069	0.071	-253	2,570	0.02	530	4 ~ 75
メタン	0.55	0.424	-162	8,570	0.28	645	5 ~ 15

水素の安全利用の鉄則： 爆発限界に入る状態を作らない(換気)。  
静電気などの点火源を無くす。(人の静電気エネルギーは15mJ)

エネルギーとしての特長

- ・自然エネルギーと水から作れるので永遠に枯渇しない。
- ・完全にクリーンで燃焼しても水ができるだけである。
- ・化学的活性が高く高効率のエネルギー変換ができる。  
電気 水素（水電解）、水素 電気（燃料電池）
- ・発熱量が高く貯蔵が容易でエンジンやタービンの燃料に使用可。

## 燃料電池等水素利用技術 の現状と課題

・水素エネルギーの利用は当面は燃料電池車など自動車用と移動用燃料電池に限られる。家庭用燃料電池、エンジンやタービン発電への水素の利用は大規模な水素インフラが必要となるので**2015年以降**となろう。

### 水素の利用技術と普及開始予想時期

水素利用技術	用 途
燃料電池車 水素エンジン車	・バス、業務車： <b>2005年～</b> 、乗用車： <b>2010年～</b> ・水素エンジン車： <b>2006～</b> 。
燃料電池発電 (家庭用、業務用等は天然ガス、LPG、石油系燃料)	・家庭用(寿命とコスト課題未解決、 <b>2010年～</b> ) ・業務用、産業用、電力用(りん酸形のみ商品化済、熔融炭酸塩形は試験的実用段階) ・移動用など小型電源(水素燃料)( <b>2010年～</b> ) ・電子機器電源(メタノール燃料)( <b>2010年～</b> )
エンジンコジェネレーション	・MW級水素エンジンコジェネレーション( <b>2015年～</b> )
輸送機関用動力(燃料電池)	・鉄道車両、リニアモーターカー ・船舶(内航船、漁船)( <b>2015年～</b> )
大容量発電	・水素燃焼タービン発電( <b>2020年～</b> )

## 固体高分子形燃料電池商品化への技術課題

### 定置用燃料電池の課題

発電効率	システムの発電効率目標： <b>40%</b> 現状では <b>32-33%</b> （改質型、HHV）程度。
セル寿命	長期の検証未。現状は <b>10,000</b> 時間程度 寿命目標： <b>40,000</b> 時間以上 セルの劣化メカニズムが解明されていない。
小型軽量	燃料電池スタックの出力密度向上
システムの信頼性	年1回の定期点検で1年間無故障連続運転が可能であること。フィールドテストは多くの異なった地域で実施すること。現在は故障が多いが改善されつつある。
低コスト	競合するエンジンと同レベル以下。家庭用燃料電池システムの目標コストは <b>50万円/1kW</b> 以下。 業務用は <b>20万円台/kW</b> 程度が要求される。

## 燃料電池自動車商品化への技術課題

### 燃料電池自動車の課題

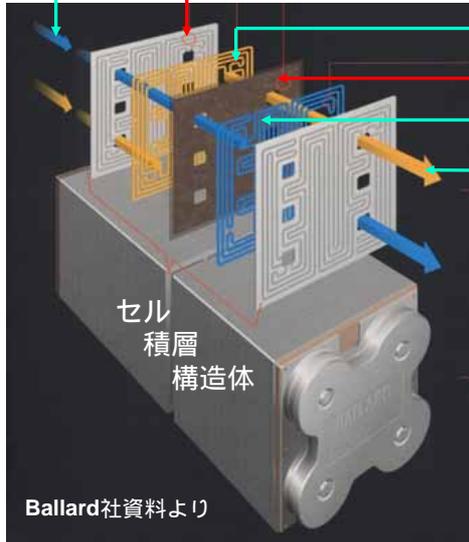
走行距離	走行性能は良いが、1充填の走行距離 <b>500km</b> 以上が目標
寿命と信頼性	長期の検証未。多数のフィールドテストで検証を要す。 燃料電池の寿命は <b>5000</b> 時間でよい。
小型軽量	燃料電池は出力密度 <b>1200 1750 2200W/L</b> に向上
低温始動性	<b>-20</b> までは可能となった。最終目標は <b>-40</b> 。
低コスト	燃料電池の目標コスト <b>5000円/kW</b> は最大の課題

### 水素貯蔵技術の課題

圧縮水素容器	現在の貯蔵圧力 <b>35MPa</b> では走行距離が <b>350km</b> で短い。 圧力 <b>70MPa</b> 容器で走行距離を <b>500km</b> に延長する。
液体水素容器	走行距離は <b>600km</b> 可能であるが、1ヶ月間ボイルオフガスの発生を抑制する対策が未解決。
水素吸蔵合金	現状では有効水素吸蔵量が <b>3wt%</b> 以下（走行距離 <b>300km</b> ）。目標は <b>5.5wt%</b> 以上

## 固体高分子形燃料電池セルスタックの構造

酸素の流れ



セパレータ (溝付仕切板)

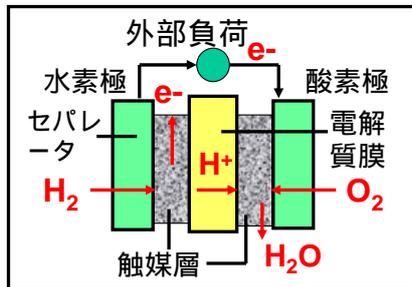
電極内の水素流路イメージ

膜電極接合体

電極内の酸素流路イメージ

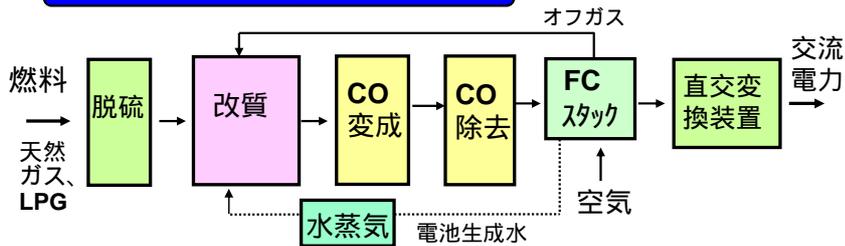
水素の流れ

【セル構造と燃料電池の原理】

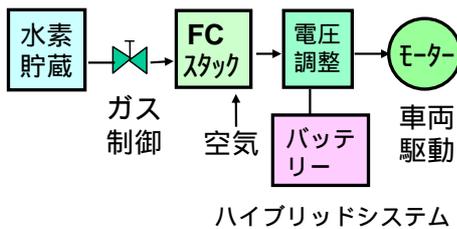


## 燃料電池発電装置のシステム構成

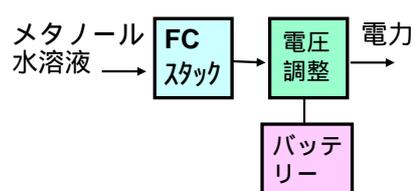
### 燃料改質型燃料電池のシステム



### 純水素燃料電池車のシステム



### DMFCのシステム



## 日本で公道運転中の燃料電池車



トヨタ FCHV



日産X-TRAIL FCV



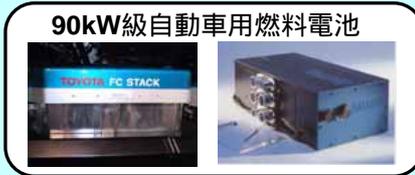
ホンダ FCX



三菱 FCV



Daimler-Chrysler



90kW級自動車用燃料電池



スズキMRワゴンFCV



General Motors



トヨタ/日野 FCHV- BUS2



ダイハツムーヴ  
FCV-K-2

## 燃料電池都バスと有明水素ステーション

製作者：JHFCプロジェクト  
 昭和シェル石油 / 岩谷産業  
 型式：液体水素貯蔵。GH<sub>2</sub>/LH<sub>2</sub>充填  
 バス：トヨタ / 日野製燃料電池バス  
 都バス路線で運行中



液体水素貯蔵量：10,000L  
 水素の加圧：液体水素ポンプで加圧後気化  
 する方式で圧縮機を使用しない。



有明・東京レポートバス停



圧縮水素の充填

## 燃料電池車普及の鍵を握る自動車用水素容器

500km以上の走行距離は普及の必須条件。液体水素は走行距離は問題ないがボイルオフガスの放出抑制が必須条件となる。

	圧縮水素容器	液体水素容器
解決を要する課題	<ul style="list-style-type: none"> <li>・70MPaコンポジット容器の実用化で500km走行を可能にする</li> <li>・水素貯蔵能力8wt%以上</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・3日でBOG放出。その抑制対策が必要（1ヶ月間放出なし）</li> </ul>
解決策と見通し	<ul style="list-style-type: none"> <li>・H-700プロジェクトで試作品の破壊強度、疲労強度の検証完了。</li> <li>・実車での信頼性試験終了後に実用化される見込み。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・液体空気による冷却断熱層方式と耐圧容器方式を開発、試験中</li> <li>・実用化は3年後か。</li> </ul>



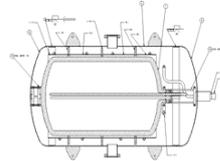
70MPaコンポジット容器



液体水素容器(Linde)



耐圧液体水素容器試作品(LLNL)



## 定置用燃料電池

### 有機廃棄物利用燃料電池

廃棄物のメタン発酵で得られる水素は燃料電池や自動車用として将来有望。

下水汚泥用(山形) ビール廃液用(千葉)



PAFC  
100kW



PAFC  
200kW

### 家庭用燃料電池

開発途上の1kW燃料電池  
(天然ガス、LPG、石油用)



### 業務用燃料電池

実用化されている天然ガス、LPG、バイオガス用

ホテル生ゴミ用(神戸)



PAFC  
100kW



PAFC  
100kW

(実用済み)



PAFC  
200kW

(実用済み)



MCFC  
250kW

(試験導入済み)

## 移動用小型燃料電池

純水素小型燃料電池応用製品 5000時間の寿命で実用可能



FC BOX 850W移動電源 (Ballard) 自転車(ドイツ)



メタノール燃料



電子機器用燃料電池



ゴルフカート、小型水素ポンペ  
4kWFC, 24km走行 (アメリカ)



車椅子、MH合金  
250W, 60km走行 (栗本)

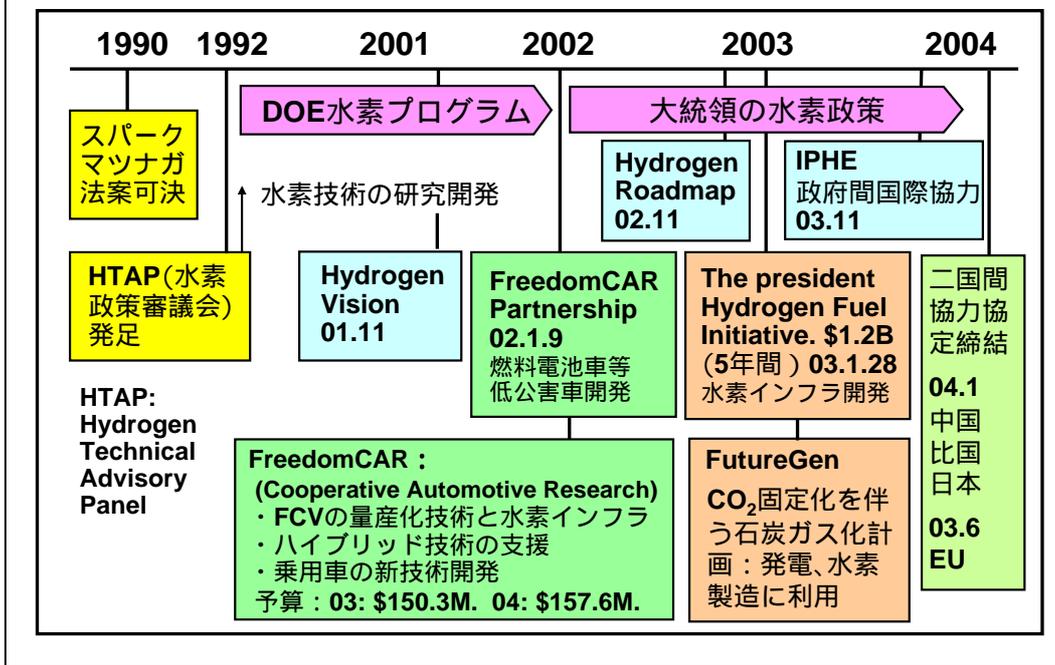


スクーター、MH合金  
1kW, 60km走行 (栗本)

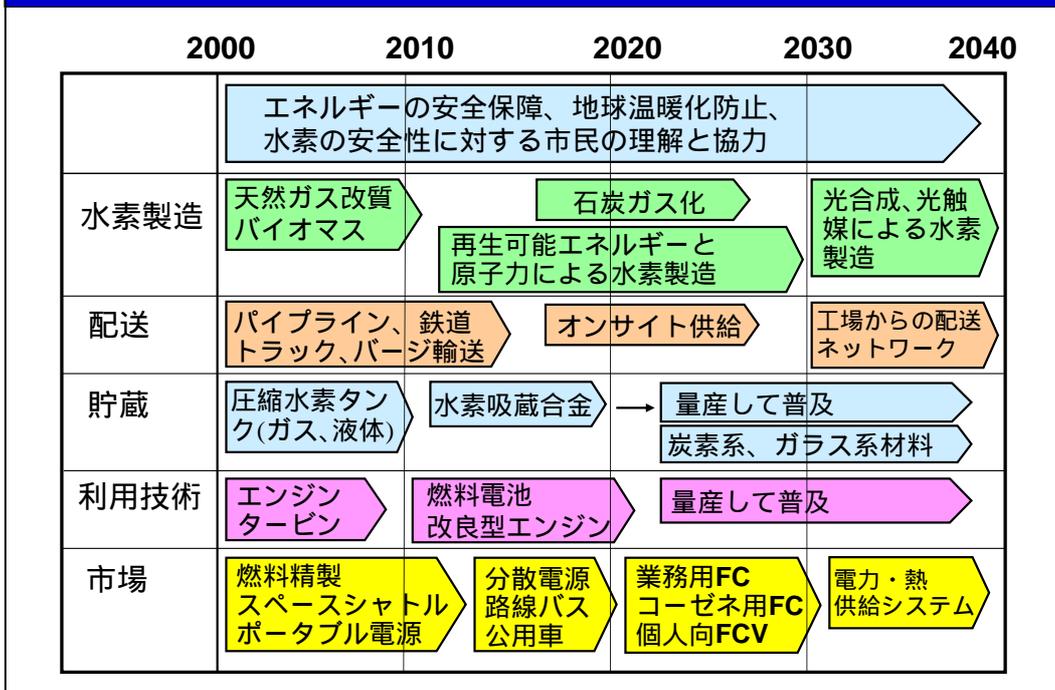
## 水素エネルギーの技術開発 と導入に関する国内外の動向

- ・ 世界各国の積極的な水素・燃料電池政策が打ち出され、各地の燃料電池車のデモ運転、国際標準化、国際協力体制の構築など世界は急速に動いている。
- ・ 海外では将来の水素社会構築に向かって積極的取り組みを行なっているが、今後の日本も長期的視野のもとでの同様の取り組みを行う必要がある。

## 米政府の水素エネルギー導入への取組み



## 米国の水素社会への移行シナリオ



## カリフォルニア州水素ハイウエー構想

**Schwarzenegger CA州知事が2004.4に構想を発表した。**

2010年までにCA州全域に水素ハイウエーを建設  
水素ステーションを20マイルおきに200ヶ所建設  
州政府と民間の提携により建設を推進  
定置水素ステーションとエネルギーステーションを建設  
移動用ステーションの設置

CA州には既にCA-FC-Pのステーションが2ヶ所あるほか、大気保全局SCAQMDは2003年から建設を開始し今後5 Cities Projectなど20ヶ所の水素ステーションの建設を計画中。



2004.4.20 UC-DAVIS水素ステーション開所式に出席したS知事

## 米国の自然エネルギー利用水素製造設備



トーランス ホンダ研究所  
(太陽電池-PEM水電解-GH<sub>2</sub>供給)



パームスプリングス  
系統連携太陽電池と水電解装置



パームスプリングス Windtec風力発電水素製造装置  
(風力発電装置75kW x 3台)



水素運搬カードル  
(5300psi, 4タンク)

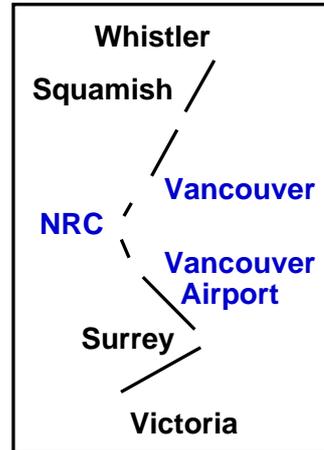


水電解装置  
(2.2kgH<sub>2</sub>/h)

## カナダの水素プロジェクトの現状

1. カナダ政府NRCANが1982年から燃料電池と水素の研究開発を支援
2. 2003年10月Climate Change Projectが発足。水素技術の開発とデモ運転を実施。2008年まで5年間の予算はCA\$215M. (180億円)のうちCA\$60M.(50億円)がデモ運転用
3. その他のプロジェクト
  - ・ Ford車のBC州内走行試験プロジェクト (2003.6開始)
  - ・ ウルトラキャパシターハイブリッド燃料電池バスの開発と実証試験 (実証試験は2005年)

2010年の冬期五輪までに水素ハイウエーを構築



## ヨーロッパのCUTEプロジェクト

EC委員会がEuro18.5Mを出資し9都市で27台の燃料電池バスを導入するプロジェクトを実施、2003年5月から順次水素ステーションを設置して現在9都市でバスの運転を行っている。

### バス導入都市

### 水素STの方式

- ・ マドリッド —— (天然ガス改質)
- ・ ポルト —— (同)
- ・ シュツットガルト (同)
- ・ ルクセンブルグ — (水電解水素を輸送)
- ・ バルセロナ —— (太陽-水電解)
- ・ ハンブルグ —— (風力-水電解)
- ・ ロンドン —— (石油改質液体水素を輸送)
- ・ スtockホルム — (水力-水電解)
- ・ アムステルダム — (廃棄物発電-水電解)



Daimler-Chrysler  
燃料電池バスCitaro

## わが国における水素技術の開発

- ・ 燃料電池車と水素インフラの導入促進を図る目的で実証試験プロジェクトと水素安全利用等基盤技術研究プロジェクトを実施している。  
水素の安全については基礎技術、実用技術、規制緩和のための安全検証などを大々的に行っている。
- ・ 水素ステーション技術は実用可能レベルにあるが普及のためにはさらに改良開発が必要である。

## 燃料電池等の市場導入目標と水素所要量

### 経済産業省の市場導入目標

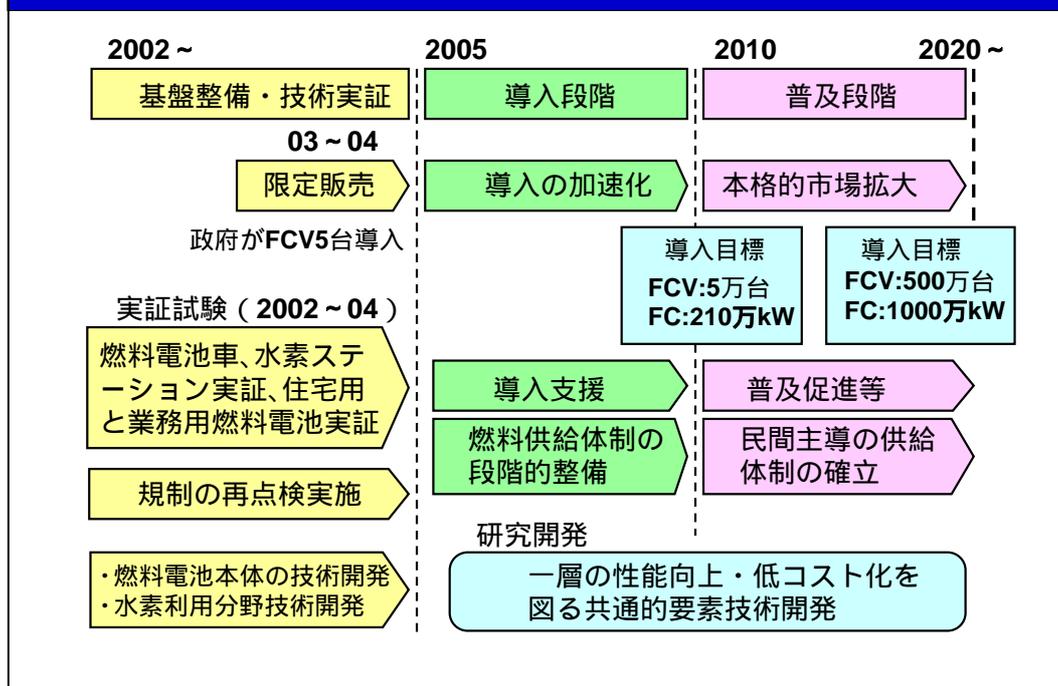
年	燃料電池自動車	水素需要量とステーション数	定置用燃料電池
2005- 2010	5万台	4億Nm <sup>3</sup> 500カ所	210万kW
2010- 2020	500万台	65億Nm <sup>3</sup> 3,500カ所	1,000万kW
2020- 2030	1,500万台	170億Nm <sup>3</sup> 8,500カ所	1,250万kW

2030年目標は04.3.5の燃料電池戦略研究会で発表

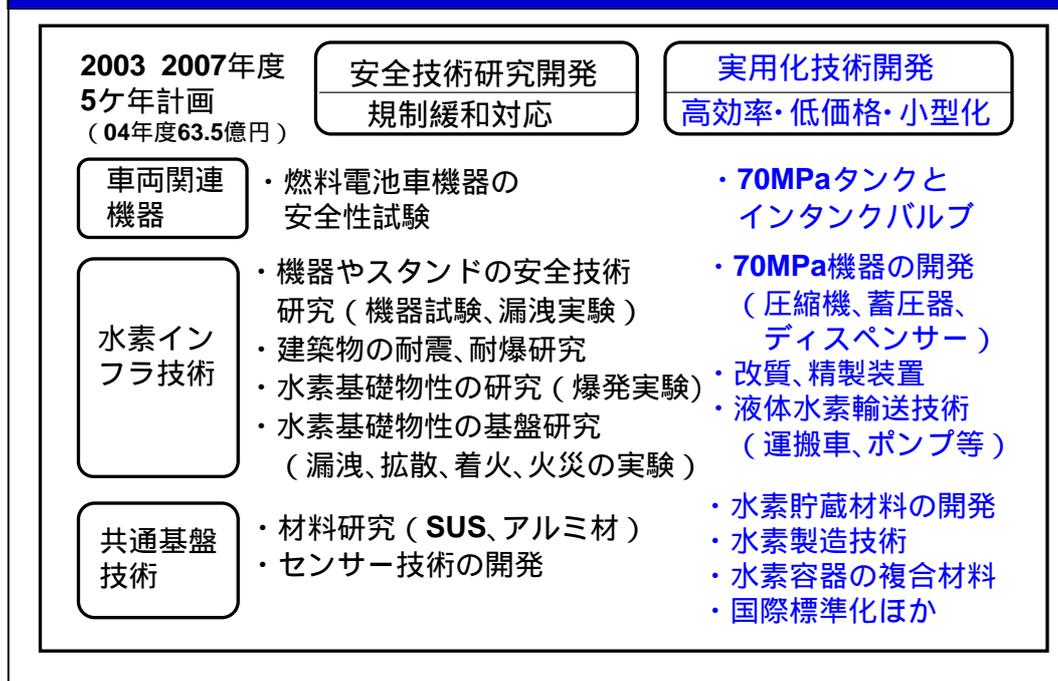
### 目標達成のための政府の施策

- ・ 規制緩和の推進(2004年度中に現行法令の見直し実施)
- ・ 燃料電池、水素技術の研究開発予算増額(2004年度329億円)
- ・ 燃料電池車と家庭用燃料電池の実証試験プロジェクト実施

## 日本の燃料電池車と定置用燃料電池の導入シナリオ



## 水素安全利用等基盤技術開発プロジェクト



## 水素・燃料電池の普及のために必要な規制緩和

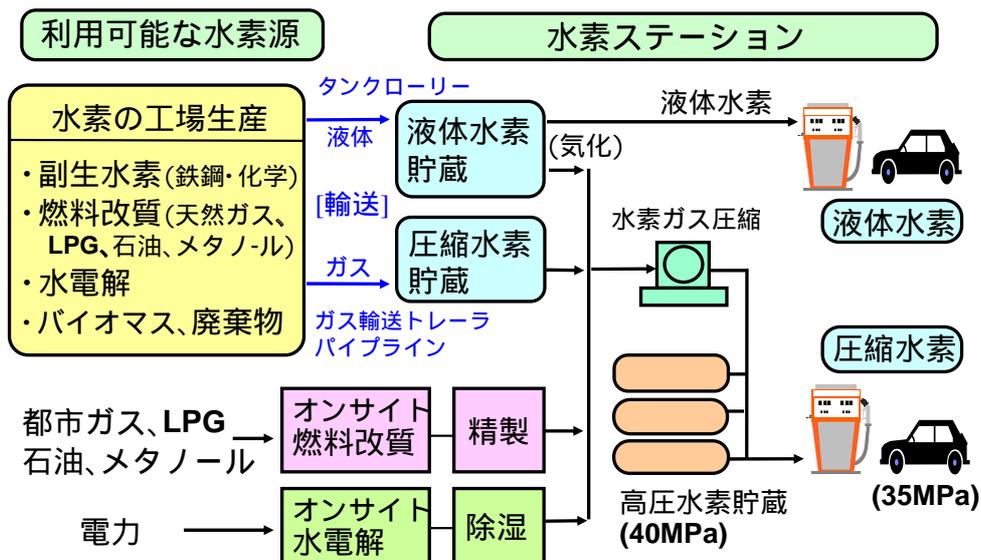
2003年度中に実験データを取得し、2004年度中に規制官庁側が技術基準の整備、法令の見直しを実施する。

規制緩和を要する28項目の中の例

- ・水素貯蔵量規制(建築基準法)  
住居地域: **35Nm<sup>3</sup>**, 商業地域: **70Nm<sup>3</sup>**, 準工業地域: **350Nm<sup>3</sup>**,  
工業地域: 無制限 (住居地域: **35Nm<sup>3</sup>**は車1台分の量)
- ・スタンドの併設規制(東京都の消防法関連)  
ガソリンスタンドとの併設は不可 (**20m以上離すこと**)
- ・火気取扱い施設からの保安距離(高压ガス保安法) (**8m離す**)
- ・自動車用水素容器は最高圧が**35MPa**に制限されている(同)
- ・水素ステーションには保安統括者等適格者の常駐が必要(同)
- ・高压ガス設備は年1回の保安検査が必要(同)
- ・車載用水素容器は例示基準がなく型式毎の検査が必要(同)
- ・家庭用燃料電池は建物から**3m**離して設置(消防法)

## 自動車用水素ステーションの水素源とシステム

水素源は多種多様で豊富にあるので選択の余地が多い。



## 燃料電池車と水素ステーションの現状

実証試験と実用車として走行中の燃料電池車

JHFCプロジェクト (東京、神奈川地区)	9台 2台(バス)	神奈川県庁、横浜市、 愛知県庁、大阪府	4台
日本政府、各省庁	8台	ブリジストン	1台
新日石、コスモ石油 出光興産	3台	東京ガス、岩谷産業 東邦ガス、屋久島電工	6台



## JHFC水素ステーション(1)



横浜大黒ステーション  
(脱硫ガソリン) コスモ石油



横浜旭ステーション  
(ナフサ) 新日本石油



東京千住ステーション  
(LPG) 東京ガス/日本酸素



東京有明ステーション  
(液体水素)  
昭和シェル/岩谷産業



川崎ステーション  
(メタノール改質)  
ジャパンエアガシズ



霞ヶ関ステーション  
(圧縮水素輸送型)  
日本酸素

## 水素ステーションの課題

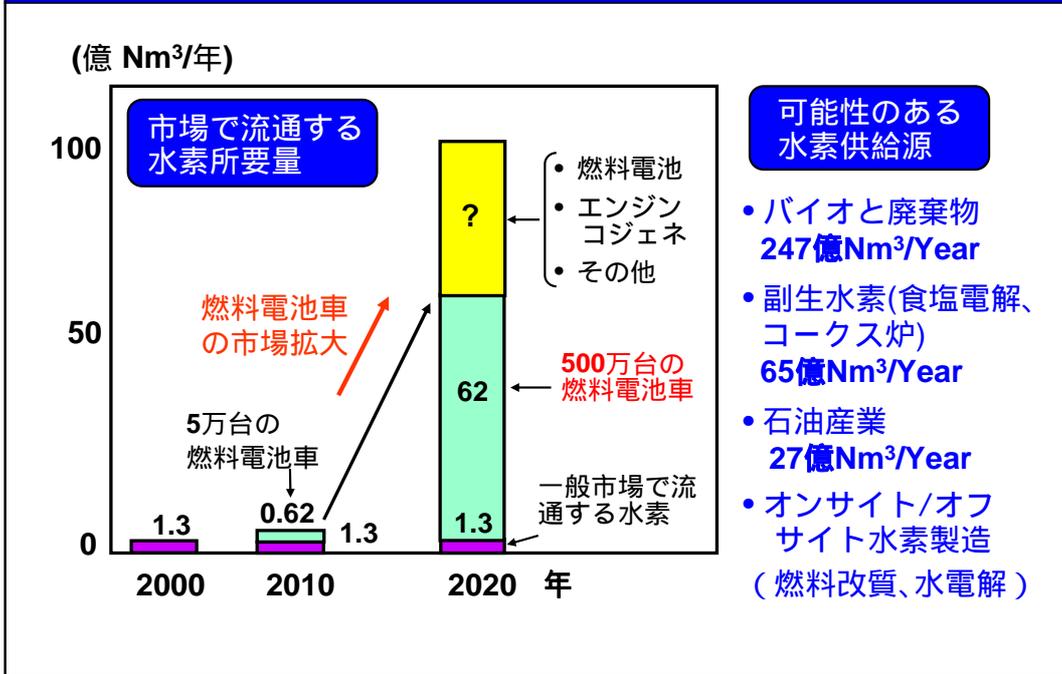
1. 水素ステーションのコスト低減と設置面積縮小  
水素コストを50円/Nm<sup>3</sup>以下にするために現在3億円以上のステーションのコストを2億円台に低減を要す。また普及のためには機器の小型化と設置面積の縮小が必要。
2. 70MPa水素ステーション技術の確立  
数年後に主流となる70MPa水素搭載に備えて90MPa級高圧ステーション技術の早期確立が必要。
3. 機器とシステムの設計標準化
4. 水素ステーション網の全国的拡張  
点から線、線から面へインフラ拡充。バイオマスや自然エネルギー利用の水素ステーションの増大。
5. 未来技術の開発  
CO<sub>2</sub>フリーの天然ガス改質技術や頻繁な起動停止に耐える改質器の開発。

## 水素資源と将来展望

水素社会の構築には長期間を要するが、水素の所要量の増大に伴って多様な水素源を利用し、水素パイプラインなどのインフラ網を整備して行く必要がある。

水素利用技術は燃料電池自動車中心から大規模発電へと発展させる必要がある。

## 市場流通水素の所要量と供給源



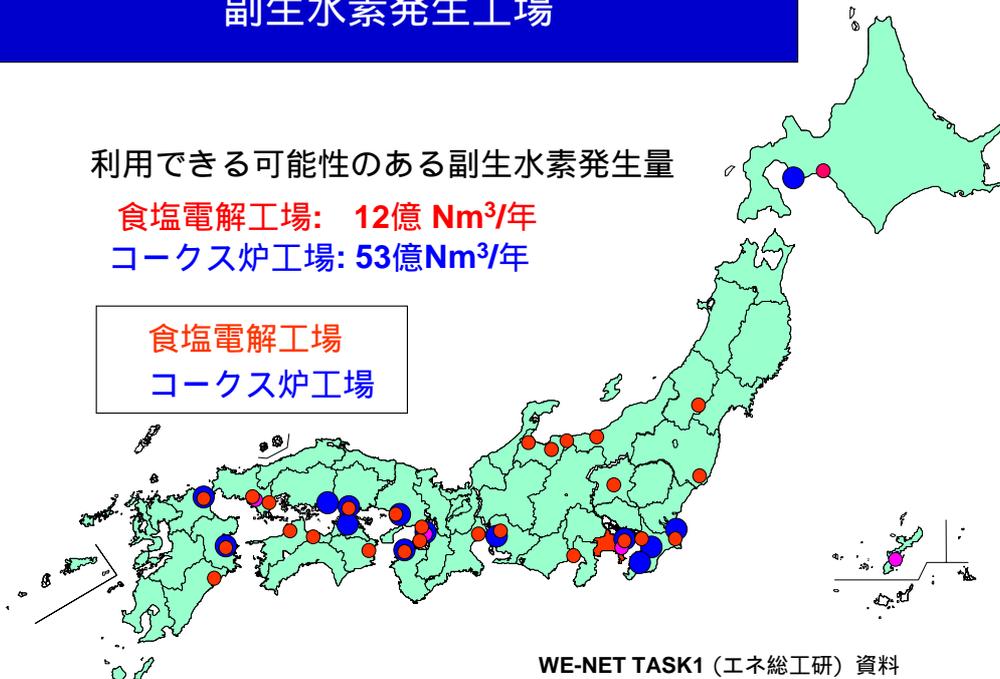
## 副生水素発生工場

利用できる可能性のある副生水素発生量

食塩電解工場: **12億 Nm<sup>3</sup>/年**

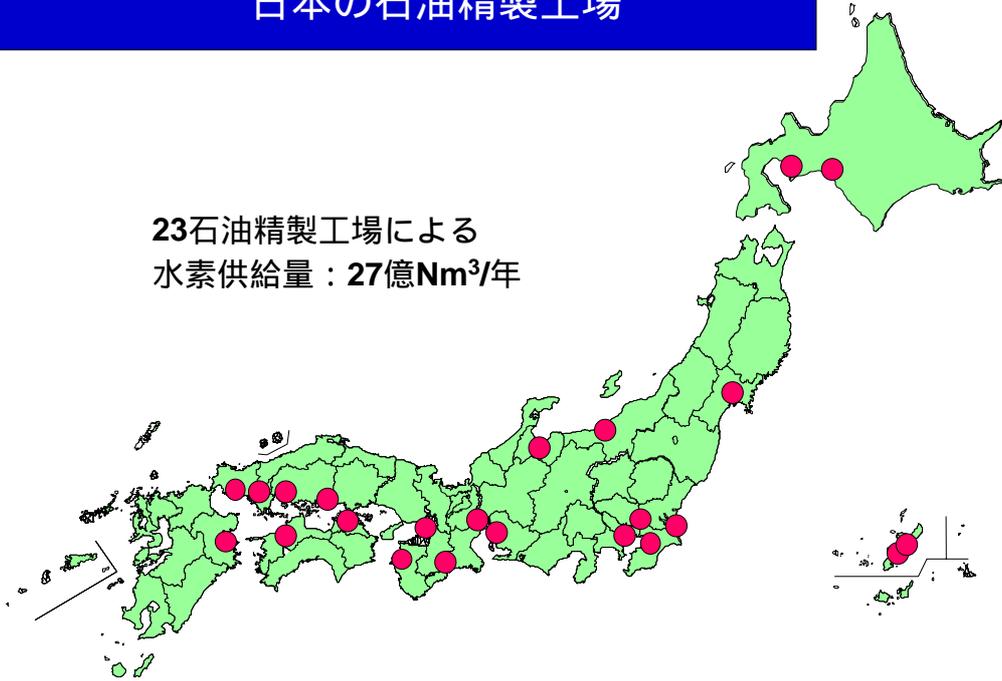
コークス炉工場: **53億 Nm<sup>3</sup>/年**

食塩電解工場  
コークス炉工場

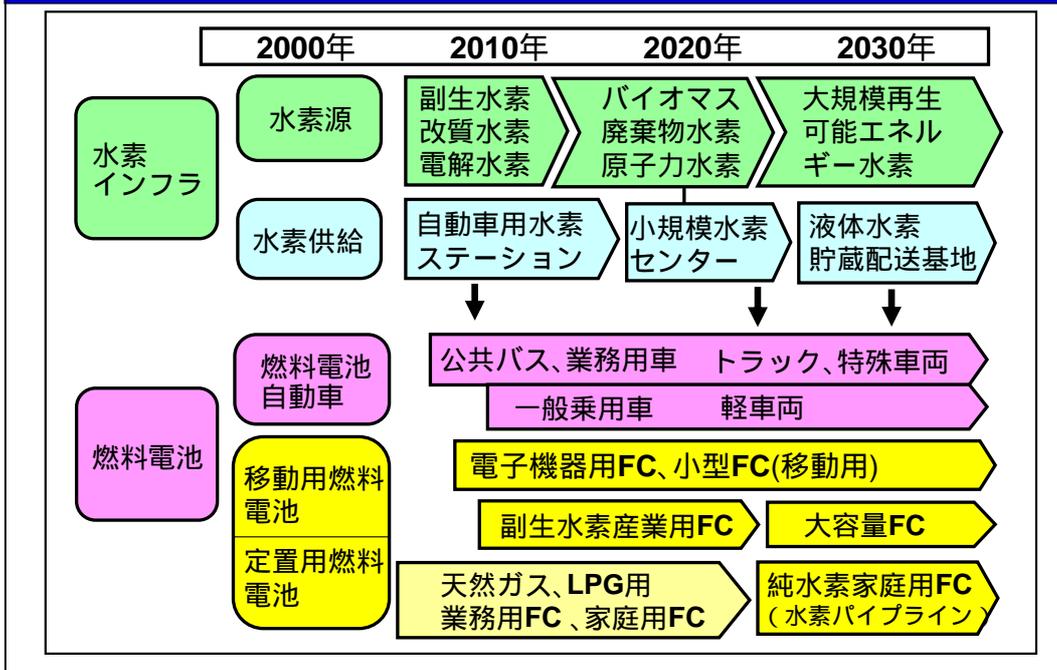


## 日本の石油精製工場

23石油精製工場による  
水素供給量：27億Nm<sup>3</sup>/年



## 水素インフラと燃料電池の将来展望



## 将来の水素利用システムのアイデア

水素のパイプライン供給や、水素を低圧で安全に貯蔵できる高性能で安価な水素吸蔵合金が開発されれば自動車や家庭におけるエネルギー利用形態はかなり変化する。

### 1. 水素のパイプライン供給

家庭用燃料電池は燃料改質器が不要となるので、コンパクト化、低コスト化、短時間起動、セル寿命の延長などが可能となり大量に普及する。また、車庫内の自動車の燃料電池から家庭に電力を供給することもできる。

### 2. 高性能水素吸蔵合金の利用

低圧で水素を大量に貯蔵できる水素吸蔵合金が開発されて、自動車用や家庭用に採用されれば、天然ガス改質器を家庭に設置して水素を製造、水素吸蔵合金に貯蔵しておき小型圧縮機で自動車に水素を充填できるほか、家庭用燃料電池を運転できる。

## 水素に関する将来の諸問題

1. 自動車用水素燃料の導入だけでは量的に少なく（2030年に1500万台分：170億Nm<sup>3</sup>）大きいCO<sub>2</sub>削減効果が期待できない。燃料電池以外の大量水素利用技術と大規模インフラの確立を目指す必要がある。
2. 水素の生産は、化石燃料を利用する場合はCO<sub>2</sub>フリーの水素製造、再生可能エネルギーの徹底的利用拡大、バイオマス水素製造などCO<sub>2</sub>削減効果の大きい水素インフラの確立と国内資源の活用を図る必要がある。
3. クリーンな燃料であっても既存燃料と経済的に競合できることが普及の必要条件となる。安価な水素の製造・調達方法の開発が必要である。



## 参 考 文 献

## 参考文献

### 第1章 水素エネルギー社会とその将来展望

#### < 参考文献 >

JHFC セミナー (2005) 要旨集。水素・燃料電池実証プロジェクト運用・データ検討ワーキング主査石谷久 『自動車領域・試験結果』

### 第2章 日本政府の水素エネルギー社会への取組

#### < 参考文献 >

「最新の水素技術」(日本工業出版社、2003)

「最新の水素技術」(日本工業出版社、2004)

資源エネルギー庁(2004)「第12回燃料電池実用化戦略研究会配付資料」

資源エネルギー庁(2005)「第13回燃料電池実用化戦略研究会配付資料」

燃料電池実用化戦略研究会(2001)「燃料電池実用化戦略研究会報告」

副大臣会議燃料電池プロジェクトチーム(2002)「燃料電池プロジェクトチーム報告書」

#### < 参考URL >

環境省 : <http://www.env.go.jp/>

経済産業省 : <http://www.meti.go.jp/>

国土交通省 : <http://www.mlit.go.jp/>

資源エネルギー庁 : <http://www.enecho.meti.go.jp/>

首相官邸 : <http://www.kantei.go.jp/>

東京瓦斯株式会社 : <http://www.tokyo-gas.co.jp/>

独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO)

: <http://www.nedo.go.jp/>

内閣官房 : <http://www.cas.go.jp/jp/seisaku/nenryoudenti/index.html>

### 第3章 水素エネルギー社会を目指す各国の戦略的取組

### 第4章 水素エネルギー社会における新たな水素インフラのあり方

#### < 参考文献 >

資源エネルギー庁(2005)「燃料電池に関する政府の取り組み」

#### < 外国文献 >

Sergio De Sanctis.(2003),*Infrastructure & problems concerning the hydrogen distribution*.SAPIO Group

California Environmental Protection Agency(2004),*The California Hydrogen Highway*.

The Concurrent Technologies Corporation Team(2004),*Pennsylvania Regional Infrastructure Project*.

Holger,Grubel.(2005),*CUTE-Clean Urban Transport for Europe Hydrogen Infrastructure*.HEW/Vattenfall,Germany

Henry,Hogo.(2004) *South Coast AQMD NGV Project Update* .South Coast Air Quality Management District

Walter,Rau.(2005),*A Major Step Towards Cleaner Urban Transport*.DaimlerChrysler AG, Germany

PowerTech(2004),*Compressed Hydrogen Infrastructure Program*.

Onno,Florisson.(2005),*A Step Towards the Hydrogen Economy by Using the Existing Natural Gas Grid (the Naturalhy Project)*.N.V.Nederlandse Gasunie

Gaz de France .(2005),*Naturally - Durability*.

G.Hankinson (2005),*Assesing the Changes in Safely Risk Arising from the Use of Natural Gas Infrastructure for Mixtures of Hydrogen and Natural Gas*. Loughborough University,UK

SECAT,INC(2005),*Materials Solutions for Hydrogen Delivery in Pipelines* .

Oak Ridge National Laboratory (2005),*New Materials for Hydrogen Pipelines*.

Dr.Robert.N.Miller(2005),*Pennsylvania Regional Infrastructure Project: HydrogenSeparation and Sensor Development*.Air Products and Chemicals

Mark E. Richards (2005),*Natural Gas Utilities Options Analysis for the Hydrogen Economy*.Advanced Energy Systems

Floris Mulder.(2005),*Does transport offer a basis for developing the hydrogen economy?*SenterNovem,The Netherlands

Oak Ridge National Laboratory (2005),*Delivery Tech Team*.

California HydrogenHighway Network(2005),*California Hydrogen Blueprint Plan Volume-II*.

Massachusetts Hydrogen Coalition(2004),*Hydrogen, Fuel Cells, and Infrastructure Technologies*.

Mitchell W. Pratt ,*The Role of Natural Gas in the Transition to a Hydrogen Economy*.Public Affairs and Business Development

## 第5章 水素エネルギー社会における都市・住宅のあり方

### < 参考文献 >

槌屋治紀 (2003) 「燃料電池」 筑摩書房

New Wave in Building 研究会/編 (1998) 「サステイナブル社会の建築オープンビルディング」 日刊建設通信新聞社

団地再生研究会編・著 「団地再生のすすめ エコ団地をつくるオーブ」 マルモ出版

### < 参考URL >

東京都水道局 : <http://www.waterworks.metro.tokyo.jp/koe/qa-14.htm>

UR 都市機構 : <http://www.ur-net.go.jp/rd/ksi/>