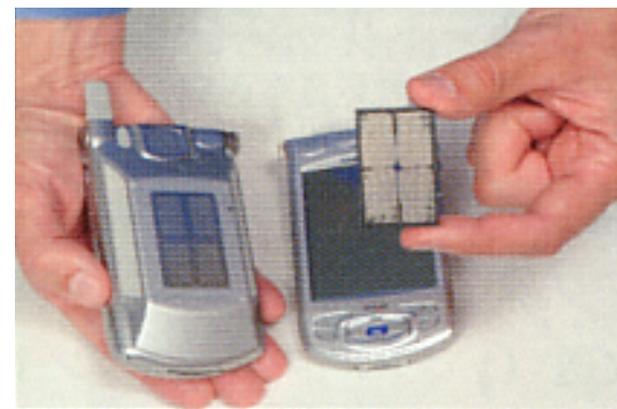


# 燃料電池



携帯電話用燃料電池

光和商事(株) 荒木 巍

H17.6.3

原理

**燃料電池(FC):** 燃料と酸化剤を電極に供給することによって燃料の保有する化学エネルギーを直接に電気エネルギーに変換する装置

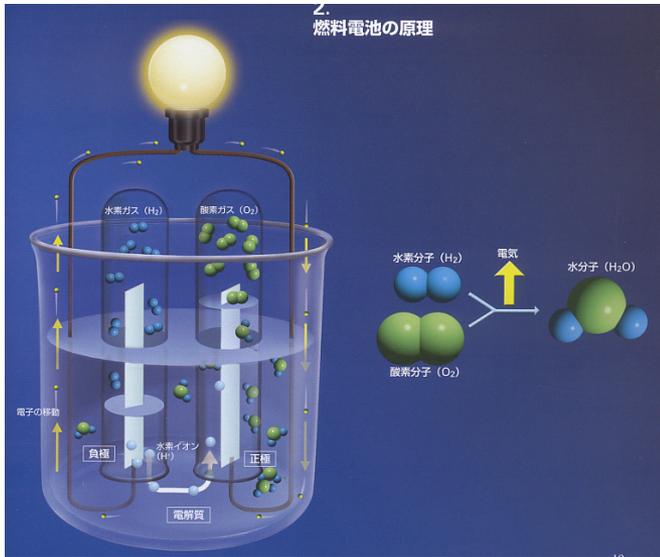


図3-2 FC発電の原理



図3-1 FCの基本コンセプト

燃料電池の化学反応	
$H_2 + \frac{1}{2} O_2 \rightarrow H_2O + \text{電気}$	
燃料極	$H_2 \rightarrow 2H^+ + 2e^-$
空気極	$\frac{1}{2} O_2 + 2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2O$

図3-3 FCの化学反応

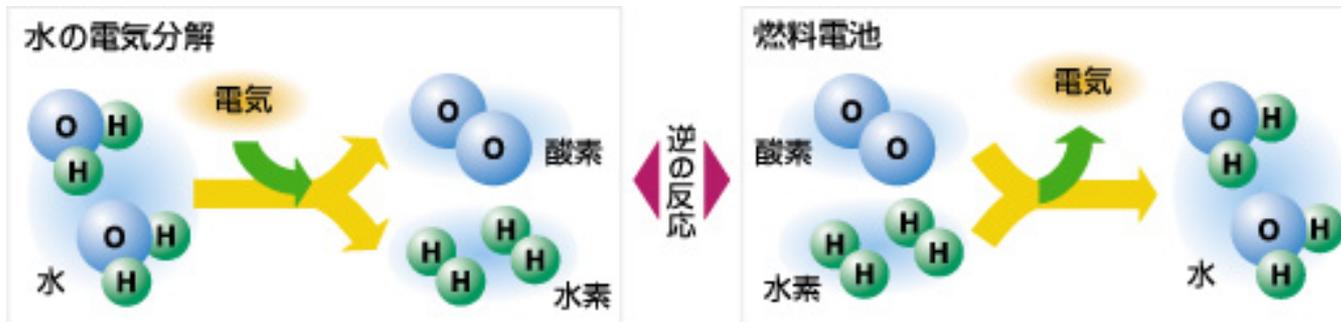


図3-4 水の電気分解とFCとの対比

種類・型式

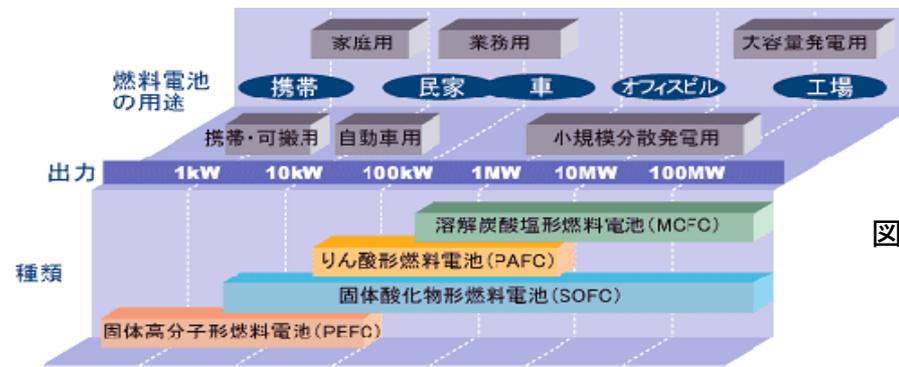


図3-4a 各種FCの出力と用途

種類	固体高分子形 (PEFC)	リン酸形 (PAFC)	溶融炭酸塩形 (MCFC)	固体電解質形 (SOFC)
原料	都市ガス、LPG等	都市ガス、LPG等	都市ガス、LPG、石炭等	都市ガス、LPG等
作動気体	水素	水素	水素、一酸化炭素	水素、一酸化炭素
電解質	陽イオン交換膜	リン酸	炭酸リチウム、炭酸カルウム	安定化ジルコニア
作動温度	常温～約90℃	約200℃	約650℃	約1000℃
発電出力 発電効率*1	～50kW (35～40%)	～1000kW (35～42%)	1～10万kW (45～60%)	1～10万kW (45～65%)
開発状況	導入普及段階	導入普及段階	実証段階(1MWプラント開発)	試験研究段階(数kWモジュール開発)
用途	家庭用、小型業務用、自動車用、携帯用、首相新公邸、	業務用、工業用	工業用、分散電源用、愛知万博入場券	工業用、分散電源用、
企業名②	トヨタ、ホンダ、エバラ、パナソニック、パソナ、各社、IHI、MHI	東芝-UTC、富士電機	MCFC技術研究組合(IHI、日立、電力中央研究所、9電力各社) etc	MHI、京セラ、三菱マテリアル、中電、関電

アルカリ燃料電池(AFC)は日本では取組み企業ないため省略

\*1)LHV: 燃料の低位発熱量基準-燃料を完全に燃焼させたときの発電量から水蒸気の凝縮潜熱を差し引いた値

## 特長

低騒音	本体(スタック)に可動部分がなく、騒音・振動が少ない
効率	SOFC複合発電で在来火力をしのぐ70%を目標。小規模でも30~40%(HHV)
環境	CO <sub>2</sub> 、NO <sub>x</sub> の排出が少ない。(種類、燃料により差異)
小型	PEFCでは体積当たりの発電量が大



HHV: 高位発熱量(水の蒸発潜熱を含める)

PEFC	常温作動のため、車両、携帯機器、家庭用など小型・移動型の量産型用途で今後の主役。コストダウンが普及のポイント。高価な白金を使うので代替材の研究が進められている
PAFC	電解質のりん酸は安くて豊富。CO <sub>2</sub> 問題はない。ホテルなど中規模施設向けに200件以上の導入例あり。性能・コスト面でPEFCなどの追撃で普及見通しは不明。システム加圧用に過給機が使われた例がある。
MCFC	電力業界が開発主導。2004年、NEDOニューサンシャインの開発が終わり、分散型電源市場をターゲットに、また数万kW級中小火力発電の代替が目標。電極のNiが触媒の働きをするので白金は不要
SOFC	1000℃の高温のため効率はFCの中で最高レベル。構成部材はすべて固体。日本の開発成果は世界トップレベル。当初の適用対象は発電所。小型化して車載用補助電源としての研究も進められている。高温のためスタート時間が問題。

パッケージ内の主要構成器機ユニット(定置用の場合)

- A. 燃料電池本体(セルスタック)      — 水素と酸素から直流の電気を発生
- B. 燃料改質装置                   — 都市ガスなどから水素を作る装置
- C. インバータ                       — 燃料電池本体で発電した直流を交流に変換
- D. 排熱回収装置                   — A. 及びB. から出た熱を回収して蒸気・温水に変換

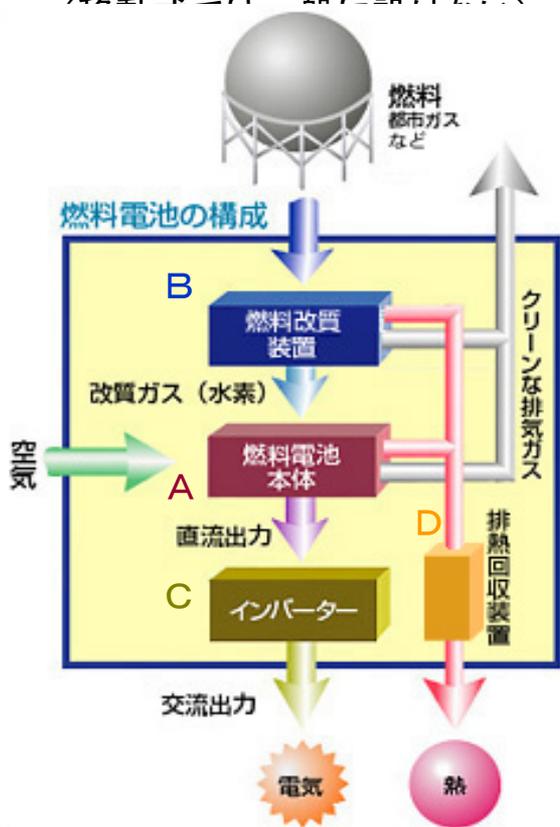


図3-5 FCの構成

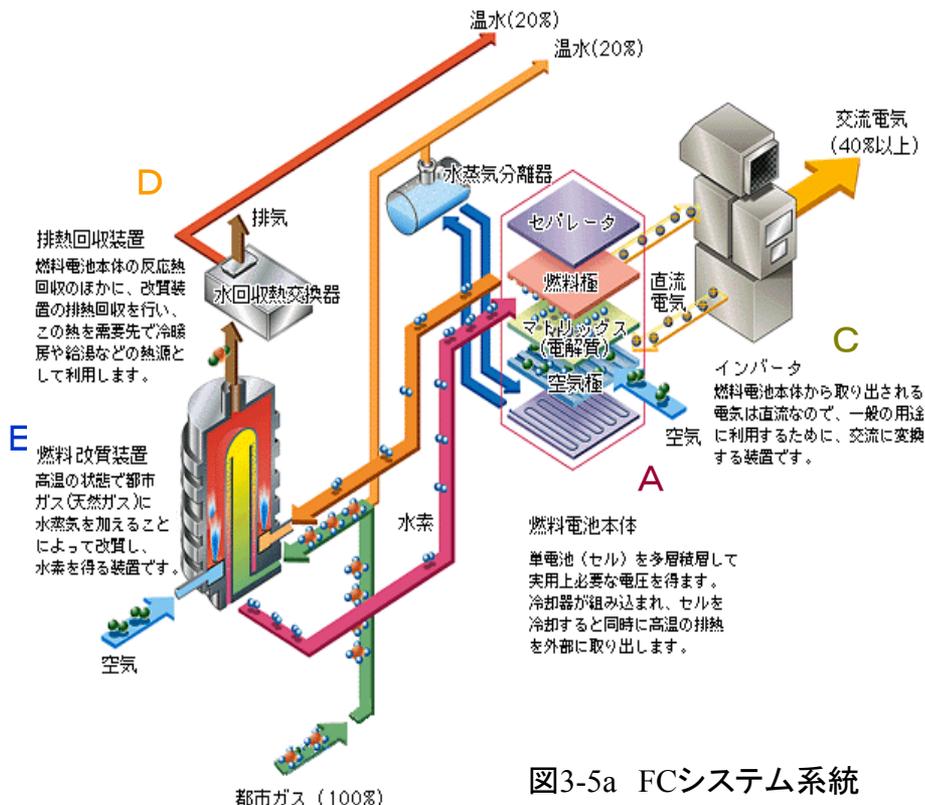


図3-5a FCシステム系統

## FC本体の構造・特性

FCの理論上の効率は80%以上と高いが、実際には内部抵抗が大きく、電流を多く取り出そうとすると発熱によりロスが増える。PEFCで約40%となる。

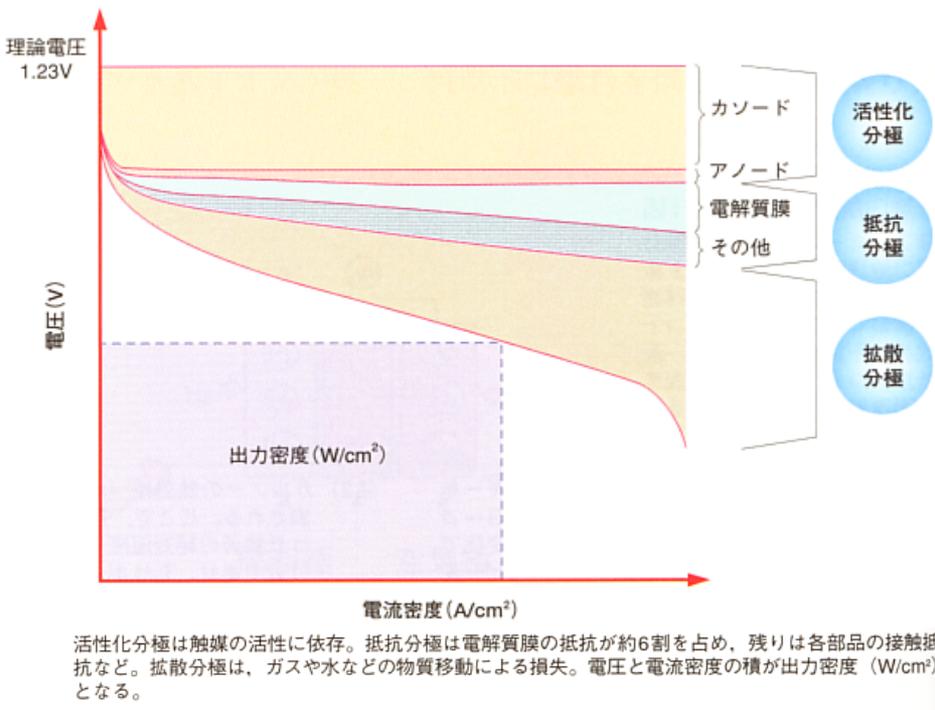


図3-7 PEFCの各種の内部損失(電圧降下)

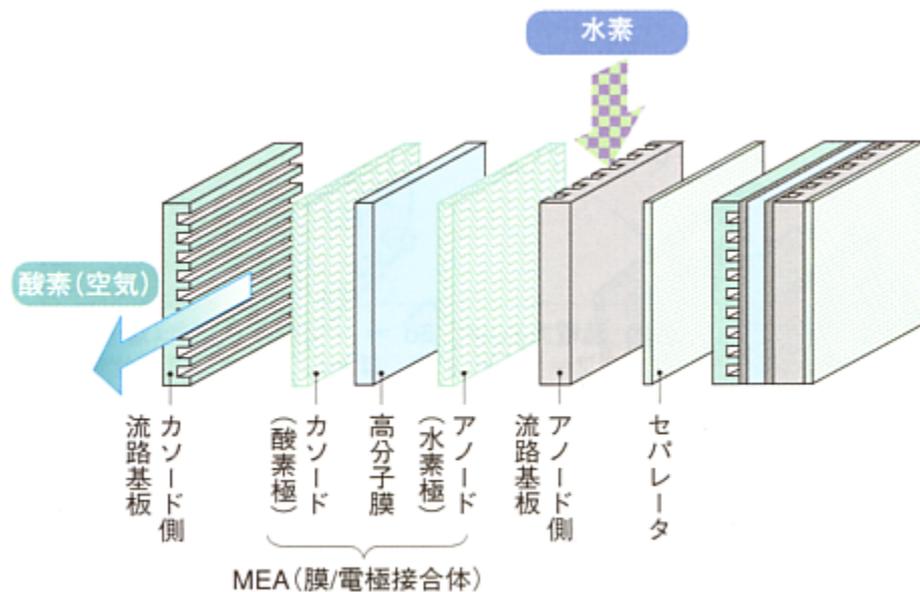
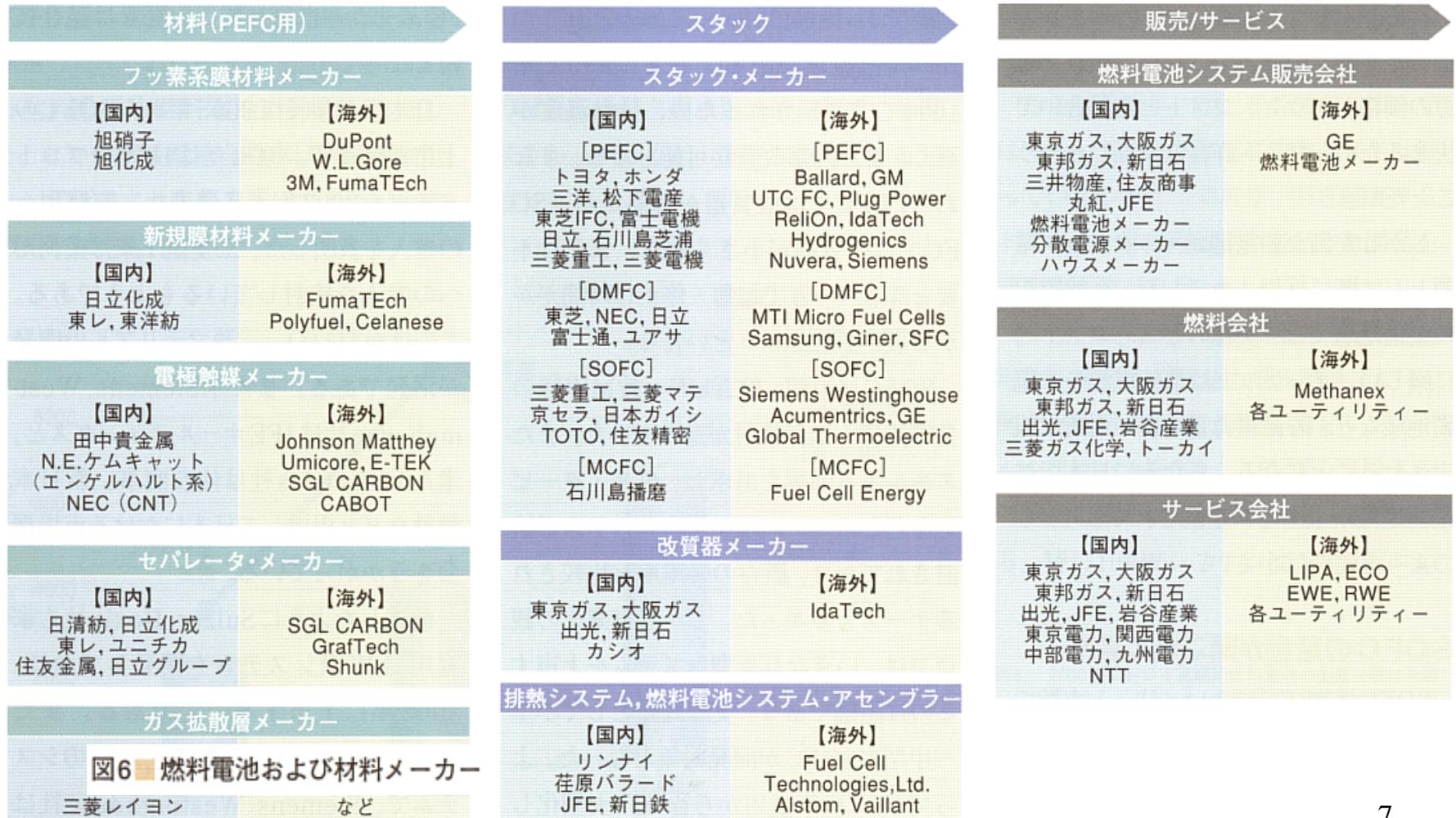


図3-6 PEFCの構造(例)

PEFCでは本体スタックの設計とともに材料技術の進歩が不可欠。将来の市場拡大を期待して、膜、電極、セパレータ、その他で多くの企業が開発に取り組んでいる。



## 歴史的経緯

1801 燃料電池(FC)の原理の発明－英デービー卿

1839 FC発電実験に成功－英グローブ卿

1952 現在のFCの原理となる実験に成功し、特許を取得－英ベーコン

1968 ベーコンの特許を取得し、アルカリ型FCの実用化に成功－米ユナイテッド。エアクラフト社

1965 実用第1号機、米ジェミニ5号に搭載

1969 アポロ宇宙船に搭載され、月へ到達

1972 定置用PAFCの開発開始、12.5kWの実証実験－米Target計画

1981 日本 通産省ムーンライト計画で燃料電池の開発を開始

1992 PAFCフィールドテスト実施

1993 通産省ニューサンシャイン計画スタート

2000 小型定置用燃料電池「ミレニアムプロジェクト\*1」がスタート

2002 燃料電池自動車のリース販売開始－トヨタ、ホンダ

2005 家庭用燃料電池システムリース販売開始②

2005 携帯情報端末用電源として販売開始②

\*1) ミレニアムプロジェクト:2000年度に千年紀に因んで人類の直面する課題に応え、新しい産業を生み出す大胆な技術革新に取り組むため、「情報化」「高齢化」「環境」の三分野においてプロジェクトを採択し、産学官一体となって未来を切り開く核を作り上げようとするもの。PEFCは地球温暖化防止に役立つものとして環境の分野で取り上げられ、自動車および住宅用として導入を図る目標が示された。

実用化へのスケジュール	2000年度	2001年度	2002年度	2003年度	2004年度	2005年度
燃料電池の試験	安全性・耐久性等の各試験の実施と試験結果のフィードバック					
燃料電池の試験方法の確立	試験方法確立のための調査・研究		安全性・耐久性等試験方法の確立			
燃料電池関連基準の整備	基盤整備のための調査・検討			標準案の作成		
	国際標準活動への参加・活動			国際標準の提案		

図3-10 PEFCの国のこれまでの取組み

## 最近の開発成果

PAFCは技術的にはいちばん早く実用化。コストが下がり、代わりにPEFCが注目されてきている

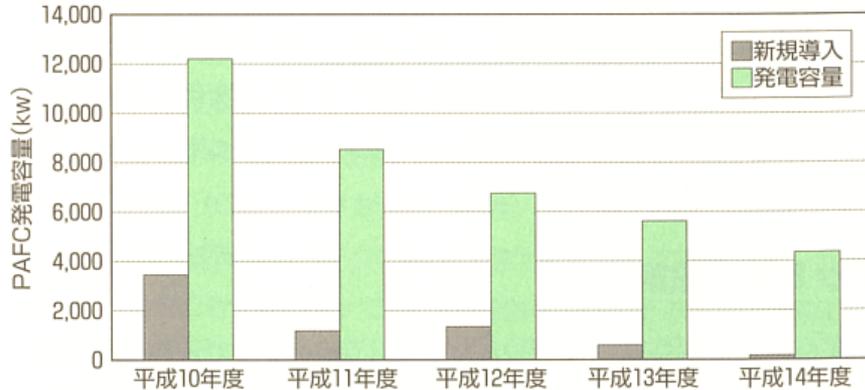


図3-8a PAFCの発電容量推移

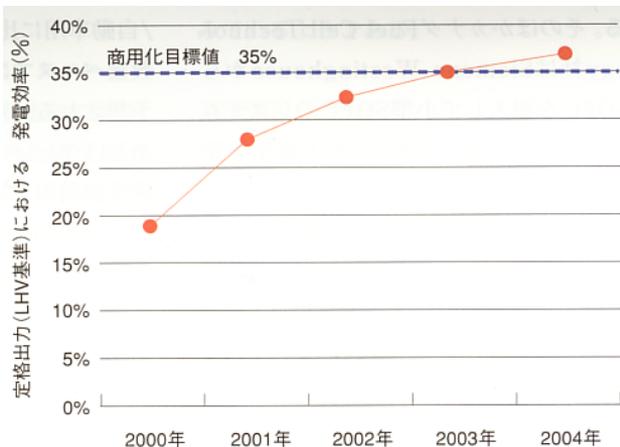


図3-8 効率の向上

## SOFCの開発で日本は世界のトップレベル

1996年	・中部電力が独自開発のSOFCで世界最高出力である5.1kWを実現
2000年	・東京ガスが世界最高レベルの発電出力を持つSOFCの平板形単電池を独自開発。発熱950℃で熱自立運転 ・三菱重工、中部電力が平板型SOFCとして世界最高の15kW発電と7500時間の運転に成功
2001年	・電源開発が世界初となる内部改質型10kW級SOFCの755時間連続発電を達成。効率41.5% (HHV) ・三菱重工と電源開発は、ガスタービンとの複合発電に不可欠な加圧型SOFCセルモジュールの開発、運転に世界で初めて成功する
2002年	・中部電力と三菱重工が、平板型として世界初の50kW級SOFCの開発に着手 ・東京ガスが平板型SOFCセルスタックの独自開発に成功。世界最高の発電効率53.6%を実証
2003年	・京セラが、1kW級SOFCで世界最高レベルの発電効率54% (LHV) を達成。780℃。2005年商品化めざす ・関西電力と京セラが、メタン燃料の低温作動1kW級SOFCで世界最高レベルの発電効率40%を達成。世界水準は30～35% ・関西電力と三菱マテリアルが、低温作動1kW級SOFC発電システムを開発。世界最高レベルの発電効率40%を達成。世界水準は25～30%

図3-9a 国内SOFC開発成果(2003年まで)

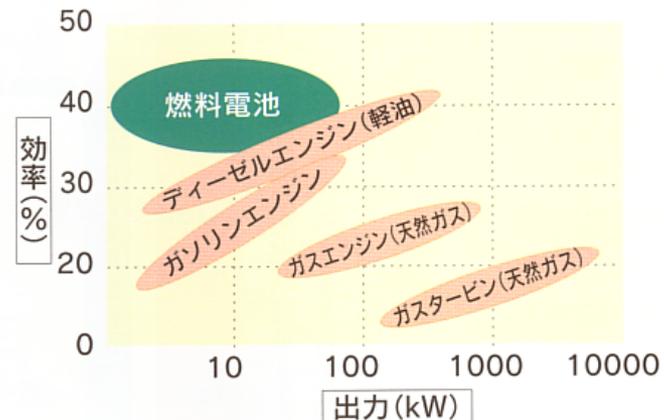


図3-9 各形式の発電効率(新日本石油パンフレット)

## 定置用PEFC

小規模事業用、家庭用として都市ガスを燃料とするパッケージ化した商品化がほぼ完成。原則的にコジェネとして排熱利用して電気+給湯(熱)で高効率を狙う

電力に比べて給湯の割合が大きいので、電力需要不足分は売電を使う

燃料は基本的には天然ガス、LPガス、灯油の3種類で既存の燃料供給のインフラが使用できる。CO<sub>2</sub>は発生するが、対利用エネルギー比では少ない

高温部がないので民生用として取扱上の問題は少ない

実使用で問題となる起動停止時のエネルギーロスや部分負荷での効率維持がこれからの課題

定置用燃料電池実証研究(新エネルギー財団)により全国12ヶ所で運転試験

バラード社/カナダなど海外企業も日本市場を狙う

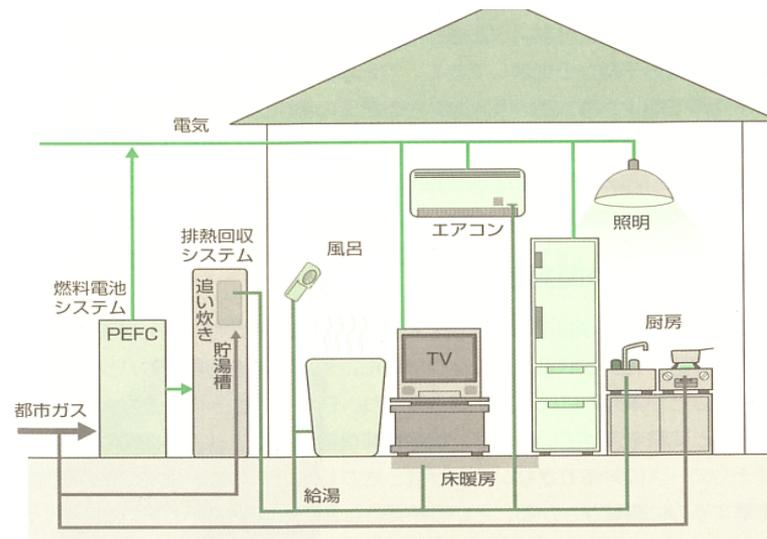


図3-11 家庭用コジェネシステムの概念図

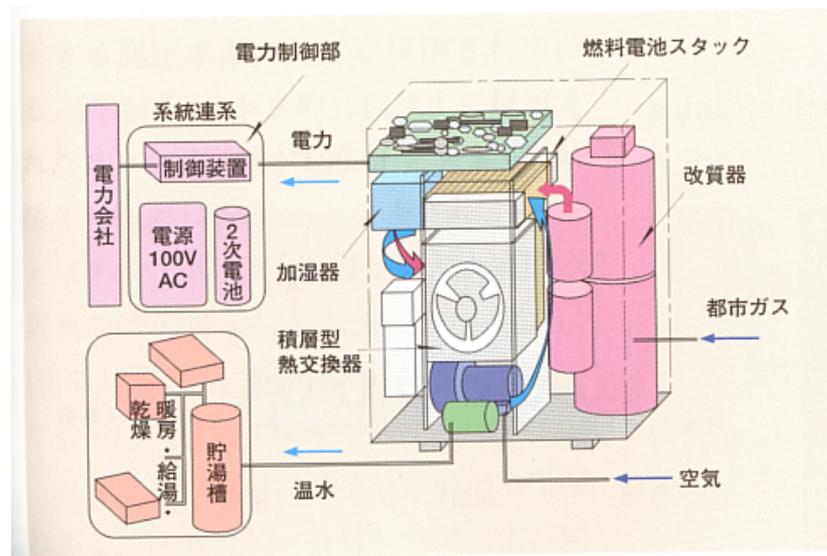


図3-11a コジェネの内部構造

日本では2002年よりリース販売を開始した。

JHFC (Japan Hydrogen & Fuel Cell Demonstration Project / 水素・燃料電池実証プロジェクト) でFCカーの公道走行試験を実施する(自動車メーカー8社が参加)

現時点では製造コストは1億円といわれ、2010年ころまでに市場投入を期待。ハイブリッドカーの次の世代が狙い

水素ステーションの普及がFCカー普及の絶対条件。燃料は高圧水素が主流

水素生産の効率(~58%)を勘案すると現時点ではFCのメリットはない。“脱石油”が狙い

FCスタックを自社生産(トヨタ)するか、購入(ホンダ)するかは自主技術固執とコストからの選択

FCバスはカナダ(巴拉ード社)が一步先行

普及のために解決すべき技術課題——システム効率の向上、コストの低減、水素貯蔵技術、小型化、安全性、信頼性、サービス性、リサイクル性の向上⑨

普及のために必要な法整備、規制緩和——水素供給ステーション建設、FC車への水素燃料充填、水素高圧ガス容器、車両搭載タンクの再検査、燃料装置の車両適合、燃料ステーションの併設



図3-12 2008年発表のリース用の車

ホンダ  
FCXクラリティ→  
トヨタ  
← FCHV-adv



競合機種との対比

用途  
 燃料電池の利点  
 燃料電池の欠点

**自動車ーガソリンエンジン②**

排気ガス  
 化石燃料依存脱却  
 騒音・振動

総合効率プリウス32%⇔トヨタFCV29%(燃料生産の効率も含む)  
 水素燃料の各種規制緩和  
 寒冷地対策  
 2桁のコストダウン  
 水素燃料タンクの容積大  
 負荷追従性

**風力・太陽光発電**

安定電力  
 設置場所の制約が少ない  
 出力密度大  
 給熱併用

燃料費  
 燃料供給ライン

燃料電池

**家庭用電カライン⑩**

電熱バランス上完全自立は困難  
 大停電の問題は少ない  
 電源の分散化

水素の保安、各種規制  
 燃料の定常的供給

**携帯用パソコン電源①**

リサイクル容易  
 残量確認  
 作動時間4倍

航空機持込制限  
 熱放散(発電効率40%)  
 水分排出

**大型自家発電**

環境負荷  
 コージェネ効率

最大出力  
 実績(耐久性、メンテナンスコスト不確定)

SOFCコージェネを想定

現在のLiイオン2次電池との対比

家庭用コジェネで設置コストが高くて光熱費が節約できれば約5年で償却できると目論む ①

FC設置費45万円 現全自動給湯器20万円 → 差D=25万円

光熱費節約5万円/年  $D25万円 \div 5万円 / 年 = 5年$

2005年 東ガス、新日本石油は一般需要家へのPEFC販売を開始。システムコストが高いのでリース販売方式、パートナーシップ契約などで導入を図っている。市場規模は2010年-2240億円/年(除. 定置用のうち業務用)。この業務用を含めても上限5000億円/年と推測①

自動車用PEFCでは5000円/kw出力、家庭用では1kwシステム全体として30~50万円が必要価格とされている。⑩

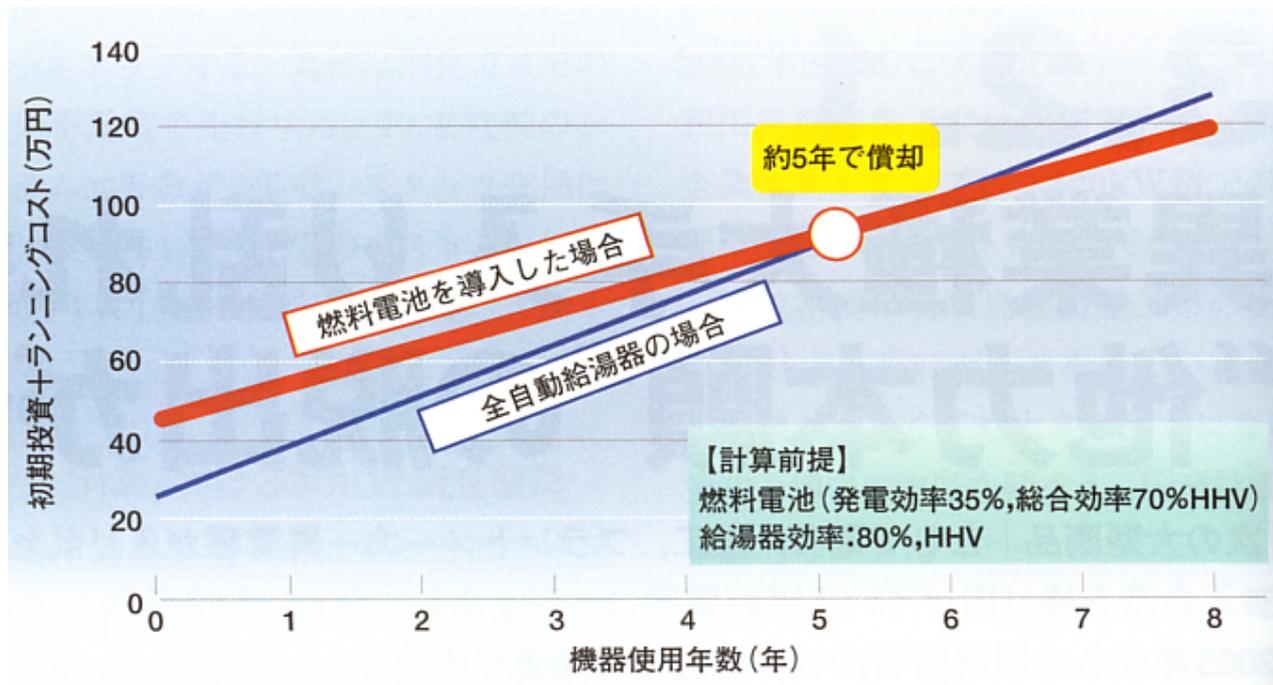
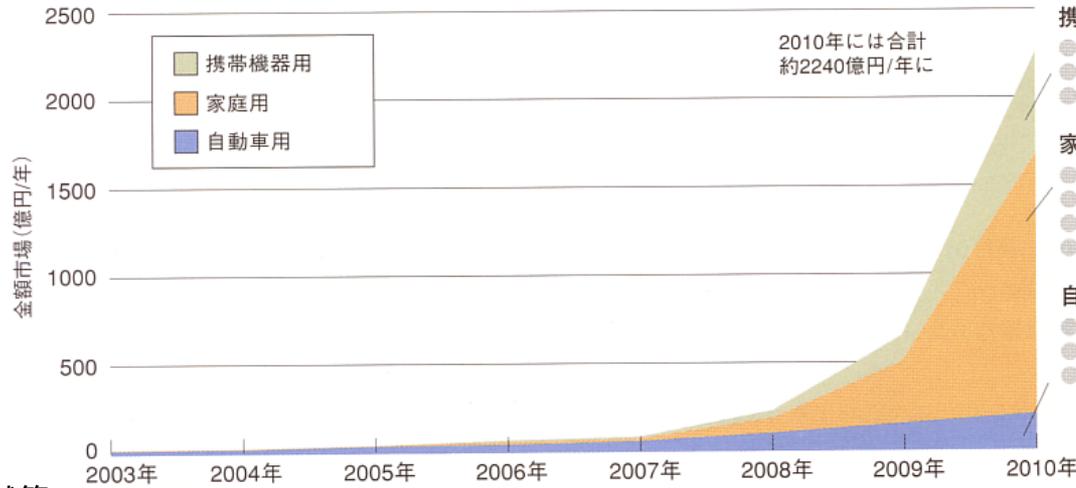


図3-13 FCコジェネの経済性



- 携帯機器用：600億円/年**
- 2次電池を代替する
  - 2010年には携帯機器の10%に搭載される
  - 携帯機器用2次電池市場は約6000億円/年
- 家庭用：1400億円/年**
- 日本：太陽光発電の普及推移を参考
  - 海外：日本と同数出荷を仮定
  - 市場規模：約20万台/年(2010年)
  - システム価格：70万円/台と仮定
- 自動車用：240億円/年**
- EV(電気自動車)を代替する
  - 2010年の市場規模：約8000台/年
  - 燃料電池システム(十エネルギー貯蔵装置)のコスト：300万円/台と仮定

注) 業務用、ポータブル用、バス用燃料電池市場を含んでいない。また、材料メーカーが考慮に入れなければならないR&D市場を含んでいない。最も大きいR&D市場を持つのは自動車用である。

①

図3-14 FCの市場試算

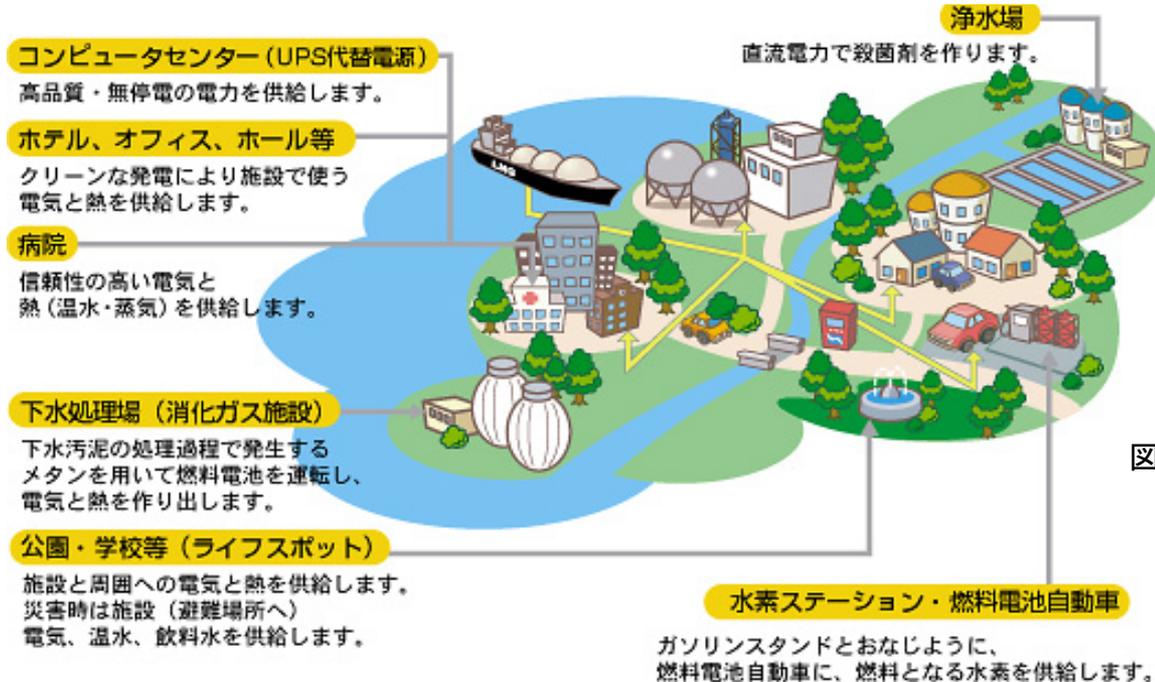
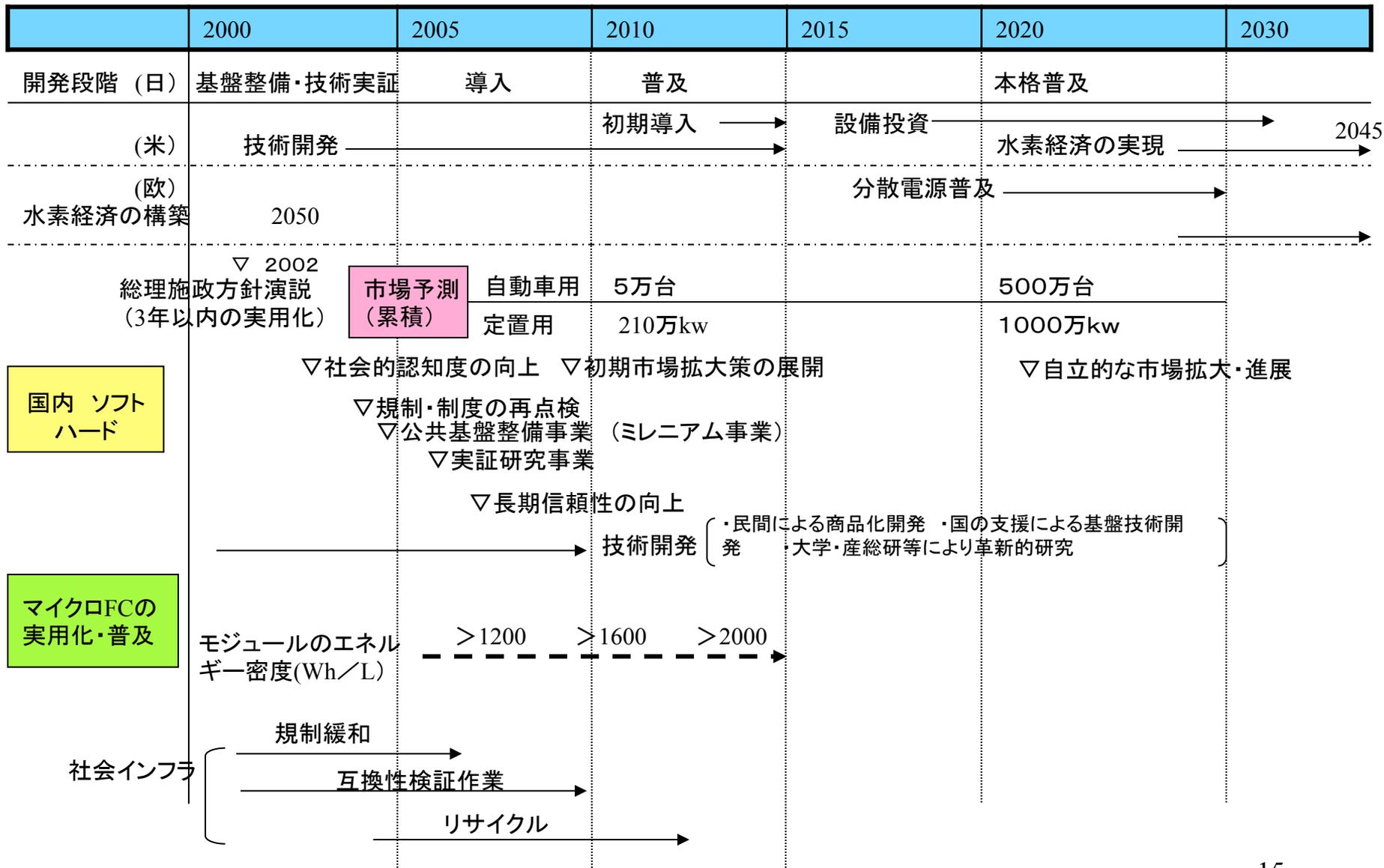


図3-14a 各用途でのFCの働き  
⑤

# 今後の開発計画



## FC開発の推進体制

ムーンライト計画(1981から1992) - MCFC基本設計  
MCFC研究組合 NEDO (1988~)

ニューサンシャイン計画(1993~2004) 1000kwMCFC  
運転研究

燃料電池・水素技術開発部 NEDO

燃料電池NPO法人 PEM-DREAM

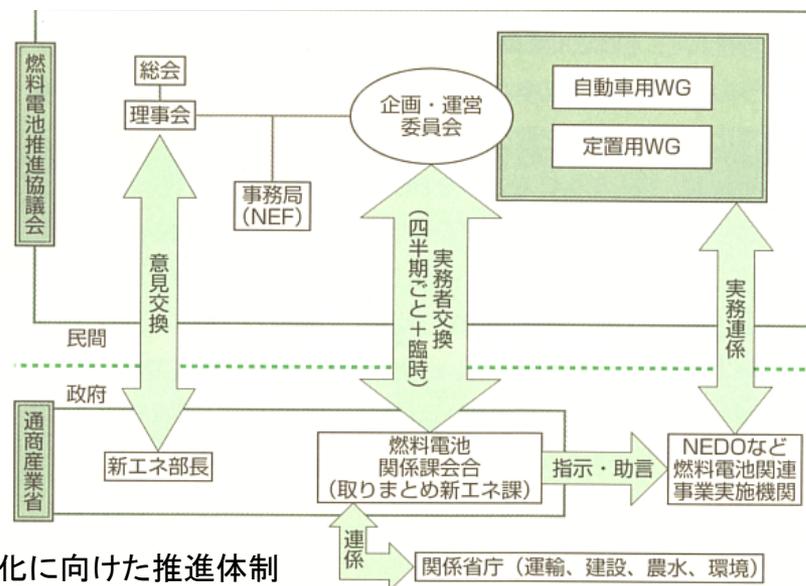


図3-15 FC実用化に向けた推進体制

溶融炭酸塩形燃料電池連携研究体 (独)産業技術総合研究所—関西センター

SOFC研究会 (社)電気学会 (1988~現在)

燃料電池プロジェクトチーム (2002年単年度—報告書 経済産業省、国土交通省、環境省)

燃料電池実用化戦略研究会 資源エネルギー庁長官私的研究会 (1999~2001)

燃料電池実用化推進協議会(FCCJ) 新エネルギー財団(NEF) (2001~) 戦略研究会を基に発足

水素・燃料電池実証プロジェクト(JHFC) 経済産業省 (2003~) 自動車用PEFC

定置用燃料電池実証研究 NEF (2002~06)

定置用固体高分子形燃料電池システム普及基盤整備事業 経済産業省 (2000~)

燃料電池開発情報センター(FCDIC) (1986~)

コスト	FC本体のみでなく、補機類の削減、消費電力の削減、高耐久化で初期運用コストの大幅削減が普及の鍵。白金触媒の使用量低減、セパレータ、電解質膜の1/10の低コスト化が必要
耐久性	PEFCコジェネとして4万～9万Hr以上の長期耐久性が必要条件。セル耐久性を妨げる劣化要因としては、電解質膜のクロスリーク、空気極の触媒有効面積減少、燃料極のシタリングによる耐久性低下がある
白金の消費	触媒の白金量を増加すれば発電効率、耐久性の向上が達成されるが、白金は貴金属でありその使用量低減が必要。またその劣化防止、代替金属触媒の開発が必要
電解質膜	低コスト、劣化の少ない高耐久性、高温対応膜の開発、電荷物質移動現象の解明などが課題
水素インフラ	自動車用、家庭用などでPEFCが普及するためには、燃料としての水素の供給に支障をきたさないよう、水素の製造、貯蔵、輸送、安全確保など価格を含めた環境整備が必要
ソフトインフラ	水素燃料供給運用のため、高圧ガス保安法、消防法、道路運送車両法など安全基準、規制整備が急務。また最適運転制御方式の開発も課題
モジュール化 コンパクト化	さまざまな温度、湿度を制御するため、流量計、ポンプ、制御弁など制御装置があり、モジュール化、コンパクト化が必要
安全性、信頼性	FCはこれから普及するものであり、安全性、信頼性、運用方式などの基準・標準が未整備。現在進行中

注: シタリングー焼結。粉末状の原料を加熱して焼き固めること

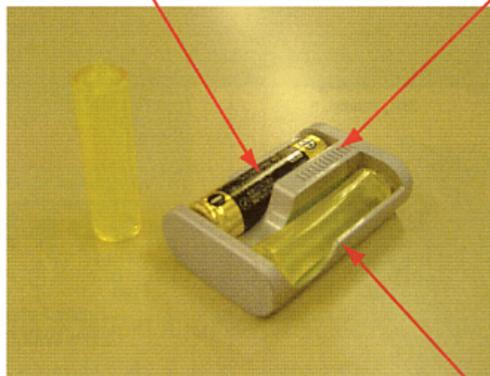
<b>改質器</b>	メタン(天然ガス)、プロパンなどの炭化水素、メタノールなどを化学分解して水素を分離・抽出する装置。現在はFCスタックよりも大きく、小型化、コストダウン、効率化の開発が進行中。反応促進のため触媒を使う
<b>DMFC(直接メタノール型FC)</b>	メタノールを改質せずに、直接燃料極に供給して反応させるFC。構造がシンプルで小型向きであるが、まだ出力密度が低い。燃料は小型カートリッジに入れて交換でき、充電方式に代わるものとして利便性が高い
<b>スタック</b>	PEFCのセルを多数積み重ねて直列につないで必要な電圧に高める。多くのセルを重ねて一つのパッケージとする。
<b>セル</b>	PEFCの最小単位で固体高分子膜(電解質膜)を+と-の電極板で挟む構造。+、-両極には数多くの細かい溝があり、この溝を外部から供給された酸素と水素が電解質膜を挟んで通ることによって反応が起こり電気を発生する。セル1つで0.7V発生
<b>セパレータ</b>	PEFCでセルを重ねてスタックを形成するときに、セル間に挟んでセル同士を遮断するもの。家庭用PEFCでは金型成形のカーボン材、自動車用PEFCではステンレス鋼などが開発中
<b>電解質</b>	FCでは物質内をイオンが移動することで電気を発生するが、電子を通さずにイオンのみを通す物質が電解質で、FCには欠かせない重要なパーツ。FC形式により固体、液体などでいくつかの種類がある
<b>パッシブ型FC</b>	FCのセルに燃料や空気を供給するためのポンプ、コンプレッサなどの補機を搭載せずに、重力や毛細管現象だけで駆動する仕組みのFC。携帯器機用に有効
<b>触媒</b>	PEFCで反応効率を上げるために使う。白金(Pt)触媒は高価なので微粉末を分散させて表面積を上げる技術が重要。触媒の劣化を防ぐために合金化や新材料の探索も必要
<b>MEMS</b>	半導体製造技術を使ってSi基盤やガラス基盤のうえに微細な流路や反応室を作り込み、超小型のFCシステムを作る研究が進んでいる。携帯電話機、デジタルカメラ等の用途が考えられる
<b>MEA</b>	膜電極接合体。電解質膜の両側に触媒(白金など)をイオン交換樹脂などの混合物からなる触媒層およびその外側にガス拡散層を接合して一体化したもの

MEMS: Micro Electro Mechanical Systems

MEA: Membrane Electrode Assembly

既存の乾電池も使える

発電ハードウェア（燃料電池内蔵）



実現技術：ダイレクト・メタノール型やショ糖型に期待

汎用ボトルと同じ素材でできた交換式の燃料パック



汎用ボトルと同じ素材でできた交換式の燃料パック

- 捨てるときに迷わない
- 既存のリサイクル・システムを利用可能
- 残量が確認できる
- 将来は生分解ボトル化も可能

発電ハードウェア（燃料電池内蔵）

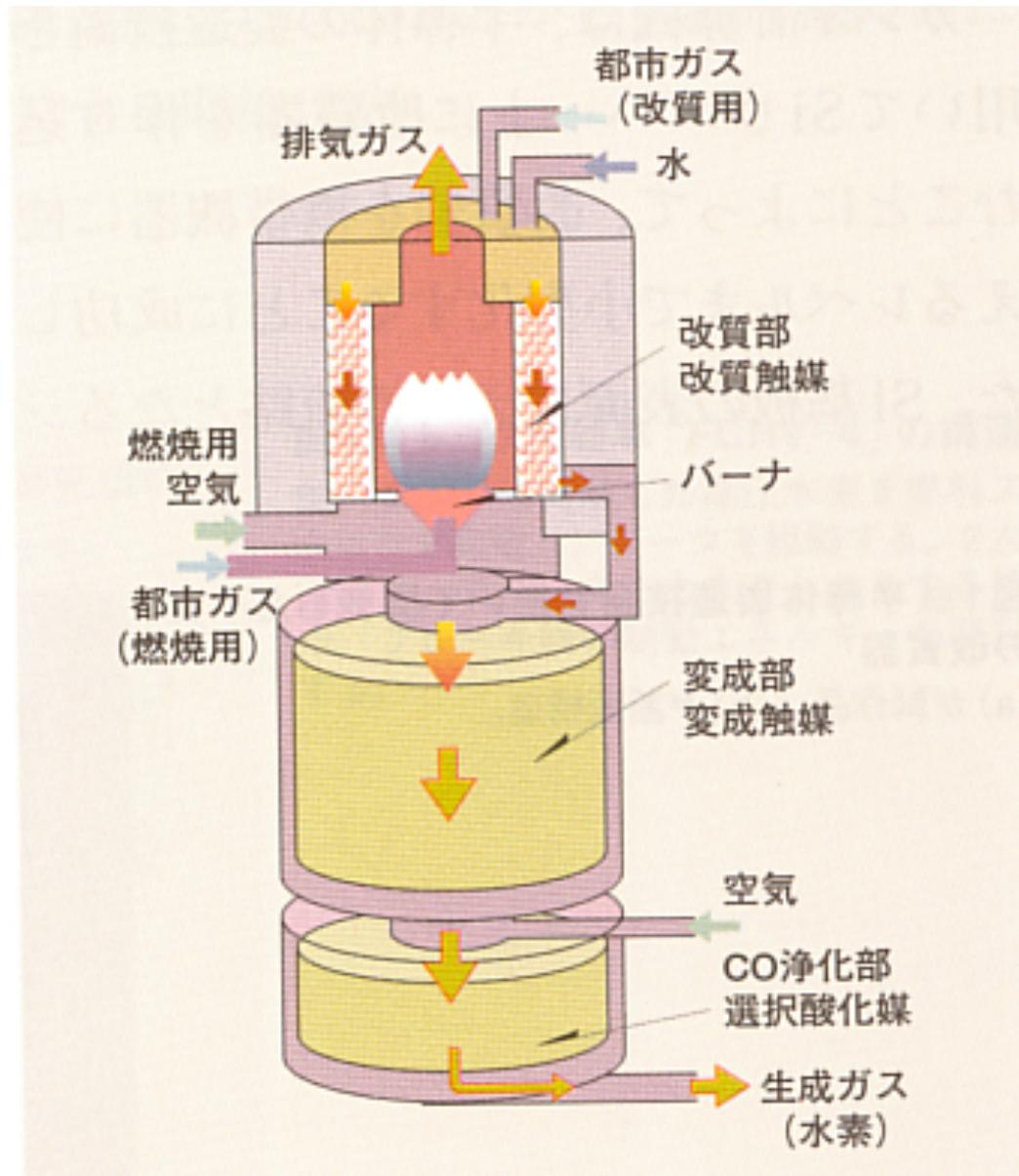
- 連続動作時間を3倍～4倍に延長
- ノート・パソコンなら駆動時間を5時間から20時間に

実現技術：燃料改質型に期待

図11 ■ 業務用ノート・パソコンへの採用（Liイオン2次電池の置換）

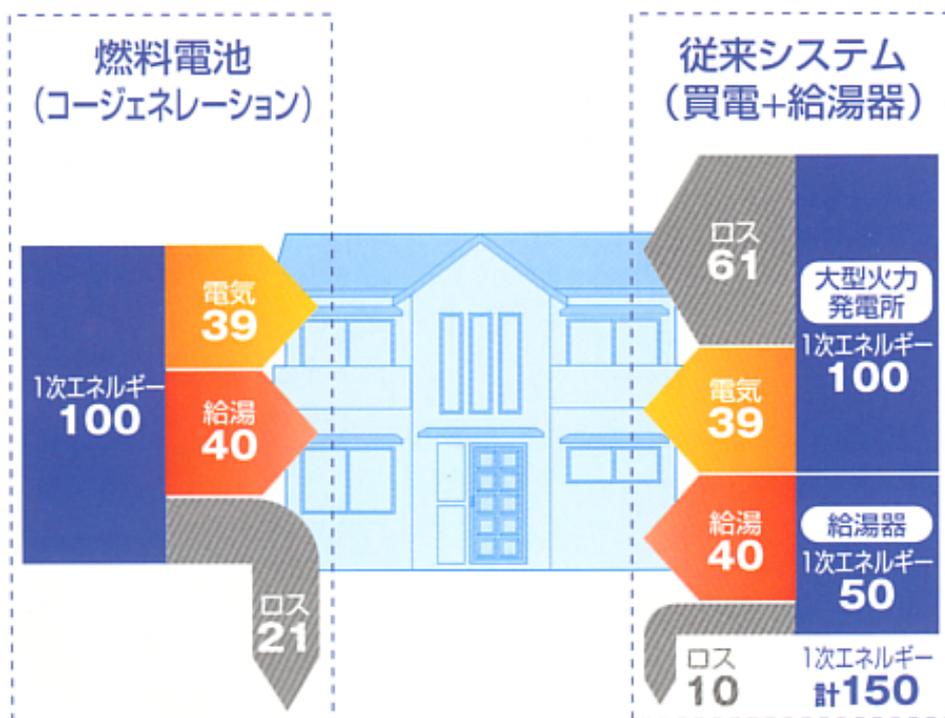
図13 ■ 乾電池の代替

### 参考図3-1 乾電池の代替としての燃料電池



参考図3-2 燃料電池改質器の構造

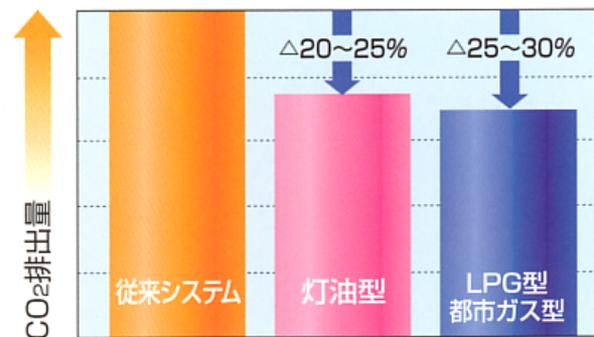
## ■住宅へ電気と熱を供給する場合の比較



燃料電池は、その場で熱も有効利用するので  
効率がよく、省エネ (CO<sub>2</sub>削減) になります

**CO<sub>2</sub>の削減効果は20~30%**

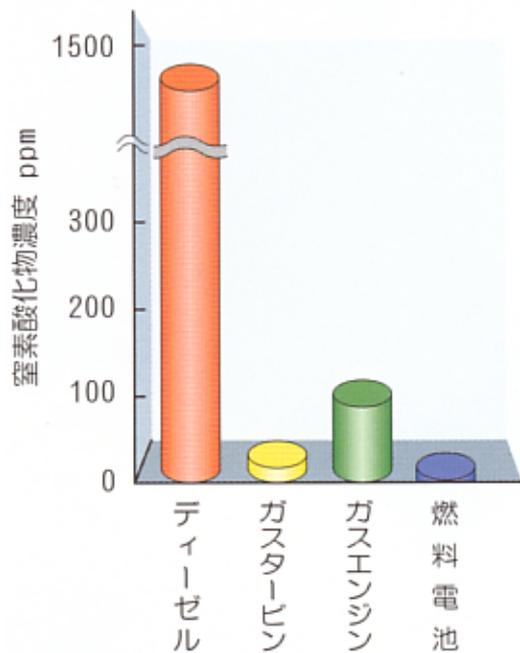
## ■戸建住宅へ燃料電池システムを設置した場合のCO<sub>2</sub>削減効果



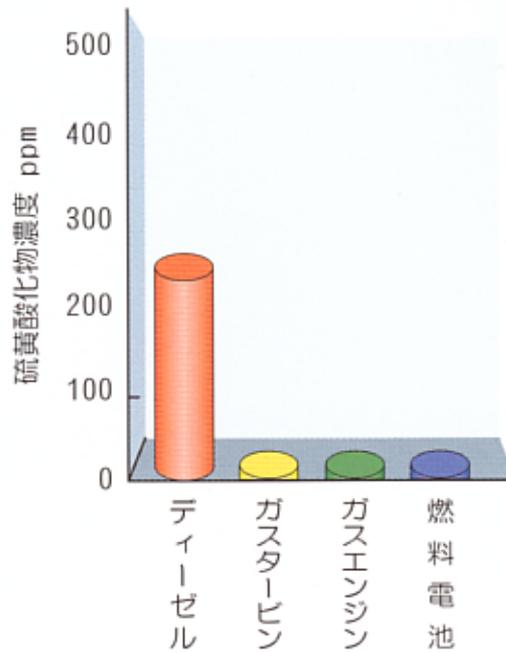
燃料電池は灯油、LPガス、都市ガス型とも優れた環境性を持つ

参考図3-3 家庭用燃料電池コージェネシステムのCO<sub>2</sub>削減効果

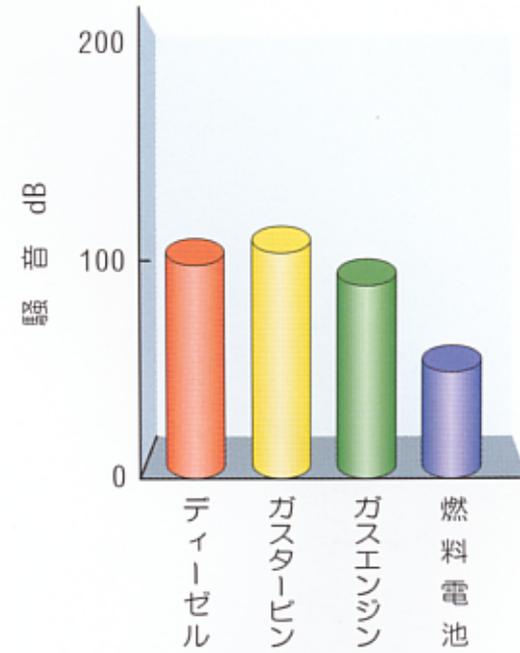
排気中の窒素酸化物の比較



排気中の硫黄酸化物の比較



騒音の比較

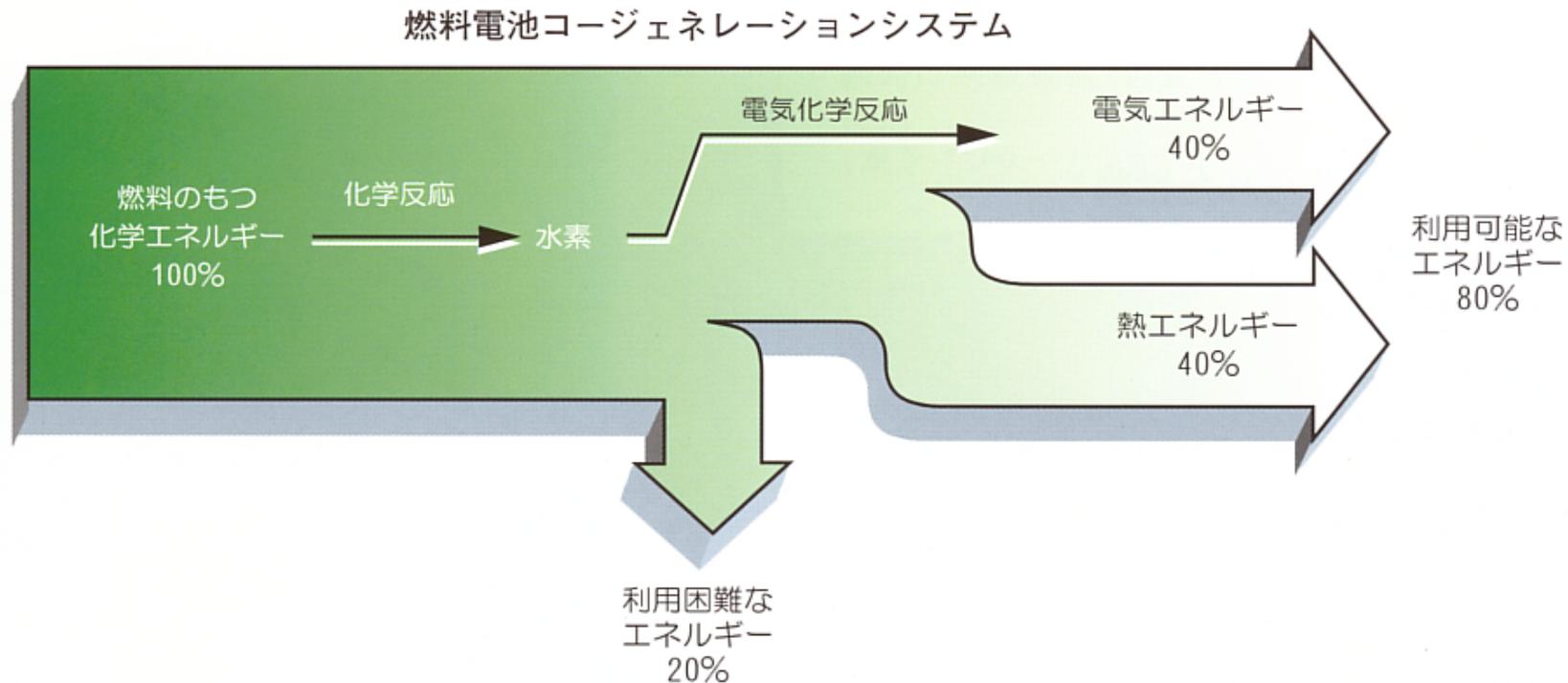


出典：(社)電気学会、燃料電池運転性調査専門委員会、  
コロナ社（燃料電池は実測値）

参考図3-4 排気、騒音に関する他の機関との比較

## ● 排熱も利用可能

排熱を冷暖房や給湯に利用できます。排熱を有効利用することで総合効率は80%にもなります。

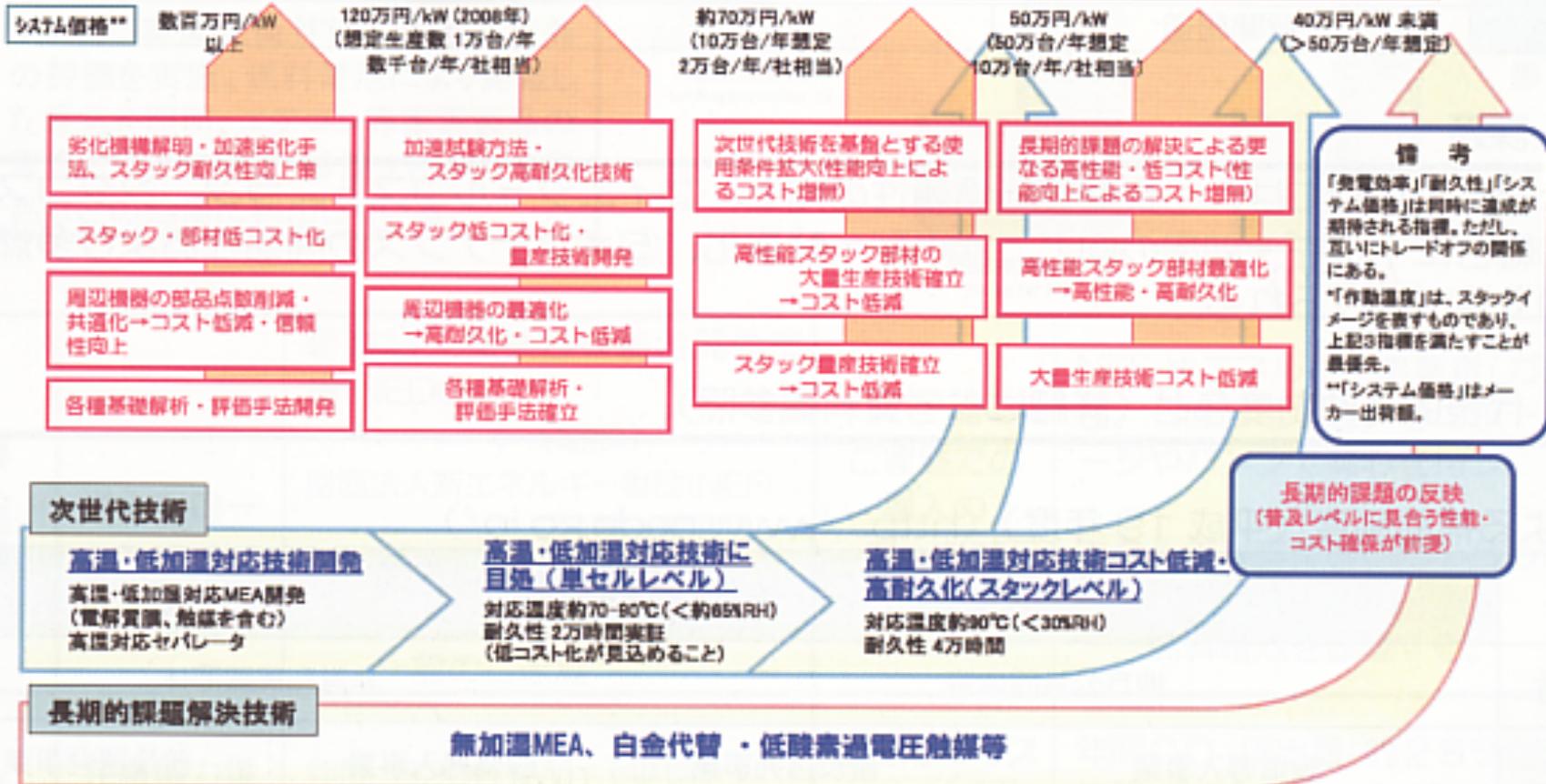


参考図3-5 燃料電池コージェネレーションシステムのエネルギー利用率

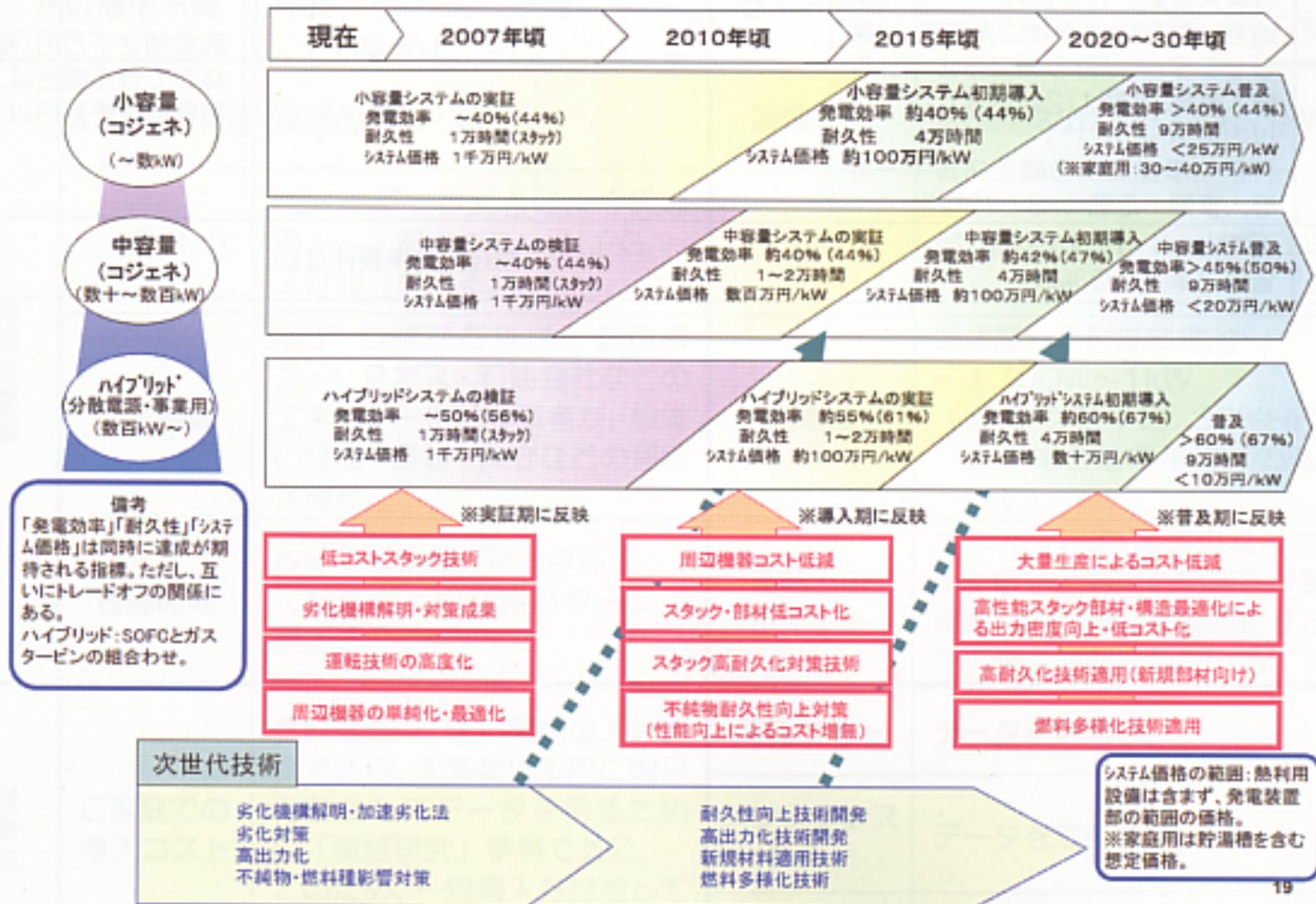
# PEFC(定置用)技術開発の展開

発電効率: HHV (LHV)

	現在	2007年頃 (初期導入機)	2010年頃 (改良機)	2015年頃 (普及機)	2020~30年頃 (本格普及機)
発電効率	約32% (35%)	32% (35%)	32% (35%)	34% (37%)	38% (40%) <
耐久性	約1万時間	4万時間見通し	4万時間	4~9万時間	9万時間
作動温度*	約70℃	約70℃	約70℃	70~90℃	約90℃



参考図3-6 PEFCの技術開発ロードマップ



参考図3-7 SOFCの技術開発ロードマップ

## 参考資料

1. 燃料電池2005 日経BP社 2005.1.19
2. よくわかる最新燃料電池の基本と動向 燃料電池NPO法人/PEN-DREAM (株)秀和システム 2004.11.1
3. 実力養成化学スクールー燃料電池 日本化学会編 丸善株式会社 2005.3.31
4. (社)日本ガス協会フォーラム資料「燃料電池と水素を考える」 2005.4.27
5. 定置用燃料電池システムの安全への取組み 燃料電池実用化推進協議会 2002.3.12
6. 燃料電池自動車の実用化・普及に向けた課題 燃料電池実用化推進協議会 2002.3.29
7. 燃料電池実用化戦略研究会報告 燃料電池実用化戦略研究会 2001.1.22
8. 燃料電池に関する政府の取組み 資源エネルギー庁 2004.3.12
9. 日本ガス協会 HPー燃料電池
10. JHFC HP
11. FC3 HP

