

総合科目D「環境・エネルギー問題を考える」

燃料電池と水素エネルギーシステム

寺井隆幸

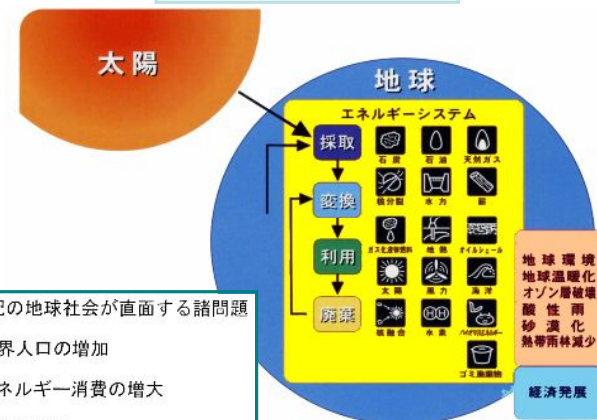
tera@n.t.u-tokyo.ac.jp

http://www.nuclear.jp/~yunen/

工学部システム創成学科E&Eコース
工学系研究科原子力国際専攻

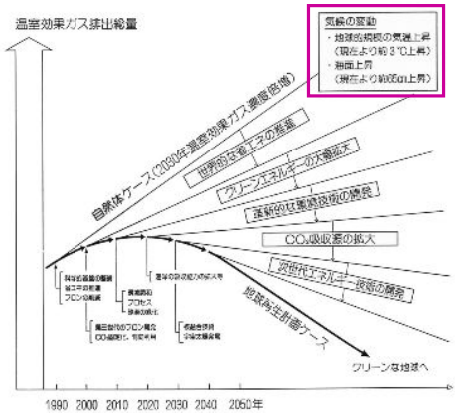
平成19年6月22日

さまざまな一次エネルギー

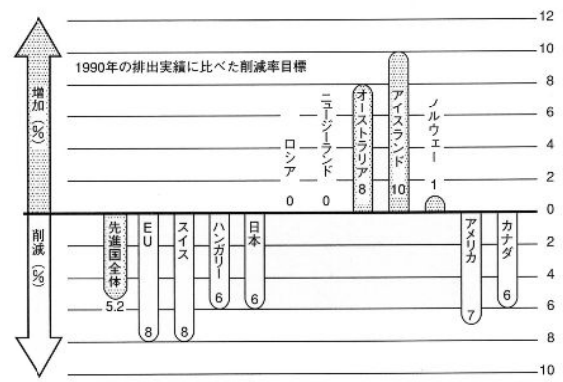


- ◎ 21世紀の地球社会が直面する諸問題
- 世界人口の増加
 - エネルギー消費の増大
 - 資源の制約
 - 地球環境問題の深刻化

温暖化防止とその技術開発(地球再生計画)

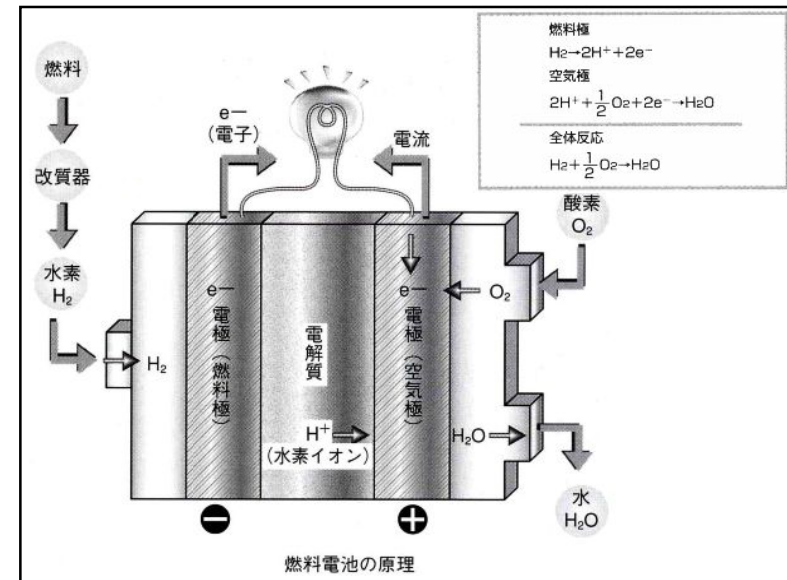
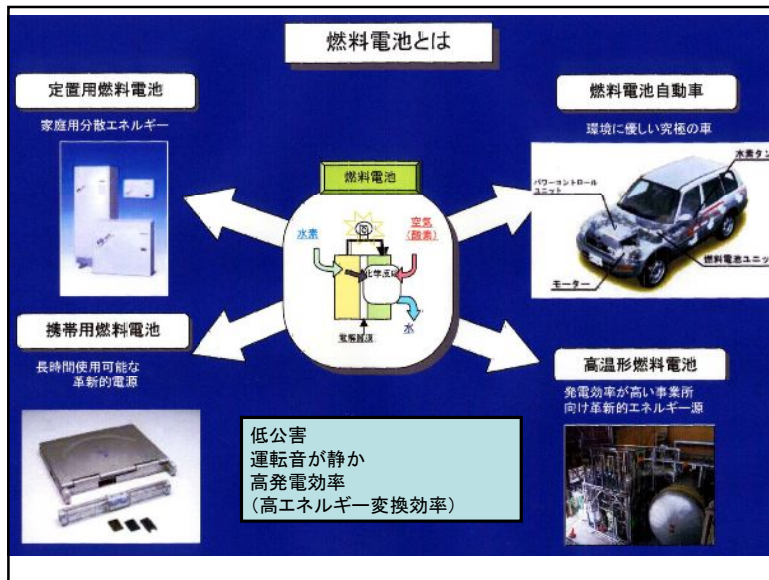
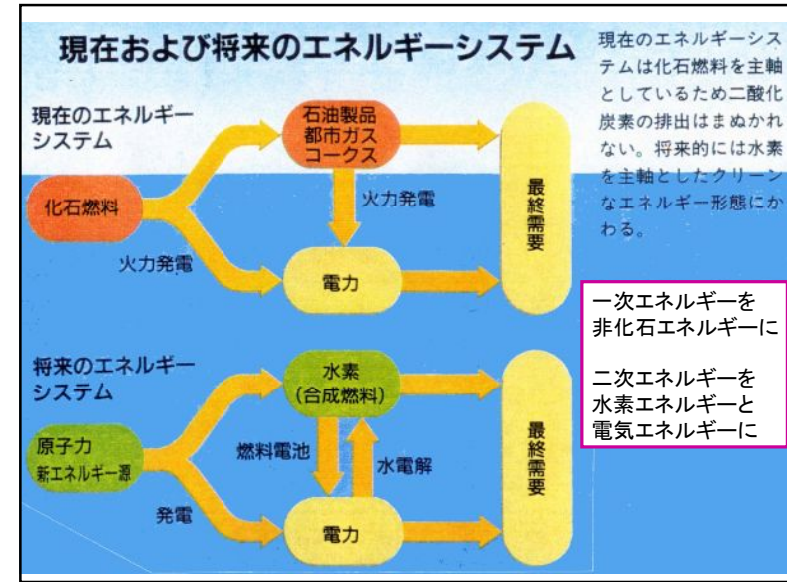
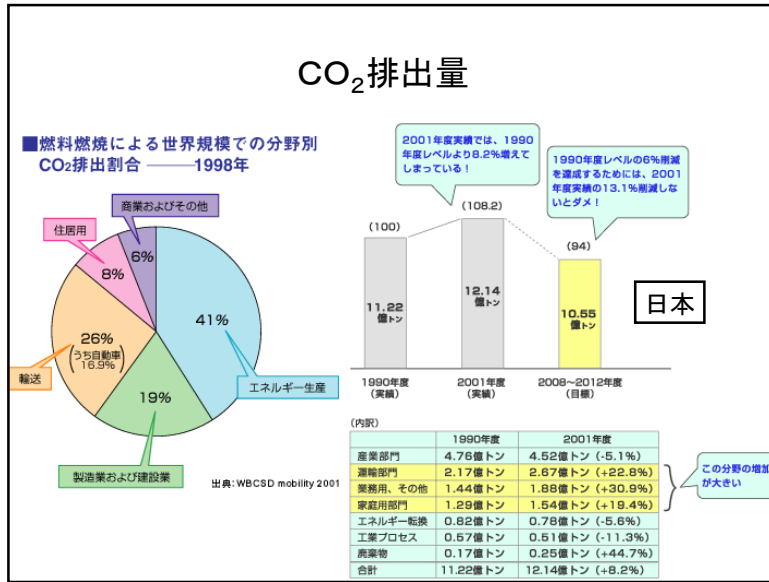


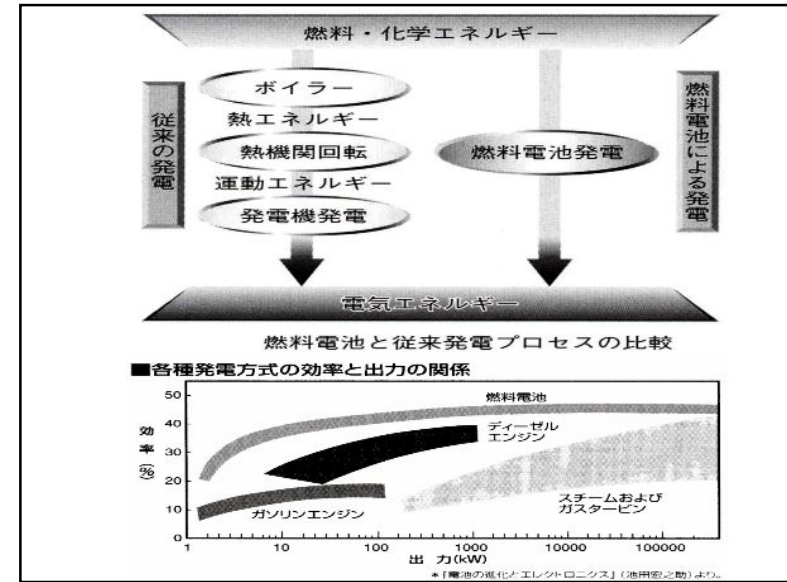
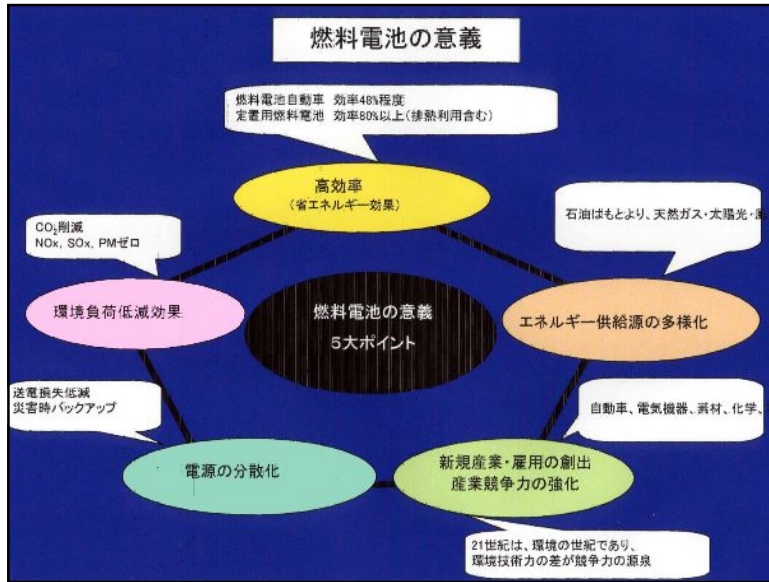
京都会議で決められた主要国の温室効果ガス排出削減目標



先進国(旧ソ連・東欧含む)に対して二酸化炭素を始めとする温室効果ガスの2008年から2012年の平均排出量を1990年レベルより少なくとも5%削減することを目標に同期間の削減目標が各国毎に設定された。

出典：環境庁資料





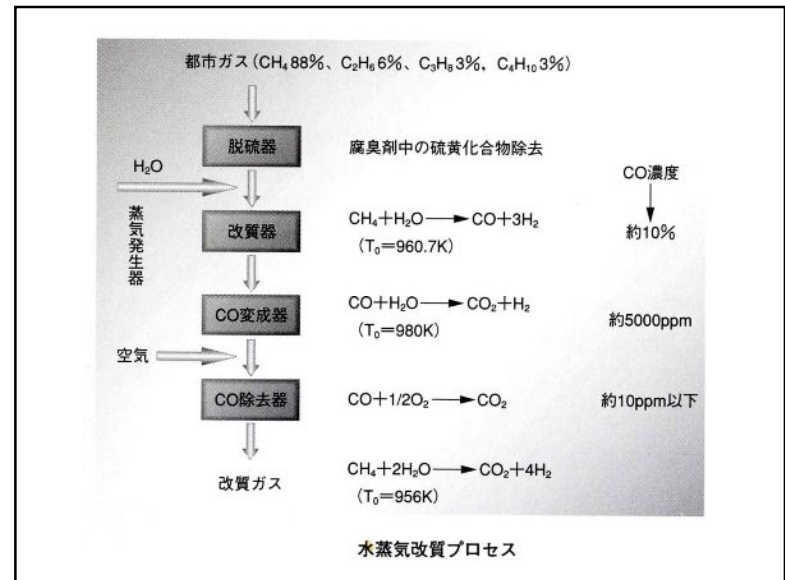
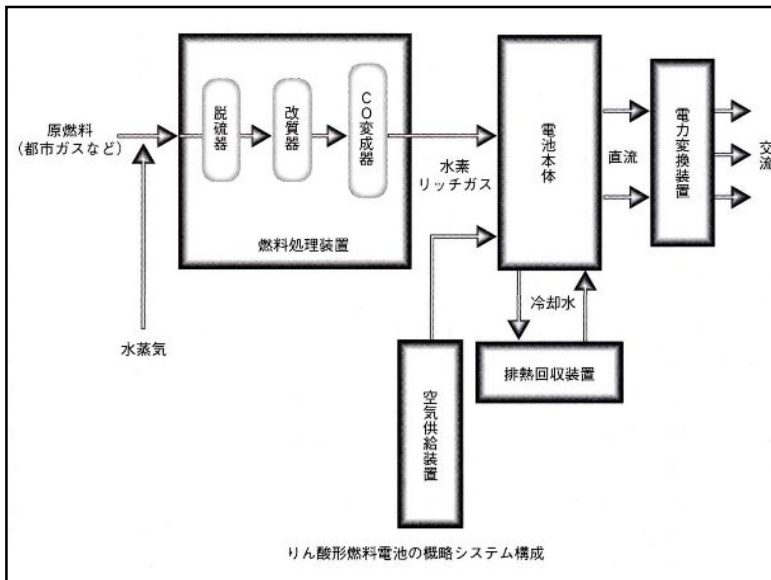
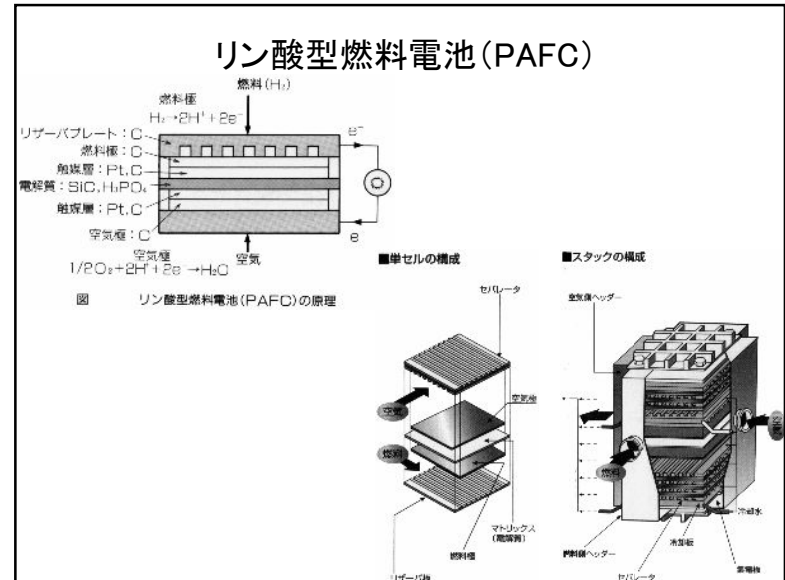
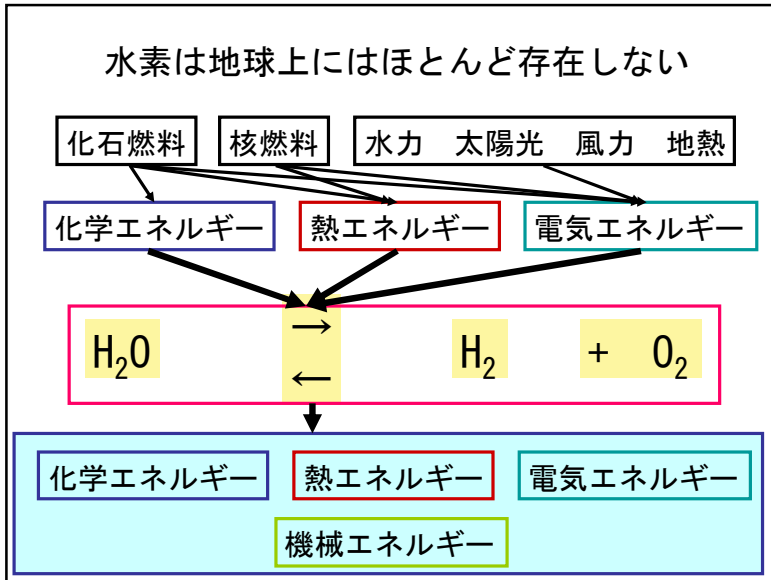
燃料電池の種類

電池の種類	電解質	発電出力(注) (発電効率(HHV))	用途と開発段階
固体酸化物形 (SOFC : Solid Oxide Fuel Cell)	安定化ジルコニア (ZrO ₂ +Y ₂ O ₃)	1~数千kW (47~59%)	業務用、工業用、発電所用 研究開発段階 (数kWモジュール)
熔融炭酸塩形 (MCFC : Molten Carbonate Fuel Cell)	熔融炭酸塩	1~10万kW (41~54%)	工業用、発電所用 研究開発段階 (1MWプラント)
りん酸形 (PAFC : Phosphoric Acid Fuel Cell)	りん酸	~1,000kW (35~42%)	業務用、工業用 導入普及段階
固体高分子形 (PEFC : Polymer Electrolyte Fuel Cell)	固体高分子	~250kW (30~40%)	自動車用、家庭用、 小型業務用、携帯用 実用化開発段階

(注)開発目標値も含む。

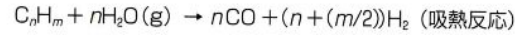
燃料電池の種類と特徴

	固体酸化物形	熔融炭酸塩形	りん酸形	高分子電解質形	アルカリ水溶液形
電解質物質	安定化ジルコニア (ZrO ₂ +Y ₂ O ₃)	炭酸リチウム (Li ₂ CO ₃) 炭酸カリウム (K ₂ CO ₃)	リン酸(H ₃ PO ₄)	イオン交換膜(とくに カチオン交換膜)	水酸化カリウム (KOH)
電解質	O ²⁻	CO ₃ ²⁻	H ⁺	H ⁺	OH ⁻
比抵抗	~10Ωm	~10Ωm	~10Ωm	≦200Ωm	~10Ωm
作動温度	~1000℃	600~700℃	170~200℃	80~100℃	50~150℃
腐食性	—	強	強	中程度	中程度
使用形態	薄膜状	マトリックスに含め またはペースタイフ	マトリックスに含め	膜	マトリックスに含め
触媒	不要	不要	白金系	白金系	ニッケル・銀系
電極 (マイナス極)	H ₂ +O ²⁻ →H ₂ O+2e ⁻	H ₂ +CO ₃ ²⁻ →H ₂ O+CO ₂ +2e ⁻	H ₂ →2H ⁺ +2e ⁻	H ₂ →2H ⁺ +2e ⁻	H ₂ +2OH ⁻ →2H ₂ O+2e ⁻
電極 (プラス極)	1/2O ₂ +2e ⁻ →O ²⁻	1/2O ₂ +CO ₂ + 2e ⁻ →CO ₃ ²⁻	1/2O ₂ +2H ⁺ + 2e ⁻ →H ₂ O	1/2O ₂ +2H ⁺ + 2e ⁻ →H ₂ O	1/2O ₂ +H ₂ O+ 2e ⁻ →2OH ⁻
燃料(反応物質)	水素、一酸化炭素	水素、一酸化炭素	水素(炭酸ガス含有不可)	水素(炭酸ガス含有不可)	純水素(炭酸ガス含有不可)
燃料源	石油、天然ガス、メタノール、石炭	石油、天然ガス、メタノール、石炭	天然ガス、ナフサまでの軽質油、メタノール	天然ガス、メタノール	電解工業の副生水素、水の分解(熱化学法、電解)
化石燃料を用いたときの発電システム熱効率	50~60%	45~60%	40~45%	40~50%	60%(燃料電池本体の効率)
問題点および開発課題	・セル構造 ・電極材料 ・電解質の薄層化 ・サーマルサイクルに対する耐久性	・構成材料の耐食、耐酸化 ・CO ₂ の循環系など要索技術の開発、熱収支、ボトムシフトサイクルを考慮したシステム解析	・安価な触媒の開発 ・発するいは白金使用量の低減 ・発電システム全般にわたる長寿命化、低コスト化	・構成材料の高性能化、長寿命化 ・セル構成技術と大規模化 ・水・熱収支の制御 ・温度、水分管理 ・白金使用量の低減	・燃料、酸化剤中のCO ₂ による電解液劣化 ・水・熱収支の制御 ・純水素燃料利用技術の実現

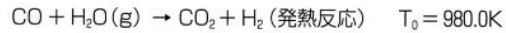


炭化水素系燃料からの水素ガスの製造

水蒸気改質反応 (吸熱反応)



シフト反応 (若干の発熱反応)



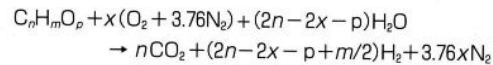
部分酸化改質 (発熱反応)



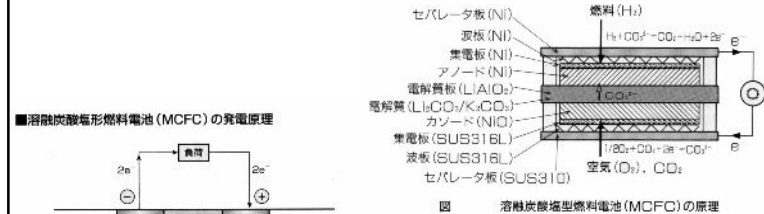
オートサーマル改質

(空気量 x の制御により、吸熱から発熱へ。)

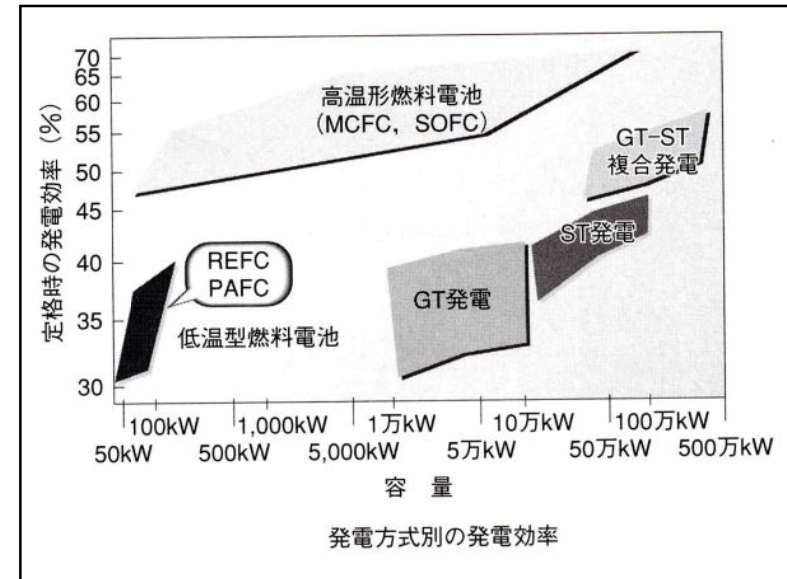
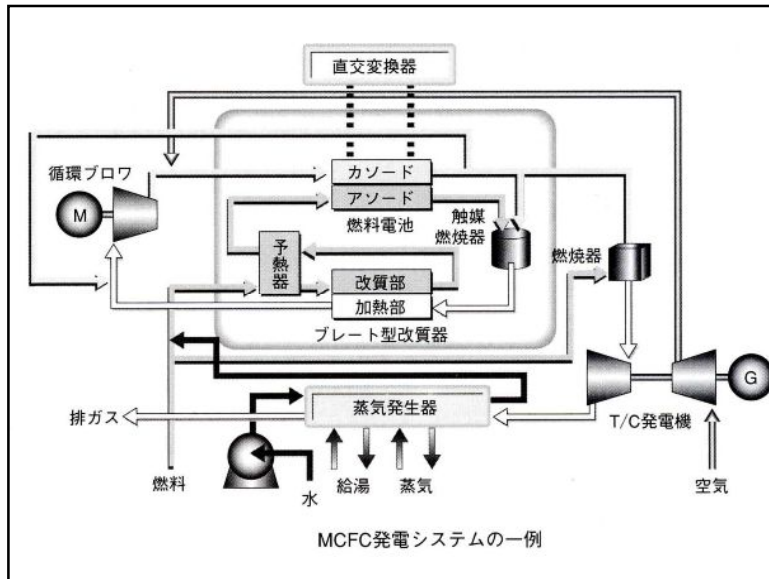
x の制御により、反応炉の温度を制御することができる

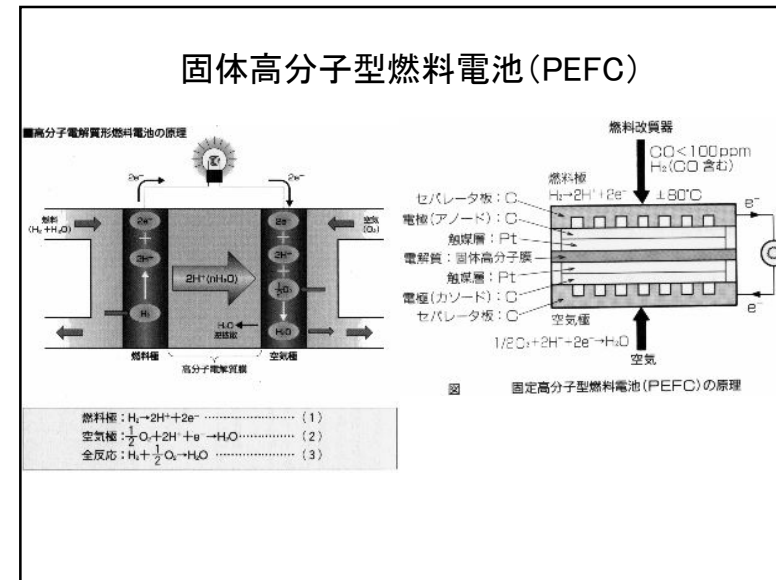
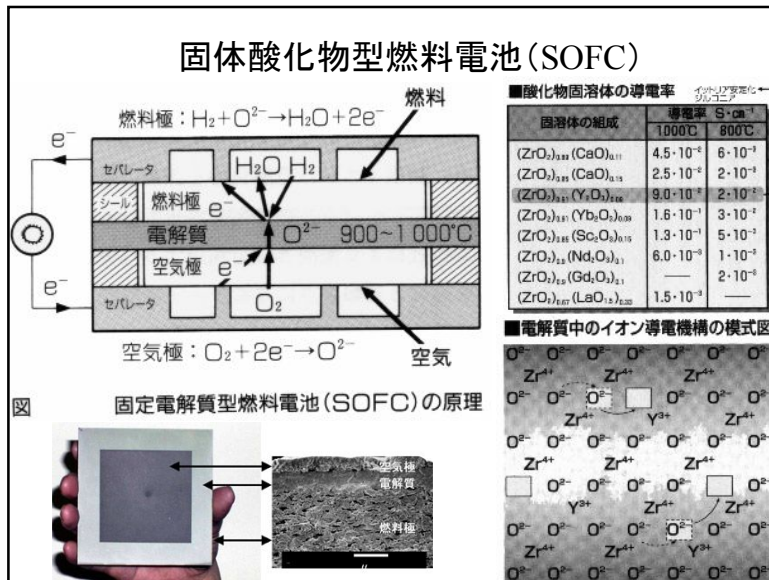
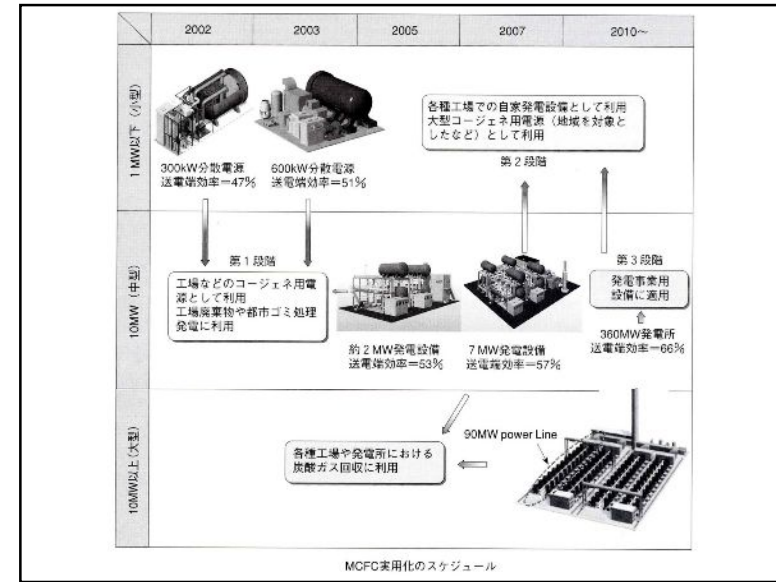
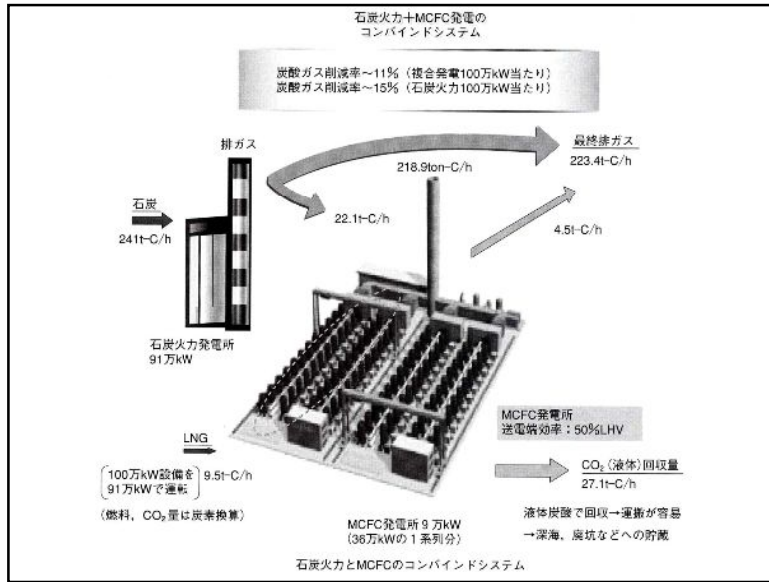


溶融炭酸塩型燃料電池 (MCFC)



$$\text{起電力 } E = E^0 + \frac{RT}{2F} \ln \frac{P(H_2)P(O_2)^{1/2}P(CO_2,c)}{P(H_2O)P(CO_2,a)}$$





PEFC用固体電解質膜

■イオン交換膜の製法

パーフルオロ膜用モノマー

$$\text{CF}_2=\text{CF}-\text{O}-\text{CF}_2-\text{CF}-\text{O}-\text{CF}_2-\text{CF}_2-\text{SO}_3\text{F}$$

■フッ素系イオン交換膜の構造式

$$\text{---}(\text{CF}_2\text{CF}_2)_m\text{---}(\text{CF}_2\text{CF}(\text{OCF}_2\text{CF}_2)_n\text{O}(\text{CF}_2)_x\text{SO}_3\text{H})_y\text{---}$$

ナフィオン117 (m=1, n=2, x=5~13.5, y=1000)
 フレミオン (m=0, 1; n=1~5)
 アシプレックス (m=0, 3; n=2~5, x=1.5~14)
 タウ膜 (m=0, n=2)

■イオン交換膜(ナフィオン)の構造イメージ

■フルオロカーボン
■イオンクラスター

■PEFC膜内の水輸送のしくみ

燃料極: $2\text{H}_2 \rightarrow 4\text{H}^+ + 4\text{e}^-$
 空気極: $\text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4\text{e}^- \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$

電気透過現象によるH⁺の燃料極から空気極への水の送達。空気極での水の生成。空気極から燃料極への水の送達。そして両相と膜相間における水の浸透性がつらなっている。

Vehicle 機構

疎水性のイオンクラスター領域 (30~50Å)
 フッ素鎖が束ねられた親水性の骨格

Grotthuss 機構

パーフルオロスルホン酸イオン交換膜物の微構造

疎水性部
親水性部
プロトン
スルホン酸基

散逸粒子動力学(DPD)法による高分子電解質膜中の構造解析 (青い部分が水分子のクラスターが形成されている場所)

固体高分子型燃料電池

燃料電池スタック

セルの内部

燃料(水素) 空気(酸素)

プロトン交換膜

イオン交換膜

アノード: $2\text{H}_2 \rightarrow 4\text{H}^+ + 4\text{e}^-$
 カソード: $\text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4\text{e}^- \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$

0.7V

多孔質炭素紙 電極 多孔質炭素紙

電極

ガス流通路 電極 高分子膜

多孔質炭素紙 電極 多孔質炭素紙

イオンを燃料極(アノード)から酸化電(カソード)に移動するプロトン交換膜を、電極とセパレータでよごしたセルを積層してスタックにする。

■三相界面のイメージ

生成水 e⁻ エレクトロン

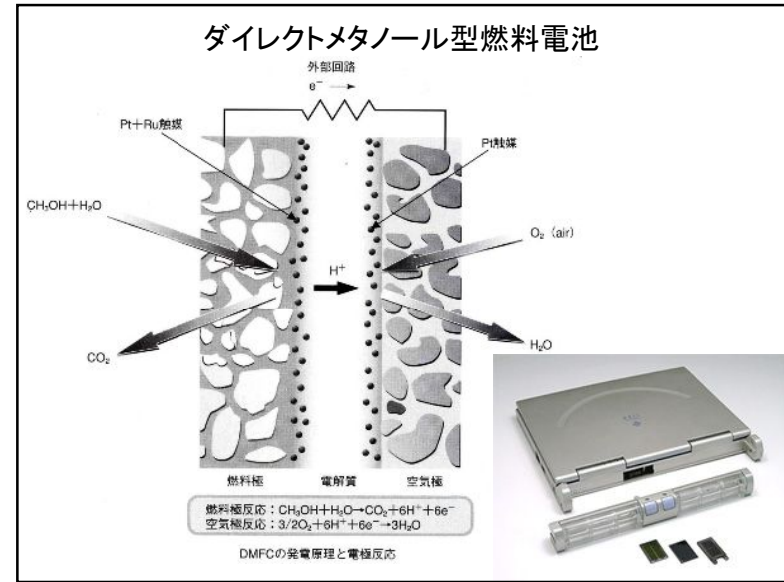
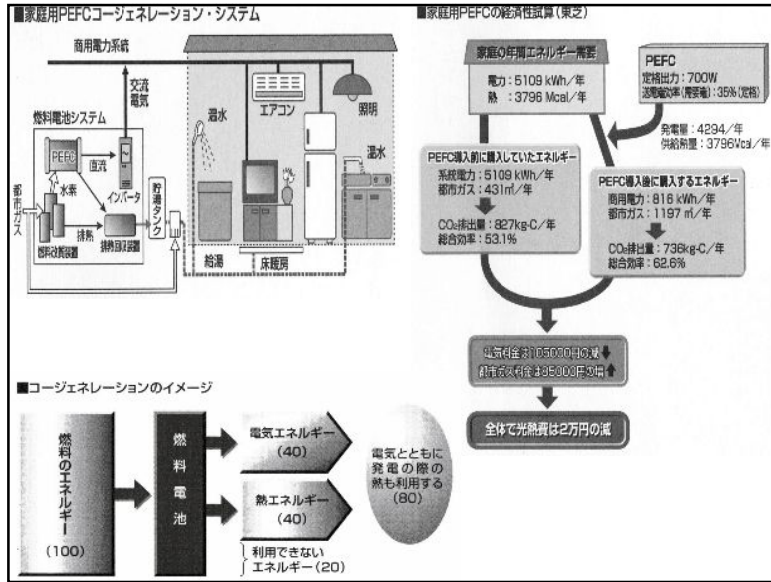
カーボンブラック 水素 酸素

ガス 水素ガス 触媒 三相の反応帯 水酸化イオン

実際の三相界面の様子

■カーボン担持白金触媒の高倍率電子顕微鏡写真 ■Pt/C担持白金触媒の電子顕微鏡写真

*「電池の進化とエレクトロニクス」(池田宏之助)より。

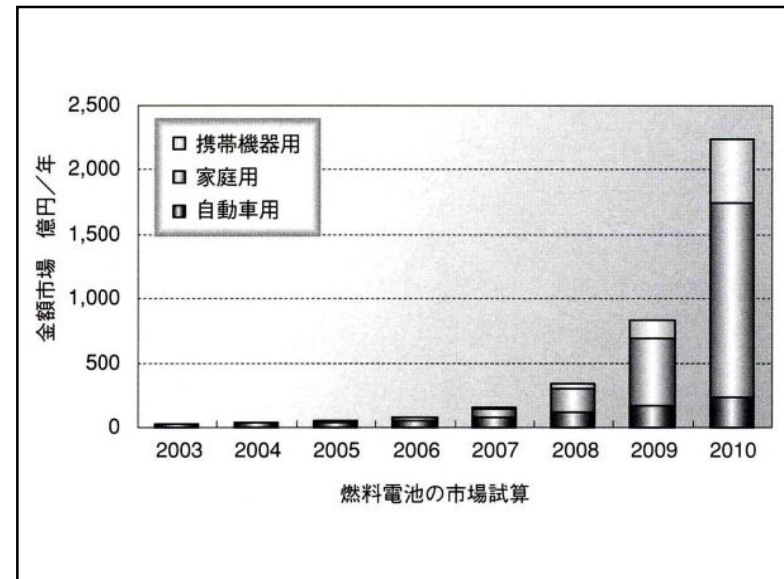


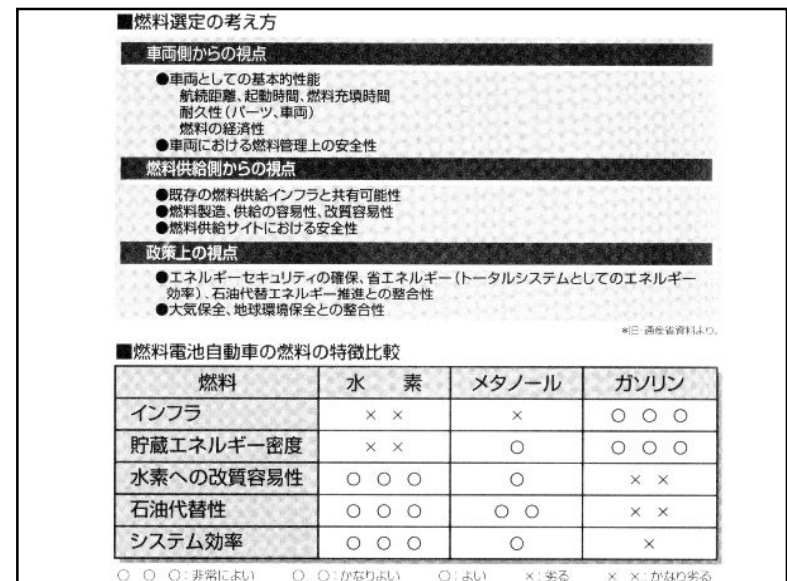
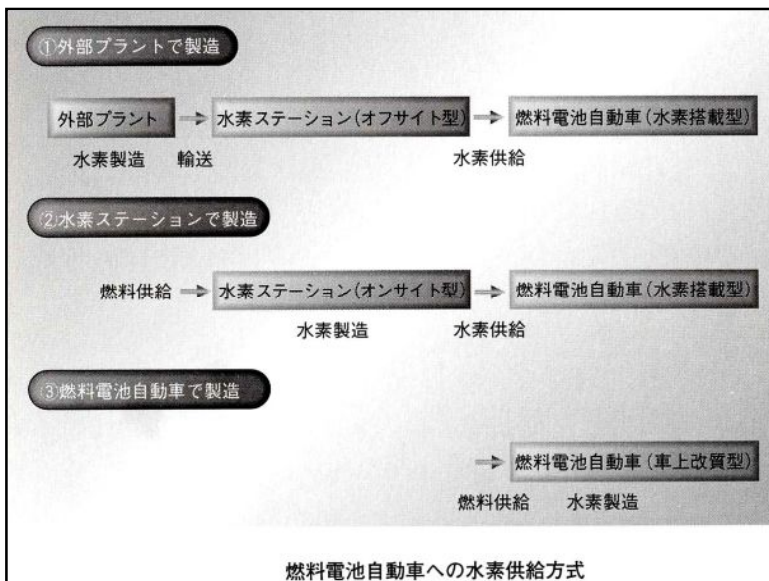
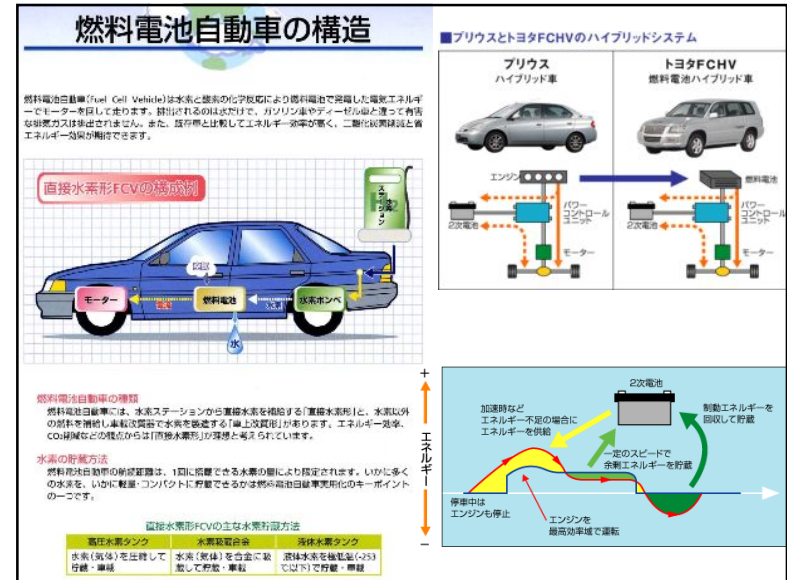
	用途・利用目的	開発段階
DMFC	モバイル機器・携帯用電源、自動車	研究開発
PEFC	自動車、家庭用CHP、携帯用電源	研究開発 実証運転
PAFC	CHP電源、補助電源、資源リサイクル	商用運転 市場開拓
MCFC	中規模CHP、電力事業、都市EC、石炭利用発電	研究開発 実証運転
SOFC	電力事業、家庭用、石炭利用、自動車用、コンバインド	研究開発 実証運転

各種燃料電池の用途と開発段階

経済産業省の燃料電池発電技術開発スケジュール

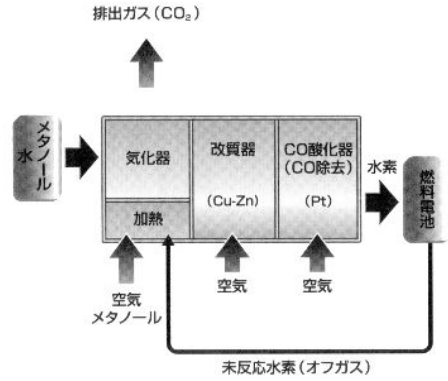
研究開発項目	年度	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	00	01	02	03以降		
アルカリ電解質形	要素技術kW級																									
りん酸形	要素技術200kW・1000kW級発電システム																									
溶融炭酸塩形	要素技術10kW級																									
	要素技術100kW																									
	1,000kW級発電システム																									
	実用技術開発																									
固体酸化物形	要素技術																									
	要素技術100kW																									
	要素技術kW級																									
	発電システム																									
固体高分子形	1 kW級																									
	数十kW級発電システム																									





メタノールを燃料とする燃料電池自動車の燃料改質方法

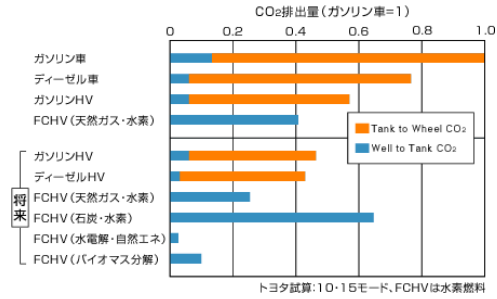
■メタノール改質の原理



FCV開発動向

メーカー	モデル名	年	国	燃料	備考
トヨタ	1997-03	FCV-V	日本	水素	水素
	1997-03	FCV-S	日本	メタノール改質	水素
	2001-03	FCV-E	日本	水素	水素
	2001-03	FCV-E4	日本	水素	水素
	2001-03	FCV-E1	日本	水素	水素
日産	2001-03	EV-01	日本	水素	水素
	2001-03	EV-02	日本	水素	水素
	2001-03	EV-03	日本	水素	水素
	2001-03	EV-04	日本	水素	水素
	2001-03	EV-05	日本	水素	水素
ホンダ	2001-03	FCV	日本	水素	水素
	2001-03	FCV-E	日本	水素	水素
	2001-03	FCV-E2	日本	水素	水素
	2001-03	FCV-E3	日本	水素	水素
	2001-03	FCV-E4	日本	水素	水素
三菱	2001-03	FCV	日本	水素	水素
	2001-03	FCV-E	日本	水素	水素
	2001-03	FCV-E2	日本	水素	水素
	2001-03	FCV-E3	日本	水素	水素
	2001-03	FCV-E4	日本	水素	水素
ダイハツ	2001-03	FCV	日本	水素	水素
	2001-03	FCV-E	日本	水素	水素
	2001-03	FCV-E2	日本	水素	水素
	2001-03	FCV-E3	日本	水素	水素
	2001-03	FCV-E4	日本	水素	水素
スズキ	2001-03	FCV	日本	水素	水素
	2001-03	FCV-E	日本	水素	水素
	2001-03	FCV-E2	日本	水素	水素
	2001-03	FCV-E3	日本	水素	水素
	2001-03	FCV-E4	日本	水素	水素

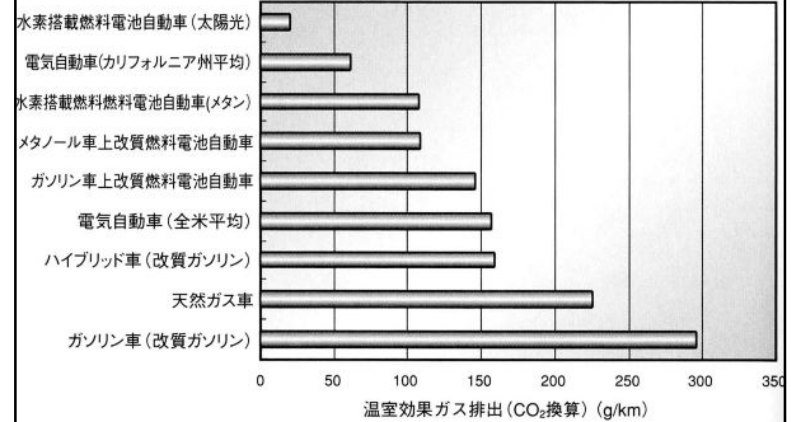
■Well to Wheel CO₂排出量



■トヨタFCHVの総合効率

車種	燃料効率 Well to Tank (%)	車両効率 Tank to Wheel (%)	総合効率 Well to Wheel (%)
ガソリン車	88	16	14%
プリウス (ガソリンHV)	88	32	28%
高圧水素FCV	56*	38	22%
トヨタFCHV	70	50	29%
FCHV (目標)	70	60	42%

1.0-1.5モード トヨタ試算値
*天然ガスから水素を造る場合の効率



燃料電池自動車の温室効果ガス排出のライフサイクルアセスメント (M. Wang (1999))

国内初の大規模な燃料電池自動車実証走行研究

プロジェクトに参加する自動車メーカーの燃料電池自動車が公道走行試験に参加し、走行性能、信頼性、環境特性、燃費等の市街地走行データと水素充填ステーション使用データ等を取得・評価します。



TOYOTA



NISSAN



HONDA



GM



DAIMLERCHRYSLER



TOYOTA HINO



SUZUKI



MITSUBISHI MOTORS



JHFCプロジェクトの特徴

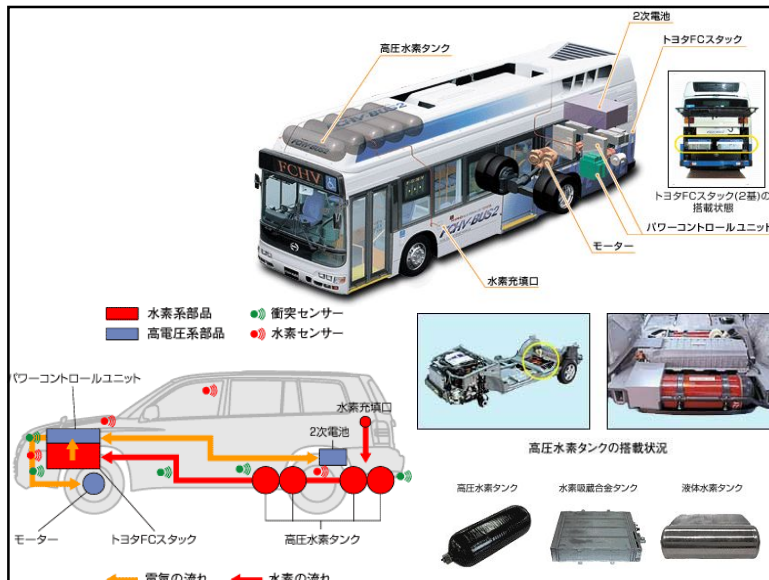
■国内初の大規模なFCV実証走行研究

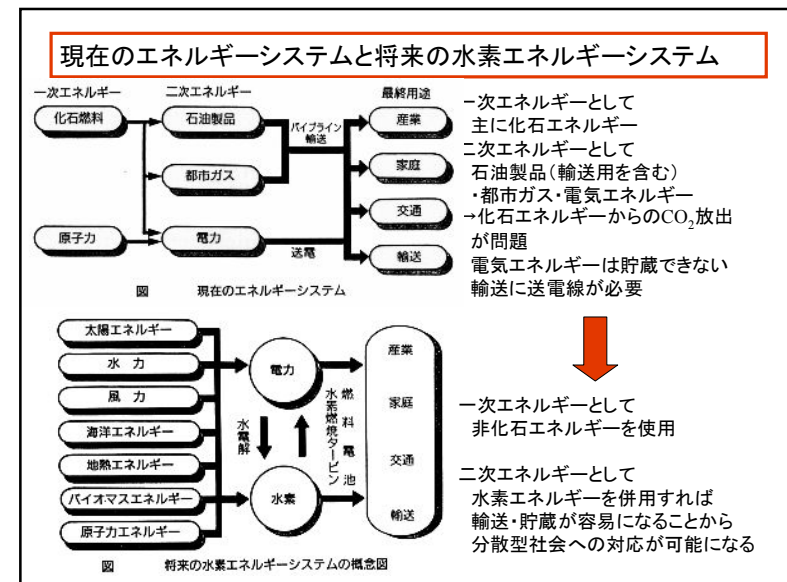
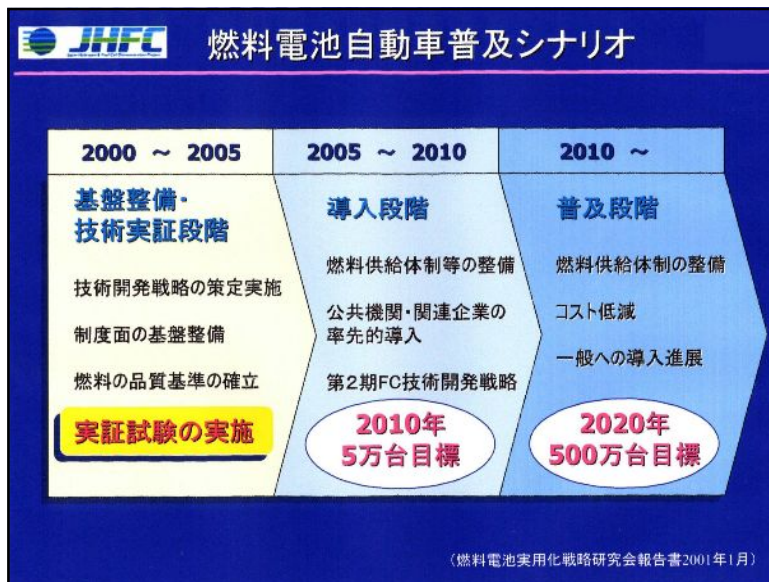
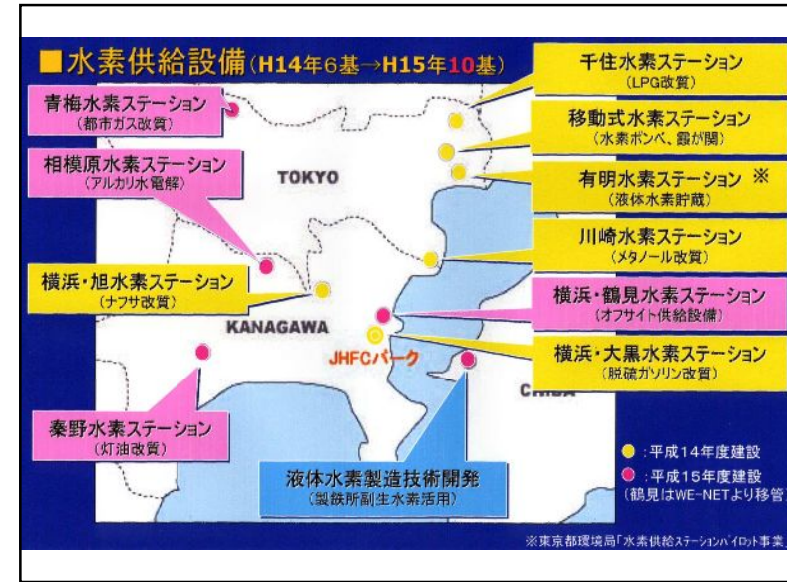
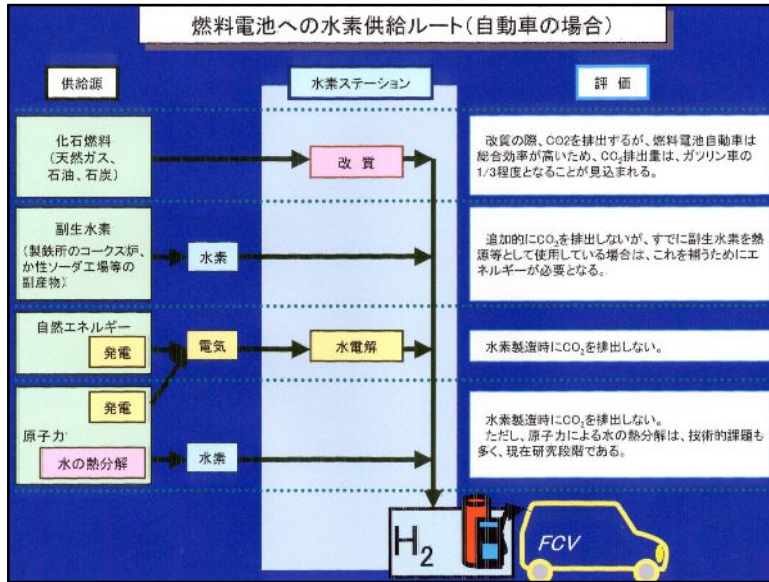
- ・自動車メーカー8社がFCV公道走行試験に参加
- ・走行性能／信頼性／環境特性／燃費等の市街地走行データを取得

■各種燃料による水素供給設備を並行して運用する世界初の取り組み

- ・インフラメーカー14社が水素供給試験に参加
- ・LPG改質／脱硫カソリン／メタノール改質／ナフサ改質／水電解／都市ガス改質／灯油改質／液体水素貯蔵等の設備を設置し、FCVへの水素供給を行い水素供給設備の運用評価を行う
- ・液体水素製造技術の開発実証も実施

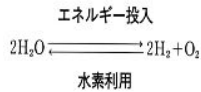
■経済産業省が国家プロジェクトとして推進する補助事業





水素エネルギーの特徴

①各種の再生可能エネルギーを用いて、かつ水から製造できる。そして、水素を利用することにより元の水に戻る。この循環サイクルは早いので、地球上の物質循環サイクルを乱さない。この変化は、もっとも簡単な化学反応式を使って、次のように表現することができる。



②単位重量当たりのエネルギー密度が化学物質中最大である（ここでは化学エネルギーに着目しているため、原子力エネルギーは除いて考える）。

③電力や熱エネルギーは貯蔵が困難であるが、水素は貯蔵が容易である。

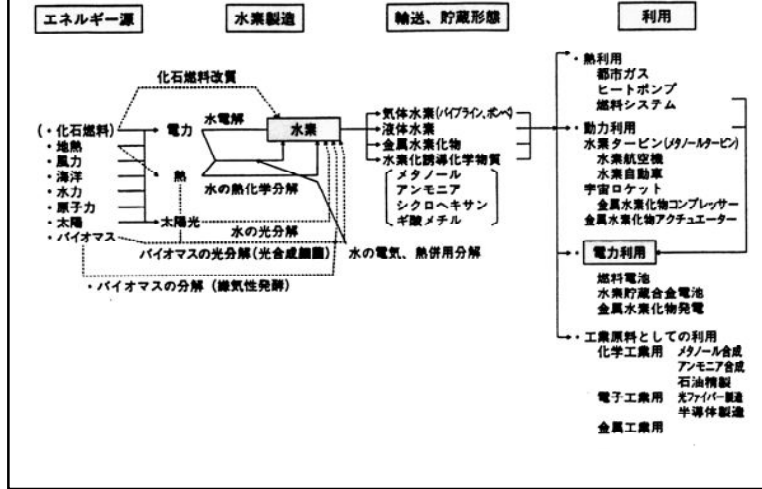
④気体水素は化学物質中もっとも軽く、大量貯蔵に際しては液化する（密度が800倍になる）、あるいは水素吸蔵合金を用いることなどが必要となり、その分コスト負担が生じる。

⑤水の電気分解や燃料電池技術を通じて、電力との変換が容易である。

⑥水素燃焼タービンにより、大規模・高効率発電にも利用できる。

⑦流体燃料として、現在、システムのガソリンやジェット燃料に相当する自動車用燃料や航空機用燃料として利用できる。

水素エネルギーシステム



水素製造技術の現状

化石燃料の改質 実用化段階 効率60-70%
CO₂排出抑制が課題

高温高圧アルカリ水電解 20 Nm³/h規模パイロットプラント 効率60-80%
耐食性材料開発・電解効率向上・装置大型化・経済性向上が課題

固体高分子電解質水電解 1.3 Nm³/h規模テストプラント 効率85-95%
材料や要素技術の開発・スケールアップ技術・システム技術が課題

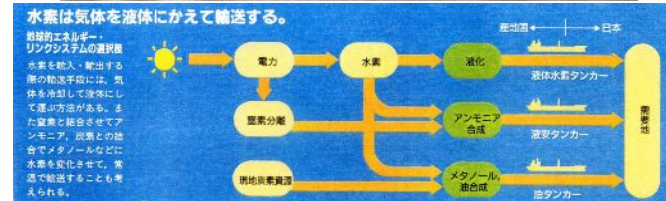
固体電解質高温水蒸気電解 基礎研究段階 効率95%以上
電解質セルモジュール材料製造加工技術・スケールアップが課題

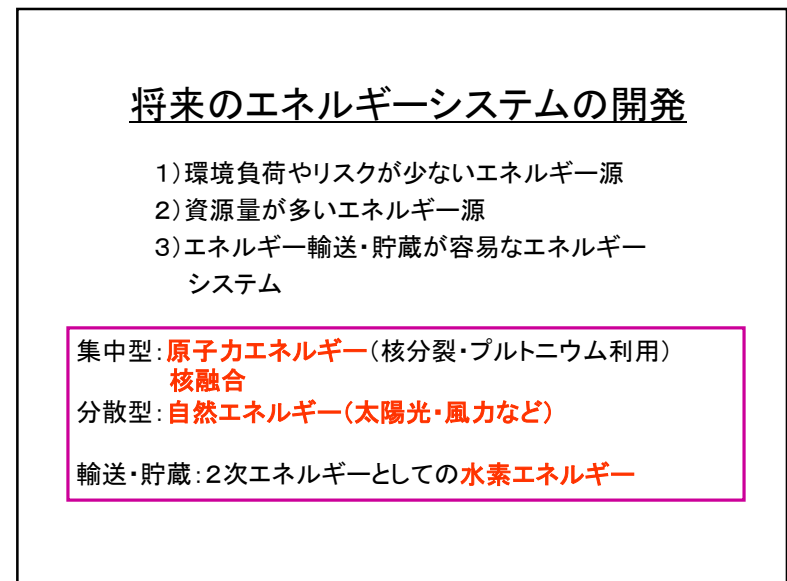
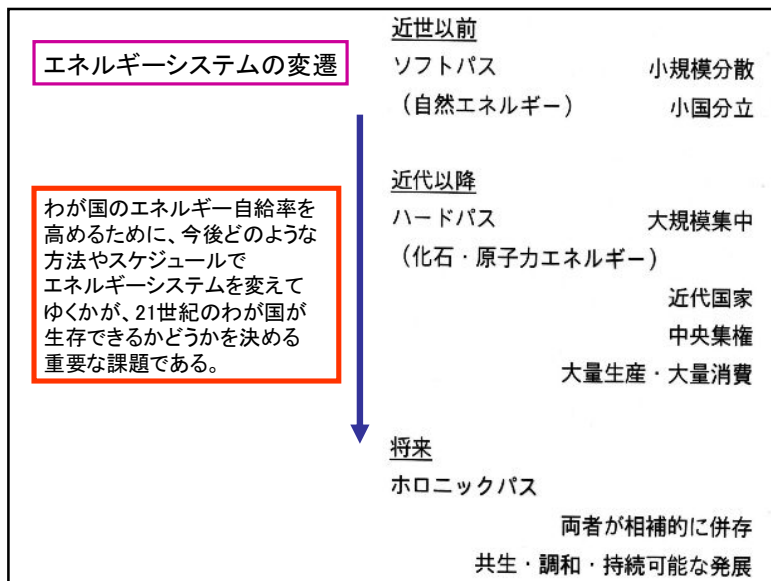
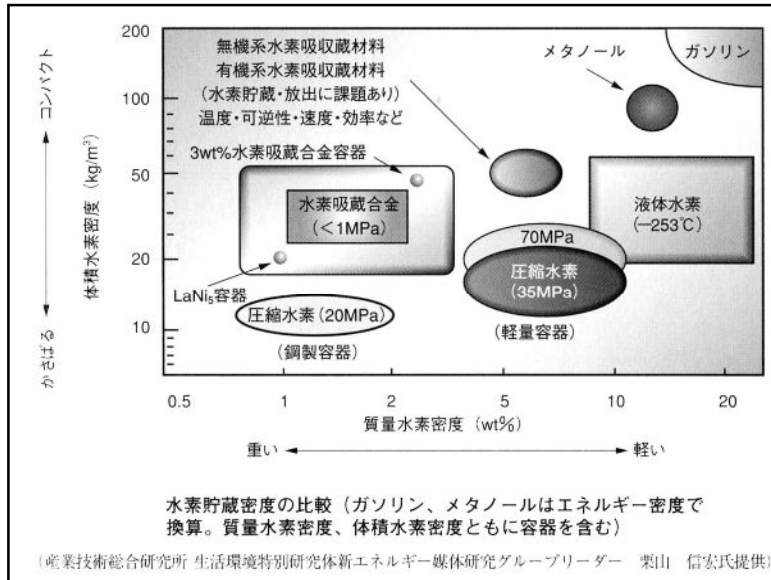
熱化学分解法 基礎研究段階(100 l/hレベル) 効率40%
新サイクルプロセス探索・効率向上・機器材料劣化防止・稼働率向上が課題

光利用水素製造 基礎研究段階 効率10%程度
効率向上技術・高活性光触媒開発・ガス分離精製技術が課題

水素貯蔵・輸送技術の性能と課題

貯蔵・輸送方式	貯蔵密度 g水素/l	貯蔵重量 重量%	課題
気体水素 (0°C、1気圧) (150気圧) 液体水素(20K)	0.089	100	実用化済み ・蒸発ロス低減 (高断熱方法) ・保安技術 (ガス漏洩検知) ・保安技術 (空気混入防止策)
	13.4	100	
	70	100	
水素吸蔵合金	94~110	1.4~7.7	・材料活性化過程解明と簡素化 ・微粉化対策と耐久性の向上
水素化合物物質 (メタノール)	100	12.5	・改質技術確立と効率向上 ・二酸化炭素の対策





水素エネルギー社会への各国の取り組み

- ・ **アメリカ** DOE、フリーダムカープロジェクト、燃料電池バスプロジェクト、カリフォルニア燃料電池パートナーシッププロジェクト、ラスベガスの水素・燃料電池プロジェクト、カリフォルニアSCAQMD
- ・ **カナダ** 燃料電池プロジェクト
- ・ **ドイツ** ハンブルグのW.E.I.Tプロジェクト、ミュンヘン空港プロジェクト、ベルリンCEPプロジェクト
- ・ **ヨーロッパ** CUTEプロジェクト、CITYCELLプロジェクト
- ・ **イタリア** ミラノの水素プロジェクト
- ・ **アイスランド** 水素プロジェクト
- ・ **日本** 水素利用国際クリーンエネルギーシステム技術研究開発(WE-NET)、水素安全利用等基盤技術開発プロジェクト、JHFC燃料電池実証試験プロジェクト

寺井・鈴木研究室の概要

<http://www.nuclear.jp/~yunen/>

○スタッフ

寺井 隆幸(教授) 鈴木 晶大(助教授) 西村 秀俊(助手) 佐々木一哉(特任助手)
安本勝(技術専門員) 久保俊晴(研究機関研究員) 志村憲一郎(研究機関研究員)
梶川 絵理(研究室秘書)

○研究室所在場所

スタッフおよび大学院生の居室は本郷地区及び東海地区にあります。そのほか、共同研究などで行っている研究機関へ出向いて研究を行っています。

○研究室に所属する大学院生など

ポストドク:2名、D3:2名、D2:1名、D1:3名、M2:6名、M1:4名、研究員:3名(内外国人が5名)

○研究室の統一研究テーマ:

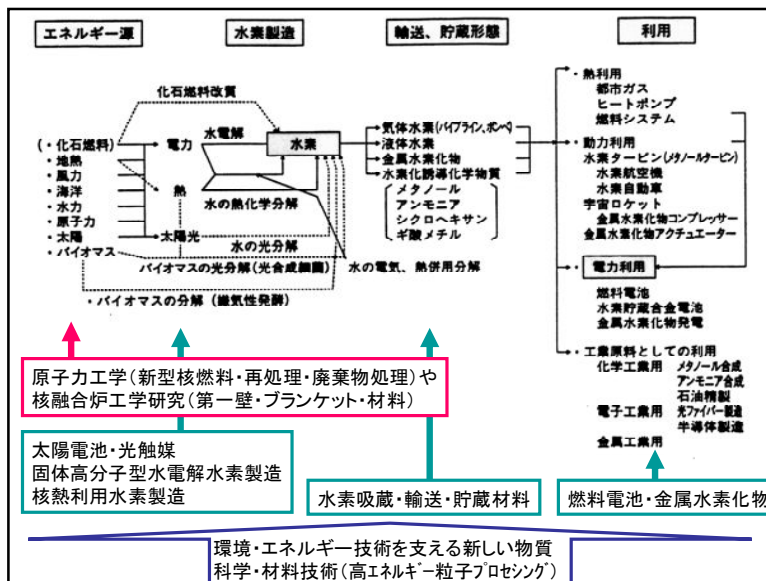
エネルギー環境問題への物質科学からのアプローチと新しいエネルギーシステムを実現するための要素技術研究

○主な研究テーマ:

- (1)環境エネルギー材料科学
- (2)高エネルギー粒子プロセッシングによる材料の物性制御と新機能性材料の創成
- (3)核融合炉工学に関する研究

○おもな共同研究実施機関:

日本原子力研究開発機構、物質材料研究機構、理化学研究所、超伝導工学研究所、産業技術総合研究所、核融合科学研究所、オーストラリア・ニューサウスウェールズ大学、米国・アイダホ工学環境研究所、米国・オークリッジ研究所、米国・ヒューストン大学、ドイツ・マックスプランク研究所、ドイツ・カールスルーエ研究所、イタリア・ローマ大学



(1)環境エネルギー材料科学

- 固体高分子型燃料電池の高度化と水素製造への応用
- ダイレクトメタノール型燃料電池の高度化
- 固体酸化物型燃料電池の高度化
- 太陽電池の高度化(DLCによる反射防止膜の作製とその特性)
- 水素製造・環境浄化用光触媒材料
- 水素輸送・貯蔵・精製用新型水素吸蔵材料
- 新型核燃料・酸化セラミックス・溶融塩・液体金属などの材料の高温化学特性
- 各種セラミックス材料の表面・バルク特性
- 高温質量分析計・高温ケルビン計・ゼーベック係数測定装置などの超高精度高温物性測定装置などの研究開発
- 新しい核燃料再処理法である高温化学再処理の高度化
- 放射性物質除去の高度化

(2)高エネルギー粒子プロセッシングによる材料の物性制御と新機能性材料の創成

(3)核融合炉工学に関する研究



架橋PTFE電解質膜に関する研究

概要

化石燃料に代替するエネルギー源として水素が注目されています。水素エネルギーシステムを構築するためには、水素の生成・貯蔵・輸送・電気エネルギーへの変換といった技術の確立が必要です。水素を電気エネルギーに変換する方法としては、燃料電池の利用が有力と考えられています。数種類のタイプの燃料電池のうち、(1)電圧動作が可能、(2)小型化が容易、(3)電流密度が高い、といった利点をもつ、固体高分子型の燃料電池に注目が集まっています。

水素エネルギーシステムと燃料電池

固体高分子型燃料電池の性能は、プロトン伝導性を有する高分子電解質膜の特性に大きく左右されます。現在、最も広く燃料電池用の電解質膜として使用されているNafionは、膜強度がメタノール透過によるいくつかの問題点があり、さらに製造過程が複雑なために非常に高価です。

近年、日本原子力研究所(原研高崎)において、架橋PTFEを基材とする高分子電解質膜が開発されました。この新規電解質膜は、主副に架橋構造をもつため、膜強度やメタノール透過性においてNafionよりも優れた材料と見られます。また、架橋構造が重合を用いた簡便な方法で合成できるため、低コストで量産されるという可能性を秘めています。

架橋PTFE電解質膜の分子構造

架橋PTFE電解質膜の分子式

架橋PTFE電解質膜の合成方法

現在当研究室は原研高崎と共同し、この架橋PTFE電解質膜に関する基礎研究を行っています。

DPD(分散粒子動力学法)によるメソ構造計測

DPDの計算では、はじめに計算対象の分子構造を基に、微視的原子集団を1つの粒子として表し、計算対象となる物質の類似化モデルを作成します。各類似化粒子に相互作用によって動力学的計算を行うことにより、対象物質のメソスケールの構造を計算することができます。

電解質分子(7~10nm)

右の分子構造は、水素結合を考慮してモデル化された架橋PTFE電解質膜の分子構造を示しています。水素結合は、水素原子と酸素原子との間に形成され、分子間の相互作用を強化します。

メソスケール(100~1000nm)

メソスケールの構造は、水素結合のネットワークによって形成され、電解質膜の性能に大きく影響を与えます。

ACインピーダンス法によるイオン伝導度測定

ACインピーダンス法により、電解質膜の抵抗成分と容量成分を分けて測定することができます。

その他の研究テーマ

固体高分子型水電解質膜

燃料電池の逆反応に相当する水素生成反応

水電解スタックの構造

耐久性評価試験

引張り強度、耐酸化性、スルホン酸安定性、メタノール透過性などの評価を行っています。

直接メタノール形燃料電池(DMFCs)の高性能化

DMFCs(Direct Methanol Fuel Cells)とは

直接メタノール形燃料電池(DMFCs)は、メタノールを直接燃料とする固体高分子形燃料電池です。改質器が不要なので小型・軽量化が可能であり、さらに作動温度が20~90℃と低いため、レジャー用や家庭向け非常電源用として期待されています。

DMFCsの問題点

DMFCsを普及させるためには、高濃度のメタノールを用いる必要があるが、水に溶けやすいメタノールが水分を含んだ高分子膜を透過してしまい(メタノールクロスオーバー)、起電力が低下してしまうという問題があります。

DMFCsの高性能化に向けて

DMFCsにおけるメタノールクロスオーバーを防止するために、本研究室では、Pd-Ag合金緻密膜を燃料極とするDMFCsを提案しています。具体的には、以下の研究を行っています。

- 優れた燃料改質性を有する燃料極の開発
- 電解質膜の水不足解決手法の確立

DMFCsセルの外観

DMFCsの原理

燃料極: $\text{CH}_3\text{OH} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO}_2 + 6\text{H}^+ + 6\text{e}^-$

空気極: $6\text{H}^+ + 3/2\text{O}_2 + 6\text{e}^- \rightarrow 3\text{H}_2\text{O}$

全体: $\text{CH}_3\text{OH} + 3/2\text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$

DMFCsの原理図は、燃料極(負極)と空気極(正極)の間に固体高分子膜を挟み、燃料と空気が供給される様子を示しています。燃料極ではメタノールが酸化され、空気極では酸素が還元されます。

低温固体酸化物形燃料電池(LT-SOFCs)の高性能化

SOFCs(Solid Oxide Fuel Cells)とは

固体酸化物形燃料電池(SOFCs)は、イオン伝導性セラミックスを電解質とする第3世代の燃料電池です。高温(約1000℃)で運転されるため、排熱も効果的に利用することができ、全燃料電池の中で最も高いエネルギー効率を実現することができます。工場やマンションなどで用いる中規模電源として有望視されています。

LT-SOFCsの必要性

SOFCsを家庭で使用するために、構成材料の低コスト化や起動時間の短縮を達成する必要があります。約500℃で運転できる低温固体酸化物形燃料電池(LT-SOFCs)の開発が期待されています。しかし、低温運転を行うと、空気極や燃料極、固体電解質での抵抗が大きくなり、エネルギー効率が落ちてしまうという問題があります。

LT-SOFCsの実現に向けて

LT-SOFCsを実現するために、本研究室では以下の研究を行っています。

- 電解質の薄膜化手法の確立
- 低温においても高い活性を示す空気極の開発
- 低温においても優れた燃料改質性を有する燃料極の開発

SOFCsの原理

燃料極: $\text{H}_2 + \text{O}^{2-} \rightarrow \text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^-$

空気極: $1/2\text{O}_2 + 2\text{e}^- \rightarrow \text{O}^{2-}$

全体: $\text{H}_2 + 1/2\text{O}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{O}$

SOFCsの原理図は、燃料極(負極)と空気極(正極)の間に固体酸化物電解質を挟み、燃料と空気が供給される様子を示しています。燃料極では水素が酸化され、空気極では酸素が還元されます。