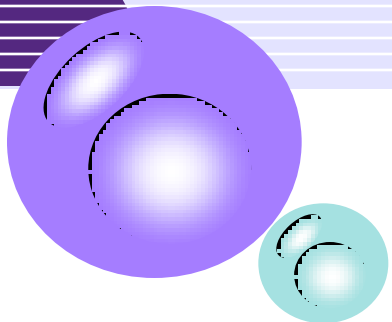


新エネルギー利用(3) 燃料電池

山口大学大学院技術経営研究科 福代和宏



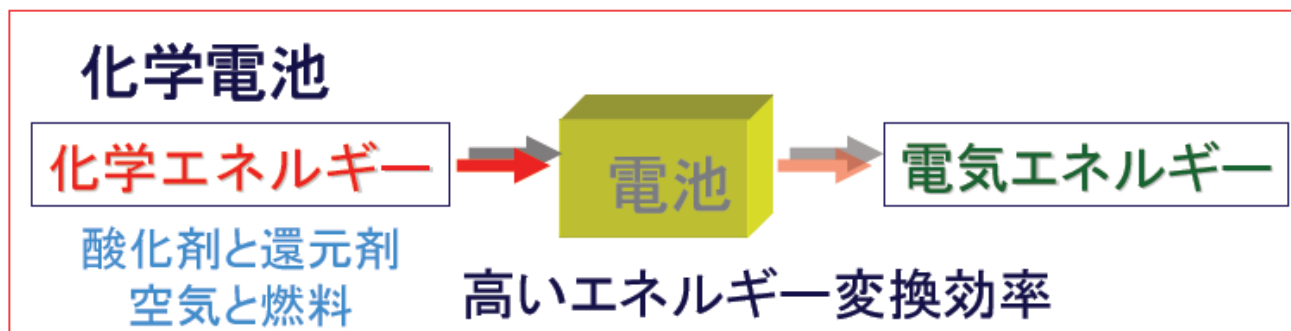
本講義の概要

- 燃料電池とは？
- なぜ、今、燃料電池？
- 技術の現状
- 将来展望
- まとめ

燃料電池とは？

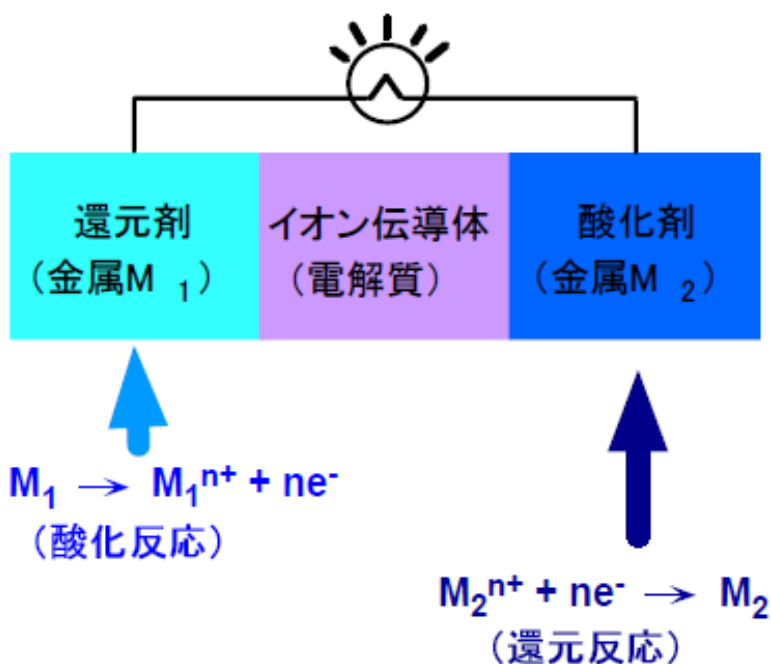
■ 「電池」の定義

- 化学エネルギー(または物理エネルギー)を直接電気エネルギーに変換
 - 化学電池: 乾電池, 蓄電池, など
 - 物理電池: 太陽電池, 原子力電池, など

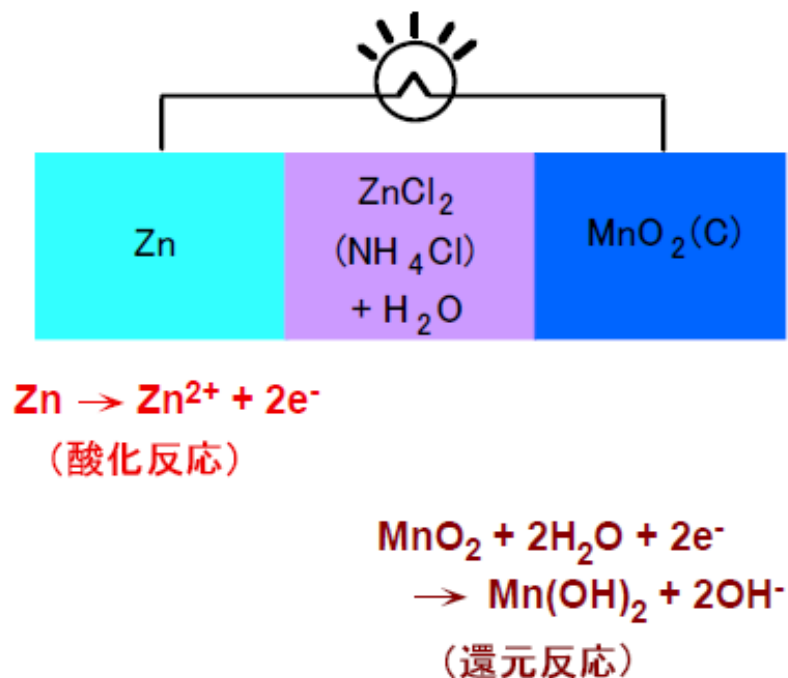


化学電池の発電原理

化学電池の基本構成



乾電池では(注)



注: 厳密な反応式ではない

電池(化学電池)の種類

- 一次電池(使い切り電池)
 - 乾電池, アルカリマンガン電池, 空気電池, リチウム電池
- 二次電池(充電可能電池)
 - 鉛蓄電池, ニカド電池, ニッケル水素電池, リチウムイオン電池
- 燃料電池(燃料の連続供給)
 - 高分子固体電解質電池, メタノール燃料電池



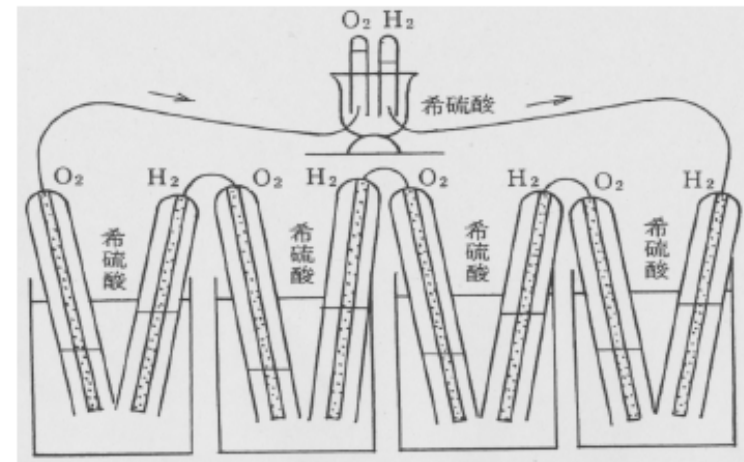
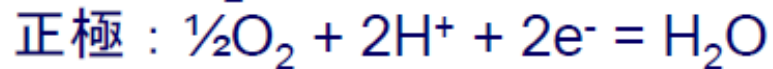
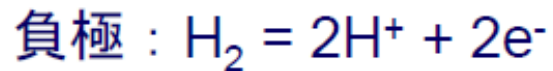
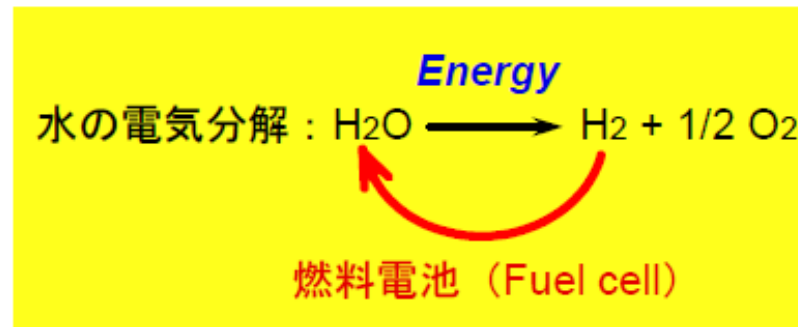
自動車用鉛蓄電池



ニッケル水素電池

燃料電池の原理

(Fuel Cell: FC)



Sir W. R. Grove の実験 (1839年)

燃料電池の基本構成

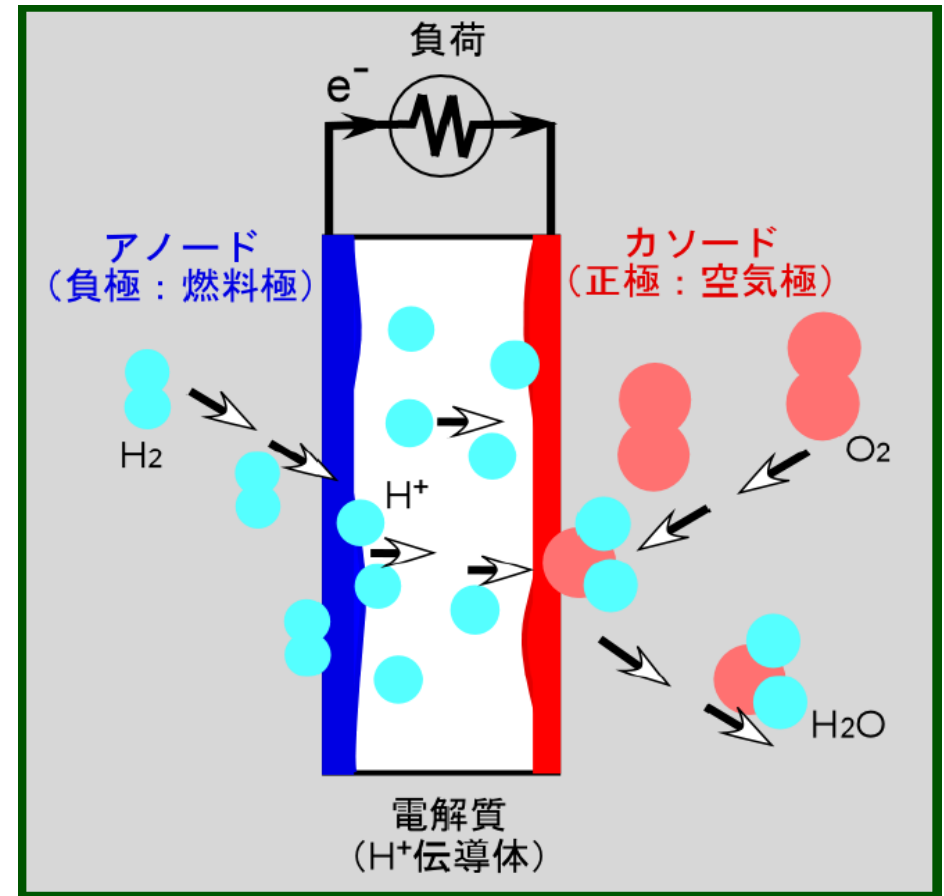
■ 技術要素

－ 電極（負極，正極）

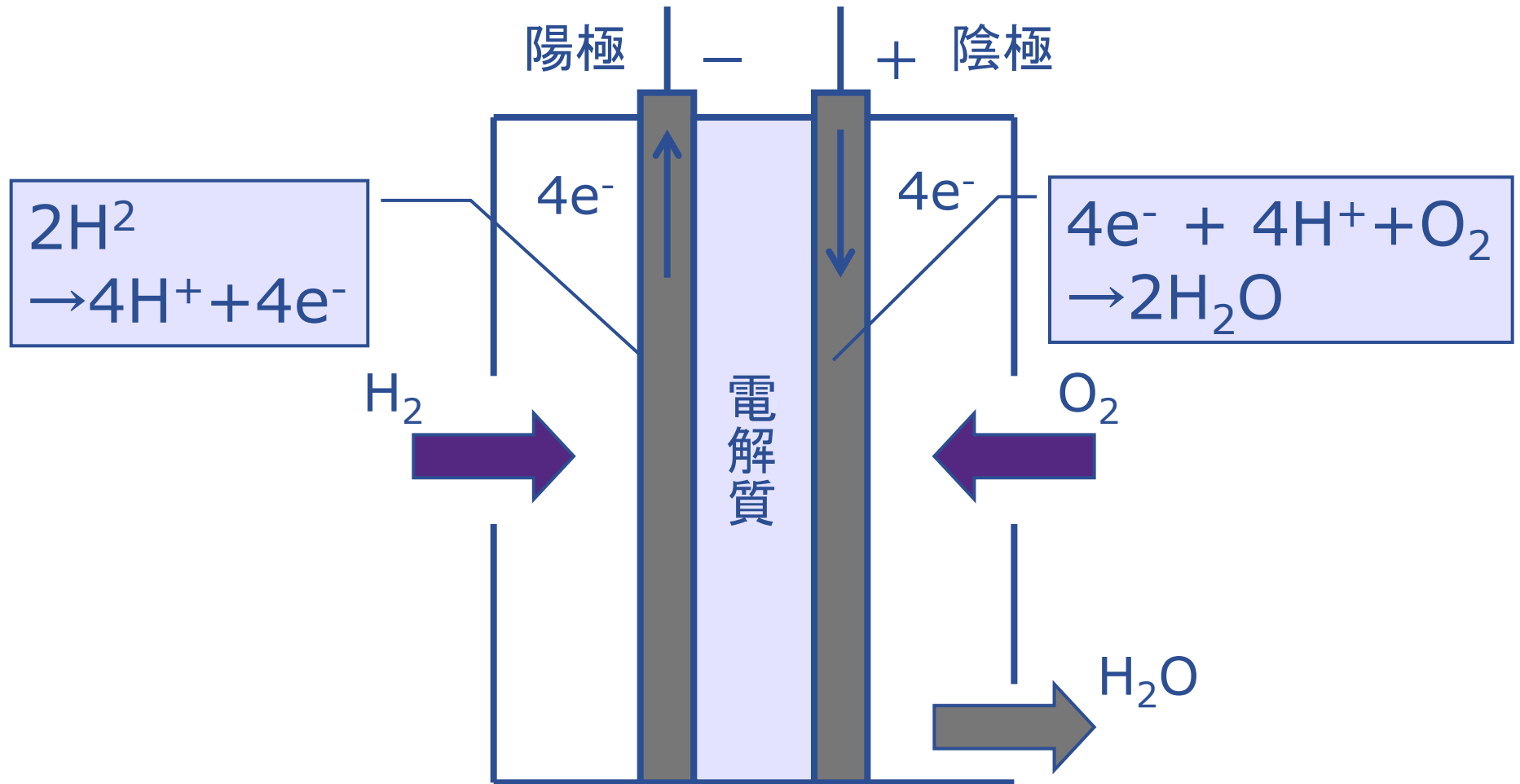
- 電気化学反応，触媒作用

－ 電解質（イオン伝導体）

- イオン伝導度，
- ガス不透過性（分離機能）



燃料電池のメカニズム



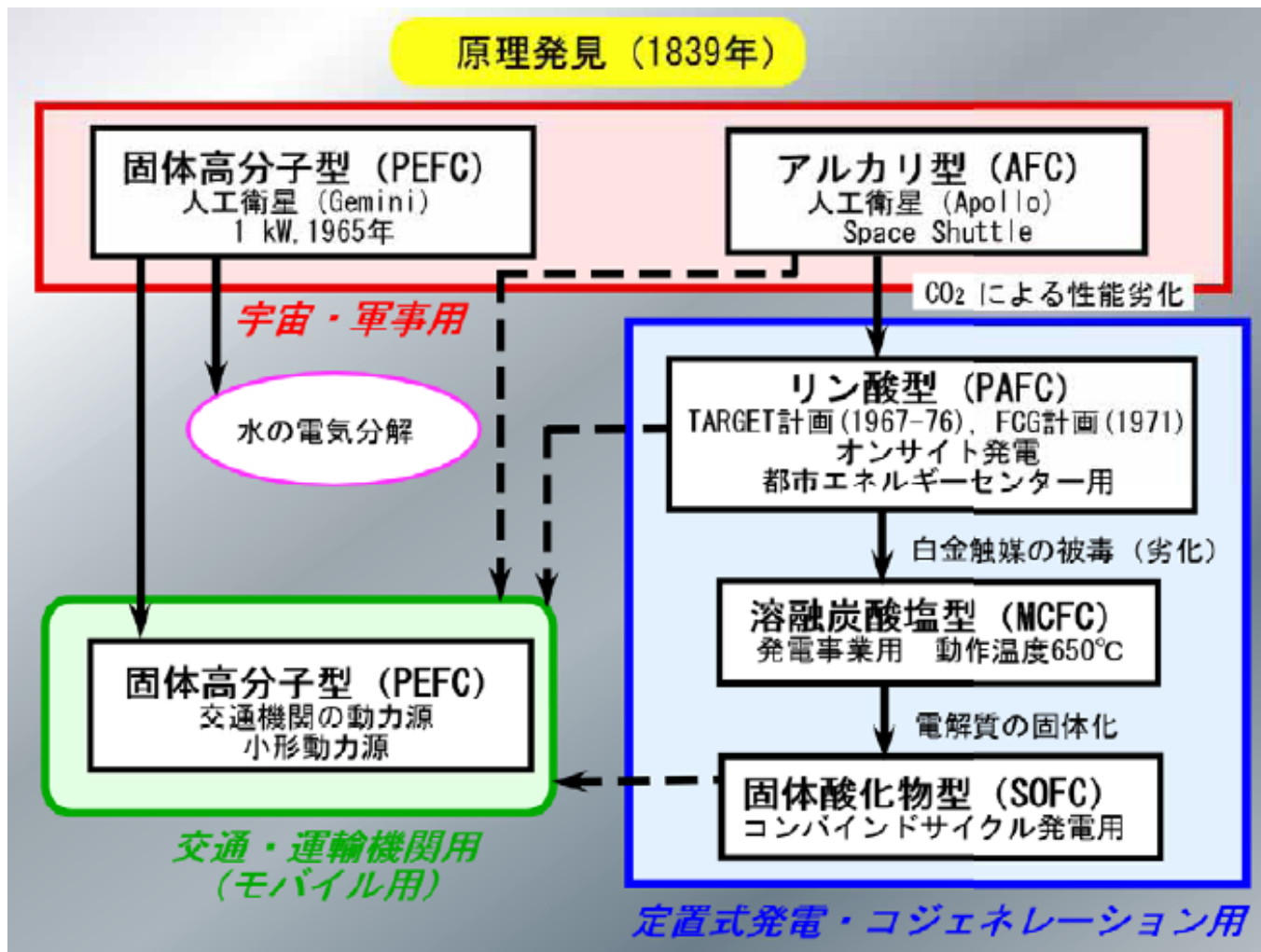
1839年にイギリスのグローブ卿によって実証された

燃料電池の種類と特徴

タイプ	リン酸型 (PAFC)	熔融炭酸塩型 (MCFC)	固体酸化物型 (SOFC)	固体高分子型 (PEFC)
電解質	リン酸水溶液	$\text{Li}_2\text{CO}_3\text{-Na}_2\text{CO}_3$ $\text{Li}_2\text{CO}_3\text{-K}_2\text{CO}_3$	安定化ジルコニア (YSZ), など	イオン(プロトン) 交換膜
(移動イオン種)	H^+	CO_3^{2-}	O_2^-	H^+
作動温度	~200°C	600~700°C	~1000°C	60~80°C
使用可能燃料	H_2	H_2, CO	$\text{H}_2,$	COH_2
原燃料	天然ガス ナフサまでの軽 質油	天然ガス 石炭ガス化ガス	天然ガス 石炭ガス化ガス	天然ガス メタノール
発電効率	32~42%程度	~60%	~65%	30~40%(*)
特徴	比較的低温で作 動	高発電効率 内部改質が可能	高発電効率 内部改質が可能	低温で作動 高出力密度

*) 改質ガスを用いた場合

燃料電池開発の歴史



なぜ、今、燃料電池？

燃料電池は「環境にやさしい」？

◇熱機関(エンジン), 火力発電

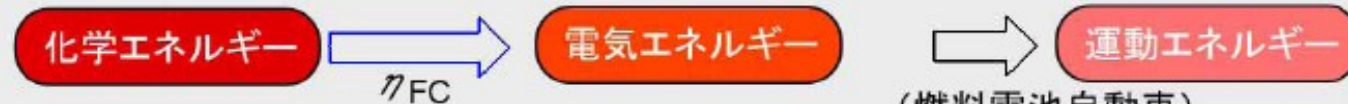


(石炭, 石油, 天然ガス)

ex, 火力発電の総エネルギー効率 $\eta_{\text{total}} = \eta_1 \times \eta_2 \times \eta_3 \ll 40\%$

η_2 : Carnot cycle (熱力学第2法則)の制約

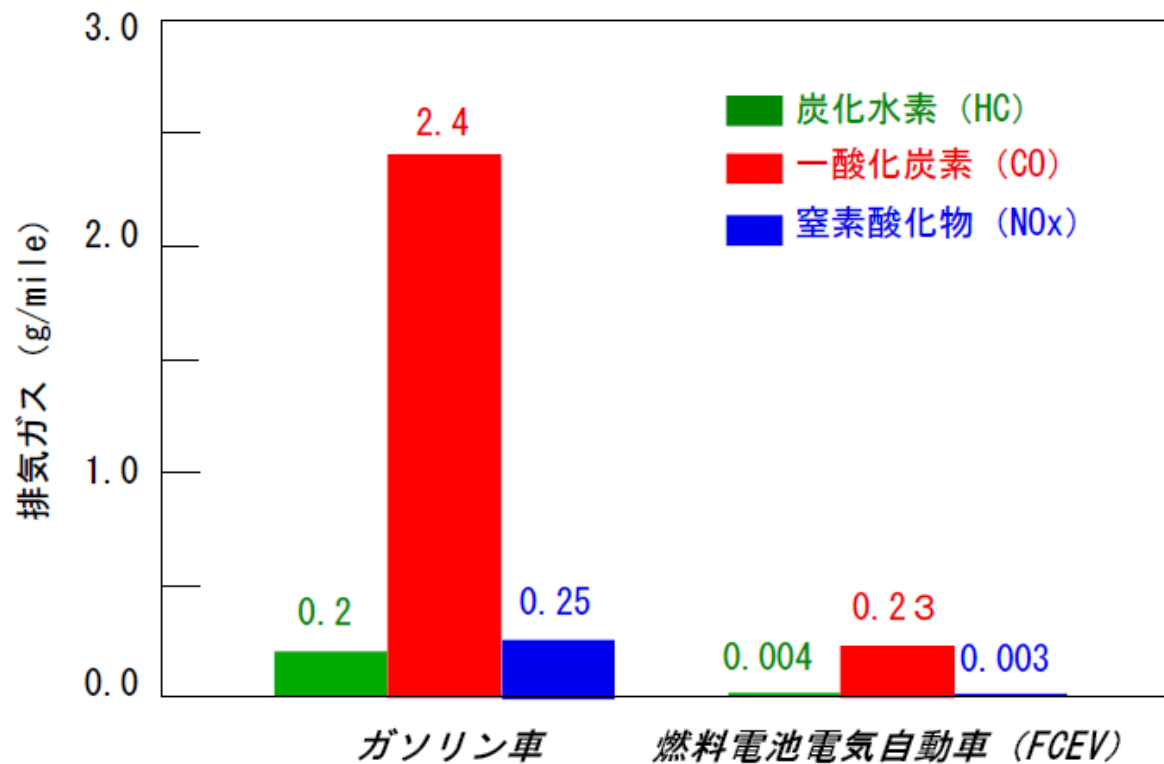
◇燃料電池(FC)による発電



$\eta_{\text{FC}} \sim 90\%$ (理論効率)

- 化石燃料の有効利用
- 温室効果ガス(CO₂)の排出量低減
(ただし、「使い方」に大きく依存)

排気ガス比較



ガソリンエンジン車と燃料電池電気自動車 (FCEV) の排気ガス比較

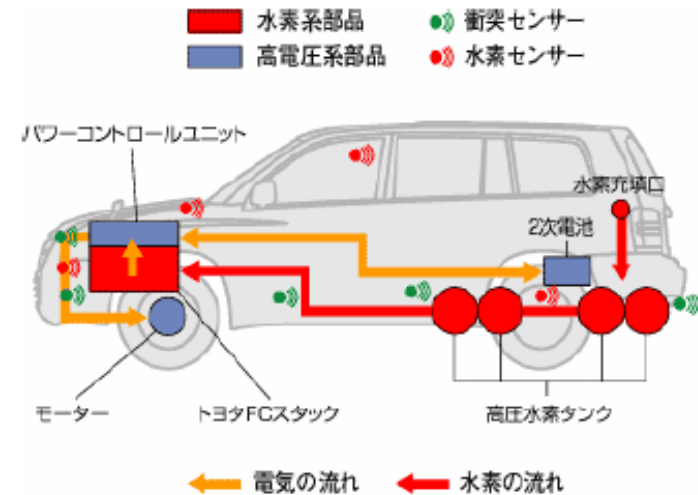
燃料電池は「魔法の技術」ではない！

- エネルギー「変換」技術の一つ
 - 「電気を産み出す」技術ではない
- 物理学，化学の原理の制約を受ける
 - エネルギー保存則，エントロピー増大則に従う
 - 「原燃料」に化石燃料（石炭，石油）を使えばCO₂はどこかで発生する
 - 燃料電池をつくるのにもエネルギーは必要

技術の現状

PEFC の用途(1)

～燃料電池自動車(FCEV)～

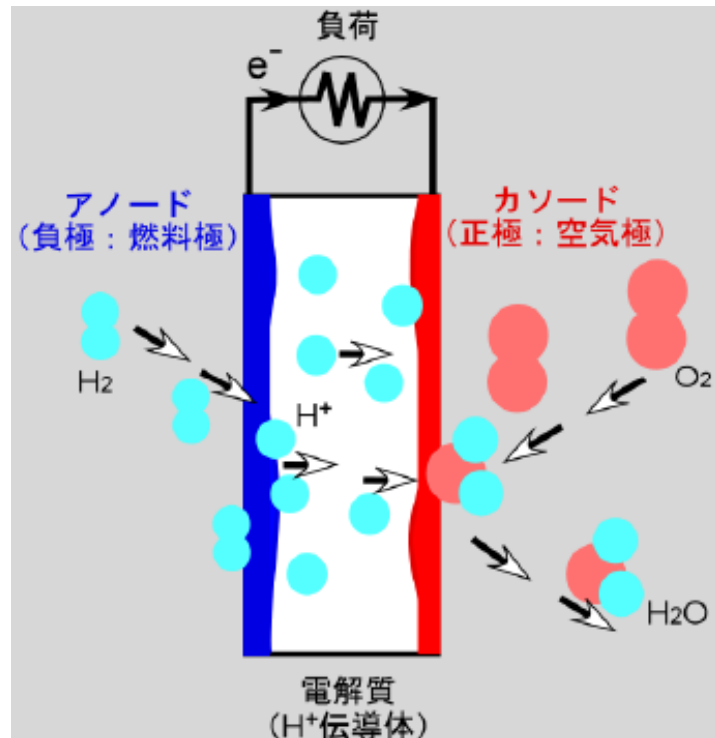


トヨタ社FCHV の設計概念(同社HPより)

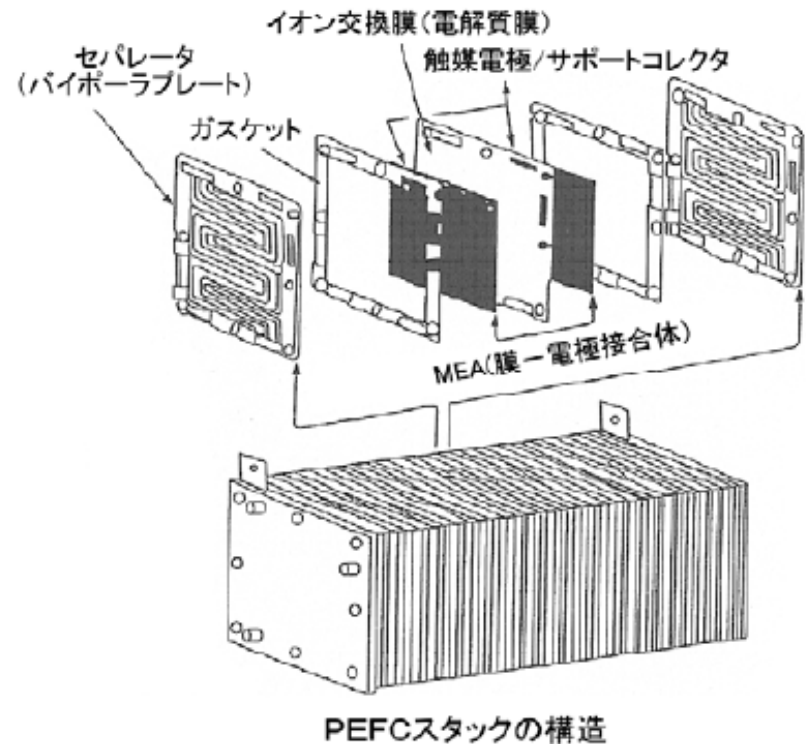
トヨタFCHV 車両概要

車両乗車	名称 全長/全幅/全高(mm) 重量(kg) 定員(人)	トヨタFCHV 4,735/1,815/1,685 1,860 5
性能	航続走行距離(km)〈10・15モード〉 最高速度(km/h)	300 155
燃料電池	名称 種類 出力(kW)	トヨタFCスタック 固体高分子形 90
モーター	種類 最高出力(kW(PS)) 最大トルク(N・m(kg・m))	交流同期電動機 80(109) 260(26.5)
燃料	種類 貯蔵方式 最高充填圧力(MPa)	純水素 高圧水素タンク 35
2次電池	種類	ニッケル水素電池
価格	30ヶ月間のリース(千円/月)	1,200

燃料電池(PEFC)の構成



単セルの基本構造



積層構成例

PEFCの技術課題(1)

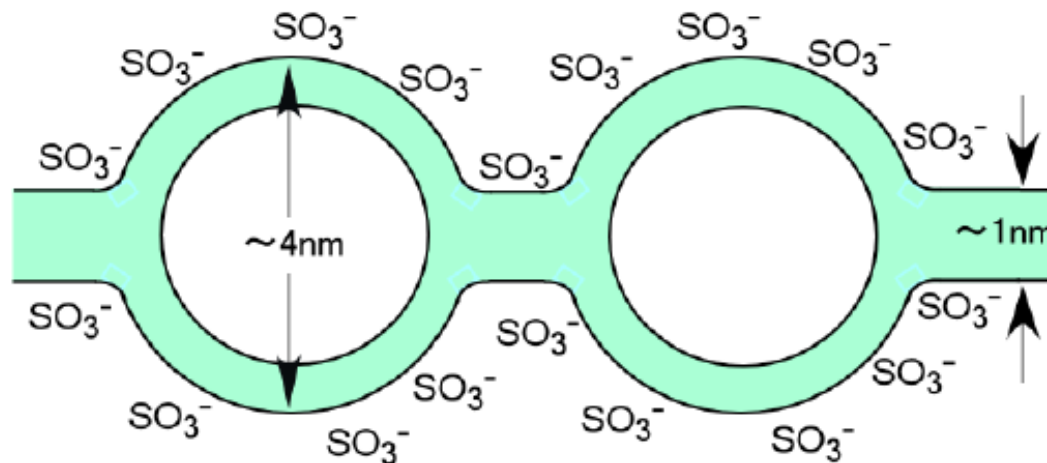
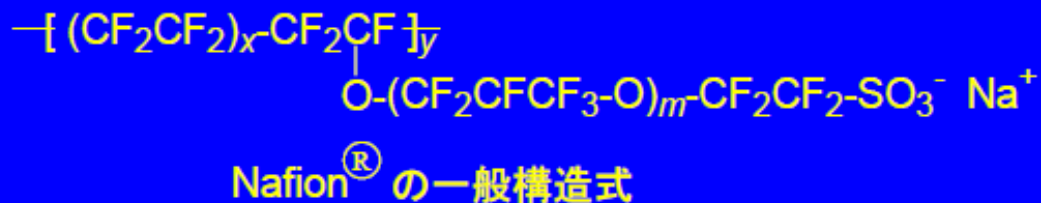
電解質材料技術

現状技術

フッ素樹脂系
イオン交換膜
(Nafion®)

課題

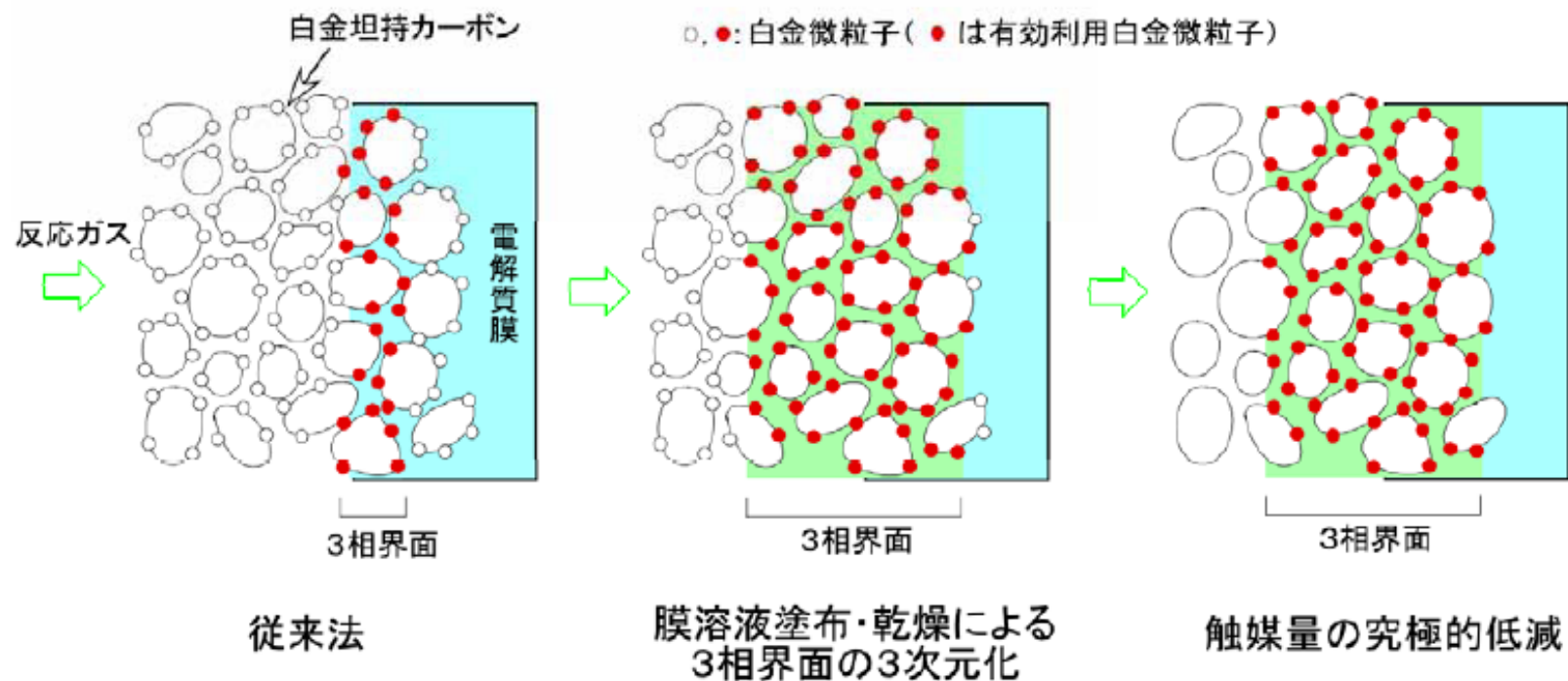
作動温度範囲
耐久性
価格



PEFCの技術課題(2)

◇電極材料・構成技術

電極触媒: 白金, 白金合金



電極反応場の3次元化と触媒利用効率の向上モデル

PEFCの技術課題(3)

■ 燃料(水素)製造・貯蔵技術

– 現状技術

■ 天然ガス(メタン)改質

– $\text{CH}_4 + 2\text{H}_2\text{O} = 4\text{H}_2 + \text{CO}_2$ (水蒸気改質)

– $\text{CH}_4 + \text{O}_2 = 2\text{H}_2 + \text{CO}_2$ (部分酸化改質)

– <副生CO(触媒毒)の低減>

■ 高圧水素の輸送／貯蔵

– 「水素システム」のインフラ整備中

PEFC の用途(2)

モバイル電源 (Note PC, etc.)

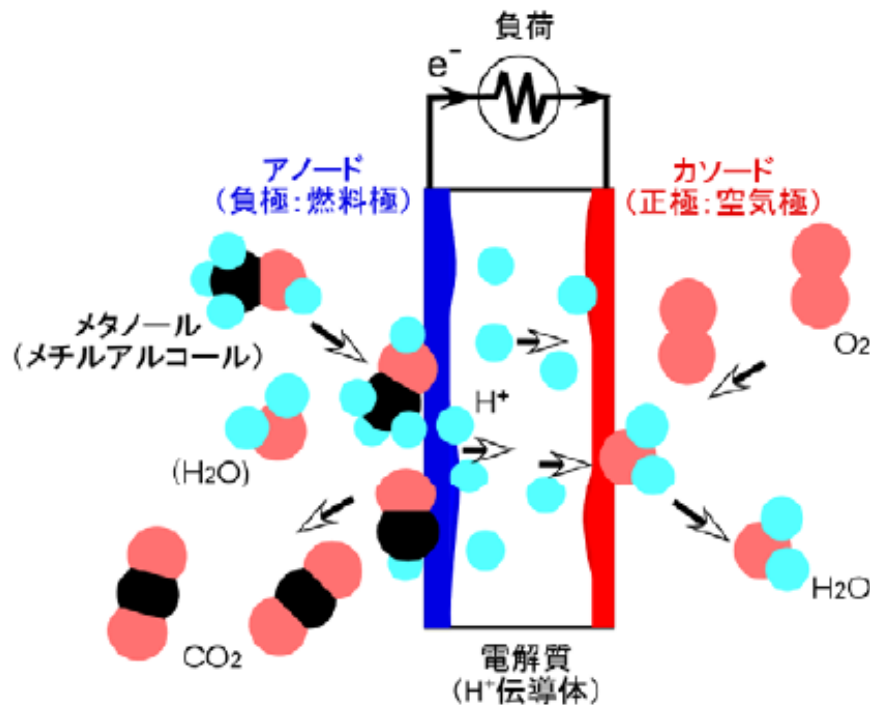


TOSHIBA のPC 用DMFC
(同社HPより)



NEC のモバイル用DMFC
(同社HPより)

直接型メタノール燃料電池(DMFC)とは



負極: $\text{CH}_3\text{OH} + \text{H}_2\text{O} = \text{CO}_2 + 6\text{H}^+ + 6\text{e}^-$

正極: $6\text{H}^+ + 3/2\text{O}_2 + 6\text{e}^- = 3\text{H}_2\text{O}$

全反応: $\text{CH}_3\text{OH} + 3/2\text{O}_2 = \text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$

長所

- 改質によるエネルギーロスがない (理論上)
- 燃料の扱いが容易

短所

- 電池からCO₂が排出される

小型電子機器用DMFC



小型電子機器向け燃料
電池システム



TOSHIBA 社HP より

仕様	
出力	100 mW
サイズ	22 × 56 mm (厚さ4.5 –9.1 mm)
燃料容量	2 mL
重量	8.5 g (燃料含む)
燃料	純メタノール

DMFCの技術課題

- **電極：高い触媒活性（燃料極）の持続方策**
 - 反応中間体(CO)による触媒被毒
 - 多量の白金族触媒を要する
- **電解質膜：耐メタノール透過性**
 - 「クロスオーバー」による発電効率ロス

将来展望

- 燃料電池は地球を救うか？
- 燃料電池は「ビジネス」になるか？

燃料電池の用途(現状と将来)

- 地域発電用(大形, MW級): SOFC, MCFC
- 小規模発電用(数百kW級): PAFC, PEFC
- 自動車用(100 kW級): PEFC, DMFC
- 家庭用小形発電(数kW級): PEFC, DMFC
- モバイル用(数W~数十W級): DMFC

- 用途, タイプによって技術課題はさまざま

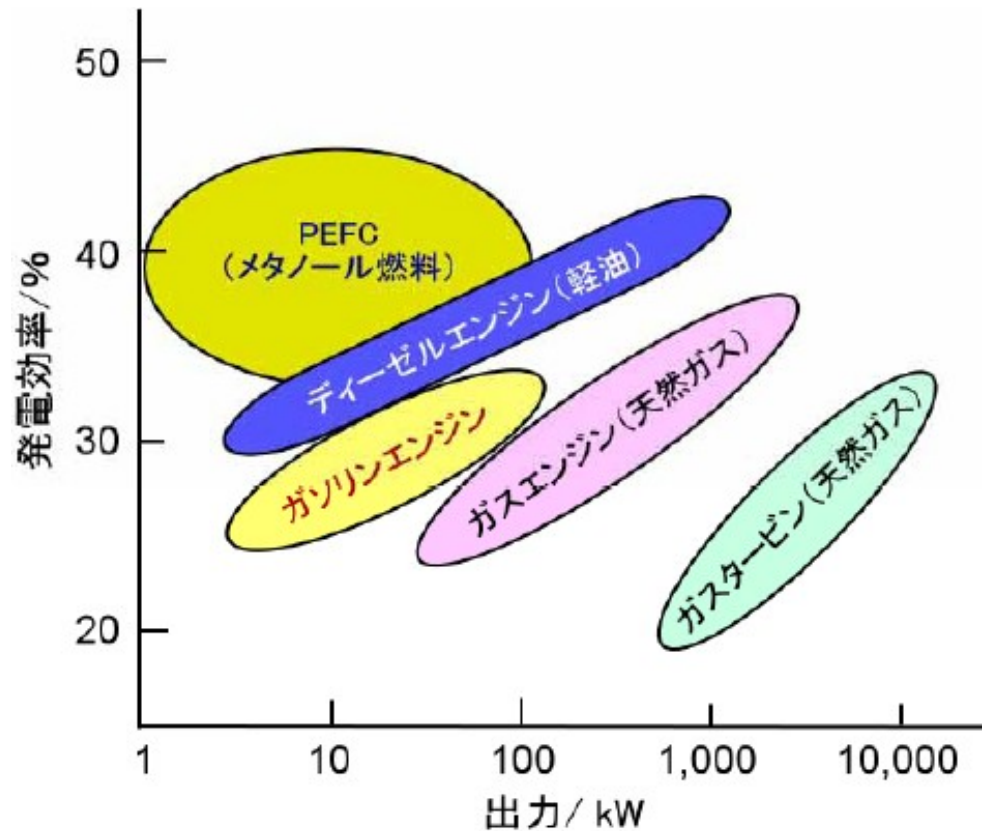
1. クリーン技術となり得るか

- 燃料電池の原理的特性を把握すること
- 燃料電池自体: クリーンで高効率
- システム全体: 燃料の調達, 改質法がカギ
- 定置型, 輸送機関, モバイル用途で評価は異なる
- 「水素エネルギーシステム」の中で

2. ビジネスとなり得るか

- 燃料電池とその周辺技術 燃料電池とその周辺技術
 - システム設計
 - 最適化技術
 - 用途開発
 - 材料技術
 - 触媒, 電極, 電解質, 改質燃料, セル構成材
 - 貴金属微粒子, 炭素材料, ポリマー, 複合体
 - 利用技術

DMFC の自動車用途への展開



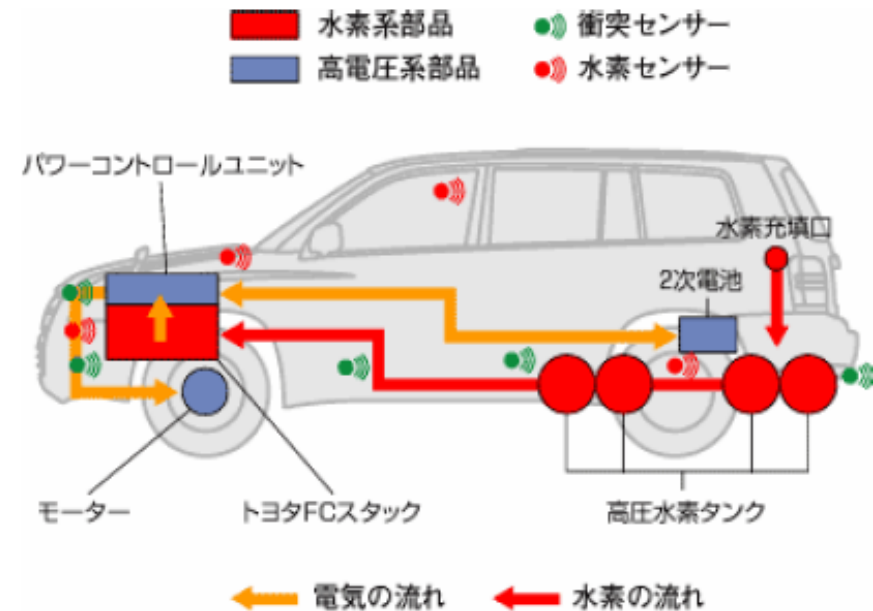
メタノール燃料電池と他の熱機関との
発電効率の比較

燃料電池の特性を補完する技術

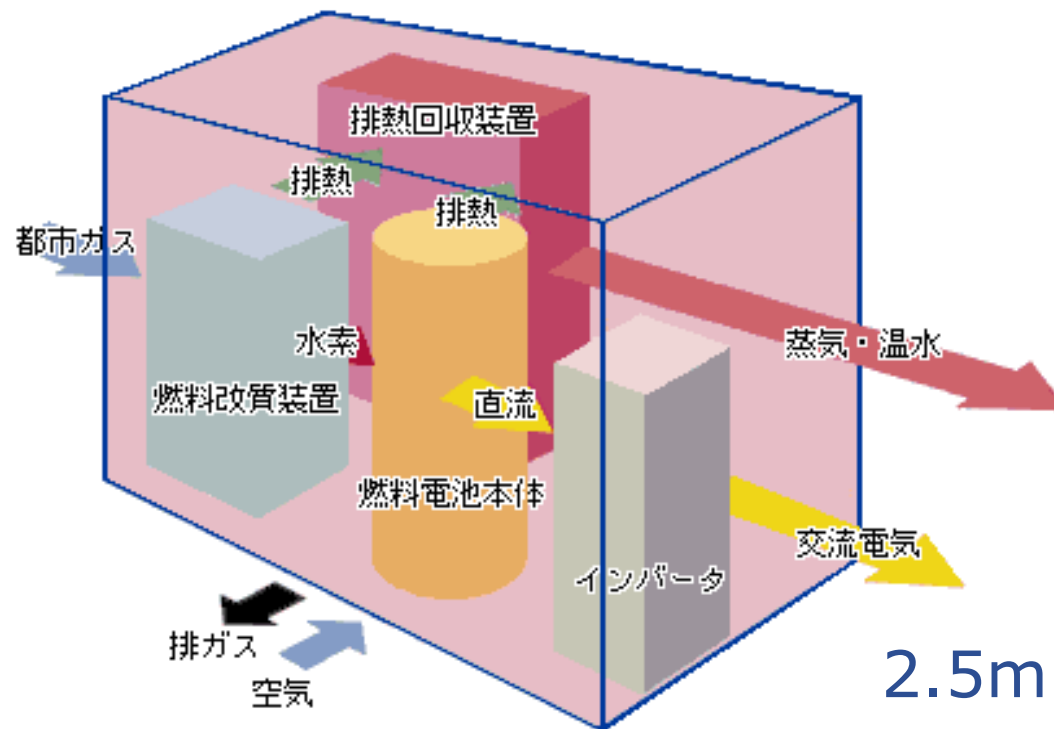
例

- 二次電池
- スーパーキャパシタ
- エネルギー回生とパワーアシスト

種々の「ハイブリッド」の可能性

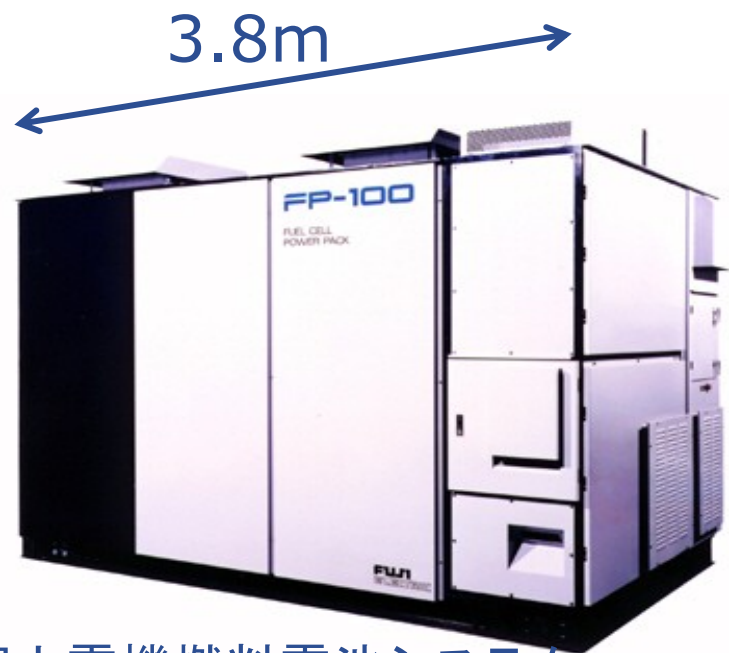


燃料電池の応用例(1)



実際の構成

<http://www.gas.or.jp/fuelcell/fctop.html>



富士電機燃料電池システム

価格:60万円/kW

燃料電池の応用例(2)

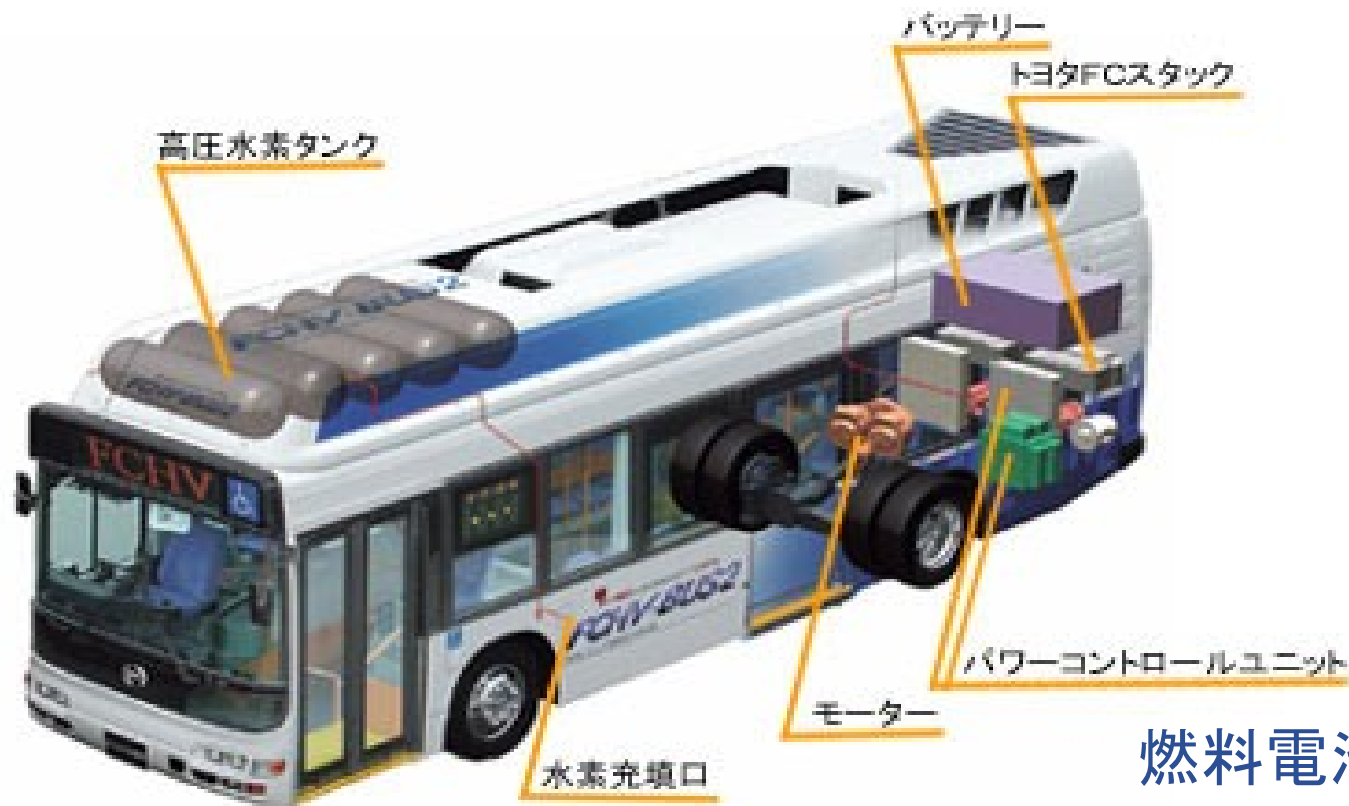


HONDA

DAIMLERCHRYSLER



mitsubishi MOTORS



燃料電池バス

出典: JHFC <http://www.jhfc.jp/>

燃料電池の応用例(2)つづき

燃料電池バス(東京都) 2003



燃料電池



出典:東京都環境局

燃料電池の応用例(3)

mtimicro Mobion™



燃料となるメタノールを直接供給して発電するタイプのダイレクトメタノール型燃料電池 (DMFC: Direct Methanol Fuel Cell)

携帯電話用超小型燃料電池モジュール



燃料電池の応用例(4)



教育用玩具

小型燃料電池ミニカーキット 19,800円

<http://mpn.cjn.or.jp/mpn/contents/00002047/index.html>

技術的な話題のまとめ

- 燃料電池の歴史
 - 原理発見から160年以上
 - 宇宙船で実用されてから40年以上
 - 成熟技術となるのは？

参考資料: 関係メーカーHP

燃料電池に関するビジネスの例1-1

- 東京理科大、新エネルギー研究所——風力発電で水素発生(点検大学発VB)2006/05/02, 日経産業新聞, 14ページ
- 自治体と組み、融雪など活用
- 東京理科大学発のベンチャー、新エネルギー研究所(東京・千代田)は燃料電池などエネルギー源としての水素の利用を研究開発する。水素は気体のままの輸送が難しいため、液体の有機物質に結合させる方法を研究、自治体と組んで融雪などに活用する。水素は風力発電の電力を利用した水の電気分解で生産し、環境にも優しいエネルギー供給の普及を目指す。
- 「この一年は大きな転機だった」と亀田光昭社長は振り返る。行き詰まりつつあった民間企業との共同研究に代わり、自治体とのプロジェクトが新たな事業の柱に育ってきた。二〇〇五年六月期の売上高が千万円弱だったのに対し、〇六年六月期は一億円を見込む。

燃料電池に関するビジネスの例1-2

- 東北地方の自治体と組み、ある公民館をモデルとした提案が〇五年八月から始動した。風力発電の電力で水を電気分解して発生させた水素を液体有機物質「デカリン」として貯蔵し、冬場の融雪に使う燃料電池のエネルギー源として利用する。風力に加え、温泉熱を電力源として用いる方式も導入している。
- 東京理科大の齊藤泰和教授が主に、デカリンを利用する水素の輸送・貯蔵方法を考案。この技術を実用化するため、新エネルギー研究所を2002年に設立した。石油の精製で得られ、防虫剤の原料として知られるナフタレンに水素を吸収させ、液体にして輸送・貯蔵する。運んだ先で必要に応じて水素を取り出す。ナフタレンについては発電所に戻して再利用する。この方法を「デカリンサイクル」と名付けている。

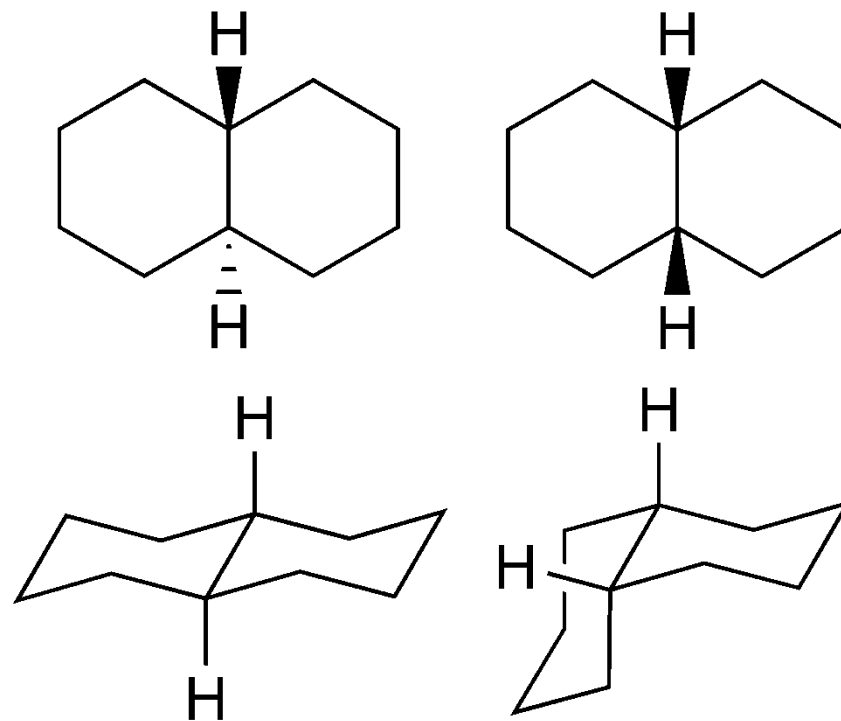
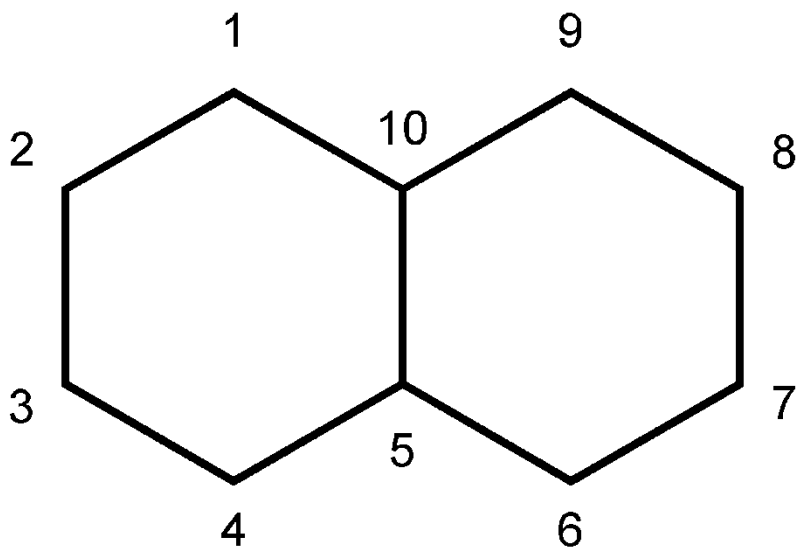
燃料電池に関するビジネスの例1-3

- 燃料電池は、石油や天然ガスなどに代わる新エネルギーの切り札として注目されている。だが、燃料となる水素の生産や輸送、貯蓄の方法はまだ確立していない。同社はクリーンエネルギーでもある風力発電の電力に着目、水の電気分解による水素の発生を考えた。
- 水素を運搬するには圧縮してボンベなどに詰めるか、冷却して液体水素として運ぶかのいずれかが必要。気体のまま圧縮しても大量輸送は困難で危険も伴う。だが液体にするには温度を -250°C 以下まで下げねばならず、膨大なエネルギーを消費する。デカリンにすれば、輸送・貯蓄が容易になる利点がある。

デカリン

- 正式にはデカヒドロナフタレン (decahydronaphthalene)

- $C_{10}H_{18}$
- ナフタレンを水素化することによって合成される
- 常温で液体であり、溶剤として用いられる



燃料電池に関するビジネスの例1-4

- 「石油の代替エネルギー源として考える場合、既存のインフラが使えることも重要」と亀田社長は強調する。既存のタンカーや石油タンクをデカリンの輸送や貯蔵に転用できるという。
- 設立当初は石油元売り会社などが関心を寄せ、共同研究を進めた。しかし原油価格の高騰で本業の採算が好転したため、代替燃料開発への関心がやや薄れている。ただ、一方で自治体からの注目度は高まりつつあるようだ。
- 現在、新たに二つの自治体との間で導入に向けた協議が進行中で、デカリンサイクルによる水素エネルギーの活用は「最終的には国家規模のプロジェクト」(亀田社長)と期待が高まる。まずは自治体などと協力して実績を積み重ね、認知度を高めることが、普及に向けての足がかりになりそうだ。(松木祥介)

燃料電池に関するビジネスの例1-5

エネルギー貯蔵、意義大きく期待

- デカリンサイクルについて詳しいトヨタ自動車第三材料技術部の鈴木寛グループ長「電気はそのままでは貯蔵できない。このため風力発電で得たエネルギーを水素に変換して貯蔵しておくという点で、デカリンサイクルの意義は大きい」
- デカリンを瞬時に加熱する装置の開発など技術的な課題が克服されておらず、現時点では燃料電池を自動車に搭載して活用するのは難しい。装置の大きさの面でもハードルがある。ただ大規模なもので定置型であれば、効率的なエネルギー源として期待できるだろう。

燃料電池に関するビジネスの例1-6

- 《会社概要》
- ▽ 本社 東京都千代田区飯田橋3—11—5 三京ビル202
- ▽ 電話 03・5228・5572
- ▽ 社長 亀田光昭氏(かめた・みつあき)
- ▽ 大学との関係 齊藤泰和教授が取締役
- ▽ 売上高 1億円(2006年6月期予想)
- ▽ 株主構成 社長本人、齊藤教授、大学OBら

燃料電池に関するビジネスの例2-1

広島県と市、水素燃料車、公用車に——自治体初、地場の技術開発後押し。

2006/04/22, , 日本経済新聞 地方経済面 (中国B), 35ページ

- 広島県と広島市は二十一日、マツダが開発した水素燃料車「RX-8ハイドロジェンRE」を公用車として導入した。国や地方自治体は燃料電池車の普及に力を入れているが、水素燃料車の自治体への導入は全国で初めて。地場企業による環境技術開発を後押しして、地球温暖化防止を促進する。

燃料電池に関するビジネスの例2-2

- 同日、県庁と市役所で納車式を開いた。試運転した藤田雄山知事は「乗り心地はガソリン車と変わらない。県として温暖化防止に取り組んでおり、環境イベントなどに活用していきたい」と話した。マツダの渡辺一秀会長は「環境対応車のなかではコスト面、性能面で普及段階へ一番近い」とアピールした。
- ハイドロジェンREは既存のロータリーエンジンを活用し、ガソリンの代わりに水素を燃やして駆動する。二酸化炭素(CO₂)を排出せず、窒素酸化物(NO_x)もほとんど出ない。ガソリンでも走行できる。リース料は月四十万円と燃料電池車の半額以下で、導入する自治体や企業の負担を軽減している。