
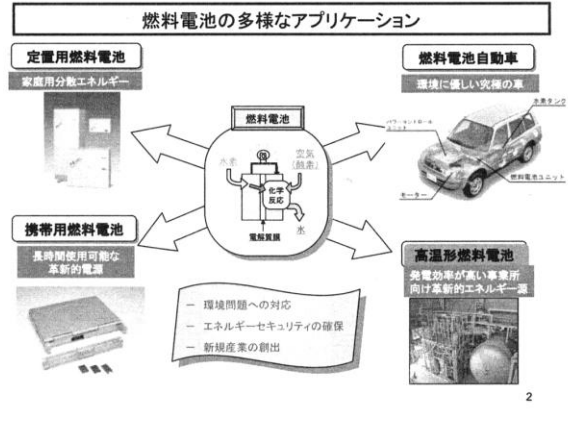


### 燃料電池・水素社会への日本の挑戦 ～国家戦略とビジネスチャンス～



2005.1.21  
燃料電池推進室長  
電気通信大学客員教授  
安藤晴彦

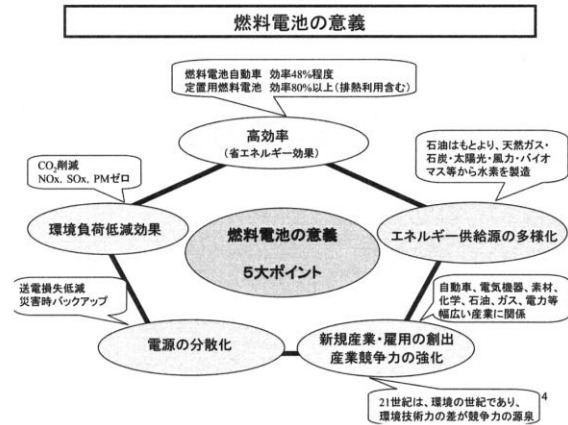


## 燃料電池が世界を変える！

5時間の行動範囲  
・誰が産む？  
・老親？  
・つれあい？  
・〇年後のあなた自身？

アシモ君も1時間だとか・・・  
噂なみのスタミナ？

2時間ちよつと？  
サッカーOK、野球は？



### 水素経済のための国際パートナーシップ - International Partnership for the Hydrogen Economy -

1. 日時: 2003年11月 19～21日

2. 場所: ワシントンDC

3. 参加国:  
日本、オーストラリア、ブラジル、カナダ、中国、フランス、ドイツ、イスラエル、インド、イタリア、ノルウェー、韓国、ロシア、英国、米国、欧州委員会

4. 概要  
水素・燃料電池に係る技術開発、基準・標準化、情報交換等を促進するための国際協力枠組みの構築を目指してエネルギー省(DOE)のエイブラハム長官が、提唱。11月20日の閣僚級セッションにおいて、各国の閣僚級が水素・燃料電池に係る技術開発の推進、共通の基準・規則の策定等を通じて水素経済の構築を目指すことに合意し、「水素経済のための国際パートナーシップ(IPHE)の枠組文書」に署名した。

### 『水素エコノミー』 ジェレミー・リフキン著(2003)

・熱力学的に、近代農業は最も生産効率が悪い！？  
昔の小作農は、1カロリーで10カロリーを生産。  
近代ハイテク農業では、人間の労働1カロリーで6000カロリーを生産(アイロフ)。しかし、トウモロコシ1個(270カロリー)の生産に2790カロリーを投入。  
= 1カロリーの生産に10倍！のエネルギーを消費

・平均的4人家族が1年間で消費する牛肉には1000%の化石燃料が必要。  
= 2.5トンのCO<sub>2</sub>排出 = 普通乗用車の半年分の排気ガス

・乗り物にガソリン1%を使うと、食料生産用ガソリンが1%減る。  
10km走ること10kg用のガソリンを燃やしている。

・化石燃料の枯渇、人口増加や農地への適地減少を考えると「炭素サイクル」から「水素サイクル」への転換が必要

ジュール・ヴェルヌ『神秘の島』(1874年)  
「アメリカの石炭が掘りつくされたら商工業はどうなるか」「かわりに何を燃やすのか」「水だよ」と主人公ハーディングが言い放つ。  
「水といっても原子に分解された水だ。きっと電気で行われるだろう。諸君、水が燃料になる日は必ずくる。水素と酸素を利用すれば、熱や光を無尽蔵に生みだしてくれる。石炭など比べものにならないほど大量にね。水は未来の石炭なんだ。」

### 「ローマ帝国の熱力学」

・武力征服でローマは大帝国に  
マケドニア征服で市民は無税に、ベルガモン王国併合で国家予算削減。  
・常備軍や機構維持のためのエネルギーを消費  
アウグストゥス 5%相続税を導入し、軍人の退職金に充当。  
前40年代(カエサル時代)は、ローマ市民の1/3が公的支援を受け、紀元40年代には20万世帯が小麦を無償支給される。

・征服から農業生産への転換→土地の酷使と肥沃度低下→大農園化→耕地の放棄・過疎化  
→肥地からマラリア流行→人口減少=農民・兵の減少→徴兵制・小作人制  
しかし、疲弊は進行。(百万人もあったローマの人口は、6世紀には3万人以下に)

「ローマ人により支配が始まったとき、イタリアは深い森に覆われていた。ローマ帝国が終焉を迎えるときには、緑の覆いはすっかりはがされていた。」  
「ヨーロッパ大陸にあった自由に使える有効なエネルギーは、ローマの機構に吸いつくされてしまった。森を失った土地、浸食された土、貧困と病に苦しむ人々が帝国に散らばっていた。ヨーロッパが立ち直るまでに600年を要した。」

前509年	支配者エトルリア人を逐い出し、共和制を確立(共和政)
前476年	カルタゴ滅亡、マケドニアは属国に。
前64年	シリア、ローマ属に。
前30年	オクタヴィアヌス、エジプトを征服。
9年	トラヤヌス帝即位。ローマ帝国の最上皇に上。
395年	ローマ、東西に分岐。
476年	西ローマ帝国滅亡。

### 世界初の水素社会を目指す アイスランド

グリーンフォン大統領

レイキヤビク市内の水素ステーション

大統領公邸

## 水の都もオール燃料電池!?



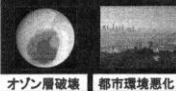

94作ものオペラを書いたヴィヴァルディの故郷  
水の都ヴェネツィアもオール燃料電池に

ただし、イタリアの話ですから・・・  
でも、イタリアは電池の発祥地(ボルタ、1800年頃)


## 化石燃料価格に含まれる真のコストは？

価格に含まれると  
考えられている  
コスト


価格に含まれない  
社会的コスト




原油流出・環境破壊




都市環境悪化




原発事故




超大型台風




熱帯伝染病




干ばつ・砂漠化



森林火災



大規模洪水



核廃棄物

## パタゴニアの風力を 「水素」にして全世界に輸出! ? Del Viento al Hidrógeno






## 100~500兆円の投資が必要 いったい、誰が払うのか？

燃料電池車の生産	2020	2030	2040	2050
累積生産台数, OECD諸国 (百万台)	0.1	14.1	95	261.2
累積生産台数, 世界 (百万台)	0.1	14.7	113.7	404.3
販売シェア, OECD諸国 (%)	0.1	10	30	50
車両ストック全体に占める割合, OECD諸国 (%)	0.1	2.2	13.7	32.7
<b>車両コスト(楽観ケース)</b>				
1台ごとの追加コスト - 0.82 progress ratio (\$)	13,000	3,300	1,850	1,300
増加コスト総計 (10億\$)	2	55	255	654
<b>車両コスト(悲観ケース)</b>				
1台ごとの追加コスト - 0.9 progress ratio (\$)	34,000	16,400	12,000	9,900
増加コスト総計 (10億\$)	6	257	1,501	4,481
<b>燃料コスト</b>				
集中型水素製造、流通、充填 (\$/GJ)	100	75	60	50
総燃料利用, scenario (EJ/yr)	0.002	0.294	2.274	8.086
累積燃料供給投資コスト総計 (10億\$)	0	22	140	431
累積コスト総計(楽観ケース) (10億\$)	2	77	395	1,085
累積コスト総計(悲観ケース) (10億\$)	6	279	1,641	4,912

Source: IEA 2003 12

## 燃料電池の導入シナリオ

燃料電池自動車	政策目標	定置用燃料電池
2010年 5万台		2010年 210万kW
2020年 500万台		2020年 1,000万kW
2030年 1,500万台		2030年 1,250万kW

### 政策目標達成に向けた導入シナリオ

2002~	2005~	2010~	2020~
実用化・供給体制整備 実証試験 ソフト面でのインフラ整備 燃料電池本体や水素利用分野の技術開発	政策目標達成に向けた導入シナリオ 供給体制の整備 政府調達を活用	普及段階 民間主導での市場拡大	定置用燃料電池 燃料電池自動車

一層の性能向上・低コスト化を目指した技術開発

## 政府の燃料電池自動車納車式

- 日時: 2002年12月2日(月) 11:30~11:55
- 場所: 首相官邸正面玄関前
- 出席者:
 

[政府]	内閣総理大臣 小泉 純一郎
	官房長官 福田 康夫
	経済産業大臣 平沼 赳夫
	国土交通大臣 駒 千景
	環境大臣 鈴木 俊一
	科学技術担当大臣 細田 博之 他
[自動車会社]	トヨタ 奥田 碩 会長
	本田技研 吉野 浩行 社長
- 参加車両: 内閣官房・内閣府に納車される燃料電池自動車2台(トヨタ FCHV、本田技研 FCX)

### 総理発言

「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。」

## 来春、東京ガスが首相新公邸に 世界初の市販燃料電池を納入予定



松下電器産業




荏原パワード

## 愛知万博で燃料電池4タイプが勢揃い!

### (1) 燃料電池バス及び水素ステーションの実証試験


燃料電池バス

- ・固体高分子形燃料電池 (PEFC)



水素ステーション


(天然ガス改質型+製酸素副生水素+高圧水素貯蔵型)



### (2) 日本政府館における実証試験

日本政府館への電力供給用

- ・リン酸形燃料電池 (PAFC) 4台 計800kW
- ・熔融炭酸塩形燃料電池 (MCFC) 2台 計720kW
- ・固体酸化物形燃料電池 (SOFC) 1台 50kW



長久手会場日本政府館

日本企業の強みと苦悩

馴染みのないアーキテクチャ/イノベーション手法



●最強のものづくり能力

- ・大野耐一式TPS
  - 世界のベンチマーク
- ・自動化、ジャストインタイム、カイゼン、見える化など
- ・強いシステム統合力
  - 指り合わせは世界一
- ・サプライヤーとの協働
  - 切磋琢磨、「能力構築競争」
  - 自社生産能力が前提
- ・博士、理博は少数派

●読めるイノベーション専門？(リニア)

- ・先端サイエンス活用は稀？
- ・博士を使いこなせない？
- ・探索型イノベーションは不慣れ？

●外部活用・アライアンス下手

- ・異業種企業と対等につきあえない？
- ・ベンチャーともつきあいはない？
- ・モジュラー(オープン)アーキテクチャは不得意？
- ・技術ロードマップに無関心？

●徹底した情報管理

- ・情報こそが競争力
- ・秘密主義(デザイン-取引先など全て)
- ・純血主義・自前主義
- ・内外製区分は社長マター
- ・閉じたナレッジ・自己完結

強みが徒に？

17

平成17年度要求のポイント

329億円→355億円

- ①世界初の市場立上げ(定置用燃料電池)
  - 高分子形燃料電池実用化戦略的技術開発(前掲)
  - トップ企業連携による劣化要因解明プロジェクト
  - 定置用燃料電池大規模実証事業(新規:25.3億円)
  - 大量生産へのステップアップ・ラーニングカーブ検証 [400台(予定)]
  - スペック整合化検討(モジュール化戦略の活用)
- ②サイエンス・異分野のナレッジの融合・結集
  - 高分子形燃料電池実用化戦略的技術開発(新規:54.5億円)
  - 異分野連携
  - 燃料電池先端科学研究委託費(新規:10億円)
  - 産総研「若手梁山泊」
  - 燃料電池導入促進戦略広報等事業(新規:2.5億円)
  - 異分野先端企業、中小ベンチャー企業の参入促進、世界的ラボとの交流促進
- ③技術選択肢として的高温形燃料電池の強化
  - 固体酸化物形燃料電池システム技術開発(16億円→32.9億円)

18

日米水素・燃料電池共同声明

1. 日時:2004年1月 8日

2. 場所:東京

3. 概要

水素・燃料電池に関する研究開発や規格・基準に係る日米間の協力を強化するため、経済産業省及び米国エネルギー省の間で、日米間の協力取決めの締結に向けた交渉に着手することに合意。



(日米共同声明に署名する 坂本副大臣、エイブラハム長官)

DOE傘下の一流ラボとの研究交流強化

19

水素関連国際共同研究プログラム

- 経済産業省/NEDOは、一件あたり3000万円までの水素関連国際共同研究プログラムを本年度から創設
- 9月に11の共同研究プロジェクトを採択
- 8カ国から、ケベック大学、カナダ国立研究協会(カナダ)、中国科学院(中国)、ボルドー大学(フランス)、シンガポール国立大学(シンガポール)、フリブール大学(スイス)、エネルギー技術研究所(ノルウェー)、ポレスコフ触媒研究所、ロシア科学アカデミー(ロシア)、アフライド・ナノテク社、バツテル記念研究所、海軍研究所、スタンフォード国際研究所(アメリカ)が参加。

20

ニューメキシコ州の一流ラボとの交流開始  
トップ・サイエンスと日本のものづくりとの融合



- ニューメキシコ州には、ロスアラモス、サンディア、NASAを始めとする一流ラボが集積。
- ビル・リチャードソン知事(前DOE長官)筋との個人的ご縁で、日本の燃料電池ミッションを組成。
- 先日、トヨタ、日産、ホンダほかから14名が訪問。
- The world's Greatest Science Protecting America



21

燃料電池先端基盤技術センター(仮称)への期待

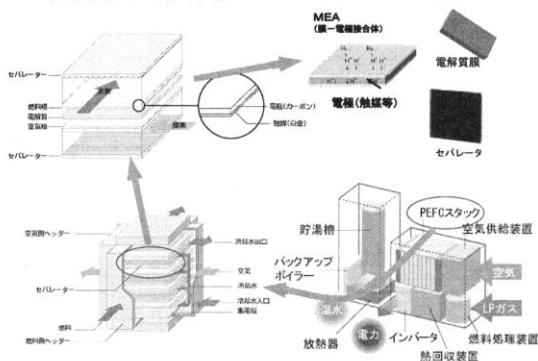
- ・2005年4月設立予定
- ・センター長には民間トップサイエンティストを招聘
- ・国内外若手の「梁山泊」を目指す



- ・科学の先端探索・深化 内外英知によるトップサイエンスの結集、基本メカニズムの解明、革新的技術の創造、シミュレーションによる微細構造設計、産業界の製品化支援
- ・創知と情熱の「場」 産業界の具体的な課題・ニーズに即し、サイエンス領域で自由闊達な研究を行う創知と情熱の「場」
- ・若手PhDの育成・鍛錬 先端科学の知識を持つ若手人材の育成
- ・国際先端交流 世界トップラボとの継続的な人材交流
- ・知のランドマーク 新時代の科学的知見の啓蒙、普及

22

固体高分子形燃料電池システムのモジュールの例



「モジュール化」とは？

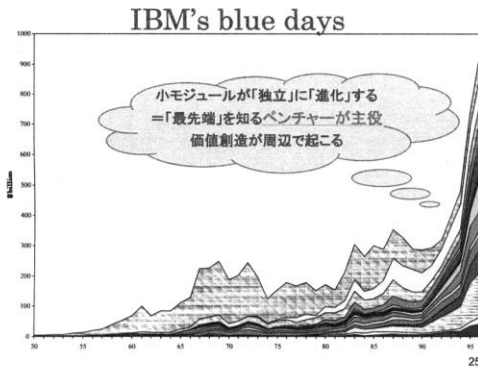
- ・経済学・経営学の最先端のホットなテーマ
  - “Design Rules - The Power of Modularity”
  - C.Y.Baldwin, K.B.Clark (ハーバードビジネス学長・副学長)
  - 「モジュール化 新たな産業アーキテクチャの本質」(東洋経済新報社)
  - 青木昌彦(スタンフォード大学教授)、安藤晴彦編著
- ・古典的な分業の利益 (効率のための分業: マイナス指向)
  - アダムスミスのピン、サイモンの時計職人
- ・現代的な分業の利益 (進化のための分業: プラス指向)
  - ベンチャー企業による分業

ICT技術の爆発的発展  
デジタルのきれいなインターフェース

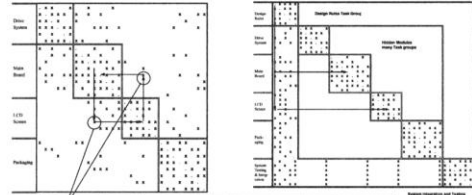
イノベーション(価値創造)とスピードの競争

24

モジュール・クラスターの形成



燃料電池は、モジュールに分離できるか？  
 統合型なら、日本型大企業が強い  
 モジュール型なら、中小ベンチャーが大活躍



定置用燃料電池の製造コスト

(技術革新がないと仮定した場合の)年間生産台数と4社のコスト試算結果

	100台	1000台	10,000台	
インバータ・貯蔵槽	平均	58	249	20
	最大	82	590	28
	最小	19	159	1.4
システム(その他)	平均	216	126	43
	最大	369	211	87
	最小	131	84	23
燃料処理器	平均	104	95	23
	最大	12	52	28
	最小	48	13	32
燃料電池スタック	平均	162	92	32
	最大	215	119	51
	最小	100	70	19
合計	平均	529	298	119
	最大	742	450	157
	最小	440	232	90

製造コスト:材料費および製造経費  
 モジュール型なら 14+23+13+19=69万円!  
 モジュールが独立に「進化」すると……

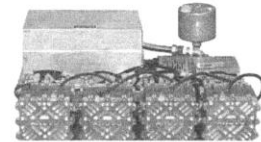
明確なモジュラー戦略をとる日本企業が始めている  
 モジュール化されれば、耐久性はこの次に！イノベーション軸をコストダウン一本に絞り込める(日本の得意技でしょ?)

燃料電池車 10万ドル以下！  
 アメリカのモジュール型ベンチャーが発売



ホッジ社長=Hパワー創業者

\$99,995\* (US) FOB Sacramento, CA



スタックもモジュール型



Dustin Shindo  
President & CEO

HOKU Scientific

トップキャピタリストも注目

2004年10月カホレイ・ビジネスパークに240坪の工場用地を確保

SANYO Electric Co., Ltd.

SANYO Electric Co., Ltd. is a global giant in consumer electronics, home appliances, commercial equipment, batteries and other products. Sanyo is a leading developer of 1kW stationary fuel cells for the residential market in Japan. In 2003 Hoku Scientific entered into a multi million dollar agreement with Sanyo to integrate Hoku's proton exchange membrane into Sanyo's 1kW fuel cell system.

Hawaiian Electric Industries, Inc.

Hawaiian Electric Industries, Inc. (NYSE: HEI) is the largest Hawaii-based company, providing electric utility services to 95% of Hawaii's residents and a wide array of banking services to consumers and businesses through the state's third largest bank. Hawaiian Electric Industries, Inc. was Hoku Scientific's lead investor in its Series A round of funding in June 2002.

The University of Hawaii

The University of Hawaii is Hawaii's leading institution for higher education. The University assists companies such as Hoku Scientific in their development efforts by providing key resources and equipment that serve to accelerate innovation. Hoku Scientific finalized an agreement to perform fuel cell testing at the University facilities in February 2002.

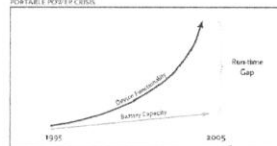
同社ウェブサイトから

Poly Fuel = venture-backed company



DMFCでは世界35社が競争  
 SRIのスピノフが活躍  
 インテルがしっかり投資  
 =アーキテクチャ競争

Newsweek, November 17, 2003  
 "Venture capitalists are helping on fuelcell and solar cell technologies." Brad Stone



傳田アソシエイツ社長  
 傳田信行氏

西野田電工

- ♥ 1945年関西地区を拠点に創業。電気設備工事、設計施工・保守管理。
- ♥ 最先端のエネルギー技術を大阪大学、産業技術総合研究所、オランダ国立研究所 ECNなどとの産学連携によりキット化し、2002年・2003年連続で経済産業省資源エネルギー庁の教材キットを受託
- ♥ 「花力発電」「水空電気」。

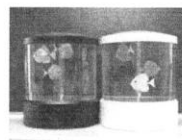


代表取締役社長  
 曾 留視子 さん

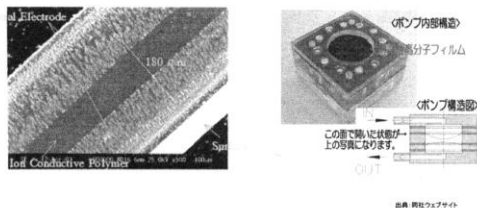
水電解・燃料電池両用キット 《水空電気》

イーメックス

- ♥ 2001年8月設立
- ♥ イオン交換樹脂膜を利用した「人工筋肉」「人工筋魚」
- ♥ 燃料電池で重要なキャパシタ、マイクロポンプに応用



### 17人の若い博士集団が創造する イーメックスの優れた技術例



徹夜も厭わない、ワクワクする創造的研究開発の「場」ができています。

### ミレニアムゲートテクノロジー

♥ 1950年1月生まれ、大阪府出身



武内 勇社長

♥ メッキ技術を「ボトムアップ型ナノテクノロジー」と位置付け、「ナノ粒子へのメッキ」による新機能材料開発に取り組む。

♥ 「燃料電池でも高性能な触媒開発やっています！」

### 中小ベンチャー企業も各地で活躍中！

#### ・中小ベンチャー企業

- 事例① 日本製初の350気圧水素圧縮機(東京)
- 事例② セルの表面加工(自動車メーカーにサンプル出荷。量産準備中:名古屋)
- 事例③ 高性能気体濃度センサー(水素タンクの安全性。自動車メーカー各社と共同開発中:伊丹)

#### ・ベンチャーキャピタル

- 事例① 「DOE系の案件を調べたよ。結局、投資しなかった。時間がかかるよね。」
- 事例② 「良い案件があったら紹介してね。20~30億を出せるよ。」
- 事例③ 「大メーカーにつないでくれたのは感謝。でも期待しないで待ってるよ。」
- 事例④ 「有望なハワイのベンチャーがあるんだけど・・・」

### 中小企業のビジネスチャンス

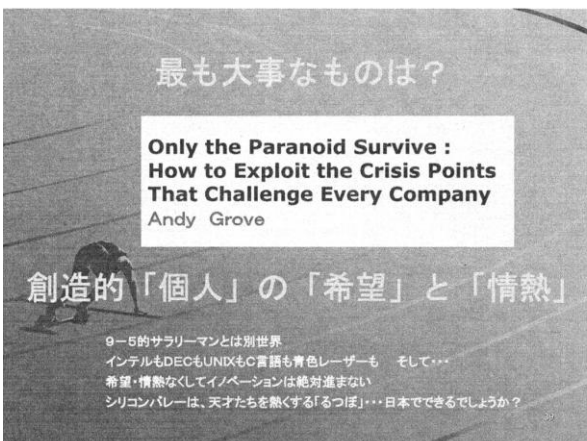
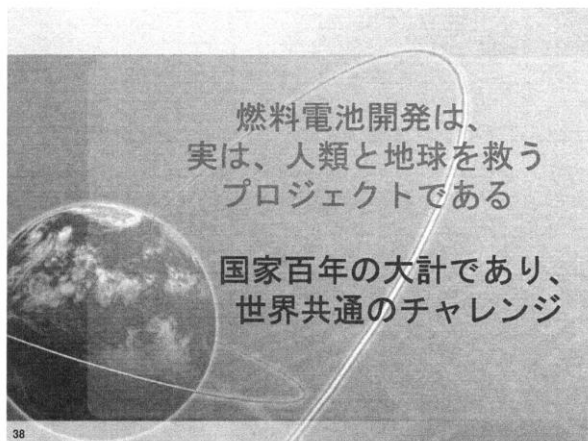
●大阪商工会議所が、平成14年から、燃料電池システム・メーカーと、会員の中堅・中小企業、ベンチャー企業等とのマッチングの試みている。

●各種ポンプ・流量計・センサーなどの周辺機器(補機類)や配管・継ぎ手などの材料・部品関係を中心に、「定置用燃料電池システム概要およびその周辺機器(補機類)・部品リスト」(平成16年2月)を作成し、会員限定で紹介している。



### 燃料電池に必要な部品

- ・ 目標は高い。「低コスト化」「耐久性(10年目標)」「省電力化」「低出力で安定」など。
- ・ 空気ブロア、ガス昇圧ブロア、水ポンプ
- ・ 電磁弁、流量制御弁、リリーフ弁
- ・ 熱交換器
- ・ センサー(温度、圧力、レベル、ガス濃度)
- ・ 水処理装置(イオン交換樹脂、排水処理装置)
- ・ 配管部材、ガスケット、フィルターなど
- ・ 来春に資源エネルギー庁で再度とりまとめ公表。
- ・ 秋には展示会も。中小企業庁とも連携。



最も大事なものは？

Only the Paranoid Survive : How to Exploit the Crisis Points That Challenge Every Company  
Andy Grove

創造的「個人」の「希望」と「情熱」

9-5のサラリーマンとは別世界  
インテルもDECもUNIXもC言語も青色レーザーも...そして...  
希望・情熱なくしてイノベーションは絶対進まない  
シリコンバレーは、天才たちを熱くする「つぼ」...日本ですででしょうか？

### 参考図書

- 『デザイン・ルール モジュール化パワー』(ポールドウィン・1・クラーク・2著、東洋経済新報社、2004年) \*1:ハーバードビジネススクール前副学長、\*2:同学長
- 『モジュール化 — 新しい産業アーキテクチャの本質』(青木昌彦・3、安藤晴彦編著、東洋経済新報社、2002年) \*3:スタンフォード大学名誉教授
- 『日本経済競争力の構想—スピード時代に挑むモジュール化戦略』(安藤晴彦、元橋一之・4著、日本経済新聞社、2002年) \*4:東京大学助教授・経済産業省

ご質問・ご意見は安藤宛にお願いいたします。ando-haruhiko@meti.go.jp