

燃料電池自動車開発における 最近の進歩と将来展望

2009年12月4日

トヨタ自動車株式会社

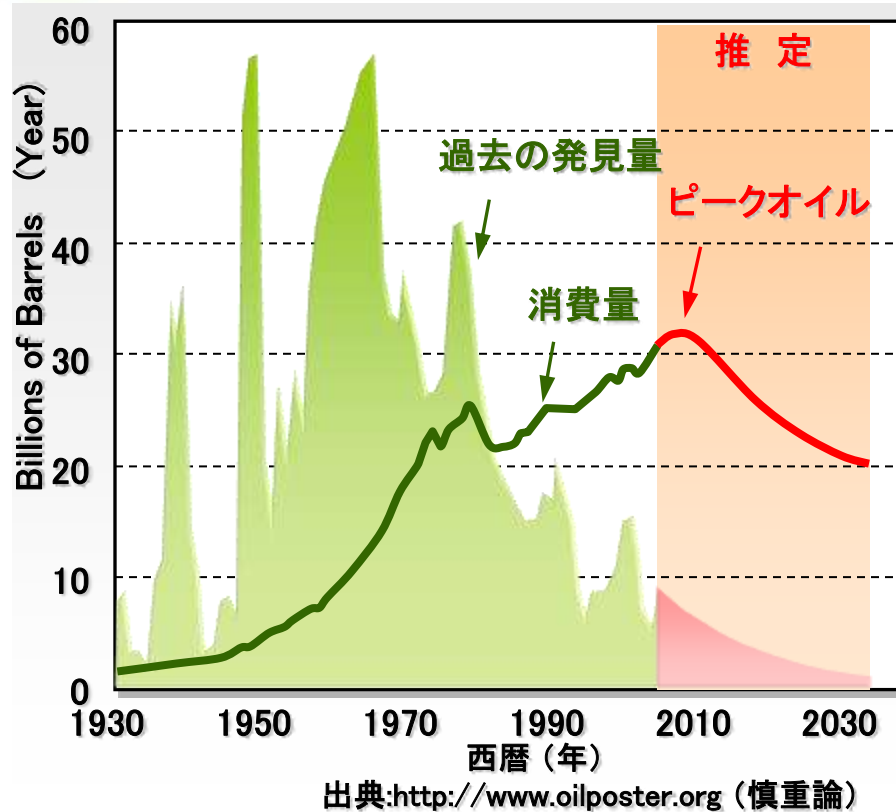
FC開発部

大仲 英巳

- 1、トヨタの環境・エネルギー戦略
- 2、燃料電池自動車の位置付け
- 3、燃料電池自動車開発の変遷
- 4、最近の技術進歩
- 5、将来展望

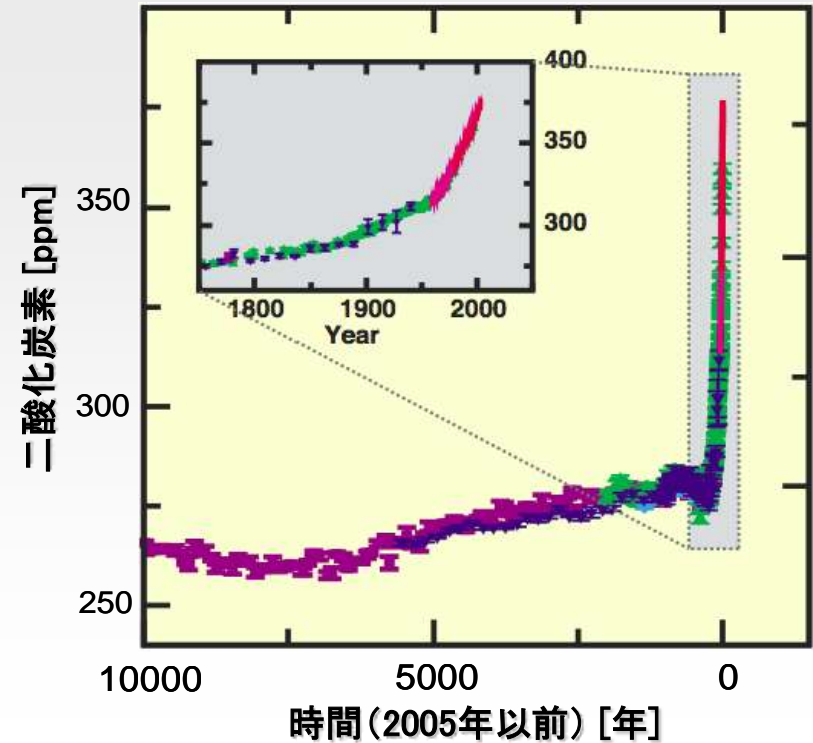
トヨタの環境・エネルギー戦略

在来型石油の需給見通しと、CO₂濃度の推移



新規油田の発見量が消費量を下回っており
ピークオイルが近々生じると予測される

出展: IPCC Fourth Assessment Report (2007)



大気中のCO₂濃度は20世紀中以降急激に増加

21世紀のパーソナルモビリティ発展には、これらへの対応が急務

トヨタのエコカーへの取組み

Gate 3

CO₂削減

究極のエコカー

Gate 2

エネルギーセキュリティー

ハイブリッド技術

Gate 1

排ガスクリーン化

ガソリン、
ディーゼル

気体
燃料

バイオ
燃料

合成
燃料

水素

電気

適時

適地

適車

ハイブリッドを全てのパワートレーンに適用可能な基盤技術として展開
液体燃料を大切に使いつつ、水素・電気の活用拡大(貯蔵技術がキー)

【省石油】 車両の小型・軽量化への取り組み



iQ

軽量化



コンセプトカー
「iX」

【世界最小を実現する6つの手法】

ディファレンシャルギヤ反転配置



センターテイクオフギヤボックス



超薄型燃料タンクの床下配置



薄型シートバック



小型エアコンユニット



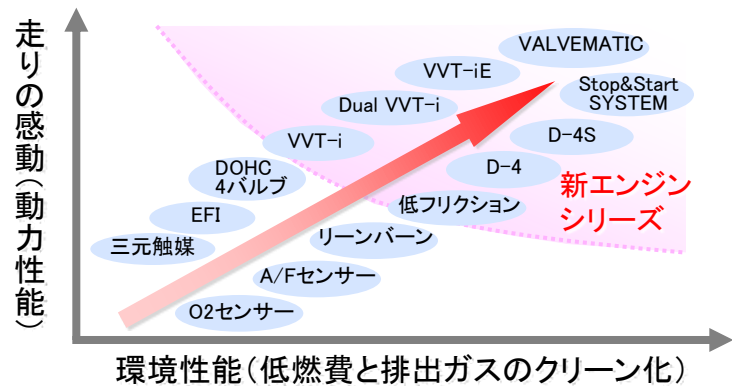
非対称インストルメントパネル



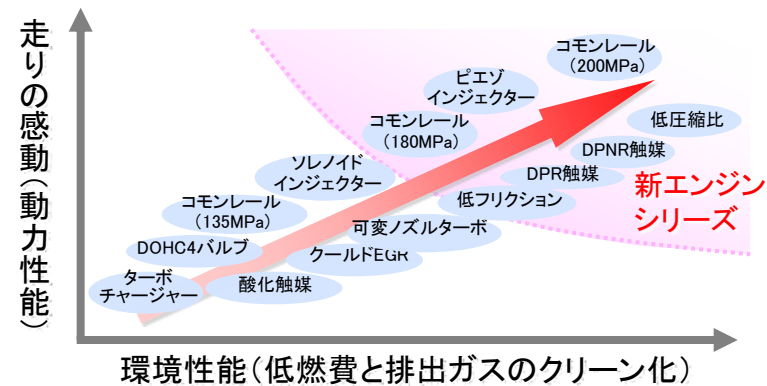
小型・軽量化は省エネ・低CO2化のために重要

【省石油】 エンジン・トランスミッションの進化

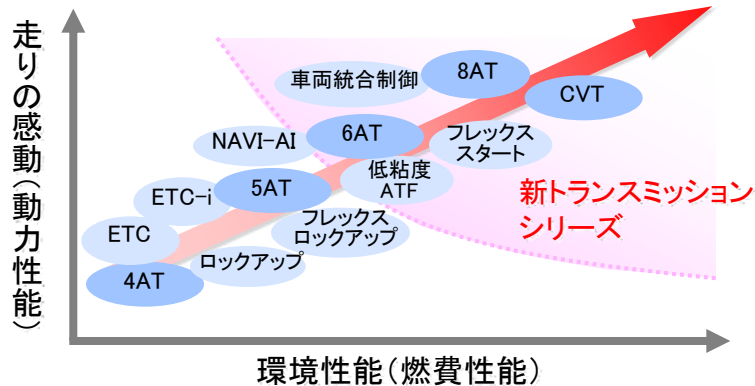
ガソリンエンジン



ディーゼルエンジン

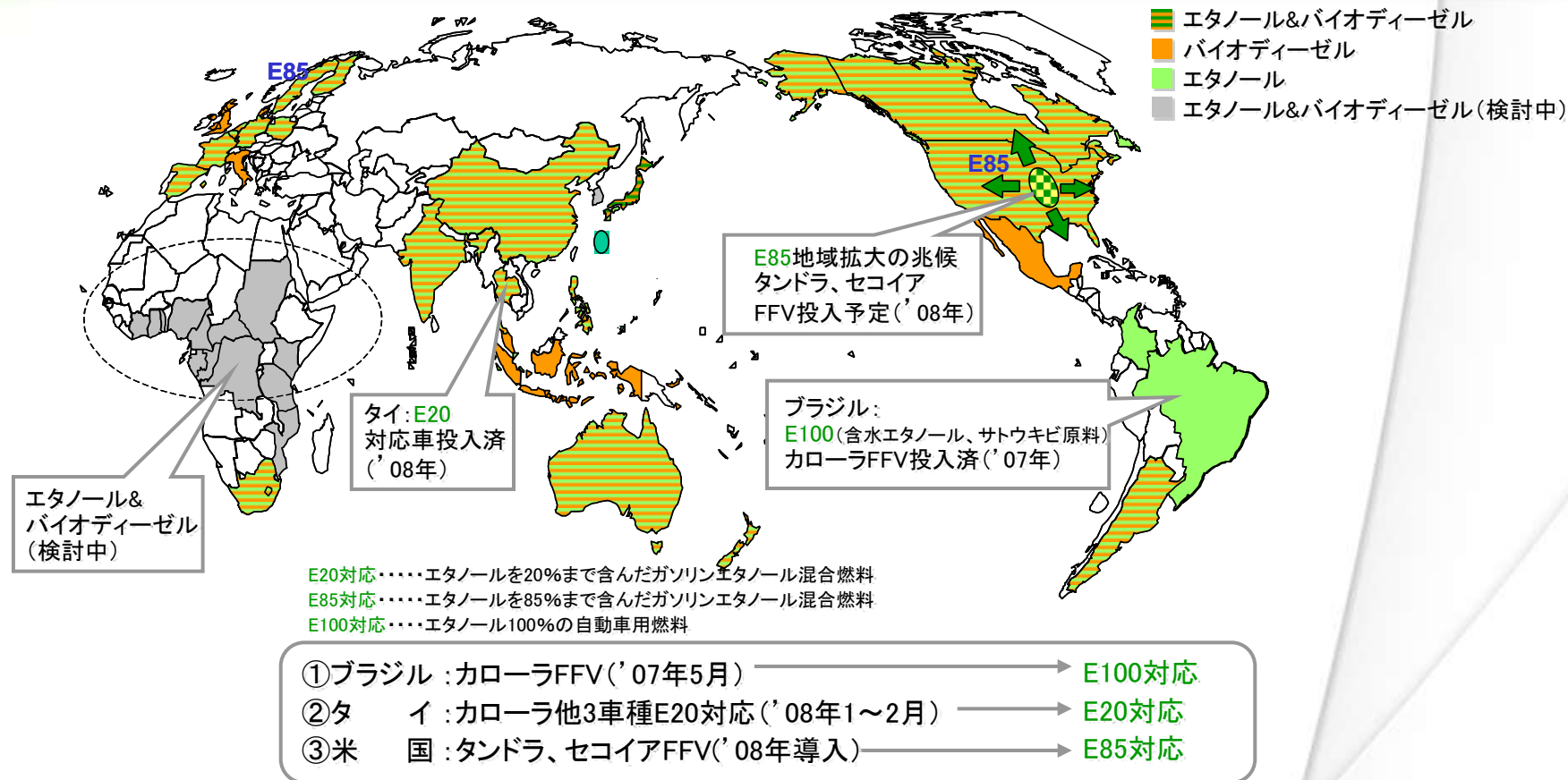


トランスミッション



新技術を織り込みエンジン・トランスミッションを一新

【脱石油】バイオ燃料への取り組み



〈グローバル〉 E10対応('06年完了)

〈地域対応〉 適時・適地・適車の考えのもと、各地のニーズに応じた車種を投入量的に石油の代替は困難～20%が限度か？

【脱石油】EVの開発推移

2010年代の早期



'98~' 06年

トヨタ e-com



次世代EV

'97~' 03年

トヨタ RAV4 EV



【EVの課題】 ①航続距離、②コスト、③充電時間、④専用充電インフラ

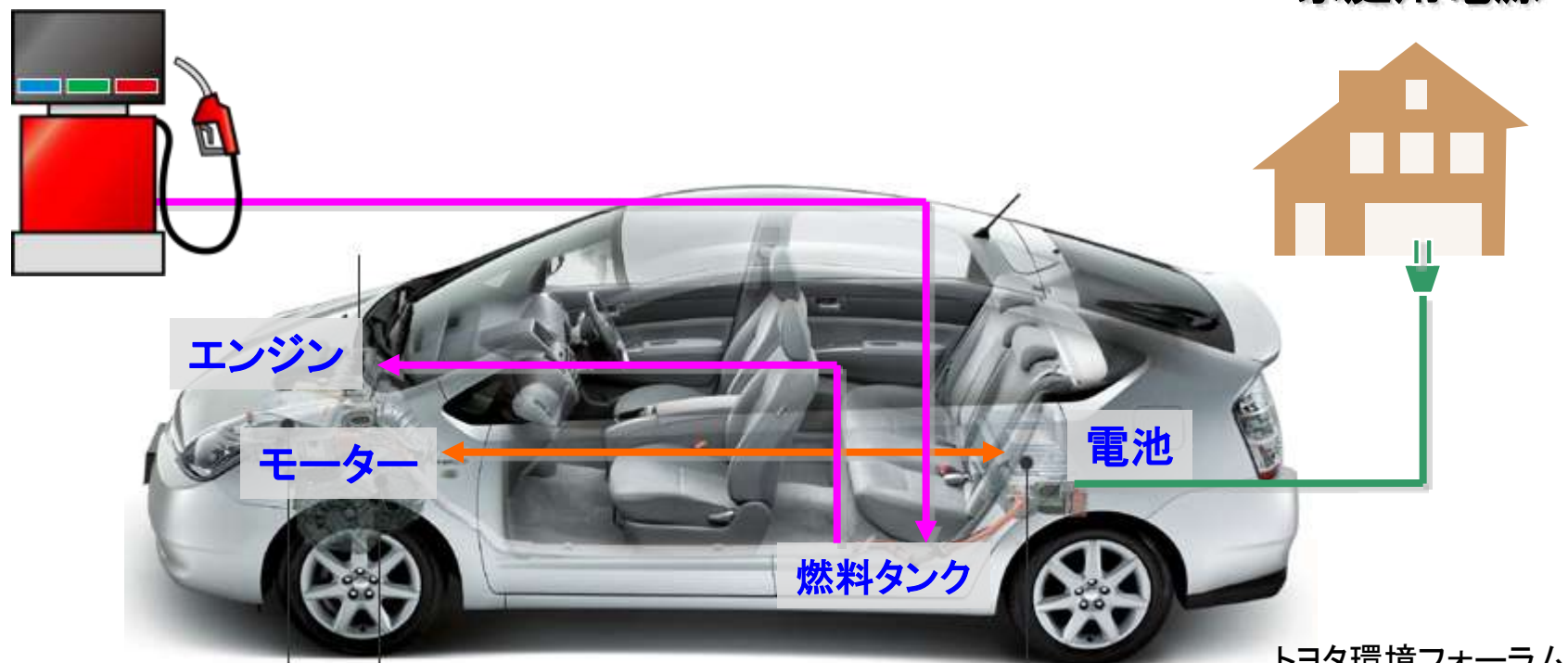
⇒当面、**近距離コンピューターやパーソナルモビリティが現実的**

- ・過去にEVを出した経験あり。今後のEVのあり方を再検討中
- ・依然として課題は残存；航続距離、充電時間、コスト、充電インフラ

電気の活用 : プラグインハイブリッド(PHV)車

電池を外部電力で充電し、モーターによるEV走行距離を拡大

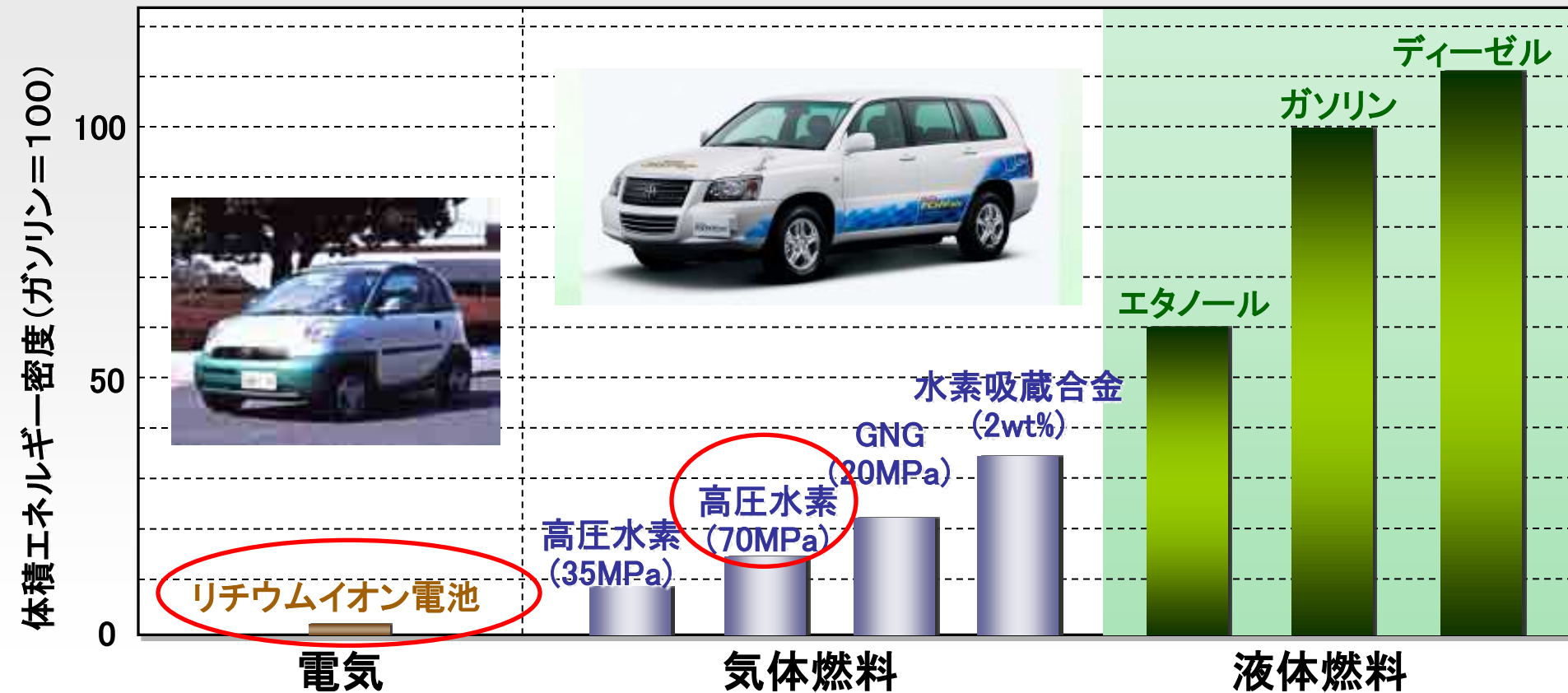
家庭用電源



現時点で 電気エネルギーを活用するには、PHV
が現実的なアプローチ

燃料電池自動車の位置付け

- ・液体：自動車にとって最も利用し易い
- ・電気：航続距離を長くすることが難しい
- ・水素：従来車並のクイックチャージと長距離走行が可能

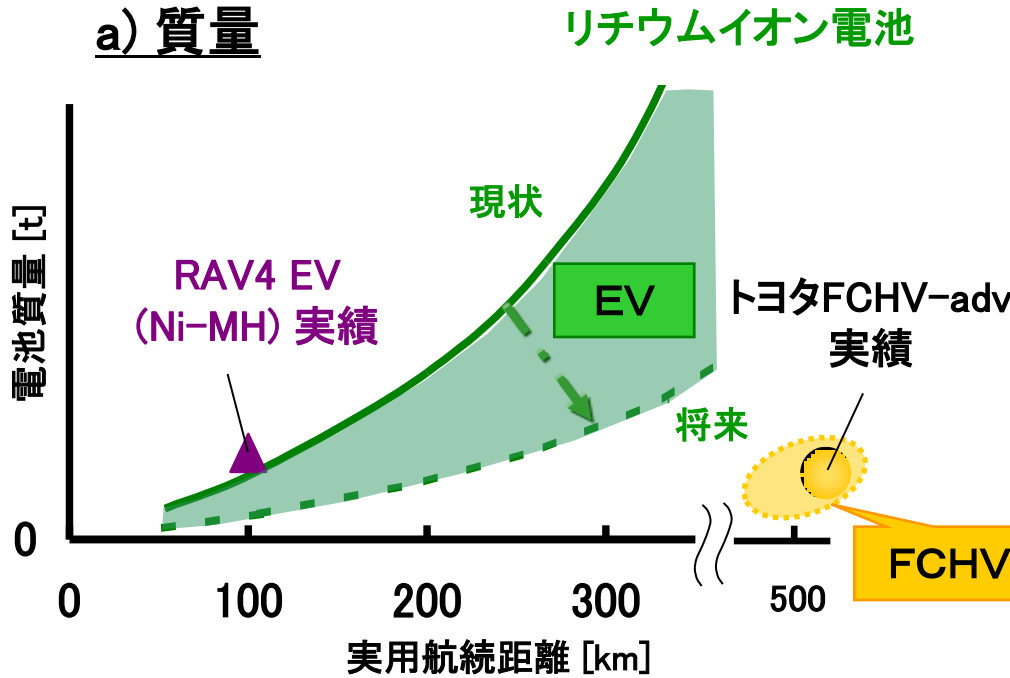


FC車(燃料電池)とEV(2次電池)の比較

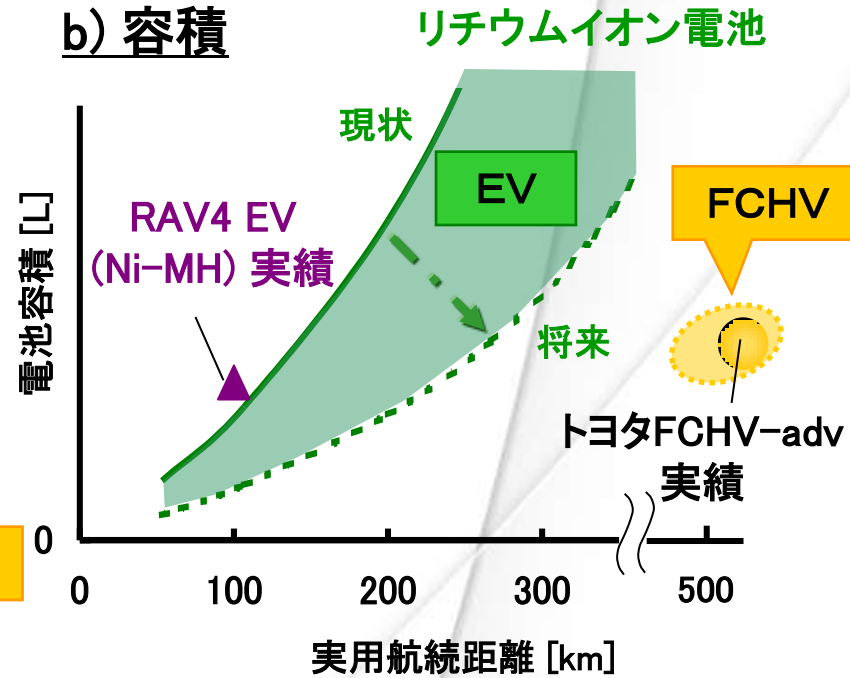
現状考える技術では、EV(2次電池)でガソリン車並の航続距離を確保することは、現実的ではない
⇒ 長距離を走る車は、FC車(燃料電池)での対応が必須

実用航続距離500kmに必要な質量・容積の試算結果

a) 質量



b) 容積

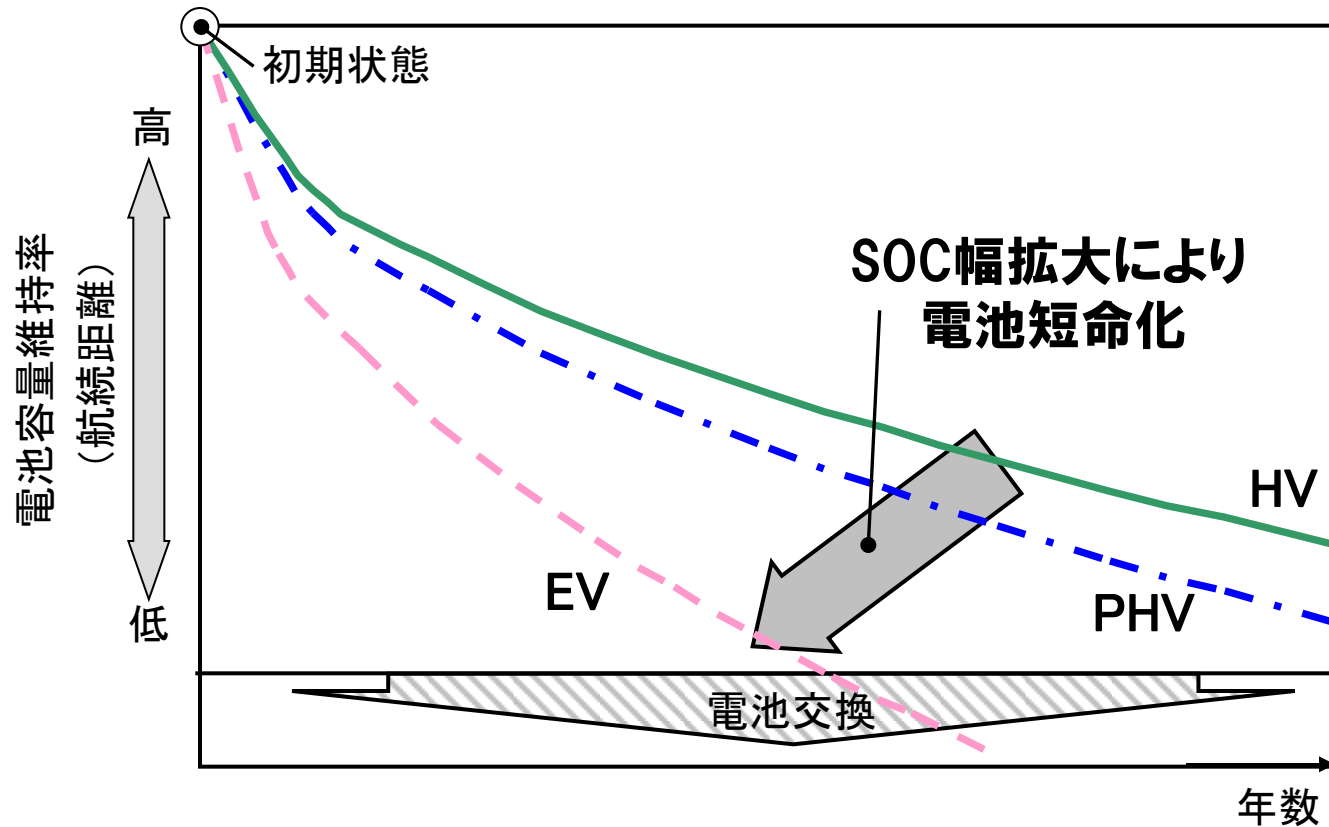


[車両質量(電池除く) : 1.4t]

(トヨタ試算)


EVの課題(電池寿命)

<電池容量の経年変化>



過酷な使用条件下での電池寿命低下
→車両ライフサイクル内での電池交換も必要か？

EVとPHVの比較

性能 パワー トレーン	航続距離	経済性 (初期コスト + ランニング)	燃料 インフラ
EV 	電気 80km →都市内移動向き	小型、短距離走行車 なら成立？ (更なる電池進化が必要)	急速充電スタンド 緊急時に備え、 一定量は必要
PHV 	電気 10~20km ガソリン1000km以上	車両体格によらず 比較的1充電での航続 距離が短いユーザーで メリット大	ガソリンスタンド + 家庭での充電

PHVは一般車への展開ポテンシャルは高い

エネルギー総合効率の比較

	Energy Passways	Well to Tank	Tank to Wheel	Well to Wheel * 1	
		50%	50% * 1	20%	40%
FCHV-adv	天然ガス ↓ 改質/水素分離膜 水素(70MPa)	67% * 2	59%	40%	
EV	天然ガス ↓ 火力発電 電気	39%	85%	33%	
ガソリンHV (プリウス)	原油 ↓ 精製 ガソリン	84%	40%	34%	
ガソリンICE	原油 ↓ 精製 ガソリン	84%	23%	19%	

* 1 Tank to Wheelの効率は、10・15モードでの値
* 2 35MPa と 70MPa 時のWTT効率差は2%程度

(トヨタ試算)

トヨタFCHV-advは、WTWのエネルギー効率が非常に高い

EV/PHV/FCV 棲み分けイメージ

車両サイズ

個人所有 ← ● → 公共交通/輸送

大型トラック

HV & PHV with ICE 領域

FCV領域



宅配トラック

中大型乗用車



EV領域



HV

軽自動車



EVコミュタ



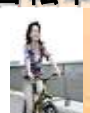
PHV

宅配・巡回車

スクーター



自転車



電動福祉車両



PMR

ウイングレット

iシリーズ

移動距離

都市バス



マイクロバス

自動車における各種燃料の守備範囲



モビリティ ← → 自動車

EV→小型(都市内移動)、FCV→中大型(都市間移動、将来の軽油代替)
 PHV→コンパクト車への電気利用拡大

燃料電池自動車開発の変遷

トヨタの燃料電池技術

1992年から開発

乗用車

トヨタ FCHV-adv



定置

家庭用FCコジェネシステム
(アイシン)
貯湯槽



バス

FCHV-BUS(日野)



トヨタFCスタック



軽自動車

MOVE FCV-K-II (ダイハツ)



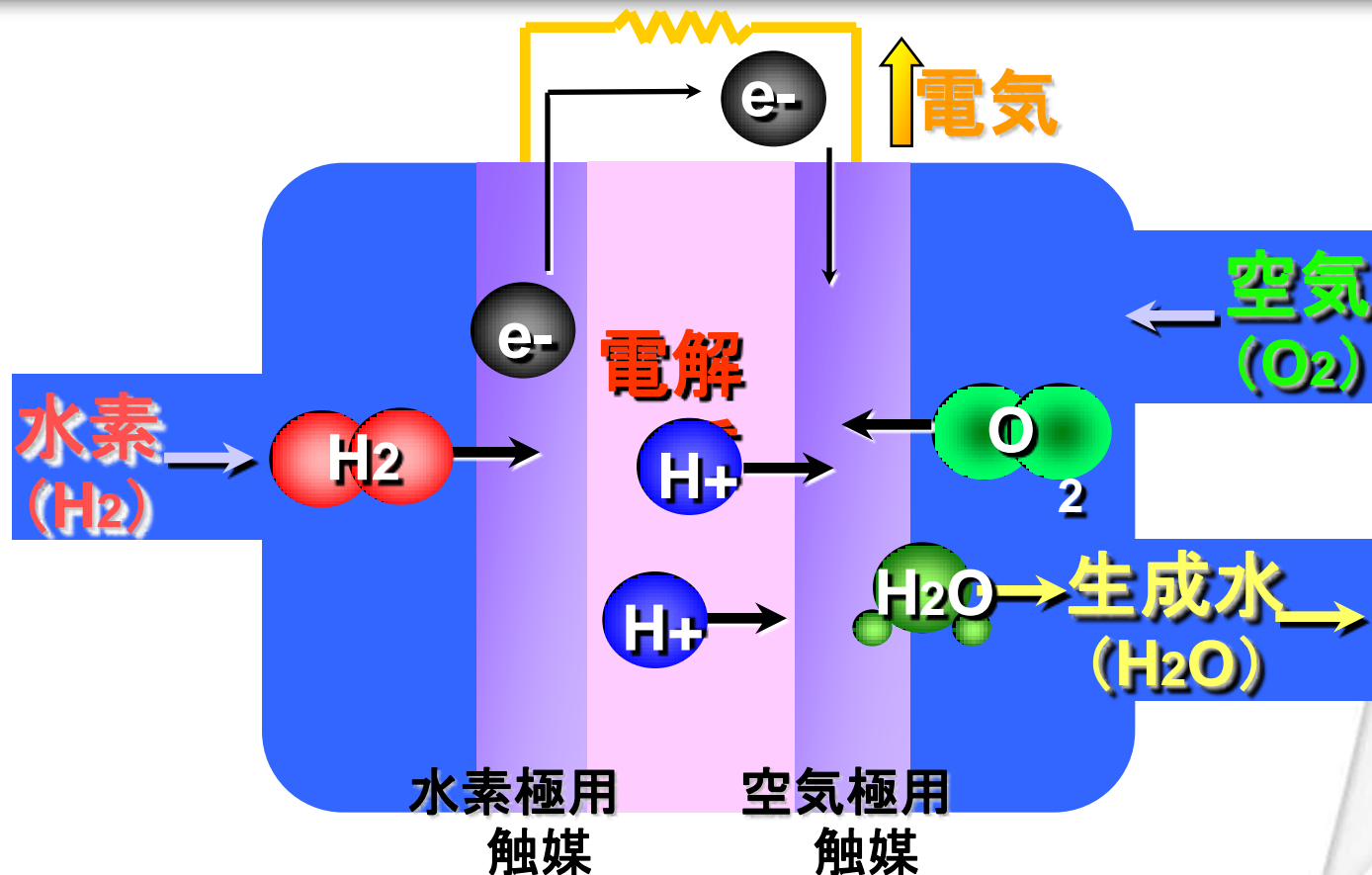
産業用車両

FCHV-F(織機)



内製スタックを用いて、各種の製品を開発。

固体高分子型燃料電池のしくみ



燃料電池の理論効率 $\Delta G/\Delta H = 83\%$ (水素)

トヨタ「FCHV」の構成

ハイブリッド技術

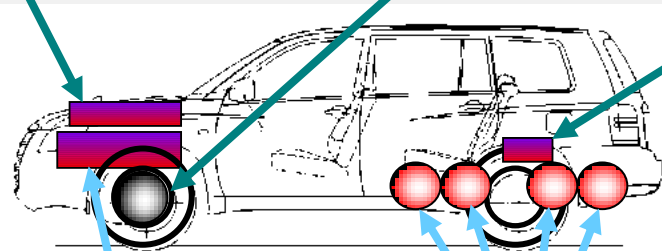
パワーコントロールユニット



モーター



二次電池



トヨタFCスタック



高圧水素タンク



FC技術

トヨタ「FCHV」は、FC技術とハイブリッド技術の融合。

トヨタ FCHV-adv



08年モデル(08年6月～)

- 航続距離の延長
(330km → 830km) @10-15モード
 - ◇ 燃費効率向上(約25%)
 - ◇ 水素搭載量1.9倍(35MPa → 70MPa)
- 寒冷地性能向上(-30℃始動・走行)
- 耐久・信頼性の向上



05年モデル(05年7月～)

- 大臣認定 → 型式認証(保安基準適合)
- 東京・名古屋地区 → 大阪地区への拡大
- 性能向上
 - ◇ 航続距離の延長
(300km → 330km) @10-15モード
 - ◇ 動力性能向上(モータ出力80 → 90kW)

02年モデル(02年12月～)

- 内閣府はじめ日米で
合計17台をリース
(延べ走行距離21万km)



トヨタFCHV-adv








*1:10-15モード、社内データ

*2:JC08モード(調和)、社内データ

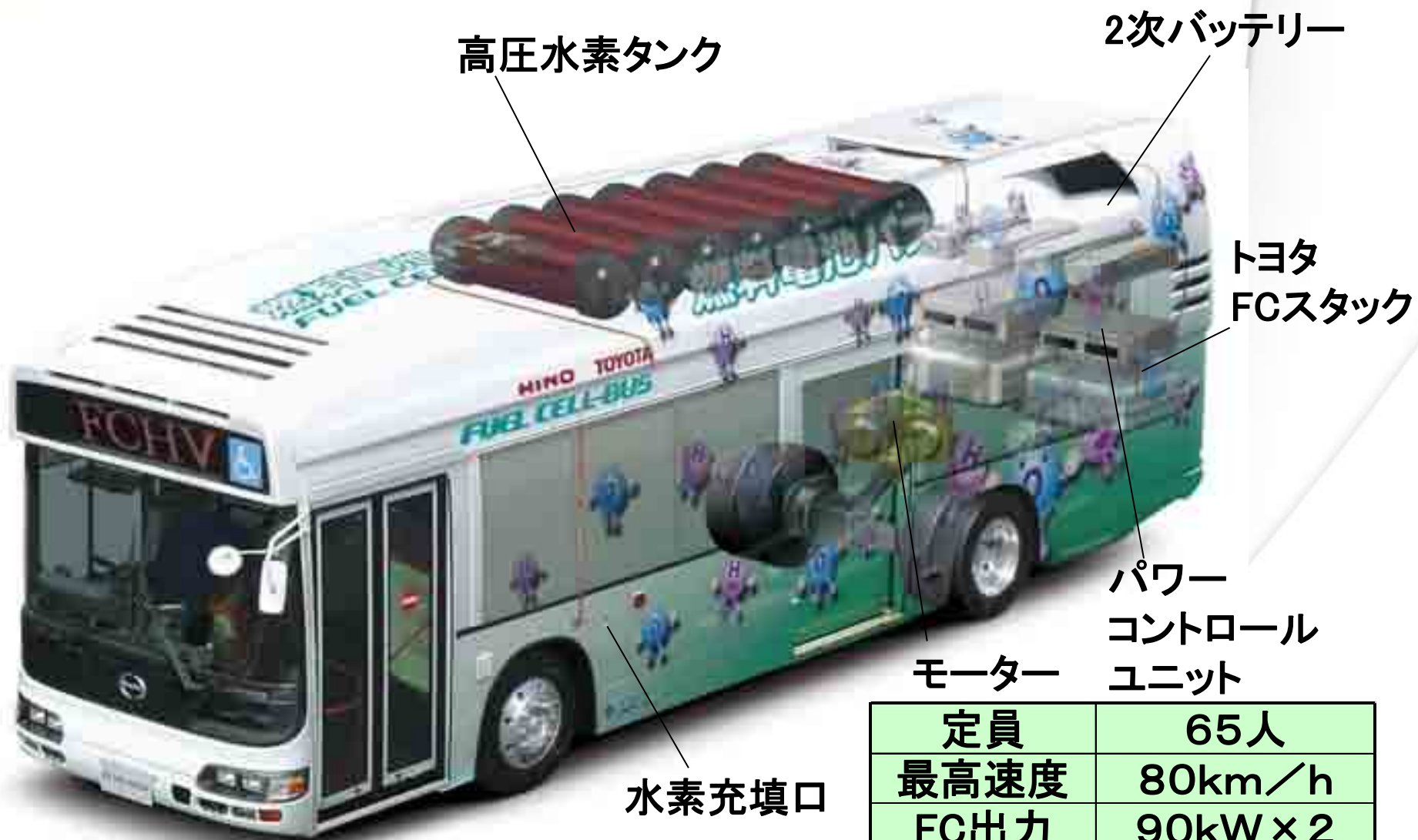
車両	全長/全幅/車高(mm)	4,735/1,815/1,685	燃料	タイプ	純水素
	最高速度(km/h)	155		貯蔵方式	高圧水素タンク
	航続距離(km)	830*1		最高貯蔵 タンク圧力(MPa)	70
	燃費(km/kg)	139*1 (ガソリン換算38km/L) 126*2 (ガソリン換算34.5km/L)		水素搭載量(kg)	6.0(35°C)
	乗車人員(人)	5	価格	リース料	84万円/月

各社燃料電池車導入

メーカー	 HONDA The Power of Dreams	 DAIMLER	 GM	 NISSAN	
車名	FCX Clarity	B-Class F-Cell	Equinox	X-TRAIL (05年モデル)	
外観					
導入時期	2008年 7月米国 2008年11月日本	2010年目標で開発	2008年1月米国	2010年代早い時期 日本、北米に投入	
FC最高出力	100kW	90kW	93kW	90kW	
FC製造元	内製	バラード	内製	内製	
水素貯蔵×本数	35MPaタンク×1本	70MPaタンク×2本	70MPaタンク×3本	35MPaタンク	70MPaタンク
航続距離	570km (LA#4)	400km (モード不明)	320km (モード不明)	370km (モード不明)	500km (モード不明)
2次電池	リチウムイオン	リチウムイオン	Ni-MH	リチウムイオン	

出典(写真): 各社ウェブサイト

FCHV-BUS システム構成



定員	65人
最高速度	80km/h
FC出力	90kW×2
燃料	高圧水素

トヨタ FCHV-バス

東京都営バス 2003年8月～2004年12月



- 導入台数: 1 台
- 全走行距離: 17,000km

東京駅
(八重洲口)

門前仲町

東16系統: 9km

海01系統
: 10km

東京ビッグサイト

東京テレポート駅

2005年「愛・地球博」 2005年3月～2005年9月



- 導入台数: 8台
- 全走行距離: 130,000 km
- 全搭乗者数: 100万人

瀬戸会場

長久手会場

4.5km

中部国際空港セントレア 2006年3月～



- 導入台数:
- ランプバス2台
- 通常運転バス1台→知多半田駅～セントレア空港

名古屋

中部国際空港
(セントレア)

FCHVバスの静かさとクリーンな排気が乗客に好評。

最近の技術進歩 (普及に向けた課題への取組み)

燃料電池車普及の3条件

1. 車の商品力向上

技術課題の解決、コスト低減、航続距離、新たな商品魅力



FINE-X

2005 東京モーターショー出展

2. 社会基盤(インフラ)整備

水素製造・運搬・供給技術、CO2固定化技術、規格・基準制定

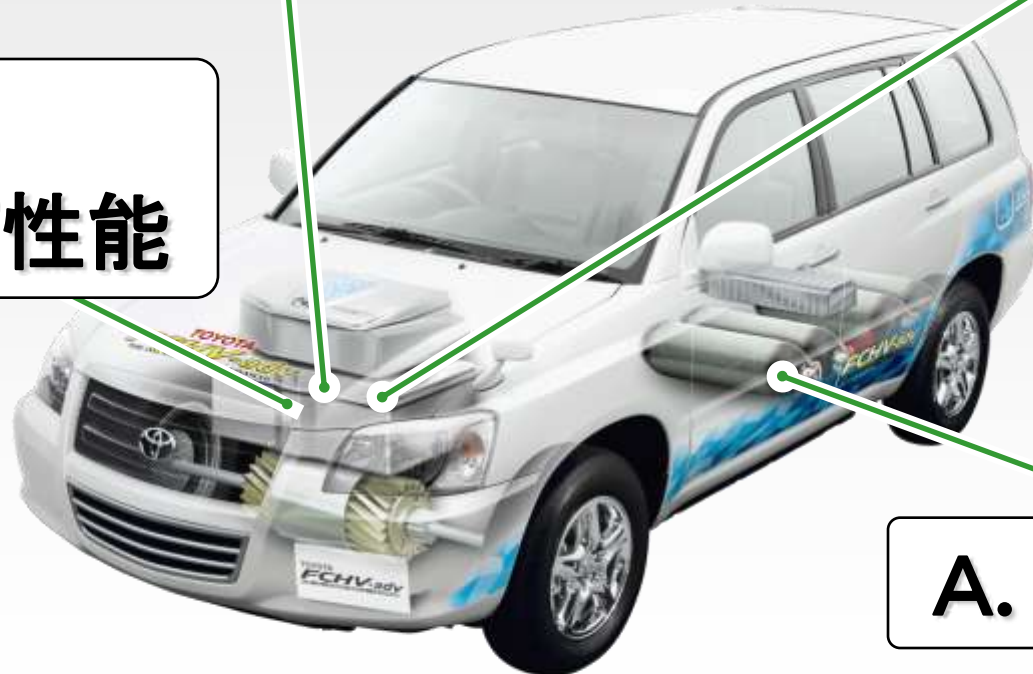
3. エネルギー源多様化の社会ニーズの高まり

地球温暖化、資源枯渇、エネルギーセキュリティ等に対応

C. スタック耐久性

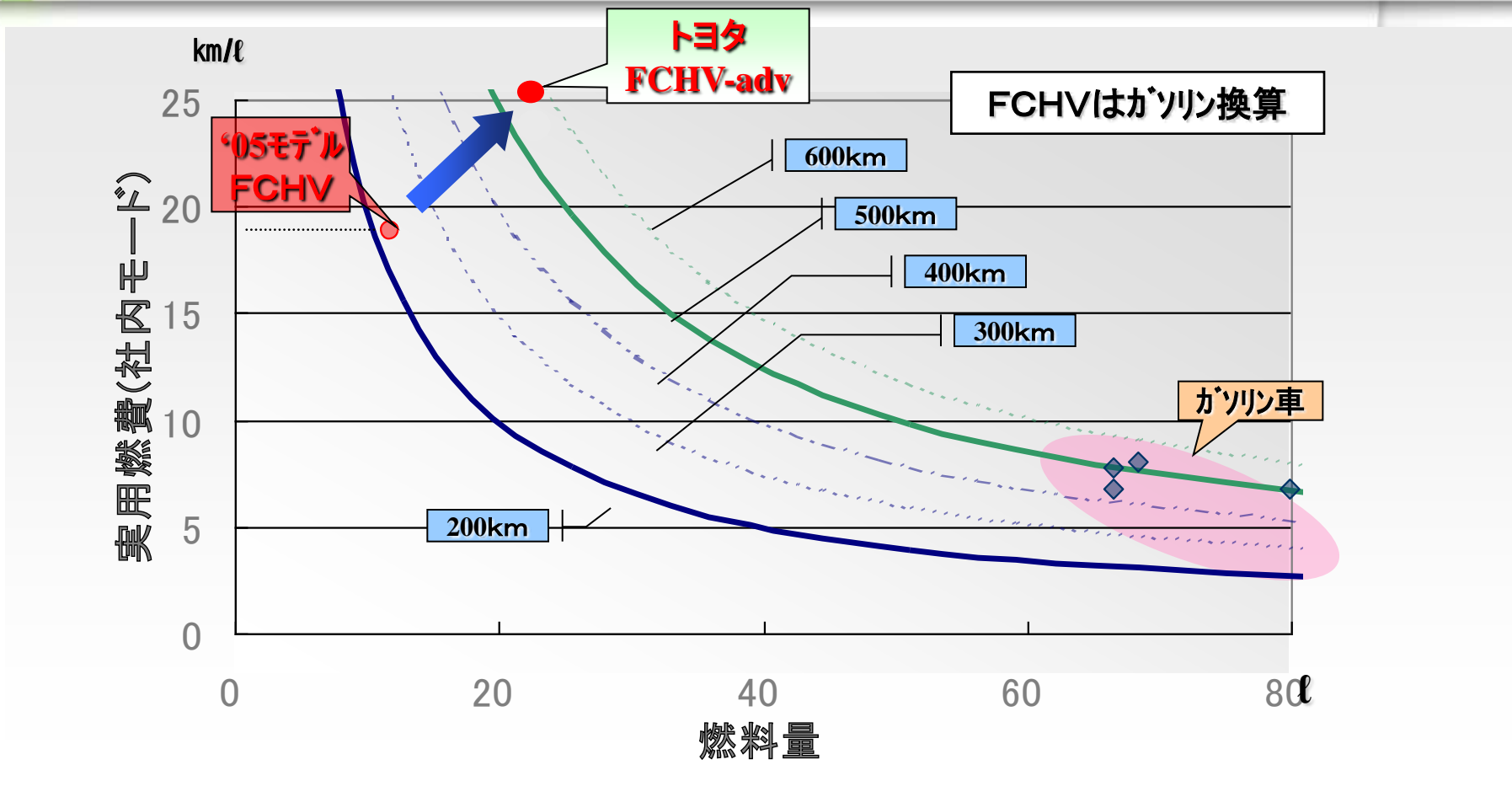
B. 氷点下始動性

**D. コスト
小型・高性能**



A. 航続距離

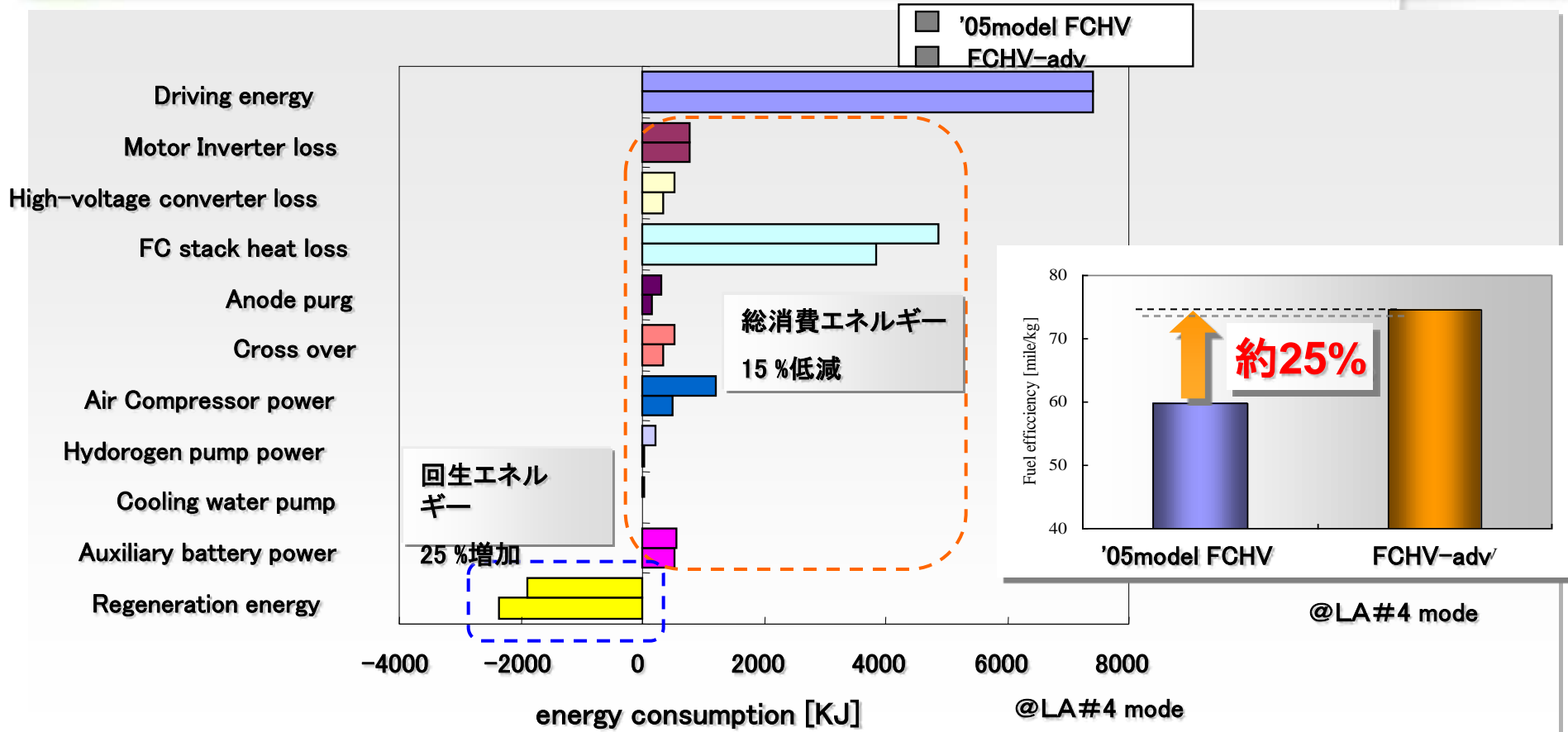
航続距離の向上 (FCHV-advとガソリン車の比較)



使用可能水素量約1.9倍、燃費効率約25%改善で航続距離830km(10・15モード)、580km(社内実用モード)を達成。

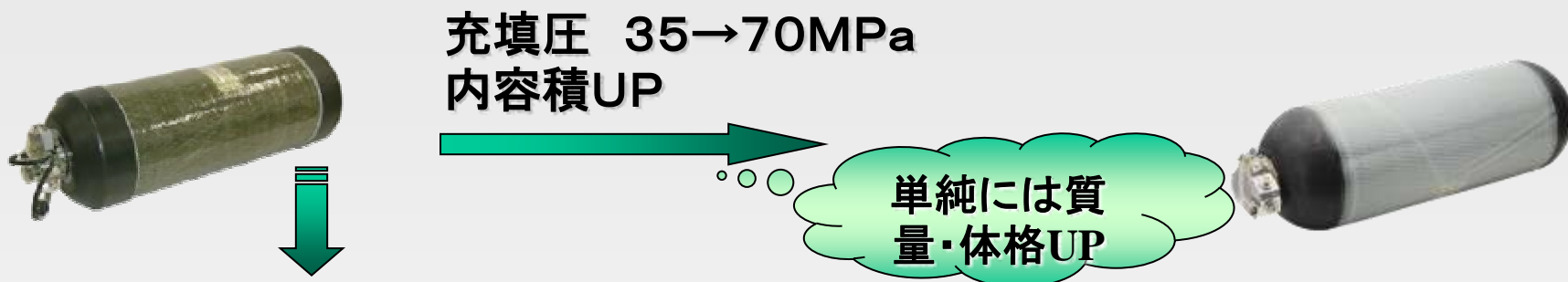
FCHV-adv 燃費向上

①航続距離



補機損失の低減と回生エネルギー量の増大により、
燃費(走行効率)を約25%改善

水素搭載量UPへのアプローチ



体格(パッケージング)・質量(各種性能)への影響を極力少なく水素量UPトライ

◆ 充填圧70MPa

+

◇ カーボンファイバー層の最適化による薄肉化

+

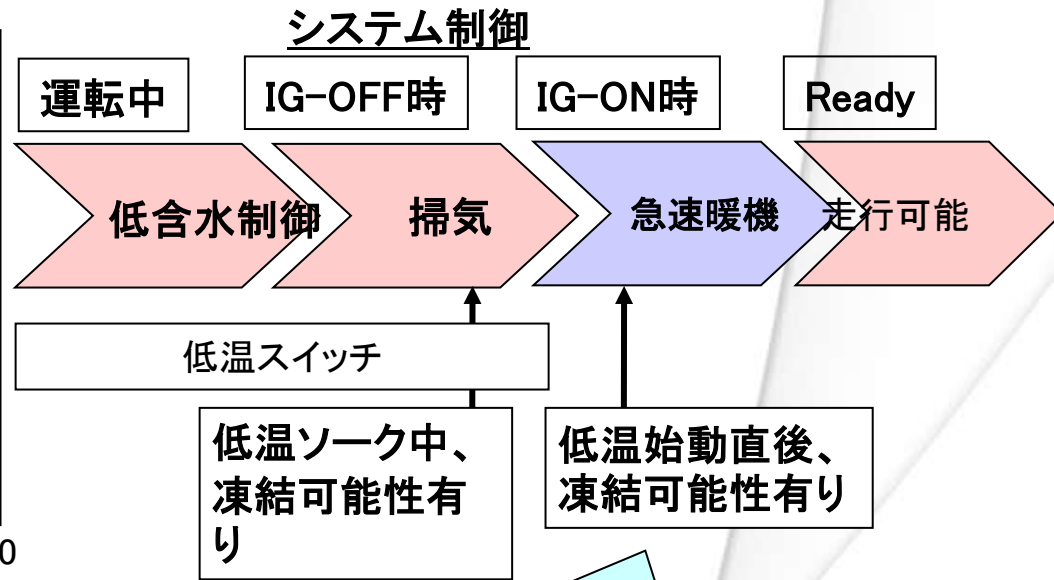
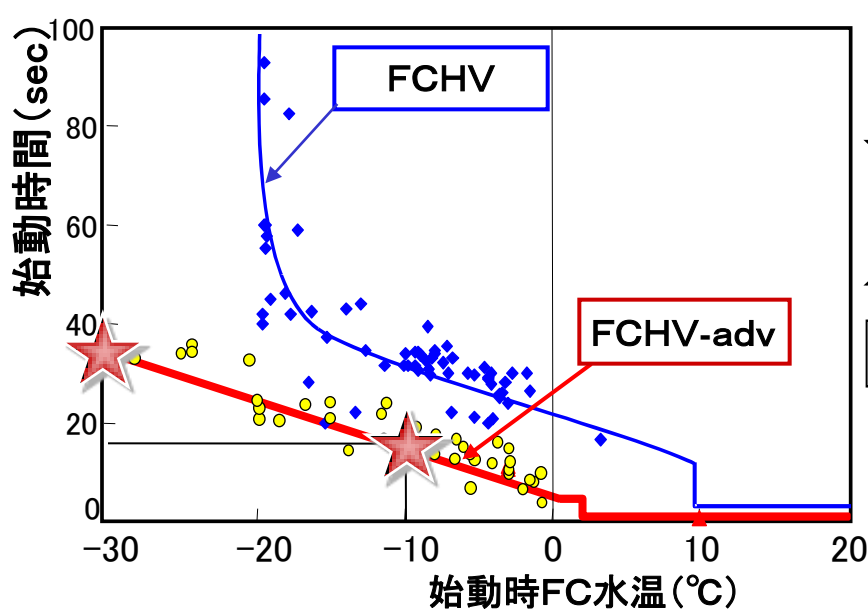
◇ タンクバルブのコンパクト化、材質見直し

+

◇ 使いきり圧(死にガス)の低減

タンクの70MPa化と内容積の拡大で、
使用可能水素量を1.9倍に改善。

FCHV-adv: -10°C から15秒、 -30°C から37秒で始動
⇒ さらに使い勝手を向上させる



07年2月カナダ (Timmins) -37°C からの始動を確認

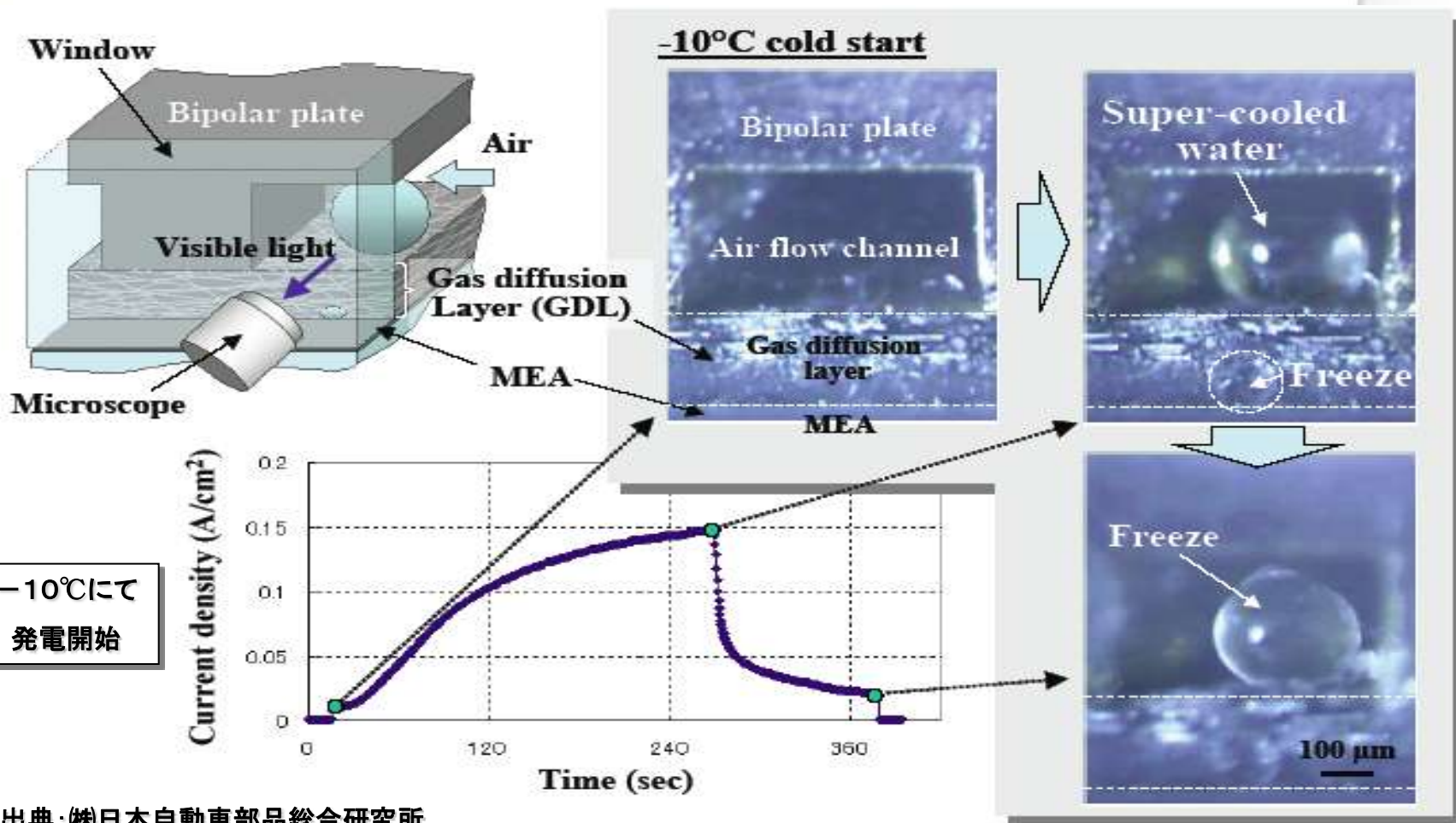
運転中に生成、残留した水を停止時に掃気し排出

生成水が凍結する前に 0°C を突破 (熱容量低減、I-V性能向上で大幅改善)

次期FC車に対応すべき課題

- ① 低温時の燃費、ヒーター性能改良
- ② 使用性、NV改善 (低温スイッチ廃止、掃気時間短縮など)

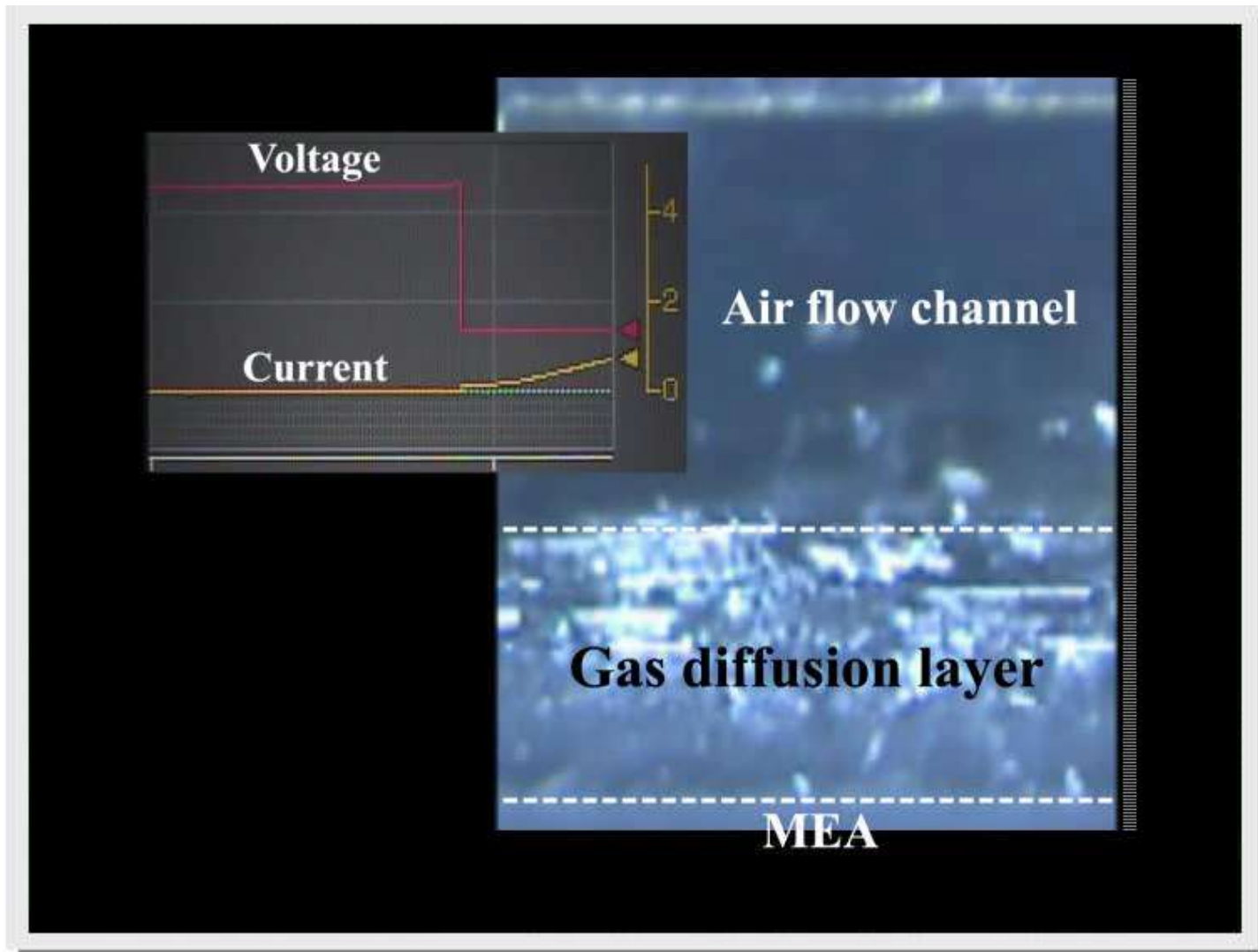
氷点下発電セル内部可視化



氷点下の発電でも、一定時間過冷却状態が継続される

氷点下発電セル内部可視化

出典: (株)日本自動車部品総合研究所

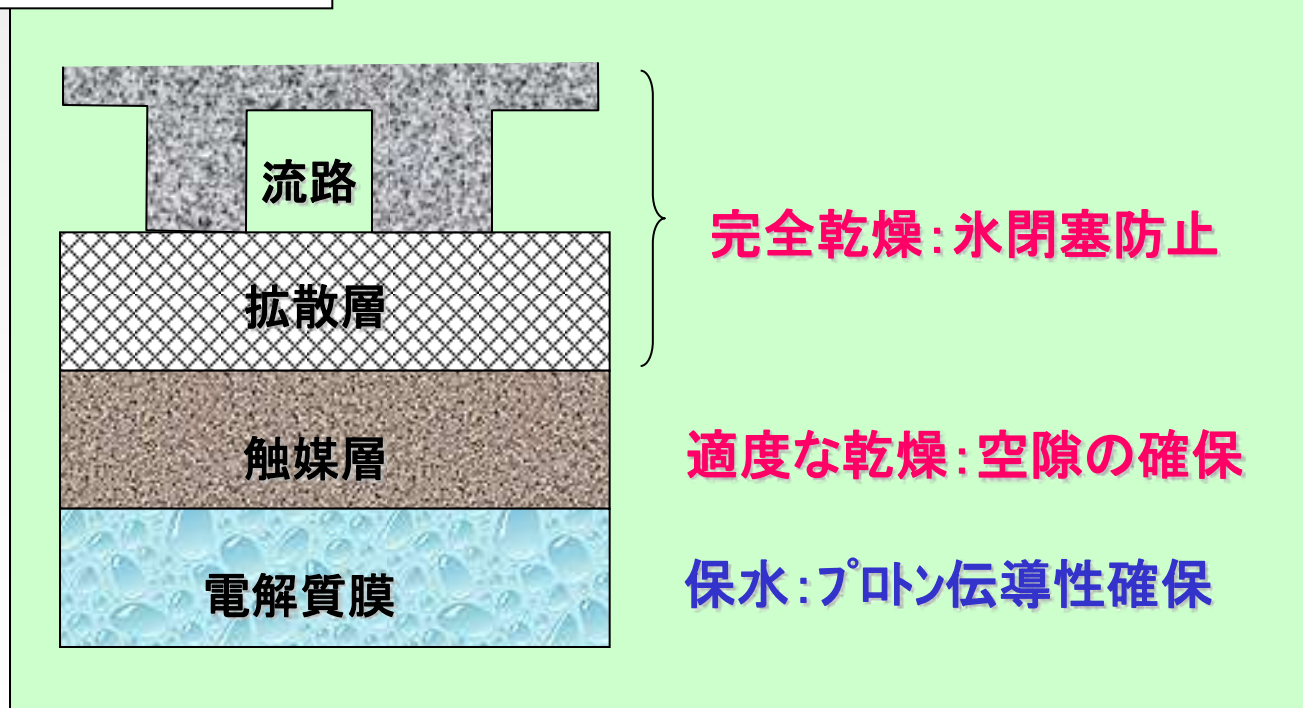


具体的対策(1)

1. 運転停止中に、セルの残水が凍結して始動不可

A) 車両停止時の掃気でスタック/セル内の水状態を最適化

適正な水の状態



具体的対策(2)

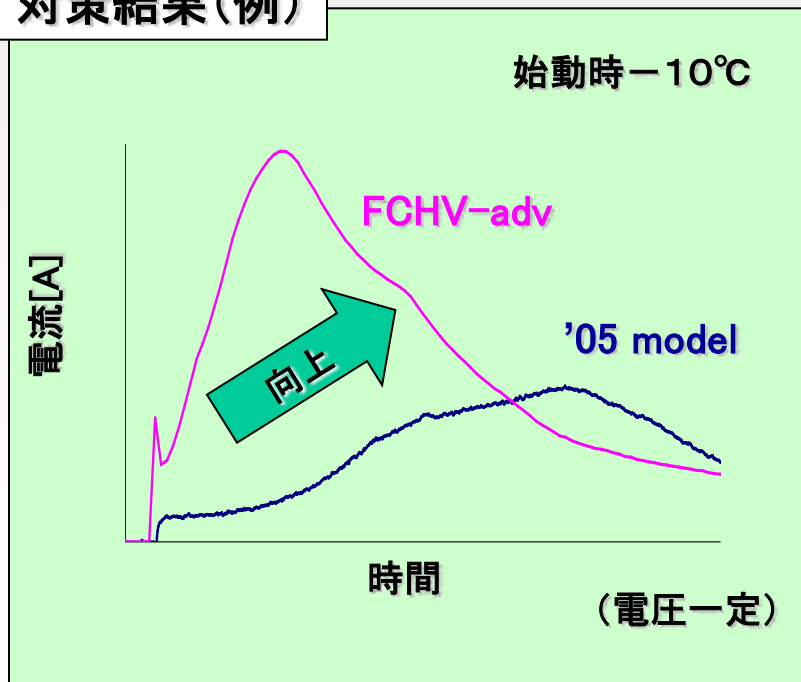
2. 始動後、0°C突破前に生成水が凍結し発電継続不可

B) セルの発電可能量の増加
(許容含水量の増加)

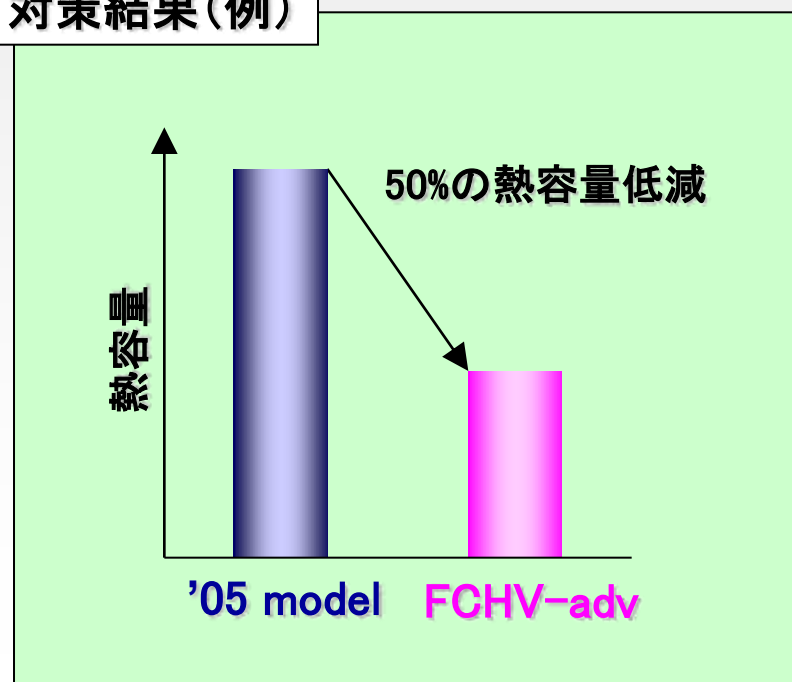
C) スタック昇温促進

・熱容量低減、加熱量増加
(ヒーターアシスト、制御)

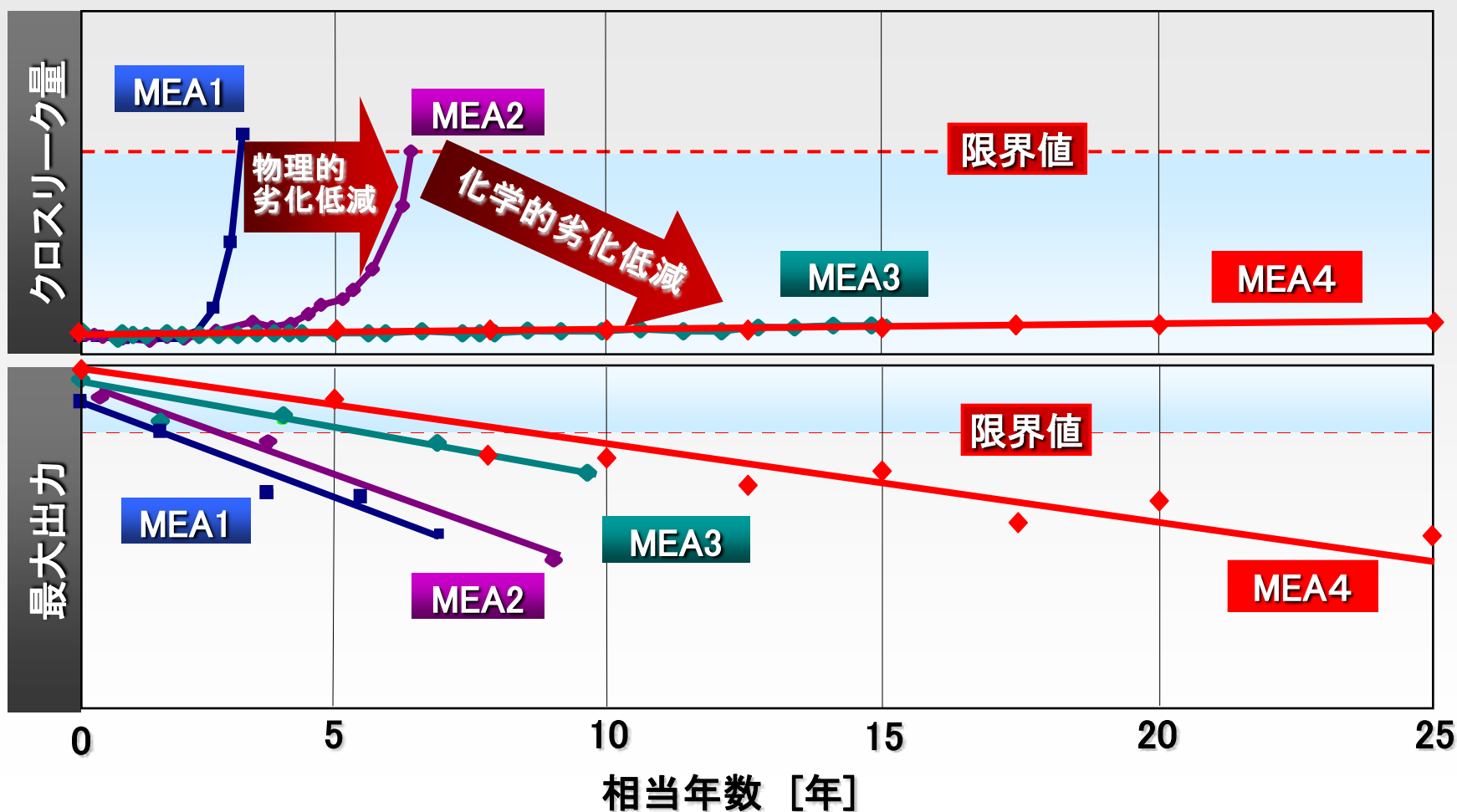
対策結果(例)



対策結果(例)

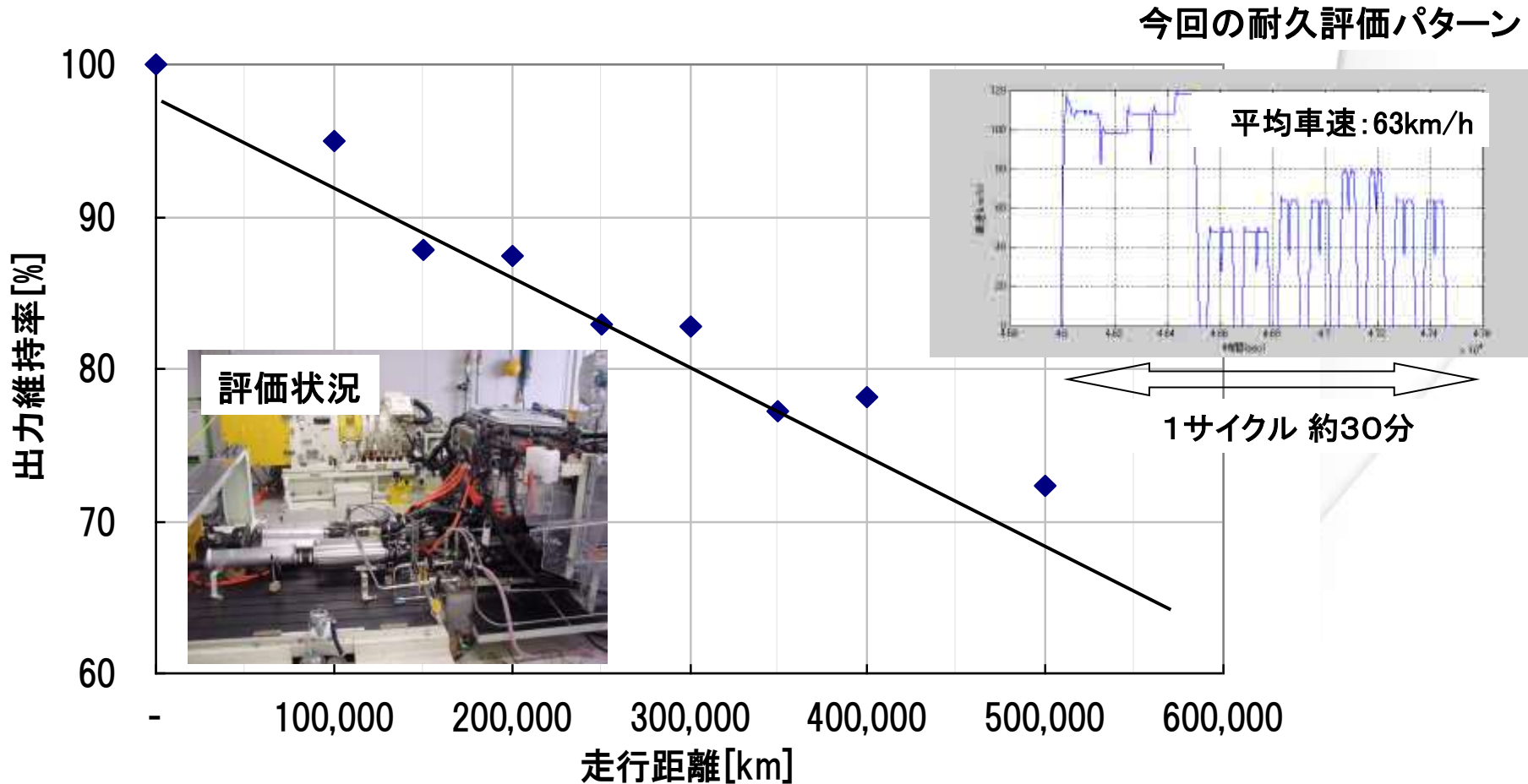


FCスタックの耐久性



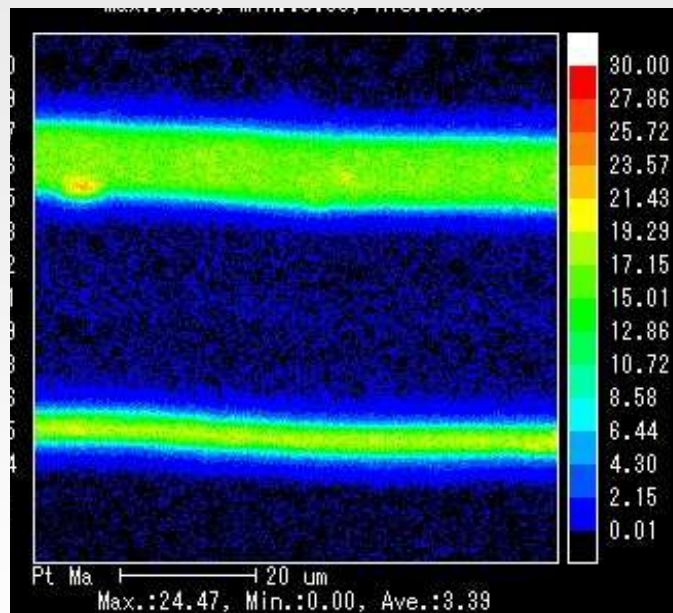
耐久性は着実に向上しつつある。クロスリークは25年相当を確保

FCHV-advのスタックは、耐久評価*で50万km(25年相当)に到達約3割出力低下するものの発電は可能

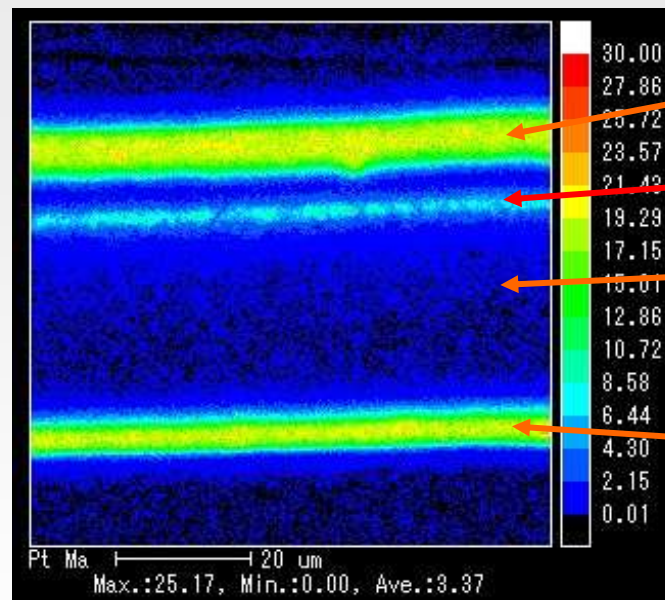


耐久劣化メカニズム

条件: ON/OFF試験、OCV \leftrightarrow 0.65V、Anode:H₂、Cathode: Air、cell 70°C@full-size cell



初期



カソード触媒

Ptバンド

電解質膜

アノード触媒

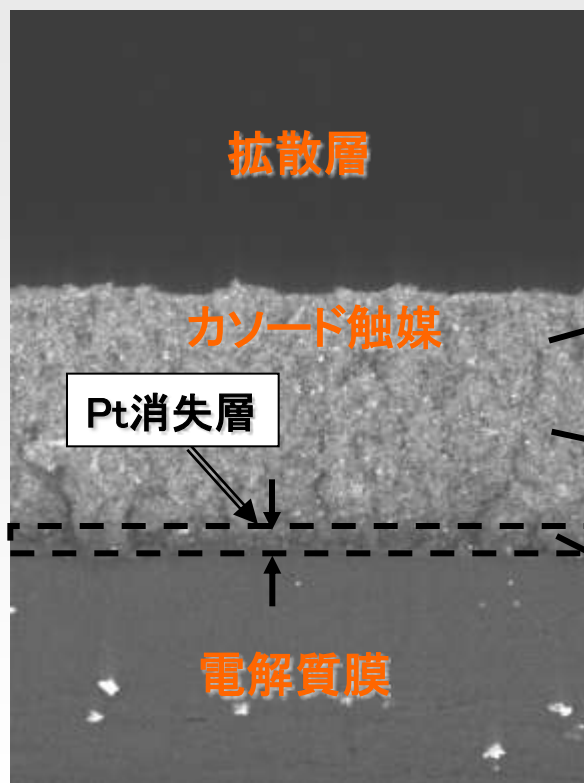
耐久後

耐久試験時のPt溶解

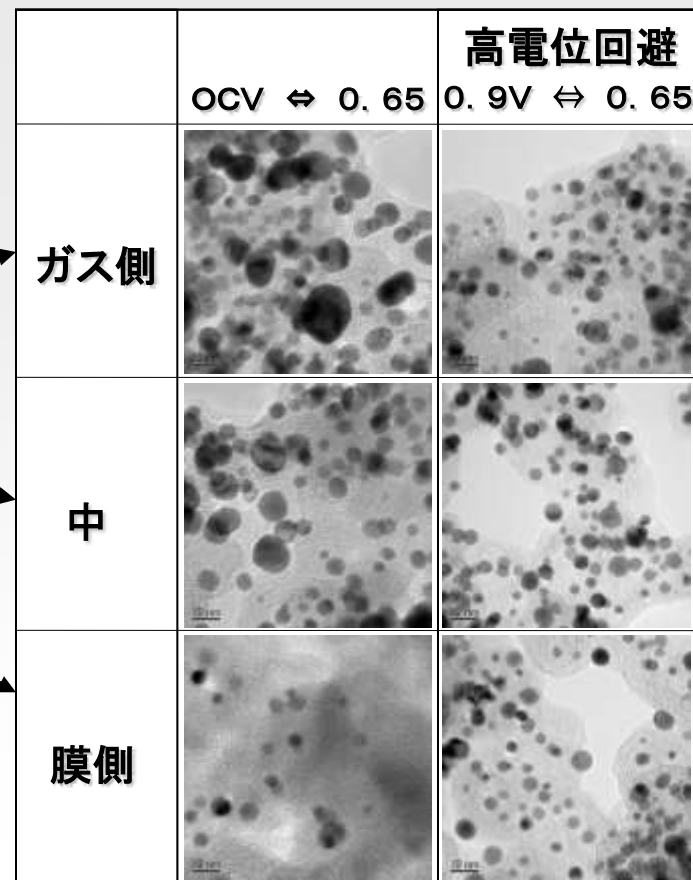
電解質膜内へのPtバンド形成が見られる

電極劣化の抑制

③FCスタック耐久性

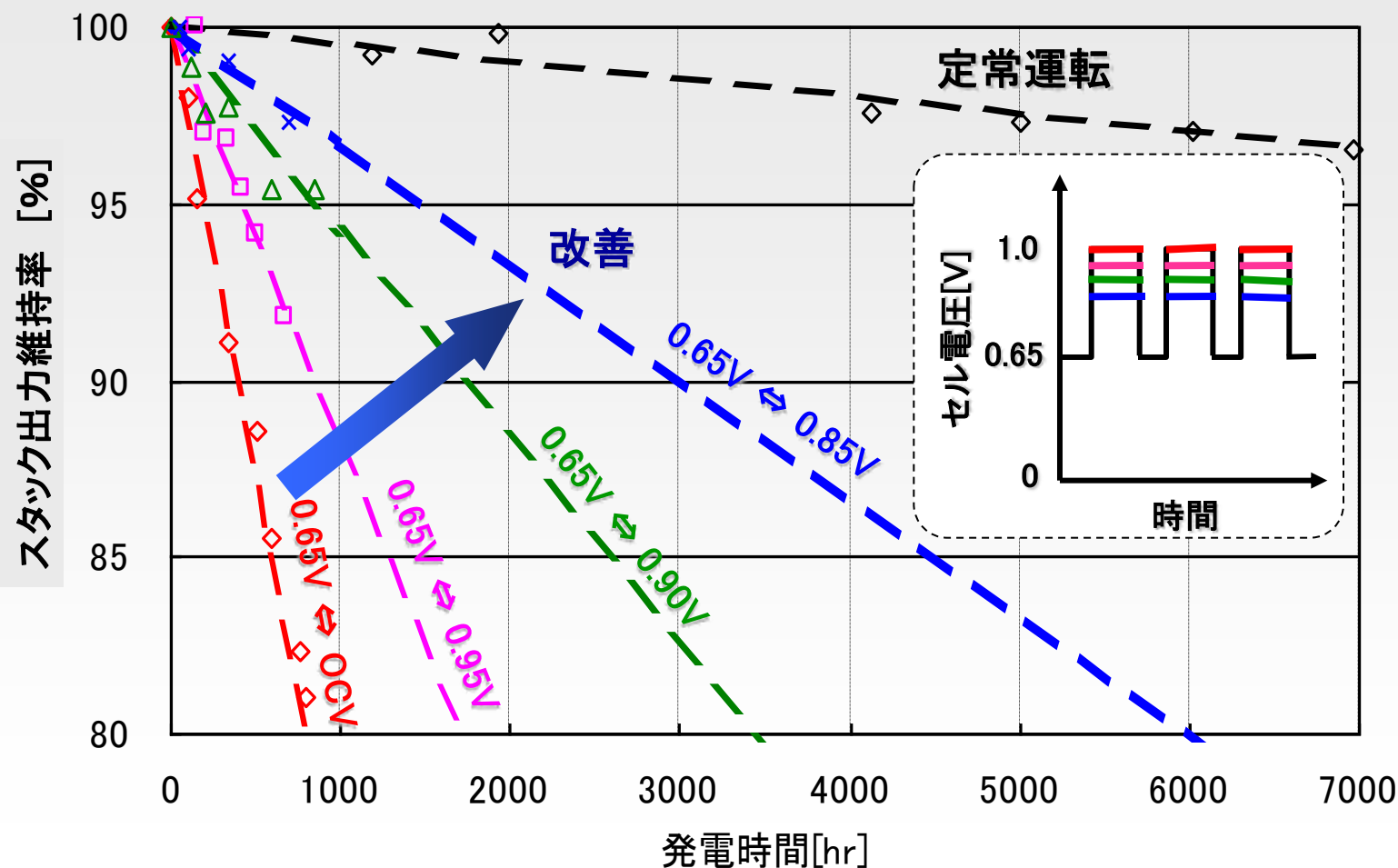


耐久回収品のカソード反射電子像



電解質膜近傍のPt消失、Pt粒子粗大化などの耐久劣化は、高電位回避による改善効果大きい

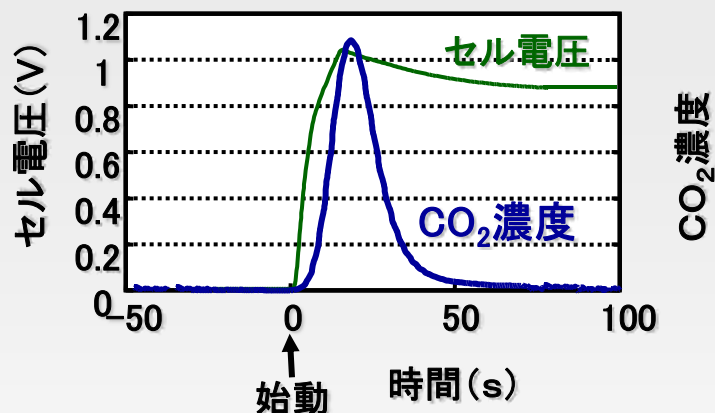
定常運転と電位変動運転の劣化量の違い



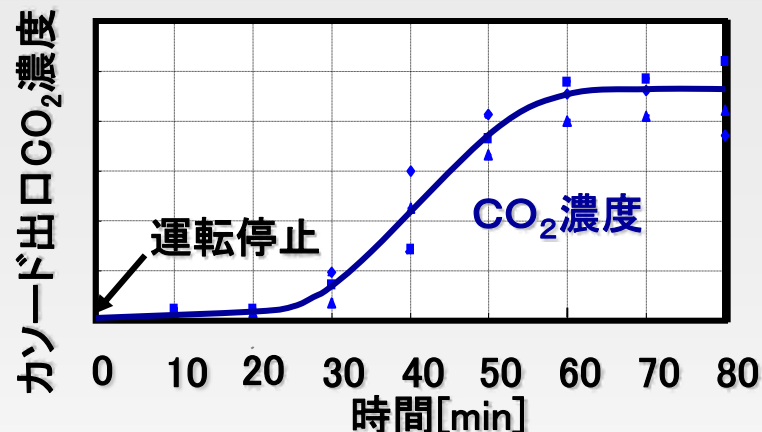
性能劣化は高電位回避で改善されるが、電位変動による劣化は残る

始動、停止時の耐久劣化②

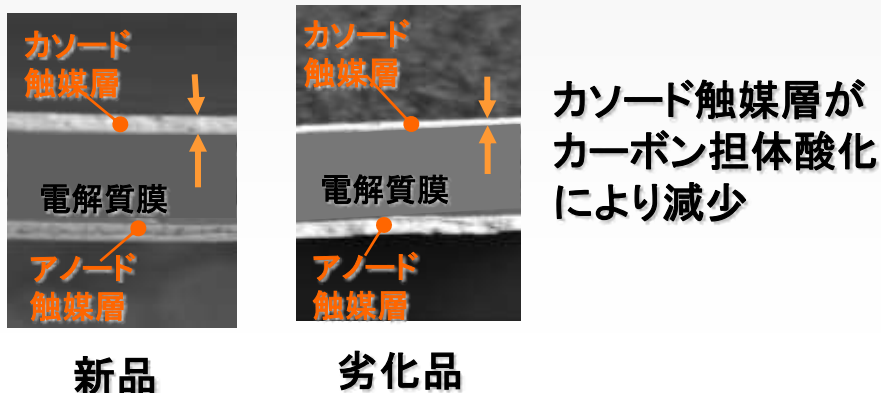
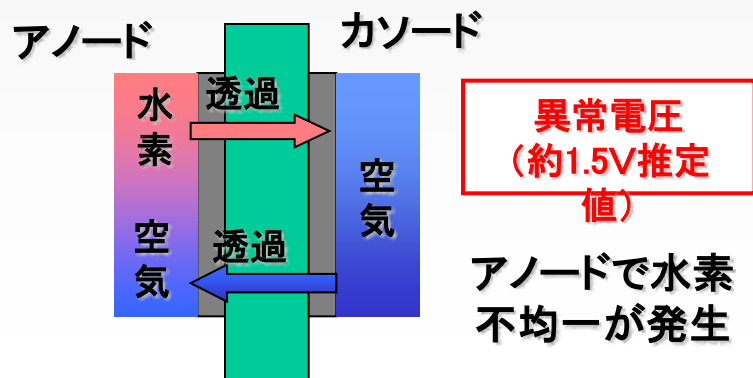
(1) 始動時のカーボン担体酸化



(2) 停止時のカーボン担体酸化

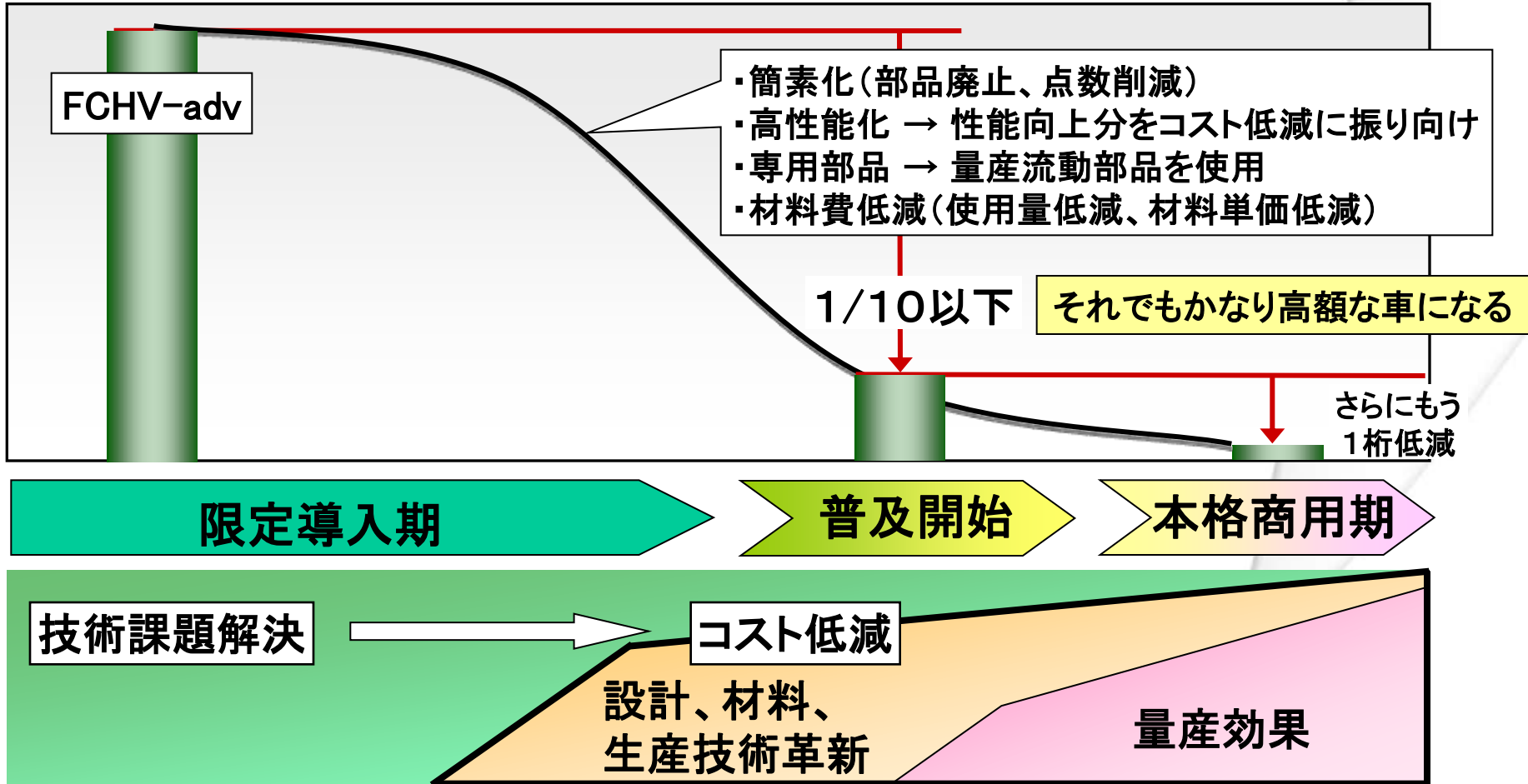


(3) カーボン担体酸化のメカニズム



アノード水素の不均一による異常電位発生で、カソード担体が酸化／消失

コスト



FCHVコスト1/10に向けた考え方



トヨタFCHV—adv

(1) 設計:

① システム簡素化

- ・FCシステム、水素タンクシステムなど

② FCスタック

- ・設計簡素化
- ・小型・軽量化、Pt削減
(材料使用量の削減)

(2) 材料:

FCHV構成材料の低コスト化

⇒ 材料メーカーとの協力が重要

(3) 生産技術:

- ・FCスタック、水素タンクなど

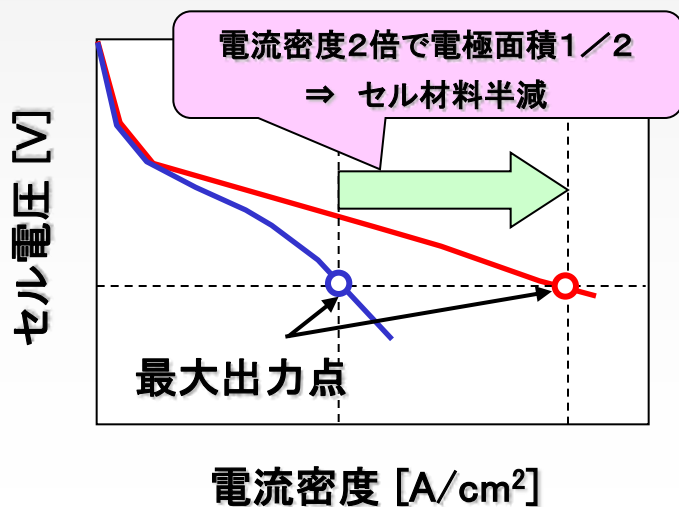
FCスタックのコスト低減



トヨタFCスタック

(1) 設計: 小型・軽量化 (材料量削減)

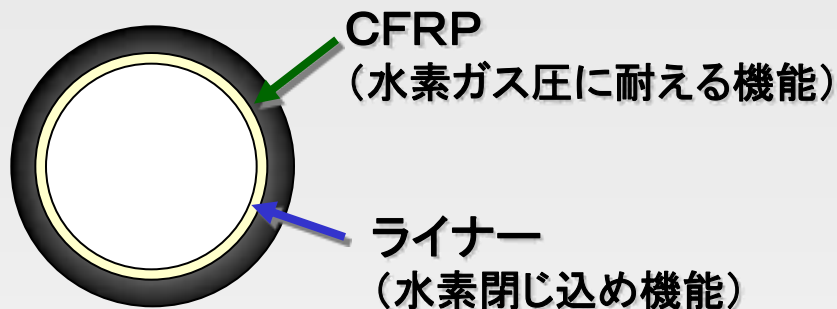
- ① 高出力密度化
- ② 部品点数の削減
- ③ 締結、シール方法の改善
- ④ Pt触媒量の削減など



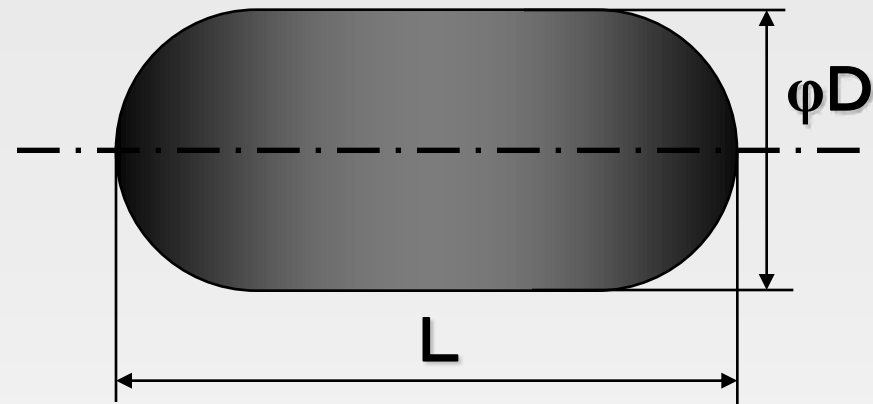
(2) 材料: 高耐久、低コスト化

- ① 電解質膜
- ② セパレータ (含表面処理)
- ③ GDL など

高圧水素タンク本体の低コスト化



タンク断面



タンク外形

(1) CFRP使用量低減(薄肉化)

- ・積層構造(フープ巻き、ヘリカル巻きの積層法)の最適化
- ・タンクタイプ(タイプⅢ、Ⅳ)選定
- ・口金サイズの最適化
- ・L/D最適化

(2) CFRPコストの低減

- ・航空機グレード ⇒ 汎用グレード
- ・高圧タンク用低コストCFRPの開発

生産技術の開発

(1) ウェブハンドリング技術



(2) 枚葉ハンドリング技術

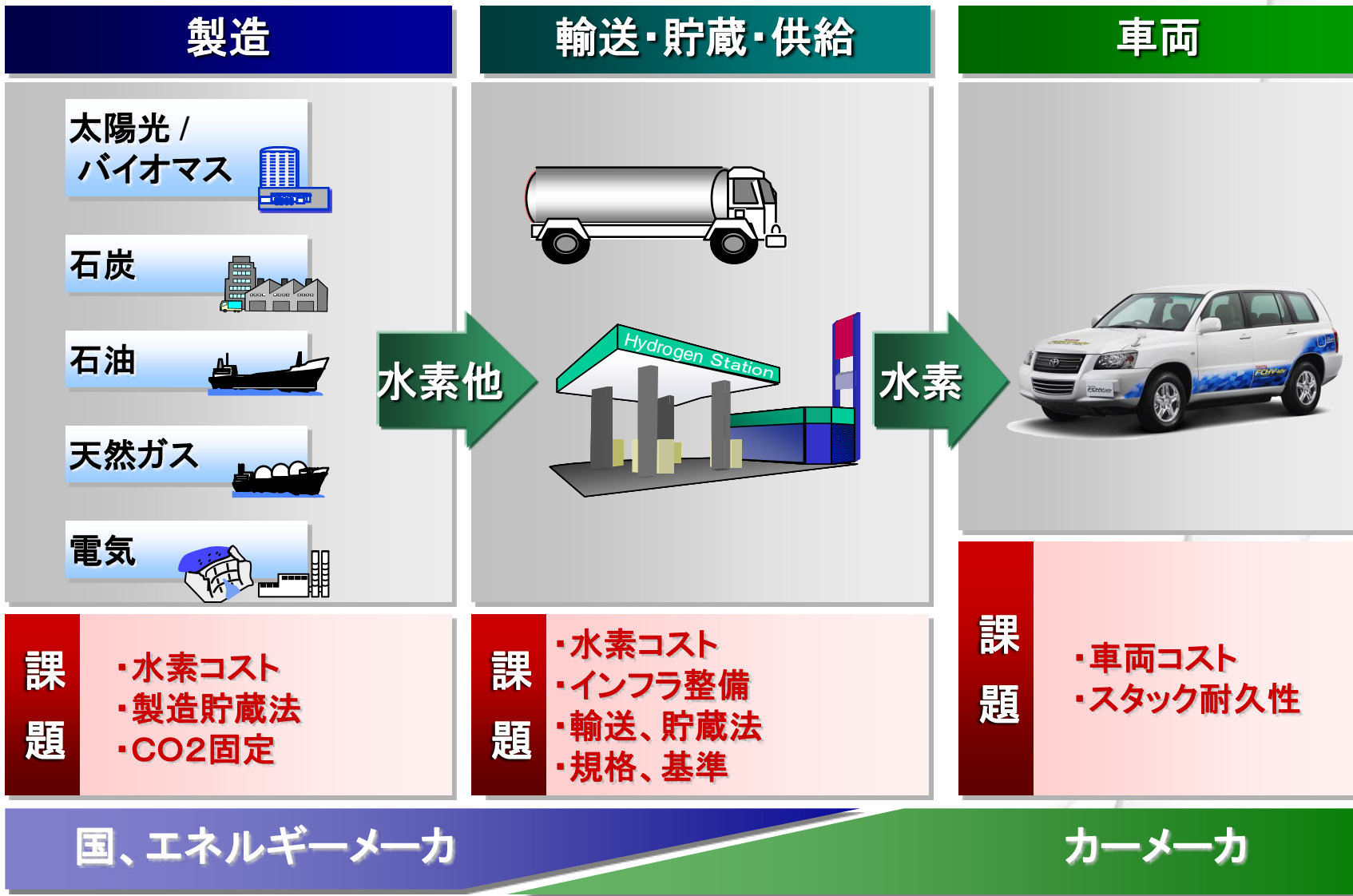


(3) 70MPa水素タンク



将来展望

燃料電池自動車と 水素燃料供給の課題



水素他

水素

水素ステーション技術開発

ドイツシュツットガルト 空港ステーション



水素充填時間、70MPa,
5kg(乗用車満タン相当)

安価で安全な水素供給
DOE目標\$2-3/kg
NEDO目標40円/Nm²

3分

配管圧損低減技術

高圧コンプレッサによる
車両タンクへの直接充填技術

-40℃プレクール技術

車両-ステーション通信充填技術

11分~

ステーション
建設費2.2億円

ステーション機器の
低コスト化技術

諸外国と比較しても
厳しい規制
(高圧ガス保安法など)の見直し
要求一般耐圧(3倍vs4倍)
市街地への設置など

ステーション
建設費4~6億円以上

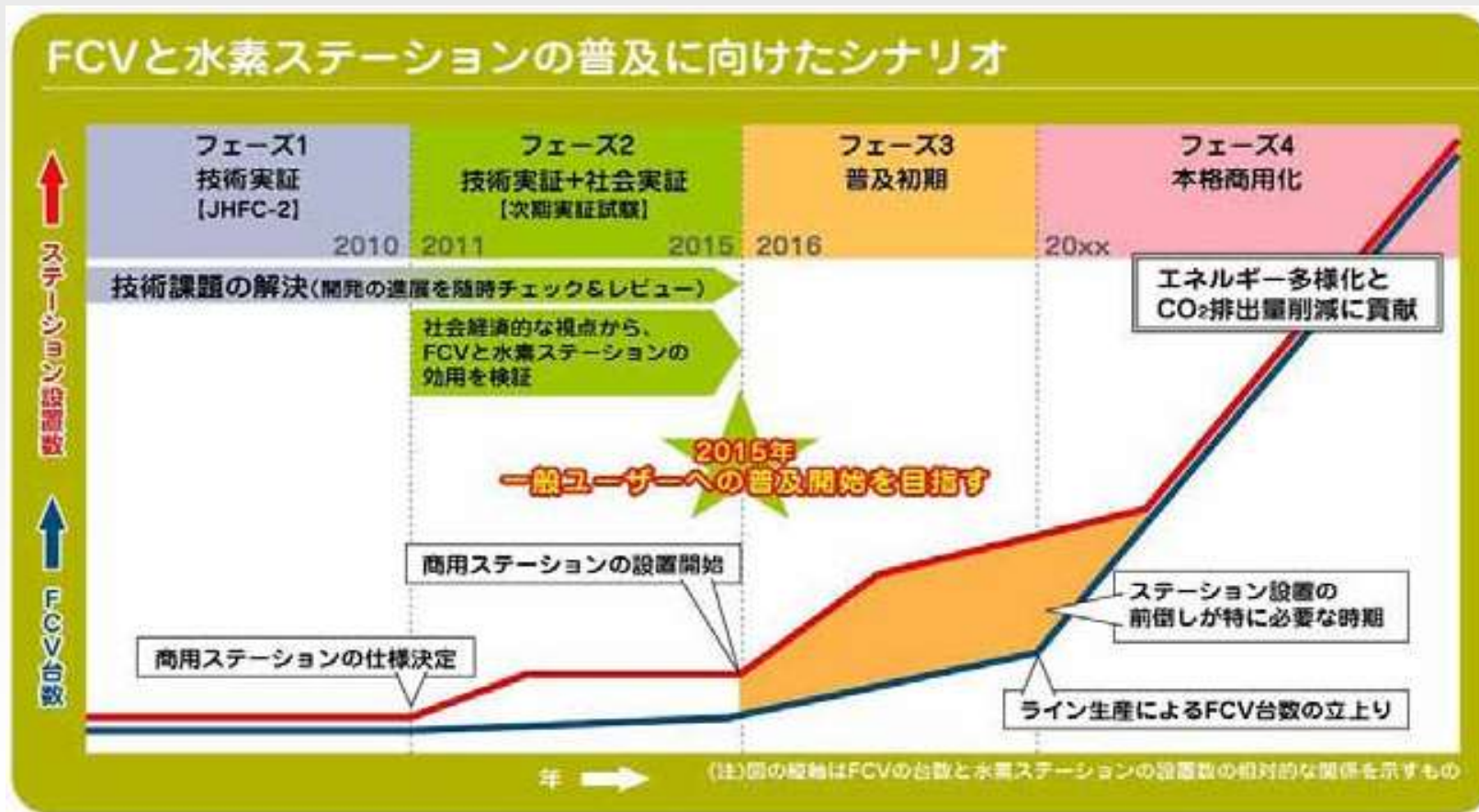
JHFC 千住ステーション



安全で安価な水素を提供できる低コストな
商業化ステーションの技術開発が必要

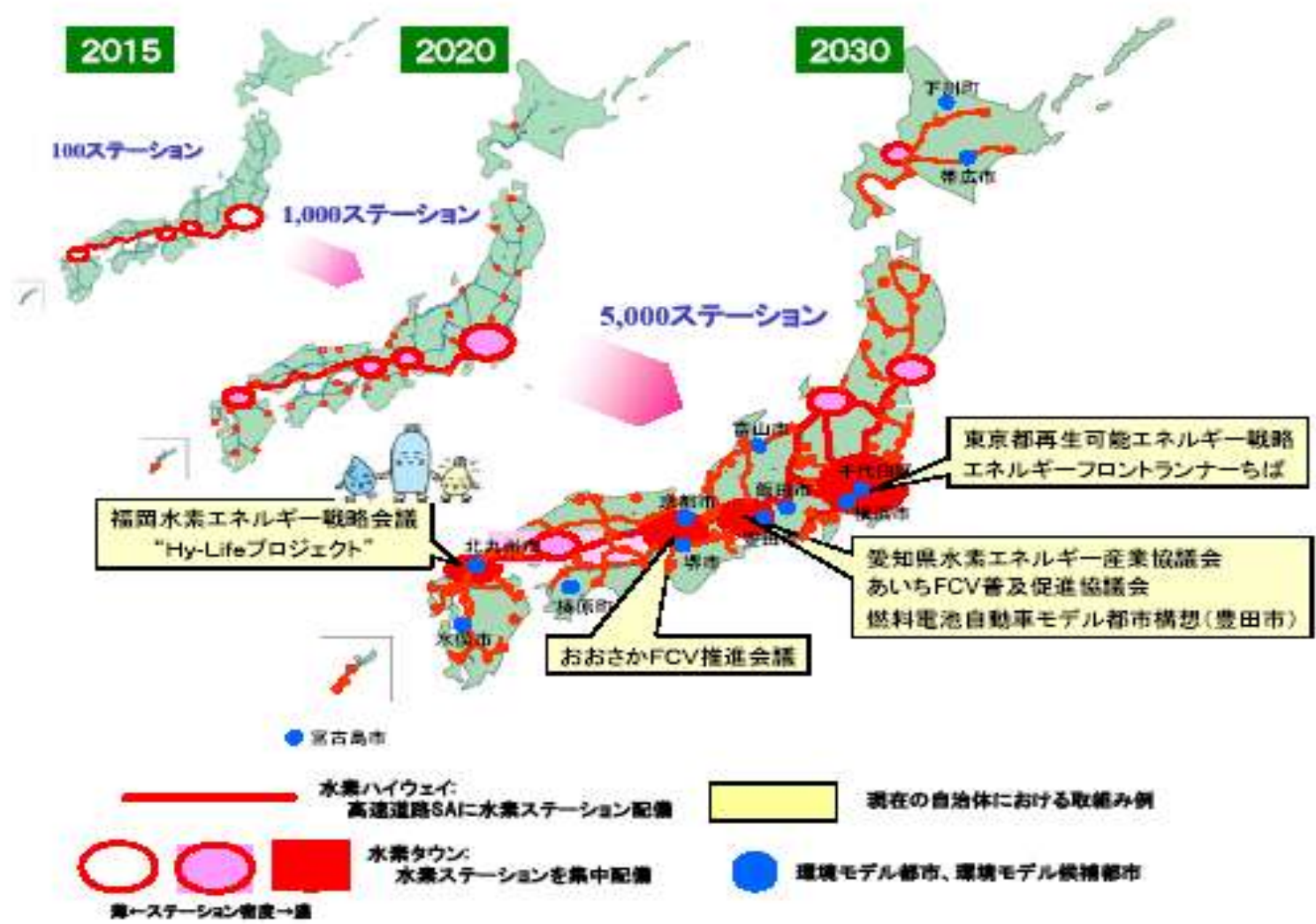
FCCJ普及シナリオ

FCCJプレスリリース(2008年7月4日)



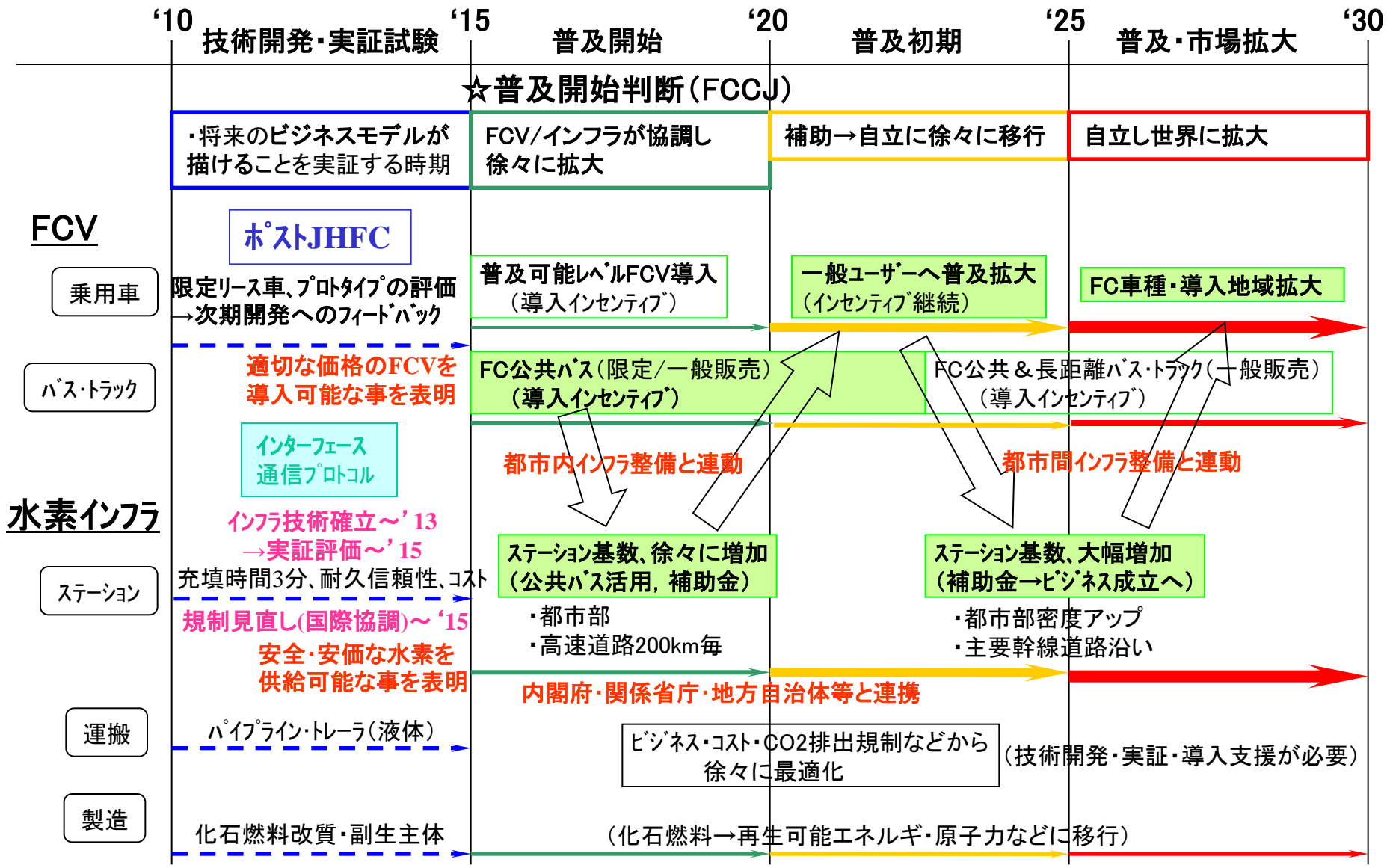
Source: Fuel Cell Commercialization Conference of Japan (FCCJ)

水素ステーション普及事例(COCN報告書)



(出展:産業競争力懇話会(COCN)「燃料電池自動車・水素供給インフラ整備プロジェクト」中間報告書)

FCHV普及へのトヨタシナリオ(案) 国内



まとめ

1. エネルギー源の多様化と CO₂ 削減に向けて、FCVの開発とその早期普及は緊急かつ重要な課題。
2. FCV普及には、 1)車の商品力向上、 2)水素インフラ基盤整備 3)エネルギー源多様化の社会ニーズの高まり、 が必要。
3. FCVの技術開発は急速に進みつつあり、15年普及開始を目指し、耐久性とコスト低減の両立に注力中。
一方、インフラ技術開発は欧米に比べて遅れており、安全で安価な水素の供給体制の整備への取組み強化を期待。
4. FCVの普及に向けて政府、エネルギーメーカーとも協力して課題解決と社会基盤整備を進めて行く。