

燃料電池研究開発を取り巻く動向
—FCV市販化を中心に—

The movement of Research and Development in Fuel Cell Technology
- Market Introduction of FCV-

大仲英巳 (Hidemi Onaka)

技術研究組合 FC-Cubic

Fuel Cell Cutting-Edge Research Center
Technology Research Association

〒135-0064 東京都江東区青海2-3-26
E-mail:h-oonaka@fc-cubic.or.jp

エネルギーセキュリティーや環境問題への対応のポテンシャルの高さから水素、燃料電池が非常に注目されている。燃料電池の研究開発は近年著しく進化し、家庭用燃料電池（エネファーム）は2009年から既に市場に導入され着実に台数が増加している。また、燃料電池自動車（FCV）についても2015年から一般のお客様への販売が開始されようとしている。ここでは、水素、燃料電池開発の意義と研究開発の動向について周辺情報を含めて解説。特に、FCVを中心に普及に向けた課題とその解決への企業の取り組みや技術の進捗状況について紹介する。

シリコンテクノロジー分科会164回研究集会

燃料電池の研究開発を取り巻く動向 —FCV市販化を中心に—



2013年8月23日
技術研究組合FC-Cubic 大仲英巳

1

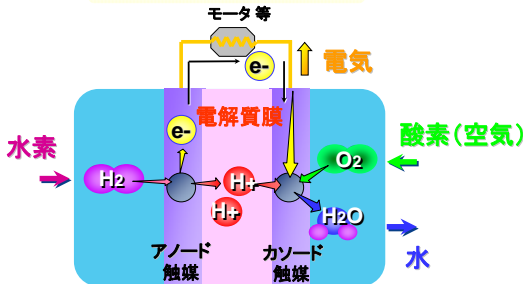
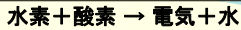
目次

- 1、燃料電池とは？
- 2、水素・燃料電池研究開発の意義
- 3、研究開発動向概要
- 4、FCVの開発状況と市販化に向けた取り組み
- 5、まとめ

2

燃料電池(Fuel Cell)のしくみ

燃料電池は、水素を燃料とした発電機



高効率：理論効率 83%、実用効率 40～60%以上

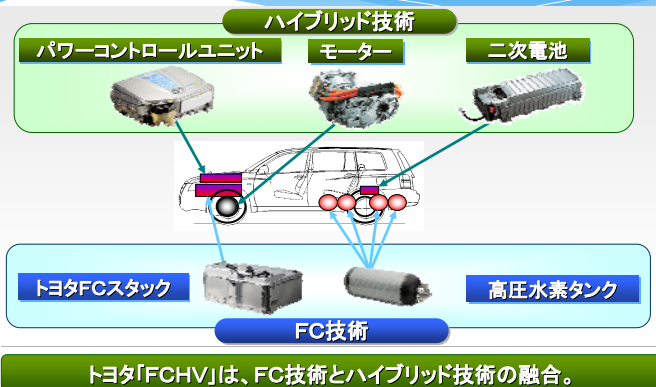
出展：トヨタ自動車発表資料

燃料電池スタックの構造例



出展：トヨタ自動車発表資料

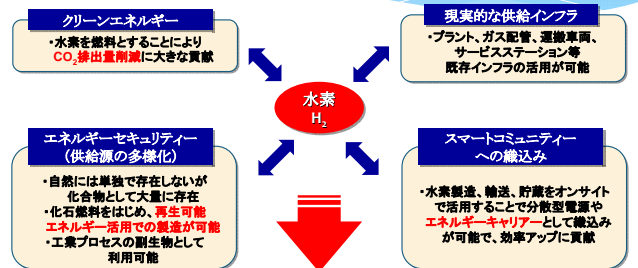
燃料電池自動車の構成例



出展：トヨタ自動車発表資料

水素・燃料電池研究開発の意義

～水素社会の形成を目指す理由～

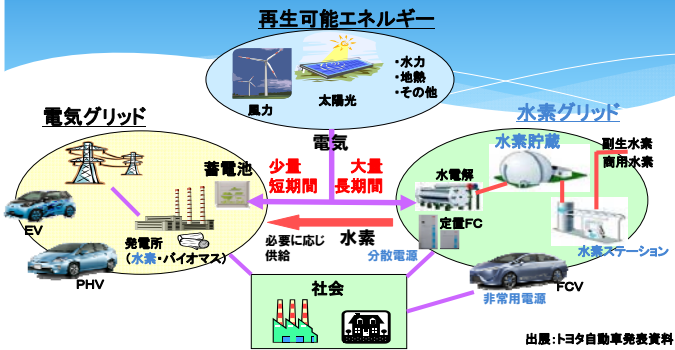


持続的な経済発展

- ・自動車、電気機器、住宅、素材、ガス、電力等、幅広い産業に関連
- ・エネルギー/環境制約への対応を通じたイノベーション創出

6

スマートコミュニティへの織り込み



不安定な再生可能エネルギー増加に合わせ、
 ⇒ 電気と水素、各々の特徴に合わせた貯蔵・輸送技術の使い分け(両立)

FCVの特徴

出展:自動車各社発表資料より作成

燃料電池自動車の強み

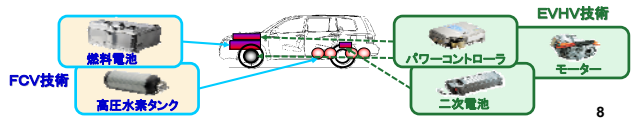
燃料電池自動車(FCV)は、高い環境性能(対エンジン車)・長い航続距離(対EV)・短い燃料充填時間(対EV)などの特長を有し、次世代自動車として優れている



- 水素充填時間: 3分程度
- 航続距離: 500km以上
- エネルギーの多様化
- 非常用電源としての供給能力 (EV 5台分)

我が国の国際競争力

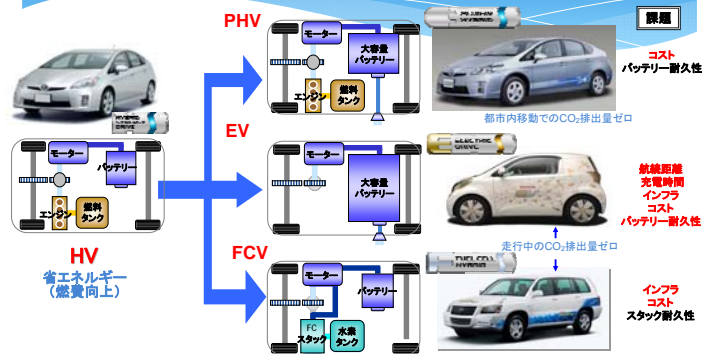
燃料電池分野における我が国の優れた技術力を活かし、次世代自動車の国際競争に打ち勝つことで、経済成長への貢献が可能



非常時の電源供給



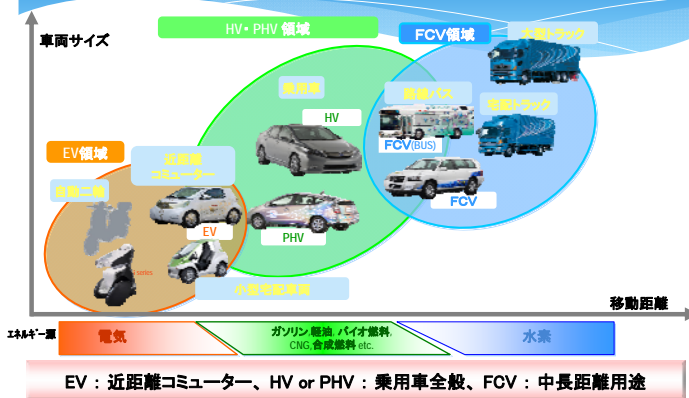
次世代環境車の位置づけと課題



HVはすべての基幹技術。
 石油を大事に使いつつ、電気・水素の活用を拡大

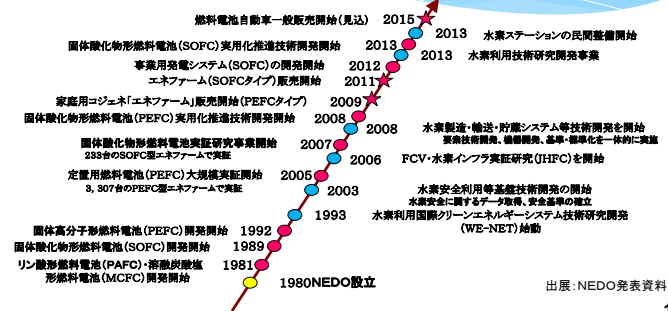
出展:トヨタ自動車発表資料

次世代環境車の棲み分けイメージ



我が国燃料電池・水素技術開発の歴史

FCは、80年代からリン酸、溶融炭酸塩、固体酸化物、固体高分子形の開発を推進。それら成果をもとに、エネファーム実用化、2015年にFCV一般販売開始見込。
 水素インフラは、2000年以降FCV実用化に必要な水素インフラの研究開発に重点化。今年度から民間整備開始。



燃料電池の市場規模予測

1、燃料電池システム世界市場

	2011年度	2025年度予測	2011年度比
世界市場	699億円	5兆1843億円	74.2倍

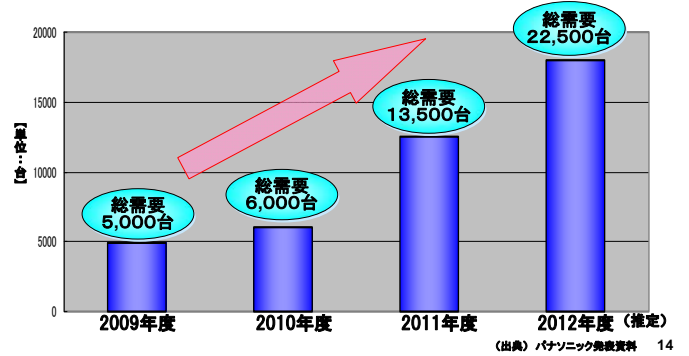
2、需要分野別燃料電池システム市場

	2011年度	2025年度予測
産業・業務用	359億円	7,341億円
家庭用	159億円	1兆1,190億円
燃料電池シブ	3億円	2兆9,106億円
駆動用(フォークリフト、バス、スクーター)	59億円	2,199億円
ポータブルバックアップ	119億円	1696億円
携帯機器用	0億円	311億円

出展：(株)富士経済HP(市場調査)

家庭用燃料電池市場の立ち上がり(日本市場)

- ◆2009年に一般販売開始以来、急速な拡大
- ◆2012年度は、約2万台以上の見込み



FCVフォーラム
2013.4.16
NEDO殿

我が国燃料電池・水素技術開発の戦略

～NEDO燃料電池・水素ロードマップ(定置用燃料電池)

家庭用のさらなる普及拡大、業務用の実用化普及を目指し、重要開発課題を設定し、官民で連携して推進

2015年

- 【短期の重要開発課題】
- 家庭用
 - ・補機部品低コスト化、CO耐性向上
 - 業務用
 - ・耐久性、信頼性向上
 - ・複合発電システム開発

2030年

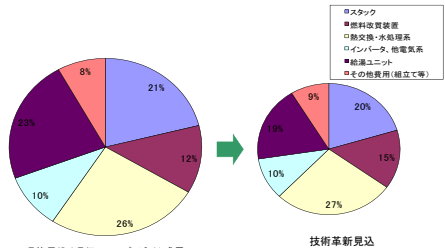


- 【中長期を見据えた重要開発課題】
- 家庭用
 - ・燃料多様化対応
 - 業務用
 - ・発電効率向上、高耐久化、燃料多様化

定置用PEFCシステムのコスト構造

- スタック、燃料改質装置、熱交換・水処理系、インバータ、給湯ユニットの各モジュール、組立て等その他のコスト割合が均衡(スタックのコスト割合は20%程度)
- スタックのコスト低減と同時に、周辺機器も含めて総合的にコストを低減することが必要

→スタックのロバスト性を向上させ、周辺機器への依存を軽減し、システムを簡素化するための技術開発が必要である。



FCVフォーラム
2013.4.16
NEDO殿

我が国燃料電池・水素技術開発の戦略

～NEDO燃料電池・水素ロードマップ(FCV・水素インフラ)

短期および中長期を見据えた重要開発課題を設定し、本格普及を目指す

2015年
普及開始期

- 【短期の重要開発課題】
- FCV
 - ・高耐久、高信頼化(実施済)他
 - 水素インフラ
 - ・急速充填技術(5kg/3分)の安全確保(実施済)
 - ・低コスト化(現状4～5億 約2億円)に向けた規制見直し、安全データ取得、等

FCV
:200万台

水素インフラ
:1000ヵ所

2030年
本格普及期

- 【中長期を見据えた重要開発課題】
- FCV
 - ・低白金、脱白金、高温低加温運転等
 - 水素インフラ
 - ・2億円以下を見据えた新設計、新材料の開発・適用、更なる規制見直しのための各種データ整備

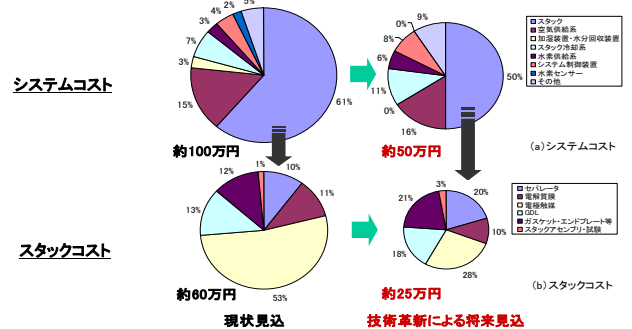
FCV
:1000台
レベル

水素インフラ
:100ヵ所

FCVのシステム・スタックコスト構造

- 現状技術ベースではスタックが約60%、その中で電極触媒のコストが半分以上。
- 現状の触媒における白金使用量は0.5～1.0g/kWとなっており、大きなコスト高。
- 燃料電池作動を制御する周辺機器のコストも全体で約40%を占める。

→スタックの低コスト化と同時に、システムを簡素化するための技術開発が必要である。



トヨタグループでの取り組み事例

トヨタ自動車 FCV 	日野自動車 FCバス 	
豊田自動織機 FCフォークリフト  実証実験期間 2012年12月 ～2014年3月 場所 豊田合成 北九州工場	アイシン精機 家庭用燃料電池(SOFC)  発電効率46.5% (世界最高水準) 2012年4月発売 大阪ガス、京セラ、 長府製作所	豊田通商 超小型水素充填装置  販売店での 水素充填を想定し て 検討中

出展:トヨタ自動車発表資料 19

FCフォークリフトの構成

フォークリフトは既存の電動車両を使用可能

FCユニット

鉛バッテリー

鉛バッテリー置き換え (ユニット体積・重量同等)

FCスタックで発電した電気を動力源とし荷役・走行するフォークリフト

出展:豊田自動織機発表資料 (8/39)

航続距離／無充填走行(大阪～東京)

大阪～東京(560km)をエアコンなど実際の使用条件下で余裕の無充填完走

水素タンク圧力の高圧化(35MPa→70MPa)や各種効率向上により航続距離を大幅にアップ(実用走行モードで約300km→500km以上)

モード	走行距離
LA#4	790km
10-15	830km

社内データ

Japan
Osaka Tokyo
560km (350mile)

出展:トヨタ自動車発表資料 21

低温始動／走行性能評価結果(カナダ)

Timmins, Canada

Yellowknife, Canada

Ambient Air Temp. (degC) Ambient Air Temperature at Timmins (degF)

Date

-37degC

トヨタFCHV-advの低温始動/走行性能は、現状のガソリン車と比べてもほぼ同等である事が確認された

出展:トヨタ自動車発表資料 22

低温始動性の課題と対策の考え方

低温始動時のセル中の水量

A) 掃気
・インピーダンス計測による含水量制御

0°C突破
→低温始動成功

B) 許容含水量の増加
・許容含水量

C) スタック昇温促進
・急速暖機
・熱容量低減

0°C昇温までの生成水量

出展:トヨタ自動車発表資料 23

掃気 の考え方

適正な水の状態

完全乾燥: 水閉塞防止

適度な乾燥: 空隙の確保

保水: プロton伝導性確保

車載インピーダンス計測

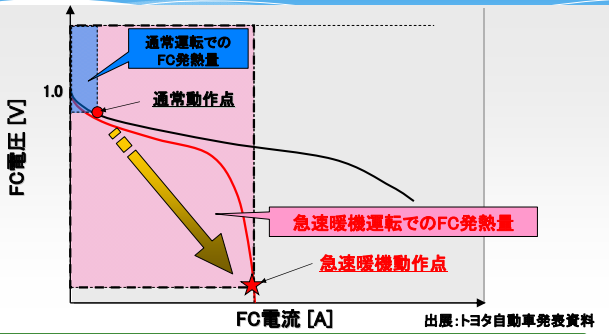
AC 200V AC load Voltage sensor Current sensor Fuel cell stack Laboratory System

Battery High Voltage DC-DC converter AC load control software ECU (Electric Control Unit) FFT analysis software Alternative On-board Units

車両停止時セル内の水分を適切にコントロールする掃気が必要
電解質膜内の水分量をオンボードインピーダンス測定により把握し、セル内の含水量を制御

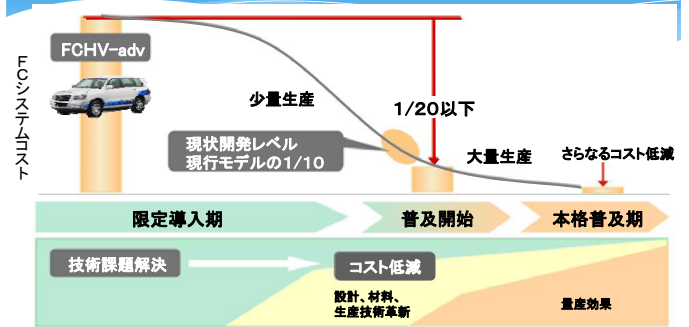
出展:トヨタ自動車発表資料 24

スタック昇温促進 対策：急速暖機



ガス制御等でFC発熱を増加させスタックを急速に昇温
 ⇒自動車会社は単に材料や要素だけの解決ではなく、
 トータルシステムでの解決を目指す(信頼性とコストがキーポイント)

燃料電池自動車(FCV)のシステムコスト削減例(トヨタ)

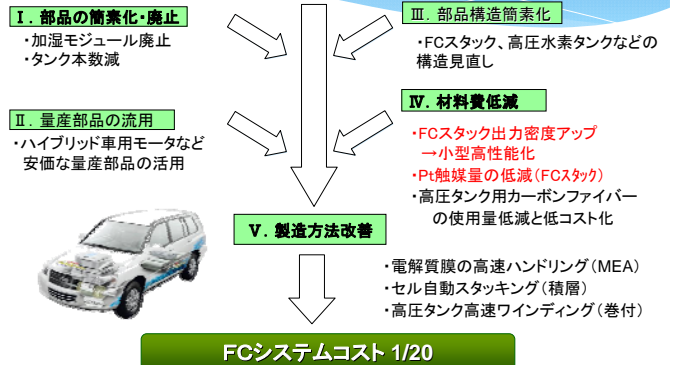


現状開発品のコストは、FCHV-advの1/10程度まで低減
 普及開始に向けては、更にその1/2以下を目指す
 出展：トヨタ自動車発表資料 26

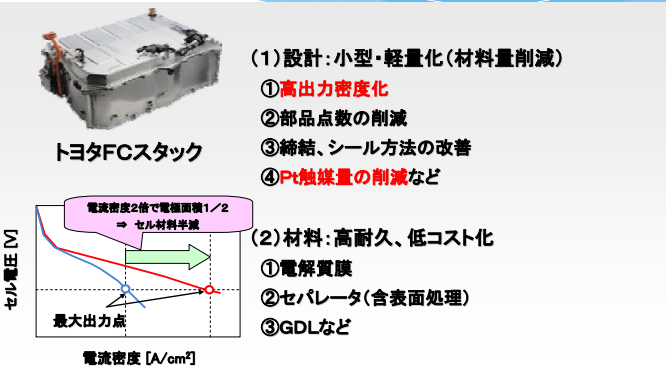
工業製品・材料の販売価格

¥0.1/g	¥1/g	¥10/g	¥100/g	¥1k/g
鋼板	アルミ	チタン	白金	
ゴム	塩ビ	ポリカ	ABS	
	乗用車	白物家電	黒物家電	
		ロケット	旅客機	戦闘機
				白金価格(5/15)：¥5,263/g (6/19)：¥4,728/g (1995年)：¥1,539/g

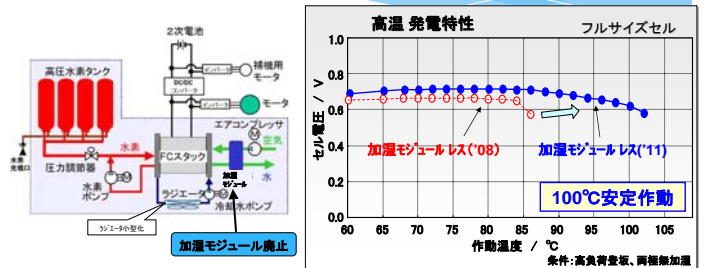
FCシステムコスト低減の方策



FCスタックのコスト低減



FCシステム簡素化(加湿モジュール廃止)



高温無加湿発電特性を改良し、加湿モジュール廃止、ラジエータ小型化
 ⇒自動車会社は必要だと思ったら徹底的に追求し実現する。
 ただし、アプローチは多彩でトータルシステムでの最適化を目指す。
 ⇒役立つ研究のために、産業界との連携(意見交換)が重要

自動車各社のFCV開発状況

ヒュンダイ	Tucson ix35 FCV 実証実験 韓国:88台 北欧:5台	ホンダ	FCX Clarity 日米でリース販売 日本:12台 米国:45台
ダイムラー	B-Class F-Cell 欧米で約200台	日産	X-TRAIL FCV 限定リース販売 グローバルで十数台
GM	Equinox 実証実験 米国で百数十台	トヨタ	FCHV-adv 限定リース販売 日本:21台 米国:100台以上

出展:トヨタ自動車発表資料

自動車各社最近のトピックス

- (1)各社ともFCV開発に足並みが揃ってきた。技術習得や開発の加速のための連携の動き
 ・欧州:BMW、VW共にFC開発に注力。BMWはトヨタとの連携で加速を目指す。
 ・米国:フォードもダイムラー、日産と共同開発で加速。GMもホンダと手を組み、再加速。
- (2)ただし、普及開始時期については2015年~2017年とばらつきが感有り。
 ・2015年表明:トヨタ、現代、ホンダ
 ・2017年?:ダイムラー、日産

31

自動車各社の最近のトピックス

トヨタ自動車

- * 2015年頃からセダンタイプのFCVの販売を開始
- * 2020年代に年数万台規模の普及拡大を目指し、開発を促進
- * FCVバスは2016年の導入を目指して開発

2011年東京モーターショー出展コンセプト車「FCV-β」



新型FCスタック(2012年9月発表)

- 出力密度2倍以上向上
- 出力密度 3kW/L達成
- FCシステム小型化
- シート下配置を実現

出展:トヨタ自動車発表資料

日産自動車

- * パリモーターショー(2012年10月)燃料電池コンセプトカー(TERA)



- * 最新スタック(2.5kW/L)
- ・貴金属量1/4に低減
- ・スタックコスト1/6に低減



出展:日産自動車HPより

32

燃料電池自動車の国内市場導入と水素供給インフラ整備に関する共同声明

(2011年1月13日)

1. 自動車メーカー:

- ・FCV量産車を2015年に4大都市圏を中心とした国内市場への導入と一般ユーザーへの販売開始

2. 水素供給事業者:

- ・100箇所程度の水素供給インフラの先行整備

3. 自動車メーカーと水素供給事業者:

- ・全国的なFCVの導入拡大と水素供給インフラ網の整備に共同で取組む
- ・普及戦略については官民共同で構築することを政府に対して要望

(民間12社)
 トヨタ自動車株式会社
 日産自動車株式会社
 本田技研工業株式会社
 JX日産日石エネルギー(株)
 出光興産株式会社
 岩谷産業株式会社
 大阪ガス株式会社
 コスモ石油株式会社
 西部ガス株式会社
 関西シール石油株式会社
 大陽日曜株式会社
 東京ガス株式会社
 東邦ガス株式会社

本格的なビジネス検討をスタートすることを提示

普及戦略について、4大都市圏の地方自治体をはじめとする幅広い関係者と議論を開始



導入以降、全国的なFCV導入拡大と水素供給インフラの整備に取り組む
 水素供給インフラの先行整備のイメージ図

33

国内水素ステーションの整備

1. 水素ステーションの展開



2. ステーションの技術開発



コンテナ型低コストステーション例(独・リンデ社)

3. 規制見直し

'10年12月「規制の再点検に係る工程表」が公表された

- ・材質基準
- ・ステーション併設
- ・耐圧基準
- ・定期検査方法
- ・蓄圧タンク構造
- ・セルブ化 など

水素ステーション整備のためには、3つの課題解決が必要

34

水素ステーション補助制度13年度採択結果

(交付規定:補助率1/2、上限額一オンサイト2.5億円、オフサイト1.9億円)

NO.	都道府県	市・区	事業者	NO.	都道府県	市・区	事業者
1	埼玉県	さいたま市	東京瓦斯(株)	11	神奈川県	相模原市	JX日産日石エネルギー(株)
2	東京都	練馬区	東京瓦斯(株)	12	神奈川県	平塚市	JX日産日石エネルギー(株)
3	愛知県	刈谷市	岩谷産業(株)	13	埼玉県	春日部市	JX日産日石エネルギー(株)
4	兵庫県	尼崎市	岩谷産業(株)	14	千葉県	千葉市	JX日産日石エネルギー(株)
5	福岡県	北九州市	岩谷産業(株)	15	愛知県	岡崎市	JX日産日石エネルギー(株)
6	愛知県	名古屋市	豊田通商/日本エアリキッド	16	愛知県	名古屋市	JX日産日石エネルギー(株)
7	愛知県	豊田市	豊田通商/日本エアリキッド	17	東京都	杉並区	JX日産日石エネルギー(株)
8	愛知県	岡崎市	岩谷瓦斯(株)	18	神奈川県	横浜市	JX日産日石エネルギー(株)
9	東京都	町田市	JX日産日石エネルギー(株)	19	埼玉県	戸田市	岩谷瓦斯(株)
10	東京都	八王子市	JX日産日石エネルギー(株)				

出展:次世代自動車振興センターHP

規制見直し第2弾の議論スタート

* 安倍内閣の成長戦略の一環

規制改革会議⇒環境先端テスト(自民党マニフェスト)

- 諸外国と比べて一般的な規制かどうか
- 諸外国に比べて過重な水準を求めているか
- 諸外国との相互性・互換性のある基準・認証となっているか
- 諸外国と比べて手続や費用が簡素・適正なものとなっているか
- 規制の目的は、より制限的でない別の方法により達成できないか

・海外と違う規制の場合、当局側がその必要性を説明

説明できない場合は強制的に規制を見直し

(従来:規制見直し要望側が問題ない事の証明責任)

* 現在FCCJ・自工会などを中心にインフラ・自動車の要望事項等の説明活動中

(一部既に項目として採択:例87.5MPa、水素系使用材料)

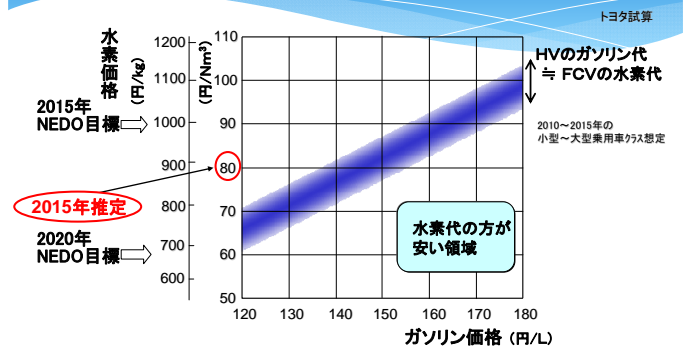
36

FCV導入とインフラ整備の進め方(例)

	FY 2011	FY 2012	FY 2013	FY 2014	FY 2015	FY 2016 ~ 2020	FY 2021 ~ 2025	FY 2026 ~
水素ステーション	技術実証	商用ステーション実証(プレ先行)	先行整備 4大都市圏中心に約100ヶ所	先行整備 ステーションオープン	初期整備1 ステップbyステップ 100+ヶ所	初期整備2 ステップbyステップ ~800ヶ所	整備拡大	
FCV		第1世代導入、投資判断			第1世代	第2世代	第3世代	
インフラ規制見直し		第1回			第2回	継続		

出展:トヨタ自動車発表資料

水素価格 FCVとHVの燃費差を考慮した燃料代の比較(日本)



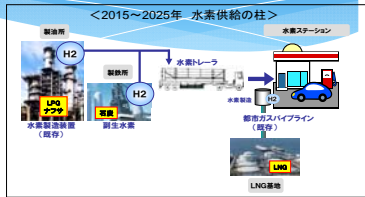
FCVの燃費向上と水素価格の低減によりお客様にメリット出す必要あり

出展:トヨタ自動車発表資料 38

CO2フリー水素への移行

<2015年~2025年>

- ①製油所の既存設備を利用したの水素製造、産業副生水素→水素輸送
- ②ガス供給インフラを利用しての天然ガス輸送→ステーションで水素製造により水素を供給する。
⇒安定供給とコスト削減



<2025年以降>

- ・集中製造へ順次集約、水素パイプラインも導入し、水素ネットワークに展開。
- ・CCS(Carbon Capture System)等による低炭素型水素供給への移行を目指す。
- ・再生エネルギーからの水素への移行(出展には入っていない。追加部分)



出展:COGN「燃料電池自動車・水素供給インフラ整備普及プロジェクト」

まとめ

- ・FC及び水素の研究開発は、エネルギー・環境制約への対応や産業の国際競争力の向上のためにも非常に重要な意義がある。
- ・FCの研究開発は、着実に進化し、定置FCは既に実用化が進み、FCVは2015年から普及開始が見込まれている。
- ・しかしながら、それぞれ本格普及にはコスト低減・耐久性向上など、まだまだ克服すべき課題が多い。
- ・上記課題の解決のために企業の実市場(お客様)の要求・現象に対応した技術開発やそのニーズに応える産学官が緊密に連携した基礎解析や新材料研究などの基盤技術研究がますます重要。