

## 地球環境科学(第6回) 水素エネルギー利用技術の現状と将来展望

岡 崎 健 機械制御システム専攻 (機械科学科)

2010年12月2日(木)



Tokyo Institute of Technology



## <u>何故今水素なのか?</u>

- ・環境問題の危機的状況
   (グローバルおよびローカル)
   日本 13 億ton-CO2/year 世界 250 億ton-CO2/year
- ・化石燃料エネルギー資源の枯渇
   (限られた埋蔵量)

水素導入は、水素エネルギーシステム全体として、これらの 問題に対して、<u>正味の寄与、量的寄与</u>を有しなくてはならな い。あるいは、短期的にはこれらの寄与が小さくても、中・長 期的には大きな寄与が期待できるシナリオが描けなくてはな らない。 → <u>水素社会へのソフトランディングシナリオ</u>





- 地球環境保全対策
- 化石燃料枯渇防除

(正味の寄与、量的寄与)

- 1. 一次エネルギーから最終消費に至る 総合効率の格段の向上(クリーンな水素の使い方) 短期トリガー 水素燃料電池自動車? 定置用燃料電池コジェネ
- 2. 副生水素の利用 CO2はどうする?
- 再生可能エネルギー源の大量導入 (太陽,風力,バイオマスなど)
   ・水素エネルギー導入の究極の姿、現在の量的寄与は極微小

・現実的な中間シナリオが必要

3

 $\mathbf{x}$ 

## 自動車用燃料電池の開発状況(近年の水素導入機運のトリガー)



### ■燃料電池の課題

- 長期寿命の検証
- ・発電システムの信頼性確立
- コスト低減(5,000~10,000円/kW)



IFC Series300. 75kW

ENAA



### Schedule and Progress of WE-NET

 Original plan : 28 years, long term project FY1993 FY2020 98 Phase II, III, IV Phase I Revised plan : Evaluate a project in max. 5 years but can be continued after evaluation FY1993 FY2003 98 99 → ···Phase ········ JHFC Project Phase I Phase I ▲ Evaluation ▲ Evaluation •• FY2002 Phase I program was completed successfully in FY1998 (March, 1999). Phase I program has been started in FY1999 (April, 1999) with new contracts. But completed FY2002 (Mar. 2003), and succeeded to a new project, JHFC (Japan Hydrogen and Fuel Cell Development Project)



Tokyo Institute of Technology



**₩** 

## 水素関連技術開発動向

### 水素燃料電池自動車と水素ステーション



 $\mathbf{\nabla}$ 

## **JHFC Demonstration FCVs**

![](_page_7_Picture_1.jpeg)

**Toyota FCHV** 

![](_page_7_Picture_3.jpeg)

**Nissan X-TRAIL** 

![](_page_7_Picture_5.jpeg)

Honda FCX

![](_page_7_Picture_7.jpeg)

Toyota/Hino FCHV-BUS2

![](_page_7_Picture_9.jpeg)

Suzuki wagonR-FCV

![](_page_7_Picture_11.jpeg)

MITSUBISHI FCV

![](_page_7_Picture_13.jpeg)

**DaimlerChrysler F-Cell** 

![](_page_7_Picture_15.jpeg)

**General Motors Hydrogen3** 

![](_page_7_Picture_17.jpeg)

Tokyo Institute of Technology

![](_page_7_Picture_19.jpeg)

## 水素供給ステーションの設置状況 2005年4月時点

![](_page_8_Figure_1.jpeg)

![](_page_8_Picture_2.jpeg)

#### Tokyo Institute of Technology

9

![](_page_9_Figure_0.jpeg)

![](_page_9_Picture_1.jpeg)

 $\mathbf{T}$ 

![](_page_10_Picture_0.jpeg)

## **Energy** Efficiency of on-Site Hydrogen Station

#### Reforming

![](_page_10_Figure_3.jpeg)

![](_page_10_Picture_4.jpeg)

![](_page_10_Picture_6.jpeg)

Ŵ

![](_page_11_Picture_0.jpeg)

### **Driving Test Result-Energy Consumption**

Compared with ICV and HEV, FCV showed better energy consumption rate per vehicle weight.

![](_page_11_Figure_3.jpeg)

ICV Group : Toyota Crugar, Nissan X-TRAIL, Honda CR-V, Opel Zafila, Mitsubishi Grandis, Suzuki wagonR HEV Group : Toyota Prius, Former Prius, Estima Hybrid, Nissan Tino Hybrid, Honda Insight

FCV Group : Toyota FCHV, Nissan X-TRAIL FCV, Honda FCX, GM HydroGen3, DaimlerChlysler F-Cell, Mitsubishi FCV, Suzuki wagonR-FCV

School of Engineering

#### Tokyo Institute of Technology

12

## JHFC2 Features: Fleet test & Area expansion

![](_page_12_Figure_1.jpeg)

13

 $\mathbf{T}$ 

# JHFC2 Participating Vehicles (2006.4 - )

![](_page_13_Picture_1.jpeg)

Toyota FCHV

![](_page_13_Picture_3.jpeg)

Nissan X-TRAIL FCV

![](_page_13_Picture_5.jpeg)

Honda FCX

![](_page_13_Picture_7.jpeg)

Daimler-Chrysler F-Cell

![](_page_13_Picture_9.jpeg)

GM Hydrogen 3

![](_page_13_Picture_11.jpeg)

### Toyota/Hino FCHV-BUS

![](_page_13_Picture_13.jpeg)

Suzuki MRwagon-FCV

![](_page_13_Picture_15.jpeg)

![](_page_13_Picture_17.jpeg)

 $\mathbf{T}$ 

![](_page_13_Picture_18.jpeg)

![](_page_14_Figure_0.jpeg)

![](_page_15_Picture_0.jpeg)

![](_page_15_Picture_1.jpeg)

トヨタ FCHV

![](_page_15_Picture_3.jpeg)

日産 X-TRAIL FCV

![](_page_15_Picture_5.jpeg)

ホンダ FCX

![](_page_15_Picture_7.jpeg)

三菱 FCV

![](_page_15_Picture_8.jpeg)

![](_page_15_Picture_9.jpeg)

![](_page_15_Picture_10.jpeg)

ダイハツMove FCV スズキ MR Wagon FCV GM/OPEL HydroGen3 Daimler F-Cell

![](_page_15_Picture_12.jpeg)

![](_page_15_Picture_13.jpeg)

![](_page_15_Picture_14.jpeg)

![](_page_15_Picture_15.jpeg)

Ford Focus FCV トヨタ/日野 FCHV- BUS2 Daimler FC Bus MAN FC Bus School of Engineering Tokyo Institute of Technology

![](_page_15_Picture_17.jpeg)

|

![](_page_16_Picture_0.jpeg)

#### ■商業用を意図したステーションの例

![](_page_16_Picture_2.jpeg)

ロサンゼルス空港。水電解式 無人水素ステーション

![](_page_16_Picture_4.jpeg)

ワシントンDCのGS併設水素 ステーション。液水貯蔵式

CA州移動式 水素ステーション

![](_page_16_Picture_7.jpeg)

HF-150型水素配送充填装置。 150kg貯蔵. 35MPa

![](_page_16_Picture_9.jpeg)

CEPベルリン。セルフ充填 液体水素貯蔵式と水電解式 School of Engineering

![](_page_16_Picture_11.jpeg)

## HyFleet: CUTE水素プロジェクト

![](_page_17_Picture_1.jpeg)

■ヨーロッパの9都市で燃料電池バス27台を走行させたCUTE プロジェクトが終了し06年1月にHyfleet:CUTEが発足した。

■Hyfleet:CUTEの概要

- 2006年1月から7都市(Amsterdam, Barcelona, Hamburg, London, Luxembourg, Madrid, Reykjavik)でバスを運行。
- ・新規に水素エンジンバス14台をベルリン交通局BVGが運行。
- ・ベルリンの交通局BVGにバス用水素ステーションを設置
- ・普及のための調査研究、教育、国際協力の推進

![](_page_17_Picture_8.jpeg)

![](_page_17_Picture_9.jpeg)

![](_page_17_Picture_10.jpeg)

ロンドン

![](_page_17_Picture_11.jpeg)

![](_page_17_Picture_12.jpeg)

Tokyo Institute of Technology

![](_page_17_Figure_14.jpeg)

## ベルリンCEP水素自動車実証プロジェクト

CEP (Clean Energy Partnership) はベルリン市内で水素自動車を 走行させる政府支援の大型プロジェクト。(期間: 2002年~2007年)

自動車会社	Daimler: F-Cell,10台. Ford: Focus,3台 Opel: HydroGen3,1台(LH <sub>2</sub> ) BMW: Series7,2台(LH <sub>2</sub> ) 合計16台		
Daimler/Chrysler Ford, GM, BMW			
燃料、機器、交通会社	ARAL水素ステーション(04.11完) (水雷解と液体水素貯蔵)		
Aral, Total, Vattenfall Linde, Hydro/GHW, BVG	TOTAL水素ステーション(06.3完)           (LPG改質と液体水素貯蔵)		

![](_page_18_Picture_3.jpeg)

![](_page_18_Picture_4.jpeg)

![](_page_18_Picture_5.jpeg)

![](_page_18_Picture_6.jpeg)

![](_page_18_Picture_7.jpeg)

HESS 岡野一清氏

のご厚意による

19

カリフォルニア州水素ハイウエーネットワーク

![](_page_19_Picture_1.jpeg)

Schwarzenegger 知事がCA州のHydrogen Highway Network (CaH2Net)構想を2004.4に発表し2005.3月に最終計画完成。 ■水素ステーションと車両導入目標

Phase	水素ステーション数	普通車	大型車
Ph.1 (2010年)	50~100(大都市中心)	2,000	10
Ph.2, Ph.3	250	20,000	300

### ■環境目標と導入支援

・温室効果ガス削減:2010年、30%
・各ステーションでは水素の20%は 再生可能エネルギーで製造する。
・ステーション補助金: \$1.25M
・燃料電池車1台の補助金: \$10,000

推進担当:Cal/EPA(州環境局)

![](_page_19_Picture_7.jpeg)

2004.4.20 UC-DAVIS水素ステー ション開所式に出席したS知事

**Mathebric School of Engineering** 

Tokyo Institute of Technology

![](_page_20_Figure_0.jpeg)

![](_page_21_Figure_0.jpeg)

## スカンジナビア水素ハイウエー計画

- ■ノルウエー、デンマーク、スエーデン の北欧3国南西部に水素ハイウエーを 構築する組織 Scandinabian Hydrogen Highway Partnership (SHHP)が2006 年6月に発足。
  - ■既に北欧3国で個別に発足しているプロ ジェクトを連携して推進する。

![](_page_22_Figure_3.jpeg)

![](_page_22_Figure_4.jpeg)

HESS 岡野一清氏

のご厚意による

![](_page_22_Picture_5.jpeg)

Tokyo Institute of Technology

![](_page_22_Picture_7.jpeg)

## 固体高分子形燃料電池内のミクロ現象解明と高性能化

## PEFC普及のための必須課題

- ・耐久性の向上(5000-80000h)(劣化の克服)
- · 高効率化(>60 %)
- •高出力密度化(>2.0 MW/m<sup>3</sup>)
- ・白金使用量の大幅低減,もしくは白金代替触媒
  ・低コスト化(<1/100)</li>

 $\mathbf{\nabla}$ 

#### 燃料電池自動車(FCV)および定置型燃料電池の導入シナリオ(開発目標)

#### AIST 竹中啓恭 による <燃料電池実用化推進協議会資料より>

![](_page_24_Figure_2.jpeg)

**M** School of Engineering

|

## 実際のFCの構造(現在のPEFC)

![](_page_25_Figure_1.jpeg)

![](_page_26_Figure_0.jpeg)

## 化石燃料(天然ガス、石炭)からの水素製造技術

## 都市ガスからの純水素製造

![](_page_27_Figure_2.jpeg)

![](_page_27_Picture_3.jpeg)

#### Tokyo Institute of Technology

28

 $\mathbf{\nabla}$ 

## 水素分離型改質器の原理

![](_page_28_Figure_1.jpeg)

29

![](_page_29_Picture_0.jpeg)

30

☆

![](_page_29_Picture_2.jpeg)

Tokyo Institute of Technology

## 石炭からのCO2回収型水素製造技術(HyPr-RING)

![](_page_30_Figure_1.jpeg)

## COGからの液体水素製造供給実証試験

![](_page_31_Figure_1.jpeg)

		100			
コークス	ス炉力	ブスの代	表的約	且成(%	)
H <sub>2</sub>	CH4	CmHn	co	CO <sub>2</sub>	N2
56	30	3	6	2.5	2.5

School of Engineering

(en)

![](_page_31_Picture_3.jpeg)

32

#### Tokyo Institute of Technology

		H。生産能力	CO2生産量	
企業名	製油所名(所住地)	(Nm³/d)	(t/y)	
	安蘭 (北海道安蘭市)	590,000	1,329,457	
	至爾 (北海道至阗印)	1,070,000	2,411,048	
	仙台 (宮城県仙台市宮城野区)	17,000	38,306	
	根岸 <b>(神奈川県横浜市磯子区)</b>	649,000	1,462,402	
新日本石油	横浜(神奈川県横浜市神奈川区)	17,000	38,306	
	大阪 (大阪府高石市)	341,000	768,381	
	<b>水</b> 良(四山頃会敷古)	1,046,000	2,356,969	
	水島 (岡山県倉敷市)	480,000	1,081,592	
	麻里布(山口県玖珂郡和木町)	288,000	648,955	
昭和四日市石油	四日市(三重県四日市市)	1,120,000	2,523,714	
西部石油	山口(山口県山陽小野田市)	1,200,000	2,703,980	
	山楂(油本川周川楂市川楂豆)	750,000	1,689,987	
******	川崎(仲奈川朱川崎们川崎区)	550,000	1,239,324	
東盔セイフル石油	堺 (大阪府堺市)	640,000	1,442,122	
	和歌山(和歌山県有田市)	580,000	1,306,923	
極東石油	千葉(千葉県市原市)	850,000	1,915,319	
		765,000	1,723,787	
	水島(岡山県倉敷市)	864,000	1,946,865	
ジャパンエナジー		720,000	1,622,388	
	なる(みな道な名主)	740,000	1,667,454	
	知多 (変知県丸多巾)	480,000	1,081,592	
鹿島石油	鹿島(茨城県神栖市)	900,000	2,027,985	
	北海道(北海道苫小牧市)	1,792,000	4,037,943	
11.12.070.72	千葉 (千葉県市原市)	1,380,000	3,109,577	
出光興産	愛知(愛知県知多市)	1,800,000	4,055,969	
	徳山(山口県周南市)	510,000	1,149,191	
東亜石油	京浜(神奈川県川崎市川崎区)	930,000	2,095,584	
	千葉(千葉県市原市)	648,000	1,460,149	
	四日市(三重県四日市市)	320,000	721,061	
コスモ石油	堺 (大阪府堺市西区)	300,000	675,995	
	作业 (条则道传业主)	300,000	675,995	
		600,000	1,351,990	
九州石油	大分 (大分県大分市)	400,000	901,327	
太陽石油	四国(愛媛県今治市)	51,400	115,820	
		23,688,400	53,377,458	

### 石油精製プラントから発生 するCO2量の推計

ナフサ改質水素製造

フル稼働で 年間5300万トンのCO2発生 水素製造:年間80億Nm<sup>3</sup>

**Mathebric School of Engineering** 

#### Tokyo Institute of Technology

33

![](_page_33_Picture_0.jpeg)

## 燃料電池車の市場導入目標と水素所要量、投資額

### ■ 経済産業省の市場導入目標

年	燃料電池車	水素需要量	水素ステーション数
2005- 2010	5万台	4億Nm <sup>3</sup>	500ヵ所
2010- 2020	500万台	65億Nm <sup>3</sup>	3,500ヵ所
2020- 2030	1,500万台	170億Nm <sup>3</sup>	8,500ヵ所

### ■水素ステーションの建設投資

年	水素ステーション数	投資額	
2005- 2010	500ヵ所	1,500億円 (@3億円)	
2010- 2020	3,500ヵ所	7,000億円 (@2億円)	
2020- 2030	8,500ヵ所	17,000億円 (@2億円)	

注。2020-2030年のステーションは規模が大きくなりコストが 高くなるがコスト低減を折り込んで単価は据え置きとした。

34

Ţ

## CO2回収型水素タービン発電所

## 米国の500MW水素タービン発電所

事業者: BP、Edison Mission Gr. 設置場所:カリフォルニア州ロス近郊 Carson 発電設備: 500MW水素タービン(250MW×2) 水素製造:ペトロコーク5,000t/dayをガス化 CO<sub>2</sub>処理:CO<sub>2</sub>削減年間400万t(車100万台の

排出量相当。Occidentalの油田注

運転開始:2011年 投資額:10億ドル

設置場所のBP製油所

![](_page_34_Picture_7.jpeg)

![](_page_34_Picture_8.jpeg)

HESS 岡野一清氏

のご厚意による

School of Engineering

Tokyo Institute of Technology

 $\mathbf{r}$ 

### 水素の酸素燃焼による新サイクル

- ・燃焼生成物:水蒸気のみ(希釈ガスが水蒸気のみの場合)
- ・ガスタービンと蒸気タービンの長所を兼ね備えた複合サイクル以上の性能
   (ブレイトンサイクル+ランキンサイクルの自動複合化)

![](_page_35_Figure_3.jpeg)

![](_page_35_Picture_4.jpeg)

![](_page_36_Picture_0.jpeg)

**School of Engineering** 

![](_page_36_Picture_3.jpeg)

37

### 可逆セルスタックを用いた電力負荷平準化システム

School of Engineering

![](_page_37_Figure_1.jpeg)

 $\mathbf{\nabla}$ 

Tokyo Institute of Technology

#### 業務用建物設備における水素/電力供給ステーション~

![](_page_38_Figure_1.jpeg)

₼

## <u>総合的地球温暖化対策</u> <u>石炭ガス化・CO2隔離・水素利用技術の統合</u>

![](_page_39_Picture_1.jpeg)

![](_page_39_Figure_2.jpeg)

School of Engineering

Tokyo Institute of Technology

40

![](_page_40_Picture_0.jpeg)

![](_page_40_Picture_1.jpeg)

![](_page_40_Figure_2.jpeg)

School of Engineering

Tokyo Institute of Technology

41

![](_page_41_Picture_0.jpeg)

### 水素パイプラインは水素の大量配送に不可欠。海外の実績豊富。

日本	・10km程度のパイプライン
	製鉄所構内、コンビナート内
米国	▪各所の合計 1,320km
	Texas, Louisiana, LAほか
EU	・仏-ベルギー間 900km
	•独) Ruhr 200km, Luena 135km
	<b>・</b> オランダ、イギリス

水素パイプライン

共通仕様:3~12in圧力配管用炭素鋼鋼管 使用圧力 2~12MPa 課題

- ・建設コストの低減
   ・圧力配管用炭素鋼鋼管の水素脆性
   試験データ不足(日本)
- •天然ガス・水素兼用パイプライン

![](_page_41_Picture_6.jpeg)

### 持続可能社会への現実的な中間シナリオの構築と複合化システム技術開発

![](_page_42_Figure_1.jpeg)

2010-2020年頃の実現に向けて、今から技術開発の行動を起こすべき 43

**Mathebric School of Engineering** 

Tokyo Institute of Technology

![](_page_42_Picture_5.jpeg)

## <u>水素社会に向けたビジョン(まとめ)</u>

長期ストラテジー

・再生可能エネルギーの大量導入 (×100-1000)

•海外の余剰自然エネルギーの利用(エネルギーキャリア?)

<u>現実的な中間シナリオ</u>(時間スケール、空間スケール)

- (たとえ、現在の正味寄与が小さいか、マイナスであっても)
- ・水素自動車 (IC-engine, PEFC) ・小型分散コジェネ
- ・インフラ整備、輸送・貯蔵・供給システム、水素コミュニティー
- ・エネルギーキャリアとしての水素の多角的機能の活用技術

(エネルギー変換、輸送、貯蔵) (エネルギー・物質 産業コンプレックス) ・水素利用分散エネルギーシステムの最適化 (PEFC, MGT)

・化石燃料、バイオマス等からの高効率、高速、大量水素製造

および副生水素の活用 (CO2回収隔離とのインテグレーション)

- ・PEFCのコスト大幅低減、耐久性の格段の向上
- ・安全性の確立、水素の規制緩和、社会受容性の醸成、継続的政策