

2002年度第7回水素エネルギー協会研究会

燃料電池自動車と水素インフラ
の開発現状と課題

2002. 2. 21

岡野一清

(財) エンジニアリング振興協会
WE-NET推進室

ENAA

2002年度第7回水素エネルギー協会研究会

燃料電池自動車と水素インフラ の開発現状と課題

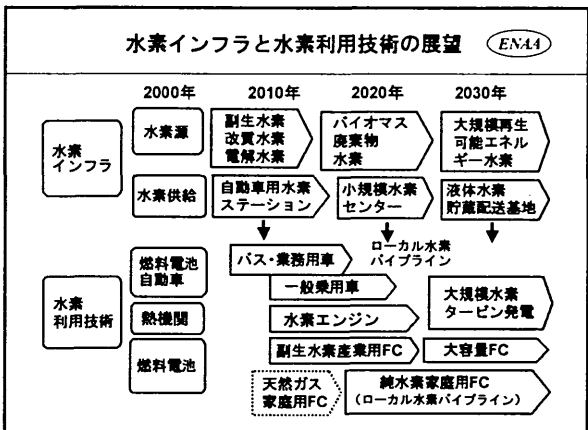
2002. 2. 21

岡野一清

(財) エンジニアリング振興協会 (ENAA) WE-NET推進室

講演内容 (ENAA)

1. 燃料電池自動車の課題と開発状況
2. 自動車への水素搭載技術の課題と開発状況
3. 世界の水素自動車デモプロジェクトと水素ステーションの開発状況
4. WE-NET計画における水素ステーションの開発と日本における水素インフラの展望
5. 今後の開発が期待される技術
6. 水素ステーションの設置に関する課題と展望
7. まとめ



燃料電池自動車の課題と開発状況

燃料電池車に要求される性能と課題 (ENAA)

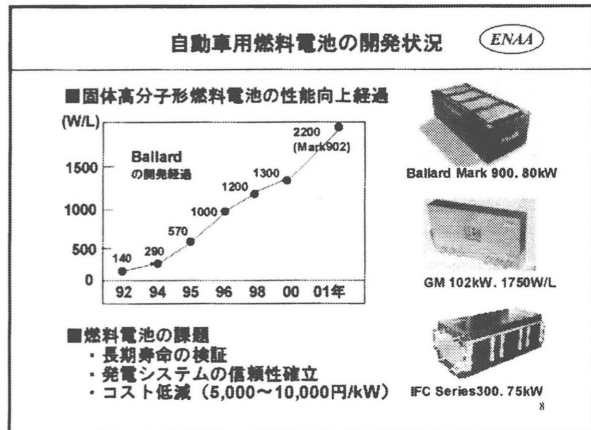
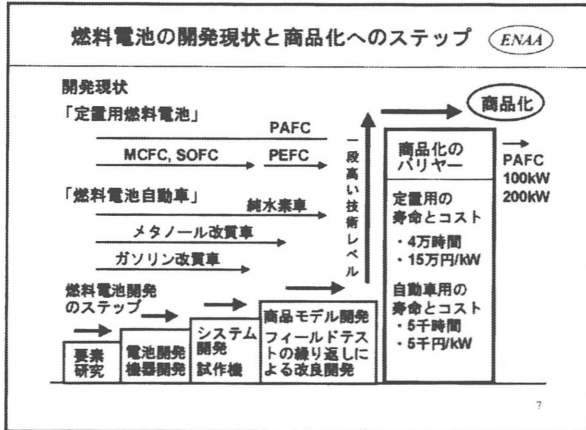
燃料電池の本質的弱点をどのように克服するかが課題

要求性能		課題と対策
起動時間	2分以内	冬期は特に厳しい 改質型は起動時の不純物排除要 電池と改質用純水の凍結防止要 純水素車は対策要
周囲温度	-40℃~80℃	業務用車は用途により問題なし 問題なし。MH合金車も可
走行距離	300マイル (480km)	水素の価格によるが対応可能 問題なし
燃料充填	10分以内	バッテリーとのハイブリッドで可 改質器、電池等の耐久性検証要
燃料費	既存車並み	
電池寿命	5000時間	
負荷追従性	瞬時	
起動停止	数万回	

燃料電池の課題と解決に必要な技術開発 (ENAA)

項目	課題と目標	技術開発内容	
電池スタック	電解質膜	機械的強度、耐久性向上 耐熱性の向上(120-150℃) 使用量低減(0.2-0.4g/kWh)	既存膜の改良 対高温膜の開発 白金担持量の低減
	電極触媒	耐久性向上 耐CO被毒性能向上 薄型、耐食性、低コスト化 低価格ガス拡散基材	セルの劣化機構解明 耐CO被毒性能触媒開発 新セパレータ材料 カーボン紙量産技術
改質装置	定置用	耐久性向上(耐久1000h) 低コスト化、小型軽量化	設計構造の改良開発 CO分離膜型CO除去器
	自動車用	起動時間短縮(2分以内) 耐久性向上(数万100%)	設計構造の改良開発 70-80℃での実証
発電装置全体	補機と発電装置	耐久性と信頼性の向上 装置全体のコスト低減 冬季の凍結防止(自動車用) 排熱回収の効率向上 高温排熱回収	補機の信頼性向上 70-80℃での実証 電池系、改質系凍結防止 高効率熱交換システム 電池運転温度の上昇

2001.8 燃料電池実用化戦略研究会



自動車への水素搭載技術
の課題と開発状況

各種水素燃料搭載方法の課題と対策の現状 ENAA

■水素吸蔵合金タンク

- 重量当りの吸蔵量小(2.6wt%)
- 現状では最大300km程度で不十分(目標5.5wt%)
- 10分以内の急速充填は可能(WE-NETで検証済)

■コンポジット高圧ガス容器(25, 35MPa)

- 走行距離短い(貯蔵量小, 35MPaで300km)。70MPaに期待。

■液体水素タンク

- ボイルオフガスの発生が課題。高圧断熱容器に期待。

■水素化合物

- 水素放出後の生成物回収と水素の再充填が課題。

13


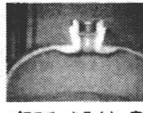

自動車搭載用圧縮水素容器の開発状況 ENAA

アルミ又はプラスチックライナーをカーボン繊維と樹脂で補強した圧縮水素容器の軽量化、高圧化、複合化技術が海外で急速に進展中。

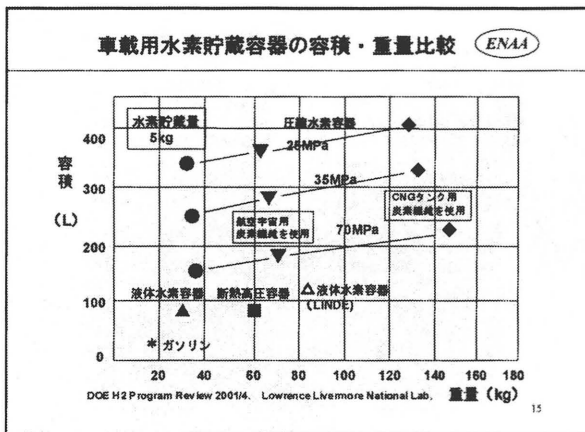
■主要メーカー：米国) QUANTUM, Thiokol, ATP-Lincoln, SCI
カナダ) Dynetek

■容器の開発状況


	現在の容器		試作完了	開発中
貯蔵圧力 (MPa)	25	35	35	70
貯蔵量対重量比率(wt%)	6	8.5	11.3	7.6 ~

アルミライナー容器 プラスチックライナー容器 70MPa試作容器 14



自動車搭載用液体水素タンク ENAA

Lindeの円形タンク (BMW搭載) 140L、高真空多層断熱構造 Lindeの直形タンク (内部補強板付き) 高真空多層断熱構造

液体水素タンクの課題：
ボイルオフガスの発生抑制対策 (断熱構造の高性能化、耐圧断熱容器の開発など)

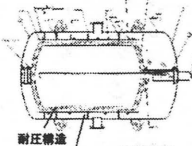


16

車載用断熱高圧水素容器の開発 ENAA

LLNL(Lawrence Livermore National Lab.)と容器メーカーのSCI (Structural Composite Industry)が、DOEプロジェクトで車載用断熱高圧容器を共同開発した。数年後に実用化可能。

特長

- 液体水素のボイルオフガス発生を抑制する
- 液体水素と圧縮水素が両方使用できる。

耐圧構造 真空断熱構造 容器断面 圧力容器外観 容器ノズル部
(DOE H2 Program Review 2001/4. LLNL発表資料) 17

世界の水素自動車のデモプロジェクトと水素ステーションの開発状況

ベルリンの水素自動車プロジェクト ENAA

2001年から5年間のプロジェクトで、ベルリン市内で燃料電池車や水素エンジン車を走行させるデモプロジェクト。

CPE(Clean Energy Partnership Berlin)

- 燃料供給: ARAL, Linde, GHW, Verbund, E-on
- 車両提供: Daimler-Chry., Volkswagen, BMW, MAN

水電解装置 → 液化設備 (LH₂) → 液体水素ステーション / 水素ガスステーション

メタノール → 液体水素ステーション

車両: 水素エンジン車両, BMW水素エンジン車, EVECO燃料電池バス

19

Las Vegas 水素ステーション ENAA

■ DOE/ Las Vegas FC/水素ステーションプロジェクト
50kW PEFC発電装置、燃料電池車、ハイタンクエンジン車、CNG車へ水素とCNGを供給するシステムを2002年に設置。

液体水素 → LH₂ → 50kW PEFC → 圧縮機 → 水素貯蔵 → CNG/H₂ → 天然ガス貯蔵 → 天然ガス/水素混合装置 → 圧縮機 → CNG車, ハイタンク車, 純水素車

天然ガス → 改質装置/精製装置 → 天然ガス貯蔵

天然ガス → 圧縮機 → CNG車

DOE PROGRAM REVIEW, 2001.4.17, Baltimore 20

イタリーミラノの水素プロジェクト ENAA

1996年に実証試験を終了した1.3MWリン酸形燃料電池用天然ガス改質装置を活用して水素を製造して利用する。(ENEAの支援プロジェクト)

水素製造: 天然ガス改質装置

- 500kW MCFC 燃料電池発電 (2004年)
- 25MW天然ガスと水素混焼火力発電所
- CO₂でミネラルウォーター生産

液化設備 (LH₂) → 鉄道駅 (2007年) / 液体水素ステーション (2003年) / 水素ガスステーション (2003年)

車両: 水素エンジン車両, BMW水素エンジン車, EVECO燃料電池バス

21

燃料電池と水素SSの複合システム構想 ENAA

■工場敷地内設置型 (外販用LH₂を工場敷地内に設置)

天然ガス → 改質・精製・貯蔵装置 (水素発生量: 500m³/h) → 純水素(99.99%) → 産業用燃料電池 (250kW) / 水素LH₂ (200台/日)

系統運保 ←

特長・水素貯蔵、FC、ステーションの負荷変動が調整でき、改質器の連続運転が可能。
・総合運転効率向上。
・燃料電池車の台数が少ない導入初期に有効。

■水素センターから家庭への水素供給型 (500戸)

天然ガス → 水素センター(改質型) (水素発生量: 500m³/h) → パイプライン (純水素(99.99%)) → 各家庭用燃料電池 (1kW) / 水素LH₂ (120台/日)

系統運保 ←

特長・家庭用FCの純水素運転 (短時間起動、総合運転効率向上、設置面積小)
・改質器の連続運転が可能
課題・家庭への水素配送のため水素用付具の開発要。

燃料電池バス導入を計画中の世界の都市 ENAA

国	都市	国	都市
米国	Palm Springs* SF湾岸地域 Las Vegas	ドイツ	Hamburg Stuttgart Berlin, Barth Muenchen
ブラジル	Sao Paulo	イタリア	Milan, Torino
メキシコ	Mexico**	オランダ	Amsterdam
オーストラリア	Perth	スペイン	Barcelona
中国	北京、上海**	英国	London
インド	New Delhi**	ルクセンブルグ	Luxembourg
エジプト	Cairo**	ポルトガル	Porto
アイスランド	Reykjavik	スウェーデン	Stockholm

合計16カ国、24都市。*印: 導入済
**印: 国連 Global Environmental Facility(GEF)プロジェクト

California Fuel Cell Partnership (圧縮水素供給ステーション) ENAA

方式: 液体水素を貯蔵し気化して高圧容器に圧縮貯蔵、車に充填。
水素充填圧力: 25MPaと35MPaディスペンサーを2台設置


左: 高圧(35MPa) 35MPaディスペンサー
右: 高圧(25MPa) 25MPaディスペンサー

液体水素気化器 容量気化 2.9MPa
圧縮機 5段レシプロ 流量式 160m³/h 44kW

Palm Springs 水素自動車プロジェクト ENAA

水素ステーション（純水素、ハイタンガス）
 ・アルカリ水電解型：38Nm³/h
 ・天然ガス改質型：120Nm³/h、加圧型（0.7MPa）
 ・圧縮水素貯蔵容器：2,700Nm³/22MPa




燃料電池バスに水素を充填中
太陽電池と水素貯蔵トレーラ²⁵

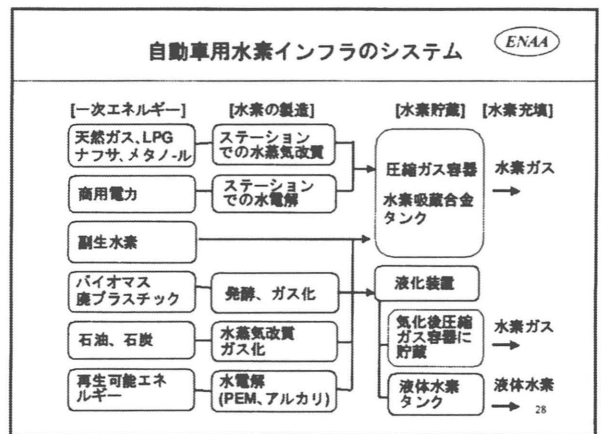
イタリーミラノのCNGステーション ENAA

都市の景観を損なわない美しいデザインのCNGステーション




場所：ミラノ市内

WE-NET計画における水素ステーションの開発と日本における水素インフラの展望



燃料電池車と水素ステーションの導入目標 ENAA

■燃料電池実用化戦略研究会の燃料電池車導入目標

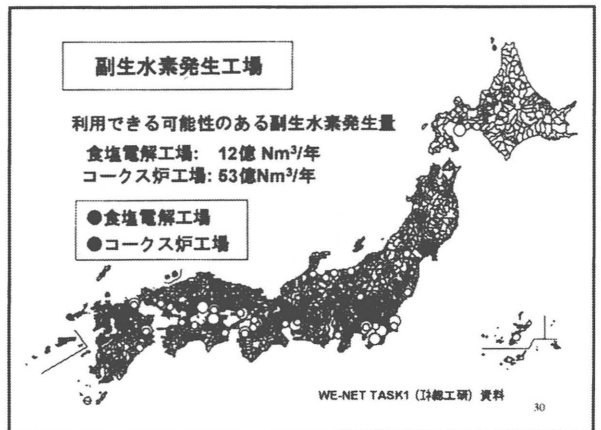
年	～2010	～2020
導入目標	50,000台	500万台

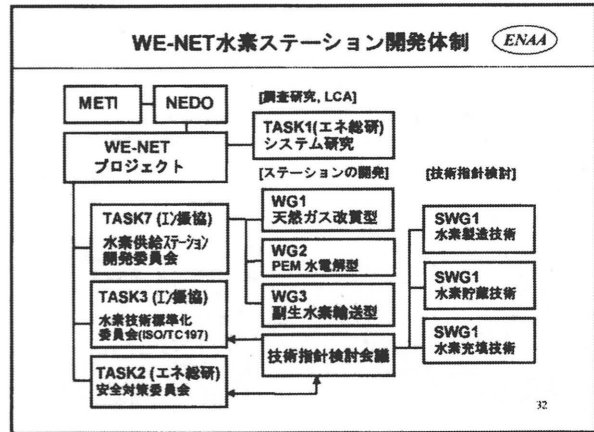
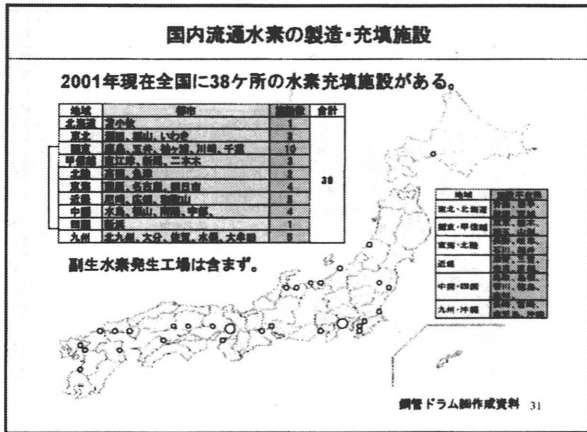
■2020年の水素消費量と水素ステーション設置数予測

- ・水素消費量：37.5 億Nm³/年
- ・水素ステーションの設置数：4,000

■水素ステーションの規模 (車1台の充填量: 30Nm³)

水素製造量	貯蔵量	1日の充填台数	1ヶ所の受持台数
200 Nm ³ /h	2,400 Nm ³	160 台	1,152 台
300	3,600	240	1,728

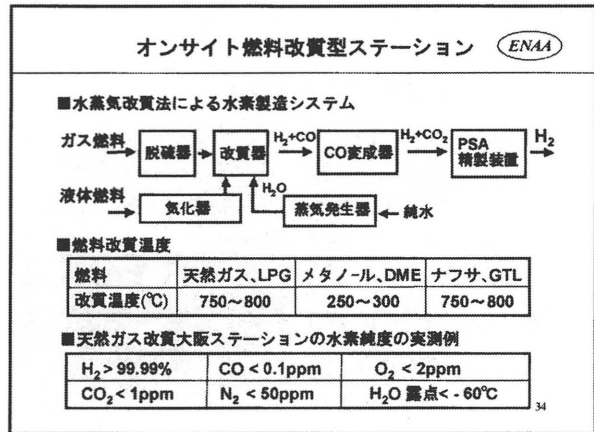




WE-NET 水素ステーション仕様

	天然ガス改質型	PEM水電解型
一日の充填可能台数	24~30台	24~30台
水素製造装置	天然ガス改質: 30Nm ³ /h	PEM水電解: 30Nm ³ /h
高圧水素貯蔵装置 (35MPa H ₂ 充填用)	640Lx40MPa 高圧シリンダー	750Lx40MPa 高圧シリンダー
低圧水素貯蔵装置 (0.7MPa H ₂ 充填用)	30Nm ³ x2 MH (LaNi ₅) タンク	30Nm ³ x2 MH (Ti, Zr) タンク
水素純度と精製装置	H ₂ : 99.99% PSA 精製装置	H ₂ : 99.99% Pd触媒除去器、除湿器
ディスペンサー供給圧力	25/35MPa H ₂ 0.7MPa H ₂	25/35MPa H ₂ 0.7MPa H ₂
充填時間	10分以内	10分以内

33



燃料改質型水素ステーションの特長と課題

■特長と課題

- 既存燃料インフラの利用可
- 水素のコストが比較的安価
- 改質器の設計の自由度大
- 起動時間は3~5時間を要す。
- 頻繁な起動停止は不可。
- 都市景観を損なわない外観。

パッケージ型商業用天然ガス改質・精製装置 300-500Nm³/h, 常圧型

■天然ガス改質大阪ステーションの水素純度の実測例

H ₂ > 99.99%	O ₂ < 2ppm
CO < 0.1ppm	露点 < -60°C
CO ₂ < 1ppm	N ₂ < 50ppm

天然ガス改質・精製装置 (大阪) 30Nm³/h, 常圧型

35

各種天然ガス改質装置

(電力研究用) 500kW燃料電池用(500Nm³/h級)改質装置 (ビル用)

(実験研究用) 水素ステーションの50~100Nm³/h級改質装置

36

WE-NETの天然ガス改質水素ステーション (ENAA)

■ 水素供給圧力：

- ・ 圧縮水素搭載車：25MPa, 35MPa
- ・ 水素吸蔵合金搭載車：0.7MPa


■ 設置場所：大阪市西島大阪ガス用地内

■ 水素製造能力：30Nm³/h

■ 水素純度：99.99%

■ 完成期日：2001年10月

水素ステーション全景




改質器




50kW常圧型
燃料電池用
改質装置

蓄圧器



圧縮機



WE-NET大阪水素ステーション竣工式 (2002.2.7)



プロジェクトの概要説明



報道各社




テーブルカット




燃料電池車の水素充填


Refueling Ceremony in Osaka




Toyota



Honda



Nissan



Daihatsu

水電解型水素ステーションの特長と課題 (ENAA)

特長と課題


- ・ 起動時間が数10分で短かく操作性が良い。
- ・ オフピーク電力の利用可能。
- ・ 加圧型が容易に作れる。
- ・ セルの効率が低い
- ・ PEM水電解装置のコスト低減
- ・ PEM水電解セルの長期寿命

水素純度実測値


- ・ 水素純度：99.999%
- ・ O₂<1ppm
- ・ 露点 - 60℃以下

高松ステーション水電解装置

セル面積：1000cm²
25セル×2スタック
0.6MPa加圧型
セル効率：90%
能力：30Nm³/h
(Max1.5Aの時)



PEM電解スタック



高松市西園総合研究所に設置

WE-NET水電解型水素ステーション (ENAA)

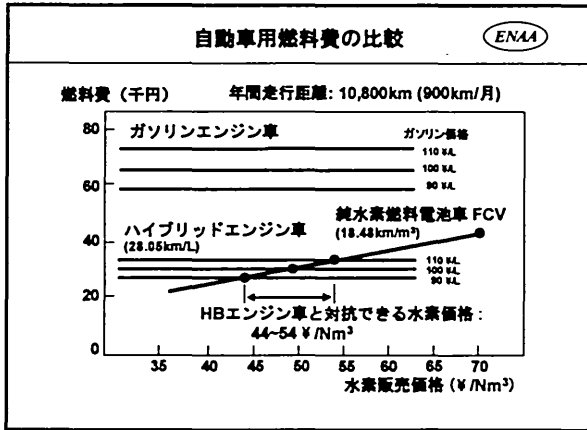
水電解装置：固体高分子電解質型。30Nm³/h, 0.6MPa加圧型
1,000cm² 25セル×2スタック, 1~1.5A/cm²
供給圧力：>1MPa, 25, 35MPa。水素純度：99.999%



水素ステーション全景 (高松市 西園総合研究所構内)

純水素燃料電池車の総合効率 (ENAA)

天然ガス		燃料効率		車両効率		総合効率
掘削、液化、輸送、貯蔵、 気化、配送、改質、圧縮	水素 56.1%	純水素 燃料電池車		50%	28%	
		天然ガス エンジン車		16%		
掘削、液化、輸送、貯蔵、 気化、配送、圧縮	天然ガス 73.9%	天然ガス エンジン車		16%	12%	
		ハイブリッド エンジン車		27%		
石油		掘削、輸送、貯蔵、精製、 配送、貯蔵	ガソリン エンジン車		16%	13%
			ハイブリッド エンジン車		27%	



今後の開発が期待される技術

- 今後の開発が期待される技術 (1)** ENAA
- 定置用燃料電池
 - ・低コスト化及び耐久性向上 (特性低下要因解明)
 - 自動車用燃料電池
 - ・小型軽量化 (出力密度向上)
 - ・メンテナンスフリーのシステム
 - ・低コスト化
 - ・信頼性の高い発電システム
 - 自動車用水素貯蔵技術
 - ・70MPa高圧軽量圧縮水素容器。
 - ・5wt%以上の有効吸蔵率を有する水素吸蔵合金
 - ・炭素系等高性能水素貯蔵材料の実用化
 - ・ポイルオフの少ない液体水素タンク

- 今後の開発が期待される技術 (2)** ENAA
- 水素ステーション
 - ・小型、高効率、低コストの水素ステーション機器 (天然ガス装置、精製装置、圧縮機、水素貯蔵装置)
 - ・頻繁な起動停止に耐える小型改質器
 - ・低コストで長寿命の固体高分子水電解装置、
 - ・水素吸蔵合金利用システム (加熱・冷却エネルギー最小の貯蔵装置、静止型水素圧縮機)
 - ・70MPaステーション対応機器 (圧縮機、貯蔵設備、バルブ、ディスペンサー)
- 46

- 今後の開発が期待される技術 (3)** ENAA
- 水素製造、液化技術
 - 1) 小型、高効率水素液化装置 (副生水素液化用)
 - 2) CO₂を発生させない天然ガス利用水素製造装置
 - ・プラズマ法 (Kværner CB&H processなど)
 - ・カーボンブラックと水素を生産
 - ・炭素触媒流動床改質法
 - ・メタン直接改質(ゼオライト触媒)法
 - CH₄ + 3/2H₂ + 1/6C₆H₆ (水素とベンゼンを生産)
 - ・その他
- 47

水素ステーションの設置に関する課題と展望

水素ステーションの設計に必要な要件 (ENAA)

1. 安全
機器の安全対策、自動運転システム、過充填防止対策
防災対策、安全操作
2. 省エネルギーシステム
高効率機器、省エネルギー運転制御
3. 環境調和
有害物質の排出なし
低騒音
周囲の景観に調和する機器外観（パッケージ収納）
4. 低設備価格
市場の要求価格で水素が供給できるような設備価格
(低価格、コンパクト設計)

49

水素ステーションの障害となる現在の法規制 (ENAA)

■建築基準法施行令第116条及び第113条の9。燃料の許容貯蔵量。

	住居地域	商業地域	準工業地域	工業地域
圧縮水素(可燃性ガス)	35Nm ³	70Nm ³	350Nm ³	無制限
液体水素(液化ガス)	3.5 t	7 t	35 t	無制限
CNG(圧縮ガス)	350Nm ³	700Nm ³	3500Nm ³	無制限

水素ステーションは最大3600Nm³程度の貯蔵量が必要となる。

■消防法危険物政令17条
既存のガソリンスタンドとの併設不可。20m以上離すことが必要。

■高圧ガス保安法容器則7条1項
35MPa容器へ充填するための蓄ガス器として複合容器の使用不可。

■高圧ガス保安法一般則
ステーション設置時の保安距離が長い。
第1種設備17m、第2種設備11.3m、火気隔隔距離8m

50

水素ステーションの導入に必要な施策 (ENAA)

1. 国際標準化（水素コネクタ、車載水素の圧力ほか）
2. 水素ステーションの技術指針作成及び国の技術基準の策定
3. 現行法規の規制緩和
 - ・建築基準法による水素貯蔵量の規制
 - ・高圧ガス保安法による保安統括者等の選任、設備距離、火気距離、複合容器の蓄圧器圧力制限(35MPa)、試験圧力
 - ・水素ステーションと他の燃料スタンドは併設できない。
4. 一般市民の理解と協力を得るために有効な水素の啓蒙活動
 - ・水素燃料電池バスの市バス運行・学校教育
 - ・水素利用デモプロジェクト
5. 国の政策的導入支援。設備、運転経費補助制度。税制優遇措置
6. 関係業界の積極的支援、水素エネルギー業界団体の結成要

水素自動車と水素ステーションの展望 (ENAA)

2000 2005 2010 2020 年

水素利用技術と水素エネルギーの導入時期 (ENAA)

■短中期の主役は固体高分子形燃料電池

短中期における水素エネルギー導入の成否は、水素利用の中心となる燃料電池（自動車用と定置用）の信頼性確立とコスト低減が達成できるかどうかにかかっている。

■燃料電池自動車が水素エネルギー時代を開く

- ・2004年頃：純水素燃料電池バスの導入開始。
- ・2010年頃：純水素燃料電池乗用車の大々的普及開始。

■究極の水素インフラは液体水素の大量輸入により構築

- ・2004～2020年：副生水素、化石燃料や廃棄物からの水素利用。
- ・2020年頃：CO₂フリーの液体水素の大量輸入開始。

大容量水素燃焼タービン発電、燃料電池発電、水素エンジンなど発電分野に大量の水素が利用される。

まとめ (ENAA)

- 自動車用燃料電池の課題は信頼性とコストである。
- 圧縮水素容器技術が進展し、純水素燃料電池車の走行距離が増して、早期実用化の可能性が出てきた。
- 水素ステーションには多種多様な方式があり、地域の事情や用途に合った方式が選択される。
- 水素ステーションの技術は3年で完成するが、今後は、次世代技術の開発に挑戦すべきである。
- 水素の価格が44～54/Nm³であればガソリンハイブリッド車の燃料費にも対抗できる。
- バスを中心とした純水素燃料電池車のデモプロジェクトは水素の実用化技術を向上させるほか、市民の啓蒙に大きく貢献する。各地で実施すべきである。

51