

## FR-MR（高速炉とメンブレンリホーマー） による水素製造プラント概念

(FR-MR)

2003年2月27日

田下	正宣	(ARTECH)
安田	勇	(東京ガス)
小林	一登	(MHI)



2003.2.27 水素エネルギー協会 月例研究会

1

## 内容

1. 21世紀の環境とエネルギー
2. メンブレンリホーマー
3. 子力水素製造プラントの設計条件
4. FR-MRプラント概念
5. 経済性概算見通し
6. 結論



2003.2.27 水素エネルギー協会 月例研究会

2

### 1. 21世紀の環境とエネルギー

(1) 3E:  
 Environment... 二酸化炭素排出量制限 (GOP3)  
 Energy... 有限な化石資源  
 Economic... 持続性

ARIECH

2003.2.27 水素エネルギー協会 月例研究会 3

### (3) 原子力エネルギーの利用方法

(i) 現在は発電用のみに利用  
 電力の約1/3、1次エネルギーの約17%

(ii) 今後水素生産など化石燃料、バイオマスエネルギー等と  
 組み合わせ、省資源、CO<sub>2</sub>排出量削減を目指した総合エネ  
 ルギー供給産業への原子力エネルギー熱利用展開  
 (縦型エネルギー産業から横断型エネルギー産業へ)

ARIECH

2003.2.27 水素エネルギー協会 月例研究会 5

### (4) 総合エネルギー供給 (省エネ・CO<sub>2</sub>排出量削減)

原子力による水素生産  
 わが国の自動車全てを燃料電池車に替えた場合、必要水素量：  
 約1100億Nm<sup>3</sup>/年

水の電気分解	現在でも可能	高い	電力	? 4400億Kwh (100万Kwe級? 65基)
天然ガス改質	近い将来可能	安い	天然ガス	? 1100万トン (10万Kwe1級? 80基)
高温での水分解	研究開発段階	?	熱 (+電気)	2200億Kwh (100万Kwe級? 35基)

ARIECH

2003.2.27 水素エネルギー協会 月例研究会 6

### (5) 天然ガス水蒸気改質法

原理

• 原理

$$CH_4 + H_2O \rightleftharpoons CO + 3H_2 - 206KJ/mol$$

$$CO + H_2O \rightleftharpoons CO_2 + H_2 + 41KJ/mol$$

$$CH_4 + 2O_2 \rightarrow CO_2 + 2H_2O + 803KJ/mol$$

$$4H_2 + 2O_2 \rightarrow 4H_2O + 968KJ/4mol (23.1Kcal/4mol)$$

ARIECH

2003.2.27 水素エネルギー協会 月例研究会 7

### 核熱水素の意義

従来方法 (自己加熱)	核熱水素
吸熱分はメタンの燃焼(20.5%) システムはオープンサイクル 反応に必要な熱 (0.8) オープンシステムに伴うロス (効率) 0.8? 0.7 8, 6, 4, 3.2, 530?, 463, 6?, 2mol, 2.2?, 1.9?	吸熱分は原子力熱供給 システムはクローズサイクル 原子熱添加 クローズシステムに伴うロス(効率) 0.95 8, 9, 4, 9, 2, 3.8, 3.8, 2

ARIECH

2003.2.27 水素エネルギー協会 月例研究会 8

### (6) 効果 FCVの必要天然ガス量

1. 効率 %	50
2. 燃費 Km/N?	17 (=13.6 × 50/40)
3. 月間必要水素量 N? /M	60 (=1000 Km/17 Km/N?)
4. 月間必要メタン量 N? /M	
a. 核熱利用	16 (=60/4/0.95)
b. 従来方式	27 (=60/4/0.56)
5. 月間必要エネルギー量 万Kcal/M (メタンベース)	
a. 核熱利用	13.7 (=16 × 8570 Kcal/N?)
b. 従来方式	23.1 (=27 × 8570 Kcal/N?)
6. 月間必要天然ガス量 N? /M	
a. 核熱利用	17.8 (=16/0.9)
b. 従来方式	30 (=27/0.9)
7. 月間必要エネルギー量 Kcal/M (天然ガスベース)	
a. 核熱利用	17.4 (=17.8 × 9800 Kcal/N?)
4100万J/N? /4.1854 J/cal	
b. 従来方式	29.4 (=30 × 9800 Kcal/N?)

ARIECH

2003.2.27 水素エネルギー協会 月例研究会 9

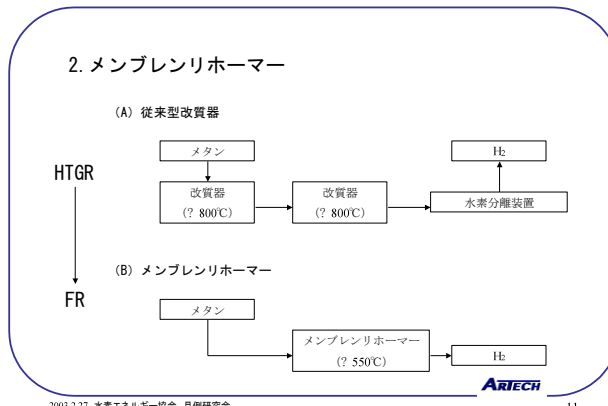
ガソリン・ディーゼル車とFCVの必要天然資源量比較

型式	従来型		FCV		
	ガソリン	ディーゼル	従来方式	核融方式	
燃料効率(%)	16	20	50	17	
燃費Km/l (Km/m <sup>3</sup> )	15	20.5	軽油	水素	
燃料	ガソリン	軽油	3050Kcal/Nm <sup>3</sup>	60Nm <sup>3</sup>	
燃料発熱量	8400Kcal/?	9100 Kcal/?	49 ?	18.3万Kcal	1000Km/M
月間必要燃料	67 ?	45.1万Kcal	21.4? 23.1	13.7	18.3/56=0.33
月間必要エネルギー	56.3万Kcal	45.1万Kcal	0.42? 0.45	0.27	(16/50=0.32)
月間必要天然資源	種類	ガソリン	軽油	メタンガス	
	量	67	49	25? 27Nm <sup>3</sup>	16Nm <sup>3</sup>
	1材料-(万Kcal)	平均50.7		21.4? 23.1	13.7
相対比	1		0.42? 0.45	0.27	

ARIECH

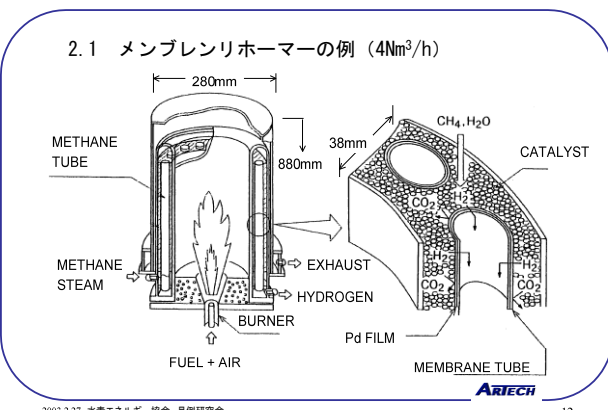
2003.2.27 水素エネルギー協会 月例研究会

10



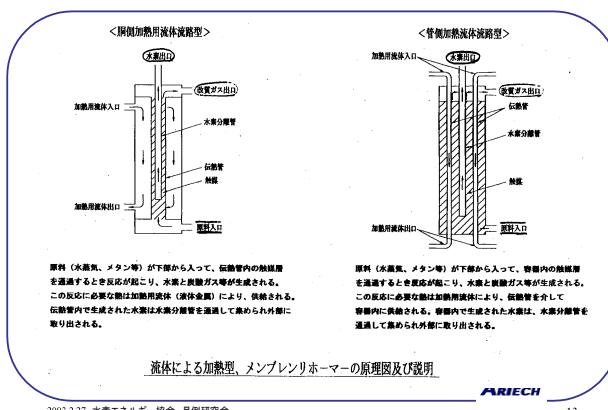
2003.2.27 水素エネルギー協会 月例研究会

11



2003.2.27 水素エネルギー協会 月例研究会

12



2003.2.27 水素エネルギー協会 月例研究会

13

3. 原子力水素プラント設計条件

3.1 役割 : NSSS→NHSS (NUCLEAR HEAT SUPPLY SYSTEM)  
→水素製造プラントへの熱供給補助システム

3.2 容量 : 240Mwt FR (H<sub>2</sub>? 14億 m<sup>3</sup>/Y)  
180万台の燃料電池車へ水素供給

3.3 サイト : 工業地帯

ARIECH

2003.2.27 水素エネルギー協会 月例研究会

14

3.4 安全要求

(1) 原子炉施設と水素製造施設の分離  
水素製造施設事故時の原子炉施設の防護

(2) 原子炉の高い安全性  
消費地近効立地

ARIECH

2003.2.27 水素エネルギー協会 月例研究会

15

3.5 運転性

水素製造プラントの保守に従った燃料交換・保守最小2年間隔

3.6 規格・基準

原子炉施設：炉規法等

水素プラント：高圧ガス保安規定等



4. プラント設計

4.2 基本仕様

- (1) 炉型ナトリウム・・・冷却高速炉
- (2) 炉熱出力・・・・・・240MWt
- (3) 水素製造方式・・・・・・メンブレン改質器方式による天然ガス水蒸気改質法
- (4) 水素製造能力・・・・・・200,000 m<sup>3</sup>/h
- (5) 天然ガス供給量・・・・・・50,000N m<sup>3</sup>/h



4.3 系統設計

(1) 原子炉冷却系

- (a) 熱出力・・・・・・240MWt
- (b) 原子炉出口温度・・・・・・580℃
- (c) 原子炉入口温度・・・・・・500℃
- (d) 1次系流量・・・・・・8580t/h
- (e) IHX/ポンプ基数・・・・・・4/2

(2) 2次系冷却

- (a) メンブレンリフォーマー入口・・・・・・240MWt
- (b) 蒸気発生器入口温度・・・・・・515℃
- (c) IHX入口温度・・・・・・447℃
- (d) 2次系流量・・・・・・6930t/h
- (e) 2次系ループ数・・・・・・2

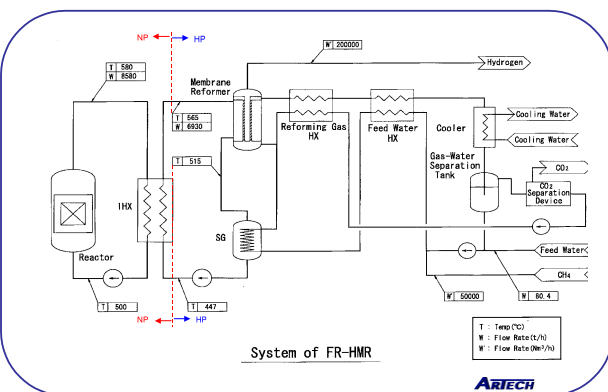


(3) 崩壊熱除熱系

RVACS+2PRACS

(4) 水素製造系

- (a) 水素流量・・・・・・200,000 m<sup>3</sup>/h
- (b) 天然ガス流量・・・・・・50,000N m<sup>3</sup>/h
- (c) 給水流量・・・・・・80,400N kg/h
- (d) 蒸気、天然ガスの改質器入口温度・・・・500℃
- (e) 改質器圧力・・・・・・2Mpa



4.4 炉心及び安全性

要求特性

- 燃料交換2年毎
- 炉心での冷却材温度上昇小:  $\Delta T=80^{\circ}\text{C}$
- 炉心制御系の単純化
- 燃料溶融への十分なる裕度
- 受動的安全、CDAフリー



### CORE LAYOUT

FUEL: MOX (DUCTLESS FUEL ASSEMBLY)  
 FUEL PIN PITCH: 9mm  
 NO. OF PINS PER ASSEMBLY: 331  
 FUEL PITCH: 207mm  
 CORE HEIGHT: 100cm  
 EQUIVALENT CORE DIAMETER: 196cm

2003.2.27 水素エネルギー協会 月例研究会 22

### 炉心特性

- 燃焼度: 150GWd/t (AVERAGE)
- 燃料部圧損: 0.2Mpa
- 運転期間: 2年

### GDAフリーへの受動的安全

- 上部Naブランケットによる負のNaボイド係数及び大きな負の温度係数
- 低線出力 (ULOF時の正のドブラー反応系の緩和及び、燃料溶融への裕度増加)
- 制御棒反応系制限による、誤引抜き時印加反応度の低減

2003.2.27 水素エネルギー協会 月例研究会 23

### 4.5 原子炉系

- 1) プール型
- 2) 原子炉容器:  $\phi 6.8\text{m} \times \text{H}12\text{m}$ , 316FR  
原子炉容器:  $\phi 9.0\text{m} \times \text{H}13.0\text{m}$
- 3) 1次系  
4IHX+2PUMP
- 4) 燃料交換系  
単回転プラグ+エクспанションアーム型
- 5) 炉内貯蔵 18休

2003.2.27 水素エネルギー協会 月例研究会 24

### 4.6 改質器

- (1) 型式.....メンブレンリホーム方式
- (2) 基数.....2
- (3) 触媒管..... $\phi 55\text{mm}$  O.D
- (4) 水素分離管..... $\phi 20\text{mm}$  O.D
- (5) 管長.....9.5m
- (6) 管本数.....5250

2003.2.27 水素エネルギー協会 月例研究会 25

### 5. 超概算経済性評価

#### 5.1 仮定

1. 従来方式は小型装置から外挿
2. コスト評価は、天然ガス受入れ施設及び水素出荷装置を含まず
3. FR-MRは、今後のR/Dの期待成果を含む

#### 5.2 結果

1. 水素製造コストは、天然ガスコストに強く依存する

2003.2.27 水素エネルギー協会 月例研究会 26

### 6. 結論

#### FR-MR概念は

技術的には

- (1) 基本技術は既に出来ている
- (2) 使用温度? 550°Cは工業的に実績豊富

経済的には

- (3) 水素製造コストで従来方式を競争可能な見通

2003.2.27 水素エネルギー協会 月例研究会 27