

# 高温ガス炉を用いた水素製造 に関する研究開発

平成25年2月26日(火)

日本原子力研究開発機構  
原子力水素・熱利用研究センター

# 目 次

1. はじめに
2. 経緯
3. 現状
4. 今後の進め方
5. 世界の状況

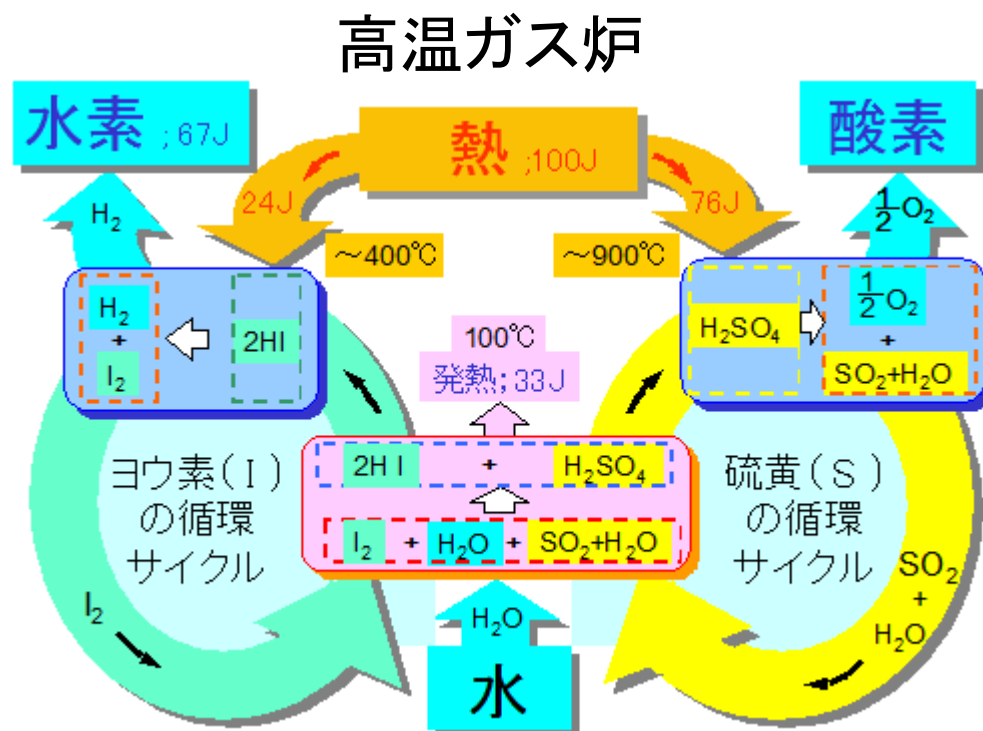
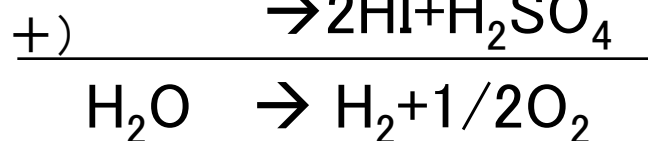
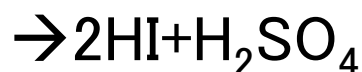
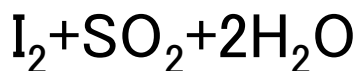
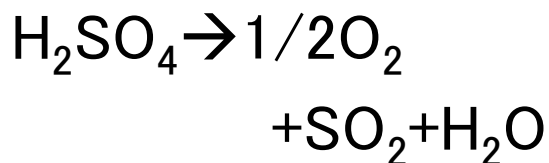
参考資料

# 1. はじめに

## － 水素製造熱化学法 ISプロセスの原理 －

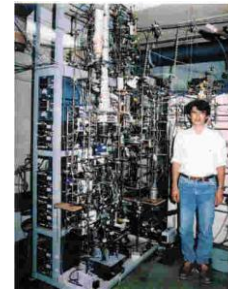
- 水の熱分解(約4000℃)が、ヨウ素(I)と硫黄(S)で、900℃で可能。
- [熱→電気→水素]を[熱→水素]の一段階変換(67%の理論効率)。

3つの化学反応で  
水の熱分解



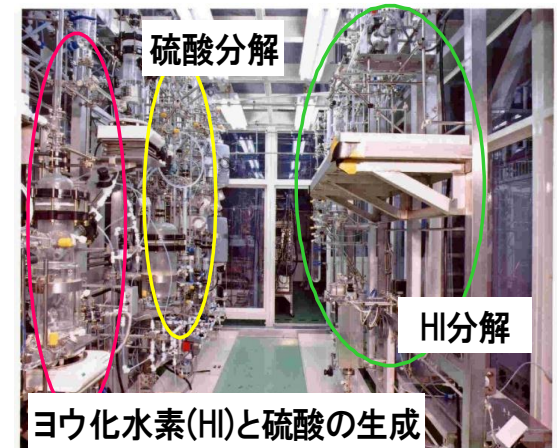
## 2. 経緯

- 原理検証試験(1997年) →  
目的: 閉サイクル条件解明  
成果: 実験室規模で水素製造に成功



世界初

- 工学基礎試験(2004年)  
目的: 制御技術開発  
成果: 毎時30ℓの連続水素製造に成功 →



世界初

### 工業材料を用いた核となる基盤技術開発

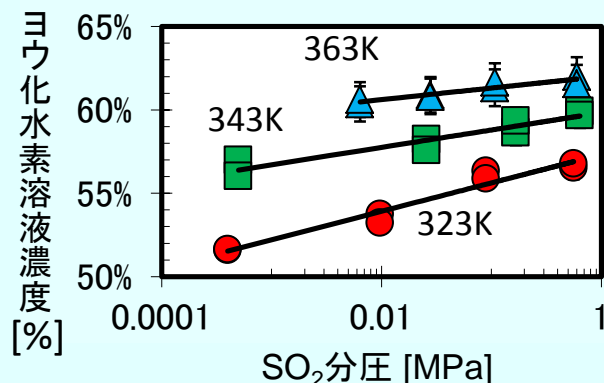
- 基盤技術確証試験(第1期中期計画; 2005-2009年度)  
目的: 効率向上、耐食・耐熱機器開発  
成果: 効率向上のための放射線製膜技術等を確認。  
SiC製硫酸分解器等の耐食・耐熱機器の製作性を確認。
- 健全性確証試験(第2期中期計画; 2010-2014年度)  
目的: 耐食・耐熱機器・装置の健全性確認、プロセスデータ充足

# 基盤技術確証試験(～2009年度)

## ➤ 効率向上; HI液の高濃度化

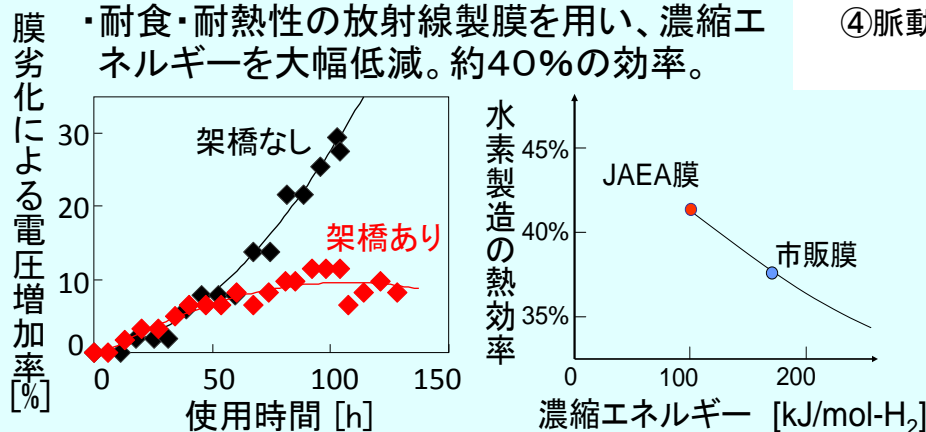
### □ SO<sub>2</sub> 分圧の高圧化技術

- ・ブンゼン反応におけるSO<sub>2</sub> 分圧を高圧化することによって、HI水溶液を高濃度化。



### □ 放射線製膜技術

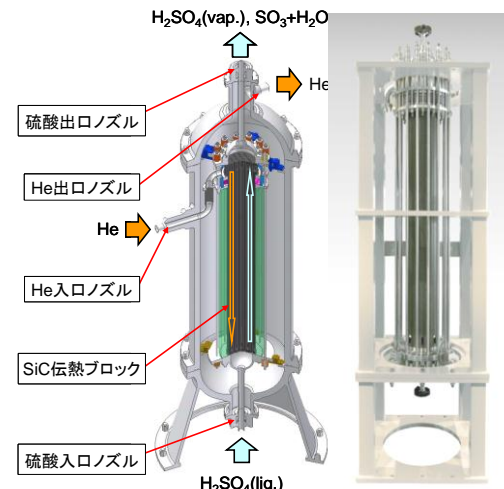
- ・耐食・耐熱性の放射線製膜を用い、濃縮エネルギーを大幅低減。約40%の効率。



## ➤ 耐食・耐熱機器

### □ セラミック反応器の試作に成功

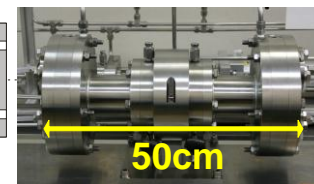
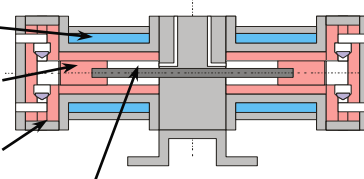
- ・硫酸分解用の耐腐食・耐熱性のセラミック製の反応器・熱交換器の試作に成功。



### □ 耐食性ポンプ完成

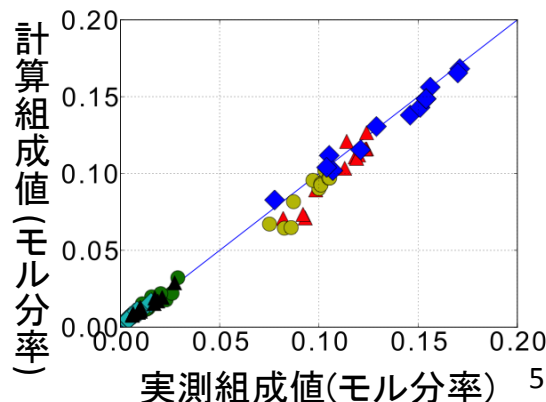
- ・325℃、90wt%硫酸が輸送可能なポンプを開発。

- ①耐熱(水冷)
- ②耐食(セラミック)
- ③耐圧(耐熱金属)
- ④脈動抑制(往復動ピストン)



### □ 非接触測定技術

- ・非接触のオンライン密度計測による4成分2液相溶液の組成計測法を開発した。



# 3. 現状

## 第2期中期計画

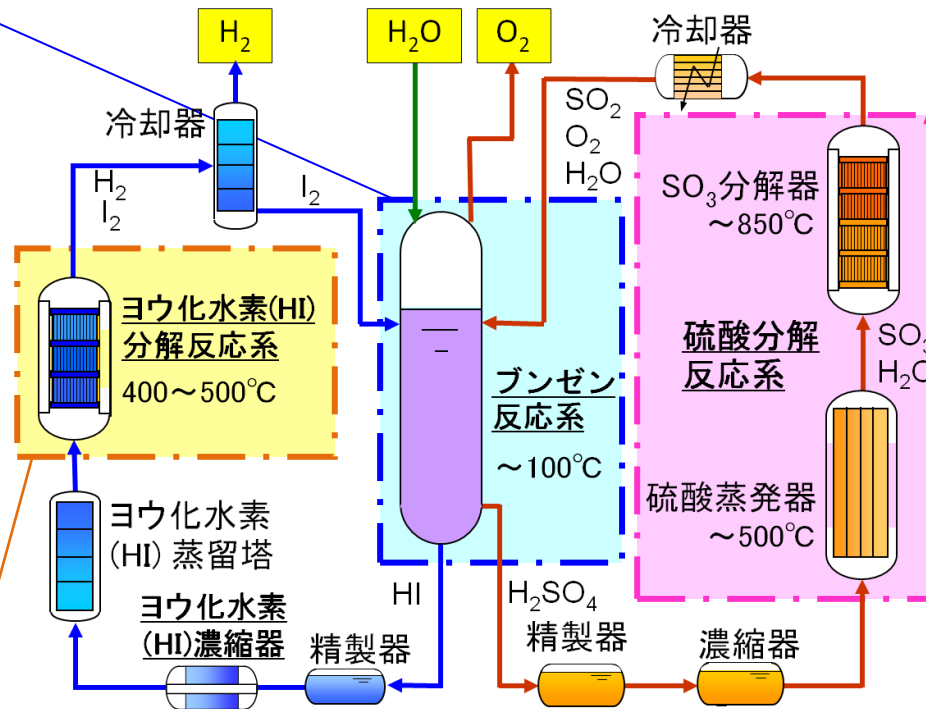
1. ISプロセスの実用装置材料を用いた反応器について、実環境（腐食性環境、高圧環境）に耐える機器・設備を開発し、健全性を確認する。
2. 水素製造効率40%を可能とするプロセスデータを充足する。

### 1-(1). ブンゼン反応系機器

- ・ 強酸性のブンゼン反応溶液 ( $\text{HI}$ ,  $\text{I}_2$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  混合溶液、 $\sim 100^\circ\text{C}$ ) の環境における実用材料（耐食被覆材等）製機器の健全性

### 1-(3). ヨウ化水素分解反応系機器

- ・ 気相ヨウ化水素分解反応 ( $\text{HI}$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{I}_2$  混合気体,  $400\sim 500^\circ\text{C}$ ) に係わる強腐食環境における実用材料（耐食合金等）製機器の健全性



### 1-(2). 硫酸分解反応系機器

- ・ 硫酸蒸発、気相 $\text{SO}_3$ 分解 ( $\text{SO}_3$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  混合気体、 $\sim 850^\circ\text{C}$ ) に代表される高温強腐食性環境における実用材料（セラミックス等）製機器の健全性

### 2. プロセスデータ充足

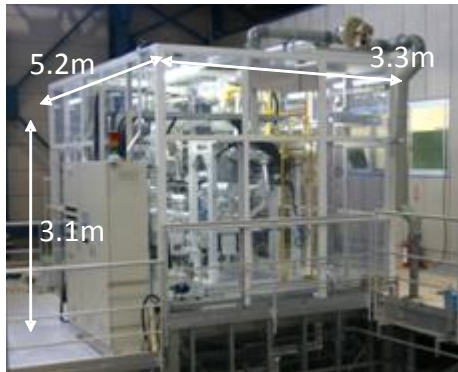
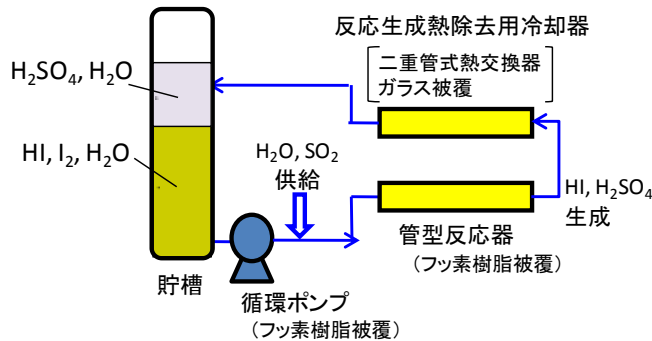
プロセス性能を評価するために必要なデータを取得し、設計コードに反映する。

2010, 2011: 温度依存性  
2012: 微量成分依存性  
2013: 濃度依存性  
2014: 総合評価

# 健全性確証試験

## ➤ ブンゼン反応系 (2012年度完了)

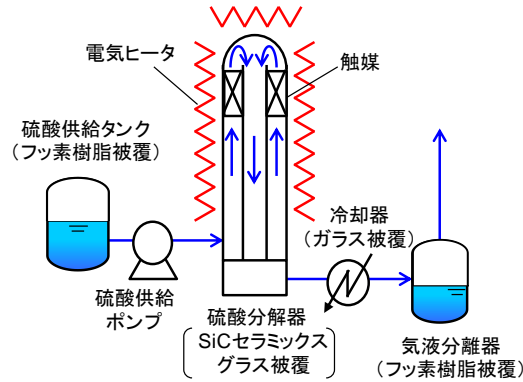
- ・HI, I<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>O混合溶液を循環させ、熱サイクル試験を行う。
- 試験温度/圧力: 90°C/0.5MPa
- 検査項目: 30サイクル、耐食被覆の外観検査、膜厚計測



ブンゼン反応系試験装置(2011年度製作)

## ➤ 硫酸分解反応系 (～2013年度)

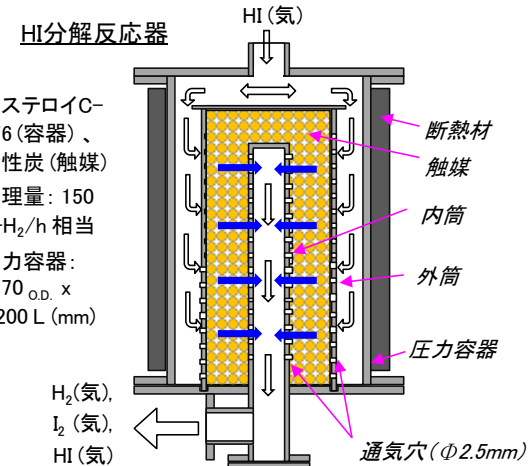
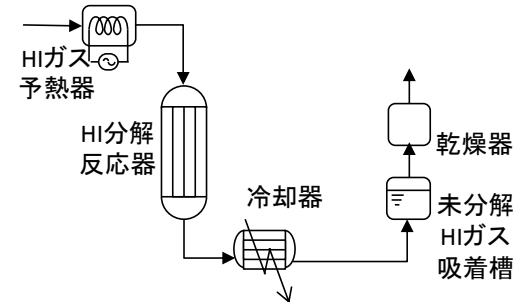
- ・硫酸(90wt%)硫酸分解反応試験を行う。
- 試験温度/圧力: 90°C/0.5MPa
- 検査項目: 100時間、SiCの腐食評価



硫酸分解反応系試験装置(2012年度製作完了予定)

## ➤ HI分解反応系 (～2014年度)

- ・HIガス分解試験を行う。
- 試験温度/圧力: 450°C/0.5MPa
- 検査項目: 100時間、Ni基耐食合金等の腐食評価



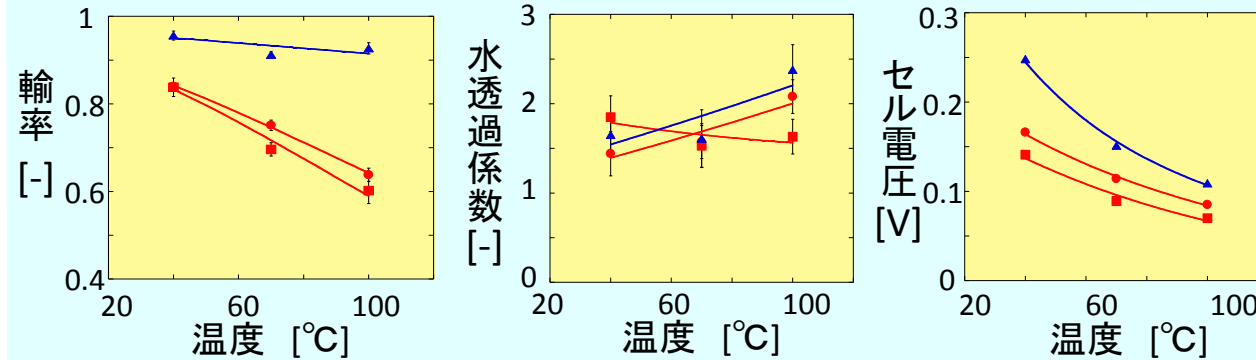
HI分解器(2012年度製作完了予定)



# プロセスデータの充足

## ヨウ化水素(HI)濃縮

➤ 温度依存性 ヨウ化水素濃縮エネルギーに関するデータ取得



輸率

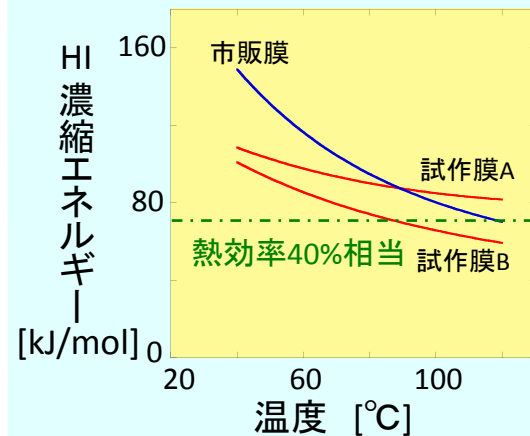
$$t_+ = \left[ 1 + B \exp \left( -\frac{\Delta U_{I-H}}{RT} \right) \right]^{-1}$$

水透過係数

$$\beta = GT^{3/2} \exp \left( \frac{U_\beta}{RT} \right)$$

セル電圧

$$E = t_+ idYT \exp \left( \frac{\Delta U_{H^+}}{RT} \right)$$



➤ 微量成分依存性

ヨウ化水素中の微量硫酸の影響に関するデータ取得

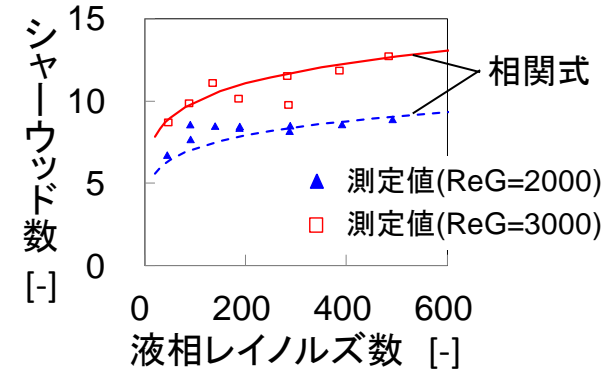
試験条件: HIに対する微量硫酸  
割合~2%

- 濃縮エネルギーに及ぼす影響
- 溶液中の硫黄の析出の有無

## 硫酸分解

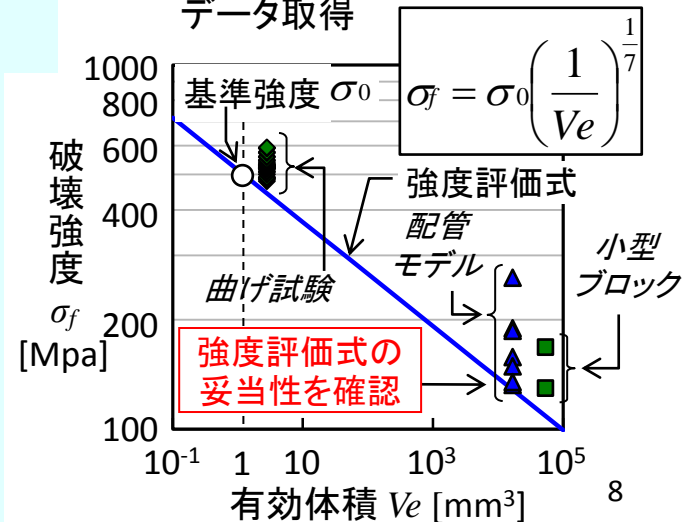
➤ 熱・物質伝達特性

硫酸蒸発・分解時のデータ取得



➤ セラミックス特認取得

高圧ガス保安法認可に必要なデータ取得





## 4. 今後の進め方

年度	第2期中期計画						
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
1. 健全性確証試験					まとめ		
(1) ブンゼン反応系	装置製作		試験				
(2) 硫酸分解反応系		装置製作		試験			
(3) ヨウ化水素分解反応系			装置製作		試験		
(1)～(3)の各反応系機器を接続。				整備・調整・試験・まとめ			
2. プロセスデータ充足	温度		微量成分	濃度	まとめ		

## 5. 世界の状況

国名	実施機関	水素製造技術開発の状況				
		水素製造法	水素製造量 (ℓ/h)	材料	連続水素製造達成時期	現状
韓国	KAERI, KIER, KIST	ISプロセス	50ℓ/h	工業材料	2014	装置製作中
中国	INET	ISプロセス	100ℓ/h	ガラス、工業材料	2014	IS-100 装置製作中
		高温電解	60ℓ/h	工業材料	2014	装置製作中
米国	INL	高温電解	約5000ℓ/h	工業材料	2008	セル劣化1000時間 あたり3% (目標 0.5%)で、2012年に 国プロ終了
日本	JAEA	ISプロセス	200ℓ/h	工業材料	2015	装置製作中



KIER, KIST; IS装置群



INET; HI分解装置

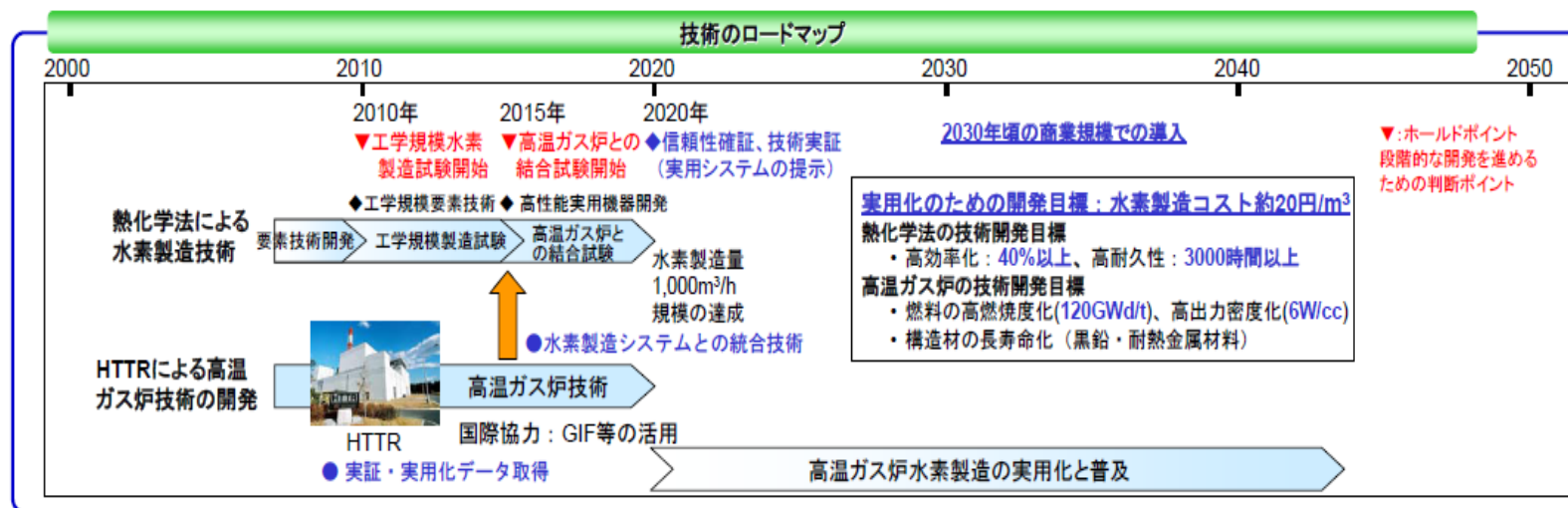


INL; 高温電解装置

# 参考：地球温暖化対策に貢献する原子力の 革新的技術開発ロードマップ」

(原子力委員会 2008年)

- ・ ビジョン： 原子力エネルギー供給技術が熱需要に役立っていること
- ・ ビジョンを実現する技術候補： 原子力による革新的水素製造技術
- ・ 取組の内容： 高温ガス炉高性能化技術、及び  
水の熱分解による革新的水素製造技術の研究開発
- ・ 目標時期： 2020年頃に実用システムの原型を提示することを目指す

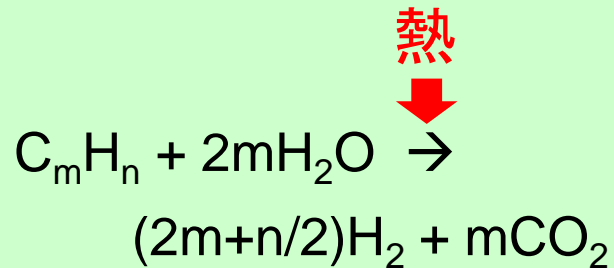


# 参考：水素製造法

原料	分解エネルギー	エネルギー源	備考
水 or 化石燃料( $C_mH_n$ )	熱、電気、 放射線、 電磁波(光、X線等)	化石燃料 原子力 自然エネルギー	化石燃料利用による 炭酸ガス排出

## 工業用大量水素製造法

### □ 水蒸気改質法

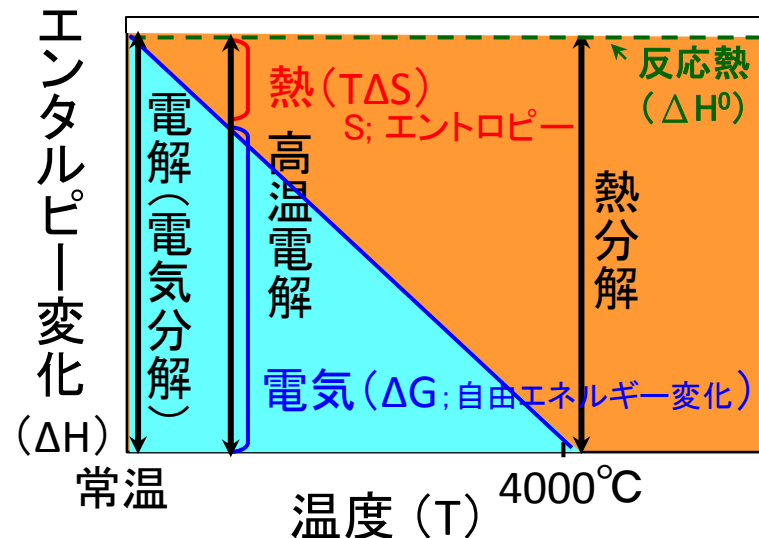


- 化石燃料( $C_mH_n$ )と水蒸気を原料として、化石燃料の燃焼熱によって分解反応を進める。

メタン： $CH_4$  ( $m=1$ ,  $n=4$ )

### □ 水の高温電解

(高温水蒸気電気分解)



- 約4000°C以上では、分解に必要なエネルギーをすべて熱で供給可能

# 参考：文部科学省・経済産業省連携プロジェクト (エネルギーキャリア)(案)

## ➤ 概要：

再生可能エネルギーの大規模利用実現のため、再生可能エネルギーを水素等に転換する「エネルギー貯蔵・輸送技術」の開発

文科省；水素からアンモニアなどのエネルギーキャリアへの転換・輸送・利用技術の基礎研究の実施

経産省；水素製造技術開発、再生可能エネルギー現地調査などの実施

文部科学省と経済産業省が昨年度から有識者と議論を重ね、2030年の実用化を目指して取組むテーマとして設定。また、産業競争力懇談会(COCN)が推進テーマとして設定し、中間報告書を取りまとめ。

## ➤ 実施分野：

①再生可能エネルギーによる水素製造

②エネルギーキャリアの合成技術

③エネルギーキャリアの利用技術

④エネルギーキャリア導入のトータルシナリオ検討

## ➤ 実施期間：10年間予定(2013年度より)