

# 原子力による水素製造

平成19年11月20日(火)

日本原子力研究開発機構

HTTR-ISシステム



# 目 次

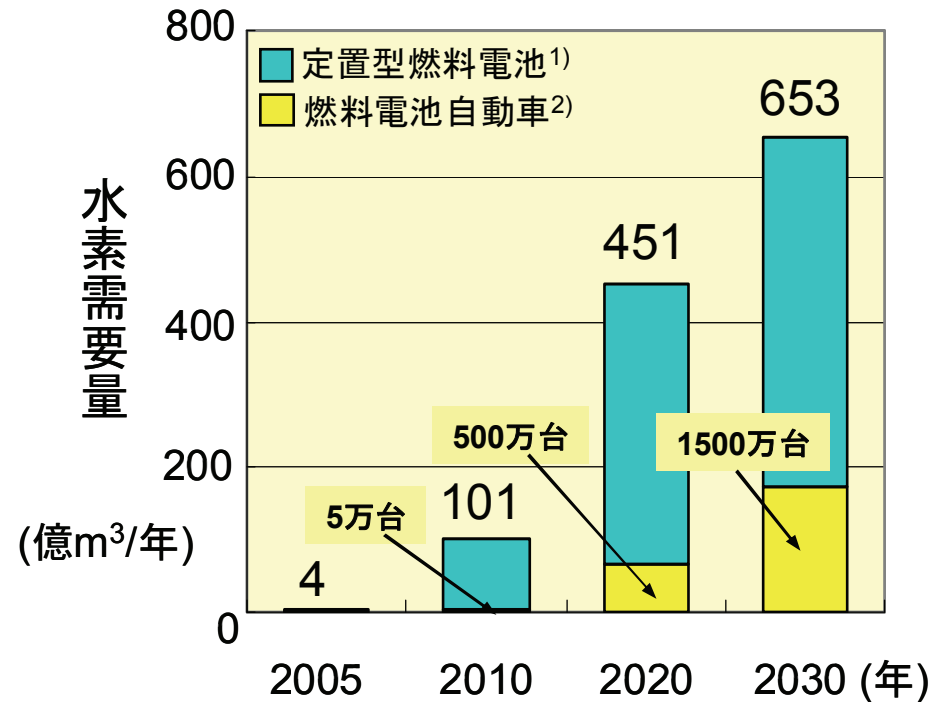
1. 水素需要予測
  2. 水素製造法
  3. 原子力による主な水素製造法
  4. ISプロセス
  5. 世界の状況
  6. 炭酸ガス排出削減に向けての水素利用
  7. まとめ
- 参考資料

# 1. 水素需要予測

- 短期:石油精製の脱硫用等。
- 中長期:燃料電池用、還元製鉄用等。

- 炭酸ガス排出量の削減のためには、二次エネルギーとして優れた性質を有する水素は、化石燃料代替の有力候補である。
- 全炭酸ガス排出量の約20%を占める輸送部門、約36%の産業部門で化石燃料の代替が重要。
- 2020、2030年以降、大量の水素需要に応える新たな水素供給設備が必要。

公開されている水素需要予測:  
燃料電池



<参考> 我が国の全自動車数;約7500万台。

1) 平成14年 WE-NETタスク1報告書より試算。

2) NEDO平成15年～平成16年度成果報告書「水素シナリオの研究」(2005)。

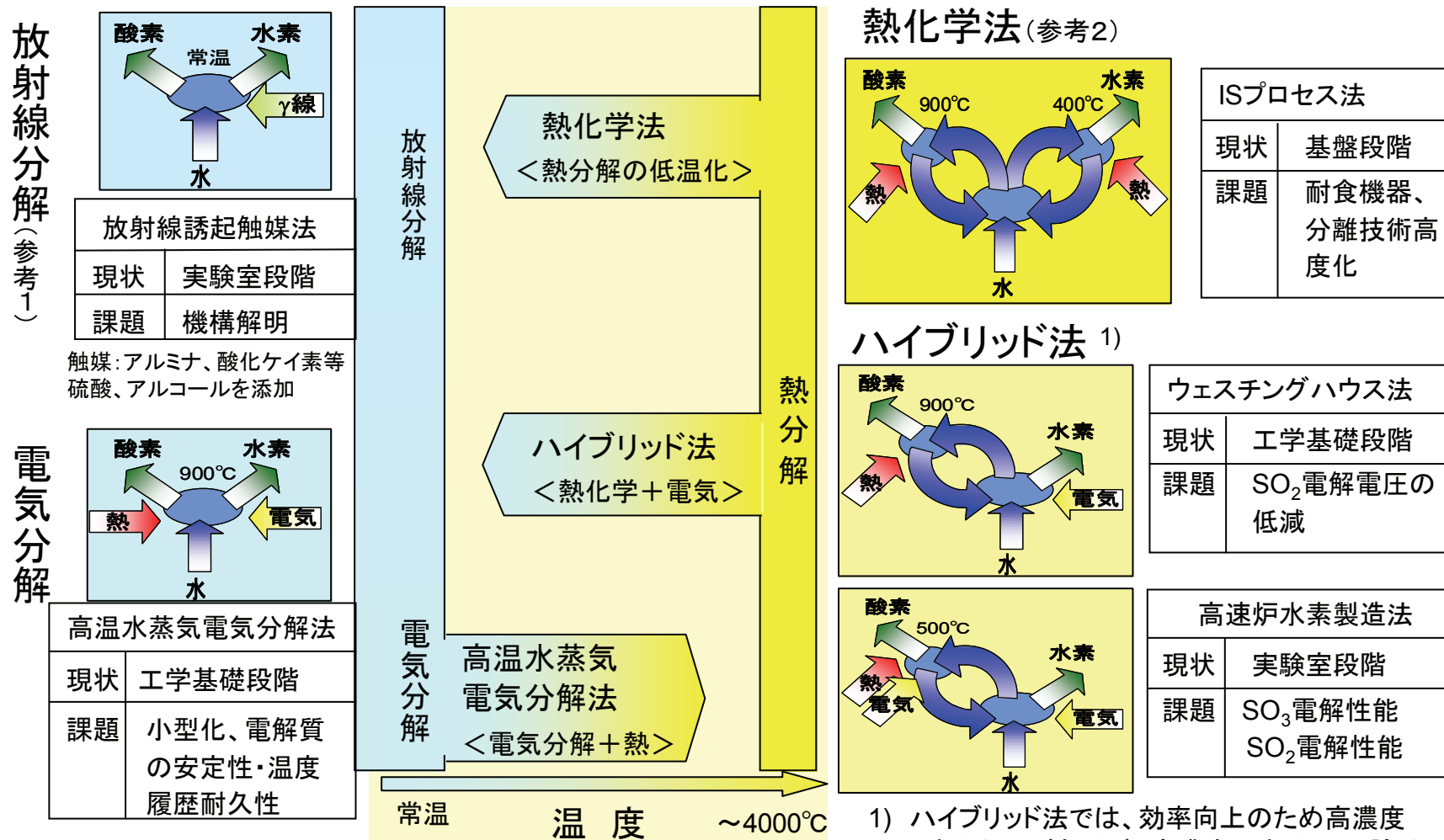
## 2. 水素製造法

	水素製造法	原料	エネルギー	評価
既存技術	メタン改質法	水+メタン	熱	安価(世界の90%を生産) 炭酸ガス排出
	アルカリ水電解	水	電気	電力が高価 炭酸ガス排出なし
	副生水素 ・製鉄 ・ソーダ工業	石炭 海水	熱 電気	直近(2020-2030年ごろまで) の需要に対応可能 炭酸ガス排出
将来技術	石炭ガス化法+CCS*	水+石炭	熱 (化石燃料)	大規模集中型 低質炭素廃棄物 炭酸ガス排出なし
	メタン改質法+CCS*	水+メタン		
	・熱化学法 ・ハイブリッド法 ・高温水蒸気電気分解法	水	熱、電気 (原子力)	大規模集中型 放射性廃棄物 炭酸ガス排出なし
	放射線分解法	水	放射線 (原子力)	放射性廃棄物の有効利用 小規模 炭酸ガス排出なし
	・熱化学法 ・電気分解等	水	熱、電気 (自然エネルギー:太陽光、バイオマス等)	小規模分散型 炭酸ガス排出なし

\* CCS: 炭酸ガスの回収・貯留

# 3. 原子力による主な水素製造法

将来技術のうち、大規模水素生産可能、生産時に炭酸ガスの排出がほとんどないのは、原子力水素。



開発段階: 実験室 → 工学基礎 → 基盤 → 実証 → 商用

1) ハイブリッド法では、効率向上のため高濃度にする必要があるが、高濃度になると、理論分解電圧が高くなり、効率向上が困難。

# 4. ISプロセス 経緯と現状(1/2)

- 発電も水素製造も、高温ほど高熱効率 → 原子力では高温ガス炉
- [熱→水素]の効率は、[熱→電気→水素]より高い → 熱化学法 (主要熱化学法: 約120種類)  
     40-50%                      33%<sup>1)</sup> × 56-73% = 19-24%
- 工業材料使用可、流体化学反応<sup>2)</sup>、熱化学反応 → ISプロセス (参考2を参照)  
     (~900°C以下)

<参考> 1) 軽水炉の発電効率。 2) 固体化学反応: 反応器の切替運転が必要。

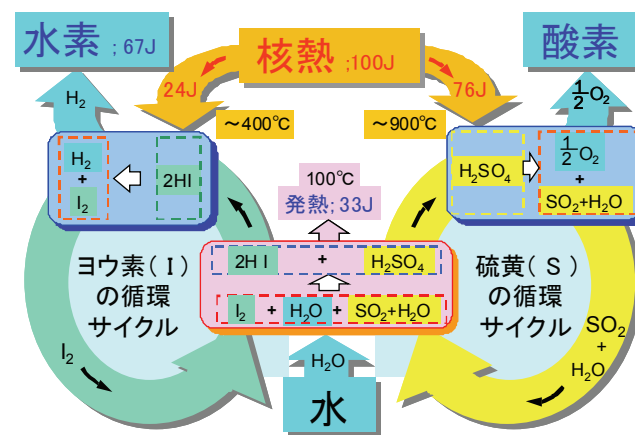
## ISプロセス

### 現状

- ・ 1997年 理論検証(実験室段階)、
- ・ 2004年 30リットル/時の連続水素製造達成(工学基礎段階)(特許3件)
- ・ 耐食性材料・機器、水素製造効率等に関する基盤段階の研究開発を実施中。世界をリード。

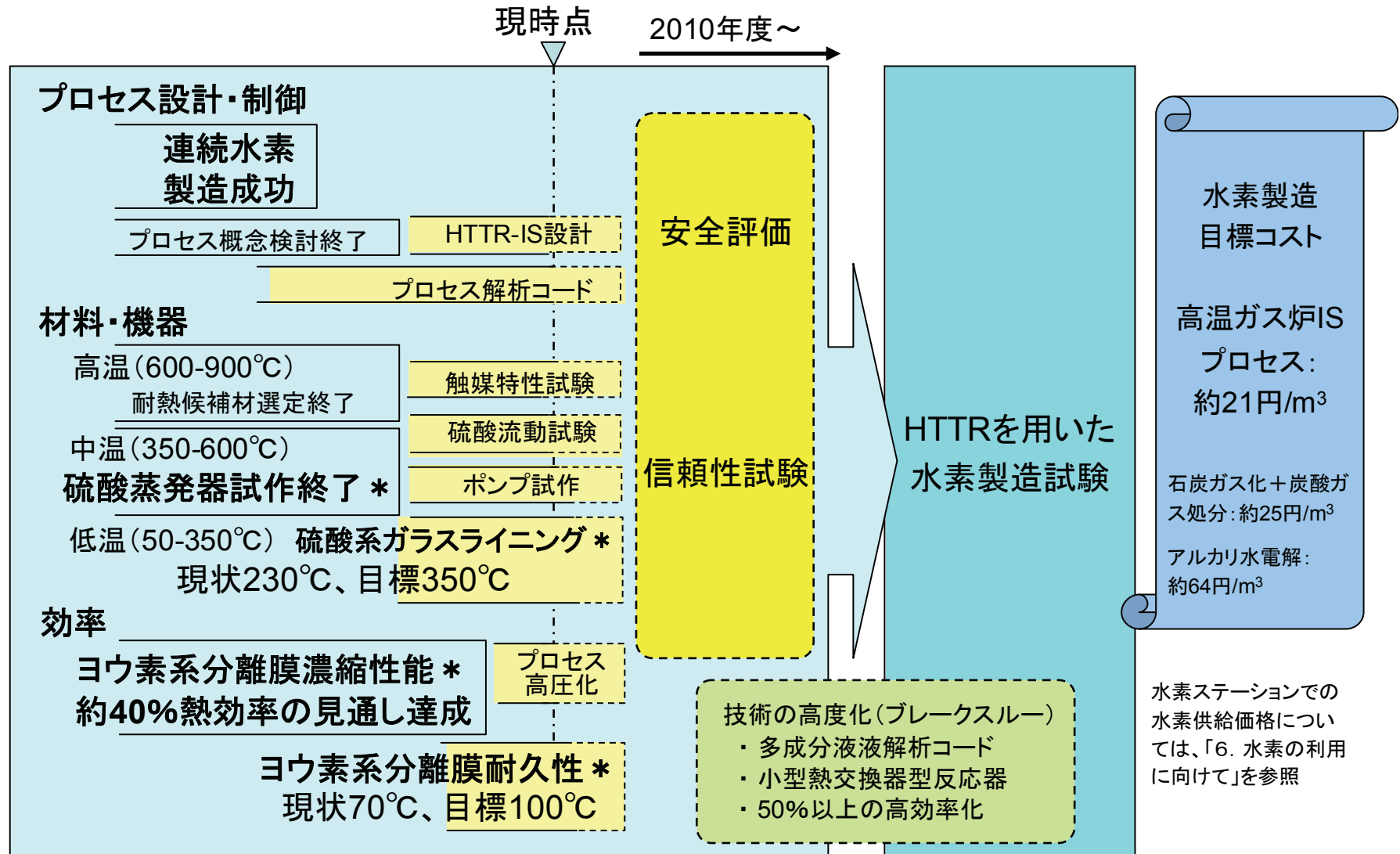
<国外の評価> 全米科学アカデミー(NAS)は、DOEの原子力研究開発計画の評価報告書にて、DOEの主要4計画のひとつである原子力水素計画(NHI)に対し、NHIは良く練り上げられた計画であるが、熱化学法と類似のプロセスに経験を有する国際的研究機関、産業界とのつながりを広げるべきと勧告している。(参考3)

- ・ 900°C以下で熱と水から水素を製造
- ・ 理論熱効率は67% (発熱反応分が損失)



ISプロセスのフロー図

# 技術課題 (2/2)

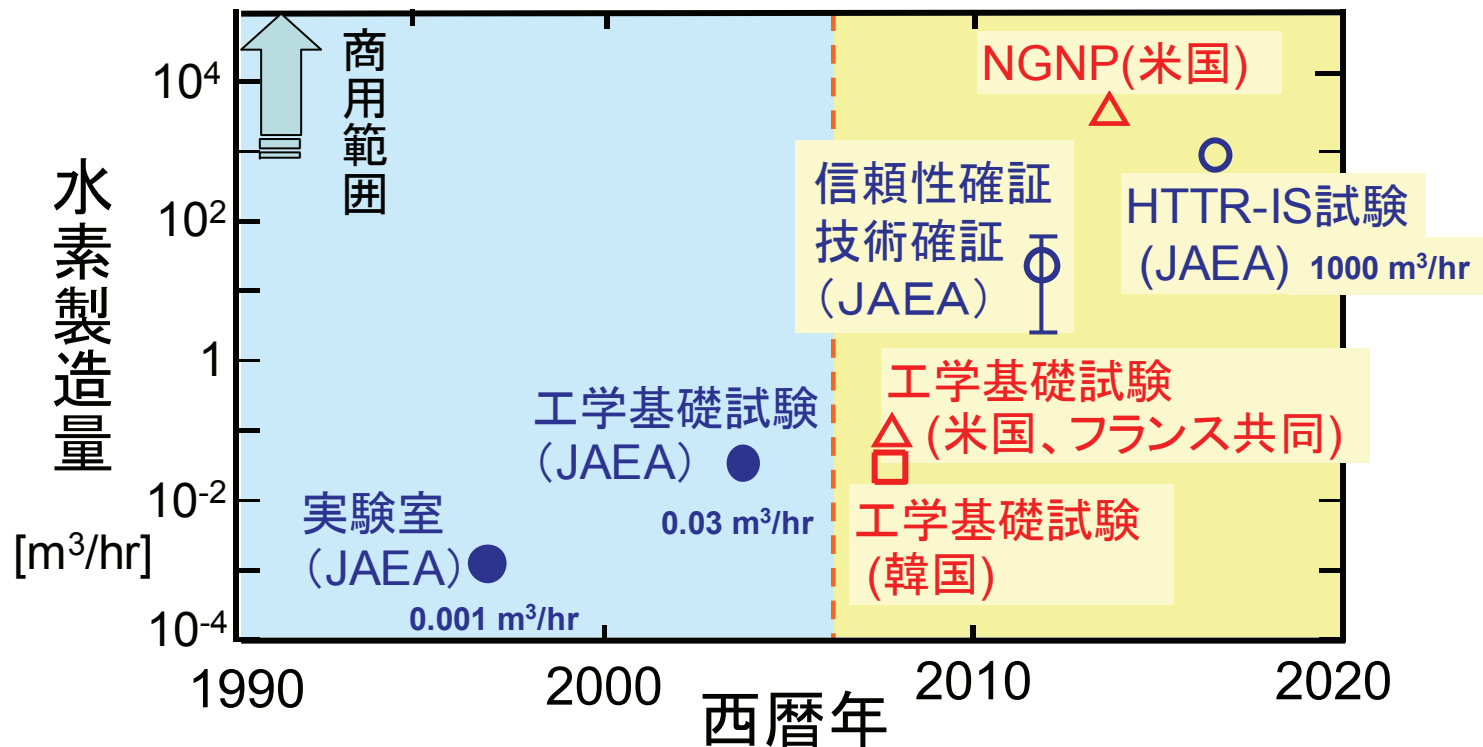


\* : 重要課題。参考4を参照      個々の研究開発の迅速な実施のため外部資金の獲得に努力中。

# 5. 世界の状況

- ・ 米国、フランス、韓国、中国などで、水素製造に関する研究開発を実施中。(参考3)
- ・ ほとんどの水素製造法は、高温ガス炉の熱の利用を想定。
- ・ 熱化学法が主流。そのうち、ISプロセスが最有力候補。
- ・ 高温水蒸気電気分解法が対案。

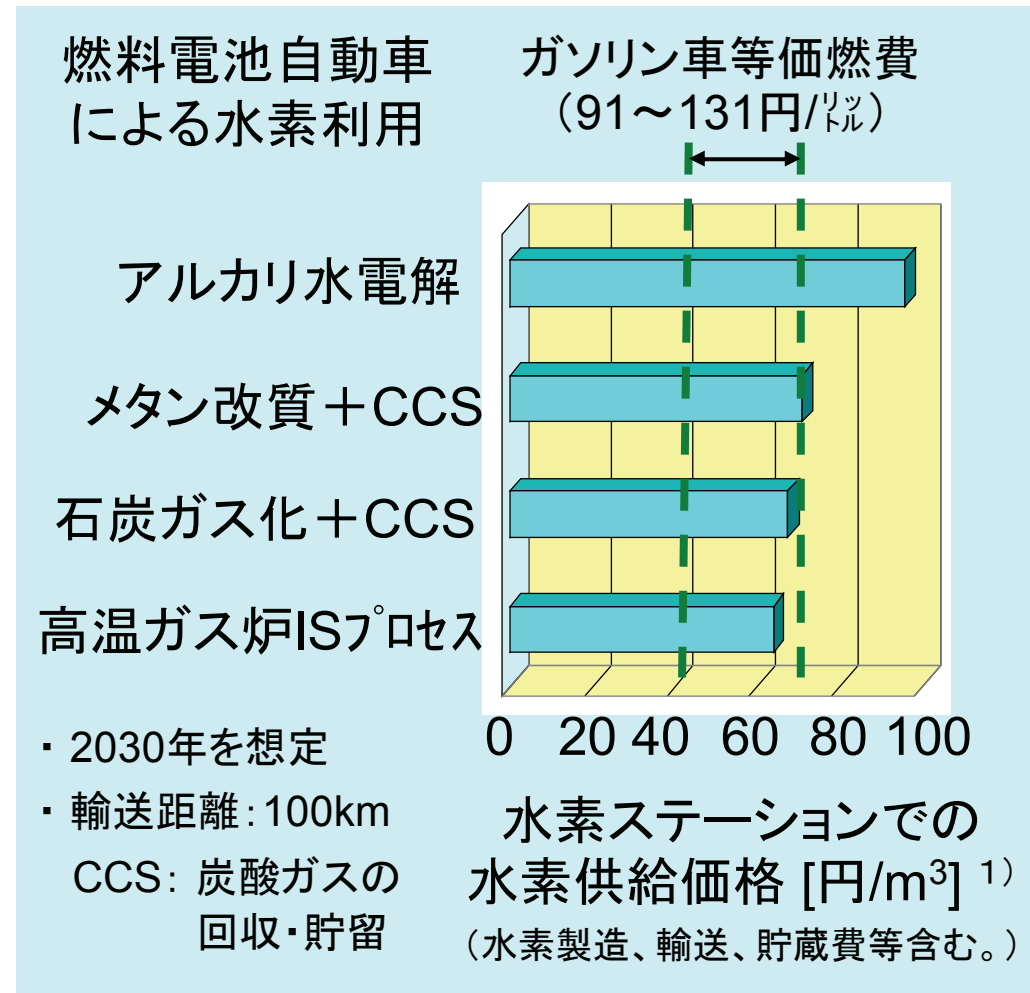
(NGNPでは、ISプロセスと高温水蒸気電気分解を平行して開発を進めることになっている。図中のNGNPの△は、熱出力からの推定水素製造量である。)





## 6. 炭酸ガス排出削減に向けての水素利用

■ 炭酸ガス排出量の削減に貢献するため、燃料電池自動車用、還元製鉄用等、経済的に競合可能な水素製造に向け、高温ガス炉ISプロセスに関する研究開発では、関連する産業界、大学等と協力して研究開発を進める。



1): 原子力eye誌, 4, pp.5-36 (2007).

## 7. まとめ

---

1. 炭酸ガスの排出量削減及び将来の大量水素需要に対し、製造時に炭酸ガスを排出しない原子力による水素製造は、有力な候補である。
2. 高温高効率を狙うISプロセス水素製造法は、最も有望な原子力による水素製造法の一つであり、原子力機構は高温ガス炉を用いた水素製造に関する技術開発で世界をリードしている。
3. 高温ガス炉を用いた水素製造の実用化のために、工業技術としてのガラスライニングの高温化、分離膜の耐久温度向上などの重要技術課題の開発を進め、HTTRを用いた技術基盤の確立を図る。また、高効率等技術の高度化を常に狙い、さらなる経済性に優れた水素製造技術の実現を目指す。

# 参考資料

---

参考1. 放射線触媒による水素生成の原理と特徴

参考2. 様々な熱化学法

参考3. 海外のISプロセス研究開発状況

参考4. 最近の成果及び重要課題

# 参考1. 放射線触媒による水素生成の原理と特徴

## 1. 固体と液体が混在した系(非均質系)への放射線照射による水素発生

- ・ 固体が存在することで、照射による化学反応が促進 (単純な水の放射線分解での水素発生率よりも大)
- ・ 固体自身は反応に際して変化はしない



放射線誘起促進反応  
(放射線触媒反応)

## 2. 放射線誘起反応による水素生成の促進

- ・ 室温での反応であり、反応容器への負荷が小
- ・ CO<sub>2</sub>フリー (水蒸気改質法との違い)

## 3. ガラス固化体を線源とする場合:

- ・ 周囲を水の容器で覆うため、効率的廃熱
- ・ 水容器は放射線遮蔽の観点からも有利
- ・ 取扱(反応系、容器等)が簡便
- ・ 核熱利用で環境圏への負荷低減

## 特徴: 放射線の透過性を利用

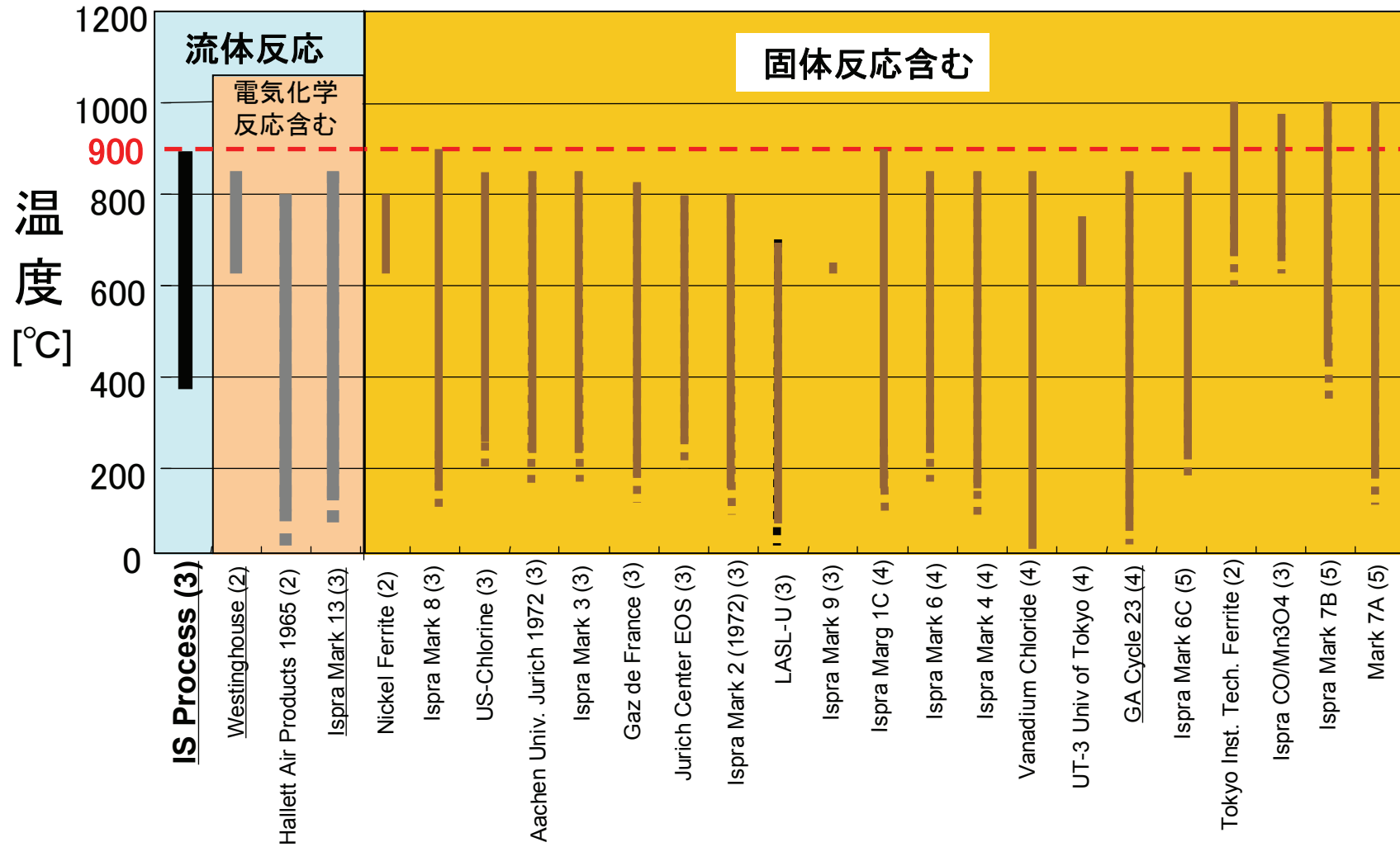
(光触媒と比較して)

- ・ 暗所でも利用可能
- ・ 液体、固体にも適用可能
- ・ 体積全体での反応
- ・ 触媒反応を起こす固体の量や形状を工夫することが可能

- ・ 水素発生量は添加する酸化物の種類、添加量、溶液の種類と酸性度に依存する (最適な酸化物系を探索中、溶液に関しては現在の所、0.2-0.4M硫酸水溶液が適している)
- ・ 水素発生の原理は、1)水の放射線分解+2)水溶液中のH<sup>+</sup>イオンの還元等により生成  
H<sup>+</sup>イオンの還元量は、酸化物からの2次電子や励起電子の発生率、溶液状態に依存 (酸化物の表面状態や固相と液相の界面状態とイオンの還元量の相関を調査中)

照射実験: 1)高崎研のCo-60  $\gamma$  線照射。 2)核燃料サイクル工学研究所のガラス固化体片(数十g)(今年度中の予定)  
特許出願: 特開2006-248821 高レベル放射性廃棄物を線源とする放射線誘起触媒反応による水素製造法

# 参考2. 様々な熱化学法



下線：硫酸系反応

(プロセス名の後の括弧はプロセス内の反応数) 13

# 参考3： 海外のISプロセス研究開発状況

## 米国

- DOEは、主要4計画のひとつである原子力水素計画(NHI)にて、硫黄系熱化学法(IS法、WH法)及び高温水蒸気電解を開発中。2011年にパイロット試験に進む2方式を選定し、2019年にNGNP原型炉による水素製造実現を目指している。本計画は、NASによるDOEの原子力研究開発計画評価報告書(2007年)で、“NHIは良く練り上げられた計画である。”と記載されている。また、熱化学法と類似のプロセスに経験を有する国際的研究機関、産業界とのつながりを拡げるべきと勧告している。  
(Ref: <http://www.nap.edu/catalog/11998.html> p.S-6)。
- ISについて、SNLとGAは、CEA(仏)と協力し、実用材料製装置による100~200 ㄲ/時 規模の試験を実施中。また、INLは、要素技術(触媒、分離膜)開発を実施中。

## ヨーロッパ

- CEA(仏)は、反応研究(サクレ)、機器開発(カダラッシュ)を実施。
- 仏(CEA)・独(DLR)・英(USFD)・伊(US ROMA TRE)・スペイン(EA)は、FP6で核熱あるいは太陽熱を熱源とするISプロセス及びWHプロセスを研究(HYTHECプロジェクト。要素技術開発及びプロセス解析を実施し今秋完了)。FP7で硫酸分解器開発を予定。
- ENEA(伊)は、太陽熱あるいは太陽/化石を熱源とするISプロセスの研究開発を実施中。

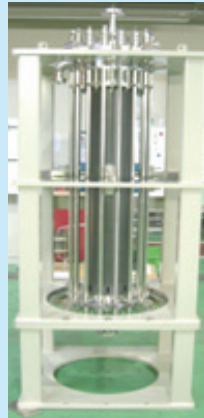
## アジア

- 韓国は、KAERI、KIER、KISTが原子力水素開発実証プロジェクト推進中。KAERI(接続担当):窒素ガスループ(10kW、6MPa、1000°C)製作完了、セラミック被覆技術開発中。KIER(ブンゼンとHI担当):IS装置(20ㄲ/時規模)試験中。KIST(硫酸担当):SO<sub>3</sub>分解用複合触媒開発中。
- 中国(清華大)、インド(BARC)も研究に着手。

# 参考4： 最近の成果及び重要課題

## ■ 硫酸蒸発器に関する成果

最も腐食性の強い硫酸沸騰環境に耐えるセラミックス製熱交換器型蒸発器。バネを用いた金属とセラミックスの熱膨張差吸収機構等を組み込んだ構造概念を考案。主要構造体(炭化ケイ素製熱交換器)試作に成功した。



(特許1件、H18年度原子力学会賞)

(高さ約2m)

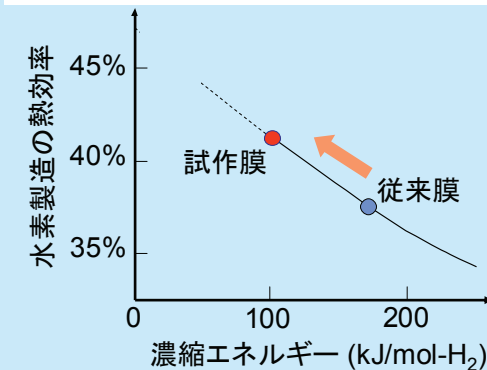
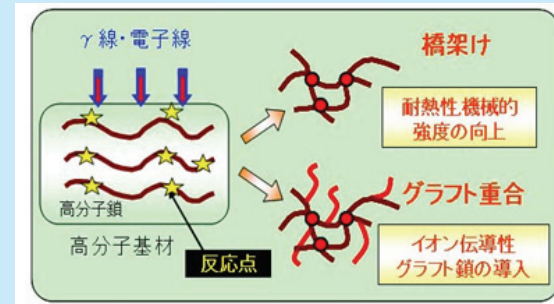
## ■ ガラスライニングに関する課題

50-350°Cの低温域の硫酸系・ヨウ素系環境の装置材料として、安価で耐食性に優れたガラスライニング材を開発中。

従来材の供用温度(最高230°C)を超える350°Cでの使用を可能とするため、ガラスと同等の熱膨張率を有する金属材を用い、試験中。

## ■ 分離膜濃縮性能に関する成果

ヨウ化水素酸の濃度を高め、水素製造熱効率の向上を図るため、放射線製膜技術(右上図)を活用。これまでに、基材、グラフト材、橋架け等に関する製膜技術開発により、熱効率40%を見通せる濃縮性能を達成した(右図参照)。



## ■ 分離膜耐久性に関する課題

現時点で70°Cまで耐久性を有する分離膜に関し、橋架け技術等により、約100°Cの最終目標を目指し、試験中。