

原子力委員会
定例会議資料

高温工学試験研究炉（HTTR）を用いた 研究開発における最近の進捗と今後の課題

平成19年3月13日

日本原子力研究開発機構

目次

1. はじめに

- (1) 高温ガス炉の概要
- (2) 高温工学試験研究炉 (HTTR)
- (3) 水素製造技術

2. HTTRを用いた研究の最近の成果

- (1) 安全性の実証
 - (i) 反応度事故の模擬
 - (ii) 冷却材流量減少事故の模擬
- (2) 水素製造基礎技術の確立
- (3) 実用高温ガス炉の設計概念の構築

3. 超高温ガス炉システムに向けた研究開発課題

4. まとめ

1. はじめに (1) 高温ガス炉の概要

高温ガス炉

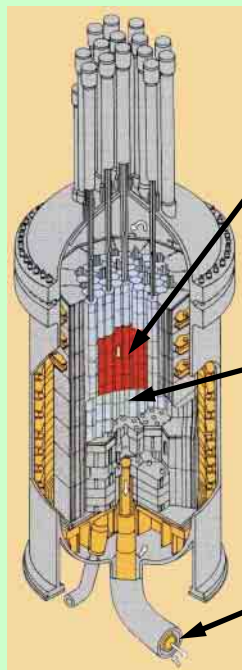
■ 1000°Cに近い高温の熱



様々な用途に利用(多目的利用)

発電、水素製造、化学製品製造、海水淡水化等

高温ガス炉の構造



セラミック製
燃料被覆材
使用限度1600°C

黒鉛減速材
使用限度2500°C

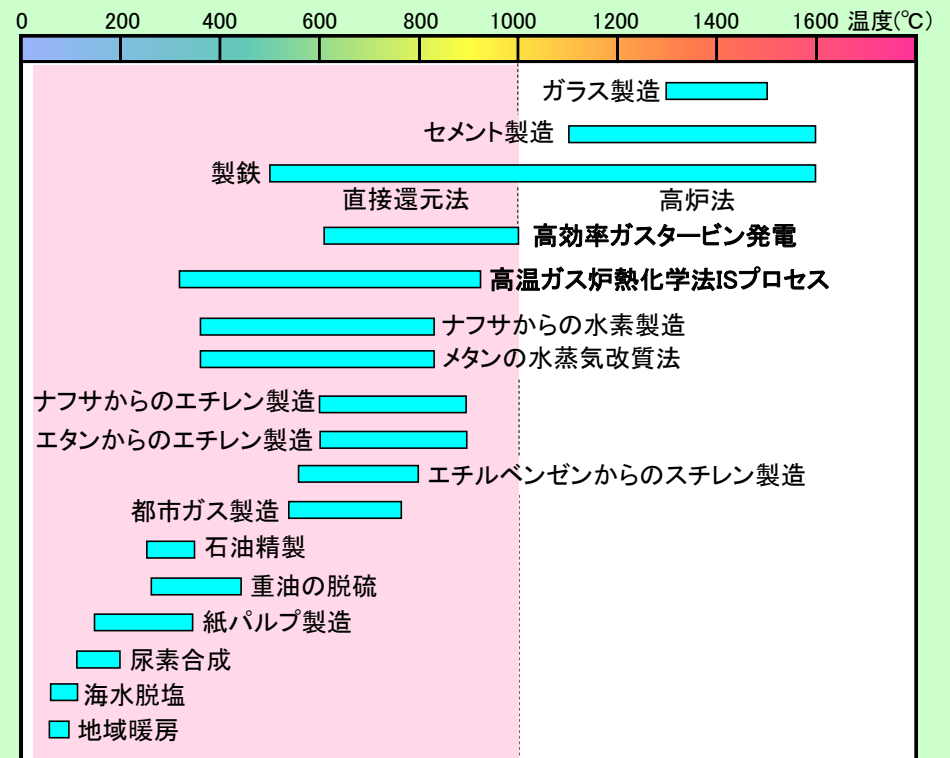
ヘリウムガス
冷却材
利用温度~1000°C

高い耐熱性



安全性に優れている

様々な用途の利用温度範囲



高温ガス炉の適用

(2) 高温工学試験研究炉 (HTTR)

HTTR

■ 国産技術を結集した高温ガス炉の研究炉



世界のトップランナーとして
研究開発を推進中

経緯

- 1991年度 建設着工
- 1998年度 初臨界達成
- 2001年度 全熱出力(30MW)達成
- 2003年度 安全性試験開始
 - 反応度事故の模擬
 - 冷却材流量減少事故の模擬
- 2004年度 950°C達成(世界初)
- 2006年度 安全性試験終了
- 原子炉基盤技術の確立及び
高性能化のためのHTTR試験を
実施中

HTTR

世界で唯一、950 °Cを取り出せる超高温ガス炉



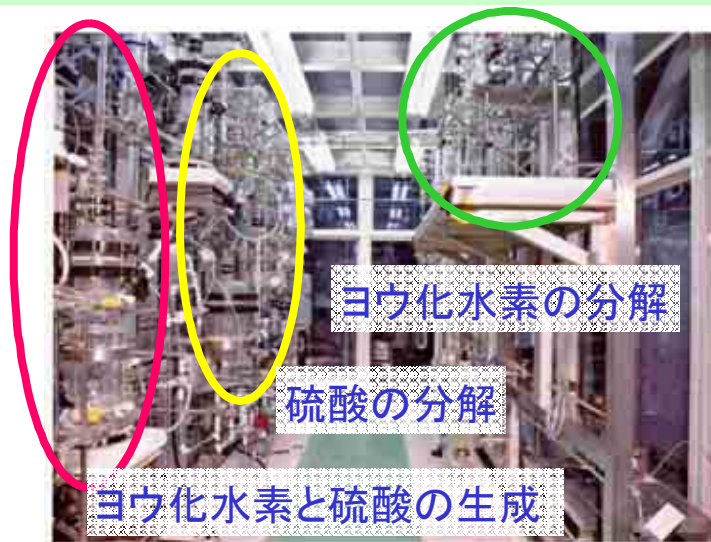
(3) 水素製造技術

熱化学法ISプロセス水素製造技術

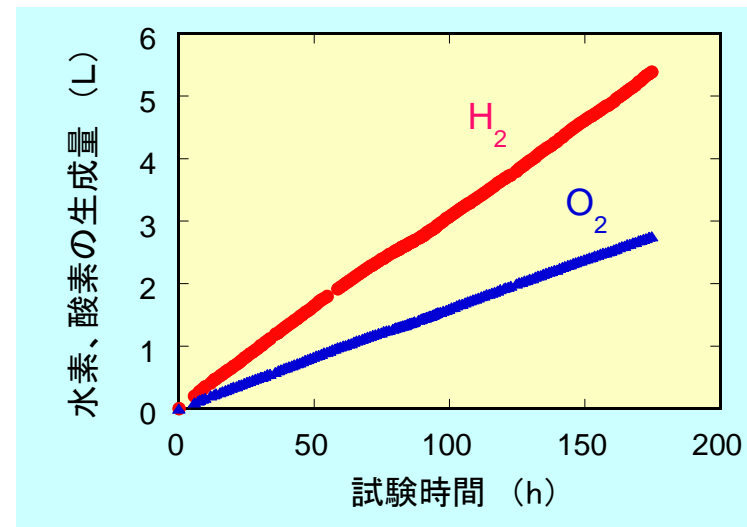
■ 水と高温の熱 → 炭酸ガスを排出せずに水素を製造

経緯

- 2004年度 0.03m³/hで、1週間の連続水素製造に成功(米仏韓はこの段階を実施中)
- 次段階の工業レベルの水素製造技術に関する研究開発を、世界のトップランナーとして推進中



ガラス製ISプロセス工学基礎試験装置



0.03m³/hで1週間の連続水素製造に成功

2. HTTRを用いた研究の最近の成果

(1) 安全性の実証

(i) 反応度事故の模擬

制御棒を引抜き(炉中心部、1対)

出力上昇

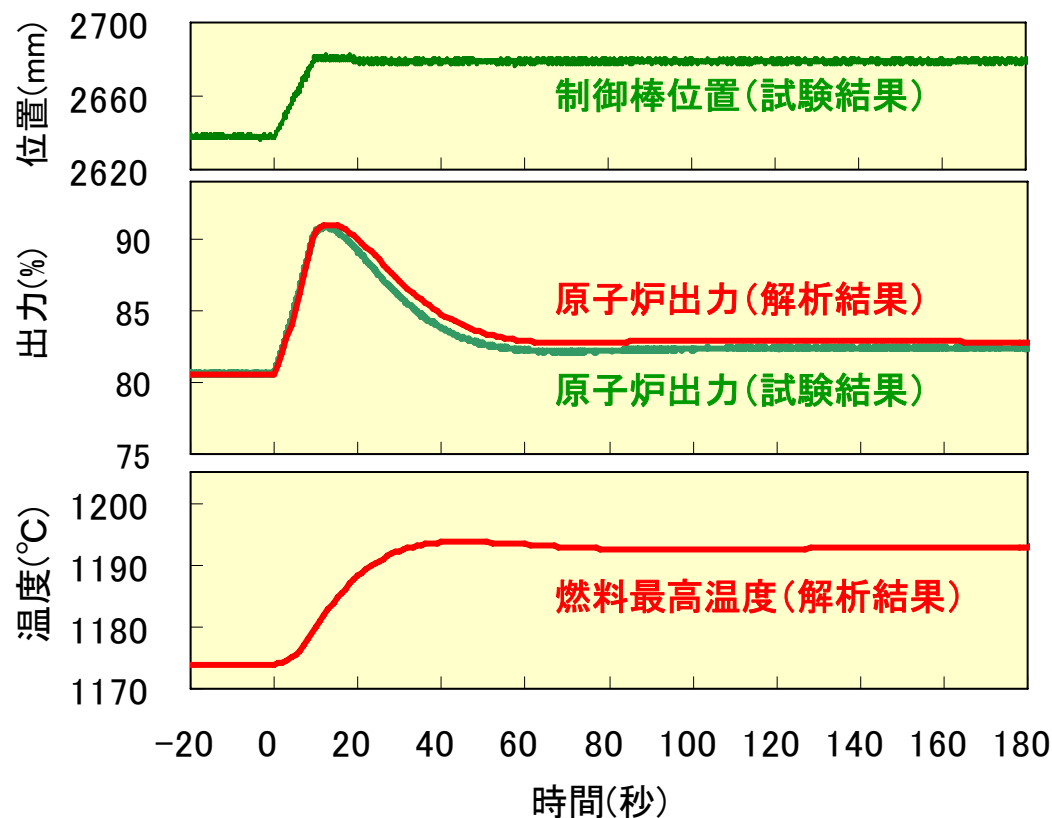
燃料温度上昇

(制限温度までに十分余裕有り)

反応度フィードバック効果

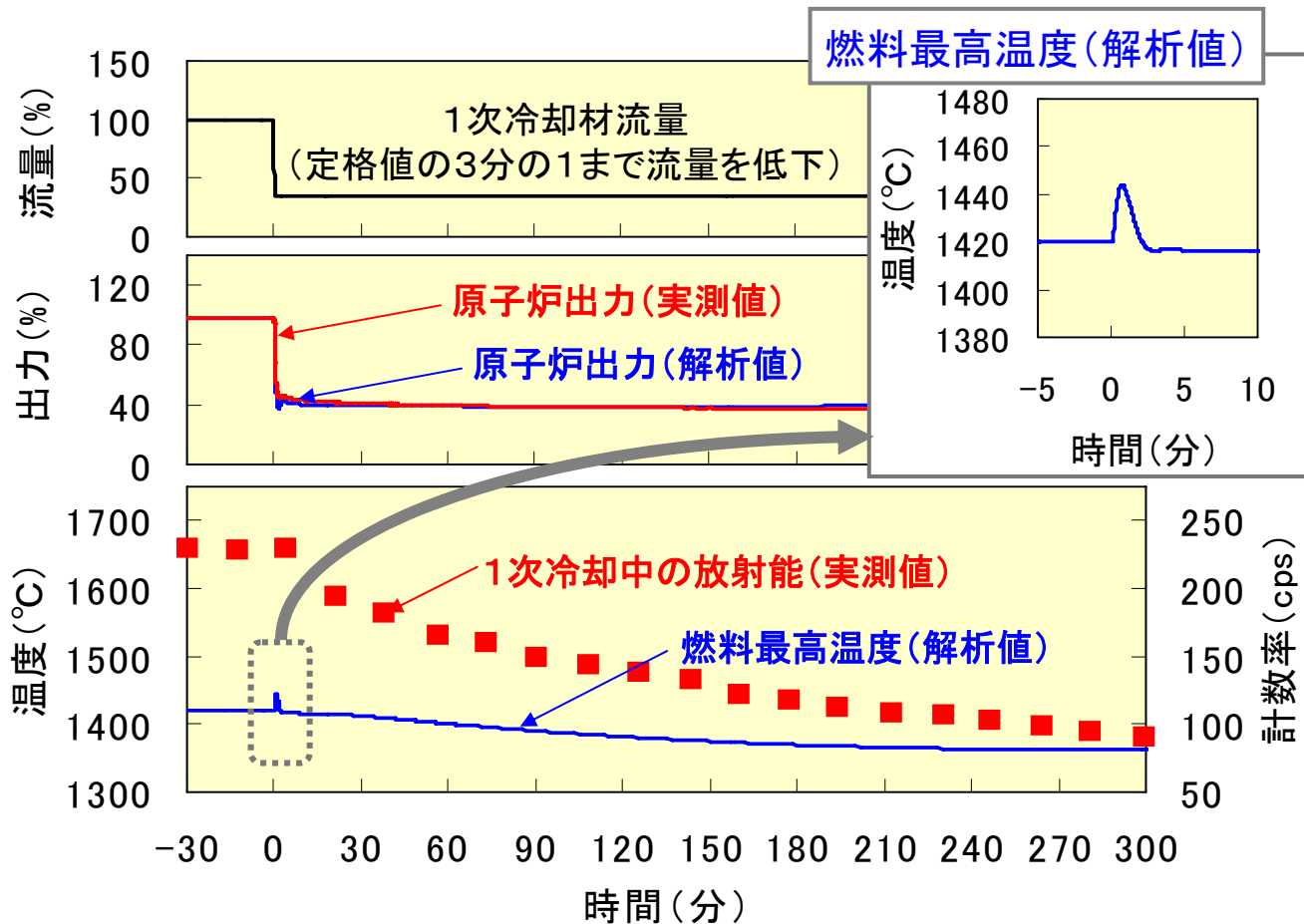
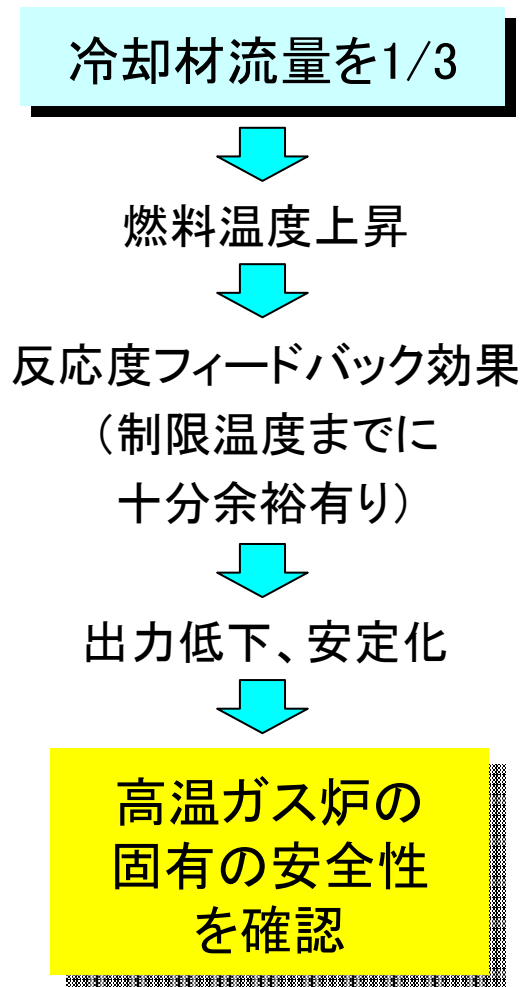
出力低下、安定化

高温ガス炉の固有の安全性
を確認



(1) 安全性の実証

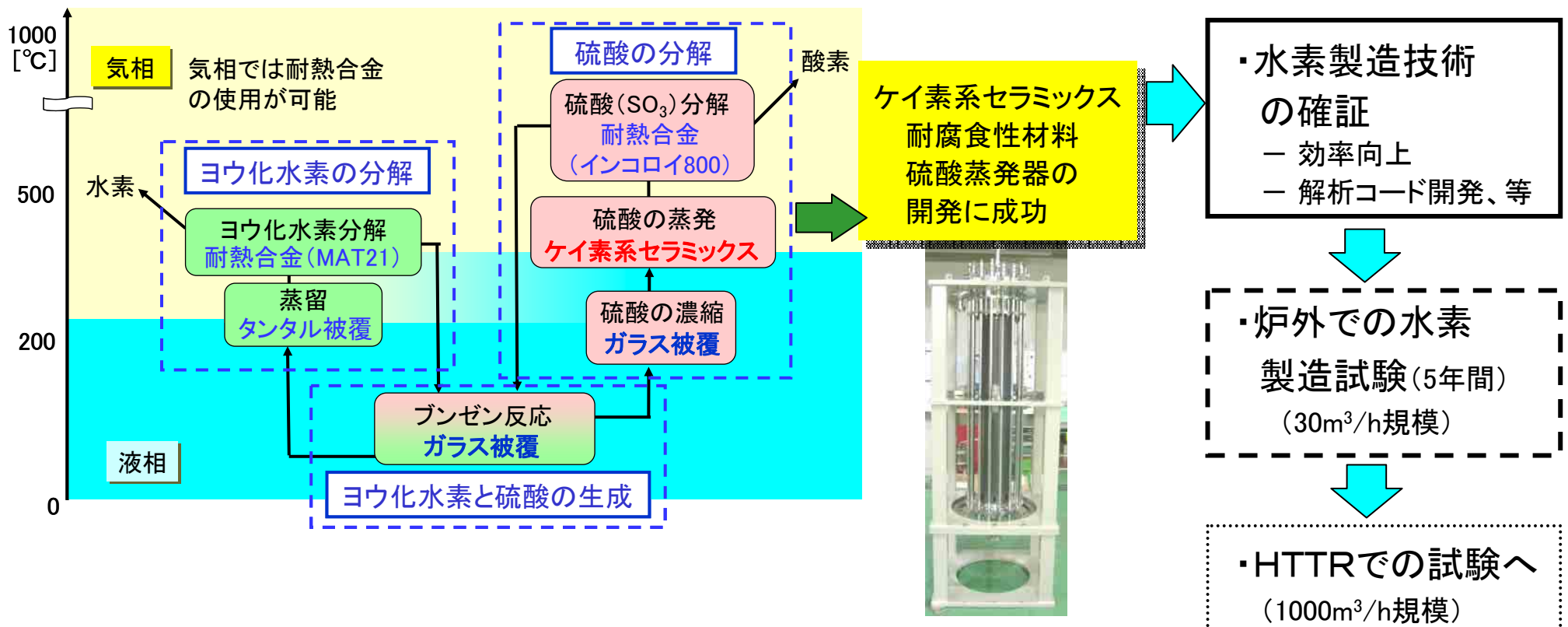
(ii) 冷却材流量減少事故の模擬



今後、より過酷な試験を計画(全冷却系停止試験等)

(2) 水素製造基礎技術の確立

工学基礎段階 → 工業レベル段階 (30m³/h以上) への規模拡大のための課題解決
(0.03m³/h)
耐腐食性材料・機器開発



(3) 実用高温ガス炉の設計概念の構築 - 直接ガスタービン発電専用小型炉 -

システム設計の成果

- HTTRの設計、建設、運転、安全性実証試験の成果を活用して、小型(電気出力 30万kW)、高温(原子炉出口温度 850°C)の直接ガスタービン発電専用炉の設計概念を構築した。
- 高効率(46%)、高燃焼(120 GWd/t)、システム簡素化により、発電コスト約4円/kWh(割引率 3%、稼働率 80%)が達成可能であることを示した。

経済性向上のための設計上の工夫

安全設計

- 格納容器不要
- 緊急炉心直接冷却系不要

安全設備の簡素化

炉心設計

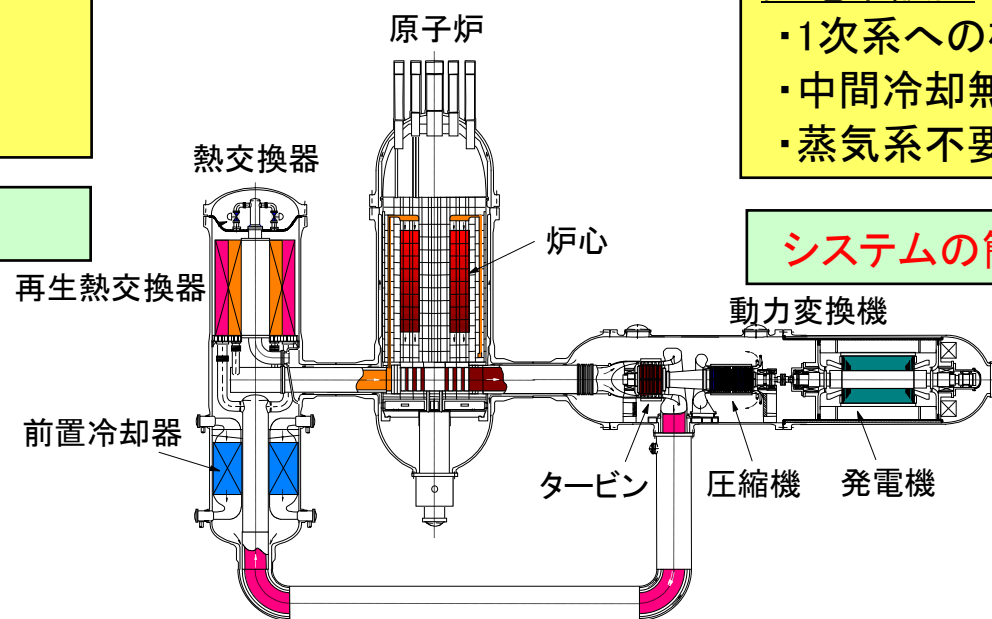
- 新しい燃料装荷法(サンドイッチシャッフリング)

高燃焼度(120 GWd/t)

発電系設計

- 1次系への横置型ガスタービン
- 中間冷却無し
- 蒸気系不要

システムの簡素化と高効率(46%)



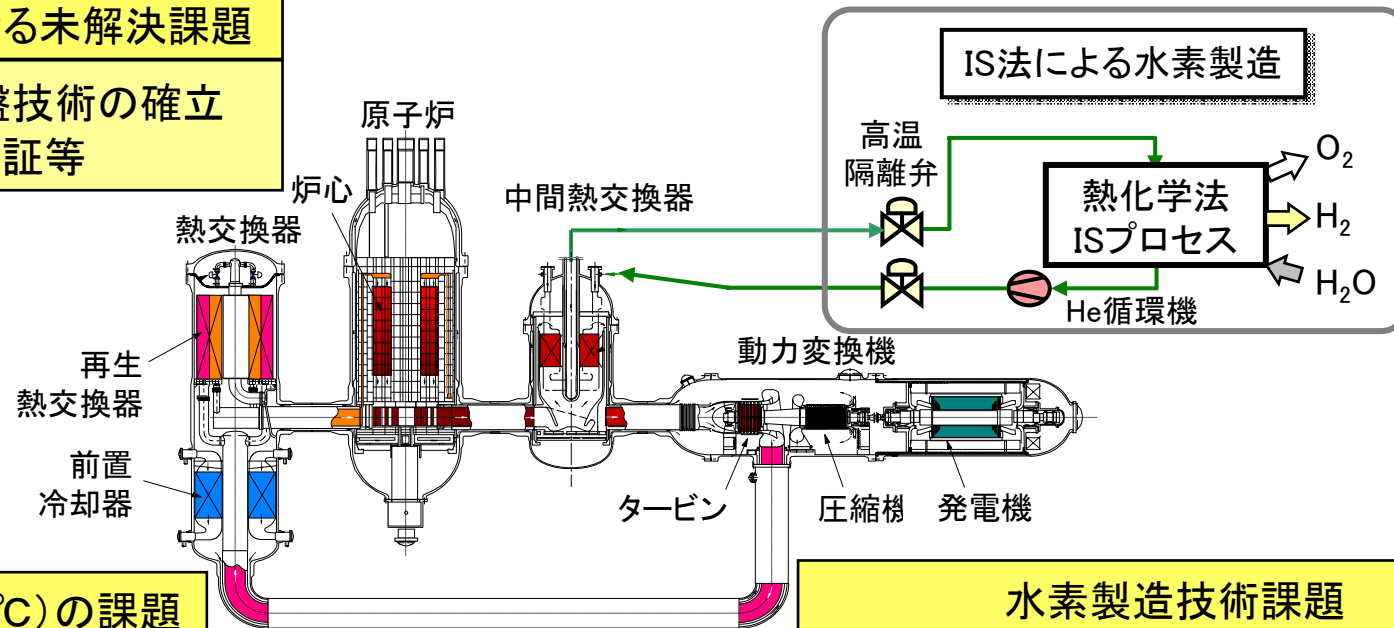
3. 超高温ガス炉システムに向けた研究開発課題 (1/2)

超高温ガス炉システムの内容

- 小型炉(熱出力 60万kW)
- 超高温(原子炉出口温度 950°C)
- 水素電力併産(水素製造量 58000Nm³/h 電気出力 8万kW)
- 水素製造コストの目標(20円/m³)

発電専用炉における未解決課題

- ・ガスタービン基盤技術の確立
- ・高燃焼燃料の実証等



高温化(850°C→950°C)の課題

- ・HTTR950°C長期連続運転
- ・燃料信頼性の向上
- ・超耐熱制御棒の開発
- ・さらに苛酷な安全性実証等

水素製造技術課題

- ・ISプロセス炉外水素製造特性試験による基盤技術の確立
- ・HTTRによる原子力水素製造の実証、高温隔離弁等の接続技術の実証

3. 超高温ガス炉システムに向けた研究開発課題 (2/2)

○システム設計

水素電力併産超高温ガス炉

超高温ガス炉システムの設計(経済性評価、安全審査、等)

: 基礎試験段階
 : 確認試験段階
 : 実証試験段階

(国内外協力で不確実性を低減)

○原子炉技術

HTTR運転

950°C高温連続試験

HTTR試験

炉特性、放射性生成物・不純物、高温機器健全性、保守点検技術
安全性試験 さらに過酷な安全性実証試験

要素技術開発

高燃焼度燃料、長寿命黒鉛、セラミックス構造物、再処理技術等

: 技術開発に関し、メーカーの関心有り

○熱利用技術

ISプロセス水素製造
技術開発

水素製造技術の確証
 炉外水素製造試験
 HTTRによる原子力水素製造
 炉外水素製造装置設計
 製作
 試験

要素技術開発

ガスタービン技術、中間熱交換器、高温隔離弁等

○海外の動向

: 原型炉
 : 実証・商用炉

次世代原子カプラント計画(NGNP)
(米国)

2007

研究開発

原型炉設計・製作

2012

2022

高温ガス炉水素実証試験計画(NHDD)
(韓国)

2009

ISプロセス炉外水素製造試験

原型炉設計・製作

2011

2018

第7期研究計画(FP7)
(EU)

2009

熱化学法水素製造デモ試験

2013

高温ガス炉開発計画
(中国)

HTR-10

商用発電炉(HTR-PM)建設・運転

2008

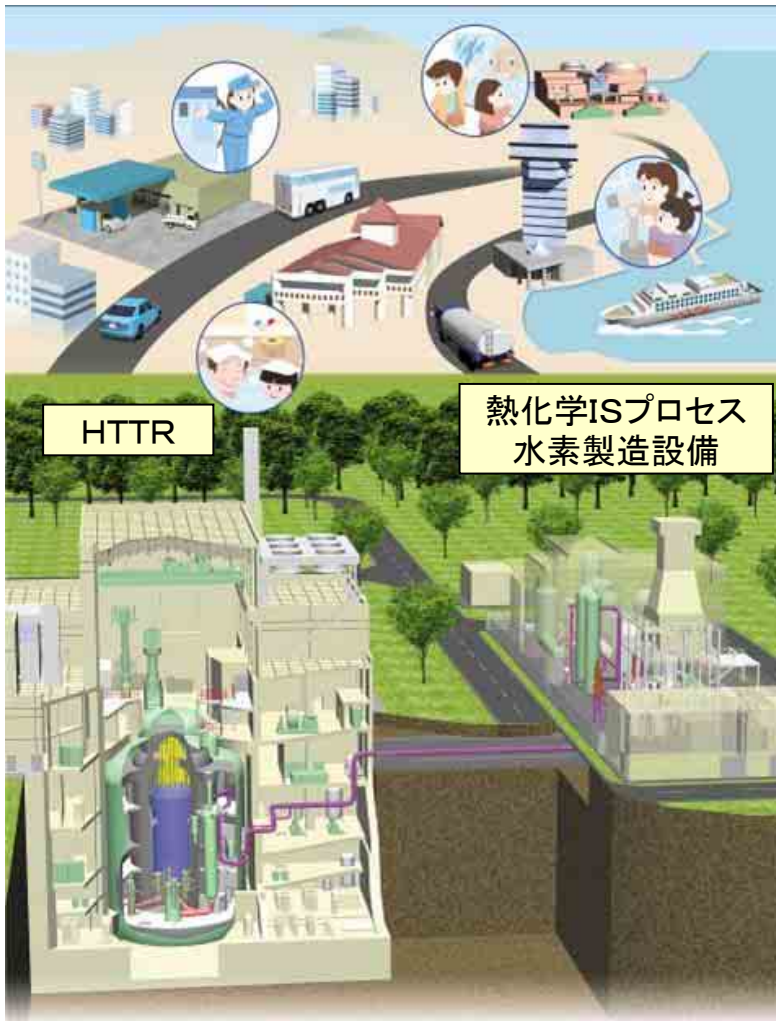
PBMR計画
(南ア)

独からの技術輸入

商用発電炉建設・運転

2008

4. まとめ



1. HTTR計画において、

- 原子炉出口温度 950°C を達成
- 高温ガス炉の優れた安全性を実証
- ISプロセスによる水素製造基礎技術の確立
- 直接ガスタービン発電専用小型炉の設計概念の構築

を果たし、世界トップの研究開発成果を上げている。

2. 今後は、

- HTTRを用いてさらに過酷な安全性の実証
- ISプロセス炉外水素製造試験及びHTTRによる原子力水素製造
- 燃料・材料の高性能化

等に関する研究開発を進めていきたい。

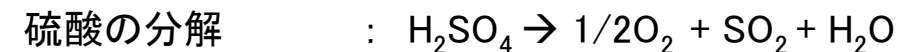
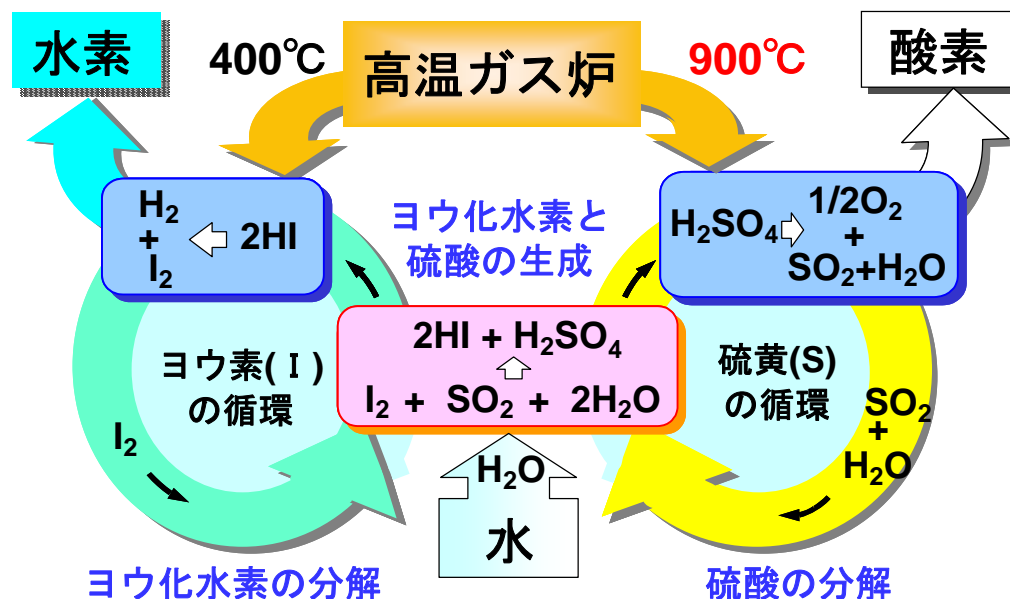
3. 小型の高温ガス炉は極めて安全で、多目的用途に適している。このため、途上国も含め、原子力エネルギー利用分野の拡大に重要な先進的原子力システムと考えられる。

参考資料

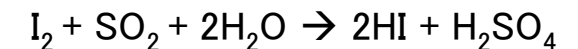
1. 熱化学法 ISプロセスによる水素製造
2. 世界の高温ガス炉／水素製造の開発状況

1. 熱化学法 ISプロセスによる水素製造

- 現在、水素はそのほとんどが化石燃料である天然ガスを原料及びエネルギー源とした水蒸気改質法で生産されており、水素製造時に炭酸ガス(CO₂)を排出。
- CO₂を排出しない水の熱分解には、4000°Cもの高温が必要。
- 熱化学法は、化学の力を借りてより低温で水を熱分解。
- 熱化学法ISプロセスは、ヨウ素(I)及び硫黄(S)の化合物をプロセス物質として用い、三つの化学反応を組み合わせ、900°C程度で水を熱分解。
- 我が国は、世界のトップランナーとしてISプロセスによる水素製造技術開発を推進中。



ヨウ化水素と硫酸の生成:



2. 世界の高温ガス炉／水素製造の開発状況

