

第2回及び第3回作業部会における 指摘事項への回答

独立行政法人日本原子力研究開発機構

1. 実用高温ガス炉の経済性
2. 水素製造の経済性
3. 実用高温ガス炉の健全性

1. 実用高温ガス炉の経済性

(注) 本試算は、評価条件等が異なるため、エネルギー・環境会議コスト等検証委員会(平成23年12月19日)における軽水炉の発電コスト等と単純比較できるものではない。

実用高温ガス炉の経済性(2006年)

● 評価条件

- ✓ 実用高温ガス炉GTHTR300:4基/ユニット構成(60万kWt/基、27.5万kWe/基、110万kWe/ユニット)
- ✓ 平均燃焼度:120 GWd/t、プラント運転年数:40年、稼働率:80%、割引率:3%
- ✓ 習熟効果、連続生産の効果、および標準化効果を加味したN号機プラント、モジュラー工法を採用
- ✓ 建設費の評価範囲は、設備設計・製作、プラント建設および試運転とする。(研究開発費、許認可対応費、土地代、敷地造成費、燃料費および予備品費は範囲外)
- ✓ なお、実際の発電に至るまでには、更なる研究開発が必要とされることに留意が必要である。

発電コスト

〔単位: 円/kWh〕

4.2

1.5

1.1

1.6

高温ガス炉

稼働率
80%

■ 核燃料サイクル費用(1.5)

(原子燃料工業と協力し、原子力機構が試算)

〔ウラン購入・転換費:0.14、濃縮費:0.29、製造費:0.43*
再処理費:0.40、中間貯蔵費:0.02、廃棄物処理費:0.18〕

*:2006年当時の安全要求等に合致した製造施設における製造費

■ 運転維持費(1.1)

(原子力機構が試算)

〔修繕費:0.41、諸費:0.45、労務費:0.19、事業税:0.05、
業務分担費:0.01〕

■ 資本費(1.6)

(原子力機器メーカーと協力し、原子力機構が試算)

〔減価償却費:1.02、利子費用:0.24、固定資産税:0.11
廃炉費:0.21〕

実用高温ガス炉発電システムの建設費

2006年の報告書(*1)における実用高温ガス炉発電システムの1基あたりの建設費は、物量算定結果に基づき約550億円と評価。

項目	建設費(億円)
原子炉設備 〔RPV、炉内構造物、反応度制御系、燃料取扱・貯蔵設備、炉容器冷却設備 他〕	170
動力変換設備(主冷却設備) 〔タービン・圧縮機、発電機、動力変換容器、主要熱交換器、高温配管 他〕	140
補助設備 〔He純化設備、He貯蔵供給設備、冷却水設備、換気空調設備、放射線管理設備 他〕	70
電気設備・計測制御設備	60
建家・構築物 〔R/B、共用HX/B〕	110
合計	550

注記:初号機の建設費は約3割増となる。また、単基で製造した場合の建設費は約1割増となる。

*1) 武井他,「高温ガス炉ガスタービンシステム(GTHTR300)の経済性評価」,日本原子力学会和文論文誌, Vol. 5, No. 2, p.109-117, 2006.
(本報は、電源開発促進対策特別会計法に基づく文部科学省からの受託事業として、日本原子力研究所(当時)が実施した平成16年度「核熱利用システム技術開発」の成果である。)

実用高温ガス炉の経済性(2011年見直し)

発電コスト

6.4~5.8* (単位: 円/kWh)



高温ガス炉

稼働率
70~80%

- **政策経費 (1.1)**
 - 報告書(*2)の軽水炉と同じと仮定
立地、防災、広報、人材育成、評価・調査、
発電技術開発、将来発電技術開発他
- **核燃料サイクル費用 (1.4)**
 - 報告書(*2)の軽水炉と同様の下降率を仮定
- **運転維持費 (1.9~1.6*)**
 - 報告書(*2)の軽水炉と同様の上昇率を仮定
- **資本費 (2.0~1.7*)**
 - 報告書(*2)の軽水炉と同様の上昇率を仮定

*: 左の値は稼働率70%の場合(報告書(*2)の軽水炉と同様)、
右の値は稼働率80%の場合(2006年評価(前頁)と同様)
**: 割引率: 3%

- ✓ 実証炉建設および使用済燃料の再処理の実績が無いいため、左記の発電コストは、原子力機構が分析・評価した結果であり、2006年の報告書(*1)の4.2円/kWhを基に、報告書(*2)の軽水炉と同様の上昇・下降率を仮定して、2011年の値に見直したものである。
- ✓ エネルギー・環境会議コスト等検証委員会報告書(平成23年12月19日)では、資本費、運転維持費、核燃料サイクル費用、政策経費のほか、追加的安全対策、事故リスクへの対応費用も加算されているが、「事故リスクへの対応費用」および「追加的安全対策」については、高温ガス炉では、シビアアクシデントの発生確率が著しく低いいためゼロとした。軽水炉と同じと仮定した場合は、それぞれ、0.5円/kWh以上および0.2円/kWhである。なお、本評価結果は、軽水炉の発電コスト等と単純比較できるものではない。なお、実際の発電に至るまでには、更なる研究開発が必要とされることに留意が必要である。

• 燃料濃縮度が高いことおよび被覆燃料粒子であることから、濃縮工程および再転換・成形加工(製造)工程のコストは高い

• 高燃焼度であることから発生する使用済燃料の量が少ないこと、およびプラント熱効率が高いことから再処理、廃棄物処理等のコストは低い

• プラント全体の設備数・物量が少ない分修繕費が低い

• プラント熱効率が高いことよりトータルで低い

• 出力密度が小さいため原子炉設備の建設コストは高い

• 原子炉設備以外の設備では、以下の点から建設コストが低い

- ✓ 水系および蒸気系の設備が軽水炉よりも大幅に低減
- ✓ それに伴い電気・計装設備の設備数や容量も低減
- ✓ 原子炉格納容器がなく、原子炉建家容積自体も軽水炉より小さい

*1) 武井他,「高温ガス炉ガスタービンシステム(GTHTTR300)の経済性評価」,日本原子力学会和文論文誌, Vol. 5, No. 2, p.109-117, 2006.

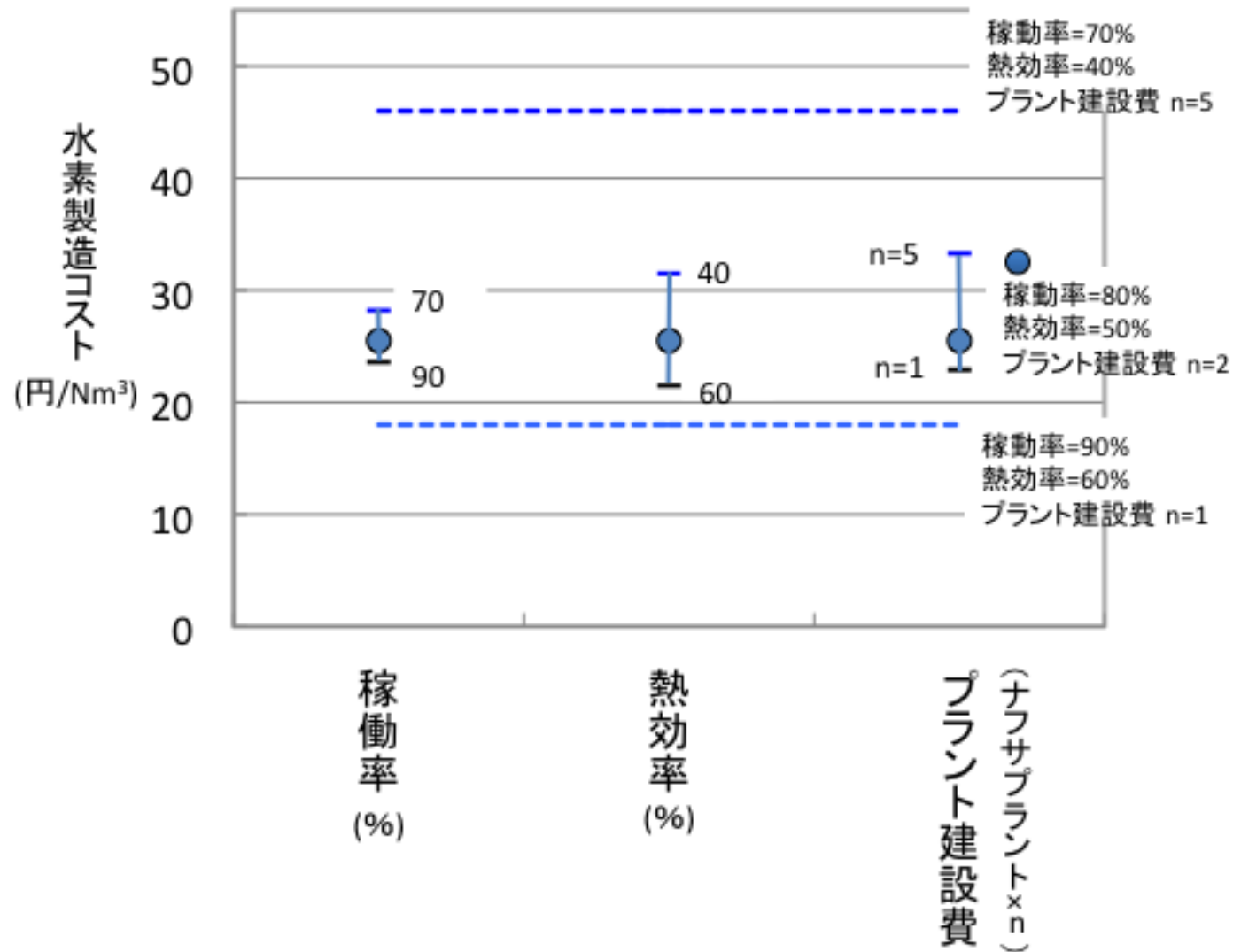
*2) エネルギー・環境会議 コスト等検証委員会編 コスト等検証委員会報告書(平成23年12月19日)

高温ガス炉が持つ、高いプラント熱効率、放射性物質の閉じ込め能力、優れた固有安全性を最大限に活用することにより、費用の軽減が可能

2. 水素製造の経済性

2-1 水素製造の経済性の感度

稼働率、熱効率、プラント建設費をパラメータとして変化させた際の水素製造コストについては、以下の通り計算される。



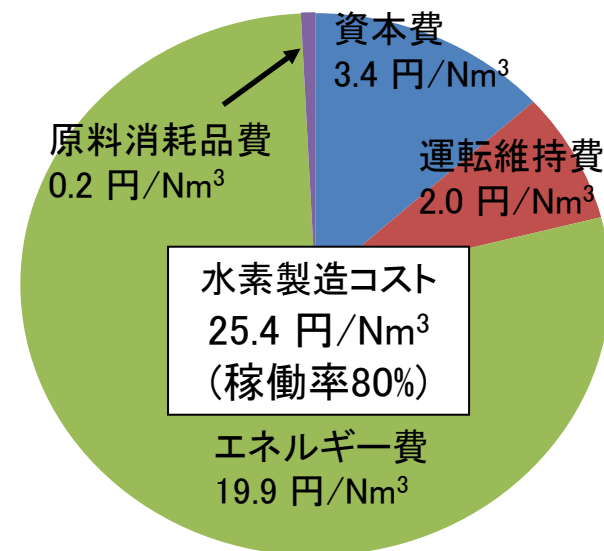
参考 水素製造の経済性

パラメーターが以下のケースの詳細

- ・稼働率 80%
- ・水素製造熱効率 50%
- ・プラント建設費 n=2 (同規模のナフサ改質プラント*1の2倍)

- 高温ガス炉水素製造コスト: 25 円/Nm³
- 算出方法・条件

$$\text{水素製造コスト} = \frac{\text{資本費} + \text{エネルギー費} + \text{運転維持費} + \text{原料消耗品費}}{\text{水素製造量}}$$



- 高温ガス炉: 600 MW、水素製造量: 85,000 Nm³/h
- エネルギー (熱及び電力) は高温ガス炉から供給する。
- 原子炉の運転年数は40年とする。化学反応器やプロセス配管など腐食性流体に接する主要機器は10年ごとに更新する。
- プラント建設費は習熟効果により設計費が不要と想定する。
- 技術開発により機器合理化、材料廉価化が達成できると想定する。

ナフサ改質プラントとISプロセスプラントの主要機器構成比較

		蒸発ユニット	気相分解ユニット	ガス分離ユニット	その他
ナフサ改質プラント		<ul style="list-style-type: none"> ・ 蒸気発生器 ・ 過熱器 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 水蒸気改質器 (管型反応器) 	<ul style="list-style-type: none"> ・ H₂ガス分離器 	<ul style="list-style-type: none"> ・ シフト反応器 ・ 原料供給設備
ISプロセスプラント	硫酸分解工程	<ul style="list-style-type: none"> ・ 硫酸濃縮器 ・ 硫酸蒸発器 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 硫酸分解器 (管型反応器) 	<ul style="list-style-type: none"> ・ O₂ガス分離器 	<ul style="list-style-type: none"> ・ ブンゼン反応器
	HI分解工程	<ul style="list-style-type: none"> ・ HI濃縮器 ・ HI蒸留塔 	<ul style="list-style-type: none"> ・ HI分解器 (管型反応器) 	<ul style="list-style-type: none"> ・ H₂ガス分離器 	

(プラント建設費をパラメーターとして水素製造コストの感度を評価)

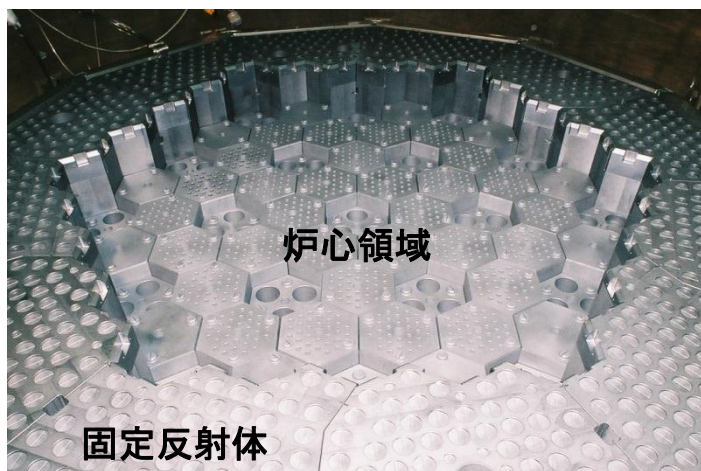
*1 水素社会における水素供給者のビジネスモデルと石油産業の位置づけに関する調査報告書, 石油産業活性化センター, PEC-2002P-04, 2003.。

3. 実用高温ガス炉の健全性

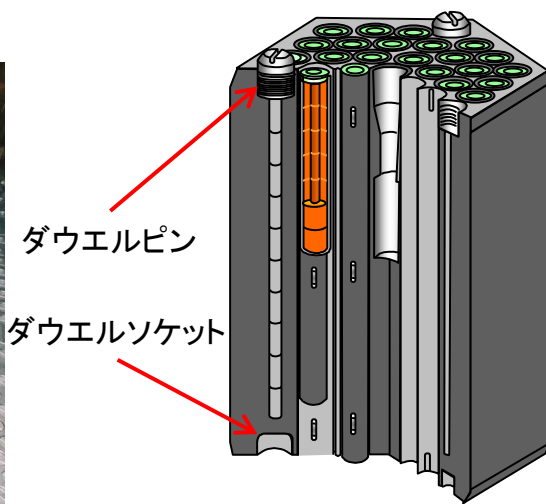
3-1 実用高温ガス炉の耐震健全性

実用高温ガス炉(GTHTR300)の黒鉛ブロックの耐震性

- 高温ガス炉の炉心は、周囲を大型黒鉛構造物の固定反射体で囲い、炉心拘束機構により固定反射体を円環状に緊縛して、炉心領域を形成する。
- 炉心領域には、六角形黒鉛ブロック(燃料体ブロック、制御棒案内ブロック、可動反射体ブロック)が積層されている。ブロック頂部のダウエルピンと底部のダウエルソケットの嵌め合い構造により、ブロックの位置が固定される。
- 水平方向の地震荷重はブロック側面、ダウエルピン、ダウエルソケットに作用する。
- そのため、ダウエルピン及びダウエルソケットの構造を最適化し、地震時に発生する応力を低減することにより、黒鉛ブロックの耐震健全性を確保する。

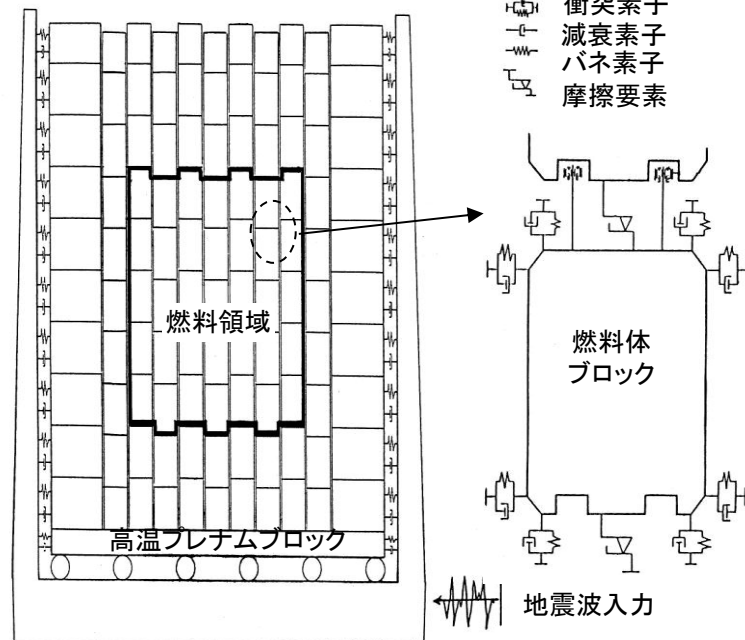


HTTRの炉心断面



燃料体ブロックの構造

炉心拘束機構



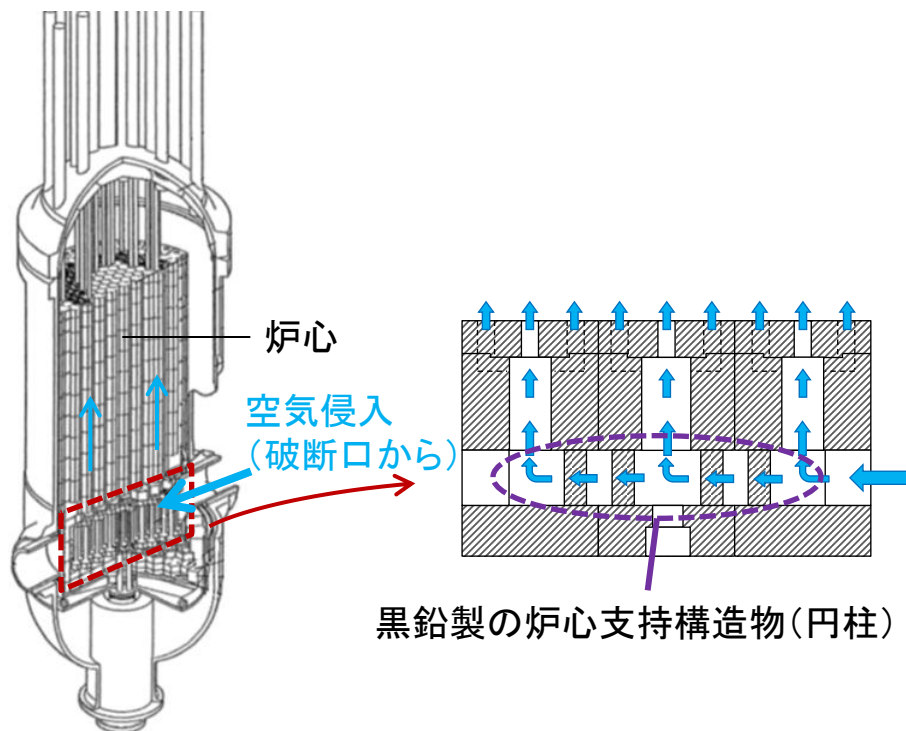
動的解析モデル

3-2 高温ガス炉の事故時健全性

冷却設備破断事故に関する補足説明

黒鉛製炉心支持構造物の酸化について

- 炉心は黒鉛製の炉心支持構造物(円柱)により支持される構造である。
- 冷却設備破断事故時の炉心の温度変化の状況、空気侵入量を評価し、予想される黒鉛酸化に伴う減肉量を見込んで黒鉛製の炉心支持構造物の設計を行うため、事故時においても炉心支持に必要な強度を確保できると評価される。
- 実用高温ガス炉の詳細設計、安全評価に際しては、確認が必要。



黒鉛酸化時の可燃性ガス発生について

- 冷却設備破断事故時には、炉心の黒鉛が酸化し、二酸化炭素(CO₂)及び一酸化炭素(CO)が発生する。
- 高温条件では化学平衡論的に、COはCO₂に変化するため、炉心内部でCOが爆発下限界濃度に達することはないと評価される。
- 事故発生後、時間経過により炉心温度が低下した条件ではCO及びCO₂の発生量が低下するため、爆発下限界値までCO濃度は上昇しないと評価される。
- 実用高温ガス炉の詳細設計、安全評価に際しては、確認が必要。

