

トリウム炉の導入シナリオと発電コスト

2010年10月15日(水)

東京大学 本郷キャンパス工学部8号館502大会議室

東海大学

高木 直行、滑川 東



第3回「軽水炉・高速炉におけるトリウム燃料の利用ワーキンググループ」2010年10月15日 東京大学本郷キャンパス

第3回「軽水炉・高速炉におけるトリウム燃料の利用ワーキンググループ」2010年10月15日 東京大学本郷キャンパス



内容

- 1 トリウム増殖炉の導入シナリオ
- 2 トリウム増殖炉の経済性評価

1 トリウム増殖炉の導入シナリオ

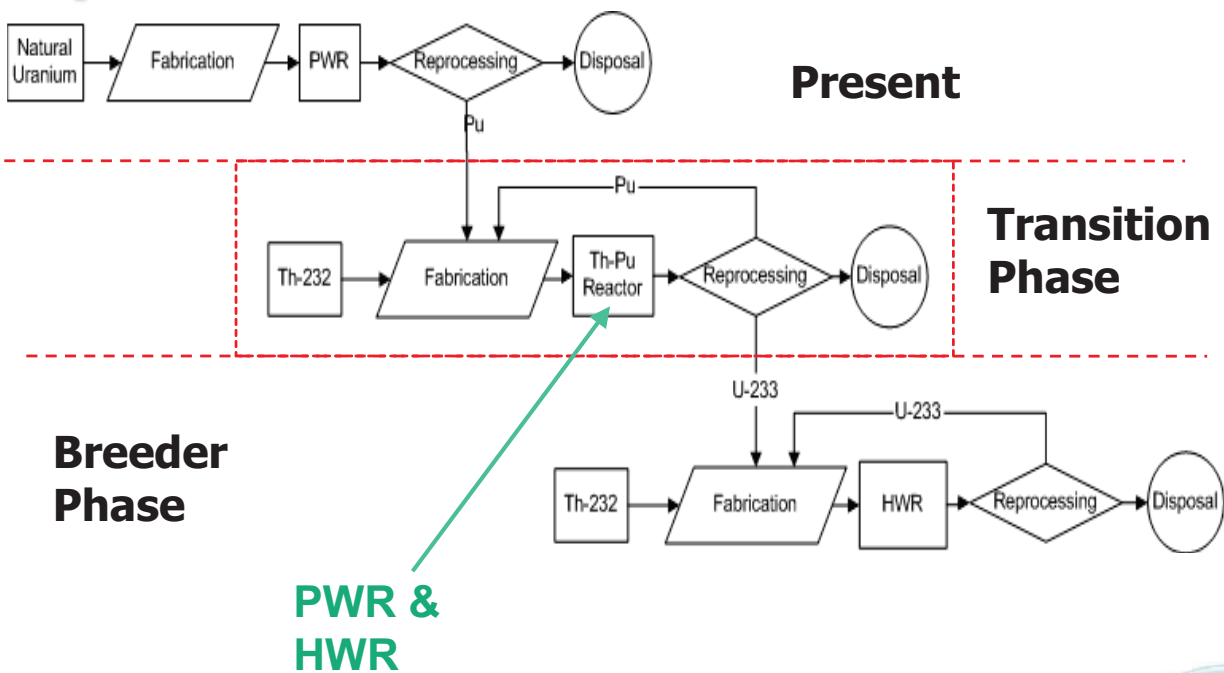


第3回「軽水炉・高速炉におけるトリウム燃料の利用ワーキンググループ」2010年10月15日 東京大学本郷キャンパス

第3回「軽水炉・高速炉におけるトリウム燃料の利用ワーキンググループ」2010年10月15日 東京大学本郷キャンパス



Fuel Cycle Scheme



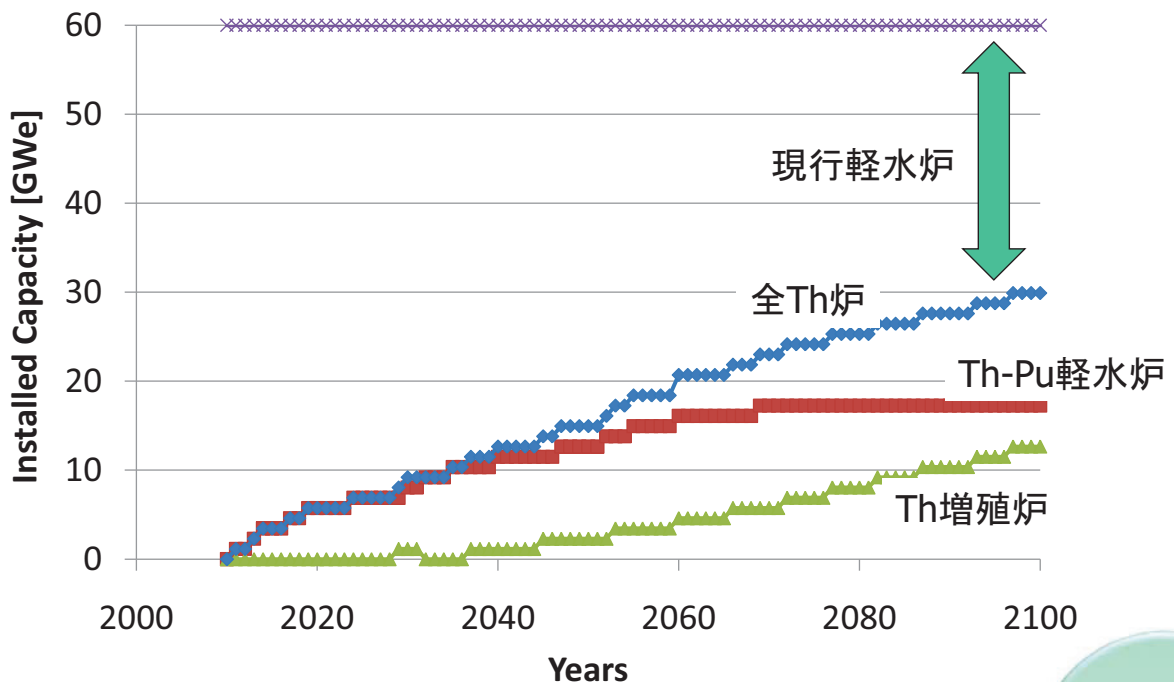


検討条件

- 総原子力発電容量
 - 60 GWe
- 現行軽水炉SFの再処理容量
 - 当面800 tHM/y
 - 以後 400 tHM/yずつ増設
- トリウム燃料の再処理容量
 - 再処理容量はSFの発生量に応じて調整



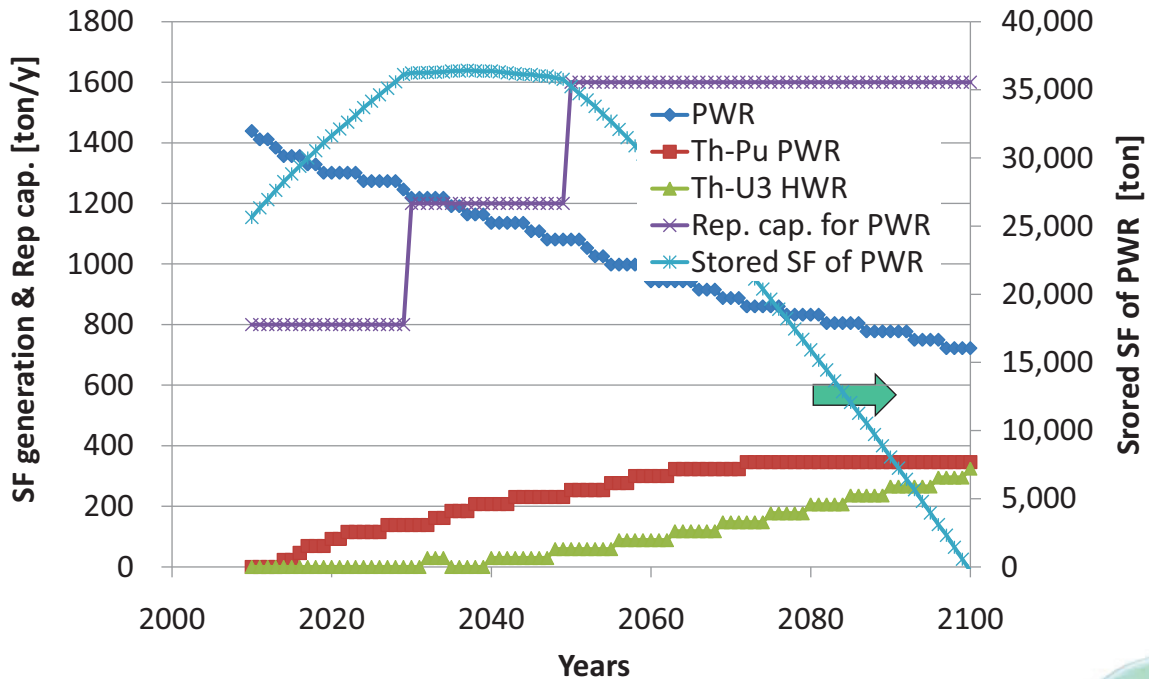
軽水炉→Th-Pu軽水炉→Th増殖炉



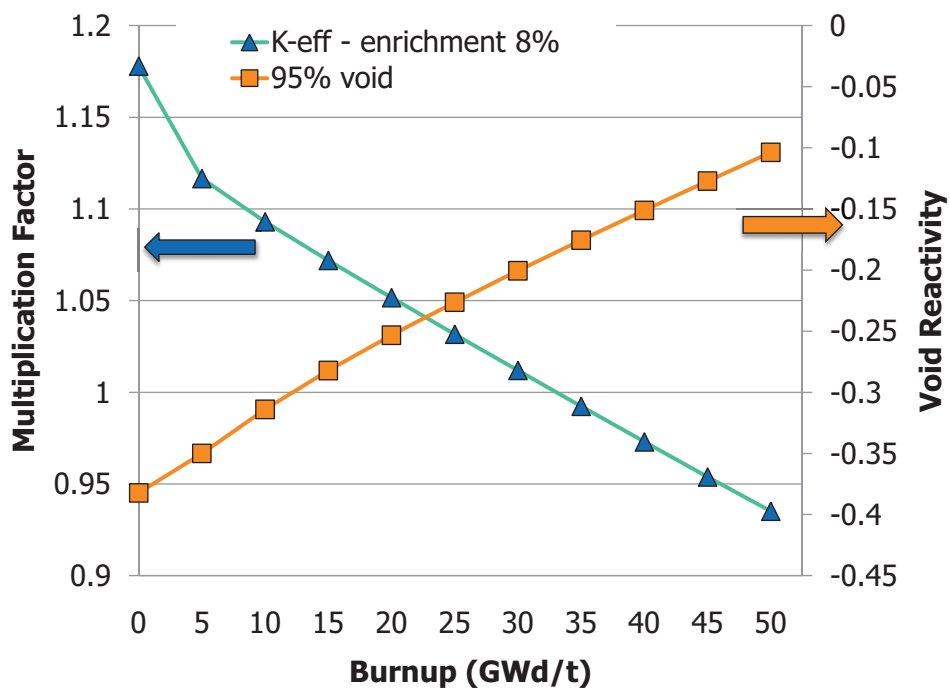


サイクル諸量

(軽水炉→Th-Pu軽水炉→Th増殖炉)

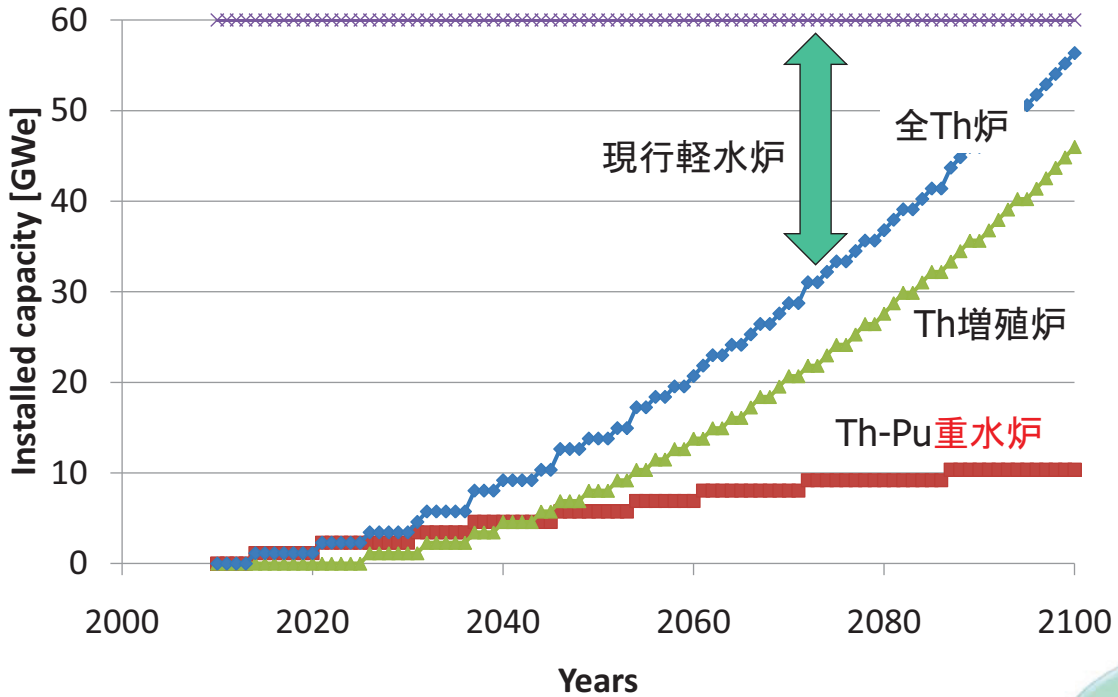


Th-Pu軽水炉の炉特性

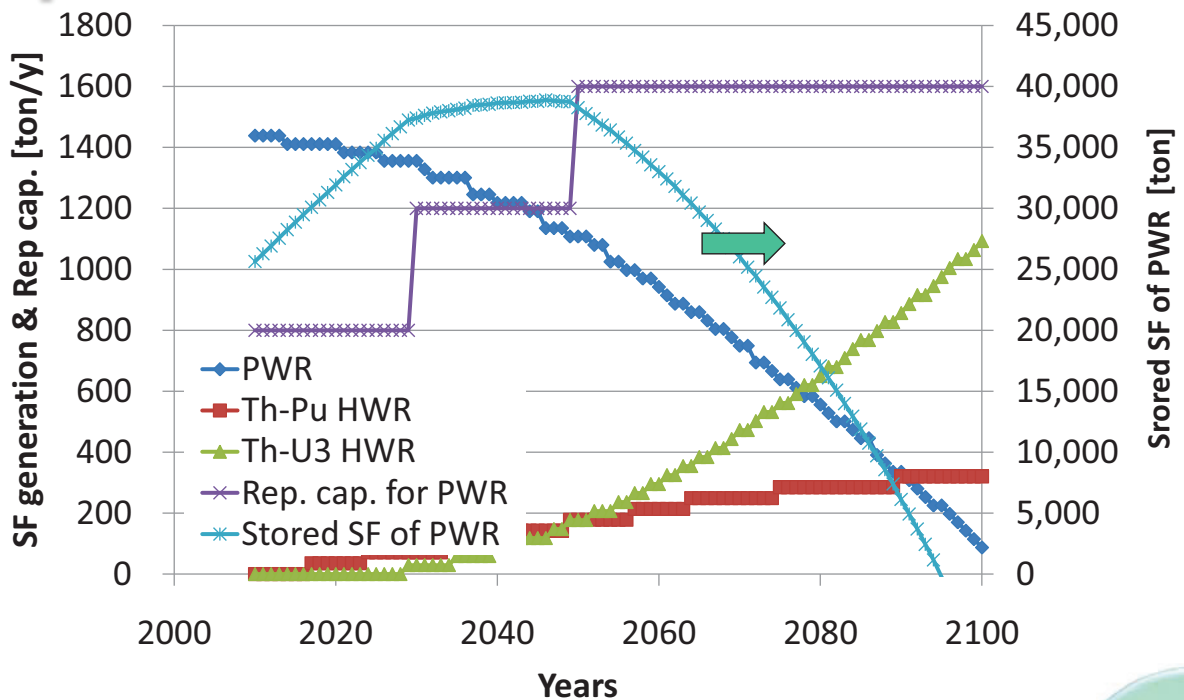




軽水炉→Th-Pu重水炉→Th増殖炉

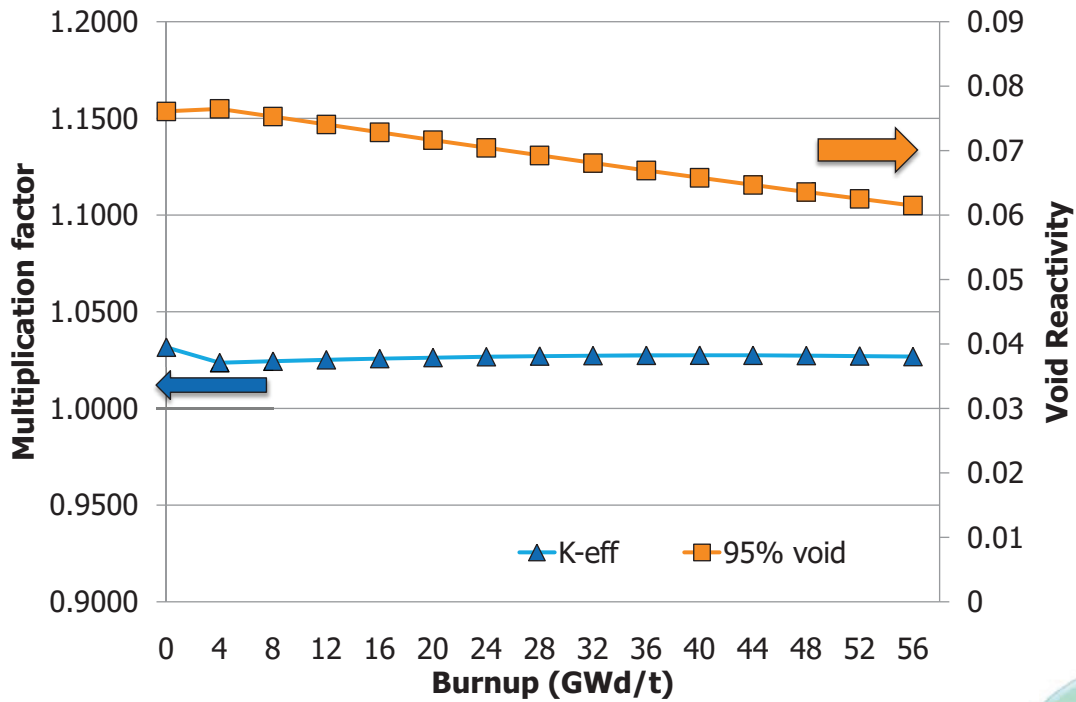


サイクル諸量 (軽水炉→Th-Pu重水炉*→Th増殖炉)





Th-Pu重水炉の炉特性 (MFR=1.2)



移行期炉心の特徴

	Th-Pu 軽水炉	Th-Pu 重水炉	Th-Pu 重水炉	
Coolant	H ₂ O	D ₂ O	D ₂ O	
MFR	~2.0	1.0	1.2	
Burnup	55	59	36	GWd/t
HM Inventory	91	158	132	ton
U-233 production rate	0.28	1.09	1.94	ton/y
Void coefficient	negative	positive	positive	

導入シナリオのまとめ

発電容量60GWe分の 軽水炉 をトリウム炉にリプレースする100年間のシナリオを検討

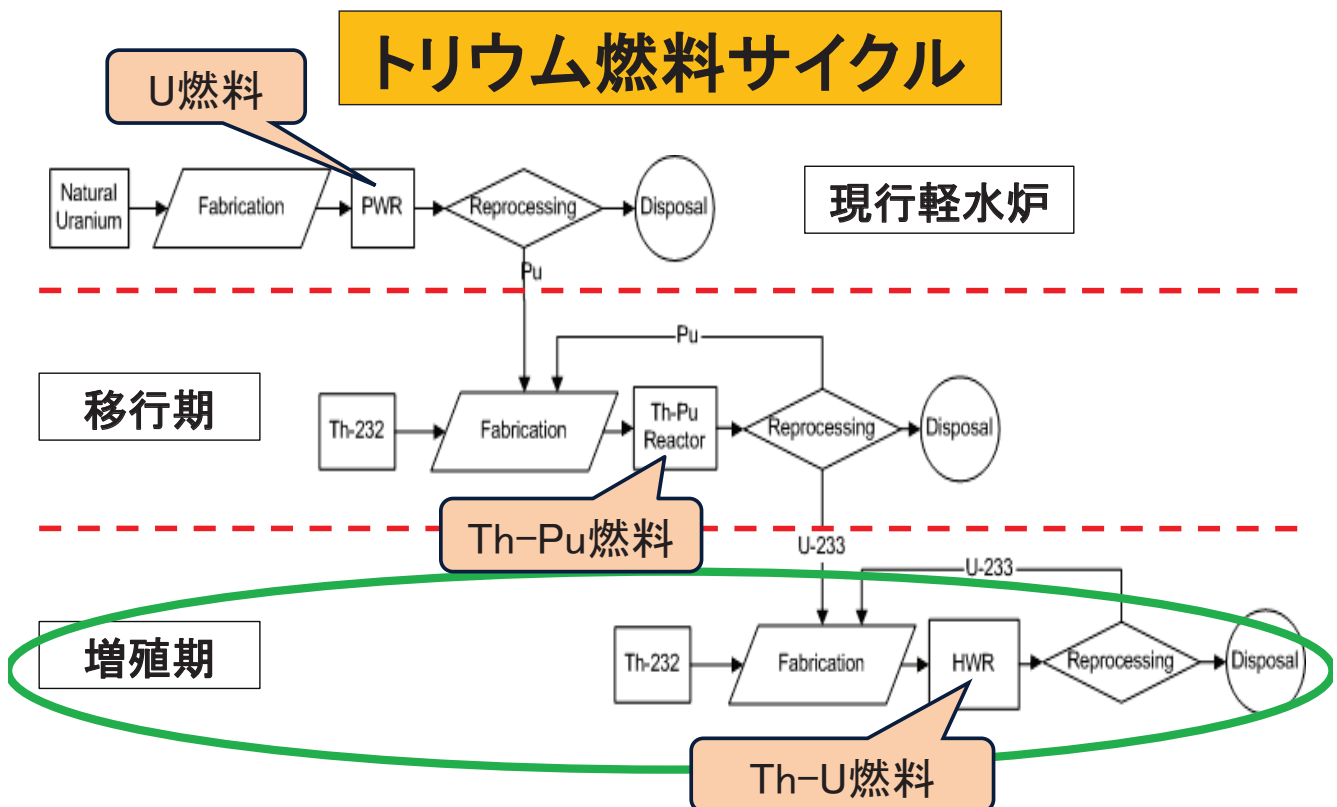
- 現行PWRにTh-Pu燃料を装荷する場合、U-233の生成速度が遅く、100年後のリプレース率は50%程度
- 重水炉(HWR)にTh-Pu燃料を装荷する場合、100年間で移行はほぼ完了。
- 但し、現検討段階では、Th-Pu燃料HWRは正のボイド反応度係数を持ち、炉設計に検討の余地有り。

2 トリウム増殖炉の経済性評価

目次

1. 背景・目的
2. 評価方法
3. 検討条件
4. 変動パラメーター
5. 結果
6. まとめ
7. 今後の課題

1. 背景・目的(1)



1. 背景・目的(2)

重水冷却トリウム増殖炉の 経済性評価の要点

コスト低減要因

- トリウムは濃縮(+転換、再転換)の必要がない(対L)
- 既存の軽水炉プラント技術を転用可能(対F)
- ウランよりも安価なトリウムを燃料に使用(対L&F)

コスト増加要因

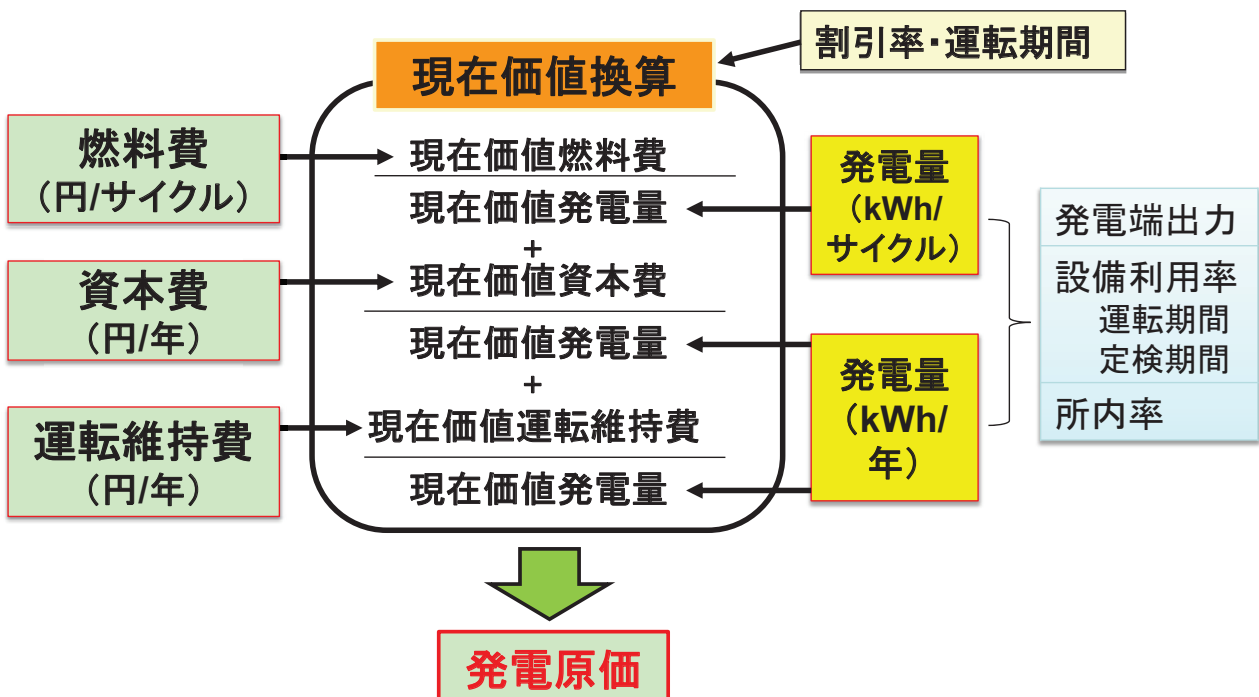
- プラント冷却システムを重水に対応した設計に変更(対L)
- Th酸化物の再処理が困難(対L&F)
- 炉やサイクル施設において強いγ線に対する遮蔽が必要(対L&F)

目的

軽水炉、高速増殖炉の発電原価との比較評価を行う

2. 評価方法

▶ 発電原価の算出方法は運転年数発電原価方式



3. 検討条件(1)

▶ 対象炉心の主要パラメーター

- 出力 : 3450MWt/1340MWe
- 燃料燃焼度 : 61.2GWd/t
- 燃焼期間 : 1000 日
- 炉停止期間 : 30 日
- 稼働率 : 97%

3. 検討条件(2)

比較対象の発電原価

●軽水炉の発電原価

5.3円/kWh : H16年に電気事業連合会が試算した結果。
計算対象炉は出力130万kW級のPWR。

●高速増殖炉の発電原価

2.6円/kWh : H22年7月にJAEAがFaCTフェーズ1の成果
として原子力委員会に報告した値。
計算対象炉はNa冷却の大型炉。

4. 変動パラメータ(1)

●原子炉プラントコスト

既存の軽水炉プラント技術を応用可能。
よって、現行軽水炉の建設単価を適用できる。

➤Nominal : 27.9万円/kW (3627億円)

電事連がH16の軽水炉コスト試算で用いた値。

➤Low : 13.0万円/kW (2210億円)

次世代軽水炉のプラントコスト(電力要件値)。

➤High : 42.8万円/kW (5044億円)

NominalとLowの差額をNominalに加算。

4. 変動パラメータ(2)

●トリウム価格

核燃料としてのトリウムを扱う市場が、ウランほど確立していない。
また、レアアースの精錬過程で廃棄物として出るトリウムを利用する
事で、さらに安くトリウムを調達できる。

➤Nominal : 728万円/t

インドのトリウム炉に関する経済性評価で用いられた

ThO₂価格(2008年)¹⁾。 1)Extending the global reach of nuclear energy through Thorium, Department of Atomic Energy Government of India

➤Low : 1万円/t

レアアースの採掘で廃棄物として蓄積されているThO₂
を利用した場合。

➤High : 1,588万円/t

アメリカ国内におけるThO₂の平均輸入価格(2008年)²⁾。

(用途はエネルギー利用以外に限る)

2)「USGS Mineral Commodity Summaries」, USGS, January 2009

4. 変動パラメータ(3)

●燃料加工単価

軽水炉燃料の燃料加工よりも技術的に困難。
U-PuのMOX燃料製造単価を基準に考えた。

➤Nominal : 26,200万円/tHM

電事連がH16の軽水炉コスト試算でMOX燃料加工・輸送の単価として用いた値。

(又は、H22年7月にJAEAがFaCTフェーズ1の成果として原子力委員会に報告した値)

➤Low : 20,960万円/tHM

Nominal × 0.8

➤High : 31,440万円/tHM

Nominal × 1.2

4. 変動パラメータ(4)

●再処理単価

強いガンマ線を遮蔽するために、設備の変更が必要となる。
また、Th酸化物燃料の再処理が困難である。

➤Nominal : 26,200万円/tHM

電事連がH16のコスト試算で用いた軽水炉燃料の再処理単価。

(又は、H22年7月にJAEAがFaCTフェーズ1の成果として原子力委員会に報告した値)

➤Low : 20,960万円/tHM

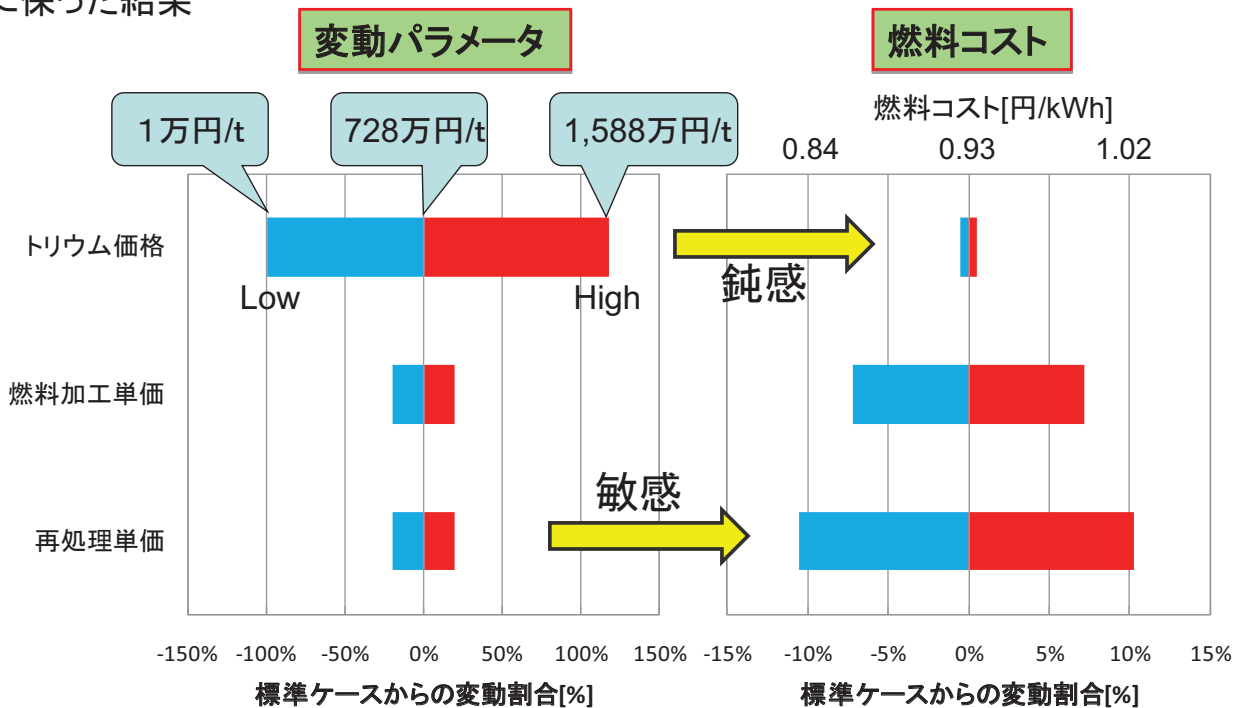
Nominal × 0.8

➤High : 31,440万円/tHM

Nominal × 1.2

5. 結果(1) - 燃料コストの感度解析 -

パラメーターそれぞれの変化に対して、その他すべてのパラメータは標準(Nominal)に保った結果



25

5. 結果(2) - 燃料コスト内訳 -

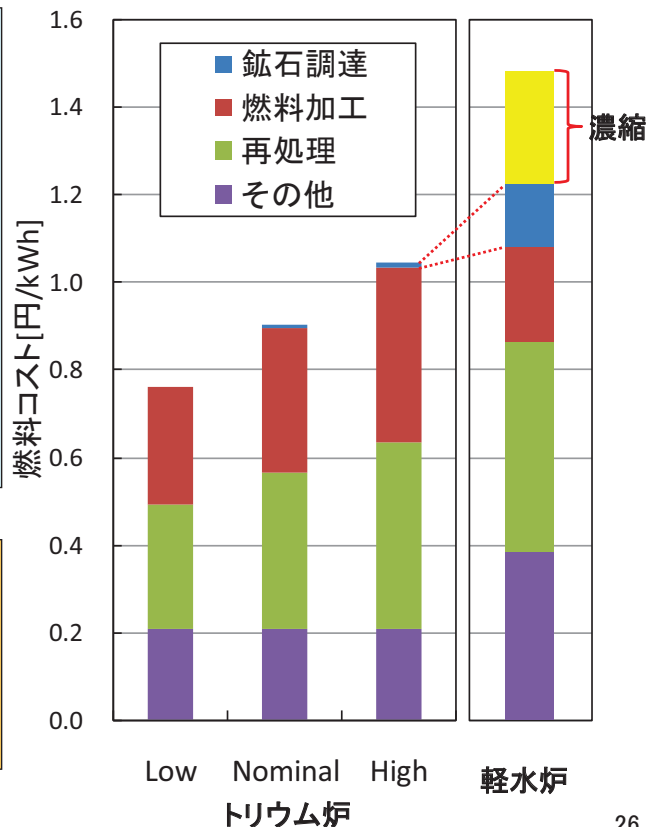
●濃縮費がかからないため、軽水炉に比べて燃料コストは大幅に削減される。

●さらに、天然トリウムの必要量が少ないため、トリウム価格は燃料コストにほとんど影響を与えない。

●よって、ウラン燃料で懸念されている燃料価格変動がコストに与える影響を最小限に抑えることができる。

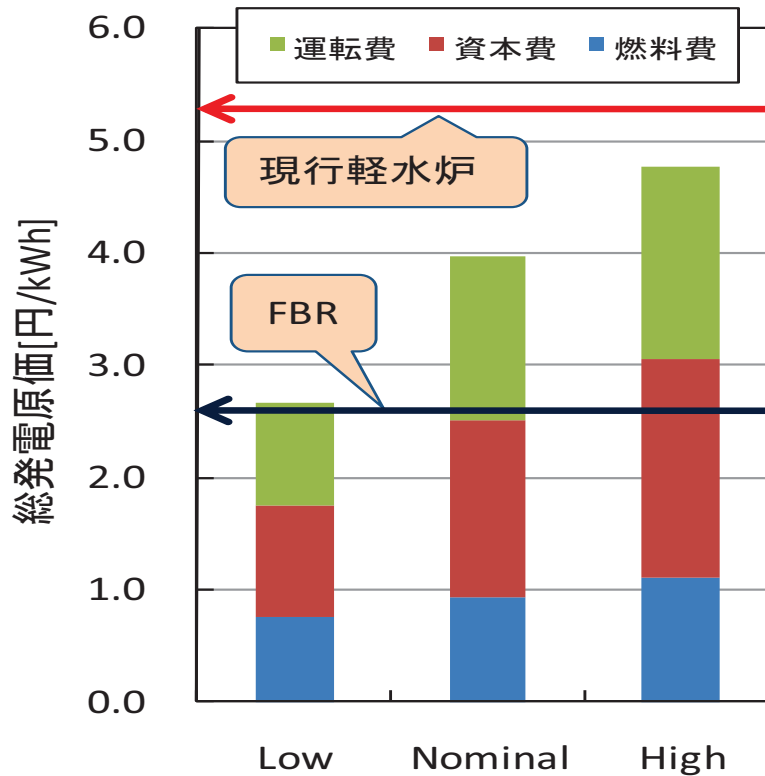
●コストへの感度が大きい燃料加工、再処理にγ線遮蔽の対応が必要。

●よって、遮蔽にかかる費用を極力抑えるべき。



26

5. 結果(3) - 総発電原価 -



27

6. 経済性評価のまとめ

項目		(保守的に見た) トリウム炉の優位性	
		対 軽水炉	対 FBR
燃焼度		○	×
稼働率		○	○
費用	プラント建設	同等	×
	鉱石調達	○	同等
	濃縮	○	同等
	燃料加工	×	×
	再処理	×	×
発電原価		○	×

- 軽水炉に対しては、十分な経済的競争力を持っている。
- FBRは燃焼度が大きく、経済性向上のための先進技術を多種導入しており低コスト。故にこれを下回ることは困難。
- トリウム増殖炉の発電原価は、軽水炉以下、FBR以上となる可能性が高い。

28

7. 今後の課題

- 経済性重視炉心の検討
- Th炉の導入シナリオを反映させた評価
- 現行期・移行期・増殖期を全て考慮した発電原価の算出
- 割引率の感度解析
- γ 線遮蔽に関して、より精度の高い分析

謝辞

本研究は原子燃料工業の委託研究として実施したものである。ここに謝意を表す。