

NGNP in the U.S.

The Canon Institute for Global Studies

Climate Change Symposium

The Role of Nuclear Energy and Climate Change

***With Special Focus on Heat Supply by HTGR and High-Level Radioactive
Waste Treatment by Fast Breeder Reactor***

Tokyo, Japan

February 3, 2015

Matt Richards

Director, Engineering and Design

Ultra Safe Nuclear Corporation

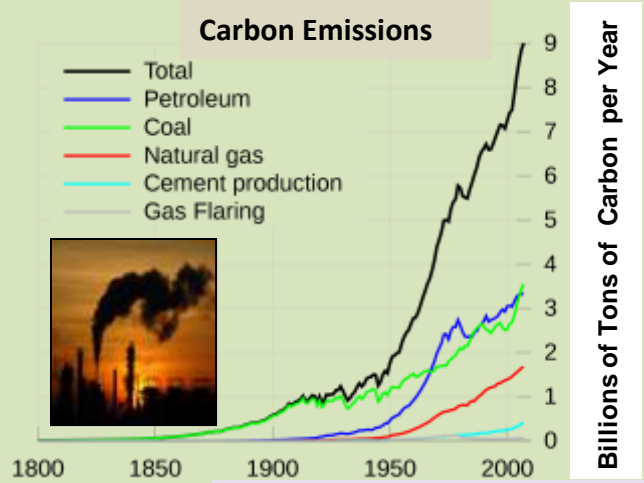
mrichards@ultrasafe-nuclear.com



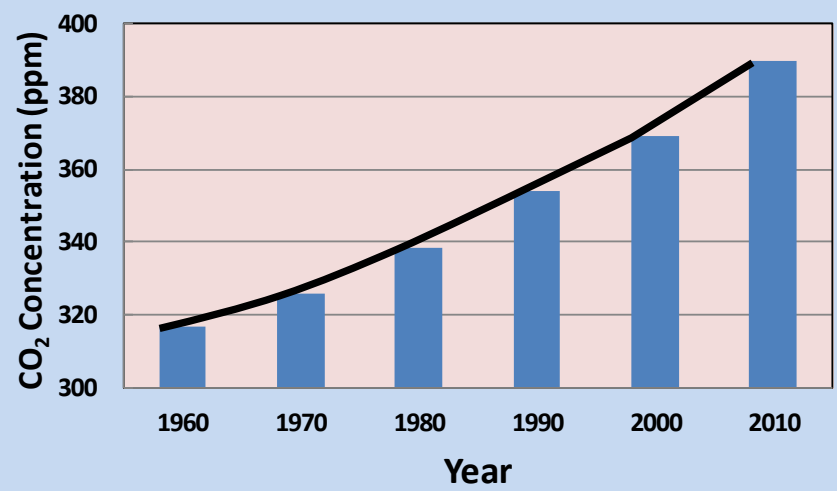
発表概要

- 温室効果ガス排出量と世界のエネルギー需給
- 次世代原子力プラント(NGNP)計画
 - 沿革
 - 現状
- NGNP産業アライアンス(NIA)
- モジュラー型高温ガス炉(モジュラー型ヘリウム冷却炉、MHR)の設計構想
 - 全般的設計特性と用途
 - MHRの安全設計
 - 米エネルギー省NGNP予備的概念設計
 - 米エネルギー省NGNP実証プラント概念設計
 - アレバ社の蒸気サイクルMHR構想
 - その他の進行中MHR構想
- NGNP TRISO(3重被覆)燃料開発プログラム
- NGNPの核熱用途と市場評価
 - 2012年NIA事業計画が認定した北米ターゲット市場
 - 日本・韓国でLNGに替わる発電源へ
 - 日本・韓国における原子力製鉄
 - サウジアラビアで石油に替わる発電源・プロセス熱源へ
- 結論
 - 今後は国際連携で

化石燃料の利用拡大は地球の炭素循環に悪影響を与えてきた



Significant Increase in Atmospheric CO₂ Concentration



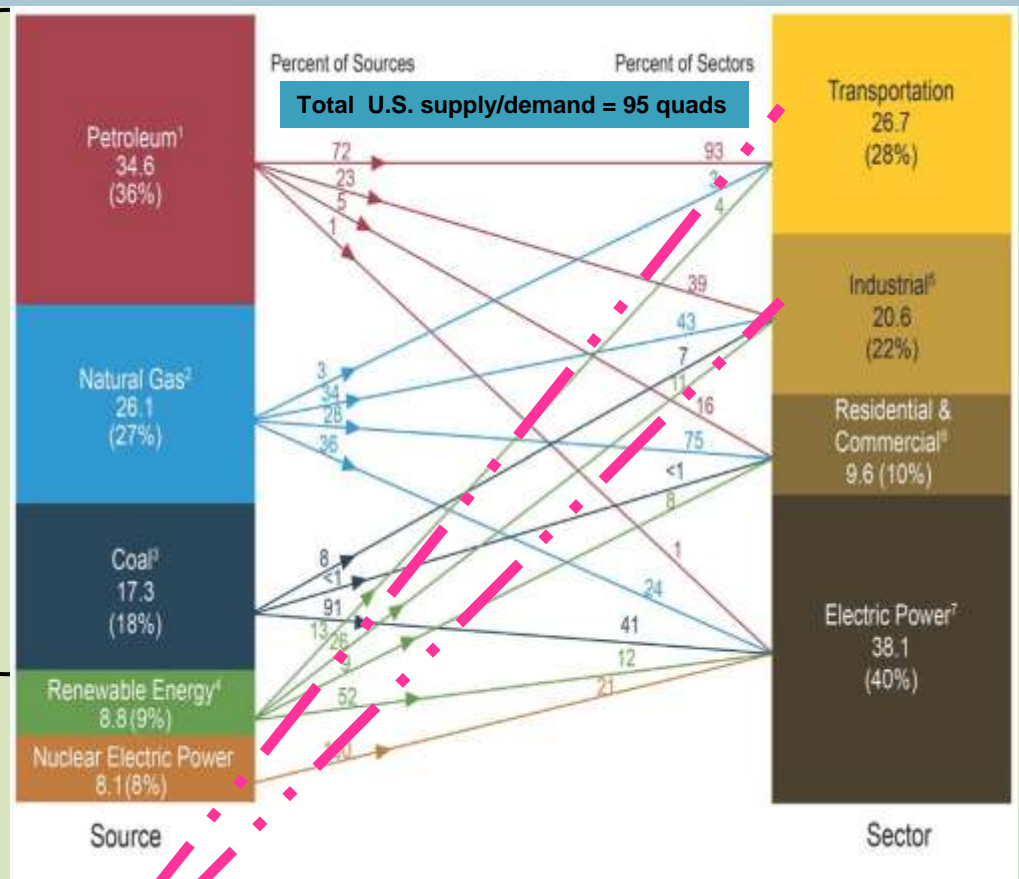
Rank	Country	Annual CO ₂ Emissions (Billions of Metric Tons)	Percentage of Global Total
	<i>World</i>	29.88	100%
1	China	7.03	23.33%
2	United States	5.46	18.11%
3	European Union	4.18	14.04%
4	India	1.74	5.78%
5	Russia	1.71	5.67%
6	Japan	1.21	4.01%
7	Germany	0.79	2.61%
8	Canada	0.54	1.80%
9	Iran	0.54	1.79%
10	United Kingdom	0.52	1.73%
11	South Korea	0.51	1.69%

80%

大気中の二酸化炭素 (CO₂) がさらに増加すれば、地球の気候に有害な影響を及ぼす可能性がある。CO₂排出量の削減は将来のエネルギー政策の最優先課題のひとつである。

米国のエネルギー需給(2012年)

91%が化石燃料由来



50%が製造・運輸向け

全世界では、エネルギー需要の78%が製造・運輸部門による

核熱？

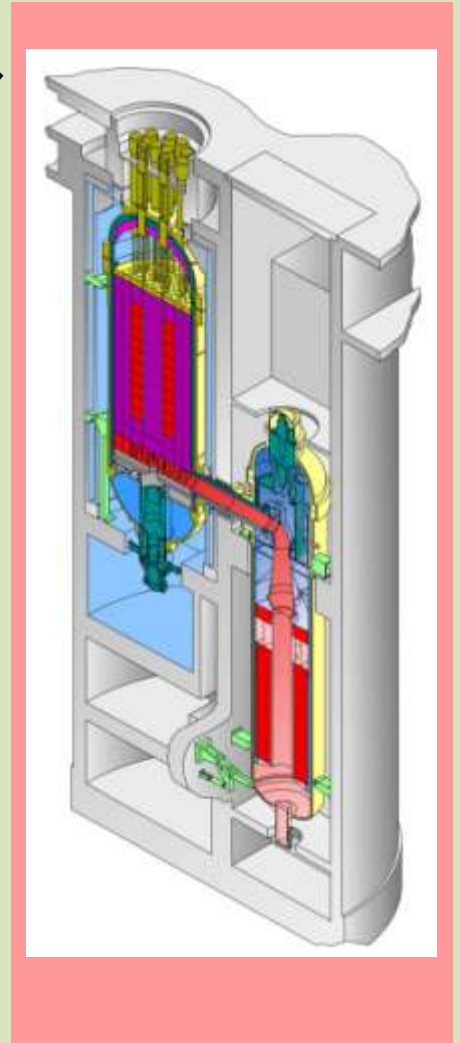
核熱によって、製造・運輸部門の石油・天然ガス・石炭利用は減らせるか？

CO₂排出量削減に有効な方策は？

- **省エネおよびエネルギー利用効率の改善**
 - これで需要拡大分を帳消しにするには限界がある
- **CO₂回収貯留 (CCS)**
 - 技術的には可能だが、莫大な量のCO₂の回収・輸送・貯留が必要
 - 経済には負の影響
 - 大量のCO₂が突然放出される危険性に伴う安全問題
- **再生可能エネルギーの利用拡大**
 - エネルギー密度が低く用途が限られる(特に高温時)
- **原子力エネルギーの利用拡大**
 - 化石燃料や再生可能エネルギーよりもエネルギー密度が高い
 - 石炭や天然ガスに替わる電力源となる
 - 石油・天然ガス・石炭に替わる製造・運輸部門向け資源となる
 - **高温性能を高めた次世代原子炉が必要**

NGNP(次世代原子力プラント)計画の沿革

- 米「2005年エネルギー政策法」(EPACT)で法制化
 - モジュラー型高温ガス炉(モジュラー型ヘリウム冷却炉、MHR)構想は、第4世代原子力システム計画に後押しされた研究開発に基づく
 - 米国エネルギー省から資金提供
 - **電力あるいは水素、もしくはその両方の生産と目標を定義**
- 予備的概念設計に向けて3社に出資(2007年)
 - ウェスティングハウス社(ペブルベッド型炉心)
 - ジェネラル・アトミックス社(六角ブロック型炉心)
 - アレバ社(六角ブロック型炉心)
- 概念設計の検討(2008~2009年)
 - 上記3社が各々率いる3チームが、異部門間戦略協議と個別問題研究を多岐にわたって実施
- 概念設計(2010~2011年)
 - **市場調査をもとに、目標の重点が短期での核熱・核熱蒸気の活用へと移行**
 - 米国エネルギー省との契約に至ったのはジェネラル・アトミックス社のみ



NGNP計画の現状(1/2)

- **ジェネラル・アトミックス社による概念設計が完了**
 - 2010年12月には概念設計報告書と主なシステム設計記述書すべてが完成
- **概念設計資料は米国原子力諮問委員会(NEAC)に提出**
- **NEACの勧告(2011年6月)**
 - NGNP実現への官民連携を推進する
 - NGNP設置に関わる不確定要素の減少につれコスト分担の必要が生じるため、連携は段階的に進めるべき
 - 規制枠組みを商用化に適応させるよう、米国原子力規制委員会(NRC)に引き続き求める
 - 予備安全解析書(PSAR)相当の詳細の立証に向け設計検討を継続
 - NGNP設置への取り組みを促進する

NGNP計画の現状(2/2)

- **官民連携はいまだ確立されていない**
 - NEAC勧告の実現には至らず
- **さらなる設計作業は保留中**
- **米国エネルギー省の技術開発事業はこれまで大成功**
 - TRISO(3重)被覆粒子燃料技術の再構築に米国で成功
 - 米バブコック・アンド・ウィルコックス社が商用規模設備で燃料製造
 - 照射試験と事故条件下加熱試験での燃料性能は優秀
 - 技術開発事業は継続、しかし出資額は減少
 - 原子力水素製造技術への力点は縮小
- **NGNP産業アライアンスは事業計画を策定中**
 - 国際連携・協定
- **2014年6月、米国会計検査院がエネルギー省に対しNGNP計画再開に向けた戦略を練るよう勧告**

NGNP産業アライアンス

<http://www.ngnpalliance.org/>



使命：高温ガス炉（HTGR）技術を商用化することで、産業用途での原子力
クリーン・エネルギーの利用を拡大し、プレミアム価格化石燃料への依存を
将来において大きく縮小させる

- 韓国原子力水素アライアンスと協力協定締結
- 欧州原子力熱電併給産業イニシアティブ（NC2I）と協力協定締結

NGNP産業アライアンスとモジュラー型ヘリウム冷却炉 (MHR)の主要実績

- ルイジアナ州ウォーターフォード原子力発電所敷地調査
- カナダのオイルサンドでのMHR応用
- 米国の二大石炭産出州(ワイオミング州、ケンタッキー州)でのMHR利用による石炭液化研究
- 製造プラント用途へのエネルギー供給に向けたMHR技術利用研究
- モジュラー型高温ガス炉(MHTGR)開発への資金力を維持するため、米国議会および政府と協力:2006年以来、約6億ドル
- アイダホ国立研究所との緊密な連携
 - 燃料・黒鉛事業
 - 事業計画と他の選定研究に米国エネルギー省から資金提供
- オハイオ州パイクトンおよび同州当局と高温ガス炉(HTGR)用地計画で協力する見込み(NC21と進めるGEMINIイニシアティブの「姉妹都市」候補)

米国エネルギー省、NGNP産業アライアンスと 300万ドルのコスト分担型契約

- 総額1,300万ドルの改良型原子炉研究開発向け資金5件のうちの1件
- 本件にはNGNP産業アライアンス、アレバ社、ウェスティングハウス社、テキサスA&M大学、ウルトラセーフニュークリア社が参加
- 高温ガス炉減圧事象中の原子炉建屋応答と空気残存量
- 実施期間は2年

構想中のGEMINIイニシアティブ:

EU/NC2Iとの共同事業

www.gemini-initiative.com

- 米国・EUのパートナー企業が連携協定のもと各国政府と協力
 - 各企業の設計・技術開発・許認可取得のコストを軽減
 - 資金の3分の1を米国政府、3分の1をEU政府、残りの3分の1を米国・EUの民間参加企業が分担で負担
 - 米国・EU双方から工学・製造・建築分野で最高の才能が結集
 - 被覆粒子燃料、黒鉛、高温素材など、米国とEUで実施中または完成済みの研究開発業績をフルに活用
 - 多政府による連携と資金提供が計画の安定性を高め、リスクを軽減し、未来の投資者への魅力を高める
 - グローバル市場でのチャンス拡大
 - エネルギー安全保障に大きく貢献し、米国とEU双方でCO₂排出量を削減する

NC21 参加メンバー



NC2I Vision for MHR Co-Generation



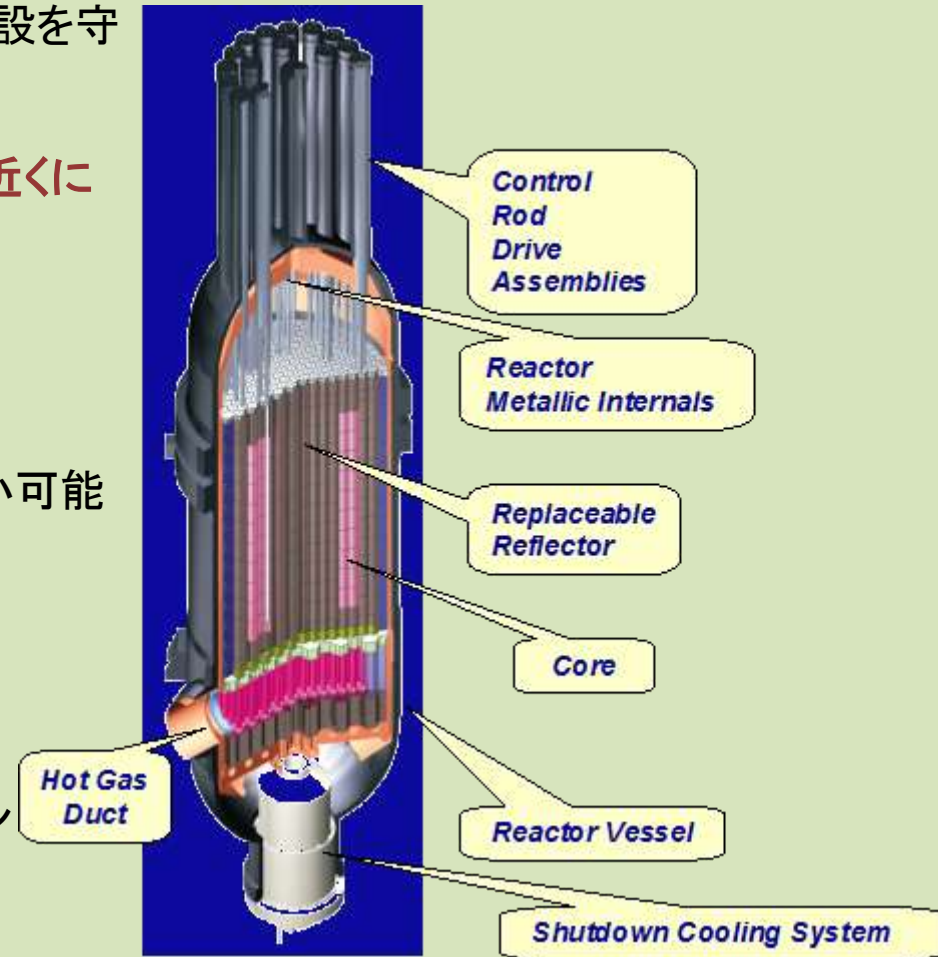
オハイオ州パイクトン: 米国MHR実証プラント候補地

- 候補地住民、利害関係者、エンドユーザーを早期に計画に巻き込むことが非常に重要
- ポーツマス・ガス拡散プラントはエネルギー省によって廃止作業中
 - 地元住民は原子力に賛成で、地域経済を支える新たな計画を望んでいる
 - 既存インフラが利用可能: 土地、輸送機関、地質、電力、水
 - 建設賛成派の連邦議員など、地元政界は好意的
- パイクトンはEUとのGEMINIイニシアティブの「姉妹都市」候補
 - 日本の「姉妹都市」候補は？



MHR(モジュラー型ヘリウム冷却炉)の設計特性は 多用途に適合

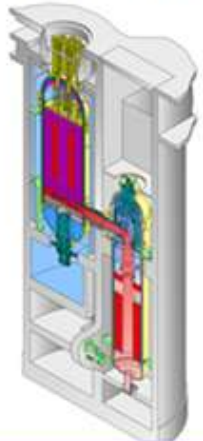
- 受動的固有安全性
 - 能動的な安全システムがなくても人と施設を守れる
 - 避難計画の必要なし
 - **エンドユーザーである製造プラントの近くに設置可能**
- 他には負けない経済性
 - 能動的な安全設備が不要
- 高い熱効率
 - **柔軟な用地計画が可能**
 - 廃熱排出量が少なく、水冷設備が縮小可能
- **多様なエネルギー出力での高温性能**
 - 電力
 - **核熱・核熱蒸気**
 - **水素**
- 柔軟な核燃料サイクル
 - 低濃縮ウラン、プルトニウム、超ウラントリウム
 - 燃焼性能が非常に高いTRISO燃料
 - 高速炉との組み合わせで核燃料サイクル相乗作用



MHRはより高温での用途に移行可能

短期: SC-MHR(蒸気サイクルMHR)

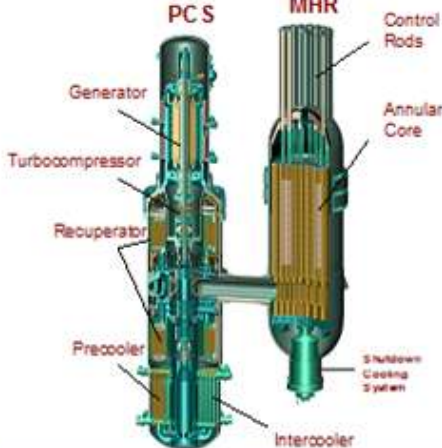
2020 - 2025



- 出口温度700~750°C
- 蒸気電力併産
- ユーザー: 化学プロセス業界、精製所、製鉄業者

中期: GT-MHR(ガスタービンMHR)

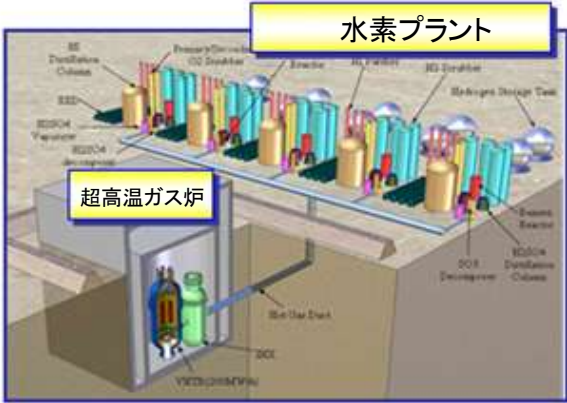
2025 - 2030



- 出口温度850°C
- 高い電力効率(~48%)
- ユーザー: 公益事業
- 基盤技術: ガスタービン

長期: PH-MHR(核熱MHR)

2030 - 2040



- 出口温度900~950°C
- 高温核熱
- ユーザー: 水素製造業者、化学プロセス業界、精製所
- 基盤技術: 高温IHX(中間熱交換器)

固有安全性のための基本的要件が MHR構想の本質をなしている

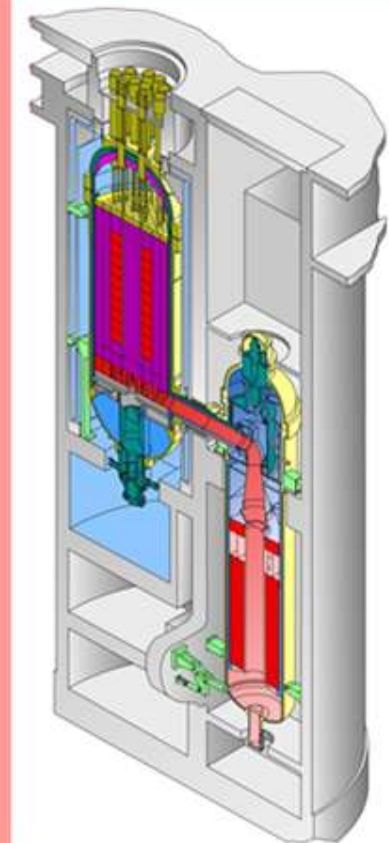
基本的要件

- 事故とその原因事象の苛酷度にかかわらず、原子炉の炉心溶融は物理的に起こり得ないものであるべきだ。
- 原子炉の炉心溶融防止と安全停止状態は、自然法則と受動的固有安全性のある設計特性のみによって実現されるべきだ。
- 事故の苛酷度にかかわらず、事故時の放射能放出を原因とする住民避難は不要であるべきだ。

設計特性

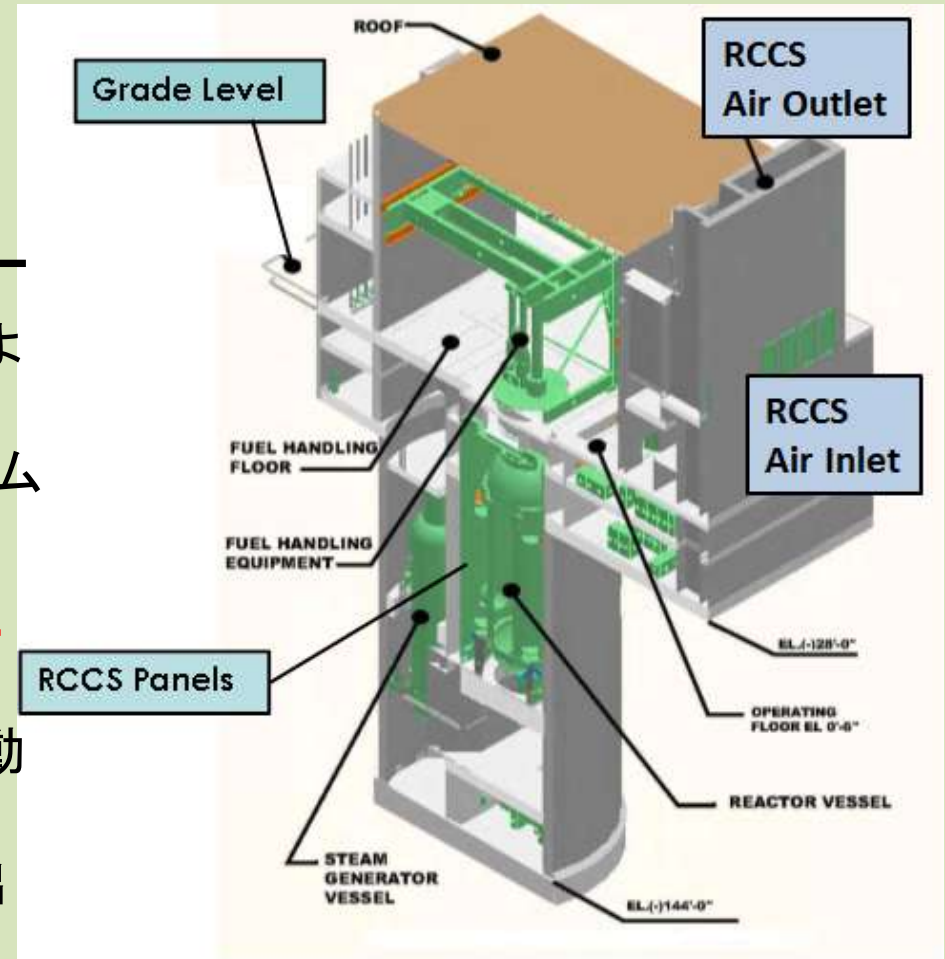
- セラミック被覆の粒子燃料
 - 冷却材喪失事故時に健全性を保持
- 熱容量の高い環状黒鉛炉心
 - 熱伝達を促進し、冷却材喪失事故時の温度上昇を抑制
- 低い出力密度
 - 通常運転時および事故時に適正温度を維持
- 不活性ヘリウム冷却材
 - 放射能の循環と沈着を軽減

設計構想



放出に対するバリア (機能的閉じ込め方式)

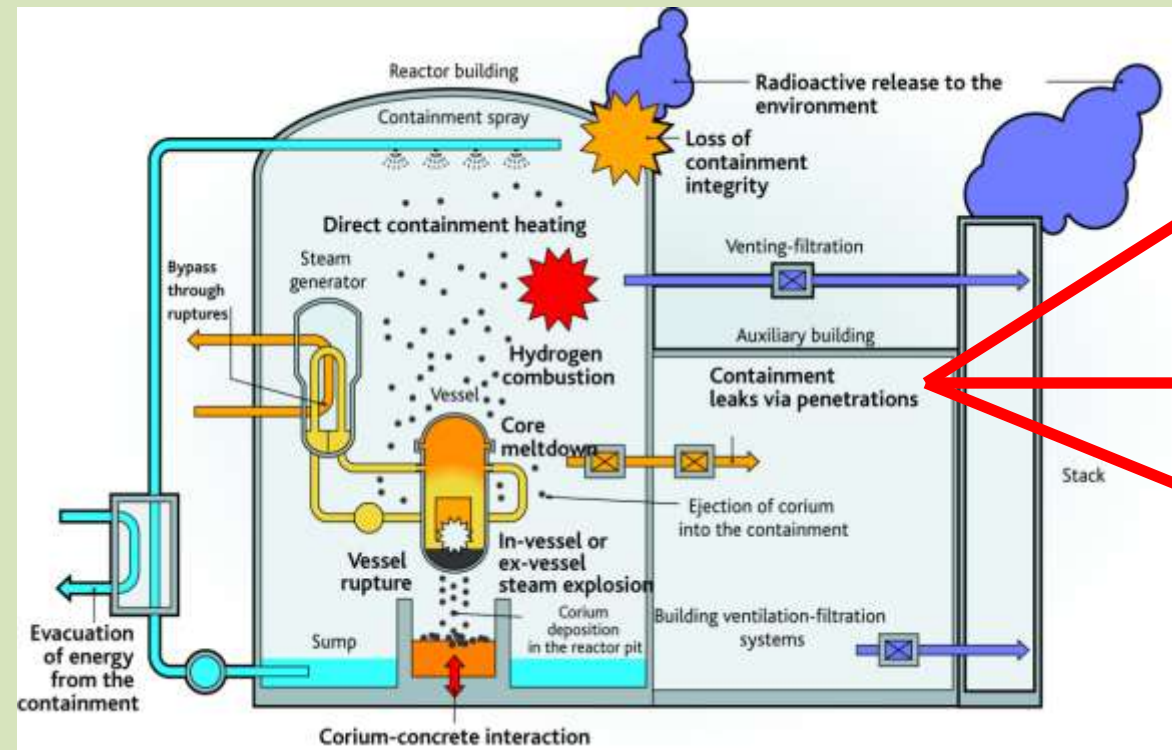
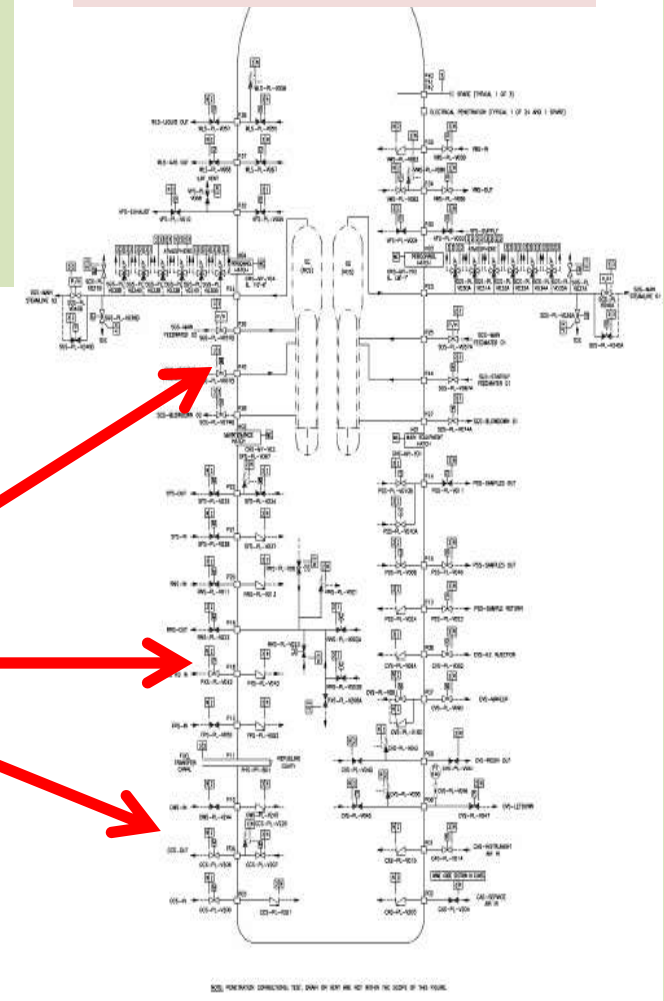
1. 燃料核
2. TRISO被覆システム
3. 燃料コンパクト・黒鉛
4. 一次冷却材圧力バウンダリー
 - ヘリウム純化設備がガス状および揮発性核分裂生成物を除去
 - 凝縮性核分裂生成物がヘリウムで湿った表面に沈着
5. 原子炉建屋: ベント付き**低圧**格納容器 (VLPC)
 - VLPCはMHRの低速での加熱変動に最適の安全対応となる
 - 低速での加熱中に燃料から放出される放射性核種の放出を促す力を除去



高圧格納容器には貫通部が多く 苛酷事故時に機能不全となる可能性がある

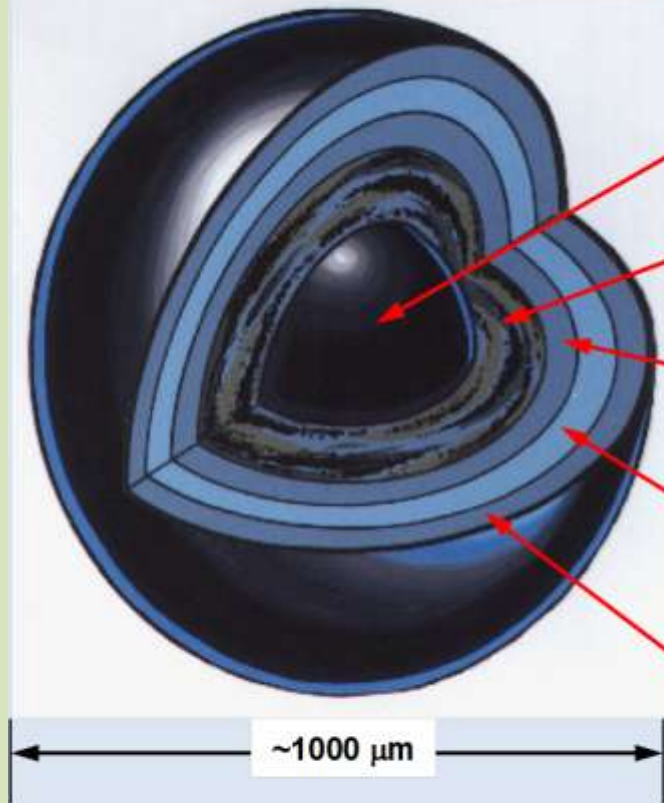
軽水炉建屋は苛酷事故が緩和できない間の放射性核種放出に対する第一障壁であり、その目的に沿った高圧格納施設として設計されている。

AP1000格納容器の貫通部



TRISO(3重)被覆粒子燃料が 放射性核種を根本的に閉じ込める

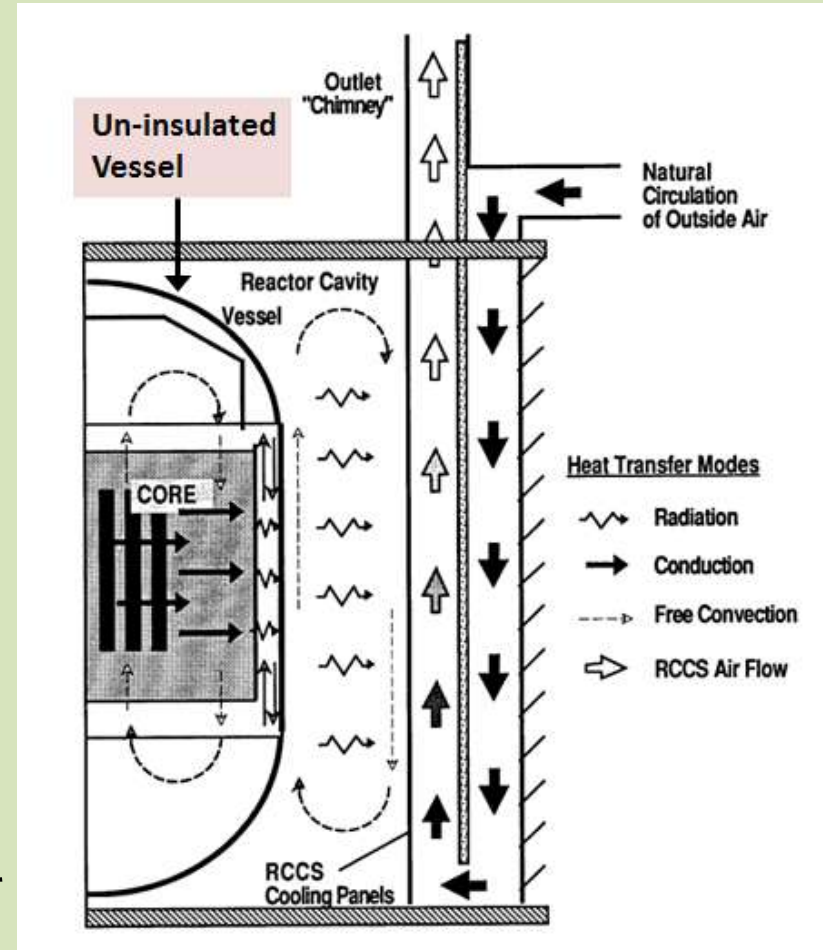
TRISO被覆システムは人工的構造物



- 燃料核
 - 核分裂エネルギーを産出
 - 酸素ポテンシャルを制御
- 緩衝層(多孔性炭素層)
 - ガス状核分裂生成物と一酸化炭素に空隙容積を与える
 - 燃料核のスウェリング(体積増加)を収容
 - 核分裂反跳粒子を減衰
- 内側熱分解炭素(IPyC)
 - 炭化ケイ素層の形成中に塩素腐食から燃料核を保護
 - 炭化ケイ素中の引張応力を軽減
 - ガス状核分裂生成物をせき止め
- 炭化ケイ素(SiC)
 - 一次的耐荷重部
 - ガス状および金属性核分裂生成物をせき止め
- 外側熱分解炭素(OPyC)
 - 炭化ケイ素中の引張応力を軽減
 - ガス状核分裂生成物をせき止め
 - 冷却材不純物による化学腐食から炭化ケイ素を保護

MHRには受動的かつ固有の安全特性がある

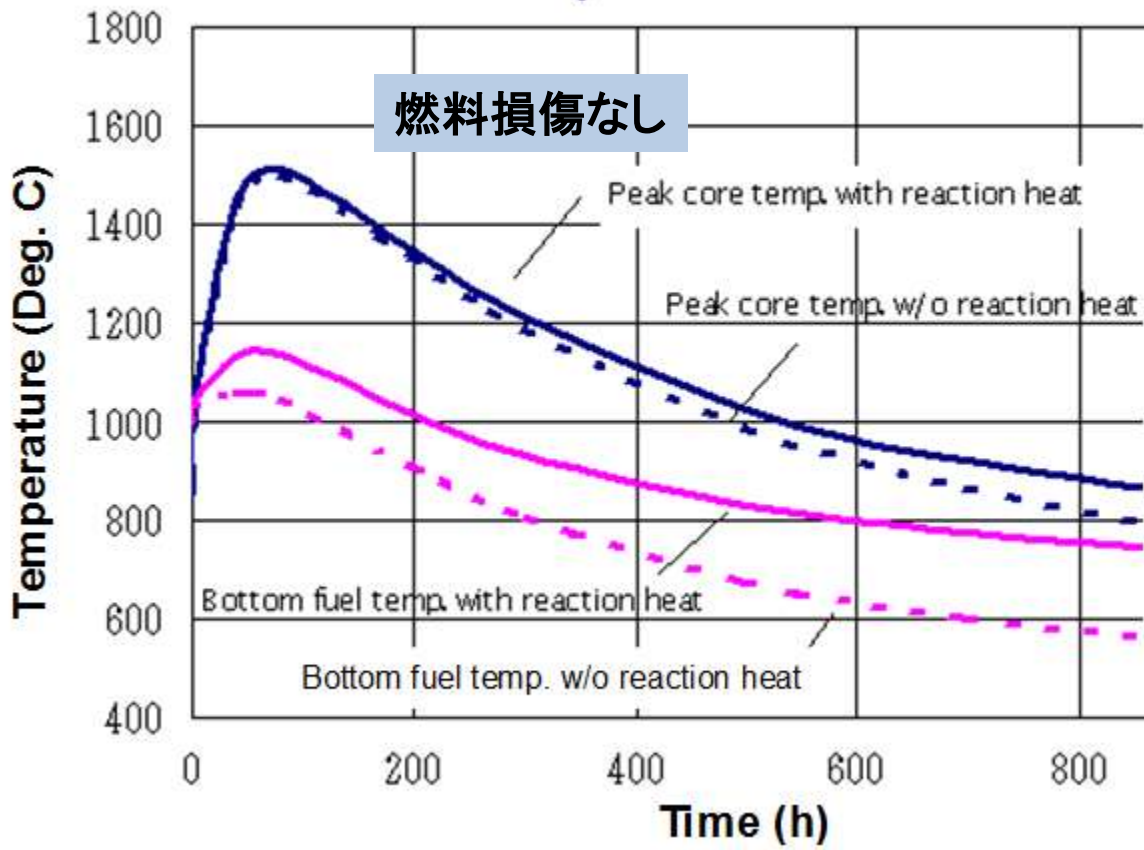
- 冷却材喪失事故時、崩壊熱は受動的原子炉キャビティ冷却システム(RCCS)が除去
- MHRの固有安全特性の例
 - 高温セラミック被覆粒子燃料
 - 環状黒鉛炉心：高い熱容量と広い表面積で熱伝達に優れる
 - 出力密度が比較的低い
 - 不活性ヘリウム冷却材：放射能の循環と沈着を軽減
 - 等温反応度係数はマイナス
 - 複数のバリアで放射性核種の放出をせき止め



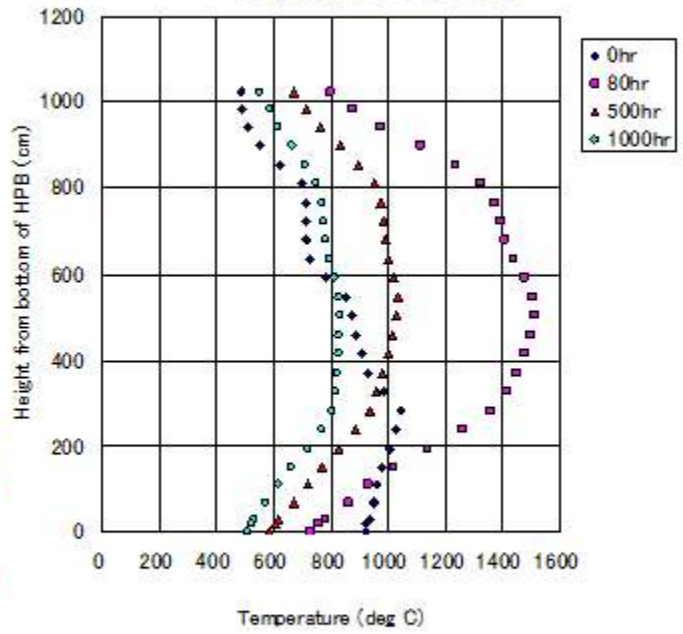
MHRは設計基準を超える事故に対しても 固有安全性をもつ

黒鉛炉心中への空気侵入を伴う原子炉システムの完全減圧

Time History



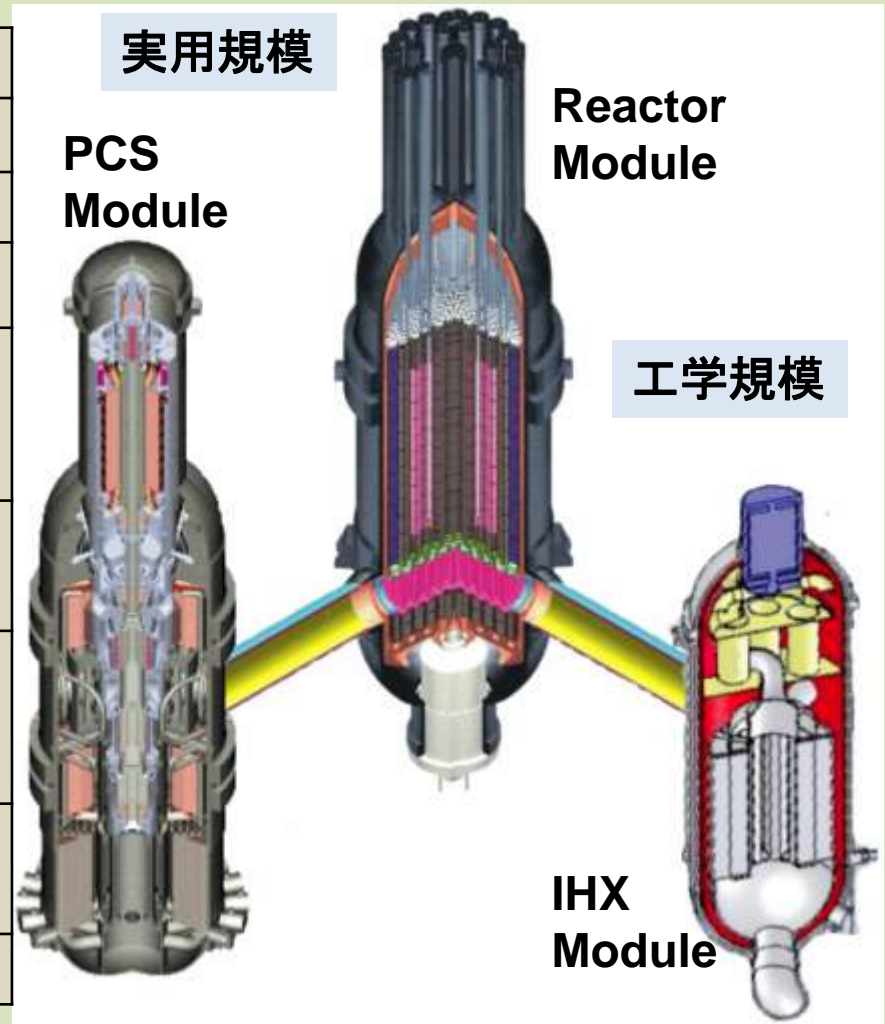
Axial Profile



カギとなる安全特性 — 非常にゆっくりと進む過渡変化

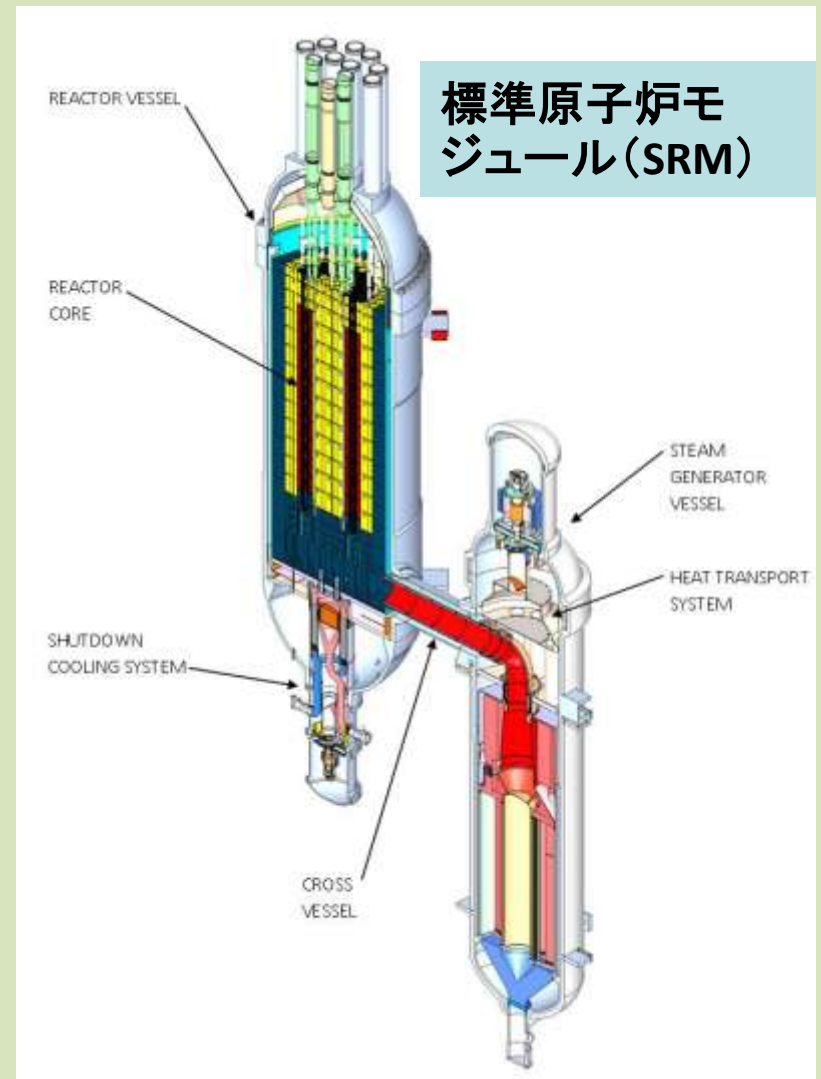
NGNPの予備的概念設計(2007年)

原子炉熱出力レベル	600MW(t)
冷却材入口温度	510°C~590°C
冷却材出口温度	950°C
一次系圧力	7MPa
出力変換	統合型出力変換システム(PCS)による実用規模直接ブレイトンサイクル
一次/二次冷却材	ヘリウム/ヘリウム
中間熱交換器(IHX)の種類/対数平均温度差	参考: プリント配線/25°C 予備: らせんコイル/91°C
水素製造実証値	硫黄-ヨウ素法: 60MW(t) 高圧電気分解: 4MW(t)
廃熱	乾式冷却塔

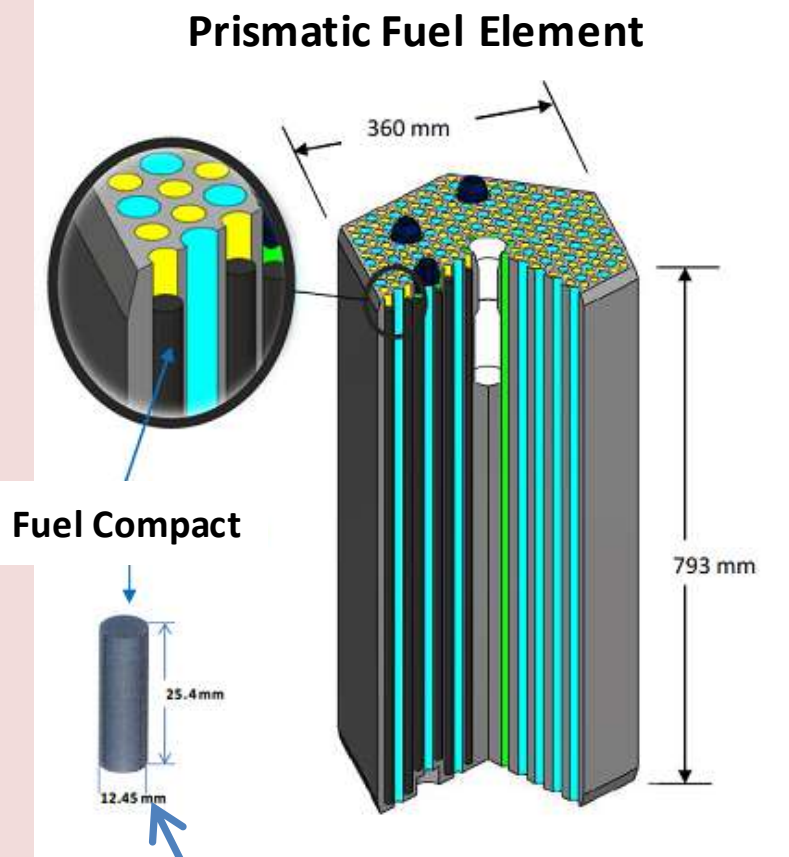
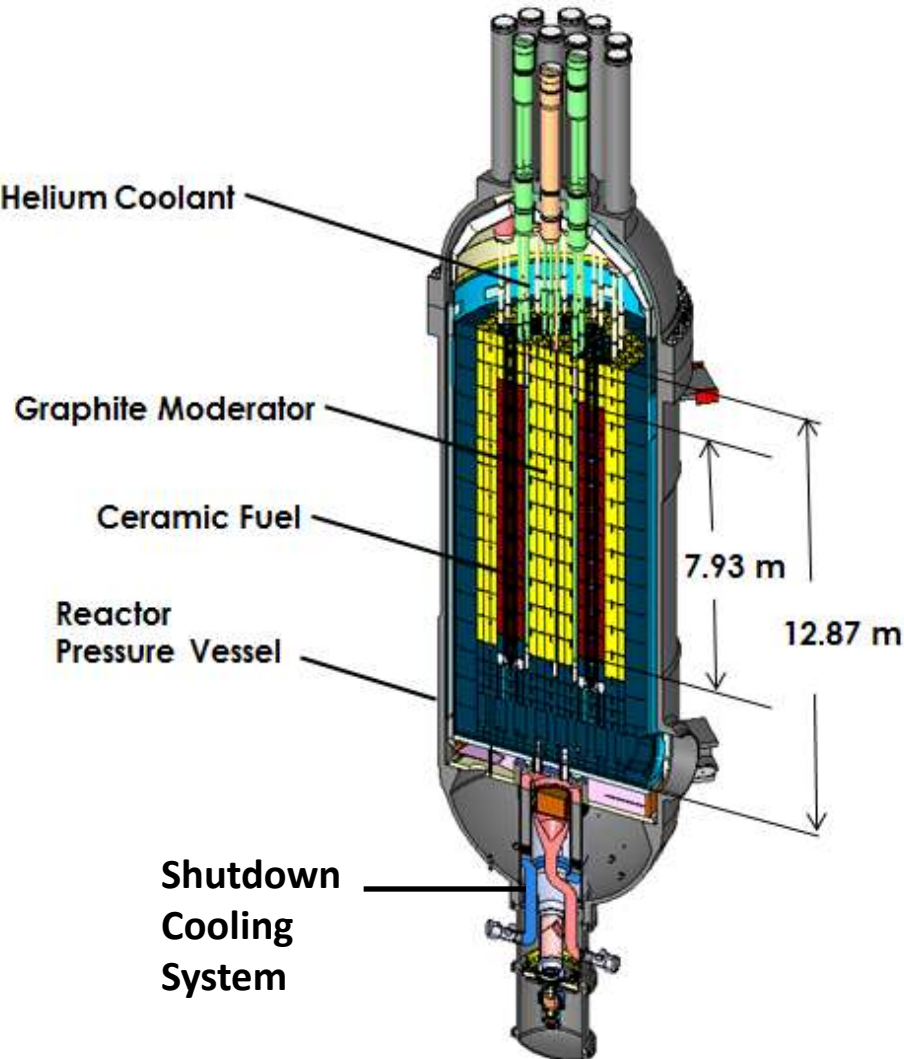


米国エネルギー省NGNP概念設計は蒸気サイクル式 モジュール型ヘリウム冷却炉(SC-MHR) (2010年)

- 1980年代から受け継がれた設計概念に基づく
- 原子炉熱出力レベル: 350MW(t)
- 原子炉入口／出口温度:
290°C / 725°C
- 一次ヘリウム圧力: 7MPa
- 核熱蒸気・電力併産
- 名目プラント生産高
 - 総電力: 68MW(e)
 - 電力純量: 56MW(e)
 - 蒸気産出量: 80kg/s [238MW(t)]



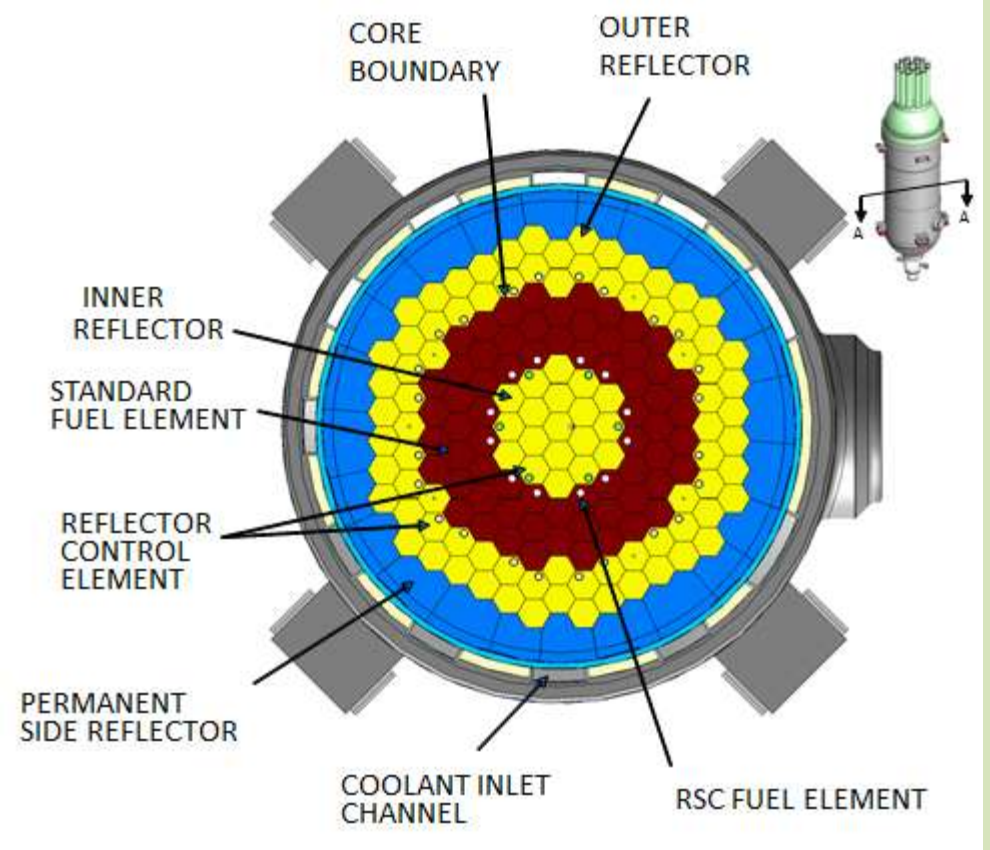
SC-MHR原子炉システム



環状燃料と反射体の配列によって、 冷却材喪失事故時も固有安全性を確保

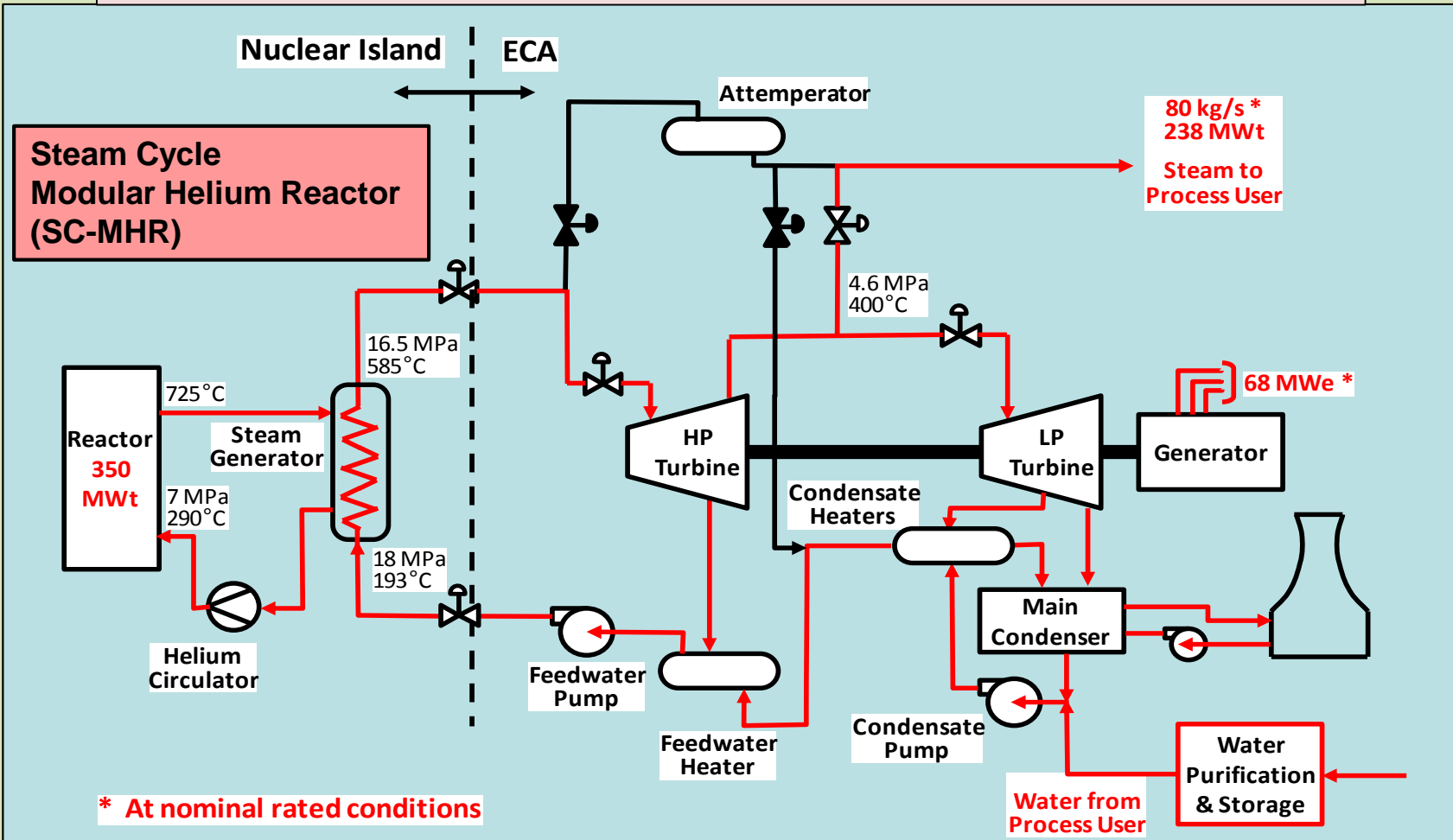
内側反射体は燃料のない部分で、熱容量が高い。
環状炉心で放射熱伝達面積は広がる(R²効果)。

炉心高さ	7.93m
燃料リング内径	1.65m
燃料リング外径	3.51m
燃料カラム数	66
燃料ブロック数	660
ウラン235濃縮度	15.5%
内側反射体制御棒	6
外側反射体制御棒	24
予備停止チャンネル	12
燃料交換にかかる日数	21日
燃料サイクル長さ	530EFPD (全出力換算日)
総燃料滞在時間	1,060EFPD
燃料の平均取出燃焼度	85GW-d/t



SC-MHRフロー略図

U.S. DOE Next Generation Nuclear Plant (NGNP) Project



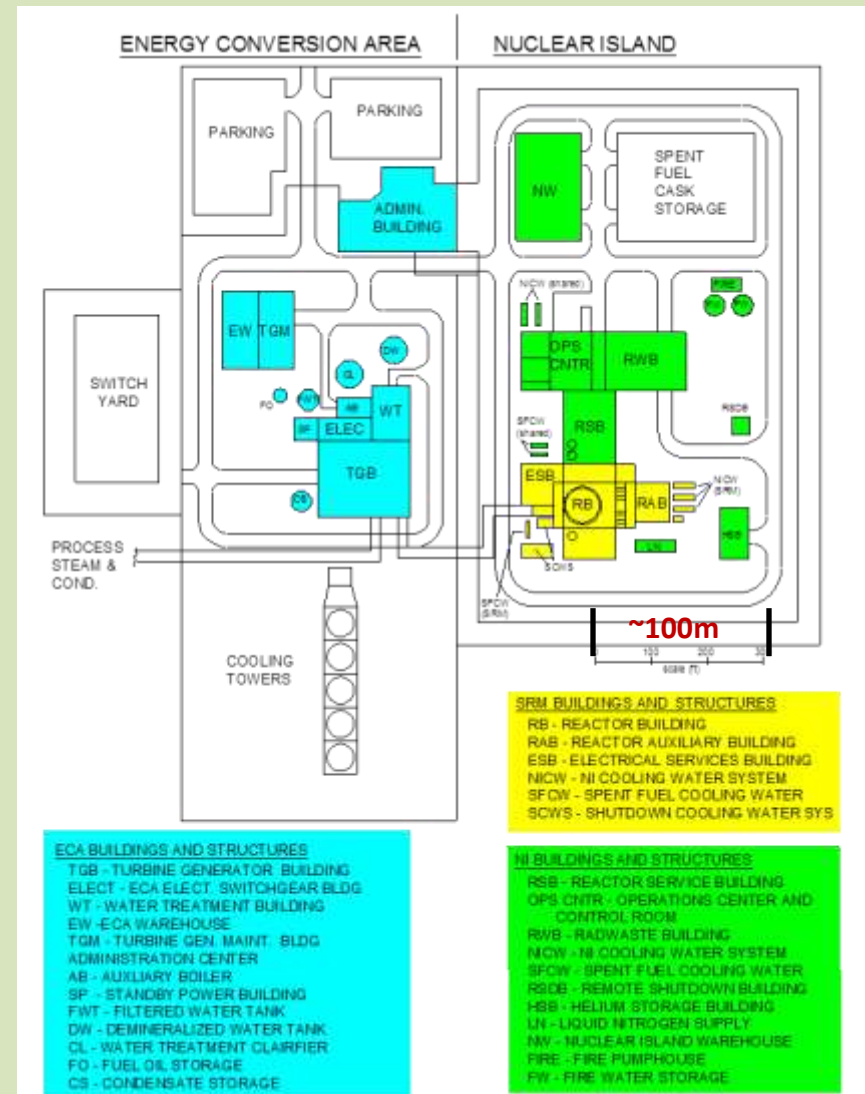
蒸気電力併産で熱効率を押し上げ

原子炉熱出力	350 MWt
蒸気発生器に送られる熱出力	352 MWt
ユーザー販売向け蒸気	238 MWt
発電に使われる熱エネルギー	115 MWt
発電量(総計)	67.9 MWe
想定所内負荷(10%)	6.8 MWe
販売向け電力(純量)	61.1 MWe
有効電力効率(純量ベース)	53%
総エネルギー産出量	299 MWe+MWt
有効プラント効率(産出量/出力)	85%

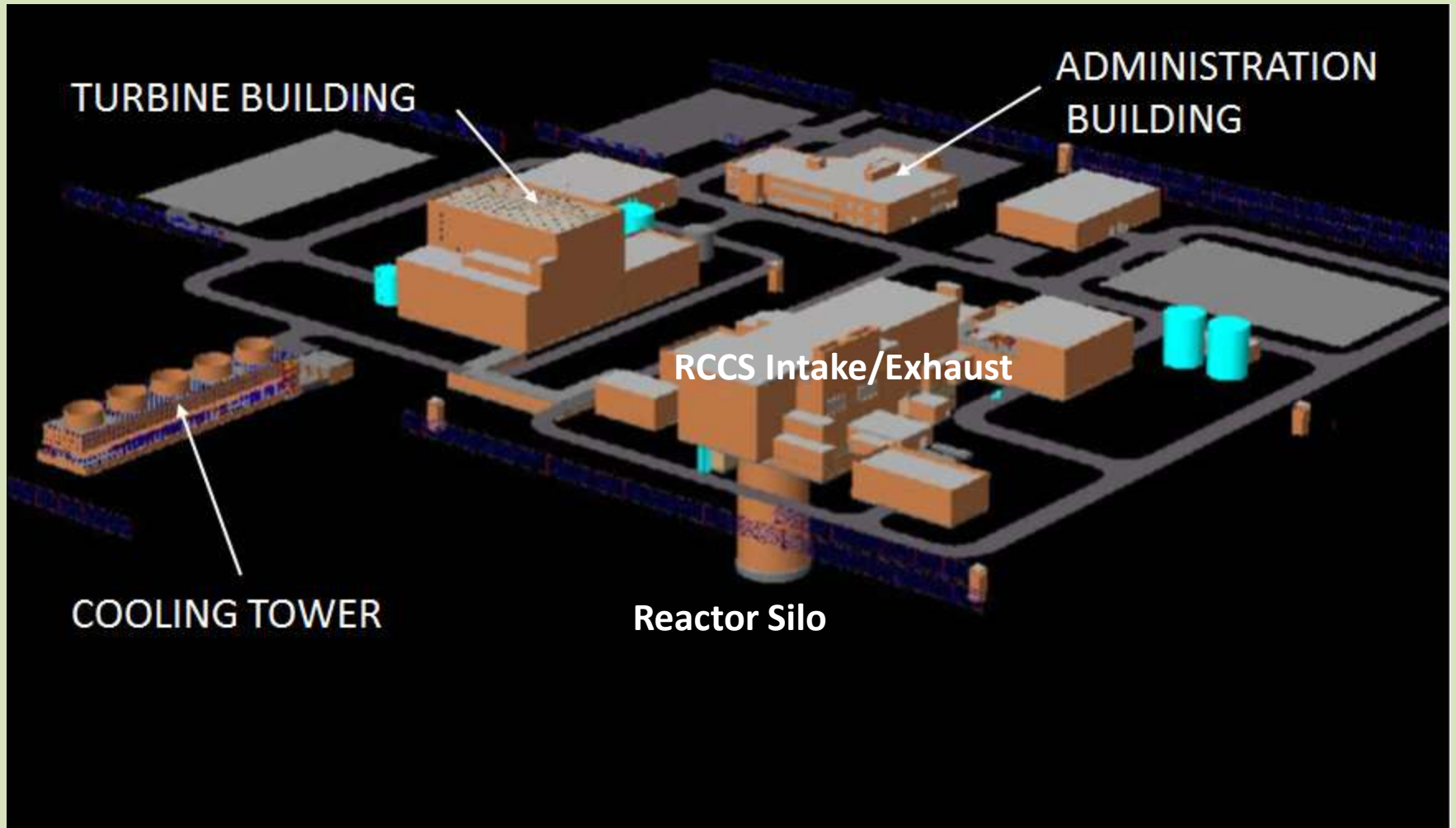
- 核熱の利用効率が高まる
- 核燃料の利用効率が高まる

SC-MHRプラント全体レイアウト

- SC-MHR実証プラントは、原子力アイランド(NI、一次系設備)とエネルギー変換区域(ECA)からなる
- 従来型設備のあるECAがNIから分離していると:
 - ECAを非核安全施設として低コストで設計可能
 - NIの基本設計は同じままで多様なECAと組み合わせられ、NIの増設を見込める柔軟性がある
 - NIへの人員立ち入りを最小限に抑えられ、安全対策を強化できる



CADモデルに基づく3Dプラント・レイアウト



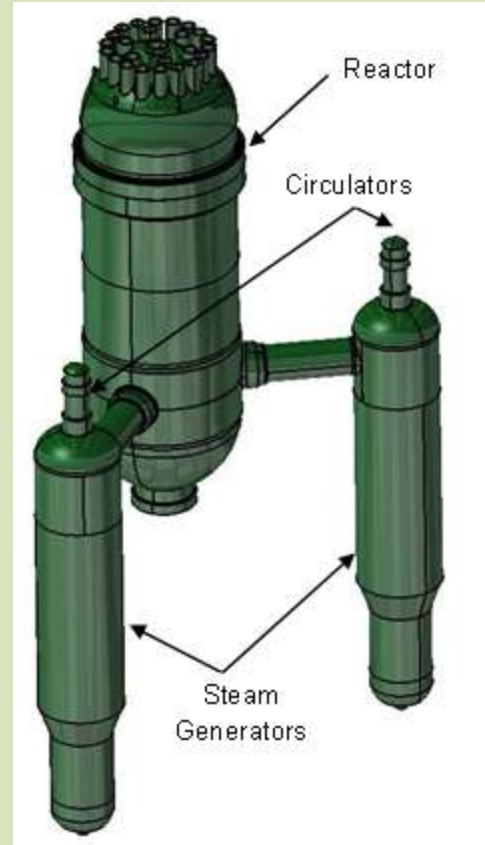
NGNP概念設計3Dモデル・アニメーション (設計図と3D CADモデルから作成)



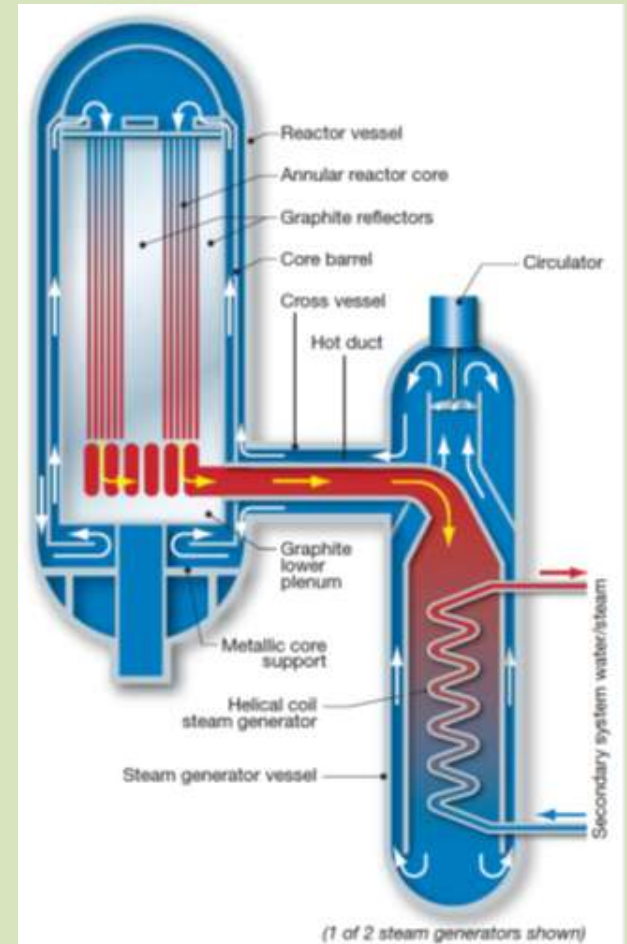
アレバ社のSC-MHR構想

- 蒸気電力併産
- 熱出力625MWt
- ヘリウム冷却材
出口温度750°C
- 蒸気温度550°C

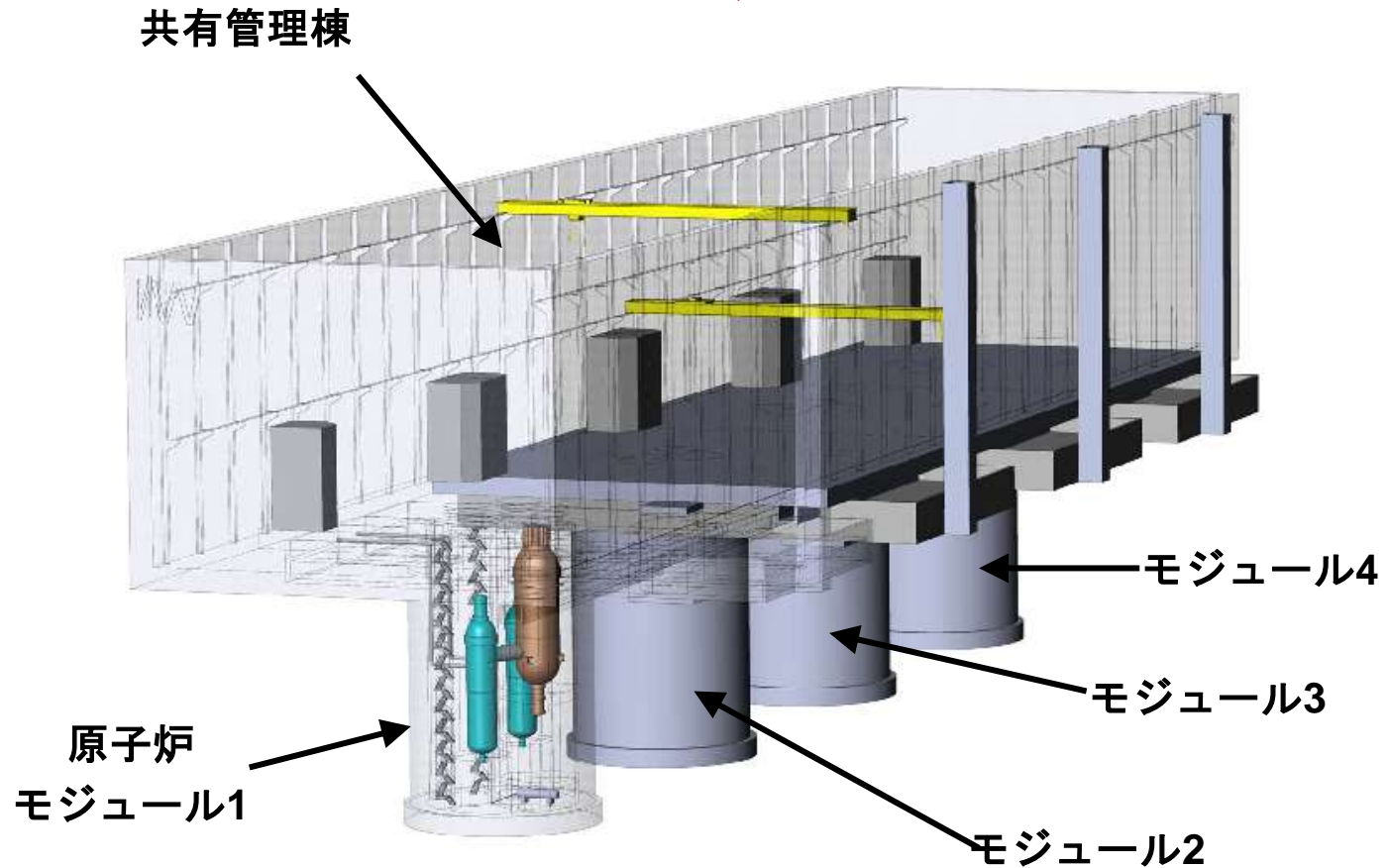
Nuclear Process Steam Supply System



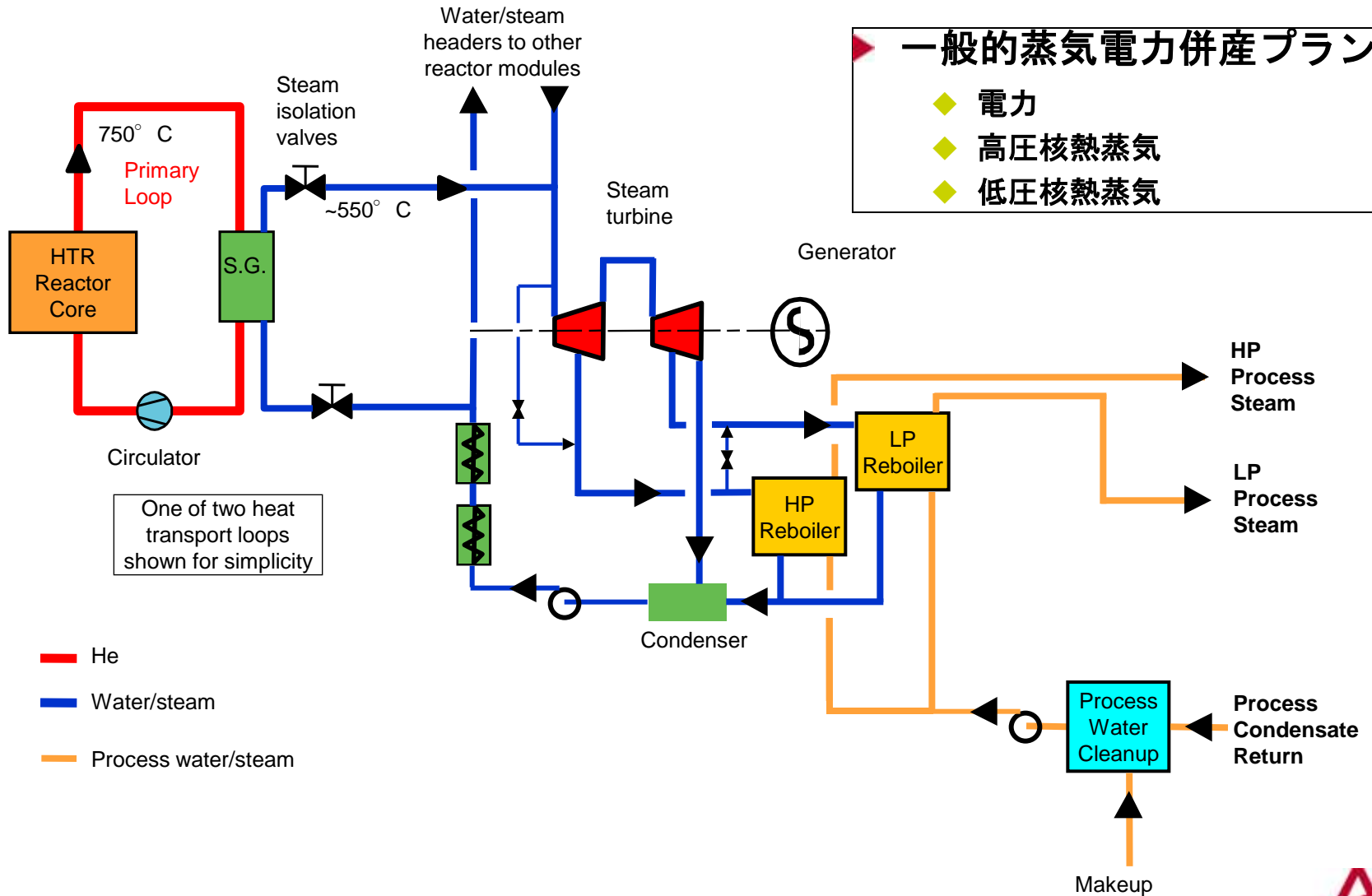
Primary Circuit Layout



独立型原子炉モジュールを複数配置し 敷地内設備を共有



単一の原子炉モジュール設計が 多様な用途を可能にする



その他の進行中MHR構想

• 韓国

- 10年以上にわたって高温ガス炉技術と原子力水素製造に取り組む
- 重要技術と設計基準・手法の構築のために研究開発プログラムが制定されてきた
- 2012年、国内産業界との協力のもと韓国原子力研究所(KAERI)によって原子力熱・水素(NuH₂)設計計画が開始された

• 日本

- 日本原子力研究開発機構(JAEA)がガスタービン高温ガス炉GTHTR300(発電)とGTHTR300C(電力水素併産)構想を育ててきた
- JAEAはまた、実動可能な工学規模(30MWt)MHR試作器である高温工学試験研究炉(HTTR)を運転中

• 中国

- 中国は高温ガス炉ペブルベッドモジュール型(HTR-PM)計画を進めてきた
- HTR-PM計画は中国政府からの強力な支援を受けており、すでに建設段階に達し2012年12月に着工している

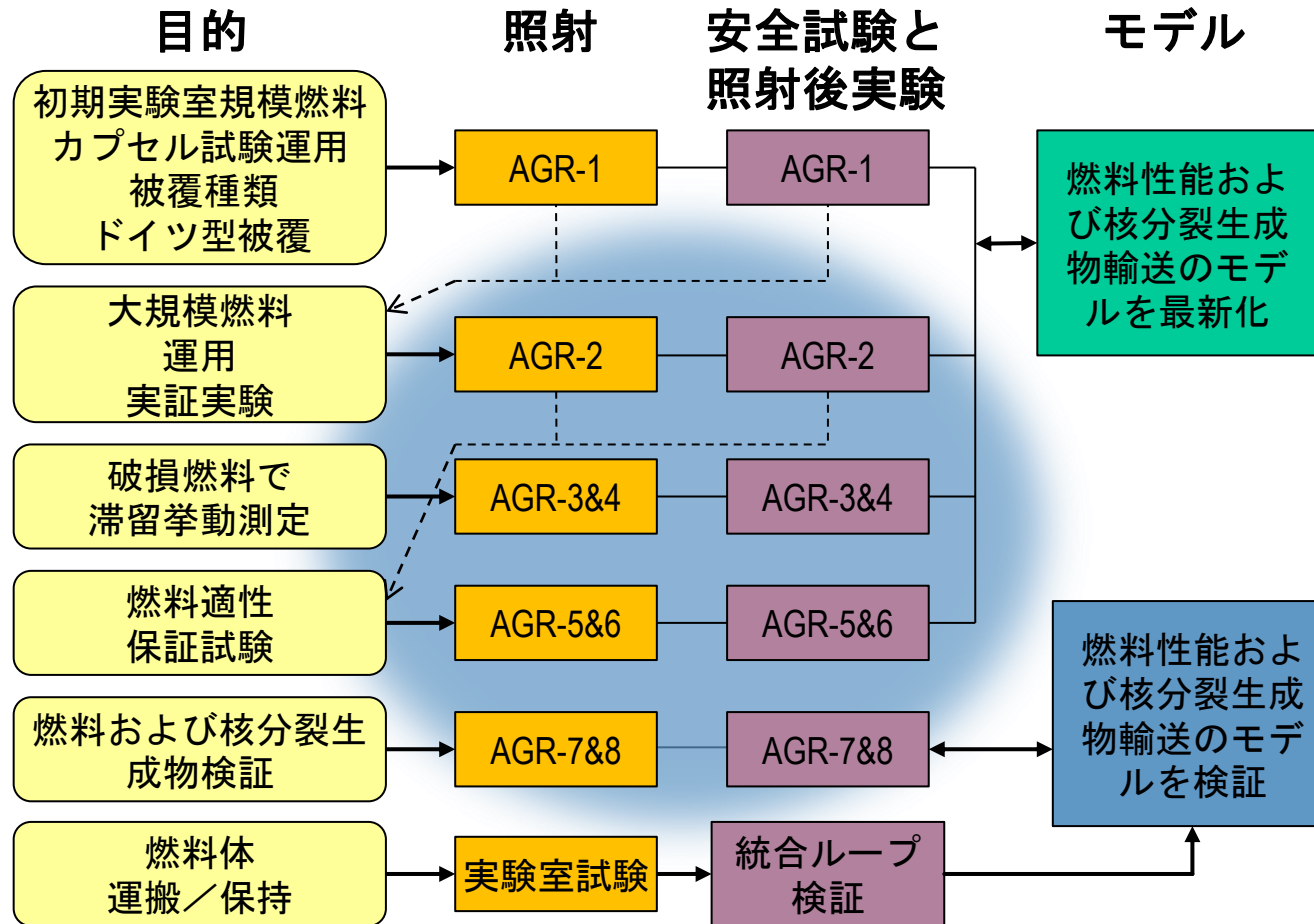
NGNP実証モジュールのコスト見積もりの比較

DEMONSTRATION MODULE COSTS	PLN-2970 INL One Plant Est (Table 2-1), '09 M\$	2012 Business Plan (Table 2-2 Re-ordered), '11 M\$	AREVA Cost Est (Table 2-3 Re-ordered), '13 M\$
Cost Item			
Technology Development	452	316	260
Plant Design (Engineering)			
Conceptual/Preliminary Design		280	270
Final Design		200	311
Site-specific Engineering		100	64
Subtotal	562	580	645
Licensing			
Through Preparation of Application		165	
Const Permit, License App Review		65	
FOAK Licensing			140
Design Certification			70
Subtotal	246	230	210
Procurement & Construction (Demo Module)			
Equipment & Infrastruc Dev		648	175
Equipment Procurement		432	
Construction		625	
Matls, Equip. Installation Labor			1459
Subtotal	1727	1705	1634
Start Up Testing	54	55	11
Initial Operations			
Demo Module 1st Core			168
Demo period O & M		348	356
Demo Inpections, Tests & Mods		75	73
Subtotal	422	423	597
Income during Initial Operations	-264	-265	-177
Grand Totals	3200	3044	3180

AREVA 社の FOAK & NOAK SC-HTGR プラントのコスト見積もり

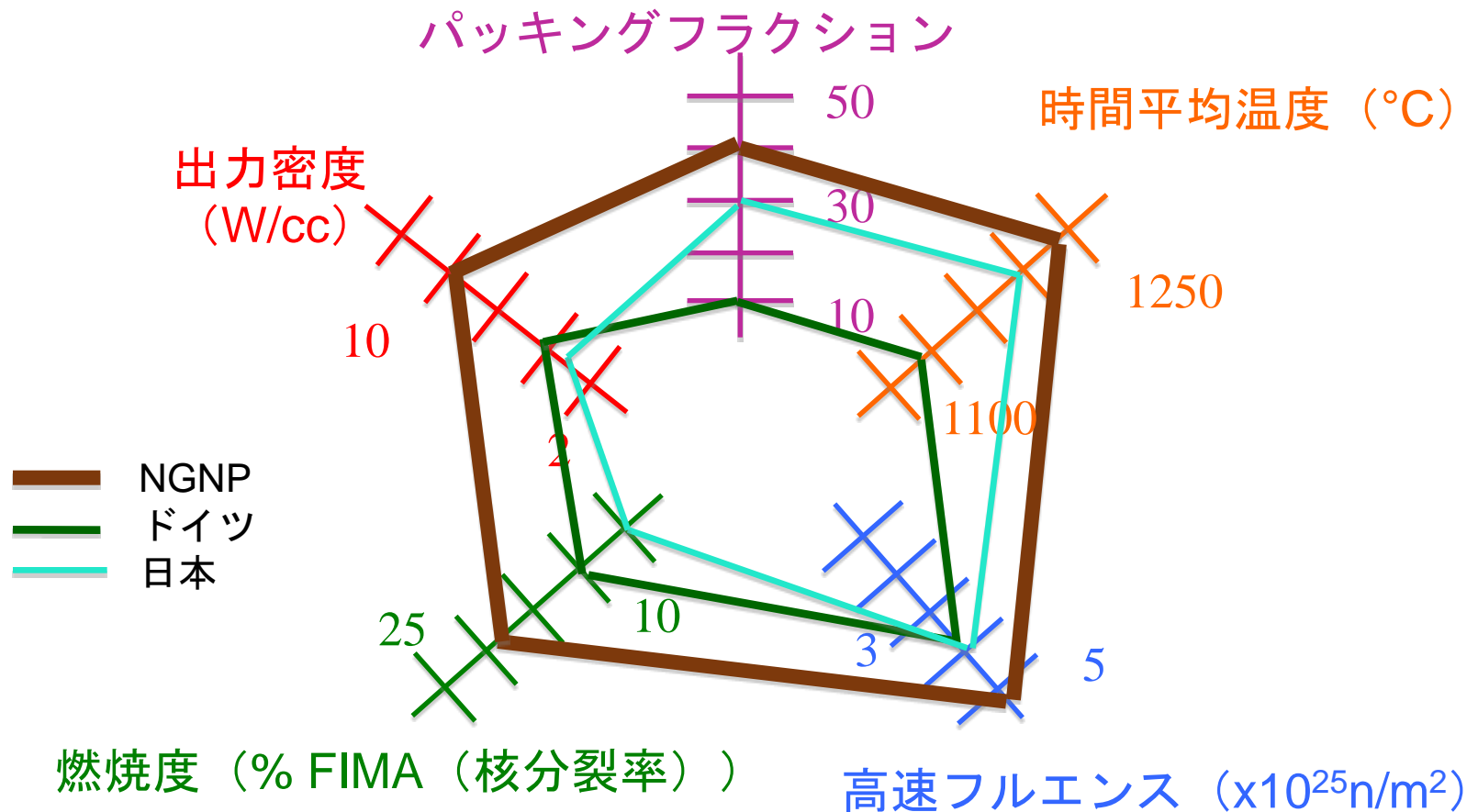
ACTIVITY	First Demo Module	FOAK Modules 2,3 &4
	\$M	\$M
FOAK Plant		
Conceptual Design	\$97	\$0
Preliminary design	\$173	\$0
Final Design	\$311	\$0
FOAK Engineering during const.	\$64	\$118
Mtls, Hdw, Inst. Labor	\$1,459	\$4,086
Licensing (FOAK)	\$140	\$0
Startup Testing	\$11	\$32
Inspection Test Mod (Unit 1)	\$73	\$0
FOAK O&M (See Note below)	\$356	\$119
Initial Fuel (FOAK) Plant	\$168	\$505
Design Certification	\$70	\$0
Equip. & infrastructure development	\$175	\$0
Total	\$3,097	\$4,860
Note: Demo O&M is for 1 year pre-operation + 2 years operations		
FOAK O&M is per year		
ACTIVITY	NOAK 4-Module Plant	
	\$M	
NOAK Plant		
NOAK Engineering	\$134	
Construction Engineering	\$128	
Mtls, Hdw, Inst. Labor	\$4,159	
COLA	\$42	
Total (without fuel)	\$4,463	

改良型ガス冷却炉 (AGR) 事業活動の概要



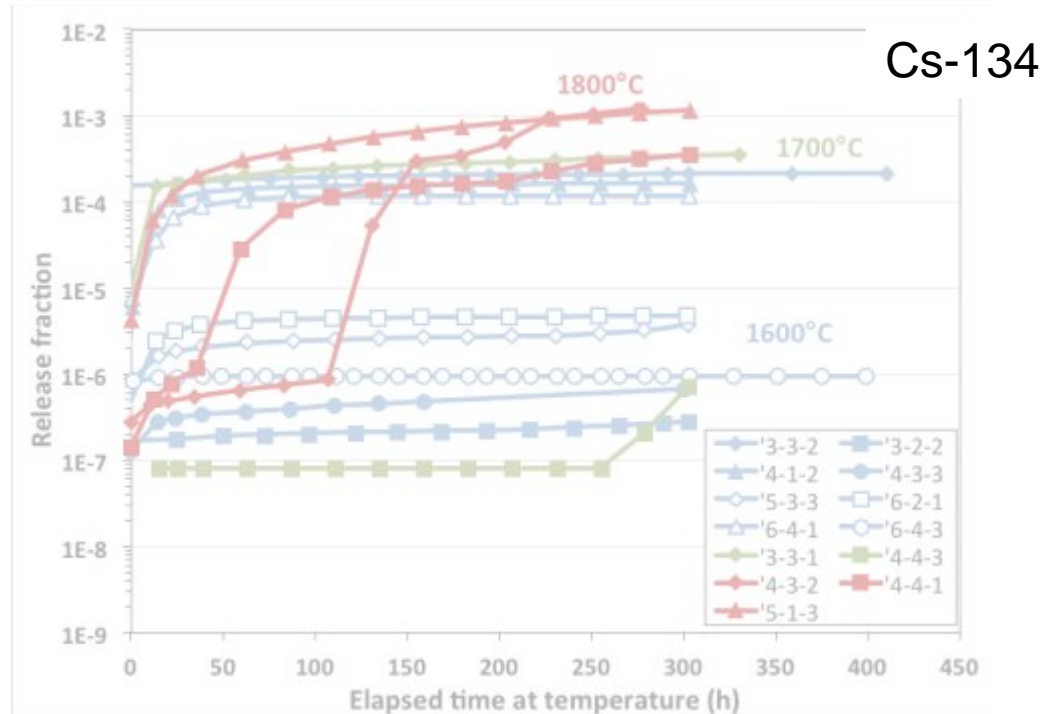
水分・空気浸入効果はAGR-5/6照射後実験の一部

NGNP TRISO燃料の性能を示すグラフは、ドイツと日本による燃料適性化の従来の取り組みよりも抜きん出ている



燃料性能に関する5つの主要特性のレーダーチャート

AGR-1の安全試験によって、最高1,800°Cでの数百時間にわたる高性能ぶりが証明された – 優れた被覆とウランオキシカーバイドの組み合わせによる

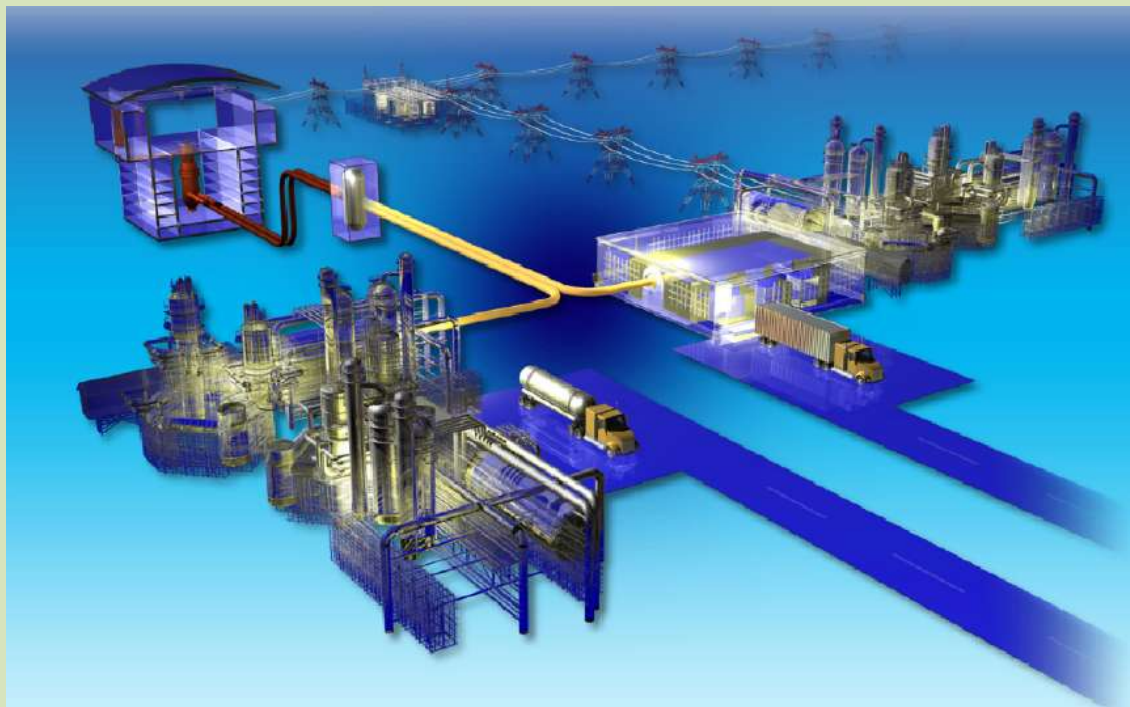


- 燃料コンパクトを加熱し、核分裂生成物の放出を監視
- 1,600~1,800°Cでの核分裂生成物放出挙動のデータベースを構築（クリプトン85、銀110m、セシウム134、セシウム137、ユーロピウム154、ユーロピウム155、ストロンチウム90）
- 2014年3月時点で14のAGR-1燃料コンパクトが試験済み

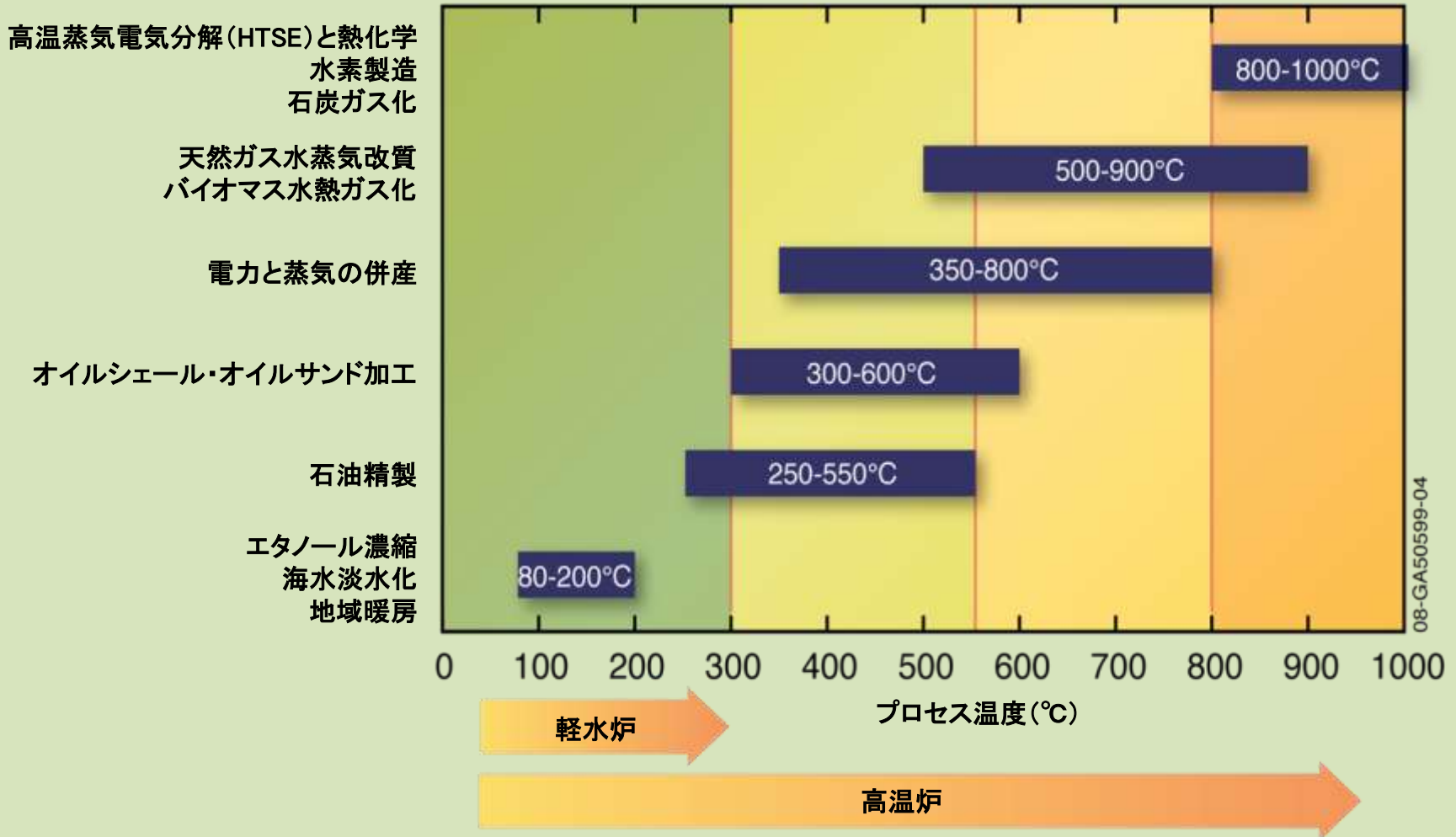
発表概要

- **NGNPの核熱用途と市場評価**

- 2012年NIA事業計画が認定した北米ターゲット市場
- 日本・韓国でLNGに替わる発電源へ
- 日本・韓国における原子力製鉄
- サウジアラビアで石油に替わる発電源・プロセス熱源へ



核熱利用機会は温度上昇とともに増える



MHRと相性が良い産業用途は多い

- 石油精製
 - 250°Cから950°Cまで幅広い温度の熱が大量に必要な工程が多数ある
- オイル採取
 - 拡張型オイル採取は高圧・高温の蒸気を使用
 - ビチューメンの抽出と品質改良(オイルサンド)
 - ケロゲンの乾留と品質改良(オイルシェール)
- 石炭・天然ガス由来製品
 - 石炭ガス化
 - 石炭液化
 - 水蒸気メタン改質で合成ガス製造
 - メタノール製造
- 水素製造
 - 運輸・製造セクター
- エチレン製造
- 製鋼・製鉄
 - 水素と電力が必要

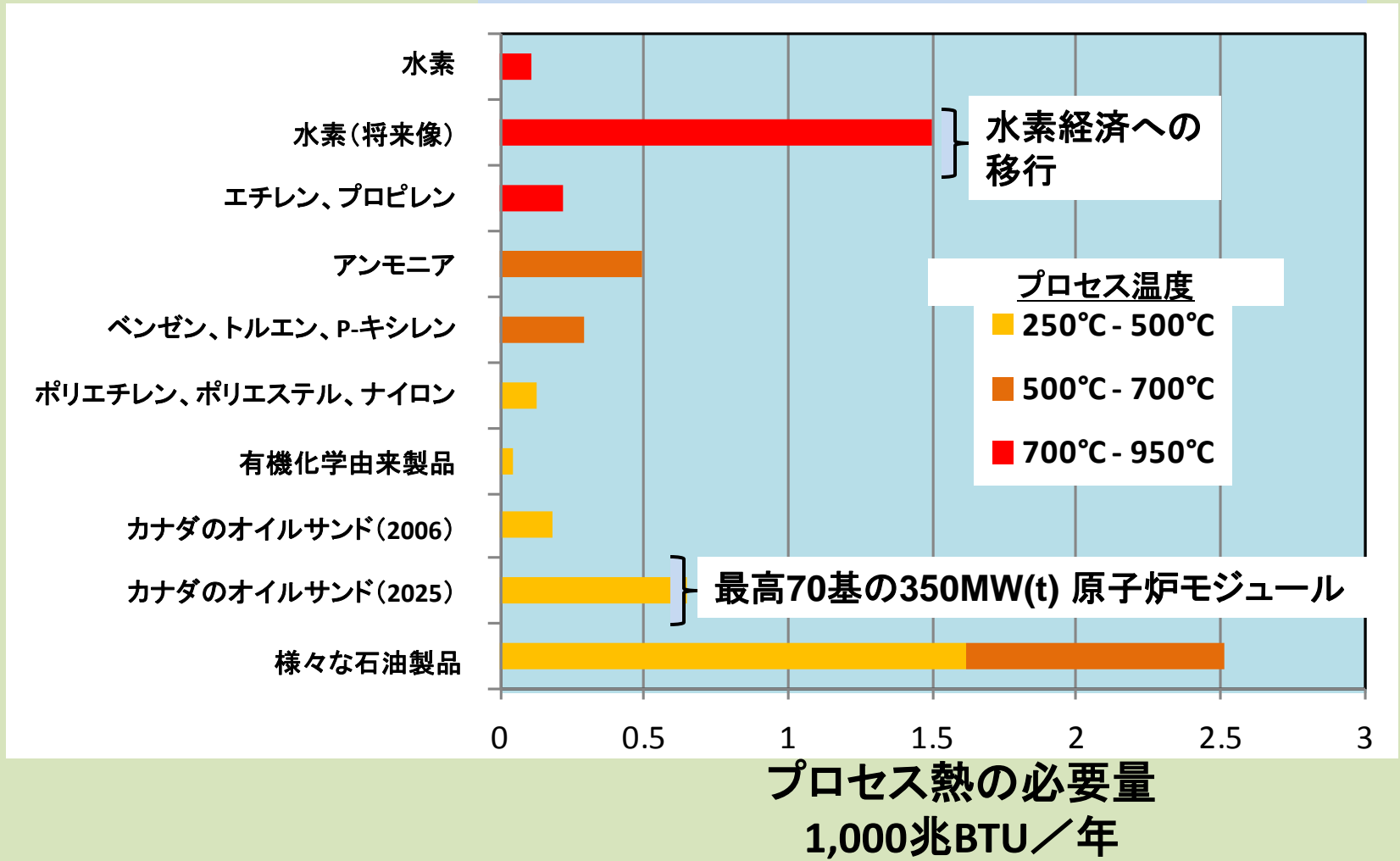
現在、化石エネルギーをより便利な形にするために化石燃料が使われている。

まず第一歩として、化石エネルギーをより便利な形にするために原子力を使うべきだ。

より長期的には、化石燃料から水素へと移行可能だ。そのころには水素利用(燃料電池など)はより経済的になる。

モジュラー型高温炉は多様な産業用途用に高温蒸気を供給可能

北米での潜在的用途



炭素変換 — 従来型炭素液化

フィッシャーート
ロプシュ合成

製品改良



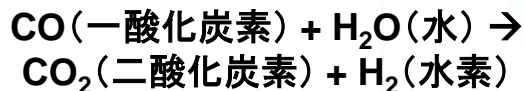
合成燃料
25,000
バレル/日



硫黄製品

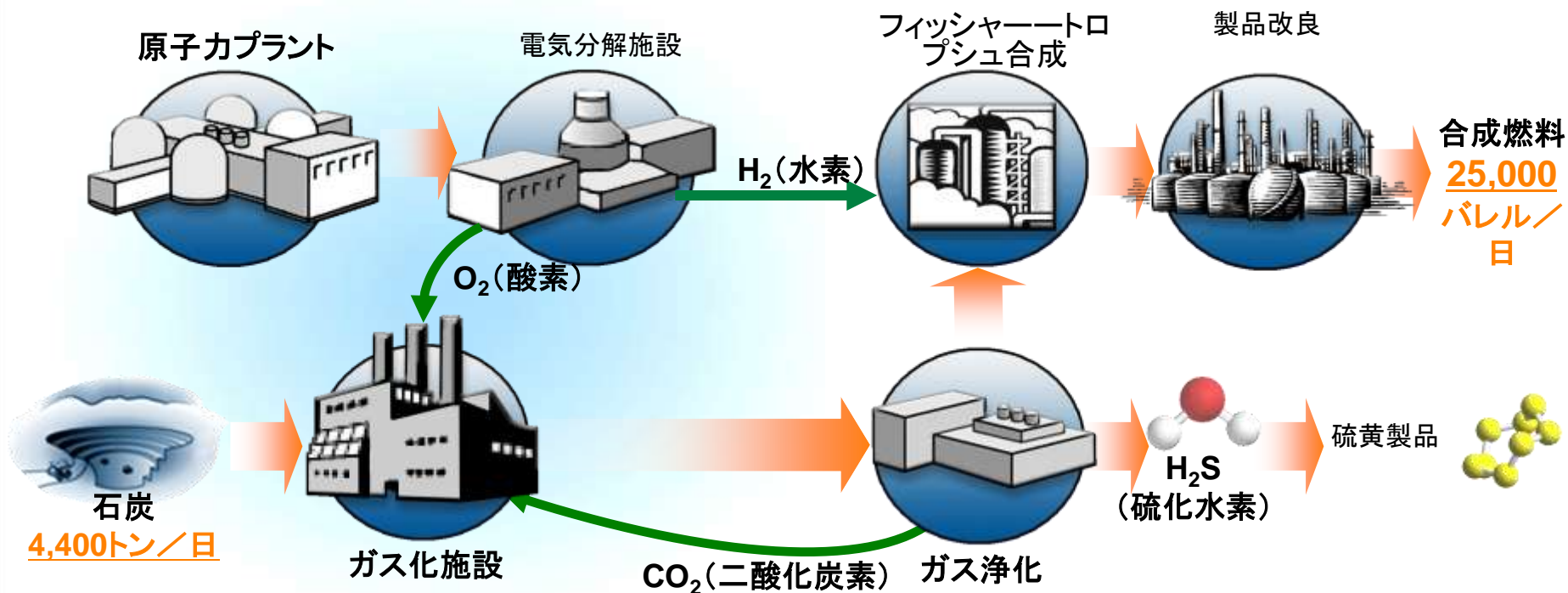


CO_2 (24,000トン/日)



排出または隔離

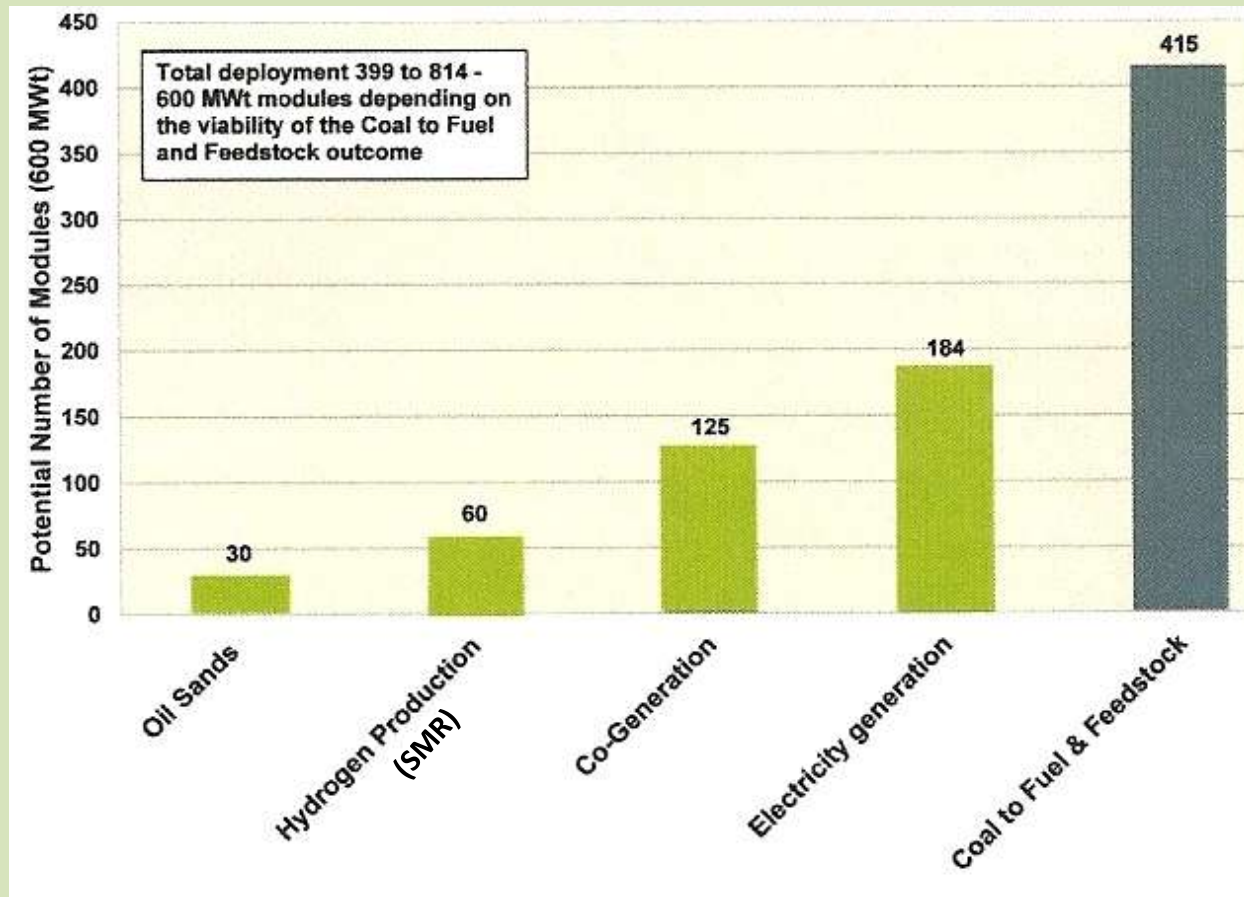
炭素変換 — 原子力ハイブリッド炭素液化



- ハイブリッド・システムでは炭素使用量が70%減少
- 炭素からCO₂への変換はほとんどなし
- 少量のCO₂はガス化施設で再利用
- CO₂排出なし

北米のターゲット市場

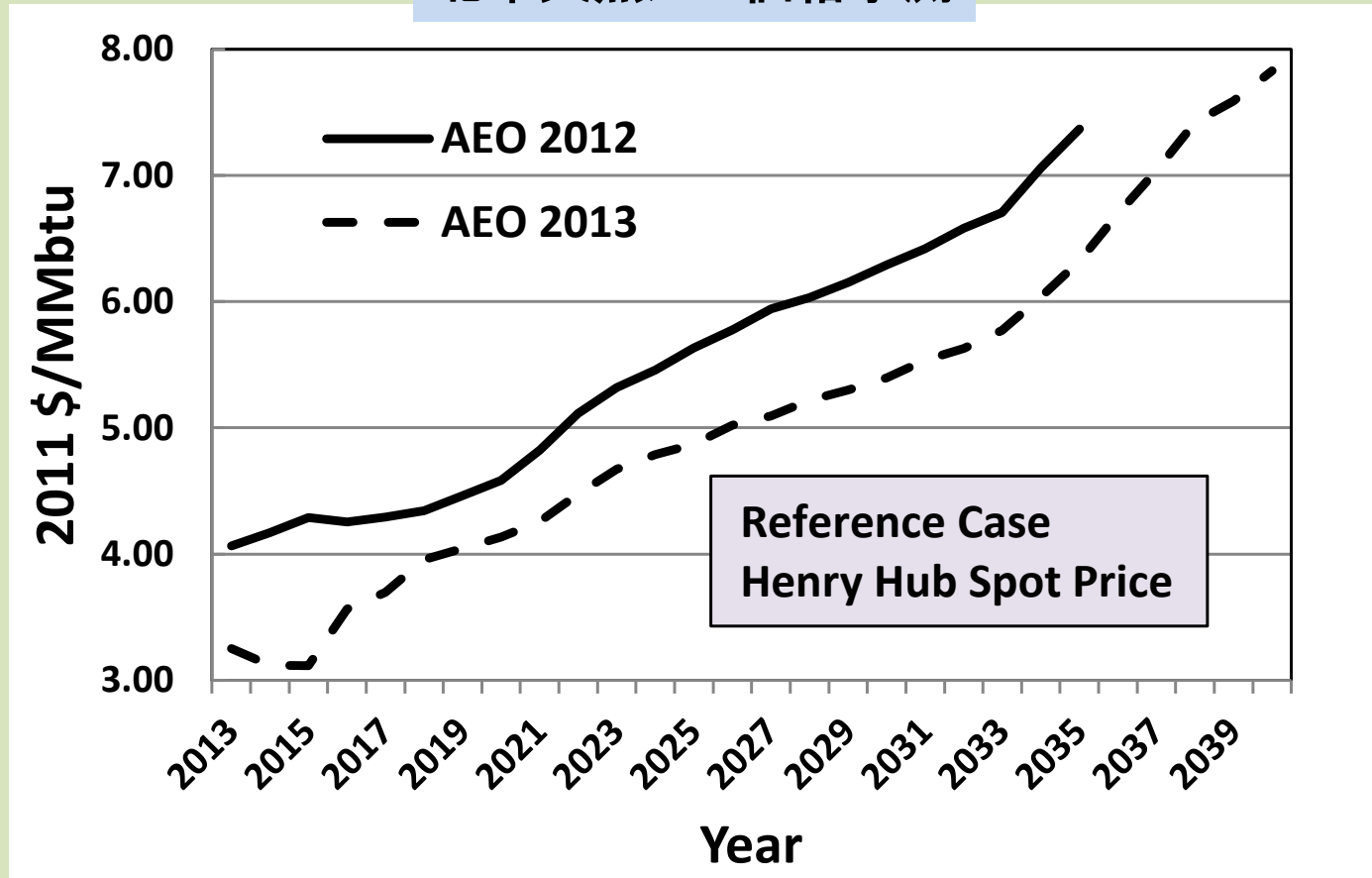
(2012年NGNP産業アライアンス事業計画)



アイダホ国立研究所の推計によると、米国の現在の石炭・天然ガス価格では、合成輸送燃料その他の液体製品は約70ドル／バレル以上の価格で原油と競争できるといふ。

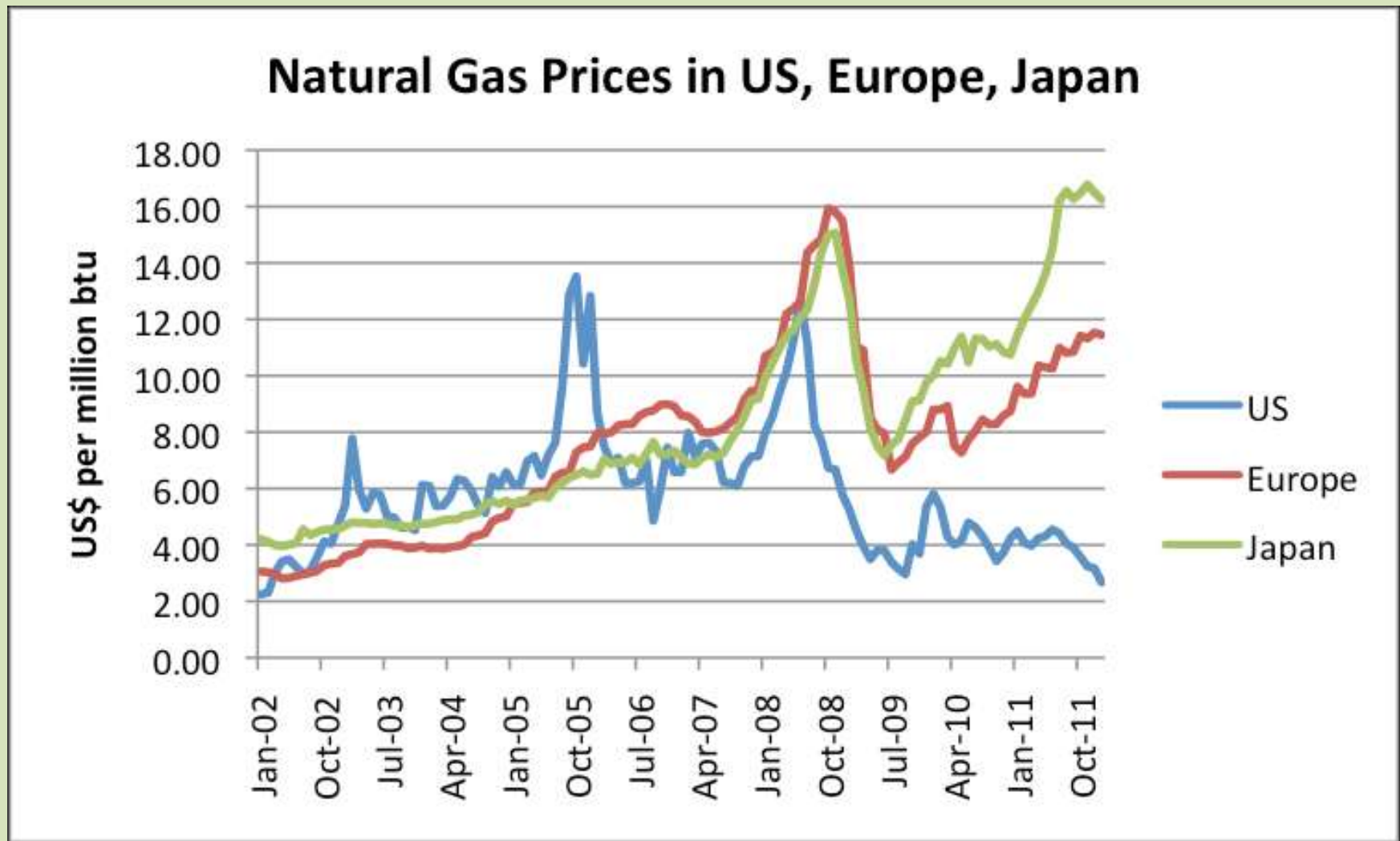
ライバルは天然ガス

北米天然ガス価格予測

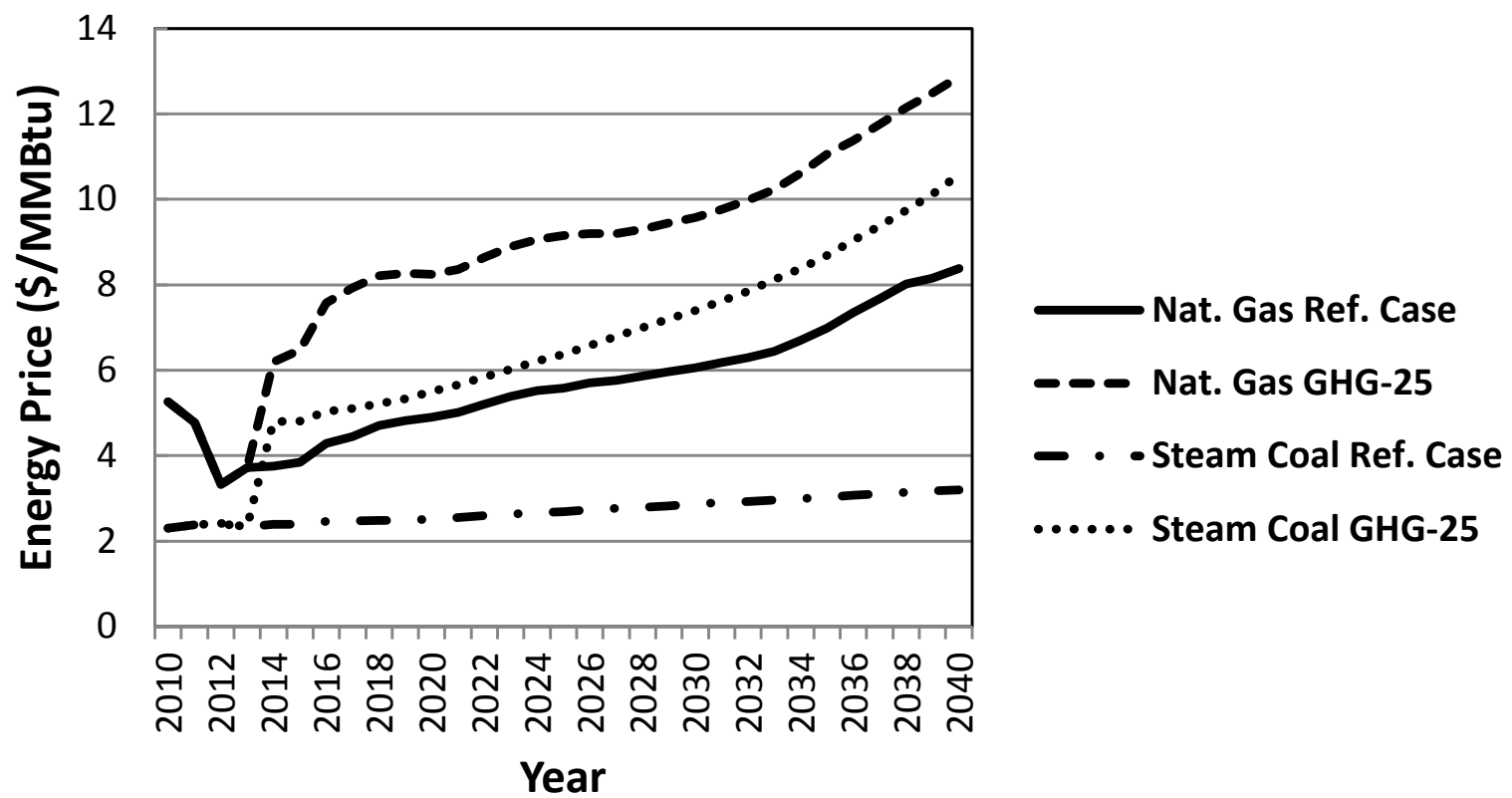


SC-MHRは百万BTUあたり6～8ドルの価格域で天然ガスと競争できる。

天然ガス価格はこれまで非常に不安定



天然ガス・石炭価格への炭素税の影響



炭素税は年に5%上昇し、CO₂1トンあたりが2014年の25ドルから2040年には90ドルになる。

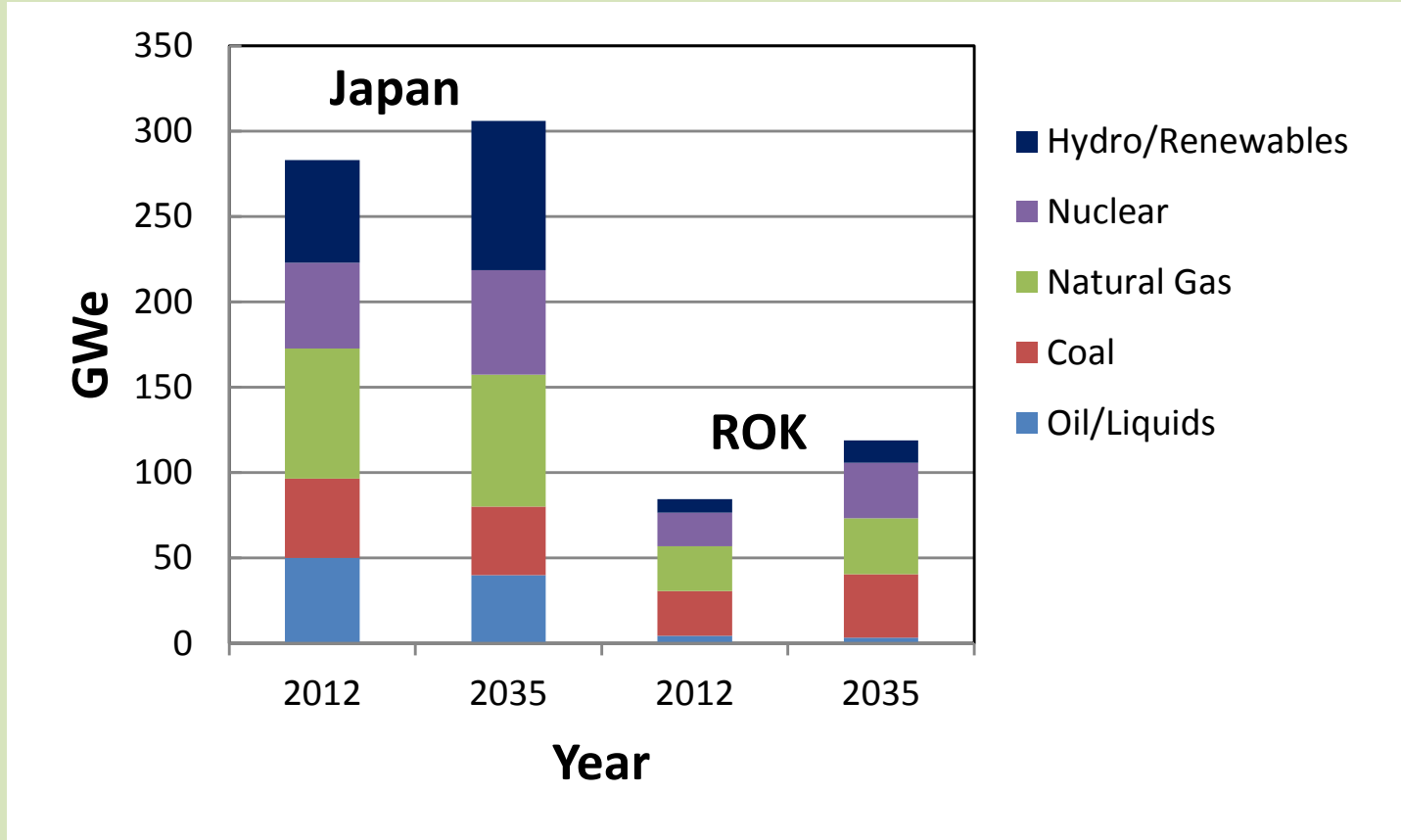
日本・韓国でLNGに替わる発電源へ

2013年5月時点の世界のLNG陸揚価格



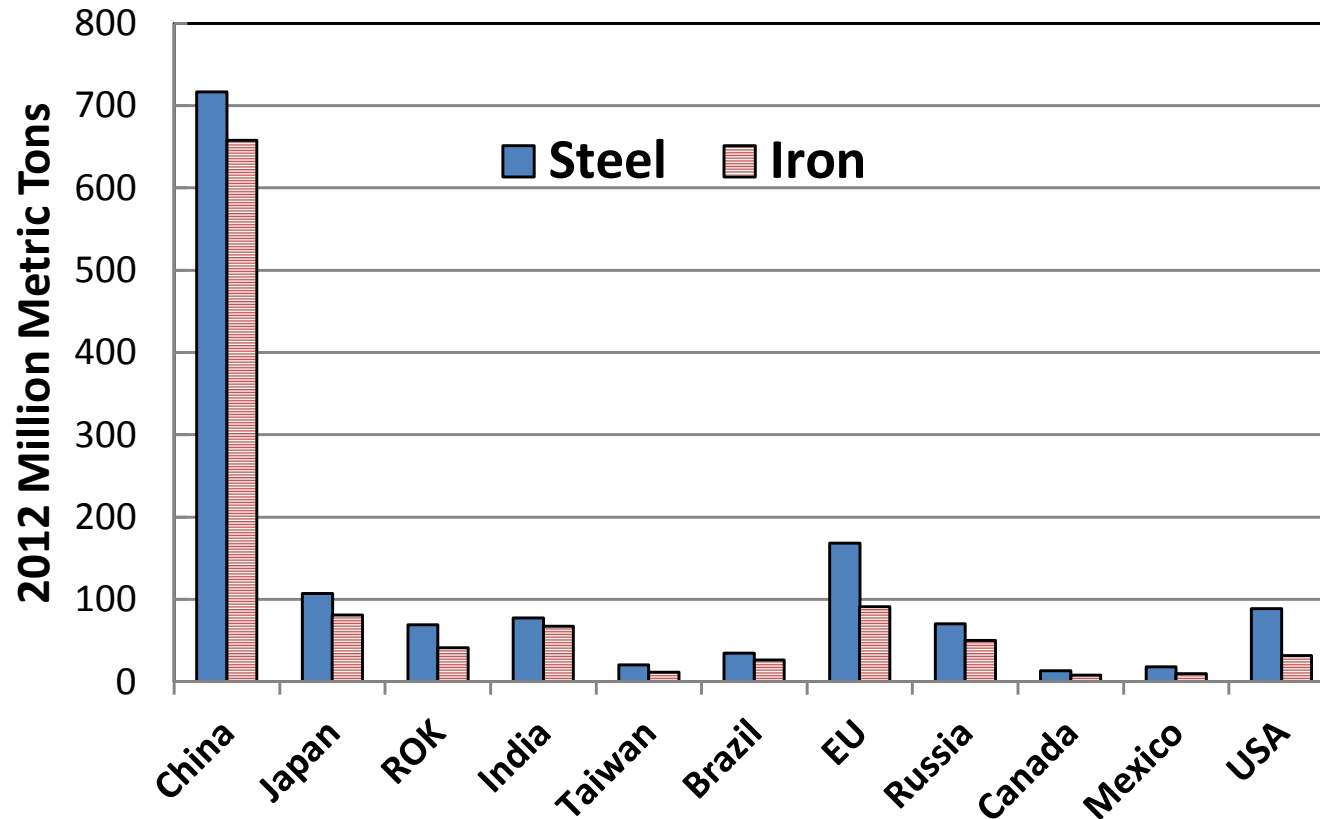
- 日本と韓国は世界で1位と2位の高価格LNG輸入国(百万BTUあたり最高15ドル)
- 発電量1GWeは、蒸気サイクルの熱効率を40%と仮定すると600MWtのMHRモジュール4基に相当する

日本・韓国の発電ミックス予測によると、 両国のLNG使用量は今後20年間拡大する



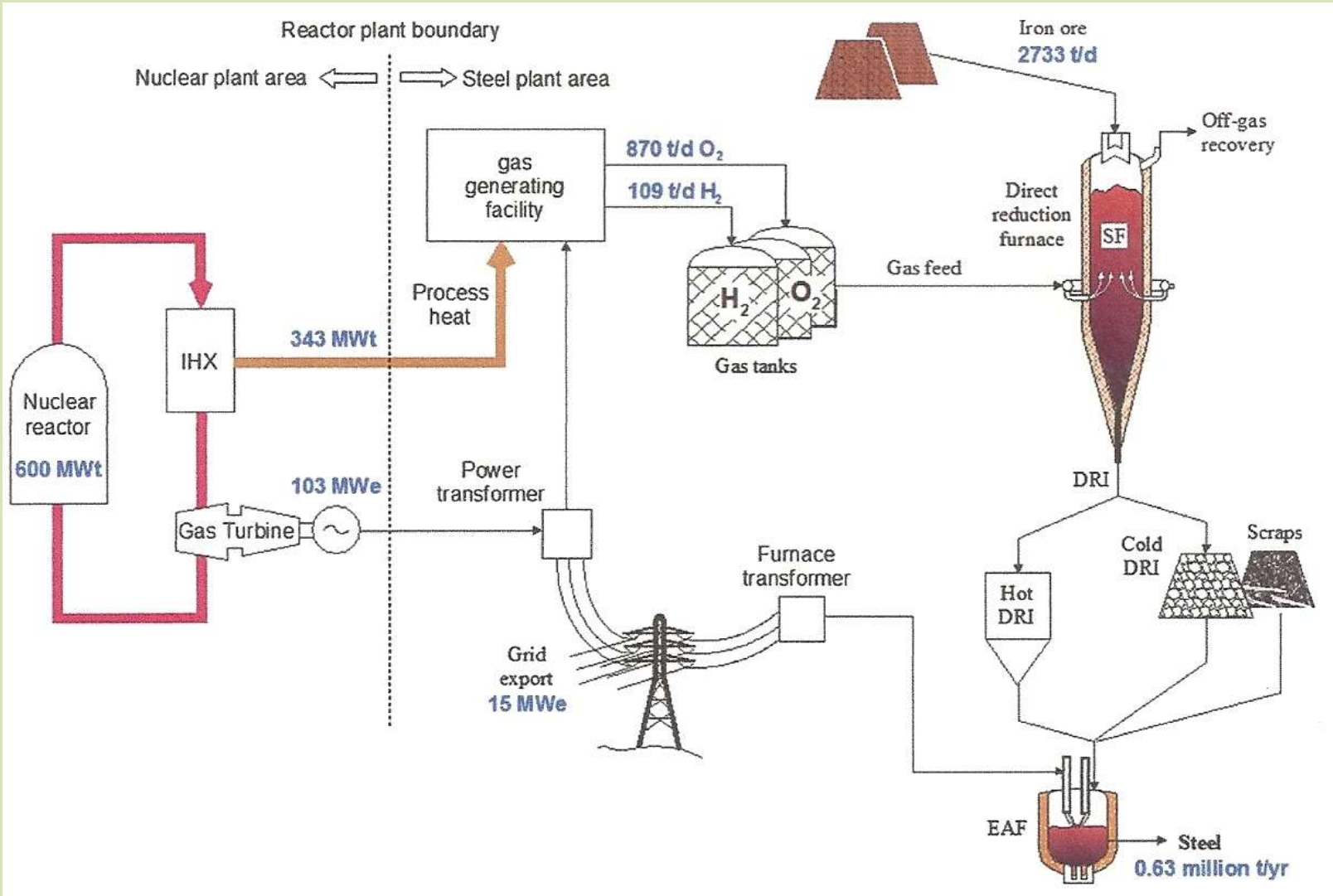
日本・韓国のLNG発電市場の20%を獲得すれば、
600MWtのMHRモジュール約80基分に相当するだろう

日本・韓国での原子力製鉄・製鋼

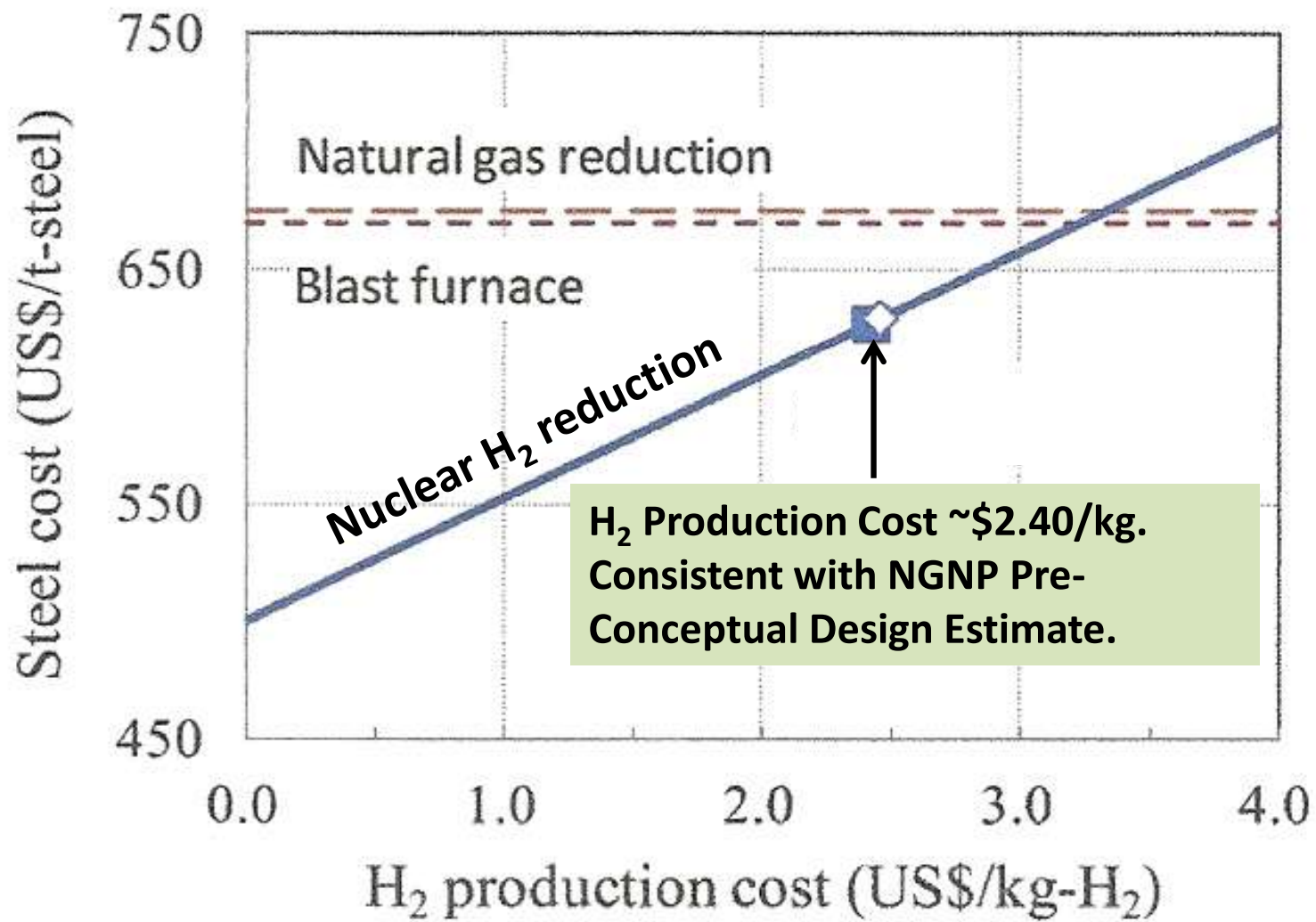


- 2012年の製鉄・製鋼を支配したのは中国だが、日本・韓国でもかなりの規模の生産があった
- 鉄鉱石還元は最大のCO₂排出源のひとつ

日本原子力研究開発機構 (JAEA) の原子力製鉄構想



各種製鉄法のコストを比較すると、 水素製造コスト次第で変わることがわかる

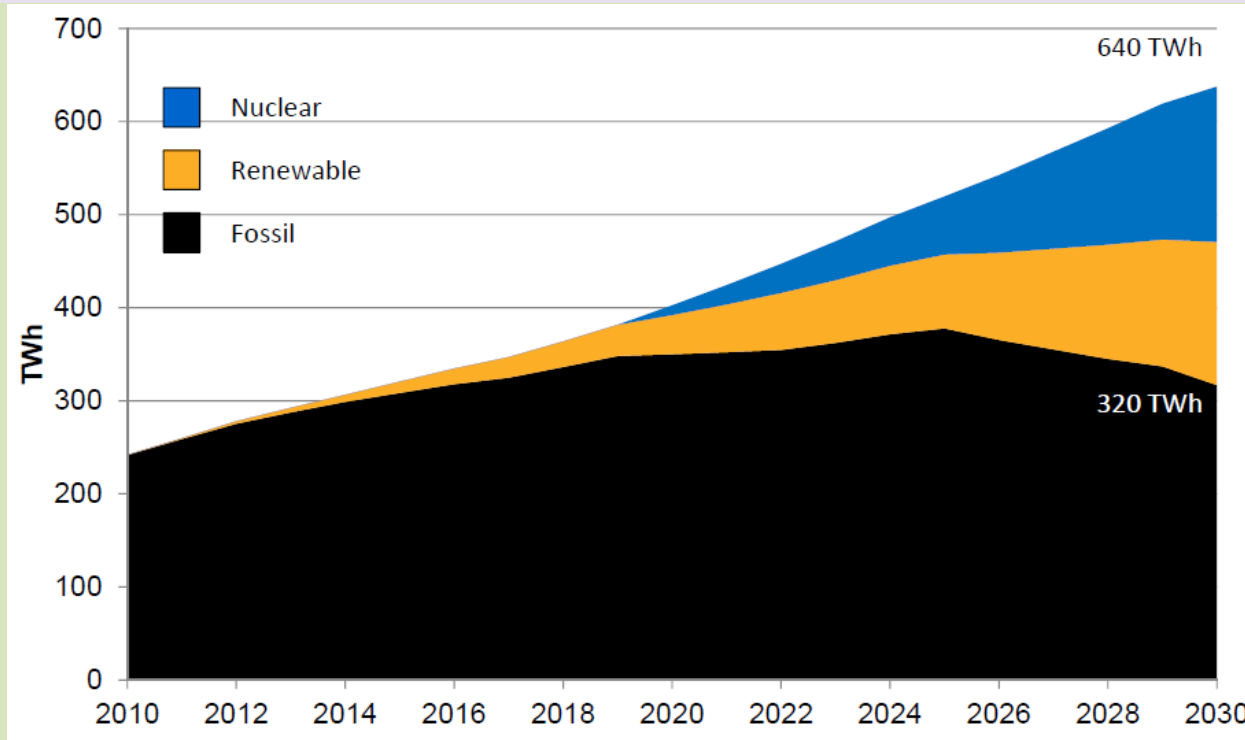


原子力製鉄市場の将来性

- **日本は年間に約8,000万メートルトンの鉄を生産**
 - その結果、年間に約1.4億メートルトンのCO₂を排出
 - 東日本大震災以前の原子力出力を仮定すると、日本の製鉄はCO₂排出量の10%~12%の原因であり、日本の化石燃料輸入のかなりの部分を占める
 - 年間8000万メートルトンの製鉄は、600MWtのGTHTR300Cモジュール約130基分に相当(つまり約80GWt)
- **韓国は年間に約4,000万メートルトンの鉄を生産**
 - その結果、年間に約7,000万メートルトンのCO₂を排出
 - 年間4,000万メートルトンの製鉄は、600MWtのVHTRモジュール約65基分に相当(約40GWt)

サウジアラビアで 石油に替わる発電源・プロセス熱源へ

原子力と再生可能エネルギーによる化石エネルギーオフセット計画(サウジアラビア)



- サウジアラビアは2030年までに17.6Gweの原子力を供給する計画
- MHRは、特に冷却水がほとんどまたは全くない内陸部ではサウジアラビアの需要のかなりの部分を供給する可能性がある

結論(1/2)

- **世界は化石燃料に大きく依存し続けている**
 - 世界の多くの人々が享受している高い生活水準を損なうことなくCO₂排出を減らす世界規模のエネルギー政策が必要
- **世界のエネルギー需要の80%近くは製造・運輸部門による**
 - これらの部門で化石燃料からの移行が必要
- **MHR(モジュラー型ヘリウム冷却炉)は化石燃料の代替エネルギー源にふさわしい**
 - 十分に確立された技術
 - **高温(700~950°C)性能**
 - **固有安全性をもつ、炉心溶融を防止する設計**
 - プロセス熱・蒸気のエンドユーザーの近くに設置可能
 - 化石燃料よりもエネルギー密度が高い
 - 高い設備利用率
 - 高い熱効率
 - 冷却水供給の限られた地域でも設置可能
 - かなりのCO₂排出削減を実現
 - 排出ガスゼロ水素経済の基盤となり得る
 - 特に発展途上国向けの輸出用技術として優れている

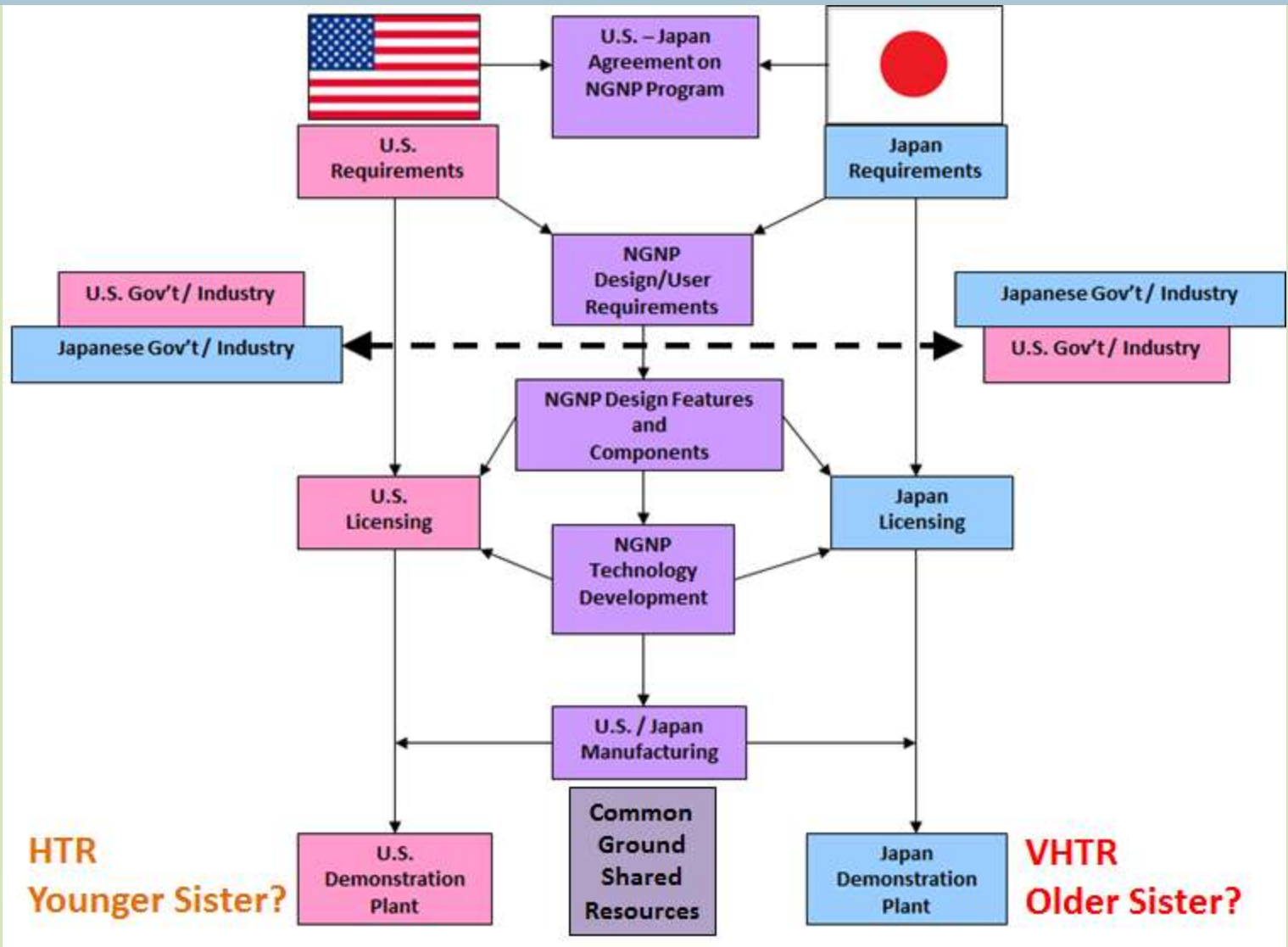
結論(2/2)

- **電力およびプロセス熱用に数多くの蒸気サイクルMHRを経済的に設置するための市場はすでに存在する**
 - 日本・韓国: 高いLNG価格、定着したMHR計画
 - サウジアラビア: 多額の補助金が投入された石油でエネルギー需要を満たしている
 - 化石燃料価格の高い他の地域
- **北米では天然ガス価格の低さがあらゆる原子力技術の拡大を阻んでいる**
 - 2030年代の天然ガスの予想価格となら、MHRも競争できる可能性
 - 炭素税によってMHRの経済性のメリットがより高まる
- **新時代の高温用途は市場としての将来性が高い**
 - 原子力製鉄
 - 合成燃料
 - 燃料電池車や産業用途向けの水素

今後

- **第一のハードルは高額な資金：技術開発・許認可取得・この種では初の実証モジュール建設の完了に必要**
 - 必要額は約30億ドル
 - 資金面・技術面・規制面でのリスク緩和に高レベルの政府援助が必要
 - これは新たな原子力技術すべてにつきもの
- **国際連携によって官民の資源を出し合える**
 - 米「エネルギー政策法」はエネルギー省の国際連携推進を後押し
 - NGNP産業アライアンスはEU、韓国、日本と計画を模索中
 - **世界最高のHTR(高温炉)・VHTR(超高温炉)の開発・実証に向けて資源・才能・技術を共有するための共通基盤は十分に存在する**

NGNPをめぐる日米協力の将来モデル



ご静聴、ありがとうございました。



Plum
Blossom Festival
Kairakuen, Mito

Thank you for your kind attention.