

2012年3月

RAHP ニュースレター *No. 11*

世界の高温ガス炉開発の 現状と将来計画

高温ガス炉プラント研究会
Research Association of
High Temperature Gas Cooled Reactor Plant
(RAHP)
Tokyo, Japan

■ はじめに

本ニュースレターは、産業界（電力、原子力メーカー等）と学識経験者で構成する「高温ガス炉プラント研究会(RAHP)」が、「高温ガス炉(High Temperature Gas Cooled Reactor = HTGR)」プラント開発に関して国内・外（産、官、学、一般）に向けた理解促進活動の一環として、定期的に発行し、世界の高温ガス炉開発の背景、狙い、最新状況、将来計画等の概要を紹介するものである。

■ 高温ガス炉開発の背景、狙い、最近の動向概要

世界は今、人口が増え、人々の生活レベルが向上し、それに伴って、

- ① エネルギー資源（電力、熱、輸送用燃料・・・）の持続安定的確保
- ② 水、食糧の持続安定的確保、ならびに
- ③ 地球環境保護

が共通課題となっている。それらの解決策として、非在来型化石燃料（オイルサンド、シェールガス・・・）の開発や低炭素・クリーンエネルギー（原子力、水素・・・）の開発が鋭意行われている。その中で、持続性、クリーン性、多様性の観点から「原子力」が見直され、2011 年 3 月に発生した福島第一原発事故以降、事故時の安全性を重視した原子炉システムが注目されている。

「高温ガス炉」は、原子力共通の特性に加えて、その固有（本質的）安全性、高温性（800～1,000℃程度；高効率発電、水素製造、石炭やオイルサンドなどの化石燃料やバイオマスから輸送用石油代替燃料の合成・・・）などの視点から、日本、米国、欧州、中国、韓国、カザフスタンなど、先進国、エネルギー大需要国、資源国などで開発が行われている。

現在、日本と中国では既所有の高温試験炉・研究炉を用いた研究開発や安全性実証が行われており、また、中国、米国、カザフスタンでは 2015～2020 年頃の運転開始に向けた実規模プラント実証プログラムが進行中であり、また各国で多くの炉プラント概念の研究開発等が行われている。

なお、開発対象は「小型モジュール炉（モジュール当りの出力が 600MWt/300MWe 以下）」プラントであり、市場性や技術成熟度等からその想定需要は、

- ＜当面＞ 850℃程度以下：蒸気サイクル：発電＆中～低温熱利用（水素製造、石炭改質、オイルサンド回収改質、海水脱塩・・・）
- ＜将来＞ 900℃以上：ガスサイクル：高効率発電＆高～中～低温熱利用（大量＆高効率水素製造、肥料製造、燃料電池自動車、水素還元製鉄・・・）

等である。

以下に高温ガス炉の世界の開発動向を国別に概説する。また開発プログラムの段階別一覧を表 1～3 に、原子炉プラント・プロセス概念例を図 1～16 に示す。

■ 国別開発状況

(1) 米国

1993 年以降、米国(エネルギー省(DOE)、GA、オークリッジ国立研 ORNL が参加)とロシア(原子力省(Minatom/Rosatom)、OKBM が参加)が共同で、核不拡散(核兵器解体 Pu の焼却処理)と発電利用を目的として「ガスタービン・モジュール高温ガス炉(GT-MHR)」を共同開発中。

DOE は、エネルギー政策法(EPA-2005)に基づいて 2005 年以降、産業界の参加協力を得ながら、「次世代原子力プラント(NGNP)」開発・実証プログラムを推進してきた。途中、需要動向や技術的成熟度の判断から、主目的を「水素製造&発電」から「熱利用&発電」に、冷却材出口温度条件も「950℃以上」から「当面 750～800℃程度」に変更した。

「フェーズ 1(2005～2010 年;概念設計、技術絞込み)」の作業はほぼ終了したが、下記の状況により、当初予定していた次の「フェーズ 2(2011～2021 年;詳細設計、プラント建設、実証)」には入らず、当面、内容を縮小し、研究開発プログラムの 1 つとして継続する模様。

- ◆ 北米の潜在需要は熱電併給、水素製造、オイルサンド回収・改質(輸送用燃料合成)などで膨大だが、プログラム完遂まで今後さらに 3～4B\$必要
- ◆ 官民連携(プラント供給者、所有・運転者、最終顧客の参加)が必要
- ◆ プログラム内容(炉心設計、設置サイト、プラント完成時期)の絞込み、見直しが必要

この NGNP プログラムに対して、産業界も参加、協力した。ゼネラルアトミックス(GA)は、GT-MHR の進展版として「水素製造用モジュール炉(H2-MHR)」、「蒸気サイクル・モジュール炉(SC-MHR)」、「超高燃焼度モジュール炉(DB-MHR)」を、ウェスチングハウス(WH)は、南ア PBMR 設計の進展版を、またアレバ(Areva-USA)はフランス ANTARES 設計の進展版を、それぞれ提案した。日本の東芝や富士電も提案側に参加・協力した。

また上記の原子力メーカーや電力(Entergy)、化学会社(Dow Chemical、

Chevron・)などが「NGNP 産業連携機構(NGNP Industry Alliance)」を形成し、顧客要件提示、北米地区で～800 モジュール程度との潜在市場評価、NGNP 実証プログラムの国家戦略的推進の要望等を行っている。また上記各社設計提案の中から最適な

ものとして Areva 提案を選定している。

なお DOE は、2010 年頃以降、輸出拡大や雇用確保の視点から、高温ガス炉を含む小型モジュール炉(SMR)の開発にも力を入れている。NGNP と SMR の開発方針の整合性が求められている。

(2) ロシア

米国とロシアが共同で開発してきた前出「GT-MHR」のロシア独自進展版につき、動力変換系機器や被覆粒子燃料の開発を継続中。

一方、それをベースに「水素製造等熱電併給炉(MHR-T)」を開発中。国内潜在市場規模は数 100 モジュールと評価している。

(3) 欧州

フランス、ドイツなど欧州連合(EU)加盟国が、次世代の軽水炉、高速炉、高温ガス炉(水素製造、熱利用)を 3 本柱とする原子力開発共同戦略を展開中。これまでに「欧州持続的原子力技術プラットフォーム(SNETP)」、「プロセス熱利用・水素・発電統合プロジェクト(RAPHAEL)」、「原子炉プロセス熱利用顧客要件評価(EUROPAIRS)」等、一連の共同プログラムを進め、現在、それらの成果を引継いで、更に「熱電併給産業イニシアティブ(NC21)」、「熱電併給 R&D 向け高温ガス炉(ARCHER)」プログラム等を推進中。

フランスは、上記 EU 活動とは別に、Areva が、GT-MHR のフランス進展版「エネルギー供給用新型ガス冷却炉 Areva 新技術(ANTARES)」を開発し、それを基に、米 NGNP プログラムに設計提案した。

(4) 南ア

1993 年以降、ドイツのペブルベッド・モジュール炉(PBMR)技術を基に、また日本、英国、米国、国際原子力機関(IAEA)等の協力を得ながら、実用化に向けた「PBMR(-SA)」実証プログラムを推進した。これは国家のエネルギー/地球/環境/輸出/雇用戦略によるものであったが、2008～2009 年に世界を襲ったリーマンショックの影響で国家が財政危機に陥り、2010 年に開発中止を余儀なくされた。

しかしこの国際協力による PBMR 開発プログラムは、超安全炉、小型モジュール炉、前出の米国 NGNP プログラム等の開発推進モデル、あるいは技術的先導役として、世界に大きな影響を与えた。

(5) 中国

高温ガス炉開発は国家エネルギー計画の重要事項の1つとして位置付けられている。その一環で「高温試験炉(HTR-10)」プログラムが進行中。その「フェーズ 1(蒸気

タービンサイクル：HTR-10ST)」プログラムは継続中で、一方「フェーズ 2(ガスタービンサイクル：HTR-10GT)」プログラムへの移行も準備中。

「高温炉ペブルベッド・モジュール(HTR-PM)」プラント実証プログラムは、国内での圧力容器製造トラブルや一連のサブシステム(燃料製造、蒸気発生器、燃料取扱系等)実証試験実施により、当初計画より数年遅延中。2012 年中に正式着工、2015 年頃に運開と見られている。

なお、その実証炉と同一サイトにおける計 18 モジュールの実用炉設置も計画中であり、その中ではトリウム燃料の利用も検討されている。

(6) 韓国

国家として水素エネルギー開発を展開中。その中心的プログラムとして「原子力水素開発&実証(NHD&D)」プログラムを推進中。製鉄大手 POSCO が水素還元製鉄に関心を示している。日本の原子力水素製造技術(ヨウ素・硫黄(IS)法)や米国の NGNP プログラムをフォロー中。

(7) カザフスタン

天然資源(ウラン、鉄、レアアース、...)を外国に売ってその対価として外国から有用技術を導入し国内に定着させる、との国家戦略展開の 1 つとして、「カザフスタン高温ガス炉(KHTR)」開発・実証プログラムを推進中。日本(JAEA、原子炉メーカーなど)がプラント設計や技術教育で全面的に協力中。

(8) 日本

「福島第一原発事故」(2011.3.11)以降、政府が「原発依存度低減」の方針を打ち出して、原子力開発状況が一変している。今後の原子力、高温ガス炉開発等の位置付けは、2012 年に行われる「エネルギー基本計画」、「原子力政策大綱」の見直し結果次第という状況である。

高温ガス炉につき、1970 年代以降、原子力製鉄など原子力の多目的利用等の観点から、基礎的な研究開発や「高温工学試験研究炉(HTTR)」の設計、建設、運転、安全性実証等を継続して行っており、被覆粒子燃料製造、高品質黒鉛構造材製造、ヘリウム・ガスタービン設計、水素製造(ヨウ素・硫黄(IS 法))、圧力容器向け等の大型鋼材鍛造等、その枢要技術では世界の最先端にいる。

しかし現在、国としてその実用化展開の計画は持っていない。中国、米国でのプラント実証プログラム等が遅延気味の中、日本による参加・協力、国際的開発リードが要請されている。国家的な位置付けと推進が急がれる。

原子力研究開発機構(JAEA)が HTTR を用いた安全性実証試験を実施してきたが、現在は、米国、フランス、韓国などが参加する「(OECD/NEA 主催)「炉心冷却材

喪失試験国際共研(HTR-LOFC)」に発展・実施中。また熱交換器等の関連機器やIS法を中心とする原子力水素製造技術を開発、実証中。

一方、JAEA、三菱重工は、下記のような発電用や熱電併給用の小型高温ガス炉の概念設計、市場調査、中～長期開発戦略等を展開中。

- ◆ JAEA : 2020 年:「小型蒸気サイクル高温炉(HTR50S、50MWt)」
2030 年～:「小型高温ガス炉(50～200MWt)」
2040 年～:「ガスタービン高温炉(GTHTR、600MWt)」シリーズ
- ◆ 三菱重工 : 「三菱モジュール高温炉(MHR-50/100)」
(初号機:120MWt/50MWe、商用機:250MWt/100MWe)」

なお日本は、エネルギー資源開発・導入や高温ガス炉開発展開策の一環として「カザフスタン高温ガス炉」開発プログラム((7)項参照)に全面的に協力中。

■ 情報源

- (1) 高温炉技術国際会議(HTR-2010)(2010.10、プラハ、チェコ)
- (2) 小型モジュール炉会議(ASME 2011 SMR)(2011.9、ワシントン DC、米国)
- (3) web 情報(高温ガス炉、小型モジュール炉、第4世代原子炉、原子力熱利用、原子力水素製造、輸送用燃料合成、…)

■ 本ニュースレターに関する質問、問合せ先

(財)エネルギー総合工学研究所(IAE)内 : 「高温ガス炉プラント研究会(RAHP)」
Tel: 03-3508-8891、Fax: 03-3501-1735

表1. 「高温ガス炉・試験研究炉プログラム」一覧

名称＜機関、国＞	背景、目的、諸元	現状、将来計画
HTTR: 高温工学試験研究炉 ＜JAEA＞ ＜日本＞ [図 1]	- 天然資源殆ど無し - 原子力多目的利用 - 高温ガス炉試験研究 - 茨城県大洗 30MWt 850℃(短期 950℃)	- 三菱重工、日立、東芝、富士電、川重、原燃工、東洋炭素等が設計、建設、燃料&材料製造等で参加協力 1998 年に初臨界 2004 年以降、数日～50 日の短期高温(950℃)連続運転に成功 - 事故時安全性等を実証中(⇒OECD 冷却材循環全喪失試験国際共研(HTTR-LOFC)実施中) - 水素製造試験研究実施中 - IS 法による水素製造実証試験(HTTR-IS)を計画中
HTR-10: 高温試験炉 ＜清華大＞ ＜中国＞ [図 2]	- 資源豊富(石炭/トリウム/レアアース…) - 原子力多目的利用 - 高温ガス炉試験研究(発電、各種熱利用) - 北京市郊外 10MWt/2.6MWe - HTR-10ST:700℃ - HTR-10GT:900℃	- 黒鉛構造材で日本(東洋炭素)が協力 - フェーズ 1(蒸気タービン(ST)サイクル)を継続中 - フェーズ 2(ガスタービン(GT)サイクル)への移行を準備中

表2.「高温ガス炉・原型炉実証炉プログラム」一覧(2012年3月現在)(1/2)
(プラント設置サイトや開発資金など内容が具体化しているプログラム)

名称＜機関、国＞	目的、諸元	現状、将来計画
PBMR(-SA): ペブルベッド・ モジュール・ヘリウム ガス冷却炉 ＜国、国営電力 (ESKOM)＞ ＜南ア＞ ＜<u>開発は中止</u>＞	- 天然資源豊富(石炭／ウラン／トリウム…) (但し石油は無し) - 国家エネ／環境／輸出／雇用確保戦略 - ドイツ PBMR 技術をベースにした南ア版小型モジュール高温ガス炉の開発／実証／実用化 - Koeberg(Capetown 郊外) - 発電／熱利用(石炭ガス化&液化／水素製造／…) 268MWt ⇒300MWt/120MWe ⇒400MWt/160MWe ⇒200MWt/80MWe 900℃	1993 年～概念設計 1995 年～詳細設計、経済性&市場性評価、ビジネスプラン検討 - その間、ドイツ・フランス (Siemens/Areva:PBMR 基本技術提供)、日本(三菱重工:ガスタービン開発、炉内構造物:原燃工:燃料製造技術評価)、英国(BNFL、資本参加)、米国(Exelon、WH(/東芝):資本参加、NRC:許認可性評価)、国際原子力機関(IAEA:核不拡散性評価)等が開発に参加、協力 - 経済性／需要性の評価から途中、モジュール設計出力等を変更 2010 年、リーマンショックで国家が財政破綻し、<u>開発は中止</u> (但し、超安全炉や小型モジュール炉の開発、米国 NGNP プログラム設計検討等に世界に大きな影響を与えた)
NGNP: 次世代原子力プラント ＜DOE＞ ＜米国＞ [図 3～11]	- 天然資源豊富(石炭／オイルサンド／オイルシェール／…) - エネ消費膨大、CO₂ 放出膨大 - エネ的独立、クリーンエネ(水素…)、原子力熱利用(石炭／オイルサンド等の改質:輸送用燃料合成) - 第4世代(Gen.4)原子炉開発 - 高温ガス炉プラント開発実証 - アイダホ州(但し別候補サイトも調査中) 600MWt?/?MWe 750～800℃?	- 水素製造技術についてはDOE「原子力水素開発プログラム」で開発実施 - フェーズ1(概念設計、技術開発評価)はほぼ終了 - GA、WH(=PBMR-USA)、Areva-USA がそれぞれの炉・プラント概念設計を提案。日本(東芝、富士電、三菱重工)も協力 - アイダホ代替サイト候補としてルイジアナ州の熱利用需要地などを調査中 - フェーズ2(2011～2021 年、詳細設計／プラント建設／運転実証)には、官／民連携や資金の不足等により移行せず、内容を縮小した研究開発プログラムとして継続実施か？ 2012 年度予算は 64M\$

表2. 「高温ガス炉・原型炉実証炉プログラム」一覧(2012 年 3 月現在)(2/2)
(プラント設置サイトや開発資金など内容が具体化しているプログラム)

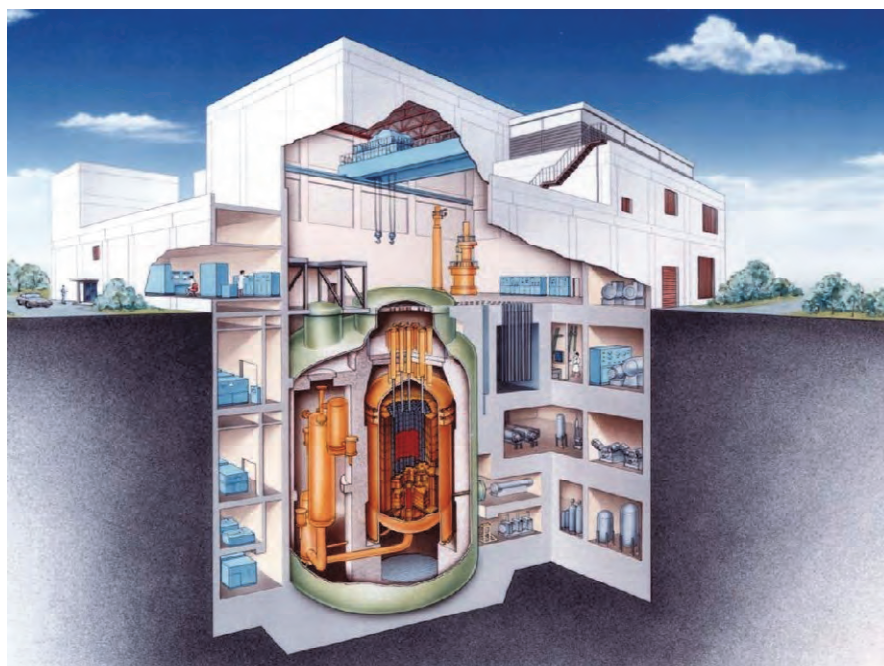
名称<機関、国>	目的、諸元	現状、将来計画
HTR-PM: 高温ガス炉ペブル ベッド・モジュール <華能石島湾原発 (=華能集団/核工業 集団/清華大)> <中国> [図 12~14]	- 原子力多目的利用(重油改質/石炭改質燃料合成/地域熱供給/水素製造/…) - 高温ガス炉プラント実証/実用化 - 山東省威海市石島湾 500MWt(=250MWt×2)/210MWe 750℃	<実証炉> - 燃料製造/蒸気発生器/燃料取扱系等システム実証中 - 福島事故(日)を受けて立地地盤など安全性再評価中 - 黒鉛構造材(東洋炭素(日)が供給予定)を除く燃料/材料/主要機器につき全国産化推進中 2012 年着工、2015 年運開? <実用炉> - 実証炉と同一敷地に計 18 基の設置を計画中
KHTR: カザフ高温ガス炉 <カザトムプロム> <カザフスタン>	- 天然資源(ウラン/石炭/レアアース…)輸出の見返りに原子力技術導入・国内定着 - 高温ガス炉(発電/地域暖房/水素製造)開発 - Kurchatov 市 50MWt/15MWe 900~950℃	- 日本(JAEA/東芝/…)が全面的に協力(技術/教育/…) 2011 年 5 月に日本/カザフ原子力協定が発効 2012 年 1 月~成立性評価(FS) 2020 年運開?

表3. 「高温ガス炉・研究開発プログラム」一覧(2012年3月現在)(1/2)
(実証プログラム以外の主要研究開発プログラム)

名称(機関、国)	目的、諸元	現状、将来計画
GT-MHR: ガスタービン・ モジュール炉 <DOE/GA/ORNL/ Rosatom/OKBM> <米国/ロシア>	- 核不拡散(核兵器解体で出てくるプルトニウムの焼却処理)/ガスタービン発電 600MWt	- 米/ロ共研継続中(共同プラント設置可能性検討、他) (米国では H2-MHR、SC-MHR、DB-MHR 等に、またロシアでは MHR-T 等にそれぞれ発展中)
H2-MHR: 水素製造モジュール炉 <GA> <米国>	- GT-MHR 米国進展版 - 水素製造	米国 NGNP プログラム向け設計提案済み
SC-MHR: 蒸気サイクル・ モジュール炉 <GA> <米国>	- GT-MHR 米国進展版 - 蒸気サイクル(発電/熱利用)	米国 NGNP プログラム向け設計提案済み
DB-MHR: 超高燃焼度 モジュール炉 <DOE/GA> <米国>	- GT-MHR 米国進展版 - 原子力発電廃棄物低減(TRU 燃焼処理)/発電/熱利用	概念設計検討済み
GT-MHR: <OKBM> <ロシア>	- GT-MHR(米/ロ共研)のロシア進展版 600MWt	- プラント設計検討中 - ロシア内の市場性も評価中 - 将来はガス冷却高速炉(GFR)開発に繋ぐ構想
MHR-T: <OKBM> <ロシア>	- GT-MHR(米/ロ共研)のロシア進展版 - 水素製造/ガスタービン発電、600MWt	
SNE-TP: 持続的原子力技術 プラットフォーム <EU>	- 欧州共同戦略 - 欧州共同原子力技術開発基盤の整理、構築	欧州共通の原子力開発目標、戦略、要件、スケジュールにつき共研中(炉型戦略、顧客要件調査、国際実証炉設置可能性検討…)
NC21: 原子力併給産業 イニシアティブ <EU>	原子力熱電併給実証に向けた活動	プロセス熱利用/水素製造/発電向け原子炉(RAPHAEL)やプロセス熱利用の最終顧客要件調査、評価(EUROPAIRS)等の成果を引継いで、2011年に活動開始
ARCHER: 熱電併給研究開発 向け新型炉開発 プログラム <EU>		

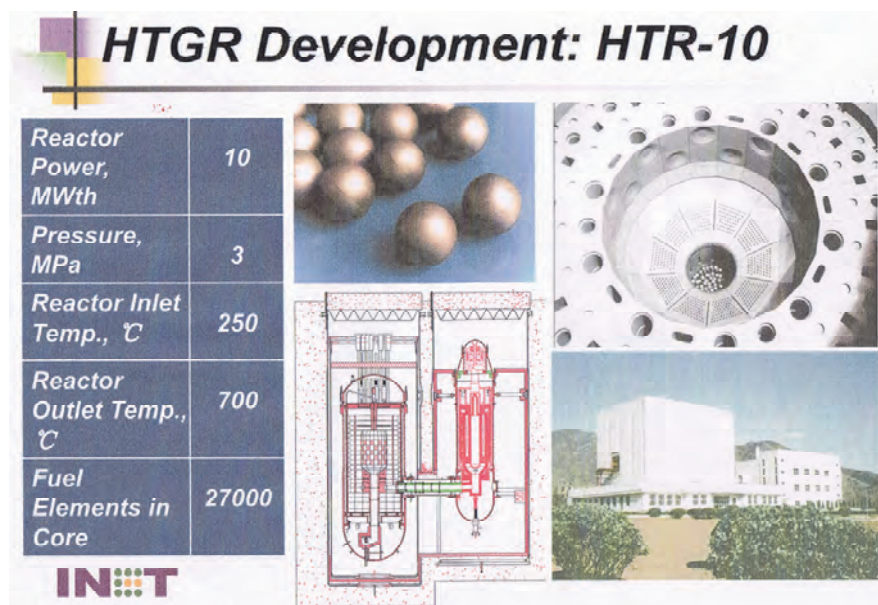
表3. 「高温ガス炉・研究開発プログラム」一覧(2012年3月現在)(2/2)
(実証プログラム以外の主要研究開発プログラム)

名称(機関、国)	目的、諸元	現状、将来計画
ANTARES: エネ供給用新型ガス 冷却炉 Areva 新技術 ＜Areva＞ ＜フランス＞	高温ガス炉(発電/水素製造/熱利用)開発	- 米国 NGNP プログラムに向けて設計提案済み - NGNP 産業連携機構に参加し、その主要メンバーとして関与中
NHDD: 原子力水素開発 & 実証 ＜原子力研 (KAERI)＞ ＜韓国＞	- 国家エネ戦略(水素エネ開発) - 原子力水素製造開発 & 実証	- 先進科学研究院(KAIST)、エネ技術研究院(KIER)が協力中 - 韓国製鉄大手 POSCO が原子力水素による還元製鉄に関心
GTHTR300: ガスタービン高温炉 ＜JAEA＞ ＜日本＞ [図 15]	- ガスタービンサイクル高温ガス炉開発 ＜GTHTR300X＞ - 発電用 ＜GTHTR300C＞ - 熱電併給用 ＜GTHTR300H＞ - 水素製造用 600MWt/274MWe 850℃	- 一連のプラント設計につき、概念設計、経済性評価等実施済み - 試験研究炉(HTTR)を用いて安全性につき実証試験中
HTR50S: 蒸気サイクル小型 高温炉 ＜JAEA/東芝/ 富士電＞ ＜日本＞ [図 16]	- 途上国向け蒸気サイクル小型高温炉開発(発電用、蒸気供給用) 50MWt、750℃	- 概念設計(基本仕様、系統概念)検討済み - 市場規模調査中
MHR-50/100: 三菱高温炉 ＜三菱重工/ JAEA＞ ＜日本＞	- 発電用小型高温炉開発 - 初号機: 120MWt/50MWe - 商用機: 250MWt/100MWe 750℃	- 概念設計検討中 - コスト検討中



HTTR(システム断面)
(出典) JAEA HP

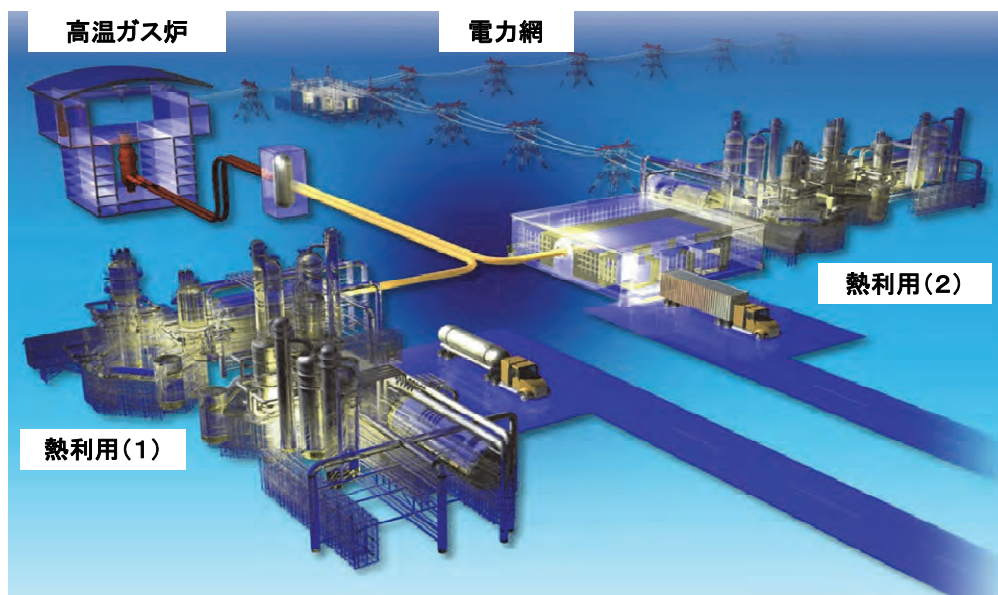
図 1 (日本)高温工学試験研究炉 HTTR



HTR-10(主要仕様、プラント断面)

(出典) Sun Yuliang (INET, Tsinghua Univ.), "Potential Contributions of Modular HTGRs to Energy Supplies in China", IAEA Technical Meeting on Options to enhance Energy Supply Security with NPPs based on SMRs, Oct.3-6, 2011, IAEA, Vienna

図 2 (中国)高温試験炉 HTR-10(主要仕様、プラント断面)

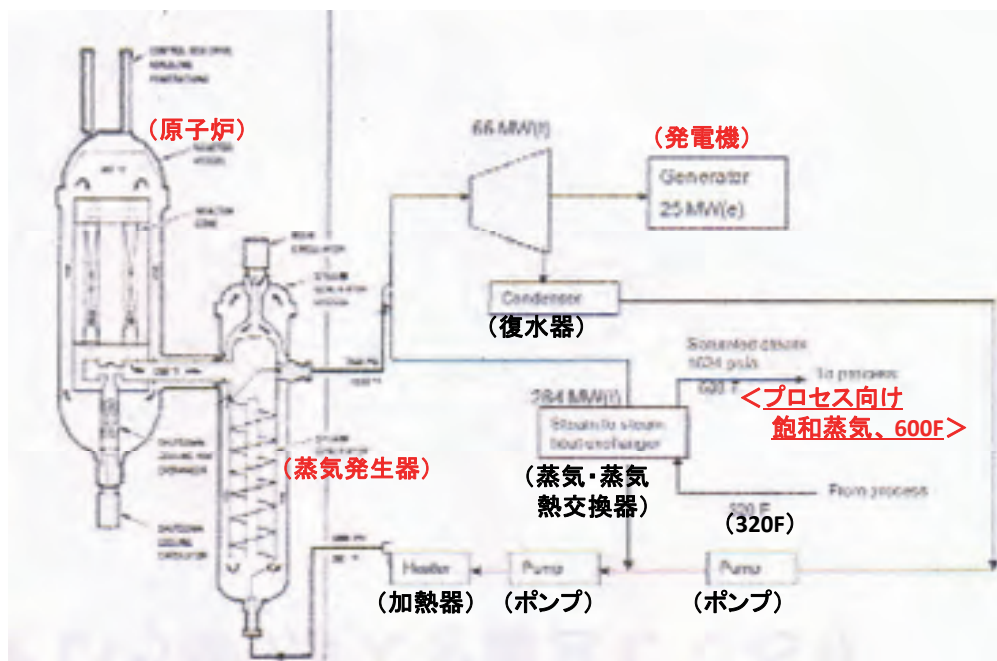


NGNP(プラント概念; 高温ガス炉による発電&各種熱利用)

(出典) Summary for the NGNP Project in Review, INL/EXT-10-19142 (Rev.1), Sep.2010

＜説明加筆＞

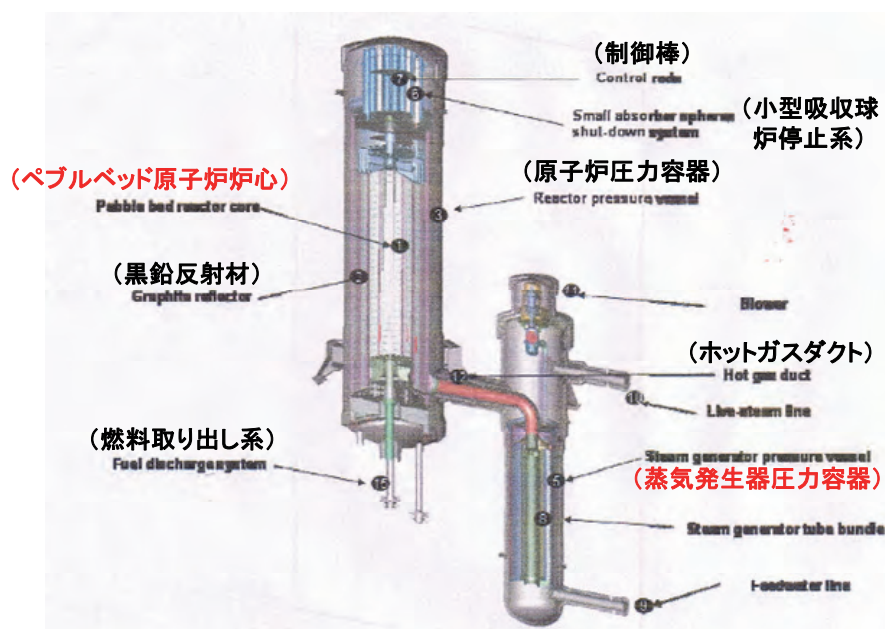
図 3 (米国)次世代原子力プラント NGNP(プラント概念)



NGNP向けGA提案(蒸気 & 電力供給)

(出典) NGNP Project 2009 Status Report, INL/EXT-09-17505, May 2010

図 4 (米国)NGNP 向け GA 提案(蒸気 & 電力供給)

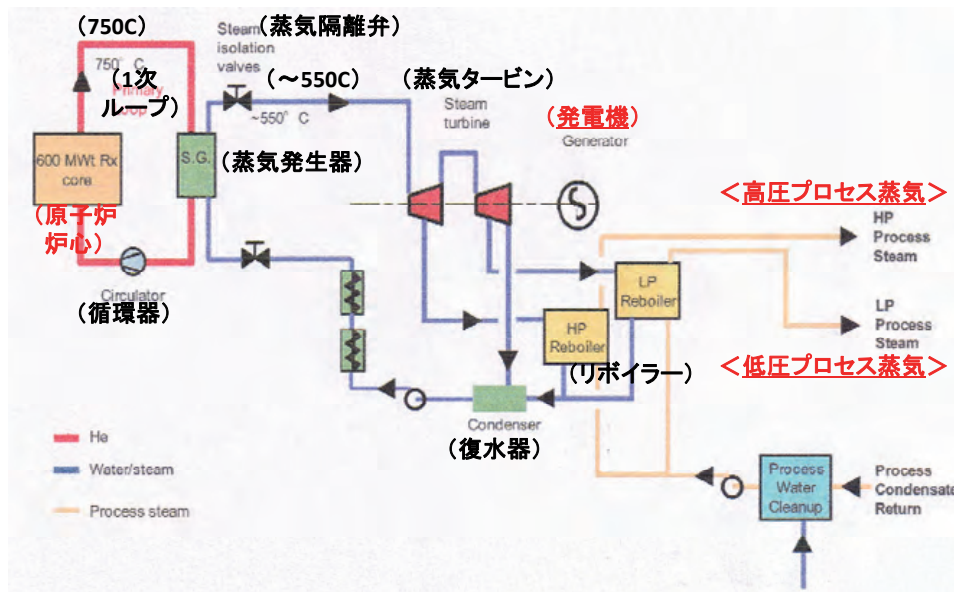


NGNP向けWH-PBMR提案(オイルサンド回収用蒸気供給)

(出典) Summary for the NGNP Project in Review, INL/EXT-10-19142 (Rev.1), Sep.2010

<説明加筆>

図 5 (米国)NGNP 向け WH-PBMR 提案(オイルサンド回収用蒸気供給)

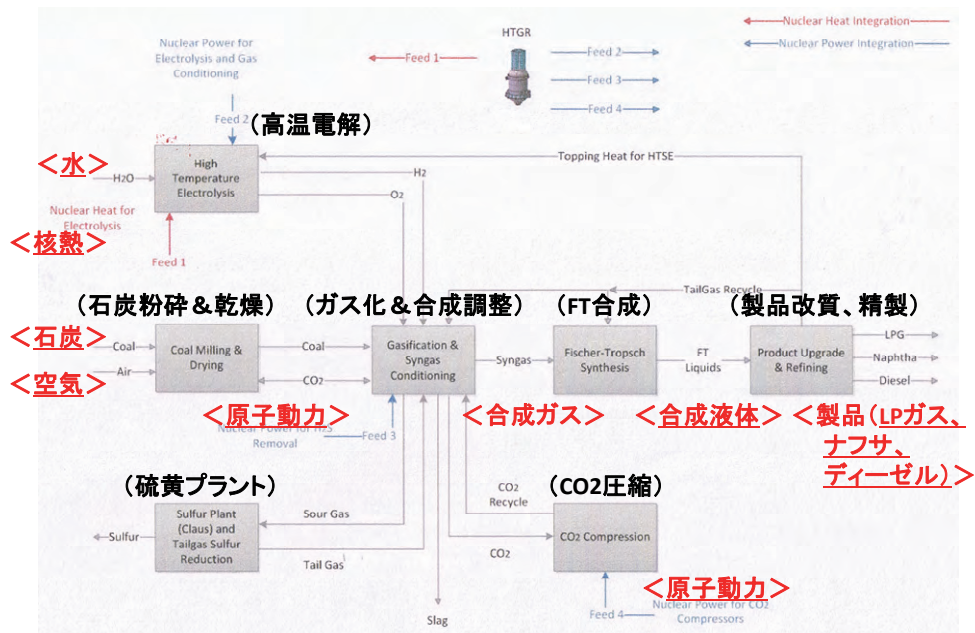


NGNP向けAREVA提案(蒸気 & 電力供給)

(出典) NGNP Project 2009 Status Report, INL/EXT-09-17505, May 2010

<説明加筆>

図 6 (米国)NGNP 向け Areva-GA 提案(蒸気 & 電力供給)

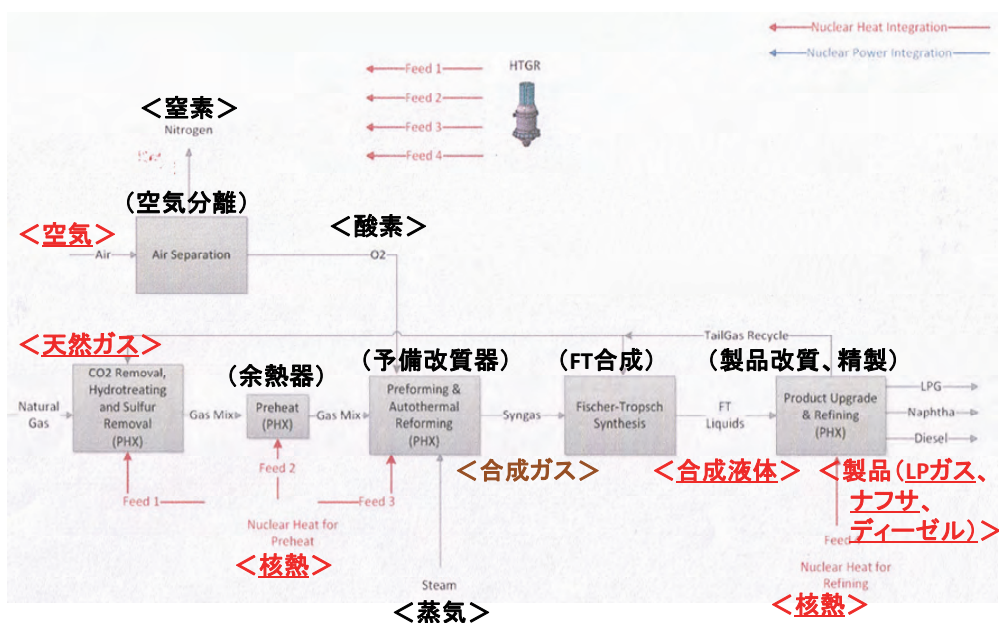


NGNP向け提案(石炭ガス化 & 液化)

(出典) Reactor User Interface Technology Development Roadmaps for HTGR Outlet

Temperature of 750 deg.C, INL/EXT-1020460, Dec.2010 <説明加筆>

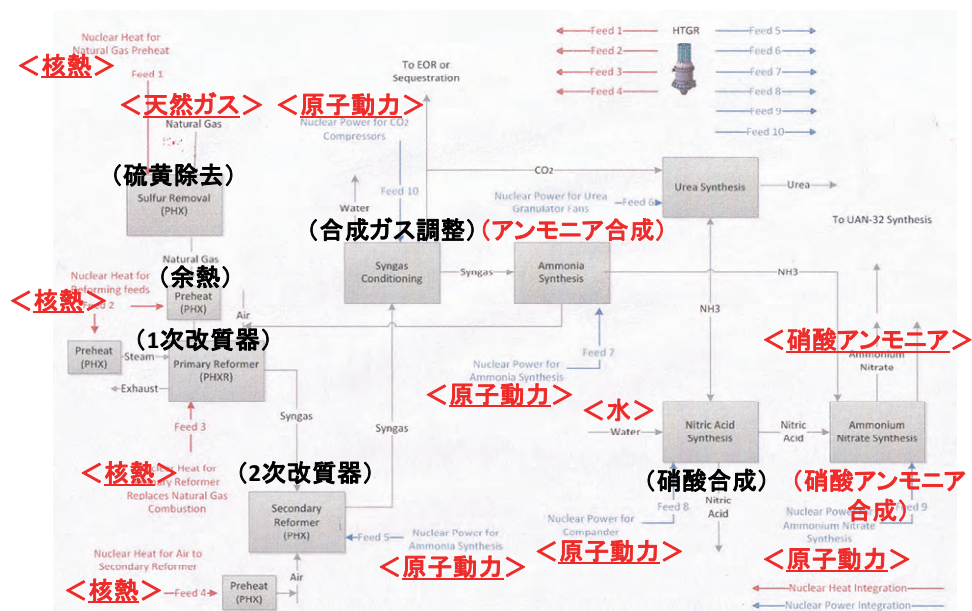
図 7 (米国)NGNP 向け提案(石炭ガス化 & 液化)



NGNP向け提案(天然ガス液化)

(出典) Reactor User Interface Technology Development Roadmaps for HTGR Outlet Temperature of 750 deg.C, INL/EXT-1020460, Dec.2010 <説明加筆>

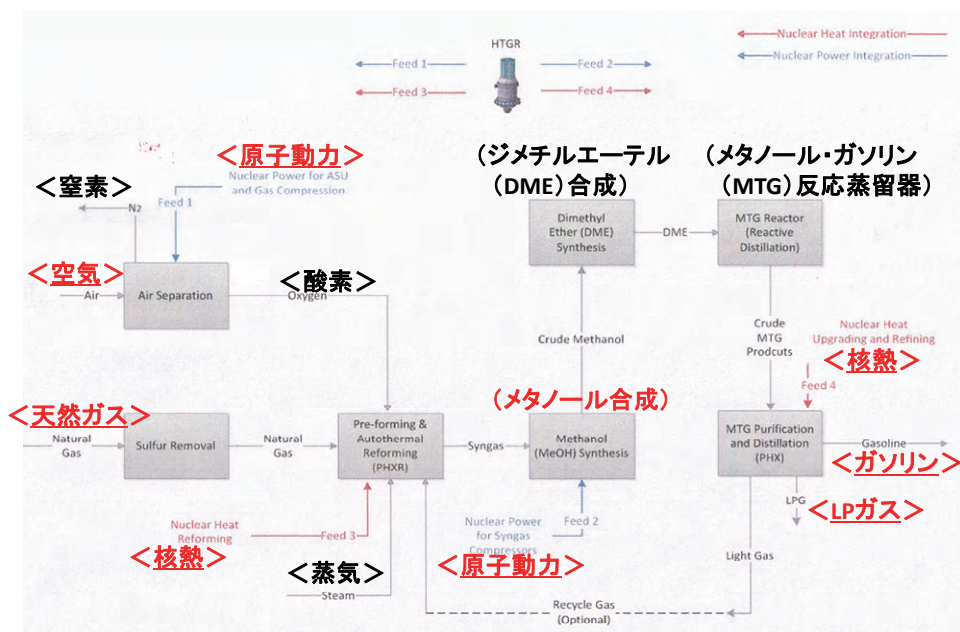
図 8 (米国)NGNP 向け提案(天然ガス液化)



NGNP向け提案(天然ガスからアンモニア製造)

(出典) Reactor User Interface Technology Development Roadmaps for HTGR Outlet Temperature of 750 deg.C, INL/EXT-1020460, Dec.2010 <説明加筆>

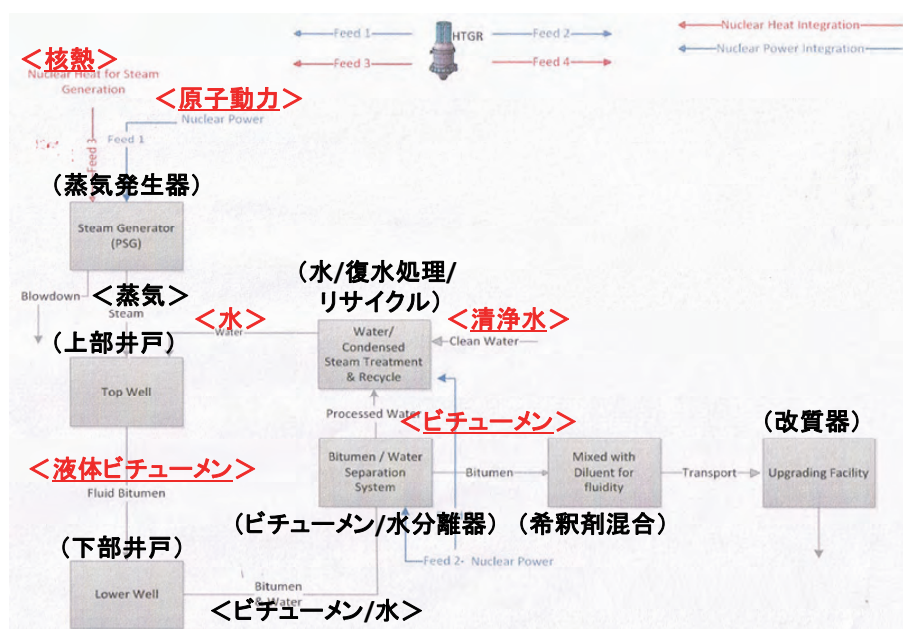
図 9 (米国)NGNP 向け提案(天然ガスからアンモニア製造)



NGNP向け提案(天然ガスからメタノール・ガソリン製造)

(出典) Reactor User Interface Technology Development Roadmaps for HTGR Outlet Temperature of 750 deg.C, INL/EXT-1020460, Dec.2010 <説明加筆>

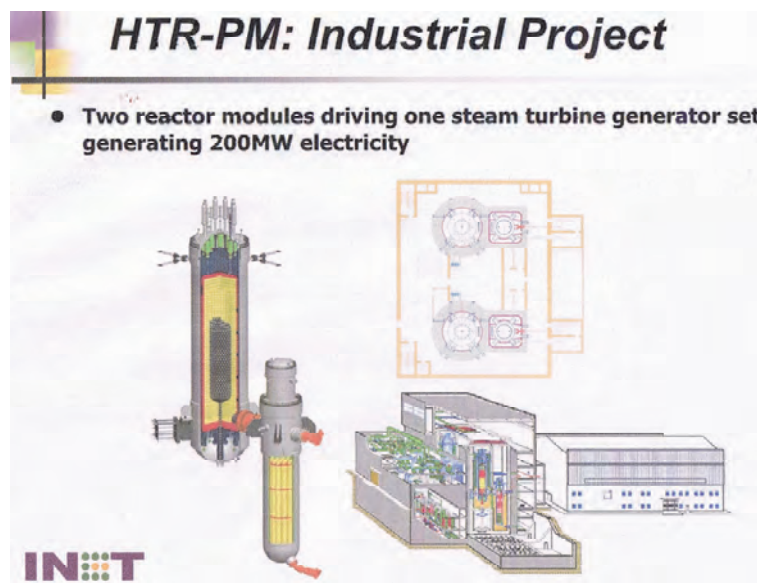
図 10 (米国)NGNP 向け提案(天然ガスからメタノール&ガソリン製造)



NGNP向け提案(オイルサンド回収&改質)

(出典) Reactor User Interface Technology Development Roadmaps for HTGR Outlet Temperature of 750 deg.C, INL/EXT-1020460, Dec.2010 <説明加筆>

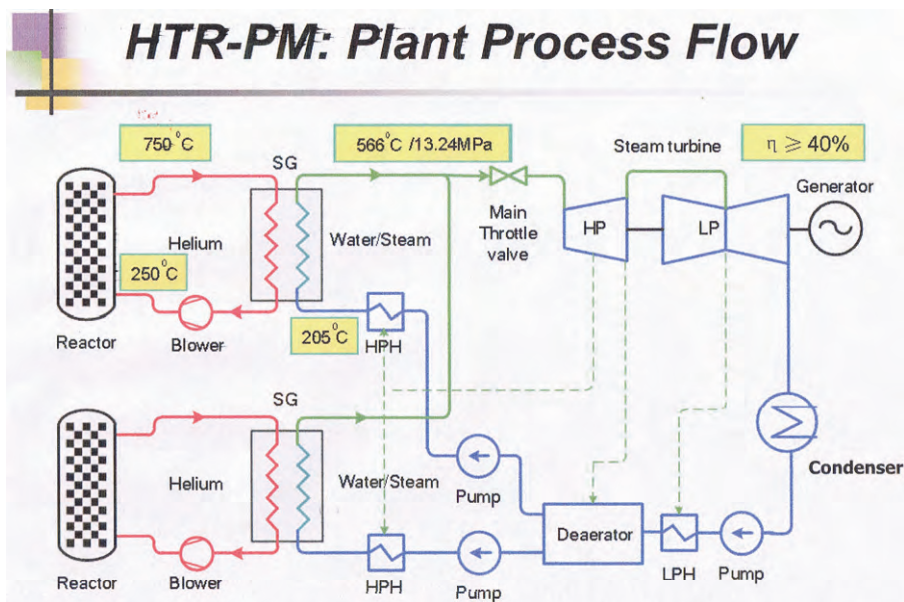
図 11 (米国)NGNP 向け提案(オイルサンド回収&改質)



HTR-PM(概念、レイアウト)

(2つの原子炉モジュールで1つの蒸気タービン発電機(200MWe)を駆動)
 (出典)Sun Yuliang, INET, Tsinghua Univ., Tech. Development, Design and Safety Features of HTR-PM and its Deployment Scheme, IAEA WS on Tech. Assessment of SMRs for Near Term Deployment, Dec.5-9, 2011, IAEA, Vienna

図 12 (中国)HTR-PM プラント(概念、レイアウト)



HTR-PM(プロセス)

(出典)Sun Yuliang (INET, Tsinghua Univ.), "Potential Contributions of Modular HTGRs to Energy Supplies in China", IAEA Tech. Meeting on Options to enhance Energy Supply Security with NPPs based on SMRs, Oct.3-6, 2011, IAEA, Vienna

図 13 (中国)HTR-PM(プロセス)

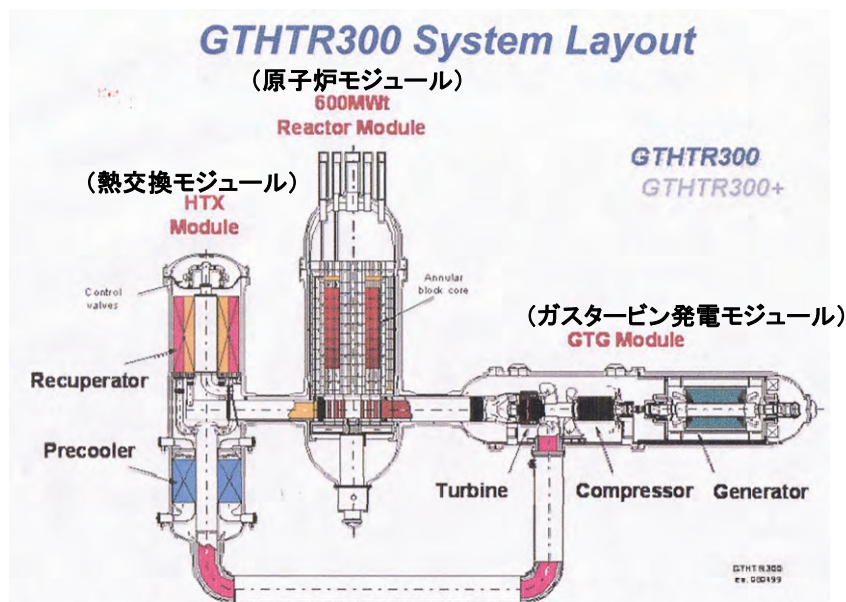
HTR-PM: Construction Site



HTR-PM(プラント建設サイト状況)

(出典) Sun Yuliang (INET, Tsinghua Univ.), "Potential Contributions of Modular HTGRs to Energy Supplies in China", IAEA Tech. Meeting on Options to enhance Energy Supply Security with NPPs based on SMRs, Oct.3-6, 2011, IAEA, Vienna

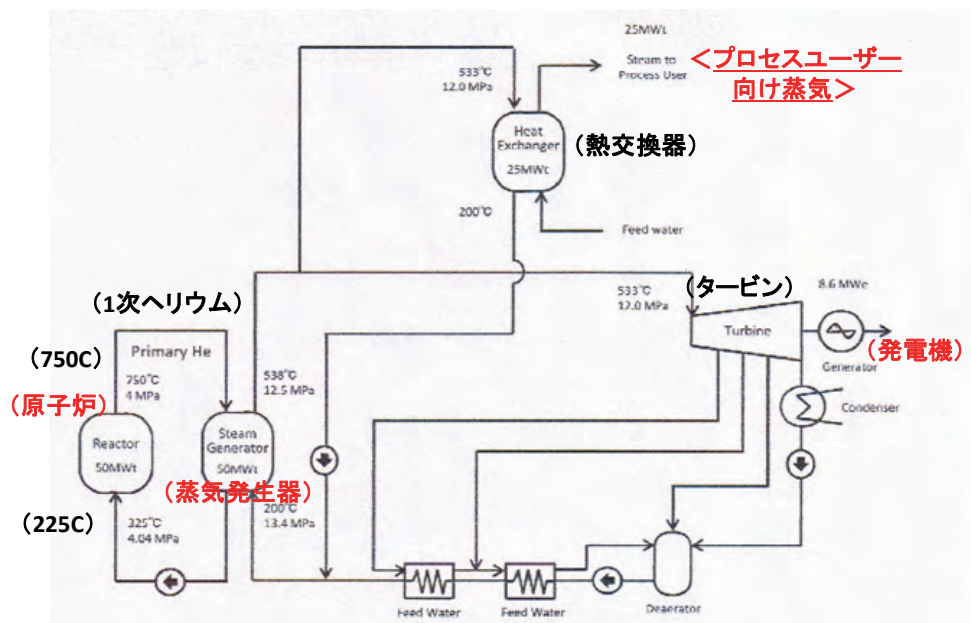
図 14 (中国)HTR-PM(プラント建設サイト状況)



GTHTR300(システムレイアウト)

(出典) Xing Yan, K.Kunitomi, et al (JAEA), "GTHTR300 Design Variants for Production of Electricity, Hydrogen or Both", 3rd Information Exchange Meeting on Nuclear Production of Hydrogen, Oct.5, 2005 <説明加筆>

図 15 (日本)GTHTR300(システムレイアウト)



HTR-50S(蒸気&電力供給)

(出典)大橋弘史、他、“小型高温ガス炉システムの概念設計(Ⅰ)
(基本仕様及び系統概念設計)”, JAEA-Technology 2011-013 <説明加筆>

図 16 (日本)HTR-50S(蒸気&電力供給)