

2014年3月

RAHP ニュースレター *No.13*

世界の高温ガス炉開発 ～ 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、日本の産業界(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開発戦略検討、並びに国内・外(産、官、学、一般)向けの理解促進活動の一環として、定期的に、世界の高温ガス炉開発の背景、狙い、最新状況、将来計画等を調査し、その概要を紹介するものであり、2014年3月末現在のものである。

■ 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、

- エネルギー資源(電力、熱、輸送用燃料等)の持続安定的確保、水、食糧の持続安定的確保
- 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、オイルサンド、シェールガス等の「非在来型化石燃料」や原子力、水素等の「低炭素・クリーンエネルギー」の開発が鋭意行われている。中でも、持続性、クリーン性、多様性等の観点から「原子力」が見直され、2011年3月に発生した「福島原発事故」以降も一部の国は脱原発に向かったが、多くの国は、過酷事故時の安全性を強化しつつ、原子炉の新規開発&導入を進めている。

「高温ガス炉」は、それら原子力共通の特性に加えて、

- 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、産業用プロセス熱利用)、核不拡散、資源有効活用、産業振興

などの視点から、先進国、需要国、資源国で開発や導入検討が行われている。

現在、日本と中国では「試験・研究炉」プログラムが、中国、米国、カザフスタンでは2020年前後の運転開始に向けた「原型・実証炉」プログラムが進行中であり、また多くの国で新プラント設計提案等、関連開発が行われている。

なお、開発対象は全て「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、想定需要は、市場性や技術成熟度等から、

- <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」;
高効率水素製造、肥料製造、燃料電池車、水素還元製鉄・・

等である。

以下に世界の高温ガス炉開発の最新状況を国別に概説する。また開発プログラムの段階別一覧を表 1～3 に、原子炉プラントやプロセス利用の概念例を図 1～14 に示す。

■ 国別開発状況

(1) 米国

(1-1) 次世代原子力プラント(NGNP)プログラム：

1993 年、米国(エネルギー省(DOE)、ゼネラルアトミックス(GA)、オークリッジ国立研 ORNL が参加)はロシア(原子力省(Minatom、現 Rosatom)、OKBM が参加)と共同で、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「ガスタービン型モジュール式ヘリウムガス冷却炉(GT-MHR)」の開発を開始し、現在も内容を縮小しているが、継続中。

DOE は、「2005 年エネルギー政策法(EPA-2005)」に基づき、またそこに明記されている官民連携の原則に基づき、次世代原子力プラント(実質的に高温ガス炉プラント)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等の判断から、その主目的を「水素製造 & 発電」から「熱利用 & 発電」に、また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;プラント概念設計、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;プラント詳細設計、建設、実証)」には入らず、現在は、内容を縮小し、被覆粒子燃料や高品質黒鉛材の製造や照射特性評価研究のみを実施中。

- ◆ 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)等で膨大だが、プログラム完遂に今後更に 3～4B\$が必要
- ◆ 官民連携の強化(プラント供給者、所有・運転者、最終顧客の参加)が必要
- ◆ 炉心設計、設置サイト、プラント完成時期等の絞込みや見直しが必要

フェーズ 1 では産業界も参加、協力した。GA は、上記 GT-MHR の進展版として「水素製造炉(H₂-MHR)」、「蒸気サイクル炉(SC-MHR)」、「超高燃焼度炉(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「蒸気サイクル炉(SC-HTGR)」を、それぞれ提案した。日本の三菱重工、東芝、富士電も提案側に参加、協力した。

上記の原子力メーカーや電力(Entergy)、化学会社(Dow...)などが「NGNP 産業連携機構(Industry Alliance)」を形成し、顧客要件提示や北米地区で～800 モジュ

ール程度との潜在市場評価を行った。NGNP 実証プログラムの国家による戦略的推進を要望しつつ、独自に、最適プラント設計として上出 SC-HTGR を選定し、2015 年の許認可申請を目指してサイト選定等の準備を進めている。

なお DOE は、2010 年頃以降、米国の製造業振興、雇用促進等の視点も加えて、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。

(1-2) 国家プロジェクト管理会社ペブルベッドガスタービン超高燃焼度型高温ガス炉(NPMC/PBMR-GT-DB)プログラム:

2013 年、National Project Management Corp.(NPMC)社が南ア PBMR(別項参照)と連携して、PBMR-GT 開発プロジェクトを開始。米国が現在困っている軽水炉使用済燃料の処理・処分(プルトニウム(Pu)や超ウラン元素(TRU)の燃焼処理)、並びに発電、水素製造、プロセス熱利用を同時に狙うものであり、また NGNP、世界原子力パートナーシップ(GNEP)、先進燃料サイクルイニシアティブ(AFCI)等の既存の DOE プログラムを支援、補完するものと位置づけている。既にニューヨーク(NY)州、同州 Oswego 市等が数 100M\$規模の出資を確約している。プラント実証は世界銀行からの融資を活用して南アで、機器製造や実用化は米国で行うことを想定している。2013 年 7 月、DOE 宛に小型モジュール炉(SMR)開発支援申請を提出済。

(1-3) Xe-100 プログラム:

2013 年、X-energy 社が、前項と同様、軽水炉使用済燃料の処理・処分、プロセス熱利用等を狙って、かつ南ア PBMR と連携して、高温ガス炉開発プロジェクトを立ち上げた。現在、南ア国策石炭液化会社(SASOL)の石炭ガス化(CTG)プロセスをモデルにその適用性を検討中。

(2) カナダ: スターコア・ペブルベッド炉(SPB)プログラム:

StarCore 社(米国、カナダ)が、遠隔地・分散需要(小都市、鉱山、軍事戦略基地...)を主対象に、当プログラムを立ち上げて、2015 年の初期展開を目指して、カナダ原子力安全委員会の設計認可申請を準備中。衛星通信を使用した原子炉遠隔運転制御を提案中。

(3) ロシア

(3-1) ガスタービンモジュール炉(GT-MHR)プログラム：

米国とロシアが共同開発してきた GT-MHR(1-1 項参照)のロシア進展版であり、動力変換系機器や被覆粒子燃料の開発を継続している。2010 年に「核兵器解体 Pu 処分戦略プログラム」に組み入れられた。

(3-2) MHR-T プログラム：

GT-MHR(1-1、3-1 項参照)をベースに水素製造等を狙った熱電併給炉プログラムであり、ロシア経済圏でのその潜在市場は数 100 モジュール規模と評価している。

(4) 欧州プログラム

フランス、ドイツなど欧州連合(EU)加盟国が、次世代軽水炉、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、一連の高温ガス炉プログラムを進め、現在、それらの成果を引継いで「[熱電併給向け先進炉研究開発\(ARCHER\)](#)」、「[熱電併給産業イニシアティブ\(NC21\)](#)」等を推進中。

フランスは、上記 EU の活動に加えて、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、その更なる改良版「[蒸気サイクル高温ガス炉\(SC-HTGR\)](#)」を米国 NGNP プログラム(1-1 項参照)に向けて設計提案を行った。

ポーランドは政府が、大学や産業と共に、「[ポーランド高温炉建設可能性調査プログラム\(HTR-PL\)](#)」を開始した。

(5) 南アフリカ

(5-1) ペブルベッドモジュール式高温ガス炉(PBMR)プログラム：

国家エネルギー戦略の一環として、1993 年以降、国営電力(ESKOM)がドイツのモジュール式高温ガス炉(HTR-M)技術を基にして「PBMR」開発実証プログラムを推進し、世界の「第 4 世代炉」や「小型モジュール炉」開発に大きな影響を与えたが、「リーマンショック」で財政危機に陥り、2010 年に中止された。

その後、燃料製造施設、開発試験施設、知的財産を維持管理しながら、その復

活・活用策を模索しており、南ア国内や米国からの NPMC/PBMR-GT(1-2 項参照)、Xe-100(1-3 項参照)、TH-100(5-2 項参照)等の開発プログラム新提案に繋がっている。

(5-2) トリウム燃料高温ガス炉(TH-100)プログラム:

2011 年に南アのトリウム鉱山会社(STL)が、PBMR の場合のウラン燃料の代わりにトリウムを燃料として使う TH-100 プログラムを発足させた。トリウムは南アではレアアース採掘の副産物であり、その有効活用策、またウラン燃料の将来的な補完・代替策と位置づけている。

プラント概念設計を行い、現在、詳細設計・建設・運転のためのコンソーシアムを設立中。2014 年にトリウムの商業生産開始を予定し、2022 年頃に米国での初号機運転を構想している。

(6) 中国

(6-1) 高温炉試験モジュール(HTR-10)プログラム:

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、その一環で当試験炉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-10-ST](#))」が継続しており、同時に「フェーズ 2([ガスタービンサイクル: HTR-10-GT](#))」への移行も準備中。

(6-2) 高温炉ペブルベッドモジュール(HTR-PM)プログラム:

HTR-10 プログラム(6-1 項参照)の技術経験をベースにした当プログラムは、高温炉プラントの実証&実用を目指すものであり、先ず実証炉プラントが、「福島原発事故」(2011 年 3 月)後の安全性再レビューを経て、2012 年 12 月に山東省威海市石島湾(Shidao Bay)地区で着工された。2017 年末に運転を予定している。

その実証炉と同一のサイトで計 18 モジュールの実用炉の設置が計画されており、また将来展開の構想には水素製造、トリウム燃料使用等も含まれている。

(6-3) 莆田・瑞金導入プログラム:

2013 年、核建工集団と福建省莆田(Putian)市が、地方中核都市の経済発展計画の一環として、高温ガス炉プラントの導入を企画し、計画を発表した。狙いは雇用振興、石炭ガス化&液化、淡水化、輸出等。江西省瑞金(Ruijin)市も同様の導入計画を発表した。

(7) 韓国: 水/水素/電力/原子力(WHEN)」&「原子力水素開発&実証(NHD プログラム

国家戦略として当プログラムを推進中。電力、重工、製鉄等関連主要産業が連携参加しており、また 2013 年以降、米国 NGNP 産業連携機構(1-1 項参照)も連携参加中。2026 年にプラント実証を予定している。

(8) カザフスタン: カザフスタン高温ガス炉(KHTR)プログラム

実験&実証プログラムであり、自国の天然資源(ウラン、鉄鉱石、レアアース、...)を輸出し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 つとして推進中。日本(JAEA、東芝、富士電、原燃工など)が技術、設計、教育等で全面的に協力中。

(9) 日本

2011 年の「福島原発事故」を受けて、時の民主党政権が「原発ゼロ」の方針を打ち出して以来、国の原子力開発状況が一変している。2012 年末に自 & 公連立政権に交代したが、「安全性見直し後に再開」なのか、原子力開発は「縮小」させるのか、「輸出」や「新設」はどうか等、国家エネルギー開発基本方針そのものが未確定。

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の観点から、基礎的な研究開発、ならびに高温工学試験研究炉(HTTR)プラントの設計、建設、運転、安全性実証試験等を継続して行ってきた。日本は、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)、圧力容器用大型鋼材鍛造等、その枢要技術では世界の最先端にいる。

日本は現在、国としてその実用化展開の計画は持っていないが、米国、中国、カザフスタン等での高温炉開発への日本による参加・協力や技術開発リードが要請されている。米国 NGNP(1-1 項参照)へのプラント設計提案への協力、中国 HTR-10 & HTR-PM(6-1、6-2 項参照)への黒鉛構造材提供、カザフスタン KHTR(8 項参照)への全面的開発協力など展開してきているが、エネルギー、環境、国際貢献・ビジネス戦略等の観点からの当該炉プラント開発の国家的な位置付けとその具体的施策、推進が急がれる。

(9-1) 高温工学試験研究炉(HTTR)プログラム:

HTTR プラントは、福島原発事故以来、運転停止を余儀なくされているが、原子力研究開発機構(JAEA)は、その HTTR の技術をベースに、現在、関連機器開発、水

素製造技術開発 & 実証、「OECD/NEA 炉心冷却材喪失試験国際共研 (HTTR-LOFC)」等の一連の工学試験研究を実施中。

(9-2) ガスタービン高温炉(GTHTR300)、小型蒸気サイクル炉(HTR50S、MHR-50/100is)、本質的安全炉(NSHTR)、クリーンバーン炉(CBHTR)プログラム:

一方、JAEA、三菱重工、東芝等が、単独または共同で、世界の多様かつ膨大な熱&電需要、軽水炉使用済燃料から出てくる Pu や TRU の燃焼処理、「福島事故」を教訓とした冷却材喪失や空気&水侵入などの過酷事故条件下にも対応できる究極安全炉の追求等の新しい視点から、発電用、熱電併給用、水素製造用、乾式プラント用等のシリーズ設計開発として GTHTR300、小型蒸気サイクル炉として HTR50S、MHR-50/100is)、自然(究極)安全炉 NSHTR、クリーンバーン炉 CBHTR 等につき、それぞれ、炉・プラント概念設計、市場評価、ならびに耐酸化性に優れた被覆粒子燃料や黒鉛の開発試験を展開中。

■ 情報源

- (1) 国際会議情報: HTR-2010(チェコ)、ASME 2011 SMR(米国)、ICONE20(2012)(米国)、HTR-2012(東京)、ANS SMR 2013(米国)等
- (2) web 検索キーワード: 高温ガス炉、小型モジュール炉(SMR)、第 4 世代炉(Gen.4)、原子力熱利用(水素製造、燃料合成...)等

■ 本ニュースレターに関する問合せ先

(一財)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、E-mail: rahp@iae.or.jp

表1 「試験・研究炉プログラム」一覧(2014 年 3 月現在)
(実際の原子炉を使用した試験研究開発プログラム)

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]	- 原子力多目的利用（製鉄・・・） - 高温ガス炉試験研究 - 茨城県大洗 30MWt、850℃ (短期 950℃)	- 炉は福島原発事故以降、停止中 - OECD/NEA 強制冷却喪失試験 (HTTR-LOFC)、機器開発、水素製造試験研究等を実施中 - 原子炉と連結した水素製造実証試験(HTTR-IS)を計画中
HTR-10: 高温ガス試験炉 ＜清華大＞ ＜中国＞ [図 2]	- 天然資源豊富(石炭、Th、・・・)、原子力多目的利用、試験研究 - 北京市 10MWt/2.6MWe (<u>-ST</u>):700℃ (<u>-GT</u>):750/900℃	- フェーズ 1(蒸気タービンサイクル: <u>-ST</u>)を継続中 - フェーズ 2(ガスタービンサイクル: <u>-GT</u>)への移行も準備(電磁ベアリング開発試験・・・) - 水素製造研究も実施中

表2 「原型・実証・実用炉プログラム」一覧(2014 年 3 月現在)(1/3)

(Md: モジュール)

(原子炉プラント設置場所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
NGNP: 次世代原子力プラント <DOE> <米国> [図 3~5]	- 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、エネの独立、クリーンエネ(水素・)、原子力熱利用(石炭、オイルサンド等改質: 燃料合成) - 第 4 世代炉(Gen.4)開発、小型 Md 炉(SMR)開発 - 高温ガス炉プラント開発実証 - Idaho 州(但し別のサイトも調査中) 600MWt/ ? MWe/Md、750~800℃ ?	- フェーズ 1(2005~2010 年: 概念設計、技術評価)は、ほぼ終了 - GA、WH(=PBMR-USA)、Areva(-USA)が夫々の炉・プラント概念設計を提案。日本(三菱重工、東芝、富士電)も協力 - 代替候補サイト(Louisiana 州、加 Alberta 州・)も調査中 - フェーズ 2(2011~2021 年: プラント詳細設計、建設、運転実証)には、官民連携や資金不足等のため移行せず、内容を縮小した研究開発プログラムとして継続実施中 - NGNP 産業連携機構(Industry Alliance(炉メーカー、電力、化学、材料・(Areva、WH、Entergy、Dow、東洋炭素・)が参加)が独自にプラント設計選定(SC-HTGR を選定済)、サイト選定等、2015 年許認可に向け準備中
NPMC/ PBMR-GT-DB: 国家プロジェクト管理社 /ペブルベッドガスター ビン超高燃焼度高温ガ ス炉 <NPMC/PBMR> <米国/南ア>	- 米国内軽水炉使用済燃料処理&処分(Pu、TRU 等燃焼処理)、発電、水素製造、熱利用 - 南アの PBMR 技術をベースに、世界銀行からの融資を活用 - プラント実証は Koeberg で、機器製造&実用化は米国で・	2013 年 7 月、小型モジュール炉(SMR)開発支援申請済 2013 年: ニューヨーク(NY)州、同州 Oswego 市等が 300M\$規模などの資金拠出を確約

表2 「原型・実証・実用炉プログラム」一覧(2014 年 3 月現在)(2/3)

(Md: モジュール)

(原子炉プラント設置場所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
Xe-100: <X-energy/ Aerotherm/ Stellenbosch 大> <米国/南ア>	- 軽水炉使用済燃料の処理(Pu、TRU 等を燃焼)、発電、水素製造、熱利用 - 南ア PBMR 技術をベースに、南アでプラント実証、機器製造、実用化は米国 - Koeberg 850℃	南アの国策石炭ガス化液化会社(SASOL)の石炭ガス化(CTG)をモデルに適用研究中
PBMR: <ESKOM/PBMR> <南ア>	- ペブルベッド型高温ガス炉プラント実証。U 燃料。発電、水素製造、熱利用(石炭ガス化&液化、…) - Koeberg - 発電向け: 400MWt/160MWe、900℃ - 熱利用向け: 200MWt/80MWe、750℃	1993 年: 概念設計、1995 年: 詳細設計、2010 年: プログラム中止 - 各種開発試験施設や知的財産権を維持しつつ、その復活&活用を模索中 <TH-100(南ア)、Xe-100 NPMC/PBMR-GT(米)の項参照>
TH-100: <STL> <南ア> [図 6]	- Th 資源(レアアース採掘の副産物)活用。PBMR の Th 燃料版 - 開発&実用化は南ア&米国で… 100MWt/35MWe/Md、750℃	2011 年: プログラム立上げ、概念設計、2012 年: 開発推進に向け、コンソーシアム設立中 2013 年: Th 商業生産開始、2022 年: 初号機運開(予定)
HTR-PM: 高温ガス炉 ペブルベッド Md <華能石島湾原発 (= 華能集団/核工業集団/清華大)> <中国> [図 7、hsnpc.com.cn]	- 原子力多目的利用(重油改質、石炭改質、地域熱供給、水素製造) - 高温ガス炉プラント実証&実用化 - 山東省石島湾 500MWt (=250MWt×2)/210MWe/Md、750℃	<実証炉> - 燃料製造、蒸気発生器、燃料取扱系等のシステムを実証中 - 福島原発事故後、安全性再評価 2012 年: 着工、2017 年末: 運開? - 専用燃料製造施設も建設中 <実用炉> - 実証炉と同一サイトに計 18Md 設置を計画

表2 「原型・実証・実用炉プログラム」一覧(2014 年 3 月現在)(1/3)

(Md:モジュール)

(原子炉プラント設置場所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 導入： ＜核建工集団／ 福建省莆田市、江 西省瑞金市＞ ＜中国＞	◆ 地方中核都市の経済発展計画(石炭&石油改質、淡水化、雇用&輸出振興…)の目玉として導入 ◆ <u>莆田市</u> ◆ <u>瑞金市</u> ◆ (100MWe×6=) 600MWe など	◆ 2013 年：計画発表
KHTR： カザフ高温ガス炉 ＜国立原子力センター (NNC)＞ ＜カザフスタン＞ [図 8]	◆ 天然資源(ウラン、石炭、レアアース…)輸出&外国先進技術の導入 & 国内定着 ◆ 高温ガス炉(発電、地域暖房…)開発 ◆ Kurchatov 市 ◆ 50MWt/15MWe/Md、900～950℃	◆ 日本(JAEA、東芝、富士電、原燃工)が全面協力中 ◆ 2013 年～：成立性評価(予定) ◆ 2020 年以降：運開予定 ◆ <u>フェーズ1</u>：蒸気タービン発電、地域熱供給 ◆ <u>フェーズ 2</u>：ガスタービン発電 ◆ <u>フェーズ 3</u>：水素製造

表3 「研究開発プログラム」一覧(2014 年 3 月現在)(Md:モジュール)(1/3)
(「試験・研究炉」、「原型・実証・実用炉」以外の主要開発プログラム)

名称(機関、国)	目的、諸元	現状、将来計画
GT-MHR: ガスタービン Md 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余剰のPuの焼却処理)、高効率ガスタービン発電 600MWt/Md	米ロ共研継続中(プラント共同設置可能性の検討…) <当技術をベースに、その後、米国では H2-MHR、SC-MHR、DB-MHR 等に、ロシアでは MHR-T 等にそれぞれ発展中>
H2-MHR: 水素製造 Md 炉 <GA> <米国>	- GT-MHR 米国進展版 - 水素製造	米国 NGNP プログラムに向けて設計提案済み
SC-MHR: 蒸気サイクル Md 炉 <GA> <米国>	- GT-MHR 米国進展版 - 蒸気サイクル(発電、熱利用)	
DB-MHR: 超高燃焼度 Md 炉 <GA> <米国>	- GT-MHR 米国進展版 - 核廃棄物管理(TRU 燃焼処理)、発電、熱利用、水素製造	概念設計検討済み <当該技術を基に、別途、ガス冷却高速炉(GFR; EM2)につき設計検討中>
SPB: スターコア ペブルベッド炉 <StarCore> <カナダ/米国> [図 9]	- 遠隔地需要(鉱山、小都市、戦略基地…) - 通信衛星利用遠隔運転制御、地下炉心 30MWt/10MWe	- カナダ原安委宛に予備的設計認可申請済 2015 年に初期展開を計画中
GT-MHR: <Rosatom/OKBM> <ロシア>	- GT-MHR(米ロ共研)ロシア進展版 - Tomsk 市(構想) 600MWt/Md	2010 年、核兵器解体 Pu 処分戦略プログラムに組入れ - 燃料製造、ターボ機器等開発実証試験中。ロシア経済圏市場評価中
MHR-T: <Rosatom/OKBM> <ロシア>	- GT-MHR(米/ロ共研)ロシア進展版 - 水素製造/ガスタービン発電 600MWt/Md	<当該技術を基に、将来はガス冷却高速炉(GFR)開発に繋ぐ構想>

表3 「研究開発プログラム」一覧(2014 年 3 月現在)(Md:モジュール)(2/3)
(「試験・研究炉」、「原型・実証・実用炉」以外の主要開発プログラム)

名称(機関、国)	目的、諸元	現状、将来計画
SNE-TP: 持続的原子力技術 プラットフォーム ＜EC、EU＞	欧州共同戦略展開、原子力技術共同開発基盤の整理、構築	欧州共通の原子力開発目標、戦略、要件、スケジュール等につき共同研究中(炉型、顧客要件、国際実証炉設置可能性の検討…)
NC21: 原子力併給産業 イニシアティブ ＜EC、EU＞ [図 10]	原子力熱電併給実証に向けた活動。欧州内に国際実証プラント設置(構想)	プロセス熱利用／水素製造／発電向け原子炉(RAPHAEL)、プロセス熱利用最終顧客要件調査評価(EUROPAIRS)、熱電併給向け先進炉研究開発(ARCHER)…の成果を引継いで活動中
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	Areva-USA が米国 NGNP プログラムに向けて ANTARES 進展版(SC-HTGR)設計を提案済み(NGNP 連携機構により当面の NGNP 最適プラント設計として選定された) ＜NGNP の項参照＞
HTR-PL: ポーランド高温炉 ＜AGH、NCBIR 他＞ ＜ポーランド＞	国内での高温炉建設可能性調査	鉱業・冶金アカデミー(AGH)、国立開発センター(NCBIR)、国立原研センター(NCBI)が管理調整、資金提供等で協力中
WHEN&NHD: 水／水素／電力／ 原子力統合、原子力 統合、原子力水素開 発実証 ＜KAERI、KAIST…＞ ＜韓国＞ [図 11]	- 国家戦略として水素エネ開発 - 原子力による水、水素、電力生産の開発実証	- 先進科研院(KAIST)、エネ技研院(KIER)が協力中 - 電力(KEPCO)、重工(Hyundai)、製鉄(POSCO)等が連携参加中 2013 年～：米国 NGNP Industry Alliance も連携参加
GTHTR300: ガスタービン高温炉 ＜JAEA＞ ＜日本＞ [図 12]	- ガスタービンサイクル高温ガス炉(－X: 発電用、－C: 熱電併給用、－H: 水素製造用、－A: 乾式プラント) 600MWt/Md、850℃	- 一連のプラント設計につき、概念設計、経済性評価等実施中 - HTTR を用いて過酷事故時の安全性につき実証試験中 ＜HTTR の項参照＞

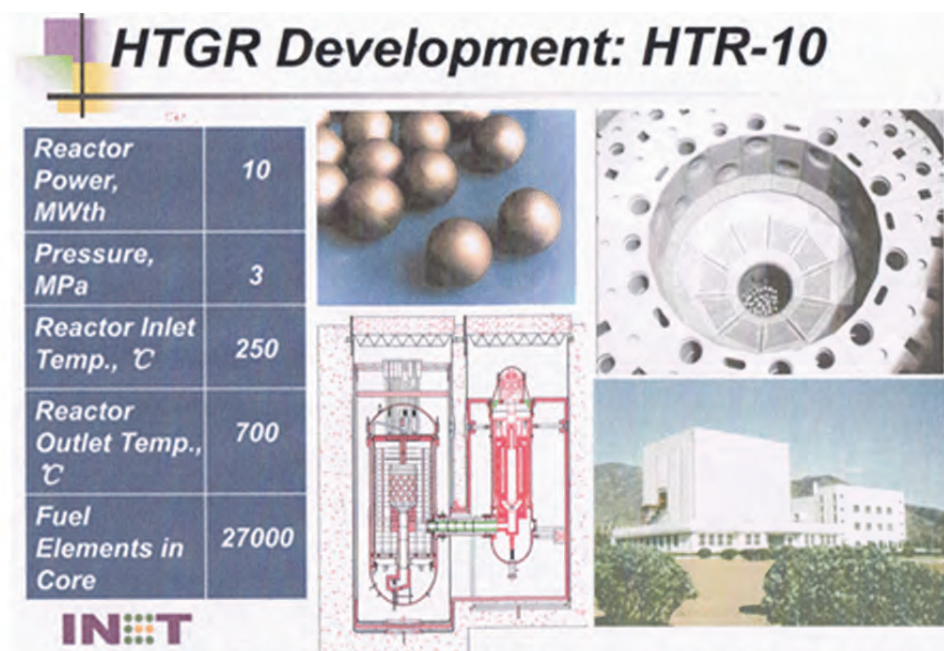
表3 「研究開発プログラム」一覧(2014年3月現在)(Md:モジュール)(3/3)
(「試験・研究炉」、「原型・実証・実用炉」以外の主要開発プログラム)

名称(機関、国)	目的、諸元	現状、将来計画
HTR50S: 蒸気サイクル小型 高温炉 <JAEA/東芝・・> <日本> [図 13]	◆ 途上国向け小型高温炉開発(発電用、蒸気供給用) ◆ 50MWt/Md、750℃	◆ 概念設計(基本仕様、系統概念)検討済み ◆ 市場規模調査中
NSHTR: 本質的安全高温ガス 炉 <JAEA> <日本> [図 14]	◆ 自然の物理現象のみで人々や環境を防護できる炉の開発	◆ 概念設計提案中、関連開発試験実施中
CBHTR: クリーンバーン高温炉 <JAEA> <日本>	◆ 軽水炉使用済燃料からのPu 焼却処理	◆ 概念設計提案中
MHR-50/100: 三菱高温ガス炉 <三菱重工/ JAEA> <日本>	◆ 安全性向上発電用小型高温ガス炉開発 ◆ 初号機: 120MWt/50MWe/Md ◆ 商用機: 250MWt/100MWe/Md、750℃	◆ 概念設計、市場性、経済性検討済み ◆ ビジネスプラン検討中



(JAEA HP)

図 1 (日本)高温工学試験研究炉 HTTR



(Sun Yuliang (INET), "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

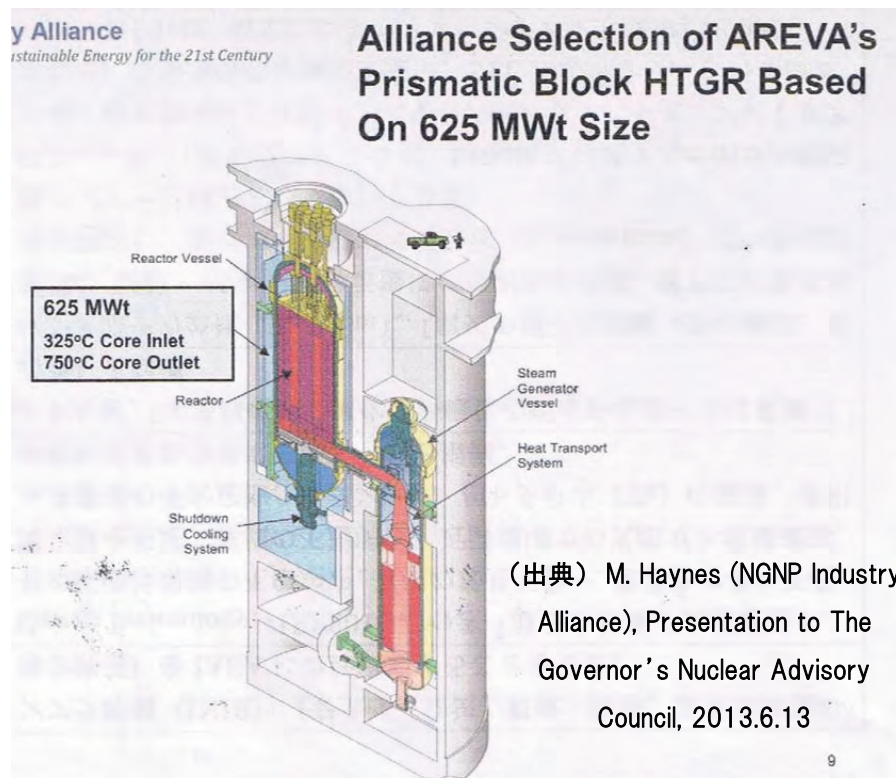
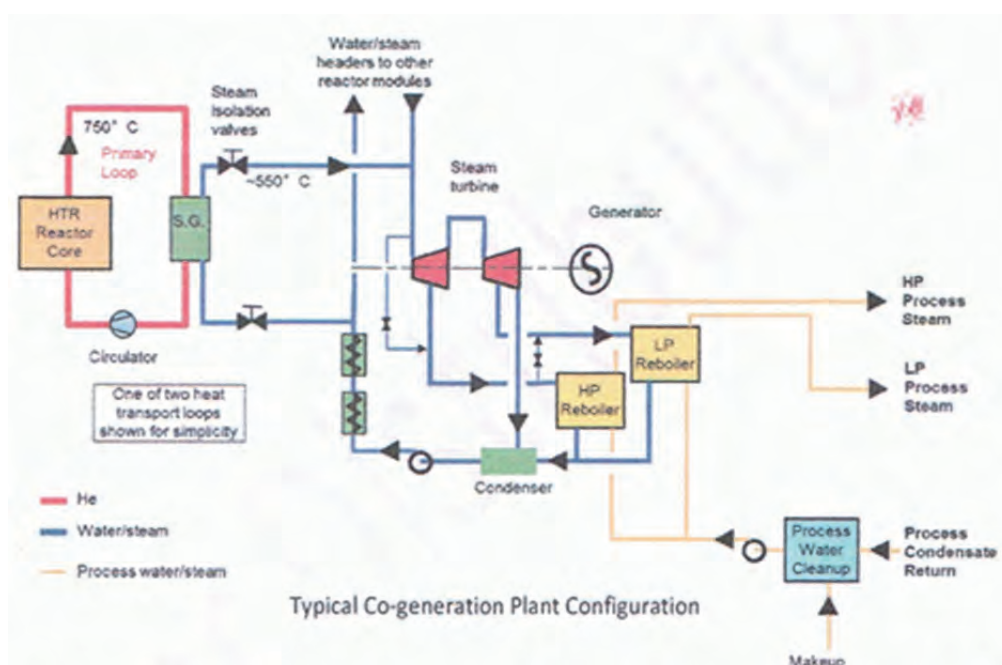


図3 (米国)次世代原子力プラント(NGNP)向け Areva 設計 SC-HTGR 炉



(Summary Decision Paper – Reference Modular HTGR Reactor Design Concept and Plant Configuration for Initial Applications, NGNP Industrial Alliance, 2012.2.7)

図4 (米国)次世代原子力プラント(NGNP)熱電併給参照プラント構成

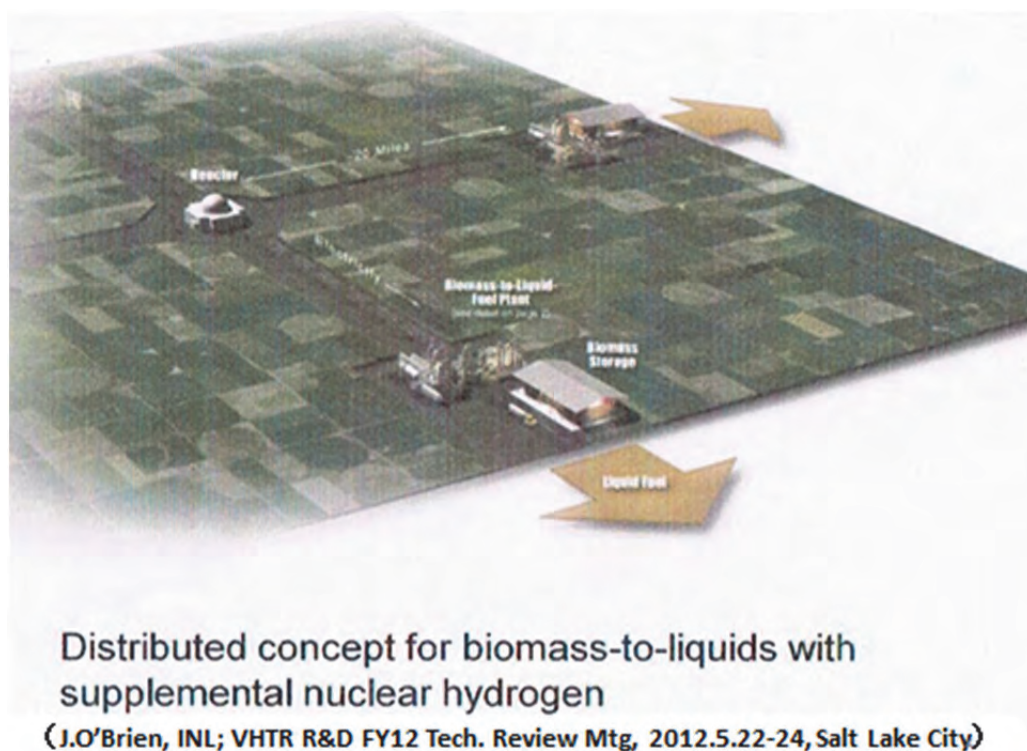


図 5 (米国)次世代原子力プラント(NGNP)水素&バイオ液化燃料供給概念

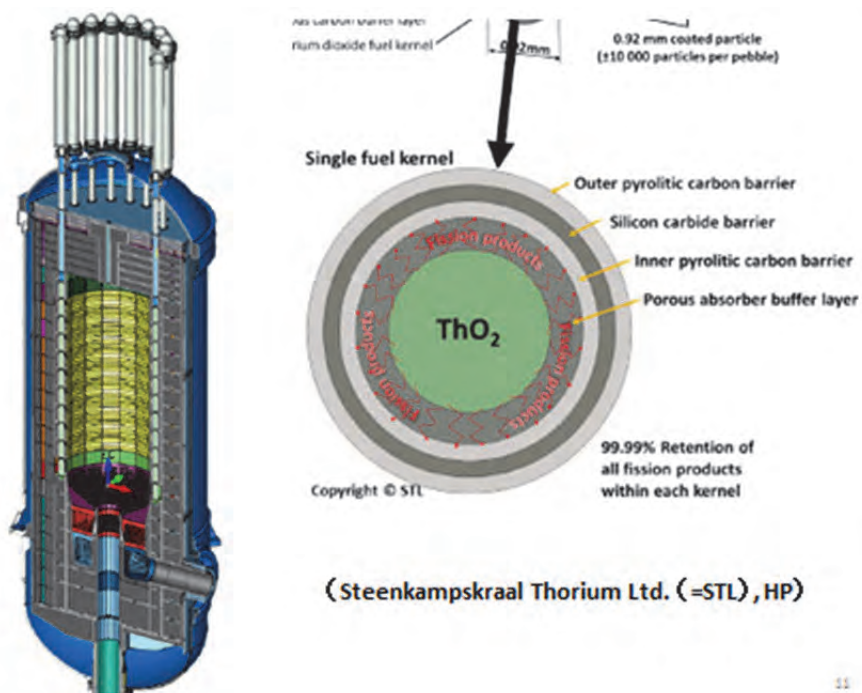


図 6 (南アフリカ)トリウム燃料高温ガス炉(TH-100)

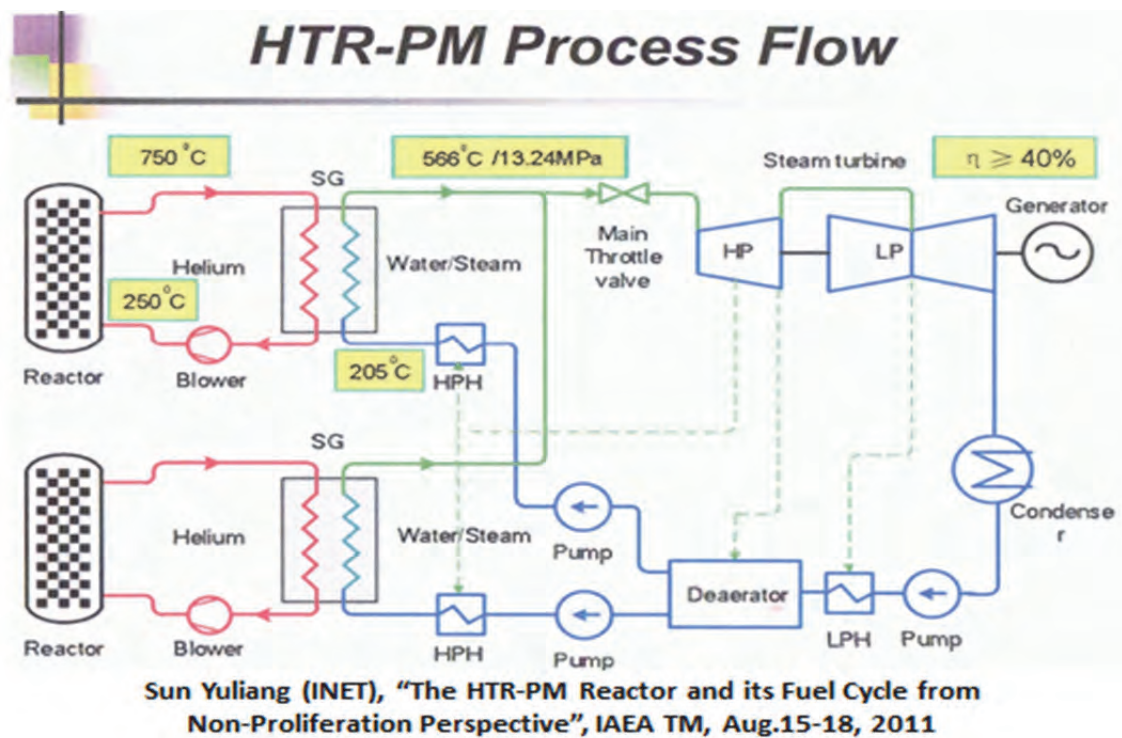
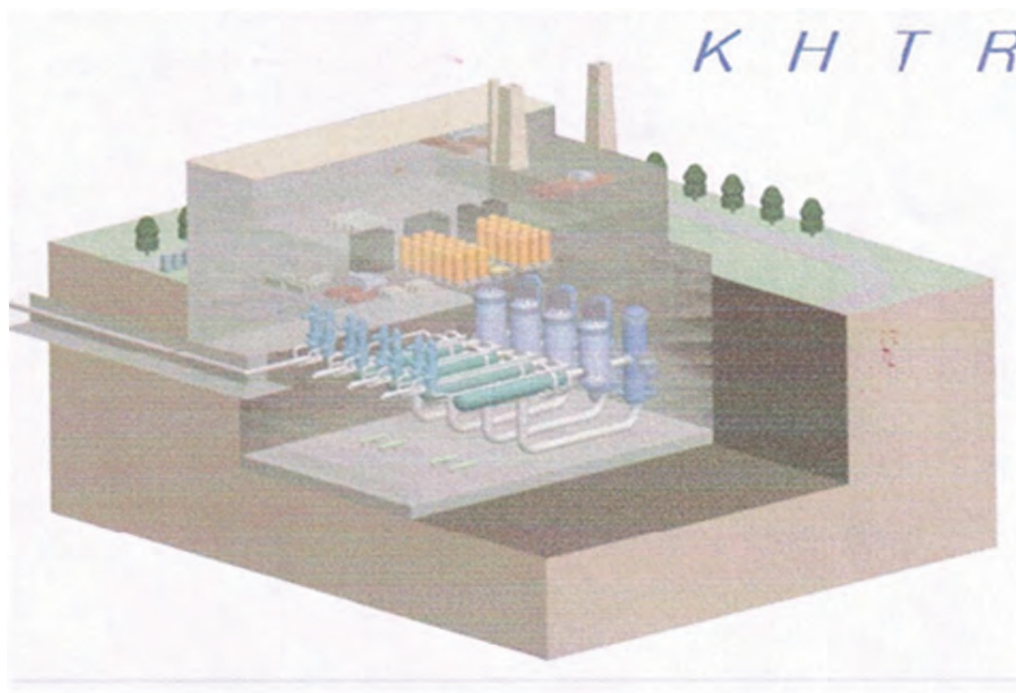


図 7 (中国)高温炉ペブルベッドモジュール(HTR-PM)プロセスフロー



(jaea.go.jp/04/o-arai/nhc/jp/intro/international/)

図 8 (カザフスタン)高温ガス炉(KHTR)プラント概念鳥瞰図

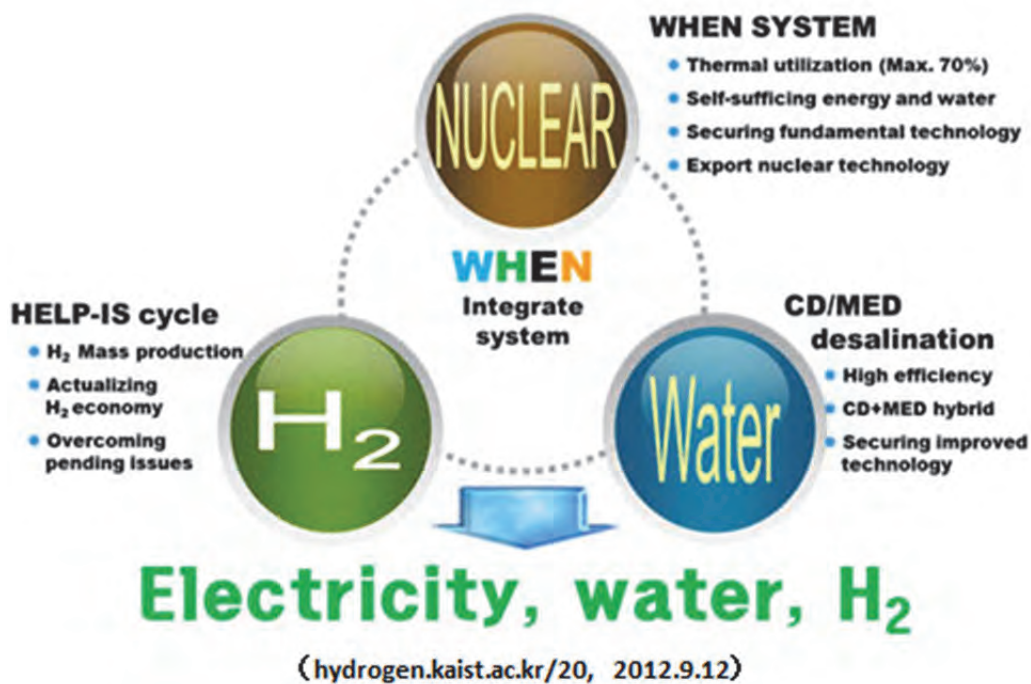


図 11 (韓国)水／水素／電力／原子力統合システム(WHEN)概念

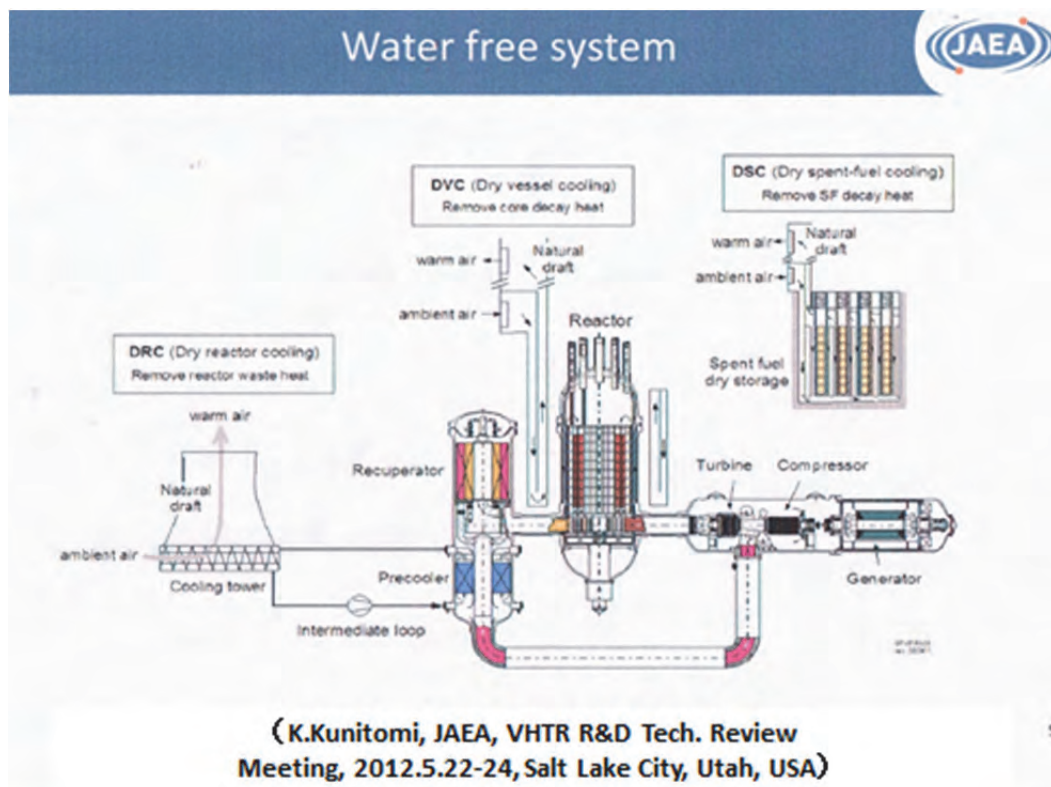
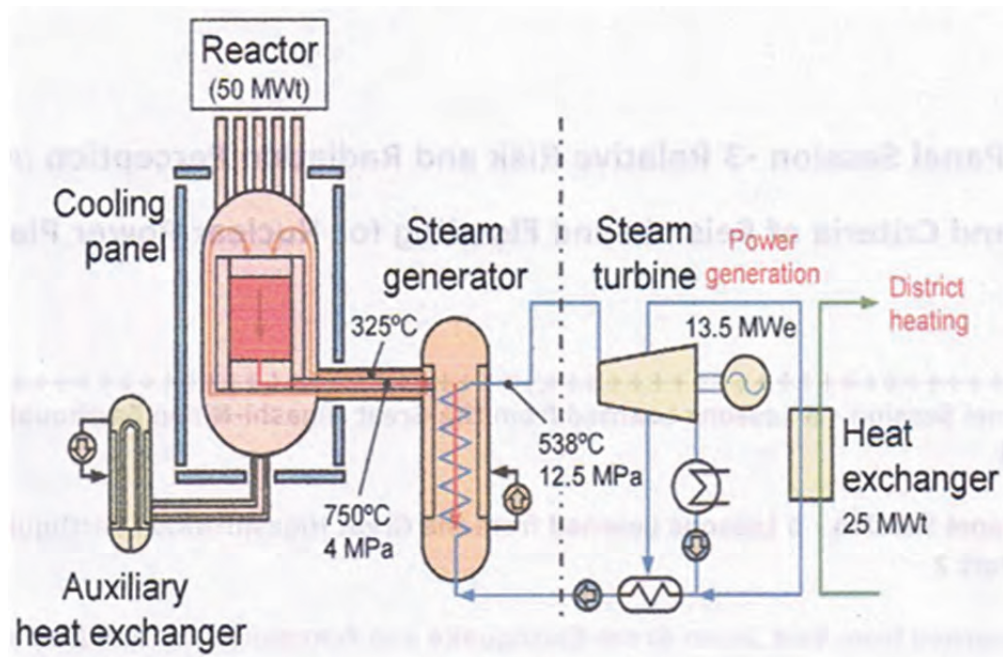


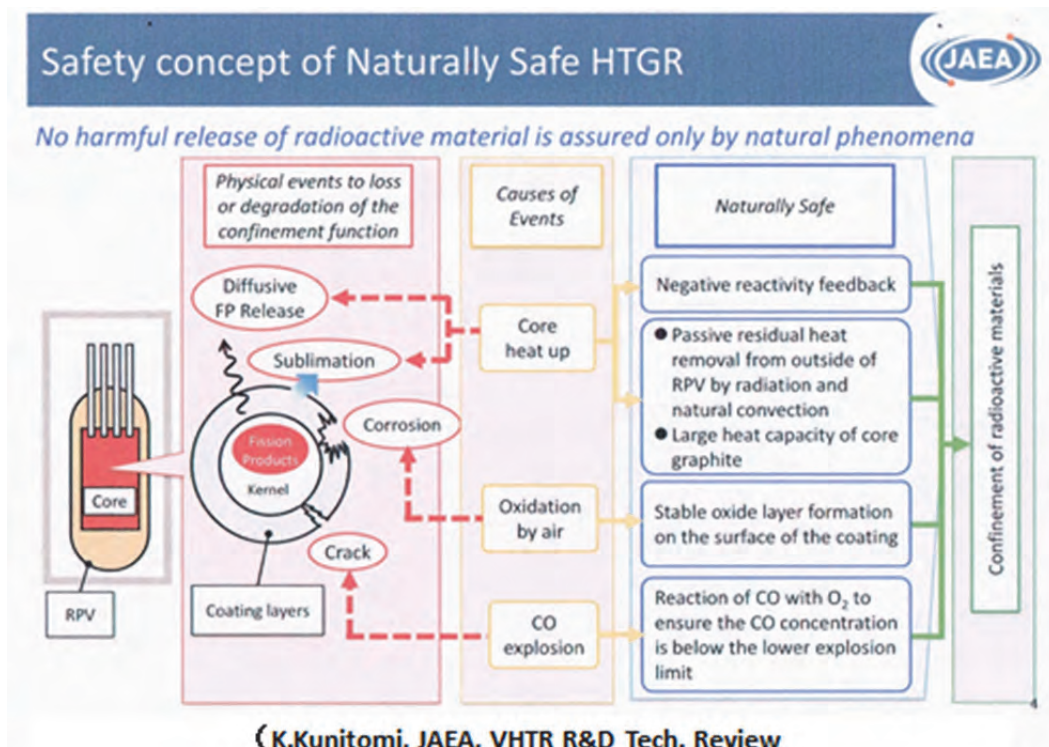
図 12 (日本)ガスタービン式高温炉プラント概念例(GTHTR300-A)



HTR-50S

(Y.Inaba, et al (IAEA), JAEA-Technology 2012-019)

図 13 (日本)電力&地域熱供給併給用高温炉(HTR50S)フロー図



(K.Kunitomi, IAEA, VHTR R&D Tech. Review Meeting, 2012.5.22-24, Salt Lake City, Utah, USA)

図 14 (日本)本質的安全高温炉(NSHTR)安全概念