

高温ガス炉国際協力の現状について

独立行政法人日本原子力研究開発機構

目次

1. 原子力機構における高温ガス炉技術の国際展開の考え方
2. 現在の高温ガス炉国際協力の概略
3. 各国における高温ガス炉の開発状況
 3. 1 米国
 3. 2 カザフスタン
 3. 3 韓国
 3. 4 中国
 3. 5 インドネシア
 3. 6 その他
4. 高温ガス炉に関する国際協力(二国間協力)
 4. 1 米国
 4. 2 カザフスタン
 4. 3 韓国
 4. 4 中国
 4. 5 インドネシア
5. 高温ガス炉に関する国際協力(多国間協力)
 5. 1 経済協力開発機構原子力機関(OECD/NEA)
 5. 2 国際原子力機関(IAEA)
 5. 3 第4世代原子力システム国際フォーラム(GIF)
6. HTTRを活用した人材育成

1. 原子力機構における高温ガス炉技術の国際展開の考え方

原子力機構
基盤技術の確立・安全基準の原案作成

国内産業界(国内ユーザーを含む)
ビジネス戦略構築・機器製作／建設

二国間協力の活用

インドネシア
試験・実証炉、
商用炉計画

カザフスタン
KHTR計画

米国
NGNP計画

韓国
NHDD計画

- 技術及び実証炉の共同開発

- コンポーネント等の受注

国内産業界
アライアンス

二国間協力活用の目的

- 日本の高温ガス炉技術の国際標準化*1
- 日本の高温ガス炉技術の海外プロジェクト採用
- 国内メーカーの建設受注
- 黒鉛等の日本製品の売り込み
- 日本の高温ガス炉技術を海外で実証

国際機関の活用

経済協力開発
機構原子力機関
(OECD/NEA)
LOFCプロジェクト

国際原子力
機関(IAEA)
CRP等

第4世代原子力
システム国際
フォーラム(GIF)
VHTR

- 日本が提案する高温ガス炉の安全基準などのコンセンサスを取得
- 日本の高温ガス炉技術の国際標準化*1

国際機関活用の目的

- *1 国際標準化に向けた取り組み
- ・ 動的安全設備に期待しないといった安全基準の提案
- ・ 日本の技術が採用される燃料、材料(黒鉛・金属)、等の設計基準の提案

実用高温ガス炉の導入促進

2. 現在の高温ガス炉国際協力の概略

二国間協力

米国: エネルギー省 (DOE) ※

- 2014年から3年間、HTTR及びエネルギー省/アイダホ国立研究所のコード・施設を相互に利用し、NGNP計画へ協力

カザフスタン

- カザフスタン高温ガス炉 (KHTR) の開発に協力

【主要連携機関※】

- 高温ガス炉プレFS (国立原子力センター)
- 高燃焼度燃料研究 (核物理研究所)
- 耐酸化黒鉛研究 (アルファラビカザフ国立大学、核物理研究所)
- 安全研究 (原子力技術安全センター)
- 講師派遣 (アルファラビカザフ国立大学)

韓国: 韓国原子力研究所 (KAERI) ※

- 研究成果に関する情報交換

中国: 清華大学核能及新能源技術研究院 (INET) ※

- 研究成果に関する情報交換

インドネシア: 原子力庁 (BATAN) ※

- インドネシア政府の高温ガス炉建設に向けた協力

※は原子力機構と協力協定等を結んでいる機関

多国間協力



経済協力開発機構原子力機関 OECD/NEA

第1期 HTTR共同試験 LOFCプロジェクト (受託研究)

- 炉心流量喪失試験 (1次ヘリウム循環機全3台を30%、100%出力から停止)
- 炉心冷却喪失試験 (炉容器冷却設備の停止を30%出力から重ね合せ)

第2期 HTTR共同試験 (計画)

- 沈着放射性ヨウ素量の評価試験、燃料温度分布試験

国際原子力機関 (IAEA)



ガス冷却炉技術ワーキンググループ (TWGGCR)

- 高温ガス炉用燃料の技術開発の進展 (CRP6)
- 原子力プロセス熱利用の発展 (CRP7)
- 原子炉級黒鉛の照射クリープ挙動
- 高温ガス炉の安全基準 (準備開始)、等

第4世代原子力システム国際フォーラム (GIF)



超高温ガス炉システム

- 水素製造プロジェクト
- 燃料・燃料サイクルプロジェクト
- 材料プロジェクト

3. 各国における高温ガス炉の開発状況

3. 1 米国:次世代原子カプラント(NGNP)計画の現状

概要

- 開発目的
固有安全性、核不拡散性、クリーンエネルギーである水素の大量・高効率製造性等の新しい時代要請に応えるべく、国が産業界と一緒に、次世代原子カプラント(NGNP)の開発を開始
- 開発目標
熱出力:350-600MWt、冷却材出口温度:750°C/950°C
- 開発経緯
2005年に成立した米国エネルギー政策法(EPACT-2005)にNGNPが明記
- 開発の状況
2011年に研究開発・概念設計を完了し、2012年に民間とのパートナーシップを確立するための経済性・ビジネス解析に係る公募を実施

主要な組織

エネルギー省(DOE)、アイダホ国立研究所(INL)
AREVA-USA(民間)、産業界アライアンス*

計画スケジュール¹⁾

2019年:建設着工予定
2023年:運転開始予定

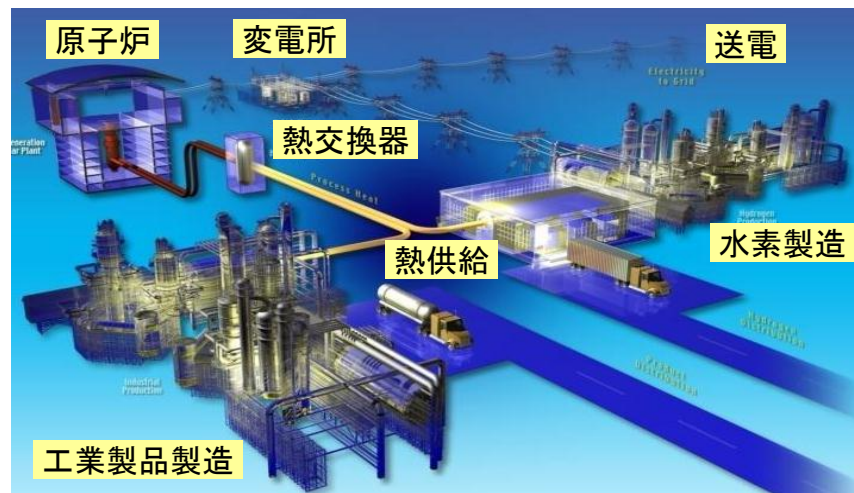
1) INL: NGNP Program Planning Bases for the Schedule and Cost Estimates, PLN-2970, 2010.

外国との連携状況

日本、フランス及び韓国と協力

資金源

- 国と利用者が建設費を折半。
- 必要な研究開発をINLが国の資金で実施



NGNP

* 産業界アライアンス

- <電力会社> ・Entergy
- <化学会社> ・Dow(The Dow Chemical Company)
- <石油会社>
・ConocoPhillips ・Petroleum Technology Alliance Canada (PTAC)
- <黒鉛メーカー>
・GrafTech International Ltd. ・SGL Group ・Mersen ・Toyo Tanso
- <原子力メーカー>
・AREVA ・Ultra Safe Nuclear ・Westinghouse
- <コンサルティング会社、研究機関>
・Technology Insights ・SRS ・Advanced Research Center ・MEC Inc.
- <州> ・Wyoming

3.2 カザフスタン:高温ガス炉(KHTR)計画

概要

- 開発目的

5~10万人規模の都市への電力と熱供給(10万kWt程度)、原子炉技術の導入による関連産業(燃料、その他)の育成及び電力、熱、将来的には水素等の原子炉エネルギーを利用した新産業の創生

- 開発目標

熱出力:50MWt、冷却材出口温度:750°C/900°C

- 開発経緯

ナザルバエフ大統領方針:「先進30カ国に入るために、資源を売るだけでなく、電力独立と産業創生による雇用の拡大を図る。」(2012年12月14日、国民に対する教書演説)*

* <http://www.embkazjp.org/PresidentNazarbayevAddress20121215.htm>

- 開発の状況

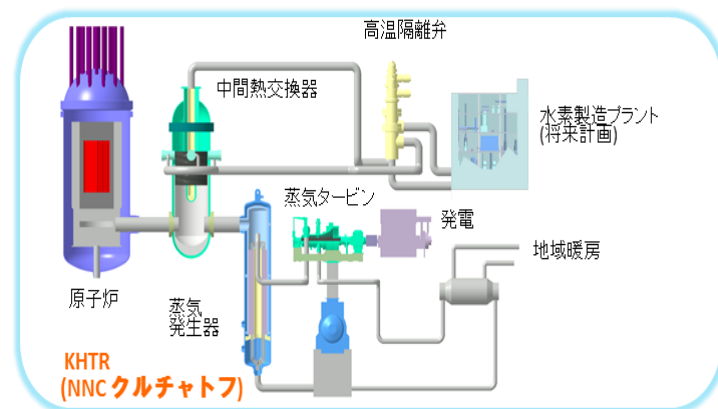
KHTR事前成立性評価(Pre-FS)が終了(2008年9月)。

主要な組織

国立原子力センター(NNC)、核物理研究所(INP)、
アルファラビカザフ国立大学(KazNU)、カザフスタン原子力委員会(KAEC)

計画スケジュール

- カザフスタンの原子力に係る国家発展プログラム(2011年6月政府布告)におけるKHTR計画
2015年以降:成立性評価(FS)開始予定
2017年以降:基本設計開始予定
2021年以降:試運転開始予定



クルチャトフ市に建設予定のKHTR

外国との連携状況

日本(原子力機構、東芝他)が、計画立案・プラント設計・技術・教育等に、全面的に協力

資金源

国の資金で実施

3.3 韓国:原子力水素開発実証(NHDD)計画

概要

- 開発目的:原子力水素製造システムの設計、建設、実証
- 開発目標¹⁾:熱出力200MWt、冷却材出口温度950℃
- 開発経緯¹⁾:韓国原子力研究(KAERI)が原子力水素プログラム提案(2004年)
- 韓国原子力委員会が原子力水素プログラム承認(2008年)
- 開発状況:概念検討段階(600万ドル/3年間)

主要な組織²⁾

韓国原子力研究所(KAERI)、企業アライアンス(製鉄・石油精製・石油化学・自動車等)

計画スケジュール³⁾ (原子炉・水素共)

2015年:概念設計開始予定

2022年:建設着工予定

2027年:原子炉運転及び水素製造試験(目標約25,000Nm³/h)開始予定

外国との連携状況

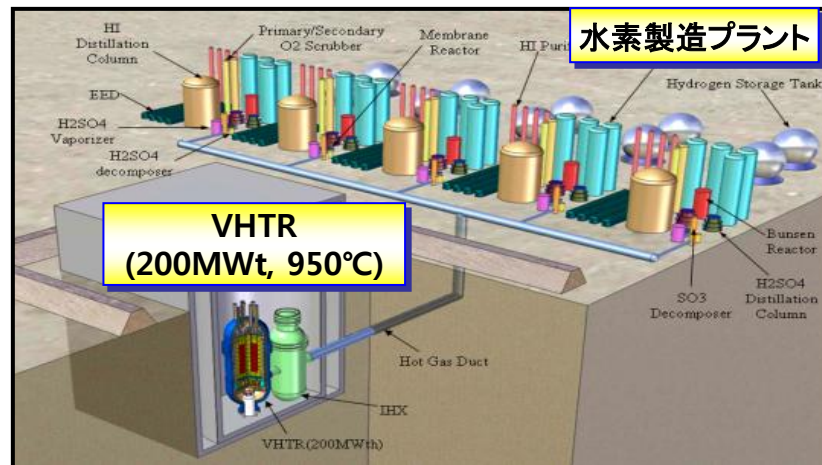
NGNP産業アライアンスがNHDD企業アライアンスと覚書を締結(2013年)²⁾

資金源

国の資金で実施

その他

韓国製鉄会社ポスコ(POSCO)が、KAERIと協力して、高温ガス炉水素還元製鉄を検討⁴⁾



- 1) W.J. Lee et al., Nuclear Engineering and Technology, 41, 4, 413-426, 2009.
- 2) M.H. Kim, Joint NEA/IAEA Expert Workshop on the "Technical and Economic Assessment of Non-Electric Applications of Nuclear Energy", Paris, France, April 4-5, 2013.
- 3) J. M. Noh, IAEA TM on Re-evaluation of Maximum Operating Temperatures, Vienna, Austria, June 10-12, 2013.
- 4) 第5回JAEA-KAERI情報交換会合2013年11月18-19日.

3.4① 中国：主要プロジェクトの概要

中国においては、研究炉に関しては清華大学核能及新能源技術研究院(INET)が、実証炉に関しては華能山東石島湾核電有限公司が、商用炉に関しては中国核工業建設集团公司、核建清潔能源有限公司及び中核能源科技有限公司が、各プロジェクトを主導。

また、国(中国科学技術部)は国家重大特別プロジェクトの1つに高温ガス炉を指定し、2013年以降に実証発電所を建設し、試運転を行う計画を立てている。

プロジェクト	HTR-10	HTR-PM	商用炉
	研究炉	実証炉	商用炉
主な機関	清華大学核能及新能源技術研究院 (INET)(政府機関)	華能山東石島湾核電有限公司(国有企業)	中国核工業建設集团公司(莆田)(国有企業) 核建清潔能源有限公司、中核能源科技有限公司(瑞金)(国有企業)
規模(熱出力/発電出力)	10MWt / 2.5MWe	250MWt × 2 / 210MWe	合計600MWe (莆田)
建設開始年/ 運転開始年	1995/2000	2009/2017以降	未定
現状	運転中	建設中	計画段階

3. 4② 中国: 10MW高温ガス冷却実験炉(HTR-10)

概要

- 開発目的¹⁾: 高温ガス炉建設・運転のノウハウの取得、炉の固有安全性の実証、燃料・材料への照射施設の設立、核熱利用研究の進展
- 設置場所: 清華大学核能及新能源技術研究院(INET、北京)
- 開発目標: 熱出力10MWt、冷却材出口温度700°C
ガスタービン技術の実証
- 開発経緯: 国家エネルギー計画の重要事項の1つに位置付け
- 開発状況: 研究炉運転中(2000年初臨界)
ガスタービン/工学設計、コンポーネント研究開発の実施

主要な組織

清華大学核能及新能源技術研究院(INET) (政府機関)

計画スケジュール^{1) 2)}

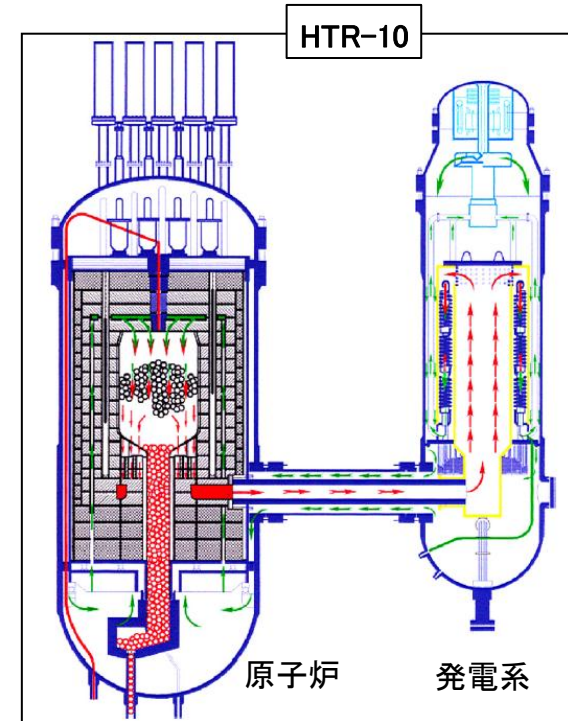
1992年: 設計開始
1995年: 建設開始
2000年: 初臨界
2003年: 全出力運転
2014年: 2024年までの運転認可

計画スケジュール(水素)

2008年: 閉サイクル試験開始(0.01Nm³/h)
2010年: 実験室規模試験開始(~0.1Nm³/h)
2015年: パイロットプラント設計開始予定
2020年: パイロットプラント運転開始予定(50Nm³/h)

外国との連携状況

- ドイツ: 開発にドイツの技術を利用³⁾
- 韓国: 韓国未来創造科学部(中央官庁)と中国国家原子能機構(政府機関)が、第11回韓中原子力共同委員会で共同研究を協議(2014年5月)⁴⁾
- インドネシア: 華大学核能及新能源技術研究院(INET)とインドネシア原子力庁(BATAN)(中央官庁)が、人材交流、技術協力に関する協力合意書に署名(2014年5月)⁵⁾



資金源

国の資金で実施

- 1) Z. Zhang et al., *Nucl. Eng. Des.*, 239, 7, 1212-1219, 2009
- 2) 国家核安全局, 国家核安全局文件[2014] 158号, 2014.
- 3) 原子力百科事典ATOMICA, 2006年9月
(http://www.rist.or.jp/atomica/data/dat_detail.php?Title_Key=03-03-07-01)
- 4) 聯合ニュースサイト、2014年5月26日
(<http://japanese.yonhapnews.co.kr/headline/2014/05/26/0200000000AJP20140526001600882.HTML>)
- 5) 清華大学サイト、2014年5月20日
(http://www.inet.tsinghua.edu.cn/publish/inet/4019/2014/20140520135103196413541/20140520135103196413541_.html)

3. 4③ 中国:ペブルベッド型高温ガス冷却発電炉(HTR-PM)計画

概要

- 開発目的¹⁾: 中国が独自に知的財産権を持つモジュール方式の高温ガス炉技術の産業化を実現し、中国の高温ガス炉技術を世界のトップ水準に維持する
- 設置場所: 山東省威海市石島湾
- 開発目標²⁾: 熱出力250 MWt × 2、冷却材出口温度750°C
- 開発経緯: 2006年、「国家中長期科学技術発展規画綱要」(国務院)において、「国家重大特別プロジェクト」(中国科学技術部が、2006-2020年の間に、総合国力の向上や現在中国が所有していない技術の空白領域を埋める目的で定めた、全16件の研究プロジェクト)の1つに選定³⁾(大型先進PWR開発と共に選定)
- 開発状況: 実証炉の建設中

主要な組織²⁾

華能山東石島湾核電有限公司(国有企業)、
中核能源科技有限公司(合弁会社)、清華大学

計画スケジュール⁴⁾

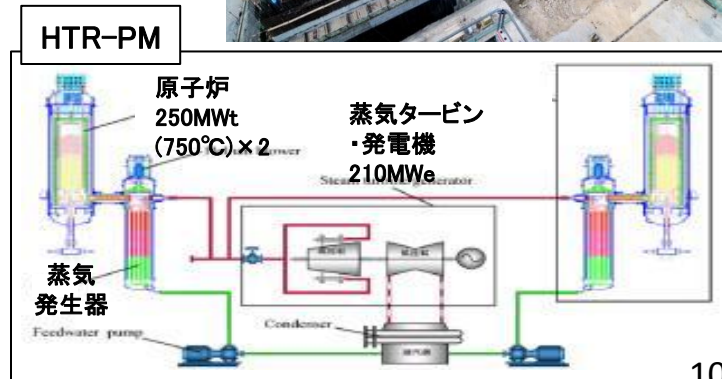
2017年: 建設終了予定

外国との連携状況

東洋炭素(株)(民間企業、日本)が
黒鉛納入契約締結(2008年)⁵⁾

資金源

中国華能集团公司(国有企業)47.5%、
中国核工業建設集团公司(国有企業)
32.5%及び清華大学(政府機関)20%
出資⁴⁾

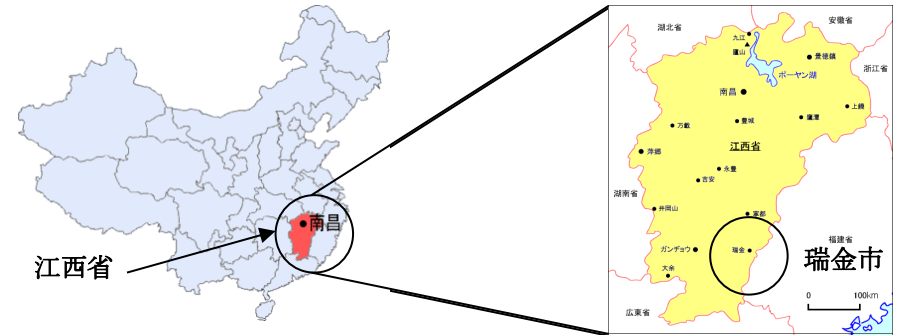
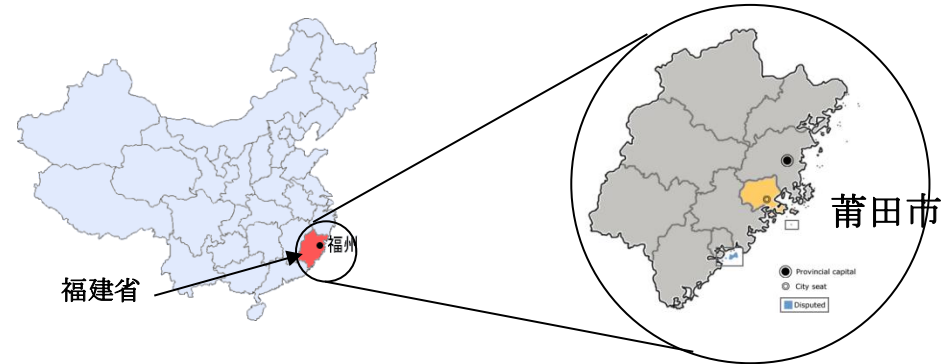


1) 国防科学技術工業委員会, 原子力工業第11次5カ年規画, 2006
 2) Z. Zhang et al., Nuclear Engineering and Design, 239, 7, 1212-1219, 2009.
 3) 中国科学技術部、国家科技重大專項サイト(<http://www.nmp.gov.cn/zxjs/>)
 4) 科学技術振興機構 中国総合研究交流センター、平成26年度版 中国の科学技術の現状と動向、2014.
 5) 住友商事(株)ニュースリリース, 2008(<http://www.sumitomocorp.co.jp/news/detail/id=26341>)

3. 4④ 中国:商用炉計画・知的所有権

商用炉

- 福建省莆田(ほでん)市(地方政府)と中国核工業建設集団公司(国有企業)が戦略的協力枠組み協定を締結。高温ガス炉建設に合意。莆田原子力発電建設準備事務所を設立(2013年5月)¹⁾。
- 江西省瑞金(ずいきん)市(地方政府)が、中国核工業建設集団公司傘下の核建清潔能源有限公司(国有企業)と戦略的協力枠組み協定を締結。高温ガス炉と関連プラント産業建設に合意(2013年10月)²⁾。
- 核建清潔能源有限公司と中核能源科技有限公司(国有企業)が瑞金市の立地調査と湖南省龍門市での高温ガス炉プロジェクト初期実行可能性調査の契約締結(2014年6月)³⁾。



知的所有権

- 輸出に向けた秘密保護強化のため、「大型先進加圧水型炉及び高温ガス炉原子力発電所の重大特別プロジェクト知的所有権管理規則(試行)」を国家能源局(中央官庁)が通達(2013年11月)⁴⁾



1) 莆田市人民政府網サイト、2013年5月14日 (<http://www.putian.gov.cn/a/20130514/499300022.shtml>).

2) 中国贛州網サイト、2013年10月15日 (http://www.gndaily.com/news/2013-10/15/content_1207929.htm).

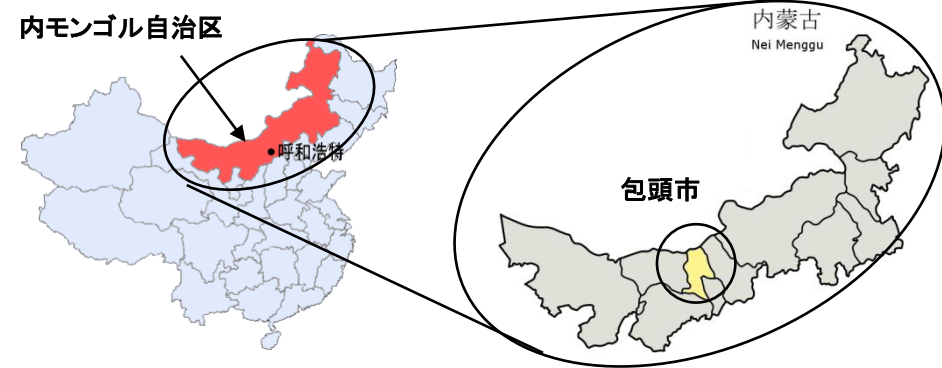
3) 日本テピア、中国の高温ガス炉、2014.

4) 国家能源局、国家能源局總合同文件[2013]609号、2013.

3. 4⑤ 中国：燃料・黒鉛に係る研究開発

燃料

- 内モンゴル自治区包頭(ほうとう)市(地方政府)で中核北方核燃料元件有限公司(国有企業)が実証炉向け燃料製造工場建設に着工(2013年3月)。ペブル型燃料製造を2015年8月に開始予定(年産2.1トンU=球形燃料要素30万個)¹⁾



燃料製造工場着工(包頭市)²⁾



黒鉛

- 遼寧省営口市(えいこう)市(地方政府)で中色十二冶金建設有限公司(国有企業)が原子力用黒鉛製造工場を建設開始(年産10万トン)³⁾
- 方大炭素(民間企業)が清華大学核能及新能源技術研究院(INET)(政府機関)と共同で「方大炭素高温ガス炉原子力黒鉛総合研究センター」を設立(2013年2月)⁴⁾

1) 科学技術振興機構 中国総合研究交流センター、平成26年度版 中国の科学技術の現状と動向、2014.

2) 清華大学、新清華、2013年3月22日 (http://tsinghua.cuepa.cn/show_more.php?key=&bkey=&doc_id=755088)

3) 中国アルミニウムネットワークサイト、2012年4月16日 (http://www.alu.cn/aluNews/NewsDisplay_788819.html)

4) 中国網サイト、2013年3月1日 (<http://finance.china.com.cn/stock/20130201/1269241.shtml>)

3.5 インドネシア:高温ガス炉計画

概要

- インドネシア原子力庁(BATAN)は、鉱物資源が豊富なスマトラ島、カリマンタン島、スラウェシ島、その他の離島における発電及び熱源としての産業利用を目的として、小型高温ガス炉(原子炉出口温度:500~1000°C)を導入することを計画*。
- また、商用炉の導入に先立ち、鉱業市場や産業市場に根付く原子力技術ならびに原子力利用技術の習得や、これらの研究開発を目的として、高温ガス炉(試験・実証炉)(熱出力:10~30MWt、電気出力:3~10MWe)を建設することを計画。世界最先端の高温ガス炉及びその熱利用技術を有している原子力機構に協力を要請。

主要な組織

原子力庁(BATAN)、インドネシア電力公社(PLN)、プルタミナ(民間企業)

計画スケジュール

- 2020年:高温ガス炉(試験・実証炉)の運転開始
- 2031年:小型高温ガス炉を含む電気出力2000MWe規模の原子力発電所をスマトラ島に、100MWe規模の原子力発電所をカリマンタン島に導入



外国との連携状況

以下の機関と高温ガス炉技術研究開発に関する連携について合意。

日本(原子力機構)

中国(清華大学核能及新能源技術研究院(INET)、科学技術部、

国家国防科技工業局、華能山東石島湾核電有限公司、中国核工業建設集团公司)

資金源

国の資金で実施

3.6 その他

潜在的高温ガス炉ユーザー(中東諸国)

以下の事例にみられる通り、アラブ首長国連邦やサウジアラビア王国は、自国の電力需要急増や海水淡水化のために原子力発電の導入を開始または計画しており、砂漠への立地や熱利用による海水淡水化を行えることから高温ガス炉にも興味を示している。

【具体的な事例】

- アラブ首長国連邦

2014年4月: アブダビで高温ガス炉のフォーラムを開催((一社)日本技術者連盟主催)フォーラムに出席していたUAE企業がHTTR視察を希望

- サウジアラビア王国

2010年8月: サウジアラビア グローバル戦略研究所(民間)理事長(当時) ファイサル王子来日。HTTR及びIS水素製造施設を視察し、高温ガス炉とその熱利用等に関して意見交換

4. 高温ガス炉に関する国際協力 (二国間協力)

4. 1 米国との協力(1/3)

目的

- 原子力機構と米国エネルギー省(DOE)/米国アイダホ国立研究所(INL)の研究資産や技術の効果的活用による研究開発促進
- HTTRを用いた熱利用試験についての日米協力の可能性の探求、並びに、米国エネルギー省(DOE)/米国アイダホ国立研究所(INL)からの委託研究の受託
- 我が国の高温ガス炉技術の次世代原子力プラント(NGNP)プロジェクトへの売り込み及び採用、並びに、国際標準化

目標

通常時及び異常時の原子炉内の温度及び中性子束分布の時間変化を評価可能な先進的原子炉シミュレーションコードの開発

協力の枠組み

経済協力開発機構原子力機関(OECD/NEA)
HTTR共同試験プロジェクト

米国規制委員会(NRC)

米国エネルギー省(DOE)
米国アイダホ国立研究所(INL)

米国産業界アライアンス
(DOW, Entergy, ConocoPhillips,
AREVA,WH, GraphTech, SGL,
TOYO TANSO他)

原子力機構

共同研究等

国内産業界

原子力関連研究開発分野における協力に関する
文部科学省/米国エネルギー省(DOE)
間の実施取決め
原子力機構/米国エネルギー省(DOE)
プロジェクト取決め

4.1 米国との協力(2/3)

協力の経緯

- 2008年に原子力機構と米国アイダホ国立研究所(INL)の次世代原子力プラント(NGNP)プロジェクトの代表者が協力について協議開始。
- 2010年に米国ゼネラルアトミックス社を介して、米国アイダホ国立研究所(INL)からHTTRのトリチウム移行挙動に関する研究を受託。また、HTTRの試験データ計測に関する米国アイダホ国立研究所(INL)の品質保証監査を受け、合格証を取得。
- 2013年1月に文部科学省と米国エネルギー省(DOE)の間で原子力関連分野の研究開発に係る包括的な協力取決めを締結。
- 2014年6月に原子力機構と米国エネルギー省(DOE)/米国アイダホ国立研究所(INL)において、高温ガス炉研究開発に関する協力のためのプロジェクト取決めを締結。

今後の計画

- 2014年から3年間の研究協力を通して我が国の国産技術の性能を確証し、HTTR建設を通して蓄積された国産技術の優位性をもって、次世代原子力プラント(NGNP)計画に我が国の技術を採用させる。
- 国産技術を米国エネルギー省(DOE)/米国アイダホ国立研究所(INL)へ売り込むとともに、将来的にHTTRを用いた委託研究の受託を目指す。

資金源

- 各国が分担する研究開発に要する費用を各国が負担
(HTTR試験費用について米国エネルギー省(DOE)/米国アイダホ国立研究所(INL)からの資金獲得を目指す)

4.1 米国との協力(3/3)

協力の内容

- HTTR及びHTTFの試験データ及びシミュレーションコード用計算モデルの交換
 - 米国エネルギー省(DOE)で開発中の先進的原子炉シミュレーションコードの入手
- HTTR及びHTTFを利用した試験
 - HTTR及びHTTFによる圧力が異なる条件下での炉心流量喪失模擬試験計画の検討及び試験実施
- 原子炉動特性評価手法の検証
 - HTTR及びHTTF試験データを用いた先進的原子炉シミュレーションコードの検証
 - HTTRに接続する熱利用システムの異常模擬試験計画の検討
- HTTRを利用した先進的な原子炉計装の性能試験の検討
 - 米国エネルギー省(DOE)開発の原子炉計装のHTTRを用いた性能試験の検討

(参考)*

HTTF: High Temperature Test Facility
(オレゴン州立大に設置された
米国エネルギー省(DOE)施設)

- ヒータ出力: 2.2MW(最大)

- 原子炉模擬装置温度(入口/出口):
259°C/687°C

- 原子炉模擬装置流量: 0.965 kg/s

- 原子炉模擬装置圧力: 0.7 MPa

- 共同で開発した先進原子炉シミュレーションコードを用いて、HTTRの原子炉内温度、中性子束及び照射量分布の詳細評価を実施
- HTTRの解析結果を用いて燃料、黒鉛構造物等の性能評価を実施



我が国の燃料、黒鉛等に関する国産技術の性能を日米共同で確認

4.2 カザフスタン共和国との協力(1/2)

目的

日本の高温ガス炉技術を用いた貢献を行う。また、資源外交の一環として、カザフスタン国内の高温ガス炉ニーズに技術的に応えると共に、将来の高温ガス炉研究者及び技術者を育てるため、人材育成に協力する。

目標

熱出力50MWt、出口温度750℃/950℃で熱利用系接続技術を確立し、カザフスタンの輸出産業として育て、外国企業と組んで世界のマーケットに進出

協力の枠組み

日本・カザフスタン政府間の原子力協定 2011.5 発効
(高温ガス炉の設計/建設/運転及び安全性に関する協力が記載)

産業創生

設計

安全性

基礎研究及び人材育成

国立原子力センター(NNC):
将来の原子力エネルギー・産業創生に関する研究開発における協力のための覚書
2013.2.18締結

国立原子力センター(NNC):
原子力研究開発における将来の協力のための覚書
2007.4.30締結

カザフスタン原子力委員会(KAEC):
高温ガス炉の安全性研究に関する情報交換のための覚書
2008.6.9締結

アルファラビカザフ国立大学(KazNU):
高温ガス炉技術及び照射試験炉技術に関する研究協力覚書
2011.10.10締結

アルファラビカザフ国立大学(KazNU) 国立原子力センター(NNC):
高温ガス炉技術に関する将来の人材育成支援のための協力に関する覚書
2008.10.9締結
2009.10.14再締結

核物理研究所(INP):
原子力科学分野における研究開発協力のための実施取決め
2014.5.7締結

国立原子力センター(NNC):
原子力科学分野における研究開発協力のための実施取決め
2009.2.2締結
2012.6.22改定

原子力技術安全センター(NTSC):
高温ガス炉の安全研究協力に関する実施取決め
2012.6.8締結

アルファラビカザフ国立大学(KazNU):
原子力エネルギー技術に係る研究協力に関する取決め
2012.12.4締結

その他:
ISTCプロジェクト
・燃料の高燃焼度照射試験
・耐酸化黒鉛の開発

覚書

実施取決め

4. 2 カザフスタン共和国との協力(2/2)

協力の経緯

- 2007年4月 「原子力研究開発における将来の協力のための日本原子力研究開発機構とカザフスタン国立原子力センターとの間の覚書」に締結。
- 2008年9月 NNCが、原子力機構の協力の下、KHTR事前成立性評価(Pre-FS)を産業新技術省に提出。
- 2009年2月 「カザフスタン国立原子力センターと日本原子力研究開発機構との間の原子力科学分野における研究開発協力のための実施取決め」を締結。
- 2010年3月 軽水炉、高温ガス炉等の協力について記載された「原子力の平和的利用における協力のための日本国政府とカザフスタン共和国政府との間の協定」が調印。2011年5月発効。
- 2011年6月 カザフスタンの「原子力産業発展プログラム」が政府布告。その中に、高温ガス炉の建設に向けた成立性評価が示されている。

今後の計画

要請に基づき、カザフスタンの高温ガス炉の建設に向けた成立性評価(FS)へ協力

資金源

各国が分担する研究開発に要する費用を各国が負担

4.3 韓国との協力

目的

情報交換により、互いの研究開発に貢献する。

目標

情報交換により、日韓双方の高温ガス炉燃料・材料、水素製造技術開発に役立てる。

協力の経緯

1994年6月 原子力の平和利用分野における研究協力のための取決め締結
2006年～2013年 情報交換会議(全5回)

今後の計画

- 高温ガス炉開発状況、水素製造技術開発状況の情報入手
- NHDD計画進捗に応じて、国内民間企業受注獲得に向けた活動

資金源

各国が分担する研究開発に要する費用を各国が負担

協力の枠組み

取決め(1994年6月10日～2018年9月3日)

原子力機構

韓国原子力研究所(KAERI)

原子力水素主要技術開発プロジェクト
(2006～2017年)

韓国エネルギー技術
研究院(KIER)
韓国科学技術研究
院(KIST)

NHDD計画(2010～2026年)

企業アライアンス

4.4 中国との協力

目的

情報交換により、互いの研究開発に貢献する。

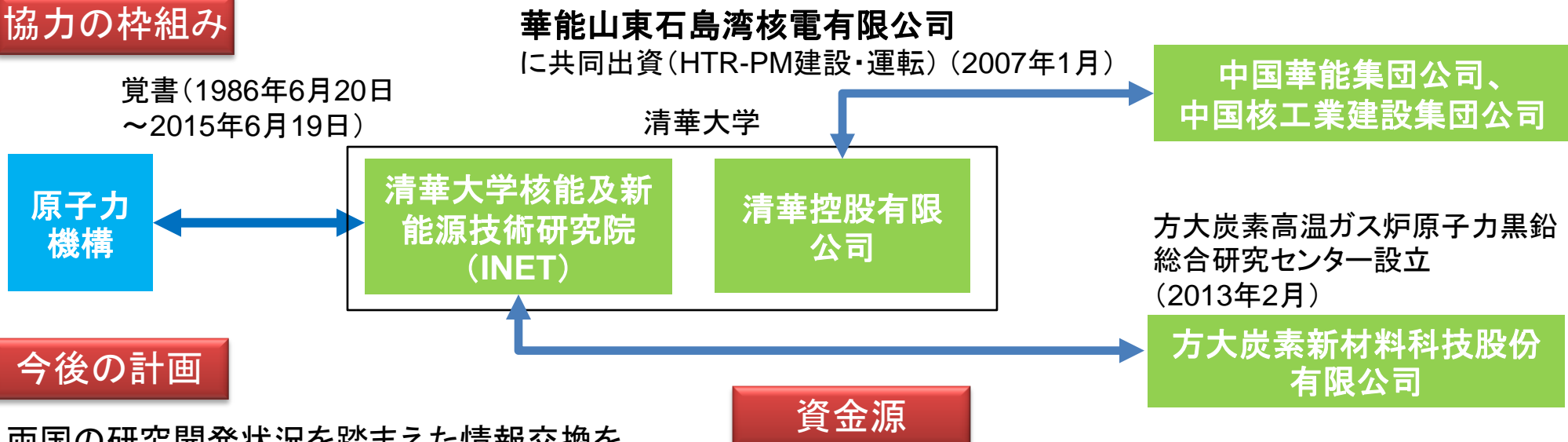
目標

情報交換により、日中双方の高温ガス炉技術開発に役立てる

協力の経緯

- 1986年6月 中国清華大学核能及新能源技術研究院と日本原子力研究所との覚書の取交わし
- 1990年6月 覚書に人員派遣協定を添付
- 2010年6月 覚書の有効期間を2015年6月まで延長

協力の枠組み



今後の計画

両国の研究開発状況を踏まえた情報交換を続ける。

各国が分担する研究開発に要する費用を各国が負担

4.5 インドネシアとの協力

目的

- インドネシア共和国原子力庁(BATAN)が計画する高温ガス炉(試験炉・実証炉)建設に技術的に協力し、将来の水素輸入に向け、インドネシア民間企業が計画する商用高温ガス炉への売込み及び採用につなげる。

目標

- 高温ガス炉(試験・実証炉)の概念設計(FS)に協力、我が国の高温ガス炉技術の国際展開及び国際標準化を図る。

協力の経緯

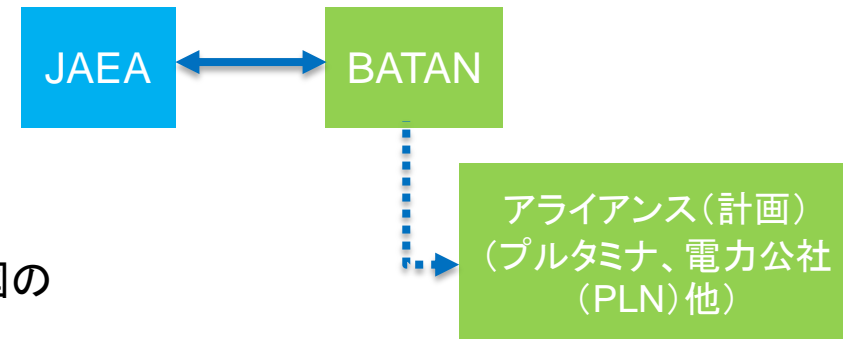
- 2014年3月 原子力機構がBATAN訪問。高温ガス炉(試験・実証炉)建設計画への協力が打診される。
- 2014年4月 国営企業プルトaminaが原子力機構を訪問。10数基の商用高温ガス炉建設計画のプレFSの協力打診。
- 2014年5月 BATAN代表团(長官、他)が原子力機構を訪問。高温ガス炉に関する協力を要請。
- 2014年6月 BATANはPLN(電力公社)、プルトamina等と高温ガス炉に関する国内アライアンス形成に向け協議開始
- 2014年6月 BATANが刊行したエネルギー・アウトックに高温ガス炉の計画が示される。

今後の計画

- 新たに締結した実施取決め付属書に基づく協力を開始
- 原子力機構は、当面は、公開情報に基づく情報交換を行い、計画の進捗に応じてFS等への本格的な協力を実施。

協力の枠組み

取決め付属書締結(2014年8月)



インドネシア原子力庁代表团(長官他6名)の理事長表敬訪問(2014年5月)

資金源

各国が分担する研究開発に要する費用を各国が負担

5. 高温ガス炉に関する国際協力(多国間協力)

5.2 国際原子力機関(IAEA)における協力研究

目的

国際原子力機関(IAEA)のガス炉に関する技術委員会会議、協力研究計画(CRP: Coordinated Research Projects)等の活動方針を本会議を通じて審議する最高機関であり、各国における高温ガス炉技術に関する研究開発の動向等の情報の交換、国際協力研究の調整等を実施

目標

協力研究計画(CRP)の活動を通じて、我が国の高温ガス炉技術の国際標準化を図る。

協力の経緯

1998年1月	「高温ガス炉の特性評価(CRP5)」開始
2000年11月	「高温ガス炉用燃料の技術開発の進展(CRP6)」開始
2007年9月	「原子力プロセス熱利用(CRP7)」開始
2009年11月	「原子炉級黒鉛の照射クリープの理解の向上に向けて」のCRP開始
2012年11月	「核熱利用水素製造の技術経済性とIAEA HEEPソフトウェアのベンチマーク解析の調査」のCRP開始
2012年	最終報告書を発刊し、CRP7終了
2013年	最終報告書を発刊し、CRP5終了 最終報告書を発刊し、CRP6終了
2014年10月	「高温ガス炉の安全基準」のCRP開始予定

協力の枠組み(参加国)

日本、米国、英国、仏国、独国、蘭国、中国、韓国、インドネシア、トルコ、南アフリカ、露国、ウクライナ、カザフスタン

今後の計画

活動中のCRPに関しては、最終報告書の作成を目指し、できるだけ我が国の技術が取り込まれ、国際標準化につながるようにする。

5. 2 国際原子力機関(IAEA)における協力研究(高温ガス炉の安全基準)

目的

HTTRの試験データに基づく安全基準を、日本がイニシアチブを持って作成

目標

高温ガス炉の導入を検討しているインドネシア等の新興国に安全基準を導入し、新興国への我が国発の高温ガス炉技術の売り込み及び採用、並びに、日本の高温ガス炉技術の国際標準化

協力の経緯

- 2013年3月 ガス冷却炉技術ワーキンググループ(TWGGCR)において、高温ガス炉の安全基準に関するCRPの新設について協議。
- 2013年10月 国際原子力機関(IAEA)において開催されたCRP準備に関するコンサルタント会議において、CRPの最終目標等について協議。
- 2014年4月 国際原子力機関(IAEA)において開催された高温ガス炉の安全性に関する技術会合において、CRPの研究内容、スケジュール等について協議。

協力の枠組み

国際原子力機関(IAEA)参加国

今後の計画

- 2014年10月頃 開始予定(実施期間3年間の予定)
- 2015年 1月頃 第1回研究調整会合

5.3 第4世代原子力システム国際フォーラム(GIF) 超高温ガス炉

目的

国際協力により高温ガス炉技術(水素製造、燃料・燃料サイクル、材料)開発を促進する。

目標

- 各国が分担して取得したデータをデータベース化し、共有する。
- 技術基準、設計基準の国際標準化を行う。

協力の経緯

- | | |
|----------|---|
| 2006年11月 | 日本、仏国、米国、韓国、カナダ、スイス、EUの間で「超高温ガス炉システム取決め」に署名。現時点で、日本、仏国、米国、韓国、スイス、EU、中国が参加。 |
| 2008年1月 | 日本、仏国、米国、韓国、EUの間で「超高温ガス炉システムの国際研究開発に係る燃料・燃料サイクルに関するプロジェクト取決め」が発効。現時点で日本、仏国、米国、韓国、EU、中国が参加。 |
| 2008年3月 | 日本、仏国、米国、韓国、カナダ、EUの間で「超高温ガス炉システムの国際研究開発に係る水素製造に関するプロジェクト取決め」が発効。現時点で日本、仏国、米国、韓国、カナダ、EUが参加。
中国の参加手続き進行中。 |
| 2010年4月 | 日本、仏国、米国、韓国、スイス、カナダ、南アフリカ、EUとの間で「超高温ガス炉システムの国際研究開発に係る材料に関するプロジェクト取決め」が発効。現時点で日本、仏国、米国、韓国、スイス、EUが参加。
中国の参加手続き進行中。 |

協力の枠組み

超高温ガス炉(VHTR)システム参加国

今後の計画

- 2025年までに実証フェーズの前段階の性能確認に関する研究開発協力を完了する。*
- 各プロジェクトの研究開発協力を継続する。

6. HTTRを活用した人材育成

6. HTTRを活用した人材育成

目的

- 安全性が極めて高く、日本に唯一存在する第4世代原子炉である高温ガス炉HTTRを人材育成の場として利用し、原子力機構内のみならず、教育分野においても学生等に高温ガス炉に関連する技術を広めるとともに、HTTRを用いた試験を通して高温ガス炉の優れた安全性に関する知識を習得させる。
- 原子力機構の研究開発の推進により、民間における技術の継承を促進する
- 国際協力の下、国外の研究者等をHTTRに受け入れ、高温ガス炉技術の理解促進を図り、実用高温ガス炉の海外展開に貢献する。

対象者

- 国内: 民間技術者・研究者、学生、等
- 国外: 高温ガス炉輸出相手国の研究者・技術者、ステークホルダー、等

期待される成果

- HTTRでしかできない事故模擬試験に参加し、高温ガス炉の優れた安全性を体験する。
- HTTRで培った高温ガス炉技術の理解度を深める。
- 国外専門家は自国の高温ガス炉プロジェクトの発展に貢献する。



参考資料

- 参1 カザフスタン(国際科学技術センター(ISTC)関連を含む)
- 参2 国際原子力機関(IAEA)協力研究計画
- 参3 第4世代原子力システム国際フォーラム(GIF)

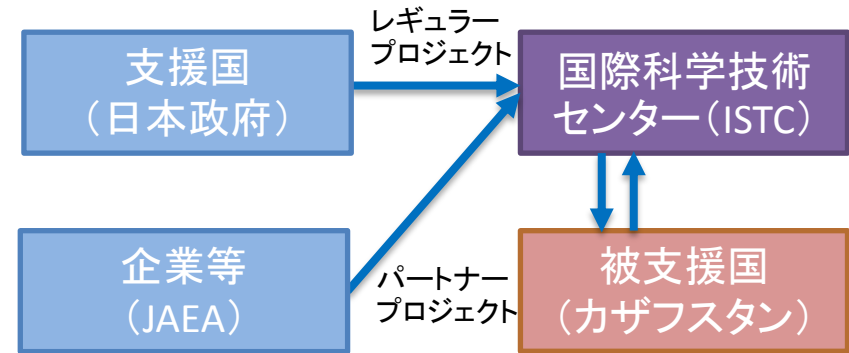
参1-① 国際科学技術センター(ISTC)における取組

目的

旧ソ連の核兵器を中心とした大量破壊兵器の解体廃棄に伴い、以下の項目等を目的としている。

- カザフスタン等の旧ソ連国における大量破壊兵器の開発に取り組んできた多くの科学者・技術者の国外流出の防止。
- これらの人材に平和目的の研究開発の機会を提供。

協力の枠組み



協力の経緯*

1992年11月 日本、米国、欧州委員会(EU)及びロシア間で交際協定署名。

1994年3月 国際科学技術センター(ISTC)がモスクワに設立。活動開始。

2009年7月 支援側の加盟国は、日本、米国、欧州委員会(EU)、ノルウェー、カナダ、韓国及びロシア。被支援国は、ロシア、アルメニア、ベラルーシ、グルジア、カザフスタン、キルギスタン及びタジキスタン

概要*

- プロジェクトの対象分野は、基礎研究、核融合、エネルギー、原子力安全、医学、電気工学、材料、宇宙・航空等。
- 支援国政府の資金拠出により実施するレギュラープロジェクト及び企業等がパートナーとして直接資金的貢献を伴う参画を行うパートナープロジェクトにより活動。

参1-② 国際科学技術センター(ISTC)レギュラープロジェクト (燃料の高燃焼度化に向けた照射性能実証試験)

目的

- HTTR技術にもとづき製造した新設計の高燃焼度化燃料試料の照射試験を通じて、燃焼度100GWd/tにおける照射性能を実証し、高温ガス炉の経済性向上につなげる。
- カザフスタン高温ガス炉(KHTR)の建設に向けてカザフスタン国内の技術力を向上させる。

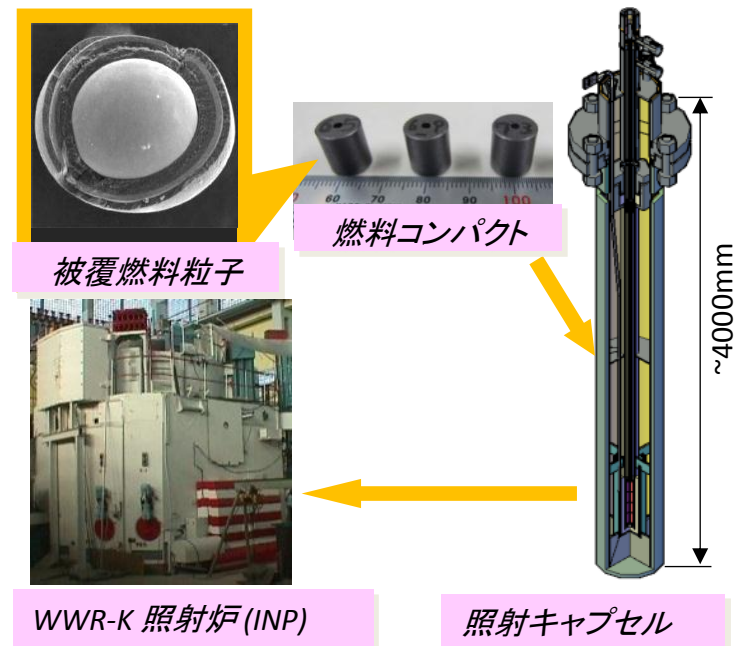
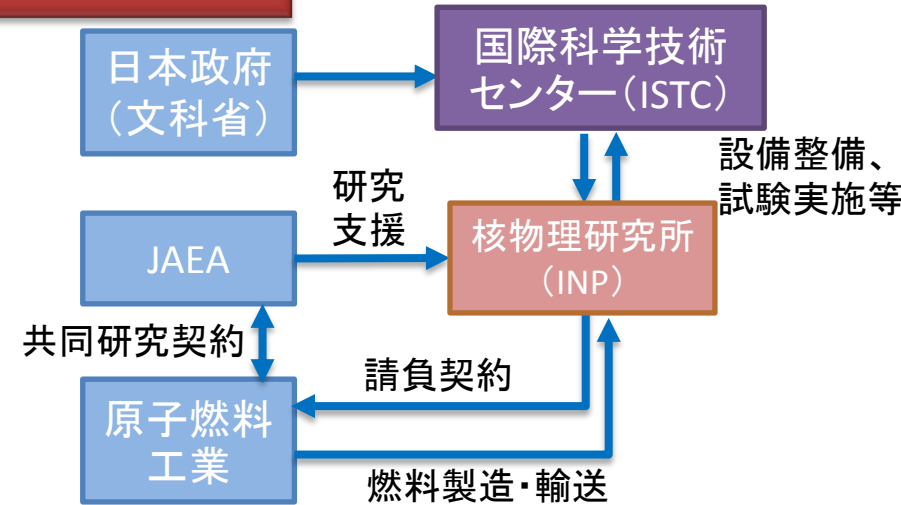
概要

- カザフスタン核物理研究所(INP)が試験を実施、JAEAが研究支援、原子燃料工業が試験用燃料を製造。
- 2010年6月、プロジェクト開始。現在、燃焼度約70GWd/tに到達、照射健全性を確認中。

今後の計画

- 2015年2月にプロジェクト終了。
- 照射済み燃料試料の照射後試験による健全性確認を今後検討。

協力の枠組み



参1-③ 国際科学技術センター(ISTC)パートナープロジェクト(耐酸化黒鉛の照射特性評価)

目的

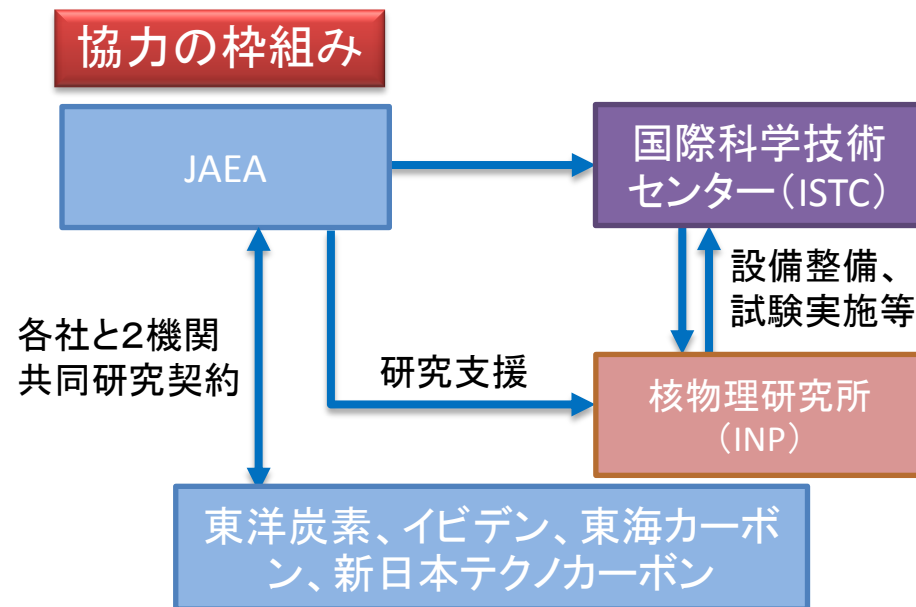
- カザフスタン核物理研究所(INP)の資産を効果的に活用することで、研究開発を効率的に促進
- 耐酸化性を向上させた黒鉛の原子炉材料としての技術的成立性を世界に先駆け確証
- カザフスタン高温ガス炉(KHTR)に向けてカザフスタン国内の技術力の向上

協力の経緯

- 2013年8月 国際科学技術センター(ISTC)パートナープロジェクト「WWR-K炉による耐酸化黒鉛の照射挙動研究」を、原子力機構、国際科学技術センター(ISTC)及びカザフスタン核物理研究所(INP)の間で締結。
- 2013年12月 カザフスタン核物理研究所(INP)来日。照射キャプセル検査。その後、カザフスタン核物理研究所(INP)へキャプセルを輸送。
- 2014年3月 JAEAがカザフスタン核物理研究所(INP)訪問。照射キャプセルの設置方法、試験の進め方等について、照射試験開始前の最終確認。
- 2014年5月 カザフスタン核物理研究所(INP)とカザフスタン国立原子力センター(NNC)の分離により、「原子力エネルギーと技術に関する研究開発協力のための実施取決め」を、JAEAとカザフスタン核物理研究所(INP)との間で締結。
- 2014年6月 JAEAがカザフスタン核物理研究所(INP)を訪問。輸送したキャプセルの現地検査。

今後の計画

- カザフスタン核物理研究所(INP)のWWR-K炉を用いた耐酸化黒鉛の照射試験(2014年9月～2016年1月)
- 照射後試験、評価に基づく製造技術へのフィードバック



参1-④ アルファラビカザフ国立大学との共同研究(耐酸化黒鉛の基礎的な酸化特性評価)

目的

- 原子力機構とアルファラビカザフ国立大学の資産の効果的活用により、研究開発を促進
- 耐酸化性を向上させた黒鉛の基礎的な酸化特性の解明

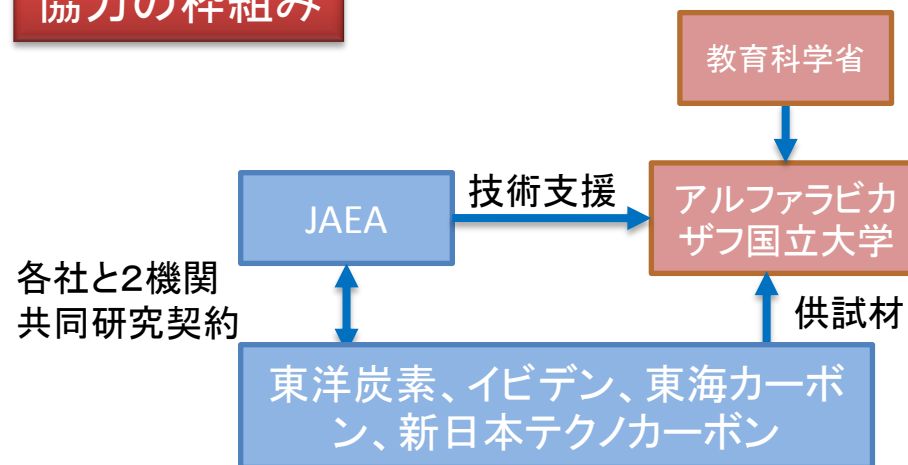
協力の経緯

- 2012年12月 「原子力エネルギー技術に係る研究協力に関する取決め」を原子力機構とアルファラビカザフ国立大学の間で締結。
- 2014年1月 アルファラビカザフ国立大学が来日。今後4年間の研究計画協議。
- 2014年3月 原子力機構がアルファラビカザフ国立大学を訪問。試験方法を協議。
- 2014年6月 原子力機構がアルファラビカザフ国立大学を訪問。酸化試験条件、手順等を決定。

今後の計画

- アルファラビカザフ国立大学の酸化試験装置を用いた耐酸化黒鉛の酸化試験
- 酸化試験後の、表面及び断面観察

協力の枠組み



参1-⑤ アルファラビカザフ国立大学における人材育成

目的

- アルファラビカザフ国立大学の学生に高温ガス炉を含めた原子炉技術の研修を行うことによって、原子力及び高温ガス炉に対する理解を深め、今後の協力体制を強固なものにする。
- カザフスタン高温ガス炉(KHTR)に向けてカザフスタン国内の技術力を向上させる。

協力の経緯

原子力機構から専門家2人(HTRRの設計・建設に携わった原子力機構OB)を、年2回(1回当たり2週間)、アルファラビカザフ国立大学に派遣し、講義を実施

- 1回目:2009.11 及び 2010.4
- 2回目:2010.11 及び 2011.4
- 3回目:2011.11 及び 2012.3
- 4回目:2012.12 及び 2013.4

今後の計画

アルファラビカザフ国立大学が、予算措置を含め、客員教授として講師を招へいすることを検討中。



<写真:アルファラビカザフ国立大学での講義>

参2-① 国際原子力機関(IAEA)協力研究計画 原子炉級黒鉛の照射クリープ挙動の理解向上に向けて

目的

- 各国の照射クリープデータ及びモデルを効果的に活用することで、研究開発を促進
- GTHTR300の設計に活用できる黒鉛の照射クリープデータを効率的に取得

協力の経緯

- 2009年11月 高温ガス炉技術ワーキンググループ(TWGGCR)の下、国際原子力機関(IAEA)協力研究計画(CRP)「原子炉級黒鉛の照射クリープの理解の向上に向けて」を開始
- 2009年12月 原子力機構が、国際原子力機関(IAEA)協力研究計画(CRP)「原子炉級黒鉛の照射クリープの理解の向上に向けて」に署名。2013年3月までに合計4回の技術会合を開催
- 2014年06月 照射クリープに関するこれまでの知見をまとめたIAEA-TECDOC(その1)のドラフト完成

今後の計画

- 照射クリープに関するこれまでの知見をまとめたIAEA-TECDOC(その1)を発刊
- 今後2年以内に、参加国から提案された新規の照射クリープデータ及びモデルをまとめたIAEA-TECDOC(その2)を作成

参2-② 国際原子力機関(IAEA)協力研究計画

核熱利用水素製造の技術経済性とIAEA HEEPソフトウェアのベンチマーク解析の調査

目的

- 原子力水素製造の技術と経済性を評価するために、国際的な専門家と協力すると共に、GTHTR300Cの技術開発の進展と経済的優位性を潜在的なユーザーに紹介
- 様々な水素製造システム技術の評価、原子力を用いた水素製造技術の可能性及び経済性の評価、核熱水素製造におけるIAEA参加国間の連携に関する活動を実施

協力の経緯

2012年11月5-7日	キックオフ会議及び研究計画の取り決め(第1回調整会議)
2013年12月17-19日	中間報告及びケーススタディーのための参照システムの選択(第2回調整会議)
2014年3月25-26日	IAEA HEEPソフトウェアのベンチマーク解析の議論(技術会合)
2014年9月3-5日	コジェネレーション経済評価に関するガイドラインドラフトの準備(コンサルト会議:予定)
2014年12月3-5日	ケーススタディーの結果報告及び最終報告(ドラフト)の準備(第3回調整会議:予定)

今後の計画

2015年11月に最終報告書をまとめる予定で活動を継続中。

参3-① 第4世代原子カシステム国際フォーラム(GIF)国際協力研究

GIF: Generation IV International Forum

メンバー : 12カ国1国際機関






アルゼンチン、ブラジル、カナダ、フランス、日本、韓国、南アフリカ、スイス、英国、米国、EU、中国、ロシア

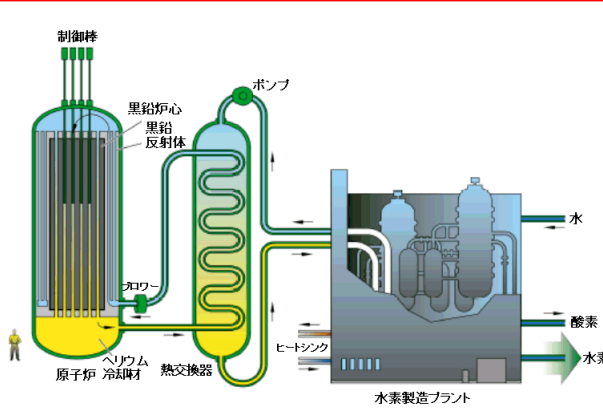
概要:

- 第4世代原子カシステムは、安全性・信頼性、経済性、持続可能性、核拡散抵抗性と核物質防護に優れ、2030年代に基幹エネルギーを担うシステムとして検討
- 実証フェーズの前段階までの研究開発協力を行うため国際的な枠組みとしてGIFを構築。OECDが運営。
- 第4世代システムとして6つの炉型を2002年7月に選定、そのうちの 하나가超高温ガス炉(VHTR: Very-High-Temperature Reactor)

GIF協力における参加メンバー一覧 :

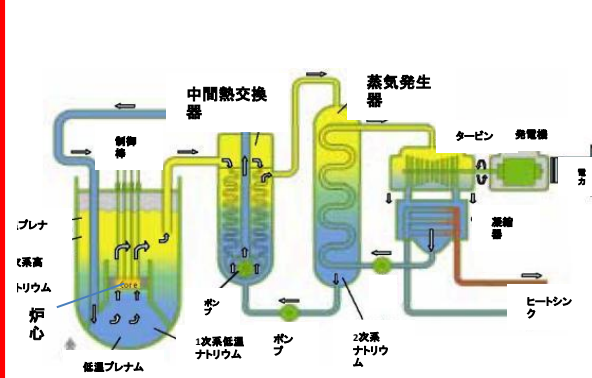
候補概念	 カナダ	 フランス	 日本	 韓国	 南ア	 スイス	 米国	 EU	 中国	 ロシア
超高温ガス冷却炉 (VHTR)	○	○	○	○		○	○	○	○	
ナトリウム冷却高速炉 (SFR)		○	○	○			○	○	○	○
超臨界圧水冷却炉 (SCWR)	○		○					○		○
ガス冷却高速炉 (GFR)		○	○			○		○		
鉛冷却高速炉 (LFR)			○					○		○
溶融塩炉 (MSR)		○						○		○

参3-② 6つの第4世代炉原子力システム



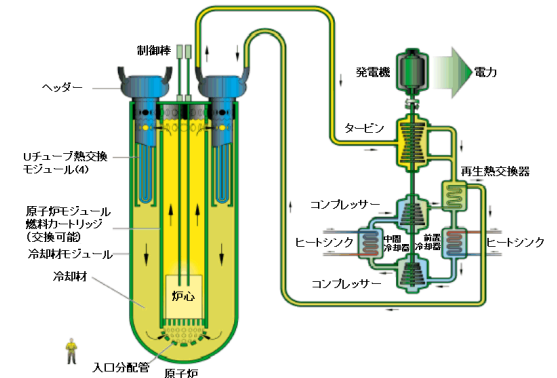
超高温ガス炉

- 高温ガス(700~950°C、将来的には1000°C以上)の発電・産業利用



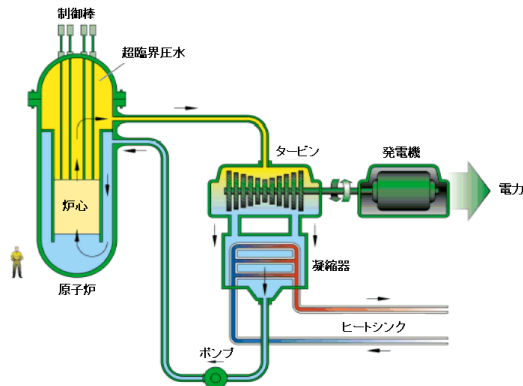
ナトリウム冷却高速炉

- 技術的に最も成熟。革新技術の導入による安全性・経済性等の向上



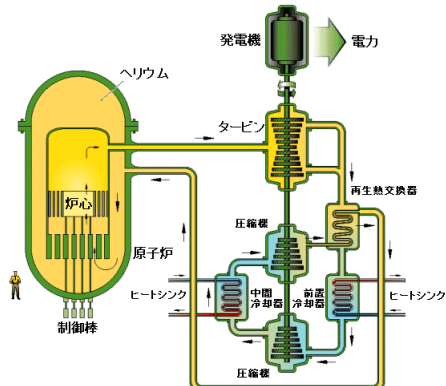
鉛冷却高速炉

- 化学的に活性なナトリウムの代わりに鉛を採用



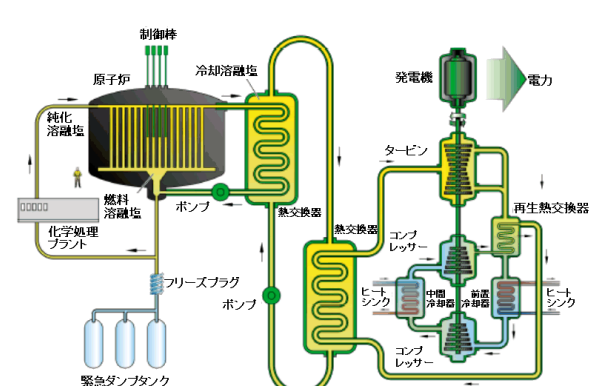
超臨界圧水冷却炉

- 超臨界水(220気圧、374°C以上)を用いた装置のコンパクト化と熱効率向上



ガス冷却高速炉

- 化学的に活性なナトリウムの代わりにヘリウムガスを採用



溶融塩炉

- トリウム燃料(液体燃料)を使用

参3-③ 第4世代原子カシステム国際フォーラム(GIF) 水素製造プロジェクト

目的

- 国際協力により高温ガス炉による水素製造技術開発を促進する観点から、①ISプロセス、②高温水蒸気電解、③その他の熱化学プロセス(Cu-Clプロセス)及び④原子炉接続技術の各分野において共同研究を推進
- 触媒等を分担して開発し、データベースを構築することにより、研究開発の効率化を図る。

協力の経緯

- 2008年3月に、日本、仏国、米国、韓国、カナダ、EUの間で「超高温ガス炉システムの国際研究開発に係る水素製造に関するプロジェクト取決め」が発効。現時点で日本、仏国、米国、韓国、カナダ、EUが参加。
- 2014年3月に、第13回公式会合。中国の参加手続き進行中。

今後の計画

- データベースの整備・拡充する等、ISプロセス研究に関する情報収集に努める。
- 我が国が開発するHTTR-ISシステムを国際プロジェクトの場でCOFとして活用することにより、高温ガス炉水素製造技術の国際標準化を図る。

参3-④ 第4世代原子力システム国際フォーラム(GIF) 燃料・燃料サイクルプロジェクト

目的

- 超高温ガス炉(VHTR)用燃料の重要研究課題である照射試験・照射後試験、燃料物性試験、安全性試験、新型燃料、廃棄物処理、その他の核燃料サイクルに関する研究開発を、国際協力により効率的に推進する。

協力の経緯

- 2008年1月に、日本、仏国、米国、韓国、EUの間で「超高温ガス炉システムの国際研究開発に係る燃料・燃料サイクルに関するプロジェクト取決め」が発効。現時点で日本、仏国、米国、韓国、EU、中国が参加。
- これまで、EU及び米国の照射試験炉を利用した共同照射・照射後試験、燃料挙動モデルのベンチマーク、被覆層特性評価のためのラウンドロビン試験、安全性試験を実施。

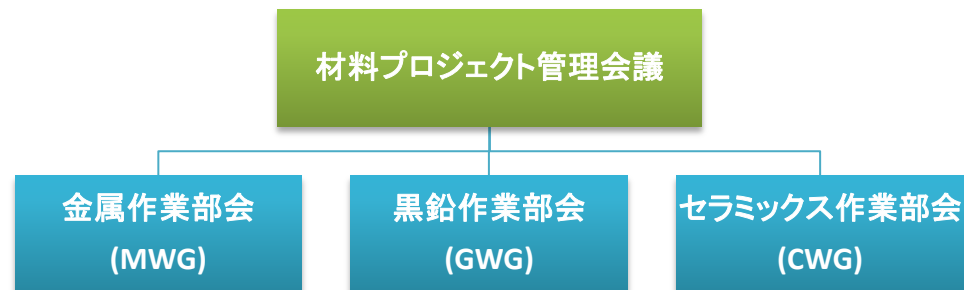
今後の計画

- 高温ガス炉の事故時放出FP挙動に関する、燃料挙動モデルのベンチマークを今後重点的に実施する予定。
- 我が国の燃料挙動モデルの国際標準化を図る。

参3-⑤ 第4世代原子力システム国際フォーラム(GIF) 材料プロジェクト

目的

- 各国が分担して取得した材料データを、原子力機構が提案する実用高温ガス炉の設計に活用
- HTTR建設を通じて蓄積した高温ガス炉用材料の技術基準及び設計基準の国際標準化



協力の経緯

- 2010年4月に、日本、仏国、米国、韓国、スイス、カナダ、南アフリカ、EUとの間で「超高温ガス炉システムの国際研究開発に係る材料に関するプロジェクト取決め」が発効。現時点で日本、仏国、米国、韓国、スイス、EUが参加。中国の参加手続き進行中。
- これまでに各国が作成した約300の技術報告書をもとに、第4世代原子力システム(GEN-IV)材料ハンドブックのデータベースを作成中。
- 原子力機構は、第4世代原子力システム(GEN-IV)材料ハンドブックや技術会合で得られた情報を活用し、GTHTTR300に活用できる材料の設計用データベースを構築中。

今後の計画

- 材料照射データを収集し、GTHTTR300の設計に活用できる材料の設計用データベースを構築。
- 我が国の材料技術基準及び設計基準の国際標準化を図る。