高温ガス炉に関する原子力機構の取組

令和３年１月18日

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構
高速炉・新型炉研究開発部門　戦略・計画室

坂場成昭

目　次

１．高温ガス炉の実用化にむけて
２．国際協力（英国・ポーランドを中心に）
３．HTTR運転再開（許可取得から運転再開、試験計画）
４．まとめ

高温ガス炉技術開発の政策的位置付け

◎エネルギー基本計画（第５次）　（平成30年7月3日　閣議決定）

第２章　２０３０年に向けた基本的な方針と政策対応　第３節　技術開発の推進

２．取り組むべき技術課題

（略）　安全性・信頼性・効率性の一層の向上に加えて、再生可能エネルギーとの共存、水素製造や熱利用といった多様な社会的要請の高まりも見据えた原子力関連技術のイノベーション を促進するという観点が重要である。　（略）　また、水素製造を含めた多様な産業利用が見込まれ、固有の安全性を有する高温ガス炉など、安全性の高度化に貢献する技術開発を、海外市場の動向を見据えつつ国際協力の下で推進する。

◎未来投資戦略2018（平成30年6月15日　閣議決定）

第２ 具体的施策　[２]経済活動の「糧」が変わる　１．エネルギー・環境

（３）新たに講ずべき具体的施策　　i）エネルギー転換・脱炭素化に向けたイノベーションの推進

原子力については、安全最優先の再稼働を進める。防災対策の充実化や自主的安全性向上の取組を通じて社会的信頼の回復に努めつつ、人材・技術・産業基盤の強化に着手し、安全性等に優れた炉の追求、バックエンド問題の解決に向けた技術開発を進める。また、高速実験炉や高温ガス炉等の試験研究炉を活用するなど、将来に向けた研究開発を推進する。

◎水素・燃料電池戦略ロードマップ（平成31年3月12日、水素・燃料電池戦略協議会/経産省）

第２章　水素基本戦略の実行に向けた各論

２－３．技術開発の推進・国民理解　（１）革新的技術開発　＜アクションプラン＞【製造】

化石エネルギー資源や太陽光等の既に水素製造に活用されているエネルギー資源だけでなく、高温地熱や海洋エネルギー、宇宙太陽光、高温ガス炉など、水素製造に活用し得る革新的な技術の活用も含めて、あらゆる可能性を検討していく。

◎パリ協定に基づく成長戦略としての長期戦略（令和元年6月11日　閣議決定）

第３章：重点的に取り組む横断的施策　第１節：イノベーションの推進　Ｉ．技術のイノベーション

２．施策の方向性　（４）個別分野における実用化に向けた課題の見える化

③水素　〇水素に関連する技術の例　・製造技術「太陽熱・産業排熱等を用いた熱化学水素製造（ＩＳプロセス）」

⑤原子力　〇原子力に関連する技術の例「高温ガス炉」

◎革新的環境イノベーション戦略（令和2年1月21日、統合イノベーション戦略推進会議決定）

Ｉ．エネルギー転換

３．低コストな水素サプライチェーンの構築　⑦製造：CO2フリー水素製造コスト1/10の実現　＜再エネ利用水素製造＞　「ＩＳプロセスによる水素製造」

４．革新的原子力技術／核融合の実現　⑩安全性等に優れた原子力技術の追求　「高温ガス炉」

◎2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略（令和2年12月25日、成長戦略会議決定）

４．重要分野における「実行計画」　（４）原子力産業　②高温ガス炉

（略）世界最高温度を記録した試験炉 HTTR を活用し、安全性の国際実証に加え、2030 年までに大量か つ安価なカーボンフリー水素製造に必要な技術開発を支援していく。並行して、IS 法やメタン熱 分解法等を含む超高温熱を活用したカーボンフリー水素製造方法についても開発を支援する。（略）　また、試験炉 HTTR の建設・運転・再稼働を通じて、規格基準策定の点でも海外に先行している 状況を踏まえ、日本の規格基準普及に向けた他国関連機関との協力を推進する。

高温ガス炉の実用化にむけて

2020

HTTR新規制基準に基づく認可取得（2020.6）

国際協力

- ポーランドプログラム活用
- 英国プログラム活用
- IAEAによる安全基準→国内基準化へ

残された課題への取組とHTTRを用いたR&D（LOFC試験等）

許認可・改造

HTTRを用いた利用系確証、炉外試験
（水素製造技術）　（ガスタービン）

2030

国外実証炉

国内実証炉（コジェネシステム）

2050

国内実用炉（初号機）

目　次

１．高温ガス炉の実用化にむけて
２．国際協力（英国・ポーランドを中心に）
３．HTTR運転再開（許可取得から運転再開、試験計画）
４．まとめ

世界の高温ガス炉開発状況

英国：AMR計画/10 Point Plan
U-Battery（英国URENCO社他、10MWt、商用炉、設計段階、BEIS AMRプログラム フェーズ１完了、フェーズ２開始）

ポーランド：HTGR計画
EUHTER（研究炉、10MWt、750℃、設計段階）
化学プラント蒸気供給炉（商用炉、165MWt、750℃、予備設計段階、石炭火力プラント代替として国内10～20基を計画）

中国
HTR-10（実験炉、10MWt、750℃、稼働中）
HTR-PM（実証炉、2×250MWt、750℃、2021年臨界・低出力運転、2022年全出力運転の予定）
HTR-PM600（商用炉、国内６ヶ所で計画）

カナダ：SMR計画
MMR（米国USNC、5～10MWe、設計段階）
U-Battery（英国URENCO社他、10MWt、設計段階）
StarCore（カナダStarCore Nuclear社、36MWt、設計段階）

カザフスタン：KHTR計画
（50MWt、実験炉、設計段階）

日本
HTTR（試験研究炉、30MWt、950℃、稼働中）
GTHTR300C（熱利用実証炉、600MWt、950℃、設計段階）

米国
Xe-100（米国X-energy社、200MWt、750℃、商用発電炉、設計段階）
MMR（米国USNC、5～10MWe、商用発電炉、設計段階）

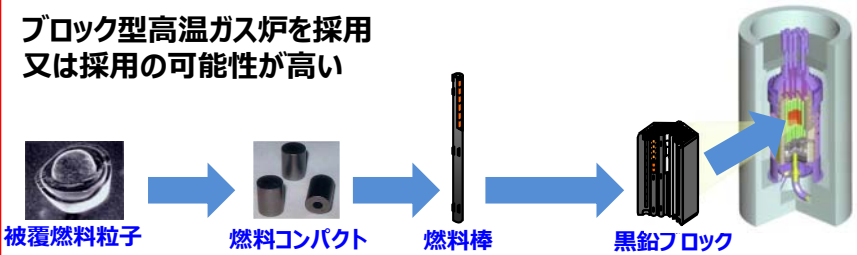
EU：GEMINI+計画
高温ガス炉コジェネレーションシステムの設計、R&D

韓国：NHDD計画
（200MWt、実証炉、設計段階）

インドネシア
実験実証炉計画（10MWt、500～1,000℃、設計段階）

ペブルベッド型高温ガス炉を採用

ブロック型高温ガス炉を採用又は採用の可能性が高い



ポーランド

ポーランドにおける原子力導入計画

- ポーランドでは、現在80%を占める石炭による発電割合を削減し、炭酸ガス排出量削減を目指しており、そのために原子力発電所（大型軽水炉）や高温ガス炉（小型炉）の導入を計画している

（１）大型軽水炉

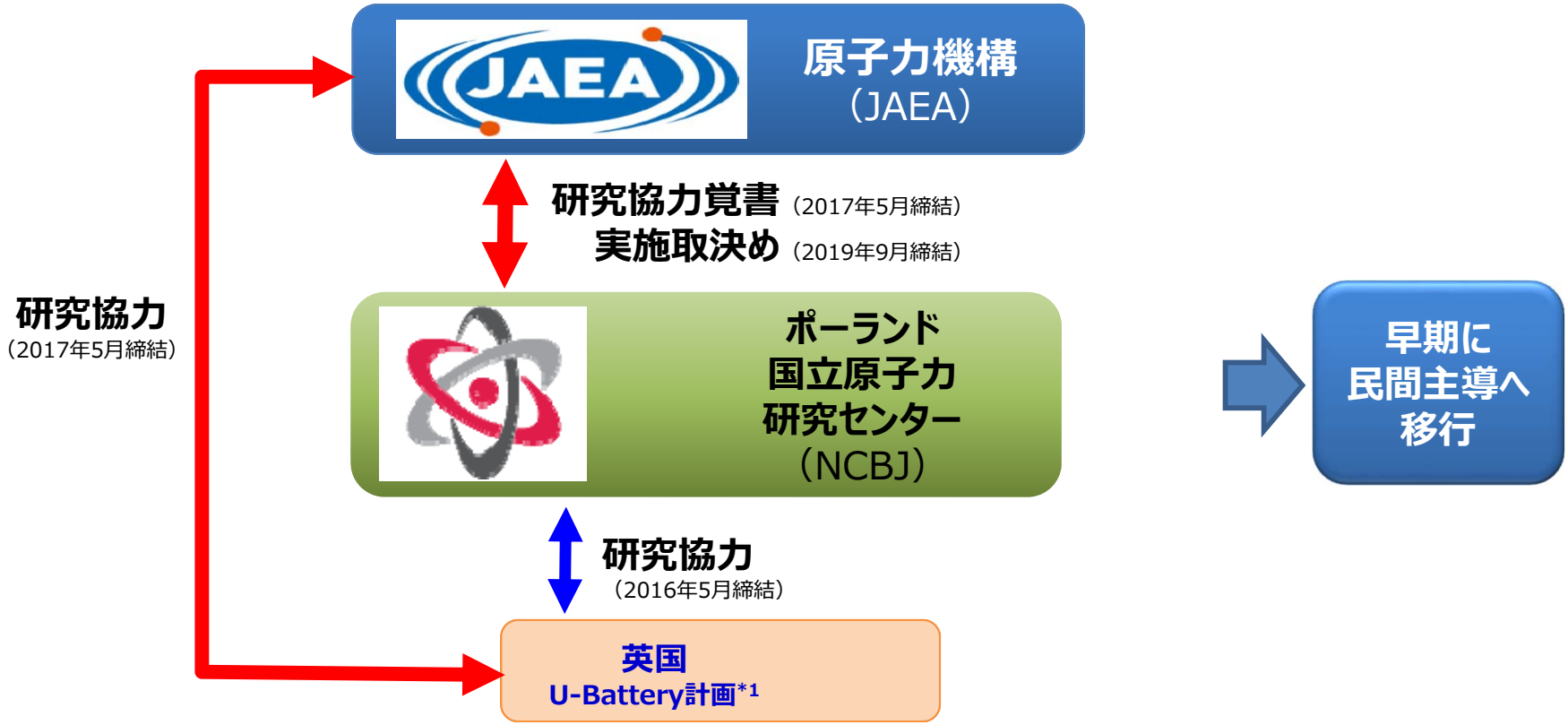
- 2009年1月、原子力発電所建設計画を閣議決定（2020年までに最初の原発を運開）。
- 2014年1月、上記計画を4-5年先送りした改訂版原子力開発計画を閣議決定。
- 2018年11月、ポーランドエネルギー省が、「2040年までのエネルギー政策：PEP2040」草案を公表。2033年に最初の原子力発電所を導入し、その後2043年まで2年毎に5基（計6基）を建設、合計6～9 GWeの発電量をまかなう計画。
- 2019年11、ポーランドエネルギー省は、PEP2040草案の更新版を公表。原子力発電所導入計画に変更無し。
- 2020年9月、ポーランド気候省は、PEP2040政府案の最新版を公表。原子力発電所導入計画に変更無し。
- 2020年10月、PEP2040の原子力発電所導入計画に合わせた改訂版原子力計画を内閣が承認。
- 2020年10月、ポーランドと米国は、ポーランドの民生用原子力発電開発計画に協力するため、協力協定を締結。（2019年6月、ポーランドにおける原子力開発に関するMOUを締結済み）

（２）高温ガス炉

- 主に産業熱利用のため、高温ガス炉を導入予定。

- 2019年10月、国政選挙において、与党（法と正義）が勝利したことから、原子力政策に大きな変更は無く、原子力導入が進められる。
- 2019年11月、国政選挙後の新政府が発足。エネルギー省は廃止され、新たに気候省が設立。原子力政策を所管する部署は、気候省に再編。気候大臣には、クルティカ前環境省副大臣（2016年11月 HTTR視察）が就任。
- 2019年12月、モラヴィエツキ首相が、ポーランド国立原子力センター（NCBJ）のブロフナ国際協力課長を、NCBJ等の予算を管理する省庁である科学・高等教育省の副大臣に任命。
- 2020年1月、クルティカ気候省大臣、ブロフナ科学・高等教育省副大臣等がHTTR視察。ポーランド高温ガス炉の商用化に向けて日本側へ協力要請。ポーランド、日本双方の産業界を交えた官民会合。
- 2020年10月、省庁再編により、新たに気候・環境省が設立、原子力政策を所管。
- 2020年12月、GENIMI+プロジェクトの最終ワークショップにおいて、クルティカ気候・環境大臣から「高温ガス炉計画の第一段階としての開発予算を政府内で議論中」との発言。ブロフナ教育・科学省副大臣から「約60M PLN（約18億円）の高温ガス炉計画の第一段階に合意し、設計と許認可を約2年半以内で実施予定」と発言。

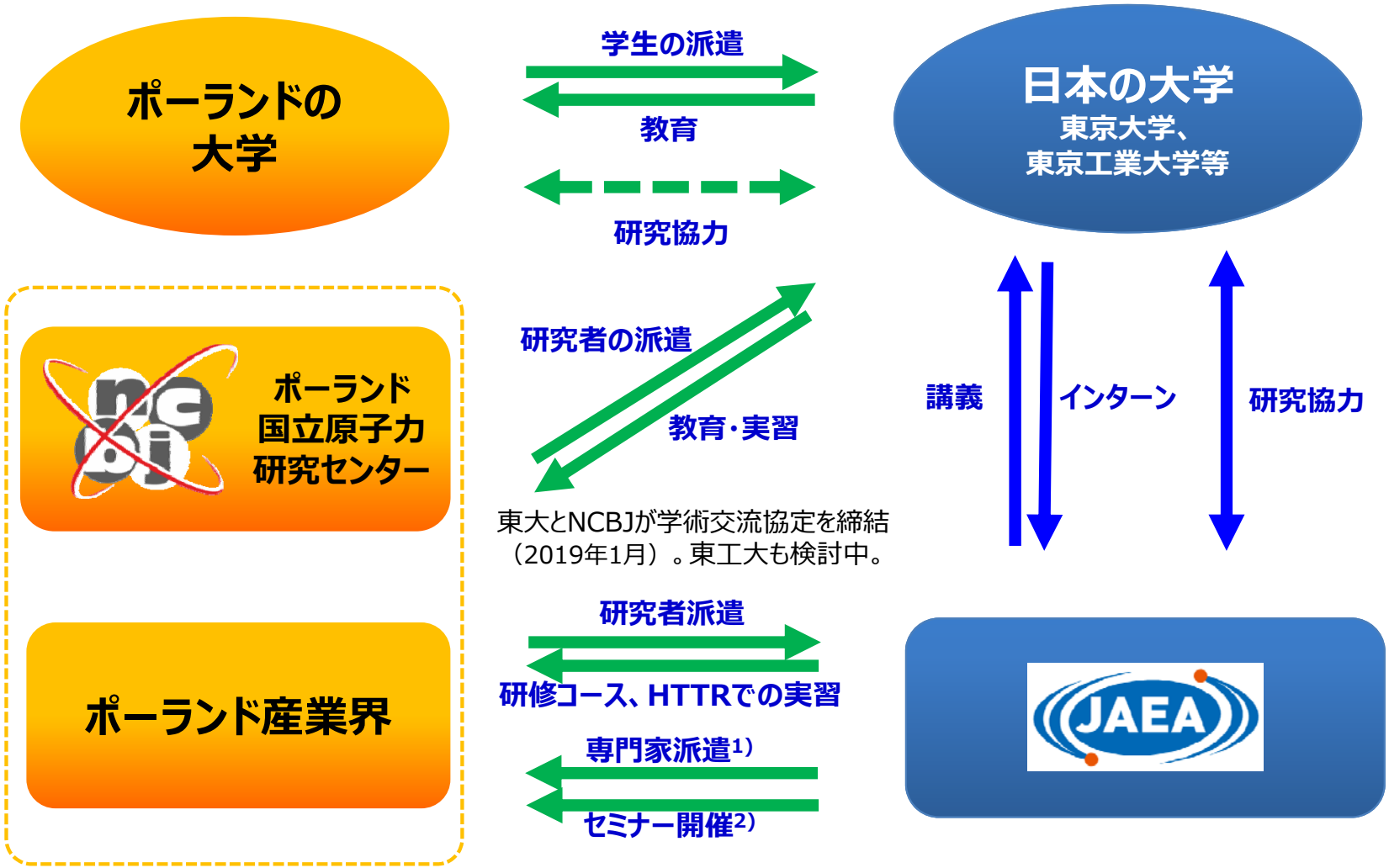
ポーランドとの協力を中心とした高温ガス炉の国際協力



米国、カナダ*3との協力 MMR*2計画、U-Battery	**米国と及びカナダとの協力は国内産業界との協議の上将来検討** 米国：USNC社 カナダ：CNLが進めるSMR計画（米国USNC社、URENCO社等が進出）
NI2050 OECD/NEA 国際協力	**世界のHTGR計画のために、間接的に研究開発成果を提供** **EU諸国（ポーランドを含む）が参加予定。原子力機構も参加予定**
LOFC OECD/NEA 国際協力	**世界のHTGR計画のために、HTTRデータを有償で提供** **原子力機構が主導し、米国、仏国、独国、韓国、チェコ、ハンガリーが資金を分担して参加**（2011年3月発足）

＊1：URENCO社が進める小型ブロック型高温ガス炉、＊2：USNC社が進める小型ブロック型高温ガス炉、＊3：U-battery及びMMRがカナダに進出して検討中。

ポーランドでの人材育成計画



1) 2017年9月以降、JAEAから研究者を継続派遣。延べ3名。コロナウィルス影響による2020年3月～2020年9月を除く。
2) 高温ガス炉セミナー開催（第1回：ワルシャワ、2019.1、第2回：オトフォツク、2019.7、第3回：Web、2020.10）。いずれも100名を超える参加者。第4回以降も計画中。

ポーランドにおける人材育成

目 的

ポーランドの高温ガス炉開発を担う人材の育成を目的とし、技術セミナー「Development of HTGR Technology for Cogeneration and Heat Applications」を開催

概 要

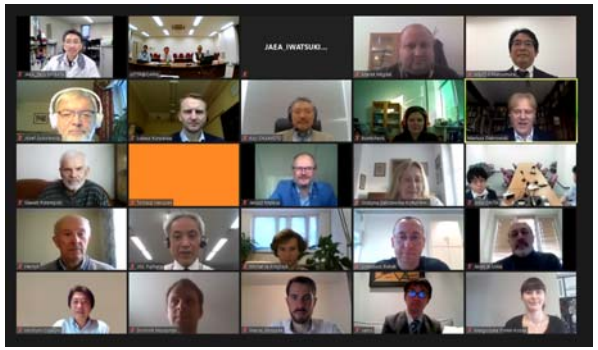
	第1回	第2回	第3回
開催日	2019年1月28日～29日（2日間）	2019年7月11日～12日（2日間）	2020年10月22日～23日（2日間）
場所	エネルギー省（ワルシャワ）	NCBJ（オトフォツク）	Web
主催	JAEA、NCBJ		
後援	文科省、エネルギー省		
内容	原子力プラント建設のプロセス、高温ガス炉技術、規格・基準、設計・解析		
講師	JAEA、東芝ESS、東大	JAEA	JAEA
参加者	延べ200名	延べ130名	延べ180名
内訳	NCBJ研究員、民間企業技術者、学生		

今後の計画

2021年度以降は、内容を詳細化して継続する（アドバンストコース、解析手法等トレーニングコース、等）

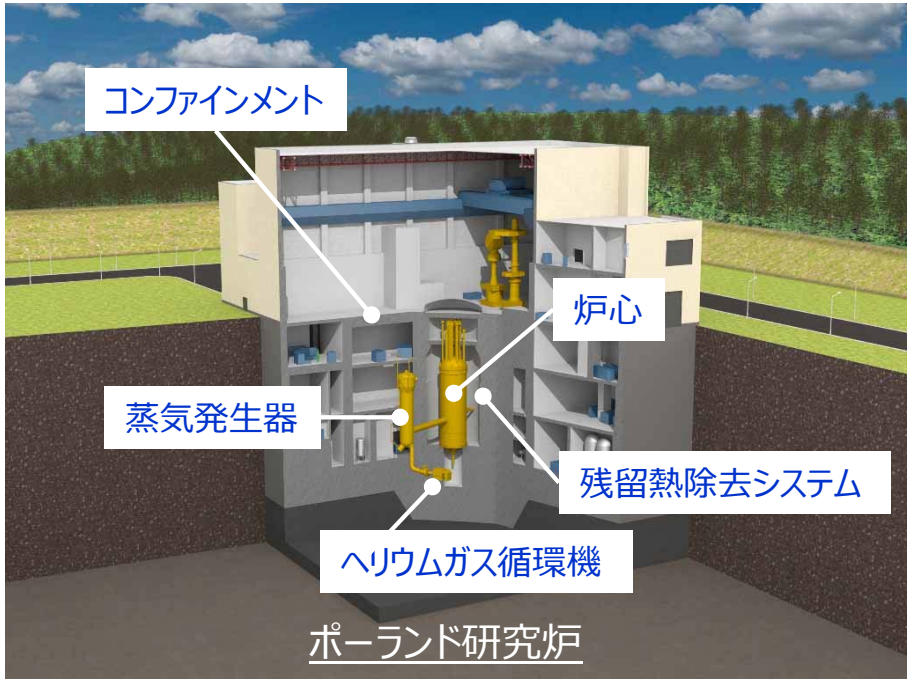
第1回高温ガス炉セミナー
（2019年1月、エネルギー省（ワルシャワ））

第2回高温ガス炉セミナー
（2019年7月、NCBJ（オトフォツク））



第3回高温ガス炉セミナー
（2020年10月、Web）

ポーランド研究炉FS及び商用炉Pre-FS



設計ターゲット
化学プラントへの高温蒸気供給

体制
原子力機構：基本仕様設定、炉心設計、安全評価
日本企業チーム：系統設計、機器設計、導入検討

実施内容（2018年度～2020年度）
研究炉：系統設計、**機器設計、炉心設計**、安全予備評価、**物量予備評価**
商用炉：**系統概念検討、機器概念検討**、**炉心設計**、**導入シナリオ検討**

赤字：2020年度実施項目

	HTTR	研究炉	商用炉
原子炉出力	30MWt	30MWt	165MWt
原子炉温度（出口/入口）	950°C/395°C	750°C/325°C	750°C/325°C
蒸気供給条件（温度/圧力）	–	540°C/13.8MPa	540°C/13.8MPa
被覆燃料粒子	HTTR燃料	HTTR燃料と同仕様	高燃焼度燃料
濃縮度	平均6%	平均7%	平均8%
最大燃焼度	33GWd/t	40 GWd/t	100 GWd/t
容器・配管材料	2.25 Cr-Mo鋼	Mn-Mo鋼	Mn-Mo鋼
事故時炉心冷却	強制循環（水冷）	自然循環（空冷）	自然循環（空冷）

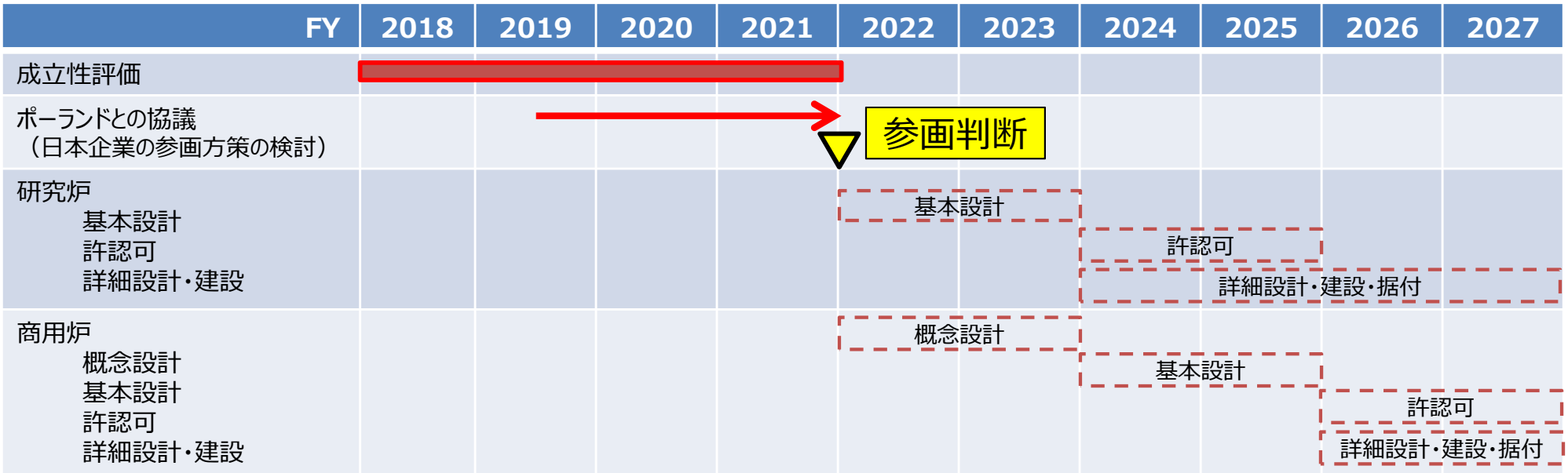
JAEAの今後の進め方（案）

ポーランドのHTGR開発現状

●新型コロナウイルス、省庁再編等により、研究炉計画が遅延

●クルティカ気候・環境大臣が、研究炉予算が2021年に獲得できると強い自信

日本企業のポーランド計画への参画判断は、ポーランド側の研究炉予算が明確化される時期を考慮し、2021年度末を目途。



英国

英国における原子炉開発動向

英国では2050年に炭酸ガス排出ネットゼロ目標を掲げており、大型軽水炉、小型軽水炉、高温ガス炉の開発を重点化

（１）大型軽水炉

- EDFエナジー社が、英国南西部のサマセット州でヒンクリーポイントC原子力発電所（160万kWのPWR×２基）を建設中。2025年末に1号機で送電開始予定

（２）小型モジュール炉SMR（英国では小型軽水炉のこと）

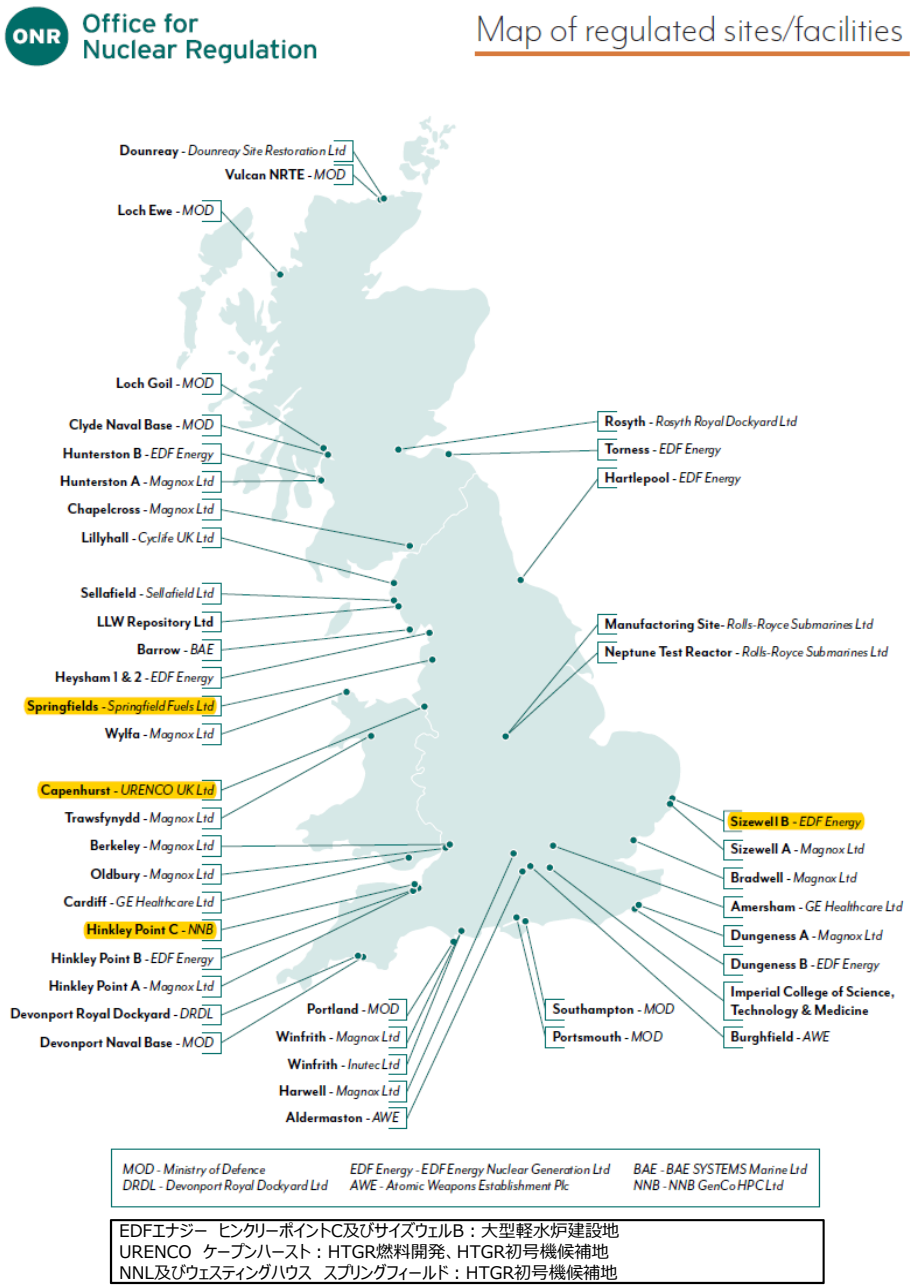
- 大型軽水炉のための許認可を得ているサイトを小型炉に転用
- ロールスロイス社が初号機建設に関心。2019年11月、包括的設計審査GDA（Generic Design Assessment）準備等のため、UK Research and Innovation（UKRI）から£18Mを受領

（３）新型モジュール炉AMR

- 民間企業からの提案を受けてビジネス・エネルギー・産業戦略省（BEIS：Department for Business Energy and Industry Strategy）が競争的に研究開発を推進。
- 設計手法開発（Phase 2、総額£40M／2年）として、U-battery社（高温ガス炉）、Tokamak Energy社（小型核融合炉）、Westinghouse UK社（鉛冷却高速炉）を選定（2020年7月）

（４）その他

- Penultimate Power UK社がニューカッスルにおいて、熱利用小型高温ガス炉の導入を検討中



英国における革新炉（高温ガス炉他）動向

AMR設計成立性評価（Phase 1）
8社：総額£4M
規制側：£5M
審査体制構築：£7M
（BEIS 2018.8）(4)

- U-battery（高温ガス炉、ブロック型）
- USNC（高温ガス炉、ブロック型）
- DBD（高温ガス炉、ペブルベッド型）
- Westinghouse UK（鉛冷却高速炉）
- LeadCold（鉛冷却高速炉）
- ARC（ナトリウム冷却高速炉）
- Moltex Energy（溶融塩炉）
- Tokamak Energy（小型核融合炉）

AMR設計成立性評価（Phase 2）
3社：総額£40M
（BEIS 2020.7）(7)

- U-battery（高温ガス炉、ブロック型）
- Westinghouse UK（鉛冷却高速炉）
- Tokamak Energy（小型核融合炉）

原子力基盤技術強化
£263M（£56M含む）
（政府 2018.6）(3)

NIRAB（原子力イノベーション研究諮問委員会：BEIS諮問機関）**による政策提言**
"Achieving Net Zero : The role of Nuclear Energy in Decarbonisation"
(NIRAB 2020.6) (6)

2016 2017 2018 2019 2020 2021

SMR技術・経済性評価
（政府 2016.3）(1)

- 発電にはSMR（小型軽水炉）
- 脱炭素のための高温熱利用には高温ガス炉

URENCO-JAEA
研究協力覚書締結
（2017.5）(2)

AMR開発・許認可£56M
（政府 2017.12）(3)

BEIS-経産省
協力覚書締結
（Clean Energy Innovation）
（2019.7）(5)

NNL-JAEA
包括技術取決め改定
（2020.10）(8)

グリーン産業革命のための10要点計画発表
"The Ten Point Plan for a Green Industrial Revolution"　（政府 2020.11）(9)

ONR-JAEA
情報交換取決め締結
（2020.11）(10)

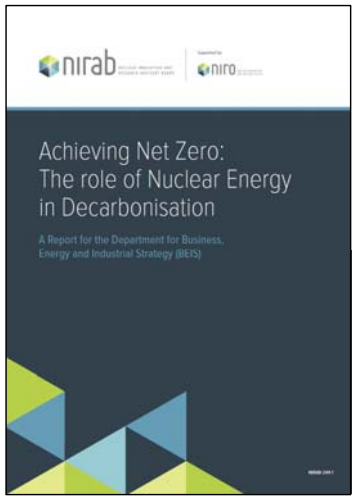
エネルギー白書発表
"The Energy White Paper: Powering our Net Zero Future"　（政府 2020.12）(11)

(1) Department of Energy & Climate Change, "SMR Techno-Economic Assessment, Project3: SMRs Emerging Technology", 15 March 2016.
(2) www.jaea.go.jp/02/press2017/p17051901/
(3) Nuclear Energy Insider, "UK funding spurs advanced reactor R&D but application outlook needed, 18 July 2018.
(4) www.gov.uk/government/publications/advanced-modular-reactor-amr-feasibility-and-development-project
(5) Memorandum of Cooperation Between the Ministry of Economy, Trade and Industry of Japan and the Department for Business, Energy and Industrial Strategy of the UK on Clean Energy Innovation, www.meti.go.jp/press/2018/11/20181113003/20181113003-1.pdf
(6) www.nirab.org.uk/application/files/6315/9160/6859/NIRAB_Achieving_Net_Zero_-_The_Role_of_Nuclear_Energy_in_Decarbonisation_-_Screen_View.pdf
(7) www.gov.uk/government/publications/advanced-modular-reactor-amr-feasibility-and-development-project/advanced-modular-reactor-feasibility-and-development-successful-projects
(8) www.jaea.go.jp/02/press2020/p20101602/
(9) www.gov.uk/government/publications/the-ten-point-plan-for-a-green-industrial-revolution
(10) www.jaea.go.jp/02/press2020/p20112703/
(11) www.gov.uk/government/publications/energy-white-paper-powering-our-net-zero-future

英国NIRAB報告（2020.6 政府に対する政策提言）

NIRAB　原子力イノベーション研究諮問委員会（Nuclear Innovation and Research Advisory Board）
※BEISが政策決定を目的として設置。これまでNIRAB報告をもとにした政策決定が為されてきている

タイトル　**Achieving Net Zero : The role of Nuclear Energy in Decarbonisation**
（炭酸ガス排出量ゼロ達成に向けて：脱炭素化に向けた原子力エネルギーの役割）



目次

1．はじめに
2．英国におけるエネルギー事情
3．エネルギーシステムの脱炭素化における原子力の役割
4．優先すべき研究開発

報告書概要

- **原子力は価格競争力のある電源としてのみならず熱供給や水素製造で非電力分野の炭酸ガス削減に貢献できる**
- **大規模な原子力エネルギーなくして、将来の炭酸ガス排出量ネットゼロ社会を計画することは極めてリスクが高い**

提言１　**政府は、2030年までに産業界の協力の下、SMR初号機の運転を開始しなければならない**

提言２　**政府は、炭酸ガス削減に向けて、より幅広い用途に原子力を使わなければならない**
- 高温ガス炉が導入時期に合致する技術として最も高いスコアを与え、開発されるべき技術である

提言３　**政府は、2030年～2035年において、次世代炉（AMR）のデモンストレーターを設置しなければならない**
高温ガス炉をベースラインとする炉型選定（ダウンセレクション）を出来るだけ早く完了すべきである

提言４　**公的資金による革新的原子力システム開発は、2050年の炭酸ガス削減に向けて重要な貢献が為される**
費用対効果の高いAMRに重点化させるべきである

提言５　**核分裂への投資は、商用化を加速度的に成功させるため、国際的なR&Dプログラムを通して専門知識とインフラを最大限に活用すべきである**

提言６　**政府は、英国の核分裂及び核融合プログラムに対する投資と提供の統合を促進し、投入資金に見合う最大の価値を得ること、並びに、炭酸ガス排出量ゼロへの貢献増大を保証すべきである**

英国NIRAB報告（電力分野以外の炭酸ガス排出量削減の必要性）

- 官民の努力により、電気価格は下げられてきているが、幅広いエネルギー需要のためには原子力を使わなければならない
  - 電力からの炭酸ガス排出量は、炭酸ガス排出量全体の20%以下に抑制（2018年）
  - 運輸部門における炭酸ガス排出量は全体の30%以上（2018年）。ネットゼロに向け、ガソリン車、ディーゼル車をなくす必要がある
  - 電力以外の運輸、地域暖房、工業で使用される高温熱、船舶、航空、農業に対し、これまで以上の持続的な努力が必要
  - 炭酸ガス排出ゼロ社会では、水素は重要。例えば、航空、船舶、ディーゼルエンジン等の合成燃料製造に使える

- 熱化学水素製造に対して、原子力は重要な役割を果たす

水素製造法

- 現在の技術（石炭ガス化、水蒸気改質等＋CCS）では、工業レベルでのCCS実現が難しい
- 電解法はオプションになり得るが、非効率的である
- 水の熱化学分解は、さらなる開発要素があるものの、クリーンで、相当量の供給が見込める有力な方法

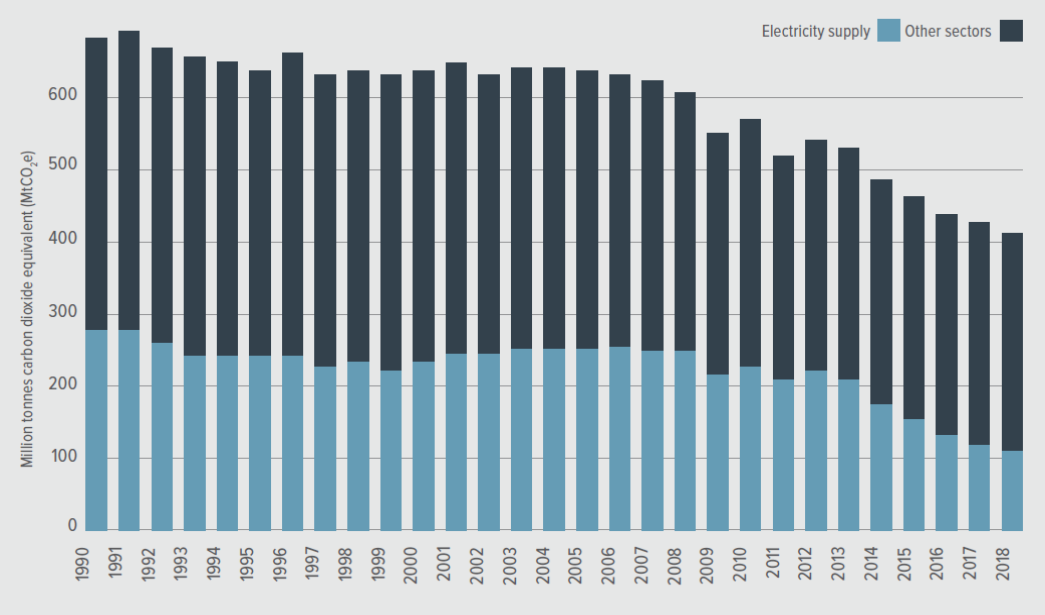


Figure 2 CO_2 emissions from electricity generation compared to other CO_2 emissions, 1990 – 2018 ($MtCO_2$) [18]

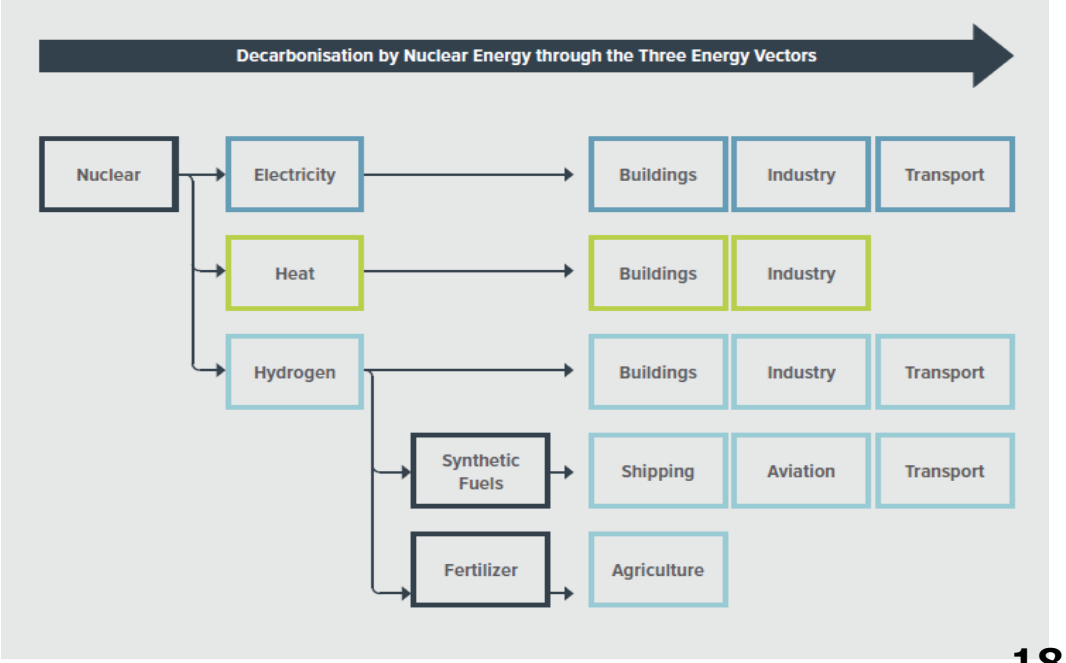


Figure 5 The role of nuclear in the deep decarbonisation of electricity, heat and hydrogen

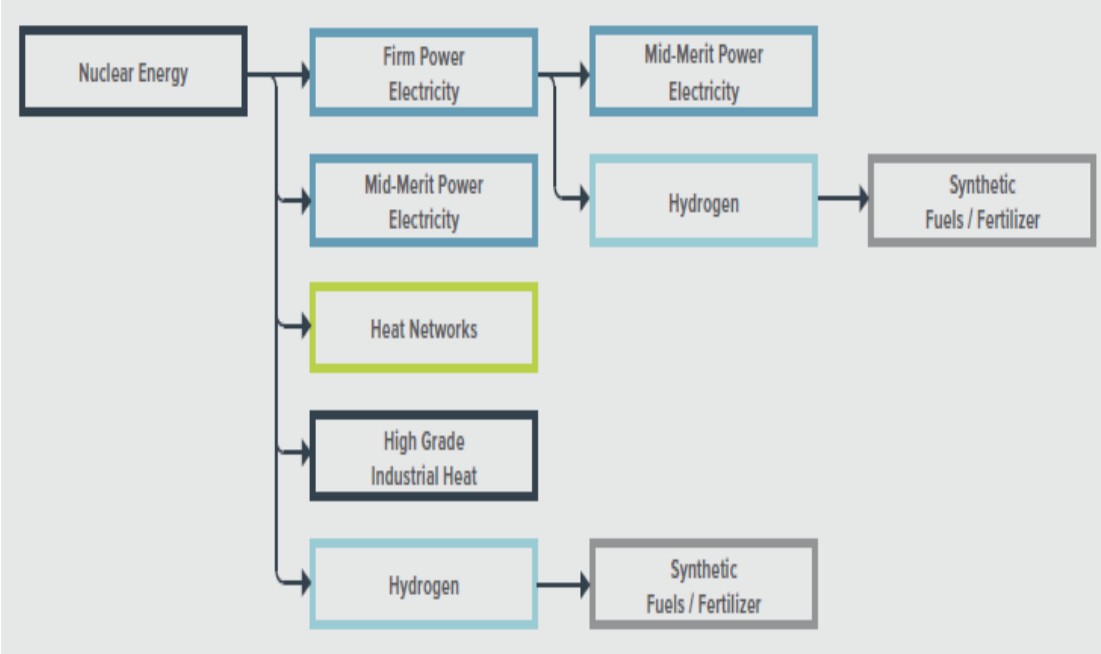
英国NIRAB報告（提言１、提言２、提言３）

提言１　政府は、2030年までに産業界の協力の下、SMR*初号機の運転を開始しなければならない

- 政府は、先進的デジタル設計、先進的製造技術や英国サプライチェーン採用、先進的製造技術の規格策定を支援すべきである

提言２　政府は、炭酸ガス削減に向けて、より幅広い用途に原子力を使わなければならない

- **AMR*が、低価格で競合し得る熱、水素、合成燃料の市場を作り出せることの技術的成立性、商業的成立性を示すべき**
- **効率的に高温熱を取り出すことのできる原子炉システムを支援すべき**
- AMR*開発は、2050年炭酸ガス排出量ゼロ達成に貢献可能なシステムに焦点をあてるべき
- 炉型選定（ダウンセレクション）は、原子炉システム運転に基づく技術成立性が明らかなこと、機器や材料、燃料供給に係るインフラが国内外で整備されていること、英国の保有技術や経験との相乗効果が見込まれること等を考慮すべき
- 政府は、クリーン水素生産法として、原子力が信頼性と価格競争力がある解決法であることを十分に理解し、促進すべき
- **NIRABは、上記の要求事項及び達成させるべき時間軸から、高温ガス炉が開発対象としてもっともふさわしいと考える**



原子力エネルギーから価格競争力のある熱、水素、合成燃料を製造するための道筋

提言３　政府は、2030年～2035年において、AMR*のデモンストレーターを設置しなければならない
高温ガス炉をベースラインとする炉型選定（ダウンセレクション）を可及的速やかに完了すべきである

- エネルギーシステムへの要求事項に対して早急に候補技術の詳細な技術的・経済的評価を実施すべき
- BEISが進める革新的原子炉プログラム（NIP）は商用展開のベースとなる技術的・経済的に成立するケースを支援すべき
- 長期的な時間軸で開発する技術は、公的資金による支援の割合は小さく抑えるべき

* SMR：小型モジュラー炉（Small Modular Reactor）。英国では小型軽水炉のこと　AMR：革新的モジュラー炉（Advanced Modular Reactor）。英国では、高温ガス炉等の次世代小型炉のこと

英国NIRAB報告（提言４、提言５、提言６）

提言4　公的資金による革新的原子力システム開発は、2050年の炭酸ガス削減に向けて重要な貢献が為される費用対効果の高い次世代炉に重点化させるべきである

- 民間原子力分野における機器供給機会創出やコア技術維持のため、英国保有の知的財産の最適化を図らなければならない
- プログラム的なアプローチについては、先進的な燃料や原子力水素製造技術を対象とする
- NIPに推奨される公的資金の投資額は、英国SMRへ投資を除き、**研究開発に£400M（540億円）（2021年4月から5年間）、次世代炉実証に£600M （810億円）**である　（1£=135円で換算）
- 投資家の興味や信頼を獲得して民間資金の投資を呼び込むため、2030年～2035年にAMR実証を実現するには、**2021年4月から大規模な公的資金投資が必要**である
- 英国で実証に関連した原子炉システム、燃料、廃棄施設、発電設備の開発、建設には10年が必要

提言5　核分裂への投資は、商用化を加速度的に成功させるため、国際的なR&Dプログラムを通して専門知識とインフラを最大限に活用すべきである

- 炭酸ガス排出量ゼロの時間軸に対応する**AMR実用化のための現実的手段は、GIFやユーラトム核分裂研究プログラム、2国間協力を活用した国際協力のみ**である
  - 英国は、相乗効果が見込まれる2国間協力に関与し、継続すべきである
  - たとえば、米国DOEと英国BEISの核分裂研究開発アクションプラン、加国天然資源省との同様の取決めを活用すべき
  - **AMR実用化を加速し得るもうひとつの協力は、JAEAである。JAEAは、1999年から**（注：初臨界は1998年）**HTTRを運転しており、高温熱を利用した水素製造に関する研究を実施している。日本が所有するHTTRデータと経験は、リスクを軽減し、時間軸を短縮し、英国での高温ガス炉実証及び商業展開のコストを削減する可能性がある**

提言6　政府は、英国の核分裂及び核融合プログラムに対する投資と提供の統合を促進し、投入資金に見合う最大の価値を得ること、並びに、炭酸ガス排出量ゼロへの貢献増大を保証すべきである

- NIRABは、脱炭素化のためのエネルギーシステムへの原子力導入に関して、これらの提言の履行が最適な解であると考える
- NIRABは、これらの提言が、政府に対して、将来の優先順位の決定や様々な側面の議論に必要な指針となることを希望する

英国政府発表 「グリーン産業革命のための10要点計画」

（The Ten Point Plan for a Green Industrial Revolution, 2020.11.18）

要点１： 洋上風力の推進
（2030までに40GW）

要点２： **水素による低炭素化の推進**
（2030までに5GW。2023水素地区、2025水素村→水素町。£240M）

要点３： **次世代原子力の実現**

要点４： ゼロエミ自動車へのシフトを加速

要点５： 公共交通機関（2030までにガソリン車、ディーゼル車の廃止）

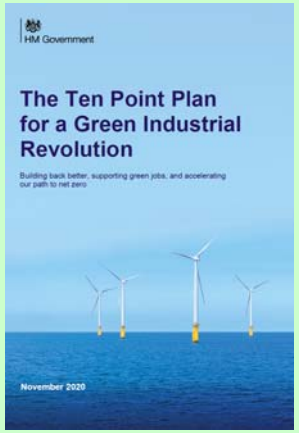
要点６： 航空・輸送（ゼロエミ化）

要点７： 公共施設

要点８： CCSへの投資

要点９： 自然環境の保護

要点10： イノベーションと金融



概要： 800℃以上の熱による**水素製造**と**合成燃料生産**。水素及び洋上風力の補完。
（注：高温ガス炉と明確には記載されていないが、高温ガス炉と推察）

予算： **£385M（先進原子力基金の創設）**
（539億円、内SMRに£215M、AMR研究開発費に£170M）
£40M（56億円、規制枠組み、サプライチェーン）
（1£=140円で換算）

2020年12月14日発表のエネルギー白書でも同様の記載

政策による影響：
再エネ等とともに、電力における脱炭素化（発電）
英国全土における雇用創出
AMRによる工業、輸送等における脱炭素化（熱利用）

スケジュール：

2020	エネルギー白書刊行
2021	英国SMR設計開発フェーズ2の開始
2020年代半ば	ヒンクレーポイントCのグリッド接続
2030年代初頭	SMR初号機導入、AMR実証炉設置

※大型軽水炉に関しては、ヒンクレーポイントCの建設において約10,000人の雇用をピークに創出、等の記述がある。

www.gov.uk/government/publications/the-ten-point-plan-for-a-green-industrial-revolution

英国エネルギー白書の概要

タイトル　**The Energy White Paper : Powering our Net Zero Future**
（エネルギー白書：ネットゼロ未来の原動力）

目次

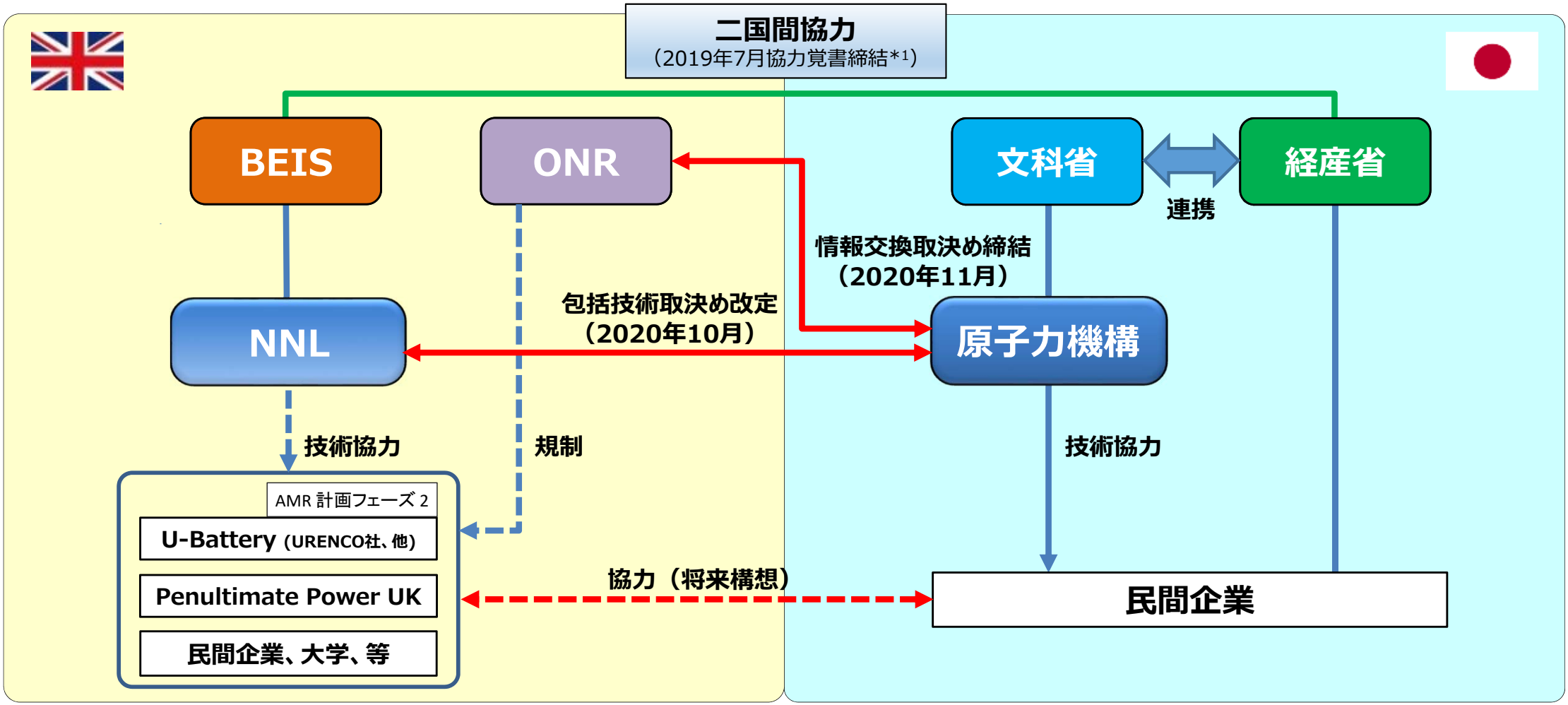
1．消費者
2．電力
3．エネルギーシステム
4．建物
5．産業エネルギー
6．石油とガス

エネルギー白書の概要

- 英国政府（BEIS）は2020年12月14日、同年11月18日に発表した「グリーン産業革命のための10要点計画」に基づく**エネルギー白書：ネットゼロ未来の原動力**を発表 (1) 。
- 本白書は、2050年までに温室効果ガス純排出ゼロの目標実現に至るためのエネルギーシステムに関する長期戦略ビジョン。
- 今後10年で産業、運輸及び建物の分野で二酸化炭素換算で2億3,000万トンの排出量を削減するための方針や施策を記載。グリーンに関連する雇用を支援することで、最大22万人の雇用を創出。
- SMR及びAMRに関しては、第2章「電力」において、10要点計画と同様の以下が記載：
  - **最大￡385M**（539億円）**の先進原子力基金の創設、2030年代初頭のSMR･AMR導入**
    （国内SMR設計に最大￡215M、AMR研究開発費に最大￡170M）
  - **￡40M**（56億円）**の規制枠組み及びサプライチェーンへの投資**

(1) https://www.gov.uk/government/publications/energy-white-paper-powering-our-net-zero-future

高温ガス炉に係る英国との協力に向けた体制



- NNLはBEIS及び民間企業からの委託で、高温ガス炉に関する研究技術開発等を実施する。
- 原子力機構と国研（NNL）との協力を通じて、高温ガス炉の実用化に向け日英間の連携を強化し、HTTR（高温工学試験研究炉）で培った我が国の高温ガス炉技術の高度化及び国際標準化を進める。
- NNLと具体的な共同研究プロジェクト推進に向けたアクションプランの協議を進める。
- 規制局（ONR）との間で、原子力機構が有する安全の知見をもとに、英国における高温ガス炉の規制整備に向けた情報交換を行い、我が国が提案する安全基準の国際標準化につなげる。

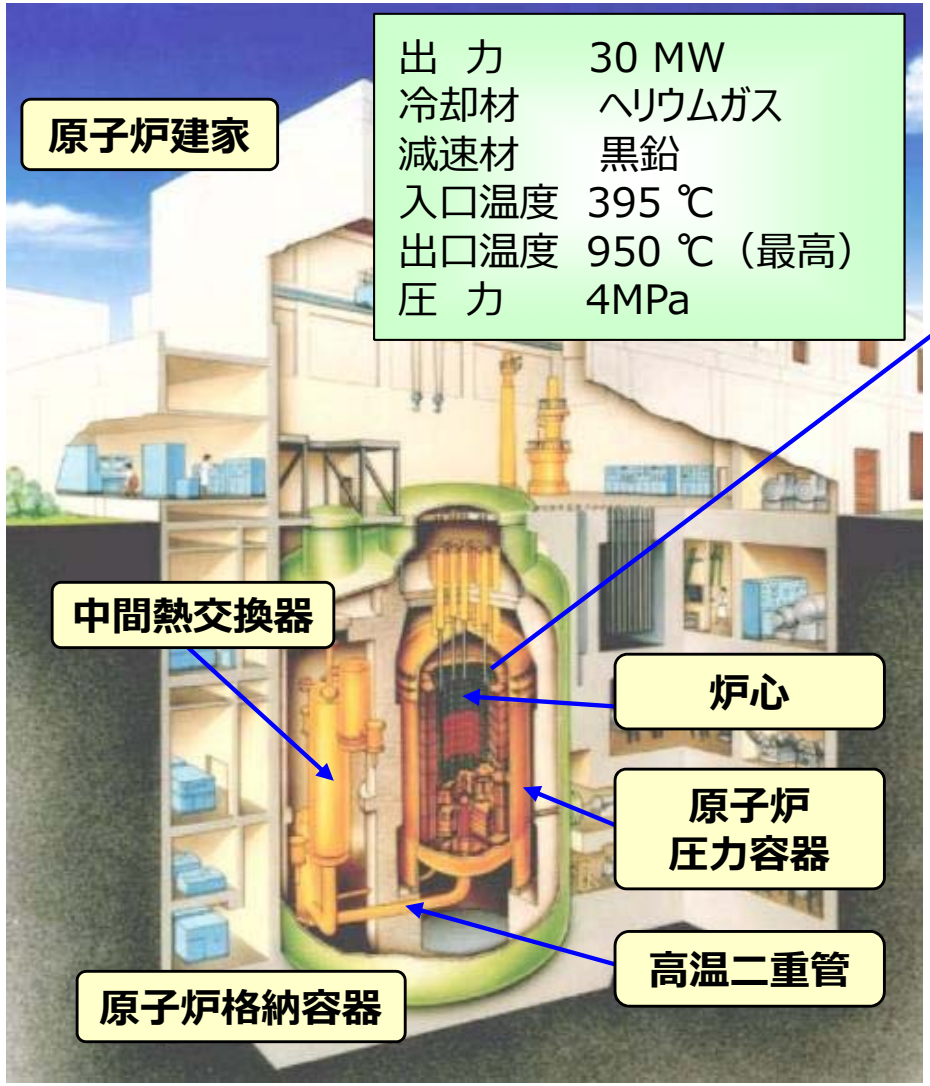
*1）Memorandum of Cooperation Between the Ministry of Economy, Trade and Industry of Japan and the Department for Business, Energy and Industrial Strategy of the UK on Clean Energy Innovation

目　次

１．高温ガス炉の実用化にむけて
２．国際協力（英国・ポーランドを中心に）
３．HTTR運転再開（許可取得から運転再開、試験計画）
４．まとめ

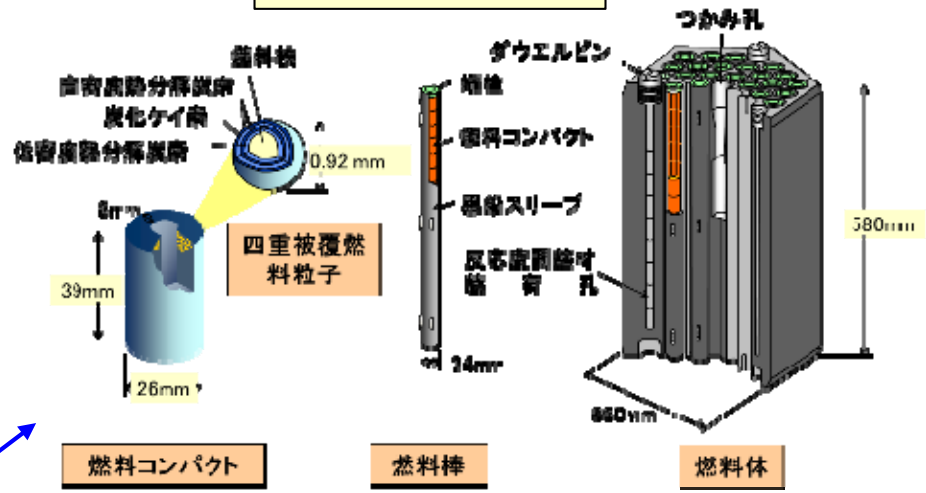
HTTRの概要

平成10年11月　初臨界
平成13年12月　出力30MW、原子炉温度850℃
平成16年4月　原子炉温度950℃
平成22年3月　950℃、50日連続運転
平成22年12月　出力9MW、炉心流量喪失試験



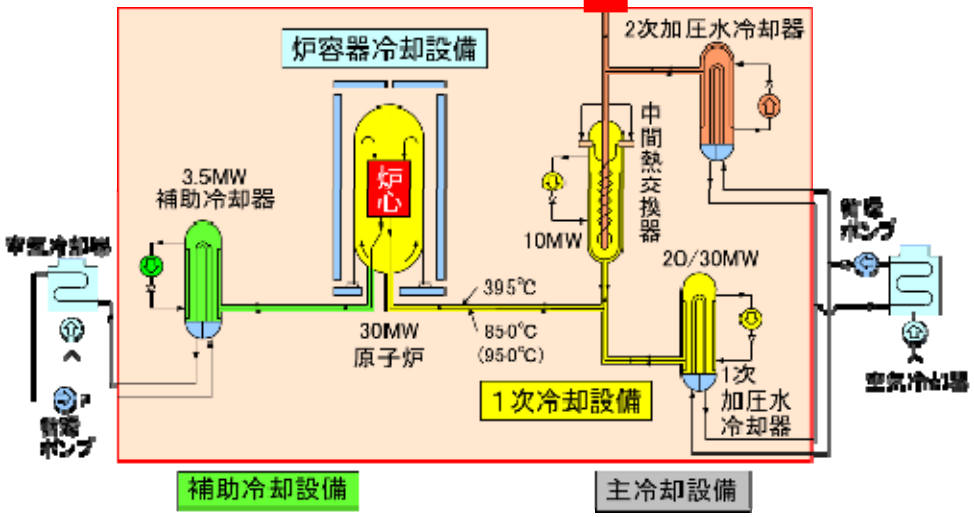
出　力	30 MW
冷却材	ヘリウムガス
減速材	黒鉛
入口温度	395 ℃
出口温度	950 ℃（最高）
圧　力	4MPa

HTTRの燃料



HTTRの冷却系統

改造により905℃（最高）、10MW（最大）の高温熱を供給可能



新規制基準対応状況

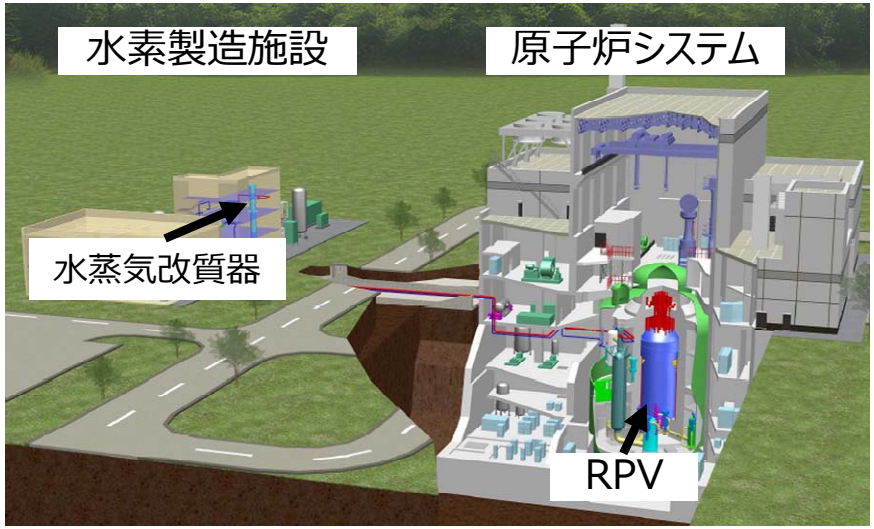
項目	従来の対策	新規制基準想定内容等	ハード対応（設工認）等	進捗
地震	・耐震重要度分類は実用炉を参考に分類 ・最大の地震動：350gal	・耐震重要度分類を試験研究用等原子炉施設に係る耐震重要度分類の考え方を参考に**重要度を再分類** ・**設計基準地震動：973gal**	耐震評価の結果、 **補強工事不要**	設工認審査中
津波	・最大波浪：TP+6m	・**基準津波相当の津波：TP+17.8m**	TP+36の高台設置のため、ハード対応不要	工事不要のため完了
外部衝撃（自然現象等）	・新基準により項目追加（火山、竜巻、外部火災）	・**火山灰の設計層厚等：50cm**（密度1.5g/cm^3） ・**設計竜巻風速：100m/s** ・外部火災：**防火帯設置（幅9.5m）** （防火帯外縁より外側に20mの樹木管理範囲有）	・火山及び竜巻事象について、評価の結果、**対策工事不要。**対策として可搬型発電機を設置（監視の継続用） ・防火帯を新規設置	**設工認認可取得済、 対策工事完了**
内部火災	・新基準により要求強化（方策の組み合わせ防護から、一部、1方策による防護へ）	・原子炉建家内の可燃物量を制限 ・ケーブル（スクラム系等）を必要時間火災から防護 ・原子炉格納容器内における早期火災検知（熱＋煙）	・可燃物量を全て評価 ・ケーブルトレイに遮熱材等を敷設 ・火災報知器を追設	**設工認認可取得済、** 対策工事中
多量の放射性物質を放出する事故の拡大防止（BDBA）	・新基準による追加要求	（BDBAの想定）→**どの想定も炉心溶融は発生しない** ・DBA＋原子炉停止機能の全喪失 ・DBA＋炉心冷却機能の全喪失 ・DBA＋閉じ込め機能の全喪失 ・使用済燃料プール等の冷却機能喪失	・可搬型発電機6基設置（SBO時の後備炉停止用や監視の継続用等）*1 ・消防車の活用（プールへの注水用）*1	設工認審査中

HTTRの極めて高い固有の安全性（BDBAにおいても炉心溶融が発生しない）が認められたことにより、耐震重要度や安全機能の重要度の再分類を実施したことにより、結果として、大規模な追加工事は必要なく運転再開ができる見込み

HTTRの将来試験計画

HTTR安全性実証試験及び熱利用試験により技術を確証

- 高温ガス炉の安全性を実証
  - ✓ HTTRを用いて炉心の冷却機能喪失や熱利用系異常を模擬した試験を行い、高温ガス炉固有の安全性を確証する。
- 高温ガス炉と水素製造施設の接続に係る安全基準を確立
  - ✓ 化学プラントを一般の工業規格で製作し、原子炉への接続を可能とすることにより、原子力熱利用の利便性、用途拡大を図る。



HTTR熱利用試験

試験スケジュール（案）

	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029
HTTR	▼ 運転再開 LOFC試験、熱負荷変動試験	各種試験、熱負荷変動試験	各種試験						
HTTR熱利用試験	基準整備	基準策定	許認可						
	HTTR改造設計					改造工事	試運転	熱利用試験	
	水素製造施設設計				製作	据付			

高温ガス炉水素製造技術を確証（実証炉につながる技術開発完了）

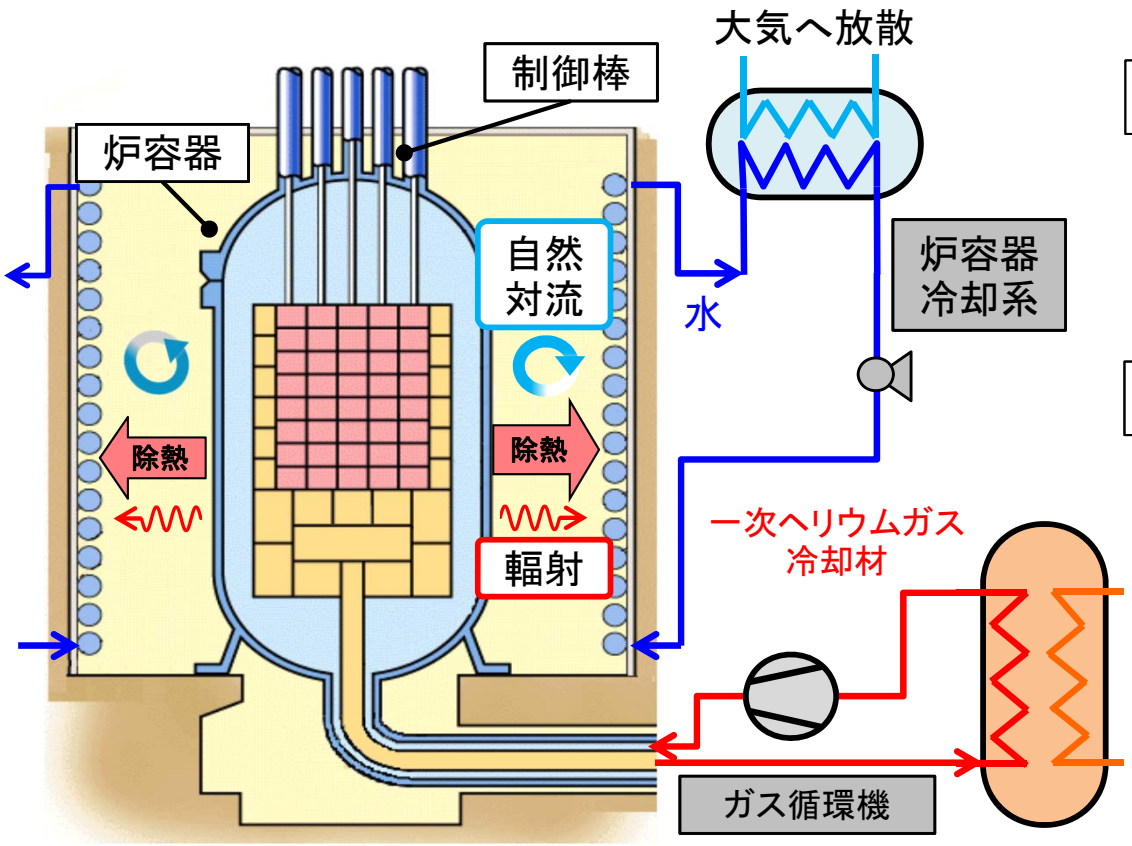
運転再開後の予定

OECD/NEA　LOFCで実施する安全性実証試験の内容

☑ 低出力（30%(9MW)）**炉心流量喪失試験（Run1）**
（ガス循環機停止）・・・**完了**（平成22年度）

☐ 高出力（定格：30MW）　**炉心流量喪失試験（Run2）**
（ガス循環機停止）・・・・・　令和3年度実施予定

☐ 低出力（30%(9MW)）**炉心冷却喪失試験（Run3）**
（ガス循環機+炉容器冷却系停止）　令和3年度実施予定



炉心流量喪失試験（Run1）

- 初期出力30%（9MW）
- 炉心冷却流量の停止
- 炉容器冷却系の運転継続
- 停止操作（制御棒挿入）なし

制御棒挿入なし冷却なしでも、物理現象のみで、原子炉が自然に静定・冷却されることを確証

炉心流量喪失試験（Run2）

Run1で確証した高温ガス炉の固有安全性を定格出力（30MW）で実施

炉心冷却喪失試験（Run3）

炉心の強制冷却に加え、残留熱除去のための炉容器冷却系も停止し、すべての冷却機能が喪失した場合の安全性をRun1と同じ出力（9MW）で実施

運転再開後、速やかに安全性実証試験を再開し、その後、熱利用試験等を計画する

まとめ

2050年カーボンニュートラルに向けた高温ガス炉の熱利用を目指して、

- ✓ **ポーランド、英国との協力をもとに、国外実証炉において我が国の高温ガス炉技術力を維持させていく。そのための協議を継続する**
- ✓ **HTTRが、新規制基準に基づく設置変更許可を昨年6月に取得。本年7月の運転再開を目指す。運転再開後は、速やかに、安全性実証試験を計画**
- ✓ **HTTRに、水蒸気改質法による水素製造施設やヘリウムガスタービンと水素製造施設から成るコジェネシステムを接続することで、熱利用システムの技術確証を行うことができる。これに向けた検討を継続する**
  - **HTTRへの水素製造施設の接続に係る安全審査を通じて、水素製造施設の接続に係る高温ガス炉の安全基準の策定を目指す**
  - **HTTRへの水素製造施設の接続に係る安全基準において、水素製造施設を一般産業法規の下で建設を可能とすることにより、高温ガス炉の熱を用いた水素製造に対する産業界の参入促進につなげたい**