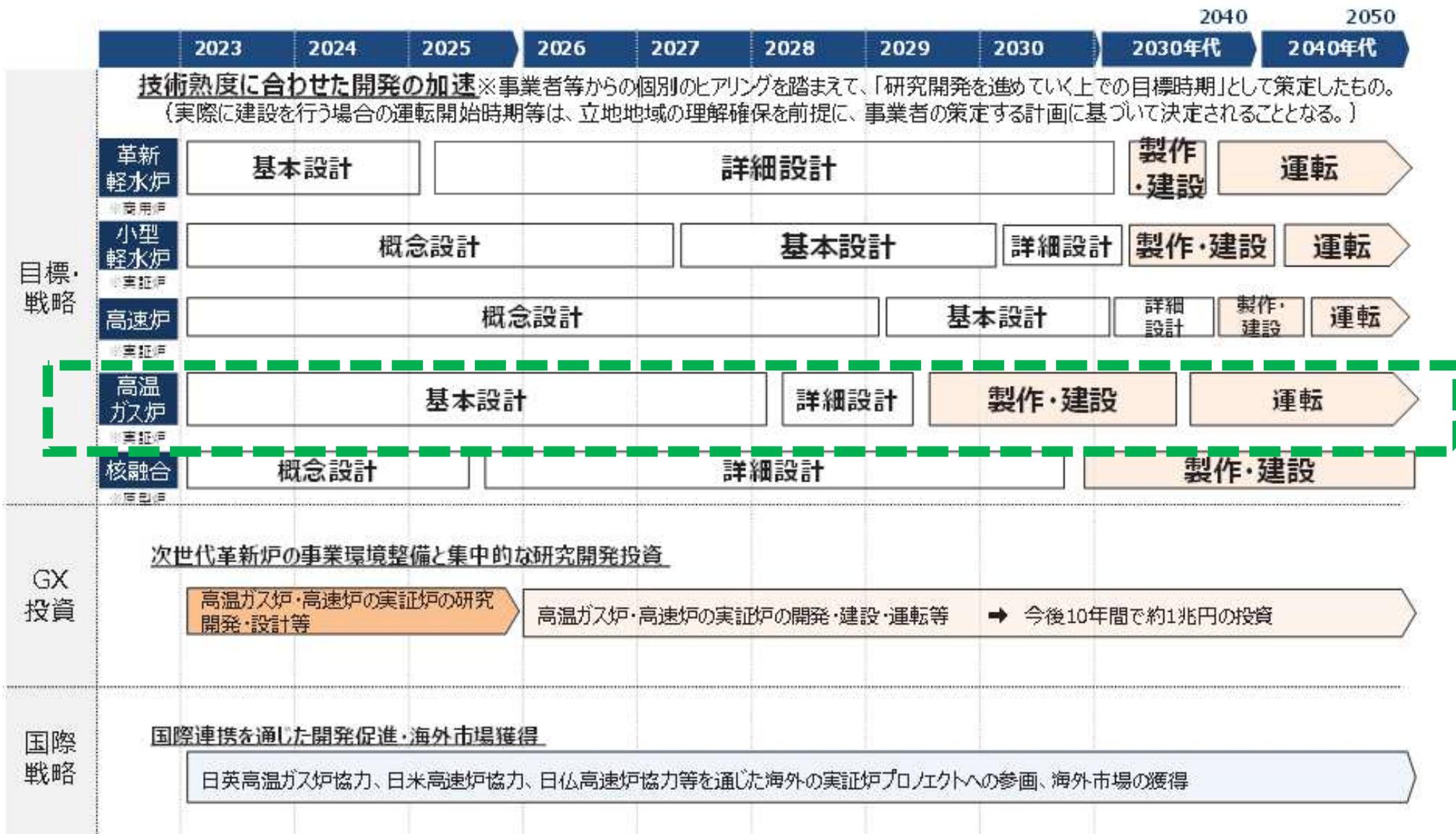


(3) 国内外の高温ガス炉開発の最前線

2024.3.27

日本原子力研究開発機構
高温ガス炉プロジェクト推進室長
坂場成昭

安全性の確保を大前提として、新たな安全メカニズムを組み込んだ次世代革新炉の開発・建設に取り組む



高温ガス炉実証炉開発事業 予算措置済 閣議決定 (2023.12.22) 令和5年度 48億円 (令和5~7年度 431億円) 令和6年度 256億円 (令和6~8年度 1279億円)

社会

立地の選定、実施体制の確立

- 社会的受容性獲得・事業モデル構築
：ステークホルダーとの対話、
英国実証炉プロジェクト活用

技術

原子炉技術の確立

- 炉心：大型環状炉心確立
- 設備：大型化・高度化
- 燃料：再処理技術確立
- 規格基準：安全基準/構造規格策定

熱利用技術の確立

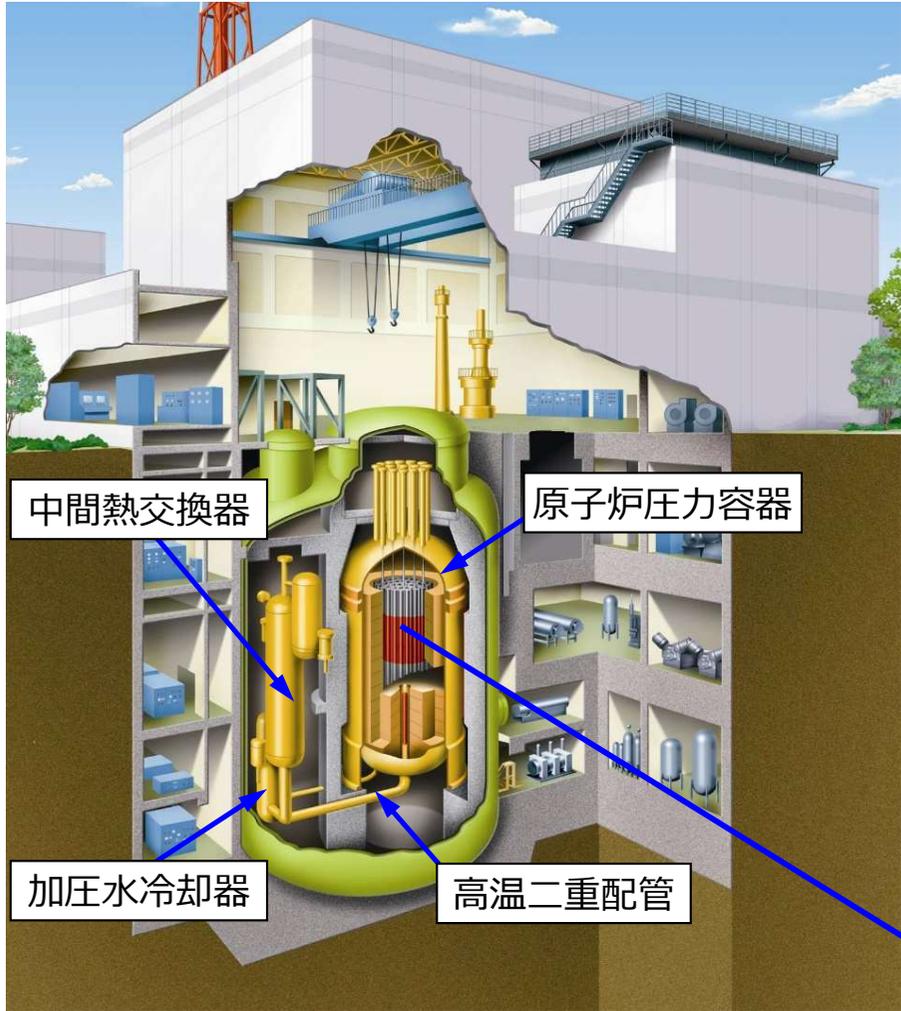
- 接続：水素製造施設の適用法規決定、
接続設備機器の確立
- 水素製造：カーボンフリー水素製造
技術確立

政策

国内
実証炉
開発

HTTR
-熱利用
試験

HTTR (高温工学試験研究炉)



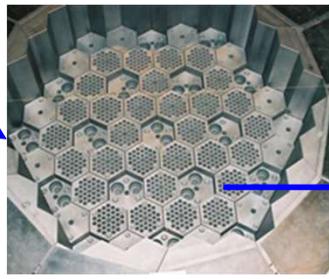
原子力機構大洗研究所 (茨城県大洗町)

我が国初の高温ガス炉

- 原子炉熱出力 3万kWt
- 冷却材 ヘリウムガス
- 原子炉入口/出口冷却材温度 .. 395/850、950℃
- 1次冷却材圧力 4MPa
- 炉心構造材 黒鉛

- 1998年11月 : 初臨界
- 2010年3月 : 950℃での連続50日運転
- 2010年12月 : 安全性実証試験*
(30%炉心流量喪失試験)
- 2021年7月 : 新規制基準対応を経て運転再開
- 2022年1月 : 安全性実証試験* (炉心冷却喪失試験)
- 2024年3月予定 : 安全性実証試験***
(100%炉心流量喪失試験)

*OECD/NEA国際協カプロジェクト



炉心の中心部



炉心の黒鉛ブロック

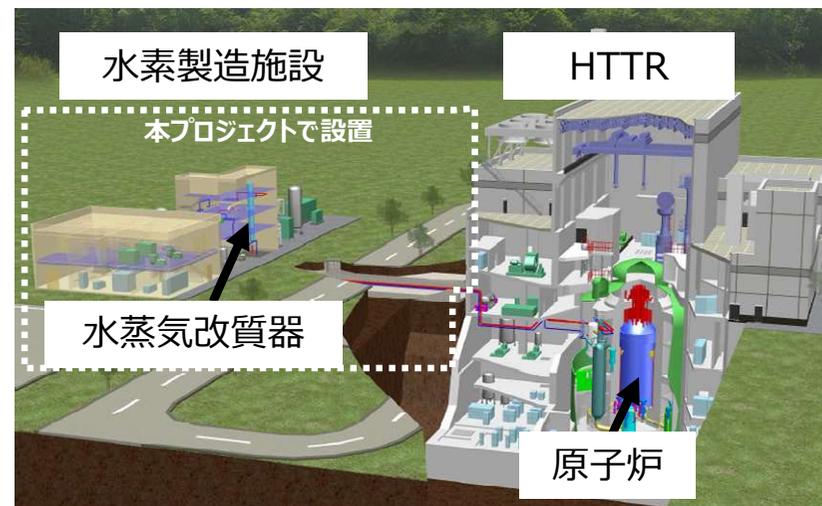
【内容】

- 高温熱源として、世界最高温度（950℃）を記録したHTTRを活用
- 高温ガス炉と水素製造施設の接続に係る安全設計、安全評価技術を確立
- 必要な機器、システム設計技術を確立



【期待される成果】

高温ガス炉と水素製造施設を高い安全性で接続する技術の確立

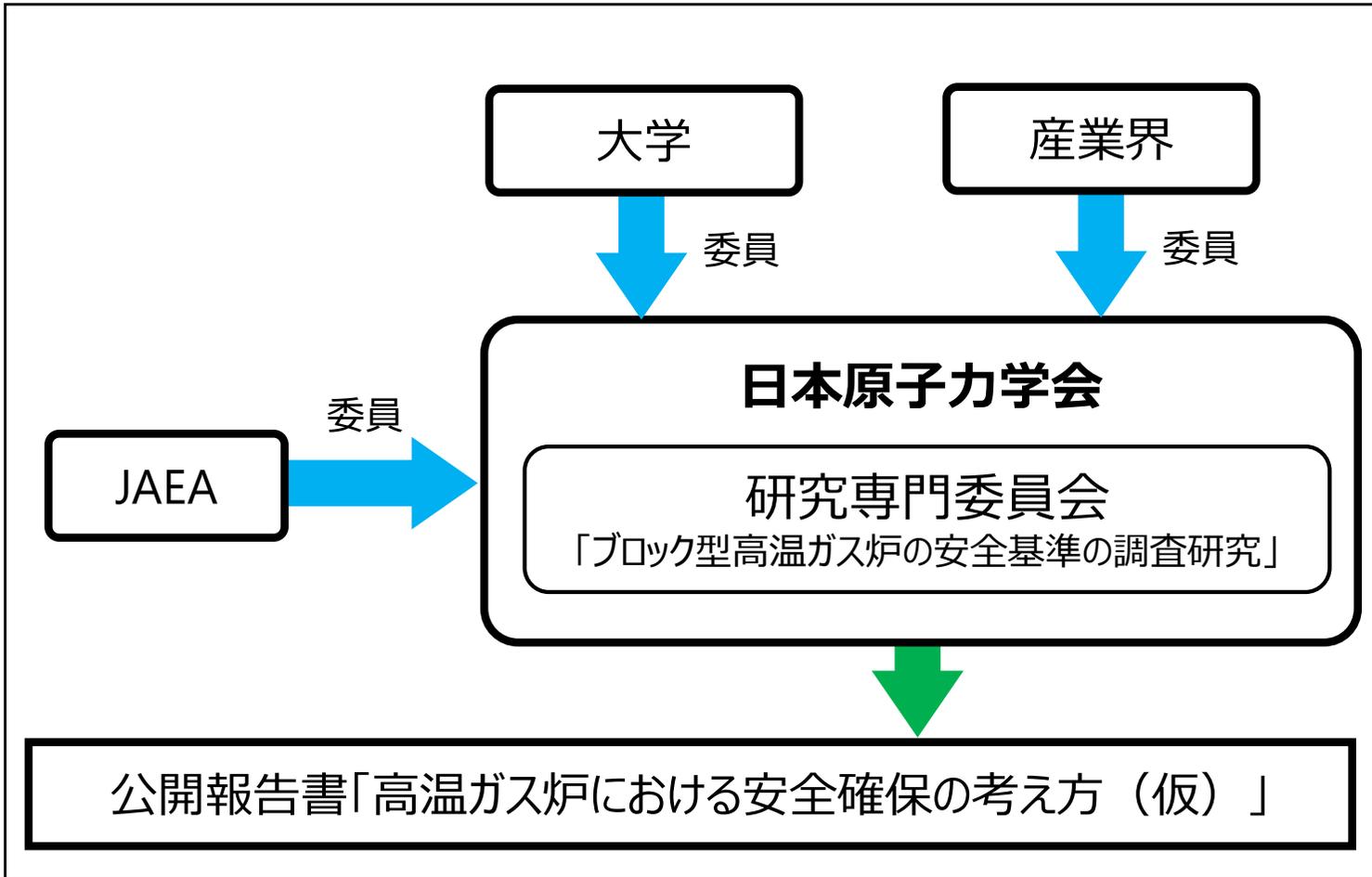


試験イメージ

- ✓ 先ずは、商用技術が確立されている天然ガス水蒸気改質法による水素製造施設をHTTRに接続し、接続技術を確立
- ✓ 将来はカーボンフリー水素製造法による水素製造施設をHTTRに接続

試験スケジュール（案）

	R4 2022	R5 2023	R6 2024	R7 2025	R8 2026	R9 2027	R10 2028	R11 2029	R12 2030
HTTR- 熱利用 試験	安全設計・安全評価		申請 ▼	許認可					
	HTTR改造設計/水素製造 (天然ガス水蒸気改質法) 施設設計				HTTR改造工事/水素製造施設の 製作・据付			水素製造試験	



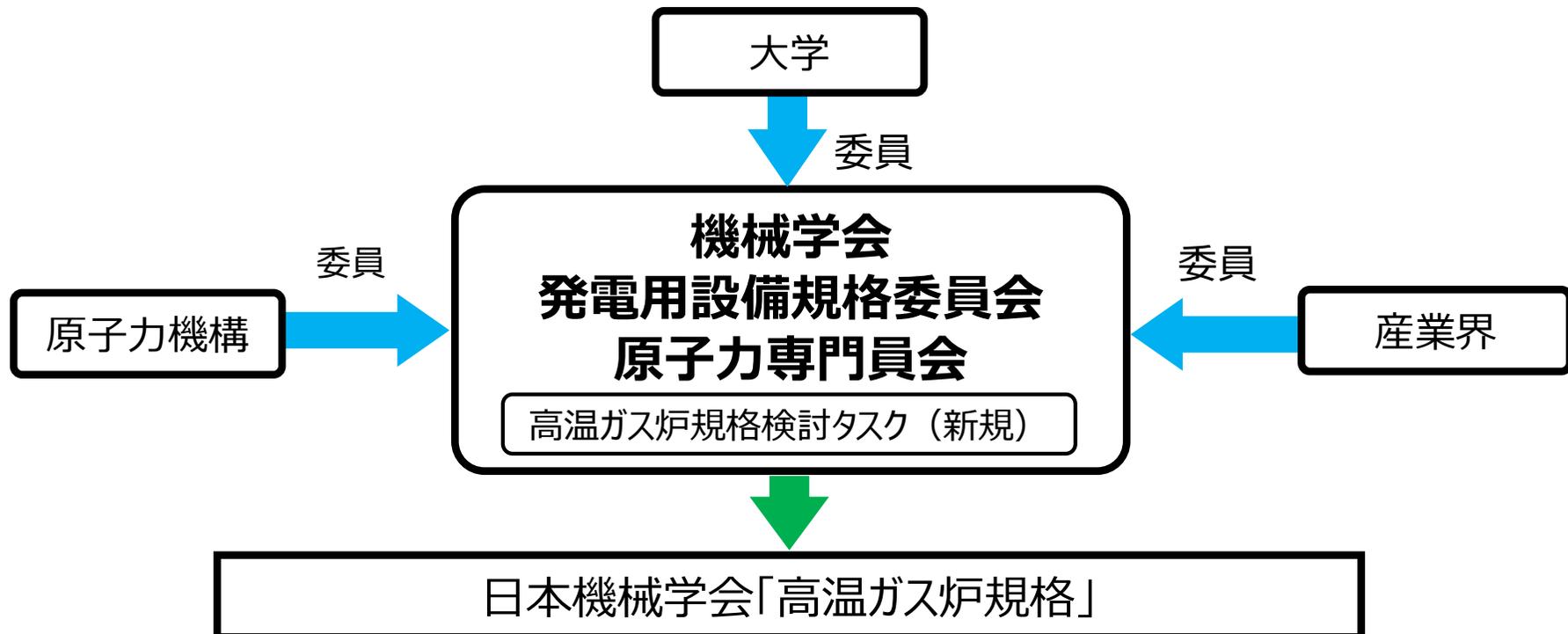
高温ガス炉
実証炉
許認可

高温ガス炉の安全確保の考え方

- 深層防護の実装
- 事象選定
- 安全評価方針
- 水素製造施設との接続

機械学会「高温ガス炉規格検討タスク」

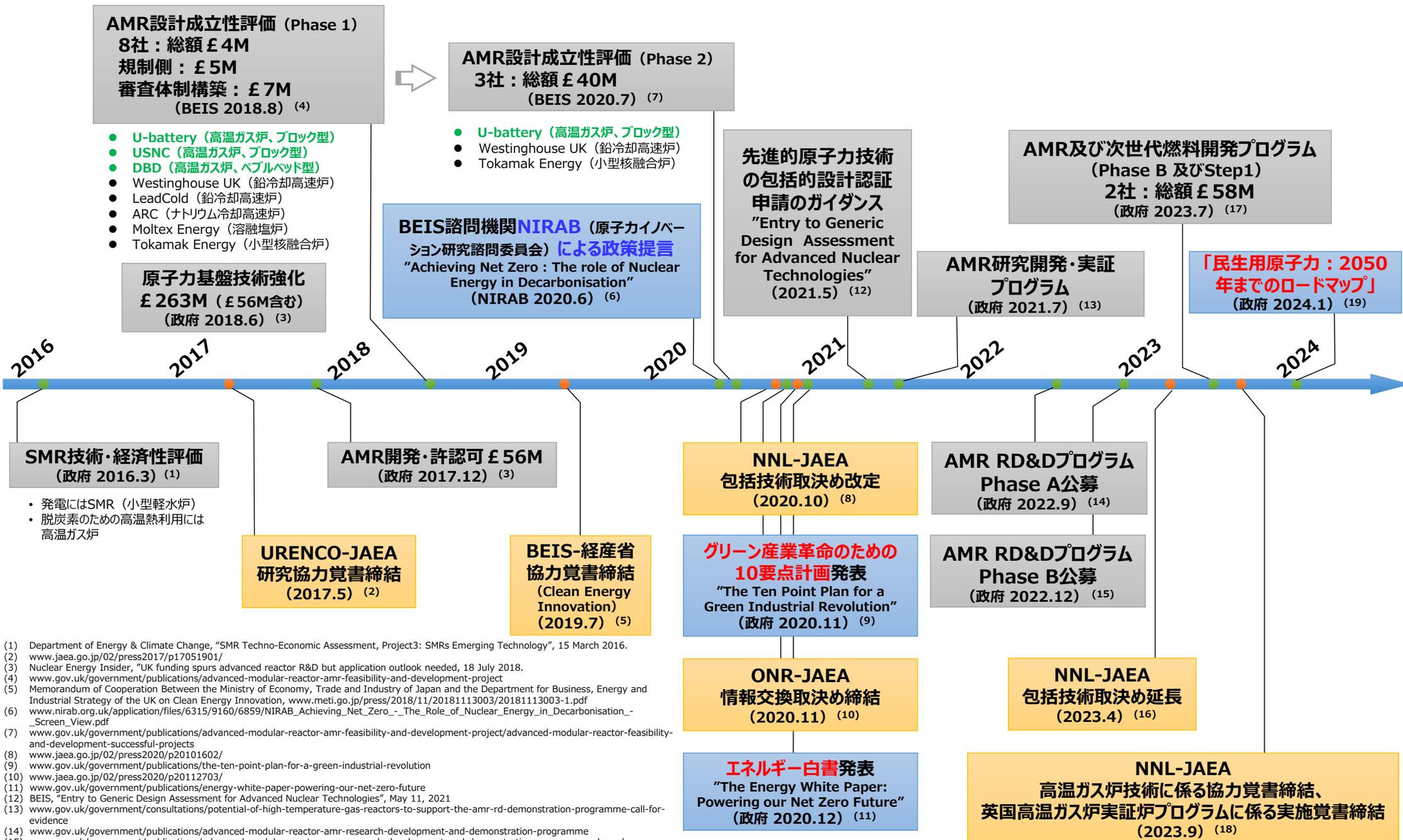
- 機械学会 発電用設備規格委員会 原子力専門委員会に時限的な組織である「**高温ガス炉規格検討タスク**」を設置
- 以下方針にて高温ガス炉に関する規格案の作成と審議を集中的に行う
 - 高温ガス炉実証炉に向け、HTTRの旧科技庁内規を活用し、不足する内容のみを規格化（ガイドラインまたは事例規格の作成）する
 - 高温ガス炉実用炉に向け、HTTRの旧科技庁内規と実証炉向けガイドライン又は事例規格を一本化する形で規格化する



<p>米国</p> 	<p>エネルギー省（DOE）による開発支援 （新型炉実証プログラム, 2020年～）</p> <ul style="list-style-type: none"> ～2028年に稼動する革新炉原子炉（750℃、電気出力80MW）の建設を支援
<p>英国</p> 	<p>エネルギー安全保障・ネットゼロ省（DESNZ）による開発支援 （新型モジュール炉研究開発・実証プログラム, 2022年～）</p> <ul style="list-style-type: none"> 英国政府は新型モジュール炉として高温ガス炉を選定、2030年初頭までに実証
<p>ポーランド</p> 	<p>ポーランド政府による高温ガス炉計画</p> <ul style="list-style-type: none"> 高温ガス炉研究炉（750℃、原子炉熱出力30MW）の基本設計を開始（2021年）
<p>中国</p> 	<p>エネルギー技術創新“十三五”計画（能源技術創新“十三五”規画）</p> <ul style="list-style-type: none"> 研究炉（700℃）を用いた研究開発 実証炉（750℃、電気出力210MW）が運転中（2021年12月送電開始、2022年全出力運転）

- 世界各国で高温ガス炉の社会実装に向けた開発が加速
- 高効率水素製造を可能とする900℃を超える熱供給は視野に入っていない

英国におけるAMR・SMR開発・導入動向



(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
 (12) BEIS, "Entry to Generic Design Assessment for Advanced Nuclear Technologies", May 11, 2021
 (13) www.gov.uk/government/consultations/potential-of-high-temperature-gas-reactors-to-support-the-amr-rd-demonstration-programme-call-for-evidence
 (14) www.gov.uk/government/publications/advanced-modular-reactor-amr-research-development-and-demonstration-programme
 (15) www.gov.uk/government/publications/advanced-modular-reactor-amr-research-development-and-demonstration-programme-phase-b-competition
 (16) www.jaea.go.jp/news/newsbox/2023/041301/
 (17) www.gov.uk/government/news/british-nuclear-revival-to-move-towards-energy-independence
 (18) www.jaea.go.jp/02/press2023/p23090701/
 (19) www.gov.uk/government/publications/civil-nuclear-roadmap-to-2050/civil-nuclear-roadmap-to-2050-accessible-webpage

- 英国政府は、非電力分野では革新炉として高温ガス炉を選択し2030年代初期でに高温ガス炉実証炉の運転開始を目指す高温ガス炉実証炉計画を発表
- プログラムは、エネルギー安全保障・ネットゼロ省*（DESNZ）による公募事業。Phase B以降はマッチングファンドを要求

➤ Phase A : 事前概念検討 (2022.9~2023.2)

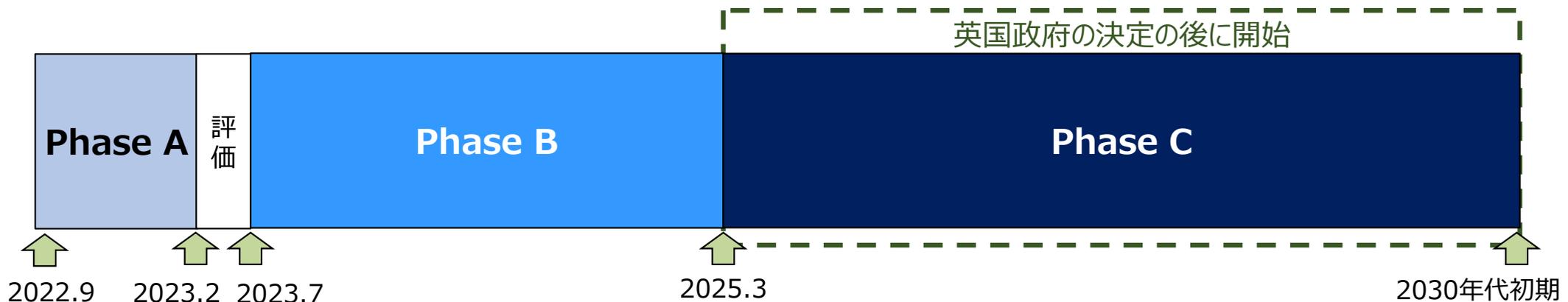
高温ガス炉実証炉概念をまとめるほか、研究開発上の課題や技術課題を特定して、その実行可能性を検討する

➤ Phase B : 基本設計、採算性評価 (2023.7~2025.3)

Phase Aで選定された複数の提案者又は新たな提案者が高温ガス炉実証炉の概念設計を詳細に評価し、投資総額やライフサイクル・コストを見積る

➤ Phase C : 許認可、建設、詳細エンジニアリング及び運転

Phase Bで選定された提案者をひとつに絞り、許認可以降、運転までをターゲットとする



*エネルギー安全保障・ネットゼロ省（Department of Energy Security and Net Zero）
 ビジネス・エネルギー・産業戦略省（BEIS）が担ってきたエネルギー政策を引き継ぎ、今年2月に新たに発足

BEIS, 「Advanced Modular Reactor (AMR) Research, Development and Demonstration Programme: Phase A competition」, September 2022.
www.gov.uk/government/publications/advanced-modular-reactor-amr-research-development-and-demonstration-programme
 上記資料中の図を現状のスケジュールに合わせて修正

Advanced Modular Reactor (AMR) Research, Development and Demonstration Programme
2050年ネットゼロ達成のため、2030年代初頭に高温ガス炉（HTGR）技術の実証を目指す

Phase A LOT1（高温ガス炉実証炉）（それぞれに約£50万（約9,000万円、£1=180円で換算））

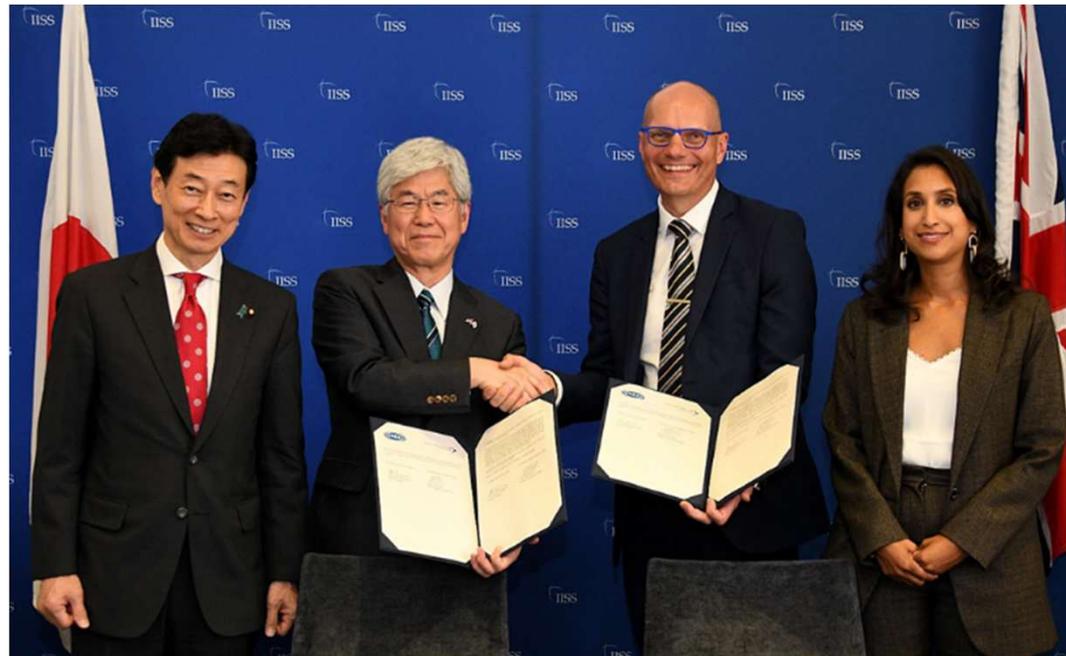
- AMR（高温ガス炉）技術の開発に向けたプレFEED（フロントエンドエンジニアリング設計）を実施する4つのプロジェクトに資金を提供
 - **EDF-Energy**
2030年代の高温ガス炉実証に最も適した原子炉の設計特性を決定するため、サイト提供、エンドユーザーの要件に焦点
 - **NNL (-Jacobs-JAEA)**
日本で実績のある高温ガス炉技術を活用
 - **U-Battery**
モジュール炉U-Batteryの英国での実証に最適なサイズ、タイプ、コスト、配送方法を決定
 - **USNC UK**
USNCのMMR設計をベースに、英国産業の現在・将来のプロセス熱需要に最適な改良型MMR+設計を開発・実証

Phase B（高温ガス炉実証炉）

- 2025年3月までにFEED+（フロントエンドエンジニアリング設計および支援活動）開発を実施する2つのプロジェクトに資金を提供
- 原子力規制局（ONR）及び環境庁（EA）に最大£4.3m（約7.7億円）を割り当て
 - **英国国立原子力研究所（NNL）及び日本原子力研究開発機構（JAEA）：£15m（約27億円）**
NNLはJAEAと協力して、英国発の高温ガス炉であるUKJ-HTRの設計を進める。この原子炉は、既存の技術よりも高い出口温度（950℃）を実現し、脱炭素化と水素の効率的な生産を可能にする。
 - **USNC UK：£22.5m（約41億円）**
既存のMMRの設計を基に、英国産業界の現在および予測される将来のプロセス熱需要に最適なMMR3を開発し、英国政府の熱需要をサポートする。MMR3の設計は、出口温度を750℃まで上昇及び原子炉出力を増加させ、クリーンな水素と持続可能な航空燃料の生産の実証を目的とする。

（1£=180円で換算）

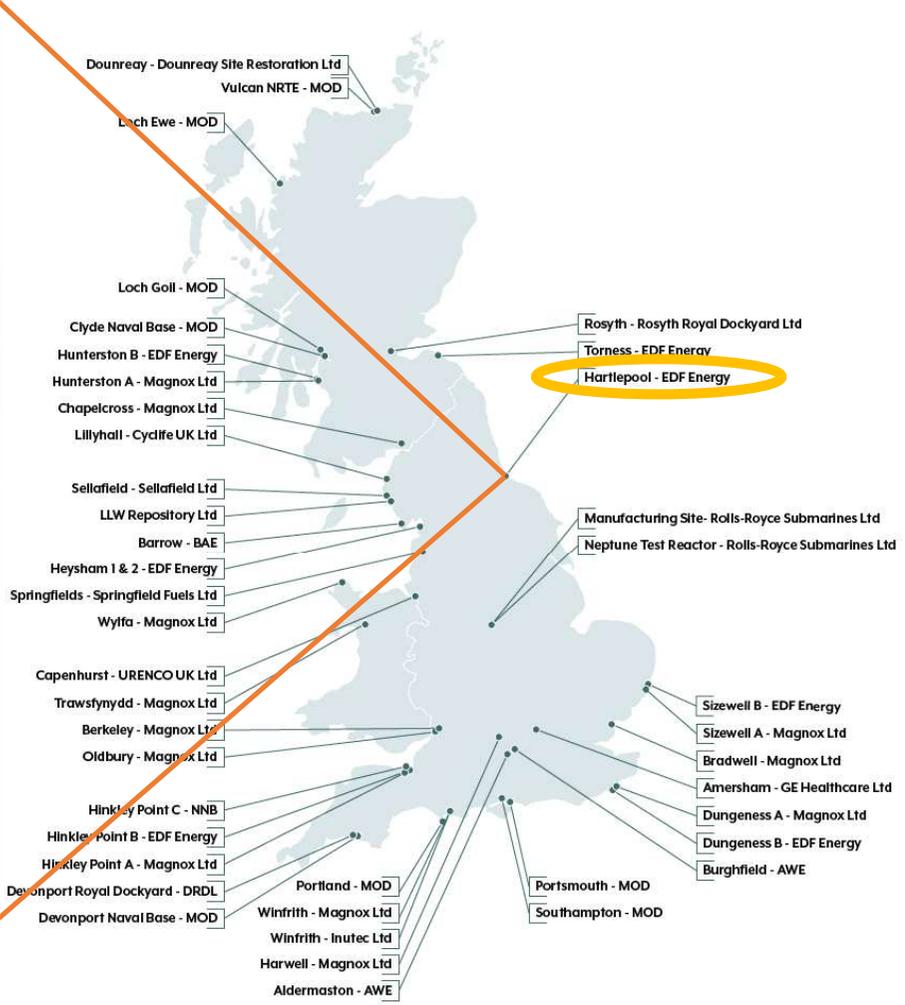
- JAEAとNNLは、西村康稔経済産業大臣及びクティア・クティニーニョDESNZ大臣の立ち会いの下、包括的な高温ガス炉技術に係る協力覚書を締結
- 同時に、英国高温ガス炉実証炉プログラム（フェーズB）に係る採択を踏まえ、基本設計に係る実施覚書を締結
- JAEAはNNLと連携して、2050年までのカーボンニュートラルの達成に貢献するため、高温ガス炉技術に係る早期の社会実装を目指す



左から西村経済産業大臣、JAEA小口理事長、NNLハワースCEO、クティニーニョDESNZ大臣
(2023年9月、英国ロンドン)



EDF-Energyパンフレットより

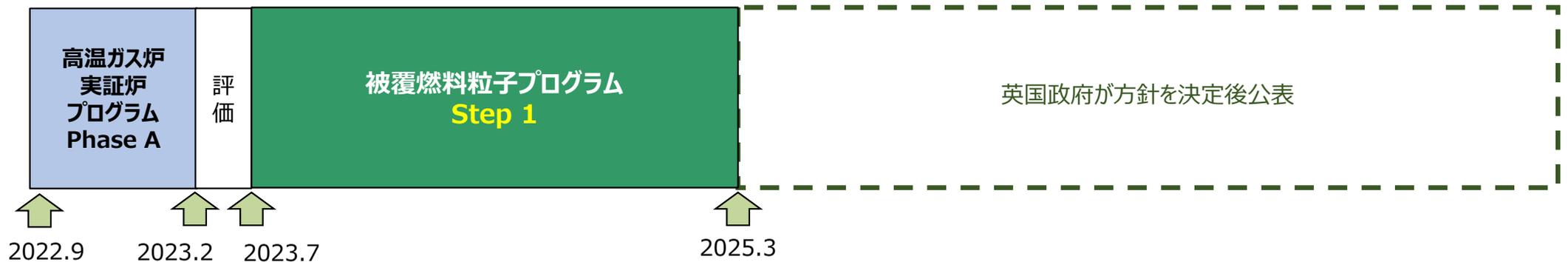


MOD - Ministry of Defence
 DRDL - Devonport Royal Dockyard Ltd
 EDF Energy - EDF Energy Nuclear Generation Ltd
 AWE - Atomic Weapons Establishment Plc
 BAE - BAE SYSTEMS Marine Ltd
 NNB - NNB GenCo HPC Ltd

周辺エリア (ティーズサイド) は、化学工業、製鉄等の産業集積エリア。
 2030年の水素需要量4GW (英国全体の水素製造目標値の40%) のうち、
 1GWを高温ガス炉由来の水素に期待 (再エネ 1 GW、化石由来 (+ccus) 2GW)

- LOT2、Phase A：事前概念検討（高温ガス炉実証炉プログラムの一部）（2022.9～2023.2）
- **STEP 1：製造技術開発、等**（2023.7～2025.3）

次ステップは、英国政府が方針を決定後に公表される見込み



Advanced Modular Reactor (AMR) Research, Development and Demonstration Programme
2050年ネットゼロ達成のため、2030年代初頭に高温ガス炉（HTGR）技術の実証を目指す

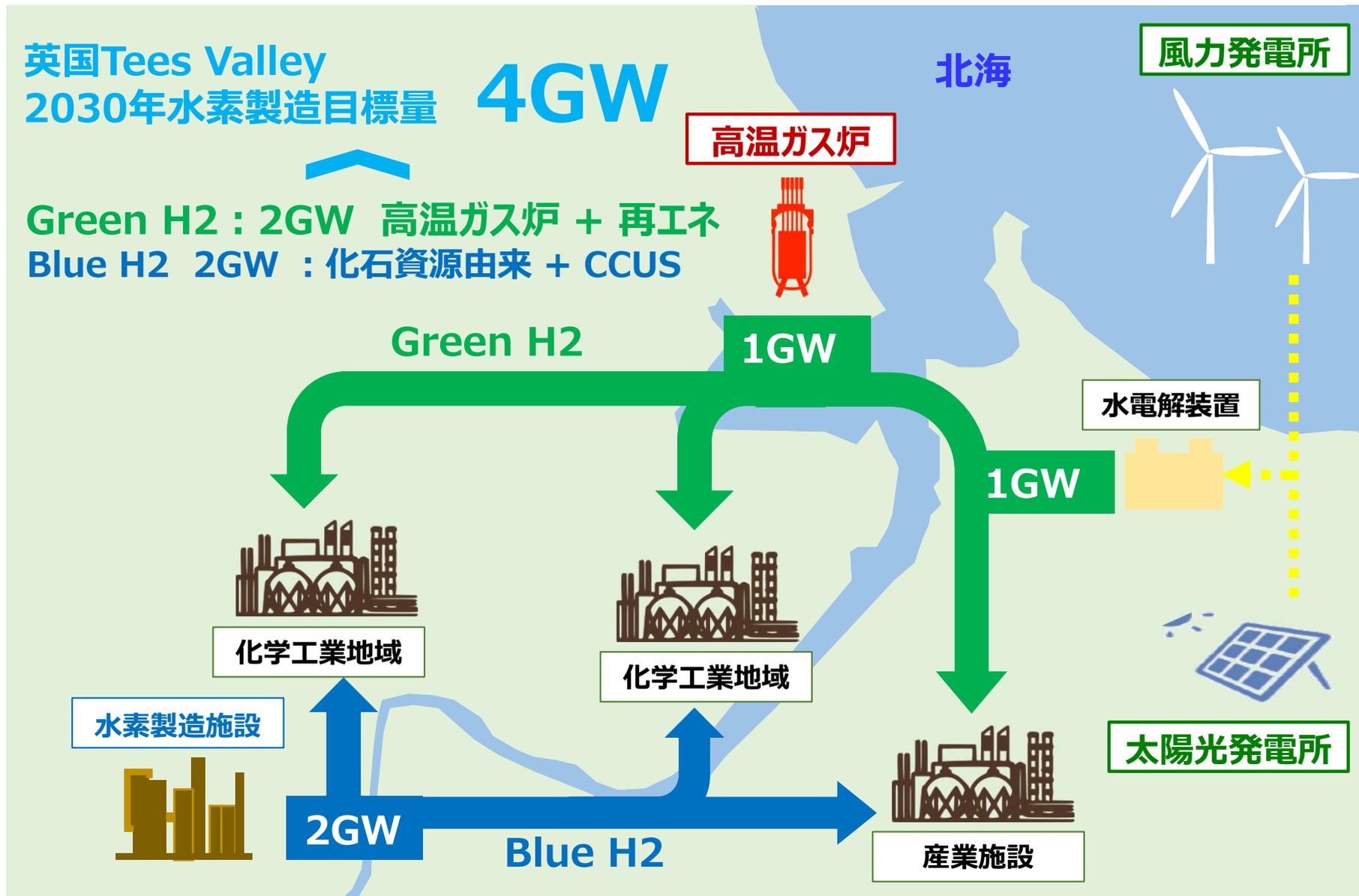
Phase A LOT2（燃料実証）（それぞれに約£25万（約4,500万円））

- 高温ガス炉技術用の被覆粒子燃料を開発するためのプレFEED（フロントエンドエンジニアリング設計）を実施する2つのプロジェクトに資金を提供
 - **NNL（-URENCO-JAEA）**
高温ガス炉実証炉用の最初の充填燃料から始まる英国内の商業用燃料供給を目指し、商業化に向けた被覆粒子燃料の開発を共同で実施
 - **Springfields（-URENCO）**
被覆粒子燃料の安全かつ信頼性の高い供給のための最も効果的なルートを決定。UCOカーネルTRISOに焦点を当て、幅広いバリエーションを製造可能な施設を設計

Phase B Step 1（英国被覆粒子燃料プログラム）

- AMRに必要な被覆粒子燃料の開発を推進
 - **英国国立原子力研究所（NNL）：£16m（約29億円）**
JAEAと協力して、高温ガス炉用被覆粒子燃料開発を継続し、将来のエネルギー安全保障を実現する重要な要素である英国燃料の生産に向けた取り組みを継続する。本プログラムにより、世界をリードするスキルを向上させることに加えて、燃料サプライチェーンにおける大企業と中小企業双方に豊富な機会を提供する。

（1£ = 180円で換算）



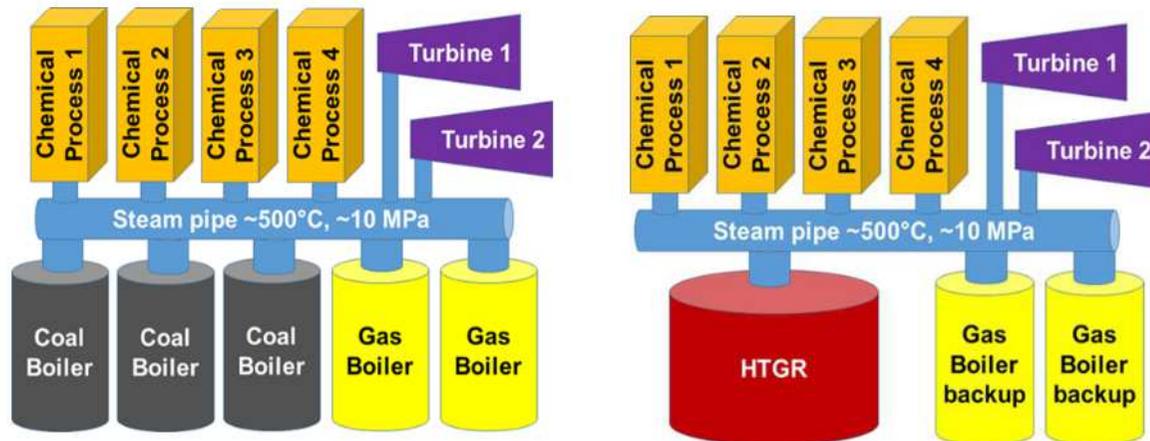
* 1GW = 282,000Nm³/h

ポーランドは、化学プラントへ供給する化石由来の蒸気を高温ガス炉に置き換える計画

Advanced nuclear technologies in Poland – new opportunities for climate change mitigation

Primary target for HTGR is Polish heat market. Today 100% heat market is dominated by fossil fuels; mostly coal in district heating and coal and gas in industry heat generation. 13 largest chemical plants need 6500 MW of heat at T=400-550°C.

Secondary target is the hydrogen production.



- ポーランドは高温ガス炉を利用した産業界への熱供給を計画
- 2021年5月、国立原子力研究センター（NCBJ）は高温ガス炉研究炉の基本設計に関する政府予算（約18億円／3年）を獲得
- 2022年11月、原子力機構はNCBJとの間の研究実施取決め（2019年9月）を改訂し、高温ガス炉研究炉の基本設計を進めている



JAEAとNCBJが研究協力実施取決めに署名
(2022年11月、JAEA東京事務所)
奥から、NCBJ クレック所長、JAEA 小口理事長



ポーランド高温ガス炉研究炉の技術会合
(2023年6月、JAEA東京事務所)

- **高温ガス炉は、核熱を用いて高温熱の供給が可能であり、これを用いて脱炭素化が困難とされる製鉄分野、化学工業分野等へ水素、高温蒸気等を供給することで2050年温室効果ガス排出ネットゼロに向けた貢献が為し得ると期待**
- **日本政府は、GX実現に向けた基本方針 参考資料の中で、「安全性の確保を大前提として、新たな安全メカニズムを組み込んだ次世代革新炉の開発・建設に取り組む」として、2030年代後半運転開始とする高温ガス炉実証炉の開発目標・戦略を公表**
- **JAEAは、HTTR-熱利用試験、高温ガス炉国内実証炉、英国の高温ガス炉実証炉プログラム、英国高温ガス炉燃料開発プログラム、ポーランド高温ガス炉研究炉基本設計の5つのプロジェクトを推進し、高温ガス炉の早期社会実装によるネットゼロへの貢献を目指す**
- **世界各国で高温ガス炉の社会実証に向けた開発が加速しているものの、高温ガス炉の900℃を超える熱供給は視野に入っておらず、日本のこのアドバンテージを活かして、世界との競争に負けないよう開発を進める**