



セッション4 「原子力の最大限活用とその深化—2050年を見据えて」

次世代革新炉の社会実装に向けた取組と 多目的利用の可能性

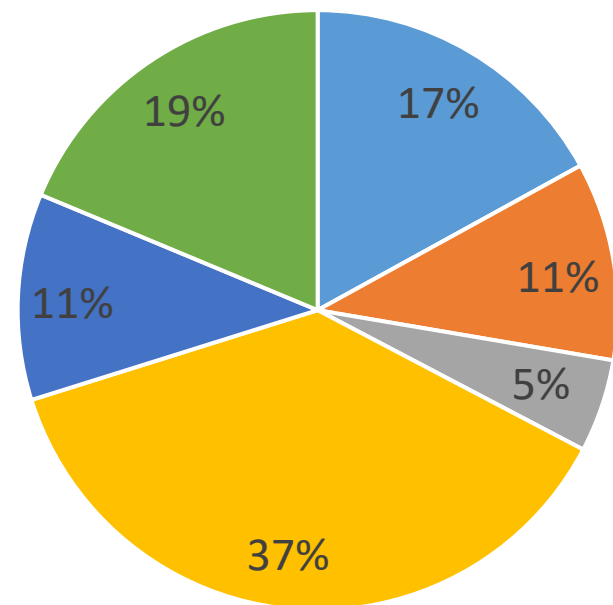
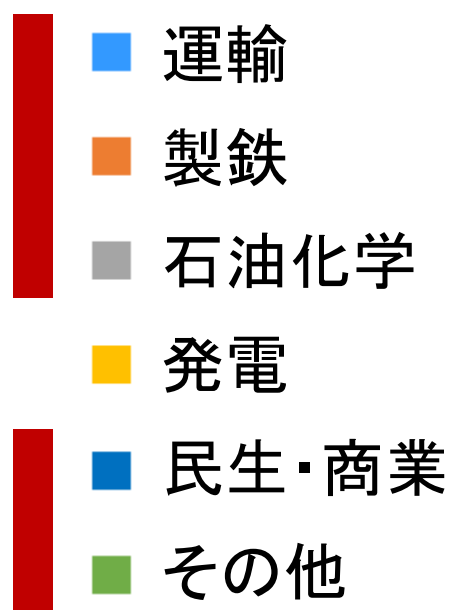
令和5年4月19日

国立研究開発法人 日本原子力研究開発機構

理事 大島 宏之

- 約40%を占める電力分野については、脱炭素化が大前提。最大限導入する再エネの他、原子力を最大限に利用していく。
- 日本では、非発電分野の民生、産業分野では約60%の熱エネルギー利用による二酸化炭素排出がある。これらの熱需要の脱炭素化に向けた取組も進めることが必要。
- 次世代革新炉により、熱需要に対する供給源(非発電利用)としての新たな活用が期待される。

熱需要



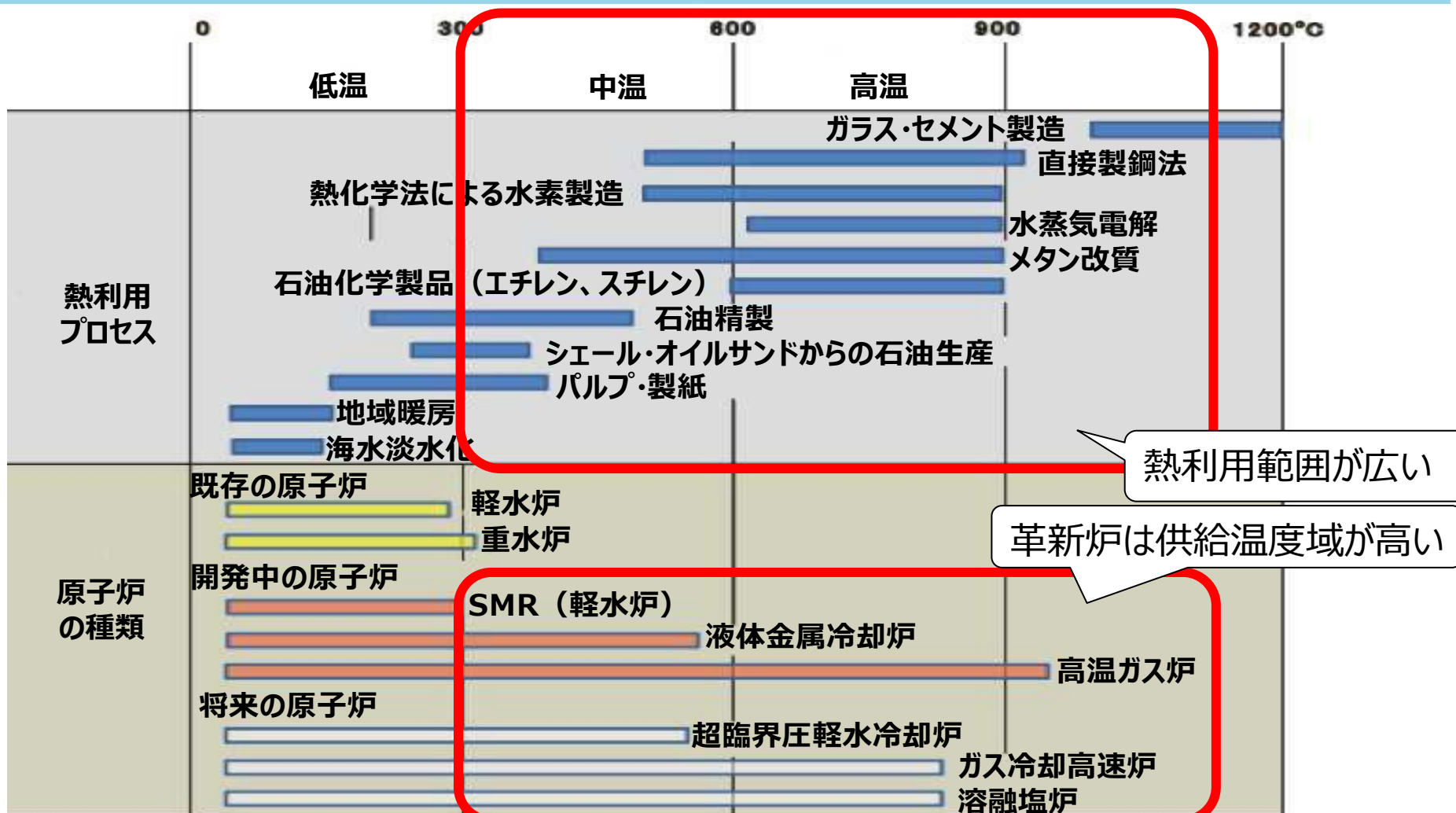
我が国のCO₂ガス排出量内訳(2020年)

出典：国立環境研究所「温室効果ガスインベントリオフィス」

熱利用プロセスに対して原子炉が供給可能な運転温度範囲

資源エネルギー庁、革新炉WG第1回会合 資料6（令和4年4月20日）を元に作成

- **革新炉は低温（～300℃）から高温（～900℃）の熱供給の可能性**があり、水素製造だけでなく、**地域暖房**や**製鉄等の産業プロセス熱**にも適用の可能性がある。



熱利用範囲が広い

革新炉は供給温度域が高い

革新炉に関する最近の国内動向

原子力小委員会（経済産業省）

- ・革新炉WG—**革新炉（高温ガス炉、高速炉等）開発の技術ロードマップ（骨子案）** 中間取りまとめ
(2022年7月)
- ・**今後の原子力政策の方向性と実現に向けた行動指針(案)**
(2022年12月)

高速炉開発会議（経済産業省）

- ・戦略WG—2024年以降の高速炉開発の在り方を検討、**戦略ロードマップ**（2018年12月策定）の改定に向け議論
- ・**戦略ロードマップ改定案**（2022年12月）
↓
原子力関係閣僚会議で決定（2022年12月23日）

GX（グリーントランスフォーメーション）実行会議（内閣官房）

第5回会議(2022年12月22日)

「**GX実現に向けた基本方針 ～今後10年を見据えたロードマップ～**」の取りまとめ

- 原子力はエネルギー安全保障に寄与し脱炭素効果の高い電源、最大限活用
- 2030年度電源比率20～22%の確実な達成に向け、安全最優先で再稼働を進める
- 次世代革新炉の開発・建設は、廃止を決定した炉の建て替えを対象に具体化を進める

>> **閣議決定（2023年2月10日）** <<

原子力委員会（内閣府）

原子力利用に関する基本的考え方
(2023年2月改定案決定)

政府として尊重する旨 閣議決定
(2023年2月28日)

次世代革新炉の開発に必要な研究開発基盤の整備に関する検討会（文部科学省）

次世代革新炉（高速炉及び高温ガス炉を中心）今後必要な研究開発及び基盤インフラ整備の提言をとりまとめ
(2023年3月28日報告)

次世代革新炉に求められる要件

一層の安全性向上を前提に、

- ✓ **安定供給**（大規模安定 + 革新的安全性 + **技術自給**・サプライチェーン）
- ✓ **資源循環性**（廃棄物問題解決への貢献 + 資源有効利用）
- ✓ **柔軟性**（負荷追従 + 水素・熱利用 + 立地の柔軟性）

安定供給

- 原子力は**安定供給に貢献する脱炭素電源**
- **革新的安全性向上**により、地域・国民の信頼獲得・安定供給へ
- 製造・調達等のプロセスイノベーションを通じ、原子力サプライチェーンを維持・強化。**技術自給**にも貢献

資源循環性

- 原子力は脱炭素エネルギー源、革新的技術により高レベル放射性廃棄物を再資源化
- 資源の有限性にも解決策を
- 技術革新により**原子力も循環型エネルギーへ**

柔軟性

- 変動する再エネを支える出力可変性（負荷追従）
- 発電しない時には**水素製造、熱の形で利用・貯蔵**（実質的な負荷追従）
- 防災対策重点地域縮小・立地の柔軟性
- **医療用RI製造**による国民福祉向上への貢献

一層の安全性向上

- 東電福島第一原子力発電所事故を踏まえた一層の安全性向上技術開発と導入促進

次世代革新炉（核分裂炉）の主な種類*1

<p>革新 軽水炉</p>  <p>プラント概念*2</p>	<p>新たな安全性向上技術（コアキャッチャー等）を備えた大型の軽水炉。 既存の軽水炉技術がベースのため、既存の軽水炉サプライチェーンを活用可能、実現可能な時期の予測も容易</p>
<p>小型 軽水炉</p>  <p>小型モジュール炉プラント (NuScale Power社提供図)</p>	<p>電気出力30万kW以下。工場でユニット（モジュール）生産することで、工期や建設費を削減。既存の軽水炉技術がベース。投資リスクの低減や分散電源等の将来ニーズを念頭に置いた オプションとして重要</p>
<p>高温 ガス炉</p>  <p>高温工学試験研究炉 (HTTR)</p>	<p>取り出せる熱の温度が高いため（900℃以上）、高効率の発電に加えて、水素製造等、多様な熱利用が可能。技術実証に向け、国際連携を活用しながら、開発を推進中</p>
<p>高速炉</p>  <p>「常陽」</p>	<p>高速中性子を利用することで、核燃料サイクル（ウラン資源の有効利用、放射性廃棄物の燃焼等）が可能。技術実証に向け、「常陽」「もんじゅ」の経験を活用し、国際連携の下で開発を推進中</p>

*1 以下の資料を参考にして作成

[1] 資源エネルギー調査会 電力・ガス事業分科会 第29回原子力小委員会、革新炉開発の技術ロードマップ（骨子案）、2022年8月9日

[2] 日本経済新聞、きょうのことは、次世代型原発とは 安全性向上、効率よく発電、2022年8月25日
(<https://www.nikkei.com/article/DGXZQOUC246DB0U2A820C2000000/>)

*2 総合資源エネルギー調査会 電力・ガス事業分科会 原子力小委員会 第1回革新炉ワーキンググループ、三菱革新炉開発の取り組み、2022年4月20日

高温ガス炉と熱利用技術の研究開発

高温ガス炉の特長

- 固有の安全性を有し、炉心溶融を起こさない設計が可能
- 発電のみならず水素製造、海水淡水化等の幅広い熱の産業利用が可能

カーボンフリー社会への貢献

- 高温ガス炉により製造される水素のエネルギー利用
- 高温ガス炉の熱源を用いることによる石炭火力の代替
- 原子力新興国における中小都市での利用（電力供給、水素製造、熱利用）



多様な社会的要請に応える

国際技術開発に貢献できる世界唯一の施設 (HTTR)

- 英国（クリーンエネルギーイノベーション覚書に基づく協力）
- ポーランド（日・ポーランド戦略的パートナーシップの実施のための行動計画に基づく協力）
- 米国（民生用原子力研究開発WG（CNWG）に基づく協力）
- OECD/NEA HTTRプロジェクト（日、米、仏、独、韓、チェコ、ハンガリー）
- GIF超高温ガス炉 水素製造プロジェクト（日、米、仏、加、韓、中、EU、スイス）



JAEA-ポーランドNCBJ 研究協力実施
取決め署名（2022年11月22日）



HTTR
(高温工学試験研究炉)

- 定格出力30MWt、原子炉出口温度950℃達成（2004年4月）
- 950℃、50日間高温連続運転（2010年3月）
- 安全性実証試験（炉心流量喪失試験）に成功（2010年12月）
- 新規制基準適合性に係る設置変更許可の取得（2020年6月）
- HTTR運転再開（2021年7月）
- 安全性実証試験（炉心冷却喪失試験）に成功（2022年1月）
- 高温ガス炉安全性向上のためのHTTR試験

高温ガス炉の多様な熱利用性・機動性

水素製造システム

- 製鉄（水素還元製鉄）への水素供給
- FCV/水素エンジン用水素ステーションへの水素供給

化学プラントへの水素、蒸気、電力供給

- アンモニア製造、石油精製への水素供給
- 蒸気によるプロセス熱供給（化学プラント等）
- 蒸気タービン発電による電力供給

再生エネルギーとのハイブリッドシステム

- 再生エネルギーの変動を発電量調整または水素製造により吸収（高発電効率維持）

CO₂再資源化技術への水素供給

- CO₂再資源化（合成燃料、メタネーション、メタノール合成等）への水素利用

高温ガス炉コージェネレーションシステム（水素、蒸気、電力供給）により、産業、モビリティ分野の脱炭素化、CO₂再資源化等に大きく貢献

- 令和4年度より、日本原子力研究開発機構（JAEA）所有の**高温ガス炉試験炉（HTTR）の超高温（950℃）を用いた水素製造技術の実証を開始**

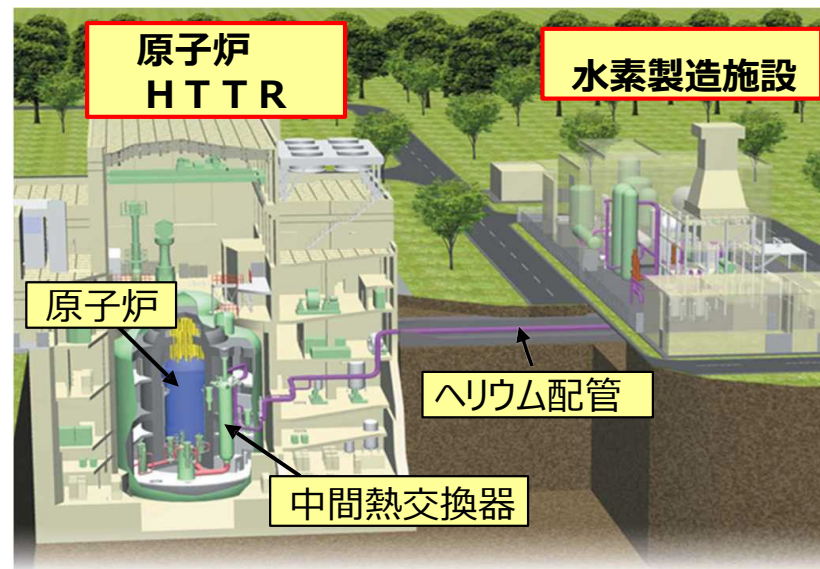
超高温を利用した水素大量製造技術実証

日本原子力研究開発機構、三菱重工業株式会社

- 800℃以上の脱炭素高温熱源（例えば、高温ガス炉、太陽熱、核融合等）を活用したカーボンフリー水素製造法によって、**2050年には大量の水素を経済性をもって安定的に供給する可能性**を念頭に、製鉄や化学等での産業利用に繋げることを目指す。
- 高温でも利用可能な高温隔離弁の開発等、**HTTRと水素製造施設を安全に接続する技術開発**を実施。
- 国内外の様々な**カーボンフリー水素製造技術**（IS法、メタン熱分解法、高温水蒸気電解等）の**フェーズビリティスタディを実施**。超高温熱源の活用に適した水素製造技術を検討。
- 並行して、上記で検討した技術の**実用化スケール向けの実現性及び成立性を確認**。



高温熱による産業界への水素活用のイメージ



HTTR-水素製造施設の構成（イメージ）

高速炉サイクルの意義

- 軽水炉に比べ数十倍以上のウラン資源の有効利用が可能
- 燃料のリサイクル（ウラン資源輸入不要）と技術自給（国産）により、海外情勢に左右されない安定エネルギーを確保

⇒ 有限資源の有効利用・持続性の確保
エネルギーセキュリティの強化

- 運転時にCO₂を排出しない
- 高レベル廃棄物となるマイナーアクチノイド(MA)も核燃料としてリサイクル可能

⇒ 環境への負荷を低減

- ベースロード電源としての利用に加え、蓄熱技術との組み合わせにより電気出力を調整可能し、太陽光や風力等、出力変動再エネを補完

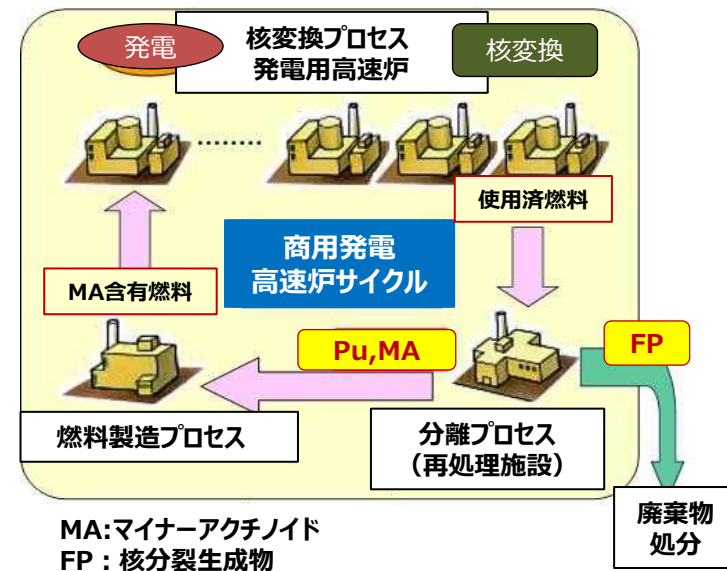
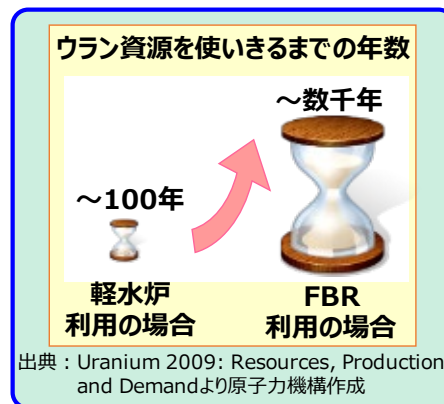
⇒ CO₂ 排出せずに変動再エネと共存

- 高い自然循環能力を有し、空気との熱交換が可能なことから、電源が喪失しても長期に安定した崩壊熱除去が可能（高速実験炉「常陽」で実証済み）

⇒ 高い安全性

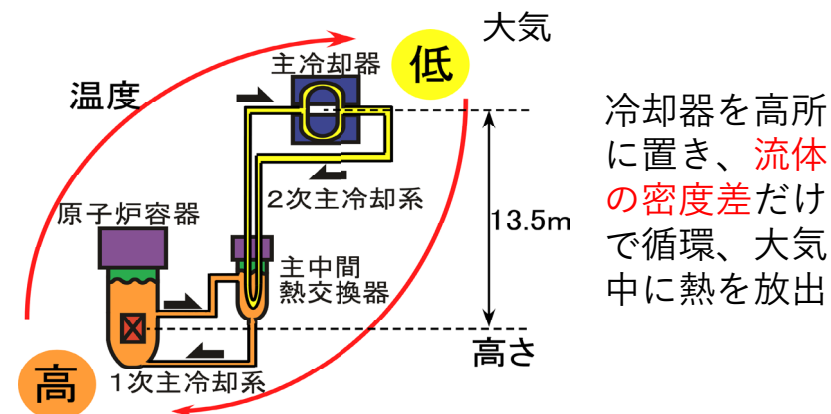
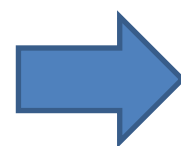
- 高速中性子を用いた医療用RIの製造によりがん治療などに活用

⇒ 国民福祉向上への貢献



発電用高速炉利用型核変換システム

(文部科学省原子力研究開発・基盤・人材作業部会第10回資料より引用)



電源を必要としない自然循環による炉心冷却
(高速実験炉「常陽」で実証済み)

グリーン成長戦略で求められるイノベーションの実現

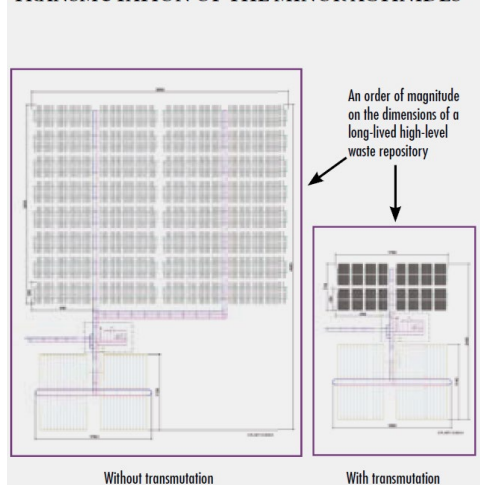
MA分離による廃棄物減容、有害度低減

- マイナーアクチノイド（MA）を核燃料としてリサイクルすることにより、放射性廃棄物の量を減らし、放射能が減衰するまでの期間を大幅に短縮（10万年⇒300年）する ⇒ 環境への負荷を低減
- エネルギー事情に応じ、プルトニウムの生成／燃焼が可能

高レベル放射性廃棄物処分場の削減規模

アメリシウム	を除去すると	➡	1/7
アメリシウム ネプツニウム キュリウム	全てを除去すると	➡	1/10

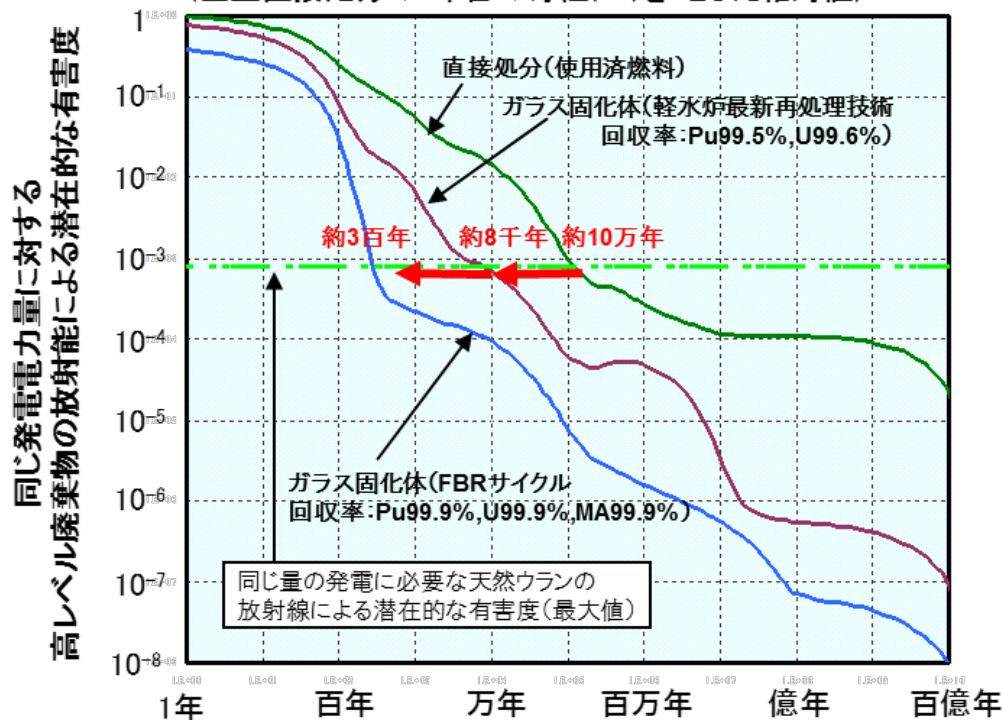
REPOSITORY DIMENSIONS WITH OR WITHOUT TRANSMUTATION OF THE MINOR ACTINIDES



CEA "Report on Sustainable radioactive Waste Management" (2012)より作成

潜在的有害度の継続期間の短縮

(全量直接処分の1年目の毒性(Sv)を1とした相対値)



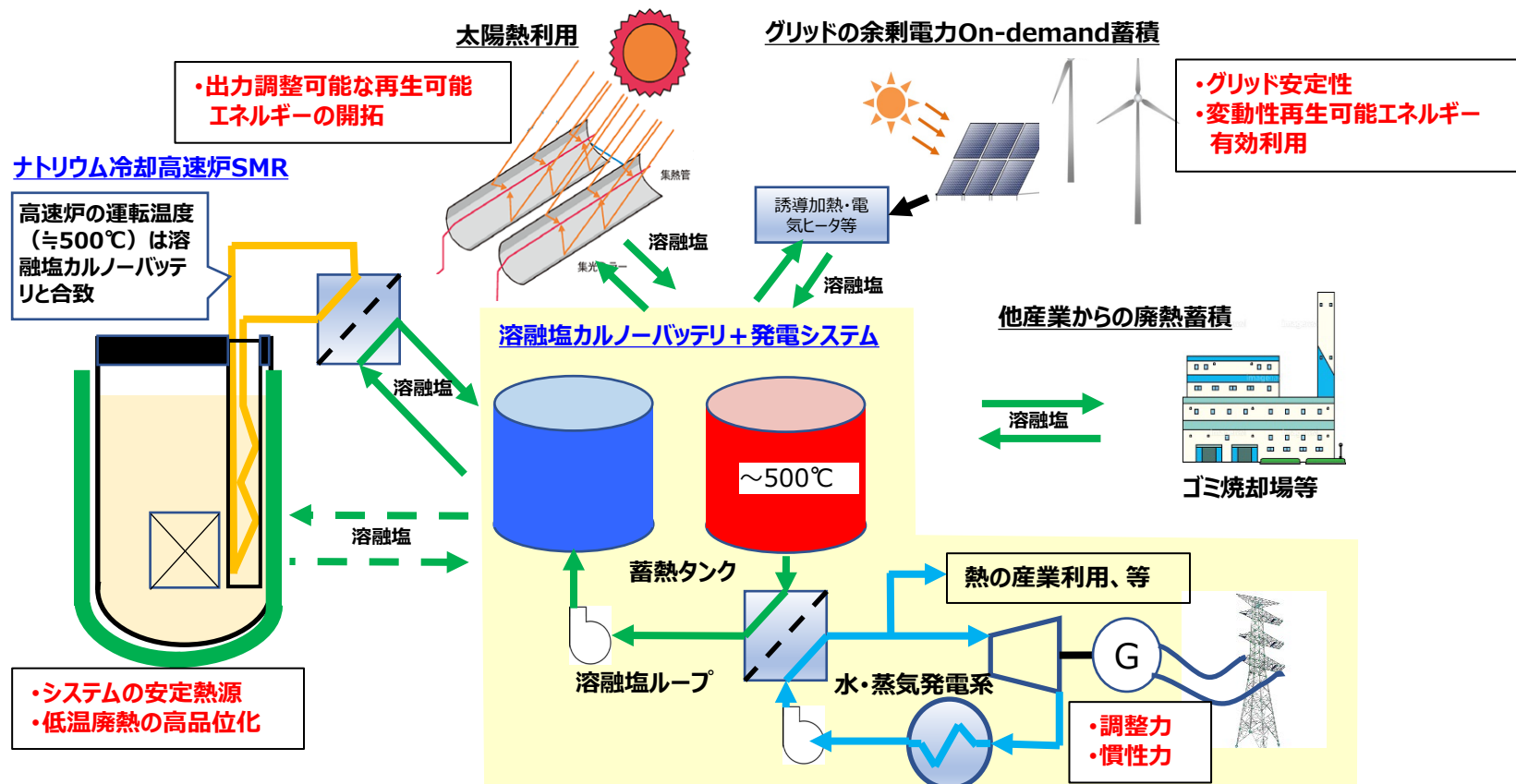
高速炉の多様な熱利用の可能性

■ 将来のエネルギー利用の方向性

- 再生可能エネルギーの最大限活用 + 安定供給 (安価、出力変動などへの対応によるグリッド安定)
- 機動性 (供給調整力) を持ち再生可能エネルギーと共存するカーボンフリーエネルギーの開発
⇒ 高速炉SMRと溶融塩を用いた蓄熱発電 (溶融塩カルノーバッテリー) を組み合わせたエネルギー供給は安定供給 + 機動性の一つの解

■ 特徴

- 安全性強化：高速炉SMRの小型炉心と多様な冷却によりシビアアクシデントに対する安全性強化
- 高速炉SMR + カルノーバッテリーにより機動性と安定供給、多様な熱源利用・熱利用をカーボンフリーで実現



高速炉による非エネルギー分野への貢献

資源エネルギー庁、第23回 原子力小委員会 資料5（令和3年4月14日）を参考に作成

- 原子炉はエネルギー利用のみならず、**医療分野で利用される放射性同位体(RI)の製造に活用が可能**
- 高速実験炉「常陽」では、高速炉開発のみならず、RI製造への貢献も期待される

「常陽」でのRI製造のメリット **医療用RIは全量海外に依存**

① **大量生産：中性子の密度が高く、加速器に比べて大量のRI製造が安価に製造可能**

	製造量(μg)	コスト(円/μg)
原子炉(JRR-3) ※年間当たり	3,900	1,000
加速器 ※1照射当たり	42	33,000

原子炉と加速器でのモリブデン (Mo-99) の製造量・コスト面比較

質の高い医療に不可欠

モリブデン (Mo-99) :
核医学検査でがん転移の
発見等に利用

② **希少なRI：高速中性子を活用して、希少なRI製造が可能**

例：がん治療に使えるアクチニウム (Ac-225) の製造が可能
※減速材を併用することで、軽水炉と同様なRIも製造可能

アクチニウム(Ac-225等) :
アルファ線内用療法によるガン治療
等に利用

医療用RI国産化への期待 (JAEA試験研究炉の活用)

- 7つの医学会から要望書提出 (2020.8:文科大臣, 2021.7:文科・厚労・経産・内閣府特命担当各大臣、原子力規制委員長)
- 複数がん患者会関連団体 (2020.8:文科大臣)、全がん連(2021.5:文科・厚労大臣、公明党議員) から要望書提出
- 参議院・決算委員会にて医療用RI製造取組み強化質疑(2021.5)
- カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略に「常陽」への期待記載(2021.6)
- 内閣府原子力委員会 医療用等RI製造・利用専門部会設置(2021.11)
- 参議院・予算委員会にて医療用RI国産化体制整備質疑(2022.3)
- 内閣府原子力委員会 医療用等RI製造・利用専門部会 アクションプラン策定(2022.5)



■ 次世代革新炉の多目的利用による社会要請への対応

- 高温ガス炉は水素製造や熱利用を通じて、非発電分野である製造部門や運輸部門等における産業の脱炭素化に貢献するとともに、海水淡水化、地域暖房等、多様な社会的要請に応えることが可能
- 高速炉は、マイナーアクチノイドを核燃料としてリサイクルすることにより、放射性廃棄物の量を減らし、放射能が減衰するまでの期間を大幅に短縮可能。また、エネルギー事情に応じて、プルトニウムの生成/燃焼の調整が可能であることから、環境負荷低減を行いつつ持続可能な発展に寄与
- 高温ガス、高速炉の負荷追従性（直接の負荷追従に加えて、水素製造や蓄熱をバッファーとする技術利用）を活用することで、再生可能エネルギーの変動成分を吸収。ニュークリアとリニューアブルの融合によりカーボンニュートラル実現に貢献
- 高速炉では、がん治療で世界的に注目される希少な放射性同位体元素Ac-225の大量製造等が可能であり、国民福祉向上にも貢献