

# 事故耐性燃料導入への期待

令和4年3月

資源エネルギー庁 原子力政策課

課長補佐（技術総括）

中谷 絵里

# 2050年カーボンニュートラルに向けた原子力イノベーションへの要請

## 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・サプライチェーン + 技術自給）
- ✓ **資源循環性**（廃棄物問題解決 + 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であるが、高レベル放射性廃棄物が発生
- 技術革新により原子力も**循環型エネルギー**へ
- **資源の有限性**にも解決策を

### 柔軟性

- 安価な再エネを最大限活用するために**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）
- **炉型革新**により、EPZ縮小・立地の柔軟性

## 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

# 第6次エネルギー基本計画における原子力の扱い

## 2050年カーボンニュートラルの実現に向けたエネルギー政策の道筋

### 安全性の確保を大前提に、必要な規模を持続的に活用

- 2050年カーボンニュートラルに向け、あらゆる選択肢を追求。

## 2050年を見据えた2030年に向けた政策対応

原子力規制委員会により世界で最も厳しい水準の規制基準に適合すると認められた場合には、その判断を尊重し原子力発電所の再稼働を進める

- いかなる事情よりも安全性を全てに優先
- 原子力のリスクを適切にマネジメントするための体制を整備

### 技術開発の促進

- 引き続き、万が一の事故のリスクを下げていくため、過酷事故対策を含めた軽水炉の一層の安全性・信頼性・効率性の向上に資する技術の開発を進める
- 将来に向けた原子力利用の安全性・信頼性・効率性を抜本的に高める新技術等の開発や人材育成を進める
- 国際連携を活用した高速炉開発の着実な推進
- 小型モジュール炉（SMR）技術の国際連携による実証
- 高温ガス炉における水素製造に係る要素技術確立
- I T E R計画等の国際連携を通じた核融合研究開発

# 原子カイノベーションの創出に向けた支援

## NEXIP : Nuclear Energy × Innovation Promotion

技術開発支援、研究開発基盤の供用、人材育成・産業基盤強化を通じて原子カイノベーションを創出



### 技術開発支援

- 安全性向上技術開発予算：23.3億円 ⇒ 東電福島事故の教訓を踏まえ安全性向上を追求。
- 高速炉開発予算：43.5億円 ⇒ 「戦略ロードマップ」に基づき開発を推進。
- 革新技术開発予算：12.0億円 ⇒ 多様な革新的技術のF/S（フェジビリティ・スディ）を実施。
- 水素製造技術実証：7.0億円（新規） ⇒ 原子力の超高温を活用した水素製造要素技術開発。

### 研究開発基盤の供用

- JAEAが持つ研究施設・解析コード・知見等の研究基盤の供用を通じ、原子カイノベーションの創出を支援。
- 産業界・大学・海外を繋ぐハブへ。

### 人材育成・産業基盤強化

- 産業基盤強化事業：12.4億円 ⇒ 原子力利用を支えるサプライチェーンを強化。  
原子力安全の最前線を担う人材の育成。

# 原子力の安全性向上に資する技術開発事業

## 令和4年度予算案額 23.3億円（25.0億円）

### 事業の内容

#### 事業目的・概要

- エネルギー基本計画（平成30年7月閣議決定）では、「万が一の事故のリスクを下げていくため、過酷事故対策を含めた軽水炉の一層の安全性・信頼性・効率性向上に資する技術の開発を進める」としています。
- 東京電力福島第一原子力発電所の事故で得られた教訓を踏まえ、現在判明している知見に基づき原子力発電所の安全対策高度化に向けた対策が講じられていますが、今後も更なる安全性向上に向けて取組を加速させていくことが必要です。
- 軽水炉安全技術・人材ロードマップ（平成27年6月総合資源エネルギー調査会自主的安全性向上・技術・人材WG策定、平成29年3月改訂）において、当省が取り組むべきであり、かつ優先度が高いとされた課題の解決等に向けて、研究機関やメーカー等が実施する原子力安全の高度化に資する技術基盤の整備、技術開発を支援します。
- 令和4年度は、過酷事故時に損傷しにくい新型燃料の部材開発をはじめとした、原子力の安全性向上に資する技術開発を20件程度実施します。

#### 成果目標

- 平成24年度から令和5年度までの事業であり、原子力の安全性を高める技術基盤を整備し、民間企業等の取組を支援することにより、本事業を通じて開発された複数件の技術について、事業終了までに、実際に利用可能な技術になることを目指します。

#### 条件（対象者、対象行為、補助率等）



### 事業イメージ

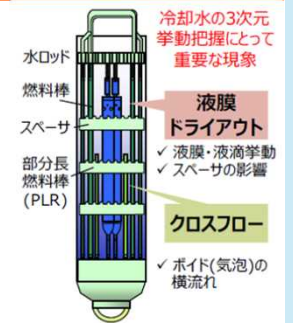
#### ○事故耐性に優れた燃料被覆管の開発

- 過酷条件においても損傷しにくい新型燃料部材を既存の軽水炉に導入し、過酷事故時に適切な事故対応のための猶予期間を確保することを目指し、新型燃料部材を既存軽水炉で使用できる形で設計・製造するために必要となる技術基盤を整備します。



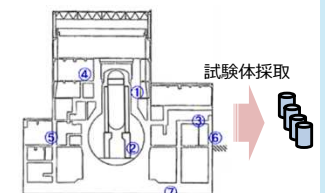
#### ○燃料集合体内冷却水の気液二相流挙動解明に向けた研究開発

- 燃料集合体内気液二相流の挙動解明に必要な試験を計画・実施し、熱水力解析手法の高度化に資する気液二相流データベースを構築することで、軽水炉のさらなる安全性・信頼性の向上に寄与する。



#### ○浜岡原子力発電所実機材料を用いた材料劣化調査研究

- 原子力施設の安全性を確保するため、既設原子力プラント材料の強度を正確に把握することは重要です。廃止措置プラントである浜岡原子力発電所から材料を採取し、劣化状況等の調査を行います。



# 震災後11年で大きく進展する革新的安全性向上技術R&D

- 軽水炉の安全性向上を効率的に実施のため、2015年、資源エネルギー庁で「軽水炉安全技術・人材ロードマップ」を策定。震災後11年を経て革新的安全性向上技術の実装・開発が進む。

## 導入済みの事例

### ● コリウムシールド

- 事故時に溶融燃料を受け止め  
→ 柏崎刈羽発電所6、7号機に導入



導入された  
コリウムシールド

### ● 免震システムの評価手法開発

- 免震技術の採用および設計標準化により、安全性確保と経済性の両立が期待される  
→ 日本電気協会の免震設計技術指針に反映済



免震装置の例

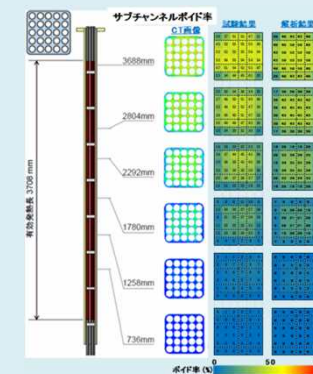
### ● シビアアクシデント時時計装システム開発

- シビアアクシデント時もプラント重要パラメータ計測可能に  
→ 女川2号機、柏崎刈羽6,7号機に導入

## 開発中の事例

### ● 気液二相流の挙動解明

- 大型熱流動試験・データベース構築により、燃料集合体内部の水・蒸気の流れを精密に解析可能に  
→ R3年度に完成、燃料技術革新に貢献の可能性



### ● 事故耐性燃料

- 事故時に水素を抑制するクロム等のコーティング被覆管等の開発  
→ 海外での照射試験の実施を計画



# 事故耐性を高めた燃料部材 (ATF) とは

- 現行の $\text{UO}_2$ -ジルコニウム合金系に比べて、通常時の性能を維持あるいは向上させつつ、**事故時の冷却材喪失に対する耐性を大幅に向上させる燃料や炉心構成材料**
- ATFでは、**高温水や水蒸気による酸化が起こりにくく、炉心温度の上昇や水素発生を遅らせること**、また、これにより、事故対応の実施や炉心溶融の回避が可能
- 炉心溶融した場合にも、放射性物質の放出や臨界の観点から事故影響を緩和する燃料・材料も含まれる

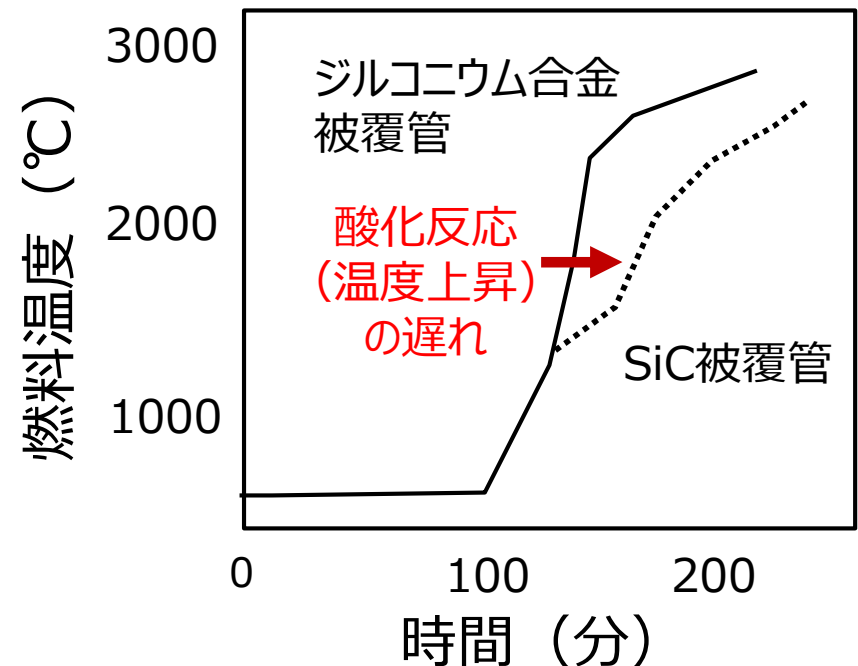


図 酸化反応が進行した時の燃料温度の上昇と時間との関係を示した模式図

出典 : [https://rdreview.jaea.go.jp/review\\_jp/2016/j2016\\_4\\_10.html](https://rdreview.jaea.go.jp/review_jp/2016/j2016_4_10.html)

# 実施中のATF技術開発事業

## ・委託事業

件名	事業者	実施内容	開発期間 (年度)
安全性向上に資する新型燃料の既存軽水炉への導入に向けた技術基盤整備	(国研)日本原子力研究開発機構	<ul style="list-style-type: none"> <li>・新型燃料部材開発の技術成熟度の整理と開発課題の明確化。</li> <li>・実用化に必要な規格・基準案の検討。</li> <li>・R4から米ATRで照射試験開始予定。</li> </ul>	R1~R7

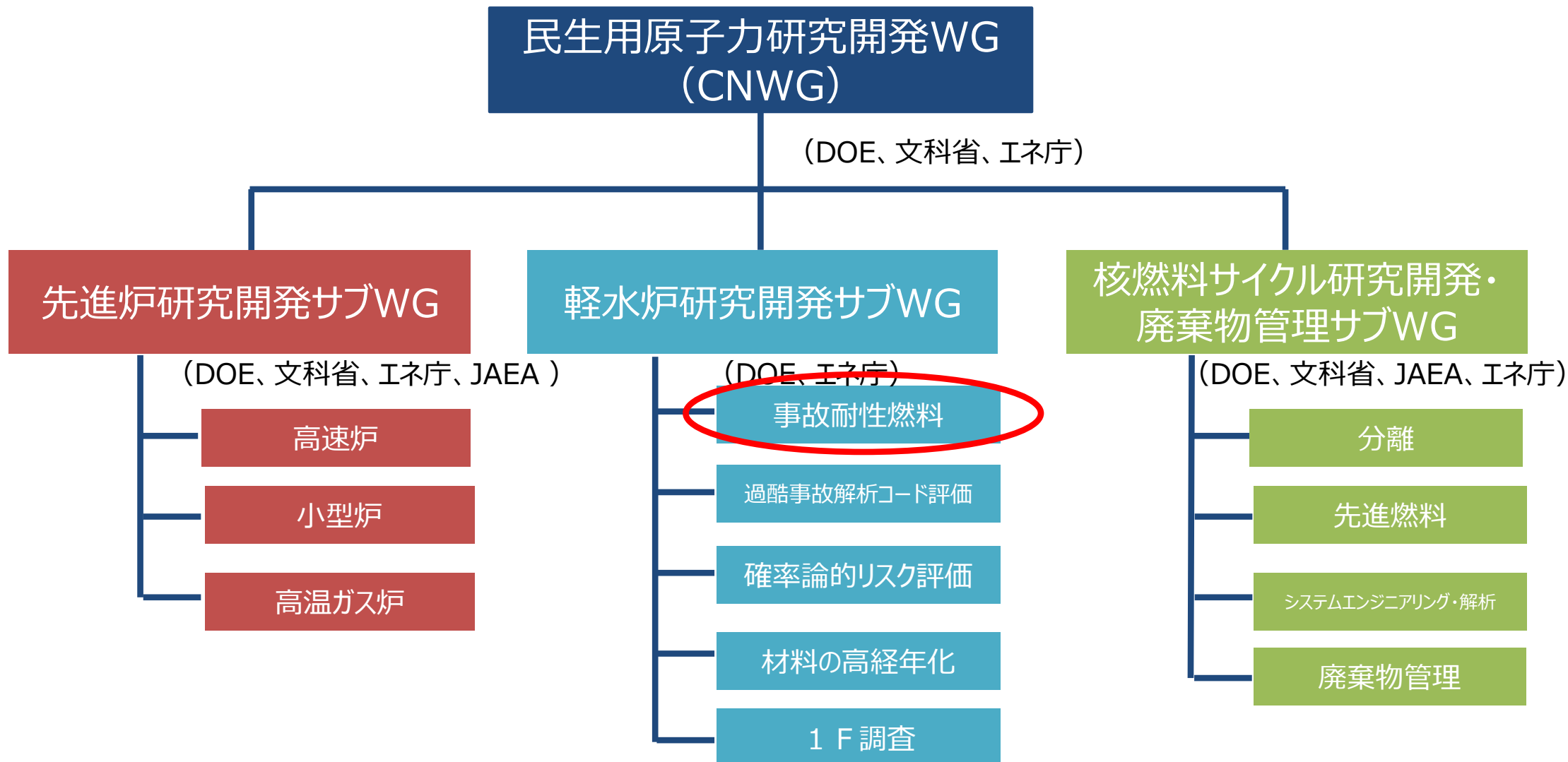
## ・補助事業

件名	事業者	実施内容	開発期間 (年度)
原子力の安全性向上に資する技術開発事業「SiC炉心材料の開発(Phase-3)」	東芝エネルギーシステムズ	<ul style="list-style-type: none"> <li>・炭化ケイ素(SiC)材料の軽水炉炉心材料への適用</li> <li>・現行のジルコニウム合金をSiC材料に変更した場合、過酷事故発生後の水素発生抑制、事故設計条件(被覆管温度・過渡基準)緩和、耐震性向上、使用済燃料発生量低減等のメリットが得られる。</li> </ul>	R1~
沸騰水型原子炉に用いる炭化珪素及び改良ステンレス鋼燃料被覆管の開発事業	日立GEニュークリア・エナジー(株)、(株)グローバル・ニュークリア・フュエル・ジャパン	<ul style="list-style-type: none"> <li>・BWR向け炭化珪素(SiC)及び改良ステンレス鋼(ODS鋼)の両燃料被覆管の開発を実施。</li> <li>・ODS鋼は、高温水蒸気中での自己再生型アルミナ被膜の形成による酸化反応と水素発生の抑制</li> </ul>	R1~
早期実用化に向けたPWR向け事故耐性燃料被覆管の開発	三菱重工業株式会社	<ul style="list-style-type: none"> <li>・既存のジルコニウム基合金被覆管の表面にCr等の被膜を行ったコーティング被覆管の開発。</li> </ul>	R1~



# 民生用原子力研究開発ワーキンググループ (CNWG)

- 2012年7月の民生用原子力に係る日米二国間委員会第一回会合において設置。計9回開催。
- 先進炉、軽水炉、核燃料サイクル・廃棄物管理の各分野における研究開発について、二国間協力を実施。
- 事故耐性燃料については、軽水炉サブWGにおいて協力を実施。今年より米国の試験炉で照射試験を開始。



# 様々な事故耐性燃料の開発状況

- ① ジルコニウム合金燃料ピンの外表面をクロム等でコーティングした被覆管
- ② 鉄系 (FeCrAl合金) 燃料ピン被覆管
- ③ セラミックス系 (SiC/SiC複合材) 燃料ピン被覆管
- ④ 改良UO<sub>2</sub>燃料ペレット
- ⑤ 高密度 (例えば、U<sub>3</sub>Si<sub>2</sub>やUNなど) 燃料ペレット

ニアタームのATF概念

ロングタームのATF概念

## ・ フラマトム (Framatome)

- CrコーティングZr被覆管
- 改良UO<sub>2</sub>燃料ペレット
- SiC/SiC複合材被覆管



## ・ ジェネラルエレクトリック (General Electric)

- コーティングZr被覆管
- 現行のUO<sub>2</sub>燃料ペレット
- FeCrAl被覆管



## ・ ウェスティングハウス (Westinghouse)

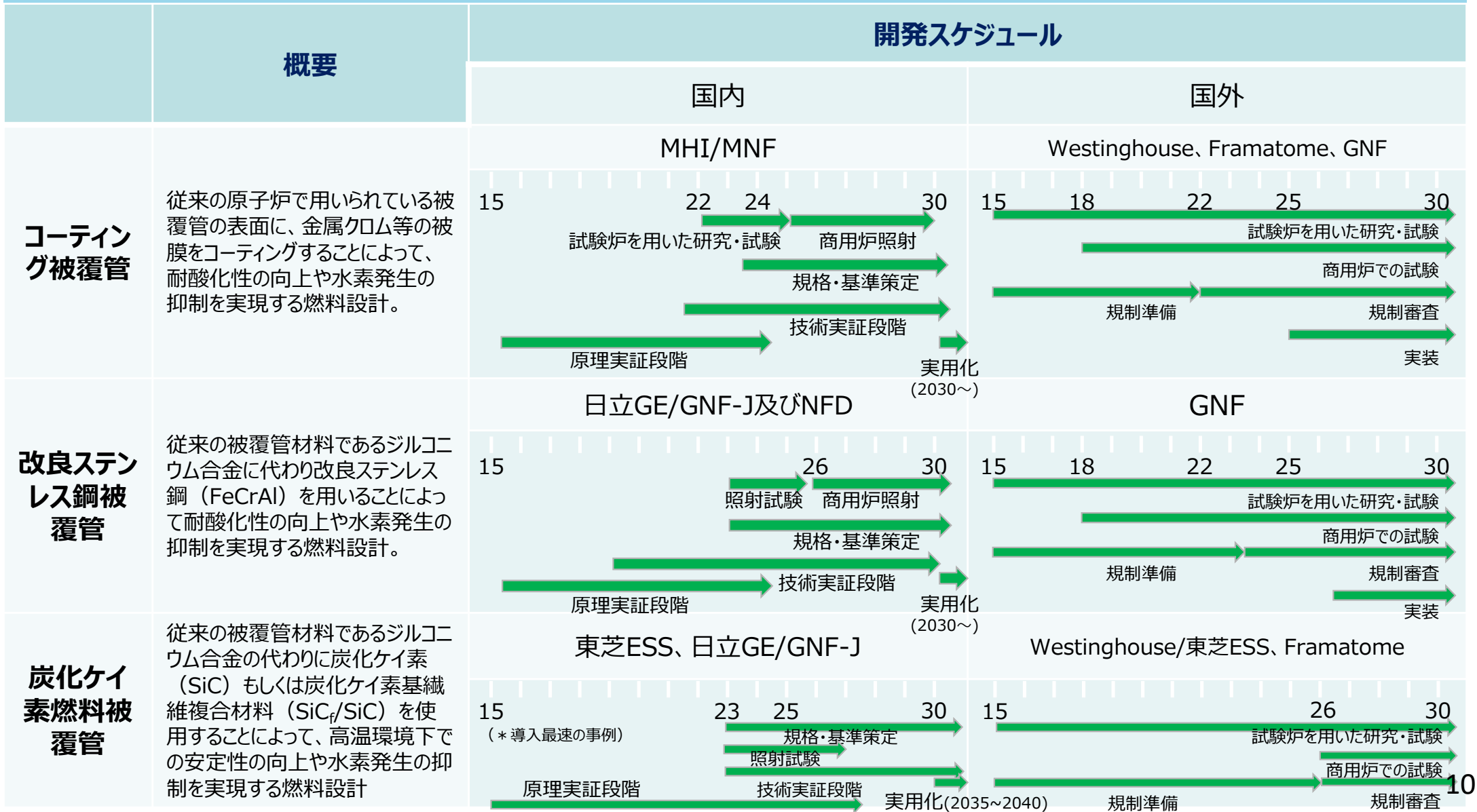
- CrコーティングZr被覆管
- SiC/SiC複合材被覆管
- 高密度燃料ペレット



<https://www.nrc.gov/reading-rm/doc-collections/commission/slides/2018/20180412/mccaughey-04122018-atf.pdf>

# 事故耐性燃料の実装に向けた国内外の動き

- 欧米においては早くより規制準備を実施し、試験炉、商用炉を活用した照射試験を進めている。最速で2025年以降の実装を見込む。
- 我が国においては、2012年より研究開発を実施。近年の再稼働の進展等を踏まえ、米等の海外試験炉活用により、開発を加速。



# 【参考】EUタクソミーにおける原子力と天然ガスの位置づけ

- EUタクソミーは、**EUのサステナビリティ方針に資する経済活動を明示**した、いわば「**グリーン・リスト**」。  
※企業が基準に合致する旨を開示することで、「グリーン債券」の発行等を通じて資金調達しやすくなる効果がある。
- 欧州委員会は加盟国等からの意見聴取を経て、2022年2月2日付で**原子力および天然ガスの取扱いに関するドラフトを承認**。
- 今後、加盟国や議会等との議論を経て、**4～6カ月以内に理事会・議会で可決される見込み**。

## 補完的委任規則（complementary Delegated Act）における原子力と天然ガスの記載

以下の条件に適合する**原子力・天然ガスについてはEUのサステナビリティ方針（気候変動緩和・適合）に資する**。

### 原子力

- **2045年までに建設許可**を受けた**新規原発**。
- **2040年までに延長認可**を受けた**既設原発**。
- 放射性廃棄物の管理について、資金面や処分場の計画についての条件あり。

＜具体的には以下のような条件を記載＞

- 放射性廃棄物の管理等の資金を確保すること
- 低レベル/中レベルの放射性廃棄物の運用可能な処分施設を有すること
- 2050年までに高レベル放射性廃棄物処分施設が運用開始できるよう  
詳細な文書化された計画を有していること

- 2025年からは事故耐性燃料(※)を実装すること 等

※燃料被膜管に新素材を活用する等、シビアアクシデントに至る事象が発生した場合でも事故リスクを低下させる技術

### 天然ガス

**CO2の排出量によってはグリーンと認定**。

※具体的には、

- 100 g CO<sub>2</sub>/kWh未満のもの、又は、
- 2030年までに建設許可を得たものであれば、
- ① 270gCO<sub>2</sub>/kWh未満であるもの、又は、 ② 20年以上の年間平均排出量が550kgCO<sub>2</sub>/kW未満のものが対象。  
さらに、既存の高排出な火力発電所の建て替えに限定する等、複数の条件あり。

⇒日本の一番発電効率が良いガス火力でも327gCO<sub>2</sub>/kWh程度のため、発電所のプラントから排出されるCO<sub>2</sub>を回収し地下に貯蔵するCCSを行う、または、水素を約50%程混焼する、もしくは稼働率を20%未満とする必要があり、極めて厳しい基準。

**ご清聴いただきありがとうございました。**