

# 新しい技術概念の導入に向けた 研究開発と規制の効率的実施

－ 米国NRCによる事故耐性燃料に対する  
規制活動を参考に考える －

東京大学JAEA連携講座／原子力規制人材育成事業  
合同ワークショップ

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構

安全研究センター

永瀬 文久

- 発電炉含む原子力施設の画期的な安全性向上や高度利用を目指す場合には、これまでと全く異なる概念の新しい技術や設計が導入されることがある。
- 安全性向上の観点だけでなく、国際競争の観点からも、堅実でありながら効率的に研究開発と規制判断を進める必要がある。
- 例えば、新しい概念に対する規制判断に際しては、安全確保のための基本的な考え方に変わりはないが、審査等の進め方についてこれまでとは違う枠組みを検討する必要があるかもしれない。
- 米国NRCで進められている事故耐性燃料への規制対応を参考に何をどのように検討すべきかを考えてみる。

米国NRCは、ウェブサイトにおいて、ATFの定義、ATF導入の必要性と経緯、導入のためのNRCの役割、各ATF技術概念の紹介、審査の進め方に関する検討状況、関係者とのコミュニケーションなどについて説明している。



## Accident Tolerant Fuel Regulatory Activities

STAY CONNECTED ▼ [PANELS6]  
 FAQs [REACTORS/ATF/FAQS.HTML]  
 ADDITIONAL TOPICS ▼ [PANELS7]  
 REFERENCES ▼ [PANELS8]

### What is Accident Tolerant Fuel?

Accident tolerant fuels (ATF) are a set of new technologies that have the potential to enhance safety at U.S. nuclear power plants by offering better performance during normal operation, transient conditions, and accident scenarios.

On January 14, 2019, the President signed the Nuclear Energy Innovation and Modernization Act (NEIMA), NEIMA, Section 107, "Commission Report On Accident Tolerant Fuel," which provides a definition of ATF as a new technology that:

- (1) makes an existing commercial nuclear reactor more resistant to a nuclear incident (as defined in section 11 of the Atomic Energy Act of 1954 (42 U.S.C. 2014)); and
- (2) lowers the cost of electricity over the licensed lifetime of an existing commercial nuclear reactor.

#### Why the Interest Now?



[reactors/atf/origins.html] Origins

[reactors/atf/origins.html]

#### What is the NRC's Role?

The NRC's role with ATF is to review the new fuel technologies and their associated enrichment, fabrication, transportation, and storage aspects to ensure that they maintain public health and safety when implemented by NRC licensees.

The NRC reviews the technologies against all applicable guidance, available data, and past precedent applications to determine if the new fuel design continues to meet the NRC's regulations.

Is the NRC ready for applications? [reactors/atf/nrc-ready.html]

### Accident Tolerant Fuel Technologies



Coated Cladding

[reactors/atf/chrom-clad.html]



Doped Pellets

[reactors/atf/doped-pellets.html]



FeCrAl Cladding

[reactors/atf/fe-cr-al-clad.html]



Increased Enrichment

[reactors/atf/enrichment.html]



Higher Burnup

[reactors/atf/burnup.html]



Longer Term Technologies

[reactors/atf/longer-term.html]

### Reviewing Accident Tolerant Fuel



In-Reactor Performance

[reactors/atf/in-reactor-perform.html]



Fuel Cycle, Transportation, and Storage



Probabilistic Risk Assessment

[reactors/atf/risk-assessment.html]



Independent Confirmatory Calculation

- 「通常の運転、過渡条件、事故のシナリオで優れた性能を提供することで、米国の原子力発電所の安全性を高める可能性を秘めた一連の新技術」
- 2019年1月14日、大統領が原子力イノベーション・近代化法 (NEIMA) に署名。NRAに対し新型炉や新技術に対して明確で効率的な規制プロセスを策定を求める。
- NEIMAの第107条「事故耐性燃料に対する規制プロセスの状況に関する報告書の議会提出」において、新技術としてのATFについて以下を定義
  - (1) 既存の商用原子炉の原子力事故 に対する耐性を高める。
  - (2) 既存の商用原子炉の認可寿命にわたって電気のコストを下げる。

## 短期的に導入を目指すもの

- コーティング被覆管
- 添加物ペレット
- FeCrAl被覆管
- 高濃縮度化
- 高燃焼度化

## 長期的に導入を目指すもの

- UNペレット
- SiC被覆管
- 押し出し成型金属燃料

- ATFに対するNRCの役割は、新しい燃料技術と関連する濃縮、製造、輸送、貯蔵の側面を審査し、NRCの許可を受けるものに公衆の健康と安全の維持を確実に行わせることである。
- NRCは、適用されるすべてのガイド、利用可能なデータ、および過去の申請例を活用して技術的レビューを行い、新しい燃料設計がNRCの規制を満たしているかどうかを判断する。

- 一般的に公衆の健康と安全を確実に維持することを目的に NRC による審査と承認が必要
- ATF を含むすべての燃料設計は、10 CFR Part 50 に記載されている要件を満たす必要
- 新しい燃料設計や新しい燃料材料を設計、認定、およびライセンスを取得するには、次の手順が必要になる場合がある。
- 「開発と試験」
  - ✓ 材料、機械、化学、熱、核の特性を完全に特徴付け、これらの特性が照射下でどのように変化するかを完全に特徴付ける。
  - ✓ 規制により要求される運転時の異常な過渡や事故条件での新しい設計 / 材料の性能を完全に特徴付け(個別の効果および総合試験)、妥当な燃料性能を保証するために、破損メカニズムを特定し、性能目標を設定し、設計要求と解析的な限界を決定する。

## ● 「一般的要件の決定」

- ✓ 試験結果に基づいて、満たされていない既存の規制要件を特定したり、独自の設計および性能についてどこに新しい設計上の規制目標と要件が必要かを特定する。

## ● 「解析モデル」

- ✓ 通常および事故条件下での新しい設計機能の性能をシミュレートする解析モデルを開発、較正、検証し、また不確かさを定量化し、これらのモデルをどのように適用するかを決める。

## ● 「原子炉固有の新しい要件」

- ✓ 特定の炉について、許認可取得者は、通常時の運転、AOO、および想定事故の下で妥当な性能を確保する技術仕様の安全制限、安全システムの設定ポイント(LSSS)の制限、および運転条件制限条件(LCO)を定義する。。



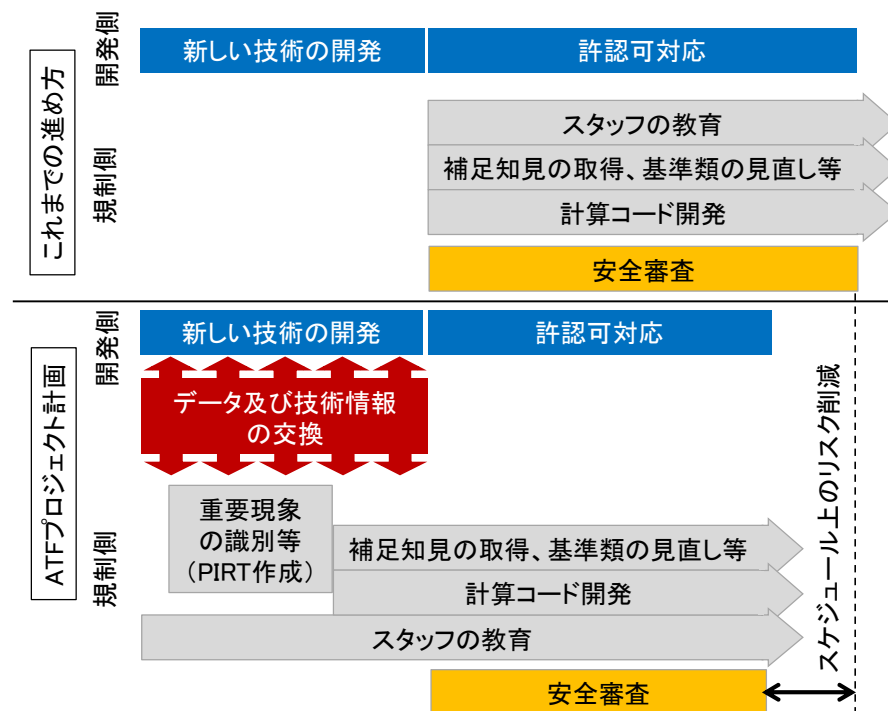
## ● 「使用の正当性」

- ✓ すべての設計および規制要件が特定の原子炉に対して満たされていることを実証する。
  - 通常運転時に、燃料は幾何学的安定性や健全性ととも、他の炉内構造物、共存燃料、取扱装置との両立性を維持する必要がある。
  - AOOの間、燃料は、幾何形状、健全性、および意図した安全機能を発揮するために性能を維持する必要がある。
  - 地震時の安全なシャットダウンを含む想定事故の際、燃料は、以下を含む意図した安全機能を発揮するために必要な範囲で幾何形状と健全性を維持する必要がある。
    - 制御棒を挿入する機能
    - 安全なシャットダウンを行う能力
    - 既知の冷却可能なジオメトリの維持(燃料の断片化、分散、熔融を最小限に抑えることを含む)
    - オンサイトおよびオフサイトの放射線影響に対する許容制限を満たすための燃料損傷の制限

## ● 「使用の正当性」(続き)

- ✓ 上記の使用正当化は、NRCが審査をするために提出されるトピカルレポートや許認可変更要求において詳述されるべき。NRCのスタッフは、新しい燃料設計がNRCの規制を満たしているかどうかを判断するために、適用可能な規制、ガイド、メーカーのデータを使用。以下は、網羅的ではないがNRCが審査する可能性のある要因のリスト。
  - 過去の先例トピカルレポートと許認可変更の審査
  - 適用されるNRCの規制とガイド
  - 環境問題
  - トピカルレポートまたは許認可変更プロセス中に、燃料メーカーまたは許認可取得者に求められる追加情報の要求に対する回答
  - 必要に応じて、適用可能な燃料性能(またはその他)コードを使用して実行される独立した確認計算
  - 必要に応じて、トピカルレポートの使用に関する制限および条件の決定または修正のためのライセンス条件の決定

- 従来のガイド、審査手順、規制基準が容易に対処できない新しいユニークな技術的課題あり。
- ATF設計の有効かつタイムリーな許認可審査に向けて、ATF審査の間に生じる可能性のある政策的課題についても徹底的に検討する必要あり。
- NRCは、短期的ATF技術を審査する準備を進め、今後のATF申請に対する「ATF対応プロジェクト計画」を策定。燃料許認可プロセスを熟考し、効率と有効性の改善をどこで得ることができるかを決定。



出典 “Project plan to prepare the U.S. Nuclear Regulatory Commission for efficient and effective licensing of Accident Tolerant Fuels”  
(<https://www.nrc.gov/docs/ML1930/ML19301B166.pdf>)

- ATF プロジェクト計画では、次のアクションを通じて規制の安定性と効率性を強化。
  - ✓ 重要現象の特定と順位付け作業(PIRT)の早期実施
  - ✓ データ共有
    - メーカーが、トピカルレポートを提出する前に、材料と燃料棒の性能データをNRCに提出することを奨励
  - ✓ すべての関係者とのコミュニケーションレベルの大幅向上
    - NRCのスタッフは、技術の進歩をフォローしフィードバックを得るために、メーカー、許認可取得者、産業界、一般市民、その他の関係者グループと早期に、そしてしばしば交流。
  - ✓ NRCが申請を受け取る前に生じる規制の変更とガイドの策定
    - 直近の例は、トピカルレポートに先立って行った、クロムコーティング被覆管の暫定スタッフガイド(ISG)の発行。通常、規制の変更とガイドの策定は、申請または許認可の修正要求を受け取った後に行われる。
- 上記4つの活動により、公衆の健康と安全を維持しつつ、開発と承認のためのタイムラインを短縮することができる。

- 燃料サイクル、輸送および貯蔵
- 確率論的リスク評価
  - ✓ NRC が行う重要な項目
    - ATF のバッチ装荷とATFを装荷するための大きなプラント変更の両方に対する許認可プロセス一部として提出された PRA 関連情報に対する準備と審査
    - 以下を効果的に行うためのPRA 関連の能力の更新
      - ATF が導入される場合には申請者が妥当な PRA モデルを使用していることを確認。
      - 原子炉監視プロセスに用いるNRCのプラント個別のPRAモデル (SPARモデル)の更新。
- 独立した確認計算 (燃料挙動、熱水力挙動、核特性、シビアアクシデントとソースターム)

## ● 「公衆との交流」

以下の機会を提供

- (1) ATFに関するNRCと業界の間の交流を監視
- (2) ATF技術に関し行われている技術的および規制上の進展を理解
- (3) NRCのATF関連の活動および決定に関する意見とフィードバックの提供

## ● 「パブリックミーティング」

## ● 「産業界とのコミュニケーション」

✓ コミュニケーションの増加

「産業界が提案するタイムライン内でATF技術をレビューするNRCの取り組みの成功の鍵。ATF審査プロジェクト計画の前提。」

✓ 会議とセミナーへの出席

✓ EPRIとNRCの覚書(2016年9月、リソースを確保し不必要な重複を避けるため)

- 「エネルギー省とのコミュニケーション」
  - ✓ 2017年9月のNRC/DOE覚書(ATFに関する交流、リソースの節約、重複の回避、データと技術情報の共有、場合によってはコストの共有)
  - ✓ 国立研究所で実施するDOE試験や確認解析コード開発への寄与
  
- 国際交流
  - ✓ OECD/NEA/CSNIとのコミュニケーション
  - ✓ 国際プロジェクト(SCIP、QUENCH)への参加
  - ✓ JAEAとの協力(NSRR実験)
  - ✓ 国際会議への参加

- プロジェクト計画で定めたタイムラインの前提の 1 つ
  - ✓ NRCが、特定のATF設計に対して独立した確認テストを行う必要はない。NRCは、申請者、DOE、または他の組織が、概念の安全基盤となるすべてのデータを提供することを期待。さらに、NRCは、NRCの分析能力を評価できるように、すべての炉内及び試験で得た燃料挙動データがタイムリーに提供されることを期待。
  - ✓ NRCがDOEおよび産業界の試験を通じて提供されたデータから安全上の判断に達することができない場合、NRCは独立した確認テストを実施。これにより審査対応計画のタイムラインが影響を受ける可能性あり。ただし、NRCの独立したテストの必要性を減らすために、DOE(及び申請者)の試験実施中に積極的に調整を実施。



- 米国NRCは、より活性化させたDOEや産業界などの利害関係者とのコミュニケーションに基づき、ATF審査のためのプロジェクト計画を策定して、産業界による開発と並行して審査の準備を進め、また不要な重複の回避や情報の共有などを行って、審査の効率化(許認可のタイムラインの短縮化等)を図っている。
- 我が国においても、産業界によるATF技術要素の開発が進められている。従来の概念とは違うATFの固有の安全評価についての検討も行われているが、関係者間のコミュニケーションや規制の枠組みの検討は今後の課題である。
- ATF等の新技術の導入に向けて効率的に開発と安全審査を進めることは、原子力発電所の安全性を高め、我が国の利益になる。米国等を参考に、関係者間のコミュニケーション、新技術に対する規制や安全研究の進め方の検討、それらに対応した人材育成方針の検討を図るべきではないか。

- Project plan to prepare the U.S. Nuclear Regulatory Commission for efficient and effective licensing of accident tolerant fuels, Version 1.2, September 2021 (ML21243A298).
- Phenomena identification ranking tables for accident tolerant fuel designs applicable to severe accident conditions, Final Report, NUREG/CR-7283, ERI/NRC 21-204, April 2021.
- Supplemental guidance regarding the chromium-coated zirconium alloy fuel cladding accident tolerant fuel concept, Interim Staff Guidance, ATF-ISG-2020-01, January 2020 (ML19343A121).
- Memorandum of understanding between U.S. Nuclear Regulatory Commission and Electric Power Reserach Institute, Inc. on cooperative nuclear safety research, September 2016 (ML16223A497).
- Addendum to memorandum of understanding between U.S. Nuclear Regulatory Commission and U.S. Department of Energy on nuclear safety research of advanced technology fuels, October 2017 (ML17130A815).