

フュージョンエネルギーの実現に向けた 安全確保の基本的な考え方について



目次

1. 安全確保検討タスクフォースにおける議論
2. フュージョンエネルギーの実現に向けた
安全確保の基本的な考え方
3. 参考資料

フュージョンエネルギーの実現に向けた安全確保の基本的な考え方 検討タスクフォースの開催

- 令和5年4月、我が国初の国家戦略として、「フュージョンエネルギー・イノベーション戦略」を統合イノベーション戦略推進会議で決定。
- この先10年を見据えた戦略として、「世界の次世代エネルギーであるフュージョンエネルギーの実用化に向け、技術的優位性を活かして市場の勝ち筋を掴む、“フュージョンエネルギーの産業化”」をビジョンに掲げる。
- ビジョンの達成に向けて、民間企業の更なる参画を促進し、産学官が連携して取り組む必要があり、民間投資の呼び水となる具体的なアクションを盛り込んだ国家戦略として策定。
- 国家戦略を踏まえ、内閣府の核融合戦略有識者会議の下に、安全確保の基本的な考え方を検討するためのタスクフォースを開催することを、令和6年3月29日の核融合戦略有識者会議で決定。



第6回核融合戦略有識者会議の様子

(参考) フュージョンエネルギー・イノベーション戦略 (抄)

○ 安全確保の基本的な考え方を策定すること【内（関係省庁）】

安全規制の内容によってフュージョンエネルギーに必要な機器に要求される性能や設計等が変わるので、民間企業の参画を促進するためには早期に安全規制を検討する必要がある。そのため、内閣府に、技術者や規制の専門家、一般市民を構成員とするタスクフォースを設置し、関係省庁の協力を得ながら、フュージョンインダストリーの育成、原型炉開発の促進も念頭においた安全確保の基本的な考え方を産業化に乗り遅れないように検討する。なお、その際に、核融合は核分裂とは原理が異なることから、規制を検討する体制も含めて議論を行う。

安全確保検討タスクフォース構成員一覧

	氏名	肩書	専門分野
	天谷 政樹	日本原子力研究開発機構 原子力安全・防災研究所 安全研究センター センター長	原子力安全
	遠藤 典子	早稲田大学 研究院 教授	エネルギー政策
	大野 哲靖	名古屋大学大学院 工学研究科電気工学専攻 教授	核融合物理
	奥本 素子	北海道大学 科学技術コミュニケーション教育研究部門 准教授	科学技術コミュニケーション
主査	近藤 寛子	合同会社マトリクスK 代表 ※核融合戦略有識者会議構成員	原子力規制
	田内 広	茨城大学 理工学研究科（理学野）生物科学領域 教授	放射線影響
主査代理	寺井 隆幸	東京大学 名誉教授／エネルギー総合工学研究所 理事長	原子力・核融合材料科学
	富岡 義博	電気事業連合会 理事 ※核融合戦略有識者会議構成員	産業界（事業者）
	中村 博文	量子科学技術研究開発機構 六ヶ所フュージョンエネルギー研究所 核融合炉システム研究開発部 次長	核融合安全性
	根井 寿規	政策研究大学院大学 名誉教授・客員教授	原子力安全政策
	波多野 雄治	東北大学 大学院工学研究科量子エネルギー工学専攻 教授	トリチウム取扱い
	福家 賢	東芝エネルギーシステムズ株式会社 パワーシステム企画部 部長代理	産業界（メーカー）
	横山 須美	長崎大学 原爆後障害医療研究所 教授	放射線影響

<オブザーバー> 外務省、文部科学省、経済産業省、環境省、原子力規制庁

※肩書は令和7年1月21日時点

安全確保検討タスクフォースにおける議論

＜開催実績＞

◆第1回：令和6年5月10日

1. 安全確保検討タスクフォースについて
2. 国内外におけるフュージョンエネルギーに関する規制の状況について
3. 検討の進め方について

◆第2回：令和6年5月28日

1. 英国におけるフュージョンエネルギーに関する規制の状況について
2. 米国におけるフュージョンエネルギーに関する規制の状況について

◆第3回：令和6年7月22日

1. 検討の進め方について
2. 国内におけるフュージョンエネルギーに関する規制の状況について
 - ①JT-60 の安全確保
 - ②LHD の安全確保
 - ③ITER 誘致時の議論
3. 関連学会等との連携について
 - ①日本原子力学会「核融合炉の潜在的リスクとその評価手法」研究専門委員会の設置

◆第4回：令和6年9月17日

1. スタートアップが構想する核融合装置について
 - ①京都フュージョニアリング株式会社
 - ②株式会社Helical Fusion

◆第5回：令和6年9月19日

1. スタートアップが構想する核融合装置について
 - ①Blue Laser Fusion合同会社
 - ②株式会社LINEAイノベーション
 - ③株式会社EX-Fusion

◆第6回：令和6年10月28日

1. 放射線発生装置に関する規制の状況について
2. 原型炉の安全確保

◆第7回：令和6年12月13日

1. 産業界からの安全確保に関する意見について
2. 安全確保の基本的な考え方について

◆第8回：令和7年1月21日

1. 関連学会等との連携について
2. 安全確保の基本的な考え方について

◆第9回：令和7年2月10日

1. 安全確保の基本的な考え方について



フュージョンエネルギーの実現に向けた安全確保の基本的な考え方 骨子

1. はじめに

- 国家戦略を踏まえ、社会的受容性を高めながらフュージョンエネルギーの実用化を進めていくためには、新たな産業としての育成、原型炉開発の促進も念頭に、フュージョン装置※の安全規制の検討に向けて、その前提となる指針として、「**安全確保の基本的な考え方**」を策定する。

2. フュージョンエネルギーの安全上の特徴

※軽い原子核同士が融合して別の原子核に変わる際に放出されるエネルギー(フュージョンエネルギー)を使用する装置

- 温度・圧力等の条件を外部から整えたときにのみ起こりうるものであり、燃料の供給や電源を停止することにより反応が停止する等の**安全性の特徴**。
- フュージョン装置の安全規制の検討に向けて**想定される危険性**としては、放射線の発生、三重水素・放射化ダスト等の放射性物質を装置に内蔵することに加え、これらの放射性物質を内蔵する装置・設備等に対して反応等に伴う荷重が作用し、放射性物質の閉じ込め機能が失われること等が想定される。

3. 現在の法体系におけるフュージョン装置の取扱

- トカマク型超伝導プラズマ実験装置JT-60SA等、**放射性同位元素等の規制に関する法律(RI法)に基づく「放射線発生装置」として規制**。
- フュージョン装置は、放射線発生装置の一種の「プラズマ発生装置」として、RI法の規制対象となり得るものではあるが、「原子炉」には該当せず、「核原料物質」「核燃料物質」を使用しないので、**原子炉等規制法の規制対象にはならない**。

4. 国内における過去の検討

- ITER誘致時に、「ITER施設の安全確保の基本的考え方について」「ITERの安全確保について」「ITERの安全規制のあり方について」を取りまとめ。過去の議論を踏まえて検討することが有用であるものの、リスク評価の高度化や社会の関心の高まりといった状況の変化も踏まえて検討する必要。
- 現行のRI法では、原子炉等規制法のような耐震化等による事故の発生防止措置等は求めている(JT-60SAは、県との協定に基づき自然災害等に係る対策を実施)。

5. 安全確保の基本的な考え方

(1) 安全確保の原則

- 一般公衆及び従事者の**放射線障害の防止**。
- 通常運転時及び事故時における人々と環境への放射線リスクを評価・管理。

(3) 安全確保の枠組みに係る早期の検討

- 各国において多様な炉型の研究開発や安全規制の検討が進展。
- 設計初期の段階から事業者が安全確保に取り組むことが重要。
- サイト選定、建設、運転のための許認可手続を含め、**明確な規制・安全確保の体系の早期検討が不可欠**。

(2) 科学的・合理的なアプローチ

- 研究開発段階であるため、新たな知見や技術の進展に応じて、追加的に必要な取組をデザインする**アジャイル(機敏)な規制**を検討すべき。
- **グレーデッドアプローチ(具体的なリスクの大きさに応じた規制)**の適用。

(4) 国際協調の場の活用

- G7やIAEA等との連携を図る等、**国際協調の場を活用**。
- ITER計画やBA(幅広いアプローチ)活動等の国際協力で得られる安全確保に関する知見を最大限に活用。

6. 今後検討すべき課題

※今後の技術開発動向や国際動向等も踏まえ、検討。 ※議論の情報共有・透明性を確保し、社会的に受容されるものである必要。

(1) 法的な枠組み

- 現存するフュージョン装置と同程度のリスクであれば、**当面はRI法の対象としてフュージョン装置を位置付けることが適当**と考えられる。
- フュージョン装置に特有な事象への対応は、設計段階や開発スケジュール等に応じて、**具体的期限を区切って明確化**。

(2) 安全確保の枠組みを検討する体制

- 新たな知見や技術の進展に応じて、科学的・合理的にフュージョン装置を規制するためには、政府の**体制強化**が不可欠。
- 政府と事業主体等が**継続的に情報共有・対話を行う場を整備**。関係者間の協働を促進。

(3) 知見の蓄積

- ITER誘致時の議論や最新の知見を基に、三重水素、材料の放射化、放射性廃棄物等に係るリスク・ハザードについて、引き続き検討するとともに、**安全性に関する研究を推進**。

過去の検討
国際協調の場に参画
最新の知見を共有
期限を区切って議論

検討する体制

- ・政府
- ・事業主体
- ・有識者
- ・自治体 等



【概要】フュージョンエネルギーの実現に向けた安全確保の基本的な考え方①

1 はじめに

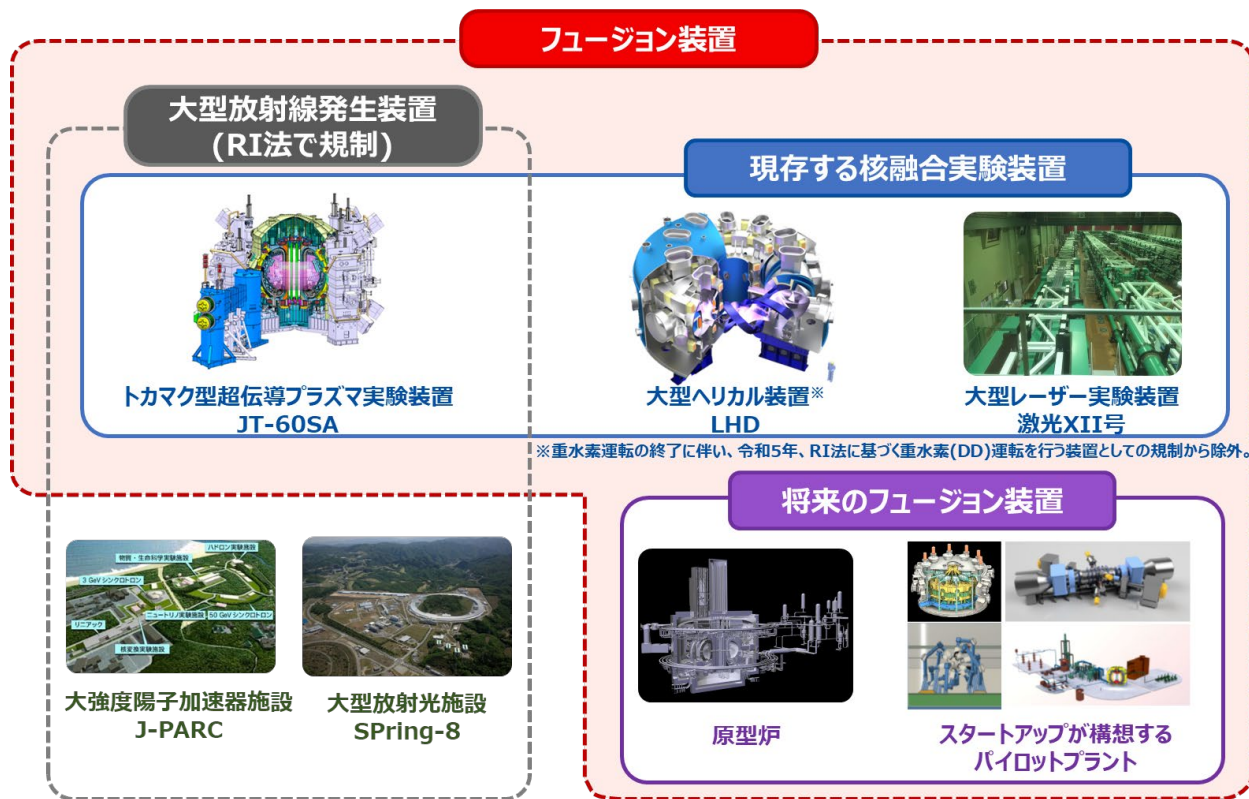
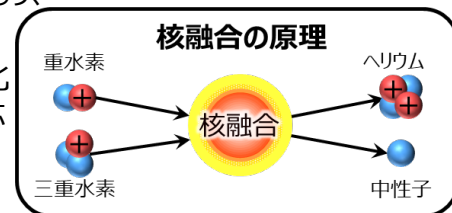
- 国家戦略を踏まえ、社会的受容性を高めながらフュージョンエネルギーの実用化を進めていくためには、新たな産業としての育成、原型炉開発の促進も念頭に、フュージョン装置※の安全規制の検討に向けて、その前提となる指針として、**「安全確保の基本的な考え方」**を策定する。

※ 軽い原子核同士が融合して別の原子核に変わる際に放出されるエネルギー(フュージョンエネルギー)を使用する装置。トカマク型超伝導プラズマ実験装置「JT-60SA」や大型レーザー実験装置「激光XII号」等の現存する核融合実験装置に加え、将来の原型炉やパイロットプラントを指す。



2 フュージョンエネルギーの安全上の特徴

- 核融合反応は、必要な燃料を外部から供給し、さらに温度・圧力等の条件を外部から整えたときにのみ起こりうるものであり、核分裂のような連鎖反応は発生せず、燃料の供給や電源を停止することにより反応が停止する等の**安全性の特徴**。
- フュージョン装置の安全規制の検討に向けて考慮すべき**想定される危険性**としては、放射線の発生、三重水素や放射化ダスト等の放射性物質を装置に内蔵することに加え、これらの放射性物質を内蔵する装置・設備等に対して核融合反応等に伴う熱や磁氣的・機械的・化学的エネルギー等により荷重が作用し、放射性物質の閉じ込め機能が失われること、使用後の装置・設備等が放射化すること等が想定される。



【概要】フュージョンエネルギーの実現に向けた安全確保の基本的な考え方②

3 現在の法体系におけるフュージョン装置の取扱

- 原子力基本法上、「原子力」とは「原子核変換の過程において原子核から放出されるすべての種類のエネルギー」と規定されており、この原子核変換には、核分裂反応だけでなく、核融合反応も含まれると解されるため、**基本法上の「原子力」に核融合反応は含まれる。**
- トカマク型超伝導プラズマ実験装置JT-60SA等、**放射性同位元素等の規制に関する法律(RI法)に基づく「放射線発生装置」として規制**
- フュージョン装置は、放射線発生装置の一種の「プラズマ発生装置」として、RI法の規制対象となり得るものではあるが、「原子炉」には該当せず、「核原料物質」「核燃料物質」を使用しないので、**原子炉等規制法の規制対象にはならない。**
- 将来のフュージョン装置についても、放射線を発生させることに加え、放射線による障害の防止の観点から必要な安全確保策やそれを担保する規制の在り方を検討することが必要である。



4 国内における過去の検討

- ITER誘致時に、「ITER施設の安全確保の基本的考え方について」「ITERの安全確保について」「ITERの安全規制のあり方について」を取りまとめ、過去の議論を踏まえて検討することが有用であるものの、リスク評価の高度化や社会の関心の高まりといった状況の変化も踏まえて検討する必要。



【概要】フュージョンエネルギーの実現に向けた安全確保の基本的な考え方③

5 安全確保の基本的な考え方

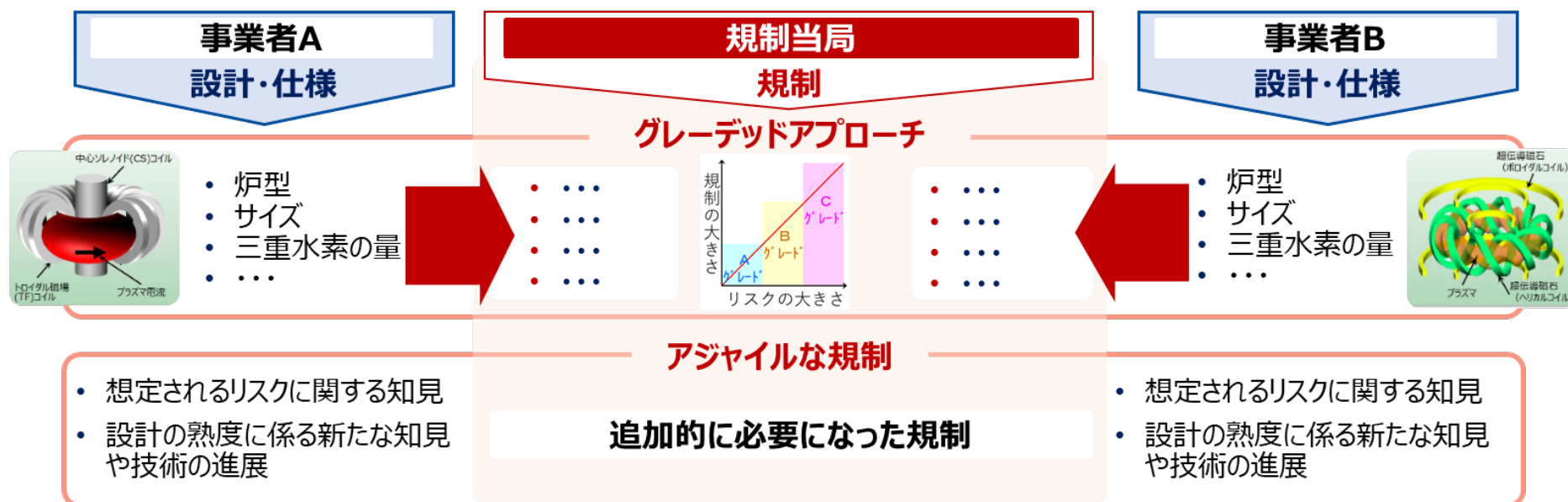
(1) 安全確保の原則

- フュージョン装置は、放射線を発生し、または放射性物質を内蔵する場合があることから、従前の放射線防護の原則を踏まえた安全確保の取組が求められる。
- 将来のフュージョン装置についても、一般公衆及び従事者の放射線障害の防止を原則とし、その想定されるリスクに応じて、通常運転時及び事故時における人々と環境への放射線リスクを評価・管理することが重要。また、放射線を発生し、または放射性物質を内蔵する場合には、社会的・経済的な要因も考慮に入れながら、被ばく線量を合理的に達成できる限り低減すること(ALARA)が必要。



(2) 科学的・合理的なアプローチ

- 原型炉や国内スタートアップが構想するパイロットプラントをはじめとする将来のフュージョン装置は、現時点では研究開発段階。
- 研究開発を進める事業者は、想定されるリスクに関する知見や設計の熟度に係る新たな知見や技術の進展に応じて、追加的に必要な安全確保の取組を装置の研究開発とあわせてデザインし、データや実績に基づいて適宜改善していくことが必要。
- 行政は規制についてその検討状況にあわせてアジャイル(機敏)に対応していくことが適当。
- フュージョン装置の形式や技術の多様性を踏まえ、原型炉や国内スタートアップを含む多様な主体が研究開発段階で様々な機器を実装することが可能となるよう、発生する放射線量や三重水素等の放射性物質の量といった具体的要素のリスクの大きさに応じた規制を実施する「グレーデッドアプローチ(安全上の重要度に応じた規制上の取扱い)」を適用することが適当。

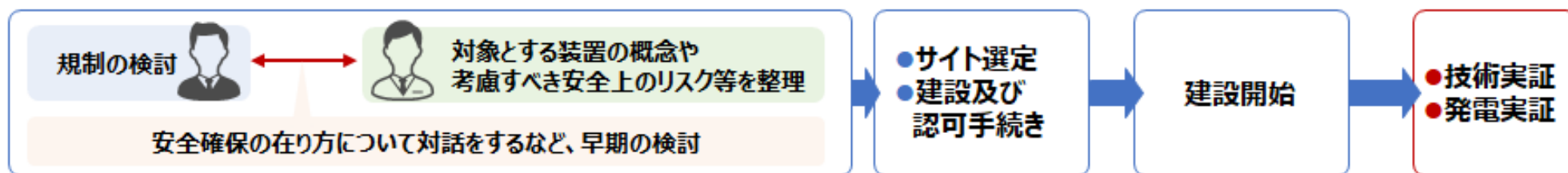


【概要】フュージョンエネルギーの実現に向けた安全確保の基本的な考え方④

5 安全確保の基本的な考え方

(3) 安全確保の枠組みに係る早期の検討

- 現在、世界各国で多様な方式によるフュージョンエネルギーの実現に向けた取組が進展。
- 我が国のスタートアップ等が構想するフュージョン装置も多種多様であるが、2030年代の技術実証・発電実証を目指し、2030年頃にパイロットプラントの建設の開始を計画するスタートアップも存在。
- 今後のサイト選定や建設及び許認可等に要する期間等を考慮し、関係者の関与等の行政側の対応を検討していくことが必要。
- 研究開発を進める事業者が、対象とする装置の概念や考慮すべき安全上のリスク等がある程度整理された段階等から、**規制当局と安全確保の在り方について対話をする等、早期の検討が不可欠。**



(4) 国際協調の場の活用

- 科学的に合理的な安全確保の取組を実施し、また、その考え方に係る社会的受容性を向上させるためには、G7やIAEA等の国際的な枠組みを通じた世界各国との連携を図る等、**国際協調の場を活用することが重要。**
- 2023年10月には、Agile Nations Fusion Energy WGとして共同勧告を発表し、透明性を保ち、イノベーションを促進しながら、リスクに見合った、人々と環境に対する適切な保護を維持する規制枠組みを策定すること等を掲示。
- G7の枠組みにおいては、2024年6月にイタリアで開催された、G7サミットの成果文書において、「フュージョンの規制に対する一貫したアプローチに向けて取り組む」ことが明記。
- IAEAにおいても、加盟国間での共通のアプローチと一貫した意思決定により、設計者が管轄区域をまたいだ申請等のプロセスが効率化されると指摘。
- 今後も、規制当局も含め、このような国際的な枠組みを積極的に活用することで、国際的に協調した安全確保の取組を検討していくことが重要。
- 併せて、ITER計画やBA(幅広いアプローチ)活動等、我が国が参画する国際的なプロジェクトにおいて得られる安全確保に関する知見について、最大限に活用することも有効。



【概要】フュージョンエネルギーの実現に向けた安全確保の基本的な考え方⑤

6 今後検討すべき課題

(1) 法的な枠組

- 研究開発を進める事業者においてフュージョン装置の概念や考慮すべき安全上のリスク等がある程度整理された段階で、フュージョン装置の特徴を十分に考慮して、安全確保のために規制が必要となる項目を整理する必要。
- 規制の検討に際しては、現行の規制関連法令における規制や手続の差異に加え、フュージョン装置の規制に必要となる項目を踏まえた適用すべき法令等を丁寧に整理した上で検討する必要。
- 原型炉や国内スタートアップが構想するパイロットプラントに関しては、持続的な核融合反応を起こす能力を有すること等も想定されることから、**将来的には規制の法体系の在り方も含めて検討する必要**。
- しかしながら、これを待たずに新たなフュージョン装置が建設される際には、**現存するフュージョン装置と同程度のリスクであれば、当面は、現行のRI法の対象として、RI法に基づく放射線防護の観点からの規制を継続することが適当**と考えられる。なお、その場合であっても、装置の形式や技術の多様性を考慮し、個々のフュージョン装置において想定されるリスクが一樣ではないことに留意した適用を検討する必要。



(2) 安全確保の枠組みを検討する体制

- 技術の進展や国際的な動向も踏まえつつ、フュージョン装置の科学的・合理的な規制を検討するに当たって、規制官庁も含めた**政府の体制を強化することが不可欠**。
- 推進と規制の分離を図りつつ、政府と事業主体等が**継続的に情報共有・対話を行う場も必要**。政府と事業主体等のステークホルダーの積極的な協働を促す仕組みを設けることが求められる。
- 関係者はもとより、広く国民に対しても**情報共有を適切に行うことで、議論の透明性を確保し、社会的に受容されるようなもの**とすることが求められる。



(3) 知見の蓄積

- フュージョン装置は研究開発段階であり、将来のフュージョン装置の安全確保の検討に当たっては、ITER誘致時の議論に加え、新たな知見の獲得の観点から、**開発を進める事業者と規制当局の双方が安全性に関する知見の収集や研究を推進する必要**。
- 三重水素、材料の放射化、放射性廃棄物等に係るリスク・ハザードについて、引き続き検討するとともに、**安全性に関する研究を推進**。
- 関連学会等の議論や国際動向も踏まえたリスク評価手法を早期に確立することが重要。



(4) セキュリティと不拡散

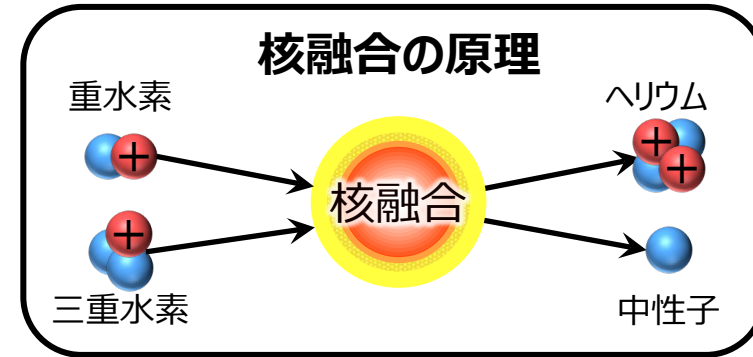
- IAEA「Fusion Key Elements」では、フュージョン装置に係る安全規制やセキュリティは、連鎖反応が起きず、即時に停止するといった**固有の安全性を考慮し、そのリスクに見合うものである必要**があることを指摘。
- 今後の検討の進展に伴い、設計や規制監督を通じて放射性物質の拡散リスクの低減を図ることの重要性も指摘。
- フュージョン装置に係るセキュリティや不拡散に係る取組についても、今後諸外国の対応等も踏まえた検討を行う必要。



フュージョン(核融合)エネルギーについて

＜フュージョンエネルギーとは＞

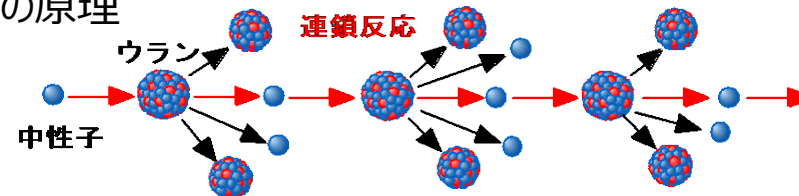
- ・軽い原子核同士が融合して別の原子核に変わる際に放出されるエネルギー
- ・太陽や星を輝かせるエネルギーと同じ原理で、ウラン燃料を用いる原子力発電と全く異なる。



＜フュージョンエネルギーの特徴＞

- ① **カーボンニュートラル** 発電の過程において二酸化炭素を発生しない。
- ② **豊富な燃料** 燃料は海水中に豊富に存在し、ほぼ無尽蔵に生成可能な上に、少量の燃料から膨大なエネルギーを発生させることが可能
- ③ **固有の安全性** 燃料の供給や電源を停止することにより反応が停止
- ④ **環境保全性** 発生する放射性廃棄物は低レベルのみ

(参考) 原子力発電の原理



- ・連鎖反応を制御棒で制御
- ・万年単位の管理を必要とする高レベル放射性廃棄物が発生

国内におけるフュージョンエネルギー関係の規制の現状について

- 原子力基本法において、「原子力」とは「原子核変換の過程において原子核から放出されるすべてのエネルギー」と規定されており、原子核変換には、核分裂反応や核融合反応が含まれる。また、「原子炉」とは、ウラン、トリウム等原子核分裂の過程において高エネルギーを放出する物質(核燃料物質)を燃料として使用する装置とされている。
- 同法の精神に則り、**原子炉等による災害を防止**するための「核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律(原子炉等規制法)」と、**放射性同位元素等による放射線障害を防止**するための「放射性同位元素等の規制に関する法律(RI法)」が制定されている。
- 原子力規制委員会設置法に基づき、「原子力利用における安全の確保に関すること」については、**原子力規制委員会の所掌事務**である。(原子炉等規制法、RI法等に基づき、原子力規制委員会が規制を実施。)
- 国内の**重水素(DD)運転を行う装置**(QSTのJT-60SA、NIFSのLHD※¹)については、**RI法に基づく放射線発生装置として規制**されている。一方、重水素-三重水素(DT)運転を行う装置については規制対象がまだ存在していないため、規制基準がない※²。

※¹ LHD(大型ヘリカル装置)については、重水素運転の終了に伴い、令和5年、RI法に基づく重水素(DD)運転を行う装置としての規制から除外

※² 放射性同位元素である三重水素(T)の取扱いや、中性子線等の放射線による放射性汚染物の廃棄その他の取扱いは、RI法に基づく

(参考) DT運転を行う装置の規制については、**ITER誘致時の規制の議論により、一定の知見が蓄積**。

- 「ITER施設の安全確保の基本的考え方について」(平成12年7月 科学技術庁原子炉安全技術顧問会合)
- 「ITERの安全確保について」(平成13年8月 原子力安全委員会)
- 「ITERの安全規制のあり方について」(平成14年6月 原子力安全委員会)
- 「ITERの安全確保について」(平成15年11月 文部科学省ITER安全規制検討会)

※ ITERの特徴を踏まえた、安全確保上留意すべき点や安全規制の基本的考え方、技術的要件等をとりまとめ。

国内におけるフュージョンエネルギー関係の規制の現状について

（参考）関係条文

●原子力基本法（昭和30年法律第186号）

第三条 この法律において次に掲げる用語は、次の定義に従うものとする。

- 一 「原子力」とは、原子核変換の過程において原子核から放出されるすべての種類のエネルギーをいう。
- 二 「核燃料物質」とは、ウラン、トリウム等原子核分裂の過程において高エネルギーを放出する物質であつて、政令で定めるものをいう。
- 四 「原子炉」とは、核燃料物質を燃料として使用する装置をいう。ただし、政令で定めるものを除く。

●原子力規制委員会設置法

第四条 原子力規制委員会は、前条の任務を達成するため、次に掲げる事務をつかさどる。

- 一 原子力利用における安全の確保に関すること。

●放射性同位元素等の規制に関する法律（昭和32年法律第167号）

第一条 この法律は、原子力基本法（昭和三十年法律第百八十六号）の精神にのっとり、放射性同位元素の使用、販売、賃貸、廃棄その他の取扱い、放射線発生装置の使用及び放射性同位元素又は放射線発生装置から発生した放射線によつて汚染された物（以下「放射性汚染物」という。）の廃棄その他の取扱いを規制することにより、これらによる放射線障害を防止し、及び特定放射性同位元素を防護して、公共の安全を確保することを目的とする。

第二条 この法律において「放射線」とは、原子力基本法第三条第五号に規定する放射線をいう。

5 この法律において「放射線発生装置」とは、サイクロトロン、シンクロトロン等荷電粒子を加速することにより放射線を発生させる装置で政令で定めるものをいう。

●放射性同位元素等の規制に関する法律施行令（昭和35年政令第259号）

（放射線発生装置）

第二条 法第二条第五項に規定する政令で定める放射線発生装置は、次に掲げる装置（略）とする。

- 八 その他荷電粒子を加速することにより放射線を発生させる装置で、放射線障害の防止のため必要と認めて原子力規制委員会が指定するもの

●荷電粒子を加速することにより放射線を発生させる装置として指定する件（平成元年科学技術庁告示第4号）

※原子力規制委員会所管

変圧器型加速装置、マイクロトロン及びプラズマ発生装置（重水素とトリチウムとの核反応における臨界プラズマ条件を達成する能力をもつ装置であつて、専ら重水素と重水素との核反応を行うものに限る。）

国内における過去の検討(ITER誘致時の規制の議論)

■ ITER規制整備のステップ

STEP-0 : 安全上の特徴分析

異常影響解析を行い、
障壁への影響因子と
影響の過程を明らかにする

STEP-1 : 基本的な考え方

安全上の特徴に基づき安全規制
の根幹を為す基本思想を決定

STEP-2 : ITER規制体系の立案

規制上の手続きと行政処分のため
の判断基準

技術的要件

STEP-3 : 規制体系の法制化

STEP-0 : 安全上の特徴分析

核融合反応の固有の安全性

- ・連鎖反応ではないため核的暴走の危険がない
- ・プラズマの圧力限界、密度限界による反応収束性
- ・不純物混入に対する反応収束性

ITER装置条件下での固有の特徴

- ・放射性物質の崩壊熱密度が小さい
- ・放射性物質を内蔵する機器への荷重
- ・機器の構造強度を確保する必要

重水素と三重水素との核融合反応

- ・燃料である三重水素が拡散しやすい放射性物質
- ・核融合反応により高エネルギーの中性子が発生
- ・中性子により構造材等が放射化すること

ITERの安全上の主要な考慮事項

- ・真空容器等の気密性を高めること
- ・電磁力に対する真空容器の構造強度の確保
- ・電磁力に対する超伝導コイルの構造強度の確保

STEP-1 : 基本的な考え方(H12～H14)

- ・ITER施設の安全確保の基本的な考え方について(平成12年7月 科学技術庁原子炉安全技術顧問会合)
- ・ITERの安全確保について(H13年8月 原子力安全委員会)
- ・ITERの安全規制のあり方について(H14年6月 原子力安全委員会)

STEP-2 : ITER規制体系の立案(H14～H15)

- ・ITERの安全確保について(平成15年11月 文部科学省ITER安全規制検討会)

1. ITERの安全上の特徴

- ・核融合では原理的に核的暴走の危険性はない(核分裂のような連鎖反応はない)
- ・考慮すべき潜在的危険性は、放射性物質を内蔵すること、それらの放射性物質を内蔵する設備等に核融合反応等に伴う熱や磁器エネルギー等により荷重が作用すること

2. ITERの安全確保の基本方針

- ・安全確保の目的：公衆及び従事者への放射線障害防止措置を講ずること
- ・安全要件：放射性物質の漏えい事故等の発生防止、排気設備等による事故の影響緩和

3. ITERの安全性の確認の基本的手続き

基本設計段階等の各段階に応じて、予め示した基準等に基づき科学的・合理的方法により行う

4. ITERに関する安全設計・安全評価の基本方針

- | | | | |
|-----|--------------|-----|------------------|
| 方針1 | 安全確保の原則 | 方針5 | 火災に対する考慮 |
| 方針2 | 平常時における放射線防護 | 方針6 | 耐震性の確保 |
| 方針3 | 事故の発生防止 | 方針7 | 外部起因事象に対する設計上の考慮 |
| 方針4 | 事故による影響緩和 | 方針8 | 品質保証に対する考慮 |

フュージョンエネルギーの規制枠組み構築に関する共同勧告 (令和5年10月 Agile Nations Fusion Energy ワーキンググループ)



概要

- 海外市場獲得のためには国際協調による規制の議論を行うことが重要であることから、日本（文部科学省）は Agile Nationsのワーキンググループ（WG）に参画し、フュージョンエネルギーの安全規制の議論を実施。
(参考) Agile Nations：参加政府間の革新的な規制の実践に関する協力を促進することを目的とした政府間規制協力ネットワーク。
- WGは、英国の呼び掛けにより開催し、以下の政府代表で構成。必要に応じて技術専門家にも協力を要請。
【メンバー】英国、日本、カナダ 【オブザーバー】シンガポール、バーレーン
- 令和5年10月、WGの一環として、英国・日本・カナダは共同勧告を発表。
フュージョンエネルギー施設に関する規制枠組みをどのように構築するかについて、5つの勧告と、それを裏付ける2つのケーススタディをまとめた。

5つの勧告

1. **フュージョンエネルギーが気候変動とエネルギー安全保障という世界的な課題に対して重要な貢献ができることを認識すること。**
2. **フュージョンエネルギー技術とは無関係に、フュージョンエネルギー施設に適用される規制の枠組みについて、すべての国が明確化に向けた取組を開始すること。**
3. **フュージョンエネルギーの規制に対する調和されたアプローチが、複数の国で採用されることの利点を各国が認識すること。**
4. **透明性を保ち、イノベーションを促進しながら、フュージョンエネルギーの危険性に見合った、人々と環境に対する適切な保護を維持するフュージョンエネルギーの規制枠組みを策定すること。**
5. **防護レベルが適切であることを国民に保証することの重要性を各国が認識し、これを達成する方法を検討すること。**

フュージョンエネルギーの実証と商業化を加速する戦略的パートナーシップ

- 2024年4月、盛山文部科学大臣が、ターク米国エネルギー省(DOE)副長官との会談において、
「フュージョンエネルギーの実証と商業化を加速する戦略的パートナーシップに関する共同声明」を発表。

◆概要

日米両国は、科学技術協力協定の下で共同研究や人材交流を長年実施するとともに、イーター(ITER)計画に共に参加するなど、これまでも強固な協力関係を築いてきました。

我が国においては、昨年策定した国家戦略に基づき、フュージョンエネルギーの早期実現には、同志国との連携を強化していく必要があると考えており、この度、盛山大臣とタークDOE副長官との会談において、戦略的パートナーシップに関する共同声明を発表しました。

今後、科学技術協力協定に基づいて設置された日米核融合調整委員会(CCFE)を活用し、

- ・ 科学的・技術的課題への対応や、研究開発施設の共用・開発
 - ・ 核融合炉の規制に関する国際的な協調の促進
 - ・ 産業界とも連携した、世界的なサプライチェーン発展の支援
 - ・ 次世代を担う人材の育成や研究者交流の拡大
- など、戦略的な活動を推進します。



◆日米首脳共同声明「未来のためのグローバル・パートナー」(2024年4月10日)

我々は、フュージョンエネルギーの実証及び商業化を加速するための日米戦略的パートナーシップの発表を通じたフュージョンエネルギー開発を含む次世代クリーン・エネルギー技術の開発及び導入を更に主導する。

G7プーリア・サミットの成果文書(フュージョンエネルギー関連)



- 2024年6月13日～15日、イタリア・プーリアで開催された、**G7プーリア・サミットの成果文書**において、フュージョンエネルギーに関する記載が盛り込まれた。
- 4月28日～30日の**G7気候・エネルギー・環境大臣会合**及び7月9日～11日の**G7科学技術大臣会合**を踏まえ、フュージョンエネルギーが、将来的に気候変動とエネルギー安全保障上の課題に対して永続的な解決策を提供する可能性があることを認識。
- 民間投資と公衆関与を促進し、**開発と実証を加速するため、国際協調を促進。**

<**G7首脳の結果文書(G7プーリア首脳コミュニケ)**>

- フュージョンエネルギーに関する**G7作業部会の設立**を約束する。
- フュージョンの**規制に対する一貫したアプローチ**に向けて取り組む。
- フュージョンエネルギーにおける協力を促進するため、**世界フュージョン・エネルギー・グループ“World Fusion Energy Group”の創立閣僚級会議をローマで主催する**という、イタリアとIAEAの意思決定を歓迎する。

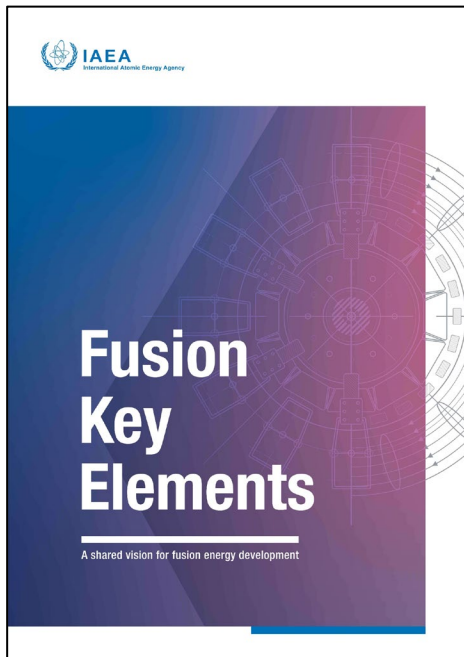
世界フュージョンエネルギーグループ(WFEG)創立閣僚級会議

- 2024年11月6日、**G7首脳の結果文書**において言及された、**世界フュージョン・エネルギー・グループ “World Fusion Energy Group”**の創立閣僚級会議がイタリア・ローマで開催。
- グロッシー国際原子力機関(IAEA)事務局長等の開会挨拶の後、シムソン欧州委員や政府代表から、各国の声明。日本からは、今枝文部科学副大臣や小安量子科学技術研究開発機構(QST)理事長等が参加。**今枝副大臣より、国家戦略を踏まえた取組を紹介するとともに、国際連携強化の意志を表明。**
- 午後は、**研究開発、官民連携、産学連携に関する3つのパネル**を実施。J-Fusionの小西会長や住友商事の兵頭取締役会長、バラバスキITER機構長に加え、各国の研究機関やスタートアップのCEO等が登壇。
- 11月4日には、フュージョンエネルギーに関する**G7作業部会の初会合**が開催。内閣府の川上審議官や核融合科学研究所(NIFS)の吉田所長等が参画し、早期実現に向けて、G7として優先的に取り組むべき事項等について議論。



IAEA「Fusion Key Elements」

- フュージョンエネルギーの開発に向けた**共通のビジョン**として作成。研究開発から実証、商業化に至るまでの道筋について共通理解を構築し、世界的なイニシアチブの維持・発展を支える協調体制を示す。
- フュージョンエネルギーに関わる研究者やエンジニア、規制当局、起業家、ステークホルダー、政策立案者を対象。



<https://www.iaea.org/publications/15764/fusion-key-elements>

6つの Fusion Key Elements

1. 研究・開発・実証(Research, Development and Demonstration)

フュージョンエネルギーの商業化には、科学技術の更なる進展が必要。フュージョンプラントの実証と展開を加速し、サプライチェーンを発展させるためには、研究開発への継続的支援が不可欠。

2. 産業化(Industrialization)

フュージョンの潜在力を解き放ち、本格的に産業化するには、十分な資源の確保、収益源の創出、有能な人材の育成、効果的な知識管理戦略、明確な法令・規制・知的財産権の枠組みが必要。

3. 安全・セキュリティ・不拡散(Safety, Security and Non-Proliferation)

フュージョンプラントの安全規制とセキュリティは、連鎖反応が起きず、即時に停止するといった固有の特徴を考慮し、リスクに見合うものである必要。設計や規制監督を通じて拡散リスクの低減も重要。

4. 国際協働(Global Collaboration)

国際協働や民間部門の関与の増加に伴い、エコシステムは急速に進化。国際協力は更なる進展が必要な領域への対応、サプライチェーンの確立、商業化に必要な人材の育成に不可欠。

5. 関係者の役割(Roles of Stakeholders)

各国政府、規制当局、研究機関、アカデミア、民間企業、国際機関、非営利団体は、フュージョンエネルギーの採用と展開を促進させるために、協調して取り組む必要。

6. 公衆関与、アウトリーチ、コミュニケーション(Public Engagement)

気候変動とエネルギー安全保障への長期的な解決策として、フュージョンエネルギーの可能性を効果的に発信することは、その開発に対する公衆の支持を確保する上で重要。

3. 安全、セキュリティと不拡散

フュージョンプラントの安全規制とセキュリティは、連鎖反応が起きず、即時に停止するといった固有の特徴を考慮し、そのリスクに見合うものである必要。発展に伴い、設計や規制監督を通じて拡散のリスクの低減も重要。

【放射線安全の基本原則】

フュージョンエネルギーの成功的な展開には、安全で確実な設計が不可欠である。フュージョンプラントの安全性アプローチは、IAEAの安全基準シリーズNo. SF-1「基本安全原則」に準拠する必要がある。これは医療分野、発電、産業応用を含む、放射線リスクが生じるすべての状況に適用される。この枠組みにおける基本的な目的は、電離放射線の有害な影響から人々と環境を保護することである。

SF-1の基本安全原則は、平和目的で使用されるすべての施設及び活動に、そのライフサイクル全体を通じて適用され、既存の放射線リスクを低減するための保護措置にも適用される。これらの施設及び活動には、放射性物質が生産、処理、使用、取り扱い、保管、または処分される場所で、保護と安全性の考慮が必要とされる規模のものが含まれる。したがって、これらの原則は、安全性の考慮が必要な規模で放射性物質を使用及び生産するフュージョンプラントにも適用できる。

IAEA一般安全要件パート1-7は、安全性評価や規制の枠組みなどのトピックを扱う。一般安全要件は、フュージョン装置を含むすべての放射線利用に適用される。

放射線リスクの評価と管理を担当する組織は、通常運転時及び事故時における人々と環境への放射線リスクを評価し、管理する必要がある。これは、設計、運転、燃料・廃棄物管理、解体・廃止措置を含む施設のライフサイクル全体に適用される。安全性の実証を支援するためには、モデリングと診断が必要となる。関係するすべてのシステムについて、設計プロセスの最初から安全対策を考慮することが不可欠である。フュージョンプラントの新規性により、様々なシステムの性能における不確実性を安全性分析で慎重に検討する必要がある。技術に応じて、異なる物質の相互作用(例：リチウム、水)、放射性同位体、粒子エネルギーが予想され、考慮すべき様々な危険が生じる。フュージョンプラント設計者は、これらの原則を考慮して、可能な限り危険を低減し、放射性廃棄物を最小限に抑える必要がある。

IAEA「Fusion Key Elements」における安全確保に関する記載②（仮訳）

【フュージョンエネルギーの規制アプローチ】

フュージョンの実験は、一部のIAEA加盟国ですでに研究開発(R&D)のためにライセンスを受け、運転されている。今後、数年間で、設計者は最初のパイロット・プロジェクトやデモンストレーション・プロジェクトを生み出すことが期待されている。これらのプロジェクトが成功すれば、フュージョンプラントの広範な商業的採用へとつながる可能性がある。

広範な商業的採用を検討している設計について、加盟国は現在、そのリスクに見合ったフュージョンプラントの規制アプローチを評価している。これらの評価では、フュージョンの固有の特徴(例:連鎖反応がないこと、電力喪失時の即時停止)、関連する放射性物質の特性、現場での放射性物質の管理を考慮に入れている。このアプローチは、IAEAの段階的な規制アプローチを反映している。

フュージョンプラントと放射性廃棄物の安全管理に関する要件とガイダンスは、国内の枠組みと関連する危険性に応じて、すでに存在するか、加盟国で開発中である。これらの要件とガイダンスは、安全性とセキュリティの両方に対応している。IAEAは、技術と危険性に適したフュージョンエネルギーの安全要件とセキュリティガイダンスの開発に関して、規制機関を支援し、他の規制体制で行われてきたように、設計の成熟に伴う教訓の取り入れを可能にすることができる。

規制当局間の協力は有益である。実現可能な場合、加盟国間での共通のアプローチと一貫した意思決定により、設計者が管轄区域をまたいだ申請、技術的解決策、正当性の根拠を修正する必要性が減少し、申請プロセスが効率化される。

異なる規制アプローチが適用される場合でも、共通の用語と技術的事項に関する共通の立場は、すべての規制当局に役立つ。サイバーセキュリティなどを含む新たな技術的課題に関する継続的な規制に関する協力により、知識と経験を共有し、フュージョンプラントの規制がこれらの分野に適切に対応できるようになる。

IAEAなどの国際機関は、類似の規制の枠組みを開発している加盟国間の二国間及び多国間の討議を促進することができる。IAEAにおける取組の一貫性と整合性を確保するための調整は、すべての加盟国のフュージョン規制構造の進展を支援する。IAEAがフュージョンに関する安全基準を開発する必要があるかどうかの決定は、フュージョンプラントが成熟するまで必要ない可能性がある。

産業標準化機関は、規制審査の効率化に役立つ共通の設計アプローチの開発において、役割を果たす可能性がある。

【フュージョンプラントの広範な商業化への移行】

これまで、フュージョンエネルギーの経験はR&Dプロジェクトに限られていたが、フュージョンエネルギーの生産と商業化が将来的に予測されている。これにはフュージョンプラント(プロトタイプ、実証及び/または商業プラント)の建設が含まれる。

フュージョン技術の発展に伴い、規制機関は開発段階に適したプロセスを採用する可能性がある。例えば、段階的アプローチを使用して、各段階で異なるライセンス要件と監督を指定することが考えられる。安全性に関する意思決定を左右する違いには、放射性物質インベントリの増加、燃料の輸送・保管・処理、廃棄物処分のカテゴリーと量、一部の部品の能動的冷却の必要性などが含まれる。規制当局は、同種のプラントに対する審査とプロセスがより効率的になることを認識する可能性が高い。特に大量生産と急速な規模での広範な展開には、新しいライセンスのパラダイムが必要になる可能性がある。

【その他の危険性に関する考慮事項】

IAEA及びフュージョンエネルギープロジェクトを調整する多くの加盟国の規制当局は、放射線安全とセキュリティに重点を置いている。フュージョンプラントは、システム内の高エネルギーと潜在的な有毒物質により、産業的及び職業的性質の追加的な潜在的危険性を有する。これらの危険性に関する詳細な議論は、本文書の範囲外。ただし、公衆とのコミュニケーションにおいて、フュージョンエネルギーのコミュニティは、作業員と公衆を保護するためにこれらの危険性を特定し、軽減する方法について議論することができる。

【核不拡散に関する考慮事項】

設計者は、トリチウムやリチウム6などのフュージョンエネルギーに関連する物質、解析コードなどの特定の技術に関する現行の核輸出管理体制に注意を払うことが重要である。核物質を処理、使用、または生産しないフュージョン設計については、IAEAは現在、該当する場合、加盟国から提供された情報の正確性と完全性に関する質問を解決するために必要なもの以外の保障措置は適用していない。既存の国際保障措置協定は、核物質を処理、使用、または生産する設計に適用される。フュージョンプラント設計に関する情報がさらに入手可能になるにつれて、IAEA保障措置の範囲をフュージョンプラントにより広く適用すべきかどうかを確認するための更なる検討が必要である。