

フュージョンエネルギー 社会実装に向けた整理

(はじめに)

昨今のフュージョンエネルギーへの期待に応えるために、一刻も早く実施主体を決める必要があると考えます。そのためには、その実施主体に求められる役割を具体化する必要があります。この実施主体の役割、また制度設計を進めるためには、先行事例を参考にすることが有用であると考えました。

フュージョンエネルギー開発を進める当事者として、ITERとJT-60SAのプロジェクトに携わり、各メーカーと協力して物作りしてきた観点を踏まえて、実施主体について整理・検討しましたので、議論の素地になれば幸いです。

注)社会実装に関わる分野は専門ではないため、正確性の不足、用語が適切でない点はあると思いますが、ご容赦ください。他分野の調査にはAIを利用しました。

(1)他分野から学ぶための比較

(2)フュージョンの社会受容性を上げるための検討

(3)実施主体に求められる役割の検討

2026年7月7日 柏木美恵子

最初に、本資料の「まとめ」

様々な先行分野の事例を参考にして、フュージョンの特徴を比較することで、自ずと実施主体のあるべき形が見えてくるのではないかと考え、比較・検討を行ってみました。

P.2: 他分野の歴史を並べ、注意点をピックアップしたところ、フュージョンについては、既に課題を克服している点、また現在進行形の議論で進んでいる共通点があることを抽出。

P.3: 原子力発電とロケットと共に社会受容性を比較したところ、フュージョンには社会受容性を伸ばせる素地があります。

p.4-5: 実施主体が担う、システムインテグレーションに必要な担当業務を整理しました。核融合の多様性や挑戦性は、原子力とロケット開発の良点を取り込むことが可能と思われます。

(1)他分野から学ぶための比較

緑色は官主導が強い時期
オレンジは民主導が強い時期

	原子力発電	高速増殖炉	ロケット開発	リニア新幹線	半導体	フュージョン
1950	1955 原子力基本法成立					
1955	1957 JRR-1臨界達成					1958 国際的学術ネットワーク形成。
1960	1963 JPDRで発電成功			1962 次世代高速鉄道開発開始(日本国有鉄道)		1968 ソ連で「トカマク型(T3)成功
1965	1966 東海発電所営業開始	1967 「動燃(動力炉・核燃料開発事業団)」の発足	1969 NASDA設立	1977 宮崎実験センター開設、以降、複数両、トンネル走行など各種試験を実施。		1975 原子力委員会「第二段階核融合研究開発計画」の中核として、日本独自の大型トカマク装置「JT-60」の計画が組織化。
1970	1975-85 「軽水炉改良標準化計画推進」通商産業省主導、国内主要3メーカーと「日本の基準策定、米国部品のカスタマイズ」により稼働率増、国内サプライチェーン構築、次世代設計に反映。	1977 常陽が臨界達成	N-I、N-II、H-I、H-IIロケット開発・打ち上げ(MHIと共同で開発、製造はMHI担当)。		1970-1980 通産省(現・経済産業省)主導の「VLSI技術研究組合」などの官民一体の投資。日本企業(NEC、東芝、日立など)がDRAM(記憶用半導体)市場で世界シェアのトップ	
1975						1985 JT-60完成、初プラズマ。
1980						ジュネーブ会談にて、ITERプロジェクト提唱
1985						1998 JT-60Uへ改造後、Q=1.25の世界記録樹立。
1990	日本独自のABWR、APWR	1994 もんじゅが臨界達成		1990 鉄道技術研究所などから継いで発足した鉄道総研・JR 東海・鉄道公団の3者により山梨リニア実験線事業開始。	民は効率性を追求したグローバルサプライチェーンの構築。一方、日米摩擦による規制、投資遅れにより、設計専門と製造専門の水平分業が進み、製造では他国に主導権が移動し経済安全保障問題へ。	
1995	「安全性の向上」「稼働率の向上」「経済性の向上」「作業員の被ばく低減」を同時に達成。	1995 ナトリウム漏洩	2001 H-II 1号打ち上げ			2005 ITER建設地フランスへ決定。
2000						2007 ITER機構発足。ITERと各極の間で調達取決め締結。
2005	「安全神話」「規制の虜」「原子カムラ」と呼ばれる弊害がでてきた	④厳しい品質・製造管理体制 ⇒ITERを通じた国際規格・品質管理の経験	2003 JAXA設立	2005 国の実用技術評価委員会「実用化の基盤技術が確立。		2008 JT-60U解体
2010			2007 H-II-A打ち上げからMHIへ移管。2009 JAXAとMHI共同開発で、H-II Bロケット打合上げ	2007 JR-東海が品川一名古屋間を自己資金で実施すると宣言。	④経済安全保障 ⇒まさに議論中	次への建設期
2015	2011 福島原発事故官民の役割分担。官は規制側、民が実施者		2013打ち上げサービス事業をMHIへ移管。スタートアップ次々設立。			2020 JT-60SA組立完了。通電試験で超伝導コイルで絶縁破壊。
2020	④閉鎖性の防止 ⇒フュージョンは国際プロジェクトを素地としたオープンな体制		④継続的発注の維持 →ヒントを得たいところ。		効率性から強靱化へ。官主導で自国内の工場誘致・製造シェア確保。Rapidusの設立(日本政府・民間から出資)	2022 ITER真空容器の溶接部の亀裂・形状ズレが発覚。このように問題も公表・克服しつつ進捗中。
2025						2023 米国原子力規制委員会が核融合を原発と切り離す規制を決定。
2030						

(2)フュージョンの社会受容性を上げるための検討

ロケット打ち上げの失敗と原子力の失敗は、社会受容性が大きく異なる。

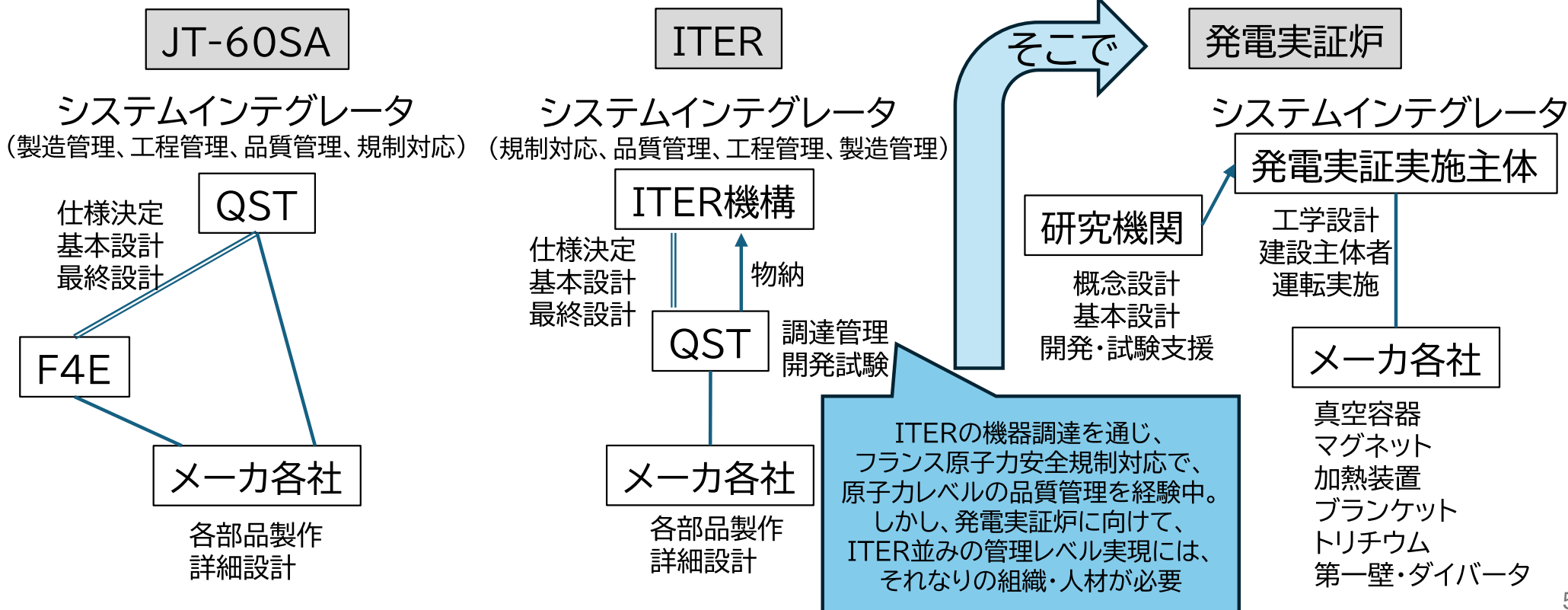
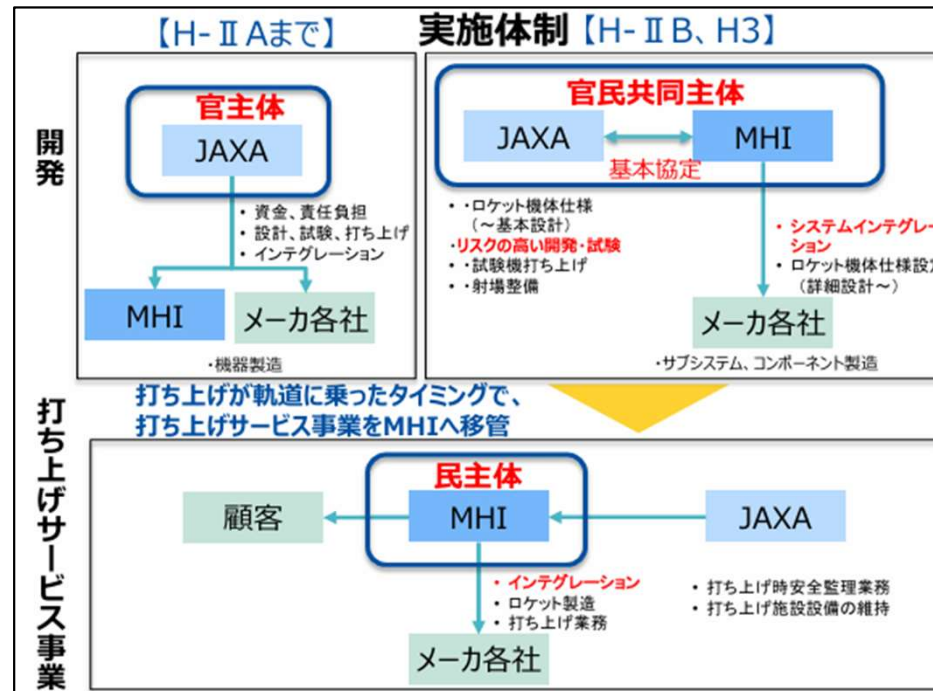
ロケット打ち上げ失敗時	原子力施設の事故	フュージョンエネルギー発電実証に向けた開発時の失敗
爆発によるロケットそのものの損害	電気が止まる→広範囲に影響がでる	失敗した物の再製作・修理費
その他の人的・物的損害がない(発射は海域等で実施されるため) 被害が限定的	放射性物質拡散 →限定的でない 被害が広範囲 連鎖反応 →最悪の事態が連想される	放射性物質拡散 →限定的(にできる) 連鎖反応→なし 被害が限定的
爆発など、失敗したことがわかりやすい 失敗の透明性	装置内部の失敗はわかりにくい。 安全に関して慎重になるあまり、情報発信に時間が掛かる。 不透明な印象をもたれやすい	装置は複雑だが、FOAK機器開発を通じ監視システムと保護の強化 →故障個所の迅速検出 失敗の透明性 国際プロジェクトの経験から、失敗を公表する経験を積んだ。
失敗時のデータを集めて次を成功させる、トライ&エラーからの成功サイクルが機能 成長プロセスの可視化	「原子カムラ」という閉鎖的な表現や、高速増殖炉で隠蔽が問題になった過去から、「技術の失敗からの復活」という印象を与えにくい。 閉じた組織、隠蔽と思われやすい歴史	国際プロジェクト主体で進んできており、失敗からの復活を繰り返して開発を進めている。 成長プロセスはあるが、可視化が弱いかも・・
失敗しても、“失敗からの成功”とか、“人間の限界への挑戦”というポジティブ印象を与える、理解を得やすい傾向がある。	高い安全性が必要な分野であるため(その品質管理のため高額でもある)、失敗時は、“伝説が崩れた”ということになり、失敗に対する社会受容性はほとんどない。	失敗時「世界発の機器開発」、「国際協力による技術統合の難しさ」など理解できる素地もあるが、「やっぱり核融合は難しい」と負印象を与える懸念あり。 印象は注意

核融合は、社会受容性が高い分野と比較し、社会受容性を高められる素地がある。
社会実装に向けて、社会受容性を上げる一層の工夫とそれを行う体制が必要。

(3)実施主体の役割

- 第4回社会実装TF(R7.12.12)の資料よりロケット開発の実施体制を参照。
- JT-60SA、ITERの実施体制から、発電実証の実施主体の体制を検討。
- 実施主体に求められる役割を整理(次ページ)

注)下記は、柏木独自の整理です



実施主体が行うシステムインテグレーション

赤字:共通点、緑字:フュージョン特有

比較項目	原子力発電	有人ロケット*	フュージョン発電実証	必要な人材・組織
SIの コア任務	「多重防護(安全系)」の設計と証明。 メルtdownを絶対に防ぐ。人間を放射能から守る。	「絶対的な人命救助(脱出)」と質量管理 爆発が起きても、飛行士を確実に生かして帰す。	概念設計を詳細設計へ引き上げ、発電実証炉を作る。 「熱・磁気・中性子」の統合によるプラズマ安定制御と経済性の見通しを得る。	炉の統合設計担当 プラズマ実験・物理 燃料設備担当 マグネット担当 材料・熱の担当
安全設計の 基本アプローチ	非避難型・封じ込め 巨大な構造物(格納容器)の中にリスクを閉じ込める「重厚長大」の極み。	脱出型・機能分離 推進部(リスク)と有人部(人命)を分離。最悪、推進部が壊れても有人部が逃げる。 安全設計の合理化	異常時はプラズマが勝手に消滅(自滅)。 その際に発生する電磁力対応。 トリチウム閉じ込め。	炉の統合設計担当 建屋設計担当 トリチウム担当 材料担当 遠隔保守担当
サプライ チェーン (製造・調達)の統制	多層的なピラミッド型(外部委託) 数万社の下請け。膨大な書類による「原子力グレード」の品質証明(QA)。	垂直統合(厳格な人命グレード) 命に関わる重要部品(生命維持、脱出スラスター等)は100%自社内製で品質を握る。また、外注リスクの排除。	主体者は、「全体設計・統合と知財」を中心に。製造は実績ある日本の重電を中心に委託。 水平分業(ファウンドリ活用型)も導入できると効率があがる。	調達担当 契約担当 財務担当 品質管理担当
工程管理(タイムライン)の アプローチ	ウォーターフォール型(完璧主義) 一步の間違ひも許されない。設計に数年、土木建築に10年をかける。	厳格なマイルストーン+アジャイル 無人での脱出テストや飛行実績を何度も積み重ねて「有人認証」を得る高速PDCA。	モジュール化と並行製造。 モジュール化により、改良部品への交換可能性を残す。 部品(規格を元にした単体部品・金型・治具)の共通化。	工程管理担当 工程統合担当 AI導入担当 規格担当
インター フェース(接続) 管理	物理的・土木的な巨大インテグレーション 現地(サイト)での巨大建屋、数千キロの配管・配線の据え付け調整。	生命維持と自動ドッキングの統合 ISS(宇宙ステーション)への全自動ドッキング、ミリ秒単位の環境・姿勢制御ソフト。	巨大設備の統合。 真空容器・クライオスタットの高精度据付。 超伝導コイルのドッキング技術。 高速・高精度プラズマ制御。	システム統合 CAD管理・設計管理 設備設計 各分野の専門家
規制当局 (ガバナンス) との対峙の重さ	極めて重厚(ビジネスの最大の壁) 何万ページの設置変更許可申請、過酷事故対策の証明、地方自治体との「地元合意」。	人命認証(NASA/FAA等)のクリア 確率論的に「1/270以上の安全確率」を実証・データ提示し、有人飛行ライセンスを得る。	「型式証明」による一括クリア 「原理的安全性」を武器に、原発未満(加速器並み)の緩やかな共通規制枠組みを当局と構築。	規制担当(ITERの国際基準を熟知し、フュージョン特有の規格に対して考えがあり、当局に説明できる) 安全担当 自治体担当
開発試験	JAEAの設備を利用。	日本の場合、有人ではないが、JAXAが基本設計、開発試験を実施。	開発試験は、研究機関やその共用施設を利用。	フュージョン技術の各開発担当

*人の安全性の観点で比較できるように有人ロケットを事例とした