2025年 2月5日
エジソンの会

地球を救う宇宙の力

～核融合エネルギーの革命～

核融合科学研究所
吉田善章

主題：核融合研究の現状と課題

1. 人類の未来と核融合（フュージョンエネルギー）
2. フュージョンエネルギーを巡る世界の動向と日本の取り組み
3. 核融合研究の「来し方・行く末」
4. 学際化の必要性

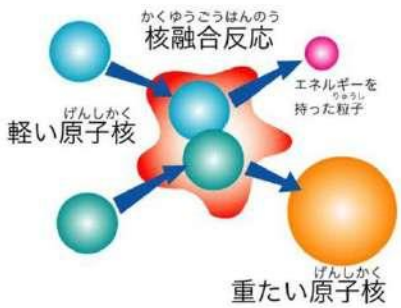
フュージョンエネルギーが拓く人類の未来

3

出典：2024 科学技術振興機構(JST)

フュージョンエネルギーの特長

1. 遍在する軽い元素を燃料とする　→　持続性と共有性　→　世界平和（SDGs）
2. 少ない環境負荷（C-free, 比較的小さい放射能）
3. 「強力」で「コンパクト」なエネルギー源
4. 効率的で特徴ある高エネルギー粒子源



4

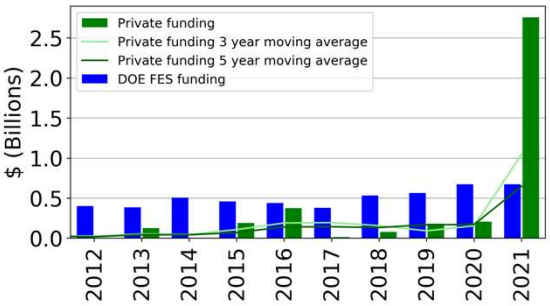
フュージョンエネルギーへの期待の高まり

- 核融合はいつできるのか？
- 核融合ベンチャーの勃興　社会からの期待の大きさ

内閣府　『フュージョンエネルギー・イノベーション戦略』（2023年4月）

学術研究の役割
- 核融合技術の科学的不確実性の低減
- イノベーションを駆動する科学的指導原理の確立

米国における核融合研究費の推移



出典：https://science.osti.gov/-/media/fes/pdf/fes-presentations/2022/Wurzel---PPP-Lighning-round-talk.pdf

フュージョンエネルギー・イノベーション戦略の概要

- ✓ フュージョンエネルギーを新たな産業として捉え、構築されつつある世界のサプライチェーン競争に我が国も時機を逸せずに参入。
- ✓ ITER計画/BA活動、原型炉開発と続くアプローチに加え、産業化等の多面的なアプローチによりフュージョンエネルギーの実用化を加速。
- ✓ 産業協議会の設立、スタートアップ等の研究開発、安全規制に関する議論、新興技術の支援強化、教育プログラム等を展開。

エネルギー・環境問題の解決策としてのフュージョンエネルギー

・2050年カーボンニュートラルの実現
・ロシアのウクライナ侵略により国際的なエネルギー情勢が大きく変化
・エネルギー安全保障の確保

・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、②豊富な燃料、③固有の安全性、④環境保全性）
・エネルギーの覇権が資源から技術を保有する者へとパラダイムシフト

新たな産業としてのフュージョンエネルギー

・諸外国におけるフュージョンエネルギー開発への民間投資の増加
・米国や英国政府はフュージョンエネルギーの産業化を目標とした国家戦略を策定
（＝自国への技術の囲い込みを開始）
・技術的優位性と信頼性を有する我が国が、技術で勝って負けるリスク
・他国にとっては有力なパートナーであり、海外市場を獲得するチャンス

フュージョンインダストリーの育成戦略 Developing the Fusion industry

【見える】
・研究開発の加速による原型炉の早期実現
・技術及び産業マップ作成によるターゲット明確化

【繋がる】
・R5年度の設立を目指す核融合産業協議会でのマッチング

【育てる】
・民間企業が保有する技術シーズと産業ニーズのギャップを埋める支援をR5年度から強化
・安全規制・標準化に係る同志国間での議論への参画
・固有の安全性等を踏まえた安全確保の基本的な考え方の策定

重水素 Deuterium　三重水素 Tritium

産業育成戦略（D）＋技術開発戦略（T）×推進体制等（P）の反応により達成する、国家戦略のビジョン
『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』

プラズマ加熱 Plasma Heating

フュージョンテクノロジーの開発戦略 Technology

・ゲームチェンジャーとなりうる小型化・高度化等の独創的な新興技術の支援策の強化
・ITER計画/BA活動を通じてコア技術の獲得
・将来の原型炉開発を見据えた研究開発の加速
・フュージョンエネルギーに関する学術研究の推進
・新技術を取り組むことを念頭においた原型炉開発のアクションプランの推進

フュージョンエネルギー・イノベーション戦略の推進体制等 Promotion

・内閣府が政府の司令塔となり、関係省庁と一丸となって推進
・原型炉開発に向けて、QSTを中心にアカデミアや民間企業を結集して技術開発を実施する体制（フュージョンテクノロジー・イノベーション拠点の設立）
・将来のキャリアパスを明確化し、フュージョンエネルギーに携わる人材を産学官で計画的な育成
・国内大学等における人材育成を強化するとともに、他分野や他国から優秀な人材の獲得（フュージョンエネルギー教育プログラムの提供）
・国民の理解を深めるためのアウトリーチ活動の実施

核融合科学
- 実用化を加速する方策
- 実用化に先駆けて行うべきこと

開発を加速するためには科学的不確実性を低減する必要

イノベーションの指導原理となる強力な基礎学術が必要

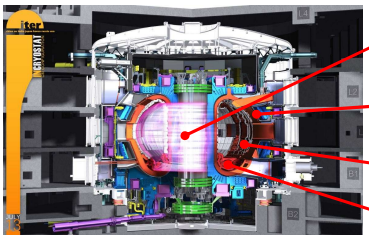
核融合を支える広範で強靭な産業構造を構築するためには学際化が必要

果敢な挑戦を支援する学術基盤が必要

文部科学省『フュージョンエネルギー・イノベーション戦略を踏まえた最近の取り組み』

第36回核融合科学技術委員会
資料１より

核融合研究の主戦場　コンパクト化への挑戦　➡ 精密さが求められる時代



炉心プラズマ：閉じ込め性能・システム安定性

超伝導マグネット・低温技術：高温超伝導，水素・窒素冷却

炉材料：照射損傷，放射化

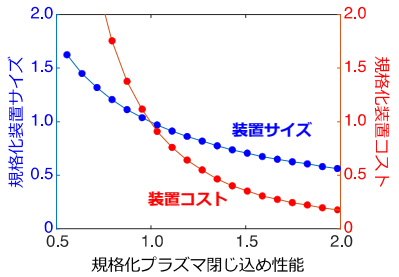
ダイバータ：超高熱流束

核融合研究に時間が掛かる原因は科学的不確実性が大きいから

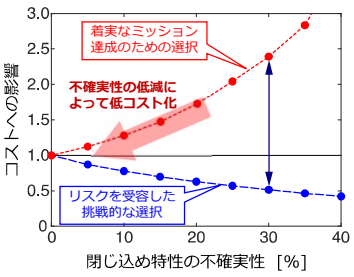
精密な科学的指導原理

✓ **科学的不確実性の低減**

✓ **高性能概念への挑戦**



閉じ込め性能の向上により，コンパクトで経済的な核融合炉が実現*

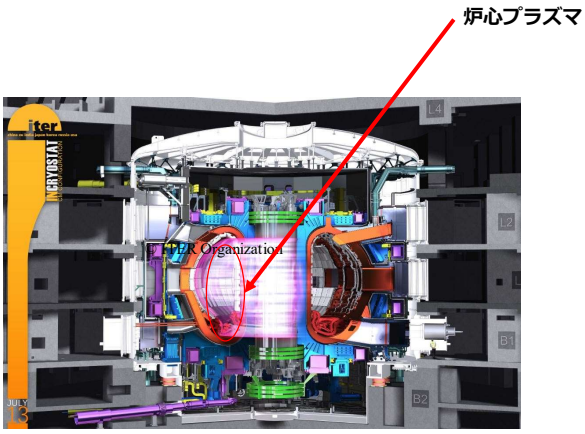


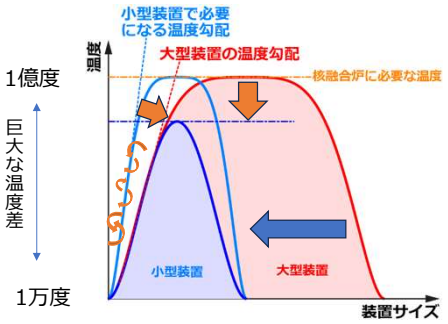
閉じ込め性能の30%の不確実性はコストを5倍にしかねない

プラズマ特性の高精度予測が核融合炉のコスト削減にインパクト*

*Fusion Engineering and Design **86** (2011) 2879 に基づく評価

何が問題か？　プラズマの閉じ込め性能とは？





コンパクト化すると「勾配」が大きくなる

どこまで支えられるか？

勾配限界は複合的な物理（カオス，乱流，電磁気，運動論，量子プロス，・・・）によって支配される

ムーンショット目標10の 研究開発構想（MS10）

MOONSHOT RESEARCH & DEVELOPMENT PROGRAM

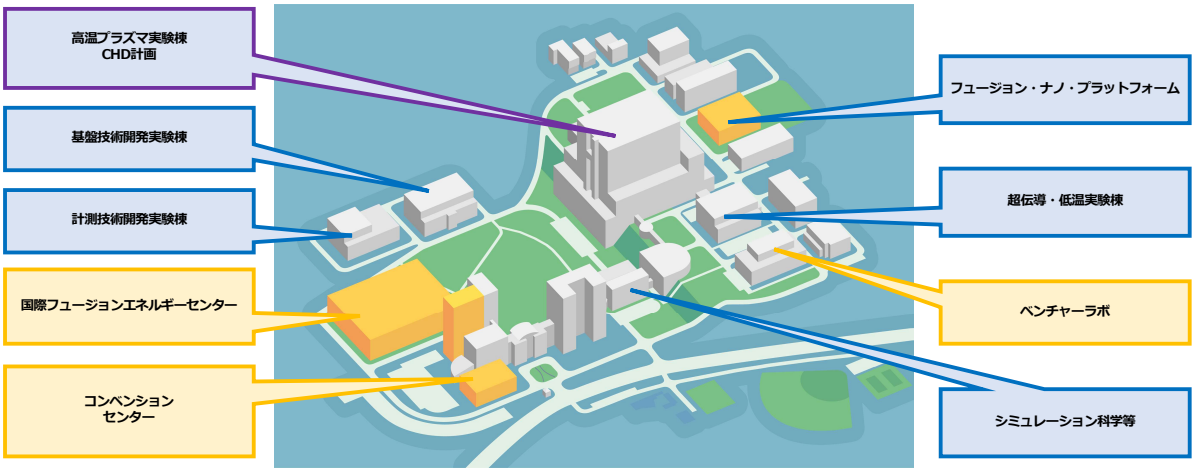
マイルストーン

- 2050年までに、様々な場面でフュージョンエネルギーが実装された社会システムを実現する。
- 2035年までに、電気エネルギーに限らない多様なエネルギー源としての活用、さらに核融合反応で生成される粒子の利用など多角的な作業仮説のもとで、フュージョンエネルギーの応用を実証する。

出典）文部科学省　核融合科学技術委員会（第36回）資料1

求心力強化：イノベーション基盤の整備

核融合科学研究所　フュージョンサイエンスヒルズ構想



科学技術の進化： 学術と産業のパラレル体制から生まれるイノベーション

dawn → early growth stage → development phase

Learn from star's mechanism

Competition among various systems

Cambrian explosion

Can't understand anything without prototype

Experimental proof of thermonuclear reaction

ITER

Matured level of segmentation into interdisciplinary subjects of studies

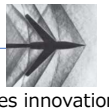
Ex ：aircraft innovation and fluid mechanics

Learn from nature

Various ideas

Wright Flyer

Collaboration between science and technology

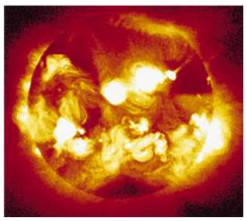


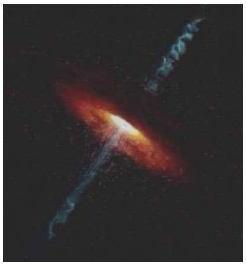
Basic science drives innovation

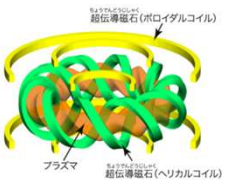
dawn

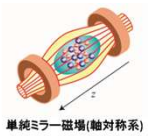
黎明期

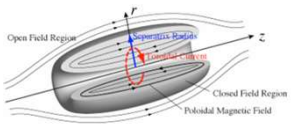
星のメカニズムに学ぶ ➡ **様々な方式のカンブリア爆発** ➡ **パラメタ競争**

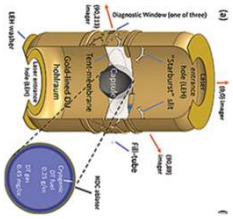








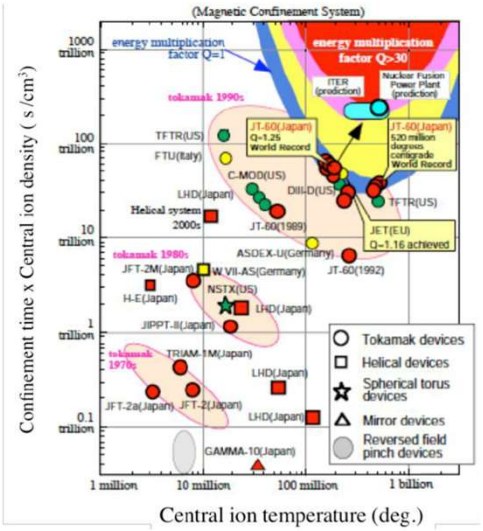




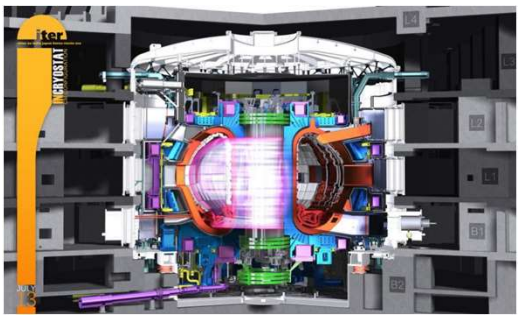
early growth stage

選択と集中

「そのもの」を作ってみなくては何も分からない



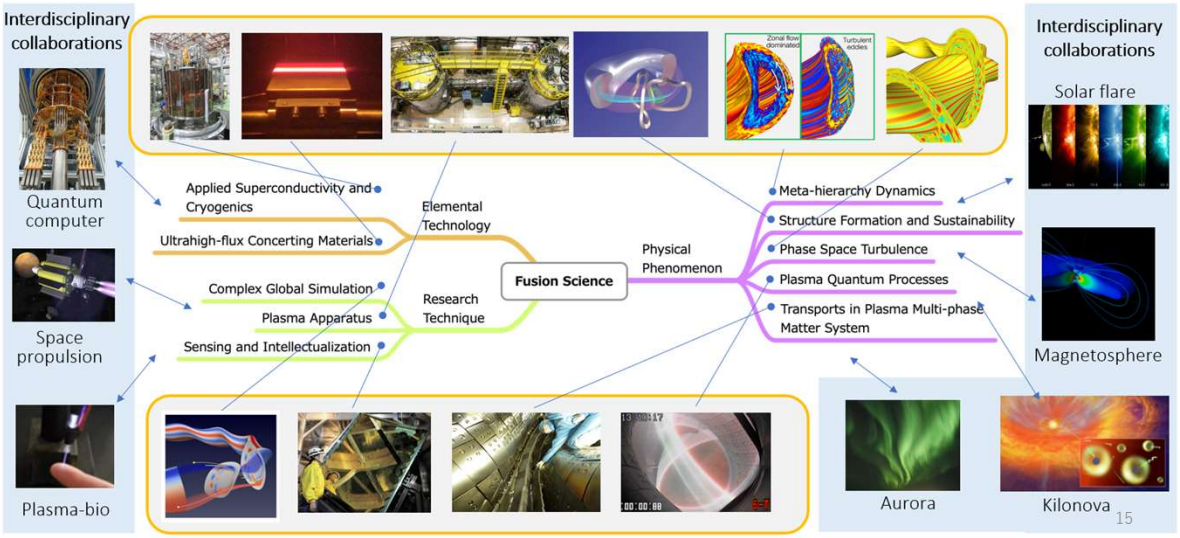
熱核融合反応の実証



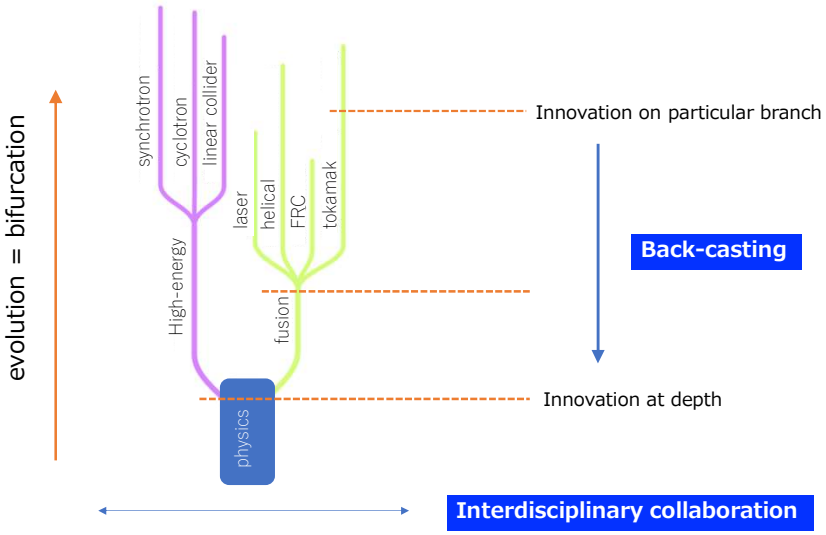
development phase

学際化と産学連携

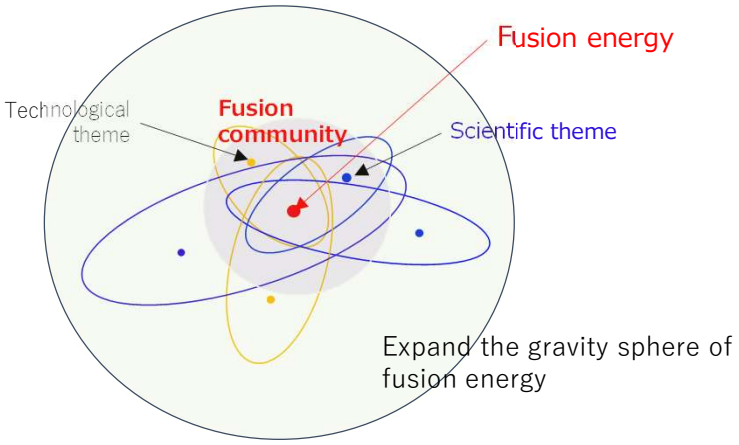
学際的に定式化された課題に分節化できるレベルに進化



学際連携： 系統樹の太い幹へ　→　破壊的イノベーション

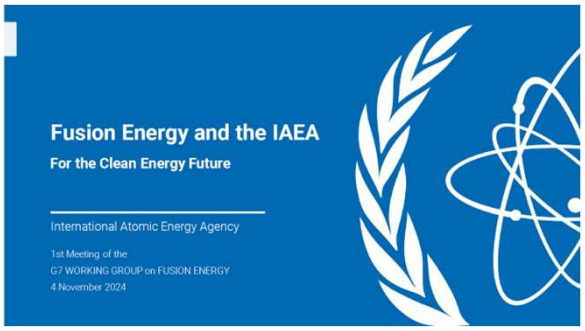


学際化　→　核融合研究の重力圏の拡大



まとめ：　「新しい時代」へ向かう核融合研究

* G7 WFEG (2024/11/4 Rome)



- 核融合に「産業」という「新たな文脈」が追加
  ←社会の強い期待：「新しい産業の芽として，フュージョンエネルギー・・」（2024骨太の方針）
- 「研究開発の文脈」と「産業（の芽）の文脈」の**整合性**が課題
- 整合性は**「真実性」「現実性」への意志を必要とする**