ITER/BA成果報告会2022
令和4年12月22日(木)

日本の核融合研究開発政策

Research and Development Policy on Fusion Energy in Japan

稲田　剛毅

文部科学省　研究開発戦略官(核融合・原子力国際協力担当)

文部科学省
MEXT
MINISTRY OF EDUCATION,
CULTURE, SPORTS,
SCIENCE AND TECHNOLOGY-JAPAN

日本における核融合研究開発の最新の動向

イーターの組立据付開始（2020年）など技術の成熟や、カーボンニュートラルに向けた政策的要請の高まりを踏まえ、主要国（米英EUなど）が核融合への取組を加速中。我が国でも、核融合推進が一つの政策的論点に。

■岸田文雄の政策―経済政策―（令和３年９月８日）

再生可能エネルギーの最大限の導入は当然のこととして、蓄電池、新型の小型原子炉、ITER（核融合）、水素融合、自動車の電動を推進、カーボンリサイクルなど新たなクリーン・エネルギーへの投資を積極的に後押し。
特に、ITER（核融合エネルギー）について、国家戦略を策定。

■令和３年　自民党政権公約

・大胆な「成長投資」で、確かな未来を拓く。
究極のクリーン・エネルギーである核融合（ウランとプルトニウムが不要で、高レベル放射性廃棄物が出ない高効率発電）開発を国を挙げて推進し、次世代の安定供給電源の柱として実用化を目指します。

■第２０８回国会　岸田内閣総理大臣施政方針演説（令和４年１月１７日）

送配電インフラ、蓄電池、再エネはじめ水素・アンモニア、革新原子力、核融合など非炭素電源。需要側や、地域における脱炭素化、ライフスタイルの転換。資金調達の在り方。カーボンプライシング。多くの論点に方向性を見出していきます。

核融合エネルギーの段階的研究開発

○核融合エネルギーの実用化に向けて、ITER計画等への参画を通じて科学的・技術的実現性を確認した上で、原型炉への移行判断を行っていく。
○文部科学省では、「核融合原型炉開発の推進に向けて」、「原型炉研究開発ロードマップ」（科学技術・学術審議会 核融合科学技術委員会）等を踏まえ、原型炉に必要な技術開発の進捗を定期的にチェックアンドレビューしつつ、研究開発を推進。

現在取り組んでいる段階

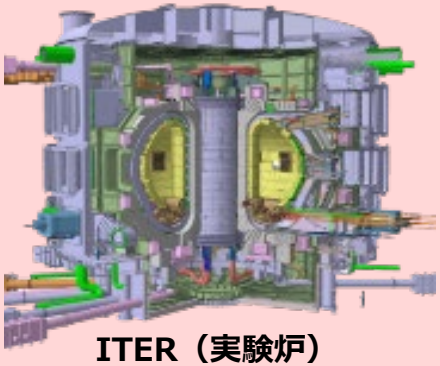
科学的実現性

臨界プラズマ条件の達成

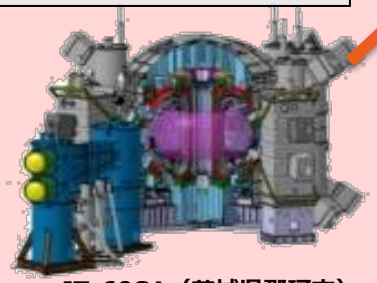
JT-60
（JAEA）

科学的・技術的実現性

・燃焼プラズマの達成・長時間燃焼の実現
・原型炉に必要な炉工学技術の基礎の形成



ITER（実験炉）
（仏、カダラッシュ（ITER機構））



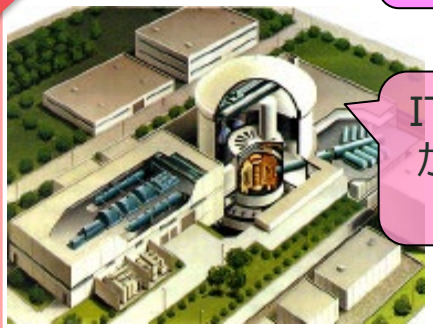
JT-60SA（茨城県那珂市）
（量子科学技術研究開発機構）

国際核融合エネルギー研究センター
（青森県六ヶ所村）
（量子科学技術研究開発機構）

ITER計画 ← 補完 支援 幅広いアプローチ活動

技術的実証・経済的実現性

・発電実証
・経済性の向上



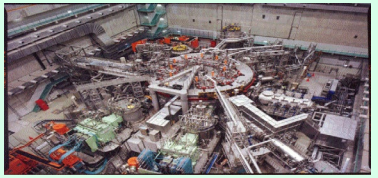
ITERで核融合反応が見込まれる2030年代に移行判断

原型炉

実用段階

21世紀中葉までに実用化の目処

学術研究



LHD
（大型ヘリカル装置）
（核融合科学研究所）

GEKKO XII号、LFEX
（大型レーザー装置）
（阪大レーザー研）

ＩＴＥＲ（国際熱核融合実験炉）計画

【概要】 エネルギー問題と環境問題を根本的に解決するものと期待される核融合エネルギーの実現に向け、国際約束に基づき、核融合実験炉 ITERの建設・運転を通じて、核融合エネルギーの科学的・技術的実現可能性の確立を目指す。

●ITER協定　2007年10月24日発効

●経　緯

1985年	米ソ首脳会談が発端
1988年～2001年	概念設計活動・工学設計活動(日欧米ソ)
2001年～2006年	政府間協議
2007年	ITER協定発効、ITER機構設立

●参加極　日、欧、米、露、中、韓、印

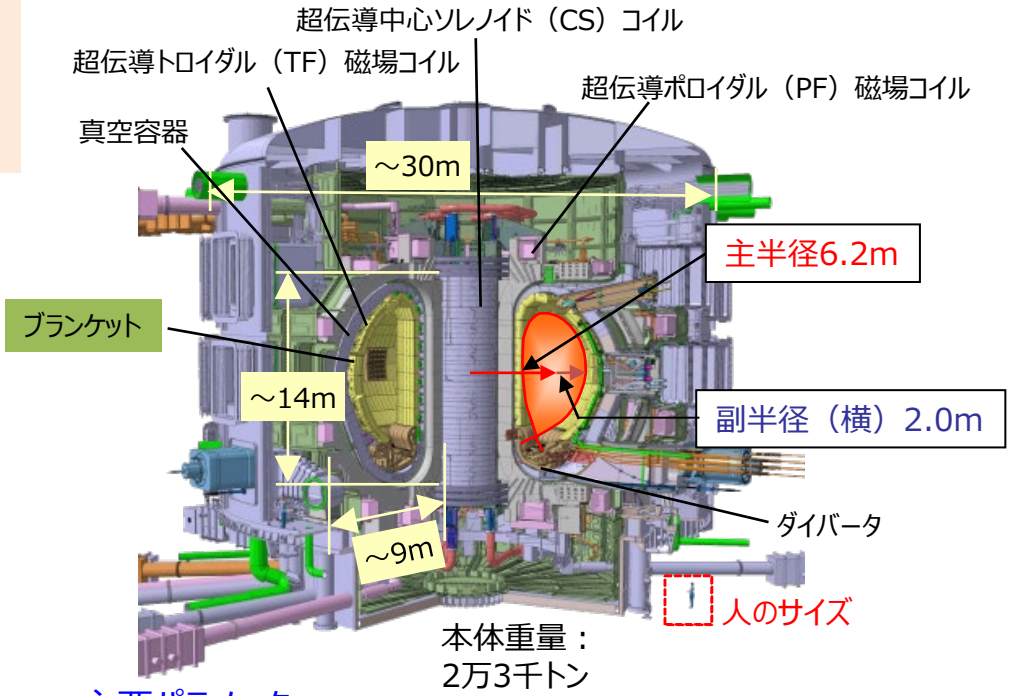
●建設地　仏、サン・ポール・レ・デュランス市（カダラッシュ）

●計画スケジュール
運転開始　：2025年12月
核融合運転開始 ：2035年12月

●各極の費用分担（建設期）
欧州、 日本、 米国、 ロシア、中国、 韓国、インド
45.5% 9.1% 9.1%　9.1% 9.1% 9.1% 9.1%
※ 各極が分担する機器を調達・製造して持ちより、ITER機構が全体を組み立てる仕組み

●ITER機構執行部　**ピエトロ・バラバスキ機構長（伊）**
※日本人では多田副機構長が参画

●技術目標
◇入力エネルギーの10倍以上の出力が得られる状態を長時間（300～500秒間）維持する。
◇超伝導コイル（磁場生成装置）やプラズマの加熱装置などの核融合工学技術を実証する。



●主要パラメータ

熱出力（発電はしない）	50万ｋW
入力エネルギーに対する出力の割合	10以上
プラズマ体積	約840m^3

【世界情勢の変化：国際協調から国際競争へ】

- 主要国は、カーボンニュートラル実現や経済安全保障の確保に向けて、核融合発電の実現に向けた取組を2020年頃から一斉に加速しており、国際競争の様相に突入。
- このような国際競争時代において、我が国としても、ITER計画を通じて、核融合発電に必須な基幹技術の獲得を早期に実現し、関連産業の国際産業競争力の維持・向上を目指す。

ＢＡ活動の概要

■核融合エネルギーの早期実現を支援する活動として、日欧で３つの事業を共同で実施
■フェーズⅠ（2007年6月～2020年3月）　主要な研究環境の整備を完了
■フェーズⅡ（2020年4月～）　フェーズIで整備した研究環境を活用するとともに、装置の性能等を所期の目標に向けて高め、ITER計画を補完・支援する研究成果を創出

茨城県那珂市

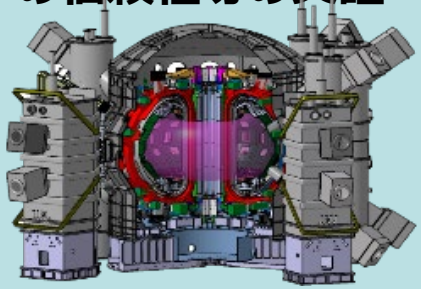
サテライト・トカマク（JT-60SA）計画事業※

ITERの支援研究

ITERでの研究に先立ち、プラズマ生成法を準備

原型炉のための挑戦的研究

ITERでできない高出力運転の信頼性等の実証



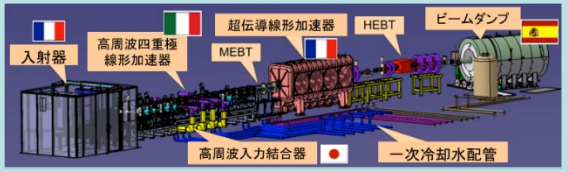
※トカマク国内重点化装置計画との共同プロジェクトとして実施

青森県六ヶ所村

国際核融合材料照射施設の工学実証工学設計（IFMIF/EVEDA）事業

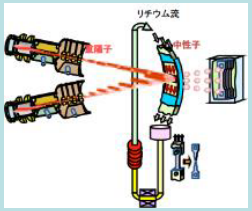
要素技術の工学実証

核融合材料の中性子照射施設に必要な、原型加速器とリチウムターゲットの工学実証



IFMIFの工学設計

実証データに基づく工学設計



国際核融合エネルギー研究センター（IFERC）事業

原型炉設計・研究開発

発電のための技術の研究開発

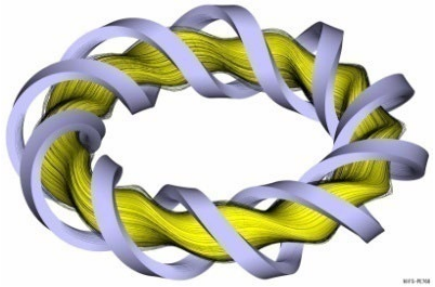
ITER遠隔実験

ITER遠隔実験センターの整備

計算機シミュレーション

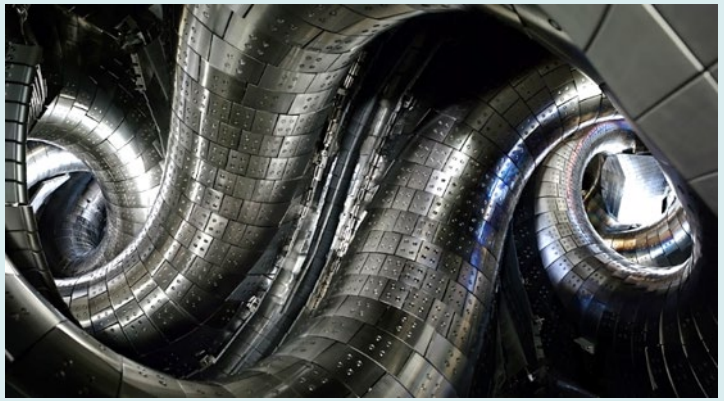
大型ヘリカル装置（LHD）の概要と現状

ヘリカル方式



- 本質的に1年でも**定常運転が可能**
- **課題**：点火を見込めるプラズマ高性能化
  → *イオン温度1億2,000万度（核融合条件）を達成し、課題解決に向け大きく前進*

核融合科学研究所 大型ヘリカル装置（LHD）



世界最大級の定常型実験装置
1990～7年度　建設8年計画
1998年4月　本格実験開始
21年間で約15万回を超えるプラズマ実験

主な成果

2006年度
経済的な核融合炉に必要なプラズマの圧力（磁場圧力に対して5%）を達成
2008年度 【プラズマ密度の世界最高値】
核融合炉に必要な密度の条件を10倍以上上回る1,200兆個/cm^3を達成
2013年度 【プラズマ保持の世界最高値】
2,300万度のプラズマの48分間連続保持に成功
2016年度
重水素実験開始
2017年度 【イオン温度が核融合条件に到達】
ヘリカル方式で初めてイオン温度1億2,000万度を達成
ヘリカル方式で初めて明確な「同位体効果」を確認
2019年度
ヘリカル型装置が核融合炉に必要な高エネルギー粒子閉じ込め性能を持つことを世界で初めて実証 【『Nature Physics』のリサーチハイライトに選出】
イオン温度8,000万度、電子温度1億5,000万度を同時達成
2020年度
イオン温度1億2,000万度、電子温度9,400万度を同時達成、及び共に1億度を実現
2021年度
プラズマ中に少量のホウ素不純物を導入することで乱流が抑制され、プラズマが高性能化することを発見（2022年1月 Nature Physics誌に掲載）

核融合開発に係る研究開発政策の検討状況

2017年12月

- 「核融合原型炉研究開発の推進に向けて」策定
- 「原型炉開発アクションプラン」改訂

※科学技術・学術審議会　核融合科学技術委員会

2018年7月

- 「原型炉研究開発ロードマップについて（一次まとめ）」策定

※科学技術・学術審議会　核融合科学技術委員会

原型炉段階への移行に向けた考え方

- ITERの核融合運転(DT)が見込まれる2030年代に原型炉移行判断
- 原型炉段階移行時に、実用炉段階で経済性を達成できる見通し
- 中間チェックアンドレビューを2回に分けて実施（CR1、CR2）

#CR1　JT-60SAの運転開始の頃に、実施予定。

核融合科学技術委員会（第10期）　令和元年度 アクションプランの進捗状況確認
令和2年度 第10期における進捗評価の取りまとめ
CR1に向けた検討

核融合科学技術委員会（第11期）　令和3年度 CR1を実施

#CR2　ITERのFPから数年以内（2025年以降）

＊原型炉工学設計・必須のコンポーネントの工学開発活動開始も判断

- 産業界の意見を踏まえ、また主要国の政策動向を注視しつつ対応

原型炉開発の技術基盤構築を進めるための体制

核融合科学技術委員会

・原型炉開発に向けた技術基盤構築のための体制整備について
・トカマク方式以外の核融合研究の在り方について
・原型炉開発ロードマップの策定

アクションプランの策定・承認

政策提示・評価

原型炉開発総合戦略TF

・原型炉開発に向けたアクションプランの策定
・原型炉設計合同特別チーム等の進捗状況の把握・助言等
・技術基盤構築の進捗状況及び課題解決への取組の取りまとめ

活動方針提示・
各要素技術の状況把握

情報共有・要請等

公募テーマの提案・了承

原型炉概念設計

原型炉合同特別チーム

@QST六ヶ所研究所

QST, NIFS, 大学, 企業

・関連学協会と連携しつつ、原型炉概念に必要な様々な技術要素の基盤構築を目指す

連携

原型炉に向けた共同研究

共同研究ワーキンググループ

TF, QST, NIFS, 大学, 特別チーム

・原型炉研究開発体制強化のための大学等の連携強化

原型炉研究開発ロードマップ

◆ 目標達成が求められる時点　達成すべき目標
● 次段階への移行判断が求められる時点
ロードマップ遂行に必要なアクティビティの指標

～2020～　～2025～　～2030～　～2035～　～2050～

中間CR（チェックアンドレビュー）　中間CR　第3段階　CR　第4段階

①ITER計画（国際協力で実施）
建設段階　運転段階
DT燃焼に向けたプラズマ制御試験
プラズマ点火
DT燃焼着火
燃焼制御・工学試験
エネルギー倍増率10程度以上のプラズマ長時間燃焼

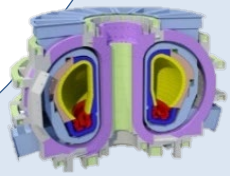
BA活動（フェーズII）（国際協力で実施）
②JT-60SA(BA活動の一部)
初期研究段階　統合研究段階　拡大研究段階
⑨第4段階（原型炉）移行判断
実用化への準備完了
定常運転領域の実証

プラズマ点火
③核融合中性子源（国際協力も利用して実施）
技術実証・工学設計　建　設　核融合中性子照射試験
照射データ取得

④原型炉研究開発（国際協力も利用して実施）
概念設計・要素技術開発
社会受容性と経済性の見通しを得た工学設計の完了

工学設計・実規模技術開発
（1）原型炉設計活動
（実機大超伝導コイル開発試験、原型炉遠隔保守技術の開発、加熱／電流駆動装置開発等）
（2）原型炉用シミュレーターの開発
（3）安全性研究・三重水素取扱技術
（検証と妥当性確認（V&V）を含む安全性検討、三重水素大量取扱技術開発を含む燃料システム開発等）
（4）炉工学と関連基盤研究
（設計基準を含む材料開発、計測制御装置開発、熱負荷試験を含むダイバータ開発等）

原型炉の建設と運用



原型炉設計合同特別チームによる鳥瞰図

⑤ブランケット開発
安全実証試験　工学試験（テストブランケットモジュール（TBM））
三重水素回収実証

⑥大型ヘリカル研究
⑦高出力レーザー研究
学術研究から開発研究への展開も想定

⑧社会連携活動
原型炉に向けた社会連携活動の実施

核融合原型炉研究開発に関する第１回中間チェックアンドレビュー報告書（概要）

令和４年１月24日、科学技術・学術審議会の核融合科学技術委員会（主査：上田良夫大阪大学教授）は、核融合原型炉に向けた研究開発に関する第１回チェックアンドレビュー報告書を取りまとめた。概要以下の通り。

目的

○核融合科学技術委員会が、その傘下にある原型炉開発総合戦略タスクフォース（TF）による進捗状況調査結果を踏まえて、我が国における核融合原型炉研究開発の進捗状況を分析し、原型炉段階への移行に向けての技術の成熟度を確認するもの。

○委員会文書においては、原型炉建設の判断に先立ち、２回の中間チェックアンドレビュー（CR）を行うこととしている。今回は第１回中間チェックアンドレビュー（CR1）であり、第２回中間チェックアンドレビュー（CR2）は、イーターのファーストプラズマ達成後を目途に行うこととされている（2025年以降）。

○委員会文書においては、CR１段階において達成すべき目標（最大の目標は、原型炉概念設計の基本設計の完了）が設定されており、この目標の達成状況を確認することが基本である。

CR1までに達成すべき目標（平成29年12月核融合科学技術委員会決定）の概要

○原型炉概念設計の基本設計
○ITERの技術目標達成計画の作成
○ITER超伝導コイルなど主要機器の製作技術の確立　　等

報告書のポイント

○実効的なフォローアップを行うために策定された「原型炉開発に向けたアクションプラン」に基づき、原型炉TFで研究開発の進捗状況を確認したところ、CR１段階までの研究開発は「おおむね順調に推移している」と評価された。これに基づき、委員会として確認した結果、**CR1までの目標は達成されている**と判断した。

○他方で、**CR2に向けた課題**も列挙。主な課題は次の通り。

・将来の原型炉開発に生かすため、**イーター向けに日本が調達責任を負う機器の開発加速**が急務。
・原型炉、すなわち核融合発電を実現するために不可欠な**基幹技術の確保**に速やかに取り組むべき。
・**核融合発電の実現時期の前倒しが可能か**検討を深めること。前倒しを行う場合、CR2時点での達成目標や、原型炉研究開発の優先順位を再検討すること。（CR1の実施後、内外の情勢を見極めながら１年程度をかけて慎重に検討。）
・核融合に必要な**技術開発から学術研究まで**幅広く取り組み、核融合に必要な**広範な人材を育成・確保**するとともに、丁寧に社会の理解を得ながら、着実に歩を進めていくこと。
・核融合の重要性に対する関心喚起による**産業界の連携を促進**し、**産学官のステークホルダーが結集して取り組む**ことが重要
・**立地や安全**について議論を深めていくこと。

※ここには、**文部科学省傘下の審議会での検討事項を越える課題**も含まれる。幅広い関係機関による今後の議論において、核融合科学技術委員会での審議結果をインプットし、議論の深まりに貢献していく。

核融合エネルギー開発の推進に向けた人材の育成・確保について

➡長期的な計画に基づき、原型炉開発を担う人材を継続的・安定的に育成・輩出し、その人材を確保し、さらに育成する環境整備が必要

大学院教育

博士課程学生を増加させるため、学術研究を推進し、基礎研究環境の維持・充実が必要

» 広範で多様な専門を習得する教育プログラムの構築や、ものづくりやシステム統合を経験するための産学の連携

人材流動性

ITER計画・BA活動と国内研究開発を連携させ、知の循環システムとして発展させることが必要

» ITER機構を含む、産学で広範囲な人材流動性構築と、魅力的なキャリアパスの確立

アウトリーチ

子供を含む広い世代に対する、核融合研究開発への興味喚起と相互理解が必要

» 即戦力・将来の人材の確保、並びに核融合の社会受容性向上の観点から、アウトリーチなどの社会連携活動

核融合戦略の策定に向けて

- 我が国でも、核融合発電の実現に向けた新たな方策を検討するため、統合イノベーション戦略推進会議の下に「核融合戦略 有識者会議」を設置。
- 核融合発電に向けた研究開発を加速し、諸外国に対する技術的優位性を確保するとともに、産業競争力強化に繋がる戦略を議論。
- これまでに3回開催し、検討の方向性を整理した中間的整理を12月に公表。
- 来年１月以降も引き続き議論を行い、４月頃の統合イノベーション戦略推進会議において決定する予定。
- 中間的整理において、ベンチャーを含めた民間企業の参画促進には、繋がる場の構築を更に検討する必要。
  - 継続的かつ本格的に産学官が連携できる活動の場の構築
  - 研究機関と企業の技術ニーズ・シーズのマッチングを広めるビジネス機会の構築
  - 核融合協議会のような、企業間での技術情報交換の場の構築

核融合戦略の中間的整理（今後の検討の方向性）

4-(1) 核融合産業の育成戦略

核融合産業の育成戦略

見える

① 原型炉に向けて細かなマイルストーンを設定し、産業の予見性を高めて、核融合への参画を促進できる計画の策定

② 技術マッピングによる技術安全保障の戦略及び産業ニーズの見える化

③ 他分野への波及が期待される核融合技術の見える化

繋がる

① 継続的かつ本格的に産学官が連携できる活動の場（実施主体、試験施設、枠組み、技術移管の仕組み）の構築

② 研究機関と企業の技術ニーズ・シーズのマッチングを広めるビジネス機会の構築

③ 核融合協議会のような、企業間での技術情報交換の場の構築

育てる

① ニーズ・シーズのギャップを埋める補助金やインセンティブによる核融合産業の活性化

② 戦略的な国際標準化等の規格化による市場創造・拡大

③ 海外需要・海外人材の確保に向けた国際競争時代の新たな国際協調の検討と技術安全保障体制の構築

④ 加速器・原子力等も含めた共通技術基盤の継続的な育成

⑤ 核融合産業の育成、原型炉開発の促進も念頭においた規制の在り方を、技術のわかる者や規制及び国際標準化の専門家を構成員とし、適した場にて産業化に乗り遅れないように検討

⑥ その際、ITER計画誘致の際の議論も参考にしつつ、科学的・合理的な規制を検討

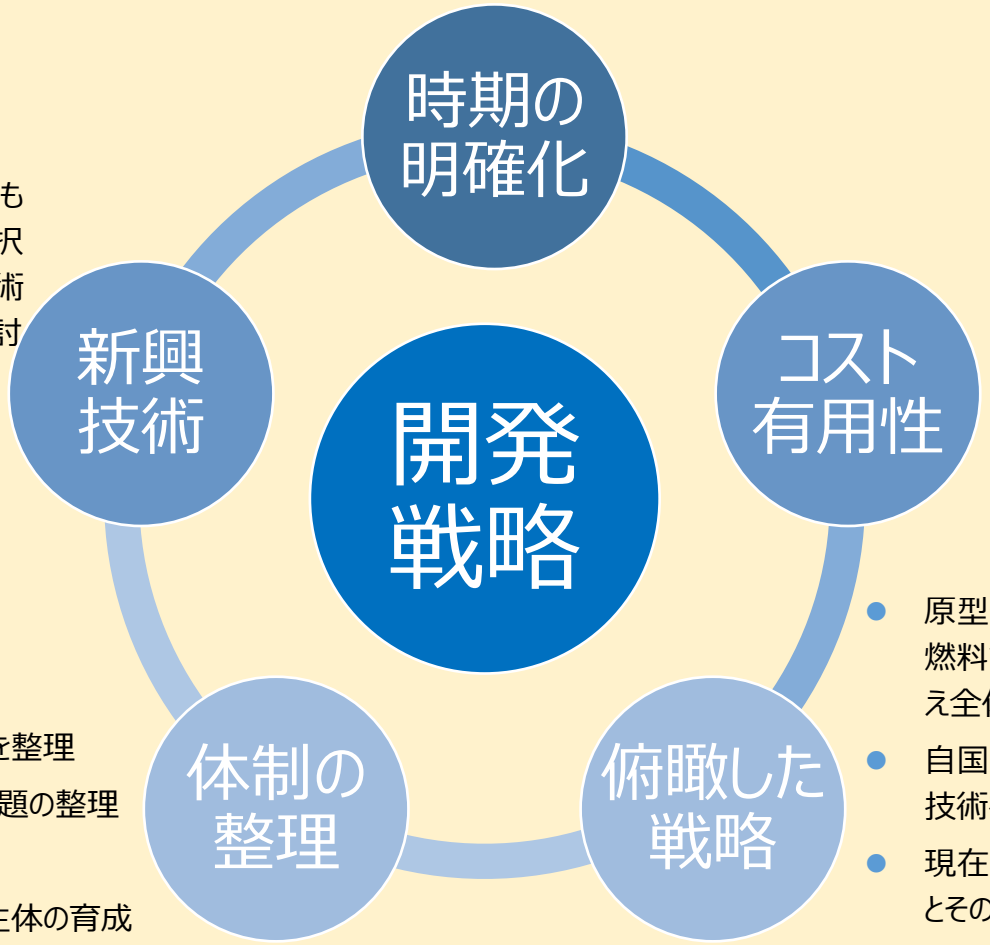
⑦ 米国や英国等での議論が先行していることから、有志国と連携して規制の国際標準化を目指すべき

⑧ 国際的な産業競争を勝ち抜くために、技術力で優位にある我が国の立場を活かし、国際標準化を主導すべき

核融合戦略の中間的整理（今後の検討の方向性）

4-(2) 核融合技術の開発戦略

核融合技術の開発戦略



- 核融合発電の実証時期の明確化
- 原型炉の社会的・経済的な有用性、コスト目標の検討
- 原型炉の炉に加えて発電システム（機器、燃料調達）、機器ごとの開発サイクルを踏まえ全体を俯瞰した上で戦略を描く
- 自国で不可欠な技術と他国に任せてもいい技術を考慮した戦略が必要
- 現在進行している核融合世界市場の形成とその中でのわが国産業の育成振興が必要
- サプライチェーンとその担い手を整理
- ITER計画で培った経験、課題の整理
- 原型炉実施体制の検討
- 様々な核融合事業の推進主体の育成
- 独創的な新興技術についても原型炉開発計画の代替選択肢となりうるため、核融合技術群として研究開発の強化を検討

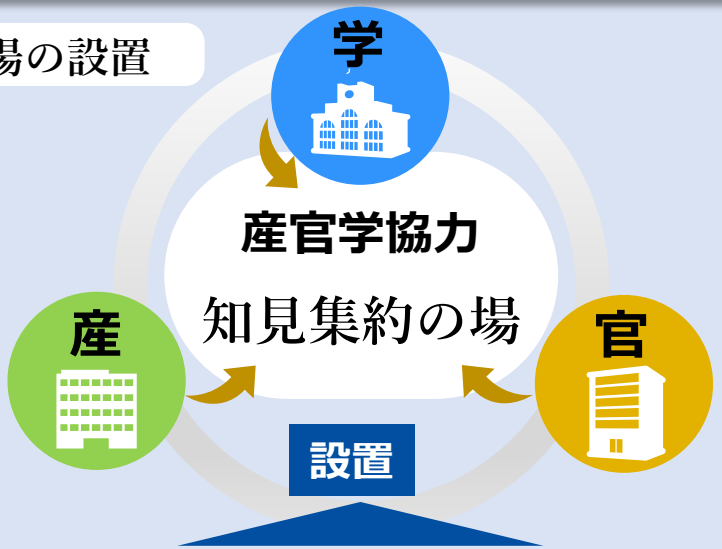
核融合戦略の中間的整理（今後の検討の方向性）

4-(3) 核融合戦略の推進体制等　~推進体制

核融合戦略の推進体制等

核融合開発のための知見を集約できる場の設置

場の設置



誰が検討し、決定するのかを要検討

- 産官学が協力して核融合開発のための知見を集約できる場の設置を誰が検討し、決定するのかを要検討。

実施体制及びその妥当性の判断

実施体制の妥当性の判断

- 原型炉のスペック（目的）を決め、主体がいない現状においてはQSTを中心としつつ民間企業も参加する実施体制を構築することで、主体となりうる民間企業を育成すること及びその妥当性の判断が必要。
- ITER計画の実績に根差した着実な原型炉開発路線の推進とともに、急速に変化する世界の核融合計画の展開については、民間企業を中心に柔軟に対応。

核融合戦略の中間的整理（今後の検討の方向性）

4-(3) 核融合戦略の推進体制等　～人材確保の方策、アウトリーチ

核融合戦略の推進体制等

人材確保の方策、アウトリーチ

長期的、安定的な人材確保

研究開発のみならず原型炉に必要な人材を、長期的、計画的に確保し、育成するためにも、

↓

教育機関や産業界とも連携し、必要な人材を計画的に採用し、育成を行う仕組みづくりが必要。

他分野展開をアピール

核融合炉は多岐にわたる分野の技術で構成されるため、他分野から研究者を引き付けるためにも、

↓

他分野と連携した研究を行うとともに、核融合技術が他分野に展開できることをアピールする必要。

海外人材の確保及び頭脳循環

将来の核融合技術の輸出を見据え、
様々な分野の人材、
核融合人材を確保するため、

↓

海外人材の受け入れ、日本からITER等の海外機関への派遣及び国内への還流を促進。

企業から研究機関への人材派遣の活発化

原型炉では原子力商用炉の経験者等が必要。

↓

企業から研究機関への人材派遣の活発化。

目に見える成果の創出

目に見える成果の創出を通じた
国民への理解促進。

まとめ

世界的な競争が開始される中、原型炉を実現し、核融合エネルギーの実用化を目指すために、

- **ITER計画、BA活動の着実な遂行**
  - ITER計画におけるFP、DTの達成
  - BAフェーズⅡ(2020年4月以降)の本格運用 (IFMIF/EVEDA、IFERC、JT-60SA)

- **中長期的視点に立ち、原型炉を見据えた研究開発・人材育成の展開**
  - 原型炉段階への移行判断に向けた、チェックアンドレビューの実施
  - 産学官が一体となり、人材流動性を確保した人材育成
  - 戦略的なアウトリーチ活動の展開・体制整備

- **世界の核融合産業をリードするため、**
  - 核融合戦略を今後策定

御清聴、ありがとうございました。