

合同コアチームからの関連報告

1. 核融合作業部会での議論の経過と合同コアチーム活動
2. 合同コアチーム報告書

リーダー： 山田弘司

メンバー： 尾崎章、笠田竜太、坂本宜照、坂本隆一
竹永秀信、田中照也、谷川尚

専門家： 岡野邦彦、飛田健次

事務局： 牛草健吉、金子修

核融合研究を取り巻く環境

❖ 大競争の時代

- ✓サイエンスとしての魅力
- ✓核融合研究開発の大義
 - 地球規模のエネルギー・環境問題の解決
 - 多くの実績のある解, 太陽光, 風力,
 - 核融合はどうか?
 - 社会の要請は? 日本はどうしていくのか?
- ✓安全地帯はない, まして与えてもらえるものではない
- ✓大義に見合った**実行計画と実施**

❖ 実行できる計画

- ✓ **何を、だれが、どうやって、いつまでに、実行するのか?**
- ✓ 計画はうまくいくとは限らないが、計画のないところに進歩はない
- ✓ うまく行かなかったら早く判断
- ✓ もう, 先延ばしの余地は無い (ITERによる燃焼プラズマ実験)

現状認識

- 核融合に関する各種プロジェクトは着実に進展。一方で、これらに対する多額の投資を背景に、社会から「いつ、核融合エネルギーは実現するのか？」との問いかけが頻繁に行われている。
 - 「2020年代初頭に原型炉段階への移行を行い、速やかに原型炉の建設を進めることができれば、．．．今世紀中葉までに実用化の見通しを得ることも視野に入れることが可能と判断される。」（平成17年推進方策）では、答えにはならない時期が迫りつつある。
- 核融合コミュニティにとって、上記の問いかけに対して信頼度の高い、具体性のある答えを出すことは、アカウントビリティを果たす上で最も重要な問題ではないか。
- 作業部会報告書に示されている問題認識
 - ✓原型炉の本格的な概念設計活動について、「設計の基礎となる知見については、原型炉実現のために将来必要となる工業技術と現在の技術成熟度との間で十分な整合性が確保されていないことが多い。しかるに原型炉はこれまでの核融合実験装置とは異なり、非常に大規模な工業プラントであることから、その技術的整合性を確保しないままでは、実際に建設に着手する段階で非常に大掛かりな工学技術開発を要し、そのために相当の資源と時間が必要となる恐れがある。」
 - ✓「原型炉に求められるもの、原型炉のあるべき姿の方から見るバックキャストの手法に沿い、既存・進行中の研究開発計画を合理的なものとすることが、原型炉の本格的な概念設計活動の在り方を考える上で、極めて重要である。この原型炉の本格的な概念設計活動についてITER計画、BA活動及びそれらを補完する研究開発の整合性、合理性など、全体をとらえた検討・検証を進捗に応じて行うことができるものとする体制を整備して、原型炉の最適化を可能とする総合的な活動の推進を図ることによって、実現可能性の高い原型炉へのロードマップが構想され、第四段階計画（原型炉により技術的実証と経済的実現性を明らかとする段階）への移行の判断に必要なとされるチェックポイントが明らかになっていくであろう。」

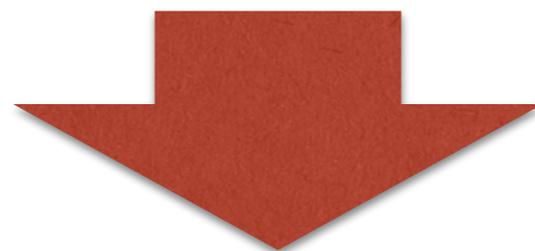


発電実証の早期実現に向けて、今、核融合研究開発に携わっている者が一丸となり、関連分野の優れた人材（特に若手）をもっと巻き込んで、ロバストな技術基盤の構築とそれを土台とした原型炉開発のプラン作りに邁進することが求められている。

行政からの問題提起

❖ 相当の国費投入がさらに必要となる原型炉段階への移行の可否を判断するには・・・

- ✓ 「実用化を見据え」、「民間事業者の参画」を得つつ判断する（平成17年推進方策）ことを鑑みれば、**経済合理性や安全性等に対する社会の要求に十分応え、広く支持が得られるプランが核融合コミュニティによって作成される必要がある**



そのためには・・・

核融合コミュニティ全体の活動を統合的視座で把握し、共通目標を設定して活動を組織化、あるいは、その指向性を強化することが不可欠



作業部会報告書を受けて、日本原子力研究開発機構と核融合科学研究所が協力し、**核融合原型炉開発のための技術基盤構築の中核的役割を担う産学官のチーム（合同コアチーム）**を平成25年度7月に設置し、平成26年2月に中間報告、**平成26年7月に報告**を取りまとめた。

合同コアチームの活動

平成25年 7月 3日 第37回核融合作業部会にて決定

1. 目的

- ✓ ITER計画及びBA活動やLHDをはじめとする学術研究の進展を踏まえ、核融合原型炉の開発に必要な**技術基盤構築の在り方を、我が国の核融合コミュニティの総意を踏まえつつ検討**

2. 検討内容

- 1) 検討の前提となる核融合原型炉概念
- 2) 実施すべき活動とその目標（研究活動、検討活動）
- 3) 上記の活動に必要な科学的・技術的検討作業

3. 留意点

- ✓ 我が国の核融合コミュニティの総意を踏まえた検討となるように、全国の産学官の研究者、技術者等との幅広い連携・交流を行うこと。特に、関連分野の学会間の連携・交流の拡大を期待
- ✓ 本作業部会の政策審議に資するため、上記チームの検討状況については、チームの代表者等が定期的に本作業部会に報告

❖ 報告書「本作業部会は、（中略）**原型炉段階への移行条件**についての議論の深化を図りつつ、本報告書の見直しをしていくこととする。」

➔ **具体のターゲット：核融合作業部会の報告書見直し**

今後の核融合研究開発におけるC&R項目

項目	中間段階でのC&Rまでの達成目的*	原型炉段階への移行判断
①実験炉による自己加熱領域での燃焼制御の実証	<ul style="list-style-type: none"> ITER実機を踏まえた実験炉の技術目標の達成計画の作成。 	<ul style="list-style-type: none"> ITERによるQ=20程度以上の（数100秒程度以上）維持と燃焼制御の実証。
②実験炉によるQ=5以上の非誘導定常運転の実現	<ul style="list-style-type: none"> ITER実機を踏まえた達成計画の作成。 	<ul style="list-style-type: none"> ITERによるQ=5以上の非誘導電流駆動プラズマの長時間維持（1000秒程度以上）の実証。
③実験炉による統合化技術の確立	<ul style="list-style-type: none"> ITER施設の完成。 機器製作・据付・調整に関わる統合化技術の取得。 	<ul style="list-style-type: none"> ITERの運転・保守を通じた統合化技術の確立。安全技術の確認。
④経済性見通しを得るための高ベータ定常運転法の確立	<ul style="list-style-type: none"> ITER支援研究と定常高ベータ化準備研究の遂行とトカマク国内重点化装置による研究の開始。 	<ul style="list-style-type: none"> トカマク国内重点化装置等による無衝突領域での高ベータ（β）維持の達成。
⑤原型炉に関わる材料・炉工学技術開発	<ul style="list-style-type: none"> 発電ブランケットの技術基盤の整備の完了。ITERでの機能試験に供する試験体の製作を完了。 低放射化フェライト鋼の原子炉照射データを80dpaレベルまで取得し、核融合と類似の中性子照射環境における試験に供する材料を確定。 	<ul style="list-style-type: none"> ITERでの低フルエンスDT実験により、発電ブランケットのトリチウム増殖・回収機能や除熱・発電機能を実証。 80dpaレベルまでの低放射化フェライト鋼の重照射データの検証を完了。
⑥原型炉の概念設計	<ul style="list-style-type: none"> 原型炉の全体目標の策定。 原型炉概念設計の基本設計。 炉心、炉工学への開発要請の提示。 	<ul style="list-style-type: none"> 炉心、炉工学技術の開発と整合をとった、原型炉概念設計の完了。

合同コアチーム報告書概要

1. はじめに

2. 検討の前提となる核融合原型炉概念について ← 目的の定義と目標（技術仕様）設定

2.1. エネルギー情勢と社会的要請の変化

2.2. 基本的進め方

2.3. 開発戦略

2.4. 原型炉に求められる基本概念

2.5. 原型炉段階への移行に向けた考え方

3. 原型炉の構成要素の技術課題について ← 課題解決のためのプロセス、相互関係、担手と施設

3.1. 超伝導コイル開発

3.2. ブランケット開発

3.3. **ダイバータ開発**

3.4. 加熱・電流駆動システム開発

3.5. 理論・計算機シミュレーション研究

3.6. 炉心プラズマ研究

3.7. 核融合燃料システム開発

3.8. 核融合炉材料開発と規格・基準策定

3.9. 核融合炉の安全性と安全研究

3.10. 稼働率と保守性

3.11. 計測・制御開発

4. 炉設計活動の在り方について

5. 海外との協力について

6. **まとめ** — 今後の原型炉開発技術基盤構築に向けた総合戦略づくりについて —

2-1. エネルギー情勢と社会的要請の変化

- ❖ 『エネルギー基本計画』には『原発依存度については、省エネルギー・再生可能エネルギーの導入や火力発電所の効率化などにより、可能な限り低減させる』とある。核融合開発の視点から見れば、原子力発電のベースロード電源としての利用の時代から、それを代替する高効率火力発電の時代を経て、核融合時代の到来を招くためにはどうすればよいかという問いに還元。核融合に求められるのは、**火力を代替可能な性能**と、**再生可能エネルギーとの相補的な関係**の構築
- ❖ 核融合原型炉設計においては、**軽水炉を上回る安全性**を示さなければ、原型炉を日本国内に建設することは難しいと考えることが前提。核融合開発の方向性として、**その固有の安全上の特長を活かし、社会的に統合した実用化**を目指す必要

2-2. 基本的進め方

- ❖ **中間C&Rを2020年**ごろ、これを受けての第四段階への**移行判断を2027年**ごろに想定した上で、原型炉開発に関わるマイルストーンを定めた**計画（ロードマップ）**を構想

2-3. 開発戦略（抜粋）

- ❖ 原型炉においては目標達成に至るまでの**運転開発期**では、**原型炉自体を用いて実用段階へ向けた課題解決**を進めていくため、マイルストーンを定めた計画が重要
- ❖ 原型炉の目的に照らして、まず、現在最も開発段階の進んだトカマク方式によって**第四段階への移行条件を満足させうるための技術課題を共通目標として定め、ITER計画とともに全日本体制で課題解決**に当たる必要
- ❖ 実験炉である**ITER計画の遂行は原型炉に向けた技術基盤の構築の最も大きな柱**。したがって、**並行して実施される原型炉研究開発計画はこれとの相乗に配慮**すべき。ITER計画における開発実績を反映させることはもとより、この機会を利用して、原型炉の技術課題の解決に資するデータの取得を進めることが重要。ITERの建設の経験を活かして、原型炉の建設コストの軽減につながる研究開発等
- ❖ 革新的成果による加速と課題解決を促し、また第四段階への移行判断の可否の判断等において、核融合研究開発の総合的進捗状況を踏まえることができるように、トカマク方式に対して相補的・代替的なヘリカル方式や革新的概念など、**研究開発において一定の多様性を持った取り組み**をバランスのとれた形で、より戦略的につなげて進める必要

2-4. 原型炉に求められる基本概念

- ❖ 原型炉の目的は核融合エネルギーが**他のエネルギー源と競合可能な経済合理性と社会的合理性**を達成できる見通しを示すことである
- ❖ 推進方策報告書（平成17年）においては『トカマク型の原型炉は、ITER程度の炉心寸法と百万kWレベルの発電能力を持つことが想定される』とある。現在の技術基盤及び今後の技術見込から、原型炉は核融合エネルギーの実用化に備え、**数十万 kWを超える定常かつ安定な電気出力**、**実用に供し得る稼働率**、**燃料の自己充足性を満足する総合的なトリチウム増殖**を実現することを目標とした上で、マイルストーンを定めた計画(ロードマップ)を構想すべき
- ❖ 実用炉に展開が可能なメンテナンスシナリオを実現し、**原型炉最終段階では実用に供し得る稼働率**実現を目標とするべきである
- ❖ 原型炉の建設コストは、その後続く実用化に向けた視点から受容され得る必要

2-4. 原型炉に求められる基本概念（続き）

- ❖ プラズマ対向機器への過大な負荷を軽減し長期間にわたる安定した燃焼継続を可能にするため、**熱・粒子制御、ディスラプション回避等のプラズマ制御性**を実現する必要
- ❖ **高性能ブランケットの試験、ダイバータ性能の改善**など実用段階へ向けた課題解決のため、柔軟に対応できる炉心機器設計が必要である。技術的确实性を確保するため、原型炉の運用初期にはITER計画またはITER-TBM(Test Blanket Module)の技術を基盤とするダイバータ及びブランケットを装荷するが、その後は原型炉の運転中に得られる知見に基づいてこれらの**長寿命化のための改良**及び**高効率エネルギー利用を目指した高性能化**を実施できるよう留意
- ❖ **ダイバータへの熱流束や粒子束、並びにブランケット第一壁構造材への中性子束及び熱流束**などの技術仕様を定義した上で、機器開発計画を構想していく必要

实用炉建設段階へ

实用段階

経済性
実証段階

实用化
技術の獲得

实用炉と同等な物理と工学に基づく機器による安定した長期間連続運用実証

ex. 原型炉TBMによる先進ブランケット開発試験、实用炉材料による炉内機器の健全性試験など

経済性実証
段階の準備

発電実証段階の知見を反映した改良・改修や炉内機器の設置

運用性の確認

経済性向上の見直し確認

発電実証
段階

炉内機器保守交換スキームの実証

ex. 实用炉のため炉内機器開発試験、原型炉TBMによるブランケット改良、ダイバータ性能の改善、实用炉のための材料開発試験など

発電実証

調整運転
(コミショニング)
段階

予備段階

安定した定常運転シナリオの確認

2-5. 原型炉段階への移行に向けた考え方（抜粋）

- ❖ **移行判断の時期**をITERにおいてDとTを燃料とした核燃焼実証が見込まれる**2027年ごろを前提**として、技術開発計画を構築することが適切である。その際、推進方策報告書で提示されたC&R項目(案)を精査し、内容と判断基準の具体化をはかる必要がある
 - ✓ C&R項目(案)にある、『**ITERによるQ=20程度以上の(数百秒程度以上)維持と燃焼制御の実証**』と『**ITERによるQ=5以上の非誘導電流駆動プラズマの長時間維持(1,000 秒程度以上)の実証**』については、核融合研究作業部会等での議論が必要
 - ✓ **前者**では、ITERの目標がQ=10であること、パルス幅は炉心プラズマ性能の確認だけでなく、ITER-TBMのトリチウム増殖・回収機能や除熱・発電機能の実証と関わる
 - ✓ **後者**では、その実証がITER計画後期の予定となっていることから、ITERやJT-60SAの成果とシミュレーションとの統合によって移行判断をするべきではないか、などの問題意識に対する合理的解答をまず、コミュニティの共通認識として形成する必要
- ❖ **中間C&R**では ITER計画における建設・開発実績の評価が不可欠であることから、その時期は**ITERのファーストプラズマ点火が見込まれる2020年ごろと想定**して、達成目標と評価の在り方をより具体化していく必要
- ❖ ITER 計画において**エネルギー増倍率、長時間維持、ブランケット機能**の実証等についての成果がいつ、どこまで見込めるのか、は**原型炉段階への移行判断条件に直接関わる決定要素**であり、その条件基準の根拠に立ち返り、その是非と時系列展開を検討することが必要
- ❖ 「推進方策」にある、『**原型炉段階への移行の可否の判断に当たっては、他の方式を含む核融合研究開発の総合的な進捗状況を踏まえるとともに、実用化を見据えることや民間事業者の参画を得ることが重要ではないか。**』については、その意義を引き続き検討することが必要

原型炉開発の技術基盤構築における11の研究開発課題

超伝導コイル開発 Development of superconducting coil

ブランケット開発 Development of blanket

ダイバータ開発 Development of divertor

加熱・電流駆動システム開発 Development of heating and current-drive system

理論・計算機シミュレーション研究 Theory and computational simulation research

炉心プラズマ研究 Fusion-reactor plasma research

計測・制御開発 Development of diagnostics and control

核融合燃料システム開発と規格・基準策定 Development of fusion fuel system and setting of codes and standards

核融合材料開発と規格・基準策定 Development of fusion materials and setting of codes and standards

核融合炉の安全性と安全研究 Safety of fusion reactor and safety research

核融合炉の稼働率と保守性 Duty and maintenance of fusion reactor

✓ 人材育成

Development of human resources / Education

✓ 産業界との連なり

Industrial involvement

✓ 基礎科学との連なり

Basic science involvement

炉設計

Design of DEMO

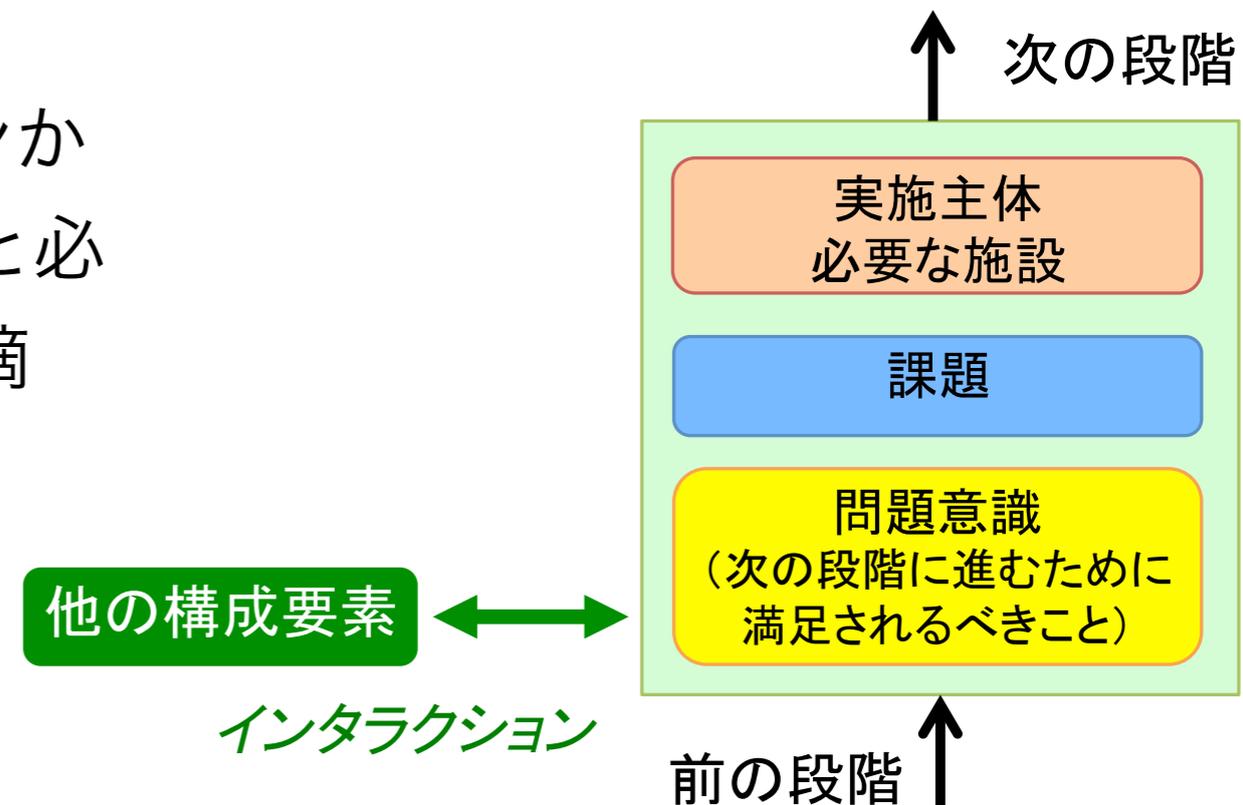
原型炉の構成要素の技術課題について

❖ 課題の分析（コア課題の抽出、関係性、優先度など）を行った上で、**中間C&R**と**移行判断**というポイントをそれぞれ**2020年ごろ**と**2027年ごろ**に想定し、そのタイムラインに照らして、**11の構成要素**おののおのにおける**技術課題の構造と解決に向けた取組**を示す

❖ 現在までの進展を出発点とし、移行判断後の原型炉建設開始に至る開発の道筋において、前進するために欠けていると考えられる**「問題意識」**（次の段階へ進むために満足されるべき条件とも）、問題意識を解決するための**「課題」**、そしてその担い手となる**「実施主体あるいは必要な施設」**の三つからなるパッケージで取組を定義

❖ 以上の課題の構造の分析とマイルストーンから決めた展開、課題へ取り組む実施主体と必要な施設の整理をもとに、次のことを指摘

- 1) 中間C&Rまでに必要なこと
- 2) 中間C&R以降、移行判断までに必要なこと
- 3) 緊急の課題
- 4) 留意点



ダイバータ開発の課題

移行判断, 2027

中間C&R, 2020

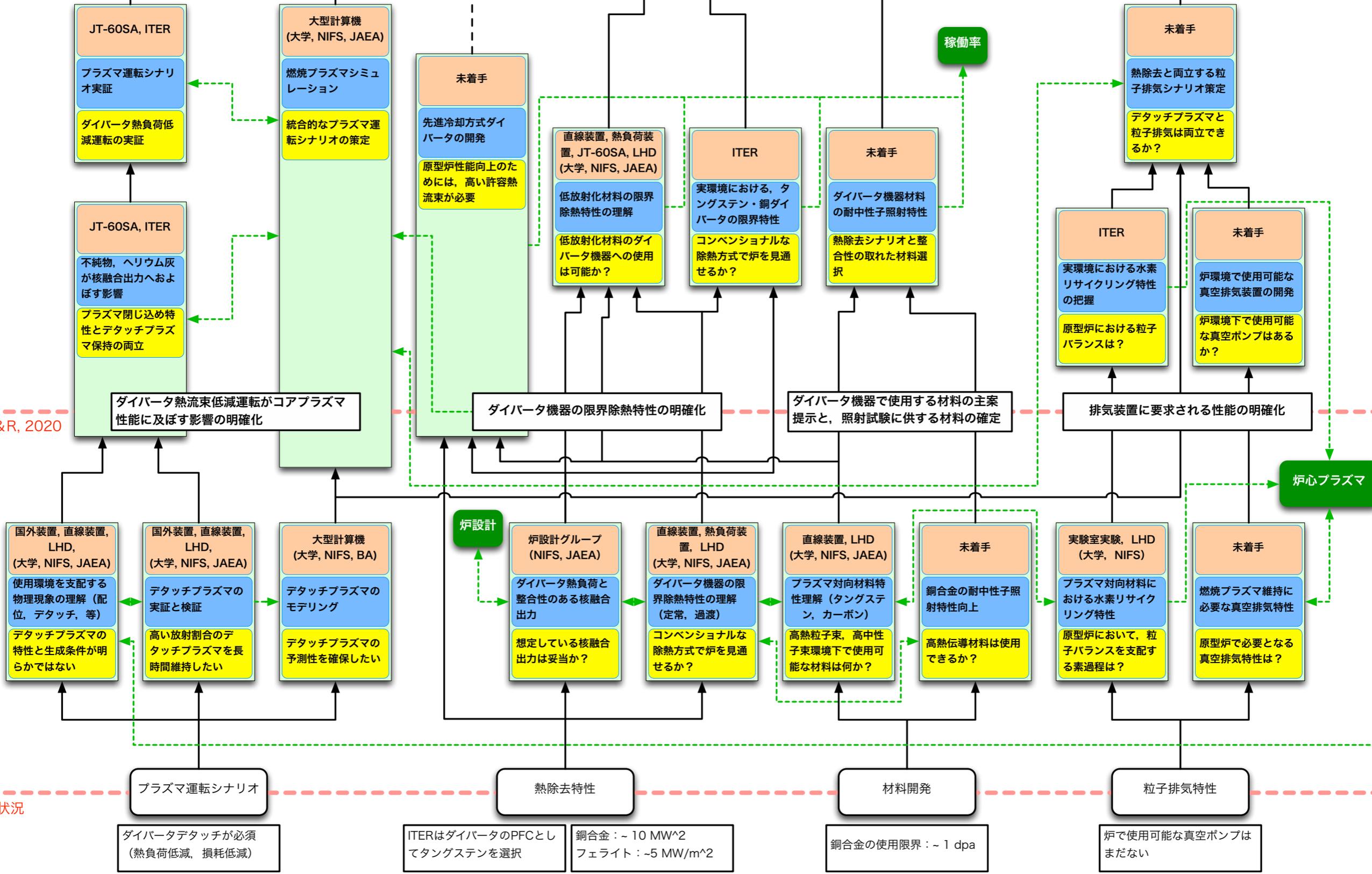
現在の状況

原型炉に必要なダイバータ設計の見通しを得る

ダイバータ熱流束の低減運転シナリオ成立性の提示

ダイバータ機器で使用する材料と冷却方式の確定

粒子排気シナリオ成立性の提示



ダイバータ開発・課題の整理

❖ 課題の整理

- ✓ ダイバータの熱負荷の問題は、**要求される特性と現有技術とのギャップが非常に大きく**、一つの項目の改善だけでは解決できない。**プラズマからの熱流束の低減**及び**プラズマ対向機器の除熱特性向上**、両者の最適化によって妥協点を見出すことが必要。さらに、炉条件下の**中性子照射環境における材料特性の劣化**も避けられない。特に、**材料寿命は装置メンテナンス指針に大きな影響**
- ✓ プラズマ対向機器は、プラズマ対向材料と伝熱材料の複合体であり、個々の材料特性の優劣だけではなく、それらを組み合わせた**総合的な熱除去特性や機器寿命**に基づき、**適切な材料選択**
- ✓ ダイバータ部への熱負荷低減のためにはデタッチメント放電が必須であるが、その実現のためには不純物ガスの導入が必要。さらに、デタッチメントの結果としてダイバータ粒子束の低減が引き起こされることから、**不純物のコアプラズマへの流入**と**粒子排気特性の低下**によって、**燃焼が阻害される可能性**がある。**熱負荷低減運転(デタッチメント放電)**と**不純物挙動・粒子排気特性**が両立するダイバータ構造・運転

ダイバータ開発・課題の整理

❖ 中間C&Rまでに必要なこと

- ✓ ダイバータ部での熱バランスを成立させ得る熱流束に合わせた、**核融合出力仕様の見直し**も視野に入れることが必要
- ✓ スクレイプオフ層（SOL: Scrape Off Layer）幅やプラズマ壁相互作用（PWI: Plasma Wall Interaction）の素過程など、**ダイバータの使用環境を支配する物理現象**の解明
- ✓ 既存装置におけるデタッチメント放電実験結果を原型炉への外挿する確度を高めるために、**デタッチメント放電のモデリングとその実験的検証**
- ✓ 熱除去特性の向上のためには、**中性子環境下でも十分な特性（寿命）を有する高熱伝導材料**の開発が必要。材料特性はメンテナンスサイクル等の炉設計の根幹に影響を与えることから、**早期に使用可能な材料を選定**
 - 伝熱候補材料としては、高熱伝導度の観点からは銅合金が挙げられるが、この耐中性子照射特性の向上が課題。また、国内にこれに関連した研究は極めて乏しいことから、研究開発計画を具体化
- ✓ 燃焼プラズマにおける粒子制御を行う上で、排気特性の確保は重要であるにもかかわらず、設計検討は不十分。**原型炉で用いる真空排気装置の使用条件**を明らかにし、研究開発計画を具体化

❖ 中間C&R以降、移行判断までに必要なこと

- ✓ 炉設計においてダイバータ配位の最適化を進め、**粒子制御特性と熱除去特性を両立できるダイバータ配位と運転シナリオ**を示し、JT-60SA等の実験によって原理検証
- ✓ デタッチメント放電シナリオの外挿性を確保するために、ダイバータ運転に関する**素過程の理論モデリング**の充実に加えて、**包括的なシミュレーション研究**への発展が必要
- ✓ 原型炉条件下で使用可能な**真空排気装置**の研究開発

ダイバータ開発・課題の整理

❖ 緊急の課題

- ✓ ダイバータ部における熱・粒子制御特性の確保は、必要となる原型炉性能を満足する上で欠くことのできない重要な課題。**ダイバータ設計は真空容器内機器のみならず、コイル配置等、原型炉の全体設計に大きな影響を与える**ことから、早急に進めることが必要。したがって、**ダイバータ配位の最適化**と**ダイバータ部におけるデタッチメント放電のモデリング**、さらに、**コアプラズマも統合したデタッチメント放電のシミュレーション研究**を可及的速やかに推進
- ✓ **原型炉条件下で使用できる真空排気装置の仕様が明確になっていない**。研究開発計画の具体化のために、**真空排気装置の概念検討**に早急に着手
- ✓ ダイバータへの高熱負荷を適切に処理するためには、**高熱伝導特性を有する銅合金を使用することが妥当**。一方で、既存の銅合金は耐中性子特性が不足しており、ダイバータを高頻度で交換しなければならないことが懸念事項。ダイバータの交換頻度を低減し、十分な稼働率を実現するためには、**銅合金の耐中性子照射特性の理解と向上**

❖ 留意点

- ✓ 原型炉ダイバータで使用する材料を決めるには、材料単体の性能のみならず、**ダイバータ機器としての総合的な評価**を行うことが必要
- ✓ 原型炉の高効率エネルギー生産へ向けた高性能化には、**先進冷却方式ダイバータの開発**が必要

まとめ（抜粋）

—今後の原型炉開発技術基盤構築に向けた総合戦略づくりについて—

- ❖ 研究及び開発の進展を踏まえ、**核融合原型炉の開発に必要な技術基盤構築の在り方**について、特に検討の前提となる**核融合原型炉の基本概念**、及びこの概念の**技術的成立性を示すために実施すべき研究開発活動**について検討
- ❖ **全ての技術課題項目に共通する問題認識**は原型炉設計と個々の技術課題の研究開発の間のジレンマ、すなわち、**設計が固まらないから研究開発目標が設定されない**、**研究開発の見込みが不明なため設計が固まらない**という状況から、**それぞれの成果が相乗的に加速を促す**状況へと変革させること
- ❖ 原型炉開発は関連技術すべてを統合的視座から結集してなされるものであることから、広義の原型炉設計活動には個々の技術の目標設定と成熟度評価によって開発計画全体を管理し、**主案の確実な進展を図る**とともに**革新的な新規の技術開発を提言する**役割が求められる
- ❖ この原型炉設計活動においては、**専門家を糾合した原型炉の技術仕様を固めるための体制強化**だけではなく、**計画の実効性の評価と改善**を効果的に機能させることや、他分野までを俯瞰して、学協会との連携を含めて**課題解決のための活動を組織化**させることに、全日本体制で戦略的に取り組む仕組みが合わせて必要

おわりに

❖ これまで多くの同様な報告書

✓ それらは機能したか？

✓ **何を、だれが、どうやって、いつまでに、実行するのか？** が欠落

❖ 開発のステップ

✓ 概念設計研究 → 基本設計 → 工学設計 → 製造設計

✓ 重点化すべき主案と革新的概念の創造と活用（重層化）

- **Establishment** / **Development** / **Research (Investigation)**

❖ 計画的なコミットメントを示し、評価を受けることをより強く自覚

✓ **成果がいつ、どこまで見込めるのか、についての共通した問題認識を形成し、合理的判断の根拠をコミュニティとして用意する必要**

❖ キーワード

✓ 部分最適化より全体最適化

✓ 統合的視座

✓ バックキャスト

August 1, 2014

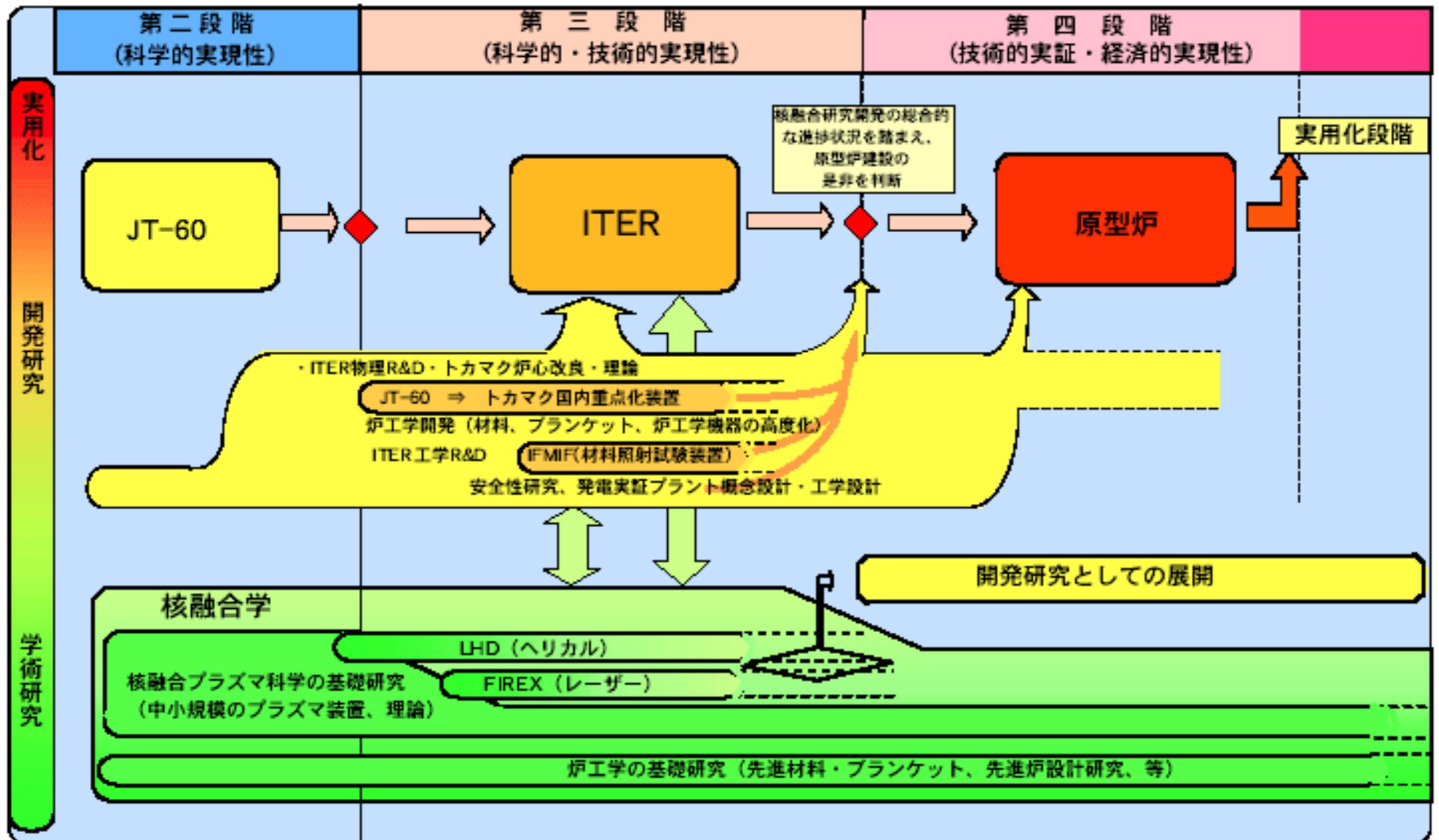
核融合フォーラム合同会合（筑波大）

合同コアチームからの関連報告

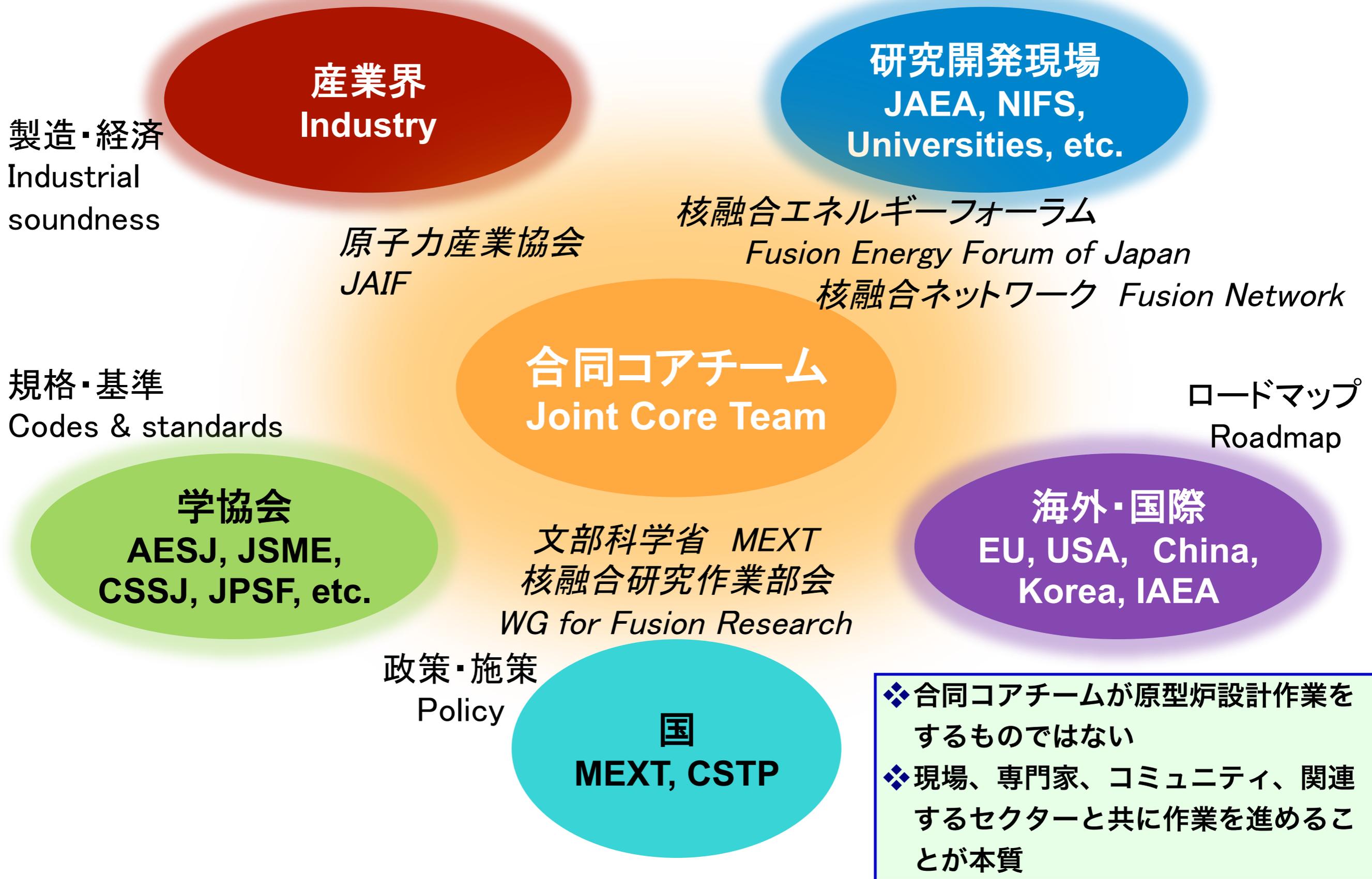
核融合研究開発のグランドプラン

「今後の核融合研究開発の推進方策について」 平成17年 原子力委員会

「2020年代初頭に原型炉段階への移行を行い、速やかに原型炉の建設を進めることができれば、今世紀中葉までに実用化の見通しを得ることも視野に入れることが可能と判断される。」



合同コアチームの活動



原型炉開発の技術基盤構築を進める体制について（案）

(1) 総合指令塔の必要性

- 原型炉開発に必要な技術基盤構築のための総合的な戦略を作り、実施する指令塔的組織が必要。

→ 作業部会の下に、現行の合同コアチームを強化する形で、関係する学問・技術分野の多様な視点を代表する専門家を集め、TF を設置。

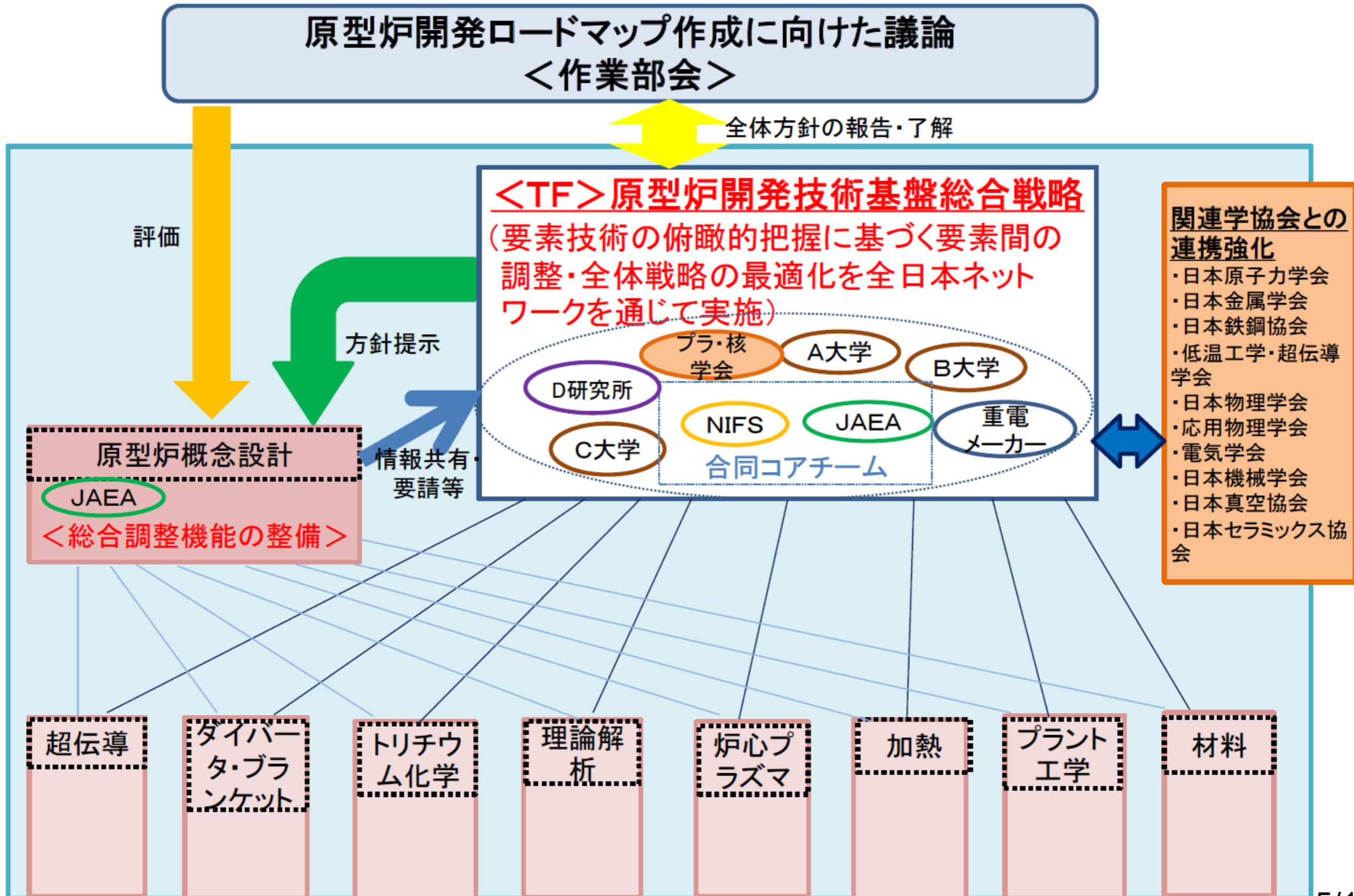
(2) TF の役割・活動内容

- 進捗状況等を俯瞰的に把握するとともに、**全体方針**を示す（= **共通目標**を定め、オールジャパン体制で取り組むための**アクションプラン**を作成）
- **原型炉概念設計**等のグループの活動について、助言
- TFは、**BA 期間中(平成29年5月)**に、原型炉概念設計の重要課題特定を含めた技術基盤構築について、**取りまとめ**を行う。

(3) 原型炉概念設計 等、要素技術開発グループとの関係

- JAEA が中心機関 となりつつも、TFの方針の下に、原型炉開発に向けた技術基盤構築にオールジャパン体制で取り組むための総合調整機能が必要であり、そのための仕組みをJAEA内に整備。

<合同コアチームを中心とした原型炉開発の技術基盤構築を進める体制の在り方>

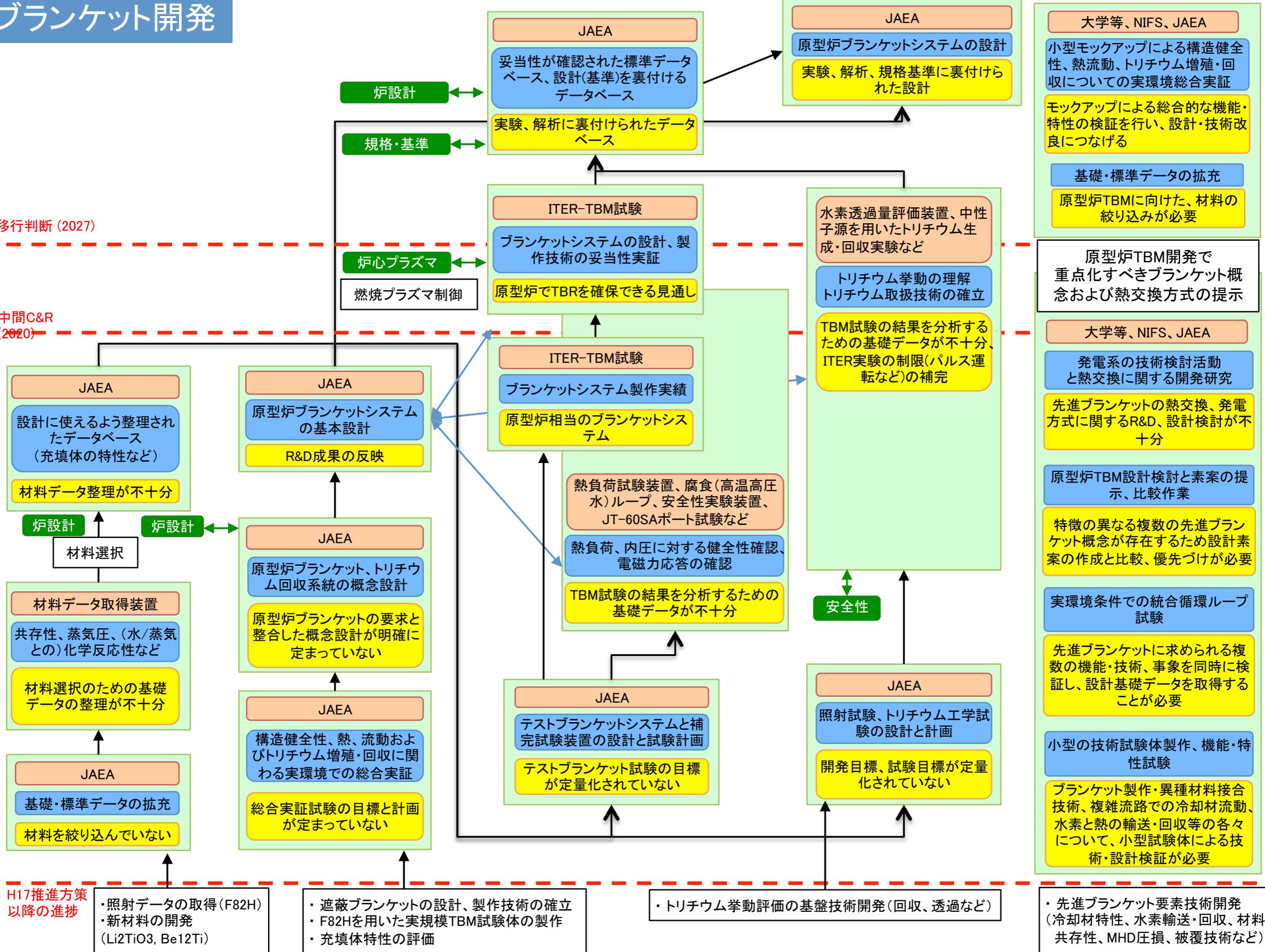


ブランケット開発

移行判断 (2027)

中間C&R (2020)

H17推進方策以降の進捗



・照射データの取得 (F82H)
・新材料の開発 (Li₂TiO₃, Be₁₂Ti)

・遮蔽ブランケットの設計、製作技術の確立
・F82Hを用いた実規模TBM試験体の製作
・充填体特性の評価

・トリチウム挙動評価の基盤技術開発(回収、透過など)

・先進ブランケット要素技術開発 (冷却材特性、水素輸送・回収、材料共存性、MHD圧損、被覆技術など)

ブランケット開発・課題の整理

❖ 課題の整理

- ✓ ブランケットシステムに関わる課題の整理の難しさは、その要求仕様が原型炉の性能仕様と直接関係する一方で、**原型炉の目標性能が明確に定まっていない**こと
- ✓ 必要な開発要素は整理できているので、活動を具体化し、加速するためには、**具体的な目標を設定**しつつ、**技術要素の整合性を確認**
- ✓ **固体増殖・水冷却方式のブランケット**については、**ITER-TBM**の開発、製作の具体化、総合的な性能評価装置群（熱、照射、トリチウム輸送）の開発とそれを用いた性能実証試験を早期に開始
- ✓ **先進ブランケット**については、固体増殖・水冷却方式の計画との整合性に注意しつつ、開発計画を時間的に展開

ブランケット開発・課題の整理

❖ 中間C&Rまでに必要なこと

✓ 主案である固体増殖水冷却ブランケットに関しては

- ITER-TBMの性能評価装置群及び原型炉ブランケットの総合性能評価装置群の整備、開発計画をレビューし、**プロジェクト化**すること。上記活動を通じて、ブランケットの設計、製作技術、トリチウムの取扱技術、中性子の計測技術などの発電ブランケットの**技術基盤の整備**
- TBMの製作

✓ 先進ブランケットに関しては

- これまでの要素技術開発から、実環境条件での統合循環ループ試験に進み、複数の機能・技術、事象を同時に検証し、**設計基礎データを取得**
- **熱交換、発電方式に関する設計検討、研究開発が不十分**と考えられ、強化が必要

❖ 中間C&R以降、移行判断までに必要なこと

✓ 主案である固体増殖水冷却ブランケットに関しては

- TBM試験の結果を分析するための基礎データを整備し、さらにITER実験の制限（パルス運転など）を補完するための実験を通じてトリチウム増殖・回収機能を確認
- ITERでの低フルエンスDT実験により、発電ブランケットのトリチウム増殖・回収機能や除熱・発電機能を実証
- ITERでの実験を補完するための照射試験などにより、原型炉条件での健全性確保について見通しを得る
- 原型炉TBM計画の目標設定及び試験計画をレビューしてプロジェクト化し、先進ブランケット概念を絞り込み、年次展開

✓ 先進ブランケットに関しては

- 製作・異種材料接合技術、複雑流路での冷却材熱流動、水素と熱の輸送・回収等の各々について、小型試験体による技術・設計検証を行い、課題の洗い出しとブランケット概念設計へのフィードバック、解決のための研究開発展開
- 複数の概念案が存在し、研究開発活動が展開されている。得られた基礎データ、開発技術を取り込み、熱交換を含む原型炉TBM設計素案の提示を行うとともに比較検討を進め、原型炉TBM開発において重点化する概念を選択

ブランケット開発・課題の整理

❖ 緊急の課題

✓ 主案である固体増殖水冷却ブランケットに関しては

- 原型炉の要求仕様と、そこから導かれるブランケットシステムへの要求の明確化
- ITER-TBMの開発、総合性能評価試験について、大学・研究機関・産業界の連携を伴いつつ活動を強化
- 特に筐体の耐圧性確保に関する指針は、システムの安全性確保の方針に関係すること、筐体の構造に大きく影響し得ることから、早期に明確化
- そのために、原型炉概念の設計検討に携わるチームの活動強化が必要。要素技術開発を担当しているチームも活動に参加

✓ 先進ブランケットに関しては

- 原型炉TBM開発において重点化すべきブランケット概念及び熱交換方式の選択を行うために、候補となり得る各概念の設計研究、比較検討について、取組強化

❖ 留意点

- ✓ 移行判断における、「プラズマ燃焼制御の実証」の目標と「発電ブランケットのトリチウム増殖・回収機能や除熱・発電機能を実証」の目標との関係に注意することが必要。特に、**プラズマの燃焼時間のブランケットの性能実証への影響**に留意することが必要。

3-12. 新たに必要とされる施設について (p.38)

- 新たに必要とされる施設等として、以下。
 - 原型炉の磁場要求を満たす超伝導大型試験装置(16T程度の導体・コイル試験設備)
 - ブランケット関連設備(ITER-TBM開発試験、照射後試験、廃棄物処理技術開発)
 - NBI実機性能試験設備(ITER NBTFの活用を含む)
 - 計算機資源の確保
 - トリチウム大量取扱施設
 - リチウムプラント(回収・精製施設)
 - 強力核融合中性子源、核融合中性子源(IFMIF/EVEDAの活用を含む)
 - 大型保守技術開発施設
- 新たに必要な施設については、BA活動等の現行の活動で整備した施設をはじめとして、現行計画のインフラストラクチャを有効に活用・拡充すべき。特に、**六ヶ所 BAサイトを原型炉開発に向けた中心拠点**として発展させつつ、**那珂BAサイト、核融合研、大学等の施設と合わせた役割分担と運用体制を明確にして、連携を強化し、全日本的な組織化を進めていくことが必要。**

2-5. 原型炉段階への移行に向けた考え方（抜粋）

- ❖ ITER 計画において**エネルギー増倍率**、**長時間維持**、**ブランケット機能**の実証等についての成果がいつ、どこまで見込めるのか、は**原型炉段階への移行判断条件に直接関わる決定要素**であり、その条件基準の根拠に立ち返り、その是非と時系列展開を検討することが必要
- ❖ 原型炉段階への移行判断におけるC&R項目（案）にある、『ITERによる $Q=20$ 程度以上の（数百秒程度以上）維持と燃焼制御の実証』と『ITERによる $Q=5$ 以上の非誘導電流駆動プラズマの長時間維持（1,000秒程度以上）の実証』については、核融合研究作業部会等での議論を。前者では、ITERの目標が $Q=10$ であること、パルス幅は炉心プラズマ性能の確認だけでなく、ITER-TBMのトリチウム増殖・回収機能や除熱・発電機能の実証と関わること、後者では、その実証がITER計画後期の予定となっていることから、ITERやJT-60SA(原子力機構)の成果とシミュレーションとの統合によって移行判断をするべきではないか、などの問題意識に対する合理的解答をまず、コミュニティの共通認識として形成する必要
- ❖ 推進方策報告書にある中間C&Rでの達成目標の案は適切であるとするものの、中間C&RではITER計画における建設・開発実績の評価が不可欠であることから、その時期はITERのファーストプラズマ点火が見込まれる2020年ごろと想定して、達成目標と評価の在り方をより具体化していく必要