

原型炉の発電実証時期の 前倒し/加速の検討に向けて

検討状況

- カーボンニュートラルへの関心が世界的に高まっている情勢を踏まえ、主要各国における核融合研究開発が加速されている。核融合科学技術委員会は、開発競争に打ち勝つために、我が国も核融合発電の早期実現を目指すことが重要ではないか、との問題意識を提示。
- それを受け、原型炉開発総合戦略タスクフォース（TF）は、原型炉の発電時期の加速/前倒しの検討を開始。
- 加速/前倒しする発電開始時期を「いつ」と想定するかによって、その時期までに揃えられる許認可に必要なデータや開発できる技術に制約があると、TFは認識している。
- そこで、TFでは、発電実証時期を加速/前倒しするには、原型炉の段階的実証（段階的に原型炉の性能を上げる（運転領域を広げていく）こと）という考え方を入れる必要があると考えている。このような早期発電実証に最適化した研究開発戦略の可能性について検討を始めたところ。

參考資料

原型炉計画の見直しの検討方針（提案）

- 第1回中間チェックアンドレビュー（CR1）の取りまとめにあたり、目標としての第2回中間チェックアンドレビュー（CR2）の項目は掲げておくべきであるから、現在のCR2項目を踏襲するものの、見直しがあり得ることを記載しておく。
 - 段階的に原型炉の性能を上げる（運転領域を広げていく）として、原型炉の初期に想定する目標や実施時期を変更すること（仮置き）により、
 - ✓ 第2回中間チェックアンドレビュー（CR2）、原型炉段階への移行判断（CR）に達成しておくべき項目やその優先順位が変わらないか。
 - ✓ パルス運転など、今回新たに想定する目標に対応するため、新規に必要な技術が含まれているか。
 - ✓ 規制申請の準備や規格基準の整備といった、これまでの知見や検討を踏まえると、特にこれからの準備が必要となる検討項目が含まれているか。
- などを考慮した上で、TFとしての共通認識を得つつ、原型炉開発に向けたアクションプラン（AP）の議論・検討を進めるべきではないか。
- 原型炉の初期の目標設定や実施時期をいつに設定するかについては、TFで議論・検討を重ね、AP改訂、原型炉研究開発ロードマップの更新とともに、最終的に設定（決定）すべきと考える。
- CR1が実施された後、TFにおいて、AP項目ごとの前倒し案内容の議論を深めてはいかがか。

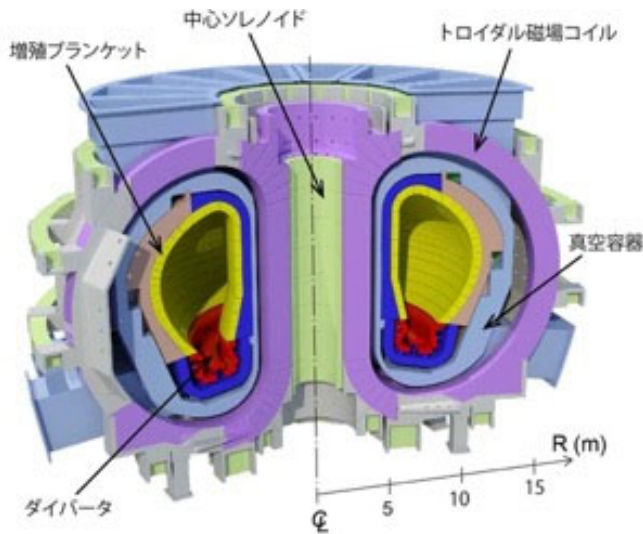
見直しのための検討スケジュール（提案）

- JA-DEMOの段階的シナリオに示す、第1期（発電実証）に想定する目標や実施時期及びその後の第2期（定格発電実証）の目標や実施時期に対し、現行のAPの課題ごとに議論・検討を行い、結果を積み上げて行くことを提案したい。
- 例えば、3回のTF会合で想定すると、以下のような流れ。
 - ✓ **第1回目**：0.炉設計、1.超伝導、2.ブランケット、3.ダイバータ、4.加熱・電流駆動、5.理論・シミュレーション、6.炉心プラズマ、7.燃料システム
 - ✓ **第2回目**：8.核融合材料と規格基準、9.安全性、10.稼働率と保守、11.計測・制御、12.社会連携、13.ヘリカル、14.レーザー方式、加えて必要であれば、新たに加えるべき課題
(第1回目と第2回目に取扱う課題は変更される。)
 - ✓ **第3回目**：第1、2回の検討を踏まえ、原型炉開発に向けたアクションプラン（AP）を改訂し、JA-DEMOの第1期及び第2期の目標や実施時期を決定するとともに、見直すとしていた第2回中間チェックアンドレビュー（CR2）項目の確定、また必要であれば原型炉段階への移行判断（CR）の見直しを行い、最終的に原型炉研究開発ロードマップの更新を行う。
- 今回のJA-DEMO計画の改訂は、我が国の核融合エネルギー開発の方向性を大きく変更する可能性があるものであり、研究開発に遅滞を生じさせないためにも、来年、令和4年/2022年12月までに、これらAP改訂や原型炉研究開発ロードマップ更新を行うことを目標としたい。

JA-DEMO (設計概念設計の基本設計が終了)

核融合科学技術委員会のいう原型炉の目標 (①数十万kWの電気出力、②実用に供し得る稼働率、③燃料の自己充足性) に見通しを得る基本概念で構築

基本パラメータ



主半径：8.5m
小半径：2.42m
核融合出力：1.5GW
発電端出力：0.64GW
中心トロイダル磁場：6T
プラズマ電流：12.3MA
加熱入力：< 100MW
規格化ベータ値：3.4
規格化密度： $n_e/n_{GW}=1.2$
閉じ込め改善度：1.3
冷却水：PWR条件
稼働率：~70%
運転方式：定常運転
三重水素増殖率：1.05

概念の特徴

- 誘導電流駆動によるIp立ち上げ： $R_p=8.5m$
- ダイバータ熱負荷低減： $P_{fus}=1.5GW$
- 運転柔軟性：定常運転 & パルス運転
 - ✓ 高密度・非接触プラズマとの整合性の観点から、定格のIpでパルス運転
→十分なCS磁束を確保
 - ✓ プラズマ性能要求（ベータ値、閉じ込め改善度）を緩和したパルス運転
→初期の調整運転
→早期の発電実証

2015

2020頃

2025頃

2030

2035頃

ロードマップ

概念設計の基本設計

概念設計

工学設計・実規模技術開発

製造設計・建設

特別チーム設置

第1回中間C&R

第2回中間C&R

原型炉段階への移行判断

→原型炉開発に向けたアクションプラン、原型炉研究開発ロードマップに従って、着実に進捗している。

原型炉の発電時期の加速/前倒しの論点・課題

加速した発電開始時期を「いつ」と想定するかによって、その時期までに揃えられる許認可に必要なデータや開発できる技術に制約があるのではないか。

- そこで、段階的に原型炉の性能を上げる（運転領域を広げていく）ことを想定。例えば、原型炉の初期は、
 - ✓ 定常運転のみならず、パルス運転を想定しても良い（パルス運転の回数は制限）。
 - ✓ 発電実証に重きを置き、核融合出力や発電量を下げても良い。
 - ✓ 三重水素増殖比を下げても良い（TBR～1）。
 - ✓ 規制申請の準備や規格基準の整備も段階的な原型炉に合わせて整える。
 - ✓ これに伴い、制約を解決できたものから、加熱装置などを速やかにアップデートすることを想定。
- 段階的に性能を上げるとしても、どのように上げて行くべきかの議論が必要ではないか。
- 必要となる許認可データや開発していく技術について、現時点で加速の見通しが得られるかどうかという視点からの検討が必要ではないか。
- この検討によっては、原型炉開発に向けたアクションプラン、原型炉研究開発ロードマップの更新が必要になるのではないか。

チェック・アンド・レビュー項目

項目	第1回中間C&Rまでの達成目標	第2回中間C&Rまでの達成目標	原型炉段階への移行判断
① ITER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の技術目標達成計画の作成。 	<ul style="list-style-type: none"> ITER支援研究のITER技術目標達成計画への反映。 	<ul style="list-style-type: none"> ITERによるQ=10程度以上の(数100秒程度以上)維持と燃焼制御の実証。
② 原型炉を見据えた高ベータ定常プラズマ運転技術の確立	<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JT-60SAによる研究の開始。 	<ul style="list-style-type: none"> JT-60SAによる高ベータ非誘導電流駆動運転の達成。 ダイバータを含む統合シミュレーションのJT-60SA等による検証。 JT-60SAによる原型炉プラズマ対向壁と整合したダイバータ研究計画の作成。 	<ul style="list-style-type: none"> ITERによる非誘導電流駆動プラズマの実現、及びITER燃焼制御の知見を踏まえた統合シミュレーションにより、非誘導定常運転の見通しを得る。 JT-60SAによる原型炉プラズマ対向壁と整合した無衝突領域での安定な高ベータ($\beta_N = 3.5$以上)定常運転領域の実証。
③ ITERによる統合化技術の確立	<ul style="list-style-type: none"> ITER超伝導コイルなど主要機器の製作技術の確立とJT-60SAの建設による統合化技術基盤の確立。 	<ul style="list-style-type: none"> ITERの運転開始。 ITERの機器製作・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 原型炉に関わる材料開発	<ul style="list-style-type: none"> 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。 核融合中性子源の概念設計の完了。 	<ul style="list-style-type: none"> 原子炉照射による80dpa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。 原子炉照射によるブランケット及びダイバータ機能材料の初期照射挙動の評価、及びリチウム確保技術の原理実証。 核融合中性子源の建設開始、及び材料照射データ取得計画の作成。 	<ul style="list-style-type: none"> 構造設計基準策定 パイロットプラント規模でのリチウム確保技術の確立。 核融合中性子源による低放射化フェライト鋼、並びに、ブランケット及びダイバータ機能材料の初期照射データを取得。
⑤ 原型炉に関わる炉工学技術開発	<ul style="list-style-type: none"> ダイバータ開発指針の作成。 超伝導コイル要素技術等、原型炉に向けて早期着手を必要とする炉工学開発計画の作成。 コールド試験施設によるブランケット設計に必要なデータの取得。 	<ul style="list-style-type: none"> JT-60SA、LHD等によるプラズマ対向材特性を含むダイバータ関連データの取得。 超伝導コイル、ダイバータ、遠隔保守、加熱・電流駆動、燃料システム、計測・制御等の中規模またはプラント規模の炉工学開発計画の作成、並びに、これらの開発試験施設の概念設計の完了。 発電ブランケットの基盤技術整備、並びにITER-TBM 1号機製作と実機での安全性確認試験の完了。 	<ul style="list-style-type: none"> 開発試験施設での成果およびITER、JT-60SA等の実績を踏まえた、超伝導コイル、ダイバータ、遠隔保守、加熱・電流駆動、燃料システム、計測・制御等の原型炉工学設計を裏付ける炉工学技術の確立。 ITERによるトリチウム回収及び核融合中性子源によるトリチウム挙動評価技術の検証。
⑥ 原型炉設計	<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り、高い安全性を確保し経済性を見通しにも配慮した原型炉概念設計の完了。 工学設計の技術基盤確立に向けた炉心、炉工学開発課題の確定と開発計画の作成。 	<ul style="list-style-type: none"> 社会受容性と実用化段階における経済性を見通しを得て、炉心・炉工学技術の開発と整合をとった原型炉工学設計の完了。 安全規制・法令規制の方針策定。
⑦ 社会連携	<ul style="list-style-type: none"> アウトリーチヘッドクォータの設置。 アウトリーチ活動推進計画の立案 	<ul style="list-style-type: none"> アウトリーチ活動の推進と社会連携活動の実施。 	<ul style="list-style-type: none"> 原型炉建設・運転に向けた社会連携活動の実施。