

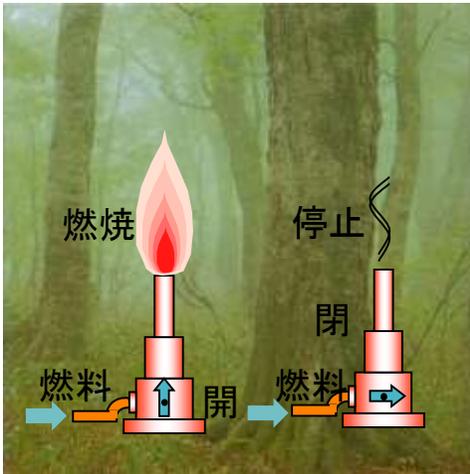
# 日本の核融合研究開発政策

新井 知彦

文部科学省研究開発戦略官(核融合・原子力国際協力担当)

# 未来のエネルギーとしての核融合

## 安全 & 環境に優しい

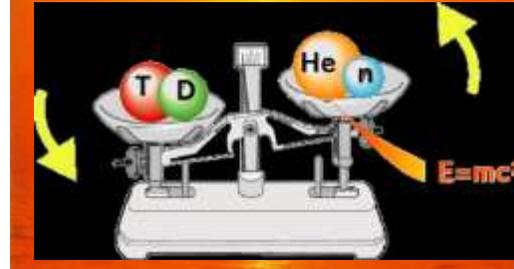


燃料の元栓を締めると反応が自動停止 かつ  
高レベル放射性廃棄物無し

燃料1gで石油8トン分のエネルギー

## 高効率エネルギー

エネルギー ← 質量差  
 $E = m \cdot c^2$



リチウムから自分で三重水素(トリチウム)を作る

燃料は無尽蔵(海中から)  
重水素33g/トン  
リチウム0.2g/トン

超伝導(MRI、量子コンピュータなど)、ロボットなど未来に向けた先端技術の塊



先端技術の結晶

豊富な燃料

# 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・技術的実現性

技術的実証・  
経済的実現性

実用  
段階

科学的実現性

- ・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

- ・発電実証
- ・経済性の向上

21世紀中葉までに  
実用化の目処

ITERで核融合反応  
が見込まれる2030  
年代に移行判断

原型炉

学術研究

LHD  
(大型ヘリカル装置)  
(核融合科学研究所)

FIREX-I  
(阪大レーザー研)

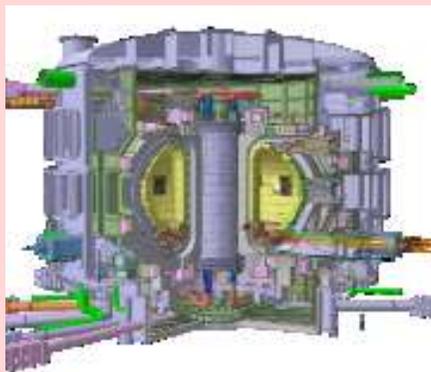
ITER計画

補完  
支援

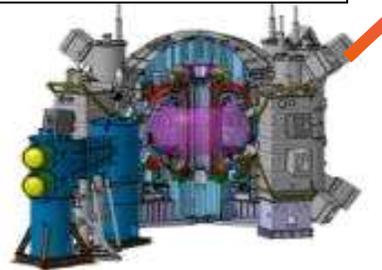
幅広いアプローチ活動



JT-60  
(JAEA)



ITER(大塚ガ)  
(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)



# 核融合研究を国の重要施策として位置付け

## 第5期科学技術基本計画(平成28年1月閣議決定)

### ◇第3章 経済・社会的課題への対応

将来に向けた重要な技術である核融合等の革新的技術、…の確立に向けた研究開発にも取り組む。

### ◇第4章 科学技術イノベーションの基盤的な力の強化

核融合、…などのビッグサイエンスについては、国内外施設の活用及び運用を図り、諸外国との国際共同研究を活発化する仕組みを構築するなど、国として推進する。

## 第5次エネルギー基本計画 (平成30年7月閣議決定)

### ◇第2章 2030年に向けた基本的な方針と政策対応

…核融合エネルギーの実現に向け、ITER計画や幅広いアプローチ活動についてはサイトでの建設や機器の製作が進展しており、引き続き、長期的視野に立って着実に推進するとともに、技術の多様性を確保する観点から、ヘリカル方式・レーザー方式や革新的概念の研究を並行して推進する。

## パリ協定に基づく成長戦略としての長期戦略 (令和元年6月11日閣議決定)

### ◇第2章 各部門の長期的なビジョンとそれに向けた対策・施策の方向性

…核融合エネルギーについては、トカマク方式のITER計画や幅広いアプローチ活動の着実な推進と並行して、我が国独自のアイデアに基づくヘリカル方式等の研究を推進し、科学的・技術的実現性の確立を目指す。

# 核融合開発に係る研究開発政策の検討状況

➤ 2005年10月

「**今後の核融合研究開発の推進方策について**」 ※原子力委員会核融合専門部会

➤ 2007年10月 ITER協定発効

➤ 2015年6月 原型炉設計特別チーム発足

➤ 2016年2月 原型炉開発アクションプラン策定

➤ 2016年11月 ITER計画コスト見直し暫定合意

➤ 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

➤ 2019年10月

「**第6期科学技術基本計画策定に向けた核融合科学技術委員会の考え方について**」策定

※科学技術・学術審議会 核融合科学技術委員会

# 核融合開発に係る研究開発政策の検討状況

## 核融合原型炉研究開発の推進に向けて(概要)

### 開発戦略

- 現在最も開発の進んだトカマク方式による技術課題を共通目標
- 炉工学技術の成立性実証、実用化時の現実的経済性
- 相補的、代替的なヘリカル方式・レーザー方式の推進

### 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(C&R)を2回に分けて実施

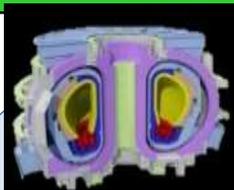
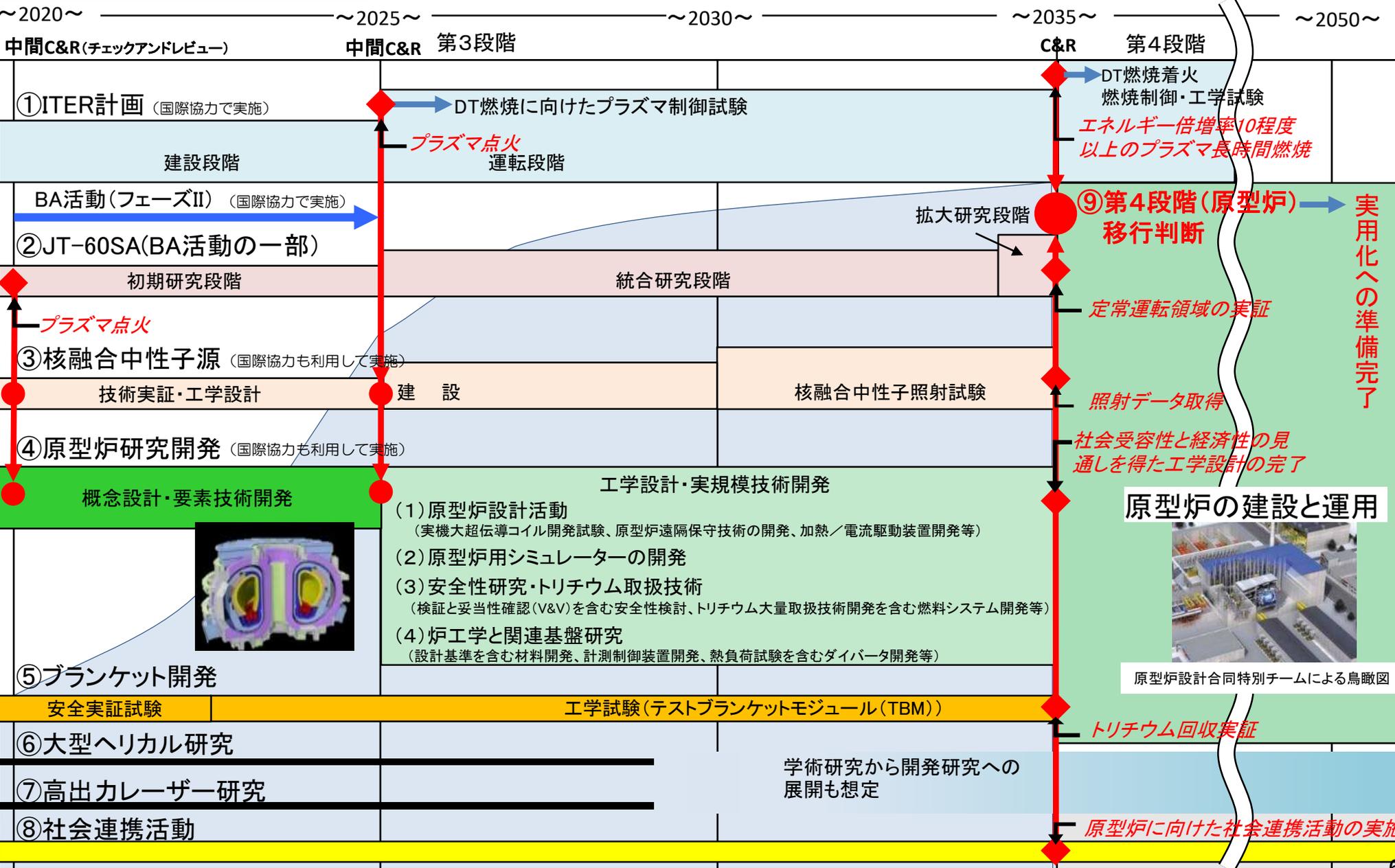
#1 C&R JT-60SAの運転が開始する2020年頃

#2 C&R ITERのFP(2025年)から数年以内

\* 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

# 原型炉研究開発ロードマップ

- 凡例
- ◆ 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
  - 例 〓 ロードマップ遂行に必要なアクティビティの指標



原型炉設計合同特別チームによる鳥瞰図

## 原型炉の建設と運用

# ITER計画において我が国が分担する装置・機器

(FP) →2025年運転開始に必要な装置・機器

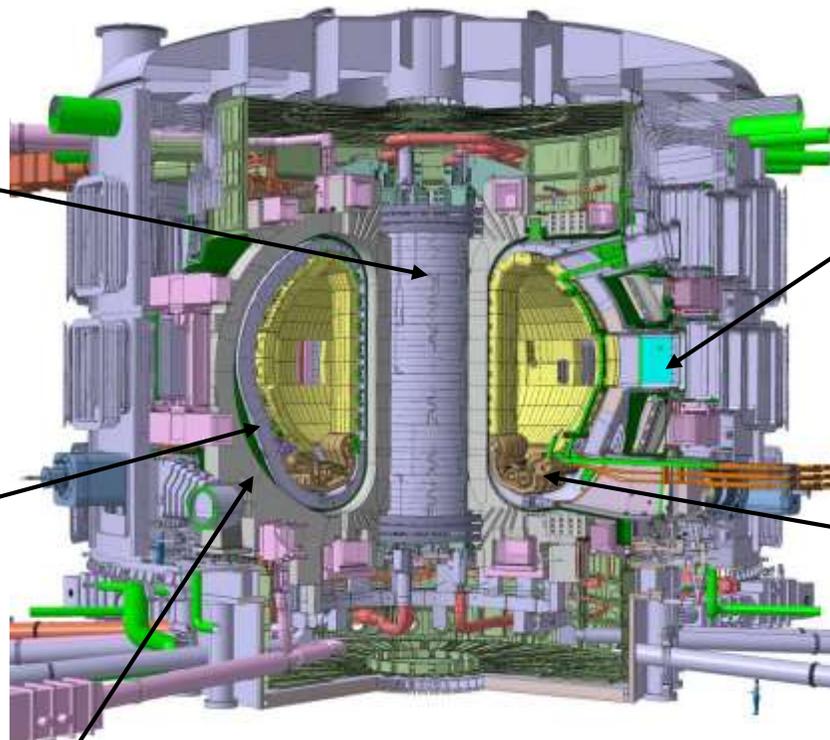


(FP)

超伝導中心ソレノイド (CS) コイル (日、米)



遠隔保守機器 (日、欧)



(FP)

真空容器 (欧、韓、印、露)



ダイバータ (日、欧、露)

超伝導ポロイダル磁場 (PF) コイル (欧、露、中) (FP)

冷却・冷凍システム (欧、米、印) (FP)

真空排気システム (欧、米、中) (FP)



(FP)

超伝導トロイダル磁場 (TF) コイル (日、欧、米、露、中、韓)

※機器については、各極が物納し、ITER機構は原則その組立てを行う。

装置・機器組立 (ITER機構)

建屋 (欧) (FP)

ブランケットシステム (欧、露、中、韓)

トリチウムプラント (日、欧、米、韓)

計測装置 (全極)

- 加熱装置
- ・イオンサイクロトロン加熱装置 (ICRH) (欧、米、印)
  - ・高周波加熱装置 (ECRH) (FP) (日、欧、米、印、露)
  - ・中性粒子入射加熱装置 (NBI) (日、欧、印)

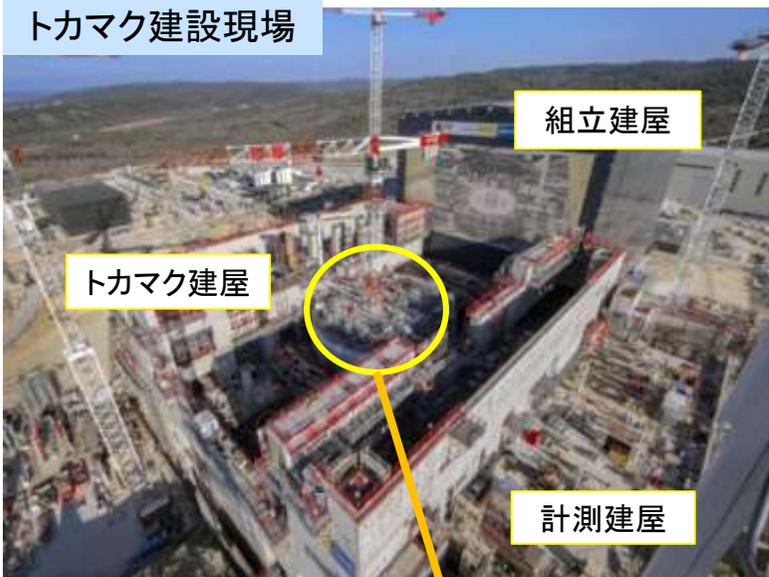
# ITERの進捗状況と今後のスケジュール

2019.10

各極における機器製作、  
サイトにおける建屋建設等

運転開始(初プラズマ)まで、  
**65%以上完了**

トカマク建設現場



トカマク設置場所



2020 春頃

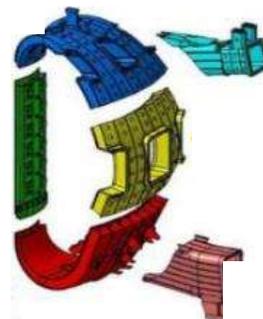
サイトへの各極調達機器の納入、  
ITER組立・据付の本格化

日本製TFコイル初号機・  
韓国製真空容器初号機  
ITERサイト納入  
**(セクター組立開始)**

TFコイル



真空容器

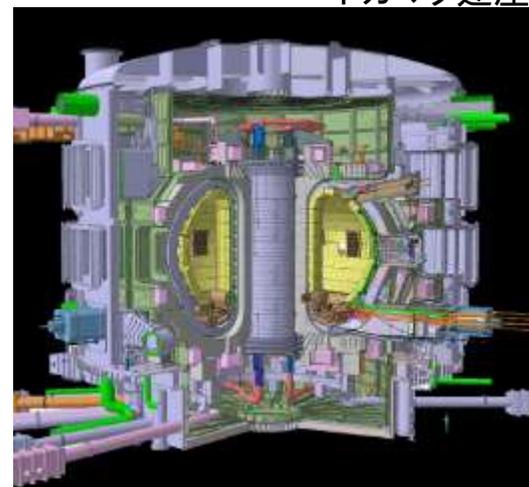
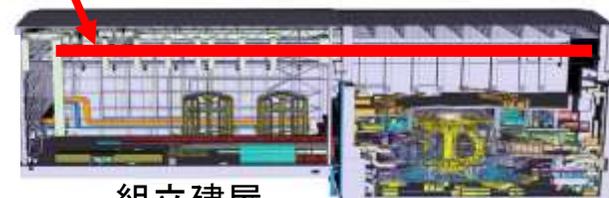


2025.12

**運転開始**  
**(初プラズマ)**

組立建屋とトカマク建屋  
を結ぶクレーンの供用開始  
**(トカマク(核融合装置)組立開始)**

クレーン



# ITERの進捗状況①

➡ 2025年運転開始(初プラズマ)に向けて着実に建設作業が進捗

組立建屋(2019年10月)



トカマク建屋(2019年12月)



日本の機器製作



超伝導トロイダル磁場(TF)コイル:  
初号機のコイルケースへの絶縁樹脂含浸を完了  
(2019年9月)



中性粒子ビーム入射装置:  
イタリアの試験施設に於いて  
日本製の100万ボルト高電圧  
電源の耐電圧試験を完了  
(2019年11月)



高周波加熱装置:  
日本分担の8機中4機の加熱  
装置(ジャイロトロン)の製作を  
完了  
(2019年8月)



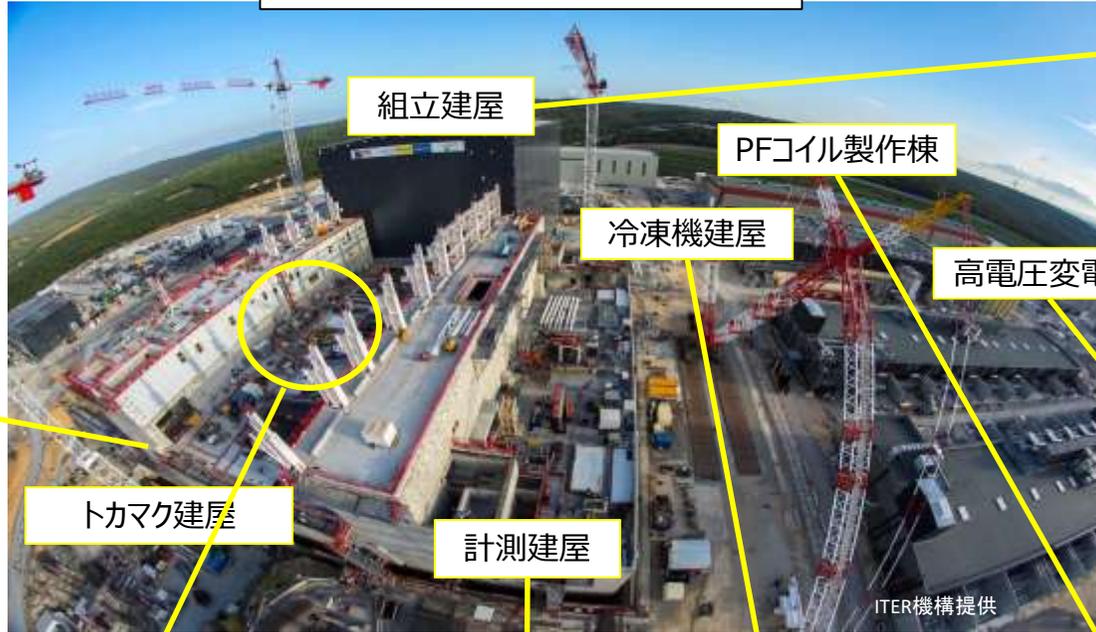
(2016年10月)



(2019年10月)

# ITERの進捗状況②

トカマク建設現場(2019年9月)



ドレインタンク据付



組立建屋



組立建屋

PFコイル製作棟

冷凍機建屋

高電圧変電所

トカマク建屋

計測建屋

ITER機構提供

高電圧変電所



トカマク設置場所

計測建屋

冷凍機建屋

ポロイダル磁場(PF)コイル巻線



# 幅広いアプローチ(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する。

## 茨城県那珂市

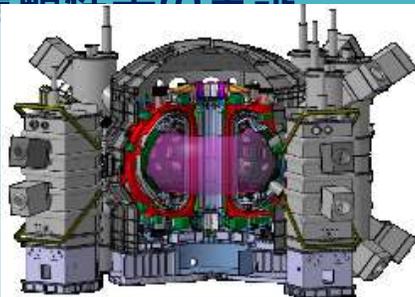
### サテライト・トカマク (JT-60SA) 計画事業\*

#### 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

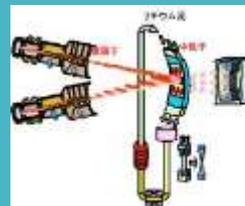
#### 要素技術の工学実証

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



# BAフェーズ I の成果とフェーズ II の主要な目標

	サテライト・トカマク計画 (JT-60SA)	国際核融合材料照射施設の 工学実証工学設計活動 (IFMIF/EVEDA)	国際核融合エネルギー研究センター (IFERC)
フェーズ I	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 世界最高水準の先進超伝導トカマク装置JT-60SAの本体が完成予定</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 国際核融合材料照射施設(IFMIF)の開発のため組立中の原型加速器において、世界最高強度の5MeV、125mAの重陽子ビーム加速に成功 (従来記録は2MeV、45mA) など</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 核融合エネルギー開発の拠点として形成され、着実に成果を創出</li> <li>• 遠隔実験センターとCEAカダラッシュ研究所のトカマク装置WESTを結ぶ遠隔実験に成功</li> <li>• 原型炉基本設計の完了 など</li> </ul>
フェーズ II	<ul style="list-style-type: none"> <li>• JT-60SAの初プラズマ達成により、ITER初プラズマ時のコミッショニングに貢献</li> <li>• 加熱装置等の整備を通して、ITERのHモード運転シナリオの開発に貢献</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 原型加速器を完成し、数百秒程度の連続運転ができるよう改良・整備を実施</li> <li>• ターゲット系の不純物除去の研究開発を実施</li> <li>• 中性子源に向けて必要な設計活動を実施</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 原型炉設計活動と研究開発活動を実施</li> <li>• ITER実験、原型炉設計のためのシミュレーションコード群の開発</li> <li>• ITER遠隔実験に向けた要素技術の統合化試験を実施</li> </ul>

# BAフェーズⅡ事前評価のポイント

## ■ 事前評価について

文部科学省科学技術・学術審議会研究計画・評価分科会核融合科学技術委員会において、必要性・有効性・効率性の観点で、今後の事業計画等について実施機関であるQSTからヒアリングの上、第三者評価を実施。

文部科学省科学技術・学術審議会  
研究計画・評価分科会で決定

## 【事前評価結果】

- ✓ BA活動は、日欧の予算負担により日本国内に研究設備を整備し、日欧が協力して研究開発を推進している稀にみる事業であり、ホストとしての日本のメリットは大きい。
- ✓ フェーズⅠでは主だった研究環境の整備完了が予定されており、今後これらの研究設備を日欧が協力して活用・高度化して研究成果を上げていく段階であり、今後とも活動を推進していくべき。
- ✓ 国内外の核融合科学技術を取り巻く動向を踏まえつつ、欧州との不断の調整や他国・産業界との連携等も検討し、効果的・効率的な研究実施を模索すること。
- ✓ 第5期科学技術基本計画や第5次エネルギー基本計画等の政策文書において、エネルギー確保の観点及び知の基盤強化等の観点からその重要性が言及されており、人材育成も含め我が国の原型炉開発に向けたステップとしても貢献するものとして評価できる。

# ITERとJT-60SAとの連携

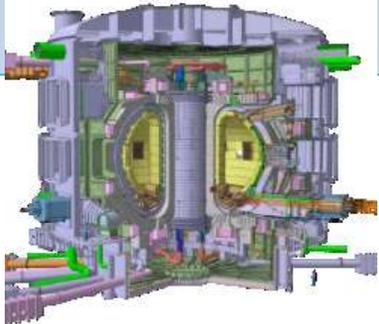
ITER計画とBA活動との間で科学協力を実施すべく、本年4月のBA運営委員会において、方針を確認した上で、**本年11月のITER理事会において、ITER機構と日欧の実施機関の間で協力取決めを署名。**

ITER 

核融合エネルギーの科学的・技術的実現可能性を実証する国際プロジェクト

## 技術目標

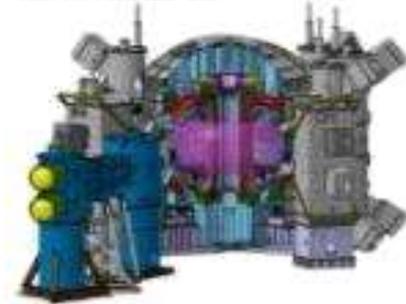
- 核融合出力50万kWの燃焼プラズマの実現とその長時間(400秒)維持  
(外部入力のエネルギー増倍率が10以上)
- 原型炉建設のための基盤技術の実証
- 原型炉に必要な機器の試験・開発



JT-60SA 

機動性を活かした炉心プラズマ改良研究を実施する日欧共同プロジェクト

- ITERの技術目標達成のための支援研究  
ITERに先立ち、様々な条件にて予備的データを取得  
⇒ITERにおける効率的な運転に貢献し、我が国の主導性を確保
- ITERではできない原型炉のための挑戦的な研究  
将来の原型炉建設に必要な高出力プラズマの信頼性・経済性の実証のため、様々な研究を実施



# 直近の政策検討の状況

## 第6期科学技術基本計画策定に向けた核融合研究開発推進の方向性について

科学技術・学術審議会研究計画・評価分科会核融合科学技術委員会  
「第6期科学技術基本計画策定に向けた核融合科学技術委員会の考え方について」より抜粋

### <研究開発システムに関して核融合分野において特に取り組むべき事項>

- ITER計画や幅広いアプローチ(BA)活動等について、各国・組織が協力して実施する大型国際共同研究としての価値を発揮し、**効果的・効率的な研究開発及び人材育成や海外からの人材や投資呼び込み**、「強み」を強化し「弱み」を補填するなどの観点に配慮したプロジェクトの推進
- 情報科学技術など時代に即した新興分野をインテグレートすることによる**研究開発の生産性向上**や、情報科学技術を活用する**産業界を含めた人材の受け皿としての貢献**
- SDGsの実現に向けたESG投資やベンチャー投資などを通じた研究開発投資の積極的活用も含めた、**外部資金の積極的活用**
- 他分野へのスピノフを積極的に活用することによる**産業界からの核融合関連技術への投資促進**と、人材・技術の維持に向けた**サプライチェーンの育成・多様化**
- 長期間にわたるビッグプロジェクトに国費を投ずることへの**理解促進**

# 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

政策提示・評価

活動方針提示・  
各要素技術の状況把握

情報共有・要請等

アクションプランの策定・承認

## 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

公募テーマの提案・了承

原型炉概念設計

原型炉に向けた共同研究

原型炉合同特別チーム

@QST六ヶ所研究所

QST, NIFS, 大学, 企業

連携

共同研究ワーキンググループ

TF, QST, NIFS, 大学, 特別チーム

・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

・原型炉研究開発体制強化のための大学等の連携強化

# 原型炉合同特別チームの活動状況

核融合エネルギーの発電実証に向けた原型炉の基本概念を明確化

－ 脱炭素社会に向けて21世紀中ごろの実現を目指す －

令和元年11月27日 量子科学技術研究開発機構プレス発表

## <発表のポイント>

- ◆ フランスに建設が進むITERの技術基盤に、産業界の発電プラント技術や運転経験等を取り込み、ITERの目標達成後21世紀中ごろに発電実証を行うための日本独自の原型炉の基本概念を明確にした。
- ◆ これまで炉心の設計が中心であった原型炉概念を大きく進展させて核融合エネルギーによる発電プラントの全体像を示した。



核融合原型炉プラントの全体像

# 大学等を対象とした新たな共同研究について体制について

## 2020年度 新規公募課題

### NIFS共同研究

大学等の自主自律を前提とし、中長期的な人材育成を含むアクションプランを遂行する研究開発

#### 課題指定型

3年・上限総額1,500万円

若手枠  
有

アクションプラン項目	募集件数
3. ダイバータ	1件 ■ダイバータ機器健全性評価技術の開発
7. 燃料システム	1件 ■原型炉用DTペレットの製作・検査に関する要素技術の開発

#### 課題提案型

単年度・上限100万

アクションプランの課題に対応するため、新興・融合分野との連携等により、これまでになかったような新たなアプローチで取り組む課題の提案を公募

### QST共同研究

アクションプランを直接的に遂行する研究開発

3年(最長5年)・上限額100万円/年

アクションプラン項目	募集件数
0. 炉設計	1件
2. ブランケット	2件
3. ダイバータ	2件
4. 加熱・電流駆動システム	1件
5. 理論・シミュレーション	3件
6. 炉心プラズマ	1件
7. 燃料システム	1件
8. 核融合材料と規格・基準	8件
10. 稼働率と保守	1件
11. 計測・制御	2件

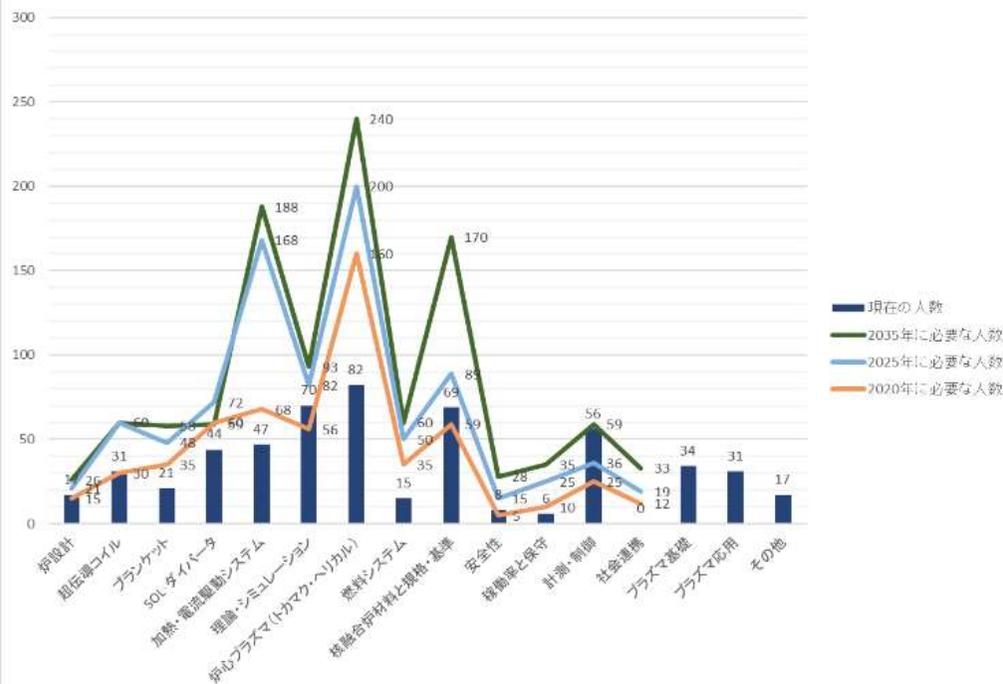
12月上旬公募開始 現在募集中！

★公募に関する詳細情報(研究期間・申請額・応募資格など)は各機関HPに掲載

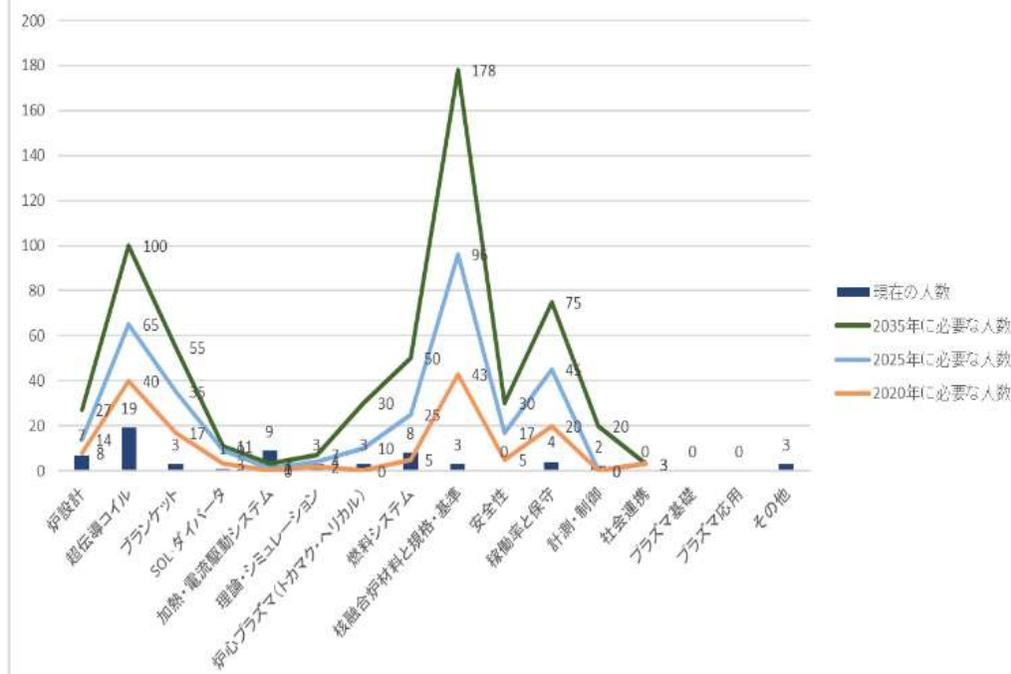
# 核融合研究開発の人材育成を取り巻く現状

将来必要とされる人員数と、現在主に核融合開発に携わる人員数に大きな隔たり。

専門分野別の現員数と今後の必要人数(研究機関)



専門分野別の現員数と今後の必要人数(産業界)



(出典) 平成30年3月28日 科学技術・学術審議会 研究計画・評価分科会 第13回 核融合科学技術委員会 資料2参考2

# 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

➡➡

# ITER機構日本人職員等について

○ITER機構では、今後、現地における組立作業が本格化する中で、高い技術力や経験・ノウハウを有する人材がこれまで以上に必要となっているが、ITER機構職員906名（2019年8月末時点）のうち、日本人職員の割合は加盟極中で6位（31名、3.4%）。

EU	中	印	日	韓	露	米	計
621	84	30	31	48	44	49	906
68.5%	9.3%	3.3%	3.4%	5.3%	4.9%	5.4%	100%

○日本人職員増のため、2017年4月にQSTに「ITER連携推進グループ」を新たに設置し、人材派遣企業との連携による企業からの職員派遣の働きかけなど、取組を強化。

# ITERプロジェクトアソシエーツ(IPA)について

## 1. 概要

現在の勤務先を退職せず、QSTに出向した上で、ITER機構で勤務する制度。

最先端の技術に触れ、多様な技術者・市場関係者と交流する機会であるとともに、多国籍・英語使用という環境を通じて国際交渉・マネジメントを経験する機会。

- ・求められる経験：プラント技術、人事、広報、調達、法務、知財等
- ・派遣期間：原則4年未満
- ・ITER機構からの支援：赴任等手当、PACA(マノスク)国際学校への入学資格の付与
- ・QSTからの支援：給与、応募時・滞在時のサポート

## 2. 応募方法

ITER国内機関(QST)窓口に、履歴書・経歴書を添えて、連絡

## 3. PACA(マノスク)国際学校について

概要：ITER協定に基づき、各極から集まるITER機構職員の子弟に教育を提供するため、フランスがマノスク市に設置した国際学校

形態：フランスの公立学校(授業料は無料)

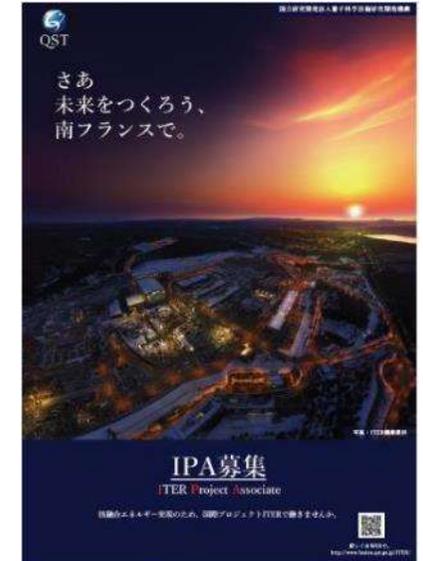
学校種別：幼稚園、小学校、中学校、高等学校

学校年度：9月1日～8月31日

特徴：フランス語教育を基本としつつも、日本語等の各言語セクションも設けたインターナショナルスクール

○日本語セクション児童生徒数(2019年9月時点)

種別	幼稚園部 (4～6歳)	小学部 (7～11歳)	中学部 (12～15歳)	高等部 (16～18歳)	合計
児童生徒数	8	10	9	2	29



# アウトリーチ活動

## アウトリーチヘッドクォーターの設置

### ■目的

戦略的なアウトリーチ活動を立案し、機動的に推進することを目的として、核融合エネルギーに関するアウトリーチヘッドクォーターを設置(平成31年2月)

### ■活動方針

一般国民・産業界・学術コミュニティなど、異なる対象に合った多様なアプローチ、いわゆる「刺さる」アプローチを戦略的に進める。

### ■実施体制

- 核融合科学技術委員会
- 原型炉開発総合戦略タスクフォース
- 文部科学省
- 量子科学技術研究開発機構
- 自然科学研究機構核融合科学研究所
- 大学等

の若干名で、情報共有や意見交換を実施

⇒ 今後は、コミュニティからの要望や企画等を集めるなど、コミュニティ全体が一体感を持って活動できるような仕組みを整備していく。

## 具体的な活動

### ■核融合研究のホームページ開設



- ◆ 核融合エネルギーを理解する10のキーワード
- ◆ 国内装置のPhoto Gallery
- ◆ 研究者・技術者・企業の皆さんからのメッセージ、キャリアパス紹介
- ◆ 国内の研究所見学
- ◆ プラズマ・核融合を学べる大学一覧(NIFSのHP)
- ◆ 関連施策 など

スマートフォンからも  
閲覧可能→



### ■高校生向け

ITERサイトツアー企画



まずは  
SSH・SGH・高専等に配布

### ■大学生向け

ITERインターンシップ周知



体験談や  
応募の流れを掲載