

核融合炉開発と原子力技術

阿部勝憲

内容

1. はじめに 自民党公約 より
2. 核分裂炉と核融合炉の比較
3. 核融合炉の仕組み
4. 核融合炉の機器材料
5. 段階的開発戦略
6. ITER計画
7. 幅広いアプローチBA活動
8. 原子力技術との関係
9. 原型炉開発ロードマップ
10. 各国における開発競争
11. まとめ

1. はじめに

自民党 令和3年政策パンフ レットより

02.
「新しい資本主義」で
分厚い中間層を再構築する。
「全世代の安心感」が日本の活力に。

大胆な「成長投資」で、確かな未来を拓く。

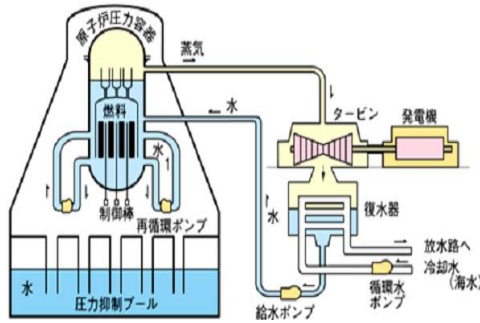
※「成長投資」とは、日本に強みのある技術分野を更に強化し、新分野も含めて研究成果の有効活用と国際競争力の強化に向けた戦略的支援を行うことです。

○小型衛星コンステレーション等の衛星・ロケット新技術の開発や、政府調達を通

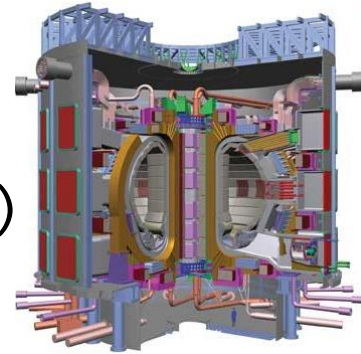
- カーボンニュートラルによる環境と経済の好循環実現のため、エネルギー効率の向上、安全が確認された原子力発電所の再稼働や自動車の電動化の推進、蓄電池、水素、SMR（小型モジュール炉）の地下立地、合成燃料等のカーボンリサイクル技術など、クリーン・エネルギーへの投資を積極的に後押しします。
- 究極のクリーン・エネルギーである核融合（ウランとプルトニウムが不要で、高レベル放射性廃棄物が出ない高効率発電）開発を国を挙げて推進し、次世代の安定供給電源の柱として実用化を目指します。

改革など、あらゆる政策を総動員します。

2. 核分裂炉と核融合炉の比較



核分裂炉

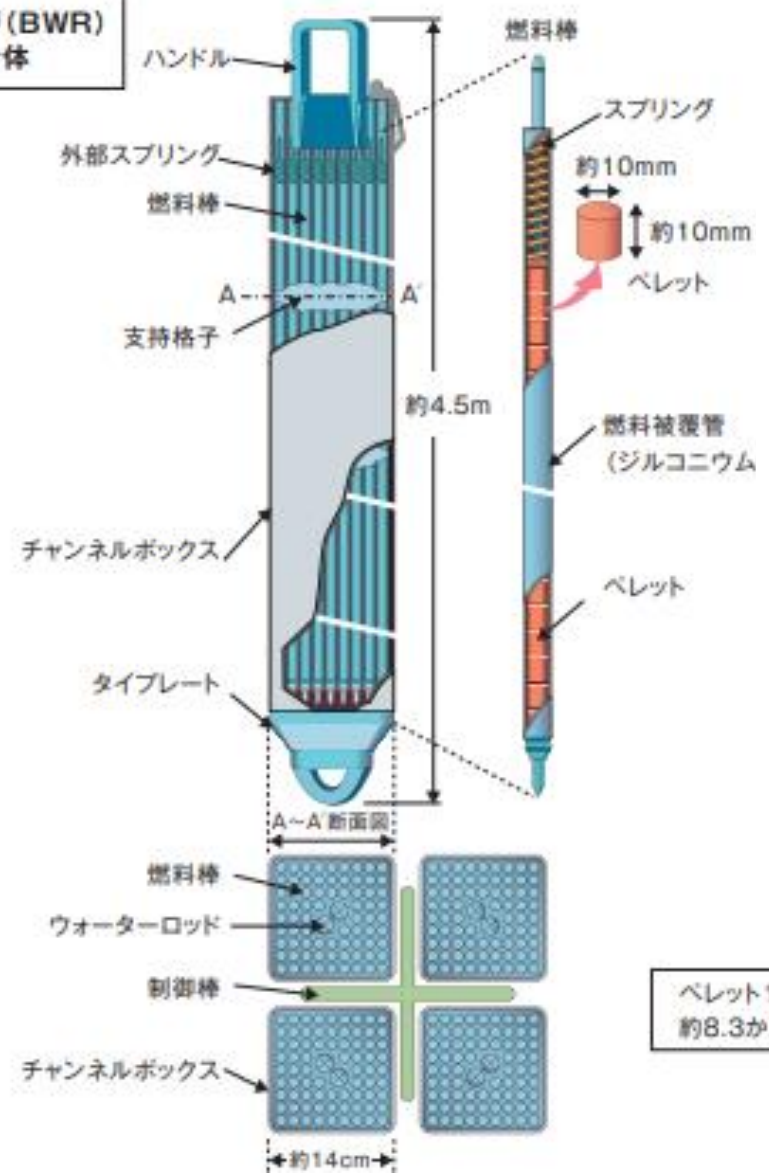


核融合炉(開発中)

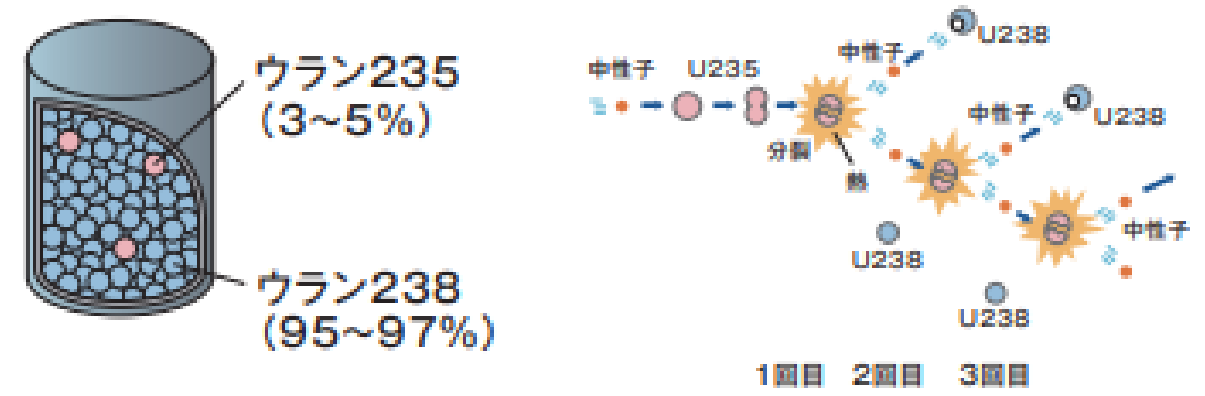
<p>少ない</p>	<p>CO₂排出量</p>	<p>少ない</p>
<p>ウラン</p> <ul style="list-style-type: none"> ・増殖炉により数十倍 ・海水からの回収 	<p>燃料資源</p>	<p>重水素と3重水素</p> <ul style="list-style-type: none"> ・重水素(海水から) ・リチウム(鉱物、海水から)
<p>高レベル廃棄物 低レベル廃棄物</p> <ul style="list-style-type: none"> ・地層処分、消滅技術 	<p>放射性廃棄物</p>	<p>高レベル廃棄物はない 低レベル廃棄物</p> <ul style="list-style-type: none"> ・低放射化材料開発
<ul style="list-style-type: none"> ・早期に実用化 ・軽水炉 高経年化対策 ・高速炉 実用化には経済性 	<p>技術的課題</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・はるかに難しく、 ようやく実験炉ITER計画 ・実用化には材料開発など

○ 核分裂炉の仕組み(ウラン燃料と核分裂反応)

沸騰水型炉(BWR)の燃料集合体



ウラン235の割合が低く、中性子がウラン238に吸収される等の理由により核分裂が一定の規模で継続する



ペレット(ウラン酸化物のセラミックス固体)内で、ウラン235が核分裂して、主に核分裂生成物の運動エネルギーが熱エネルギーとなる。

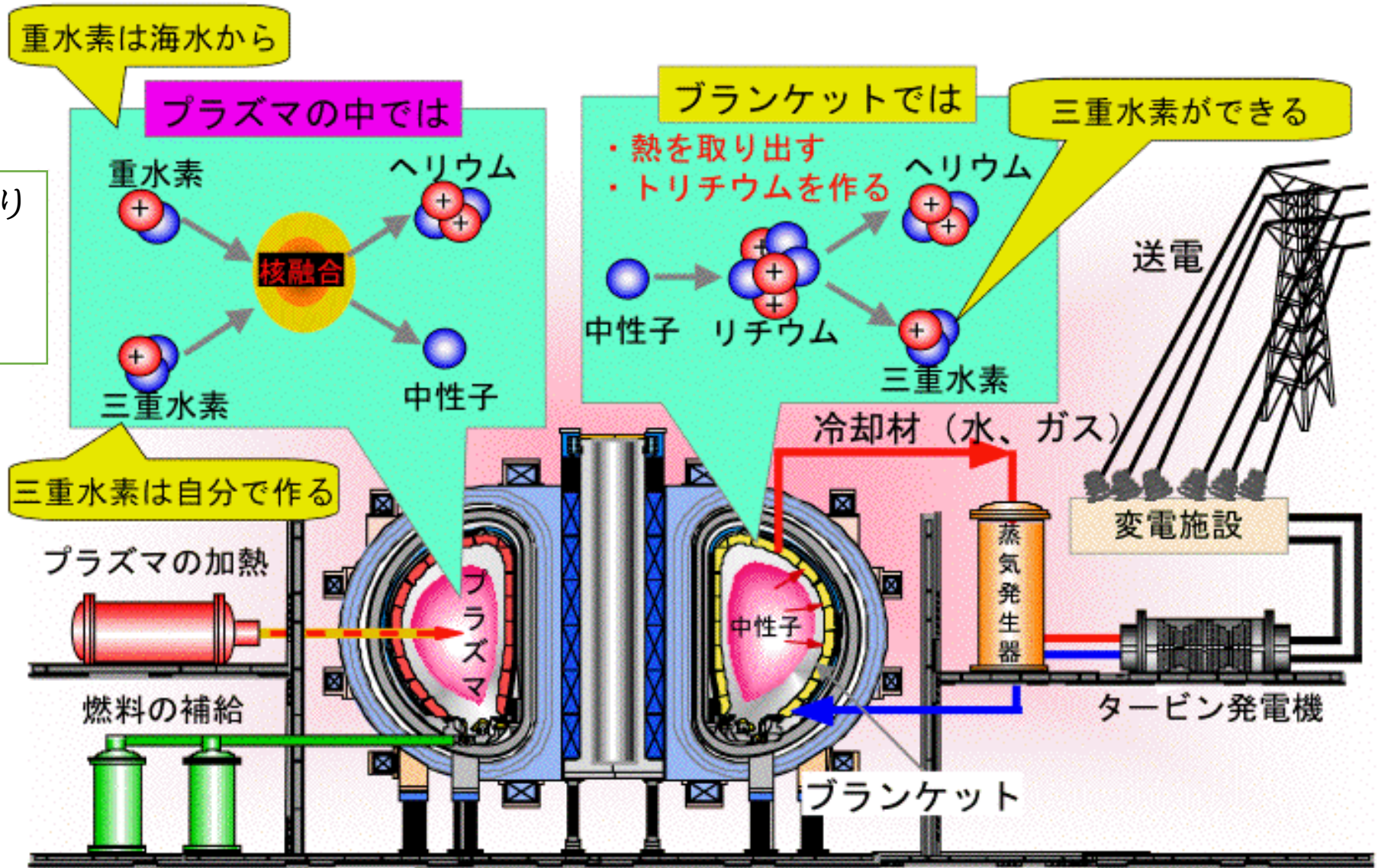
天然ウラン(U235が約0.7%、U238が約99.3%)から濃縮によりウラン燃料(U235が約3~5%)をつくる。

出典：日本原子力文化財団、原子力・エネルギー図面集に加筆

3. 核融合炉の仕組み

プラズマ(ほぼ真空に近い)内で核融合反応を起こし、主に中性子の運動エネルギーをブランケットで熱に変換する。

超伝導マグネットによりプラズマをドーナツ型容器に閉じ込めて、約1億度に加熱する。

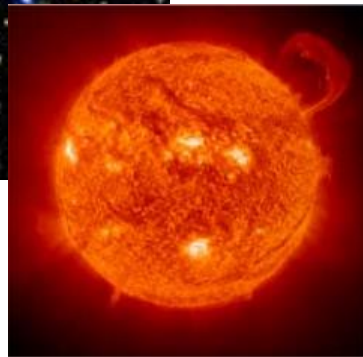


○ 太陽における核融合反応

「宇宙や太陽のエネルギーは核融合」



恒星



太陽

・太陽における核融合反応:

中心部は高温(約1600万度)と高密度(鉄の約20倍)で、水素(H)の原子核が核融合によりヘリウム(He)の原子核となり膨大なエネルギー(26.7MeV)を生じる。



太陽は地球の約33万倍の質量をもち重力によりプラズマを閉じ込めている。

・地上の核融合炉:

水素同位体の重水素(D)と三重水素(T、トリチウム)の原子核が融合しエネルギーを生じる。



核融合炉ではプラズマを磁場で閉じ込める。

この他にDD反応やD³He反応があるが、DT反応の確率が他より2桁以上大きくエネルギー発生量も大きい。したがって核融合炉の早期実現を目指してDT反応を利用する研究開発が進んでいる。

○ 核融合反応のローソン条件

・水素同位体の重水素と三重水素(トリチウム)の原子核が融合反応しエネルギーを生じる。

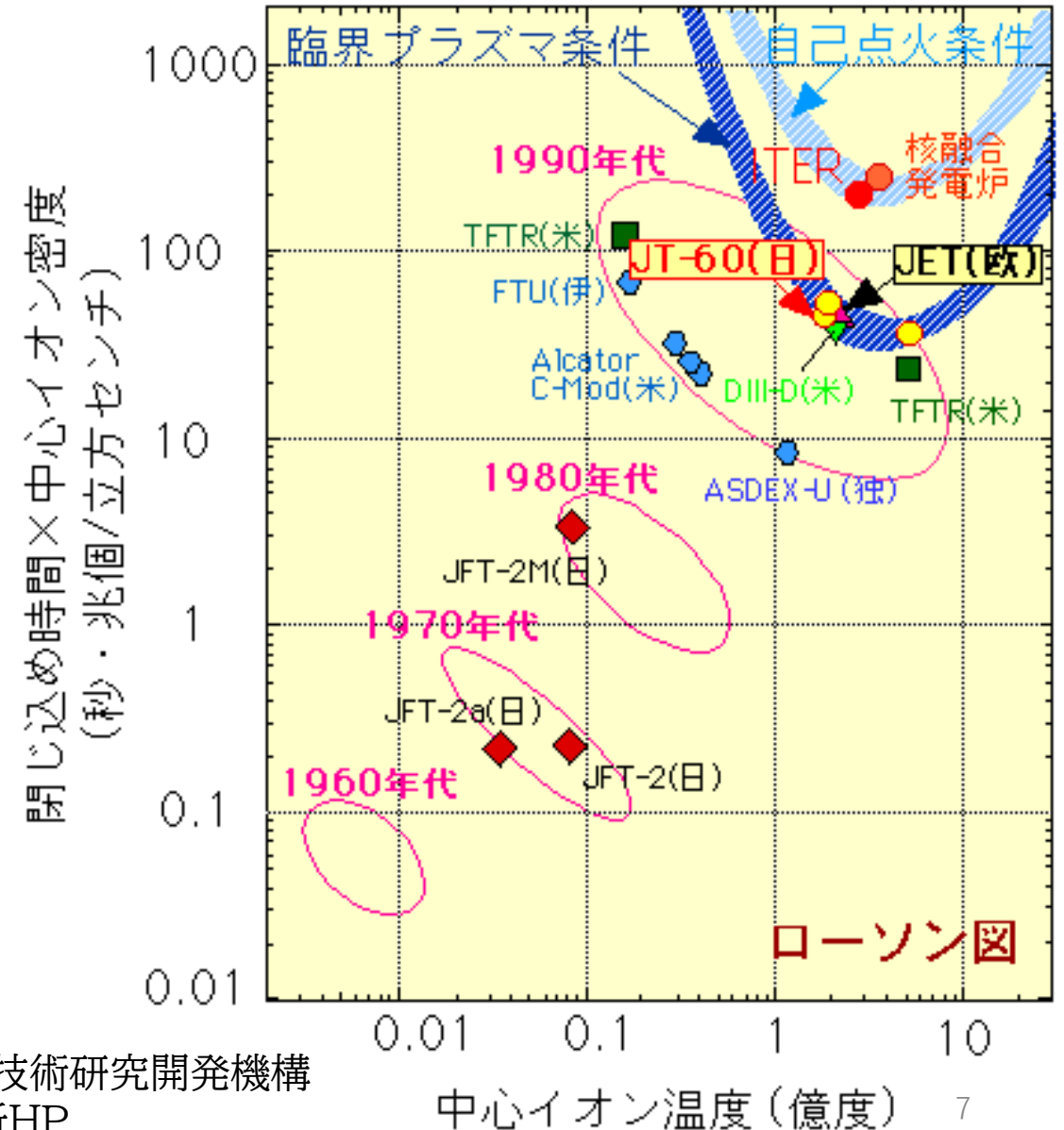


・核融合反応を維持するには、プラズマの温度、密度、閉じ込め時間が一定の条件(ローソン条件)を満たす必要がある。

・プラズマ閉じ込め研究の進展により、日本のJT-60装置や欧州のJET装置により臨界プラズマ条件(外部から加えたエネルギーと発生したエネルギーが等しくなる条件)が達成された。

・現在は、自己点火条件(外部からエネルギーを加えること無しに核融合反応が持続する条件)を目指す段階にある。

(図は磁場閉じ込めトカマク型のデータ)



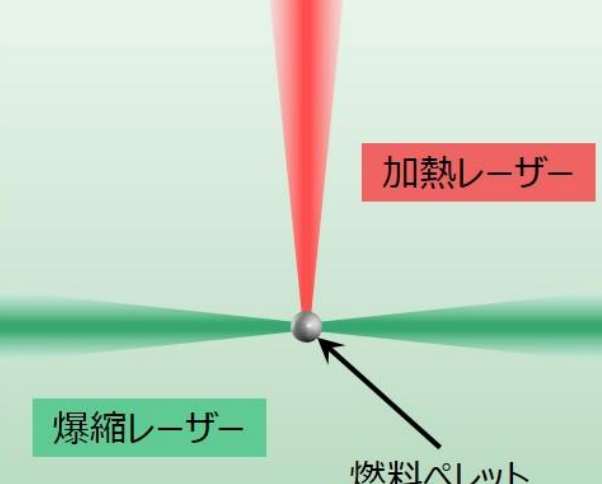
図出典:量子科学技術研究開発機構
那珂核融合研究所HP

中心イオン温度 (億度)

○ プラズマ 閉じ込め方式

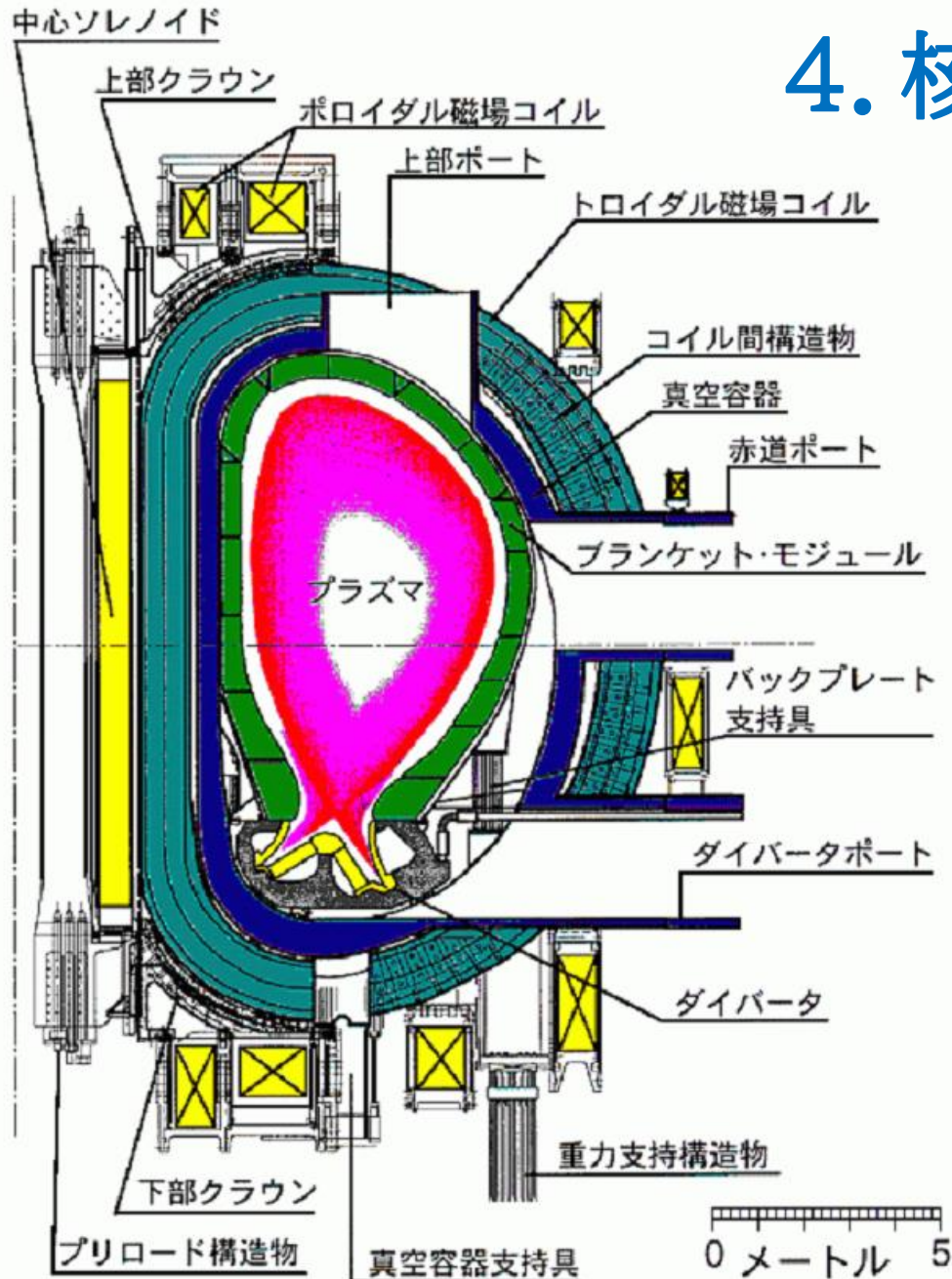
・プラズマ閉じ込めには磁場方式と慣性方式がある。磁場配位にはトカマク型やヘリカル型などがあり、慣性閉じ込め方式では強力なレーザービームの集束を用いる。

・図に示すように、我が国の研究開発は世界のトップレベルにある。

<p>●トカマク型（磁場閉じ込め）</p>  <p>中心ソレノイド(CS)コイル</p> <p>トロイダル磁場 (TF)コイル</p> <p>プラズマ電流</p>	<p>●ヘリカル型（磁場閉じ込め）</p>  <p>超伝導磁石 (ポロイダルコイル)</p> <p>超伝導磁石 (ヘリカルコイル)</p> <p>プラズマ</p>	<p>●レーザー方式（慣性閉じ込め）</p>  <p>加熱レーザー</p> <p>爆縮レーザー</p> <p>燃料ペレット</p>
<ul style="list-style-type: none"> ○TFコイルが作る磁場と、プラズマ電流が発生させる磁場を重ね合わせ、ドーナツ状のねじれた磁場のかごを形成 ○閉じ込め性能が高く、核融合反応に必要な条件のプラズマ生成に成功 ⇒ITERで採用 ○プラズマ電流はCSコイルや加熱装置により発生 ⇒プラズマの安定性に課題 ○日本は、JT-60でイオン温度5.2億度(世界記録)達成など、世界トップレベル <p>核融合実験炉ITER <ITER機構> 大型トカマク装置JT-60SA <(国研)量子科学技術研究開発機構></p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ドーナツ状のねじれた磁場のかごを作るためにねじれたコイルを使い、プラズマ電流を必要としないことが特徴 ○プラズマの安定性に優れ、長時間運転に優位性 ⇒LHDによる定常運転(約1時間)は世界記録 ○プラズマはコイルに沿ってらせん状になる ⇒粒子が飛び出しやすく、閉じ込め性能に課題 <p>大型ヘリカル装置LHD <(共)核融合科学研究所></p>	<ul style="list-style-type: none"> ○燃料ペレットをレーザーで瞬時に加熱・蒸発させ、中の燃料に爆発的な圧力を与える爆縮という現象を発生 ○閉じ込め時間は燃料プラズマが慣性によりその場に留まるほんの一瞬であり、その間に核融合反応を起こす必要 ○レーザーの効率向上や、大量のペレットに順次レーザーを精密に照射し続けること等が課題 <p>激光XII号・LFEX <大阪大学></p>

出典:文部科学省「核融合エネルギーの実現に向けて」HP

4. 核融合炉の機器材料



超伝導磁石材料 (プラズマ閉じ込め)

超伝導コイル

構造材料 (構造保持、安全性)

真空容器、ブランケット

クライオスタット

プラズマ対向機器材料

(安全性、プラズマ制御)

ダイバータ、アーマ

増殖材料 (T増殖)

ブランケット

○ ダイバータとブランケットの構造材料

核融合炉には種々のコンポーネントがあり、それらの機器材料は下記例のように特有の使用条件において性能を満たす必要がある。

• ダイバータ用高熱流束材料

ダイバータは核融合反応生成物のHe灰を排気するために、プラズマから高い熱流束と粒子負荷を受ける。

代表的材質：タングステン金属(W)

条件：高い融点(約3000°C)と溶融抵抗。小さなスパタリング率(イオン粒子による表面損傷)。

課題：中性子照射による脆化。冷却管材やヒートシンク材との接合など。

• ブランケット用低放射化構造材料

ブランケット構造材は重要な圧力境界で、中性子照射条件で十分な機械的強度を保つとともに誘導放射能が低い必要がある。

代表的材質：低放射化フェライト鋼

条件：熱衝撃特性(熱伝導率が大、高温強度が大など)に優れ、照射に強いことが要求される。放射化元素を含まない。

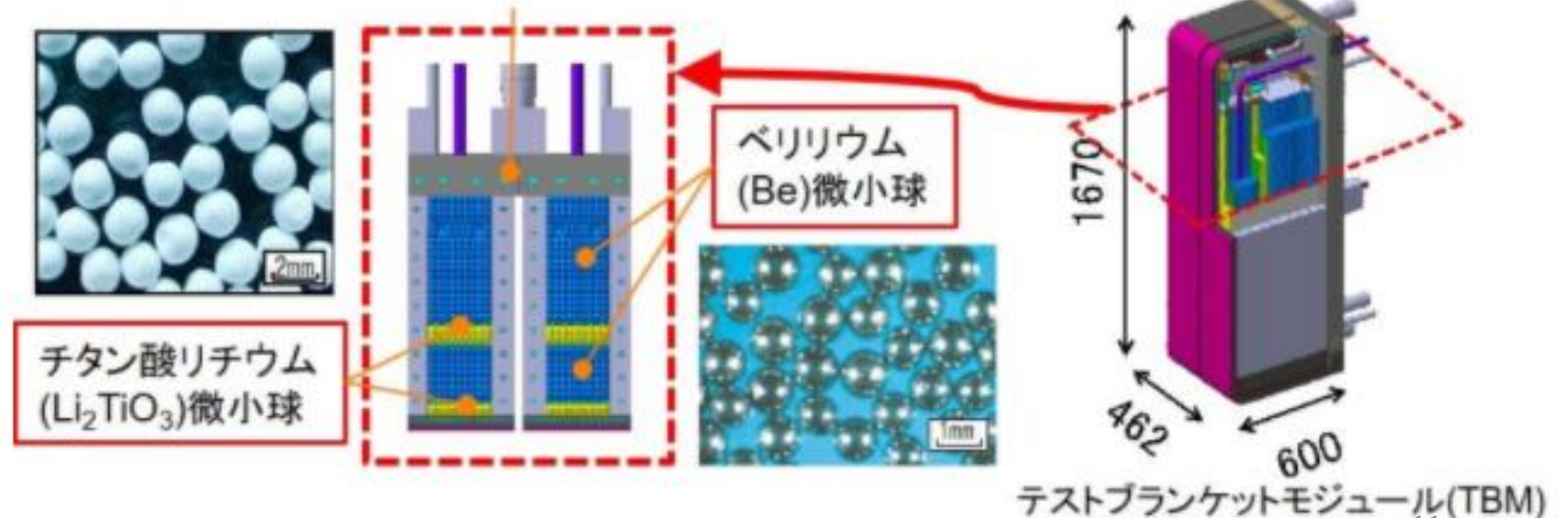
課題：中性子照射データなど。

核融合中性子のエネルギー(14MeV)は核分裂中性子に比べて1桁大きいので、原子はじき出し損傷量とガス元素(H、He)生成量が比較的多く、照射データの取得が重要。

➡➡➡ 核融合材料照射用の中性子源

○ ブランケットの役割

- ・ブランケットの役割は、(1)トリチウム燃料生産、(2)エネルギー変換、(3)放射線遮蔽。
- トリチウム(T)はリチウム6(${}^6\text{Li}$)と中性子の核反応により生産する： ${}^6\text{Li} + n \rightarrow \text{T} + {}^4\text{He}$
- ・ITER計画では、(3)の遮蔽機能だけのブランケットを主に用いるが、一部にテストブランケットモジュールTBMを用い(1)と(2)の機能も試験する予定。
- ・日本のTBM計画では図のように、トリチウム生産にはリチウム化合物と中性子増倍材ベリリウムを用い、エネルギー変換には冷却材として水を用い、構造材料には耐熱性・耐照射損傷性・低誘導放射能特性のフェライト鋼を用いる(固体増殖材／水冷却／フェライト鋼方式)を開発している。
- ・EUのTBM計画では、(固体増殖材／ヘリウムガス冷却／フェライト鋼方式)を開発している。
- ・日本では、より先進的な設計として(液体リチウム増殖材／液体リチウム冷却／バナジウム合金方式)も研究されている(核融合科学研究所)。

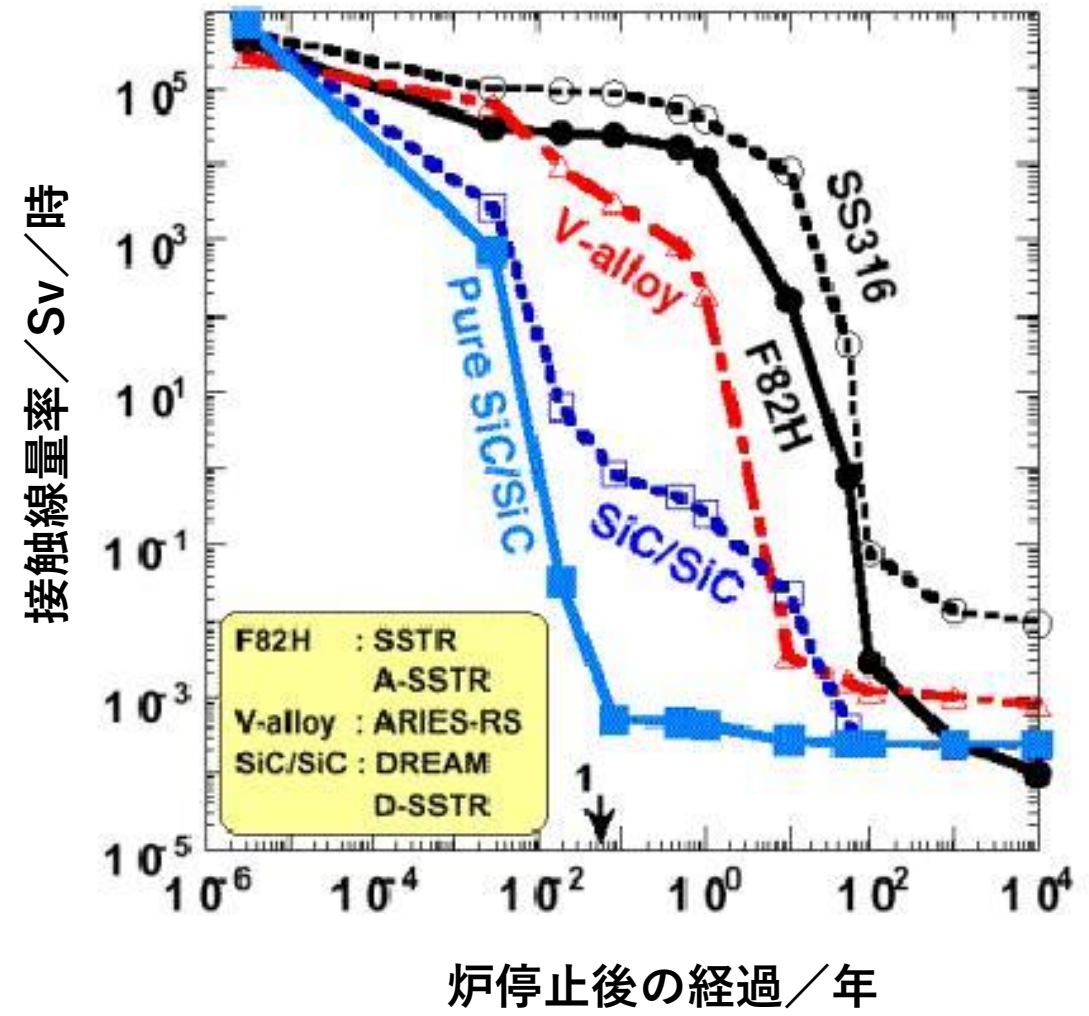


図出典：量子科学技術研究開発機構
六ヶ所核融合研究所HP

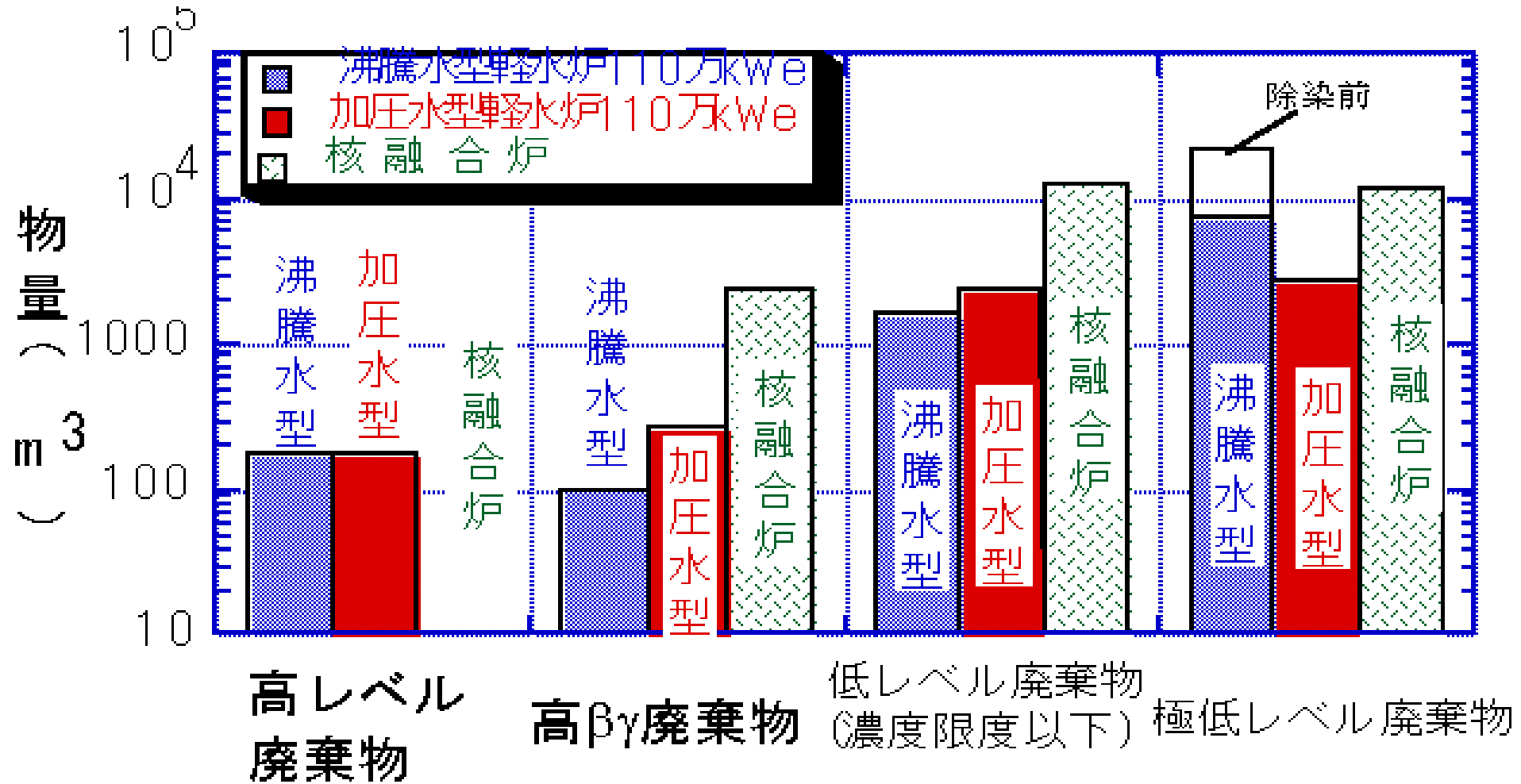
○ 核融合炉停止後の低放射化材料の表面線量率変化

核融合炉ブランケット第一壁構造材料の
接触線量率減衰特性
5MW/m²の中性子負荷で2年間運転後

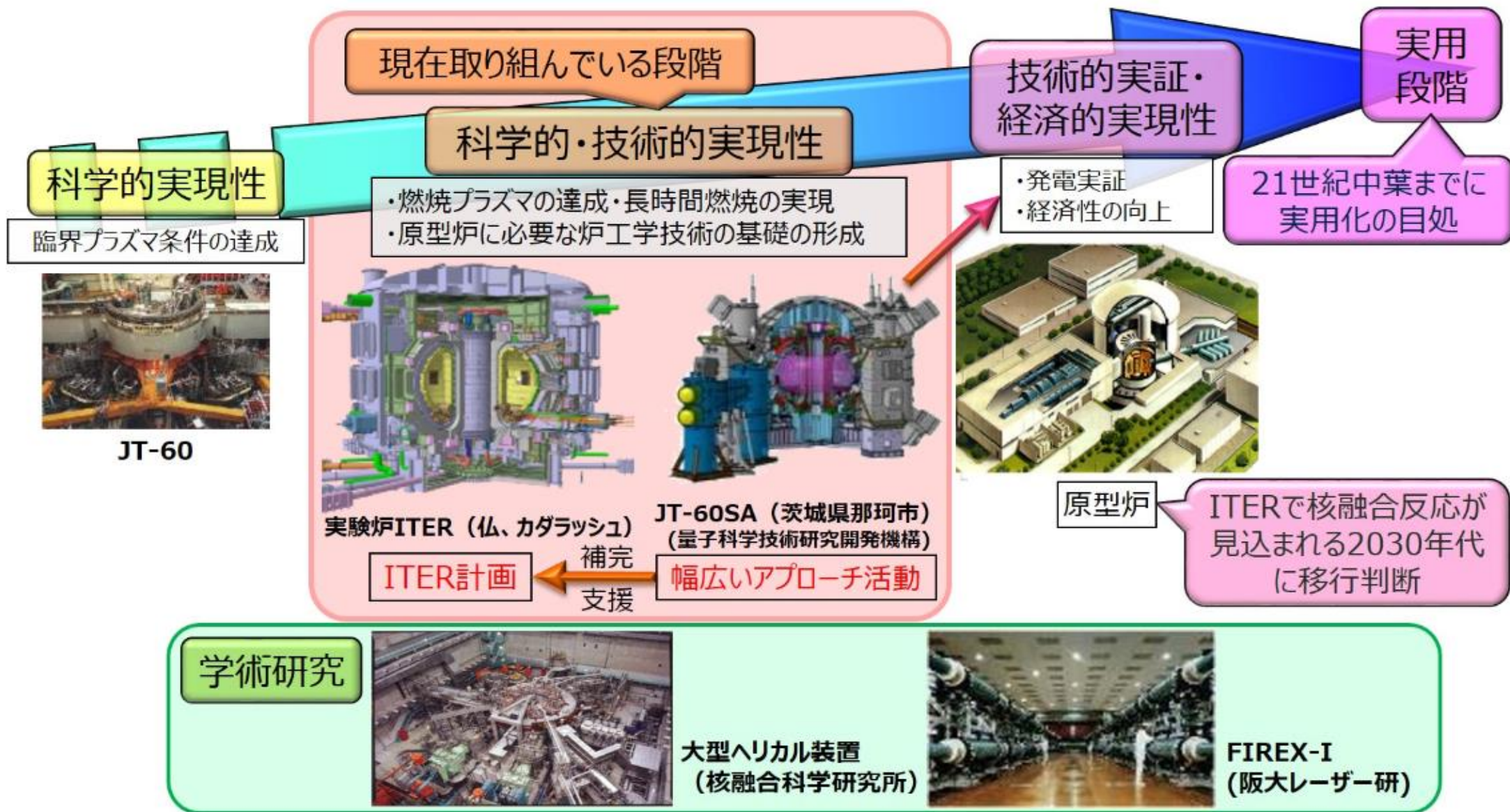
F82HはFe-8Cr-2W-V,Ta鋼、
V合金はV-4Cr-4Tiを想定
(日本原子力研究所・西尾)



○ 原子力発電所の解体放射性廃棄物



5. 核融合エネルギーの段階的開発戦略



6. ITER計画

日本がEUと並んで
主導的な役割

自己点火・燃焼プラズマの達成

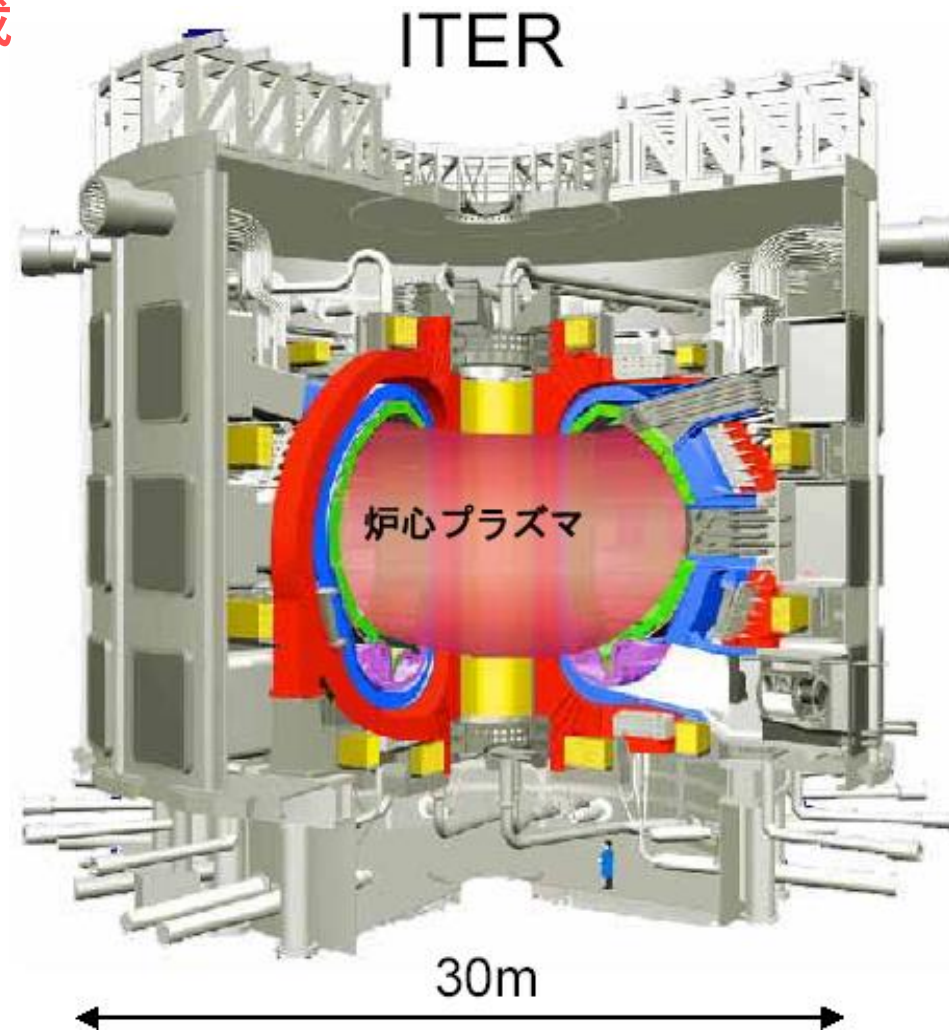
核融合出力 50万kW

燃焼時間 300秒～定常

エネルギー増倍率 5以上

($Q = \text{出力} / \text{入力}$)

ITER建設サイト全景（撮影：2020年5月）



○ ITER計画 国際協力の進展

International Thermo-nuclear Experimental Reactor

国際熱核融合実験炉

- ・ITER(イーター)は核融合エネルギーが科学技術的に成立することを実証するために、核融合実験炉を実現しようとする国際プロジェクト。
- ・ITER計画は1985年に米国・レーガン大統領とソ連・ゴルバチョフ首相が国際協力を進めることで合意し、1988年より米国、ソ連、日本、EUの4極でスタートした。その後韓国、中国を加えて建設サイトの協議が行われ、日本の六ヶ所とフランスのカダラッシュが誘致に立候補。
- ・2005年に、建設地はフランスのカダラッシュ(現在のサン・ポール・レ・デュランス)に決定。
- ・ITER機構の初代機構長に日本の池田要氏(前クロアチア大使)が就任、2代目には日本の本島修氏(前核融合科学研究所長)が就任。

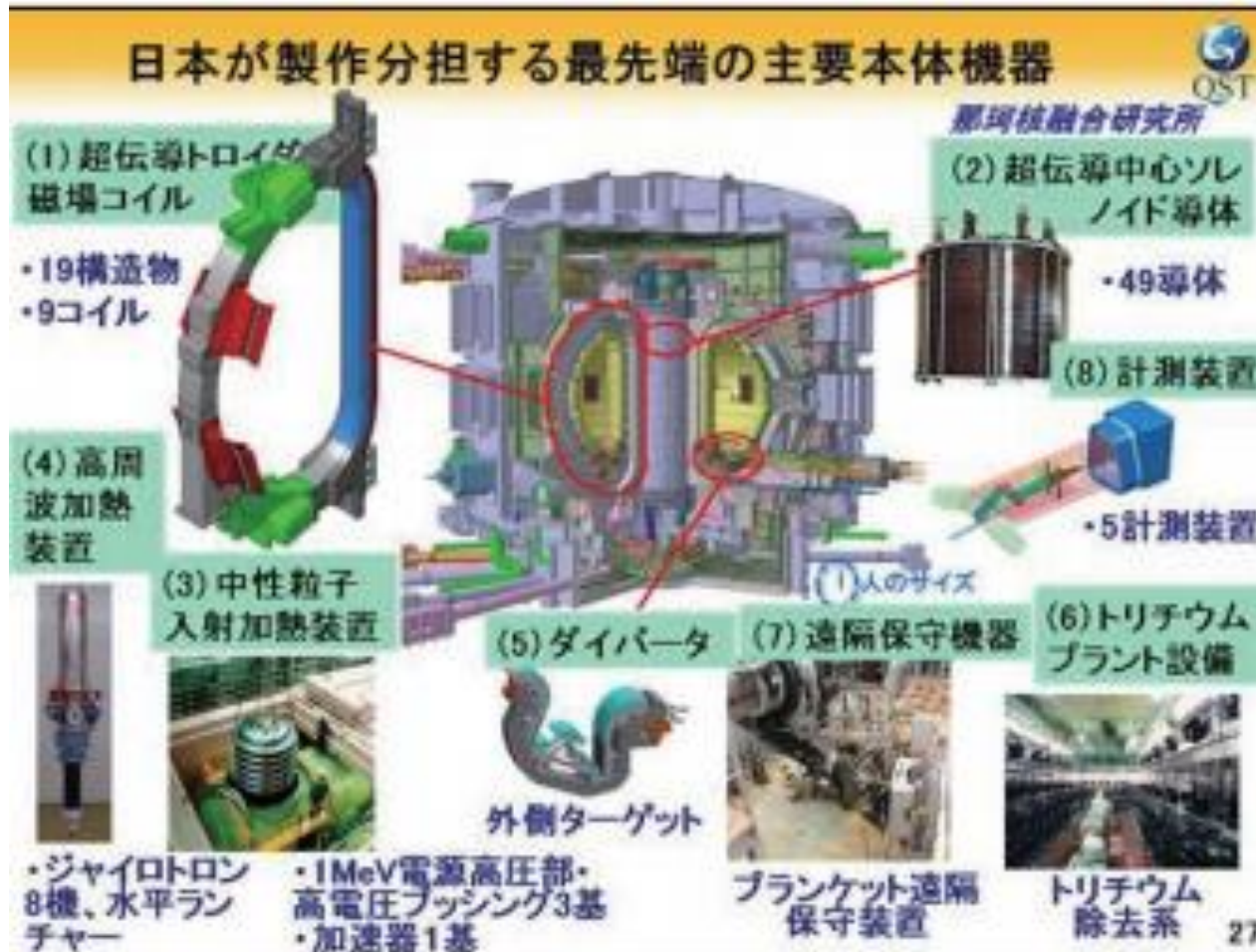
・現在の組織は3代目機構長がフランスのB.ビゴ氏(前フランス原子力庁長官)、副機構長は日本の多田栄介氏(量子科学技術研究機構より)である。

・ITER計画は現在、日本・欧州・米国・ロシア・韓国・中国・インドの7極により進められている。2025年の運転開始を目指し、2020年に本体組み立て開始。

・日本とEUの参加で、BA(Broader Approach 幅広いアプローチ)活動が日本の六ヶ所と那珂で実施されている。

○ ITER計画 主要機器の設計製作と企業の参画

ITERの主要機器を日本が製作分担しており、その設計製作に多数の企業関わっている。
 (量子科学技術研究開発機構・ITER計画 HPより)



ITER調達機器の設計製作に関わる企業例

- ・日鉄エンジニアリング
- ・ジャパンスーパーコンダクタテクノロジー
- ・三菱重工
- ・キャノン電子管デバイス
- ・東芝エネルギーシステムズ
- ・金属技研
- ・ゼネラルエンジニアリング
- ・三菱電機
- ・古川電気工業
- ・トヤマ
- ・日立
- ・日立金属
- 他多くの茨城県内企業

7. 幅広いアプローチ(BA)活動 Broader Approach


- ・ITER計画と並行して、日本とEUが協力し原型炉に必要な技術開発を「幅広いアプローチ活動」として進めている。
- ・原型炉設計や材料開発などをIFERCとして、核融合材料照射用の中性子源の加速器開発をIFMIF/EVEDAとして、六ヶ所で進めている。
- ・超電導大型トカマク装置 JT-60SA を那珂に建設し、2020年度に試験運転を開始した。

青森県六ヶ所村

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



青森県六ヶ所村

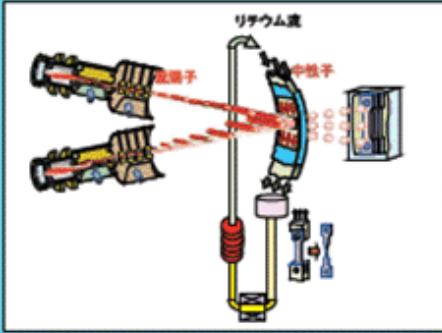
国際核融合材料照射施設の工学実証・工学設計 (IFMIF/EVEDA) 事業

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



茨城県那珂市

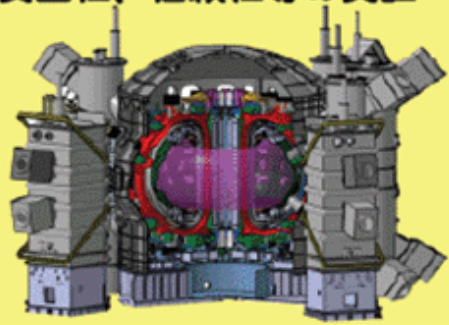
衛星・トカマク計画 (JT-60SA) 事業

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安全性、信頼性等の実証



出典: 文部科学省「核融合エネルギーの実現に向けて」HP

8. 原子力技術との関係

核融合炉開発には原子力技術・産業が着実に進むことが必要

共通の技術基盤:

- ・ 原子炉工学技術(冷却・除熱技術、耐熱材料、発電技術など)
- ・ 放射線・RI取り扱い技術(トリチウム燃料、遮蔽、放射性廃棄物処理など)
- ・ 試験用原子炉(候補材料やブランケット機器の中性子照射試験)
- ・ 大型構造物設計製造
- ・ システム統合技術

高速炉技術との関係例:

- ・ 耐熱構造材料(例:低スウェリングフェライト鋼から低放射化フェライト鋼開発へ)
- ・ 中性子照射試験(高速実験炉「常陽」による核融合炉材料照射実験)
- ・ 液体金属技術(核融合中性子源ターゲット用の液体リチウム実験、液体ブランケット設計の基礎データ)

○ 核融合炉材料開発には核分裂炉技術が不可欠

- 構造材料の例

低放射化フェライト鋼

鉄鋼材料技術
(溶解、加工、熱処理、溶接など)

耐熱鋼の実績

- 照射損傷評価に原子炉を活用

国内：

J M T R 材料試験炉

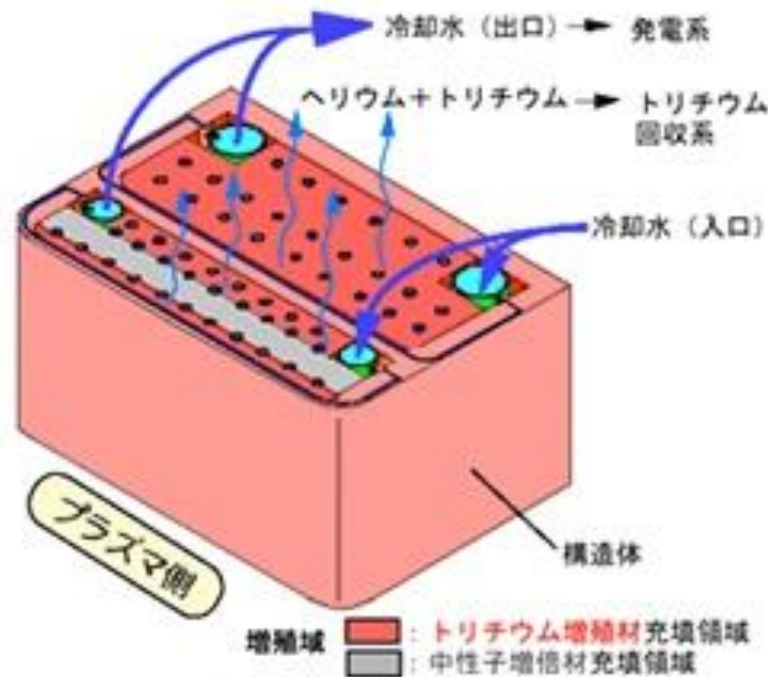
J O Y O 高速実験炉

米国：

H F I R 高中性子束

同位体炉

など



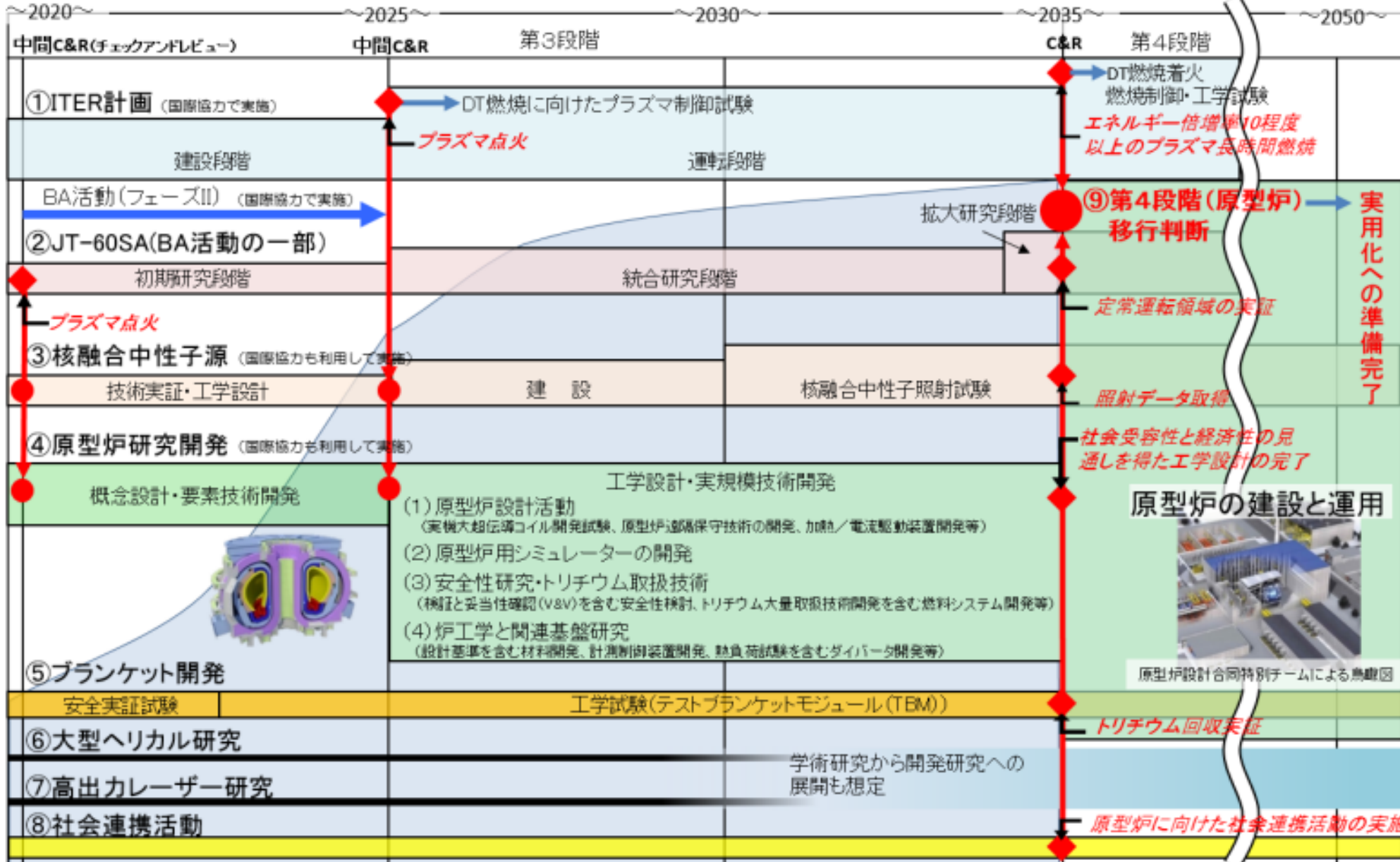
K.Abe

9. 原型炉研究開発ロードマップ

別紙

科学技術・学術審議会 核融合科学技術委員会 2018年

凡 ◆ 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



○ 原型炉に向けた核融合技術の開発戦略

「核融合原型炉研究開発の推進に向けて」

(H29年12月 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 報告書)

1. 本報告書の背景
2. エネルギー情勢と社会的要請の変化
3. 原型炉に向けた核融合技術の開発戦略
4. 原型炉に求められる基本概念
5. 技術課題解決に向けた開発の進め方
 - ・ 開発計画立案の考え方
 - ・ 産学官の研究開発体制
 - ・ 人材育成・確保
 - ・ 国際協力
 - ・ 原型炉の安全基準の策定
 - ・ 開発ロードマップの作成
6. 原型炉段階への移行に向けた考え方
 - ・ 移行判断とチェックアンドレビュー
 - ・ ITER 計画・BA 活動を踏まえた見直し
 - ・ アウトリーチ活動

以下の原型炉構成要素について技術基盤構築チャートを提案(H27年第43回核融合研究作業部会報告より)

- (1) 超伝導コイル開発
- (2) ブランケット開発
- (3) ダイバータ開発
- (4) 加熱・電流駆動システム開発
- (5) 理論・計算機シミュレーション研究
- (6) 炉心プラズマ研究
- (7) 核融合燃料システム開発
- (8) 核融合炉材料開発と規格・基準策定
- (9) 核融合炉の安全性と安全研究
- (10) 稼働率と保守性
- (11) 計測・制御開発

○ 研究開発組織と人材育成

研究開発組織

国立研究所組織(プロジェクト研究)

- ・量子科学技術研究開発機構 QST
 - ・那珂核融合研究所 JT-60SA
 - ・六ヶ所核融合研究所 BA活動拠点
- ・ITER日本国内機関

大学共同利用研究所(学術研究)

- ・核融合科学研究所 NIFS
 - 大型ヘリカル装置LHD プラズマ実験
 - 炉工学研究センター 先進ブランケット

大学

- ・大阪大学 レーザー科学研究所
- ・各大学の関連センター、研究室

企業

- ・ITER、BA、JT-60SA等の機器設計製作

人材育成

長期に亘る研究開発を持続的に推進するためには、人材育成が極めて重要である。そのためには、ITER 計画・BA 活動や先進的な学術研究を有機的に連携させ、原型炉研究開発に必要な人材を産学官の緊密な連携のもと育成。放射線利用分野や原子力分野は核融合分野との共通部分が多く、それらの分野と連携した人材育成は有益。

(H29年12月 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 報告書)

大学院

- ・総合研究大学院大学 DC
- ・各大学 DC、MC

国際プロジェクト活動との連携

- ・ITER計画 ・日欧BA計画
- ・2国間協定(日米協力事業など)

10. カーボンニュートラル実現に向け各国で加速する核融合開発競争



資料 3
第24回核融合科学技術委員会
令和3年4月23日

核融合はエネルギー問題と環境問題を根本的に解決することから、カーボンニュートラル実現の鍵となるエネルギー源。これまで国際協力で実施してきたITER計画が順調に進捗していることを受け、主要国はカーボンニュートラルの実現に向けて、**核融合エネルギー開発に関する各国独自の取組みを2020年頃から一斉に加速。国際競争の様相に投入**している。また、米国ではバイデン政権下において更なる加速も見込まれる。併せて、各国において**核融合ベンチャーへの投資も活性化**。

政策動向の変化

- 欧州連合関連機関（EUROfusion）が策定した「核融合エネルギー実現に向けた欧州研究ロードマップ」（2018年）において、22世紀に世界で1テラワット（100万kW発電所 1,000基分）の核融合発電所が必要と記載。フォン・デア・ライイン欧州委員長(2019年発足)の「欧州グリーンディール」政策の下で核融合は推進され、2020年5月-11月に3段階による中間評価を行い、**2050年頃に発電を行う核融合原型炉（DEMO）を建設**すべきと評価。
- 米国エネルギー省（DOE）の核融合エネルギー科学諮問委員会（FESAC）が、「核融合エネルギーとプラズマ科学に関する10年間の国家戦略計画」を発表（2021年2月）。**2040年代までに核融合パイロットプラント（発電炉）を建設するための準備を整え**ると記載。全米科学アカデミーは、**2028年までに実施判断し、2035～2040年に発電を目指す**と提言（2021年2月）。**安全規制**について、原子力規制委員会（NRC）を中心に検討を開始しており、2021年中に白書を作成予定。
- 英国は、ジョンソン首相による新政策「グリーン産業革命に向けた10項目の計画」（2020年11月）、エネルギー白書「温室効果ガス排出ゼロの未来への強化策」（2020年12月）において、**2040年までに商用利用可能な核融合発電炉（commercially viable fusion power plant）の建設を目指す**と明記。最初の発電炉の立地地域の募集開始を表明（2020年12月）。
- 韓国政府（国家核融合委員会）は、「第4次核融合エネルギー開発振興基本計画(2022-26)」において、**核融合発電原型炉（K-DEMO）建設計画の具体化**を図るべく検討中。
- 中国においても、国産の核融合発電実現に向け、イーターと並行して、イーターと同規模の**核融合工学試験炉（CFETR）を1基建設**した後、これを2030年代までに**発電炉（原型炉）に改造**する計画を推進中。



核融合ベンチャーへの投資活性化

諸外国において、核融合ベンチャーの数および投資額が増加中

- 米・マサチューセッツ工科大学で設立されたCommonwealth Fusion Systemsは2020年5月に90億円の追加投資を獲得（累計220億円）。2025年に核融合実験炉を稼働することを目指している。
- カナダのGeneral Fusion社も2019年に合計110億円を調達（累計211億円）。



General Fusion (加)



Commonwealth Fusion systems (米)

国際競争時代における我が国の核融合研究開発の推進方策



核融合分野の研究開発は、その技術的困難性や大規模プロジェクトであることを踏まえ、これまではITER計画など**国際協力を基本に各国が取り組んできた**。しかし、ITER計画の順調な進捗や核融合エネルギーに対する政策的必要性の高まりから、**主要国は独自の戦略の下に核融合発電炉建設に向けて動き始める**など、**国際競争の時代へと変革**。我が国としても、これらの情勢を踏まえて推進する必要。

これまで：国際協調の時代

ITER計画



ITER (実験炉)
(仏 (ITER機構))

第一段階：模擬燃料による超高温、大規模、高密度の核融合級プラズマの点火 (~2025年)

第二段階：核融合実燃料によるプラズマからのエネルギー取り出し (~2035年)

発電に向けた具体的な動きはイーター(第一段階)の成果次第として各国手探りの状態...

BA活動



国際核融合エネルギー研究センター
(青森県六ヶ所村)



JT-60SA (茨城県那珂市)

ITER計画の
補完・支援

【我が国がITER計画、BA活動で獲得した強み】

- ✓ 諸外国に対する技術的優位性 (ITER計画第一段階における超伝導コイル技術など)
- ✓ 世界最大のトカマク装置完成 (JT-60SA)

【主要マイルストーンの到来】

- ✓ ITER計画第二段階の研究開発の本格化時期

世界情勢の変化：国際協調から国際競争へ

カーボンニュートラル社会実現への政策的要請

⇒ 核融合エネルギーの必要性の高まり

- ✓ 各国が核融合発電炉建設に向けたマイルストーンを発表
- ✓ 核融合ベンチャーへの投資拡大

市場をめぐる国際競争の開始

- 原型炉に向けた研究開発競争
- 核融合機器需要の具現化による、核融合機器産業、核融合機器サプライチェーンの出現

我が国もこれらの情勢を踏まえた形で
核融合分野の研究開発を推進する必要性

- ① ITER計画第二段階における我が国担当機器 (核融合発電に必須の機器) の研究開発推進
ITER計画が2025年以降の核融合発電に向けたフェーズ (第二段階) が見通せるようになったことを踏まえ、研究開発を推進
- ② 核融合産業競争・核融合発電時代に備えるため、基幹技術の精査・強化、戦略的取組
我が国の競争力強化につなげるため、民間企業の参画を強化するための方策検討を含め、戦略的に取り組む

諸外国に対する技術優位確保・競争力強化が重要

○ 第6次エネルギー基本計画(資源エネルギー庁 令和3年10月)

2030年に向けた政策対応のポイント【原子力】

- 東京電力福島第一原子力発電所事故への真摯な反省が原子力政策の出発点
 - いかなる事情よりも安全性を全てに優先させ、国民の懸念の解消に全力を挙げる前提の下、原子力規制委員会により世界で最も厳しい水準の規制基準に適合すると認められた場合には、その判断を尊重し原子力発電所の再稼働を進める。国も前面に立ち、立地自治体等関係者の理解と協力を得るよう、取り組む。
- 原子力の社会的信頼の獲得と、安全確保を大前提として原子力の安定的な利用の推進
 - 安全最優先での再稼働：再稼働加速タスクフォース立ち上げ、人材・知見の集約、技術力維持向上
 - 使用済燃料対策：貯蔵能力の拡大に向けた中間貯蔵施設や乾式貯蔵施設等の建設・活用の促進、放射性廃棄物の減容化・有害度低減のための技術開発
 - 核燃料サイクル：関係自治体や国際社会の理解を得つつ、六ヶ所再処理工場の竣工と操業に向けた官民一体での対応、プルサーマルの一層の推進
 - 最終処分：北海道2町村での文献調査の着実な実施、全国のできるだけ多くの地域での調査の実現
 - 安全性を確保しつつ長期運転を進めていく上での諸課題等への取組：
保全活動の充実等に取り組むとともに、諸課題について、官民それぞれの役割に応じ検討
 - 国民理解：電力の消費地域も含めて、双方向での対話、分かりやすく丁寧な広報・広聴
- 立地自治体との信頼関係構築
 - 立地自治体との丁寧な対話を通じた認識の共有・信頼関係の深化、地域の産業の複線化や新産業・雇用の創出も含め、立地地域の将来像を共に描く枠組み等を設け、実態に即した支援に取り組む。
- 研究開発の推進
 - 2030年までに、民間の創意工夫や知恵を活かしながら、国際連携を活用した高速炉開発の着実な推進、小型モジュール炉技術の国際連携による実証、高温ガス炉における水素製造に係る要素技術確立等を進めるとともに、ITER計画等の国際連携を通じ、核融合研究開発に取り組む。

11. まとめ

- ・核融合炉の研究開発は、国際熱核融合実験炉ITERの本体組み立てが本格化し2025年の実験開始を目指している。日本は設計や主要機器の分担において主導的役割を果たしており、国内企業の貢献も大きい。
- ・国内の拠点において日欧協力による超伝導トカマク装置JT-60SAが完成し、核融合中性子源(IFMIF)用の加速器の実験も開始された。
- ・発電実証を目指す原型炉に向けて、概念設計や要素技術研究とともに開発戦略の検討が進められた。
- ・学術研究分野においても、大型ヘリカル装置LHDの実験やレーザーによる慣性閉じ込め実験で世界トップクラスの成果が出ている。
- ・核融合炉工学分野では放射線利用や原子炉利用と共通の技術基盤が多いので、核融合炉開発には原子力技術・産業が着実に進むことが重要である。
- ・特に核融合炉材料の開発には原子炉を用いた照射実験が不可欠である。
- ・産官学の緊密な連携と人材育成が長期的に必要である。
- ・カーボンニュートラルの実現に向けて各国で核融合開発競争が2020年頃より加速している。我が国でも自民党の令和3年政策にとりあげられた。

核融合関係の主なホームページ先：

- ・文部科学省「核融合エネルギーの実現に向けて」
- ・量子科学技術研究開発機構(核融合部門、那珂核融合研究所、六ヶ所核融合研究所、ITER)
- ・核融合科学研究所
- ・大阪大学レーザー科学研究所

- ・日本原子力学会 核融合工学部会
- ・プラズマ・核融合学会
- ・核融合エネルギーフォーラム

企業の活動紹介例

- ・東芝エネルギーシステムズ、核融合関連活動など

第六分冊 核融合炉編

目次

1. 核融合エネルギーの源
 - 1.1 太陽における反応
 - 1.2 ローソン条件
2. 核融合炉のしくみ
 - 2.1 閉じ込め方式
 - 2.2 エネルギー変換
 - 2.3 ブランケットの役割
 - 2.4 機器材料
3. 核分裂炉と核融合炉の比較
4. 核融合エネルギーの段階的開発戦略
5. ITER計画
 - 5.1 国際協力の進展
 - 5.2 主要機器の設計製作と企業の参画
6. 幅広いアプローチ(BA)活動
7. 技術開発と原子力技術との関係
8. 原型炉に向けた核融合技術の開発戦略
9. 研究開発組織と人材育成
10. まとめ