
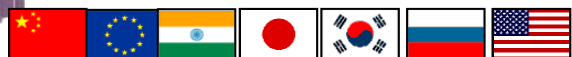
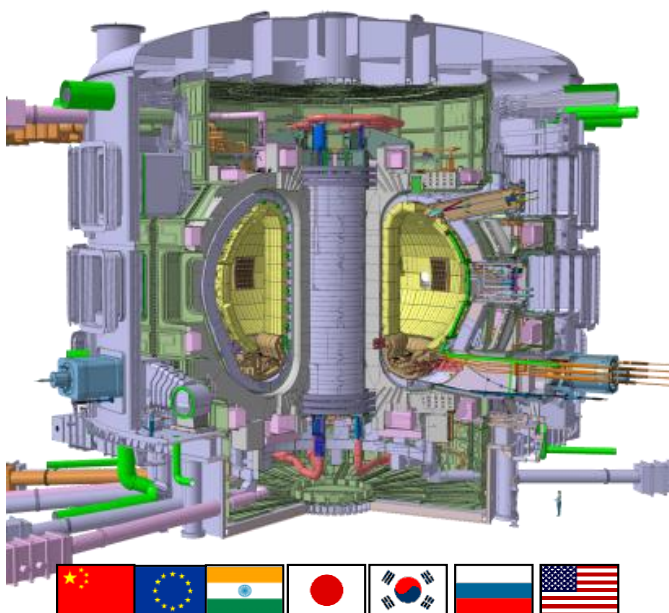
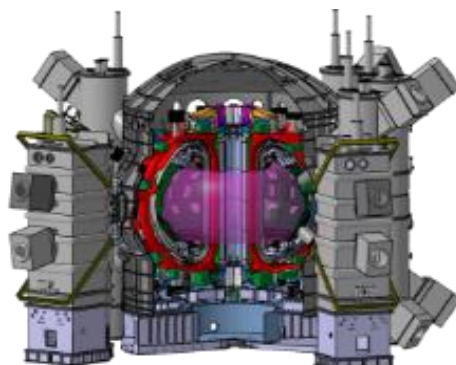


夢の核融合エネルギーがいよいよ現実に！

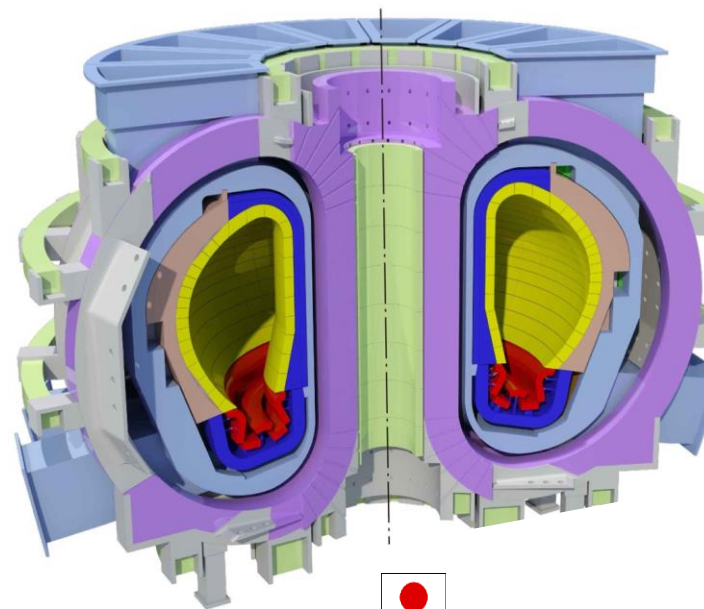
 量子科学技術研究開発機構
核融合エネルギー部門長
栗原 研一



ITER



JT-60SA

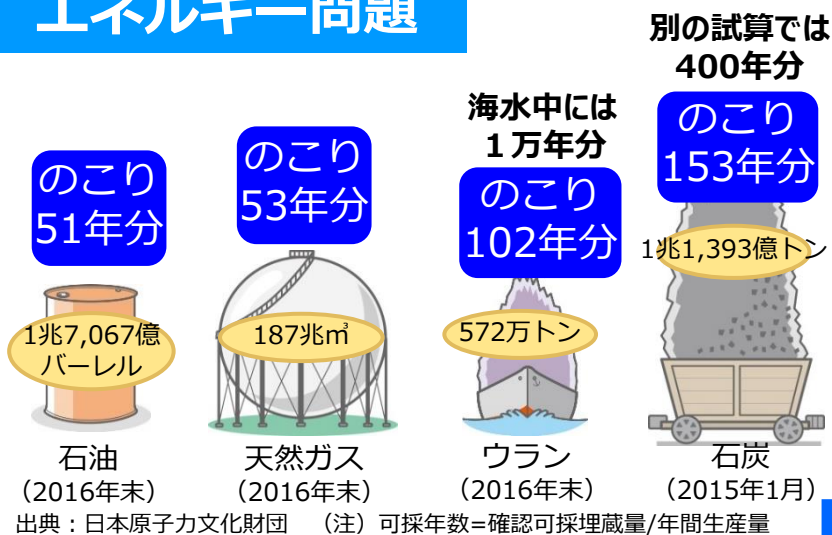


原型炉JA-DEMO

我が国は、ITER及びJT-60SAの国際プロジェクト、原型炉の設計活動を展開中

核融合炉発電の利点

エネルギー問題



環境問題

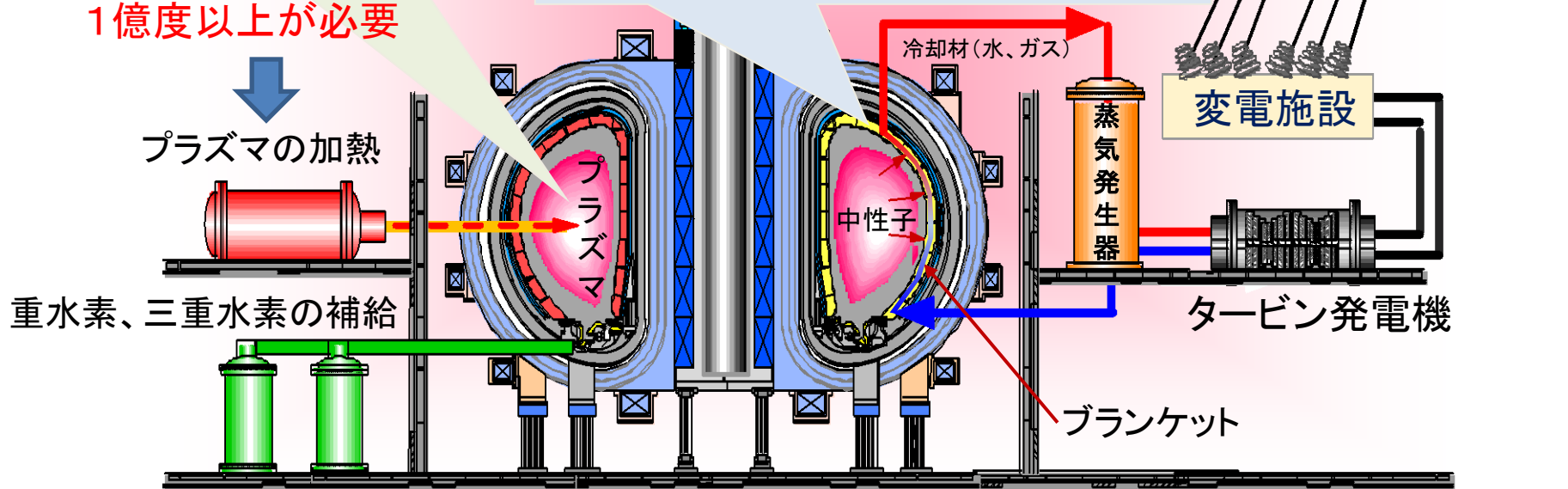
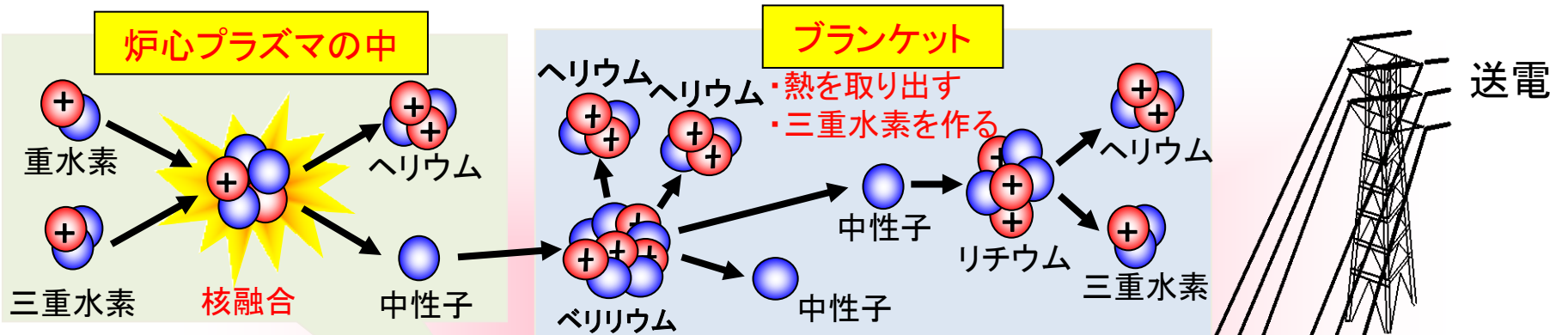
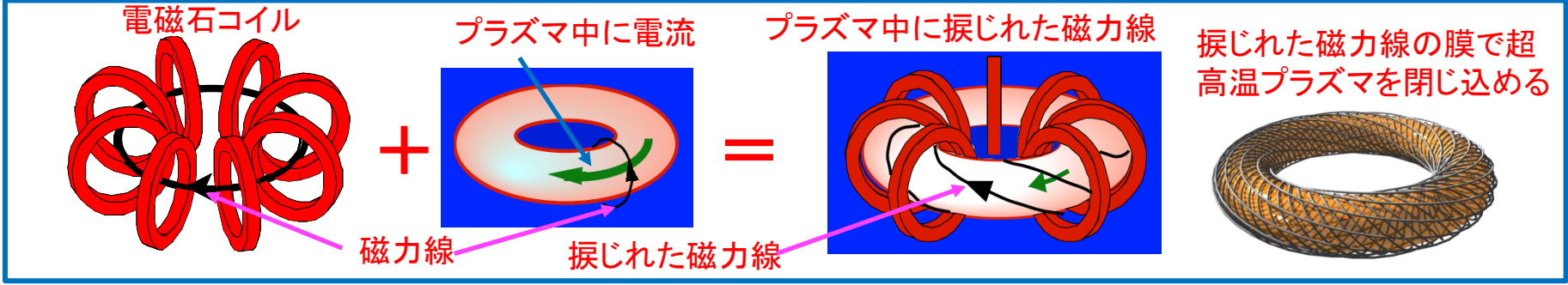


化石燃料の燃焼で生じる二酸化炭素による地球温暖化・環境破壊

原発の運転で生じる高レベル放射性廃棄物の最終処分

- ✓ 運転時に二酸化炭素を出さない
- ✓ 長期（1万年）管理が必要な放射性廃棄物も出さない
- ✓ 核融合エネルギーの燃料（重水素、リチウム）は海水の中に豊富にあるため燃料が無くなる心配なし！
- ✓ 少しの燃料で膨大なエネルギーを発生する（燃料1gは石油8トン分に相当するエネルギーを発生）
- ✓ 燃料供給停止や装置異常時は自動的に反応が停止。

核融合炉発電の全体像



核融合炉発電（原型炉）への開発の道筋

2007
 ITER BA 協定発効
 原型炉 協定発効

2021
 初プラズマ
 ロードマップ策定

2025
 初プラズマ
 材料試験施設建設判断

2035
 DT運転
 原型炉建設判断

2050
 発電実証

試験装置

科学的実現性

JT-60



超高温プラズマの実現

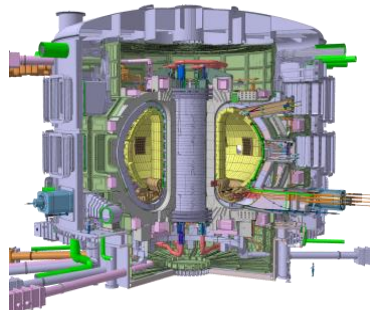
世界最高イオン温度
5.2億度を達成

実験炉

核融合燃焼の実証

ITER

熱出力:
50万kW実現



【フランス】

原型炉

発電実証

熱出力:~150万kW連続



組立、試験運転、実験で先行した知見を基に、ITERを支援する

経済性の高いプラズマ性能実証、原型炉に必要な材料開発等、ITERのみでは出来ないことを補う

幅広いアプローチ活動 Broader Approach (BA) activities

【茨城 那珂研】

大学等とオンサイトラボ協定締結
JT-60SAを活用した人材育成

サテライト・トカマク計画事業 (JT-60SA)

【青森 六ヶ所研】

IFERC事業 原型炉設計R&D

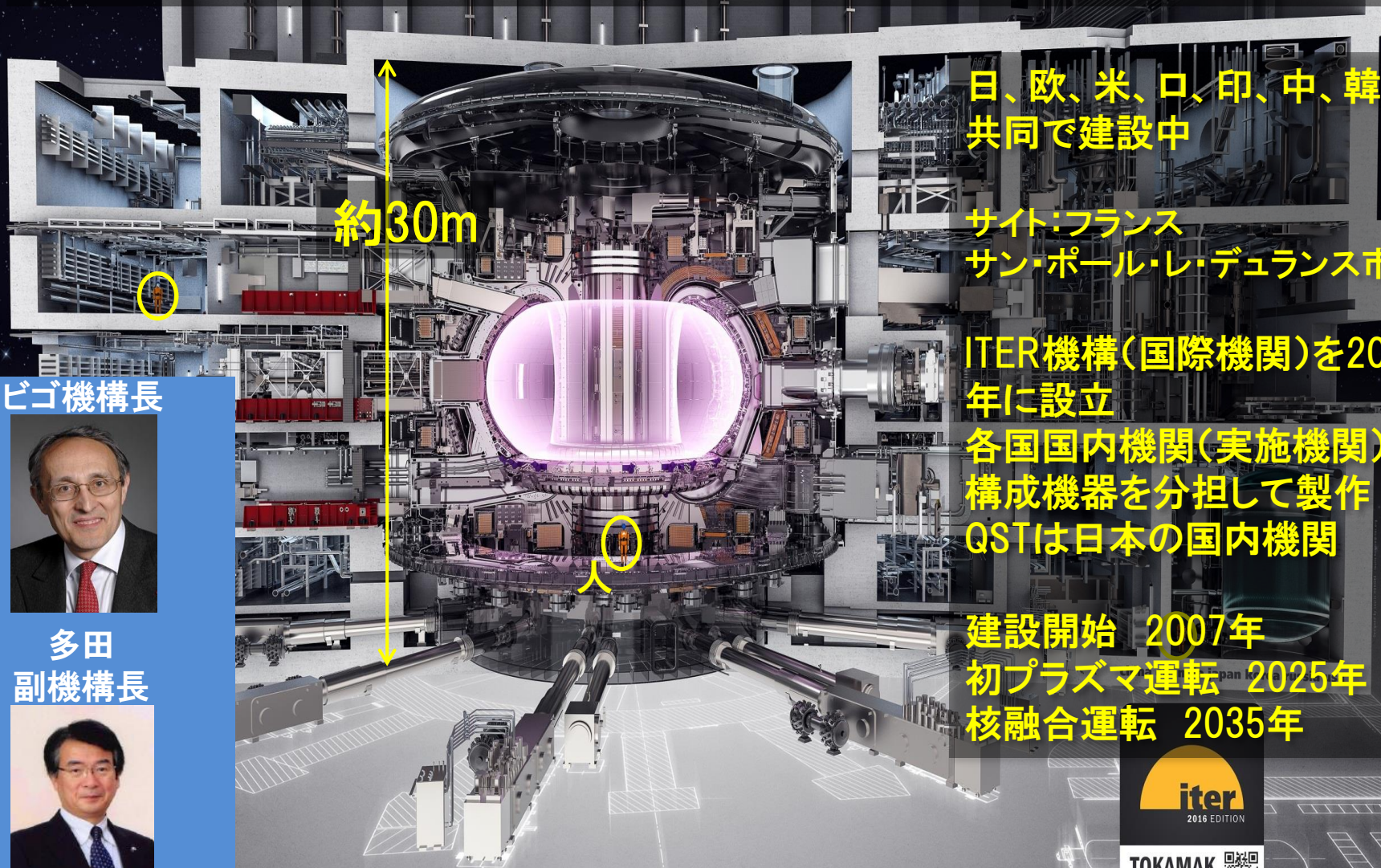
IFMIF/EVEDA事業 材料開発

ブランケット開発

リチウム、ベリリウム

ITERプロジェクト：世界7極参加

実燃料で持続的な核融合燃焼の実証
熱出力 50万kW, エネルギー増倍率10(外部加熱5万kW)



日、欧、米、ロ、印、中、韓が
共同で建設中

サイト：フランス
サン・ポール・レ・デュランス市

ITER機構(国際機関)を2007
年に設立

各国国内機関(実施機関)が
構成機器を分担して製作
QSTは日本の国内機関

建設開始 2007年
初プラズマ運転 2025年
核融合運転 2035年

ビゴ機構長

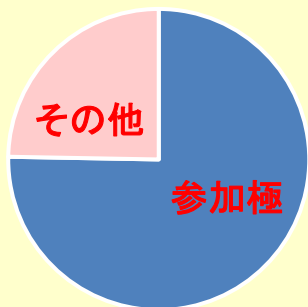


多田
副機構長

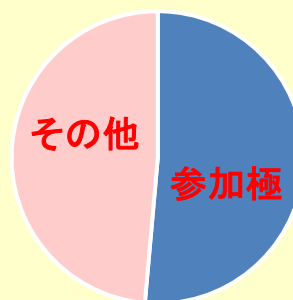


ITERプロジェクト：世界7極参加

GDP
(IMF、2019)



人口
(国連、2019)



GDPで3/4、人口で1/2を占める7極による、
史上最大の国際協力科学プロジェクト

年2回の理事会では、熾烈な交渉・調整が行われる。

日本は準ホスト国として、
主要先端機器の調達を分担するとともに計画を主導。

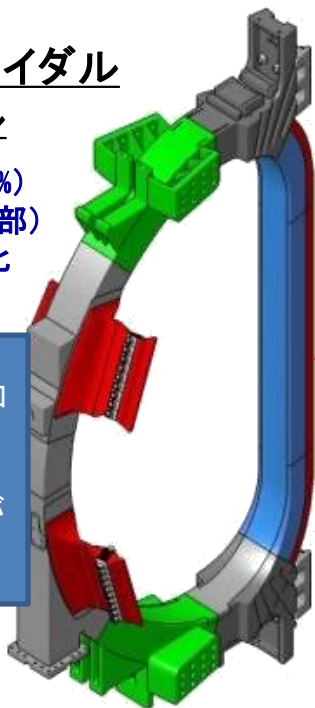


日本が製作分担する最先端のITER主要本体機器

超伝導トロイダル 磁場コイル

- ・33導体(約33%)
- ・19構造物(全部)
- ・9巻線・一体化(約50%)

ダイバータ、加熱等、評価基準で出て来る用語の説明が必要



高周波 加熱装置

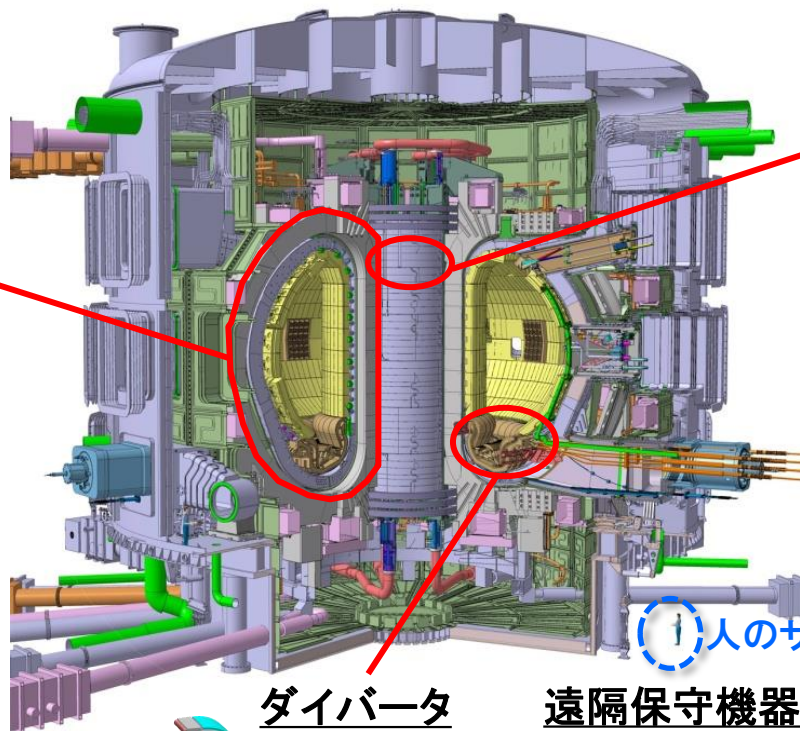


- ・ジャイロトロン8機(約33%)
- ・水平ランチャー(全部)

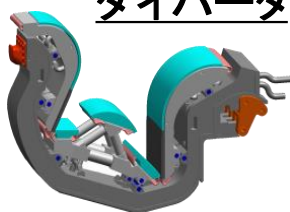
中性粒子入射 加熱装置



- ・1MeV電源高圧部3基(全部)
- ・高電圧プッシング3基(全部)
- ・加速器1基(約33%)

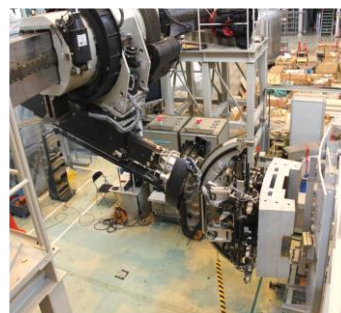


ダイバータ



外側ターゲット(全部)

遠隔保守機器



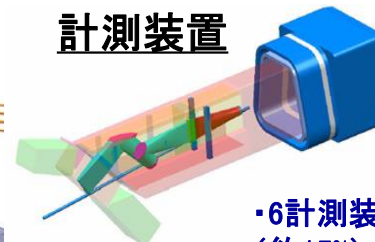
ブランケット遠隔保守装置(全部)

超伝導中心ソレノイド導体



・49導体(全部)

計測装置



・6計測装置(約15%)

人のサイズ

トリチウムプラント設備



トリチウム除去系(50%)

日本が製作分担する最先端のITER主要本体機器

超伝導
磁場コイル

- ・33 超伝導コイル (全部)
- ・19 構造物 (全部)
- ・9 巻線 (約50%)

高周波
加熱装置



- ・ジャイロトロンの
水平ランチャー (全部)

- ・高電圧スイッチング3基 (全部)
- ・加速器1基 (約33%)

- ・高電圧ケーブル
製造装置 (全部)

超伝導

(全部)

装置

ト設備



(50%)

各極が製作した機器を持ち寄って組み立てる。

設計・製作・組立において、複数の国、研究機関、メーカーを跨いで機器間の仕様の調整が必要。

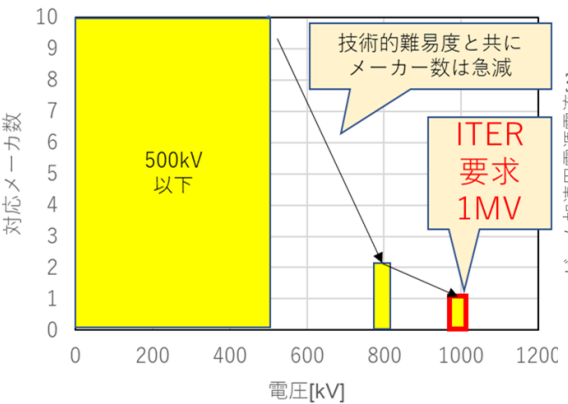
ITER計画自体は一致団結して進めつつ、不断且つ極めてタフな交渉・調整が必要。

R2年度は670回（1月末時点）の技術調整会合・打合せを実施。

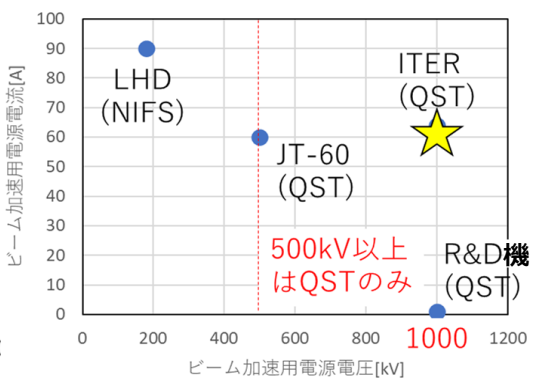
中性粒子入射加熱装置の実機試験施設

加速電圧：百万V、電流値：40Aの水素負イオンビームを生成
日本が、直流超高電圧電源機器（FOAK機器）の開発・製作

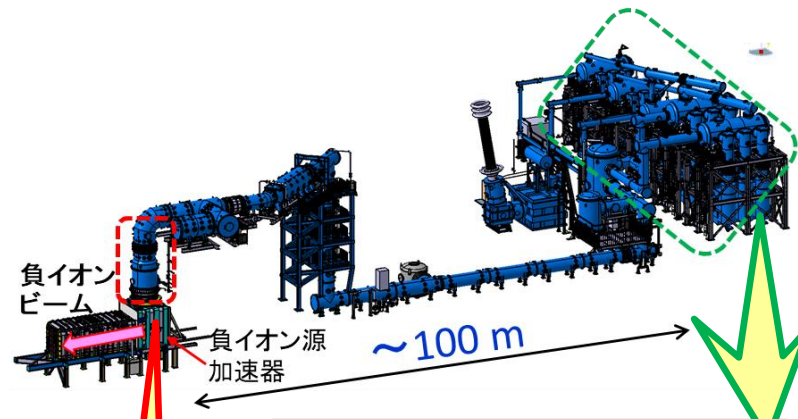
直流電圧絶縁技術経験
 を有する世界のメーカー数



NBIにおける高電圧技術



【電源性能】電圧1MV×電流60Ax3600秒
 現在、**欧州との取合い部試験中**



工夫を重ねて遠隔での調整・試験を再開



第5回国立研究開発法人イノベーション戦略会議 掲載動画（量研分）より

<https://www8.cao.go.jp/cstp/stmain/5kokken.html>

那珂核融合研究所@茨城県那珂市

ITER 機器
開発建家

JT-60SA
関連建家

ITER 居室建家

全景

(100 ha)

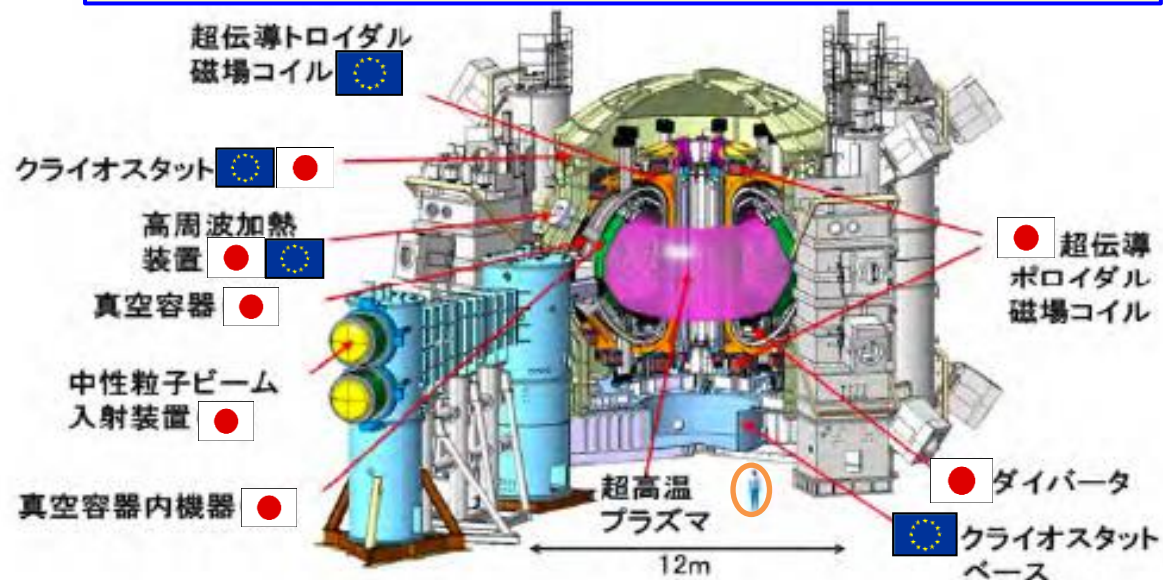
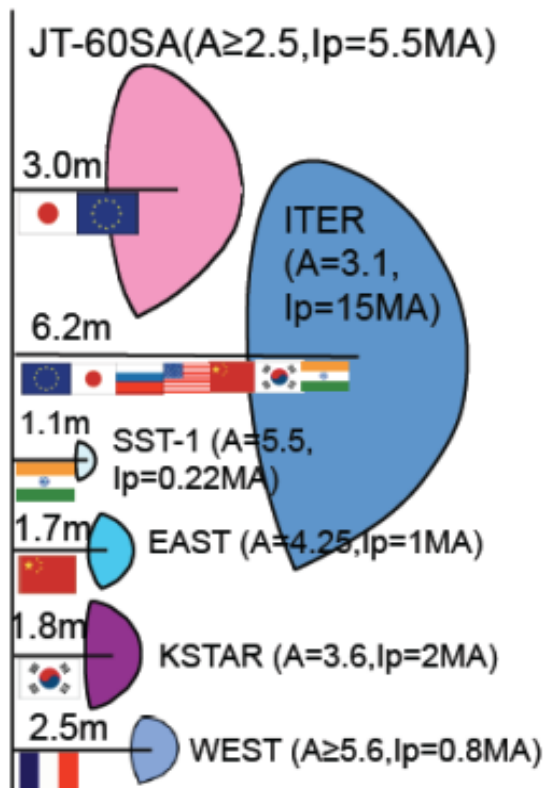
管理棟

JT-60SA(*Super Advanced*)プロジェクト

ITERや原型炉に外挿可能な**プラズマ維持時間**を達成しつつ、ITER支援研究（先行試験）と、**経済的な原型炉に必要な高圧カプラズマ研究**の両者が可能な**プラズマ形状等**を可能とするため、JT-60（常伝導コイル）を**JT-60SA（超伝導コイル、プラズマ断面形状改善）**に大改造。
ITER、原型炉に向けた**日欧の人材育成の中核装置**。

ITER完成まで、世界最大の超伝導トカマク装置でFOAK機器の集合体。

ITERを支援するとともに、原型炉に必要な高圧カプラズマ研究が可能な唯一の装置。



JT-60SAの核融合開発史上の主な意義（13年間の軌跡）



JT-60の解体作業



超伝導導体製作棟

超伝導コイル巻線棟

真空容器組立棟



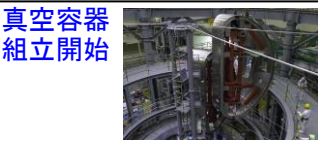
解体完了



超伝導ポロイダルコイル1体目完成



平衡磁場コイルの仮置き



真空容器組立開始

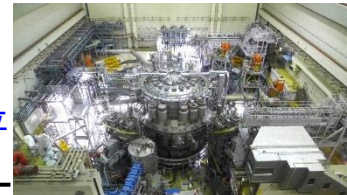


真空容器サーマルシールド組立完了

日欧合計30件（日本17件、欧州13件）の調達取り決めに締結し機器製作 **新**



TFコイル組立開始



本体組立完了



リサーチプラン Ver.4 **新**

CSとTFCの間隙の不足を24時間の現場加工によって短期間で解決、高精度位置決め成功



CSの挿入

初ECRプラズマの生成を含む総合試験運転における知見は、ITERの運転への貢献が多大。

JT-60SA統合試験運転における困難克服

月	
4	周辺機器整備
5	
6	
7	耐電圧試験
8	
9	真空排気
10	
11	コイル冷却
12	
1	コイル通電試験
2	
3	

本体周辺機器の整備・試験

真空封止箇所・配管接続箇所の個別/都度の試験で手戻りによる作業遅延を抑止する戦略的計画



クライオライン内部配管



冷媒系安全弁ユニット



電子サイクロトロン加熱導波管

コロナ禍：狭隘箇所での**密集**作業困難



冷媒配管、超伝導コイル、遮熱板からなる被冷却機器

超伝導コイル・フィーダー・測定系の一括耐電圧試験

真空排気・リーク試験

500か所以上の接合個所の真空封止を手戻り修理なく短期で実施する困難な計画

コイル冷却

28基のコイル・機器を、過大な応力発生を防ぎながら短期間で冷却する困難な計画

コロナ禍：欧州機器への直接技術支援を受けることが困難

コイル通電試験

技術的に高度な電流可変式の11系統のコイル電源を短期間で試験する困難な計画

プラズマ着火

コイル電流変化が制限される大型超伝導トカマク装置で壁調整も必要な中、短期間でのプラズマ生成は挑戦的な計画



欧州調達の上超伝導コイル電源

JT-60SA統合試験運転における困難克服

月	
4	周辺機器整備
5	
6	
7	耐電圧試験
8	
9	真空排気
10	
11	コイル冷却
12	
1	
2	コイル通電試験
3	

本体周辺機器の整備・試験

3直体制による24時間作業で、共通架台、冷媒配管の整備などを10月末までに完了



冷媒多重断熱管



冷媒系安全弁ユニット



電子サイクロトロン加熱導波管

コロナ禍：狭隘箇所作業困難



冷媒配管、超伝導コイル、遮熱板からなる被冷却機器

超伝導コイル・フィーダー・測定系の一括耐電圧試験

真空排気・リーク試験

手戻りを防ぐ品質管理が功を奏し、当初予定より6日短い9日間で計530カ所のリーク試験を完了

コイル冷却

28基のコイル・機器を、緻密な温度管理により過大な応力発生無く冷却、超伝導状態への転移を実現

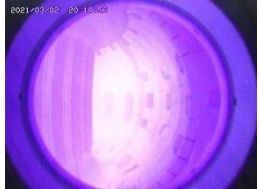
コロナ禍：欧州機器への直接技術支援を受けることが困難

コイル通電試験

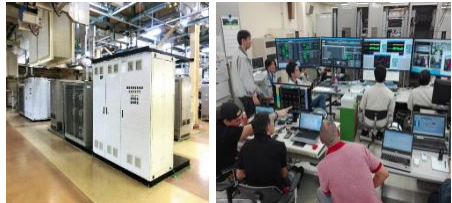
欧州からの技術支援を受けるためのデータ共有システムを急遽構築、通電試験を完遂

プラズマ着火

既に18基の超伝導コイルと電子サイクロトロン加熱装置を用いたプラズマを生成。



ECRプラズマ

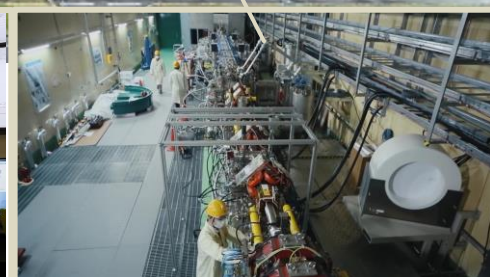
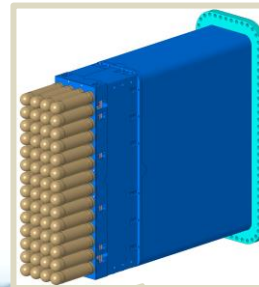


欧州調達の超伝導コイル電源

六ヶ所核融合研究所、原型炉の実現を目指して

IFERC事業：原型炉設計・R&D

熱と燃料を取り出すブランケット開発



IFERC事業：
計算機シミュレーション及びITER遠隔実験

IFMIF/EVEDA事業：
核融合材料開発のための原型加速器開発

原型炉設計：明確化された原型炉概念を踏まえ、オールジャパン体制を拡充し概念設計へ



第1回中間C&R

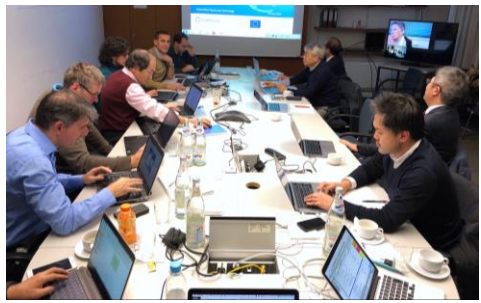
第2回中間C&R

原型炉建設移行判断

- 原型炉設計合同特別チーム(現在117名：大学55、産業界26、QST36)で炉設計を実施。
- BA活動(IFERC事業)で日欧共通課題について研究開発を行い、原型炉概念の基本設計に反映。
- 原型炉研究開発共同研究は、延べ～100名のポスドク・学生が参画し、人材育成にも貢献。

日欧BA活動

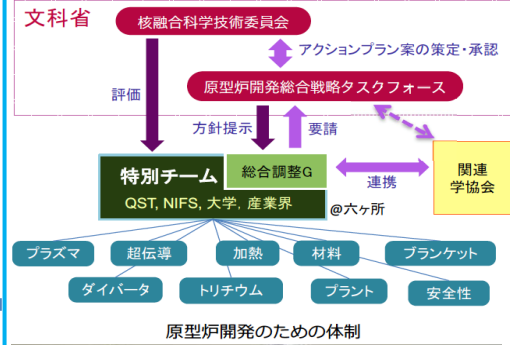
日欧の専門家会合



- 日欧共通の概念設計研究
- 日欧共通の設計手法、設計ツールの開発
- 日欧共通の材料等関連データの拡充
- ITER遠隔実験に向けた技術開発等

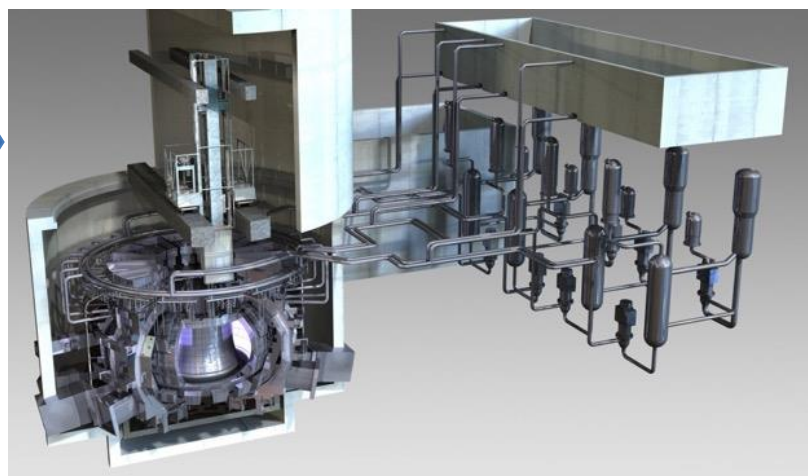
国内活動

原型炉設計合同特別チーム



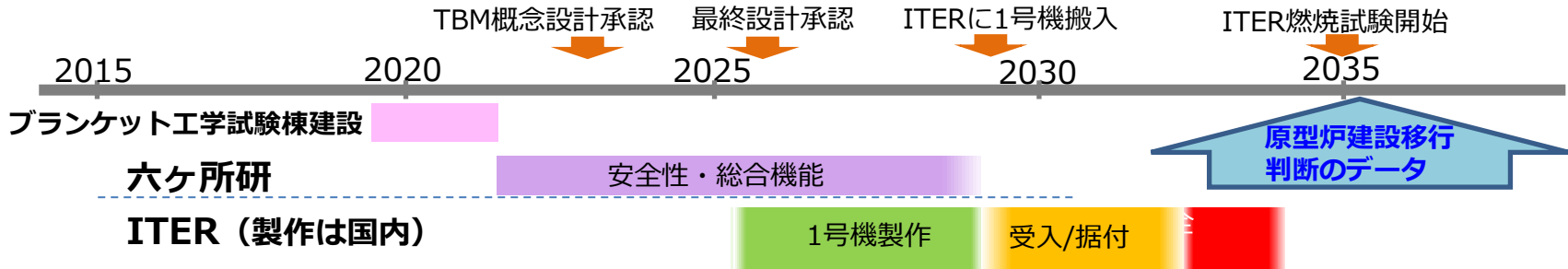
原型炉概念の基本設計

炉本体	プラント設備
<ul style="list-style-type: none"> ・定常運転 ・核融合出力：～150万kW 	<ul style="list-style-type: none"> ・加圧冷却水 (15.5MPa, ～300℃) ・電気出力：～70万kWe (発電端)



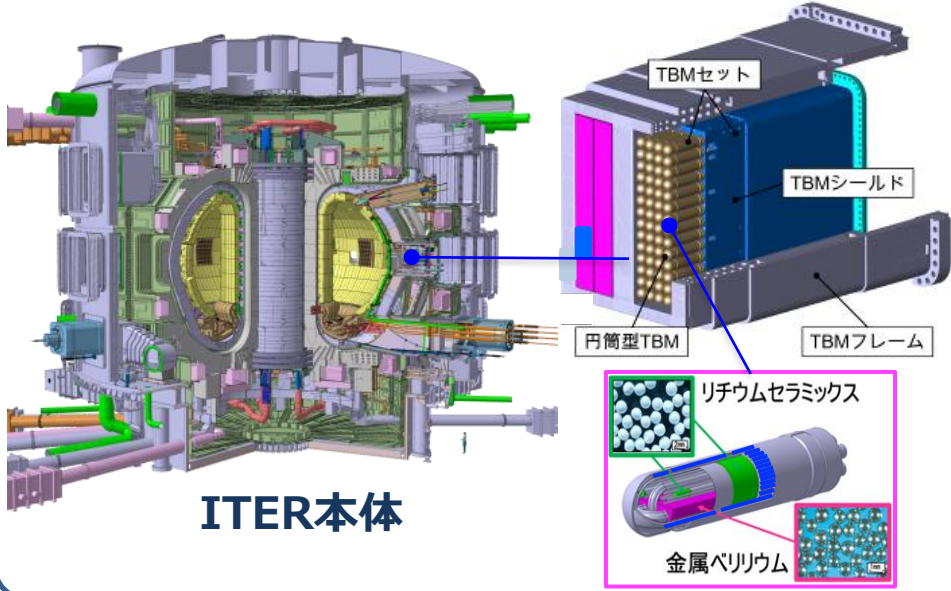
ブランケット開発、安全実証試験への関門を突破

①我が国の試験体がITER理事会で公式選定 ②ブランケット工学試験棟が6月に竣工



- 20年11月、ITER理事会が、4つのITERブランケット試験体の一つとして、**我が国の試験体（世界で唯一の水冷却固体増殖方式）を公式選定。**
- 併せて、ブランケット工学試験棟が21年6月に完成予定。
 ➔ **ブランケット開発が試験体1号機の安全実証試験へ進む準備が整った**

日本発の世界で唯一の水冷却固体増殖方式を選定



ブランケット工学試験棟が完成へ
 目的：ITER運転条件で安全実証試験を行う



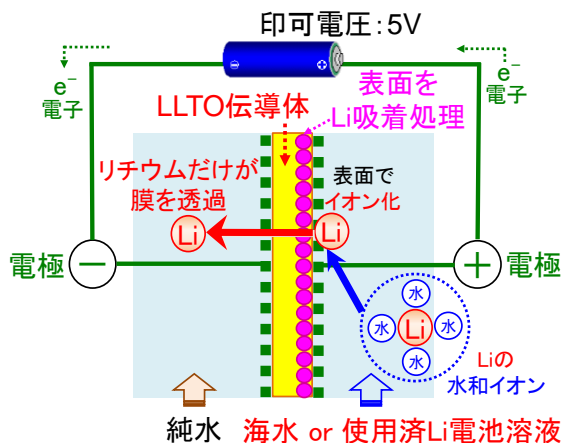
リチウム回収技術でリサイクル低コスト化を実証

脱炭素社会の実現に向け、使用済みLi電池から回収するLiの大幅な低コスト化に成功

- ブランケットでトリチウム燃料を生成するために必要なリチウムの安定供給が課題。
- 海水からリチウムを回収する技術としてQSTが開発したイオン伝導体リチウム分離法に、表面Li吸着処理を新たに施すことにより、約850倍のイオン電流を達成(今年度国内外特許登録)。
- 本技術をリサイクル産業へ応用するため、QSTアライアンスとして設置した民間企業3社(出光、DOWAエコシステム、日亜化学)との「超高純度リチウム資源循環アライアンス」の下に、スタック化装置を開発し(公募型JOGMEC委託研究)、
 - ➔ 海外輸入価格の半額以下で、使用済みLi電池からLi回収可能であることを実証
- 脱炭素社会の実現に向け、本技術の社会実装を基礎研究段階からパイロットプラント段階へと加速する特に顕著な成果。

単膜装置の成果：
イオン伝導体リチウム分離法＋
表面Li吸着処理(特許)

➔イオン電流約850倍



新スタック化装置(全膜数=20枚)で海外輸入価格の半額以下の低コスト化を実証

