

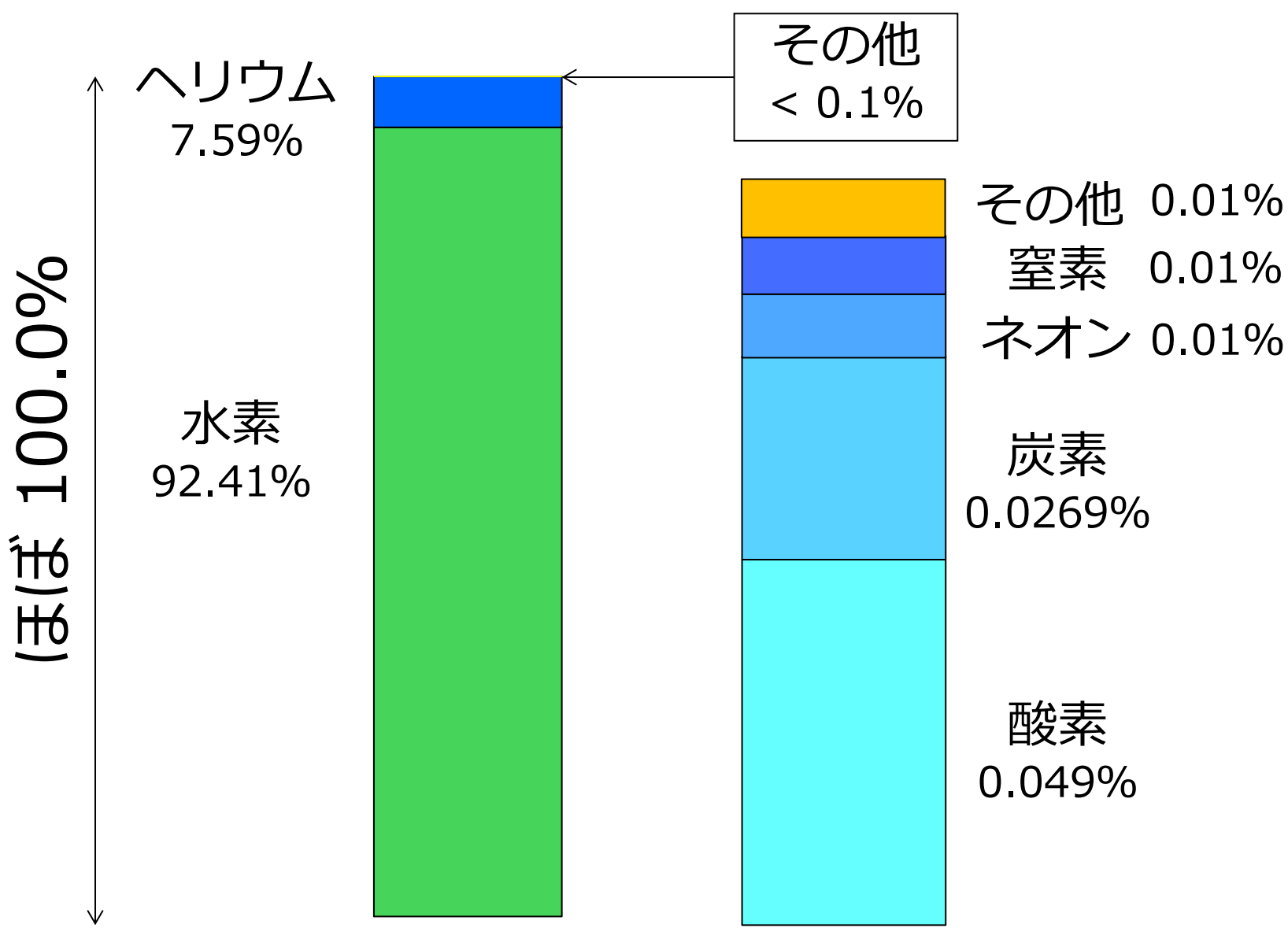
宇宙の「はじまり」を次世代のエネルギーにー 物理と計算で描く未来

大学院エネルギー科学研究科 電磁エネルギー学分野

フュージョン(核融合)って何だろう?

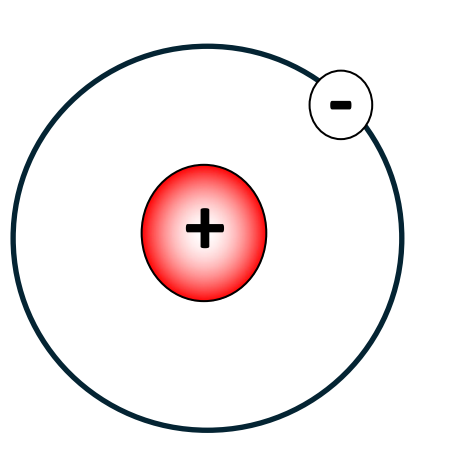
宇宙が138億年前に生まれて3分後、超高温の火の球が冷えて温度が10億度になったころ
活発に起こるフュージョン反応によって水素やヘリウムの中かができました

宇宙の物質のほとんどはヘリウムと水素

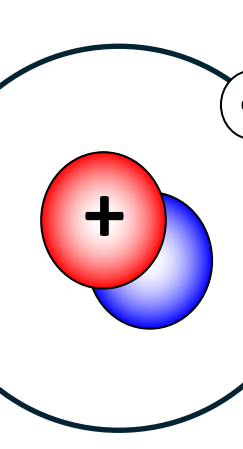


水素の中かま

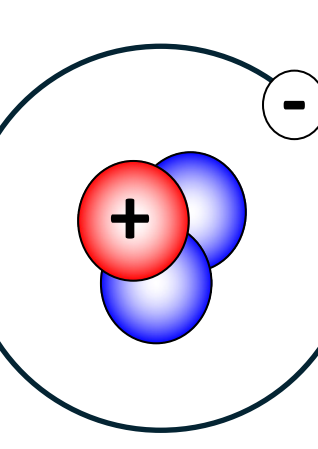
(軽)水素



重水素

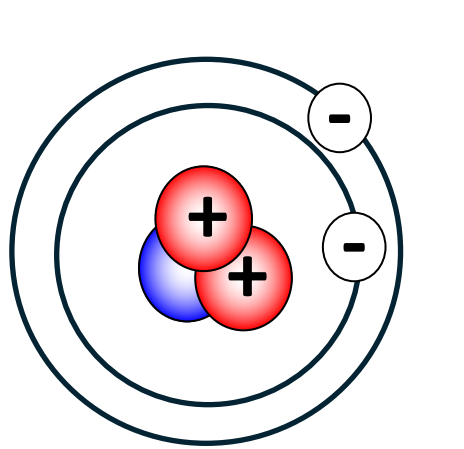


三重水素

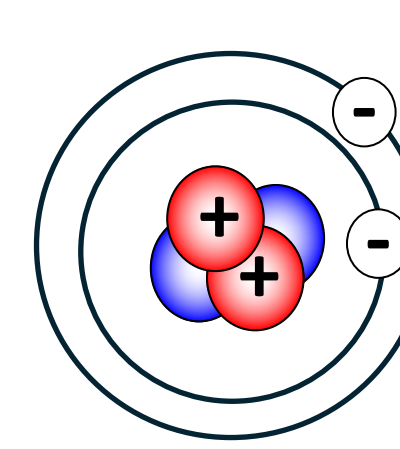


ヘリウムの中かま

ヘリウム-3



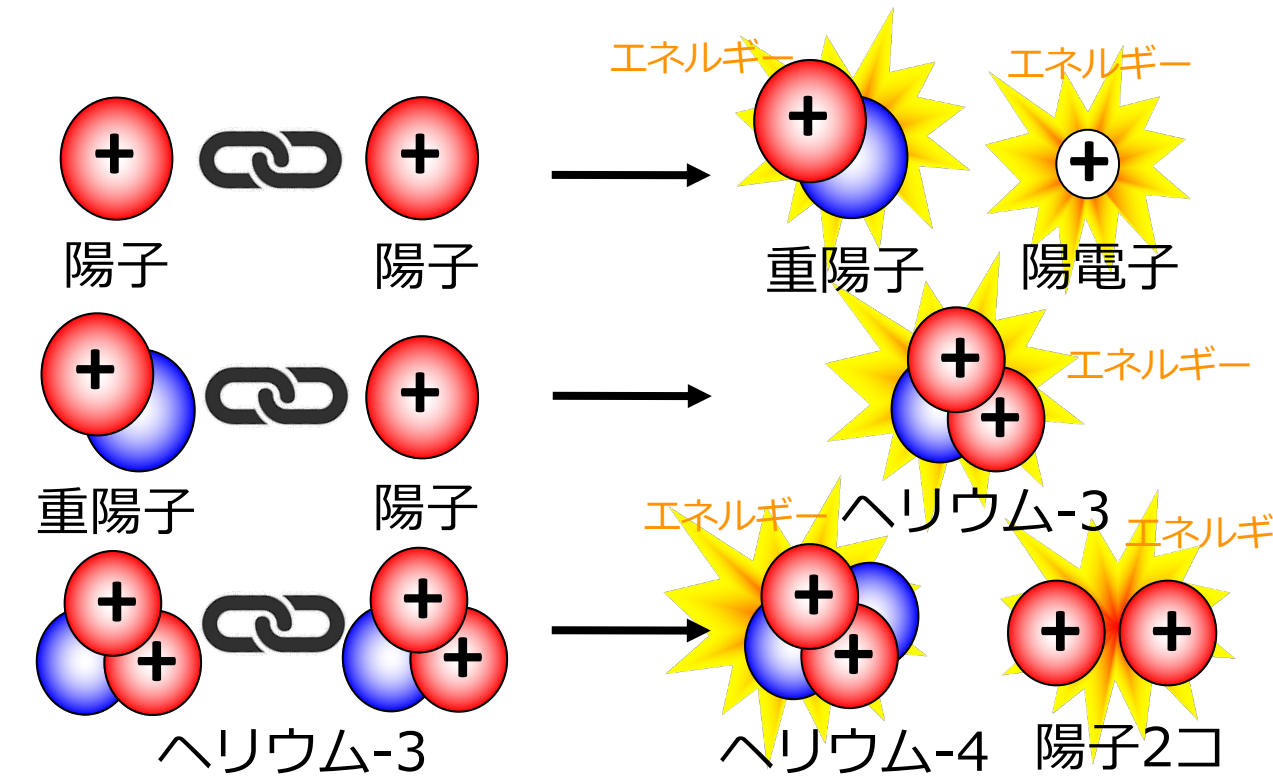
ヘリウム-4



陽子 (プロトン)
中性子 (ニュートロン)
電子 (エレクトロン)
陽電子 (ポジトロン)

フュージョン(核融合)反応

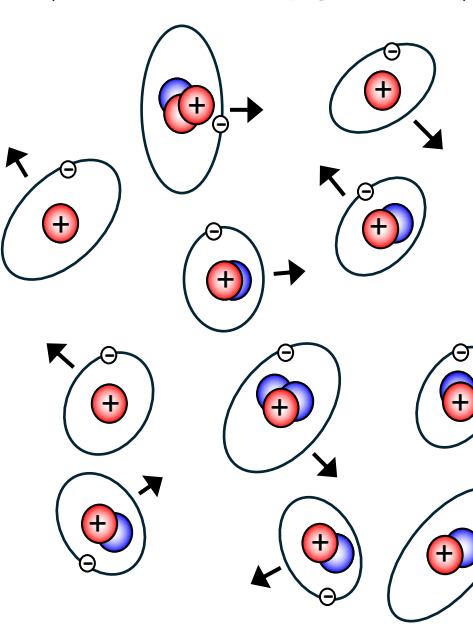
10億度の宇宙では水素やヘリウムのフュージョン反応が起こり、エネルギーを生み出していました。フュージョン反応は太陽の中でも起こっており、地球のエネルギー資源の起源となっています。



プラズマ そのころの宇宙は電子と原子核がバラバラの状態(プラズマ)でした。電子はマイナスの電気、原子核はプラスの電気を持ち、同じ種類の電気は反発します。放電やオーロラもプラズマの一種で、太陽の表面からはプラズマが噴き出しています。

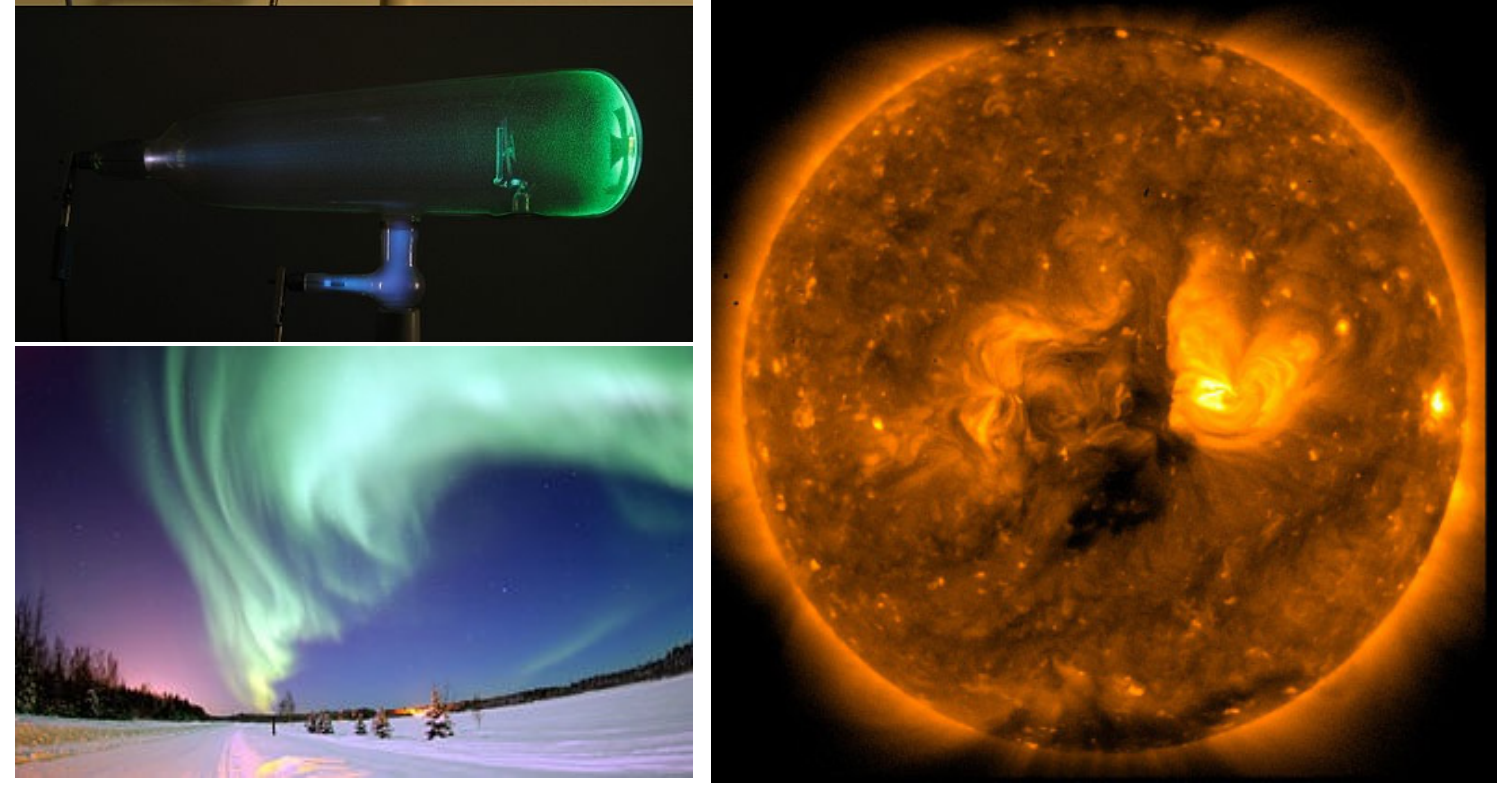
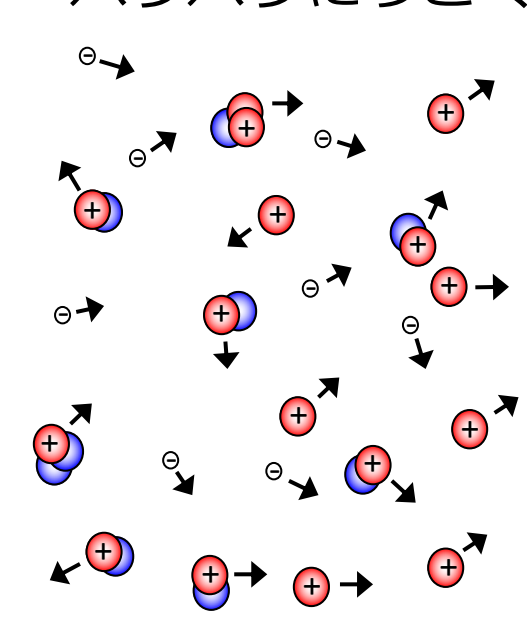
気体(ガス)

電子は原子核にくっついてうごく

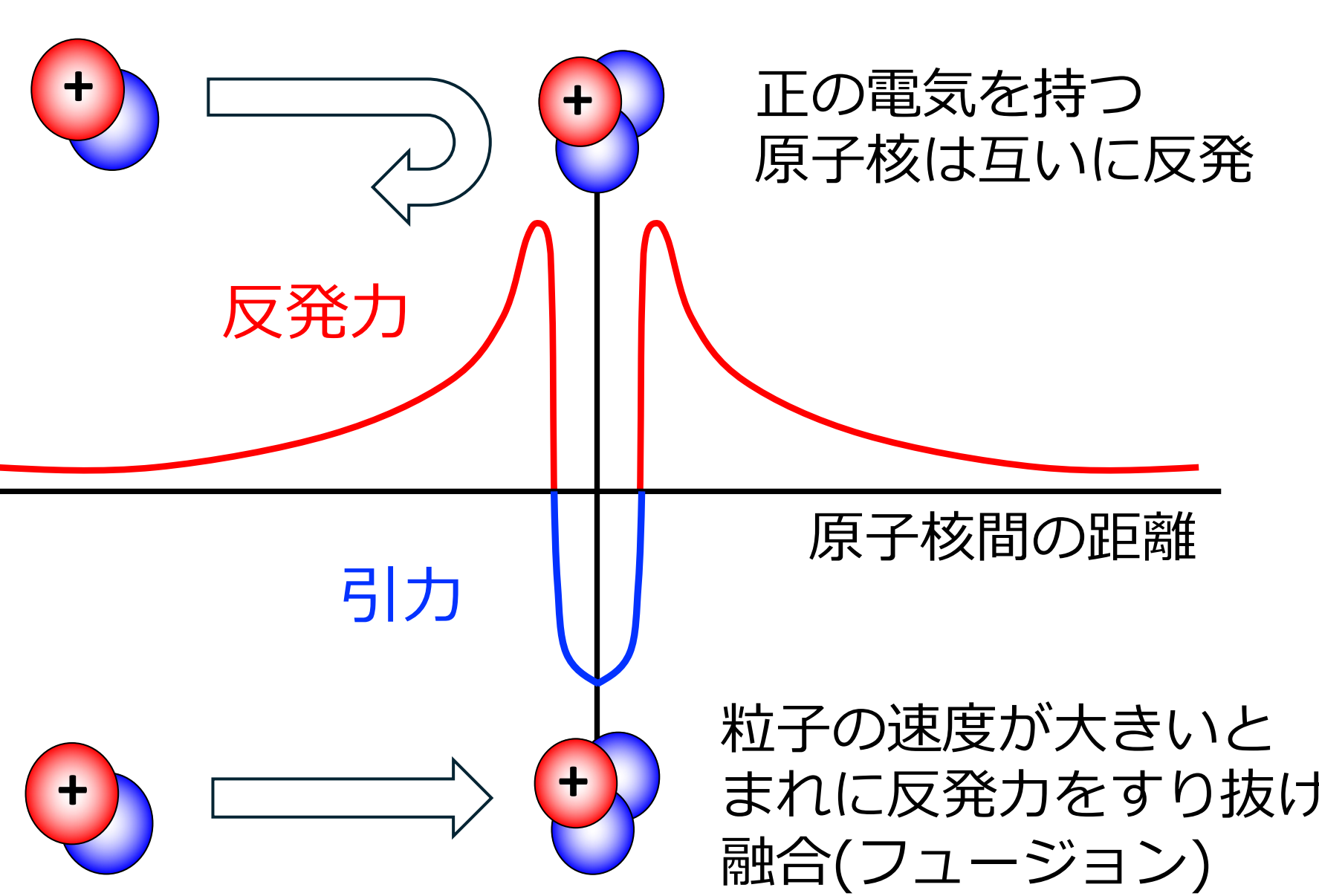


プラズマ

電子と原子核はバラバラにうごく



プラズマのなかで起こるフュージョン反応のしくみ

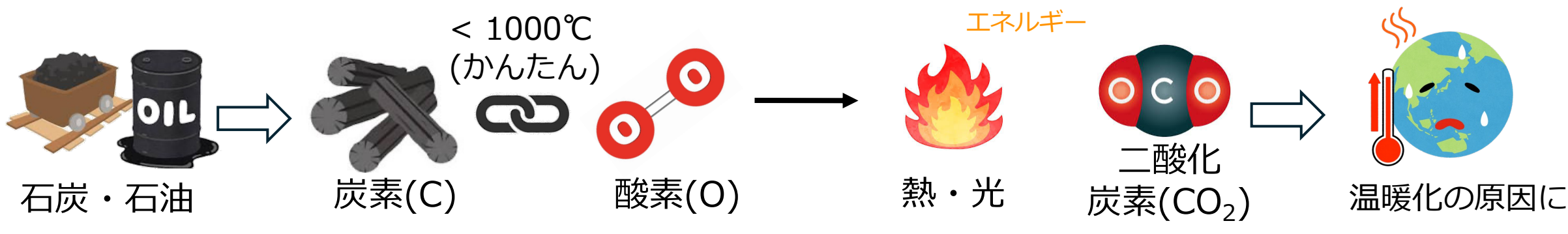


未来のエネルギーを生み出す1億度のドーナツ

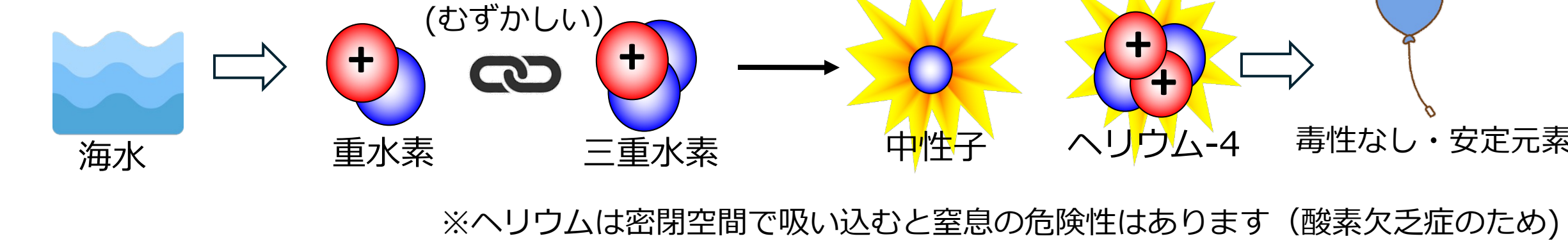
未来のエネルギー

わたしたちは化石燃料をもちやすとき、炭素と酸素の化学反応からエネルギーを得ています。フュージョン反応が地上で利用できれば海水がこれに代わるエネルギー資源になるかもしれません。

ものが燃えるとき(化学反応)

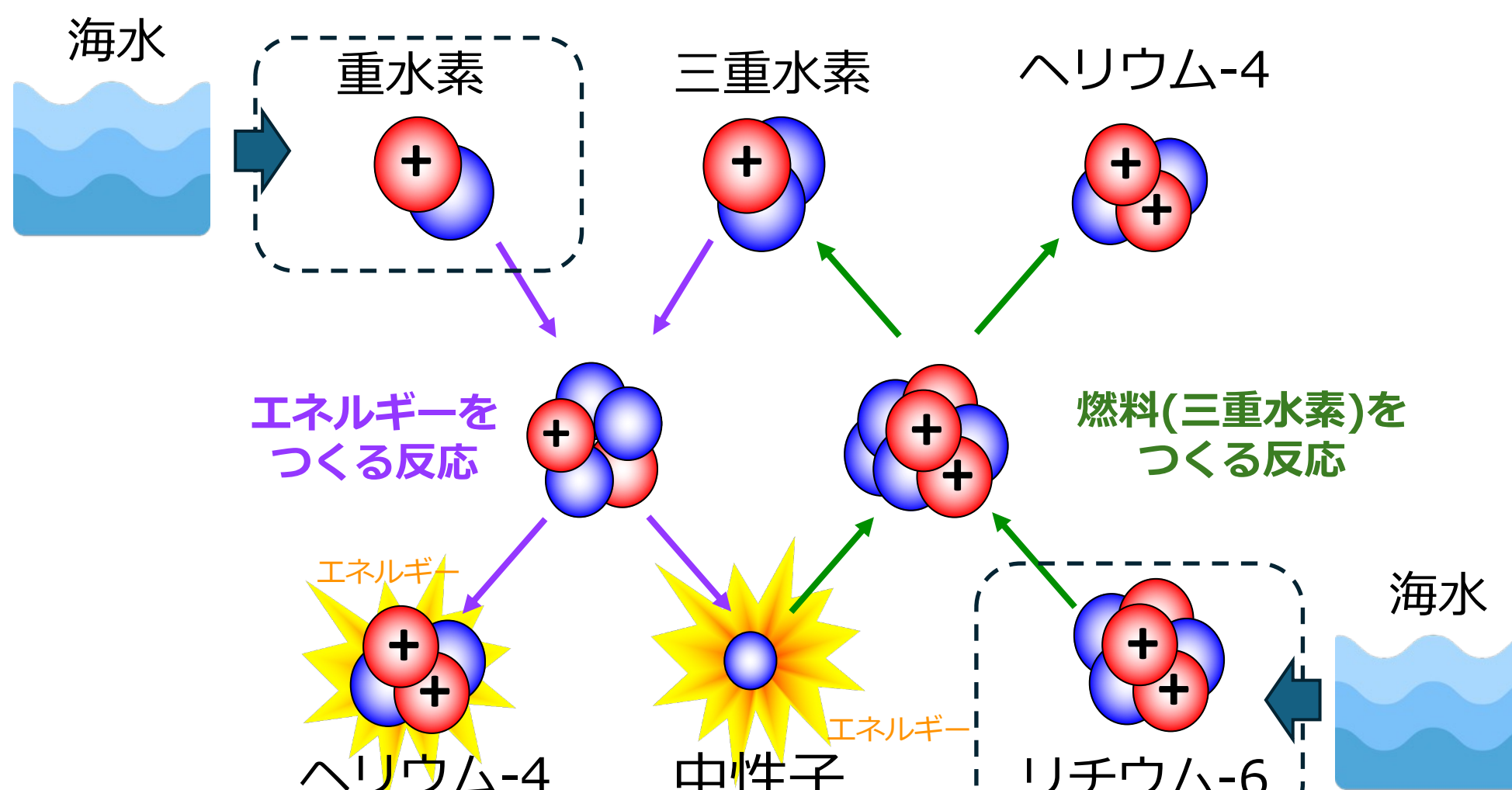


フュージョン反応



地上で利用できるフュージョン反応

水素の中かまである重水素と三重水素の反応は1~2億度程度で活発になる地上で利用しやすい反応です。



長所:

- 反応温度が低い
- 燃料が豊富(海水)

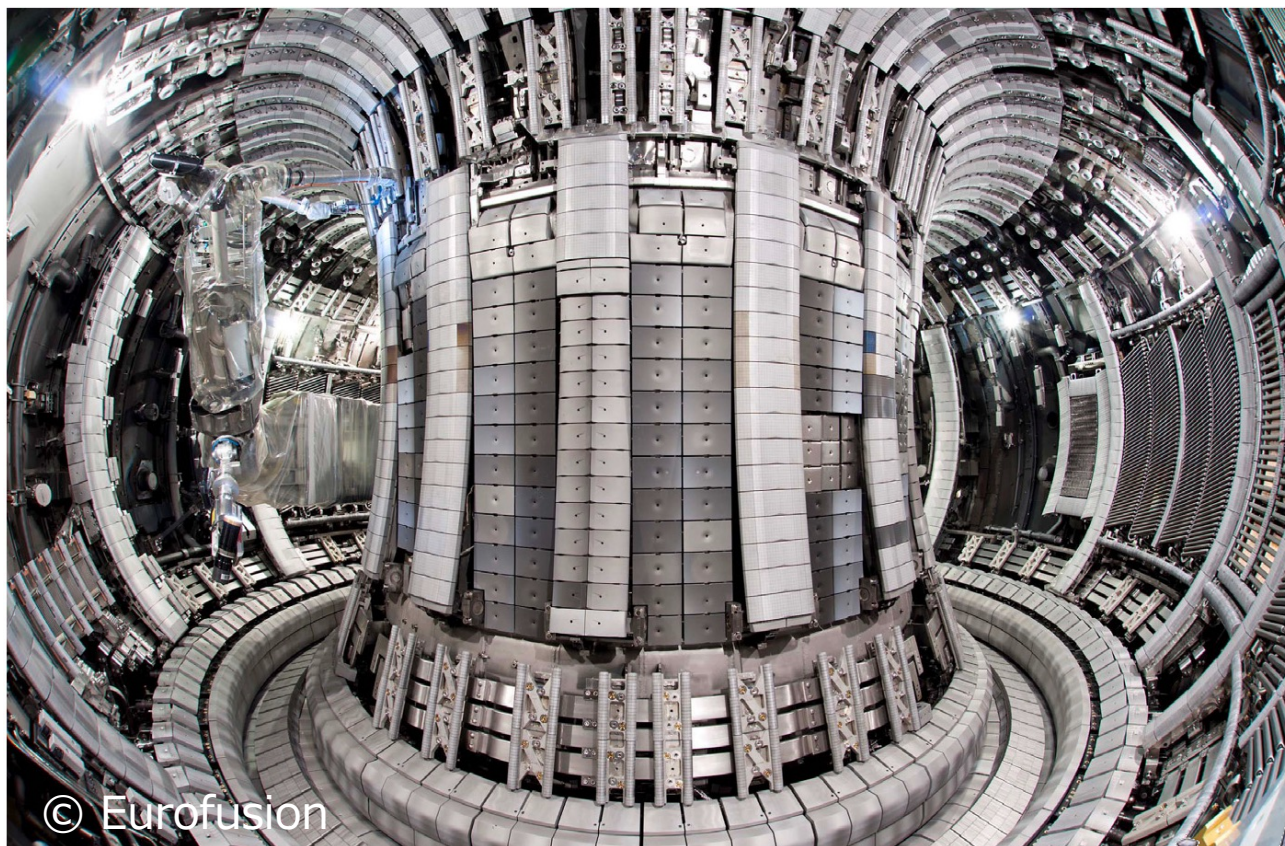
注意点:

- 三重水素が短寿命の放射性物質
- 中性子を安全に扱う技術が必要

1億度のプラズマを地上で実現

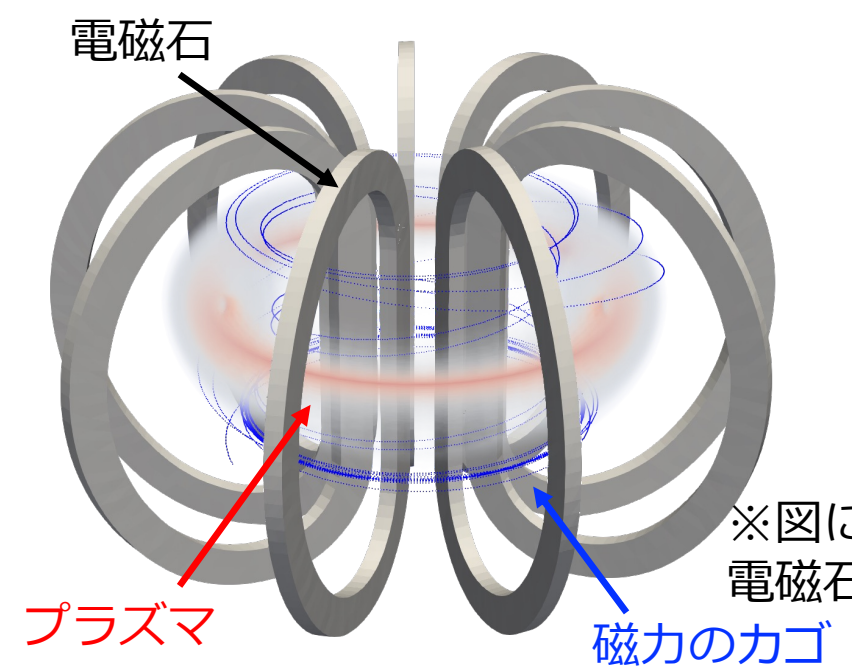
熱に耐える容器をつくる

ヨーロッパの実験装置JETの内部
受熱部は融点3420度のタングステン。



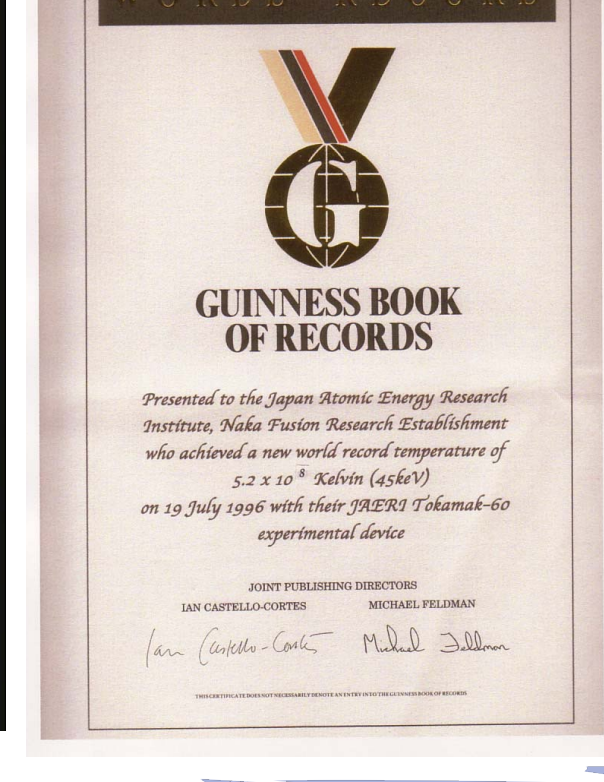
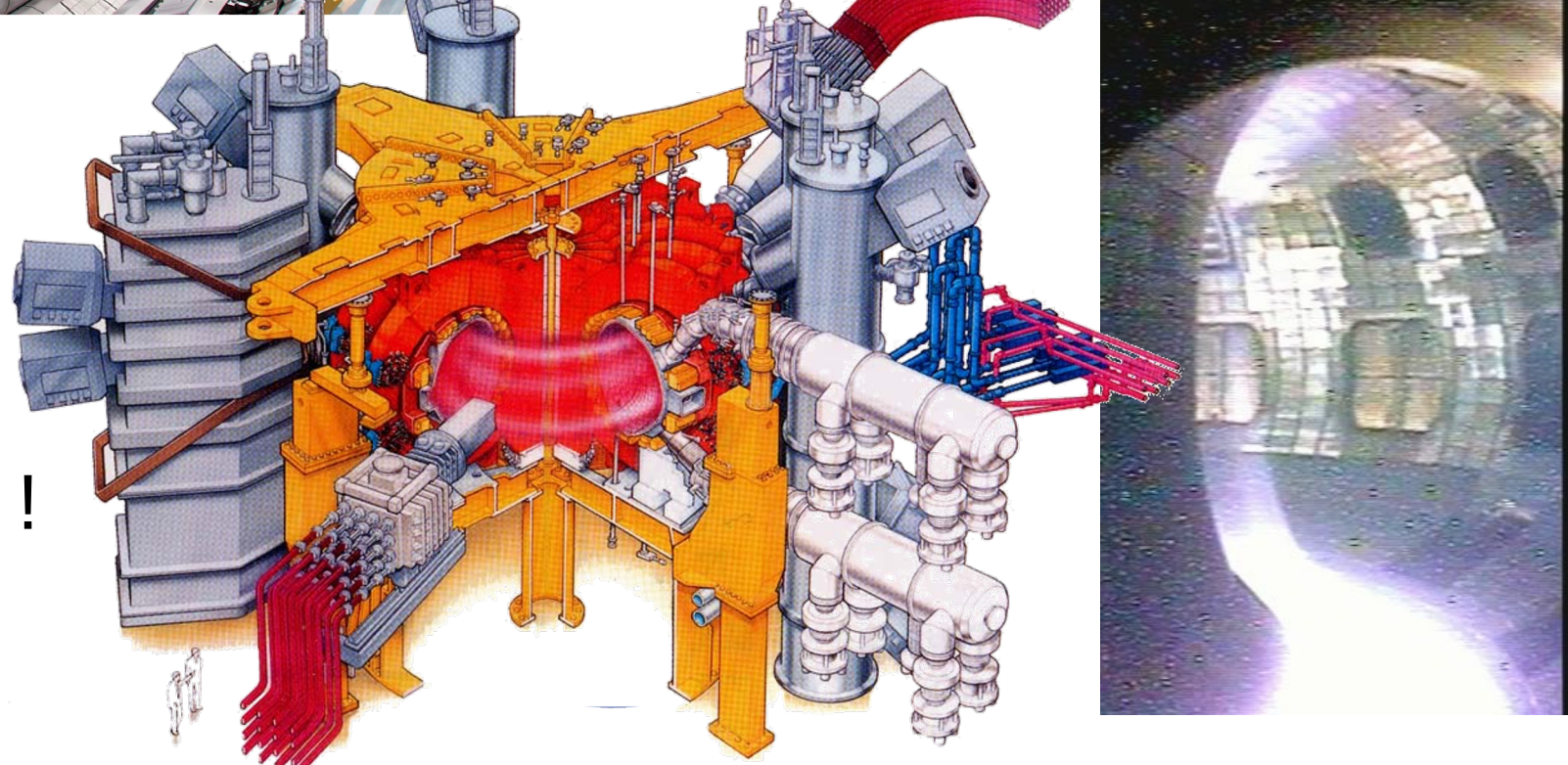
磁力を利用してプラズマを「浮かせる」

電気をおびたプラズマが磁力の方向に進む性質を使い、端のないドーナツ状の磁力のカゴを作ることによって融点が高い容器で1億度のプラズマを作ることができます。



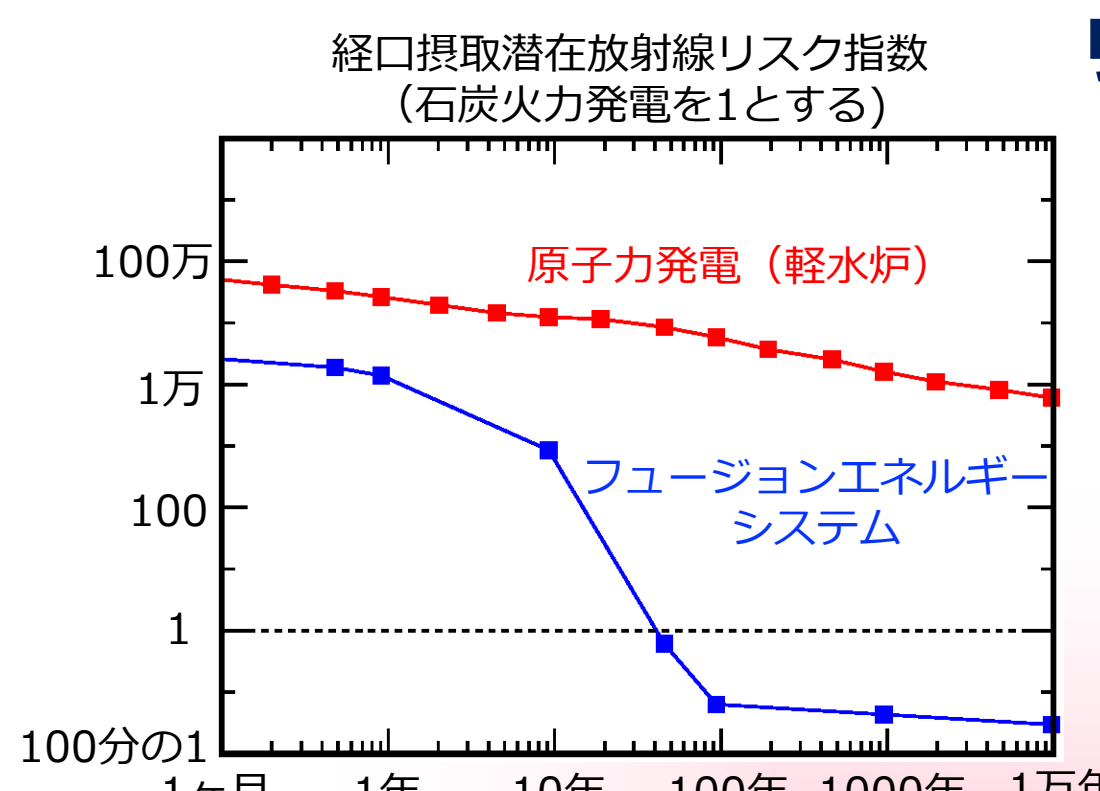
5.2億度のプラズマの実現

世界最高のプラズマの温度が日本のJT-60U(茨城県那珂市)で1996年に実現しています! ギネスブックにも掲載。



発電利用の可能性とリスク評価

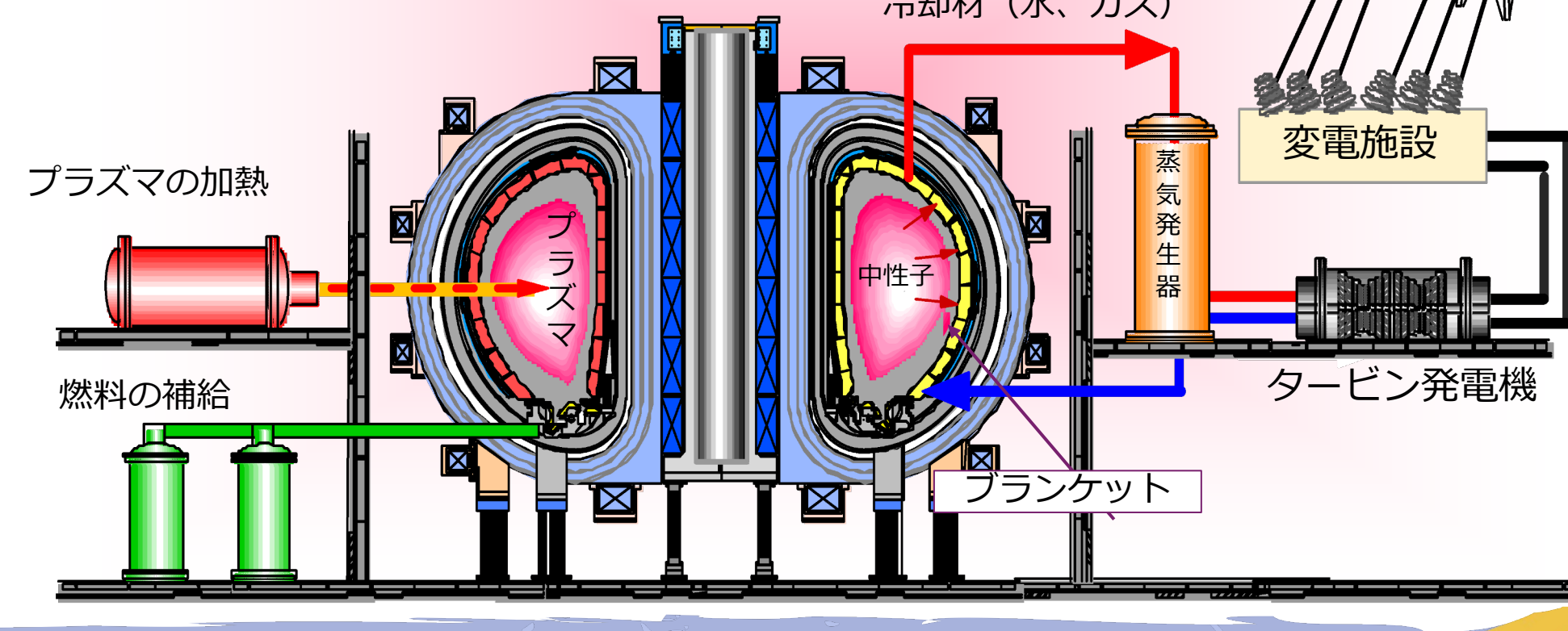
フュージョン反応で発生する中性子を熱源として発電に利用するエネルギーシステムが研究されています。



リスク評価(例):

- 多くの設計は深い地層処分が避けられることを示す
- 半減期12.3年を境に石炭火力よりも低いリスク

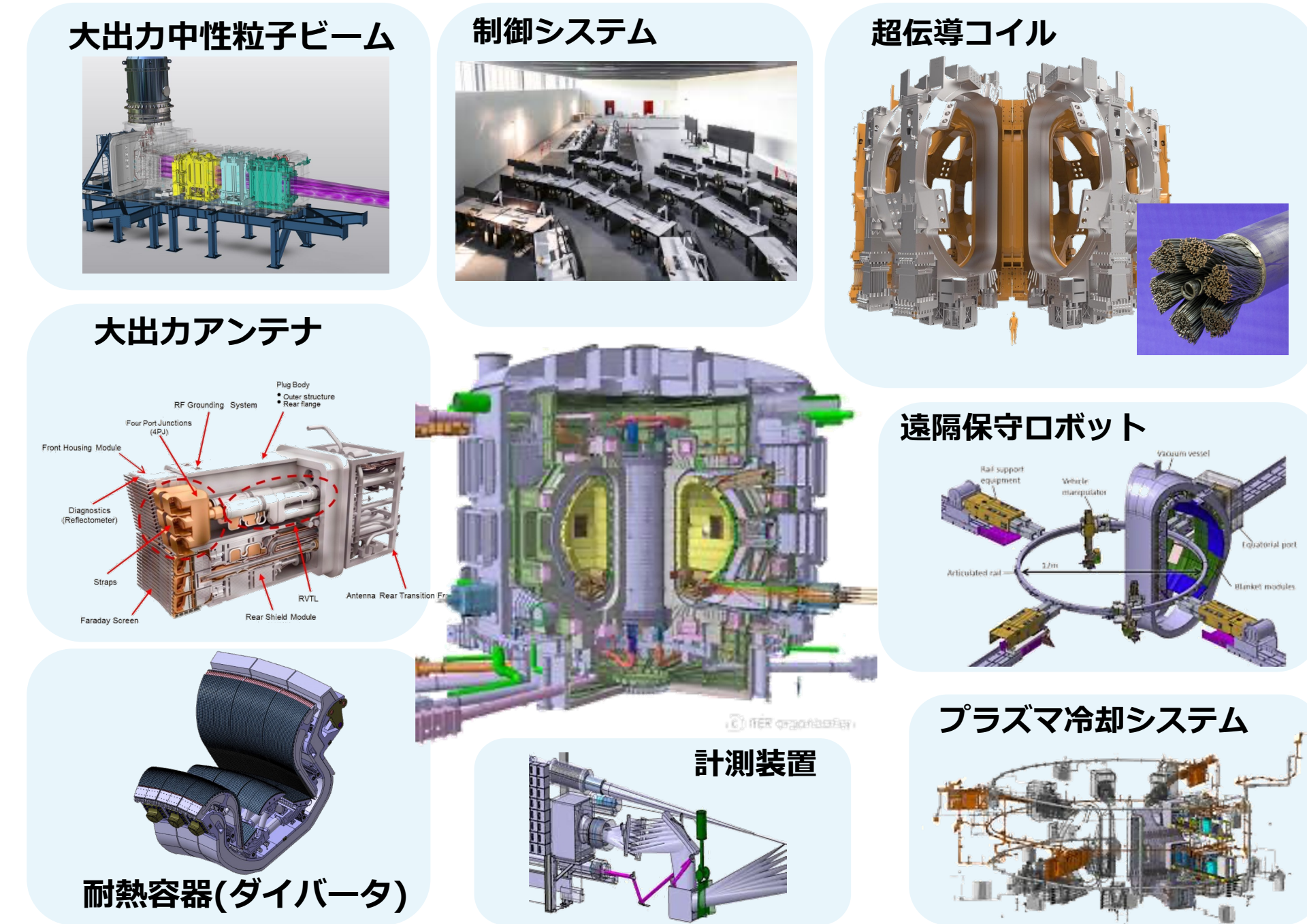
※放射線のリスクは国の規制も含む
詳しい分析が必要です



研究の最前線と未来エネルギーの展望

実用化の展望

超ハイテク・超大型のシステム開発のむずかしさ



- エネルギー取出しは未実証。人類初の技術の結集が必要。
- 1つの部品の開発の遅れが全体の遅れにつながる。
- 発電所などのプラントは計画から運転開始まで10年以上が必要。
- 研究者・技術者の世代交代と人材の育成も課題に。

実用化見通しと目標
2050

©ITER organization

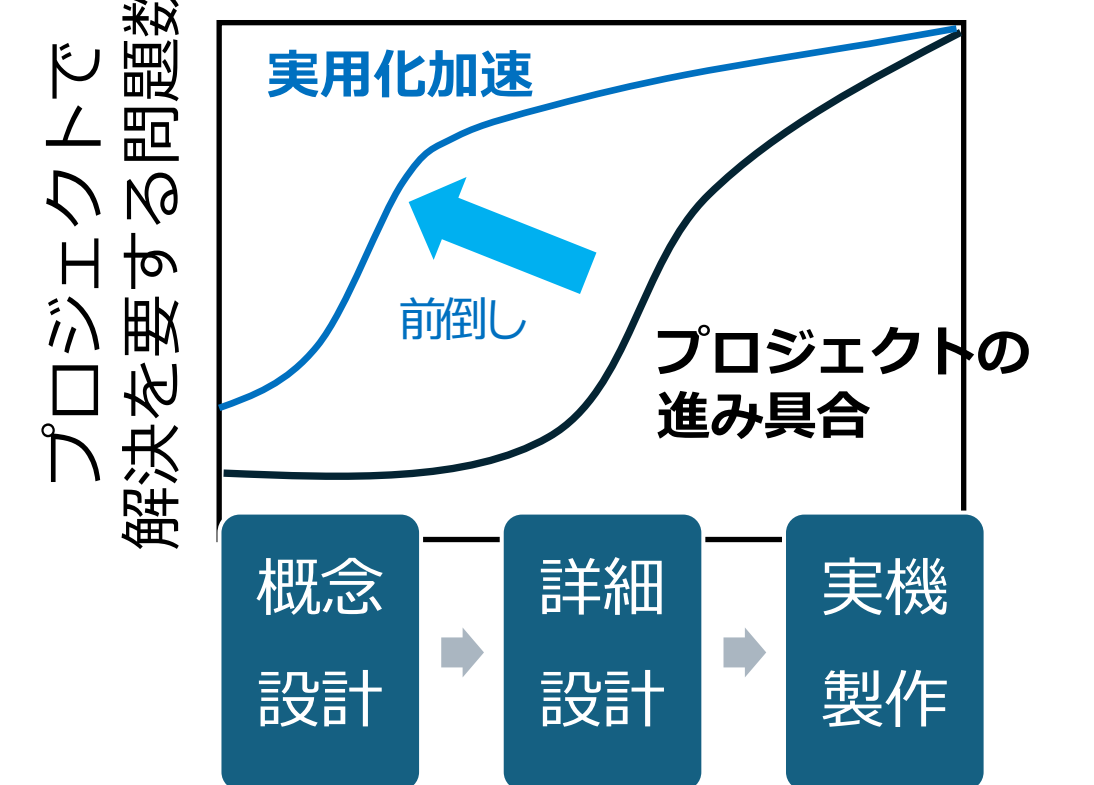
物理と計算が鍵を握る

コンピュータシミュレーションの活用



- 物理学によってプラズマのふるまいを理解し、より高性能かつ低コストのシステムを設計。
- 実験装置をつくる前にシミュレーションで性能をしらべ、問題点を十分に調整する。

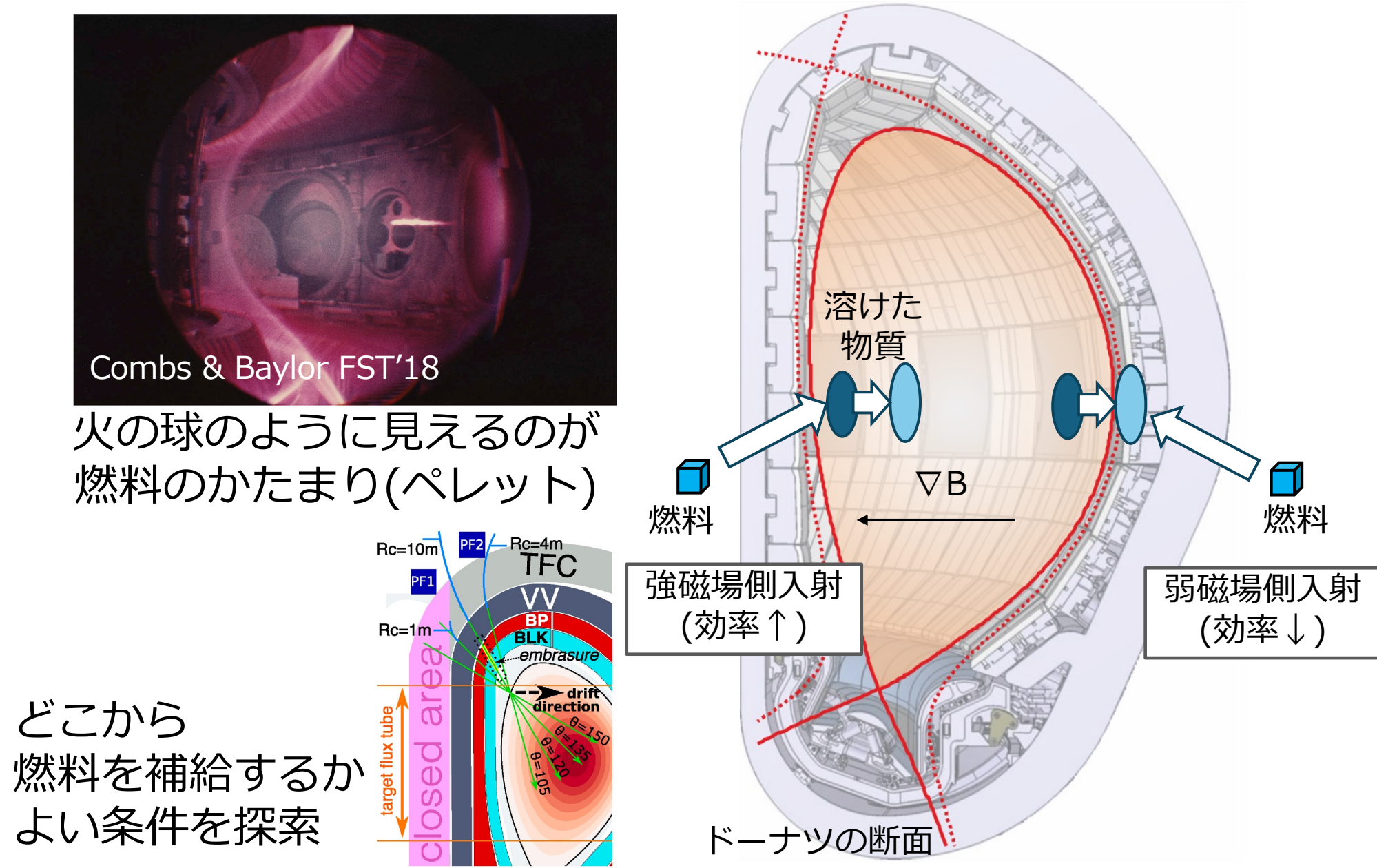
コンピュータによりさまざまな課題解決を前倒し(フロントローディング)できます。



わたしたちの研究室は1億度のドーナツ型プラズマのふるまいを解明し、フュージョンエネルギーシステムを実現するためのシミュレーション研究を行っています

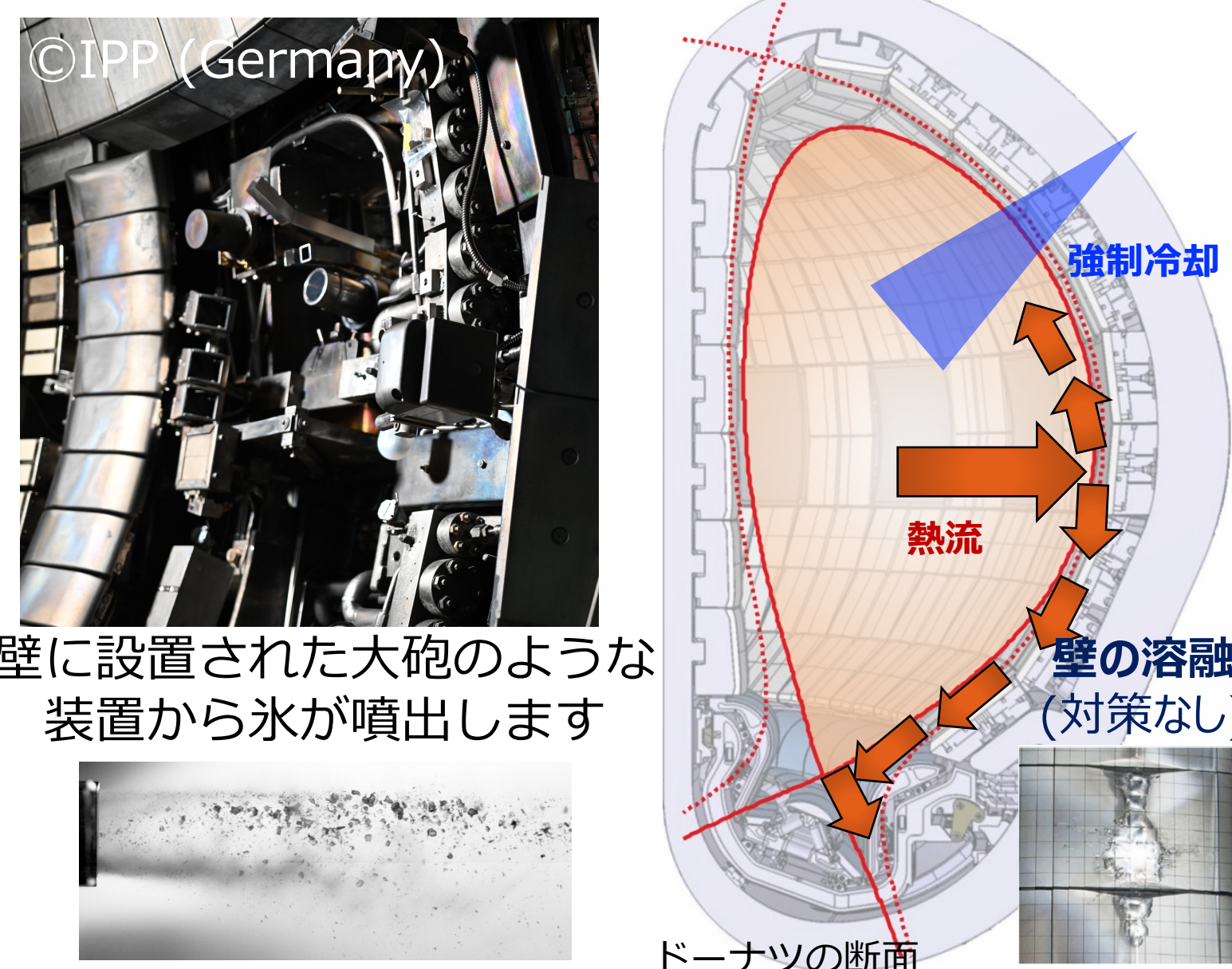
① 燃料を補給する

最適な補給条件を実験とシミュレーションで明らかにします。ドーナツのどこから燃料を補給するかによって効率が大きく変わります。



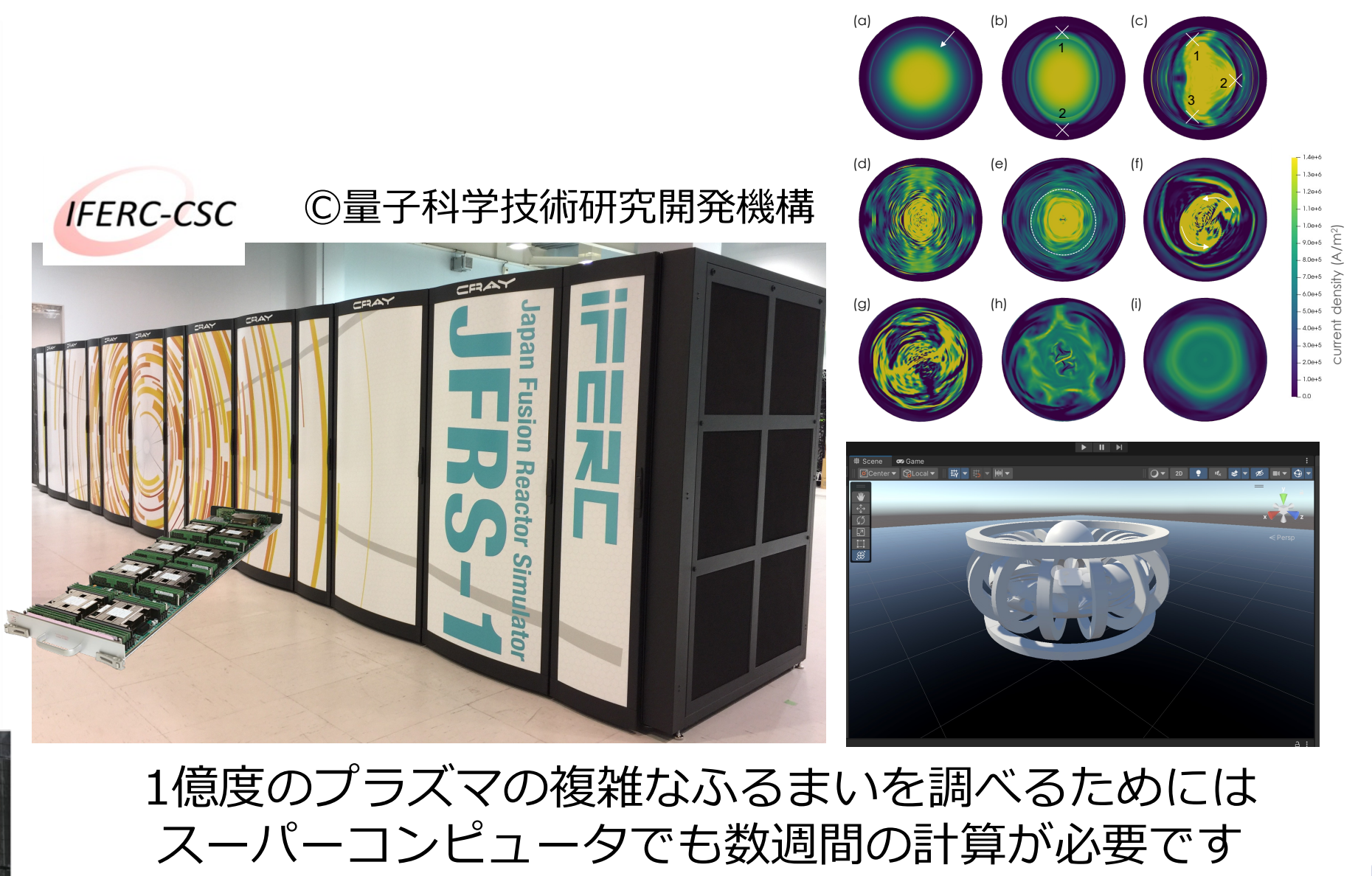
② プラズマを冷やす

運転のトラブルのときは高温のプラズマから装置の内壁を守るためにプラズマを冷却します。ITER用の装置をシミュレーションで設計しています。



③ ふるまいを予測する

実験で高温プラズマがどのようにふるまうか、どのような装置の形状をつくれば効率が高まるか、AIやスーパーコンピュータで探求しています。



シミュレーション結果を世界各国の研究者と議論し、実験や研究の発展につなげています

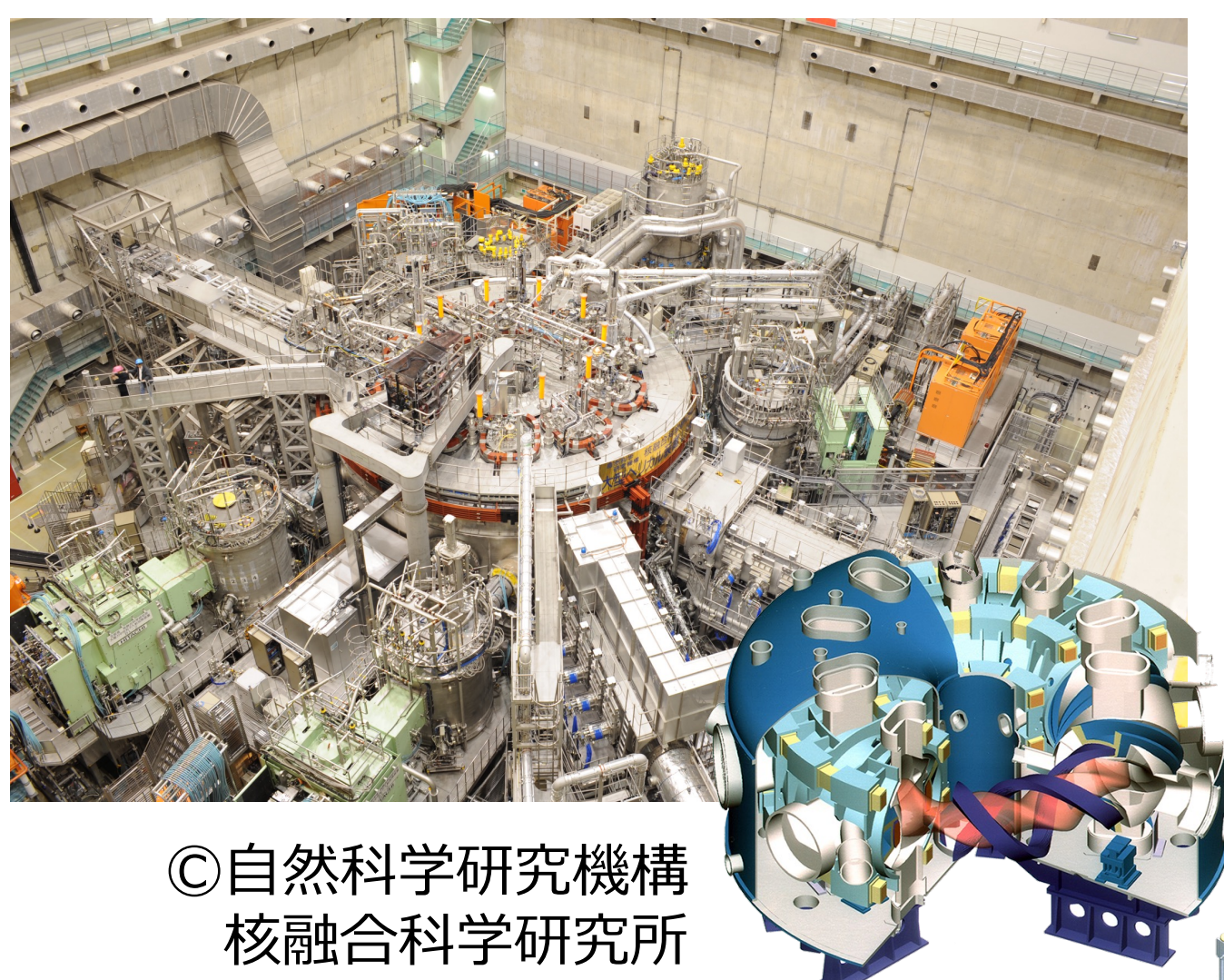
日本の実験装置 あなたの推しのドーナツは?

エルエッチディー

LHD

岐阜県土岐市

京大が考案した「ヘリオトロン」という特別なドーナツ形状の装置。1998年運転開始。プラズマの保持時間などさまざまな世界記録を樹立。今年の年末までの運転でフィナーレを迎えます。

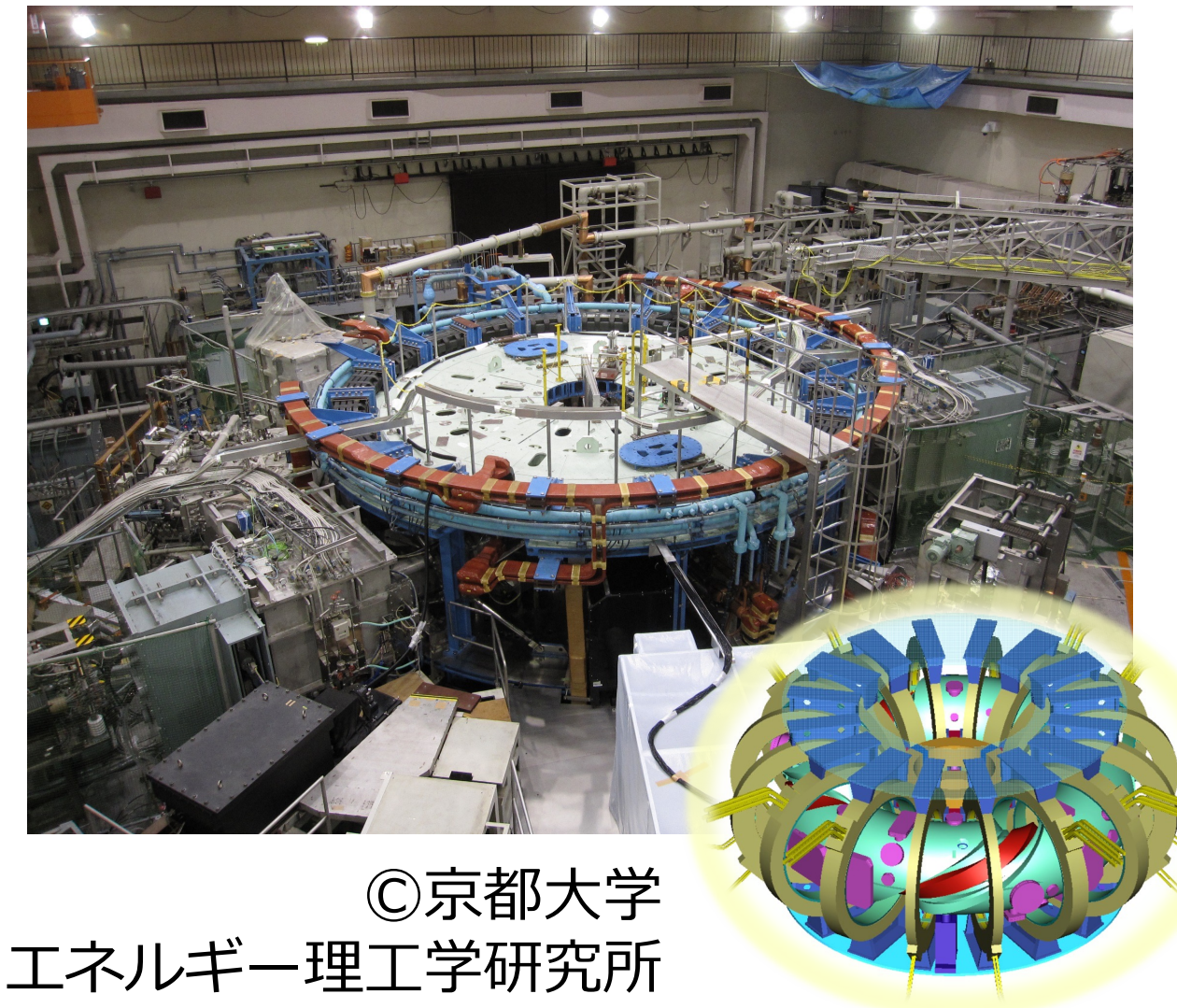


ヘリオトロンジェイ

Heliotron J

京都府宇治市

宇治キャンパスで運転中でヘリオトロンをさらに改良した装置。2000年運転開始。大学のプラズマ実験装置としては最大規模で多くの研究者の育成に貢献。オープンキャンパスで見学可能です!

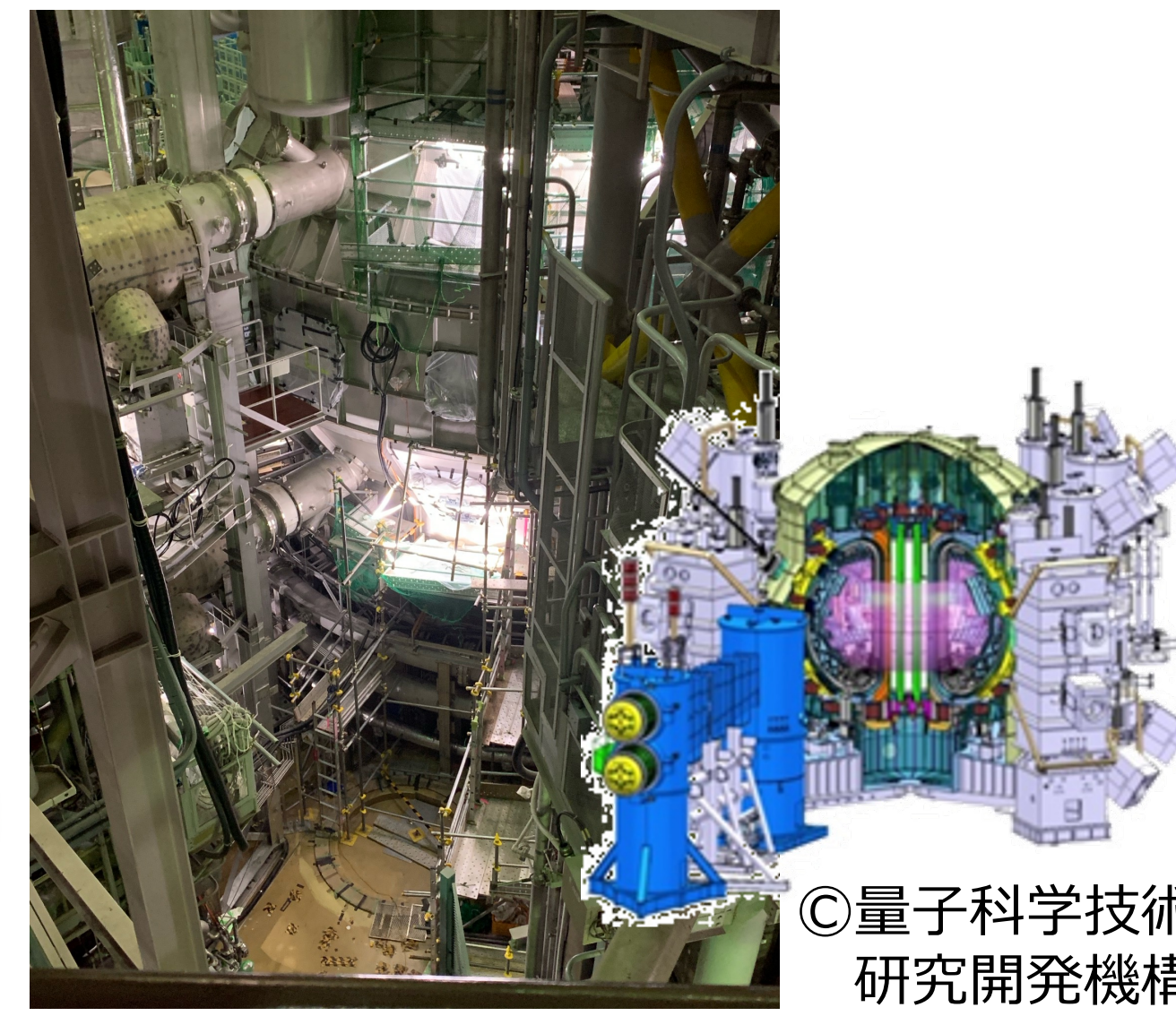


ジェイティーロクマルエスエー

JT-60SA

茨城県那珂市

世界最高のプラズマ温度の記録を持つJT-60Uの後継機。2023年運転開始。早速、世界最大のプラズマ実験としてギネスブックに登録。日本とヨーロッパの研究者が協力して来年からはじまる本格実験に向け準備中。

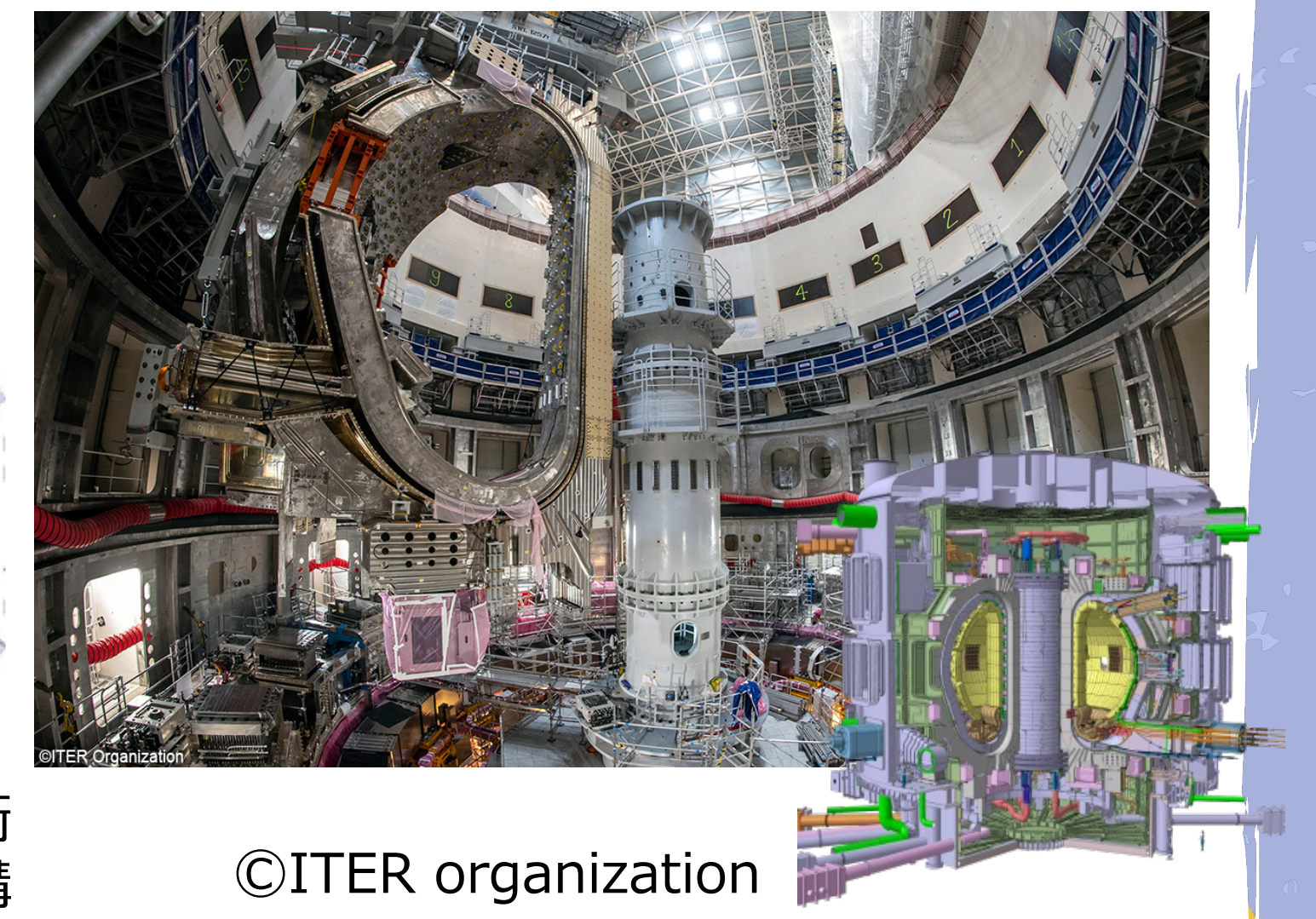


イーター

ITER

フランス
サンポール=レ=デュランス

世界7極の協力で日本も中心的な役割を果たす国際プロジェクト。2035年の運転を目指し、南フランスで建設中。装置本体の直径と高さがおおよそ30メートルの圧倒的なスケール。入力エネルギーの10倍の出力を実現します。



さらに知りたい
みなさまへ



核融合への
トビラ(NIFS)



マンガでわかる
核融合発電(QST)



ITER計画紹介
マンガ(QST)



スタートアップ
企業 Kyoto
Fusioneering社



ITER機構の
サイト(英語)