

2014年 出張講義

核融合エネルギー開発と 大学、大学院での核融合研究の勧め

大学共同利用機関
自然科学研究機構 核融合科学研究所

渡邊 清政

名古屋大学大学院工学研究科エネルギー理工学専攻(兼任)
総合研究大学院大学 物理科学研究科 核融合科学専攻教授(元)
kiyowata@LHD.nifs.ac.jp



核融合科学研究所

核融合科学分野における**国立の研究所**で、岐阜県土岐市にある。核融合研究に関する**大学共同利用機関**で、自然科学研究機構を構成する研究所の1つ。

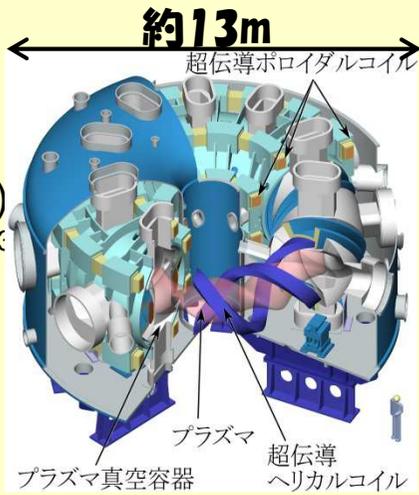
大学共同利用機関は、**個々の大学が単独で維持できない、高度で大規模な研究施設を整備・運用**し、その利用環境を**国内外の研究者(大学院生を含む)に提供**しています。

核融合研の大規模な研究施設;
大型ヘリカル装置、スーパーコンピュータ

総合研究大学院大学の物理科学研究科・核融合科学専攻等が併設され、大学院の学生に対する教育も実施している。



磁場 3万ガウス
(地磁気の10万倍)
プラズマ体積30m³
(8畳間一杯)





大型ヘリカル装置(LHD)
世界最大の超伝導核融合実験装置

核融合関連研究専用の
スーパーコンピュータ

講義内容一覧

エネルギー問題と核融合炉発電

核融合発電炉の仕組みと安全性

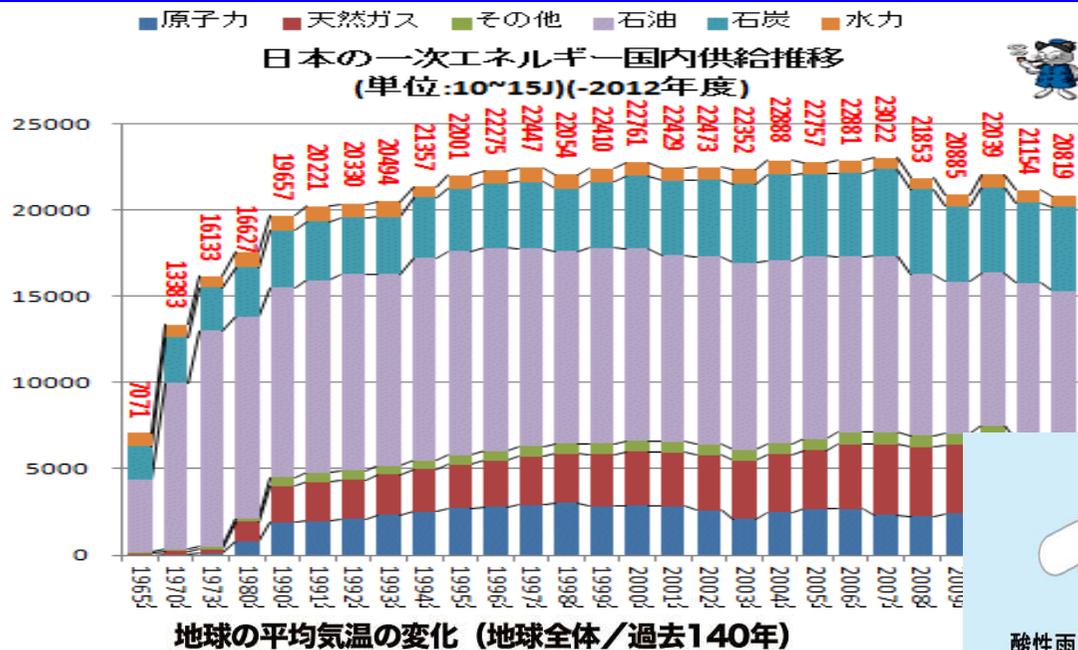
○核融合とは、燃料、安全性

○核融合炉とプラズマと磁場

核融合炉の開発の現状と今後の展望

大学・大学院での核融合研究の勧め

日本における一次エネルギー源の推移と環境問題

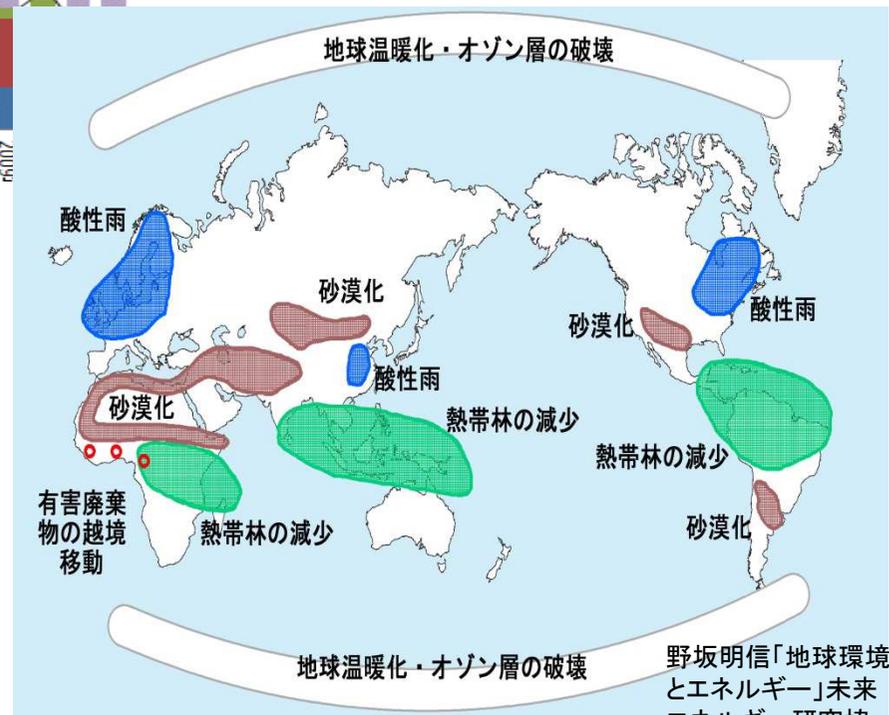
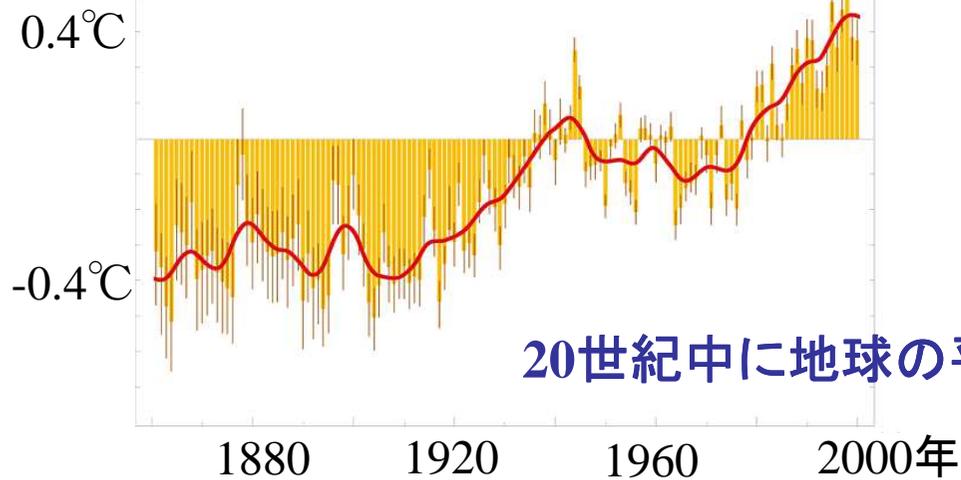


化石燃料(石油、石炭、天然ガス)が全体の8割超
再生可能エネルギーは約3%

地球の平均気温の変化 (地球全体/過去140年)

140年間の地球の平均気温の変化

化石燃料消費 → 二酸化炭素排出



野坂明信「地球環境とエネルギー」未来エネルギー研究協会第3回サマースクール(H15)より

核融合エネルギー開発はなぜ必要と考えるか？

CO2を出さないエネルギー源

○ 再生可能エネルギー

太陽光、風力、潮力、地熱、水力

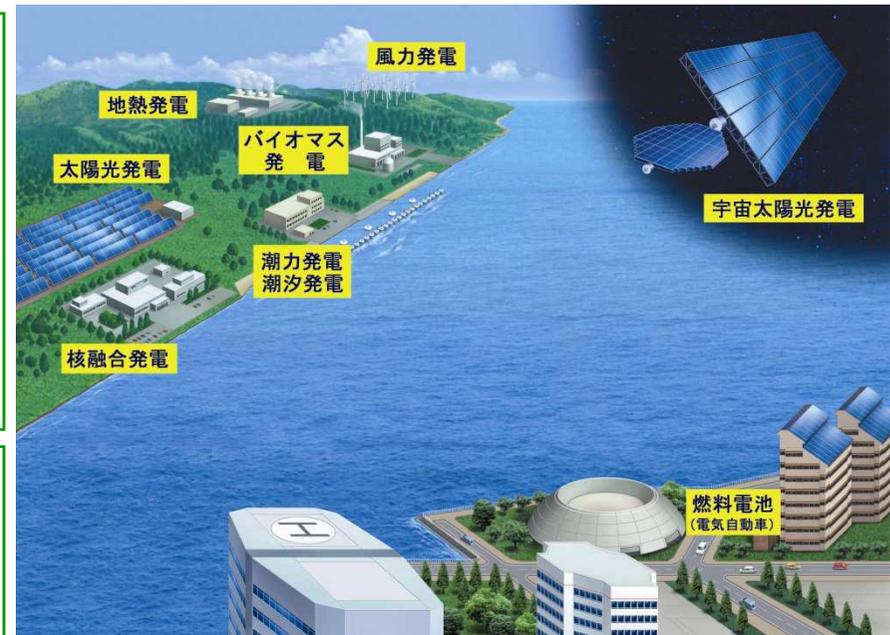
埋蔵量は豊富。広い立地スペース。小規模発電に有効。継続的、安定的な発電は苦手(太陽光、風力、潮力)。発電コストが比較的高価。

○ 原子力エネルギー

核分裂(現在の原発)

埋蔵量は豊富(高速炉)。高い発電密度。継続的、安定的な発電が得意。事故時に大量の放射能を放出・破滅的事故。発電コストが比較的安価(廃棄物処理、事故処理未考慮)。

既存の原発は核融合発電炉に移行(基幹エネルギー一部)させ、小規模発電として再生可能エネルギー源と組み合わせ、バランスの良いエネルギー源の構築が目標



核融合

埋蔵量は豊富(海水中の重水素、リチウム)。高い発電密度。継続的、安定的な発電が得意。事故時に少量の放射能を放出するが破滅的事故は起こらない。発電コストが高価(開発中)。

講義内容一覧

エネルギー問題と核融合炉発電

核融合発電炉の仕組みと安全性

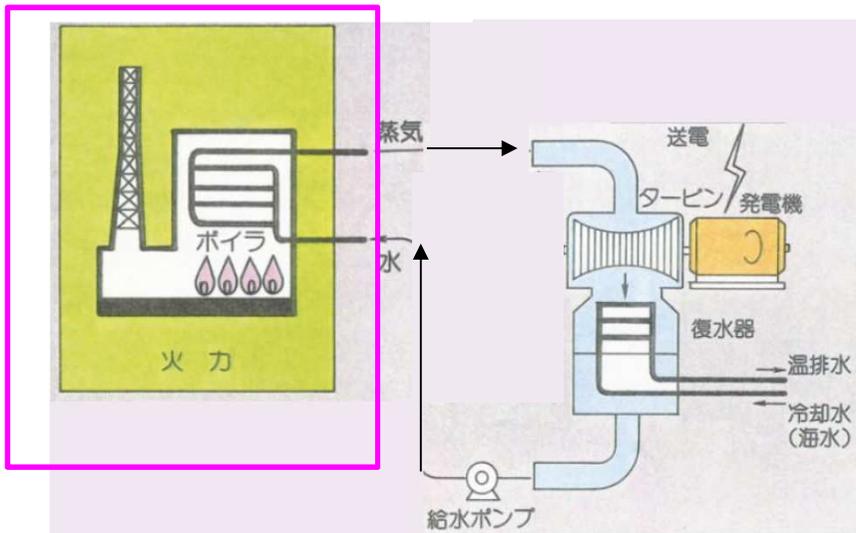
○核融合とは、燃料、安全性

○核融合炉とプラズマと磁場

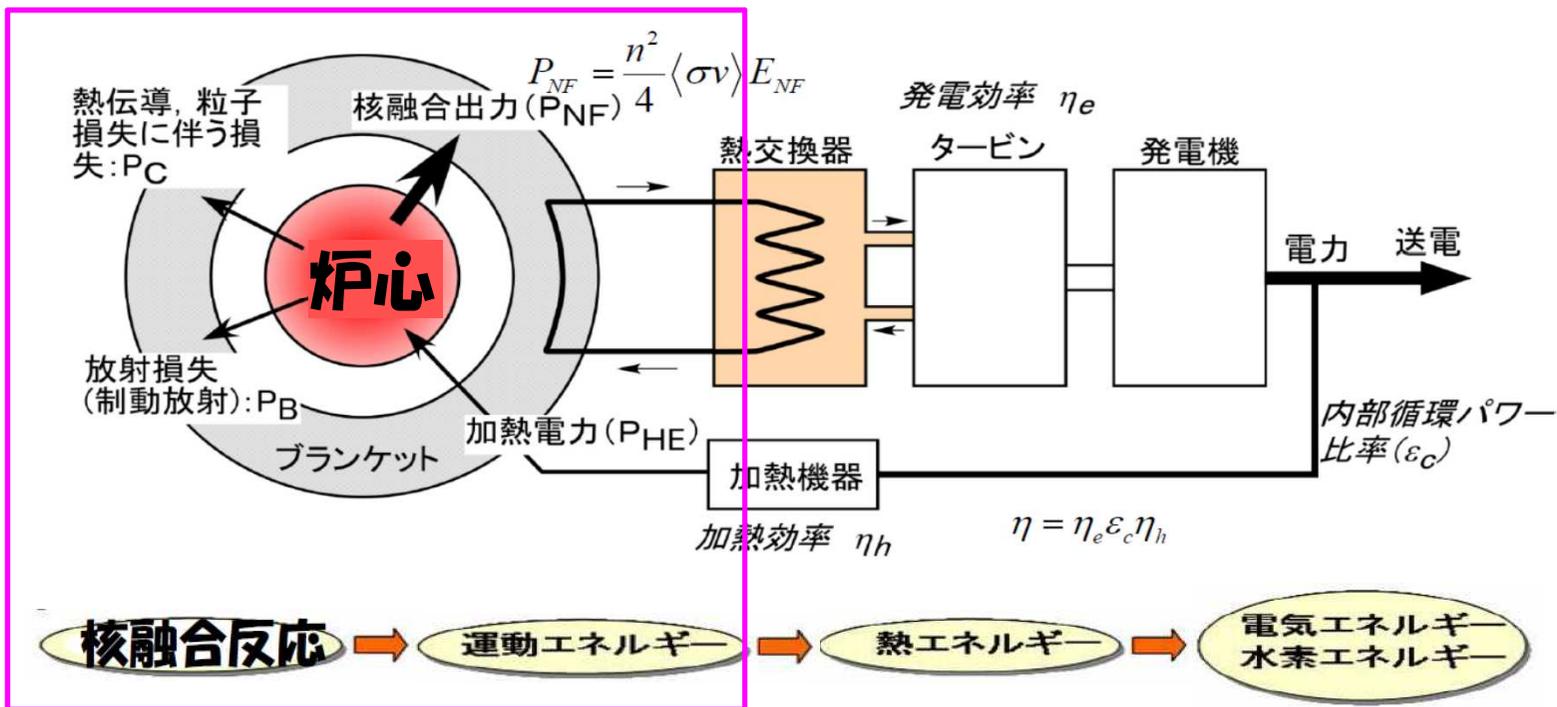
核融合炉の開発の現状と今後の展望

大学・大学院での核融合研究の勧め

核融合発電のしくみ --- 第一世代発電炉---



基本的な発電原理は、汽力型(蒸気利用)火力発電と同じ。
核融合反応で生じた熱で蒸気を作り、蒸気タービンで発電する。



核融合反応とは？！

(原子)核反応の一種

生物(細胞の集り)

↑
分子

↑
原子(原子核 & 電子)

化学反応

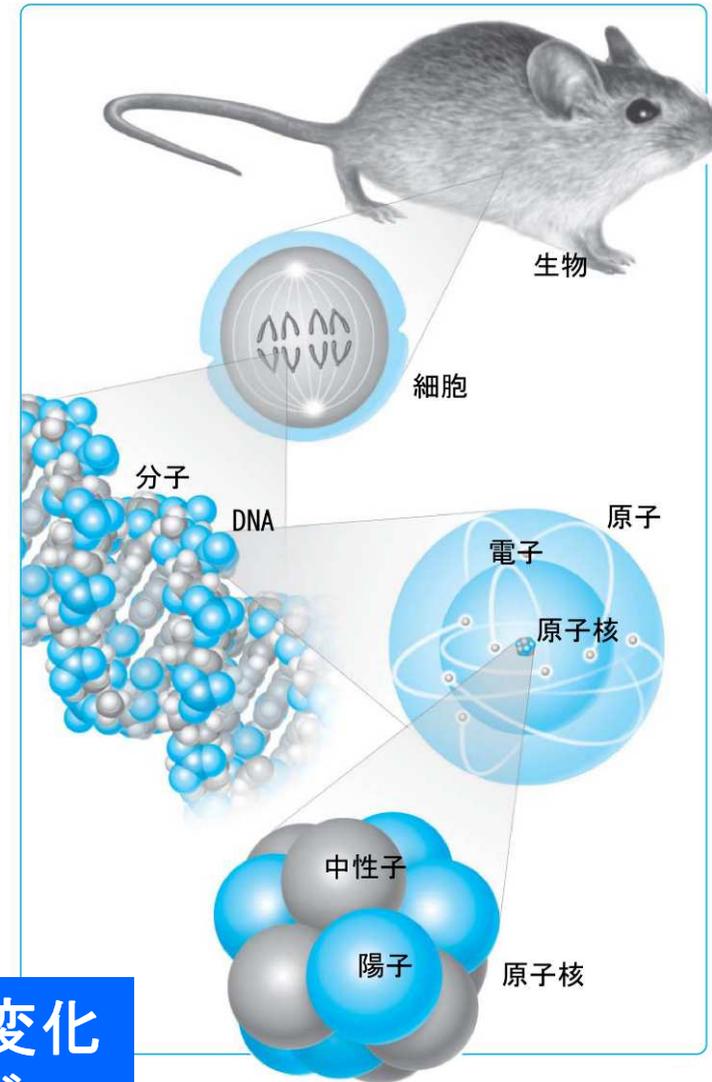
→ 分子構造(電磁力の働き)の変化
(原子の数は変化せず)

↑
原子核

↑
陽子と中性子

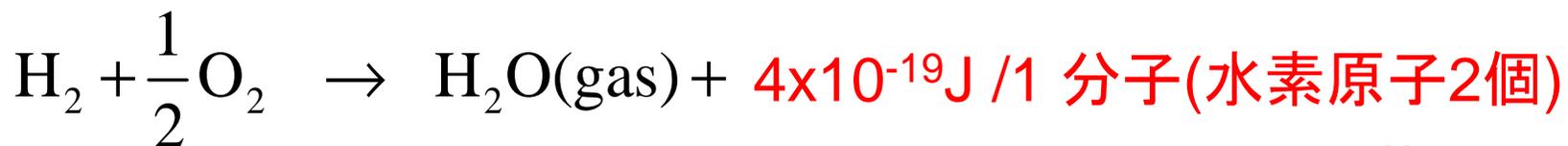
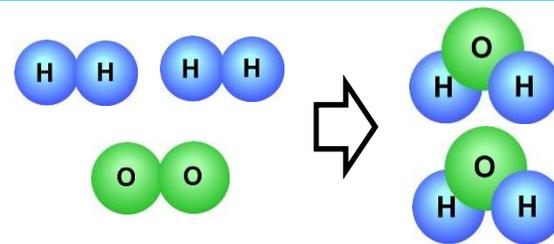
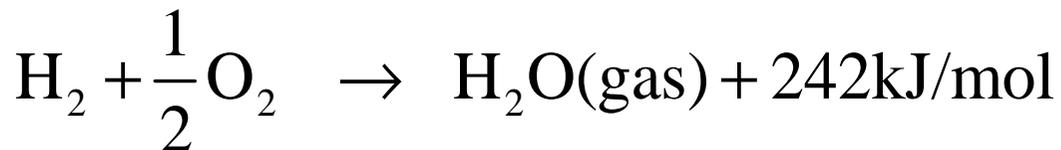
核反応 → 原子核構造(核力の働き)の変化
(核子[陽子p、中性子n]の数は変化せず)

物質の成立ち



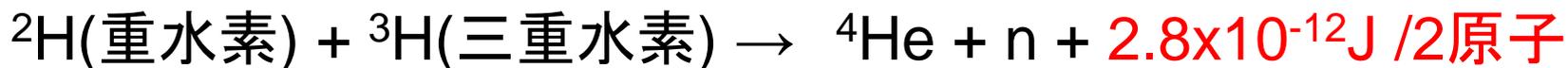
核融合反応とは？ II : 化学反応との比較

- 化学反応の場合 (水素の燃焼)

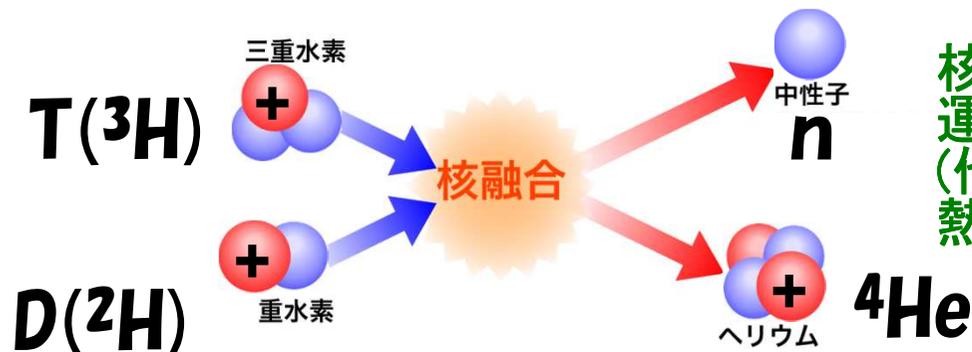


$$N_A = 6.02 \times 10^{23} \text{ (1/mol)}$$

- 核融合の場合 (D-T反応)

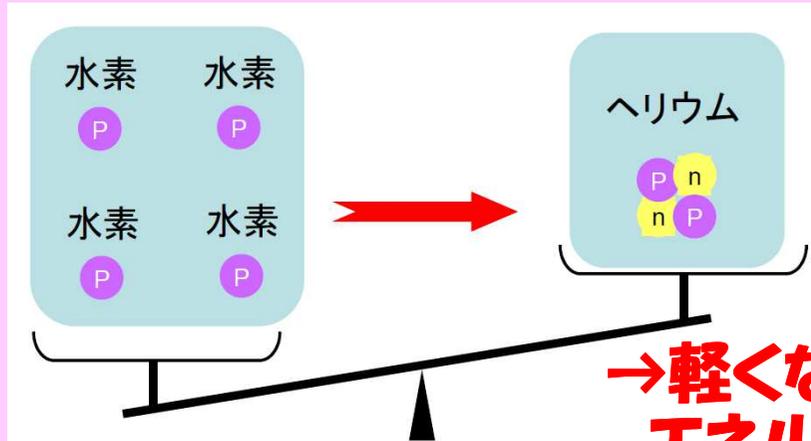


化学反応の1000万倍



核エネルギーが
運動エネルギーに変換
(他の物質との衝突で
熱エネルギーに変換)

核融合反応とは？ III



→軽くなって
エネルギーが出る

軽い原子核が衝突して合体
(融合)し、より重い原子
核になる反応。



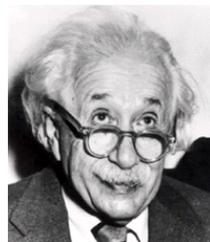
エネルギーと質量

$$\text{エネルギー} = \text{質量} \times \text{光速}^2$$
$$(E = mc^2)$$

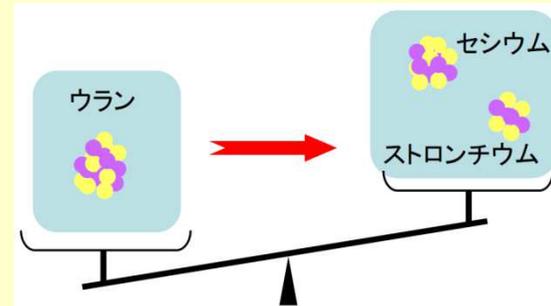
原子核反応(核融合、核分裂)

↓
質量が減少

↓
エネルギー



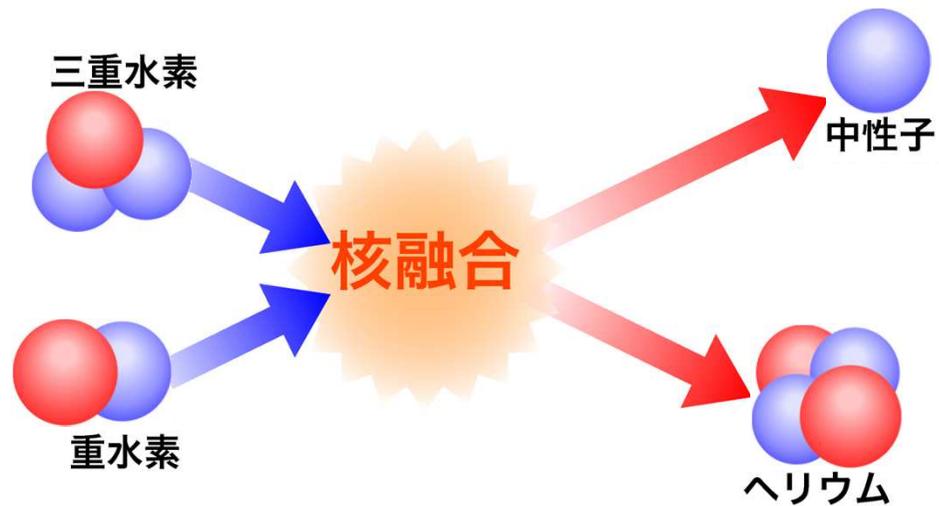
アインシュタイン



重い原子核が分裂し、より軽い
原子核になっても、
エネルギーが出る

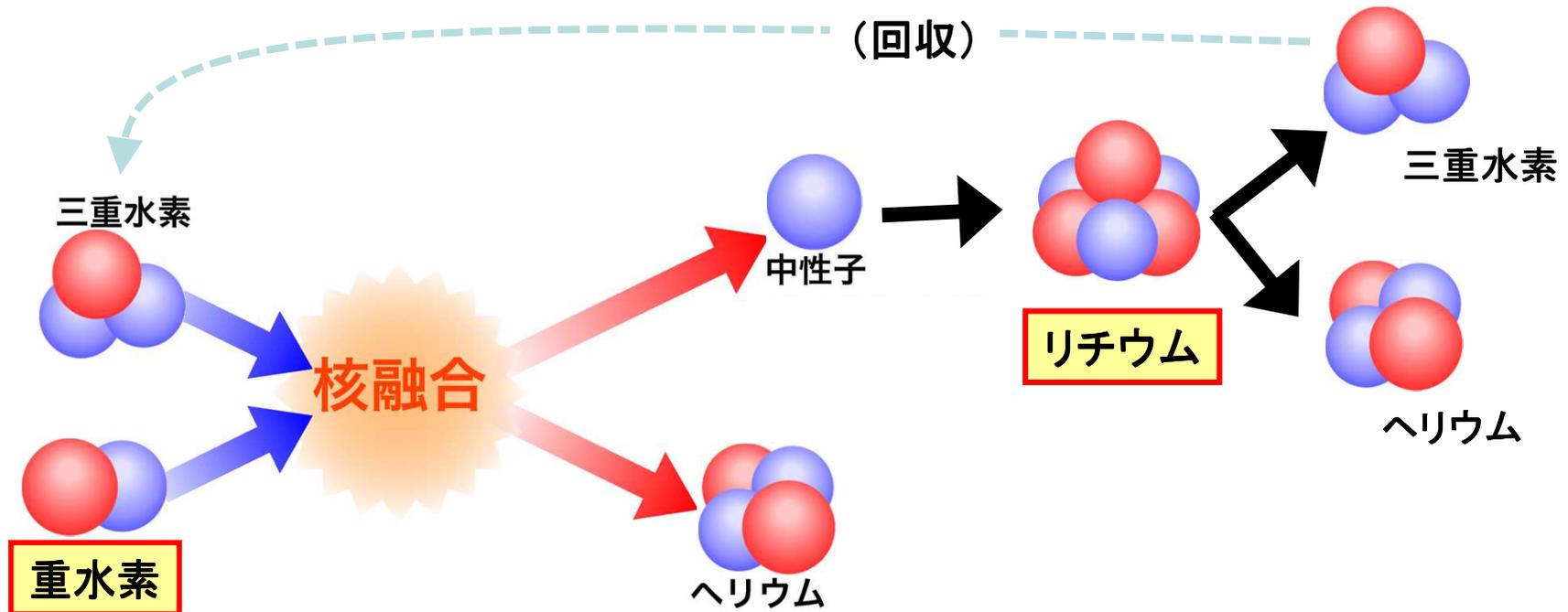
核分裂反応(原子炉で実現)

核融合発電の燃料資源！



- ・水素の仲間である重水素と三重水素が燃料。
- ・重水素は海から採れる。
- ・三重水素は、自然界にほとんどない

核融合発電の燃料資源 II



- ・水素の仲間である重水素と三重水素が燃料。
- ・重水素は海から採れる。
- ・三重水素は、自然界にほとんどない

- ・リチウムと核融合生成物の中性子を反応させ、三重水素を生成
- ・実際の燃料は重水素とリチウム、廃棄物はヘリウム

核融合の燃料は海から採れる！



携帯電話の電池
リチウム 0.3g

水 3リットル
重水素 0.1g

水に含まれている水素の
0.015%が重水素

日本の一人当たりの年間電気使用量を発電できる

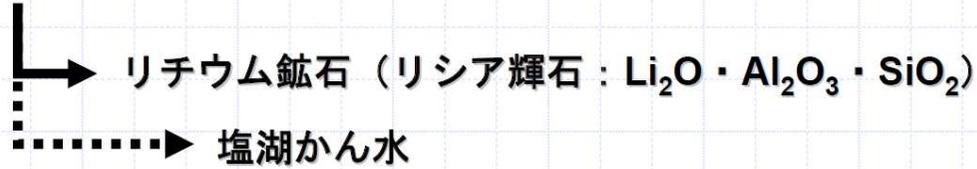
日本全体でリチウム30トン、水30万トン[50mプール約180個分]

海水中に 約46兆トンの重水素
約2300億トンのリチウム ⇒ 事実上、無尽蔵

・資源の地理的な偏在性が少ない

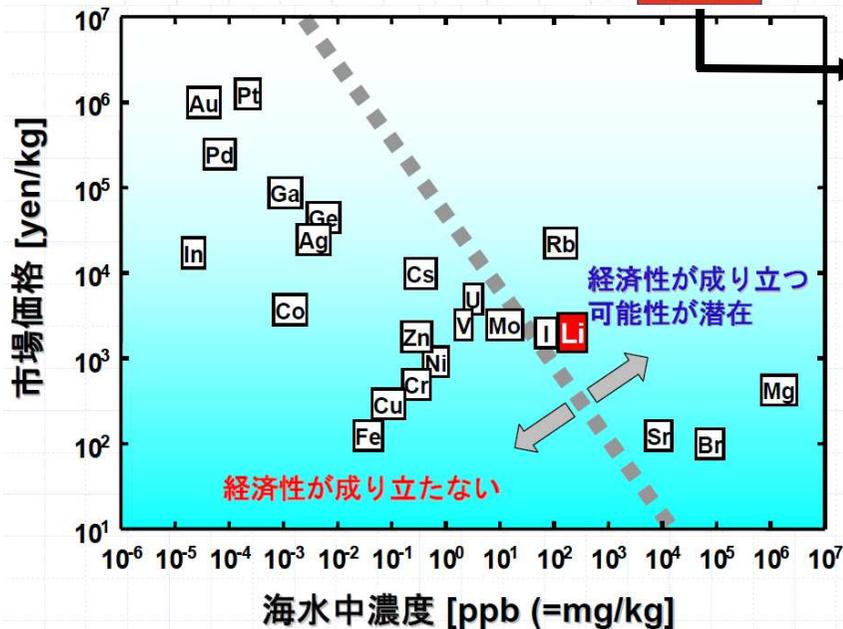
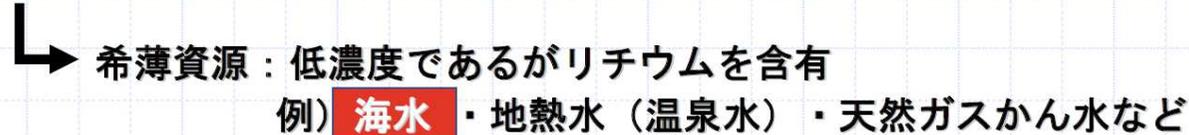
海水からのLi抽出法の開発例 (I)

リチウム資源 - 陸上埋蔵資源量：1,400万トン



日本はリチウム鉱石資源に乏しく、自国による供給が不可能

新たなるリチウム資源

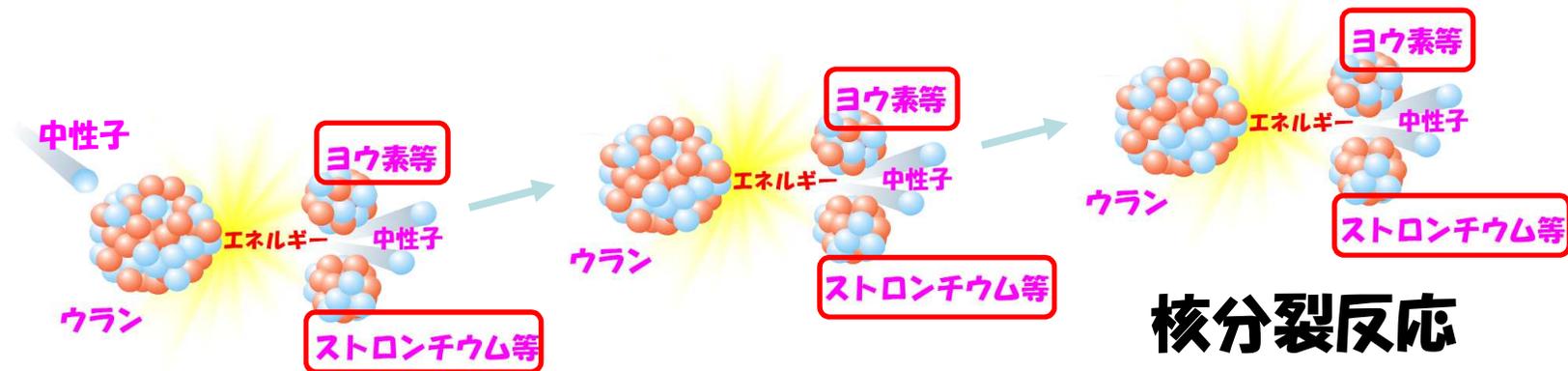


リチウム溶存総量：2,300億トン

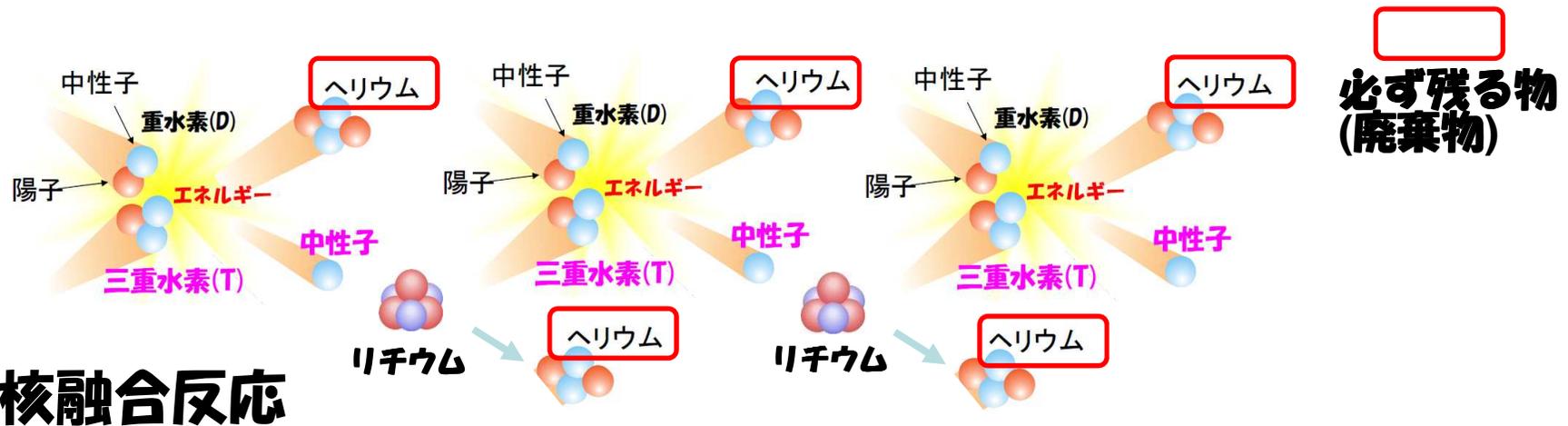
100kWeの発電所1万基[全世界の発電量相当]が34万5千年稼働(Liのみ)

吸着剤による海水からのLi抽出法の開発

核融合炉の安全性 -核分裂炉との比較- (I)



ウランなどの重い原子核が分裂し、より軽い原子核になる反応。灰の核分裂生成物が強い放射線を出す。灰の中性子が壁を放射化することがある。



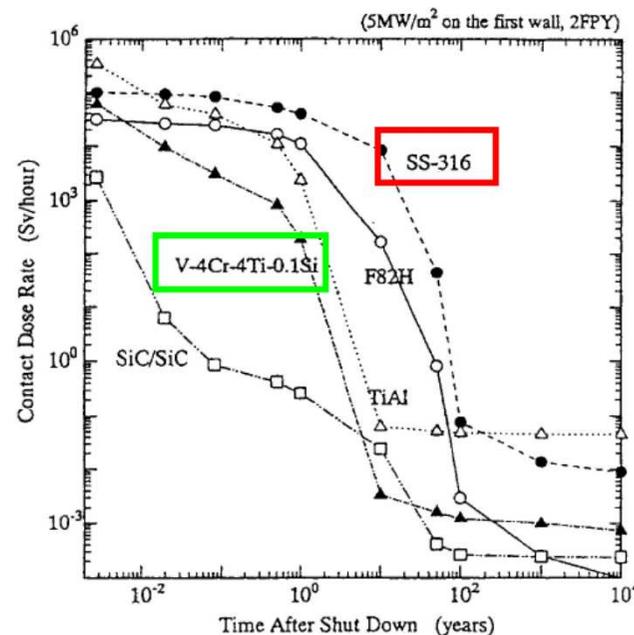
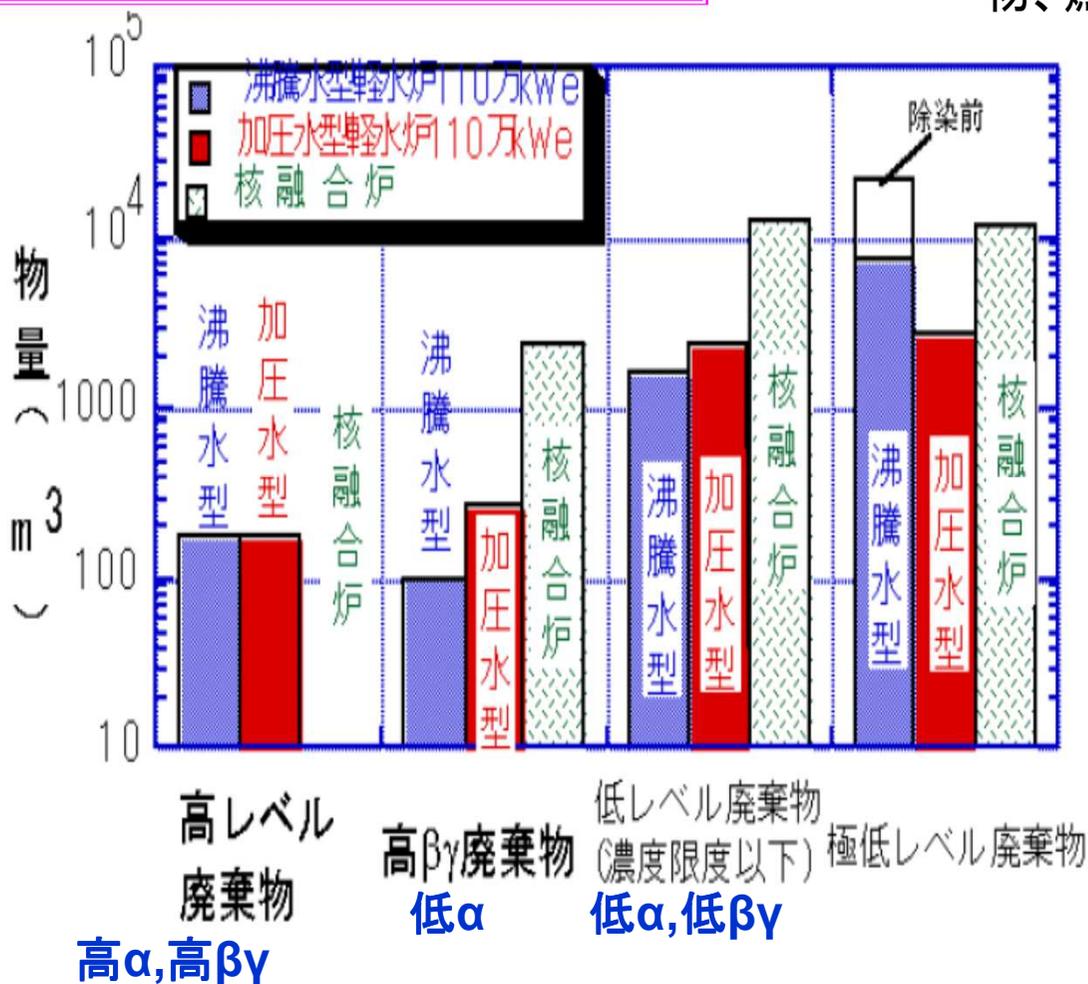
水素などの軽い原子核が衝突して合体（融合）し、より重い原子核になる反応。灰の中性子が壁を放射化することがある。燃料の三重水素は放射性部室であるが、発電所で作り、作ったものはすぐ消費する。

核融合炉の安全性 (II)

放射性廃棄物の比較

高レベル廃棄物; 核分裂生成物; 強い放射線
超ウラン核種; 長期間の放射線

高 β γ 廃棄物; 運転中に放射化された炉心構造物、燃料構造体



材料の開発により、放射化を低減

核融合発電炉の特徴(まとめ)

燃料資源が豊富で偏りが少ない

海水から燃料(重水素、リチウム)が抽出可能。

(ウラン約100年分、石油約50年分、天然ガス約60年分、石炭約120年分)

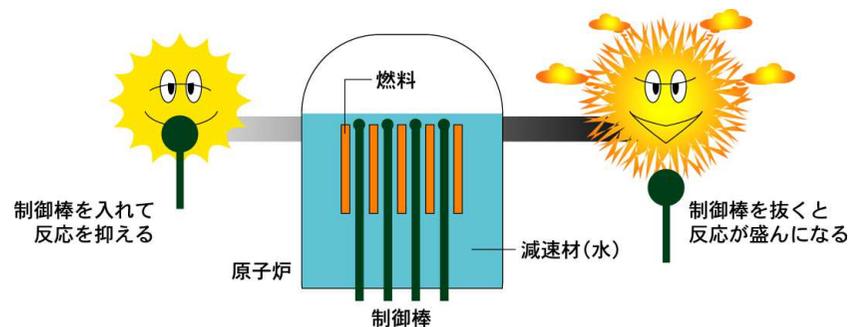
二酸化炭素、窒素酸化物、硫化酸化物等を排出しない

放射線は出るが、核分裂と比較して圧倒的に少ない。

核融合炉は暴走しない。

燃料が気体で燃料の供給が止まると反応も停止。反応維持に高温・高密度状態の維持が必要。=> **核融合炉の実現が難しい**

核分裂炉



練炭(炭)と似ている。

制御棒を挿入しても余熱が大きい。

核融合炉

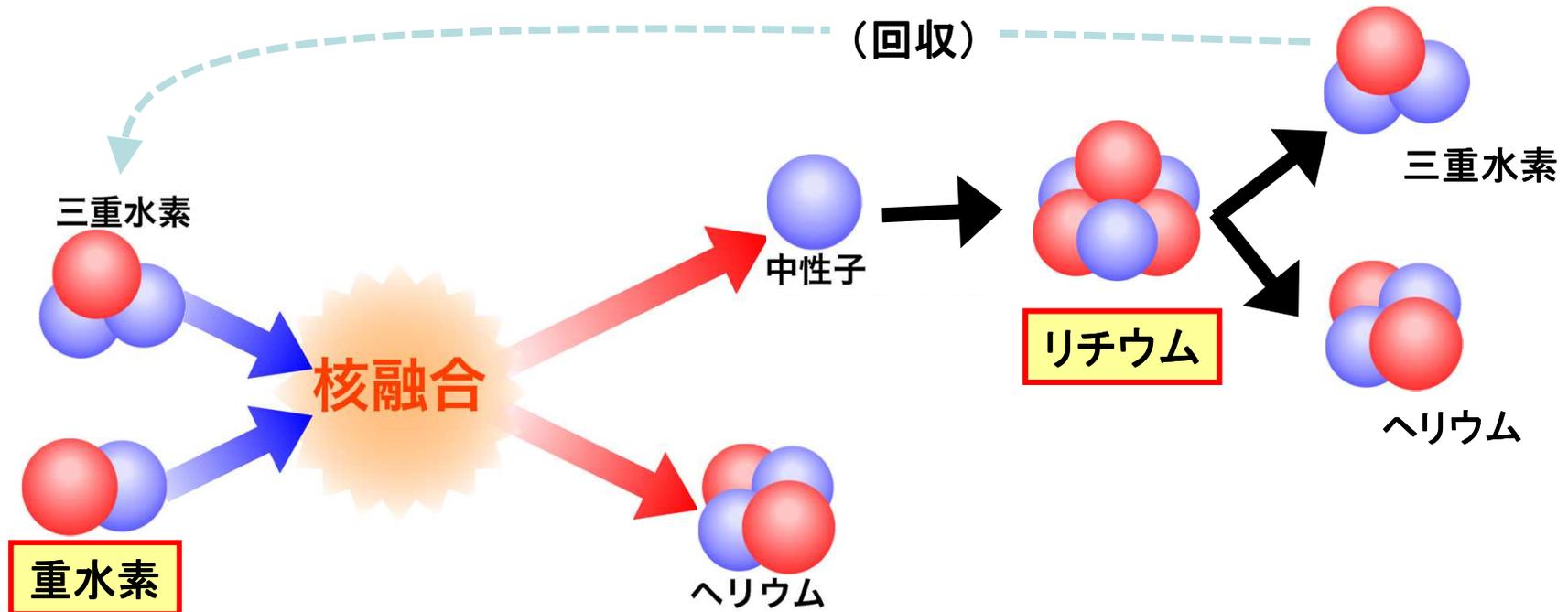


ヘリウム灰
(非放射性物質)

ガスコンロと似ている。

気密が破れると反応が自動停止

核融合発電の燃料と安全性のおさらい II



- ・ リチウムと核融合生成物の中性子を反応させ、三重水素を生成
- ・ 実際の燃料は重水素とリチウム、廃棄物はヘリウム

- ・ **リチウムと中性子の反応を効率的に核融合炉の中で行えば、廃棄物は無害のヘリウムのみ。**
- ・ **燃料も無害な重水素とリチウムで、両方とも海水に多く含まれる。**

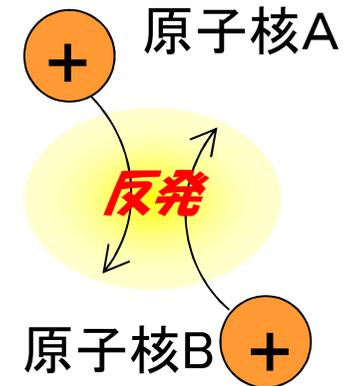
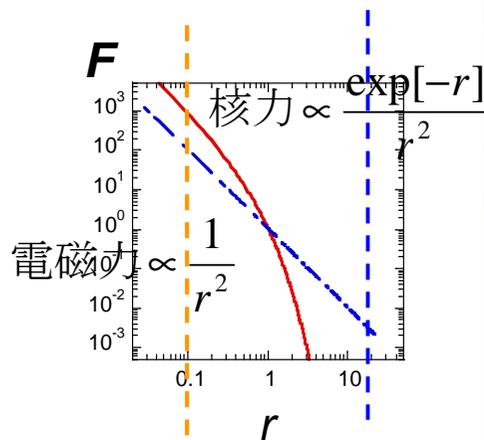
核融合を起こすには？

核力(近接力)が働くには、原子核を接近させる必要あり



原子核は+の電気を持つので、**電気的反発力**で反発！

反発力に打ち勝つには、**高速**でぶつけてやればよい。つまり、**高温**にしてやる。



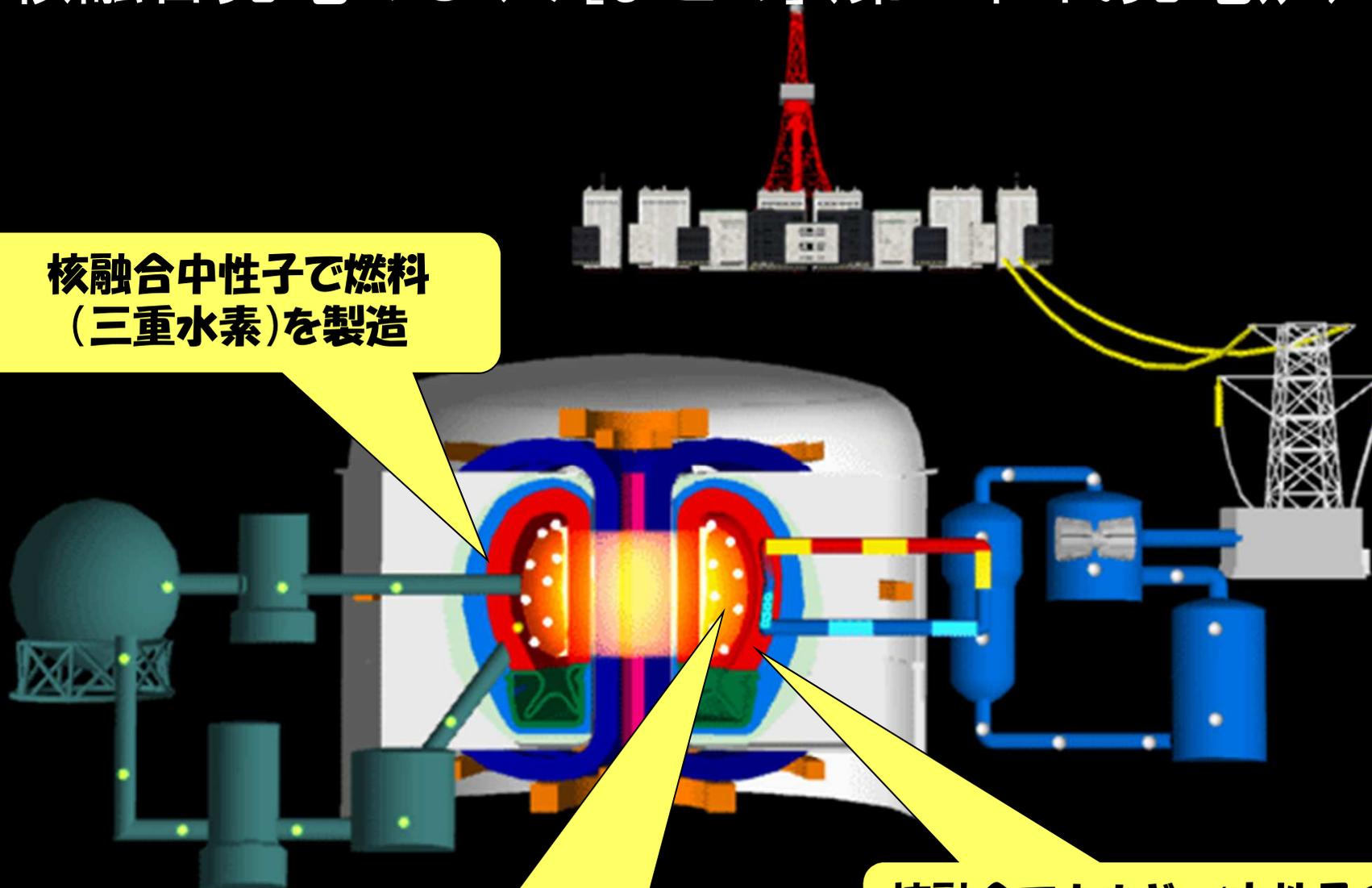
反応数を増やすため**多数の原子核を狭い領域に閉じ込める(高密度)**
(最低**1億度**、**100兆個/cc**)

核融合発電のしくみ[まとめ](第一世代発電炉)

核融合中性子で燃料
(三重水素)を製造

数億度のプラズマ中で
核融合エネルギーが発生

核融合エネルギー(中性子の
運動エネルギー)を熱に変換。



講義内容一覧

エネルギー問題と核融合炉発電

核融合発電炉の仕組みと安全性

○核融合とは、燃料、安全性

○核融合炉とプラズマと磁場

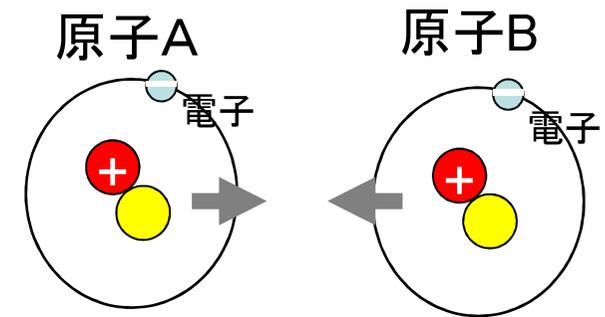
核融合炉の開発の現状と今後の展望

大学・大学院での核融合研究の勧め

核融合炉には高温プラズマの利用がベスト

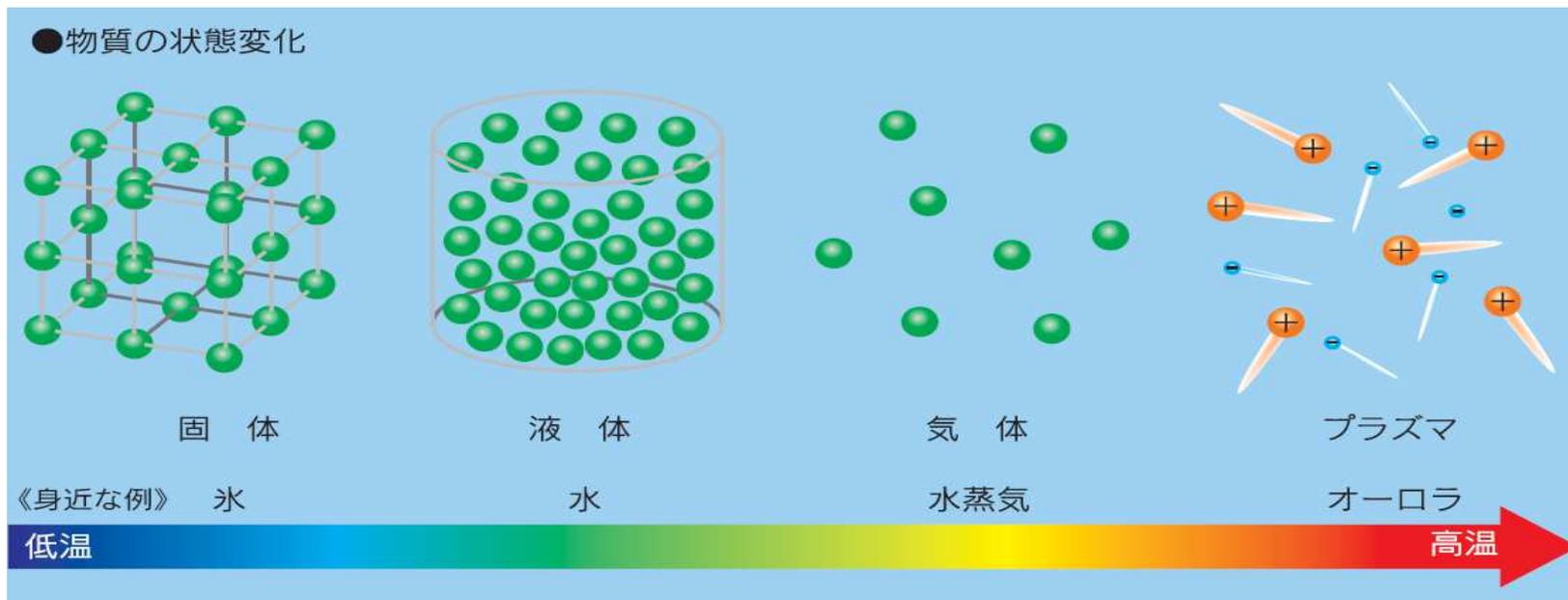
核融合には原子核同士の衝突が必要

常温の水素は、気体 =>
原子(原子核の周りを電子が回っている)
(原子の大きさは原子核の10万分倍)

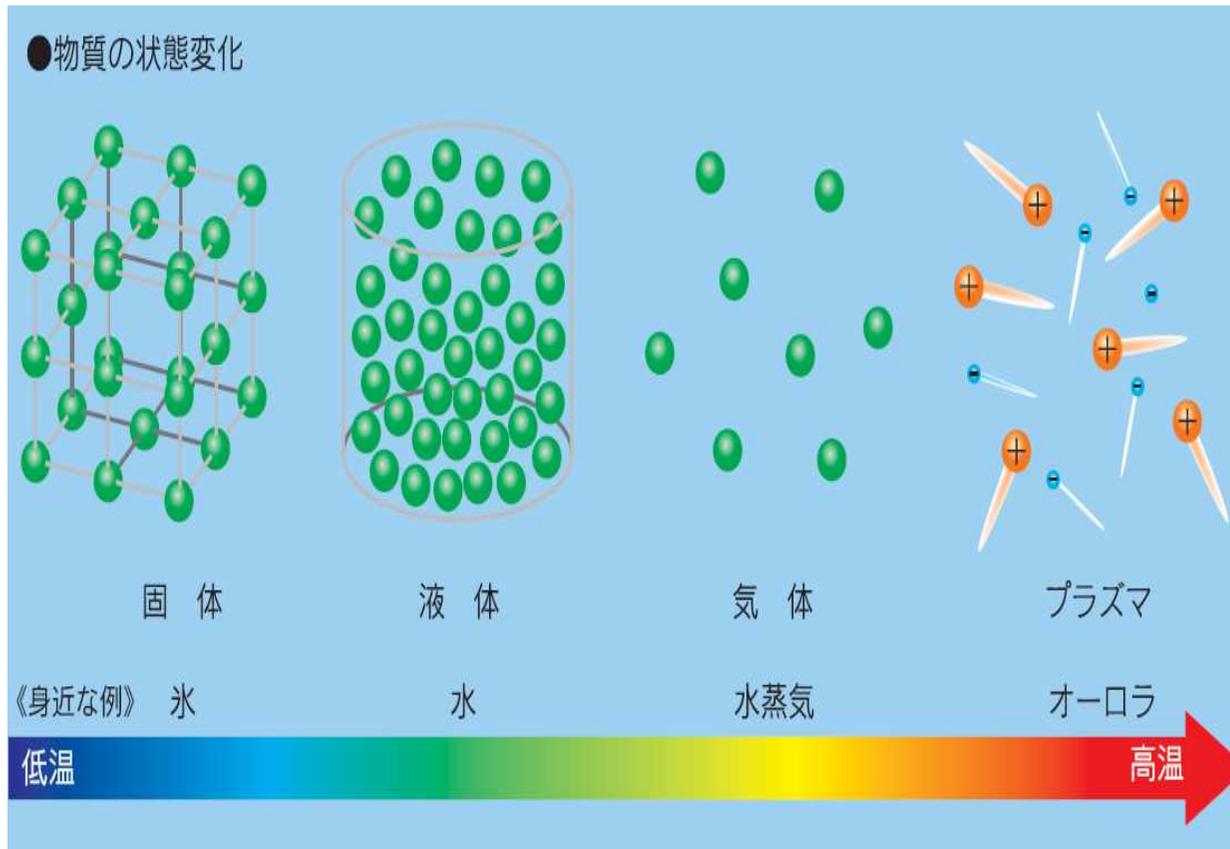


原子のままでは、電子(電子の雲)が邪魔で、原子核は衝突できず

電子を原子核から剥ぎ取る =>
温度を上げて、"プラズマ"状態にする



どのように高温高密度のプラズマを閉じ込めるか？！



重力による閉じ込め

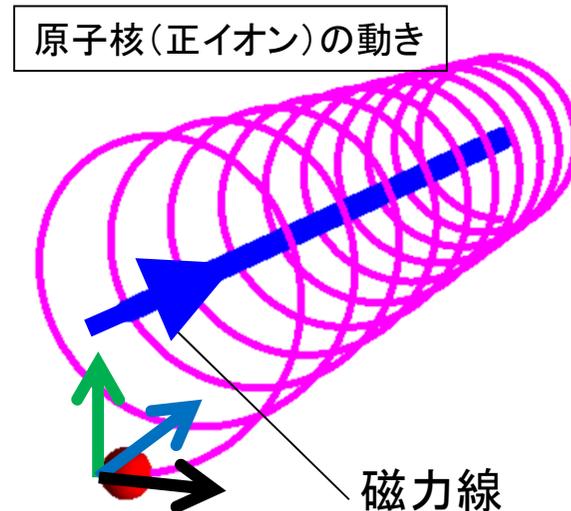
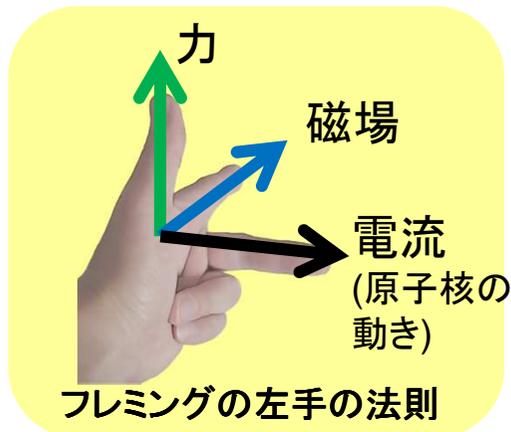
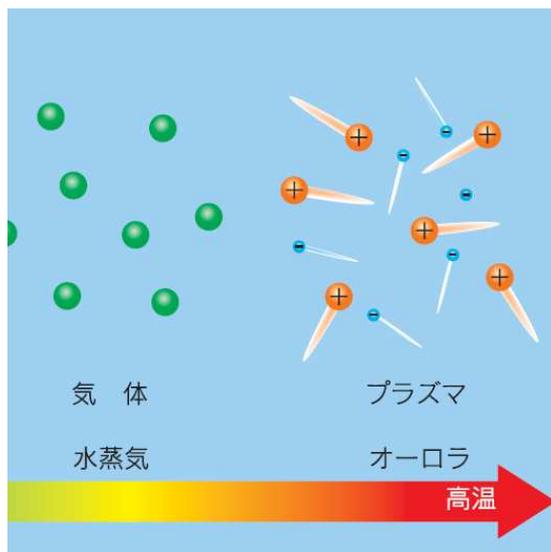
核融合炉に
最低必要なプラズマ条件
高温: 1億度 (10keV) 以上
高密度: 10^{14} cm^{-3} 以上
長い閉込め時間: 1秒以上

そのままでは飛散する。

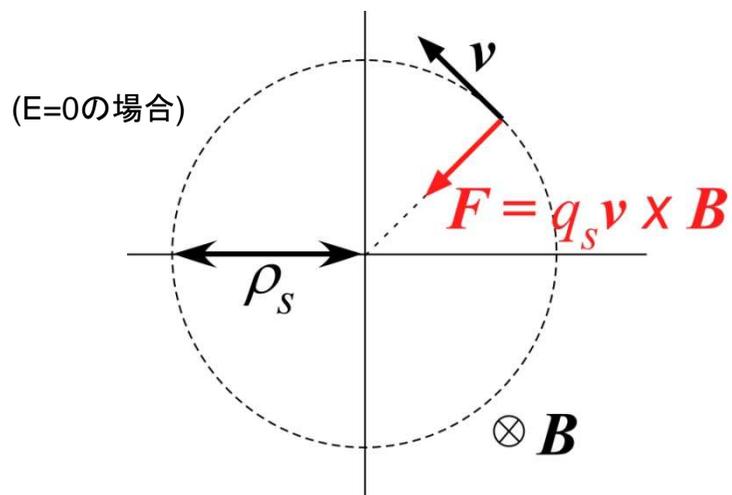
普通の方法で作った容器では容器が溶ける。

地上では??

どのように高温高密度のプラズマを閉じ込めるか？ II



$$m \frac{d\mathbf{v}}{dt} = q(\mathbf{E} + \mathbf{v} \times \mathbf{B})$$



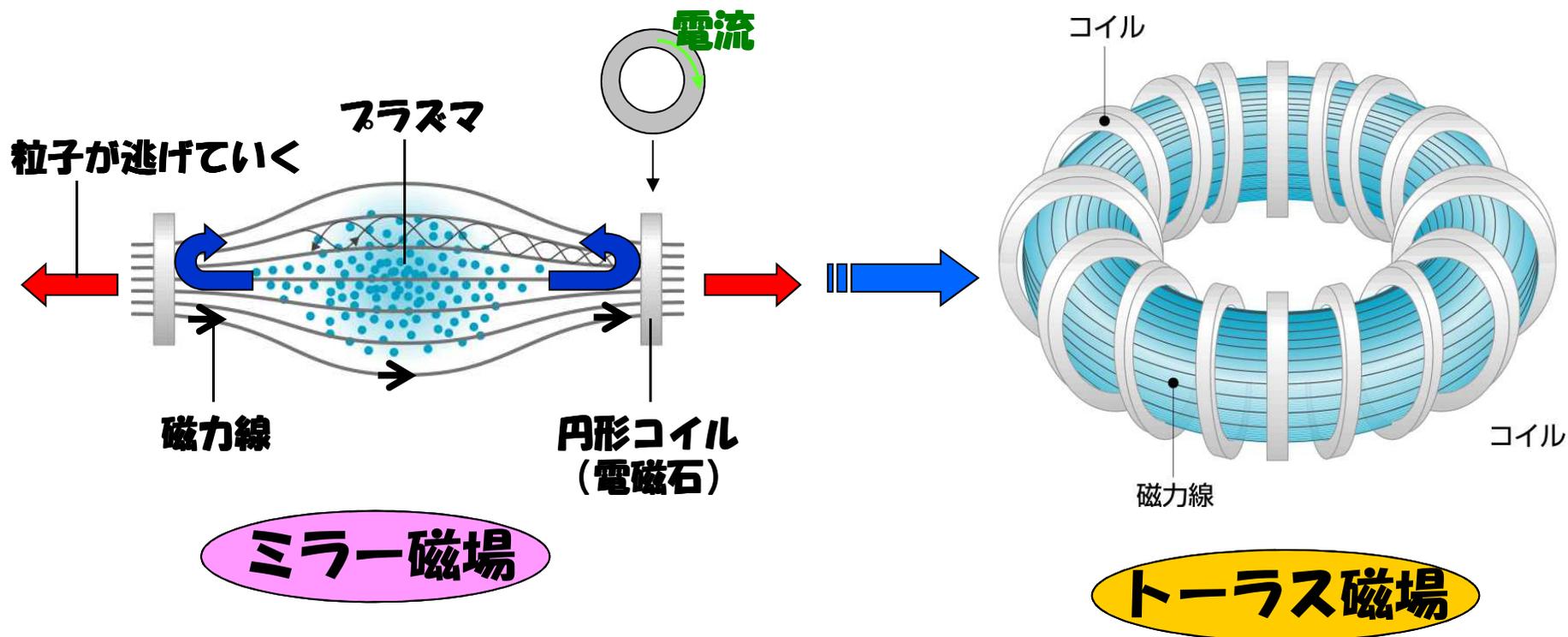
サイクロトロン周波数

$$f_{c,s} = \frac{\omega_{c,s}}{2\pi} = \frac{1}{2\pi} \frac{q_s B}{m_s} = \begin{cases} \text{electron: } 28.0 B \text{ (GHz)} \\ \text{ion: } 15.2 \frac{Z}{A} B \text{ (MHz)} \end{cases}$$

Larmor半径

$$\rho_s = \frac{v}{\omega_{c,s}} = \frac{m_s v}{q_s B}$$

磁場によるプラズマの閉じ込め



荷電粒子は、両端の円形コイル付近で鏡(ミラー)のように反射されて閉じ込められるが、一部の粒子は逃げてしまう

端が無いように、繋げて環状(トーラス)にしてやればよい!

講義内容一覧

エネルギー問題と核融合炉発電

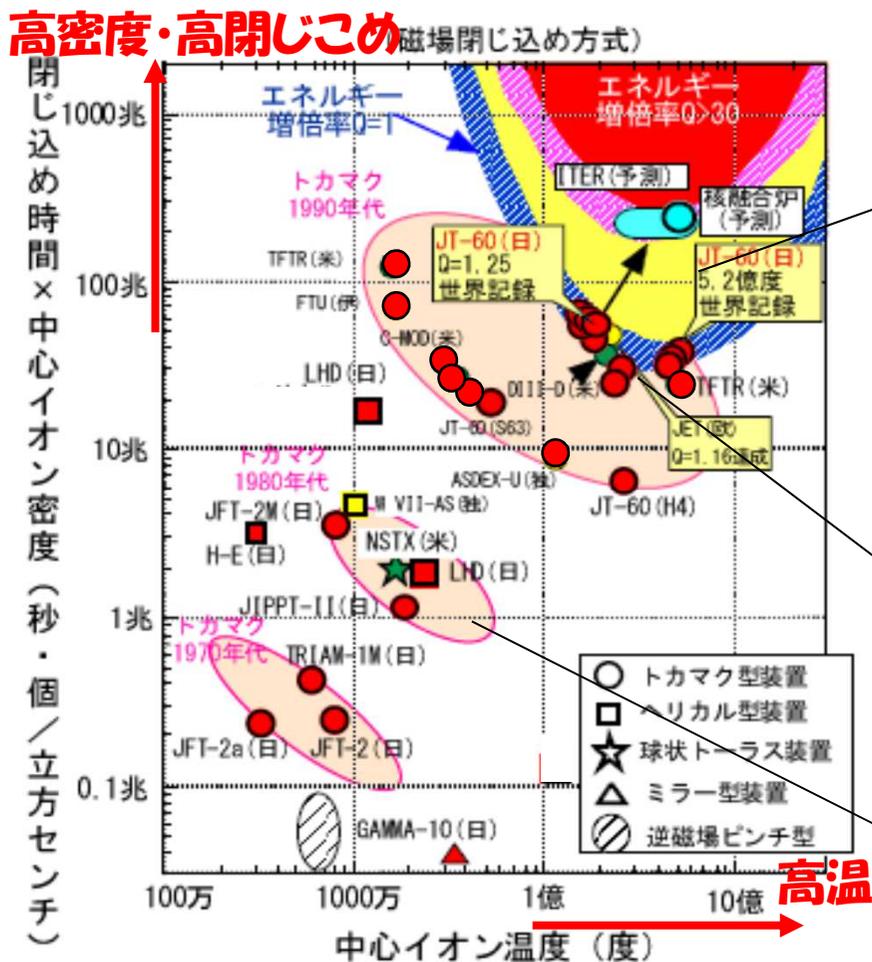
核融合発電炉の仕組みと安全性

核融合炉の開発の現状と今後の展望

○国際熱核融合実験炉(ITER)計画

○LHD(核融合研の実験装置)

炉心性能向上の課題(II)



ITER(国際協力/2020~)
 大直径12.5m/小直径4m
 磁場5.3テスラ(5300ガウス)
 建設・運転費 ~100億ユーロ

炉心プラズマ開発の先頭を走るトカマク型では、臨界条件をクリア。経済的な核融合炉条件を満たす実験炉(ITER/後述)を建設中。

JT-60(日本/茨城)
 6.2m/2.2m, 4テスラ
 建設費 >2千億円

PLT(米)等
 2.6m/0.8m, 3.5テスラ



実験装置の建設と運転に、巨額の予算が必要。
 開発計画の規模の最適化の長期化
 開発計画の実行の決定期間の長期化

+ 技術的困難さ

開発の長期化

建設が進むトカマク型核融合実験炉



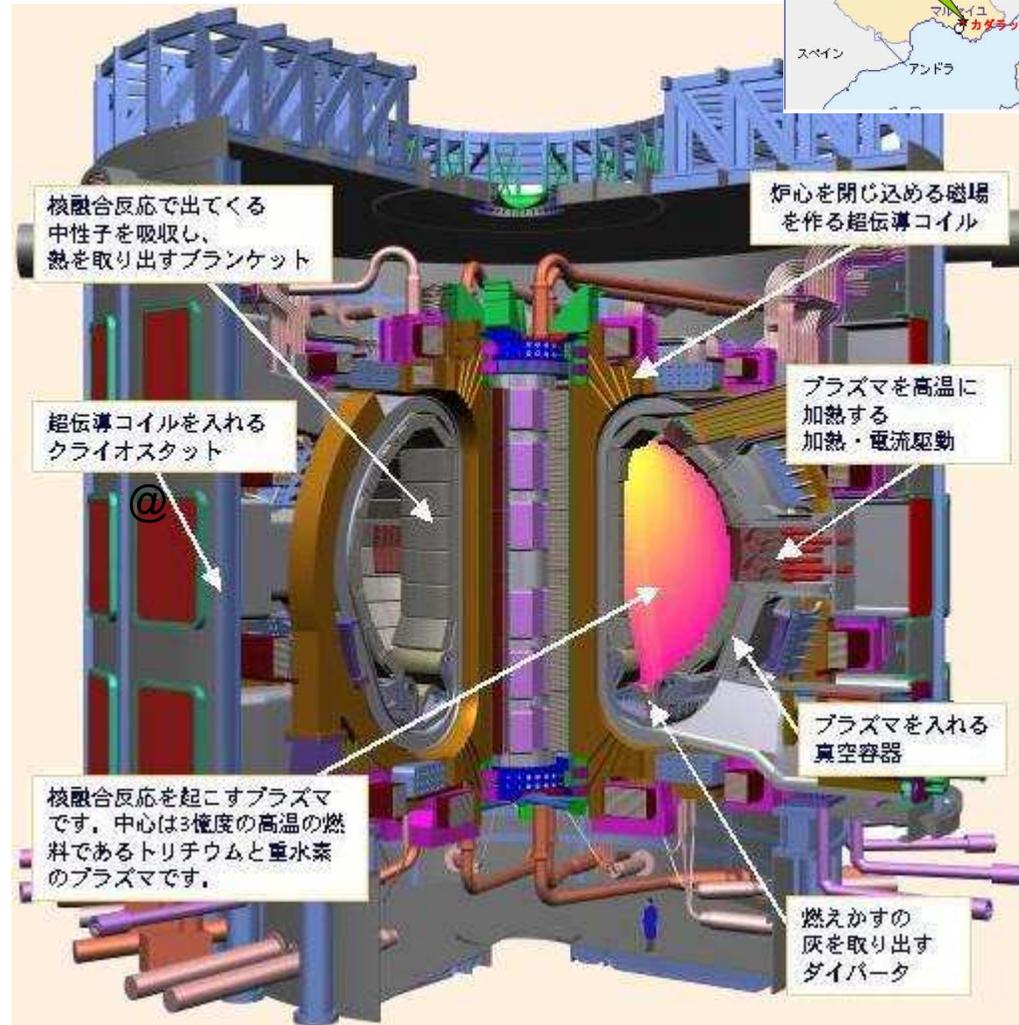
国際熱核融合実験炉 (ITER/フランス)

日本、EU(欧州連合)、ロシア、
アメリカ、中国、韓国、インド

目標

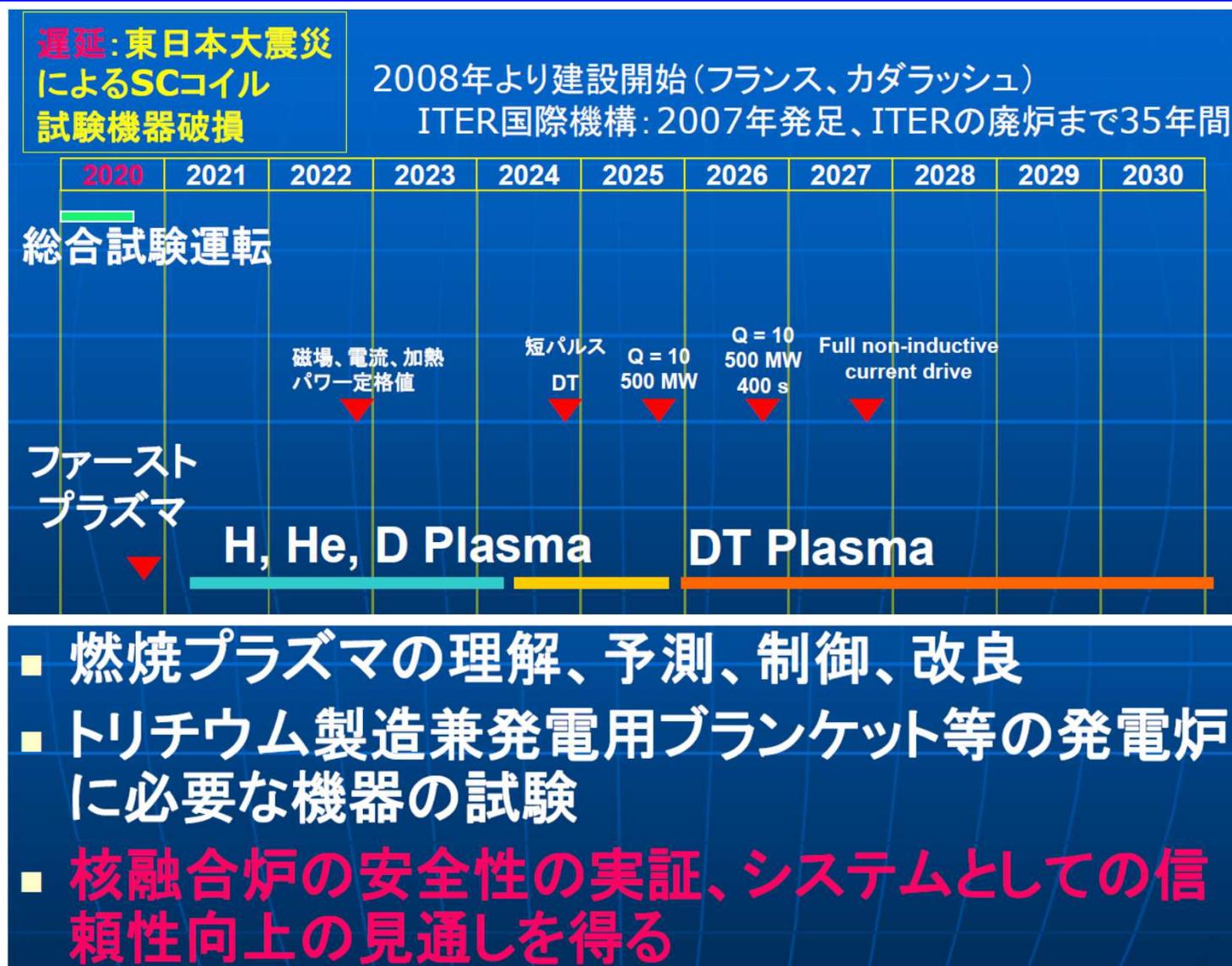
- 核融合反応のみによる核融合反応の維持の実証 (5億度、200兆個/cc)
- 1000s以上の継続運転

核融合熱出力: 50万kW
プラズマ大半径: 6.2m
プラズマ小半径: 2m
プラズマ体積: 837m³



2020年運転開始を目標に国際協力で建設が進んでいる
(2年程度、運転開始が遅れる可能性あり)

ITER運転計画と目標



講義内容一覧

エネルギー問題と核融合炉発電

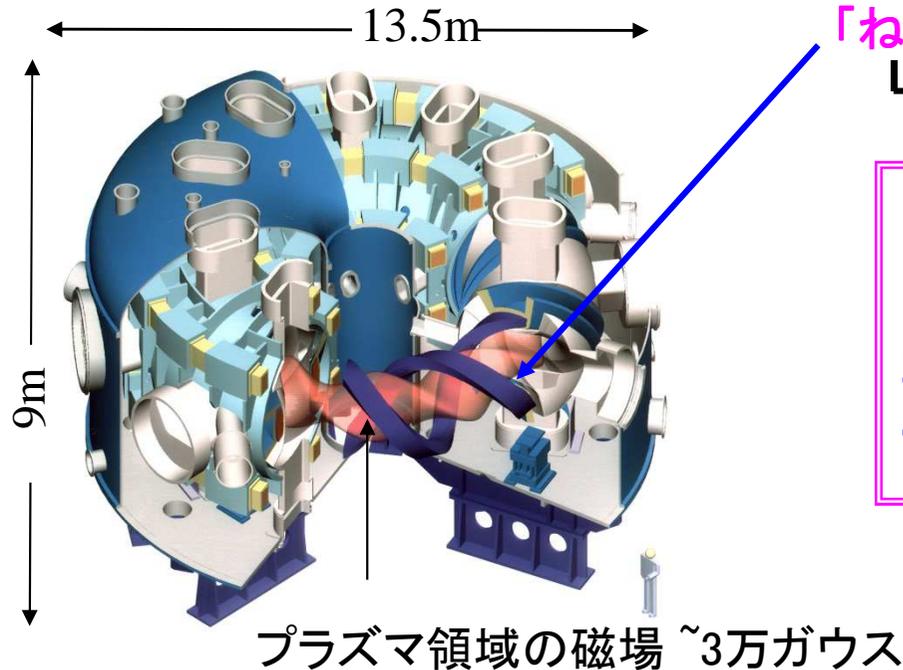
核融合発電炉の仕組みと安全性

核融合炉の開発の現状と今後の展望

○国際熱核融合実験炉(ITER)計画

○LHD(核融合研の実験装置)

核融合科学研究所 大型ヘリカル装置(LHD)



「ねじれた」超伝導コイル
↳ ヘリカル(装置名称の由来)

目標

1億2千万度、20兆個/cc
3000kW, 3600sの継続運転
プラズマ体積; 30m³

ITER(目標)

5億度、200兆個/cc
1000s以上の継続運転
核融合出力: 50万kW
プラズマ体積: 837m³

世界最大の超伝導核融合実験装置で、
世界最大のヘリカル型核融合実験装置
1998年実験開始

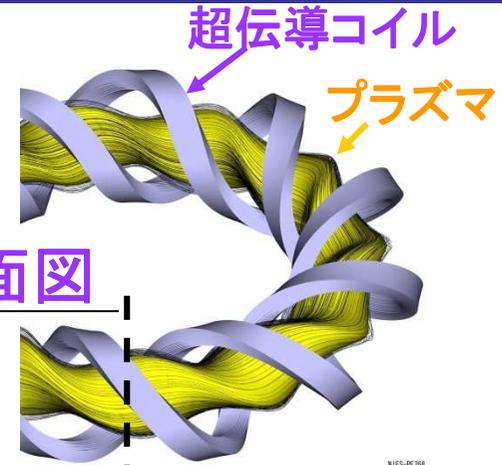
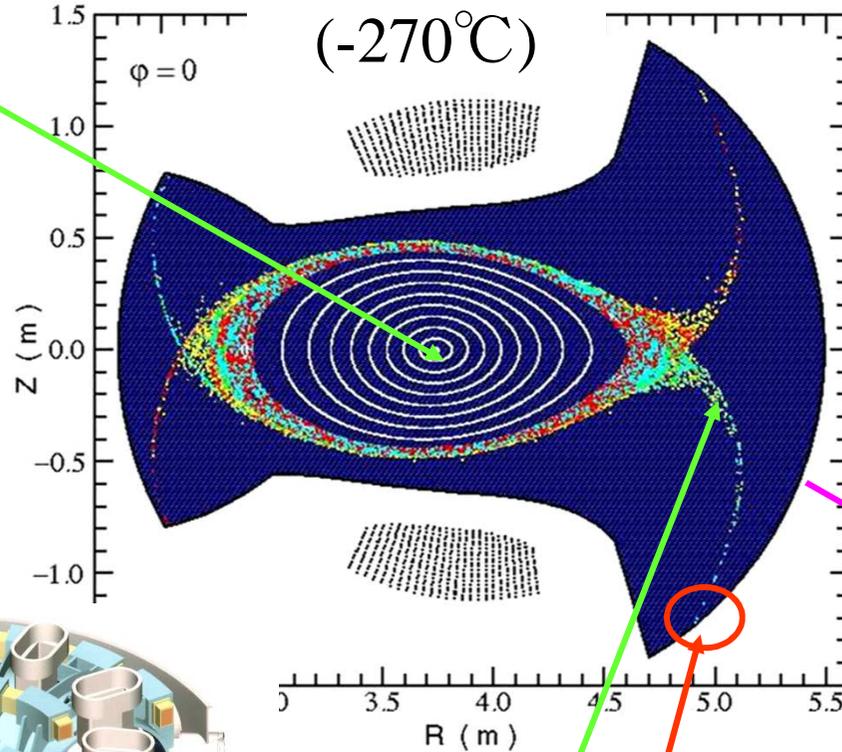
目的

- 核融合反応は起こさず、できるだけ核融合炉に近いプラズマを生成し、核融合炉設計用にプラズマ閉じ込め性能のデータを取得する実験(実際の核融合炉よりは小さい装置;「風洞実験」)を行う。
- 高温高密度プラズマの定常保持の実証

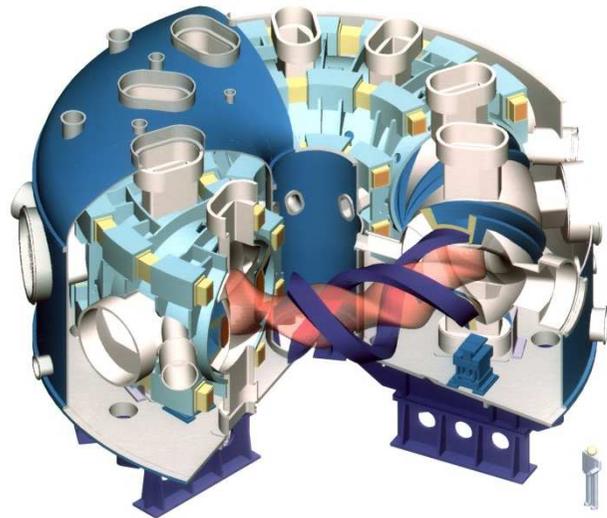
大型ヘリカル装置(LHD)

プラズマ
(1億 $^{\circ}\text{C}$)

超伝導コイル
(-270 $^{\circ}\text{C}$)



プラズマは
磁場で「浮いている」



プラズマ(数万 $^{\circ}\text{C}$)

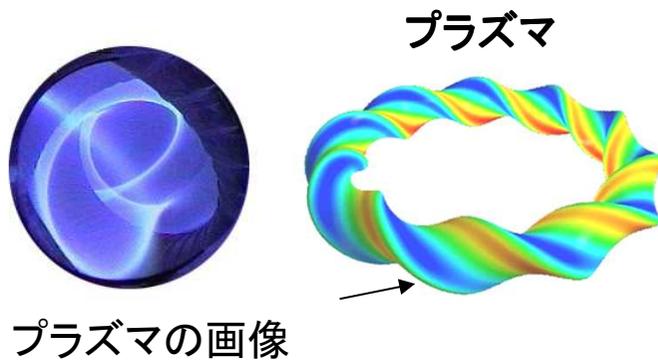
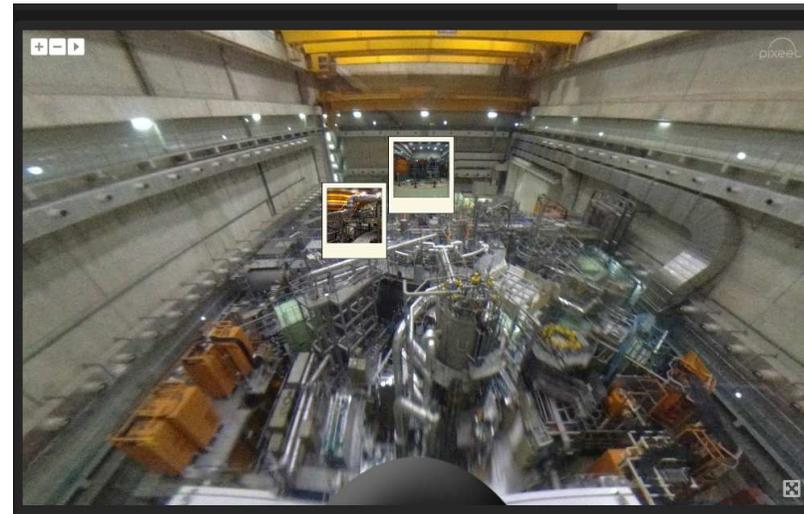
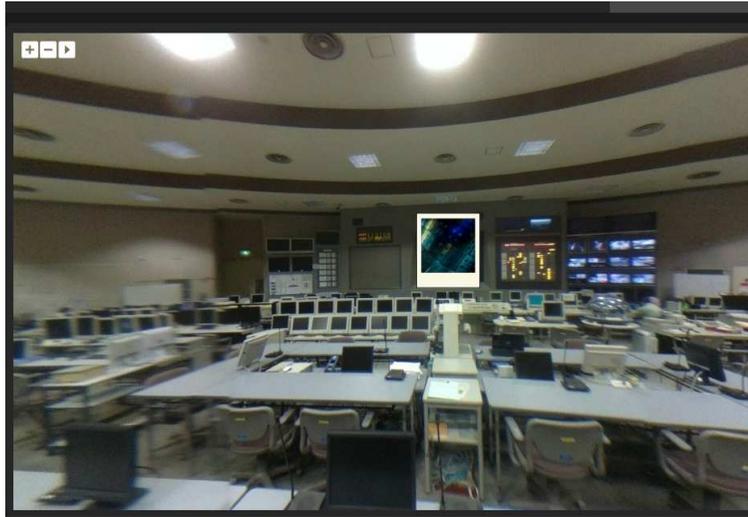
対熱壁(>千 $^{\circ}\text{C}$)
炭素タイル



真空容器(1/5)

大型ヘリカル装置; 制御室、実験室、装置内部

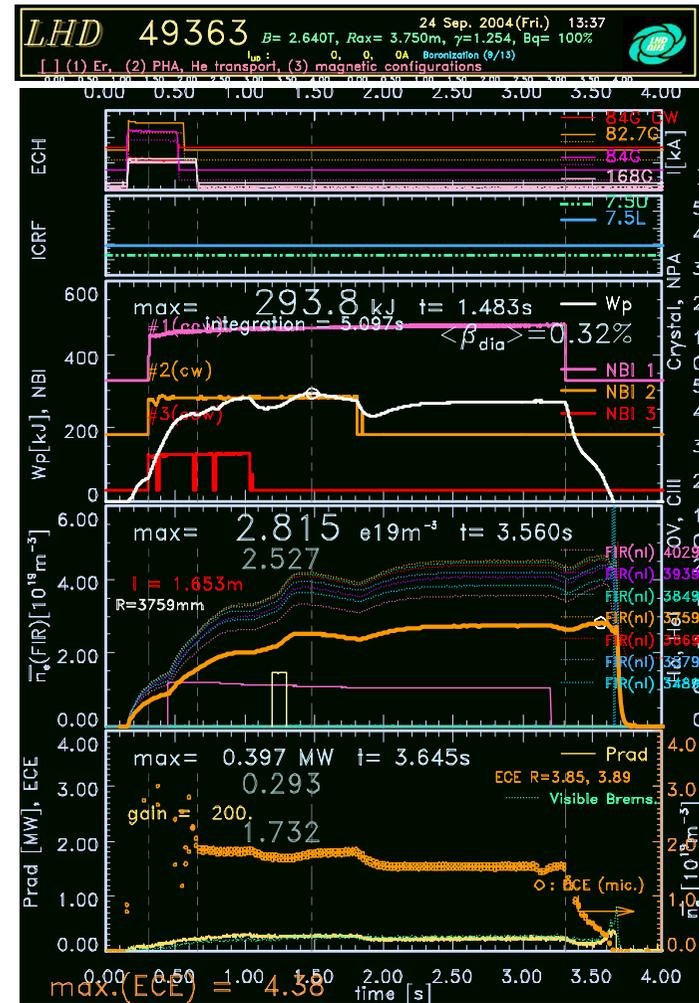
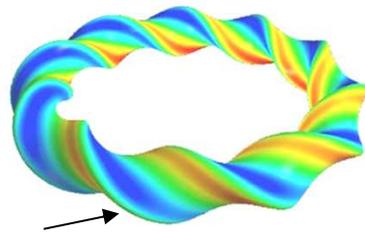
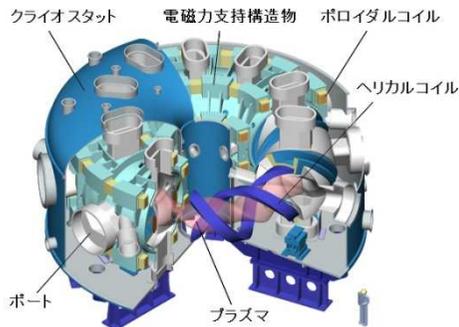
<http://www.pixeet.com/pano/OTX38RJV>



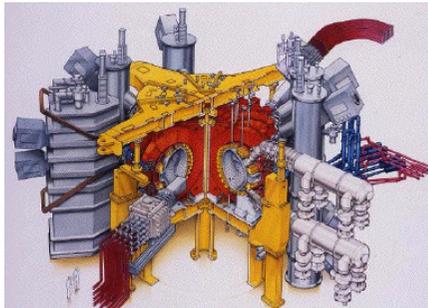
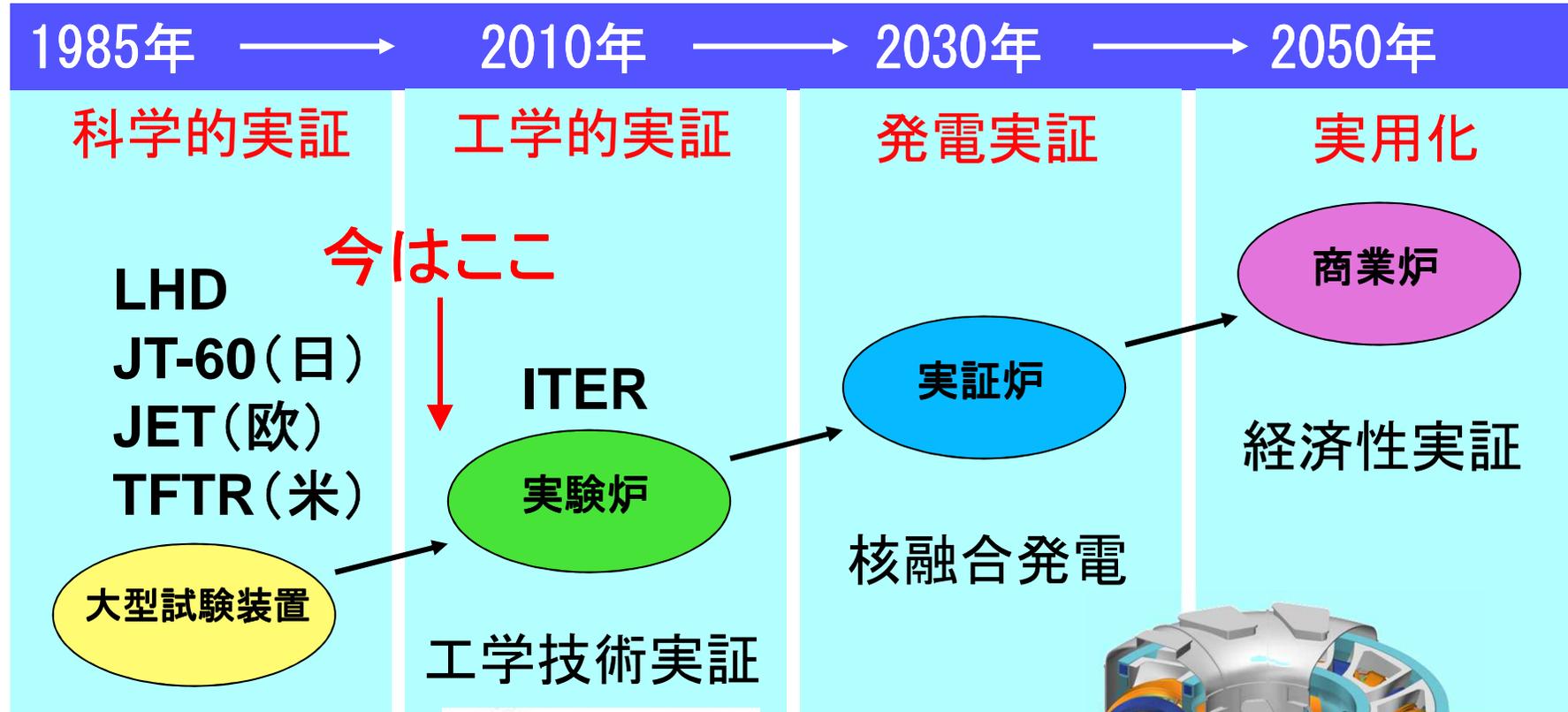
実際のLHDのプラズマ



通常、3分に3~5秒点灯、
1日では150回ほど放電



核融合発電炉実現への道



核融合発電の完成には、
皆さんの力が必要です！

講義内容一覧

エネルギー問題と核融合炉発電

核融合発電炉の仕組みと安全性

○核融合とは、燃料、安全性

○核融合炉とプラズマと磁場

核融合炉の開発の現状と今後の展望

大学・大学院での核融合研究の勧め

核融合をもう少し詳しく知るには？

1. ホームページで調べる。

「核融合科学研究所>>核融合ってなに？」

<http://www.nifs.ac.jp/study/index.html>

総研大、核融合専攻案内

2. 核融合研を見学する。

(1) 随時、人数によらず申し込みを受け付けています。

<http://www.nifs.ac.jp/kengaku/index.html>

(2) オープンキャンパス

毎年、10-11月に1日間核融合研を一般公開

3. 核融合研のイベントに参加する。

(1) 夏の体験入学(夏季実習)

夏休みに4泊5日で核融合関連研究体験

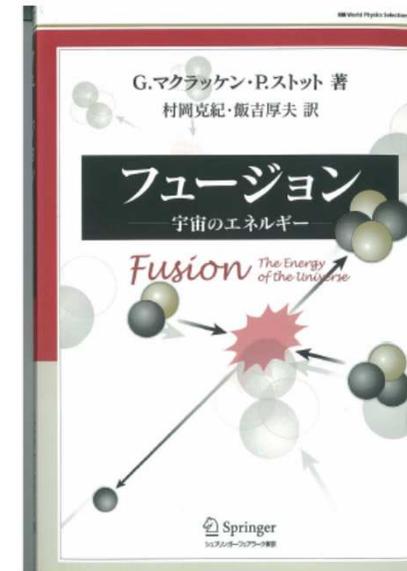
(2) インターンシップ(随時受入実習、期間応相談)

<http://www.nifs.ac.jp/edu/intern/index.html>

(3) 入試説明会(入学検討のための施設見学)

毎年5月に核融合研で入試説明会(旅費の補助有)。入学検討のための施設見学も随時募集(旅費の補助有)





「トコトンやさしい」シリーズ B&Tブックス(日刊工業新聞社)
 トコトンやさしいエネルギーの本/山崎耕造著/2005.2
 トコトンやさしいプラズマの本/山崎耕造著/2004.7

フュージョン -宇宙のエネルギー- (シュプリンガー・フェアラク東京)
 G.マクラッケン他著/村岡克紀他訳/2005.12

核融合を本格的に学ぶには？

1. 核融合に関する講座がある大学院に進学する。

核融合に関する分野は幅広い
プラズマ物理、プラズマ加熱・計測、超電導工学、材料工学、放射線工学など

2. 核融合研究所で学ぶ。

(1) 核融合科学研究所にあるLHDは最もヘリカル型核融合炉に近く、大型トカマクに匹敵するプラズマパラメータが達成されている。日本屈指のコンピュータもあり、シミュレーション研究の上でも恵まれた環境にある。

(2) 研究所全体で150名近い研究者、教員が在籍し、核融合関連の幅広い分野(超伝導、核融合炉材料研究者を含む)の教育を受けることが可能。

京都大学エネルギー理工学研究所 Heliotron J

日本原子力研究開発機構 JT-60U

北海道地区
北海道大学など
全3機関

東北地区
岩手大学
山形大学
東北大学など
全9機関

北陸地区
富山大学
金沢大学
福井大学など
全6機関

中国・四国地区
愛媛大学
岡山大学
広島大学
山口大学
徳島大学など
全15機関

九州地区
九州大学
佐賀大学
熊本大学
鹿儿岛大学
琉球大学など
全16機関

近畿地区
京都大学
大阪大学
神戸大学など
全19機関

東海地区
静岡大学
名古屋大学
岐阜大学
中部大学など
全16機関

関東・甲信越地区
茨城大学
筑波大学
宇都宮大学
東京大学
東京工業大学
横浜国立大学
総合研究大学院大学
新潟大学
群馬大学
日本大学
高エネルギー加速器研究機構
海洋研究開発機構 地球シミュレーションセンター
産業技術総合研究所
日本原子力研究開発機構など
全64機関

筑波大学プラズマ研究センター
ガンマ10

海洋研究開発機構 地球シミュレーションセンター
地球シミュレータ

九州大学応用力学研究所
TRIAM-QUEST

大阪大学レーザーエネルギー学研究中心
激光XII号

核融合科学研究所
大型ヘリカル装置(LHD) 39

大学、大学院での核融合研究のすゝめ

大学、大学院で学ぶこと

講義や学生実験のように、「**正解**」のある事柄を受け身で学ぶ
ことに加えて、

卒業論文(大学)、修士論文(大学院修士課程)の研究課題を
例題として、

「**正解**」のない問題に対して「**より良い答え**」を見つ
ける手法を、先生とともに試行錯誤しながら学ぶ。

就職しても、大学・大学院の研究課題と全く同じ分野の仕事をする
ことは稀。大事なものは、手法の習得とその応用力。

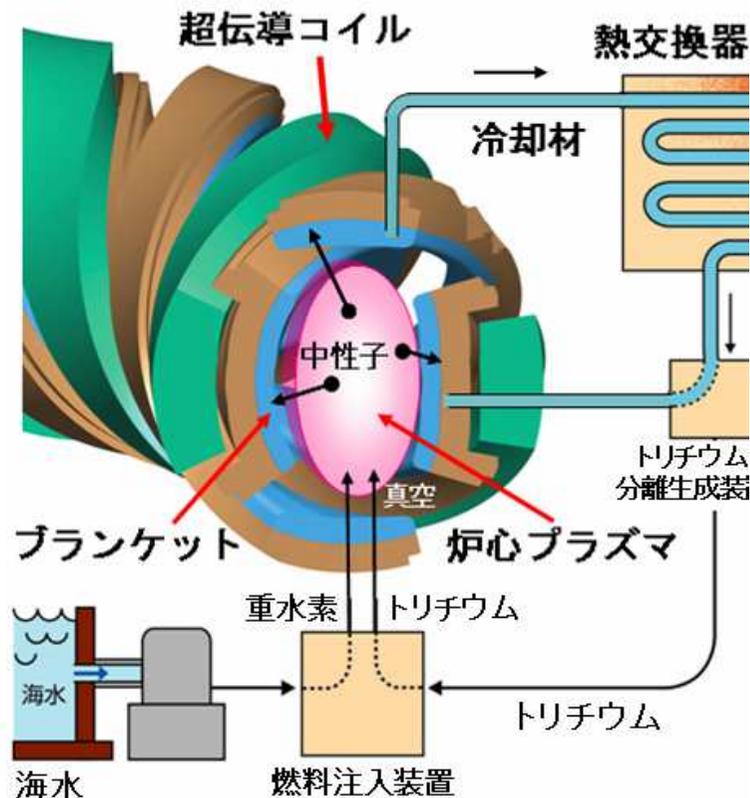
魅力的な研究対象は習得度を加速。

⇒ 核融合研究は、魅力的な研究課題の宝庫。

大学院博士課程(研究者の養成コース)

研究成果の意義を伝える、研究の種を見つける技能の訓練を行う。

核融合研究は総合理工学(幅広い研究知見が必要)



大学、大学院の幅広い分野で関連した研究あり

大学、大学院で学ぶべきことの第一は研究・開発手法(知識では無い)
=> 核融合研究は、魅力的な研究課題の宝庫。

炉心プラズマ工学
(効率のよい"エンジン"開発)

炉心
プラズマ
研究

プラズマ加熱(ビーム、電磁波)工学
(効率の良い"補助エンジン"開発)

ブランケット工学
(核変換を使った効率の良い燃料生成)

超伝導工学
(安定で強い"磁場容器"の開発)

炉工学
研究

炉壁材料工学、構造工学
(高熱、中性子に強い"容器材料"開発、
電磁力、熱応力に耐える"容器構造"開発)

放射線、安全工学
(中性子、トリチウムの安全な取り扱い)

ロボット工学
(効率の良いメンテナンス)

核融合科学研究所で学ぶには?

1. 総合研究大学院大学・核融合学専攻に進学する(5年一貫博士課程、博士後期課程)。
2. 名古屋大学・工学研究科(エネルギー理工学専攻)、理学研究科(素粒子宇宙物理学専攻)、九州大学・総合理工学府(先進エネルギー理工学専攻)に進学(修士、博士後期課程の連携講座)。
3. 核融合に関する講座がある大学院に進学後、共同研究者として、核融合研の研究に参加。

http://www.nifs.ac.jp/sub_5.html

ブラウザによって Web サイトで更新された内容が提供されま

Home	概要	おしらせ	研究活動	共同研究	教育	大学院	一般の方へ
------	----	------	------	------	----	-----	-------



HOME > 教育

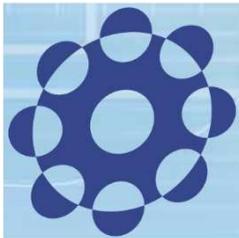
教育

大学院入試説明会のおしらせ

大学院教育

大学院生が核融合科学研究所の教育を受けるには、主に次の4つのルートがあります。

- ▶ **総合研究大学院大学 核融合科学専攻**
当研究所が直接大学院生を受け入れます。所定の年限（5年または3年）の課程を修了すると、総合研究大学院大学から学位（博士）が授与されます。
- ▶ **名古屋大学大学院 工学研究科 エネルギー理工学専攻**
名古屋大学大学院 理学研究科 素粒子宇宙物理学専攻
九州大学 総合理工学府 先端エネルギー理工学専攻（伊藤研、田中研）
当研究所内に研究室があり、当研究所の教員から研究指導を受けることができます。所定の年限の課程を修了すると各大学から学位（修士・博士）が授与されます。
- ▶ **連携大学院（北海道大学、富山大学、九州大学）**
当研究所との学術交流協定に基づき、当研究所職員が各大学に出張して集中講義等を実施しています。
- ▶ **特別共同利用研究員制度**
全国の国公立大学の大学院生（修士課程または博士課程）が、一定の期間、当研究所に滞在し、特定の研究課題に関する指導を、当研究所職員から受けることができます。



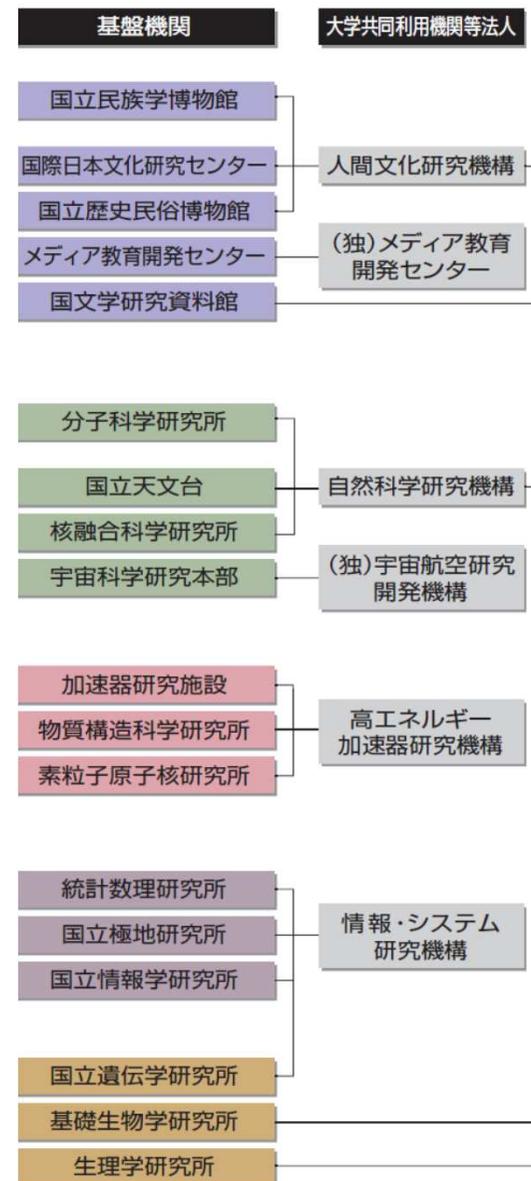
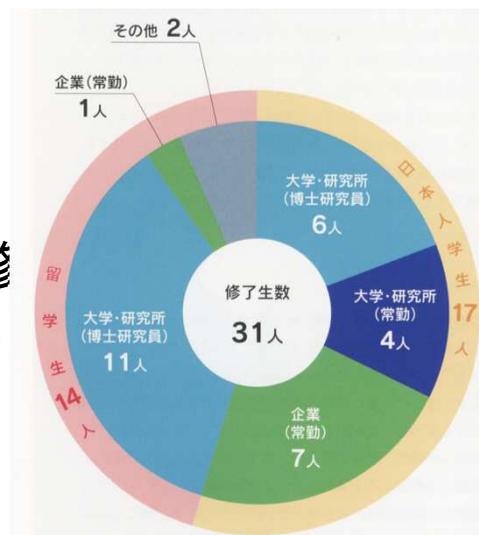
国立大学法人
総合研究大学院大学
 [本部;神奈川県葉山]

大学卒業生、あるいは大学院修士課程(博士前期課程)修了者のみを対象とする、**日本初の博士課程のみの大学院大学(国立)**である。

⇒

博士の学位をとり、主に研究者を目指す人向けの大学。各専攻における研究指導は**基盤機関(大学共同利用機関)**で行われ、大学卒業後すぐに、思う存分最先端の研究を行える。

核融合科学専攻修了生の就職先(単位:人)
 平成16~20年度



核融合研は、「核融合科学専攻」の基盤機関

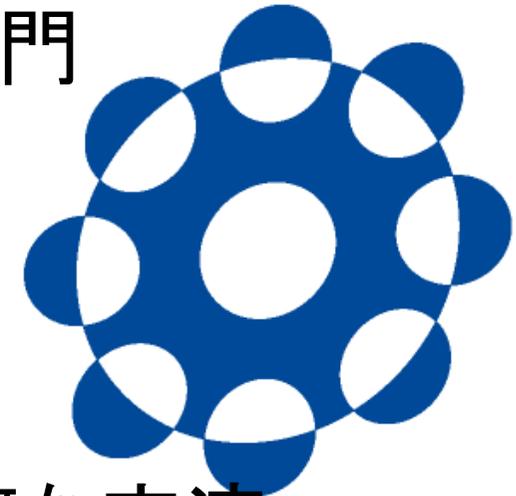
総研大はどんな大学院？

- 大学院だけの大学

Mr. X => *Dr. X*



- 『その分野の後継研究者を育てよう！』
- 最先端の研究施設で、高度な専門教育を受けることができる
- 大学共同利用機関 (旧国立研究所)がキャンパス
- 他分野の研究者の卵達との頻繁な交流

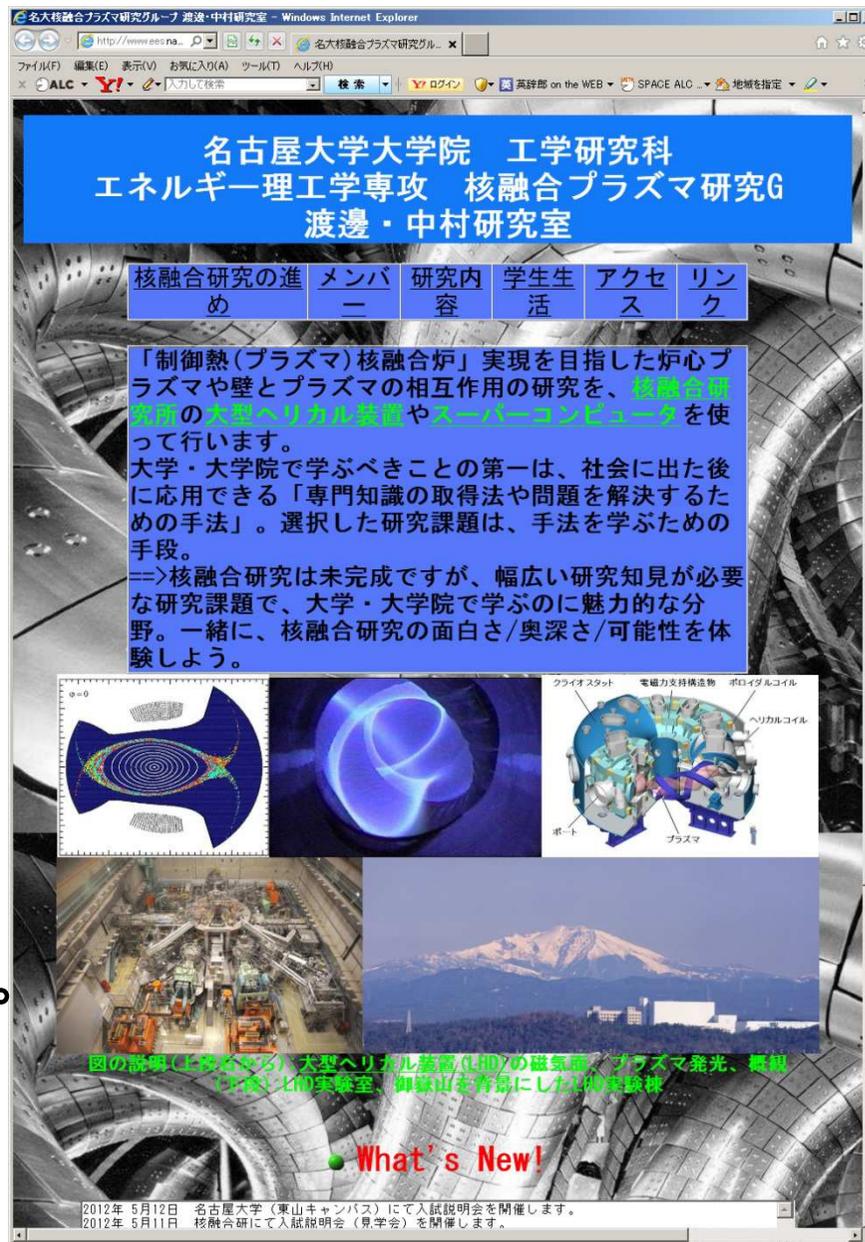


総研大以外は??例;関西・名古屋圏の核融合関連研究室(炉心フラズマ関連)

1. **京大・中村研** [学部(卒論)電気電子工学科, 大学院(修論) エネルギー科学研究科]
<http://www.s-ee.t.kyoto-u.ac.jp/ja/information/laboratory/gses/fes/ee/index.html>
2. **京大・福山研** [学部(卒論) 理工学学科 原子核工学コース, 大学院(修士) 工学研究科原子核工学専攻]
http://www.ne.t.kyoto-u.ac.jp/ja/research/introduction/laboratory/q_manipulation
3. **京大・水内研** [学部(卒論)電気電子工学科, 大学院(修論) エネルギー科学研究科]
<http://www.s-ee.t.kyoto-u.ac.jp/ja/information/laboratory/gses/fes/6838878d540830a830cd30eb30fc52365fa1520691ce/index.html>
4. **京大・旧佐野研** [学部(卒論)電気電子工学科, 大学院(修論) エネルギー科学研究科]
<http://www.s-ee.t.kyoto-u.ac.jp/ja/information/laboratory/gses/fes/http/index.html>
5. **京大・長崎研** [学部(卒論)電気電子工学科, 大学院(修論) エネルギー科学研究科]
<http://www.s-ee.t.kyoto-u.ac.jp/ja/information/laboratory/gses/ecs/hqec/index.html>
6. **京大・岸本研** [学部(卒論)無し??, 大学院(修論) エネルギー科学研究科]
<http://www.center.iae.kyoto-u.ac.jp/kishi/index.html>
7. **京大・旧前川研** [学部(卒論)理学部物理第一??, 大学院(修論) エネルギー科学研究科]
<http://plasma47.energy.kyoto-u.ac.jp/>
8. **京大・蓮尾研** [学部(卒論) 理工学学科 機械システム学コース, 大学院(修士) 工学研究科機械理工学専攻]
http://www.me.t.kyoto-u.ac.jp/ja/research/introduction/hikari_html
9. **京都工芸繊維大学・政宗研** [学部(卒論) 工芸科学部 電子システム工学課程, 大学院(修論) 大学院工芸科学研究科 電子システム工学専攻]
<http://nuclear.es.kit.ac.jp/new/>
10. **阪大・レーザーエネルギー学研究センター** [学部(卒論)無し??, 大学院(修論)工学研究科(電子情報エネルギー工学専攻、原子力工学専攻、電気工学専攻、電子工学専攻)、基礎工学研究科、理学研究科]
<http://www.ile.osaka-u.ac.jp/>
12. **名大・大野研** [学部(卒論) 電気電子・情報工学科電気電子工学コース科, 大学院(修論)工学研究科エネルギー理工学専攻]
http://www.ees.nagoya-u.ac.jp/~web_dai5/
13. **名大・藤田研** [学部(卒論) 理工学学科量子エネルギー工学コース, 大学院(修論)工学研究科エネルギー理工学専攻]
http://www.ees.nagoya-u.ac.jp/~web_dai6/index6j.html
14. **名大・核融合研** [学部(卒論)無し, 大学院(修論)工学研究科エネルギー理工学専攻]
http://www.ees.nagoya-u.ac.jp/~web_dai8/index.html
http://www.ees.nagoya-u.ac.jp/~web_dai10/index.html

「名大核融合」で検索

例えば、名大



- 大学院(2年)・修士は、
「核融合研究」にトライ。
- => 応用力をつけて、企業で実践。
- => 核融合にハマッテ、博士課程に進学??
- => 核融合炉の研究開発に従事??

おわりに

核融合研究が開始されて50年以上が経過。

30年後の実証炉による発電も現実的になるところまで研究・開発が進展してきました。

多くの若い人に、地上の太陽・核融合について知ってもらい、その中から、核融合開発・研究に携わる人が出現すること期待しています。

核融合研は、LHD型核融合炉の実現を目指すとともに、核融合研究を志す人たちに研究の場を提供します。