

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

大学

研究を行うための専門的な知識を得る。専門知識の取得法を学ぶ。

大学院修士課程

研究を進める(問題を解決する)ための手法を学ぶ。

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。

物理学と工学

物理学

何故・理由を探求し、理解(法則化・一般化・普遍化)する。

工学

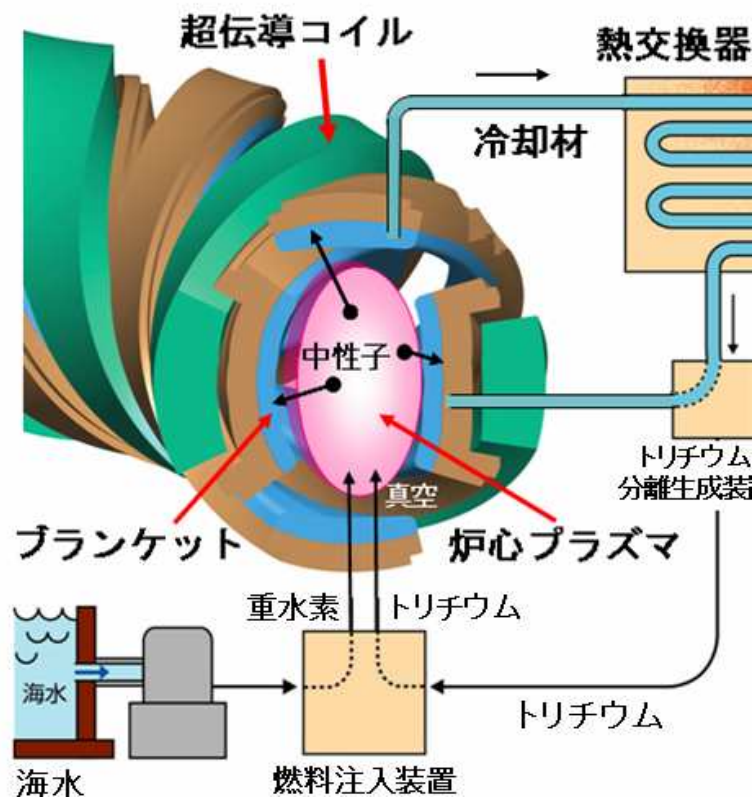
発見された現象、法則を利用して、人間にとって役にたつように形にする(製品を作る)。

特に、炉心プラズマ研究開発は理学と工学の中間
両方の魅力を兼ね備えている

(高温高密度のプラズマの性質を理解する。核融合発電炉を作る。)

研究者の3分の2くらいが工学部出身、3分の1くらいが理学部出身

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

私見!!!

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)

その対象として、核融合研究は魅力的。

1. 効率のよい“エンジン”開発
2. 安定で強い“磁場容器(超伝導コイル)”の開発
足回りの開発
3. 高熱、放射線(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
キャビンの開発
4. 核変換を使った効率の良い燃料生成法の開発
燃料費の低減
5. ロボット等を用いた効率の良いメンテナンス法
製造コストの低減

核融合炉開発の課題は?

エンジン開発;

プラズマの閉じ込め装置を大きくすれば、核融合エネルギーが取り出せることは、確認済み。

効率のいいエンジン開発が課題;

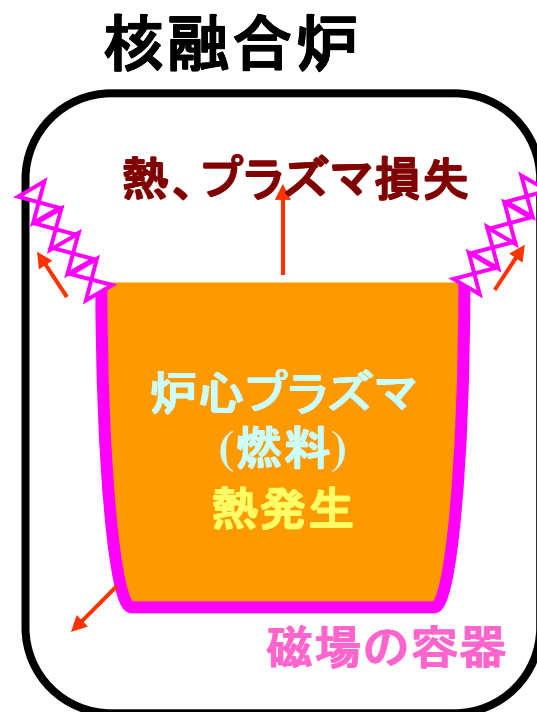
より体積が小さく、より磁場強度が低くて、同じ温度、密度のプラズマを閉じ込めることのできる炉心プラズマの開発(大きすぎると建設する場所が限られるし、発電コストが高い)

$$\begin{aligned} \text{熱、プラズマ損失量} \\ = \text{炉心の表面積} \times \text{損失率} \\ \propto Ra \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{核融合による発熱(高温高密度プラ} \\ \text{ズマ維持のエネルギーの一部利用)} \\ = \text{炉心の体積} \times \text{プラズマの温度} \cdot \text{密度} \\ \propto Ra^2 \end{aligned}$$

損失率の低減; 効率のいいエンジン開発の鍵

=> 磁場容器の形状や運転手法の研究開発



核融合炉開発の課題は？ II

#効率的な磁気容器の開発;

強磁場容器の開発 => 磁場が良い
と損失率が低下 => 装置の小型化

#高熱、放射線(中性子)に強い外壁
容器の開発;

電磁力、熱応力、放射線に耐える
材料や容器が開発されると、外壁も
含めて核融合炉を小型化できる。核
融合炉の運転寿命が延びる。

#燃料の効率的な生成法の開発

三重水素はリチウムを核変換して
生成

核融合炉



ブランケット
(中にはリチウムを充
填)

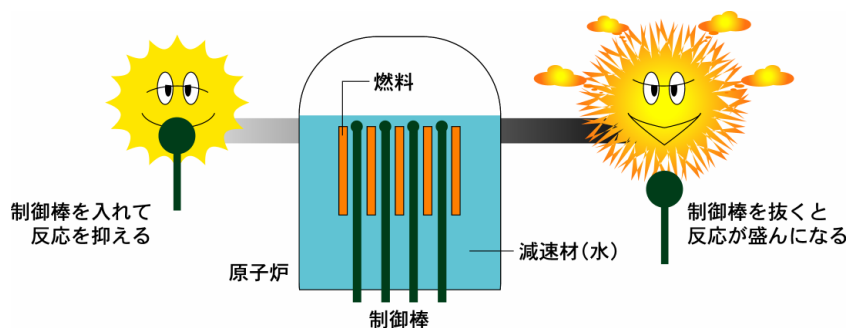
多分野の英知を結集した開発研究が必要

=> 最先端の科学技術の応用の場

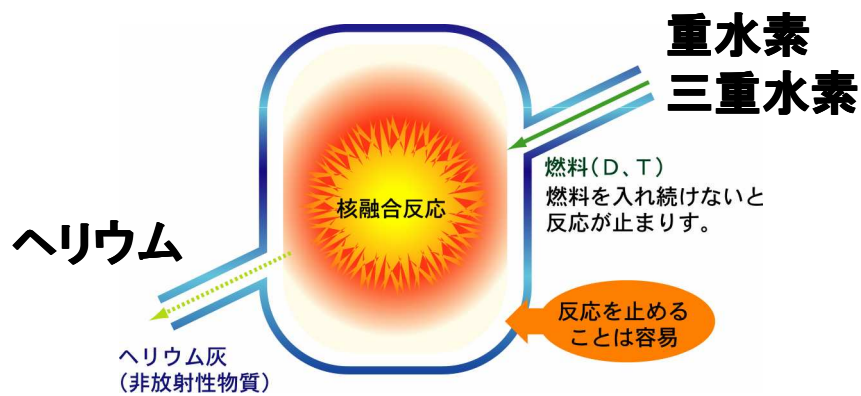
核分裂炉と核融合炉の違い

核分裂発電(既存の原子力)

ウラン、プルトニウム



核融合発電



気密が破れると反応が自動停止
燃料自体は放射能無し

核融合炉はより安全

1. 核融合炉は暴走しない

原子力発電と違って炉に燃料ガスを補給しながら発電する

2. 運転後の放射性廃棄物が少ない。管理も容易。

運転後にいずれも放射性廃棄物が残るが、設備の放射化が最も問題なので、量も少なく、半減期の短いものも多く、管理が圧倒的に容易。

核融合炉は平和的

3. 燃料、灰から爆弾を作るのが難しい(爆発しない)

水素爆弾にするには、中心に原子爆弾が必要=> 核融合炉だけでは爆弾は作れない。

=> 核融合炉は実現が難しい

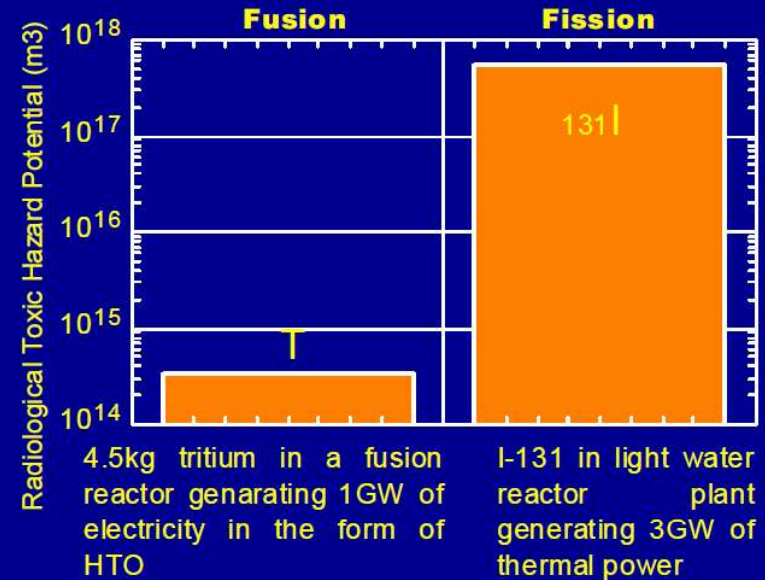
核融合炉の燃料は偏りが少ない
海水から燃料が抽出可能。

核融合炉の安全性

核融合炉の潜在的放射線リスクは、同規模の原子炉に比べて大幅に小さい。

潜在的放射線リスク指数

$$= \frac{\text{炉内放射性核種の量 (Bq)}}{\text{空气中濃度限度 (Bq/m}^3\text{)}}$$



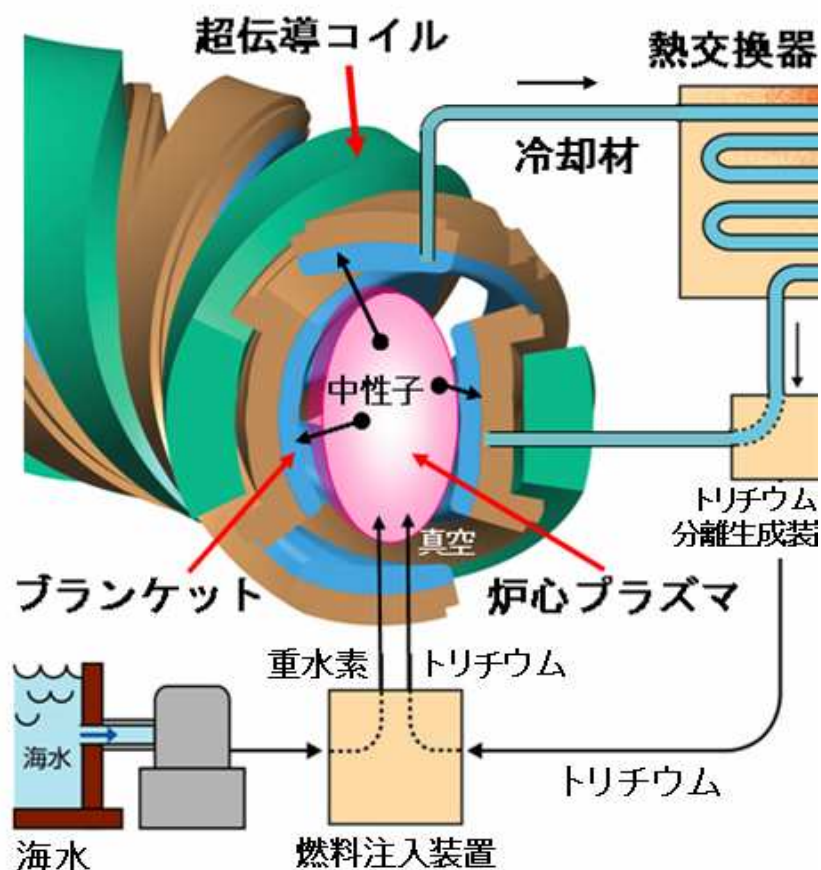
	100万kW核融合炉内 トリチウム (T: 4.5 kg,HTO形態の場合)	熱出力3 GW軽水炉内 ヨウ素131(等価)
放射能 (Bq)	1.7 x 10 ¹⁸	5.4 x 10 ¹⁸
空气中濃度限度 (Bq/m ³)	5 x 10 ³	10
潜在的放射線リスク指数	3.5 x 10 ¹⁴	5.4 x 10 ¹⁷
相対比	1	1500

核融合炉は軽水炉にくらべて潜在的放射線リスクは格段に小さい

定量的な評価は不十分。核分裂の研究者と共同で早急な評価が必要

核融合発電のしくみ --- 第一世代発電炉---

- 重水素(D)/三重水素(T)核融合反応によりエネルギー生成;
 $D+T \rightarrow {}^4\text{He}(3.52\text{MeV})+n(14.06\text{MeV})$
エネルギーは α 粒子(${}^4\text{He}$)、中性子(n)が運動エネルギーの形で発現



第一世代の核融合炉は
三重水素(T)を利用

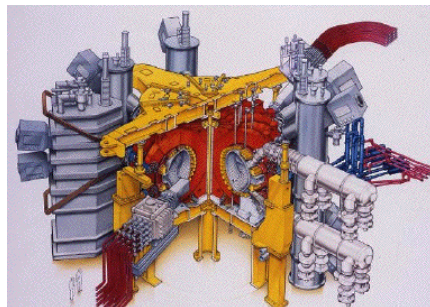
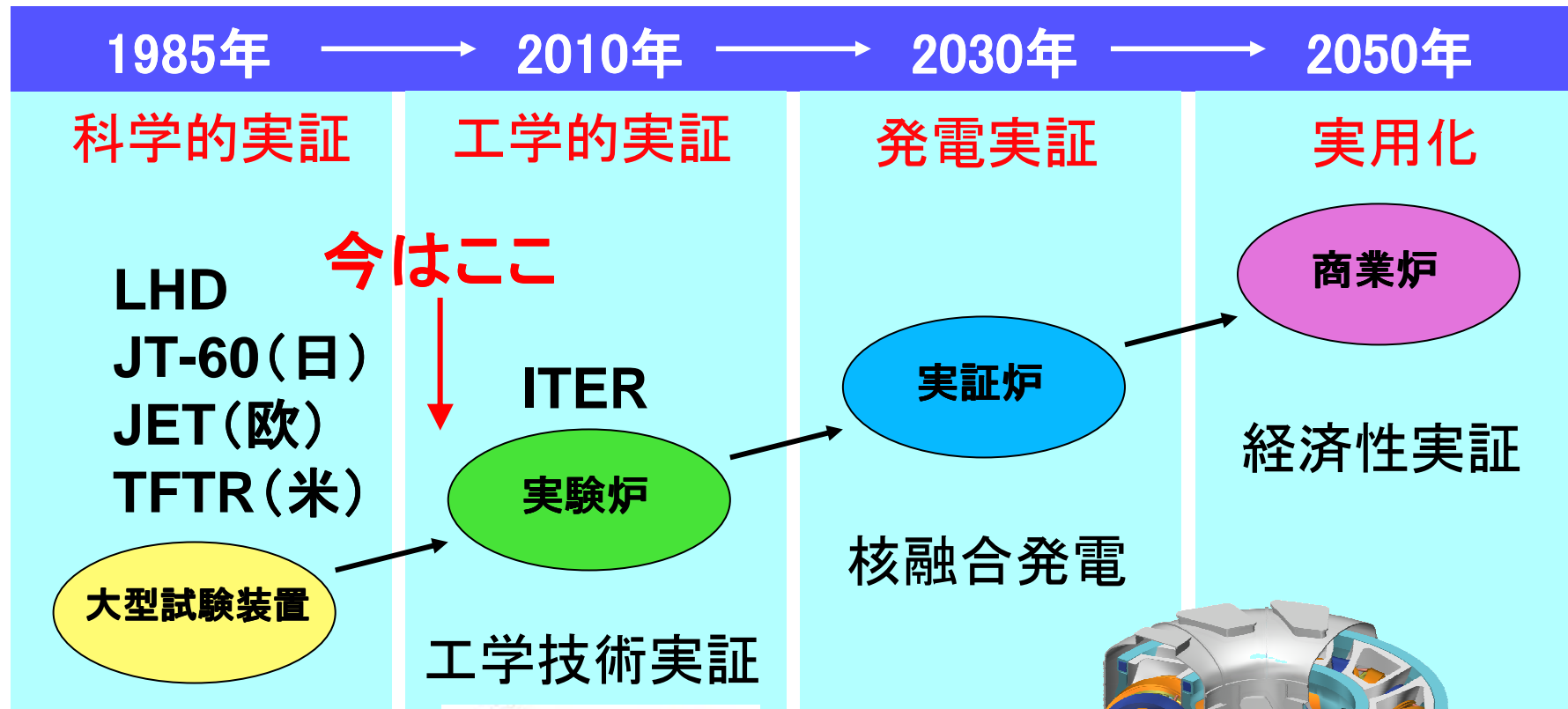
中性子(n)が発生
=> ブランケット(三重水素生成機システム)、構造物、遮蔽物が放射化(量は軽水炉の燃料に比較して非常に少ない)

第二世代の核融合炉は
Tに代わり、 ${}^3\text{He}$ を利用

より高温運転が必要。nの代わりに水素の原子核が発生。直接発電も可能。

n; 半減期10分、T; 半減期12.3年

核融合炉実現への道



核融合発電の完成には、
皆さんの力が必要です！

なぜ核融合か？

地熱発電

地球内部の熱エネルギーで水を水蒸気にして、タービンを回して発電します。

太陽光発電

太陽の光が当たると電流が流れる性質を持った半導体を使って発電します。

バイオマス発電

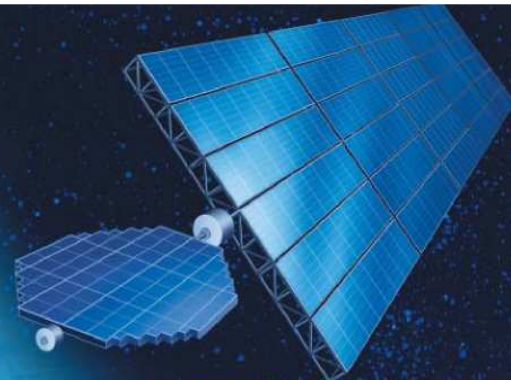
木材を燃やしたり、微生物が出すガスを燃やして発電します。

風力発電

風を風車で回転のエネルギーにかえて、発電します。

波力発電・潮汐発電

海岸に打ち寄せる波や潮の満ち引きのエネルギーを電気にかえます。



宇宙太陽光発電

天候に左右されない宇宙で太陽光発電を行い、地上にエネルギーを送ります。

核融合研究開発の意義

さまざまな

新エネルギーの開発が進められています。

石油など化石燃料の枯渇の心配に加

エネルギー消費は人口の伸び（約5倍）以

てエネルギー消費が急増します。

環境に優しい大規模超長期エネルギーの確保

→ 温暖化対策、氷河期対策

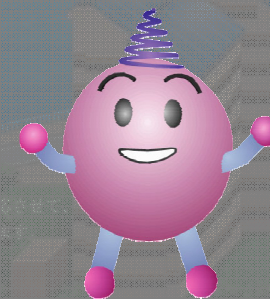
偏在のないエネルギーの確保

→ 資源をめぐる愚かな戦争の回避

高度文明を維持、発展させること

→ 高い人間性を有した文化を継続、発展

→ 地球に対する恩返し（人類だけが地球と全生命を守れる！）



核融合研究の魅力

1. 人類の生存に不可欠な**エネルギー源の実用化研究**
安全性が高く資源の豊富なエネルギー源の開発
2. **フロンティア研究**としての核融合
1億度のプラズマの世界の物理と工学の研究の推進
世界の学術研究、科学技術を牽引
我が国の学術研究、科学技術の発展に貢献
3. 尽きない**学術上**の興味
宇宙の物質の99%はプラズマ
(プラズマ物理学、非線形現象等)
4. 活発な**国際協力**を実施
(グローバルイノベーションへの貢献)

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)
その対象として、核融合
研究は魅力的。