

2026/02/22

未来の原型炉を支える人材を育む
多様な若手と核融合の架け橋となるスクール



核融合ってどうやるの？ ～原理と装置の仕組み～

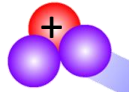
東郷 訓

筑波大学プラズマ研究センター

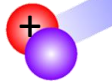
*謝辞: 資料の多くを齋藤誠紀先生(山形大学)よりご提供いただきました。

核融合反応: 大きなエネルギーが発生する。

三重水素 (Tritium)



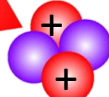
重水素 (Deuterium)



核融合

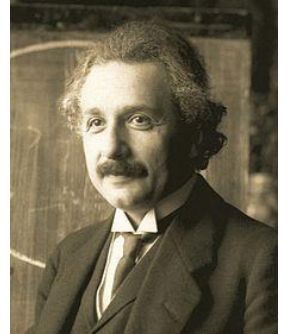
中性子

(??? MeV)



ヘリウム

(??? MeV)



$$E=mc^2$$

(エネルギーと質量は等価)

E : エネルギー
 m : 質量変化
 c : 光速

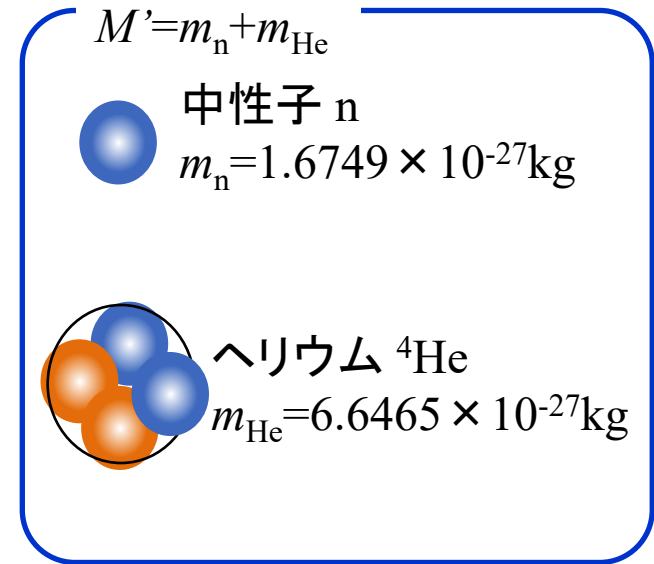
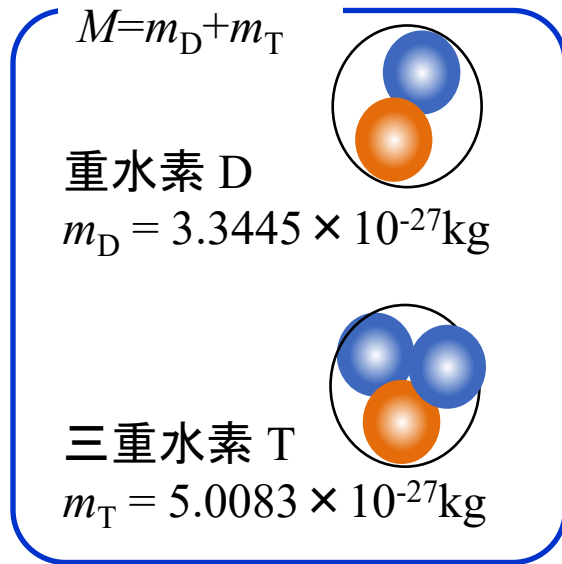
質量が軽くなる
(質量欠損)

質量が軽くなった分、
大きなエネルギーが発生する。



このエネルギーを発電に利用する
(核融合炉)

D-T反応で発生するエネルギー



質量差 $\Delta m = M - M'$
 $= ?? \text{ [kg]}$

$$E = \Delta mc^2$$

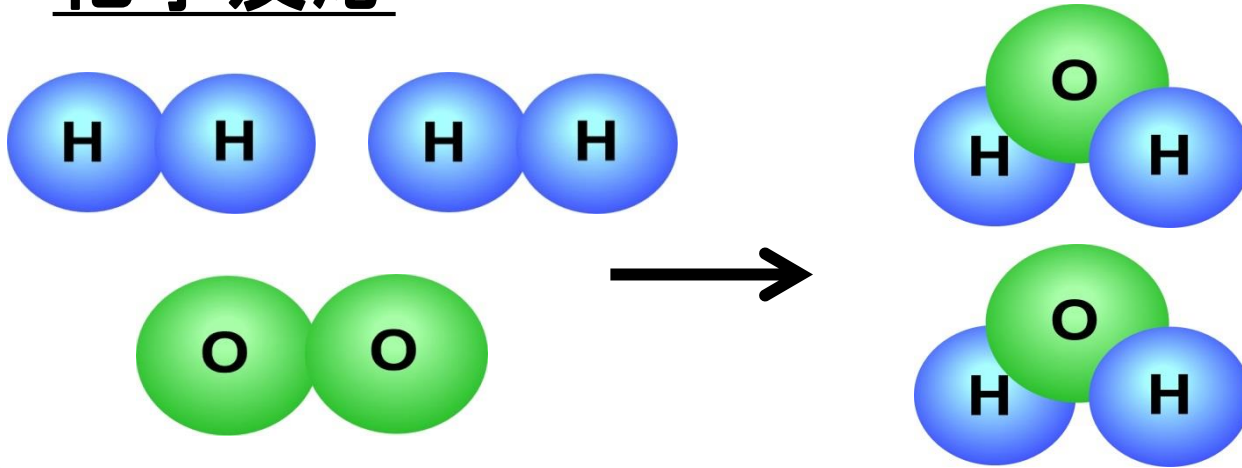
エネルギー $E = ?? \text{ [J]}$

$$c = 3.0 \times 10^8 \text{ [m/s]}$$

計算してみてください(約2分)

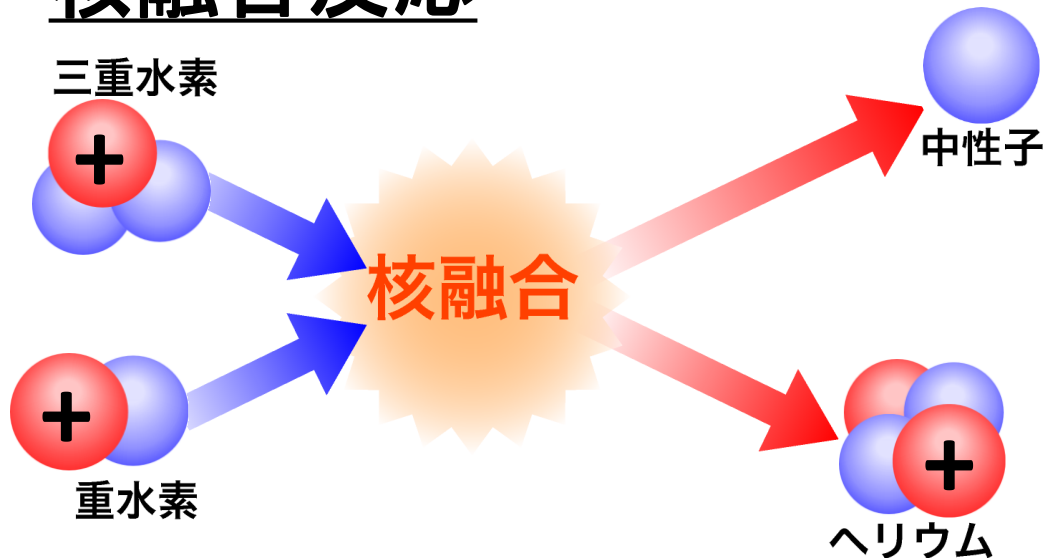
化学反応と核融合反応

化学反応



$2 \times 286 \text{ kJ/mol}$

核融合反応



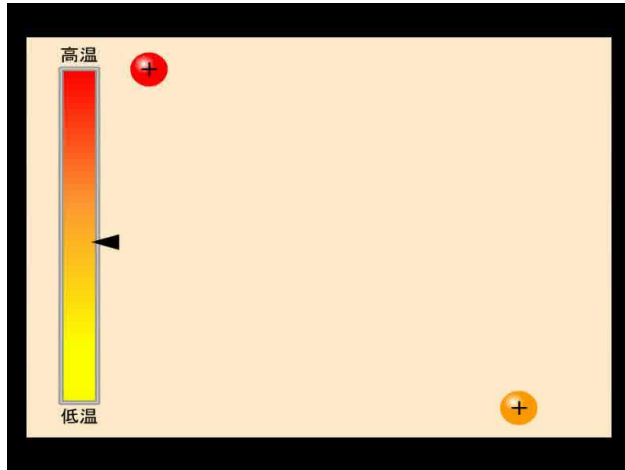
$2.8 \times 10^{-15} \text{ kJ/個}$
 $= 1.7 \times 10^9 \text{ kJ/mol}$

大きなエネルギーが得られる。

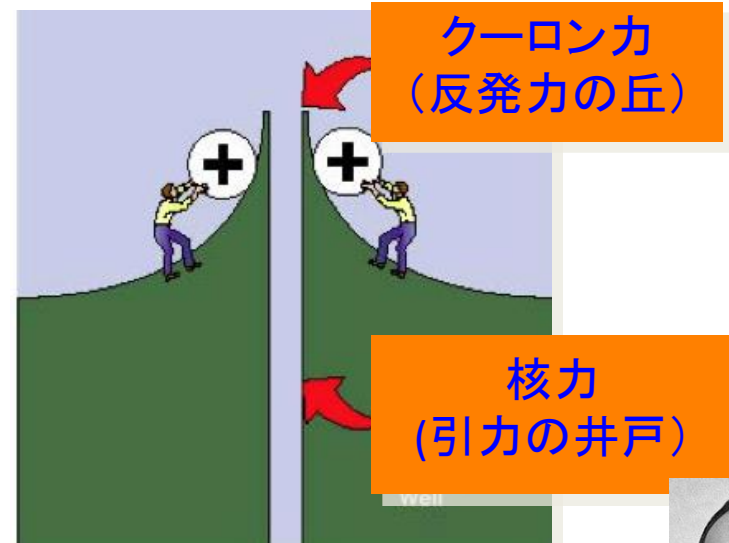
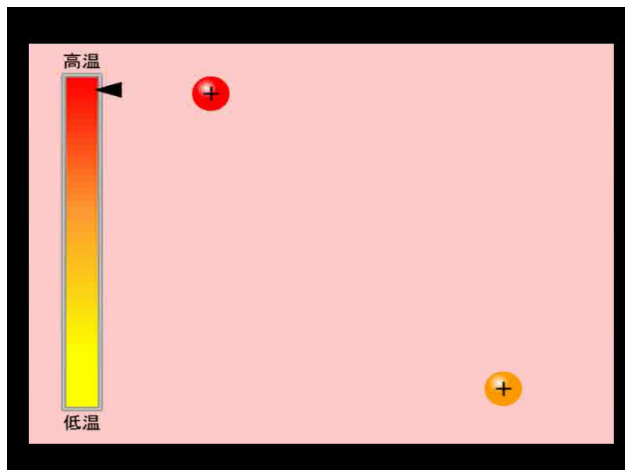
核融合反応を起こすには

原子核はプラスの電気を帯びているので反発力が働く。

低温の場合(速度が小さい場合)



高温の場合(速度が大きい場合)



湯川秀樹博士

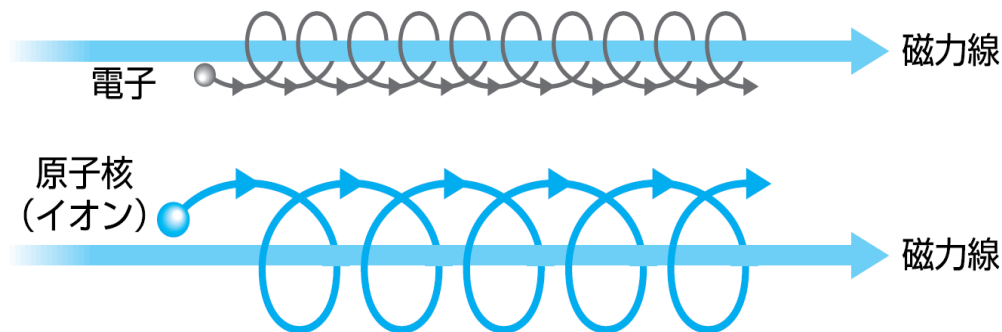
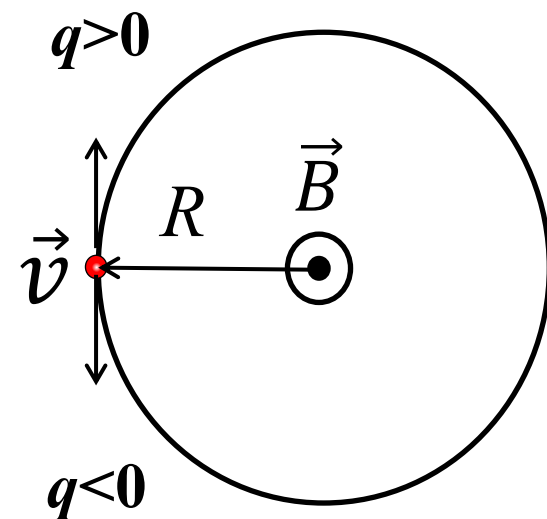
反発力に打ち勝つためには、
高い温度することによって
大きな速度で衝突させる必要がある。

高温のプラズマが必要 (1億度以上)

磁場を利用してプラズマを閉じ込める

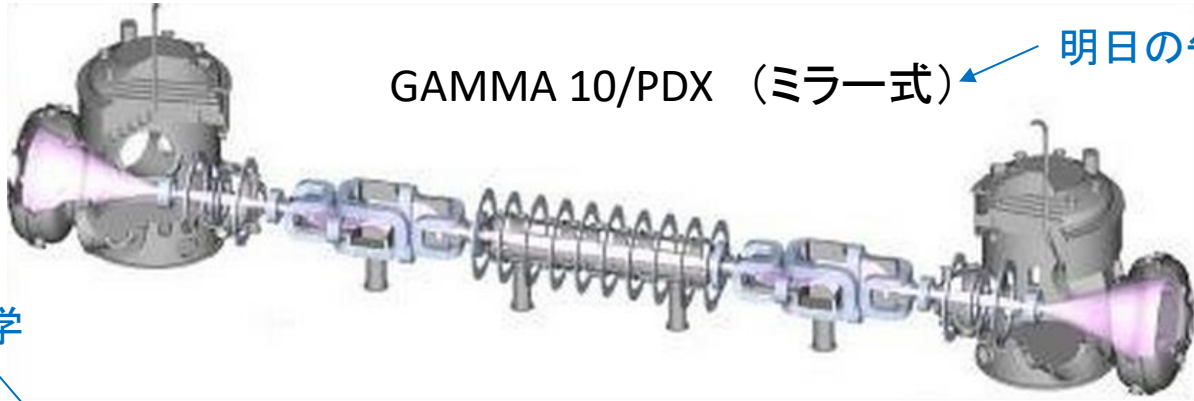
$$\text{ローレンツ力} : \vec{F}_L = q\vec{v} \times \vec{B}$$

半径 $R = mv / qB$ で
円運動(ラーマー運動)する。



プラズマは、**磁力線**に巻きつく。

色々な磁場閉じ込め方式

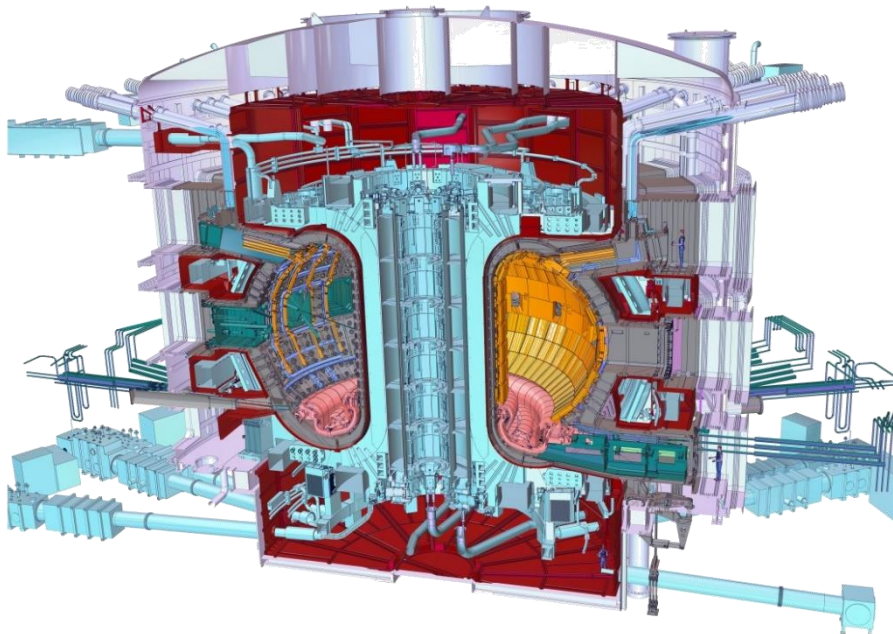


GAMMA 10/PDX (ミラー式)

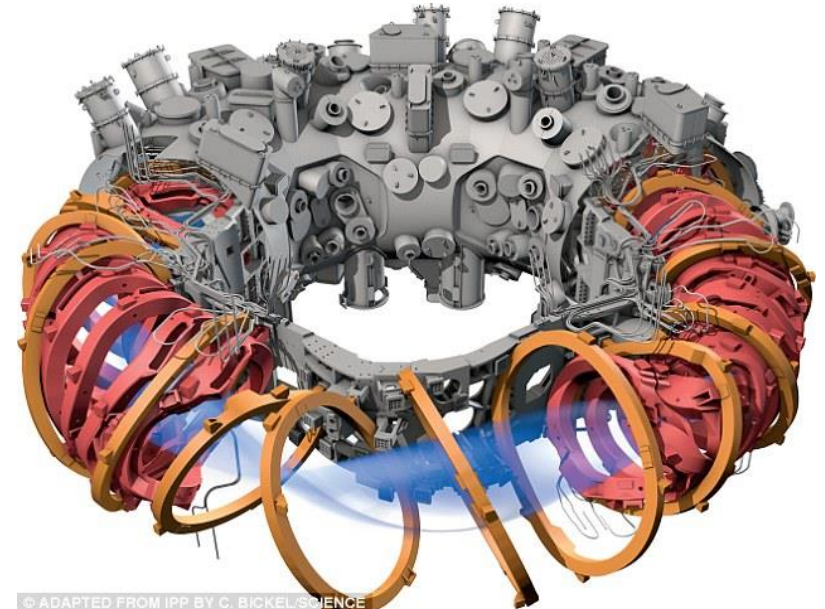
明日の午後見学

明後日見学

ITER, JT-60SA (トカマク式)



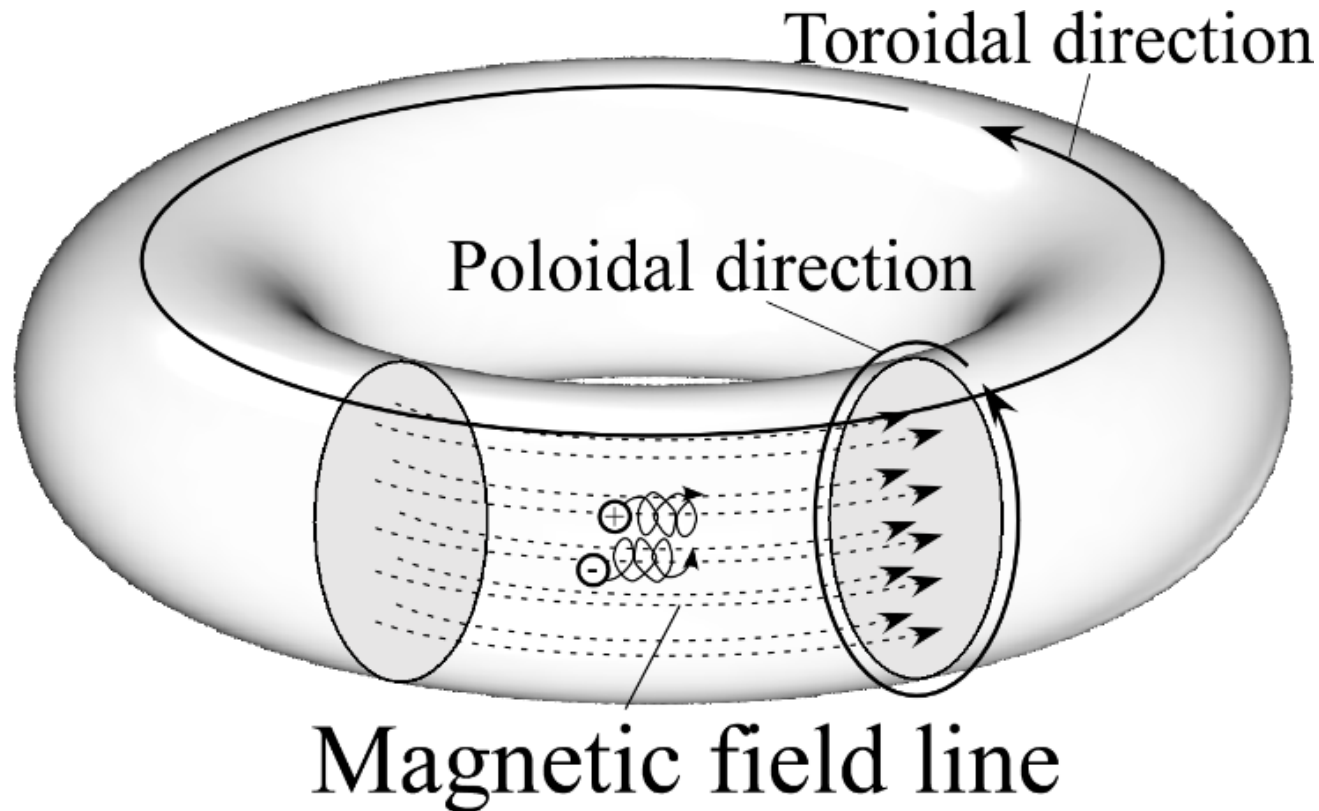
Wendelstein 7-x (ヘリカル式)



© ADAPTED FROM IPP BY C. BICKEL/SCIENCE

単純トーラス

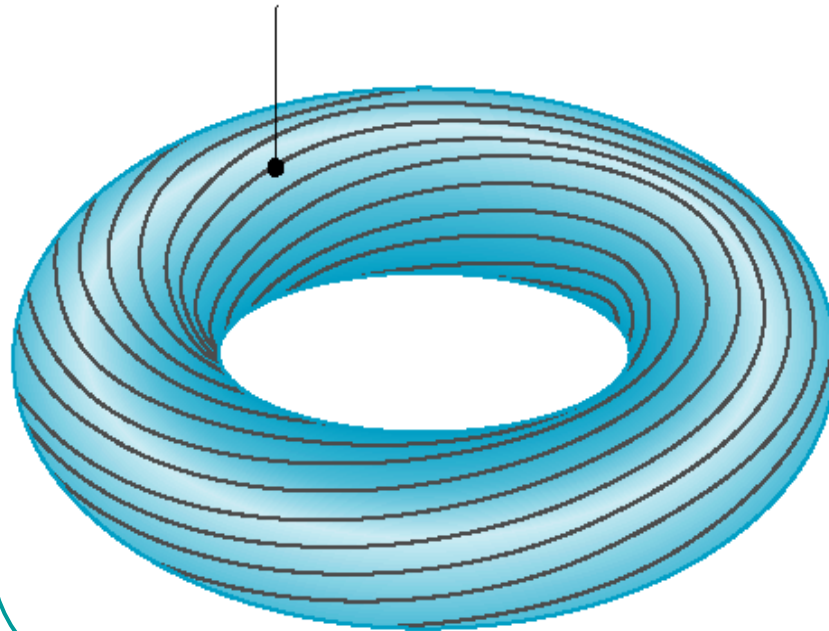
端をくっつけてドーナツ型に！



しかし、それでもうまく閉じ込められない。

荷電分離を抑えるために

結果としてできる
ねじりドーナツ形の磁力線

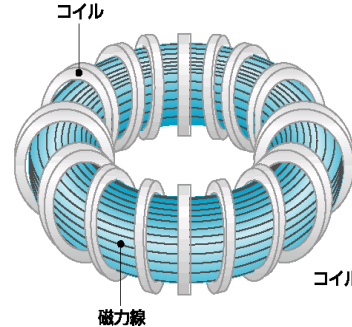


**磁力線をねじれば
上下を短絡して
電場を打ち消せる！**

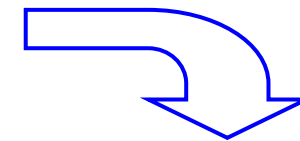
現在の主な核融合研究は、この**ねじられた磁力線**をもつ実験装置を用いて進められている。
どうやって**ねじる**のか？

ねじれた磁場を作る方法

トカマク型

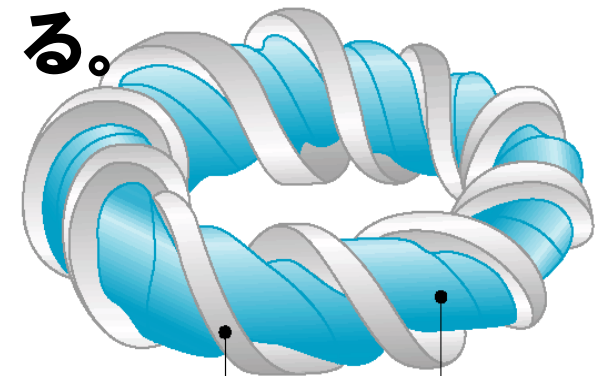
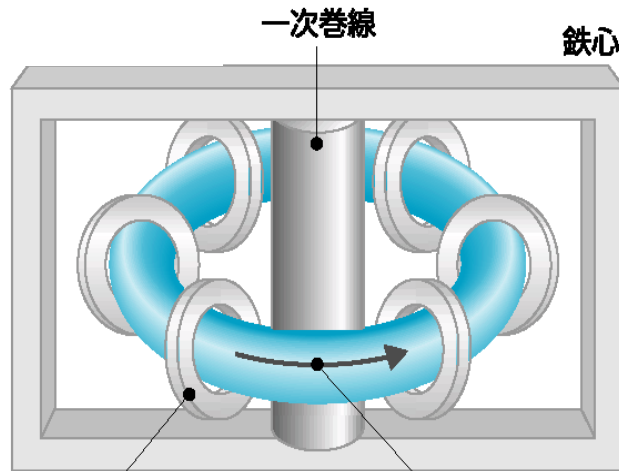


ヘリカル型

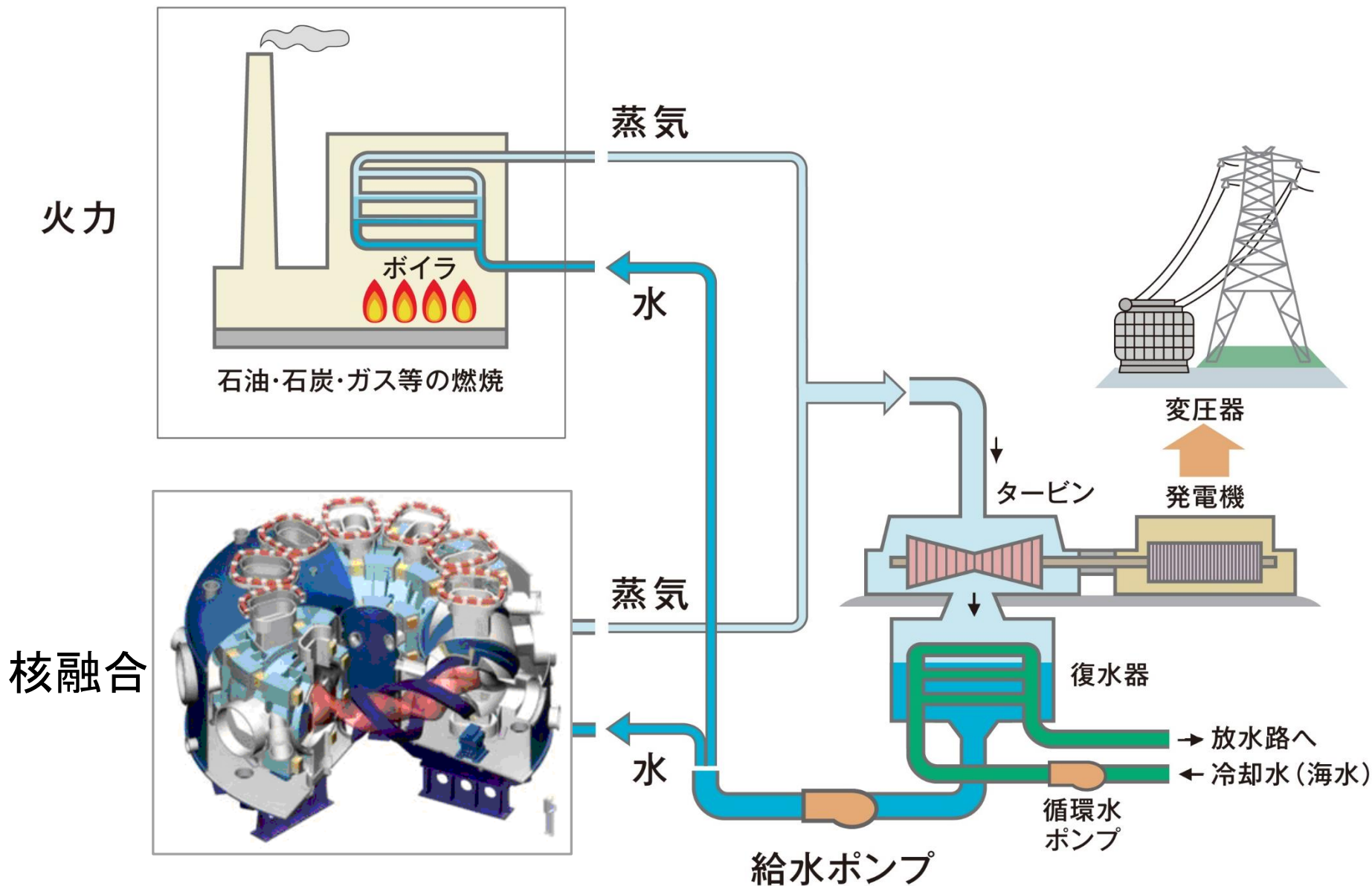


プラズマ中に電流を流す。

コイルそのものを
ヘリカル状にねじ
る。

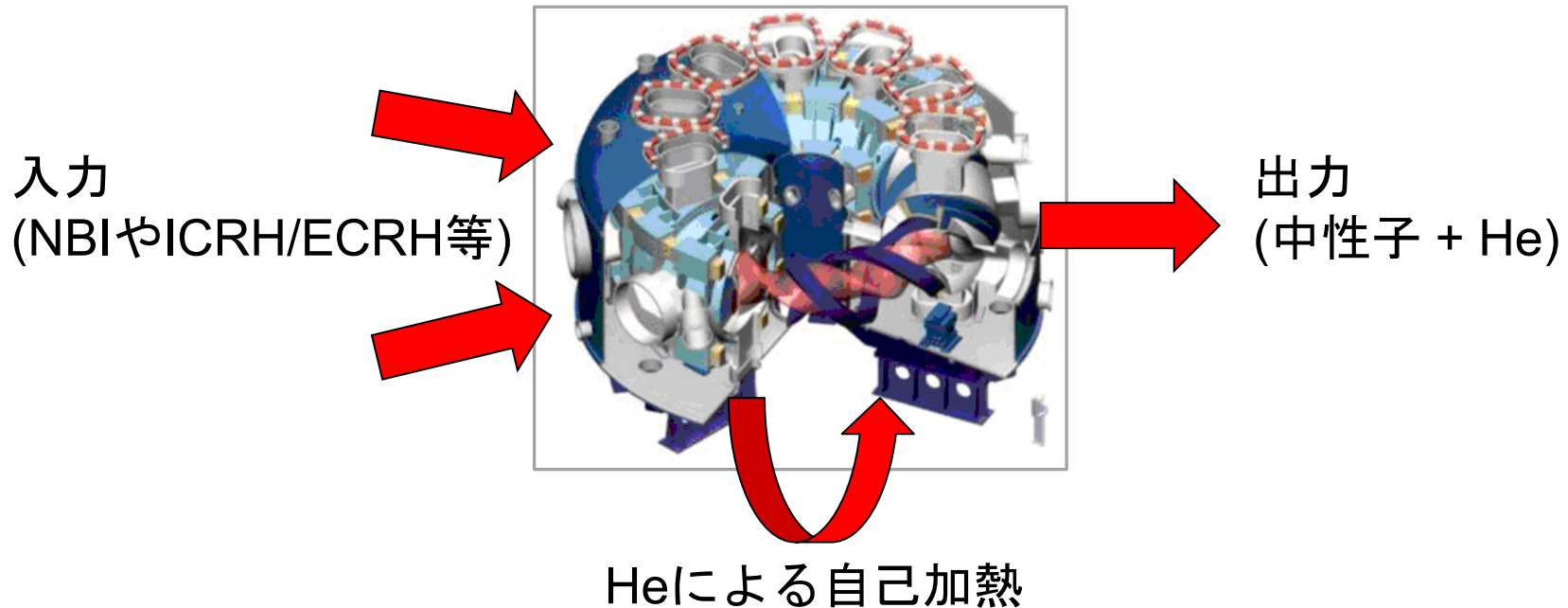


発電の仕組み



Q値(炉としての性能を表すパラメータ)

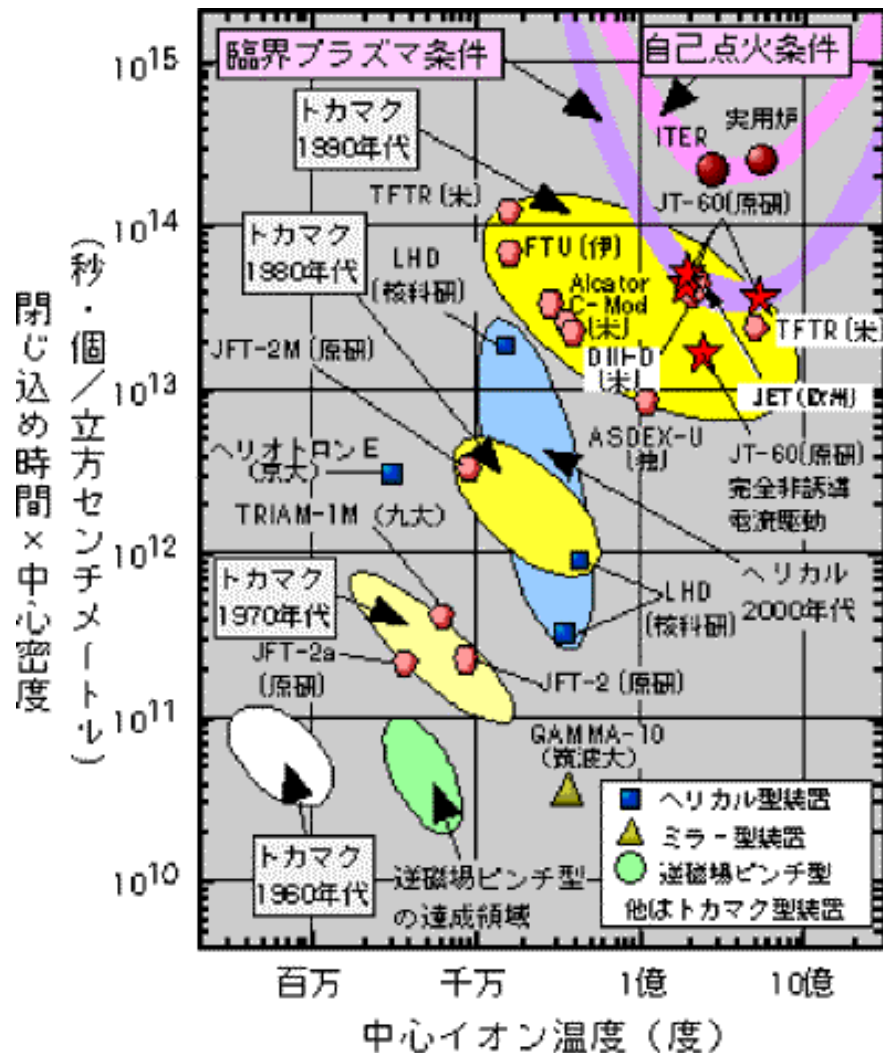
核融合炉



$$Q = (\text{核融合出力}) / (\text{外部入力})$$

- $Q > 1$ は発電炉として成立するための条件(臨界プラズマ条件)
- $Q > 5$ で自己加熱が入力を上回る(燃焼プラズマ条件)
- $Q = \infty$ で入力不要になる(自己点火条件)

ローソンドиаグラム



$Q = \infty$
 $Q > 1$

- $Q > 1$ (臨界プラズマ条件)は JT-60(日)やJET(欧)で達成
- 南仏に建設中のITERは $Q = 10$ (燃焼プラズマ条件を満たす)を目指している

ローソン・ダイアグラム

<https://www.qst.go.jp/site/jt60/5108.html>