

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

日本の核融合最前線

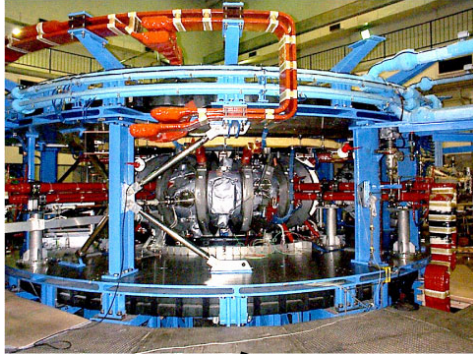
～GAMMA10/PDXの紹介～

筑波大学物理学類
プラズマ研究センター
坂本瑞樹

2026年2月22日(日)

日本における核融合研究の主要装置

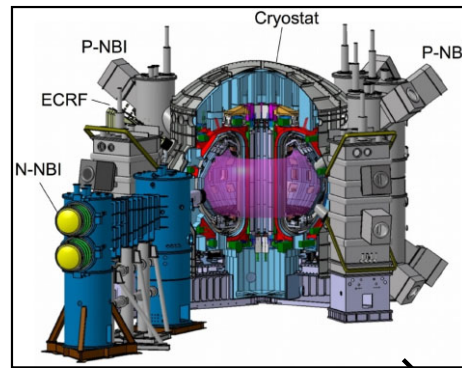
Heliotron J
京都大学



ヘリカル型

トカマク型

JT-60SA (QST)



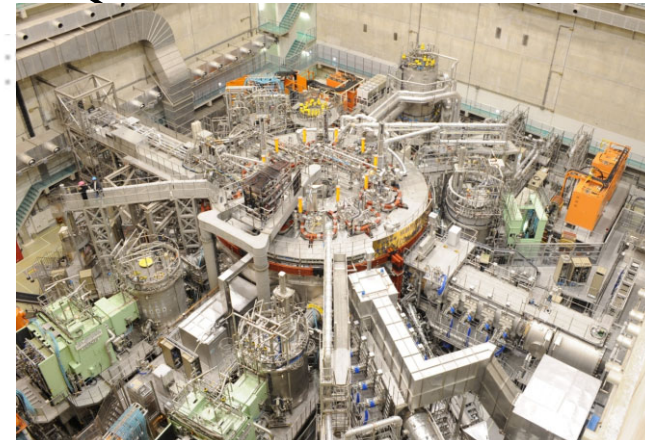
トカマク型

GAMMA 10/PDX
筑波大学



ミラー型

LHD (NIFS)



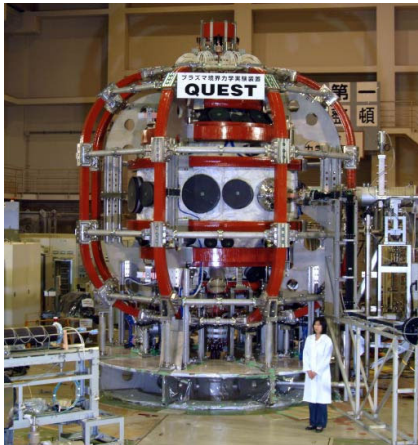
ヘリカル型

レーザー



GEKKO-XII
大阪大学

QUEST
九州大学



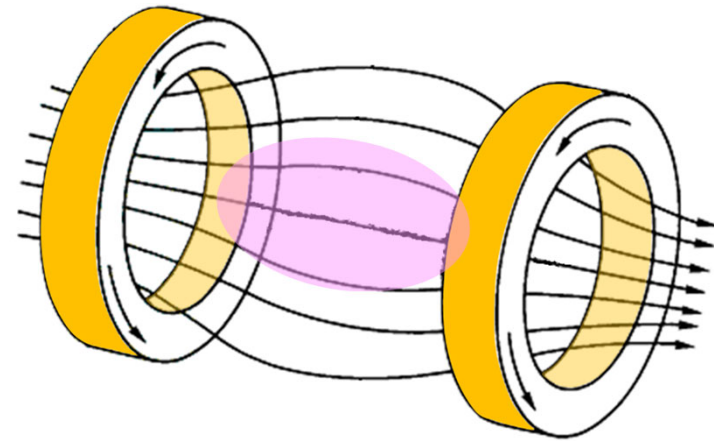
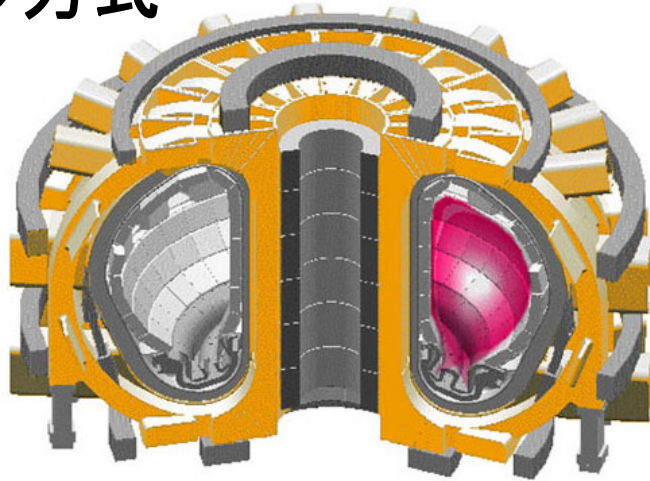
プラズマを磁場で閉じ込める方式には主に環状型と直線型がある

環状(トラス)プラズマ閉じ込め

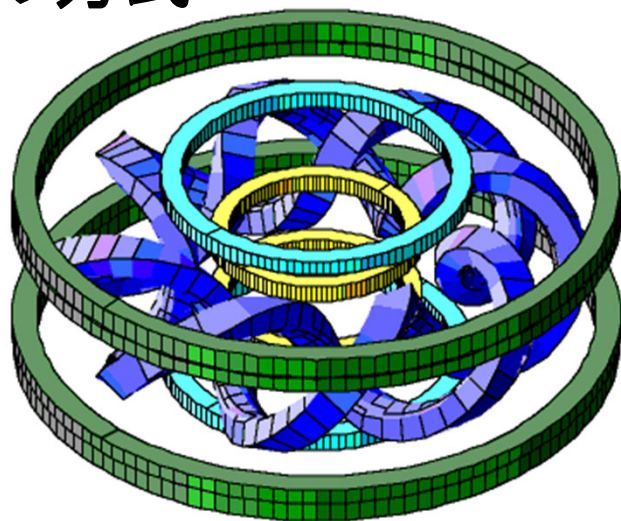
直線プラズマ閉じ込め

トカマク方式

ミラー方式



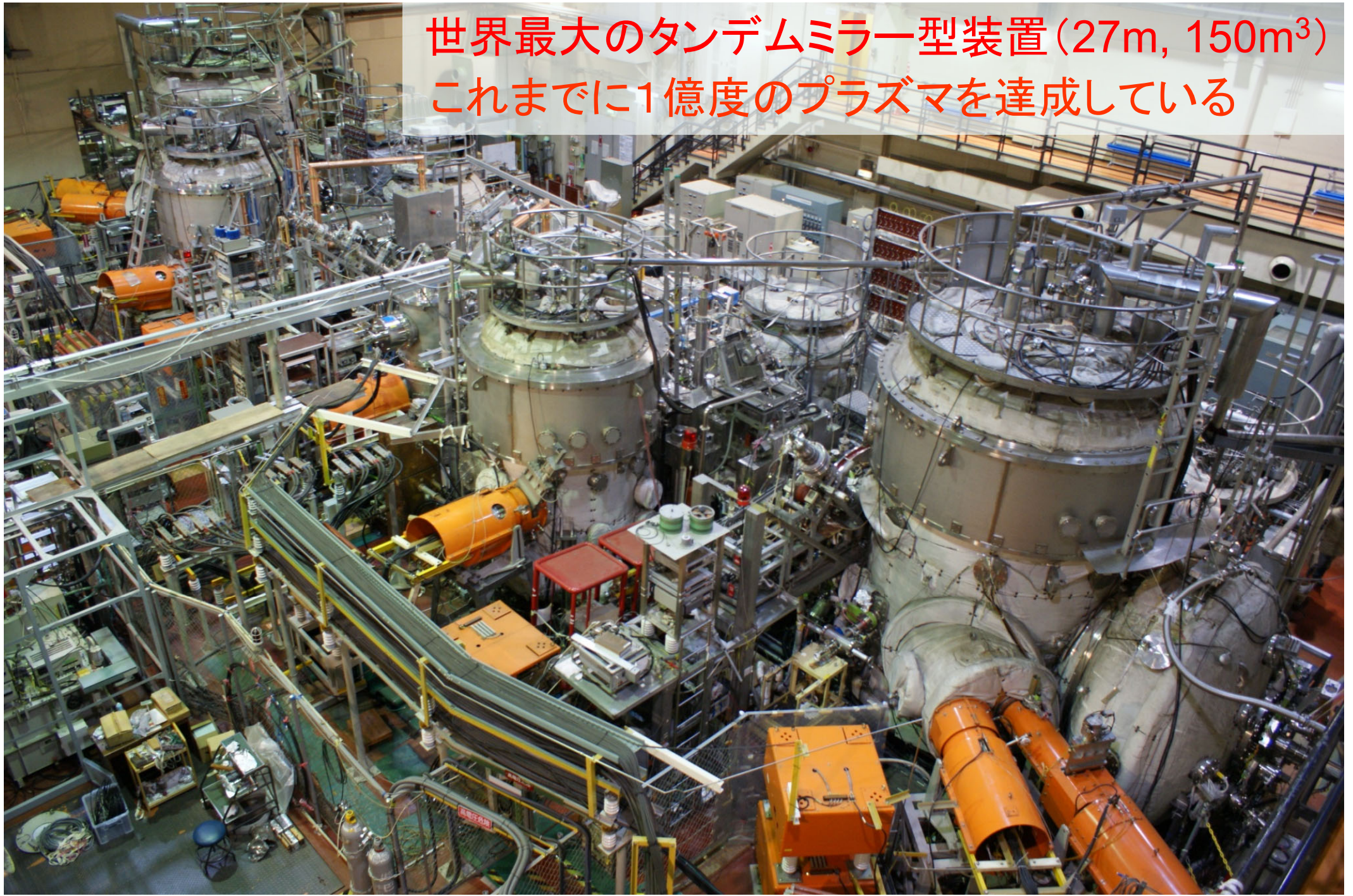
ヘリカル方式



筑波大学プラズマ研究センターの装置は直線型
(タンデムミラー型プラズマ閉じ込め装置)

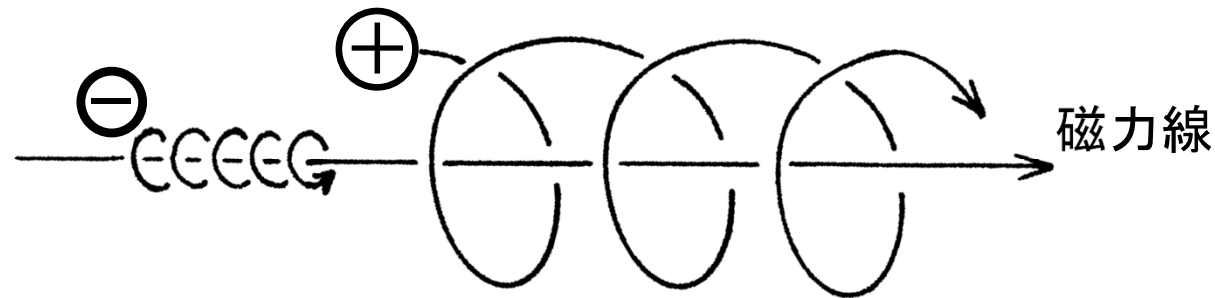
タンデムミラー型プラズマ閉じ込め装置GAMMA 10/PDX

世界最大のタンデムミラー型装置 (27m, 150m³)
これまでに1億度のプラズマを達成している

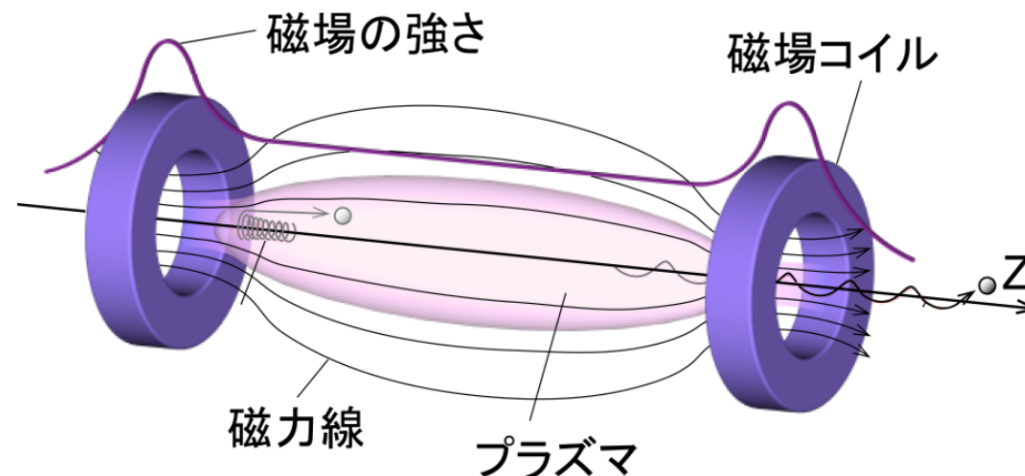


ミラー閉じ込めの原理

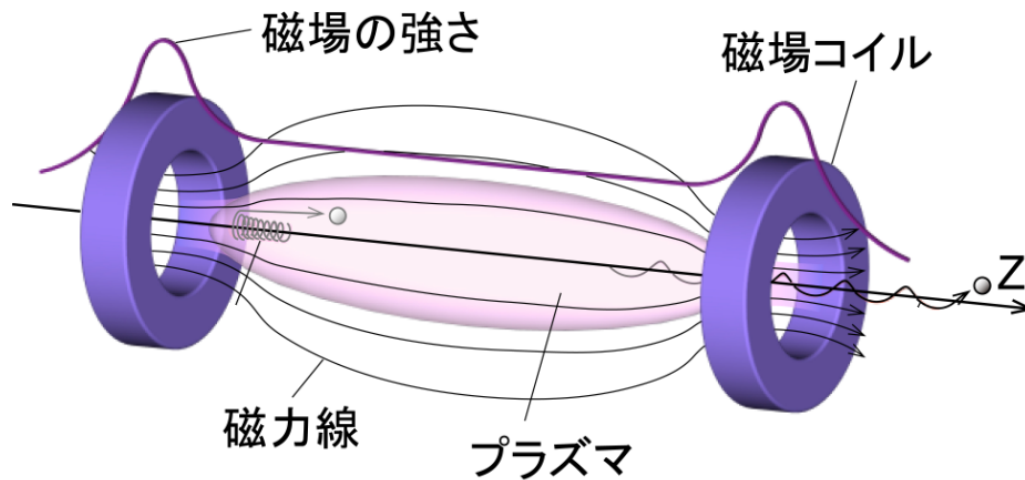
一様磁場中の荷電粒子は磁力線に巻きつくけど、磁力線方向には自由に運動できる。



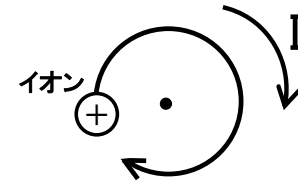
磁力線に沿って磁場の強さが変化している時、荷電粒子はどんな運動をするだろう？



ミラー閉じ込めの原理



保存量: 運動エネルギー W
磁気モーメント μ

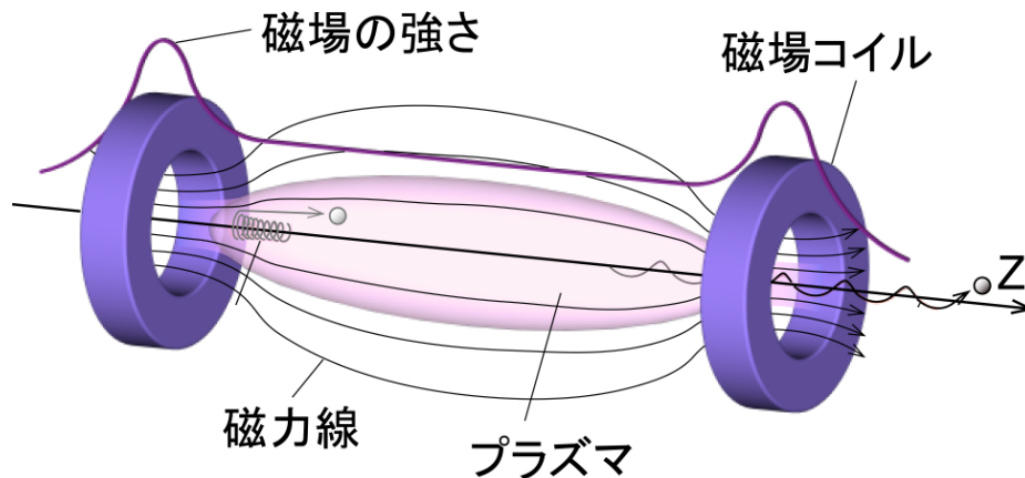


○ 磁気モーメント: $\mu = (\text{電流の強さ}) \times (\text{円の面積}) = I \times S$

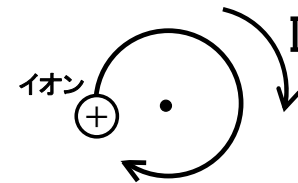
磁力線の周りを運動している荷電粒子の μ は

$$\mu = \frac{\text{(磁場に垂直方向の運動エネルギー)}}{\text{(磁場の強さ)}} = \text{一定}$$

ミラー閉じ込めの原理



保存量: 運動エネルギー W
磁気モーメント μ



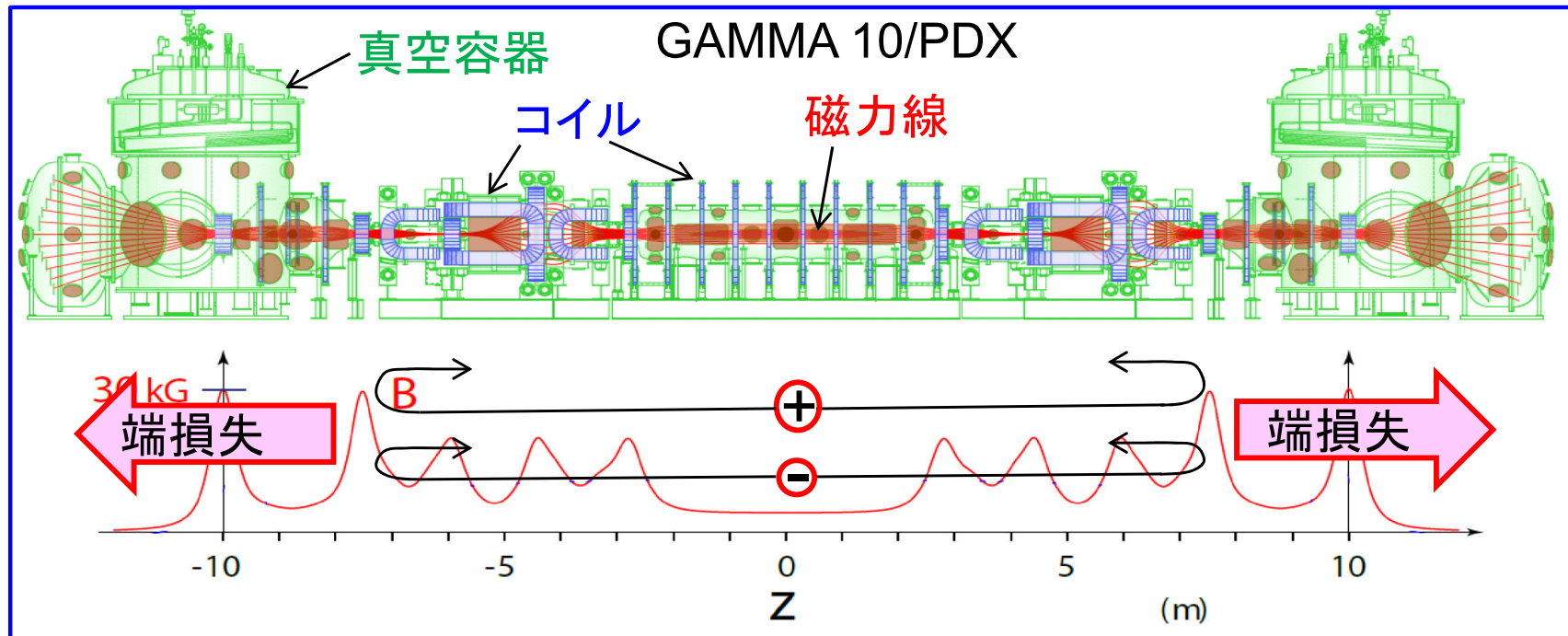
磁力線の周りを運動している荷電粒子の W は

$$W = \text{(磁場に垂直方向の運動エネルギー)} + \text{(磁場に平行方向の運動エネルギー)} = \text{一定}$$

荷電粒子が磁力線に沿って磁場の強い方に進むとどうなるだろうか？

磁場の強いところに来ると、 μ を一定にするために垂直方向の運動エネルギーが増加 \Rightarrow 平行方向の速度が減少

ミラー型装置のプラズマ閉じ込めの原理

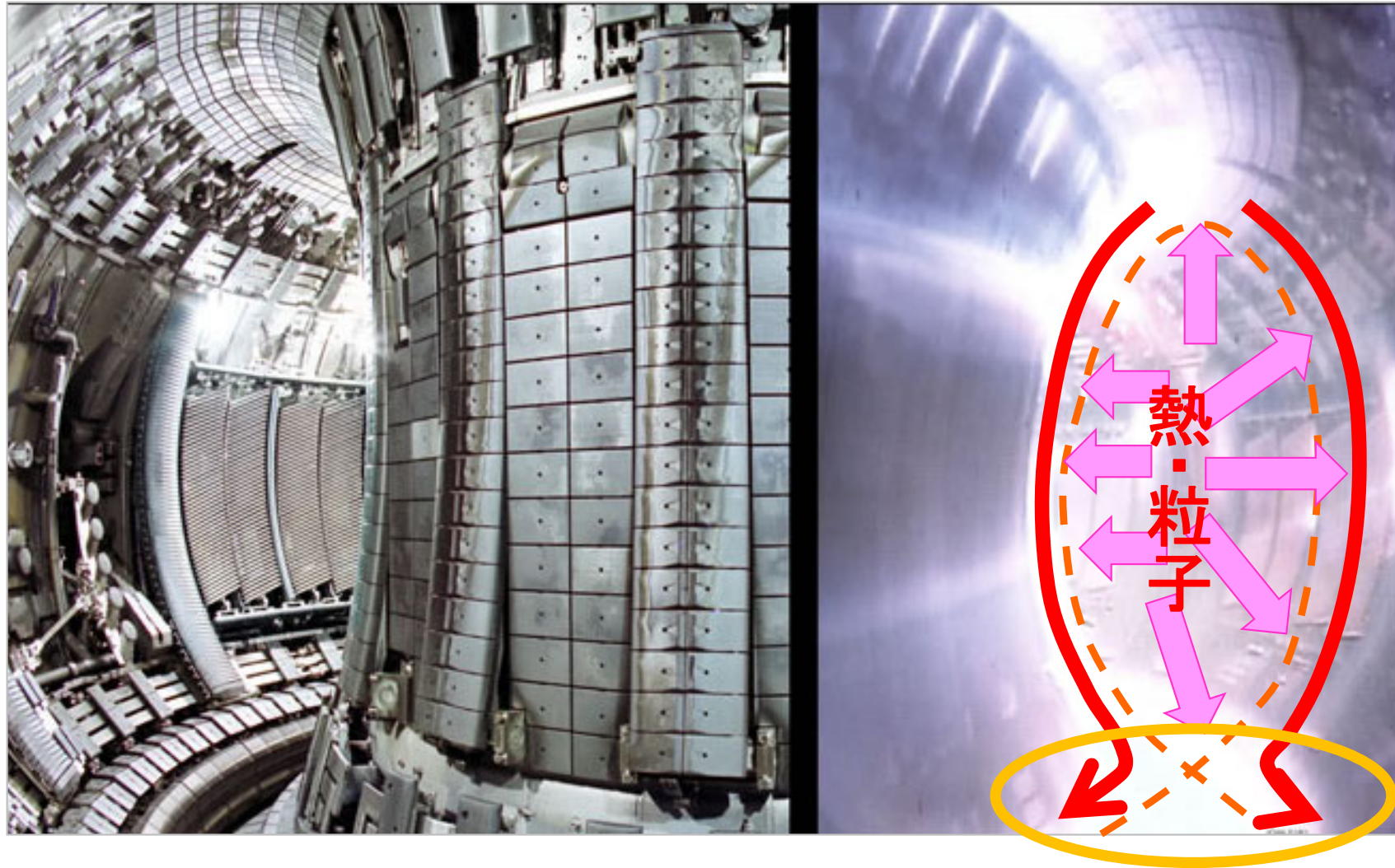


ある条件を満たすイオンと電子は磁場の強いところで跳ね返される
光が鏡(ミラー)で反射するようになるので、ミラー型装置と言われている

ある条件のプラズマは磁力線に沿って装置の端に逃げてしまう
(端損失)

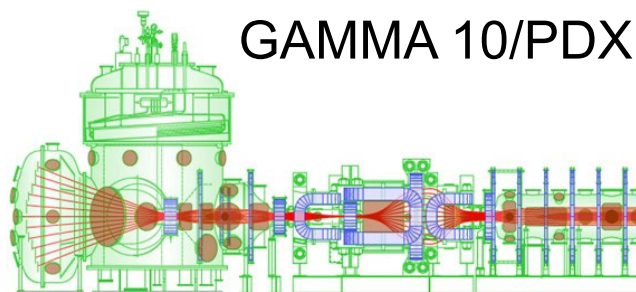
GAMMA 10/PDXでは、端損失を活用して核融合炉で重要な課題
となる熱と粒子の制御に取り組んでいる

核融合炉の中の様子(イメージ)



核融合炉では発生したエネルギーは最終的に壁にやってくる
何も制御しなければ、そのパワーは数 $10\text{MW}/\text{m}^2$

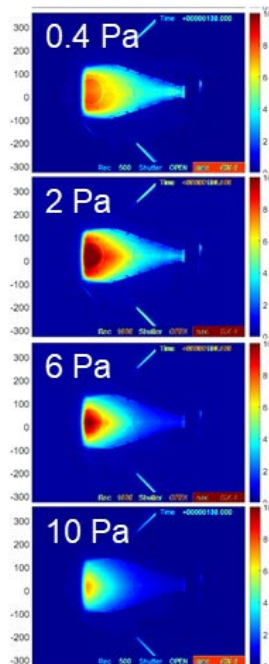
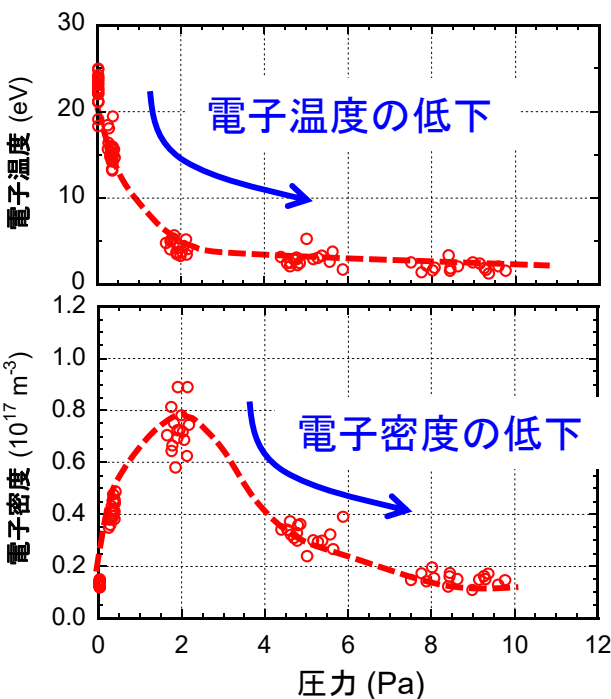
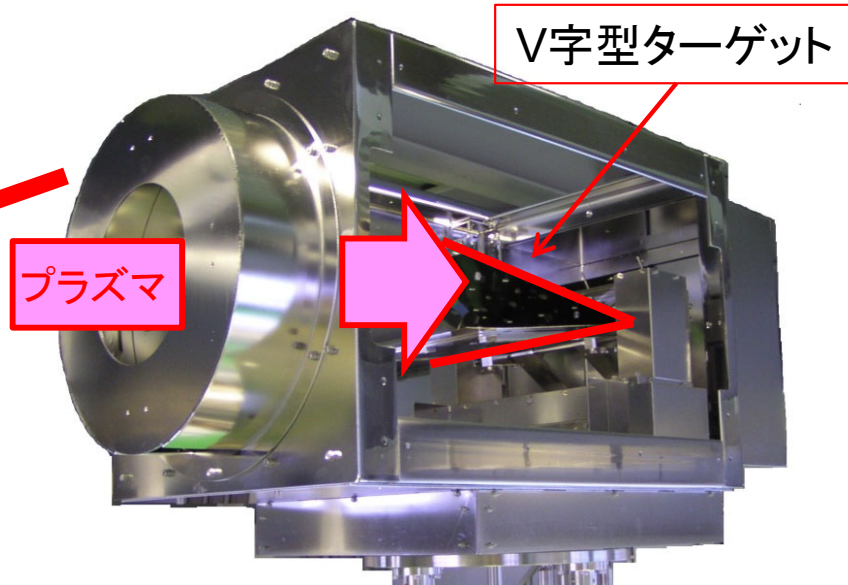
GAMMA 10/PDXでの熱粒子制御研究と 新装置での研究の新展開



GAMMA 10/PDX

ダイバータ模擬領域

ミラー型装置の開いた磁力線構造をうまく活用してダイバータ模擬研究を実施することが可能



他の直線型装置にない特長

プラズマ閉じこめ領域を有するために、材料に照射される**プラズマの温度が核融合原型炉に匹敵するほど高い**

ただし、

常伝導コイルを用いているため、**短時間(0.4秒)**しかプラズマを点けることができない。また、**密度も低い**。

イオンと電子または負イオンを再結合させて**プラズマを消す**

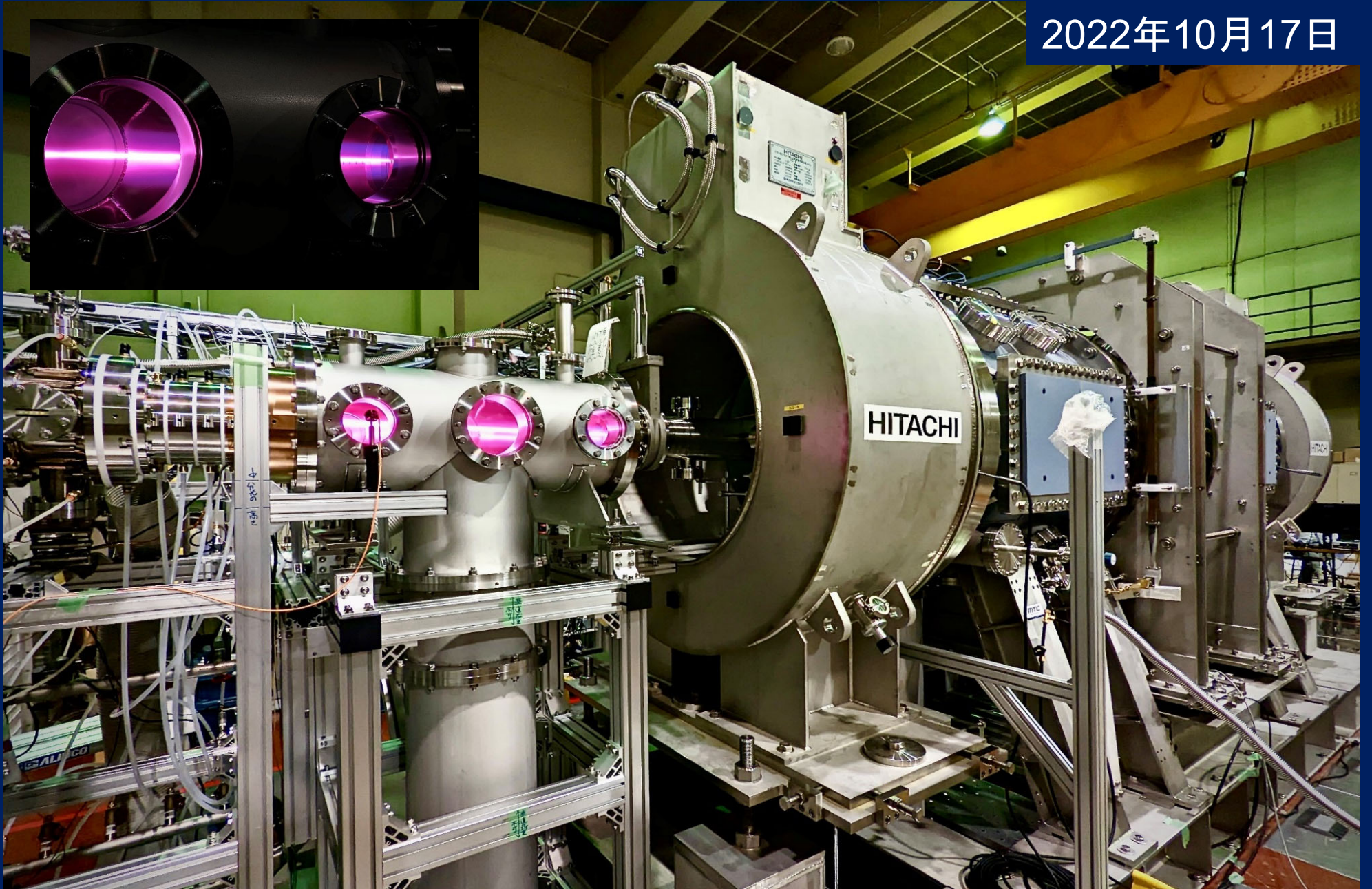
そこで、**超伝導ミラー装置を建設**

2022年7月に真空排気装置とプラズマ源用
差動排気チャンバー設置リークテストが完了



ファーストプラズマの生成に成功

2022年10月17日



現在、プラズマ加熱装置及びプラズマ計測系の整備を進めている