

第17回 若手科学者によるプラズマ研究会

2014年3月5日

# 摂動磁場コイルによる 非円形断面トカマクの垂直位置安定化

## Outline

- 垂直位置不安定性による装置損傷
- ヘリカル磁場による安定化
  - 円形断面装置での予備実験
- 小型トカマク製作の進展
  - 摂動磁場コイル, TFコイル強度試験,  
フライホイール電源の整備

畠山昭一

東京工業大学 原子炉工学研究所

# 第一壁にプラズマが接触して損傷

## 非円形断面の利点

高ベータ, 高閉じ込め

## 問題点

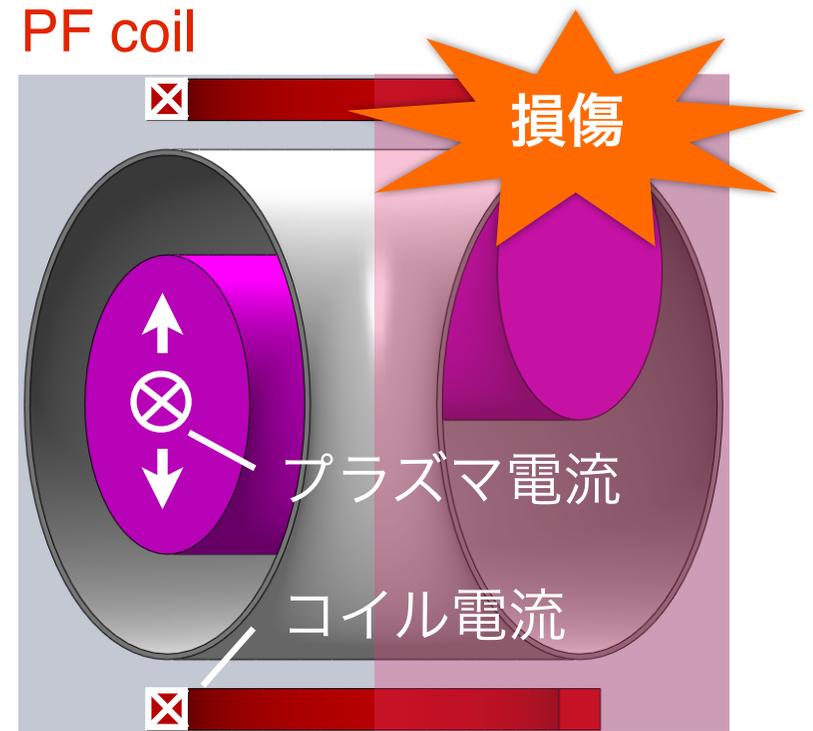
位置制御 (特にディスラプション中)  
垂直位置不安定性

位置制御を喪失すれば

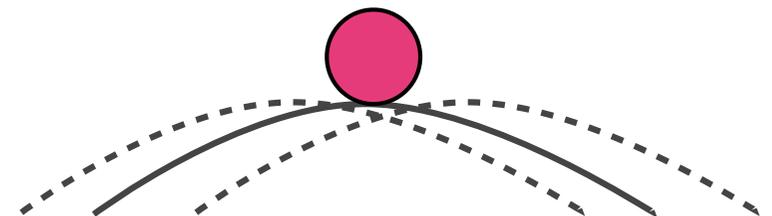
熱負荷, 電磁力による損傷

長期の運転停止, 低稼働率

縦長断面にするには？

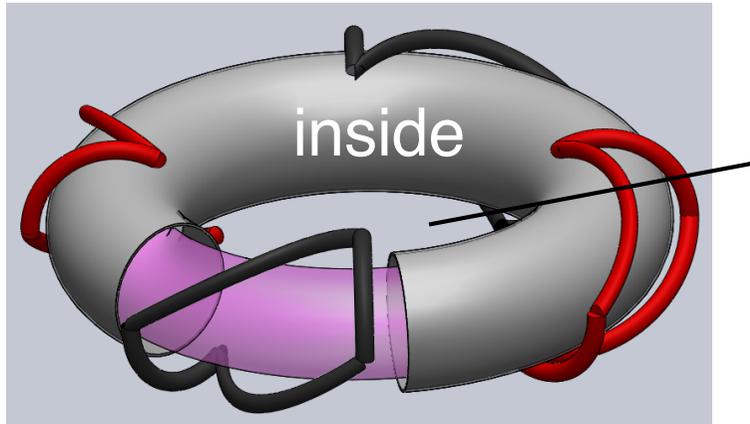


不安定平衡な状態



# 摂動磁場コイルによる垂直位置安定化

## 🔊 検討中のコイル形状と配置



### 利点

- トーラス中心を通らない
- 真空容器外部に設置
- 能動的に制御しない

### 研究目的

- VDEも抑制されるか？
- 実験的にコイル形状を最適化する

### 1. 円形断面装置で予備実験

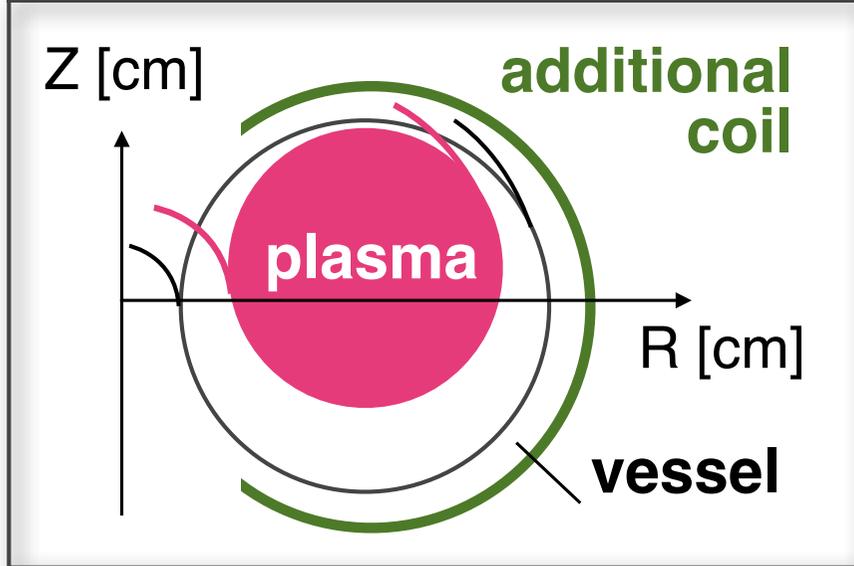
- 垂直位置安定
- 名大のHYBTOK-IIを利用

### 2. 縦長断面装置で実証

- 垂直位置不安定
- 新設が必要

# HYBTOK-IIでの予備実験 (円形断面で垂直位置安定)

プラズマは上側に寄せておく



結果

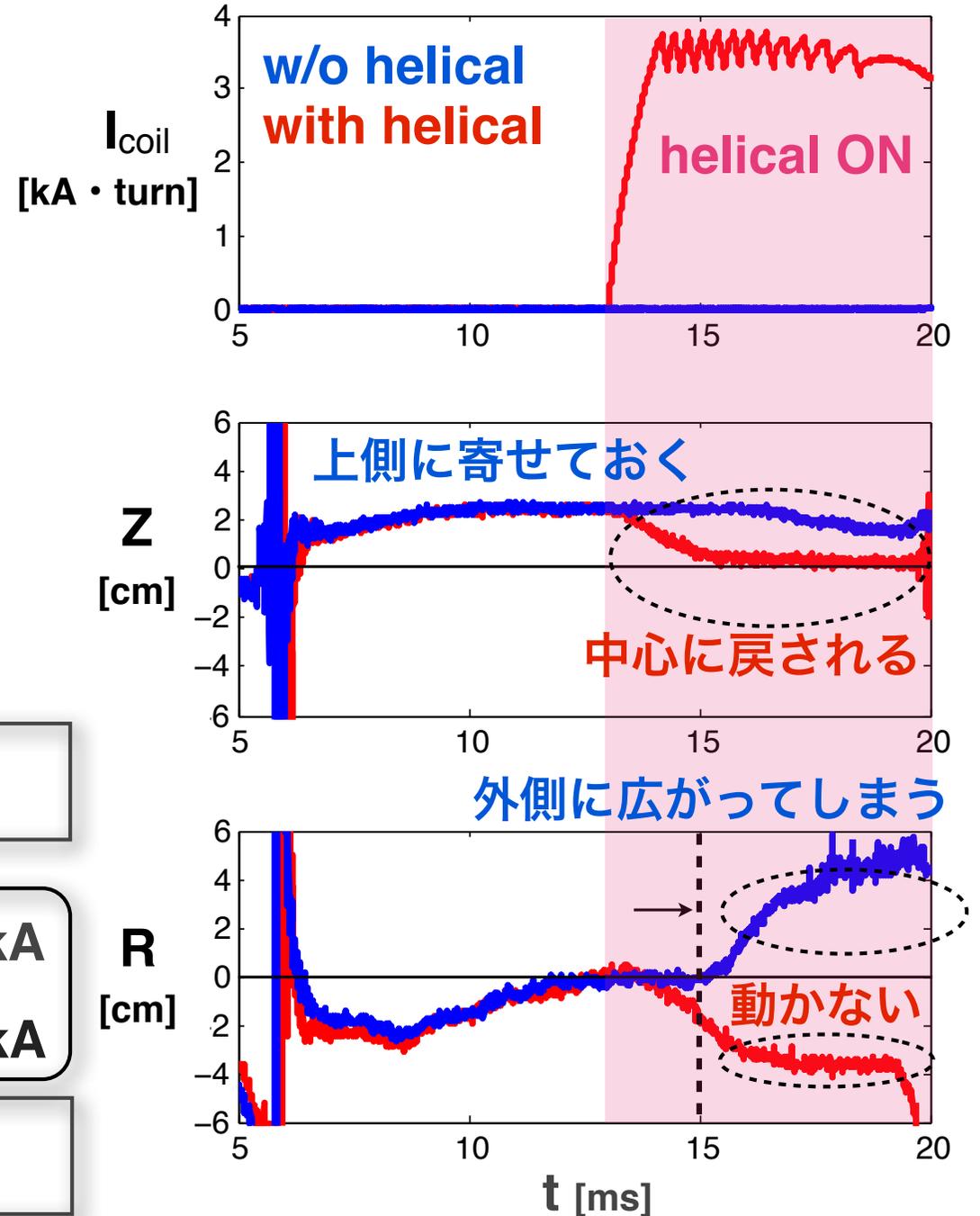
安定効果を裏付ける応答

問題点

コイルには大電流が必要

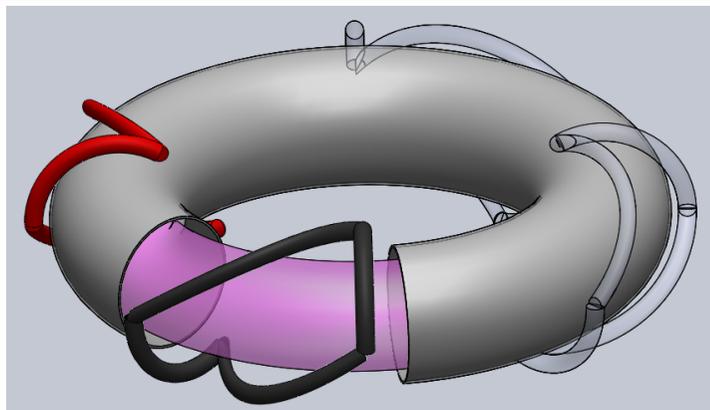
$I_{\text{plasma}}$  5 kA

$I_{\text{coil}}$  3.5 kA

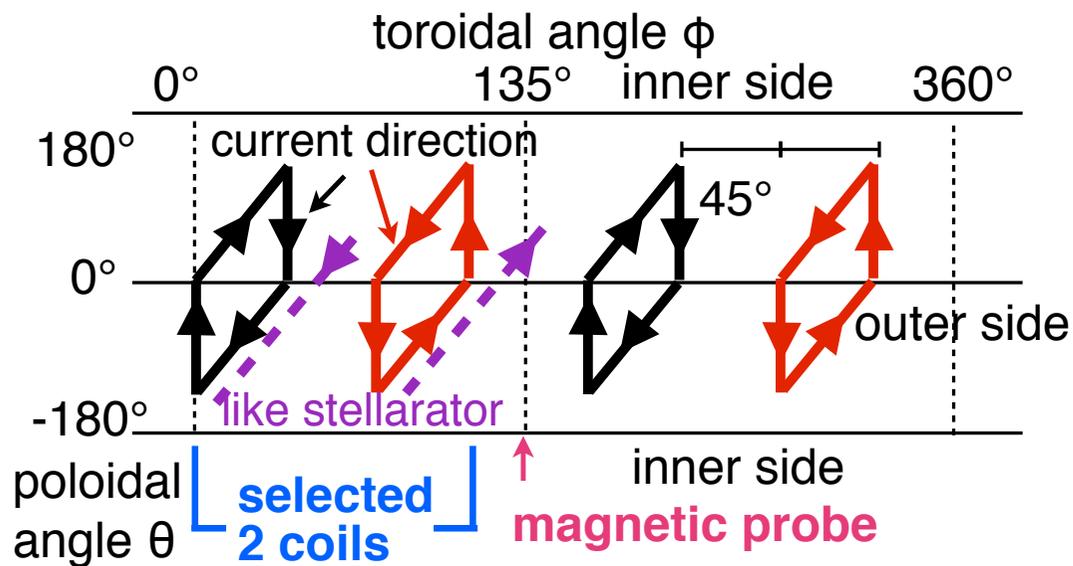


# トラス片側だけに設置しても効果あり

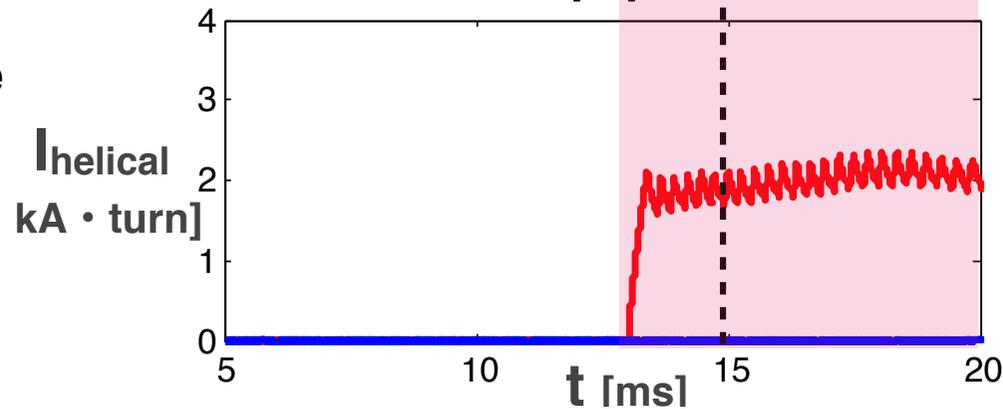
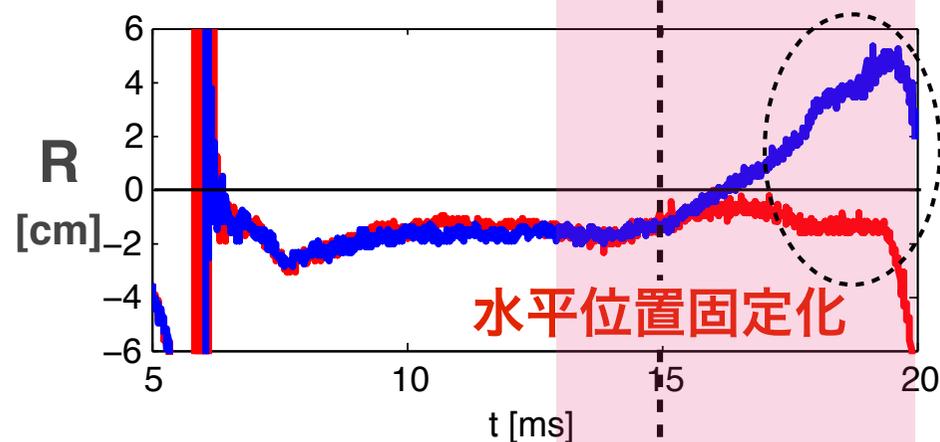
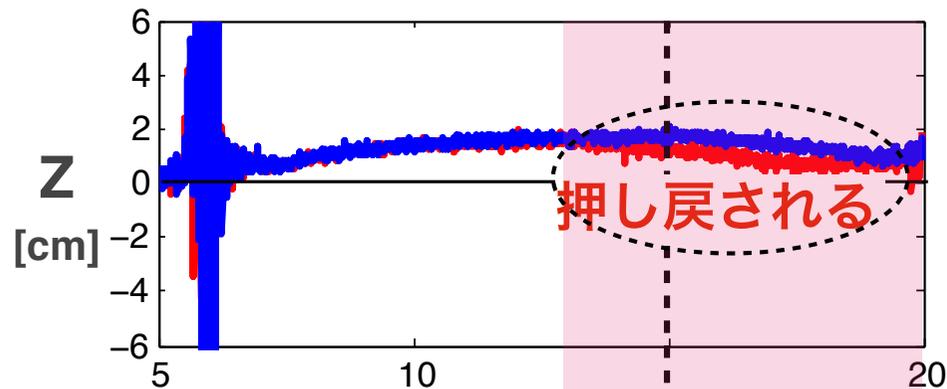
コイルは2つ/4つだけ使用



トラス一周に渡り安定化される？

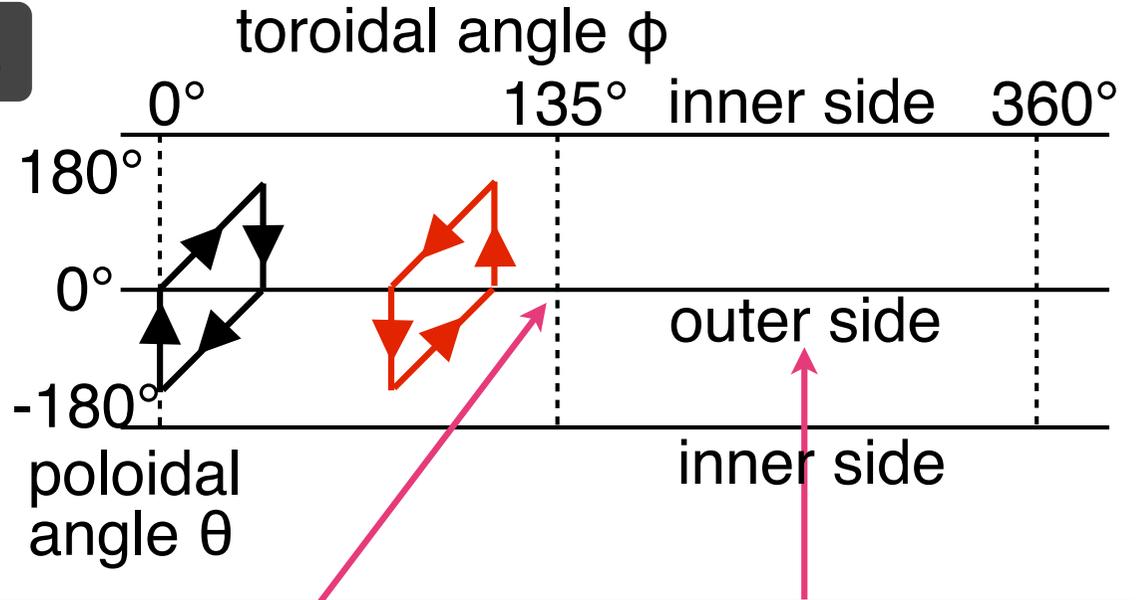
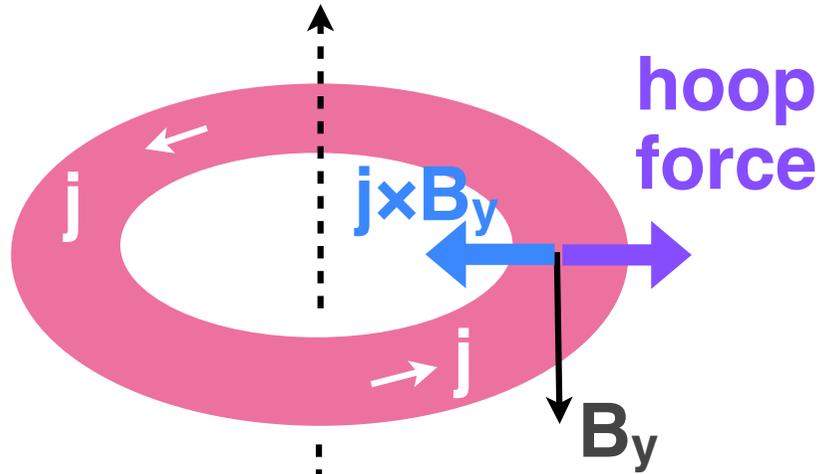


VMECで定性的に裏付け



# 位置安定効果の裏付け (VMEC平衡)

## フープ力による水平位置変化



## 磁気面の変化

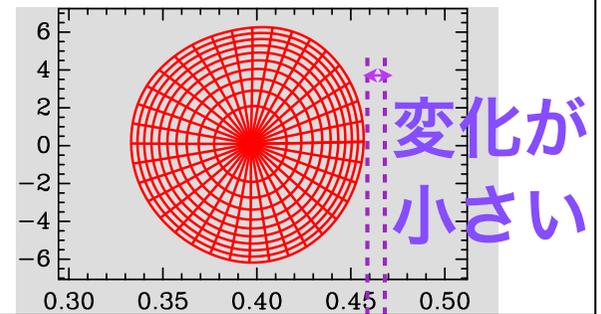
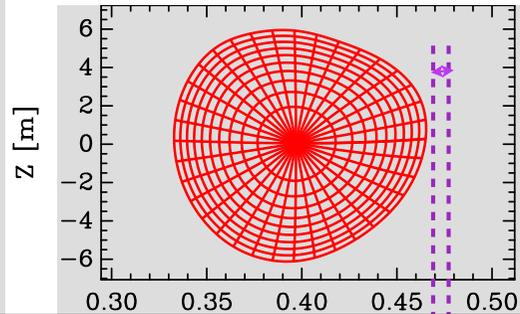
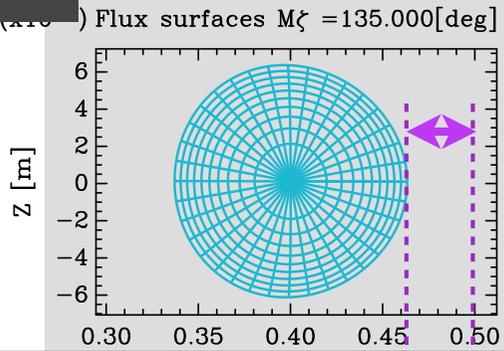
w/o helical coil

with two helical coils

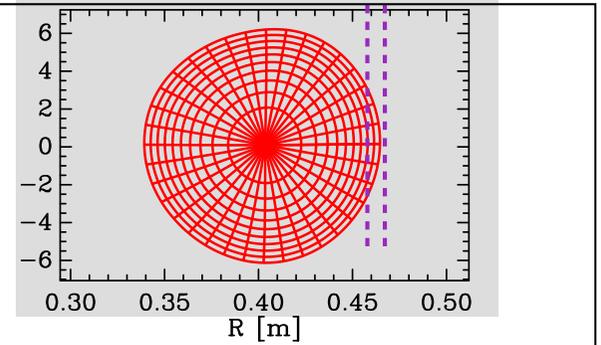
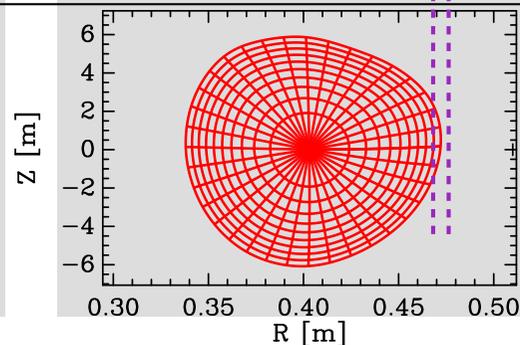
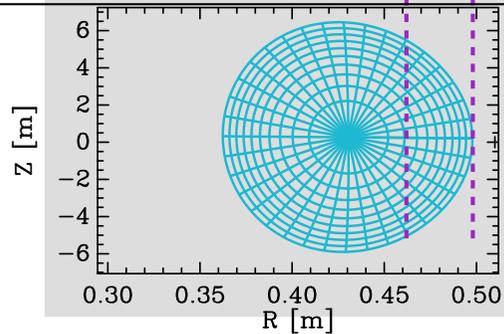
$\phi = 135^\circ$

$\phi = 225^\circ$  (opposite side)

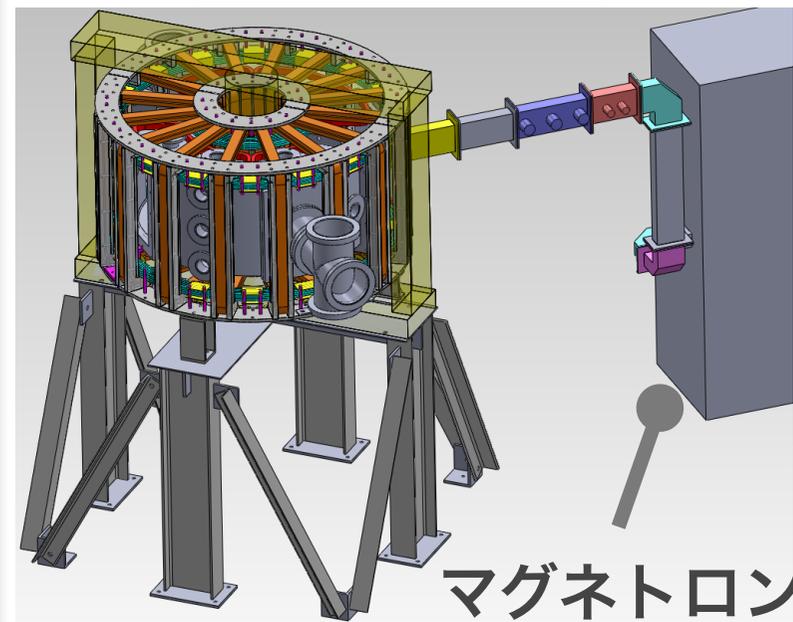
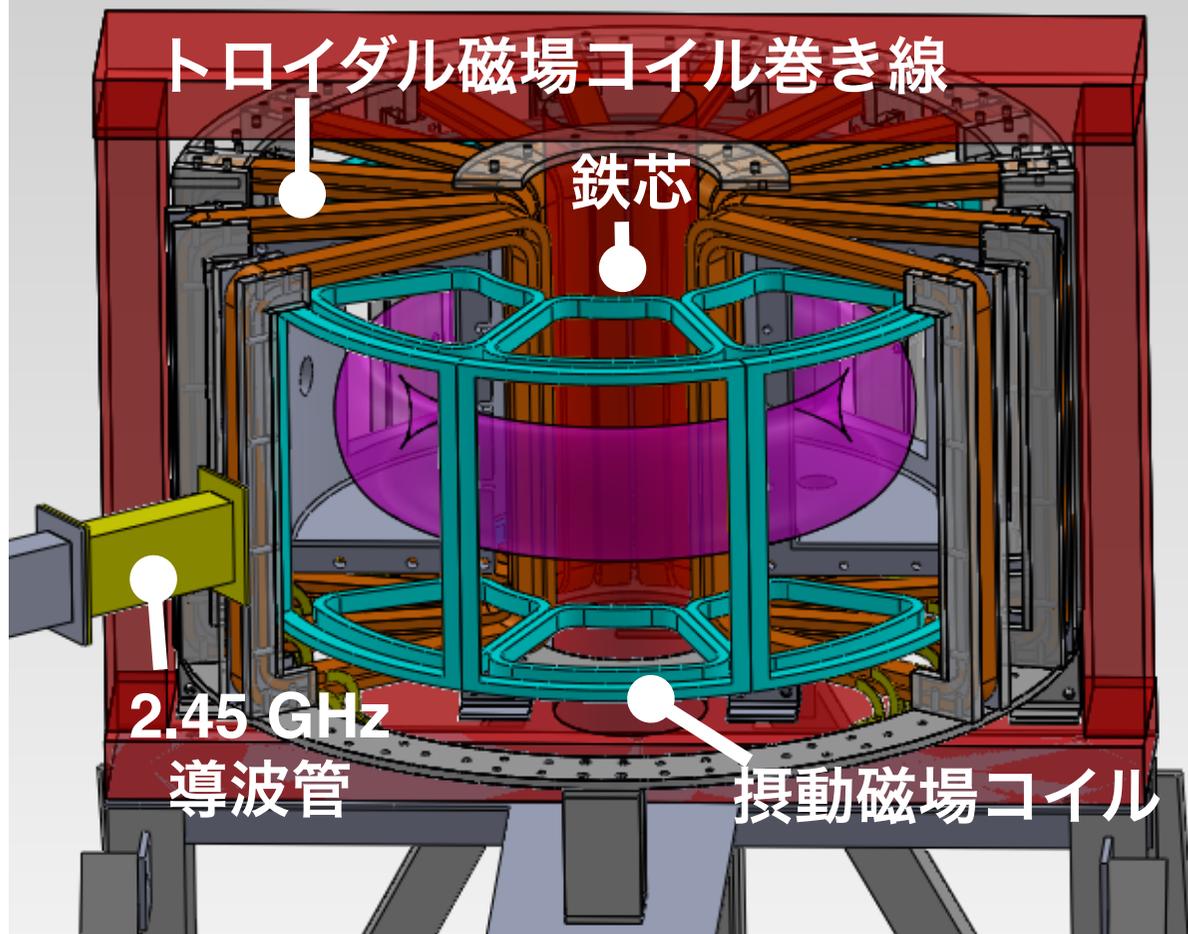
weak  
hoop force  
 $I_p = 5\text{kA}$



strong  
hoop force  
 $I_p = 6\text{kA}$



装置の全体図



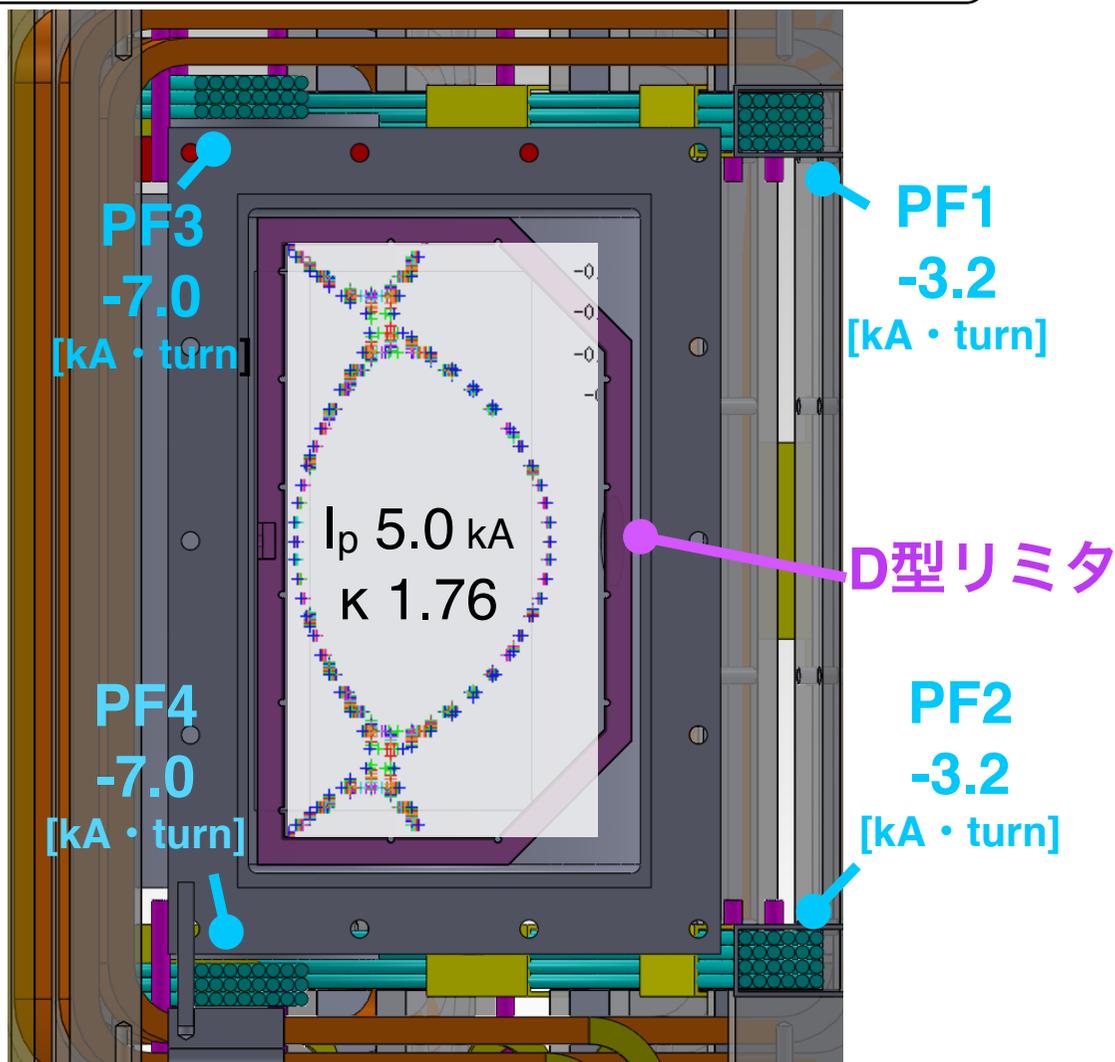
マグネトロン  
(H25年度九大より移設)

## 装置の 特色と利点

- 縦長断面のプラズマ生成
- 容器外にサドルコイルを設置
- VDEを抑制する

プラズマ電流 $I_p$	5 kA
トロイダル磁場 $B_t$	0.3 T
大半径 $R_p$	33 cm
小半径 $a_p$	9 cm
<b>非円形度 <math>\kappa</math></b>	<b>1.8</b>
放電時間	20 ms

## 平衡計算結果と装置ポロイダル断面



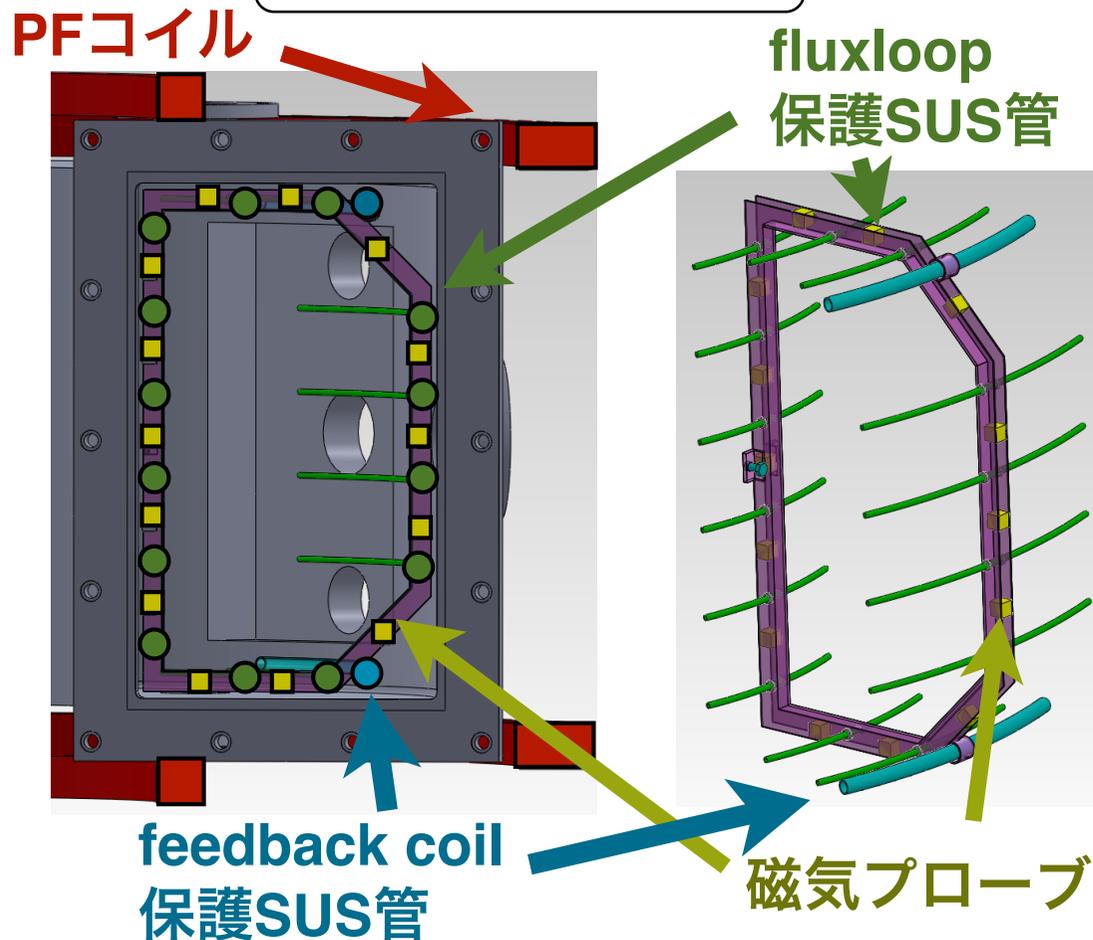
## 容器の製作と真空試験



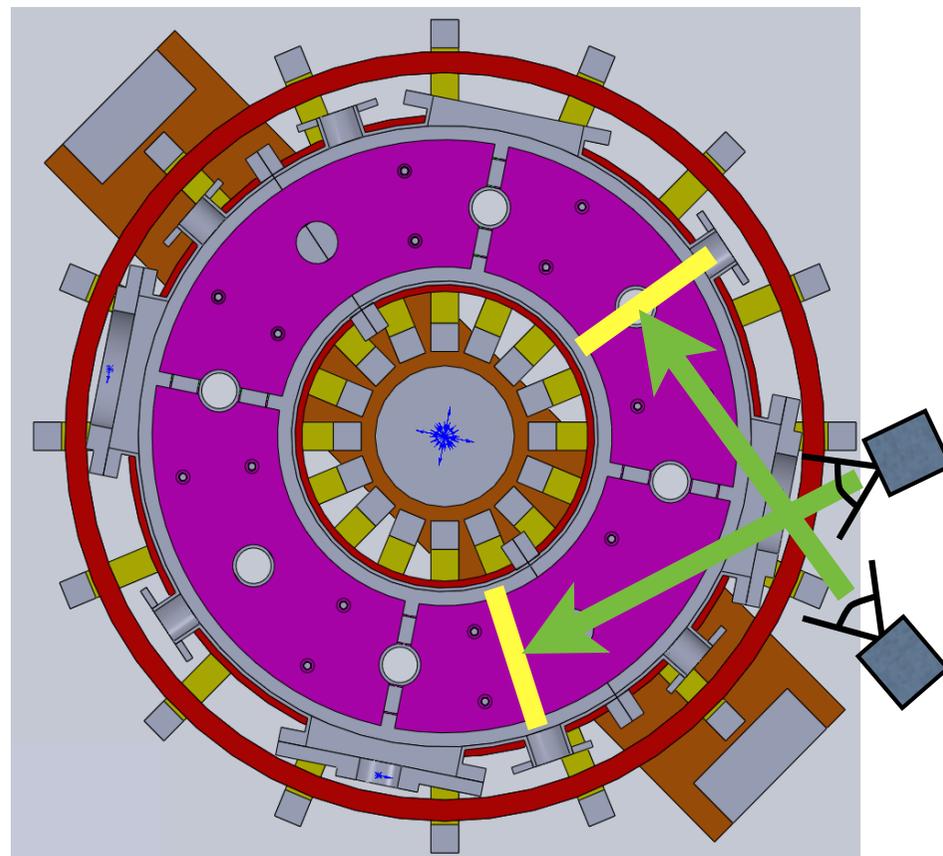
## 特徴

- 非円形度1.8程度の縦長配位 (平衡は存在)
- **ダイバータ配位も狙える?** ← TSCで立ち上げ検討

## 真空容器内機器



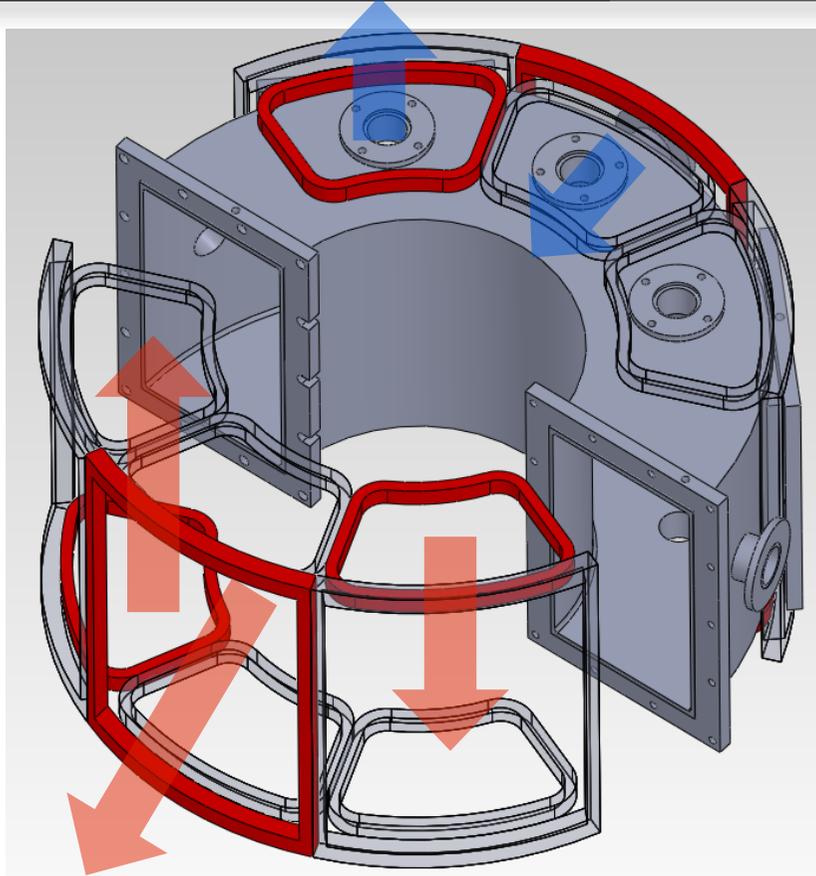
## 高速カメラの視線



磁気プローブ	14個 × 4セクション
フラックスループ	14本
フィードバックコイル	上下2本

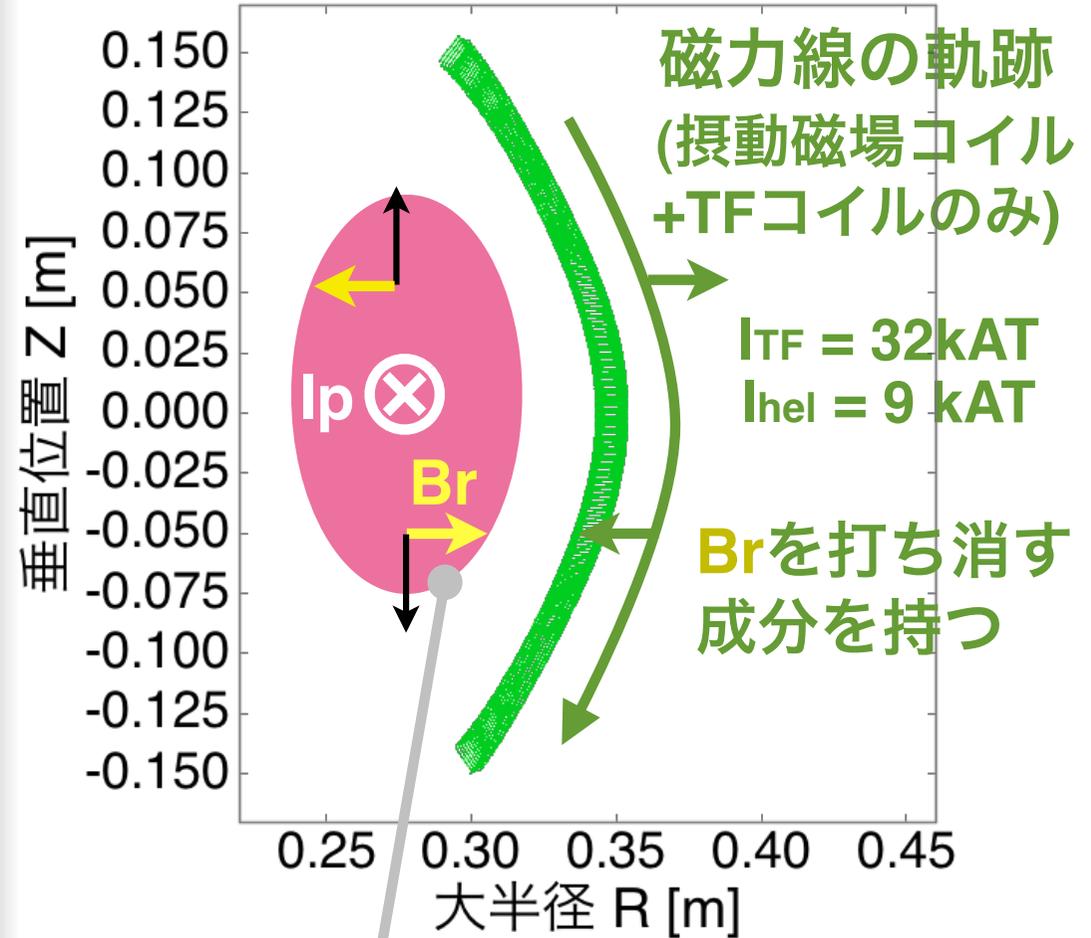
- ミリ波の干渉計測も予定
- NIFSにて予備実験を行った

## コイルの配置と形状



磁場の向き 結線と電流比を変えて  
正味の水平成分を制御

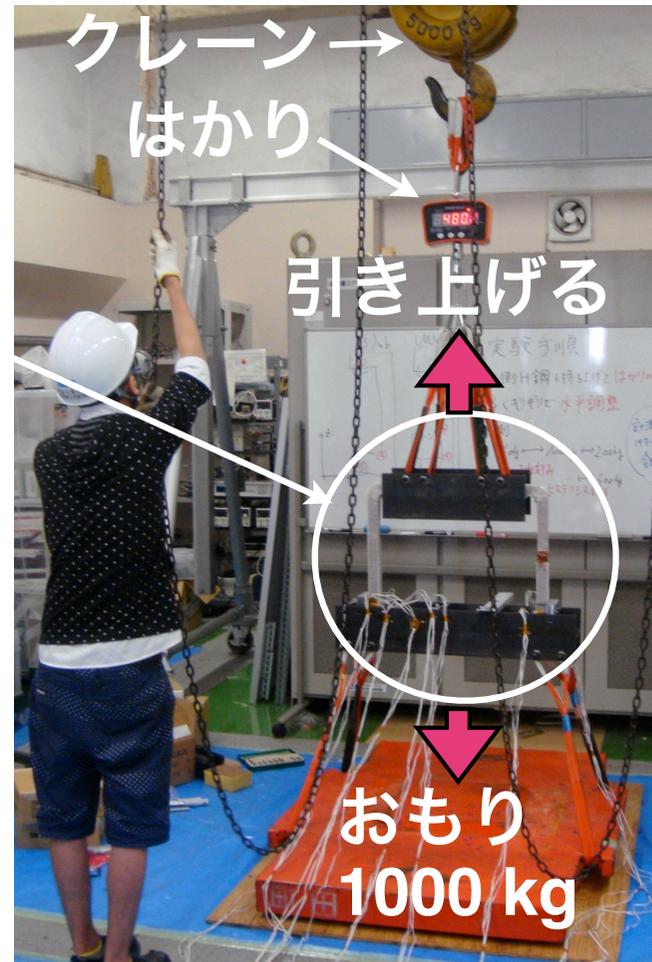
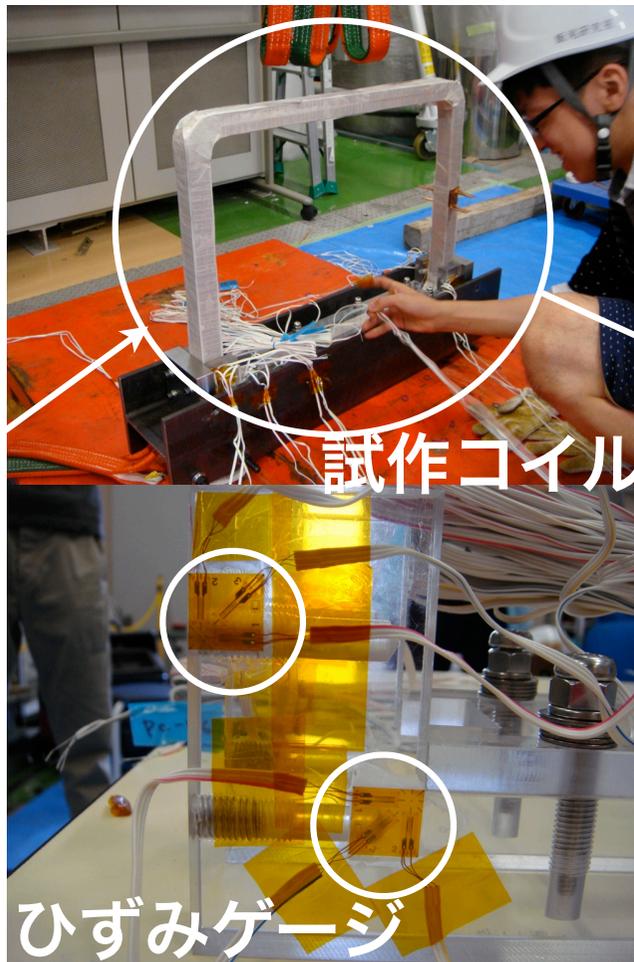
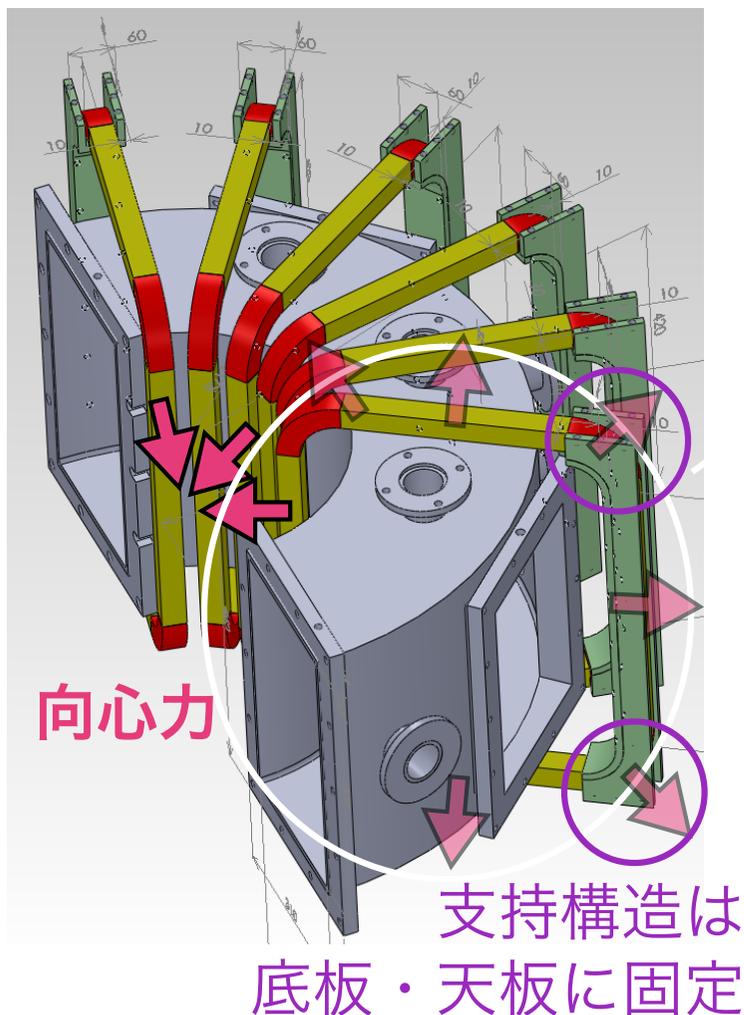
## 摂動磁場コイルの作る磁力線(真空磁場)



位置不安定性の原因, 上下に引っ張る

## 特徴

- 大型トカマクにも適用しうるコイル配位に変更
- ヘリカルな磁力線の正味の水平成分で位置安定化



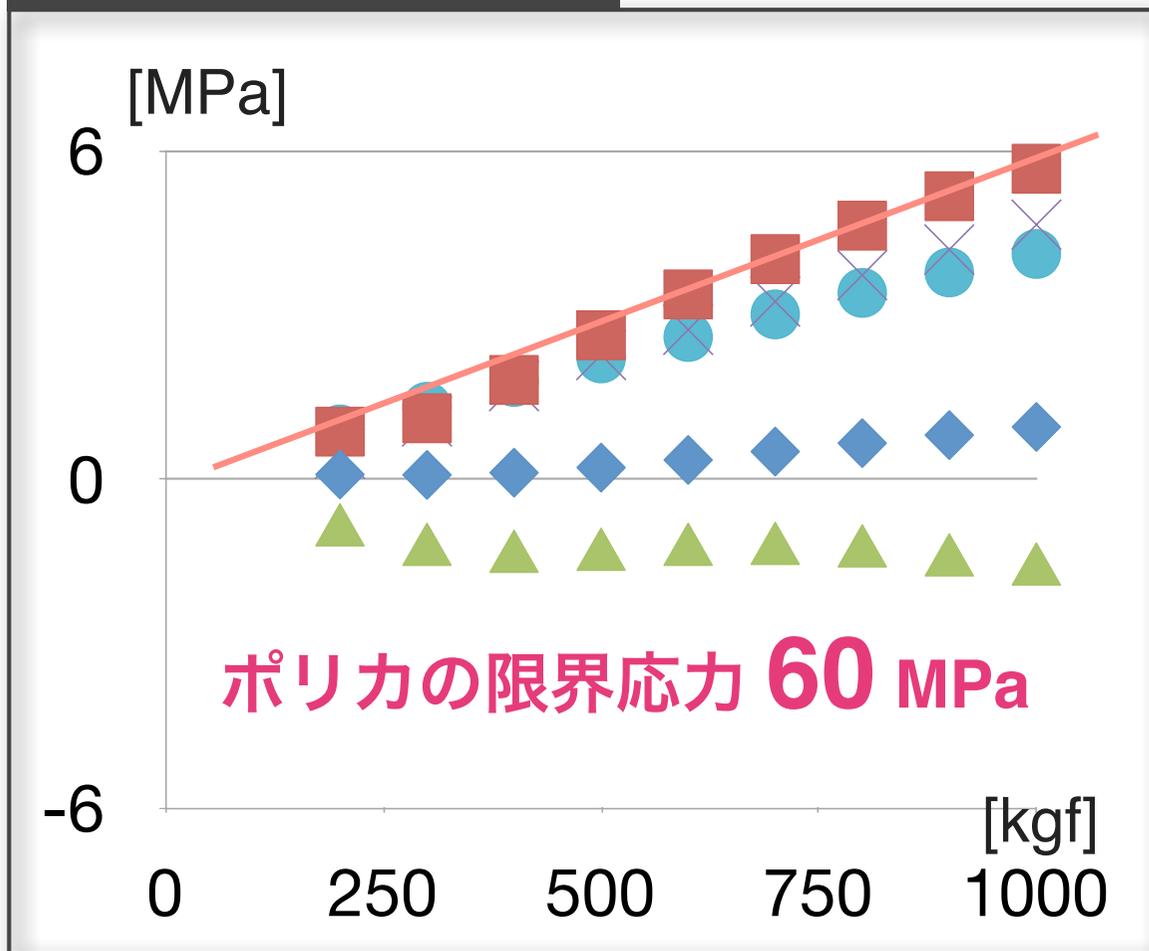
## 1. 有限要素法で応力解析

- 想定される力の大きさ **560 kg**
- **向心力が支配的**

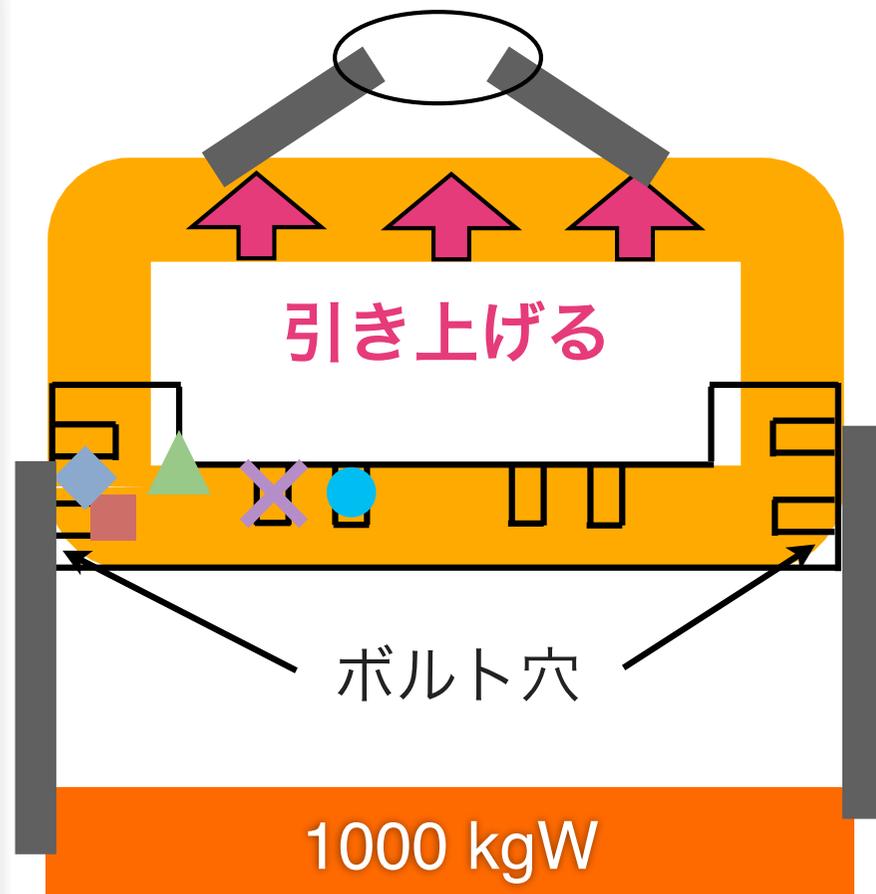
## 2. 試作コイルで強度試験

- 荷重 **1000 kg** (想定 of 2倍)
- **ひずみと応力** も計測

最大主応力 [MPa]



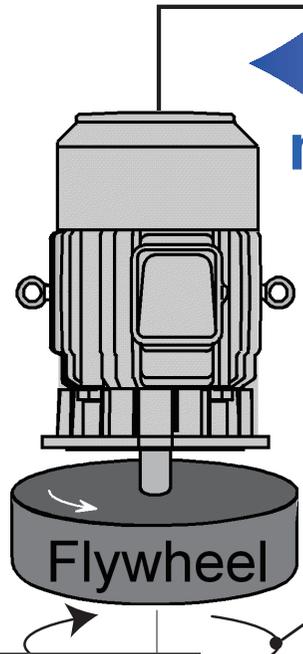
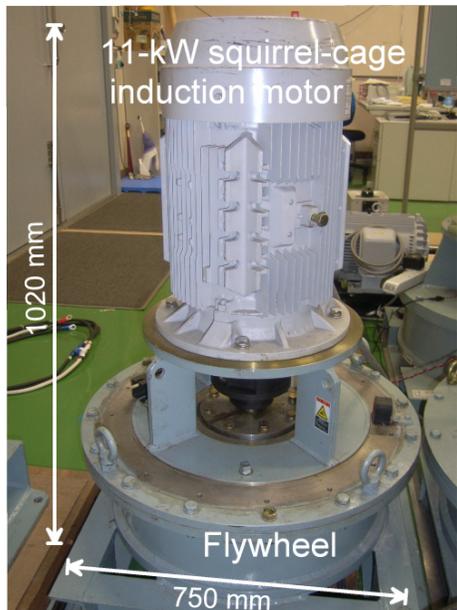
応力計測点の位置



## 健全性

### の確認

- 安全率 **1.9** 以上は担保された (1000 kgf/560 kgf)  
数値設計上は**8.0**以上と期待
- ひずみは線形な弾性領域 → 十分なマージン

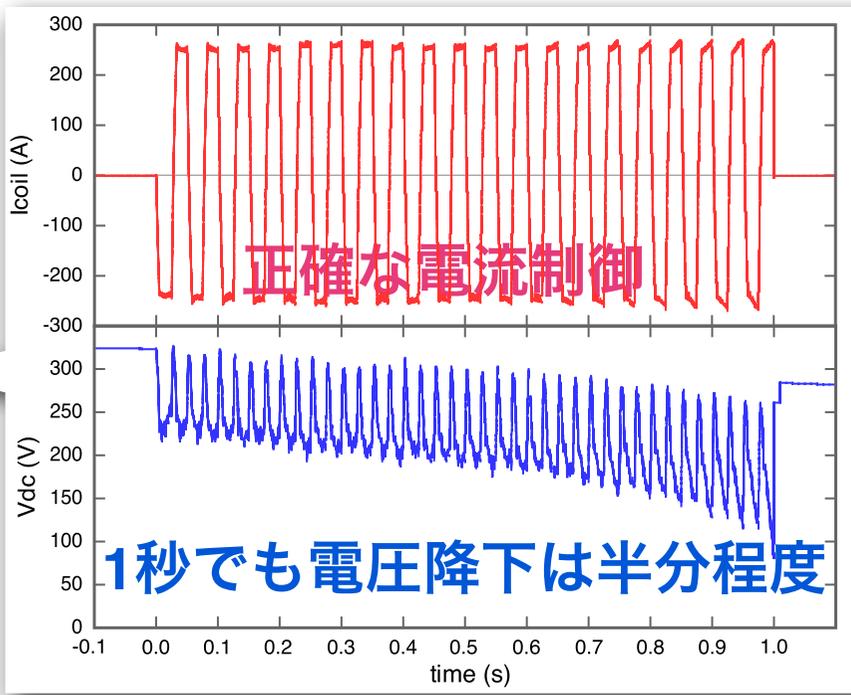
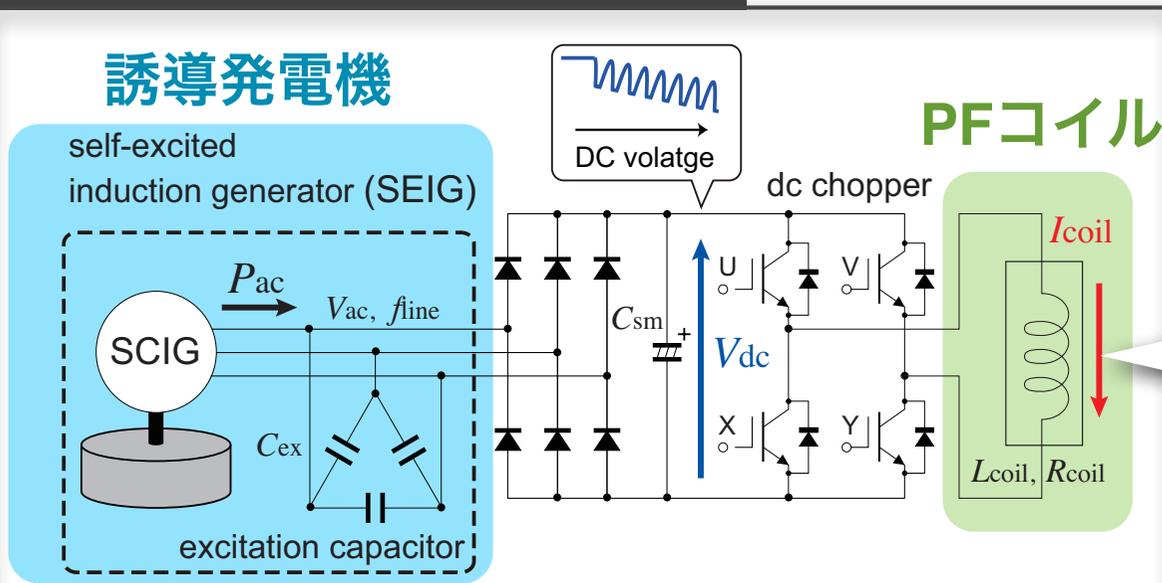


← **電気エネルギー** →  
**motor generator**

- コンデンサに対する利点**
- 電圧低下が小さい
  - 蓄積エネルギーが大きい
  - 安い (小型水力技術の応用)

→ **フライホイールの機械回転エネルギー**

## 発電機システムの回路図



**AC50Hz → 任意のコイル電流に変換する回路**

## 小型トカマク実験

H24-25年度実施

1. 縦長断面トカマク設計・製作

※4月から組み立て開始

H26年度実施

3. コイルの位置安定効果実証

- ・垂直位置不安定な縦長断面トカマク放電
- ・放電途中から摂動磁場コイルの磁場印加
- ・フィードバックなしでも維持出来るか？

3次元のディスラプション  
追跡コードの作成

2. エネルギー原理計算コード  
作成(実座標系のVMEC)

セパトリクスも  
含んだ計算

H26年度以降

4. ディスラプション実験

- ・プラズマ電流立ち上げ
- ・キンクモードでディスラプション
- ・VDEを抑制出来るか確認

5. コイル形状の最適化

ディスラプション中の外部加熱  
によるプラズマ復旧も検討