

磁気圏型プラズマ装置RT-1における超伝導磁気浮上コイルの位置制御

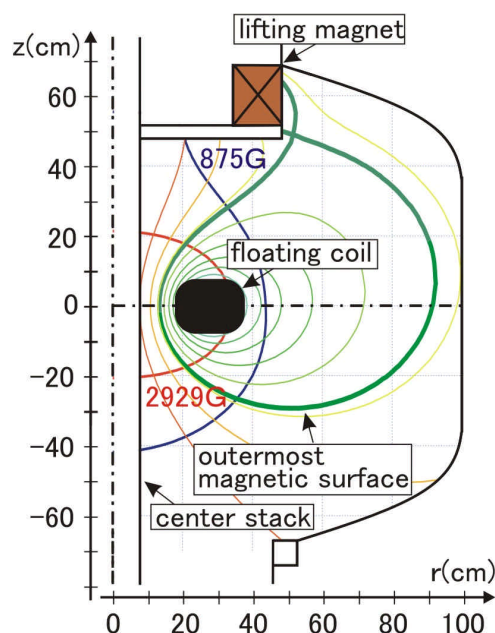
矢野善久、渡邊将 東大新領域

高速流プラズマ実験装置RT-1

我々の研究グループでは高速流プラズマの持つ新たな高プラズマとしての可能性を検証するために内部導体装置による高速流プラズマ実験を行なっている。昨年、Proto-RT装置とMini-RT装置の成果を経てRT-1装置が建設され初プラズマの生成に成功している。RT-1は中心部に高温超伝導コイル(250kA)を持ち、上部に設置した常伝導引き上げコイル(30kA)により磁氣的に真空容器中に浮上させて磁気面内に障害の存在しないプラズマを生成することが出来る先端のプラズマ装置である(図参照)。

現在は初期プラズマ計測実験と並行して高い磁場精度(10^{-3})を目標として、浮上コイルの位置制御を中心とした磁気浮上システムに関する開発・研究も進めている。

[図・超伝導浮上コイルと引き上げコイルの配置図と磁場配位の様子。太線は最外殻磁気面を表す。]



PID負帰還制御によるz軸不安定性の制御

RT-1装置の超伝導磁気浮上コイルは真空容器上部から磁気吸引力によって吊り上げられており、即ち重力方向(z軸方向)について不安定な浮上形態である。磁気浮上コイルの不安定性は運動方程式にて近似的に求めることが出来、RT-1装置の場合 $\omega = 6.3$ の時定数の不安定性を持っている。

RT-1では引き上げコイルの電流値を負帰還制御により制御することで浮上コイルの不安定性を安定化している。浮上制御システムは大きく分けて浮上コイル、引き上げコイルの他に3本の位置センサ、PIDコントローラ、引き上げコイル電源から構成されている。本研究では各構成要素を伝達関数により線形モデル化し、浮上制御が可能であることを実証し、浮上中の実際の応答と伝達関数のモデルとを比較した上で制御特性の評価を行なった。

誤差磁場や質量偏差による傾きの補正

磁気浮上に関するもう一つの問題として約0.3Gの地磁気や装置構造物の磁化などによる誤差磁場と浮上コイルに内在する質量偏差が原因と考えられるコイルの傾き(約2deg)や振り子のような往復回転運動がある。振り子運動は浮上コイルが傾くことで新たにコイルに回転方向の力が生じ、それが常に誤差磁場の方向と質量偏差の方向を同一にする方向に働くことで説明でき、概念的には磁場的なポテンシャルの谷に対して質点(浮上コイルの重い位置)が位置エネルギーと運動エネルギーを交換しながら往復することも理解できる。

本研究では磁場精度 10^{-3} に対応する傾き0.057degを目標に、東西南北に設置した補正コイルを用いた誤差磁場の補正と、内蔵するバランスを調整することでコイルの質量偏差の補正を行なった。質量による傾き成分を当初の0.88degから測定の精度以下の0.05degに補正し、同時に補正コイル磁場によりコイルの傾きを0.057deg以下に制御することに成功した。