

小型トカマク装置PHiXにおける鉄心の影響を考慮した着火特性改善

Improvement of plasma breakdown in the PHiX tokamak taking the effects of iron core into consideration

内藤晋¹⁾, 小林孝行¹⁾, 飯尾俊二²⁾, 筒井広明²⁾Shin. Naito¹⁾, Takayuki Kobayashi¹⁾, Shunji Tsuji-Iio²⁾, Hiroaki Tsutsui²⁾¹⁾東工大環境・社会理工学院, ²⁾東工大先導原研¹⁾School of Environment and Society, Tokyo Tech., ²⁾LANE, Tokyo Tech.

本研究室のPHiXは縦長断面プラズマが生成可能な小型トカマク装置で、製作当初からプラズマ電流の立ち上げ、すなわち着火に問題を抱えていた。PHiXでは誘導電場による電流駆動を効果的に行うため鉄心を用いているが、その漏れ磁場を考慮していなかった。本研究では有限要素法計算ソフトCOMSOL Multiphysicsを用いて、オーミックコイル(OHC)を用いた際の鉄心からの漏れ磁場を計算した。さらに、上下のOHCを用いた際の漏れ磁場の計算結果から、外部磁場を適切に印加することで漏れ磁場の補正による着火特性改善を図った。

1. OHCを用いた際の鉄心からの漏れ磁場

トカマク装置では誘導電場による電流駆動で着火を行うため、ポロイダル断面上で磁束密度の値が0に近づく領域、ヌル領域を外部磁場で作り出す。鉄心によるポロイダル方向漏れ磁場が存在すると、ヌル領域の生成に影響を与える。この漏れ磁場がどのような大きさ、分布を示すか有限要素法を用いて計算を行った。なお鉄心は軸対称ではないものが使用されているので、鉄心の影響をトロイダル方向に平均できるように、PHiXの2次元ポロイダル断面モデルを作成した。図1左に作成したPHiXの2次元モデルを、図1右に使用されている鉄心を示す。

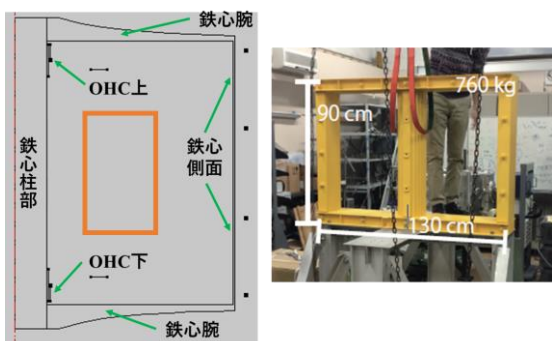


図1. 作成した2次元モデル(左)とPHiX鉄心(右)

PHiXでは鉄心の上下に5ターンずつOHCを設置しており、OHCの巻き数を変更して運転を行うことができる。計算の結果を図2に示す。

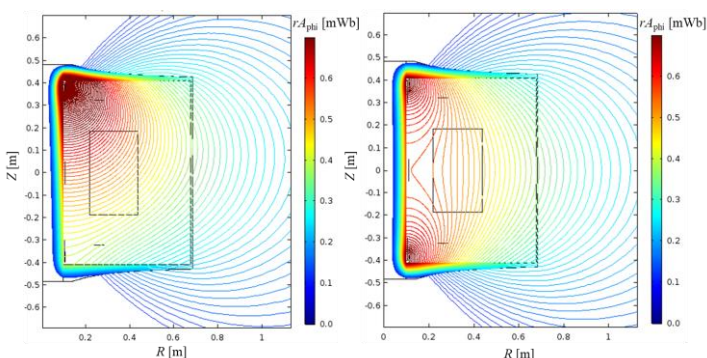


図2. OHCを上部のみ用いた場合(左)、OHCを上下両方用いた場合(右)の磁束分布。印加電流の値はそれぞれ $2 \text{ kA} \cdot \text{Turn}$, $1 \times 2 \text{ kA} \cdot \text{Turn}$ である。

磁束分布より、上部のみOHCを使用した際は真空容器内で水平成分の漏れ磁場が発生するが、OHC上下ともに使用した際は漏れ磁場の成分がほぼ垂直磁場成分となることがわかった。

2. 漏れ磁場補正による着火特性改善

上記の結果を基に、PHiXにおいてOHCを上下とも用いた際の漏れ磁場補正による着火特性改善を図った。漏れ磁場の補正は、ポロイダル磁場コイル(PFC)を用いて外部磁場を適切に印加することで行った。その際の放電波形を図3に示す。着火時の外部磁場を最適化することで、2.45 GHzマグネトロンによる予備電離なしでの着火を実現した。なお図3の放電において、着火時の周回電圧は約10Vであった。

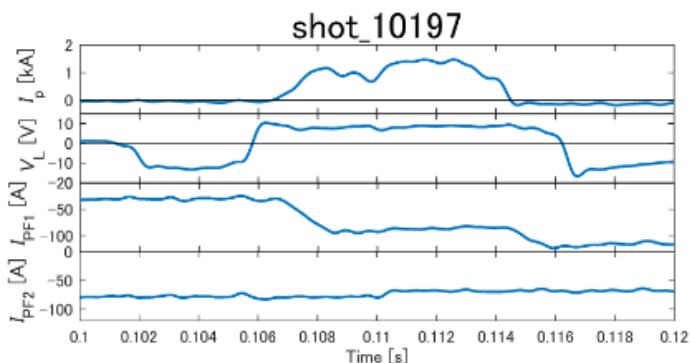


図3. 予備電離を行わない状態での放電波形