

2022/02/01

先端エネルギー工学専攻 修士論文審査

# トカマク合体実験を用いた 磁気リコネクション中の 磁場構造変化の検証

小野靖 研究室

47-216081 土井 久瑠美

1

## 目次

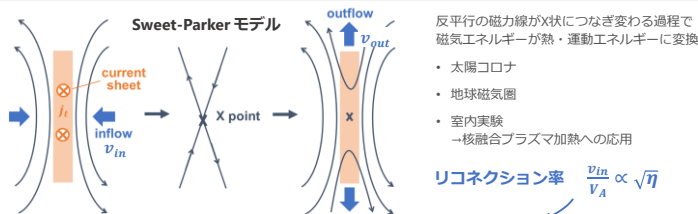
2

- 背景：磁気リコネクション
- 目的：高速磁気リコネクション機構の解明
- 実験装置：トカマク合体実験装置TS-6
- 計測手法：高精度磁気プローブ計測の広域化
- 結果：高速リコネクション実験
  - 1) 電流プロブの生成による高速化
  - 2) プラズモイド生成による高速化
  - 3) 電流シート放出による高速化
- 結論

2

## 背景：磁気リコネクション

3



- 抵抗率が大きくなるほど、リコネクションが速く進行する
- 2次元定常状態、抵抗性MHDを仮定したSweet-Parker モデルよりも実際に観測されるリコネクションの時間スケールの方が短い

高速磁気リコネクション機構の解明が課題となっている

3

## 目的：高速リコネクション機構の解明

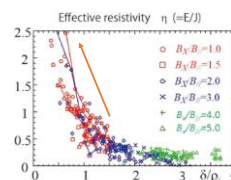
4

Sweet-Parker モデルにおける仮定の見直し

### ①異常抵抗

電流シート圧縮に伴って抵抗率増大

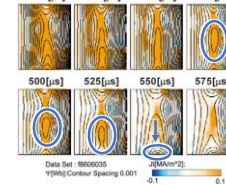
→  $v_{in}/v_A \propto \sqrt{\eta}$  よりリコネクションが高速化



実効抵抗の電流シート厚さδに対する依存性<sup>[1]</sup>

### ②プラズモイド放出

電流シートから放出されたプラズモイドを捕ら分だけインフローが増加し、リコネクションが高速化  
(非定常的な効果)



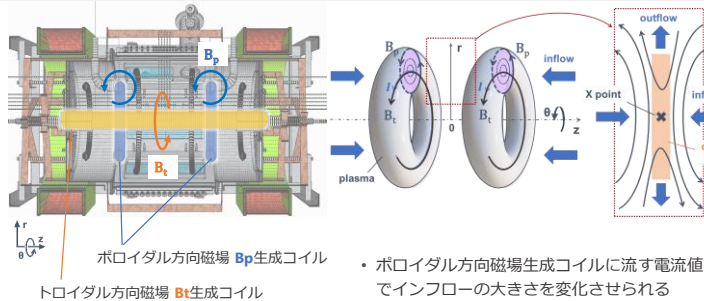
※プラズモイド  
閉じた磁気島内部  
のプラズマの塊

TS-4 室内実験でのプラズモイドの生成と放出の様子<sup>[2]</sup>

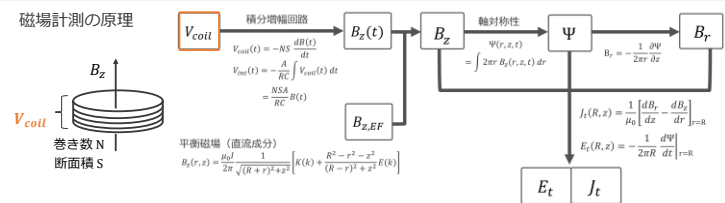
電流シート付近の詳細な磁場計測を行い、  
磁場構造がリコネクション高速化に与える影響について調査する

[1] Y. Oho, et al., Phys. Plasmas 4, 1953 (1997). [2] M. Inomoto, N. Nishizuka, J. Plasma Fusion Res. 89, 11 (2013).

4



ポロイダル平面 (R-Z平面) の磁場計測を行い、  
2つのトラスプラズマの合体によるリコネクションを観察した



従来システム：手巻きで作成したコイルによる装置内の広域計測

+プリント基板 (PCB) 上に印刷されたコイルによる中心領域の高精細な計測

新規システム：PCB型プローブによる広範囲な計測

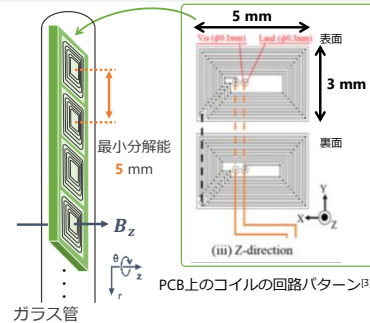
磁場の時間変化による誘導起電力から磁場を計測した。

特にPCB基板上的コイルパターンを用いた精度の高い計測を行った。

- プリント基板上にコイルパターンが印刷されたものを用いたPCB型プローブを用いて計測を行った

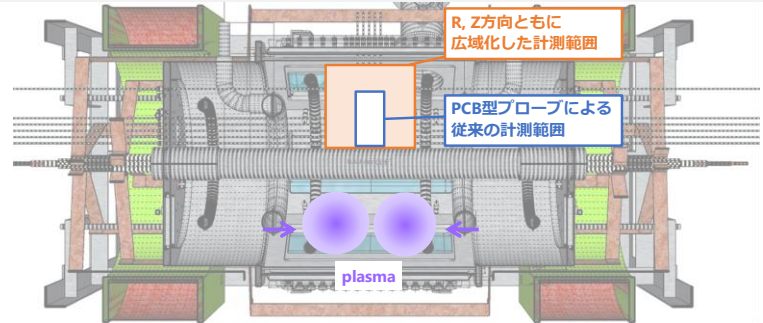
手巻きコイルによる従来型と比較した利点

- 同一平面上の決められた位置に正確にコイルが配置できる
- コイルを高密度に配置でき、特にr方向への分解能が高くなる
- コイル間のばらつきが少なく、コイル感度誤差が1/3程度に改善

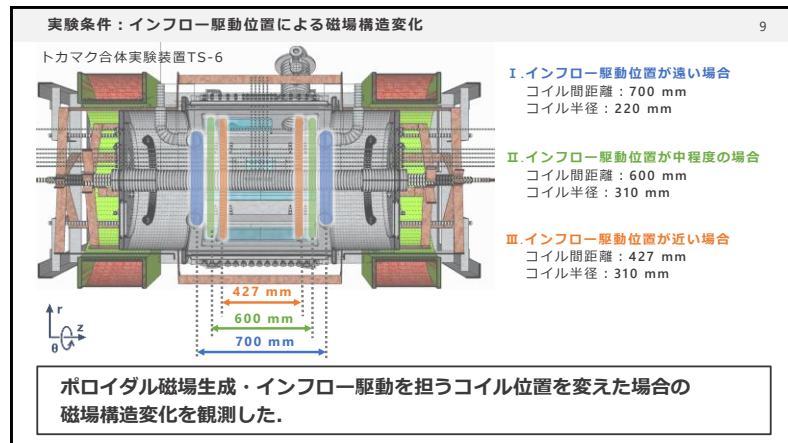


従来の手巻きコイルと比較して1桁程度精度の高い  
PCB型磁場計測システムを用いた計測を行った。

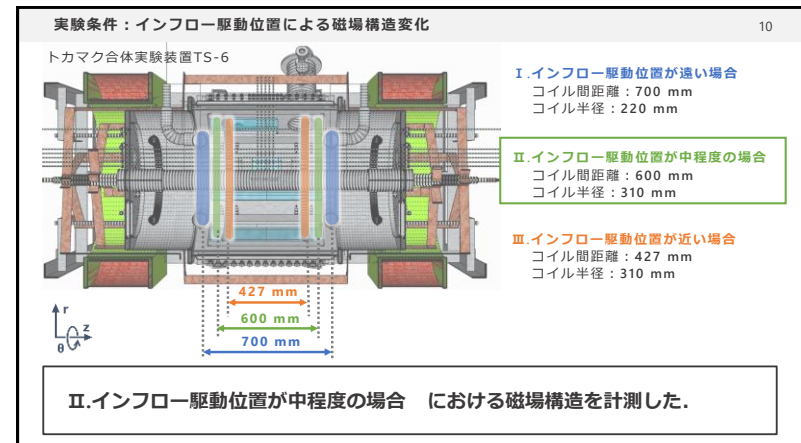
[3] M. Akimitsu et al. Plasma Fusion Res. 13, 1202108 (2018).



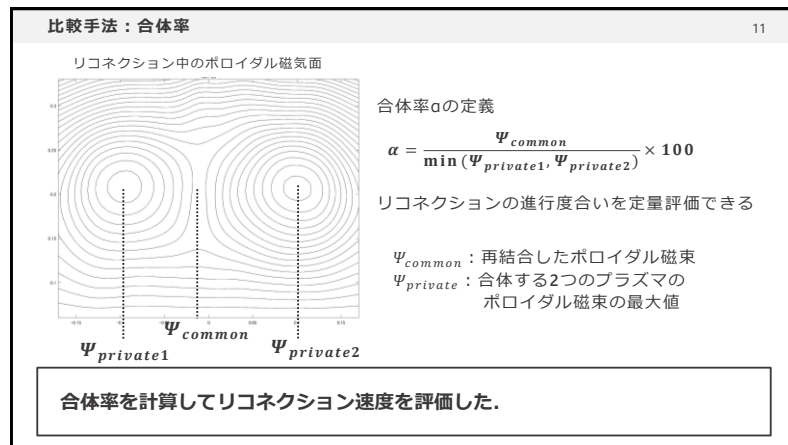
高精細なPCB型プローブによる計測範囲を拡張し、  
リコネクション中の磁場構造が広範囲かつ正確に計測できるようになった。



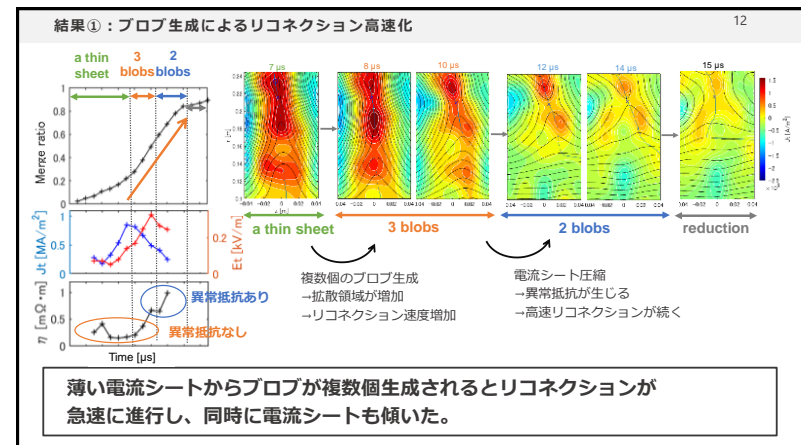
9



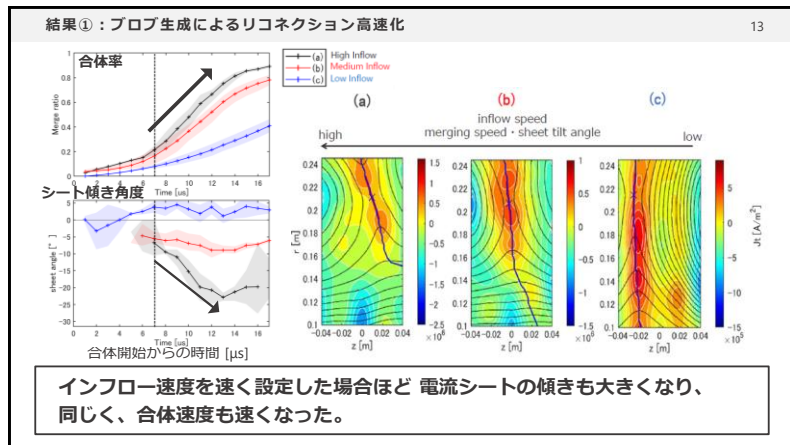
10



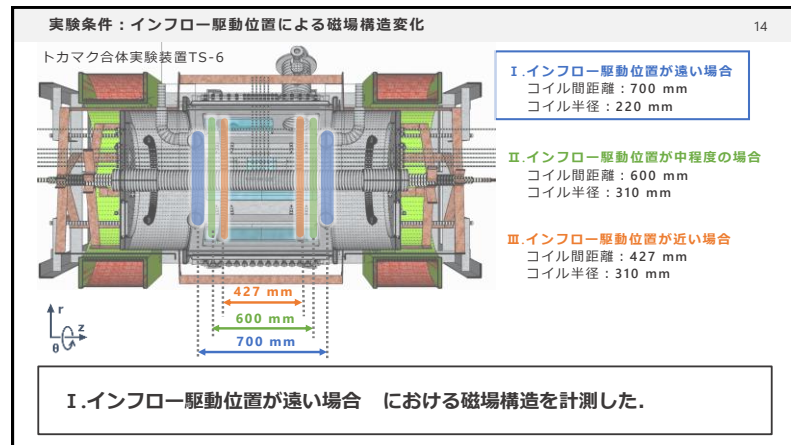
11



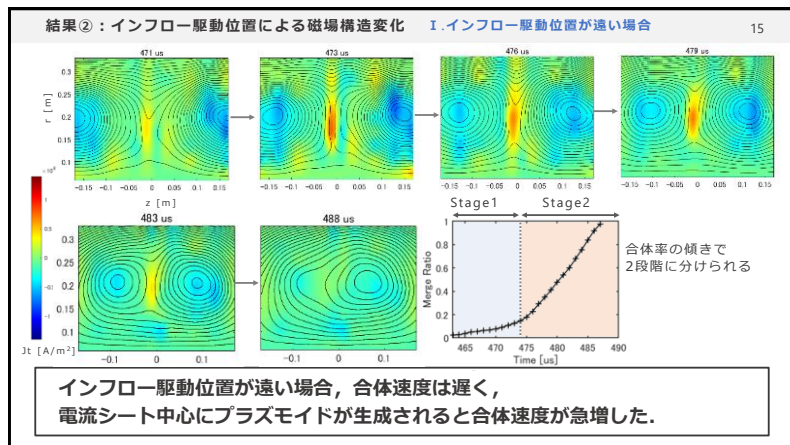
12



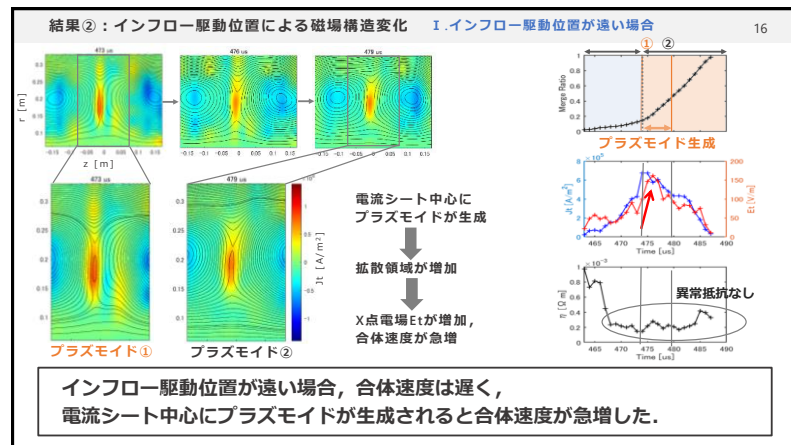
13



14

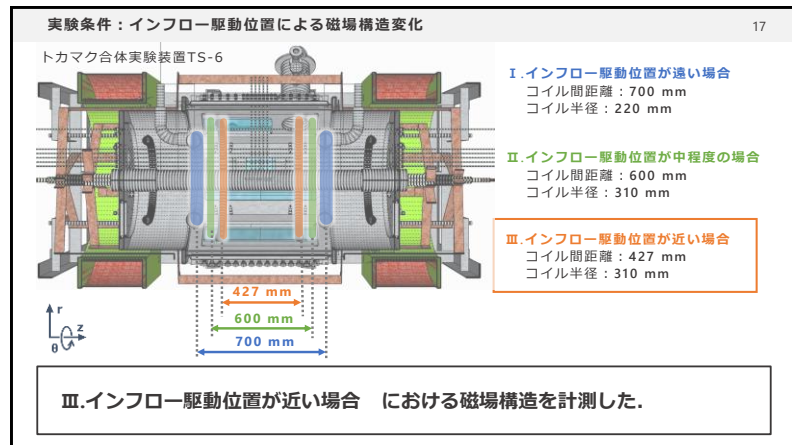


15

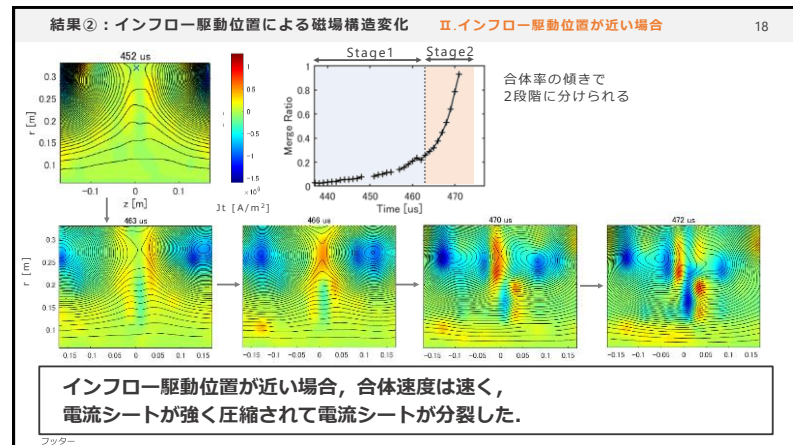


16

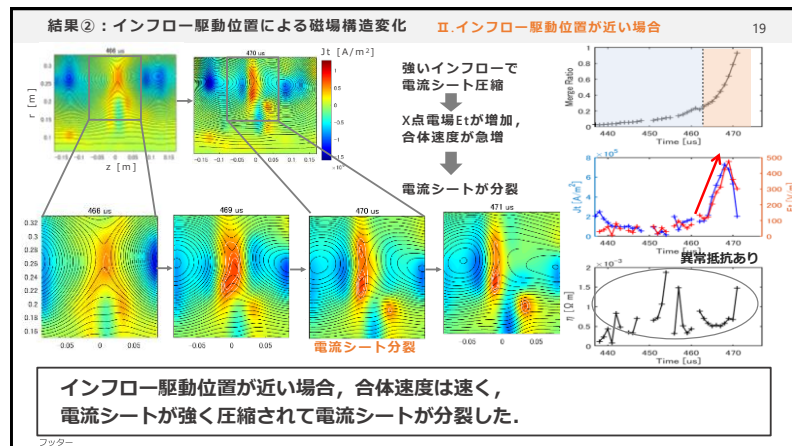




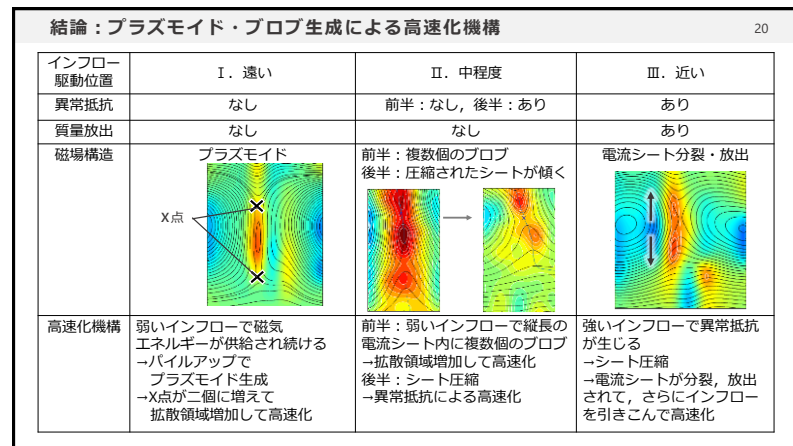
17



18



19



20

- 最小5 mmの分解能を有する**高精細なPCB型磁気プローブ**を用いて、磁気リコネクション領域の磁場計測を行った。
- インフロー駆動位置が遠いと、複数個の電流プロブやプラズモイドが生成され、拡散領域が増加することで合体が高速化した。
- インフロー駆動位置が近いと、強いインフローで圧縮された電流シートがX点で上下に分裂・放出され、質量放出効果でインフローがさらに増加して合体が高速化した。
- 異常抵抗によらない高速化機構としてプラズモイド・プロブ生成の効果が実証された。
- プラズモイド・プロブ生成によるリコネクション高速化のメカニズムは**核融合加熱に応用可能**である。