O-41

強く自己組織化が働く RFP プラズマにおける磁場揺動計測とその統計的解析

Measurement and statistical analysis of magnetic fluctuations in a RFP plasma with strong self-organization phenomenon

○柏井隆希[1]，渡部政行[2]
*Ryuki Kashiwai[1]，Masayuki Watanabe[2]

Abstract: The purpose of this research is to understanding the statistical characteristic of magnetic fluctuations in a RFP plasma with strong self-organization phenomenon. The magnetic configuration of the RFP plasma is self-organized by the dynamo electric field. Although the dynamo effect is an essential role in the formation of the RFP plasma, the dynamo is connected deeply with plasma fluctuations. Consequently, to understand the dynamo phenomena is most important for improvement of the RFP plasma confinement. Generally, the magnetic field formation of the RFP plasma reverses it more in outside electric circuits. However uses "self reversal method (SRM)". In case of SRM, the toroidal magnetic field is reversed spontaneously. Although the confinement is not so good, it will be possible to understand the dynamo physics in detail. The magnetic fluctuations in this plasma observe and do the characteristic by a statistical analysis. Specifically uses the Probability Density Function.

１．はじめに

安定した送電が求められる発電方式には，燃料が安く豊富で簡単に採取でき，発電が安定的で，簡易な構造を持ち，かつメンテナンス性の良さ等の条件が求められる．現在の主な発電方法である火力，水力，原子力の中で，水力発電以外は資源の枯渇，また環境破壊等が危惧されている．そのような現状の中で，次世代の発電方法として原子力発電の一種である核融合発電が期待されている．最も有望視されている核融合反応は，海水に平均 33mg/m^3 で含まれる重水素（D），そして同じく海水に多く存在するリチウムの核変換で入手可能な三重水素（T）を燃料として用いる DT 反応である．地球上の水はおよそ 14×10^8km^3，その約 97%は海水であり，重水素および三重水素はほぼ無尽蔵に近い資源であると考えられる．この DT 反応では放射性物質である三重水素を使用するものの，核分裂反応を用いた現行の原子力発電と比べて放射性廃棄物による影響は非常に少なく，核融合反応の種類によっては中性子の出ない反応を用いることも可能である．これまで，核融合発電を実現するために高温，高密度プラズマを安定に閉じ込める様々な形状・構造が考案，実験されてきた．本研究では逆磁場ピンチ方式 （Reversed Field Pinch：RFP）による高温・高密度プラズマ閉じ込め実験を行っている．

２．RFP プラズマ

RFP とは，磁場を用いた高温・高密度プラズマの閉じ込め方式の 1 つである．RFP はトカマクと同様に,トロイダル電流駆動型プラズマ閉じ込め方式に属する．トカマク方式ではプラズマの閉じ込めに強力な外部トロイダル磁場が必要であるのに対して，RFP 方式ではダイナモ効果に起因した自己組織化により，プラズマ自らが閉じ込もるように磁場を生成・維持し，プラズマを閉じ込める．そのため，トロイダル磁場発生コイルに流す電流がトカマク方式の 10 分の 1 程度で済み，超電導コイルを必要としない等の利点がある．つまり経済性の高い核融合炉を実現できる可能性を持っている[1]．図 1 に RFP プラズマの概略図を示す．RFP プラズマではトロイダル方向において，プラズマの中心部と周辺部で磁力線が逆転している配位が自己形成され

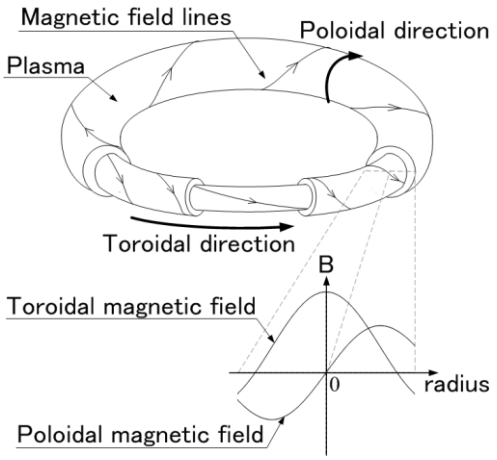

Figure 1. The magnetic field structure and toroidal and poloidal magnetic field distributions of the RFP plasma

１：日大理工・院（前）・量子 Graduate school (M) of Science and Technology，CST.，Nihon U.
２：日大・教員・量科研 Institute of Quantum Science，Nihon-U.

ることが最大の特徴である．このような磁場配位では磁力線のねじれを示す指標である磁気シアが強く，そのため弱い外部磁場でも高温プラズマを閉じ込めることが可能となる．この配位の形成過程では，ダイナモ効果に起因した自己組織化が強く働き，磁場揺動・静電揺動が配位の形成に重要な働きをしている．その反面，これらの揺動成分は磁気面の崩壊や，粒子及びエネルギーの損失を招いている．そのため，RFP プラズマの閉じ込め特性の改善には磁場揺動や静電揺動に伴うダイナモ効果の理解が重要となる．また，このダイナモ効果は地球や太陽などの星が作る磁場の生成，維持機構と同様の現象だと考えられている．つまり RFP プラズマのダイナモ機構の理解は，天体のダイナモ機構の物理的な解明にも繋がると期待されている．

３．実験装置

本研究では高温プラズマの磁場閉じ込め実験装置 ATRAS を用いて実験を行っている．ATRAS 実験装置の主半径は 0.5m，副半径は 0.1m のトーラス型プラズマ閉じ込め装置である．Self-Reversal 法での典型的放電波形を図 2 に示す．放電時間は約 0.7ms であり，周回電圧 Vloop は約 170V, またプラズマ電流 Ip は約 50kA 程度である．

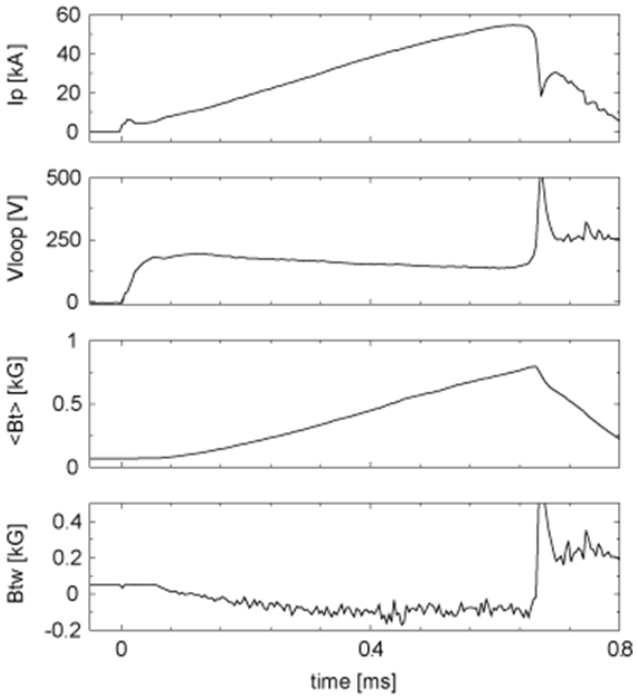

Figure 2. Typical waveform of the RFP plasma with Self Reversal Method

４．RFP 磁場配位形成

RFP プラズマの生成には一般的に，外部回路によりトロイダル磁場を急激に減少させることで，配位形成に必要なポロイダル方向の起電力を外部から補助的に加える．外部からポロイダル電流駆動を行うため，閉じ込め特性の良い RFP 配位を比較的効率良く生成することができる反面，磁場を強制的に反転させるため，ダイナモ効果の詳細な働きがわかりづらい．そこで，RFP 自身のダイナモ電場のみで RFP 配位を形成する Self-Reversal 法を用いて配位を形成し実験する．具体的には，時間的に一定な弱いトロイダル磁場を印加した状態で，大電流のトロイダル放電を形成する．この方法では RFP 配位の形成のために強い揺動の高揚が予想され，その結果，プラズマのエネルギーや粒子の閉じ込め特性などが悪化する可能性がある．しかしながら，ダイナモ効果の物理を詳細に調べるためには最適な方法であると考えられる．この放電方法で，3 つの直交する磁場成分（Toroidal，Poloidal，Radial）を 5mm 間隔で同時に計測可能な磁気プローブアレイによりプラズマ内部磁場を計測する．本研究ではこのような実験データに，その大きさの分布を解析する手法である確率密度関数（図 3 参照）等を用いてプラズマ周辺部の磁場揺動の特徴を調べた．詳細は講演会にて報告する．

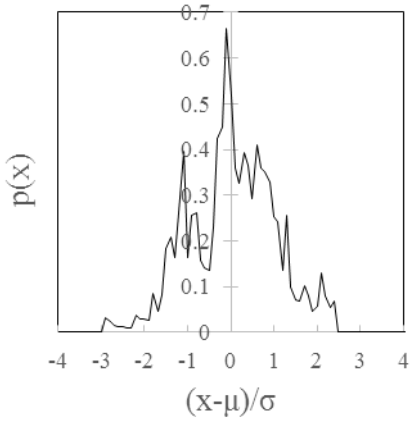

Figure 3. Probability Density Function of standardization toroidal direction magnetic fluctuations

５．参考文献

[1]　宮本健郎：「プラズマ物理・核融合」 pp319-325 2004 年

[2]　辻義之，田中宏彦，大野哲靖：「３．確率密度関数とその応用」，J. Plasma Fusion Res. Vol.85, No.10, pp.665-673, 2009