

2021年7月29日

## ユニットテーマ提案書 #20 トポロジカル電磁波による粒子集団応答

### 1. ユニットテーマ

電磁波トポロジーと集団順化に関する研究

### 2. 提案者（氏名・所属）

核融合研：西浦正樹，

参画予定 核融合研：下妻隆，辻村亨，鈕持尚輝，矢内亮馬

所外コアメンバ：岡村昌宏(BNL)

所外研究協力者：斎藤晴彦(東大)，立松芳典(福井大)，福成雅史(福井大)

### 3. テーマと研究内容の概要

従来の電磁波（＝非トポロジカル電磁波）の基本特性を学術基盤とし、ユニットテーマに記載した新しい電磁波モード（＝トポロジカル電磁波#a）の基本特性を加えた学理の体系化とプラズマの応答から非定常から定常状態への遷移（＝順化）解明を目指し本テーマ名とした。

研究課題として非トポロジカル・トポロジカル電磁波に関し、核融合炉心プラズマを見通せる予測可能な波動加熱・電流駆動と自己加熱の実験とそれらモデルの検証、燃焼プラズマの輸送物理実験を掲げる。核融合炉の $\alpha$ 粒子加熱と外部加熱による自立燃焼の維持は未知の領域で、従来の加熱・電流駆動や輸送物理モデルの成立は自明とは言えない。そのために核融合研にジャイロトロン用6T超電導磁石を2台組み合わせる新規に加熱試験装置を構築し加熱・電流駆動の基礎実験を行い、Wendelstein 7-X, JT-60SA や国内装置ではその実証を行う。

10年間のプロジェクトとして、超高電力密度の電磁波の偏波モードの基礎特性(遮断密度，加熱，電流駆動)を明らかにするとともに、新しくトポロジカル電磁波に関して実験と理論の両面で基礎特性を明らかにする。メンバー個別のテーマが実施できるように核融合研の新規加熱試験装置で加熱や計測機器の開発を行えるようにする。

予想される学術成果は、ユニットとして炉を見通せる粒子輸送を含んだ予測可能な加熱物理モデルの構築（ヘリコン波の電流駆動も含む）、高温プラズマ中のトポロジカル電磁波の基礎特性、個別成果として $\alpha$ 粒子の速度分布関数の評価手法の確立とユニット参画者のテーマの成果がある。

(#a 波面が螺旋状の軌道角運動量を持つ光を光渦と呼び、可視領域ではトポロジカル光波と名付けられている。ここでは新たに波長域をミリ波帯まで拡張し、トポロジカル電磁波と新しく定義する。)

### 4. 位置づけ

トカマク型核融合炉の運転シナリオは外部加熱入力により定常プラズマを維持・制御する。電子サイクロトロン(EC)波による電流駆動がその一端を担うが、非等方・非平衡な速度分布粒子に対し、プラズマの不安定性を抑制した加熱・電流駆動が行えるかは未知の領域である。ステラレータ一系で用いられている波動加熱モデルは ad hoc なものや電流駆動を評価できないコードが多数を占める。空間内の磁場で電磁波の伝搬特性やサイクロトロン共鳴加熱の性質は大きく変わる。トポロジカル電磁波にも対応したコード開発を想定し、相対論効果を考慮した EC 波の加熱と電流駆動モデルを構築し、実験検証で信頼性を飛躍的に向上させる本研究は世の中に無く独創的である。トポロ

2ページ以内で記述し、10.5pt・行間1行を使用してください。青字の注意書きは削除してください。

ジカル電磁波は全く新しい研究領域に位置付けられ、プラズマ加熱に利用した場合、電場や位相構造及びそれらの対称性が媒質の新しい性質を発現させ、結果として粒子の特異な応答を示すことが考えられる。計測に利用した場合は、位相情報を活用した新しい乱流計測器と乱流輸送研究への展開が期待できる。得られる知見の学術的意義は大きい。ミリ波は通信機器、レーダー機器、医療機器への波及効果も期待できる。

## 5. 研究の方法

核融合研の EC 加熱装置室で、既存の超電導マグネット 2 台を直列に並べサイクロトロン共鳴層を作り、既存のジャイロトロン 154 GHz や 77 GHz の高電力密度のビームを小体積に吸収させプラズマ生成と加熱実験を実施する。新規にトムソン散乱計測を整備し、トポロジカル・非トポロジカル電磁波の加熱・電流駆動特性を調べる。核融合プラズマに外挿可能な電磁波の加熱・電流駆動モデルの構築と検証を行う。

トポロジカル・非トポロジカル電磁波の加熱・吸収、電流駆動実験とその結果生じるプラズマの応答や輸送を大型核融合装置において実施する。ドイツ Wendelstein 7-X(W7X)の場合は、光渦生成用の位相板を用意する。JT-60SA の場合、LHD 用のジャイロトロンを移設し、加熱・電流駆動と輸送研究に利用する。協同トムソン散乱計測にも活用し W7X と JT-60SA で的高速イオンの速度分布による燃焼プラズマ状態の解明と電子サイクロトロン輻射相関計測システムによる電子温度揺動の高速イオンへの影響を明らかにする。

核融合研の LHD の 0.5T 運転の場合、既存のイオンサイクロトロン加熱用の電源とアンテナがヘリコン波加熱に使える可能性がある。ヘリコン波による高密度プラズマ生成と電流駆動の検証は磁場強度が低くても炉心プラズマに外挿可能という点で LHD は恰好のプラットフォームになり得る。トカマク炉の主運転シナリオである電流駆動の基本特性とモデル検証を実施することで、ECCD とヘリコン電流駆動の効率を学術面で比較する。

## 6. 自己評価

### 1) 未来志向であること

燃焼プラズマを見据えた電磁波による加熱・計測・輸送物理の研究であること、全く新しいトポロジカル電磁波を加えること、超高電力密度の波動物理研究であること、 $\alpha$ 粒子加熱物理の開拓であること。これらは将来の核融合炉を見据えて設定した未来志向の研究課題と考えている。

### 2) 目標を具体的に示していること

新規装置で非トポロジカル・トポロジカル電磁波に関する実験検証、 $\alpha$ 粒子加熱物理の開拓、LHD の 0.5T 運転でのヘリコン波電流駆動実験、所外装置での共同研究は具体的な目標を定めている。

### 3) 10 年後に学术界に輝くテーマに育つこと

電磁波を使った加熱・計測とプラズマの輸送物理に関して最先端の課題を設定した。光渦やミリ波に関する分野横断的な研究成果が期待できることから他分野への波及効果も大きい。

### 4) 多様な「個人のテーマ」を包摂できること

参画予定メンバーの個別テーマを調査し“電磁波”をキーワードとしてユニットを形成できるように留意した。