

## ユニットテーマ提案書

### ① ユニットテーマ：

エネルギー循環における劇的変容の体系化 / Drastic Changes on Energy Flows

### ② 核融合科学としての課題：

- 大電力局所領域（磁気リコネクション発生領域、外部入力波動の共鳴層）中の非線形波動-粒子相互作用を介した突発的エネルギー解放現象
- 太陽風-磁気圏-電離層結合系における劇的変容現象
- マントル対流とプレートの衝突に基づく地震発生メカニズム
- 地磁気ダイナモとその逆転現象、など。

### ③ 学術的な特徴づけ（何の研究であると言えるのか）：

自然科学の諸分野では、その多くで、準定常、準平衡である状況を対象とした研究が、今日まで続けられてきた。一方、自然界における劇的変容現象－絶えず外部からエネルギー流入がある非平衡開放系において、特異点へのエネルギーの集中が起き、その爆発的な解放、新しいフェーズへの転換が生じる事象－については、極めて重要な問題であるにもかかわらず、数理的取扱いの難しさなどから、多くの分野でそのほとんどが見過ごされてきた。本テーマでは、プラズマを切り口に、その難題に取り組み、劇的変容現象の一般的法則性を見出すことを目指すものである。

### ④ アプローチ（定式化）：

劇的変容現象では、系全体とそのエネルギー解放のトリガーとなる局所領域という、空間的・時間的・特性長的に離れた階層間の連関が極めて重要な鍵となる。本テーマでは、次に示すようなアプローチをとることにより、その連関の抽出を試み、劇的変容現象の全容の解明を目指す。

#### ・多様なエネルギー循環における劇的変容過程の模擬室内実験：

時々刻々と変化する地球磁気圏の大域的な振る舞いを直接観測することは甚だ困難である一方、地球内部は直接観測が不可能である。そこで、自然界で起きている劇的変容現象を模擬した、例えば、次のような室内実験を計画、実施する。1) 常伝導 LHD を用いた太陽風－磁気圏－電離層結合の模擬実験；駆動リコネクション発現過程（中性面電場による加速粒子が駆動する不安定性波動場の時間発展解析などに重点を置く）、オーロラ粒子加速等、2) マントル表面に浮かぶプレート衝突による地震模擬実験、3) 地磁気ダイナモとその逆転現象を模擬する実験、など。

#### ・実験室プラズマでの大電力局所領域生成による非平衡時の誘電率テンソルモデリング：

大電力波動を用いたプラズマ加熱では平衡状態を仮定した単純な粒子運動論に基づいた加熱機構モデリングでは説明できない加熱特性が得られることがある。エネルギー集中がおきる共鳴層等の特異点で外来波動場と相互作用しながら突発的に非線形成長する不安定性励起により異周波数帯へのエネルギーカスケードが起きていると考えられる。この現象の理解には、上記の駆動リコネクション発現過程やオーロラ粒子加速領域と同様に、不安定性波動場の時間発展解析が必要であり、過渡的かつ相対論的な非平衡速度分布関数を考慮した誘電率テンソルに外来波動場の影響を自己無撞着に取り込む方法論を見出すことが望まれる。そのために、常伝導 LHD や国内大学等の実験装置における

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。

大電力加熱を用いた速度空間分布の能動的制御と波動(揺動)の高時間/空間分解計測法の開発と実験データ解析、及び、マクロ-ミクロ連結階層法(下記)を適用した非平衡時の誘電率テンソルモデリング手法の開発とシミュレーションによる検証を行う。

・ エネルギー循環の劇的変容を無撞着に記述するシミュレーションアルゴリズムの開発と研究 :

多様なエネルギー循環に関わる様々な劇的変容現象を対象に、マクロ系における急激なエネルギー解放(爆発)現象をシミュレーションする方法論として提唱されたマクロ-ミクロ連結階層法(Macro-Micro Interlocked (MMI) 法)を基盤とした斬新なシミュレーションアルゴリズムを開発し、その機構解明を行う。具体的研究課題は下記の通りである。1) 太陽風-磁気圏-電離圏結合における劇的変容現象、2) 実験室プラズマで発現する突発的現象、3) マントル対流とプレートの衝突に基づく地震発生メカニズムにおけるマクロエネルギーの蓄積・解放過程、4) 双極子磁場極性の逆転現象を引き起こす物理ミクロ過程の同定と逆転現象の自己無撞着な解明。さらに、これらの課題を克服するために、5) 研究を具体的に飛躍させ革命的なコンピュータ・アーキテクチャーと得られたデータの表現法の提案を重点項目と捉える。

⑤ **学術的展開** :

本テーマでは、自然界における多様なエネルギー循環における劇的な変容の全様を自己無撞着に解明することを第一義としている。この自然界では、人間の心を和ませる神秘的な現象、一方で、我々人類の生存を脅かす事象が数多巻き起こっているが、これらの現象の多くは、システムの「劇的な変容」により生じるものである。よって、これらの研究の進展(現象の解析・制御手法の確立、シミュレーション・模擬室内実験等による法則性の抽出)は、人類社会を包含する自然の背後に潜む人知を超越した真理の解明に学術的に寄与するものと確信する。人類に襲いかかる劇的自然災害の予防や、自然界に表出する神秘的現象の出現予測、さらには、社会的事変の予測などにつながり、安全快適な社会の実現に寄与する学術的貢献になると考える。

⑥ **独自性、優位性など** :

プラズマ界は、非平衡・非線形現象の解明が本来のテーマであり、まさに、本研究所は、本テーマ遂行のための研究経験とノウハウを蓄えている。実験室系では本研究所の加熱グループが十分な研究経験を有する大電力外部加熱という速度空間分布制御が可能な自由エネルギー源を使用できるため、宇宙、磁気圏で観測される波動/荷電粒子挙動の研究と比較し、磁化プラズマ中の突発現象の発展解析に必要な誘電率テンソルモデリングの検証を進めるにあたって優位性が高い。一方、本研究所のシミュレーション研究グループは、磁気圏や地球ダイナモ分野など多様な領域に関する研究経験も十分にあり、さらに、研究所創設当時において、当時としては画期的な記憶装置を開発、これを搭載したシステムを調達し、本研究所をシミュレーション研究における世界的なリーダーの地位へと引き上げた経験も有しているなど、高い優位性を保持している。

さらに、本テーマでは、平衡、定常的な状態ではなく、定常状態が、突然、時には、爆発を伴って異常な変容をきたす法則性を見出すことを目指している。これは、恒常性を前提とする伝統的な要素還元論に依拠した既存の専門分野からは容易には生れ出ないものである。