

# プラズマ・核融合基礎学分野 岸本研究室

エネルギー・物質科学の革新・宇宙の理解  
を目指した理論・シミュレーションプラズマ物理の探求

京都大学工学部物理工学科エネルギー応用工学サブコース  
平成25年度から岸本研究室への配属ができることになりました。



**プラズマ**は、固体・液体・気体に続く物質の第四の状態であり、宇宙の実に99.9%がプラズマ状態にあると言われています。そのプラズマが創出する複雑現象の探求は、次世代のエネルギー源として期待されている核融合やプラズマが深く関与する物質科学や宇宙・天体現象の解明に重要な役割を果たします。

**私**たちの研究室では、プラズマ物理学を基礎に、原子物理学や熱統計力学、乱流理論や非線形理論、更には、複雑なプラズマ現象をスーパーコンピュータ上で再現するシミュレーションを駆使することにより、数億度に達する超高温の核融合プラズマや宇宙・天体プラズマなどの学術研究、高強度レーザーで生成するプラズマや放電・雷プラズマ、さらには、それらを用いた応用研究など、プラズマに関わる幅広い先端研究と教育に取り組んでいます。

**私**たちの研究室では、このようなプラズマに関わる幅広い学術・応用研究分野で活躍し、次世代のエネルギー科学や物質科学を担う人材の養成を目的に、長期的視野に立った教育・研究活動を行っています。また、国内外の国公立研究機関とも活発に協力研究を行うとともに、欧米・アジアの研究者や留学生も積極的に受け入れ、国際色豊かな雰囲気の中で教育・研究活動を展開しています。

## 研究室 概要

コース	エネルギー応用工学コース
分野名	プラズマ・核融合基礎学分野（分野2）
スタッフ	教授:岸本 泰明 准教授:李 継全 助教:今寺 賢志
学生	博士3回:1名 博士2回:2名 博士1回:2名 修士2回:3名 修士1回:3名

研究室 URL

<http://www.center.iae.kyoto-u.ac.jp/kishi/>

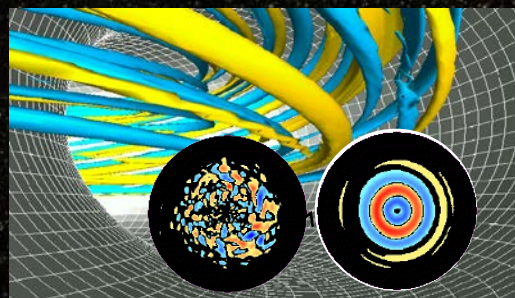
# プラズマ・核融合基礎学分野 岸本研究室

- ▶ 核融合プラズマの乱流輸送現象に関する第一原理に基づいた理論・シミュレーション研究
- ▶ 原子・分子過程に支配されるプラズマの複雑性（プラズマ相転移）とその応用に関する研究
- ▶ 高強度レーザー・物質相互作用による相対論プラズマと高エネルギー密度科学に関する研究
- ▶ 高強度レーザーとプラズマ粒子との複雑な相互作用を記述する理論研究
- ▶ 電磁流体力学（MHD）モデルに基づくプラズマの理論・シミュレーション研究

## 01 核融合プラズマ中の乱流輸送現象に関する第一原理に基づいた理論・シミュレーション研究

**核**融合は、海水に含まれる重水素などを燃料とする安全性の格段に高い次世代のエネルギーです。これを実現するためには、限られた狭い空間に高い圧力のプラズマを長時間、しかも安定に閉じ込める必要があります。しかし、そのとき発生する乱流が大きな熱輸送を引き起こし、これを抑制・制御することが重要な研究テーマです。

**私**たちの研究室では、このような核融合プラズマ中で発生する乱流輸送現象を、第一原理に基づいたシミュレーションを用いてスーパーコンピュータ上で再現すると共に、そのような核融合プラズマ中の複雑現象に関する理論研究を行っています。

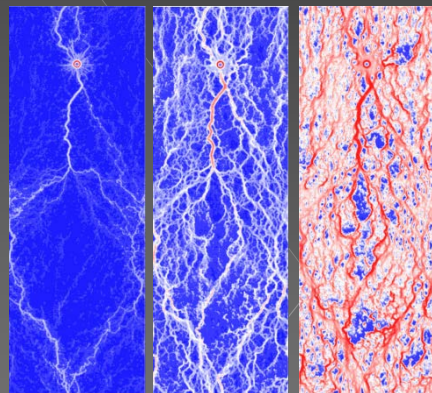


第一原理に基づいた大規模粒子シミュレーションによる超高温核融合プラズマ中の乱流構造

## 02 原子・分子過程に支配されるプラズマの複雑性（プラズマ相転移）と応用に関する研究

**第**4の物質状態であるプラズマは、気体や液体・固体などの中性媒質から複雑な原子・分子過程や衝突・緩和過程を通して生成されます。その中でも放電・雷は最も身近なプラズマですが、予期しない突発的な発生や複雑な構造は謎に満ちており、未だ解明されていません。

**私**たちの研究室では、プラズマ生成過程を中性媒質からプラズマへの相転移現象と捉え、物質の複雑な電離過程や衝突過程を取り入れた第1原理シミュレーションにより、放電・雷の発生過程を解明するとともに、それらを利用した応用研究を行っています。



ネット上の網目構造を示す圧縮ネオン気体の放電過程の粒子シミュレーション結果

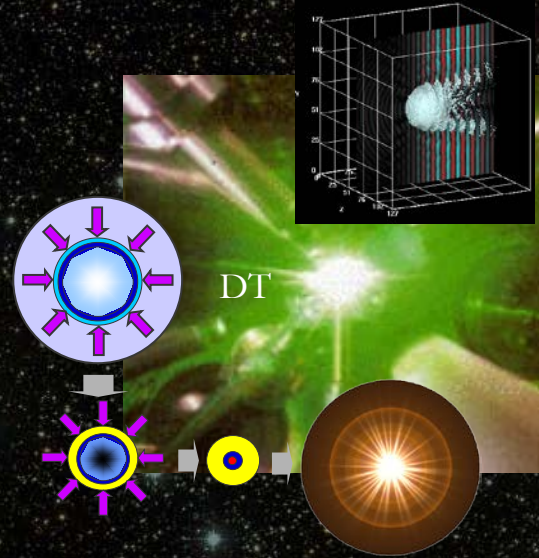
03

高強度レーザー・物質相互作用による相対論プラズマと高エネルギー密度科学に関する研究

**高**強度レーザーを様々な物質に照射すると、高いエネルギー密度状態のプラズマ（相対論プラズマ）を生成することが出来ます。この相対論プラズマを利用することにより、レーザー核融合やコンパクトな高エネルギー粒子加速器、高強度・極短パルスのX線源やガンマ線源といった様々な応用研究が展開されています。

また、このようなプラズマを利用して、電子・陽電子プラズマなどの極限状態を地上で実現し、宇宙・天体現象を解明する実験室宇宙物理などの新しい学問分野が開拓されています。

**私**たちの研究室では、このような超高強度レーザーで生成される相対論プラズマをシミュレーションにより再現するとともに、そのようなプラズマを利用した応用研究を展開しています。最近では、医療応用のための高エネルギー粒子線の発生に関する研究に力を入れています。



ナノサイズのクラスターと高強度レーザーの相互作用による高エネルギー粒子の発生シミュレーション（右上）とレーザー核融合（左下）

04

高強度レーザーとプラズマ粒子との複雑な相互作用を記述する理論研究

**実**験や計算機シミュレーションを理解し、核融合プラズマや宇宙・天体プラズマ、レーザープラズマ現象の奥に潜む普遍的な原理を探るためには、理論研究が不可欠となります。

**私**たちの研究室では、位相空間ラグランジアンで記述された変分原理を基礎とする非正準ハミルトン理論などの数学的手法を導入することにより、電磁場中での複雑な荷電粒子運動を理論的に記述する研究を行っています。

変分原理  $\delta S = \delta \int \mathbf{p}_c \cdot d\mathbf{q} - h dt = 0$

↓ 基本形式

$$\delta \int \gamma_\mu dz^\mu = 0 \quad \begin{cases} z^\mu = (t, \mathbf{q}, \mathbf{p}) \\ \gamma_\mu = (-h(t, \mathbf{q}, \mathbf{p}); \mathbf{p}, 0) \end{cases}$$

$$\Rightarrow \frac{dz^i}{dz^0} = J^{ij} \left( \frac{\partial \gamma_j}{\partial z^0} - \frac{\partial \gamma_0}{\partial z^j} \right)$$

$$Z^\mu = (\eta; X_1^i, Y_1^i, Z_1^i, U_1^i, V_1^i, W_1^i)$$

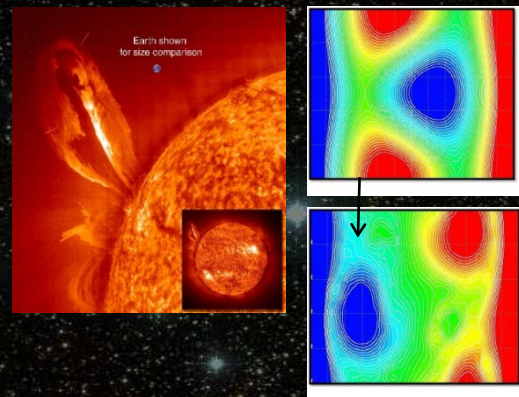
$$\Gamma_\mu = \left( -\kappa' \Big|_{x=0} - \varepsilon \frac{ca_0 q}{2\omega c} \frac{\partial A_0}{\partial x} \Big|_{x=0}, X_1^i \right)$$

高強度レーザーに照射されたプラズマ粒子の運動を記述する数学理論

## 05 電磁流体力学 (MHD) モデルに基づくプラズマの理論・シミュレーション研究

プラズマに電磁場をかけると、様々な振る舞いをみせ、プラズマ自体が電磁流体として独自の運動を行います。その中でも、リコネクションと呼ばれる磁力線の幾何学的な構造変化が、プラズマの性質に重要な役割を果たします。

私たちの研究室では、核融合プラズマや天体プラズマなどの高温プラズマにおけるリコネクションの非線形過程を数値シミュレーションで解析すると共に、そのメカニズムを探るための理論研究を進めています。



リコネクションによって生じる太陽のフレアの構造 [NASA] (左) と、リコネクションの流体シミュレーション結果 (右)

### 研究室の主な行事

- 4月：新歓コンパ
- 8月：ビアガーデンパーティー
- 9月：日本物理学会 秋季大会
- 10月：留学生 新歓コンパ
- 11月：アメリカ物理学会 年次大会
- 12月：忘年会
- 2月：修士論文 発表会
- 3月：日本物理学会 春季大会&追い出しコンパ

私たちの研究室では、日本原子力研究開発機構関西光科学研究所と共同研究を行っており、高強度レーザーと物質の相互作用に関する共同実験に参加する大学院生も募集しています。



アメリカ物理学会での学生の発表 (2012年10月)



日本原子力研究開発機構との議論の風景

### 連絡先・アクセス

岸本 泰明 [教授] kishimoto@energy.kyoto-u.ac.jp  
TEL : 0774-38-4430 FAX : 0774-32-9397

住所：京都府宇治市五ヶ庄京都大学大学院工ネルギー科学研究科  
工ネルギー理工学研究所北4号棟内