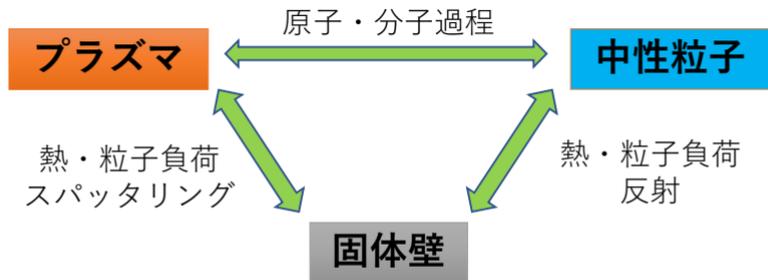


# 弱電離プラズマ・光・物質相互作用研究

小林政弘

# これからの核融合装置におけるダイバータプラズマ研究



## ダイバータ部のパラメータ

	現在の装置	ITER	原型炉
$n_e$ ( $m^{-3}$ )	$10^{19} \sim 10^{20}$	$10^{20} \sim 10^{21}$	$10^{21} \sim 10^{22}$
$n_{H+H_2}$ ( $m^{-3}$ )	$10^{19}$	$10^{20}$	$\geq 10^{21}$
$\lambda_{mfp}$ (m)	0.1	0.001~0.01	$\leq 0.001$
$K = \lambda_{mfp} / L_{div}$	1	0.01~0.1	$\leq 0.01$
中性粒子の流れ の領域	分子流	中間領域	粘性流

今後のプラズマ・中性粒子の相互作用の重要性

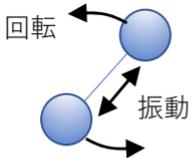
- ・ 分子流→粘性流
- ・ 光学的厚み大(放射損失が無効化)  
+
- ・ 分子の複雑な挙動

# 今後の研究テーマ

1. プラズマと分子の相互作用
2. プラズマと中性粒子の乱流場の相互作用
3. 光による原子・分子過程の制御

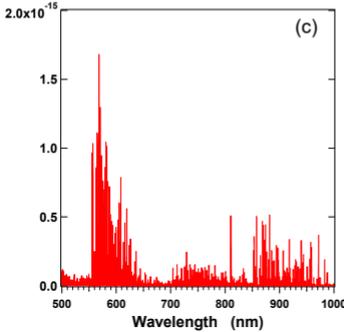
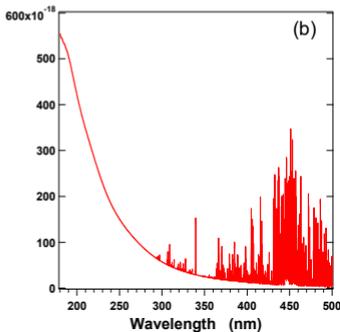
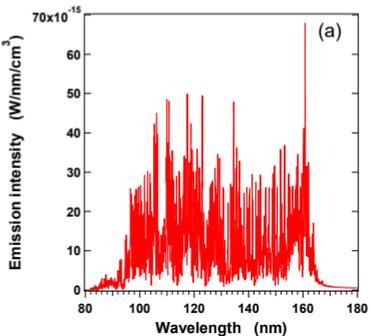
# プラズマと水素分子との相互作用は極めて複雑で、その詳細はほとんど未解明

分子：多体系として分子の核の回転・振動による内部運動のエネルギーが量子化

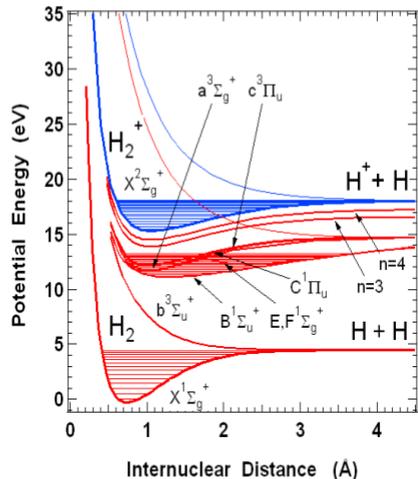


## 1. 4000以上の励起準位が存在

広い波長範囲にスペクトルが分布

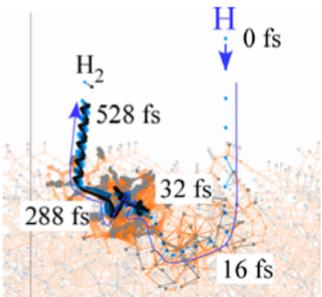


分子のポテンシャル曲線と励起状態

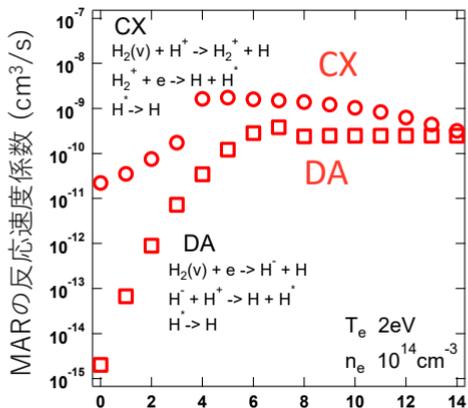


## 2. 分子の状態によって分子活性化再結合 (MAR)の反応が数桁にわたって変化

## 3. 分子の状態は壁での反射によって変化



齋藤誠紀(山形大)  
中村浩章(NIFS)



澤田圭司(信州大) 振動の状態

膨大な励起過程によるエネルギー放射損失量? →ダイバータ熱負荷制御への影響

分子の振動回転状態によるプラズマ(デタッチメント)への影響?

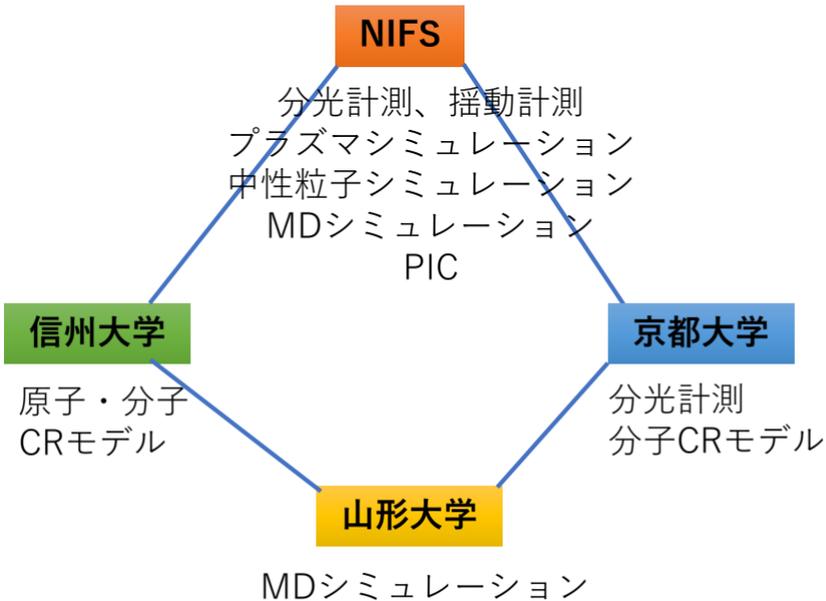
# 1. プラズマと分子の相互作用

## これまでの取り組み

2016 - 2019年度 LHD計画共同研究

「分子動力学にもとづく水素プラズマ対向壁リサイクリングモデルの構築による中性粒子輸送コードの精密化とLHD発光線解析」

代表：齋藤誠紀(山形大学)、世話人：小林政弘(NIFS)



## 共同研究での成果

- ・計測系とプラズマ・分子・壁を取り込んだシミュレーションコード群を整備
- ・実験との比較（1例のみ）

## 今後、さらに下記の課題について進める

- ・膨大な励起過程によるエネルギー放射損失量  
→ダイバータ熱負荷制御への影響
- ・分子の振動回転状態によるプラズマ(デタッチメント)への影響

## 2. プラズマと中性粒子の乱流場の相互作用

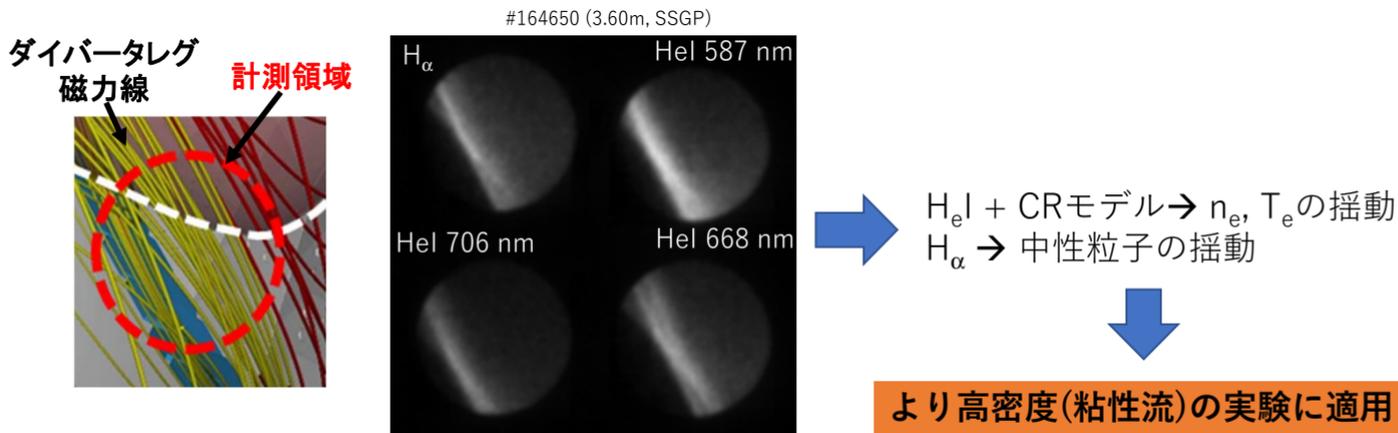
中性粒子が分子流から粘性流に変わる→中性粒子の乱流が顕在化

プラズマと中性粒子の乱流場の相互作用を明らかにする  
SOL幅・閉じ込め性能への影響（ほとんど手つかずの研究領域）

プラズマ乱流（核融合プラズマ）と中性流体乱流（流体力学）の相互作用：2相流体問題

### LHDにおける多波長空間分布同時測定によるプラズマ・中性粒子揺動の同時計測

科研費 基盤(B)「3次元磁場効果による安定なダイバータデタッチメントとコアプラズマ性能の両立」  
小林政弘 (2019-2022年度)



### 3. 光による原子・分子過程の制御

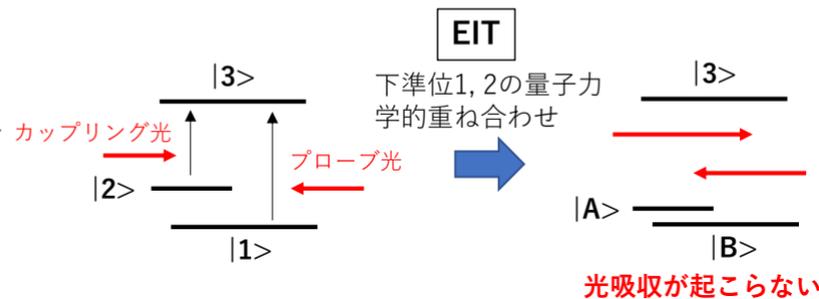
これまで、光は主にプラズマを乱さない計測として使われてきた→積極的にプラズマに影響を与える

新たな制御手法：外部からの電磁波(光)入射によって積極的に原子・分子過程を制御

例えば

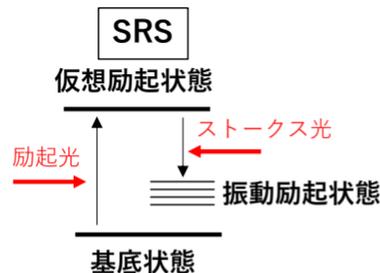
- 電磁誘導透過(EIT)の応用による透過率の制御

外部からの光入射により、光吸収が起こらない状態を作り出す  
→原型炉の光学的厚さの制御



- 誘導ラマン散乱 (SRS)による分子の振動状態の制御

外部からの光入射により、分子の振動励起状態を作り出す  
→分子活性化再結合の促進



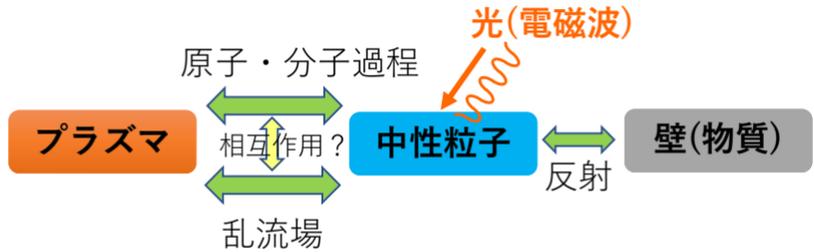
- 光渦と原子・分子過程の相互作用

近年の技術開発により可視域、ミリ波→VUV、X線、 $\gamma$ 線の光渦が可能  
→波長  $\leq 1 \text{ \AA}$  →原子・分子内の電子との相互作用

- ポンデラモーティブ力によるダイバータ熱負荷軽減

⋮

# 弱電離プラズマ・光・物質相互作用研究：研究の目的



## プラズマ・分子・壁の相互作用

放射損失量・デタッチメント形成への影響  
プラズマと中性粒子気体の乱流場の相互作用  
SOL幅・閉じ込め性能への影響  
外からの光による原子・分子過程の制御  
EIT, SRS, 光渦, . . .

## 弱電離プラズマを通しての他分野への波及効果・共同研究

- ・プラズマ医療、プラズマプロセッシングにおける低温大気圧プラズマにおける**励起原子・分子、ラジカル**の生成メカニズム、**生体(物質)との相互作用**
- ・電離圏プラズマにおける大気分子の太陽紫外線・X線による**光電離・解離、電磁波の反射・伝搬**
- ・星間媒質の弱電離プラズマ中の**乱流構造**→分子雲コアの物理状態と恒星への進化過程に影響

## 協力が欲しい専門分野

電磁波・レーザー：光による中性粒子挙動の制御  
データサイエンス：機械学習等による多くの分子励起過程の解析

ダイバータ関連の実験・シミュレーション研究者

## 想定している装置：

直線装置、他の研究機関の装置