

# 研究スタッフ

教授： 櫛引淳一、 准教授： 安藤 晃

## 研究目的

21世紀の宇宙開発や、新エネルギー源としての核融合開発など、先進科学にとって高密度プラズマ流研究は非常に重要です。

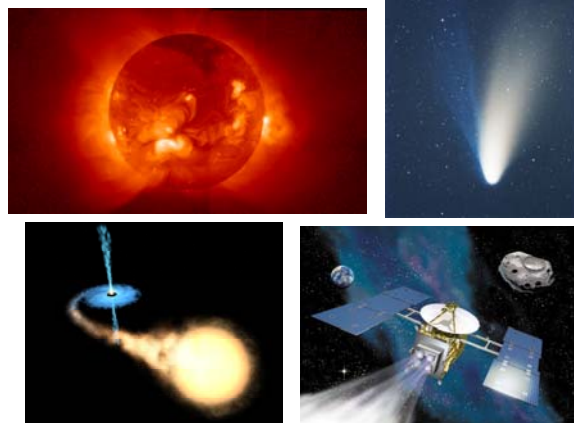
本研究室にて開発したマッハ数が1を超える超音速プラズマ流を準定常的に生成できる装置は世界にも例がなく、これを用いた高速プラズマ流の発生と磁場による制御の実験研究をはじめ、先進宇宙プラズマ推進機の開発、先進核融合プラズマ加熱法の開発を進めています。

さらに、環境工学・材料工学への応用を指向した液体中や大気圧中の放電プラズマによる水の浄化、有害ガスの分解、材料の表面改質・創製、医用工学への応用を指向した応用研究も行っています

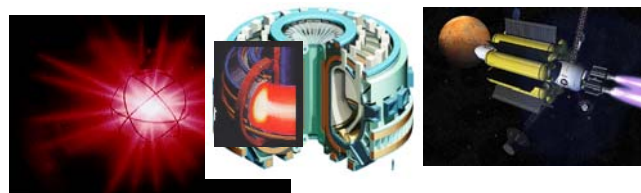
## 主な研究テーマ

1. 高速プラズマ流の生成と  
高性能宇宙推進機への応用
2. 先進核融合プラズマへの加熱法の開発  
～水素負イオン源と高周波源の開発～
3. 高電圧応用・大気圧プラズマ生成と  
環境工学への応用

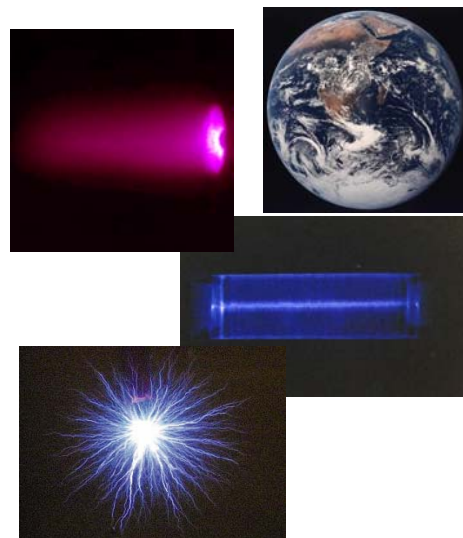
### 宇宙



### エネルギー

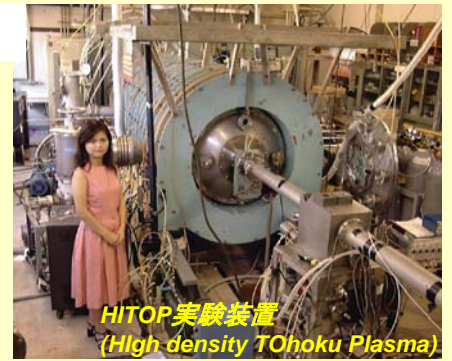


### 環境



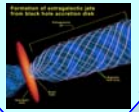
# 1. 高速プラズマ流の生成と先進宇宙推進機応用

高速プラズマを噴射できる電気推進機は、人工衛星や深宇宙探査機の軽量化・長寿命化などに不可欠です。比推力可変プラズマ推進機VASIMRは、将来の有人火星探査用ロケット主力エンジンとして期待されています。また、MPDプラズマ源は中・大型衛星のエンジンの他、宇宙デブリ（塵）回収、地球直撃小惑星の軌道変更などにも有用です。



HITOP実験装置 (High density TOhoku Plasma)

**宇宙電流体力学(MHD)現象**  
天体ジェット、磁気回転不安定性、太陽フレア、...



**電流体力学(MHD)の基礎研究**  
超音速/超アルヴェン達プラズマ流、電磁衝撃波、ベルヌイ制、電磁流、回転不安定性、...

## 高速プラズマ流の生成と制御技術

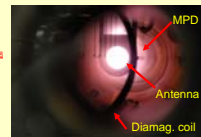
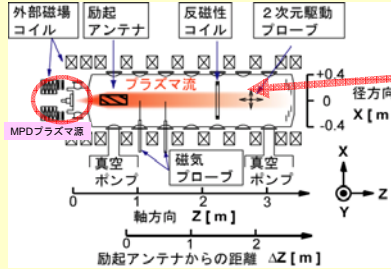
宇宙電気推進機への応用

高比推力、長時間加速、高周波加熱と加速 (VASIMR)



高ベータ値融合の実現  
高速プラズマ流によるMHD安定化、双極子磁場閉じ込め、逆転磁場、スフェロマック配位、...

## HITOP (High density TOhoku Plasma)実験装置

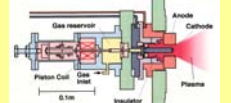


直径  $D = 0.8\text{ m}$   
全長  $L = 3.3\text{ m}$   
外部印加磁場  $B_0 \sim 0.1\text{ T}$

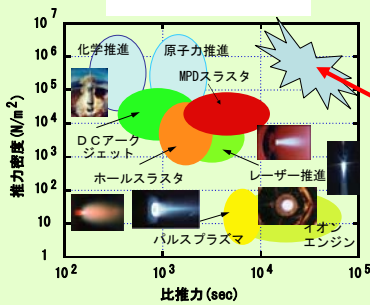
## MPDプラズマ源

陽極と陰極に流れる電流と自己誘起磁場の相互作用によりプラズマが軸方向に加速され、超音速で噴出する。

準定常放電 ( $t \sim 1\text{ ms}$ )  
プラズマ密度  $n \sim 10^{21}\text{ m}^{-3}$   
イオンマッハ数  $M_i \sim 1$



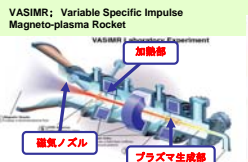
## 比推力可変型電気推進機をめざした高速プラズマ流の高周波加熱実験



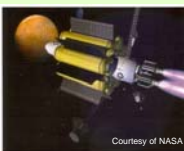
有人火星探査など次世代の宇宙航行用推進機として、比推力可変型電気推進機の開発がNASAで進められている。この実現のためには高速プラズマ流のイオン加熱を実証する必要があるが、未だ成功していなかった。

我々のMPDプラズマ源を用いたHITOPでの研究により、右図に示すように高周波加熱によってプラズマ流の熱エネルギー  $W_t$  が上昇することが確認され、高速高密度プラズマ流の高周波加熱に世界で初めて成功した。

## VASIMRが目指す新たな領域



Directed by F.R. Chang Diaz, Johnson's Advanced Space Propulsion Laboratory

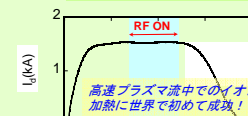


火星に向かうVASIMRエンジン搭載の有人宇宙船 (想像図)

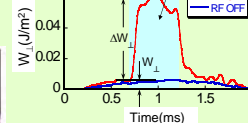
## NASAのVASIMRプロジェクト

電極部のない大型の比推力可変型プラズマ推進機(VASIMR)を使用すれば、有人火星探査をわずか約3ヶ月で行える。20年後の実用化に向けた開発研究が本格化している。

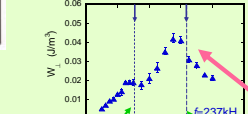
## 高速プラズマ流の高周波加熱と磁気ノズル加速



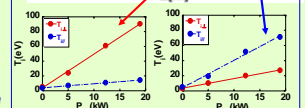
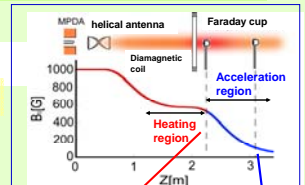
高速プラズマ流中のイオン加熱に世界で初めて成功!



Ion cyclotron heating in He plasma



$$\omega = 2\omega_{ci} (\text{He}^+) \text{ or } \omega = \omega_{ci} (\text{He}^2)$$



加熱部で熱エネルギーを得たプラズマ流は、磁気ノズル部にてその熱エネルギー ( $T_{th}$ ) を推進エネルギー ( $T_{pl}$ ) へと変換する。プラズマ流の推進エネルギーは印加する高周波電力 ( $P_{RF}$ ) によって制御が可能。

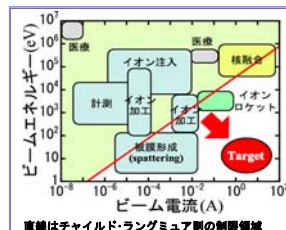
熱エネルギーの増加は、イオンサイクロトロン共鳴よりわずかに低い磁場で強くなる。

→ プラズマ流によるドップラー効果

# 2. 先進核融合プラズマへの加熱法の開発

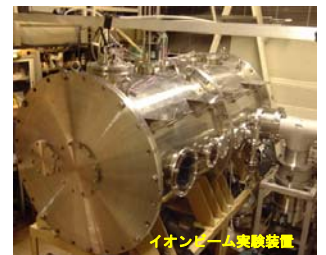
核融合プラズマ実現のために必要な水素負イオン源や高周波源の開発を進めています。

100eV以下の低エネルギーで大電流 (電流密度  $0.1\text{ A/cm}^2$ 以上) のイオンビームを引き出すことのできるイオン源を開発。このビーム源は、種々の材料の表面改質や小型核融合実験の中性粒子ビーム加熱などへ応用ができます。



直線はチャイルド・ラングミュア則の制限領域

低エネルギービーム源の開発

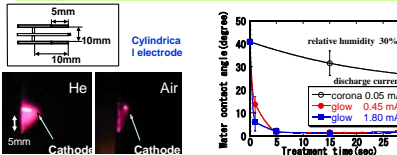


高周波を用いた水素負イオン源の開発や、低エネルギーイオン源の開発を行っている。

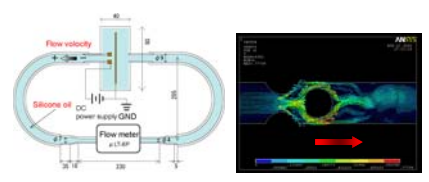
# 3. 高電圧・大気圧プラズマ生成を利用した応用研究

高速気流による大気圧中での直流グロー放電の維持と表面改質への応用、EHD効果を用いた小型ポンプの開発、水中プラズマ生成による水質浄化などの応用研究を行っています。

## 高速気流安定化による直流 (DC) グロープラズマの生成



高速気流を用いた大気圧グロー放電実験  
放電時に高電圧を印加することで、大気圧グローが維持される。この大気圧グロープラズマを用いてガラス表面の粉末処理を行ったところ長時間で耐久力のある処理を施すことができた。



電気流体力学 (EHD) 効果を用いた小型ポンプの開発  
電極間に高電圧を印加することで、機械的駆動のない小型のポンプを実現できる。この技術は、小型電子機器の冷却、医療のハイオク/ロジックの発展にもより小型化学化装置の開発につながる。