

# TST-2球状トカマクにおけるLHCD 実験に用いる 200MHz RF発振器系整備状況

東京大学 高瀬・江尻研究室

角田英俊, 若月琢馬, 花嶋賢太郎<sup>A</sup>, 永島芳彦<sup>A</sup>  
大迫琢也<sup>A</sup>, 小林弘明<sup>A</sup>, 渡邊理<sup>A</sup>, 山口隆史<sup>A</sup>,  
安秉日, 倉品博樹<sup>A</sup>, 林裕之<sup>A</sup>, 山田幸太郎<sup>A</sup>,  
坂本拓也<sup>A</sup>, 平塚淳一,  
江尻晶<sup>A</sup>, 高瀬雄一<sup>A</sup>

東大理, 東大新領域<sup>A</sup>

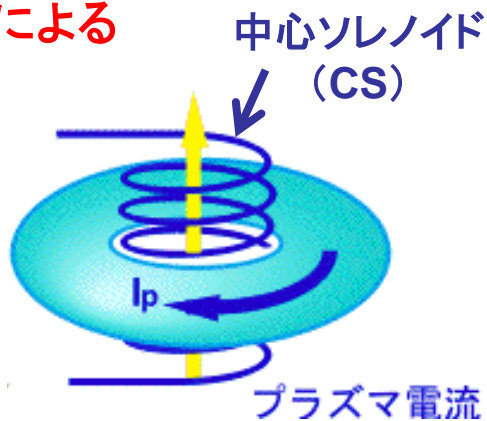
# 発表の流れ

- なぜLHCD(Lower Hybrid Current Drive)実験を行うか
- 200MHz システム現状
- 200MHz RF プラズマ入射初期実験結果

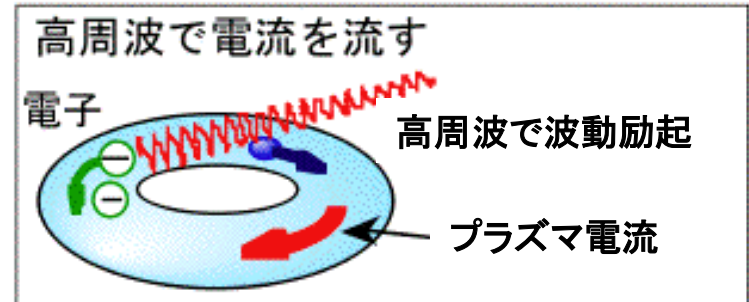
# プラズマ電流駆動法

- ・通常のトカマクでは**電磁誘導**を用いてプラズマ電流を駆動
- ・磁場の時間変化が必要なため、**パルス**的な運転となってしまう

電磁誘導による  
電流駆動

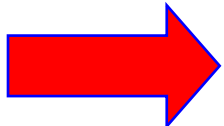


非誘導法(波動)による電流駆動



## 非誘導法(波動)による電流駆動

- ・中心ソレノイド(CS)を用いず、波動によりプラズマ電流を駆動
- ・**定常運転**が可能



小型で閉じ込めのよい**球状トカマク(ST型)炉**の可能性

# 球状トカマク (ST)

- $\beta$ 値が高い (~40%)

→ 同じ核融合出力を得るために

**必要な磁場が小さくて済む**

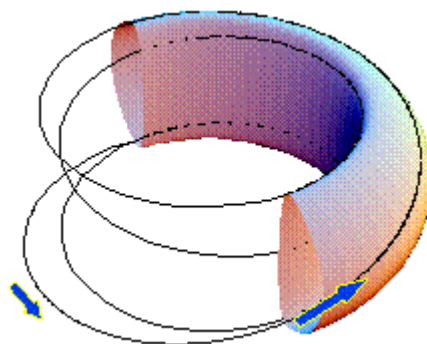
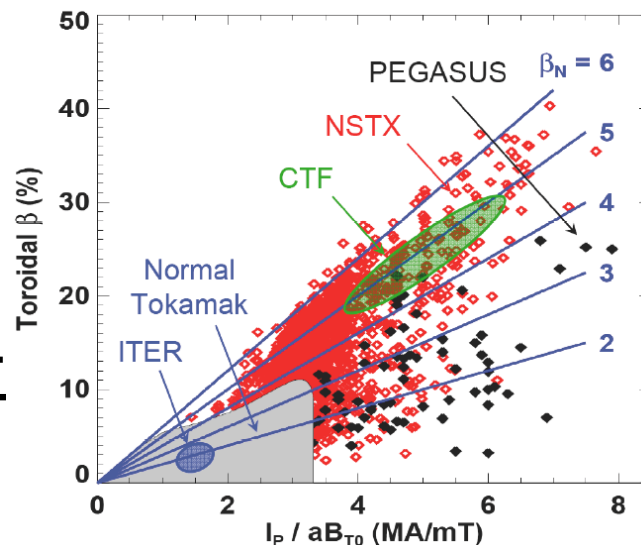
- 自発的に流れるプラズマ電流 (ブートストラップ電流) の割合が高い (**高 $\beta$ との両立が可能**)

→ **自発電流による運転が可能**

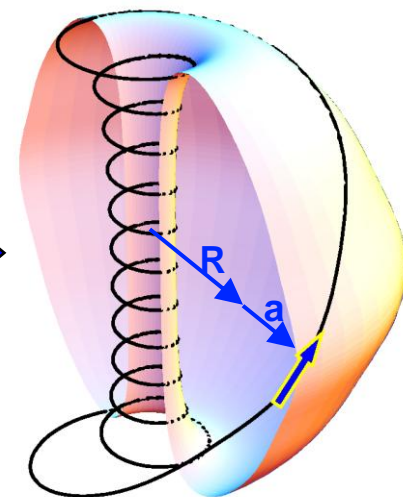
- 小型で経済性に優れる

→ 装置開発のコストを

抑え、**実用炉に向けた研究を加速できる**



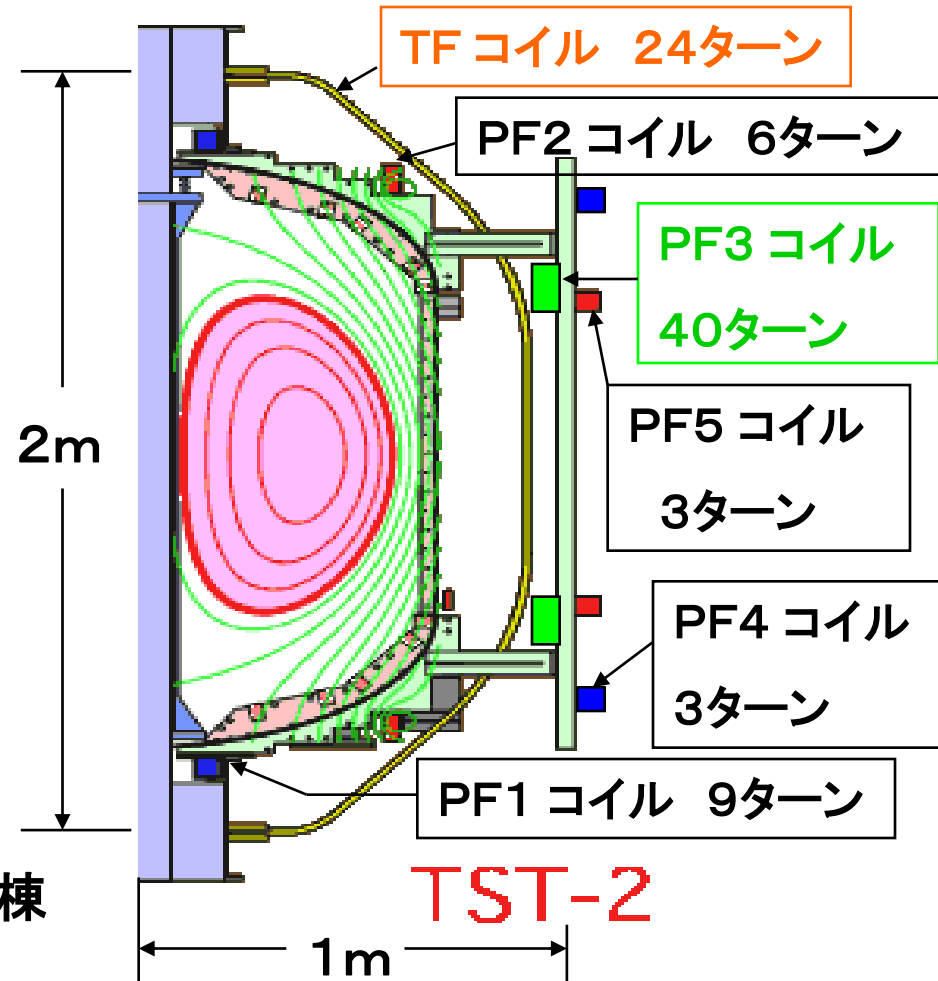
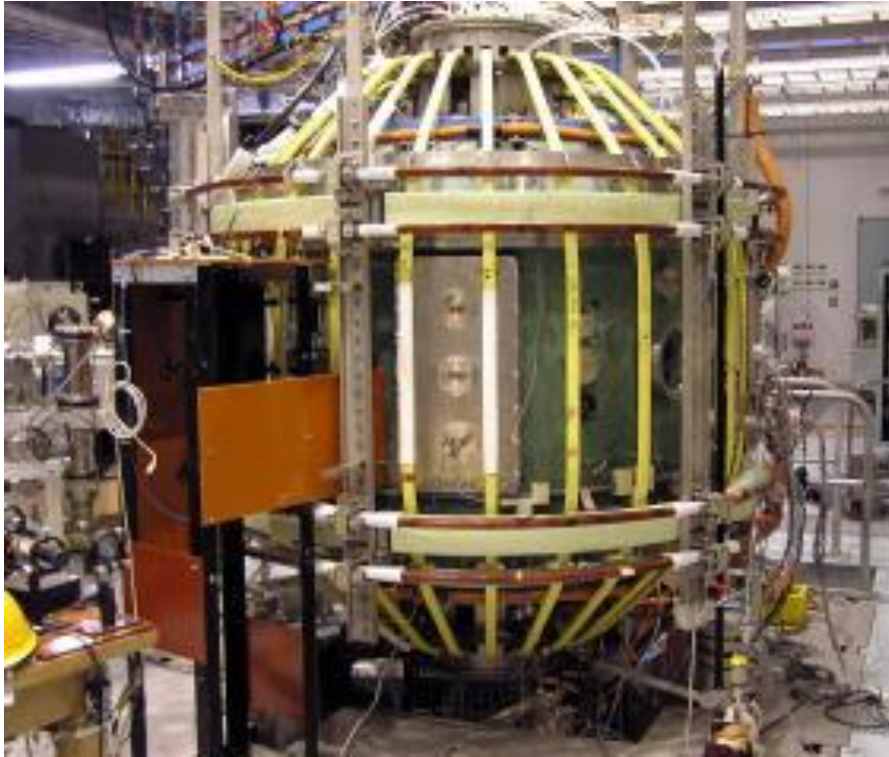
tokamak  
 $A = R/a = 4$



ST  
 $A = 1.5$

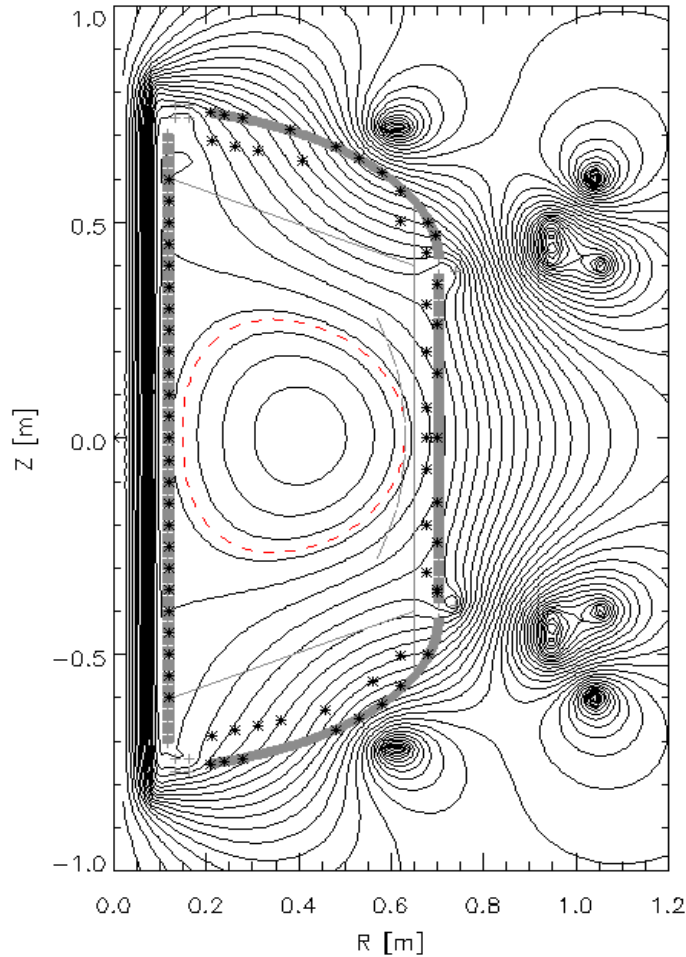
# TST-2

## (Tokyo Spherical Tokamak-2)



東京大学 柏キャンパス 基盤科学実験棟  
球状トカマク本体室に設置

# TST-2のパラメータ



平衡時の磁場配位例

大半径 $R$	$\sim 0.38 \text{ m}$
小半径 $a$	$\sim 0.25 \text{ m}$
アスペクト比 ( $R/a$ )	$\sim 1.5$
放電時間	$20 \text{ ms} \sim 100 \text{ ms}$
トロイダル磁場 $B_t$	$\sim 0.3 \text{ T}$
プラズマ電流 $I_p$	$< 120 \text{ kA}$ (誘導時)
イオン温度 $T_i$	$50 \sim 100 \text{ eV}$
電子温度 $T_e$	$\sim 150 \text{ eV}$ ( $R = 380 \text{ mm}$ )
電子密度 $n_e$	$< 2 \times 10^{19} \text{ m}^{-3}$

# Lower Hybrid Current Drive

- ・ 静電波 ( $E \parallel k$ ) である低域混成波 (LHW)

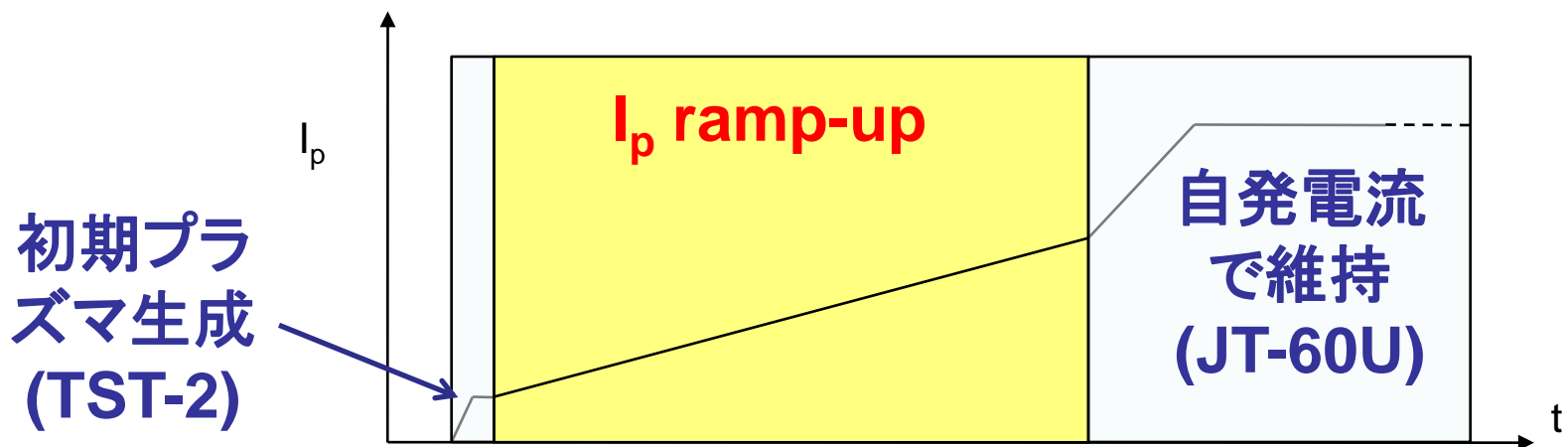
$$\omega_{LH} = \sqrt{\frac{\omega_{pi}^2 + \omega_{ci}^2}{1 + \omega_{pe}^2 / \omega_{ce}^2}}$$

をプラズマ中に励起して、ランダウ減衰により電子加速を行いトロイダル方向に電流を駆動

# LHCDの利点と電流駆動シナリオ

- 高速粒子に運動量を直接与えることが可能
- STにおいて、非誘導法でスタートアッププラズマから自発電流駆動状態への橋渡しをすることを目的とする

球状トカマク(ST)核融合炉の成否に関わる最重要課題

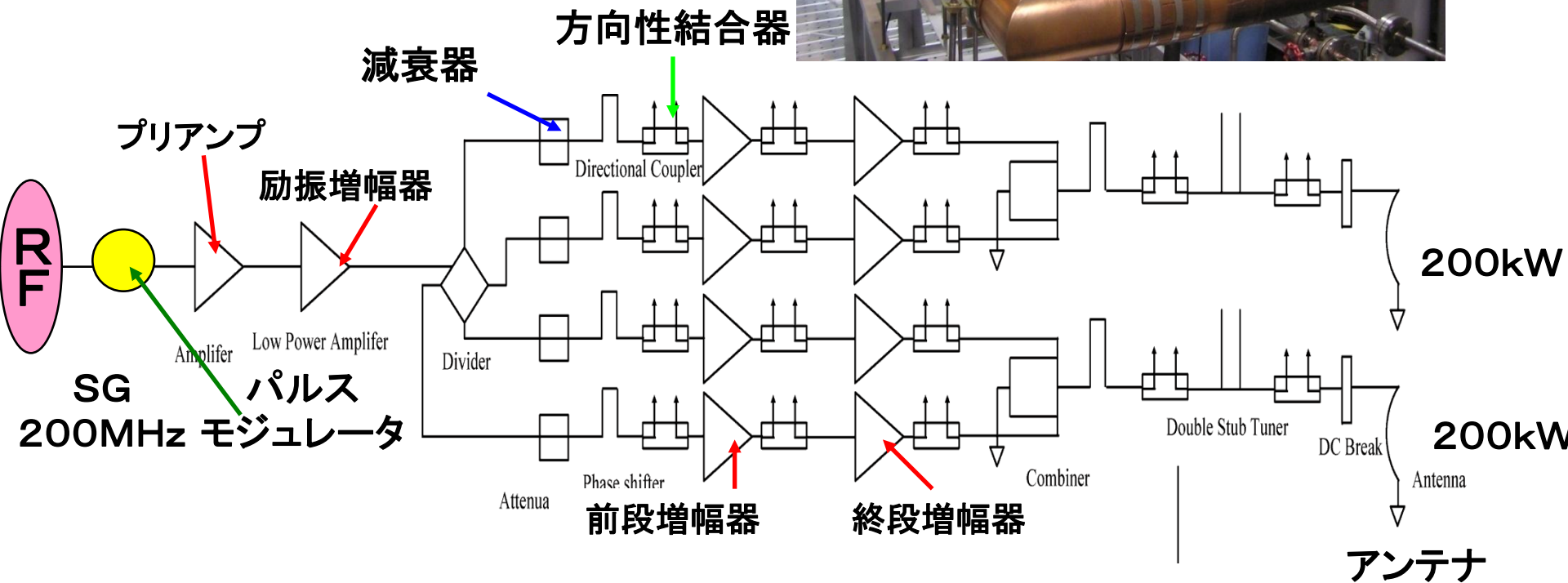




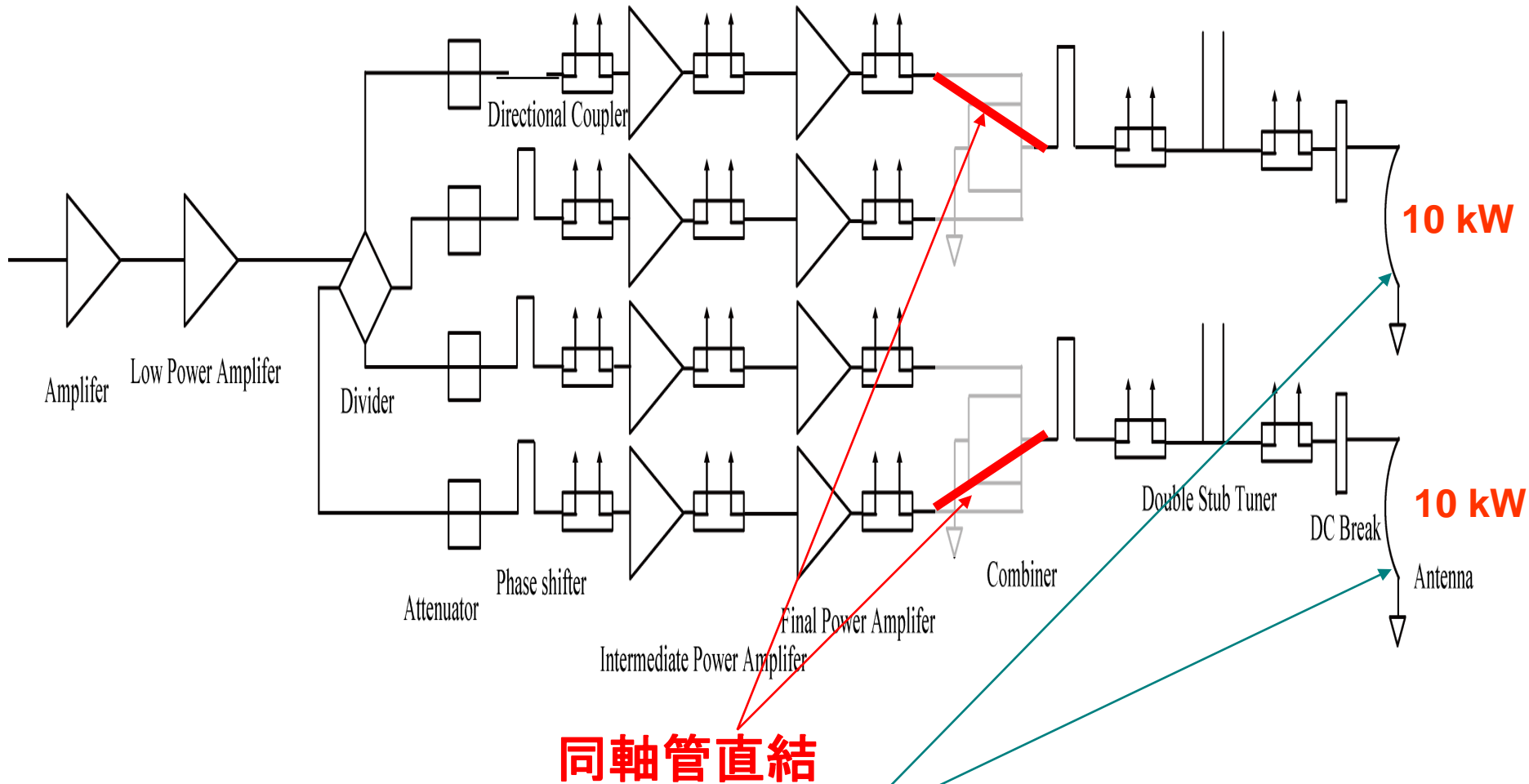
200MHz System

# 200MHz System

- JFT-2M ICRF  
のシステムを移設
- 周波数 200MHz
- 合計パワー 400kW



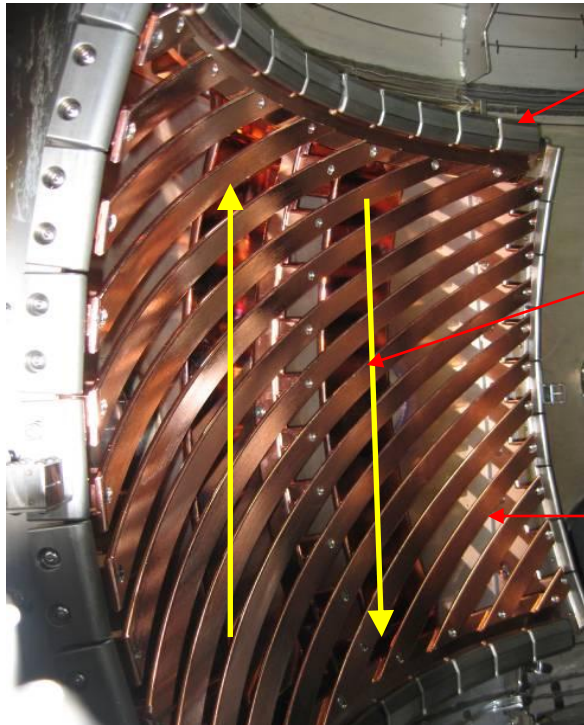
# 移設後 200MHz System 現状



現在取り付けてあるHHFW励起用アンテナでプラズマ入射実験を実施

# HHFW励起用アンテナ

アンテナ(真空容器内)



## リミター

- ・プラズマからアンテナを保護する。

## ストラップ

- ・この2本のストラップからHHFWを励起させる。

## ファラデーシールド

- ・プラズマからアンテナを守る。
- ・不正磁場を取り除く。

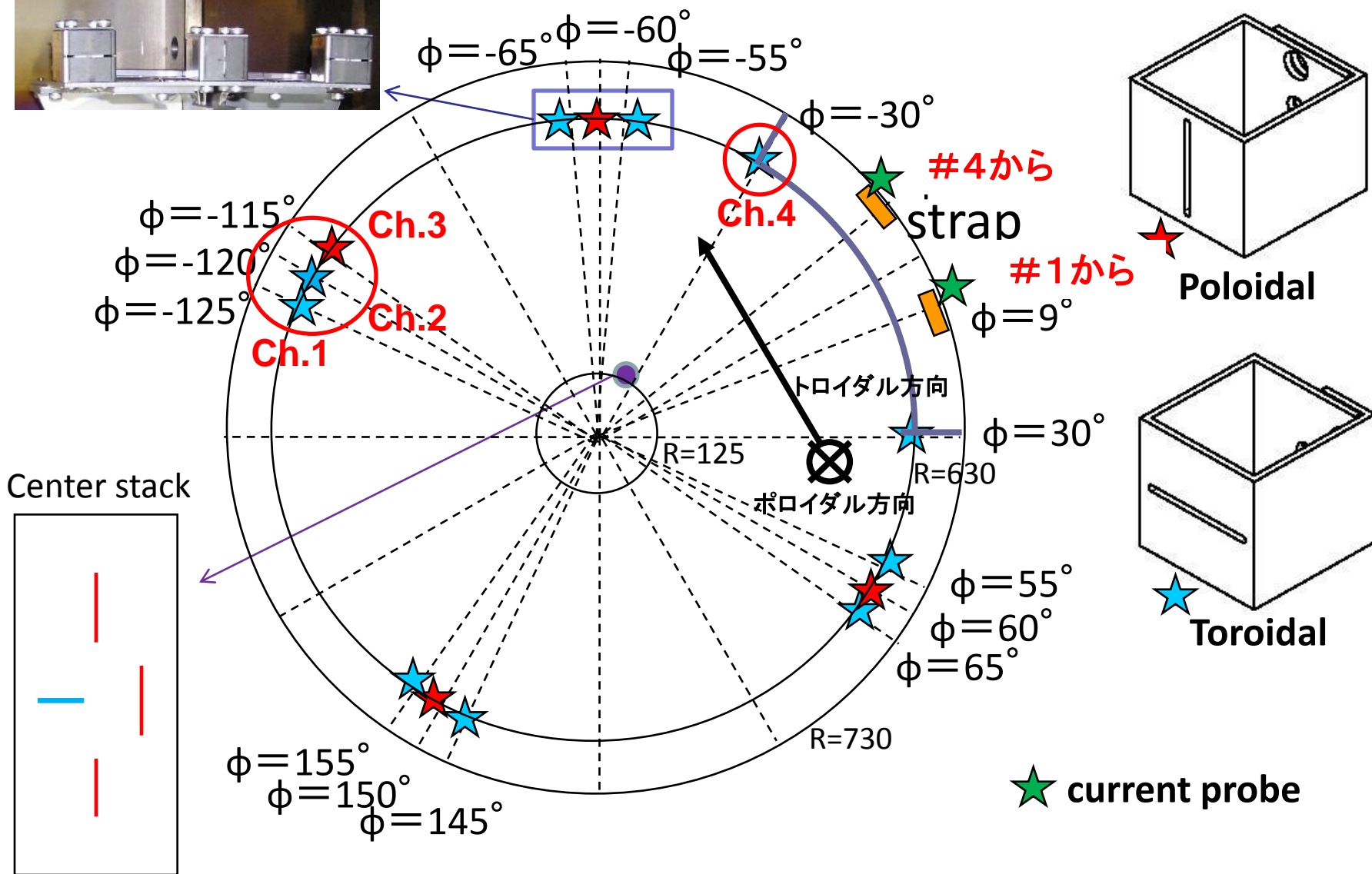
LHCD実験は、今後設置予定の進行波励起用コムラインアンテナで行うが、そのための200MHzのプラズマ入射予備実験を本アンテナを用いて行った。

# 200MHz RF プラズマ入射実験

# 実験概要

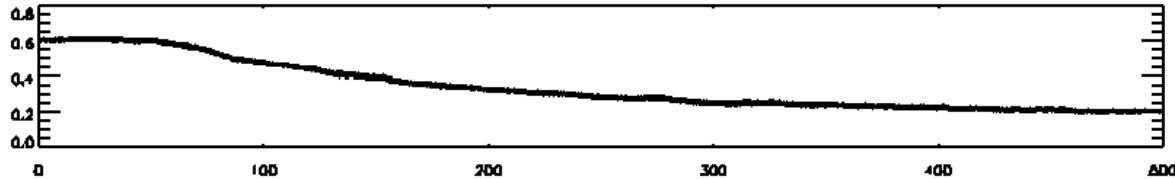
- 対象・・・OH重水素プラズマ
- RF入射・・・放電開始後20ms ( $I_p = 55$  kA,  $R_{out} = 0.7$  m)、入射時間510 $\mu$ s
- 給電・・・#1,#4の片方または両方から。  
各機出力 10 kW 程度
- TST-2内部に設置してある磁気プローブからオシロスコープでデータを取得

# 磁気プローブの配置

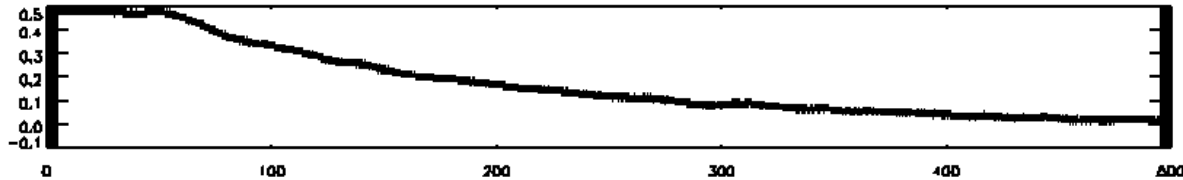


# RF off shot (61067)

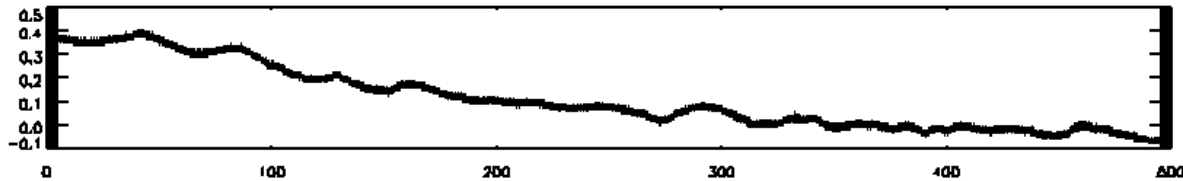
CH 1



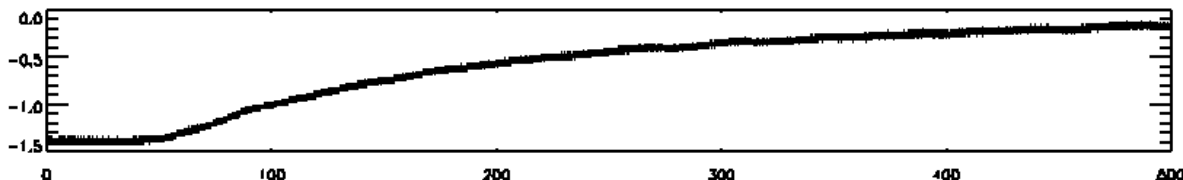
CH 2



CH 3



CH 4

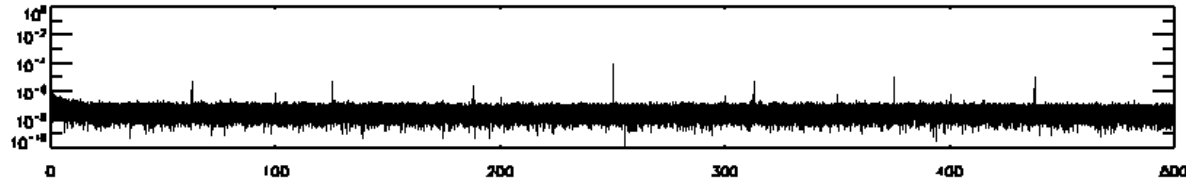


磁気プローブ生波形 (横軸 0 ~ 500 $\mu$ s)

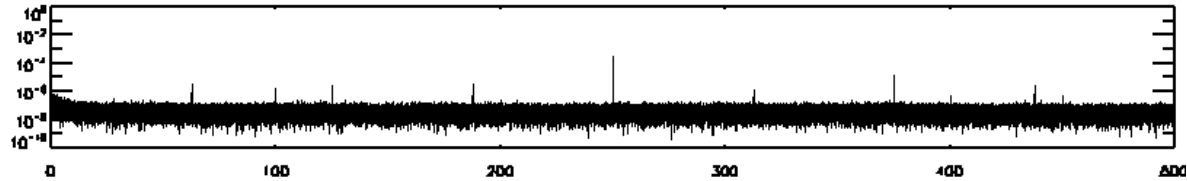


# RF off shot (61067)

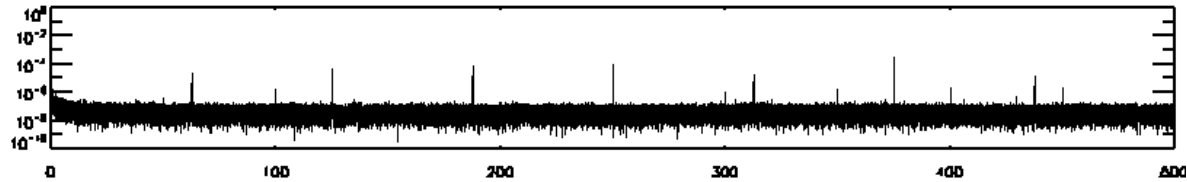
CH 1



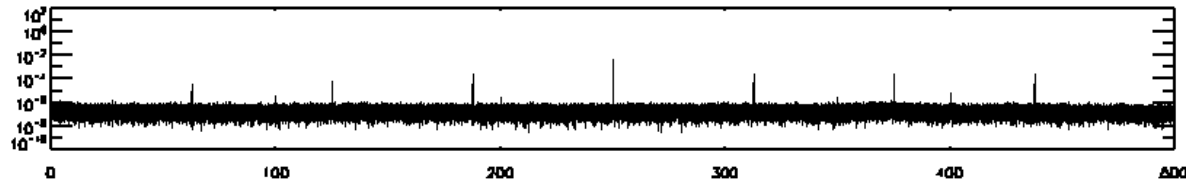
CH 2



CH 3



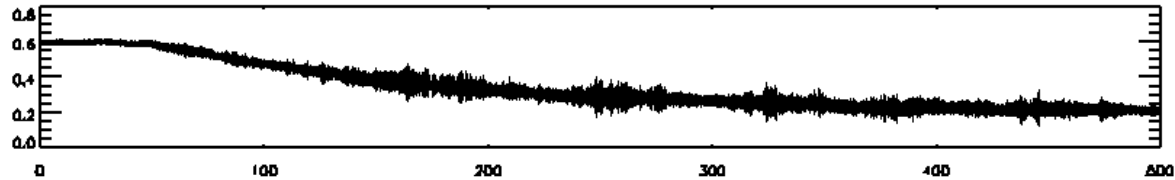
CH 4



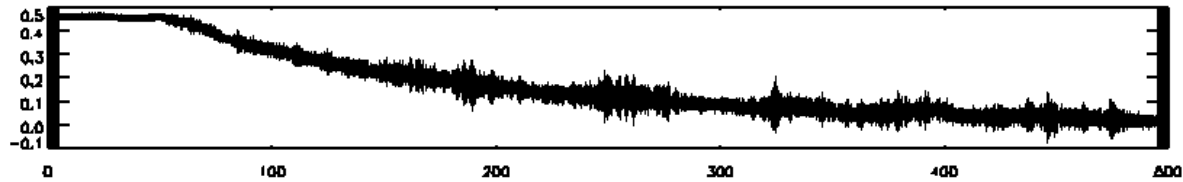
パワースペクトル (横軸 0Hz ~ 500MHz)

# Double strap (61064)

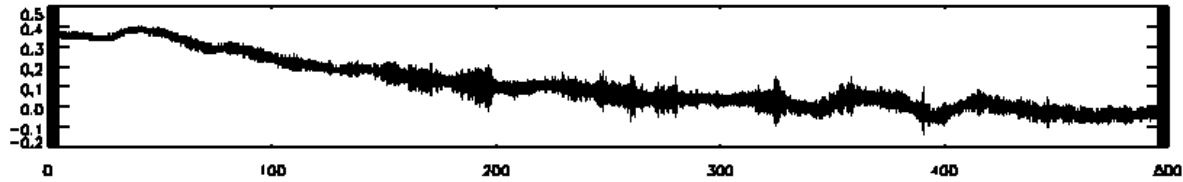
CH 1



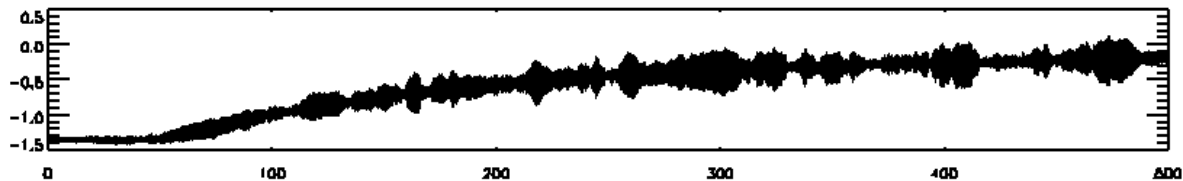
CH 2



CH 3

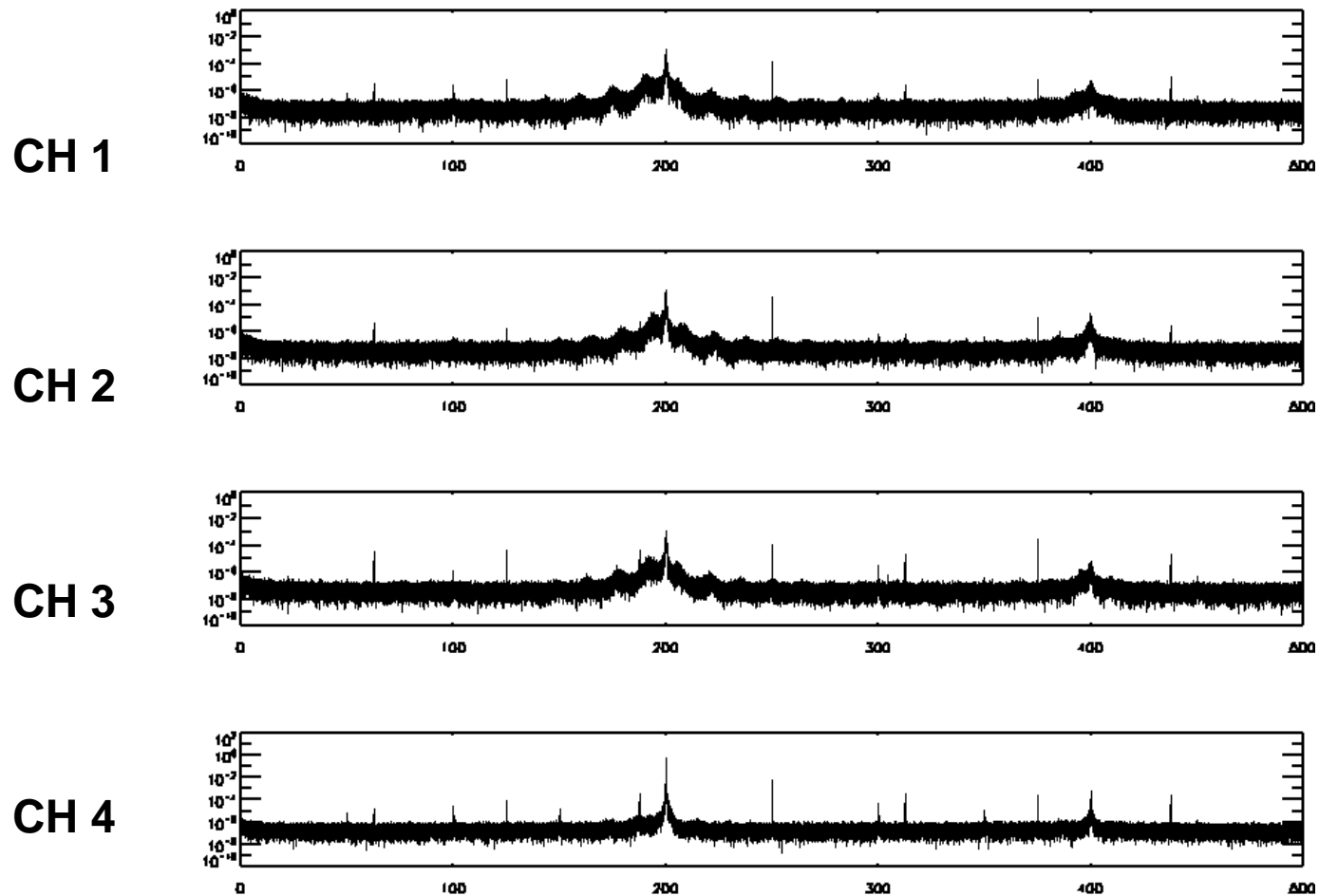


CH 4



磁気プローブ生波形 (横軸 0 ~ 500μs)

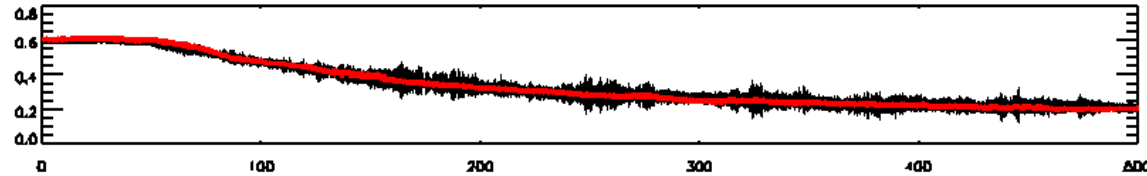
# Double strap (61064)



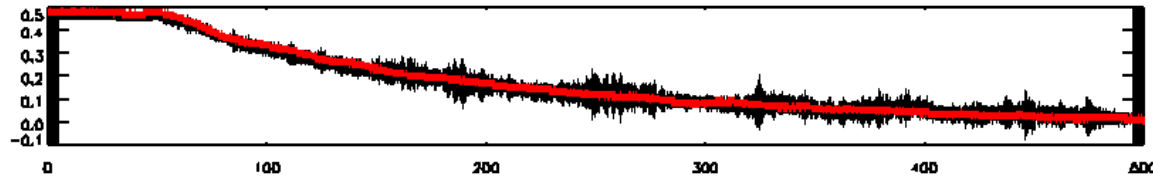
パワースペクトル (横軸 0Hz ~ 500MHz)

# Double strap (61064, 61067)

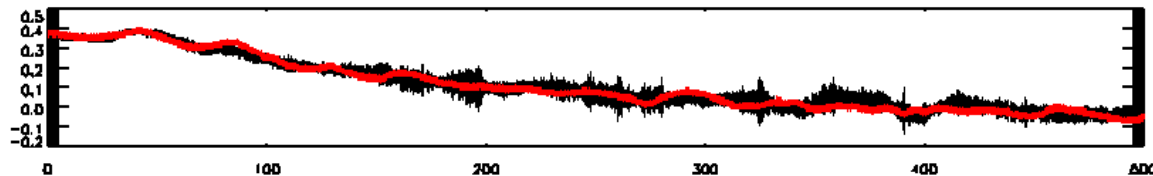
CH 1



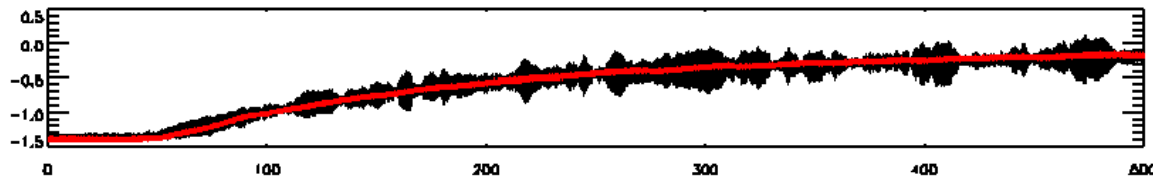
CH 2



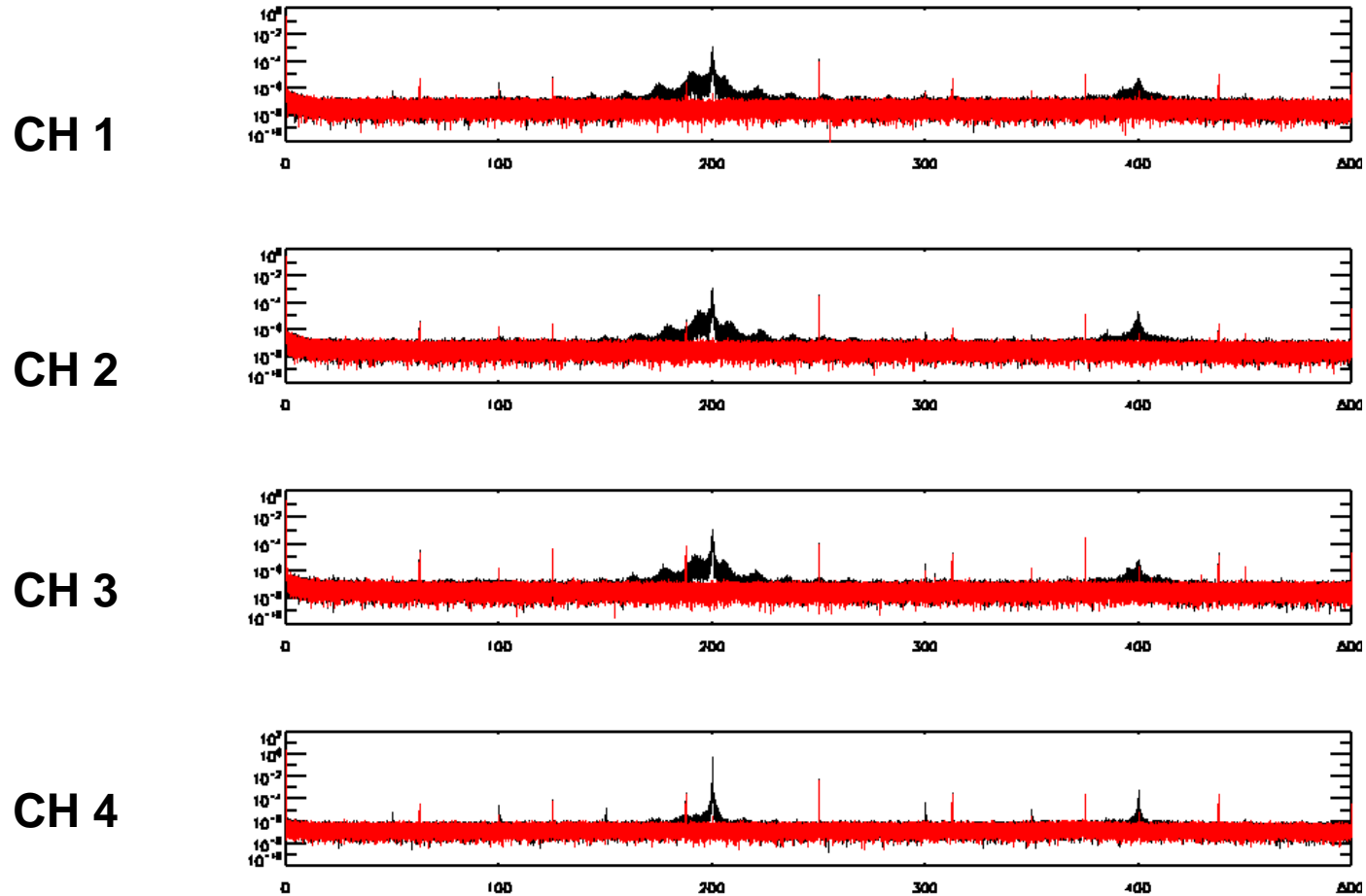
CH 3



CH 4

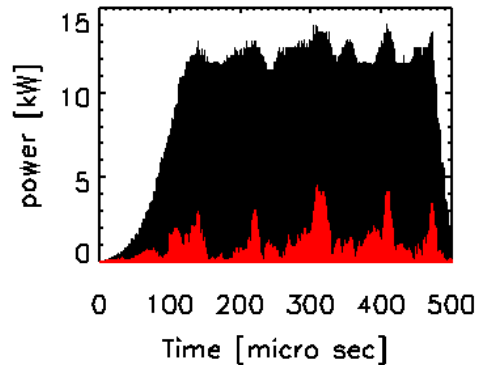


# Double strap (61064, 61067)

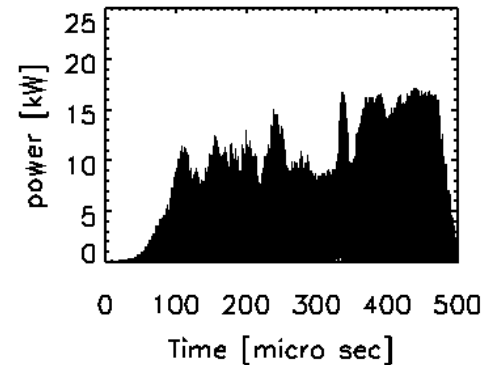
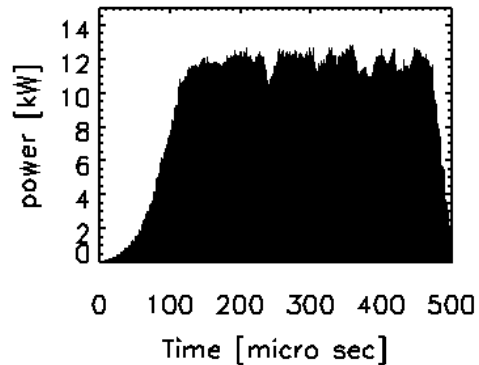
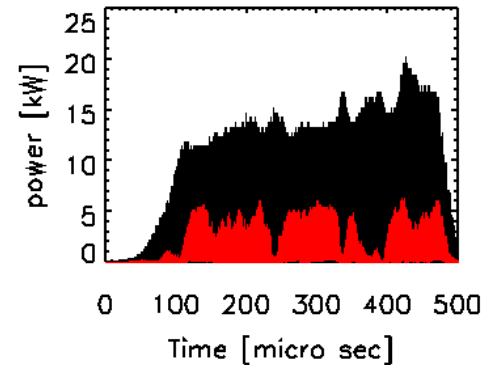


# 入射、反射、正味RFパワー (#1,#4 Double Strap 時)

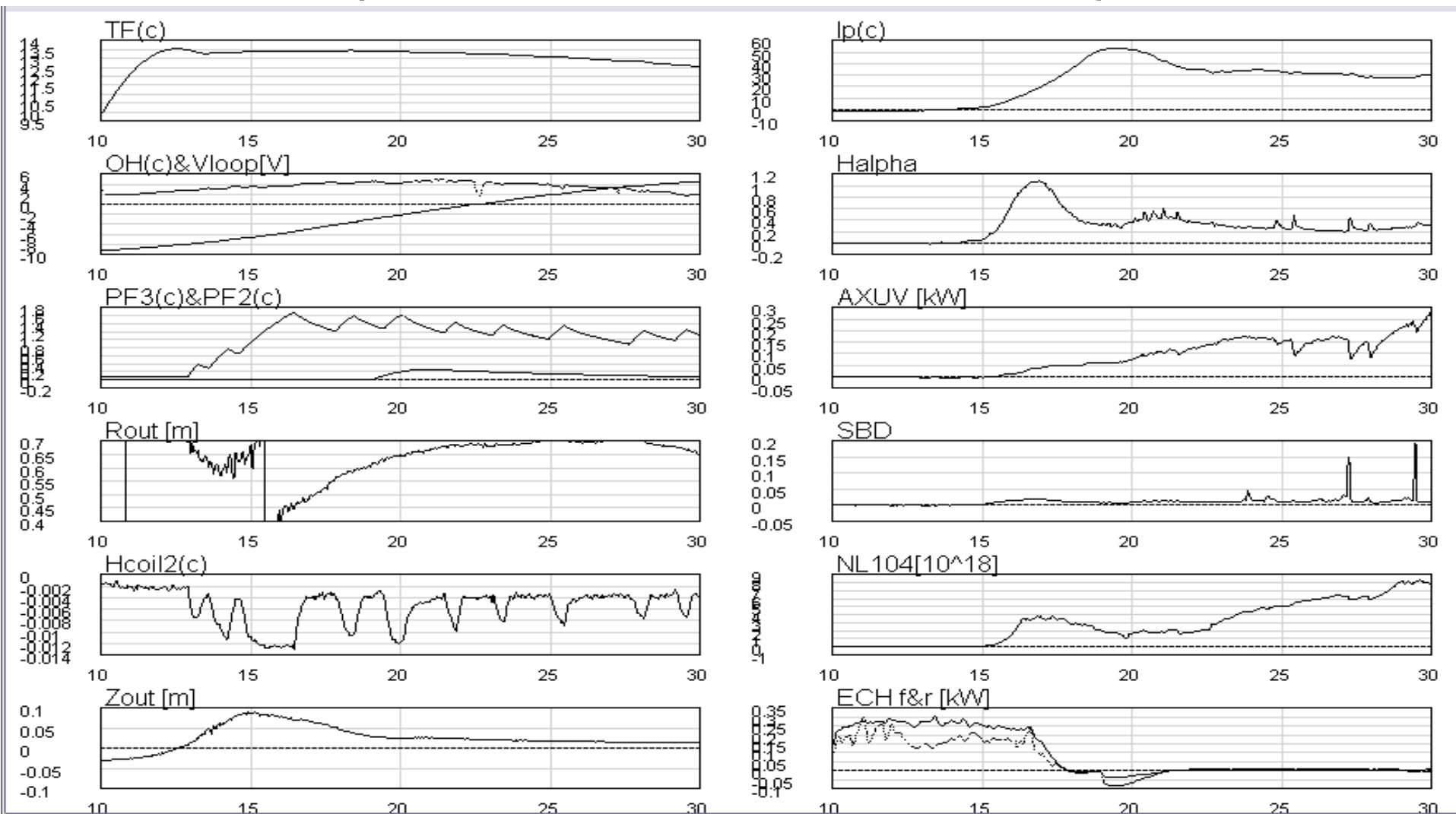
#1 入射、反射



#4 入射、反射

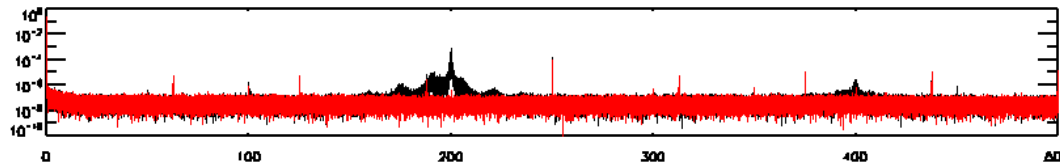


# 放電波形 (Double strap時) (Shot Number 61064)

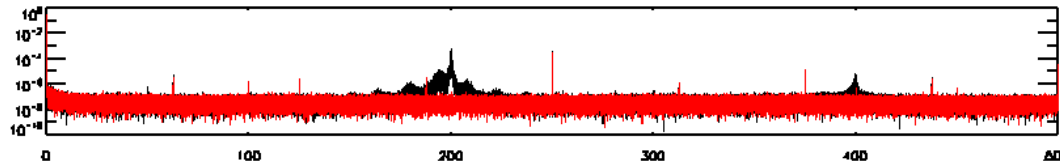


# Single strap #4 (61066, 61067)

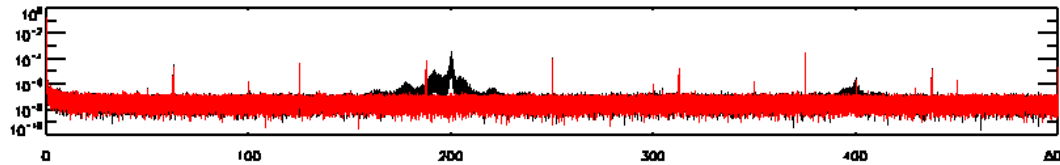
CH 1



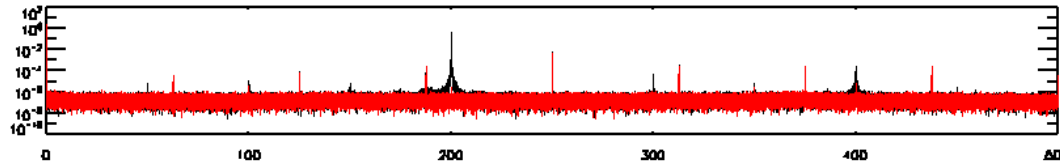
CH 2



CH 3



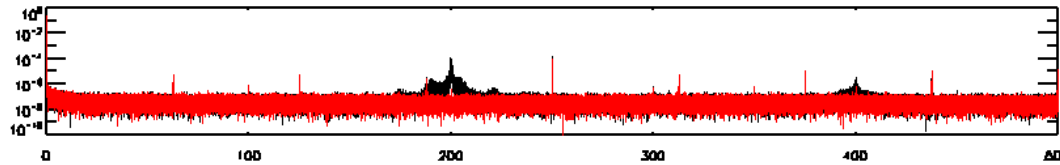
CH 4



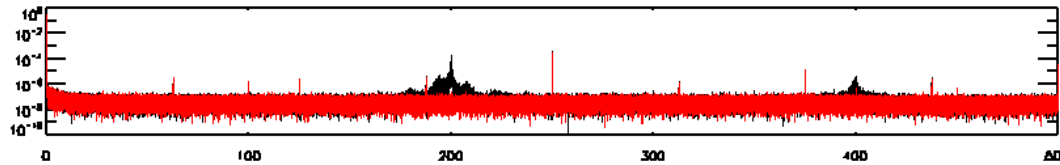


# Single strap #1 (61069, 61067)

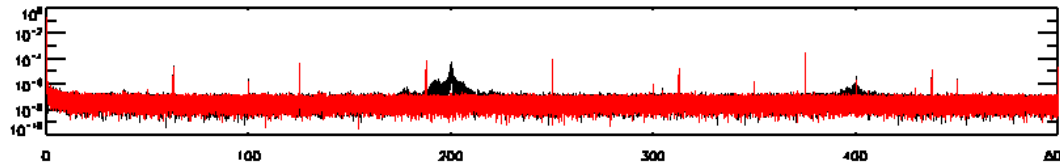
CH 1



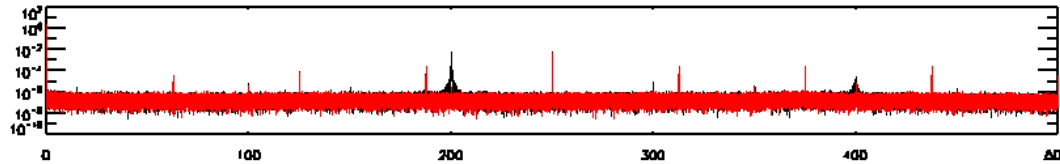
CH 2



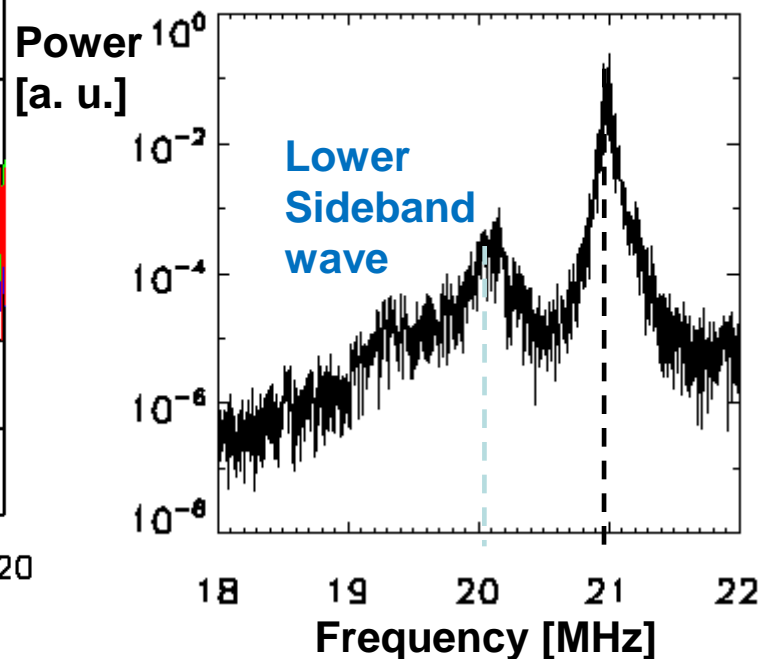
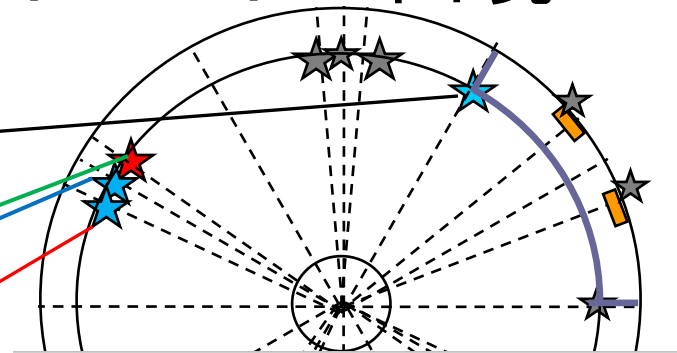
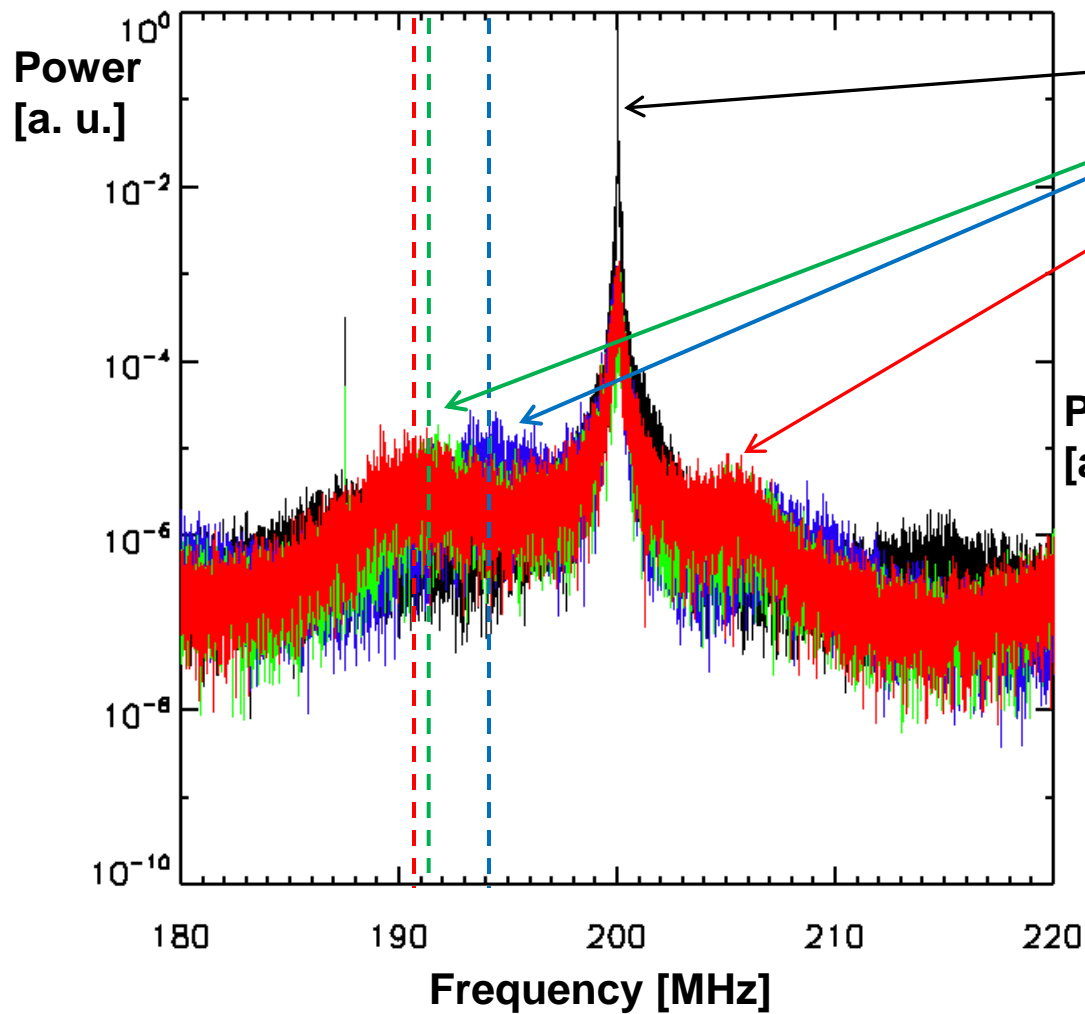
CH 3



CH 4



# 磁気プローブ信号において、 200MHzピーク周辺にサイドバンドが出現



(上図は Double Strap の場合)

高次高調速波(21 MHz)入射時のスペクトル

# 磁気プローブ信号

- ・アンテナから離れたプローブ信号のパワーは、アンテナ近くのプローブ信号のパワーに比べ3桁小さい
- CH1～CH3(アンテナから離れたところ)で200MHzのサイドバンドが観測された
- サイドバンドの200MHzとの差周波数(6～9 MHz)は、重水素のイオンサイクロトロン周波数(～1MHz)に比べて大きい

# まとめと今後の展望

- ・200MHz RF をプラズマに入射することができ、LHCD実験に向けて新たな段階に入ることができた。
- ・発振器からの 10 kW レベルの入射ではプラズマパラメータの変化は確認できなかったが、アンテナから離れた磁気プローブで、200MHzに対するサイドバンドが確認された。200MHzとプラズマとの相互作用によるものである可能性がある。
- ・今後、#1、#4系統からそれぞれ100 kWレベルのプラズマ入射を目指す。