

干渉計による密度揺動計測

筒井広明、東純史、飯尾俊二、嶋田隆一

岡島茂樹

田中謙治、秋山毅志、川端一男、岡村昇一

東京工業大学 原子炉工学研究所

中部大学

核融合科学研究所

目的

磁場閉じ込め核融合装置に於いて、乱流揺動が異常輸送を引き起こし、プラズマ閉じ込めを制限する。

- LHD装置に設置したCO₂レーザー干渉計、及び、ECH用ジャイロトロンを光源とする後方散乱計測により得られたデータをSNETで東京工業大学に転送し、密度揺動解析を行う。

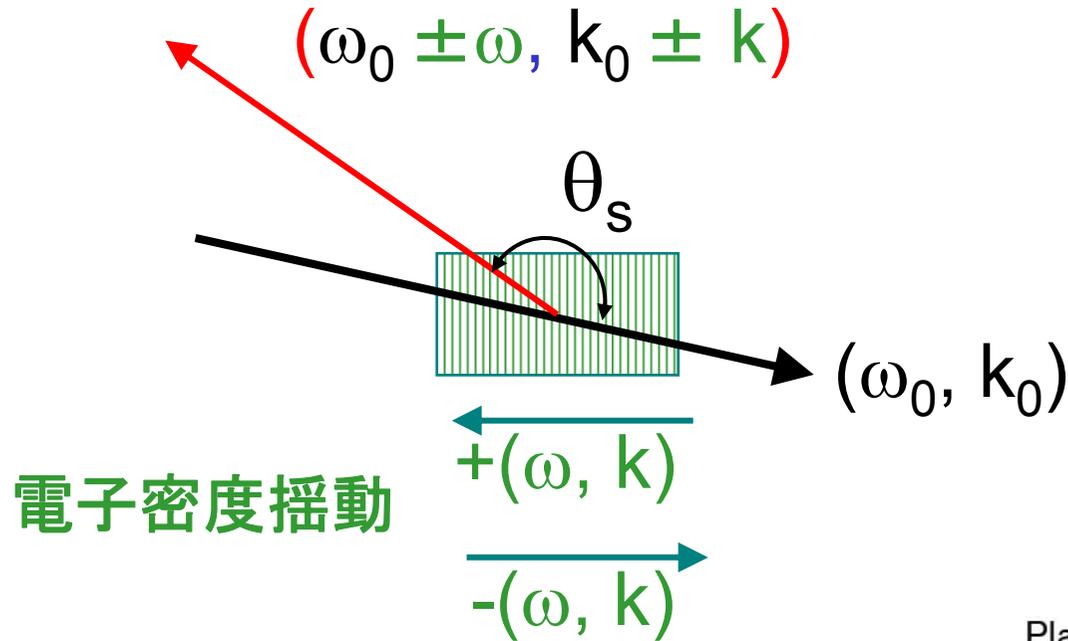
今年度は主にジャイロトロンを用いた実験解析を行った。

ECHの加熱用ジャイロトロンによるミリ波を光源とする後方散乱計測



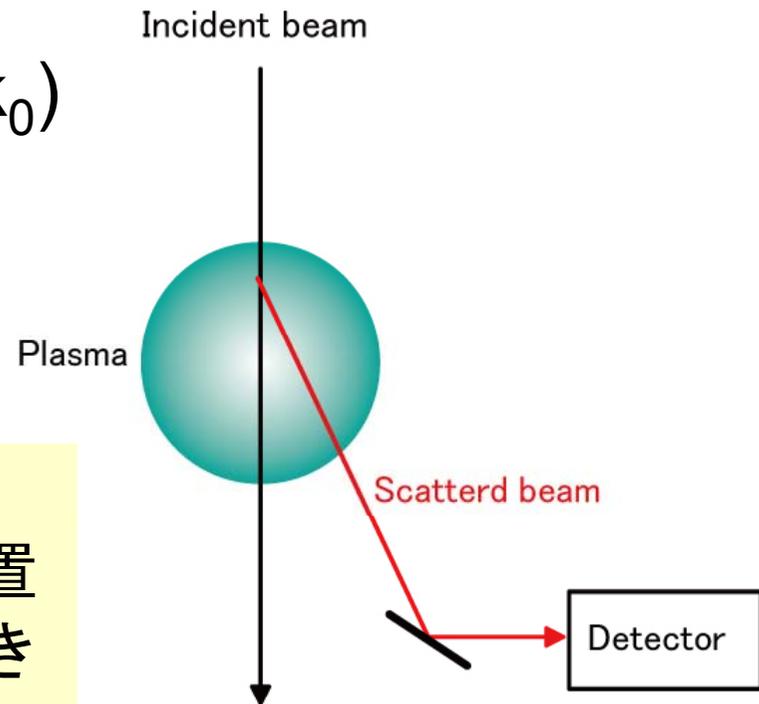
電子密度揺動とエネルギー閉じ込めとの相関を調べ、ヘリカル方式プラズマにおける異常輸送の物理機構を解明する。

電子密度揺動によるブラッグ散乱



散乱角: $\theta_s = 2\sin^{-1}(k/2k_0)$

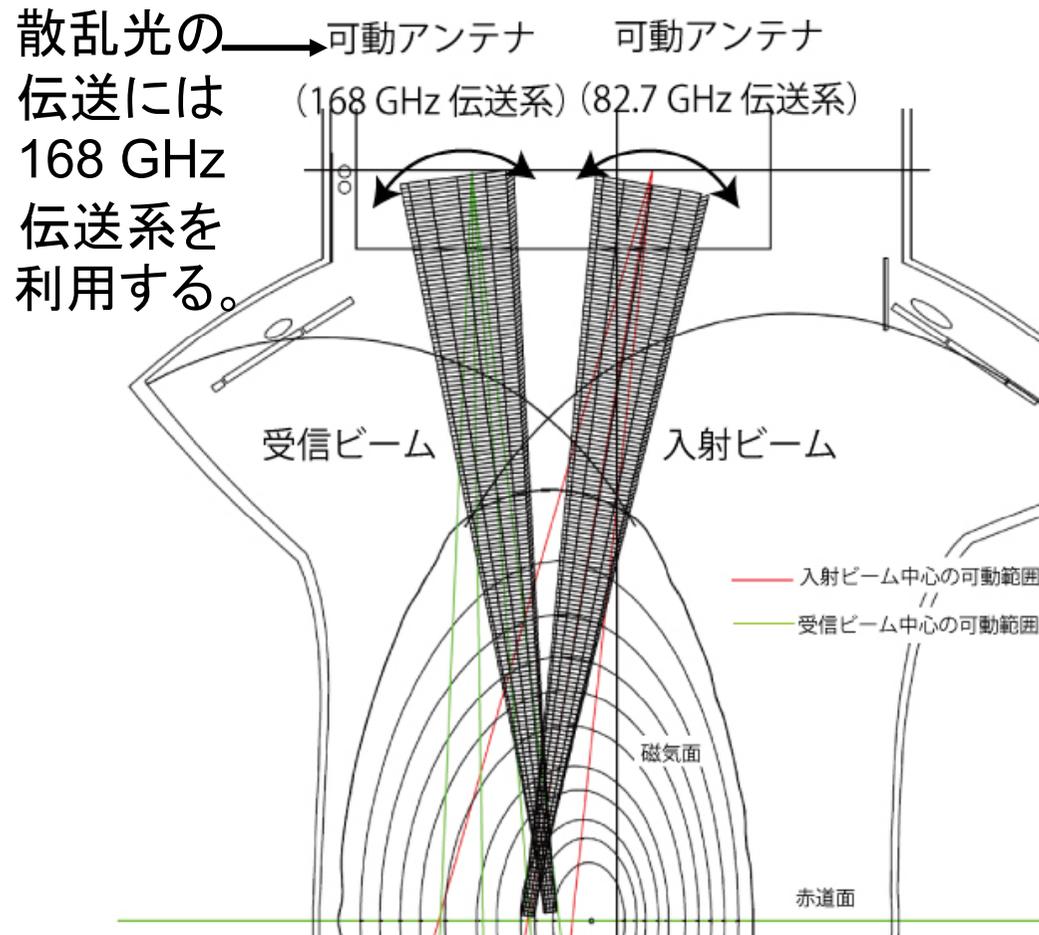
周波数: $\omega_s = \omega_0 \pm \omega$



入射マイクロ波強度が大きい (~100kW) であるため検出器を設置したビデオ検波のみで十分計測できる。将来的にはヘテロダイン検波を行い進行方向を区別する予定。

ミリ波による後方散乱計測

ECHの加熱用ジャイロトロンによるミリ波を光源とする後方散乱計測。

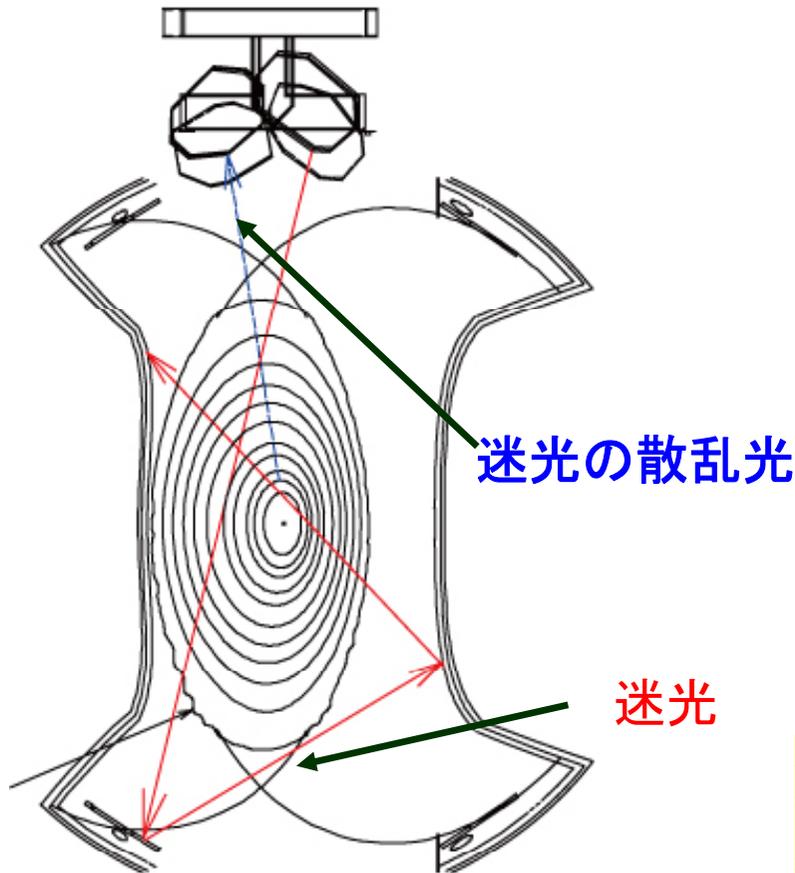


82.7 GHzジャイロトロン
(波長3.6mm)を光源とする
場合は後方散乱となる。

入射アンテナ、受信アンテナの配置の制限より計測できる揺動の波数は
 $k \sim 3.5 \text{ mm}^{-1}$ ($k\rho_e \sim 0.18$)で
短波長揺動となりETG領域
($k\rho_e = 0.1 \sim 1$)である。

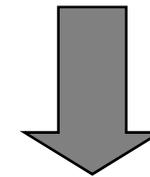
迷光によるS/N比の劣化

本計測の場合透過光窓がなく、散乱されなかった電磁波は**迷光**となる。



散乱されなかったミリ波は真空容器に乱反射されて**迷光**となる。

迷光が再びプラズマ中を伝搬すると、散乱されて受信アンテナに受信されてしまうことがある。



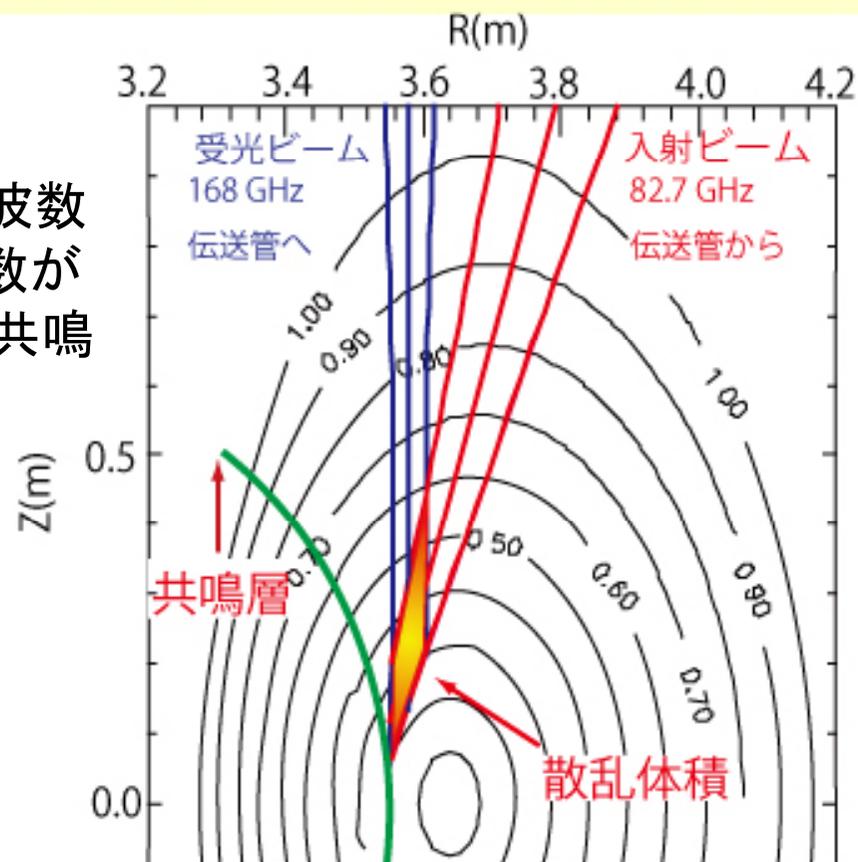
迷光により散乱体積以外からの信号によりS/N比が劣化(局所情報でなくなる。)

共鳴層による迷光の削減

ジャイロトンによるミリ波は電子サイクロトロン加熱用であり、**共鳴層**によって吸収される。

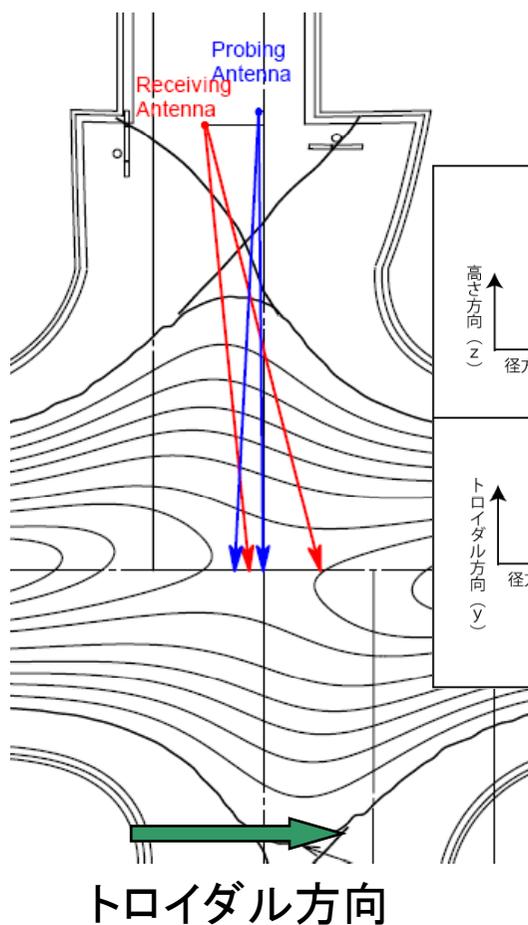
共鳴層の手前に散乱体積を置くことにより、透過光を減らして迷光を削減することができる。

サイクロトロン周波数と電磁波の周波数が一致したところで共鳴吸収が起こる。

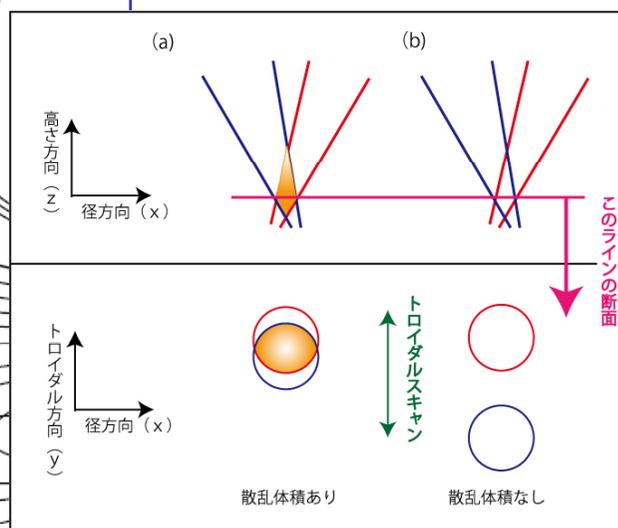


トロイダル方向へのアンテナスキャン

入射ビームと受信ビームの大半径方向の交差点を維持してポロイダル断面に垂直なトロイダル方向に受信アンテナをスキャンさせる。



トロイダルスキャンをすると、ビームが交差するところの体積が変化し、散乱体積が変化する。



散乱体積

入射ビーム

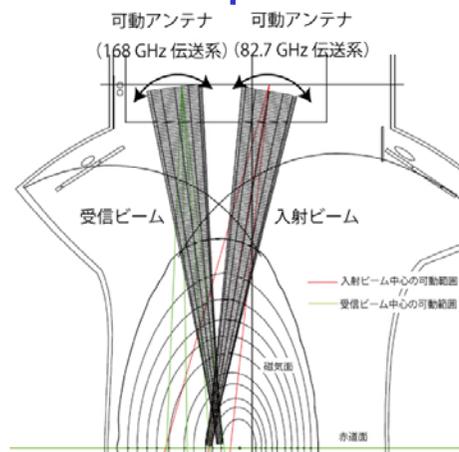
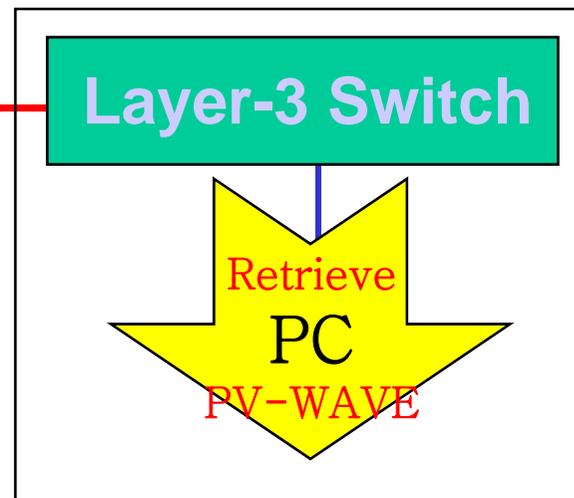
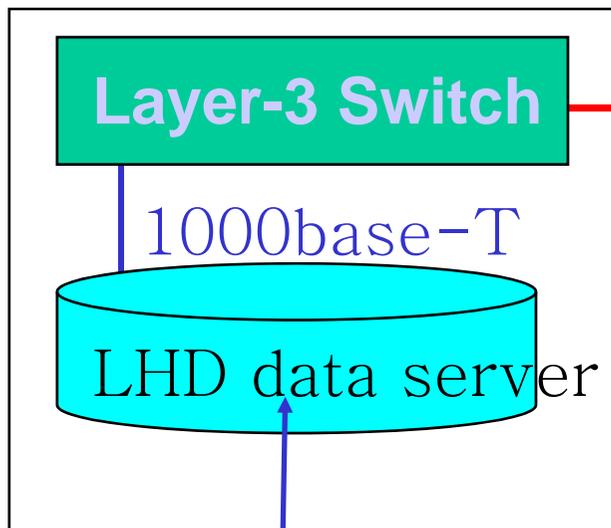
受信ビーム

信号強度も変化

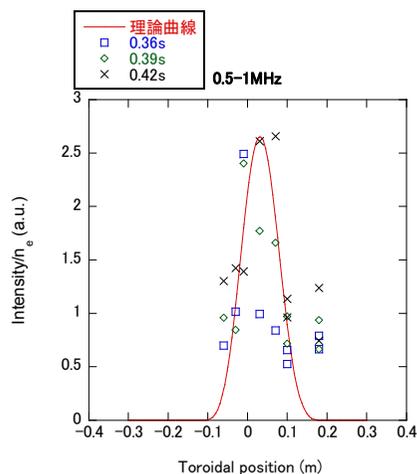
トロイダルスキャンによる信号の変化により、散乱信号が受信できているかを調べる。

核融合科学研究所

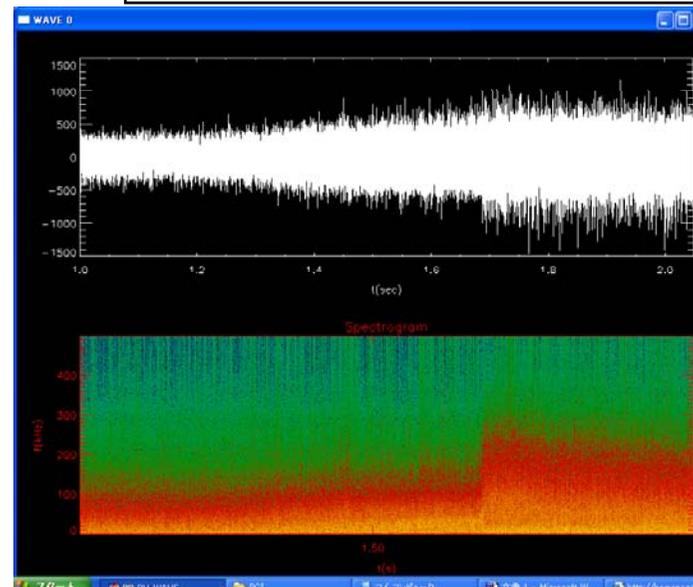
東工大・原子炉研



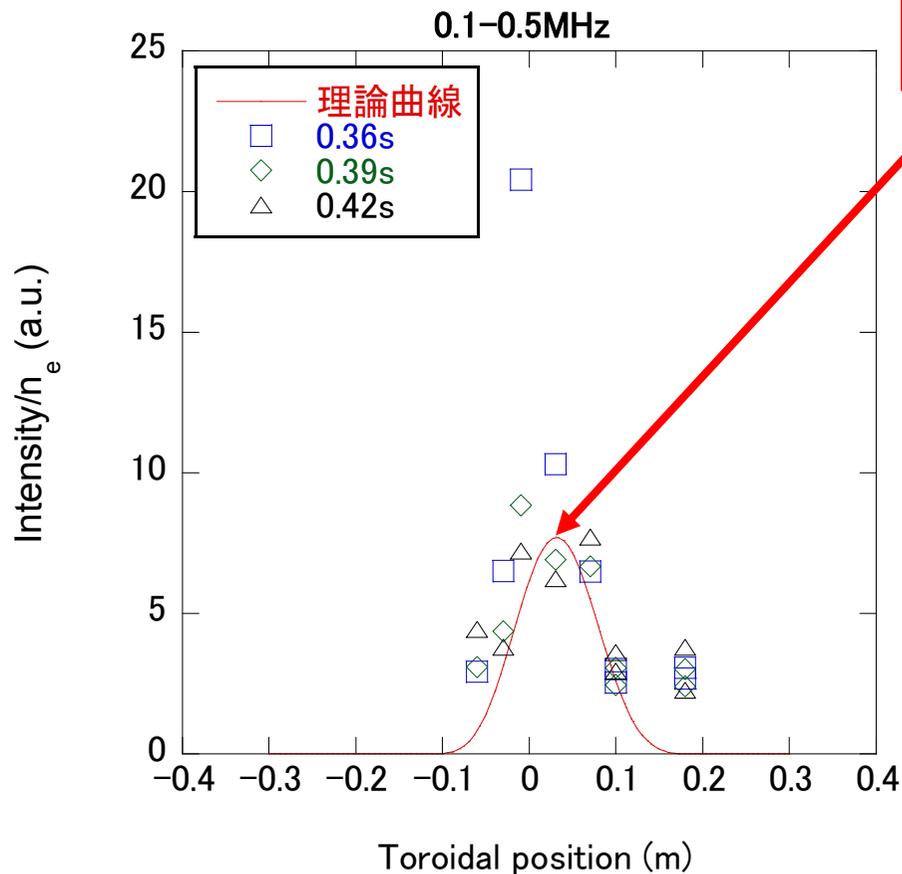
マイクロ波散乱計測システム



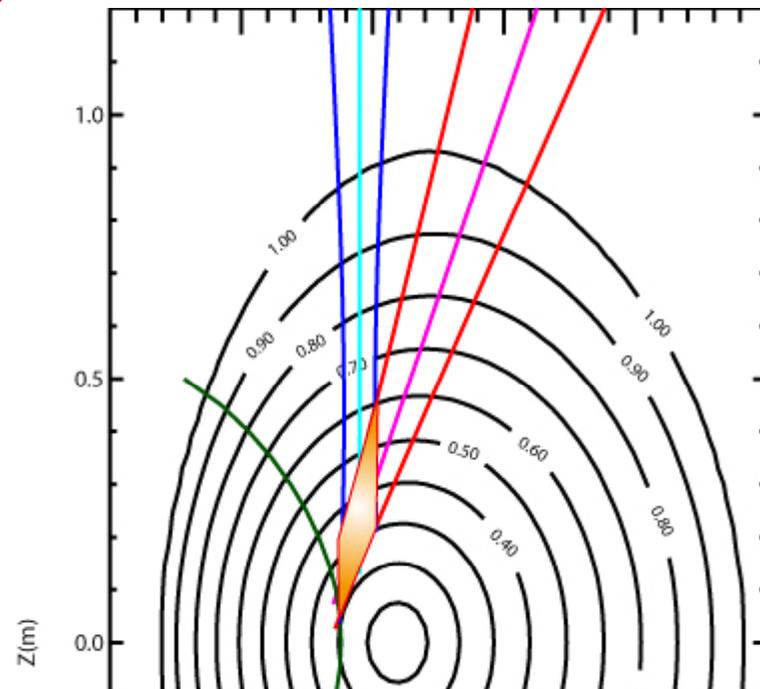
PV-WAVEによる、
スペクトル解析例



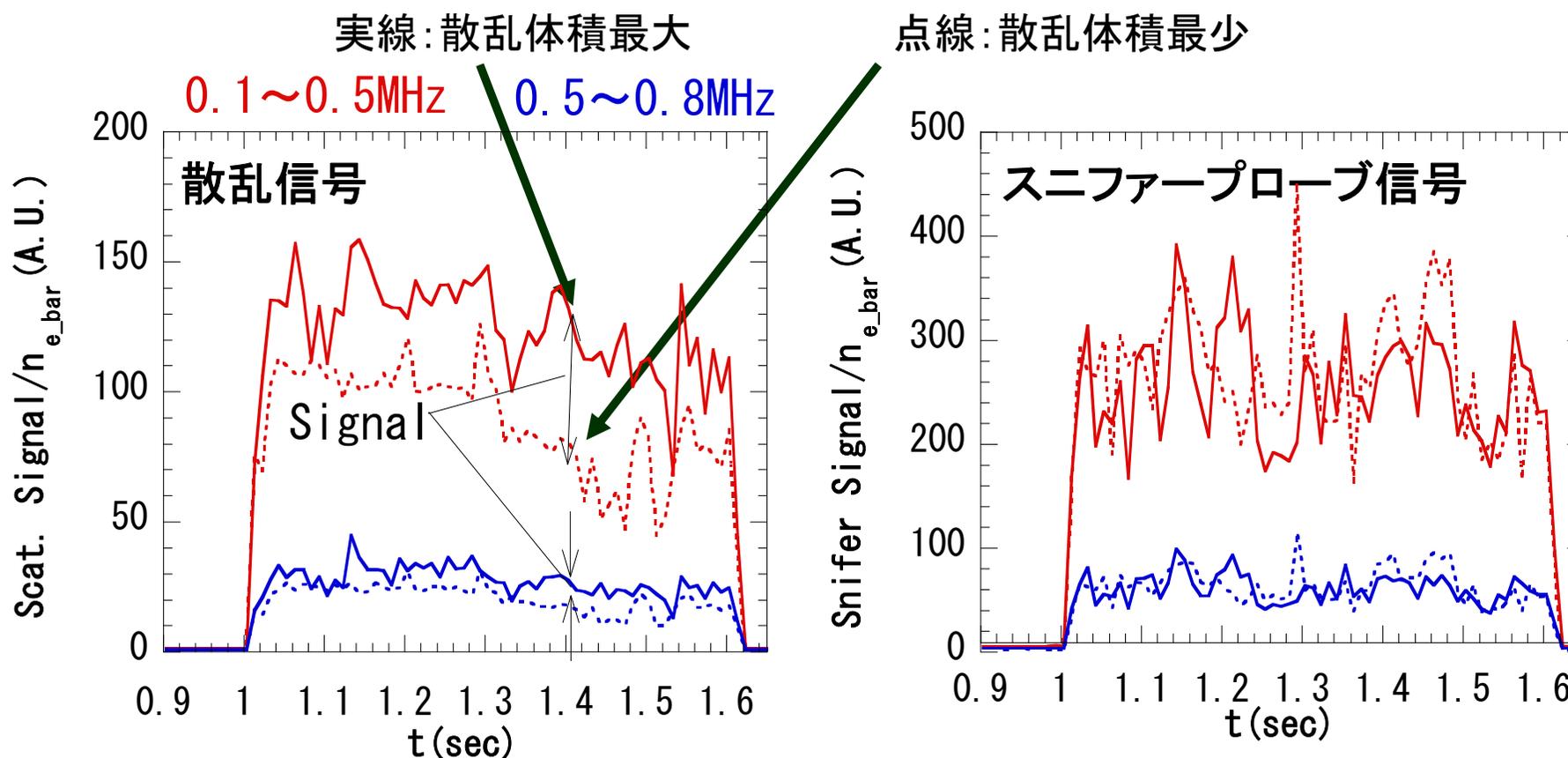
0.1~0.5 MHzの周波数帯において、散乱体積の変化と散乱信号の変化が同調する結果が得られた。



散乱体積最大



スニファープローブは漏洩電磁波を計測そのAC成分はプラズマ全体からの散乱光を検出トロイダルスキャンにより0.1~0.5 MHzで散乱体積が最大と最小の場合で明確な差が現れた。
しかし、スニファープローブの信号には差が現れていないので、散乱信号を得ていると判断できる。



LHDで、ECHの加熱用ジャイロトロンによるミリ波を光源とする後方散乱計測を行った。得られたデータをSNET経由で東工大で解析を行い、以下の結果が得られた。

- トロイダルスキャンにより散乱体積の変化と信号強度の変化が同調し、散乱信号を得ていることが示唆された。
- 迷光をモニターするスニファープローブ信号との比較において、トロイダルスキャンにより散乱信号に変化が得られてもスニファープローブには変化がなく、散乱信号を得ていると判断することができる。

ミリ波の後方散乱計測においては

- S/N比がよくなり、まだ物理的な議論をすることはできない状況であり、さらにS/N比をよくするためにはViewing dumpの使用が求められる。
- ジャイロトンの出力時間が2秒と短く、プラズマの放電全体の揺動データを取ることができないので、より長い出力時間のジャイロトロンを使う必要がある。
- ヘテロダイン検波を導入し、揺動の進行方法を同定する。

ミリ波の伝送系

光源のミリ波はLHD本体から約100 m離れたところから伝送される。

散乱光は168 GHz伝送管を利用してディテクターのある加熱トレンチまで伝送される。

