

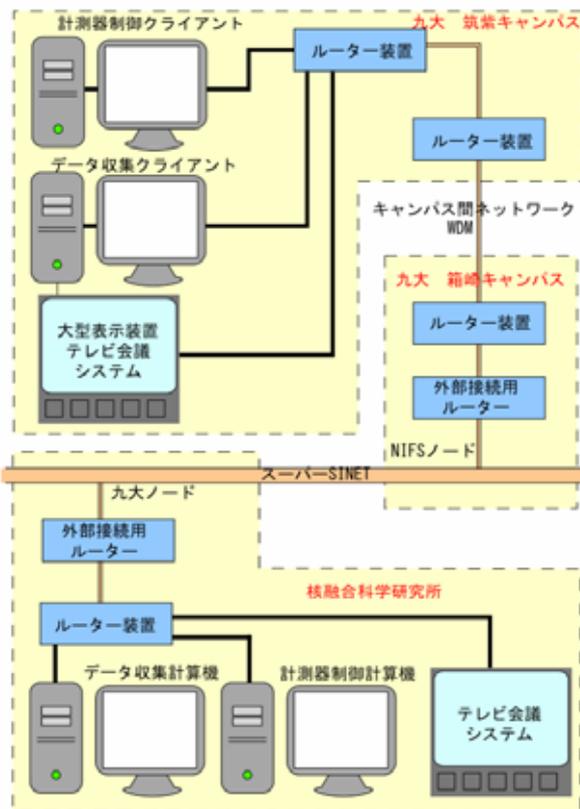
## ミリ波イメージング装置による揺動計測

### 参加研究者構成

分担責任者 間瀬 淳 (九大先端科学技術共同研究センター)  
参加研究者 近木祐一郎 (九州大学ベンチャービジネスラボラトリ)  
川端一男、長山好夫、田中謙治、徳沢季彦、稲垣 滋  
(核融合科学研究所)

### スーパーSINETとの接続構成

本システムは、ミリ波イメージング、超短パルス反射計などの先端的ミリ波プラズマ診断法の大型ヘリカル装置(LHD)への適用に関する共同研究に使用されるものである。スーパーSINETの九州大学ノードがある情報基盤センター(箱崎キャンパス)と、当該施設である先端科学技術共同研究センター(筑紫キャンパス)は離れており、その間はキャンパス間ネットワークを併用している。



システムの機器構成概要、スーパーSINETとの接続概念図および、先端科学技術共同研究センターに設置されているシステムの写真

## 研究目的・研究目標

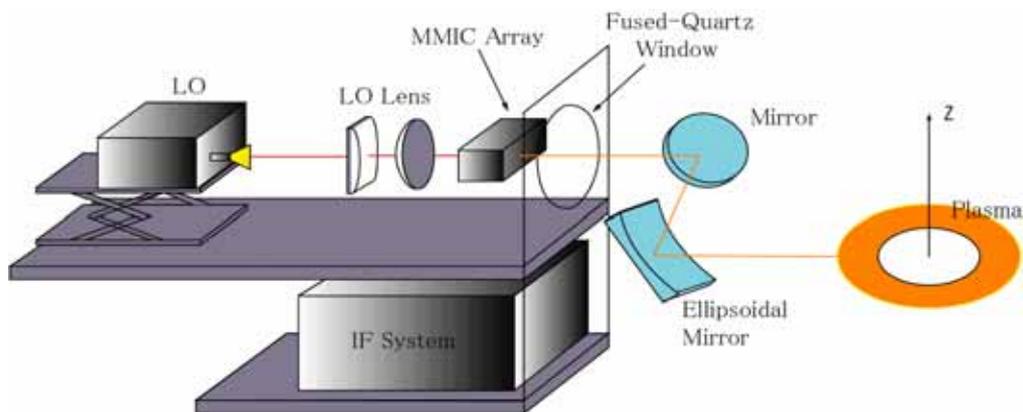
LHD 計画共同研究により開発が進められ、現在 LHD 装置に設置されている、ミリ波計測システム - 電子サイクロトロン放射 (ECE) イメージング装置および超短パルス反射計装置の遠隔操作およびデータ転送のため、スーパーSINET を用いたシステムを構築する。

## 研究内容

- ・ 電子サイクロトロン放射イメージング (Electron Cyclotron Emission Imaging: ECEI)

電子サイクロトロン放射 (ECE) 計測は、受信周波数が磁場閉じ込めプラズマ中の半径方向の局所位置に対応するという、他の計測法にはない特徴を有しており、等磁気面上のプラズマを投影するイメージング装置と結合させることによりプラズマ断面の分布情報を空間分解良く得ることができる。また、多チャンネル検出器間の信号の相関測定によりインコヒーレントな雑音に埋もれる電子温度揺動の測定が可能となる。本研究は、この ECE イメージングシステムを核融合科学研究所大型ヘリカル装置 (LHD) に設置し、電子温度揺動のスペクトル及び分布情報を得ることを目的としている。

イメージング測定のための準光学結像系は、LHD 真空容器内に設置された回転楕円面鏡と平面鏡からなり、電子サイクロトロン放射光源の像を検出器アレイ上に結像する。検出器はテラテック第一研究部 (現横河電機研究開発センター) においてモノリシックマイクロ波集積回路 (MMIC) 技術により



LHD に設置された ECE イメージング装置概念図

製作されたものを使用している。ECE 信号と局部発振器出力をミックスすることにより得られる中間周波数信号は、マイクロ波アンプにより増幅され、フィルターバンクにより 8 分割された後、各周波数毎に検波器により自乗検波される。中間周波数は、ECE の半径方向位置に対応するため、各検出器間 (ポロイダル面) およびフィルター間 (半径方向) の測定により、電子温度の 3 次元分布、さらには、相関スペクトル導出により、電子温度揺動の波数 周波数スペクトルおよび揺動分布の測定に拡張する

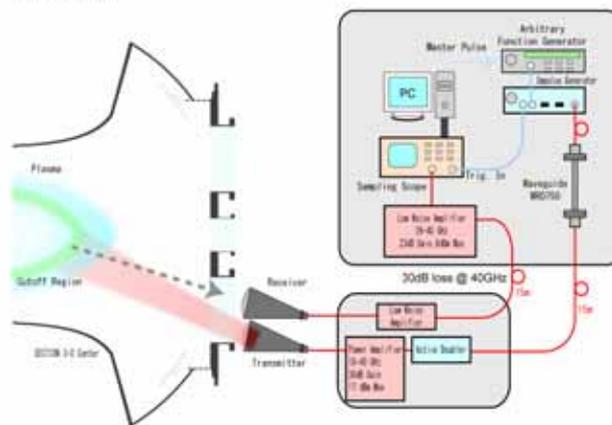
ことができる。

・ 超短パルス反射計 (Ultra-Short Pulse Reflectometry: USRM)

時間幅  $\tau_p$  をもつインパルスは、そのフーリエ成分として、特性周波数  $\omega_0 = \pi/2\tau_p$  , 最大周波数  $\omega_{\max} = 2\pi/\tau_p$  で分布するスペクトルを有する。従ってその周波数がマイクロ波～ミリ波領域に達するパルス幅 100 ピコ秒 以下の超短パルス波は、一台のパルス発振器で多数個の周波数固定発振器あるいは広帯域掃引発振器と等価な役目をもつことになる。超短パルスを入射波として用いることにより種々の測定対象に対応して最適な周波数領域を選択することができるとともに、透過、反射、および吸収など様々な特性を同時に持たせることも可能となる。定常プラズマの場合には、パルスの繰り返しを利用し、サンプリングスコープを利用することが考えられる。この場合反射波波形を直接観測するため、時間・周波数解析を施せば、周波数対飛行時間、すなわち group delay を連続的に求めることが可能となる。本研究では、新しく signal record analysis (SRA) 法による密度分布再構成手法を新しく提案した。この方法は、インパルスのプラズマ中伝搬に関する解析モデルを用い、仮定された密度分布による反射波波形を反復計算しながら実験値に対応する波形を与える分布を導出していくものである。

超短パルス反射計をLHDプラズマに適用するためにはパルスの高周波化が必要である。本研究では、インパルス出力を導波管を通しチャープ波形にした後逓倍する方法を採用した。アクティブダブラーを用いることにより、10 dbm 以上の入射波が期待され、かつマイクロ波増幅も容易である。LHDに設置された超短パルス反射計システムを図に示した。

USRM構成図



**研究成果**

ECEI 装置の LHD における実機適用は、平成 13 年度後半から始まり、平成 14 年 2 月に初めて多チャンネル測定および検出器間の相互相関関数の導出に成功した。平成 14 年度は平成 15 年 2 月に実験およびデータ収集を行なった。LHD 信号処理系への接続が確立されており、実験前の機器調整はあるがルーチンの測定することが可能となっ

ている。一方、超短パルス反射計は平成 14 年 12 月に LHD に設置され、同 15 年 2 月初期実験が実現し、プラズマからの反射波信号を得ることに成功している。

核融合科学研究所 九州大学先端科学技術共同研究センター間のスーパーSINET を用いたシステムは、昨年度末（平成 15 年 3 月）完成のため、実験中の運用はまだ実現していないが、現在までに以下について確認した。

- 九州大学先端科学技術共同研究センターから核融合科学研究所LHD本体棟にある計測器を実際に遠隔操作することができた。
- 核融合科学研究所 九州大学先端科学技術共同研究センター間のファイル転送速度は 50 Mbps 以上であることを確認し、他のパーソナルコンピュータから同時に転送を行なった場合も転送速度が変わらないことを実証した。