

平成18年度遠隔実験タスク会議 平成19年3月9日 核融合科学研究所

LHDミリ波計測遠隔実験システム

間瀬 淳, 近木祐一郎, 横田裕也, 迫田卓也
九州大学産学連携センター

徳沢季彦, 山口聡一郎, 川端一男, 長山好夫
核融合科学研究所

大学から社会へ情報発信
教育と研究そして社会貢献



研究の概要

研究目的

LHD共同研究で開発中の、超短パルス反射計および電子サイクロトロン放射(ECE)イメージングについて、測定装置の機器制御からデータの取得・転送および解析までの全てを遠隔で実現するシステムを、スーパーSINETを介して構築することにより、LHDへの定常的な実験参加を図っていくことを目的としている。

研究経緯

本研究で使用する、反射計およびECEイメージングシステムは、LHD計画共同研究で整備され、一般共同研究としてLHDへの適用が図られている。スーパーSINETを利用した遠隔実験システムが整備された後、九州大学から、これら計測システムの制御や、計測信号収集および解析が可能となっている。

平成18年度の経過

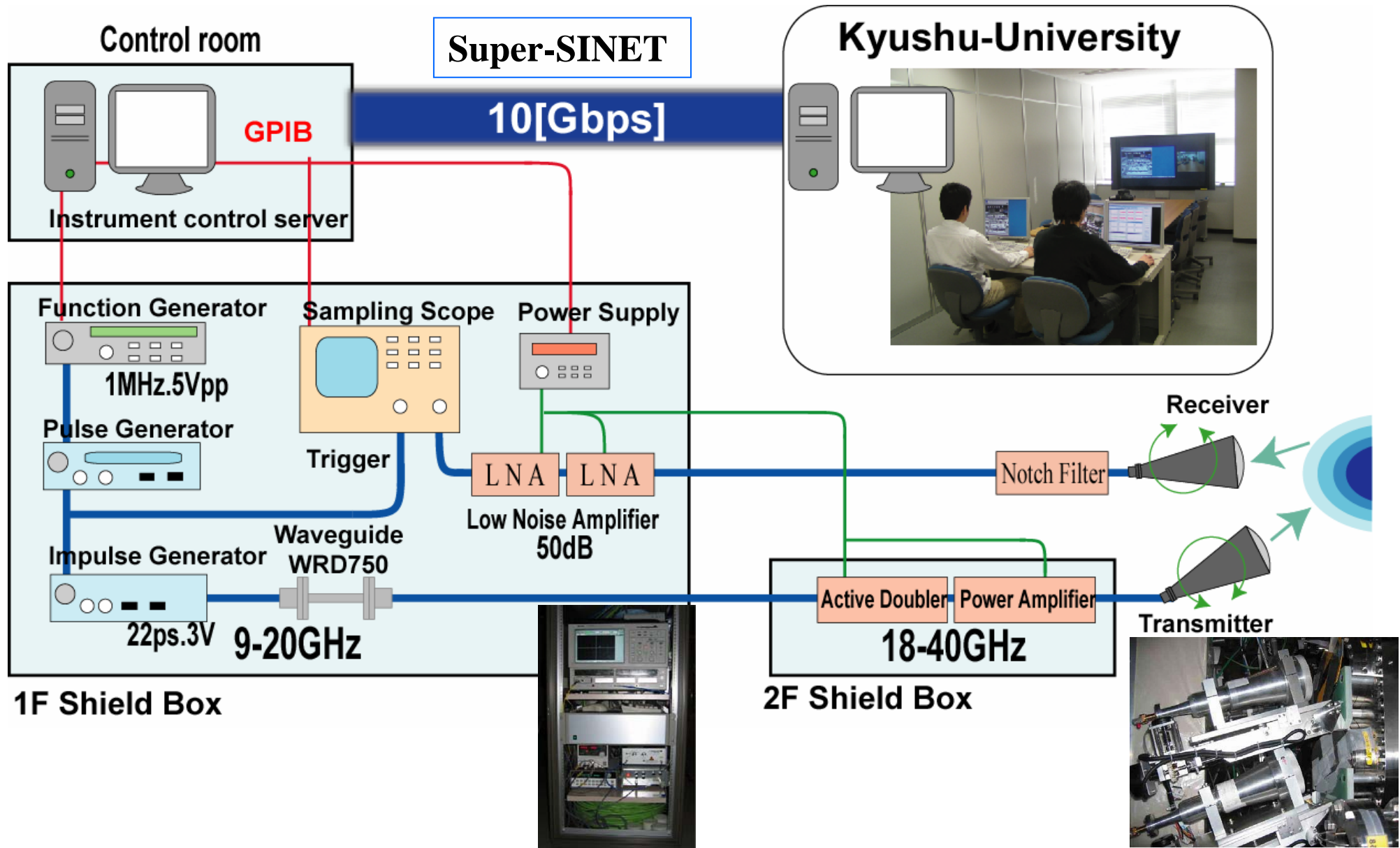
超短パルス反射計

- 九州大学より計測実験を常時進めることが可能となっている。
- MATLAB-GUI (Graphical User Interface) によるデータ収集および Signal Record Analysis (SRA) による密度分布再構成手法、特に、初期値の選択についての検討を進めた。
- システムの広帯域化 (26-40 GHz → 18 40 GHz) を進めた。

ECEイメージング

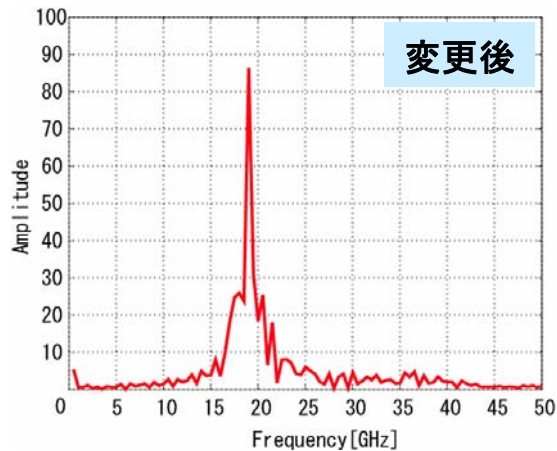
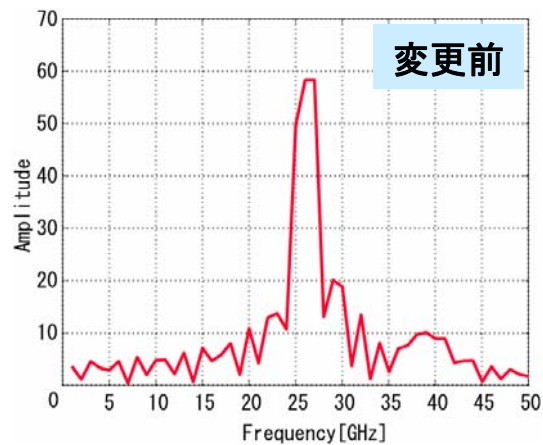
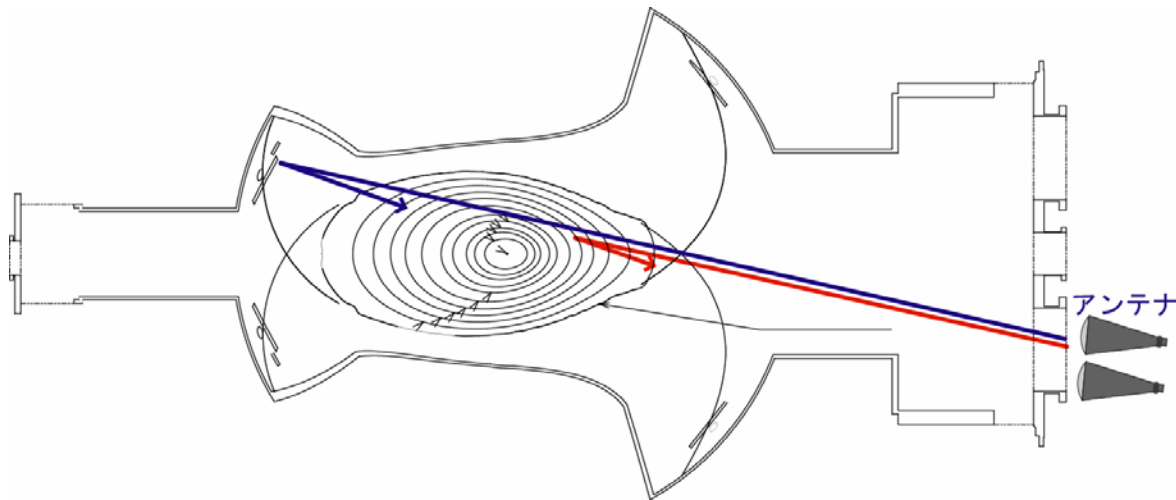
- イメージングアレイアンテナの製作およびヘテロダイン中間周波数システムの集積化による、多チャンネル測定の実現

超短パルス反射計システムの概要



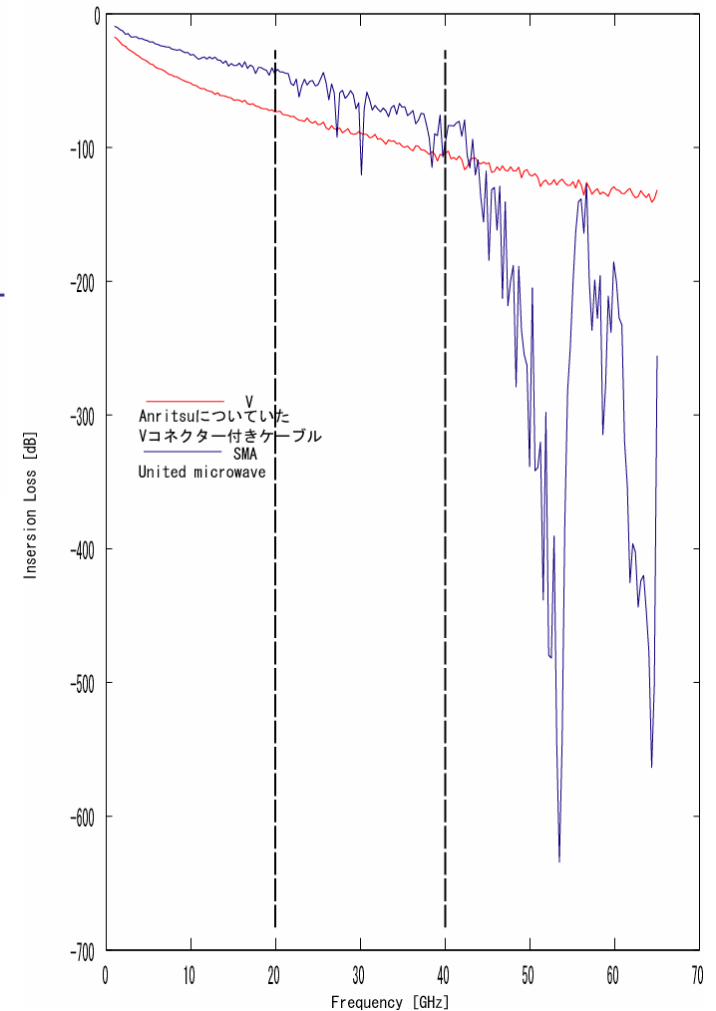
反射波信号

対抗壁からの反射波の周波数スペクトル

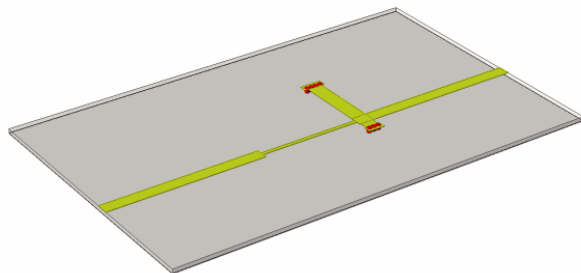
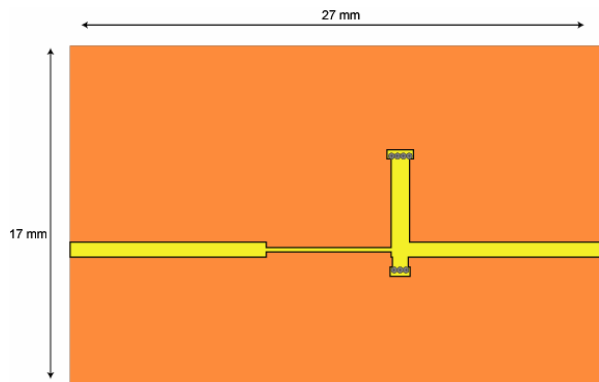
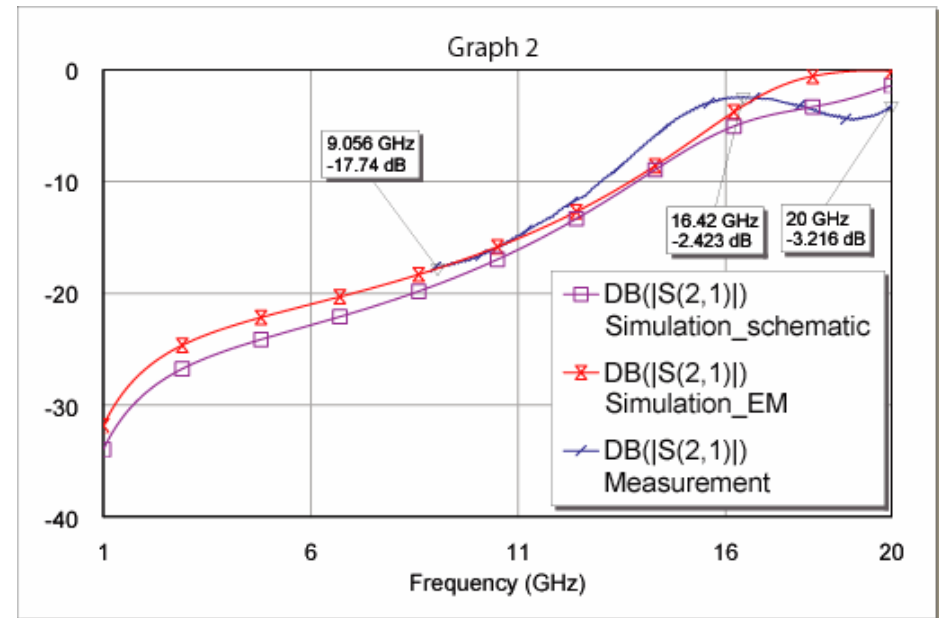
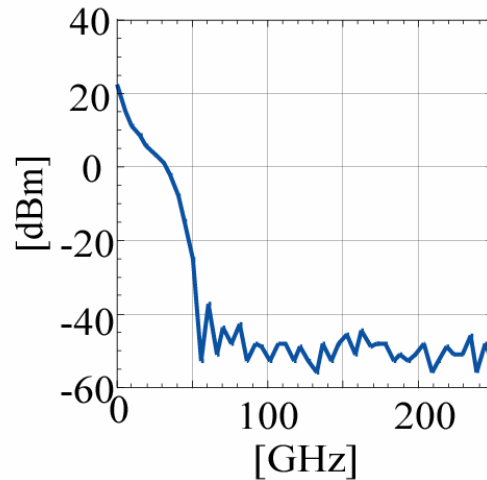
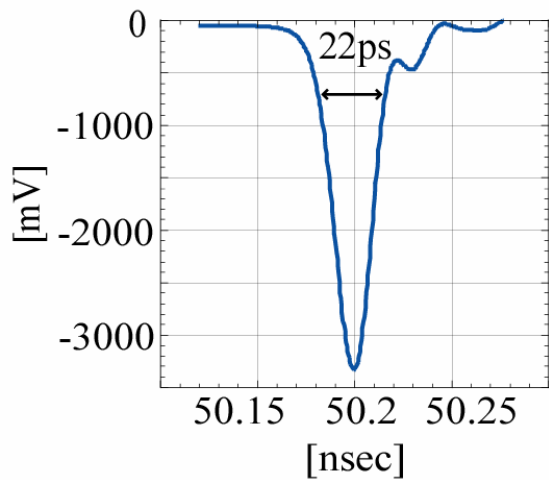


伝送ケーブルの損失

コネクタ特性比較 (25m換算)



ハイパスフィルタの導入

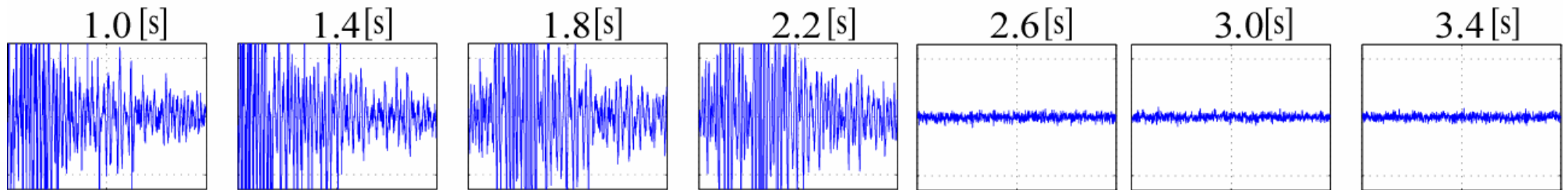


パルス出力の周波数平坦化

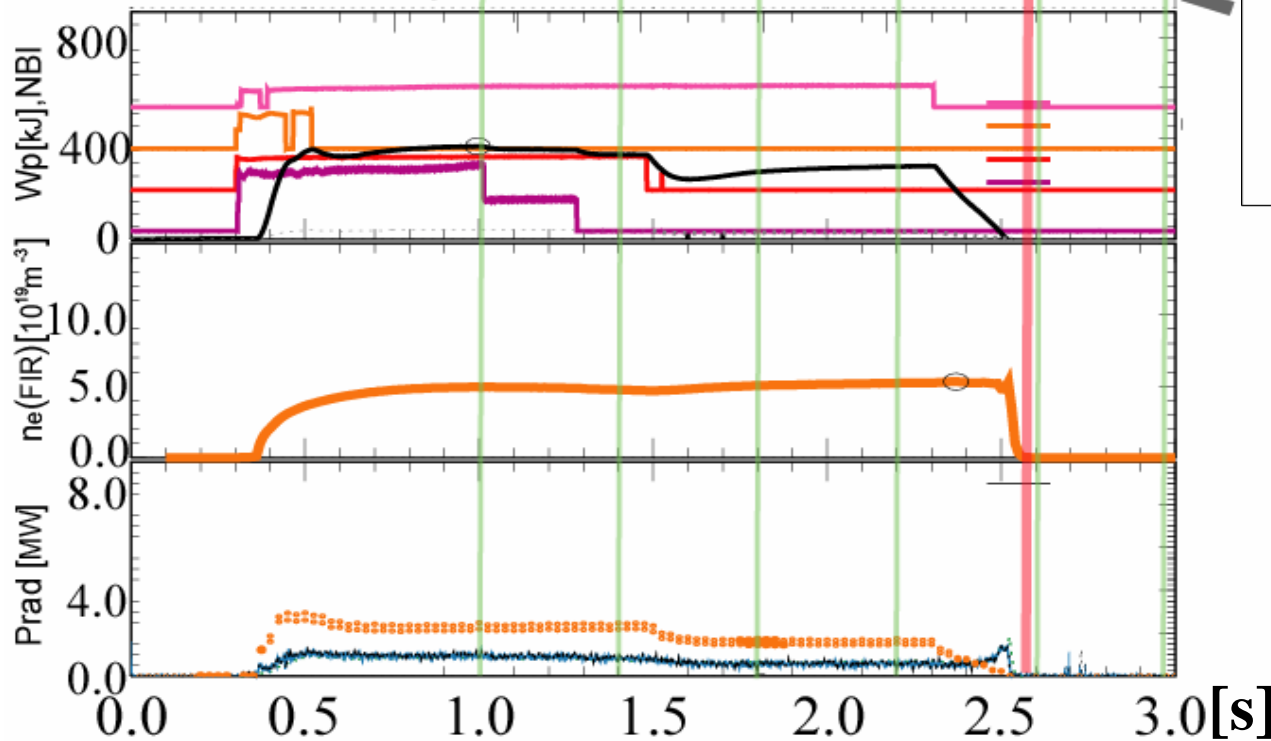
●パルス幅 22 ps のインパルスは、特性周波数 $\sim 1/4\tau_p$ 、最大周波数 $\sim 1/\tau_p$ を有するが、ガウシアン波形のため低周波領域が大きい（左上図）。本体近くまで伝送する同軸ケーブルの周波数特性も重畳すると、導波管のカットオフ周波数近傍に強く局在した特性となる。

●周波数特性を平坦化するため、フィルタ（左図）の導入を図った。通過特性 (S_{21}) を上に示す。


プラズマからの反射データの例



plotted on 2007. 1.24. 19:20



LHD 73784



gas : 24 Jan. ? (Wed.)
 $B = -2.000\text{T}$, $R_{ax} = 3.750\text{m}$, $\gamma = 1.254$, $Bq = 53\%$
 $I_{UD} : 70 \quad 226, \quad 0, \quad 232A$ Boronization 9/27

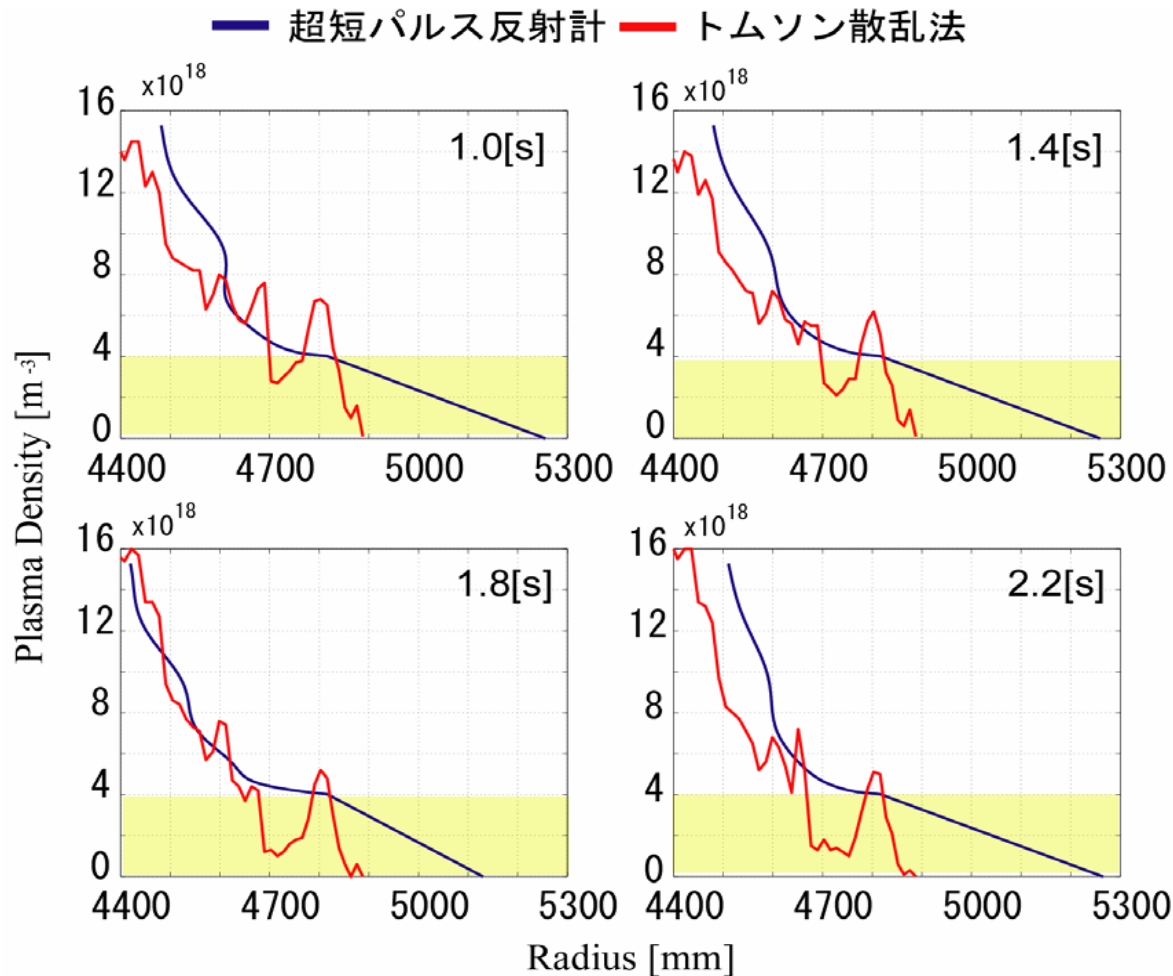
(1) Improvement] IDB : Bq scan

07-01-24 WED 073783
 10:12:16

00:00:00:00 6-T

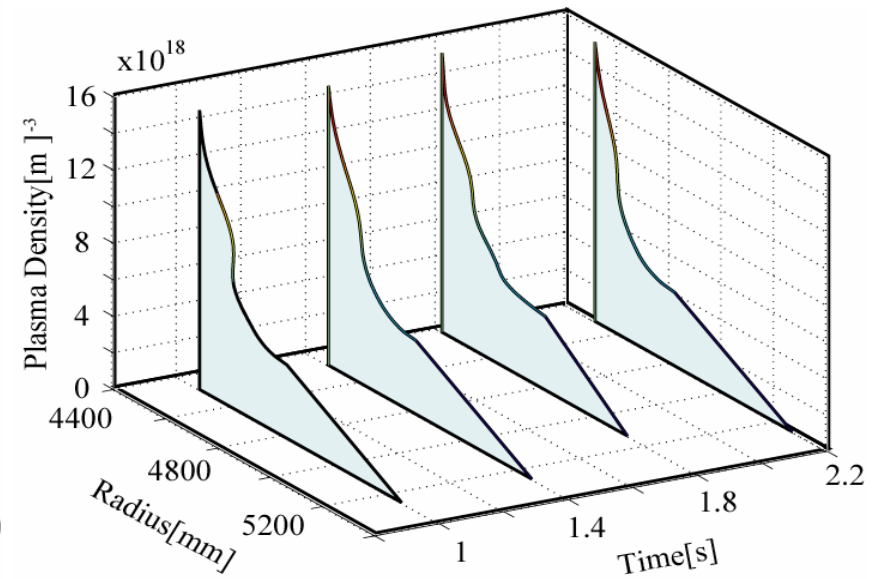
密度分布の再構成

測定可能な密度範囲: $4-15 \times 10^{18} \text{m}^{-3}$ (18-35GHz)



飛行時間と距離の関係式

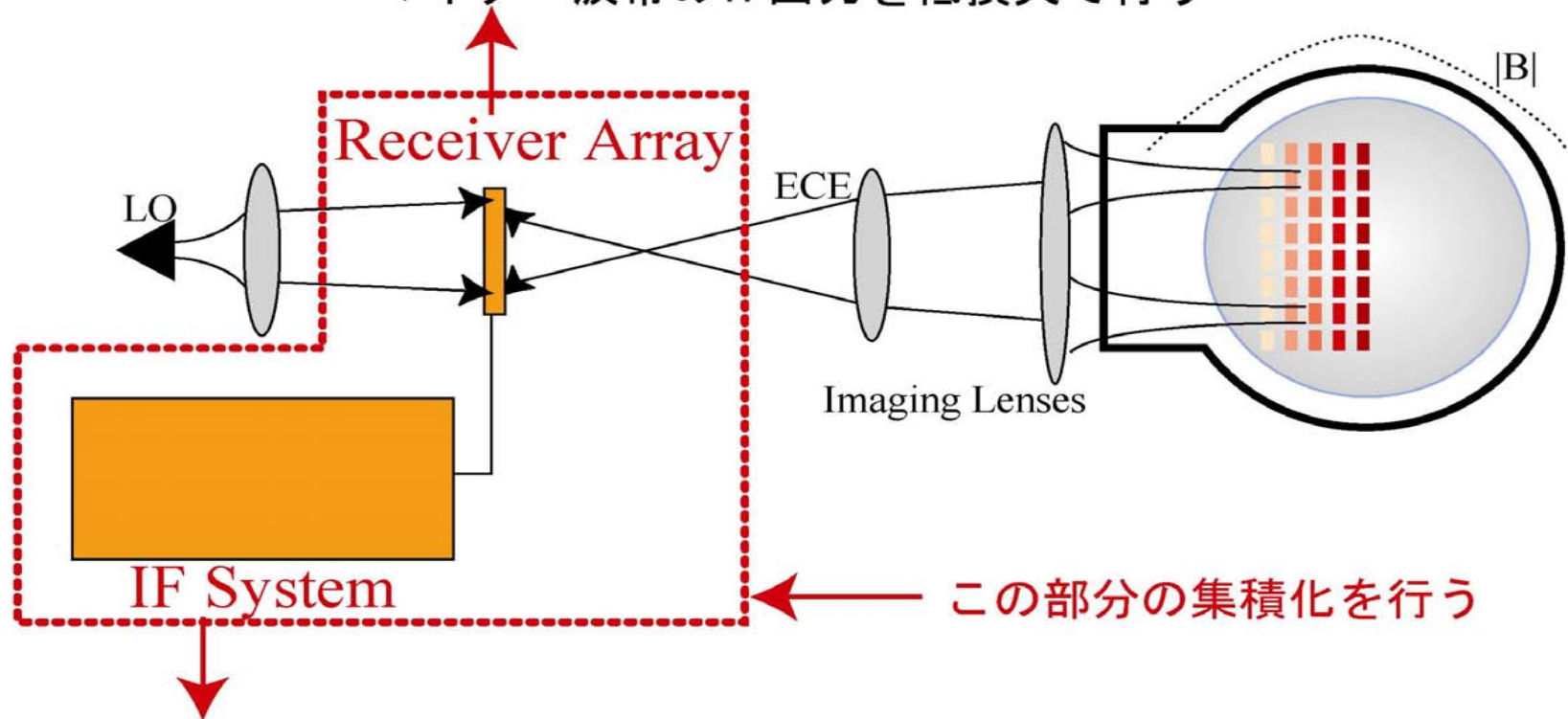
$$r_c(f_{pe}) = \frac{c}{\pi} \int_0^{f_{pe}} \frac{\tau(f)}{\sqrt{f_{pe}^2 - f^2}} df$$



電子サイクロトロン放射イメージング

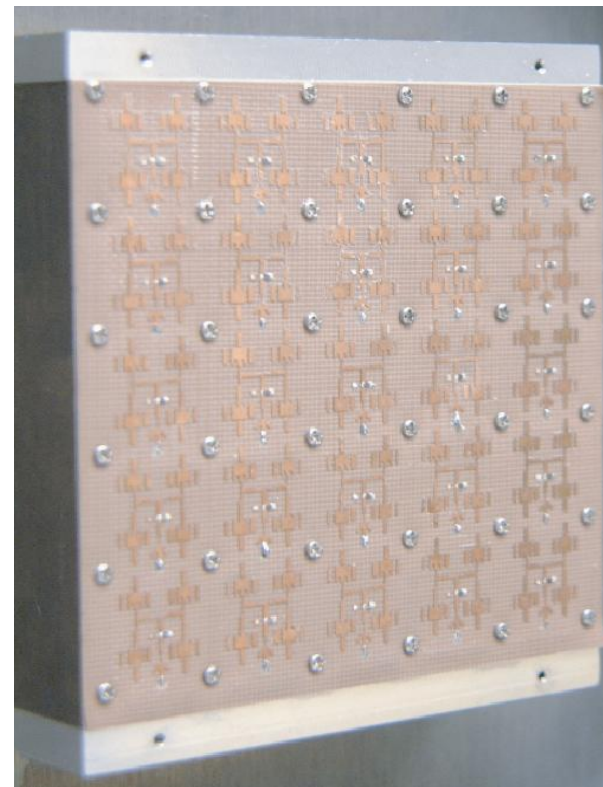
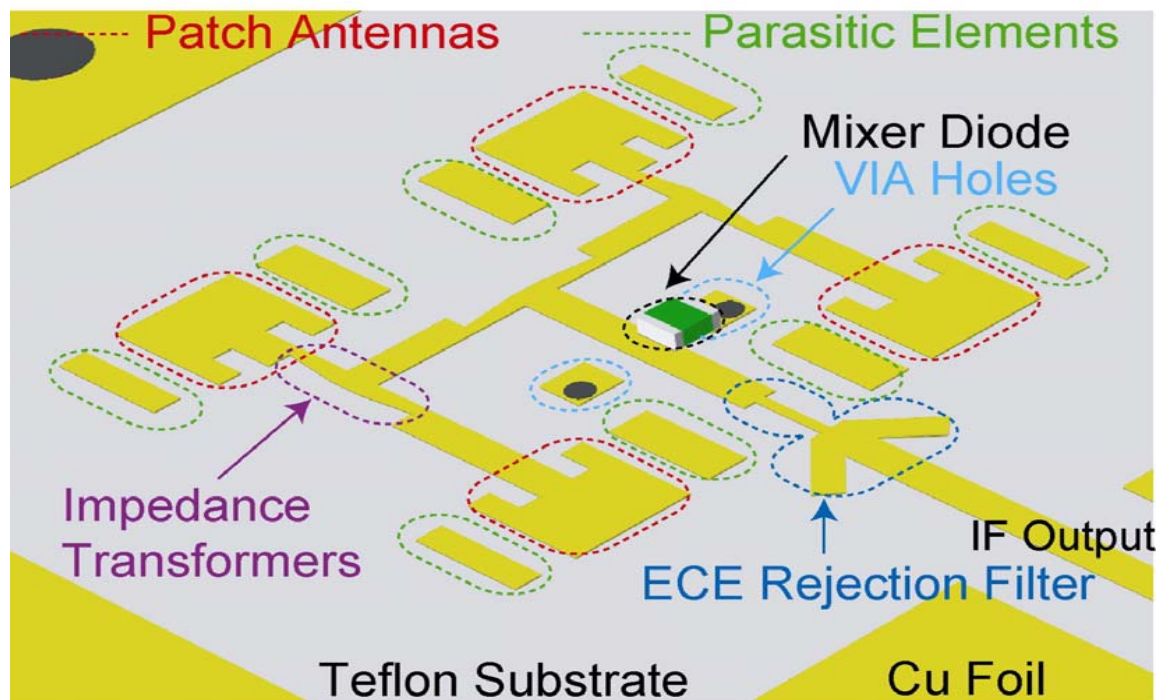
ミリ波イメージング計測装置の全体像 (ECEイメージング)

ポロイダル・トロイダル方向の計測点分解
ミリ波・サブミリ波帯のLO及びECE信号を高効率で受信し、
マイクロ波帯のIF出力を低損失で行う



半径方向の計測点分解
マイクロ波帯のIF信号を各磁場強度へ対応するフィルターにより分解し、
3次元計測へ発展させる

イメージングアレイアンテナの製作



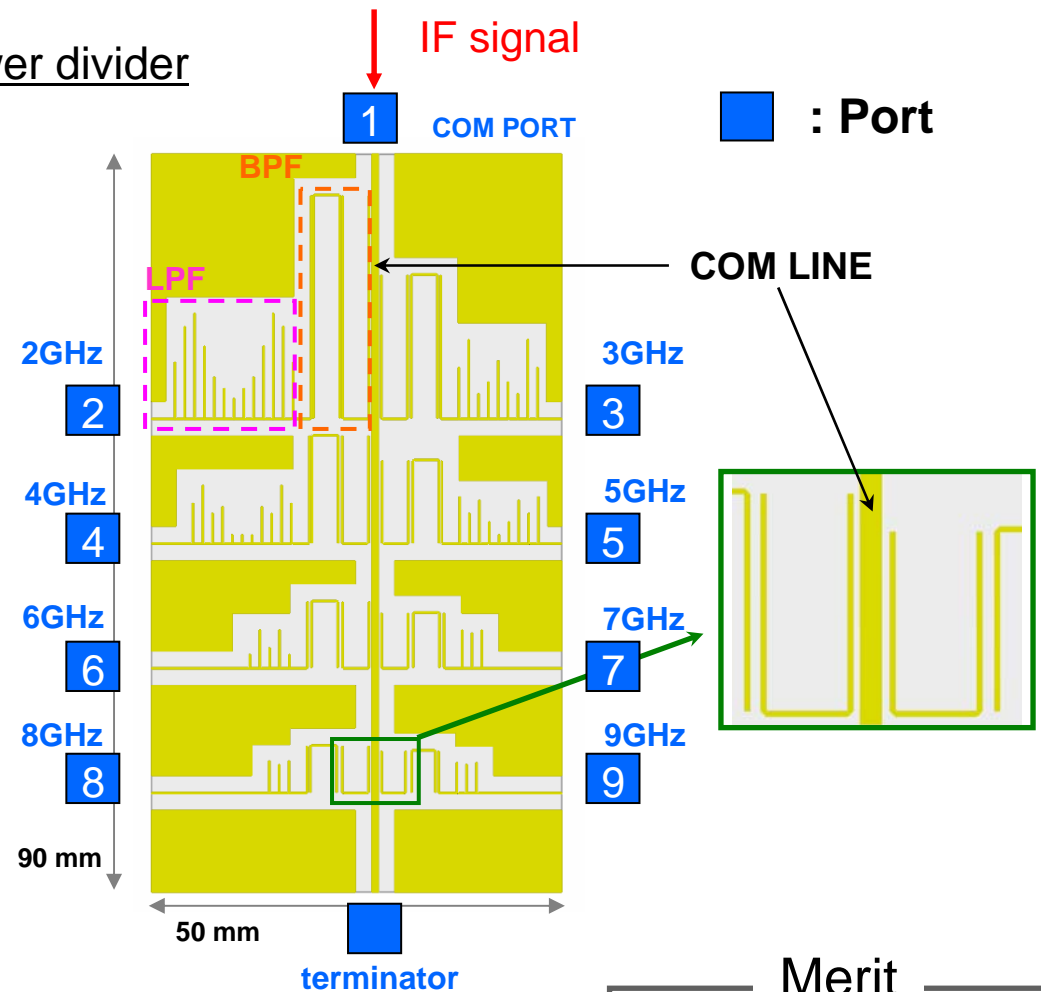
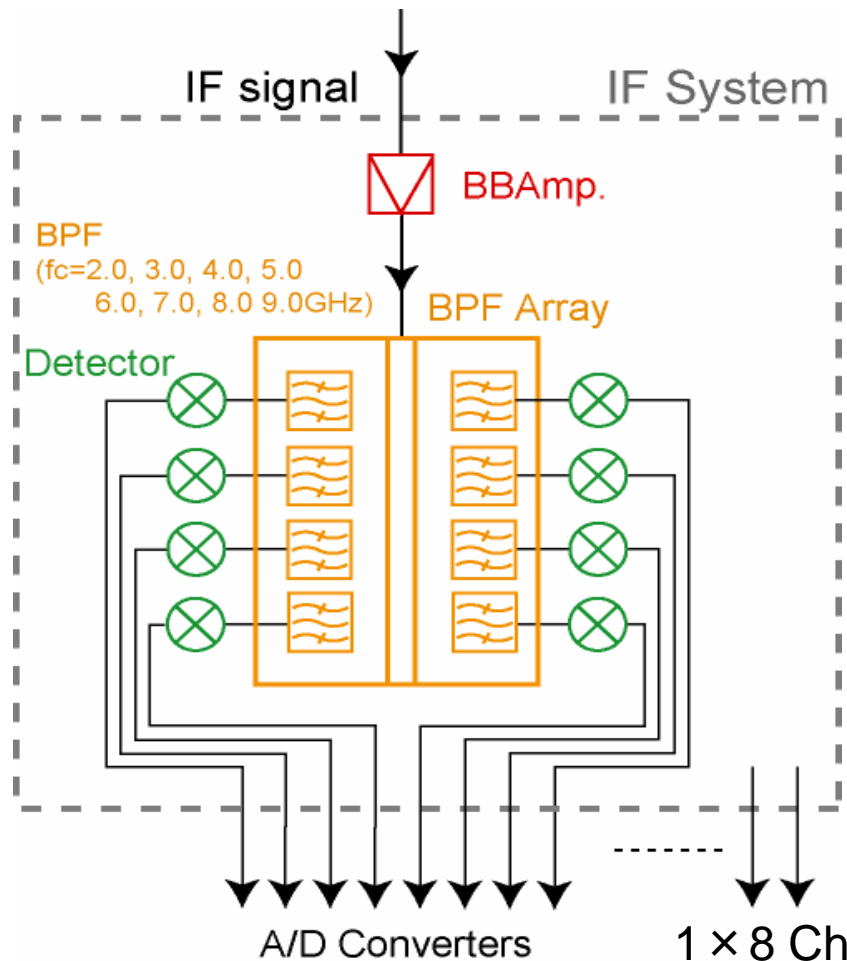
特長

- 高利得
- アンバランス出力のため信号の取出しが容易
- 二次元のアレイ化が可能
- 寄生容量を付加することで広帯域化が可能
- 製作が容易—基板加工装置で約3時間

- 70-76 GHz の周波数帯域で、軸対称なパターンを実現
- 指向性 -5dBi 程度
- 変換損失 10dB 程度

中間周波数 (IF) 回路の集積化設計と製作

The circuit where BPFs are combined with power divider



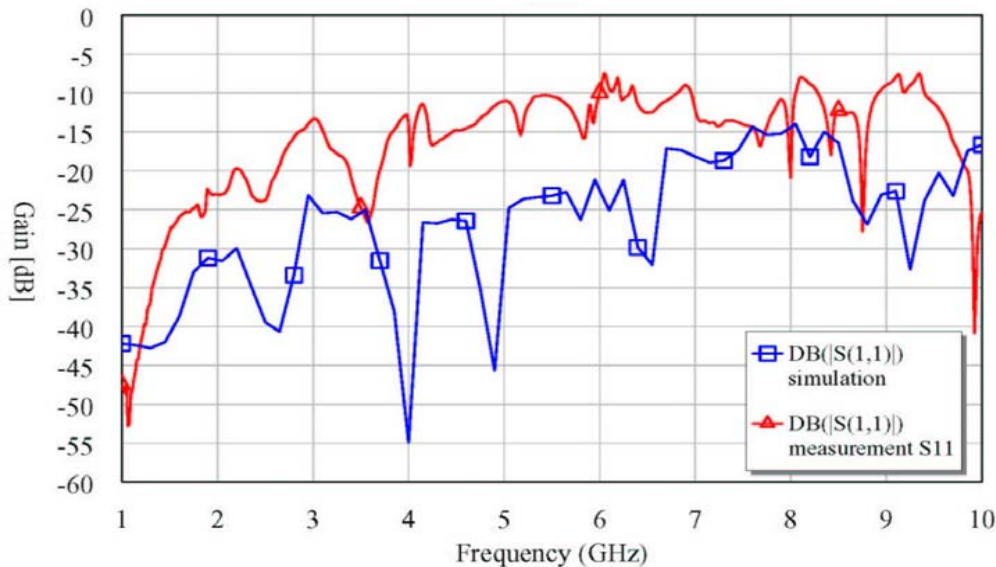
Merit

- **Miniaturization**
- **Low cost**
- **High efficiency**

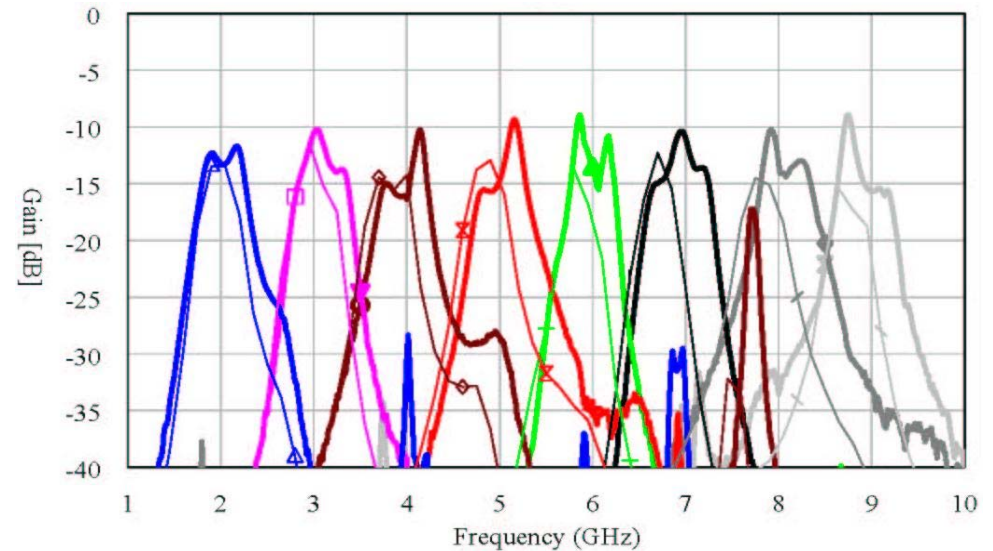
BPFs are installed in both sides of a COM line to resolve the IF signal into the each frequency component.

IF回路の特性

S11 ... Reflection

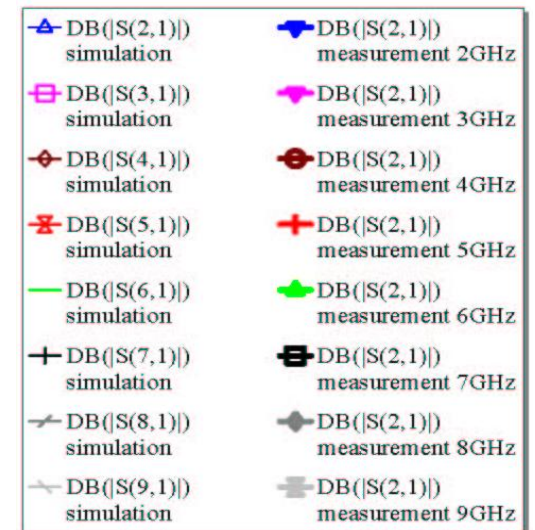


S12 ... Transmission

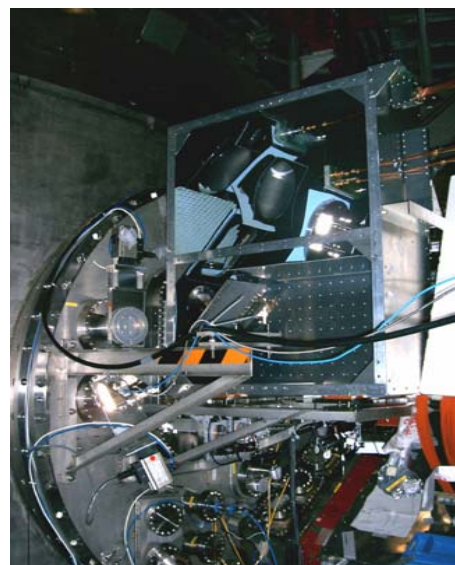
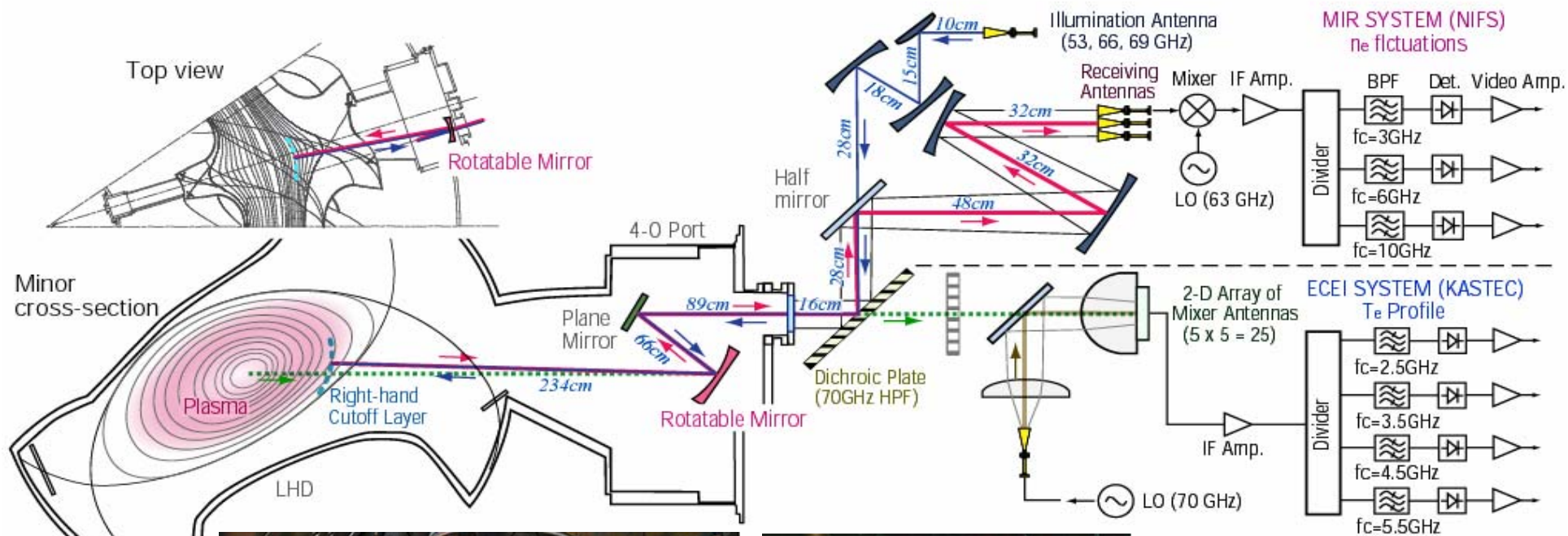


- ◆ S11 becomes less than **-10dB**
- ◆ Band width of each BPFs is **500MHz**

The good performances in S parameters (S_{11} and S_{12}) are achieved comparing with the initial design.



マイクロ波イメージング装置の概要



新しい準光学結像系はレンズでなく全てミラーを使用している。

楕円面鏡の角度は非磁性体である超音波モータで制御される。

まとめ

ミリ波遠隔実験システムに関連して、平成18年度は以下の課題を進めた。

●超短パルス反射計：

- 1) MATLAB-GUI によるデータ収集、および SRA 法を用いた密度分布再構成解析手法の検討
- 2) LHD 既存の測定データを利用した初期値の設定
- 3) 反射計システムの広帯域化

●ECEイメージング装置：

- 1) 周波数 70GHz イメージングアレイ・アンテナの製作
- 2) ヘテロダイン中間周波数システムの集積化
- 3) イメージング反射計との同時測定の実現

平成19年度は、システムの信頼度向上を図り、オンラインでのLHD周辺プラズマの密度分布情報、ないし、電子温度・揺動スペクトル分布の情報提供を図っていく。