

# GAMMA10 セントラル部における 多チャンネルマイクロ波干渉計によるプラズマ計測

嶋頼子<sup>1</sup>

筑波大学プラズマ研究センター

〒305-8577 茨城県つくば市天王台 1-1-1

## 概要

プラズマ研究センターでは磁場によるプラズマ閉じ込め装置 GAMMA10 においてプラズマ閉じ込めの実験を行っている。磁場により閉じ込められたプラズマの電子密度分布を計測する為、セントラル部においては可動式のマイクロ波干渉計を用いた電子密度分布計測が行われている。このシステムによる電子密度分布計測は約 10 プラズマショットを要する。これを改善する為昨年度より、より少ないショットでの電子密度分布計測を目標に多チャンネルマイクロ波干渉計の開発を行っている。今年度、多チャンネルのマイクロ波干渉計をセントラル部に設置し、可動型の干渉計のデータと組み合わせることにより、1 プラズマショットで電子密度分布計測を行うことができるようになった。今回は多チャンネルマイクロ波干渉計とその計測結果について報告する。

## 1. はじめに

プラズマの電子密度の計測は、プラズマの状態を知る上で大変重要な値であり、マイクロ波をプラズマ内部に透過させてその位相の変化を計測する干渉計は、プラズマの内部を乱すことなく測定でき、GAMMA10 においてもアップコンバータをもちいたヘテロダイン型干渉計<sup>[1]</sup>を導入している。

セントラル部においては可動式のマイクロ波干渉計を用いた電子密度分布計測が行われている。図 1 に可動式のマイクロ波干渉計を示す。真空容器内部に上下に設置されたホーンアンテナはラックアンド

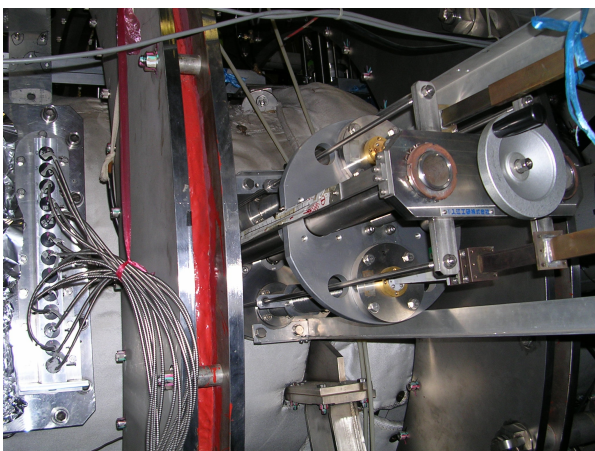


図 1. 可動型干渉計

ピニオン式になっており、ホーンの位置を水平方向に動かすことができる。電子密度分布を計測するには、電子線密度の分布を実測し、その分布を計算機で電子密度の分布に変換する。現状のシステムでは、電子線密度の分布計測は、加熱条件を一定に保ったまま、-9cm~+15cm の間で 10 プラズマショットを使い 3cm ごとにホーンを移動させて電子線密度の分布を計測している。電子密度の計算は計算プログラムを用意してあり分布計測終了とほぼ同時に行うことができる。

この方式では平均 10 プラズマショット程度のデータが必要で、ショットによるプラズマ生成の再現性の影響を受けやすい。1 プラズマショットで電子密度分布を求められるようになれば、密度測定精度が上がるとともに、プラズマ揺動の径方向分布計測にもつながりプラズマ閉じ込めの改善に役立つようになる。

昨年度、多チャンネル干渉計設計を行い、システムの検証を行った[2]。本年度は、3 チャンネルにて稼動し更に 12 月には 6 チャンネルに増設し 1 プラズマショットにて電子密度分布計測を行うことができるようになった。

## 2. 多チャンネル化

### 2.1 システム

多チャンネル化に当たり、入射するマイクロ波のビームをプラズマ中心部で集光させるようレンズを設計したが、ベンチテストの段階でうまく集光していることが確認できず、レンズ無しで稼動させた。このため、送信側のホーンは 1 つにし、ビームの広がりを利用し下部に受信ホーンを並べた。測定位置は、受信ホーンの位置と真空容器中心までの距離と光線追跡計算から割り出すことにした。

部品等の到着の関係から最初は 3 チャンネルにて計測することにし、3 チャンネルから 6 チャンネルに増設する予定とした。図 2 に多チャンネル干渉計のシステム図を示す。青で示しているのが、6 チャンネルに増設時に必要な物品である。

チャンネル数を増やす場合には発振器の出力が十分に大きければ、出力を分割し受信側を増設すればよく、発振器とアップコンバータの増設は必要ない。設置するホーンの位置はセントラル部中央  $z=0\text{cm}$  で、真空容器外部の上下にホーンを取り付ける。セントラル部の上・下部にはテフロン真空窓があり、その外側の  $y$  方向に 6 ポート設置する。

<sup>1</sup> E-mail: yoriko@prc.tsukuba.ac.jp; Tel: 029-853-7464

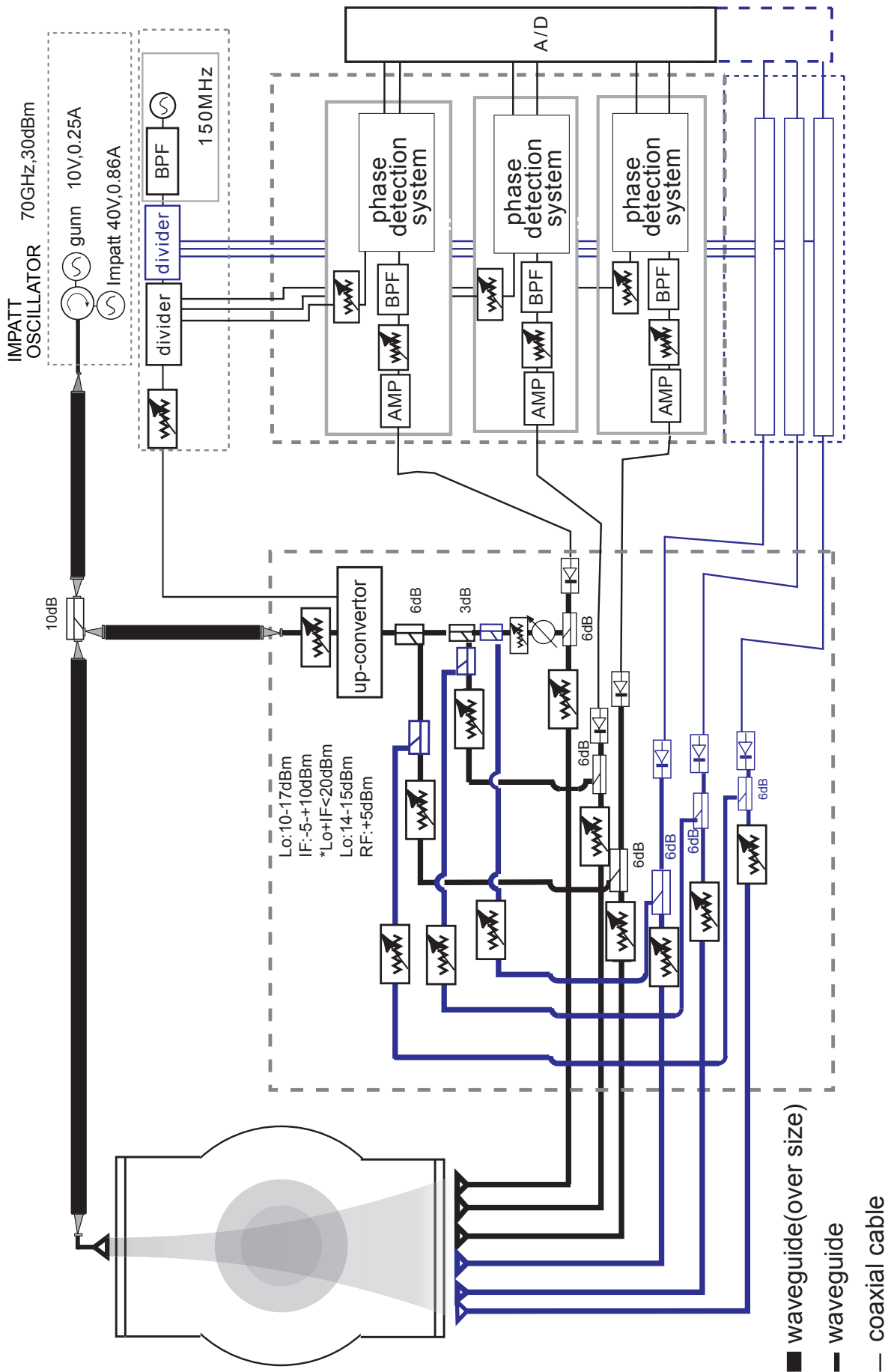


図 2. システム図

今回使用した発振器は 70GHz,出力 30dBm の IMPATT 発振器である。IMPATT 発振器で高出力発振させ GUNN ダイオード発振器と組み合わせ周波数を安定化させている。

位相検出回路の出力はサンプリング時間 0.2ms の A/D 変換機にて取り込み計算機にて線密度を計算させる。現在設置してあるセントラル部の可動ホーン型干渉計は  $z=60\text{cm}$  であり、二つの干渉計を利用し、より詳細な分布計測も可能になる。

## 2.2 多チャンネル化の実際

レンズの設計がうまくいかない状況と、物品納入のトラブルなどにより、3チャンネルで計測を続けていたが、12月の実験にあわせビームの広がりを利用して送信ホーン1個にて6チャンネル化を行った。

6チャンネル化のときに判明したトラブルで、納入された導波管の規格違いがある。本システムで使うマイクロ波は70GHzで導波管はE-band、フランジは一部を除いてUG387の規格である。3チャンネル時に受信部に用いた直線導波管(本年度納入品)をチャンネル増設時に外したところ、フランジはあったが、導波管の規格が違っていることが分かった。図3の左が納入された直線導波管である。右がE-bandの導波管であり、太い導波管が付けられているのがわかる。返品交換となったが、マイクロ波コンポーネントはほとんど輸入品のため、納入までに数ヶ月要することになった。そのため、大部分の直線導波管を素材とフランジとを半田付けして作成した。

このように、足りないパーツは既存品で代用するなどして、多チャンネル化を行った。



図3. 直線導波管

## 3. 実験結果

### 3.1 計測

上部に送信ホーン1個を設置し下部に受信ホーン6個を設置しプラズマ計測を行った。測定位置は、受信ホーンの位置と真空容器中心までの距離、光線追跡計算から、6cm,3cm,1cm,-2cm,-4cm,-7cmと算出した。本システムで重要なのは透過波、参照波、低周波発振器パワーのバランスであり、アテネータやアンプなどを使いアップコンバータや位相検出回路の特性に合わせるようにした。得られたデータをサンプリング時間 0.2ms の A/D 変換機にて取り込み線密度の計算を行った。図4に多チャンネル干渉計の各チャ

ネルから得られた線密度の時間変化を示す。75msec以降にデータ飛びが見られるが、全6チャンネルとも線密度が計測できているのが分かる。

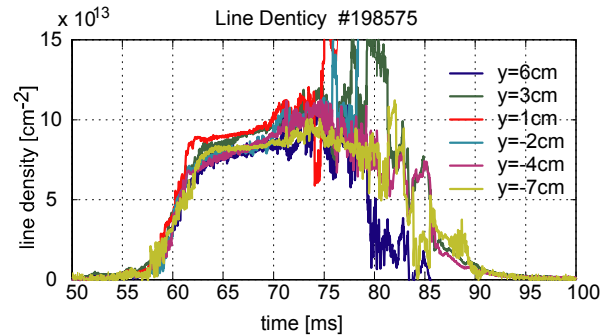


図4. 多チャンネル干渉計で得られた線密度

### 3.2 電子密度分布の導出

得られた多チャンネルのデータに  $Z=60\text{cm}$  で計測している  $y=0\text{cm}$  のデータを組み合わせた7箇所の線密度から半径方向の線密度分布を出し、更にそこから電子密度分布を計算した。得られる電子線密度の分布は中心軸がずれている為それを補正する。その補正値が図5(a)の  $r_0$  である。データの補間をし、電子線密度の分布を8次関数で算出する。8次関数で近似した結果が実線である。その結果をアーベル変換し電子密度の分布を求める。求めた電子密度分布が図5(b)である。多チャンネルのデータと既存の干渉計のデータを組み合わせることにより1プラズマショットで電子密度の分布が計算できている。プラズマの中心部で電子密度は約  $4.5 \times 10^{12} \text{cm}^{-3}$  になっていることが分かった。

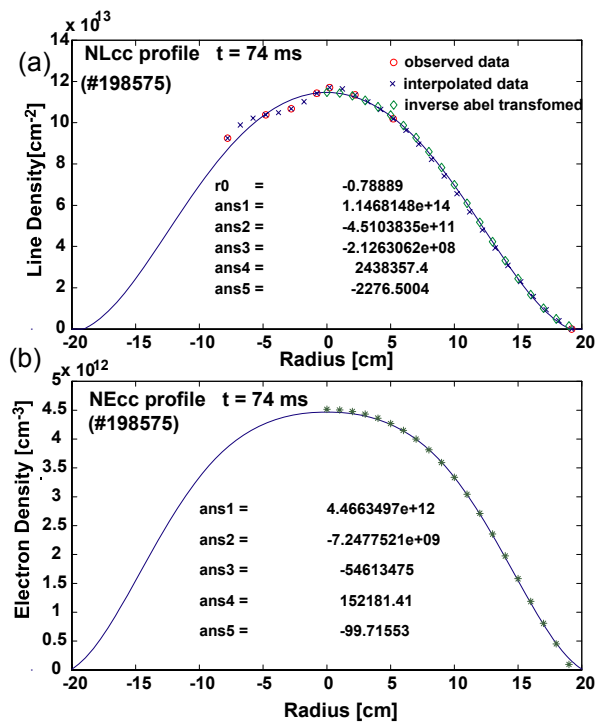


図5. 密度分布の計算

### 3.3 データ解析

計測することができた 60ms~74ms 間の電子線密度を用いてこの間の電子密度分布の時間変化を 0.02ms 毎に求めた。図 6 にその結果を示す。電子線密度分布を出す際に補正した半径方向のずれも反映させ、横軸に真空容器内の位置を取っている。(a)が電子線密度の時間変化で(b)は電子密度の時間変化である。このように解析することによりプラズマの局所的な揺らぎを見ることができる。

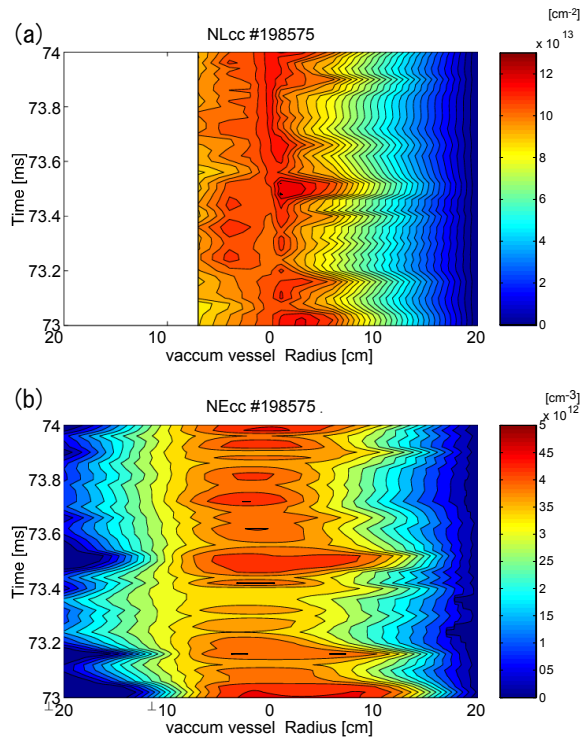


図 6. 線密度と密度の時間変化

## 4. まとめ

多チャンネル干渉計を 6 チャンネルで稼動することができ、1 プラズマショットで電子密度分布を計測することができた。今後はレンズを取り付け更に精度を上げ、定常的にデータを提供できるようにしたい。またプラズマ揺動の径方向分布についても解析を行っていききたい。

## 謝辞

本報告書を作成するに当たりご協力ご助言頂いた板倉先生、吉川先生、またマイクロ波グループの皆様に感謝申し上げます。

## 参考文献

- [1] 嶋 頼子:ヘテロダイン型干渉計の製作と GAMMA10 への適用, 筑波大学技術報告 (2000) 29-34.
- [2] 嶋 頼子: GAMMA10 センtral部におけるマイクロ波干渉計の多チャンネル化, 筑波大学技術報告 (2005) 50-53.