

3. ミリ波イメージング装置による揺動計測

構成員

分担責任者	間瀬淳	九州大学産学連携センター
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	核融合科学研究所
	長山好夫	核融合科学研究所
	田中謙治	核融合科学研究所
	徳沢季彦	核融合科学研究所
	稲垣滋	核融合科学研究所

はじめに

磁場閉じ込めプラズマでは、不安定性に起因する揺動成分が閉じ込めを支配していると考えられているが、その物理機構について十分に解明されたとは言い難い。最大の原因は、揺動計測から得られる実験的情報の欠如であると云われている。プラズマの揺動計測では、プラズマを乱さないことは勿論、i) 周波数および波数スペクトルが得られること、ii) 時間変化および空間分布が得られること、が重要な点であるが、i)、ii) を同時に満足する手法が未だ確立していないのが現状である。マイクロ波/ミリ波を用いた反射計あるいはサイクロトロン放射(ECE)測定は、プラズマ諸量(密度・温度、磁場等)の二・三次元分布と同時に、揺動成分のスペクトル分布測定を可能とするため。上記課題を解決する最適手段の一つとして期待されている。本研究は、これら計測法の開発と核融合科学研究所LHD装置への適用を有効に進めていくためスーパーSINETを利用していくものである。本報告では、主として今年度当該システムが極めて有効に機能した超短パルス反射計実験について記述する。

研究目的

本研究では、LHD 計画共同研究プロジェクトにより開発が進められ、現在 LHD 本体に設置されているミリ波計測システム、すなわち、電子サイクロトロン放射(ECE)イメージングおよび超短パルス反射計について、実験装置の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を目的としている。

研究内容・成果

遠隔実験システムを用いた超短パルス反射計の全体図を図 3-1 に示す。本体棟1階シールドボックス内に設置されているインパルス発生器からの超短パルス波(22 ps, 3 V)は、WRD-750 導波管(帯域 7-20 GHz)により低周波成分がカットされると共に、導波管の分散特性によりチャ-プ化されたパルスとなる。これを 14 m の低損失同軸ケーブルによりLHD 本体近傍まで伝送され、アクティブダブラーで逡倍された後さらにマイクロ波パワーアンプ(26-40 GHz, 30 dB)で増幅されたものを入射波として用いている。反射波信号は、同

じ同軸ケーブルでシールドボックスまで伝送されるが伝送損失を補償するため前後でマイクロ波低雑音アンプを使用している(26-40 GHz, 28 dB)。信号波形は周波数帯域50 GHzの高速サンプリングスコープにより直接記録される。

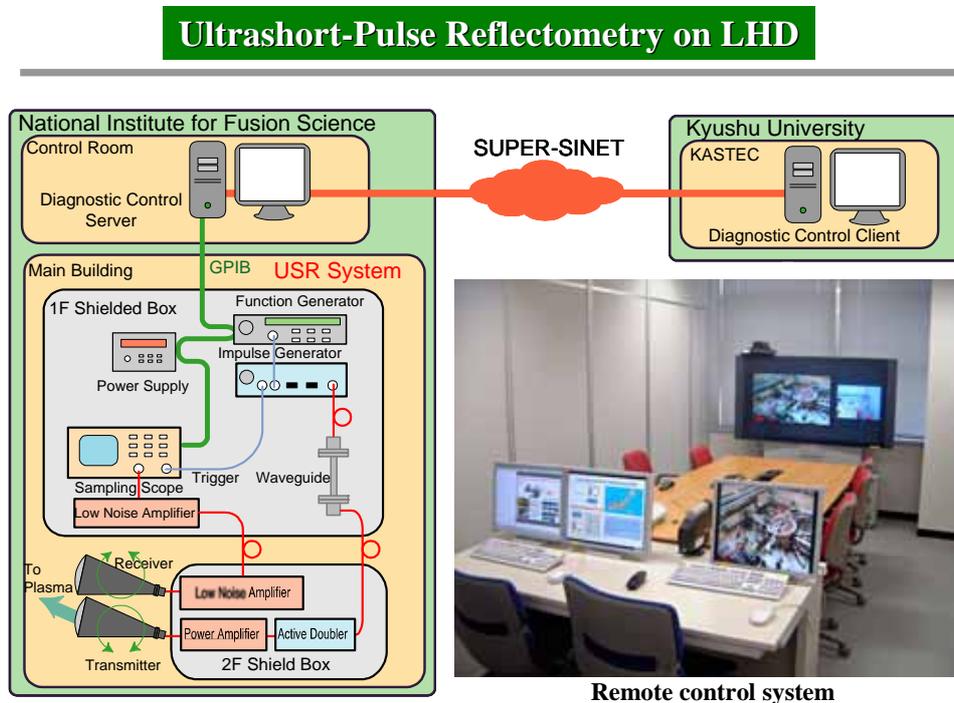


図3-1 遠隔実験システムを用いた超短パルス反射計装置

サンプリングスコープは波形の SN 比を上げるため、積分を行っている。従って、本システムに入ることが可能な周波数領域(26 GHz 以上)でノイズが混入すれば、波形の同定が困難となる。このようなノイズとしては、他の反射計信号や加熱マイクロ波が考えられ、それら周波数成分を抑制するためノッチフィルターを導入した。

遠隔実験システムについては、増幅器、アクティブダブラーへの電源、サンプリングスコープ、超短パルス発振器等の装置の立ち上げから、計測装置の運転条件変更をまず可能とした。この制御は GPIB により行うので、MATLAB の Graphical User Interface (GUI) を構築した。一方、実験中は本体室への入室が禁止されているため、反射計送受信アンテナの角度を変更したい場合は、実験開始前ないし終了後に調整しなければならない。適宜変更される運転条件に合わせたフレキシブルなアンテナ角度変更を可能にするため、本年度アンテナ角度遠隔制御装置を導入した。駆動部は外注とし、制御プログラムとアプリケーション作成を行った。プログラムは Visual Basic net を利用して構築した。構築したプログラムは GUI 化され、Windows アプリケーションと同様に、Windows が OS としてインストールされている PC 全てで使用することができる。アンテナ角度制御装置は、送受信アンテナそれぞれを ± 8 度、0.1 度刻みで聴視することができる。図3-2にLHD本体に設置された送受信アンテナおよび操作GUI画面を示す。アンテナ遠隔制御システムにより、実験条件に従って最適の位置に設定することもできるようになった。

Profile Reconstruction Using Signal Record Analysis

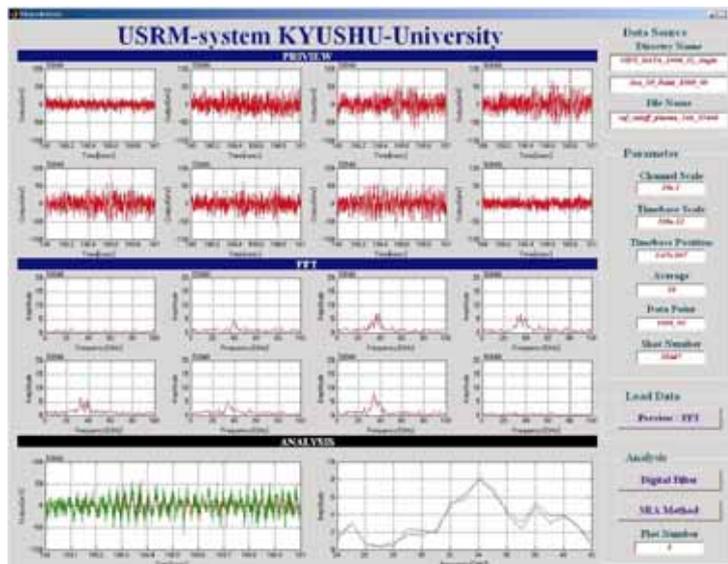


図3-2 反射計アンテナ本体およびアンテナ角度遠隔制御操作GUI画面

計測された反射計信号波形は、データ解析ソフト MATLAB により収集・解析を行う。システムの遠隔制御と同様に MATLAB の GUI ツールを用いて、測定データ解析用プログラムを作成した。その画面を図 3-3 に示す。図左が反射波とスペクトルの時間変化を、図右が制御パラメータを示す。プラズマが維持されている時間帯で反射波形にコヒーレントな成分が観測されていることが見られる。

サンプリングスコープにより記録された波形は、当該研究室で開発された反射波の波形を直接解析する Signal Record Analysis (SRA) 法により密度分布再構成を行う。SRA法により得られた密度分布の例を図3-4に示す。セパラトリックスの位置を0 cmとしプラズマの境界とした。高密度運転と低密度運転で特徴的な差が見られることが分かる。

Graphical User Interface (MATLAB-GUI)



The USRM system display at Kyushu University. The system is controlled by using GPIB.

図3-3 MATLAB-Graphical User Interface (GUI) の構築

Profile Reconstruction Using Signal Record Analysis

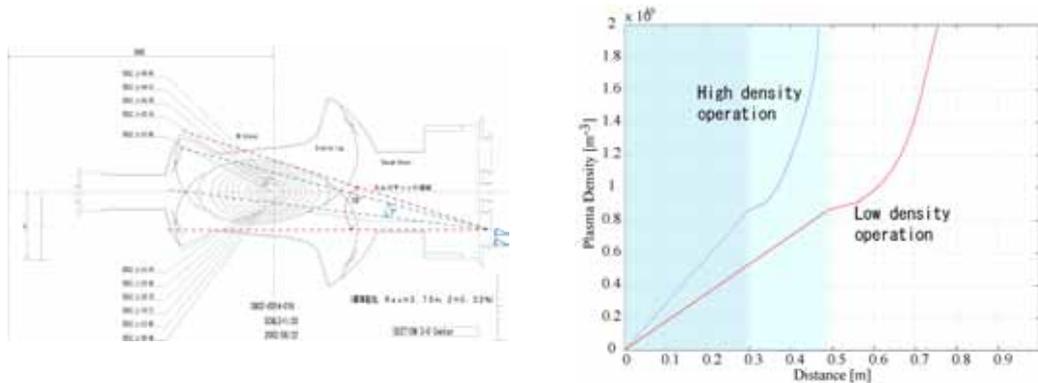


図3-4 密度分布再構成の例

まとめ

超短パルス反射計システムの改良および遠隔実験制御システムの構築を図り、プラズマからの反射波信号を得ることができた。また、波形の直接解析による再構成で、従来の手法では不可能な高分解の密度分布が得られた。周辺プラズマの密度分布情報の詳細は、既設の遠赤外レーザー干渉計では困難であり、本システムを定常的に運転することによりLHD実験に有用なデータを提供できるものと考えている。

今後の計画・課題

超短パルス反射計システムの改良として、1)8-26 GHzの低周波領域への拡張、および2)パルスの高速掃引による時間分解の向上を図り、スーパーSINETを用いたシステム全体の遠隔制御と相まって、オンラインでLHD周辺プラズマの密度分布情報を提供し、研究の進展に寄与する。

ミリ波イメージング装置については、平成16年度はイメージングアレイアンテナの改良設計および製作と性能評価を行ってきた。平成17年度は本体に設置し、全システムの稼働を進めていく。

【参考文献】

- [1] L. G. Bruskin, A. Mase, A. Yamamoto, and Y. Kogi, Plasma Phys. Control. Fusion **43**, 1333 (2001).
- [2] Y. Kogi, K. Uchida, A. Mase, L. Bruskin, M. Ignatenko, T. Tokuzawa, Y. Nagayama, and K. Kawahata, Rev. Sci. Instrum. **75**, 3837 (2004).
- [3] 内田、近木、間瀬、Bruskin、北條、江尻、徳沢、川端、田中、長山、第21回プラズマ・核融合学会年会、静岡 (2004).
- [4] 内田、近木、間瀬、BRUSKIN、北條、江尻、徳沢、川端、田中、長山、プラズマ・核融合学会九州・沖縄・山口支部大会、福岡 (2004).