

高エネルギー・核融合科学研究部会

核融合研究班

## 平成 14 年度スーパー S I N E T 利用研究報告書

- ・核融合研究班・参加研究者構成
- ・ネットワーク接続の概要
- ・核融合研究班・研究プロジェクト
- ・研究プロジェクトの研究目標・内容・成果
- ・まとめ

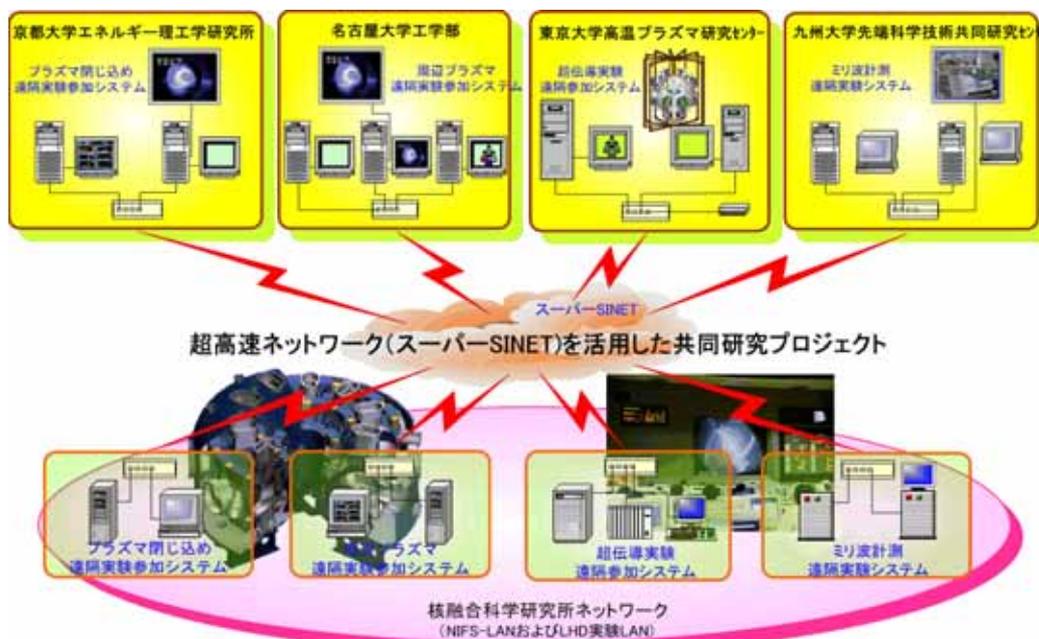
班長 上村鉄雄 (核融合科学研究所)

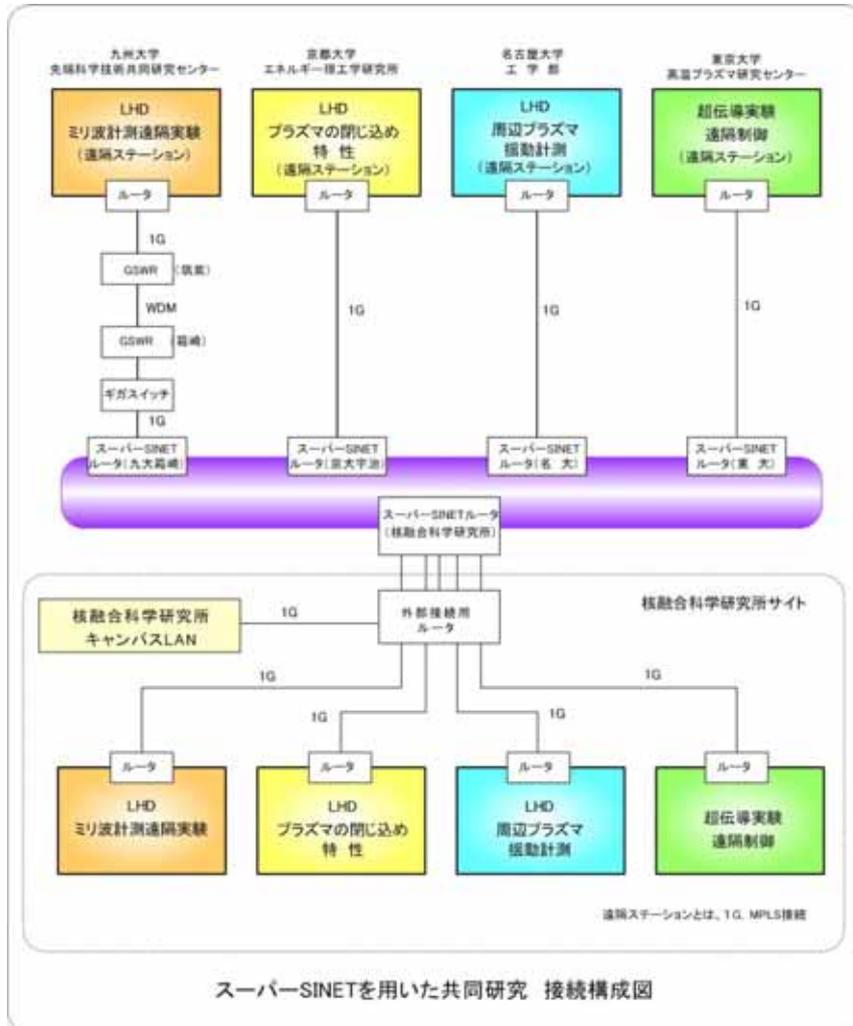
平成 15 年 6 月 30 日

## 核融合研究班・参加研究者構成

班 長： 上村鉄雄	(核融合科学研究所)
小川雄一、森川惇二、大國浩太郎	(東大高温プラズマ研究センター)
高村秀一、大野哲靖	(名大工学部)
大引得弘、岡田浩之	(京大エネルギー理工学研究所)
飯尾俊二、筒井広明	(東工大原子炉工学研究所)
間瀬 淳	(九大先端科学技術共同研究センター)
西野信博	(広大工学部)
西原功修	(阪大レーザー核融合研究センター)
須藤 滋、松岡啓介、三戸利行、田村 仁、柳 長門、	
増崎 貴、渡辺清政、田中謙治、川端一男、森崎友宏、江本雅彦	(核融合科学研究所大型ヘリカル研究部)
津田健三	(核融合科学研究所計算機センター)

## ネットワーク接続の概念図 (平成 14 年度末現在)





スーパー-SINETを用いた共同研究 接続構成図

## ・核融合研究班・研究プロジェクト



### ( 1 ) LHD 遠隔実験 (平成 14 年度～)

代表責任者 : 須藤 滋 (核融合科学研究所)

目的 : 核融合科学研究所の大型ヘリカル装置実験データのリアルタイム伝送による大学研究者の遠隔実験参画

### ( 2 ) 超伝導実験遠隔制御システム (平成 13 年度～)

代表責任者 : 小川雄一 (東京大学高温プラズマ研究センター)

目的 : 東京大学高温プラズマ研究センターの超伝導コイルを用いたプラズマ実験装置の遠隔制御システムの開発

### ( 3 ) 大規模プラズマシミュレーション研究 (平成 15 年度以降)

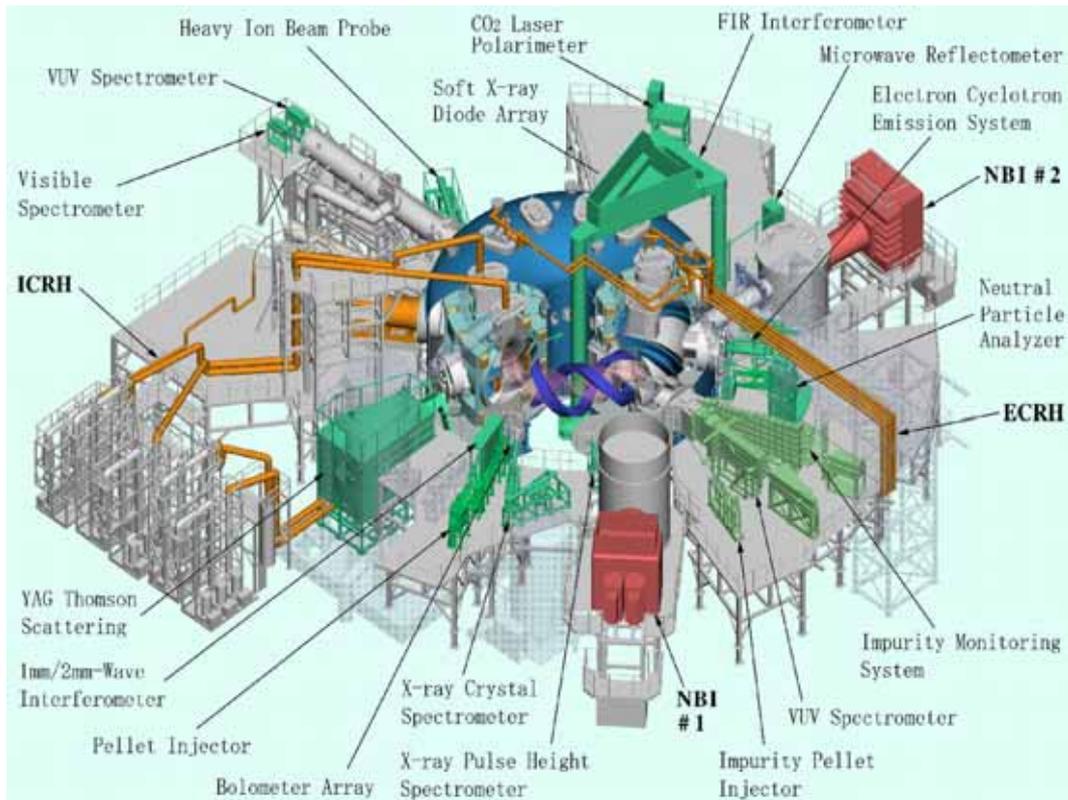
代表責任者 : 未定

目的 : 核融合科学研究所のスーパーコンピュータをスーパーSINET経由で遠隔利用し、大規模シミュレーション研究遂行

## ・研究プロジェクトの研究目標・内容・成果

### (1) LHD 遠隔実験 (平成 14 年度～)

目的： 核融合科学研究所の大型ヘリカル装置実験データのリアルタイム伝送による大学研究者の遠隔実験参画



LHD 計測装置群 (1ショット当たり約1GBのデータ量が生み出される)

### LHD 周辺プラズマ揺動計測

#### 参加研究者構成

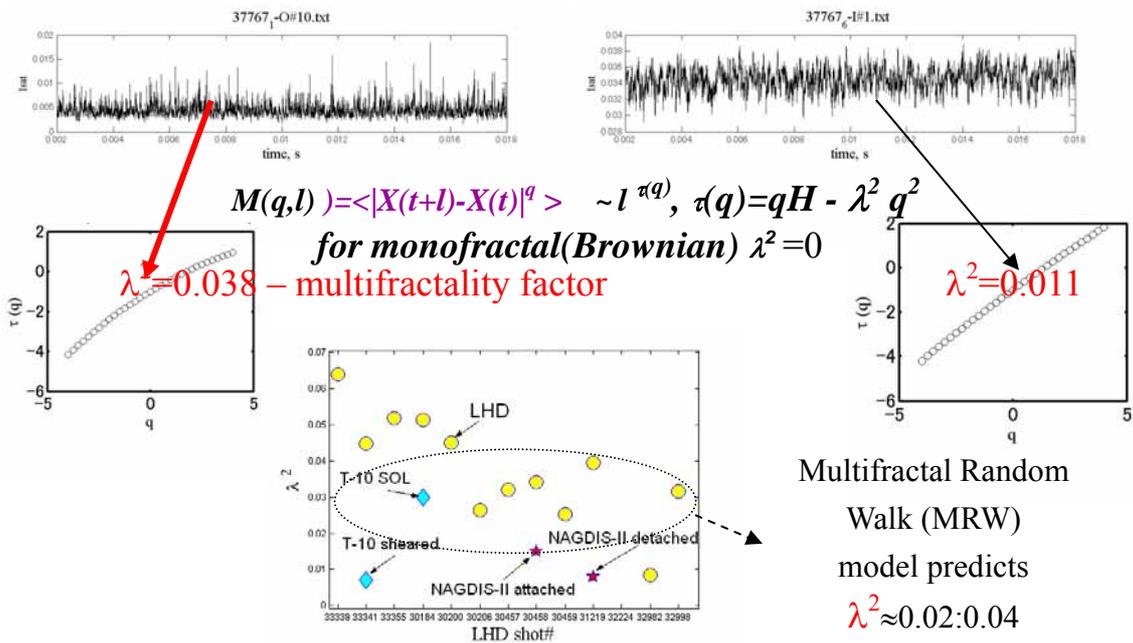
分担責任者 高村秀一 (名古屋大学工学部)  
参加研究者 大野哲靖、三好秀暁、上杉喜彦、辻 義之、高木 誠 (名古屋大学工学部)  
V. BUDAEV (クルチャトフ研究所)  
小森彰夫、増崎 貴、森崎友宏、上村鉄雄、津田健三 (核融合科学研究所)

## 研究目的・研究目標

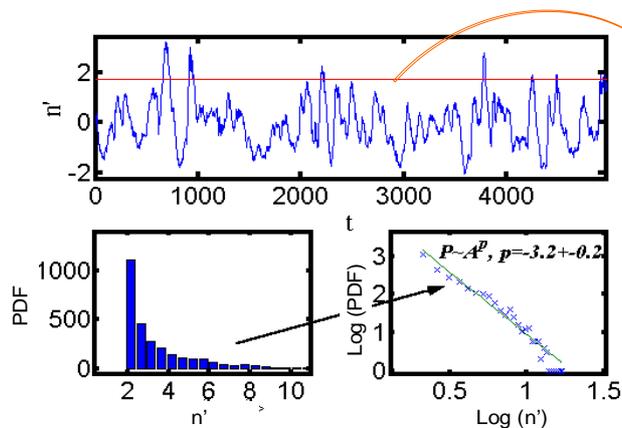
LHD 周辺プラズマ中の密度揺動をダイバータプローブ群を用いて遠隔地より計測し、確率分布関数 (PDF) をベースとした統計的解析を行い、LHD 周辺プラズマ揺動の特性を明らかにする。

## 研究内容

- Multifractality Factor を用いた LHD 周辺プラズマ揺動解析 (高時間分解能の長時間計測が必要)

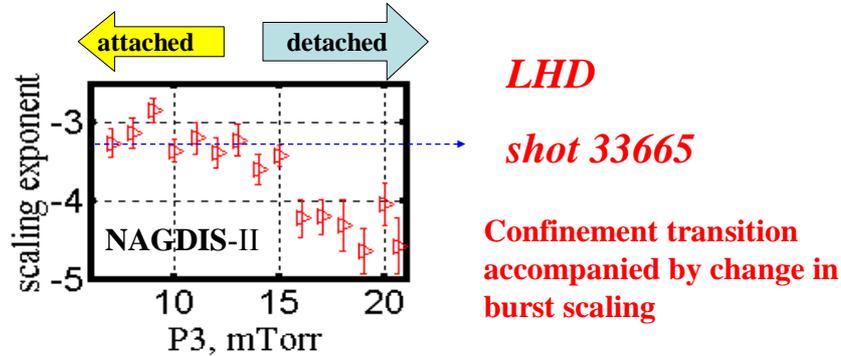


- バースト頻度のべき依存性解析



*Bursts are the peaks of total intensity with amplitude above a certain threshold (f.e. 3 times the standard deviation of PDF)*

・バースト頻度のべき依存性解析 2



-In edge plasma of HYBTOK-II:  $p=-2.5$  :-3.2; T-10:  $p=-2.8\pm0.3$ , LHD:  $p=-3.3\pm0.3$

- for avalanches experiment  $p=-1.4$  : -2.5 predicted  
[H.J. Jensen. Self-Organized Criticality(Cambridge U.P., Cambridge, 1998),chap.2])

## 研究成果

- ・スーパーSINETへの接続を完了し(H.14.4) 遠隔揺動計測システムが完成した
- ・第6サイクルLHD実験(平成14年10月~平成15年2月)へシステムを適用し、名古屋大学高村研究室から直接核融合科学研究所(土岐市)のLHD実験データ及び実験TV画像データをリアルタイムで取得した。
- ・第6サイクル実験LHDにおいて取得した周辺プラズマ中のイオン飽和電流の揺動の計測データについて、確率密度関数をベースとした解析を行った。その結果、トカマク装置での観測と同様にLHD周辺プラズマ中においてもバースト的なイオン飽和電流が観測され、装置の磁気軸位置依存性を持つ揺動特性が明らかになった。

## LHD プラズマの閉じ込め特性

### 参加研究者構成

分担責任者	大引得弘	(京大エネルギー理工学研究所)
参加研究者	岡田浩之、佐野史道	(京大エネルギー理工学研究所)
	渡辺清政	(核融合科学研究所)

### 研究目的・研究目標

LHD コアプラズマの閉じ込め特性を解明する

## 研究課題

- ・ H 線のスペクトルプロファイルの微細構造を測定し、発光に寄与する原子の素性を明らかにする。
- ・ 不純物原子のスペクトルプロファイルから速度分布を評価し、発生の機構を明らかにする。
- ・ 速度分布の測定からプラズマへの侵入長を評価し、周辺プラズマの密度・温度制御により不純物制御を行う。・ 高速イオンにより励起される MHD 不安定性の特性を明らかにする。

## これまでの経緯

平成 14 年 12 月 ~ 平成 14 年 3 月  
平成 14 年 4 月  
平成 14 年 11 月

京大宇治構内ファイバー使用申請  
機器搬入・設置  
スーパー S I N E T 接続

## スーパー S I N E T の利用

### 1) MetaFrame

LHD 解析済みサーバクライアント、L A B C O M データ参照ツール等

### 2) ビデオ配信システム

情報損失の無い動画配信システム、LHD 実験の実時間画像（放電波形）

### 3) LHD 定常プラズマにおける Ha スペクトルプロファイルの微細測定

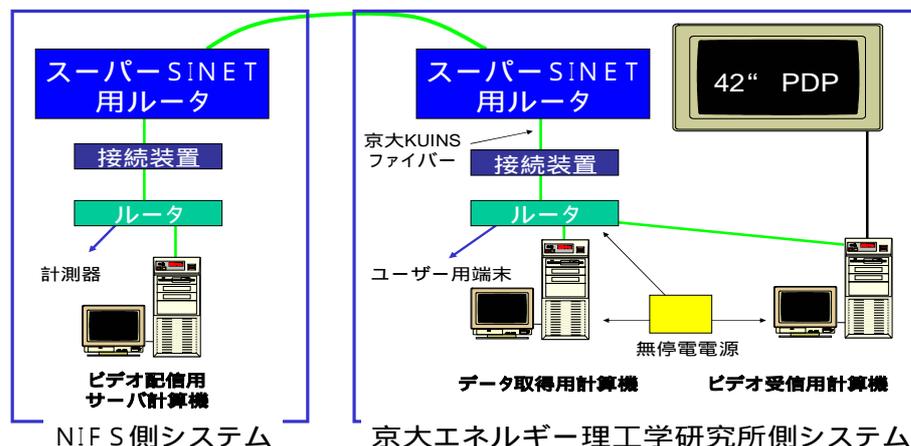
CCD カメラコントローラの遠隔操作、リアルタイムデータ転送による実験参加動作状況確認のための TV 画像の転送、その他、測定データの L H D 実験解析

### 4) L H D における高速イオン励起 MHD 不安定性

ADC の加工データを転送し詳細な解析を行う

遠隔操作によるアンプ、ADC 設定、その他、測定データの L H D 実験解析

## スーパー S I N E T のシステム構成



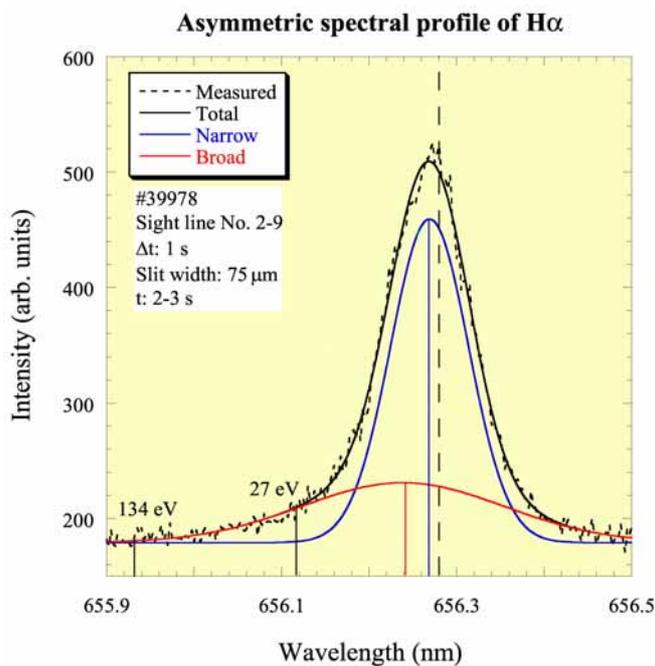


## 研究成果

- ・ H スペクトルプロファイルの非対称性

スーパーSINETにより、LHD 実験に遠隔地から参加し、H スペクトルプロファイルを観測し、非対称性のあることを発見した。

Rax=3.6 m の配位においてスペクトルプロファイルの非対称性を観測した。



このスペクトルを narrow と broad の2成分に分解したのが左図である。

2成分ともに中心波長のシフトが認められたが、そのシフト量に差を同定した。

シフト量に相当する速度は、  
 narrow component ; 4.6k m/s (0.1 eV)  
 broad component ; 18 km/s (1.7 eV)  
 である。

この実験システムとスーパーSINETを結合し、リアルタイムを含めた迅速な処理システムを構築する。

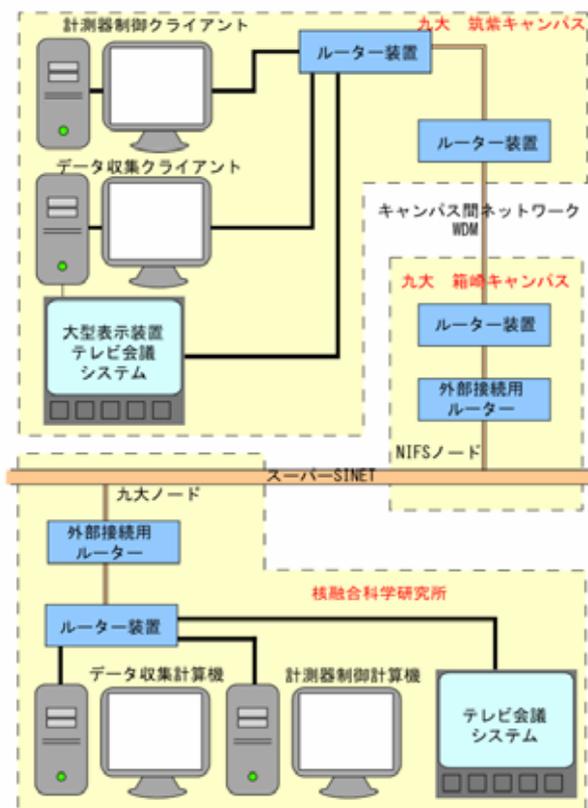
## ミリ波イメージング装置による揺動計測

### 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

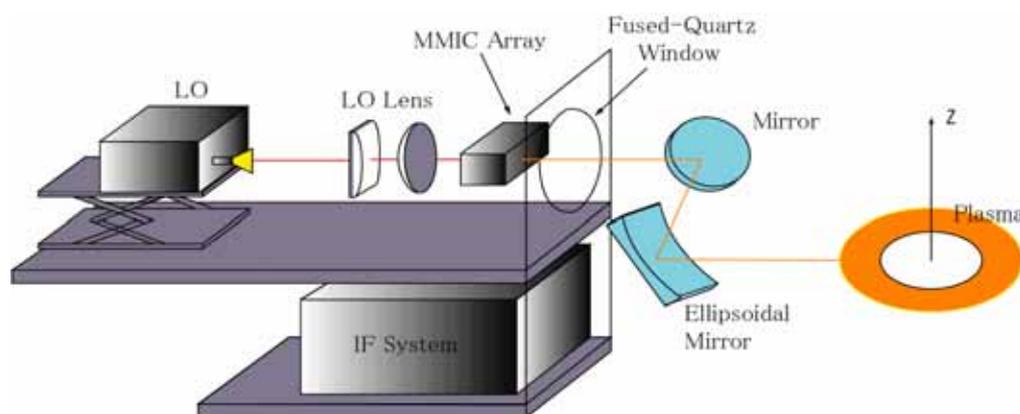
LHD 計画共同研究により開発が進められ、現在 LHD 装置に設置されている、ミリ波計測システム - 電子サイクロトロン放射 (ECE) イメージング装置および超短パルス反射計装置の遠隔操作およびデータ転送のため、スーパーSINET を用いたシステムを構築する。

## 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。

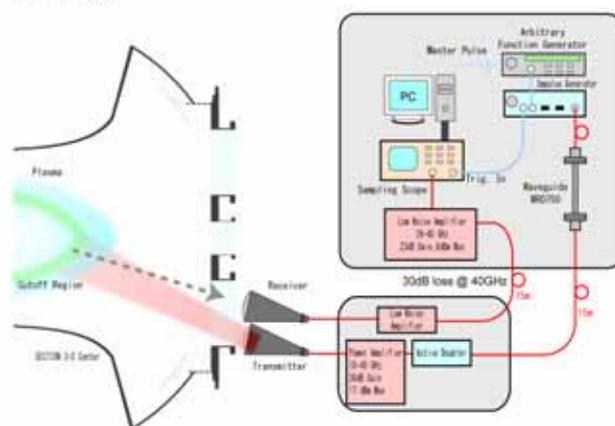
中間周波数は、ECE の半径方向位置に対応するため、各検出器間(ポロイダル面)およびフィルター間(半径方向)の測定により、電子温度の 3 次元分布、さらには、相関スペクトル導出により、電子温度揺動の波数 周波数スペクトルおよび揺動分布の測定に拡張することができる。

・ 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。同時に、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的に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。

## (2) 超伝導実験遠隔制御システム (平成13年度～)

目的： 東京大学高温プラズマ研究センターの超伝導コイルを用いた  
プラズマ実験装置の遠隔制御システムの開発

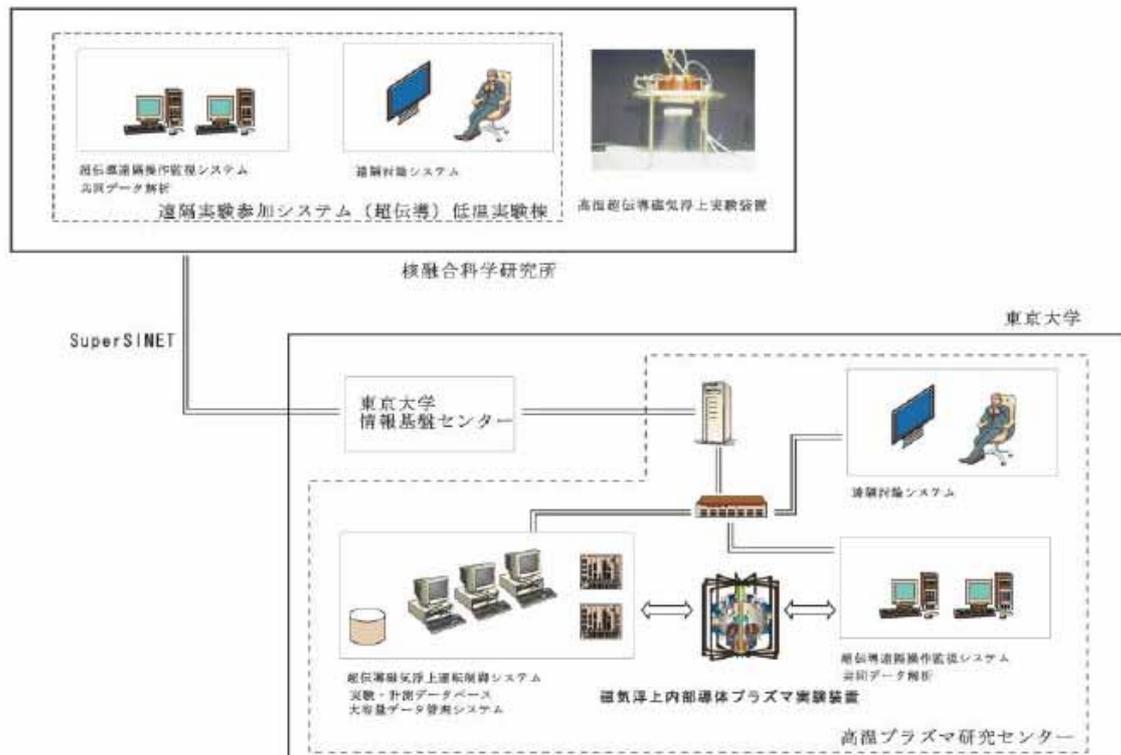
### 超伝導実験遠隔制御システム開発

#### 参加研究者構成

分担責任者 小川雄一 (東京大学高温プラズマ研究センター)  
参加研究者 森川惇二、大國浩太郎 (東京大学高温プラズマ研究センター)  
三戸利行、柳 長門、田村 仁 (核融合科学研究所)

#### スーパーSINET との接続構成

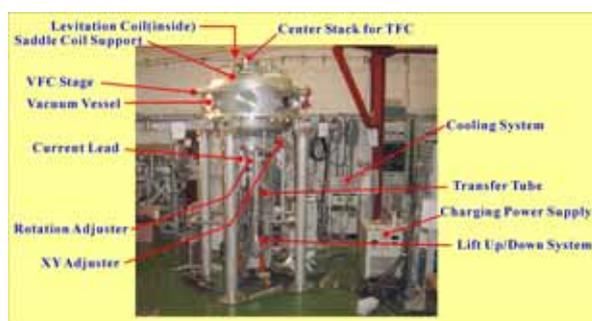
東京大学高温プラズマ研究センターと核融合科学研究所の間では、東京大学の情報基盤研究センターと核融合科学研究所の低温実験棟がそれぞれの窓口となってスーパーSINET回線が接続されている。実質的な運用形態としては、低温実験棟の実験用ネットワークが東京大学まで延長されているイメージとなっており、データの共有等に関して、セキュリティ上の問題が発生しないことが特長である。接続概念図を示す。



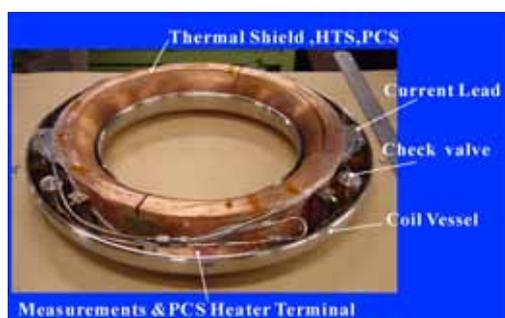
東京大学高温プラズマ研究センター ギガビットネットワーク構成図

## 研究目的・研究目標

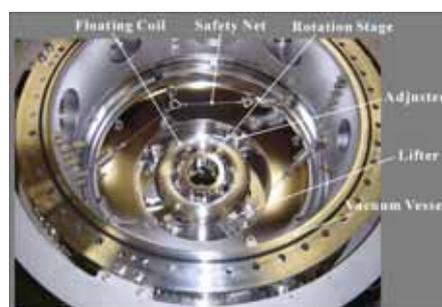
東京大学高温プラズマ研究センターでは、内部導体プラズマ閉じ込め装置 Mini-RT が建設され、新しい緩和過程を利用した非中性超高ベータプラズマの閉じ込め実験を開始している。この装置では、高温超伝導線材で巻線された直径 300 mm のリング状コイルが用いられ、ダイポール磁場が生成される。超伝導コイルは、直径 1 m の真空容器内に設置されており、真空容器の外側上部に設置された銅製の吊り上げコイルを用いて中空に磁気浮上される。高温超伝導コイルの核融合プラズマ実験装置への適用は世界で初めての試みであるとともに、磁気浮上させる高温超伝導コイルも世界で初めてのものである。このため、このコイルの開発にあたっては、当初より核融合科学研究所の低温・超伝導グループと九州大学超伝導研究センターとの共同研究として開始し、コイルの設計から始めて、装置完成後の冷却・励磁試験、および、プラズマ実験についても緊密な協力関係のもとで遂行してきている。遠隔地間の共同研究をスムーズに進めるうえで、高速のネットワークを用いた情報の共有は非常に有益であり、スーパーSINET が設置されて以降、共同研究のアクティビティがさらに高まっている。このプロジェクトとしては、次期中型装置の建設計画も控えているため、今後ともより積極的な研究協力体制を必要としている。この観点から、ますますスーパーSINET の活用を図りたいと考えている。



Mini-RT 装置の外観



Mini-RT 装置の高温超伝導コイル



Mini-RT 装置の真空容器の内部

## 研究内容

上記の共同研究を遂行するうえで、スーパーSINETによる高速ネットワークを現状以下のように活用している。

### (1) 超伝導コイルの冷却・励磁試験における遠隔実験参加

高温超伝導コイルの冷却・励磁試験は、東京大学高温プラズマ研究センターの実験室に設置された Mini-RT 装置本体で行っている。このため、核融合科学研究所から実験に参加する共同研究者が短期あるいは長期で出張し、直接実験に参加している。ただし、諸般の事情により、毎回の実験において共同研究者全員が参加することは極めて難しい。そこで、実験情報（具体的には、超伝導コイルおよび冷却システムの各部の温度、電圧、電流、磁場など）を収集しているパソコンをスーパーSINETに接続し、物理量を表示しているパソコン画面と取得データを核融合科学研究所の低温実験棟内に設置したパソコンにリアルタイムで転送することによって、遠隔地から実験に参加することができるようになっている。

### (2) 小型の磁気浮上試験装置を用いたデジタル浮上制御開発

高温超伝導コイルを安定に磁気浮上させる制御技術を開発することも、本プロジェクトにおける共同研究の重要な課題である。特に、実際に高温超伝導コイルを用いて浮上制御を行うことが重要であり、このために超小型(直径 77 mm)の高温超伝導コイルを有した磁気浮上試験装置が核融合科学研究所の低温実験棟に設置されている。本実験を遂行するために、従来、上記とは逆のパターンとして東京大学側から研究者が出張し、核融合科学研究所において短期・長期にわたって滞在してきた。昨年度からはこの実験装置において磁気浮上のデジタル制御を行っているパソコンについてもスーパーSINETに接続することにより、遠隔実験参加が可能となっている。



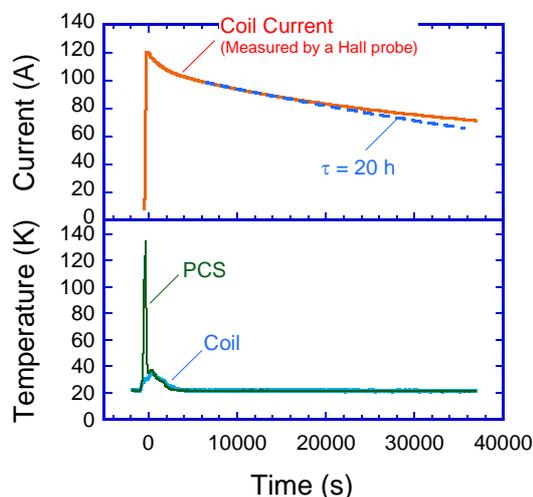
小型の磁気浮上制御技術開発システム（左：超小型高温超伝導磁気浮上コイルを用いた浮上制御実験、右：永久磁石を用いた浮上制御実験）

## 研究成果

共同研究を遂行するうえで、スーパーSINETによる高速ネットワークを利用した結果、現状、以下のような具体的成果が得られている。

### (1) 超伝導コイルの冷却・励磁試験における遠隔実験参加

東京大学高温プラズマ研究センターに設置されたMini-RT装置の冷却・励磁試験において取得されるデータを核融合科学研究所の低温実験棟においてリアル工学・応用超伝導工学を専門とする研究者の判断や的確な指示が必要に応じて受けられるようになり、これらの研究者が直接的に実験に参加しなくても、必要な機器の運転や実験を遂行することが可能となった。また、取得されたデータについては、核融合科学研究所側においてすぐに解析を行うことが可能となり、超伝導コイルの運転の最適化を短時間で出来るようになった。また、実際にこのおかげで試験開始当初に遭遇した数多くの技術的困難をすべて克服していくことに成功した。Mini-RTコイルで超伝導コイルの定格電流を達成したときの励磁波形を図に示す。



定格電流達成時のコイル電流と各部の温度

### (2) 小型の磁気浮上試験装置を用いたデジタル浮上制御開発

核融合科学研究所の低温実験棟に設置された小型の磁気浮上制御試験装置についてもスーパーSINETに接続されている。これにより、ビデオカメラによる画像転送を行い磁気浮上の様子を直接的に観測することが可能となるとともに、浮上位置のリアルタイム変更や制御パラメーターの逐次変更等を行い、さまざま

な条件に対して最適な磁気浮上制御を試みる事が可能となっている。この制御には、グラフィック計測制御ソフトウェア LabVIEW を用いているが、これは、2002 年度の LabVIEW アプリケーション・コンテストにおいて優秀賞を獲得している。

### **( 3 ) 大規模プラズマシミュレーション研究 (平成 15 年度以降)**

代表者 : 未定

目的 : 核融合科学研究所のスーパーコンピュータをスーパーSINET  
経由で遠隔利用し、大規模シミュレーション研究遂行

当該研究プロジェクトは平成 15 年度以降に開始される予定

## ． まとめ

平成 14 年度において、名古屋大学、京都大学、及び九州大学の三つの研究機関の研究室がスーパーSINET 接続され、核融合科学研究所に設置された L H D 装置の実験データを、研究室から直接、実時間で収集・解析することが可能となった。それぞれの遠隔計測システムは第 6 サイクル L H D 実験（平成 14 年 10 月～平成 15 年 2 月）に適用され、有効性が実証されると共に、これらの研究室の研究者の L H D 遠隔実験参画が実現した。

平成 13 年度において核融合科学研究所・低温実験棟の実験ネットワークにスーパーSINET 接続された、東京大学高温プラズマ研究センターの超伝導コイルを用いたプラズマ装置実験に対して、超伝導実験遠隔制御システムが稼働を開始し、核融合科学研究所の研究者の遠隔実験参加が実現した。この結果は、スーパーSINET を使った双方向性大学間共同研究という、大学の法人化後の共同研究の新しい展開を示唆するものとして注目されつつある。

スーパーSINET を利用して、全国大学共同利用機関である核融合科学研究所に設置された大型核融合装置実験に、大学の研究室から直接参画可能になることの波及効果は大きいと思われる。特に、大学院学生の教育に対するその効果を指摘する声が、はやくも数名の研究室指導教官から出始めている。当該分野の研究を志望する若い研究者の増加に繋がることも期待できる。今後、当該分野で研究活動し、遠隔参画を希望している他の大学の研究室に対して、計画的に同様の展開を計って行く必要がある。

核融合研究班のもう一つの研究プロジェクトである、核融合科学研究所のスーパーコンピュータを使用する「大規模プラズマシミュレーション研究」は、数件の研究計画が提案されているが平成 14 年度はスーパーコンピュータとネットワークとの接続環境の不調整も有り、実現出来なかった。次年度には進展を計る予定である。