



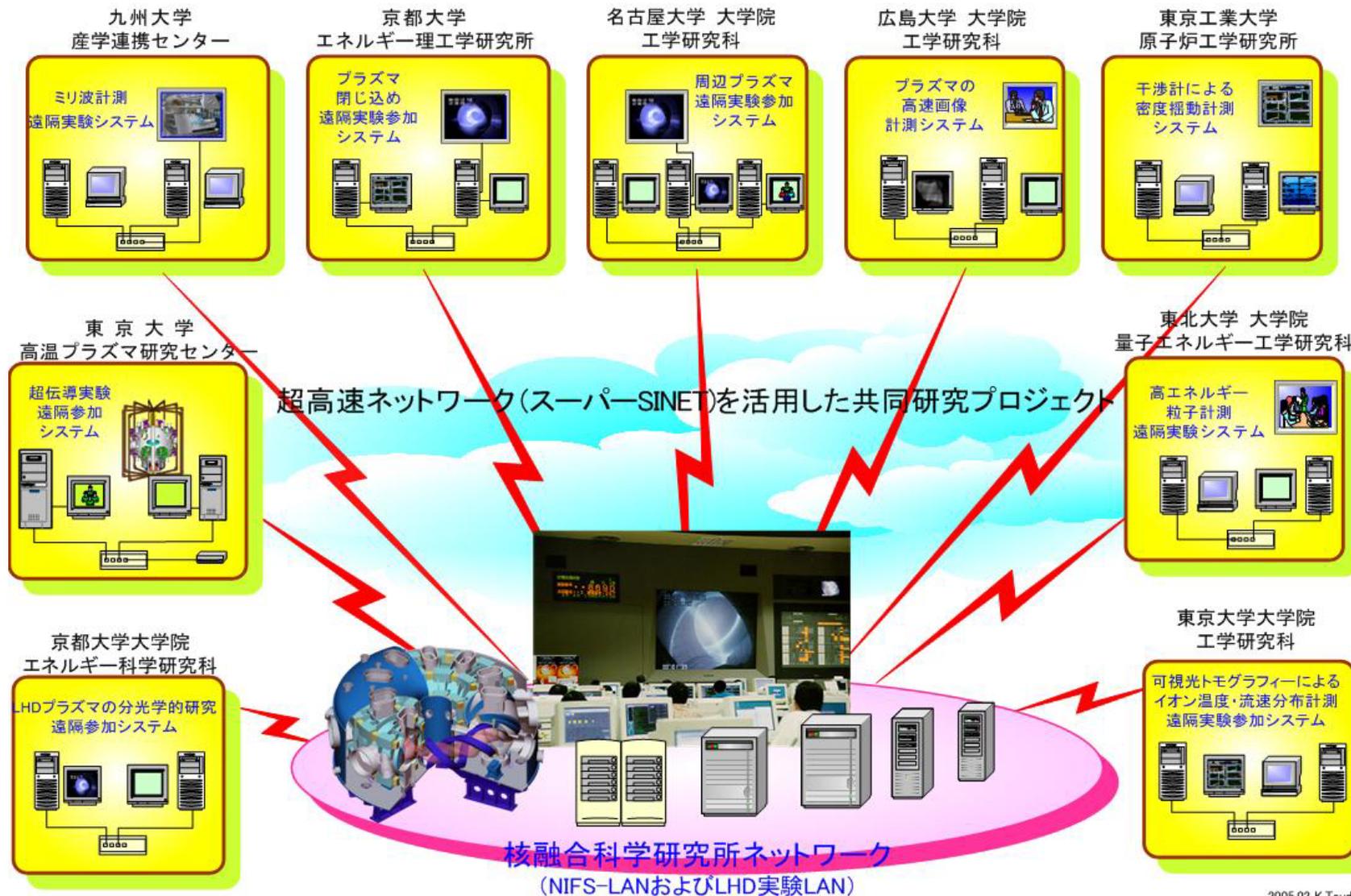
高エネルギー・核融合科学研究部会 核融合研究班

- ・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内容
- ・まとめ

核融合科学研究所
計算機・情報ネットワークセンター
堀内 利得

- 班 長： 堀内利得 (核融合科学研究所)
- 小川雄一、森川惇二 (東大高温プラズマ研究センター)
- 高村秀一、大野哲靖 (名大大学院工学研究科)
- 佐野史道、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、近木祐一郎 (九大産学連携センター)
- 笹尾真実子、北島澄男 (東北大大学院量子エネルギー工学研究科)
- 西野信博 (広大大学院工学研究科)
- 藤本 孝、岩前 敦、有本 元 (京大大学院エネルギー科学研究科)
- 小野 靖 (東大大学院工学研究科)
- 西原功修、福田優子 (阪大レーザーエネルギー学研究センター)
- 長山好夫、津田健三、江本雅彦、中西秀哉、駒田誠司、三戸利行、
田村 仁、柳 長門、増崎 貴、渡邊清政、川端一男、田中謙治、
森崎友宏、西浦正樹、磯部光孝、後藤基志、成嶋吉朗、小森彰夫、
須藤 滋 (核融合科学研究所)

ネットワーク接続の概要





LHD実験遠隔参加



NIFSのスーパーコンピュータを利用した大型シミュレーション研究



核融合科学研究所 超高速ネットワークを活用した研究プロジェクト概念図

1. LHD遠隔実験 (平成14年度～)
2. 超伝導実験遠隔制御システム (平成13年度～)
3. 大規模プラズマシミュレーション研究 (平成17年度以降予定)

| | 課題名 | 機関名 | 共同研究者 | 共同研究者 |
|---|--------------------------------------------------------------|-------------------------|-----------------|-----------------------|
| 1 | (超伝導実験遠隔制御システム) LHD磁場制御コイルなど高温超伝導コイルの定常 プラズマ閉じ込め装置への応用 | 東京大学 高温プラズマ研究センター | 小川 雄一 森川 惇二 | 三戸 利行 田村 仁 柳 長門 |
| 2 | LHD周辺プラズマ揺動計測 | 名古屋大学大学院 工学研究科 | 高村 秀一 大野 哲靖 | 増崎 貴 |
| 3 | LHDプラズマの閉じ込め特性 | 京都大学 エネルギー理工学研究所 | 佐野 史道 岡田 浩之 | 渡辺 清政 |
| 4 | LHDミリ波計測遠隔実験 | 九州大学 産学連携センター | 間瀬 淳 近木 祐一郎 | 川端 一男 長山 好夫 |
| 5 | 干渉計による密度揺動計測 | 東京工業大学 原子炉工学研究所 | 飯尾 俊二 筒井 広明 | 田中 謙治 |
| 6 | 高速カメラを使ったプラズマ計測 | 広島大学大学院工学研究科 | 西野 信博 | 森崎 友宏 |
| 7 | LHD高エネルギー粒子計測遠隔実験 | 東北大学大学院 量子エネルギー工学研究科 | 笹尾 真実子 北島 澄男 | 磯辺 光孝 西浦 正樹 |
| 8 | LHDプラズマの分光学的研究 | 京都大学大学院 エネルギー科学研究科 | 藤本 孝 岩前 敦 | 後藤 基志 |
| 9 | 可視光トモグラフィーによる2次元イオン温度・流速 分布計測 | 東京大学大学院 工学研究科 | 小野 靖 | 成嶋 吉朗 |



研究プロジェクトの研究内容



- 実験装置の巨大化、少数化
 - 遠隔実験参加の時代
- LHD
 - 全超伝導コイル(磁場2.8T)
 - 主半径 = 3.6 m, 小半径 = 0.6 m
プラズマ体積 = 30 m³
- 加熱

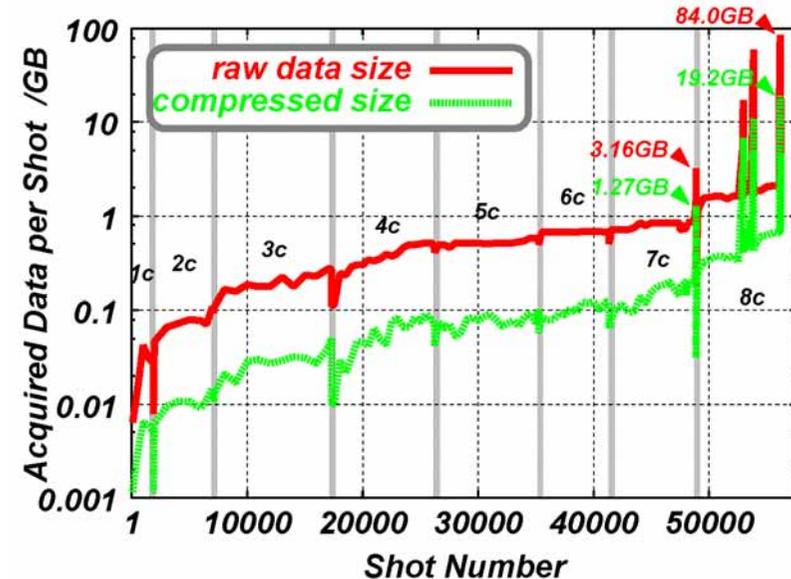
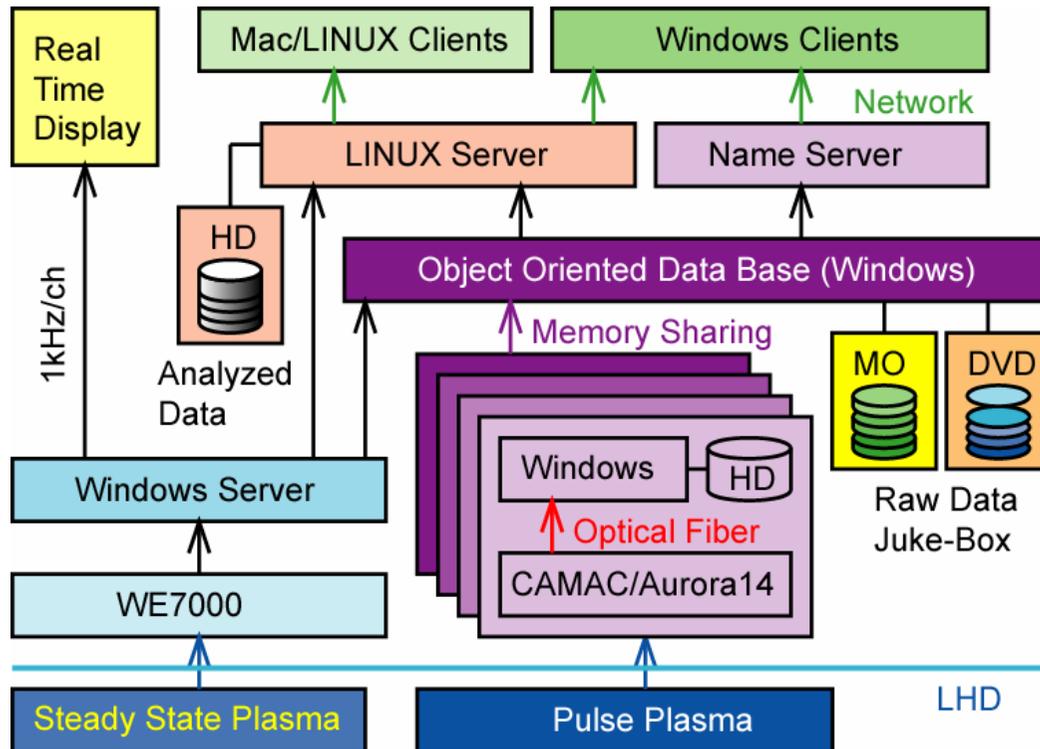
| | |
|------|--------|
| NBI | 14 MW |
| ECRH | 2.1 MW |
| ICRH | 2.7 MW |

LHD本体室

S. Sudr, "Diagnostics on LHD", EPS2003, St. Petersburg, 7/7-11/2003.

- パソコンを用いた**分散データ収集 + データベースによる一元管理**
- 実験データ表示だけでも高速ネットワークが必要
 - 3分ごとに約**2.5GB/shot**の計測データ。ショット数: 20shots/hr (ショット間隔 = 3分)
 - データ量: 圧縮後100GB超 / 日、DVD-Rで100枚超 / 週
 - 年間データ量: 13.4TB (圧縮3.4TB) (第8サイクル)

データ量



- (定常運転) データ量**84GB/shot**は核融合実験では世界一

(1) LHD実験遠隔参加システム

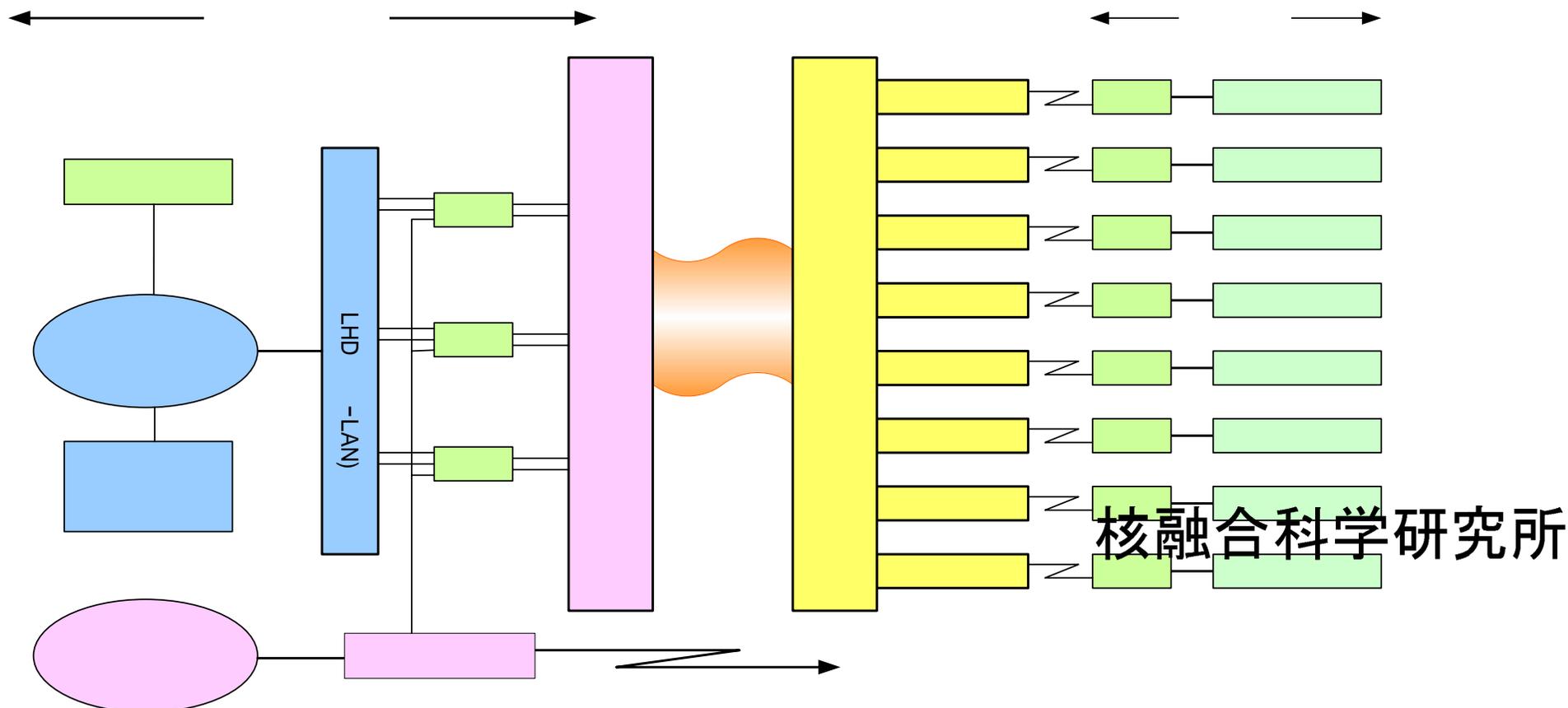
名大、京大(宇治、吉田)、九大、東工大、広大、東北大、東大と
接続し、LHD実験にスーパーSINETを介して参画

(2) 超伝導実験遠隔制御システム

東大高温プラズマ研究センターと接続し、超伝導実験を遠隔運転

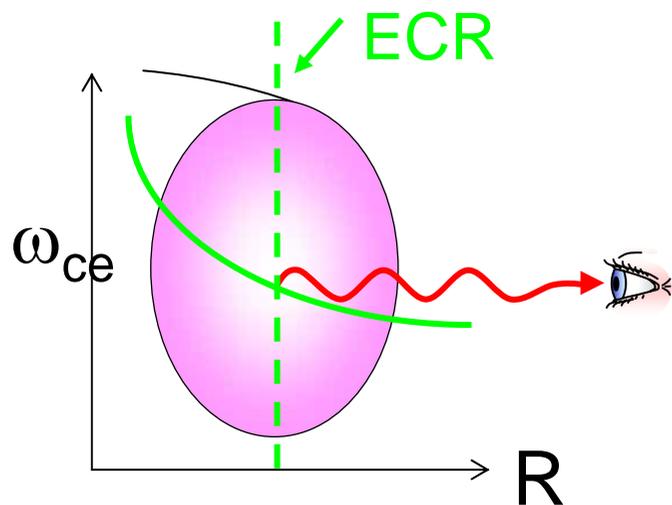
(3) 大規模プラズマシミュレーション研究

スーパーコンピュータ利用の共同研究(平成17年度以降)



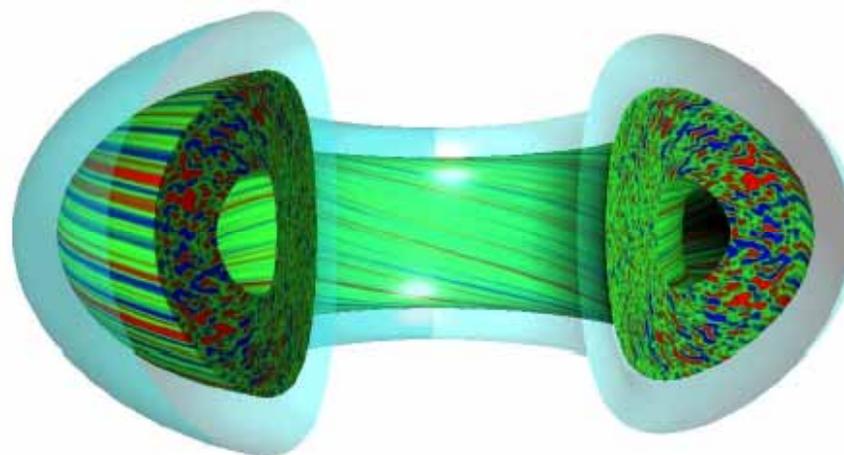
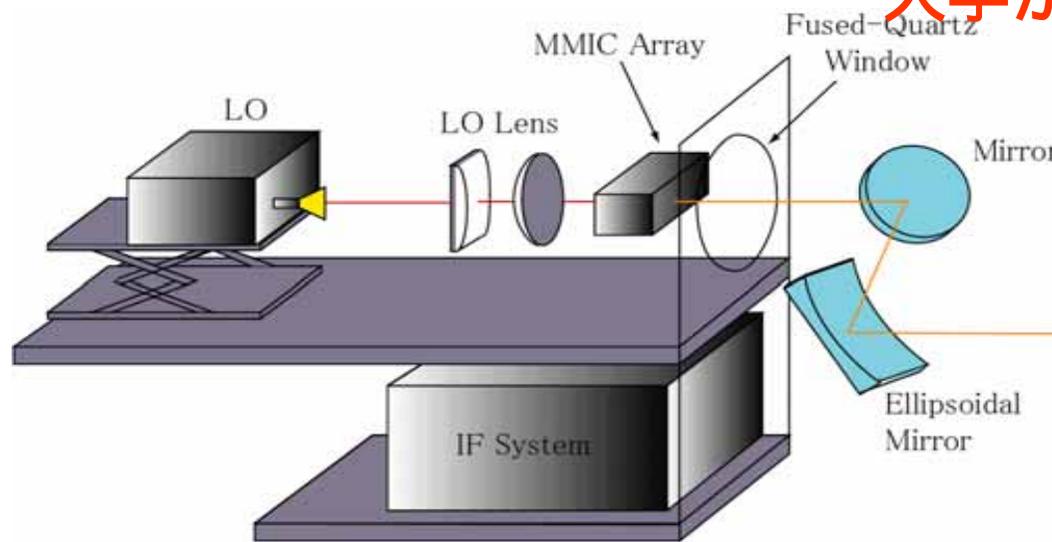
- スーパーSINETの閉域性を利用して、遠隔地の研究室をLHD-LANに直結、**LHD制御室分室**として機能。
- 遠隔地研究室は所属大学LANとの接続不可、NIFS-LANを経由してインターネットと接続。
- クライアント機器接続制御、ウィルス対策などのセキュリティ対策を実施。

ミリ波イメージング装置による LHD中心プラズマ揺動計測

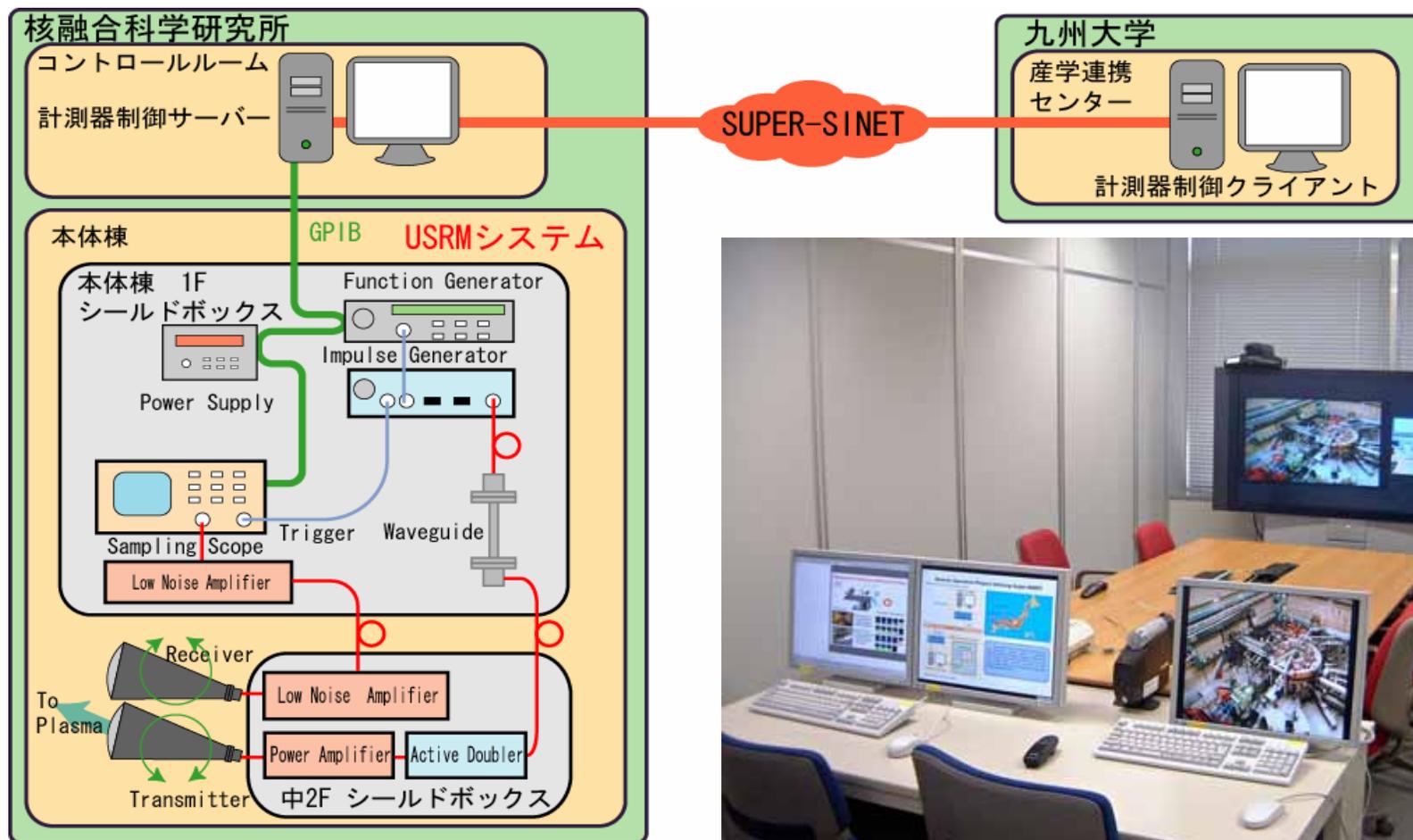


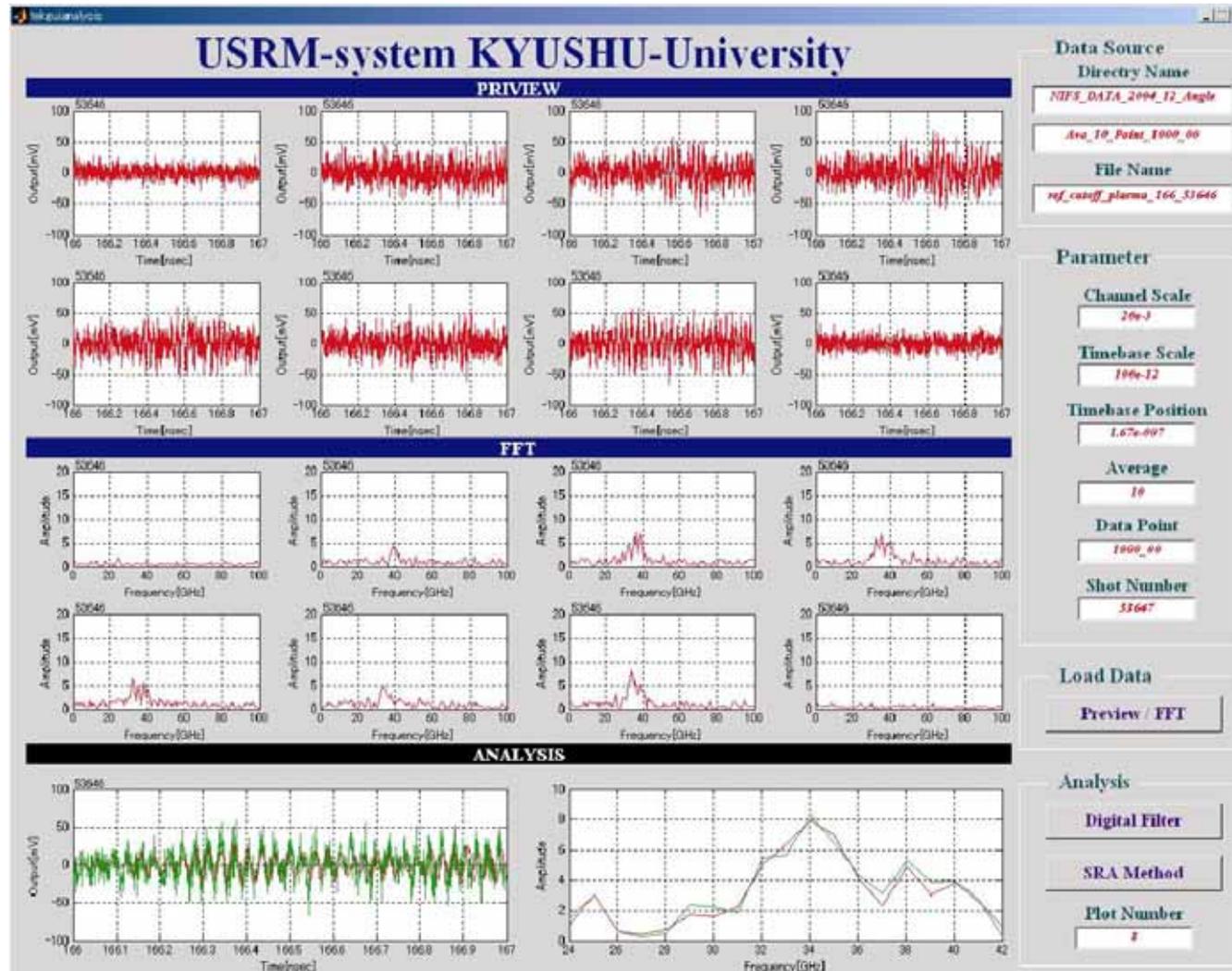
- マイクロ波(ミリ波帯)を用いて局所的な電子温度と電子密度の揺動を測定。
- プラズマ拡散がランダム運動だけなら核融合も簡単にできるが、現実はそのようではない。
 - 乱流構造がプラズマ拡散を支配(異常拡散)
 - ミリ波イメージング計測により乱流構造の解明を目指す。

• **大学で計測器を開発し、LHDに設置、大学から遠隔操作する。**



- 九州大学側から制御用ソフトウェアを用いて、核融合科学研究所本体棟内に設置したUSRMシステムのリアルタイム遠隔制御とデータ取得を実行。





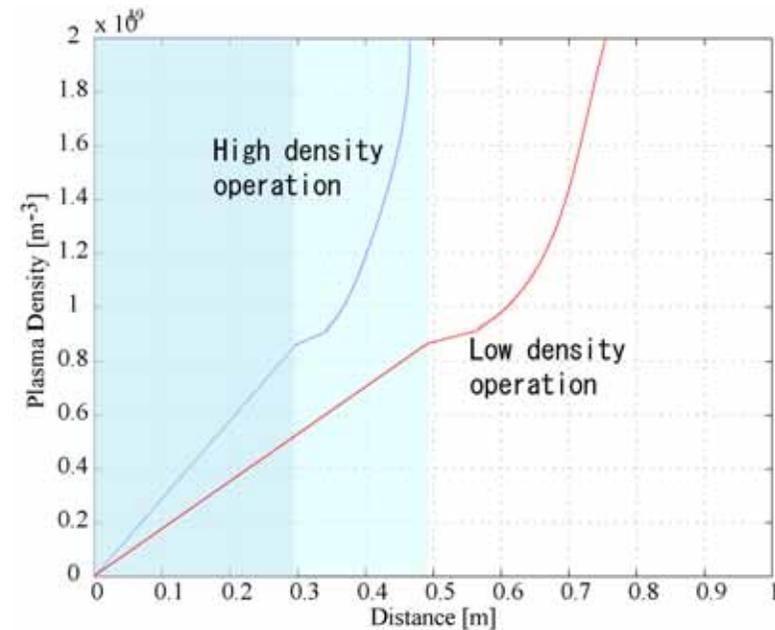
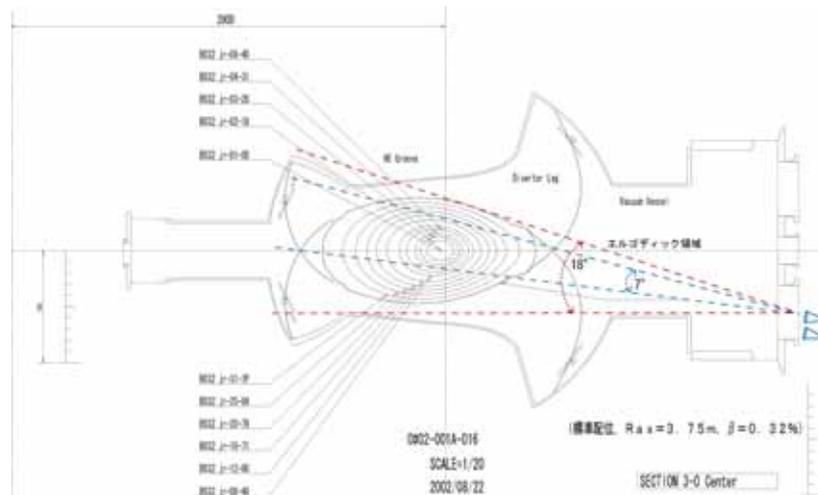
The USRM system display at Kyushu University. The system is controlled by using GPIB.



アンテナ遠隔制御画面

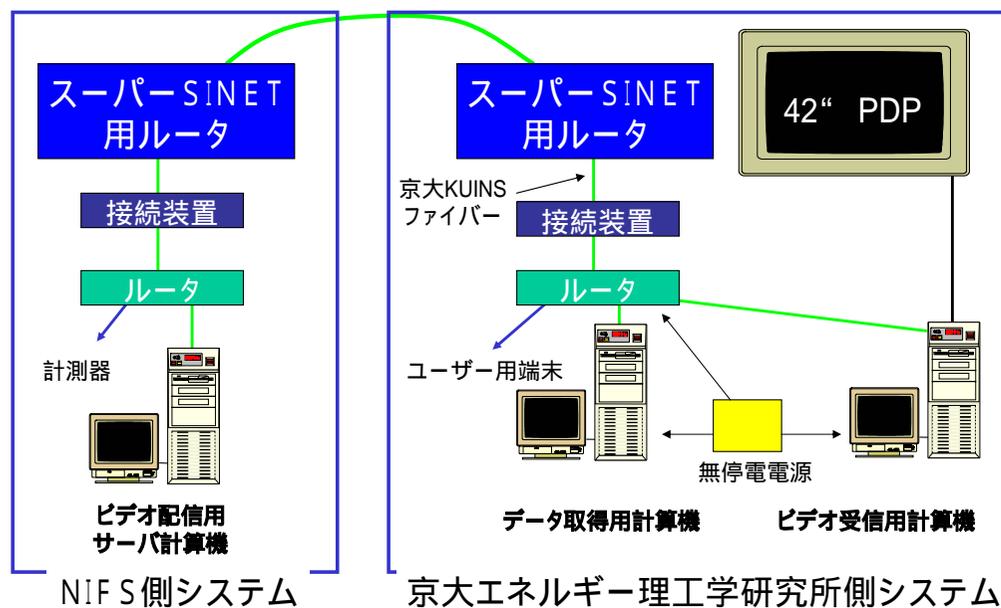


アンテナ遠隔制御装置写真



LHD実験に総合的に参加。

- 京都大学(宇治)は日本のヘリカル研究の発祥地
- LHDデータベースに自由にアクセス、データ解析を実行。
- 大画面TVによるLHDプラズマのモニターで制御室の雰囲気。



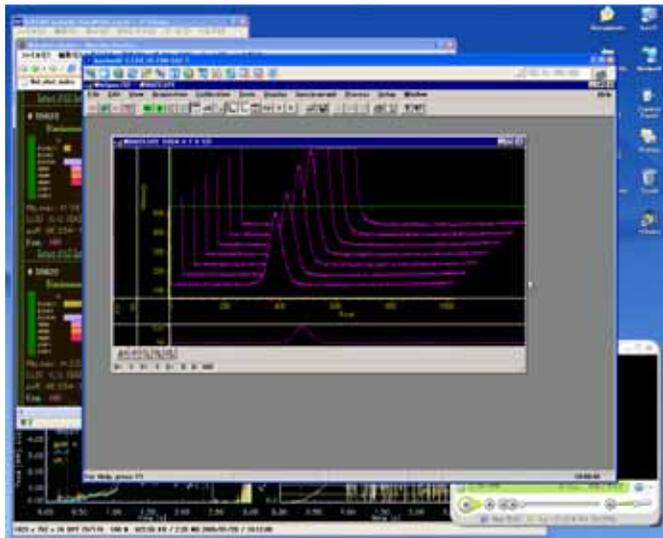
目的

LHDプラズマの閉じ込め特性を評価し、閉じ込め改善についての知見を得る

研究課題

H α 線スペクトルプロファイルの微細測定による周辺領域の中性粒子挙動の解明

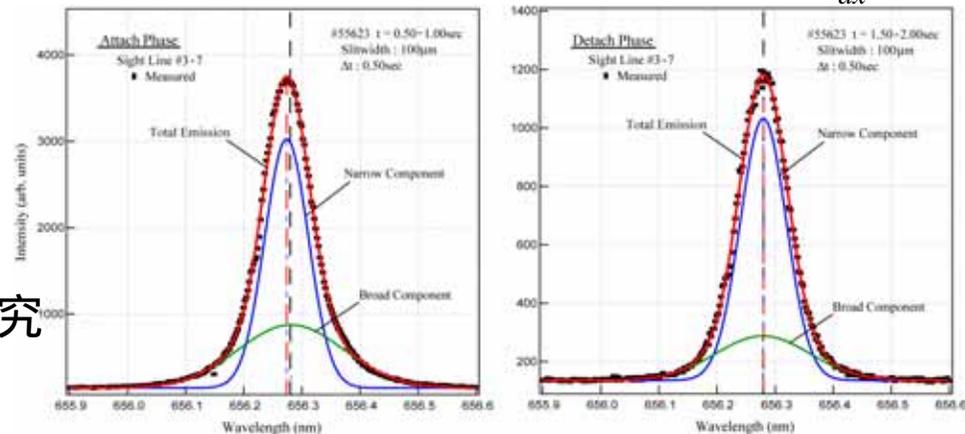
高速イオン励起MHD不安定性の特性研究



京大側サーバ(kycl1)からNIFS側H α 計測用サーバ(kechell1)をスーパーSINETを用いて遠隔操作

Attach Detach に伴うH α 線スペクトルの変化

$R_{ax}=3.65$ m



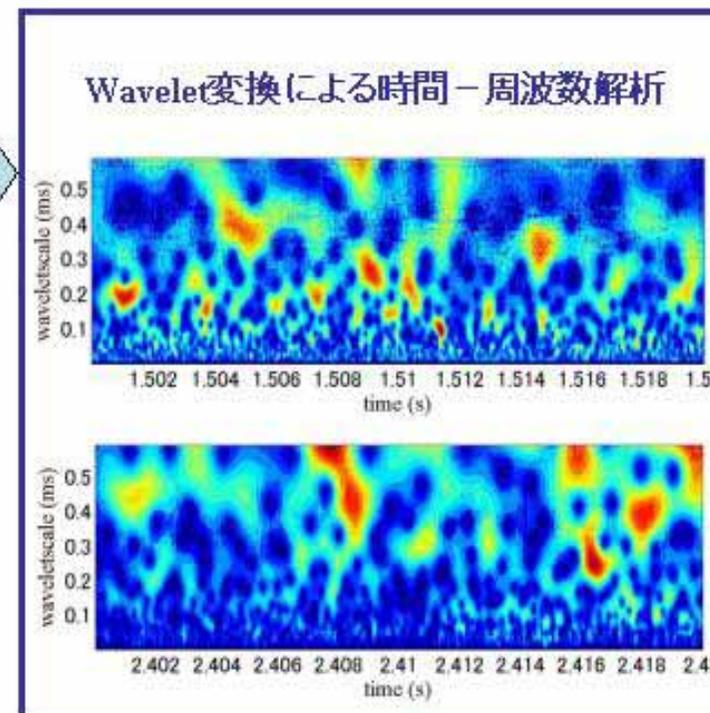
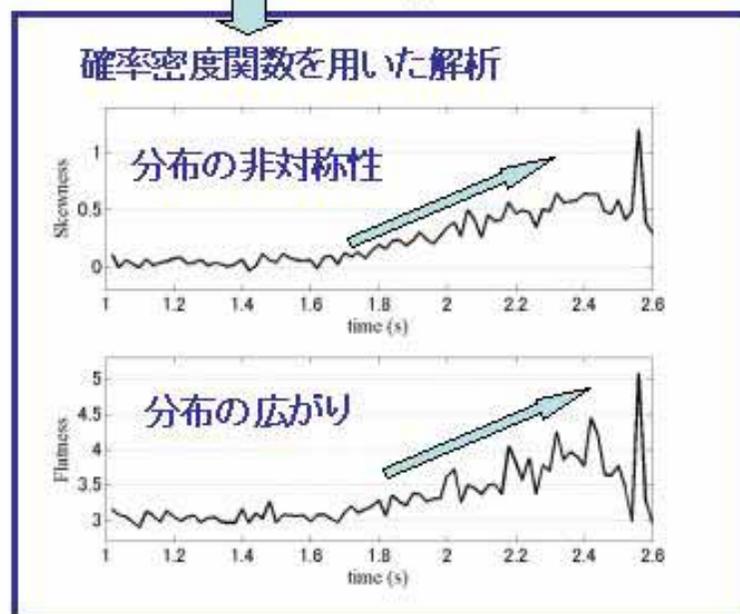
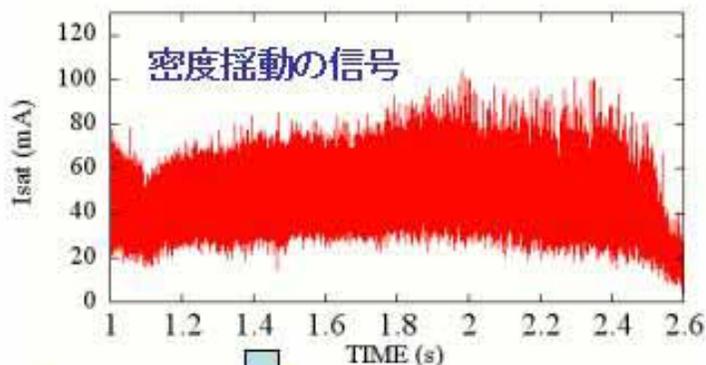
Attach Phase ではプロファイルの裾野がBroad Component (~ 20 eV)で決まるが、Detach Phase ではその寄与が小さくなりスペクトル全体に対してNarrow Componentの寄与が支配的になる

Detach Phase では中心波長のシフトがほとんど観測されない

遠隔操作によるデータ取得は可能

今後は分光器の設定(スリット幅等)を遠隔調整できるシステムの構築に着手する

プラズマの塊の吐き出し現象の観測

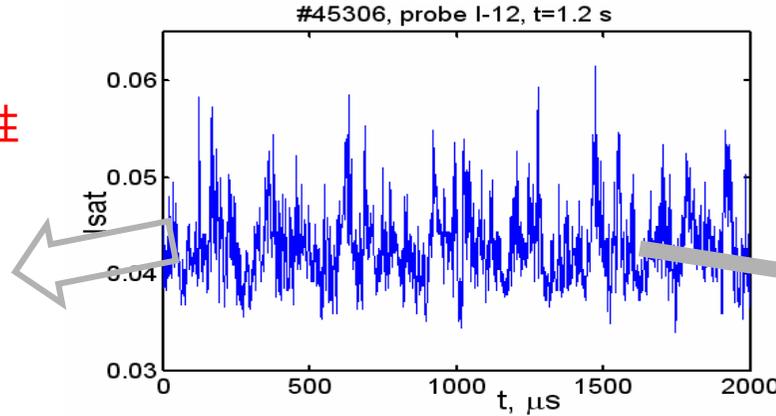


密度増加に伴う
揺動周波数の減少

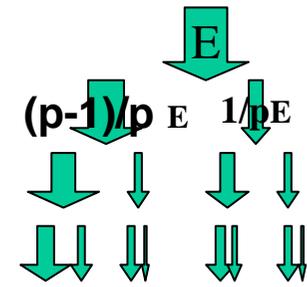
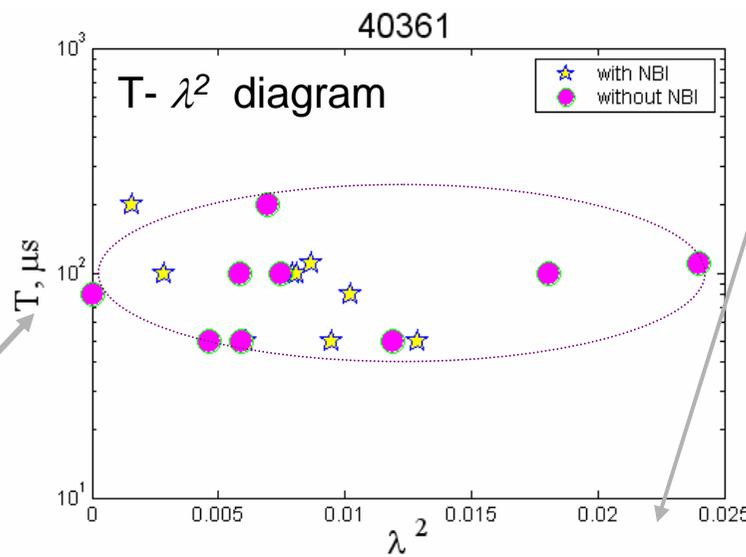
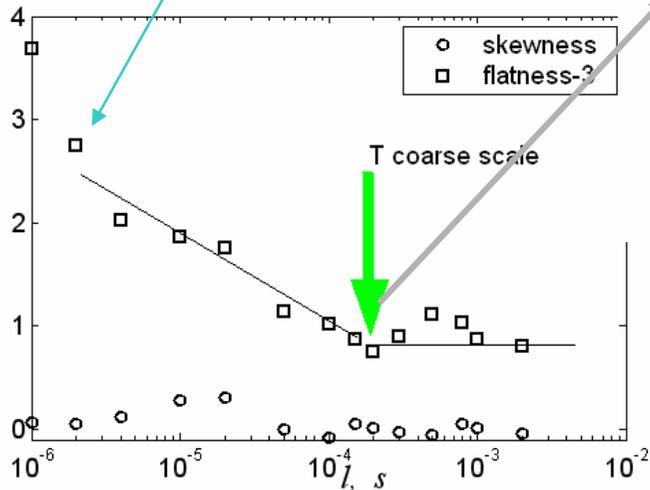
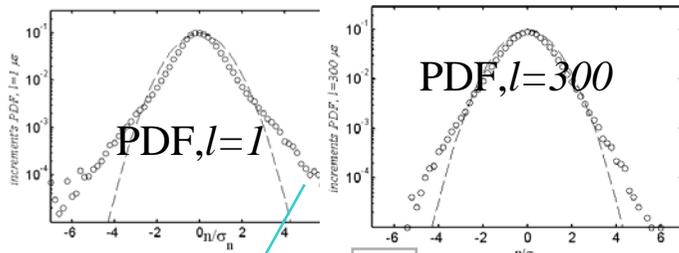
揺動特性の正規分布からのずれ
非拡散的な輸送現象

LHD周辺揺動の
マルチフラクタル性

PDF of increments
 $\delta_l X = X(t+l) - X(t)$



Not a Brownian-like
process: structure function of
increments has nonlinear scaling
 $M(q, l) = \langle |\delta_l X|^q \rangle \sim l^{\zeta(q)}$
 $\zeta(q) = qH - \lambda^2 q^2$

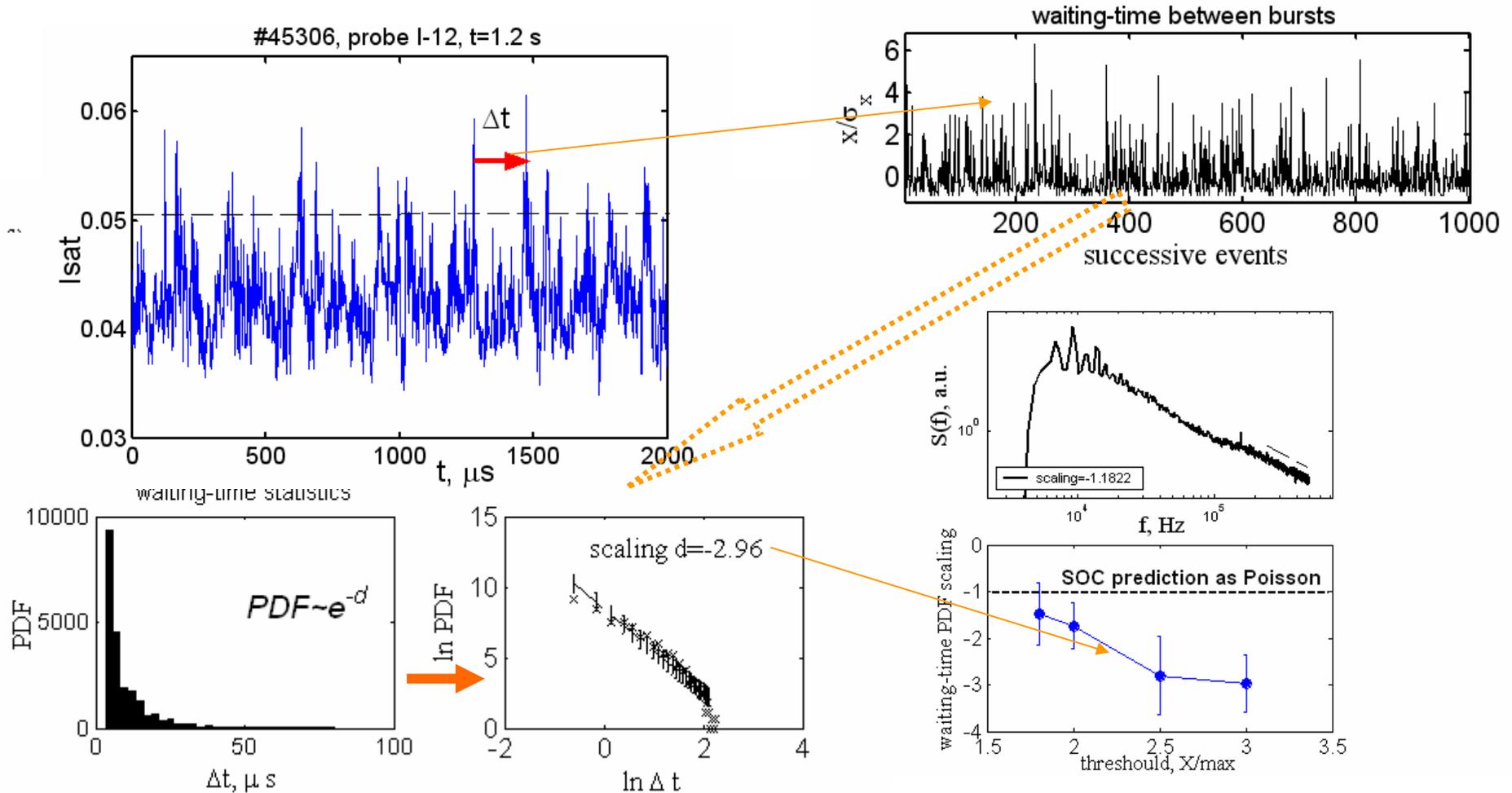


Multifractal cascading
process – deviation
from Kolmogorov's
monofractal cascade

multifractality parameter λ^2

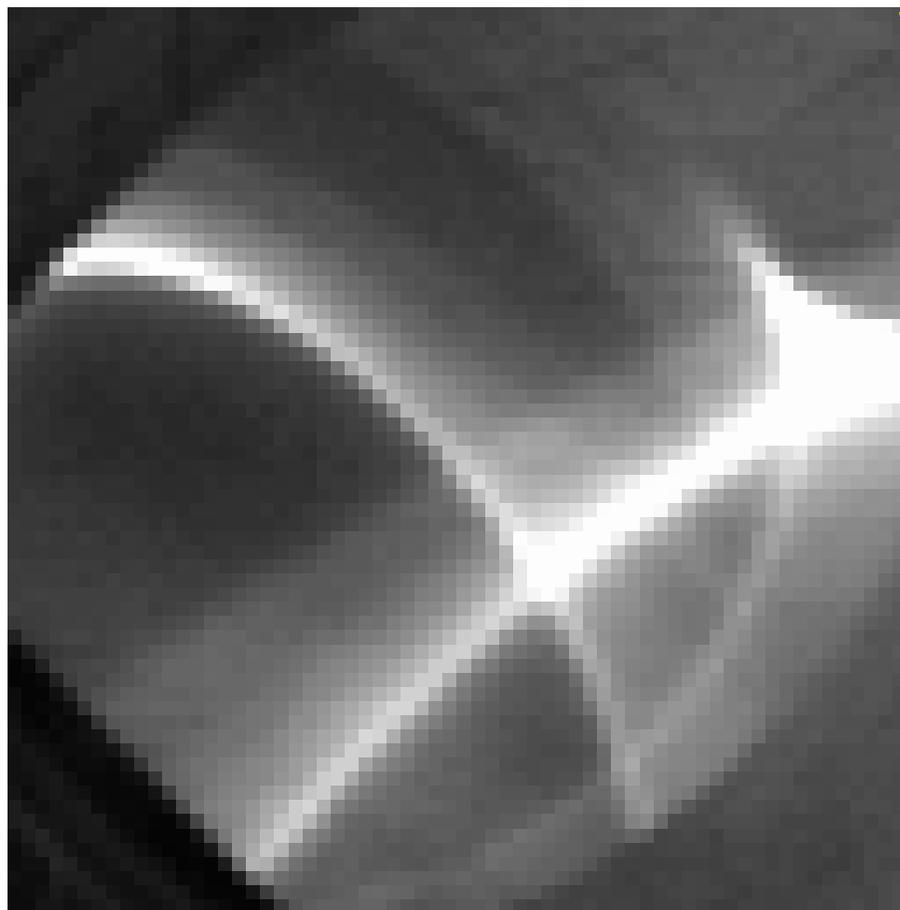
Coarse time scale of $\sim 50-100 \mu s$ in the process:
coherent structures scale

Bursts waiting-time statistics: examination of SOC



Waiting-time is not a Poisson process.
Hierarchy of scales and parabolic scaling of moments:
evidence of multifractal time in the bursty process (LHD).
No clear signature of SOC paradigm (scaling of PDF waiting time statistics $\neq -1$)

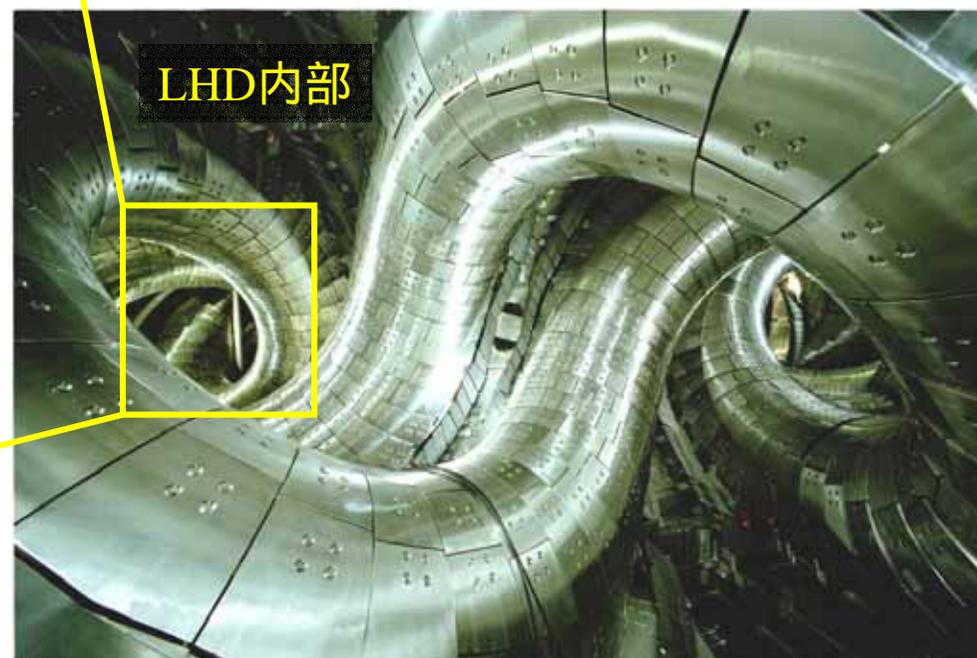
周辺プラズマにおけるフィラメント構造の観測



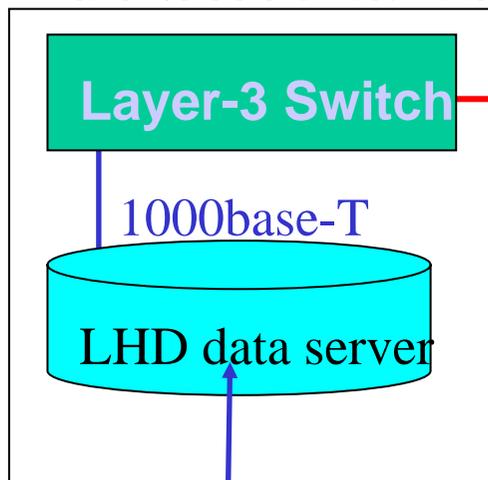
接線方向からの撮影
(毎秒40,500フレーム)

- LHDプラズマを囲む2つの曲面の交差部分がX字に輝く。
- LHDで初めて、交差部分付近で活発に運動するフィラメント構造が観測された。

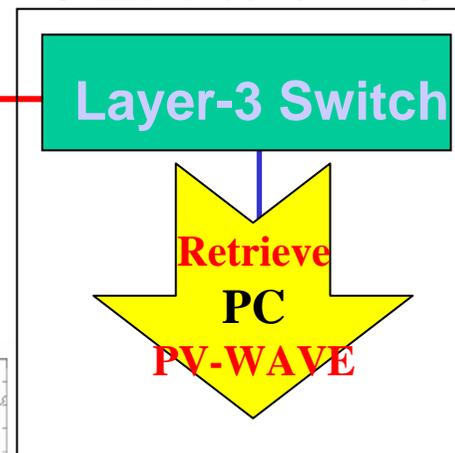
・平成15年度末スーパーSINET接続、平成16年度から遠隔操作開始。



核融合科学研究所

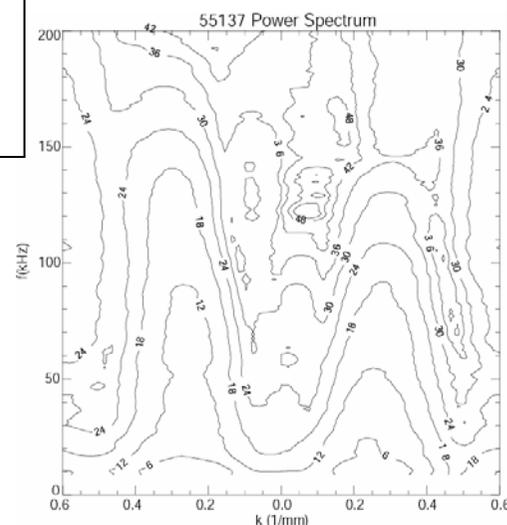
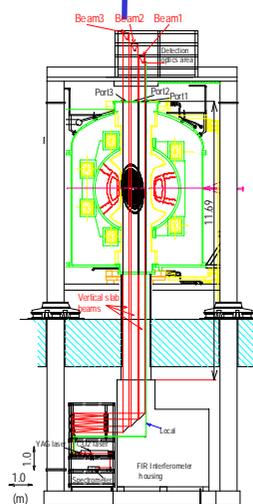


東工大・原子炉研

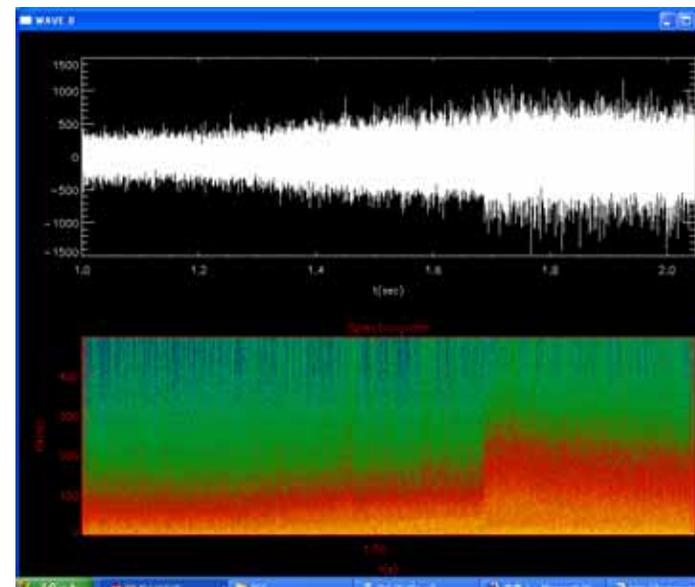


SuperSINET

1Gbps



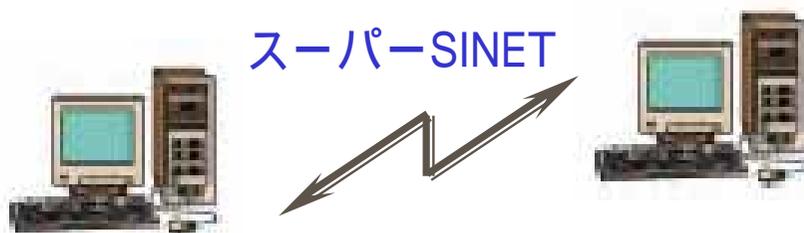
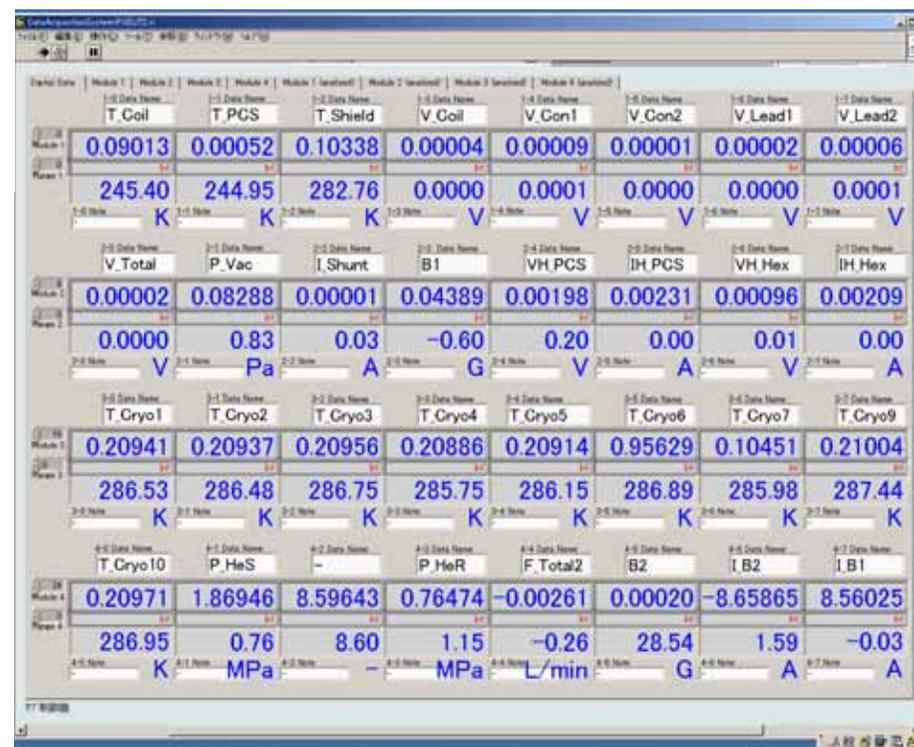
PV-WAVEによる、
スペクトル解析例



CO₂レーザー干渉計システム

(2) 東大:超伝導実験遠隔制御システム (相互交流型共同研究)

- 核融合研究所の超伝導技術の普及。
- 核融合研究所から東大の超伝導実験を遠隔運転する。
- セキュリティのため閉域ネットワーク。

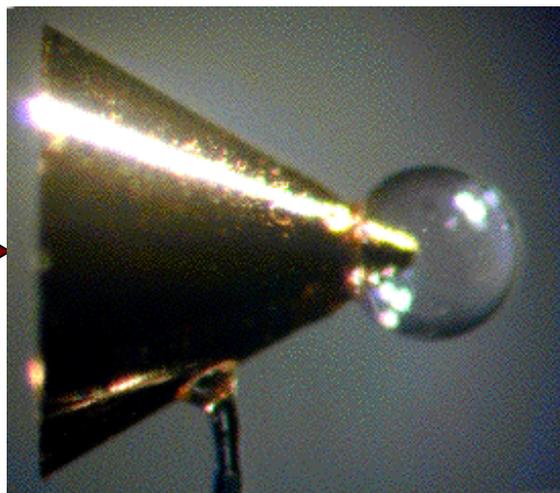
| Module | Module 1 | Module 2 | Module 3 | Module 4 | Module 5 | Module 6 | Module 7 | Module 8 |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| T.Coil | T.PCS | T.Shield | V.Coil | V.Con1 | V.Con2 | V.Lead1 | V.Lead2 | |
| 0.09013 | 0.00052 | 0.10338 | 0.00004 | 0.00009 | 0.00001 | 0.00002 | 0.00006 | |
| 245.40 | 244.95 | 282.76 | 0.0000 | 0.0001 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0001 | |
| K | K | K | V | V | V | V | V | |
| V.Total | P.Vac | I.Shunt | B1 | VH.PCS | IH.PCS | VH.Hex | IH.Hex | |
| 0.00002 | 0.08288 | 0.00001 | 0.04389 | 0.00198 | 0.00231 | 0.00096 | 0.00209 | |
| 0.0000 | 0.83 | 0.03 | -0.60 | 0.20 | 0.00 | 0.01 | 0.00 | |
| V | Pa | A | G | V | A | V | A | |
| T.Cryo1 | T.Cryo2 | T.Cryo3 | T.Cryo4 | T.Cryo5 | T.Cryo6 | T.Cryo7 | T.Cryo9 | |
| 0.20941 | 0.20937 | 0.20956 | 0.20886 | 0.20914 | 0.95629 | 0.10451 | 0.21004 | |
| 286.53 | 286.48 | 286.75 | 285.75 | 286.15 | 286.89 | 285.98 | 287.44 | |
| K | K | K | K | K | K | K | K | |
| T.Cryo10 | P.HeS | | P.HeR | F.Total2 | B2 | I.B2 | I.B1 | |
| 0.20971 | 1.86946 | 8.59643 | 0.76474 | -0.00261 | 0.00020 | -8.65865 | 8.56025 | |
| 286.95 | 0.76 | 8.60 | 1.15 | -0.26 | 28.54 | 1.59 | -0.03 | |
| K | MPa | | MPa | L/min | G | A | A | |

東大高温プラズマセンター

(3) 大規模プラズマシミュレーション研究 (平成17年度以降)

- 核融合研は阪大レーザーエネルギー学研究センターのレーザー核融合実験をサポート(平成17年度から)。
- 核融合研シミュレーションセンターの大型計算機を用いた大規模シミュレーションを開始。
- レーザー核融合は超新星のモデル実験としても有効。

PWM for heating
1 beam / 50-60J
1.053 mm / 0.8ps



GXII for implosion
9 beams / 1.2kJ
0.53 mm/
1ns Gaussian/
with RPP



高速点火実験: 圧縮プラズマを追加加熱。桁違いの高効率化。

- LHD実験遠隔参加機関の増設
 - 日本原子力研究所那珂研究所大型トカマク開発部
 - 「トーラスプラズマの総合的理解」
 - 東京大学大学院新領域創成科学研究科(高瀬教授)
 - 「高周波加熱・電流駆動実験」

- ST(球形トカマク)研究プログラム(新規)
 - 核融合科学研究所双方向共同研究
 - ST実験装置を共有し、全国から実験参加
 - 平成17年度参加機関
 - 東京大学大学院・新領域創成科学研究科
 - 東京大学大学院・工学研究科
 - 京都大学大学院・エネルギー科学研究科

- 少数化・巨大化する核融合実験では共同研究・遠隔実験参加が時代の流れ
 - LHD(日本)、ITER(世界)、ST研究
 - データ・装置の共有、実験への参画
 - データ量も巨大化 (LHD: 84GB/shot)
 - 高速画像計測、長パルス実験(3秒 15分)
 - スーパーSINETにより核融合実験遠隔参加が可能になる。
- **スーパーSINET**は日本の核融合研究の**バックボーン**として期待
 - 遠隔地研究室にLHD実験LANを延長(閉域接続、平成15年度末)
 - 遠隔地研究室はLHD制御室と同じネットワーク環境を実現
 - セキュリティ強化(端末接続、ワクチン等)
 - 増加するLHD遠隔実験参加
 - (平成15年度まで) 京大(宇治)、名大、九大、広島大、東北大、東工大
 - (平成16年度) 東大(本郷)、京大(吉田)
 - (平成17年度計画) 原研、東大(柏、本郷)
- 新しい共同研究
 - 大学の法人化に伴い核融合研究所が全国大学核融合研究の支えに
 - 大型シミュレーション研究(双方向共同研究)
 - (平成17年度以降) 阪大レーザーエネルギー学研究中心
 - ST(球形トカマク)研究(双方向共同研究)
 - 相互交流型共同研究
 - (平成13年度) 東大「超伝導磁気浮上プラズマ閉じ込め」