

6.3 高瀬研究室

6.3.1 TST-2 球状トカマクプラズマの生成・加熱・維持実験

通常のトカマク装置では、変流器の一次巻線にあたる変流器コイルの電流を変化させることで、二次巻線に相当するプラズマに電流を誘導発生させ、この電流でプラズマを閉じ込め、加熱している。変流器コイルはトーラス中心部の貴重な空間を占有するため、これを用いずにプラズマを生成・維持することができれば、トカマク型核融合炉の小型化・高出力密度化が可能となり、経済性が著しく改善される。これは特に中心部の空間を最小限にした球状トカマク(ST)では最重要課題である。本研究室では複数のアプローチを用いてこの課題に取り組んでいる。平成15年度には、東京大学のTST-2球状トカマク装置は一時的に九州大学に移設され(TST-2@Kと呼ぶ)、九大の所有するマイクロ波発振器(8.2 GHz, 200 kW)を用いて実験を行った。

マイクロ波によるプラズマ立ち上げと維持

TST-2@Kで、マイクロ波によるプラズマ立ち上げ及びその維持を目指した実験を行った。定常的なトロイダル磁場(約0.15 T)と弱い垂直磁場(約1 mT)のある状態でマイクロ波を弱磁場側から8本のホンアンテナを用いて入射した。図6.3 aは、この時のプラズマ電流 I_p 、トロイダル磁場 B_t 、線積分電子密度 $n_e l$ の時間変化を示したもので、約300 msの間、 $I_p = 4$ kA、 $n_e l = 0.3 \times 10^{18} \text{ m}^{-2}$ が維持されている。この放電では、 $t = 260$ msから B_t を減少させた結果、290 msで急激に I_p が減衰した。これは、 B_t の低下により、電子サイクロトロン(EC)共鳴層が真空容器中に存在しなくなり、プラズマへの入熱がなくなったためと考えられる。こうして生成された

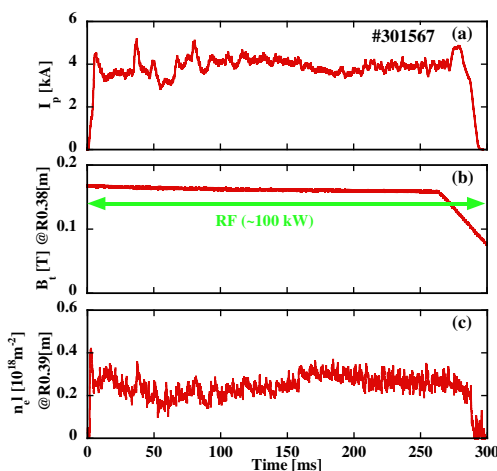


図 6.3 a: Time evolutions of (a) I_p , (b) B_t , (c) $n_e l$.

プラズマは、CIIIの発光分布から、通常のST放電と同程度の、比較的大きなプラズマであると推察される。また、軟X線のエネルギースペクトルから導出された電子温度(次節参照)は約160 eVであった(図6.3 b)。このスペクトルの絶対値から、軟X線は高エネルギー電子由来のものではなく、バルクプラズマからの制動放射であると考えられる。一方、不純物イオンの温度は非常に低く、10 eV以下である。測定された電子温度、電子密度は非常に高い β_p を意味しており、どのような平衡配位が実現されているかを調べる必要がある。電流の生成・維持機構は、現在のところ未解明である。電子温度がより高い場合には、プラズマは無衝突のパナナ領域にあり、プラズマが自発的に流すブートストラップ電流(I_{BS})が数kAに達することは、十分起こりうる。しかし測定された電子温度では、プラズマは衝突領域にあり、大きな I_{BS} は期待できない。また、垂直磁場の曲率に起因する曲率ドリフトは、電流を生成するが、計算によれば、これはこの実験の場合は無視できるほど小さい。

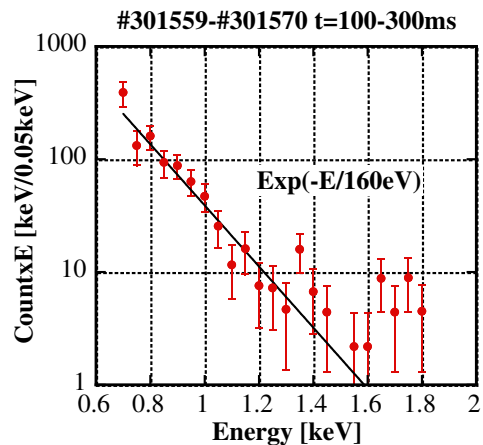


図 6.3 b: Soft X-ray energy spectrum.

外側コイルによるプラズマ立ち上げ実験

上記のシナリオではST装置の中心部に位置する変流器コイルだけでなく、トーラスの外側に位置する垂直磁場コイル(形状制御の役割も担い、PFコイルという)の誘導も使っていない。ST核融合炉では変流器コイルは存在しないが、PFコイルは平衡を保ち、プラズマ断面形状を制御するために必要なので、PFコイルの誘導電場を使った I_p 立ち上げを考える。この新手法は本研究グループが主導し、日本原子力研究所の大型トカマクJT-60Uで開発したものであり、世界的に注目されている。JT-60Uの実験では実験上の制約により、僅かながらトーラス内側のコイルも使用せざるをえなかったが、TST-2@Kでは完全に外側PFコイルのみしか使わない I_p 立ち上げに成功した。前もってPFコイルに電流を流し

ておき、マイクロ波で水素ガスを電離し、PF コイル電流を時間変化させることで、最大 $I_p = 9.5 \text{ kA}$ のプラズマを得ることができた。プラズマを生成する際にはヌル点（ポロイダル磁場がゼロの点）が必要であるというのが従来の常識であったが、本実験で大きな垂直磁場が存在する場合でも I_p 立ち上げが可能であることが実証された。これは大変意義の高い成果である。

電子バーンシュタイン波を用いたプラズマ加熱実験

ST プラズマを加熱する有力な手段として電子バーンシュタイン波 (EBW) を用いる方法が提案されている。EBW はプラズマ中に存在する縦波の一つで EC 共鳴によりプラズマに吸収されることが実験的にも知られている。しかし ST では EBW の励起法がこれまでの実験とは異なるので、これを実証する必要がある。そこで TST-2@K において 8.2 GHz, 200 kW のマイクロ波を用いてプラズマ加熱実験を行った。この実験では X-B モード変換シナリオに基づき、X モードをプラズマに垂直に入射した。このシナリオでは ST の弱磁場側周辺部で、右回り (R) と左回り (L) の二つの遮断層、及びその間にある高域混成 (UH) 共鳴層が三重層を成しており、X モードを EBW に効率よく変換させるためにはこの領域の密度勾配を急峻にする必要がある。このため、にマイクロ波入射アンテナの周囲をリミターで囲み (図 6.3 c 参照)、密度勾配を急峻化した。実験結果を図 6.3 d に示す。

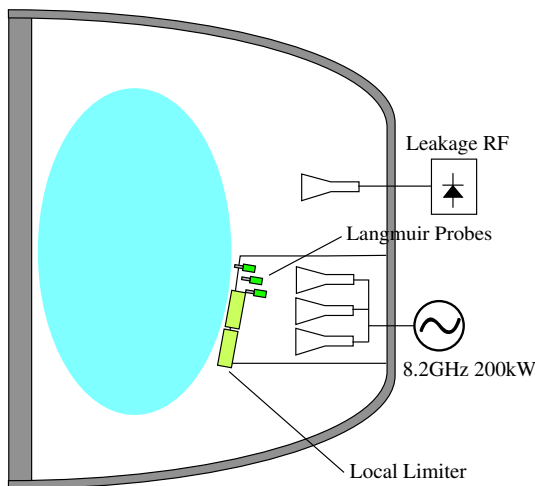


図 6.3 c: Schematic of EBW heating experiment.

95 kW の RF パワー入射と同時にプラズマ周辺部で発光している H_α 線の発光強度のステップ状の増大がみられ、プラズマからの輻射を計測する AXUV 及び SBD の信号レベルが徐々に増大している。この理由として、RF 入射により (1) 電子加熱が起こった、或いは (2) アンテナから出た不純物がプラズマ中に混入した、の二つの可能性が考えられる。平衡計算では約 10% の蓄積エネルギーの増加が観測されてい

る。これは入射パワーから期待される増大率の約 1/5 である。従って入射パワーは少なくとも一部は EBW に変換されているものの、周辺部で強く吸収されていると推察できる。

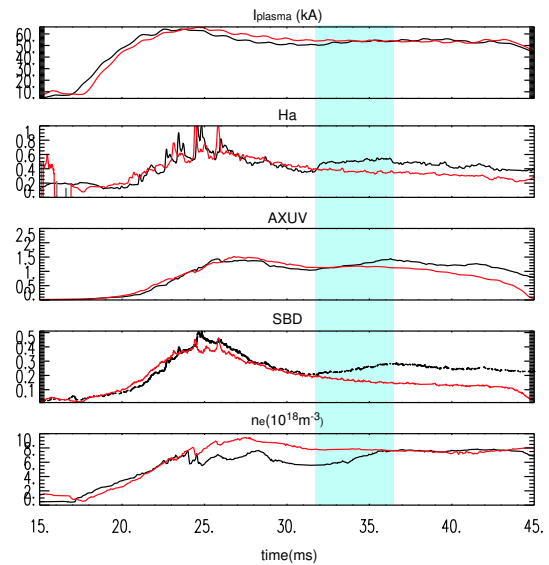


図 6.3 d: Comparison of plasma parameters with (black) and without (red) RF power injection.

6.3.2 プラズマ計測

TST-2 の電子温度・電子密度を測定するために、トムソン散乱を利用した計測装置を開発している。トムソン散乱計測では、レーザをプラズマ中に入射し、散乱光のドップラー広がりから電子温度、散乱光子数から電子密度を求める。夏の実験では YAG レーザの倍波 (波長 532 nm, 230 mJ, 10 Hz)、冬の実験では YAG レーザの基本波 (波長 1064 nm, 450 mJ, 10 Hz) を用いた測定を試みた。倍波の問題点は、主に制動輻射によるプラズマ光の量が散乱光より大幅に多く、S/N 比を大きく取れなかったことである。そのため、散乱光はわずかに測定することができたが、物理量を求めることはできなかった。基本波を用いた実験でも、依然として散乱光子数が少ないのでいまだ散乱光を測定することはできていないが、今後集光系や分光系を改良して、測定装置を完成させる予定である。

SiLi 検出器は SiLi の結晶に高電圧を付加することで、この結晶を通過する軟 X 線のエネルギー $h\nu$ [keV] に比例した電荷が生じる。プラズマから放射される制動放射 P_{brems} は、

$$\frac{dP_{\text{brems}}}{dh\nu} \propto \frac{n_e^2 Z_{\text{eff}}}{T_e} \exp\left(\frac{-h\nu}{T_e}\right) h\nu$$

で与えられる。ここで Z_{eff} は実効電荷数、 n_e は電子密度、 T_e は電子温度である。軟 X 線のエネルギー

スペクトルより T_e が得られることがわかる。また、SXR 領域のエネルギー積分した全制動放射は、電子密度や不純物の種類、濃度のほか、電子温度に関する情報を含んでいる。その時間変化及び空間分布を計測する装置を準備中である。

6.3.3 JT-60U トカマクにおけるプラズマ立ち上げ実験

JT-60U においても、前年度の成果を基盤として外側 PF コイルの誘導による I_p 立ち上げ実験を継続している。平成 15 年度の実験では I_p 立ち上げ条件の調査を系統的に行い、以下の結果を得た。(1) ガス注入量は 0.2 Pa m^3 で最大到達プラズマ電流 (I_p^{max}) は最大となる。(2) EC 共鳴によるガス電離用の高周波パワー P_{EC} は 1 MW 程度で I_p^{max} は飽和する。これはこの程度の P_{EC} で I_p 立ち上げに十分な電離が得られることを示す重要な結果である。(3) EC 共鳴層が中心部付近にある場合に比べ、周辺部に位置する場合には I_p^{max} は劣化する。プラズマ圧力が高くなると、プラズマが自発的にブートストラップ電流 (I_{BS}) を流すようになる。これが全プラズマ電流を上回る ($I_{\text{BS}}/I_p > 1$) をブートストラップオーバードライブ (BSOD) という。これが実証されれば電流駆動装置に対する要求を軽減することができるため、核融合炉にとっては大変重要な課題である。今回の実験で BSOD を過渡的に実現した可能性が高い。今後より明確な実験結果が必要であるが、BSOD 実証にとって期待の持てる成果である。

6.3.4 JFT-2M トカマク周辺部における揺動と輸送

磁場閉じ込めプラズマの揺動成分 (力学的平衡の時間スケールよりも速く、系の大きさに比べて細かい構造を持つ成分) は、高温磁化プラズマの安定性・閉じ込め性能及び構造形成に重要な役割を担うことが理論的に指摘されている。日本原子力研究所との協力研究として、中型トカマク JFT-2M にて三種類の測定器 (高速駆動プローブ、反射計、高速磁気プローブ) を用い、トカマクプラズマ周辺部におけるコヒーレント及び乱流的な揺動の性質を調べた。オーミック加熱 (I_p のジュール損失による加熱) されたプラズマの周辺部で、高速駆動静電プローブにより 10 kHz のコヒーレントな浮遊電位揺動を観測した。この揺動は、イオン飽和電流や磁気揺動には観測されていない。トロイダル方向とポロイダル方向の相関は 4 mm 離れた位置で相関はほぼ 1 で、位相差は極めて小さい。また、 15 kHz 以上の揺動レベル (規格化した揺動振幅) は浮遊電位揺動とイオン飽和電流揺動でほぼ等しいのに対し、 10 kHz の揺動レベルは浮遊電位揺動が 2-3 倍ほどイオン飽和電流揺動よりも高かった。 10 kHz 揺動のこれらの性質は、Geodesic Acoustic Mode (GAM) という電場揺動と類似している。GAM は磁力線に沿った方向の圧力揺動もし

くは速度揺動が非一様性を持つことにより励起される。GAM の角周波数 ω はイオン音速 / プラズマ主半径で記述されるが、イオン温度が電子温度の 3 倍程度であると考えると実験値とほぼ一致する。さらに、GAM は密度揺動レベルが小さくても電場揺動レベルとしては観測可能な大きさになる。乱流のレイノルズ応力によってポロイダル流の生成が予測されているが、その非一様性が GAM の発生に関与することは十分考えられる。また波数空間と周波数空間に一对一の対応関係があると仮定すれば、電位揺動と生成された流れの間の非線形結合が周波数空間での解析で観測される可能性がある。そこで浮遊電位揺動に関して、バイコヒーレンス解析 (三波の非線形結合の度合いを示す) を行った結果、 10 kHz と他の周波数の間に有意な非線形相互作用があることが判明した (図 6.3 e)。 10 kHz 揺動が GAM であるとするれば、これは 10 kHz 揺動が乱流のエネルギー輸送の変調に起因していることを示している。この結果より、仮定を含んだ議論であるが、レイノルズ応力によるコヒーレントな流れ構造の生成過程を実験的に観測したと言える。

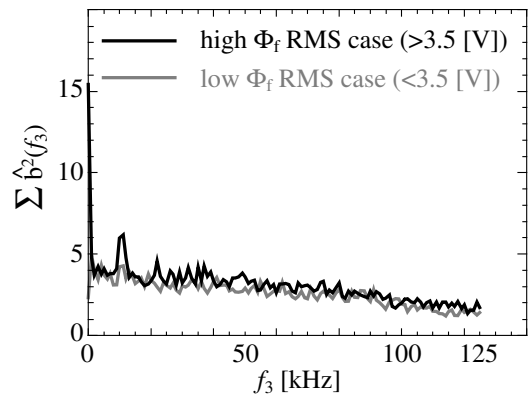


図 6.3 e: Sum of squared bicoherence as a function of $f_3 = f_1 \pm f_2$, during two time intervals: when the 10 kHz fluctuation amplitude is large (black) and when it is small (grey).

大きな周辺局在不安定性 (ELM) の存在しない高閉じ込めモード (H モード) 放電中に 2 種類の特徴的なコヒーレントな揺動が観測された。静電プローブ、反射層の異なる 2 チャンネルの反射計、高速磁気プローブの 3 種類の測定器を用いて、揺動のタイプ (密度、磁場、電位) や空間構造を調べた。2 種類の揺動のうち一つは JFT-2M の高リサイクリング定常 (HRS) H モード中に観測されている 300 kHz 程度の磁気揺動であり、もう一つは D_α 輻射強度の非常に小さい時間帯で観測されている 80 kHz 程度の密度揺動である。 300 kHz の揺動は最外殻磁気面の外側の広い領域で浮遊電位揺動として観測され、その減衰長は 2 cm 程度である。一方相関解析によって、 300 kHz 揺動が反射計で計測した密度揺動にも存在することを明らかにし、低密度側のチャンネルで相関

が検出されるものの高密度側のチャンネルでは相関が観測されない場合があることが判明した。これは 300 kHz の揺動がプラズマの内側深くに浸透していないことを示している。周辺部に局在した MHD 揺動としては、高いモード数を持つバルーニングモード等が考えられるが、MIT のトカマク装置 (Alcator C-Mod) でも類似の放電でバルーニングモードが観測されている。後者の 80 kHz の揺動は、高速磁気プローブでは観測できず、静電プローブでは強い電場のある領域においてのみ浮遊電位とイオン飽和電流に観測された。浮遊電位の揺動レベルはイオン飽和電流の揺動レベルに対して 4 倍ほど大きく、80 kHz の揺動が静電波であると仮定した場合、ドリフト波ではないと考えられる。候補としては GAM が考えられるが、周波数が GAM としては高い値である。

6.3.5 LHD ヘリカルプラズマにおける粒子輸送

プラズマ中には燃料 (水素同位体) イオンの他に不純物イオンが混在し、不純物線スペクトル放射および制動放射による放射損失や燃料イオンの希薄化を起こす。核融合反応を実現するためには高温・高密度プラズマを効率良く閉じ込めることが必要であり、プラズマ中での粒子輸送機構を理解することは重要である。トカマク及びヘリカルプラズマを含めたトロイダル (ドーナツ状) プラズマの粒子輸送機構を解明する意義は大きい。本研究では、文部科学省核融合科学研究所の大型ヘリカル装置 (LHD) において、不純物ペレット入射と長時間・空間分解能の可視放射計測を用いて、粒子輸送係数のプラズマ電子密度及び原子番号依存性を調べた。実験手法としては中性粒子入射により加熱されている定常プラズマに 3 種類の不純物 (C, Al, Ti) ペレットを入射し、その発光を詳細に計測する。不純物粒子は燃料イオンとの衝突周波数が高いため流体的な取り扱いが可能となるため、拡散対流モデルを用いて粒子輸送を評価した。ペレット入射後のプラズマ過渡応答から不純物粒子輸送係数を評価するために、高空間分解能制動放射計測器を用いて 0.1 msec の時間サンプリングで測定した。拡散対流モデルを用いて、制動放射の計測値と計算値の残差が最小となるように拡散係数 D と対流速度 V を導出した。この解析結果から、LHD プラズマでは規格化小半径 $\rho < 0.6$ (電子密度勾配を持たない領域) では対流速度がなく、 $\rho > 0.6$ (電子密度勾配を持つ領域) では内向き対流速度を持つというモデルによって実験結果を説明できることがわかった。図 6.3 f に示すように不純物の拡散係数は電子密度勾配や粒子の電荷に対しては弱い依存性を示し、対流速度はそれらに強く依存するという結果を得た。これらの結果はプラズマ粒子の衝突に基づく新古典論で現象論的には説明できるが、拡散係数は理論値より 1 桁以上大きかった。実際のプラズマは乱流状態にあるため、新古典論を上回る輸送が生じるのは自然であるが、この実験結果より LHD プラズマでは乱流による輸送が支配的であることがわかる。また粒子の価数と密度勾配が対流速度を決める重要な

理パラメータであることを示した。

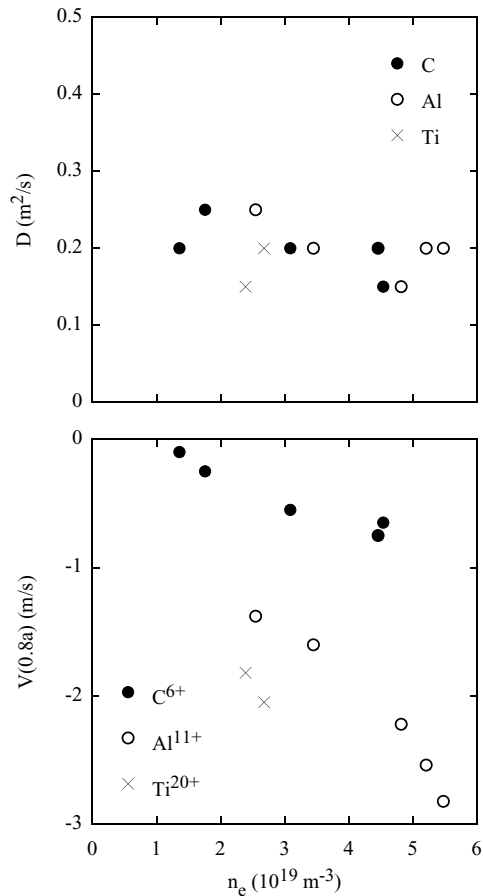


図 6.3 f: Dependences of D (upper figure) and V (lower figure) at $\rho = 0.8$ on n_e .

< 報文 >

(原著論文)

- [1] Plasma Current Rampup by the Outer Vertical Field Coils in a Spherical Tokamak Reactor, O. Mitarai, Y. Takase: Fusion Sci. Technol. **43**, 67–90 (2003).
- [2] S. Shiraiwa, Y. Nagashima, M. Ushigome, T. Yamada, T. Taniguchi, S. Ohara, K. Yamagishi, H. Kasahara, D. Iijima, Y. Kobori, T. Nishi, M. Aramatsu, A. Ejiri, Y. Takase: Electron Bernstein wave emission diagnostic assisted by reflectometry on TST-2 spherical tokamak, Rev. Sci. Instrum. **74**, 1453–1456 (2003).
- [3] N. Kasuya, K. Itoh, Y. Takase: Asymmetrical bifurcation of the radial electric field structure induced by electrode biasing in tokamaks, Plasma Phys. Control. Fusion **45**, 183–198 (2003).

- [4] N. Kasuya, K. Itoh, Y. Takase: Effect of electrode biasing on the radial electric field structure bifurcation in tokamak plasmas, *Nucl. Fusion* **43**, 244–249 (2003).
- [5] J.R. Wilson, R.E. Bell, S. Bernabei, M. Bitter, P. Bonoli, D. Gates, J. Hosea, B. LeBlanc, T.K. Mau, S. Medley, J. Menard, D. Mueller, M. Ono, C.K. Phillips, R.I. Pinsker, R. Raman, A. Rosenberg, P. Ryan, S. Sabbagh, D. Stutman, D. Swain, Y. Takase, J. Wilgen, NSTX Team: Exploration of high harmonic fast wave heating on the National Spherical Tokamak Experiment, *Phys. Plasmas* **10**, 1733–1738 (2003).
- [6] D. Mueller, M. Ono, M.G. Bell, R.E. Bell, M. Bitter, C. Bourdelle, D.S. Darrow, P.C. Efthimion, E.D. Fredrickson, D.A. Gates, R.J. Goldston, L.R. Grisham, R.J. Hawryluk, K.W. Hill, J.C. Hosea, S.C. Jardin, H. Ji, S.M. Kaye, R. Kaita, H.W. Kugel, D.W. Johnson, B.P. LeBlanc, R. Majeski, E. Mazzucato, S.S. Medley, J.E. Menard, H.K. Park, S.F. Paul, C.K. Phillips, M.H. Redi, A.L. Rosenberg, C.H. Skinner, V.A. Soukhanovskii, B. Stratton, E.J. Synakowski, G. Taylor, J.R. Wilson, S.J. Zweben, W.D. Dorland, Y.K.M. Peng, R. Barry, T. Bigelow, C.E. Bush, M. Carter, R. Maingi, M. Menon, P.M. Ryan, D.W. Swain, J. Wilgen, S.A. Sabbagh, F. Paoletti, J. Bialek, W. Zhu, R. Raman, T.R. Jarboe, B.A. Nelson, R.J. Maqueda, G.A. Wurden, R.I. Pinsker, M. Schaffer, J. Ferron, L. Lao, D. Stutman, M. Finkenthal, W. Wampler, S. Kubota, W.A. Peebles, M. Gilmore, T.K. Mau, K.C. Lee, C.W. Domier, B.H. Deng, M. Johnson, N.C. Luhmann, Jr., P. Bonoli, A. Bers, A. Ram, R. Akers, Y. Takase, A. Ejiri, Y. Ono, S. Shiraiwa, N. Nishino, O. Mitarai, M. Nagata, J.G. Yang, H. Na, D. Pacella: Results of NSTX Heating Experiments, *IEEE Trans. Plasma Science* **31**, 60–67 (2003).
- [7] T. Fujita and the JT-60 Team: Overview of JT-60U results leading to high integrated performance in reactor-relevant regimes, *Nucl. Fusion* **43**, 1527–1539 (2003).
- [8] Y. Takase, C.P. Moeller, T. Seki, N. Takeuchi, T. Watari, R. Callis, A. Ejiri, H. Ikezi, H. Kasahara, N. Kasuya, R. Kumazawa, T. Mutoh, K. Ohkubo, R.A. Olstad, M. Saigusa, K. Saito, S. Shiraiwa, T. Taniguchi, H. Torii, H. Wada, K. Yamagishi and T. Yamamoto: Development of a Fishbone Travelling Wave Antenna for LHD, *Nucl. Fusion* **44**, 296–302 (2004).
- [9] H. Tamai, M. Matsukawa, G. Kurita, N. Hayashi, K. Urata, Y.M. Miura, K. Kizu, K. Tsuchiya, A. Morioka, Y. Kudo, S. Sakurai, K. Masaki, T. Suzuki, M. Takechi, Y. Kamada, A. Sakasai, S. Ishida, K. Abe, A. Ando, T. Cho, T. Fujii, T. Fujita, S. Goto, K. Hanada, A. Hatayama, T. Hino, H. Horiike, N. Hosogane, M. Ichimura, S. Tsuji-Iio, S. Itoh, M. Katsurai, M. Kikuchi, A. Kohyama, H. Kubo, . Kuriyama, M. Matsuoka, Y. Miura, N. Miya, T. Mizuuchi, K. Nagasaki, H. Ninomiya, N. Nishio, Y. Ogawa, K. Okano, T. Ozeki, M. Saigusa, M. Sakamoto, , M. Satoh, M. Shimada, R. Shimada, M. Shimizu, T. Takagi, Y. Takase, T. Tanabe, K. Toi, Y. Ueda, Y. Uesugi, K. Ushigusa, Y. Yagi, T. Yamamoto, K. Yatsu, K. Yoshikawa: Progress in Physics and Technology Developments for the Modification of JT-60, *Plasma Sci. Tech.* **6**, 2141–2150 (2004).
- [10] A. Ejiri, S. Shiraiwa, Y. Takase, T. Yamada, Y. Nagashima, H. Kasahara, D. Iijima, Y. Kobori, T. Nishi, T. Taniguchi, M. Aramasu, S. Ohara, M. Ushigome, K. Yamagishi: Ion Temperature Increase During MHD Events on the TST-2 Spherical Tokamak, *Nucl. Fusion*, **43**, 547–552 (2003).
- [11] S. Sudo, T. Ozaki, N. Ashikawa, M. Emoto, M. Goto, Y. Hamada, K. Ida, T. Ido, H. Iguchi, S. Inagaki, M. Isobe, K. Kawahata, K. Khlopenkov, T. Kobuchi, Y. Liang, S. Masuzaki, T. Minami, S. Morita, S. Muto, Y. Nagayama, H. Nakanishi, K. Narihara, A. Nishizawa, S. Ohdachi, M. Osakabe, B. J. Peterson, S. Sakakibara, M. Sasao, K. Sato, M. Shoji, N. Tamura, K. Tanaka, K. Toi, T. Tokuzawa, K. Watanabe, T. Watanabe, I. Yamada, LHD Team, P. Goncharov, A. Ejiri, S. Okajima, A. Mase, S. Tsuji-Iio, T. Akiyama, J. F. Lyon, L. N. Vyacheslavov and A. Sanin: Recent diagnostic developments on LHD, *Plasma Phys. Contr. Fusion*, **45**, 1127–1142 (2003).
- [12] S. Sudo, Y. Nagayama, B. J. Peterson, K. Kawahata, T. Akiyama, N. Ashikawa, M. Emoto, M. Goto, Y. Hamada, K. Ida, T. Ido, H. Iguchi, S. Inagaki, M. Isobe, T. Kobuchi, A. Komori, Y. Liang, S. Masuzaki, T. Minami, T. Morisaki, S. Morita, S. Muto, Y. Nakamura, H. Nakanishi, M. Narushima, K. Narihara, M. Nishiura, A. Nishizawa, S. Ohdachi, M. Osakabe, T. Ozaki, R. O. Pavlichenko, S. Sakakibara, K. Sato, M. Shoji, N. Tamura, K. Tanaka, K. Toi, T. Tokuzawa, K. Y. Watanabe, T. Watanabe, H. Yamada, I. Yamada, M. Yoshinuma, P. Goncharov, D. Kalinina, T. Kanaba, T. Sugimoto, A. Ejiri, Y. Ono, H. Hojo, K. Ishii, N. Iwama, Y. Kogi, A. Mase, M. Sakamoto, K. Kondo, H. Nagasaki, S. Yamamoto, N. Nishino, S. Okajima, T. Saida, M. Sasao, T. Takeda, S. Tsuji-Iio, D. S. Darrow, H. Takahashi, Y. Liu, J. F. Lyon, A. Yu Kostrioukov, V. B. Kuteev, V. Sergeev, I. Viniar, A. V. Krasilnikov, A. Sanin, L. N. Vyacheslavov, D. Stutman, M. Finkenthal, O. Motojima and LHD Group: Recent diagnostic developments on LHD, *Plasma Phys. Contr. Fusion* **45**, A425–A443 (2003).
- [13] A. Ejiri, S. Shiraiwa, Y. Takase, Y. Nagashima, H. Kasahara, T. Yamada, D. Iijima, Y. Kobori, T. Nishi, T. Taniguchi and K. Yamagishi: Visible Fluctuation Measurements on the TST-2 Spherical Tokamak, *Jap. J. Appl. Physics*, **42**, Part1, 7557–7563, (2003).

- [14] B. Jones, P. C. Efthimion, G. Taylor, T. Munsat, J. R. Wilson, J. C. Hosea, R. Kaita, R. Majeski, R. Maingi, S. Shiraiwa, J. Spaleta, and A. K. Ram: Controlled Optimization of Mode Conversion from Electron Bernstein Waves to Extraordinary Mode in Magnetized Plasma, *Phys. Rev. Lett.* **90**, 165001 (2003)
- [15] H. Nozato, S. Morita, M. Goto, A. Ejiri and Y. Takase: Acceleration characteristics of spherical and nonspherical pellets by the impurity pellet injector, *Rev. Sci. Instrum.* **74**, 2032–2035 (2003).
- [16] K. Tsuzuki, H. Kimura, H. Kawashima, M. Sato, K. Kamiya, K. Shinohara, H. Ogawa, K. Hoshino, M. Bakhtiari, S. Kasai, K. Uehara, H. Sasao, Y. Kusama, N. Isei, Y. Miura, T. Ogawa, M. Yamamoto, T. Shibata, K. Kikuchi, K. Miyachi, T. Ito, H. Ajikawa, S. Nomura, H. Tsutsui, R. Shimada, T. Ido, Y. Hamada, N. Fukumoto, M. Nagata, T. Uyama, H. Niimi, S. Yatsu, N. Kayukawa, T. Hino, Y. Hirohata, Y. Nagashima, A. Ejiri, A. Amemiya, Y. Sadamoto and A. Tsushima: High performance tokamak experiments with a ferritic steel wall on JFT-2M, *Nucl. Fusion* **43**, 1288–1293 (2003).
- [17] S. Shiraiwa, S. Ide, S. Itoh, O. Mitarai, O. Naito, T. Ozeki, Y. Sakamoto, T. Suzuki, Y. Takase, S. Tanaka, T. Taniguchi, M. Aramasu, T. Fujita, T. Fukuda, X. Gao, M. Gryaznevich, K. Hanada, E. Jotaki, Y. Kamada, T. Maekawa, Y. Miura, K. Nakamura, T. Nishi, H. Tanaka, K. Ushigusa and JT-60 Team: Formation of Advanced Tokamak Plasmas without the Use of an Ohmic-Heating Solenoid, *Phys. Rev. Lett.* **92**, 035001 (2004)
- [18] Y. Nagashima, K. Shinohara, K. Hoshino, A. Ejiri, K. Tsuzuki, T. Ido, K. Uehara, H. Kawashima, K. Kamiya, H. Ogawa, T. Yamada, S. Shiraiwa, S. Ohara, Y. Takase, N. Asakura, N. Oyama, T. Fujita, S. Ide, H. Takenaga, Y. Kusama, Y. Miura and JFT-2M group: Coherent edge fluctuation measurements in H-mode discharges on JFT-2M, *Plasma Phys. Control. Fusion* **46**, A381–A386 (2004).
- [19] H. Nozato, S. Morita, M. Goto, Y. Takase, A. Ejiri, T. Amano, K. Tanaka, S. Inagaki and LHD Experimental Group: A study of charge dependence of particle transport with impurity pellet injection and high-spatial resolution bremsstrahlung measurement on the large helical device, *Phys. Plasmas*. **11**, 1920–1930 (2004).
- (国内雑誌)
- [20] 高瀬雄一:「ST研究の最近の進展—MASTとNSTX—」(解説)、*プラズマ・核融合学会誌* **79**, 336–344 (2003).
- [21] 江尻晶:「プラズマ計測のためのマイクロ波反射計」(解説)、*プラズマ・核融合学会誌* **79**, 742–749 (2003).
- [22] 江尻晶:「マイクロ波反射計を作ってみよう」(講座)、*プラズマ・核融合学会誌* **79**, 921–928 (2003).
- (学位論文)
- [23] 大原伸也:「回転ミラーを用いたTST-2プラズマの可視発光分布測定」(修士論文)
- [24] 永島芳彦:“A study of coherent and turbulent fluctuations in the edge region of JFT-2M tokamak plasma” (博士論文)
- [25] 野里英明:“A Study of Charge Dependence of Particle Transport using Impurity Pellet Injection and High-Spatial Resolution Bremsstrahlung Measurement on the Large Helical Device” (博士論文)
- < 学術講演 >
- (国際会議)
- 一般講演
- [26] Y. Takase: Solenoidless Start-up Experiments on the TST-2 Spherical Tokamak, 9th International ST Workshop, Culham, UK, Sept. 15–17, 2003.
- [27] Y. Nagashima, K. Shinohara, K. Hoshino, A. Ejiri, K. Tsuzuki, T. Ido, K. Uehara, H. Kawashima, K. Kamiya, H. Ogawa, T. Yamada, S. Shiraiwa, S. Ohara, Y. Takase, N. Asakura, N. Oyama, T. Fujita, S. Ide, H. Takenaga, Y. Kusama, Y. Miura and JFT-2M group Edge coherent fluctuation measurements in H-mode discharges on JFT-2M The 9th IAEA TCM on H-mode Physics and Transport Barrier, San Diego, CA. U.S.A., Sep. 24–26, 2003.
- [28] T. Yamada, A. Ejiri, S. Shiraiwa, Y. Takase: AM Microwave Interferometer, The 28th International Conference on Infrared and Millimeter Waves, Otsu, Shiga, Japan, Sep. 29–Oct. 2, 2003.
- [29] Y. Takase, M. Aramasu, A. Ejiri, H. Kasahara, S. Ohara, S. Shiraiwa, T. Yamada, K. Hanada, M. Hasegawa, H. Hoshika, H. Idei, A. Iyomasa, N. Maezono, K. Nakamura, M. Sakamoto, K. Sasaki, K.N. Sato: EBW and outer PF start-up on the TST-2 spherical tokamak, 45th Annual Meeting of the APS Division of Plasma Physics, Albuquerque, NM, USA, Oct. 27–31, 2003.
- 招待講演
- [30] Y. Takase: Profile Control and Plasma Start-up by RF Waves Towards Advanced Tokamak Operation in JT-60U, 15th Topical Conference on Radio Frequency Power in Plasmas, Moran, WY, USA, May 19–21, 2003.
- (国内会議)
- 一般講演
- [31] 白岩俊一、高瀬雄一、江尻晶、荒益将、出射浩、今村紀仁、彌政敦洋、江崎康一、大原伸也、笠原寛史、北口将博、坂本瑞樹、佐々木啓介、佐藤浩之助、関子秀樹、中村一男、長谷川真、花田和明、星加博之、前園伸美、山田琢磨:「TST-2球状トカマクにおける電子バンシュタイン波を用いた加熱電流駆動実験計画」、日本物理学会秋季大会、岡山大学津島キャンパス、2003年9月23日

- [32] 高瀬雄一、D. Gates、J. Menard、御手洗修：「NSTXにおけるCSなしプラズマ立ち上げシナリオの検討」、日本物理学会 2003 年秋季大会、岡山大学、2003 年 9 月 20-23 日
- [33] 江尻晶：「通信におけるマイクロ波技術」、マイクロ波研究会、ひたちなか市、2003 年 11 月
- [34] 高瀬雄一：「TST-2 球状トカマクにおける電流立ち上げ実験」、LHD への CT 入射作業部会、核融合研、2003 年 11 月 20-21 日
- [35] 山田琢磨、江尻晶、白岩俊一、笠原寛史、荒益将、大原伸也、高瀬雄一、出射浩、彌政敦洋、江崎康一、坂本瑞樹、佐々木啓介、佐藤浩之助、関子秀樹、中村一男、長谷川真、花田和明、星加博之、前園伸美：「TST-2 球状トカマクにおける電子温度・密度測定」、プラズマ核融合学会第 20 回年会、水戸、2003 年 11 月 25-28 日
- [36] 笠原寛史、荒益将、出射浩、彌政敦洋、江崎康一、江尻晶、大原伸也、坂本瑞樹、佐々木啓介、佐藤幸之助、白岩俊一、関子秀樹、高瀬雄一、中村一男、山田琢磨：「TST-2 球状トカマクにおける高電力マイクロ波入射実験」、プラズマ・核融合学会 2003 年第 20 回年会、茨城県立県民文化センター、2003 年 11 月 25-28 日
- [37] 高瀬雄一：「ST における閉じ込めの現状」、第 6 回 ST 研究調査専門委員会、核融合研、2004 年 1 月 15-16 日
- [38] 高瀬雄一：「先進領域における RF 物理」、日米科学技術協力事業核融合分野事業報告会、東京ガーデンパレス、2004 年 3 月 4-5 日
- [39] 高瀬雄一：「NSTX における高次高調速波電流駆動実験」、日米科学技術協力事業核融合分野事業報告会、東京ガーデンパレス、2004 年 3 月 4-5 日
- [40] 白岩俊一、荒益将、出射浩、彌政敦洋、江尻晶、大原伸也、笠原寛史、鎌田悠介、川崎昌二、坂本瑞樹、佐々木啓介、佐藤浩之助、高木康伸、高瀬雄一、中島寿年、中村一男、長谷川真、花田和明、東島亜紀、星加博之、関子秀樹、山田琢磨：「TST-2 球状トカマクにおける電子バーンシュタイン波を用いた加熱電流駆動実験」、日本物理学会、九州大学箱崎地区、2004 年 3 月 27 日
- [41] 野里英明、森田繁、後藤基志、高瀬雄一、江尻晶、天野恒雄、田中謙司、稲垣滋、LHD 実験グループ：「LHD プラズマにおける不純物ペレット入射と高空間分解能制動放射計測を用いた粒子輸送研究」、日本物理学会 2004 年春季大会、九州大学箱崎地区、2004 年 3 月 27-30 日
- [42] 永島芳彦、星野克道、江尻晶、篠原孝司、都筑和泰、上原和也、川島寿人、小川宏明、高瀬雄一、JFT-2M グループ：「JFT-2M 高三角度 OH 放電プラズマ周辺部における揺動の振る舞い」、日本物理学会 2004 年春季年会、九州大学箱崎キャンパス、2004 年 3 月 27-30 日

招待講演

- [43] 高瀬雄一：「ITER 計画への研究参加および国内体制の構築について」、原子力委員会核融合研究開発基本問題検討会（第 5 回）、中央合同庁舎、2003 年 7 月 25 日

[44] 高瀬雄一：「ITER 計画への研究参加および国内体制の構築について」、プラズマ核融合学会第 20 回年会特別企画「ITER を主導する核融合研究の進め方」、水戸、2003 年 11 月 25-28 日

[45] 高瀬雄一：「球状トカマク研究の現状と展望」、核融合プラズマを知る・操る技術調査専門委員会第 10 回会合、電気学会、2003 年 12 月 24 日