# 球状トカマクプラズマにおける中性粒子挙動と水素リサイクリングの研究

筑波大学プラズマ研究センター　中嶋洋輔

## 研究目的

トーラスプラズマにおける粒子およびエネルギー輸送の評価の為に、中性粒子の挙動を知ることは重要な研究課題である。特に周辺プラズマー中性粒子の挙動は、プラズマ壁相互作用の時間スケールが長いため、リサイクリングの制御等の長時間・定常状態のプラズマ生成の観点から非常に興味深い研究対象である。研究代表者らは、これまで定常トカマク実験装置 TRIAM-1M におけるＨα線計測並びに中性粒子輸送モンテカルロシミュレーション解析に基づいて、定常トーラス装置における中性粒子の挙動解析を始め、小型プラズマ壁相互作用実験装置 CPD におけるプラズマ挙動計測を進めてきた。本研究の目的は上記成果を踏まえて、球状トカマク実験装置であるプラズマ境界力学実験装置”QUEST”の周辺プラズマ計測および中性粒子輸送シミュレーションにより、リサイクリング挙動についての知見を得ることである。

## CCD カメラを用いた QUEST プラズマ光の２次元イメージ計測システムの確立

プラズマ境界力学実験装置QUESTは、主半径 0.68 m、磁場強度 0.25 T @ R=0.6 mで、トロイダルコイルが８個の球状トカマク装置であり、2.45 GHz, 20 kW のRFを用いた加熱・電流駆動により生成されたプラズマを用いて球状プラズマ生成の最適化実験を開始している。我々は、まずQUESTの初期プラズマの立ち上げと効率の良い実験条件の最適化に貢献することを目標に、年度の初頭において、中速度CCDカメラ（ディテクト社製 HAS-220）を用いたプラズマ光の２次元イメージを計測・モニターするシステムを立ち上げた。本システムは昨年度の共同研究においてCPDに設置されていたシステムをほぼそのままQUESTに移設し、トリガ系統及び光学系マウント等を変更したもので、比較的早期に確立することができた。

図１に本システムの概略図及び QUEST に取り付けた際の写真を示す。HAS-220 は最大で 1000 frame/秒（1kHz）、228 pixel × 164 pixel の解像度を持っている高速度 CCD カメラで、PCI バスを介してパーソナルコンピュータにより２次元イメージを取り込むようになっている。パーソナルコンピ

図１　CCD カメラを用いたプラズマイメージモニターシステムの構成図と QUEST の外観とシステムの配置図

ュータには、画像取り込みソフトと後述する画像解析・表示ソフトがインストールされており、QUEST からのトリガパルスを受けて取り込まれたプラズマ光の２次元イメージ画像データは、マウス自動制御ソフトによりショット番号を付けてハードディスク内に自動的に保存され、次のショットのトリガ待ち状態に入る。このパーソナルコンピュータは、通常カメラと近接して実験室に設置され（実験室 PC)、これとは別のＰＣ（制御室 PC）からリモートデスクトップ機能を用いて、遠隔モニターされる。

図２　本モニターシステムで表示された QUEST のファーストプラズマ光のモニター画面

図２は、本プラズマモニターシステムによって表示された QUEST プラズマ光のモニター画面の一例を示す。モニター画面を表示するソフトウェアは、Visual BASIC で制作され、最近のショットから１０ショット分まで遡って、画面内に同時に動画として表示され、過去の履歴が一目で確認できるようになっている。また、特定のショットについても、参照ショットとして常に表示することもできるようになっており、プラズマ生成パラメータを変えつつ条件の最適化を目指す運転をする上で、非常に便利な機能を備えている。実際、本モニターシステムによって、QUEST 装置におけるファーストプラズマの撮影に成功し、その後行われているプラズマ生成の最適化に大いに貢献することができた。

図３は、ＰＦコイル電流を徐々に増加させていった際のプラズマパラメータの時間変化を示す。この放電では、およそ 13kW の ECH を t=0.4s から印加を開始し、TF コイルには約 8kA 電流を通電した状態において、徐々に PF26 コイルに通電を開始したところ、t=0.8s 近傍のコイル電流が 100A を越えたところで、プラズマが点火した。点火直後には、プラズマ電流は

図３　Pf コイル電流をランプさせた実験において観測された QUEST プラズマの各種パラメータ時間変化

最大で、その後 PF26 のコイル電流の増加と共に減少し、Ｈαの強度もそれに付随して緩やかに減少していることが判る。

この時に得られたプラズマ光の２次元イメージ画像を図４に示す。各画像の左側が、センタースタック（ＣＳ）側に対応している。立ち上がり当初（t=0.774s）には、比較的赤道面上にシュリンクしているプラズマ発光は、プラズマ電流及びＨα発光強度の立ち上がりと共に上下（ｚ軸）方向に拡張する（t=0.894s）。その後プラズマ電流の減少と共にトーラス外側での減光があり、ＣＳ側に移動しているように見える（t=0.954s）。この時は未だ磁気面の形成はされていないと考えられる。

t = 0.774 sec　t = 0.834 sec　t = 0.894 sec　t = 0.954 sec　t = 1.054 sec

**図４　Pf コイル電流をランプさせた実験において観測された QUEST プラズマの 2 次元可視光イメージの時間発展**

## まとめ

プラズマ境界力学実験装置 QUEST に CCD カメラを用いたプラズマ光の２次元イメージ計測装置を取り付け、プラズマモニターシステムを確立し、QUEST のファーストプラズマの撮影に成功し、その後のプラズマ生成条件の最適化の過程に大きく貢献することが出来た。今後は、本来の目的である、周辺プラズマ挙動の計測やリサイクリングなどのプラズマ壁相互作用に関するデータ蓄積を進めてゆく。

## 研究組織

研究協力者：吉川 正志、東園 雄太[A]、庄司　主[B]、小林 進二[C]、坂本 瑞樹[D]、図子 秀樹[D]
所属：筑波大学プラズマ研究センター、[A]日本学術振興会特別研究員-PD、[B]核融合科学研究所、[C]京都大学エネルギー理工学研究所、[D]九州大学応用力学研究所、

## 成果報告等

1. Y. Higashizono, Y. Nakashima, *et al*., Jpn. J. Appl. Phys. **47**, No.5 (2008) 3615-3620.
2. 中嶋，他「トーラスプラズマにおける中性粒子とリサイクリング挙動計測」RIAM フォーラム、2008 年６月６日．九州大学
3. 中嶋、他「球状トカマクプラズマにおける中性粒子挙動と水素リサイクリングの研究」第2回QUEST研究会「STにおける電流立ち上げシナリオと計測」平成20年7月25-26日九州大学、応用力学研究所