

長時間維持球状トカマク研究計画“QUEST”の現状と将来

Present Status and Prospect on the Research Project of
Long Term Sustained Spherical Tokamak “QUEST”

佐藤浩之助¹、九大応力研 QUEST 実験チーム¹、全日本 ST 研究グループ²

Kohnosuke SATO¹, Kyushu Univ. QUEST Exp. Team¹, All Japan ST Research Group²

九大応力研¹、東北大+東大+名大+京大+兵庫県立大+東海大+核融合科学研+原子力機構²

RIAM, Kyushu Univ.¹, All Japan ST Research Group²

(1) はじめに

九州大学応用力学研究所高温プラズマ力学研究センター(平成19年4月改組:平成9-18年度は炉心理工学研究センター)では、高温トラスプラズマの長時間維持・定常的制御に関する研究課題にき、超伝導強トロイダル磁場実験装置 TRIAM-1M、小型 PWI 実験装置 CPD (球状トカマク)などを用いて研究を進めてきたが、学術審議会のいわゆる核融合研究ワーキンググループ報告書(平成15年1月8日)を契機に、「平成17年度までに TRIAM-1M の研究計画を終了すること」を決断し、センターの次期計画として、先進的な磁気閉じ込め配位としての球状トカマクの長時間維持研究を構想し、新装置『長時間維持球状トカマク装置 QUEST (プラズマ境界力学実験装置)』の建設を提案してきた。

核融合科学研究所では、全国のプラズマ・核融合分野の研究活動の一層の活発化を図るため、平成16年度より、「双方向型共同研究」を開始したが、この中にあって、九大の新装置の提案を審議するために、双方向型共同研究委員会のもとに「九大新装置検討会」を設置し、全国的規模での活発かつ熱心な検討・議論を推し進めてきた。その結果、提案の新 ST 装置は前述の報告書提言中の「斬新な研究展開の提案」に対応するものであり、さらに今後のわが国の球状トカマク・PWI 研究の総合的推進にとっても重要であって、提案として妥当と結論づけられた。また、大学における既存の ST 装置を用いた研究および PWI 研究活動との連携協力のもとに、全日本的な新しい ST 研究体制を構築しつつ推進すること、またこれらは、核融合科学研究所を中心とした双方向型共同研究の枠組みのもとに密接な連携を図りつつ推進し、わが国の大学・国公立研究機関等における核融合研究の学術基盤の長期的構築に寄与すべきこととされた⁽¹⁾。

(2) 研究目的・装置サイズ・スケジュールなど

新装置“QUEST”による計画に科せられた命題は、高ベータが可能で経済性の高い定常球状トカマク(ST)の学術基盤研究としての『超長時間維持 ST プラズマの理工学』であり、主要な課題は、

- 1) ST でのプラズマ生成および定常電流駆動に関する研究
- 2) ST の特徴的磁場配位に適合するダイバータの開発研究、およびダイバータ配位による長時間維持プラズマの先進的壁制御法および PWI 制御法の確立
- 3) 定常高ベータプラズマ実現のための学術基盤研究としての長時間維持 ST プラズマ探究とトロイダルプラズマの総合的理解

である。研究領域の概略を Fig.1 に示したが、装置の具体的パラメーターとしては、下限ベータ値、安全係数 q_{95} 、放射損失を考慮に入れた壁への熱負荷などの考察・選択を行い決定した (Table-1)。これらのパラメーターは、前述の「九大装置検討会」や「クエスト研究会」、プラズマ・核融合学会の「インフォーマルミーティング」などにおける議論を通じて、初期プラズマ生成の特性、そのためのポロイダルコイル群のアンペアターン数および配置と電源との整合、有効なダイバータ機能のための SOL

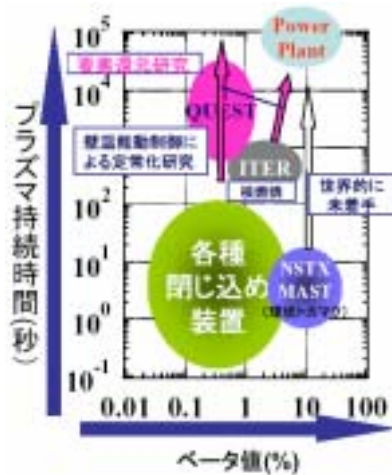


Fig.1 研究領域の概略

実験期	第1期	第2期 (連続)	第2期 (パルス)	長期展望
大半径 R (m)		0.68		0.64
小半径 a (m)		0.40		0.36
アスペクト比 R/a		1.70		1.78
真空容器半径 (m)	1.4			
真空容器高さ (m)	2.8			
磁場強度 (T)	0.25	0.25	0.5	0.25
プラズマ電流 (MA)	0.02	0.1	0.3	0.5
入力電力 (MW)	0.45	1	3	3
プラズマ非円形度	1.6	1.6	1.6	2.5
プラズマ三角度	0.4	0.4	0.4	0.7

Table-1 “QUEST” の装置パラメーター

幅とダイバータ面での磁力線の広がり幅並びにダイバータまでのレグ長と真空容器サイズ、排気能力確保のための上下ポート径とポロイダルコイルとの位置関係などについての吟味を行い、装置提案当初の値から、大半径および小半径の変更 ($R=0.64$ 0.68m , $a=0.36$ 0.40m , $R/a=1.78$ 1.70) 並びに標準非円形度の修正 ($\kappa=1.8$ 1.6) などを行った。また、これらの設計や考察を進めていく過程で、球状トカマクであることの大きな利点 (能動的制御の容易さ、高アクセス性、大プラズマ体積、比較的 low コスト等) や九大の既設設備の有効利用が計画全体としての有利な特徴となっていることが明らかとなった。

計画の鍵を握る事項は、電子バースシュタイン波 (EBW) を中心とした電流駆動、並びに能動的壁温度制御とダイバータ機能による長時間 PWI/粒子熱流束制御の2点であり、研究の第1期 (2005-09 年度) には現存 RF 電力 (450kW) で 20kA 程度 (定常)、第2期には RF の増力 (1MW) により定常で 100kA、パルスで 300kA 程度を計画している。

EBW 電流駆動に関しては、東大の装置 TST-2 を九大に持ち込んで行われた共同研究 (4kA at 170kW, 8.2GHz) や京大の LATE による成果 (20kA at 200kW, 5GHz)、また最近の MAST の成果 (35kA at 100kW, 28GHz) などがあり、さらに EBW のモード変換や Fokker-Planck コードによる計算でも可能性を支持する結果が出ている⁽²⁾⁽³⁾。さらに、球状トカマクの場合、NBI の役割も極めて有効であり、諸条件が許せば是非とも NBI を導入したいと考えている。また、長時間 PWI 制御の観点では TRIAM-1M での成果がベースになっており、積極的リサイクリング制御のための能動壁温度制御 (第1壁、ダイバータ板ともに 300~500) を計画すると同時に、慎重なダイバータの構想・設計 (第1ステップ~第2ステップ) を考えている。

このたび、3 年 (2005-07 年度) の装置建設期間を経て本年 3 月末に装置が完成し (Fig.2)、6 月 26 日に First Plasma の生成に成功した (Fig.3)⁽⁴⁾。今後、Bv を徐々に印加するなどして ST プラズマの電流立ち上げ、電流駆動や PWI 研究に本格的に取り組んでいきたい。なお、研究のスケジュールを Table-2 に示した。

(3) おわりに

本計画は、今後のわが国の球状トカマク研究の総合的推進にとっても重要であり、また、大学における既存の ST 装置を用いた研究活動との連携協力のもとに推進することが望まれていることから、Fig.4 のような組織、特に「QUEST 実験推進会議」ならびに「高温センター実験会議」を九大として提案し、双方向型共同研究委員会等で認めていただき推進してきた。

その役割としては、「QUEST 実験推進会議」は全国の ST・PWI・加熱電流駆動・計測・材料などの研究分野の研究者の協力の下に構成され、主として実験をコーディネート



Fig.2 完成した”QUEST”装置 (2008.3.31)

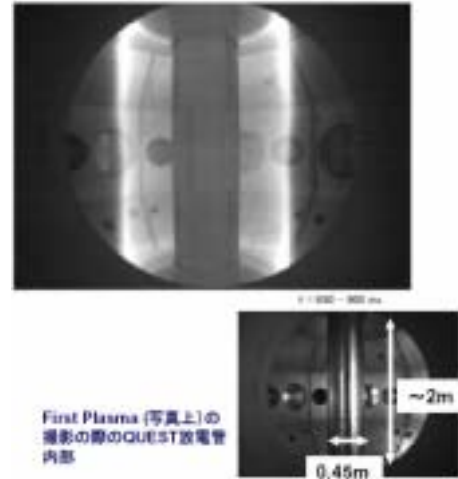


Fig.3 QUEST の First Plasma (2008.6.26)

項目	平成	第 1 期					第 2 期					それ以降
		17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	
装置建設												
真空ベータ									目標10%			(20%)
プラズマ立ち上げ						RF			RF+NBI			CT
電流駆動						RF			RF(8.2GHz)+NBI			100kHz
PW						W			W, 高温壁			熱制御, 粒子制御
ダイバータ							開			閉		閉(未定)
燃料注入										CT入射		運転ベント

Table-2 QUEST における研究スケジュール

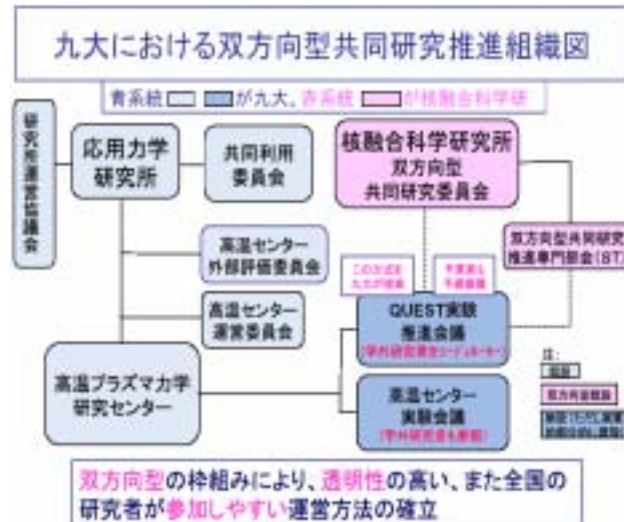


Fig.4 九大の双方向型共同研究推進組織図

ネットする。さらに、双方向型共同研究申請課題の予備審査も併せて行う。コーディネーターは学外研究者、幹事はセンターからとする。また、装置の運転は九大が責任を負うことから、「高温センター実験会議」はセンター構成員ならびに全国の関連研究者の協力の下に構成され、主として実験に係わる運用を行うことにしている。

ところで、先にも述べたが本計画を提案してから具体的・詳細な設計を固め実行に移すまでには、たとえば「九大装置検討会」や「クエスト研究会」、プラズマ・核融合学会年会の「インフォーマルミーティング」などをはじめとする多くの方々の議論の積み重ねが重要な役割を果たしたこと、またこれが結果として共同研究や研究協力の盛り上がりを導いたものと考えている。あらためて双方向型共同研究をはじめとする関係者の尽力に御礼申し上げるとともに、今後も広くご理解と共同研究への積極的な参画をお願いしたいと考えている。

<文献> (1)「九大装置検討会」報告書(平成17年1月) (2) H.Igami *et al.* PPCF **48** (2006) 573-598. (3) H. Idei *et al.* Proc. 32nd International Conf. on Infrared and Millimeter Waves, 2007. (4) K.Hanada *et al.* 22nd IAEA FEC FT/P3-25.