

# S1-3

## JT-60SAの段階的装置増強計画 Staged machine enhancement plan of JT-60SA

大山 直幸  
Naoyuki Oyama

量研  
QST

核融合エネルギーの早期実現に貢献すべく、ITERの技術目標達成のための支援研究と原型炉に向けたITERの補完研究を実施するため、JT-60SAには多彩な加熱・電流駆動装置、真空容器内機器、計測装置が設置される。

加熱・電流駆動装置の配置を図1に示す。中性粒子入射装置(NB)は、12台の正イオン源を用いるNB(P-NB)と2台の負イオン源を用いるNB(N-NB)に大別される。さらにP-NBは、入射方向の違いにより、接線方向に入射する4台と垂直方向に入射する8台に分類される。一方、電子サイクロトロン周波数帯加熱・電流駆動装置(ECRF)は、ジャイロトロン9基で発振された電磁波を4台のランチャーによって入射する。また、図2に示すように、真空容器内には、上下のダイバータ、クライオポンプ、安定化板(SP)、高速位置制御コイル(FPPCC)、誤差磁場補正コイル(EFCC)、抵抗性壁モード制御コイル(RWMC)といった機器が設置される。

これらの加熱・電流駆動装置や真空容器内機器は、表1に示すように、研究フェーズに合わせて段階的に増強する計画となっている。なお、

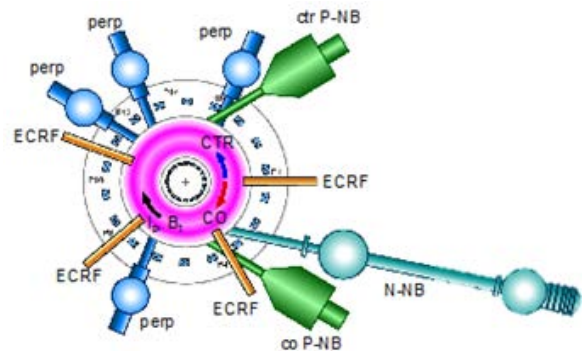


図1 JT-60SAの加熱・電流駆動装置の配置

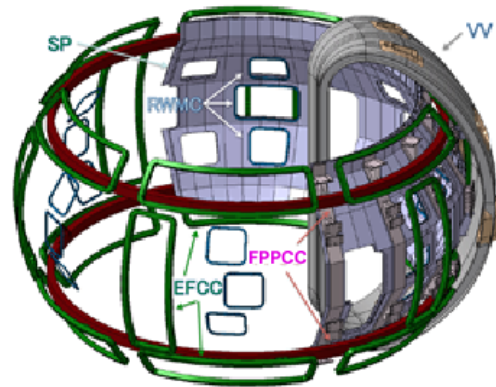


図2 JT-60SAの内部コイルや安定化板の配置

	Phase	Expected operation schedule	Annual Neutron Limit	Remote Handling	Divertor	P-NB Perp.	P-NB Tang.	N-NB	NB Energy Limit	ECRF 110 GHz & 138 GHz	Max Power
Initial Research Phase	phase I	2020-2021 (5M)	H	-	Upper Carbon	0	0	0	0	1.5MWx5s 2Gyrotrons	1.5MW
		2023 (2M)				3MW 4units	3MW 4units			1.5MWx100s 2Gyrotrons + 1.5MWx5s 2Gyrotrons	19MW
Initial Research Phase	phase II	2023 (6M)	D	3.2E19	Lower Carbon Div. Pumping	6.5MW 4units		10MW 2units	20MW x 100s 30MW x 60s duty = 1/30		26.5MW
		2024-2025 (8M)									33MW
Integrated Research Phase	phase I	2026- 2028	D	4E20	Lower monoblock-Carbon Div.Pumping	13MW 8units	7MW 4units	10MW 2units	20MW x 100s 30MW x 60s duty = 1/30		37MW
	phase II	2030 -	D	1E21	Lower monoblock-Tungsten-coated Carbon Div.Pumping					7MW x 100s 9Gyrotrons	
Extended Research Phase		>5y	D	1.5E21	SN/DN monoblock-Tungsten-Coated Carbon Advanced Structure	16MW 8units	8MW 4units		34MW x 100s		41MW

Upper Divertor (open divertor, inertia cooling) is always ready

表1 主要機器の段階的な増強計画を含む各研究フェーズ

S1-4 で述べるように、ITER research plan [1] や原型炉研究開発ロードマップ[2]と表 1 に示す段階的な増強計画は整合している。

主要な外部電流駆動源である N-NB、主要な外部トルク入力源である接線 P-NB および計測ビームとしても利用する垂直 P-NB の一部を Initial Research Phase の phase I (後期)までに優先的に整備する。そして、残りの垂直 P-NB を Initial Research Phase の phase II (後期)までに整備する。一方 ECRF は、Initial Research Phase の phase I (後期)までにジャイロトロン 4 基に増設し、その後、Integrated Research Phase までに 9 基に増設する。以上の段階的な装置増強により、Integrated Research Phase では、27MW×100 秒間もしくは 37MW×60 秒間の高パワー・長パルス加熱・電流駆動が可能になる。これまでの R&D において、110GHz および 138GHz で出力 1MW×100 秒、82GHz で出力 1MW×1 秒の運転が可能でジャイロトロン開発に成功している。また、P-NB については定格出力の 100 秒間の運転に見通しが得られており、N-NB についてもビーム密度 130A/m<sup>2</sup> の目標に対し、現状は 90A/m<sup>2</sup> ではあるが、500keV で加速したビームを 100 秒間以上引き出すことに成功している。

真空容器内機器としては、Initial Research Phase の phase I (後期)までに全ての機器が設置される。しかし、下側ダイバータターゲットについては、Initial Research Phase の間は炭素タイルであり、Integrated Research Phase までに強制冷却されたモノブロックターゲットに置換することにより、15MW/m<sup>2</sup> の高熱流束を 100 秒間除熱することが可能になる。

また、Integrated Research Phase の phase II では、真空容器内のプラズマ対向壁を炭素からタングステンに置換する計画である。第一壁は、薄いタングステンをコーティングした炭素タイルを設置し、ダイバータターゲットは炭素のモノブロックに厚いタングステンをコーティングもしくは接合したものを使用する予定である。これまでに真空プラズマスプレー法でタングステンをコーティングした炭素モノブロックタイルをドイツのマックスプランク物理研究所の GLADIS 装置にて 15MW/m<sup>2</sup> の高熱流束イオンビーム照射試験を実施し、明確な損傷が発生しないことを確認している。

計測装置については、表 2 に示すような計測器群を設置する。Initial Research Phase の間は安全に装置を運転するために必要な計測装置を優先し、例えば、真空容器内の大部分を監視で

Initial Research Phase I の統合コミッショニング期
CO <sub>2</sub> レーザー干渉計
可視 TV カメラ
Z <sub>eff</sub> モニター (可視分光)
ダイバータ静電プローブ
軟 X 線検出器アレイ
各種電磁気センサー
Initial Research Phase-I/II
CO <sub>2</sub> レーザー干渉計/偏光計
可視・赤外 TV カメラ
Z <sub>eff</sub> モニター (可視分光)
ダイバータ静電プローブ
軟 X 線検出器アレイ
各種電磁気センサー
中性子モニター
YAG レーザートムソン散乱計測
電子サイクロトロン放射(ECE)計測
荷電交換再結合分光(CXRS)
D $\alpha$ /H $\alpha$ ポロイダルアレイ
真空紫外分光
X 線結晶分光
モーショナルシュタルク効果偏光計
ポロメータアレイ
中性粒子圧力計

表 2 計測装置の段階的な整備計画

きるよう、5 台の可視カメラとライトガイドを設置する。Initial Research Phase で安全な運転が確認できた後、Integrated Research Phase までに、可視カメラの一部を撤去し、ミリ波反射計やリチウムビームプローブといった物理研究用の計測装置に置き換える。

JT-60SA のポートは限られているため、計測装置、加熱・電流駆動装置、真空容器内機器等の置換や増強については、2021 年に設置予定の JT-60SA 実験チームにおいて必要性と優先順位について議論した上で、どの装置を設置・増強するかを決定することになる。

これらの段階的装置増強も日欧協力の下で推進する計画であり、欧州が調達を担当する機器についての議論が日欧で進められている。また、大学等との研究協力の下で各種 R&D や計測装置の概念設計などが進展しており、国内研究機関からの更なる参画をお願いしたい。

[1][https://www.iter.org/doc/www/content/com/Lists/ITER%20Technical%20Reports/Attachments/9/ITER-Research-Plan\\_final\\_ITR\\_FINAL-Cover\\_High-Res.pdf](https://www.iter.org/doc/www/content/com/Lists/ITER%20Technical%20Reports/Attachments/9/ITER-Research-Plan_final_ITR_FINAL-Cover_High-Res.pdf)

[2][http://www.mext.go.jp/b\\_menu/shingi/gijyutu/gijyutu2/074/houkoku/\\_icsFiles/afieldfile/2018/08/24/1408259\\_1\\_1.pdf](http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/gijyutu/gijyutu2/074/houkoku/_icsFiles/afieldfile/2018/08/24/1408259_1_1.pdf)