

トピックス

特別討論会：JT-600SA 計画の紹介と今後の取り組み（要旨）

JT-600SA 計画の進捗状況と研究計画

核融合エネルギーフォーラム調整委員会委員(原子力機構 GL) 鎌田裕



本日紹介させて頂く JT-60SA (JT-60 Super Advanced)サテライトトカマク計画は、日本とヨーロッパとが進めているものです。本日の佐藤先生の興味深い講演をお聞かせ頂いて、科学技術の歴史の中で日本が核融合研究を進めることで将来、教科書に載るようになれば良いと感じました。これから JT-60SA,ITER,原型炉と進めるうえで、日本のコミュニティーがこのような科学技術開発に貢献できるといいなと思いました。立花先生のお話にもありました事業仕分けに JT-60SA も議題にあがりました。幸い計画通りで宜しいとのことでしたが、最大の理由としましてはヨーロッパと共同で進めているところが大きくて、核融合を早く実現しなければいけないというところで評価して頂いたわけではないと感じました。今日は、JT-60SA 計画がぜひ魅力的だなと思って頂いてお帰り頂きたいと思います。

JT-60SA (JT-60 Super Advanced)サテライトトカマク計画は、幅広いアプローチ活動におけるサテライトトカマク計画とトカマク国内重点化装置計画の合同計画でありまして、その目的は、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 の補完研究の二つでございます。JT-60SA はこれまでやってきました JT-60 を超伝導装置として改修します。我が国唯一の大型トカマク装置であり、世界の核融合実験装置の中で、ITER に対して最も大きな支援を行なう能力を有するとともに、ITER では実施が難しい高圧カプラズマ定常化研究開発を実現できる世界で唯一の装置で、もうひとつ重要なことは ITER・原型炉開発を主導する人材を育成することにあります。縦軸にプラズマ圧力の指数（磁場の圧力で支える）と横軸に維持時間をとった図をみますと、JT-60SA の目標値は、これまで JT-60 で達成された値との間に大きな川が流れている様に見えます。この川の上に行くにはプラズマ安定性を非常に高める必要があります。ITER はこの川の下で燃焼プラズマを実現する事を考えています。一方、経済的な原型炉は川の上にあります。この理由はプラズマ圧力の二乗が核融合炉の出力密度に比例しますので、圧力を2倍にすると出力は4倍になりますので、同じ出力を得る為にプラズマサイズが1/4で良いことになり、非常にコンパクトな炉ができることになります。原型炉を経済的にも魅力的にするためには高い圧力が必要でこの川の上に行く必要がありますので、ITER では難しい領域で100秒程度の高圧カプラズマの維持研究をするのがこの装置の一番の目的です。JT-60SA はJT-60 と比べて大半はほとんど変わりませんが、縦長にしてシェイピング（形状）と呼ぶプラズマの断面形状が特徴的です。世界各国の超伝導トカマクとITER との中間程度のサイズとなっています。

JT-60 ではこれまで年間150名くらいの国内研究者が共同研究を実施してきました。SA では原子力機構も含めて200-300名程度の国内研究者と欧州を中心とする外国研究者200-250名の人員になると考えられます。

JT-60 施設を再利用し、日欧で新規設備の調達を分担します。JT-60SA 本体、超伝導コイル、電源、加熱設備を日欧で分担して製作し、JT-60 施設の主要な設備機器を再利用します。

日本政府と欧州政府の下に BA 運営委員会がございりますが、そのもとでサテライトトカマク計画の運営が行われています。そこでは事業チームを中心に約 3 ヶ月毎に技術調整会議 TCM を日欧交替開催し（15 名程度）、事業調整会議 PCM をほぼ毎週 TV 会議で開催しております。日本の研究者コミュニティにおいては、設計段階から国内の大学や研究機関の意見を取り入れております。ここ 3 年ほど、国内での議論や日欧の実施機関での議論を踏まえ、上位委員会の承認を得て、現在ほぼ最終的な設計が固まっております。

H19 年から BA 計画が始まっていますが、その期間（10 年間）に、JT-60 を解体し、日欧で製作した種々の機器を組み立て総合試験を経て実験開始となります。現在、超伝導コイルサンプル試験に成功（核融合科学研究所との共同研究）しまして、超伝導コイル巻線棟が竣工し、超伝導導体制作棟が竣工 630m の製造ラインで長さ 500m の EF-H 導体制作に成功しております。一方、真空容器は材料が納入され、2 重構造の容器の溶接等の R&D を行っております。他方、欧州では、クエンチ保護回路に関する PA 調印を 12 月に完了し、クライオスタットベースに関する PA 調印は 12 月に完了、高温超伝導電流リードに関する PA 調印は 2 月完了を予定しております。トロイダル磁場コイルに関する PA 調印を 2010 春予定で、技術仕様が確定し、導体制達の契約事務が開始し、トロイダル磁場コイル試験に関する PA 調印を 2010 春に予定しております。

JT-60 装置は DD 実験によって放射化しておりますので那珂核融合研究所敷地内に、保管用地(1)及び(2)の整備を完了し、放射化物の保管に使用する既設建屋及び保管用地(1)は管理区域を設定しました。真空容器組立棟は契約が整いこれから建設に着手します。解体作業は既に開始されておまして、H22-H23 年度の JT-60 装置本体及び周辺機器の本格的な解体に備え、解体準備作業を実施しております。組立室の負 NBI 用高電位テーブル及び中性子遮蔽壁を取り外し、保管しました。4 月から本格的に内部の解体が開始されます。

JT-60SA の設計方針は、ITER・原型炉を飛躍することなく「直接見通せる領域」であることが重要です。プラズマ物理の観点からは無次元量（規格化衝突度、規格化ラーマ半径、ベータ値）で ITER・原型炉とほぼ同等であり挙動が見通せることが重要です。また、特にダイバータプラズマ等の原子分子過程が出てくる領域では有次元量（温度、密度）で ITER・原型炉とほぼ同等であることが必要となります。もう一つは、本装置が実験装置であることから実証する／証明／確認することが出来る（総合性能、制御、モデリング予測）、これまで出来なかったことができる／これまで分らなかったことが分かることが重要です。先ほど述べました川を渡るためには（自由境界限界以上、電流拡散時間以上、壁粒子飽和時間以上 etc.）いろいろな研究領域のニーズを研究して本装置の設計を決定しております。

これまでの JT-60 ではシェイプファクター（形状因子）は 2 程度ですが、ITER は 4、JT-60SA は原型炉で考えている 7 です。プラズマ圧力を上げるとプラズマに自発電流が流れますが、このことが定常化のキーとなります。原型炉に必要な高い総合的プラズマ性能を定常維持する実験を実施し、どこまで経済的な原型炉を構想できるかを決定することが重要な研究課題となっております。そのためにはプラズマをどう加熱するかが重要でして、JT-60/SA では世界で最も多彩な、加熱・電流駆動・運動量注入の組み合わせが可能ですから、ITER・原型炉とほぼ同等の条件を作り出せます。JT-60SA は、電子加熱主体、電子加熱割合のスキャン、低中心粒子供給での高パワー加熱、低外部トルク入射での高パワー加熱が可能となっております。また、JT-60SA では、ITER&原型炉級の無次元量領域での研究を、欧州の主力装置 JET よりもさらに ITER&原型炉に近い領域で実施できます。

時間の関係上詳しく説明できませんが、ELM と呼ばれるプラズマ周辺部に発生する不安定性について説明します。ITER の最大の課題のひとつで、これによってダイバータ板に大きな熱パルスが来ってしまうので SA の制御コイルで ITER の R&D が可能です。しかし原型炉では制御コイルは用いることができないので JT-60 で開発してきた小振幅 ELM 等をさらに研究することで原型炉に向けた研究を行います。これらを大学の専門家らと進めていますが、段階的に重要な研究を進めて行きます。始めは軽水素で超伝導機器や冷却の健全性を確認後、重水素で短パルス実験を実施します。その後、加熱パワーの増強、超パルス化を実施し、5 から 7～8 年後には本装置のミッションが達成されると期待されます。重要な点は ITER とフェイズが合っていることで、SA/ITER/原型炉を見据えて総合的に研究展開することです。研究者のライフサイクルや、世界を主導して来ている日本の研究レベルの維持・向上が重要で、これを考慮した長期的計画性が必須であります。

JT-60SA リサーチプランの検討体制としましては、国内原案をもとに、核融合エネルギーフォーラムの各クラスターから代表者を推薦していただき議論を開始しました。H22 年はさらにコメントをいただき欧州と議論する予定です。この国内原案を、より広く国内研究コミュニティで、特に若手研究者世代を中心に検討・発展させるべく、核融合エネルギーフォーラム物理クラスター

からの推薦により専門研究領域毎に、原子力機構 1 名及び大学等 1 名の検討代表者を決定します。上記代表者を中心に物理クラスター、工学クラスター、社会と核融合クラスター会合や JT-60SA 研究計画検討会（第 1 回を 3 月 2 日に実施）等で策定作業を進め、さらに、核融合ネットワークからも意見を頂く。平行して欧州と議論（日欧の JT-60SA 物理ユニット）（H22 年～）を進めます。ぜひ核融合研究フォーラムの様々なクラスターで SA の研究計画を ITER の研究計画と一緒に構築して頂きたいと考えております。

質疑応答：

Q：SA の目標領域の β 値はこれまでの実績から遠いように見えるが、実際に難しいのか、あるいは今迄の経験から confidence があるのか？

A：ターゲットの規格化 β 値は 3.5-5.5 であるが、先ほど示しました 7 角形の図で JT-60SA の目標ベータ値 4.3 は実現可能と思われれます。それに関しましては新古典ティアリングモードや抵抗性壁モード等の主要不安定性が回避できるか重要ですが、特に後者の不安定性を回避するための外部コイルの導入を予定しております。もっと重要な点は将来（原型炉まで考えたときに）、その安定化コイルを用いずともその不安定性を克服することで、それにはプラズマ回転（アルファベン速度の 0.2-0.3% 程度の低い回転速度でも）によって不安定性が安定化できることが JT-60U のこれまでの実験で分かっております。そういう観点から規格化 β 値 4.3 は達成できると考えられますが、5.5 まで行けるかどうかは電流分布制御等を考慮する必要がありもう少し検討が必要かもしれません。