

<b>Q ≥ 10</b>	レポート <b>核融合技術開発競争(4)</b> <b>2022年核融合フォーラムから</b> SCE-Net 郷茂夫	R-89 発行日： 2023年 1月17日
---------------	--	--------------------------------

(左上枠のイラストは, ITER の Q 値の目標です. Q 値とは, 核融合炉への投入エネルギーに対する発生エネルギーの比です. 先日アメリカの核融合試験機で Q 値 1 を超えたというニュースがありました. 以下の 6 項で触れています. Q 値 10 を達成するのは大変な仕事です. まだまだ時間がかかると思います. でも実現にともあれ「一步踏み出した」といえます.)

2022 年 12 月 22 日, 東京官庁街のイイノホールで核融合エネルギーフォーラム, ITER/BA 成果報告会 2022 年「新たな未来を創造する核融合エネルギー」が開催されました.

これは核融合関係者のお祭りのようなものですが, 同日はリアル開催と別途 YouTube によるライブ配信が行われました. ライブ配信は, いつまで配信されるかわかりませんが, 以下です.

[\(2399\) The annual symposium on the ITER Project and BA Activities “Fusion energy that creates a new future” - YouTube](#)

期限切れの場合は, 以下のホームページから検索して見ることができます. 過去分も,

[会合案内・報告 | 核融合エネルギーフォーラム \(qst.go.jp\)](#) または,

[\(2399\) 核融合エネルギーフォーラム - YouTube](#)

本レポートは, 上記フォーラム内容の客観的報告書ではなく, 私はこの核融合フォーラムの一般会員なので過去数年参加してきたことがあり, 報告内容の流れの変化を通じて感じた筆者の印象と核融合に関わるニュース報道への筆者の論評を順不同で記すものです.

フォーラム大会自体は上記のライブ配信 (の再配信版) をご覧ください.

今回フォーラムの主たる内容は,

- 基調報告
  - ・ ITER の建設状況 ITER機構 (フランスからビデオ)
  - ・ 日本の核融合研究開発政策 文科省研究開発局
  - ・ ITER 計画及びJT-60SAに関する B A活動の進展と原型炉への展望 QST 那珂研
  - ・ B A活動における大強度加速器開発と拓がる産業応用 QST 六ヶ所研
- 技術報告 (6 社より, 開発テーマを簡潔に追記した)
  - ・ (株) アライドマテリアル; 超高耐熱材, ダイバータ用や高周波加熱銃ノズル,
  - ・ キヤノン電子管デバイス (株); プラズマ加熱用超高周波加熱器 (ジャイロトロン),
  - ・ 帝国イオン (株); 超高温プラズマ測定用電子機器,
  - ・ 東洋炭素 (株); ブランケット用 超高熱伝達性カーボン材料,
  - ・ マイクロ波化学 (株); ベリリウム鉱石の超高純度, 低温 (2200→300°C) 融解法,
  - ・ ユニバーサルマテリアルズインキュベーター (株); 効率の悪い塩湖かん水リチウム資源

から低コストで短期間にリチウムを回収可能な新技術であるイオン伝導体分離法。

## 1. 核融合／世界技術開発競争時代になったこと

4, 5 年前まで、核融合はいわば「夢のエネルギー」の話でした。あまり現実感はなく、「Moving Target」と言っても、核融合発電はいつ？と何時訊いても「あと 30 年先」という答えで済んでいました。いつのことやらわからぬダラダラの延期でした。

しかし、ここ 1, 2 年で様子が変わりました。世界の有力研究機関が核融合の研究開発競争に入り、資金を投入し覇を競う時代になってきています。

今、世界の公私の研究機関とベンチャー企業併せて 40 社以上が核融合の実現に向けて活発な動きをしているという、もはや ITER プロジェクトもその一つに過ぎなくなったともいえます。核融合用の材料や部品がそれらの主体者に向けてのいわば「マーケット（商売）」にまでなっている状況です。

## 2. ITER の進捗

フランスにおける ITER <sup>注1)</sup>の建設は、2025 年完工、2026 年初プラズマ、2035 年 D-T 核融合反応試験開始に向けて略順調のようですが、コロナの影響や一部の配管系にクラックがあったなどでの遅れている部分があります。

注1) ITER については窓レポート「R-74 核融合技術開発競争（その2） ITER 中心の日本の開発動向」で機構の構成や決まりなどをまとめています。

ITER 関係者（文科省）が漏らしたことだが、今の ITER 機構では、重要機器も、まったく同じ機器も含めてたくさんの機器を 7 ケ国で分担、製作し、フランス現地に供給する方法をとっています。例えば、重要超電導機器トロイダルコイル 18 基のうち、日本が 8 基を担当製作し、あと、EU、ロシア、韓国、米国、中国で分担製作するということです。

このようなやり方は、納期遅れや品質不良が出たりする場合は少なくなく、開発のスピードでは不利かもしれないといえます。つまり、激しい国際競争の中では開発スピード面でもどこまでできるかわからないということです。（トップでの核融合実現には自信なしか？）

## 3. ITER 機構

しかし、ITER は多数国が参加する国際プロジェクトであり、みんなで着実なステップをとりつつ、核融合を実現することが趣旨ですから、スピードは2の次ということらしい。

ITER は様々な研究開発項目を考慮しているので、試験設備としては大型で重装備です。

世界の他の開発者からは「コストをかけすぎだ。高すぎる。」との批判が多くあります。

また、ITER での研究成果を、参加者は自由に持って出て、自分の国での開発に利用できることが最初の機構の決まりになっていますが、このような情報管理のやり方はどうなのでしょう。

中進国が日欧のトップ数ケ国によってたかっている姿と思います。上述の機器の分担製作も、結局、日本や欧州に重要部分の設計を教えてもらってやっているといえます。まあ国際プロジェクトだからよいことなのでしょう。

#### 4. 那珂研の JT-60SA その後

このフォーラムの開催大会名は「ITER/BA 成果報告会 2022 年」ですが、この BA とは何でしょうか？ これは「Broad Approach」の略ですが、何のことも聴いただけではわかりません。これは日本と欧州だけが組んで行う共同開発行為で、ITER の成功をサポートするべく、様々な研究テーマを分担で行うことになっていることをいいます。特に、QST 那珂研には、JT-60SA という大型トカマク試験装置があり、様々な実験計画<sup>注2)</sup>が組まれています。

注2) [量子エネルギー部門・量子科学技術研究開発機構 \(qst.go.jp\)](http://qst.go.jp) QST ホーム。

その重要な那珂研の試験機 JT-60SA は、完工して 2021 年当初より総合試運転に入ろうとしていたが、その 3 月に超伝導コイル 1 基の接続部の損傷トラブルが発生したため、総合試運転を中断しました。その電気系統の事故はかなり深刻で、設備の中の同類箇所を全部改修したといます。そのトラブル箇所、原因と改修状況は、末尾に添付した図 1、図 2 を参照してください。

図 1 : JT-60SA トラブルの改修

図 2 : トラブル改修後のスケジュール

図 2 のように、総合試運転の今後の再スタートは、2023 年 1Q が見込まれています。実に 2 年間もこのトラブル対応で遅れたことになります。

ただ、筆者は自身の身に染みる経験から、以下のように思います。

世界初の大型新技術開発では「今後も技術的トラブルはいくつも発生する」ということを覚悟しなければならない。システムに潜む（人間には気づかれない、AI には気づかれるのかは知りませんが）不具合と問題現象を抽出するのが大型試験装置（いわば、パイロット）の役目であり、多くの問題点を早く抽出して、その原因を早く把握できた方が最終的には早く目的達成につながると筆者は信じています。もし「試験装置が問題なくテスト終了した」などを言い張るようでは、後の本格装置に深刻な問題を残すだけだと思います。研究者には、そういう意識で臨んでいただきたい。

もう一つ、日本の BA（那珂研や六ヶ所研など）には中国人留学生が入っているといます。彼らに対する情報管理はやられていると思いますが、通常のレベルの形式的情報管理は彼らには通用しません。筆者は中国の言動にはいつも不信を抱く者ですが、中国への情報流出には十分注意いただきたい。これが筆者の単なる杞憂であってくれればと思います。

#### 5. 日本の材料、部品の技術開発力について

核融合装置は最先端の技術から成り立っています。商用電力化という目標の過程で、人間にとって初めての試みに多くぶつかることになります。材料、部品、それから組みあがった装置も多くは初めての実験から成り立っています。それらを作る要素技術も多くは先端的構成からなっています。

今回のフォーラムで、6 社の中堅企業から核融合に関わる新技術開発の発表がありました。それらの開発成功テーマを 1 ページのフォーラム内容に簡単にメモしています。

「日本の技術は世界から立ち遅れている」とか、「日本はもはや技術では食っていけない」

とかの評論をよく聞きますが、本当にそうでしょうか？

核融合を例にとれば、自国だけでその材料、部品、装置のすべてを調達できるのは、日本と欧米の数か国だけです。難しい課題を持つ先端技術も、日本は何とかそろえることができます。それは日本の技術ベースと人材に強さがあるからだと思います。

問題は、そのような優秀な先端技術からビジネスがどう育つのかでしょう。汎用安モノでの競争は不可能です。どうすればいいかは国の政策が最重要だと思います。別件の話ですが、今、半導体製造分野では国内回帰が少し表れてきたのではないのでしょうか。

## 6. 米国のNEWSについて（これはフォーラムにおいて詳しく論評があったことではありません。ニュースがあったことに触れられただけで、以下は筆者の記述ものです。）

先日、以下の核融合成功という表現のニュースがあり話題になりました。

[米エネルギー省、核融合技術で画期的進展を発表、投入量以上のエネルギー生成に成功\(米国\) | ビジネス短信 ージェトロの海外ニュース - ジェトロ \(jetro.go.jp\)](#)

引用『発表によると、実験はカリフォルニア州のローレンス・リバモア国立研究所において行われ、反応を起こすために 2.05 メガジュール (MJ) のエネルギーを投入したのに対し、核融合反応からは 3.15 MJ の出力が得られたという。反応から得られたエネルギーが、反応のために投入されたエネルギー量を上回る「核融合点火」の成功は、今回が初めてとなる。

米国エネルギー省 (DOE) は実験の成功について、「国防とクリーン電力の将来に道を開く、数十年来の大きな科学的突破口となるもの」とした。また、DOE のジェニファー・グランホルム長官は記者会見で、「核融合のブレイクスルーは歴史に残るだろう」、「これこそが米国がリードする姿だ」と述べた。一方で、同技術の実用化に当たってはコスト面などの課題も多く、さらなる研究開発が必要としており、専門家はその実現には数十年かかると予想する。（ブルームバーグ 12 月 13 日）。』以上 引用おわり。

いろいろな論評がある中で、ダイヤモンド社は社説で「【社説】核融合の誇大宣伝は控えよ。画期的成果は素晴らしいが、エネルギー源としての実用化は数十年先か。」と冷静に見ています。

（筆者の注）上記は、世界でも数少ない「レーザー核融合方式」の実験例です。日本では阪大の研究所が長年研究しており結構大きなレーザー集中照射装置を持っています。

核融合反応を実際に起こし、Q 値 1 以上を得たことは大きなエポックと思いますが、やったことは豆粒程度の大きさのレーザー照射反応器の話です。これを商業ベースにスケールアップするのは反応器の大きさ拡大、強力レーザーエネルギー投入装置、周辺付帯施設を次々加えねばならず並大抵のことではありません。まだ、ほんの一步ということです。ただ、その一步が大切かもしれません。

振り返るに、ITER などは巨大な装置のくせに、核融合反応の初トライも 10 年先です。

## 図 1. JT-60SA トラブルの改修

この図だけでは何のことか、何をやったのかわからないと思うが、とにかくごちゃごちゃした電路トラブルの絶縁性の改修をしたということ、他の類似箇所も全部やったと。



### JT-60SAの状況 Status of JT-60SA

- 2021年3月に不具合が起き統合試験運転を中断。
- 外部専門家を含む調査の結果、超伝導コイルへ電流を供給する電路の絶縁性能が確保されていなかったことが原因と判明。このため、不具合が起きた箇所とともに、同様の構造を有する箇所や類似の箇所（100箇所以上）の絶縁強化を行い、ローカルパッセン試験※で絶縁性能を確認しながら7月までに作業を完了。



EFコイル接続部



CSコイル接続部



TFコイル接続部

- 装置全体の絶縁性能を確認するための試験（グローバルパッセン試験）を8-9月に実施。
- グローバルパッセン試験の結果を受けて、追加に必要な絶縁強化作業を年内をめどに実施中。
- 絶縁強化にはITER超伝導コイルを担当する職員による支援を実施するとともに、ITER機構と情報を共有するための会議を定期的開催。

※パッセン試験：最も放電が起きやすい圧力での耐電圧試験（～1-1000Pa）。




クライオスタット内圧力  
 運転時 10<sup>-6</sup>~10<sup>-5</sup>Pa  
 試験時 1-1000Pa

10

## 図 2. トラブル改修後のスケジュール

コイル通電試験&プラズマ運転は、2023年2Qとなっている。成功を祈るがどうだろうか？

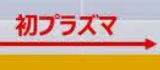


### JT-60SAのスケジュール Schedule of JT-60SA

- ・ 年内で絶縁補強作業を完了。
- ・ 年明けにグローバルパッセン試験を実施し、十分な耐電圧性能が確認できたらコイル冷却開始。
- ・ 極低温状態になったことを確認して、耐電圧試験を実施。
- ・ その後、コイル通電試験から統合試験運転を実施。
- ・ **初プラズマは2023年の中頃を想定。**
- ・ 秋からメンテナンス及び加熱実験に向けた装置増力を開始。

	2023年/1-3月	2023年/4-6月	2023年/7-9月	2023年/10-12月
グローバルパッセン試験				
コイル冷却				
極低温での耐電圧試験				
コイル通電試験、プラズマ運転				
メンテナンス/装置増強				

初プラズマ



11

本レポート以上」