

<p>World Fusion R&D Strategies for Fusion DEMO Reactors</p>	<p>レポート 核融合技術開発競争 (その1) 最終目標の原型炉について SCE・Net 郷 茂夫</p>	<p>R-73 発行日： 2022年 5月6日</p>
--	---	---

以前より「地上に小さい太陽を」^(注1) などと言われてきましたが、核融合技術の研究開発は、初期のラボスケールを含めれば優に半世紀を超えているのではないのでしょうか。そして今、核融合技術開発は反応成分のプラズマを発生・制御する複雑なシステムを構築しつつあり、そのエネルギー利用のための核融合炉設計もかなりの範囲で実行できる段階になってきました。しかし、核融合発電の実現までにはまだまだ時間がかかるものと思います。

(注1： 太陽における核融合反応と今世界が実現しようとしている核融合炉反応とは異なります。水素（その同位体を含んで）を原料とする核融合反応にはいくつも種類があり、前者は“p-p”反応、後者は“D-T”反応（反応原理は後日のレポートで解説します）です。前者は核反応速度が非常に遅く（太陽内でも非常に遅いから長く寿命が続くわけです）、太陽の核融合を地球上で利用することは不可能でしょう。それでも核融合エネルギーということでは替りはありませんが、正確な意味では両者は異なります。)

脱炭素のミッションにも関わり、世界の多くの国の研究機関が**核融合の技術開発競争**を促進しています。また、それらの開発費に対して、核融合ベンチャーの数および投資額が増加中で、投資活性化が始まっています（日本でも核融合ベンチャーが出てきています）。

本レポートは、3回に分割していますが、核融合原型炉とは何か、世界の核融合研究機関とその目標や動向を紹介するものです。第1回は、研究開発の最終目標である**核融合原型炉**についてです。

本文中での使用略号（これは筆者の設定ですが）；

本文では、長たらしい用語の簡略化、明確化のために、以下の略号を使います、

核分裂原子炉：**i 炉**（fission による）、それによる発電=今の原発：**i 原発**、

核融合原子炉：**u 炉**（fusion による）、それによる発電：**u 原発**。

u 原発において、核融合炉で発生する熱エネルギーを高温高压水蒸気に変えて発電まで行う実証施設を**核融合原型炉** と言い、略号として、**u DEMO** とします。

1. 核融合原型炉とは

本頁トップ左上枠内の「**Fusion DEMO Reactors**」とは**核融合原型炉**の英語です。

この用語の世界共通の確たる定義はおそらく未だ無いと思いますが、以下2つの文献から抜粋して述べます。1つは日本の量子科学技術研究開発機構（以下、量研 又は QST と略す）

作成の基本的コンセプト（2019/11）、もう一つは、文科省 核融合科学技術委員会作成（2017/12）の原型炉の基本概念です。

1-1 核融合エネルギーの発電実証に向けた原型炉の基本概念を明確化

QST プレスリリース（2019/11/27）より抜粋引用です；

[核融合エネルギーの発電実証に向けた原型炉の基本概念を明確化- 脱炭素社会に向けて 21世紀中ごろの実現を目指す - - 量子科学技術研究開発機構 \(qst. go. jp\)](#)

『フランスで建設が進む国際熱核融合実験炉（以下 ITER という；イーターと呼ぶ）の技術基盤に、産業界の発電プラント技術や運転経験等を取り込み、ITER の目標達成後 21 世紀中ごろに発電実証を行うための日本独自の原型炉の基本概念を明確にした。これまで炉心の設計が中心であった原型炉概念を大きく進展させて核融合エネルギーによる発電プラントの全体像を示した。

QST 特別チームは、今回の原型炉明確化の方針として、「フランスに建設中の ITER で採用された技術（炉本体、ダイバータや超伝導コイル等）を最大限に活かすこと」、「ITER では実証されない技術（大規模遠隔保守や本格的な増殖ブランケット等）の検討を中心に取り組むこと」及び「原型炉の施設全体を検討すること」を掲げた。また、産業界がこれまで培ってきた発電プラント技術や運転経験を取り込みながら原型炉の運転に必要な設備の設計を行うことで、原型炉プラントの全体像及び炉本体を以下のような工夫を入れて基本概念を明確にすることができた。

- (1) 原型炉の核融合出力；150 万キロワット（筆者注：電気出力ではありません）
- (2) 高い電気出力を得ることとダイバータ除熱能力の両立（筆者注：ダイバータ材質の検討など）
　　<添付図-1 参照：原型炉の発電システム>
- (3) 実用化を見通すための遠隔保守方式の検討（筆者注：ダイバータ、メンテの工夫）
- (4) 増殖ブランケットの堅牢性と燃料の生産性の両立（筆者注：ハニカム構造など、⁶Li から生成する T の生産性）』

1-2 核融合原型炉研究開発の推進に向けて（要旨）

2017/12/18、文科省、科学技術・学術審議会 研究計画・評価分科会 核融合科学技術委員会 が公表した下記サイトより抜粋引用です；

[核融合原型炉研究開発の推進に向けて \(mext. go. jp\)](#)

(少し旧いが、上記 QST よりもっと素人にわかりやすい原理的なコンセプトを述べています.)

『原型炉に求められる基本概念；

- 原型炉エネルギーの実用化に備え、
 - ① 数十万 kW を超える定常かつ安定した電気出力
 - ② 実用に供し得る稼働率

- ③燃料の自己充足性を満足する総合的なトリチウム増を実現することを原型炉の目標とする。
- 上記の基本概念を達成するため、炉設計時に留意すべき設計要件として、
 - ① ALARA（筆者注：as low as reasonably achievable；ICRPが1977年の勧告で示した放射線防護の基本的な考え方を示す概念で、「合理的に達成可能な限り低く」を意味する略語）
 - ②受容され得る建設コスト（筆者注：具体的な金額の数字はありません）
 - ③柔軟なブランケットとダイバータ設計
 を満たす必要がある。
- また、原型炉の運転開発期には、
 - ①熱・粒子制御とプラズマ制御
 - ②実用に供しうるメンテナンスシナリオと稼働率の実現
 - ③ブランケットとダイバータの高性能化
 を実現することが求められる。』

筆者は、端的には、最初の項目の①の下線部分が「核融合原型炉」であると考えておけばよいと思います。あとはその商業ベース運転を達成するための必然の条件などでしょう。

2. 核融合技術の共通的基本条件および機構

世界の多くの研究機関で進められている u 炉 技術にはいろいろ異なる部分がありますが、基本原理や条件には共通部分が多いので、その共通項をここで整理しておきます。

但し、レーザー核融合（次回レポートの3. 3-4で若干言及しています）は、プラズマ維持の条件が下記の共通的基本条件とはかなり異なりますので、本項の例外であることに留意ください。

<共通的条件及び装備する機構>

- ① D-T 核融合反応であること；従って、一次原料は D（重水素）と ${}^6\text{Li}$ （リチウム同位体で、反応仲介原料の ${}^3\text{H}$ (tritium, T) の発生用原料) である
 - ② 反応仲介成分 ${}^3\text{H}$ (T) の存在が必要であり、その生成と濃度を維持する機構
 - ③ 反応場は、低圧の容器内でプラズマ状態を安定に維持するために強力な磁石を装備すること（プラズマとは荷電粒子なので磁力により制御される）
 - ④ 高エネルギーの中性子を吸収し熱交換する機構で、かつ T の生成（②で触れた）にも関与するブランケットの機構（この設計が難しいと言われる）
 - ⑤ 反応の生成物である ${}^4\text{He}$ は u 炉内では不要となるので、その排出機構（ダイバータ）
- 上記がどの開発においても必要な条件と機器であり、u 炉の基本条件です。

添付図1 原型炉の発電システム

出典：[核融合エネルギーの発電実証に向けた原型炉の基本概念を明確化- 脱炭素社会に向けて 21 世紀中ごろの実現を目指す - - 量子科学技術研究開発機構 \(qst.go.jp\)](#)

より図3を引用.

