

## テーマ5 核融合の実現可能性や経済・政治を含めた課題について

2015.03.15 川合 將義

### ① 核融合炉の実現について

#### Q1-1 どんな課題があるのか、いつ実現できるのか、また実現可能性はどうか。

**概要：**トカマク型では、日本の JT-60U で 入力と出力のエネルギー比が 1 を超えるプラズマ条件が得られています。欧州の JT-60U では、16MW の核融合出力を出すことに成功しております。2020 年までに熱出力 50 万 kw の ITER(トカマク型)を建設し、持続的融合反応の実証を目指しています。それから、20 年間試験運転を実用化のためのデータ採取します。そこまで 予定通り進んだとしても、実用化までには原型炉と実証炉による発電も含めた実証試験などで 更に 30 年以上を要し、戦力になるのは 21 世末あるいは 22 世紀に入ると思います。当面の研究計画は、以下のものがあります。

**ITER 計画：**500MW のトカマク型核融合炉実験炉であり、世界 7 局共同でフランスのキャダラッシュで建設中。核融合の点火条件を実現するとともに、核融合エネルギーの科学的・技術的実現可能性を追求する。2020 年完成、2027 年核融合反応予定である。

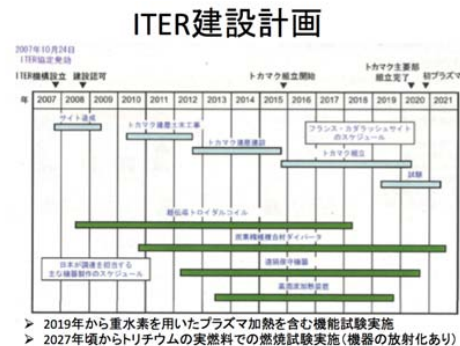
**トカマク(トカマク国内重点化装置 JT-60SA、JAEA)計画：**超伝導磁石を用いて ITER では得られないデータを採取する。原型炉建設に必要な安全性・信頼性・経済性のデータを得る。高ベータ定常運転実現。BA 活動におけるサテライト・トカマクの進捗を踏まえ、安全の確保に最大限の注意を払いつつ、解体・改修を進めていくべき。

**LHD(大型ヘリカル装置、NIFS)計画：**プラズマ学理構築。より臨界プラズマ条件に近い高性能定常プラズマ実現のための重水素実験に向けた準備、プラズマ学術研究の中核拠点として大学等との共同研究を引き続き推進していくべき。

**レーザー方式(大阪大学等)：**高速点火方式第 1 期実証実験 (FIREX-I) 進行中。次段階への移行判断のため、核融合点火温度 5 千万℃以上達成等の研究成果を確実にあげることが重要。

**炉工学：**ITER 計画及び BA 活動との連携、JAEA における炉工学

技術開発、大学等における幅広い基礎研究を総合的に推進、技術基盤を着実に形成。



国際核融合材料照射施設IFMIF計画:核融合炉プラズマで最も過酷な照射に曝される第1壁の材料開発用の照射実験装置であり、ITER同様に国際協力によって建設中。この材料開発は、核融合炉開発のための、最重要課題の一つです。我が国は、IFMIFの建設判断に必要な主要機器の工学実証(原型コンポーネントの製作プロセスの開発とIFMIFの運転上クリティカルとなる長時間耐久性などの性能実証)と工学設計を行う。

#### Q1-2 国や企業はどの程度力の入れているのか。その力の入れ具合をどう思うか。

核融合開発は、我が国のエネルギー政策上、重要なものと位置づけられています。

我が国の核融合研究開発は、原子力委員会の方針に基づき、進められてきている。

- － 「第三段階核融合研究開発基本計画」(平成4年6月 原子力委員会決定)
- － 「今後の核融合研究開発の推進方策について」(平成17年10月 原子力委員会核融合専門部会報告書)

○また、原子力政策大綱(平成17年10月 閣議決定)やエネルギー基本計画(平成22年6月 閣議決定)においては、ITER計画をはじめとする核融合について、長期的視野に立って推進することとされている。

○昨年8月に閣議決定された第4期科学技術基本計画においては、以下のように規定。

「核融合の研究開発については、エネルギー政策や原子力政策と整合性を図りつつ、同時に、その技術の特性、研究開発の段階、国際約束等を踏まえ、これを推進する。」

ITER(国際熱核融合実験炉)計画、BA(幅広いアプローチ)活動、国内の重要施策(トカマク方式、ヘリカル方式、レーザ方式及び炉工学)を、引き続き着実に推進していく。

## 我が国における核融合政策の現状

### 磁場閉じ込め方式

☆トカマク・ヘリカルともに原理実証段階を完了

#### トカマク

##### ○工学的実証段階

○現段階では最も進展しているとの国際的認識  
→ 実験炉ITER、JT-60SA

＜主な実験成果(JT-60)＞

- ・エネルギー増倍率: 1.25(世界記録)
- ・イオン温度: 5.2億度(世界記録)
- ・運転時間: 28秒間(約1億度)

JT-60SA  
(JAEA)

ITER

知見を反映

#### ヘリカル

##### ○工学的実証を目指す段階

○磁場で閉じ込める考え方はトカマクと同じ。  
プラズマの安定性という長所を持つため、  
ヘリカルが原型炉段階で採用される可能性  
→ LHD(大型ヘリカル装置)

＜主な実験成果(LHD)＞

- ・エネルギー増倍率: 0.075
- ・イオン温度: 0.8億度
- ・運転時間: 54分28秒(約0.1億度)  
(世界記録)



LHD  
(核融合科学研究所)

### レーザー方式

☆原理実証を目指す段階

##### ○原理実証を目指す段階

○磁場閉じ込めと質的に異なる方式であるため、将来、磁場閉じ込め方式に  
限界がみえた場合に、新しい角度から代替する可能性 → 激光XII号・LFEX

＜主な実験成果(激光XII号)＞

- ・イオン温度: 1億度

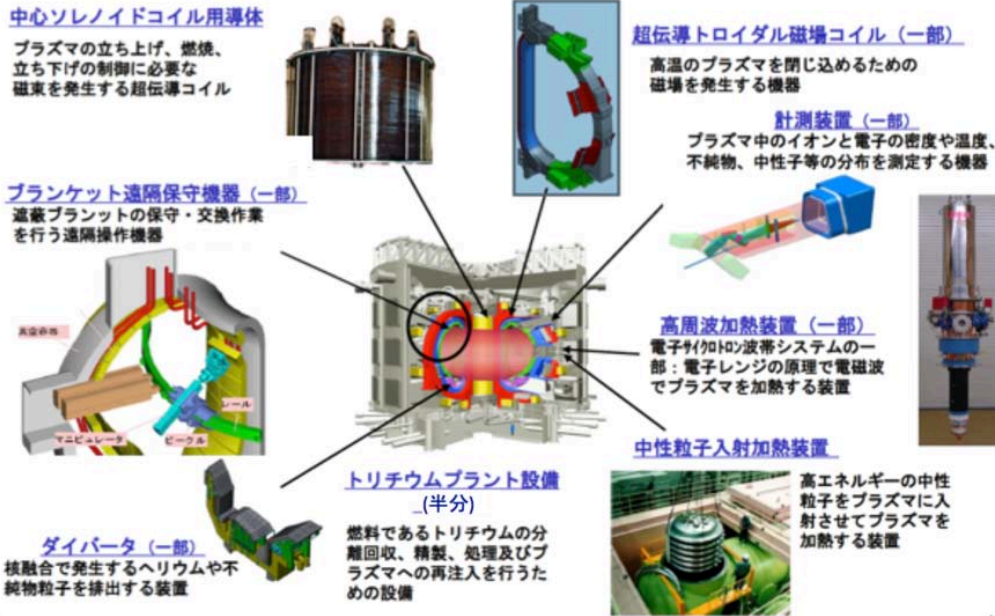


(左) 激光XII号と(右) LFEX  
(大阪大学)

すなわち、核融合炉開発は、国際的約束の下、官民挙げて実施しており、大きな予算がついています。予算は、建設費や要素技術の開発費等、総額およそ1兆円のITER計画に対して、日本は9.1%分担しています。また、原型炉開発のための幅広い研究用の900億円の半額を日本が負担し、ブランケット、ダイバータ、トリチウム除去等の所用技術開発とJT-60SAを用いた実験を行う。ITER建設のために、日本は、超伝導トロイダル磁場コイル、中心ソレノイドコイル用導体、ダイバータ、高周波加熱装置、中性粒子入射加熱装置、ブランケット遠隔保守機器、トリチウムプラント設備、計測装置の調達を分担しており、関連企業がその開発と製造を行っています。

## ITER計画

### 日本の調達分担機器



Q1-3 ロッキード・マーティン社の小型核融合炉について。

<http://www.itmedia.co.jp/news/articles/1410/16/news136.html>のインターネット情報しかないために、きちんとした評価はしにくい。それによれば、小型故に短期間で開発ができ、10年以内に小型の核融合炉を実現かできる。1年間で設計やテストを完了し、5年居ないにプロトタイプを試作する。高周波加熱装置を用いて、高密度プラズマでの核融合を目指す。小型だから、設計や製作が容易なのは分かるが、小型トカマクで、しかも高密度の安定したプラズマができるか、疑問に思われる。

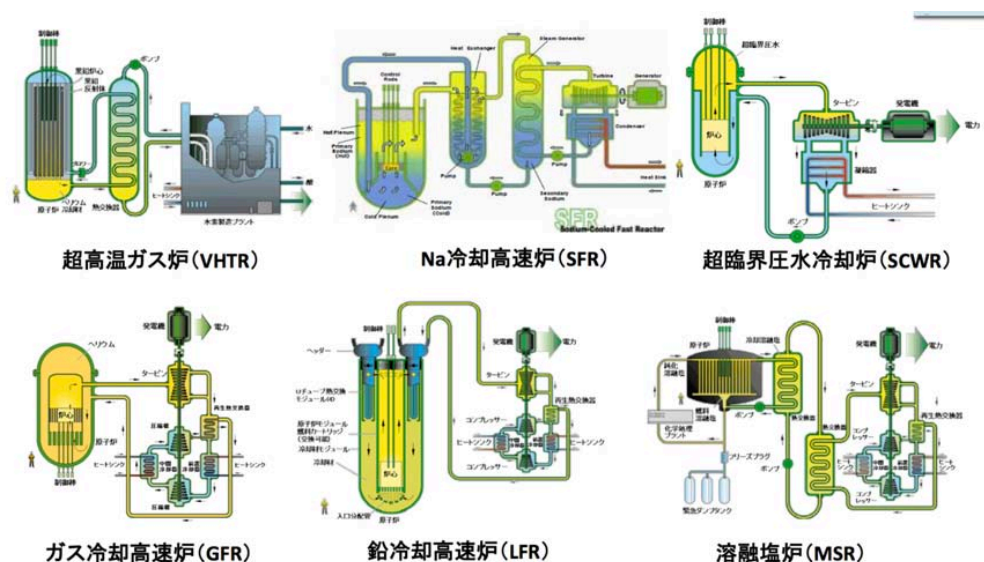
#### ② 軽水炉に代わる次世代炉について

- ・ 高速増殖炉、高温ガス炉、核融合炉、加速器未臨界炉など様々なものがあるが、それぞれの状況はどうか。他に次世代炉としてどのようなものがあるのか。

次世代炉は、普通2030年以降の実用化を目指した第4世代の原子炉を指します。これは、エネルギー需要が増加するアジア地域の電力需要を満たすために、(1) 燃料の効率的利用と放射性廃棄物最小化によるエネルギー源としての持続可能性、(2) 炉心損傷頻度の飛躍的低減や敷地外の緊急時対応の必要性排除など高い安全性/信頼性、(2) 軍事転用の魅力が乏しく、盗難が困難な核拡散抵抗性の確保と耐テロ性、(4) 他のエネルギー源とも競合でき

る高い経済性の達成を目標とする次世代原子炉概念です。また、あらゆる市場で競合可能かつ、電気だけでなく水素精算、淡水化、熱源などとして多様なエネルギー利用が可能なものが求められています。これは、米国 DOE 主導の下に開始され、平成 12 年 1 月 27, 28 日の両日に日、米、英、仏、韓、カナダ、ブラジル、アルゼンチン、南アが参加し、OECD-NEA と IAEA がオブザーバー参加したワークショップでの共同声明によって第 4 世代原子力システム開発計画の国際プログラムとして開始されました。この計画に参加チームのことを GIF(Generation-IV International Forum) と称します。当初、16 概念の原子炉システムが提案されましたが、超高温ガス炉、Na 冷却高速炉、超臨界圧軽水炉、ガス冷却高速炉、鉛冷却高速炉、熔融塩炉の 6 概念が採択されました。このうち、日本は、熔融塩炉を除く 5 つの原子炉の開発に参加しています。なお、核融合炉と加速器未臨界炉は、開発概念が違っているので、これに含まれていません。

それらの外客の概要と開発のロードマップを、次ページの票で示します。





## GIFで検討中の第4世代原子力システムの概要

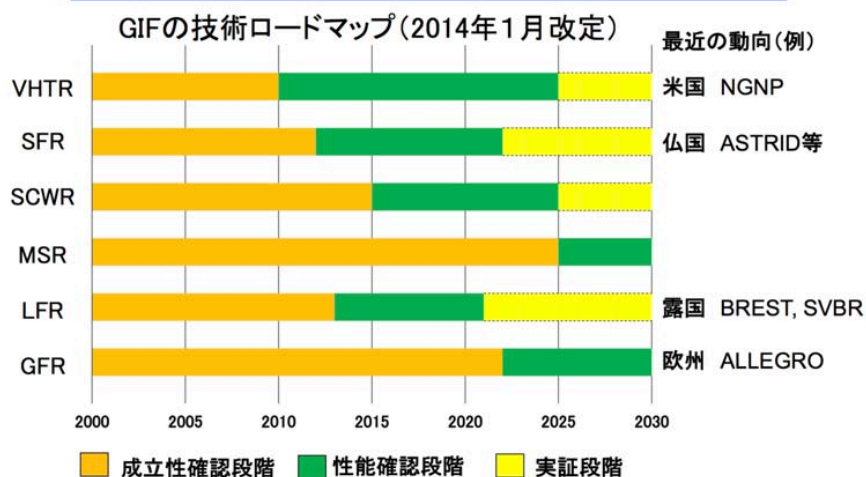
| システム            | 中性子スペクトル   | 冷却材   | 出口温度 (°C) | 燃料サイクル     | 出力 (MWe) |
|-----------------|------------|-------|-----------|------------|----------|
| 超高温ガス冷却炉(VHTR)  | 熱中性子       | ヘリウム  | 900-1000  | オープン       | 250-300  |
| ナトリウム冷却高速炉(SFR) | 高速中性子      | ナトリウム | 500-550   | クローズド      | 50-1500  |
| 超臨界圧水冷炉(SCWR)   | 熱中性子/高速中性子 | 水     | 510-625   | オープン/クローズド | 300-1500 |
| ガス冷却高速炉(GFR)    | 高速中性子      | ヘリウム  | 850       | クローズド      | 1200     |
| 鉛冷却高速炉(LFR)     | 高速中性子      | 鉛     | 480-570   | クローズド      | 20-1200  |
| 溶融塩炉(MSR)       | 熱中性子/高速中性子 | フッ化物塩 | 700-800   | クローズド      | 1000     |

VHTRやLFR等では、発電以外の用途として水素製造、産業への熱利用、海水の淡水化の可能性についても検討している。

先進炉研究開発に関する勉強会(GIF国内連絡会特別会合) 2014年8月26日 JAEA東京事務所

8

## 各炉型の開発スケジュール見通し



先進炉研究開発に関する勉強会(GIF国内連絡会特別会合) 2014年8月26日 JAEA東京事務所

10

いずれも、実用化は2030年以降に目標を置いており、上記のスケジュールに従って、開発が進行中です。その多くは、設計と成立性の技術検討段階とされます。実用化のためには、モックアップ装置等で性能や安全性や信頼性の試験、さらに実証炉での経済性評価試験が実施されるでしょう。

### ③ 原子力を取り巻く環境について

#### **Q3-1 企業にいたとき核燃料サイクルについて多くの批判的意見を見聞きしたと思うが、どのようなことを言われたか、また、何が痛いと感じか。**

最も多かったのは、トイレなきマンションと形容された高レベル廃棄物の処分問題です。これは、地下埋設処分の方法があることで、凌げましたが、その処分場の決定については、政治が絡むだけに、フィンランド等の先例を示すことで納めました。但し、科学的な評価を冷静に受け止められるアーリア民族と違って、情緒的な日本人に対しては、より慎重な対話が必要に思われます。また、今後の技術開発が必要ですが、高速炉や加速器駆動の核変換炉で高レベルの長寿命核種を短寿命化して、子孫への影響を緩和できるものと思っています。(低レベルのものは、地下保管で対応可能)

高速増殖炉「もんじゅ」の事故を受けて、ナトリウムへの危惧が多い。これは、理科実験で、ナトリウム－水反応で発火する現象を学んでいるため。ただ、ナトリウム火災は、容易に消せることを知っていたので、そのことと、もんじゅでの顛末を説明することで納得を得られた。もんじゅの事故は、ナトリウムの素人集団に運転を任せた咎が出たもので、大洗工学センターの専門家が協力していれば、簡単に処理できた筈。その後、政治問題化して、運転が遅れ、その結果、機器の劣化や運転員の技術継承が心配されています。

福島事故後の想定外の事故発言については、当初、言葉を失いました。また、事故の原因についても、分からないことだらけだったために、他の事故を免れた原発のことを示して、安全性を伝えても、十分には伝わりきらなかった。しかし、最近、石川迪夫先生の日米のパルス原子炉を用いた過酷事故時模擬実験の結果に基づく TMI 事故の燃料挙動検証を通じた事故解析の報告書を読んで、福島事故を教訓として対策を講じた原子炉での福島事故の再来は、ほとんどないと言えるようになった。

#### **Q3-2「核」という言葉が入っただけで拒否反応を起こしてしまう人もいると思うが、そのような反対派の人に対してどのようなアプローチをしていくべきだと考えているのか。**

そうした人は、放射線への不安と、再生可能エネルギー絶対信頼の人が多いので、先ず、放射線が自然界にあって、低線量放射線での影響は、きわめて低いことを説明する。

再生可能エネルギーは、現状、未熟な技術であって、環境問題を解決することは難しいことを説明します。特に、不安定な太陽光と風力は、却って事態を悪くする可能性もある。

(川合)