

SEJ だより第 19 号 小型核融合炉の実現可能性について

2021 年 11 月 19 日

今年 9 月の自民党総裁選において高市早苗候補は、「2050 年のカーボンニュートラルの達成には原子力が必要であり、特に小型核融合炉や SMR が有望である。」という発言をしている。このような発言が自民党の指導的立場にある政治家から出るということは、原子力推進を是とする SEJ の一員として非常に頼もしい限りである。ただその発言の中で、一点だけ気になったことがあったので、それについて私見を述べてみたいと思う。

<結論>

従来の核融合プラズマの物理基盤からすると、核融合反応条件を持続的に達成するプラズマを得るためにはある程度のプラズマの大きさが必要になる。現在、国際協力で建設を進めている大型核融合装置:ITER はプラズマを閉じ込めるコア部分だけで直径約 30m、高さが約 17 m の大きさの装置となっている。この規模の装置サイズで先ず核融合反応が持続的に維持できることを実証し、その後でプラズマ条件の改良や核融合炉材料の開発で小型化に向けた開発が進んでいくと思われる。

現在の大型核融合装置での発電は 21 世紀中葉での実現を目指して開発が進められており、その後に小型核融合炉という形態になっていくものと想定されている。以上から発電に資する小型核融合炉の実用化は早くても 2050 年以降になるものと推定され、2050 年のカーボンニュートラルに供することは困難と思われる。

<詳細説明>

① 核融合反応の持続条件

核融合反応を持続させるためには、プラズマの温度(T)、密度(n)、それに高温プラズマを閉じ込めている時間(τ)の 3 つの要素の積、つまり $T \cdot n \cdot \tau$ (いわゆる核融合プラズマ 3 重積のクライテリア)がある一定以上の大きさ(核融合反応臨界条件)が必要になる。

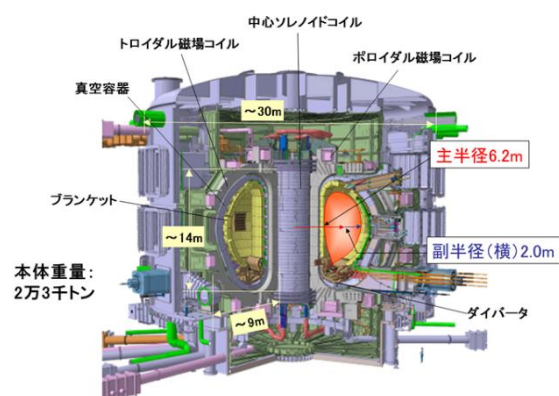
プラズマ温度に関しては高周波加熱装置や粒子入射加熱装置を使ってプラズマを数億度まで加熱し、プラズマ密度に関してはプラズマを閉じ込める磁力線の最適化し、またプラズマ閉じ込め時間はプラズマサイズを大きくしたり、高温プラズマ挙動を安定化させる工夫をすることで飛躍的に高めることができる。つまり核融合反応を達成し易くするためには装置の大型化が有利になります。

[この閉じ込め時間はプラズマのサイズに比例して長くなり($\tau \propto a^n$ a :プラズマのサイズを示す数値、 n :正数)となり、大きなプラズマほど核融合条件を達成し易い。]

② ITER: International Thermonuclear Experimental Reactor (国際熱核融合実験炉)計画
EU、日本、米国、ロシア、中国、インド、韓国の国際協力でフランスで建設が進められている

ITER は 2025 年に最初のプラズマ着火を目指している。その後、10 年かけてプラズマや装置本体の性能確認をしながら研究開発を進め、2035 年から重水素と三重水素による核融合反応実験を進めて、核融合発電炉に向けた実証実験を進める計画です。この実験でのデータベースを基にして、核融合実証炉の建設を進め、2050 年代には核融合発電炉の建設を進める予定になっている。

ITER の概略形状を下図に示す。ITER は上記①項で述べたようにプラズマサイズを大きくして、核融合反応条件をより確実に達成できるようにしている。



出典: 文部科学省 HP (1)

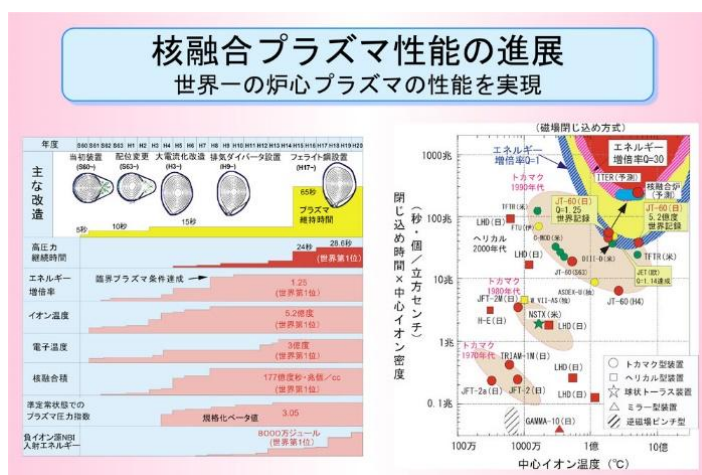
③核融合反応条件のこれまでの実績値と今後の予想

上記①で記載したように核融合反応を起こすには以下の 3 つの条件を同時に達成する必要がある。

- プラズマが約 1 億度以上の温度になること(温度)
- 1 立方 cm の中に原子核の数が 100 兆個以上あること(密度)
- プラズマ閉じ込め時間が 1 秒以上あること(時間)

この 3 つの条件をローソン条件といい、これを同時に達成するには大きな物理的、工学的問題をクリアする必要がある。

日本、米国、欧州、ロシアは 1960 年代から熱核融合研究を推進しており、プラズマのサイズの大型化を図りながら、ほぼ 10 年ごとに一桁ずつ性能が向上してきて、1990 年前後までの研究の進展から、核融合発電炉実用化への見通しを描くことができるようになった。



出典: QST-HP (2)

③ ベンチャー企業による民間での研究開発

米国を中心として民間のベンチャー企業による核融合装置の開発がここ 10 年ほどで急速に進展しつつある。例えば、コモンウェルス・フュージョンシステムズ(3)は MIT と共同で来年から、スパークといい核融合炉を建設して 3~4 年で完成させ、気候変動対策に間

に合わせるとしている。また TAE テクノロジー社(4)による磁場逆転方式によって 2030 年代の実用化目指しているとのこと。この磁場逆転方式の原理は数十年前に多くの研究が行われ、途中で頓挫してしまったが、もしこれが実用化に向けてブレークスルーを果たしたのであれば素晴らしいことだと思う。この他にも英国やカナダなどでいくつかの核融合ベンチャーが起業されている。これらはいずれもベンチャーキャピタルから数百億円規模の資金を獲得して民間核融合の開発を進めており、大きな注目を集めている。ただ一方で上記①で述べたように核融合反応条件を満たす装置を作るためにはある程度のサイズが必要であるという従来の物理的基盤に沿った路線での研究開発も国家プロジェクトとして並行して進められている。もしこれらのベンチャー企業が小型核融合炉の開発を進めて何らかの物理的・技術的ブレークスルーが得られたとするとこの結果は核融合炉開発全体において大きなイノベーションをもたらし、早期の核融合発電の実現に向けた起爆剤になることは間違いないだろう。

(栗山正明 記)