

研究題名 SDGs研究／宇宙での核融合発電実現を目指して

衛星型核融合発電研究班：

村井 蒼天、吉原 和希（高2）【神奈川県立横須賀高等学校】

要旨

SDGsのため、人類が必要とする電力を、安定かつ安全、かつ地球の負荷にならない方法を探求した。方式を核融合型発電とし、装置を宇宙の静止軌道に築く。起爆方法をレーザー方式とし、材料をD-T融合型とした。発電方法は重量物となる水を用いない熱電変換素子(ゼーベック効果素子)を用いることとした。2重水素と3重水素を原料とすると、東京23区の電力需要をまかなうためには、年間で3.14kg、副産物の中性子を3重水素化するためのリチウムも年間で約3.14kg、10年間に必要となる原材料62.8kgは、小型ロケットにて容易に運べると結論づけた。発電した電気を地球に搬送する方法については、今後の課題とした。

研究

核融合炉を宇宙静止軌道に配置することの主な利点
・重力の影響がないためプラズマの位置が変動しない
・天候などの環境に左右されずに常時発電可能
・事故が起きた時に人的被害が少ない

1. 核融合発電の各部の方式の選定

(1) 核融合材料の選定

水素系核融合には、二重水素D (Deuterium)、三重水素T(Tritium)を主として、D-T、D-3He、p-11B、D-Dが考えられるが、実現容易な臨界温度を考えると図1に示す1億°CのD-T型が適している。[1][2]

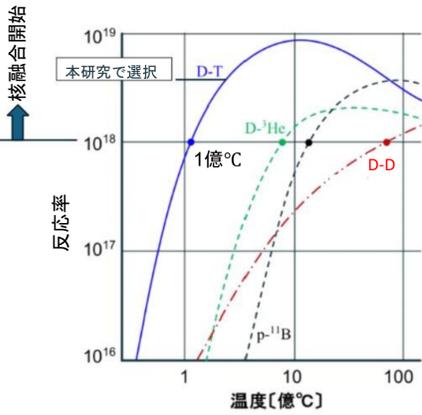


図1 核融合材料の起爆温度の比較

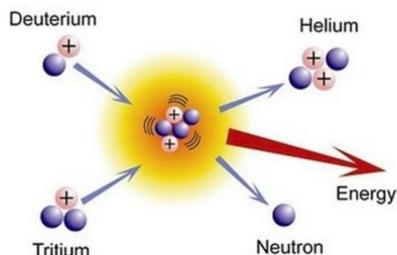


図2 D-T型核融合の反応

二重水素D (Deuterium)と三重水素T(Tritium)による核融合反応と取り出せるエネルギーを次式で示す。

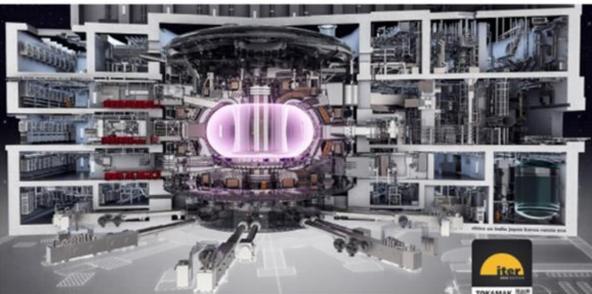


(2) 核融合炉の選定

核融合を起こすためには、燃料となる重水素原子を精密かつ安定して場所を固定しなければならない。このため、核融合炉は、プラズマ状態となった水素原子を固定するために、次の2種類が考えられている。

- (1)トカマク型: 磁場方式とも呼ばれ、水素プラズマの流れがもたらす電流作用を、強力な電磁石で円形空間に閉じ込める方法
 - (2)レーザー方式: 燃料となる重水素(ペレット)を球形配置した多数のレーザーの焦点に置き、起爆とともに燃料が爆縮して位置が固定化される方法
- 宇宙空間に構築する上で、(1)は巨大な超電磁石や真空容器、冷却、制御系が非常に複雑であり、重量が大きい。(2)は隔壁でもあるダイバータを定期的に交換しなければならないが、電磁石系よりも軽量である。以上から(2)のレーザー方式核融合炉を採用する。

トカマク型核融合炉



レーザー型核融合炉



<https://www.qst.go.jp/site/fusion/nks-rensai-02.html>

<https://www.jaif.or.jp/journal/japan/19958.html>

図3 核融合炉の方式による大きさの比較 [3]

(3) 発電の方法の選定

本システムの目的は発電である。地上における核発電では、発熱を高温水蒸気に換え、蒸気タービンを回すことで発電機を駆動する。しかし宇宙に蒸気タービン式の発電機を設置する上で、(a)装置重量、(b)大量の水が必要が課題となる。本研究では、熱電変換素子(ゼーベック効果素子)を用いることとする。

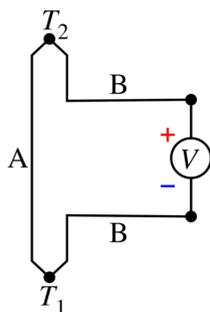
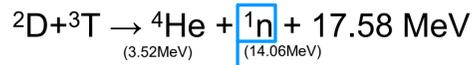


図4 ゼーベック効果による温度差発電

(4) 燃料の循環利用

隔壁内には液体リチウムを充填しリチウムは中性子と結合して三重水素(T)が発生する。これにより燃料の精製も得られる。



--- (式2)

2. 発電量の目標と燃料等の規模の検討

目標とする発電量を日本・東京都・23区の電力需要とした。年間762億 kWhであり、毎秒に平均すると $2.416 \times 10^6 \text{ Ws}$ すなわち $2.416 \times 10^6 \text{ J}$ である。今回用いるゼーベック素子のエネルギー変換効率を10%とすると、2重水素(D)+3重水素(T)が核融合で放出するエネルギーは $2.8198 \times 10^{12} \text{ J}$ なので、一秒間は $1.428 \times 10^{-5} \text{ (mol)}$ すなわち、 $9.996 \times 10^{-5} \text{ (g)}$ が必要となる。よって一年間では3.14(kg)、10年間では31.4(kg)必要となる。ただし、自然界には2重水素は0.018%、3重水素はほぼゼロなので、地上でこれらの燃料を精製することになるが、必要となるエネルギーは、得られる電力の比れば僅少である。また隔壁内のリチウムも同じモル数を補充する必要がある。リチウムの質量数は7なので、一年間で3.14kg必要である。燃料とリチウムの10年分の合計は62.8kgなので、小型ロケットで送れる。

3. 想定するシステムの構造

想定する静止軌道型核融合発電システムのイメージを図5に示す。太陽電池パネルは、レーザーへの電力供給と、核融合炉の太陽からの遮光(断熱)を図る。

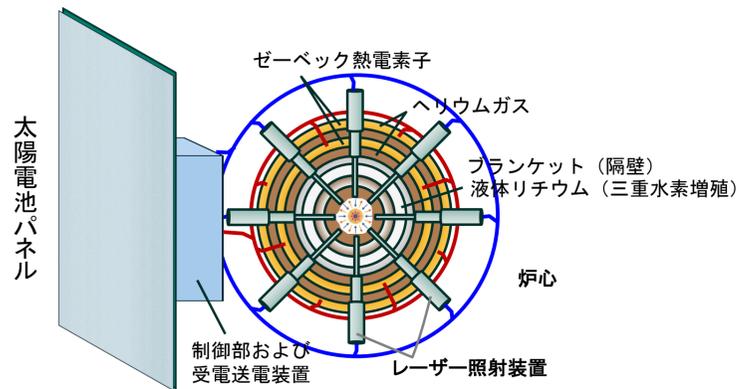


図5 想定する静止軌道型核融合発電システム

まとめと今後の課題

静止衛星軌道上におけるD-T融合型核融合発電システムの実現性を研究し、有効性を確信した。

- 今後の課題として、
- ・太陽風への対処
 - ・地上への電力輸送方法の具現化
 - ・ダイバータの交換方法
 - ・炉内部の素材の耐久性
 - ・核融合炉の小型化
 - ・ゼーベック効果の熱電変換の高効率化
- などがある。

参考文献

[1] “核融合最前線,” Newton別冊, (株)ニュートンプレス, 2024
 [2] 岡野, “核融合炉入門,” 日本エネルギー学会編, コロナ社, 2025
 [3] <https://thebridge.jp/2019/12/general-fusion-closes-65m-of-series-e-financing-pickupnews>