

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】

1. 目的 SDGs のため核発電を宇宙に築く

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ように、核融合型発電システムを宇宙の静止軌道上に築く。

2. 仮説 核融合型ならば安全・高効率

核発電は核分裂型と核融合型がある。[1] 核融合型は、重水素の核融合で得られ、燃料も廃棄物も、核分裂型に比して各段に放射性が低い。また一度起動すれば持続的に反応が継続するために、高効率である。

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℃の D-T 型が適している。[2]

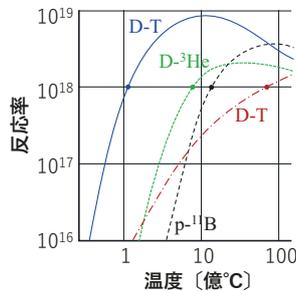


図 1 重水素系の核融合反応臨界温度

3. 研究

I 核融合炉の方式の選定

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)のレーザ方式核融合炉を採用する。

II 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。

III 本方式による構造

図 2 に本研究が想定する静止軌道上に置く核融合型発電システムの概念図を示す。核燃料はレーザ光群の焦点に設置される。隔壁(ダイバータ)の外側には同心円状に熱電素子群を配置する。装置の大きさは直径 30m 以上の球状となる [3] 隔壁は核融合で生じる中性子(ベ

ータ線)が制御装置やレーザー装置を破損することを防ぐ。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。

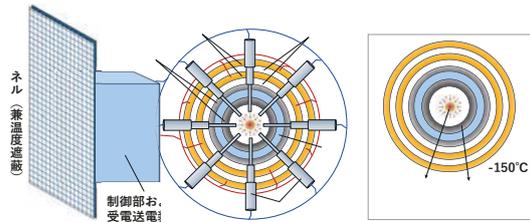


図 2 本研究が想定する静止軌道上の核融合型発電システム[3] (左：全体構造概念図 右：温度勾配図)

IV 発電量と燃料量

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 2.416×10^6 Ws すなわち 2.416×10^6 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 2.8198×10^{12} J なので、一秒間は 1.428×10^5 (mol) すなわち、 9.996×10^5 (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、得られる電力の比であれば僅少である。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。

なお、今研究では、送電方法については研究対象から除外した。

4. 結論

持続可能な開発(SDGs)として電力発電装置の衛星軌道上への構築を研究した。核融合型、レーザ方式、D-T 融合型とすることで実現可能であると確信した。

重水素燃料の確保は容易であるが、ダイバータなどは交換が必要である。

5. まとめと課題

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た。

今後の課題として、地上への電力輸送方法を具現化、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] “核融合最新線,”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>