



7. まとめと今後の展望

7. Summary

中島 秀紀

NAKASHIMA Hideki

九州大学名誉教授

(原稿受付：2021年6月20日)

今回の小特集において、我々のレーザー核融合ロケットの研究現状について紹介させていただいた。2, 3章において概念設計例について触れたが、もちろん、まだ最適化されてものではなく、今後設計を繰り返し、一貫性のとれたものにする必要がある。少なくともイメージは掴んでもらえると思う。4章では、地上用炉との比較で、核融合炉心、それと推進剤との相互作用について議論いただいた。地上用とロケット用、共通するものが多いと思われる。5章では、推進性能の評価のためのシミュレーションの現状について紹介されたが、核融合プラズマ生成、推進剤のプラズマ化、その磁場下での挙動解析と、輻射輸送、原子分子過程、磁場との相互作用となかなか手強い。真空境界を取り扱えるMHDコードを使用すれば、少しは計算が合理化できるのかもしれない。レーザー核融合ロケットを机上の空論にしないために、推力発生実験にも取り組んでいるが(6章)、推力測定用に実験装置が設計されているわけではないので、推力測定装置を置くスペースが無いなど、苦勞することが多い。特に激光XII号では、この研究のためにシュルターゲットの内面照射に挑んだが、推力測定は上手くいっておらず、今後の検討が必要である。

さて、概念設計の役割は、problem solverでなく problem finderであると、昔、何処かで読んだことがある。概念設計を通じて、今後の実用化のために、課題を発見・整理し、その課題を解決するための研究方策を提出できれば、目的をある程度達成したのであろう。やはり、本研究の課題は何と言っても、innovative ideaが、なかなか、そう簡単に出てこないことである。特に、炉心・pellet/targetに関してである。ここにinnovativeなものがないと、簡単にロケットの質量が大きくなり、魅力的なものでなくなり、他の方式、核熱ロケットなどと、なかなか競合ができない。本設計では、高速度点火方式が初めて推進用に採用されたが、性能向上・確立のためにもう一段の工夫を期待したい。ここは、特に若い研究者に今後は是非頑張ってもらいたい。ユニークで、コンパクトなロケットを提案してほしい。

本研究では、他の主要なコンポーネントであるレーザーには、半導体励起固体レーザーを、そして磁気ノズルのコ

イルシールドには、超臨界メタン冷却B₄C層を提案し、初めて詳細に検討した。今後は、エネルギー回収系など他のコンポーネントをもっと具体的に検討して行く必要がある。筆者(中島)は、相次ぐ原発事故で傷ついた原子力への夢を取り戻すべく、30年前に設計研究を開始し、約10年前に皆と出会い、激光XII号でも推力の実験ができるようになった。今回民間の企業の方に、核融合ロケットに興味を持っていただき、一緒に共同作業を行い、知識・認識の共有化をできるようになったことは、非常に幸運であった。そして、これを機会に、設計のためのネットワークができたのも良かった。それにしても、Hydeなどの先行研究[1]は、1970年代に行われているが、しっかりと検討されていて、本研究で、大変参考になった。また残念ながら、大きく概念を変えるところまではいかなかった。改めて設計の難しさがわかった。

磁場閉じ込め方式を含めて、米国ではなんとか予算がついて、継続して核融合ロケットの研究が続けられている。特に、ideaを持った民間企業の参入も活発である。一方の科学大国、中国からの情報は、入ってこない。すでに研究は行っているが、成果を出さないのであろうか。いずれ、国際共同研究が提唱されるであろうが、日本ももちろん参加し、主導的な役割を果たしてもらいたい。それまでに、設計力、宇宙の技術力をさらに磨いて、そして斬新なideaをもちこんで、国際共同研究に寄与できる力を蓄積してほしい。

また、米国ならではの話だが、1950年代から、推力に原爆・水爆を用いる研究も絶えず続けられている。軍事技術を民間へ応用というところであろう。爆発の技術は完成しているのが売りであるが、そのままでは、爆発のエネルギーが大きすぎ、それを受ける推力装置の設計がポイントである。ここでは、いかに爆発力を小さくして、manageableにするのが大切で、我々の方式と逆の難しさがある。我々は、いかにして核融合ゲイン、すなわち核融合出力を大きくするのかに、苦勞しているのだが。日本でもブルトニウムが余っているのだから、それらを使用して、世界中の核物質を減少させることには、幾分か役に立つかもしれ

ない。しかし、爆発ごとに放射性物質が飛散し、機体が汚染されたりしないのか。汚染されたら、メンテナンスのためにも近づけない。汚染された機体でどこに寄港するのか、など解決すべき課題がある。

しかしともかく、先に述べられているが、米国では2035年をめどに、パルス型の核融合・核分裂ハイブリッドロケットなど[2,3]の実証が検討されている。今まで蓄積されたレーザー核融合ロケットの技術・概念と共通するところが多く、意外に早く、磁気ノズルなどの今までの知見が大いに役立つことが期待される。我々のグループも上記の米国のグループとの共同研究を、磁気ノズルを中心に具体的に進めつつある。関心のある方は、是非連絡いただければ、幸いです。

最後に、本研究に参加いただき、いろんな面でご協力いただいた方々に、心より感謝いたします。

追記：本誌、8月号の佐野孝好氏の解説「定在ホイッスラー波による高速イオン加熱と核融合科学への応用」[4]を拝見しました。今後とも、このような、斬新なアイデアが出てきて、核融合ロケットの実現化を促進することを期待します。

参考文献

- [1] R. Hyde *et al.*, Prospects for rocket propulsion with laser-induced fusion microexplosions, AIAA Paper No. 72-1063 (1972).
- [2] R. Adams *et al.*, Developing the Pulsed Fission-Fusion (PuFF) engine, AIAA Paper No. 2014-3520 (2014).
- [3] A. Pancotti *et al.*, Mission design architecture for the Fusion Driven Rocket, AIAA Paper No. 2012-4113 (2012).
- [4] 佐野孝好：プラズマ・核融合学会誌 97, 427 (2021).