



小特集 液体だけど水じゃない～次世代ブランケット・ダイバータ研究開発の現状と課題～

7. 今後の展開

7. Future Developments

相良明男

SAGARA Akio

核融合科学研究所ヘリカル研究部核融合システム研究系

(原稿受付：2015年12月7日)

これまでの要素研究を統合システムとして一刻も早く造ってみることが次の大きな目標である。ここでは高温融体の閉じた統合循環システムが対象になる。この新たな研究をエネルギーの生産・変換・輸送・効率のエネルギー循環工学ととらえ、広大な異分野融合の結集によって、液体ブランケットや高性能ダイバータの実現も見えて来る。ハードルを明確に設定し、着実に実証と実績を重ねていくことが我々に求められている。

Keywords:

blanket, divertor, steady state, system integration

7.1 次の目標

ブランケットシステム無くして核融合エネルギー炉は成立しない。しかし未だこのシステムの現物を見た人はいない。一刻も早く造ってみることが第一歩である。ダイバータも炉のアキレス腱と言われ続けて、もはや待ったなしの所まで来ている。

本小特集で明らかなように、様々な課題に対して、国内外の研究ネットワークと限られた研究資源の中で、様々なアプローチが地道に積み上げられつつある。実験と並行して、モデリングやシミュレーションも広範に“熱く”着実に進んでいる[1]。これらの要素研究をシステムとして構築することが次の大きな目標である。ここでは次で述べる高温融体の閉じた統合循環システムが対象になる。

7.2 定常性と異分野融合

ここで重要なことは、安全性や経済性は当然であるが、その最も基本的な機能としての「定常性」である。熱回収、トリチウム回収、純化、成分調整、温度・圧力調整、流量調整、体積変化調整、等の種々の要素機器を連結した統合システムが、それぞれ固有の時定数の混在する中で、滑らかに、十分な尤度を持って連続的に稼働する必要がある。例えば、生体システムとしての「恒常性」がその良いお手本である[2]。それは、物質合成・増殖を進めながら廃棄機能も有し、厳しい環境変化にも柔軟に対応でき、しかも自己修復機能さえ有する、高効率のリサイクル循環システムである。しかし、その「恒常性」を我々は単体の統合工学装置として真に実現できているであろうか。液体ブランケットにしても液体ダイバータにしても、正にそれに近い物を実現することが前提となる。

筆者らは最近、図1に示す様に、核融合工学全体をエネ

ルギー循環工学としてとらえることを始めている[3]。すなわち、核融合工学をエネルギーの生産・変換・輸送・効率の統合科学と見ることによって、より広い分野の大学や産業界の最先端研究との連携や、更には生理学、分子生物学、宇宙工学、地球物理、等との異分野融合も視野に入れる。これによって、核融合炉の早期実現に必要な技術の高度化を加速するとともに、広範な分野での学術の深化と、世界規模の人材育成や研究資源活用の効率化を進める。特に高温融体に関しては、金属精錬や処理、化学工学、燃料電池、等への応用のみならず、太陽熱発電の蓄熱シーバーや廃棄物の完全無排気分解処理等の新たな展開が始まっている。無重力での新素材開発も期待されている。これらとの広大な異分野融合の結集によって、液体ブランケットや高性能ダイバータの実現も見えてくる。

7.3 7つのハードル

液体金属自由表面ダイバータに関しては、液体カーテン様の場合、筆者らは次の7つのハードル(宿題)を設定して開発研究を進めることとした(2015年1月10日～)。

- (1) MHD：
非一様磁場中($(V \times B) \times B$)のMHD制動による偏流
- (2) 連続性：
総延長全域の液カーテンに一瞬の破れも不可
- (3) 排気コンダクタンス：
液カーテンによる排気経路の制約
- (4) PWI：
金属蒸気のコアプラズマや計測系等への影響
- (5) 安全性：
真空破壊での安全性(火災、毒性、放射線、等)
- (6) 実機実績：

高温プラズマ閉じ込め実機レベルでの安全性含む実験実績，

(7) その他：

荷電粒子 $J \times B$ ，T インベントリと混入 He や不純物の除去，腐食と堆積瘤，揚程含むポンプ動力の増加，等の課題

奇抜さや一面的な魅力に捕らわれることなく，合理的な必然性を定量的に評価して，着実に実証と実績を重ねていくことが我々に求められている。

参考文献

[1] 日本原子力学会誌 連載講座 (2008年6月~2009年7月) 相良明男他「今，核融合炉の壁が熱い！ 数値モデリングでチャレンジ」, <http://www.aesj.or.jp/~fusion/aesjfmt/>

[2] A. Sagara *et al.*, Impact of Burning Plasma on Fusion Technology Development, Fusion. Sci. Technol. **60**, 3 (2011).

[3] 相良明男：プラズマ・核融合学会誌 **91**, 621 (2015).



図1 核融合工学全体をエネルギー循環工学としてとらえる[3].

小特集執筆者紹介



さがら あき お
相良 明男

出身は信濃国小県（真田氏の地）の滋野，上田高校（真田信之居館跡）から名大原子核・プラ研，現職：核融合工学研究総主幹および総研大・教授専門分野：中性子工学と表面物理・イオンビーム解析，だいぶ前から飲むより寄席に。



たなか てる や
田中 照也

核融合科学研究所，准教授。ヘリカル型発電炉・液体ブランケットの設計研究に中性子工学の観点から取り組むとともに，セラミック機能材料の実験研究を行っています。休日に子供と遊べるように，日々黙々と励みます。



しまだ みち や
嶋田 道也

日本原子力研究開発機構 核融合研究開発部門 国際核融合エネルギー研究センターIF-ERC事業チーム。7年間ITERカダラッシュに勤務した後，帰国して青森県三沢市に住み始めて2年半。興味の対象は，プラズマ壁相互作用及び核融合炉全般，に加え，最近は液体金属のプラズマ対向機器への応用。本棚を整理していたら，同じ本，つまり著者，表題，版がまったく同じものが複数できた。そのうちのひとつが「記憶力をよくする法」。生涯現役が夢だが，この調子では，まわり迷惑をかけるだけかも知れない。



みやざわ じゅん いち
宮澤 順一

核融合科学研究所准教授。長野県岡谷市出身。1997年東大大学院博士課程中退。2003年総研大学術博士（論文）。LHDプラズマ実験で得た知見を武器にヘリカル核融合炉を設計中。最近，液体金属ダイバータの可能性に目覚めて研究を開始。これを活かせば魅力的な核融合炉が設計できる。今年は大河の舞台が信濃で嬉しい。真田昌幸は表裏比興と言われるが，常に最善を求めれば必然そうなる。



よこみね たけ ひこ
横峯 健彦

京都大学大学院工学研究科原子核工学専攻准教授。専門分野は，核融合炉・原子炉熱流動工学・安全工学。プラ核学会に入りたてです。よろしくお願ひします。福岡から京都に移って6年目になりますが，大学と飲食店街だけの往復でまったく地名がわかりません。



はしづめ ひで とし
橋爪 秀利

東北大学大学院工学研究科量子エネルギー工学専攻教授。高温超伝導マグネット，Flibeブランケット，ダイバータ除熱に関する電磁構造・熱流動研究に従事。すべてをプラス側に考えて生きています。



こん どう まさ とし
近藤 正聡

東京工業大学原子炉工学研究所熱流動安全分野助教。All Japan体制の原型炉設計合同特別チームのメンバー。2006年，東京工業大学原子核工学専攻博士過程を早期修了。博士（工学）。核融合科学研究所，東海大学を経て現職。主に，高速炉の冷却系や核融合炉の液体ブランケットに関する研究を実施している。出身は，東京都小石川。家内と一緒に，長女の純（5歳）と長男の健（1歳）の子育てに奮闘中。



なが さか たく や
長坂 琢也

核融合科学研究所。主な研究分野：核融合炉用低放射化材料の開発。特にバナジウム合金の開発をしています。バナジウム：Vanadiumの語源はVanadisつまりVenus（女神）。核融合発電という難題に何十年も苦しむ人類に，女神が優しく微笑み解決に導いているのだと思っています。



かた やま かず なり
片山 一成

九州大学大学院総合理工学研究院准教授。主な研究分野は核融合炉のトリチウム。そのほか：みかんのまち，愛媛県中島町出身です。スーパーで“なかじまみかん”を見つけたら買ってください。ちなみに，子供が通う幼稚園の大先生から3月に説教される予定です。