

ユニットテーマ提案書

1. ユニットテーマ

極低温流体を用いた高 Re 数における熱流体力学

2. 提案者（氏名・所属）

高田 卓、今川 信作、濱口 真司 (NIFS)

3. テーマと研究内容の概要

テーマの意味：

極低温流体の特長を生かした熱流体力学を中心として、原型炉を含む大規模科学を実現する技術開発と基礎研究の往復運動を行うメソッド型ユニット

具体的な研究課題：

強制流動下における超臨界ヘリウム・液体ヘリウムにおける熱流動の実験的研究および発展形としての温度可変冷凍機直結型低温風洞実験による高 Re 数実験、原型炉を代表例とする高い冷却安定性を求める超伝導体開発の為に多孔質流れと近似方法の理解及び評価手法、分野横断連携プロジェクト（アクシオン探索実験・原型炉・大型科学分野）の創出・連携強化

10 年間のプロジェクトで達成する目標：

強制流動下の超臨界ヘリウムにおける疑似沸騰現象理解、高 Re 数風洞実現とそれに向けた高空間分解能・高時間分解能のセンサ開発、C I C 導体における冷却安定性理解、細線多孔質と粒状多孔質流れの理解を中心とした多孔質を媒介する熱流動理解、導体評価法の確立、導体の新デザイン提案、ダークマター（アクシオン）探索実験実施

予測される成果の学術的な意義について：

核融合に求められる大型マグネット導体内における流体挙動に対する要請に端を発する学術であるため、到達点の一つに核融合用大型超伝導導体に対する理解、評価法の確立、試験法提案等、原型炉計画への貢献が期待できる。また、多孔質流れという基礎的共通性から蓄熱や熱交換といった広範な工学応用を持つ基礎問題への一般化、更には学術展開として野心的な温度可変冷凍機直結運転の高 Re 数風洞実現は、広範な Re 数領域を小規模装置で単一装置・低ノイズで実現できるため、大型風力発電の翼や設置地形等の現代的問題への応用も望める。本風洞においては小型高感度センサが挑戦的課題となるが、先に述べたアクシオン探索は大型高磁場マグネットを共通の技術的要請とするだけでなく、超伝導検出器を用いたセンシングにも共通性を持ち相乗効果が期待できる。

4. 位置づけ：

ITER, JT60SA における超伝導導体を 1 つの到達点として原型炉設計が構想されている。しかし、先行開発は基礎研究が不十分な半経験的な開発という側面がある。そのため、評価手法は事実上実規模導体のトライ＆エラーに頼る為、試験費がネックとなり別提案が容易に行えない。この問題点を解消する基礎研究として超臨界ヘリウムの熱流動と撚り線導体の冷却安定性を取り上げ、各要素から広がる学術展開を進めようと考えたのが本研究ユニット提案である。また、実験的研究の基本的道具立てを俯瞰した際、低 Re～高 Re 数までを連続的に実現する風洞として発展する可能性を考

2 ページ以内で記述し、10.5pt・行間 1 行を使用してください。青字の注意書きは削除してください。

えた。 10^7 超の高 Re 数風洞は一般に巨大な施設を必要としてしまうが、NIFS のヘリウム液化冷凍機を使えば、超臨界ヘリウムや液体ヘリウムを使うと手の平サイズのテストセクションに 10^7 に到達する Re 数が実現される。温度、流量を独立に振れるため、幅広い Re 数レンジを 1 度に試験できる循環流型の低乱風洞を作成可能である。比較的小型であることに伴ってセンシングに挑戦的課題を含むが、これを超伝導検出器技術の応用によって超えることを狙いたい。世界的に見て競合は CEA, Grenoble であり先行グループが存在することになるが、彼らにはない幅広い温度可変供給によるレンジの広さなどアドバンテージも有している。

分野融合的サイエンスプロジェクトの 1 例として挙げたアクシオン探索は大体積・高磁場を求め るダークマター探査であり、核融合技術との親和性が高い。現有の大口径高磁場施設は、アクシオン探索実験として圧倒的なサイズではないものの、世界最高レベルと互角の規模であり、他要素との組み合わせで世界のトップに立てるポテンシャルを有している。加速器や天文、宇宙など大型化により、人材育成・技術伝承・進歩が 1 分野では難しくなる現状を打破する横の連携を模索する取り組みでもある。特に、技術を持ち寄れば一気に世界的研究を展開できるものの、既存の枠組みに縛られて進みにくくなっているような物理をすくいあげる取り組みにしたい。

5. 研究の方法：

温度、流量共に独立に供給可能な液化冷凍機である温度可変低温設備（超伝導マグネット研究棟：S C 棟）を使用して循環流を作り、超臨界ヘリウムや液体ヘリウム、ヘリウムガス熱流動の実験を展開し、極低温高 Re 数風洞へと展開していく。更に、小型液体ヘリウム容器を使用し、縮小試験法の検討、新規導体案の検討において相補的な実験を行う。分野融合サイエンスプロジェクトについては大口径高磁場施設の活用を中心に検討する。キーコンポーネントは全て現有の装置かそのアップグレードであり、ステップを踏みながら計画を進められるため実現可能性は極めて高い。

数値計算による一般乱流研究との協働も念頭に置いており、大型計算機の助けも必要である。

6. 自己評価

1) 未来志向であること

現状の数値目標型の導体開発の方向性を変革する未来志向のアプローチであり、大型科学の基盤技術の連携・連帯を可能とする学術発展を構想している点が特に未来志向と言える。

2) 目標を具体的に示していること

目標は、超臨界流体理解、多孔質熱流動理解、極低温風洞実現、導体試験法確立、新導体提案、アクシオン探索実験実現と分解して示すことが可能であり、検証に耐えうる具体性は有している。

3) 10 年後に学术界に輝くテーマに育つこと

多孔質内熱流動、超臨界熱流動、風洞実験などについて極低温流体を扱う上で特有のレンジの広さが持ち込まれることで一般化・更なる飛躍への転換点の役割を果たせると考える。また、基礎的な積み上げから行われる超伝導導体研究による評価法確立等の成果は、大型開発以外では貢献できないかのようにになっている超伝導・低温を使った大規模科学の敷居を下げる役割を果たせる。

4) 多様な「個人のテーマ」を包摂できること

本テーマは、流体力学、伝熱工学、低温工学、超伝導工学、素粒子、超伝導検出器、マイクロ波工学、高磁場、金属加工学、物性物理、数値流体力学等々幅広く包摂する。