

課題No.27

極低温・高磁場研究

提案者 高田 卓

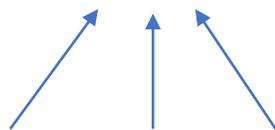
2021. 6. 7



本題に入る前に① メソッド型を志向

パッケージ型

学術テーマ：
Ex. 重力波観測

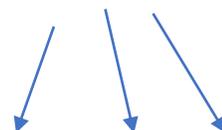


専門領域

相対論、干渉計、真空、レーザー・・・

メソッド型

専門領域
Ex. 低温



学術領域

核融合、重力波、宇宙論、乱流、加速器、物性・・・

私のパッケージ型、メソッド型の理解

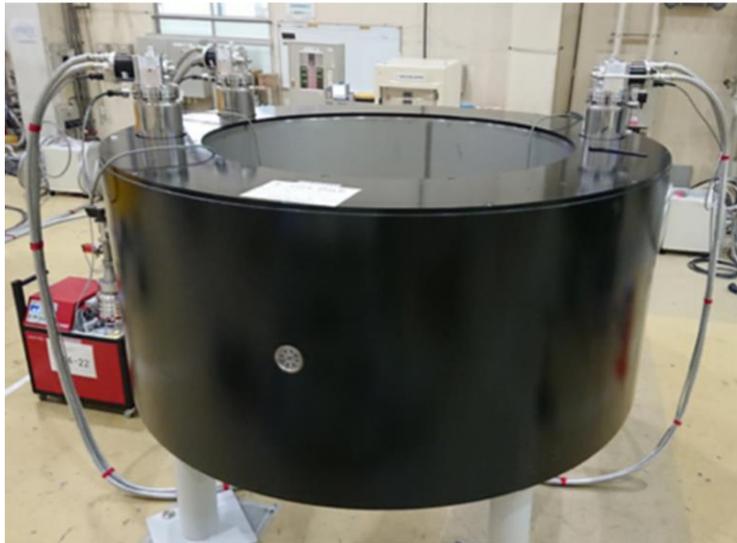
同じ技術を持つ人の中では

「尖った技術によって尖った実験を実現したい。」という人々で集まりたい。

NAOJの先端技術センターやKEKの超伝導低温工学センターをイメージ

本題に入る前に② 核融合研究における極低温・高磁場の難点

- 高磁場・高強度・大口径・大電流・高徐熱能力・高効率（量産化・製作コスト）
が**同時に要請**、それでいて要求値も要求時期も不明
≠ 高磁場科学、民生マグネット



社会に広く普及した2大応用



生理学研の 7 T MRI(通常のMRIは 1 T程度)

全てを同時に求める所が核融合業界の異質な所

ここから本題 何をを目指す研究か？（抽象的に）

一緒に研究させて欲しいと請われる**極低温・高磁場の研究**

「マグネットなら」

「磁場計測なら」

「低温なら」 1度は核融合研に相談してみようかと思われる研究実績・実力

（これまで）大電流・高強度・高磁場・大口径・高徐熱能力(LHD開発・運転・保守)

⇒ （これから）中・小規模の極低温・磁場技術も包含した極限技術開発へ

これまでは各要素の同時要求の副作用で核融合炉を見つめると議論発散・評価不能
（焦点のボケたモノづくりと基礎の排除 ≠ 学術）

これから

特にLHD以後の世代は（メーカーも含めて）10年以内で完遂する研究経験が必要。

（挑戦的モノづくりと基礎の往復→学術！）

こういった研究を実施するか？（やや抽象的に）

- 熱流体力学研究としての極低温流体
高Re数, 量子乱流, 超臨界流体・・・

- 超伝導の基礎～応用

線材開発～導体～コイル, 接合, クエンチ検出
大電流電源, 低ノイズ電源, 磁場計測

- 連携

ITERやJT60SA, DEMO等, 科学プロジェクト(素粒子や天文)
民生応用 (医療用マグ, 水素液化)

超伝導マグネットシステム

次期プラットフォームの
プロトタイプ等の製作

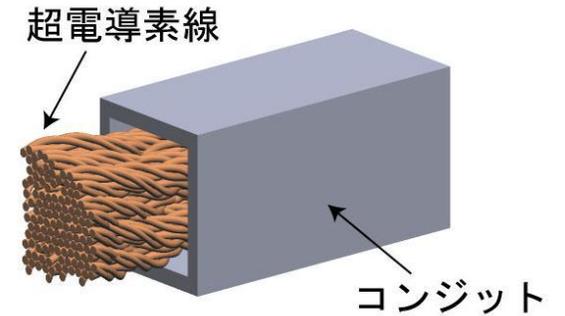
出来れば特徴的なコイル

具体的なイメージ①

極低温流体の熱流体力学全体への貢献

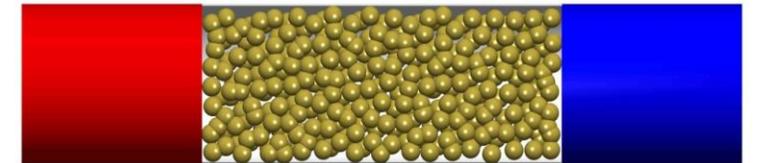
ヘリウムの魅力：再現性の高い純粋な系が作りやすく、様々なパラメータを振りやすい
高Re数にもアプローチしやすい
超臨界流体にも扱いやすい圧力で実験可能

多孔質流れの計測・研究

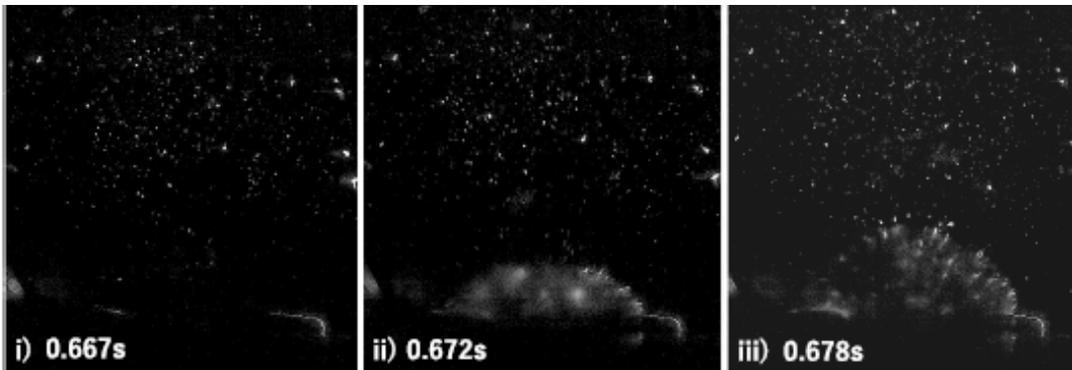


量子乱流から見る乱流の普遍性

(課題No.18三浦さんの提案と部分的重複)



サイエンスゼロ@NHKサイトから引用

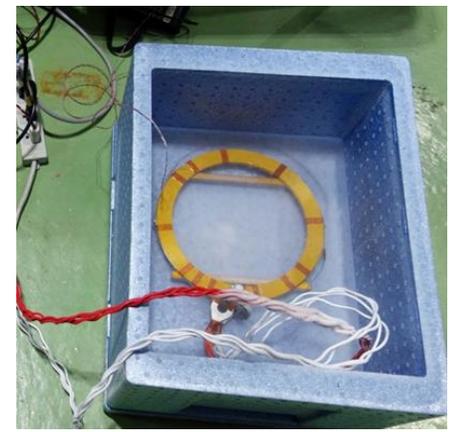


Cryogenics 2020, M. Murakami & S. Takada

超流動ヘリウム実験の技術・経験、実施中のテーマ有

具体的なイメージ②

超伝導の基礎～応用



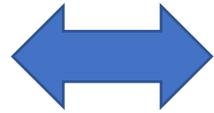
JAXA能代で使う予定の
液体水素冷却用HTSコイル

高温超伝導：期待されつつ数々のハードルを持つ未踏技術

超伝導接合

クエンチ検出・保護

線材開発・非破壊検査



次世代炉用導体という制約を外し、
コイル化して技術自体の底上げを目指す。

対象はプラズマ実験用制御コイル≠導体
直線装置やプロセスプラズマ、プラズマセル？

低温超伝導：確立された技術である一方、DEMO等次世代炉には不足も

線材開発、導体開発

Nb3Al 等のITER技術の先を行く別解の探索

具体的なイメージ③ 連携

分野内の人材枯渇状況からも交流は不可避

写真は既に実績のあるものを並べているが、
今後も
小さい技術から大型の**DEMO**等への協力などあり得る

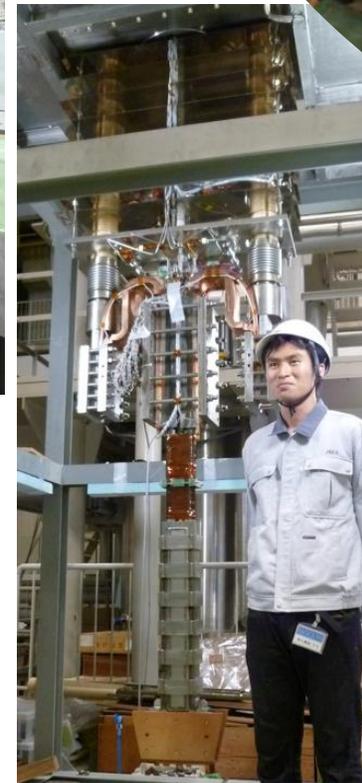
高磁場大口径を求める**ダークマター探索 (Axion)** なども
展開可能性がある。



KAGRAの極低温サファイア鏡懸架系

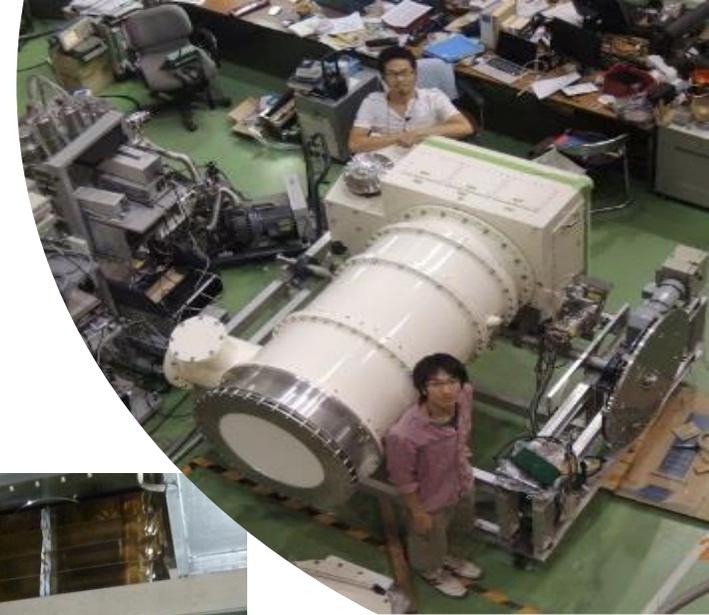


JT60SA
CSモジュール
(実機：重量18tのコイル)



ミリ波望遠鏡
POLARBEAR2
のレーザー

ITER 導体接続部試験
(68kA通電試験)



挑戦的モノづくり



基礎研究

この2つを往復運動で研究を進めたい！

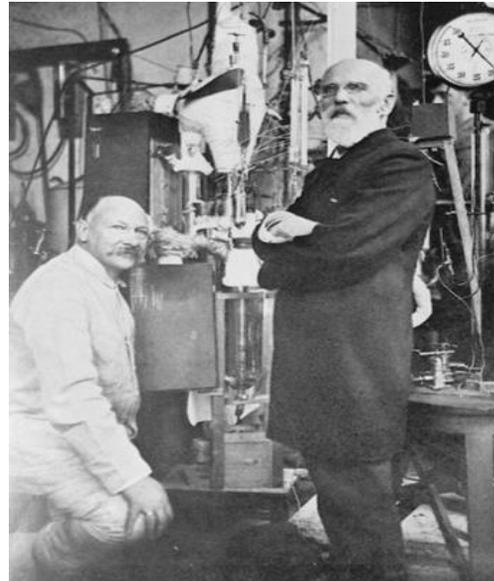
きっと疑問に目をつぶる開発ではなく、開発の中で見つかる新たな謎に光をあてる学術研究を

挑戦的モノづくりは極端なスペックを要求

→ 極限技術開発

→ 基礎的な疑問にぶつかる。

→ 新しいテーマへと展開



私的な経験

LHC用集束マグネット、超伝導加速空洞 等
超流動ヘリウム (He II) 冷却に強い熱負荷

→ He II 沸騰はどんなか？

→ サブクール度と沸騰モード分岐

→ サブクールの極限としての微小重力

→ ラムダ点での異常熱輸送発見

→ 宇宙機への利用？

→ He IIの2つの極端温度のサイズ効果へ(今ここ)

→ 量子化渦と壁の相互作用

→ 量子乱流実験の新たなプラットフォーム？

まとめ：研究ユニットの5～10年

熱流体力学研究 + 高磁場研究 ⇔ 先進的モノづくり (ex. 特徴的超伝導マグネットシステム)

ユニット開始後5～10年でSULTANのような国際的な試験場機能を持つか否かの判断

(国際的にも少ない試験環境を持つ責務、外部環境も考慮せざるを得ない)

特に5年以内に

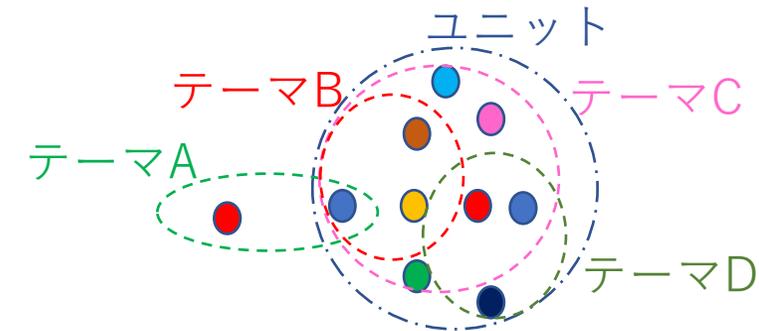
例えば、MHD実験用の挑戦的コイルシステムの製作開始

他のユニットと連携して相談していききたい。

例えば 特徴的な直線装置にマグネット (超伝導に限らない)

新たな検出手法の為の冷却システム (極低温に限らない)

高精度な磁場計測 等



半インハウスでシステムを作り上げる実績と実力向上を大事にして

各人が様々なテーマに相互に乗り入れる形で研究の相乗効果をねらいたい。

ご清聴ありがとうございました。

The low-hanging fruit has already been taken.
Progress is slow.



おまけ

ユニットにおけるテーマと規模感

大：5名以上 核融合研究用大規模装置の基幹技術（ex. ITER導体、DEMO）

中：1～5名

要素技術開発や外部プロジェクトとの協力（ex. KAGRA, CMB, 磁気冷凍）

小：1～2名で参画しうる学術テーマ（ex. 量子乱流、極低温ヒートパイプ）

例は全て高田の現状と経験を延伸して記載。

規模を電流値で示せば**大20kA以上、中1～20kA、小～1kA**

重さで示せば**大 1t以上 中～100kg 小～10kg** をイメージしている。

メンバー各人が大・中・小それぞれのテーマを様々なバランスで持っていることが理想

（これまで）大電流・高強度・高磁場・大口径（LHD開発・運転・保守）

⇒ （これから）中・小規模の極低温・磁場技術も包含した極限技術開発へ

プラズマ実験用のマグネット開発、磁場計測技術開発、極低温技術開発などについて
インハウスでプロトタイプ製作、試作を主導したい（メーカー丸投げからの脱却）

想定するユニット規模（人数と予算）と 何故それが必要か

- 10名弱を想定

←ITER導体試験など比較的大きな実験にはチームが必要。技術部の支援があったとしても**4, 5名は固まったチームで請けたい仕事。**

←研究基盤は超伝導マグネット研究棟の**温度可変低温設備と大電流の直流電源。**
大きい割にフレキシブルという極めて特長的な設備を装備。当然、他分野からの共同利用も募集する。所帯が小さすぎるとメンテナンスや調整作業ばかりが仕事になってしまう。

←基幹設備の維持やアップグレードを検討する上で、設備の面倒を見る技術
部—ユーザーの研究者という区別が非常に難しい。

- **液化機の為の600～1000万円程度の基盤予算と2名程度の技術部職員の応援**
その他の予算は外部予算等メンバー間の努力による。

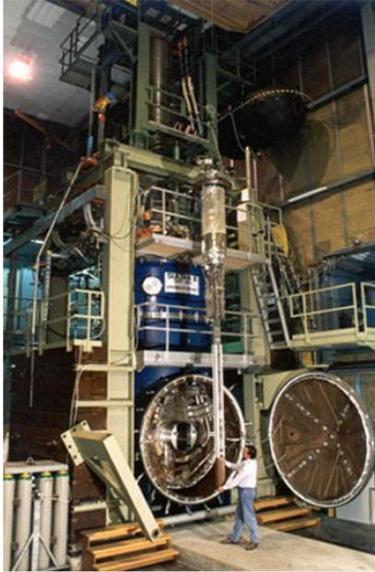
5年、10年後には岐路を迎える研究ユニット

- 5～10年でITERファーストプラズマ、DEMOのC&R等に影響を受ける為
大型テーマについてはNIFS単体で決断できない状況

- 基盤装置の寿命も厳しくなっている。
- 大型装置の要求仕様次第では基盤の増強が必須になりかねない。

→ユニット開始5年で

“大型超伝導マグネット開発を辞める or 大型に注力”
の方針を判断し、組織や活用すべき資産について**再度検討が必要**。



SULTAN@CRPP in Switzerland

言い換えればアジアにおけるSULTANを目指すか否かの決断
どちらの決断をとるとしても直近5年で開発チームとしての実績・実力の向上させたい。

そういった判断までに（5年内に）

プラズマ実験用の挑戦的コイルシステムの製作開始が理想的。

例えばプラズマ応用などより小型の協力でも良い。

チームで活動し半インハウスでシステムを作り上げる実績と実力向上を大事にして

各人が様々なテーマに相互に乗り入れる形で研究の相乗効果をねらいたい。