

2025年度 成果報告会

ヘリカルフュージョン社との共同研究

ー超伝導・低温工学ユニット関連研究ー

核融合科学研究所
フュージョンエネルギー産学連携室
HF共同研究グループ
成嶋 吉朗

超伝導・低温工学ユニット 基礎研究から応用まで

Superconductivity & Cryogenics Unit From Fundamental Research to Applications



1. 背景
産学連携の必要性
2. 研究内容
コイル開発と試験概要
3. 共同研究の実施例
WISE導体・DPコイル試験
4. まとめ
成果と今後の意義

- 内閣府「フュージョンエネルギー・イノベーション戦略」
 - ・フュージョンエネルギーを新たな産業と位置付け
 - ・社会実装に向けた官民連携の強化が求められている
- 核融合科学研究所(NIFS)とスタートアップ企業との連携が重要
 - ・NIFS単独では実施が難しい挑戦的研究
 - ・機動性の高い研究開発の推進
- 利益相反への適切な対応
 - ・共同研究体制の整備
 - ・情報発信（メディア対応）
 - ・NIFS所内の調整・理解醸成

○ヘリカルフュージョン株式会社(以下、HF社)との共同研究

[共同研究テーマ]

- ・ 令和5年開始「WISE導体高磁場中通電試験」
- ・ 令和7年開始「高温超伝導導体ダブルパンケーキコイル通電試験」

[実施環境]

- ・ 超伝導マグネット研究棟の設備等を活用
 - 大型超伝導導体試験装置
 - 大口径高磁場導体試験装置
 - 温度可変低温設備

○ヘリカル炉を志向した超伝導マグネット(コイル)の開発

[NIFS]

- ・ LHDにおける低温超伝導導体の長期運用実績(27年超)

[HF社]

- ・ 高温超伝導(HTS)を用いたマグネット開発
- ・ フュージョンエネルギー炉への適用を志向

[共同研究]

- ・ NIFSのマグネット試験装置群を用いた検証試験
- ・ 高磁場・極低温条件下における通電特性評価

0. 初期の通電試験(NIFS単独)

- ・ 短尺導体(1m)
 $I = 2 \text{ kA}$ (自己磁場、液体窒素温度)
- ・ WISE導体 (U型直線状導体)
 $I = 16 \text{ kA}$, $B = 5 - 8 \text{ T}$, $T = 30 - 50 \text{ K}$



1. 共同研究「WISE導体高磁場中通電試験」

- ・ 改良型WISE導体
 $I = 40 \text{ kA}$, $B = 8 \text{ T}$, $T = 6 \text{ K}$



2. 共同研究「高温超伝導導体ダブルパンケーキコイル通電試験」

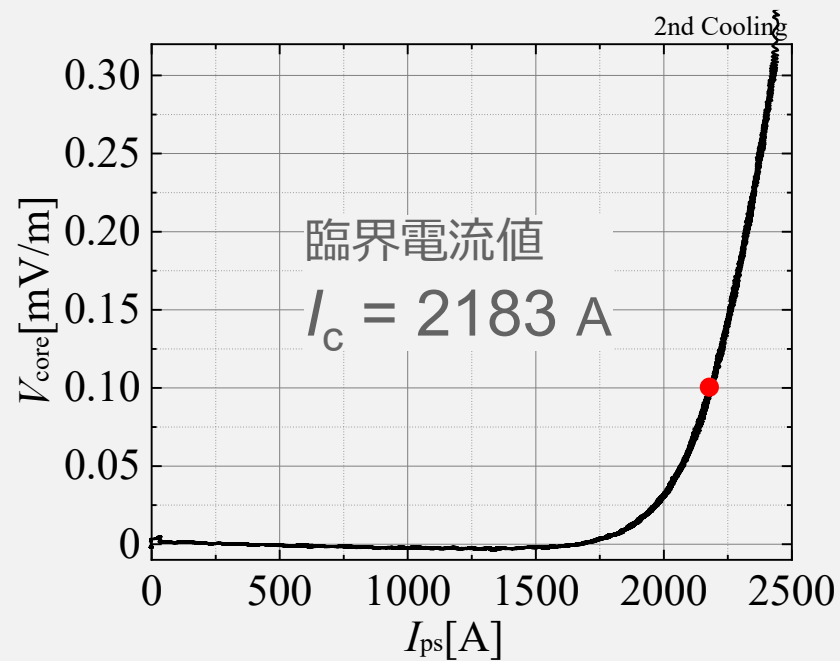
- ・ ダブルパンケーキコイル (UROCOIC導体)
 $I = 40 \text{ kA}$, $B = 7 \text{ T}$, $T = 11 \text{ K}$



初期の通電試験(NIFS単独)

○短尺導体試験

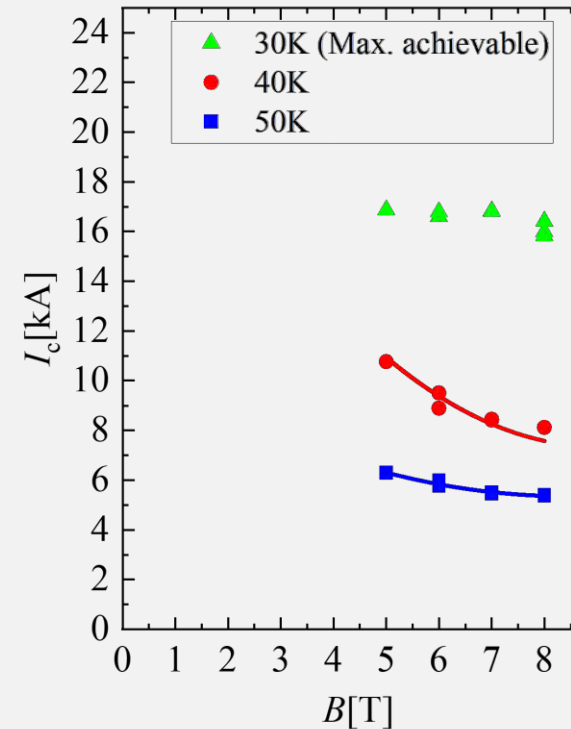
- ・ 全長1m導体
- ・ $I_c \sim 2$ kA (自己磁場、液体窒素温度)



約10本の試作により特性を把握、
設計指針を確立

○WISE導体試験

- ・ U型直線状導体
- ・ $I_{\text{max}} = 16$ kA ($B = 5 - 8$ T, $T = 30 - 50$ K)



短尺導体の知見に基づく設計
高磁場中で16 kA通電を達成

1. 共同研究「WISE導体高磁場中通電試験」

- 改良型WISE導体： $I = 40 \text{ kA}$, $B = 8 \text{ T}$, $T = 6 \text{ K}$

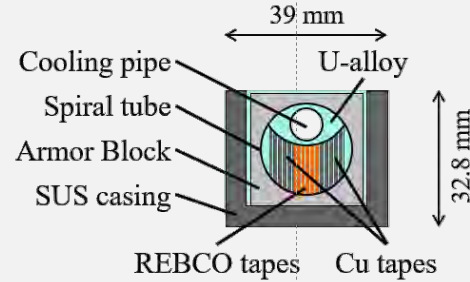
WISE

Wound and Impregnated Stacked Elastic tapes

導体形成後に低融点金属で含浸
アーマーブロックで強化



(a) Cross-section



Cross-section
 $S = 1279.2 \text{ mm}^2$

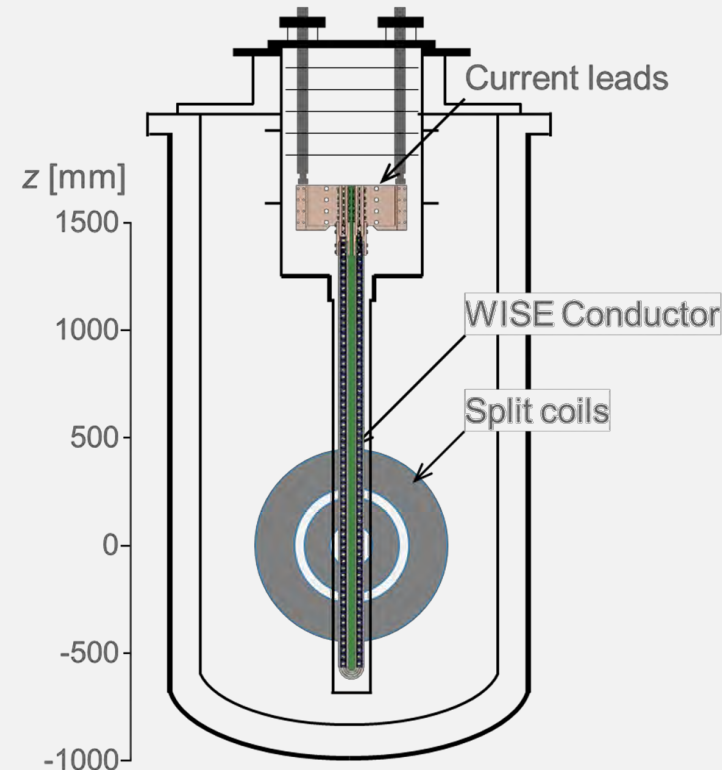
60枚積層REBCOテープ

幅：12 mm

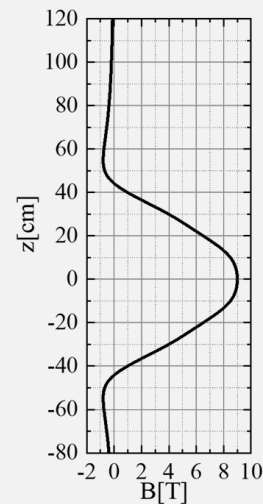
臨界電流： $I_c = 645 \text{ A}$ （液体窒素温度、自己磁場）

冷却パイプを沿わせて冷却能力強化

Large Conductor Testing Facility



Magnetic field by split coils



1. 共同研究「WISE導体高磁場中通電試験」

- 改良型WISE導体： $I = 40 \text{ kA}$, $B = 8 \text{ T}$, $T = 6 \text{ K}$

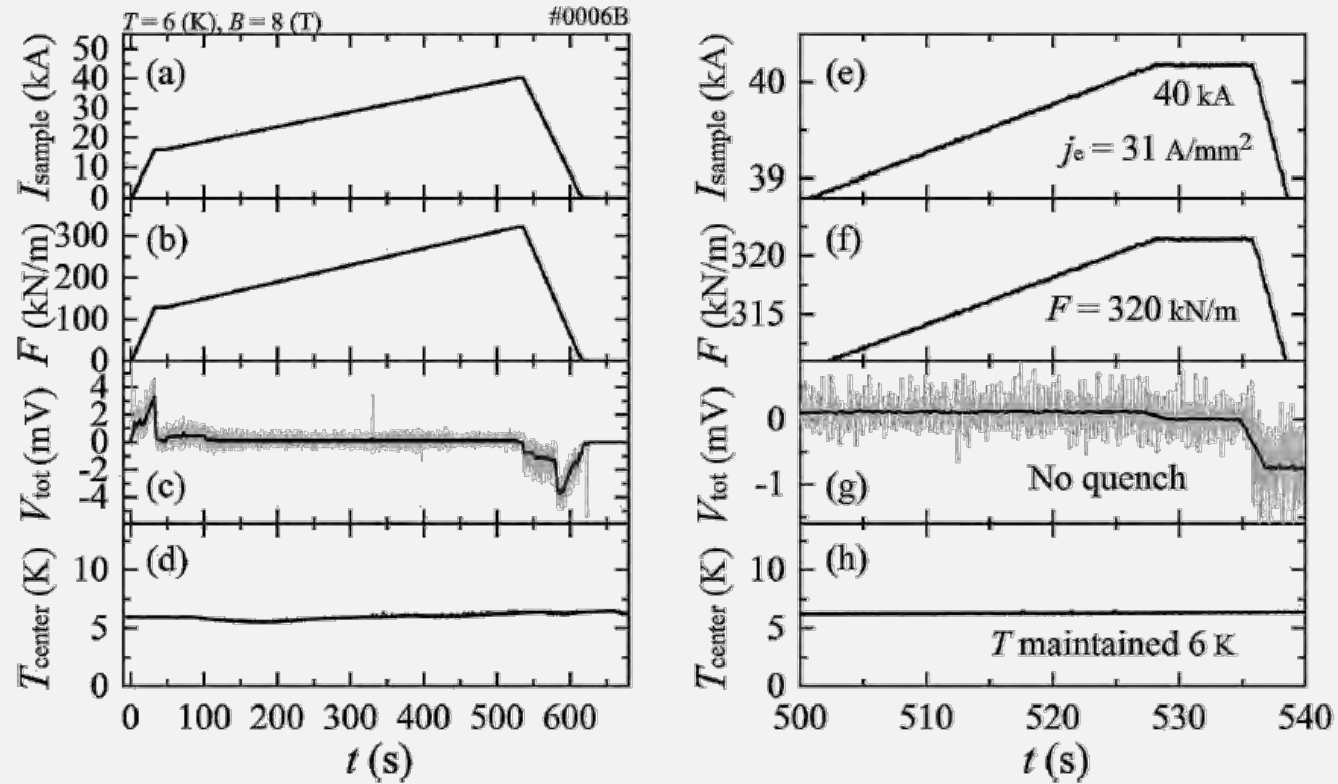


Fig. 3. Time (t) evolution of (a) sample current I_{sample} , (b) electromagnetic force F , (c) total voltage V_{tot} (the black and grey lines indicate smoothed data and raw data, respectively), and (d) temperature T_{center} under the conditions of $B = 8 \text{ T}$ and $T = 6 \text{ K}$. Zoomed-in views of the period between 500 s and 540 s are shown in (e)–(h).

8 T、6 K条件下でクエンチなし40 kA通電を実現

1. 共同研究「WISE導体高磁場中通電試験」 40 kA 達成

- 改良型WISE導体 : $I = 40 \text{ kA}$, $B = 8 \text{ T}$, $T = 6 \text{ K}$

Y. Narushima, et al., Plasma and Fusion Research Vol. 20 1405043 (2025)

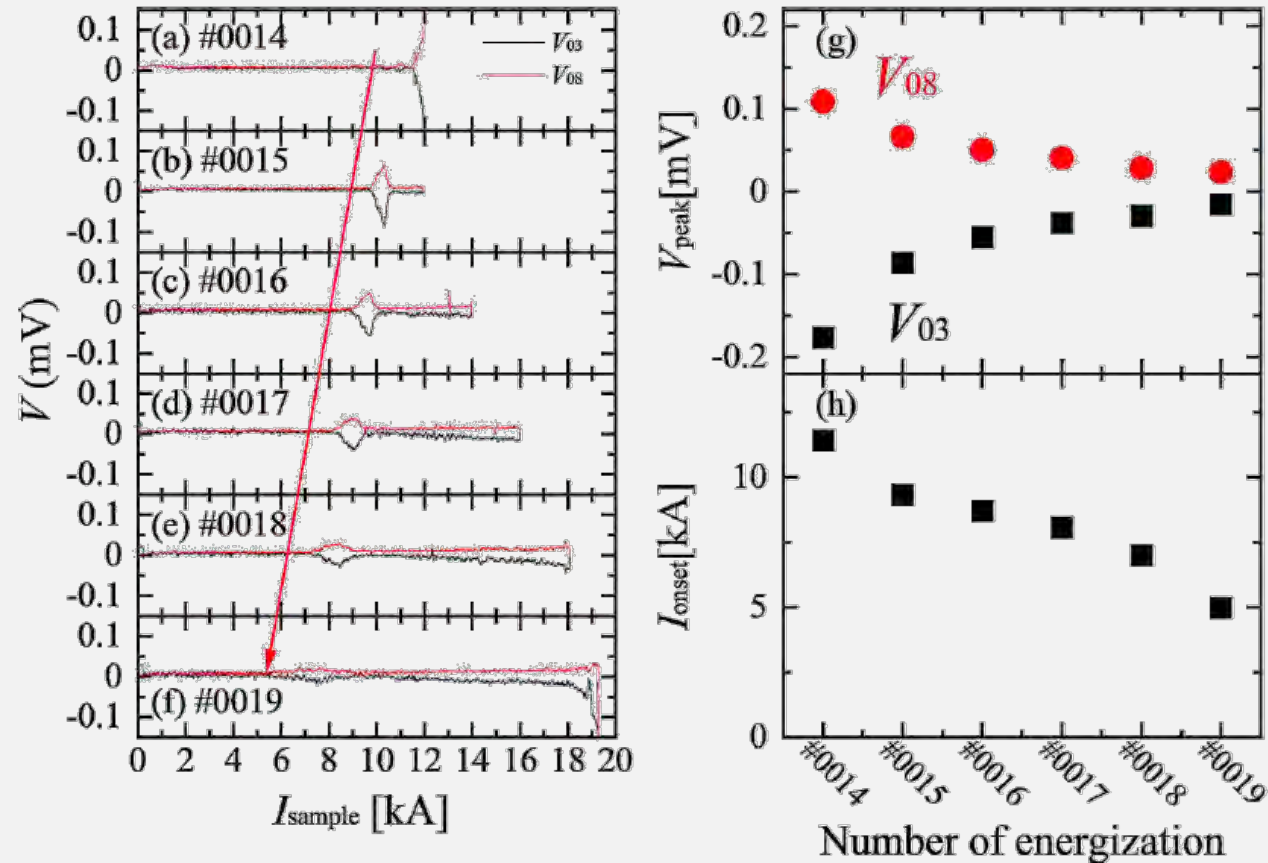


Fig. 6. (a)–(f) $I_{\text{sample}} - V$ curve. The voltages (V_{03} and V_{08}) are measured locally. Trends in (g) voltage and (h) onset I_{sample} for each energization.

電流増加の際に電圧の瞬間的な増加を観測
→ 通電回数ごとにオンセット電流値と電圧が低減
REBCOテープの逸脱距離約30 (μm)に相当

2. 共同研究「高温超伝導導体ダブルパンケーキコイル通電試験」

- ・ダブルパンケーキコイル (UROCOIC導体) : $I = 40 \text{ kA}$, $B = 7 \text{ T}$, $T = 11 \text{ K}$

UROCOIC

Unitized Reinforcing Outer Cover On Internal Components

改良型アーマブロックで強化(WISE 比)

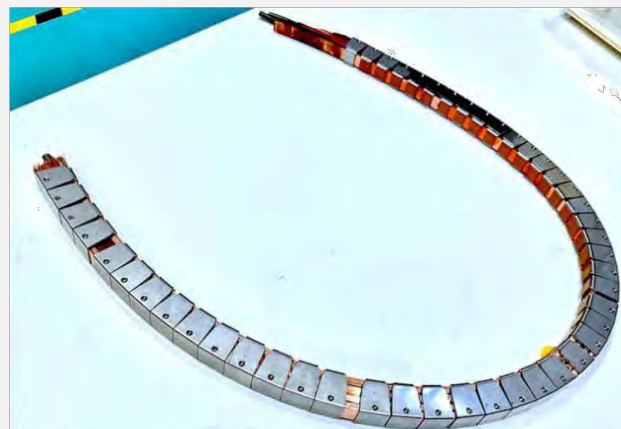


Fig. 1 Overview of UROCOIC conductor

Y. Narushima et al., J. Phys.: Conf. Ser., in press.

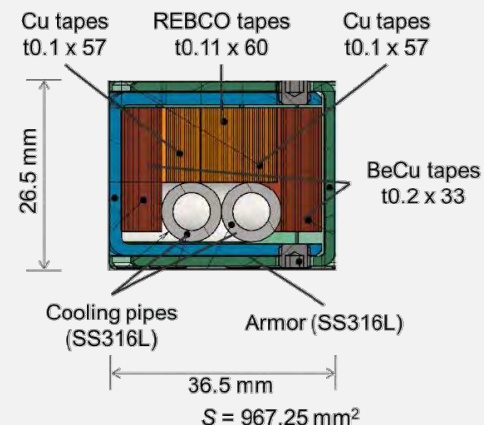


Fig. 2 Cross section of UROCOIC conductor

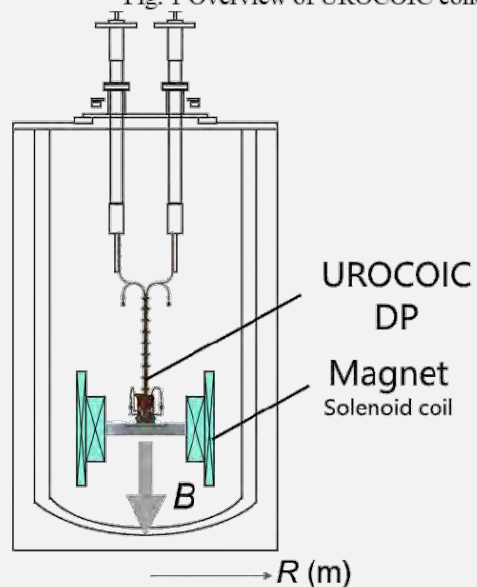


Fig. 4 Cryostat and included magnet

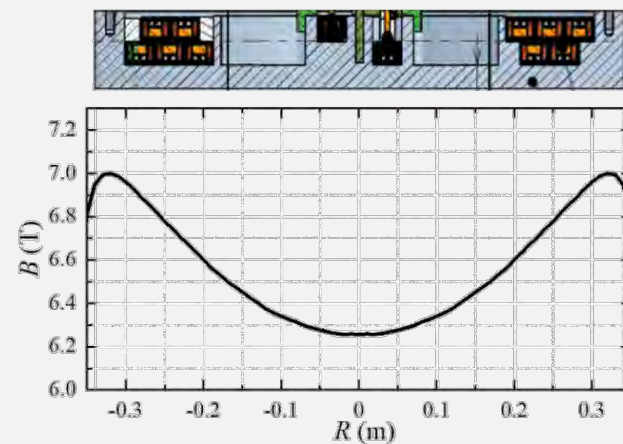
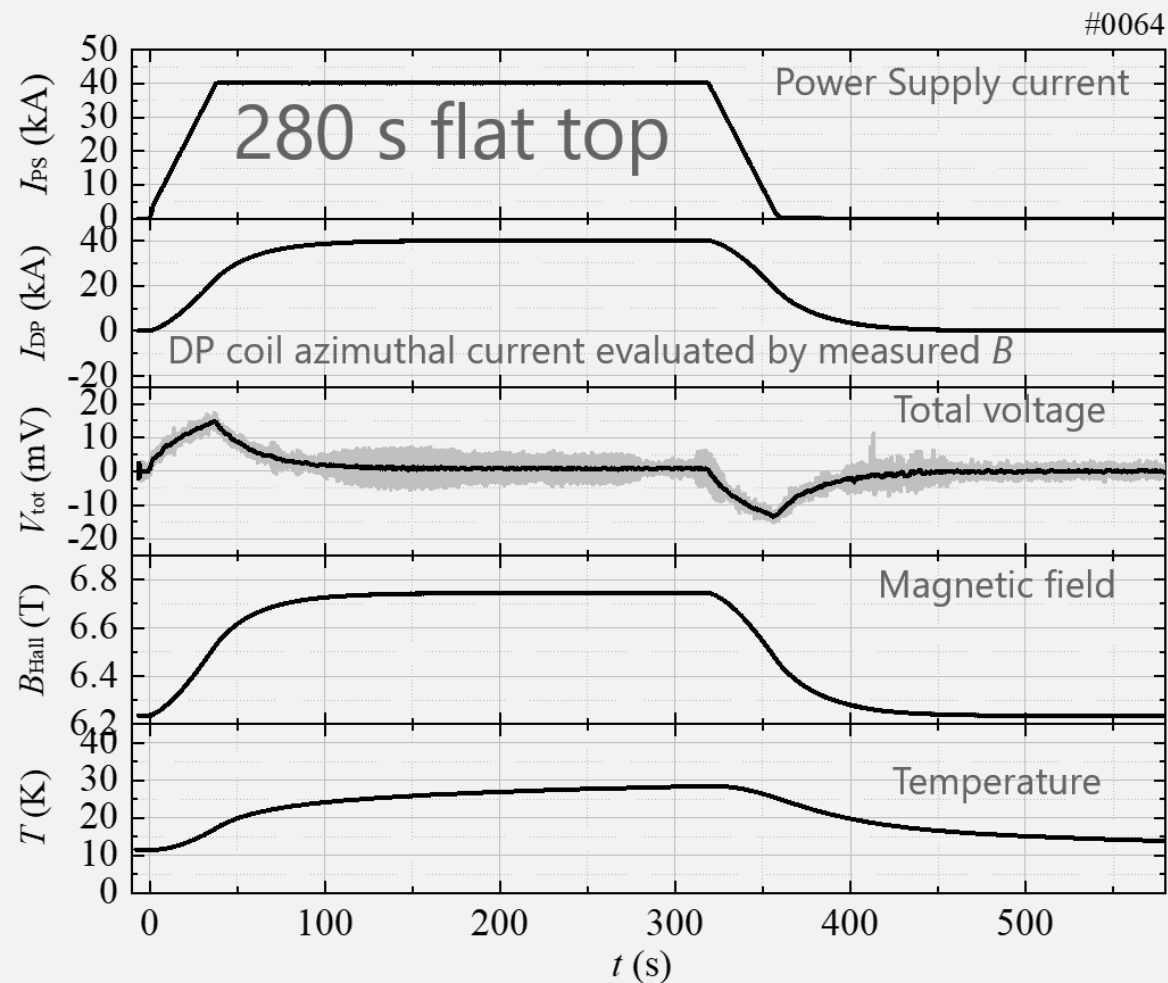


Fig. 5 Profile of external magnetic field produced by magnet inside cryostat. Cross section of DP coil is drawn as a positional reference.

2. 共同研究「高温超伝導導体ダブルパンケーキコイル通電試験」

- ダブルパンケーキコイル (UROCOIC導体) : $I = 40$ kA, $B = 7$ T, $T = 11$ K

Y. Narushima et al., J. Phys.: Conf. Ser., in press.



11 K、7 T条件下において、40 kA通電を280 s維持
約0.5 Tの磁場発生を確認

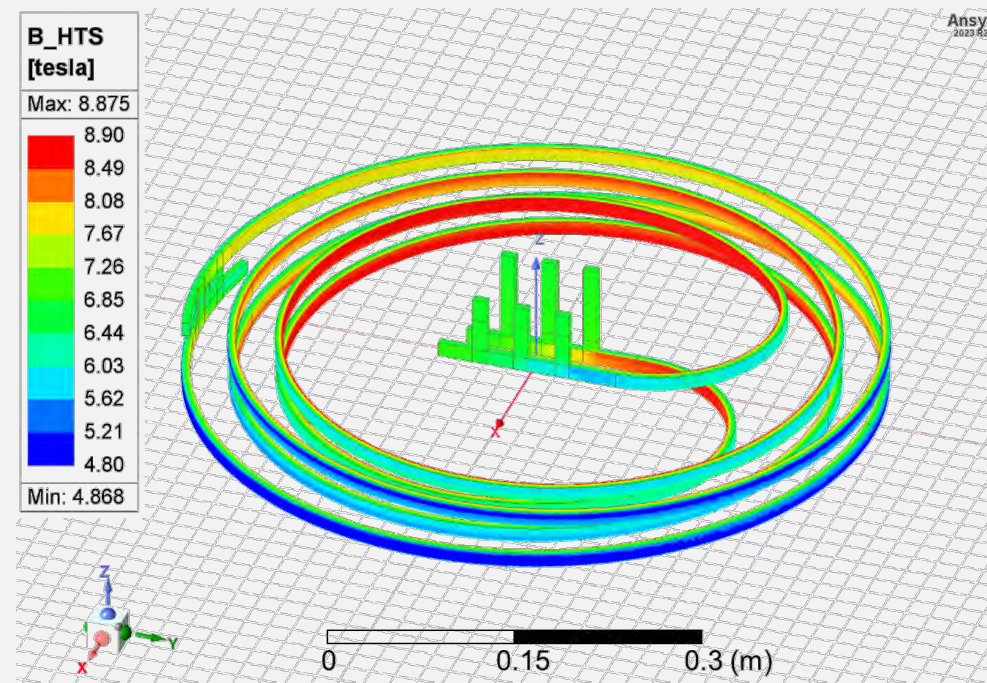


Fig. 10 3-D profile of magnetic field strength calculated by ANSYS. Magnetic field corresponds to the superposition of the external field and the self-field produced by the coil.

320 kN/m以上の電磁力に耐えることを確認

NIFSとHF社の役割分担

NIFS :

学術研究を主導
研究基盤（設備・技術）の提供
成果の学術的検証および論文化

HF社 :

技術開発および社会実装を主導
NIFSへの研究資金の提供と研究環境の活用
開発成果を次期装置設計へフィードバック

○技術的成果

- ・ HTS導体を用いたマグネット研究
- ・ 2kA 級の導体から 40 kA 級導体への進展
- ・ 導体 → コイルへの段階的スケールアップを達成
- ・ 高磁場、極低温下におけるHTS導体通電特性の解明
- ・ 高温超伝導マグネットの実機適用に向けた重要なステップ

○産学連携の意義

- ・ NIFS：試験基盤と学術的検証
 - ・ HF社：技術開発と社会実装
- 相補的連携による開発加速

論文

- [1] Y. Narushima, et al., Plasma Fusion Res. 17, 2405006 (2022)
- [2] Y. Narushima, et al., J. Phys.: Conf. Ser. 2545, 012009 (2023)
- [3] Y. Narushima, et al., Plasma Fusion Res. 20, 1405043 (2025)
- [4] Y. Narushima, et al., J. Phys.: Conf. Ser., in press.

国際学会

2022

- [5] Y. Narushima, et al., 5th HTS4fusion Conductor Workshop HTS4Fusion_01
- [6] Y. Narushima, et al., 35th International Symposium on Superconductivity WB2-3
- [7] Y. Narushima, et al., The Applied Superconductivity Conference (ASC 2024) 2LPo1A-02
- [8] Y. Narushima, et al., 38th International Symposium on Superconductivity (ISS2025) AP3-03

国内学会

- [9] 成嶋 他 2022年度春季 第103回 低温工学・超電導学会研究発表会 3C-a03
- [10] 成嶋 他 第14回核融合エネルギー連合講演会 8P-12
- [11] 成嶋 他 第39回 プラズマ・核融合学会 年会 25Da08
- [12] 成嶋 他 2023年度春季 第105回 低温工学・超電導学会研究発表会 3B-a05
- [13] 成嶋 他 第40回 プラズマ・核融合学会 年会 29P35
- [14] 成嶋 他 2024年度春季 第107回 低温工学・超電導学会研究発表会 1C-p04
- [15] 成嶋 他 第15回核融合エネルギー連合講演会 14P11
- [16] 成嶋 他 2024年度秋季 第108回 低温3A-p04工学・超電導学会研究発表会
- [17] 成嶋 他 第41回 プラズマ・核融合学会 年会 17Cp02
- [18] 成嶋 他 第42回 プラズマ・核融合学会 年会 1P89