

超伝導・低温工学ユニット

液化水素を冷媒とした 核融合超電導マグネットの実現に向けて

大屋 正義（関西学院大学）

所内世話人：平野 直樹





本研究の位置付け

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





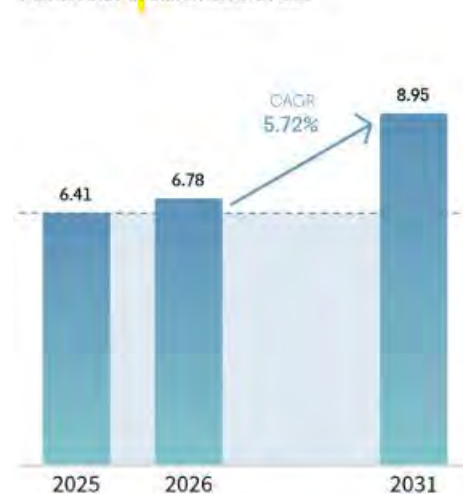
背景



貿易統計より作成

ガスレビュー, 産業コラム, 2025/7/2

Helium Market
Market Size in Billion Cubic Feet



Source: Mordor Intelligence

世界のヘリウム年間生産能力：3～3.5万トン

供給：長期的には減少傾向

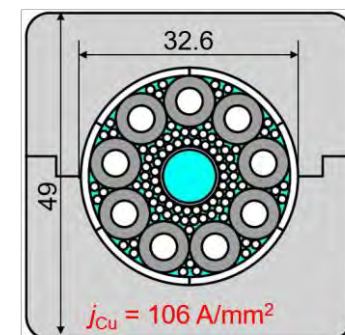
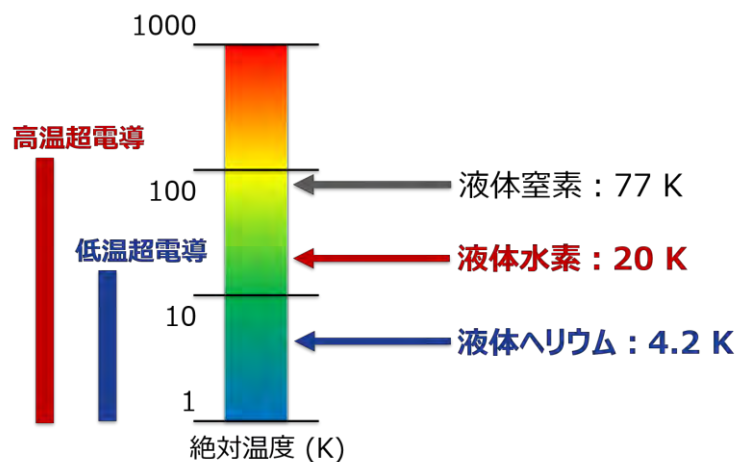
需要：半導体製造・医療分野で年々増加

超電導マグネットの冷却に必要な液体ヘリウム

LHD：約3トン

ITER：約20トン

核融合炉の世界的な大量導入を想定すると
液体ヘリウム冷却は現実的ではない可能性

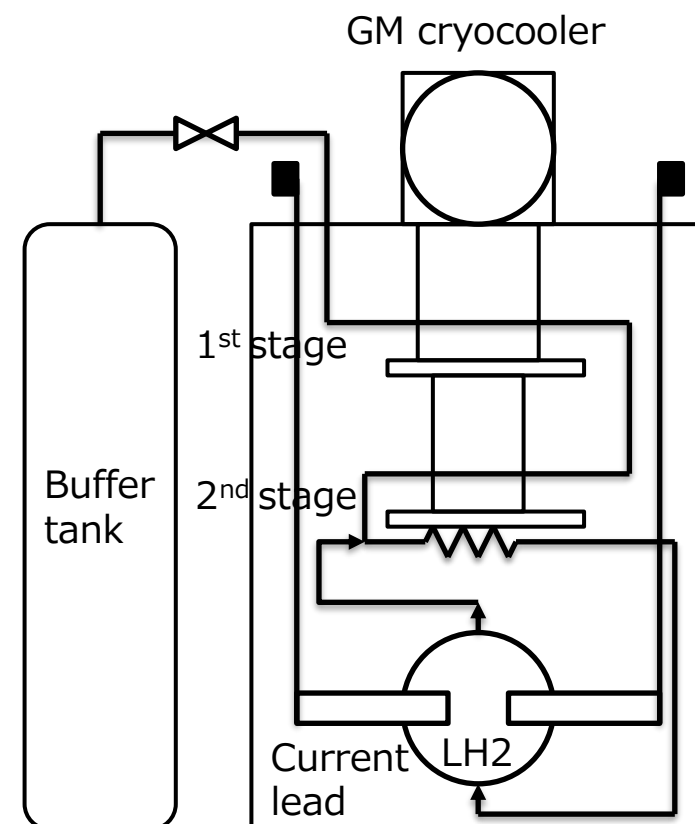


HTS conductor cooled with H₂
45 kA at 13 T (same as ITER-CS)

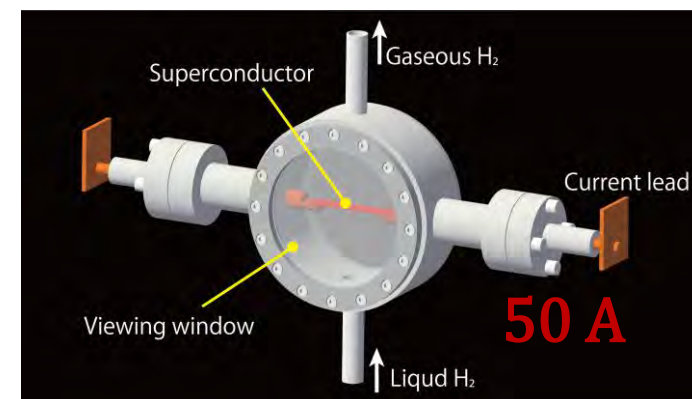
▶液体水素冷却高温超電導マグネットの検討が必要



液体水素クライオスタット



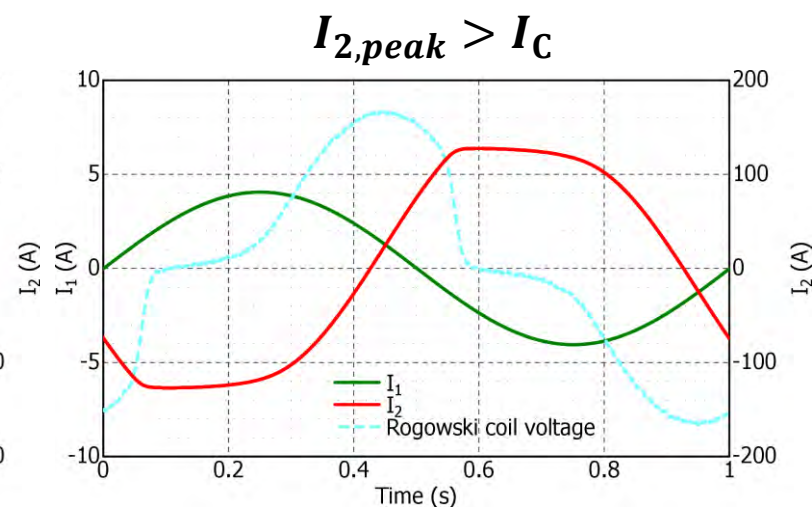
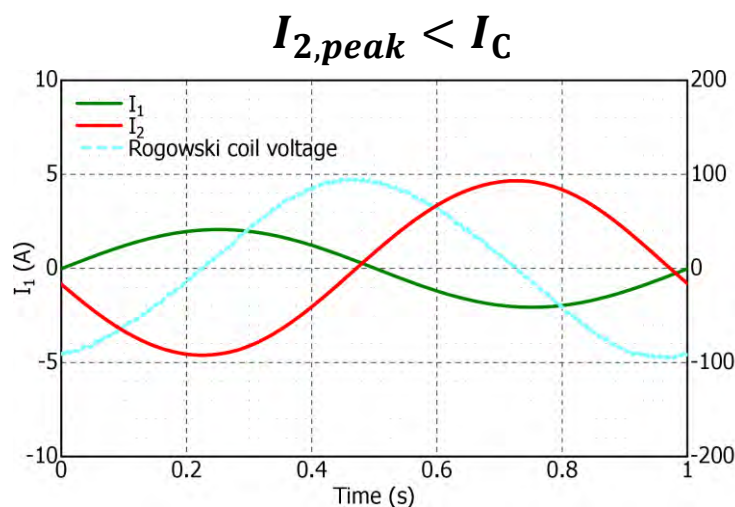
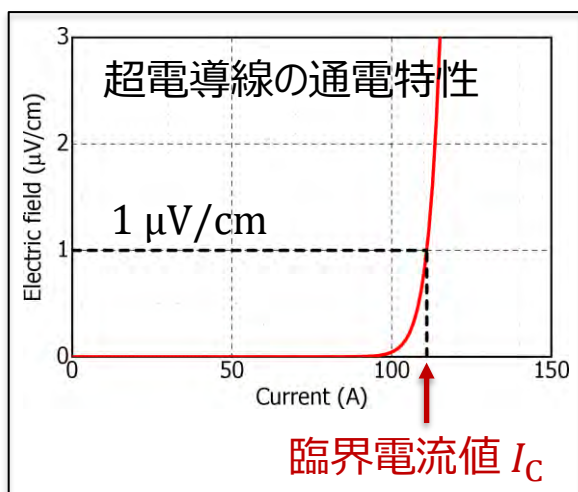
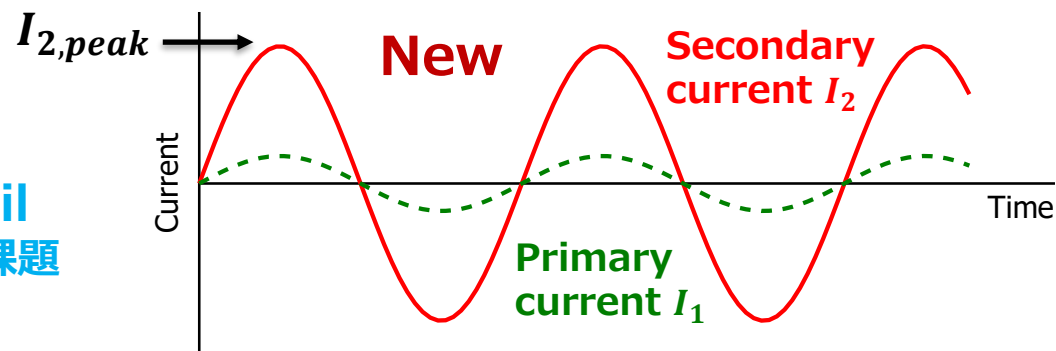
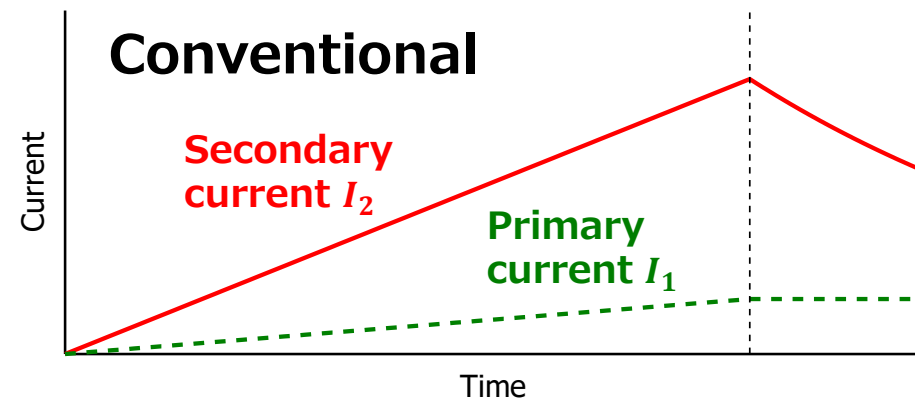
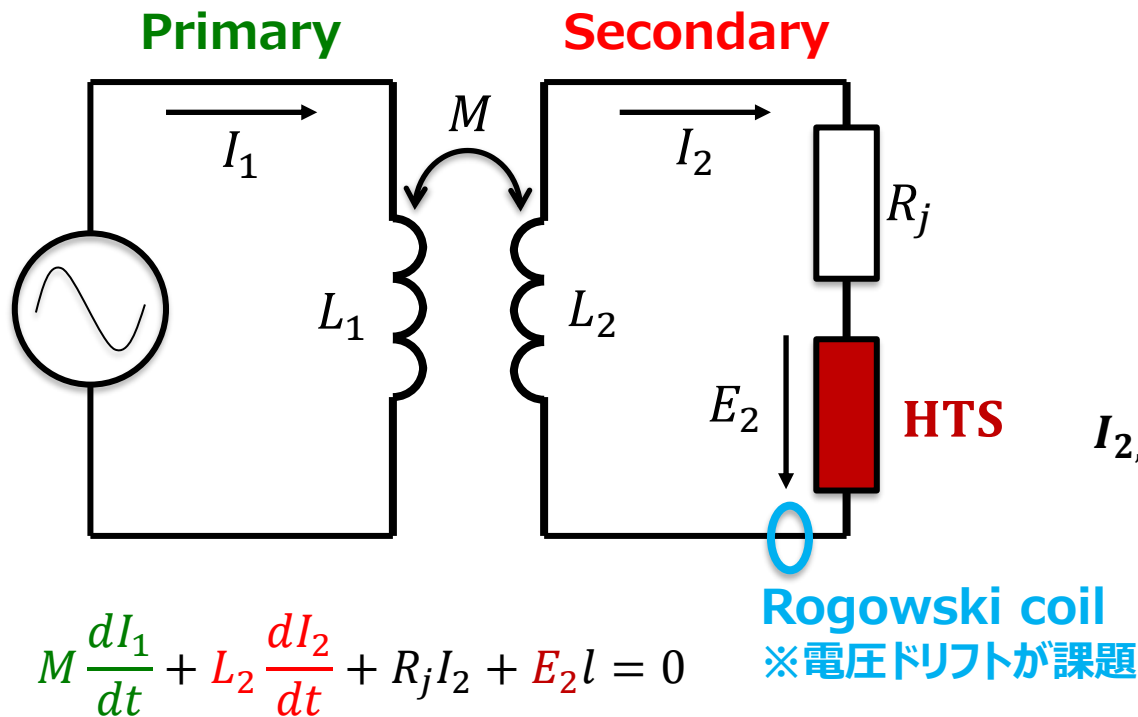
液体水素試験用クライオスタットを改造
高温超電導線材の通電試験環境を整備



2021年度春季低温工学・超電導学会研究発表会, 1A-a04

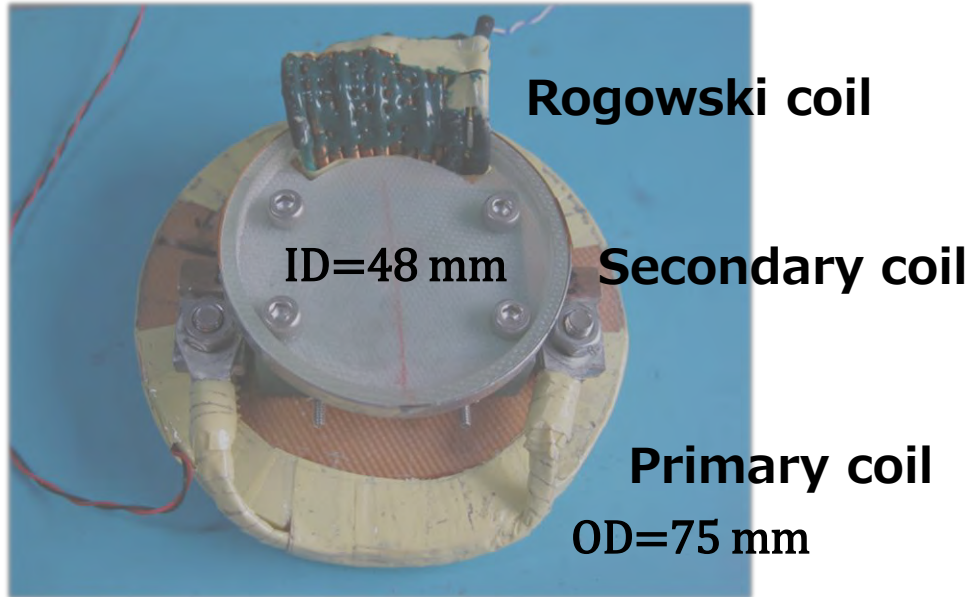


交流誘導通電方式と試験サンプル





試験サンプル組み込み

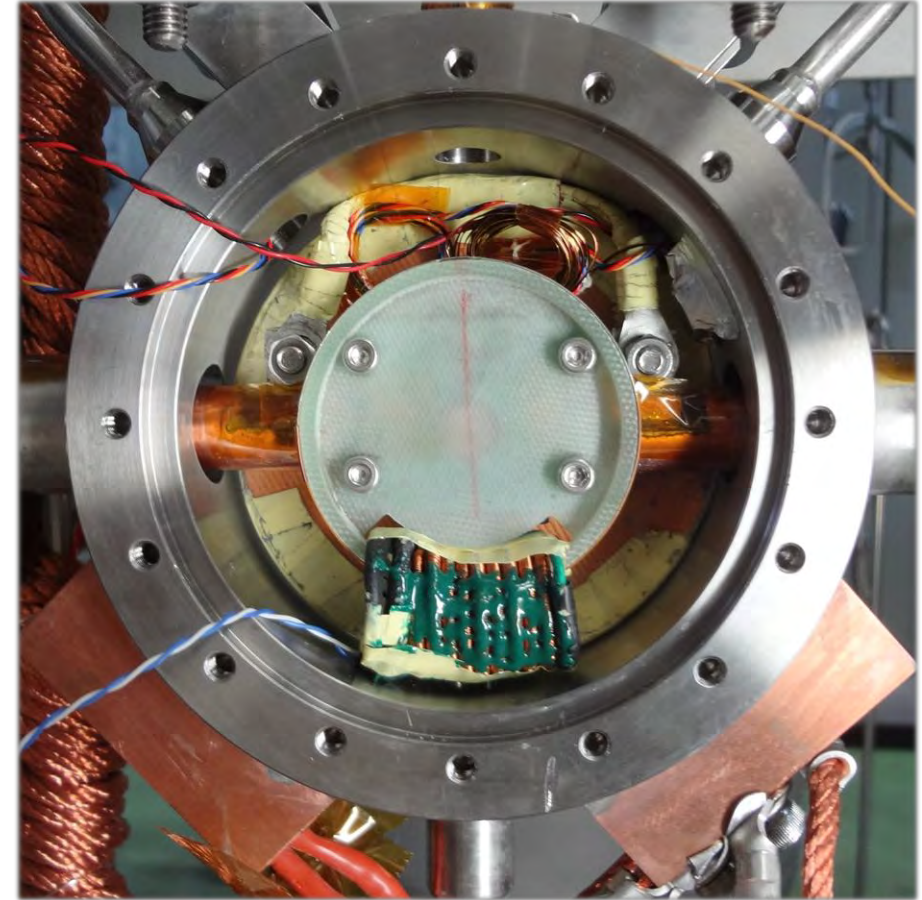


一次コイル（ダブルパンケーキコイル）諸元

Inner diameter (mm)	18
Outer diameter (mm)	75
Turn number	172×2

二次コイル（1ターン）諸元

Inner diameter (mm)	48
Wire width (mm)	4
Copper thickness (μm)	20
I_c @ 77 K, s.f. (A)	111

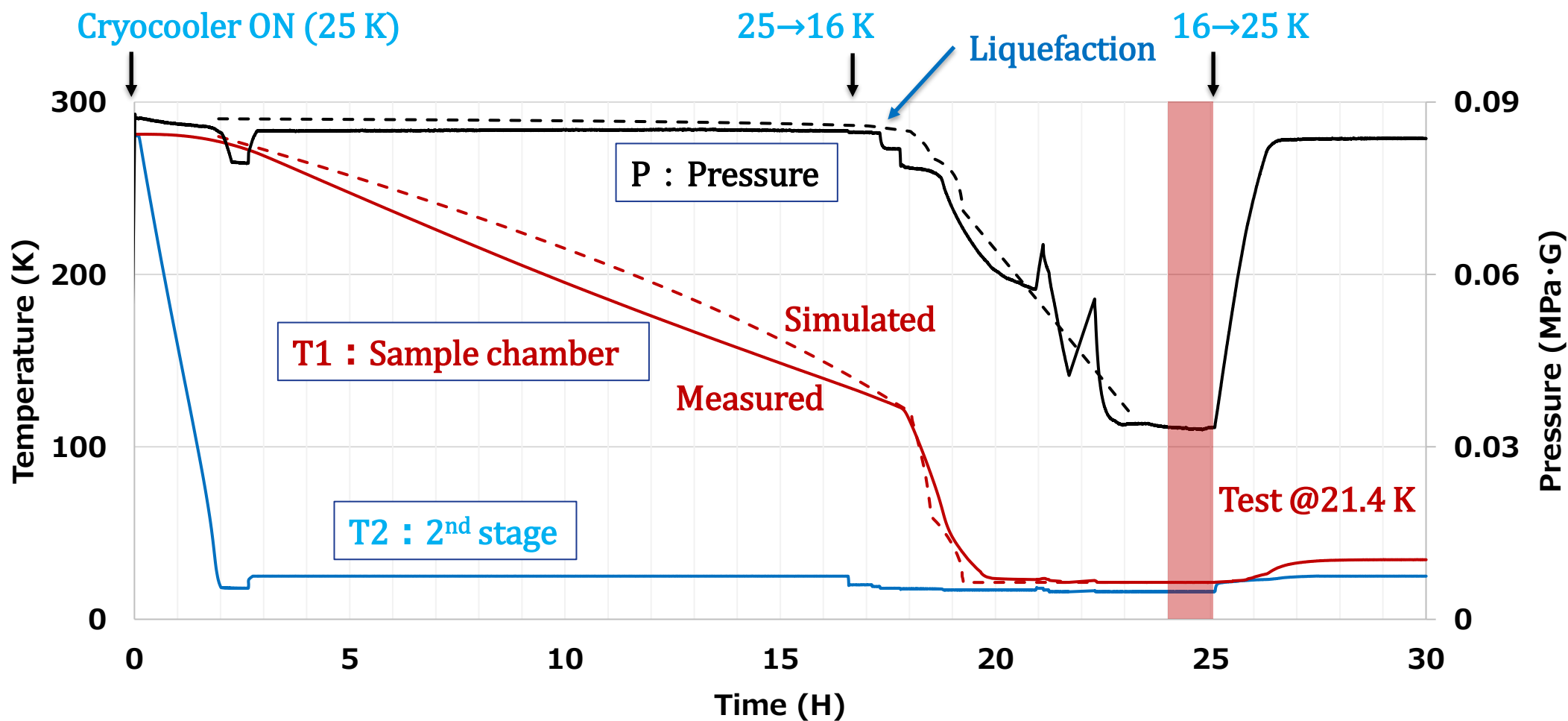
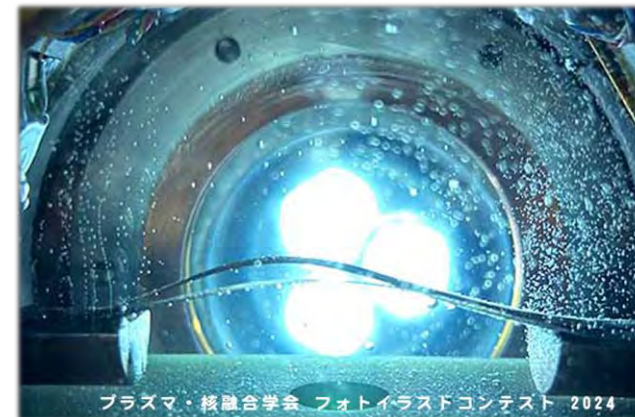


- 液体窒素試験において設計解析どおりの誘導現象を確認
- 試験サンプルを液体水素クライオスタットに組み込み



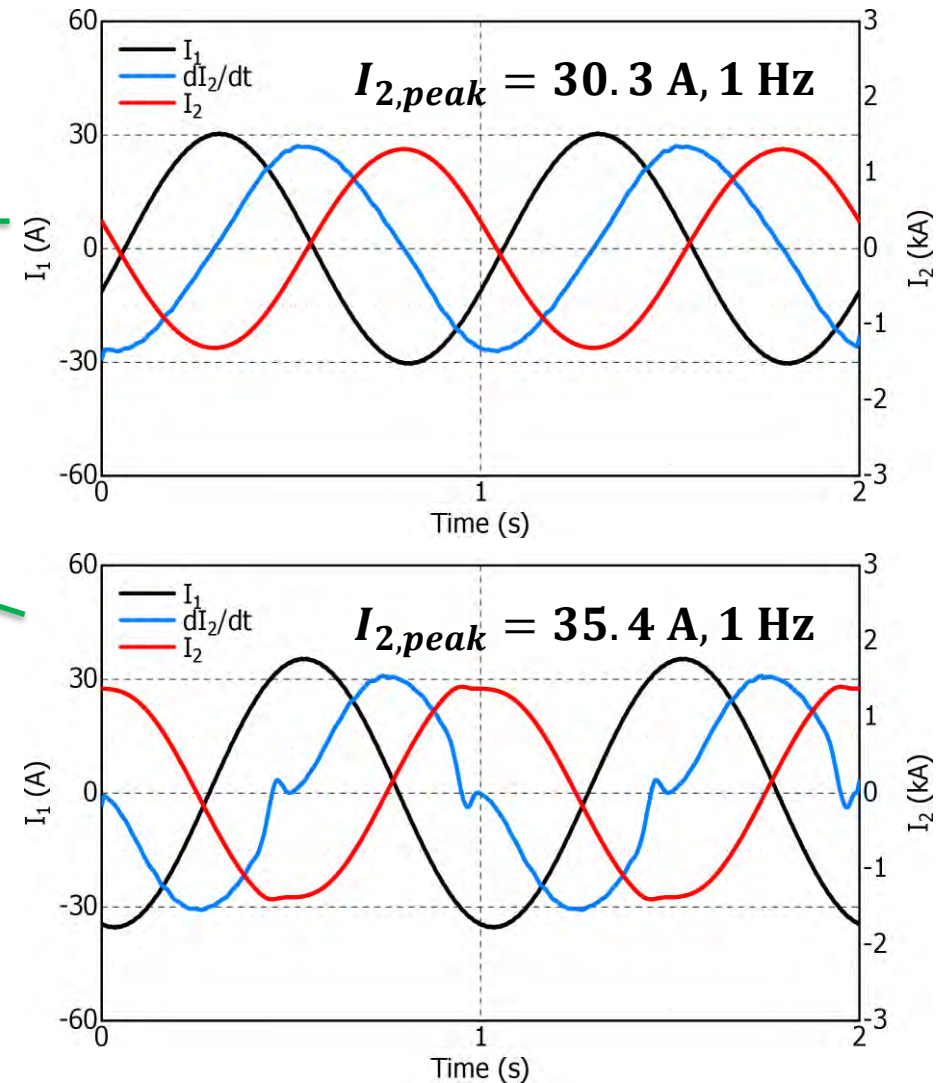
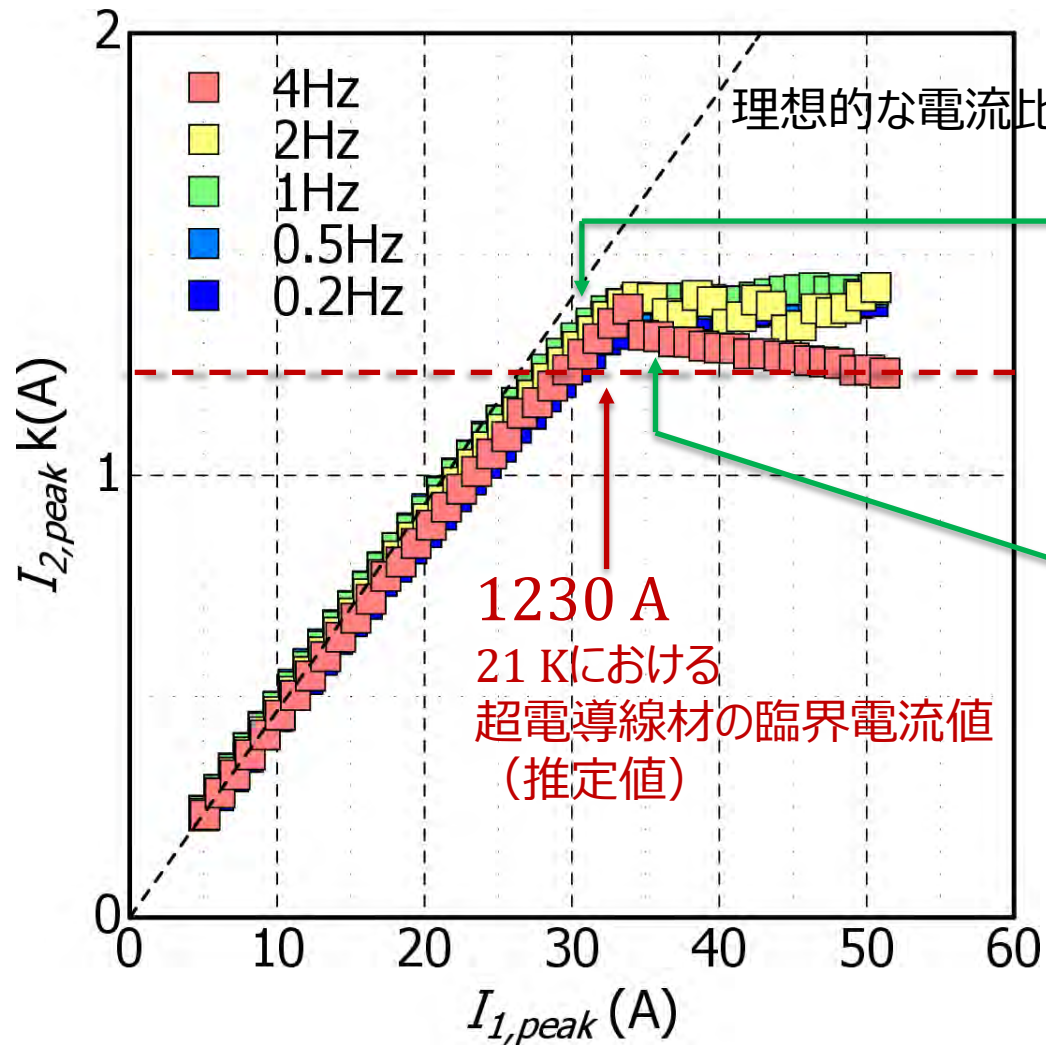
水素液化

- 冷凍機温度制御により水素の液化に成功
(温度・圧力の挙動はほぼ解析予測通り)
- 推定液化量は約0.13 L





交流誘導通電試験

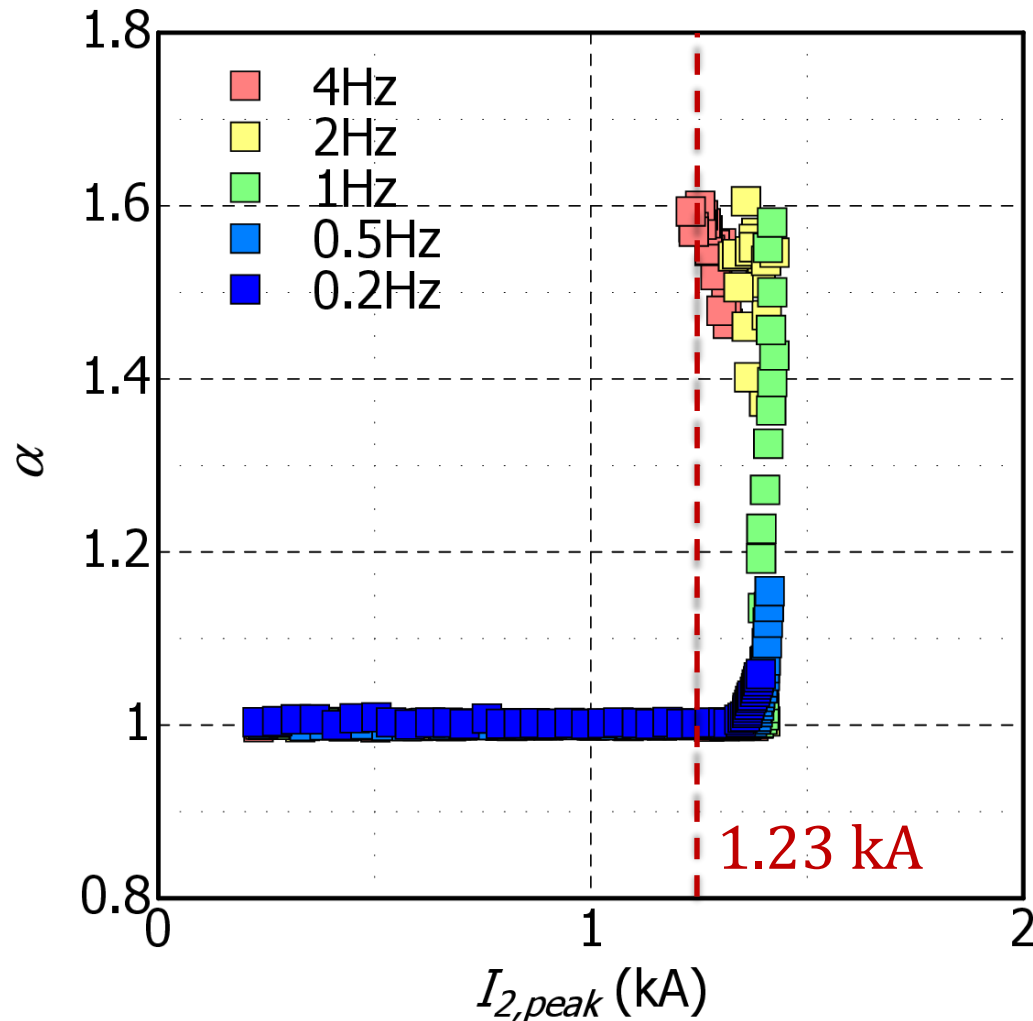


- 液体水素浸漬冷却下において1400 Aを超える大電流通電に成功
- 二次電流ピーク値が線材臨界電流値を超えるとロコスキーコイル電圧に歪み

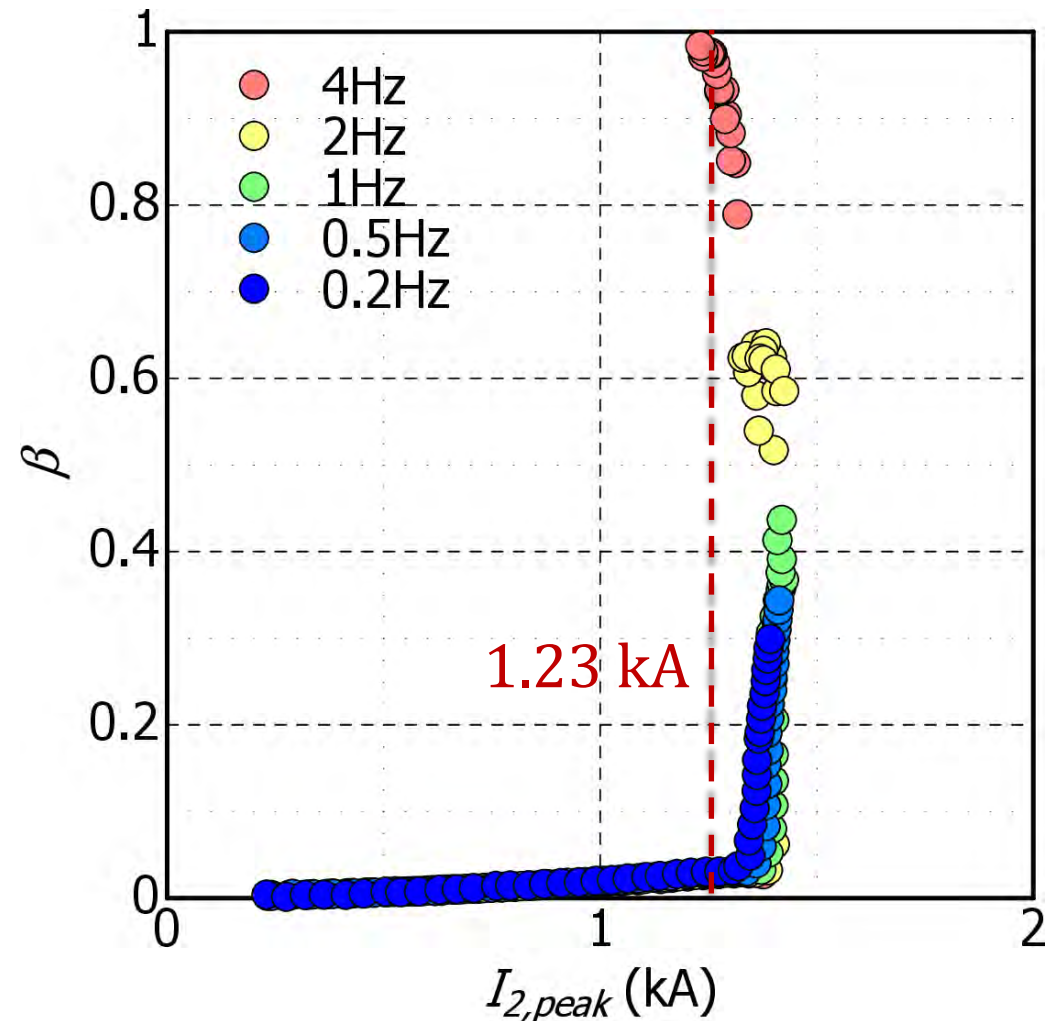


臨界電流値検出手法

$$\alpha = \frac{\text{ロブスキーコイル電圧実効値}}{\text{一次電流と同周波数・同位相成分実効値}}$$



$$\beta = \frac{\text{第3高調波スペクトル}}{\text{ロブスキーコイル電圧基本波スペクトル}}$$



- 歪み率/第三高調波率から二次コイルの臨界電流値を検知する手法を提案



プレスリリース

報道資料

報道関係 各位

2026 年 2 月 27 日



大学共同利用機関法人 自然科学研究機構
核融合科学研究所
National Institute for Fusion Science



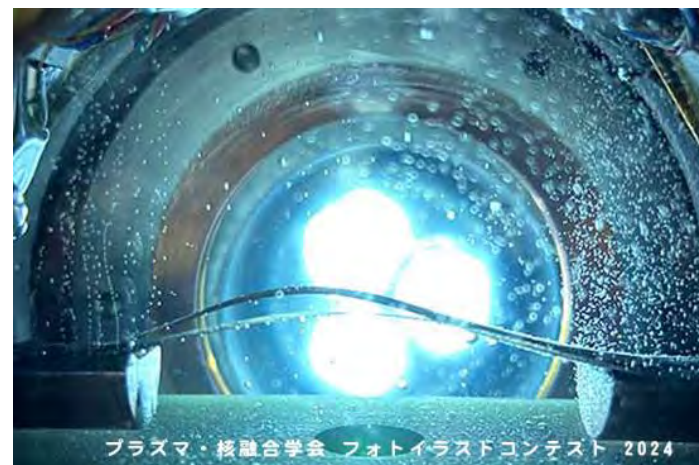
関西学院大学
KANSEI GAKUIN UNIVERSITY

大学共同利用機関法人 自然科学研究機構 核融合科学研究所
関西学院大学

世界初 水素の液化から高温超伝導線材の通電までを 統合した試験に成功

概要

脱炭素で持続可能な発電技術の実用化を目指し、自然科学研究機構核融合科学研究所では液化水素を冷媒に用いた磁場閉じ込め型核融合炉向けの高温超伝導コイル^{*1}（以下、核融合炉用高温超伝導コイルという。）の研究を行っています。関西学院大学では液化水素の冷熱を利用した水素発電向け高温超伝導発電機^{*2}の研究を行っています。これまで、液化水素浸漬状態での高温超伝導線材への通電実績は世界的に少なく、高温超伝導線材の通電特性は十分に解明されていません。今回、核融合科学研究所の平野直樹教授、仲村直子特任准教授、関西学院大学の大屋正義准教授の共同研究グループは、液化水素中で高温超伝導線材に 1,000 A 以上の電流を通電させることができる装置を核融合科学研究所内に立ち上げ、水素の液化から高温超伝導線材の通電試験までを統合した試験に世界で初めて成功しました。今後、本装置を用いて実験を重ねることで、液化水素中での高温超伝導線材の通電特性の解明が加速し、核融合炉用高温超伝導コイルおよび水素発電向け高温超伝導発電機の研究が大きく進展すると期待されます。



プラズマ・核融合学会 フォトイラストコンテスト 2024





まとめ

- 水素ガスを液化して浸漬冷却下において超電導線材の大電流誘導通電試験を実施できる環境を整備。
- 2 kA級の大電流誘導通電試験向け試験コイルを設計・製作。
液体窒素冷却下において設計どおりの誘導現象を確認。
- 水素ガスの液化に成功、最大1.4 kAの交流誘導通電試験に成功。
- ロゴスキーコイル電圧の歪みを指標とした臨界電流値検出の可能性を検証。
- 今後種々の線材・冷却条件下における通電特性を検証予定。



新たな液化水素試験拠点の構想

カーボンニュートラルポートに向けた取り組み

水素エネルギー利用
システム開発実証事業

ポートアイランド

水素サプライチェーン
構築実証事業

神戸空港島

水素スマートシティ神戸構想との協創
核融合科学研究所との連携を模索

A

研究拠点

超電導発電機の研究拠点
国内外の水素研究の拠点

B

開発拠点

水素サプライチェーン構築に関わる
企業の製品開発拠点
産学官共創モデルの構築

C

人材育成究拠点

博士課程強化 - 知識人材の育成
高専機構連携 - 技術人材の育成
企業若手人材のリスキング