

液体水素冷却超伝導機器をキーとした 水素・電力協調エネルギーインフラ



JST-ALCA Project



京都大学大学院エネルギー科学研究科

白井康之



研究室の具体的な研究テーマ

超電導現象のエネルギー応用



- ⊕ **液体水素冷却超伝導機器と水素・電力ハイブリッドエネルギーインフラ**
 - ⊕ 液体水素冷却超伝導発電機をはじめとする電力機器と系統特性の研究！
- ⊕ **超電導故障電流限流器**
 - ⊕ 事故時の電流を抑えることで常時の送電エネルギーを増大！
- ⊕ **高温超電導高安定磁場マグネットのシステムおよび計測技術**
 - ⊕ 医療用高温超電導**MRI**のための高安定マグネットシステムの基盤技術開発！

次世代電力システム

- ⊕ **分散電源などの導入された配電系統の動特性測定**
 - ⊕ 複雑化する負荷系統の動特性をオンライン情報から測定！
- ⊕ **洋上風力・潮力ハイブリッド発電システム**
 - ⊕ 風力発電の出力変動を潮力発電と組み合わせて軽減！

工学的極限状態における熱流体力学諸問題

- ⊕ **高温超伝導線材の液体窒素・液体水素冷却安定性**
 - ⊕ 高温超伝導線材の高磁場・大電流応用に向けた安定した冷却とは！



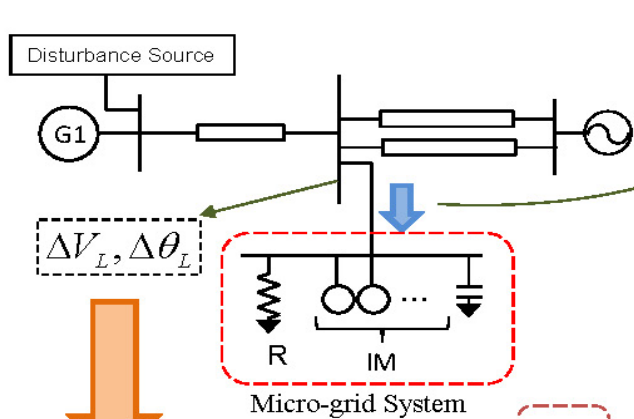
Passive Load → Active Load

分散電源を含む配電系統の動特性把握

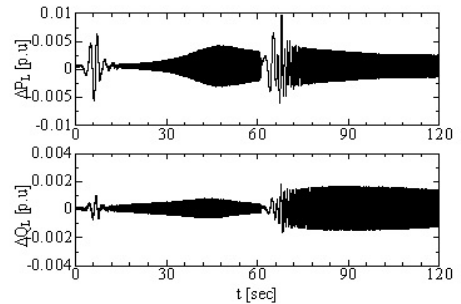


電力系統模擬実験装置

6kVA 同期発電機2台
太陽電池用パソコン
模擬送配電線 (3300V)
模擬負荷装置
模擬SMES
模擬バッテリー他

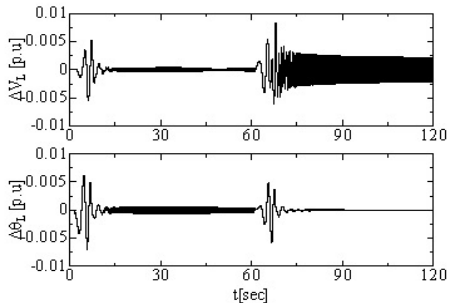


$\Delta P_L, \Delta Q_L$



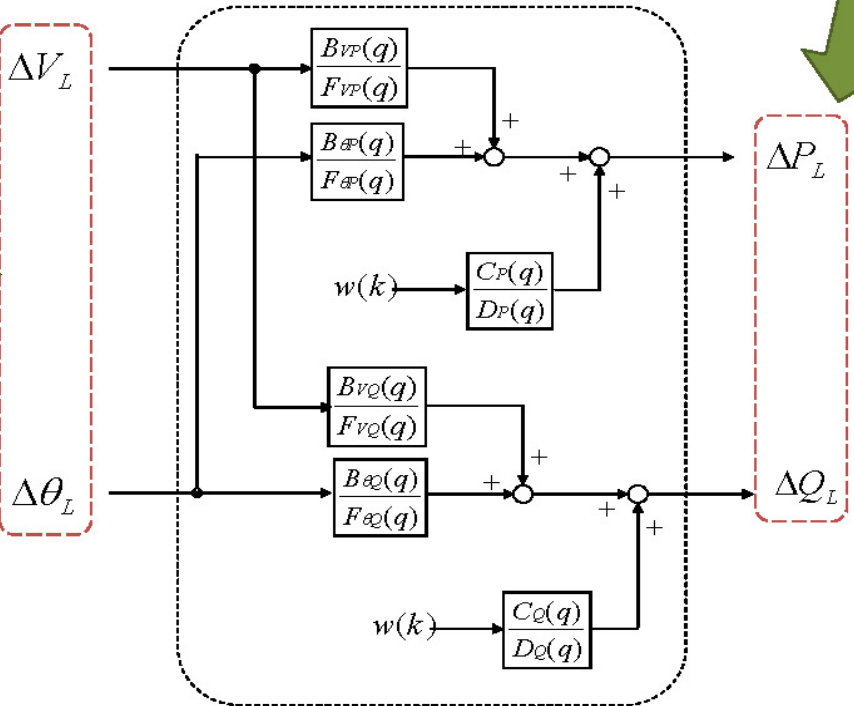
Output signals for transfer function

$\Delta V_L, \Delta \theta_L$



Input signals for transfer function

2 sets of 2-input / 1-output BJ model



配電系統

↑ 微小擾乱 ↓ 応答 ← システム同定

↓ 動特性

2016/05/11

Fig. 4.8 Procedure of creating transfer function model



エネルギーインフラの低炭素化と 液体水素冷却超電導

低炭素化

自然エネルギーの導入

- 電力システムでは同時等量(発電=需要)の原則
- ➡ エネルギー貯蔵機能の必要性(二次電池などでは不十分)
- 二次エネルギーとしての水素(貯蔵機能)
- ➡ 液体水素の優位性/しかし低い変換効率

超電導電力機器による高効率電力システム

- ➡ 冷却の問題 ...→液体水素を利用することで相乗効果
- ➡ 高温超伝導材料...→応用機器開発のステージ
 - 液体水素(20K)冷却超伝導機器の可能性
 - 比較的大容量の機器に有望(派生的メリット)

水素エネルギーと電力エネルギーを超伝導電力機器で融合した
地球環境調和型エネルギーシステム



Target 液体水素冷却超伝導機器をキーとした 水素・電力ハイブリッドエネルギーインフラ

低炭素化エネルギーインフラ



- 電力と水素
- 水素のサプライチェーン(液体水素)
 - インポートヤード
 - 水素ステーション

水素ガスタービン発電(専焼:混焼)
燃料電池発電
燃料電池自動車

- H2 Gas turbine driven 20% CO2 reduction
- LH2 cooled superconducting generator(SCG) improve efficiency 2% CO2 reduction
- (SCG+SMES+Fuel Cell+H2-storage) improve power system stability promote renewable energy introduction 5% CO2 reduction
- promote H2 infrastructure H2 distribution

LH2-Tanker

by KHI

LH2

LH2-受入基地

LH2-Storage Tank

LH2

LH2-Container

H2-Station

LH2

H2

Boiler

H2

H2

to Turbine

Rotor (cryostat)

H2 fired turbine

Liq.H2

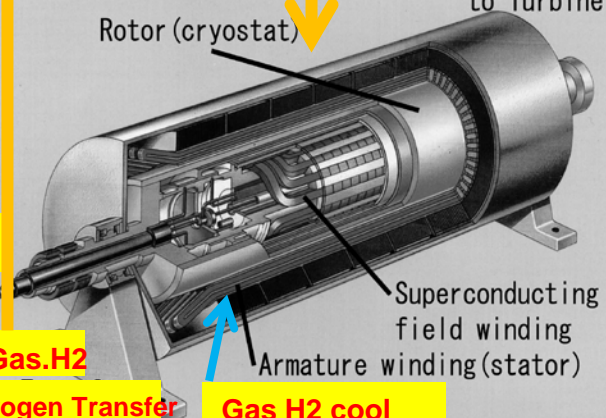
Gas.H2

Hydrogen Transfer Coupling

Gas H2 cool

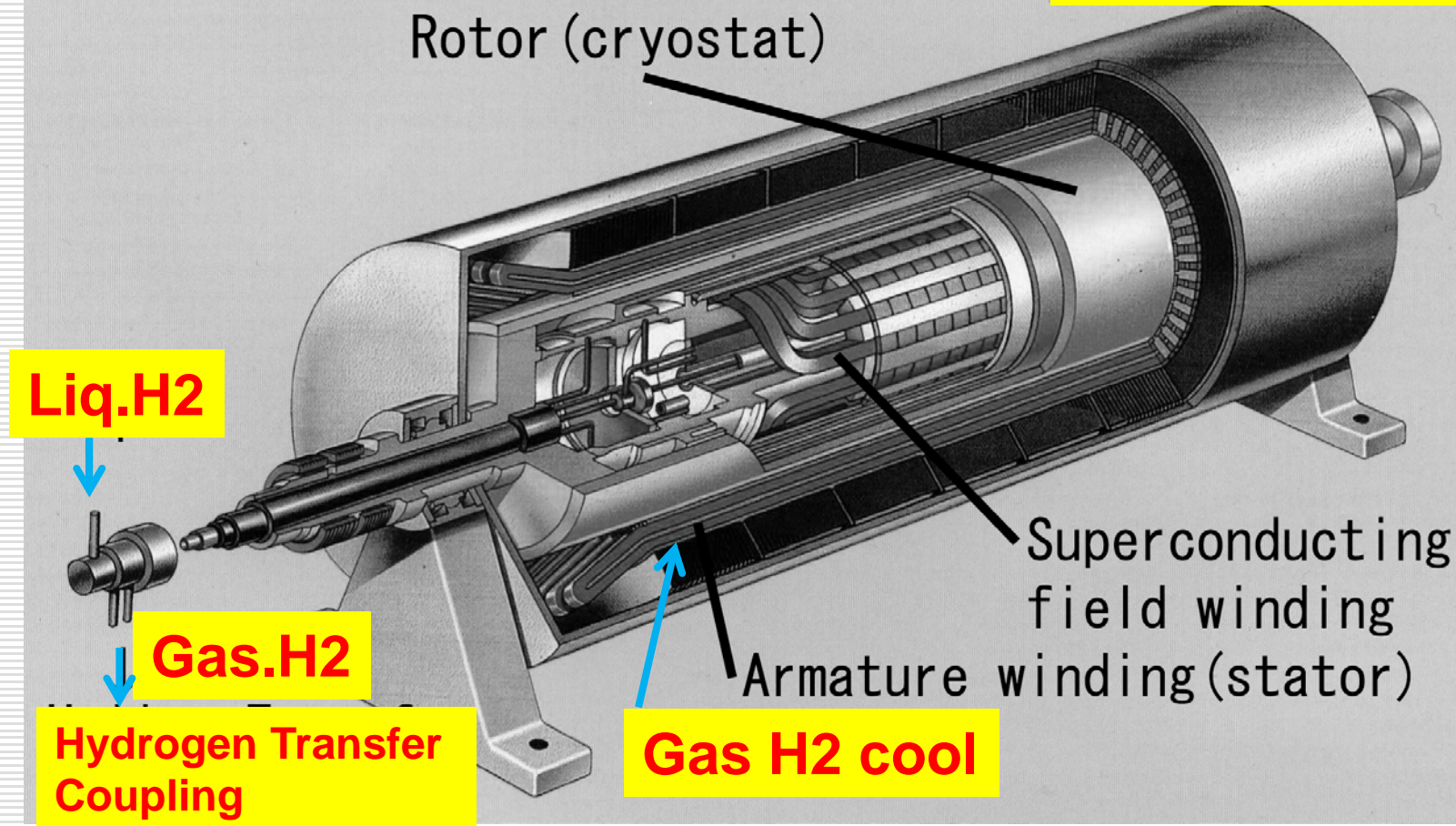
液体水素冷却超電導発電機

2016/05/11



Schematic view of Superconducting Generator (SuperGM)

to H2 fired turbine





LH2 as a coolant

	LH2	LHe	LN2
Boiling Point (K)	20.3	4.22	77.3
density (kg/m³)	70.8	125	808.6
latent heat (kJ/kg)	443	20.4	198.6
viscosity (uPa s)	12.5	3.2	142.9
critical pressure (MPa)	1.314	0.227	3.4
critical temperature (K)	32.97	5.19	126.19

Large latent heat and small viscosity

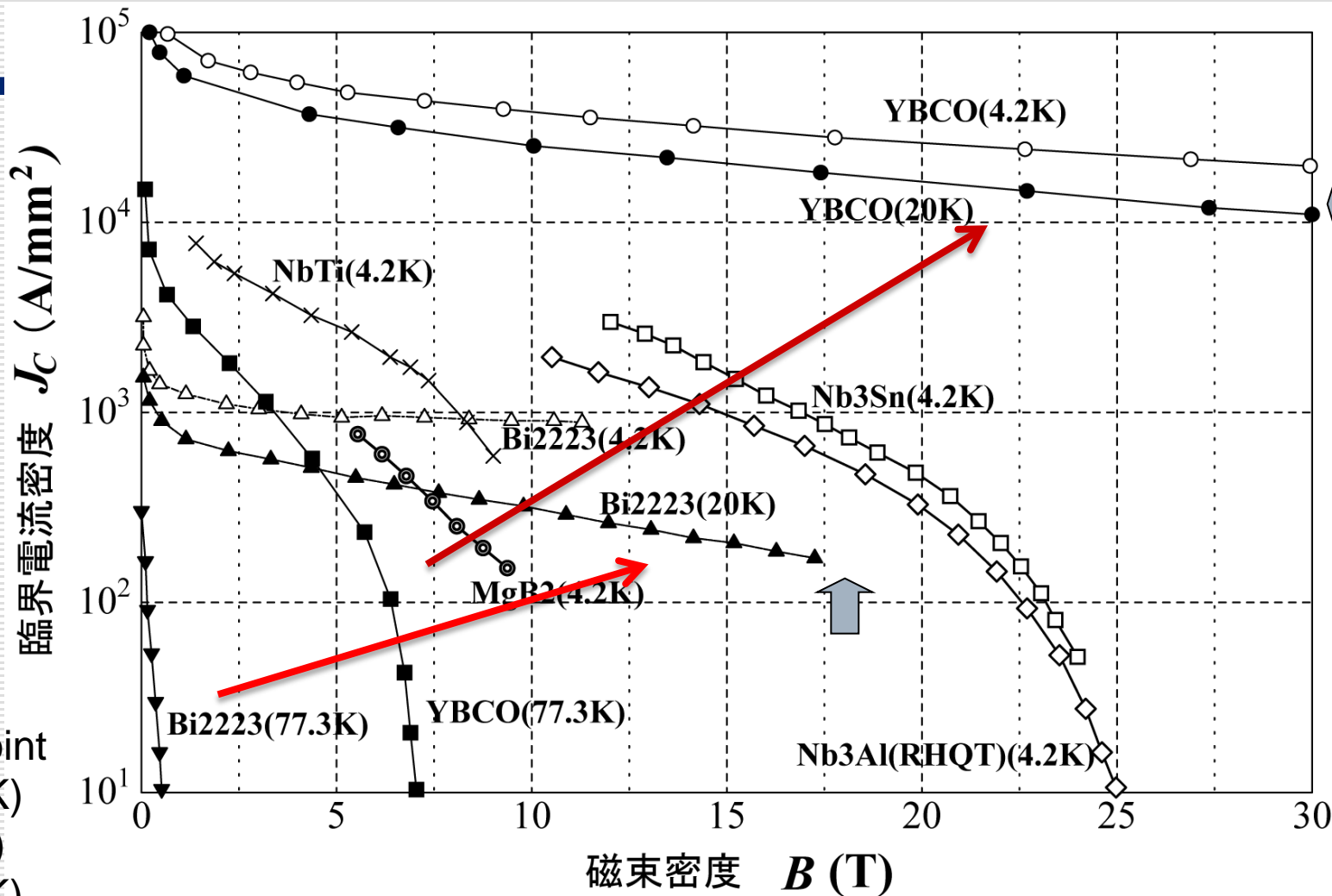
→ storage, transportation, coolant

Temperature → good property of (BSCCO, YBCO)

MgB₂(39K)



Jc-B characteristics of superconductors



Boiling Point
 LH₂(20.3K)
 LHe(4.2K)
 LN₂(77.3K)



1st stage (2011~2015) 2nd stage (2015~2019)

プロジェクトの実施体制

1.液体水素冷却用超伝導導体の開発

京都大学 (研究開発機関)

- ▶ これまでにない高温超伝導線材の電気磁気特性データベースの構築。
- ▶ 液体水素冷却超伝導導体およびマグネットの開発。

2.液体水素冷却システムの開発

(独)日本原子力研究開発機構 (支援グループ)

- ▶ これまでにない液体水素の浸漬冷却・強制冷却特性データベースの構築。
- ▶ 大流量液体水素循環ポンプ、高断熱液体水素容器、輸送配管および要素技術開発。
- ▶ 液体水素冷却方式の検討。

3.水素に対する安全対策

(独)宇宙航空研究開発機構 (支援グループ)

- ▶ 水素漏洩検知システムの開発。
- ▶ 液体水素、水素ガス施設における機器選定基準および電気保安基準の確立。
- ▶ 高圧ガス保安法の法的対応。

+ IHI 大陽日酸, 上智大学

本研究開発は、これまで、液体水素に関する研究実績と経験を有する
京都大学、日本原子力研究開発機構、宇宙航空研究開発機構の
3機関により共同で実施する。



実施している研究内容

- 液体水素の浸漬冷却・強制冷却特性データの取得
(サブクール度, 圧力, 流速の影響)
- 超伝導材料(YBCO、BSCCO、MgB₂)の液体水素冷却における電気磁気特性
- 液体水素冷却システムの要素技術開発(定常循環強制対流冷却)
- 防爆対応・漏洩磁場対策。水素に対する安全対策基準の確立(液体水素中への大電流導入・エネルギーの導入)

〒016-0179 秋田県能代市浅内
下西山1

0185-52-7123



ストリートビュー

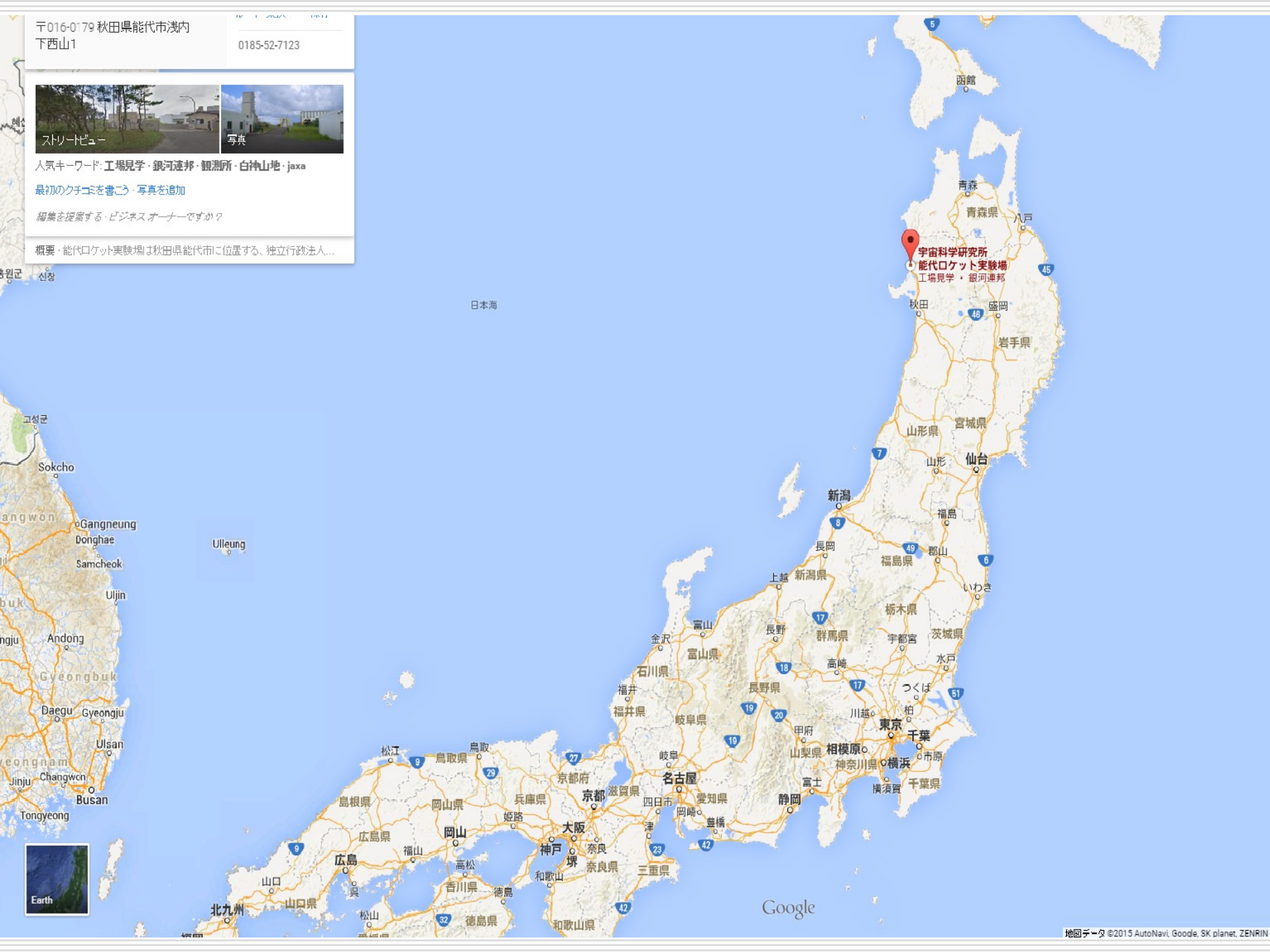
写真

人気キーワード: 工場見学・銀河達邦・観測所・白山山地・jaxa

[最初のクチコミを書こう](#)・[写真を追加](#)

[編集を提案する](#)・[ビジネスオーナーですか?](#)

概要・能代ロケット実験場は秋田県能代市に位置する、独立行政法人...



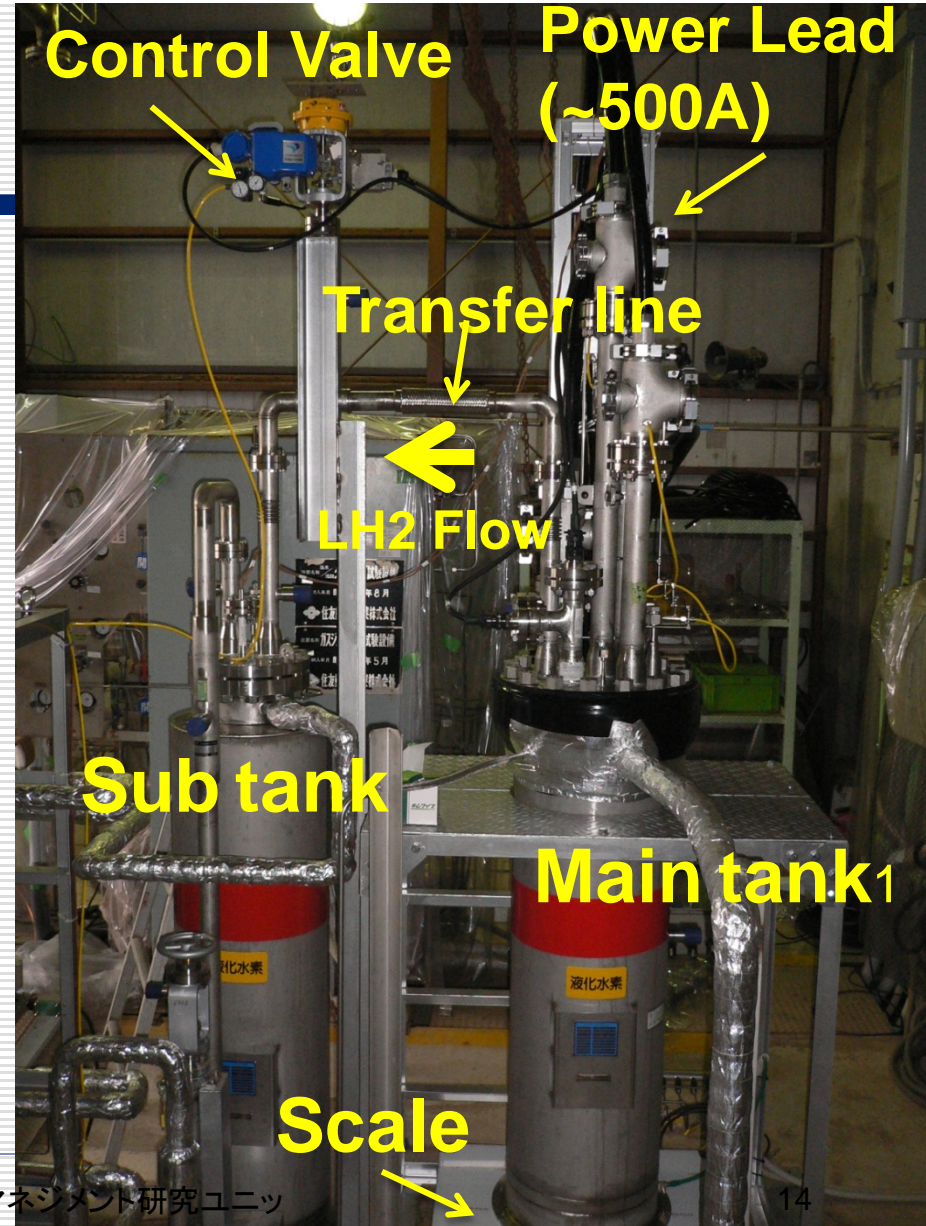


Thermal Hydraulic test system

Remote measurement/control



All measurement and control were carried out through optical LAN
80m away from test facility





液体水素冷却超電導材料 の電磁特性評価試験装置

Liquid Hydrogen Cryostat

Inner diameter 309.5 mm

Height (bottom to top flange) 2218 mm

Volumetric capacity for LH2 **61 L max**

Liquid Helium Cryostat

Inner diameter 350 mm

Outer diameter 630 mm

Height (bottom to top flange) 1625 mm

Volumetric capacity for LHe **175 L max**

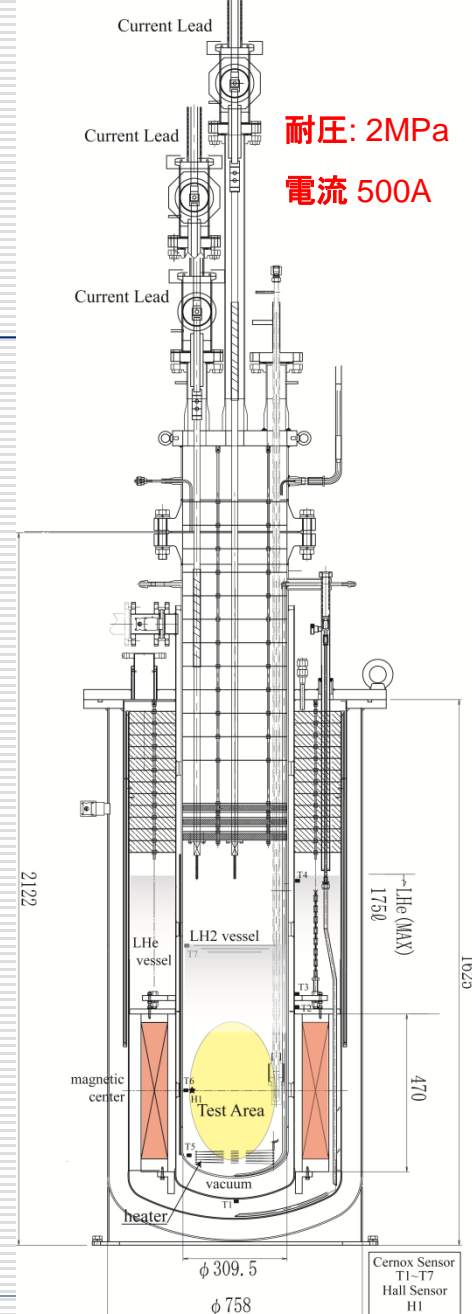
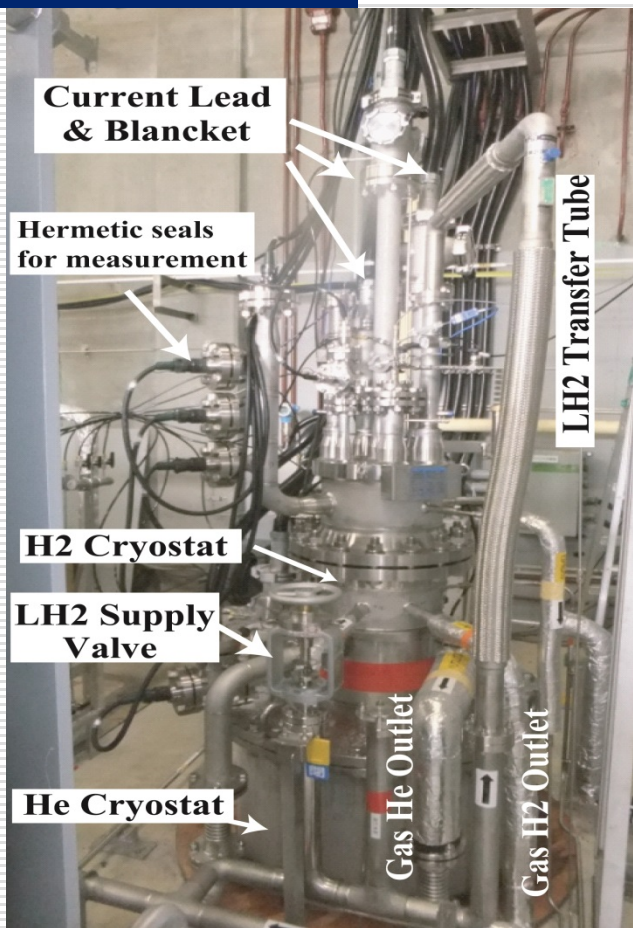
Superconducting Magnet

Material NbTi

Inductance 112.36 H

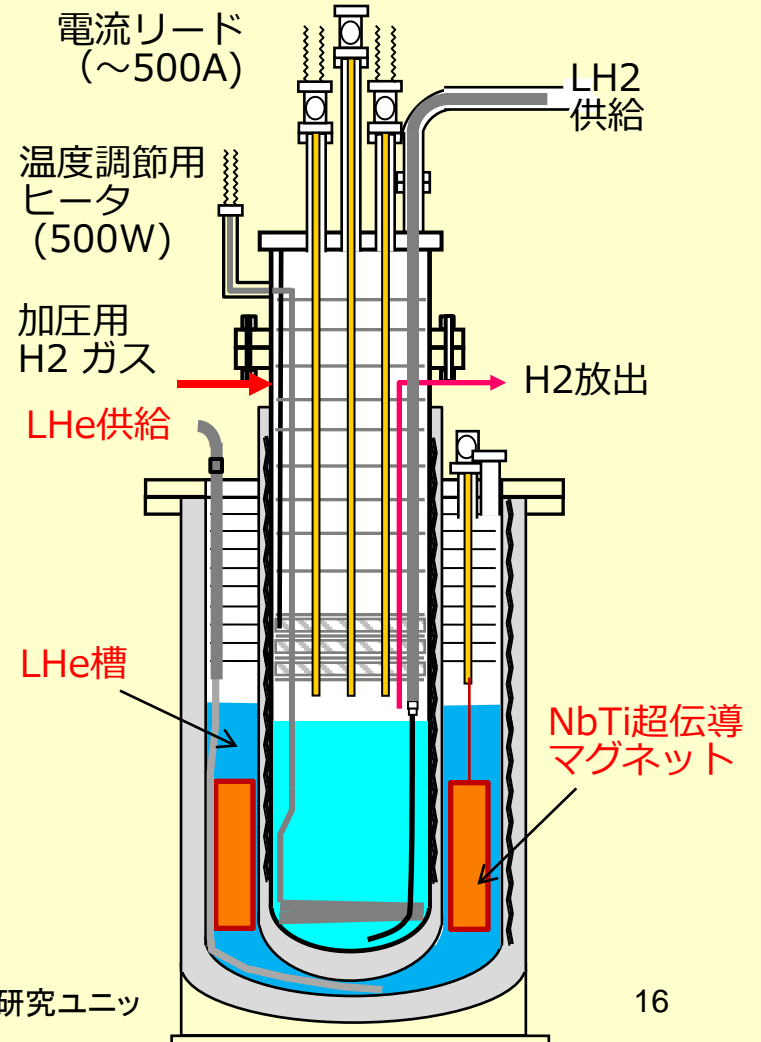
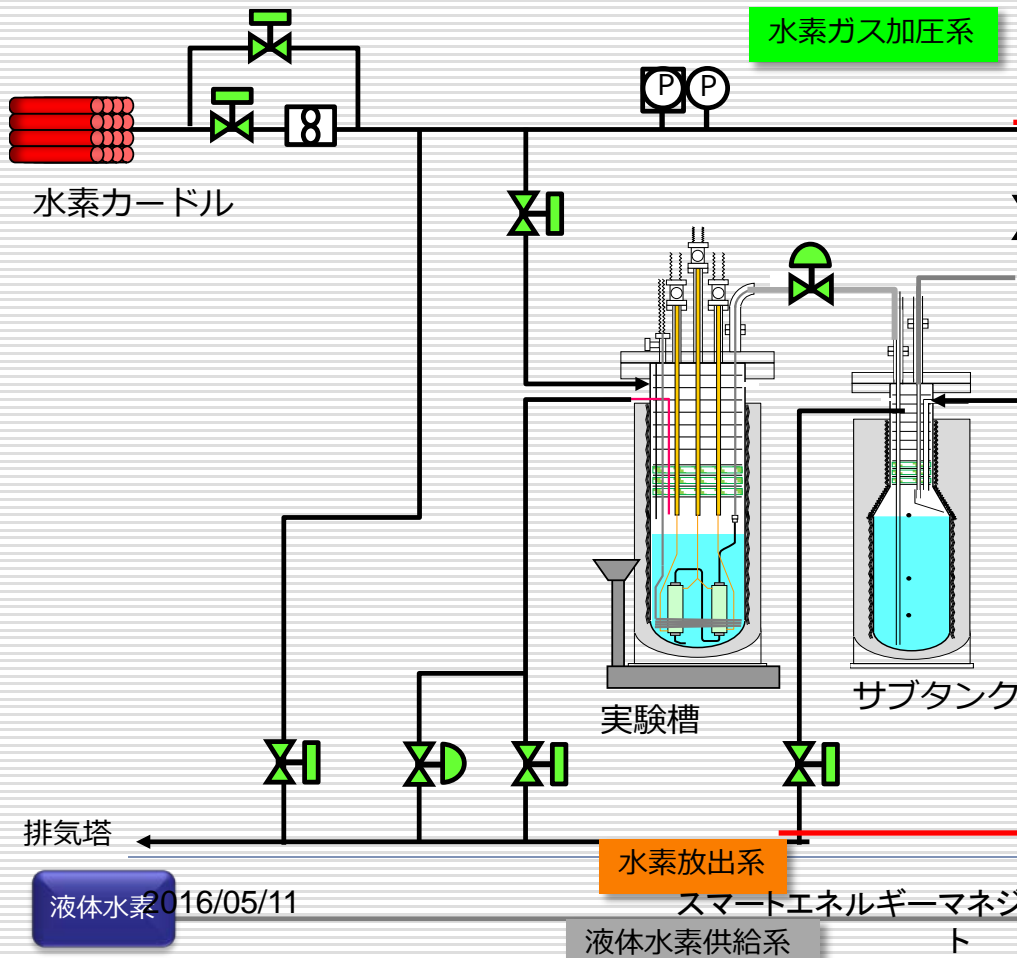
Rated current 175A

Max. magnetic field (center) **7 T**



液体水素冷却超伝導特性試験装置の概要

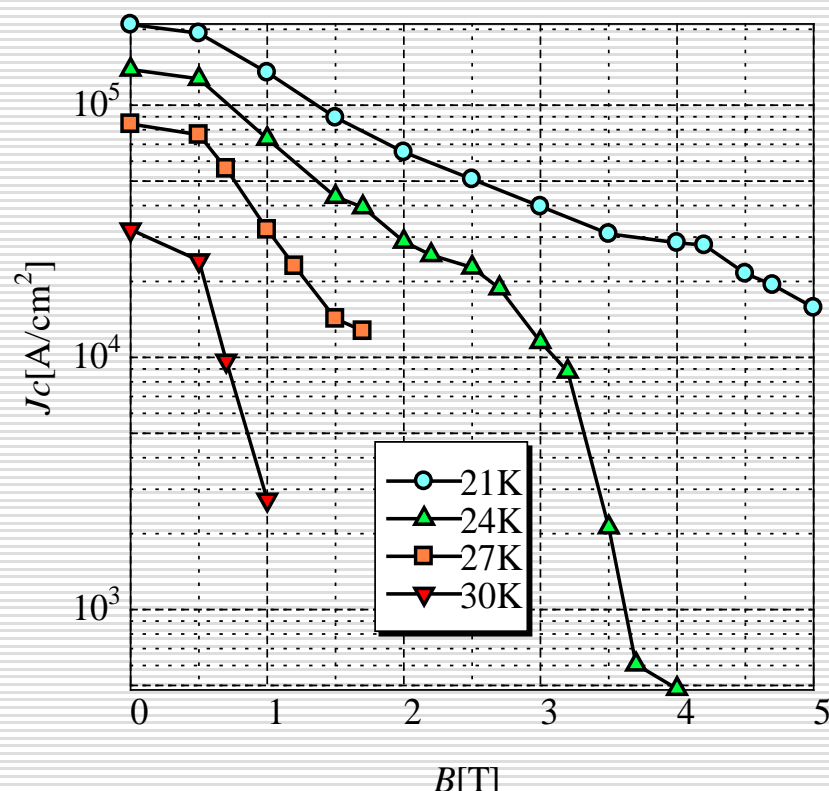
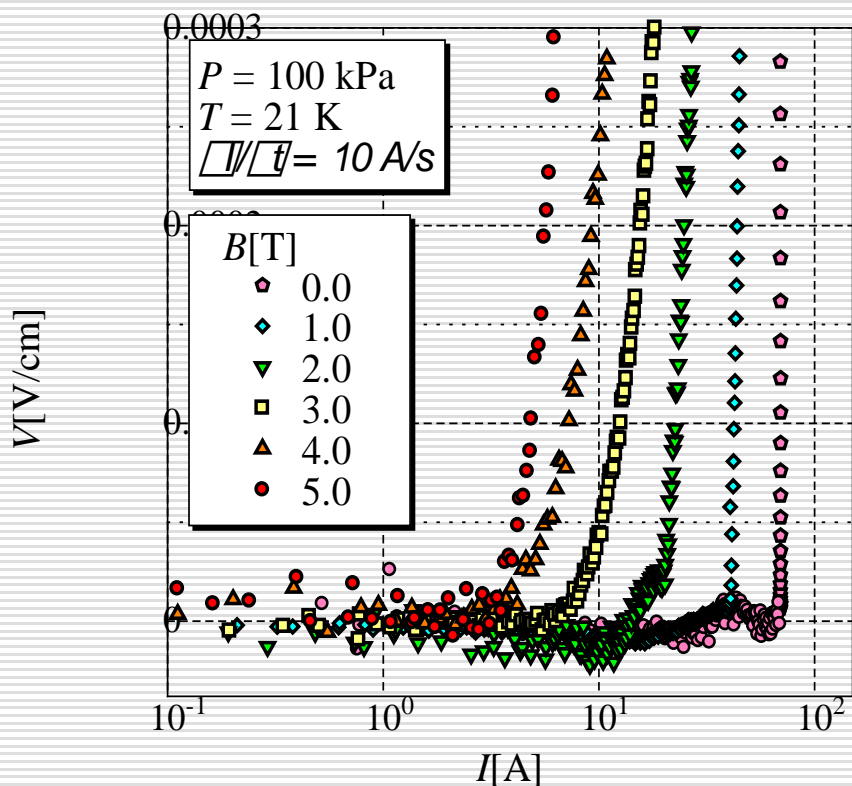
- 液体水素槽（設計圧力：2.1MPa）と液体ヘリウム槽の多重容器構造
- JAXA所管内の防爆実験室に設計と安全対策を実施
- 既存の液体水素流動実験装置への設置。
- 中心磁場発生用のNbTi超伝導マグネットは設置。
- 2009年高圧ガス保安法に基づき運用維持管理
- 既設の設備との共通化





液体水素冷却MgB2線材の 磁場下通電特性試験の実施例

拡散法MgB2線(熊倉G)、7本撚り導体(濱島G)の通電試験



拡散法MgB2線の磁場下通電特性

Jc-B特性の温度依存性



電力と水素の 協調エネルギーインフラ -- まとめ

- 地球温暖化を防ぎ、持続可能なエネルギーインフラを目指す
- 低炭素化は電力と水素の協調がキー
- 水素自動車・燃料電池の普及を図る政策(水素ガス==? 液体水素?)
- エネルギーソースとしての大量の水素供給(大量輸送)が必須
- 現在のLNG(液化天然ガス)に互する液化水素のサプライチェーン
- 液化のペナルティー→冷媒としての利用
- 超電導材料の液体水素温度域での利用→液体水素冷却超電導電力機器
- 電力システム(エネルギー消費の4割以上は電力)
- 基幹系統 → LNG/石炭火力発電が主(原子力発電は不透明)
- 自然エネルギー発電の大量導入には、基幹系統の整備・柔軟性が必須
- 水素ガスタービン発電 >>>液体水素冷却超電導発電機!!
- 液体水素利用の開発・運用実績 → 社会的受容



ご清聴ありがとうございました