



低温工学協会
九州・西日本支部
Cryogenic Association of Japan

研究活動紹介

九州大学

超伝導システム科学研究センター

円福 敬二、木須隆暢、井上 昌睦、東川甲平
岩熊成卓、柁川一弘、船木和夫

2011年4月23日

低温工学協会 九州・西日本支部設立10周年記念研究会
九州大学伊都キャンパス

研究内容

超伝導の基礎から工学応用に及ぶ広範な研究を通して
「超伝導システム科学」の研究領域を開拓

超伝導技術を用いたエネルギー・情報システムの開発研究

エネルギーシステム

高電流密度・低損失導体
高性能電力機器

(マグネット、トランス、モーター)

情報システム

高感度センサ
医療・バイオ・分析機器

(SQUID, Sensor)

超伝導システムの
基盤技術確立

超伝導基礎科学

ボルテックスサイエンス
磁束ピンング
ナノ構造と超伝導特性

超伝導材料科学

超伝導体組織評価法
ナノ構造制御法
新超伝導材料

超伝導の持つポテンシャルを最大限引き出すための基礎研究



低温工学協会
九州・西日本支部

Cryogenic Association of Japan

研究内容

- ・ 高温超伝導線材の高臨界電流化
(木須、井上、東川)
- ・ 高温超伝導導体の開発と機器応用(岩熊)
- ・ MgB₂線材の特性評価と応用(柁川)
- ・ 超伝導バイオセンシングシステム(円福)
- ・ 超伝導線材・導体の交流損失評価と標準化
(船木)

材料工学

向田昌志、寺西亮

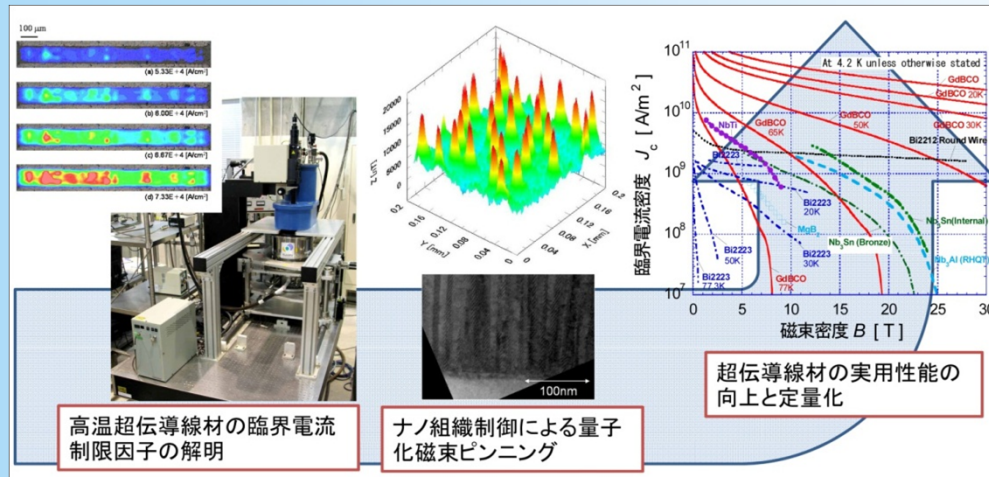


低温工学協会
九州・西日本支部

Cryogenic Association of Japan

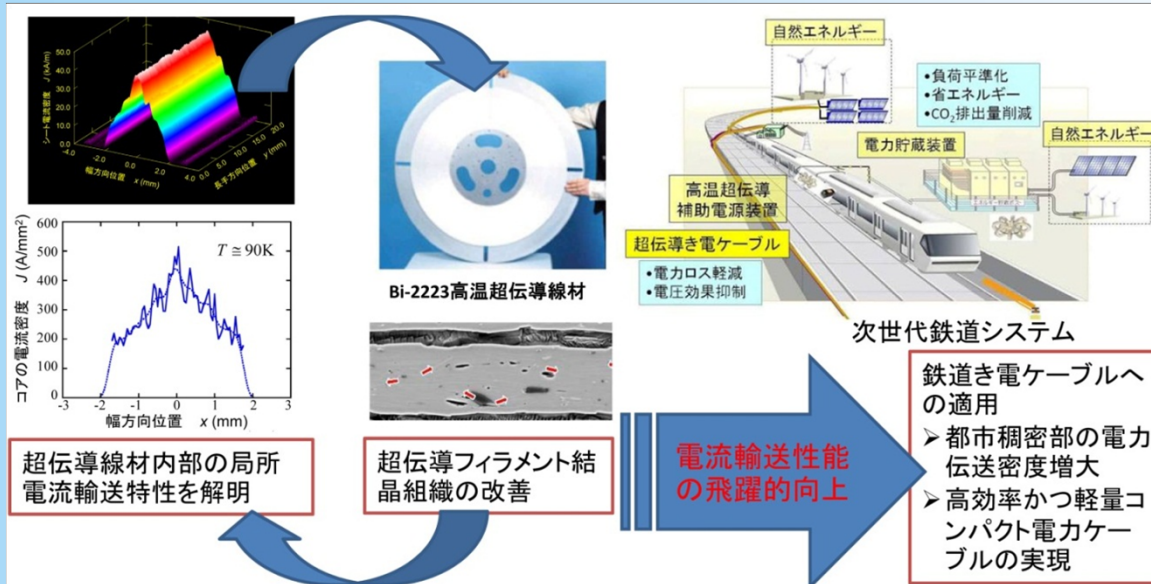
高温超伝導線材の高臨界電流化

1. 希土類系高温超伝導線材の高性能化



国際超電導産業技術センターとの共同研究

2. 次世代鉄道システムへの応用を目指したBi-2223高温超伝導線材の高性能化



JST戦略的イノベーション【次世代鉄道システム用超伝導技術】の一環として共同研究(鉄道総研、住友電気、物材機構、九大ほか)



低温工学協会
九州・西日本支部

Cryogenic Association of Japan

高温超伝導線材の高臨界電流化

1. RE123線材の高磁場中損失分布可視化装置を世界に先駆けて開発

低温レーザ顕微法を用いて、実用環境と同等の高磁界下におかれたRE-123テープ線材内で生じる局所的磁束フロー損失分布を、 μm スケールの空間分解能で可視化できる事を初めて実証した。

2. 磁気顕微法によって高温超伝導線材内部の局所電流分布を、 μm スケールで定量的に評価する技術を確立した。

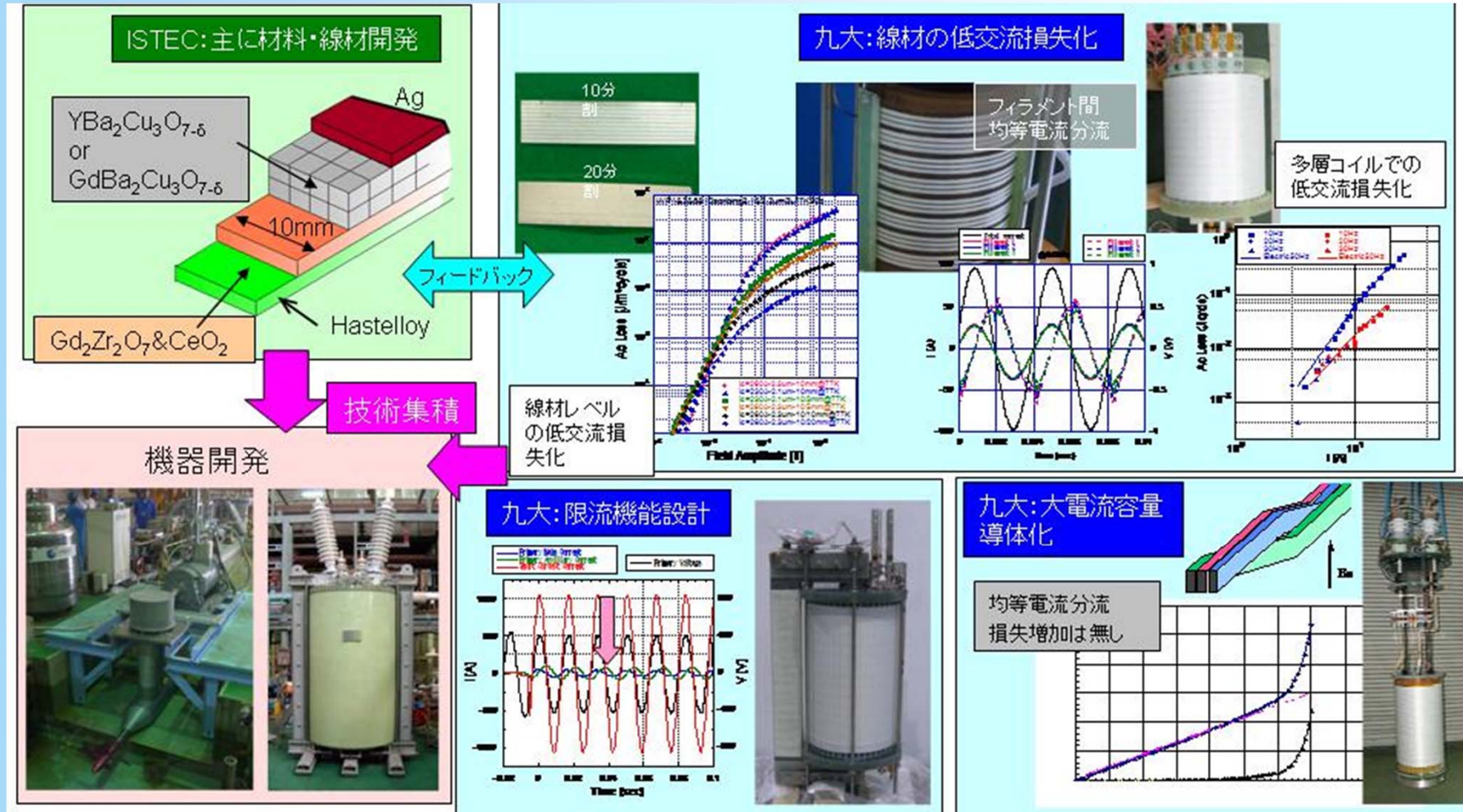
3. 上述した複合的評価手法を活用して、RE123線材の電流制限因子の解明と高均一高 J_c 線材の実現

4. 高温超伝導線材の通電特性の物理モデルを提出し、非線形で動作条件によって複雑に変化する電界—電流密度特性の定式化・推定法を確立すると共に、信頼性の高いデータベースを構築した。

5. Bi-2223高温超伝導線材内部の局所電流分布を明らかにし、線材断面内のフィラメント構造との相関を調べることによって、超伝導フィラメント厚さと局所輸送電流との関係を示した。本結果を基に、300A級Bi-2223テープ線材作製の為の具体的な指針を明らかとした。



高温超伝導体の開発と機器応用



NEDOプロジェクトの一環としてISTEC等と共同研究



低温工学協会
九州・西日本支部

Cryogenic Association of Japan

高温超伝導導体の開発と機器応用

1. 薄膜超伝導テープ線材の低交流損失化

スクライビングと特殊巻線工程を用いた薄膜超伝導テープ線材の低磁化・交流損失化法を提唱し、多層モデルコイルで検証。NMR、加速器等高精度磁界発生、電気機器に適用可。国際特許申請(一部取得)。

2. 高温超伝導テープ線材の I_c ・磁化・交流損失の温度スケーリング則の定式化

YBCO超伝導テープ線材の I_c ・磁化・交流損失が、積層枚数、印加磁界角度によらず温度に関してスケーリングされることを見出し、ある1点の温度において垂直磁界中で測定した交流損失のデータから、任意の温度、磁界印加角度の交流損失を推定する手法を開発。

3. 高温超伝導テープ線材を用いた低損失・大電流容量導体の開発

高温超伝導テープ線材の大電流容量化に並列導体構造の導入を提唱し、大電流容量化に伴う素線間電流偏流・交流損失増大を誘起しない最適転位方法を提示。製造上の制約により転位位置がずれた場合にも、導体化に伴う付加的交流損失は大きくないことを理論・実験で示し、変圧器、SMES用パルスコイル等の機器開発研究に適用。

4. 限流機能付きYBCO超伝導変圧器の開発

YBCOテープ線材を用いて10kVA-4巻線構造超伝導変圧器を設計・試作し、磁界分布すなわち I_c 分布があるYBCO超伝導巻線が限流機能を発揮することを検証。磁束フロー抵抗等物性値を把握して、6.9kV-400kVA器の設計検討中。

5. YBCO超伝導モータの開発

YBCO超伝導テープ線材を用いて、15kW固定界磁、11kW回転界磁方式超伝導モータを開発。15kWではプロペラによる水中推進試験を実施。室温下で動作するYBCO超伝導回転機としては世界初。

6. Neを冷媒に用いたタービン膨張式冷凍機の開発

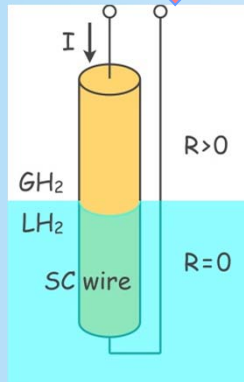
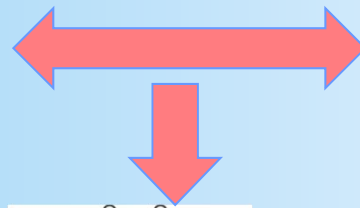
35K-77Kの温度域で動作する超伝導電気機器の冷却システムとして、ヘリウム液化機として信頼性、耐久性が実証されているタービン膨張式冷凍機を開発。世界発。現在、圧縮機もタービン方式として開発を継続中。



MgB₂線材の特性評価と応用

MgB₂超伝導線:
臨界温度が約39K
2001年発見の新材料
安価で加工しやすい
冷却コストが低い

液体水素(LH₂):
大気圧下沸点が約20K
クリーンな2次エネルギー
低炭素社会の実現
貯蔵密度が大きい



H-IIAロケット
(JAXA)



LH₂自動車
(BMW)



水素ステーション



LH₂
タンクローリー

液面計

超伝導モータ

超伝導技術を有効利用
した水素エネルギー社
会の実現を目指して、
貯蔵密度の比較的大き
な液体水素を冷媒とす
る高温超伝導応用の基
礎的研究を実施

NEDO産業技術研究助成事業にて研究推進



低温工学協会
九州・西日本支部

Cryogenic Association of Japan

MgB₂線材の特性評価と応用

1. MgB₂線材の熱的安定性評価

各種MgB₂試料線材の常伝導部伝播現象を測定し、数値シミュレーションを用いてその物理的機構を解明

2. MgB₂線材の交流損失評価

各種MgB₂試料線材の交流損失を測定し、その物理的機構を解明することにより、低損失化の指針を提案

3. MgB₂線材を用いた小型コイルの製作・試験

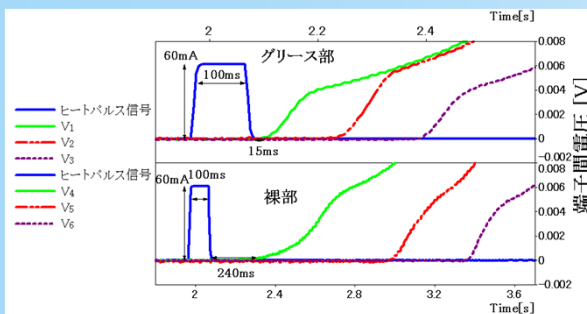
MgB₂多芯線材を用いた小型超伝導コイルを製作し、伝導冷却下において直流・交流通電ともに高い熱的安定性を有することを実証

4. MgB₂線材を用いた液体水素用液面計の開発研究

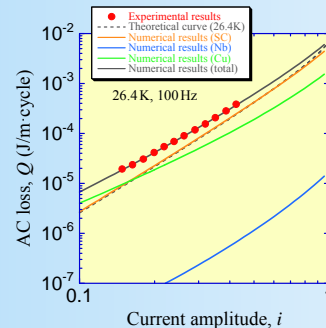
MgB₂単芯線材を用いた液体水素用超伝導式液面計を試作・評価し、数値シミュレーションを用いた最適設計を実施

5. MgB₂線材を用いた液体水素ポンプ用超伝導モータの開発研究

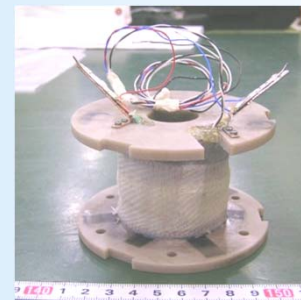
MgB₂単芯線材を回転子および固定子に用いた超伝導誘導／同期モータを試作し、液体水素循環移送ポンプへの応用を提案



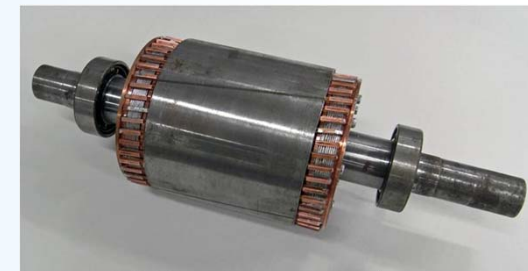
常伝導伝播現象の実験結果



交流損失の比較



試作したMgB₂小型コイル



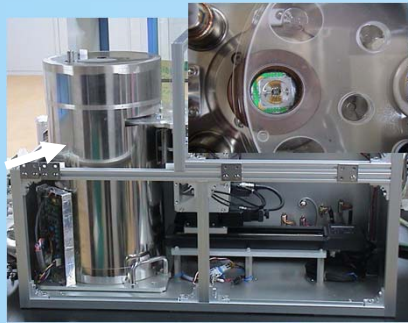
試作したMgB₂回転子
(京大・日立と共同開発)



低温工学協会
九州・西日本支部

Cryogenic Association of Japan

超伝導バイオセンシングシステム

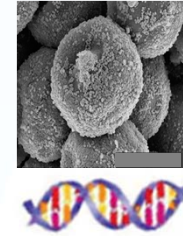


世界に先駆けて開発した
SQUID免疫検査装置

システム化技術
免疫検査システム開発
・日立基礎研
・イノアック

医療検査
免疫検査実験
・長崎国際大学
・日立基礎研

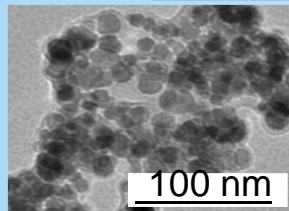
バイオ物質
・蛋白質
・病原菌
・DNA 等



新規な液相免疫検査法
の開発しその有効性を実証

**SQUIDバイオ
センシングシステム**
九州大学

物性評価
磁気マーカー評価
・Braunschweig Univ.

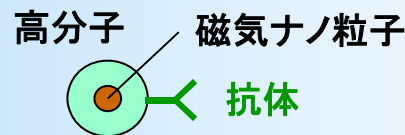


物性解明のための新しい評価法の開発

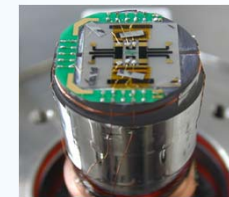
化学プロセス
磁気マーカー作製
・日立マクセル
・九州工業大学、九大



免疫検査用磁気マーカーの高性能化



センサ技術
HTS-SQUIDセンサ
・日立基礎研、ISTEC



高感度なHTS-SQUIDの開発

(1) 磁気マーカーの作製、(2) HTS-SQUIDを用いた検査システムの開発、(3) 免疫検査による
実証試験を通じた学際研究によるSQUIDバイオセンシング技術の開発

JST戦略的イノベーションの一環として共同研究



低温工学協会
九州・西日本支部

Cryogenic Association of Japan

超伝導バイオセンシングシステム

1. HTS-SQUID免疫検査装置を世界に先駆けて開発

SQUIDシステムを世界に先駆けて開発するとともに、蛋白質(IgE, IL8, IgG)やカンジダ菌などの検査実験によりアトモルレベルの極微量なバイオ物質の高感度検出が可能なることを初めて実証

2. 液相免疫検査法の開発と迅速検査の実証

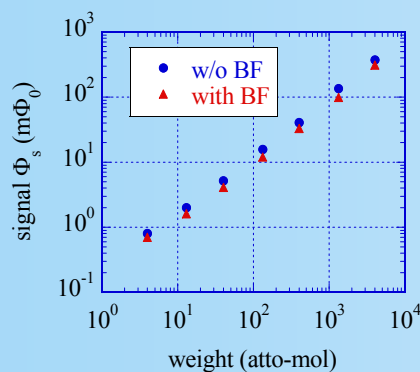
手間と時間のかかる“洗い”の工程を省略できる新規な液相検査法を開発し、免疫検査実験により迅速検査を初めて実証

3. 体内診断を目指したMPI (Magnetic Particle Imaging)技術の開発

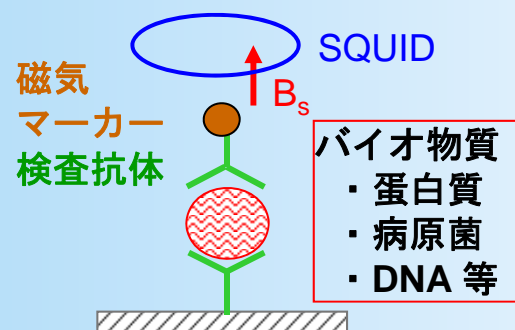
体内診断を目指して、体内に集積した磁界マーカーを特定するためのSQUIDシステムと磁気ナノイメージング技術を開発

4. 免疫検査用磁気マーカーの特性解明と高性能化

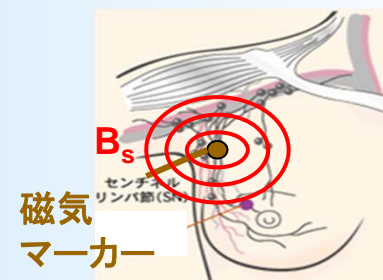
免疫検査で重要となる磁気マーカーの粒度分布や溶液中でのブラウン緩和特性の新しい評価法の開発、及びこの結果に基づいたマーカーの高性能化



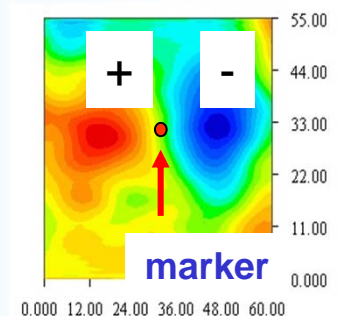
IgEの高感度検出



体外診断(免疫検査)



体内診断(センチネルリンパ節生検)



MPI



低温工学協会
九州・西日本支部

Cryogenic Association of Japan

超伝導線材・導体の交流損失評価と標準化

超伝導関連技術の国際標準化体制

国際電気標準化会議 IEC

VAMAS

第90技術委員会 TC90
(超電導) 幹事国: 日本

- WG1: 用語
- WG2: 臨界電流 (NbTi)
- WG3: 臨界電流 (酸化物)
- WG4: 残留抵抗比 (NbTi, Nb₃Sn)
- WG5: 室温引張試験 (NbTi)
- WG6: 母材組成比 (NbTi)
- WG7: 臨界電流 (Nb₃Sn)
- WG8: 表面抵抗率
- WG9: 交流損失 ←コンビーナ**
- WG10: 捕捉磁束密度 (酸化物バルク)
- WG11: 臨界温度
- WG12: 電流リード

ピックアップコイル法によるNbTi複合超電導線の交流損失測定法の標準化 (WG9)

IEC61788-8 / JIS H7310

交流損失試験方法—ピックアップコイル法による交流横磁界中のニオブ-チタン複合超電導線の全交流損失測定

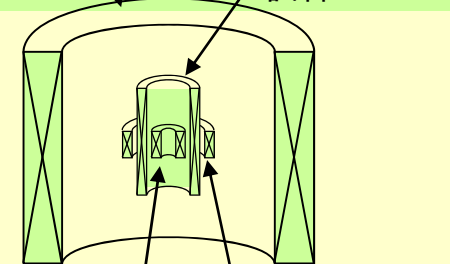
初版: 2003年04月に発行

JIS化: 2006年07月に発行

液体ヘリウム温度下で円断面の金属系超伝導線と酸化物超伝導線へ測定対象の拡充

測定結果の統計による定量的記述法として、従来の「精度」、「確度」から「不確かさ」に移行

超伝導マグネット コイル状試料



補償コイル 主ピックアップコイル

標準化された同軸配置ピックアップコイル法の概念図



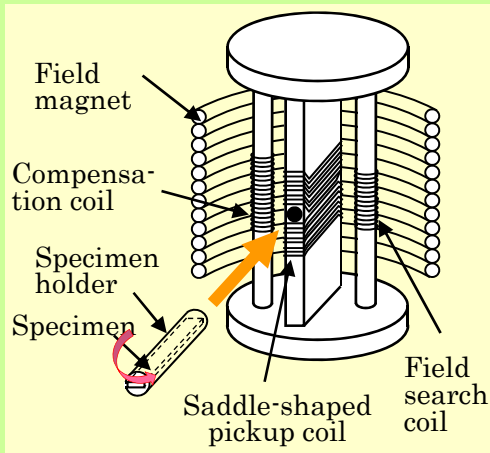
低温工学協会
九州・西日本支部

Cryogenic Association of Japan

超伝導線材・導体の交流損失評価と標準化

鞍型ピックアップコイル

— 酸化物超伝導線の実用化に向けて —



鞍型ピックアップコイル法の概念図

テープ形状線材を回転させることにより、磁界方向依存性も測定できる。

国内ラウンド・ロビン・テスト(参加機関2)

- ◇ Bi-2223多芯テープ線の垂直磁界損失
- ◇ 液体窒素温度、60Hzまで、0.2Tまで。
- ◇ 校正: ヘアピン状銅テープ(往復電流)
- 数値解析を用いた検出係数の定量的評価
- 校正不要の構造例を提示
- 同軸型と同様の高い測定精度を実証
(COV= 4.2% at 1Hz, 0.2T; 0.6% at 10Hz, 0.2T)

交流損失評価の国際標準化活動

線材開発への適用1: Bi-2223多芯テープ線

○ ツイストによる垂直磁界損失の低減

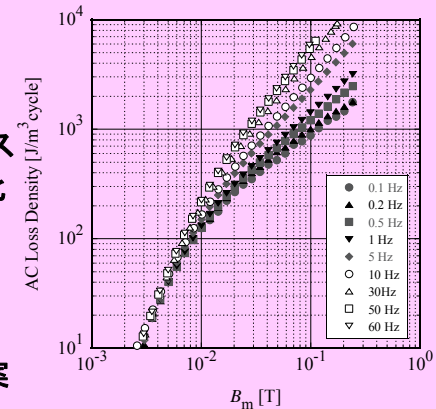
ヒステリシス損失:

Nb₃Sn in-situ 多芯線のツイスト効果と同様の効果を定量化

結合損失:

従来の多芯線理論で予測される効果を実証

○ 結合損失を低減する構造提案
低損失型線材の試作



交流損失の実測例

線材開発への適用2: ReBCO Coated Cond.

○ 交流損失の温度スケールリング

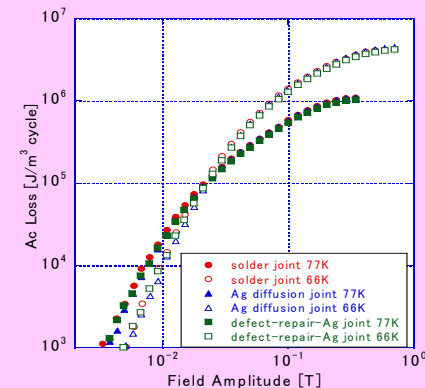
磁化曲線の温度依存性:

I_{c0} による規格化損失:

幅広い温度領域で超伝導コイルの損失設計の指針提供

○ 垂直磁界損失を低減する多芯化構造の提案

短尺線での低損失化の実証
コイルの低損失化へ応用



規格化損失のマスター曲線例



低温工学協会
九州・西日本支部

Cryogenic Association of Japan