



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

研究活動紹介

鹿児島大学

川畑秋馬、住吉文夫、川越明史、平山齊

2011年4月23日

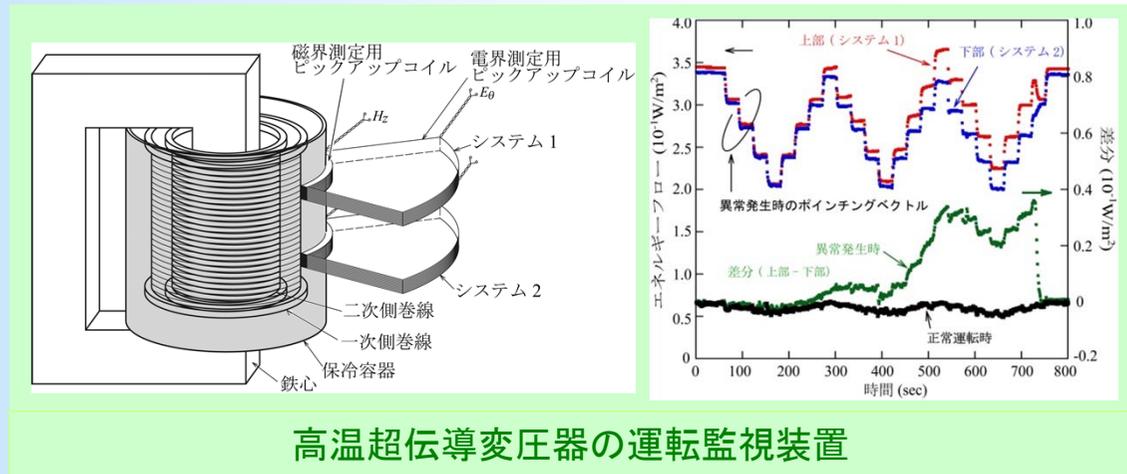
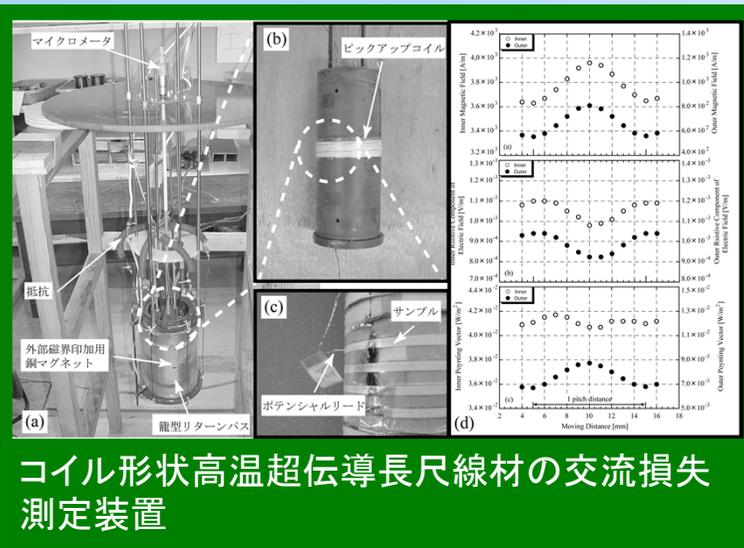
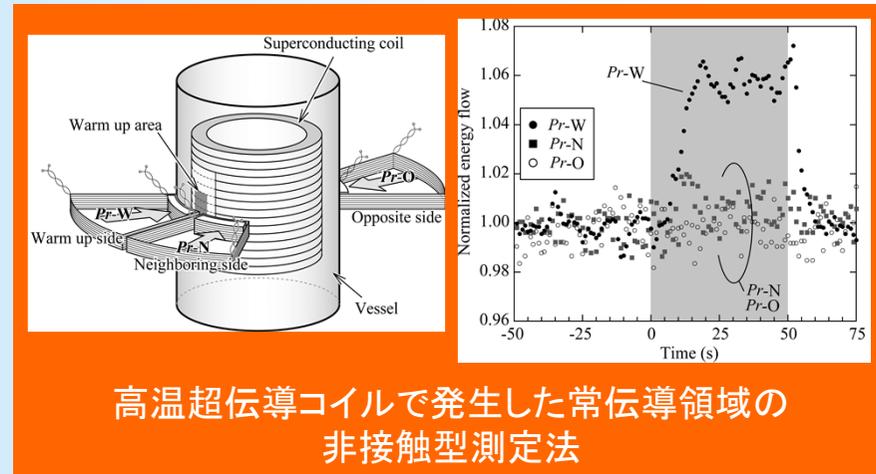
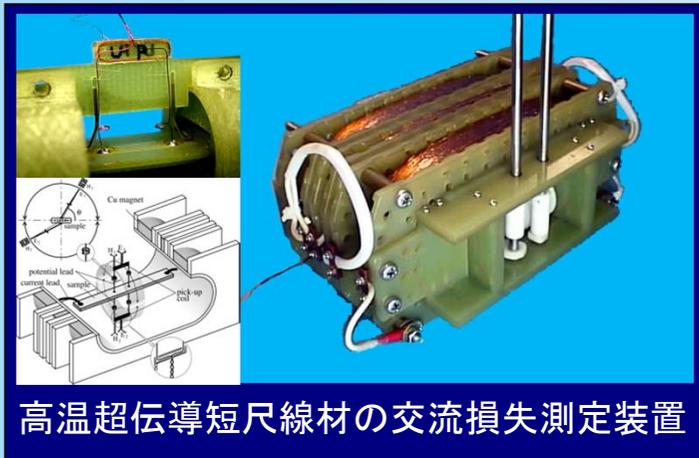
低温工学協会 九州・西日本支部設立10周年記念研究会
九州大学伊都キャンパス

研究内容

- 超伝導線材・導体・コイルの電磁・熱特性評価技術開発（住吉、川越）
- 超伝導導体の高性能化（住吉、川越）
- 高性能超伝導コイルの設計技術開発（住吉、川越）
- 高温超伝導大型導体の基礎電磁特性評価（川畑、平山）
- 超伝導線材の電流分布特性評価（川畑、平山）
- 超伝導リニアモータの開発（平山、川畑）



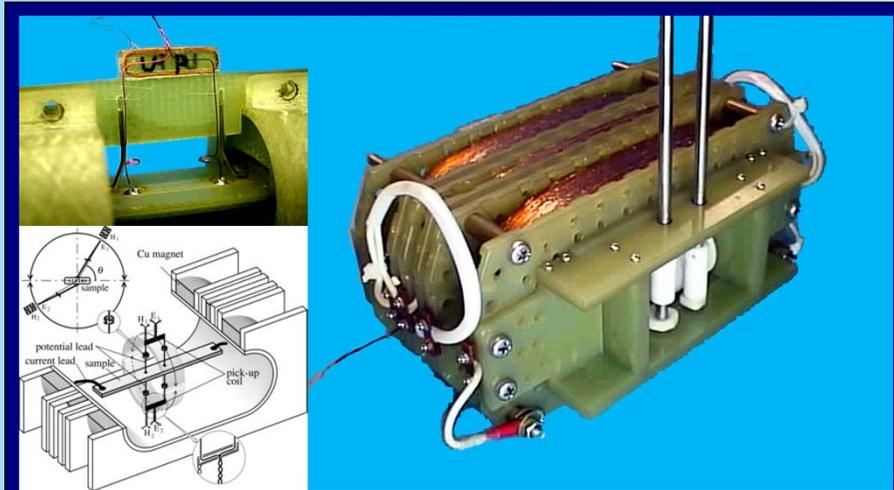
超伝導線材・導体・コイルの 電磁・熱特性評価技術開発



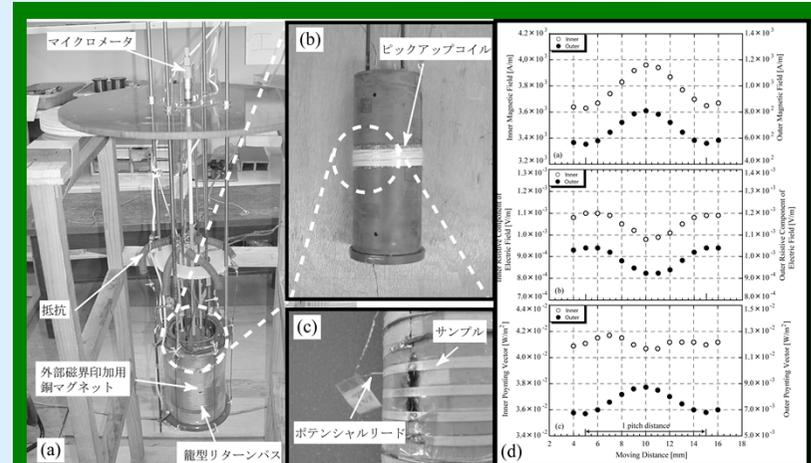
低温工学協会
九州・西日本支部

Cryogenic Association of Japan

超伝導線材・導体・コイルの 電磁・熱特性評価技術開発



高温超伝導短尺線材の交流損失測定装置

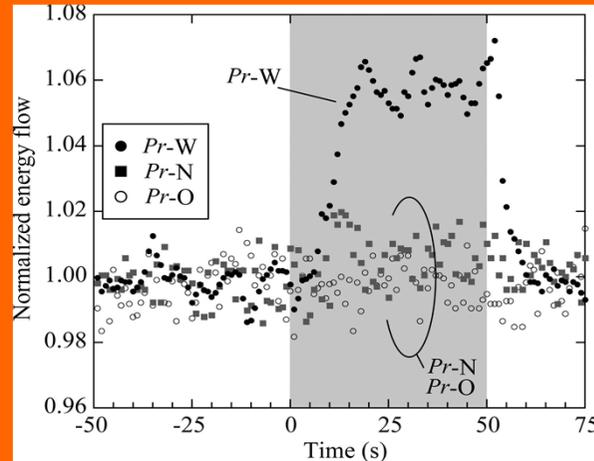
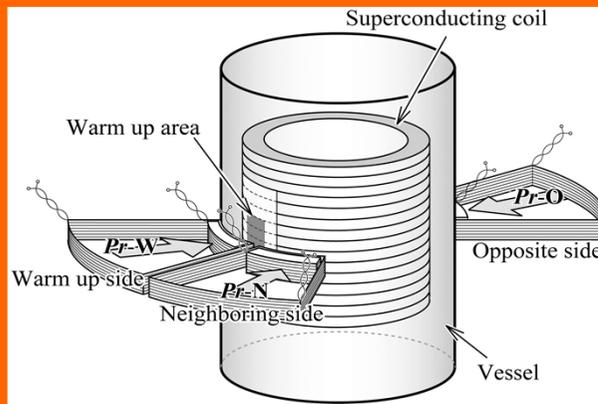


コイル形状高温超伝導長尺線材の交流損失測定装置

1. ポインティングベクトル法を用いた高温超伝導線材の電磁特性評価

- サンプル周囲のポインティングベクトル(電磁エネルギーの流れ)を測定し、交流損失を測定する装置。直線状短尺(100mm)やコイル状長尺(数m)のサンプルの測定が行える。
- 測定条件の制約が少なく、輸送電流と外部磁界が存在する状態で交流損失の測定が可能であり、電磁エネルギーの流れの分布を測定することから、電磁現象のメカニズム解明にも寄与できる。
- これまでは、移動型のピックアップコイルとポテンシャルリードの対を使って測定してきたが、現在は、駆動機構の不具合の解決や汎用性を高めるために、固定型のピックアップコイルとポテンシャルリードの対を多数配置して測定を行う改良を行い、その有効性の検証を行っている。

超伝導線材・導体・コイルの 電磁・熱特性評価技術開発

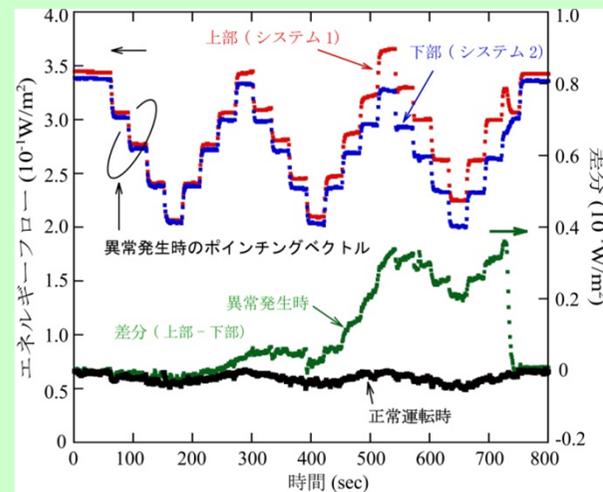
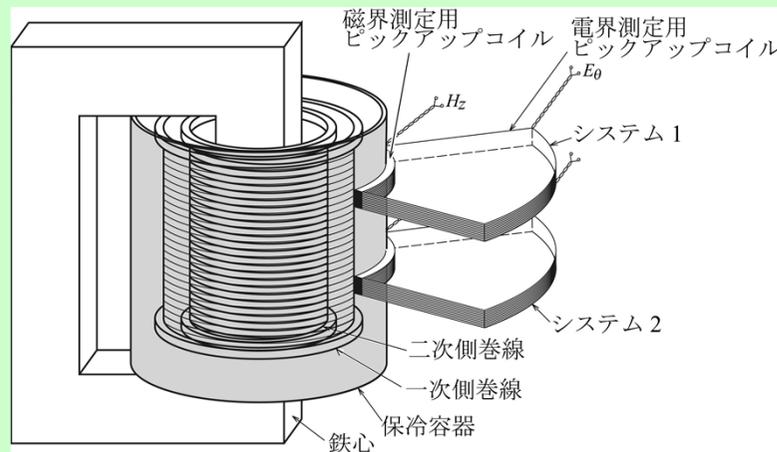


高温超伝導コイルで発生した常伝導領域の
新しい非接触型測定法

2. 高温超伝導コイルで発生する常伝導領域の非接触型測定方法の開発

- ポインティングベクトル法による交流損失測定方法を応用し、高温超伝導コイルで発生した常伝導領域を非接触で測定することのできる新しい測定方法を提案し、その有効性を実証した。
- 本測定法は、高温超伝導コイルで発生することが指摘されている局所的な温度上昇(ホットスポット)の測定が、超伝導コイルに非接触で測定できる。さらに、低温容器の外側から測定することができる。このため、信頼性や安全性、ハンドリングやメンテナンス性に優れている。

超伝導線材・導体・コイルの 電磁・熱特性評価技術開発

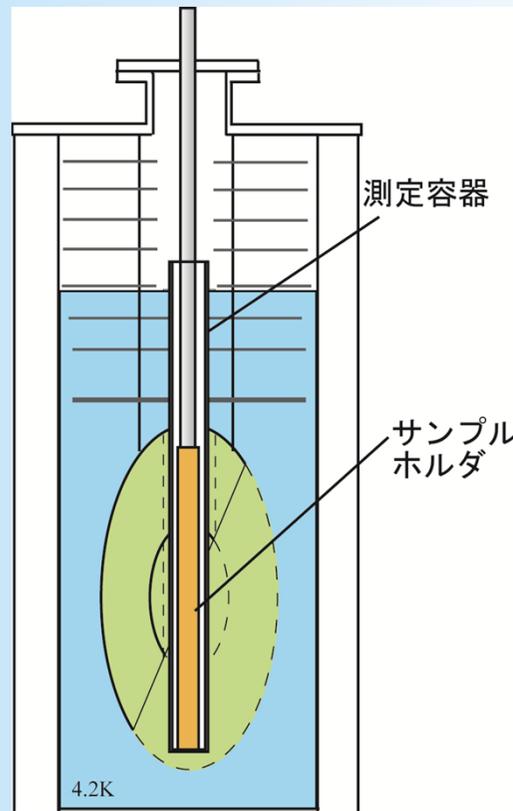


高温超伝導変圧器の運転監視装置

3. 高温超伝導変圧器の運転監視装置の開発

- 高温超伝導コイルで発生した常電導領域の新しい非接触型測定法を応用し、超伝導変圧器の運転監視装置を提案した。鉄心をもっている、また変圧器2次側に接続された負荷が変動した状態でも巻線に発生した異常を測定できることを実証した。
- 本測定法は、高温超伝導コイルで発生することが指摘されている局所的な温度上昇(ホットスポット)の測定が、超伝導コイルに非接触で測定できる。さらに、低温容器の外側から測定することができる。このため、信頼性や安全性、ハンドリングやメンテナンス性に優れている。

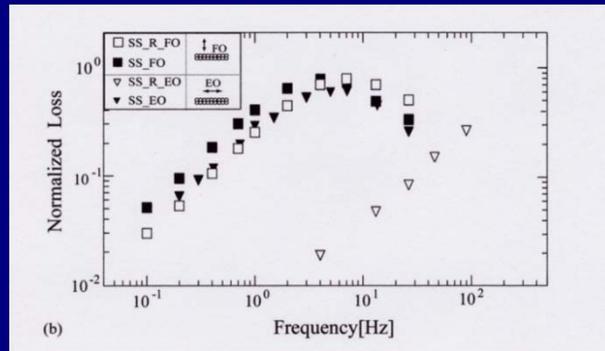
超伝導線材・導体・コイルの 電磁・熱特性評価技術開発



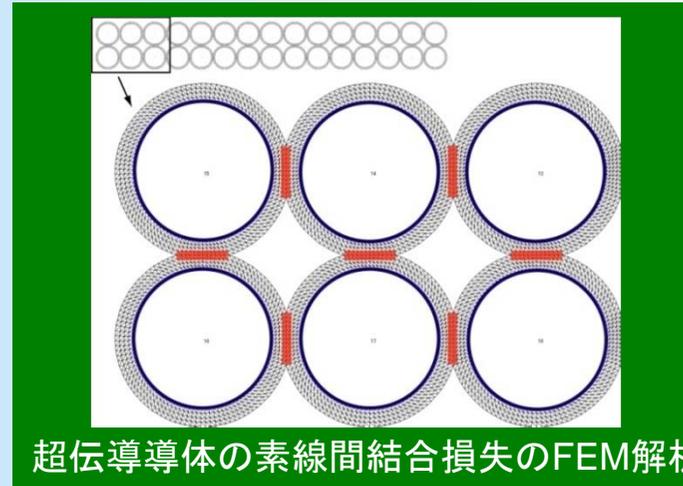
4. 伝導冷却型超伝導導体の熱・電磁特性評価装置の開発

伝導冷却型超伝導パルスコイルの設計を行うために、伝導冷却環境下における巻線導体の熱・電磁特性評価装置の開発を行っている。本評価装置は、冷凍機を用いずガスヘリウムによる冷却を採用することにより、汎用性に優れている。

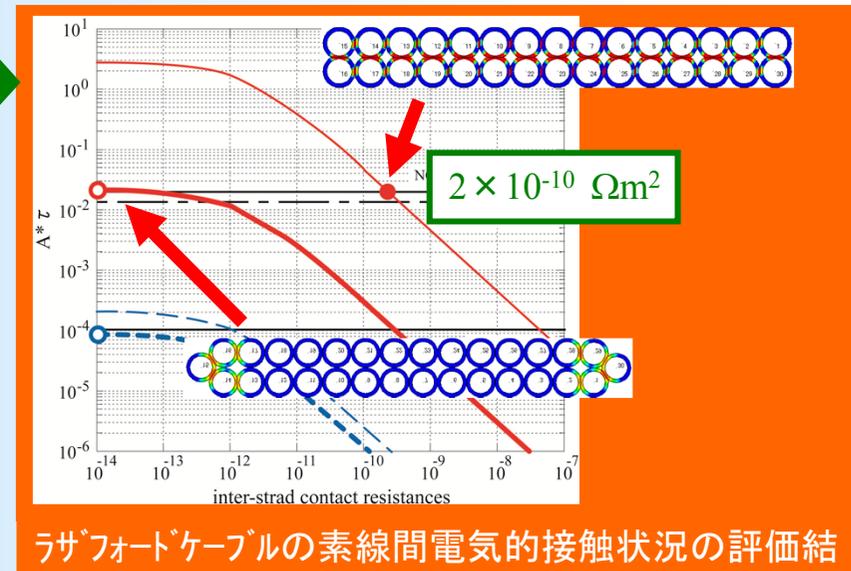
超伝導線材・導体・コイルの電磁・熱特性 評価技術開発



超伝導導体の電磁特性評価装置



超伝導導体の素線間結合損失のFEM解析



ラザフォードケーブルの素線間電氣的接触状況の評価結果

5. 超伝導ラザフォードケーブルの 素線間の電氣的接触状況の評価

- 超伝導ラザフォードケーブルの結合損失の周波数特性から、素線間の電氣的な接触状況进行评估できる手法を確立した。

超伝導線材・導体・コイルの 電磁・熱特性評価技術開発

1. ポインティングベクトル法を用いた高温超伝導線材の電磁特性評価

超伝導線材の外周のポインティングベクトルを測定して交流損失を測定する装置を開発した。測定条件の制約が少ないだけでなく、線材周囲の電磁エネルギーの流れの分布から、電磁現象のメカニズム解明にも寄与できる。

2. 高温超伝導コイルで発生する常伝導領域の非接触型測定方法の開発

高温超伝導コイル周囲のポインティングベクトルを非接触で測定することのできる新しい測定法を開発した。本測定法を応用して、安全で信頼性が高くメンテナンス性に優れた運転監視装置の開発を行っている。(特許)

3. 高温超伝導変圧器の運転監視装置の開発

Bi2223テープ線で巻線した500VAの小型変圧器に本測定法を適用し、鉄心あり・負荷変動ありの状態でも、運転監視装置として機能することを実証した。

4. 伝導冷却型超伝導導体の熱・電磁特性評価装置の開発

伝導冷却型超伝導パルスコイルの設計を行うために、伝導冷却環境下における巻線導体の熱・電磁特性評価装置の開発を行っている。本評価装置は、冷凍機を用いずガスヘリウムによる冷却を採用することにより、汎用性に優れている。

5. 超伝導ラザフォードケーブルの素線間の電氣的接触状況の評価

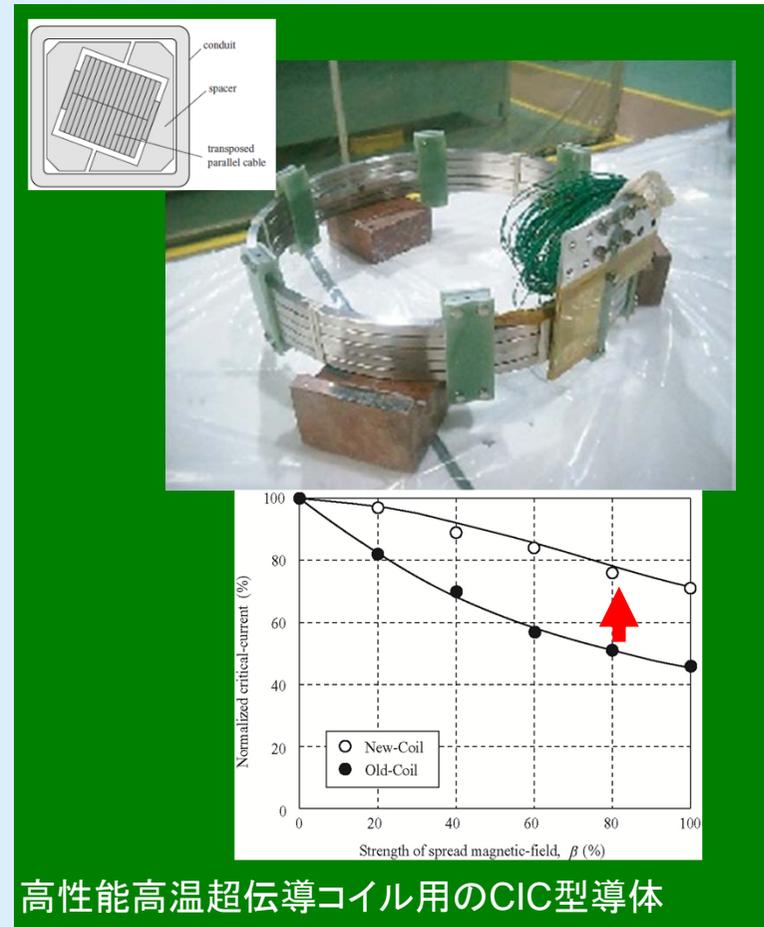
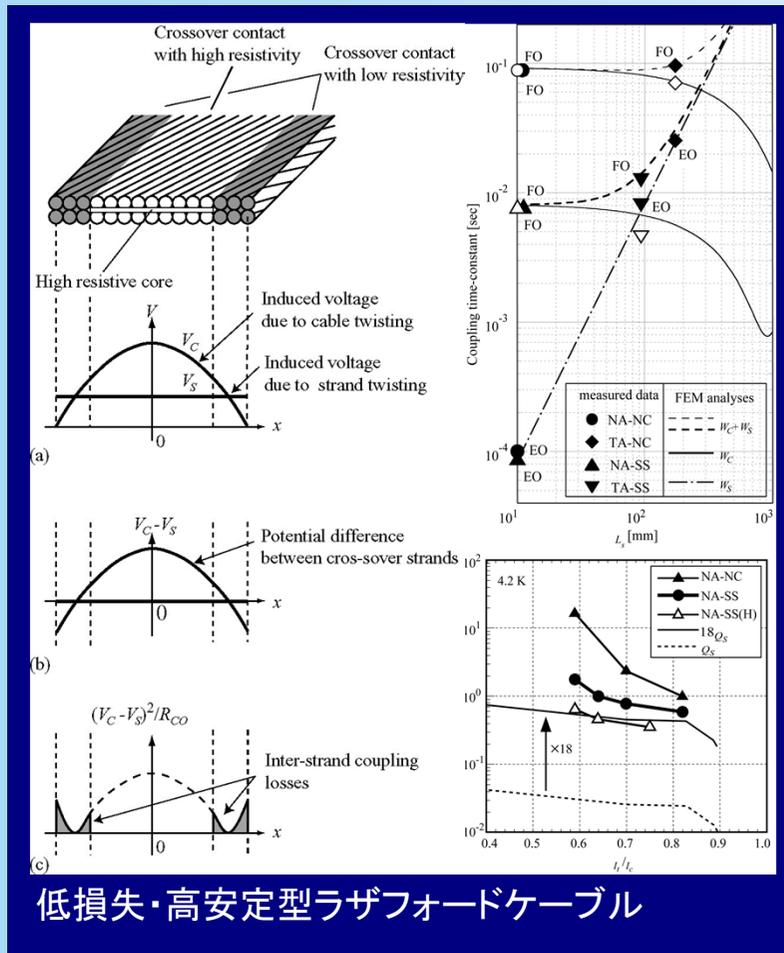
超伝導ラザフォードケーブルの結合損失の周波数特性から、素線間の電氣的な接触状況を評価できる手法を確立した。



低温工学協会
九州・西日本支部

Cryogenic Association of Japan

超伝導導体の高性能化



1. 高性能高温超伝導コイル用のCIC型導体の開発

高温超伝導コイルの高性能化のために、テープ面に垂直な磁界を低減する導体構造として、コイル巻線内で導体に印加される磁界に合わせてテープ線を傾けてコンジットに入れた導体構造を提案し、その効果を実証した。

2. 低損失・高安定型ラザフォードケーブルの開発

素線間接触抵抗を十分小さくして安定性を確保しても低損失化が達成できる導体設計法を提案し、その効果を実証した。

超伝導導体の高性能化

1. 高性能高温超伝導コイル用のCIC型導体の開発

高温超伝導コイルの高性能化のために、テープ面に垂直な磁界を低減する導体構造として、コイル巻線内で導体に印加される磁界に合わせてテープ線を傾けてコンジットに入れた導体構造を提案し、その効果を実証した。

2. 低損失・高安定型ラザフォードケーブルの開発

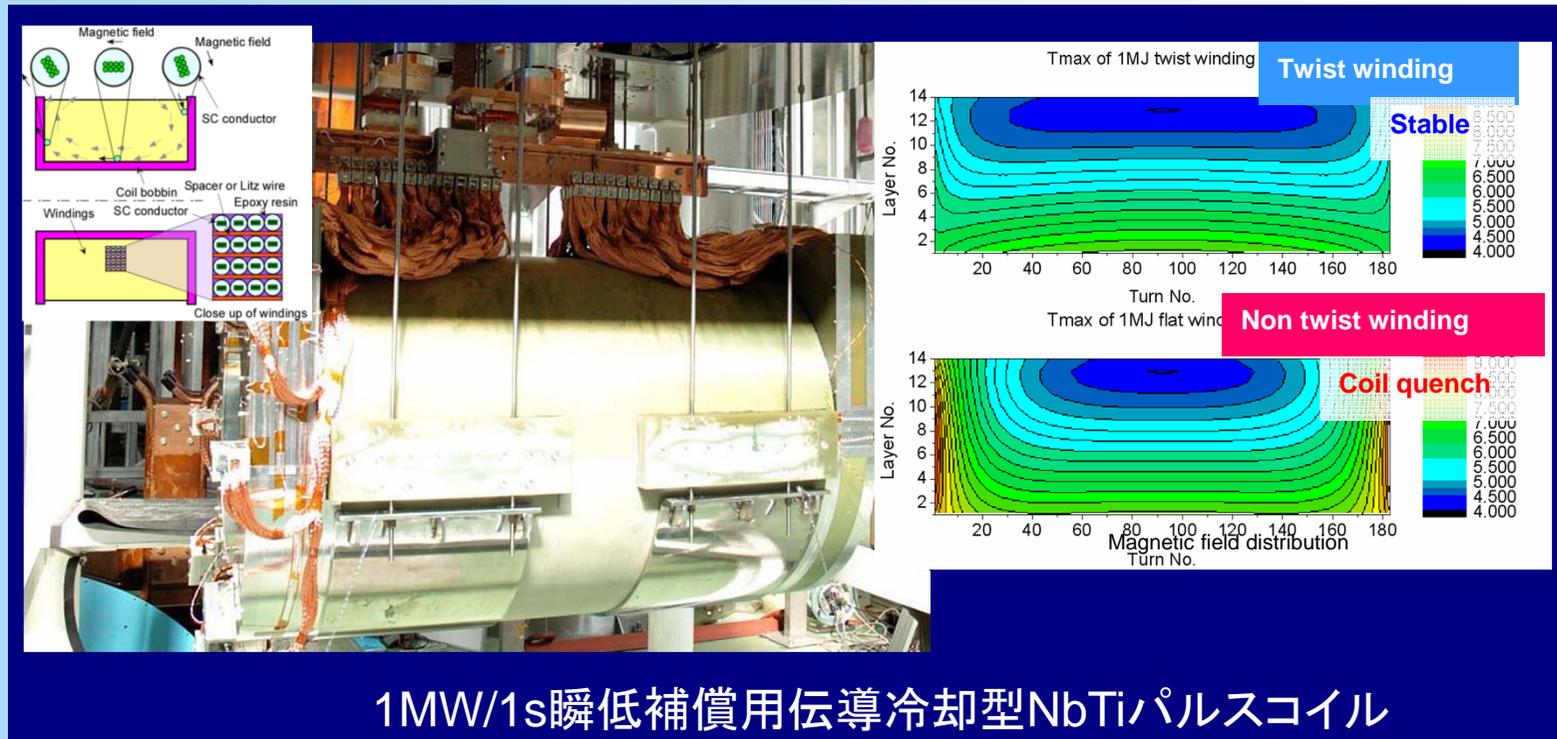
素線間接触抵抗を十分小さくして安定性を確保しても低損失化が達成できる導体設計法を提案し、その効果を実証した。



低温工学協会
九州・西日本支部

Cryogenic Association of Japan

高性能超電導コイルの設計技術開発



1. 1MW/1s瞬低補償用伝導冷却型NbTiパルスコイルの開発

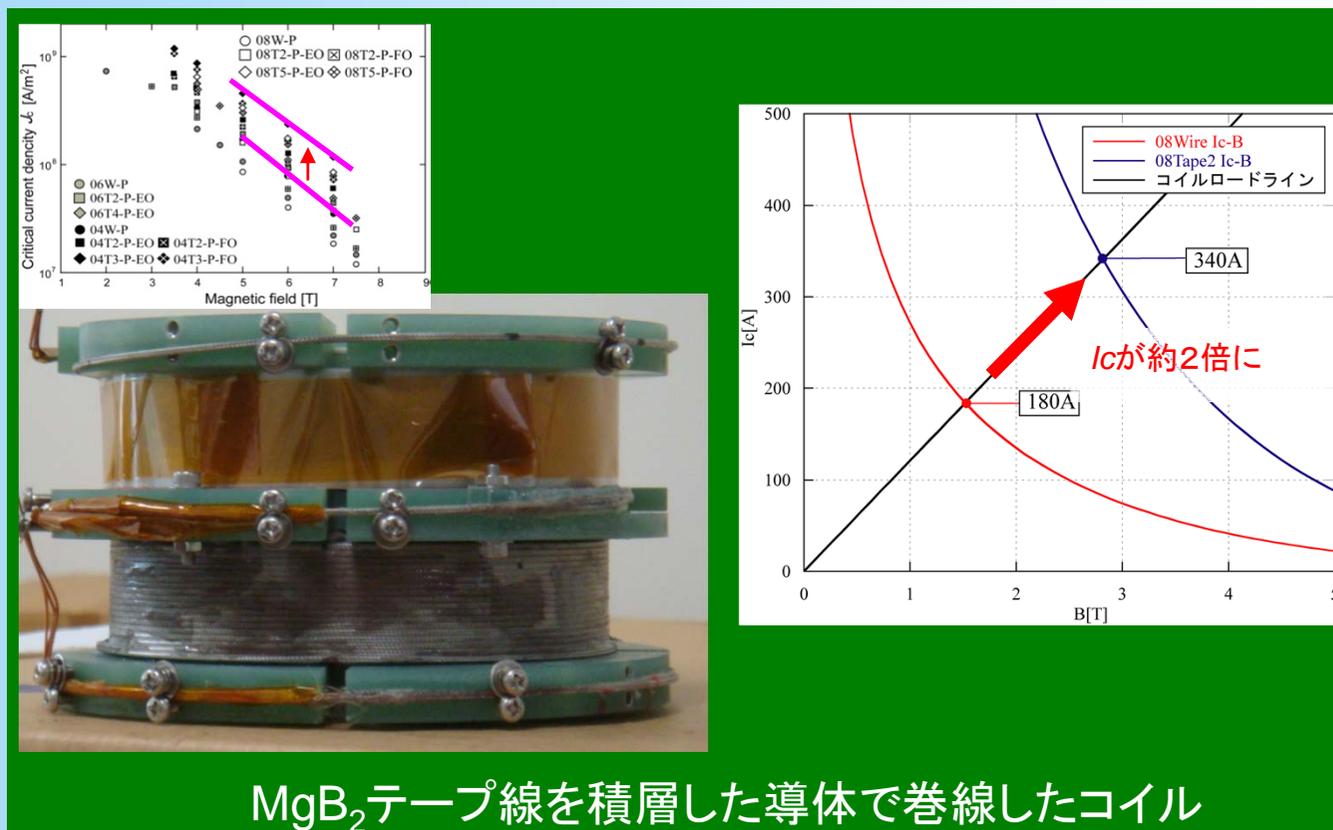
NbTi丸線で構成されたラザフォードケーブルをアルミニウムに押し出し成型した導体を用いた伝導冷却型パルスコイルを開発した。世界初。(核融合研究所、テクノバラ)



低温工学会
九州・西日本支部

Cryogenic Association of Japan

高性能超電導コイルの設計技術開発



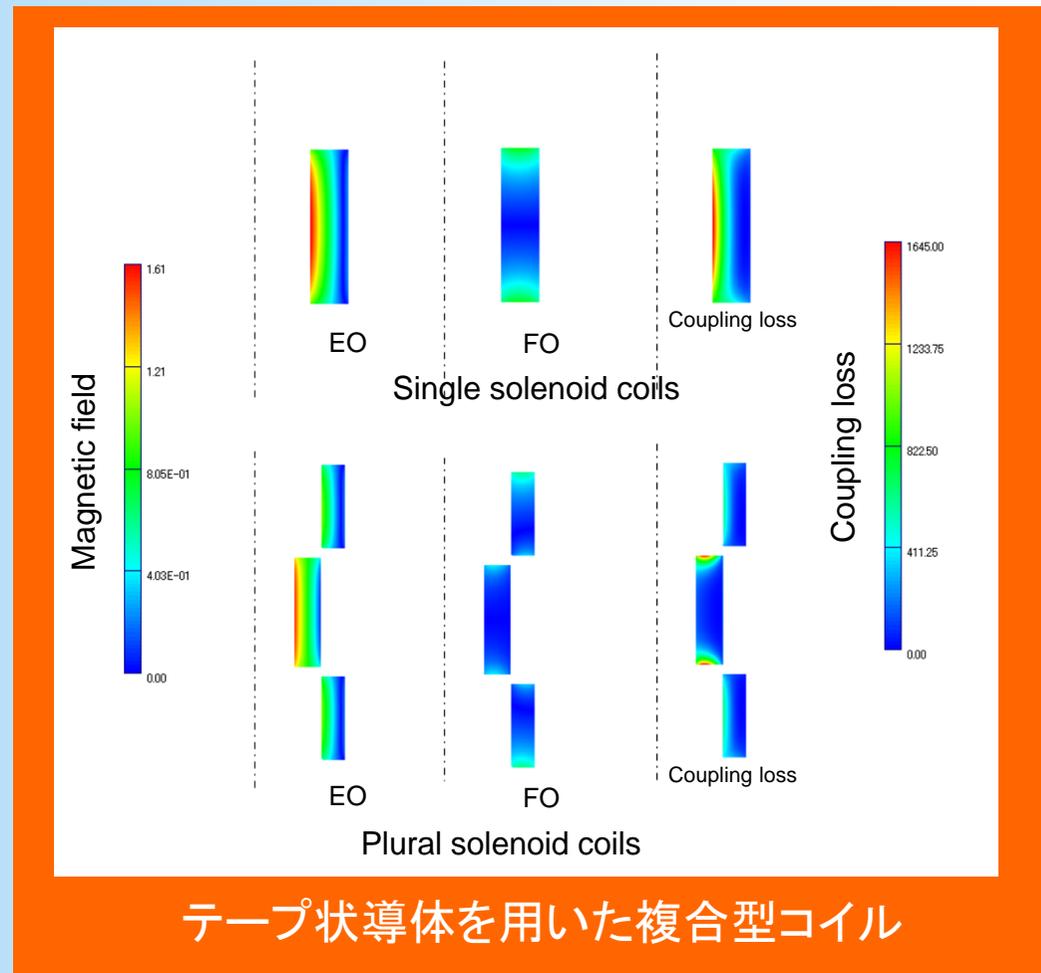
MgB₂テープ線を積層した導体で巻線したコイル

2. MgB₂テープ線材の開発とその活用

MgB₂丸線を圧延して熱処理することにより、臨界電流が飛躍的に向上することを明らかにした。また交流損失も大幅に低減することを明らかにした。さらにこのテープ線で構成された積層並列導体を用いて多層コイルを開発した。現在は、MgB₂テープ線を使った大電流容量導体として、転位導体を試作し、その性能評価を行っている。またMgB₂線材の応用として、瞬低補償用SMESを想定した設計検討も行っている。

(NIFS、九工大、日立)

高性能超電導コイルの設計技術開発



3. NbTi多芯テープ状導体の開発とその活用

NbTi多芯丸線を圧延することにより、臨界電流密度が向上し交流損失が大幅に低減することを明らかにした。さらにそのテープ状導体を活用した複合型コイルを提案し、その高い性能を理論的に明らかにした。

高性能超伝導コイルの設計技術開発

1. 1MW/1s瞬低補償用伝導冷却型NbTiパルスコイルの開発

NbTi丸線で構成されたラザフォードケーブルをアルミニウムに押し出し成型した導体を用いた伝導冷却型パルスコイルを開発した。世界初。(核融合研究所、テクノバラ)

2. MgB₂テープ線材の開発とその活用

MgB₂丸線を圧延して熱処理することにより、臨界電流が飛躍的に向上することを明らかにした。また交流損失も大幅に低減することを明らかにした。さらにこのテープ線で構成された積層並列導体を用いて多層コイルを開発した。現在は、MgB₂テープ線を使った大電流容量導体として、転位導体を試作し、その性能評価を行っている。またMgB₂線材の応用として、瞬低補償用SMESを想定した設計検討も行っている。
(NIFS、九工大、日立)

3. NbTi多芯テープ状導体の開発とその活用

NbTi多芯丸線を圧延することにより、臨界電流密度が向上し交流損失が大幅に低減することを明らかにした。さらにそのテープ状導体を活用した複合型コイルを提案し、その高い性能を理論的に明らかにした。



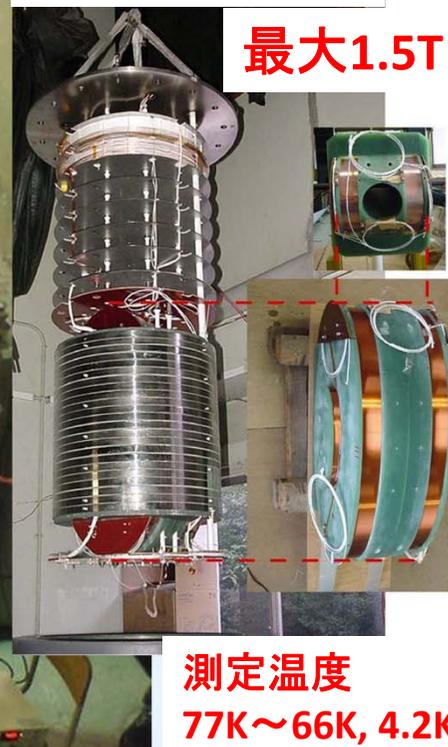
高温超伝導大型導体の基礎電磁特性評価

超伝導大型導体の基礎電磁特性を定量的に評価できる装置の開発

● 電磁特性評価装置



外部磁界印加用
マグネット



超伝導電流
トランス



1kA級の
電流通電
@77K

- 超伝導サンプル導体の通電損失の測定が可能
- 実際の状態（通電＋磁場印加）に即した特性評価が可能

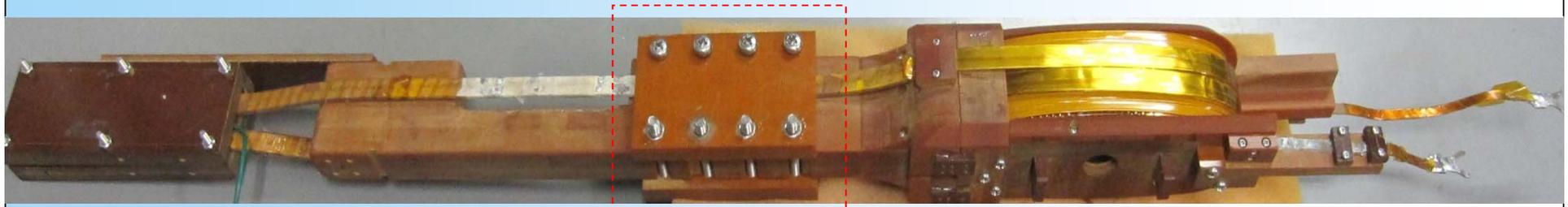


低温工学協会
九州・西日本支部

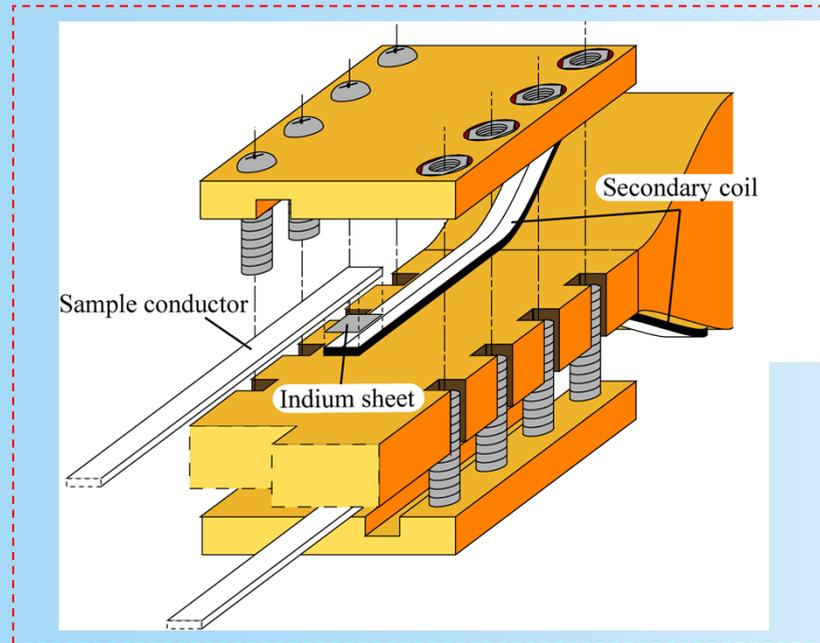
Cryogenic Association of Japan

高温超伝導大型導体の基礎電磁特性評価

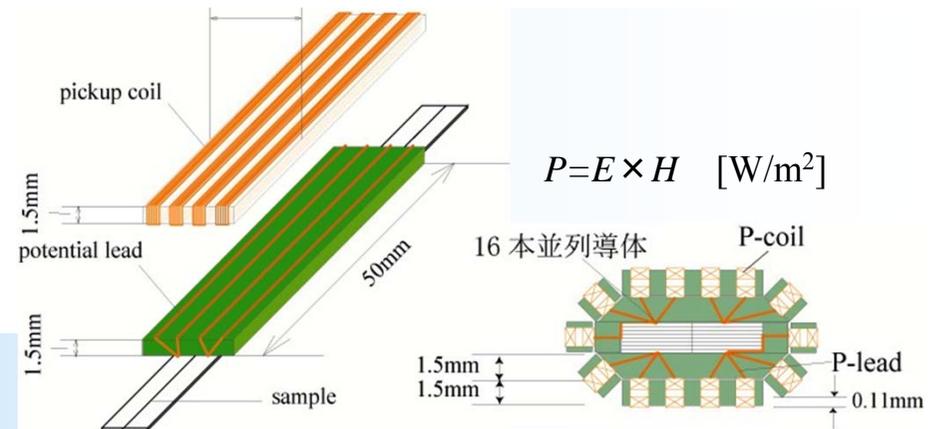
高温超伝導電流トランスを利用した超伝導大型導体の特性評価



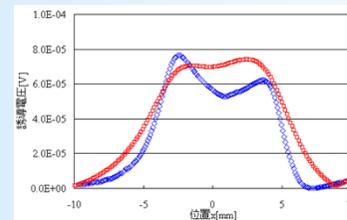
接続部



交流損失特性(ポインティングベクトル法で測定)



電流分布特性(ピックアップコイルで測定)



導体間に100 μ m厚のインジウムシートを挿入したのち上下からベーク板で挟み、ネジで締め付ける方法を採用



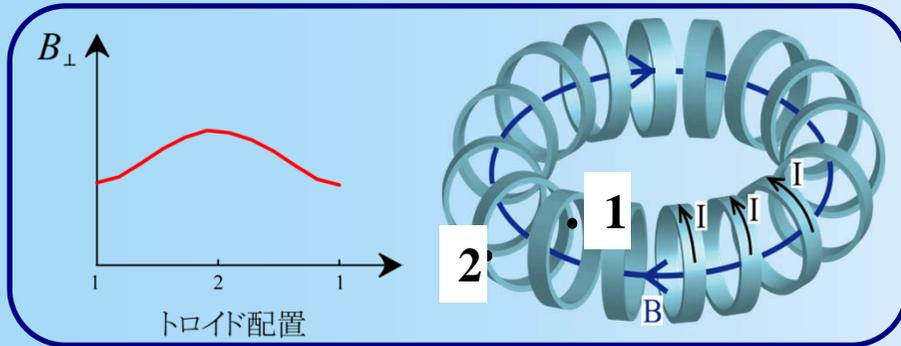
低温工学協会
九州・西日本支部

Cryogenic Association of Japan

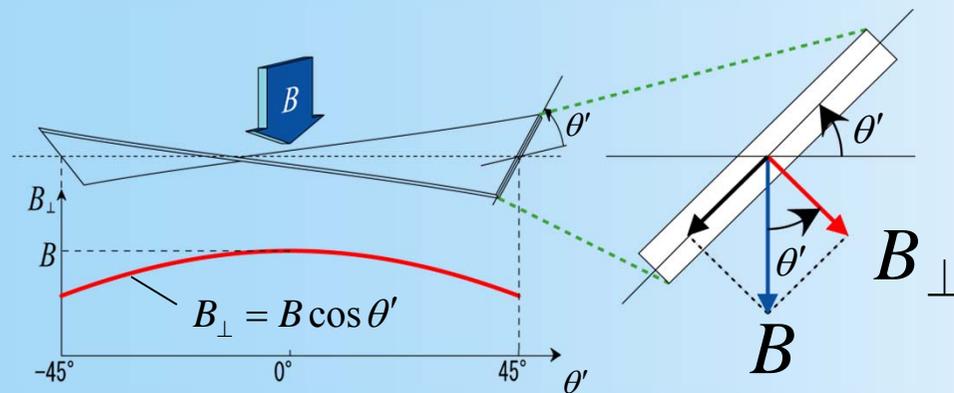
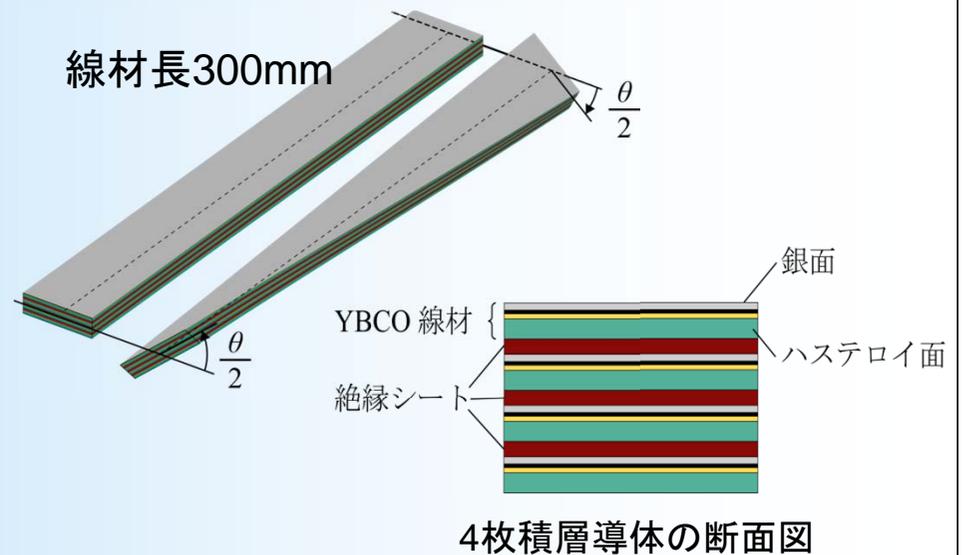
高温超伝導大型導体の基礎電磁特性評価

積層導体の交流損失特性評価

不均一な磁界分布を得る手法

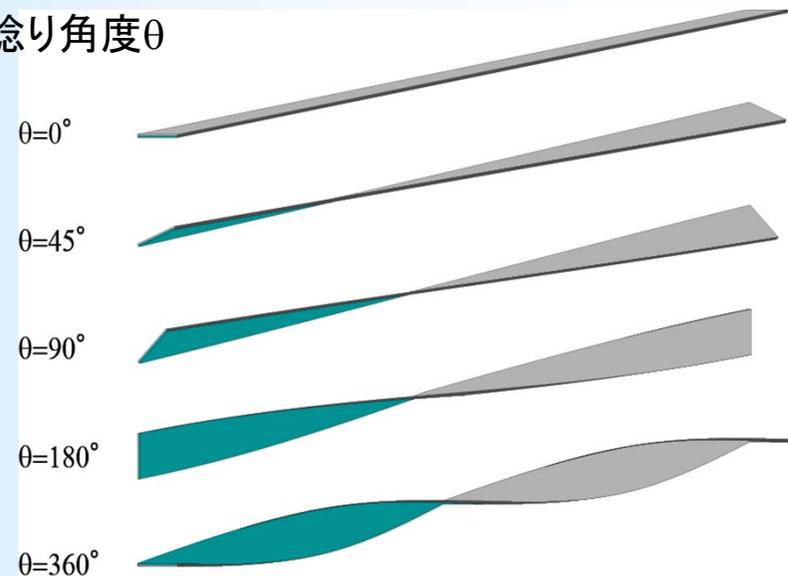


4枚積層導体と捻り角度



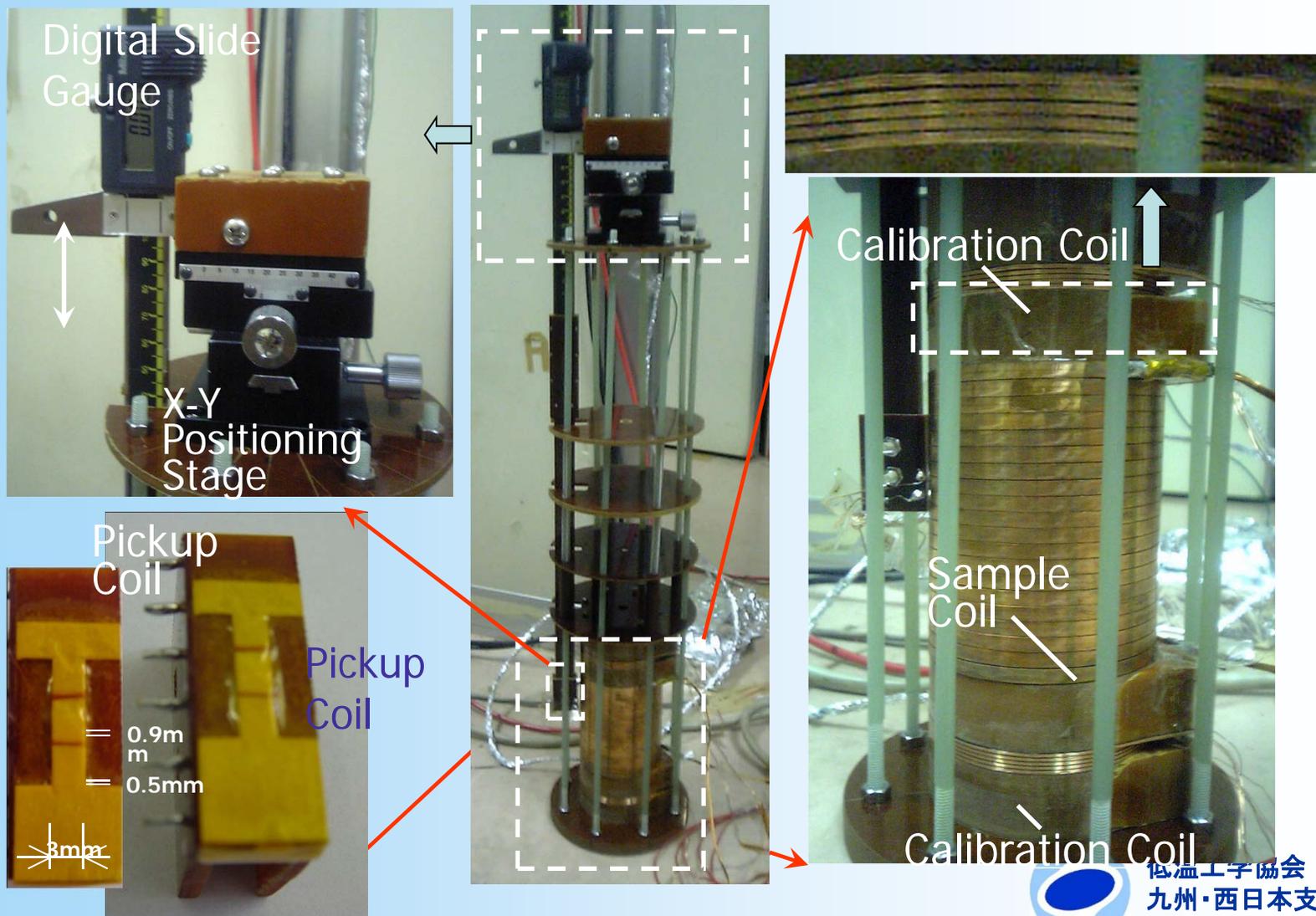
導体長手方向の磁界(導体幅広面に垂直な成分)分布を変化

捻り角度 θ



超伝導線材の電流分布特性評価

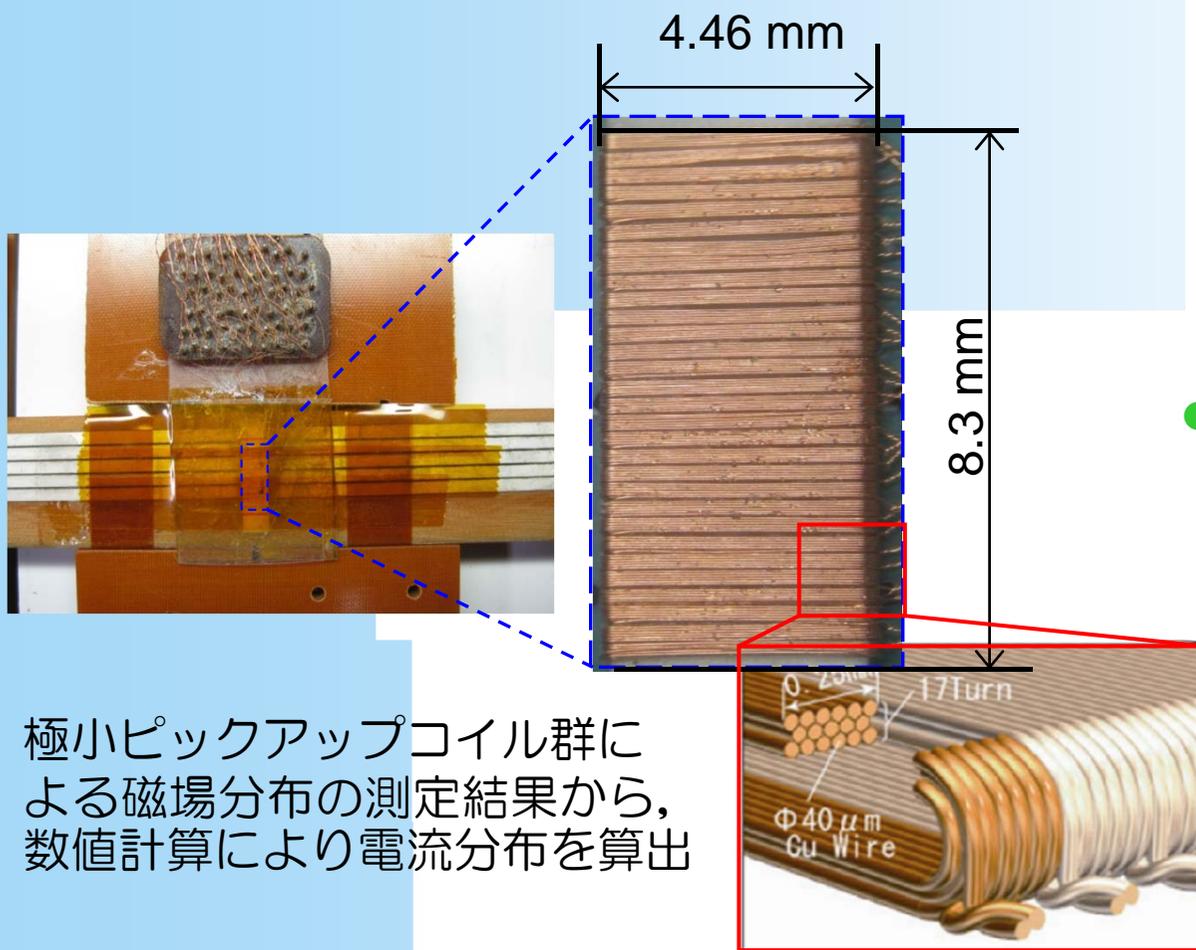
Bi-2223線材の電流分布特性評価



超伝導線材の電流分布特性評価

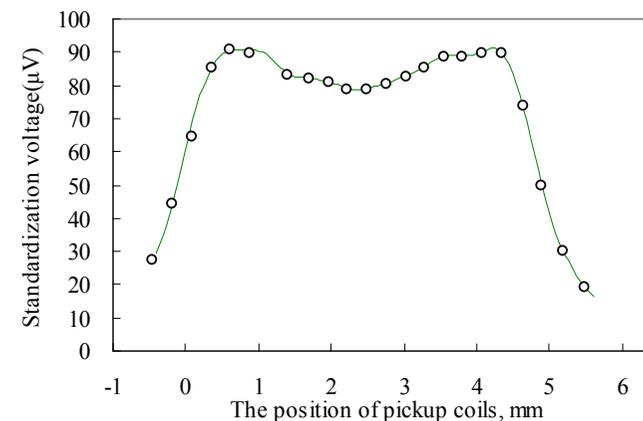
高温超伝導線材の電流分布を非接触で定量的に評価できる

測定法の確立

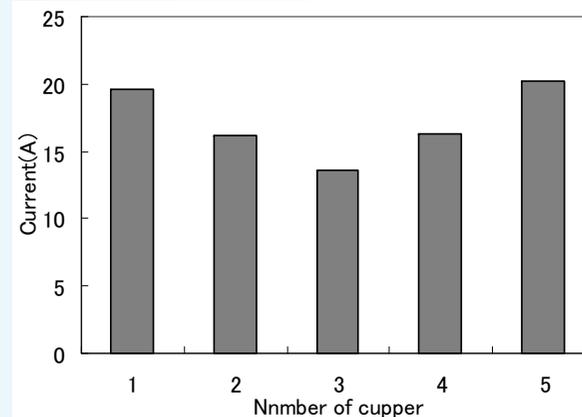


極小ピックアップコイル群による磁場分布の測定結果から、数値計算により電流分布を算出

●測定磁場分布



●電流分布

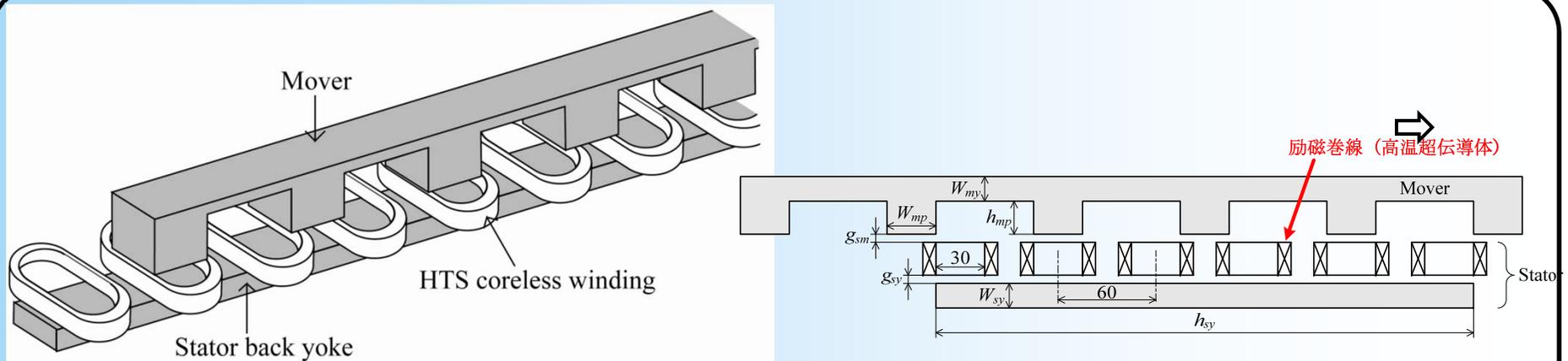


低温工学協会
九州・西日本支部

Cryogenic Association of Japan

超伝導リニアモータの開発

励磁巻線に高温超伝導体を用いた新型の超伝導リニアモータ



○突極構造をもつ可動子鉄心

○励磁巻線に高温超伝導体を用いたコアレスの固定子

特長

- ・希土類永久磁石を必要としない
- ・高効率
- ・小型・軽量
- ・垂直力が小さい

●研究内容

磁場解析と回路解析により、
モータおよび駆動システムを設計

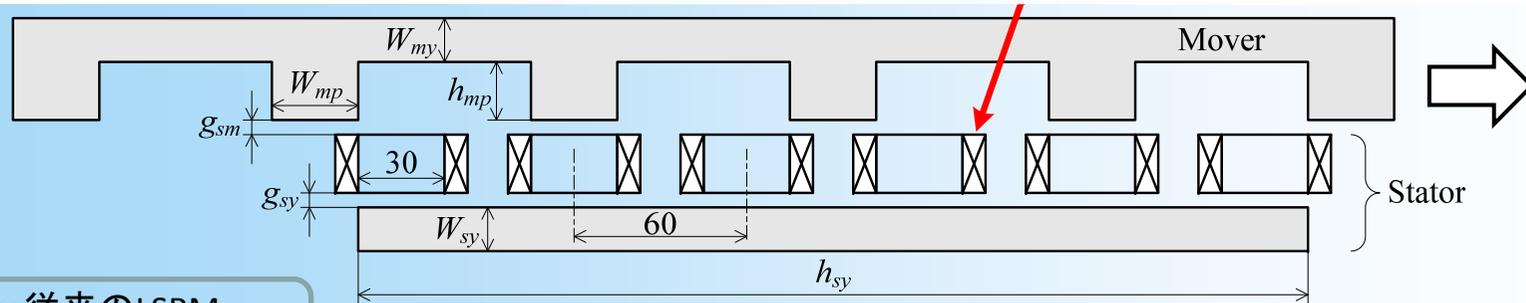
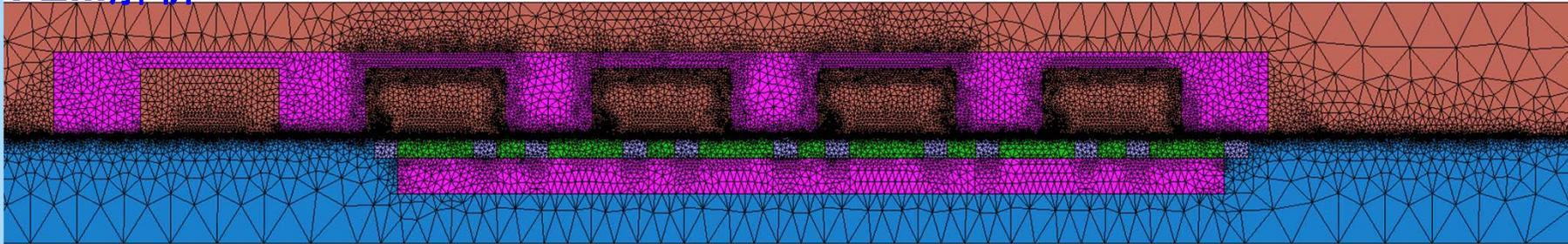


低温工学協会
九州・西日本支部

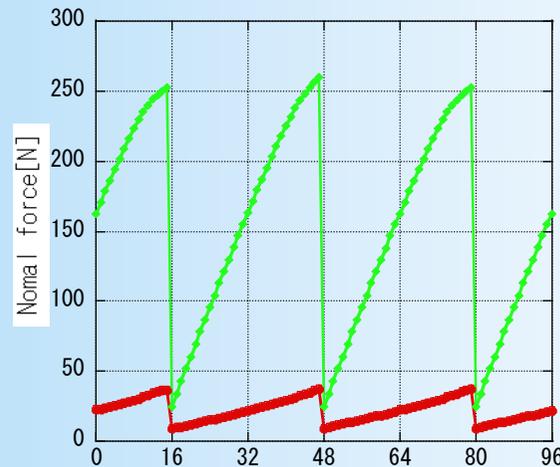
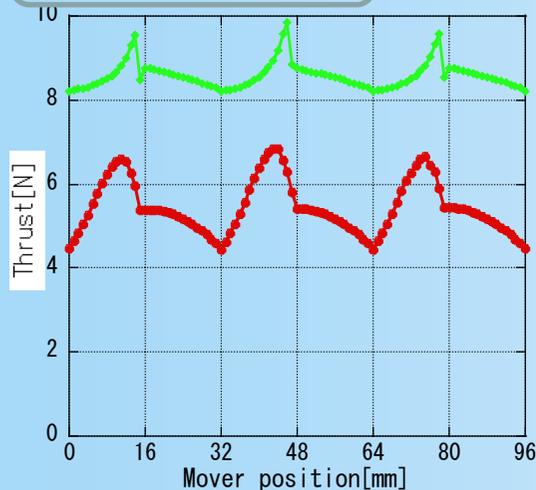
Cryogenic Association of Japan

超伝導リニアモータの開発

FEM解析



● 従来のLSRM
● 設計後HTS-LSRM



従来のLSRMに比べ、
低推力脈動化、低垂直力化が
図れた。

平均推力
5.46[N]

平均垂直力
21.9[N]



低温工学協会
九州・西日本支部

Cryogenic Association of Japan