研究成果展開事業　研究成果最適展開支援プログラム
本格研究開発ステージ　ハイリスク挑戦タイプ　事後評価報告書

研究開発課題名	:	熱収縮自己吸収型超伝導ケーブルの開発
プロジェクトリーダー 所　属　機　関	:	住友電気工業株式会社
研　究　責　任　者	:	山口作太郎（中部大学）

１．研究開発の目的

超伝導ケーブルは液体窒素温度に冷却されて運転されるが、室温と液体窒素の温度差により、ケーブルコアは約 0.3%収縮する。この収縮を適切に吸収する構造をとらなければ、過大な熱応力の発生により、超伝導ケーブルにダメージを与える可能性がある。

研究責任者らは、ケーブルコアに熱サイクルを与えることで、ケーブルコアが自然にヘリカル状に変形することを見出した。この形状であれば熱収縮を適切に吸収できるため、この現象を積極的に活用することで、室温からの冷却によってもダメージを生じることのない超伝導ケーブルを開発する。

２．研究開発の概要

①成果

超伝導ケーブルコアのヘリカル変形については、まずコア断面積の大部分を占める中心の銅撚り線フォーマに着目して、各種撚り線フォーマに冷却・昇温過程を加えた結果、外層２層の撚り方向が同一方向の時に、ヘリカル変形が生じやすいことが判明した。

銅撚り線フォーマに超伝導線材や絶縁紙が集合された超伝導ケーブルコアでの実験では、超伝導線材の集合本数を変えた2種類のケーブルコアで、ヘリカル変形挙動を調査した。ヘリカル変形は、断熱管内壁との摩擦の影響もあり、複雑な挙動を示したが、冷熱サイクルの繰り返しにより、安定な形状に落ち着く様子が観察されたほか、ヘリカル変形とケーブルコアの径方向の収縮を考慮することで、0.3%の熱収縮歪を吸収できることが明らかとなった。また、ヘリカル変形歪によって臨界電流特性には影響がないことを、解析と実験の両面から明らかにした。

ヘリカル変形が生じるメカニズムについては、冷却されたフォーマまたはケーブルコアの昇温時に両端を固定することで圧縮力が生じ、この圧縮力による座屈変形で説明が可能である。一方、座屈変形の生じやすさは曲げ剛性の違いで説明でき、銅撚り線の曲げ剛性をシミュレーションで求める手法を確立した。また補強紙を巻いた銅撚り線フォーマでは、外層２層が同方向に撚られた場合に曲げ剛性が小さいことが実験的に分かり、座屈変形の生じやすさからヘリカル変形が生じやすくなることが説明可能となった。

研究開発目標	達成度
①ケーブル端直線距離の熱収縮量 0.3%に対し、0.2%以上をヘリカル変形で吸収できる施工方法を明らかにする。	①銅撚り線フォーマ、ケーブルコアの冷却・昇温時の熱機械挙動を詳細に調べ、熱サイクルの繰り返しにより安定したヘリカル変形が進行し、0.2%以上の熱収縮を吸収できるようになった。
②ケーブル端直線距離の熱収縮量 0.3%をヘリカル変形で吸収できる施工方法を確立する。	②銅撚り線フォーマ、ケーブルコアの冷却・昇温時のヘリカル変形を座屈メカニズムから考察し、実験とコンピュータ解析を組み合わせて変形挙動を予測できるようになっ

	た。また、ヘリカル変形に加え、ケーブルコアの径方向の収縮を考慮することにより、0.3%歪を吸収できることが明らかになった。

②今後の展開

超伝導ケーブルコアが室温と液体窒素温度の間の熱サイクルを受けた場合に生じるヘリカル変形は、パイプ内部で生じる座屈変形で説明でき、コンピュータ解析と実験によりある程度変形が予測できるようになった。超伝導ケーブルの布設形態等を考えると、断熱管内壁との摩擦や、断熱管の曲がり部が存在するため、実際のヘリカル変形挙動は複雑であり、ケーブルコアの径方向の収縮も考慮する必要があることが明らかとなった。

超伝導ケーブルの構造や布設形態は用途によって様々であり、本手法も熱収縮吸収策の一つとして活用してゆく。

3. 総合所見

目標通りの成果が得られ、イノベーション創出が期待される。企業が抱える技術課題を明確化し、良い連携が実施できた。今後は色々な技術を組み合わせて実用化して欲しい。