

氏名(本籍)	木村誠宏(愛知県)
学位の種類	博士(工学)
学位記番号	博乙第1987号
学位授与年月日	平成16年1月31日
学位授与の要件	学位規則第4条第2項該当
審査研究科	システム情報工学研究科
学位論文題目	微小チャンネル中のサブクール超流動ヘリウムの熱輸送特性に関する研究

主査	筑波大学教授	工学博士	村上正秀
副査	筑波大学教授	工学博士	河合達雄
副査	筑波大学教授	工学博士	石川本雄
副査	筑波大学教授	博士(工学)	阿部豊
副査	高エネルギー加速器研究機構教授	理学博士	山本明

論文の内容の要旨

超流動ヘリウム(He II)は、いわゆる超熱伝導性という優れた熱伝達特性を有する。とりわけサブクール超流動ヘリウム(He II_p)はその中でも特に優れた伝熱性をもつことにより、各種の超伝導機器の冷媒として頻繁に用いられてきている。サブクール超流動ヘリウム(He II_p)は加速器科学の分野においてもこの特徴を利用して超伝導磁石の性能向上をはかっている。

本研究は、加速器用超伝導磁石のビーム損失に対処したHe II_p冷却系設計の指針を得るために始められた。第一段階として、He II_pで冷却した模擬コイルの熱流動特性を基に、実際の超伝導コイル内に形成される冷却チャンネルの水力的サイズの定量的評価を行った。この結果から、模擬コイルの1.9 K近傍の伝熱に関しては、超流動乱流状態下でのHe II_p熱輸送が大きく寄与していると結論づけることができた。しかし、この伝熱特性だけによっては、より高温域であるλ遷移温度近傍で起こる温度特性のずれを説明する事はできなかった。この結果を踏まえ、第二段階で、He II_pの熱輸送特性の伝熱チャンネル形状に対する依存性を、広範な温度領域において、より理想的な条件のもとに定量的に検証する実験を行った。そこでは、これまでよりも一桁小さな断面積を含む、四桁にも及ぶ広い範囲のチャンネル断面積(4.5 × 10⁹ m² から 1.8 × 10⁵ m²)にわたって、He II_pの熱輸送特性の計測を行った。この測定から、チャンネル中のHe II_pの超流動乱流状態下での熱輸送特性について、所謂Gorter-Mellinkの3乗則が、四桁にも及ぶ断面積範囲にわたって成立する事を実験結果として初めて示すことができた。

以上の結果に基づいて、第三段階では、He II_pで冷却された加速器用超伝導コイルについて、絶縁層の固体熱伝導による伝熱をも考慮に入れた総合的な伝熱特性を考察した。結論的に、超伝導コイルの伝熱性能が、コイルの電気絶縁層間に形成される微小チャンネル中のGorter-Mellinkの3乗則に従うHe II_p中熱輸送と、電気絶縁層中の熱伝導が複合した伝熱現象として、定量的に説明する事が出来ることが示された。

本研究により、He II_p冷却を用いる加速器用超伝導磁石の設計において、電気絶縁層間の微小な空間を冷却流路として有効に利用できる事が検証され、He II_pで冷却する加速器用超伝導磁石の設計にとって新たな指針が示されることとなった。

審査の結果の要旨

He II_p の熱輸送特性の伝熱チャンネル断面積に対する依存性を、四桁にも及ぶ広い範囲にわたり調べるといふ地道な実験を成功裡に実施した。結論としては、従来からのいわゆる Gorter - Mellink の 3 乗則が測定した全断面積範囲で成り立つというものであったが、その適用範囲が従来からの値よりも一桁下がることを実験的に確認したことは今後にとって大きな貢献である。

一方、本研究の更なる発展のためには、関連する研究課題、Gorter - Mellink 則は本当に 3 乗則なのか、更に小さな断面積においても成り立つのか、等少なくないが、それについての認識も深められており、今後に大きな期待をかけることもできる。

以上に鑑み、本論文は、工学的に高く評価出来る。その成果に基礎を置き、今後それをさらに発展せることにより、超流動ヘリウムを用いる冷却系技術に格段の革新をもたらすことすら望めるであろう。

よって、著者は博士（工学）の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。