

本論文は「一本の回転細円筒容器中の超流動ヘリウム 3」(Superfluid ^3He in a rotating small cylinder)と題し、8章からなる。第1章はイントロダクションであり、研究の背景および本論文の主目的について述べている。第2章では後の議論に必要な超流動ヘリウム 3 の A 相の物理を概観している。第3章は、1本の円筒容器による実験がなぜ必要かを以前のデータと比較することで議論し、本論文の研究の目的が、1本の円筒容器からなる実験セルを作製し、その中での織目構造の観測と量子渦の観測にあることを述べている。第4章は、測定に用いられた装置である回転冷凍機、測定セル、および、核磁気共鳴測定法について述べている。4.1節では、本研究で用いた ^3He - ^4He 希釈冷凍機と Cu 核断熱消磁冷凍機の特性を記述している。特に、回転冷凍機特有の問題として、磁場中で金属を回転させた際の熱の発生を Cu バンドルに多数のスリットを入れ、かつ、地球磁場を打ち消すために外部磁場を印加することにより解決したことを述べている。4.2節では、円筒容器セルの作製について述べている。このセルは、ピックアップコイル内のサンプル量が $0.17\mu\text{l}$ 程度と非常に少ないが、セルの作製手順を工夫することによって従来とほとんど変わらない数%のコイル内の充填率を実現している。4.3節では、核磁気共鳴測定法のためのブロックダイアグラムを説明し、信号の S/N 比を改善するために取った具体的な方策について述べている。第5節では、サンプル条件と核磁気共鳴測定条件のそれぞれについて、実験で用いた具体的な数値を記述している。第6章では、静止下における超流動 ^3He に対する cw-NMR 測定の結果を述べている。6.1節では、本研究で作製した1本の円筒容器セルを常流動 ^3He の NMR スペクトルにより評価し、150本をまとめて測定した以前のデータに比べて、NMR 信号の線幅が 1/10 程度に狭くなっていることを報告している。他方、サンプル数が 150本から1本へ減少したにもかかわらず、ピックアップコイルの配置を工夫することにより以前と同じ S/N 比を確保することに成功している。NMR 信号は、複数のピークを示しているが、 ^3He - ^4He 混合系でなされたデータを参照することで、ピークの原因がスピン波励起によるものであると推測している。次に、冷却時の NMR スペクトルの温度依存性を測定し、ピーク位置の周波数の温度依存性が $1/T/T_c$ に比例していることを指摘している。また、スペクトルの線幅は低温ほど広がっているが、この線幅は Leggett-Takagi 機構の緩和よりも広く、円筒容器内の織目構造を反映するものと結論付けている。6.2節では、回転下で T_c 以下へと冷却することにより均一な織目構造を持った初期状態が準備できることを指摘している。また、冷却速度を変えて測定することにより NMR 信号のサテライトの強度が連続的に変化することを見出し、これが T_c 通過時にドメイン構造が形成されたことで理解できることを指摘している。第7章では、高速回転下での測定結果を述べている。従来の2倍の最高回転速度 12.0rad/s を達成し、最高回転下でも以前とほぼ同じ熱流入に抑えつつ回転度の安定化に成功している。サテライト積分信号強度を回転速度の関数として表示することにより、量子渦が1本、2本、3本と侵入することの観測に成功し、サテライト信号の規格化共鳴周波数からその渦が、continuous unlocked vortex (CUV)と呼ばれているものであることを同定している。さらに、この同定が NMR スペクトルに関する Takagi による数値計算とコンシステントであることを議論している。7.2節では、1本目の量子渦の侵入過程を、1次元核磁気共鳴画像法を用いて解析している。回転速度の関数として、1本の量子渦の侵入過程の様子を、MRI 測定によって初めて観測することに成功した。さらに、測定時間を短縮する工夫をすることにより、容器内の渦の運動を実時間で捉えることに成功している。これにより、臨界周波数付近で回転周波数を固定した状態で、渦が容器内を数時間というスケールで運動していることが初めて明らかにされた。第8章では、本研究で得られた結果を要約している。

なお、第6章と第7章の研究は、久保田実氏、佐々木豊氏、石川修六氏、高木丈夫氏、石黒亮輔氏との共同研究であるが、論文提出者が主体となって分析および検証を行ったもので、論文提出者の寄与が十分であると判断する。

したがって、博士(理学)の学位を授与できるものと認める。