

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	超伝導渦糸系における非平衡現象と相転移
Title(English)	Non-equilibrium Phenomena and Phase Transitions in Superconducting Vortex Systems
著者(和文)	河村泰樹
Author(English)	Yasuki Kawamura
出典(和文)	学位:博士(理学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第10060号, 授与年月日:2016年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:大熊 哲,吉野 淳二,藤澤 利正,笹本 智弘,竹内 一将
Citation(English)	Degree:Doctor (Science), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第10060号, Conferred date:2016/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第	号	学位申請者氏名	河村 泰樹		
論文審査 審査員		氏 名	職 名		氏 名	職 名
	主査	大熊 哲	教授		竹内 一将	准教授
	審査員	吉野 淳二	教授	審査員		
		藤澤 利正	教授			
		笹本 智弘	准教授			

論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は「Non-equilibrium Phenomena and Phase Transitions in Superconducting Vortex Systems」と題し、6 章から構成されている。

第 1 章「Introduction」ではまず、ランダムなピン止めポテンシャルの下で直流あるいは交流のせん断力を印加することによって起こる弾性固体の塑性変形、ディピンング、プラスチックフロー現象は、大陸プレートの運動や雪崩など自然界で広く見られ、その解明が待たれる重要な物理現象であること、またこれらの駆動力を相互作用する多粒子系に印加すると、可逆-不可逆転移や非平衡ディピンング転移といった新規な非平衡現象が出現することが近年議論されていることが述べられ、これらの研究の重要性について説明されている。つぎに第 2 種超伝導体の渦糸系の特徴と、渦糸を粒子とみなすことにより、渦糸系がこれらの非平衡現象を系統的に調べるための適した実験系となり得ることを述べている。

第 2 章「Experimental」では、まず本研究で主要な測定法となる、渦糸ダイナミクスを測定するための電圧の高感度過渡現象測定、ノイズスペクトラム測定、及びモードロック共鳴測定といった特徴ある高周波輸送現象測定について詳述している。つぎに本研究で用いる良質のアモルファス $\text{Mo}_x\text{Ge}_{1-x}$ 膜試料の作製法とその基本的特性、そしてこの試料内に形成された渦糸格子系を、巨視的せん断力によって回転駆動させるためのコルビノディスク型電極形状と、微視的せん断力のみによって並進駆動させるための矩形型電極形状について説明している。

第 3 章「Dynamic correlations of rotating vortex lattice rings」では、コルビノディスクの渦糸固体を回転半径に反比例するローレンツ力で高速回転駆動させると、異なる半径をもつ渦糸格子リングが中心近くほど大きな角速度で回転すること、そして速度を減少させるにつれて横方向の速度相関、すなわちリング幅が減少することを見出したと述べている。この実験結果は、速度減少による実効的ピン止め力の増加が、回転運動する渦糸格子内に格子欠陥を生み出し、これが格子を幅方向に融解させることを捉えたものとして説明され、関連するシミュレーションの結果とも定性的に一致すると結論されている。さらに本研究は、これまで実験手法がなかった、高速駆動された渦糸系の横方向の速度相関を検出する実験方法を初めて提案したという実験的な意義が述べられている。

第 4 章「Reversible-irreversible transition in the vortex system」では、低速域で乱れた渦糸系を交流駆動させると、衝突を繰り返すうちに次の衝突を避ける位置に自己組織化するランダム組織化が起こり、駆動振幅を変数として、すべての渦糸が元の位置に戻る可逆フローから、一部の渦糸が戻らなくなる不可逆フローへと動的相転移を起こすことを、巨視的なせん断力のない並進駆動系で初めて観測したと述べている。さらに構造が予想できる渦糸系との比較実験により、可逆フローの渦糸配置は不可逆フローの渦糸配置に比べ秩序があること、しかし完全な格子配置をとるわけではなく、その配置には過去の駆動振幅の情報が記憶されていると述べている。さらに渦糸系全体を直流駆動した並進運動系で交流駆動力を印加した場合も、可逆-不可逆転移とよく似た臨界現象が現れること、ただし緩和時間の臨界指数は、これまでの静止系での値 $\nu=1.3-1.4$ の約半分程度まで減少すると報告している。これは並進運動系ではピン止め中心の位置が時間的にゆらぐことによる効果、または可逆-不可逆転移とは異なる新たな非平衡相転移を観測している可能性が議論されている。

第 5 章「Critical behavior associated with transient dynamics near the depinning transition」では、多くの渦糸がピン止めにつかまった乱れた初期状態を準備し、印加する交流駆動力の振幅を徐々に増大させていくと、ある振幅値で電流電圧特性に非線形性が現れることを見出し、こ

れは渦糸の往復運動の振幅がピン止めポテンシャルの障壁を超えた瞬間をとらえたものであること、そしてこの実験結果から超伝導の基礎・応用双方にとって重要なピン止めポテンシャルのサイズを初めて見積ることに成功したと述べている。さらに交流駆動力印加直後の電圧の過渡現象測定により、直流駆動のときとよく似た非平衡ディピニング転移の臨界現象が観測され、しかも平衡状態に向かう緩和時間の臨界指数も、直流ディピニング転移や可逆-不可逆転移の臨界指数 $\nu=1.3$ とほぼ一致することを見出したと述べている。これらの結果は、可逆-不可逆転移とディピニング転移が同一のユニバーサリティクラスに属するという理論の予想と一致すると結論している。

第6章「Conclusions」では、本研究で得られた結果をまとめている。

以上の通り、本論文はこれまで実験研究が難しく理解が進んでこなかった固体のプラスチックフロー現象や近年多粒子系で研究が進められている新規な非平衡相転移現象を、超伝導渦糸系を用いて研究が可能であることを実験的に実証した論文で、超伝導分野のみならず広い分野へ波及する重要な業績と考えられる。したがって、本論文は博士（理学）の学位授与に相応しいものと判断される。

注意：「論文審査の要旨及び審査員」は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。