

量子物理工学研究センター

[プロジェクト研究センター設置期間: 令和4年4月~令和9年3月(予定)]

センター長 **安塚 周磨** (やすづか しゅうま) / 工学部 知能機械工学科・教授

共同研究者 (学内)	鈴木 真(すずき まこと) / 電子情報工学科・教授	木船 弘一(きふね こういち) / 建築工学科・教授
	松岡 雷士(まつおか れいし) / 電気システム工学科・准教授	浴野 稔一(えきの としかず) / 情報工学科・教授
	山本 愛士(やまもと あいし) / 機械システム工学科・教授	山本 恵(やまもと けい) / 地球環境工学科・助教
	大村 訓史(おおむら さとし) / 環境土木工学科・准教授	

センターの概要

(1) 主たる研究分野

【分野】

数物系科学(物理学)

【キーワード】

物性物理学、素粒子物理学、光誘導ドリフト、量子ウォーク、液体金属、第一原理分子動力学法、超伝導、半導体、結晶構造解析、CP対称性の破れ

(2) 研究概要

■量子物理学とは?

19世紀の終り頃、ニュートンにより始められた力学とマクスウェルが確立した電磁気学は物理学を支える2本の大きな柱としてゆるぎないものと思われていました。しかし、19世紀末から20世紀の初めにかけて物理学は革命的な発展をとげ、新しい物理学—量子力学—が誕生しました。ニュートン力学においては、初期条件を与えればその後の運動は唯一に確定します。これは決定論的な因果関係を意味します。しかし量子力学では、物質の「存在」あるいは「事象」は確率的概念に置き換えられてしまいます。20世紀に発展した相対論と量子論のおかげで、人類は果てしない広大な宇宙の構造から極微の素粒子の構造までの神秘を知ることができるようになりました。

人類が地上に現れてから数100万年の歴史が過ぎましたが、電子の発見からまだわずか100年ちょっと、そして相対性理論と量子論に辿り着いてからおよそ100年です。しかし、人類はすでに20世紀の物理学がもたらした多くの恩恵にあずかっています。

最近のナノテクノロジーをはじめとする技術の急速な発展に伴い、量子力学の理解はますます深まると同時に、量子力学の新しい応用が開けてきました。ミクロの世界を記述する理論として輝かしい成果を収めた量子力学ではありますが、巨視的量子現象として知られる超伝導や超流動では、マクロな系で量子状態が実現し、巨視的なレベルで量子論の「不思議」が観測されています。量子物理工学の分野では、量子現象を積極的に制御して利用する量子デバイスへの期待がふくらんでいます。また、量子計算などの量子情報処理の可能性が探求され、量子コンピュータの夢も広がっています。

■量子物理工学と社会

物理学と人類社会との関係に目を向けると、現代社会の基盤をなすエネルギーと情報に関わる科学・技術は多くの量子力学の基礎研究から生み出されたものであることに気が付きます。その最たる例はコンピューターなどの電子機器の中核をなす半導体デバイスや磁気記録デバイスであり、それらの動作原理は量子力学に基づく物理学の基礎研究に依拠するものです。物理学の基礎研究から生まれた新しい技術シーズが一般社会に還元されるタイムスケールは、場合にもよりますが、典型的には十年~数十年というところですが、例として、トランジスタが発明されてからパソコンや携帯電話が世の中に溢れるほどに普及するまでに約50年、初めてのレーザー発振が実現してからCDプレーヤーやバーコードスキャナーなど日常的場面にレーザーが使われている今日までも約50年です。さらには、日常からかけ離れた物理と思われる相対性理論が100年を経て、カーナビ等に用いられるGPSの基礎となっていることにも注目すべきでしょう。

これらのことを思えば、今日の基礎研究から日々生み出されている成果の中に、いずれ思いがけないところで実用に供されて社会を変えることになるものが多数あることは間違いありません。

■本プロジェクト研究センターでは

本研究センターでは、さまざまな物理現象の背後に潜む基本法則、普遍性、特殊性の解明に迫ります。例えば、高輝度光科学研究センター(SPring8)で誘電体やDVD材料の結晶構造変化を調べたり、物質の超伝導状態や磁性を調べるために、物質・材料研究機構(NIMS)で強磁場実験を行なっています。



物質・材料研究機構での実験風景



高輝度光科学研究センター(SPring8)



研究成果等

(1) 研究成果

量子コンピュータや量子暗号など、従来とは比較にならない潜在能力を秘めた量子技術の活用により、産業も社会も大きく変革する量子時代が到来したと言われています。その基盤となる研究分野のひとつが超伝導です。以下では、超伝導に関する研究成果について紹介します。

1. 水素吸蔵合金の超伝導特性に関する研究:

超伝導の基礎理論として知られているBCS理論によれば、超伝導転移温度 T_c はクーパ対形成を媒介する格子振動の振動数に比例して高くなります。このことから、原子質量の軽い水素を含む化合物が興味深い研究対象となります。

我々は代表的な水素吸蔵金属であるパラジウム(Pd)に注目し、高密度に水素吸蔵させたPd水素化物の研究を行っています。本研究において、 $T_c = 7$ Kの水素化物超伝導体の合成に成功しました。得られた試料に対して臨界電流の温度依存性を調べたところ、試料内に粒界ジョセフソン接合が形成されていることを見出しました(FIG.1)。粒界ジョセフソン接合の形成機構として、吸蔵された水素と試料内の格子欠陥の相互作用が重要な役割を担っていると考えられています。[1]

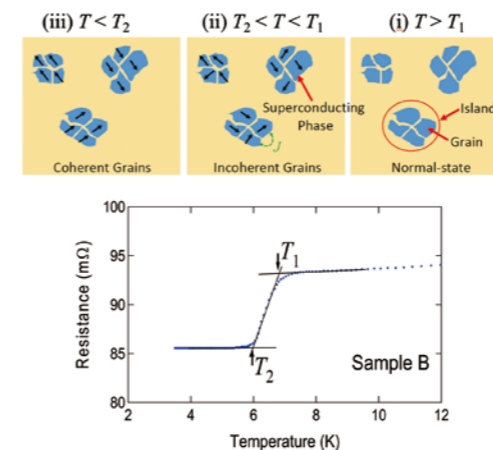


FIG.1: The three upper panels present the development of superconductivity, where three islands, each limited to four grains for simplicity, are shown. Each black arrow in the SC grain means the SC order parameter. In the bottom panel, two characteristic temperatures, T_1 and T_2 , are defined. [1]

(3) 実績(論文・特許・共同研究・産学連携・補助金)等

■論文リスト

- [1] Effect of Deuterium Interactions with Lattice Defects on Superconducting Pd_x System S. Yasuzuka, N. Ogita, D. Anzai, and N. Hatakenaka, J. Phys. Soc. Jpn. 85 (2016) 123703/1-4.
- [2] Highly isotropic in-plane upper critical field in the anisotropic s-wave superconductor $2H-NbSe_2$ S. Yasuzuka, S. Uji, S. Sugiura, T. Terashima, Y. Nogami, K. Ichimura, and S. Tanda, J. Supercond. Nov. Magn. 33 (2020) 953-958.
- [3] Interplay between Vortex Dynamics and Superconducting Gap Structure in Layered Organic Superconductors S. Yasuzuka, Crystals 11 (2021) 600/1-16. Editors' Choice articles

■各種補助金獲得実績

- "水素吸蔵金属における水素の急速・高密度吸蔵現象と新奇物性現象の検証" (代表 安塚周磨) 研究期間: 2019年-2021年、基盤研究C(代表)、直接経費 3,300,000 円
- "磁束フロー抵抗からみた異質の超伝導体の波動関数" (代表 安塚周磨) 研究期間: 2013年-2016年、基盤研究C(代表)、直接経費 3,700,000 円

2. 超伝導ギャップ構造と磁束ダイナミクス:

超伝導のメカニズムを解明するためには、まず超伝導ギャップ構造を知る必要があります。我々は分子性導体 $k-(ET)_2Cu(NCS)_2$ を磁場中で回転させることにより(FIG.2)、超伝導状態で形成される渦糸の運動により生じる磁束フロー抵抗が超伝導ギャップ構造の異方性に強く影響されることを世界に先駆けて発見しました。[3]

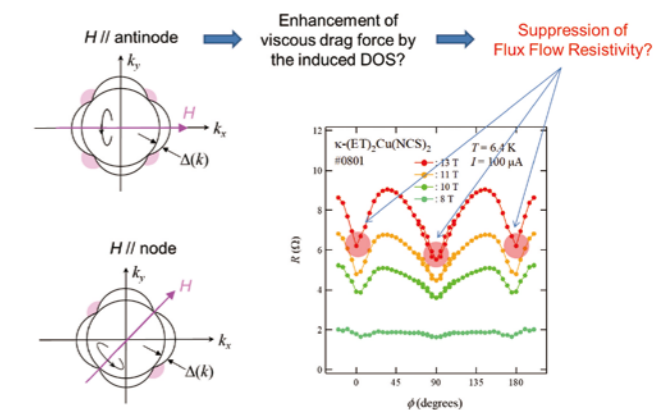


FIG. 2: In-plane angular dependence of flux-flow resistivity for layered organic superconductor $k-(ET)_2Cu(NCS)_2$. [3]

(2) 今後の展開・応用分野等

本研究センターでは、物性物理学と素粒子物理学の基礎研究に関する研究活動をおこなっております。今後はこの二大分野において「量子」というキーワードを共有した新展開を図っていきたく思います。例えば、よく知られたビックバンシナリオでは火の玉宇宙に始まり、その温度が急速に下がるなかで真空が相転移を起こして現在の世界を形成したとされます。このシナリオの主要な要素が素粒子の標準模型であり、超伝導と密接に関連しています。既に100年以上にもわたる超伝導研究の歴史において、現代物理学の根幹をなすGinzburg-Landau理論や対称性の破れ概念、質量発現機構(Anderson-Higgs機構)など重要な物理学上の基本原理が生まれ、これらの知見は多くの他の分野にも絶大な影響を与えています。物性物理学と素粒子物理学との間に存在する普遍性を追求できることも、この研究プロジェクトの魅力と言えるでしょう。