



物性物理学研究センター

[プロジェクト研究センター設置期間：平成24年12月～平成34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)

- 尾崎 徹(おざき とおる) / 工学部 電子情報工学科・教授
- 山本 愛士(やまもと あいし) / 工学部 機械システム工学科・教授
- 木船 弘一(きふね こういち) / 工学部 建築工学科・教授
- 前原 俊信(まえはら としのぶ) / 環境学部 地球環境学科・教授
- 鈴木 貴(すずき たかし) / 工学部 電気システム工学科・教授
- 大村 訓史(おおむら さとし) / 工学部 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】

超伝導、金属-絶縁体転移、誘電体、磁性、半導体、光物性、ソフトマター、液体、分子性半導体

(2) 研究概要

□物性物理学とは?

人類が高度に発展した社会を構築・維持するためには、**さまざまな物質の新たな機能の発見とその解明**が必要不可欠です。物質が示すさまざまな性質を、力学、電磁気学、熱力学、統計力学、量子力学などを用いて解き明かす学問が「**物性物理学**」です。

物性物理学で考察する基本粒子は素性の良くわかった**原子核**と**電子**です。物性物理学の醍醐味は、アンダーソン博士(1977年ノーベル物理学賞)の言葉「*More is different.*」にあるように、物質中に存在する 10^{23} 個もの原子核と電子が互いに複雑に絡みあい、「**超伝導**」や「**磁性**」といった不思議な現象を引き起こすことです。このような物理現象の起源を探り、物質の潜在能力を最大限に引き出すためには、物性物理学の基礎研究が必要不可欠なのです。



アンダーソン博士
(1977年ノーベル物理学賞)



磁石
超伝導体
マイスナー効果
(超伝導体と強磁性体)



物性物理学とは?

□物性物理学と社会

物性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**物性物理学**の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**に基づく物性物理学の成果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の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ないでしょう。

□本プロジェクト研究センターでは

本研究センターでは、さまざまな物質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、分子性半導体と呼ばれる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

電子相関が強い系では、従来の理論の枠組みでは説明できない新規のメカニズムによる超伝導が出現します。本研究センターでは、そのような超伝導体の電子構造(フェルミ面や超伝導ギャップ)を決定し、超伝導のメカニズム解明を目指しています。

1. 分子性半導体のフェルミ面に関する研究:

分子性半導体は、有機分子から構成される有機物質であるにも関わらず、金属並みに電気を流すことのできる大変興味深い物質群です。分子性半導体の電気伝導を担う電子は、電子同士がクーロン反発力により互いに強く避けあうため、「強相関電子系」とも呼ばれています。

分子性半導体(BDA-TTP)₂SbF₆はT_c~7Kで超伝導転移を示します。磁気抵抗の測定(FIG.1)により、この物質のフェルミ面を決定しました。また、第一原理計算との比較を行い、超伝導の形成に重要な役割を果たすスピン揺らぎのネスティングベクトルに関する知見を得ることも成功しました。

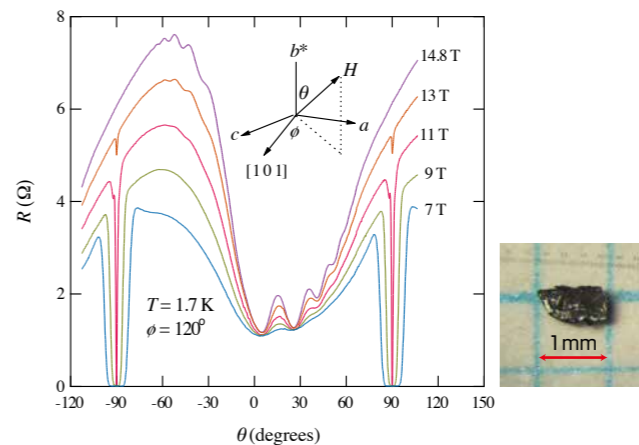


FIG. 1: (BDA-TTP)₂SbF₆の磁気抵抗
挿入図は(BDA-TTP)₂SbF₆の単結晶試料

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、先ず超伝導ギャップ構造を知る必要があります。我々は分子性半導体κ-(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磁束(渦糸)の運動(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。

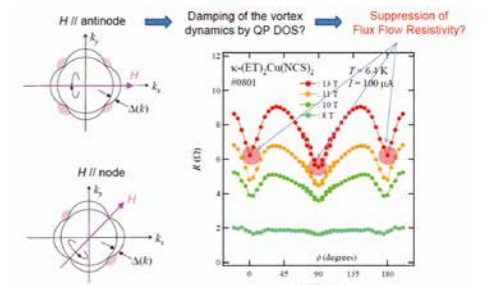


FIG. 2: κ-(ET)₂Cu(NCS)₂の超伝導ギャップ構造と磁束フロー抵抗

(2) 今後の展開・応用分野等

分子性半導体は、白川英樹名誉教授の導電性ポリアセチレン発見によるノーベル化学賞の例を挙げるまでもなく、無機半導体や強相関酸化物とならぶ21世紀を支える第3の伝導性物質です。分子性半導体は、分子を作り上げる共有結合よりもずっと弱い分子間相互作用によって分子が集まることで「**柔らかさ**」を生み出します。そのため、温度の変化や圧力や磁場の外場によって、超伝導や密度波、金属-絶縁体転移といった多種多様な現象が発現し、**物質の伝導性、誘電性、磁性が劇的に変化します**。今後は、これまでの超伝導の研究に加えて、分子性半導体の「**柔らかさ**」に注目し、**高度にシステム化された分子集合体の電子相の精密物性制御**を目指します。同時に**多重極限(強磁場+高圧力+極低温)**下における分子性半導体の新奇電子相の探索を行い、**分子性半導体の新機能開拓**を展開していきます。

(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] "Dimensional Crossover and Its Interplay with In-Plane Anisotropy of Upper Critical Field in β(BDA-TTP)₂SbF₆", S. Yasuzuka, H. Koga, Y. Yamamura, K. Saito, S. Uji, T. Terashima, H. Akutsu, and J. Yamada : J. Phys. Soc. Jpn. 86 (2017) 084704. [JPSJ注目論文](#)
- [2] "Internal field effect on vortex states in the layered organic superconductor 1-(BETS)₂Fe_{1-x}Ga_xCl₄ (x=0.37)", S. Uji, T. Terashima, T. Konoike, T. Yamaguchi, S. Yasuzuka, A. Kobayashi, and B. Zhou : Phys. Rev. B 95 (2017) 165133/1-9. [PRB注目論文](#)
- [3] "Effect of Deuterium Interactions with Lattice Defects on Superconducting PdDx System", S. Yasuzuka, N. Ogita, D. Anzai, and N. Hatakenaka : J. Phys. Soc. Jpn. 85 (2016) 123703.
- [4] "Doping effect on photoabsorption and charge-separation dynamics in light-harvesting organic molecule", S. Ohmura, K. Tsuruta, F. Shimojo, and A. Nakano : AIP Advances 6, (2016) 015305.
- [5] "Structural Changes of Short- and Intermediate-Range Order in Liquid Arsenic under Pressure", S. Ohmura, A. Chiba, Y. Yanagawa, A. Koura, K. Tsuiji, F. Shimojo : J. Phys. Soc. Jpn. 84, (2015) 094602.

各種補助金獲得実績

- 軽元素の含有による液体鉄合金の輸送特性変化に関する第一原理的研究(代表 大村訓史)研究期間:2018年4月-2020年3月、新学術領域研究(研究領域提案型)、直接経費 3,800,000円。