

## 大阪大学基礎工学研究科・物質創成専攻・ 未来物質領域・新物質創製講座



研究室紹介

北岡良雄\*

Department of Materials Science and Technology/  
Division of Frontier Materials Science/Core Research Division of Frontier Materials

Key Words : NMR Spectroscopy, Superconductors, Magnetism, Correlated Electrons Materials

### 1. はじめに

国立大学は、平成16年度からの独立行政法人化によって、大きく変わろうとしています。基礎工学研究科は、21世紀の発展を目指して創設以来「科学と技術の融合」を基本理念とし、この理念は継承した上で、新たな融合を核において大学法人化を先取りする形で、変革に取り組んできました。平成14年度には、情報科学研究科、生命機能研究科の創設に当たり、大学全体の立場に立って積極的に参画すると共に、平成15年度には、従来の物理系、化学系、システム人間系の3系専攻を「物理と化学の融合を特徴とする物質創成専攻」「機械科学の再編と生物工学との融合を特徴とする機能創成専攻」「ハードウェアからアルゴリズムまでを一体化し文理融合も視野に入れることを特徴とするシステム創成専攻」の3専攻に再編し、学際領域の研究をベースに、新しい科学技術や新学問領域を創り出すことをめざすための組織改革を実施しました。15年度の改組後に、新たな一歩踏み出した物質創成専攻・未来物質領域に我が研究室は所属しています(図1参照)。まず、専攻新領域に関して紹介します。

自然科学の学際領域研究分野(図2参照)の中で、



\* Yoshio KITAOKA

1951年7月生

昭和51年3月 大阪大学大学院基礎工学研究科物理系専攻・修士課程修了  
現在、大阪大学基礎工学研究科・物質創成専攻・未来物質領域、教授(兼大阪大学極限科学研究センター長)、理学博士(東京大学)、物性物理学、強相関電子系(高温超伝導現象、磁性と超伝導の融合現象、スピントロニクスなどが対象)の新現象の発見や機構解明

固体と分子の境界領域にあるナノクラスターや巨大分子の機能解明や新奇な物性の開拓は、次世代の化学と物理の学際融合のための先導的な研究領域に発展する可能性があります。たとえば、超分子フラーレン系結晶に化学的修飾によって電荷ドーピングで超伝導が発現することが発見されていることから、今後注目される未来型の研究領域です。このような物理と化学の境界領域に新学問分野を開拓することを目指し、物性物理学分野と合成化学分野が未来物質領域の2つの大講座を形成し、次のような内容の研究を展開しています。<http://cobalt.chem.es.osaka-u.ac.jp/okada/mirai/index.htm>

(1) 新物質創製講座(教授3, 助教授3, 助手2)  
・物質機能解析(実験)グループ(教授:北岡良雄, 助教授:椋田秀和)

原子核磁気モーメントと電子磁気モーメントとの相互作用を通じて、ミクロな電子状態を観測できるNMR分光を用いて、固体電子系や巨大分子 $\pi$ 電子系が示す電子機能(たとえば高温超伝導現象、永久磁石現象、磁性と超伝導の共存現象、巨大分子自己組織化能のスローダイナミクスなど)を解析し、未来志向型新機能物質創製の指針を明らかにする研究を行います。

・理論物質科学グループ(教授:鈴木直, 助教授:草部浩一, 助手:下司雅章)

第一原理電子状態計算や数値計算シミュレーションのプログラム開発を行うと同時に、それらを用いて、新機能物質デザインとデバイスデザインへの展開ならびに極限環境下における新奇物性探索や解明を行っています。現在の主な具体的テーマは、遷移金属化合物をベースにしたナノスピントロニクス材料のデザインとカーボン系や有機分子系を用いた分

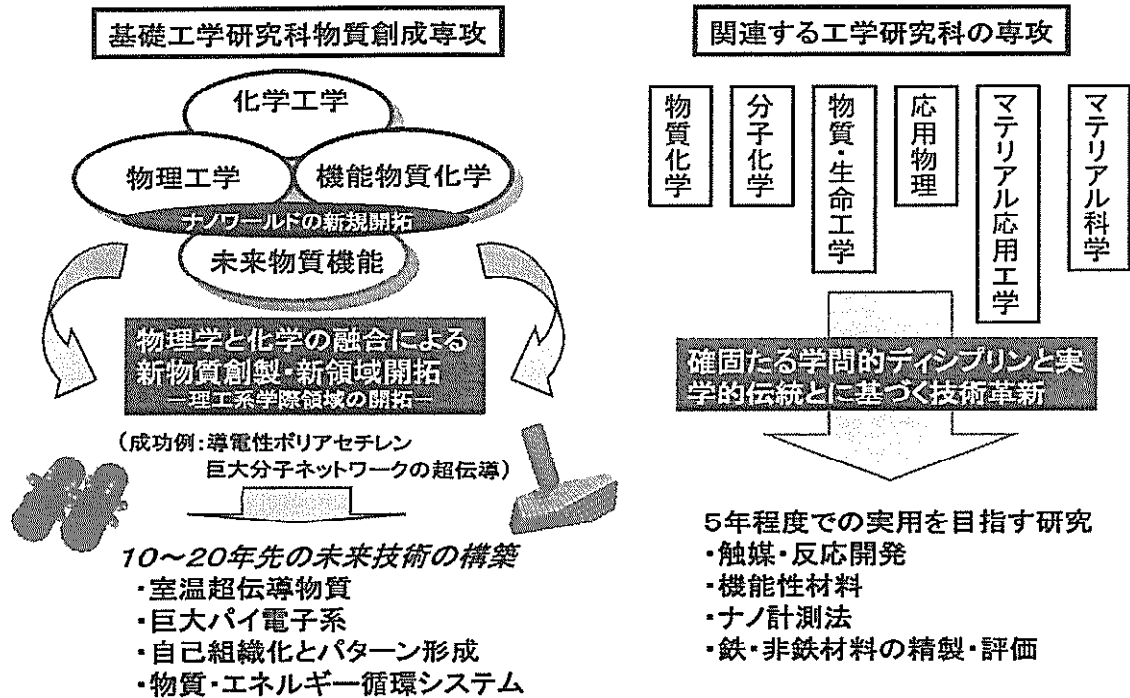


図 1

未来物質領域が目指す化学と物理の学際領域における研究

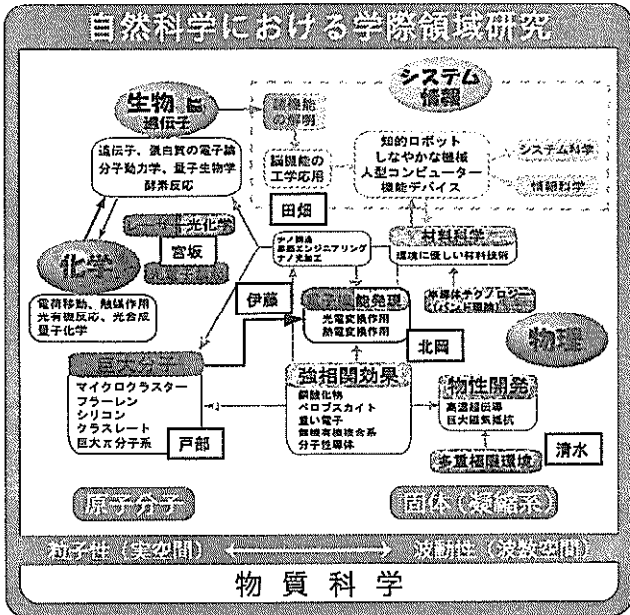


図 2

子エレクトロニクス材料のデザイン、ならびに種々の物質における圧力誘起の構造相転移、超伝導転移、磁気転移などの解明と予測です。

- ・機能分子創製(実験)グループ(教授：戸部義人、

助教授：廣瀬敬治、助手：園田素啓)

光学および電気的物性の観点から新しい機能や高い性能を有する有機化合物を創製することを目的として、パイ電子を特異なトポロジーに組み込んだ分子やナノメータ領域のサイズに拡張した巨大パイ電子系分子の合成と新規物性の開拓、巨大分子の特性を活かして特定の生理活性分子やアニオンに対して高い識別能を有する高感度人工レセプターの合成、および外部刺激に応答して分子のもつ様々な情報を制御する分子機械、分子スイッチの基礎研究を行っています。

(2) 微小物質ダイナミクス講座(大学院専任講座)

(教授2, 助教授2, 助手1)

- ・微小物質コヒーレンス(実験)グループ(教授：伊藤正, 助教授：芦田昌明)

半導体、絶縁体、金属などの微小構造物質(低次元系やナノ構造物質)の電子励起状態、フォノン、スピンのダイナミクスやコヒーレンスを、光と物質の相互作用の観点で、時間分解分光、非線形レーザー分光、コヒーレント分光、単一微粒子の走査型近接場顕微分光を用いた新しい分光法を通じて実験的に明らかにするとともに、それらの物質を用いた新しい光機能性材料を創成する研究を行います。

・構造揺らぎダイナミクス(実験)グループ

(教授：宮坂 博，助教授：長澤裕，助手：伊都 将司)

超高速レーザー分光手法を駆使して溶液や有機ガラス中の光化学・光物理過程に関する基礎的研究を進めています。化学反応や生体反応における媒体の揺らぎと反応ダイナミクスの相関を分子論的に解明することをめざして、溶媒和，エネルギー緩和，電子移動，光解離，フォトクロミズム，光電導高分子，光レジスト分子系などを対象に研究しています。さらに，このような研究に必要な3次元3パルスフォトンエコーのようなレーザー分光装置の開発，時間分解顕微分光を用いたメゾスコピック反応場の研究も重要な研究テーマです。

さらに極限科学研究センター(極限量子科学講座・清水グループ)および産業科学研究所(人工生体情報ナノマテリアル分野・田畑グループ)が協力講座として参画しています。

## 2. 研究について

固体の電子相として知られる磁性と超伝導は，半導体とともに物性物理学の根幹をなしており，現代物質文明を基盤的なところで支えています。また，「自発的対称性の破れ」という概念を通じて素粒子論・宇宙論の発展にも大きな影響を与えています。最近になって，従来は別の物理現象と考えられていた磁性と超伝導は実は深い関連をもつことが理解されるようになってきました。それは，電子間に働くクーロン斥力に起因する「電子相関」というキーワードで捉えられます。我々の研究室では，自然科学分野でもっと有力な実験手段として知られている核磁気共鳴(NMR)法を多元環境下(極低温，高圧，強磁場)で縦横無尽に駆使して，強相関電子系で発現する新奇な磁気現象および超伝導現象の研究を行っています。研究科が改組される前は，物理系専攻に所属し，平成10年度発足の文部省COE中核的研究拠点「多元環境下の強相関電子相」(研究代表者・三宅和正，平成14年度終了)では，強く相互作用する電子集団(強相関電子系)である重い電子状態のf-電子系や金属酸化物のd-電子系を主な研究対象としてきました。そこでは，我々の予想を越えた新物質相，すなわち，

(1) 磁気モーメントが平行に揃った電子対の形成に

よって発現する固体電子系では初めての超伝導状態である「スピン3重項超伝導」の解明

(2) 磁気秩序相と超伝導のミクロな共存相の発見

(3) 2次元三角格子構造での強磁性と反強磁性が競合する未開の量子スピン秩序相の観測

などの研究フロンティアを開拓しました。このような研究成果が評価され，昨年度には「核磁気共鳴法による新しい超伝導状態の解明」の業績によってわが国の物理学分野で最も権威ある第49回仁科記念賞を光栄にも受賞させていただきました。さらに恩師である朝山邦輔先生(阪大名誉教授)が「核磁気共鳴法(NMR)による磁性と超伝導の研究」の業績によって「第44回東レ科学技術賞」を受賞されましたことは，これまでの我々の研究グループの業績が高く評価されたもので，大変にうれしく有難く今後の新領域での研究を進めていく上での大きな励みとなっています。

電子状態の次元性(1次元，2次元，3次元)効果，特異な格子構造(三角格子，カゴメ格子など)に起因する相互作用がせめぎ合うフラストレーション効果，物理環境の多元化(配列ナノ空間，超高压，強磁場，極低温)効果によって，予測を超えた未開の新物質相が存在することが期待されます。このような「多元融合領域の新物質相」の発見と現象の解明を行うことを目的として，平成15年度から学術創成研究プロジェクトが採択され，「物質科学研究のフロンティア」をさらに押し広げつつ，共通する物理概念の深化を通じて「物性物理学における未踏の学術創成」を目指した研究を進めています。15年度には，以下のような成果を挙げました。

(1) 三角格子コバルト酸化物超伝導体が異方的スピン1重項超伝導状態であることを世界に先駆けて示した。

(2) 多層型銅酸化物高温超伝導体において反強磁性と超伝導が交互に積層した構造をもつことを示した。この研究は未解決である高温超伝導現象の機構解明に繋がる成果となり，またさらなる高い超伝導臨界温度を示す系へ研究を展開する上でのヒントとなることが期待できる(図3参照)。

(3) 反強磁性と超伝導の境界領域では磁気相分離が起こること，超伝導は異方的超伝導であることをはじめて明らかにし，さらに驚くべくことに

反強磁性・超伝導ハイブリッド多層型高温超伝導  
材料合成への指針 —物質機能の発現—

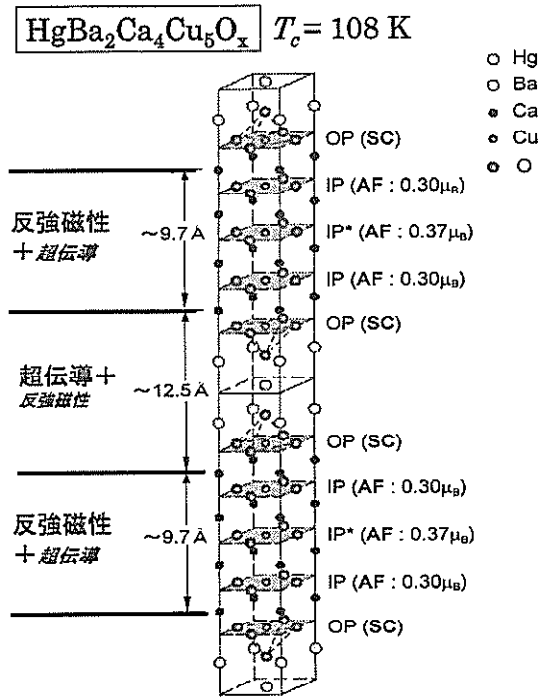


図 3

超伝導は常磁性相と反強磁性相の両相で発現することを発見した。

- (4) 強磁性状態と異方的超伝導状態とがマイクロに共存していること、超伝導転移温度が臨界圧力付近で2つの強磁性相が相分離した状態で最高となることを見出した。

3. おわりに

基礎工学研究科・物質創成専攻・未来物質領域に属する各グループは、基礎工学研究科が主体となって発足した21世紀COE「物質機能の科学的解明とナノ工学の創出」拠点(図4参照)の主要メンバーであり、物質科学の横断的な教育研究を展開することを目指しています。その中で、我々のグループは、核磁気共鳴法(NMR/NQR)を用いて強相関電子系(重い電子系、銅酸化物高温超伝導系、金属酸化物系、有機伝導系、低次元量子スピン系)などでの「新超伝導現象」の発見および「磁性と超伝導の境界領域での新超伝導機構」の解明に関する研究を推進し、室温超伝導現象が実現する未来物質創製への手がかりを掴むことを研究室の夢としています。

21世紀COE・基礎工学研究科拠点のめざすところ

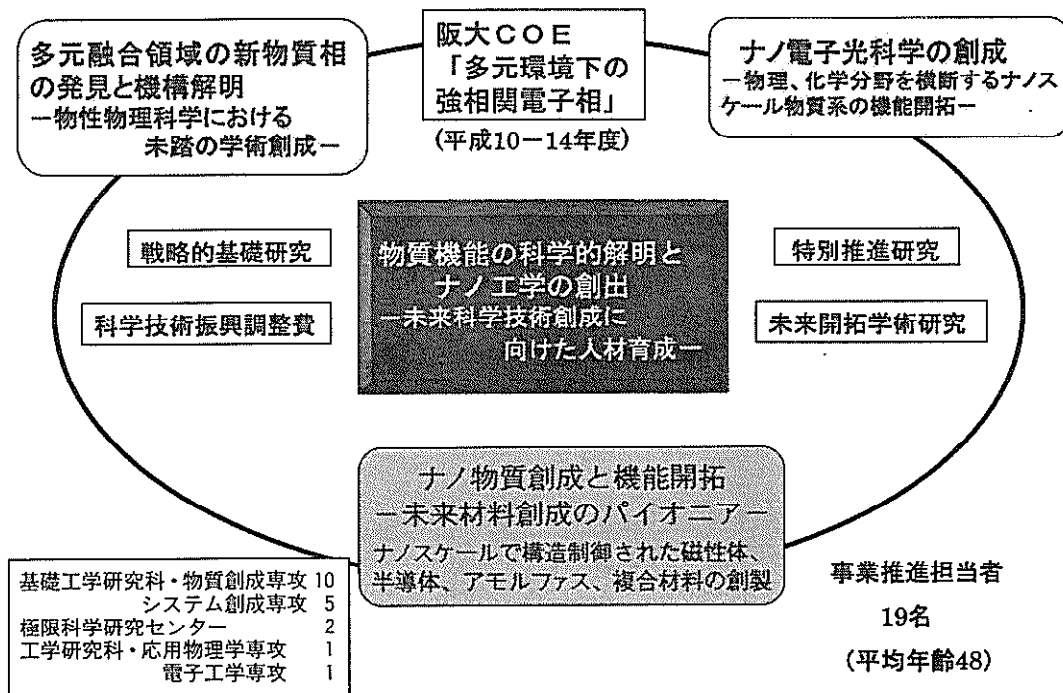


図 4

この記事をお読みになり、著者の研究室の訪問見学をご希望の方は、当協会事務局へご連絡ください。事務局で著者と日程を調整して、お知らせいたします。

申し込み期限：本誌発行から2か月後の月末日

申し込み先：生産技術振興協会 tel 06-6395-4895 E-mail [seisan@maple.ocn.ne.jp](mailto:seisan@maple.ocn.ne.jp)

必 要 事 項：お名前、ご所属、希望日時(選択の幅をもたせてください)、複数人の場合はそれぞれのお名前、ご所属、代表者の連絡先

著者の都合でご希望に沿えない場合もありますので、予めご了承ください。

