

平成17年度科学研究費補助金（学術創成研究費）研究進捗状況報告書

ふりがな		きたおか よしお				
①研究代表者氏名		北岡 良雄			②所属研究機関 ・部局・職	
		大阪大学・大学院基礎工学研究科・教授				
③研究課題名	和文	多元融合領域の新物質相				
	英文	New Phases of Matter in Multidisciplinary Approaches				
④研究経費 (直接経費) 18年度以降は内約額 単位:千円	平成15年度	平成16年度	平成17年度	平成18年度	平成19年度	総合計
	89,600	89,800	87,300	93,300	92,300	452,300
⑤研究組織 (研究代表者及び研究分担者)						
氏名	所属研究機関・部局・職	現在の専門	役割分担 (研究実施計画に対する分担事項)			
北岡 良雄	基礎工学研究科・教授	物性物理学	研究の総括、多元極限環境下の新物質相のNMR 多元融合領域における超伝導の理論的研究 多元的電子状態を示す純良単結晶育成と新物質相のドハース・ファンアルフェンによる研究			
三宅 和正	基礎工学研究科・教授	物性理論				
大貫 惇睦	理学研究科・教授	固体物性				
菅 滋正	基礎工学研究科・教授	放射光物理	新物質相のバルク敏感角度分解光電子分光研究 配列ナノ空間における閉じ込め新物質相の研究			
野末 泰夫	理学研究科・教授	物性物理				
鈴木 直	基礎工学研究科・教授	物性理論	圧力誘起新奇物性の解明と新物質相の設計 多元極限環境下での磁気臨界点での新物質相の研究			
小林 達生	岡山大学・大学院自然科学研究科・教授	磁性・超伝導				
清水 克哉	極限科学研究センター・教授	超高压物性	超高压下での新超伝導相探索			
⑥当初の研究目的 (交付申請書に記載した研究目的を簡潔に記入してください。)						
<p>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ている。</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 世界最先端の多重極限環境下精密物性測定技術（北岡、大貫、小林）</li> <li>2. 強相関電子系新物質創製技術（大貫）</li> <li>3. 超高压発生および物性測定技術（清水）</li> <li>4. 軟x線放射光によるバルク敏感電子状態測定技術（菅）</li> <li>5. 配列ナノ空間新電子相創製技術（野末）</li> </ol> <p>を有する実験グループおよび理論解析・新物質設計グループがもっている国際的に高水準の研究能力を結集し、多元的な電子構造や多様な格子構造をもつ物質系の創製、および多元的、極限的物性環境下でのこれら物質系の物性現象の探索を通じて「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が本学術創成研究の目的である。</p>						

⑦ これまでの研究経過

I 本研究は、学術創成研究費の趣旨の3つの観点のうち、どの観点に主眼を置いて研究を行っているかについてお書きください。

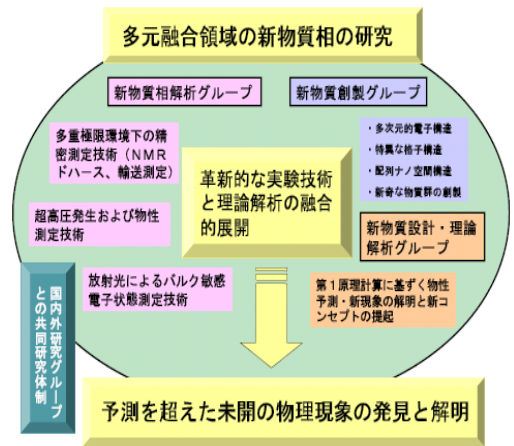
大阪大学大学院・基礎工学研究科、理学研究科および極限科学研究センターに所属する研究グループがもっている世界最先端の多重極限環境下の精密物性測定技術、配列ナノ空間創製技術、強相関電子系の電子構造や多元的な格子構造をもつ物質系の創製技術、および国際的に高水準の理論解析グループを結集し、物質系の物性現象の探索を通じて「多元融合領域の新物質相」の発見と現象の解明を行うことが本学術創成研究の目的であり、学術創成研究費の趣旨の3つの観点のうち①創造的・革新的・学際的学問領域を創成する研究に主眼を置いている。

II 研究の進捗状況について、必要に応じて図表等を用いながら、研究組織内の連携状況を含め、具体的に記入してください。

右図のような研究組織内の3研究グループが連携して研究は順調に進展している。

① 新物質創製グループと新物質相解析グループとの連携

- ・新物質Uir, CeNiGe<sub>3</sub>がこれまでに例のない圧力誘起超伝導物質であることを発見。
- ・反強磁性体CeIn<sub>3</sub>, CeRhIn<sub>5</sub>の圧力誘起反強磁性—常磁性転移は量子1次転移であること、臨界圧力付近で反強磁性と圧力誘起超伝導が一緒に共存する新物質相を発見。
- ・強磁性体UGe<sub>2</sub>の低温強磁性相—高温強磁性相が圧力誘起量子1次転移であること、この臨界圧力付近で超伝導転移温度が最高となり強磁性と一緒に共存する新物質相を発見
- ・特異な三角格子構造をもつコバルト金属酸化物Na<sub>0.33</sub>CoO<sub>2</sub>で発見された超伝導状態の異方的特性を世界に先駆けて同定することに成功。
- ・これまでに例のない反転対称性のない反強磁性超伝導体CePt<sub>3</sub>Siの特異な超伝導状態を同定。
- ・多層系銅酸化物高温超伝導体で超伝導と反強磁性が同一CuO<sub>2</sub>面で一緒に共存することを発見。
- ・ゼオライトのナノ空間に圧力をかけて電子ドーピングをする方法（圧力ドーピング法）に成功し、新しい磁気相の同定に成功。



② 超高压物性グループと新物質相設計グループとの連携

- ・Liの超伝導転移温度を100GPaまで観測。加圧による絶縁体化の理論予測とは一致しないことを実証。沃素の圧力誘起超伝導機構を理論的に解明。

③ 新物質解析グループと理論解析グループとの連携

- ・圧力誘起磁気臨界点近傍で起こる超伝導現象とは異なり、磁気相から分離して超伝導転移温度が増大する振る舞いについて、「臨界価数ゆらぎに基づく新超伝導機構」を提唱。

革新的な実験技術に基づく実験グループ間の連携による新物質相の発見および理論解析グループとの連携によって予測を超えた未開の物理現象が解明されつつあり、研究は順調に進捗している。

III その他

実験技術開発の新展開：

1. NMR装置の整備によって、高圧・極低温下での高精度、高安定な世界に類をみない多重極限下NMRシステムの確立
2. 高圧下でのド・ハース測定の実現
3. リソグラフィーによる超高压極低温下電気抵抗精密測定の実現
4. バルク敏感な共鳴非弾性X線散乱実験を実現
5. ゼオライトのナノ空間に加圧によるドーピング法の確立

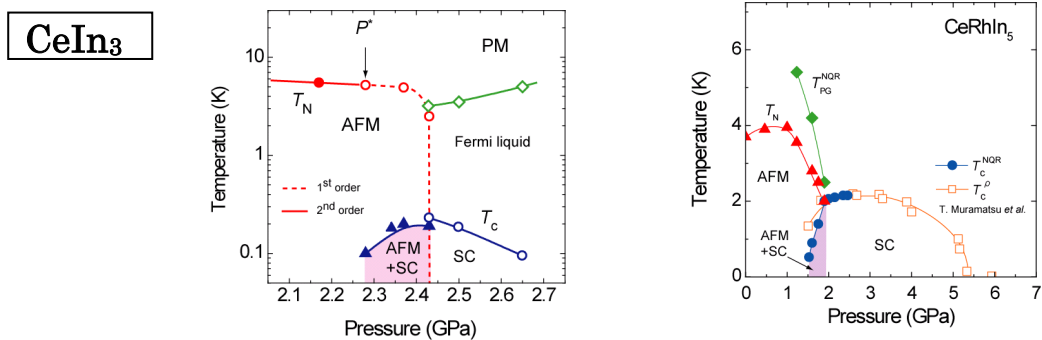
実験技術の革新なくしては、未開の物理現象の発見なしをモットーに研究を展開している。

⑧特記事項

〔 これまでの研究において得られた、独創性・新規性を格段に発展させる結果あるいは可能性、新たな知見、学問的・学術的なインパクト等特記すべき事項があれば記入するとともに、推薦者の期待がどの程度達成されつつあるかについて記入してください。 〕

1. 新しい超伝導発現機構の解明に関わる研究成果

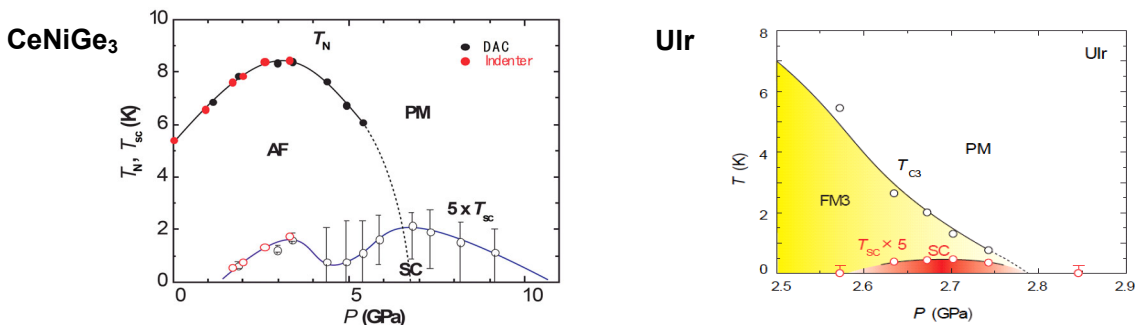
圧力誘起反強磁性－常磁性相転移は、量子一次相転移であることを、 $CeIn_3$ および $CeRhIn_5$ で発見した。下図左に示した $CeIn_3$ の相図では、超伝導が反強磁性相と常磁性相の両方で発現し、量子一次転移点近傍で超伝導転移温度 ( $T_c$ ) が最高となる。さらに驚くべき発見は、反強磁性と異方的超伝導が一樣に共存していることを発見した。また、下図右に示した $CeRhIn_5$ の相図でも、反強磁性転移温度と $T_c$ がほぼ同じとなる圧力で反強磁性から常磁性相へ量子一次転移することを発見した。 $T_c$ は、この転移点から離れるに従って増大する。この系でも反強磁性と異方的超伝導が一樣に共存していることを発見した。これらの成果は、反強磁性と超伝導の密接な相互関係を示唆するとともに、新超伝導発現機構の解明につながる成果で世界的にも注目されている。



2. 本グループによって発見された新しい圧力誘起磁気相－超伝導相図

$CeNiGe_3$ では磁氣的相互作用が支配的で磁気不安定性が考えにくい領域で超伝導が現れることを発見した（下左図）。Ulrは空間反転対称性のない結晶構造をもつので、その超伝導状態はスピン一重項状態と三重項状態が混じるこれまでにない例のない超伝導が実現している可能性があり、強磁性量子臨界点近傍でのみで現れることは、発現機構は強磁性ゆらぎによると考えられている。

T. Akazawa *et al.* (2004)、日本物理学会ホームページ11号特別紹介

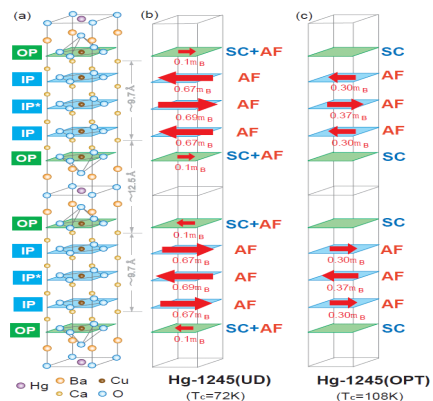


3. 銅酸化物高温超伝導体における新展開

反強磁性相と超伝導相がユニットセル内で交互に積層して共存していること（右図C）、また単一 $CuO_2$ 面内で両者が共存していることを発見した（右図b）。この成果は、Natureなどの著名な雑誌に発表された論文の中で引用され、世界的に注目されている。また、アメリカ・アスペンで開催された高温超伝導に関するワークショップでも高く評価された。

研究COE（多元環境下の強相関電子相、平成10－

14年、研究代表者・三宅和正）の更なる研究展開を図るとの推薦者の期待が達成されつつある。



⑨研究成果の発表状況

〔この研究費による成果の発表に限り、学術誌等に発表した論文（掲載が確定しているものを含む。）の全著者名、論文名、学協会誌名、巻（号）、最初と最後のページ、発表年（西暦）、及び国際会議、学会等における発表状況について記入してください。〕

・新物質相探索および新物質創製グループ[北岡、大貫、菅、小林、野末、清水]

1. Tatsuya Fujimoto, Guo-qing. Zheng, **Yoshio Kitaoka**, R. L. Meng, J. Cmaidalka, and C. W. Chu  
Unconventional Superconductivity and Electron Correlations in the Cobalt Oxyhydrate  $\text{Na}_{0.35}\text{CoO}_2 \cdot y\text{H}_2\text{O}$  from Nuclear Quadrupole Resonance, **Phys. Rev. Lett.** **92**, No. 4, 047004 -(1~4) (2004).
2. S. Kawasaki, T. Mito, Y. Kawasaki, H. Kotegawa, G-q. Zheng, **Y. Kitaoka**, H. Shishido, S. Araki, R. Settai, and Y. Ōnuki  
New Superconducting and Magnetic Phases Emerge on the Magnetic Criticality in  $\text{CeIn}_3$  **J. Phys. Soc. Jpn.** **73**, 1647-1650 (2004).
3. M. Yogi, **Y. Kitaoka**, S. Hashimoto, T. Yasuda, R. Settai, T. D. Matsuda, Y. Haga, **Y. Ōnuki**, P. Rogl, and E. Bauer.  
Evidence for a Novel State of Superconductivity in Noncentrosymmetric  $\text{CePt}_3\text{Si}$ : A  $^{195}\text{Pt}$ -NMR Study,  
**Phys. Rev. Lett.** **93**, 027003 - (1-4) (2004).
4. **Y. Kitaoka**, S. Kawasaki, T. Mito, and Y. Kawasaki, Unconventional Superconductivity in Heavy-Fermion System,  
**J. Phys. Soc. Jpn.** **74**, 186-199 (2005).
5. Shinji Kawasaki, Guo-qing. Zheng, Hiroki Kan, **Yoshio Kitaoka**, Hiroaki Shishido, and **Y. Ōnuki**  
Enhancing the Superconducting Transition Temperature of the Heavy-Fermion Compound  $\text{CeIrIn}_5$  in the Absence of Spin Correlations, **Phys. Rev. Lett.** **94**, 037007-(1-4) (2005).
6. M. Nakashima, K. Tabata, A. Thamizhavel, T. C. Kobayashi, M. Hedo, Y. Uwatoko, K. Shimizu, R. Settai and **Y. Onuki**, High-pressure Effect on the Electronic State in  $\text{CeNiGe}_3$ : Pressure-induced Superconductivity,  
**J. Phys.: Condens. Matter** **16**, L255-L262 (2004).
7. T. Yasuda, H. Shishido, T. Ueda, S. Hashimoto, R. Settai, T. Takeuchi, T. D. Matsuda, Y. Haga and **Y. Onuki**  
Superconducting Property in  $\text{CePt}_3\text{Si}$  under Pressure, **J. Phys. Soc. Jpn.** **73**, 1657-1660 (2004).
8. T. Akazawa, H. Hidaka, H. Kotegawa, **T. C. Kobayashi**, T. Fujiwara, E. Yamamoto, Y. Haga, R. Settai and **Y. Onuki**  
Pressure-induced Superconductivity in UIr, **J. Phys. Soc. Jpn.** **73**, 3129-3134 (2004).
9. A. Yamasaki, W. Wulfhchel, R. Hertel, **S. Suga** and J. Kirschner  
Direct observation of the single-domain limit of Fe nanomagnets by spin-polarized scanning tunneling spectroscopy,  
**Phys. Rev. Lett.** **91**, 127201-1~4 (2003).
10. S.-K. Mo, H.-D. Kim, J. W. Allen, G.-H. Gweon, J. D. Denlinger, H.-H. Park, A. Sekiyama, A. Yamasaki, **S. Suga**, P. Metcalf, and K. Held  
Filling of the Mott-Hubbard gap in the high temperature photoemission spectrum of  $(\text{V}_{0.972}\text{Cr}_{0.028})_2\text{O}_3$ ,  
**Phys. Rev. Lett.** **93**, 076404-1~4 (2004).
11. A. Sekiyama, H. Fujiwara, S. Imada, **S. Suga**, H. Eisaki, S. I. Uchida, K. Takegahara, H. Harima, Y. Saitoh, I. A. Nekrasov, G. Keller, D. E. Kondanov, A. V. Kozhevnikov, Th. Pruschke, K. Held, D. Vollhardt and V. I. Anisimov, Mutual Experimental and Theoretical Validation of Bulk Photoemission Spectra of  $\text{Sr}_{1-x}\text{Ca}_x\text{VO}_3$ , **Phys. Rev. Lett.** **93**, 156402-1~4 (2004).
12. J.-S. Kang, G. Kim, S. C. Wi, S. S. Lee, S. Choi, S. Cho, S. W. Han, K. H. Kim, H. J. Song, H. J. Shin, A. Sekiyama, S. Kasai, **S. Suga**, and B. I. Min, Spatial chemical inhomogeneity and local electronic structure of Mn-doped Ge ferromagnetic semiconductor  
**Phys. Rev. Lett.** (2005) 28 Feb. accepted, physics Today, Phys. Rev. Focus, Newspapers.
13. H. Hidaka, I. Ando, H. Kotegawa, **T. C. Kobayashi**, H. Harima, M. Kobayashi, H. Sugawara, H. Sato  
Pressure-induced metal-insulator transition in the filled skutterudite  $\text{PrFe}_4\text{P}_{12}$ , **Phys. Rev. B** **71**, 073102-4 (2005).
14. N. Tateiwa, **T. C. Kobayashi**, K. Amaya, Y. Haga, R. Settai, **Y. Onuki**, Heat capacity anomalies at  $T_{\text{SC}}$  and  $T^*$  in the ferromagnetic semiconductor  $\text{UGe}_2$ , **Phys. Rev. B** **69**, 180513-4 (R) (2004).
15. R. Arita, T. Miyake, T. Kotani, M. van Schilfgaarde, T. Oka, K. Kuroki, **Y. Nozue** and H. Aoki, Electronic Properties of Alkali-Metal Loaded Zeolites --- A "Supercrystal" Mott Insulator, **Phys. Rev. B** **69**, 195106-1~5 (2004).
16. A. Miyake, **K. Shimizu**, C. Sekine, K. Kihou, I. Shirovani: "Pressure-Induced Superconductivity in Filled Skutterudite  $\text{PrRu}_4\text{P}_{12}$ ",  
**J. Phys. Soc. Jpn.** **73**, 2370-2372 (2004).

2. 新物質相設計・理論解析グループ[三宅、鈴木]

17. Y. Fuseya, H. Kohno and **K. Miyake**  
Realization of Odd-Frequency p-Wave Spin-Singlet Superconductivity Coexisting with Antiferromagnetic Order near Quantum Critical Point, **J. Phys. Soc. Jpn.** **72**, No.11, 2914 - 2923 (2003).
18. A. T. Holmes, D. Jaccard and **K. Miyake**  
Signatures of Valence Fluctuations in  $\text{CeCu}_2\text{Si}_2$  under High Pressure, **Phys. Rev. B** **69**, No.2, 024508-1-11 (2004).
19. G. Tataru and **H. Kohno**, Theory of Current-Driven Domain Wall Motion: Spin Transfer versus Momentum Transfer,  
**Phys. Rev. Lett.** **92**, No.8, 086601-1-4 (2004).
20. J. Shibata, G. Tataru and **H. Kohno**, Effect of Spin Current on Uniform Ferromagnetism: Domain Nucleation,  
**Phys. Rev. Lett.** **94**, No.7, 076601-1-4 (2005).
21. K. Kusakabe, M. Geshi, H. Tsukamoto and **N. Suzuki**,  
New Half-Metallic Materials with an Alkaline Earth Element, **J. Phys. : Condens. Matter**, **16**, S5639-S5644 (2004).
22. Tomoki Takezawa, Hitose Nagara and **Naoshi Suzuki**,  
Ab initio calculations of superconductivity in palladium under pressure, **Phys. Rev. B** **71**, 012515-012520 (2005).

その他学術論文 181 編, 国際会議招待講演 24 件、学会講演多数

・受賞など

1. 第 49 回 (2003) 仁科記念賞「核磁気共鳴法による新しい超伝導状態の解明」、北岡良雄
2. 科学技術分野の文部科学大臣表彰・科学技術賞・研究部門 (2005)、菅 滋正、今田 真、関山 明
3. 第 8 回日本物理学会論文賞 (2004)、藤田光孝、若林克法、中田恭子、草部浩一  
"Peculiar Localized State at Zigzag Graphite Edge", **J. Phys. Soc. Jpn.** vol. 65, No. 7, 1920-1923 (1996).