

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 2 日現在

機関番号：13301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25400363

研究課題名(和文) ミリケルビン級超低温で発現する圧力誘起量子相転移と臨界現象

研究課題名(英文) pressure-induced quantum phase transition and critical phenomena at ultra low temperature

研究代表者

大橋 政司 (Masashi, Ohashi)

金沢大学・環境デザイン学系・准教授

研究者番号：10336000

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：量子相転移とは圧力、磁場、組成などをパラメーターとして起こる。原理的に絶対零度でも起こりうるので、その相境界、量子臨界点近傍では熱揺らぎが無い絶対零度でも不安定な量子揺らぎが残っているかも知れない。本研究ではそのような特異点が本当に存在するのか明らかにする事を目的とした。純良単結晶の高圧下超低温物性を詳細に調べる事により、CeAl<sub>2</sub>の圧力誘起相転移や(Ce,Er)Al<sub>2</sub>など関連物質の組成誘起相転移を発見した。

研究成果の概要(英文)：A quantum phase transition occurs when some parameters are tuned such as pressure, magnetic field, composition of the system, etc. Since it can occur at 0 K, there might be still unstable quantum fluctuations at the phase boundary, the quantum critical point even at absolute zero where thermal fluctuation does not exist. The purpose of this study is to reveal whether the singularity is really there. Physical properties of several compounds such as CeAl<sub>2</sub> are described in detail at ultra-low temperature, and several novel phenomena are found such as the pressure-induced or composition induced quantum phase transition.

研究分野：固体物理学

キーワード：量子相転移

### 1. 研究開始当初の背景

磁気交換相互作用( $T_{\text{RKKY}}$ )と近藤効果( $T_K$ )が拮抗する重い電子物質では圧力・磁場の負荷により、基底状態が逆転する量子相転移(QPT)を起こす事がある(図 1)。QPT は絶対零度(0K)の量子臨界点(QCP)で起こるので、その量子効果や臨界現象は低温であればあるほど顕著である。

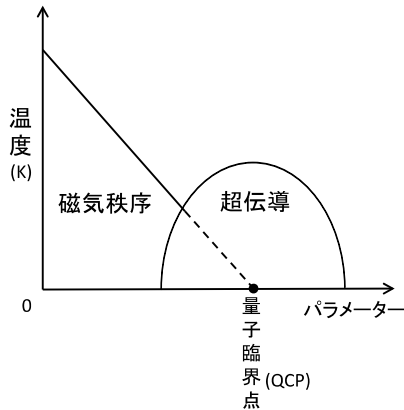


図 1: 量子相転移(QPT)の相図

### 2. 研究の目的

当該分野の研究は殆どの場合、QPT 近傍で超伝導やスピングラス等、別の秩序状態が生じる。即ち、量子揺らぎが消失し、0 K では  $S=0$  に収束するので、厳密な意味の QCP ではない。

そのような中、QCP 付近で 50mK まで何の秩序も無い CeAl<sub>2</sub> は特異である。このまま 0 K まで何も無ければ、そこは 0 K まで量子揺らぎが残る、本当の意味での QCP である。即ち、0 K で  $S > 0$  となる、熱力学第 3 法則に反する状態が実現する事になる。本研究は、そのような特異点が本当に存在するのか、明らかにする事を目的とした。

### 3. 研究の方法

$S$  は、磁化率や熱膨張測定といった熱力学的な物理量から導出出来る。しかし、測定には電気抵抗と比較して大きな試料が必要となるので試料空間を大きくしなければならない。反面、低温・磁場中測定では圧力発生装置の大きさに制約があり、冷凍機の冷却空間に入るサイズに納めなければならない。そのため以下の 2 点に注意して研究計画を立案・実行した。

- (1) 試料空間が大きく、且つ効率良く加圧できて、冷凍機に入る様な小型圧力発生装置の製作
- (2) 試料サイズは通常の測定より小さいので、高感度な計測システムを使った測定

### 4. 研究成果

- (1) 組成誘起 QPT を起こす物質(Ce,Er)Al<sub>2</sub> を発見し、それに関する基礎物性測定を行った。
- (2) 圧力誘起量子相転移探索を行うための高圧物性測定装置開発に取り組んだ。有

限要素法を改良した構造計算により圧力装置の形状を周囲の構造にあわせて最適化する手法を確立した。

- (3) 上記の手法を用いて、QPT 近傍における磁気エントロピー導出のため、低温高圧下で磁化や熱膨張測定が可能な高圧発生装置、すなわち試料空間が大きく、且つ効率良く加圧できて、冷凍機に入るような小型圧力発生装置を製作した。
- (4) この装置を用いて、CeAl<sub>2</sub> および関連物質における QPT 近傍の様々な物性測定を行い、様々な QPT 相図を作成した。
- (5) これら一連の研究を進めて行く中で、ナノスケール磁性体における膜厚誘起の全く新しい QPT を発見した。

### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 6 件)

Masashi Ohashi, Nobuya Kishii, Shota Tateno, A new bridge circuit-type detector to measure precise resistance change of strain gauge at low temperature and magnetic field, Japanese Journal of Applied Physics, 査読有, Vol. 55, No. 4, 2016, 046601, 5 ページ  
doi:10.7567/JJAP.55.046601

U. Devarajan, M. Kannan, R. Thiyagarajan, M. Manivel Raja, N. V. Rama Rao, Sanjay Singh, D. Venkateshwarlu, V. Ganesan, M. Ohashi, S. Arumugam, Coupled magneto-structural transition in Ni-Mn-V-Ga Heusler alloys and its effect on the magnetocaloric and transport properties, Journal of Physics D: Applied physics, 査読有 Vol. 49, No. 6, 2016, 065001, 14 ページ  
doi:10.1088/0022-3727/49/6/065001

Nobuya Kishii, Shota Tateno, Masashi Ohashi, Yosikazu Isikawa, Crystal structure of the caged magnetic compound DyFe<sub>2</sub>Zn<sub>20</sub> at low temperature magnetic ordering state, Physics Procedia, 査読有, Vol. 75, 2015, 664-670  
doi: 10.1016/j.phpro.2015.12.086

G. Oomi, R. Saito, M. Ohashi, T. Nakano, Pressure-induced novel electronic state of Fe<sub>70</sub>Ni<sub>30</sub> Invar alloy, Physics Procedia, 査読有, Vol. 75, 2015, 785-791  
doi:10.1016/j.phpro.2015.12.102

M. Ohashi, H. Miyagawa, T. Nakano, G. Oomi, I. Satoh, T. Komatsubara, Magnetic Phase Diagram of  $Ce_{1-x}Er_xAl_2$  intermetallic compounds, JPS Conf. Proc., 査読有, Vol. 3, 2014, 011083, 6 ページ  
doi: 10.7566/JPSCP.3.011083

M. Ohashi, H. Miyagawa, T. Nakano, G. Oomi, V. Sechovsky, I. Satoh, T. Komatsubara, Thermal and magnetic properties in  $Ce_{1-x}Er_xAl_2$  intermetallic compounds, J. Phys. Soc. Jpn., 査読有, Vol. 83, No.2, 2014, 024701, 5 ページ  
doi: 10.7566/JPSJ.83.024701

〔学会発表〕(計 32 件)

1. 中島陽平,  $RT_2Al_2B$  と  $RT_2Si_2C$ (R: 希土類, T: 遷移金属)の磁性, 日本物理学会年次大会, 2016 年 3 月 19-22 日, 東北学院大学(仙台)
2. 新井宏典, 小型ブリッジマンアンビル圧力セルの開発と  $Yb_2T_{12}P_7$  (T=遷移金属)の物性, 第 44 回日本物理学会新潟支部例会, 2015 年 12 月 5 日, 新潟大学(新潟)
3. 立野翔太, Cr 単層膜の低温物性 III, 日本物理学会北陸支部定例学術講演会, 2015 年 11 月 28 日, 金沢大学(金沢)
4. 中島陽平,  $RT_2Si_2C$  の磁性, 日本物理学会北陸支部定例学術講演会, 2015 年 11 月 28 日, 金沢大学(金沢)
5. 岸井信也, 小型対向型アンビルの設計と有限要素による応力解析 II, 日本物理学会北陸支部定例学術講演会, 2015 年 11 月 28 日, 金沢大学(金沢)
6. 立野翔太,  $CeAl_2$  の圧力誘起構造相転移, 第 56 回高圧討論会, 2015 年 11 月 10-22 日, JMS アステールプラザ(広島)
7. 新井宏典, 小型ブリッジマンアンビル圧力セルの開発と  $Yb_2Ni_{12}P_7$  の圧力下物性, 第 56 回高圧討論会, 2015 年 11 月 10-22 日, JMS アステールプラザ(広島)
8. 岸井信也, 小型対向アンビルの制作と圧力効率の評価 II, 第 56 回高圧討論会, 2015 年 11 月 10-22 日, JMS アステールプラザ(広島)
9. 中島陽平,  $RT_2Al_2B$  と  $RT_2Si_2C$  の磁性, 日本物理学会秋期大会, 2015 年 9 月 16-19 日, 関西大学(大阪)
10. 岸井信也, 有限要素法解析による圧力発生装置の強度評価, 日本物理学会秋期大会, 2015 年 9 月 16-19 日, 関西大学(大阪)
11. 立野翔太, Cr 薄膜の電気抵抗 II, 日本物理学会秋期大会, 2015 年 9 月 16-19 日, 関西大学(大阪)
12. Shota Tateno, Pressure induced structural phase transition in  $CeAl_2$ , Joint AIRAPT-25 & EHPRG-53, August 30th-September 4th, 2015, Madrid (Spain)
13. Nobuya Kishii, Stress computation and optimizing the shape of a miniature opposed anvil through finite element analysis, Joint AIRAPT-25 & EHPRG-53, August 30th-September 4th, 2015, Madrid (Spain)
14. S. Tateno, Application of thermal expansion and magnetostriction measurements using PPMS, 20th International Conference on Magnetism, 5-10 July 2015, Barcelona, (Spain)
15. N. Kishii, Powder x-ray diffraction study of caged magnetic compound  $DyFe_2Zn_{20}$  at low temperature, 20th International Conference on Magnetism, 5-10 July 2015, Barcelona, (Spain)
16. G. Oomi, Pressure-induced novel electronic state of  $Fe_{70}Ni_{30}$  Invar alloy, 20th International Conference on Magnetism, 5-10 July 2015, Barcelona,

- (Spain)
17. 立野翔太, Cr 薄膜の電気抵抗, 日本物理学会第 70 回年次大会, 2015 年 3 月 21-24 日, 早稲田大学(東京)
  18. 岸井信也, DyFe<sub>2</sub>Zn<sub>20</sub> の低温結晶構造解析 II, 日本物理学会第 70 回年次大会, 2015 年 3 月 21-24 日, 早稲田大学(東京)
  19. 岸井信也, 小型対向アンビルの設計と有限要素による応力解析, 日本物理学会北陸支部定例学術講演会, 2014 年 12 月 13 日, 福井大学(福井)
  20. 中島陽平, RT<sub>2</sub>Al<sub>2</sub>B の物性, 日本物理学会北陸支部定例学術講演会, 2014 年 12 月 13 日, 福井大学(福井)
  21. 南敬仁, DyFe<sub>2</sub>Zn<sub>20</sub> の粉末エックス線回折, 日本物理学会北陸支部定例学術講演会, 2014 年 12 月 13 日, 福井大学(福井)
  22. 立野翔太, Cr 単層膜の低温物性 II, 日本物理学会北陸支部定例学術講演会, 2014 年 12 月 13 日, 福井大学(福井)
  23. 岸井信也, 小型対向アンビルの制作と圧力効率の評価, 第 55 回高圧討論会, 2014 年 11 月 22-24 日, 徳島大学(徳島)
  24. 坂本竜一, RT<sub>2</sub>Al<sub>2</sub>B の磁性, 日本物理学会秋期大会, 2014 年 9 月 7-10 日, 中部大学(愛知)
  25. 岸井信也, DyFe<sub>2</sub>Zn<sub>20</sub> の低温結晶構造解析, 日本物理学会秋期大会, 2014 年 9 月 7-10 日, 中部大学(愛知)
  26. 大橋政司, DyFe<sub>2</sub>Zn<sub>20</sub> の磁歪と低温結晶構造解析, 日本物理学会第 69 回年次大会, 2014 年 3 月 27-30 日, 東海大学(神奈川)
  27. 今井陽平, Cr 単層膜の低温物性, 日本物理学会北陸支部定例学術講演会, 2013 年 11 月 23 日, 富山大学(富山)
  28. 今井陽平, Cr 薄膜の輸送現象と膜圧依存性, 応用物理学会北陸・信越支部学術講演会, 2012 年 11 月 22-23 日, 金沢工業大学(金沢)

29. 佐藤亮平, 小型ブリッジマンアンビル高圧セルの開発, 第 54 回高圧討論会, 2013 年 11 月 14-16 日, 新潟コンベンションセンター(新潟)
30. 大橋政司, PPMS を利用した精密かつ簡便な熱膨張・磁歪測定技術の開発, 日本物理学会秋期大会, 2013 年 9 月 25-28 日, 徳島大学(徳島)
31. 佐藤亮平, Yb<sub>2</sub>Ni<sub>12</sub>P<sub>7</sub> の圧力効果 III, 日本物理学会秋期大会, 2013 年 9 月 25-28 日, 徳島大学(徳島)
32. M. Ohashi, Magnetic Phase Diagram of Ce<sub>1-x</sub>Er<sub>x</sub>Al<sub>2</sub> intermetallic compounds, International conference of Strongly Correlated Electron Systems (SCES 2013), 2013 年 8 月 5-9 日, 東京大学(東京)

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕  
出願状況(計 0 件)

名称:  
発明者:  
権利者:  
種類:  
番号:  
出願年月日:  
国内外の別:

取得状況(計 0 件)

名称:  
発明者:  
権利者:  
種類:  
番号:  
取得年月日:  
国内外の別:

〔その他〕  
ホームページ等  
[http://ridb.kanazawa-u.ac.jp/public/detail.php?id=3057&page=1&org2\\_cd=341000](http://ridb.kanazawa-u.ac.jp/public/detail.php?id=3057&page=1&org2_cd=341000)

6. 研究組織  
(1) 研究代表者  
大橋 政司 (Ohashi, Masashi)  
金沢大学・環境デザイン学系・准教授

研究者番号: 10336000

(2)研究分担者 ( )

研究者番号：

(3)連携研究者 ( )

研究者番号：