

◇◆◇ Preface ◇◆◇

This booklet reports the highlights of researches and the new improvements during FY2016 performed in the HFLM: High Field Laboratory for Superconducting Materials at Sendai. HFLSM has been developed numbers of new magnets technologies including cryogen-free hybrid magnet and cryogen-free superconducting magnets generating magnetic fields above 20 T. At HFLSM, the unique 25 T cryogen-free superconducting magnet becomes available for user program. Such cryogen-free superconducting magnets surely offer long-term stable and high-quality steady fields. HFLSM offers varieties of hybrid and superconducting magnets for researches in materials science, physics, applied superconductivity, chemistry and other pure and inter-disciplinary sciences performed in steady magnetic fields.

We hope that the booklet helps you to see the overview of our activities and stimulate future research collaborations with domestic and oversea users in HFLSM and in the High Magnetic Field Co-laboratory of Japan.

31 August 2017

Hiroyuki Nojiri

Director of HFLSM

Selected Topics in 2016 – Research Highlight at HFLSM

Characteristics of Critical Current and Irreversible Strain Limit in GdBCO Coated Conductor Tapes under Different B , T , and ε Conditions	1
H. S. Shin ¹ , A. Gorospe ¹ , Z. Bautista ¹ , H. Oguro ² and S. Awaji ³	
¹ Andong National Univ.	
² Tokai Univ.	
³ IMR, Tohoku Univ.	
Effect of Pressure on Magneto-Transport Properties of the Metallic Double Chain Compound $\text{Pr}_2\text{Ba}_4\text{Cu}_7\text{O}_{15-\delta}$	2
M. Kuwabara ¹ , M. Matsukawa ¹ , K. Sugawara ¹ , H. Taniguchi ¹ , A. Matsushita ² , M. Hagiwara ³ , K. Sano ⁴ , Y. Ono ⁵ and T. Sasaki ⁶	
¹ Dept. of Math. Sci., Iwate Univ.	
² NIMS	
³ Kyoto Institute of Technology	
⁴ Dept. of Phys. Eng., Mie Univ.	
⁵ Dept. of Phys., Niigata Univ.	
⁶ IMR, Tohoku Univ.	
NMR Study for Spin Dynamics in the Organic Superconductor with Localized d Spins	3
Y. Ihara ¹ , Y. Futami ¹ , A. Kawamoto ¹ , K. Matsui ² , T. Goto ² , T. Sasaki ³ , S. Benmansour ⁴ and C. J. Gomez-Garcia ⁴	
¹ Hokkaido Univ.	
² Sophia Univ.	
³ IMR, Tohoku Univ.	
⁴ ICM, Univ. de Valencia	
Ferroelectricity by Magnon BEC in the Spin Gap System TlCuCl_3	4
S. Kimura ¹ , K. Kakihata ¹ , K. Watanabe ¹ , M. Hagiwara ² and H. Tanaka ³	
¹ IMR, Tohoku Univ.	
² AHMF, Osaka Univ.	
³ Dept. of Phys., Tokyo Institute of Technology	
Dirac Fermion Transport Coupled with Magnetic Order in EuMnBi_2	5
H. Sakai ^{1,2,3} , H. Masuda ² , J. Shiogai ⁴ , S. Nakamura ⁴ , S. Awaji ⁴ , A. Tsukazaki ⁴ and S. Ishiwata ^{2,3}	
¹ Dept. of Phys., Osaka Univ.	
² Dept. of Appl. Phys., Univ. of Tokyo	
³ JST-PRESTO	
⁴ IMR, Tohoku Univ.	

Thermal Conductivity in Magnetic Fields for the Spin Diamond-Chain System Azurite $\text{Cu}_3(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2$	6
T. Kawamata ¹ , Y. Hagiya ¹ , K. Naruse ¹ , M. Ohno ¹ , Y. Matsuoka ¹ , H. Kikuchi ² , T. Sasaki ³ and Y. Koike ¹	
¹ Dept. of Appl. Phys., Tohoku Univ.	
² Dept. of Appl. Phys., Univ. of Fukui	
³ IMR, Tohoku Univ.	
 Giant Exchange Coupling in Radical-Gd Complex	7
T. Kanetomo ¹ , T. Kihara ² , A. Miyake ³ , A. Matsuo ³ , M. Tokunaga ³ , K. Kindo ³ , H. Nojiri ² and T. Ishida ¹	
¹ Dept. of Eng. Sci., The Univ. of Electro-Commun.	
² IMR, Tohoku Univ.	
³ ISSP, The Univ. of Tokyo	
 Optical Measurement of Anisotropic Susceptibility for Diamagnetic Particles	8
N. Kitamura ¹ , K. Takahashi ² , I. Mogi ² , S. Awaji ² and K. Watanabe ²	
¹ AIST	
² IMR, Tohoku Univ.	
 Magnetocaloric Effect of Meta-Magnetic Heusler Alloy $\text{Ni}_{41}\text{Co}_9\text{Mn}_{31.5}\text{Ga}_{18.5}$	9
T. Sakon ¹ , H. Nojiri ² , Y. Adachi ³ and T. Kanomata ⁴	
¹ Dept. of Sci. Technol., Ryukoku Univ.	
² IMR, Tohoku Univ.	
³ Dept. of Sci. Eng., Yamagata Univ.	
⁴ Faculty of Eng., Tohoku Gakuin Univ.	
 Performance Test of Persistent Current System for REBCO Pancake Coil	10
T. Hase ¹ , K. Takahashi ¹ , S. Awaji ¹ , N. Nakai ² , S. Yamano ² and H. Sakamoto ²	
¹ IMR, Tohoku Univ.	
² Furukawa Electric Co. Ltd.	

Selected Topics in 2016 – Research Highlight at HFLSM

異なる B, T, ε 条件での GdBCO CC テープの臨界電流および不可逆ひずみ限界の特性	-----	1
申 亨燮 ¹ , A. Gorospe ¹ , Z. Bautista ¹ , 小黒英俊 ² , 淡路 智 ³		
¹ 安東大, ² 東海大工, ³ 東北大金研		
金属 2 重鎖系超伝導体 $\text{Pr}_2\text{Ba}_4\text{Cu}_7\text{O}_{15-\delta}$ の磁気輸送特性の圧力効果	-----	2
桑原成彬 ¹ , 松川倫明 ¹ , 菅原佳祐 ¹ , 谷口晴香 ¹ , 松下明行 ² , 萩原 亮 ³ ,		
佐野和博 ⁴ , 大野義章 ⁵ , 佐々木孝彦 ⁶		
¹ 岩手大理工, ² 物質材料研, ³ 京都工芸大, ⁴ 三重大工, ⁵ 新潟大理, ⁶ 東北大金研		
局在 d スピンを持つ有機超伝導体におけるスピンドイナミクスの研究	-----	3
井原慶彦 ¹ , 二見洋輔 ¹ , 河本充司 ¹ , 松井一樹 ² , 後藤貴行 ² , 佐々木孝彦 ³ ,		
S. Benmansour ⁴ , C. J. Gomez-Garcia ⁴		
¹ 北大院理, ² 上智大理工, ³ 東北大金研, ⁴ バレンシア大 ICM		
スピニギャップ系 TlCuCl_3 のマグノン BEC による強誘電	-----	4
木村尚次郎 ¹ , 柿畠研人 ¹ , 渡辺和雄 ¹ , 萩原政幸 ² , 田中秀数 ³		
¹ 東北大金研, ² 阪大先端強磁場, ³ 東工大院理工		
EuMnBi_2 における磁気秩序と強く結合したディラック電子の量子伝導	-----	5
酒井英明 ^{1,2,3} , 増田英俊 ² , 塩貝純一 ⁴ , 中村慎太郎 ⁴ , 淡路 智 ⁴ , 塚崎 敦 ⁴ ,		
石渡晋太郎 ^{2,3}		
¹ 阪大理, ² 東大工, ³ JST さきがけ, ⁴ 東北大金研		
スピンドライモンド鎖系アズライト $\text{Cu}_3(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2$ における磁場中熱伝導	-----	6
川股隆行 ¹ , 萩谷勇太 ¹ , 成瀬晃樹 ¹ , 大野真澄 ¹ , 松岡禎知 ¹ , 菊池彥光 ² ,		
佐々木孝彦 ³ , 小池洋二 ¹		
¹ 東北大工, ² 福井大工, ³ 東北大金研		
ラジカル-Gd 錯体における巨大な交換相互作用	-----	7
金友拓哉 ¹ , 木原 工 ² , 三宅厚志 ³ , 松尾 明 ³ , 徳永将史 ³ , 金道浩一 ³ ,		
野尻浩之 ² , 石田尚行 ¹		
¹ 電通大院情報理工, ² 東北大金研, ³ 東大物性研		

反磁性微粒子の異方性磁化率の光学的測定 ----- 8

北村直之¹, 高橋弘紀², 茂木 巍², 淡路 智², 渡辺和雄²

¹産総研, ²東北大金研

メタ磁性ホイスラー合金 Ni₄₁Co₉Mn_{31.5}Ga_{18.5} の磁気熱量効果 ----- 9

左近拓男¹, 野尻浩之², 安達義也³, 鹿又 武⁴

¹龍谷大理工, ²東北大金研, ³山形大工, ⁴東北学院大工

REBCO コイルにおける永久電流モードの時間的安定性評価 ----- 10

長谷友哉¹, 高橋弘紀¹, 淡路 智¹, 中井昭暢², 山野聰志², 坂本久樹²

¹東北大金研, ²古河電工

Characteristics of Critical Current and Irreversible Strain Limit in GdBCO Coated Conductor Tapes under Different B , T , and ε Conditions

異なる B , T , ε 条件での GdBCO CC テープの臨界電流および不可逆ひずみ限界の特性

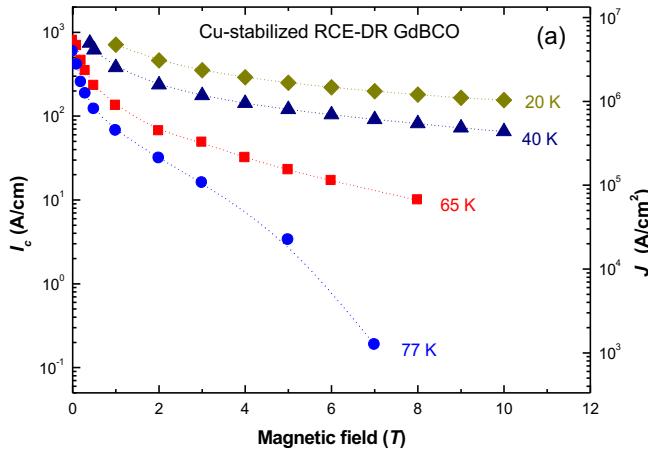


Fig. 1. I_c (B , T) characteristics of RCE-DR GdBCO CC.

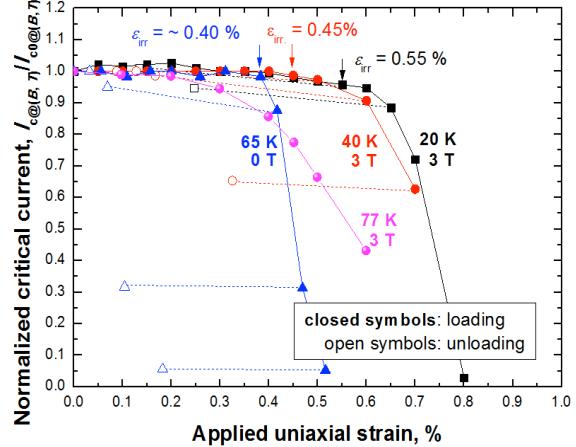


Fig. 2. Normalized I_c as a function of applied uniaxial strain.

The I_c performance under extreme conditions of high magnetic field, low temperature and high stress/strain in the 2G RCE-DR processed GdBCO CC tapes could be estimated. The effect of external magnetic field on the strain sensitivity of I_c decreases at lower temperature. The irreversible strain limit, ε_{irr} of the Cu-stabilized CC tapes exhibited an increasing value at lower temperature (65 K to 20 K) due to the temperature hardening effect. Additional brass lamination produced further increase of the ε_{irr} of the RCE-DR GdBCO CC tape. Finally, the normalized I_c , $I_c @ (B, T) / I_c @ (0 T, 77 K)$ window showed lesser sensitivity against external magnetic field with decreasing temperature. These values are important in the design of superconducting device such as high-field magnet and high-current coils.

H. S. Shin¹, A. Gorospe¹, Z. Bautista¹, H. Oguro² and S. Awaji³

¹ Andong National Univ., ² Tokai Univ., ³ IMR, Tohoku Univ.

Reference: A. Gorospe *et al.*, IEEE Trans. on Appl. Supercond. **27** (2017) 8400205.

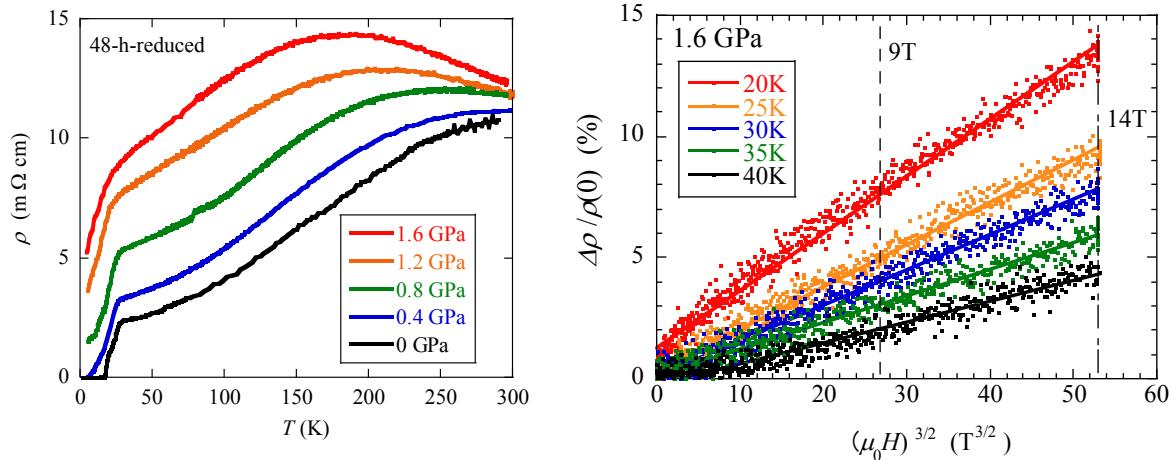
2G RCE-DR GdBCO CC テープの高磁場, 極低温, 高応力のような極限条件下での I_c 性能の評価を行った。 I_c の歪み敏感度への外部磁場の影響は、低い温度では減少した。Cu 安定化 CC テープの不可逆歪み限度(ε_{irr})は、低温(65K~20K)では硬化効果のため大きな値を示した。外部ラミネーションは、RCE-DR GdBCO CC テープの ε_{irr} 値をさらに増加させた。 I_c (B , T)/ I_c (0T, 77K) ウィンドウは、温度の低下に伴って外部磁場による低い感度を示した。これらの値は、高磁場磁石のような超伝導機器の設計で重要なとなる。

申 亨燮¹, A. Gorospe¹, Z. Bautista¹, 小黒英俊², 淡路 智³

¹ 安東大, ² 東海大工, ³ 東北大金研

Effect of Pressure on Magneto-Transport Properties of the Metallic Double Chain Compound $\text{Pr}_2\text{Ba}_4\text{Cu}_7\text{O}_{15-\delta}$

金属2重鎖系超伝導体 $\text{Pr}_2\text{Ba}_4\text{Cu}_7\text{O}_{15-\delta}$ の磁気輸送特性の圧力効果



Metallic CuO double chains in the superconductor $\text{Pr}_2\text{Ba}_4\text{Cu}_7\text{O}_{15-\delta}$ have been studied on the basis of the Tomonaga-Luttinger Liquid theory. We examined the effect of external pressure on the magneto-resistance (MR) properties in superconducting samples. The sample at ambient pressure exhibits no clear increase in MR for $T_{c,\text{on}}=26.5$ K. With the application of pressure, the MR effects reappear and their field dependencies are well fitted by $H^{3/2}$. The model of slightly warped Fermi surfaces for CuO double chains explains the observed pressure-induced magnetoresistance phenomena.

M. Kuwabara¹, M. Matsukawa¹, K. Sugawara¹, H. Taniguchi¹, A. Matsushita²,

M. Hagiwara³, K. Sano⁴, Y. Ono⁵ and T. Sasaki⁶

¹ Dept. of Math. Sci., Iwate Univ., ² NIMS, ³ Kyoto Institute of Technology,

⁴ Dept. of Phys. Eng., Mie Univ., ⁵ Dept. of Phys., Niigata Univ., ⁶ IMR, Tohoku Univ.

Reference: M. Kuwabara *et al.*, J. Phys. Soc. Jpn. **85** (2016) 124704.

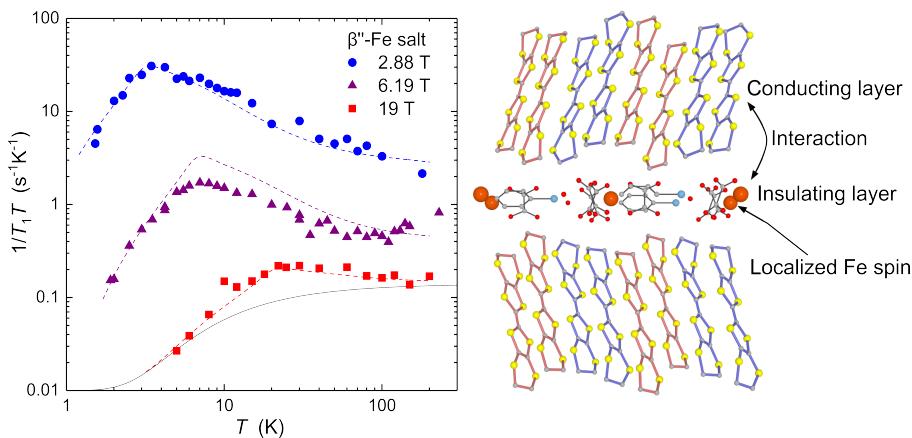
$\text{Pr}_2\text{Ba}_4\text{Cu}_7\text{O}_{15-\delta}$ 銅酸化物は 3 次元の結晶構造中に擬 1 次元超伝導性を示す物質であり、朝永ラテンジャー液体の観点から注目されている。超伝導試料及び非超伝導試料における磁気抵抗の圧力効果を測定した。高圧印加の超伝導試料の磁気抵抗は、下に凸の振る舞いを示し、 $H^{3/2}$ でスケールされる。超伝導試料の常伝導状態における圧力誘起磁気抵抗効果の発現は、擬1次元フェルミ面のトポロジー変化により説明することができる。

桑原成彬¹, 松川倫明¹, 菅原佳祐¹, 谷口晴香¹, 松下明行², 萩原亮³,
佐野和博⁴, 大野義章⁵, 佐々木孝彦⁶

¹ 岩手大理工, ² 物質材料研, ³ 京都工芸大, ⁴ 三重大工, ⁵ 新潟大理, ⁶ 東北大金研

NMR Study for Spin Dynamics in the Organic Superconductor with Localized *d* Spins

局在 *d* スピンを持つ有機超伝導体におけるスピンドイナミクスの研究



We observed the dynamics of the localized Fe spins in the layered organic superconductor by measuring the nuclear spin-relaxation rate $1/T_1$ of the ^{13}C NMR in the fields up to 19 T. The Fe spin dynamics is suppressed in high magnetic fields, as shown in the figure. When $1/T_1 T$ is sufficiently suppressed in 19 T, we observed the underlying π electron contribution, which shows a gapped temperature dependence (black solid line) with a gap size comparable to the charge ordering temperature in the non-magnetic sister compound (Ga instead of Fe). In addition to this, the suppression of magnetic fluctuations, together with the antiparallel π -*d* interaction suggested from the lower field experiments, leads us to expect a field-induced superconducting phase to occur in higher magnetic fields.

Y. Ihara¹, Y. Futami¹, A. Kawamoto¹, K. Matsui², T. Goto², T. Sasaki³, S. Benmansour⁴, and C. J. Gomez-Garcia⁴

¹ Hokkaido Univ., ² Sophia Univ., ³ IMR, Tohoku Univ., ⁴ ICM, Univ. de Valencia

Reference: Y. Ihara *et al.*, Phys. Rev. B **94** (2016) 064504.

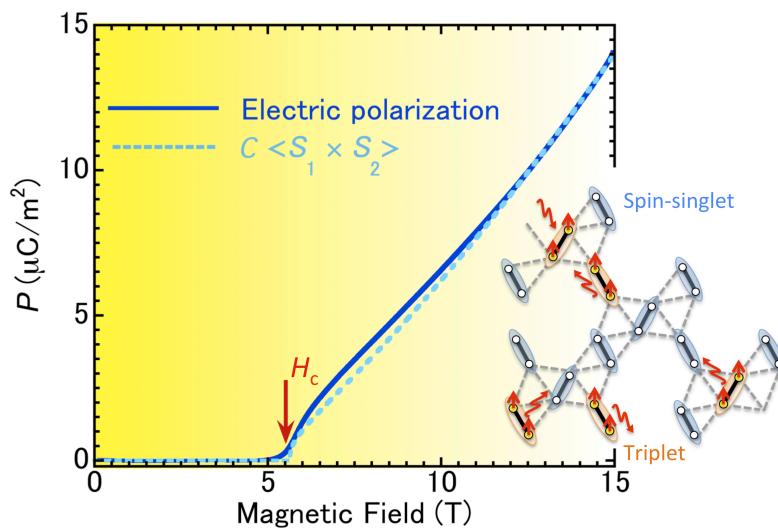
遍歴 π 電子からなる伝導層と局在 *d* スピン(Fe)を持つ絶縁層が交互に積み重なった積層構造を持つ有機超伝導体について、 ^{13}C NMR 分光法により強磁場領域までの Fe スピンドイナミクスを観測した。最高磁場の 19 Tにおいて、Fe スピンドイナミクスは強く抑制され、その背後に潜む π 電子に起因する磁気揺らぎを観測することに成功した。これにより π 電子系が非磁性類似物質の Ga 系と同様に 10 K 程度の電荷秩序ギャップを持っている可能性が明らかになった。さらに強い磁場中では、Fe スピンドイナミクスによるクーパー対散乱効果が抑制されるため、磁場誘起超伝導発現の可能性があることも指摘した。

井原慶彦¹, 二見洋輔¹, 河本充司¹, 松井一樹², 後藤貴行², 佐々木孝彦³, S. Benmansour⁴, C. J. Gomez-Garcia⁴

¹ 北大院理, ² 上智大理工, ³ 東北大金研, ⁴ バレンシア大 ICM

Ferroelectricity by Magnon BEC in the Spin Gap System TlCuCl_3

スピニギャップ系 TlCuCl_3 のマグノン BEC による強誘電



We have found the spin-driven ferroelectricity due to the magnetic-field-induced Bose-Einstein condensation (BEC) of magnon in the spin dimer system TlCuCl_3 . Appearance of the vector spin chirality $\mathbf{S}_i \times \mathbf{S}_j$ in the field-induced BEC state gives rise to the development of the spontaneous electric polarization. The ferroelectricity turned out to be very soft with an electric coercive field $E \sim 0.04 \text{ MV/m}$.

S. Kimura¹, K. Kakihata¹, K. Watanabe¹, M. Hagiwara² and H. Tanaka³

¹ IMR, Tohoku University, ² AHMF, Osaka University

³ Dept. of Phys., Tokyo Institute of Technology

References: S. Kimura *et al.*, Nature Commun. 7 (2016) 12822.

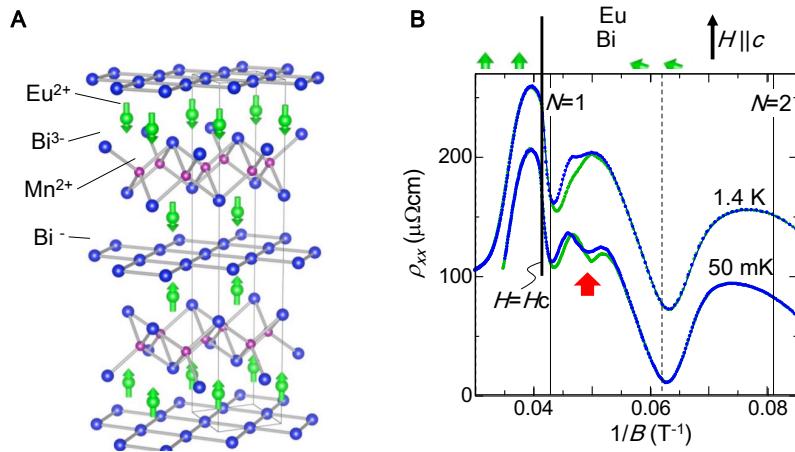
2つの Cu^{2+} スピンからなる反強磁性ダイマーを基本的な構成ユニットとして持つスピニギャップ系 TlCuCl_3 の磁場誘起マグノン ボース・アインシュタイン凝縮 (BEC) に伴う強誘電の発生を見出した。マグノン BEC 状態においては、ダイマーが持つベクトルスピンカイラリティー $\mathbf{S}_i \times \mathbf{S}_j$ が有限の期待値をもつために自発電気分極が現れることが分かった。この強誘電は極めてソフトで、電気分極の反転に要する電場 $E \sim 0.04 \text{ MV/m}$ は既知の磁気強誘電体のなかで最も低い。

木村尚次郎¹, 柿畠研人¹, 渡辺和雄¹, 萩原政幸², 田中秀数³

¹ 東北大金研, ² 阪大先端強磁場, ³ 東工大院理工

Dirac Fermion Transport Coupled with Magnetic Order in EuMnBi₂

EuMnBi₂ における磁気秩序と強く結合したディラック電子の量子伝導



Dirac fermions in solids have attracted a growing interest due to their unique transport properties under magnetic field. In this study, we have revealed novel Dirac fermion transport enriched by magnetic order in EuMnBi₂, where the Bi layer hosting quasi 2D Dirac fermions and the magnetic (Eu and Mn) blocking layer stack alternatively (Fig. A). From the detailed transport measurements, we found that the antiferromagnetic order of Eu sublattice has a marked impact on the interlayer coupling between the Bi layers. As a result, quantized Hall plateaus manifest themselves, accompanied by complex Landau levels (Fig. B).

H. Sakai^{1,2,3}, H. Masuda², J. Shiogai⁴, S. Nakamura⁴, S. Awaji⁴, A. Tsukazaki⁴ and S. Ishiwata^{2,3}

¹ Dept. of Phys., Osaka Univ., ² Dept. of Appl. Phys., Univ. of Tokyo, ³ JST-PRESTO,

⁴ IMR, Tohoku Univ.

Reference: H. Masuda *et al.*, Sci. Adv. **2** (2016) e1501117.

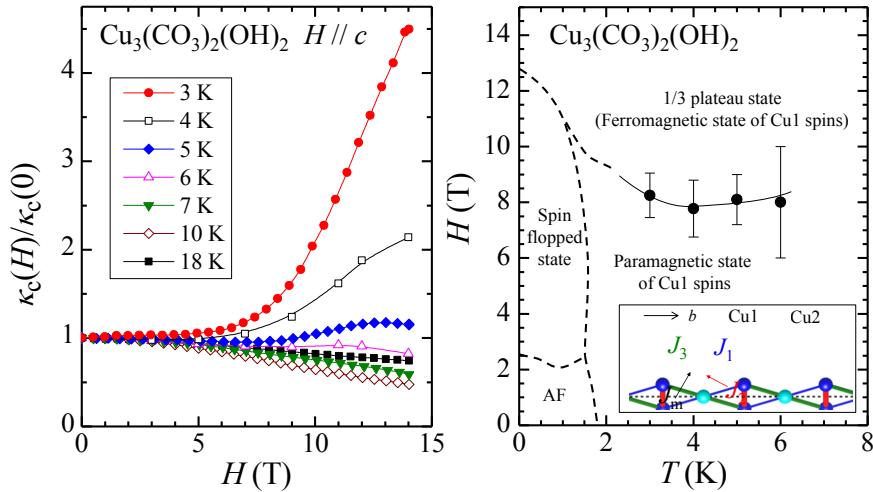
エネルギーが波数に比例するバンド構造を持つディラック電子物質は、グラフェンを筆頭に、近年大変な注目を集めている。本研究では、ディラック電子物質の新展開を狙い、Bi 正方格子からなる二次元ディラック電子伝導層と、Eu-Mn-Bi からなる磁性絶縁層が積層した EuMnBi₂ に着目し(図 A)，磁気秩序と強く結合したディラック電子の量子輸送現象の解明に成功した。強磁場超伝導材料研究センターでの詳細な輸送測定により、Eu サイトの反強磁性相に依存したランダウ準位構造の分裂や、ヒステリシスを伴う異常が観測され(図 B)，これまでにない強相關ディラック電子状態であることが示唆された。

酒井英明^{1,2,3}，増田英俊²，塩貝純一⁴，中村慎太郎⁴，淡路 智⁴，塚崎 敦⁴，石渡晋太郎^{2,3}

¹阪大理，²東大工，³JST さきがけ，⁴東北大金研

Thermal Conductivity in Magnetic Fields for the Spin Diamond-Chain System Azurite $\text{Cu}_3(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2$

スピンドイヤモンド鎖系アズライト $\text{Cu}_3(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2$ における磁場中熱伝導



Azurite, $\text{Cu}_3(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2$, with spin ($S = 1/2$) diamond-chains has attracted much interest owing to the interesting phenomena such as 1/3 plateau in the magnetization curve. To investigate the nature of the independent single spin diamond-chains in Azurite, we measured the thermal conductivity in high magnetic fields. As a result, an anomalous enhancement in the thermal conductivity was observed in high fields above ~ 8 T at low temperatures below ~ 6 K, indicating that the 1/3 plateau phase exists in a wide temperature region. Accordingly, it has been concluded that the ground state of independent single spin diamond-chains in Azurite is a spin-fluid state, although the ground state of the real bulk Azurite is an antiferromagnetic state owing to the exchange interaction between the spin diamond-chains.

T. Kawamata¹, Y. Hagiya¹, K. Naruse¹, M. Ohno¹, Y. Matsuoka¹, H. Kikuchi², T. Sasaki³ and Y. Koike¹

¹Dept. of Appl. Phys., Tohoku Univ., ²Dept. of Appl. Phys. Univ. of Fukui,

³IMR, Tohoku Univ.

Reference: Y. Hagiya *et al.*, J. Phys. Soc. Jpn. **85** (2016) 034715.

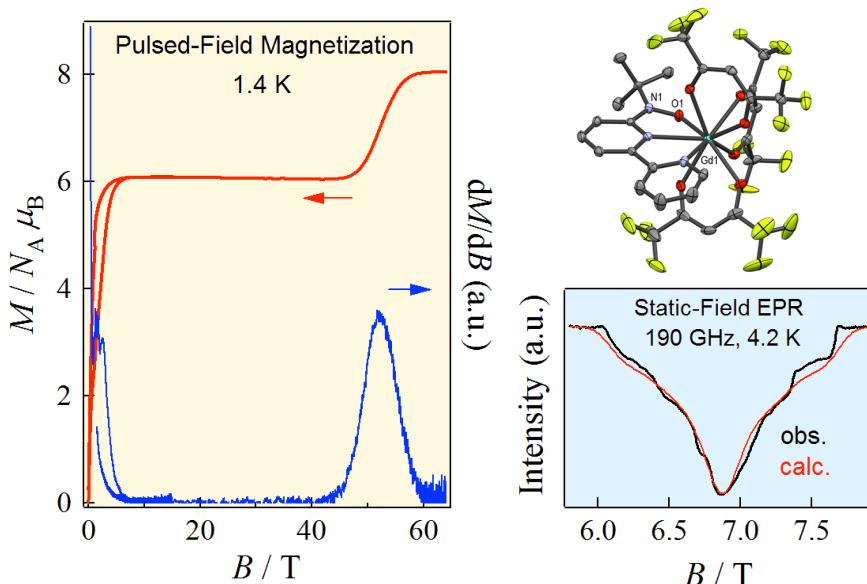
スピンドイヤモンド鎖を有するアズライト $\text{Cu}_3(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2$ は、磁化が 1/3 プラトーを示すことで注目されている物質である。アズライトにおける一本のスピンドイヤモンド鎖の基底状態については論争中であったので、我々は、磁場中でアズライトの熱伝導を測定した。その結果、低温強磁場で熱伝導率の異常な上昇を観測し、磁化の 1/3 プラトー相が低温の比較的広い温度域で存在することがわかった。そして、アズライト自身の基底状態はダイヤモンド鎖間の相互作用による反強磁性秩序であるが、一本のスピンドイヤモンド鎖の基底状態は、スピンド液体状態であると結論した。

川股隆行¹, 萩谷勇太¹, 成瀬晃樹¹, 大野真澄¹, 松岡禎知¹, 菊池彦光², 佐々木孝彦³, 小池洋二¹

¹東北大工, ²福井大工, ³東北大金研

Giant Exchange Coupling in Radical-Gd Complex

ラジカル-Gd 錯体における巨大な交換相互作用



One of the largest exchange couplings between Gd³⁺ and radical was found in [Gd(hfac)₃(6bpyNO)] (6bpyNO: 2,2'-bipyridin-6-yl *tert*-butyl nitroxide radical and hfac: 1,1,1,5,5,5-hexafluoropentane-2,4-dionate). Despite the combination of isotropic spins, a strong mixing between the orbitals was evidenced by the sizable anisotropy observed in high frequency EPR at HFLSM. Another evidence is found as the jump at 52 T in the pulsed field magnetization measurement at ISSP. The cooperation through the high field collaboratory network was quite effective to establish the existence of the giant exchange coupling.

T. Kanetomo¹, T. Kihara², A. Miyake³, A. Matsuo³, M. Tokunaga³, K. Kindo³, H. Nojiri² and T. Ishida¹

¹ Dept. of Eng. Sci., The Univ. of Electro-Commun., ² IMR, Tohoku Univ.,

³ ISSP, The Univ. of Tokyo

Reference: T. Kanetomo *et al.*, Inorg. Chem. **56** (2017) 3310-3314.

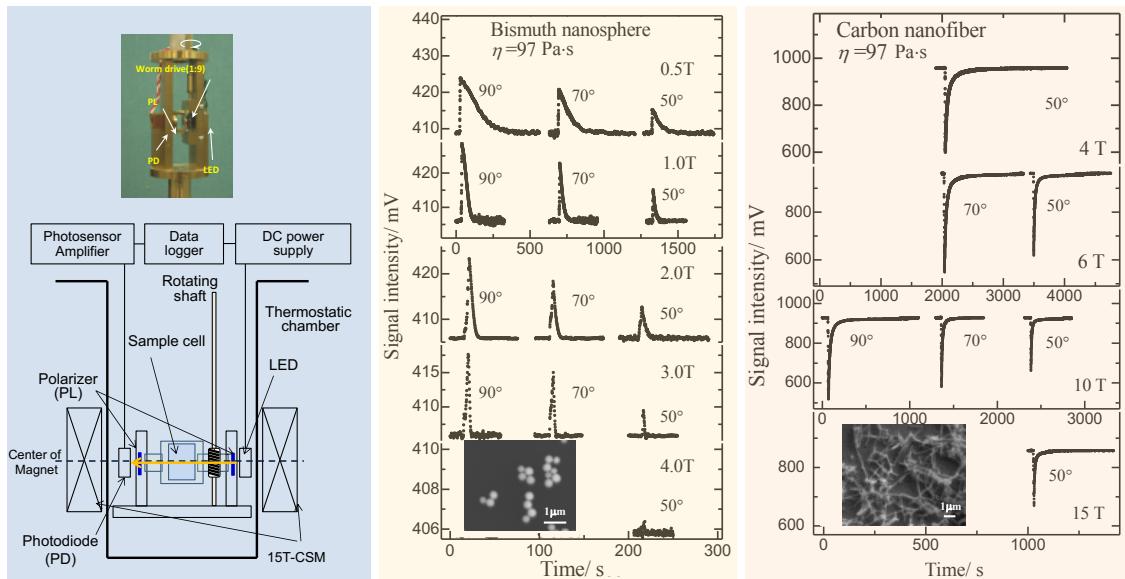
Gd と ラジカルからなる錯体 Gd-6bpyNO において、これまで希土類ヘテロスピニン錯体で見つかった中で最大級の-17.4 K という巨大交換相互作用の存在が確認された。等方的なスピンの組み合わせで強い結合が生じる機構を調べるために、金研定常磁場を用いた高周波 EPR を行い、波動関数の強い混成による交換相互作用の大きな異方性を明らかにした。さらに、強磁場コラボラトリーを利用して物性研でパルス磁場磁化測定を行い 52 T に準位交差を見出し、交換相互作用の正確な評価に成功した。

金友拓哉¹, 木原 工², 三宅厚志³, 松尾 明³, 徳永将史³, 金道浩一³,
野尻浩之², 石田尚行¹

¹電通大院情報理工, ²東北大金研, ³東大物性研

Optical Measurement of Anisotropic Susceptibility for Diamagnetic Particles

反磁性微粒子の異方性磁化率の光学的測定



We have developed an apparatus that allows the observation of the transient rotational motion of fine particles under a high magnetic field in order to determine anisotropic magnetic susceptibility. Fine particles dispersed in viscous liquid were oriented in advance under high magnetic field, then were turned instantaneously. The anisotropic susceptibility was determined by transient intensity of polarized light transmitted through the dispersed liquid. The anisotropic susceptibilities of spherical nanoparticles of bismuth and commercially available carbon nanofibers were determined. The estimated $\Delta\chi=3.9\times10^{-5}$ of spherical bismuth nanoparticles with a diameter of 370 nm was slightly smaller than the value for the bulk crystal. In contrast, the value of carbon nanofibers was distributed and didn't obey the theoretical expected motion of a single crystal.

N. Kitamura¹, K. Takahashi², I. Mogi², S. Awaji² and K. Watanabe²

¹ AIST, ² IMR, Tohoku Univ.

Reference: N. Kitamura *et al.*, Jpn. J. Appl. Phys. **55** (2016) 015001.

反磁性微粒子の異方性磁化率を測定するために動的な光学測定方法を確立した。高粘度液体中に分散した反磁性微粒子を予め強磁場中で配向させ、偏光透過光強度の時間減衰より異方性磁化率を導出した。ビスマス球状微粒子およびカーボンナノファイバーの異方性磁化率を測定した結果、直径 370 nm のビスマス微粒子ではバルク体より僅かに小さい $\Delta\chi=3.9\times10^{-5}$ を示したが、カーボンファイバーでは粒径分布や欠陥のため分布を持った。

北村直之¹, 高橋弘紀², 茂木 巍², 淡路 智², 渡辺和雄²

¹ 産総研, ² 東北大金研

Magnetocaloric Effect of Meta-Magnetic Heusler Alloy $\text{Ni}_{41}\text{Co}_9\text{Mn}_{31.5}\text{Ga}_{18.5}$

メタ磁性ホイスラー合金 $\text{Ni}_{41}\text{Co}_9\text{Mn}_{31.5}\text{Ga}_{18.5}$ の磁気熱量効果

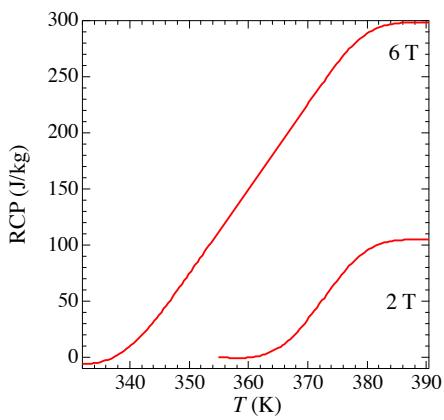


Fig. 1 RCP of $\text{Ni}_{41}\text{Co}_9\text{Mn}_{31.5}\text{Ga}_{18.5}$.

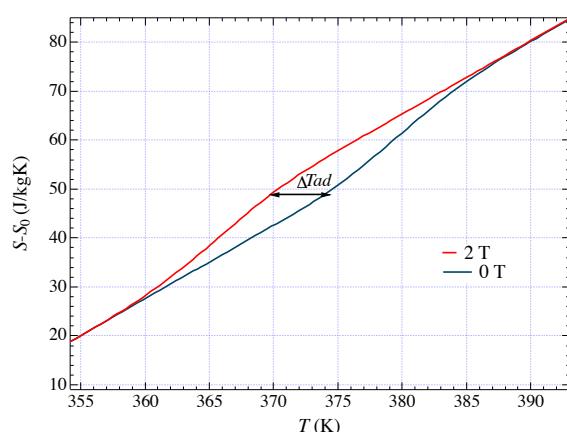


Fig. 2 Entropy curves at zero field and 2 T.

$\text{Ni}_{41}\text{Co}_9\text{Mn}_{31.5}\text{Ga}_{18.5}$ is a magnetic Heusler alloy, which indicates meta-magnetic transition at the reverse martensite transition. Caloric measurements were performed and magnetocaloric effect was considered. From the differential scanning calorimetry (DSC) measurements in zero fields, the value of the latent heat λ was obtained as 2.63 kJ/kg, and in magnetic fields the value was not changed. The entropy change ΔS was -7.0 J/(kgK) in zero fields and gradually increases with increasing magnetic fields and increased slightly with increasing magnetic fields. The relative cooling power (RCP) was 104 J/kg at 2.0 T, which was comparable with In doped $\text{Ni}_{41}\text{Co}_9\text{Mn}_{32}\text{Ga}_{16}\text{In}_2$ alloy. The adiabatic temperature change ΔT_{ad} was 5 K for $\Delta B = 2$ T. This value is comparable to that of Gd compounds.

T. Sakon¹, H. Nojiri², Y. Adachi³ and T. Kanomata⁴

¹ Dept. of Sci. Technol., Ryukoku Univ., ² IMR, Tohoku Univ., ³ Dept. of Sci. Eng., Yamagata Univ., ⁴ Faculty of Eng., Tohoku Gakuin Univ.

Reference: T. Sakon *et al.*, Progress in Metallic Alloys, InTech, Rijeka (2016) 265-287.

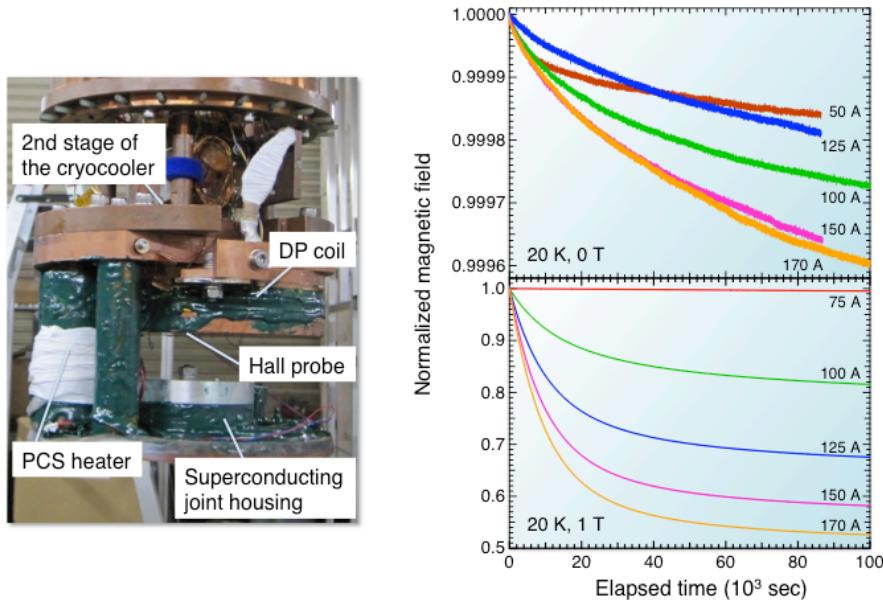
逆マルテンサイト変態を示すメタ磁性 $\text{Ni}_{41}\text{Co}_9\text{Mn}_{31.5}\text{Ga}_{18.5}$ 合金において、磁場中での示差熱量測定 (DSC)を行い、磁気エントロピーの測定を行った。エントロピー変化は零磁場で-7.0 J/(kgK)であったが、磁場とともに増加した。冷凍能力RCPは104 J/kg (2.0 T)となり、冷凍能力の高い $\text{Ni}_{41}\text{Co}_9\text{Mn}_{32}\text{Ga}_{16}\text{In}_2$ 合金と同等の値となった。断熱温度変化 ΔT_{ad} は0~2 Tの磁場変化で5 Kの値が得られ、Gd 金属間化合物に匹敵する値となった。

左近拓男¹, 野尻浩之², 安達義也³, 鹿又 武⁴

¹龍谷大理工, ²東北大金研, ³山形大工, ⁴東北学院大工

Performance Test of Persistent Current System for REBCO Pancake Coil

REBCO コイルにおける永久電流モードの時間的安定性評価



The persistent current system including a superconducting joint, a persistent current switch and a double pancake coil fabricated with REBCO tape superconductor was developed (left figure). The current decay behaviors in the persistent current mode were measured in a self-field and an external magnetic field of 1 T (right figure) at 20 K, which was conduction-cooled using a GM cryocooler. In the self-field, the decay rate of the persistent current of 170 A reached to 1.5 ppm/h after five days operation. This is the first practical persistent current operation with the REBCO superconducting joint.

T. Hase¹, K. Takahashi¹, S. Awaji¹, N. Nakai², S. Yamano², H. Sakamoto²

¹ IMR, Tohoku Univ., ² Furukawa Electric Co. Ltd.

Reference: T. Hase *et al.*, Abstracts of CSSJ Conference, **94** (2017) 122.

REBCO 高温超伝導線材線材を用いた超伝導接合を組み込んだ超伝導コイル永久電流運転システムを開発し(左図), 伝導冷却下 20 K, 自己磁場および外部磁場 1 T 中で永久電流モードの時間的安定性を評価した(右図). 自己磁場中の永久電流 170 A に対する 5 日後の減衰率は 1.5 ppm/h と見積もられ, 高温超伝導材料を用いた実用レベルの永久電流運転に世界で初めて成功した.

長谷友哉¹, 高橋弘紀¹, 淡路 智¹, 中井昭暢², 山野聰志², 坂本久樹²

¹ 東北大金研, ² 古河電工