

## ◆◆◆ Preface ◆◆◆

This booklet reports the highlights and the new improvements during FY2014 performed in the High Field Laboratory for Superconducting Materials:HFLSM 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. Such cryogen-free superconducting magnets surely offer long-term stable and high-quality steady fields for user. 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.

The reports in this booklet are selected from the 62 subjects performed at the HFLSM as the user proposals supported by the inter-university research cooperation network. We hope that the booklet help you to see the overview our activities and stimulate the related research collaborations with domestic and oversea users in HFLSM and in the High Magnetic Field Co-laboratory of Japan.

Oct. 1st, 2015  
Hiroyuki Nojiri  
Director of HFLSM

## Selected Topics in 2014 of HFLSM at Sendai

- In-Field Current Transport Properties in High- $T_c$  (RE)<sub>1</sub>Ba<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>7- $\delta$</sub>  Coated Conductor with BaHfO<sub>3</sub> Artificial Pinning Centers 1
- T. Kiss<sup>1</sup>, M. Inoue<sup>1</sup>, K. Higashikawa<sup>1</sup>, S. Awaji<sup>2</sup>, K. Watanabe<sup>2</sup> and T. Izumi<sup>3</sup>
- <sup>1</sup> Department of Electrical and Electronic Engineering, Kyushu University  
<sup>2</sup> Institute for Materials Research, Tohoku University  
<sup>3</sup> Superconductivity Research Laboratory, ISTEK
- Applied Strain Dependence of Superconducting Properties for Detwinned (Y, Gd)BCO Coated Conductors 2
- T. Suzuki<sup>1</sup>, S. Awaji<sup>2</sup>, H. Oguro<sup>2</sup> and K. Watanabe<sup>2</sup>
- <sup>1</sup> Graduate School of Information Science and Electrical Engineering, Kyushu University  
<sup>2</sup> Institute for Materials Research, Tohoku University
- Magneto-Electric Effect in a Honeycomb Antiferromagnet Co<sub>4</sub>Nb<sub>2</sub>O<sub>9</sub> 3
- N. D. Khanh<sup>1</sup>, N. Abe<sup>2</sup>, T. Arima<sup>2</sup> and S. Kimura<sup>3</sup>
- <sup>1</sup> Department of Physics, Tohoku University  
<sup>2</sup> Department of Advanced Materials Science, University of Tokyo  
<sup>3</sup> Institute of Materials Research, Tohoku University
- Low Energy Magnetic Excitations in PrNb<sub>2</sub>Al<sub>20</sub> Studied by <sup>93</sup>Nb-NMR 4
- H. Tou<sup>1</sup>, T. Kubo<sup>1</sup>, H. Kotegawa<sup>1</sup>, Y. Ihara<sup>2</sup>, T. Goto<sup>3</sup> and T. Sasaki<sup>4</sup>
- <sup>1</sup> Department of Physics, Kobe University  
<sup>2</sup> Department of Physics, Hokkaido University  
<sup>3</sup> Physics Division, Sophia University  
<sup>4</sup> Institute for Materials Research, Tohoku University
- High Field NMR Study of the Frustrated Magnet Volborthite 5
- M. Yoshida<sup>1</sup>, K. Matsui<sup>2</sup>, T. Goto<sup>2</sup>, S. Kimura<sup>3</sup> and T. Sasaki<sup>3</sup>
- <sup>1</sup> Institute for Solid State Physics, University of Tokyo  
<sup>2</sup> Department of Physics, Sophia University  
<sup>3</sup> Institute for Materials Research, Tohoku University
- High Field ESR Measurements of the Isolated Dimer System in Circularly Polarized Light 6
- S. Kimura<sup>1</sup>, K. Watanabe<sup>1</sup> and Z. Honda<sup>2</sup>
- <sup>1</sup> Institute for Materials Research, Tohoku University  
<sup>2</sup> Graduate School of Science and Engineering, Saitama University

Magnetotransport Properties of Topological Insulator (Bi,Sb)<sub>2</sub>Te<sub>3</sub> Thin Film Field-Effect Transistor under a High-Magnetic Field 7

J. Shiogai<sup>1</sup>, A. Tsukazaki<sup>1</sup>, R. Yoshimi<sup>2</sup>, M. Kawasaki<sup>2,3</sup> and Y. Tokura<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup> Institute for Materials Research, Tohoku University

<sup>2</sup> Department of Applied Physics and Quantum-Phase Electronics Center, University of Tokyo

<sup>3</sup> RIKEN Center for Emergent Matter Science

Magnetic Properties of Nd-Fe-B Sintered Magnets Annealed in Strong Gradient Magnetic Fields 8

H. Kato<sup>1</sup>, Y. Mizuno<sup>1</sup>, K. Koike<sup>1</sup> and K. Takahashi<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Graduate School of Science and Engineering, Yamagata University

<sup>2</sup> Institute for Materials Research, Tohoku University

Ionic Vacancy Formed in Electrochemical Reactions under High Magnetic Fields 9

Y. Oshikiri<sup>1</sup>, A. Sugiyama<sup>2</sup>, M. Miura<sup>3</sup>, R. Aogaki<sup>4</sup> and I. Mogi<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Yamagata College of Industry and Technology

<sup>2</sup> Waseda University

<sup>3</sup> Hokkaido Polytechnic College

<sup>4</sup> Polytechnic University

<sup>5</sup> Institute of Materials Research, Tohoku University

High-Field Optical Spectroscopy of the Chromium Spinel CdCr<sub>2</sub>O<sub>4</sub> Using 30 T Hybrid Magnet 10

Y. Sawada<sup>1</sup>, S. Kimura<sup>1</sup>, K. Watanabe<sup>1</sup> and H. Ueda<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Institute for Materials Research, Tohoku University

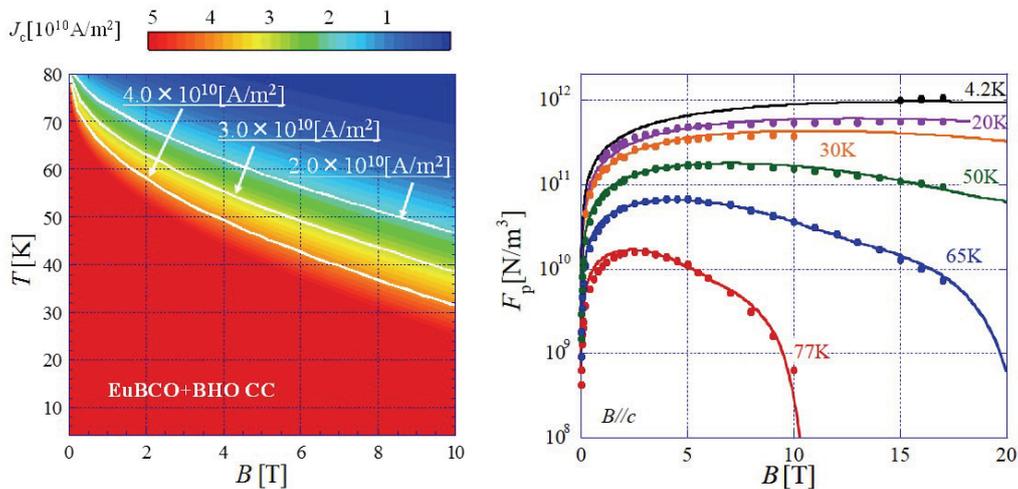
<sup>2</sup> Department of Science, Kyoto University

## Selected Topics in 2014 of HFLSM at Sendai

- BaHfO<sub>3</sub>人工ピンニングセンターを導入した (RE)<sub>1</sub>Ba<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>7-δ</sub>高温超伝導線材の磁場中電流輸送特性 1  
木須隆暢<sup>1</sup>, 井上昌睦<sup>1</sup>, 東川甲平<sup>1</sup>, 淡路 智<sup>2</sup>, 渡辺和雄<sup>2</sup>, 和泉輝郎<sup>3</sup>  
<sup>1</sup>九州大学システム情報科学研究院,<sup>2</sup>東北大学金属材料研究所,<sup>3</sup>超電導工学研究所
- デッインした(Y,Gd)BCO コート線材における超伝導特性のひずみ依存性 2  
鈴木 匠<sup>1</sup>, 淡路 智<sup>2</sup>, 小黒英俊<sup>2</sup>, 渡辺和雄<sup>2</sup>  
<sup>1</sup>九州大学システム情報科学研究院,<sup>2</sup>東北大学金属材料研究所
- 蜂の巣格子反強磁性体 Co<sub>4</sub>Nb<sub>2</sub>O<sub>9</sub>の電気磁気効果 3  
Nguyen Duy Khanh<sup>1</sup>, 阿部伸行<sup>2</sup>, 有馬孝尚<sup>2</sup>, 木村尚次郎<sup>3</sup>  
<sup>1</sup>東北大学理学研究科,<sup>2</sup>東京大学新領域創成科学研究科,<sup>3</sup>東北大学金属材料研究所
- PrNb<sub>2</sub>Al<sub>20</sub>の<sup>93</sup>Nb-NMRによる低エネルギー磁気励起の研究 4  
藤 秀樹<sup>1</sup>, 久保徹郎<sup>1</sup>, 小手川 恒<sup>1</sup>, 井原慶彦<sup>2</sup>, 後藤貴行<sup>3</sup>, 佐々木孝彦<sup>4</sup>  
<sup>1</sup>神戸大学理学研究科,<sup>2</sup>北海道大学理学研究科,<sup>3</sup>上智大学理工学研究科,  
<sup>4</sup>東北大学金属材料研究所
- フラストレート磁性体ボルボサイトの強磁場 NMR 5  
吉田 誠<sup>1</sup>, 松井一樹<sup>2</sup>, 後藤貴行<sup>2</sup>, 木村尚次郎<sup>3</sup>, 佐々木孝彦<sup>3</sup>  
<sup>1</sup>東京大学物性研究所,<sup>2</sup>上智大学理工学部,<sup>3</sup>東北大学金属材料研究所
- 孤立ダイマー系 Na<sub>2</sub>Co<sub>2</sub>(C<sub>2</sub>O<sub>4</sub>)<sub>3</sub>(H<sub>2</sub>O)<sub>2</sub>の円偏光 ESR 6  
木村尚次郎<sup>1</sup>, 渡辺和雄<sup>1</sup>, 本多善太郎<sup>2</sup>  
<sup>1</sup>東北大学金属材料研究所,<sup>2</sup>埼玉大学理工学研究科
- トポロジカル絶縁体(Bi,Sb)<sub>2</sub>Te<sub>3</sub>薄膜における強磁場量子輸送測定 7  
塩貝純一<sup>1</sup>, 塚崎 敦<sup>1</sup>, 吉見龍太郎<sup>2</sup>, 川崎雅司<sup>2,3</sup>, 十倉好紀<sup>2,3</sup>  
<sup>1</sup>東北大学金属材料研究所,<sup>2</sup>東京大学工学系研究科,<sup>3</sup>理化学研究所創発物性科学研究センター

ネオジム系焼結磁石の強勾配磁場中熱処理と磁気特性	8
加藤宏朗 <sup>1</sup> , 水野善幸 <sup>1</sup> , 小池邦博 <sup>1</sup> , 高橋弘紀 <sup>2</sup>	
<sup>1</sup> 山形大学理工学研究科, <sup>2</sup> 東北大学金属材料研究所	
高磁場下における電気化学反応により生成するイオン空孔	9
押切剛伸 <sup>1</sup> , 杉山敦史 <sup>2</sup> , 三浦 誠 <sup>3</sup> , 青柿良一 <sup>4</sup> , 茂木 巖 <sup>5</sup>	
<sup>1</sup> 山形県立産業技術短期大学校, <sup>2</sup> 早稲田大学, <sup>3</sup> 北海道職業能力開発大学校, <sup>4</sup> 職業能力開発総合大学校, <sup>5</sup> 東北大学金属材料研究所	
30 T ハイブリッドマグネットを用いたクロムスピネル酸化物 $\text{CdCr}_2\text{O}_4$ の 強磁場分光測定	10
澤田祐也 <sup>1</sup> , 木村尚次郎 <sup>1</sup> , 渡辺和雄 <sup>1</sup> , 植田浩明 <sup>2</sup>	
<sup>1</sup> 東北大学金属材料研究所, <sup>2</sup> 京都大学理学研究科	

**In-Field Current Transport Properties in High- $T_c$  (RE) $_1$ Ba $_2$ Cu $_3$ O $_{7-8}$   
Coated Conductor with BaHfO $_3$  Artificial Pinning Centers  
BaHfO $_3$  人工ピンニングセンターを導入した  
(RE) $_1$ Ba $_2$ Cu $_3$ O $_{7-8}$ 高温超伝導線材の磁場中電流輸送特性**



In-field current transport properties in high- $T_c$  (RE) $_1$ Ba $_2$ Cu $_3$ O $_{7-8}$  coated conductors (CCs), where RE is rare-earth element, have been investigated. Contour map of critical current density,  $J_c$ , in magnetic field and temperature ( $B$ - $T$ ) plane, and macroscopic pinning force density curve,  $F_p \equiv J_c B$ , have been shown. Dots are measurements whereas solid curves are analytical expression derived by the authors. The sample, Eu $_1$ Ba $_2$ Cu $_3$ O $_{7-8}$ , has been obtained from high rate pulse laser deposition with introduction of nanostructured artificial pinning centers utilizing 3.5 mol% BaHfO $_3$ . Significant enhancement of flux pinning strength has been confirmed in comparison with previous CCs. These analyses are also useful to design high field magnet based on the CCs.

T. Kiss<sup>1</sup>, M. Inoue<sup>1</sup>, K. Higashikawa<sup>1</sup>, S. Awaji<sup>2</sup>, K. Watanabe<sup>2</sup>, T. Izumi<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Dept. of Electrical Eng., Kyushu University, <sup>2</sup>IMR, Tohoku University, <sup>3</sup>ISTEC-SRL  
Reference: M. Inoue, K. Tanaka, K. Imamura, K. Higashikawa, K. Kimura, Y. Takahashi, T. Koizumi, T. Hasegawa, S. Awaji, K. Watanabe, M. Yoshizumi, T. Izumi, T. Kiss, "Current Transport Properties of TFA-MOD Processed Long-Length Coated Conductor Doped with Artificial Pinning Centers", *IEEE Trans. Appl. Supercond.* **25** (2015) 6605804

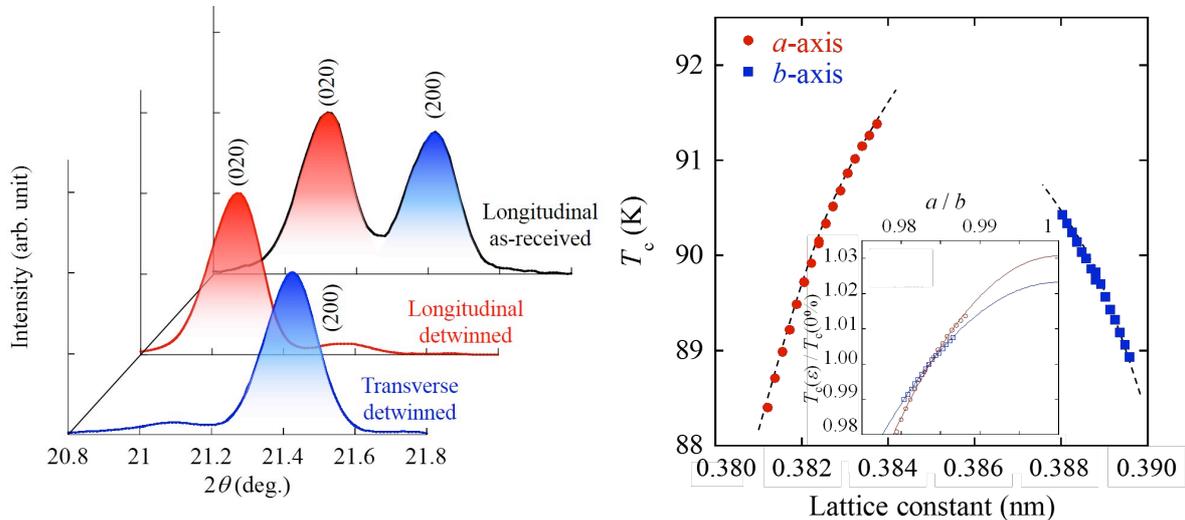
高速 PLD プロセスにより得られた BHO 人工ピンニングセンター導入 EuBCO 線材の臨界電流特性を広範な実用環境下に亘り測定し、我々の提案している電輸送特性の物理モデルを用いて温度、磁場依存性を解析的に表した。これらの成果は、強磁場マグネットを含めた各種超伝導マグネットの開発に向けた基礎データとして有用である。

木須隆暢<sup>1</sup>, 井上昌睦<sup>1</sup>, 東川甲平<sup>1</sup>, 淡路 智<sup>2</sup>, 渡辺和雄<sup>2</sup>, 和泉輝郎<sup>3</sup>

<sup>1</sup>九州大学システム情報科学研究所, <sup>2</sup>東北大学金属材料研究所, <sup>3</sup>超電導工学研究所

# Applied Strain Dependence of Superconducting Properties for Detwinned (Y, Gd)BCO Coated Conductors

## デツインした(Y,Gd)BCO コート線材における超伝導特性のひずみ依存性



We succeeded in the complete detwin of (Y, Gd)Ba<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>y</sub>((Y, Gd)BCO) tapes by annealing under an external uniaxial strain. The uniaxial-strain dependencies of the critical temperature ( $T_c$ ) and critical current density ( $J_c$ ) along the  $a$  and  $b$  crystal axes were investigated over a wide strain region using the detwin of (Y, Gd)BCO tapes. For a wide strain region, we found that the strain dependence of  $T_c$  for  $a$  and  $b$  crystal axes can be well fitted by a power-law function whereas the single crystal behavior is linear. The strain dependences of  $J_c$  are similar with those of  $T_c$ . It is suggested that the  $T_c$  becomes a maximum value when the CuO<sub>2</sub> plane becomes a square, and its lattice constant is close to 0.385 nm.

T. Suzuki<sup>1</sup>, S. Awaji<sup>2</sup>, H. Oguro<sup>2</sup>, K. Watanabe<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Graduate School of Information Science and Electrical Engineering,  
Kyushu University, <sup>2</sup>IMR, Tohoku University

Reference: S. Awaji, T. Suzuki, H. Oguro, K. Watanabe and K. Matsumoto, “Strain-controlled critical temperature in REBa<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>y</sub>-coated conductors”, Scientific Reports **5**, 11156 (2015)

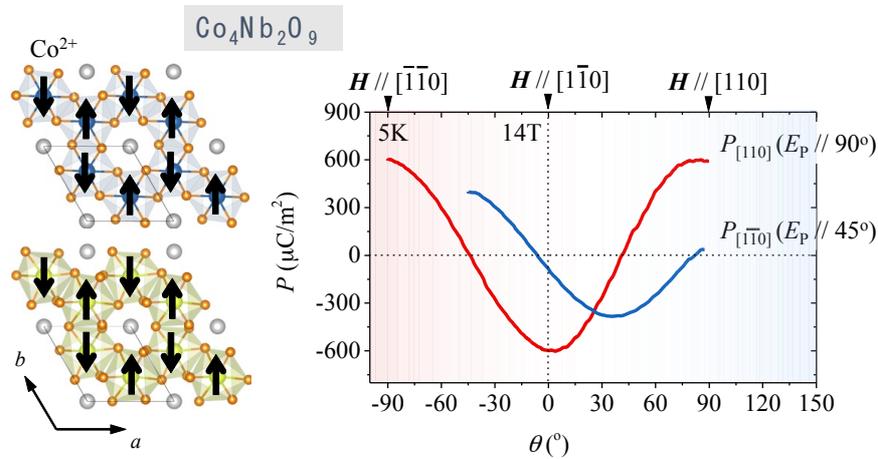
ひずみを印加しながらアニールすることにより、(Y, Gd)Ba<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>y</sub>((Y, Gd)BCO)テープ線材のデツインに初めて成功した。このデツインした(Y, Gd)BCO 線材を用いて、 $a$ 、 $b$  軸それぞれの  $T_c$  と  $J_c$  の広い範囲の一軸ひずみ依存性の評価を行った。広い範囲の測定により  $T_c$  は単結晶の結果とはことなりべき乗のひずみ依存性となることを初めて見出した。また、 $J_c$  も  $T_c$  と同様にべき乗のひずみ依存性となった。さらに、CuO<sub>2</sub> 面が正方形となり、その格子定数が 0.385 nm となる時、最大の  $T_c$  となることが示唆された。

鈴木 匠<sup>1</sup>, 淡路 智<sup>2</sup>, 小黒 英俊<sup>2</sup>, 渡辺 和雄<sup>2</sup>

<sup>1</sup>九州大学システム情報科学研究所,<sup>2</sup>東北大学金属材料研究所

# Magneto-Electric Effect in a Honeycomb Antiferromagnet $\text{Co}_4\text{Nb}_2\text{O}_9$

## 蜂の巣格子反強磁性体 $\text{Co}_4\text{Nb}_2\text{O}_9$ の電気磁気効果



Hexagonal  $\text{Co}_4\text{Nb}_2\text{O}_9$  is composed of honeycomb-type Co layers stacking along the c-axis. The Co moments are arranged antiferromagnetically, as shown in the left panel, below 27 K. In the antiferromagnetic phase, a linear magneto-electric effect is observed. For example, an external magnetic field along the  $[110]$  axis generates an electric polarization parallel or antiparallel to the magnetic field. It has been observed that a rotation of the magnetic field around the c-axis by an angle of  $\theta$  induces the rotation of the electric polarization by  $-2\theta$ , as shown in the right panel. This phenomenon is ascribed to the rotation of every Co moment, and hence likely common to the honeycomb-type antiferromagnets.

N. D. Khanh<sup>1</sup>, N. Abe<sup>2</sup>, T. Arima<sup>2</sup>, S. Kimura<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Dept. Phys., Tohoku University, <sup>2</sup> Dept. Adv. Mat. Sci., University of Tokyo,

<sup>3</sup> IMR, Tohoku University

$\text{Co}_4\text{Nb}_2\text{O}_9$  は蜂の巣構造的に配列した Co の形成する二次元層が c 軸方向に積み重なった六方晶構造を有する。Co の磁気モーメントは 27 K 以下で左図に示すような反強磁性配列を取る。この反強磁性相では、線形電気磁気効果が観測される。例えば、 $[110]$  方向に磁場を印加するとそれと平行、あるいは反平行な電気分極が出現する。この状態から磁場を c 軸を中心に角度  $\theta$  だけ回転させたところ、右図に示すように、電気分極が c 軸を中心に角度  $-2\theta$  だけ回転する現象が観測された。この電気磁気効果は、磁場回転に伴って各磁気モーメントが回転することにより生じるものであり、蜂の巣型反強磁性体に共通の現象だと考えられる。

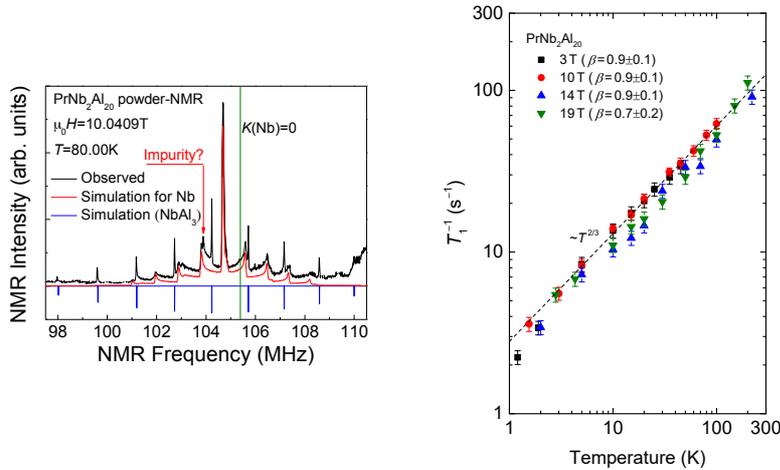
Nguyen Duy Khanh<sup>1</sup>, 阿部伸行<sup>2</sup>, 有馬孝尚<sup>2</sup>, 木村尚次郎<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 東北大学理学研究科, <sup>2</sup> 東京大学新領域創成科学研究科,

<sup>3</sup> 東北大学金属材料研究所

# Low Energy Magnetic Excitations in PrNb<sub>2</sub>Al<sub>20</sub> Studied by <sup>93</sup>Nb-NMR

## PrNb<sub>2</sub>Al<sub>20</sub> の <sup>93</sup>Nb-NMR による低エネルギー磁気励起の研究



Pr-based compound PrNb<sub>2</sub>Al<sub>20</sub>, whose crystal electric ground state is of a non-magnetic  $\Gamma_3$  state, exhibits non-Fermi liquid like behavior at low temperatures. The polycrystalline sample was prepared by Dr. R. Higashinaka et al., Tokyo Metropolitan University. <sup>93</sup>Nb-Nuclear Magnetic Resonance (NMR) measurements have been carried out for a polycrystalline PrNb<sub>2</sub>Al<sub>20</sub>. A well split <sup>93</sup>Nb-NMR spectrum was obtained at 10 T. Temperature dependences of <sup>93</sup>Nb-NMR longitudinal relaxation rate  $1/T_1$  were observed at various magnetic fields up to 19 T. <sup>93</sup>Nb  $1/T_1$  was suppressed slightly at high magnetic fields above 10 T. However, the temperature dependences of  $1/T_1$  at various magnetic fields follow a power law of  $T^{2/3}$  below 100 K. This result indicates that the low energy excitation of the non-magnetic  $\Gamma_3$  ground state is different from the Fermi liquid state.

H. Tou<sup>1</sup>, T. Kubo<sup>1</sup>, H. Kotegawa<sup>1</sup>, Y. Ihara<sup>2</sup>, T. Goto<sup>3</sup>, and T. Sasaki<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Dept. of Phys., Kobe University, <sup>2</sup>Dept. of Phys., Hokkaido University,

<sup>3</sup>Phys. Div., Sophia University, <sup>4</sup>IMR, Tohoku University

結晶場基底状態は  $\Gamma_3$  非磁性二重項状態をとる Pr 化合物 PrNb<sub>2</sub>Al<sub>20</sub> は低温で非フェルミ流体的振る舞いを示す。首都大学東京の東中隆二助教等により作成された多結晶試料について <sup>93</sup>Nb-NMR 実験を行った。10 テスラの磁場下では典型的な Nb-NMR 粉末パターンが観測された。19 テスラまでの磁場下での NMR 緩和率  $1/T_1$  を測定した。10 テスラ以上の磁場で  $1/T_1$  緩和率は僅かに抑制されるが、温度依存性は磁場に依らず  $T^{2/3}$  に従う。この結果は結晶場  $\Gamma_3$  非磁性基底状態をとる系の低エネルギー励起が典型的なフェルミ流体描像では説明できないことを示唆する。

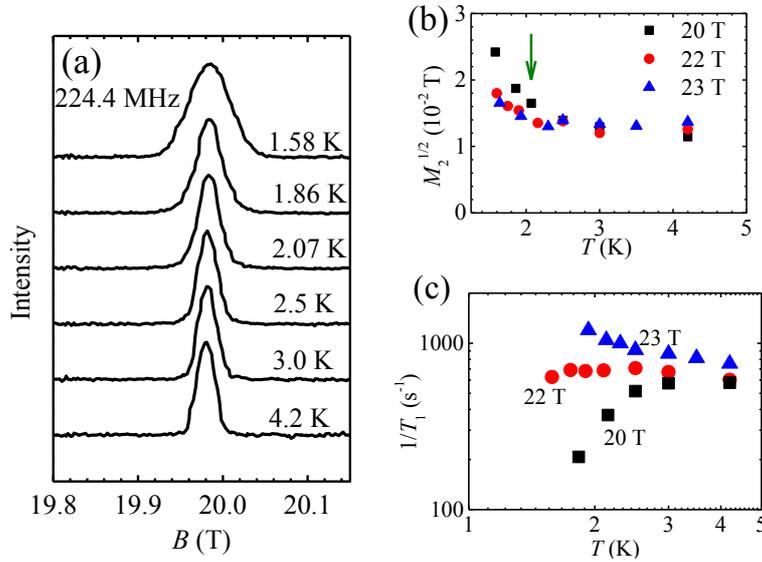
藤 秀樹<sup>1</sup>, 久保徹郎<sup>1</sup>, 小手川恒<sup>1</sup>, 井原慶彦<sup>2</sup>, 後藤貴行<sup>3</sup>, 佐々木孝彦<sup>4</sup>

<sup>1</sup>神戸大学院理学研究科, <sup>2</sup>北海道大学・大学院理学研究科,

<sup>3</sup>上智大学大学院理工学研究科, <sup>4</sup>東北大学金属材料研究所

# High Field NMR Study of the Frustrated Magnet Volborthite

## フラストレート磁性体ボルボサイトの強磁場 NMR



The frustrated magnet volborthite  $[\text{Cu}_3\text{V}_2\text{O}_7(\text{OH})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}]$  exhibits a novel magnetic phase at 23-26 T, which may be regarded as a spin nematic phase. In this study, we have performed high field NMR measurements of volborthite in the magnetic field range of 20-24 T by using the hybrid magnet. As shown in Fig. (a), the line width of the field-swept NMR spectra increases with decreasing temperature, indicating a magnetic transition near 2 K at 20-23 T (Fig. b). The nuclear spin-lattice relaxation rate  $1/T_1$  at 20 T, where a spin-density-wave order is realized, decreases with decreasing temperature, whereas  $1/T_1$  at 23 T increases (Fig. c). These results indicate that inhomogeneous magnetic moments appear below 2 K at 23 T.

M. Yoshida<sup>1</sup>, K. Matsui<sup>2</sup>, T. Goto<sup>2</sup>, S. Kimura<sup>3</sup>, T. Sasaki<sup>3</sup>

<sup>1</sup> ISSP, University of Tokyo, <sup>2</sup> Dept. of Phys., Sophia University,

<sup>3</sup> IMR, Tohoku University

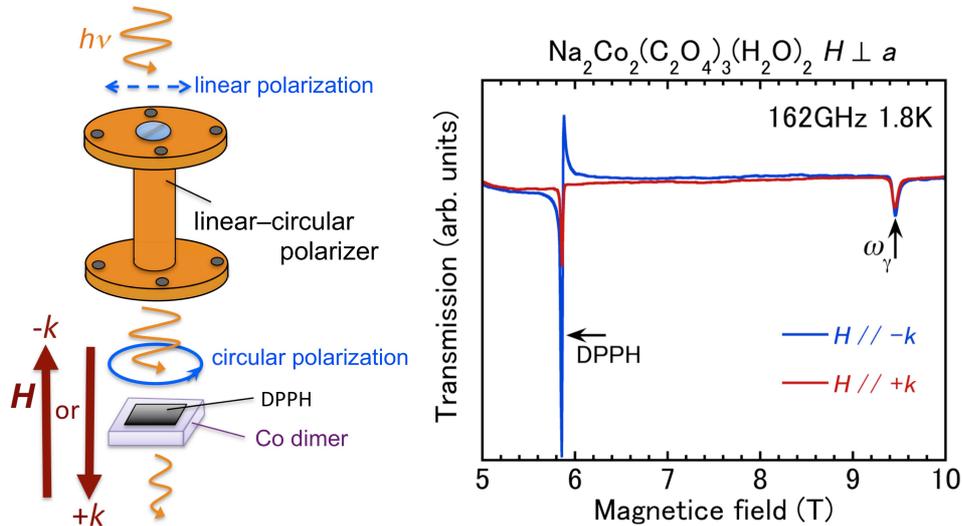
フラストレート磁性体ボルボサイト  $\text{Cu}_3\text{V}_2\text{O}_7(\text{OH})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  は 23-26 テスラの磁場領域で奇妙な磁気相を示し、それがスピンネマティック相である可能性が指摘されている。我々はハイブリッドマグネットで 20-24 T の領域を NMR 測定で調べた。図 a に示す磁場スイープ NMR スペクトルの温度依存性から、わずかな線幅の広がり観測され、転移温度が 2 K 程度であることが分かった(図 b)。核磁気緩和率  $1/T_1$  を調べると、スピン密度波秩序が起こる 20 T では温度の低下とともに  $1/T_1$  が小さくなるが、23 T では増大する振る舞いが観測された(図 c)。これらの結果は、23 T の低温領域において不均一な内部磁場の発生を示唆する。

吉田誠<sup>1</sup>, 松井一樹<sup>2</sup>, 後藤貴行<sup>2</sup>, 木村尚次郎<sup>3</sup>, 佐々木孝彦<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 東京大学物性研究所, <sup>2</sup> 上智大学理工学部, <sup>3</sup> 東北大学金属材料研究所

# High Field ESR Measurements of the Isolated Dimer System in Circularly Polarized Light

孤立ダイマー系  $\text{Na}_2\text{Co}_2(\text{C}_2\text{O}_4)_3(\text{H}_2\text{O})_2$  の円偏光 ESR



We have studied the selection rule of the ESR signal of the isolated antiferromagnetic dimer system  $\text{Na}_2\text{Co}_2(\text{C}_2\text{O}_4)_3(\text{H}_2\text{O})_2$  in high magnetic fields. For usual magnetic dipole transition, the magnetic resonance signal in illuminating circularly polarized light is abruptly changed by reverse of the direction of the external field, because the spin system couples with either left or right handed circularly polarized light. However, the observed change in the ESR signal  $\omega_\gamma$ , which corresponds to the direct transition between the spin singlet and triplet states in  $\text{Na}_2\text{Co}_2(\text{C}_2\text{O}_4)_3(\text{H}_2\text{O})_2$ , is very little. From this curious result, we consider that the direct transition is caused by the electric dipole transition. We propose that the spin current mechanism, which gives rise to a spin-driven ferroelectricity in multiferroic materials, is responsible to induce a finite probability for the electric dipole active transition.

S. Kimura<sup>1</sup>, K. Watanabe<sup>1</sup>, Z. Honda<sup>2</sup>

<sup>1</sup> IMR, Tohoku University, <sup>2</sup> Graduate School of Science and Engineering, Saitama University

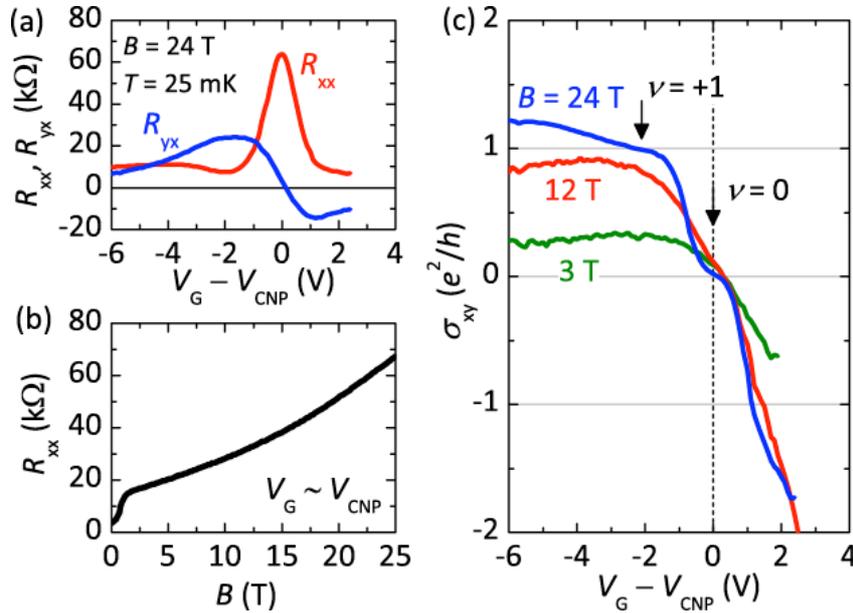
円偏光を用いた ESR 測定から、孤立ダイマー系  $\text{Na}_2\text{Co}_2(\text{C}_2\text{O}_4)_3(\text{H}_2\text{O})_2$  のスピンシングレットからトリプレット状態への直接遷移が奇妙な選択則を示すことを明らかにした。通常の磁気双極子遷移による ESR 信号強度は、円偏光下で磁場反転により大きく変化するのに対し、直接遷移からの信号  $\omega_\gamma$  の強度はほとんど変化していない。この直接遷移は、電磁波の振動電場によって励起されている可能性があると考えている。マルチフェロイック物質の磁気強誘電を引き起こすスピncurrent機構が働くと、振動電場による直接遷移は可能である。

木村尚次郎<sup>1</sup>, 渡辺和雄<sup>1</sup>, 本多善太郎<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 東北大学金属材料研究所, <sup>2</sup> 埼玉大学大学院理工学研究科

# Magnetotransport Properties of Topological Insulator (Bi,Sb)<sub>2</sub>Te<sub>3</sub> Thin Film Field-Effect Transistor under a High Magnetic Field

## トポロジカル絶縁体(Bi,Sb)<sub>2</sub>Te<sub>3</sub> 薄膜における強磁場量子輸送測定



The  $\nu = 0$  quantum Hall state (QHS) observed in a topological insulator (Bi,Sb)<sub>2</sub>Te<sub>3</sub> was attributed to a pseudo-spin Hall insulator as a result of resolved degeneracy of top and bottom surface states. In this study, we elucidate two important features in magnetotransport measurements under up to  $B = 26$  T and  $T = 25$  mK that (a) the broad peak of the sheet resistance  $R_{xx}$  as a function of gate voltage  $V_G$  around charge neutral point (CNP) and (b) a large positive magnetoresistance as a function of magnetic field when  $V_G$  is close to  $V_{CNP}$ .

J. Shiogai<sup>1</sup>, A. Tsukazaki<sup>1</sup>, R. Yoshimi<sup>2</sup>, M. Kawasaki<sup>2,3</sup>, Y. Tokura<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup> IMR, Tohoku University,

<sup>2</sup> Department of Applied Physics and Quantum-Phase Electronics Center (QPEC)

<sup>3</sup> RIKEN Center for Emergent Matter Science (CEMS)

トポロジカル絶縁体(Bi,Sb)<sub>2</sub>Te<sub>3</sub> において観測される  $\nu = 0$  の量子ホール状態は上下の表面状態の縮退が解けることで生じる擬スピホール状態が実現していると考えられる。我々は、(Bi,Sb)<sub>2</sub>Te<sub>3</sub> 薄膜電界効果トランジスタにおいて、ハイブリッドマグネットを使用した  $B = 26$  T,  $T = 25$  mK 環境下での磁気抵抗効果及びホール効果測定を行った。その結果、 $\nu = 0$  の量子ホール状態が現れる試料では、電荷中性点近傍において、(a) 縦抵抗  $R_{xx}$  のゲート電圧  $V_G$  依存性の半値幅が広く、(b) 発散的な正の磁気抵抗効果を示すという特徴を明らかにした。

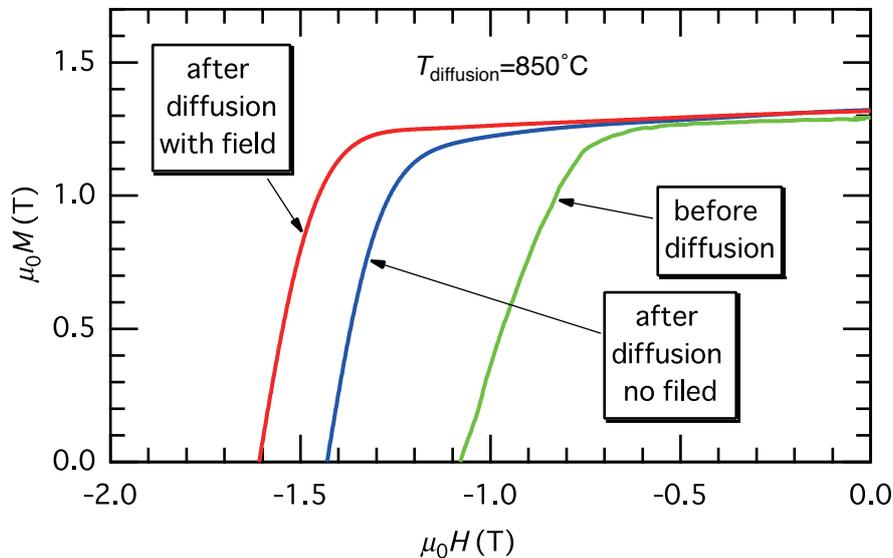
塩貝純一<sup>1</sup>, 塚崎 敦<sup>1</sup>, 吉見龍太郎<sup>2</sup>, 川崎雅司<sup>2,3</sup>, 十倉好紀<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup> 東北大学金属材料研究所, <sup>2</sup> 東京大学大学院工学系研究科,

<sup>3</sup> 理化学研究所創発物性科学研究センター

## Magnetic Properties of Nd-Fe-B Sintered Magnets Annealed in Strong Gradient Magnetic Fields

### ネオジム系焼結磁石の強勾配磁場中熱処理と磁気性



Grain-boundary diffusion processing (GBDP) of Dy source from the surface of sintered Nd-Fe-B magnets is paid much attention as a promising method to save the usage of an important rare metal, Dy. However, it is difficult to apply GBDP to large-sized bulk magnets since the diffusion depth is limited to as much as 5 mm. On the other hand, we noticed that the paramagnetic susceptibility of  $\text{Dy}^{3+}$  is about an order of magnitude larger than that of  $\text{Nd}^{3+}$ , located in the grain boundary "Nd-rich" phase. We therefore investigated the effect of strong gradient magnetic fields on the GBDP in sintered Nd-Fe-B magnets. Shown in the figure are the demagnetization curves of sintered Nd-Fe-B magnets for which sputter-deposited Dy was diffusion processed at  $T_{\text{diffusion}}=850^\circ\text{C}$  under the strong gradient magnetic fields of 18T-CSM. Coercivity of the magnetic GBDP sample is apparently larger than that of the reference sample, suggesting that a magnetic-force-assisted diffusion of Dy is working.

H. Kato<sup>1</sup>, Y. Mizuno<sup>1</sup>, K. Koike<sup>1</sup>, K. Takahashi<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Graduate School of Science and Engineering, Yamagata University

<sup>2</sup> Institute for Materials Research, Tohoku University

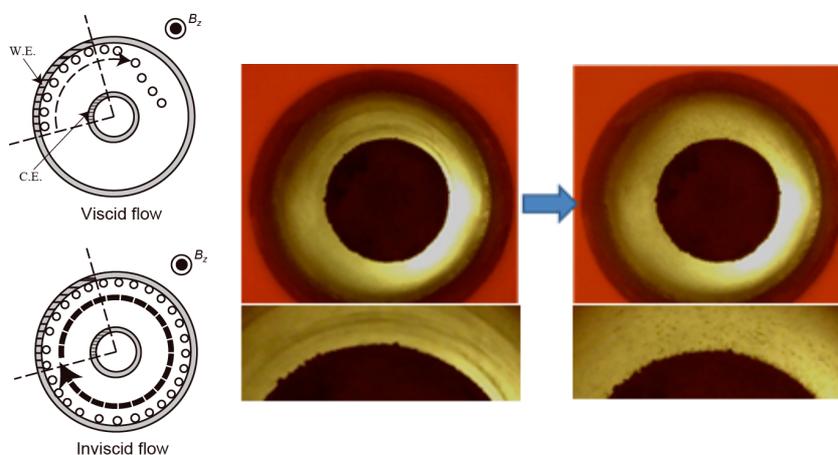
拡散深さの限界が課題となっているネオジム焼結磁石のDy粒界拡散法を克服するため、強勾配磁場中でDyの粒界拡散を検討した。その結果、上図のように有意な保磁力向上効果を観測することができた。

加藤 宏朗<sup>1</sup>, 水野善幸<sup>1</sup>, 小池邦博<sup>1</sup>, 高橋 弘紀<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 山形大学大学院理工学研究科, <sup>2</sup> 東北大学金属材料研究所

## Ionic Vacancy Formed in Electrochemical Reactions under High Magnetic Fields

高磁場下における電気化学反応により生成するイオン空孔



Under high magnetic fields, the lifetime of ionic vacancy as well as the nanobubble formation in electrode reaction was measured. Ionic vacancy is a negatively or positively charged free vacuum space of the order of 0.1 nm, produced in liquid solution. However, it has been believed that the vacancy would be quite unstable. Using a concentric electrode system under a vertical magnetic field (cyclotron magnetohydrodynamic electrode, CMHDE), in ferricyanide/ferricyanide redox-reaction, copper cathodic deposition and copper anodic dissolution, we have actually measured the lifetime. As a result, it was clarified that the lifetime is distributed from 1 ms to 1 s, corresponding to the intrinsic lifetime and the nanobubble formation time, respectively. Then, with the same type of electrode system, the microbubble globules evolved from the collision of nanobubbles were successfully observed.

Y. Oshikiri<sup>1</sup>, A. Sugaiyama<sup>2</sup>, M. Miura<sup>3</sup>, R. Aogaki<sup>4</sup>, I. Mogi<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Yamagata College of Industry and Technology, <sup>2</sup> Waseda University, <sup>3</sup> Hokkaido Polytechnic College, <sup>4</sup> Polytechnic University, <sup>5</sup> IMR, Tohoku University

Reference: Y. Oshikiri, R. Aogaki, M. Miura, A. Sugiyama, R. Morimoto, M. Miura, I. Mogi, and Y. Yamauchi, "Microbubble Formation from Ionic Vacancies in Copper Anodic Dissolution under a High Magnetic Field", *Electrochemistry*, 83 (2015) 549.

溶液中における電極反応とともに生成するイオン空孔は、直径 0.1nm 程度の帯電した真空部分の周りを反対符号の電荷が取り囲んだ構造をもっており、室温で1秒ほどの寿命を持つ。このイオン空孔同士は高磁場中で MHD 流れにより衝突し(左図)、ナノバブルを経てマイクロバブルを生成する。フェリシアン/フェロシアン Redox 反応系、銅の電析及び銅の溶解反応においてイオン空孔由来のマイクロバブルの可視化に成功した(右図)。

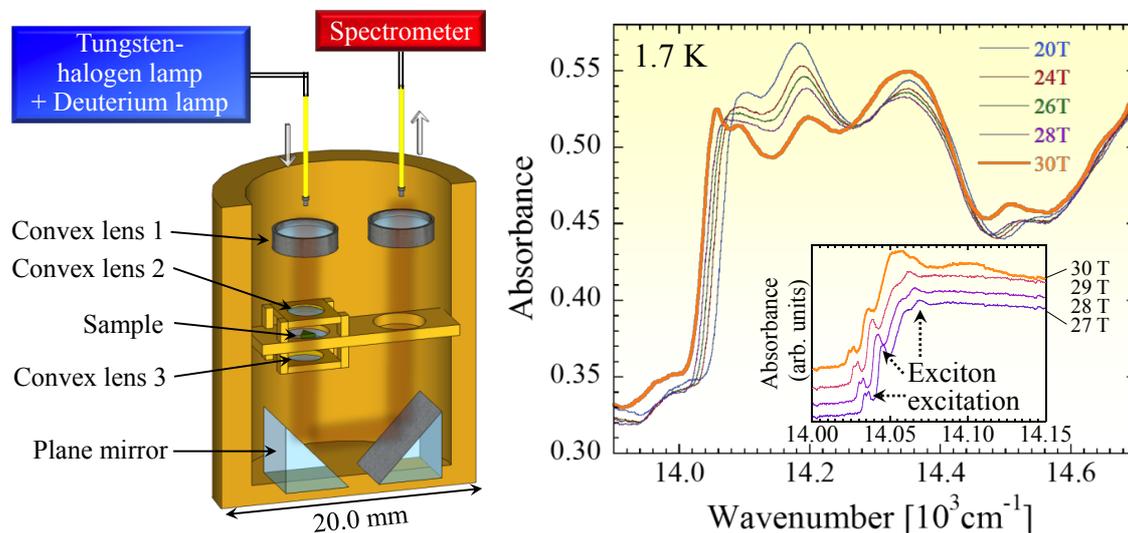
押切 剛伸<sup>1</sup>, 杉山 敦史<sup>2</sup>, 三浦 誠<sup>3</sup>, 青柿 良一<sup>4</sup>, 茂木 巖<sup>5</sup>

<sup>1</sup> 山形県立産業技術短期大学校, <sup>2</sup> 早稲田大学, <sup>3</sup> 北海道職業能力開発大学校,

<sup>4</sup> 職業能力開発総合大学校, <sup>5</sup> 東北大学金属材料研究所

# High-Field Optical Spectroscopy of the Chromium Spinel $\text{CdCr}_2\text{O}_4$ Using 30 T Hybrid Magnet

## 30 T ハイブリッドマグネットを用いたクロムスピネル 酸化物 $\text{CdCr}_2\text{O}_4$ の強磁場分光測定



The chromium spinel oxide  $\text{CdCr}_2\text{O}_4$  is a typical example of a three-dimensional geometrically frustrated magneto. By applying a magnetic field at low temperature, it undergoes magnetic phase transition to the 1/2 magnetization plateau phase at around 28 T. In this work, we performed high-field optical spectroscopy measurements by using the high-field optical spectroscopy system for 30 T hybrid magnet. We observed the large change of the absorption spectrum at 30 T. It is probably attributed to the change of an exciton and a magnon dispersion in the 1/2 magnetization plateau phase.

Y. Sawada<sup>1</sup>, S. Kimura<sup>1</sup>, K. Watanabe<sup>1</sup> and H. Ueda<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Institute for Materials Research, Tohoku University

<sup>2</sup> Department of Science, Kyoto University

クロムスピネル酸化物  $\text{CdCr}_2\text{O}_4$  は 3 次元的な幾何学的フラストレート磁性体である。この物質は、反強磁性秩序相において磁場を印加することで、28 T 付近において 1/2 磁化プラトー相へ転移を示す。今回、30 T ハイブリッドマグネットで使用可能な強磁場分光装置を用いて、可視領域における強磁場分光実験を行った結果、30 T の磁場において吸収スペクトルが大きく変化する振る舞いが観測された。これは、1/2 磁化プラトー相転移に伴う磁気構造の変化によって、エキシトンおよびマグノンの分散が変化したことに起因する振る舞いであると考えられる。

澤田 祐也<sup>1</sup>, 木村 尚次郎<sup>1</sup>, 渡辺 和雄<sup>1</sup>, 植田 浩明<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 東北大学金属材料研究所, <sup>2</sup> 京都大学大学院理学研究科