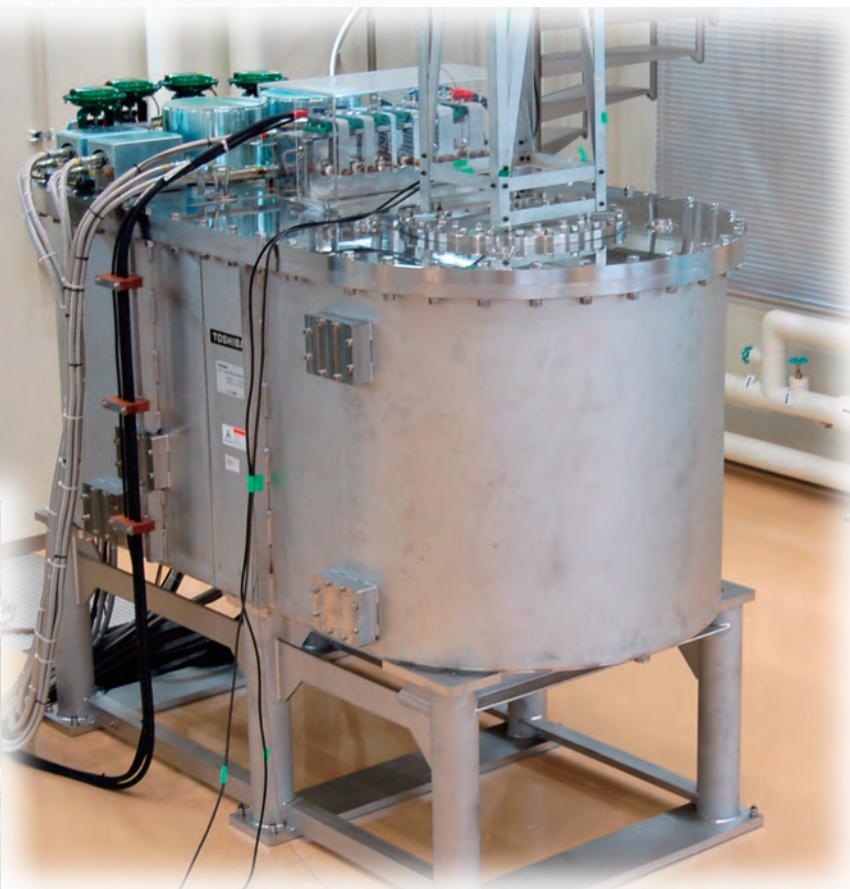


# Selected Topics in 2022 Research Highlight at HFLSM



28T-CHM



25T-CSM



High Field Laboratory for Superconducting Materials,  
Institute for Materials Research, Tohoku University

**< FRONT COVER EXPOSITION >**

**Cryogen-Free 28 T Hybrid Magnet and  
25 T Cryogen-Free Superconducting Magnet**

The world's first 28 T cryogen-free hybrid magnet developed by the HFLSM. The inner double Bitter type water-cooled resistive magnet generates 19.0 T in a room temperature experimental bore of 32 mm with the electric power of 7.2 MW. The outer cryogen-free superconducting magnet generates 9.0 T in a 360 mm room temperature bore. The cryogen-free superconducting magnet generates 25.1 T in 52 mm room temperature bore by the combination of metallic and high- $T_c$  superconductors.

## ◇◆◇ Preface ◇◆◇

This booklet reports the highlights of researches and the new improvements during FY2022 conducted at HFLSM: High Field Laboratory for Superconducting Materials at Sendai. HFLSM has been developed numbers of new magnet technologies including cryogen-free hybrid magnet and cryogen-free superconducting magnets beyond 20 T. The unique 25 T cryogen-free superconducting magnet (25T-CSM) has been operational for user program and has attracted many users. Although an operation of the 25T-CSM is suspended due to a cold leak of the He circulation line in the cryostat, it will be back in operation in March 2024. The 33T-CSM project is now on-going. This project is one of the main objectives in the Japan High Magnetic Field Collaboratory started operation in April 2020.

Since 2019, IMR has been recognized as the new international user program named Global Institute for Materials Science Tohoku (GIMRT). It will enhance the diverse and strong collaboration in a global framework. After the pandemic of Covid-19 was settled down in the beginning of 2022, many oversea users performed the onsite experiments under the GIMRT gradually. 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.

1 December 2023

Satoshi Awaji

Director of HFLSM



## Selected Topics in 2022 – Research Highlight at HFLSM

Superconducting Phase Diagram for a Spin Triplet Superconductor Candidate $UTe_2$ along the Hard Magnetic Axis .....	1
H. Sakai <sup>1</sup> , Y. Tokiwa <sup>1</sup> , P. Opletal <sup>1</sup> , M. Kimata <sup>2</sup> , S. Awaji <sup>2</sup> , T. Sasaki <sup>2</sup> , D. Aoki <sup>2</sup> , S. Kambe <sup>1</sup> , Y. Tokunaga <sup>1</sup> and Y. Haga <sup>1</sup>	
<sup>1</sup> ASRC, Japan Atomic Energy Agency	
<sup>2</sup> IMR, Tohoku Univ.	
Excellent Critical Current Density Performance with Thermodynamic Approach in High Temperature Superconducting Tapes .....	2
M. Miura <sup>1,2,3</sup> , G. Tsuchiy <sup>1</sup> , T. Harada <sup>1</sup> , K. Sakuma <sup>1</sup> , H. Kurokawa <sup>4</sup> , N. Sekiya <sup>5</sup> , Y. Kato <sup>6</sup> , R. Yoshida <sup>7</sup> , T. Kato <sup>7</sup> , K. Nakaoka <sup>8</sup> , T. Izumi <sup>8</sup> , F. Nabeshima <sup>4</sup> , A. Maeda <sup>4</sup> , T. Okada <sup>9</sup> , S. Awaji <sup>9</sup> , L. Civale <sup>2</sup> and B. Maiorov <sup>2</sup>	
<sup>1</sup> Grad. school of Sci. and Tech, Seikei Univ.	
<sup>2</sup> MPA, Los Alamos National Lab.	
<sup>3</sup> JST-FOREST	
<sup>4</sup> Dept. of Basic Sci., The Univ. of Tokyo	
<sup>5</sup> Dept. of Elec. Eng., Univ. of Yamanashi	
<sup>6</sup> Dept. of Appl. Phys., The Univ. of Tokyo	
<sup>7</sup> NRL, JFCC	
<sup>8</sup> AIST	
<sup>9</sup> IMR, Tohoku Univ.	
Surface Anisotropic Magnetoresistance in Antiferromagnetic Semiconductor $CrSb_2$ .....	3
K. Nakagawa <sup>1</sup> , M. Kimata <sup>2</sup> , T. Yokouchi <sup>1</sup> and Y. Shiomi <sup>1</sup>	
<sup>1</sup> Dept. of Basic Sci., The Univ. of Tokyo	
<sup>2</sup> IMR, Tohoku Univ.	
Spin Hall Magnetoresistive Detection of the Easy-Plane Magnetic Order in van der Waals Antiferromagnet $NiPS_3$ .....	4
K. Sugi <sup>1</sup> , T. Ishikawa <sup>2</sup> , M. Kimata <sup>3</sup> , Y. Shiota <sup>1</sup> , T. Ono <sup>1</sup> , T. Kato <sup>2</sup> and T. Moriyama <sup>4,5</sup>	
<sup>1</sup> ICR, Kyoto Univ.	
<sup>2</sup> ISSP, The Univ. of Tokyo	
<sup>3</sup> IMR, Tohoku Univ.	
<sup>4</sup> Dept. of Mater. Sci., Nagoya Univ.	
<sup>5</sup> JST-PRESTO	

Weak Ferromagnets Developed in Chiral Organic-Inorganic Hybrid Systems .....	5
K. Taniguchi <sup>1</sup> , P. J. Huang <sup>1</sup> , S. Kimura <sup>2</sup> and H. Miyasaka <sup>2</sup>	
<sup>1</sup> Dept. of Chem. Sci., Tokyo Tech	
<sup>2</sup> IMR, Tohoku Univ.	
Effect of the Spherical Pins in the Flux Pinning Properties of 7-Filament Cu/Ag-Ba <sub>1-x</sub> K <sub>x</sub> Fe <sub>2</sub> As <sub>2</sub> Tapes at 4.2 K .....	6
J. Y. Luo <sup>1</sup> , T. Okada <sup>1</sup> , S. Awaji <sup>1</sup> , C. Liu <sup>2</sup> and Y. W. Ma <sup>2</sup>	
<sup>1</sup> IMR, Tohoku Univ.	
<sup>2</sup> Institute of Elec. Eng., Chinese Acad. Scis.	
Chiral Symmetry Breaking in Magneto-electrodeposition .....	7
I. Mogi <sup>1</sup> , R. Morimoto <sup>2</sup> , R. Aogaki <sup>3</sup> and K. Takahashi <sup>1</sup>	
<sup>1</sup> IMR, Tohoku Univ.	
<sup>2</sup> Saitama Industrial Technology Center	
<sup>3</sup> Polytechnic University	
Critical Current Measurements of HTS Tapes Using Pulsed Current in High Fields at Low Temperatures .....	8
Y. Tsuchiya <sup>1</sup> , I. Sakai <sup>2</sup> , K. Mizuno <sup>3</sup> , Y. Kohama <sup>4</sup> , Y. Yoshida <sup>2</sup> and S. Awaji <sup>1</sup>	
<sup>1</sup> IMR, Tohoku Univ.	
<sup>2</sup> Dept. of Elec. Eng., Nagoya Univ.	
<sup>3</sup> MTL Corp.	
<sup>4</sup> ISSP, Univ. Tokyo	
Performance Test of Large-Scale 20-Stacked REBCO Coil .....	9
S. Awaji <sup>1</sup> , K. Takahashi <sup>1</sup> , A. Badel <sup>1,2</sup> , A. Zampa <sup>1</sup> , T. Okada <sup>1</sup> , G. Nishijima <sup>3</sup> , T. Uto <sup>4</sup> , H. Takewa <sup>4</sup> , S. Hanai <sup>4</sup> , S. Ioka <sup>4</sup> and J. Inagaki <sup>4</sup>	
<sup>1</sup> IMR, Tohoku Univ.	
<sup>2</sup> G2Elab/Néel Institute	
<sup>3</sup> NIMS	
<sup>4</sup> Toshiba ESS	

## Selected Topics in 2022 – Research Highlight at HFLSM

- 磁化困難軸方向磁場に対するスピン三重項超伝導体候補物質  $\text{UTe}_2$  の超伝導相図 ----- 1  
酒井 宏典<sup>1</sup>, 常盤 欣文<sup>1</sup>, Petr Opletal<sup>1</sup>, 木俣 基<sup>2</sup>, 淡路 智<sup>2</sup>, 佐々木 孝彦<sup>2</sup>,  
青木 大<sup>2</sup>, 神戸 振作<sup>1</sup>, 徳永 陽<sup>1</sup>, 芳賀 芳範<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>原子力機構先端研, <sup>2</sup>東北大金研
- 熱力学アプローチにより飛躍的に向上した高温超伝導線材の臨界電流密度 ----- 2  
三浦 正志<sup>1,2,3</sup>, 土屋 豪<sup>1</sup>, 原田 工夢<sup>1</sup>, 作間 啓太<sup>1</sup>, 黒川 穂高<sup>4</sup>, 關谷 尚人<sup>5</sup>,  
加藤 康之<sup>6</sup>, 吉田 竜視<sup>7</sup>, 加藤 丈晴<sup>7</sup>, 鍋島 冬樹<sup>4</sup>, 前田 京剛<sup>4</sup>, 中岡 晃一<sup>8</sup>,  
和泉 輝郎<sup>8</sup>, 岡田 達典<sup>9</sup>, 淡路 智<sup>9</sup>, CIVALE Leonardo<sup>2</sup>, MAIOROV Boris<sup>2</sup>  
<sup>1</sup>成蹊大院理工, <sup>2</sup>ロスアラモス国研, <sup>3</sup>JST-FOREST, <sup>4</sup>東大総合文化, <sup>5</sup>山梨大,  
<sup>6</sup>東大工, JFCC, <sup>8</sup>産総研, <sup>9</sup>東北大金研
- 反強磁性半導体  $\text{CrSb}_2$  の表面状態における異方性磁気抵抗効果 ----- 3  
仲川 久礼亜<sup>1</sup>, 木俣 基<sup>2</sup>, 横内 智行<sup>1</sup>, 塩見 雄毅<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>東大総合文化, <sup>2</sup>東北大金研
- スピンホール磁気抵抗効果による二次元反強磁性体  $\text{NiPS}_3$  磁化過程の検出 ----- 4  
杉 幸樹<sup>1</sup>, 石川 卓門<sup>2</sup>, 木俣 基<sup>3</sup>, 塩田 陽一<sup>1</sup>, 小野 輝男<sup>1</sup>, 加藤 岳生<sup>2</sup>, 森山 貴広<sup>4,5</sup>  
<sup>1</sup>京大化研, <sup>2</sup>東大物性研, <sup>3</sup>東北大金研, <sup>4</sup>名大工, <sup>5</sup>JST-さきがけ
- キラル有機-無機ハイブリッド系における弱強磁性 ----- 5  
谷口 耕治<sup>1</sup>, 黄 柏融<sup>1</sup>, 木村 尚次郎<sup>2</sup>, 宮坂 等<sup>2</sup>  
<sup>1</sup>東工大理化, <sup>2</sup>東北大金研
- 4.2 K における 7 芯  $\text{Cu/Ag-Ba}_{1-x}\text{K}_x\text{Fe}_2\text{As}_2$  線材の球状ピンによる磁束ピンニング特性 ----- 6  
羅 珺怡<sup>1</sup>, 岡田 達典<sup>1</sup>, 淡路 智<sup>1</sup>, 劉 聡<sup>2</sup>, 馬 衍偉<sup>2</sup>  
<sup>1</sup>東北大金研, <sup>2</sup>中国科学院電工研

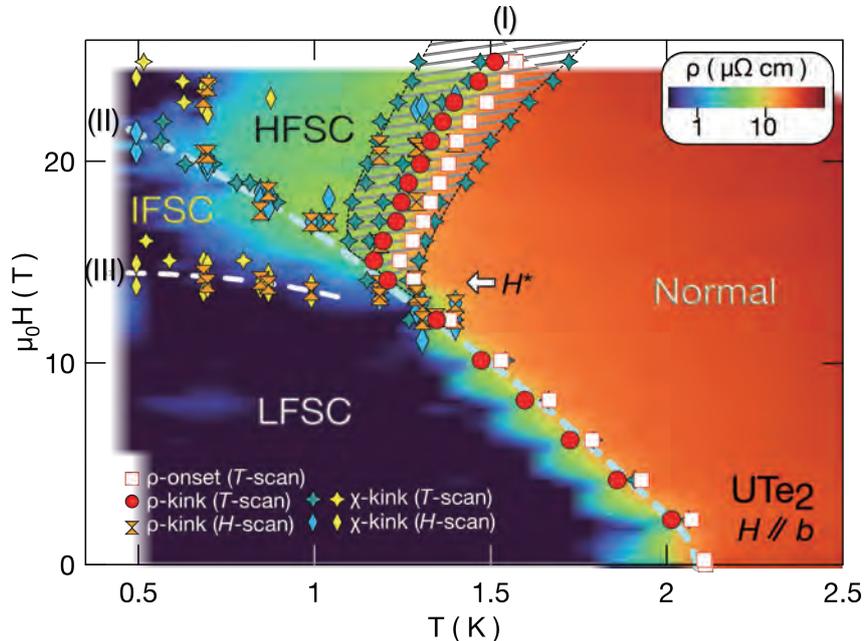
磁気電析におけるキララ対称性の破れ -----	7
茂木 巖 <sup>1</sup> , 森本 良一 <sup>2</sup> , 青柿 良一 <sup>3</sup> , 高橋 弘紀 <sup>1</sup>	
<sup>1</sup> 東北大金研, <sup>2</sup> 埼玉県産業技術総合センター, <sup>3</sup> 職業能力開発大学校	
パルス電流を用いた高温超伝導線材の低温強磁場中臨界電流測定 -----	8
土屋 雄司 <sup>1</sup> , 坂井 巖 <sup>2</sup> , 水野 謙一郎 <sup>3</sup> , 小濱 芳允 <sup>4</sup> , 吉田 隆 <sup>2</sup> , 淡路 智 <sup>1</sup>	
<sup>1</sup> 東北大金研, <sup>2</sup> 名大工, <sup>3</sup> MTL, <sup>4</sup> 東大物性研	
実規模 20 積層 REBCO コイルの性能評価 -----	9
淡路 智 <sup>1</sup> , 高橋 弘紀 <sup>1</sup> , バデル アーノー <sup>1,2</sup> , ザンパ アレックス <sup>1</sup> , 岡田 達典 <sup>1</sup> , 西島 元 <sup>3</sup> , 宇都 達郎 <sup>4</sup> , 武輪 裕之 <sup>4</sup> , 花井 哲 <sup>4</sup> , 井岡 茂 <sup>4</sup> , 稲垣 淳二 <sup>4</sup>	
<sup>1</sup> 東北大金研, <sup>2</sup> G2Elab/Néel Institute, <sup>3</sup> 物材機構, <sup>4</sup> 東芝エネルギーシステムズ	

# Superconducting Phase Diagram for a Spin Triplet Superconductor

## Candidate $UTe_2$ along the Hard Magnetic Axis

磁化困難軸方向磁場に対する

スピン三重項超伝導体候補物質  $UTe_2$  の超伝導相図



We have determined the magnetic field-temperature phase diagram of  $UTe_2$ , a candidate spin triplet superconductor, when a magnetic field is applied precisely in the direction of the hard-magnetic axis using a high-quality single crystal of  $UTe_2$ . A new phase line (labeled (II) in the figure), which has not been found before, was observed, suggesting the existence of a new intermediate-field superconducting (IFSC) phase between the low-field superconducting (LFSC) and high-field superconducting (HFSC) phases.

H. Sakai<sup>1</sup>, Y. Tokiwa<sup>1</sup>, P. Opletal<sup>1</sup>, M. Kimata<sup>2</sup>, S. Awaji<sup>2</sup>, T. Sasaki<sup>2</sup>, D. Aoki<sup>2</sup>,  
S. Kambe<sup>1</sup>, Y. Tokunaga<sup>1</sup>, Y. Haga<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ASRC, Japan Atomic Energy Agency, <sup>2</sup> IMR, Tohoku Univ.

Reference: H. Sakai *et al.*, “Field Induced Multiple Superconducting Phases in  $UTe_2$  along Hard Magnetic Axis”, *Appl. Phys. Lett.* **90** (2008) 122501.

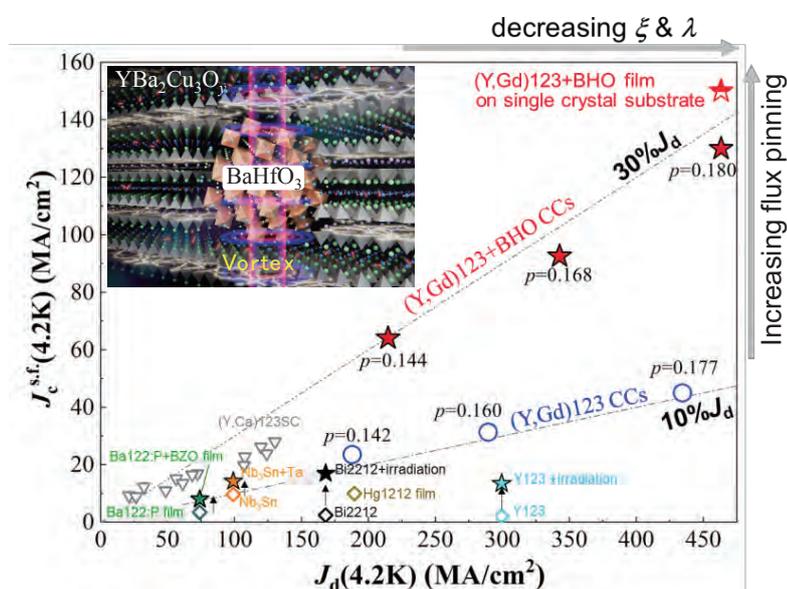
スピン三重項超伝導体候補物質である  $UTe_2$  の純良単結晶を用いて、磁化困難軸方向に正確に磁場をかけた時の磁場-温度相図を決定した。今まで見出されていなかった新しい(図中ラベル(II)で示した)相線を観測し、新しく低磁場超伝導相(LFSC)と強磁場超伝導相(HFSC)との間に中間磁場超伝導相(IFSC)相があることが示唆された。

酒井 宏典<sup>1</sup>, 常盤 欣文<sup>1</sup>, Petr Opletal<sup>1</sup>, 木俣 基<sup>2</sup>, 淡路 智<sup>2</sup>, 佐々木 孝彦<sup>2</sup>, 青木 大<sup>2</sup>,  
神戸 振作<sup>1</sup>, 徳永 陽<sup>1</sup>, 芳賀 芳範<sup>1</sup>

<sup>1</sup>原子力機構先端研,<sup>2</sup>東北大金研

# Excellent Critical Current Density Performance with Thermodynamic Approach in High Temperature Superconducting Tapes

熱力学アプローチにより飛躍的に向上した高温超伝導線材の臨界電流密度



Critical current density  $J_c \sim 130 \text{ MA/cm}^2$  and flux pinning force density  $F_p \sim 3.17 \text{ TN/m}^2$  for nanocomposite  $\text{REBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$  (RE: rare earth) films on metallic substrates (CCs) at 4.2 K were successfully achieved with a combination of the thermodynamic route with the size and incorporate large densities of incoherent nanoparticles. The  $J_c$  and  $F_p$  values obtained in our CC of overdoped  $\text{REBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$  are the highest reported to date for any superconductor.

M. Miura<sup>1,2,3</sup>, G. Tsuchiy<sup>1</sup>, T. Harada<sup>1</sup>, K. Sakuma<sup>1</sup>, H. Kurokawa<sup>4</sup>, N. Sekiya<sup>5</sup>, Y. Kato<sup>6</sup>, R. Yoshida<sup>7</sup>, T. Kato<sup>7</sup>, K. Nakaoka<sup>8</sup>, T. Izumi<sup>8</sup>, F. Nabeshima<sup>4</sup>, A. Maeda<sup>4</sup>, T. Okada<sup>9</sup>, S. Awaji<sup>9</sup>, L. Civale<sup>2</sup> and B. Maiorov<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Grad. school of Sci. and Tech, Seikei Univ., <sup>2</sup>MPA, Los Alamos National Lab., <sup>3</sup>JST-FOREST, <sup>4</sup>Dept. of Basic Sci., The Univ. of Tokyo, <sup>5</sup>Dept. of Elec. Eng., Univ. of Yamanashi, <sup>6</sup>Dept. of Appl. Phys., The Univ. of Tokyo, <sup>7</sup>NRL, JFCC, <sup>8</sup>AIST, <sup>9</sup>IMR, Tohoku Univ.

Reference: M. Miura, *et al.*, *NPG Asia Materials* 14, (2022) 85.

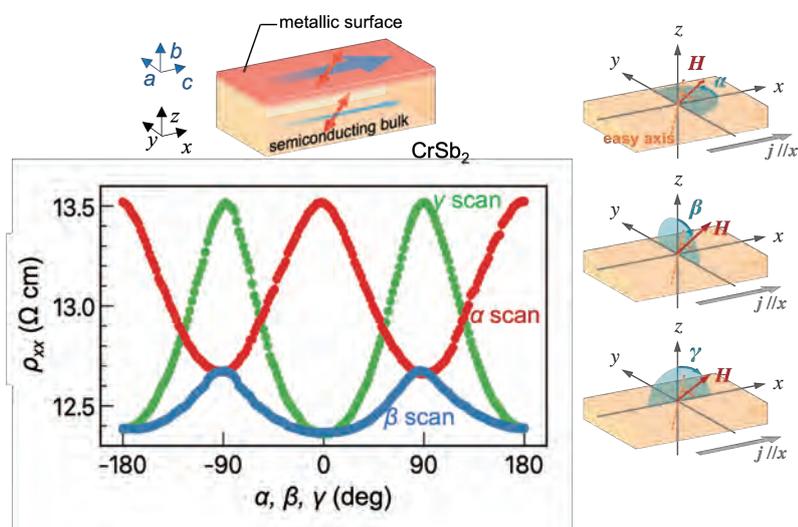
$\text{REBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ (RE123)超伝導線材の臨界電流密度  $J_c$  向上に向け、(i)コヒーレンス長と磁場侵入長の低減を高キャリア密度化により実現し、(ii)サイズ・密度制御した  $\text{BaHfO}_3$  ナノ粒子を磁束ピン止め点として導入した。これらを融合することで、RE123 +  $\text{BaHfO}_3$  線材は、世界最高の  $J_c=130 \text{ MA/cm}^2$ (4.2K)を達成した。また、18 Tまで世界最高  $J_c$ を維持することに成功した。

三浦正志<sup>1,2,3</sup>, 土屋 豪<sup>1</sup>, 原田工夢<sup>1</sup>, 作間啓太<sup>1</sup>, 黒川穂高<sup>4</sup>, 關谷尚人<sup>5</sup>, 加藤康之<sup>6</sup>, 吉田竜視<sup>7</sup>, 加藤丈晴<sup>7</sup>, 鍋島冬樹<sup>4</sup>, 前田京剛<sup>4</sup>, 中岡晃一<sup>8</sup>, 和泉輝郎<sup>8</sup>, 岡田達典<sup>9</sup>, 淡路 智<sup>9</sup>, CIVALE Leonardo<sup>2</sup>, MAIOROV Boris<sup>2</sup>

<sup>1</sup>成蹊大院理工, <sup>2</sup>ロスアラモス国研, <sup>3</sup>JST-FOREST, <sup>4</sup>東大総合文化, <sup>5</sup>山梨大, <sup>6</sup>東大工, <sup>7</sup>JFCC, <sup>8</sup>産総研, <sup>9</sup>東北大金研

# Surface Anisotropic Magnetoresistance in Antiferromagnetic Semiconductor CrSb<sub>2</sub>

## 反強磁性半導体 CrSb<sub>2</sub> の表面状態における異方性磁気抵抗効果



CrSb<sub>2</sub> is an antiferromagnetic narrow-gap semiconductor with a metallic surface state. While antiferromagnetic structure of the bulk state has been well established, the magnetic property of the surface state remains to be investigated. In the present work, we perform the low-temperature angle-dependent magnetoresistance (ADMR) measurement at high magnetic fields up to 24 T, to explore the novel magneto-transport properties due to the possible surface magnetization. At 1.4 K where the surface conduction is dominant, the ADMR exhibits a clear two-fold symmetry consistent with anisotropic magnetoresistance (AMR), indicating the presence of antiferromagnetic surface states. Remarkably, the magnitude of AMR reaches 9.3% despite the small angle dependence of the canted magnetic moments, suggesting strong spin-orbit interaction in the surface conduction layer.

K. Nakagawa<sup>1</sup>, M. Kimata<sup>2</sup>, T. Yokouchi<sup>1</sup> and Y. Shiomi<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Dept. of Basic Sci., The Univ. of Tokyo, <sup>2</sup> IMR, Tohoku Univ.

Reference: K. Nakagawa *et al.*, “Surface anisotropic magnetoresistance in the antiferromagnetic semiconductor CrSb<sub>2</sub>”, Phys. Rev. B **107** (2023) L180405.

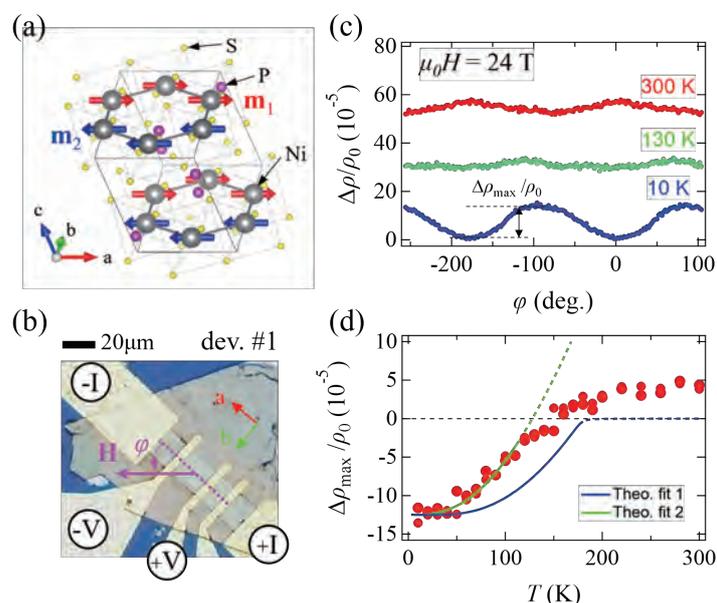
CrSb<sub>2</sub> は、金属表面状態を持つ反強磁性の狭ギャップ半導体である。反強磁性バルク状態に対して、表面状態の磁性は未だ明らかでない。本研究では、高磁場(最大 24 T)・低温での角度依存性磁気抵抗 (ADMR) 測定により、表面状態の磁気輸送特性を調べた。表面伝導が支配的な 1.4 K において、ADMR は明瞭な 2 回対称性を示し、これは表面状態が反強磁性を持つことに起因する異方性磁気抵抗 (AMR) だと考えられる。磁場下での磁気モーメントのわずかな変化にもかかわらず AMR の大きさは 9.3% に達し、このことは表面伝導層における強いスピン軌道相互作用を示唆している。

仲川 久礼亜<sup>1</sup>, 木俣 基<sup>2</sup>, 横内 智行<sup>1</sup>, 塩見 雄毅<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 東大総合文化, <sup>2</sup> 東北大金研

# Spin Hall Magnetoresistive Detection of the Easy-Plane Magnetic Order in van der Waals Antiferromagnet NiPS<sub>3</sub>

スピンホール磁気抵抗効果による二次元反強磁性体 NiPS<sub>3</sub> 磁化過程の検出



Magnetic van der Waals materials offer a new physical paradigm for studying 2-dimensional (2D) magnetic systems. Here, we report the spin Hall magnetoresistance (SMR) in the NiPS<sub>3</sub>/Pt system. The magnetic field and temperature dependence of the resistivity change unambiguously revealed the magnetic properties of NiPS<sub>3</sub>, such as the easy-plane anisotropy and the Neel temperature. As SMR is a manifestation of the magnetic moments interacting with the spin current that is an essential requirement in spintronics, our results open an avenue for 2D antiferromagnetic spintronics.

K. Sugi<sup>1</sup>, T. Ishikawa<sup>2</sup>, M. Kimata<sup>3</sup>, Y. Shiota<sup>1</sup>, T. Ono<sup>1</sup>, T. Kato<sup>2</sup>, T. Moriyama<sup>4,5</sup>

<sup>1</sup> ICR, Kyoto Univ., <sup>2</sup> ISSP, The Univ. of Tokyo, <sup>3</sup> IMR, Tohoku Univ., <sup>4</sup> Dept. of Mater. Sci., Nagoya Univ., <sup>5</sup> JST-PRESTO

Reference: K. Sugi *et al.*, “Spin Hall magnetoresistive detection of the easy-plane magnetic order in van der Waals antiferromagnet NiPS<sub>3</sub>”, *Phys. Rev. B* **108**, (2023) 064434.

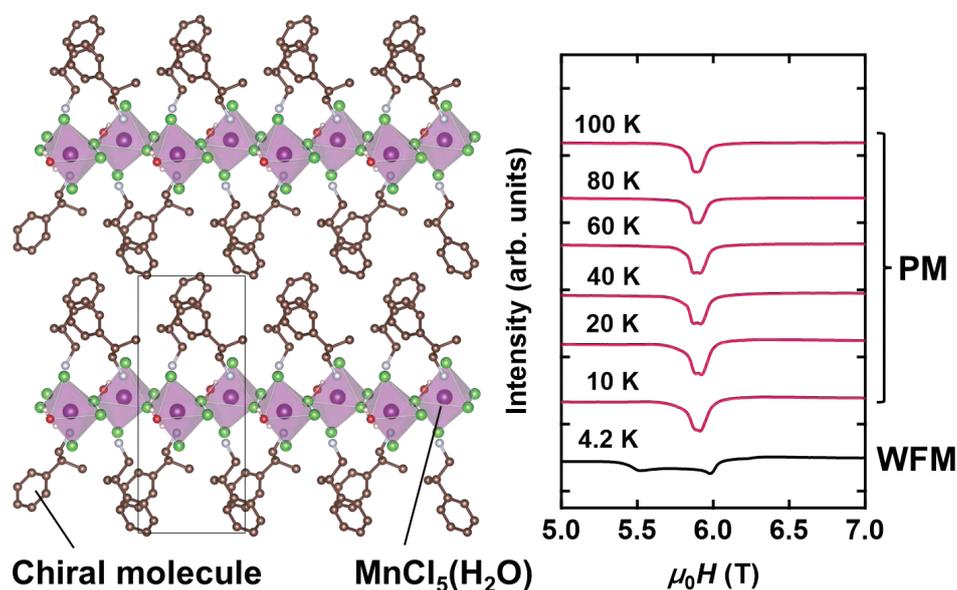
本研究では、ファンデルワールス二次元反強磁性体 NiPS<sub>3</sub>/Pt 多層膜におけるスピンホール磁気抵抗 (SMR) 効果を調査した。SMR の温度依存性や外部磁場依存性から NiPS<sub>3</sub> の磁気容易面や磁気相転移温度 (ネール温度) などの磁気特性を明らかにした。本成果で得られた比較的大きな SMR は NiPS<sub>3</sub> とスピン流の相互作用が有意に存在することを示唆しており、NiPS<sub>3</sub> がスピントロニクス材料として有用であることが明らかになった。

杉 幸樹<sup>1</sup>, 石川 卓門<sup>2</sup>, 木俣 基<sup>3</sup>, 塩田 陽一<sup>1</sup>, 小野 輝男<sup>1</sup>, 加藤 岳生<sup>2</sup>, 森山 貴広<sup>4,5</sup>

<sup>1</sup>京大化研, <sup>2</sup>東大物性研, <sup>3</sup>東北大金研, <sup>4</sup>名大工, <sup>5</sup>JST-さきがけ

# Weak Ferromagnets Developed in Chiral Organic-Inorganic Hybrid Systems

## キラル有機-無機ハイブリッド系における弱強磁性



Chiral weak ferromagnetic material has been developed in organic-inorganic hybrid one-dimensional manganese(II) chloride hydrate with organic cations of (*S*)-/(*R*)- $\beta$ -methylphenethylammonium (= (*S*)-/(*R*)-MPA<sup>+</sup>), [(*S*)/(*R*)-MPA]<sub>2</sub>[MnCl<sub>4</sub>(H<sub>2</sub>O)]. This is the first chiral weak ferromagnet found in pseudo-one-dimensional spin chain of deformed organic-inorganic hybrid perovskite derivatives with a corner-sharing structure of transition metal halide hydrates. The presence of the weak ferromagnetic (WFM) phase was confirmed by observing spontaneous magnetization and peak splitting of ESR signal for Mn<sup>2+</sup>. The weak ferromagnetic phase in the low temperature could be attributed to a spin canting antiferromagnetic state induced by Dzyaloshinskii–Moriya interaction owing to spatial inversion symmetry breaking expected in the chirality introduced systems.

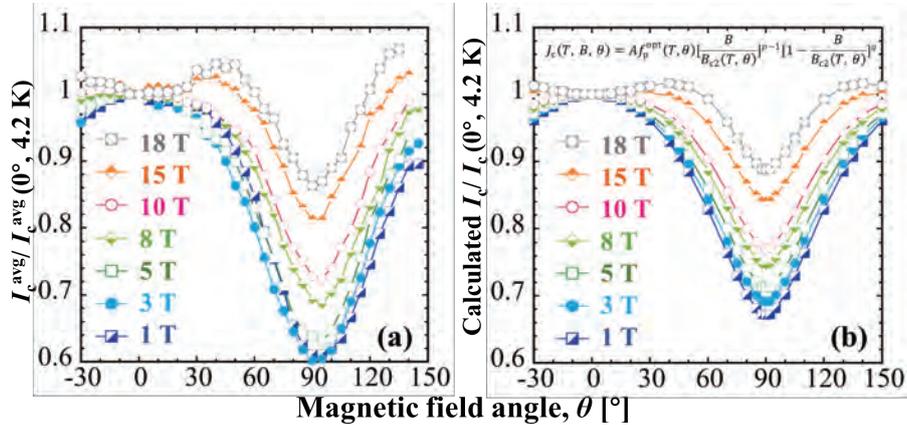
K. Taniguchi<sup>1</sup>, P. J. Huang<sup>1</sup>, S. Kimura<sup>2</sup>, H. Miyasaka<sup>2</sup>  
<sup>1</sup> Dept. of Chem. Sci., Tokyo Tech, <sup>2</sup> IMR, Tohoku Univ.

Reference: K. Taniguchi *et al.*, “Chiral weak ferromagnets formed in one-dimensional organic–inorganic hybrid manganese chloride hydrates”, Dalton Trans. **51** (2022) 17030.

キラルな有機・無機ハイブリッドマンガン塩化物水和物 ((*S*)/(*R*)-MPA)<sub>2</sub>[MnCl<sub>4</sub>(H<sub>2</sub>O)] を新規に開発した。この系では、低温で自発磁化の立ち上がりによる弱強磁性相の発現が示唆され、常磁性 (PM) 相から弱強磁性相へと移った際に、Mn<sup>2+</sup> に起因する ESR スペクトルのピーク分裂が観測された。本研究では、変形ペロブスカイト誘導体遷移金属ハロゲン化物水和物の擬一次元スピン鎖における初めてのキラルな弱強磁性体を見出した。観測された弱強磁性は、系の空間反転対称性の破れに起因する Dzyaloshinskii–Moriya 相互作用により誘起されたものと考えられる。

谷口 耕治<sup>1</sup>, 黄 柏融<sup>1</sup>, 木村 尚次郎<sup>2</sup>, 宮坂 等<sup>2</sup>  
<sup>1</sup> 東工大理化, <sup>2</sup> 東北大金研

**Effect of the Spherical Pins in the Flux Pinning Properties of  
7-Filament Cu/Ag-Ba<sub>1-x</sub>K<sub>x</sub>Fe<sub>2</sub>As<sub>2</sub> Tapes at 4.2 K**  
**4.2 K における 7 芯 Cu/Ag-Ba<sub>1-x</sub>K<sub>x</sub>Fe<sub>2</sub>As<sub>2</sub> 線材の球状ピンによる  
磁束ピンニング特性**



We investigated the magnetic field and angular dependences of critical current  $I_c(B, \theta)$  at 4.2 K in detail for 7-filament Ba<sub>1-x</sub>K<sub>x</sub>Fe<sub>2</sub>As<sub>2</sub> tapes with Cu & Ag composite sheaths. While hysteresis was observed in both  $I_c(B)$  and  $I_c(\theta)$ , the anomalous anisotropy of  $I_c(90^\circ)/I_c(0^\circ) < 1$  ( $90^\circ$ :  $B \parallel \text{tape}$ ,  $0^\circ$ :  $B \perp \text{tape}$ ) extremely attracted our attention and we analyzed the pinning mechanism behind it using the average  $I_c(\theta)$  in order to eliminate hysteresis. By considering the spherical pins with radius  $\sim 8$  nm, we used a model in the figure to calculate  $I_c(\theta)$ . As shown the figure above, (a) is the normalized average measured  $I_c(\theta)$  while (b) is the normalized calculated  $I_c(\theta)$ , and (a) is qualitatively reproduced by (b). It suggests that the effect of spherical pins on  $I_c(B, \theta)$  underlies the complicated hysteresis behavior.

J. Y. Luo<sup>1</sup>, T. Okada<sup>1</sup>, S. Awaji<sup>1</sup>, C. Liu<sup>2</sup>, Y. W. Ma<sup>2</sup>

<sup>1</sup> IMR, Tohoku Univ., <sup>2</sup> Institute of Elec. Eng., Chinese Acad. Scis.

Reference: J. Y. Luo *et al.*, “Flux Pinning Properties of 7-Filament Cu/Ag-sheathed Ba<sub>1-x</sub>K<sub>x</sub>Fe<sub>2</sub>As<sub>2</sub> Tapes at 4.2 K”, IEEE Trans. Appl. Supercond. **33** (2023) 8200405.

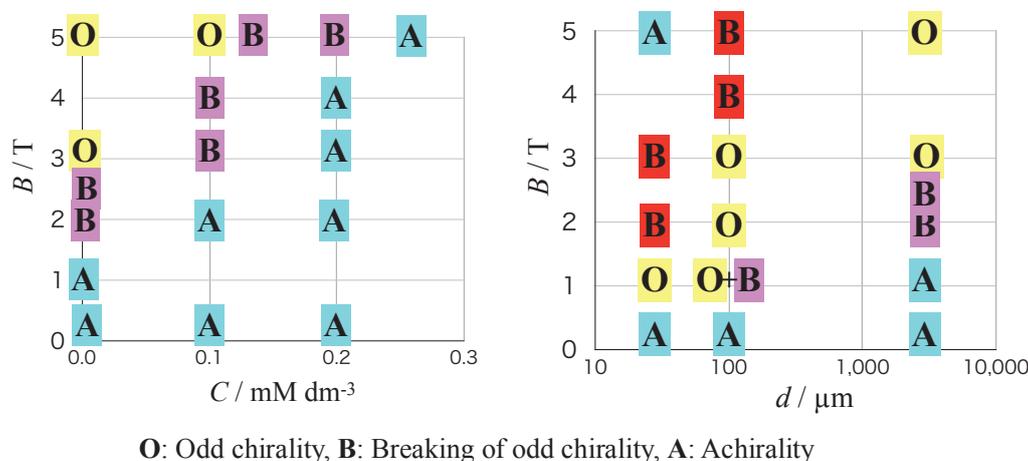
4.2 K で 7 芯銅銀複合シース Ba<sub>1-x</sub>K<sub>x</sub>Fe<sub>2</sub>As<sub>2</sub> 線材の臨界電流  $I_c(B, \theta)$  の磁場と角度依存性を調べた。ヒステリシスを  $I_c(B)$  と  $I_c(\theta)$  両方に観測した上で、異常な異方性  $I_c(90^\circ)/I_c(0^\circ) < 1$  ( $90^\circ$ :  $B \parallel \text{tape}$ ,  $0^\circ$ :  $B \perp \text{tape}$ ) が発見された。この異方性に対し、球状ピンを考えるモデル (figure) を使って、ヒステリシスを除くために規格化された  $I_c(\theta)$  の平均値を計算した。球状ピンの半径は約 8 nm の条件で、計算結果が定性的に実験結果を再現できた。これは  $I_c(B, \theta)$  に対し、一つの磁束ピンニングメカニズムとしての球状ピンの影響を示している。

羅 珺怡<sup>1</sup>, 岡田 達典<sup>1</sup>, 淡路 智<sup>1</sup>, 劉 聡<sup>2</sup>, 馬 衍偉<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 東北大金研, <sup>2</sup> 中国科学院電工研

## Chiral Symmetry Breaking in Magneto-electrodeposition

### 磁気電析におけるキラリティの破れ



Electrodeposition under magnetic fields (magneto-electrodeposition; MED) can induce surface chirality on copper films. The chiral signs of MED films should depend on the magnetic field polarity, namely, the reversal of magnetic field causes the opposite chiral sign. This represents odd chirality for the magnetic field polarity. However, odd chirality was broken in several MED conditions such as low magnetic fields, specific adsorption of chloride ions (the concentration  $C$  in the left figure), micro-electrode (the diameter  $d$  in the right figure), and cell rotation. These results indicate that the ordered fluctuation of magnetohydrodynamic micro-vortices induces breaking of odd chirality and that the random fluctuation results in the disappearance of surface chirality.

I. Mogi<sup>1</sup>, R. Morimoto<sup>2</sup>, R. Aogaki<sup>3</sup>, K. Takahashi<sup>1</sup>

<sup>1</sup> IMR, Tohoku Univ., <sup>2</sup> Saitama Industrial Technology Center, <sup>3</sup> Polytechnic University.

Reference: I. Mogi *et al.*, “Breaking of Odd Chirality in Magneto-electrodeposition”, *Magnetochemistry*, **8** (2022) 67.

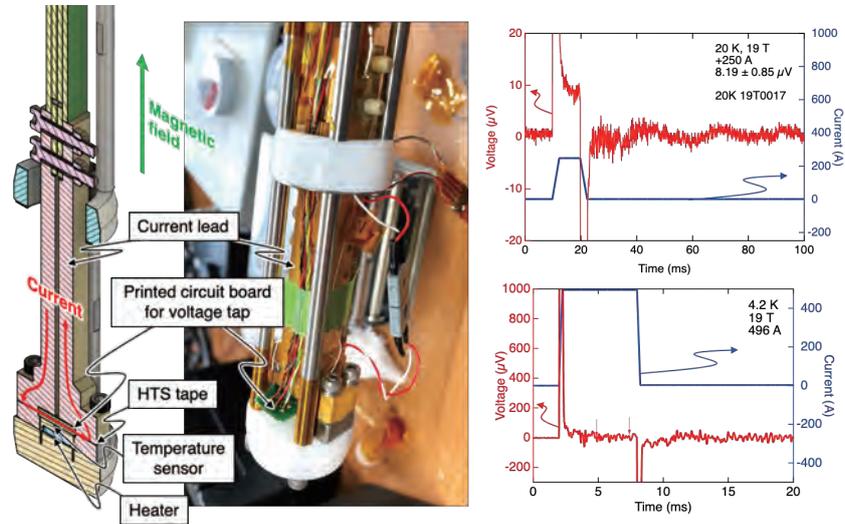
磁気電析は銅の電析膜にキラリティを誘発し、アミノ酸などの分子キラリティの認識を可能にする。磁場が十分に強くマイクロ MHD 渦流の自己組織化構造が堅固に形成される時には、印加磁場を反転するとキラリティの符号も反転する、いわゆる奇のキラリティが観察される。キラリティを様々な磁気電析条件で調べたところ、弱磁場、塩化物イオンの特異吸着(左図)、マイクロ電極(右図)、セル回転など、マイクロ MHD 渦流のゆらぎが存在する場所で奇のキラリティの破れが観察された。さらにゆらぎの効果が大きくなるとキラリティは消失した。これらのことから、秩序あるゆらぎが奇のキラリティの破れを誘発しているものと推察される。

茂木 巖<sup>1</sup>, 森本良一<sup>2</sup>, 青柿良一<sup>3</sup>, 高橋弘紀<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 東北大金研, <sup>2</sup> 埼玉県産業技術総合センター, <sup>3</sup> 職業能力開発大学校

# Critical Current Measurements of HTS Tapes Using Pulsed Current in High Fields at Low Temperatures

## パルス電流を用いた高温超伝導線材の低温強磁場中臨界電流測定



The critical current  $I_c$  of high temperature superconducting tapes has increased significantly in recent years, requiring test facilities with high magnetic fields, high currents and variable temperatures. Usually, DC current is used for  $I_c$  measurements. In this study, an  $I_c$  measurement method using pulsed currents was developed for limited space and cooling capacity. A 500 A class pulsed power supply was developed and a voltage noise of  $0.6 \mu\text{V}$  was achieved at 19 T, 500 A and 5 ms pulse current. Finally, the pulsed and DC current results were compared and the magnetic field dependence of  $I_c$  was found to be consistent.

Y. Tsuchiya<sup>1</sup>, I. Sakai<sup>2</sup>, K. Mizuno<sup>3</sup>, Y. Kohama<sup>4</sup>, Y. Yoshida<sup>2</sup>, and S. Awaji<sup>1</sup>

<sup>1</sup> IMR, Tohoku Univ., <sup>2</sup> Dept. of Elec. Eng., Nagoya Univ., <sup>3</sup> MTL Corp., <sup>4</sup> ISSP, Univ. Tokyo

Reference: Y. Tsuchiya *et al.*, “Critical current measurements of HTS tapes using pulsed current in high fields at low temperatures”, IEEE Trans. Appl. Supercond. **33** (2023) 8001105.

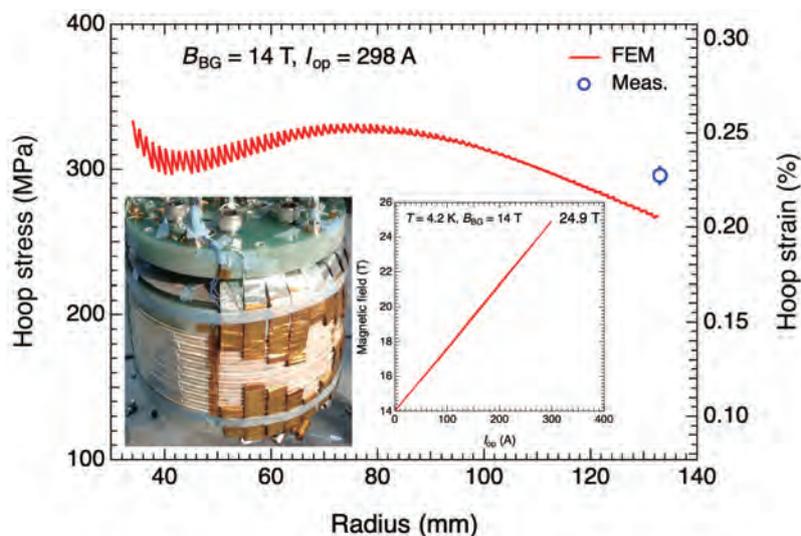
高温超伝導線材の臨界電流  $I_c$  は近年著しく増加しており、高磁場、大電流、可変温度の試験設備が必要とされている。通常、 $I_c$  測定には直流電流が用いられる。本研究では、限られた空間と冷却能力を考慮し、パルス電流を用いた  $I_c$  測定法を開発した。500 A 級のパルス電源を開発し、19 T、500 A、5 ms のパルス電流で  $0.6 \mu\text{V}$  の電圧ノイズを達成した。最後に、パルス電流と直流電流の結果を比較し、 $I_c$  の磁場依存性が一致していることを確認した。

土屋雄司<sup>1</sup>, 坂井 徹<sup>2</sup>, 水野謙一郎<sup>3</sup>, 小濱芳允<sup>4</sup>, 吉田 隆<sup>2</sup>, 淡路 智<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 東北大金研, <sup>2</sup> 名大工, <sup>3</sup> MTL, <sup>4</sup> 東大物性研

## Performance Test of Large-Scale 20-Stacked REBCO Coil

### 実規模 20 積層 REBCO コイルの性能評価



A large-scale 20-stacked pancake coil with a robust coil structure was fabricated and achieved 24.9 T under a background field of 14 T at 4.2 K with an operating current of 298 A. Both the screening current in REBCO tapes and the coupling current between two-bundled REBCO tapes were observed during ramping up and down and holding the operating current. Optimization of the stress distribution in the REBCO pancake was confirmed as well. This suggests that the robust coil structure works well in a 33-T cryogen-free superconducting magnet.

S. Awaji<sup>1</sup>, K. Takahashi<sup>1</sup>, A. Badel<sup>1,2</sup>, A. Zampa<sup>1</sup>, T. Okada<sup>1</sup>, G. Nishijima<sup>3</sup>, T. Uto<sup>4</sup>, H. Takewa<sup>4</sup>, S. Hanai<sup>4</sup>, S. Ioka<sup>4</sup>, J. Inagaki<sup>4</sup>

<sup>1</sup> IMR, Tohoku Univ., <sup>2</sup> G2Elab/Néel Institute, <sup>3</sup> NIMS, <sup>4</sup> Toshiba ESS

Reference: K. Takahashi *et al.*, “Performance Test of 20-Stacked Two-Tapes-Bundled REBCO Pancake Coils for Upgrading of 25-T Cryogen-Free Superconducting Magnet to 30 T”, IEEE Trans. Appl. Supercond. **33** (2023) 4601405.

ロバストコイル構造を持つ実規模 20 積層コイルを作製し、4.2 K、14 T のバックアップ磁場の下、298 A の通電電流で 24.9 T の発生に成功した。その際、通電電流の掃引時にはテープ内に生じる遮蔽電流による磁場のヒステリシスが支配的となること、ホールド時にはバンドルした 2 枚のテープ間に生じる結合電流による速い磁場の緩和が観測された。また、ひずみ測定と有限要素法による応力解析から、パンケーキコイル内応力分布の最適化による最大応力の抑制が確かめられた。このことは、ロバストコイル構造が 33 T 無冷媒超伝導マグネットにおいて十分機能することを示唆している。

淡路 智<sup>1</sup>, 高橋弘紀<sup>1</sup>, バデル アーノー<sup>1,2</sup>, ザンパ アレックス<sup>1</sup>, 岡田達典<sup>1</sup>, 西島 元<sup>3</sup>, 宇都達郎<sup>4</sup>, 武輪裕之<sup>4</sup>, 花井 哲<sup>4</sup>, 井岡 茂<sup>4</sup>, 稲垣淳二<sup>4</sup>

<sup>1</sup> 東北大金研, <sup>2</sup> G2Elab/Néel Institute, <sup>3</sup> 物材機構, <sup>4</sup> 東芝エネルギーシステムズ

