

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年 5月31日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究（A）

研究期間：2010～2012

課題番号：22244041

研究課題名（和文） クロム酸化物における強磁性金属－絶縁体転移の機構解明と新奇量子物性の探究

研究課題名（英文） The study on the mechanism of ferromagnetic metal-insulator transition and novel quantum properties in chromium oxides

研究代表者

上田 寛 (UEDA YUTAKA)

東京大学・物性研究所・教授

研究者番号：20127054

研究成果の概要（和文）：放射光X線回折測定による詳しい構造解析と第一原理計算による電子構造計算より、クロム酸化物 $K_2Cr_8O_{16}$ における新奇強磁性金属－絶縁体転移が、 $CrO_6$ 八面体の結合した4本のCr-O鎖よりなる擬1次元カラム構造に由来するパイエルス不安定性により、Crイオンの4量体化を伴ってパイエルス機構で起こることを明らかにした。これは完全スピン分極した電子系のパイエルス転移の初めての例である。

研究成果の概要（英文）：Detailed structure analysis by synchrotron x-ray diffraction experiments and the electronic structure calculations demonstrate that the novel ferromagnetic metal-insulator transition in  $K_2Cr_8O_{16}$  is caused by a Peierls instability in the quasi-one-dimensional column structure made of four coupled Cr-O chains running in the *c* direction, leading to the formation of tetramers of Cr ions below the transition temperature. This provides a rare example of the Peierls transition of fully spin-polarized electron systems.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	14,400,000	4,320,000	18,720,000
2011年度	10,400,000	3,120,000	13,520,000
2012年度	9,900,000	2,970,000	12,870,000
年度			
年度			
総計	34,700,000	10,410,000	45,110,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：物理学・物性II

キーワード：強相関電子系、物性実験、クロム酸化物、電磁気物性、金属絶縁体転移、ホランダイト酸化物

## 1. 研究開始当初の背景

(1) 非常に珍しいほとんど唯一と言っていい $Cr^{3+}$ と $Cr^{4+}$ の混合原子価物質であるホランダイト型クロム酸化物 $K_2Cr_8O_{16}$ の開発に成功し、この物質が、①金属伝導を示す、②180 Kで強磁性に転移する、③95 Kで強磁性を保ったまま絶縁体に転移する、ことを見出した。これは、初めての強磁性金属－強磁性絶縁体転移の観測で、強磁性金属の起源が二重交換相

相互作用とすると、強磁性絶縁体への転移は全く予想外の転移であり、また、転移の結果生じる強磁性絶縁体は、強相関電子系における強磁性－金属、反強磁性－絶縁体という一般的関係からの例外をなすものであるなど、この強磁性金属－強磁性絶縁体転移は、強相関電子系における磁性と伝導性の関係について新たな問題を提起していて、その機構解明が急務であった。

(2)ホランダイト型 Ti 酸化物は金属伝導を示すこと、ホランダイト型 V 酸化物は金属-絶縁体転移を示すことも見出し、ホランダイト型 3d 遷移金属酸化物におけるバンド充填と電子相関効果の系統的研究のために Mn 酸化物の開発が望まれた。

(3) ①クロム酸化物としては初めての量子スピン系 ( $\text{Cr}^{5+}$ : スピン 1/2) 物質  $\text{Ba}_3\text{Cr}_2\text{O}_8$  の開発とスピンギャップ基底状態および特異な励起状態の発見、②強相関電子系における磁性と伝導性の一般的関係 (反強磁性-絶縁体) に反する反強磁性金属を示すペロフスカイト型  $\text{Cr}^{4+}$  酸化物  $\text{CaCrO}_3$  の開発、③反強磁性と強磁性が競合する 1 次元磁性体  $(\text{Li,Na})\text{Cr}(\text{Si,Ge})_2\text{O}_6$  の開発と磁気弾性効果の観測など、新奇物性を示す多くのクロム酸化物を開発した。

## 2. 研究の目的

(1) 最も急務かつ主目的は  $\text{K}_2\text{Cr}_8\text{O}_{16}$  における強磁性金属の起源と強磁性金属-強磁性絶縁体転移の機構解明である。

(2) ホランダイト型 Mn 酸化物の開発と構造・物性評価を行い、ホランダイト型 3d 遷移金属酸化物におけるバンド充填と電子相関効果の系統的研究を行う。

(3) クロム化合物における新奇量子物性の探究を行い、クロム化合物の研究を飛躍的に発展させるとともに継続研究のバナジウム酸化物研究と合わせて、広く、強相関電子系における根源的問題である磁性と伝導性の関係についての研究を格段に発展させる。

## 3. 研究の方法

(1)  $\text{K}_2\text{Cr}_8\text{O}_{16}$  について、放射光 X 線回折により精密構造解析を行い、それをもとに第一原理計算により電子構造を明らかにする。並行して、精密物性測定 (光電子分光、核磁気共鳴など) を行い、微視的な電子状態を明らかにする。また、化学置換効果や高压下での電子相図を明らかにする。これらの研究を総括し、理論家との協同により、強磁性金属-絶縁体転移の機構解明を行う。

(2) ホランダイト型 Mn 酸化物の高压合成を行い、X 線回折および電子線回折による構造および相転移の解明と電気抵抗、磁化率測定による電磁的性質の解明を行う。

(3) クロムおよびバナジウムの新規物質を高压合成や雰囲気制御合成により開発する。

## 4. 研究成果

(1) ホランダイト型クロム酸化物  $\text{K}_2\text{Cr}_8\text{O}_{16}$  における強磁性金属-絶縁体転移の機構解明。

$\text{K}_2\text{Cr}_8\text{O}_{16}$  は、図 1 に示すようにキュリー温度 180 K の強磁性金属で、驚いたことに 95 K で強磁性を維持したまま絶縁体に転移する。その構造は、 $\text{CrO}_6$  八面体が稜共有で作る二重

鎖が頂点を共有してトンネル状の骨格をなし、トンネル内を K が占めている。強磁性金属相の構造は正方晶で Cr の結晶学的サイトは 1 種類であり、 $\text{Cr}^{3+}/\text{Cr}^{4+}=1/3$  の混合原子価物質である。

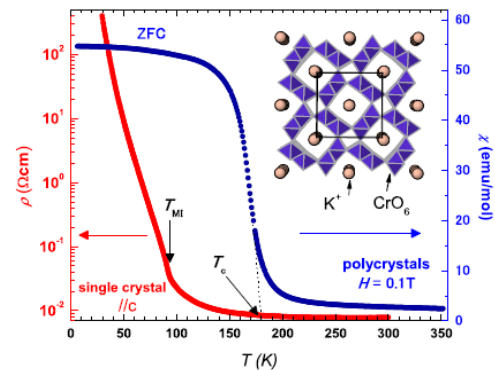


図 1.  $\text{K}_2\text{Cr}_8\text{O}_{16}$  の電気抵抗 ( $\rho$ ) と磁化率 ( $\chi$ ) の温度変化。挿入図は結晶構造。

単結晶の放射光 X 線回折による詳しい構造解析の結果、強磁性絶縁体相では、①単斜晶に歪み Cr の結晶学的サイトは 4 種類に増える、②どの Cr サイトも  $\text{CrO}_6$  八面体の Cr-O 距離はほとんど同じで Cr イオンの電荷分離・秩序はない、③二重鎖よりも 4 本の Cr-O 鎖で作るカラムにおいて特徴的な Cr-O の結合交替 (格子の 2 量体化) がある、ことが判明した。(図 2)

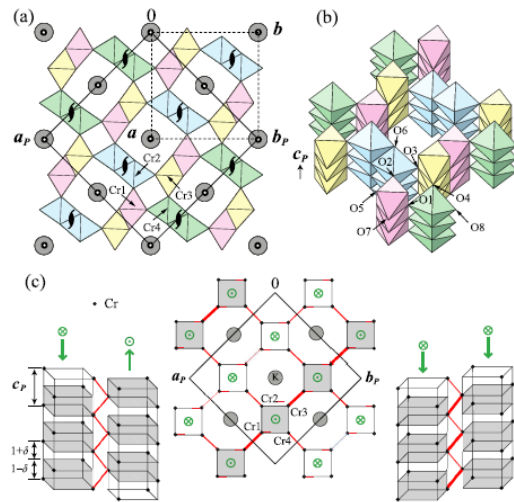


図 2. (a)  $\text{K}_2\text{Cr}_8\text{O}_{16}$  の低温強磁性絶縁体相の結晶構造。結晶系は元の  $\sqrt{2} \times \sqrt{2} \times 1$  倍の単位格子を持つ単斜晶に歪み、Cr の結晶学的サイトは 4 サイト (Cr1-Cr4) となる。(b)  $\text{CrO}_6$ - $\text{CrO}_6$  八面体からなるカラム。O1-O8 は二重鎖をつなぐ頂点酸素。(c)  $\text{CrO}_6$ - $\text{CrO}_6$  八面体からなるカラムにおいて Cr-O 距離に長短の結合交替が見られる。Cr-O の結合交替様式には単位格子の上半分で短くなる  $\odot$  型と下半分で短い  $\otimes$  の 2 タイプがあり、それらが  $a$  軸方向にストライプ状に並んでいる。

一方、第一原理計算に基づく電子構造計算からは、強磁性金属は二重交換相互作用によるもので、フェルミ面はCrの $d_{yz}$ 軌道と $d_{zx}$ 軌道およびこれらと強く混成した二重鎖をつなぐ頂点酸素の $p_z$ 軌道より構成されていて、二重鎖内の $d_{xy}$ 軌道はフェルミ面以下に局在していることが判明した。すなわち、 $K_2Cr_8O_{16}$ においてCrは1個あたり2.25個の $d$ 電子をもつが、そのうち、1個は $d_{xy}$ 軌道を占め二重鎖内に局在し、残りの1.25個は4本のCr-O鎖カラムに基づく八つのバンドのうち五つのバンドを占め、5番目のバンドがフェルミ面上にあるという描像を示す。このことは、 $K_2Cr_8O_{16}$ は、電子系としては、二重鎖に基づく擬1次元電子系というよりも4本のCr-O鎖カラム構造に基づく擬1次元電子系であることを物語っていて、この擬1次元電子系由来の強いパイエルス不安定性を持つことが明らかとなった。低温強磁性絶縁体相での結晶構造データを用いての電子構造計算では、強磁性バンドに、光電子分光からもとめた約40 meVと同程度の小さなギャップが開き、強磁性を維持したまま絶縁化することも証明された。(図3)

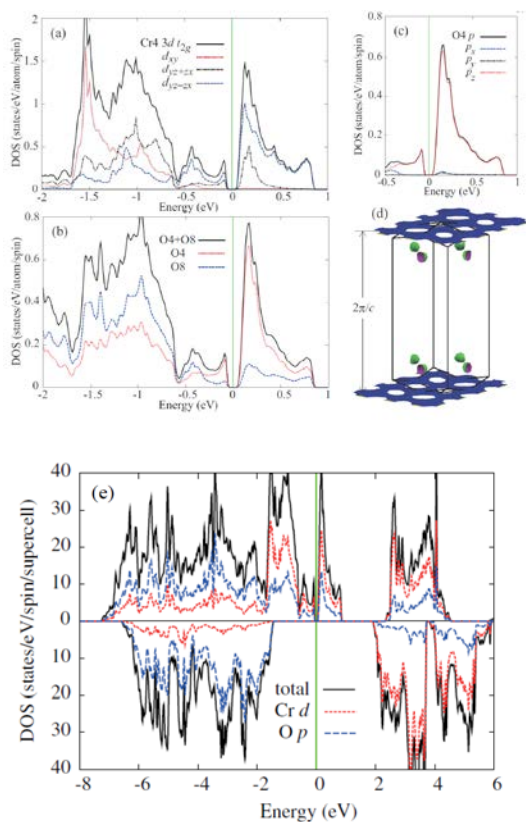


図3. 低温強磁性絶縁体相での主スピンバンドの (a) Cr4の $3d t_{2g}$ 軌道成分、(b) O4 (頂点酸素) および O8 (稜酸素) の $2p$ 軌道成分、(c) O4の各 $2p$ 軌道成分、(d)強磁性金属相での計算によるフェルミ面、(e) 強磁性絶縁体相でのアップスピンおよびダウンスピンバンド。

結晶構造解析から判明した4本のCr-O鎖で作るカラム格子における2量体化と電子構造計算の結果をあわせ、 $K_2Cr_8O_{16}$ の強磁性金属-絶縁体転移がパイエルス機構で起きていることが明らかとなった(図4)。すなわち、① $K_2Cr_8O_{16}$ は4本のCr-O鎖カラム構造に基づく擬1次元電子系であり、Crは1個あたり0.25個の余分の電子を持つのでこの4本のCr-O鎖よりなるカラム格子は単位格子あたり1個の電子を持つ擬1次元電子系となる、②この擬1次元電子系固有のパイエルス不安定性により格子の2量体化を伴って電子が局在する、③このとき、1個の電子は4個の $Cr^{4+}$ により共有される(Crの4量体化:tetramer)ためCrイオンの原子価は+4.25のまま電荷分離・秩序は起きない、④また、4個のCrにより共有される形で局在するため開くバンドギャップは強磁性バンド幅に対して非常に小さく、強磁性を維持したまま絶縁化する(図3(e))、ことが明らかとなった。これは非常に希な完全スピン分極した電子系のパイエルス転移であり、スピン自由度が関与しないパイエルス転移で、金属-絶縁体転移研究の歴史に新たな1ページを刻んだ。

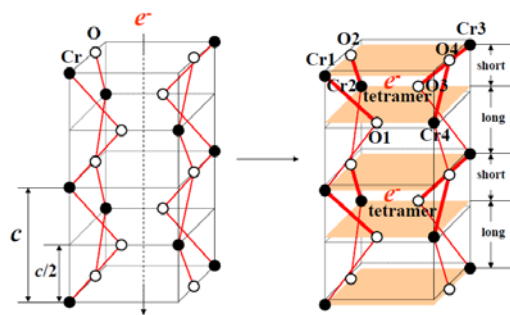


図4. パイエルス機構による電子の局在化。 $K_2Cr_8O_{16}$ において、 $Cr^{4+}$ イオンは1個あたり0.25個の余分の電子を持つ、従って、4本のCr-O鎖で作るカラム格子は1個の電子を持つ擬1次元電子系となる。この擬1次元電子系において、パイエルス不安定性により格子の2量体化を伴って電子が局在する。このとき、1個の電子は4個の $Cr^{4+}$ により共有される(Crの4量体化:tetramer)ので、Crイオンの原子価は+4.25のままである。

## (2) ホランダイト型マンガン酸化物。

ホランダイト物質の系統的研究としてホランダイト型マンガン酸化物の合成と構造・物性評価を行った。ホランダイトマンガン酸化物は6 GPaまでの圧力範囲ではKの欠損した $K_{1.6}Mn_8O_{16}$ しか合成できなかった。 $K_{1.6}Mn_8O_{16}$ では、Kサイトの1/5が空格子点で、Mnの形式電荷は $Mn^{3.8+}$ ( $Mn^{3+}/Mn^{4+}=1/4$ )である。 $K_{1.6}Mn_8O_{16}$ は混合原子価物質にもかかわらず半導体で基底状態は反強磁性である。温度低下とともに、正方晶→単斜晶→単

斜晶の逐次構造相転移を示し、単斜晶—単斜晶転移温度以下ではトンネル方向に5倍の超周期が観測される(図5)。これは、K 空格子点の規則配列によるもので、短距離秩序は正方晶—単斜晶転移温度以下ですで見られる。 $K_{1.6}Mn_8O_{16}$  が金属でないのは、5個の $Mn^{4+}$ イオンあたり1個の過剰な $e_g$ 電子がK 空格子点近傍の $Mn^{4+}$ イオンに束縛され(結果 $Mn^{3+}$ となる)、局在するためと考えられる(図5)。すなわち、ホランダイト型マンガン酸化物の新奇物性は、カウンターイオン秩序配列により誘起された電荷秩序と言える。より高压での合成により定比組成の物質の合成が待たれる。

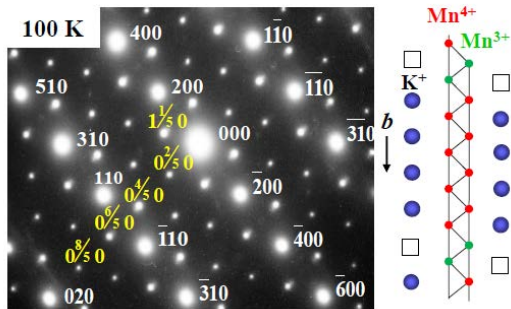


図5.  $K_{1.6}Mn_8O_{16}$ における100 Kでの電子線回折像と $K^+$ 空格子点(□)規則配列および $Mn^{4+}/Mn^{3+}$ 電荷秩序。 $K^+$ 空格子点の規則配列によりトンネル方向( $b$ 軸方向)に5倍の超格子反射が観測される。過剰な $e_g$ 電子がK 空格子点近傍の $Mn^{4+}$ イオンに束縛され結果 $Mn^{3+}$ となり、 $Mn^{4+}/Mn^{3+}$ の電荷秩序も起こる。

(3)ホランダイト型3d遷移金属酸化物におけるバンド充填と電子相関効果の系統的研究。

$K_2M_8O_{16}$  ( $M=Ti, V, Cr, Mn$ )において、バンド充填量の小さい $K_2Ti_8O_{16}$ は低温まで金属伝導を示しパウリ常磁性体であるが、バンド充填量が増える $K_2V_8O_{16}$ では電子相関効果により $V^{3+}/V^{4+}$ の電荷秩序を伴った金属—絶縁体転移を示す。この場合、バナジウム酸化物特有のスピン1重項 $V^{4+}-V^{4+}$ 対形成を伴っている。さらにバンド充填量が増える $K_2Cr_8O_{16}$ では電子相関効果が強まり電子は局在化する傾向が強まるが、 $Cr^{3+}$ と $Cr^{4+}$ は安定な雰囲気非常に異なるため $Cr^{3+}/Cr^{4+}$ の電荷分離・秩序が困難となる。しかしながら、バンド充填量とホランダイト型構造の絶妙の整合を受けて、パイエルス機構により電荷分離・秩序を伴わずCrの4量体化を伴って、強磁性を維持したまま絶縁化する。これはある種の自己組織化と言える。一方、Mnホランダイトでは充ちていない $e_g$ バンドを持つので強磁性金属が期待できるが、トンネルを占める $K^+$ イオンの距離が短くK欠損のものしかできないため、K 空格子点が規則配列し、その近傍の

$Mn^{4+}$ イオンに $e_g$ 電子が束縛され、結果、 $Mn^{3+}/Mn^{4+}$ の電荷分離・秩序が起こり、絶縁体となる。これはカウンターイオン規則配列誘起の電荷秩序という新現象と言える。

(4)ホランダイト物質の温度—圧力電子相図。

$K_2V_8O_{16}$ および $K_2Cr_8O_{16}$ の金属—絶縁体転移への圧力効果を調べ、電子相図を明らかにした。 $K_2V_8O_{16}$ では、図6(a)に示すように、金属—絶縁体転移温度は加圧によりいったん低下するが、1 GPa以上では上昇に転じる。低温絶縁体相の磁化率は1 GPa以下と以上では振舞いが異なっていて、1 GPaを境に異なる電荷秩序パタンの絶縁体相に転移することを示している。この相は比較的弱い反強磁性相関をもった擬1次元磁性体である。

一方、 $K_2Cr_8O_{16}$ では、図6(b)に示すように、強磁性転移温度は加圧により急激に低下するが金属—絶縁体転移温度はわずかに低下するのみである。強磁性転移温度が金属—絶縁体転移温度と交差する温度以下および圧力以上では、強磁性は消失し、反強磁性絶縁体相(あるいは常磁性絶縁体相)となる。

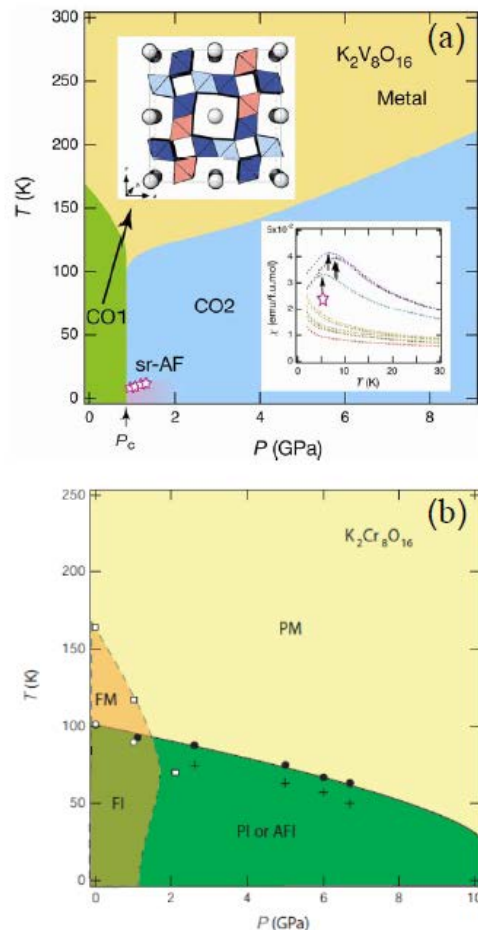


図6. (a)  $K_2V_8O_{16}$ の圧力( $P$ )—温度( $T$ )相図。Metal: 常磁性金属相、CO1: 電荷秩序相1、CO2: 電荷秩序相2、sr-AF: 擬1次元磁性体における短距離反強磁性秩序温度。左上挿入図はCO1で

の電荷秩序パターンで、赤色は  $V^{3+}$ - $V^{3+}$  対鎖、薄青色は  $V^{4+}$ - $V^{4+}$  対鎖、濃青色は  $V^{4+}$  鎖を表す。右下挿入図は磁化率で、 $CO_2$  では擬1次元磁性特有の短距離反強磁性秩序を表す磁化率の極大を示す。(b)  $K_2Cr_8O_{16}$  の圧力( $P$ )—温度( $T$ )相図。PM: 常磁性金属相、FM: 強磁性金属相、FI: 強磁性絶縁体相、PI: 常磁性絶縁体相、AFI: 反強磁性絶縁体相。

(5) 新規層状ペロフスカイトバナジウム酸化物の開発と新奇現象の発見。

$(Bi_2O_2)^{2+}$ シートと  $VO_{3.5}$  ペロフスカイトブロックよりなる層状ペロフスカイトバナジウム酸化物  $Bi_4V_2O_{11}$  において、酸素不定比性と構造・物性を明らかにし、新規欠損型層状ペロフスカイトバナジウム酸化物を開発した。 $Bi_4V_2O_{11-\delta}$  において、 $0 \leq \delta \leq 0.4$  では  $VO_{3.5}$  ペロフスカイトブロックにおいて酸素欠損が生じるが、 $\delta \geq 0.4$  では酸素欠損は突然  $(Bi_2O_2)^{2+}$ シートにスイッチし、 $0.4 \leq \delta \leq 1$  では、 $(Bi_2O_2)^{2+}$ シートに酸素欠損とともにBi欠損もでき (Biが析出し)、一方、 $VO_{3.3}$  ペロフスカイトブロックの酸素量および構造は維持され、したがって、 $V^{4+}/V^{5+}=2/3$  が保持されることを見出した(図7)。 $Bi_4V_2O_{11-\delta}$  ( $0.4 \leq \delta \leq 1$ )は、 $V^{4+}$  (スピン1/2) の新規擬1次元磁性体である。

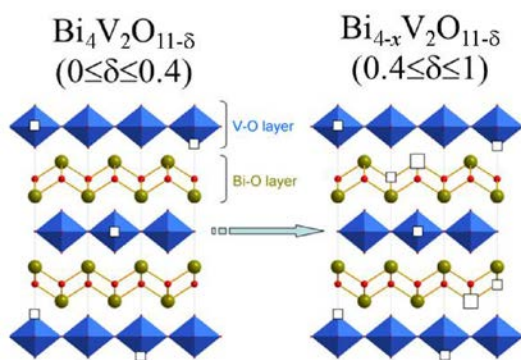


図7. 層状ペロフスカイトバナジウム酸化物における酸素欠損の層間スイッチ。  $Bi_4V_2O_{11-\delta}$  において、 $0 \leq \delta \leq 0.4$  では  $VO_{3.5}$  ペロフスカイトブロック (V-O layer) において酸素欠損 (○) が生じるが、 $\delta \geq 0.4$  では、酸素欠損は、Bi欠損 (□) を伴いながら、突然、 $(Bi_2O_2)^{2+}$ シート (Bi-O layer) にスイッチする。

## 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 19 件)

(1) Y. Zhang and Y. Ueda, Interlayer Switching of Reduction in Layered Oxide,  $Bi_4V_2O_{11-\delta}$  ( $0 \leq \delta \leq 1$ ), *Inorg. Chem.*, 査読有, 52, 2013, 5206-5213

DOI: 10.1021/ic400111w.

(2) T. Kuwabara, M. Isobe, H. Gotou, T. Yagi, D. Nishio-Hamane, and Y. Ueda, Synthesis, Structure and Electromagnetic Properties of Manganese Hollandite,  $K_xMn_8O_{16}$ , *J. Phys. Soc. Jpn.*, 査読有, 81, 2012, 104701/1-5

DOI: 10.1143/JPSJ.81.104701.

(3) J. Sugiyama, H. Nozaki, M. Månsson, K. Prša, D. Andreica, A. Amato, M. Isobe, and Y. Ueda,  $\mu^+$ SR study on ferromagnetic hollandites,  $K_2Cr_8O_{16}$  and  $Rb_2Cr_8O_{16}$ , *Phys. Rev. B*, 査読有, 85, 2012, 214407/1-8

DOI: 10.1103/PhysRevB.85.214407.

(4) Z. Wang, M. Schmidt, A. Günther, F. Mayr, Y. Wan, S.-H. Lee, H. Ueda, Y. Ueda, A. Loidl, and J. Deisenhofer, Infrared phonons and specific heat in the gapped quantum magnet  $Ba_3Cr_2O_8$ , *Phys. Rev. B*, 査読有, 85, 2012, 224304/1-5

DOI: 10.1103/PhysRevB.85.224304.

(5) A. Nakao, Y. Yamaki, H. Nakao, Y. Murakami, K. Hasegawa, M. Isobe, and Y. Ueda, Observation of Structural Change in the Novel Ferromagnetic Metal-Insulator Transition of  $K_2Cr_8O_{16}$ , *J. Phys. Soc. Jpn.*, 査読有, 81, 2012, 054710/1-6

DOI: 10.1143/JPSJ.81.054710.

(6) T. Toriyama, A. Nakao, H. Nakao, Y. Murakami, K. Hasegawa, M. Isobe, Y. Ueda, A. V. Ushakov, D. I. Khomskii, S. V. Streltsov, T. Konishi, and Y. Ohta, Peierls Mechanism of the Metal-Insulator Transition in Ferromagnetic Hollandite  $K_2Cr_8O_{16}$ , *Phys. Rev. Lett.*, 査読有, 107, 2011, 266402/1-5

DOI: 10.1103/PhysRevLett.107.266402.

(7) A. C. Komarek, T. Möller, M. Isobe, Y. Drees, H. Ulbrich, M. Azuma, M. T. Fernández-Díaz, A. Senyshyn, M. Hoelzel, G. André, Y. Ueda, M. Grüninger, and M. Braden, Magnetic order, transport and infrared optical properties in the  $ACrO_3$  system ( $A = Ca, Sr, \text{ and } Pb$ ), *Phys. Rev. B*, 査読有, 84, 2011, 125114/1-14

DOI: 10.1103/PhysRevB.84.125114.

(8) T. Yamauchi, H. Ueda, M. Isobe, and Y. Ueda, Electromagnetic properties of hollandite  $K_2V_8O_{16}$  under pressure, *Phys. Rev. B*, 査読有, 84, 2011, 115104/1-6

DOI: 10.1103/PhysRevB.84.115104.

(9) P. A. Bhowe, A. Chainani, M. Taguchi, R. Eguchi, M. Matsunami, T. Ohtsuki, K. Ishizaka, M. Okawa, M. Oura, Y. Senba, H. Ohashi, M. Isobe, Y. Ueda, and S. Shin, Electronic structure of an antiferromagnetic metal:  $CaCrO_3$ , *Phys. Rev. B*, 査読有, 83, 2011, 165132/1-7

DOI: 10.1103/PhysRevB.83.165132.

(10) S. Yamazaki and Y. Ueda, Synthesis, structures and magnetic properties of pseudo-hollandite chromium sulfides, *J. Solid*

[学会発表] (計 26 件)

- (1) Y. Zhang, Unusual bismuth and vanadium chemistry in a low dimensional oxide system, 日本物理学会第 68 回年次大会, 2013 年 3 月 28 日, 広島大学東広島キャンパス (広島) .
- (2) Y. Ueda, Hollandite  $K_2Cr_8O_{16}$ : Crystal Growth under High Pressure and Ferromagnetic Metal-Insulator Transition, Freiberg High Pressure Symposium 2012, 2012 年 10 月 10 日, Freiberg, Germany.
- (3) 杉山純, ホランダイト構造の強磁性体  $K_2Cr_8O_{16}$  の  $\mu$ SR, 日本物理学会 2012 秋季大会, 2012 年 9 月 20 日, 横浜国立大学常盤台キャンパス (横浜) .
- (4) Y. Ueda, Novel Ferromagnetic Metal-Insulator Transition in  $K_2Cr_8O_{16}$  -Peierls Transition of Spinless Fermion-, 18<sup>th</sup> International Conference on Solid Compounds of Transition Elements, SCTE2012, 2012 年 4 月 5 日, Lisbon, Portugal.
- (5) 山内徹, Cr-Hollandite の圧力効果 II, 日本物理学会 2011 年秋季大会, 2011 年 9 月 23 日, 富山大学五福キャンパス (富山) .
- (6) 上田寛, クロムホランダイトの強磁性金属絶縁体転移における構造変化と相転移機構, 日本物理学会 2011 年秋季大会, 2011 年 9 月 23 日, 富山大学五福キャンパス (富山) .
- (7) Y. Ueda, Hollandites:  $K_2M_8O_{16}$  ( $M = Ti, V, Cr, Mn$ ) - a novel class of oxides with unusual properties -, Tokyo-Cologne Workshop on Strongly Correlated Transition-Metal Compounds, 2011 年 9 月 9 日, Cologne, Germany.
- (8) H. Takeda, Electronic States of Half-Metallic Chromium Oxides Proved by  $^{53}Cr$  NMR, 26th International Conference on Low Temperature Physics, 2011 年 8 月 14 日, Beijing, China.
- (9) Y. Ueda, Ferromagnetic and Metal-Insulator Transitions in Chromium Hollandite, Advances in Applied Physics & Materials Science Congress, 2011 年 5 月 13 日, Antalya, Turkey.
- (10) M. Isobe, Hidden frustration behind the unique ferromagnetic metal-insulator transition of  $K_2Cr_8O_{16}$ , International Conference on Frustration in Condensed Matter (ICFCM), 2011 年 1 月 13 日, Sendai, Japan.

[その他]

報道関連情報

日刊工業新聞 (2011 年 12 月 27 日朝)

日経産業新聞 (2012 年 1 月 4 日朝)

記事等

Todai Research Editor's Choice (2012 年 3 月 22 日)

<http://www.u-tokyo.ac.jp/ja/todai-research/edi>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

上田 寛 (UEDA YUTAKA)

東京大学・物性研究所・教授

研究者番号: 20127054

(2) 研究分担者 (無)

(3) 連携研究者

植田 浩明 (UEDA HIROAKI)

京都大学・理学研究科・准教授

研究者番号: 10373276

磯部 正彦 (ISOBE MASAHIKO)

東京大学・物性研究所・技術専門職員

研究者番号: 70396919

山内 徹 (YAMAUCHI TORU)

東京大学・物性研究所・技術専門職員

研究者番号: 10422445

辛 埴 (SHIN SHIGI)

東京大学・物性研究所・教授

研究者番号: 00162785

藤原 直樹 (FUJIWARA NAOKI)

京都大学・人間環境学研究科・准教授

研究者番号: 60272530

太田 幸則 (OHTA YUKINORI)

千葉大学・理学研究科・教授

研究者番号: 70168954