

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 22 日現在

機関番号：82108

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25289233

研究課題名(和文) 常温で導電体から絶縁体へ急変するスレーター材料の研究

研究課題名(英文) Investigation of slater material that shows sudden change from electrically conducting to insulating nature at room temperature

研究代表者

山浦 一成 (YAMAURA, KAZUNARI)

国立研究開発法人物質・材料研究機構・超伝導物性ユニット・主席研究員

研究者番号：70391216

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,500,000円

研究成果の概要(和文)：研究代表者らは、白金族元素の触媒用途以外の産業的・工業的機能性の開拓に挑戦してきた。その過程で2009年に合成したペロブスカイト型結晶構造を持つオスミウム酸化物が、室温より高い温度(約140℃)でスレーター転移と思われる稀有な相転移を示すことを見出した。本課題では、継続的にその相転移の詳細と転移機構の解明、および関連物質・周辺物質の開拓を進めた。代表的な研究成果として、史上最強のスピン・フォノン結合を中性子線非弾性散乱実験によって見出した。この成果は、オスミウムだけでなく、他の白金族元素も高機能性材料の開拓に有用なことを示唆している。

研究成果の概要(英文)：While platinum group elements and their compounds are widely used as catalysts, their other functions have not been explored very much, partly because they are expensive. Amid the situation, we discovered that the osmium oxide it synthesized in 2009 exhibits an unusual magnetic transition at about 140°C, which is higher than room temperature, and had been taking on the challenge of pioneering non-catalytic, industrial functions of the material. Based on the recent observation of spin-phonon coupling in the osmium oxide, we found that the coupling was the strongest ever observed. The strong spin-phonon coupling may be caused by the outermost orbitals of osmium atoms as they are greatly extended outward in space, in the solid oxide. The fact that this orbitals characteristic is common to all platinum group elements suggests that compounds containing these elements other than osmium are also likely to be associated with strong spin-phonon coupling.

研究分野：材料化学

キーワード：金属絶縁体転移 スレーター転移 オスミウム酸化物 高温高压合成

1. 研究開始当初の背景

本課題では、140 K で急激に電氣的絶縁体から導体に変化する酸化物に着目して、そのメカニズムの解明、周辺物質・関連物質の開拓、機能性の追求、さらに新材料シーズとしての可能性の探求を課題としてスタートした。

それまでの研究から、スレーター機構による転移である可能性が高かったため、実用材料シーズとしての発展を期待して「スレーター材料」と呼称した。既にスレーター絶縁体と思われる物質は少なからず知られていたが、それらは極低温や超高压など限られた条件下でのみ転移を示したため、材料化への展望はほとんどなかった。

本課題では、ペロブスカイト型オスミウム酸化物(図1)に着目した。この研究対象物質は研究代表者らのチームが中心となって発掘した新物質(当時)であり、恐らく初めて室温を超える温度でスレーター型金属絶縁体転移を示したため、さらに材料化の可能性を期待して、基礎基盤研究の充実を図った。

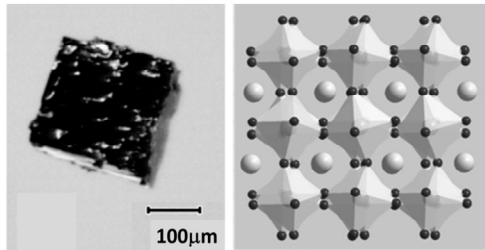


図1:ペロブスカイト型オスミウム酸化物の結晶写真(左図)とその結晶構造の模式図(右図)。

2. 研究の目的

本課題では、(1)常温で導電体から絶縁体へ急変するスレーター絶縁体の材料開発に必要な基礎基盤の充実を図ること、(2)特に、スレーター絶縁体の関連物質、周辺物質の開拓に力点を置いた新物質探索型研究を推進すること、(3)ペロブスカイト型オスミウム酸化物の転移機構の解明を深めることを主目的とした。

3. 研究の方法

研究代表者や分担者が物材機構で運用している既存の合成装置群(高压合成装置、高温雰囲気炉など)や特性評価装置を主に使用して高品質結晶の育成、新物質・関連物質の探索を進めた。また、SPring8の物材機構専用ビームラインや海外の中性子ビームラインを利用して、結晶構造の精密化、温度・圧力依存性、磁気構造の解析を行った。

4. 研究成果

関連物質や周辺物質の開拓に関して、複数の成果が得られ、それらは35件以上の学術論文にまとめられた。研究成果のすべてをこ

こで網羅することが難しいため、代表的な成果について概観する。すなわち、ペロブスカイト型オスミウム酸化物の非弾性散乱の研究で明らかになった史上最強のスピン・フォノン結合について、研究成果の要点を報告する。

本課題を推進する過程で、ペロブスカイト型オスミウム酸化物を対象に、オークリッジ国立研究所(米国)の研究チームと共同で、オークリッジ国立研究所の施設(SNS, HFIR)を利用して中性子線非弾性散乱実験を行った。当時、物質中の強いスピン・フォノン結合が、例えばマルチフェロイクス材料などの機能性材料の特性向上に有用なことが示唆されたため(Leeら、Nature 466, 954, 2010など)、スレーター転移機構の解明だけでなく、スレーター絶縁体のスピン・フォノン結合の程度を評価することも含めて実験を行った。一般的に、スピン・フォノン結合の強さは、磁気転移温度近傍のフォノンシフトの大きさを目安とする場合が多い。フォノンシフトが大きいほどスピン・フォノン結合が強いことを表す。

例えば、スピン・フォノン結合が比較的強いとされたペロブスカイト型マンガン酸化物では $\sim 25 \text{ cm}^{-1}$ のフォノンシフトが観測された(Kambaら、Phys. Rev. B 89, 064308, 2014)。また、2重ペロブスカイト型鉄/レニウム酸化物では $\sim 30 \text{ cm}^{-1}$ のフォノンシフトが観測された(Garcia-Floresら、Phys. Rev. Lett. 108, 177202, 2012)。後者は、当時、それまでで最も大きなフォノンシフトであり、即ち最も強いスピン・フォノン結合とされ、恐らくレニウム(白金族元素)と鉄(鉄族元素)が1対1で秩序化している特徴的な結晶構造がスピン・フォノン結合の強化に寄与したと考えられた。

今回の測定実験では、これまでの既存の結果を超える大きなフォノンシフトが観測された($\sim 40 \text{ cm}^{-1}$)(図2)。ペロブスカイト型オスミウム酸化物は鉄族元素を含まないため、オスミウム(白金族元素)のみの結晶構造でも、従来程度以上の強いスピン・フォノン結合が達成されること結果として実証したことになる。

恐らく、オスミウム元素の最外殻電子軌道が、結晶構造中で鉄族元素などの場合よりも空間的に大きく張り出していることがスピン・フォノン結合の強化に作用したと思われる。この最外殻電子軌道の空間的な特徴は、白金族元素に共通するため、他の白金族元素の酸化物や化合物でも強いスピン・フォノン結合を示す可能性がある。しかしながら、空間的な条件だけでは不完全なことも今回の実験で合わせて示された。さらに研究を深めてスピン・フォノン結合を強化する機構の明確化を図れば、材料としての機能性の新規開拓を導く可能性がある。

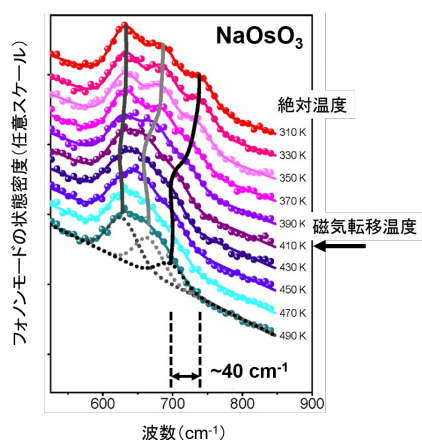


図 2 中性子非弾性散乱実験で測定したフォノンモードの状態密度の温度依存性。矢印で示した磁気転移温度 (スレーター転移温度、 ~ 140) 近傍で状態密度の分布の様子が顕著に変化した。

白金族元素 (白金、イリジウム、オスミウムなど) やその化合物はそれらの優れた触媒機能を通して社会一般に大きく貢献している。一方、触媒以外の機能性はあまり知られていないのが現状だ。高コスト問題が主たる原因と思われるが、材料としての機能性が限られていることも大きな要因と思われる。本課題で得られた成果は、白金族元素がマルチフェロイクスなどの高機能性材料の開発に役立つ可能性があることを示唆している。これからさらにスピン-フォノン結合の強化機構の解明や、白金族元素を利用するマルチフェロイクス材料の高性能化、スレーター転移機構を強化する研究の推進によって、スレーター転移機構の解明、新規スレーター物質の開拓、さらには高機能性材料シーズの開発を期待できる。

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 35 件)

- [1] K. Yamaura, *Short review of High-pressure crystal growth and magnetic and electrical properties of solid-state osmium oxides*, **J. Solid State Chem.**, 236, 45-54 (2016) 査読有; 10.1016/j.jssc.2015.06.037.
- [2] Y. Su, Y. Tsujimoto, Y. Matsushita, Y. Yuan, J. He, and K. Yamaura, *High-Pressure Synthesis, Crystal Structure, and Magnetic Properties of Sr_2MnO_3F : A New Member of Layered Perovskite Oxyfluorides*, **Inorg. Chem.**, 55, 2627-2633 (2016) 査読有; 10.1021/acs.inorgchem.5b02984.
- [3] I. Lo Vecchio, G. Giovannetti, M. Autore, P. Di Pietro, A. Perucchi, J. He,

- K. Yamaura, M. Capone, and S. Lupi, *Electronic correlations in the ferroelectric metallic state of $LiOsO_3$* , **Phys. Rev. B**, 93, 161113(R)-1-5 (2016) 査読有; 10.1103/PhysRevB.93.161113.
- [4] J. Li, Y.-F. Guo, Z.-R. Yang, K. Yamaura, E. Takayama-Muromachi, H.-B. Wang, and P.-H. Wu, *Progress in nonmagnetic impurity doping studies on Fe-based superconductors*, **Supercond. Sci. Technol.**, 29, 053001-1-32 (2016) 査読有; 10.1088/0953-2048/29/5/053001.
- [5] B. J. Kennedy, M. Avdeev, H. L. Feng, and K. Yamaura, *Phase transitions in strontium perovskites. Studies of $SrOsO_3$ compared to other 4d and 5d perovskites*, **J. Solid State Chem.**, 237, 27-31 (2016); 査読有; 10.1016/j.jssc.2016.01.013.
- [6] Y. Yuan, H. L. Feng, M. P. Ghimire, Y. Matsushita, Y. Tsujimoto, J. He, M. Tanaka, Y. Katsuya, and K. Yamaura, *High-pressure synthesis, crystal structure, and magnetic properties of 5d double perovskite oxides Ca_2MgOsO_6 and Sr_2MgOsO_6* , **Inorg. Chem.**, 54, 3422-3431 (2015) 査読有; 10.1021/ic503086a.
- [7] W. Yi, I. A. Presniakov, A. V. Sobolev, Y. S. Glazkova, Y. Matsushita, M. Tanaka, K. Kosuda, Y. Tsujimoto, K. Yamaura, and A. A. Belik, *Structure and cation distribution in perovskites with small cations at the A site: the case of $ScCoO_3$* , **Sci. Tech. Adv. Mater.**, 16, 024801-1-9 (2015) 査読有; 10.1088/1468-6996/16/2/024801.
- [8] W. Yi, Y. Matsushita, Y. Katsuya, K. Yamaura, Y. Tsujimoto, I. Presniakov, A. Sobolev, I. Glazkova, Y. Lekina, N. Tsujii, S. Nimori, K. Takehana, Y. Imanaka, and A. Belik, *High-pressure synthesis, crystal structure and magnetic properties of $TlCrO_3$ perovskite*, **Dalton Trans.**, 44, 10785-10794 (2015) 査読有; 10.1039/C4DT03823A.
- [9] L. S. I. Veiga, G. Fabbris, M. v. Veenendaal, N. M. Souza-Neto, H. L. Feng, K. Yamaura, and D. Haskel, *Fragility of ferromagnetic double exchange interactions and pressure tuning of magnetism in 3d-5d double perovskite Sr_2FeOsO_6* , **Phys. Rev. B**, 91, 235135-1-7 (2015) 査読有; 10.1103/PhysRevB.91.235135.
- [10] Y. Tsujimoto, Y. Matsushita, S. Yu, K. Yamaura, and T. Uchikoshi, *Size dependence of structural, magnetic,*

- and electrical properties in corundum-type Ti_2O_3 nanoparticles showing insulator–metal transition, **J. Asian Ceram. Soc.**, 3, 325-333 (2015) 査読有; 10.1016/j.jascer.2015.06.007.
- [11] K. Sathishkumar, J. Chandrasekaran, Y. Matsushita, A. Sato, C. I. Sathish, K. Yamaura, and B. Babu, *Growth, structural, optical, electrical and mechanical studies on urea phthalic acid single crystals*, **Optik (Stuttgart)**, 126, 981-986 (2015) 査読有; 10.1016/j.ijleo.2015.02.079.
- [12] M. Nagao, Y.-G. So, H. Yoshida, K. Yamaura, T. Nagai, T. Hara, A. Yamazaki, and K. Kimoto, *Experimental observation of multiple- Q states for the magnetic skyrmion lattice and skyrmion excitations under a zero magnetic field*, **Phys. Rev. B**, 92, 140415-1-5 (2015) 査読有; 10.1103/PhysRevB.92.140415.
- [13] J. Li, G. Zhang, W. Hu, Y. Huang, M. Ji, H.-C. Sun, X.-J. Zhou, D.-Y. An, L.-Y. Hao, Q. Zhu, J. Yuan, K. Jin, H.-X. Guo, D. Fujita, T. Hatano, K. Yamaura, E. Takayama-Muromachi, H.-B. Wang, P.-H. Wu, J. Vanacken, and V. V. Moshchalkov, *High upper critical fields of superconducting $Ca_{10}(Pt_4As_8)(Fe_{1.8}Pt_{0.2}As_2)_5$ whiskers*, **Appl. Phys. Lett.**, 106, 262601-1-5 (2015) 査読有; 10.1063/1.4923216.
- [14] J. Li, M. Ji, T. Schwarz, X. Ke, G. Van Tendeloo, J. Yuan, P. J. Pereira, Y. Huang, G. Zhang, H.-L. Feng, Y.-H. Yuan, T. Hatano, R. Kleiner, D. Koelle, L. F. Chibotaru, K. Yamaura, H.-B. Wang, P.-H. Wu, E. Takayama-Muromachi, J. Vanacken, and V. V. Moshchalkov, *Local destruction of superconductivity by non-magnetic impurities in mesoscopic iron-based superconductors*, **Nat. Commun.**, 6, 7614-1-6 (2015) 査読有; 10.1038/ncomms8614.
- [15] T. Ishii, H. Kojitani, K. Fujino, H. Yusa, D. Mori, Y. Inaguma, Y. Matsushita, K. Yamaura, and M. Akaogi, *High-pressure high-temperature transitions in $MgCr_2O_4$ and crystal structures of new $Mg_2Cr_2O_5$ and post-spinel $MgCr_2O_4$ phases with implications for ultrahigh-pressure chromitites in ophiolites*, **Am. Mineral.**, 100, 59-65 (2015) 査読有; 10.2138/am-2015-4818.
- [16] S. Calder, J. H. Lee, M. B. Stone, M. D. Lumsden, J. C. Lang, M. Feygenson, Z. Zhao, J. Q. Yan, Y. G. Shi, Y. S. Sun, Y. Tsujimoto, K. Yamaura, and A. D. Christianson, *Enhanced spin-phonon-electronic coupling in a 5d oxide*, **Nat. Commun.**, 6, 8916-1-6 (2015) 査読有; 10.1038/ncomms9916.
- [17] X. Zhang, W. Yi, K. Feng, D. Wu, Y. Yang, P. Zheng, J. Yao, Y. Matsushita, A. Sato, H. Jiang, H. Wang, Y. Shi, K. Yamaura, and N. Wang, *Crystal Growth, Structural, Electrical, and Magnetic Properties of Mixed-Valent Compounds $YbOs_2Al_{10}$ and $LuOs_2Al_{10}$* , **Inorg. Chem.**, 53, 4387-4393 (2014) 査読有; 10.1021/ic403168v.
- [18] Y. Yuan, H. L. Feng, Y. Shi, Y. Tsujimoto, A. A. Belik, Y. Matsushita, M. Arai, J. He, M. Tanaka, and K. Yamaura, *High-pressure synthesis, crystal structure, and magnetic properties of $KSbO_3$ -type 5d oxides $K_{0.84}OsO_3$ and $Bi_{2.93}Os_3O_{11}$* , **Sci. Tech. Adv. Mater.**, 15, 064901-1-8 (2014) 査読有; 10.1088/1468-6996/15/6/064901.
- [19] X. Wang, Y. Guo, B. Li, Y. Tsujimoto, and K. Yamaura, *Bulk compound synthesis and oxygen deficiency effect on electronic and magnetic properties of the Zn-based oxyarsenide $LaZnAsO_{1-\delta}$* , **J. Alloy. Comp.**, 582, 241-245 (2014) 査読有; 10.1016/j.jallcom.2013.08.075.
- [20] Y. Tsujimoto, C. I. Sathish, Y. Matsushita, K. Yamaura, and T. Uchikoshi, *New members of layered oxychloride perovskites with square planar coordination: $Sr_2MO_2Cl_2$ ($M = Mn, Ni$) and $Ba_2PdO_2Cl_2$* , **Chem. Commun.**, 50, 5915-5918 (2014) 査読有; 10.1039/c4cc01422g.
- [21] Y. Tsujimoto, Y. Matsushita, N. Hayashi, K. Yamaura, and T. Uchikoshi, *Anion Order-to-Disorder Transition in Layered Iron Oxyfluoride Sr_2FeO_3F Single Crystals*, **Cryst. Growth Des.**, 14, 4278-4284 (2014) 査読有; 10.1021/cg500484e.
- [22] Y. Sun, Y. Guo, Y. Tsujimoto, C. Wang, J. Li, X. Wang, C. I. Sathish, Y. Matsushita, and K. Yamaura, *Unusual magnetic hysteresis and the weakened transition behavior induced by Sn substitution in Mn_3SbN* , **J. Appl. Phys.**, 115, 043509-1-8 (2014) 査読有; 10.1063/1.4863173.
- [23] Y. Shirako, X. Wang, Y. Tsujimoto, K. Tanaka, Y. Guo, Y. Matsushita, Y. Nemoto, Y. Katsuya, Y. Shi, D. Mori, H. Kojitani, K. Yamaura, Y. Inaguma, and M. Akaogi, *Synthesis, Crystal Structure, and Electronic Properties of*

- High-Pressure PdF₂-Type Oxides MO₂ (M = Ru, Rh, Os, Ir, Pt)*, **Inorg. Chem.**, 53, 11616-25 (2014) 査読有;
10.1021/ic501770g.
- [24] C. I. Sathish, Y. Shirako, Y. Tsujimoto, H. L. Feng, Y. Sun, M. Akaogi, and K. Yamaura, *Superconductivity of δ -MoCo_{0.75} synthesized at 17 GPa*, **Solid State Commun.**, 177, 33-35 (2014) 査読有; 10.1016/j.ssc.2013.09.024.
- [25] J. Li, J. Yuan, M. Ji, G. Zhang, J.-Y. Ge, H.-L. Feng, Y.-H. Yuan, T. Hatano, W. Hu, K. Jin, T. Schwarz, R. Kleiner, D. Koelle, K. Yamaura, H.-B. Wang, P.-H. Wu, E. Takayama-Muromachi, J. Vanacken, and V. V. Moshchalkov, *Impurities effects on the normal-state transport properties of Ba_{0.5}K_{0.5}Fe₂As₂ superconductors*, **Phys. Rev. B**, 90, 024512-1-8 (2014) 査読有; 10.1103/PhysRevB.90.024512.
- [26] H. L. FENG, Y. GUO, C. I. SATHISH, X. WANG, Y.-H. YUAN, and K. YAMAURA, *Crystal Structure and Magnetic Properties of Sr₂LiOsO₆* *JPS Conf. Proc.* 1, 012002-1-4 (2014) 査読有.
- [27] H. L. Feng, M. Arai, Y. Matsushita, Y. Tsujimoto, Y. Yuan, C. I. Sathish, J. He, M. Tanaka, and K. Yamaura, *High-pressure synthesis, crystal structure and magnetic properties of double perovskite oxide Ba₂CuOsO₆* **J. Solid State Chem.**, 217, 9-15 (2014) 査読有; 10.1016/j.jssc.2014.05.007.
- [28] H. L. Feng, M. Arai, Y. Matsushita, Y. Tsujimoto, Y. Guo, C. I. Sathish, X. Wang, Y.-H. Yuan, M. Tanaka, and K. Yamaura, *High-Temperature Ferrimagnetism Driven by Lattice Distortion in Double Perovskite Ca₂FeOsO₆* **J. Am. Chem. Soc.**, 136, 3326-3329 (2014) 査読有; 10.1021/ja411713q.
- [29] 山浦一成, 室温で導電体から絶縁体へ急変する「スレーター絶縁体」, **セラミックス**, 48, 447-452 (2013) 査読無.
- [30] X. Wang, Y. Guo, Y. Sun, Y. Tsujimoto, Y. Matsushita, and K. Yamaura, *Crystal structure and magnetic properties and Zn substitution effects on the spin-chain compound Sr₃Co₂O₆*, **J. Solid State Chem.**, 204, 40-46 (2013) 査読有; 10.1016/j.jssc.2013.05.014.
- [31] Y. Tsujimoto, K. Yamaura, and T. Uchikoshi, *Extended Ni(III) Oxyhalide Perovskite Derivatives: Sr₂NiO₃X (X = F, Cl)*, **Inorg. Chem.**, 52, 10211-10216 (2013) 査読有; 10.1021/ic402008n.
- [32] Y. Shi, Y. Guo, X. Wang, A. J. Princep, D. Khalyavin, P. Manuel, Y. Michiue, A. Sato, K. Tsuda, S. Yu, M. Arai, Y. Shirako, M. Akaogi, N. Wang, K. Yamaura, and A. T. Boothroyd, *A ferroelectric-like structural transition in a metal*, **Nat. Mater.**, 12, 1024-1027 (2013) 査読有; 10.1038/nmat3754.
- [33] Y. Shi, Y. Guo, Y. Shirako, W. Yi, X. Wang, A. A. Belik, Y. Matsushita, H. L. Feng, Y. Tsujimoto, M. Arai, N. Wang, M. Akaogi, and K. Yamaura, *High-Pressure Synthesis of 5d Cubic Perovskite BaOsO₃ at 17 GPa: Ferromagnetic Evolution over 3d to 5d Series*, **J. Am. Chem. Soc.**, 135, 16507-16516 (2013) 査読有; 10.1021/ja4074408.
- [34] C. I. Sathish, H. L. Feng, Y. Shi, and K. Yamaura, *Superconductivity in the bismuth oxysulfide compound Bi₄O₄S₃*, **J. Phys. Soc. Jpn.**, 82, 074703-1-6 (2013) 査読有; 10.7566/JPSJ.82.074703.
- [35] J. Li, J. Yuan, Y.-H. Yuan, J.-Y. Ge, M.-Y. Li, H.-L. Feng, P. J. Pereira, A. Ishii, T. Hatano, A. V. Silhanek, L. F. Chibotaru, J. Vanacken, K. Yamaura, H.-B. Wang, E. Takayama-Muromachi, and V. V. Moshchalkov, *Direct observation of the depairing current density in single-crystalline Ba_{0.5}K_{0.5}Fe₂As₂ microbridge with nanoscale thickness*, **Appl. Phys. Lett.**, 103, 062603-1-5 (2013) 査読有; 10.1063/1.4818127.
- [学会発表](計14件)
- [1] K. Yamaura, High-pressure and high-temperature synthesis of superconducting materials and related materials, *Electronic Materials and Applications 2016*, Orlando, Florida USA, January 20-22, 2016.
- [2] K. Yamaura, High-pressure and high-temperature synthesis of 5d double perovskite oxides *Symposium B-4, Challenges and progress in strongly correlated functional materials*, *MRS-J*, Yokohama, Japan, Dec. 9-10, 2015.
- [3] K. Yamaura, Development of functions of solid-state perovskite and related osmium oxides, *Seminar*, School of Chemistry, The University of Sydney, Australia, October 30, 2015.
- [4] K. Yamaura, Development of functions of solid-state materials: perovskite and related oxides containing 5d block elements *Hokkaido University - NIMS 2015 Joint Symposium*,

- Tsukuba, Japan, January 14, 2015.
- [5] K. Yamaura, High-pressure and high-temperature synthesis of solid-state materials: 5d perovskite and related oxides, *The International Conference on Advanced Materials and Nanotechnology (ICAMN-2014)*, Kathmandu, Nepal, November 4-6, 2014.
- [6] K. Yamaura, High-pressure and high-temperature synthesis of solid-state 5d oxides: perovskite and related materials, *Mott Physics Beyond the Heisenberg Model (MPBH 2014)*, Oriel College, Oxford, UK, 16–18 September, 2014.
- [7] K. Yamaura, High-pressure and high-temperature synthesis of solid-state 5d perovskite oxides and related materials, *The Eighth International Conference on the Science and Technology for Advanced Ceramics (STAC8)*, Mielparque-Yokohama, Yokohama, Japan, June 25-27, 2014.
- [8] K. Yamaura, New 5d Materials in Solid-State Osmium Oxides *Topology in the New Frontiers of Materials Science*, NIMS, Tsukuba, Japan, April 1-2, 2014.
- [9] K. Yamaura, A ferroelectric-like transition in metallic oxide LiOsO₃, *Department seminar*, Department of Physics, Southeast University, Nanjing, China, October 14, 2013.
- [10] K. Yamaura, A ferroelectric-like transition in a metal, *The 9th Nanjing-Hokkaido-NIMS/MANA Joint Symposium on the Cutting Edge Chemistry*, Huangshan, China, October 11-13, 2013.
- [11] K. Yamaura, Unusual symmetry breaking in high-T_c Fe-based superconductor, *Vortex Mater in Nanostructured Superconductors (VORTEX VIII)*, Rhodes, Greece, September 21-26, 2013.
- [12] K. Yamaura, High-pressure crystal growth and electromagnetic properties of perovskite related osmium oxides *New Opportunities to Study Magnetism and Related Phenomena in 4d and 5d Systems*, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, TN, July 22-24, 2013.
- [13] K. Yamaura, High-pressure crystal growth and electromagnetic properties of perovskite oxides and related compounds, *Collaborative Conference on Crystal Growth (3CG)* Cancun, Mexico, June 10-13, 2013.
- [14] K. Yamaura, High-pressure synthesis and electromagnetic properties of perovskite osmium oxides and related compounds *Divisional Seminar Series*, Department of Chemistry and Biochemistry, University of South Carolina, Columbia, SC 29208, USA, March 18, 2013.

6 . 研究組織

(1)研究代表者

山浦 一成 (Yamaura, Kazunari)

国立研究開発法人物質・材料研究機構・超伝導物性ユニット・主席研究員

研究者番号：70391216

(2)研究分担者

辻本吉廣 (Tsujiimoto, Yoshihiro)

国立研究開発法人物質・材料研究機構・先端材料プロセスユニット・主任研究員

研究者番号：50584075