

令和 2 年 5 月 11 日現在

機関番号：12608

研究種目：若手研究(A)

研究期間：2016～2019

課題番号：16H06033

研究課題名(和文)ヒドリドの高圧縮率を活かした構造・物性設計

研究課題名(英文)Structure and Physical property design by high compressibility of hydride ion

研究代表者

山本 隆文(Yamamoto, Takafumi)

東京工業大学・科学技術創成研究院・准教授

研究者番号：80650639

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 19,600,000円

研究成果の概要(和文)：本研究ではバナジウム酸水素化物 $Sr_{n+1}VnO_{2n+1}H_n$  ( $n = 1, 2, \dots$ ) に対して高圧下での測定を行うことにより、ヒドリドの新しい二つの性質を明らかにした。一つはヒドリドが極めて圧縮されやすいという性質、もう一つは金属原子間の相互作用を対称性の違いでブロックするという性質である。これらの結果により、H<sup>-</sup>を利用することによって、体積をロスすることなく、原子レベルで次元性を制御できることを示した。これらヒドリドの特異な圧縮挙動や特異な結合様式を利用して革新的物性制御が可能になると考えられる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

近年、従来合成が容易ではなかった酸水素化物が、合成技術の発達により次々に合成されており、その物性に注目が集まっている。例えば層状ペロブスカイト酸水素化物がヒドリドの固体イオン伝導を達成し、新しいエネルギーデバイスへの道を拓いた。またトポケミカル反応で得られる $BaTi(O,H)_3$ はヒドリドの高活性を利用したアンモニア触媒反応や新規複合アニオン合成のための前駆体として利用できる。本研究ではこれら大変興味深い酸水素化物について知られていなかった新しい性質を明らかにしたものである。ここで分かった性質は今後の物質設計、物性の制御に活かされることが期待できる。

研究成果の概要(英文)：We reveal two properties of hydride anion by high pressure experiments of vanadium oxyhydrides  $Sr_{n+1}VnO_{2n+1}H_n$  ( $n = 1, 2, \dots$ ). 1) Hydride anion can act as phi-blockers" in inorganic solids: hydride anion effectively blocks exchange pathways of phi-symmetry even under extremely high pressure due to lack of p orbital in hydride anion. 2) hydride anion is extraordinarily compressible compared with oxide anion. These concepts provide a strong motivation for the synthesis of new oxyhydride phases with novel properties.

研究分野：固体化学

キーワード：ヒドリド 酸水素化物 高圧 ペロブスカイト バナジウム

### 1. 研究開始当初の背景

金属酸化物はこれまで様々な金属元素(カチオン)の組合せにより膨大な数の構造が報告されてきたが、金属の配位構造は基本的に共通する場合が多く(例えば銅であれば  $\text{CuO}_4$  平面四配位など)、得られる機能性には大きな制約があった。研究代表者はこれまで、異常配位状態(アニオンの異常配位)に着目して斬新な構造を有する新物質とその特異な物性をいくつも報告してきた。例えば珍しい  $\text{FeO}_4$  平面四配位を有する鉄酸化物<sup>1-4</sup>のスピン転移<sup>2</sup>、 $\text{Ti}(\text{O},\text{H})_6$  八面体からなる酸水素化物<sup>5, 6</sup>におけるヒドリドの高活性<sup>7</sup>、 $\text{MnO}_4\text{N}_2$  八面体からなる酸窒化物の非自明な磁気秩序<sup>8</sup>などである。このようにアニオンの異常配位状態は、単なる酸化物を超える特異な物性を示し得るが、これまで同程度の大きさのアニオン(例えば  $\text{H}^-$ ,  $\text{N}^{3-}$ ,  $\text{O}^{2-}$ ,  $\text{F}^-$ )を自在に秩序化させ、配位構造を設計することは不可能であった。

また研究代表者はこれまで、 $\text{MO}_4$  平面四配位 ( $\text{M}$  = 遷移金属)の面間方向における高い圧縮率が物質の構造や物性に劇的な効果をもたらすことに注目して研究を行ってきた。例えば、 $\text{Sr}_3\text{Fe}_2\text{O}_5$  において単純な配位子場理論では起こらないとされる平面四配位金属におけるスピン転移(スピנקロスオーバー)が、圧力下で向かい合う  $\text{FeO}_4$ - $\text{FeO}_4$  面間の直接相互作用の増強により実現することを明らかにした<sup>2</sup>。また高圧下での  $\text{NaCl}$  構造から  $\text{CsCl}$  構造への転移(B1-B2 構造相転移)は地球科学の分野で 100 年前から知られ、数えきれないほど物質例がある有名な転移であるが、この転移が積層構造(平面四配位と  $\text{NaCl}$  構造の入れ子構造)でも起こることを初めて明らかにした<sup>9</sup>。

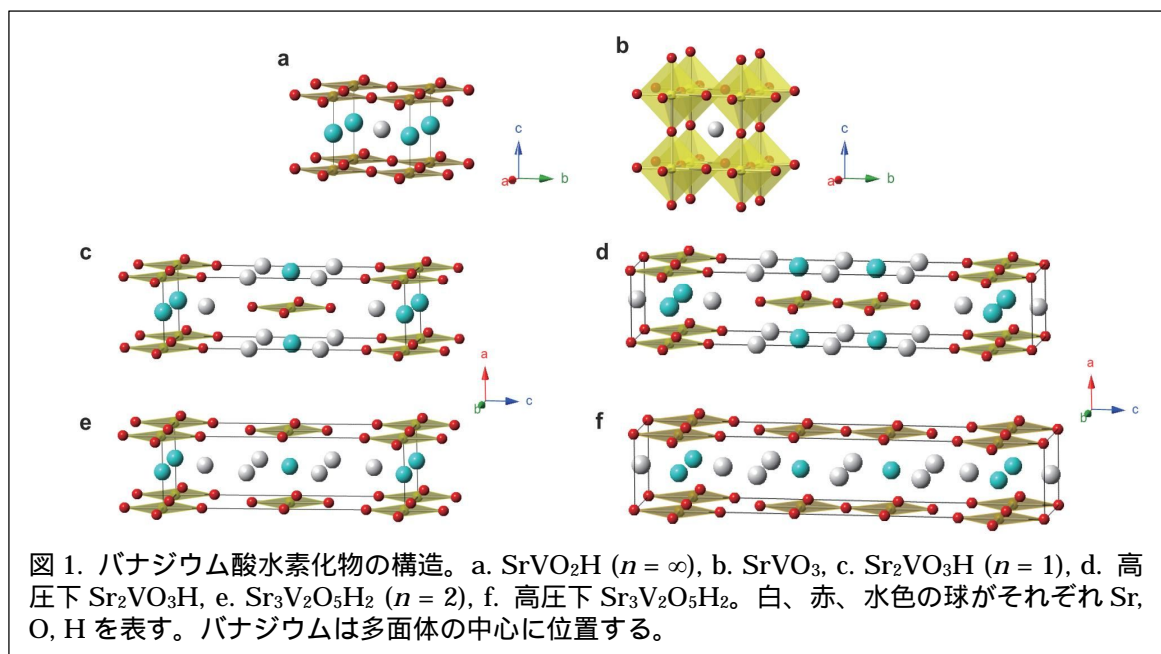
このような異方的な圧縮率を持つ物質の研究を進める中で、研究代表者は当時、 $\text{Sr}_2\text{VO}_3\text{H}$  におけるヒドリドの圧縮率が酸化物イオンに比べ異常に大きいことを見出ししていた。本研究課題は、この予備研究成果をもとに高圧下での酸水素化物に関する研究を開始したものである。

### 2. 研究の目的

これまで固体化学の分野では、「カチオン(金属イオン)」をパラメータとして、そのサイズや価数を変化させることで構造や物性の制御を行ってきたが、「アニオン」をパラメータとして用いることは難しかった。本研究ではヒドリドの圧縮挙動に着目することで、物質の構造制御、またヒドリドの特異な結合様式を利用した革新的物性制御を試みるものである。これにより「ヒドリドの高圧化学」の基礎学理を構築し、「アニオン」を利用した固体化学の新しい世界を切り開く。

### 3. 研究の方法

バナジウム酸水素化物  $\text{Sr}_{n+1}\text{V}_n\text{O}_{2n+1}\text{H}_n$  ( $n = 1, 2, \infty$ ; 図 1a,c,e) の粉末試料において、ダイヤモンドアンビルセル(DAC)を用いた高圧放射光 X 線回折実験を PF-AR NE1A で行った(入射光の波長は  $\lambda \sim 0.4\text{\AA}$ )。比較のため同様の測定をペロブスカイト酸化物  $\text{SrVO}_3$  (図 1b) についても行った。また DAC を用いた電気抵抗測定により、電気伝導性の圧力変化を調べた。さらに高圧下での電子構造を明らかにするため、DFT による第一原理計算を行った。



## 4. 研究成果

### (1) ヒドリドの圧縮率

高圧下での放射光 X 線回折データを解析することで、物質の圧力に対する格子の圧縮率を算出することが可能である。バナジウム酸水素化物  $\text{Sr}_{n+1}\text{V}_n\text{O}_{2n+1}\text{H}_n$  ( $n = 1, 2, \infty$ ; 図 1a,c,e) はそれぞれアニオンが秩序化した酸水素化物である。どの物質も紙面の上下方向は V-H の結合が連なっており、紙面に対して垂直方向には V-O の結合が連なっている。このことを利用すると、高圧下での V-O 結合と V-H 結合の圧縮率を算出できる。図 2 は規格化した格子定数を圧力に対してプロットした図である。明らかに V-H 結合が V-O 結合に比べて圧縮しやすいことが見てとれる。それぞれの圧縮率を一次の Birch-Murnaghan 式により計算すると表 1 のようになった。これらのデータから、V-O 結合と比較して V-H 結合はおよそ 2 倍圧縮されやすいことがわかった。すなわちヒドリドは酸化物イオンと比較すると大きく縮みやすいことが分かった。これらの結果は文献<sup>10, 11</sup>に出版されている。

このヒドリドの高い圧縮率を使って何か新たな現象を起こせないか。その例がアニオンの秩序-無秩序転移である。kageyama らによって  $\text{LnHO}$  ( $\text{Ln} = \text{La}, \text{Ce}, \text{Pr}, \text{Nd}$ ) では、アニオン秩序型の蛍石構造が知られていたが、イオン半径の小さいランタノイド系 ( $\text{Ln} = \text{Sm}, \text{Gd}, \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Ho}, \text{Er}$ ) を新たに合成した結果、これらはアニオン無秩序型をとることが明らかになった。詳細に解析を行うと、このアニオン秩序-無秩序相転移において、ヒドリドが柔軟にイオンサイズを変化させていることが明らかになった<sup>12</sup>。さらに、圧力下での合成によって、ヒドリドの大きな圧縮率を反映して、一般的な傾向とは異なる構造を持つ高圧相が得られることも報告されている<sup>13</sup>。このようにヒドリドの圧縮率は新たな物質設計に利用可能であることが示されつつある。

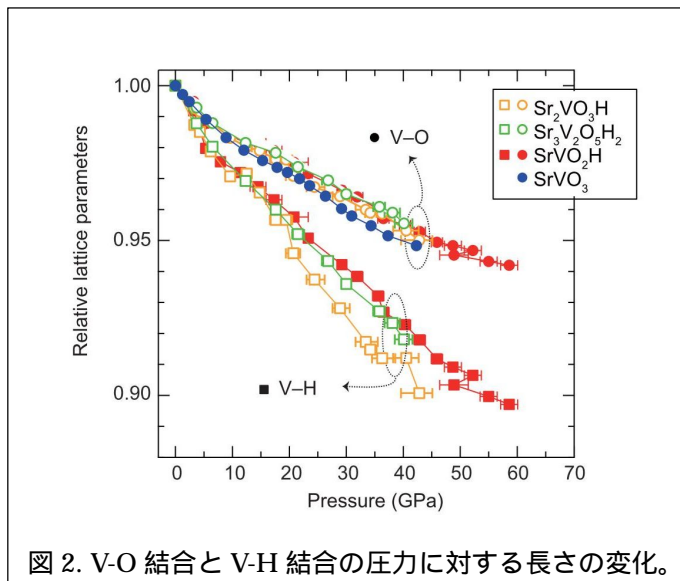


図 2. V-O 結合と V-H 結合の圧力に対する長さの変化。

表 1. 各物質から算出した V-H, V-O 結合の圧縮率

	V-H ( $10^{-3}$ GPa)	V-O ( $10^{-3}$ GPa)
$\text{SrVO}_2\text{H}$	3.7	1.47
$\text{Sr}_2\text{VO}_3\text{H}$	2.9	1.49
$\text{Sr}_3\text{V}_2\text{O}_5\text{H}_2$	2.5	1.33
$\text{SrVO}_3$		1.72
average	3.0	1.5

(2) 層状ペロブスカイト酸水素化物における B1-B2 構造相転移

$\text{Sr}_2\text{VO}_3\text{H}$  と  $\text{Sr}_3\text{V}_2\text{O}_5\text{H}_2$  に 40GPa を超える高い圧力をかけていくと、どちらもおよそ 40GPa で新しいピークが現れ、徐々に常圧相のピークが減少していった。この相転移は関連した構造を持つ酸化物  $\text{Sr}_3\text{Fe}_2\text{O}_5$  や  $\text{Sr}_2\text{CuO}_3$  で観測された構造相転移と同様であり、インターグロース構造における B1-B2 構造相転移 (NaCl 構造から CsCl 構造への相転移) である。それぞれ図 1d, 1f に高压相の構造を示した。リートベルト構造解析による体積分率の評価によって相転移圧  $P_s$  をそれぞれ 43GPa ( $\text{Sr}_2\text{VO}_3\text{H}$ ) と 45 GPa ( $\text{Sr}_3\text{V}_2\text{O}_5\text{H}_2$ ) と決めた。この B1-B2 構造相転移の転移圧はカチオンとアニオンのイオン半径比でスケールできることが分かっている。図 3 に今回の酸水素化物の  $P_s$  をプロットした図を示した。今回の酸水素化物は平面四配位を持つ  $\text{Sr}_2\text{CuO}_3$  などと比較しておよそ倍の転移圧を持ち、 $\text{Sr}_2\text{CuO}_3$  の構造におけるアピカル位に 40% 酸素が入った  $\text{LaSrNiO}_{3.4}$  と比較して、同等の転移圧を示すことが分かる。このことは、やはりヒドリドが酸化物イオンと比較して圧縮率が大きいことと対応している。この結果は文献<sup>11</sup> に出版されている。

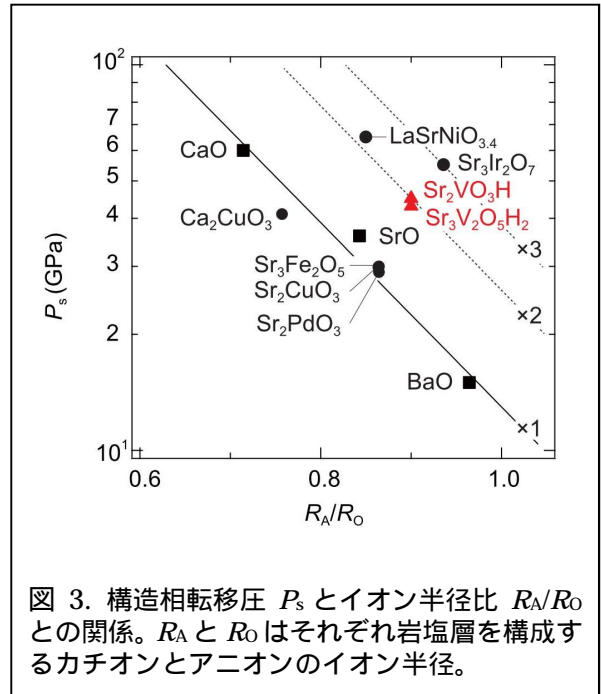


図 3. 構造相転移圧  $P_s$  とイオン半径比  $R_A/R_0$  との関係。  $R_A$  と  $R_0$  はそれぞれ岩塩層を構成するカチオンとアニオンのイオン半径。

(3) ブロッカーとしてのヒドリド

$\text{SrVO}_2\text{H}$  はヒドリドの  $1s$  軌道が V の  $3d_{t_{2g}}$  軌道と直交するため、 $c$  軸方向の結合が弱く、擬二次元的なモット絶縁体となっている。本研究においては高压によって金属 (超伝導) 化できるのではないかと期待して電気抵抗を行なった。図 4a に示すように、圧力の印加とともに電気抵抗相へ転移が起こったと考えられる。この相転移の起源に迫るために PBE+U 法により電子状態を調べた。すると高压相において、V-H 結合距離が大きく短くなっているにも関わらず  $c$  軸の方向の相互作用は弱いままで、擬二次元的な性質を保ったまま金属相に転移することが分かった。銅酸化物や鉄系の高温超伝導体の研究でよく知られているように、二次元的構造は革新的機能の発現のために重要な役割を担っている。これまで、二次元化合物を設計する指針は、伝導層と伝導層の間にバルキーな絶縁体ブロックを挟んで空間的に広げるといったものであった。例えば FeSe 層にアンモニア分子などの有機物を Li とともに共挿入し、FeSe 層間の距離を広げることで単体の FeSe に比べ ( $\sim 8$  K) 高い超伝導転移温度 ( $> 40$  K) が得られることが知られている<sup>14</sup>。  $\text{SrVO}_2\text{H}$  において示されたヒドリドを使った次元性の低下はこれまで戦略とは異なり、わずか  $1 \text{ \AA}$  程度のイオン半径しか持たないヒドリドを挟むことである程度は二次元性を保つことができる。  $t_{2g}$  軌道との結合をこの切る役割のあるヒドリドを「 $\pi$  ブロッカー」と名付けた。この結果は文献<sup>10</sup> に出版されている。

次に、層状ペロブスカイト酸水素化物  $\text{Sr}_2\text{VO}_3\text{H}$  ( $n=1$ ),  $\text{Sr}_3\text{V}_2\text{O}_5\text{H}_2$  ( $n=2$ ) について同様に電気抵抗測定を実行した (図 4b,c)。  $\text{Sr}_2\text{VO}_3\text{H}$  や  $\text{Sr}_3\text{V}_2\text{O}_5\text{H}_2$  は V-O-V の一次元鎖が H によって分断させられた一次元的な電子構造をもっている。よって、

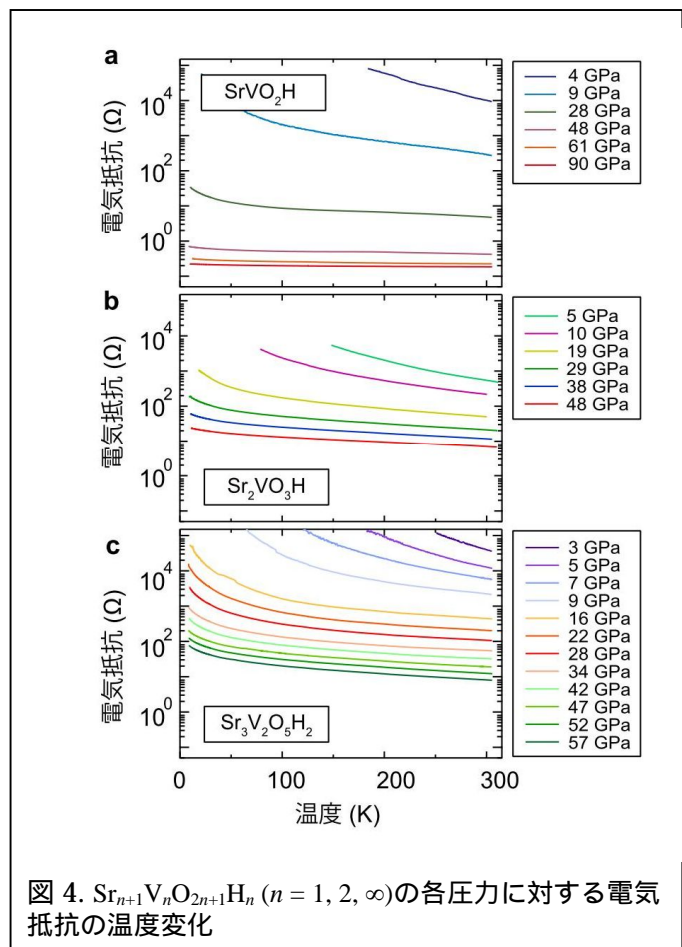


図 4.  $\text{Sr}_{n+1}\text{V}_n\text{O}_{2n+1}\text{H}_n$  ( $n=1, 2, \infty$ ) の各圧力に対する電気抵抗の温度変化



$n$  の値によって一次元から二次元への次元制御が可能となる。この次元性の低下を反映して、これらの物質は 50GPa 程度の超高压下においても、金属化の傾向を示さなかった (図 4b,c) このようにヒドリドだけでなく、ペロブスカイトの層状化も組み合わせて物質の次元性制御を行うことが可能であることを示した。この結果は文献<sup>11</sup> に出版されている。

#### References

1. Yamamoto, T. *et al.* Synthesis and Thermal Stability of the Solid Solution  $A\text{FeO}_2$  ( $A = \text{Ba}, \text{Sr}, \text{Ca}$ ). *Inorg. Chem.* **49**, 5957-5962 (2010).
2. Yamamoto, T. *et al.* Pressure-induced structural, magnetic, and transport transitions in the two-legged ladder  $\text{Sr}_3\text{Fe}_2\text{O}_5$ . *J. Am. Chem. Soc.* **133**, 6036-6043 (2011).
3. Yamamoto, T. *et al.*  $(\text{Sr}_{1-x}\text{Ba}_x)\text{FeO}_2$  ( $0.4 \leq x \leq 1$ ): A new oxygen deficient perovskite structure. *J. Am. Chem. Soc.* **134**, 11444-11454 (2012).
4. Yamamoto, T. *et al.* Impact of lanthanoid substitution on the structural and physical properties of an infinite-layer iron oxide. *Inorg. Chem.* **55**, 12093-12099 (2016).
5. Yamamoto, T. *et al.* An Antiferro-to-Ferromagnetic Transition in  $\text{EuTiO}_{3-x}\text{H}_x$  Induced by Hydride Substitution. *Inorg. Chem.* **54**, 1501-1507 (2015).
6. Sakaguchi, T. *et al.* Oxyhydrides of  $(\text{Ca}, \text{Sr}, \text{Ba})\text{TiO}_3$  Perovskite Solid Solutions. *Inorg. Chem.* **51**, 11371-11376 (2012).
7. Tang, Y. *et al.* On Hydride Diffusion in Transition Metal Perovskite Oxyhydrides Investigated via Deuterium Exchange. *Chem. Mater.* **29**, 8187-8194 (2017).
8. Tassel, C. *et al.*  $\text{MnTaO}_2\text{N}$ : Polar  $\text{LiNbO}_3$ -type Oxynitride with a Helical Spin Order. *Angew. Chem. Int. Ed.* **54**, 516-521 (2015).
9. Yamamoto, T. *et al.*  $B1$ -to- $B2$  structural transitions in rock salt intergrowth structures. *Inorg. Chem.* **50**, 11787-11794 (2011).
10. Yamamoto, T. *et al.* The role of  $\pi$ -blocking hydride ligands in a pressure-induced insulator to metal phase transition in  $\text{SrVO}_2\text{H}$ . *Nat. Commun.* **8**, 1217 (2017).
11. Yamamoto, T. *et al.* Pressure-Induced Transitions in the 1-Dimensional Vanadium Oxyhydrides  $\text{Sr}_2\text{VO}_3\text{H}$  and  $\text{Sr}_3\text{V}_2\text{O}_5\text{H}_2$ , and Comparison to 2-Dimensional  $\text{SrVO}_2\text{H}$ . *Inorg. Chem.* **58**, 15393-15400 (2019).
12. Yamashita, H. *et al.* Chemical Pressure-induced Anion Order-disorder Transition in  $\text{LnHO}$  Enabled by Hydride Size Flexibility. *J. Am. Chem. Soc.* **140**, 11170-11173 (2018).
13. Broux, T. *et al.* High-Pressure Polymorphs of  $\text{LaHO}$  with Anion Coordination Reversal. *J. Am. Chem. Soc.* **141**, 8717-8720 (2019).
14. Burrard-Lucas, M. *et al.* Enhancement of the superconducting transition temperature of  $\text{FeSe}$  by intercalation of a molecular spacer layer. *Nat. Mater.* **12**, 15 (2013).

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 3件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Yamamoto Takafumi, Zeng Dihao, Kawakami Takateru, Arcisauskaitė Vaida, Yata Kanami, Patino Midori Amano, Izumo Nana, McGrady John E., Kageyama Hiroshi, Hayward Michael A.	4. 巻 8
2. 論文標題 The role of $\pi$ -blocking hydride ligands in a pressure-induced insulator-to-metal phase transition in SrVO <sub>2</sub> H	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Nature Communications	6. 最初と最後の頁 1217
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41467-017-01301-0	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Yamamoto Takafumi, Shitara Kazuki, Kitagawa Shunsaku, Kuwabara Akihito, Kuroe Masahiro, Ishida Kenji, Ochi Masayuki, Kuroki Kazuhiko, Fujii Kotaro, Yashima Masatomo, Brown Craig M., Takatsu Hiroshi, Tassel Cedric, Kageyama Hiroshi	4. 巻 30
2. 論文標題 Selective Hydride Occupation in BaVO <sub>3</sub> -xHx (0.3 < x < 0.8) with Face- and Corner-Shared Octahedra	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Chemistry of Materials	6. 最初と最後の頁 1566 ~ 1574
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.chemmater.7b04571	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Yamamoto Takafumi, Harry Morgan, Zeng Dihao, Kawakami Takateru, Patino Midori Amano, McGrady John E., Kageyama Hiroshi, Hayward Michael A.	4. 巻 58
2. 論文標題 Pressure-induced transitions in the 1-dimensional vanadium oxyhydrides Sr <sub>2</sub> VO <sub>3</sub> H and Sr <sub>3</sub> V <sub>2</sub> O <sub>5</sub> H <sub>2</sub> , and Comparison to 2-Dimensional SrVO <sub>2</sub> H	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Inorganic Chemistry	6. 最初と最後の頁 15393-15400
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.inorgchem.9b02459	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計16件（うち招待講演 7件/うち国際学会 4件）

1. 発表者名 Takafumi Yamamoto, Dihao Zeng, Takateru Kawakami, John E. McGrady, Michael A. Hayward, and Hiroshi Kageyama
2. 発表標題 The roles of hydride ions in oxyhydride materials
3. 学会等名 Gordon Research Conference, Solid State Chemistry (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Takafumi Yamamoto
2. 発表標題 The roles of hydride ions in oxyhydride materials
3. 学会等名 Advanced Chemistry and Catalysis Engineering (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 山本隆文
2. 発表標題 酸化物セラミックスを超える機能性材料の開拓
3. 学会等名 第92回フロンティア材料研究所講演会 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山本隆文
2. 発表標題 化学・物理圧力を使った電子構造の制御
3. 学会等名 第8回酸化物研究の新機軸に向けた学際討論会 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山本 隆文, 陰山 洋, Dihao Zeng, John E. McGrady, Michael A. Hayward, 川上 隆輝
2. 発表標題 SrVO <sub>2</sub> Hにおける圧力誘起絶縁体-金属転移
3. 学会等名 第2回固体化学フォーラム研究会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 山本隆文, Dihao Zeng, 川上隆輝, John McGrady, Michael A. Hayward, 陰山洋
2. 発表標題 SrVO <sub>2</sub> Hにおける圧力誘起絶縁体-金属転移
3. 学会等名 日本セラミックス協会 第30回秋季シンポジウム
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 山本隆文, Dihao Zeng, 川上隆輝, John McGrady, Michael A. Hayward, 陰山洋
2. 発表標題 SrVO <sub>2</sub> Hにおける圧力誘起絶縁体-金属転移
3. 学会等名 日本物理学会 2017年 秋季大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 山本隆文
2. 発表標題 異方的な配位を持つ遷移金属化合物における圧力誘起相転移
3. 学会等名 日本磁気学会 第215回研究会 / 第61回化合物新磁性材料専門研究会 (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Takafumi Yamamoto, Dihao Zeng, Takateru Kawakami, John McGrady, Michael A. Hayward, Hiroshi Kageyama
2. 発表標題 A Pressure-Induced Insulator to Metal Transition in SrVO <sub>2</sub> H
3. 学会等名 The 6th Toyota RIKEN International Workshop (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年



1. 発表者名 山本隆文
2. 発表標題 新規酸水素化物の合成とヒドリドが拓く物性
3. 学会等名 日本セラミックス協会年会 サテライトミーティング「第4回構造科学と新物質探索研究会」(招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 山本隆文, 設楽一希, 北川俊作, 桑原彰秀, 黒江雅広, 石田憲二, 越智正之, 黒木和彦, 藤井孝太郎, 八島正知, 陰山洋
2. 発表標題 選択的ヒドリド導入による物性制御
3. 学会等名 日本セラミックス協会 2018年年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 山本隆文, 設楽一希, 北川俊作, 桑原彰秀, 黒江雅広, 石田憲二, 越智正之, 黒木和彦, 藤井孝太郎, 八島正知, 陰山洋
2. 発表標題 バナジウム酸水素化物におけるアニオンサイト制御
3. 学会等名 日本化学会 第98春季年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 山本 隆文, Michael A. Hayward, 陰山 洋
2. 発表標題 複合アニオン化合物におけるヒドリドイオンの高圧特性
3. 学会等名 日本化学会 第97春季年会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 山本隆文, 川上隆輝, Michael A. Hayward, John E. McGrady, 陰山洋
2. 発表標題 複合アニオン化合物におけるヒドリド(H-)イオンの高圧特性
3. 学会等名 第10回 物性科学領域横断研究会(招待講演)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Takafumi Yamamoto, Michael A. Hayward, Hiroshi Kageyama
2. 発表標題 High compressibility of hydride ion in Oxyhydrides
3. 学会等名 Workshop on solid-state chemistry for oxide and mixed-anion systems(国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 山本隆文, 川上隆輝, Michael A. Hayward, 岡田卓, 亀卦川卓美, 陰山洋
2. 発表標題 酸水素化物におけるヒドリドの高圧縮挙動
3. 学会等名 日本セラミックス協会 第29回秋季シンポジウム
4. 発表年 2016年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 山本隆文、陰山洋	4. 発行年 2019年
2. 出版社 アグネ技術センター	5. 総ページ数 8
3. 書名 固体物理	

〔産業財産権〕

[ その他 ]

Takafumi's homepage  
<https://sites.google.com/view/takafumis-homepage>

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----