

研究課題別評価

1 研究課題名: 単一次元鎖磁石の構造秩序性と磁性制御

2 研究者氏名: 宮坂 等

3 研究のねらい:

近未来のコンピューターデバイス、メモリーの材料として最も期待されるものが、「単分子磁石 (Single-Molecule Magnet)」や「単一次元鎖磁石 (Single-Chain Magnet)」と言われるナノスケール化合物(分子)である。前者は独立な分子、後者は一本の一次元鎖を意味するが、分子一つ一つがいわゆる“磁石”として振る舞うことができれば膨大な量の情報を蓄積できるだろうし、分子レベル(ナノスケール)で磁化の大きさが画一化されれば分子独自の量子性を使った信号情報としても有用である。しかし、分子や一本の一次元磁性鎖が磁石になるのだろうか？今までの“磁石”という概念(古典的バルク磁石)を考えれば常識的に不可能である。

孤立した一次元鎖内で磁化がある方向に一義的に配列しても、三次元的なバルクの磁石にはなり得ない。しかし、強磁性的、あるいはフェリ磁性的 Ising chain は一次的に配列したスピナー軸異方性によって縛られるためにスピンの反転にエネルギー障壁が生じるため、準安定状態をもつ磁石としての性質が内在される可能性がある。これが「単一次元鎖磁石」である。1963年に R. J. Glauber の Ising 理論により磁化反転の時間依存性が理論予想されたが、実験的に化合物レベルで解明されたのはようやく今世紀に入ってからである。本研究者は2例目、ヘテロ金属一次元磁性鎖を使った強磁性 Ising-type 鎖では世界で初めての単一次元鎖磁石を見出した。本研究では、Glauber の理論を実際の強磁性単一次元鎖磁石で検証し、さらに、単一次元鎖磁石の合理的な設計を模索しつつ、それを「バルクと量子ナノの狭間」としたときの物質の次元の変遷[孤立微小分子→ナノクラスター(量子の状態)→単一次元鎖→構造部分崩壊(ガラス状態、量子？バルク?)→バルク]を構造と磁氣的秩序の観点から一群の Mn^{III} salen系金属錯体化合物を基にコントロールすることを本研究の目的とした。

4 研究成果:

単一次元鎖磁石を構築するには、三つの重要な条件を制御する必要がある。それらは、1) 一次元鎖内の個々のスピンは強磁性的、あるいはフェリ磁性的に配列する、2) 一次元鎖間の磁氣的相互作用が存在せず(もしくは、無いに等しく)、一次元鎖内の磁氣的相互作用を J 、鎖間のそれを J' としたときの J/J' 比が大きく(この条件はバルク磁石にならないことを示している)、3) 大きな一軸異方性をもつことである。一次元鎖化合物を構築するための本研究者の設計原理は、異種金属錯体からなる二つの分子ブロックを組み合わせる方法である。分子ブロックそれぞれが異なる不対電子数を持つならば強磁性、あるいはフェリ磁性的にスピナーが配列可能である。磁氣異方性は主に金属イオン由来であるため、一軸磁氣異方性の大きい分子ブロックを使用し、磁氣容易軸を一次元鎖方向に配列制御すれば単一次元鎖磁石を設計できる。そこで、配位受容性金属

錯体として Mn^{III} 四座シッフ塩基錯体 $[Mn(R\text{-saltmen})(H_2O)]^+$ ($R\text{-saltmen}^{2-} = N, N'-(1, 1, 2, 2\text{-tetramethylethylene})\text{bis}(R\text{-salicylideneimine})$)を開発した(カウンターアニオンは ClO_4^- , BF_4^- , PF_6^- , ReO_4^-)。この化合物は固体状態で out-of-plane 型二量体構造をとりやすく、その二量体内の磁気相互作用は一般に強磁性的である。その交換積分値の大きさは二量体を形成する架橋距離に依り、Mn-O 間が 2.4 ~ 3.7 Å の範囲に渡り $J_{Mn\cdots Mn}/k_B = +2.6\text{ K} \sim +0.15\text{ K}$ であることを明らかにしている。さらに H_2O と架橋酸素を繋ぐ軸に Jahn-Teller 歪みが存在し、それぞれの Mn^{III} イオンはゼロ磁場分裂パラメーター $D_{Mn}/k_B = -0.5\text{ K} \sim -3.6\text{ K}$ を示す。この化合物が架橋方向(一次元鎖方向)に Ising 性磁気異方性を示す $S=4$ の配位受容性分子ブロックとして利用できることを見出した(H_2O 部は置換可能な配位サイト)。実際に $Mn_2(\text{saltmen})_2(ReO_4)_2$ 他 dimer の多くが $S_T = 4$ のスピン基底状態を持つ単分子磁石になることを明らかにした。一方、配位供与性分子ブロックとして bis(2-pyridyloximate) Ni^{II} 、 $[Ni(\text{pao})_2(L^1)_2]$ ($L^1 = \text{pyridine derivatives}$)、 $[Ni(\text{pao})_2(L^2)]$ ($L^2 = 2,2'$ -bipyridine, 1,10-phenanthroline)を開発した。これらの分子ブロックはオキシム基 NO が二原子架橋して磁氣的相互作用を起こすことも期待できる。

これらの分子ブロックの集積反応により、salen 系配位子、 Ni^{II} ユニットの L^1 及び L^2 、カウンターイオン (packing 効果)、そして反応条件に依存して $Mn^{III} : Ni^{II}$ 組成比が 2:1 の **Type I**: $[Mn(\text{saltmen})_2[Ni(\text{pao})_2(L^1)_2]](A)_2$ ($A^- = ClO_4^-, BF_4^-, PF_6^-, ReO_4^-$) 及び **Type II**: $[Mn(R\text{-saltmen})_2[Ni(\text{pao})_2(L^2)]](A)_2$ ($R = 5\text{-MeO}, 5\text{-Me}, 5\text{-Cl}, 5\text{-Br}; A^- = ClO_4^-, PF_6^-$)、1:1 の **Type III**: $[Mn(R\text{-saltmen})Ni(\text{pao})_2(L^2)]A$ ($R = H, 3,5\text{-di-Cl}, 3,5\text{-di-Br}, A^- = ClO_4^-, PF_6^-$)の大きく分けて3種類の一次元金属錯体化合物群として得ることができた。

$[Mn(\text{saltmen})_2[Ni(\text{pao})_2(L^2)]](A)_2$ は NO を介した $Mn\cdots Ni$ 間が $J_{Mn-Ni}/k_B \cdot -20\text{ K}$ の反強磁性的相互作用により $S=3$ のユニットを形成し、このユニット間が $J'/k_B \cdot +0.7\text{ K}$ の強磁性的相互作用の強磁性 Ising-type 一次元鎖である。磁化の容易軸は Mn ユニットの Jahn-Teller 軸方向により、一次元鎖方向を向いている。一次元鎖方向に磁場をかけたときにのみ hysteresis が観測され、一次元鎖に平行な磁化容易軸を持つ一軸異方性を明確に示す。一次元鎖に対して垂直方向は磁化困難軸ということになる。困難軸に対して磁場をかけ、磁化飽和する磁場 (anisotropic field, H_a) を測定することにより、ユニットの一軸異方性パラメーター(ゼロ磁場分裂パラメーター)をおおよそ見積もることができる。**Type I** 及び **Type II** とともに $D_{eff}/k_B \approx -2.0 \sim -2.6\text{ K}$ の範囲であると見積もることができた。これらの結果は単一次元鎖磁石を設計する要素1)~3)の全てを満足していることを示している。

6~1.8 K で 1~1500 Hz の交流磁化率周波数を変化させることにより、Debye モデルによる検証を行った結果、全ての温度領域でほぼ Debye モデルで評価できることが明らかとなった。単緩和からのズレは一次元鎖の有限長分布に関係しており、平均有限長が短いと思われる化合物に関しては実際にわずかな Debye モデルからのズレを確認した。これら磁化緩和過程が単一の緩和現象、即ち単一次元鎖磁石の緩和のみで起こっていることを証明している。低温域で、実数成分 χ' 及び虚数成分 χ'' 共に周波数依存を示し、単緩和での温度の関数としての緩和時間は Arrhenius 関数として表すことができる。

$$\tau(T) = \tau_0 \exp(\Delta/k_B T) \quad (1)$$

・ τ 及び・ τ' におけるそれぞれの虚数成分 τ'' のピークを Arrhenius プロットすると、Type I 及び Type II 全ての化合物について同様な値、 $\tau_0 \approx 1 \times 10^{-10}$ s、 $\tau/k_B \approx 70$ K (Type I) 及び、 $\tau_0 \approx 5 \times 10^{-10}$ s、 $\tau/k_B \approx 50$ K (Type II) が得られた。ここで τ/k_B は磁化反転のエネルギー障壁を示している。カウンターアニオン A⁻や鎖間に突き出る配位子 L を変えて鎖間の環境を変えても同様に近似した値が得られたことは、これらの化合物がスピングラスのようなランダム磁区形成(部分的に磁区を形成したバルク磁石)や複数の緩和によるものではなく、一次元鎖方向の異方性スピンの緩和による“単一次元鎖磁石”の磁気挙動そのものであることを明確にしている。

単分子磁石では、分子固有のスピン基底状態 $+m_s$ と $-m_s$ の間に一軸異方性に基づくエネルギー障壁が存在し、そのエネルギーを熱的に越える緩和と $+nm_s$ と $-n'm_s$ ($n = n'$ もしくは $n \neq n'$) 間の量子レベルのトンネル効果に基づく緩和の大きさ τ に分けて2種の緩和によって磁化が反転する。前者の熱的な緩和におけるエネルギー障壁((1)式参照)は、

$$\Delta = D_{eff} |S^2| \text{ (Integer spin)} \quad (2)$$

または

$$\Delta = D_{eff} |S^2 - 1/4| \text{ (Half integer spin)} \quad (2')$$

で与えられる。本研究で得られた強磁性単一次元鎖磁石は、 $S=3$ のユニットスピンの強磁性的に配列した擬 Ising 系であり、Glauber の Ising モデルを考慮して考えることができよう。一般に、厳密な Glauber Ising システム(厳密な一軸成分)の磁化緩和時間は、

$$\tau(T) = \tau' \exp(8JS^2/k_B T) \quad (3)$$

として与えられた。ここで τ' は個々の Ising ユニットの緩和時間である。即ち、有限な一軸異方性(有限な D)で考えられる実際の化合物では、 $\tau' = \tau_0 \exp(D_{eff} |S^2|/k_B T)$ で考えることができるだろう。よって、有限な一軸異方性を有する系として、

$$\Delta = (8J + |D_{eff}|) S^2 \quad (|D| > 4J/3) \quad (4)$$

を提案した。実際に、Type I の系について検証すると、ユニットスピンは $S=3$ であり、そのユニットスピン間の相互作用は $J/k_B \approx 0.7$ K である。単結晶による困難軸磁場印加の測定により $D_{eff}/k_B = -2.5$ K と見積もられたので、(4)式より、 $\tau/k_B = 72.9$ K である。実際に交流磁化率測定から得られた値が $\tau/k_B \approx 70$ K なので、極めて良い一致を示していることがわかる。

上記強磁性単一次元鎖磁石は、“磁気異方性ユニットが強磁性的に連結した一次元鎖”として解釈され、厳密な Ising 鎖とは異なる。そのため、磁化反転のためのエネルギー障壁はおおよそ $(8J + |D|) S^2$ として考えられることを記した。それでは、もし、強磁性的相互作用が存在しない($J=0$ K) “磁気異方性ユニット”のみにしたら $|D| S^2$ の単分子磁石として解釈できるのだろうか？

上記単一次元鎖磁石のユニットに相当する discrete な $Mn^{III}-Ni^{II}-Mn^{III}$ の三核錯体を単離することに成功した。オキシム架橋を介した $Mn^{III} \cdots Ni^{II}$ 間の相互作用は $J/k_B \approx -24$ K で、低温で $S_T=3$ のスピン基底状態を持つ。この三核錯体の磁気異方性は $D/k_B = -2.4$ K で、単一次元鎖磁石で見積

もられたユニットの D 値とほぼ一致し、この錯体が強磁性単一次元鎖磁石のユニットとして仮定できることを示している。これらの値から推測される磁化反転のエネルギー障壁は $\Delta = |D|g^2 = 21.6$ K である。実際にこの化合物は交流磁化率で周波数依存性を示し、その挙動から見積もられたエネルギー障壁値は、18 K である。ほぼ計算値と一致しており、明らかに単分子磁石として解釈できることを示している。

5 自己評価:

このさきがけ研究では2つの大きな目標を掲げた。一つは、全く新しい単一次元鎖磁石の合理的合成とその系統的な理論評価であり、二つ目は、単分子磁石から単一次元鎖磁石、そして二次元・三次元系への磁気秩序制御である。このさきがけ研究を始める直前に強磁性単一次元鎖磁石を世界で始めて発表したが、3年間の間に6種50化合物を超える単一次元鎖磁石群を見つけることができた。また、強磁性単一次元鎖磁石の磁化緩和現象を理論的に解釈する方法論を提案し、それを実際の化合物群を用いて実験的にも立証することに成功した。しかし、未だこの研究は始まったばかりであり、例えば、フェリ磁性単一次元鎖磁石、ヘテロスピン系単一次元鎖磁石、複数の相互作用からなる単一次元鎖磁石に関する理論的及び実験的立証は今後のテーマである。また、鎖間の相互作用が単一次元鎖磁石挙動に及ぼす影響に関しても結果を得ているが、系統的な研究は未だ行っていない。

本研究での結果で重要なものの一つに、「単分子磁石を強磁性的に一次元に連結すると単一次元鎖磁石になる」という結果がある。この方法を使えば、より高温での超常磁性挙動を得ることができよう。

超常磁性挙動の次元制御は、物質固有の性質と協同効果による性質を制御できるという意味で極めて興味深い。単分子磁石(超常磁性)から一次元系の単一次元鎖磁石(超常磁性)への変換は上記のように理解できるが、単分子磁石を二次元・三次元に磁氣的に連結した物質群での評価は、磁氣的相互作用の短距離秩序及び長距離秩序の発達をも含めるため、極めて難しい。しかし、本研究で数種の二次元・三次元系を検討し、単分子磁石の持つ固有の磁気異方性と分子間相互作用により超常磁性から長距離秩序磁性体への変換を実現した。しかし、最大のテーマである「量子性の制御」はさらなる研究が必要である。

本研究の今後の課題を記したい。

1. 単一次元鎖磁石における磁化緩和現象の解明(フェリ磁性系、ヘテロスピン系、異種相互作用相関係)
2. ブロッキング温度増加への方法論の確立と物質開発へのフィードバック
3. 単分子磁石の量子トンネル効果への分子間相互作用の影響と消滅
4. 単分子磁石及び単一次元鎖磁石の磁化緩和における外場応答性
5. 環状分子磁石と単一次元鎖磁石の相関(有限鎖長効果について)
6. 単分子磁石及び単一次元鎖磁石の磁気異方性を利用したデバイスの検討

これらは極めて壮大な研究テーマであり、長期的な検討が必要であろう。しかし、上記の課題は単に分子磁性や単一の物質群における興味だけでなく、幅広い物質群の「秩序と物性」という根

幹にメスを入れる一つの切り口であると思っている。

6 研究総括の見解:

異種金属錯体からなる二つの分子ブロックを組み合わせる設計原理を基に、単次元鎖磁石の合成とその系統的な理論評価を行うとともに二次元・三次元系への磁気秩序制御を目指すという挑戦的な研究である。強磁性単次元鎖磁石の磁化緩和現象を理論的に解釈する方法論を提案し、それを3年間で見出した6種50化合物を超える実際の化合物群を用いて検証することに成功した。また数種の二次元・三次元系を検討し、単分子磁石の持つ固有の磁気異方性と分子間相互作用により超常磁性から長距離秩序磁性体への変換を実現したこと、特に単分子磁石を強磁性的に一次元に連結することで単次元鎖磁石が合理的に設計できることを実験と理論の両面で示し、物質固有の性質と協同効果による性質の制御ができることを明らかにしたことは画期的な成果といえる。鎖間の相互作用の系統的研究は堵についたばかりであり、今後量子性を制御する未踏領域を拓くことを期待している。

7 主な論文等:

原著論文

1. A mixed-valence Mn_6 cluster capped by nitronyl nitroxide units
Kazuya Nakata, Hitoshi Miyasaka, Fumiyasu Iwahori, Ken-ichi Sugiura, Masahiro Yamashita
Polyhedron, **2005**, in press.
2. Single-Chain Magnet $(NEt_4)[Mn_2(5-MeOsalen)_2Fe(CN)_6]$ Made of $Mn^{III}-Fe^{III}-Mn^{III}$ Trinuclear Single-Molecule Magnet with an $S_T = 9/2$ Spin Ground State
Marilena Ferbinteanu, Hitoshi Miyasaka, Wolfgang Wernsdorfer, Kazuya Nakata, Ken-ichi Sugiura, Masahiro Yamashita, Claude Coulon, and Rodolphe Clérac
J. Am. Chem. Soc., **2005**, 127, 3090-3099.
3. $[Mn^{III}_2(5-Rsaltmen)_2Ni^{II}(pao)_2(L)]^{2+}$: An $S_T = 3$ Building-Block for Single-Chain Magnet that Behaves as a Single-Molecule Magnet
Hitoshi Miyasaka, Tomohiro Nezu, Kuniyoshi Sugimoto, Ken-ichi Sugiura, Masahiro Yamashita, and Rodolphe Clérac
Chem. -Eur. J., **2005**, 11, 1592-1602.
4. Linear $Ni^{II}-Mn^{III}_2-Ni^{II}$ Tetramers: Oligomeric Species of the $Mn^{III}_2Ni^{II}$ Single-Chain Magnets
Hitoshi Miyasaka, Tomohiro Nezu, Kuniyoshi Sugimoto, Ken-ichi Sugiura, Masahiro Yamashita, and Rodolphe Clérac

Inorg. Chem., **2004**, 43, 5486–5488.

5. Pressure effects on single chain magnets
M. Mito, N. Shindo, T. Tajiri, H. Deguchi, S. Takagi, H. Miyasaka, M. Yamashita, R. Clérac, C. Coulon
J. Mag. Mag. Mate., **2004**, 272–276, 1118–1119.
6. Dimeric Manganese(III) Tetradentate Schiff–Base Complex as a Single–Molecule Magnet
Hitoshi Miyasaka, Rodolphe Clérac, Wolfgang Wernsdorfer, Lollita Lecren, Claire Bonhomme, Ken–ichi Sugiura and Masahiro Yamashita
Angew. Chem. Int. Ed., **2004**, 43, 2801–2805.
7. Glauber dynamics in a single–chain magnet: From theory to real systems
Claude Coulon, Rodolphe Clérac, Lollita Lecren, Wolfgang Wernsdorfer, and Hitoshi Miyasaka
Phys. Rev. B, **2004**, 69, 132408–1–132408–4.
8. Racemic nickel(II) pyridine–2–aldoximate complexes capped by 2,2′–bipyridine and 1,10–phenanthroline: syntheses, structures and magnetic properties
Hitoshi Miyasaka, Sachie Furukawa, Sayaka Yanagida, Ken–ichi Sugiura, and Masahiro Yamashita
Inorg. Chimi. Acta, **2004**, 357, 1619–1626.
9. A Three–Dimensional Ferrimagnet Composed of Mixed–Valence Mn^{IV} Clusters Linked by an [Mn[N(CN)₂]₆]^{4–} Unit
Hitoshi Miyasaka, Kazuya Nakata, Ken–ichi Sugiura, Masahiro Yamashita, and Rodolphe Clérac
Angew. Chem. Int. Ed., **2004**, 43, 707–711.
10. [Mn₂(saltmen)₂Ni(pao)₂(L)₂](A)₂ with L = pyridine, 4–picoline, 4–*t*–butylpyridine, *N*–methylimidazole and A = ClO₄[–], BF₄[–], PF₆[–], ReO₄[–]: A Family of “Single–Chain Magnet”
Hitoshi Miyasaka, Rodolphe Clérac, Kaori Mizushima, Ken–ichi Sugiura, Masahiro Yamashita, Wolfgang Wernsdorfer, and Claude Coulon
Inorg. Chem., **2003**, 42, 8203–8213.
11. Heterometallic Hexanuclear Cluster with an *S* = 8 Spin Ground State: Mn^{II}{Mn^{II}(hfac)₂}[Ni^{II}(pao)₃]₂ (hfac[–] = Hexafluoroacetylacetonate, pao[–] = Pyridine–2–aldoximate)
Hitoshi Miyasaka, Tomohiro Nezu, Fumiyasu Iwahori, Sachie Furukawa, Kunihisa Sugimoto, Rodolphe Clérac, Ken–ichi Sugiura, and Masahiro Yamashita
Inorg. Chem., **2003**, 42, 4501–4503.
12. Structure and Magnetic Properties of the Two–Dimensional Ferrimagnet, (NEt₄)[[Mn(salen)]₂Fe(CN)₆]: Investigation of Magnetic Anisotropy on a Single Crystal
Hitoshi Miyasaka, Hidenori Ieda, Naohide Matsumoto, Ken–ichi Sugiura, and Masahiro Yamashita

- Inorg. Chem.*, **2003**, *42*, 3509–3515.
13. A series of Ni(II) pyridyloximate (pao⁻) compounds [Ni(pao)₂(L)₂] (L = unidentate ligand): as a coordination donor building block in the assembly with Mn(III) salen analogues
Hitoshi Miyasaka, Kaori Mizushima, Ken-ichi Sugiura, and Masahiro Yamashita
Synth. Metals, **2003**, *137*, 1245–1246.
 14. Evidence for «Single Chain Magnet» Behavior in a Heterometallic Mn^{III}-Ni^{II} Chain
Rodolphe Clérac, Hitoshi Miyasaka, Masahiro Yamashita, and Claude Coulon
J. Am. Chem. Soc., **2002**, *124*, 12837–12844.
 15. Magnetic/Conducting Hybrid Compound Composed of 1-D Chain [Mn_{II}²Cl₅(EtOH)]^{-∞} and BEDT-TTF Stacking Layer
Hitoshi Miyasaka, Yuko Yoshino, Tomohiko Ishii, Ryo Kanehama, Toshio Manabe, Masahiro Yamashita, Hiroyuki Nishikawa, and Isao Ikemoto
J. Solid State Chem., **2002**, *168*, 418–426.
 16. Reactions of Mn(III) Quadridentate Schiff Base Compounds with TCNQ Anion to Form Unusual TCNQ Derivatives by Alcoholysis
Hitoshi Miyasaka, Kunihisa Sugimoto, Ken-Ichi Sugiura, Tomohiko Ishii, and Masahiro Yamashita
Mol. Cryst. Liq. Cryst., **2002**, *379*, 197–204.
 17. Out-of-plane Dimer Structures and Magnetic Properties of Mn(III) Quadridentate Schiff Base Compounds with *N,N'*-(1, 1, 2, 2-Tetramethylethylene)bis(5-chlorosalicylideneiminato)
Hitoshi Miyasaka, Kaori Mizushima, Sachie Fukawa, Tomohiko Ishii, Ken-Ichi Sugiura, and Masahiro Yamashita
Mol. Cryst. Liq. Cryst., **2002**, *379*, 171–178.
 18. Synthesis, Structure and Magnetic Properties of the Antiferromagnetic Hexamanganese Cluster [Mn₆(^μ₄-O)₂(O₂CC₆H₄)₁₀(HO₂CCH₃)₄](C₇H₈)
Kazuya Nakata, Hitoshi Miyasaka, Tomohiko Ishii, Masahiro Yamashita, and Kunio Awaga
Mol. Cryst. Liq. Cryst., **2002**, *379*, 211–216.
 19. Construction of a One-Dimensional Chain Composed of Mn₆ Clusters and 4,4'-Bipyridine Linkers: The First Step for Creation of “Nano-Dots-Wires”
Kazuya Nakata, Hitoshi Miyasaka, Kunihisa Sugimoto, Tomohiko Ishii, Ken-ichi Sugiura, and Masahiro Yamashita
Chem. Lett., **2002**, *7*, 658–659.
 20. Out-of-Plane Dimers of Mn(III) Quadridentate Schiff-Base Complexes with Saltmen²⁻ and Naphtmen²⁻ Ligands : Structure Analysis and Ferromagnetic Exchange
Hitoshi Miyasaka, Rodolphe Clérac, Tomohiko Ishii, Ho-Chol Chang, Susumu Kitagawa, and Masahiro Yamashita

総説・紀要等

21. 単分子量子磁石の分子間相互作用がおもしろい？—量子トンネル効果のチューニング
中田一弥、宮坂 等、山下正廣
化学, **2004**, 59, 68–69.
22. ナノワイヤー分子磁石(Ⅱ部2章)
宮坂 等、山下正廣
集積型金属錯体の科学 物質機能の多様性を求めて(大川尚士・伊藤 翼編)化学同人,
2003.
23. 一本の一次元金属錯体が磁石の性質を示す ナノワイヤー単分子磁石ができた—室温単
分子磁石を目指して—
宮坂 等、山下正廣
化学, **2002**, 57, 12–16.

新聞・雑誌紹介

24. *C&EN*, 29, December 13, **2004**.
SINGLE-MOLECULE MAGNETS EVOLVE
Transition-metal clusters are ideal systems to explore nanoscale magnetism and quantum
effects <Science & Technology>
25. *Japan NanoNet Bulletin*, 第2号, 1, **2003**.
26. 化学工業日報, 4月21日, **2003**.
27. 日経 先端技術, 34, 3月24日, **2003**.

主な口頭発表及び招待講演

28. 集積型金属錯体研究会 2002年1月
「量子ナノワイヤー“単一次元鎖磁石”の証明と合理的設計」
29. International Conference on Science and Technology of Synthetic Metals (ICSM2002)(上
海) 2002年6月29–7月5日
「“Single Chain Magnets” of Mn(III) Salen Analogues and Ni(II) Oximate Complexes」
30. XXXVth International Conference on Coordination Chemistry (ICCC2002)(ドイツ・ハイデル
ベルク) 2002年7月21–26日
「Magnetism of Low-dimensional Assemblies with Mn(III) Salen Analogues as Building
Components」
31. 錯体化学若手の会夏の学校(湯布院) 2002年8月7–9日
「新しい機能性金属錯体の創製—磁性体と伝導体構築への分子設計—」(招待講演)
32. 第52回錯体化学討論会(東京) 2002年9月30–10月2日 シンポジウム

- 「ナノワイヤー単分子磁石」(シンポジウム代表者)
33. 21世紀COE 京都大学化学連携研究教育拠点講演会 新しいサイエンスを産むナノ金属錯体の化学(京都) 2003年3月1日
「ナノワイヤー分子磁石の創製」(招待講演)
34. 第83回春季年会(東京、早稲田) 2003年3月18-21日
「Mn-Ni 単次元鎖磁石の設計と磁性制御」
35. International Symposium Nano-Science of Advanced Metal Complexes(岡崎、分子研) 2003年3月22-24日
「Design of Mn(III)-Ni(II) Single-Chain Magnets by Controlling of Interchain Interaction」(招待講演)
36. 日本物理学会 2003年秋季大会(岡山) 2003年9月20-23日
「強磁性単次元鎖磁石の設計と磁気構造評価」
37. 第53回錯体化学討論会(山形) 2003年9月24-26日
「強磁性単次元鎖磁石の設計と磁気挙動」
38. The Eighth Eurasia Conference on Chemical Sciences(Hanoi, Vietnam) 2003年10月20-23日
「Design of Mn(III)-Ni(II) Single-Chain Magnets」(招待講演)
39. 第2回ナノテクノロジー総合シンポジウム(JAPAN NANO 2004)(東京) 2004年3月15-17日
「ナノワイヤー分子量子磁石の開発」
40. 第84回春季年会(西宮) 2004年3月26-29日
「金属錯体集積によるナノワイヤー分子量子磁石の開発と展開」(2003年日本化学会進歩賞受賞講演)
41. 日本物理学会 2004年春季大会(福岡) 2003年3月27-30日
「強磁性単次元鎖磁石の磁気緩和挙動」
42. 15th Summer School on Coordination Chemistry(Poland, Szklarska Poreba) 2004年6月6-12日
「Design of New Magnetic Materials: Single-Molecule Magnets, Single-Chain Magnets, and Networks of SMMs」(Plenary Lecture)
43. XXXVI International Conference on Coordination Chemistry (ICCC2004)(Merida, Mexico) 2004年7月18-23日
「Variation from Single-Molecule Magnet to Classical Magnet Observed in Multi-Dimensional Network Connecting Mn₄ Clusters」
44. 日本物理学会 2004年秋季大会(青森) 2004年9月12-15日
「単次元鎖磁石とその磁化緩和挙動」(招待講演)
45. 日本物理学会 2004年秋季大会(青森) 2004年9月12-15日
「Mn(III)-radical 単次元鎖における単次元鎖磁石挙動」

46. 第 54 回錯体化学討論会(熊本) 2004 年 9 月 24-26 日 シンポジウム
「新しい手法・特異反応場での錯体化学」(シンポジウム代表者)
47. Pre-Conference of ICMM -Perspectives on Single-Molecule Magnets and Single-Chain Magnets-(筑波) 2004 年 10 月 4 日
「Variation from Single-Molecule Magnet to Classical Magnet Observed in Multi-Dimensional Networks Based on Mn_4 Clusters」(研究会主催者)
48. International Conference on Molecule-based Magnets 2004 (ICMM2004)(筑波) 2004 年 10 月 5-8 日
「Ferromagnetic Single-Chain Magnets: From Ising Units to SCMs」(招待講演)

受賞

- 日本化学会進歩賞
「金属錯体集積によるナノワイヤー分子量子磁石の開発と展開」2004 年 3 月