

平成 30 年 5 月 18 日現在

機関番号：10101

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2014～2017

課題番号：26248023

研究課題名(和文) 分子回転を利用したリラクサーの構築

研究課題名(英文) Investigation of relaxers based on molecular rotation

研究代表者

中村 貴義 (Nakamura, Takayoshi)

北海道大学・電子科学研究所・教授

研究者番号：60270790

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 33,500,000円

研究成果の概要(和文)：リラクサー誘電率が広い温度範囲で緩やかに変化することから、誘電材料として好適であり、近年活発に研究が進められている。本研究では、分子性化合物に注目し、結晶内での回転や大振幅運動に基づく双極子の配列変化を利用した分子性リラクサーの開拓を行った。その結果、種々の結晶において誘電緩和現象が見られ、特にアダマンタン誘導体とジベンゾ[18]crown-6を組み合わせた結晶ではアダマンタン部分の回転とベンゼン環の変位が連動した分子運動に基づく誘電応答を観察し、これらの系が分子性リラクサー開拓に好適な物質系であることを示した。

研究成果の概要(英文)：Relaxers show a slow change of relatively large dielectric constants in wide temperature range. In this study, we investigated molecular materials showing rotation and/or large amplitude motion in the crystalline state. These compounds should become a basis of future molecular relaxers. Relaxation of dielectric constants were observed several crystals. Among others, the crystal composed of adamantane derivative and dibenzo[18]crown-6 showed a dielectric response based on coupling of molecular rotation and displacement of adamantane part and benzene rings, respectively. These compound are the good basis for developing molecular relaxers.

研究分野：有機電子材料

キーワード：リラクサー 強誘電体 分子ローター 超分子

1. 研究開始当初の背景

強誘電体では外部に電場が無い状態で電気双極子が整列し(自発分極)かつ双極子の方向を電場によって変化できる。その高い誘電率から、コンデンサー、圧電性を利用したピエゾ素子、トランスデューサ、ソナーなどの応用分野で重要な材料として位置づけられている。強誘電体と同様に高い誘電率を示す物質としてリラクサー誘電体がある。リラクサーは誘電緩和に周波数依存性を持ち、誘電率が広い温度範囲で緩やかに変化することから、誘電材料として好適であり、近年活発に研究が進められている。

これまで強誘電体として主に研究されて応用に供されてきたのはペロブスカイト型無機化合物であるが、その種類は限られており、毒性の高い金属が使用されているなど、環境面からも課題が残っている。典型的なリラクサーである $\text{Pb}(\text{Mg}_{1/2}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3$ (PNM) もペロブスカイト型化合物である。格子系と電子系との間のフラストレーションに起因した不安定性・ゆらぎがリラクサー物性発現の起源であるとされているが、詳細については解明されていない部分も多い。TTF-CA など、分子性リラクサーも報告されているものの、系統的に研究するための物質系が限られていることが、リラクサー研究発展の大きな障害になっている。

一般にリラクサーにおいては、巨視的な強誘電転移は、誘電率の極大を示す温度(通常の高誘電体の転移温度)では起こって居らず、電場を印加しない限り巨視的な分極は発生せず、長距離では等方性が保たれている。ペロブスカイトの様に原子が強固に結合した無機化合物においてこのような系を構築することは難しく、双極子間の相互作用が大きくなると、 $\text{Pb}(\text{Sc}_{1/2}\text{Ta}_{2/3})\text{O}_3$ (PST) のようにリラクサーから強誘電体への自発的な相転移が出現してしまう。

双極子が2極小以上のポテンシャル空間で運動可能であり、かつ双極子間の相互作用が比較的小さければ、外部電場により双極子の配列を制御することで、局所的な分極領域が形成し、リラクサー特有の物性発現が可能となる。分子性物質は、無機化合物に比べ分子設計の自由度が大きく、リラクサー物性発現の必要条件を達成できる可能性が高い。とりわけ、我々が研究している結晶内での分子運動を利用した(強)誘電体はこれらの条件を満たしていることに気づき、本研究の着想に至った。

2. 研究の目的

これまでに開発してきた分子性強誘電体 (*m*-fluoroanilinium)(dibenzo[18]crown-6)[Ni(dm it)₂] では、結晶内で *m*-fluoroanilinium と dibenzo[18]crown-6 は水素結合を介して超分子構造を形成している。*m*-fluorophenyl 基は2極小ポテンシャルの間で、flip-flop 運動が可能である。したがって外部電場の印加により

双極子を反転させることができ、356 K において強誘電転移を示す。(Nature Materials 8, 342-347 (2009))この系は通常の高誘電体であるが、分子内に存在する双極子を比較的孤立させ、分子間相互作用を制御することで相転移のような巨視的秩序変化を抑制できる可能性が高い。その場合、電場を印加しない限り巨視的な分極が抑えられ、リラクサー実現の必要条件である長距離での等方性が保たれる。そこで、本研究では、結晶内での回転や大振幅運動に基づく双極子の配列変化を利用した分子性リラクサーの開拓を行った。結晶内の運動に基づく分子性リラクサーを開発するために、結晶内での分子運動系を系統的に作製し、その物性発現の機序を明らかにするとともに分子設計指針を示し、分子性リラクサーという分野の基盤形成を目指す。

3. 研究の方法

単結晶内に超分子構造を導入して、双極子を有する分子ユニットが2極小以上のポテンシャル空間において回転・大振幅分子運動が可能である系を構築する。外部電場によりポテンシャル極小間で分子ユニットを運動させ、双極子を配列制御する。その結果、局所的な分極領域を形成させ、誘電物性を発現させる。という指針のもと研究を進めた。

分子性リラクサーの合成

有機アンモニウムとクラウンエーテル誘導体により形成する超分子カチオンを用いて、多様な回転ポテンシャルを有する超分子ローター構造を構築する。これまでの経験を基に結晶設計を行い、双極子を比較的孤立させる。カウンターアニオンは良質な結晶を与えることを最優先に選択し、以下の物質群を検討した。有機アンモニウムとしては、分子回転軸に垂直にダイポールを有し、かつ平面構造をもつ *m*-置換アニリニウム、擬似的な3回軸を持ち、3極小ポテンシャルを与えるアダマンタンアミニウム誘導体を検討した。後者は、分子が球形に近く、比較的低い回転ポテンシャルを持つ。さらに、ピリダジニウム等の含窒素複素環カチオンや、多環芳香族誘導体を用い、flip-flop 以外のより複雑な分子運動や、大振幅の振り子運動などに基づくダイポール変化を導入した。クラウンエーテル誘導体としては、[18]crown-6, dibenzo[18]crown-6, dicyclohexano[18]crown-6 を中心に検討し、これらと比較して対称性の低い benzo[18]crown-6 も適宜用いた。

構造・物性評価

X線構造解析の温度変化測定を詳細に行い、構造を決定した。相転移の有無についてはDSC測定から推定し、必要であれば比熱測定を行った。また、SHG測定から結晶の極性変化について検討を行った。結晶内の分子回転は、X線構造解析における温度因子の変化に留意しつつ、ポテンシャル計算およびNMR測定を併用して評価した。誘電率の温度変化

から誘電物性を検討するとともに、MPMS を用いた磁性の評価も行った。

4. 研究成果

研究方法の項で示した様に、種々の有機カチオンとクラウンエーテル誘導体の組み合わせに基づく超分子カチオンユニットを用いて、 $[\text{Ni}(\text{dmit})_2]^-$ 塩単結晶を作製し、その物性評価を行った、これらの中で特に 3-fluoroadamantylammonium⁺ (FAd^+) と dibenzo[18]crown-6 (DB[18]crown-6) からなる超分子カチオンを導入した結晶が、極めて興味深い結果を与えた。

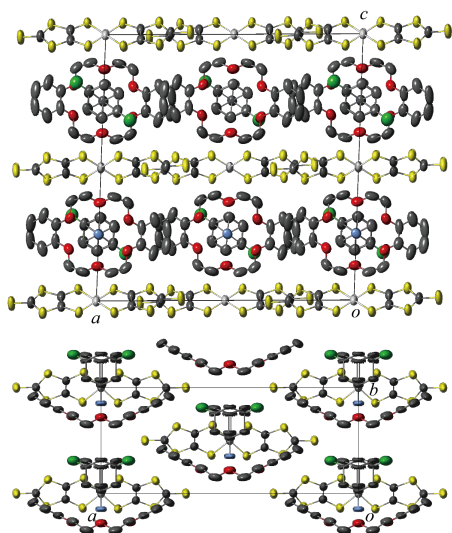


図 1 $(\text{FAd}^+)(\text{DB}[18]\text{crown-6})[\text{Ni}(\text{dmit})_2]^-$ (1) の 93K における結晶構造

$(\text{FAd}^+)(\text{DB}[18]\text{crown-6})[\text{Ni}(\text{dmit})_2]^-$ (1) の 93K における結晶構造を図 1 に示す。晶系は monoclinic、空間群は $C2/c$ であった。DB[18]crown-6 は V 字型構造をとり、V 字の上側から FAd^+ のアンモニウム部位が近接することで、クラウンエーテルの酸素原子と $\text{N-H}\cdots\text{O}$ 水素結合を形成した。超分子カチオンは ab 面上に配列し 2 次元層状構造を形成し、その層は $[\text{Ni}(\text{dmit})_2]^-$ からなるアニオン層と c 軸方向に交互に積層した。

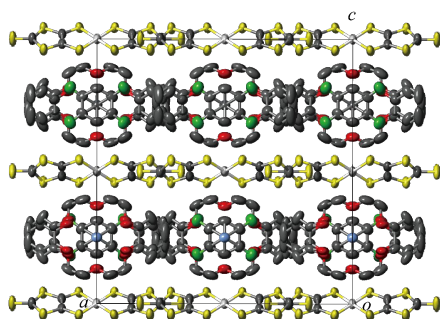


図 2 $(\text{FAd}^+)(\text{DB}[18]\text{crown-6})[\text{Ni}(\text{dmit})_2]^-$ (1) の 173K における結晶構造。F 基のディスオーダー部位が 2 箇所から 4 箇所に増えている。

一方、173K における構造(図 2)は 93K の構造と異なっていた。晶系は orthorhombic、空間群は $Cmcm$ であり、93K よりも高い対称性を示した。 FAd^+ のフッ素基は C-N 軸の回転に対し 0° 、 65° 、 180° 、 245° の 4 か所に 25% ずつの占有率で位置していた。93K では F 基は 2 か所に 50% ずつの占有率で位置していることから、93K から 173K の間で大きな動的なディスオーダーを伴う相転移が存在することを示唆している。さらに 173K では DB[18]crown-6 ベンゼン環にも c 軸方向に 0.55 \AA 変位したディスオーダーが見られた(図 3)。従って、F 基のディスオーダーとベンゼン環の変位が連動している可能性がある。

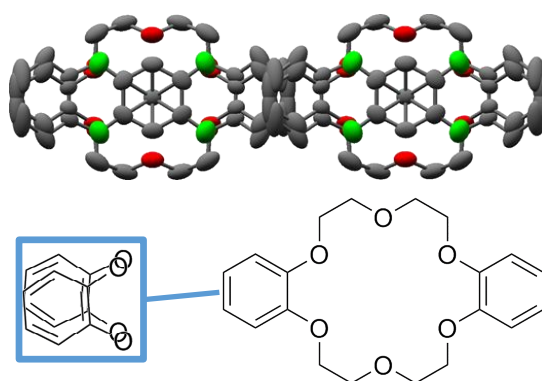


図 3 173K における超分子カチオン構造(上)、DB[18]crown-6 におけるベンゼン環の変位。

結晶内の分子運動を評価するため、結晶 1 の誘電率の温度依存性を測定した(Fig. 4-14)。結晶 3 では $120 \text{ K} \sim 170 \text{ K}$ 付近にかけて周波数ごとに異なる温度で誘電率の実部(ϵ')の立ち上がりを示した。同様の温度範囲において虚部(ϵ'')にも周波数依存性が見られ、ピーク位置が周波数ごとに異なっていた。 $120 \text{ K} \sim 170 \text{ K}$ 付近にかけての誘電分散は、実部、虚部共に典型的な誘電緩和を示しており、この範囲で分子運動の変化が起きていることを示唆した。この誘電分散が存在する温度($120 \text{ K} \sim 170 \text{ K}$)は、 FAd^+ と DB[18]crown-6 の協同的分子運動と思われる結晶構造のディスオーダーを示した温度範囲($93 \text{ K} \sim 173 \text{ K}$)に位置している。

結晶 1 の誘電挙動についてより定量的な評価をするため、 ϵ'' が極大値を示した温度ごとに、印加電場の周波数に対する誘電率の実部および虚部をプロットし、Cole-Cole ダイアグラムを作成したところ、典型的な Cole-Cole 型緩和に由来する円弧型を示した。これらの結果から、回転運動の活性化エネルギーを計算したところ、 $E_a = 23.7 \text{ kJ mol}^{-1}$ となった。この値は、ブタンの C2-C3 軸回りの回転障壁 (19 kJ mol^{-1}) に匹敵するほど低く、結晶内で分子がかなり自由に回転していることを示している。

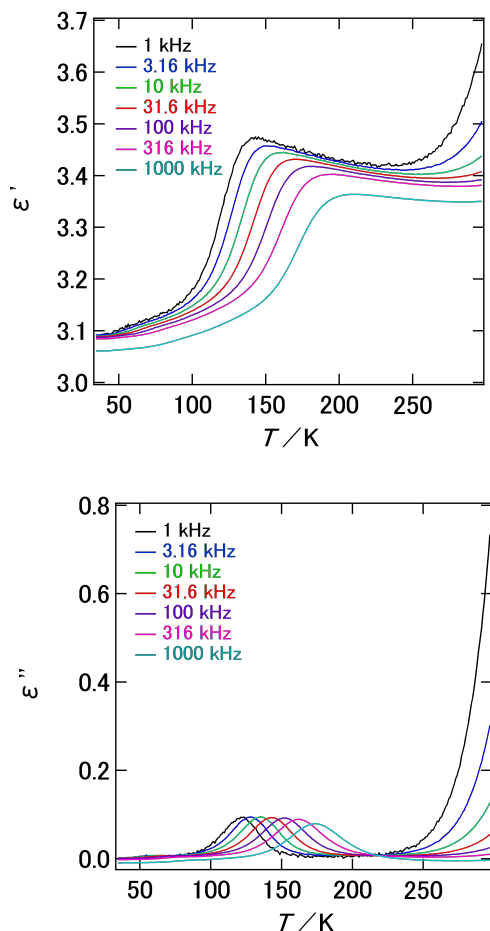


図4 結晶1の誘電率の温度・周波数依存性。実部(ϵ')および虚部(ϵ'')。

固体 NMR の線形は、内部相互作用である化学シフト相互作用、磁気双極子相互作用、スピンスピン相互作用、核四極子相互作用に影響して変化する。結晶1には、F 基の近傍に電子スピンを有する $[\text{Ni}(\text{dmit})_2]$ が存在しているため、F の核スピんと $[\text{Ni}(\text{dmit})_2]$ の電子スピンの間の磁気双極子相互作用が最も線形に影響を及ぼす。具体的には、電子スピんと ^{19}F 核スピンの間の磁気双極子相互作用と外部磁場の成す角が変化するように FAd^+ カチオンの分子運動が NMR の線形に影響を与える。そこで、固体 wide-line ^{19}F -NMR 測定により、 FAd^+ カチオンの固相内分子運動を測定した。結果を図5に示す。130 K から 190 K の温度範囲にかけて、線形の大きな変化が観測された、結晶構造解析における F 基のサイトが 2 か所から 4 か所に変化するような動的なディスオーダーと対応している。なお、結晶1の磁化率は Curie-Weiss の法則に従った温度依存性を示し、Curie 定数は $0.355 \text{ emu mol}^{-1} \text{ K}$ 、Weiss 温度は -0.88 K であった。

結晶1における分子回転は、隣接分子の運動と連動していることから、結晶内の短距離秩序を形成する上での大きな足がかりを与えるものである。なお、結晶1に見られるような分子運動の緩和現象は、

$(\text{FAd}^+)(\text{tst-DCH18}][\text{crown-6}][\text{Ni}(\text{mit})_2]$
 $(3\text{-ApyH}^+)(\text{csc-DCH}[18][\text{crown-6}][\text{Ni}(\text{dmit})_2]$
 $(\text{naphthalene-1-aminium})(\text{DB}[18][\text{crown-6}][\text{Ni}(\text{dmit})_2]$ 等でも見いだされており、クラウンエーテルを基礎とする超分子カチオン構造が、分子性リクサーを開拓する上で、好適な物質系であることを明らかにすることができた。

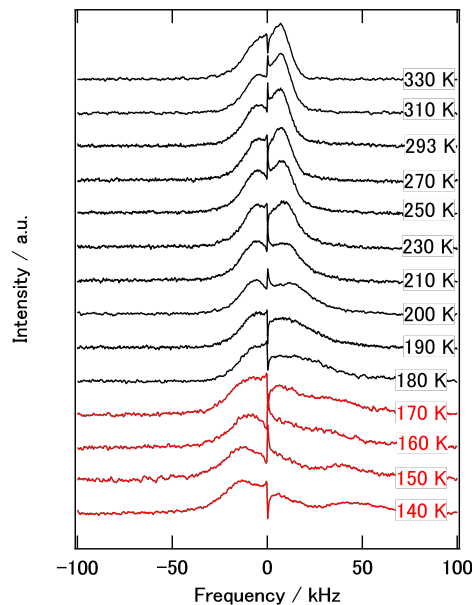


図5 結晶1の ^{19}F -NMRの温度依存性

謝辞： ^{19}F -NMR 測定および線形の解釈について、北海道大学理学研究院武田定教授に大変お世話になりました。ここに感謝いたします。

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 33 件)

1. “Host-Guest Molecular Crystals of Diamino-4,4-bithiazole and Dynamic Molecular Motions via Guest Sorption” H. Nishiyama, T. Takeda, N. Hoshino, K. Takahashi, S. Noro, T. Nakamura and T. Akutagawa, * *Crystal Growth & Design*, **18**, 286-296 (2018)

10.1021/acs.cgd.7b01236

2. “Visualization of Room-Temperature Ferroelectricity and Polarization Rotation in the Thin Film of Quinuclidinium Perrhenate” Y. Y. Tang, P. F. Li, P. P. Shi, W. Y. Zhang, Z. X. Wang, Y. M. You, H. Y. Ye, T. Nakamura and R. G. Xiong, * *Phys. Rev. Lett.*, **119**, 207602 (2017)

10.1103/PhysRevLett.119.207602

3. “Inter-Cluster Distance Dependence of Electrical Properties in Single Crystals of a Mixed-Valence Polyoxometalate”, R. Tsunashima, * I. Nakamura, O. Rika, S. Koga, H. Oki, S. Noro, T. Nakamura and T. Akutagawa, *Dalton Trans.*, **46**, 12619-12624 (2017)

10.1039/c7dt02623d

4. "Quinuclidinium Salt Ferroelectric Thin-Film with Duodecuple-Rotational Polarization-Directions", Y. M. Yu, Y. Y. Tang, P. F. Li, H. Y. Zhang, W. Y. Zhang, Y. Zhang, H. Y. Ye, T. Nakamura and R. G. Xiong*, *Nature Commun.*, **8**, 14934 (2017)
10.1038/ncomms14934
5. "The Emergent Intramolecular Hydrogen Bonding Effect on the Electronic Structures of Organic Electron Acceptors" T. Takeda, Y. Suzuki, J. Kawamata, S. Noro, T. Nakamura and T. Akutagawa*, *Phys. Chem. Chem. Phys.*, **19**, 23905-23909 (2017)
10.1039/c7cp04402j
6. "Reversible Structural Changes of Strong Hydrogen Bond-Supported Organic Networks Using Neutral 3,5-Pyridinedicarboxylic Acid N-oxide through Solvent Release/Uptake", S. Noro,* R. Ochi, K. Kubo and T. Nakamura*, *Bull. Chem. Soc. Jpn.*, **89**, 1503-1509 (2016)
10.1246/bcsj.20160266
7. "A Highly Water-Tolerant Magnesium(II) Coordination Polymer Derived from a Flexible Layered Structure" R. Ochi, S. Noro,* Y. Kamiya, K. Kubo and T. Nakamura*, *Chem. Eur. J.*, **22**, 11042-11047 (2016)
10.1002/chem.201600843
8. "One-dimensional Supramolecular Columnar Structure of *trans-syn-trans*-dicyclohexano[18]crown-6 and Organic Ammonium Cations", Y. Ohshima, K. Kubo*, T. Matsumoto, H. Y. Ye, S. Noro, T. Akutagawa and T. Nakamura*, *CrystEngComm*, **18**, 7959-7964 (2016)
10.1039/c6ce00980h
9. "Poly(4-styrenesulfonate) Templated Polyaniline-Carboxymethyl Cellulose Blend: Morphology and Surface Resistivity of the Spin-Coated Films" T. Nakamura and S. Jayanty*, *Soft Materials*, **14**, 309-315 (2016)
10.1080/1539445X.2016.1215330
10. "Successive Phase Transition, Dielectric Ordering, and Liquid Crystalline Behavior of Simple (Laurylammonium)(Phenyl Phosphates) Salts" Z. S. Cai, S. Uchikawa, N. Hoshino, T. Takeda, L. M. Zheng, S. Noro, T. Nakamura and T. Akutagawa*, *J. Phys. Chem. B*, **120**, 6761-6770 (2016)
10.1021/acs.jpcc.6b02213
11. "Structural Design of Coordination Polymers Based on Manganese and Chromium Ions Bridged by Oxalate Ligands" M. Yoshitake, K. Kubo*, T. Endo, S. Noro, T. Akutagawa, T. Nakamura*, *Bull. Chem. Soc. Jpn.*, **89**, 354-360 (2016).
10.1246/bcsj.20150373
12. "Self-assembled Structure of Inorganic Organic Hybrid Crystals Based on Keggin Polyoxometallates $[SMO_{12}O_{40}]^{2-}$ and Supramolecular Cations" J. Xiong, K. Kubo*, S. Noro, T. Akutagawa and T. Nakamura*, *Crystal Growth & Design*, **16**, 800-807 (2016)
10.1021/acs.cgd.5b01388
13. "The Crystal Design of Polar One-Dimensional Hydrogen-Bonded Copper Coordination Complexes" K. Takahashi, N. Hoshino, T. Takeda, K. Satomi, Y. Suzuki, S. Noro, T. Nakamura and T. Akutagawa*, *Dalton Trans.*, **45**, 3398-3406 (2016)
10.1039/c5dt04865f
14. "High CO₂/CH₄ Selectivity of a Flexible Copper(II) Porous Coordination Polymer under Humid Conditions" S. Noro,* R. Matsuda, Y. Hijikata, Y. Inubushi, S. Takeda, S. Kitagawa, Y. Takahashi, M. Yoshitake, K. Kubo and T. Nakamura*, *ChemPlusChem.*, **80**, 1517-1524 (2015)
10.1002/cplu.201500278
15. "Electron-deficient Acene-based Liquid Crystals: Dialkoxycyanopyrazinoquinoxalines" T. Takeda, J. Tsutsumi, T. Hasegawa, S. Noro, T. Nakamura and T. Akutagawa,* *J. Mat. Chem. C*, 3016-3022 (2015)
10.1039/c5tc00022j
16. "Structural Flexibilities and Gas Adsorption Properties of One-Dimensional Copper(II) Polymers with Paddle-Wheel Units by Modification of Benzoate Ligands" K. Takahashi, N. Hoshino, T. Takeda, S. Noro, T. Nakamura, S. Takeda and T. Akutagawa,* *Inorg. Chem.*, **54**, 9423-9431 (2015)
10.1021/acs.inorgchem.5b01168
17. "CH₄/CO₂ and CH₄/C₂H₆ Gas Separation Using a Flexible One-Dimensional Copper(II) Porous Coordination Polymer" S. Noro,* R. Ochi, Y. Inubushi, K. Kubo and T. Nakamura*, *Macroporous and Mesoporous Materials*, **216**, 92-96 (2015).
10.1016/j.micromeso.2015.03.021
18. "Crystal-to-Crystal Structural Transformation of Hydrogen-Bonding Molecular Crystals of (imidazolium)(3-hydroxy-2-quinoxalinecarboxylate) through H₂O Adsorption-Desorption" Y. Yoshii, K. Sakai, N. Hoshino, T. Takeda, S. Noro, T. Nakamura and T. Akutagawa,* *CrystEngComm.*, **17**, 5962-5969 (2015)
10.1039/c4ce02519a
19. "Three-Dimensional Architectures of [Mn^{II}Cr^{III}(oxalate)₃] Complexes with Cage-Type Networks Surrounding Supramolecular Cations" T. Endo, K. Kubo*, M. Yoshitake, S. Noro, N. Hoshino, T. Akutagawa and T. Nakamura*, *Crystal Growth & Design*, **15**, 1186-1193 (2015)
10.1021/cg501560z
20. "Mesophases and Ionic Conductivities of Simple Organic Salts of M(*m*-iodobenzoate) (M = Li⁺, Na⁺, K⁺, Rb⁺, and Cs⁺)" M. Endo, Y. Nakane, K. Takahashi, N. Hoshino, T. Takeda, S. Noro, T. Nakamura and T. Akutagawa,* *J. Phys. Chem. B*, **119**, 1768-1777 (2015)

10.1021/jp5112026

21. "Porous Coordination Polymers with Ubiquitous and Biocompatible Metals and a Neutral Bridging Ligand" S. Noro,* J. Mizutani, Y. Hijikata, R. Matsuda, H. Sato, S. Kitagawa, K. Sugimoto, Y. Inubushi, K. Kubo and T. Nakamura,* *Nature Commun.*, **6**, 5851 (2015)

10.1038/ncomms6851

22. "Supramolecular Cations of (*m*-halogenated-anilinium)(dibenzo[18]crown-6) in Keggin [SMo₁₂O₄₀²⁻] Polyoxometallates" J. Xiong, K. Kubo,* S. Noro, T. Akutagawa and T. Nakamura*, *CrystEngComm.*, **17**, 856-861 (2015)

10.1039/c4ce01988a

23. "The Formation of Organogels and Helical Nanofibers from Simple Organic Salts" Y. Yoshii, N. Hoshino, T. Takeda, H. Moritomo, J. Kawamata, T. Nakamura and T. Akutagawa, *Chem. Eur. J.*, **20**, 16279-16285 (2014)

10.1002/chem.201404043

24. "Molecular Assembly and Ferroelectric Response of Benzenecarboxamides Bearing Multiple-CONHC₁₄H₂₉ Chains" Y. Shishido, H. Anetai, T. Takeda, N. Hoshino, S. Noro, T. Nakamura and T. Akutagawa,* *J. Phys. Chem. C.*, **118**, 21204-21214 (2014)

10.1021/jp506035h

25. "Finite Winding (H₂O)₁₂ Chain Stabilized by One-Dimensional Coordination Polymer" S. Noro, K. Hasegawa, K. Kubo and T. Nakamura, *Bull. Chem. Soc. Jpn.*, **87**, 623-625 (2014)

10.1246/bcsj.20140005

26. "Crystal structures, CO₂ adsorption, and dielectric properties of [Cu(II)₂(R-benzoate)₄(pyrazine)]_n polymers (R = *m*-F, 2,3-F-2, *m*-Cl, and *m*-CH₃)" K. Takahashi, N. Hoshino, T. Takeda, S. Noro, T. Nakamura, S. Takeda and T. Akutagawa, *Dalton Trans.*, **43**, 9081-9089 (2014)

10.1039/c4dt00258j

27. "Crystal Structure and Physical Properties of a Dithiolene Complex Crystal with Adamantane Supramolecular Rotator" Y. Yan, K. Kubo, S. Noro, T. Akutagawa and T. Nakamura, *Bull. Chem. Soc. Jpn.*, **87**, 417-419 (2014)

10.1246/bcsj.20130316

28. "A Crystal Structures, Dielectric, and CO₂-Adsorption Properties of One-Dimensional [Cu(II)₂(Adamantane-1-carboxylate)₄(pyrazine)]_∞ Coordination Polymers with Polar Ligands" K. Takahashi, N. Hoshino, S. Noro, T. Nakamura and T. Akutagawa, *Science of Advanced Materials*, **6**, 1417-1424 (2014)

10.1166/sam.2014.1831

29. "Design of Crystalline Spaces for Molecular Rotations in Crystals" Z. Q. Liu, K. Kubo, S. Noro, T. Akutagawa and T. Nakamura, *Crystal Growth & Design*, **14**, 537-543 (2014)

10.1021/cg4013262

〔学会発表〕(計 41 件)

1. T. Nakamura "Dielectrics based on Supramolecular Rotator Units in Single Crystals" Symposium on Molecular Science and Synthesis of Functional Molecules for Next Generation, Hiroshima 2014/3/10 (invited)

2. T. Nakamura "Dielectrics based on Supramolecular Rotators" 8th International Symposium on Organic Molecular Electronics, Tokyo 2014/5/16 (invited)

3. T. Nakamura "Functional Magnetic Materials based on Mn-Cr Oxalate Complexes" 10th IUPAC International Conference on Novel Materials and their Synthesis (NMS-X), Zhengzhou, China, 2014/10/12 (keynote)

4. T. Nakamura "Functional Materials based on Ferromagnetic Coordination Polymer of Mn-Cr Oxalate" Pacific Polymer Conference 14, Kauai, Hawaii, USA 2015/12/11 (invited)

5. T. Nakamura, M. Yoshitake, K. Kubo and S. Noro "Functional Magnetic Materials based on Mn-Cr Oxalate Complexes with Supramolecular Rotator Structure" The 8th International Symposium on Nano & Supramolecular Chemistry, Brisbane, Australia 2016/7/14 (invited)

6. T. Nakamura, Y. Ohshima, K. Kubo and S. Noro "Crystal Design for Functional Metal Complexes" 6th Asian Conference on Coordination Chemistry, Melbourne, Australia 2017/7/27 (invited)

7. T. Nakamura "Supramolecular-Cation Approach for Constructing Crystalline Molecular Electronic Materials" The 9th International Symposium on Nano & Supramolecular Chemistry, Napoli, Italy 2017/9/5 (invited)

8. T. Nakamura "Supramolecular-Cation Approach for Controlling Molecular Assemblies in Crystalline Electronic Material" 13th IUPAC International Conference on Novel Materials and their Synthesis (NMS-X), Nanjing, China, 2017/10/16 (keynote)

〔その他〕

ホームページ等

<http://fnm.es.hokudai.ac.jp/>

6. 研究組織**(1) 研究代表者**

中村 貴義 (NAKAMURA, Takayoshi)

北海道大学・電子科学研究所・教授

研究者番号：60270790

(3) 連携研究者

久保 和也 (KUBO, Kazuya)

兵庫県立大学・大学院物質理学研究科・准教授

研究者番号：90391937