

層状有機－無機ハイブリッド材料により摩擦を低減 ～フッ素樹脂に代わる新たな固体潤滑剤として期待～

【発表のポイント】

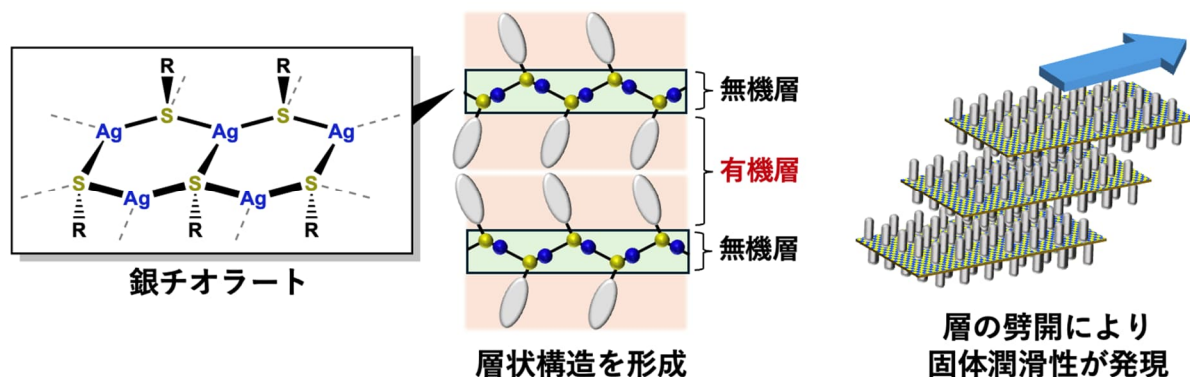
- 層状有機－無機ハイブリッド材料の銀チオラートが優れた固体潤滑性を示すことを実証
- 銀チオラートの構造と固体潤滑性の関係を調べることで、潤滑メカニズムを提示
- 構造設計に高い自由度を有するため、用途に合わせた固体潤滑剤を合理的に開発可能に

【概要】

名古屋工業大学の村松怜氏（工学専攻ソフトマテリアルプログラム 2 年）、江口裕助教（生命・応用化学類）、永田謙二教授（生命・応用化学類）らの研究グループは、銀イオンとチオラート配位子から合成できる層状有機－無機ハイブリッド材料(*1)の銀チオラートが、既存の固体潤滑剤と同等以上の優れた固体潤滑性を示すことを見出しました。また、種々の構造を有する銀チオラートを系統的に評価することで、潤滑特性の発現メカニズムを明らかにしました。

摩擦によるエネルギー損失は世界のエネルギー消費量の約 20%に及ぶとされ、潤滑剤の性能向上は製品の省エネ化や長寿命化に貢献します。さらに、フッ素樹脂のポリテトラフルオロエチレン (PTFE) の使用制限に関する議論が進む中、銀チオラートは高い設計自由度と潤滑性を兼ね備えており、その構造をうまく設計することで、新たな固体潤滑剤が開発できると期待されます。

本研究成果は、国際学術誌 *Langmuir* オンライン速報版に 2025 年 10 月 11 日付で掲載されました。



【研究の背景】

摩擦や摩耗により生じるエネルギー損失は世界のエネルギー消費量の約20%に及ぶと試算されており、それらを低減できる潤滑剤の開発は製品の省エネ化、長寿命化に貢献できます。様々な種類の潤滑剤が利用されており、例えば固体潤滑剤として知られるグラファイトや二硫化モリブデンは、層状結晶構造が摩擦時に容易に劈開(*2)することで潤滑性を発現します。しかしながら、無機物であるこれらの物質の化学構造を精密に設計し、物性や性能を制御することは一般に困難です。

本研究では、有機物と無機物の両方の特徴を有するような層状有機-無機ハイブリッド材料である銀チオラートに着目し、その固体潤滑性を明らかにしました。有機成分であるチオラート配位子の構造を選択することで、銀チオラートの層構造は容易に制御することができます。その結果、銀チオラートが既存の固体潤滑剤と同等以上の優れた固体潤滑性を示すことを見出し、さらに構造-物性相関を明らかにすることで、今後の固体潤滑剤の開発における設計指針を確立しました。

【研究の内容・成果】

種々のチオラート配位子を有する銀チオラートを合成し、その粉体試料をろ紙表面に担持させ、鋼球を使って摩擦力を測定しました。その結果、直鎖アルキル基を有する銀チオラートの摩擦係数は、二硫化モリブデンや有機変性マイカ(*3)などの層状物質よりも低い値(約0.10)であることが明らかになりました(図1)。赤外分光法やX線回折分析の結果から、チオラート配位子が形成する有機層は非常に平滑な層構造を形成していることが示唆され、わずかな摩擦力で層の劈開が生じることで潤滑性が発現したと考えられます。

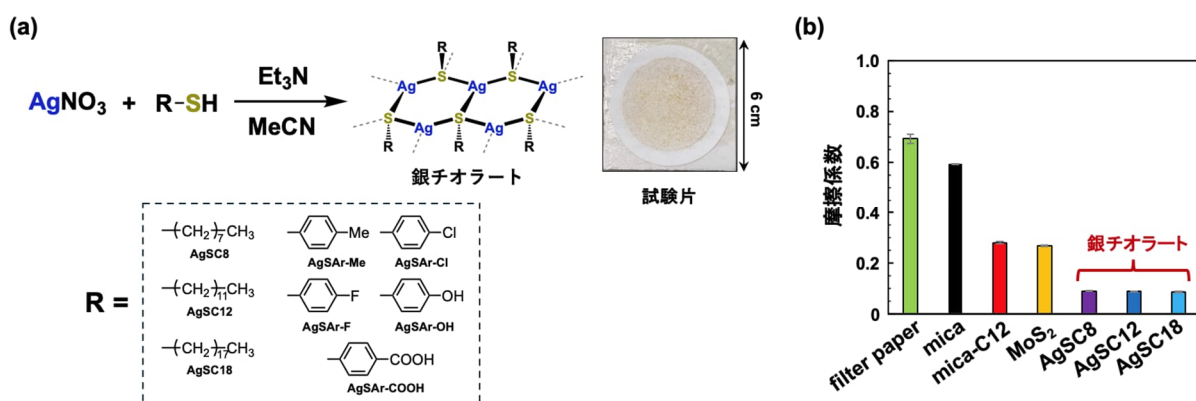


図1 (a)銀チオラートの合成と摩擦試験用試料の調製、および(b)種々の試料の摩擦試験結果

また、種々の置換基を有するチオフェノール誘導体を配位子とした銀チオラートを用い、化学構造と固体潤滑性の関係を系統的に評価することで、潤滑メカニズムについての検討を行いました。その結果、有機層の界面で置換基間の相互作用が生じる場合に、摩擦係数が高くなる傾向が認められました(図2)。このことから、潤滑特性の発現には層構造の平滑性だけでなく、有機層界面で生じる相互作用の制御が重要であることを明らかにしました。

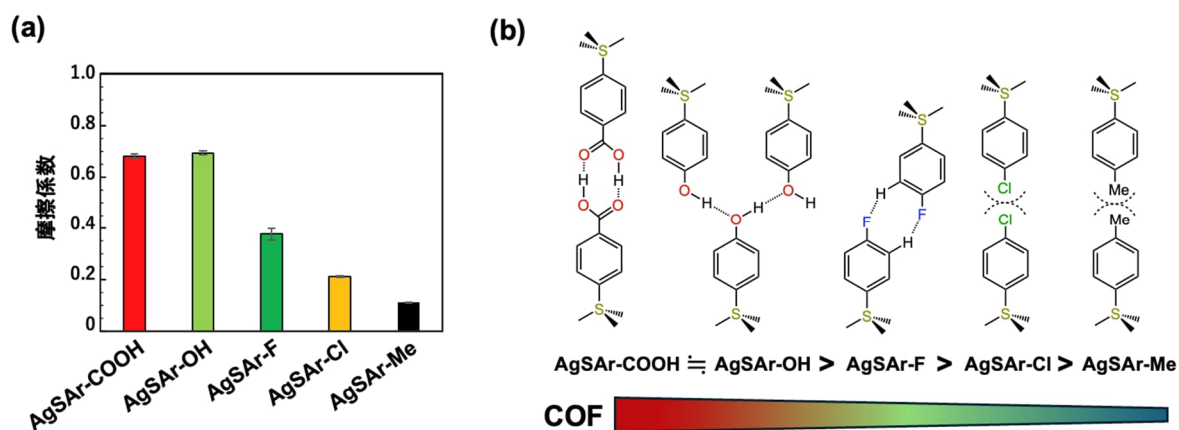


図2 (a)種々の置換基を有する銀チオラートの摩擦試験結果、および (b) その有機層界面に働く相互作用の模式図

【社会的な意義・今後の展望】

優れた固体潤滑性を有するフッ素樹脂のポリテトラフルオロエチレン (PTFE) は、環境問題への懸念から欧州を中心に使用の制限に関する議論が続けられています。このような背景のもと、PTFE に代わる固体潤滑剤の探索や開発が活発に進められています。今回の研究で用いた銀チオラートの固体潤滑性は PTFE に匹敵するため、新たな高性能固体潤滑剤としての応用が期待されます。また、銀チオレートは有機配位子の選択による高い設計自由度を有するため、特定の用途に最適化したテイラーメイド固体潤滑剤の早期開発や、外部刺激に応答する固体潤滑剤の開発にもつながると期待されます。

【謝辞】

本研究は、JSPS 科研費 (JP23K13558、JP25K08289)、中部科学技術センターの令和 6 年度 学術・みらい助成、および天野工業技術研究所の 2025 年度研究助成を受けて実施されました。手厚いご支援に対して心より感謝を申し上げます。

【用語解説】

(*1)有機-無機ハイブリッド材料

有機成分と無機成分が分子スケールで複合化された材料で、単一成分では実現が難しい高機能材料の設計が可能になる。

(*2)劈開

結晶が特定の結晶面に沿って割れること。層状物質の場合、層構造に沿って劈開しやすい。

(*3)有機変性マイカ

層状鉱物であるマイカ (雲母) の層間に、アルキルアンモニウムカチオンなどの有機イオンを挿入することで物性を調整した物質。

【論文情報】

論文名: Organic-Inorganic Hybrid Solid Lubricants Based on 2D Silver Thiolate Coordination Polymers Featuring Precise Interlayers

著者名: Ren Muramatsu, Hiroshi Eguchi*, Kenji Nagata

*責任著者

掲載誌 : Langmuir

公表日 : 2025 年 10 月 11 日

DOI : 10.1021/acs.langmuir.5c02967

URL : <https://pubs.acs.org/doi/full/10.1021/acs.langmuir.5c02967>

※本論文は ChemRxiv にてプレプリントとして公開されております。

DOI : 10.26434/chemrxiv-2025-t5whw

URL : <https://chemrxiv.org/engage/chemrxiv/article-details/688def49728bf9025ea45261>

本件への問い合わせ先

名古屋工業大学 生命・応用化学類 助教 江口 裕

TEL: 052-735-5303

E-mail: eguchi.hiroshi@nitech.ac.jp

配信元

名古屋工業大学 企画広報課

TEL: 052-735-5647

E-mail: pr@adm.nitech.ac.jp