

(様式第5号)

## XAFSによる液晶中のホルミウムの電子状態観測 XAFS study of the electronic structures of holmium in liquid crystals

和達大樹<sup>A</sup>、谷佳樹<sup>A</sup>、高橋龍之介<sup>A</sup>、  
Hiroki Wadati<sup>A</sup>, Yoshiki Tani<sup>A</sup>, Ryunosuke Takahashi<sup>A</sup>,

<sup>A</sup>兵庫県立大  
<sup>A</sup>Hyogo Pref. Univ.

- ※1 先端創生利用（長期タイプ）課題は、実施課題名の末尾に期を表す（Ⅰ）、（Ⅱ）、（Ⅲ）を追記してください。
- ※2 利用情報の公開が必要な課題は、本利用報告書とは別に利用年度終了後2年以内に研究成果公開（論文（査読付）の発表又は研究センターの研究成果公報で公表）が必要です（トリアル利用を除く）。
- ※3 実験に参加された機関を全てご記載ください。
- ※4 共著者には実験参加者をご記載ください（各実験参加機関より1人以上）。

### 1. 概要（注：結論を含めて下さい）

我々はランタノイド元素の中で最も強い磁性を示すホルミウム(Ho)に着目している。そして、自己組織化的に組み上がる液晶の秩序性を利用し、Hoに高い配向秩序性を付与し、常温強磁性体の作製を目指している。今回のXAFS測定により、このような液晶において、Hoの価数と、Hoと周囲の元素との結合距離を研究し、どの試料でもHo<sup>3+</sup>となっていることを明らかにした。

#### (English)

We are focusing on holmium (Ho), which has the strongest magnetism among lanthanoid elements. Then, by utilizing the ordering of the self-organized liquid crystals, we aim to give Ho a high degree of orientation and to produce a room-temperature ferromagnet. By the XAFS measurements, we studied the valence of Ho and the bond length between Ho and surrounding elements in such liquid crystals and revealed that Ho is 3+ in all samples.

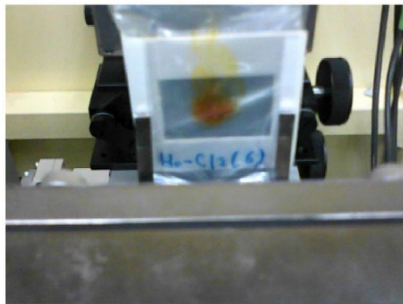
### 2. 背景と目的

これまでの20世紀の物質科学では、物質内の電子の自由度のうち電荷を用いるものが主流であった。これが半導体などのエレクトロニクスを生み出した。21世紀に入り、電子の自由度のうちスピンを用いるスピントロニクスが盛んに研究されている。スピンは電荷と違い散逸が少ないことから、ロスが少ない輸送が物質内で実現し、省エネルギーに貢献することが大いに期待されている。スピントロニクスにおいて、磁場をゼロにした後も残留磁化を示す強磁性を常温で発現する物質の研究が特に重要である。

本研究では特に、ランタノイド元素の中で最も強い磁性を示すホルミウム(Ho)に着目した。自己組織化的に組み上がる液晶の秩序性を利用し、Hoに高い配向秩序性を付与し、低エネルギープロセスでの強磁性体の作製を目指している。特に、磁気モーメントが大きく、転移温度が室温以上であることが重要である。

このような液晶中のHoの価数と周囲の元素との結合距離を明らかにしたいと考え、放射光X線によるXAFS測定を行った。液晶状態の試料に対し、できる限り透過法によるXAFS測定を行うことで、液晶の表面状態によらない測定となることを目指した。さらに、Ho含有液晶を構築する配位子の種類と組み合わせ、全体電荷、結晶パッキングなどの依存性測定から、電子構造と局所的な格子情報の両方の問題解決を行うことを目指した。

### 3. 実験内容（試料、実験方法、解析方法の説明）



今ビームタイムのために、Hoの入った試料を9つ準備した。Ho L端での電子状態と局所構造を室温において測定した。具体的には、粉末試料については、窒化ホウ素と均一に混合したものをペレット状にして透過法でXAFS測定した。液晶試料については、図1のようにそのまま透過法でXAFS測定した。

これまでは、下記のような実験結果が得られている。単結晶X線構造解析により、Hoを中心元素とした錯体の配位構造の情報が得られている。超伝導量子干渉磁束計(SQUID)による測定から常磁性的な振る舞いが得られている。

図1：液晶のXAFS測定のセットアップ。

### 4. 実験結果と考察

図2に測定した全12試料の、Ho L<sub>3</sub>端のXAFSスペクトルを示す。Hoの入った試料が9つのほかに、参照試料が3つである。

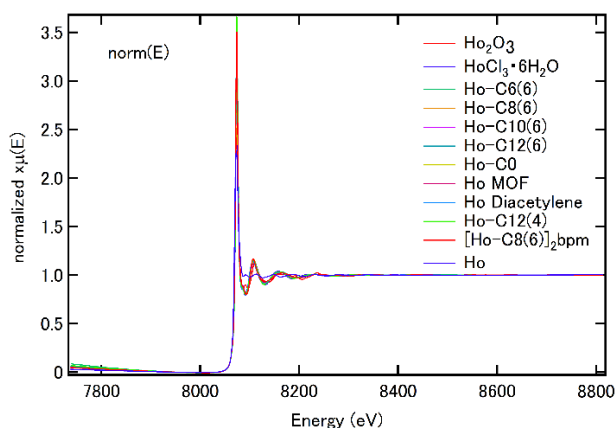


図2：測定した全試料のHo L<sub>3</sub>端のXAFSスペクトル。

この結果より、どの試料においても、そのスペクトルはHo金属ではなくHo<sup>3+</sup>の参照試料と似ていることが分かった。すなわち、Ho<sup>3+</sup>であると結論できた。

### 5. 今後の課題

Hoの入った液晶においては、そのHoの価数を解明することができた。今後は、周囲の元素との結合距離や局所構造を解明し、現在示している常磁性を超えて室温強磁性を得るための重要な指針を得たいと考えている。そして、液晶を用いた次世代磁気デバイス開発を目指す。

Hoを中心金属とする液晶の電子状態の解明は、液晶科学における強磁性の利用に向けた新概念創成にもつながる。本研究は、古典液晶と量子液晶をつなぐ新しい研究分野を切り開く第一歩である。

### 6. 参考文献

なし。

### 7. 論文発表・特許（注：本課題に関連するこれまでの代表的な成果）

本研究成果についての論文を現在準備中で、2022年度の発表を目指している。

### 8. キーワード（注：試料及び実験方法を特定する用語を2～3）

XAFS、液晶、ホルミウム

### 9. 研究成果公開について（注：※2に記載した研究成果の公開について①と②のうち該当しない方を消してください。また、論文（査読付）発表と研究センターへの報告、または研究成果公報への原稿提出時期を記入してください。提出期限は利用年度終了後2年以内です。例えば2018年度実施課題であれば、2020年度末（2021年3月31日）となります。）

長期タイプ課題は、ご利用の最終期の利用報告書にご記入ください。

① 論文（査読付）発表の報告

（報告時期：2023年 3月）