

## 軟X線顕微鏡による接着界面の物理的・化学的状態の可視化

○山根 宏之<sup>1,2\*</sup>

<sup>1</sup>光科学イノベーションセンター, <sup>2</sup>理化学研究所 放射光科学研究センター

### Physical and chemical imaging of adhesive interfaces by soft X-ray spectromicroscopy

○Hiroyuki Yamane<sup>1,2\*</sup>

<sup>1</sup>Photon Science Innovation Center, <sup>2</sup>RIKEN SPring-8 Center

#### はじめに

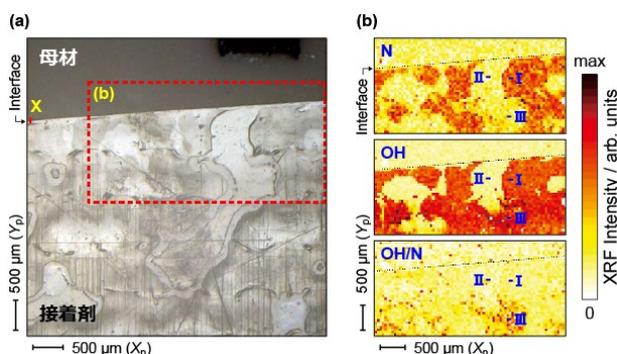
「接着」は古来より用いられてきた接合方法で、分子レベルからマクロレベルに至るマルチスケールの現象が複合的に関与する。本講演では、次世代の航空機や自動車における接着技術の重要性と課題について概説し、その課題に放射光軟X線がどう貢献できるのか？という問いに取り組んだ研究を紹介する。

#### 軟X線を用いた接着界面の観察

次世代の航空機や自動車では、運行性能の向上に加えて、低燃費化を通じた環境負荷の低減が求められている。そのためには機体・車体の軽量化が必須であり、炭素繊維複合材 (CFRP) や高強度ポリマーなどの軽量で高強度な構造材料の研究開発が進んでいる。軽量で高強度な構造材料の特性を活かしきる組み立て技術として、従来のボルト締結や溶接ではなく、接着接合が有望視されている。しかしながら、接着強度に大きく影響する分子レベルの接着メカニズムの理解は限定的で、その議論の多くは化学結合、物理吸着、機械結合といった機構の定性的な議論に留まっている。これが人命を預かる航空機・自動車産業における接着接合の実装のボトルネックとなっている。

接着界面の物理的・化学的情報を可視化できれば、接着メカニズムの定量的理解に大きく貢献できる。我々は、放射光軟X線計測を高分子系接着界面に適用するために、試料損傷しきい値の定量、軟X線吸収スペクトル (XAS) の帰属などの基礎的な知見を積み重ね、これらの知見に基づいた接着界面の軟X線顕微鏡観察スキームを確立した<sup>1,2</sup>。

Fig. 1 はプラズマ前処理を行った熱可塑性樹脂母材とビスフェノールA型エポキシ系接着剤の接着界面に対し化学種イメージングを行った結果である<sup>3</sup>。接着界面近傍だけではなく、 $\mu\text{m}$  スケールのバルク領域に



**Fig. 1.** SPring-8 の BL17SU で整備した軟X線顕微鏡<sup>2</sup>で取得したポキシ系接着剤と熱可塑性樹脂母材の界面の光学顕微鏡(a)と軟X線顕微鏡(b)によるイメージ。

おいてもプラズマ処理の効果が及んでいると解釈できる結果を得た。さらに、界面近傍の局所 XAS 測定より、母材-接着剤間での共有結合の形成を示す結果を得ることに成功した。その詳細は講演で解説する。

現状では、「軟X線顕微鏡で接着界面を可視化した。」というレベルに留まっており、「得られた化学状態分布が接着強度 (力学特性) にどのように影響しているのか？」という課題については明らかにできていない。様々な接着強度を示す接着接合試料の軟X線イメージングを行うことで、化学状態と接着強度の相関が見えてくるものと考えられる。

本研究は以下の方々 (敬称略) との共同研究で行われました。大浦正樹、石原知子、初井宇記、石川哲也 (理研 SPring-8)、高橋修 (広大院理)、下位幸弘、大久保雅隆 (産総研)、山崎紀子、長谷川剛一、高木清嘉 (三菱重工)。

#### 文 献

- 1) H. Yamane *et al.*: J. Phys. Chem. C **124**, 9622 (2020).
- 2) M. Oura *et al.*: J. Synchrotron Rad. **27**, 664 (2020).
- 3) H. Yamane *et al.*: Commun. Mater. **2**, 63 (2021).

\*E-mail: yamane@phosic.or.jp