

## 生体分子・細胞を忌避する表面コーティング： 生体ステルス性のメカニズムの分子レベルでの考察と材料設計

林 智広<sup>\*,†</sup>

\*東京工業大学物質理工学院材料系 神奈川県横浜市緑区長津田町4259 (〒226-8502)

† Corresponding Author, E-mail: tomo@mac.titech.ac.jp

(2023年2月15日受付, 2023年5月8日受理)

### 要 旨

生体分子・細胞を忌避する表面コーティングは医療、工業、生活空間にいたるまでさまざまな分野で求められている。しかしながら、それらのコーティング材料の開発は依然として困難な場合が多い。その理由として、抗付着性のメカニズムに関して不明な点が多いことが挙げられる。ここでは最も単純な系である自己組織化単分子膜に注目し、その「生体分子・細胞が表面を嫌がる」メカニズムを界面における相互作用という観点から議論する。加えて、情報科学の手法による抗付着性をもつ表面設計に関して述べ、今後の材料設計の展望についても述べる。

キーワード：表面コーティング, 生体不活性, 自己組織化単分子膜, 表面・界面科学, 情報材料科学

### 1. 背 景

生体分子、細胞、微生物の吸着、接着を抑制する表面のコーティングは、バイオセンシング、ウイルスフィルター、人工血管、人工心臓、人工心臓の内壁のコーティング、船舶、海洋センサー、排水口のコーティングなど、さまざまな応用の場面で必要とされている<sup>1-3)</sup>。

バイオセンシングにおいては、ターゲットとなる分子以外の分子の非特異的吸着の抑制が、センシングの正確性（選択性・定量性）の鍵となる。センサー表面は抗付着性を有するポリ(オリゴ)エチレングリコール、あるいはペタイン系の双性イオン型官能基を有するポリマー、単分子膜による表面コーティングが用いられる（後述）。また、受容体（あるいはリガンド）分子は、空間的自由度を担保し、ターゲット分子との結合効率を向上させるために、水中で水和し、非常に高い構造自由度を有するポリエチレングリコールを介して固定されることが多い。

また、血液と接触した環境で用いられる人工血管、人工心臓には、接触する血中細胞（とくに血小板）の活性化を誘起しない血液適合性が求められる。血液適合性のメカニズムに関しては数多くの報告があるが、吸着したタンパク質が血栓形成を誘

起するという報告もあり、タンパク質吸着特性との関係性についての研究が多く行われている。

船舶外壁、また、海上に配置された津波・海温センサーへの海洋生物の付着は、船舶の燃料効率の低下、センサー性能の低下に繋がる。また、同様に工場・発電所などの取排水ラインでのバイオフィルムの形成は、送液効率の悪化の原因となる。海洋生物・微生物は吸着した生体分子を足場として接着し、さらに糖類・タンパク質などの生体分子を分泌し、バイオフィルムをより強固なものに変質する。従来は船舶などへの海洋生物の付着防止に、海洋生物にとって毒である有機スズ系化合物が用いられていたが、海洋汚染の原因となる可能性から、その使用が禁止され、殺傷ではなく吸着忌避の観点から、より自然環境への影響が小さい材料開発が行われている。

このように生体分子・細胞を忌避する表面コーティングの受容は非常に高い一方で、そのメカニズムに関しては未解決の部分が多く残されている。それゆえ、材料の設計についても困難が生じる場合が多いのが現状である。ここでは、最も単純な有機分子の単分子膜の系において、その抗付着性メカニズムに関して議論する。また、後半では情報科学を用いた抗付着性材料の設計の事例について紹介する。

### 2. タンパク質の吸着・細胞の接着を抑制する 単分子膜とそのメカニズム

タンパク質・細胞の接着を防ぐ単分子膜は、バイオセンシングにおける選択性の向上、細胞のパターニングに加え、人工血管・心臓弁、人工心臓の内壁のコーティング材料設計のためのプロトタイプとしてさまざまな場面で利用されてきた<sup>4)</sup>。

アルカンチオール分子はチオール基と金との共有結合による分子-基板間相互作用と van der Waals 力、静電気力などの分子間相互作用によって、非常に構造秩序性が高い単分子膜 [自己



【氏名】 はやし ともひろ  
【現職】 東京工業大学物質理工学院材料系 准教授  
【趣味】 ギター演奏、プログラミング、電子工作  
【経歴】 2003年ハイデルベルグ大学 博士号取得、  
2007年東京工業大学大学院総合理工学研究  
科 助教、2010年東京工業大学大学院 総  
合理工学研究科 准教授、2019年JSTさきがけ  
研究員「マテリアルズインフォマティクス」、  
2023年日本表面真空学会フェロー。

【図表について】電子ジャーナルサイト「J-STAGE」ではカラーでご覧いただけます。https://www.jstage.jst.go.jp/browse/shikizai-char/ja/