

# 食品の品質管理を目的としたフォトニックセンサー

東京農工大学 工学部  
内田 紀之

## 1. 研究の目的と背景

周期的な微細構造は光を選択的に反射させ、色素を含まないにも関わらず発色する（構造色）。このようなフォトニック構造体から反射される光は、従来の色素分子のように退色することなく、半永久的に使用でき、次世代のディスプレイやセンサーへの応用が有望視されている。しかしながら、既存の構造色材料は多くの場合、有害な有機物や金属を構成要素とした剛直な骨格からなり、応答性や生体親和性、環境調和性が低いという問題点を抱えていた。最近、筆者の所属チームでは電荷を持ったナノシートを利用することで、ほとんど水からなる高秩序の動的フォトニック結晶が作成可能であることを見出し、精力的に研究を展開させている（JST CREST “殆どが水よりなる動的フォトニック結晶の開発と応用”）。その中で、筆者はアニオン性リン脂質を水に分散させるだけで調整可能な動的フォトニック結晶の作成に成功した。加えて、この動的フォトニック結晶はリン脂質膜の相転移を利用することで極めて鋭敏に応答することが筆者の過去の研究から明らかになっている。

近年のコロナウイルスなどに代表されるような人体に有害なウイルスの混入は、食品管理において極めて重要な問題である。もし食品サンプルにおけるウイルスの混入を迅速かつ簡便に評価することが可能な高性能センサーが開発できれば、これらの問題を解決する上で極めて強力なツールとなり得る。本課題では、上記の最近筆者が発見した、鋭敏な応答性、高い生体適合性を兼ね備えた、リン脂質型フォトニック構造体を利用し、高感度のウイルス認識センサーの開発を目的とする。

フォトニック構造体から生じる構造色はリン脂質膜の相転移と連動して外部刺激に対して極めて鋭敏に色を変化させることが筆者の過去の先行研究から明らかになっている。この性質を利用することで、リン脂質膜に標的に対するレセプターを組み込み、標的選択的に相転移を誘起することで構造色を変化させるフォトニック構造体を作成する。さらに、このリン脂質型フォトニック構造体をハイドロゲルに埋め込み、標的認識型の高感度ハイドロゲルセンサーへと応用する。

## 2. 研究の方法

### 2-1. 試料

アニオン性リン脂質、およびヒドロゲルの材料であるポリエチレングリコールゲルは日油より購入した。

### 2-2. 方法

#### (1) 分光測定

核磁気共鳴分光法は Bruker 製 NMR 分光器、吸光分光、蛍光分光法においては JEOL の分光器を使用して測定した。

#### (2) ウイルスの実験系

本研究課題のセンサーによって検出するモデルウイルスとして、市販の M13 バクテリオファージを利用した。

## 3. 研究内容

フォトニックウイルスセンサーを作成するため、抗体を結合させた低い相転移温度を持つリン脂質（低 T<sub>m</sub> 脂質）、および抗体と弱く静電的に相互作用する物質を結合させた、高い相転移温度を持つリン脂質（高 T<sub>m</sub> 脂質）の合成を試みる。その後、それらの混合膜からなるリン脂質膜フォトニック結晶の作成を試みる。抗体が標的に強く結合すると、低 T<sub>m</sub> 脂質と高 T<sub>m</sub> 脂質の結合は解離し、相分離し、その結果、リン脂質膜全体の T<sub>m</sub> が変化し、二分子膜の相転移が誘発されることで構造色に変化すると期待される。モデルケースとして市販のウイルスであるバクテリオファージに対する抗体が担持されたフォトニック結晶を作成し、バクテリオファージの存在下において構造色の変化からセンサーとしての応答速度と感度を評価することを目的とした。

## 4. 研究の実施経過

### ・フォトニック結晶のヒドロゲルへの内包

フォトニック結晶のセンサーデバイスへの応用に向け、フォトニック結晶を内包させたヒドロゲルを作成した。その結果、ヒドロゲルに内包させた後も構造色が維持されていることが確認された。

#### ・標的に応答した構造色の変化

コレステロールやアニソダミンなどの生体分子をモデルの標的として、リン脂質フォトニック結晶と相互作用させたところ、高感度で構造色変化を誘起することができた。

#### ・ウイルス実験系の構築

フォトニック結晶を利用したウイルス検出センサーへと応用するため、ファージディスプレイ法に利用されるM13バクテリオファージのウイルス系をモデルとして立ち上げた。

### 5. 研究から得た結論・考察

標的に応答した極めて鋭敏な構造色変化を誘起することに成功した。本課題のフォトニックセンサーは従来のフォトニック結晶と比較して5倍以上の感度で標的を認識することが可能であり、本研究に関連した論文4報を含む、多くの成果を上げることができた<sup>1-4</sup>。この知見は本研究課題のフォトニック構造体が高感度ウイルスセンサーを設計する上で必要な機能を持っていることを示唆している。

### 6. 残された問題、今後の課題

今後、モデルウイルスのバクテリオファージや、コロナウイルスやインフルエンザウイルスなどと相互作用する抗体を担持したフォトニック結晶を作成し、これらを高感度で検出可能なセンサーへと応用する予定である。

### 7. 謝辞

本研究は、(公財)東洋食品研究所からの助成によって進められており、この場を借りてご御礼申し上げます。

### 8. 参考文献

- 1) Noriyuki Uchida\*; Masayoshi Yanagi; Kei Shimoda; Hiroki Hamada, Extension of the Scope of Anionic Phospholipid-based Nanoformulation to Kaempferol and Indomethacin, *Nat. Prod. Commun.*, 2021, **16**(3), doi: 10.1177/1934578X2111002.
- 2) Noriyuki Uchida\*; Masayoshi Yanagi; Hiroki Hamada, Physical Enhancement? Nanocarrier? Current Progress in Transdermal Drug Delivery, *Nanomaterials*, 2021, **11**(2), 335. doi: 10.3390/nano11020335
- 3) Noriyuki Uchida\*; Masayoshi Yanagi; Hiroki Hamada, Nanoformulation of Fullerene Using an Anionic Phospholipid, *Nat. Prod. Commun.*, 2021, **17**(1), doi: 10.1177/1934578X211052868.
- 4) Anju Kawakita, Noriyuki Uchida\*; Yunosuke Ryu, Takahiro Muraoka, Self-assembly of Amphiphilic Peptide in Phospholipid Membrane, *J. Photopolym. Sci. Tec.*, **34**(2), 155-159, doi: 10.2494/photopolymer.34.155..