

## ●——— 小型ドローンに昆虫触角を搭載した におい源自動検出技術

昆虫の行動や生態にはほとんど無駄がなく、必要最低限の最適化された機能を持っている。飛翔などの移動能力はもちろん、セミやスズムシが70~100 dBもの大音量を発生させたり、多くの虫の体表面が汚れなかったりと昆虫の形態的特徴や機能から学ぶべき点は多い。このように生物の持っている特性を生かして製品化する試みは「生物模倣」と呼ばれ、その中でも昆虫の触角を使ったにおいセンサが実用に近い形となってきた。

昆虫はにおい物質を触角の嗅神経細胞で感じ取る。この嗅神経細胞には嗅覚受容体とその共受容体が発現しており、特定のにおい物質のみを受容する。この受容体は興味深いことに、におい物質によって直接活性化されるリガンド作動型の陽イオンチャネルとしても機能し、 $\text{Na}^+$ や $\text{Ca}^+$ などの濃度変化に応じてイオン電流を発生させる。この仕組みにより、においの情報が化学信号から電気信号へと変換され、脳へと伝達される。1970年代から上記のメカニズムの解明が行われ、この電気信号を取り出したにおいセンサが検討されてきた。

センサにはオスのカイコガ触角がよく用いられる。これは、オスのカイコガが性フェロモン物質のボンピコールに対してのみ特異的に応答を示すことに由来する。センサの多くは据置型であったが、近年においの検出指向性を高め、自動でにおい源に移動できるドローン型が考案された。Terutsukiらはオスのカイコガ触角を搭載した総重量が約100 gのドローン型においセンサを報告している<sup>1)</sup>。センサ部はこれまで報告されているものの中で最小かつ最軽量であり、触角を導電性のゲルでAg/AgCl電極に固定することで電気信号の取り出しを行っている。また、触角部はにおいへの指向性を高めるためにカーボンファイバー製のチューブで覆われている。このにおいセンサの性能は、 $5.0 \times 3.2 \times 3.2 \text{ m}^3$ の疑似野外空間において、サーキュレーターで拡散されたボンピコールの発生源に到達できるかによって評価された。結果としてこのドローンは、においの強度や広がりや50 Hzの間隔で検知しながら発生源へと到達することに成功している( $n=6$ )。数々の検討とドローン技術の発達により、困難であった昆虫を活用した自律型においセンサが形になったといえる。

ドローン型においセンサは発生源への移動速度の向上や、触角のゲノム編集によるフェロモン以外のにおい物

質検出にも可能性を残しており、今後も目が離せない。

1) D. Terutsuki, T. Uchida, C. Fukui, Y. Sukekawa, Y. Okamoto, R. Kanzaki: *Sens. Actuators B Chem.*, **339**, 129770 (2021).

[琉球大学理学部海洋自然科学科 佐伯 健太郎]

## ●——— 浸透気化法による香気化合物の回収

甘いバニラの香りを呈するバニリンは、バニラアイスクリームなどの食品や香粧品に広く用いられており、世界で最も人気のあるフレーバーのひとつである。バニリンは化学的プロセスによって比較的安価に合成することができるが、近年は消費者のヘルシー志向により生物由来のナチュラルなバニリンへの需要が高まっている。しかしながら、天然のバニラビーンズから抽出されたバニリンでは、バニリン市場の1%にも及ばず、供給が追いつかないのが現状である。そこで近年、微生物や酵素を利用してバイオマス由来の化合物をバニリンに変換する「バイオバニリン」が注目されている。

微生物変換によるバニリン生産においては、培養液からのバニリンの選択的な回収技術が必要不可欠である。結晶化、吸着、液液抽出などの方法があるが、バニリンの生成濃度や選択性に課題を残している。近年、有機溶剤を必要としない抽出方法として浸透気化法が期待されている<sup>1)</sup>。浸透気化法は、膜を通して液体を蒸発させる膜分離法のひとつである。膜を介して片側に液体を供給し、透過側を真空に保つことで膜を通して液体を一部蒸発させ、冷却器で凝縮することで液体として回収することができる技術である。この方法によって、分子レベルで混合している成分を分離・濃縮することができ、例えばエタノール水溶液からエタノールを分離することができる。浸透気化法は、蒸留法に代わる分離法として期待されているが、膜分離技術としては比較的新しく、香料分野における実用例はまだあまり多くない。

Valérioらは、浸透気化法と真空蒸留法によるバイオバニリンの回収および分離の比較について報告している<sup>2)</sup>。いずれの方法においても、夾雑物<sup>きょうざつ</sup>を含まずにバニリンを回収することが可能であった。真空蒸留法のバニリンの流速が2.2倍高かったが、浸透気化法のバニリンの選択性は高かった。また、浸透気化法のバニリンの質量当たりの回収に要するエネルギーは1361 kWh/kg VAN-1 at 75 °Cで、真空蒸留法(2727 kWh/kg VAN-1 at 85 °C)より低かった。

エネルギーコストが高騰している昨今、低エネルギーかつ高い選択性を有し、有機溶剤を必要としない浸透気化法は、香料分野においても発展が期待される。

1) K. S. Lakshmy, D. Lal, A. Nair, A. Babu, H. Das, N. Govind, M. Dmitrenko, A. Kuzminova, A. Korniak, A. Penkova, A. Tharayil, S. Thomas: *Polymers*, **14**, 1604 (2022).

2) R. Valério, C. Brazinha, J.G. Crespo: *Membranes*, **12**, 801 (2022).

[九州産業大学総合機器センター 松下 香]

高分子材料の特筆すべき特徴の一つとして、分子鎖が織りなす複雑な内部構造の存在が挙げられる。例えばゲル材料は、モノマーが多数連結した分子鎖同士が化学的もしくは物理的架橋によって連結されることで、ネットワーク構造を形成する。ゲル材料の物性は内部のネットワーク構造に強く依存するため、物性改善を行うためにはネットワーク構造の形成メカニズムを理解することが非常に重要となる。

1980年代以降、高分子の内部構造が物性に与える影響を評価するために、力学試験と分光学的手法を組み合わせた流動光学 (Rheo-optics) と呼ばれる手法が開発されてきた。Radebeらはレオメーターと赤外 (IR) 分光装置を組み合わせた Rheo-IR 分光装置を開発し、モノマーとして acrylic acid、架橋剤として *N,N'*-methylenebis (acrylamide) を用いた poly (acrylic) hydrogel のゲル化過程を観察した<sup>1)</sup>。彼らが開発した装置は全反射 (ATR) 法を用いており、試料上部に ATR 結晶を設置し、試料下部のプレートが回転することで試料にせん断変形を印加する。この装置を用いることで、粘弾性測定と IR 分光測定を同時に実施することができる。粘弾性測定において、試料がゾル状態 (液態状態) では粘性を表す損失弾性率 ( $G''$ ) が弾性を表す貯蔵弾性率 ( $G'$ ) よりも大きい状態となるが、ゲル状態 (固態状態) になると  $G'$

が  $G''$  よりも高くなる。 $G'$  と  $G''$  が交差する点はゲル化点として用いられる<sup>2)</sup>。一方、IR 分光測定の場合、モノマー特有の分子振動 (本研究の場合は  $\text{CH}_2$  伸縮振動)<sup>3)</sup>における吸収の変化で重合の進行度を追跡できる。

Radebeらの報告では、ゲル化の初期段階において  $G'$  および  $G''$  にはほとんど変化がないが、 $\text{CH}_2$  伸縮振動の吸収は大きく低下し、モノマーの重合のみが進行している。その後、モノマーの消費が約 50 % まで進むと  $G'$  が増加して固化が進行し、直後に  $G'$  と  $G''$  の交点が観察され、ネットワーク構造が形成していることがわかった。これらの結果は、ネットワーク構造の形成が開始するためには、ある程度分子鎖が成長する必要があることを示しており、ゲル化挙動の分子的な描像を得ることができたといえる。

Rheo-optics は高分子の構造形成を力学的および光学的に観察することができ、複雑な構造形成メカニズムを解明するための非常に強力な手法となる。今後はゲルに限らず、プラスチックの結晶化など、より幅広い材料・現象への適用が期待される。

- 1) N. W. Radebe, C. Fengler, C. O. Klein, R. Figuli, M. Wilhelm : *J. Rheol.*, **65**, 681 (2021).
- 2) H. H. Winter, F. Chambon : *J. Rheol.*, **30**, 367 (1986).
- 3) W. J. Walczak, D. A. Hoagland, S. L. Hsu : *Macromolecules*, **29**, 7514 (1996).

[滋賀県立大学工学部物質化学科 木田 拓充]

原稿募集

トピックス欄の原稿を募集しています

内容：読者の関心をひくような新しい分析化学・分析技術の研究を短くまとめたもの。

執筆上の注意：1) 1000字以内 (図は1枚500字に換算) とする。2) 新分析法の説明には簡単な原理図などを積極的に採り入れる。3) 中心となる文献は原則として2年以内のものとし、出所を明記する。

なお、執筆者自身の文献を主として紹介するこ

とは御遠慮ください。又、二重投稿は避けてください。

◇採用の可否は編集委員会にご一任ください。原稿の送付および問い合わせは下記へお願いします。

〒141-0031 東京都品川区西五反田1-26-2  
五反田サンハイツ304号

(公社)日本分析化学会「ぶんせき」編集委員会  
[E-mail: bunseki@jsac.or.jp]