

蛍光現象と蛍光スペクトルの逐次観察が可能な教育用可搬型フローインジェクション装置の試作

日大生産工(院) ○今村 多聞 日大生産工 中釜 達朗

1. はじめに

化学教育において、理論の習得や知識の応用を行う際には単に紙面上での理解にとどまらず実際の現象と結び付けた理解が求められる。しかしながら、ビーカーなどを用いた教室内での開放系実験は履修生や講義者の健康面が懸念される。そのため、実験を実験室にて行い、考察やグループディスカッションは教室で行うような対応が必要な場合がある¹⁾。本研究室では、既に閉鎖系での実験が可能なフローインジェクション分析 (FIA) システムに着目し、化学反応による呈色反応と吸収スペクトルの逐次観察が可能な小型フローインジェクション装置を開発した²⁾。この装置では吸光色と吸収スペクトルとの関係を議論することができ、現象と理論との結びつきに役立つことが示唆されている¹⁾。一方、吸光色と発光色は混同されることも多いが、この装置では発光色と発光スペクトルとの関係は議論できない。そこで、本研究では発光現象である蛍光に着目し、化学反応による蛍光現象と蛍光スペクトルの逐次観察が可能な教育用可搬型フローインジェクション装置の試作を行った。この装置を使って蛍光の観察と蛍光スペクトルの測定が可能かどうかを検討した結果について報告する。

2. 実験装置

教室内実験を考慮したシステムには安全性及び可搬性が求められる。通常のFIAでは流通させた反応溶液中に試料溶液を注入し、下流の混合・反応セルで反応させることが多い。本研究でも安全性を考慮し、既報²⁾と同様、微少量の試料溶液と反応溶液で化学反応を再現できるサンドイッチ導入法を採用した。また、可搬性や経済性、寿命などを考慮し、励起光源としてLED光源を用いた。

Fig.1に装置の外観を示す。本装置は水またはエタノールを送液するためのHPLC用小型ポン

プ、サンドイッチ導入を可能にする2個のHPLC用サンプルインジェクター、混合・反応観察用スパイラルフローセル (PVC製、外径1.6 mm、内径1.0 mm、長さ70 cm)、蛍光フローセル、LED光源およびCCD分光器から構成した。

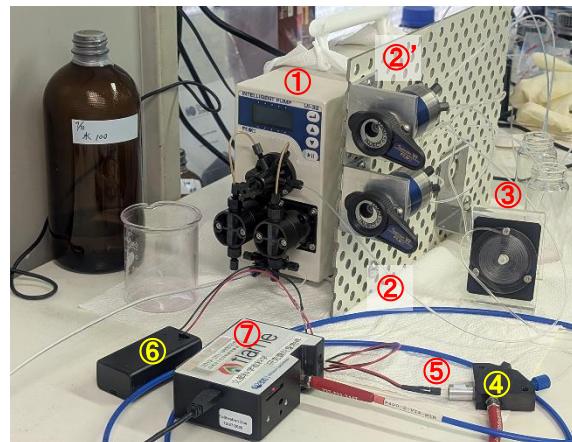


Fig. 1 装置の外観
 (①送液ポンプ, ②試料導入部, ②'反応溶液導入部, ③混合・観察用スパイラルフローセル, ④蛍光検出用フローセル, ⑤LED 光源, ⑥光源用電源, ⑦CCD 分光器)

まず、送液ポンプ (Fig.1中①) で水またはエタノールを流通させた後、サンプルインジェクター (同②) により流通させている水またはエタノールの本流を切り離し、切り離した部分を反応溶液 (100 μ L) に置換する。続いて、もう1つのサンプルインジェクター (同②') により切り離した部分の中央部を試料溶液 (20 μ L) と置換する。2つのインジェクターにより切り離した流路を本流に戻すことにより、20 μ Lの試料溶液を40 μ Lの反応溶液でサンドイッチした状態で観察用セル (同③) へと移動させて混合して蛍光観察を行う。さらに下流の検出セル (同④) により蛍光スペクトルを測定する。

まず、蛍光の観察と蛍光スペクトルの取得が可能かどうかを確認するために、化学反応は行わず、蛍光色素溶液を試料溶液として検討した。

Preparation of a Prototype Portable Flow Injection System for Educational Use Capable of the Sequential Observation of Fluorescence Phenomena and Fluorescence Spectra

Tamon IMAMURA and Tatsuro NAKAGAMA

3. 実験方法

蛍光色素には、入浴剤や蛍光ペン（トレーサー）などに使用されるウラニン（フルオレセイシンナトリウム）、エオシンY二ナトリウム（Acid red 87）、ローダミンB、スルホローダミンB（Acid red 52）および洗剤の蛍光増白剤として使用される4,4'-ビス(2-スルホスチリル)ビフェニル二ナトリウムを用いた。

キャリヤー溶液には水またはエタノールを用いた。濃度が 1.0×10^{-3} Mになるように蛍光色素をキャリヤー溶液に溶解して試料溶液とした。1.0 mL/minで流通させているキャリヤー溶液中に試料溶液を試料溶液導入部（Fig. 1②）から20 μ L導入し、ブラックライトを照射した観察用セル（同③）で蛍光色を目視で確認した後、下流の検出セル（同④）で蛍光スペクトルを測定した。

4. 結果および考察

4.1 光源の選択

汎用性を考慮すると、多くの蛍光色素に対して励起が可能な発光波長を有する光源が望ましい。また、肉眼で観察したときの蛍光とスペクトル測定時の蛍光は同一である必要がある。そこで、本研究では蛍光の目視観察時に使用するブラックライトの発光波長に近い波長を有するLEDを励起光源として使用することとした。OptoSupply製の最大発光波長が365 nm (OSV1YL5111A) と395 nm (OSV4DL5111A) の砲弾型LED（直径：5mm）を検討した。検討の結果、実験で使用した光源用電源（Fig. 1 ⑥, 9V, 20 mA）においては後者のLEDの方が光源光の発光強度および蛍光強度も高かったため、以後の実験では395 nmのLEDを使用した。

4.2 蛍光の観察と蛍光スペクトルの取得

Fig. 2に、水をキャリヤー溶液としたときのウラニンの蛍光観察写真およびその蛍光スペクトルを示す。観察した蛍光色（黄緑色）に対応した蛍光スペクトルが測定できることを確認した。他の色素についても同様に観察色に対応した蛍光スペクトルが測定できた（Table 1）ことから、本装置は蛍光色と蛍光スペクトルとの関係を議論するツールとして使用できると考える。

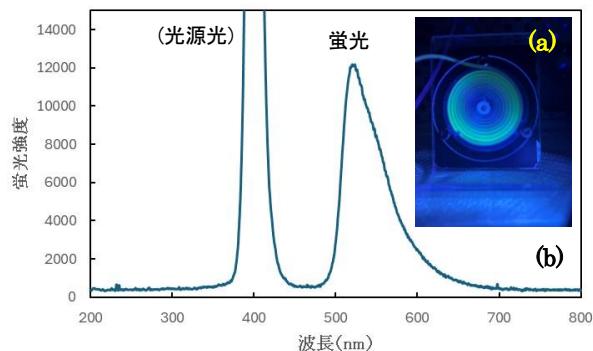


Fig. 2 ウラニン溶液の肉眼での蛍光観察(a)（リング状の蛍光）と蛍光スペクトル(b)

Table 1 検討した蛍光色素溶液の観察色(a), 測定された最大蛍光波長 (nm, (b)) および光の波長色(c)

蛍光色素*	(a)	(b)	(c)
①	無	430	青白
②	黄緑	521	黄緑
③	赤橙	544	黄緑
④	ピンク	595	橙
⑤	赤紫	600	赤

*①4,4'-ビス(2-スルホスチリル)ビフェニル二ナトリウム, ②ウラニン, ③エオシンY二ナトリウム, ④ローダミンB, ⑤スルホローダミンB

今後は、一部の蛍光色素について測定される蛍光強度に改善の余地があることから、光源光の集光や蛍光色素溶液濃度の最適化などを行う。さらに、錯体形成で蛍光を発する反応系を用いて、反応によって生じる蛍光と蛍光スペクトルの逐次観察と授業内実験と理論解説と組み合わせた授業展開を行う予定である。分析化学的には、可搬性を利用して錯形成反応を利用した金属イオンのオンサイト定量などに応用する予定である。

参考文献

- 1) T. C. Celius, R. C. Peterson, A. M. A.-Wile and M. K.-Thayer, *J. Chem. Educ.*, 95, 1626 (2008)
- 2) 田村優気, 伊東良晴, 中釜達朗, 工学教育研究講演会講演論文集（第72回年次大会（2024年度）), P-13 (2024)