

オープンソースハードウェア Arduino を用いる装置の開発

山梨大学総合研究部生命環境学域 鈴木保任

簡便で小型の分析装置は、現場分析や教育教材などの分野でニーズが高まっており、様々な手法に基づいた装置が開発されている。単純な装置では、特殊な制御が不要であるため、センサーと表示部などだけで構成される。一方、信号値の演算や他の機器との通信、制御が必要になる場合は、何らかのコントローラー（マイクロコンピューター）が必要になる。以前は、コントローラーそのものが高価であるだけでなく、プログラムを開発する言語、開発したプログラムをコントローラーに書き込むための装置なども高価であった。また、プログラムの書き込みも ROM を取り出して行う必要があり、組み込み機器の専門家でなければ、手軽に利用できるようなものではなかった。

近年、電子工作初学者の利用を想定した、安価で取り扱いの容易なマイコンボード（コントローラーに各種インターフェース、拡張コネクタ等を取り付けたもの）が種々市販されるようになってきた。その中でも、ネット上に多くの情報があり、高い人気のあるコントローラーの一つに Arduino[1]がある。Arduino の中にも様々な品種があるが、いずれも共通の開発環境を無料で利用することができる。また、拡張コネクタに取り付けられるオプション（シールドと呼ばれる）が種々市販されていて、目的に応じて機能を拡張できる他、シールドを自作することもできる。ハードウェアの回路図も公開されていて、安価な互換製品を購入することもできる。

そのため、簡易型の分析装置の開発に Arduino を用いている報告が増えている。Grinias らは、Arduino UNO（コントローラーに Microchip 製 ATmega328P を使用した、もっとも広く使われている Arduino）を用いた、化学分析のためのデータ取得装置（レコーダー）の開発を報告している[2]。パケットカラムと TCD 検出器を用いるガスクロマトグラフ、及び UV 検出器を備えたキャピラリー電気泳動（CE）装置のレコーダーとして用いたデータを示している。ATmega328P には、10 bit 分解能の 8 チャンネル A/D 変換器が内蔵されているが、より高い分解能を実現するため、Adafruit Industries が販売する外付けの 16 bit 分解能 A/D 変換モジュール、ADS1115 を取り付けた。価格はこのモジュールも含めて、\$50 以下である。取得したデータは、ホスト PC に送られ、オープンソースの開発言語である Python で書かれたプログラムにより、表示、保存される。Python のプログラムは Windows でも Macintosh でも動作するので、学生個人の PC に接続することも可能である。本装置で得られたクロマトグラムは市販の USB データ取得装置

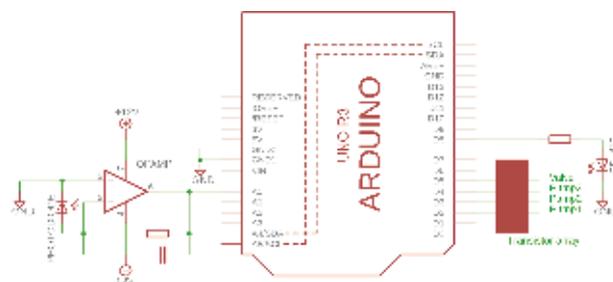


Fig.1 リンのフロー分析装置の電子回路ブロック図[2]

(LabJack U12) で得られたものとよく一致し、エレクトロニクスプログラムについても、CE 付属のソフトウェアで得られた結果とよく一致した。コントローラー及び PC のソフトウェアがいずれもフリーのライセンスであるため、市販の装置よりも非常に安価である。

一方、González らは、3つのソレノイドポンプ、1つのソレノイドバルブを用いる、リンのフロー分析装置の制御に Arduino UNO を用いている[3]。比較的リン濃度の高い排水試料等の自動分析を目的としているため、感度は低いが、溶液の保存性が悪いアスコルビン酸が不要なモリブデンイエロー法を用いている。吸収極大波長は 315 nm であるが、安価で入手の容易な 415 nm（紫色）の LED を光源に用いて吸光度を測定している。フローセルを透過した光をフォトダイオードで電流信号に変換し、オペアンプで増幅した後、Arduino 内蔵の 10 bit A/D 変換器により取り込み、吸光度を計算する (Fig. 1)。フローシグナルは USB ポートを通じてノート PC に送信し、表示した。PC 上のプログラムは、Matlab を用いて製作された。ソレノイドポンプは 1 制御パルスごとに 20 μL を吐出するように設定されているので、サンプルループは用いず、試料溶液を導入する場合はキャリアの送液を止めて、試料側のポンプのみに所要回数のパルスが送られる。これらの制御も Arduino が行っている。本法の検出限界は 0.28 mg L^{-1} で、実際試料（水）の定量を行ったところ、バナドモリブデン酸を用いる方法（APHA 4500-P C）で得られた値の 90.8~98.2% となり、正確な定量結果を得られた。

[1] Arduino web page: <https://www.arduino.cc/> (2018.6 アクセス)

[2] J. P. Grinias, J. T. Whitfield, E. D. Guetschow, R. T. Kennedy, *J. Chem. Edu.*, **93**, 1316 (2016).

[3] P. González, N. Pérez, M. Knochen, *Quim. Nova*, **39**, 305 (2016).