

形から入る小型電子回路装置製作

○木村 和典 ^{A)}

^{A)}自然科学研究機構分子科学研究所 技術推進部

1. はじめに

分子科学研究所装置開発室エレクトロニクスセクション(以下「回路工作室」とする)では、高速・高電圧のパルスジェネレータや微小定電流電源など、様々な実験用電子機器を製作し研究者に提供してきた。一方で近年では IoT や DX といった単語が広く喧伝され、多様なデータを取得する目的でこれまでにない小型の装置を製作する機会が増えてきている。今回は筆者が筐体まで一貫して設計・製作した小型装置の設計ワークフローや性能評価について紹介する。

2. 実験用電子機器の開発の流れ

電子機器の開発依頼を受けた場合、従来は回路工作室のスタッフがまず回路基板を設計し、その後でその基板が入るような筐体を選定・加工するというものがよくある工程であった。筐体設計については CAD で厳密に製図をすることもなく、Microsoft Visio 等で簡単な絵を描いて二次元的に確認をする程度であった。筐体加工に関しても、基板加工機を用いてパネル等を加工する取り組みが一時期行われていたものの浸透せず、ほとんどの場合は回路工作室のスタッフ自身が汎用工作機械を使用して対処していた。



図 1 回路工作室で製作された装置の一例
(ビームシャッターコントローラ Ver.4^[1])

筆者は 2018 年 4 月に回路工作室に着任し、CNC 工作機械や機械 CAD の経験があったため、まずは装置開発室メカトロニクスセクションの工作室(以下「工作工場」とする)の工作機械を使用させていただき、筐体加工を半自動化した。2018 年 6 月ごろに製作した最初の加工の図面と加工データを図 2 に示す。厚さ 2mm のアルミ板に $\phi 9\text{mm}$ の穴を 24 個、 $\phi 6\text{mm}$ の穴を 2 個、 $\phi 20.4\text{mm}$ の穴を 1 個、 $\square 45\text{x}22\text{mm}$ の角穴を 1 個あけている。従来の工程では回路担当の職員が半日ほど拘束されていたが、CNC フライスで切削することにより 1 時間程度(実拘束時間はそれ以下)で加工が完了するようになった。

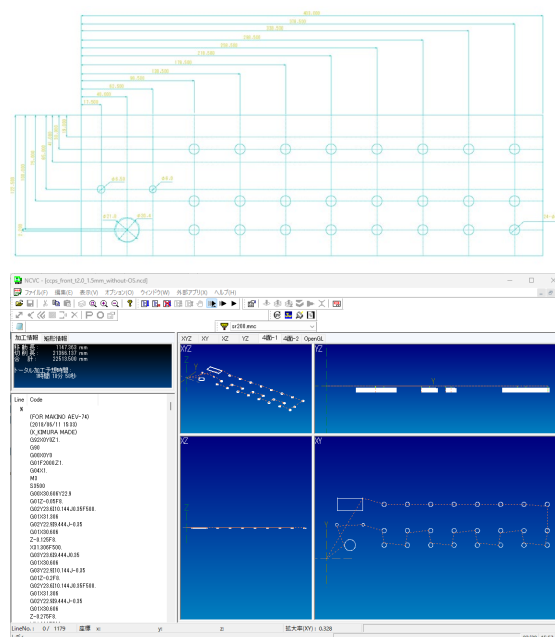


図 2 加工図面(上)と NC 加工データ(下)

またメカトロニクスセクションで導入されていた 3D CAD (SolidWorks)についても筆者に使用経験があったため、回路 CAD から 3D モデルを出力できる機能と組み合わせて筐体と内部レイアウトの 3D 設計も開始した。これにより加工を始める前に十分な配置検討を行えるようになり、従来の工程では多発していた組付け時の干渉発覚や手戻りをほぼ完全になくすことができた。

さらに 2019 年度末には回路工作室の備品として卓上型の CNC フライス(ORIGINALMIND SR-200、

製造終了)を導入した。加工対象の最大高さがやや低かったため改造を加えているものの、工作工場の機械の利用状況に左右されずに加工を行える体制が完成した。現在でも年間 100 件程度の工作依頼のうち 20～30 件程度について、このフライスを用いて筐体を加工している。

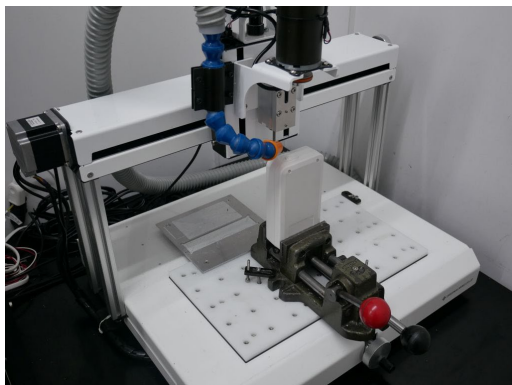


図 3 卓上 CNC フライスを用いた加工の様子

近年ではこれらの工程をさらに進め、依頼者の希望にあった筐体を選定しておいてからその筐体に収まるように回路基板のサイズや部品配置を調整するという設計の流れが多くみられる。

3. 開発例: ネットワーク対応 A/D コンバーター

研究者より「0-5V のアナログ信号をデジタル信号に変えて ssh で読み出すようなモジュールを作りたい」との依頼があり、ネットワーク通信に対応した小型の 4ch 入力 A/D コンバーターを製作した。開発した装置の外観の 3D 図面と写真を図に示す。

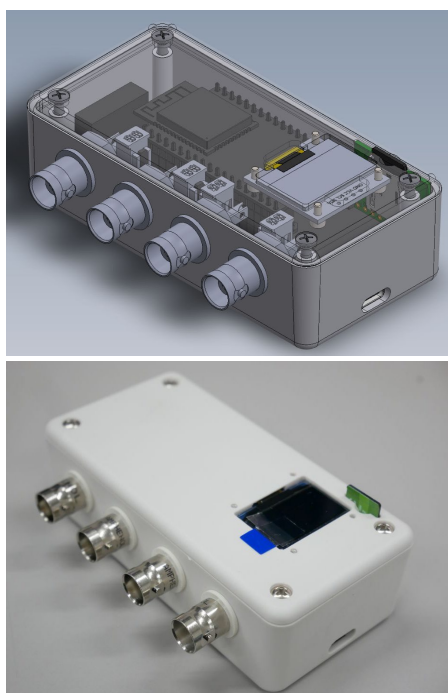


図 4 ネットワーク対応 A/D モジュール

サンプリングレートは 1 秒に 1 回程度でよいという条件であったため、A/D コンバーターには 4ch の入力を備えた MCP3424-E/SL を 16bit 分解能設定で使用している。A/D の入力前にプリアンプを設けており、装置としては最大±10V を入力することができる。メインのマイコン基板には ESP32-devkitC を使用しており、2.4GHz の Wi-Fi に接続できる。また ESP32 の内蔵メモリに HTML ファイル等一式を配置し、測定したデータをリアルタイムでグラフとして表示できるスタンドアロン計測器とした。測定データについては WebSocket で配信する API を設けてあり、任意のプログラムからデータを取得できる。搭載したグラフ表示ページもこれを用いている。

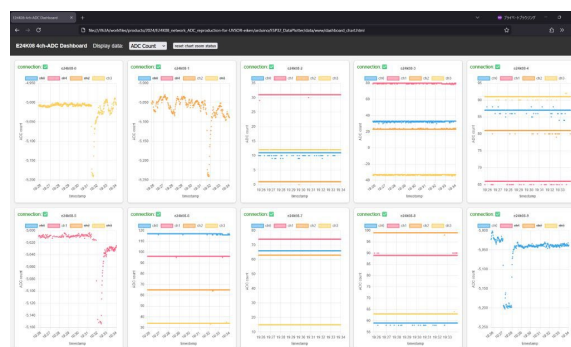


図 5 内蔵ダッシュボード Web ページ

当初は測定結果のデータも ESP32 の内蔵メモリに保存する予定であったが、数か月間のデータを保存したいという要望から容量が不足していることが判明したため、microSD カードを差し込んで使用できるように後からカードスロットを追加した。マイコンの開発キットがケースの体積のほとんどを占めておりスペースに限りがあったものの、かろうじて配線と microSD マウント基板が入る隙間を確保して実装した。

本装置はのちに分子科学研究所の放射光施設 UVSOR からの依頼を受け、10 台を追加製作した。

4. 開発例: 広範囲熱電対モジュール拡張版

回路工作室では K 型熱電対を用いて -270℃～1800℃の範囲を測定できる広範囲測定ユニット^[2]を開発した実績がある。この熱電対モジュールについて、前述したネットワーク対応 A/D コンバーターモジュールと組み合わせて使えるよう拡張してほしいとの依頼を受けた。この開発では熱電対入力を 1 チャンネルから 4 チャンネルに増やし、また入力された温度に応じたアナログ電圧を BNC コネクタで出力する機能が求められた。一方で使用場所である UVSOR は測定装置や設備が雑多に並んでおり、装

置がコンパクトになることには肯定的であったため、従来品と同じ筐体を用いることとした。このため一部の電源や外部出力コネクタの搭載をあきらめることになったが、最終的には要望通りの機能を有する装置が完成した。初代熱電対モジュールと拡張版熱電対モジュールの回路の比較写真を図4に、全体の写真を図5に示す。拡張版を組み立てると BNC コネクタが基板の上に覆いかぶさるものの、事前に十分な形状検討をしたため、干渉などなく組み立てられるようになっている。

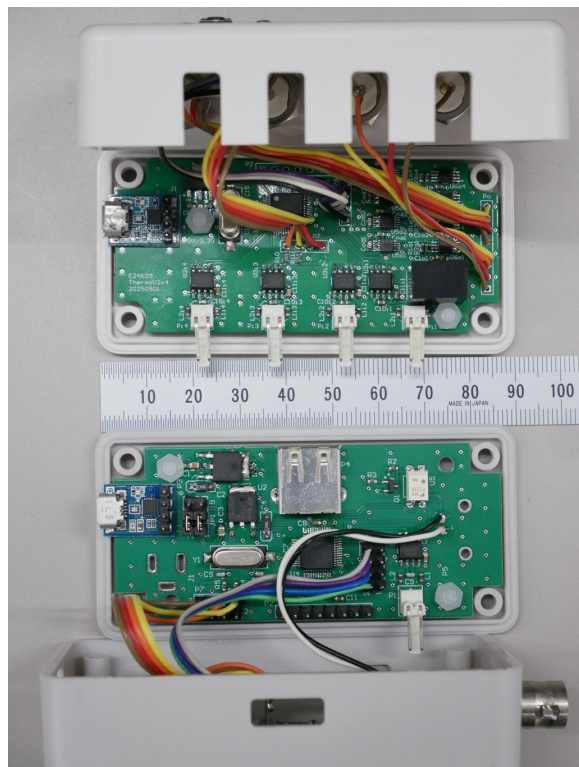


図6 広範囲熱電対モジュールの比較

上: 筆者による拡張版、下: 初版

5. まとめ

装置開発室エレクトロニクスセクションにおいて、装置筐体と回路基板の設計に 3D CAD を用いた事前検証と CNC フライスをを用いた半自動加工を採用することで、従来の工程で問題になっていた筐体の加工効率を大幅に改善した。またこの工程を発展させることで従来にない小型機器の設計・開発を迅速に行える体制を確立した。

本報告では省略したが、適切な市販筐体がない場合は 3D プリンターで筐体を生産した例もある。少人数で多数の工作依頼に対応しているため、回路工作であってもその完成形状から逆算して設計を行うというワークフローは一定の効果を発揮している。

6. 謝辞

熱電対モジュール拡張版の開発と試験にあたっては初版開発者の豊田朋範 主任技師に設計情報を提供いただいた。またネットワーク対応 A/D コンバーターの開発にあたっては同じく豊田氏に助言をいただき、依頼者の木村真一 分子科学研究所教授(当時)には使用感の確認をはじめ機能面での多大なフィードバックをいただいたほか、中村永研 主任技師、岡野泰彬 主任技師には UVSOR での事前動作確認とトラブルシューティングにあたって多大な助言をいただいた。各位に深い感謝の意を表する。

参考文献

- [2] 装置開発室、「製作品: 18F02 ビームシャッターコントローラ Ver.4」、装置開発室 Annual Report 2018、p.42、2019
- [2] 豊田朋範 他、「K 型熱電対を用いた広範囲温度測定ユニットの開発」、静岡大学技術部技術報告、p.23-26、2024