

分子科学研究所受入研修

「複合的機械加工技術支援業務に必要な電子回路技術研修」

参加報告

後藤伸太郎

装置開発技術支援室 精密加工技術グループ

概要

分子科学研究所受入研修制度では受講者の技術力や希望に合わせて研修内容を企画していただける。本研修は令和5年7月から長期間にわたり実施していただいております、令和6年11月で第7回を数え、現在も継続中である。研修課題は音声検出ユニット開発としていただき、具体的な研修内容はアナログ回路設計、プリント回路基板設計と試作、試作回路の性能評価と改良、改良回路の屋外設置を念頭に置いた筐体製作など、多岐にわたる。本発表では、本研修で学ばせていただいた内容を報告する。

1 背景

装置開発技術支援室精密加工技術グループは名古屋大学工学部の研究室や授業で使用する実験装置の開発を行っている。筆者が勤務を始めたころ、汎用工作機械を用いて単純な部品を製作する業務の担当が多く、次第にNC工作機械を用いた複雑な形状の部品製作やそれらの部品を組み合わせた機械の製作を行うようになった。そして、機械部分だけでなく駆動部分（モーターなど）や制御部分（モータードライバなど）を組み込んだ実験装置の開発も行うようになった。この駆動部分や制御部分は既製品を用いてきたが、実は既製品では大きさや形状で設計に制約が生じることや、特に制御部分は多機能であるが故に操作が複雑である不都合がある。業務の依頼者と打ち合わせをしていると、これらの不都合の回避が求められる場面が少なくない。そのため近年では制御部分の開発も行っているが、筆者の技術力はまだ低い。真に役に立つ実験装置を開発するため、電子回路の設計製作や制御技術を本格的に身に着けたいと考えていたところ、分子科学研究所の受入研修制度があることを令和5年2月に知り、受講を願い出た。

2 研修内容について

研修にあたり、何らかの題材がある方が講師は進めやすく、受講者（筆者）も技術が身についたことが実感として分かりやすいと考えた。そこで、次章で述べる音声検出ユニットの開発を題材として希望した。実験装置の制御部分の開発には、マイコン、プログラミング、各種センサー、アナログ回路、デジタル回路、データ通信、プリント回路基板製作など様々な技術が必要である。これらの技術の内、本研修ではアナログ回路とプリント回路基板を開発する技術を重点的に学ばせていただいている。

3 音声検出ユニットについて

名古屋大学では液体窒素汲取り設備における騒音トラブルが度々発生している。これは利用者のバルブの締めが緩いことで発生する耳障りな甲高い騒音が原因で、近隣住民や付属学校からの苦情を受けた事務室か

ら設備担当者に連絡され、都度対応を行っている。そこで、特定の周波数の音を検出して接点信号を出力する音声検出ユニットの開発を立案した。音声検出ユニットから出力された接点信号を、WAN-WAN システムに入力することで、瞬時に担当者に通報される警報システムを構築することで、騒音トラブルへの素早い対応が可能になると期待できる。

なお、WAN-WAN システムとは、分子科学研究所装置開発ユニットの豊田朋範氏、岩手大学技術室長の千葉寿氏らが共同開発を進めている汎用一斉警報通知システム（Wireless Alarm Network for Wide Area Notification）である。

まず、実際に騒音を短時間発生させて周波数を計測し、2,000Hz から 4,500Hz の音を騒音と定義した。騒音発生箇所の近くにマイクを設置することにより音を取り込み、その信号はバンドパスフィルタ回路を介してマイコンに入力して騒音であるかの判定を行うこととした。バンドパスフィルタ回路はマイコンの判定精度向上のために騒音と判定する周波数帯のみを通過させるために搭載するアナログ回路であり、このバンドパスフィルタ回路の設計・試作・評価・改良が本研修の中心的な内容の1つである。また、部品材質や筐体に関しては設置場所が屋外であることも考慮する必要がある。

4 アナログ回路設計

バンドパスフィルタ回路の理論設計には、Analog Devices が提供する無料の電子回路シミュレータである LTspice と部品選定ツールである ADISM Precision Studio、そしてフィルタ計算ツール (<http://sim.okawa-denshi.jp/Fkeisan.htm>)を使用した。まず、LTspice で 2,000Hz から 4,500Hz が通過するバンドパスフィルタ回路を設計した。通過周波数帯域を急峻にして検出精度を高めるため、オペアンプを使用したフィルタ回路を3段組み合わせた回路とし、使用するオペアンプは ADISM Precision Studio で選定した。更にフィルタ計算ツールでもシミュレーションを行い、設計の妥当性を確認した。

5 プリント回路基板設計と試作

回路とプリント回路基板の設計には電子CADである Altium Designer (Altium)を使用した。この電子CADは回路やプリント回路基板の設計のみならずプリント回路基板製造や部品実装に必要なファイルやデータの生成が可能なエレクトロニクス統合開発環境である。

LTspice で設計したバンドパスフィルタ回路、後の性能評価に必要なコネクタなどを含めた回路を Altium Designer において設計し、生成したネットリスト(部品の接続情報)を基にプリント回路基板設計を行った。(図1) なお、この設計段階ではアナログ回路のみに注目し、入力周波数から正常か異常かを判断するマイコンなどの回路は含めていない。

設計に際して、オペアンプの配線、特に入力端子周辺の配線は太く短くすることをご指導いただいた。これは増幅前の信号が受けるノイズを可能な限り小さくするためである。設計したプリント回路基板では広い基板上の片隅に回路が集中することになるため部品実装の難易度が高くなるが、オペアンプ回路の性能向上のために非常に重要なノウハウである。

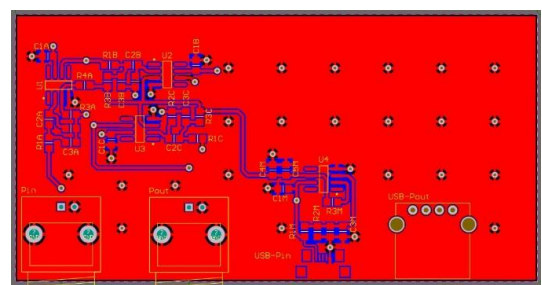


図1. プリント回路基板設計

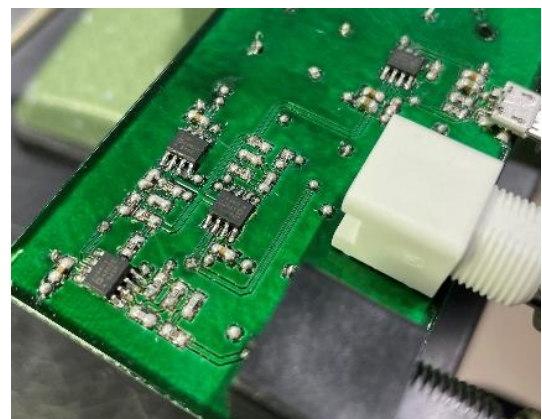


図2. 完成した試作プリント回路基板

プリント回路基板設計後は製造データであるガーバーデータを生成して、プリント回路基板加工機 A427A(Accurate)で加工した。プリント回路基板の加工後は、切削屑やバリの除去、絶縁コーティング剤の塗布、ランド・パッド部分の銅箔露出処理、さらに部品の実装を行い、プリント回路基板が完成する。（図2）部品実装の際は、はんだ付け不良やショートが無いかを一つずつテスターを用いて確認を行った。

6 試作回路の性能評価と改良

ファンクションジェネレータ AFG3251(Tektronix 社)とオシロスコープ DS-5354(IWATSU)を用いて、製作した試作回路の特性評価を行った。（図3）まずファンクションジェネレータで 100Hz から 10,000Hz まで段階的に周波数を変化させた信号を生成し、その直接の信号と試作プリント回路基板を経由した信号をオシロスコープに入力してバンドパスフィルタの性能を評価した。その結果、概ね 2,000Hz から 6,000Hz の周波数帯のみ良く通過する特性が得られた。

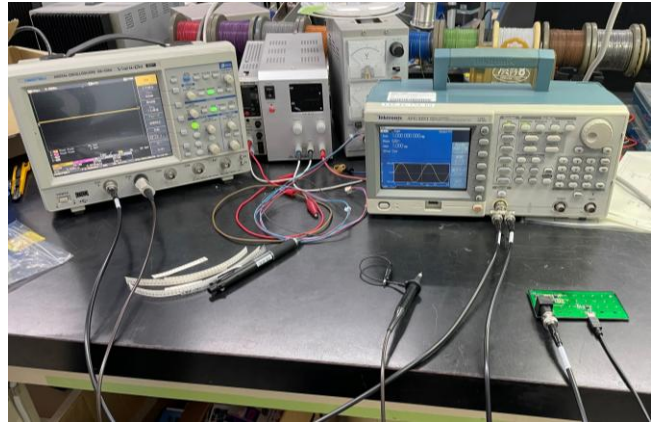


図3. 試作回路の性能評価

液体窒素汲取り設備においてはマイクによる音声取込を予定している。使用予定のマイクモジュール AE-MICAMP (秋月電子通商)の出力波形の中央値は 2.3V 程度であるが、入力波形の中央値を 2.5V として波形が常に正電圧となっても動作することを確認した。そして、ファンクションジェネレータをマイクモジュールに置き換えて液体窒素汲取り設備において録音した異常音を再生したところ、異常音のみが良く通過することを確認できた。

バンドパスフィルタ回路は 2,000Hz から 4,500Hz の周波数帯を通過する設計に対して、性能計測では概ね 2,000Hz から 6,000Hz となり高周波側に拡大する結果となった。しかしながら、本装置における異常音検出の目的達成には差し支えないことから、本研修においてはそのまま開発を進めることとした。

次に、液体窒素汲取り設備への設置を念頭に、実用化に必要な改良を検討した。その結果、オペアンプの変更、バンドパスフィルタ回路の後段にコンパレータ、マイコンとプログラム書き込み回路、フォト MOS リレー、製作時の性能確認用テストポイントを追加することとした。

これらの項目を回路図に反映し、プリント回路基板を設計した。この際、筆者が使い慣れている機械 CAD である SOLIDWORKS と Altium Designer のデータを連携させて設計する手法も教えていただいた。（図4）これにより、プリント回路基板を使用予定の筐体に合わせた形状に容易に対応させることが可能となるため、大変重要な手法である。（図5）そして、現在は部品実装をしている段階である。

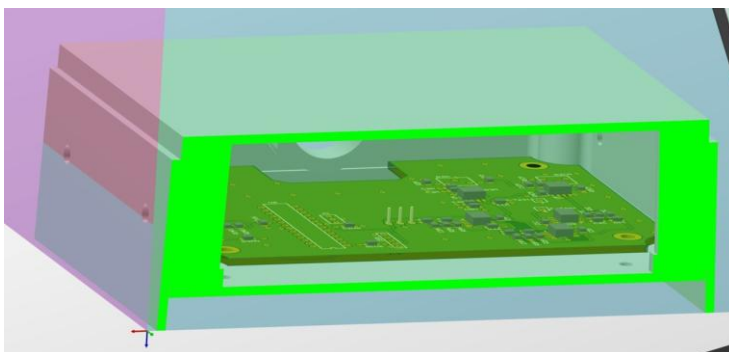


図4. 機械CADと電子CADのデータ連携

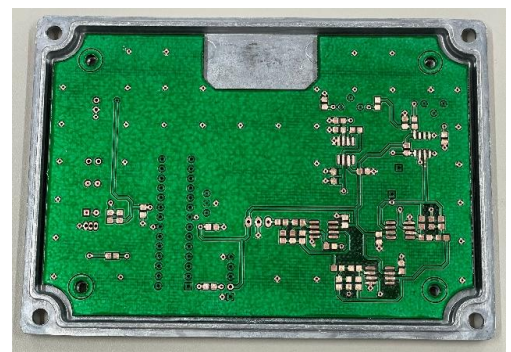


図5. 筐体の形状に対応した基板

7 今後に向けて

7.1 マイコンプログラム開発

マイクモジュールから取り込まれた音声信号は、バンドパスフィルタ、コンパレータを経てマイコンに取り込まれる。この段階で概ね 2,000Hz から 6,000Hz の矩形波状の信号であり、この信号の周波数をマイコンにより測定し、2,000Hz から 4,500Hz の場合に警報出力をするプログラムを開発する。

7.2 液体窒素汲取り設備への設置

屋外環境への設置となることを考慮した筐体の製作は完了している。今後はプリント回路基板の性能確認と筐体への組み込み、現地への設置、既設 200V 電源からの電源取り出しなどが必要である。

8 技術者としての学び

本研修においては、前述の技術的な内容のみならず、プレゼンテーションや報告書、記録用写真撮影など技術者として今後必要とされる素養についてもご指導いただいた。日常業務で関わる依頼者や協力者との信頼関係を築くにはコミュニケーションが欠かせない。自身が何を考えて何をしているのかを相手が理解しやすい言葉と順序で簡潔に伝えることは、技術的な能力と同じく大切な能力である。確かな技術を修得するだけでなく、他者との協調性の大切さを教えていただいた。

9 おわりに

本研修では音声検出ユニット開発をとおして電子回路の設計、試作、改良の方法を詳しくご指導いただいた。また、機械 CAD と電子 CAD のデータを連携する設計手法も教えていただいたことで、プリント回路基板を特殊な形状の筐体に容易に対応させることも可能となった。さらに、技術的な内容のみならず技術者として必要とされる素養も習得できた。筆者の技術力や希望に合わせて企画していただいた受入研修制度の効果は非常に大きく、大変ありがたい。分子科学研究所装置開発ユニット豊田朋範氏、松尾純一氏、木村和典氏、岩手大学技術室長千葉寿氏には本研修にあたり大変お世話になりました。この場をお借りして御礼申し上げます。

今後も技術研鑽を積み、回路系・制御系の技術を身につけて教員や学生から頼られ、必要とされる「電気の分かる機械の人」となれるよう励んでまいります。

参考文献

[1] 渋谷道雄, “回路シミュレータ LTspice で学ぶ電子回路(第4版), オーム社, 2022 年