2021 年度

技術部活動報告集

Vol.27

福井大学工学部技術部

2021 年度 技術部活動報告集（Vol.27）の刊行に際して

技術部長 福井 一俊

2022年3月9日に今年度の工学部技術部の技術発表会が開催されました。専門研修 5 件、日常研修 3 件の発表が行われ、極めて充実した内容の発表会となりました。本報告集は工学部技術部の 2021 年度の活動をまとめたものです。技術職員の意識向上にも支えられ、技術部全体の活動が質・量ともに向上したことが伺える内容となっています。個々人の専門性に応じた複数のグループに職員を配置し、それらの業務グループが組織として活動する制度を技術部が取り始めてから、また個人として研究プロジェクトを担当する教育・研究プロジェクト派遣制度も検討時期も含めてともに 10 年を越えています。これらのシステムは成熟期を迎えてきていますが、一方で、大学を取り巻く状況は、急激に変化してきており、技術部の強みを生かした大学内での役割が求められてきています。すでに幾つかの新たな取り組みが試み始められており、本報告書の専門研修、日常研修においても報告されています。技術部活動報告は発刊して 27 年の歴史を持っており、技術部に係るこのような資料を長年に亘って発行し続けてきたのは貴重な財産です。この貴重な財産に新たな報告を加えることが出来たことを嬉しく思っています。

目　次

専門研修報告

オンラインストレージの構築技術の修得 ---------- 2
第三技術室　小澤　伸也
第三技術室　廣木　智栄
第三技術室　道幸　雄真

教材用スターリングエンジンの開発 ---------- 8
第一技術室　竹内　利幸
第一技術室　山森　英智
第一技術室　内山　裕二
第一技術室　　橘　　和希

マトリックス支援レーザー脱離イオン化飛行時間型質量分析法の測定技術習得 ---------- 12
第二技術室　山口　綾香
第二技術室　山田　美空
第二技術室　宮川しのぶ

電子回路系ハードウェア設計開発技術の継承 ---------- 18
第三技術室　小林　英一
第三技術室　道幸　雄真
第三技術室　廣木　智栄

5 軸マシニングセンタを用いた多軸加工技術の修得 ---------- 24
第三技術室　青山　直樹
第一技術室　　橘　　和希
第一技術室　川﨑　孝俊
第一技術室　山森　英智
第一技術室　内山　裕二

日常研修報告

3D-CAD, 3D プリンターの操作技術習得および加力部での使用範囲の検討 ---------- 29
第二技術室　川井　康督

金属エッチングを用いた学外向けものづくり企画に関する検討 ---------- 31
第三技術室　高澤　拓也

常時微動探査装置の改良と測定データの高度化に関する技術修得 ---------- 33
第二技術室　伊藤　雅基

技術研究会等参加報告

高圧ガス保安教育基礎講習 参加報告 ---------- 36
第一技術室　竹内　利幸

第 80 回全国産業安全衛生大会 2021 参加報告 ---------- 38
第一技術室　竹内　利幸

活動報告

令和 3 年度 技術部特別講演会 ---------- 41
特別講演 「「材料・資源・環境分野をまたいで～福井でみた産学官連携～」
研修委員会
2021 年度公開講座「ガラスを溶かしてオリジナル作品を作ろう」---------- 42
第二技術室

工学部技術部グループ業務報告
・令和 3 年度 実験・実習グループ業務報告 ---------- 43
実験・実習グループ
・令和 3 年度 安全衛生管理推進グループ業務報告 ---------- 44
安全衛生管理推進グループ
・令和 3 年度 共同利用施設グループ業務報告 ---------- 45
共同利用施設グループ
・令和 3 年度 技術相談・プロジェクトグループ業務報告 ---------- 46
技術相談・プロジェクトグループ
令和 3 年度 工学部技術部 業務（活動）日誌 ---------- 47

令和 3 年度 技術発表会・特別講演会 プログラム ---------- 50

編集後記 ---------- 51

専門研修報告

オンラインストレージの構築技術の修得

小澤 伸也* 廣木 智栄** 道幸 雄真**

1. はじめに

オンラインストレージは昨今のリモートワーク需要もあり，活用されることが多くなってきている．このオンラインストレージは，インターネットを介してデータのやり取りをおこなうため，直接的なデータのやり取りをおこなわずに最新データを共有することが可能なことから，リモートワークなどの就労環境では必須と言える技術である．昨今のリモートワーク需要もあり，現在多くのオンラインストレージサービスが存在しているが，これら既存サービスは導入コストや維持コストが高く気軽に導入できるものではない．既存サービスの中には無料でオンラインストレージを提供しているサービスも存在するが，利便性や安全性などで有料サービスには及ばないのが現状である．

これを解決するため，本研修ではオンラインストレージ構築技術の修得を通し，修得した Samba に自作のプログラムを組み合わせることにより，技術部内で会議資料等のデータ共有にも活用しやすい，様々な端末からアクセスが可能なオンラインストレージを構築した．

2. オンラインストレージと既存サービス

オンラインストレージとはインターネット上に存在するサーバのストレージに，他の端末からファイルのアップロードおよびダウンロードをできるようにすることで複数端末間および多人数間でファイル共有をおこなうサービスであり，クラウドストレージと呼ばれることもある．図 1 はオンラインストレージの利用についてのイメージ図である．オンラインストレージはネットワークを利用してファイルのやり取りをおこなうため，HDD などのローカルで動作するストレージと比較して，I/O 速度では劣るが，図 1 のように他の利用者とのファイル共有や複数人に対してのファイル配信などができる点や世代管理などに優れている．現在では組織でのファイル共有目的での利用だけでなく，個人でも PC，タブレット端末，スマートフォンなどの異なる端末間でファイルを共有するためにもオンラインストレージは利用されている．オンラインストレージは端末上にファイルを残さないため，大容量ストレージを搭載できないような端末が疑似的に大容量ストレージを持つというような利用もされている．

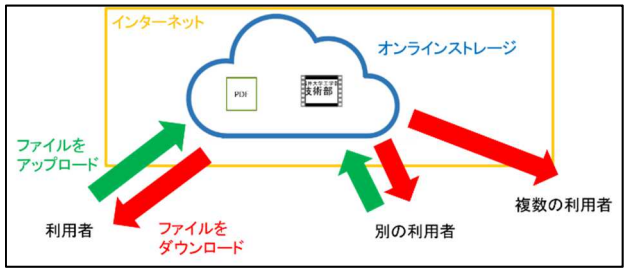


図 1　オンラインストレージの利用イメージ

オンラインストレージはその性質上，昨今のリモートワーク需要もあり，国内外多くの企業がサービス提供をおこなっている．現在これらサービスの種類は需要の増加にともなって日々増加傾向にある．これらオンラインストレージサービスの多くは有用ではあるものの有料であるため導入・維持コストが高い．無料サービスのオンラインストレージも存在はするが利用可能なストレージ容量やセキュリティ面に難がある．ある程度のストレージと十分なセキュリティが必要である大学組織の場合を考えると，無料サービスは利用しづらく，有料サービスについても限られた予算で導入することは困難であると言える．

本研修では，オンラインストレージ構築技術の学修を通して内製オンラインストレージの構築を目指した．内製オンラインストレージはコストこそかかってしまうが，有料サービスと比較すると十分に減らすことが期待できるだけでなく，無料サービスと比べてストレージ容量やセキュリティ面も自由に設定できるため十分なものが構築可能である．

* 第 3 技術室　システム設計班
** 第 3 技術室　システム制御班

3. 達成目標

本研修で構築するオンラインストレージは，技術部内での運用を想定し，以下の達成目標を満たすものとした．

a)ブラウザ以外からアクセス可能
b)どんなサイズでもアップロード可能
c)各個人の専用領域がある
d)ファイル共有が可能
e)共有されていないファイル等は見えない
f)共有グループは自由に作成・削除ができる

技術部にはファイル共有システムというファイル共有を目的とするアップローダの技術がベースの Web システムが存在している．このファイル共有システムとの差別化やより利便性の高いものにすべく，a)，b)，c) をそれぞれ達成目標として定めた．e)，f) については既存サービスなどを参考にして定めた．本研修では Unix 系 OS である CentOS のサーバマシン上にオンラインストレージを構築することとした．

4. Samba

本研修では Windows ネットワークを実装したフリーソフトウェアである Samba を用いてオンラインストレージの構築をおこなった．Samba は Windows のファイルサーバやプリントサービス，ドメインコントローラなどの機能をもっており，Unix 系 OS のサーバマシンを Windows PC 等からアクセス可能な共有ファイルサーバとする際に一般によく利用されている．Samba ではファイルにアクセス権を設定することにより特定のユーザやグループだけでのファイル共有を可能としている．ブラウザ以外からもアクセス可能でアップロード可能サイズも特に制限はない．Samba はファイルのアクセス権設定についてはサーバ等情報系の知識を必要とするため，Samba を用いてファイル共有する場合は事前にサーバ管理者によるグループ設定や共有フォルダの作成をすることが一般的である．表 1 に示すように本研修で構築するオンラインストレージについて 3.で定めた達成目標のほとんどが Samba を用いることで達成することができるが，一方でサーバ管理者の負担も大きいことがわかる．技術部内での運用を考えた時，ファイル共有するグループのメンバーは年度毎に変動する場合が多いため，都度変更するのはサーバ管理者の負担になるだけでなく，利用者側もサーバ管理者への依頼の手間や設定変更までのタイムラグ等で不便である．

表 1　Samba のみの場合における目標達成状況

目標	達成状況	備考
a)	○	
b)	○	
c)	○	サーバ管理者が作成する
d)	○	サーバ管理者の設定が必要
e)	○	設定により可能
f)	×	サーバ管理者が作成する

本研修では Samba にてサーバ管理者がおこなう作業をプログラムにより自動化することにより，有用なオンラインストレージの構築を試みた．

5. プログラムによる自動化

本研修で作成したプログラムの動作は以下の通りである．

1. すべてのファイルをチェックして設定ファイルを探査する．設定ファイルが見つかった場合は下記 2．～4．をおこなう．
2. 設定ファイルと DB（データベース）の比較をおこない，結果に応じて以下 3-1．もしくは 3-2．をおこなう．

3-1.（DB に登録が無い場合）
新規追加をおこなう．

3-2.（DB に登録がある場合）
グループに属しているユーザに変更がある場合は設定変更をおこなう．

4. フォルダのパーミッション変更をおこなう．
5. DB に登録があるが，見つからなかった共有フォルダの削除をおこなう．

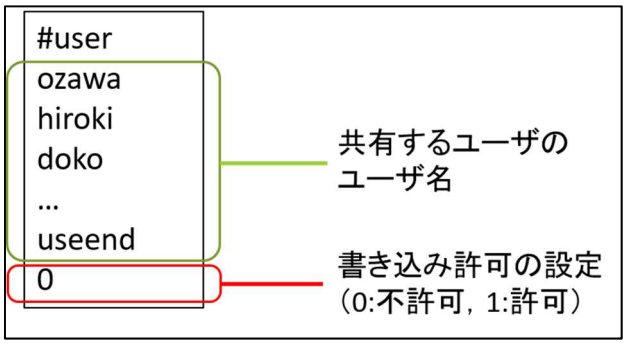


図 2　設定ファイルの書式

プログラムでは，共有したいフォルダを判別するためと，共有フォルダをユーザが自由に作成できるようにするために設定ファイルを用いることにした．この設定ファイルには図 2 のようにそのフォルダを共有したいユーザ名とフォ

ルダ内のファイルに対して書き込み権を与えるかどうかの情報が記述されている．以下ではプログラムの各動作について説明する．

5.1. 設定ファイルの探査

研修で開発したプログラムではそのフォルダが共有フォルダかどうかの判別を設定ファイルの有無によりおこなう．プログラムはまず図 3 のように存在する全フォルダの探査をおこない，フォルダ内に設定ファイルがあるかを確認する．図の例だと，フォルダ B とフォルダ C に設定ファイルがあるためプログラムは共有フォルダと判定し，次の処理へと進む．設定ファイルの無いフォルダ A とフォルダ D については共有フォルダではないためプログラムは何もしない．ユーザは設定ファイルを置くか置かないことで自由に共有フォルダと個人フォルダの切り替えをすることができる．

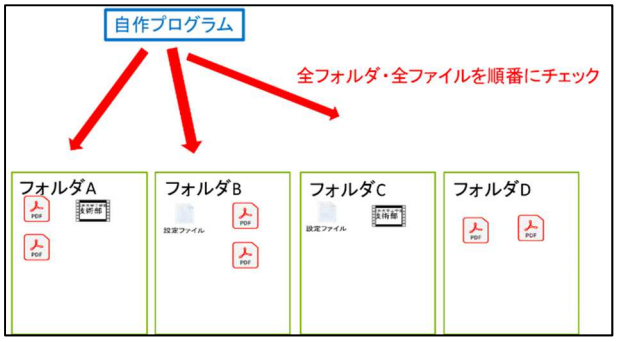


図 3　設定ファイルの探査

5.2. 設定ファイルと DB の比較

5.1. で設定ファイルを見つけた場合，プログラムは DB に記録されている情報との比較をおこなう．研修で開発したプログラムでは共有フォルダの情報を DB に保存しており，設定ファイルの内容と比較して変更があれば次の処理へと進む．DB に保存する内容は，

- 共有フォルダ名
- グループ名
- 共有するユーザ
- 最終更新日
- 共有フォルダまでのパス

である．

プログラムは，まず設定ファイルの更新日と DB の最終更新日の比較をおこない，これが一致していれば設定ファイルに変更がないものとして処理を終了する．もし設定ファイルの更新日が DB の最終更新日より新しければ，設定ファイル変更の可能性があるため次は中身を確認する．ここで共有するユーザについて DB と設定ファイルの比較をおこない，違いがあれば次の処理へと進む．もし違いがみつからなかった場合でもフォルダへの書き込み権が変更になっている可能性があるため，処理を終了するのではなく，5.4. の処理へと進む．新規の共有フォルダの場合は DB にそもそも登録がないため設定ファイルとの比較をすることができないので，比較せずに次の処理へと進む．

これら DB との比較をすることにより，ユーザは一度作成した共有フォルダについて中身を残したまま自由に共有相手の変更をおこなうことができる．

5.3.1. 新規追加

DB に共有フォルダの情報が登録されていない場合，その共有フォルダは新規共有フォルダである．この時プログラムは設定ファイルの情報から DB への新規追加登録をおこなう．

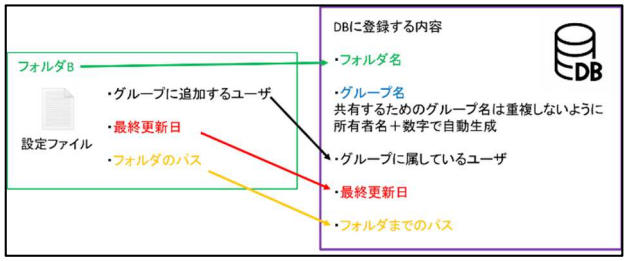


図 4　DB への新規追加

図 4 は DB への新規追加を表している．登録内容のうちフォルダ名，グループに属している（共有する）ユーザ，最終更新日，フォルダまでのパスについては図が示しているように設定ファイルの情報をそのまま登録する．残るグループ名については，4. で述べたように Samba はファイルやフォルダにグループを利用したアクセス権を設定することで共有している．もしこのグループ名が重複してしまうと意図していないユーザ間でファイルやフォルダを共有してしまうことになる．本研修で開発したプログラムはこのグループ名が重複しないように自動生成をおこなう．具体的にはグループ名として共有フォルダの所有者名の後ろに数字をつけるようにし，既存のグループ名と被らない数字になるまで 0 から順番にチェックをする．例えばユーザ名 H が共有フォルダを作成した場合，H0 のグループ名が無いか DB をチェックし，無ければグループ名を H0 とする．もし H0 のグルー

プ名で登録されている共有フォルダが DB に登録されていれば，H1，H2，… と後ろの数字を増やしながら登録のないグループ名が見つかるまで繰り返す．

DB への新規追加登録が完了したら，プログラムは共有の準備をおこなう．まず先ほど決めたグループ名のグループを作成し，所有者および共有するユーザ全員を作成したグループ所属として設定する．共有フォルダはデフォルトでは所有者のみのアクセス権に設定されているため，これを作成したグループのアクセス権に変更する．これで所有者と共有ユーザのみが共有フォルダにアクセスすることができる．このままではフォルダへのパスを知らないと共有ユーザが共有フォルダへアクセスすることができないので，各共有ユーザの個人フォルダに共有フォルダまでのリンクを作成する．このリンクの名前も自動生成の関係上，重複してしまうと元あるリンクを上書きしてしまうことになるため，重複しないように「所有者名_フォルダ名」と生成することにした．

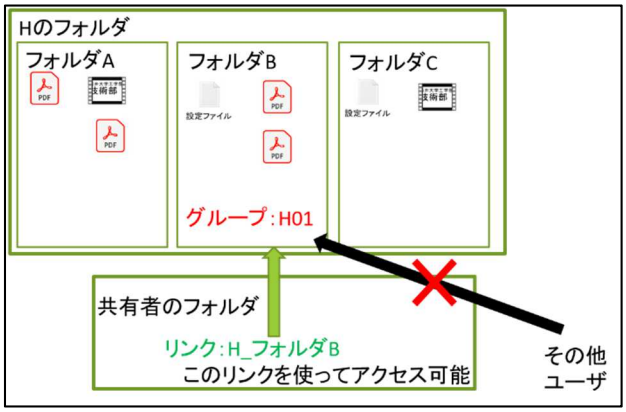


図 5　所有者 H のフォルダ B を共有する場合

図 5 は所有者 H のフォルダ B を共有する場合の処理示したものである．このように共有ユーザのフォルダ内にリンクを作成するため，共有ユーザは特に意識することなく共有フォルダへのアクセスが可能となる．その他ユーザはリンクが生成されないため共有フォルダ B の存在を知ることもできないし，パスを知ったとしてもグループに属していないため，フォルダ B の中身を見ることはできない．

5.3.2.　登録変更

DB に登録はあるが，5.2. の設定ファイルとの比較において共有ユーザに変更がある場合，プログラムは登録変更をおこなう．共有ユーザが増える場合は，新しい共有ユーザをグループに追加し，リンクを作成する．この時グループ名などはすでに DB に登録されているものを用いる．共有ユーザが減る場合は，共有しないユーザをグループから外し，リンクを削除する．最後にプログラムは変更された設定ファイルの共有ユーザと最終更新日を DB に再登録する．

5.4.　パーミッション変更

研修で構築するオンラインストレージでは，共有ユーザが共有フォルダ内に書き込みできるかどうかを選択できるようにするべく，設定ファイルに書き込み許可を与えるかを設定できるようにした．会議資料などを配信するためだけの共有フォルダなどは書き込み不可（ReadOnly）にでき，ファイルを集めるための共有フォルダや，ファイルを共有者も編集するような場合は書き込み許可にでき，それぞれ目的に応じた運用ができるようになった．プログラムでは設定ファイルの内容に従ってフォルダ全体に書き込み許可の変更をおこなっている．Samba では共有フォルダへ新規ファイルを追加した場合，そのファイルの所有者のみのアクセス権になってしまっている．プログラムでは，それを共有ユーザが全員アクセスできるように，グループによるアクセス権への変更もこのタイミングで共有フォルダ全体へおこなっている．

5.5.　共有フォルダの削除

DB に登録があるが，5.1.の探査において共有フォルダが見つからなかった場合，所有者が設定ファイルもしくはフォルダごと削除している可能性が高い．開発したプログラムでは DB に登録があるがみつからなかった共有フォルダは削除する．削除はグループと共有ユーザのリンクの削除と DB の登録を削除することで完了する．

6.　構築したオンラインストレージ

本研修では Samba と 5. で開発したプログラムを組み合わせることで，オンラインストレージを構築した．表 2 は Samba とプログラムを組み合わせた際の目標達成状況を表している．目標としていた項目を全て達成しているだけでなく，表 1 と比較してサーバ管理者に要求される作業も減っている．目標 c) と e) については構築したオンラインストレージにおいてもサーバ管理者の作業が必要ではあるが，c) 「各個人の

専用領域がある」については，各ユーザにつき最初に 1 回だけ作業をおこなえば良いし，e)については構築時に設定すれば以後不要な作業である．本研修で構築したオンラインストレージはSamba単独と比べてサーバ管理者の負担は少ないと言える．

表 2　Samba とプログラムを組み合わせた場合

目標	達成状況	備考
a)	○	
b)	○	
c)	○	サーバ管理者が作成する
d)	○	
e)	○	設定により可能
f)	○	

本研修ではオンラインストレージ構築後に研修参加者で利用テストをおこない，運用に問題が無いか確認をおこなった. 図 6 は Windows マシンのエクスプローラーから構築したオンラインストレージにアクセスした様子を表している．

図 6　エクスプロ―ラーからのアクセス

Windows ユーザであれば操作も新たに覚える必要がなく，使いやすいと考えられる．共有フォルダについてもサーバ管理者が作業をすることなくユーザが設定ファイルを作成することで自動作成されることが確認できた．図は Windows のエクスプローラーであるが, MacOS やタブレット PC でも同様にアクセスができ，端末間でのファイル共有にも利用可能であることが確認できた．

6.1. 構築後の問題点

構築したオンラインストレージの動作テストでは下記 2 つの大きな問題点が確認された．

・PDF ファイルが閲覧できなくなる
・設定ファイルの記述が難しい

PDF ファイルが閲覧できなくなる問題は，オンラインストレージ上の PDF を閲覧していると途中でエラーが出て表示されなくなるという問題で，原因の特定に時間を要してしまったため，研修中に修正はできなかった．原因としては 5.4.のパーミッション変更での処理を共有フォルダ全体にかけた時にファイルのタイムスタンプが更新されてしまうためであった．こちらは PDF を閲覧するソフト側の仕様だと思われるため，開発したプログラム側で個別に 5.4.の処理をおこなう等の改善が必要である．もう一つの問題点である設定ファイルの記述については，設定ファイルの記述はプログラムの仕様に合わせて記述方法が定められているので，ユーザの手間であるとともに記述を誤った場合などに意図しない動作や共有につながってしまうというものである．本研修では設定ファイルを GUI による直感的な操作で生成するツールを追加で開発した．

6.1.1. 設定ファイル生成ツール

前述した設定ファイルの中身自体はそれほど複雑ではないが，共有したいユーザのアカウント名をすべて記述しないといけないため，ユーザにとって手間であり誤りやすい. 本研修では，この設定ファイルを作成する専用ソフトの開発もおこなった．ソフトの開発には Python を使用し， GUI を構築または操作可能な Python の標準ライブラリである Tkinter を利用し, GUI での操作で設定ファイルを作成できるようにした．図 7 は実際に作成したソフトの動作状況である．

図 7　設定ファイル生成ツール

このソフトでは,「作成するフォルダ名を入力してください」の欄に作成したいフォルダ名を入力し，共有したいユーザにチェックを付けて「作成」ボタンをクリックすると，入力したフォルダ名でフォルダが作成され，さらにそのフォルダ内に共有するユーザのアカウント名が記載された設定ファイルが作成される.「共有するユーザへの書き込み許可」の欄では，共有するユーザにファイルの書き込み許可/不許可を選択することが可能で，この選択に合わせて設定ファイルに書き込み許可に関する記述がされる.

今回はこの作成したプログラムは，基本的には Windows 環境での利用が想定されているため，Python をインストールせずに実行できるよう，exe ファイルに変換する作業もおこなった. Python で作成したプログラム（py ファイル）を exe ファイル化するには， Pyinstaller というライブラリが必要であるため，まずはこのライブラリのインストールを pip コマンドにておこなった．インストール後，以下のコマンドにて，py ファイルを exe ファイル化することができた.

```
$ pyinstaller test.py --onefile
```

図 8　py ファイルの exe ファイル化

上記コマンドの「test.py」が exe ファイル化したい py ファイルのファイル名であり，「--onefile」はオプションである．このオプションが無い場合，複数のファイルが作成されてしまうが，このオプションを付けることで exe ファイル 1 つにまとめることができる．コマンドの実行が終わると，「dist」というフォルダが作成され，そのフォルダ内に exe ファイルが作成される. この exe ファイルを実行すると, Python にて py ファイルを実行したときと同じ動作でソフトを操作することが可能であることが確認できた.

7. おわりに

本研修では，近年需要が高まっているオンラインストレージに着目し，フリーソフトである Samba に自作プログラムを組み合わせることで実用的なオンラインストレージを構築および運用支援のための設定ファイル生成ツールの開発をおこなった．構築したオンラインストレージはユーザが自由に共有設定可能であり，Web システムのようにブラウザからしかアクセスできないということもないため，有用なものとなっている.

今後は構築後に発見されたが修正できなかった PDF 閲覧時にエラーがでる問題点を修正し，技術部内に公開，利用してもらうことで業務改善につなげることを目標としている.

教材用スターリングエンジンの開発

竹内　利幸*　山森　英智**　内山　裕二**　橘　和希**

1. はじめに

スターリングエンジンは比較的構造が単純であり，視覚的に熱エネルギーが運動エネルギーに変換される仕組みを理解することができる．その為，多くの教育機関で設計や加工の授業でスターリングエンジンを教材として用いられている．福井大学では地域及び社会貢献活動の一環として，きてみてフェアや公開講座を開催して学習支援を行っている．本研修ではこのスターリングエンジンを設計・試作を行い，きてみてフェアや公開講座の教材として使えないか検討を行った．

スターリングエンジンは外熱を利用して作動する．外熱としてバーナーやライター，アルコールランプなどがある．しかし，火や炎を利用するには火傷の危険性がある為，安全性を考慮して本研修ではお湯を熱源として作動するディスプレーサー型スターリングエンジン（γ型）を設計・試作を行うことにした．

2. スターリングエンジンとは？

スターリングエンジンは 1816 年にスコットランドの牧師である Robert Stirling が発明した．当時は蒸気エンジンが盛んであったが，高圧力に耐える容器を技術的に作ることが困難で爆発事故が多発していた．その代替エンジンとして爆発の危険性が少なく安全性の高いエンジンとしてスターリングエンジンが開発され実用化されていた．スターリングエンジンは大気圧空気を作動ガスとし，熱エネルギーを利用して気体の圧力変化を生じさせ，その圧力変化によって生じる力を運動エネルギーに変換するエンジンである．19 世紀後半には 3000 台程度製作されたが，ガソリンエンジンやディーゼルエンジンのような内燃機関エンジンが発明されると，その熱効率および出力の低さゆえスターリングエンジンは表舞台から消えた．

* 第 1 技術室　機械システム班
** 第 1 技術室　機械開発・試作班

3. スターリングエンジンのしくみ

空気は暖めると膨張し，冷やすと収縮する．この空気の性質を利用して容器内に高温空間と低温空間を作り，容器内の圧力変動を利用してピストンを動かし熱エネルギーを運動エネルギーに変換させている．図 1 にディスプレーサー型スターリングエンジン（γ型）を示す．

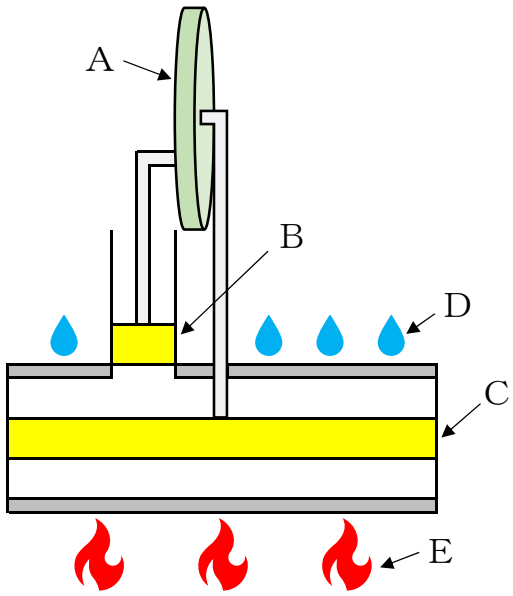


図 1　スターリングエンジン（γ型）

各部位の説明は下記の通り示す．

A：フライホイール

パワーピストンの上下運動を回転エネルギーに変換し，そのエネルギーの一部をディスプレーサーピストンに伝えてディスプレーサーピストンを上下に動かす．

B：パワーピストン

容器内の圧力によって上下運動を行う

C：ディスプレーサーピストン

上下運動により容器内の空気を高温空間・低温空間に移動させる．

D：低温部

外気温（22～28℃）

E：高温部

お湯の蒸気（40℃～60℃）

スターリングエンジンの基本的動作は，空気の加熱による膨張と冷却による収縮によって作動する．図 2 にスターリングエンジンの動作原理を示す．

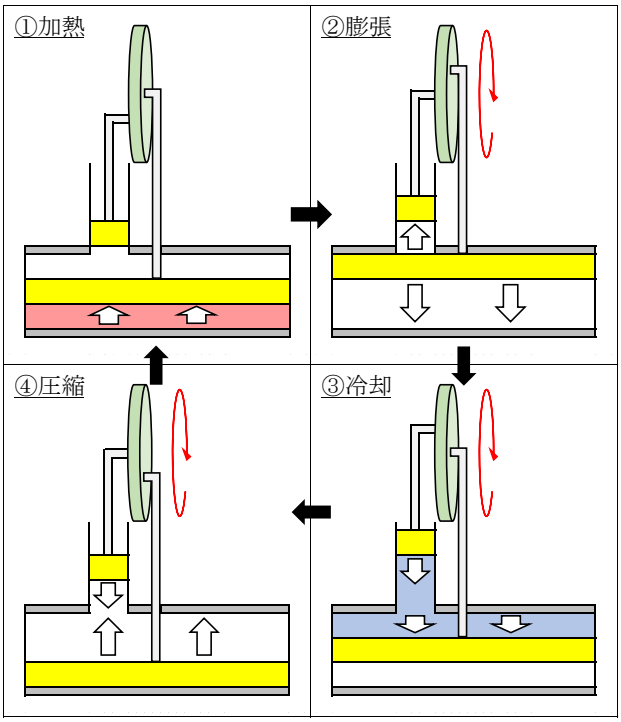


図 2　スターリングエンジンの動作原理

①加熱

加熱により中の空間が高温になり空気が膨らみ圧力が上昇する．

②膨張

圧力が上昇することでパワーピストンが押し上げられる．この時にフライホイールは駆動力を得て，ディスプレーサーは下がる．

③冷却

ディスプレーサーの上側に移動した空気が冷やされ収縮し圧力が低下して，パワーピストンが下に下げられる．この時にフライホイールは駆動力を得て，ディスプレーサーも下がる．

④圧縮

空気を収縮することによって，パワーピストンが下がり，フライホイールは駆動力を得てディスプレーサーは上がる．

この①～④の過程を来る返すことで各ピストンは上下に動きフライホイールか回転を続けることが出来る．尚，パワーピストンとディスプレーサーピストンの動きにタイミングのズレを作るための位相差は，おおよそ 90°　前後が理想的である．

4.　スターリングエンジンの設計・試作

スターリングエンジンは温度差が小さければ小さいほど熱効率も小さくなる．その為，わずかな空気漏れが熱効率低下に繋がる．また各動作部の摩擦が大きいと，それに逆らって動かす仕事が出来なくなってしまい，すぐに止まってしまう．以上のことを踏まえ効率よく回るスターリングエンジンを設計した．

4.1　試作 1 号機

設計のポイントとして下記 3 点を考慮した．

①気密性

気密性が悪いとシリンダー内の空気が外に漏れてしまい，空気の圧縮・収縮が出来なくなってしまう．その為，シリンダーと上下カバーの間にパッキンを入れる設計にした．

②摩擦低減

ピストンの上下運動時やフライホイールの動きに摩擦が大きいと，わずかな負荷でも止まってしまう．その為，パワーピストン部をガラスシリンダーにした．また，フライホイールの回転部にボールベアリングを入れて回転時の摩擦低減を狙った．

③熱伝導率

熱エネルギーを運動エネルギーに変換するまでに様々な熱損失がある．その為，熱源を受ける下カバーの材質を熱伝導率の良いアルミを選定した．

図 3 に設計した試作 1 号機を示す．

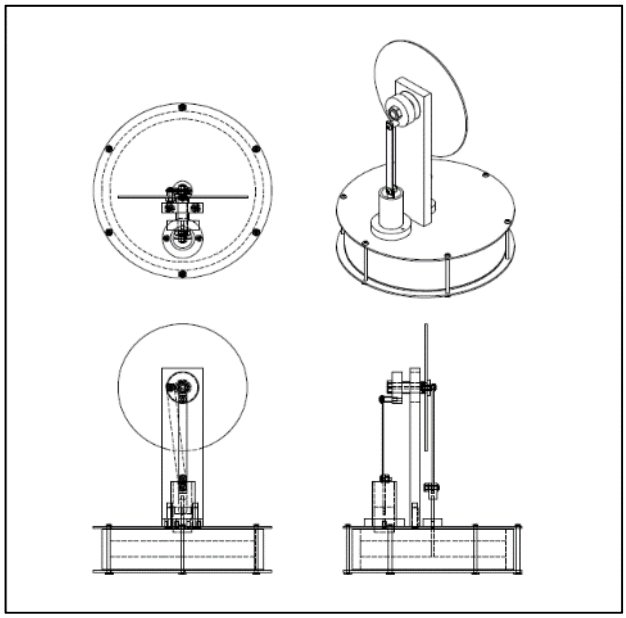


図 3　試作 1 号機の設計図

材料を購入し，部品加工と組み立てを行ってみたが想定よりも組立が難しかった．工具の取扱いに慣れていないと小さいネジ（M2）やパッキンの取り付けが難しい．また，図面通りの寸法で組立をしないと，少しの歪みでピストンの上下運動時に摩擦が生じスムーズに動かないので，
微調整が必要であった．図 4 に完成した試作 1 号機を示す．

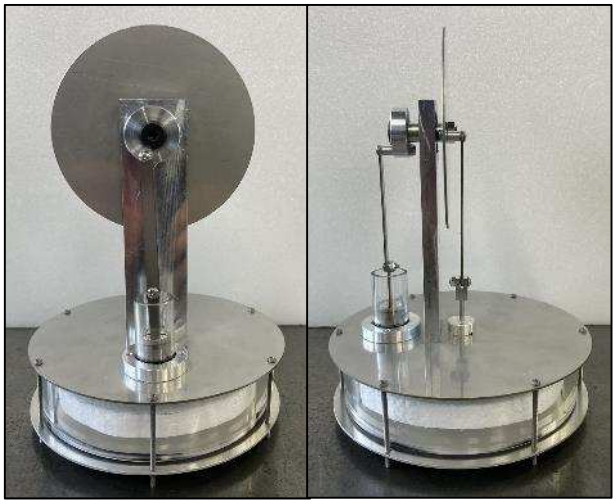


図 4　完成した試作 1 号機

動作確認ではアズワンのホットスターラー REXIM RSH-1DN を熱源として用いた．マイコン制御のホットスターラーで温度は水の沸騰温度である 100℃設定とお湯の温度である 60℃設定にて動作確認を行った．100℃設定で動作確認をすると 10 秒あたりに 13.5 回転し，回転数は試算値で 81rpm となった. 次に 60℃に設定して動作確認を行ったが，持続して回転することは出来なかった. 一般的に低温部と高温部の温度差が 20℃以上あれば作動出来るのだが，試作 1 号機は作動することが出来なった．手で回してみるとフライホイールの回転があまりスムーズでは無かったことから，回転時の摩擦が大きい事が原因と推定した.

4.2　試作 2 号機

試作 2 号機はフライホイール回転時の摩擦低減を狙い，ボールベアリングをセラミックベアリングに変更した．セラミックベアリングはセラミック窒化ケイ素（SiN4）で作られており，硬くて摩擦に強く，より滑らかな表面になっているので回転時の摩擦は少なくなる．その為，フライホイールを回すのに小さい力でも動かすことが出来る．図 5 に設計した試作 1 号機と試作 2 号機の比較を示す.

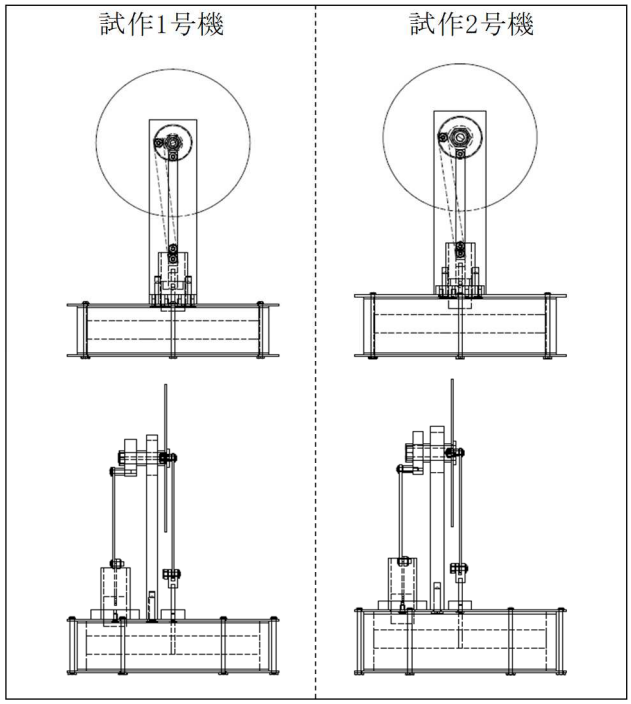


図 5　試作 1 号機と試作 2 号機の比較

セラミックベアリングに変更することで，ベアリングサイズが試作 1 号機に比べ外径が 3 ㎜，内径が 2 ㎜大きくなった．それに伴い，ピストンのストローク量が増え，外観サイズは少し大きくなった．図 6 に完成し試作 2 号機を示す.

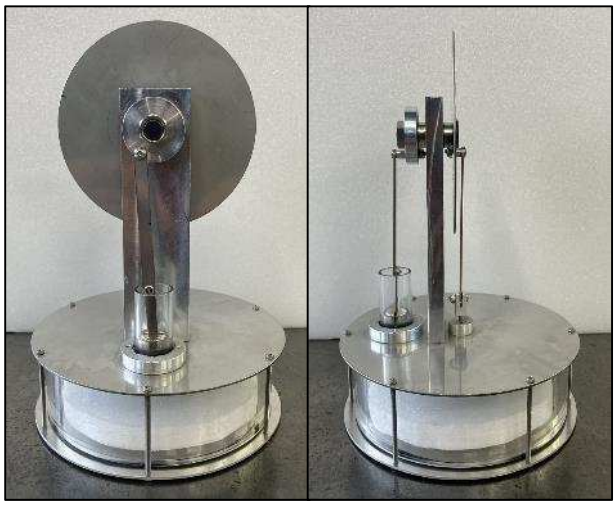


図 6　完成した試作 2 号機

動作確認は試作 1 号機と同様ホットスターラーを用い，100℃設定と 60℃設定で行った．最初に 100℃設定で動作確認をすると，10 秒あたりに 16 回転し回転数は試算値で 96rpm となった．試作 1 号機と比較すると回転数は 19%向上することが出来た．次に 60℃設定で動作確認を行ったが，作動する事は出来なかった．フライホールの回転は摩擦が少なくなり軽い力で回るようになったが，回転中にムラが見られた.

4.3　試作 3 号機

試作 3 号機ではフライホイールの回転ムラを抑える為に，フライホイールの設計を変更した．また，組立を簡易化するために接着材で固定していたところをネジ止め出来るよう一部部品を改良した．さらに，シリンダー内径を小さくすることで材料費のコストダウンを狙った設計にした．図 7 に設計した試作 2 号機と試作 3 号機の比較を示す．

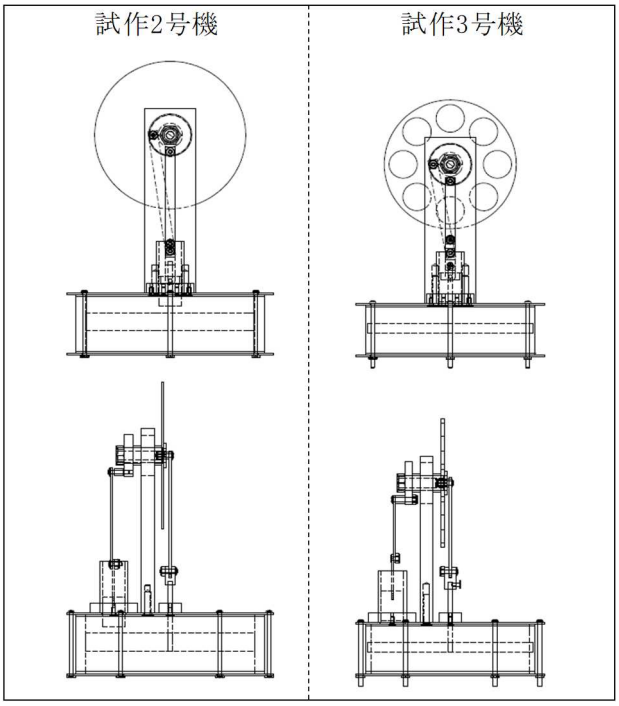


図 7　試作 2 号機と試作 3 号機の比較

フライホイールの外周部を重くすることで，回転ムラ（速度や力のムラ）を慣性の力で回転を続けようとするため，スムーズに回転することができる．図 8 に完成した試作 3 号機を示す．

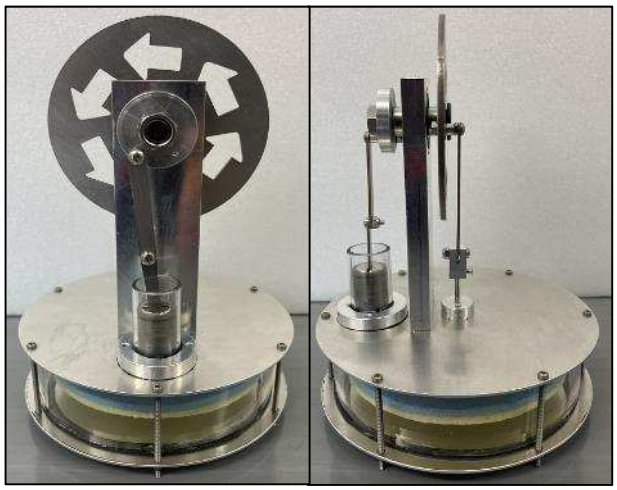


図 8　完成した試作 3 号機

試作 1 号機と試作 2 号機と同様に動作確認を行った．100℃設定では，10 秒あたりに 19 回転し回転数は試算値で 114rpm となった．試作 1 号機と比較すると回転数は 41%向上することが出来た．次に 60℃設定で動作確認を行ったが，作動する事は出来なかった．改善をすることは出来たが，お湯で動かすにはエンジンの性能を更に向上させる必要がある．

5.　まとめ

表 1 に本研修で行った動作確認結果一覧を示す．改良を重ねる毎に性能は上がっていったが，お湯で動かすスターリングエンジンの開発には至らなかった．

表 1　動作確認結果一覧

温度 / 試作機	60℃	100℃
1号機	×	81rpm
2号機	×	96rpm
3号機	×	114rpm

課題としては下記 2 点である．

<u>①性能向上</u>

性能は試 1 号機に比べ約 41%まで向上することが出来たが，お湯の温度 60℃では動かすことは出来なかった．更なる性能向上を狙い，ピストンとシリンダー間の摩擦抵抗低減や，シリンダー内の空気漏れを防ぐ等の再設計が必要である．

<u>②組立簡易化</u>

組立時にパッキンがズレたり，ネジ止めがしっかり止まっていないと空気が漏れてしまう．また，ディスプレーサーのシャフトが斜めに取り付けられてしまうと，摩擦抵抗が大きくなりスムーズに動かせないので，組立が容易になるような設計見直しが必要である．

公開講座向けの教材として使おうとするには，現段階では課題が残っており設計の見直しと更なる検証が必要である．

6.　参考文献

1) 小林義行，はじめてのスターリングエンジン，誠文堂新光社，2007

2) 岩本昭一他，模型づくりで学ぶ　スターリングエンジン，オーム社，2009

マトリックス支援レーザー脱離イオン化飛行時間型質量分析法の測定技術習得

山口　綾香*　山田　美空*　宮川しのぶ*

1. はじめに

有機化合物の構造決定には，核磁気共鳴法や赤外分光法など様々な分析手法が用いられており，質量分析法もそのひとつである．医薬品や高分子試料など測定対象の試料によって最適とする質量分析法も多岐にわたるが，特に分子量数千～数十万の高分子試料を得意とするマトリックス支援レーザー脱離イオン化飛行時間型質量分析装置（MALDI-TOF-MS）が昨年度本学に新たに導入された．学内外からの MALDI-TOF-MS 分析の需要は高く，今後の分析業務において本装置の分析技術を習得することは有用である．

良いマススペクトルを得るためには，試料調製の段階で適切なマトリックスを選択し，さらに試料とマトリックスの混晶が，良好に形成される必要がある．本研修では，MALDI-TOF-MS の学習と測定技術の習得を目的とするとともに，MALDI-TOF-MS で使用する代表的な標準試料を対象とした試料調製ならびに測定条件の最適化も行った．

2. 質量分析および MALDI-TOF-MS の概要

質量分析は，物質を構成している分子あるいは原子の質量から化合物を同定することである．分子 1 つの質量は小さいことから，秤を用いて重量から質量を測定することはできない．そこで，分子を様々な方法でイオン化し，生成されたイオンを分離，検出という一連の作業を行って，1 分子の質量を決定する分析法である [1]．イオン化は質量分析で最も重要な要素であることから，これまでに様々なイオン化法が開発されてきた．代表的なイオン化法の種類とその特徴を表 1 に示す [2,3]．今回使用しているイオン化法である MALDI は，試料分子のフラグメンテーションを抑制できるソフトイオン化法であり，他のソフトイオン化法と比較して高分子をイオン化できるのが特徴である．

表 1　代表的なイオン化法

イオン化法	略称	特　徴
電子イオン化	EI	ハードイオン化法のため，フラグメンテーションが起こりやすく，試料の構造情報が得やすい．
高速原子衝撃	FAB	試料とマトリックスの混合物に高速原子を衝突させイオン化するため，ソフトなイオン化法であり，フラグメンテーションが起こりにくい．
エレクトロスプレーイオン化	ESI	他のイオン化法と異なり，大気圧下でイオン化する．分子量 10 万程度以下の試料を測定可能．
マトリックス支援レーザー脱離イオン化	MALDI	試料とマトリックスを混晶し，そこに紫外レーザーを照射するソフトなイオン化．

実際の質量分析計では試料分子をイオン化するイオン源，質量分離部，検出部にわかれる．MALDI-TOF-MS では，質量分離部に飛行時間型分析法（TOF）を用いており，イオン化させた成分を同じ電場で加速させると自由空間において分離する．同じ電荷であれば質量の小さいイオンが早く，一方，大きいイオンは遅く移動することから，検出器までに一定の距離を設けることにより，検出器に到達するまでの時間差を利用して，各質量成分を分離し測定する．質量分析装置の概要を図 1 に示す．

図 1　質量分析装置概要

MALDI-TOF-MS は，先述のとおり高分子のイオン化に優れるといった特徴があるが，一方で，試料調製の際に，できるだけ均質な試料／マトリックス／イオン化剤の混合結晶を調製する必要があり，その過程で，良溶媒の選定，混合比

* 第二技術室　化学計測班

の決定，ターゲットプレートへの塗布の仕方など，適切な調製方法を試行錯誤で検討しなければならない煩雑さもある．

そこで，予め調製方法や測定条件を見出していれば，今後の分析業務に大いに活用できる．本研修では，キャリブレーションで使用する標準試料を対象に，以下に示す 3 つの項目で比較検討を行い，適切な試料調製方法や測定条件を把握することを目的とした．

・使用する溶媒による違い
・イオン化剤による違い
・マトリックス剤による違い

3. 実験方法

3.1 実験装置

本研修で使用した MALDI-TOF-MS は，JEOL 社製 JMS-S3000（図 2）である．質量分離部には，以下に示す 2 つの測定モードが搭載されており，さらに，Positive と Negative のイオン極性を組み合わせることで，計 4 種類の測定モードを選択することが可能である．本研修では，スパイラル TOF Positive イオンモードを用いた．

1）スパイラルモード
8 の字のらせん状の軌道を描いたスパイラル形イオン光学系であり，計 17 m 飛行する測定モードである．これは，*m/z*10,000 以下に対して，高分解能・高精度での測定に適している．

2）リニアモード
検出器までイオンを直線的に飛行させる測定モードである．これは，分解能は低いが，*m/z*10,000 以上の高質量域などでの高感度測定に適している．

図 2　JMS-S3000 の外観

3.2 試薬

使用した主な試薬を以下に示す．

標準試料
- ポリエチレングリコール（PEG）M_w 1,000
- ポリスチレン（PSt）M_w 1,000

イオン化剤
- トリフルオロ酢酸ナトリウム（NaTFA）
- トリフルオロ酢酸銀（AgTFA）
- ヨウ化ナトリウム（NaI）

マトリックス剤
- 2,5-ジヒドロキシ安息香酸（DHB）
- α-シアノ-4-ヒドロキシケイ皮酸（CHCA）
- ジスラノール（DIT）
- trans-2-[3-(4-tert-ブチルフェニル)-2-メチル-2-プロペニリデン]マロノニトリル（DCTB）
- 3-インドールアクリル酸（IAA）

3.3 MALDI-TOF-MS の基本操作

試料調製から解析までの流れを図 3 に示す．本研修では，MALDI で主に使用されている Dried droplet 法によりターゲットプレートへの試料塗布を行った．Dried droplet 法とは，マトリックスと試料溶液をあらかじめ混合し，プレートに滴下する手法である．イオン化剤溶液を事前にプレートに滴下する方法（Precoat）とマトリックス／試料溶液に混合する方法（Premix）2 通りあるが（図 4），どちらの手法を用いても得られる結晶状態に大きな違いは見られなかった．Premix では，イオン化剤とマトリックスがうまく混合できない場合もあったため，今回は Precoat を選択した．

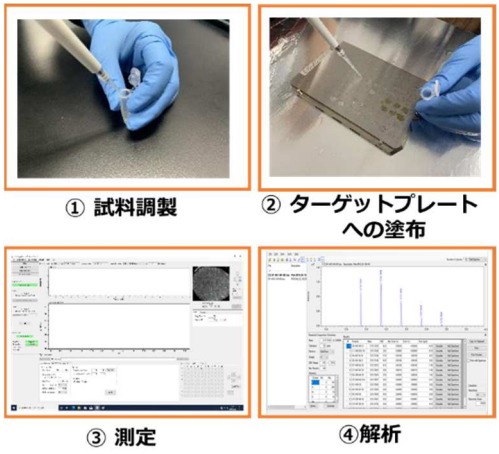


図 3　基本操作の流れ

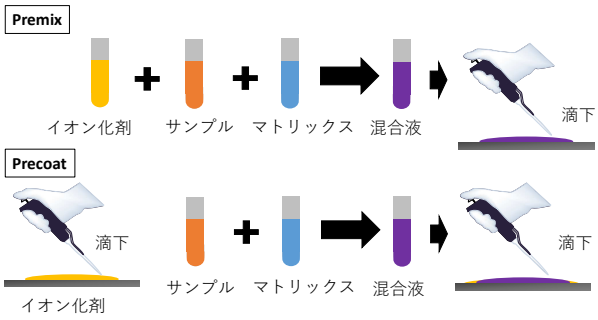


図 4　スポッティング方法
（上）Premix，（下）Precoat

試料調製は，試料 10 mg/mL，マトリックス 20 mg/mL の溶液をそれぞれ用意し，試料：マトリックス ＝1：10 (v/v) で混合した．そして，あらかじめイオン化剤（1 mg/mL）をターゲットプレートに 0.5 µL 程度を塗布しておいた箇所に，調製した試料／マトリックス混合溶液を 0.5 µL 程度滴下した．溶媒が揮発した後，装置内にターゲットプレートを導入し，測定を行った．

4.　試料溶液調製時の溶媒検討

MALDI-TOF-MS 測定では，試料に対してレーザー光の照射位置を変えながらマススペクトルの積算を行うため，できるだけ均一で微細な結晶を調製することが重要である [2,4]．溶媒の選択において，試料やマトリックスに対して良溶媒であることはもちろんのこと，微細な結晶を得るために，揮発性の高いアセトンやテトラヒドロフラン，アセトニトリルなどの有機溶媒を用いることが望ましいとされている [4]．そこで，揮発性の違いが結晶状態にどのような違いを及ぼすかを確認するため，揮発性の有機溶媒であるアセトニトリルと，水：アセトニトリル＝1：1 の混合溶媒にて，試料調製を行い，結晶状態を比較した．試料には PEG，マトリックスには DHB を使用した．

図 5 にそれぞれの溶媒でターゲットプレートに塗布した，PEG／DHB 結晶のマイクロスコープ画像を示す．アセトニトリルのみで調製した条件では，薄く広がった均一な結晶が得られている．これは溶液を塗布するとスポット全体に広がり，素早く揮発したためであると思われる．一方，水を加えた系では，中心部に結晶が凝集している様子が確認された．先にアセトニトリルが揮発し，残存した水が広がらず中心部に凝集し，そこに PEG／DHB が濃縮されたためであると思われる．ちなみに，アセトニトリルのみを使用した系では，良好なマススペクトルが得られたが，水を加えた系では，ピークが検出されなかった．よって，水への溶解性を持つ試料やマトリックスを用いるときは水の混入や吸湿に注意する．また，結晶の凝集が起こった場合は，乾燥した揮発性の高い良溶媒を用いてプレート上で再結晶することで微細な結晶を得ることができる．

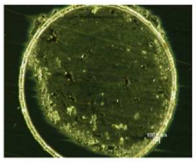
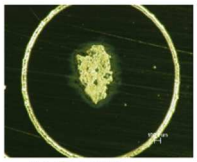
アセトニトリル	水：アセトニトリル= 1：1
	
結晶状態：○ 結晶が均一に分散	結晶状態：× 結晶が中心部に凝集

図 5　溶媒による結晶化の違い

5.　イオン化剤の検討

特に，MALDI 法による合成高分子のイオン化では，タンパク質などの生体高分子などと比較してプロトン付加イオン$[M+H]^+$が生じにくいことが多い．こうした場合に，試料にイオン化剤として無機塩を添加することによって，イオン化の向上を図る [5]．このイオン化剤も測定試料の性質（例えば，極性の大小）によって，適切なイオン化剤は異なる．本研修では，3 種類のイオン化剤（NaTFA，AgTFA，NaI）を用いて，PEG と PSt を対象に，それぞれどのようなマススペクトルが得られるか検討した．マトリックスには DCTB を使用した．

得られた PEG および PSt のマススペクトルを図 6，図 7 にそれぞれ示す．PEG では，NaTFA と NaI を使用した場合，繰り返し単位である C_2H_4O から予想される *m/z*44 間隔を有する PEG 由来の良好なマススペクトルを取得することができた．一方，AgTFA でも繰り返し構造に由来するマススペクトルが得られたものの，$[M+Ag]^+$ではなく，$[M+Na]^+$が得られた．これは，試料調製に使用したガラスバイアルの Na イオンが溶出し，それが PEG に付加しイオン化したと考えられる．よって，PEG に関しては AgTFA の効果ではないことが明らかとなった． PSt の場合，PEG とは対照的に NaTFA と NaI ではピークそのものが出現しなかったが，AgTFA では

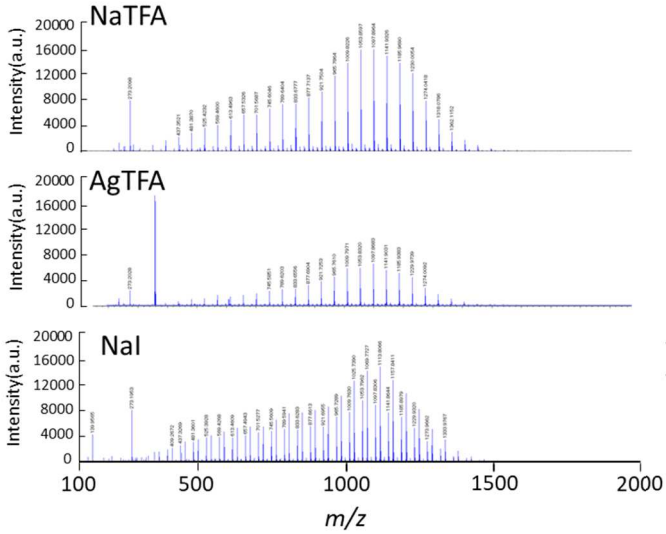


図 6　PEG のマススペクトル
（イオン化剤の検討）

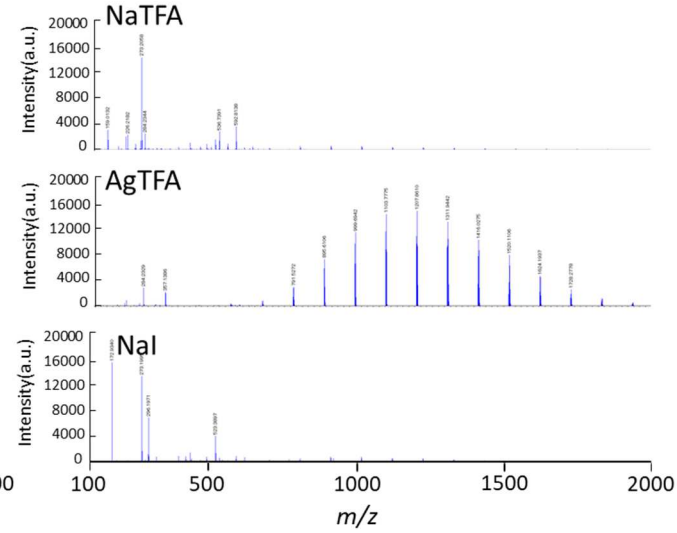


図 7　PSt のマススペクトル
（イオン化剤の検討）

PSt の繰り返し単位 C_8H_8 から予想される *m/z*104 間隔を有するマススペクトルが得られた．以上より，イオン化剤の種類によって，得られるマススペクトルに大きな違いが現れることがわかった．

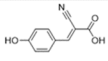
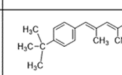
6.　マトリックスの検討

6.1　マトリックスの特徴

先に述べたように，試料調製には微細で均一な結晶を作製することが求められるが，その際，試料とマトリックスが分子レベルで混和していることも重要であり，それには試料とマトリックスの相性が関係する．

マトリックスは，イオン化に際してプロトン供与体あるいはプロトン受容体として働く試薬で，レーザー照射に対してエネルギーを吸収する緩衝材として，繰り返し測定や長時間測定を可能にする役割も果たす [6]．一般的なマトリックス選定の指針として，ポリエステル，ポリエーテル，ポリアクリレートなどのように，高分子鎖中に酸素原子を含む合成高分子の測定では，DHB，CHCA，IAA など極性マトリックスがよく用いられる．一方，ポリスチレンなどの芳香族系高分子のように不飽和結合を有する合成高分子の測定では，DIT や DCTB などのマトリックスがよく用いられる [4]．今回用いたマトリックスとその特徴を表 2 に示す．

表 2　代表的なマトリックス [4]

名称	構造式	特徴
2,5-ジヒドロキシ安息香酸（DHB）		MALDIで代表的なマトリックスのひとつ。 バイオ分野におけるペプチドや糖，極性ポリマーに適している
α-シアノ-4-ヒドロキシケイ皮酸（CHCA）		MALDIで代表的なマトリックスのひとつ。 バイオ分野におけるペプチドや糖，極性ポリマーに適している
ジスラノール（DIT）		非極性高分子のイオン化に適している。昇華性があるため，測定には注意が必要。
trans-2-[3-(4-tert-ブチルフェニル)-2-メチル-2-プロペニリデン]マロノニトリル（DCTB）		非極性高分子のイオン化に適している。低いレーザー強度でイオン化が可能で，不安定な構造を持つ試料に用いられる。
3-インドールアクリル酸（IAA）		メタクリル酸系ポリマーで利用される

6.2　マトリックスとレーザー強度

試料とマトリックスの混晶が生成しており，結晶状態が良好であったとしても必ずしも良好なマススペクトルが得られるわけではない．装置条件を試料やマトリックスに合うように調整する必要がある．そこで，重要な調整項目の一つであるレーザー強度について検討を行った．選択するマトリックスによって最適な強度は様々である．今回は，代表的な 5 つのマトリックスを用いて，各マトリックスに対する最適なレーザー強度の検討を行うこととした．試料には PEG を使用した．

イオン化に用いられるレーザー光は，装置内の固体レーザー（Nd:YLF レーザー）から照射されたのち，ND フィルターを通る．この ND フィルターによってレーザー強度を 5～100%の範囲で調整できる．図 8 にレーザー強度 28%で測定した各マトリックスのマススペクトルを示す．各マススペクトルを比較すると，DCTB は PEG 由来のピークが検出されたが，その他のマトリックスではピークが検出されなかった．DCTB は低いレーザー強度でイオン化することが知ら

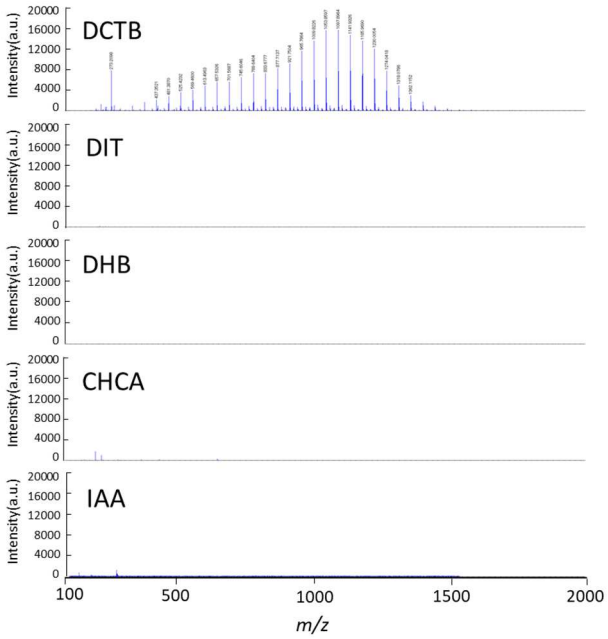


図 8　PEG のマススペクトル
（レーザー強度：28%）

れているため [4]，得られたマススペクトルは，その特徴を捉えていることがわかる．

DCTB では，レーザー強度 28%以上で PEG のピークが検出されることが明らかとなったが，さらにレーザー強度の出力を上げるとどのようなマススペクトルが得られるかを次に確認した．レーザー強度 28%，33%，38%で測定した時のマススペクトルを図 9 に示す．レーザー強度 28%では，*m/z*1054，1098 あたりで最大ピーク強度を示し，低質量域へなだらかに低下するピークの強度分布であった．しかし，レーザー強度を 33%，38%とすると，28%とは異なる強度分布を示した．今回は，その違いを明確にするため，28%でのピークの強度分布（点線）を 33%，38%のマススペクトルにも示している．この時ピーク強度は，*m/z*1054 で規格化した．33%，38%のマススペクトルをみてみると，28%と比較して，低質量域のピーク強度が *m/z*1054 のピーク強度に対して高くなった．この結果は，分子鎖が切断されたフラグメントイオンの影響だと考えられる．フラグメンテーションは，試料がイオン化しさらに十分なエネルギーを持っている際に起こる現象である．DCTB に関しては適切なレーザー強度は 28%であり，レーザー強度 33%以上はフラグメンテーションが促進されてしまうことが分かった．

図 10 にレーザー強度とマススペクトルのイオン量の関係を示す．イオン化効率が良いレーザー強度に対して強度が低すぎると，図 8 で見られたようにイオン化効率が低いためピークを検出しにくいが，必要以上に大きくすると図 9 で見られたように分解能が低下し，さらにフラグメントイオンが増加することになる．適切なレーザー強度はマトリックスによって異なるが，レーザー強度に対するイオン化効率の増大とフラグメントイオン発生の関係は，おおよそ図 10 に示す通りであった．MALDI では，マトリックスによる適切なレーザー強度を把握することは良好なマススペクトルを得るために必要である．そこで，他のマトリックスについても同様に評価を行っていくことで，レーザー強度の最適化を図った．今回の研修ではフラグメンテーションが起こる 1 つ手前のレーザー強度を最適なレーザー強度とした．

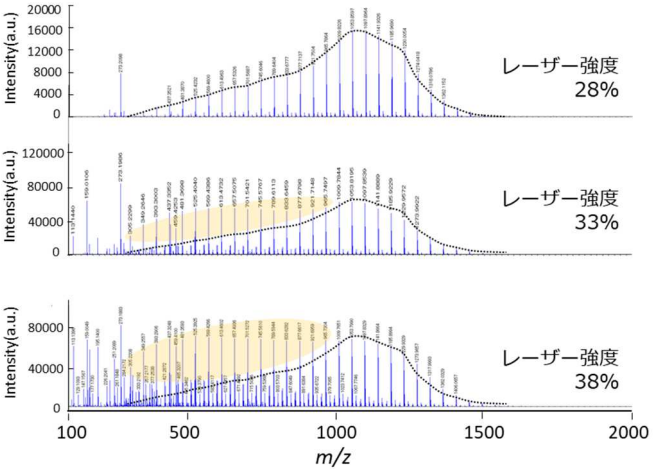


図 9　PEG のマススペクトル
（マトリックス：DCTB）

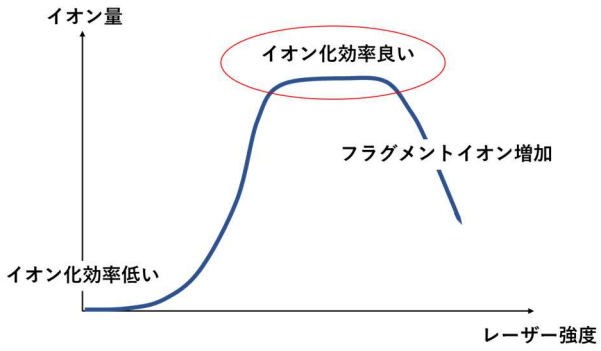


図 10　レーザー強度とイオン量の関係

6.3　マトリックスに適するレーザー強度

各マトリックスでレーザー強度の最適化を行い，その条件時のレーザー強度と得られたマススペクトルを比較した結果を図 11 に示す．いず

れのマトリックスにおいてもPEG由来のマススペクトルが得られた．マトリックス間での最適レーザー強度を比較すると，DCTB は 28%，CHCA は 33%であり，DIT・DHB・IAA よりも約 10～15%程度低いレーザー強度で効率よくイオン化ができることがわかった．それぞれのマススペクトルを比較すると，DCTB・DIT・IAA では, *m/z*1000～1100 をピークトップとする強度分布を示した．一方，DHB は他マトリックスに比べてイオン化効率が低いためか検出されたピークの強度が低く，また，CHCA ではピークは検出されたが低質量域のピークが *m/z*1000～1100 のピークに対して高くなるマススペクトルであった．DHB の特徴として，水溶性が高く，乾燥後に不均一な巨大結晶が成長することがある [7]．今回の結果は，調製された混晶の不均一性が影響し，低いピーク強度になったのではないかと考えられる．さらに，CHCA は疎水性であり均一な細かい結晶化が起こるため，再現性の高い測定が期待されるが，イオン化直後に試料の分解が容易に起こるとされている [7]．低質量域のピーク強度が高くなったことに関しては，これが主な要因だと考えられるが，他にもマトリックスの酸性度，レーザー光の吸収効率などの特性によるもの，マトリックスと試料の相性の違いによる影響といった可能性も挙げられる．

今回，PEG を用いて各マトリックスの測定条件検討を行い，使用するマトリックスによって適切なレーザー強度があることを確認した．また，使用するマトリックスによって得られるマススペクトルの形状や強度が異なることが分かった．

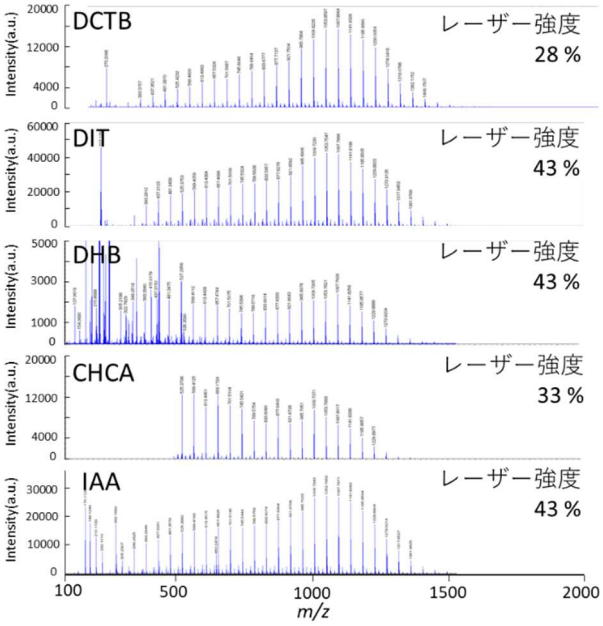


図 11　PEG のマススペクトル
（レーザー強度：最適条件）

7.　まとめ

本研修を通して, MALDI-TOF-MS の概要や基本的な分析技術を習得した．また，標準試料を対象とした，溶媒・イオン化剤・マトリックス剤による比較検討を行うことで，適切な試料調製・測定条件方法を見出すことができた．これらの知見を今後の分析業務に生かしていきたい．さらに，今後は精密質量分析や分子量数十万などの高質量域の分析といった，より専門性の高い測定技術の習得も目指していく．

謝辞

本研修の実施にあたり，MALDI 装置の使用許可を頂きました産学官連携本部 本部長 米沢晋教授をはじめ産学官連携本部のスタッフの皆様に感謝申し上げます．

参考文献

1) 臼杵克之助ら，有機スペクトル解析，丸善出版 (2014).
2) 志田保夫ら，これならわかるマススペクトロメトリー，化学同人 (2001).
3) 豊田岐聡ら，質量分析学―基礎編―，一般社団法人日本質量分析学会 (2016).
4) 佐藤浩昭，J. Mass Spectrom. Soc. Jpn., 64, 191-195 (2016).
5) 松永守功，松島良明, MALDI-TOF-MS 法によるアクリルオリゴマーの構造解析，東亜合成研究年報, 5, 65-67 (2002).
6) 日本質量分析学会用語委員会，マススペクトロメトリー関係用語集，日本質量分析学会, 2019-10. https://www.mssj.jp/publications/pdf/MS_Terms_2020.pdf, (参照 2022-03-16)
7) 島津製作所, MALDI Matrix List Ver.2.8.

電子回路系ハードウェア設計開発技術の継承

小林 英一* 道幸 雄真* 廣木 智栄*

1. 目的

本研修では，若手技術職員 2 名に対して電子回路系ハードウェア設計開発技術の継承を行う．若手職員の電子回路系技術の向上，ならびに電子回路系技術案件における技術部の対応能力アップを図る．題材には「きてみてフェア 2018」など初歩的な回路のほか，技術相談があった「PIN ダイオード駆動用+5V,-9V 出力電源」ならびに，「IC カード式入退室管理システム」を構成する各回路基板の作業性や耐久性を向上させた改善版を実際に設計開発してもらう．設計段階における部品や定数の選定，開発段階でのノウハウおよび各種評価（計測）方法などを含め，設計開発の流れを一通り体験し習得してもらう．工学部に関わる日常業務や地域貢献事業等のほか，工学部内の電子回路系ハードウェアに起因する課題解決にも応用できる実力を身につける．

1.1 研修の範囲

最近は電気電子と一括りにされることも多いが，厳密には電気と電子では棲み分けがかなり異なる．電気が強電，電子が弱電と考えて差支えない．私自身が電子工学科卒であり，かれこれ 20 年ほど電子分野を主業務にしてきてこともあり，今回の研修は電子分野を中心に，そのうち一部を実施した．

表 1. 電気と電子の分野比較[1]

電気	電気機器，アクチュエーター，モーター，パワーエレクトロニクス，電動力，電気鉄道，光源・照明，静電気，電気材料
電子	電子回路素子，電子デバイス，半導体材料，コンピュータ，計測・制御全般，遠隔制御，高周波，超音波，光，電子ビーム，無線航法等のシステムおよび電磁環境，通信線材料

* 第 3 技術室　システム制御班

2. 進め方

研修では，①電子回路の基礎（部品の知識），②回路基板設計 CAD : EAGLE の演習（回路図・パターン図・部品表やガーバーデータの出力），③はんだ付けの技（表面実装），④基板加工機 KitMill CIP100 と EAGLE を利用した機構平面部品の切り出し，⑤OP アンプの演習および計測，の順で進めた．この中で②に最も時間を割き，研修材料として「きてみてフェア 2018」，「PIN ダイオード駆動用+5V,-9V 出力電源」および，「IC カード式入退室管理システム」を構成する小基板 2 種を実際に設計開発し，基板製造を発注した．技術相談では修理の案件を除き，増幅回路と電源回路の設計開発依頼が約 7 割を占めるため，⑤に OP アンプの演習を追加している．

2.1 電子部品の基礎

まず，①電子回路の基礎（部品の知識）を取り扱った．CAD の操作方法をマスターしても，所望の動作をする回路をある程度は机上設計できなければいけない．そうでないと 1 次試作品が正しく動作するまで時間と労力がかかり，回路基板の銅箔パターンはカッターナイフで多数切り刻まれ，信号入れ替えの線が飛び交う，良い設計とは到底言えないものが出来上がることになる．よって，とても重要であり，欠かすことはできない．4 回かけて，IC カード入退室システムで実際に使った回路を例に，講義形式で進めた．技術継承を受ける 2 名は電気電子情報系学科を修めているため，電子回路や電子部品のいわゆるブラックボックス内の動作原理は在学中に学んできている前提で省き，説明は入出力動作に主眼を置いたものにした．

私自身，電子回路や電子部品について説明を求められた場合は「定石回路は英文法，電子部品は英単語のようなもの．電子部品をたくさん知っていれば，それらをデータシートの標準回路通りに接続するだけで，簡単なものは出来上がる」と紹介することが多い．回路については IC 等によるワンパッケージ化が進んでいて，自

分でゼロから回路を組む機会（必要性）は近年少なくなってきており，回路間インターフェイスの理解・知識があれば，大抵の回路は簡単に設計できる．IC 等のデータシートに標準使用例が載っており，希望用途に合わせ定数を調整するだけで使えるものが増えている．

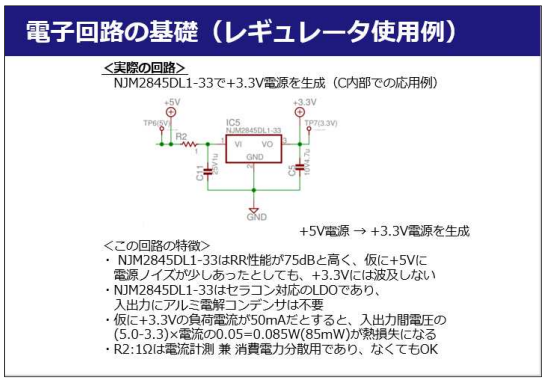


図 1. 電子部品（レギュレータ）の説明スライド

抵抗，コンデンサ，コイル，ダイオード，トランジスタ（BJT, FET），リニアレギュレータ，DC/DC コンバータを取り扱った．

2.2　回路基板設計 CAD：EAGLE の演習

通常，CAD を利用して設計する．基板設計用 CAD は PCBCAD や eCAD とも呼ばれる．

まず，他 PCBCAD との比較をした．EAGLE の Light Edition（無償版）は制限があり，大規模な回路図や 4 層以上の基板，100 x 80 mm 以上のサイズの基板を設計できない．特にサイズ制限は不便に感じることも多く，ゼロから始めるのであれば KiCad を勧めるが，EAGLE は無償の PCBCAD として業界を牽引し長年の実績ありユーザー数，ならびに対応する基板メーカーは非常に多い．また当方自身が使い慣れており，作り溜めた部品ライブラリなど設計資産が KiCad 側に問題なく移行できるのか不安といった点が乗り換えを躊躇させる主要因である．また，マルチプラットフォームで Linux や Mac ユーザーとも共有できることは利点の一つである．

EAGLE による回路基板設計では，①部品ライブラリ登録，②回路図作成，③アートワーク（基板パターン設計），④ガーバー出力・手配，と進む．②の回路図と③のアートワーク（パターン）は同期を取りながら描き，③の途中で②にフィードバックすることも多い．①の部品ライブラリ登録は設計を進める上で必須作業ではあるが，登録には意外と時間がかかることと，同じパッケージを流用して済ますことも可能であることから今回は省き，②～④を実施した．

2.2.1　EAGLE 初期設定

導入直後のライセンスには EAGLE Express を選択する．以前は Run as Freeware となっていたが変わったようだ．バージョンは 8.0 以上の場合，見た目も操作感もかなり変わるため Auto Desk 社による買収前最終版である 7.7 を使っている．ほか，バックアップ頻度および数を降らす目的で，Options → Backup/Locking を選び Maximum backup level は 9→3，Auto save interval は 5→10 に設定変更している．

2.2.2　EAGLE 設計データの共有

今回，技術継承を謳った研修を行う場合，設計資産の共有は必須と考えていたが，具体的にどういった方法で実現すると良いかは決めかねていた．学内ネットワークの決められた場所に置く方法は同期されずに抜けが生じやすく，Dropbox などクラウドは使い勝手が良く有力候補だったが，業務に利用する目的で，クラウドの個人アカウント登録を促すことになり抵抗感があった．そんな中，COVID-19 感染拡大防止のため，大学が Google Workspace を契約し，各職員が業務に Google ドライブ（以下，単にドライブ）を利用できる状況が整った．

EAGLE は設計データの作業フォルダ等を Options / Directories 設定（図 2）で変更でき，Dropbox 内に指定することや「;」（セミコロン）で連結も可能．これまでは個人アカウントの Dropbox を利用し，個人所有の複数 PC（Windows, Linux 混在）間で設計データ，部品ライブラリ，DRU，CAM ツールを共通化していた．今回それをさらに拡張し，Google Workspace のドライブで「share_xxx」の 4 つ (cam, dru, lbr, projects) に共有をかけ，3 人で設計データ，部品ライブラリ，DRU，CAM ツールを共有した．

図 2. 設計データの共有設定（EAGLE）

2.2.3　回路図の新規作成

回路図の新規作成では，以下の一般的な基本ルールを紹介した．

・左から入力し，右へ出力するように描く

・電圧の上下を意識する
例）上から +5V, GND(0V), -5V の順にする
・入出力ピンの多い IC は中央に配置する
・配線が多い回路ではラベルやバスを活用する

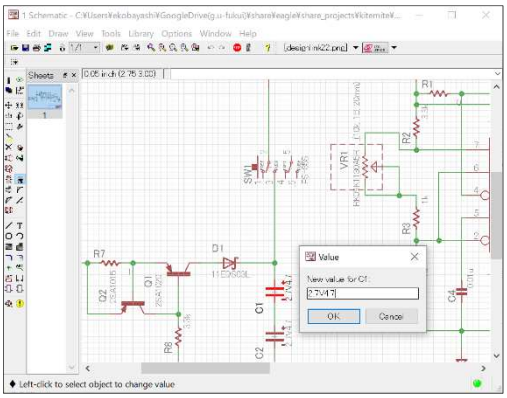


図 3. きてみてフェア 2018 用
回路図の設計演習

回路図作成が終わったら, ERC（Electrical Rule Check）をかけ，回路図が電気的に正しいかどうかを検証する.

2.2.4　アートワーク（基板パターン設計）

回路図が出来上がったら，Generate to switch でボード図（基板パターン図）を生成する．最初は外形線とラッツネストでつながった部品群がとりあえず置かれた状態になっている．開いた直後は，いろいろなレイヤーが重なった状態で表示されている．2 層（両面）基板の場合，1:Top，16:Bottom が銅箔を残す部分になり配線パターンになる．20:Dimension は基板外形．表示するレイヤーを適宜切り替えて設計を進める.

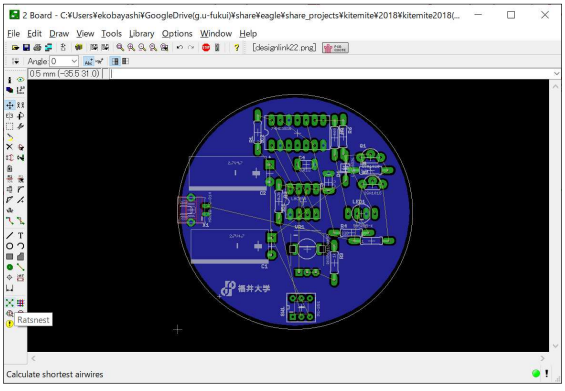


図 4. きてみてフェア 2018 用
ボード図（アートワーク）の設計演習

最初に基板外形を決め，部品を外形線の内側に納まるよう配置していく．ここから担当者の好みや個性が現れやすく，同じ回路図を基にしても，担当者が違えば見た目は全く同じ基板にはならない．この作業では特に部品レイアウトを重視すると, アートワークの時間短縮になり，仕上がりも美しく愛着がわき，他人が見ても解析しやすいなど，多数のメリットがある．部品配置が決まったら，ポリゴンでベタ GND を用意し，Route コマンド（手動）でラッツネストをパターンに置き換えることにより基板パターンを描き進めていく.

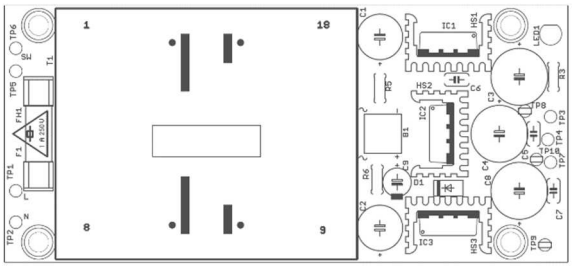


図 5. +5V,-9V 出力低雑音電源回路用
ボード図（アートワーク）の設計演習

2.2.5　既存ボード図の修正

半年以上も経ってから基板の修正作業に入ることは珍しくない．同じミスを繰り返さないよう，少しでも不満や疑問に感じた点は必ず書き残してファイル（データでも良い）に閉じておく．発注する前に，前回の課題を確認するプロセスになっていることが重要である.

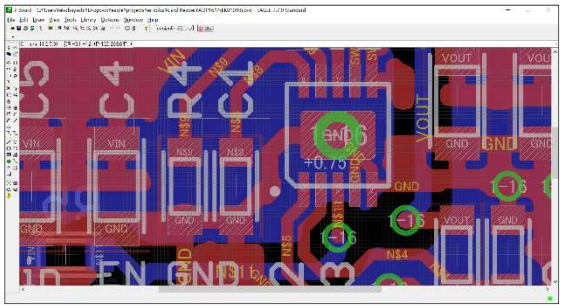


図 6. 入退室管理システム向け DC/DC
コンバータ（+5.2V/3A）の修正作業

2.2.6　ボード図のチェック工程

まず Tools → Statistics を選び，unroutet（airwire，未配線）が何も表示されていないことを確認する. 次に, Design Review Check（DRC）をかけ，エラー内容を 1 点ずつ確認していく．Overlap（重なり）は重欠点のため要修正．Clearance（パターン間の隙間が狭すぎ）は軽微なら基板メーカーも許容してくれることが多い．これらエラーが問題無いと自分で納得・判断できるまで修正していく.

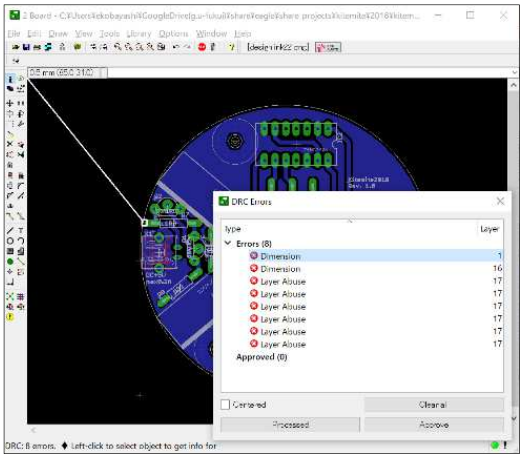


図 7. ボード図のチェック工程（DRC）

2.2.7　ガーバーデータ出力（CAM）と発注

2016 年 5 月～2018 年 8 月まではスイッチサイエンス社に発注していたが，2018 年 7 月以降はほぼ同じ価格帯で納期が早く，仕上がりの質も同等の Elecrow 社に製造を委託している．CAM プロセッサから出力されるガーバーデータ（12 個のファイル）のうち，dri, gpi, GBP, GTP を削除し，8 個のファイルを 1 つの ZIP ファイルに圧縮して発注する．費用は 100 ㎟以内の標準的な回路基板であれば，1 種類につき 10 枚以下，送料込みで約 2 千円と安価である．

なお，2016 年 5 月より前は基板加工機とエッチングを併用して回路基板を製作[2]していた．

2.2.8　部品表（BOM）の出力

回路図設計（Schematic）画面にて，File → Export → BOM と進み，Output format : Text で出力した txt ファイルを Excel で開いて，データ → 区切り位置 で加工して作る．基板製造中（約 1 週間）に部品手配を済ませておき，基板到着時には必要部品が揃った状態にしておく．

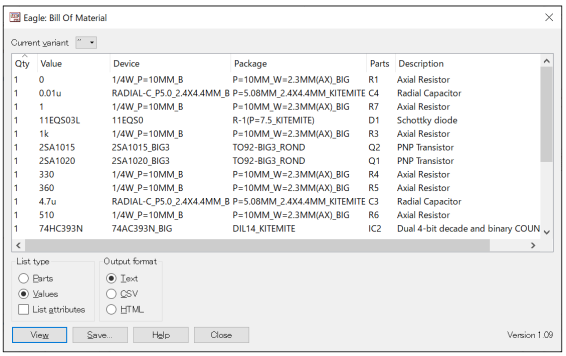


図 8. 部品表（BOM）の出力

2.3　はんだ付けの技（表面実装）

きてみてフェアなど地域貢献事業や学生向け電子工作ではリードタイプの部品がいまだ現役として使われているが，近年これらは電源回路以外で使われることは少なくなってきており，最近の状況も踏まえ，表面実装部品や IC 外しなど中級レベルの内容も実施した．

図 9 は今回の専門研修で，実際に回路図作成から部品レイアウトおよび基板パターン設計を実施した，きてみてフェア 2018（マイクロ USB 駆動＆充電式の 7 色 LED イルミネーション）の回路基板である．

図 9. きてみてフェア 2018 用回路基板

図 10 は今回の専門研修で，実際にパターン修正を実施した IC カード式入退室管理システム用 DC/DC コンバータ（+5.2V/3A 出力,ADP1614 搭載）の基板である．最近は機器の小型化が著しくことに伴い，ADP1614（10-Lead LFCSP）のような新しい設計の IC は表面実装パッケージしか用意されてないものが多くなってきた．

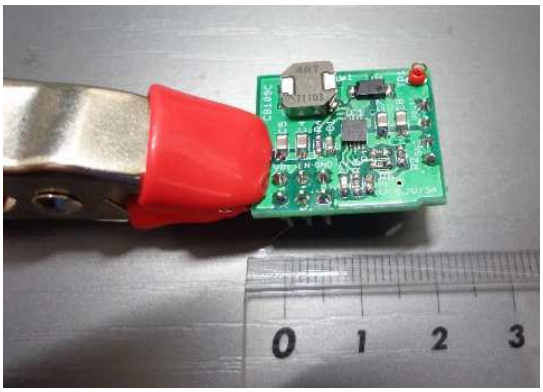


図 10. 入退室管理システム向け DC/DC コンバータ（+5.2V/3A）の回路基板

過去，表面実装部品向けに温度制御したオーブントースターを利用したリフローはんだ付けを試したことはあった[3]が，カッティングプロッタでマスクを作成する手間や，部品配置は手動のままであること，チップ立ち現象の手直し

等が発生し，部品実装時間および業務負荷の軽減には繋がらなかった．SOP や 1608M（0603）チップ部品程度の表面実装部品のはんだ付けは慣れればそれほど難しい技術ではなく，少量なら手はんだの方が圧倒的に早い．教育現場にも表面実装部品の手はんだ技術は必須になってきていると感じる．

その他，IC はんだ付け，IC 外し（再利用），ホットエアー（図 11）での IC 外しも実施した．

図 11. ホットエアー（HAKKO FR-801）

2.4　基板加工機 KitMill CIP100 と EAGLE を利用した機構平面部品の切り出し

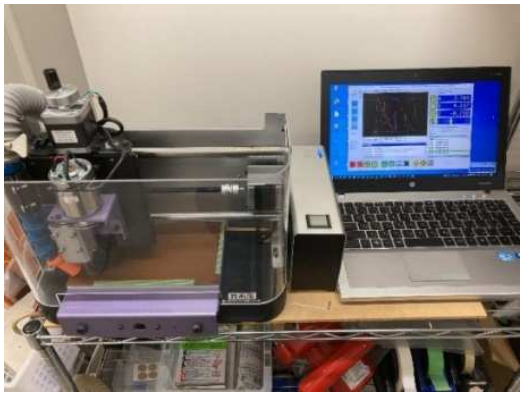


図 12. 基板加工機 CIP100 と制御用 PC

CIP100 は基板加工機だが，切り抜き加工に限定した CNC フライス盤としても利用可能である．機構平面部品の設計ミスおよび試作コスト低減のため，最近は一次試作での利用を増やしている．この基板加工機を使った専門研修[2]は平成 24（2012）年度に実施していたが，若手職員 2 名の入職前であり，改めて加工の流れや操作方法を説明した. 以下が大まかな流れである.

・CIP100 と制御 PC を起動し，USBCNC(V3)を起動する
・F5(Auto)→F3(Open)で先ほど出力された NC プログラムを読み込む
・切削する板に捨て板を付け，加工テーブルに両面テープで貼り付け，固定する
・CIP100 の動作確認後，X,Y,Z 座標のワーク原点を決め，F1(実行/一時停止)で切削開始する
・切削中は騒音が大きいため，しばらく別の作業をしつつ，放置（避難）する

表 2. 基板加工機 KitMill CIP100 の仕様[4]

加工可能サイズ	168 x 118 mm (t=5 mm)
ツールチャック形状	セットスクリュー式
対応シャンク径	ϕ 3.175
送り機構 分解能	0.78 μ m
加工可能な板材	ベーク板，樹脂, MDF 合板
電装部 消費電力	80 W

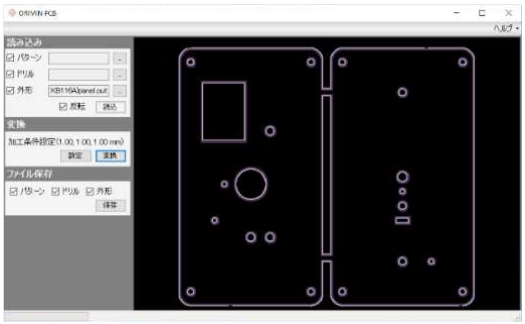


図 13. ORIMIN PCB で NC プログラムを作成

図 13 の ORIMIN PCB（オリマイン PCB）で EAGLE から出力されたガーバーデータを NC プログラムに変換する．その際，使用する加工ツール（エンドミル）の径や横送り速度等の加工条件を指定する．入力は RS-274X 形式のガーバーデータ，出力は G コード形式の NC プログラムである．

基板加工機は切削動作時の騒音が大きい（主に集塵機による）ため，簡単に移動することができない. よって, 小部屋内に閉じ込めており，技術部内で機器共用ができていない．研修室等の共用スペースに移設する際には，防音箱など環境を整える必要がある．

2.5　OP アンプの演習および計測

技術相談では修理の案件を除き，増幅（プリアンプ）回路と電源回路の設計開発依頼が約 7 割を占める印象がある．電源回路は EAGLE 演習内でも取り扱っていたため，OP アンプの演習（電気電子情報向け）を別途追加した．

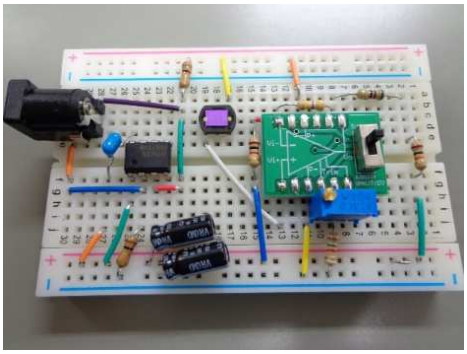


図 14. ブレッドボード上に組んだ TIA 回路

図 15. 計測・評価に使用した Analog Discovery

以下 5 種類の回路をブレッドボード上に組み，その動作をテスタや図 15 の Analog Discovery（オシロスコープとして利用）で周波数特性等を実測し，確認した．

・反転増幅
・トランスインピーダンスアンプ（TIA）
・非反転増幅
・ローパスフィルタ（LPF）
・コンパレータ

Analog Discovery 2 という後継機もあるが，品薄のためか，発売当初の価格は元々3 万円ほどだったと記憶しているものの 2021 年 8 月時点で 5 万円近くまで値上がりしていた．一部の性能は見劣りするが，簡単な回路の動作確認なら旧型で十分であることが多く，互換性もあり将来的に交換も容易なことから，Analog Discovery（秋月電子通商で 27,450 円）を 2 台手配した．

なお，Analog Discovery に接続している BNC 拡張基板について，正規品の Discovery BNC は BNC 端子が横向きになっており，私のように，捨てられない部品や，修理途中または作りかけの基板などが机上に常に散乱し，手狭になっている場合には使い勝手が悪いため，オリジナル設計の基板（品番：EKB078x）を利用している．

3. まとめ

最近の半導体不足に加えコネクタ等の樹脂部品もずっと品薄状態で，部材の欠品や高騰が目立ち，試作部品の手配や予算のやりくりに苦慮したものの，若手技術職員 2 名に対して電子回路系ハードウェア設計開発技術の多くを順調に継承することができたと思う．今年度は技術部予算が削減されてしまい，設計開発業務の課金制を早急に検討していく必要があると考えている．そのためにも，学内から潜在的ニーズが高いと思われる回路基板の設計開発業務を複数人で引き受け，組織的に担えるようになっていかねばならない．本技術に限らず，どの業務も慣れることが重要で，数をこなしていくことで定着および上達する．2 名の今後に期待したい．

表 3. 研修日誌

回次	実施日	研修内容
1	8/6	電子回路の基礎 (抵抗・コンデンサ・コイル)
2	8/27	電子回路の基礎 (ダイオード・BJT)
3	9/10	電子回路の基礎 (FET・レギュレータ)
4	9/21	電子回路の基礎 (レギュレータ・DC/DC), Analog Discovery 校正
5	10/8	はんだ付けの技(中級)
6	11/18	回路基板設計 CAD : E AGLE
7	11/26	回路基板設計 CAD : E AGLE
8	12/10	回路基板設計 CAD : E AGLE
9	12/24	回路基板設計 CAD : E AGLE
10	1/14	基板加工機を使った切削加工
11	2/8,10	OP アンプ演習と計測

4. 参考文献等

[1] 日本技術士会 技術士「第二次試験 技術部門/選択科目」（電気電子部門 電気応用，電子応用, 2019）から一部抜粋
[2] 基板製作装置 CIP100 を用いた電子回路基板の設計および試作技術の修得，2012 年度 技術部活動報告集 Vol.18，2013
[3] マイコン制御を用いたものづくり基盤技術の修得, 2014 年度 技術部活動報告集 Vol.20, 2015
[4] オリジナルマインド社 Web ページ（ https://www.originalmind.co.jp/products/kitmill_cip ）から一部抜粋

5 軸マシニングセンタを用いた多軸加工技術の修得

青山 直樹* 橘 和希** 川﨑 孝俊*** 山森 英智** 内山 裕二**

1. 研修背景

先端科学技術センターの精密工作部門は，主に技術職員が工場運営や予算管理，工作機械の保守・管理を行っている．これらの運営・管理費用は，大学から割り当てられる予算と委託加工作業の収益を財源としていた．しかしながら，当センターは 2016 年度より予算が削減され始めた．その当時，年々予算が削減されることは明白であったことから，新たな収益源を模索することになった．そして，当センター所有の工作機械を教育･研究で積極的に活用することに至った. 特に，5 軸マシニングセンタ（以下，5 軸 MC）の教育・研究への活用は顕著であり，5 軸 MC を利用する学生は増加し，技術支援の要請は増加している．また，委託加工作業における製品の高品質化も進んでおり，高速かつ高精度で制御可能な 5 軸 MC を用いて機械加工を行う機会も増加しており，全体的に当該機械の稼働率は上昇している．この結果，技術支援や委託加工作業に対応できる人材不足が露呈し，技術支援に僅かではあるが支障をきたしている．これを解決するためには，5 軸 MC を活用できる人材を育成し，持続可能な技術支援体制を構築することが不可欠である．

本研修では若手職員への技術・技能継承を主たる目的とし，5 軸 MC に関わる動作プログラム作成技術，操作技術等の技術修得を行った．

2. 5 軸マシニングセンタとは

マシニングセンタ（以下，MC）は，JIS B0105 に“主として回転工具を使用し，フライス削り，中ぐり，穴あけ及びねじ立てを含む複数の切削加工ができ，かつ，加工プログラムに従って工具を自動交換できる数値制御工作機械”と定義されている．MC の種類には，3 軸 MC，4 軸 MC，5 軸 MC，複合加工機，5 面加工機と多岐にわたる．これらの機械の区別は，機械構造や制御軸の数で判断する．本研修で使用する 5 軸 MC はテーブル旋回型で，直交軸 3 軸（前後/左右/上下）と旋回軸 2 軸（傾斜/回転）を有する機械である．（図 1）制御軸が増加するほど，加工のできる範囲は広がるが，加工の難易度は上昇する. この難易度が上昇する理由は，複雑な動作に伴い機械・工具・工作物・治具等の干渉リスクの高まりが挙げられる．5 軸 MC や複合加工機の動作プログラムは, PC 上で機械や機器の干渉をシミュレートしながら加工プログラムを作成する必要性があり，CAM（Computer aided Manufacturing）やシミュレータを用いる．

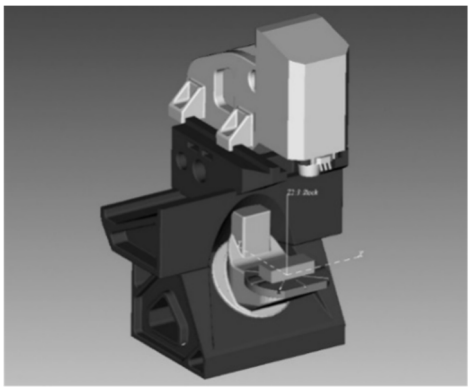


図 1 5 軸 MC（テーブル旋回型）

3. 研修内容

3. 1 CAM の使用方法の習得

研修のはじめに，学外のオンライン講習会に参加し，“2D-CAD/CAM の基本操作及び座標系機能”，並びに“3D-CAD/CAM の多軸加工プログラム作成”というテーマで，それぞれ 3 日間の合計 6 日間受講した．その後，講習会で学習した事柄を習得するため，学内で実践研修を実施した．その内容は，2D-CAD を用いて作成した独自の 2D モデルを対象に，2D-CAM を用いて加工プログラムを作成し，実加工を行った．作成した独自の 2D モデルは, SABAE という文字とメガネのマークが入った四角いデザインである．これは，福井県鯖江市はメガネフレームの産地であり，日本製メガネフレームの約 9 割を生産しているということもあり，福井県を代表するものづくりの一つを表現したいという思いもあり，2D モデルに反映させた．加工は，ボールエンドミルを用いて，デザインしたメガネや文字に沿うように加工を行い，両端にはネジ切り工具を用いて同期タップ加工を 2 箇所行った．製作した工作物を図 2 に示す．

* 第 3 技術室 システム設計班
** 第 1 技術室 機器開発・試作班
*** 工学部技術部

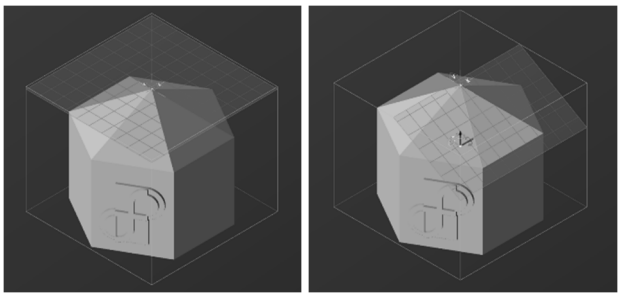
図 2　2D-CAM 加工用モデル

3.　2　5 軸割出加工

5 軸割出加工（以下，割出加工）は，複数の面を持つ工作物を，一回の段取り作業で高精度に加工することが可能である．また，工作物を載せ替える段取り作業を削減し，段取り時間を含めた総加工時間を短縮することができる．本項の研修では，3D-CAD や 3D-CAM を用いて，割出加工モデルの作成並びに割出加工プログラムを作成し，実機で多面割出し加工を行った．作成した割出加工モデル及び CAM 上で座標系を設定している様子を図 3 に示す. 割出加工において, CAM 上で割出加工モデルが有している複数の面に対して座標系を設定し，それぞれの面に設置した座標系で加工プログラムを作成することは非常に重要で，この作業を適正に行うことが実機で加工を円滑に進めることに繋がる．一方，この作業に手抜きが生じてしまうと，実機で加工する際，機械の干渉が発生し機械に大きな損傷をもたらす可能性があるので，注意が必要である．

つづいて，当該モデルを 3 軸加工及び割出加工をそれぞれ行った際の工作物品質の違いについて，図 4 に示す割出加工モデルを用いて説明する．今回，切削工具にフラットエンドミルを用いて，割出加工モデルを加工した．この工具を用いて 3 軸加工する場合，割出加工モデルの上部の 6 面を上から順に一定の切り込み量を与えて XY 平面で加工することとなる. その場合, 加工面は階段状になり, 外観も加工面品質も良くない. 一方，5 軸加工では，工具の底刃を割出加工モデルの角度のついた面に，垂直に接触させて加工することが可能であるため，図 4 に示すように良好な加工面が得られる．

そのほか，3 軸加工と割出加工では工程の数に大きな違いが生じる．次に例を挙げて説明する．割出加工モデル下部の 6 面に FUKUI という文字と福井大学の校章が加工されている．これを，3 軸加工で行うとするならば，加工する面を主軸方向に向けさせるための専用治具が必要となり，治具を製作する等の工程が必要となる. 5 軸加工では, 傾斜軸や回転軸を回転させ, 加工する面を主軸方向に向けさせて加工することが可能であるため，専用治具が不要となり，効率よく加工ができる．



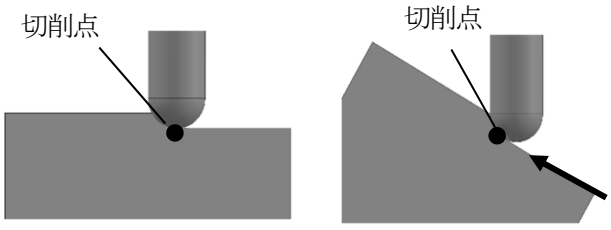
(a)　標準座標　　(b) 割出座標

図 3　座標系設定

図 4　割出加工モデル

3.　3　3 軸加工と 5 軸加工の加工面品質比較評価

ここでは，3 軸加工と 5 軸加工の加工面品質の違いを評価した結果を報告する．3 軸加工は傾斜軸 0 度の状態で X 方向に走査線加工を行い，5 軸加工は傾斜軸 30 度の状態で X 方向に走査線加工を行った．図 5 に加工方法を示す．なお，本項の検証で使用した加工条件を表 1 に示す．



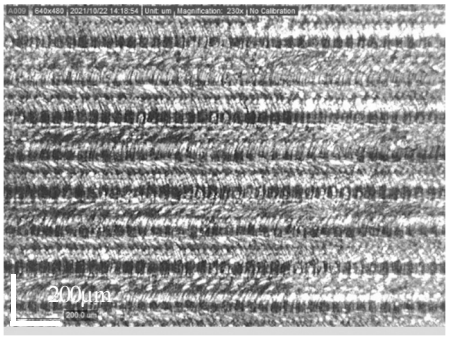
(a) 3 軸加工　　(b) 5 軸加工

図 5　加工方法

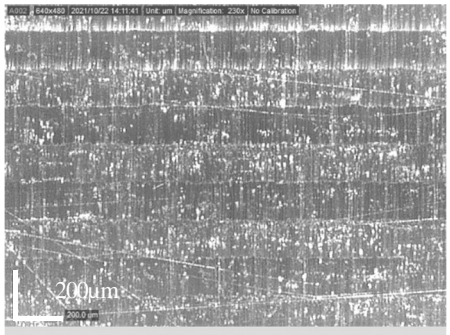
表 1　加工条件

試験片	アルミニウム合金　A2017
工　具	R3.0 ボールエンドミル （EPDBE2030-8-P, ㈱MOLDINO）
主軸回転数	20,000 [1/min]
送り速度	1,000 [mm/min]
ピックフィード量	0.155 [mm]
切り込み量	0.5[mm]

加工後、加工面を触針式粗さ計（SURFCOM NEX1, ㈱東京精密）並びに光沢度計（IG-410, ㈱堀場製作所）を用いて計測した．また，工作物表面をマイクロスコープ（Dino-Lite, （株）オプトサイエンス）を用いて観察した．図 6 に加工面観察写真を，図 7 に表面粗さと光沢度の計測結果を示す．図 7 より，3 軸加工に比べ 5 軸加工で得られた加工面の方が表面粗さ Rz 並びに光沢度において良好な値を示すことがわかった．これは，3 軸加工は工具先端に切削速度が 0m/min となる切削点が常に存在し，この切削点近傍では工作物を“削る”という加工形態ではなく“毟る”という加工形態となり，この“毟る”が加工面を荒らす要因となったと考えられる．また，切削速度が 0m/min ということは，回転していない丸棒を擦りつけるのと同じような現象となるため，加工負荷は増大する．一方，5 軸加工は傾斜軸に角度を設けることで，切削速度が 0m/min となる切削点を回避し，切削速度が得られる部分で加工することができ，良好な加工面が得られたと考えられる．また，双方の計測結果のばらつきの程度を確認すると，表面粗さと光沢度共に 5 軸加工の方が小さいことがわかる．これは，3 軸加工の場合，切削速度が 0m/min となる箇所において，工具のびびり振動が発生し，加工面がその影響を受けて品質の不安定化に繋がっていると考えられる．その証拠に，図 6(a)の 3 軸加工で加工した傾斜軸 0 度の加工面の写真から，波をうつような面が観察された．



(a) 傾斜軸　0 度



(b) 傾斜軸　30 度

図 6　加工面の観察写真

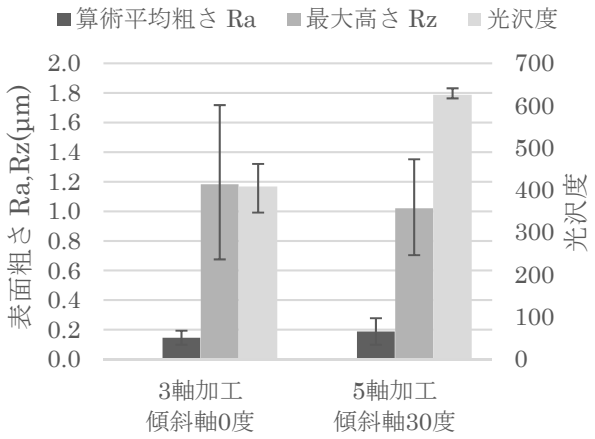
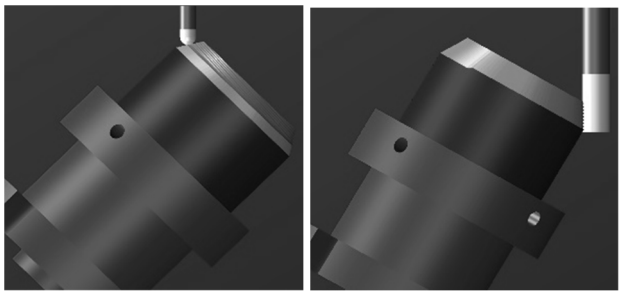


図 7　加工面の表面粗さ及び光沢度

3.　4　同時 4 軸加工と同時 5 スワーフ軸加工

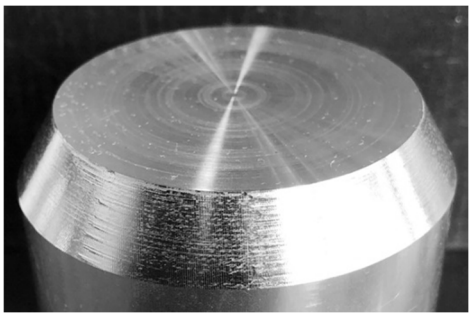
つづいて，複数の制御軸を同時に動作させながら加工する同時 4 軸加工と同時 5 軸スワーフ加工の実践研修を行った. ここでは, アルミニウム合金 A2017 の円柱型の材料に，テーパー形状の加工を施した．図 8 に同時 4 軸加工と同時 5 軸スワーフ加工の加工シミュレーションの様子を示す．同時 4 軸加工は，傾斜軸を 45 度に傾けて固定し, 連続回転させている工作物にボールエンドミルを接触させて加工した．ここでの，同時 4 軸とは連続回転させている回転軸と同時に動作させている直交軸 XYZ の 4 軸を指す．同時 5 軸スワーフ加工は，フラットエンドミルの側刃を工作物のテーパー部に接触させた状態で，直交軸 XYZ 及び傾斜軸・回転軸を同時に動作させて加工した．それぞれの工法で製作した工作物を図 9 に示す.

加工後, LabVIEW と電気マイクロメータで構築した計測システムを用いて，機上で真円度測定を行った．同時 4 軸，同時 5 軸で加工したワークの真円度は，それぞれ 12.1μm と 11.5μm であった．これは，工具設定不良に起因する加工時の自励びびり振動による加工面の悪化が原因と考えられる．今回，段取り時の不備が加工面に悪影響を与える事を体験したことは，今後の糧となる良い経験となった.

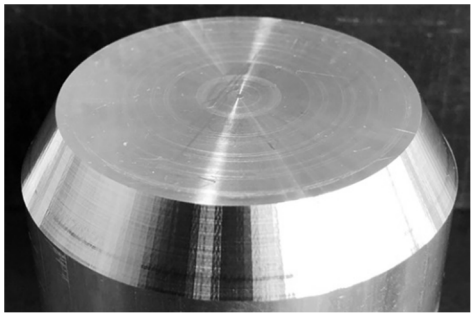


(a) 同時 4 軸　　(b) 同時 5 軸

図 8　加工シミュレーション



(a) 同時 4 軸

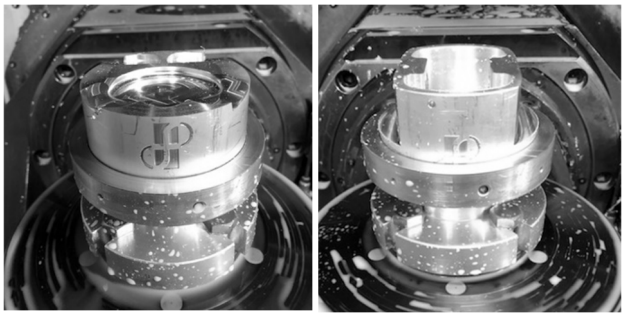


(b) 同時 5 軸

図 9　テーパーコーン

3.　5　リバースエンジニアリングで製作

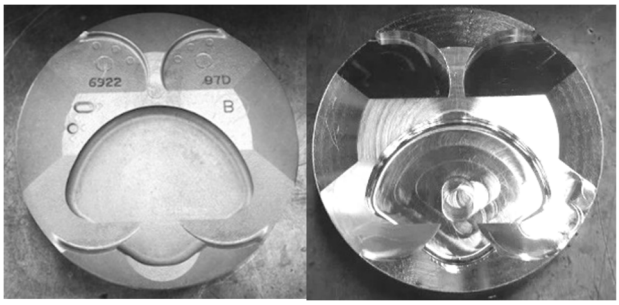
研修のさいごに，これまでの研修を通して培った技術を用いて，LEXUS　L5460 のエンジン用ピストン（以下，ピストン）をリバースエンジニアリングによって模したピストンの製作を実施した．まず，対象部品から詳細な寸法を測定し，これを基に 3D-CAD を用いて加工用の 3D モデルを作成した. 次に，効率的に加工するため，対象部品の形状観察から加工経路を想定した．なお，当該モデルの加工は主に割出加工で行い，一部同時 4 軸加工を取り入れた．想定した加工経路を具体化するために 3D-CAM を用いて，カッターパスである CL（Cutter Location）データに反映させ，機械の干渉の有無を確認するなど丁寧な作業の末，加工プログラムを作成した．実際の加工は表側と裏側の 2 工程で行い，既述の研修で学習した加工法や失敗で得た知見を参考に，慎重な作業を心掛けた．図 10 に 1 工程終了後と 2 工程終了後の工作物の様子を示す.



(a) 1 工程　　(b) 2 工程

図 10　工程終了後の工作物

リバースエンジニアリングの対象部品と製作した工作物の比較を図 11 に示す. 概ね対象部品に近い形状をした工作物を製作することができた.



(a) 上方部（左：対象部品，右：工作物）

(b) 前方部（左：対象部品，右：工作物）

(c) 側方部（左：対象部品，右：工作物）

図 11　対象部品と工作物の比較

4.　まとめ

本研修を通して，若手職員の 5 軸 MC や多軸加工技術に関する知識は深まり，3D-CAD を用いたモデリング技術, 3D-CAM を用いた 5 軸 MC 用プログラム作成技術, 5 軸加工特有の操作技術を修得した. 今後も日々研鑽を続け，高度化する技術支援の要請に応えていきたい.

謝　辞

本研修を遂行するにあたり福井大学 学術研究院工学系部門 機械工学講座の岡田将人准教授に計測機借用等のご支援をいただいた．ここに記して深謝する.

日常研修報告

3D-CAD, 3D プリンターの操作技術習得および加力部での使用範囲の検討

川井 康督*

1. はじめに

研修実施者は, 建築･都市環境工学科の大型構造実験室に派遣されている．近年，研究技術の進歩や地震災害への危機意識の向上により，派遣先で実施される実験も複雑化および多様化してきている．それに伴い，加力部における実験治具は多種多様な設計・製作を求められているのが現状である．

従来の加力部治具は，主にモルタルや石膏を利用しているが，実験の種類においては治具として対応できなかったり，設計や製作に時間を要していたりしている．

そこで本研修では，従来では対応しきれなかった種類の実験での治具の設計･製作を補うべく 3D プリンター治具（ポリカーボネート樹脂）の加力部での使用を検討する．

2. 3D プリンター治具

当方が使用している 3D プリンターは, ポリカーボネート樹脂で立体物を成形する一般的なものである．日常業務では，非加力部の治具の製作などに用いているが，造形物の圧縮特性が明確でないため，加力部の治具としては使用していないのが現状である．

3D プリンター治具は，①設計・製作が短期間で完了する，②密度により変形形態の変更が可能であるという特徴がある．

3. 研修方法

3.1 試験体製作

今回の研修では，密度ごとに圧縮試験を実施するため，試験中の座屈を考慮し，JISA1108（コンクリートの圧縮試験方法）に基づき試験体を製作することとした. 試験体の寸法は Φ50×100 の棒状試験体とし，3D プリンターで 20，40，60，80，100%と密度を変えて製作した．

3.2 材料試験

JISK7181（プラスチック圧縮特性の求め方）および JISA1108（コンクリートの圧縮試験方法）に基づき試験体を各密度 2 本ずつ加力し，降伏圧縮強度および弾性係数を計測した．（図 1）

図 1. 試験体の加力状況

4. 研修結果

4.1 材料試験結果

3D プリンター試験体（ポリカーボネート樹脂）は，密度 20%の試験体を除いて，全ての密度で弾性域を経て降伏し，その後塑性域に入ると破壊することなく変形し続けた．密度 20%においては，弾性域を経て降伏するも，2 本とも塑性域の途中で潰れるように破壊した．（図 2，3）

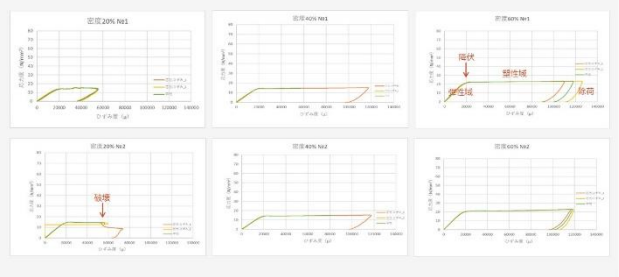


図 2. 密度 20～60%試験体の応力-ひずみ関係

* 第 2 技術室　物理計測班

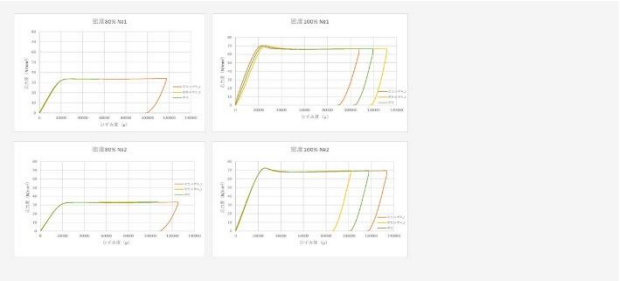


図 3. 密度 80～100%試験体の応力-ひずみ関係

計測した降伏圧縮強度および弾性係数は，下表のとおりとなった．（表 1）

表 1. 試験結果まとめ

	降伏圧縮強度 (N/mm²)	弾性係数 (N/mm²)	製作時間
20%	15.2	809.0	6 時間 50 分
40%	14.4	798.7	9 時間 57 分
60%	23.2	1230.6	13 時間 3 分
80%	33.3	1851.4	16 時間 9 分
100%	69.3	3455.7	44 時間 27 分

4.2 加力域治具としての評価

3D プリンター治具の圧縮特性を従来，治具として使用しているモルタルや石膏の一般値と比較した．（表 2）

表 2. 3D プリンターと従来治具の比較

	降伏圧縮強度 (N/mm²)	弾性係数 (N/mm²)
40%	14.4	798.7
60%	23.2	1230.6
80%	33.3	1851.4
100%	69.3	3455.7
モルタル	53.0 (※1)	20000～40000 (※3)
石膏	68.6 (※2)	5000～10000 (※3)

※1 過去の実験データより平均値を参照

※2 吉野石膏販売 ハイストーンニューHLP 型より参照

※3 一般値

密度 100%においては，モルタルや石膏を上回る強度を確認できた．密度 60・80%においても試験体で使用するコンクリートより高い圧縮強度が確認できた．しかしながら弾性係数においては，密度 100%においてもモルタルや石膏より低く，さらに密度が下がれば剛性も下がる傾向であった．このことから，3D プリンター治具は圧縮強度がありながら，モルタルや石膏より変形しやすい特性があることがわかる．

この結果を踏まえて，3D プリンター治具は加力部において，モルタルや石膏のように変形せずに試験体を保持する目的で使用するには適さないということが分かった．しかしながら，塑性域においては破壊せずに変形し続ける特性があることから，加力域において試験体の内部など変形を必要とする条件下においては，治具としての使用は可能であると思われる．

5. おわりに

研修結果を踏まえて，過去に派遣先で実施された実験の中から 3D プリンター治具を活用できそうな事例を模索したところ，鉄板の面外引張試験において，試験体に貼り付けたひずみゲージを保護する目的の治具として活用できる可能性があったため，治具を試作した．（図 4）

当時の試験体の変形具合と，本研修で得た密度ごとの変形具合を勘案し，今回の試作では密度 40%での製作が最適であると考えられた．治具の試作後，当時の実験を再現したところ，ひずみゲージが損傷することなく治具として機能することができ，有効性を確認することができた．

また研修を通じて，3DCAD および 3D プリンターの操作技術を習得することができた．

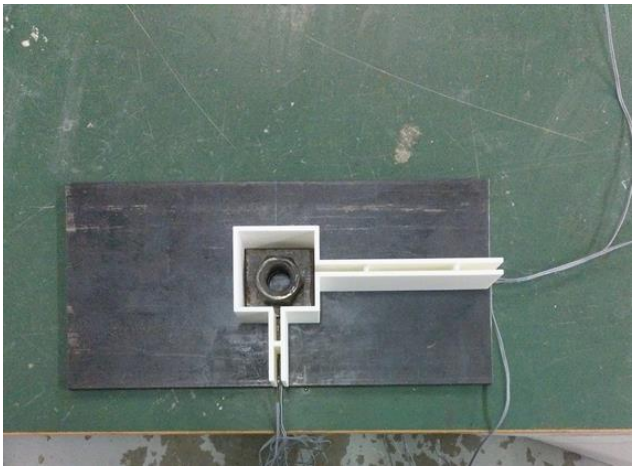


図 4. 3D プリンター加力部治具の試作品

金属エッチングを用いた学外向けものづくり企画に関する検討

髙澤 拓也*

1. はじめに

本学では年に一度「きてみてフェア」と呼ばれる大学開放イベントを行っており，その一環として，研修者の所属する第一技術室では例年様々なテーマでものづくり企画を開催している．本研修では，研修者が同企画案の一つとして提案した金属エッチングによるものづくりについて，企画として実施可能であるかの検討および，金属のエッチング加工に関する知識とノウハウの習得を目的とし，真鍮材料をエッチング加工して企画製作物の試作を行い，製作工程や製作時間などを比較，企画内容素案の作成を行う．

2. マスキング手法および製作物の検討

2.1 マスキング手法の検討

エッチングは主に図 1 の様な手順で行われるが，中でもマスキングの工程は多数の手法が存在し，作業時間や作業難度，最終的な仕上がりに大きく影響する．そこで本研修では最初にマスキング手法の検討を行うこととし，転写方式，ステッカー方式，グランド方式の 3 種のマスキング手法でエッチングを実施，比較を行い企画に適した手法を選定した．

転写方式はマスキング模様をプリンタで紙などに印刷，加工物表面に印刷面を接触させ熱を加えることで加工物に模様を転写する手法で，本研修ではレーザプリンタで OHP シートにマスキング模様を印刷，ラミネータを用いて熱を加えることで転写を行った．

ステッカー方式ではカッティングプロッタを用いてマスキング形状に切り出したステッカーを加工物に貼ることでマスキングした．本研修ではカッティングプロッタに silhouette CAMEO4（Silhouette America 製）を用いた．

グランド方式はグランド（防食剤）を加工物表面に塗布，乾燥させ，腐食させたい部分をケガキ針などで削って露出させることでマスキングを行う手法で，本研修では水性絵具と溶剤を混合したものをグランドに用いた．

転写方式とステッカー方式については貫通加工を含むネームプレートを，グランド方式については貫通加工が困難なため，別途ネームタグを作製し，外観，工程，作業時間を比較した．エッチングは 50℃に加熱したエジンバラ液 [1]に約 20 分間浸漬することで行った．図 2 に各マスキング手法でのエッチング結果を示す．転写方式ではマスク部に研磨では除去不可能な深い腐食が発生した．また，マスキング剤であるインクの除去にラッカー溶剤を要するなど，精度・安全性の観点で問題がみられた．ステッカー方式についてはマスク部に腐食がなく，後処理もステッカーを剥がすだけで簡便・安全であった．グランド方式についてはマスク部に微細な腐食が発生したものの，研磨により除去可能であり，後処理のグランド除去もエタノールを用いることで容易に可能であった．作業時間についてはステッカー方式，グランド方式共に事前準備により工程を省略でき，最短で 5～10 分程度であった．以上の結果からステッカー方式とグランド方式を採用し，両方式の特徴に合わせて具体的な製作物の検討を行うこととした．

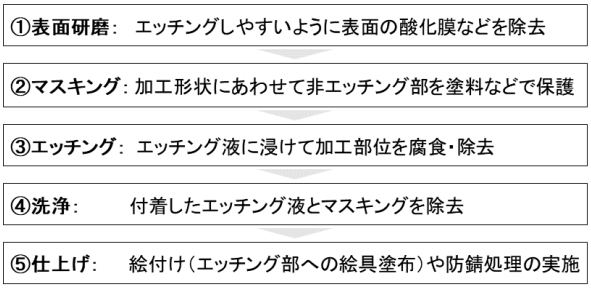


図 1 エッチング手順の例

	転写方式	ステッカー方式	グランド方式
外観			
	微細腐食（研磨で除去不可）	腐食なし ※外周はマスク不備	微細腐食（研磨で除去可）
工程	印刷 → 位置合わせ → 転写	カット → カス取り → 貼り付け	Gr塗布 → 乾燥 → 下書き → ケガキ
時間	15分（工程省略時）	5分（工程省略時）	10分（工程省略時）
後処理	ラッカー溶剤で拭取り	手で剥がす	エタノールで拭取り

図 2 マスキング手法の比較

* 第 1 技術室 機械システム班

2.2 製作物の検討

ステッカー方式では予めステッカーを切り出しておく必要があるため，製作物のデザインは定型的なものとなる．一方，グランド方式はその場で模様を描けるため，デザインを参加者に委ねることが出来る．そこで製作物として，グランド方式を用いたネームタグ，ステッカー方式を用いた栞，グランド・ステッカーの混合方式を用いたキーホルダの 3 種を試作，作業時間や外観，作業工程などを比較した．エッチングは前節と同条件件で行った．

ネームタグは，参加者の名前を書き込んでもらい，エッチング部への絵具による絵付けとニスのコートを行うものとした．栞は，柄，ロゴ，イニシャルを組み合わせてデザインに幅を持たせられるものを試作した．キーホルダについては表面にロゴのステッカーを貼り，裏面は事前塗布したグランド部に参加者が名前などを自由にデザインするものとした．素材はいずれも市販の真鍮材料を使用した．図 3 に試作品の写真を，表 1 に各製作物の試作結果の比較を示す．作業時間はいずれも 60 分程度であり，工程が単純なステッカー方式の栞が若干短かった．手書き工程を含むネームタグやキーホルダはデザインの内容によってマスキング時間が変化し，長くなる傾向にあった．他方，事前準備の量はグランドを塗布するのみのネームタグが最も少なく，ステッカーを表裏両面・多種類切り出す必要がある栞が最も多くなった．キーホルダはステッカーの切り出しが必要だが種類が少なく表面のみでよいため，グランド塗布と合わせても栞とネームタグの中間程度の量となった．外観は名前のみのネームタグは絵付けを行っても簡素で，両面にデザインがありボリュームもあるキーホルダが優れていた．

図 3 試作品写真
（左：ネームタグ，中央：栞，右：キーホルダ）

表 1 製作物の試作結果比較

	ネームタグ	栞	キーホルダー
マスキング方法	グランド	ステッカー	ステッカー & グランド
作業時間	55分	50分	60分
参加者の意匠	◎	△	○
外観	△	○	◎
その場作業量	○	◎	△
事前準備量	◎	△	○

以上の結果から，事前準備を含む作業量と外観のバランスに優れたキーホルダを製作物として企画内容を検討することとした．

3. 企画内容（素案）の検討

キーホルダを製作物とした企画案の概要を表 2 に，工程案を図 4 に示す．例年の企画を参考として参加者 40 名，1 時間 10 名ずつ 4 回に分けて実施するものとした．作業工程は試作を踏襲しつつ，参加者の安全面を考慮しエッチングのみ職員が対応することとした．本工程にて技術部職員 2 名に実際に作業を行ってもらった所，時間内に実施することができた．なお，詳細は割愛するが，必要経費も予算内に収まっており，企画として実施できる可能性が示された．

4. まとめ

本研修の成果を以下に示す．

(1) 金属エッチングによる製作物とその製作工程，時間をまとめ企画の素案を作成できた．

(2) 金属エッチング加工に関する知識とノウハウを身につけることが出できた．

5. 謝辞

本研修の実施に際し，福井大学工学部技術部第一技術室メンバーよりアドバイスを頂いた．記して謝意を表する．

参考文献

1) Keith Howard: The Contemporary Printmaker (Write Cross Press, 2003)

表 2 企画（素案）の概要

参加人数	40名（10名×4回）
実施時間	1時間×4回
対応職員数	6名

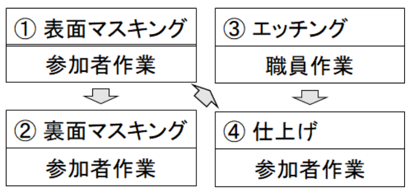


図 4 企画の作業工程案

常時微動探査装置の改良と測定データの高度化に関する技術修得

伊藤 雅基*

1. はじめに

建築建設系の学科や派遣先研究室では，地震時の地盤の挙動や地盤構造を調べる方法として，非破壊による常時微動を用いた地盤調査を行い，得られた推定地盤構造を地震防災の研究に活用している．本研修では，より精度の高い地盤調査を行うために，常時微動探査装置の改良や検討，地盤上に微弱な振動を発生させることができる起振機の導入，さらに GIS(地理情報システム)を活用した地盤データの分布図作成等を行う．また，これらの内容に必要な治具の製作をはじめ，観測装置の測定方法，GIS の基本操作について修得を図る．

2. 常時微動探査による地下構造推定法

従来の地下構造推定法としては，ボーリング探査や弾性波探査法などがあるが，人的・金銭的コストが高く，詳密かつ広範囲の地下構造推定に応用することは困難である．そのため近年では安価で簡単に観測ができる微動に着目した探査計測が注目されている． 我々が生活している地盤は，微小な振幅で絶えず振動しており，この振動には交通や工場等による人工的な要因と，台風，波浪，火山活動などの自然現象的な要因がある．特に周期数秒以下の微動を常時微動（振幅 : 数 μm～数十 μm 程度，周期 : 0.1～数秒程度）といい，常時微動は比較的に簡単に観測することができ，観測によって得られた観測波形を解析することで地盤の振動特性や地下構造の推定に利用されている．

3. 常時微動探査に用いる観測機器について

常時微動観測は，地表面に微動観測機器（並進速度計など）を設置して，時間と場所を選ぶことなく測定できる機動性の優れた観測方法である．

従来の方法は，並進速度計（図 1(a)参照）を用いて，並進 3 成分（水平動 2 方向，上下動方向）を観測し，H/V スペクトルやレイリー波位相速度を算出して地下構造の推定が行われてきた．一方，回転 3 成分についてはその重要性が指摘されていたが，適当な観測手段がなかったことから放置されていた．しかし，近年，可搬型の回転速度計（図 1(b)参照）が開発され回転 3 成分の測定が可能となった．そこで，回転速度計と従来から使用されている並進速度計とを組み合わせて使用することが可能となれば，並進 3 成分と回転 3 成分による 6 成分観測から地下構造推定の信頼性と精度向上が期待できる．

(a) 並進速度計　　(b) 回転速度計

図 1　微動観測装置

4. 様々な振動源による回転速度計の性能確認

4.1 振動台実験

回転速度計の性能確認をするために微動より大きい振動を与えて，以下のような振動台を用いた実験を行った．図 2 に示すように，回転速度計から 40cm 離れた地点に並進加速度計を設置し，振動台を用いて 2Hz40GAL の平面振動を与え，Z 軸回り（鉛直軸回り）の振動による回転速度の比較を行った．

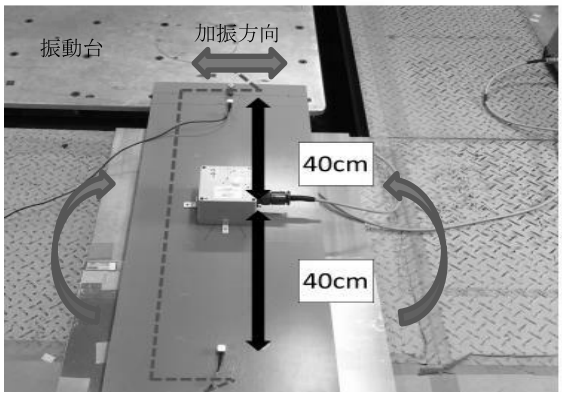


図 2　振動台実験の概要

* 第 2 技術室　物理計測班

図 3 は図 2 のような振動実験における並進計より算出した回転速度と，回転計より直接計測した回転速度の比較を示す．振動台を図 2 の方向に揺らした場合，回転速度計を配置した直下の地点における回転加速度は，2 台の加速度計から算出でき，観測時間間隔 t=0.01(s)によって積分を行うことで回転速度を算出することができる．同図より，並進計と回転計の振幅および波形は，ほぼ等しい値が測定されていることが確認できた．

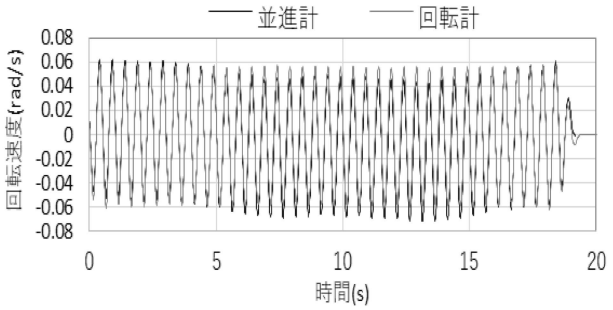


図 3　振動台による Z 軸回りの回転速度

4.2　現場観測への適用

現場での微動観測では，様々な方向から入射する波があり，その振動源を特定することは，地盤の位相速度を推定する上で重要である．以下に回転計の現場観測への適用について検討するため，図 4 に示す人工振動発生装置（起振機）を用いて人工振動を発生させて振動到来方向の確認を行った．起振機は地面上に設置して水平方向の揺れを発生させたが，今回は試みた方法では想定した振動を発生させることが出来なかった．そこで，今後は図 5 に示す起振機の現場用治具を開発し，鉛直方向に振動が発生する治具の改良および検討を行う予定である．

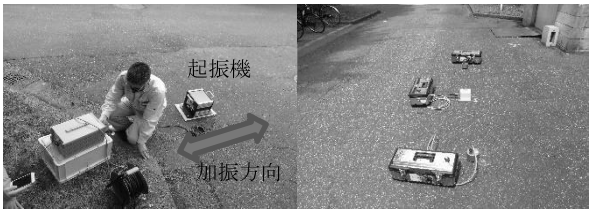


図 4　起振機を用いた振動実験

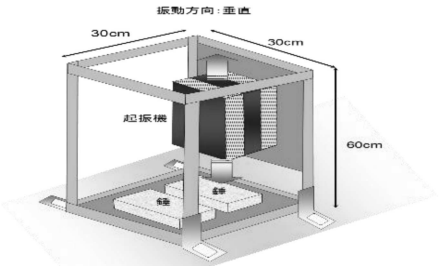


図 5　起振機の改良図

5.　GIS（地理情報システム）を用いた地盤データの活用と分布図作成

GIS（地理情報システム）は，様々なところで地理情報が活用されており，都市計画図，地形図，空中写真等を重ね合わせて見ることができる．そのため GIS は，自治体等でもハザードマップや施設情報等の作成に役立っている．上述の背景から本節では，GIS の基本操作について修得するとともに，地図データや常時微動観測から得られた点在データを 3 次元化することで測定データの高度化を図る．以下にその一例を示す．

図 6 の切り盛り厚さ分布図は，造成前の地形図の等高線地形図を GIS 上に取り込んで標高データを作成し，造成後の標高データとの差から改変量を算出し，スプライン手法により内挿処理を行うことで作成することができた．

図 7 の福井平野の卓越周期分布図は，常時微動観測地点（355 地点）で得られた地盤の卓越周期データについて，対象点近くのデータ値を距離の逆数に基づく重み係数で加重平均し，IDW 法を用いて作成することができた．

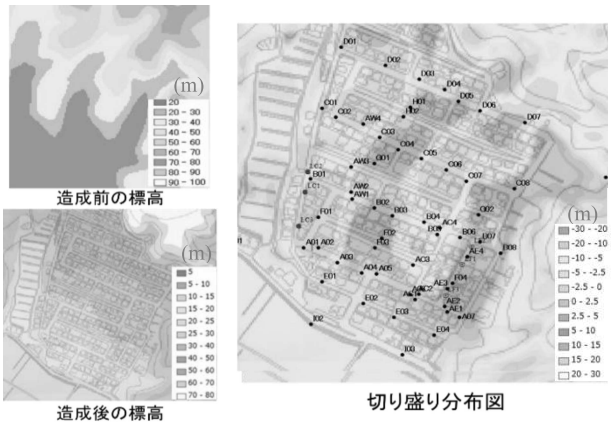


図 6　GIS による切り盛り分布図の作成

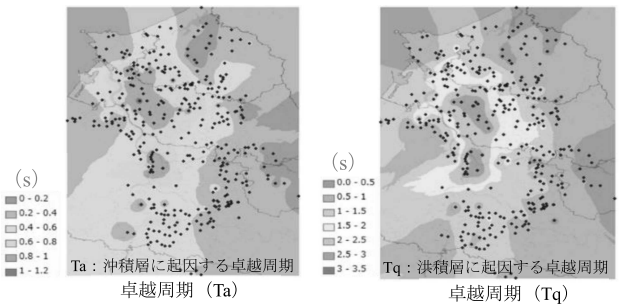


図 7　GIS による福井平野の卓越周期分布

6.　おわりに

本研修を通じて，常時微動探査装置の改良や測定データの高度化に必要な GIS の基本操作を修得した．本成果を地震防災の研究に役立ていきたい．

技術研究会等参加報告

高圧ガス保安教育基礎講習　参加報告

竹内 利幸*

1. 目的

本講習は，初めて高圧ガス関連に携わる職員や，あらためて高圧ガスを基礎から勉強し職場内で講師を担当する新任担当者を対象として開催され，高圧ガスを取扱う際の必要な基礎知識「高圧ガスの性質・取扱い」,「高圧ガス事故事例」,「高圧ガス保安法令」を学ぶことができる．筆者が所属する安全衛生管理推進グループでは高圧ガスボンベ管理に関する業務を行っており，高圧ガスの取扱いや法令等の知識が必要となっている．その為，高圧ガスを取扱う際の必要な基礎知識を学び，業務に役立てることを目的とし，本講習に参加したので報告する．

2. 開催概要

今年度は，新型コロナウイルス感染拡大に伴い，現地会場では行わずオンデマンド配信で開催された．

日時：2021 年 5 月 19 日（水）～6 月 9（水）
主催：高圧ガス保安協会
講義内容：
- 高圧ガスの性質・取扱い（120 分）
- 高圧ガス事故事例　　（ 60 分）
- 高圧ガス保安法令　　（180 分）

3. 講習内容

3.1 高圧ガスの性質・取扱い

高圧ガスを適切に取扱うには高圧ガスの性質をよく知り理解して取扱う事が必要不可欠である．性質には色やにおい，可燃性や毒性等の様々な種類がある．例えば高圧ガスが漏洩した時に性質を知っていれば漏れたかどうか感知することができる．しかし，ただ性質を知っているだけでは安全な取扱いはできない．高圧ガスは気体や液体で取扱うので，貯蔵する容器や機器類を誤った取扱いをしてしまうと事故に繋がる危険性がある．その為，この 2 つについて知っていないと安全な取扱いはできない．

この講習は高圧ガスの一般的性質とガス各論，容器・附属品についてテキストに沿って講義があった．高圧ガスの一般的性質について，物質の構造と基礎的な性質について学ぶことができた．

物質には 3 つの状態があり，この 3 つの状態の変化を蒸発，凝固などという．液化ガスは周囲から熱を奪い蒸発するため，配管などが破壊されることがある．そのため，液化ガスを配管などに封じ込め（液封）してはならない．福井大学では，液体窒素や液体ヘリウムの取扱いがあるため，事故が発生しないよう注意が必要であると感じた．ガス各論については，表 1 に記載する高圧ガスの用途や取扱い方法，漏洩時の措置について学んだ．

表 1　主要高圧ガス一覧表

性質		分子式	性質		分子式
水素		H_2	特殊高圧ガス	モノシラン	SiH_4
LPガス	プロパン	C_3H_8		ジシラン	Si_2H_6
	n-ブタン	C_4H_{10}		アルシン	AsH_3
	i-ブタン	C_4H_{10}		ホスフィン	PH_3
メタン		CH_4		ジボラン	B_2H_6
アセチレン		C_2H_2		モノゲルマン	GeH_4
酸素		O_2		セレン化水素	H_2Se
塩素		Cl_2	不活性ガス	窒素	N_2
アンモニア		NH_3		アルゴン	Ar
				二酸化炭素	CO_2

これら高圧ガスにはそれぞれ適した容器･附属品がある．容器は，高圧ガスを貯蔵した状態で移動ができるが，安全を確保するためには正しく取扱う必要があり，高圧ガス保安法・容器保安規則で規制されている．また，容器に充填されているガスの噴出などにより災害が発生することがあるので，容器・附属品の種類や取扱いを理解しておくことが大切であると感じた．

3.2 高圧ガス事故事例

高圧ガスの種類によっては火災や爆発，また毒性をもった危険なガスがあり，誤った取扱いをしてしまうと重大な事故に繋がる危険性があ

* 第 1 技術室　機械システム班

る．ここではそのような事故事例をいくつか紹介してもらい，事故の発生原因や事故後の対策について学んだ．事故事例では 8 種類のガスについて紹介があった．部品劣化による漏洩や，ガスの性質を知らずに誤った取扱いをしてしまい，事故になった等が事故になった主な原因であった．また，事業所での安全教育が不十分であり，従業員の危険に対する意識が低かったことも挙げられていた．

その事故事例の中で特に身近に感じたのが，高圧ガスボンベの事故である．分析用の窒素ガスボンベが事業所の容器置場に保管してあり，分析機器を使用中止にしてから 20 年以上, 残ガスが入ったまま放置されていた．事業所はこのガスボンベを貯蔵している認識がなく，ガスボンベの安全管理をしていなかった．その結果，容器が腐食していき圧力に耐えきれず破裂し，容器置き場のトタン屋根及び，近隣住宅の窓ガラスを破損させた．このように容器を適切に管理しなければ，大きな事故を発生させてしまう危険性があるため，放置ボンベが無いか管理をして安全対策をとっていくことがいかに大事かよくわかった．福井大学内でも長期間借り入れしているボンベは複数所持している為，見かけた場合には注意喚起を行っていきたいと思う．

3.3 高圧ガス保安法令

高圧ガス保安法の規制を受けるガスは圧縮ガスとしての高圧ガスと，液化ガスとしての高圧ガスに分けられる．高圧ガス保安法令はこれらの高圧ガスの，製造，貯蔵，販売，輸入，移動，消費，廃棄，保安，容器について規制すると定められており，高圧ガスによる災害を防止して安全を確保することを目的としている．本講習ではそれぞれの取扱毎に規則で規定されている内容について概括的に講義があった. ここでは，高圧ガス保安法でも重要度が高いと思った製造と貯蔵について報告する．

製造については最も災害の規模が大きいため，規制する内容が多く，製造施設や，設備，保安管理体制等，高圧ガスを製造するにあたり様々な規制がある．高圧ガスを製造する場合には，製造に係る技術上の基準に適合している必要があり，都道府県知事の許可を受けなければならない．高圧ガスの製造者は製造する能力や規模に区分され, 許可を受けた者を「第一種製造者」，「第二種製造者」という．

次に危険性が高いのが高圧ガスの貯蔵である．貯蔵する容器や容器置場, 数量等の規制があり，規定以上の数量を貯蔵する場合には届出をしなければならない．高圧ガス保安法では，貯蔵数量の合計の算出方法や，貯蔵方法に係る技術上の基準が，高圧ガスの種類に応じて定められている．

4. まとめ

高圧ガスの種類や性質，取扱い方法について知見を広げる事ができた．窒素やアルゴン等の不活性ガス（不燃性ガス）しか取扱ったことが無かったので，漏洩したとしても大きな事故に繋がる危険性は低く，特に対処しなくても良かったが，ガスの種類によっては火災や爆発，毒性を持った危険なガスもあるという事を再確認出来て良かった．また実際に起こった事故事例を見ることで，ガスの漏洩や液封など間違った取扱いをしてしまうと本当に危険だと感じた．さらにガスの種類ごとに事故事例があり，各種ガスの性質や特性を理解することができた．

高圧ガス保安法令では貯蔵や消費，容器の取扱い等，福井大学でも該当する項目がいくつもあった．普段の業務で高圧ガス管理に携わっていたので大まかに保安法令について知ってはいたが，今回の研修で更に理解と知見を広げる事ができた．

今回得た知識は大変有意義であり，高圧ガス取扱いの危険性を改めて再確認できたと共に法令順守の重要性を感じた．今後はこの得た知識を学内に周知させ，事故が起きないよう安全安心に高圧ガスを取扱ってもらえるよう教員や学生をサポートしていきたいと思う．

第 80 回全国産業安全衛生大会 2021　参加報告

竹内 利幸*

1. はじめに

第 80 回全国産業安全衛生大会では, 全国各事業場における産業安全，労働衛生の関係者が一堂に集い，労働安全衛生にかかる功績者に対する表彰等を行う式典や事業場からの研究発表，最新の安全衛生の課題に対応した講演等を通じて産業安全，労働衛生の推進向上を図り，もって労働災害防止に寄与することを目的としている．今回は技術部専門研修で行った研修内容を基に研究発表を行ったので，そのことについて報告する．尚，研究発表については新型コロナウィルス感染症拡大防止の為，オンライン発表で研究発表を行った．

2. 開催概要

今年度は，新型コロナウィルス感染症拡大防止の為，現地開催（東京国際フォーラム）とオンライン配信(ライブ配信･オンデマンド配信)を併用した, ハイブリッド形式にて開催された．

■現地会場（東京国際フォーラム）
2021 年 10 月 27 日（水）～29（金）

■オンライン
・ライブ配信
2021 年 10 月 27 日（水）～29（金）
・オンデマンド配信
2021 年 10 月 28 日（木）～11 月 30（火）

3. 講演会

様々な講演会を聴講して安全衛生に関する知見を広げることができた．その中でも特に参考になった内容について紹介する．

株式会社明電舎の竹川徳雄様より「最前線の安全体感教育～リアル体感を超える仮想現実（VR）の無限の可能性～」という題目で講演会があった．安全の取り組みは企業にとって非常に重要であり，事故が起これば現場は止まってしまう．現場の生産性を考えると，事故は絶対に起こさないことが望ましいが，人に起因する事故(ヒューマンエラー)が多く発生している．労働力不足による高年労働者の増加や，昔に比べ危険を経験する機会が減ったことが主な要因である．そこで，危険の感受性に対する教育が必要不可欠になってくる．従来は座学のみの安全教育を行っていたが，座学だけでは限界がある為,「見て」「触って」「体感して」の危険を疑似体験する「安全体感教育」が導入されている．更に，墜落や転落，火傷といった危険度の高い災害は VR（Virtual Reality）技術を活用して事故を再現・体感可能な様々なコンテンツを完成させた「3 軸シミュレーター」を開発して，安全体感教育を行っている．福井大学でも工作機械の安全講習を行っているが，座学や動画がメインとなっている．明電舎のように体感して学ぶ講習会が出来れば, 安全に対する意識向上や, 危険に対する感受性を高めることが出来そうだと感じた．

4. 研究発表

分科会名：機械・設備等の安全
表題：福井大学における工作機械の安全対策
発表者：竹内　利幸

図 1　オンライン発表画面

* 第 1 技術室　機械システム班

4.1　はじめに

福井大学では機械工学コースの学生を対象に旋盤やフライス盤，ボール盤といった工作機械を操作してもらい体験的にモノづくりの基本概念を理解してもらっている「機械工作実習」という授業がある．しかし，工作機械は操作方法を誤ってしまうと重篤災害に繋がるため，安全教育は技術職員が行い，作業中は危険な行為がないよう注意を促している．今回は機械の安全機構を追加し，誤操作による災害発生リスクを改善した取り組みについて発表を行った．

4.2　安全対策の取り組み

安全対策については 2 つ取り組みを行った．1 つ目はリミットスイッチ付ホルダーを製作した．フライス盤の電源を入れた状態で切削工具交換中に誤って回転レバーをあげて主軸を回転させてしまった場合，交換していた作業者の手が巻き込まれる危険性があった．この危険事象は電源を落とさないで作業し，操作方法を覚えていないため，誤った操作をしてしまうという不安全行動が災害を引き起こす原因になっている．

安全対策として，切削工具交換時に必ず使用する工具（フックレンチ）専用のリミットスイッチ付ホルダーを製作した．このホルダーに工具が入った状態だとリミットスイッチは ON の状態で機械を動かすことができるが，工具を取り出すとリミットスイッチが OFF になり動力源が遮断され，誤って操作しても動くことはない．（図 2）この安全機構を追加することで切削工具交換時の災害発生を防止することができた．

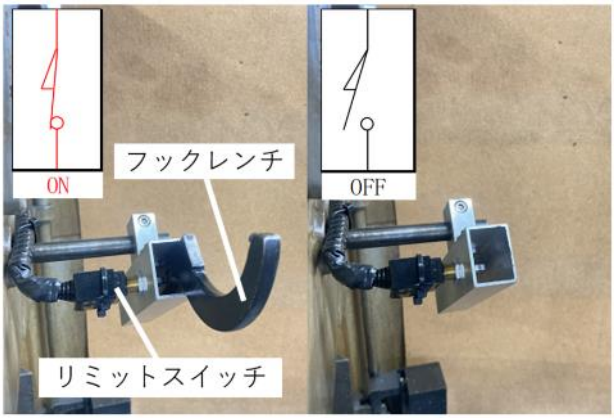


図 2　リミットスイッチの動作

2 つ目は同時押しスイッチの追加を行った．フライス盤の被削材と切削工具の位置合わせをしている時にステージ早送りスイッチを誤って押してしまい，被削材と切削工具を衝突させ破損したものが飛んできて負傷してしまう危険性があった．この危険事象は，操作方法を覚えていないため，誤った操作をしてしまうという不安全行動が災害を引き起こす原因になっている．また，操作パネル内に各動作をさせるスイッチが同じ並びにあるため，押し間違えやすいパネルレイアウトになっていることも原因の 1 つである．

安全対策として，押し間違えたとしても簡単に動かないように同時押しスイッチを追加した．既存のステージ早送りスイッチと追加したスイッチを同時に ON しないとステージが動かない機構になっているため，操作方法をきちんと覚えていないと動かすことはできない．（図 3）この安全機構を追加することで災害発生リスクを低減させることができた．

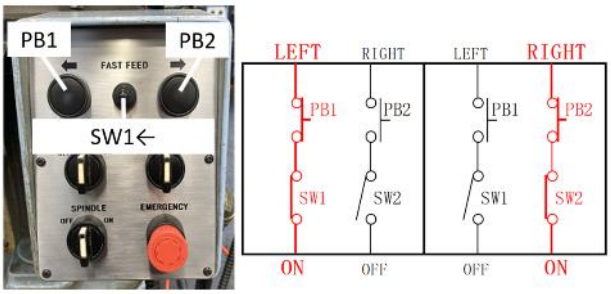


図 3　ステージ早送りスイッチの動作

5.　まとめ

今回の全国産業安全衛生大会での研究発表者は企業からの発表が多く，最新の安全衛生取り組み内容を知ることが出来たのは大変有意義であった．また研究発表は様々な分科会に別れていたが，発表はどれも見やすく，誰が見ても理解できるように発表されていた．特に，オンデマンド配信では全ての研究発表を聴講できるように動画が配信されていたので，聞き逃すことなく聴講できるのは良かった．

学外企業の研究発表を聴講し安全衛生に関する知見を得ることが出来，今後の業務に活かしていきたいと思う．

6.　次期開催案内

第 81 回（令和 4 年度）
全国産業安全衛生大会 in 福岡
【会期】令和 4 年 10 月 19 日（水）～21 日（金）
【会場】総合集会：マリンメッセ福岡
　分科会：福岡国際会議場ほか福岡市内各会場

活動報告

令和 3 年度　工学部技術部特別講演会

研修委員会

1. 緒言

福井大学工学部技術部では，「科学技術の進展を支える高度な技術職員として，その職務と責任の遂行に必要な知識・技術等の修得及び資質向上を図ること」を目的として，技術講演会を定期的に計画・実施している．

2022 年 3 月 9 日（水）に福井大学産学官連携本部 3 階研修室及びオンラインのハイブリッド形式にて「令和 3 年度工学部技術部特別講演会」を開催した．対象は，福井大学工学部技術部職員とし，参加人数は 23 名であった．

2. 特別講演

本学材料開発工学講座 准教授 岡田敬志先生から「材料・資源・環境分野をまたいで～福井でみた産学官連携～」という題目でご講演いただいた（図 1）．本題に入る前に，岡田先生が学生時代，研究室に常駐していた技術職員の方がどのような存在であったかについて，思い出も含めてお話しいただいた．その中で，技術職員が機械工作・分析技術・化学反応の知識を駆使して製作したオリジナルの反応装置から，多くの研究データが得られたとの内容であった．技術職員が有するノウハウが価値のある結果につながった経験談は，興味深いものであった．

今回のテーマである福井でみた産学官連携では，本学の産学官連携本部に着任した当初の研究依頼に対応する中で，着任前後で仕事に対する考え方に変化があったとお話があった．着任前は，資源・環境分野を研究対象としており，VR を活用した体験型鉱山研修や資源素材学会が提供している WEB コンテンツについて紹介があった．

図 1　特別講演　岡田敬志　准教授

特に WEB コンテンツは RPG ゲームのような感覚で勉強ができ，新しいものを積極的に取り入れる風土がある魅力的な分野であるとお話があった．そのような分野でも，分野横断となると，なかなか積極的には進まない状況であり，実行するのは難しいという指摘も出ていた．

その後，福井大学に着任し，これまで廃棄物を研究分野としていたところから，ダイヤモンド粒子を用いた材料づくりという全く異なる分野での研究を依頼され，戸惑ったと岡田先生は話されていたが，その時苦戦しながらもアイデアを出して進んでいったことが次の仕事につながったのではと話されていた．その後，材料開発から原子力，機器分析，企業と連携した人材育成事業，ビジネスコンテスト，大学の技術シーズの出展等，様々な仕事をしたが，結果として以前積極的に進まない状況となった分野横断が実現できているのではと感じるようになった．その上で，福井大学の産学官連携をみると，情報やノウハウがアクセスしやすい距離にあり，多様な情報に対応できる人材もいるということに気が付くが，この状況は当たり前ではないとおっしゃっていた．先生の研究においても，最近導入された分析機器を取り入れることで，より発展的なテーマで貴重なデータが取れているとお話があった．そして多様な情報が集まる産学官連携という場に関わりを持つことで，アイデアが出たり，仕事のモチベーションになったり，アイデアを形にしたりすることにつながるとし，このつながりを大切に社会に貢献できる様々な仕事をしていきたいとした．

本講演を通して，産学官連携本部に関わらず，技術部が有する多様な分野にわたる技術力を他組織とうまく連携できれば，お互いにとって利になる関係を築いていけるのではと感じられた．しかし，「無理に分野横断目指すことはかえって難しい」ことは岡田先生も強くお話されており，今回の講演もひとつの小さなきっかけとして，今後，技術部の在り方を考える良い機会になったのではないかと思う．

謝　辞

本技術部研修会の実施にあたり，ご協力を頂いた諸氏に心より感謝申し上げます．

2021 年度公開講座
「ガラスを溶かしてオリジナル作品を作ろう」

第 2 技術室

1. はじめに

令和 3 年 7 月 22 日（木）に工学部技術部第 2 技術室で公開講座を開催した．この講座は毎年開催していて人気が高く申し込みも多いが，昨今の COVID-19 を考慮し, 募集組数を減らした．また，当日の担当は常勤職員に限定し，嘱託職員には，事前準備や若手職員への技術継承をして頂くことにして，密にならないように実施した．さらに毎回テーマとしていた「バーナーワーク」だが，担当者と受講者が密接になるため取り止め，代わりに「ガラスエッチング」を実施することとした．

今年の本講座には小学生以上の子供とその保護者の 5 家族（12 名）が参加した．参加者には，「素焼き型板と粉ガラスによるガラス溶融成型加工」,「電気炉による色ガラス片を溶かして作成する小物作り」,「薬品を使ってガラスを溶かすガラスエッチング」の 3 テーマで，ガラスの「溶ける・溶かす」を体験するとともに，オリジナルの作品を製作した．

以下に，各作品作りの概要を示す．

2. ガラスの溶融成型加工

事前に製作した型枠から，講座当日に参加者が好みの型を選び，作品作りを行った．型枠の粉の色ガラスを入れ，さらに透明のガラスフリットで上部を覆い 820℃で溶融・徐冷することで作品を作った．型から取り出した作品は，リューターでバリ取りをし，家族に渡した．出来上がった作品はペンダントやブローチなどの作品，または，フォトフレームへのデコレーションのパーツとして使用した．

3. 電気炉による小物作り

セラシートを敷いた素焼きの板の上に，好みのガラス棒を組み合わせて置いて，これを電気炉で 950℃以上に加熱することで，熔融成形を行った．溶けすぎると丸まってしまい，逆に十分溶けていないと冷却時に割れるなどで，炉から出すタイミングは難しいが，参加者は思い思いの作品作りに没頭し，たくさんの作品を製作した．また，作ったガラス玉などをフォトフレームへ貼り付けて，デコレーションを行った．

4. ガラスエッチング

今回新たにガラスエッチングのテーマを行った. 参加者は好きなデザインの下絵を紙に描き，その後，5cm 角のガラス板に専用のマスキングペンで写し書きした. 次に薬剤(エッチング液)を塗布し 15 分放置させて化学反応でガラス表面を溶かすエッチングを行った．出来上がった作品はコントラストが低いため，ガラス板の後ろに黒紙を添えることで，エッチング部が映えるようにした. 黒紙とガラス板の固定には, 様々な種類のマスキングテープを用意し，参加者が好きなものを選択できるようにすることで，さらにオリジナリティがある作品に仕上がった．

5. 最後に

講座終了後のアンケートでは，参加した多くの家族が大変満足，満足と答えており，参加者に有意義な一日を提供することが出来た. また，小学低学年も含む参加者はやけどやケガなどもなく，安全に作業して頂くことが出来た．

最後に今回参加者が作った作品の一例を図 1 に示す．

図 1　作成した作品の一例

令和 3 年度 実験・実習グループ業務報告

1. はじめに

当グループは，5 専門分野（機械・物理系，電気・電子・情報系，建築建設系，化学系，先端科学技術育成センター・学際実験系）の技術職員で構成したチームが主体となり，工学部の各学科・専攻からの実験･実習に対する技術部への業務依頼に対して，組織的な対応を行っている．各チームには責任者を置き，業務依頼書や業務報告書等の取りまとめ，年度ごとの業務の総括等を行うとともに，グループ全般に関する課題についてはチーム責任者会議で協議している．各技術職員は，教育・研究プロジェクトやセンター等への派遣業務と兼務する形で実験・実習業務を遂行しているが，実験・実習のカリキュラムによっては半年または一年を通しての長期に渡る業務になるため，技術部としての教育への貢献度は大きく，また各人の経験や能力を教育現場で直接発揮できる業務でもある．

2. 各学科からの業務依頼と各チームの対応

今年度の業務依頼はすべての学科から 17 件あり，科目数は 33 科目であるが，COVID-19 の影響で中止が 1 科目あった. よって実績としては 32 科目となり，昨年度（28 科目）と比べて 4 科目増えた．主な依頼業務は，学生指導に係る技術分担，安全管理，教育支援や機器･器具類の設計・製作・改良・保守・管理などである．昨年度に引き続き今年度も COVID-19 感染対策を徹底するとともに，感染防止のためにオンライン講義も併用しながら実施された．なお，部長決裁が必要な通知書等については電子決裁方式とした．

各チームが行った業務の概要は，機械・物理チームは，機械系では機械工学実験における金属の組織観察や船の模型実験，物理系ではヤング率測定や水の比熱実験，ダイオードによる整流回路の原理やオシロスコープの使用方法，電気抵抗測定などの指導を行い，今年度も引き続きオンライン授業への対応も行った．電気・電子・情報チームは，電気･電子系では電子回路や回路基板の製作，ロボット製作，情報系ではプログラミングなど各自の専門分野を活かした技術指導を行った．建築建設系チームでは，測量の誤差計算や測定方法，建設材料等の物理試験, RC梁の配筋や型枠の製作など建築建設分野の基礎となる実験や現場同様の実習に対して技術指導を行うとともに，屋外で行う実習については危険も配慮した指導を行った．化学系チームでは，担当する実験は有害な薬品を使用するものが多く，化学実験での基本操作の指導に加えて実験中の安全監視なども不可欠で，高度な専門知識・経験を持つ技術職員が対応を行った．育成センター・学際実験チームでは，先端科学技術育成センターの職員が中心となり，汎用機による機械工作や溶接の技術指導，ならびに安全講習を行った．また，知能ロボットプロジェクトでは，知能システム技術を有する職員がドローン開発における飛行や画像処理・音信号処理の技術指導を行い，学生の自主的な活動を円滑に行うための必要不可欠な技術支援を行った．

3. まとめ

本業務では技術分野に適した職員を配置し，学生に対する技術指導や実験器材等の整備を行うとともに，経験が乏しい学生が安全に実験・実習を行うための指導・監視を行った．今年度も引き続き多くの学科から業務依頼があったことから，技術部職員の知識・経験を活かした技術支援への期待が大きく感じられる．

業務終了後に提出する実験･実習業務報告書への担当教員からのコメントには，何れも技術職員によるきめ細かな技術指導や学生への安全配慮に対する感謝が述べられており，技術部の技術支援の重みと期待が感じられる．今後も当グループが中心となり，各技術職員の知識・技術・経験を活かした技術支援を充実させ，学生の技術力アップに貢献するとともに，教育･研究が円滑に遂行されるよう技術職員としての責務を果たしていきたい．

令和 3 年度 安全衛生管理推進グループ業務報告

1. はじめに

当グループは技術部職員 15 名で構成し，工学部での安全衛生管理を推進するために，薬品管理，高圧ガスボンベ管理，安全衛生システム管理の各チームを組んで，工学部全体の安全衛生管理業務を遂行している．今年度の主要な業務を以下にまとめる．

2. チーム別実施業務

2.1 薬品管理チーム

工学部での薬品管理を適正に行うため，薬品管理システム利用方法に関する説明会を実施している．昨年度まで毎年 1 回の開催であったが，工学系部門安全衛生管理推進委員会からの毎年数回開催してほしい旨の希望もあり，今年度から期間を隔てて 2 回実施した（6/8～30，10/26～11/5）．昨年同様，Web サイトから受講するオンデマンド形式で行った．薬品管理システム利用説明の受講者は 123 名，リスクアセスメントツール利用説明の受講者は 98 名であった．受講者は前年度比 約 2 倍となり，2 回実施した効果が表れたと考えられる．

工学部の化学系研究室では可燃性溶剤を多量に使用するため，工学部に指定数量 10 まで保管可能な危険物倉庫が 2 箇所設置されている．この危険物倉庫の管理運営にあたり，年度初めに利用申請者の受付を行い，指定数量の集計等を実施した．6/11 には危険物倉庫内にある薬品の棚卸を実施し，薬品管理システムに登録されている保有数との照らし合わせを行い，必要があればユーザーに是正依頼を行った．また，倉庫内の利用状況確認や設置されている監視カメラの動作不具合の対応等を定期的に行い安全確保に努めた．

2.2 高圧ガス管理チーム

工学部のボンベ管理を適正に行うために，ボンベ管理システムの利用説明会をオンデマンド形式で 6 月と 10 月に実施した．6 月の受講者は 73 名で 10 月の受講者は 16 名であった．また高圧ガスボンベ取扱講習会については，昨年度同様，COVID-19 感染拡大防止のため，オンデマンド形式で 9/28～10/8 の期間に講義動画を公開し，希望者のみに対面実技講習会を実施した．講義動画の受講者は 66 名で，内 11 名には技術職員による対面実技講習を行った．

10 月にはボンベ納品データとシステムデータとの照合を実施し，システムへの登録状況に不備がある研究室に対して，是正依頼を行うとともに，工学部の安全衛生管理推進委員会に照合結果を報告した．1 月にはボンベ管理システムに登録された工学部のボンベを対象に集計・分析を行い，改善すべき点を工学部に周知した．また，「ボンベ管理状況が特に危険」と認められる研究室には 2 か月に 1 回の頻度で是正依頼を行った．

2.3 安全衛生システム管理チーム

今年度も各種システム利用説明会及びガスボンベ取扱講習会についてオンデマンド形式での開催となり，システムチームでは受講用 Web システムの準備を行った．また，各種利用説明会及び講習会の実施期間中（利用説明会 6/8～30，10/26～11/5，講習会 9/28～10/8）は Web システムの維持管理を行い，特にトラブルなく運用することができた．

高圧ガスボンベ管理システムや化学物質リスクアセスメントツール等の Web システムについて，適切な運用のための維持管理や機能強化等を行った．また，今年度は Web システム稼働サーバで予定されている PHP のバージョンアップに備えて，安全衛生関連システムを PHP7.3 対応にするための検討及び修正を行った．

3. その他の安全衛生業務

4/19～5/14 に学生対象の「レーザー安全教育」を実施した．今年度も COVID-19 感染拡大防止のため，昨年度作成した安全講習の動画を使用し，オンデマンド形式で行った．78 名の受講者に対して，レーザーの正しい使用方法，レーザー障害についての具体的説明や注意事項の動画視聴及び確認テストを実施した．

4. おわりに

当グループでは，工学部でのリスク要因のうち，特に危険な薬品，高圧ガスボンベ，レーザーについて，正しく安全に使用するための取り組みを行った．今年度はオンデマンド形式となった各種システム説明会を 6 月と 11 月の 2 回開催することで，より多くの学生が受講可能となり，システムを利用する研究室に配属された学生への早期教育を実施することが出来た．今後もこれらの活動を継続していきたい．

令和 3 年度共同利用施設グループ業務報告

1. はじめに

共同利用施設グループは，技術部職員が工学部関連の教育研究のための共同利用施設において，組織的に技術業務を遂行することを目的に設置されたグループである．当グループは各種共同利用施設を拠点とした 4 チームで構成され，各担当施設から要望があった業務に対し，関連する専門技術を持つ技術職員が複数名で対応している．チーム構成は，先端科学技術育成センターの業務を遂行する育成センターチーム，超低温物性実験施設の業務を遂行する寒剤供給チーム，大型機器等を利用した測定・分析業務を遂行する分析評価チーム，そして工学部等が利用する情報サーバ等の運用を技術的に支援する情報サーバチームである．以下，本年度の業務について報告する．

2. グループの技術業務

業務の円滑な遂行のため，年度当初にグループ運営部会（グループ長，副グループ長およびチーム責任者で構成）を開催し，チーム毎に 1 年間の業務計画書を作成している．業務は 4 種に分類され，①施設等に関連する技術業務，②施設の管理・運営業務，③施設等で行われる教育についての支援業務，④技術継承に関する業務がある．本年度の業務件数は，育成センターチーム 7 件（昨年 5 件），寒剤供給チーム 7 件（同 6 件），分析評価チーム 13 件（同 14 件），情報サーバチーム 6 件（同 5 件）であり，全体で 33 件と，昨年度と比較して若干増となった．

グループの構成について，本年度はグループ長を含め 13 名で，協力者を含め，育成センターチーム 6 名，寒剤供給チーム 6 名，分析評価チーム 11 名，情報サーバチーム 8 名で対応を行なった．

3. 業務遂行における成果

各共同利用施設運用に重要な技術業務，施設ユーザへの設備利用に関する専門技術・保安教育，職員相互の技術継承に各職員が主体的に取り組み，施設から高い評価を得た．育成センターチームでは高品質な委託加工，工作機械利用登録申請システム刷新，新規採用職員への工作機械技術指導など，技術提供，教育，技術継承で成果をあげた．寒剤供給チームでは新規採用職員への関連施設の概要説明や，若手職員への液化関連業務の技術継承，高圧ガス製造責任者（乙種）資格の獲得など技術継承で特に成果を上げた．分析評価チームでは新規採用職員への分析技術指導に加え，分析･コンサル業務件数の大幅増(前年度比+150%)など，学内外への技術提供，技術継承面で成果を上げた．情報サーバチームでは情報機器施設管理運営業務に加え，技術部開発の電気錠および入退室管理システムの管理・保守など技術提供，施設の管理運営業務で成果を上げた．

4. まとめ

COVID-19 感染拡大禍であったが，昨年度の経験で培った技術の精錬と展開により，全チームで業務を拡大，昨年度を超える成果を得た．特に技術提供面では，分析・コンサル業務数の大幅増，液体ヘリウム供給量の大幅回復に加え，工作機械の利用登録申請システム刷新，電気錠・入退室管理システム保守管理等の新たな試みもあり，質・量ともに充実した．また，新規採用職員への業務に関する技術継承をはじめ，全分野でチームとしての技術力向上が試みられた．技術研鑽へのメンバーの高い意欲がみられ，技術継承によるグループの技術力向上の好機を活かした一年であった．引き続き，組織としての技術力を高め，次年度以降も大学に貢献できるよう備える次第である．

表 1　業務分類による各チームの業務件数（() は昨年度）

業務項目	育成センター	寒剤供給	分析評価	情報サーバ
共同利用施設の技術業務に関すること	1（1）	1（1）	4（5）	1（0）
共同利用施設の管理運営に関すること	2（1）	3（3）	4（4）	4（3）
教育に関すること	3（2）	1（1）	3（3）	1（2）
技術継承に関すること	1（1）	2（1）	2（2）	0（0）

令和 3 年度 技術相談･プロジェクトグループ業務報告

1. はじめに

本グループは, 技術部に対する工学部･工学研究科，関連施設及び対応可能な学内各部署からの技術相談依頼に対し，依頼者への対応や技術部内での実施担当者選出などの調整･手続きに関する業務を行っている. また, 技術相談には, 依頼者による相談依頼手続きを必要としない, 2 時間から 1 日程度で相談対応可能な短時間技術相談がある.

2. 技術相談と短時間技術相談の報告

本年度の技術相談は 8 件と昨年度と比べ倍増している（表 1）. 8 件とも事前協議にて担当者が確定しているため，グループでの調整等は必要ではなく，採用結果の通知及び報告の確認と記録のみ行った.

短時間技術相談は 2 月末時点の集計で 63 件（表 2）と昨年度の 30 件より大幅に増加した. 今年度末までにはさらに加算される見込みである．また，相談依頼者は 7 名多い 22 名で，8 割超が教員である．技術室別対応件数では，第一技術室が 36 件と 6 割近くであった．なお, 依頼件数の 7 割超は，計測制御・分析評価技術である.

3. おわりに

技術相談及び短時間技術相談件数はともに昨年度より大幅に増加した．これは新型コロナ感染症への対応が一段落し，教育・研究活動が活発化したためと推察する.

技術相談は，技術部ホームページに窓口を設けることで，相談者からの依頼手続きを容易にして技術相談の利用促進に努めている．また，短時間技術相談では，終了報告システムの提供により，報告処理の利便性を高め未提出報告の低減を図っている.

今後も，両技術相談を通して，派遣先以外の教職員に対する技術支援や技術協力の要請に応えていく必要がある.

表 1　令和 3 年度技術相談一覧

No.	依頼月	対応月	実施者	所属室	相談分野	申込者	申込者職種	申込者所属	相談内容	備考
1	4月	4～5月	青山直樹	3室	機械工作	岡田将人	教員	機械工学	講義動画コンテンツ作成	事前
2	6月	R4. 1～3月	小林英一	3室	電子工作	菊池彦光	教員	物理工学	創成教育企画	事前
3	9月	9～10月	内山裕二	1室	機械・電気工作・ソフトウェア	坂元博昭	教員	繊維先端工学	装置改良	事前
4	9月	9～.2月	小林英一	3室	ソフトウェア	牧野哲征	教員	遠赤センター	汎用IOボード拡張型電圧測定	事前
5	10月	11～1月	小林英一	3室	電子工作	牧野哲征	教員	遠赤センター	プリアンプ回路製作	事前
6	11月	1～3月	小林英一	3室	電子工作	戸澤理詞	技術職員	技術部	高圧電源装置の修理	事前
7	1月	1月	小林英一	3室	電子工作	古屋岳	教員	遠赤センター	PINダイオード用電源製作	事前
8	2月	対応中	道幸雄真	3室	ソフトウエア	古川康弘	事務職員	研究推進課	教育訓練受付フォーム等の修正	事前

表 2　令和 3 年度の月別短時間技術相談件数

	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月	1 月	2 月	3 月	合計
相談件数	10	1	2	21	2	7	2	10	3	1	4	0	63

令和3年度　工学部技術部　業務(活動)日誌

令和3年	日	活　動　項　目
4月	1	人事異動辞令交付 新規採用職員対象研修 第1回技術長・班長合同会議
	2	第一技術室会議 第一技術室会議
	7	第二技術室会議 第三技術室会議
	8	第1回実験・実習グループ運営部会 第1回安全衛生管理推進グループチーム長会議
	9	第1回部長打ち合わせ
	13	第1回共同利用施設グループ運営部会（メール会議）
	16	第1回技術相談・プロジェクトグループ会議
	19	第1回執行部会
	19	レーザー安全WEB講習会(4/19～5/14まで)(安全衛生管理推進G)
	23	第1回安全衛生管理推進グループ会議（WEB会議） 第1回全体会（WEB会議）
	26	第2回活動報告編集委員会(メール審議　令和2年度委員会) 第2回共同利用施設グループ運営部会（メール会議）
	27	第1回技術部ホームページ広報委員会（WEB会議）

	日	活　動　項　目
5月	6	第1回共同利用施設グループ会議（メール会議）
	10	第2回執行部会
	14	第1回技術部運営委員会
	18	第1回学術研究院工学系部門安全衛生管理推進委員会
	21	職務評価表中間面談
	24	第3回執行部会 第2回全体会（メール会議）
	28	第2回部長打ち合わせ

	日	活　動　項　目
6月	3	第二技術室会議(公開講座打ち合わせ)
	7	第4回執行部会
	8	薬品・高圧ガスボンベ管理システム，CRAツール利用WEB説明会(6/8～6/30まで)(安全衛生管理推進G)
	21	第5回執行部会
	25	第1回研修委員会 第3回全体会（WEB会議）

	日	活　動　項　目
7月	12	第2回研修委員会 第6回執行部会
	13	第3回部長打ち合わせ
	16	環境ISOユニット代表者会議（メール会議）
	22	公開講座開催(第二技術室)
	26	第7回執行部会
	29	第3回活動報告編集委員会（令和2年度委員会）
	30	第4回全体会(WEB会議)

	日	活　動　項　目
8月	25	東海・北陸地区技術職員合同研修　電気・電子コース 8/25～27　コロナウィルスの影響により延期

	日	活　動　項　目
9月	1 6 17 28	第4回部長打ち合わせ（採用人事について） 第8回執行部会 第5回全体会（メール会議） 第9回執行部会 高圧ガスボンベ取扱WEB講習会(9/28～10/8まで)（安全衛生管理推進G）

	日	活　動　項　目
10月	5 11 15 18 22 29	第4回活動報告編集委員会（令和2年度委員会） 第5回部長打ち合わせ 高圧ガスボンベ取扱実技講習会（安全衛生管理推進G） 第10回執行部会 第6回全体会（WEB会議） 職務評価面談（予備　28日）

	日	活　動　項　目
11月	4 8 12 19 26	第6回部長打ち合わせ 第11回執行部会 第2回技術部運営委員会 フィードバック面談 第12回執行部会 第7回全体会（メール会議） 第2回安全衛生WEBシステム説明会（10/26～11/5）（安全衛生管理推進G）

	日	活　動　項　目
12月	6 20 24	第13回執行部会 第14回執行部会 第8回全体会（メール会議）

	日	活　動　項　目
1月	15 14 20 24 25 28	大学入学共通テスト（～16日） 第15回執行部会 第7回部長打ち合わせ 第3回研修委員会 第16回執行部会 第3回技術部運営委員会 第9回全体会（メール会議）

	日	活　動　項　目
2月	2	第1回活動報告編集委員会（令和3年度委員会）
	4	第2回実験・実習グループ運営部会 第2回安全衛生管理推進グループチーム長会議
	10	第17回執行部会
	18	職務評価面談
	21	第18回執行部会
	25	第10回全体会（メール会議） 個別学力検査業務協力（前期日程）

	日	活　動　項　目
3月	1	第4回研修委員会
	4	第3回共同利用施設グループ運営部会（メール会議） 第2回安全衛生管理推進グループ会議（WEB会議）
	7	第19回執行部会 第2回技術相談・プロジェクトグループ会議
	9	令和3年度技術発表会・特別講演会（WEB開催）
	12	個別学力検査業務協力（後期日程）
	15	第2回共同利用施設グループ会議（メール会議）
	16	第2回学術研究院工学系部門安全衛生管理推進委員会
	23	令和3年度技術部業務運営部会 第20回執行部会
	25	第11回全体会（WEB会議）

令和３年度 工学部技術部

技術発表会・特別講演会プログラム

日　時 ： 令和４年３月９日（水）９時 30 分より
会　場 ： WEB 発表会（Google Meet）
主　催 ： 工学部技術部

開　会

9：30　挨　拶　福井 一俊　技術部長

【技術発表会】（専門〇は、発表者）

9：40～10：40		座　長	髙澤 拓也	第一技術室
専門-1	オンラインストレージの構築技術の修得		〇小澤 伸也	第三技術室
			廣木 智栄	第三技術室
			道幸 雄真	第三技術室
専門-2	教材用スターリングエンジンの開発		〇竹内 利幸	第一技術室
			山森 英智	第一技術室
			内山 裕二	第一技術室
			橘　和希	第一技術室
専門-3	マトリックス支援レーザー脱離イオン化飛行時間型質量分析法の測定技術習得		山口 綾香	第二技術室
			〇宮川しのぶ	第二技術室
			山田 美空	第二技術室
専門-4	電子回路系ハードウェア設計開発技術の継承		〇小林 英一	第三技術室
			道幸 雄真	第三技術室
			廣木 智栄	第三技術室

10：50～11：50		座　長	山口 綾香	第二技術室
専門-5	５軸マシニングセンタを用いた多軸加工技術の修得		青山 直樹	第三技術室
			〇橘　和希	第一技術室
			川﨑 孝俊	第一技術室
			山森 英智	第一技術室
			内山 裕二	第一技術室
日常-1	3D-CAD，3D プリンターの操作技術修得及び加力部での使用可能範囲の検討		川井 康督	第二技術室
日常-2	常時微動探査装置の改良と測定データの高度化に関する技術修得		伊藤 雅基	第二技術室
日常-3	金属エッチングを用いた学外向けものづくり企画に関する検討		髙澤 拓也	第一技術室

【特別講演会】

13：30～14：40	司　会	宮川しのぶ	第二技術室

・講師紹介　宮川しのぶ（第二技術室）

・特別講演：「材料・資源・環境分野をまたいで～福井でみた産学官連携～」

福井大学 工学系部門　材料開発工学講座　准教授　岡田 敬志 氏

新人研修報告

14：40～15：00	司　会	小林 英一	第三技術室
・令和３年度新規採用職員研修報告		橘　和希	第一技術室
・令和３年度新規採用職員研修報告		山田 美空	第二技術室

閉　会

※聴講を希望される方は、産学官連携本部３階研修室にお越し下さい。

編 集 後 記

本報告集は、日常・専門研修の成果を中心に技術研究会や各種セミナーへの参加報告、並びに技術部講演会に関する報告などが掲載されています。また各グループ業務についても、1 年間の技術部活動として報告しております。

令和 3 年度日常・専門研修の実施にあたり、予算配分にご高配賜りました工学研究科長・技術部長、技術部運営委員の方々に対して厚く御礼申し上げます。また、研修企画、運営に多大なるご尽力をいただきました令和 3 年度技術部研修委員、ならびに活動報告集を編集していただいた各委員の皆様に深く感謝いたします。

令和 3 年度 活動報告集編集委員会
委員長　伊藤　雅基
内山　裕二
廣木　智栄
戸澤　理詞

令和 3 年度 技術部研修委員会
委員長　安藤　誠
川崎　孝俊
山森　英智
宮川しのぶ
小林　英一
髙澤　拓也
小澤　伸也
山口　綾香