

京都大学大学院工学研究科

# 技術部報告集

(第22集)



2025年6月

# 目 次

1.	工学研究科技術部 組織	
1.1	沿革	2
1.2	組織図	3
2.	工学研究科技術部 研修	
2.1	2024 年度 工学研究科技術部 横断的研修 (2024.7.29)	5
2.2	2024 年度 工学研究科技術部 新規採用技術職員研修 (2025.2.19-20)	6
2.3	2024 年度 工学研究科技術部 業務報告会 (2025.3.3)	7
2.4	2024 年度 工学研究科技術部 個人研修	9
3.	技術発表	
3.1	土木建築環境系技術研究会 2024 岩手大学 (2024.8.29)	11
	発表	
	セメント混入排水による実験室地下埋設排水管閉塞の対応	12
	地球建築系グループ 平野 裕一	
3.2	第 30 回機器・分析技術研究会 2024 広島大学 (2024.9.5-6)	14
	発表	
	NMR の移設に伴うヘリウムの収支	15
	共通支援グループ 多田 康平	
3.3	京都大学技術職員研修 (第 49 回) (2024.9.26-27)	20
	発表	
	技術継承とスキルアップの取組み	21
	機械工作系グループ 波多野 直也	
3.4	総合技術研究会 2025 筑波大学 (2025.3.5-7)	25
	発表	
	金属材料曲げ試験の試験治具製作および試験実施	26
	地球建築系グループ 平野 裕一	
	物理化学学生実験におけるゆとりの導入とその効果について	28
	化学電気系グループ 中池 由美	
	安全衛生巡視の DX 化についてー職場安全巡視の支援システムの開発	31
	共通支援グループ 大岡 忠紀	
	ビリアル状態方程式から得られるジュールトムソン逆転曲線	34
	共通支援グループ 多田 康平	
	ヘリウム回収ガスバッグの油混入および流出の原因と対策	37
	共通支援グループ 西崎 修司	

4.	技術部提供サービス	
4.1	技術部提供サービス宣伝パンフレット .....	42
4.2	桂ものづくり工房使用実績 .....	46
4.3	機械運転技術講習会 .....	47
4.4	大判プリンター使用実績 .....	48
4.5	物品貸出実績 .....	49
4.6	技術相談実績 .....	50
5.	会議記録	
5.1	会議記録 .....	52
	編集後記 .....	54

1

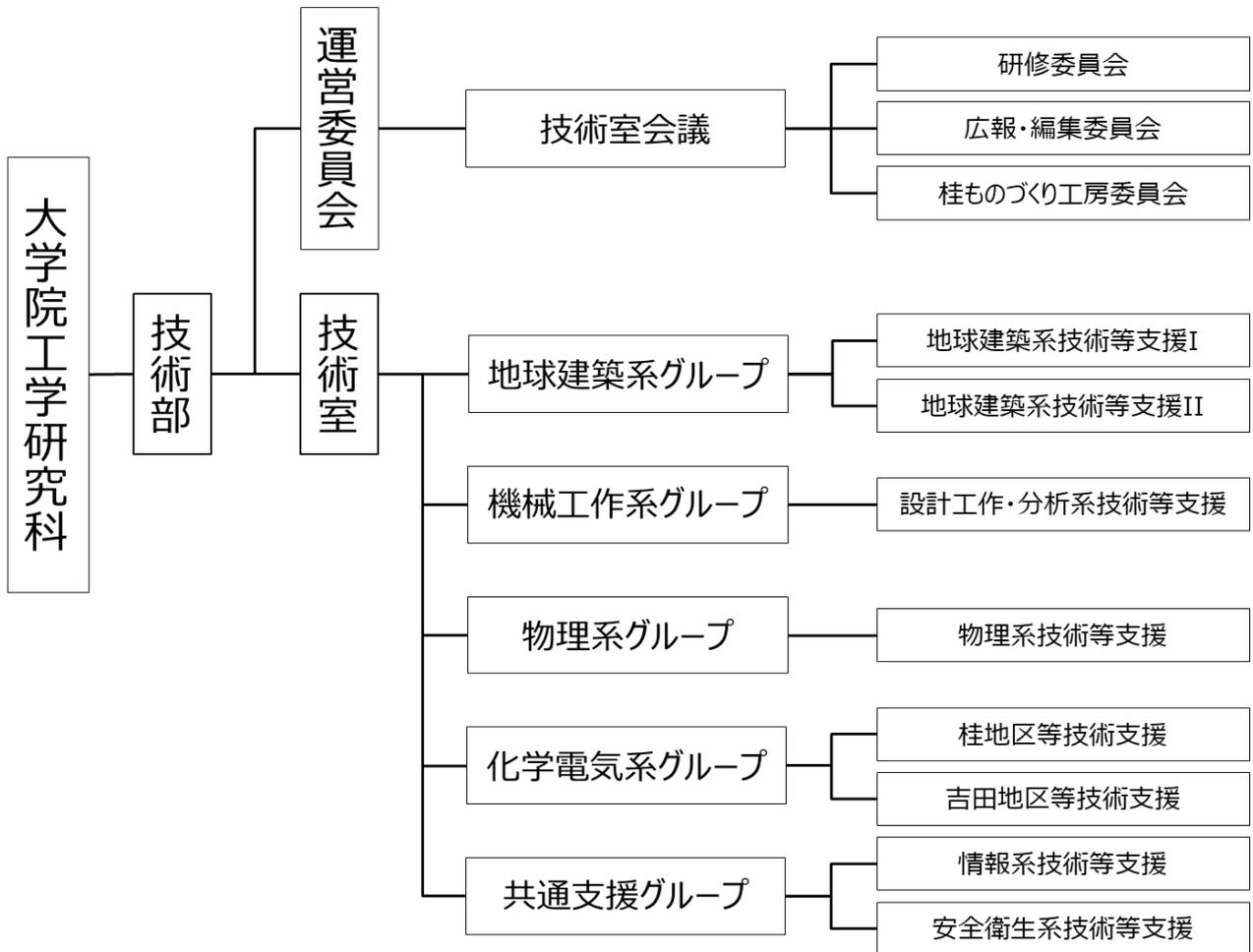
工学研究技術部  
組織

## 1.1 沿革

### 工学研究科技術部 沿革

1988年	12月	工学研究科技術研修 開始
1993年	9月	工学部・環境保全センター技術部 研修実行委員会発足
1997年	11月	工学部・環境保全センター技術部 編集委員会発足
1999年	5月	工学部・環境保全センター技術部 広報委員会発足
1999年	5月	工学部・環境保全センター技術部 技術職員連絡委員会発足
2003年	10月	桂キャンパス開学
2004年	4月	国立大学法人京都大学へ移行
2005年	11月	工学部技術職員研修実行委員会で工学部技術職員問題第1回W・G設置を検討
2006年	1月	工学部技術職員問題第1回W・G開催
2006年	8月	工学研究科技術職員シンポジウム開催
2007年	4月	工学研究科技術部発足, 5つの技術室設置 (総合建設, 設計・工作, 分析・解析, 情報, 環境・安全・衛生)
2007年	4月	工学研究科技術部第1回運営委員会開催
2008年	5月	工学研究科技術部報(現 工学研究科技術部便り) No.1 発刊
2008年	11月	桂ものづくり工房開設
2009年	4月	技術部主催新規採用技術職員研修開始 平成21年度工学研究科支出予算配当書に技術部予算が明記
2010年	2月	技術相談サービス開始
2011年	4月	分析・解析技術室を分析・物質科学技術室に名称変更
2011年	5月	物品貸出サービス開始
2015年	10月	工学研究科技術部改組, 5つのグループ設置 (地球建築系, 機械工作系, 物理系, 化学電気系, 共通支援)

## 1.2 組織図



2

工学研究技術部  
研修

## 2.1 2024 年度 工学研究科技術部 横断的研修

### 生成 AI の業務利用研修

#### 開催日時

2024 年 7 月 29 日（月） 9：30～16：30

#### 場所

吉田キャンパス 総合研究 9 号館北棟 1 階 情報処理演習室 2

#### 目的

生成 AI が業務効率化や生産性向上に役立つと話題を呼んでいる。本研修では、生成 AI とは何なのか、何ができるのかを学ぶ。演習中心で進行し、生成 AI である ChatGPT (Chat Generative Pre-trained Transformer) の基本操作を身に付ける。さらには具体的なワークを通して業務活用方法を学ぶことを目的とする。



#### 実施報告

2024 年度の横断的研修は、昨年に引き続き対面講義とグループワークの形式で実施され、23 名の参加者が 5 つのグループに分かれて講義中に都度グループワークを行った。参加者の中には、すでに業務で ChatGPT を活用している人もいる一方、未経験の人も多く、経験にはばらつきがあった。

講義では、まず ChatGPT の得意分野と不得意分野について学んだ。生成 AI は文章の作成や要約、アイデア出しなどが得意である一方、高度な専門知識を要する業務は不得意で、情報の正確性を判断できない場合は特に注意が必要であることが強調された。講義の主題として、ChatGPT がより良い応答や成果物を出力するための最適な会話の投入文や指示を設計する「プロンプトエンジニアリング」についてグループワークを交えつつ学習した。求める回答を生成するために、曖昧さを排除し、回答の条件を指定するなどの具体的な手法が紹介された。特に、ChatGPT は対話型 AI であり、対話を前提に出力結果をブラッシュアップさせていくことが必要、という点が印象的だった。

知識をインプットする、興味のあるトピックに絞り込む、回答にフィードバックするなど、AI との対話を重ねることで回答の質を高められる点は、従来の検索エンジンとは明確に異なり、むしろ人との対話のような側面を感じられた。グループワークでは同じ課題でも指示文や生成結果が人によって全く異なり、参加者の経験や個性が感じられて大変盛り上がった。また、文章作成の効率化にも触れ、プロンプトによって生成結果を制御する方法を学んだ。非常に簡単に文章が生成できるものの、必ずしも意図通りの生成がされるとは限らず、プロンプトの技術の重要性を実感した。生成内容の精査や批判的思考 (クリティカルシンキング) の必要性があわせて説かれた。その他企画出し、Excel 業務の効率化などの具体的な業務活用例の演習を行い、関数やマクロに関する知識がなくても ChatGPT を利用してこれらの入力内容を生成できることが体感できた。

参加者からは、これまで生成 AI には抵抗があったが活用していきたい、といった声が多く寄せられた。生成 AI は多くの技術職員にとって未知の技術であり、本研修が生成 AI の理解と実践の基本を築く場となり、今後この技術が広く活用される契機となることを期待している。

(本報告は ChatGPT によって生成された文章を加筆修正したものです。)

## 2.2 2024 年度新規採用技術職員研修

### 開催日時

2025 年 2 月 19 日（水） 10:00～16:50

2025 年 2 月 20 日（木） 9:30～12:00

### 場所

吉田キャンパス内関連施設、桂キャンパス内関連施設

### 目的

本研修は、講義を通じて総合技術部および工学研究科技術部の沿革、組織構成、活動目的を学び、大学における技術職員の役割を理解することを目的とする。また、施設見学を通じて工学研究科に所属する技術職員の具体的な職務内容についても学ぶ。

### 実施報告

本年度に物理系グループに配属された新規採用職員 1 名に対して研修を実施した。

研修では工学研究科に所属する多くの技術職員と対面し、様々な職場における業務説明や施設見学を通して技術職員の多岐に渡る業務内容への理解を深める機会とした。その中には各グループの技術職員が担当する学生実験が含まれていて、それぞれの実験の目的や内容、技術職員の役割を学べるようにした。その他、短時間ではあるが簡単な実験体験も取り入れることで研修を単なる業務紹介や見学にとどめず、実務をより深く理解できるように工夫した。



施設見学の様子

### 受講者コメント（抜粋）

各部署の方々から、日々の業務や業務における心がけ、学生との接し方等について丁寧に教えていただきました。普段目にする事のない各装置・機器の使用用途や学内の施設について、現地にて見学・体験しご説明いただくことで、学内に多種多様な設備があるということを知ることができました。さらに、技術職員の業務の位置づけや重要性について認識を深めることができました。技術職員の職務・業態の多様さを実感するとともに、これからの自分自身の業務について、より具体的にイメージすることができました。日々の業務や学生との関わりの中で皆さまが普段気をつけておられることや、それをどのように改善につなげているのかなどを伺えたのも大変勉強になりました。

## 2.3 2024 年度 工学研究科技術部 業務報告会

### 開催日時

2025 年 3 月 3 日（月） 13 : 10～16 : 50

### 場所

桂キャンパス C クラスタ CⅢ棟 講義室 2

### 目的

技術職員の業務発表を通して技術職員同士の情報交換や技術交流を行い、技術力向上の一助とする。

### 実施報告

本報告会は対面で開催した。参加者は横峯技術部長と工学研究科技術職員 33 名であった。室会議報告・各委員会報告と 6 名の個人発表を行った。

各報告や個人発表を通じて、技術職員同士の情報交換や交流ができた。

#### 【プログラム】

13 : 10 開会挨拶 (委員会報告)	技術部長 横峯 健彦
13 : 30 室会議報告	室長 山路 伊和夫
13 : 40 広報・編集委員会報告	副委員長 奥中 敬浩
13 : 45 研修委員会報告	委員長 波多野 直也
13 : 50 桂ものづくり工房委員会報告	委員長 山岡 莊
13 : 55 質疑応答 (個人発表)	
14 : 10 「機械工作系グループのスキル向上に向けた組織的アプローチ」	波多野 直也
14 : 35 「私のワークライフバランス」	山岡 莊
15 : 00 「工学研究科附属情報センターのサーバ概要と特徴」	浅野 義直
15 : 35 「地球系の思い出」	栗木 周
16 : 00 「電子顕微鏡を用いた教育・研究支援業務」	鹿住 健司
16 : 25 「安全衛生巡視の DX 化について - 職場安全巡視の支援システムの開発 -」	大岡 忠紀

### 個人発表の概要

「機械工作系グループのスキル向上に向けた組織的アプローチ」 波多野 直也

グループメンバーと仕事内容について紹介があった。グループの年齢構成に偏りがあり、技術継承と若手職員のスキルアップが課題として挙げられている。この課題を解決するため、2018 年から若手職員を発表者として勉強会が実施されていることが紹介された。勉強会はプレゼンテーション形式で行われ、記録を残す

ことで、発表者だけでなくグループ全体のスキル向上を目指している。また、若手職員のスキル向上を目的に、OJT（オン・ザ・ジョブ・トレーニング）が行われており、設計トレーニングの一環として実施した踏み台製作が紹介された。

#### 「私のワークライフバランス」 山岡 莊

家庭環境の変化がワークライフバランスを考えるきっかけとなり、仕事の時間（ワーク）と家族との時間（ライフ）がどのように変化していったかについて紹介があった。また、グループ内では家庭の話題を積極的に共有し、構成員の置かれている状況を把握することで、互いに思いやりを持ち支え合う信頼関係を築くよう心掛けていると説明された。

#### 「工学研究科附属情報センターのサーバ概要と特徴」 浅野 義直

情報センターで構築・運用しているサーバ等について、安定したサービスを提供するためのさまざまな工夫が紹介された。サーバラックの下部には無停電電源装置（UPS）が備え付けられており、瞬間停電等に対応できるようになっている。また、ラックの下には免振装置が取り付けられており、地震による影響を最小限に抑える対策が施されている。さらに、故障に備えて電源ユニットのバックアップも用意されている。サーバのネットワーク接続を末端スイッチから基幹スイッチに変更することで、利用者の接続混雑を解消した改善例も紹介された。

#### 「地球系の思い出」 栗木 周

研究室や技術室の環境の変化に伴い、いろいろな業務に携わることで知識と経験を積み、様々なサービスに繋げてきた。早ければ来年度から環境が変わることになったので、今後は可能であれば能動的に自分の希望する業務をやっていききたいとのことであった。

#### 「電子顕微鏡を用いた教育・研究支援業務」 鹿住 健司

教育研究支援室の中で担当している業務について紹介があった。共同利用している装置の維持管理、装置指導、受託観察を行っており、主に電子顕微鏡の担当をしている。電子顕微鏡では高分解能の観察ができるが、原子サイズレベルの観察では被写体ブレ（被写体が撮像中に動くことによるブレ）に悩まされることになる。撮像時間が長ければ被写体ブレが目立つ像になり、短ければ被写体ブレは抑えられるが、代わりにノイズが目立つ。そこで短時間で連続撮像したノイズが目立つ像を複数枚、位置合わせして重ね合わせることを試み、被写体ブレを抑え、ノイズが目立たない明瞭な像を得ることができた。

#### 「安全衛生巡視の DX 化について

##### － 職場安全巡視の支援システムの開発 －」 大岡 忠紀

環境安全衛生センターでは、巡視業務に対応している。巡視は年間 86 回行われ、指摘事項は約 1700 件に上るため、手作業での集計が非常に煩雑であった。膨大な情報を有効に活用するため、巡視内容をデータベース化したことが紹介された。これまでエクセルで行っていた報告書の作成をシステム入力に変更したことで、データの集計、分類、検索、解析が簡単にできるようになった。システム構築の際には、コードの検索や不具合の修正に ChatGPT を活用した。

## 2.4 2024 年度 工学研究科技術部 個人研修

### 講習会・講座・技術研究会等への参加\*

- ・ 日本金属学会オンライン教育講座「電子顕微鏡と格子欠陥の基礎」(1名)
- ・ EDUCATION EXPO 2024 (1名)
- ・ 第62回表面分析研究会 (1名)
- ・ InternetWeek ショーケース in 福岡 (1名)
- ・ FUSION360 の基本機能でもわかる CEA の勘所 (1名)
- ・ 土木建築環境系技術研究会 2024 岩手大学 (2名)
- ・ 令和6年度(秋期)放射線安全管理研修会 (1名)
- ・ 第41回 Bruker NMR ユーザーズミーティング (1名)
- ・ 大学 ICT 推進協議会 2024 年度年次大会 (3名)
- ・ Internet Week 2024 (1名)
- ・ 京都大学技術士会講演会 (1名)
- ・ JIMTOF 2024 (2名)
- ・ 総合技術研究会 2025 筑波大学 (2名)
- ・ JEOL ユーザーズミーティング (1名)
- ・ オックスフォード・インスツルメンツ 実機操作講習 (1名)
- ・ 令和6年度(春期)放射線安全管理研修会 (1名)

※：工学研究科技術部予算での参加のみを記載。

### 図書購入

- ・ 「データ解析のための数理統計入門」、著者：久保川達也、出版社：共立出版
- ・ 「技術士第一次試験 基礎・適性科目完全制覇 (改訂2版)」、著者：オーム社、出版社：オーム社
- ・ 「ゼロからはじめる建築の「施工」入門」、著者：原口秀昭、出版社：彰国社
- ・ 「ゼロからはじめる[木造建築]入門 第2版」、著者：原口秀昭、出版社：彰国社
- ・ 「ゼロからはじめる「RC造建築」入門」、著者：原口秀昭、出版社：彰国社
- ・ 「ゼロからはじめる「S造建築」入門」、著者：原口秀昭、出版社：彰国社
- ・ 「データ分析者のための Python データビジュアライゼーション入門 コードと連動してわかる可視化手法」、著者：小久保奈都弥、出版社：翔泳社
- ・ 「エックス線作業主任者試験 合格問題集」、著者：三好康彦、出版社：オーム社

3

技術発表

### 3.1 土木建築環境系技術研究会 2024 岩手大学

#### 発表

題 目：セメント混入排水による実験室地下埋設排水管閉塞の対応  
所属・氏名：地球建築系グループ 平野 裕一

# セメント混入排水による実験室地下埋設排水管閉塞の対応

平野 裕一

京都大学大学院工学研究科技術部

## 1. はじめに

筆者が担当する実験室では、コンクリートを対象とした実験をしている。実験の過程の中で、コンクリート試験体を製作することが多い。その際には、セメント分を含んだ塩基性の排水が避けられない。この実験室には実験排水を沈砂・中和する装置が備えてあり、外部の下水にはセメント分が直接、排出されることはない。排水は、図1に示すように排水枡から沈砂槽までは最大でも直径100mmの地下埋設の排水管を通っている。地下埋設管であり直接人力により清掃ができないため、また、頻繁に排水があるわけではなく排水時の流量も少ないため、セメント分だけでなく砂も含んだ排水が滞留することにより堆積物が生じ、排水管閉塞が常に起こりやすい状況にある。さらに排水管の直角部は流れが変化することで堆積物が生じやすいと考えられるが、この地下埋設排水管には数箇所の直角部があり、堆積物がより生じやすい状況にある。閉塞の対応には地下埋設排水管を取り替える方法もあるが、その工事には数百万円を要するため可能な限り避けたい。

今回、排水管が完全に閉塞し全く排水が流れない状況になってから、閉塞原因の堆積物を除去し、排水が可能になり通常の使用ができるようになるまでに実施した対応を報告する。

## 2. 最初の対応

閉塞している排水管は、図1右半分のコンクリート製作場所付近の赤丸で示す排水枡Aおよび排水枡Bから沈砂槽に至る埋設排水管であると考えられた。そこで、図2に示すような高压洗浄機を用い、図3に示す沈砂槽内部の埋設排水管出口から逆噴射ノズルが付いたホースを入れ、放水した。排水管の直角部があることから、出口付近にも堆積物が生じていた。そのため、出口付近から、高压放水により徐々に削りとり、削った破片を流すということを延々と繰り返した。1日数時間の10日間以上の断続した放水により、水が流れ出した。堆積物の完全な除去を目指し、さらに10日間程度の放水を実施して、ひとまず対応完了とした。

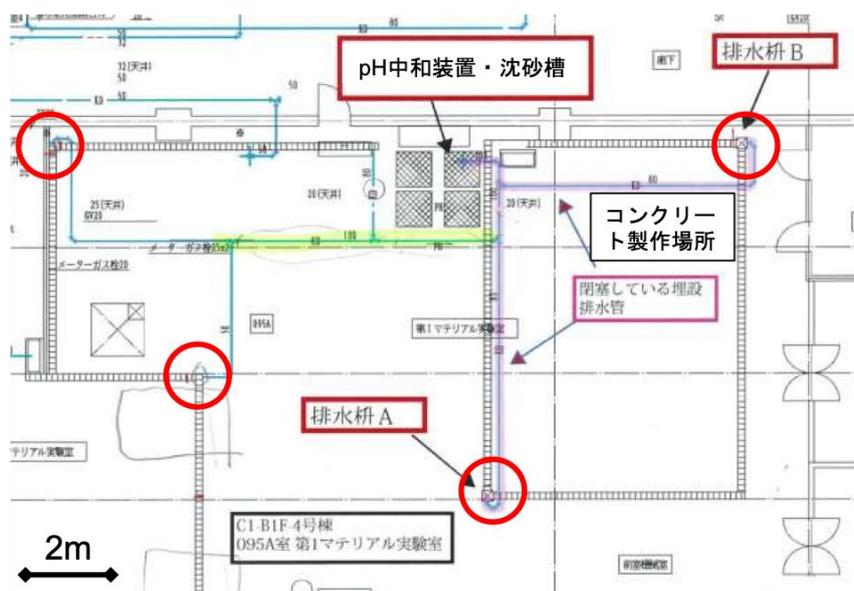


図1 実験室内の排水経路の位置図



図2 高压洗浄機



図3 沈砂槽



図4 排水柵Bからの排水不能



図5 埋設排水管出口を一時的に閉鎖

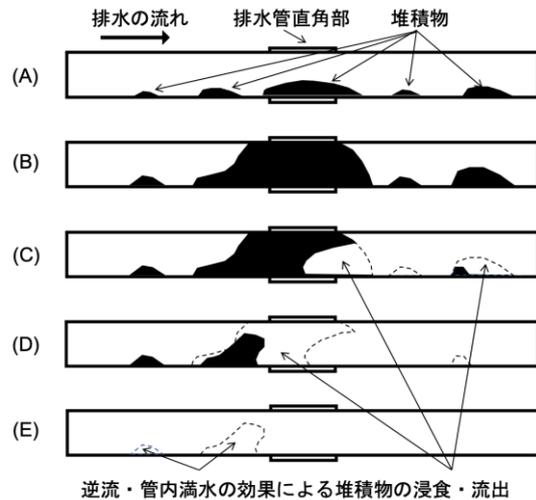


図6 排水管閉塞から堆積物除去までの排水管内部のイメージ

### 3. 2回目の対応

最初の対応から1年程度経過したところ、排水柵Bから完全に水が流れなくなった(図4)。排水柵Aから沈砂槽までの排水管は直角部があるものの一本道であり、排水柵Bからの排水管がその途中で合流する構造になっている。そのため、最初の対応の時には、排水柵Aから沈砂槽までの排水管の堆積物は除去できていたが、排水柵Bからの排水管内の堆積物を除去できていなかったと考えられる。

しかし、高圧洗浄機のホースのノズルの向きを自由に制御できないため、ノズルを分岐元の排水柵Bからの排水管内の閉塞箇所には到達させることは困難である。そこで、高圧洗浄機を用いない方法として、閉塞箇所の下流側の排水管を満水にしたのちに勢いよく流すことを繰り返す方法を考えた。この方法で排水管を満水にするために、発泡材の板で出口を一時的にふさぐことにした(図5)。

ここで、埋設排水管のため実際には目視で確認できないが、閉塞の状況や排水管出口からの堆積物の破片の流出状況から想定した排水管閉塞から堆積物除去までの排水管内部のイメージを図6に示す。まず、常時流量は少ないため、常に排水管内の至るところで堆積物が生じていると考えられる(図6(A))。また、排水管直角部では特に流れの抵抗が大きくなるため、堆積物がより生じやすいと考えられる。やがて、排水管直角部で閉塞が生じる(図6(B))。この状態から、閉塞箇所の下流側の排水管を満水にしたのちに勢いよく流すことを繰り返すと、以下のような効果が生じると考えられる。

- (1) 水中に浸すことによりセメント分を溶かす効果
- (2) 満水状態から急激に排水する際に生じる負圧で閉塞箇所の堆積物を壊す効果
- (3) 水が急激に流れる勢いで堆積物を削り、押し流す効果

この方法による1日30分間の3ヶ月間程度の断続した作業により、ようやく水が流れ出した。閉塞箇所の下流側から徐々に侵食・流出を繰り返すことで、排水管内の堆積物の除去ができたと考えられる(図6(C)~(E))。埋設排水管出口から堆積物がほとんど流れ出なくなったことを確認し、作業終了とした。

### 4. おわりに

今回の対応に用いたのは、4万円程度の高圧洗浄機、および量を計測していないが多量の水、筆者の延べ30日間程度の労務である。今後の対応として、堆積物を生じさせないように、定期的に多量の水を流すことが必要であると考えられる。

## 3.2 第30回機器・分析技術研究会 2024 広島大学

### 発表

題 目：NMR の移設に伴うヘリウムの収支

所属・氏名：共通支援グループ 多田 康平

# NMR の移設に伴うヘリウムの収支

○多田 康平<sup>a) b)</sup>、西崎 修司<sup>a) b)</sup>

<sup>a)</sup>京都大学 大学院工学研究科 附属桂インテックセンター

<sup>b)</sup>京都大学 環境安全保健機構 低温物質管理部門

## 1. はじめに

京都大学桂キャンパスは平成 15 年 10 月に開学した、吉田・宇治キャンパスに次ぐ京都大学で 3 番目のキャンパスであり、おもに工学部および大学院工学研究科の教育研究拠点となっている。桂キャンパスは、電気系・化学系の専攻が入居する A クラスタ、共同実験室など共通施設のある B クラスタ、地球系・建築系・物理系の専攻が入居する C クラスタで構成されている。現在、桂キャンパスでは 400 – 700 MHz サイズの核磁気共鳴 (Nuclear Magnetic Resonance; NMR) 装置が、A クラスタを中心に合計で約 15 台稼働している。令和 5 年 12 月から令和 6 年 2 月にかけて、B クラスタから A クラスタへ 400 MHz サイズの NMR (ブルカー、Ascend 400) を 1 台移設する機会があったため、本稿ではその経過を紹介したい。

近年、世界的なヘリウム需給のバランスの崩れ (いわゆる「ヘリウム危機」) が大学等の教育研究機関にも大きな影響を与えており、各機関においてもヘリウムの安定的なリサイクルを維持するための努力や工夫が続けられている。[1,2] 今回の NMR 移設においては、できるだけヘリウムを損失せず回収するよう努めた結果、一連の作業で発生したヘリウムガスのうち 80%以上 : 液体換算で約 200 L を損失せず回収することができた。

## 2. 桂キャンパスでのヘリウム回収

桂キャンパスには超伝導量子干渉計 (Superconducting Quantum Interference Device; SQUID) など NMR 以外のヘリウムを使用する装置もあるが、ここでは NMR に限って説明する。通常稼働中の NMR では、日常蒸発により典型的なオーダーとして  $10^{-1} - 10^0 \text{ m}^3/\text{day}$  の速度でヘリウムガスが発生している。一方ヘリウム充填時には、それよりも速い  $10^0 - 10^1 \text{ m}^3/\text{h}$  の速度でヘリウムガスが発生する。桂キャンパスでは、通常稼働中の日常蒸発ガスの回収には内径 9 mm 程度の細いホースを使用することもあるが、充填時には大量のガスを回収できるよう内径 25 mm 以上の太い回収システムを用いてガス回収をおこなっている。また、充填時に発生する大量のガスが低温のまま流量計に導入されるのを防ぐため、その上流で熱交換器 (内径 25 mm 程度で長さ 10 – 16 m 程度の銅管) に通すことで室温まで加温している。

こうして桂キャンパス内の各研究室から回収されたヘリウムガスは、建物内の回収配管を通じて、各建物に設置されている回収サブステーションのガスバッグ (ダイゾー、容積 4 m<sup>3</sup>) に一旦集められ、油回転ポンプ (エドワーズ、E2M18、排気速度 20 m<sup>3</sup>/h/台、建物によって 1 台または 2 台設置) によって共同溝内の回収配管へ送り込まれ、B クラスタ極低温施設棟のガスバッグ (スカイピア、容積 30 m<sup>3</sup>) へと集約される。極低温施設棟のガスバッグに溜められたヘリウムガスは、ヘリウム回収高圧圧縮機 (加地テック、WH5A-15G、処理速度 40 Nm<sup>3</sup>/h/台を 2 台設置) によって高圧に圧縮され、乾燥などの所定の

過程を経て不純ガス長尺カードルへ貯蔵される。今回の NMR の移設先の建物ではエドワーズの油回転ポンプが 2 台並列接続されているため、40 m<sup>3</sup>/h の速度でヘリウムガスを回収することができる。

### 3. NMR 移設の各作業とヘリウムの経過

今回の NMR 移設における各作業とヘリウムの経過を表 1 にまとめた。表 1 において「作業」の列の 3-1 から 3-8 までの番号は、本章の節番号に対応している。本章で記述するヘリウムの量は、各作業時点で判っていたものではなく、一連の作業が全て終了した後に計算して見積もられたものである。状況によっては NMR やヘリウムベッセルの中に溜められている液体ヘリウムの量を精確にはかることは難しい場合もあり、本章で記述するヘリウムの量には数リットル程度の誤差が含まれている可能性がある。

#### 3-1. 消磁前のヘリウム充填

今回は NMR を移設する前に一旦消磁する計画であり、この消磁作業を行うためには NMR 内のヘリウム液量を一定以上にしておく必要があった。令和 5 年 12 月 18 日（月）に、消磁前の最後のヘリウム充填を行った。充填前の NMR のヘリウム液量は 93 L であった。本学低温物質管理部門 (Low Temperature and Materials Sciences Division; LTM) から供給し、充填に使用した液体ヘリウムは 25 L で、このうち 20 L が NMR へ充填された。したがって充填後の NMR のヘリウム液量は 113 L となった。充填作業中に蒸発した 5 L 分のヘリウムガスはほぼ全量、NMR に接続された回収配管によって回収された。

#### 3-2. 消磁

12 月 25 日（月）に業者殿により消磁を行った。大気放出されるヘリウムガスの様子を見ながら消磁を行うということであったので、この消磁のあいだはヘリウムガスの損失は避けられなかった。消磁前の NMR のヘリウム液量は 113 L であった。消磁作業で 19 L のヘリウムを大気放出により失った。消磁直後の NMR のヘリウム液量は 94 L となった。

表 1. NMR 移設における各作業でのヘリウムの経過。「作業」の列の 3-1 から 3-8 までの番号は 3 章の節番号に対応している。各作業において、「NMR 液量」は NMR 内の液量の変化、「使用」は使用された量、「蒸発」はガスとなった量、「回収」は「蒸発」のうち回収された量、「損失」は「蒸発」のうち回収されず損失した量、を表す。「NMR 液量」から「損失」まで、単位は L（液体換算）である。

年/月/日	作業	NMR 液量	使用	蒸発	回収	損失
R5/12/18	3-1.消磁前ヘリウム充填	93 → 113	25	5	5	0
R5/12/25	3-2.消磁	113 → 94	0	19	0	19
R5/12/25 – R6/1/9	3-3.消磁後ヘリウム回収	94 → 0	0	94	94	0
R6/1/26 – R6/1/30	3-4.ベッセル蒸発ガス回収	–	17	17	17	0
R6/1/30 – R6/1/31	3-5.励磁前ヘリウム充填	0 → 100	176	76	73	3
R6/1/31	3-6.励磁	100 → 83	0	17	0	17

R6/1/31	3-7.励磁後ヘリウム充填	83 → 100	21	4	4	0
R6/1/31 -	3-8.その他の作業	-	8	8	8	0
合計			247	240	201	39

### 3-3. 消磁後のヘリウム回収と移設

12月25日(月)の消磁直後からは、NMRを回収配管に再び接続し、NMR内の液体ヘリウム94Lが全て無くなるまで蒸発ガスを回収した。このNMRでの通常稼働中のヘリウムの蒸発速度は0.2 m<sup>3</sup>/day程度(液体換算では0.3 L/day程度)だが、断熱を破ったため、消磁後のヘリウムの蒸発速度は6 m<sup>3</sup>/day程度(液体換算では8 L/day程度)であった。この蒸発速度に対応するため、ヘリウム充填時に準じた形態(上記2章参照)で、内径25 mm以上の太い回収系統を用いてガス回収をおこなった。(断熱を破った後のヘリウムガス回収に内径9 mm程度の細いホースを使用すると、回収系統のインピーダンスが高くなり内圧が上昇してNMRの安全弁が作動することがある。)

消磁から15日後の令和6年1月9日(火)には流量計の値が変化しなくなったことを確認し、NMR内の液体ヘリウムが無くなったものと判断した。

1月18日(木)に移設先実験室の回収配管の設置工事を行った。また、1月18日(木)から1月25日(木)までの間に移設元でNMRの真空開放とウォームアップを行い、NMRの移設準備が進められた。1月26日(金)に移設先実験室へNMRが移設された。

### 3-4. ヘリウムベッセル搬入とNMR立上げ準備

幸いなことに、業者殿から100Lのヘリウムベッセル2本で液体ヘリウムを160L程度提供できるという申し出があり、1月26日(金)に移設先実験室へ搬入して頂いた。実際にベッセルに溜められていた液量としては、1月26日(金)の搬入時点で158Lであった。ベッセルに溜められているヘリウムも常時蒸発しているので、実験室への搬入後、速やかにベッセルを回収系統へ接続し、液体ヘリウムを使用する1月30日(火)までの間に蒸発したガス13 m<sup>3</sup>(液体換算で17L)をすべて回収した。

NMRの立上げ準備としては、1月26日(金)から1月29日(月)まで真空引きが行われた。1月29日(月)には液体窒素による予冷が行われた。

### 3-5. 励磁前のヘリウム充填

1月30日(火)に励磁の準備が行われた。まず窒素予冷した後のNMR内の窒素ガスがヘリウムガスで置換された。この置換作業には、業者殿の持ち込まれた7 m<sup>3</sup>ヘリウムガスボンベの約3 m<sup>3</sup>分(液体換算で3 L程度 [3])が使用された。この置換に使用したヘリウムガスは、窒素ガスと混合して純度が低いと考えられたため、回収されず、大気放出された。

その後、業者殿の提供して下さった液体ヘリウムを用いてNMRへヘリウム充填を行った。いわゆるイニシャルトランスファーのためヘリウムの蒸発は通常の充填に比べて激しいのであるが、充填速度を抑えて、ヘリウムの蒸発速度を我々の回収限界速度(40 m<sup>3</sup>/h、上記2章参照)以下に調整して頂くことで、蒸発ガスをほとんど全て回収することができた。業者殿の提供して下さった液体ヘリウムはこの充填直前では141Lあり、そのうち77LがNMRに溜められ、61Lが蒸発して回収され、ベッセルには3Lほどが残った。この充填の後は1日NMRを静置してヘリウムの蒸発が落ち着くのを待った。

励磁を行う 1 月 31 日(水)の朝までに NMR から蒸発した 5 L 分のヘリウムガスもすべて回収された。さらに NMR にヘリウムを溜めるため、1 月 31 日(水)の朝に、LTM から提供した液体ヘリウムを 35 L 使用して、NMR に 28 L の液体ヘリウムを充填し、7 L 分の蒸発したガスを回収した。充填後の NMR のヘリウム液量は 100 L となった。

### 3-6. 励磁

1 月 31 日(水)の午前中に励磁が行われた。大気放出されるヘリウムガスの様子を見ながら励磁を行うということであったので、この励磁のあいだはヘリウムの損失は避けられなかった。この励磁のあいだに 17 L のヘリウムを大気放出し、励磁直後の NMR のヘリウム液量は 83 L となった。

### 3-7. 励磁後のヘリウム充填

1 月 31 日(水)の午後に、LTM から提供した液体ヘリウムを 21 L 使用して、再び充填を行った。NMR に 17 L の液体ヘリウムが充填され、4 L 分の蒸発したガスが回収された。充填後の NMR のヘリウム液量は 100 L となった。

### 3-8. その他の作業とヘリウムガス回収

プローブの調整などの NMR のその他の作業は、1 月 31 日(水)から 2 月上旬にかけて行われた。

業者殿のヘリウムベッセルに残っていた 3 L ほどの液体ヘリウム(上記 3-5 参照)も、ベッセルが干上がるまで蒸発ガスを回収させて頂いた。また、NMR 内のヘリウム置換(上記 3-5 参照)で余った、ヘリウムガスボンベの約 4 m<sup>3</sup>分(液体換算で 5 L 程度 [3])のガスも回収配管で回収させて頂いた。

## 4. ヘリウムの収支とまとめ

表 1 を用いて、今回の NMR 移設に伴うヘリウムの収支をまとめる。液体換算で合計 240 L のヘリウムガスが NMR 移設の一連の作業で発生した。この一連の作業でヘリウムガスを損失した場面は消磁(19 L)、窒素予冷後のヘリウム置換(3 L)、励磁(17 L)の 3 回で、損失したヘリウムの合計は 39 L(240 L に対して 16%)であった。これらの損失は、作業の性質上やむを得ないものだと考えている。それ以外の 201 L(240 L に対して 84%)のヘリウムは損失を免れて回収することができた。

NMR のクエンチが起きずに無事にすべての作業を終えられたことがヘリウムの損失を抑えられた要因のひとつであることは間違いないが、その他にヘリウム損失を低減できた要因としては、2 章で述べたようなヘリウム回収系統の能力を我々が十分に理解し、その能力を踏まえてヘリウム損失を最小限とする作業計画として頂けるよう、我々から研究室および業者殿に働きかけたことが挙げられる。研究室からも業者殿に対して丁寧に相談や働きかけをして下さったものと想像している。一方的に働きかけるだけではなく、ヘリウム回収系統の構築(熱交換器・ホース・流量計・バルブ等の選定や接続)については我々から助言したり軽微な作業を補助したりもした。ヘリウムをできるだけ回収したいという我々の意図を業者殿も汲み取って下さり、研究室・業者殿・我々の三者がヘリウム損失を低減するために協力し合う雰囲気となったことが重要であったと考えている。

消磁後に NMR 内に残った液体ヘリウムの処理や、NMR 立上げの際のイニシャルトランスファーの場面では、作業時間の短縮などを重視して、発生するヘリウムガスを捨ててしまう場合も多いという話を聞いたことがある。しかし、本稿で紹介したように、回収設備の能力に見合うように蒸発速度を調整すれば、そのほとんど全てを回収できるようになる。作業者の人件費コストやダウンタイムの増加による実験機会の損失コストのように、ヘリウム回収を重視することで発生するコストも存在することは理解できる。その一方で、今回回収できた約 200 L のヘリウムをすべて損失したと仮定すると、以下の 2 つのコストが考えられよう。第一に、たとえば文献 [4] を参考にして液体ヘリウム価格を 0.7 万円/L と仮定すれば、200 L のヘリウムの損失は、ただちに 140 万円の金銭的な損失を意味する。第二に、ヘリウム回収液化システムを所有しヘリウムを学内でリサイクルしながら運用している大学を想定すると（ヘリウム回収率は 95% と仮定する）、一度にヘリウムを 200 L 失うことは、ヘリウムを使用した実験機会を単に 200 L 分だけ失うのではなく、将来を含めると実験機会を 4000 L 分も失うことに相当する ( $4000 = 200 / (1 - 0.95)$ : 無限等比級数の和)。一時的な人件費コストや実験機会の損失コストを理解しつつも、ヘリウムは限りある貴重な資源であるという認識を共有し、できるだけ損失を低減する努力を続けていくことが、ヘリウムを 100% 輸入に頼る我が国でこれからも安定的にヘリウムを使い続けるために必要な姿勢だと思われる。

## 謝辞

ブルカー・ジャパン株式会社のご担当者様、ならびに、京都大学大学院工学研究科材料化学専攻教授の沼田圭司先生および同講師の大前仁先生には、NMR 移設および移設に際してのヘリウムガス回収に多大なご協力を賜りました。ここに深く感謝の意を表します。

## 文献

- [1] 山下穰「ヘリウム危機の現状と今後の課題について」固体物理, **55**, 215 (2020).
- [2] 勝本信吾, 鷺山玲子, 土屋光, 山下穰「ヘリウムリサイクルへの取り組みー東京大学物性研究所の活動ー」低温工学, **56**, 119 (2021).
- [3] 宗本久弥「ヘリウムはガスボンベ 1 本で何リットル液化できるのか」平成 25 年度 核融合科学研究所技術研究会, 4-01 (2014).
- [4] 出田圭子「液体ヘリウム再凝縮装置使用体験記」2022 年度 機器・分析技術研究会, P-38 (2022).

### 3.3 京都大学技術職員研修（第49回）

#### 発表

題 目：技術継承とスキルアップの取組み

所属・氏名：機械工作系グループ 波多野 直也

# 技術継承とスキルアップの取組み

工学研究科 波多野 直也

## 1. はじめに

技術職員はそれぞれが独自の専門知識やスキルを持ち、様々な業務を担っている。個々の職員が特有の業務に従事する中で、技術継承やスキルアップの方法も多様であるべきで、標準化されたトレーニングや研修ではカバーしきれない専門性が求められる場面が多く、貴重なノウハウの共有を円滑に進めるためには、柔軟で適応的な取り組みが重要となる。

この多様性に応じた柔軟な教育・研修プログラムの開発や、知識管理システムの導入により、技術職員の能力を最大限に引き出し、組織全体の成長を促進し、確実な技術継承を実現することが可能となる。

急速に変化する現代において、スキルアップと技術継承は組織全体の発展と持続的な成長を支える鍵であり、チーム全体の技術力を底上げすることが求められている。本発表では、工学研究科技術部における部全体、グループ、個人の各レベルにおけるスキルアップと技術継承の取り組み、その成果や課題を紹介し、組織全体での成長の方向性を共有する。

## 2. 工学研究科技術部の体制

工学研究科技術部は2007年に発足し、2015年10月の改組を経て、「地球建築系」、「機械工作系」、「物理系」、「化学電気系」、「共通支援」の5つのグループで構成されている。約40名の技術職員が所属し、各グループは教員や事務組織と連携し、教育研究支援活動を展開している。<sup>(1)</sup> これまで個別の教育や研究支援を中心に行ってきたが、大学組織の変革に伴い、より広範な視点から技術支援業務の運営・管理が求められている。特に、高度化・専門化する技術や先端機器の活用、そして複合化する技術に対応するための組織化と人材育成が重視されている。

これらの課題に対処するため、工学研究科技術部では研修委員会が設置されており、横断的な研修や業務報告会の企画・実施、各グループ内研修の調整を行い、技術職員のスキル向上と組織全体の技術力強化を図っている。

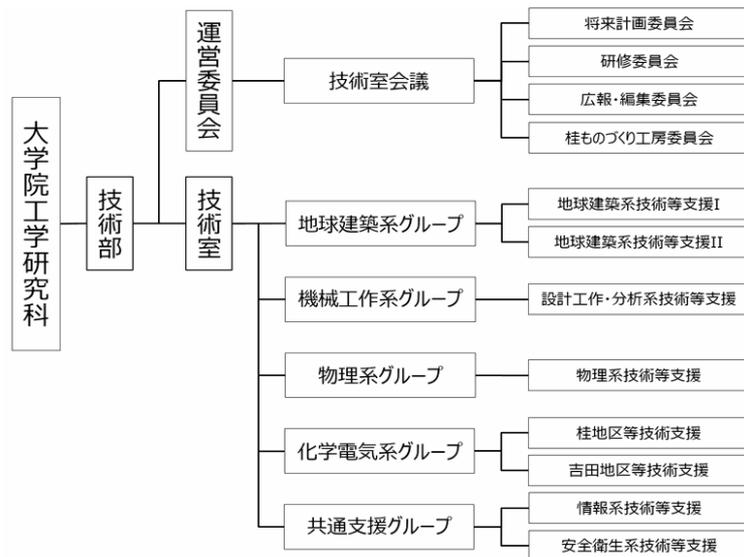


図1：工学研究科技術部組織図

### 3. 技術継承、スキルアップへの取り組み

#### 3.1 工学研究科技術部全体での取り組み

工学研究科技術部では、研修委員会が中心となり、横断的研修と業務報告会を毎年各1回企画、実施している。

横断的研修の目的は、技術部全体で共通するスキルや知識を習得し、個別の専門分野にとらわれずに幅広い視点で業務を遂行できる能力を養成することにある。これにより、広い視点で業務を遂行できる能力が養成され、さらには各グループ間の連携強化が図られることが期待されている。

2024年度の横断的研修では、「生成AIの業務利用研修」をテーマに取り上げた。本研修では、AIツールを活用して、日常業務の自動化や効率化を図る方法を学び、実際の業務における適用事例も共有された。さらに、演習やグループ討議を多く取り入れ、具体的な操作方法の習得や職員間のコミュニケーション向上にも重点を置いた。研修後、多くの職員が生成AIを取り入れ、文書作成やデータ分析の効率が向上し、業務の迅速化とミスの削減に繋がったことが確認されている。このような具体例は、研修の実効性を裏付けるものであり、技術部全体の生産性向上に寄与している。

一方、業務報告会では、1年間の活動を振り返り、各職員が自身の業務内容や成果を発表する場を提供している。この報告会を通じて、技術部全体の成果が共有され、職員間の情報交換が促進されることで、部全体の連携強化とモチベーションの向上に寄与している。

これらの取り組みにより、技術部全体での知識やスキルの共有が進み、個々の技術職員が持つ専門性を超えた協力体制が構築されることを目指している。また、部全体の技術力の向上と業務の質の向上に加え、各グループが直面する課題に対する対応力の強化も目標としている。

しかしながら、これらの研修や報告会を通じて明らかになった課題も存在する。それは、各職員のスキルや経験に差があるため、研修内容を全員にとって効果的にするためには、さらなる工夫が必要であるという点である。今後は、個々の職員のレベルに応じた研修内容の調整や、フォローアップの機会を設けることで、研修の効果を最大化し、技術部全体の成長を促していくことが求められる。



図2：横断的研修の様子

#### 3.2 グループ内研修（職員育成費）

職員育成費は、職員の高い専門性をサポートすることを目的として各グループに研修費用を配分しており、特に若手職員の成長に重点を置き、若手職員への配分比率を高めているのが特徴である。しかし、配分額は一人あたり数万円程度であり、全員に効果的な研修を受講させるには十分とはいえない。そのため、グループ内での用途の配分には十分な考慮が必要である。グループ内での用途は、グループ長を中心に各グループで決定することになっている。

現状としては、多くの場合、学外で開催されるセミナーなどへの参加が主な用途となっており、個人の自主性に依存する部分が多い。組織全体の技術力向上を考えると、研修内容の決定や受講者の選定などに課題が残っている。

### 3.3 機械工作系グループ独自の取り組み

#### 3.3.1 勉強会

毎週月曜日にグループミーティングを実施し、各自の業務の進捗報告や予定の共有、技術部や事務関連の連絡を行っている。ミーティング後には、若手職員3名が交代で講師を務め、30分程度の勉強会を行っており、この取り組みは3年以上継続している。勉強会では、講師が自らテーマを見つけ、パワーポイントを用いて発表を行う。若手職員が自発的に学習テーマを選び、発表を行うことで、主体的な学習習慣を育成し、プレゼンテーションスキルの向上が期待できる。また、発表内容を通じて職員間での知識共有が進み、グループ全体の技術力向上にも寄与する。しかし、近年では学習テーマの選定が発表のための選定になりつつあり、本来の学習目的が薄れつつある点が課題となっている。

#### 3.3.1 実戦形式トレーニング

機械工作室では依頼品の製作が主たる業務であるが、機械加工に加えて、研究目的の理解や必要に応じた設計へのアドバイス、材料の購入手配、スケジューリング管理など、業務全体を俯瞰するスキルが要求される。しかしながら、通常業務では機械加工の比率が高いため、機械設計やスケジュール管理などのスキルを向上させる機会が限られていた。この状況を踏まえ、機械加工を主たる業務とする2名に対して、2ヶ月の期間で他の業務と並行して以下のような研修を実施した。

今回の研修では、踏台（ステップ）の製作を題材とし、一連の工程を自ら中心となって遂行することで、スキルアップを図った。具体的には、依頼者へのヒアリングを通じた要求書の作成、設計と簡単な解析(Fusionの活用)、材料や必要部材の発注（購入物品リストの作成）、加工、そして組立と評価（解析との比較）といった流れで進行した。

##### ・要求書の作成

依頼者とのヒアリングを通じて要求書を作成する。要求書の作成は製品の良否に直結する重要なステップであり、依頼者のニーズを正確に把握することが求められる。ヒアリングでは、踏台の使用目的、使用環境、必要な耐荷重、材質の希望などを詳細に確認する。特に、依頼者の使用環境に合わせた耐久性と安全性を確保するための具体的な要件を引き出すことに注力する必要がある。

実際のヒアリングにおいては、しっかりとコミュニケーションを取り、必要な事項をくみ取り、要求書の作成ができた。しかしながら、要求の優先順位を明確にしていなかったため、次工程の設計で苦労することとなった。

##### ・設計と解析

CADソフトウェア Fusion を用いて、要求書に記載された仕様に基づいた設計を実施する。さらに、作成したモデルに対して簡単な解析を実施し、予想される荷重や応力をシミュレーションすることで、設計が耐久性と安全性を十分に満たしていることを確認する。

図3は受講者が実際に設計したモデルの変位解析の例である。シミュレーションを通じて安全性を確認するとともに、要求事項の一つであった「高さ調整機能」の動作確認も実施した。ただし、ソフトウェアの操作に習熟していなかったため、作業が予定より遅延した。

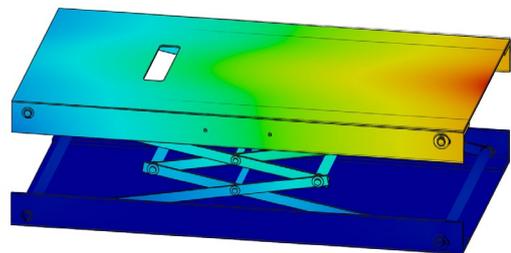


図3：設計モデルの解析例

#### ・組立と評価

設計が確定した後、材料を発注し、部材の加工を経て組立作業を進めた。組立は特に問題なく完了したが、評価を行ったところ、昇降機構が機能しないことが判明した。原因は、設計したリンク機構が予想外の方向に力を受けていたためであった。最終的に、無段階の昇降機構を断念し、数段階の高さ調整機能を持つ踏台へと設計を変更し、再製作を行った。

この研修を通じて、依頼者とのヒアリングを通じたコミュニケーション力や理解力が向上し、設計・解析（Fusion）の知識も新たに習得することができた。また、加工のスケジューリングや分担作業を経験することで協調性が高まり、責任感の向上もみられた。研修内容の振り返りとして、研修終了後には勉強会でプレゼンテーションを実施し、学びを共有した。

一方で、本研修は継続的に実施されておらず、実務優先の中での研修はスケジュール管理が難しいという課題が浮き彫りになった。しかし、この研修では、通常の業務ではなかなか経験しにくい「失敗」を許容される環境で体験できたことが、大きな意義を持つ。こうした失敗の経験が、実務におけるリスク管理や問題解決能力の向上に寄与すると考えられる。



図4：製作した踏台

#### 4. まとめ

技術職員それぞれが、自分の分野に適した育成方法を考え、後輩や自分自身を成長させる意識を持つことが重要である。これにより、各自が自分の課題を認識し、成長の方向性を明確にすることができる。

また、組織のマネジメントにおいては、専門分野ごとに能力開発のモデルを構築し、自己研鑽の指針となるような体制を整えることが求められる。

組織が専門職（技術）に移行する中で、より広い領域での組織マネジメントが必要となり、それに伴い新たな研修体制の構築も不可欠である。この新体制によって、各専門分野における個々の技術職員の成長が期待される一方で、統一的なマネジメントや研修プログラムがどのように機能するかという課題も浮上してくる。こうした変革が進む中で、組織全体が一丸となり、課題に対処しながら成長を促進することが求められている。

##### (1) 京都大学工学研究科技術部 HP

<https://www.tech.t.kyoto-u.ac.jp/ja/about/message>

### 3.4 総合技術研究会 2025 筑波大学

#### 発表

題 目：金属材料曲げ試験の試験治具製作および試験実施

所属・氏名：地球建築系グループ 平野 裕一

題 目：物理化学学生実験におけるゆとりの導入とその効果について

所属・氏名：化学電気系グループ 中池 由美

題 目：安全衛生巡視の DX 化について－職場安全巡視の支援システムの開発

所属・氏名：共通支援グループ 大岡 忠紀

題 目：ビリアル状態方程式から得られるジュールトムソン逆転曲線

所属・氏名：共通支援グループ 多田 康平

題 目：ヘリウム回収ガスバッグの油混入および流出の原因と対策

所属・氏名：共通支援グループ 西崎 修司

# 金属材料曲げ試験の試験治具製作および試験実施

平野 裕一

京都大学大学院工学研究科技術室

## 1. はじめに

JIS Z 2248-2014 金属材料曲げ試験方法の規格がある。これは、金属を曲げる際の加工性を判定するものである。担当する研究室で、構造用鋼材の JIS 規格にない材料の加工性を判断する必要が生じたため、試験を実施した。この試験の原理は、試験片を一定方向に規定の角度まで曲げ、試験片の湾曲部の外側の裂けきず、その他の欠点の有無を調べるものである。今回対象とする試験は、円形断面の棒鋼の試験片を 180° に曲げる試験である。一見単純に見えるが、内接円直径の指定があり、相当な荷重をかける必要がある。そのため、専用の治具を製作することにした。

本稿では、製作した金属材料曲げ試験の試験治具およびその治具を用いて実施した試験を紹介する。

## 2. 試験方法

まず、JIS 規格の試験方法を示す。今回対象とする鋼材は、従来のコンクリート用鉄筋に置き換えることを検討する材料として、鉄の純度が高い材料を用いた。試験片は直径 10 mm の丸鋼である。比較の

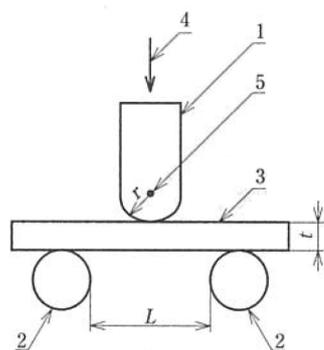
ため、一般構造用炭素鋼の丸鋼、鉄筋コンクリート用の異形棒鋼の試験も実施した。材料の加工性の検討において、JIS G 3112-2010 鉄筋コンクリート用棒鋼に準じた基準に則り検討した。金属材料曲げ試験方法の押曲げ法の概略図を図 1 に示す。

図 1(a) に示すように、試験片を規定の支え間の距離  $L$  に離れた 2 個の支えの上に置き、上から押金具で押し込む。押し込んでいくと図 1(b) に示すようになる。170° 程度まで曲げた後は、図 1(c) に示すように、規定の内径半径の 2 倍の厚さをもつ挟み物を用い、試験片の両端を押し合うことで、曲げ角度 180° に曲げる。そして、試験片の湾曲部外側の裂けきず、その他の欠点の有無を目視により調べる。

押金具先端の半径  $r$  は、JIS G 3112-2010 の SD345 相当として呼び径 D10 を参照し、公称直径の 1.5 倍とした。支え間の距離  $L$  は式(1)より、60 mm とした。

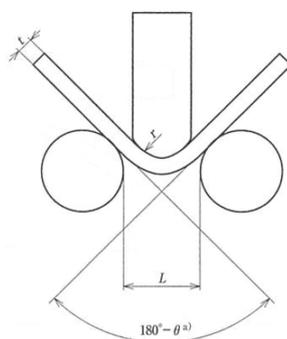
$$L = 2r + 3t \quad (1)$$

ここで、 $L$  : 2 個の支え間の距離 (mm)、 $r$  : 内側半径 (mm)、 $t$  : 試験片の直径 (mm)



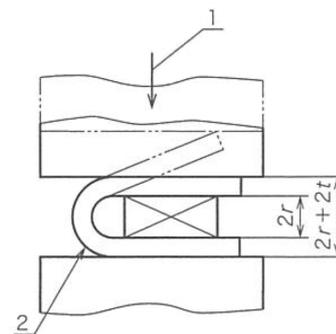
- 1 : 押金具 2 : 支え 3 : 試験片  
4 : 試験力の方向  
5 : 押金具先端の半径中心

(a)



- $\theta$  : 規定の曲げ角度  
 $L$  : 支え間の距離

(b)



- 1 : 試験力の方向 2 : 試験片  
 $r$  : 内側半径  $t$  : 試験片厚さ

(c)

図 1 押曲げ法の概略図 (JIS Z 2248-2014 より引用)

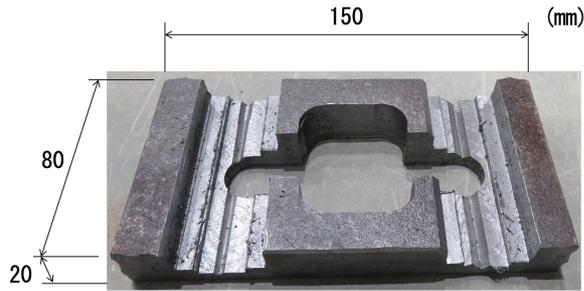


写真1 支え設置台



写真2 载荷中の様子



写真3 試験片の両端を押し合う様子



写真4 湾曲部外側

### 3. 試験治具製作

载荷は既存の最大荷重 200 kN の圧縮試験機を利用した。特に、図 1(1)の支えが押し込み中に移動しないことが重要である。そこで、写真 1 に示すように、支えの位置を固定できるように支え設置台を製作した。厚さ 20 mm の平板を 80×150 mm に切り出した。支え用の直径 2r : 30 mm 円柱棒鋼が载荷中に外へ広がらないように深さ 15 mm の溝を切り、試験片押し込み部の穴を貫通させた。他に、押金具先端用の直径 2r : 30 mm 円柱棒鋼および一つの辺を 30 mm とした鋼材片を製作した。鋼材片には、押金具先端用の円柱棒鋼のずれ止め用に溝を切った。

### 4. 载荷試験

载荷中の様子を写真 2 に示す。载荷試験機のストロークが 30 mm 程度しかないため、ストロークの限界まで押し込んだ後、間に鋼材片を挟み再度载荷するというを繰り返しながら進めた。载荷荷重は 4 kN 程度であった。ここで、支え設置台の支え部の溝が深さ 15 mm では、支え間の距離が広がる方向への拘束が十分でなく、支えの鋼材が飛び出す恐れが

あったため、押し込みは曲げ角度 150° 程度までに留めた。その後、写真 3 に示すように、30 mm の鋼材片を挟み、試験片の両端を押し合った。180° に曲げた試験片の湾曲部外側の様子の例を写真 4 に示す。今回の試験の結果、いずれの試験片も裂けきず、その他の欠点がないことを確認した。

### 5. おわりに

JIS Z 2248-2014 金属材料曲げ試験方法に則り試験を実施した。試験治具を製作して実施したが、設計上の課題も判明した。課題を以下に示す。

- (1) かなり長いストロークの押し込みになるため、载荷装置に応じた、試験片の長さおよび挟み材の大きさの検討が必要になる。
- (2) 载荷が進むと、支えにかかる方向が横方向へ移り、支えの鋼材が飛び出す可能性があるため、支え設置台に設ける支えの円柱棒鋼を据える溝をより深くする必要がある。

# 物理化学学生実験におけるゆとりの導入とその効果について

○中池 由美<sup>A)</sup>、佐藤 徹<sup>B)</sup>

京都大学大学院工学研究科技術室<sup>A)</sup>、京都大学 福井謙一記念研究センター<sup>B)</sup>

## 1. はじめに

本発表では、京都大学工学部理工化学科の3年生開講科目である物理化学学生実験（以下、物理化学実験）の近年の取り組みについて報告した。

物理化学実験は、卒業研究の予行演習として、実験・解析・考察・レポート作成・プレゼン発表を一連の流れとして指導してきた。実験テーマは以下の5つである。

- 反応速度（エステルの加水分解）
- 分光光学（赤外吸収分光測定）
- 計算化学（分子軌道法）
- 材料化学（導電性高分子）
- 熱力学（気液平衡）

18回の授業の中で5テーマすべての実験・レポート作成を行い、5テーマの内の一部についてプレゼン発表を行うスケジュールだったが（図1）、学生からは「レポート作成の時間が足りず、深い考察ができない」「締切に追われるばかりで学びが定着しにくい」といった声が上がっていた。また、プレゼン発表前に指導を受けたいという要望もあった。



図1 これまでの物理化学実験のスケジュール

## 2. 「ゆとり」を取り入れた新スケジュール

これらの課題を踏まえ、以下のようにスケジュールを変更した。1) 実験後にレポート作成日を1日追加した。これにより、学生が十分な考察を行えるようにした。2) 5テーマすべてを実施するのではなく、あらかじめ決めた組み合わせの中から3テーマを選択する方式に変更した。3) 実験の原理を理解するための講義日を3日間設けた。教員による講義を実施し、すべての実験の原理を解説することにした。

各講義後1時間程度のレポート作成時間を設け、全5テーマの原理部分を作成し、わからなかった部分は教員やTAに質問できる機会を作った。これにより、すべてのテーマへの理解を促進できると考えた。4) プレゼン指導日をし、発表準備をサポートし、発表の質の向上を目指した（図2）。



図2 新しい物理化学実験のスケジュール

## 3. 「ゆとり」を取り入れた新スケジュールの効果

各種取り組みの効果を、学生に実施している授業アンケートなどを参考に検証した。特に以下の2点について述べる。

### 3.1 レポート作成日の効果

レポートを作成する際、教員やTAが質問対応を行った。興味深いことに、個人で取り組むより、学生同士がディスカッションをすることで、より深い考察が生まれることがあった。さらに、話し合いを通じて考えを整理することで、実習中にレポート

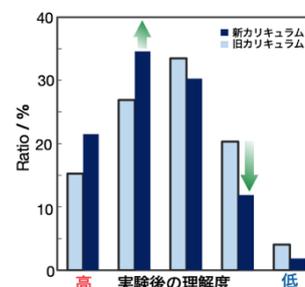


図3 レポート作成後の理解度

レポート課題に取り組んでどの程度知識、理解を深めることができたかを5段階評価した

が完成しなくても自宅学習でもスムーズにレポート作成が進むこともわかった。学生のアンケート結果でも、この効果は明らかで、課題に取り組んだ後の理解度向上が確認され（図3）、「充実したレポート作成につながった」との声も得られた。さらに、プレゼン発表会では、質疑応答の際の学生からの質問数が増加し、実験への理解が深まったことが窺え

る。レポート作成の時間が、学生同士が意見を交換する貴重な機会となり、他の考え方や考察の進め方を学ぶ場にもなった。

### 3.2 テーマの選択制

3つのテーマから選べる方式にしたことで、レポートの提出数も3つになった。一つ一つのレポートの提出期限は従来と変わらないが、アンケートでは「分量が適切だった」との意見が多く見られた。一方で、「すべての実験をやってみたかった」「実施していないテーマのプレゼン発表を聞いても理解が難しかった」という声もあり、今後さらに検討する必要があると思われる。

## 4. 結言

物理化学実験において、レポート作成やプレゼン準備の時間を確保する新しいカリキュラムを導入・実践しました。この新スケジュールにより、学生が実験結果をじっくり考察し、発表準備も十分に行えるという「ゆとり」が、本来研究活動において重要なよい学びにつながったということが出来る。

## 謝辞

本発表で紹介した取り組みは、京都大学工学部理工化学科先端化学実験第2(物理化学)で実践しているものである。当実験は、26名の教員と28名の大学院生TAによって運営されている。本取り組みが実現できたのは、多忙な研究活動の中でも、より充実した学生実験を提供しようと計画し、実践して下さったスタッフのご尽力によるものである。また、これまでの物理化学実験のアンケートにご協力いただいた受講生の皆さんにも、心より感謝申し上げます。

# 安全衛生巡視のDX化について ～職場安全巡視の支援システムの開発～

○大岡 忠紀<sup>a)</sup>

<sup>a)</sup> 京都大学 工学研究科技術室

## 1. はじめに

今回、巡視報告書の作成等、職場安全巡視の支援システムを構築したので開発経緯や導入成果について報告する。

## 2. 現状と開発動機について

工学研究科では法で定められた職場安全巡視を月に8回程度巡視を行い、約2年で全研究室を回っている。2024年1～12月の間に安全巡視を86日実施し、不安全・好事例の指摘は1,698件あった。巡視後には写真と不安全・好事例指摘を記載した報告書をフィードバックとして研究室に送付し、また月1回開催される環境安全衛生委員会へ報告している。

これまで巡視情報は上記以外の積極的な活用はされておらず、理由は色々考えられるが、情報収集作業の低効率性(手作業で分類・収集)が障害要因の一因であると考えた。

この問題は、巡視報告書をデータベース化する事で、集計や分類を自動化する事はできるが、現状、活用の緊急性は低く、また外注する予算もないため、自前でシステムを構築する事を検討した。その結果、それまで衛生管理者がExcelで行っていた報告書作成をシステムへの入力に変更する事で巡視報告書のデータベース化(DX化)を行う事にした。DXの明確な定義はないようなのでここでは「データの単純デジタル化の先の活用」として捉えている。報告書自体はExcelで作成されていたため既にデジタル化はなされているが、その先の活用にはデータベース化が必要であると考えた。

## 3. システムについて

### 3.1 システム開発について

表1はシステム概要を示したものである。

今回、システム開発に際して試験的に chatGPT を

活用した。グラフを表示するスクリプトを書く時に作成したいイメージがあるのに、文法が分からなかった時などに参考とした。また、デバッグの際に人間が見落としやすい、スペルミスや原因探索などでも役に立った。

表1 システム概要

開発期間	2023年秋に着手し、2024/3月にv1.0が完成。2024/5月にv2.0を公開し、以後、修正と機能追加を行う
システム概要	WEBブラウザから入力や検索を行うシステム。PCだけでなくスマホ、タブレットからでもアクセス可能
使用言語	MySQL、PHP、JavaScript、HTML
開発環境	XAMPP、Visual Studio Code

入力ページ

年	月	日	専攻	研究室名	立ち会い者
2010	4	1	その他	研究室名を入力	立ち会い者を入力
参加者	建物	部屋番号	担当者所属		
参加した衛生管理者を入力	A1棟	A1(001)	A1棟		
チェックポイント	キーワード	チェックポイント	キーワード		
仮登録	仮登録	実験環境	実験と保護具		
整理・整頓	不要物整理	薬品管理	ドラフト		
	整頓・管理		その他		
	清掃・清潔		好事例		
	その他		KUCRS		
通路確保	好事例	高圧ガス	試験庫		
	連絡箱		掲示		
	避難経路		保有害		
	床上物品		敷敷と区別		
転倒・落下防止	消防出入口	高圧ガス	その他		
	その他		好事例		
	好事例		KUCRS		
	壁・床固定		設置と固定		
	高所作業物		キヤベネット		
	その他		保有害		
			その他		

入力ページ(キーワード)

年	月	日	専攻	研究室名	立ち会い者
2010	4	1	その他		
参加者	建物	部屋番号	担当者所属		
	A1棟	A1(001)	A1棟		

キーワード	タグ	指摘事項	写真
整頓・管理	<input type="radio"/> 収納 <input type="radio"/> 片付け <input checked="" type="radio"/> 自由記述	指摘事項があれば記入してください。	<div style="border: 1px dashed gray; padding: 5px;">           選択されていません         </div>

図1 入力画面

### 3.2 システムの入力方法について

入力の手順は、次の通りである（図1参照）。

1. 基本情報（日時、専攻、建物、部屋番号等）を入力し、キーワードを選択する。
2. 指摘事項を入力し、写真欄をクリックまたはドロップする事で写真を追加する。
3. 登録ボタンをクリックする。

## 4 巡視解析

### 4.1 巡視の概略

表2 巡視の概略

	居室・院生室	実験室	合計
部屋数	197	195	392
好事例指摘	107	254	361
不安全指摘	372	965	1,337
合計	479	1,219	1,698

表2は、2024年1~12月末までの巡視の実施状況についてまとめたものである。

一年間で392部屋を巡視した（居室・院生室と実験室をほぼ同数）。

次に、好事例指摘 361件、不安全指摘 1,337件、併せて1,698件の指摘があった。不安全指摘が好事例指摘よりも多かったのは予想通りだったが、指摘総数と好事例指摘数は想像以上に多いと感じた。

また、居室・院生室と実験室のどちらにおいても好事例と不安全指摘の比率がおおよそ1:3.5であった。居室・院生室に好事例が偏るのではないかと予想していたので、この結果は意外であった。

### 4.2 巡視の月間推移

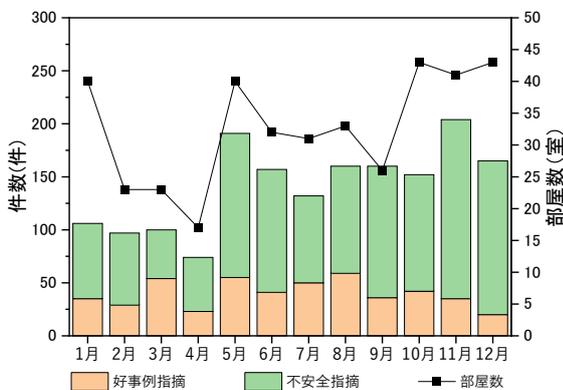


図2 巡視指摘数と部屋数

図2は指摘数と巡視した部屋を月別に集計したものである。棒グラフは月当たりの指摘数を示しており、月平均 141.5 件あったことが分かった。また4月以前と5月以降で指摘件数に差があった。

指摘件数と部屋数（折れ線グラフ）を並べると5月以降から指摘件数と部屋数は共に増加しており、巡視した部屋数が増加したために指摘件数が増加したのだと考えられる。

### 4.2 部屋数と指摘数について

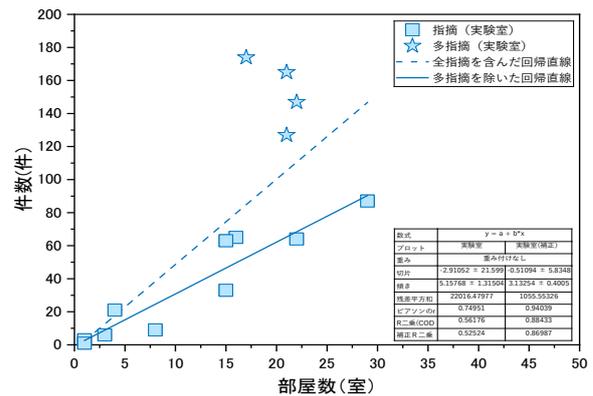


図3 巡視部屋数と不安全指摘の分布

図3は実験室における、建物毎の巡視部屋数と不安全指摘の分布を表したものである。点線は全建物を含んだ時の回帰直線であり、実線は一部の建物（星形）を除いた時の回帰直線を示している。

どちらも巡視部屋数と不安全指摘の間に正の相関があることを示しているが、特に建物を省いた時相関係数は非常に強い相関（0.86）を示した。

部屋当たりの不安全指摘が多い建物と少ない建物があるという結果は、感覚的にも納得できるものであった。

### 4.3 指摘の分布

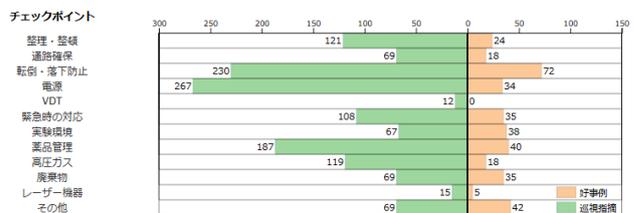


図4 指摘の分布

図4の左側（緑色）は不安全指摘、右側（橙色）のチェックポイント毎の巡視指摘数を集計したものである。

不安全指摘では「電源」「転倒・落下防止」「薬品管理」についての指摘が多く、好事例指摘では「転倒・落下防止」についての指摘が特に多いことが分かった。VDT とレーザー機器の項目は、あまり活用されていないことも分かった。

「その他」が多い理由として、入力時の分類ミスや分類不明（減多にない指摘）などが考えられ、分類方法の周知や項目の見直しなどの検討課題も見つかった。

#### 4.4 居室・院生室と実験室の比較

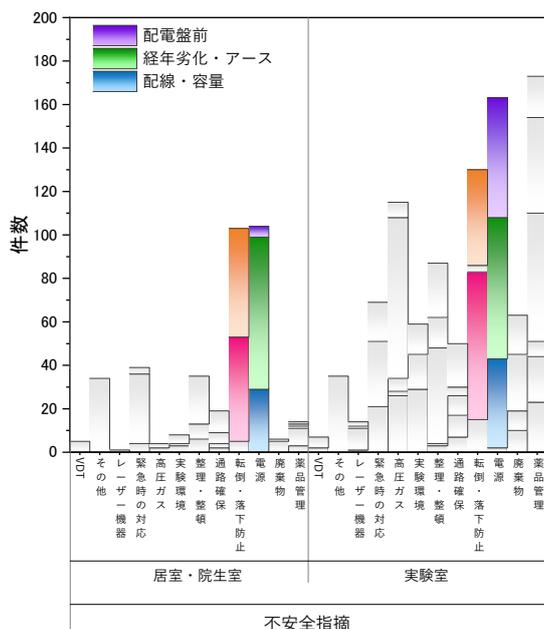


図5 不安全指摘集計

図5は、居室・院生室と実験室における不安全指摘を集計、比較したものである。

「転倒・落下防止」と「電源」についての指摘は、左側の居室・院生室では同程度であるが、右側の実験室においては電源が多い事に疑問を感じ内訳を調べた。

内訳をみると、居室・院生室と実験室における「配線・容量」と「経年劣化・アース」の指摘数はほぼ変わらない(99件と106件)が、紫色の「配電盤前」についての指摘は実験室において多い(5→55件)事が分かった。

偏在しているのは居室・院生室では配電盤は室内にはない所が多く、指摘対象にならないことが多いためであると考えられる。

## 6 まとめ

ここまで巡視システムの導入経緯とシステムの解説、集計結果の報告を行った。システム化によって次のような変化があった。

巡視報告書については、写真をExcelに添付する場合、貼り付け位置や大きさを調整する必要があり、また、ファイルサイズを下げるために写真の解像度操作が必要であったのが、システム入力に切り替えた事で写真の配置調整とファイルサイズ調整の手間は不要となり、写真を多数用いる場合の報告書作成速度が向上した。

巡視報告書の閲覧については、閲覧するには、フォルダにアクセスし、Excel または pdf 化された報告書を開く必要があり、複数開く場合はその都度、フォルダを行き来する必要があったのが、システムを導入したことで検索条件を入力する事で報告書の一覧が表示され、報告書へのアクセス速度が向上した。

巡視全体像の把握については、巡視の指摘件数を把握するためには、期間分の報告書を開き、手作業で件数をカウントする必要があったのが、データベース化したことによって条件を入力する事で集計された結果をグラフ等で表示できるようになった。

巡視傾向の解析については、どういう指摘が今よくされている等は衛生管理者の経験や記憶に寄るものが多かったのが、巡視記録をデータ化し、巡視のデータ解析をすることで、数値データとして客観性を持たせることが可能になった。

運用開始してから1年程度であり、まだデータの活用方法を模索している所である。今後もデータを活用して研究室の安全対策に寄与したい。

## 謝辞

今回、年度の途中でシステムを導入したにも関わらずスムーズに移行できたのは衛生管理者の皆様のご協力があったからです。本当にありがとうございました。

# ビリアル状態方程式から得られるジュールトムソン逆転曲線

多田 康平

京都大学 大学院工学研究科 技術室、京都大学 環境安全保健機構 低温物質管理部門

## 1. はじめに

ジュールトムソン (JT) 効果は、多孔質壁などを通して一次側および二次側の圧力を一定に保ちながら気体を膨張させると気体の温度が変化する熱力学的効果である。また、JT 効果は、理想気体では現れず実在気体でのみ現れる効果であるため<sup>[1]</sup>、JT 逆転曲線はこれまで提案されてきた種々の実在気体状態方程式の性能評価に用いられ<sup>[2, 3]</sup>、基礎研究として理学的に興味深い。加えて JT 効果は、ヘリウム液化といった工業プロセスにも利用されているため、工学的にも重要である。そのような背景から、筆者は安定なヘリウムの同位体 (<sup>4</sup>He および <sup>3</sup>He) の JT 逆転曲線の精密決定に興味を持っている。筆者は最近、実在気体を記述する状態方程式として密度ビリアル方程式を選択し、これを用いてヘリウムの逆転曲線の精密決定を試みた<sup>[4]</sup>。本稿では、得られた <sup>4</sup>He の逆転曲線を説明しながら、逆転曲線を決定する手段として密度ビリアル方程式を選択することの長所と短所について紹介したい。

## 2. 理論

JT 係数  $\mu$  は次式で与えられる<sup>[1]</sup>。

$$\mu = \left(\frac{\partial T}{\partial P}\right)_H = \frac{1}{C_p} \left[ T \left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P - V \right] \quad (1)$$

ここに  $T$  は絶対温度、 $P$  は圧力、 $H$  はエンタルピー、 $C_p$  は定圧熱容量、 $V$  はモル体積を表す。 $\mu > 0$  のときは膨張にともない気体の温度が低下するのに対し、 $\mu < 0$  のときは膨張にともない気体の温度が上昇する。逆転曲線は  $P$ - $T$  (圧力-温度) 平面上で  $\mu = 0$  となる点の集合として与えられるので、(1)式より

$$\frac{1}{V} \left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P = \frac{1}{T} \quad (2)$$

が、逆転曲線を与える条件 (逆転条件) である。

今回は実在気体の状態方程式として密度ビリアル方程式を選択することとした。

$$P = \frac{RT}{V} \left( 1 + \frac{B_2}{V} + \frac{B_3}{V^2} + \cdots + \frac{B_m}{V^{m-1}} \right) \\ = \frac{RT}{V} \left( 1 + \sum_{n=2}^m \frac{B_n}{V^{n-1}} \right) \quad (3)$$

ここに、 $R$  は気体定数を表す。 $B_2, B_3, \dots$  はそれぞれ第 2, 第 3, ... ビリアル係数を表し、これらは  $T$  の関数である。本来密度ビリアル方程式は、実在気体の理想気体からのずれを密度 ( $V$  の逆数) の無限べき級数で補正するものだが、実用上は、(3)式のように有限の  $m$  までが考慮され、その後で打ち切られる。

逆転条件 ((2)式) を密度ビリアル方程式 ((3)式) に適用すると次式を得る。

$$\sum_{n=2}^m \frac{(n-1)B_n - T \frac{dB_n}{dT}}{V_{inv}^{n-1}} = 0 \quad (4)$$

これは逆転条件でのモル体積  $V_{inv}$  を与える式である。例えば  $m=3$  のときは

$$V_{inv} = - \frac{2B_3 - T \frac{dB_3}{dT}}{B_2 - T \frac{dB_2}{dT}} \quad (5)$$

となる。一般に  $m \geq 3$  の場合には、(4)式から  $V_{inv}$  について方程式が得られる。この  $V_{inv}$  を(3)式に代入すれば  $P$  を  $T$  の関数として得ることができる。これが逆転曲線を与える式となる。

例外は  $m=2$  のときであり、この場合には次式を得る。

$$B_2 - T \frac{dB_2}{dT} = 0 \quad (6)$$

(6)式を満足する  $T$  はひとつだけなので、逆転条件を満たす点がひとつ得られるだけで、逆転「曲線」を得ることはできない。(6)式が成り立つ  $T$  では、例えば(5)式から分かるように、 $V_{inv}$  は正の無限大に発散

する。このことは、(6)式が、逆転曲線の圧力ゼロでの最高温度  $T_{\max}$  を与える条件であることを示している。言い換えれば、第2 ビリアル係数の温度依存性が分かれば、ただちに  $T_{\max}$  を求めることができる。 $T_{\max}$  の点は、逆転曲線の中で温度が最も高くかつモル体積も最も大きいので、気体の振る舞いが理想気体のものに最も似ていると考えられる。そのため、この  $T_{\max}$  では、理想気体状態方程式に対する最初の補正項である第2 ビリアル係数のみで、実在気体の振る舞いを説明できると解釈できる。

### 3. $^4\text{He}$ の逆転曲線

$^4\text{He}$  は 1990 年代以降、高精度な第一原理計算が行われてきた。ビリアル係数は実験 (熱力学データまたは音速データ) と理論 (第一原理計算) の両方から求められる物理量であるが、現在では実験よりも理論のほうが高精度である。そのためここでは、理論計算から得られたビリアル係数を利用することにした。

筆者の知る限り、文献<sup>[5]</sup>が  $^4\text{He}$  で最も高次 (第 7) までビリアル係数を理論的に求めた研究である。ただしこの文献<sup>[5]</sup>では、20 K 以上の温度領域でのみ計算が行われていることと、第 6, 第 7 ビリアル係数が半古典的な取扱いとなっていることに注意が必要である。前節の理論的取扱いをもとに文献<sup>[5]</sup>で報告されているビリアル係数を用いて計算した  $^4\text{He}$  の逆転曲線を、考慮したビリアル係数の最大の次数  $m$  ((3), (4)式を参照) とともに、図 1 にカラーの実線で示す。20 K より低温側をカバーするため、第 2, 第 3, 第 4 ビリアル係数を報告した別の理論計算の文献<sup>[6-8]</sup>も利用することにした。文献<sup>[6-8]</sup>で報告されているビリアル係数を用いて計算した  $^4\text{He}$  の逆転曲線を、図 1 にカラーの破線で示す。同じ  $m$  のものを比較すると、実線と破線の逆転曲線は一致していることが分かる。また、レファレンスとして、NIST の REFPROP ソフトウェア<sup>[9, 10]</sup>から得られた  $^4\text{He}$  の逆転曲線を、図 1 に黒色の実線で示す。

まず  $T_{\max}$  に注目すると、図 1 の  $m = 3 - 7$  の逆転曲線はいずれも同じ値 (44.7 K) をとることが判った。これは文献<sup>[5, 6, 8]</sup>の  $B_2$  を用いて(6)式で予想される  $T_{\max}$  の値と一致している。 $^4\text{He}$  の逆転曲線はこれまで多数求められていた (例えば文献<sup>[9-13]</sup>) が、 $T_{\max}$  の値はばらばらであった (46 K<sup>[9, 10]</sup>, 54 K<sup>[11]</sup>, 55 K<sup>[12]</sup>, 43 K<sup>[13]</sup>)。今回、高精度なビリアル係数<sup>[5, 6, 8]</sup>を用い

たこ

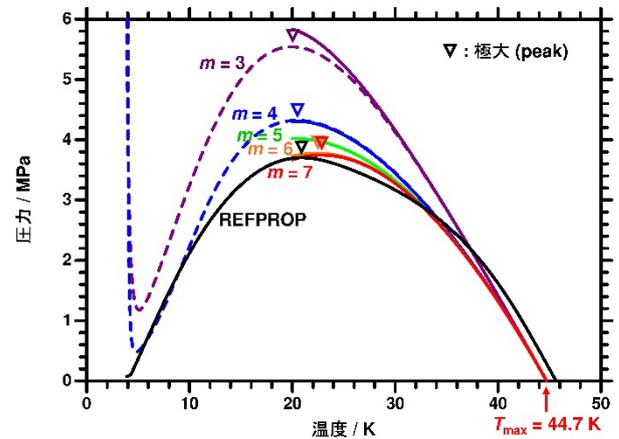


図 1  $^4\text{He}$  のジュールトムソン逆転曲線

とで、従来よりも確からしい  $T_{\max}$  を得ることができたと考えている。

次に逆転曲線の極大を与える温度  $T_{\text{peak}}$  に注目する。 $T_{\text{peak}}$  は  $m$  の増加に伴い、20.0 K ( $m = 3$ )  $\rightarrow$  20.5 K ( $m = 4$ )  $\rightarrow$  22.4 K ( $m = 6$ )  $\rightarrow$  22.8 K ( $m = 7$ ) と変化した。 $m = 5$  では  $T_{\text{peak}}$  は具体的には求められなかったが、図 1 の逆転曲線から 20 K 付近と予想された。 $m \leq 5$  で  $T_{\text{peak}}$  が 20 K 程度、 $m \geq 6$  で  $T_{\text{peak}}$  が 22 - 23 K 程度となっており、 $T_{\text{peak}}$  が  $m$  に対していささか不連続に変化しているのは、文献<sup>[5]</sup>で第 6, 第 7 ビリアル係数が半古典的な取扱いとなっていることによるのではないかと予想している<sup>[4]</sup>。レファレンスの逆転曲線<sup>[9, 10]</sup>では  $T_{\text{peak}}$  は 20.9 K である。以上のことから、本来  $T_{\text{peak}}$  は  $m$  にあまり依存せず、したがって比較的小さな  $m$  であっても確からしい  $T_{\text{peak}}$  を求めることができると考えている。

最後に逆転曲線の極大圧力  $P_{\text{peak}}$  に注目する。 $P_{\text{peak}}$  は  $m$  の増加に伴い、5.54 MPa ( $m = 3$ )  $\rightarrow$  4.32 MPa ( $m = 4$ )  $\rightarrow$  3.78 MPa ( $m = 6$ )  $\rightarrow$  3.75 MPa ( $m = 7$ ) と単調に減少した。 $P_{\text{peak}}$  も  $m = 5$  では具体的に求められなかったが、図 1 の逆転曲線から 4.0 MPa 付近と予想された。 $^4\text{He}$  の逆転曲線の先行研究<sup>[9-13]</sup>では、 $P_{\text{peak}}$  は 3.7 - 3.8 MPa 程度である。したがって、 $m$  が増加するに従い、 $P_{\text{peak}}$  は単調に減少しながら確からしい値に近づいていくと考えられる。以上のことから、比較的小さな  $m$  の場合には  $P_{\text{peak}}$  は過大な値となっ

てしまうおそれがあること、大きな  $m$  でなければ (すなわち高次のビリアル係数が得られていなければ) 確からしい  $P_{\text{peak}}$  を求めることができないこと、が結論付けられる。このような  $m$  に対する  $P_{\text{peak}}$  の振る舞いは、アルゴンの逆転曲線にもおいてもすでに報告されている<sup>[14]</sup>。

#### 4. まとめ

上述した  $^4\text{He}$  の逆転曲線決定の試みから、逆転曲線を決定する手段として密度ビリアル方程式を選択することの長所と短所は以下のようにまとめられる。

長所: 第2 ビリアル係数の温度依存性さえ得られていれば、精度よく  $T_{\text{max}}$  を求めることができる。また、比較的 low order のビリアル係数さえ得られていれば、確からしい  $T_{\text{peak}}$  を求めることができる。

短所: 第2 ビリアル係数しか得られていなければ、逆転「曲線」を得ることができない。また、比較的 low order のビリアル係数しか得られていなければ、確からしい  $P_{\text{peak}}$  を求めることができず、これを過大評価してしまうおそれがある。

#### 参考文献

- [1] K. Tada “The full range Joule-Thomson inversion curve of helium-3” *Int. J. Refrig.* **127**, 157 (2021).
- [2] K. Juris and L.A. Wenzel “A study of inversion curves” *AIChE J.* **18**, 684 (1972).
- [3] A. Maghari and N.S. Matin “Prediction of Joule-Thomson inversion curves from van der Waals type equations of state” *J. Chem. Eng. Jpn.* **30**, 520 (1997).
- [4] K. Tada “Joule-Thomson inversion curves of helium isotopologues from theoretical virial coefficients” *Int. J. Thermophys.* **46**, 48 (2025).
- [5] A.J. Schultz and D.A. Kofke “Virial coefficients of helium-4 from *ab initio*-based molecular models” *J. Chem. Eng. Data* **64**, 3742 (2019).
- [6] P. Czachorowski, M. Przybytek, M. Lesiuk, M. Puchalski and B. Jeziorski “Second virial coefficients for  $^4\text{He}$  and  $^3\text{He}$  from an accurate relativistic interaction potential” *Phys. Rev. A* **102**, 042810 (2020).
- [7] G. Garberoglio and A.H. Harvey “Path-integral calculation of the fourth virial coefficient of helium isotopes” *J. Chem. Phys.* **154**, 104107 (2021).
- [8] D. Binosi, G. Garberoglio and A.H. Harvey “Third density and acoustic virial coefficients of helium isotopologues from *ab initio* calculations” *J. Chem. Phys.* **160**, 244305 (2024).
- [9] E.W. Lemmon, I.H. Bell, M.L. Huber and M.O. McLinden, NIST standard reference database 23: Reference fluid thermodynamic and transport properties-REFPROP, Version 10.0, National Institute of Standards and Technology, Standard reference data program, Gaithersburg, 2018.
- [10] D.O. Ortiz Vega, K.R. Hall, J.C. Holste, A.H. Harvey and E.W. Lemmon “An equation of state for the thermodynamic properties of helium” NIST internal report, NIST IR 8474 (2023).
- [11] M. Yamaguchi “Chart for temperature change in Joule-Thomson expansion of helium” *Cryogenics* **10**, 72 (1970).
- [12] R.C. Hendricks, I.C. Peller and A.K. Baron “Joule-Thomson inversion curves and related coefficients for several simple fluids” NASA technical note d-6807 (1972).
- [13] R.D. McCarty “Thermodynamic properties of helium 4 from 2 to 1500 K at pressures to  $10^8$  Pa” *J. Phys. Chem. Ref. Data* **2**, 923 (1973).
- [14] J. Wiebke, F. Senn, E. Pahl and P. Schwerdtfeger “Communication: *Ab initio* Joule-Thomson inversion data for argon” *J. Chem. Phys.* **138**, 071105 (2013).

# ヘリウム回収ガスバッグの油混入および流出の原因と対策

○西崎 修司<sup>A),B)</sup>、多田 康平<sup>A),B)</sup>

京都大学工学研究科技術室<sup>A)</sup>、京都大学環境安全保健機構低温物質管理部門<sup>B)</sup>

## 1. はじめに

京都大学桂キャンパス極低温施設は 2006 年の稼働開始から 15 年以上が経過し、経年劣化による不具合が発生している。2024 年 9 月には、ヘリウム回収ガスバッグから油の流出が確認された。本来、油が存在しないはずのガスバッグ内からの油流出は、入口または出口からの油浸入が原因と考えられる。

本発表では、原因究明のプロセスを説明し、油混入および流出を防止するための具体的対策について報告する。

## 2. ガスバッグからの油流出

ガスバッグは、2006 年に導入した株式会社スカイピア製 30 m<sup>3</sup>の角形二重膜タイプ（図 1）であり、2024 年 9 月にガスバッグ付近から大量の油流出が確認された（図 2）。油流出の原因を探った所、ガスバッグ周辺で油は使用していないため、ガスバッグに油が混入し、経年劣化、もしくは油混入が原因でガスバッグに穴が開き、ガスバッグ内に溜まった油が流出した可能性が高いという結論に至った。

ガスバッグから油流出している事からガスバッグに穴が開いているのは確かなので、ヘリウム漏洩を懸念した。しかし、ガスバッグの膨らみも普段の状態とあまり変わらなく、代替品もないため、そのまま使う事とした。2025 年 3 月に新しいガスバッグ



図 1 ヘリウム回収ガスバッグ



図 2 ヘリウム回収ガスバッグから油漏洩

を今あるガスバッグと並列に増設するため、ガスバッグの穴によるヘリウム漏洩の程度は、新ガスバッグ導入後、確認する事にした。

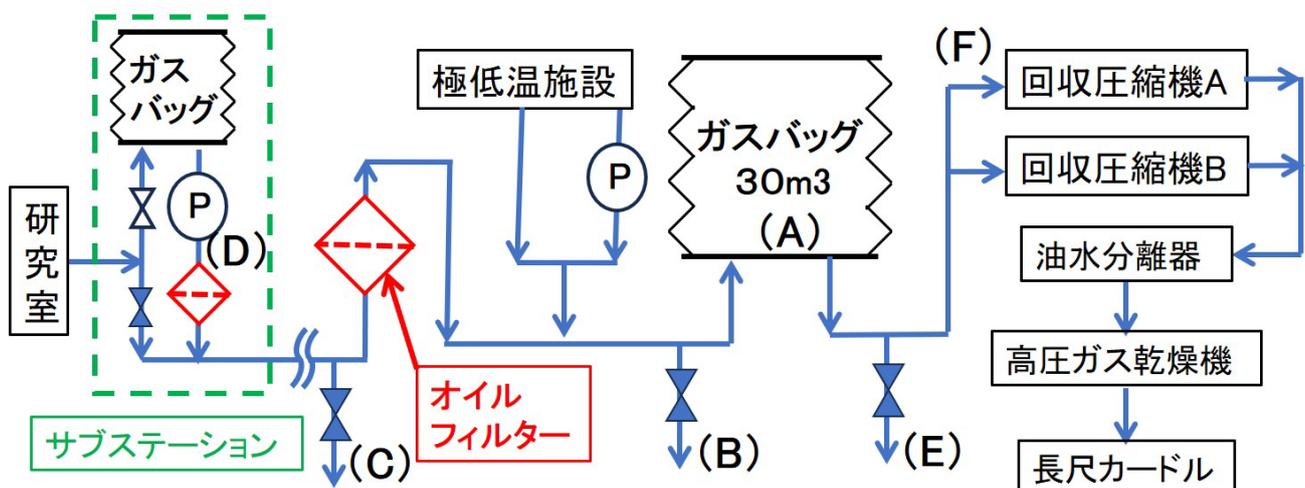


図 3 京都大学桂キャンパスのヘリウム回収システム概略図

### 3. ガスバッグの油混入の原因

ガスバッグへの油混入の原因を探るため、ヘリウム回収システム（図3）を確認する。

#### 3.1 ガスバッグ一次側

ガスバッグの一次側を見ると、研究室で回収したヘリウムガスは、サブステーションのガスバッグに一時的に貯蔵され、オイルフィルター（図4）を通過して、ロータリーポンプで回収配管に送り込まれる。共同溝の回収配管を通ったヘリウムガスは、極低温施設に到達し、オイルフィルター（図5）を通り、オイルは除去され、ガスバッグに貯蔵される。オイルフィルターは、設置以来交換していなかったため、フィルター機能の劣化が懸念された。

また、極低温施設内で回収したヘリウムガスは、オイルフィルターを通らず直接ガスバッグに導かれる。ヘリウム液化機系内を真空引きするメカニカルブースターポンプ（図6）には、オイルミストトラップが付いているが、それをオイルが通過するとガスバッグに直接オイルが流入する。ヘリウム液化機を稼働する前に水素成分除去のため毎回真空引きをしているが、メカニカルブースターポンプの運転頻度と油減少量に鑑みるとガスバッグ油混入の主要原因としては考えにくい。

ガスバッグ、および回収配管から出てきた液体とポンプ油の色を比較した（図7）。図7の(A)から(F)のラベルは、図3の配管の位置と対応させている。(A)は、ガスバッグから流出した油で、かなり茶色が濃い。500 mL程度を容器に確保できたが、総流出量は、その数倍の数リットルにも及ぶと見込んでいる。(B)は、ガスバッグ入口の回収配管から出てきた油で、若干量確保した。(A)と同じ濃い茶色であり、(A)と同じ成分だと考えられる。(C)は、フィルター前の回収配管から出てきた油で、約1リットル確保した。(A)と異なり薄い黄色でガス



図4 サブステーションのポンプとオイルフィルター



図5 ガスバッグ入口のオイルフィルター



図6 メカニカルブースターポンプ

バッグ内で酸化、もしくはガスバッグとの化学反応により、色が濃くなる可能性も考えられる。(D)は、サブステーションのロータリーポンプの油であり、ほぼ無色透明に近く、酸化などにより、(C)の色に近づく可能性がある。

ガスバッグ増設のため、ガスバッグ入口配管を切断した所、フィルター後の配管は、若干の油が出てくる程度で、大量の油が流出するほどではなかった

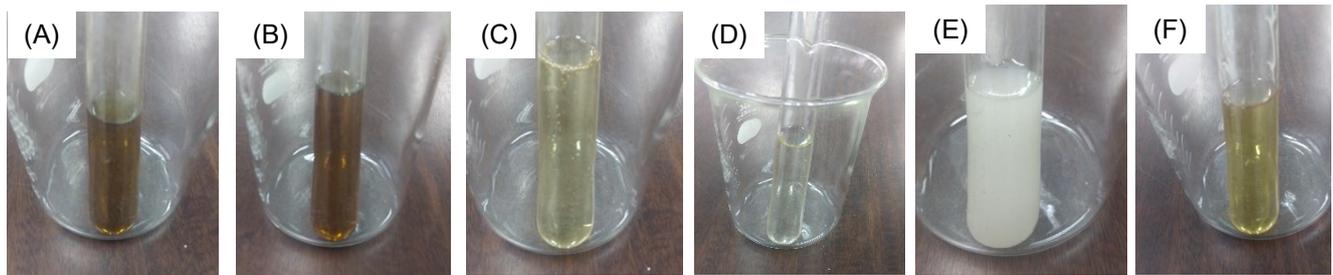


図7 油の色比較：(A) ガスバッグからの流出油、(B) ガスバッグ入口、(C) フィルター前、(D) サブステーションのロータリーポンプ油、(E) ガスバッグ出口、(F) 回収圧縮機の潤滑油

(図8)。

### 3.2 ガスバッグ二次側

ガスバッグの二次側を見ると、ガスバッグにヘリウムガスが十分溜まると、回収圧縮機(図9)が稼働し、ヘリウムガスを15 MPaまで加圧し、油水分離器で油を除去後、高压ガス乾燥機で水分を除去し、長尺カードルに貯蔵する。ガスバッグ出口から油が混入するには、ヘリウムガスが逆流するしかない。ヘリウムガスの逆流は、運転停止工程や長時間運転中の圧抜き工程のように回収圧縮機が高压運転状態から圧力を下げる時に、溜まった圧力をガスバッグに戻す工程で発生する。回収圧縮機の入口には、油が不純物として含まれるドレンを貯める容器があり、逆流の際にドレンがガスバッグに混入する可能性がある。実際、回収圧縮機A号機から出るはずのドレンが数年間出て来ず、行方不明であり、ガスバッグに混入した可能性も考えられる。

ガスバッグ、および回収配管から出てきた混入物と潤滑油の色を比較した(図7)。(E)は、ガスバッグ出口の回収配管から出てきた油で、若干量確保した。色は白濁しており、ガスバッグから流出した(A)と全く異なる成分だと考えられる。見た目から水と油が混合したドレン成分と同じと考えられる。(F)は、回収圧縮機の潤滑油で、薄い黄色に近く、(E)とは、別成分である。

ガスバッグ増設のため、ガスバッグ出口配管を切断した所、配管内側にドレンが付着しており、ガスバッグにドレン混入の可能性が考えられる(図10)。

## 4. ガスバッグの油混入の対策

ガスバッグへの油混入対策を実施する。

### 4.1 ガスバッグ入口

ガスバッグ入口(図5)のオイルフィルターのエレメントを交換した。フィルター内部に油が大量に溜まっておらず、油まみれでもなかった。フィルター前の回収配管には、油が溜まり易いので、こまめに油抜きをすることが重要である。

### 4.2 ガスバッグ出口

ドレンが逆流してガスバッグに混入する可能性も捨てきれないため、ガスバッグと回収圧縮機との間にフィルターを設置することを検討中である。

### 4.3 ガスバッグ増設

ガスバッグが1基だけの場合、ガスバッグに不具合が起こった場合、対処できなくなる。経年劣化の影響もあり、いつガスバッグに問題が発生するか

からないため、2025年3月に新しいガスバッグが増



図8 ガスバッグ入口配管からの油漏れ



図9 回収圧縮機

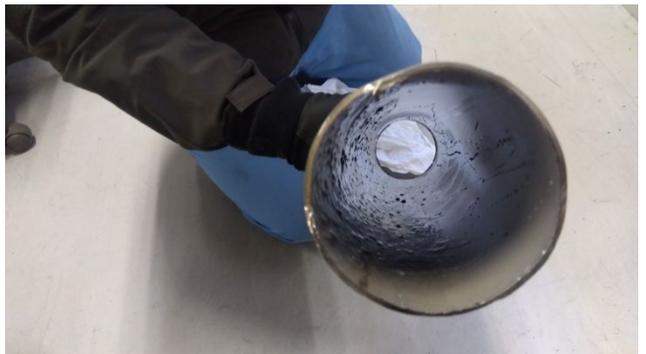


図10 ガスバッグ出口配管に付着するドレン

設予定である。この増設により、不具合の起こったガスバッグの点検が可能となり、油流出箇所や気密検査などが可能となる。

## 5. 考察

今回は、油の見た目により混入ルートと原因を推察し、可能性を検討した。しかし、もっと確実な証拠を得るためには、流出物の成分分析などが必要である。質量分析をすれば、ある程度、何に由来する油なのか検討可能であると考えられる。

## 6. まとめ

ガスバッグに油が混入し、流出した。フィルター前に大量の油が確認された事から、劣化したフィルターを通り抜けた油がガスバッグに混入し、蓄積した可能性が高い。今後、新ガスバッグ増設により、様々な検査を実施して、油混入の原因を特定し、効

果的な対策実施を目指す。

4

技術部提供サービス

## 4.1 技術部提供サービス宣伝パンフレット

研究で困ったことはないですか？

# 技術室の研究支援サービス

工学研究科技術室では、大判プリンターの利用、技術相談、桂ものづくり工房の利用、工具貸出の研究支援を実施しています。

## A0サイズのポスターを印刷できます！

普通紙、コート紙、フォト光沢紙、防災クロスの4種類の用紙。  
枚数・用紙種類により課金されます。



## 技術相談ができます！

試験方法、装置部品の設計・加工、各種測定・分析の相談など、  
多様な専門分野に従事している職員に相談できます。

## 金属・木材・樹脂等の切断・穴あけができます！

桂ものづくり工房に各種工作機械、デジタル加工機があります。  
金属・木材・樹脂等の切断・穴あけなどを自分でできます。  
ただし、利用には機械運転技術講習の受講が必要です。  
また、学生は学生教育研究災害傷害保険および  
学研災付帯賠償責任保険の加入者に限ります。



## 工具・器具を借りられます！

貸出可能な電動工具、測定器具などがあります。



工学研究科技術室 Webサイト『提供サービス』より  
お申し込みください。

<https://www.tech.t.kyoto-u.ac.jp/ja/services>



The following technical services are available to faculty, staff, and students of the Graduate School of Engineering.

<https://www.tech.t.kyoto-u.ac.jp/ja/services>  
(written in Japanese)



### ■ Poster Printing

You can print posters on the large format printer. The printing fee depends on the paper quality and size.

### ■ Technical Consultation

You can get advice on designing and processing of machinery parts, various instrumental analyses, and experimental methods.

### ■ Cutting, Grinding, and Drilling

After taking the user training course, you will be able to cut, grind, and drill holes in metals, woods, and resins by yourself.

### ■ Tool Rental

You can borrow various tools, including electric power tools and measuring instruments.

Feel free to e-mail us if you have any questions about these services.

E-mail address: [q-a@tech.t.kyoto-u.ac.jp](mailto:q-a@tech.t.kyoto-u.ac.jp)



研究で困ったことはないですか？

## 技術部の研究支援サービス

工学研究科技術部では、大判プリンターの利用、技術相談、桂ものづくり工房の利用、工具貸出の研究支援を実施しています。

### A0サイズのポスターを印刷できます！

普通紙、コート紙、フォト光沢紙、防災クロスの4種類の用紙。  
枚数・用紙種類により課金されます。



### 技術相談ができます！

試験方法、装置部品の設計・加工、各種測定・分析の相談など、  
多様な専門分野に従事している職員に相談できます。

### 金属・木材・樹脂等の切断・穴あけができます！

桂ものづくり工房に各種工作機械、デジタル加工機があります。  
金属・木材・樹脂等の切断・穴あけなどを自分でできます。  
ただし、利用には機械運転技術講習の受講が必要です。  
また、学生は学生教育研究災害傷害保険および  
学研災付帯賠償責任保険の加入者に限ります。



### 工具・器具を借りられます！

貸出可能な電動工具、測定器具などがあります。



工学研究科技術部 Webサイト『提供サービス』で、  
利用の申し込みや受付時間の確認をお願いします。

<https://www.tech.t.kyoto-u.ac.jp/ja/services>



The following technical services are available to faculty, staff, and students of the Graduate School of Engineering.

<https://www.tech.t.kyoto-u.ac.jp/ja/services>  
(written in Japanese)



### ■ Poster Printing

You can print posters on the large format printer. The printing fee depends on the paper quality and size.

### ■ Technical Consultation

You can get advice on designing and processing of machinery parts, various instrumental analyses, and experimental methods.

### ■ Cutting, Grinding, and Drilling

After taking the user training course, you will be able to cut, grind, and drill holes in metals, woods, and resins by yourself.

### ■ Tool Rental

You can borrow various tools, including electric power tools and measuring instruments.

Feel free to e-mail us if you have any questions about these services.

E-mail address: [q-a@tech.t.kyoto-u.ac.jp](mailto:q-a@tech.t.kyoto-u.ac.jp)



京都大学大学院工学研究科技術部 2025年2月版

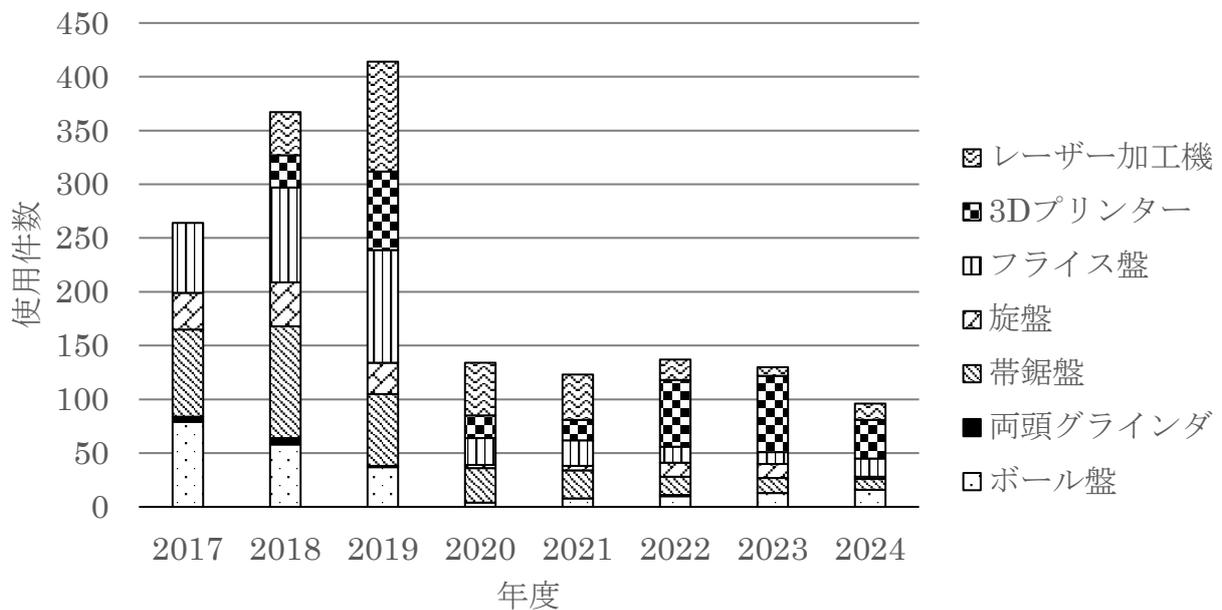
## 4.2 桂ものづくり工房使用実績

### 2024年度 桂ものづくり工房使用実績

機器名	件数
ボール盤	16
旋盤 1 (汎用旋盤)	2
旋盤 2 (卓上旋盤)	0
帯鋸盤 1 (精密コンターマシン)	5
帯鋸盤 2 (コンターマシン)	5
両頭グラインダー	0
フライス盤	17
折曲機(シャーリング)	1
ファインカット	1

機器名	件数
ベルトグラインダー	1
糸鋸盤	1
スライド丸鋸	1
ロータリーバンドソー	1
タップ / ダイス	2
工具	1
3Dプリンター	36
レーザー加工機	15

### 工作機械使用実績推移



### 4.3 機械運転技術講習会

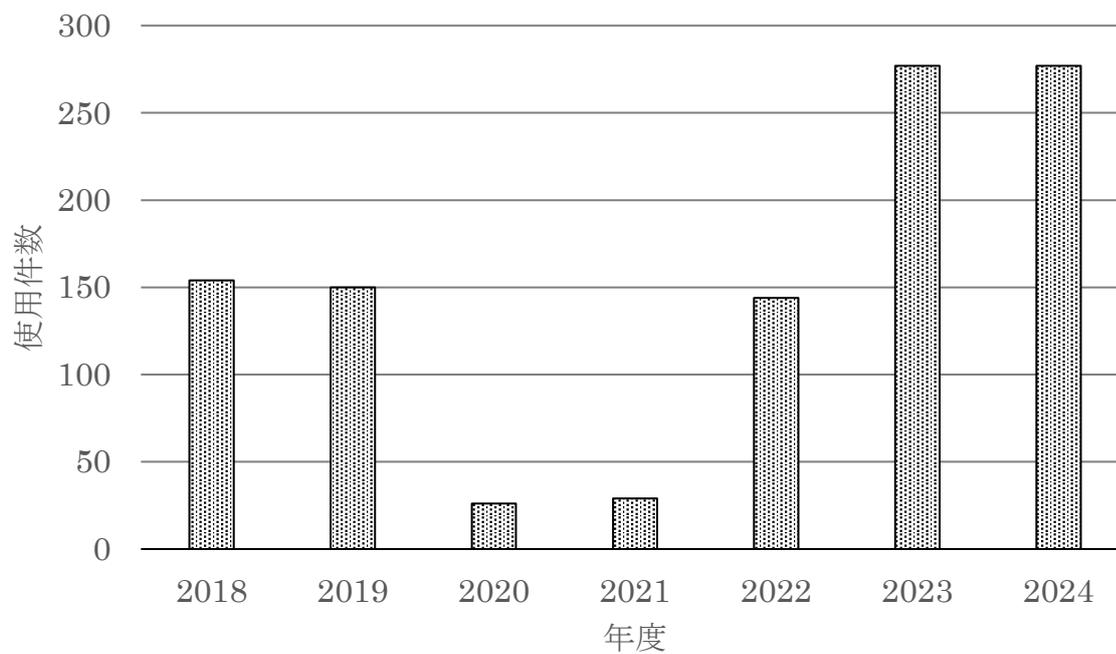
桂ものづくり工房の工作機械およびデジタル加工機（3Dプリンター・レーザー加工機）を使用するには、技術部が主催する機械運転技術講習を受講・修了する必要があります。2024年度は1回の受講者を2名までに限定した少人数制で開催し、開催回数は17回、受講者総数は28名でした。

講習日	受講人数
2024/4/10	1
2024/4/23	2
2024/5/14	2
2024/5/24	2
2024/6/6	1
2024/6/13	2
2024/6/26	2
2024/7/8	2
2024/7/19	1
2024/8/6	2
2024/8/22	1
2024/9/5	1
2024/10/7	2
2024/10/22	2
2024/11/7	2
2024/11/22	2
2025/3/28	1

## 4.4 大判プリンター使用実績

2024年度の大判プリンターの使用件数は277件でした。

大判プリンター使用実績推移



## 4.5 物品貸出実績

### 2024 年度 物品貸出実績

品名	件数	日数
ハンドドリル	2	21
水準器	2	5
レーザー距離計	2	5
振動ドリル	2	2
木工用のこぎり	1	18
彫刻のみ	1	18
きり	1	18
ドリル刃	1	18
ドライバードリル	1	2
プロジェクター	1	2
スピーカーフォン	1	1
アングルカッター	1	1
電気ドリル	1	1
板金バサミ	1	1
定規	1	1

### 貸出物品例



## 4.6 技術相談実績

技術相談は口頭、メール、WEBサイトの受付フォームで受け付けています。  
2024年度の相談件数は4件（メール2件、受付フォーム2件）でした。

### 【相談例】

#### <相談概要>

金属不織布（Ti）を切断部分にバリが出ないように円形にくり抜く加工は可能か？

#### <回答概要>

工場のレーザー加工機では出力が低いため、金属の加工は困難である。厚みやバリの許容値、円形の精度の要求値にもよるが、工房で対応するならば、金切りはさみでのカットが考えられる。

5

會議記錄

## 5.1 会議記録

### 2024年3月

21日(木) 【研修委員会】第1回会議

### 2024年4月

8日(月) 【技術室会議】第1回会議

9日(火) 【広報・編集委員会】第1回会議

### 2024年5月

10日(金) 【桂ものづくり工房委員会】第1回会議

13日(月) 【技術室会議】第2回会議

13日(月) 【研修委員会】第2回会議

### 2024年6月

10日(月) 【技術室会議】第3回会議

### 2024年7月

3日(水) 【広報・編集委員会】第2回会議

8日(月) 【技術室会議】第4回会議

19日(金) 【技術部運営委員会】第1回会議

### 2024年8月

5日(月) 【技術部運営委員会】第2回会議

### 2024年10月

23日(水) 【技術室会議】第5回会議

### 2024年11月

1日(金) 【桂ものづくり工房委員会】第2回会議

11日(月) 【技術室会議】第6回会議

【技術部運営委員会】第3回会議（メール審議）

### 2024年12月

16日(月) 【技術室会議】第7回会議

### 2025年1月

21日(火) 【技術室会議】第8回会議

31日(金) 【桂ものづくり工房委員会】第3回会議

2025年2月

17日(月) 【技術室会議】第9回会議

2025年3月

3日(月) 【研修委員会】第3回会議

7日(金) 【技術室会議】第10回会議

## 編集後記

本報告集は京都大学大学院工学研究科技術部の 2024 年度の活動をまとめたものです。

2024 年度に工学研究科技術部で実施した各種研修や業務報告会をはじめ、技術部が提供するサービスの実績や技術研究会等における技術職員の発表要旨を掲載しています。chatGPT の研修で最新技術に触れる一方、普段の業務においてもコツコツと技術の向上させてきた様子が技術発表などから読み取れるかと存じます。是非ご一読ください。

2024 年 10 月に本学の教室系技術職員が専門職(技術)という新たな職種に移行したことを受け、工学研究科技術部においてはその組織を改める検討が進められています。それがどのようなものになるのか未確定ではありますが、今まで工学研究科技術部報告集の発行・編集を担ってきた広報・編集委員会は 2025 年度も活動を続行することが決定しています。今までに発行・編集した技術部報告集は今集を含めると 22 集を数え、30 年以上に渡って工学研究科技術部の活動を記録してきました。今回の組織変更によって今後のこの記録媒体は名称などを変更するかもしれませんが、この新組織とそれに属する専門職(技術)が歩みを止めずに更なる高みを目指して邁進することには変わりはないはずですので、その姿を引き続き記録・発信していければと考えています。

最後に、京都大学大学院工学研究科「技術部報告集(第 22 集)」を発刊するに当たり、技術部の運営でご指導いただいております技術部長をはじめ、教員、事務職員、技術職員の皆様にご協力いただきましたこと、広報・編集委員会一同、厚く御礼申し上げます。本報告集をご高覧いただき、技術部へのご助言や一層のご支援を賜ることができれば幸いです。

2025 年 6 月

## 2024 年度 工学研究技術部 広報・編集委員会

委員長 塩田 憲司

副委員長 奥中 敬浩

委員 石川 航佑 藺林 豊 西村 果倫 平野 裕一

## 2025 年度 工学研究技術部 広報・編集委員会

委員長 浅野 義直

副委員長 奥中 敬浩

委員 石川 航佑 鹿住 健司 小森 直人 西村 果倫

---

### 技術部報告集発行履歴

第1集	(1994年3月発行)	1988(S63)年度～1993(H05)年度分活動報告
第2集	(1998年3月発行)	1994(H06)年度～1997(H09)年度分活動報告
第3集	(2002年8月発行)	1998(H10)年度～2002(H14)年度分活動報告
第4集	(2007年3月発行)	2003(H15)年度～2006(H18)年度分活動報告
第5集	(2008年3月発行)	2007(H19)年度分活動報告
第6集	(2009年3月発行)	2008(H20)年度分活動報告
第7集	(2010年3月発行)	2009(H21)年度分活動報告
第8集	(2011年3月発行)	2010(H22)年度分活動報告
第9集	(2012年5月発行)	2011(H23)年度分活動報告
第10集	(2013年10月発行)	2012(H24)年度分活動報告
第11集	(2014年10月発行)	2013(H25)年度分活動報告
第12集	(2015年5月発行)	2014(H26)年度分活動報告
第13集	(2016年6月発行)	2015(H27)年度分活動報告
第14集	(2017年6月発行)	2016(H28)年度分活動報告
第15集	(2018年6月発行)	2017(H29)年度分活動報告
第16集	(2019年6月発行)	2018(H30)年度分活動報告
第17集	(2020年6月発行)	2019(R1)年度分活動報告
第18集	(2021年6月発行)	2020(R2)年度分活動報告
第19集	(2022年6月発行)	2021(R3)年度分活動報告
第20集	(2023年6月発行)	2022(R4)年度分活動報告
第21集	(2024年6月発行)	2023(R5)年度分活動報告
第22集	(2025年6月発行)	2024(R6)年度分活動報告

京都大学大学院工学研究技術部報告集（第 22 集）

2025 年 6 月

発行・編集：工学研究技術部 広報・編集委員会

E-mail: [pr-e@tech.t.kyoto-u.ac.jp](mailto:pr-e@tech.t.kyoto-u.ac.jp)

<https://www.tech.t.kyoto-u.ac.jp/ja>

本報告集の無断転載を禁じる。