

京都大学大学院工学研究科

# 技術部報告集

(第19集)



令和4年6月



1

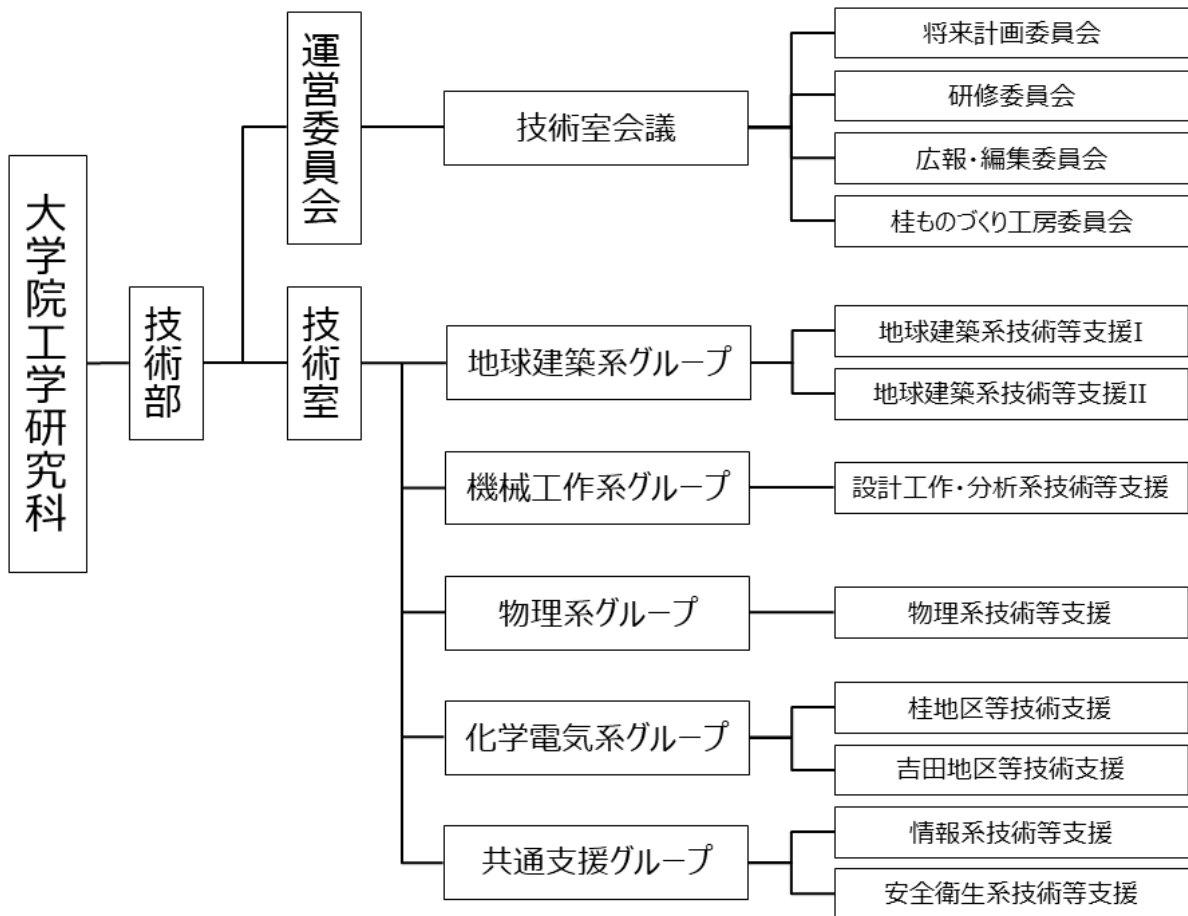
工学研究技術部  
組織

## 1.1 沿革

### 工学研究科技術部 沿革

昭和 63年 12月	工学部技術職員研修 開始
平成 5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
平成 9年 11月	工学部・環境保全センター技術部 編集委員会発足
平成 11年 5月	工学部・環境保全センター技術部 広報委員会発足
平成 11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
平成 15年 10月	工学研究科桂キャンパス開学
平成 16年 4月	国立大学法人京都大学へ移行
平成 17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」検討
平成 18年 1月	工学部技術職員問題第1回W・G開催
平成 18年 8月	工学研究科技術職員シンポジウム開催
平成 19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)
平成 19年 4月	工学研究科技術部第1回運営委員会開催
平成 20年 5月	工学研究科技術部だより (技術部報No.1) 発刊
平成 20年 11月	桂ものづくり工房 開設
平成 21年 4月	技術部主催新規採用者受け入れ研修実施 工学研究科平成21年度支出予算配当書に技術部予算が明記
平成 22年 2月	技術相談サービス開始
平成 23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
平成 23年 5月	物品貸出しサービス開始
平成 27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 令和3年度工学研究科技術部企画研修

「わかりやすいマニュアルの作成手法セミナー -取扱いマニュアル編-」

### 開催日

1日目：令和3年11月12日（金）9:30～16:30

2日目：令和3年11月22日（月）9:30～16:30

### 場所

オンライン開催（Zoom）

### 目的

教育研究支援の現場において、技術職員は実験操作、装置の取扱い方法、ソフトウェアの操作などを利用者にわかりやすく簡潔に伝える必要がある。また、「桂結」で運用される分析装置は技術職員が関わる装置も在る為、新しい運用ルールの下でのマニュアル整備が求められる。

研修を通して機器等の取扱い情報を正確かつ効果的に伝達する為のマニュアル作成方法を学ぶことを目的とする。

※桂結 設備共用の取り組みを積極的に推進するため、既存の部局の枠組みを超え、地区別や研究分野別など学内外に対して優れた設備の共同利用を効率的・効果的に実施するための組織（拠点）整備として、京都大学大学院工学研究科において平成31年度より開始された設備サポート拠点事業。

## 2.2 令和3年度工学研究科技術部技術室業務報告会

### 開催日

令和4年3月7日（月）11:25～16:30

### 場所

オンライン開催（Zoom）

### 目的

第1部では、業務報告を通じ、技術部技術室の活動について情報共有する。

第2部では、技術部提供サービスのひとつである桂ものづくり工房が教育研究にどのように活用されているか、利用事例のご発表から学ぶ。

第3部では、新型コロナウイルス感染症に関する知見のご講演から、新型コロナウイルス感染症の現状について学ぶ。



## 2.3 個人研修

### 2021年4月

20日(火) SCIEX X500 ユーザーズミーティング (1名)

### 2021年5月

28日(金) オンラインセミナー 分析におけるスペクトル解析の基本から応用  
テクニック (2名)

### 2021年6月

14日(月)～16日(水) 日本顕微鏡学会 第77回学術講演会 (1名)  
24日(木) オンラインセミナー 研削加工の基礎と高精度・高能率化のポイント  
(2名)

### 2021年8月

27日(金) 京都大学技術職員研修 (第3専門技術群) (10名)

### 2021年9月

7日(火)～2月25日(火) 京都大学英語実践研修 (全20回受講) (1名)  
9日(木)～10日(金) 令和3年度機器・分析技術研究会 (3名)  
21日(火)～22日(水) 第21回若手NMR研究会 (1名)  
29日(水) 令和3年度秋期放射線安全管理研修会 (1名)

### 2021年10月

6日(水) BRUKER ユーザーズミーティング (1名)  
18日(月) フルハーネス型墜落制止用器具特別教育 (1名)  
28日(木)～29日(金) 令和3年度放射線安全取扱部会年次大会 (1名)

## 2021年11月

5日(金)	京都大学技術職員研修(第5専門技術群)(1名)
6日(土)	京都大学技術士会総会講演会(1名)
9日(火)~11日(木)	設計プロセス実践 ポリテクセンター関西(1名)
12日(金)	工学研究科技術部企画研修「わかりやすいマニュアルの作成手法セミナー」(18名)
22日(月)	工学研究科技術部企画研修「わかりやすいマニュアルの作成手法セミナー」(18名)
24日(水)、26日(金)	京都大学技術職員研修(第46回)(6名)
25日(木)~26日(金)	2021年技術士全国大会(1名)
19日(金)~25日(木)	Internet Week 2021(1名)
30日(火)	京都大学技術職員研修(第4専門技術群)(1名)

## 2021年12月

3日(金)	京都大学技術職員研修(第6専門技術群)(3名)
6日(月)	若手スキルアップ研修(チームビルディング・フォローシップ) (1名)
9日(木)	フルハーネス型墜落制止用器具特別教育(1名)
10日(金)	工学研究科ハラスメント防止のための研修会(1名)
15日(水)~17日(金)	大学ICT推進協議会2021年度年次大会(3名)
17日(金)	令和3年度京都大学技術職員向けスキルアップ研修(はじめてのデータ分析研修)(3名)

## 2022年1月

14日(金)	理学研究科技術部全体研修(1名)
19日(水)	広報倫理講習会(4名)
20日(木)	京都大学技術職員研修(第2専門技術群)(2名)
20日(木)	JEOL ユーザーズミーティング(1名)
26日(水)	ヘルスケア講習会(1名)
28日(金)	第5回京大生体質量分析研究会シンポジウム(1名)

## 2022年2月

- 7日(月)～3月4日(金) 京都大学技術職員研修（第3専門技術群）(e-Learning) (3名)
- 18日(金) 令和3年度京都大学技術職員向けスキルアップ研修（怒りのマネジメント研修）(1名)
- 21日(月) 令和3年度京都大学技術職員向けスキルアップ研修（はじめてのデータ分析研修）(2名)
- 25日(金) 令和3年度春期放射線安全管理研修会 (1名)

## 2022年3月

- 3日(木) 京都大学技術職員研修（第1専門技術群）(4名)
- 3日(木)～4日(金) 実験・実習技術研究会 2022 東京工業大学 (5名)
- 4日(金) 令和3年度京都大学技術職員向けスキルアップ研修（コミュニケーション力向上研修）(1名)
- 7日(月) 令和3年度工学研究科技術部技術室業務報告会
- 8日(火) 令和3年度近畿地区国立大学法人等教室系技術職員研修 (3名)
- 10日(木)～11日(金) 令和3年度核融合科学研究所技術研究会 (2名)
- 11日(金) 令和3年度京都大学技術職員向けスキルアップ研修（はじめてのデータ分析研修）(3名)

3

技術発表

### 3.1 令和3年度核融合科学研究所技術研究会

#### 発表

題 目：音響ビリアル係数から密度ビリアル係数を求める公式

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鉄枠損壊の原因と今後の安全対策

所属・氏名：共通支援グループ 西崎 修司

共通支援グループ 多田 康平

# 音響ビリアル係数から密度ビリアル係数を求める公式<sup>[1]</sup>

○多田 康平<sup>A) B)</sup>

<sup>A)</sup>京都大学 大学院工学研究科、<sup>B)</sup>京都大学 環境安全保健機構 低温物質管理部門

## 1. 序論

液化ガスの製造など高圧ガスを取り扱う場合には、用いる気体に対して、(理想気体としてではなく、) 実在気体としての性質がしばしば利用される。例えば、ヘリウム液化の最終段階で利用されるジュール・トムソン効果は、定義により理想気体では現れず、実在気体でこそ現れる効果である<sup>[2]</sup>。このような背景から、用いる気体の実在気体としてのふるまいをよく理解しておくことは重要であると考えられる。

希薄な実在気体の記述には、物理量のビリアル展開がしばしば用いられる。主なものに、圧縮因子  $Z$  を気体のモル密度  $\rho$  のべきで展開したもの：

$$Z = \frac{P}{\rho RT} = 1 + B\rho + C\rho^2 + \dots \quad (1)$$

音速  $u$  の二乗を圧力  $P$  のべきで展開したもの：

$$u^2 = \frac{\gamma_0 RT}{M} \left( 1 + \frac{\beta_a}{RT} P + \frac{\gamma_a}{RT} P^2 + \dots \right) \quad (2)$$

がある。ここに、 $R$  は気体定数、 $T$  は熱力学温度、 $M$  はモル質量、 $\gamma_0$  は理想気体における定圧熱容量と定積熱容量の比(比熱比)を表す。 $B, C, \dots$  は密度ビリアル係数、 $\beta_a, \gamma_a, \dots$  は音響ビリアル係数と呼ばれ、これらはいずれも温度の関数である。比熱比  $\gamma_0$  は、単原子分子では温度によらず一定の値  $5/3$  をとるが、それ以外の分子では、主に分子内振動や他の分子内自由度のために、温度の関数である。分子回転のみが励起され、他の自由度を無視してよいとすると、 $\gamma_0$  は、二原子分子および直線多原子分子では  $7/5$ 、非直線多原子分子では  $4/3$  の定数値をとる。

密度と音響のビリアル係数を結ぶ関係式は広く知られており<sup>[3,4]</sup>、第二ビリアル係数については、以下の式で与えられる。

$$\beta_a = 2B + 2(\gamma_0 - 1)T \frac{dB}{dT} + \frac{(\gamma_0 - 1)^2}{\gamma_0} T^2 \frac{d^2B}{dT^2} \quad (3)$$

$B$  の温度依存性が分かれば  $\beta_a$  の温度依存性は計算できる一方で、 $\beta_a$  の温度依存性が分かってもこの式だけでは  $B$  の温度依存性は自明でない。単原子分子については式(3)の微分方程式が解かれ、 $\beta_a$  の温度依存性から  $B$  の温度依存性を計算する数式が示され

ているが<sup>[5-7]</sup>、その数式は、一見使いやすいものとはいえない。加えて、その他の分子については、そのような方法論自体、報告されていない。

そこで本研究では、 $\gamma_0$  が温度によらず定数であると仮定した条件の下で、式(3)を数学的に解き、 $\beta_a$  について適当な関数形を仮定し、さらに物理学的に適当な初期条件を課すことで、単原子分子のみならずその他の分子にも適用できる、 $\beta_a$  の温度依存性から  $B$  の温度依存性を計算する公式を導く。最近の筆者の論文<sup>[1]</sup>では非直線多原子分子の例としてメタン( $\text{CH}_4$ )についても議論しているが、本稿では、極低温寒剤として広く利用されている単原子分子のヘリウム4 ( $^4\text{He}$ ) と二原子分子の窒素 ( $\text{N}_2$ ) に限定して、得られた公式により  $\beta_a$  の温度依存性から  $B$  の温度依存性をよく計算できることを確認する。

## 2. 公式の導出

$\gamma_0$  が定数であるとするれば、式(3)はオイラー型の微分方程式である。変数  $T$  を  $t = \ln T$  で置換すると、

$$\frac{d^2B}{dt^2} + \frac{\gamma_0 + 1}{\gamma_0 - 1} \frac{dB}{dt} + \frac{2\gamma_0}{(\gamma_0 - 1)^2} B = \frac{\gamma_0}{(\gamma_0 - 1)^2} \beta_a \quad (4)$$

が得られ、この微分方程式の一般解として

$$B = e^{pt} [C_1 \sin(qt) + C_2 \cos(qt)] + \frac{\gamma_0 e^{pt} \sin(qt)}{q(\gamma_0 - 1)^2} \int \frac{\beta_a \cos(qt)}{e^{pt}} dt - \frac{\gamma_0 e^{pt} \cos(qt)}{q(\gamma_0 - 1)^2} \int \frac{\beta_a \sin(qt)}{e^{pt}} dt \quad (5)$$

が得られる。式(4)は2階の微分方程式なので、積分定数が2個 ( $C_1$  および  $C_2$ ) 存在する。これらはあとで初期条件を課して決定する。 $p$  と  $q$  はそれぞれ

$$p = -\frac{\gamma_0 + 1}{2(\gamma_0 - 1)}, \quad q = \frac{\sqrt{-\gamma_0^2 + 6\gamma_0 - 1}}{2(\gamma_0 - 1)} \quad (6)$$

で与えられ、 $\gamma_0$  が定数のとき  $p$  と  $q$  も定数である。

式(4)の一般解である式(5)は、 $\beta_a$  の具体的な関数形が与えられておらず、そのままでは利用することが難しい。そこで  $\beta_a$  に適当な関数形を仮定することにする。ビリアル係数の温度依存性は、例えば論文<sup>[8,9]</sup>のように、しばしば熱力学温度のべき級数で表され

る。これを踏まえ、 $\beta_a$ の温度依存性が

$$\beta_a = \sum_j \beta_j T^j = \sum_j \beta_j e^{jt} \quad (7)$$

で表される場合を考える。 $\beta_j$ は、温度に依存しない、 $T^j$ の係数とする。この場合、式(5)は簡単になり、

$$B = e^{pt} [C_1 \sin(qt) + C_2 \cos(qt)] + \sum_j \frac{\gamma_0 \beta_j e^{jt}}{(\gamma_0 - 1)^2 j^2 + (\gamma_0^2 - 1)j + 2\gamma_0} \quad (8)$$

を得る。変数を  $T$  に戻せば、 $\beta_a$ の温度依存性から  $B$ の温度依存性を計算する公式として次式を得る。

$$B = T^p [C_1 \sin(q \ln T) + C_2 \cos(q \ln T)] + \sum_j \frac{\gamma_0 \beta_j T^j}{(\gamma_0 - 1)^2 j^2 + (\gamma_0^2 - 1)j + 2\gamma_0} \quad (9)$$

式(9)の第1項および第2項は減衰振動のようにふるまい、その振幅は  $C_1$  と  $C_2$  で特徴づけられる。これらの項を以下では「減衰振動項」と呼ぶことにする。これらは低温領域では  $B$ の温度依存性に影響するが、温度上昇につれて急激に減衰する。 $\gamma_0 = 5/3$  の場合  $p = -2$ 、 $\gamma_0 = 7/5$  の場合  $p = -3$ 、 $\gamma_0 = 4/3$  の場合  $p = -7/2$  だからである。高温では、 $B$ の温度依存性は式(9)の最後の項のみで与えられる。この最後の項を、以下「シグマ項」と呼ぶことにする。

$C_1$  と  $C_2$  を与える初期条件を検討するため、典型的な  $B$  の関数形を思い起こすことにする。低温では主に分子間引力のために  $B$  は負の値をとる。温度上昇につれて、分子の運動エネルギーが増加し分子間力と競合し始める。また、実際の分子は排除体積をもち、高い温度ではその効果が大きくなる。そのため  $B$  は温度上昇とともに増加し、ボイル温度  $T_B$  でゼロになり、さらに正の値をとるようになる。実際の分子は完全な剛体ではなく、さらなる高温では実効的な排除体積は減少し始める。温度が無限大に近づくにつれ、排除体積はゼロに漸近し、それゆえ実在気体のふるまいは理想気体のそれに近づいていくと考えられる。したがって、 $B$  はある温度で極大をとった後、緩やかにゼロに漸近すると考えられる。

このような  $B$  の温度依存性を考慮すると、「 $T = T_B$  で  $B = 0$ 」および「極大をとる温度  $T_{\max}$  で  $dB/dT = 0$ 」が適当な2つの初期条件と思われるかもしれない。しかしながら、後者の条件は、数学的には適当でも物理学的には適当でない。なぜならば、ほとんどの分子において  $T_{\max}$  が高温すぎるために、その温度に到達する前に分子が熱解離してしまうか、仮に分子が安定だとしても、実験的にその温度を達成するこ

とが極めて難しいからである。

いくつかの検討の結果、物理学的にも適当な初期条件として、「 $T = T_B$  で  $B = 0$ 」および「 $T_B$  とは別の温度  $T = T_B/m$  で  $B = B_m$ 」を選ぶことにした。 $m$  は1とは明確に異なる任意の正の数とする。これらの初期条件から、 $C_1$  と  $C_2$  は以下のように与えられる。

$$C_1 = - \left\{ \left[ B_m \left( \frac{m}{T_B} \right)^p - \Omega \left( \frac{T_B}{m} \right) \right] \cos(q \ln T_B) + \Omega(T_B) \cos \left( q \ln \frac{T_B}{m} \right) \right\} / \sin(q \ln m),$$

$$C_2 = \left\{ \left[ B_m \left( \frac{m}{T_B} \right)^p - \Omega \left( \frac{T_B}{m} \right) \right] \sin(q \ln T_B) + \Omega(T_B) \sin \left( q \ln \frac{T_B}{m} \right) \right\} / \sin(q \ln m) \quad (10)$$

ここに、

$$\Omega(T_B) = \sum_j \frac{\gamma_0 \beta_j T_B^{j-p}}{(\gamma_0 - 1)^2 j^2 + (\gamma_0^2 - 1)j + 2\gamma_0},$$

$$\Omega \left( \frac{T_B}{m} \right) = \sum_j \frac{\gamma_0 \beta_j \left( \frac{T_B}{m} \right)^{j-p}}{(\gamma_0 - 1)^2 j^2 + (\gamma_0^2 - 1)j + 2\gamma_0} \quad (11)$$

である。

### 3. ヘリウム4 ( $^4\text{He}$ )

ヘリウム原子は2個しか電子をもたないため、近年、高精度な第一原理計算が可能となってきた。ビリアル係数においても理論計算の方が実験よりも高精度である。本稿では、最近発表された理論計算の論文<sup>[10]</sup>のビリアル係数のデータを利用した。文献<sup>[10]</sup>に報告されている0.5 K から1000 K までの118個の $\beta_a$ のデータを、熱力学温度のべき級数で、標準偏差0.29 cm<sup>3</sup> mol<sup>-1</sup> で、次のようにフィッティングした。

$$\frac{\beta_a}{\text{cm}^3 \text{mol}^{-1}} = -4.1420198 \times 10^{-8} \left( \frac{T}{\text{K}} \right)^3 + 8.2295908 \times 10^{-5} \left( \frac{T}{\text{K}} \right)^2 - 5.9056759 \times 10^{-2} \left( \frac{T}{\text{K}} \right) + 34.541662 - 465.67255 \left( \frac{T}{\text{K}} \right)^{-1} - 91.990366 \left( \frac{T}{\text{K}} \right)^{-2} - 4.7918563 \left( \frac{T}{\text{K}} \right)^{-3} - 10.250695 \left( \frac{T}{\text{K}} \right)^{-4} + 2.3086230 \left( \frac{T}{\text{K}} \right)^{-5} \quad (12)$$

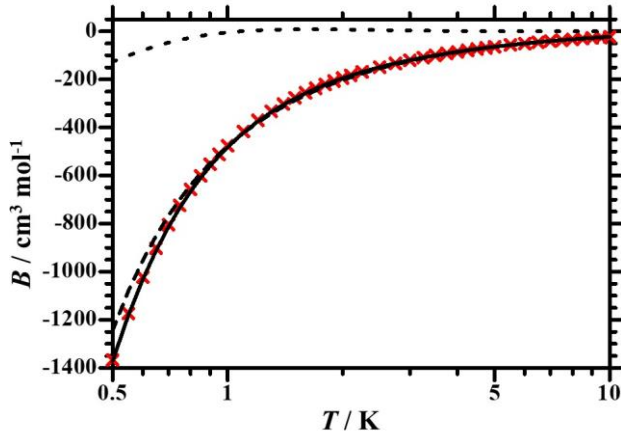


図 1 0.5 – 10 K での  ${}^4\text{He}$  の  $B$  の温度依存性。シンボルは文献値<sup>[10]</sup>を表す。点線、破線、実線は、式(13)における「減衰振動項」、「シグマ項」、それらの和、をそれぞれ表す。

${}^4\text{He}$  の場合には、 $\gamma_0$  は  $5/3$  の定数である。 $B$  の文献値<sup>[10]</sup>から、ボイル温度は  $T_B = 23.3$  K と見積もることができ、また、 $m=2$  を選ぶと、 $T = T_B/2 = 11.65$  K において  $B_{m=2} = -17.2$   $\text{cm}^3 \text{mol}^{-1}$  と見積もることができた。これらのパラメータを用いて、前章で求めた公式により、 $B$  の温度依存性は、

$$\begin{aligned} \frac{B}{\text{cm}^3 \text{mol}^{-1}} = & \left(\frac{T}{\text{K}}\right)^{-2} \left[ 31.63767 \sin\left(\sqrt{\frac{7}{2}} \ln\left(\frac{T}{\text{K}}\right)\right) \right. \\ & \left. - 4.345371 \cos\left(\sqrt{\frac{7}{2}} \ln\left(\frac{T}{\text{K}}\right)\right) \right] \\ & + \frac{5}{38} \times \left[ -4.1420198 \times 10^{-8} \left(\frac{T}{\text{K}}\right)^3 \right] \\ & + \frac{5}{26} \times 8.2295908 \times 10^{-5} \left(\frac{T}{\text{K}}\right)^2 \\ & + \frac{3}{10} \times \left[ -5.9056759 \times 10^{-2} \left(\frac{T}{\text{K}}\right) \right] \\ & + \frac{1}{2} \times 34.541662 \\ & + \frac{5}{6} \times \left[ -465.67255 \left(\frac{T}{\text{K}}\right)^{-1} \right] \\ & + \frac{15}{14} \times \left[ -91.990366 \left(\frac{T}{\text{K}}\right)^{-2} \right] \\ & + \frac{5}{6} \times \left[ -4.7918563 \left(\frac{T}{\text{K}}\right)^{-3} \right] \\ & + \frac{1}{2} \times \left[ -10.250695 \left(\frac{T}{\text{K}}\right)^{-4} \right] \\ & + \frac{3}{10} \times 2.3086230 \left(\frac{T}{\text{K}}\right)^{-5} \end{aligned} \quad (13)$$

と計算できた。 $B$  の計算値<sup>[10]</sup>と式(13)との比較を図 1

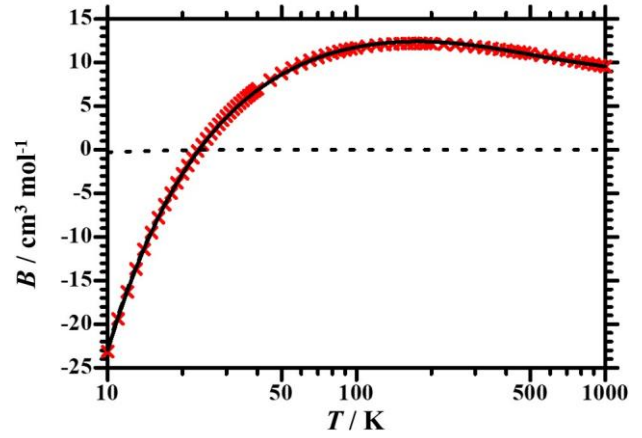


図 2 10 – 1000 K での  ${}^4\text{He}$  の  $B$  の温度依存性。シンボルは文献値<sup>[10]</sup>を表す。点線、破線、実線は、式(13)における「減衰振動項」、「シグマ項」、それらの和、をそれぞれ表す。破線と実線は、ほぼ重なっている。

( $T = 0.5 - 10$  K の範囲) および図 2 ( $T = 10 - 1000$  K の範囲) に示す。全体的に見て、式(13)は文献値<sup>[10]</sup>をよく再現している。「減衰振動項」を考慮しなければ、本公式による温度依存性すなわち「シグマ項」は、1 K 以下の領域では、温度が下がるにつれて次第に文献値<sup>[10]</sup>から離れていき、0.5 K で両者の差は 122  $\text{cm}^3 \text{mol}^{-1}$  まで広がる。「減衰振動項」と「シグマ項」との和が、数学的にも物理的にも適当な、式(3)の微分方程式の解であるため、「減衰振動項」はこの差を補償し、この温度での両者の差を 5  $\text{cm}^3 \text{mol}^{-1}$  まで抑えている。「減衰振動項」の寄与は、10 K 以上では、絶対値で 0.3  $\text{cm}^3 \text{mol}^{-1}$  より小さくなる。図 2 の全温度領域では、「シグマ項」のみで 0.13  $\text{cm}^3 \text{mol}^{-1}$  の標準偏差で、 $B$  の温度依存性が再現されている。

#### 4. 窒素 ( $\text{N}_2$ )

$\text{N}_2$  については、80 K から 400 K の範囲で、 $\beta_a$  の実験値が 16 点報告されている<sup>[11, 12]</sup>。これらの  $\beta_a$  の値を、熱力学温度のべき級数で、0.19  $\text{cm}^3 \text{mol}^{-1}$  の標準偏差で、次のようにフィッティングした。

$$\begin{aligned} \frac{\beta_a}{\text{cm}^3 \text{mol}^{-1}} = & 85.00 - 1.6265 \times 10^4 \left(\frac{T}{\text{K}}\right)^{-1} \\ & - 8.078 \times 10^5 \left(\frac{T}{\text{K}}\right)^{-2} \\ & - 1.707091 \times 10^7 \left(\frac{T}{\text{K}}\right)^{-3} \end{aligned} \quad (14)$$

アメリカ国立標準技術研究所 (NIST) の開発した REFPROP ソフトウェア<sup>[13, 14]</sup>を用いると、 $\text{N}_2$  の  $\gamma_0$  は、400 K 以下では  $1.400 \pm 0.003$  の範囲にあると求めら



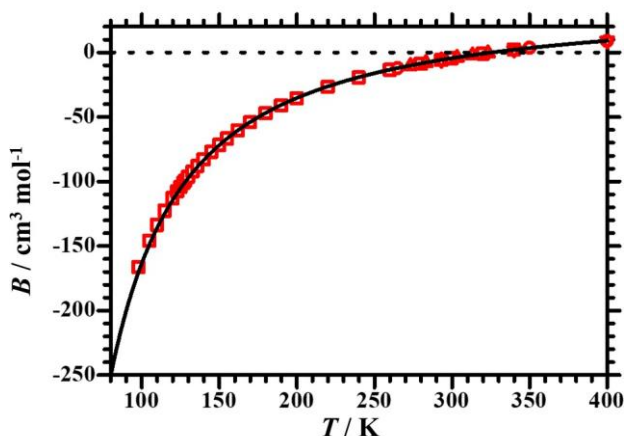


図 3 80–400 K での  $N_2$  の  $B$  の温度依存性。シンボルは実験値<sup>[15-18]</sup>を表す。点線、破線、実線は、式(15)における「減衰振動項」、「シグマ項」、それらの和、をそれぞれ表す。破線と実線は、ほぼ重なっている。

れた。したがって論文<sup>[11, 12]</sup>の温度範囲では近似的に  $\gamma_0$  は温度によらず  $7/5$  で一定とみなせる。 $B$  の実験値<sup>[15-18]</sup>から、ボイル温度は  $T_B = 327$  K と見積もられ、また、 $m = 2$  を選ぶと、 $T = T_B/2 = 163.5$  K において  $B_{m=2} = -59$   $\text{cm}^3 \text{mol}^{-1}$  と見積もられた。これらのパラメータにより、 $B$  の温度依存性は、

$$\begin{aligned} \frac{B}{\text{cm}^3 \text{mol}^{-1}} = & \left(\frac{T}{\text{K}}\right)^{-3} \left[ 1.724942 \times 10^4 \sin\left(\sqrt{\frac{17}{2}} \ln\left(\frac{T}{\text{K}}\right)\right) \right. \\ & + 2.000459 \times 10^4 \cos\left(\sqrt{\frac{17}{2}} \ln\left(\frac{T}{\text{K}}\right)\right) \\ & + \frac{1}{2} \times 85.00 \\ & + \frac{7}{10} \times \left[ -1.6265 \times 10^4 \left(\frac{T}{\text{K}}\right)^{-1} \right] \\ & + \frac{35}{38} \times \left[ -8.078 \times 10^5 \left(\frac{T}{\text{K}}\right)^{-2} \right] \\ & \left. + \frac{35}{34} \times \left[ -1.707091 \times 10^7 \left(\frac{T}{\text{K}}\right)^{-3} \right] \right] \end{aligned} \quad (15)$$

と計算できた。文献値<sup>[15-18]</sup>と式(15)との比較を図3に示す。図3のスケールでは両者はよく一致している。式(15)は、文献値<sup>[15-18]</sup>を  $0.82$   $\text{cm}^3 \text{mol}^{-1}$  の標準偏差で再現した。この標準偏差は、式(15)のフィッティングの標準偏差および文献<sup>[11, 12, 15-18]</sup>の不確かさの和と同程度である。したがって、式(9)が単原子分子のみならず二原子分子にも有効であることを示した。この  $N_2$  の場合には、「減衰振動項」の寄与は  $80$  K 以上で  $0.05$   $\text{cm}^3 \text{mol}^{-1}$  以下であり、図3の全温度領域で、「シグマ項」のみで  $B$  の温度依存性が再現されている。

## 5. 結論

$\gamma_0$  が温度によらない仮定の下で、 $\beta_a$  と  $B$  を結ぶ微分方程式を解くことで、 $\beta_a$  の温度依存性から  $B$  の温度依存性を計算する公式を導いた。極低温寒剤として広く利用されている単原子分子の  $^4\text{He}$  と二原子分子の  $N_2$  について、本公式により  $B$  の温度依存性をよく計算できることを確認した。このことから、本公式は、 $\gamma_0$  が近似的に温度によらない場合に、単原子分子のみならずその他の分子においても有効であることを示した。本公式で低温領域を計算する場合には「減衰振動項」の寄与を無視できないため、初期条件として2温度点での  $B$  の値が必要である。一方、「減衰振動項」を無視できる程度の高温度領域では、そのような初期条件は必要なくなり、 $\beta_a$  の温度依存性のみから  $B$  の温度依存性を容易に計算できる。

## 参考文献

- [1] K. Tada, *Int. J. Thermophys.* 43, 64 (2022).
- [2] K. Tada, *Int. J. Refrig.* 127, 157 (2021).
- [3] K. A. Gillis and M. R. Moldover, *Int. J. Thermophys.* 17, 1305 (1996).
- [4] 宝積勉、佐藤春樹、渡部康一 熱物性 11, 10 (1997).
- [5] L. W. Bruch, *Phys. Rev.* 178, 303 (1969).
- [6] L. W. Bruch, *Phys. Rev. A* 2, 2167 (1970).
- [7] M. E. Boyd and R. D. Mountain, *Phys. Rev. A* 2, 2164 (1970).
- [8] F. C. Matocotta, G. T. McConville, P. P. M. Steur and M. Durieux, *Metrologia* 24, 61 (1987).
- [9] G. T. McConville and J. J. Hurly, *Metrologia* 28, 375 (1991).
- [10] P. Czachorowski, M. Przybytek, M. Lesiuk, M. Puchalski and B. Jeziorski, *Phys. Rev. A* 102, 042810 (2020).
- [11] M. B. Ewing and J. P. M. Trusler, *Physica A* 184, 415 (1992).
- [12] J. F. Estela-Urbe and J. P. M. Trusler, *Int. J. Thermophys.* 21, 1033 (2000).
- [13] 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.*
- [14] R. Span, E. W. Lemmon, R. T. Jacobsen, W. Wagner and A. Yokozeki, *J. Phys. Chem. Ref. Data* 29, 1361 (2000).
- [15] W. Duschek, R. Kleinrahm, W. Wagner and M. Jaeschke, *J. Chem. Thermodyn.* 20, 1069 (1988).
- [16] P. Nowak, R. Kleinrahm and W. Wagner, *J. Chem. Thermodyn.* 29, 1137 (1997).
- [17] M. O. McLinden and C. L6sch-Will, *J. Chem. Thermodyn.* 39, 507 (2007).
- [18] I. D. Mantilla, D. E. Cristancho, S. Ejaz, K. R. Hall, M. Atilhan and G. A. Iglesias-Silva, *J. Chem. Eng. Data* 55, 4227 (2010).

# ヘリウム回収ガスバッグ鉄枠損壊の原因と今後の安全対策

○西崎 修司、 多田 康平

京都大学 大学院工学研究科 技術部

## 1. はじめに

2021年8月27日に、京都大学大学院工学研究科附属桂インテックセンター（桂キャンパスBクラスター）のヘリウム回収ガスバッグが膨らみ過ぎたため、その鉄枠が損壊し、使用不能となる事故が発生した。webカメラモニター、異常警報発生時連絡システム、安全弁・安全器といった事故防止のための複数の安全装置を設置していたが、それぞれの装置につき様々な理由で正常に機能せず、事故を防ぐことができなかつた。本発表では、事故の概要、事故の原因および今後の安全対策などを報告する。

## 2. ヘリウム回収システムの概要

京都大学桂キャンパスでは、各研究室で使用されたヘリウムを、建物ごとに設置されたサブステーション内のガスバッグ(3-6m<sup>3</sup>)に一旦回収している。ヘリウム純度に問題が無ければ、ガスバッグに溜められたヘリウムガスを自動的にポンプで送り出し、共同溝中の配管を通して、Bクラスター極低温施設のガスバッグ(30m<sup>3</sup>)に集約して回収している。

ガスバッグは、通常の状態では、人が操作することなく、自動的に運転している。桂キャンパスではサブステーションはキャンパス内の8ヶ所に点在しており、寒剤担当者は常にすべてのガスバッグの運転状況を監視しているわけではない。一方で、処理能力を超えた量のヘリウムガスがガスバッグへ送り込まれると、ガスバッグは膨らみ過ぎて、最悪の場合ガスバッグの破裂などの重大な事故に至るおそれがある。桂キャンパスでは、ガスバッグの安全な運用に資するため3種類の安全装置を併用しているが、最近ではそれらの運用に問題があった。次章で、安全装置の概要とそれらの問題点について述べる。

## 3. ヘリウム回収システムの安全装置と問題点

### 3-1. webカメラモニター

webカメラモニターは、ガスバッグにwebカメラを設置し、ネットワークを介して寒剤利用者がガスバッグの運転状況を即時に確認することで、ヘリウム充填時の速度調整などに利用してもらうことを意図するものである。

しかしながら最近では、webカメラモニターは、現有のヘリウム液化システム(OSがWindowsXPで、すでにサポートが終了している。)と同じネットワークに接続していたため、セキュリティの問題から、webカメラモニターを外部(極低温施設以外の学内を含む。)から接続できないように設定していた。そのため、学内の寒剤利用者がwebカメラに接続できず、ガスバッグの運転状況を確認することができない状態であった。

### 3-2. 異常警報発生時連絡システム

異常警報発生時連絡システムとは、ガスバッグの膨らみ過ぎなど異常事態が生じた場合、ガスバッグ関連機器がキャンパス内担当部局へ自動的に警報を発報、この担当部局が自動警報を確認したのち直ちに寒剤担当者へ電話連絡して、寒剤担当者がその異常に対応する、という連絡システムのことである。

異常警報発生時連絡システム導入当時は、寒剤の取り扱いに不慣れな利用者も多く、たびたび担当部局から連絡が入り、そのつど寒剤担当者が対応していた。最近では、利用者が寒剤の取り扱いに慣れてきたことと、寒剤担当者側でポンプの始動タイミングを早めに設定したこともあり、ガスバッグの膨らみ過ぎがあまり発生しなくなっていた。たまたま膨らみ過ぎとなっても、これはたまたまガスバッグが比較的膨らんでいたタイミングで充填を始めたために生じたもので、すぐにポンプが始動してガスバッグが萎み始めるため、あまり問題にもならなかった。そのため、異常警報の頻度も低くなり、また、これまで重大な事故は起きなかったため、気の緩みもあり、以前に比べ自動警報を重要視していなかった。

### 3-3. 安全弁

安全弁は、ガスバッグ内圧が設定圧力を超えると、弁が自動的に開いてヘリウムガスを大気放出することで、ガスバッグ本体や関連設備の損傷を防ぐためのものである。当初は設定圧力9000Paの機械式安全弁が設置されていた。

ガスバッグ本体は大気圧下で使用し、設計圧力が約300Paのため、安全弁の設定圧力が高すぎるのではないかとの懸念が生じた。そこで、安全弁の代わりに、注入する油の量により設定圧力を変更できる



図1 油封入式安全器



図2 外側に大きく湾曲した鉄柵

油封入式安全器（図1）に取り替えた。当初、安全器の設定圧力を200 Paに設定していたが、ヘリウム充填の度にヘリウムガスを大気放出していた。設定圧力を上げてみても大気放出は解決されなかった。調査の結果、安全器の分岐が悪いことが原因だった。本来安全器はガスバッグ入口付近で分岐すべきだが、回収配管の途中で分岐していたため、大気圧のガスバッグの内圧ではなく、少し高めの回収配管の内圧により、安全器が反応していた。安全器では大気放出を止めることができなかつたため、異常警報発生時連絡システムが機能している限りにおいて安全と判断し、仕方なく、安全器の入口弁を閉じていた。

#### 4. ガスバッグ鉄柵損壊事故の概要

異常警報発生時連絡システムにより、2021年8月27日13時半頃にBクラスターのガスバッグで上限異常（膨らみ過ぎ）警報が発生したとの電話連絡が、担当部局から同日16時ごろに寒剤担当者へ来たため、寒剤担当者側においてこのガスバッグに何らかの異常が発生していることを検知した。直ちにwebカメラモニターでこのガスバッグを確認したが、カメラ越しでは異常を確認できなかった。

その後、異常警報のリセットのためにサブステーションに入り状況を確認したところ、側面の鉄柵が外に向かって大きく湾曲し、鉄柵を固定していたボ



図3 鉄柵湾曲のため、柵ごと固定ネジが破断

ルト数本が破断しているとともに、下柵も外に向かって湾曲していた（図2-4）。鉄柵が変形したことでガスバッグ天板の車輪が鉄柵のガイドレールから外れていた（図5）。ガスバッグは、封じ切りの状態で



図4 下面の鉄枠も湾曲

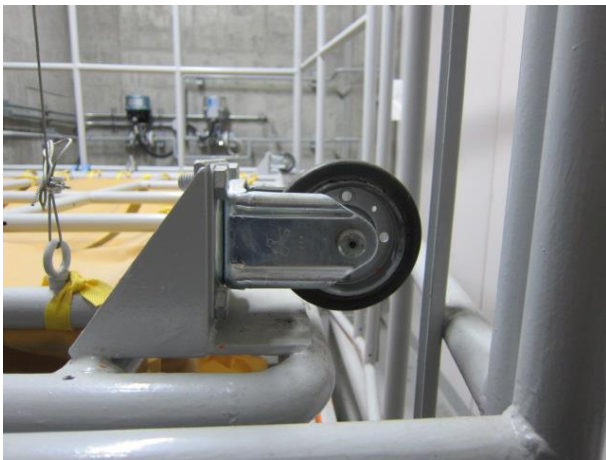


図5 鉄枠の湾曲でガイドレールから外れた車輪

徐々に萎んでいくことが確認されたため、それ自身も損傷を受けているものと判断された。

ガスバッグが正常に機能しない状態のため、使用停止とした。復旧完了までの当面の間、研究室からのヘリウムガスは、ガスバッグを介さずバイパスライン（別系統の配管）を通して、直接極低温施設で回収することとした。

## 5. ガスバッグ鉄枠損壊事故の原因

事故当日、破損したガスバッグを利用していたのはひとつの研究室のみであり、その研究室は当日、13時から13時半ごろにかけてNMR装置に液体ヘリウムを充填していた。事後調査でその研究室に充填の状況を確認したところ、普段の充填圧力（およそ0.01–0.02 MPa）より高めの圧力（およそ0.03 MPa）で充填していたことが分かった。また、その研究室ではNMRの管理者が最近交代し、寒剤の利用に充分慣れていなかったことも分かった。

これらのことから、その研究室がNMR装置への充填の際に、充填速度が速すぎて、ガスバッグの処理量を超えたことでガスバッグが膨らみ過ぎたため、



図6 webカメラモニター 管理者画面



図7 webカメラモニター 利用者画面

鉄枠を損傷したことが直接の原因と考えられる。これは上限異常警報が13時半過ぎに発生していることや、鉄枠の損傷の状況と矛盾しない。さらに、ガスバッグの膨らみ過ぎという異常事態が発生しても、利用者がwebカメラでガスバッグの運転状況を確認できないために利用者の側で異常を検知できなかったこと、異常警報発生時連絡システムによる寒剤担当者への連絡が遅れたことで寒剤担当者の側でも迅速に対応できなかったこと、安全器の入口弁を閉止していたため自動でガスバッグを保護する機能も働かなかったこともまた、今回の事故を防げなかった要因と考えられる。

## 6. 事故後の安全対策

### 6-1. webカメラモニター

事故の後、webカメラのネットワークをヘリウム液化システムから独立させることでネットワークの問題を解消し、Raspberry Piを用いて集中管理することにした（図6）。また、希望する利用者にwebカ

表 1 危機判断：現実と認識の関係

		認 識	
		危機と判断	危機でないと判断
現 実	危機	迅速な対応、クライシスマネジメント (危機が発生したあとの対処)	ぼんやりエラー（見逃しの三振） (対応の遅れやパニック発生で被害拡大)
	危機でない	うっかりのエラー（空振りの三振） (繰り返されると「狼少年」とみなされる)	組織の安定・信頼、リスクマネジメント (危機発生前に損失等の回避や低減を計画)

メラへのアクセス情報を公開し、充填中に利用者が研究室からwebカメラにアクセスしてガスバグの運転状況を確認できるようにした（図7）。

### 6-2. 異常警報発生時連絡システム

異常警報発生時連絡システムを以前より重要視することがなくなったため、今回の事故を含め、担当部局からの電話連絡が遅れる場合があることが問題のひとつであった。そのため、この異常警報発生時連絡システムでお世話になるこの担当部局には、今後、異常警報発報時には直ちに寒剤担当者まで電話連絡を頂けるように申し合わせた。

### 6-3. 安全弁

今後、油封入式安全器を機械式安全弁に戻し、この安全弁が正しく機能するよう、設定圧力や設置場所を改善することを検討している。

### 6-4. その他

研究室によっては教職員の異動や学生の卒業などにより、液体ヘリウムを使用するNMRなどの装置の管理者が交代することも考慮せねばならない。webカメラモニターへのアクセス方法や、安全なヘリウム充填の方法などを盛り込むことで、これまでより充実した寒剤利用者への教育を実施していく必要がある。

## 7. 危機管理論

今回の事故に至った要因について、危機管理論の観点から再度考えてみたい。表1に現実での危機の有無と危機判断の関係を示す。危機管理において、危機であるものを危機である、危機でないものを危機でない、と正しく判断することは重要である。ごく些細な変化をもとに、確かに危機であるものに対して素早く対応することが求められたり、また逆に、ある兆候が全て重大な危機となるとは限らず、本当に危機であるのか否かを見極めることも求められたりする。

現実と認識が合致する場合、危機であるならば、危機に迅速に対応し、損失回避や被害の低減を目指すクライシスマネジメントを行う。他方、危機でないならば、時間的余裕があるため、事故発生前に損

失等の回避や低減を図るリスクマネジメントを行う。

現実と認識にズレがある場合、現実には危機であるのに、認識は危機でないと判断したならば、危機があるのに気付いていないぼんやりエラー状態であり、知らぬ間に被害が拡大する状態である。他方、現実には危機でないにもかかわらず、認識は危機であると判断することも適切でない。これが繰り返されるならば、イソップ物語の「狼少年」のように、肝心な時に適切な対応ができなくなる。

今回の事故のそれぞれの安全装置がどのような状態だったか表1と照らし合わせてみる。webカメラモニターについては、寒剤利用者は、そもそもwebカメラに接続できず情報不足のため、現実には危機があったとしても危機でないと判断することしかできないぼんやりエラー状態だった。異常警報発生時連絡システムについては、現実には危機があっても、今まで危機でなかったから危機でないと判断したため、連絡が遅れて被害が拡大したぼんやりエラー状態だったといえる。安全弁・安全器について、当初は不適切な設定や設計だったので、実際は危機でないものを危機であるとの過剰反応を繰り返し、「狼少年」とみなされるうっかりエラー状態に陥った。この「狼少年」状態を避けるため、安全器の入口弁を閉めた結果、危機の有無の判断ができなくなるぼんやりエラー状態となり、危機を認識し対処することができなかった。

上述した事故後の安全対策によって、利用者および寒剤担当者は必要な情報を適時に得ることができ、適切な対応ができると考えられる。また、これらの人的要因が仮に働かなくても、安全弁によって機器側での適切な対応が可能となることで、事故を回避できるようになると考えられる。

## 8. まとめ

ヘリウム回収ガスバグの鉄棒破損事故の概要と、複数の安全装置が機能せず事故を防げなかった原因、および今後の対策について報告した。また、今回の事故に至った要因を危機管理論の観点からも考察した。

※本稿は令和3年度核融合科学研究所技術研究会で発表されたものです。

4

桂ものづくり工房

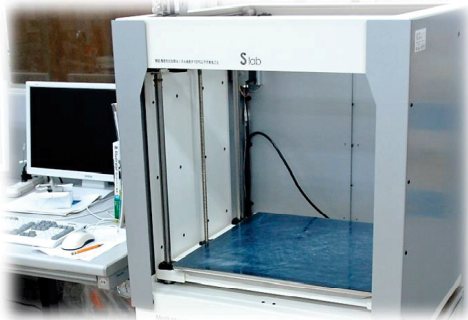
## 4.1 技術部提供サービス宣伝物

# 技術部提供サービス

工学研究科技術部では、「桂ものづくり工房」での金属・木材・樹脂等の加工やデジタル加工機による造形、工具類の貸出、「大判プリンター」の利用、「技術相談」等のサービスを提供しています。

### 桂ものづくり工房で稼働中のデジタル加工機\*

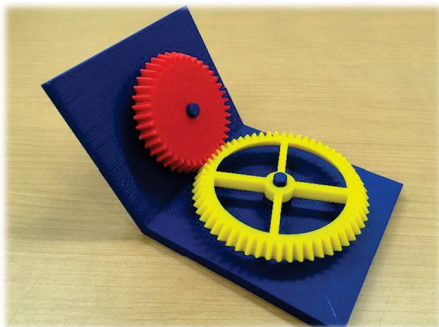
エス.ラボ社製 3D プリンター  
S3DP555



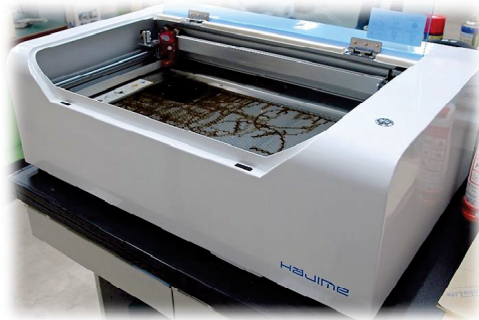
最大造形サイズ：W500×D500×H500 mm\*\*

熱溶解積層方式 (FDM) 材料：PLA (全6色)

製作例



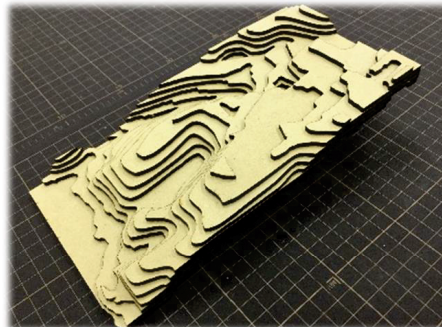
オーレーザー社製 レーザー加工機  
HAJIME CL1



加工サイズ：W500×D300 mm\*\*

樹脂/木材/ゴム等の切断、ガラス/金属等への彫刻

加工例



\*利用には機械運転技術講習の受講が必須です。詳しくは技術部ウェブサイトをご覧ください。\*\*カタログ値参照。

### ■ サービスの利用方法

工学研究科技術部ウェブサイト『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>



## ○ 桂ものづくり工房

### ☆ 金属・木材・樹脂等の加工



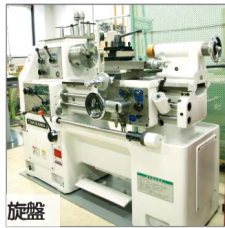
簡単な加工をしたいと思ったことはありませんか？

**金属・木材・樹脂等の切削・穴あけ・切断等、用途に応じた加工ができます！**

(工作機械の利用には機械運転技術講習の受講が必要です。また学生の方は傷害保険加入者に限ります。)

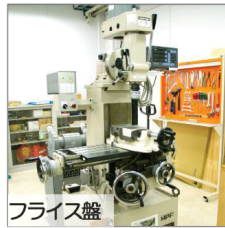
#### 工作機械一例

※工作機械は他にもあります。詳しくは技術部ウェブサイトをご覧ください。



旋盤

棒形状物の加工



フライス盤

平面・溝等の加工



ボール盤

穴あけ



両頭グラインダー

研磨



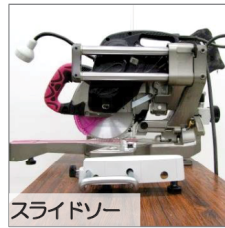
精密コンターマシン

板金の切断



ロータリーハンドソー

棒形状物の切断



スライドソー

木材の切断



ファインカット

難削硬脆材料の切断

### ☆ 工具類の貸出

工具が無く、工作や修理ができなかったことはありませんか？

**工具類の貸し出しをしています！**

(学生の場合は、担当教員の子承の上で貸し出します。)



#### 工具類一例

※貸出工具の一覧は技術部ウェブサイトをご覧ください。



丸鋸



ジグソー



金鋸



やすり類



グラインダー



デジタル深さ計



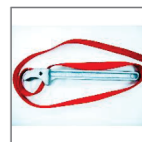
マイクロメーター



ノギス



デジタルトルクレンチ



ベルトレンチ



彫刻刀



レーザー距離計



## ○大判プリンター

桂キャンパスで大判ポスター作れます！

(利用枚数・用紙の種類により課金されます。印刷はセルフサービスとなります。)



### 用紙

- ・上質普通紙、コート紙、フォト光沢紙、防炎クロスの4種
- ・AOサイズの出力可能

## ○技術相談

多様な専門分野に従事している職員に相談できます！



### 相談対応例

- ・板に穴をあけたいが、あける方法を相談したい。
  - ・金属を切り抜いて実験の模型に使用したい。
  - ・実験装置を使用させてもらえる施設を教えてください。
  - ・木材でフィールド模型を作製したい。
  - ・実験室を新設するにあたり安全対策について相談したい。
  - ・Webカメラやサーバーを設置したいがどのようにすればいいか相談したい。
  - ・組成分析をしたいが、使用する装置や方法を相談したい。
  - ・実験装置の購入に際し、目的と予算に適合したものを選定するため相談にのってほしい。
  - ・機械加工を依頼できる業者を紹介してほしい。
  - ・寒剤の取り扱いについて相談したい。
- …等々いろいろな問題に対応いたします。

■ 技術や方法など、わからないことがあればなんでもご相談ください。

メール : [q-a@tech.t.kyoto-u.ac.jp](mailto:q-a@tech.t.kyoto-u.ac.jp)



技術部へのお問い合わせ

電話 : 075-383-2882 (桂 15-2882)

メール : q-a@tech.t.kyoto-u.ac.jp

2021年4月発行 京都大学大学院工学研究科技術部

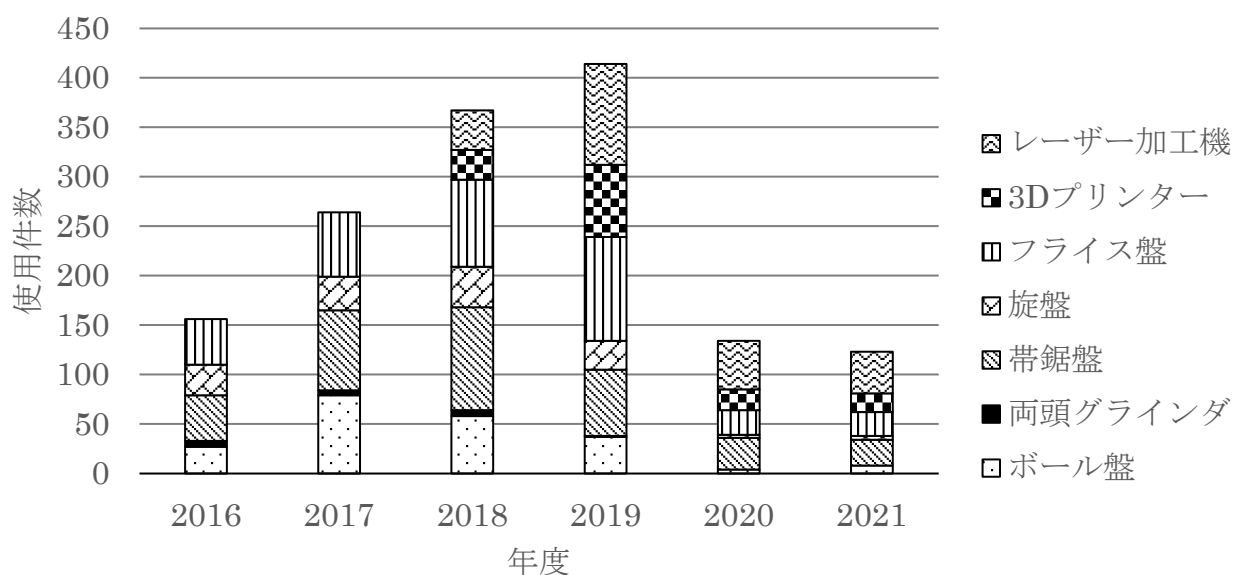
## 4.2 桂ものづくり工房使用実績

2021年度 桂ものづくり工房使用実績

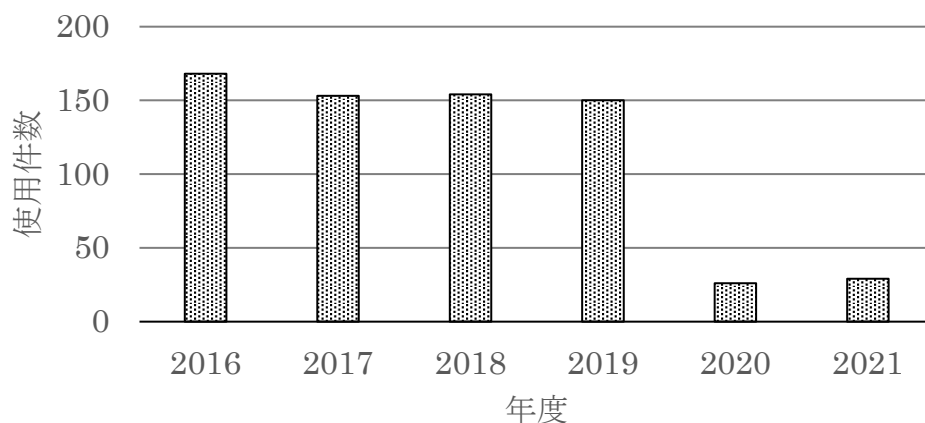
(単位：件)

ボール盤	8	ベルトグラインダー	0
旋盤 1	4	糸鋸盤	1
旋盤 2	0	スライド丸鋸	0
帯鋸盤(コンターマシン)1	17	ロータリーバンドソー	2
帯鋸盤(コンターマシン)2	9	タップ / ダイス	3
両頭グラインダー	0	工具	2
フライス盤	24	3Dプリンター	19
折曲機(シャーリング)	1	レーザー加工機	42
ファインカット	3	大判プリンター	29

工作機械使用実績推移



大判プリンター使用実績推移



### 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る。

新型コロナウイルス感染対策として、受講者を年度当初は1回1名、11月からは1回2名までに制限し実施した。

講習日	受講人数	講習日	受講人数
2021/4/26	1	2021/8/30	1
2021/5/18	1	2021/9/16	1
2021/5/21	1	2021/9/28	1
2021/5/25	1	2021/10/12	1
2021/5/26	1	2021/10/14	1
2021/5/28	1	2021/10/19	1
2021/5/31	1	2021/10/21	1
2021/6/3	1	2021/11/15	2
2021/6/7	1	2021/11/30	1
2021/6/11	1	2021/12/10	2
2021/6/25	1	2021/12/15	1
2021/6/30	1	2022/1/13	2
2021/7/5	1	2022/1/25	1
2021/7/6	1	2022/2/14	1
2021/8/4	1	2022/3/24	1
2021/8/12	1		

5

會議記錄

## 5.1 会議記録

### 2021年4月

- 14日(水) 【研修委員会】令和3年度 第1回会議
- 19日(月) 【技術室会議】2021年度 第1回会議
- 20日(火) 【広報・編集委員会】令和3年度 第1回会議

### 2021年5月

- 7日(金) 【研修委員会】令和3年度 第2回会議
- 24日(月) 【技術室会議】2021年度 第2回会議

### 2021年6月

- 1日(火) 【広報・編集委員会】令和3年度 第2回会議
- 9日(水) 【研修委員会】令和3年度 第3回会議
- 16日(水) 【桂ものづくり工房委員会】令和3年度 第1回会議
- 23日(水) 【工学研究科技術部運営委員会】2021年度 第1回会議
- 23日(水) 【技術室会議】2021年度 第3回会議

### 2021年7月

- 2日(金) 【研修委員会】令和3年度 第4回会議
- 12日(月) 【技術室会議】2021年度 第4回会議
- 29日(木) 【研修委員会】令和3年度 第5回会議

### 2021年9月

- 1日(水) 【技術室会議】2021年度 第5回会議
- 6日(月) 【研修委員会】令和3年度 第6回会議

### 2021年10月

- 13日(水) 【研修委員会】令和3年度 第7回会議

15日(金) 【研修委員会】令和3年度 第8回会議

18日(月) 【技術室会議】2021年度 第6回会議

## 2021年11月

17日(水) 【技術室会議】2021年度 第7回会議

19日(金) 【桂ものづくり工房委員会】令和3年度 第2回会議

## 2021年12月

13日(月) 【技術室会議】2021年度 第8回会議

## 2021年1月

17日(月) 【技術室会議】2021年度 第9回会議

21日(金) 【研修委員会】令和3年度 第9回会議

31日(月) 【桂ものづくり工房委員会】令和3年度 第3回会議

## 2021年2月

21日(月) 【技術室会議】2021年度 第10回会議

28日(月) 【研修委員会】令和3年度 第10回会議

## 2021年3月

22日(火) 【技術室会議】2021年度 第11回会議

## 編集後記

令和 3 年度は新型コロナウイルスの影響が継続しているものの、関係する大勢の皆様の不断の努力によりオンラインも併用しながら十分な感染対策をとった上での対面による講義・実習と研究活動が実施され、教育研究環境は以前の水準に戻ってきたように思います。

技術部の活動においてもオンラインによる会議や研修が当たり前のようになり、以前よりも効率的に業務を遂行できる面も感じられます。一方で、対面での交流が困難な状況で技術職員間のつながりの希薄化も感じられ、コロナ禍終息が待ち遠しいところです。

京都大学大学院工学研究科「技術部報告集（第 19 集）」を発刊するに当たり、技術発表や提供サービスなどの記事を執筆していただきました技術職員をはじめ、技術部運営に尽力していただきました方々、ご指導いただいております技術部運営委員会の先生方、また事務職員の皆様のご協力に広報・編集委員一同厚く御礼申し上げます。

この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。

令和 4 年 6 月



令和3年度 工学研究技術部 広報・編集委員会

委員長 山岡 荘

副委員長 奥中 敬浩

委員 平野 裕一 石川 航佑 鹿住 健司 加藤 和成

令和4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 鹿住 健司

委員 野村 昌弘 佐藤 佑樹 加藤 和成 宮嶋 直樹

---

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

京都大学大学院工学研究科技術部報告集（第 19 集）

令和 4 年 6 月

発行：工学研究科技術部 広報・編集委員会

編集：工学研究科技術部 広報・編集委員会

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

本報告集の無断転載を禁じます。