

ファブリカ 第28号

目次

巻頭言

- オリジナリティーの質…………… 1
工学研究科長 佐藤 嘉洋 (さとう よしひろ)

研究ノート

- 固体と液体のぬれの力学…………… 2
工学研究科 加藤 健司 (かとう けんじ)
- リポタンパク質受容体が担う生体機能…………… 12
生活科学研究科 金 東浩 (キム ドンホ)
- 微生物がつくり出す天然有機化合物に魅せられて…………… 20
理学研究科 臼杵 克之助 (うすき よしのすけ)

談話室

- 学生実験で行うガラス細工…………… 30
理学研究科 迫田 憲治 (さこた けんじ)
- ヘリウム液化施設を担当して10年…………… 36
研究支援課 川野 和彦 (かわの かずひこ)

利用者からの報告

- 電解装置の製作…………… 41
理学研究科 濱村 菜摘 (はまむら なつみ)
- 金属テーパー導波路型 THz 偏光子…………… 43
工学部 金納 弘明 (きんのう ひろあき)
- 光触媒を用いた人工光合成反応…………… 45
工学研究科 山本 宗昭 (やまもと むねあき)

技 術 ノ ー ト

ガラス工作室設備機器の使用について電解装置の製作……………	46
研究支援課	堀井 一孝 (ほりい かずたか)

設 備 更 新

卓上ボール盤……………	50
研究支援課	須賀 辰美 (すが たつみ)

折れタップ除去機……………	53
研究支援課	植田 龍一 (うえだ りゅういち)

資 料

工作技術センター利用状況……………	56
工作技術センターの主な設備……………	57
機械工作部門機械配置図……………	62
ガラス工作部門機器配置図……………	63
報告……………	64
工作技術センター利用者委員名簿……………	68
工作技術センター職員名簿……………	69

巻頭言

オリジナリティーの質

佐藤 嘉洋（さとう よしひろ）

所属：工学研究科 械物理系専攻

専門分野：生産加工学（材料加工学）



多くの理系学部を持つ大学には、「機械工作」や「ガラス工作」等の併設の工場があった。「あった」と過去形にしたのは、その数がどんどん減ってきているからである。理由は幾つか考えられると思うが、最大のものは人件費の削減、経費削減ではないかと推察している。削減には憂慮している。

先ず、併設の工場の役割について考えてみたい。理系の学部ではアイデアを形に移すために手作りの装置が伝統的に用いられてきた。この装置を作るのが併設の工場の役割であった。戦後になり工学部の増設等が始まると予算の不足分を補うために工場が利用されることもあったように思われる。このため工場は各種の依頼に対応するために非常に多忙な時期も経験している。この経験の中で工場の役割についての考え方も深化してきたように思われる。大学の工場でなければできないようなものが色々作られるようになってきた。職員さんのなかにも「難しい仕事でなければ持ってくるな」のような方は、少し昔の大学の工場には結構おられた。このような環境の中で各大学においてオリジナリティーを競うような研究が行われてきたように思う。現在、毎年のように自然科学の分野でノーベル賞を受けているが、20~30年前の研究環境が成せる業であったようにも思う。

最近グローバル化が進行し、あらゆる場面での競争が熾烈を極めていく。大学の研究活動も例外ではなく、世界中を巻き込んでの競争が行われている。世界中で同じような装置を用いて同じような材料で進められる研究では、似たり寄ったりの結果にならざるをえない。ここで重要となるのがオリジナリティーである。自分のアイデアで組み上げる実験装置は、それだけでオリジナルな結果を予想させる。オリジナリティーの質が異なるのである。

大学の工場の役割が重要になりつつある現在、その数がどんどん減ってきているのは悲しいことである。日本の科学技術は、この先も大丈夫か、ノーベル賞とも関係していけるのだろうか、と考えてしまう。幸いにも市立大学では、工場がまだまだ元気と思う。これを継続・発展させたいものである。さしあたっては府立大学との統合問題を難なく切り抜けて頂きたいと思います。

固体と液体のぬれの力学

加藤 健司 (かとう けんじ)

所属：工学研究科 機械物理専攻

専門分野：機械工学（流体工学）

趣味：山歩き、ドライブ、城跡訪問



1. はじめに

固体と液体のぬれは、様々な分野で問題となる現象の一つである。身近な例として、繊維の間などを水が浸透する毛細管現象や、車の窓ガラスの雨滴の挙動、また最近ではヨーグルトがくっつきにくい上蓋の開発など、意外に多くの問題に関わっているのが分かる。こうした界面やぬれの現象は、主に数 mm 以下の小スケールの問題で重要となる。例えば、昆虫のアメンボは水とぬれにくい(水をよくはじく)繊毛により、表面(界面)張力によって水の上に浮かぶことができる。よく見ると、アメンボの足の下水面は僅かにへこんでおり、水面を元に戻そうとする表面の張力が彼らの重力を支えている。これは、ピンと張ったサランラップなどの膜の上に物を置いたときと力学的に同じ状況である。また、少々汚い例ではあるが、ゴキブリ捕獲用の粘着テープでは、かれらの身体と粘着物質とのぬれ性がよく、一度くっつくとならぬ彼らの力でははがすことができないことを利用している。このような表面(界面)が関わる力は小さく、もちろん我々人間スケールの物体を水面に浮かべることはできない。しかしながら、数 mm 以下の現象ではむしろ重力以上に表面張力やぬれ性が重要になってくる。筆者が関わる流体工学の分野でも、近年では小スケールの問題を扱うことが多くなり、ぬれや界面の力学が注目されるようになってきた。

本稿では、筆者らが行った研究のうち、一般にもなじみやすいいくつかの現象を取り上げ、解析を行った例について紹介させていただく。まず 2 章では、ぬれやすさの指標となる接触角の説明と、接触角が決まる基本メカニズムを簡単に説明する。ついで、3 章では、上端を閉じた細管内の水抜きの問題、4 章では固体球が液中に侵入する際の付着気泡の挙動、ならびに 5 章では液膜が流下するときの壁面の乾き領域(ドライアウト)の消滅について、本研究室で得られた成果を概説する。

2. 接触角とヤング-デュプレの方程式

固体と液体のぬれやすさは、例えば図 1 のように液滴を固体面上に置いたとき、図に示した接触角 θ_E の大きさを判断される。大雑把に言って、接触角が 90° 以下はぬれやすい、 90° 以上はぬれにくい、などと表現される。ここで、固体、気体、液体 3 相の境界を表す図の C

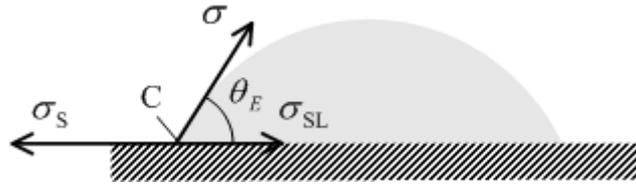


図1 固体面上の液滴と平衡接触角

の接触線における力の釣り合いを考える。3相の各組み合わせ、つまり固気、気液、固液の界面には、それぞれの界面を小さくする方向に表面(界面)張力が作用する。 σ_s 、 σ 、 σ_{SL} を、上記3つの張力(単位:N/m)とすれば、固体面接線方向の力の釣り合いは次式のように書ける。

$$\sigma_s - \sigma_{SL} = \sigma \cos \theta_E \quad (1)$$

上式をヤング-デュプレの方程式と呼び、 θ_E を平衡接触角という^{1,2}。ここで、式(1)をエネルギーの観点から捉えるため、界面張力の単位(N/m)を(J/m^2)と置き換えて考えてみる。つまり、張力に逆らって単位面積の新たな界面を作るのに必要な仕事量として、界面張力を理解することもできる。この観点から見ると、式(1)の左辺は、接触線が移動して単位面積の固液界面を乾かし、固気界面に置き換えるのに必要な仕事を表すことが分かる。式(1)は、その値が右辺の液体の表面張力と接触角より計算できることを表している。度々で恐縮だが、ゴキブリが粘着テープにくっついたとき、引きはがすのには、式(1)右辺の仕事をする必要がある。

式(1)より各界面の張力が分かれば、ある固体が液体にぬれやすいか否かを予測することができる。しかしながら、式(1)が成立するのは、異分子の吸着等がなく均一でかつ分子レベルで滑らかな理想的な固体表面に限られる。我々が日常扱う固体面にはあらさや汚れなどが存在してぬれ性に影響を与えるため、式(1)は目安とはなるものの、そのまま用いることはできない。一般に、図2のように接触線がゆっくりと移動するとき、その移動方向に依存して、 θ_E とは異なる2種類の接触角が現れる。図2(a)のように、注射針からの注入により、液体が周囲固体面をぬらしていくときに現れる接触角 θ_A を前進接触角、逆に図2(b)のように、乾かす方向に移動するときの角度 θ_R を後退接触角と呼ぶ。通常、 θ_A と θ_R には数 10° の差が認められる。この現象を接触角の履歴現象と言う^{1,2}。接触角履歴は、壁面に付着した液滴や気泡の運動に対して、しばしば決定的な役割を演じる。例えば、傾斜面上の液滴が転落を開始するとき、図3のように液滴の前端、後端にはそれぞれ θ_A と θ_R が現れる。この場合、液滴に作

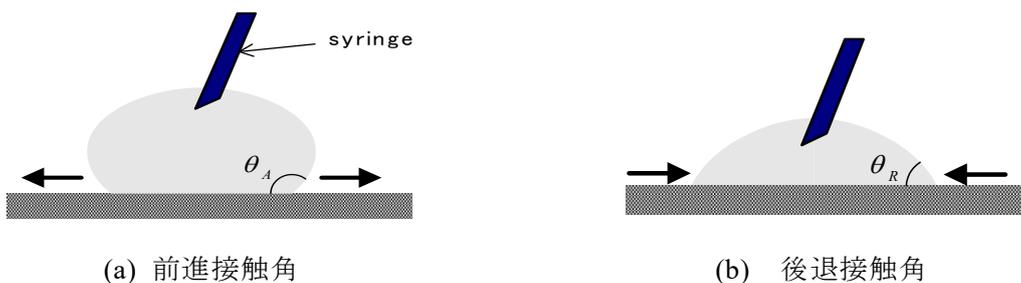


図2 接触角の履歴現象

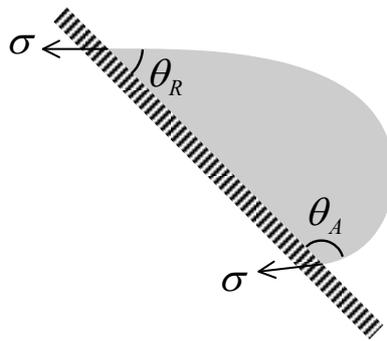


図3 傾斜面上の液滴に作用する表面張力

用する表面張力 σ (図1の反作用として向きが逆になっていることに注意)に接線方向左上向きの合力が発生し、重力に対する抵抗となる^{3,4}。もし接触角履歴がなければ、わずかな傾斜角度でも液滴は転落する。

接触角の履歴現象については、これまで様々なモデルが提案されている^{3,4}が、実際の固体表面に現れる接触角を正確に予測する方法はない。実用的には、様々な表面性状をもつ試料板と液体との組み合わせごとに、前進・後退接触角を測定する必要がある。一見単純に見える接触角であるが、実は計測が結構面倒であり、また環境に応じて極めて敏感に変化するので、科学に不可欠な再現性を得るのは容易ではない。また、通常の滑らかな面でも、上述の履歴の大きさは $20\sim 30^\circ$ になるのが普通である。液滴を適当に固体面上に置いたときには、 θ_A と θ_R の間の任意の角度が現れる。つまり、単独の接触角を測定値に用いる場合、下手をすると誤差は数 10° に達する場合もあるので、注意が必要である。

3. 上端を閉じた細管内の水抜きの問題^{4,5}

日常経験されるように、ストローの上端を指で塞いだとき、中の液体がこぼれ落ちることはない。しかしながら、管の内径を大きくすると、図4のように管の軸を垂直から徐々に水平方向に傾けたとき、ある傾斜角度で内部の液体がこぼれ落ちることがある。工業的には、自動車のラジエーター等の配管の水抜きなどで問題となる。ここでは、管内部の液柱が自然に落下する条件について考察を行った結果を述べる。

図5は、軸が鉛直方向から角度 ϕ だけ傾いた状態で、管下端の液体表面形状を模式的に表したものである。管内部の液体がこぼれるか否かについて、エネルギー平衡の観点から考察

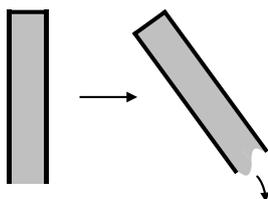


図4 上端を閉じた細管からの液体の落下

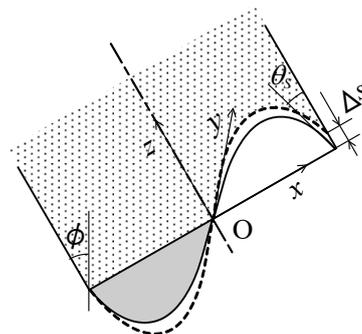


図5 傾いた細管下端の液体表面形状

を行う。図の管右端において、固体面と角度 θ_s で接した接触線が、管内側へ Δs だけ移動して、液体表面形状が破線へと移行した状態を考える。このとき、全体のエネルギー変化 ΔE が負であれば、変位 Δs は自発的に大きくなり、内側の液体は自然にこぼれ落ちると考えられる。この現象に関わるエネルギーとしては、液体表面のもつエネルギー、液体のポテンシャルエネルギーおよび固体面と固液界面の変換によるぬれの仕事量の3つが考えられる。このうち、図5のように液体表面がゆがんだときの液体表面のエネルギー変化は、液体表面積の差と表面張力の積から算出できる。また、液体が垂れ下がったことによるポテンシャルエネルギーの変化は、液体の微小体積ごとのポテンシャルエネルギー変化の積分から求められる。これらのエネルギーを求める際、図5の液体表面形状が必要となるが、液体内部の圧力を表面張力が支える条件を表した、ラプラスの方程式から解析することができる⁵。

図5のように、管壁が Δs だけ乾く際のぬれに関するエネルギー変化を考える。このとき、単位面積当たりのエネルギー変化 e_W は、式(1)と類似な次式から計算することができる²。

$$e_W = \sigma \cos \theta_R \quad (2)$$

図5の場合、接触線は固体面を後退するので、式(1)右辺の接触角として後退接触角 θ_R を用いている。式(2)に実際に乾いた面積を乗じることで、エネルギー変化が評価できる。

上記の3つのエネルギー変化を解析的に求めることができるが、ここでは面倒な式の展開は割愛して、結果を示すにとどめる。図5の変位 Δs に対する3つのエネルギーの合計は、次式のような簡単な表現へと変形できる。

$$\Delta E = \sigma \left[\oint_C (\cos \theta_R - \cos \theta_s) \Delta s dt \right] \quad (3)$$

積分は、管端面周囲に取っている。式(3)より直ちに分かるように、 $\theta_s = \theta_R$ のとき、つまり液体と固体面とのなす角度 θ_s が後退接触角 θ_R に等しくなると $\Delta E = 0$ となり、液体は不安定となる。図5に示した円管の傾き角 ϕ ごとに液体表面形状を求め、 $\theta_s = \theta_R$ となる臨界角度 ϕ_c を求めた。なお、上述の議論の詳細に興味のある方は、文献4,5を参照されたい。

上記の理論モデルの正当性を確認するため、2種類の円管と4種類の液体の組み合わせで実験を行った。図6に、液体としてグリセロールを用い、接触角が小さい(ぬれやすい)ガラス管($\theta_R = 0^\circ$)と、接触角が大きい(ぬれにくい)テフロン管($\theta_R = 56^\circ$)について ϕ_c を測定した例を示す。

図の横軸 \bar{R} は、長さの次元をもつ毛細定数 $a \equiv \sqrt{\sigma / \rho g}$ (ρ : 密度、 g : 重力加速度)で無次元化された細管半径($\equiv R/a$)を表す。グリセロールの場合、 $\bar{R} = 1.0$ が約2.3mmに相当する。図中には、無次元管半径に対する ϕ_c の測定値ならびに計算値が示されている。図より、臨界角度は管半径とともに減少する。また、接触角が小さくぬれ性がよいガラス管の方が ϕ_c は大きくなる。図中の $\bar{R} \approx 3.6$ より半径が大きくなると、いずれの後退接触角においても、鉛直状態で液柱は自然に落下する。一方、後退接触角ごとに、水平まで細管を傾けても液体がこぼれない臨界半径が存在する。図の実験値と理論曲線を比較すると、両者の傾向はよく一

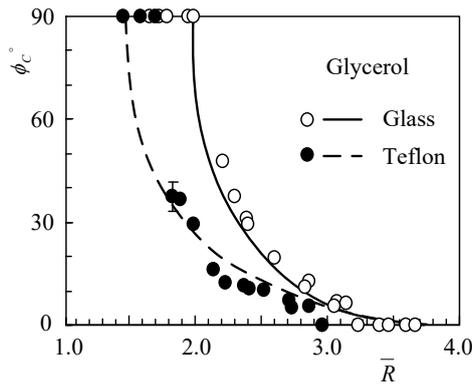
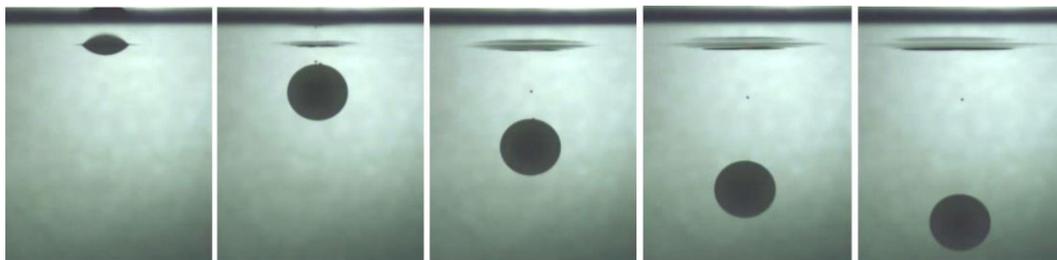


図6 臨界角度の理論値と実験値の比較
(グリセロール： $\sigma=0.0628\text{N/m}$ 、 $\rho=1253\text{kg/m}^3$)

致しており、液体がこぼれる傾斜角度の予測が可能である。

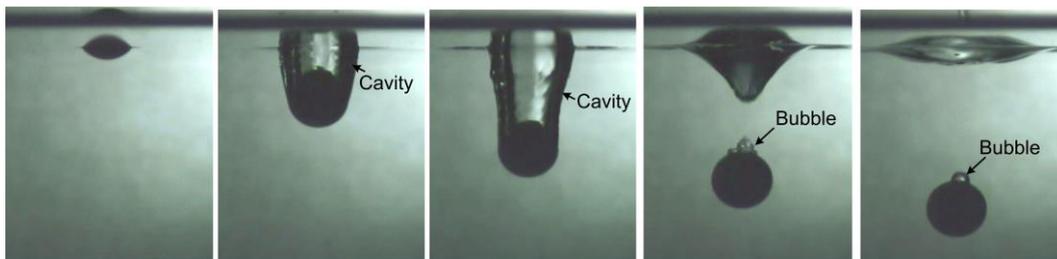
4. 水中に侵入する球上方に付着する気泡体積⁶

物体が液体内に侵入する現象については、水中に射出された弾頭の運動挙動への関心等からこれまでに数多くの研究がなされている⁷。図7および図8は、直径12.7mmのポリプロピレン球が速度2.7m/sで水中に侵入する際の連続写真の一例である。図中の t は、球が液面に接触した後の時間を表している。この現象では、液侵入後、乾いた粒子が液体にぬらされていくので、ぬれ性の指標としては前進接触角 θ_A を用いる必要がある。図7のポリプロピレン球の前進接触角は $\theta_A=93^\circ$ 、図8は後述の撥水材を塗布した場合で、 $\theta_A=162^\circ$ である。図7の比



(a) $t = 1 \text{ ms}$ (b) $t = 6 \text{ ms}$ (c) $t = 11 \text{ ms}$ (d) $t = 16 \text{ ms}$ (e) $t = 21 \text{ ms}$

図7 ポリプロピレン粒子($\theta_A = 93^\circ$)の水中侵入挙動



(a) $t = 1 \text{ ms}$ (b) $t = 6 \text{ ms}$ (c) $t = 11 \text{ ms}$ (d) $t = 16 \text{ ms}$ (e) $t = 21 \text{ ms}$

図8 撥水剤を塗布した球粒子($\theta_A = 162^\circ$)の水中侵入挙動

較的ぬれがよい場合には、球は水面衝突後、完全に水中に没入している。また、球への気泡の付着も観察されない。一方、撥水球では、球の後方に気柱（キャビティ）が形成され(図 8(b)、(c))、その後、キャビティにくびれが生じて破断し、気泡が粒子上部に残留する様子(図 8(d)、(e))がわかる。このような気泡の付着は、例えば鉄鋼業における脱硫剤の溶鉄中の挙動などで重要な問題となる⁸。粒子への気泡の付着は浮力の増加をもたらす、脱硫剤の溶鉄深部への侵入を阻害する。また、気膜の発生は化学反応の効率を悪化させる原因となる。しかしながら、これまで粒子に付着する残留気泡体積を具体的に求めた研究例は見当たらない。ここではその第一段階として、速度がほぼゼロと見なせる準静的な粒子の侵入を対象として、気泡体積を求める手法について述べる。

球粒子上方の液体表面の挙動を示した模式図を図 9 に示す。球粒子が臨界の深さに達するまでは、図 9(a)のように球粒子に前進接触角で付着した軸対称の液面形状が形成される。この液面形状は、3 章でも触れたラプラス方程式の解より求められる。球がある臨界深さ H_{CR} に達すると(図 9(b))、液体表面は不安定となり、図 9(c) のように自然に収縮して、最終的に球に気泡が残留する(図 9(d))。臨界深さ H_{CR} も、ラプラスの方程式の解が存在しなくなる条件から、理論的に予測することができる⁶。

臨界深さ H_{CR} で形成される残留気泡の体積を、エネルギー最小の原理から近似的に推算する。図 10 のように、液体表面のくびれた部分が接触し、残留気泡が形成される瞬間の状況を考える。簡単のため、液体表面形状を半径 R の円弧で近似して系のエネルギーを算出する。3 章と同様、液体表面のもつエネルギー、液体のポテンシャルエネルギーならびにぬれに伴うエネルギーを考える。ここで、ぬれのエネルギーは、式(1)中の接触角として前進接触角を用いることにより、式(2)と類似な次式から求められる。

$$e_W = -\sigma \cos \theta_A \tag{4}$$

なお、ぬれるときのエネルギー変化は、式(1)や(2)の左辺(乾かす場合に対応)の符号を変えた

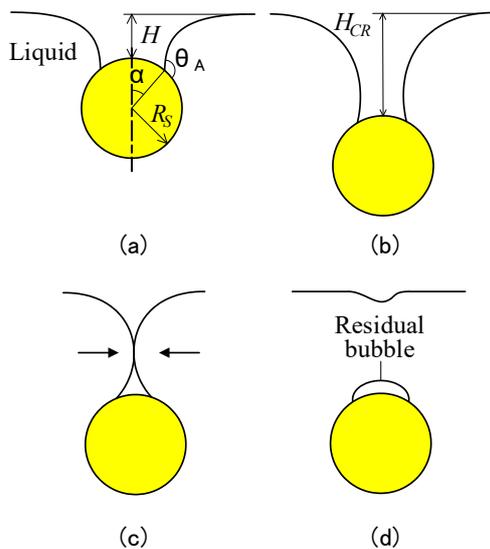


図 9 残留気泡の生成過程

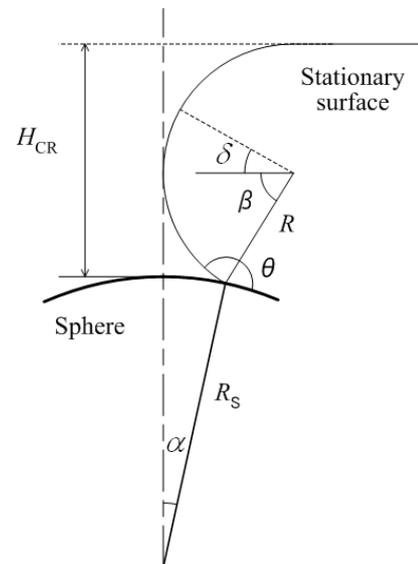


図 10 気泡破断時の模式図

ものとなることに注意されたい。式(4)にぬれた部分の面積を乗じて、ぬれによるエネルギー変化が算出できる。静止水面と乾いた球の状態をエネルギーの基準として、上記の合計から系のエネルギー E を求めた。 E の最小値に対応する、図10の付着位置の中心角 α を決定して、図10の液体表面で囲まれた領域から気泡体積を算出した。

実験では、液体として水、球粒子としてポリプロピレン (密度 910kg/m^3) を用いた。球粒子のぬれ性を変化させるため、撥水剤として、①(フロロテクノロジー社製 FS-1060TH-0.5)、②(NTT 製 HIREC 1450NF)の2種類を用いた。撥水剤①、ならびに撥水剤②に対し、前進接触角 θ_A は、それぞれ 115° 、 162° である。準静的な球の侵入に対して、上述の方法で計算した残留気泡体積を測定値と比較した結果の例を図11に示す。図中には、2種類の撥水球に対する測定結果と理論曲線が示されている。 $\theta_A=115^\circ$ と 162° の結果を比較すると、接触角の違いにより体積は1桁程度変化しており、ぬれ性が顕著な影響を及ぼすことがわかる。理論値と実験値を比較すると、両者の傾向は大体一致している。準静的な沈降に対する残留気泡体積を、提案したモデルにより推算することが可能といえる。

5. 落下液膜流れの壁面乾き領域(ドライアウト)の消滅機構⁹

壁面に沿って流下する落下液膜流れは、蒸発、凝縮を扱う装置や、CO₂ 吸収塔などに現れる現象である。吸収や反応を扱う装置では、液体表面積を大きくすることが装置の性能向上に直接つながるので、少ない流量で液膜が壁面をぬれ広がることが必要となる。そのため、壁面の乾き領域(ドライアウト)が消滅する最小ぬれ流量の予測が重要となる。ここでは、等温の液膜流れを対象に、ドライアウトが消滅する条件について考察する。

図12は、垂直平板(幅 200mm)に沿って流れる液膜の流動状況の一例である。平板の両端には、端の影響をなくすよう、ガーゼ布が貼り付けられている。図より、平板の上端からある位置で液膜が破断して筋状の流れになるとともに、筋状流れの間に大きなドライアウトが現れているのがわかる。図12の状態から流量を上げると、ある臨界流量でドライアウトが下流方向に速やかに押し流され、全面ぬれの状態へと移行する。

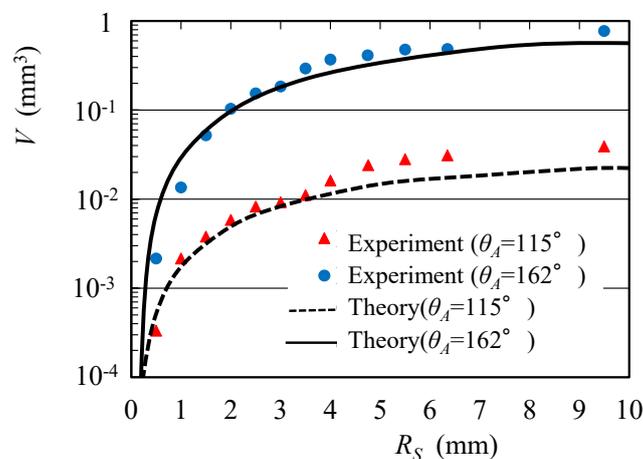


図11 残留気泡体積の理論値と実験値の比較

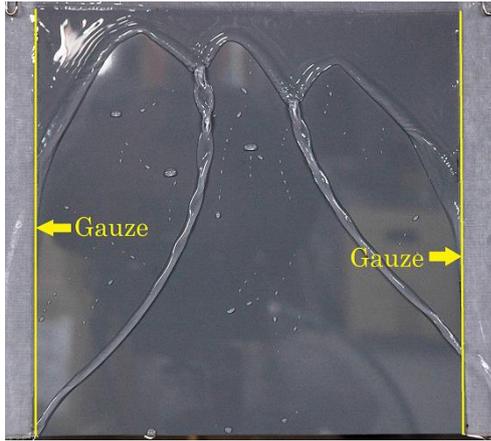


図 12 液膜が流れる壁面に発生する
ドライアウト(乾き領域)

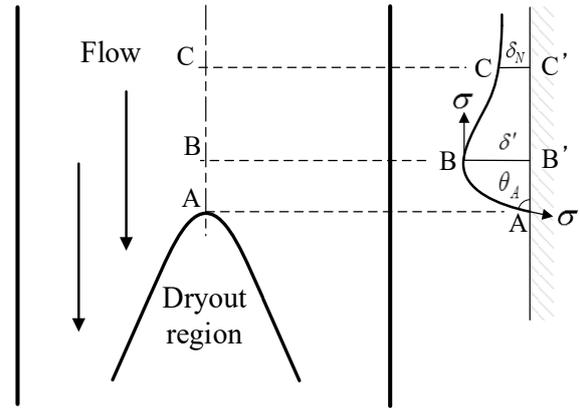


図 13 ドライアウト領域周囲模式図

全面がぬれる最小流量を力学モデルから求める方法を説明する。図 13 に、ドライアウト領域頂部付近の液膜の模式図を示す。図中には液膜流れの正面図ならびに断面図が描かれている。液膜断面図のように、上流 CC'には滑らかな液膜流れが形成されるが、ドライアウト領域頂部付近では流れ方向速度がゼロとなるため、コブ状のよどみ域が現れる。ここでは、コブ領域に作用する力の釣り合いを考え、液膜のもつ運動量が充分大きくなるとコブが下流に押し流されることを考慮して、最小ぬれ流量の理論値を算出する⁹。なお、以下の議論はやや煩雑であるため、興味のない方は実験結果との比較まで読み飛ばしていただきたい。

まず図 13 の BB'面における圧力上昇 ΔP を、滑らかな液膜の動圧から、 $\Delta P \sim \rho U_N^2/2$ と評価する。ここで、 U_N は、滑らかな落下液膜流れの解析でよく知られた Nusselt の理論平均速度を表している¹⁰。次に、図 13 の液膜断面図の BB'CC'での運動量の釣り合いを考える。CC'を通過する液膜の運動量流束 M は、Nusselt の理論による液膜内速度分布から、 $M = 1.2\rho U_N^2 \delta_N$ となる⁹。 δ_N は、上述の Nusselt の理論液膜厚さを表す。BB'において流れ方向速度がゼロとなること、ならびに BB'における圧力上昇 ΔP を考慮すると、BB'CC'での運動量の釣り合いとして、近似的に次式を書くことができる。

$$M = 1.2\rho U_N^2 \delta_N = \Delta P \delta' \quad (5)$$

δ' は BB'の液膜厚さである。上式ならびに $\Delta P \sim \rho U_N^2/2$ の関係より、 δ' は次のように求められる。

$$\delta' = 2.4\delta_N \quad (6)$$

式(6)のコブの厚さは、実験で観察される結果とよく一致する。

図 13 の液膜断面図において、領域 ABB'での力の釣り合いを考える。BB'に作用する圧力と領域 ABB'全体に作用する重力 F_G 、ならびに A および B に作用する表面張力の釣り合いを考える。図 13 の液膜断面の先端には前進接触角 θ_A が現れることを考慮すると、臨界状態における釣り合いとして以下の関係を書くことができる。

$$2.4\delta_N\Delta P + F_G - \sigma(1 - \cos\theta_A) = 0 \quad (7)$$

簡単のため、AB を壁面と前進接触角 θ_A で交わる円弧で近似する。断面 ABB' の面積を幾何学的に求めると、式(7)中の F_G を次式のように求めることができる。

$$F_G = 2.88\rho g\delta_N^2 \frac{\theta_A - \sin\theta_A \cos\theta_A}{(1 - \cos\theta_A)^2} \quad (8)$$

式(5)を整理すると、臨界ウェーバー数 We_c に対して、次の方程式を書くことができる。

$$1.2We_c - (1 - \cos\theta_A) + 6.94 \left(\frac{\rho^3 v^4 g}{\sigma^3} \right)^{1/5} We_c^{2/5} \times \left[\frac{\theta_A - \sin\theta_A \cos\theta_A}{(1 - \cos\theta_A)^2} \right] = 0 \quad (9)$$

ここで、ウェーバー数 We は次式で定義している。

$$We = \frac{\rho U_N^2 \delta_N}{\sigma} \quad (10)$$

最小ぬれ流量に対応する、式(9)から計算される臨界ウェーバー数 We_c の理論値と、実験結果の比較の一例を図 14 に示す。本研究におけるモデルは、ばらつきはあるものの実験値の傾向と大体一致している。すなわち、ドライアウト頂部のコブ状のよどみ域において、前進接触角を仮定した表面張力、液膜の動圧ならびに重力の間の力の釣り合いが崩れるとき、自発的にドライアウトが消滅すると考えられる。

6. おわりに

本稿では、流体工学研究室でこれまでに扱ったぬれの問題のうち、比較的分かり易い現象を例にとって概説した。3章、4章の問題はエネルギー平衡の考えから、5章では力の釣り合いから現象を解析した。ぬれに関わる問題の場合、現象に応じてエネルギー平衡と力学的釣り合いの二つの考えを適宜使い分けると考察しやすい。本稿では理論や実験の詳細に触れる

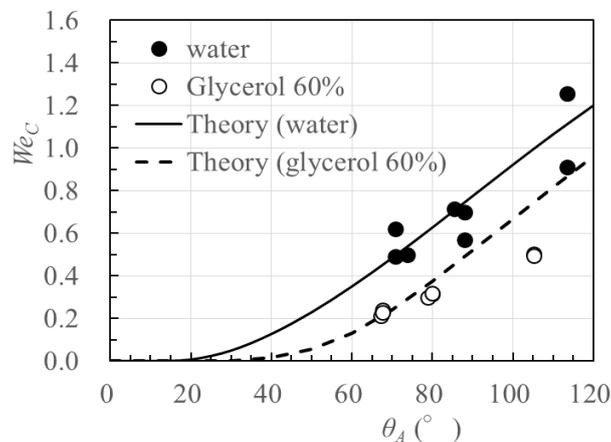


図 14 臨界ウェーバー数(最小ぬれ流量に対応)の理論値と実験値の比較 (水、グリセロール 60%水溶液)

ことはできなかったが、ぬれの問題に少しでも興味をもっていただければ幸いである。

ぬれが関係する現象には未解決の問題が多い。日常的に観察される基本的な現象についても、古来十分な理解が得られていないものもある。これは現象の複雑さに加え、実験で再現性を得るのが難しいことも要因の一つである。筆者らの経験として、毛細管現象を扱ったとき、たかが管内の液柱の挙動を観察するのに1年以上の試行錯誤が必要だったこともある。毛細管内をうまく洗浄することができず、再現性のあるデータがなかなか得られなかったことが主な原因である。他にも測定上の苦勞や他愛のない問題で悩まされたことは、枚挙にいとまがない。ぬれの問題を扱うには、高度でなくともきめ細かい実験的配慮が必要であり、信頼性のあるデータを提供する文献も少ないのが現実である。

近年では、接触線の速度が有限($\sim 0.01\text{mm/s}$ 以上)になると、速度に応じて接触角が変化する動的ぬれの現象が注目されている。この現象には、ミクロな分子間力ならびにマクロなあらさ等の両者の影響を考慮したモデルが必要となる^{11,12}。今後も引き続き、研究室としてこれらの問題に取り組んでいく予定である。

流体工学研究室では、本稿で扱ったぬれの問題のみならず、他のテーマでも専ら手作りで実験装置を製作している。工作技術センターには、日頃学生の指導ならびに装置製作について多大なご協力をいただいております、その助けがなければ研究室の活動は成り立たない。最後になりましたが、職員の方々のこれまでのご協力に厚く感謝申し上げます。

参考文献

- 1) ドウジェンヌ他2名(奥村剛訳.)、表面張力の物理学—しずく、あわ、みずたま、さざなみの世界—、吉岡書店、(2003)、67-84.
- 2) Katoh, K. (Edited by Hartland, S.), Contact Angle and Surface Tension Measurement, Surfactant Science Series, Marcel Dekker Inc. New York, 119(2004), 375-423.
- 3) 加藤健司、伝熱、46(2007)、20-27.
- 4) 加藤健司、伊藤高啓、機械の研究、64(2012)、378-388.
- 5) 加藤健司、東恒雄、寺口和彦、日本機械学会論文集B編、70(2004)、983-989.
- 6) 加藤健司、南亮輔、脇本辰郎、植田芳昭、井口学、混相流、28(2015)、547-553.
- 7) Duez, C., Ybert, C, Clanet, L. and Bocquet, L., Nature physics, 3(2007), 180-183.
- 8) 脇本辰郎、加藤健司、混相流、29(2016)、274-281.
- 9) 加藤健司、山下達也、磯良行、脇本辰郎、佐賀真理子、混相流、29(2016)、467-476.
- 10) Nusselt, W., Zeitschr. Ver. Deut. Ing., Vol. 60, 541-546 and 569-575 (1916).
- 11) Katoh, K., Wakimoto, T., Yamamoto, Y. and Ito, T., Exp. Thermal Fluid Science, 60(2015), 354-360.
- 12) Yamamoto, Y., Higashida, S., Tanaka, H., Wakimoto, T., Ito, T. and Katoh, K., Physics of Fluids, 28(2016), 082109.

リポタンパク質受容体が担う生体機能

金 東浩 (キム ドンホ)

所属：生活科学研究科 食・健康科学専攻

専門分野：栄養生命科学（生体機能学）

趣味：サイクリング



リポタンパク質受容体は、血液中のコレステロールの運搬体であるリポタンパク質を結合し細胞内への取り込み、生体内のコレステロールの恒常性を担っています。低密度リポタンパク質受容体（LDLR）の遺伝子異常は、家族性高コレステロール血症の発症原因であることが明らかになっています。近年、LDLR と類似した構造のリポタンパク質受容体が発見され、リポタンパク質受容体遺伝子ファミリーを形成し、リポタンパク質受容体がコレステロール代謝のみならず様々な生体機能に関与することが示されています。例えば、ApoER2 は脳神経発達に、LRP5 と LRP6 は糖代謝、骨代謝に機能しています。本稿では、リポタンパク質受容体遺伝子ファミリーが担う生体内での機能について紹介します。

1. コレステロールの恒常性を担うリポタンパク質受容体

コレステロールは、胆石の構成成分として最初に発見され、ギリシア語の chole-（胆汁）、stereos（固体）と、-ol（アルコール基）にちなんで名付けられました。コレステロールは動物の細胞膜の構成分子であることと、食事由来は一部（約 20%）であり、大半は生体内で合成（約 80%）されることが分かっています。食事により摂取したコレステロールなどの脂質は小腸から吸収され、カイロミクロンの形になって全身の組織に運ばれます。脂質はそのままの状態では血液中を輸送されることが出来ないため、図 1 に示すようにアポリポタンパク質の中に脂質が閉じこめられたリポタンパク質の形で血液中を輸送され肝臓に運ばれます。



図 1. リポタンパク質の構造

肝臓で作られたコレステロールと中性脂肪は、VLDL の形で血液中に分泌され、中性脂肪が分離した LDL となり、この LDL が末梢組織へ取込まれ、末梢組織へのコレステロールの供給が行われます。末梢組織でコレステロールが過剰になると HDL の形で再び肝臓に戻ります（図 2）。血液中の LDL が増加するとコレステロールが血管の壁に蓄積されて動脈硬化を引き起こします。また、血液中の HDL の量が減少するとコレステロールが末梢組織に溜まったままになり、動脈硬化の原因となります。このことから、LDL は悪玉コレステロール、HDL は善玉コレステロールと呼ばれています。

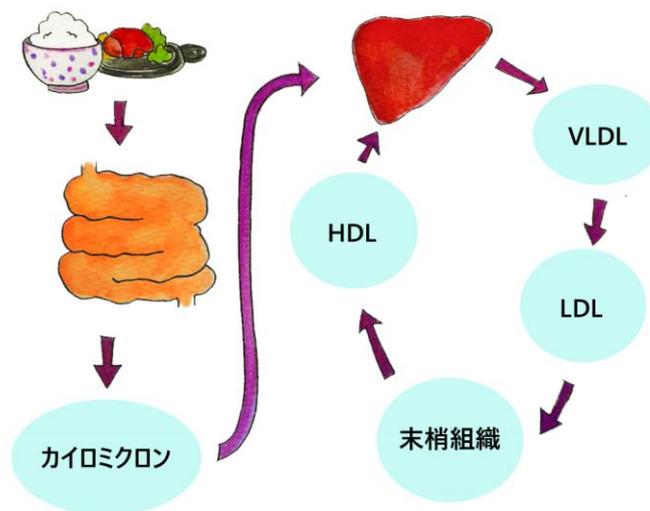


図 2. コレステロール代謝

一方、生体内でのコレステロールの合成は、アセチル CoA (acetyl coenzyme A) を原料として 20 種類以上の酵素蛋白質の反応を経て生合成され、合成されたコレステロールやその前駆体分子からホルモンやビタミン、胆汁酸が合成されます。コレステロール合成の律速酵素は HMG-CoA 還元酵素があり、HMG-CoA 還元酵素の量は細胞内のコレステロール量により負の制御を受けます。すなわち、コレステロールの合成は細胞内のコレステロール量に応じて調節され、生体内のコレステロールの恒常性が維持されます。以上のように、生体内のコレステロール量は、コレステロール自身の量で厳密に調節されますが、その破断は脂質代謝異常症を発症します。脂質代謝異常症の一つである家族性高コレステロール血症は、1938 年にノルウェーの Muller により高コレステロール、黄色腫、冠動脈疾患を伴う遺伝病として初めて報告されました。1974 年、アメリカの Goldstein と Brown は、家族性高コレステロール血症の発症に低密度リポタンパク質受容体 (LDLR) が関与することを明らかにし、1984 年にはその遺伝子を発見しています (Yamamoto et al. 1984)。LDLR は細胞膜表面に存在し、血液を輸送される LDL を結合します。結合された LDL は LDLR とともに細胞内に取込まれ、リソゾームで分解され、細胞内にコレステロールが供給されることとなります。

LDLR タンパク質は肝臓をはじめとする殆どの組織で多く発現しており，前述の HMG-CoA 還元酵素と同じく細胞内のコレステロール量により負の制御を受け，細胞内のコレステロール量に応じて発現が調節されます。LDLR タンパク質の一次構造は，図 3 に示すように N 末端から，リガンド結合ドメイン，EGF 前駆体相同ドメイン，O-結合糖ドメイン，細胞膜貫通ドメイン，細胞質ドメインの 5 つの機能ドメインを有しています。家族性高コレステロール血症の患者では各ドメインにおいて遺伝子変異が見つかり，各ドメインは細胞内への LDL の取り込みに必須であることが示されました。これらの研究により，リポタンパク質受容体が生体内のコレステロールの恒常性の維持において，重要な役割を担うことが明らかになっています (Russell et al., 1986)。

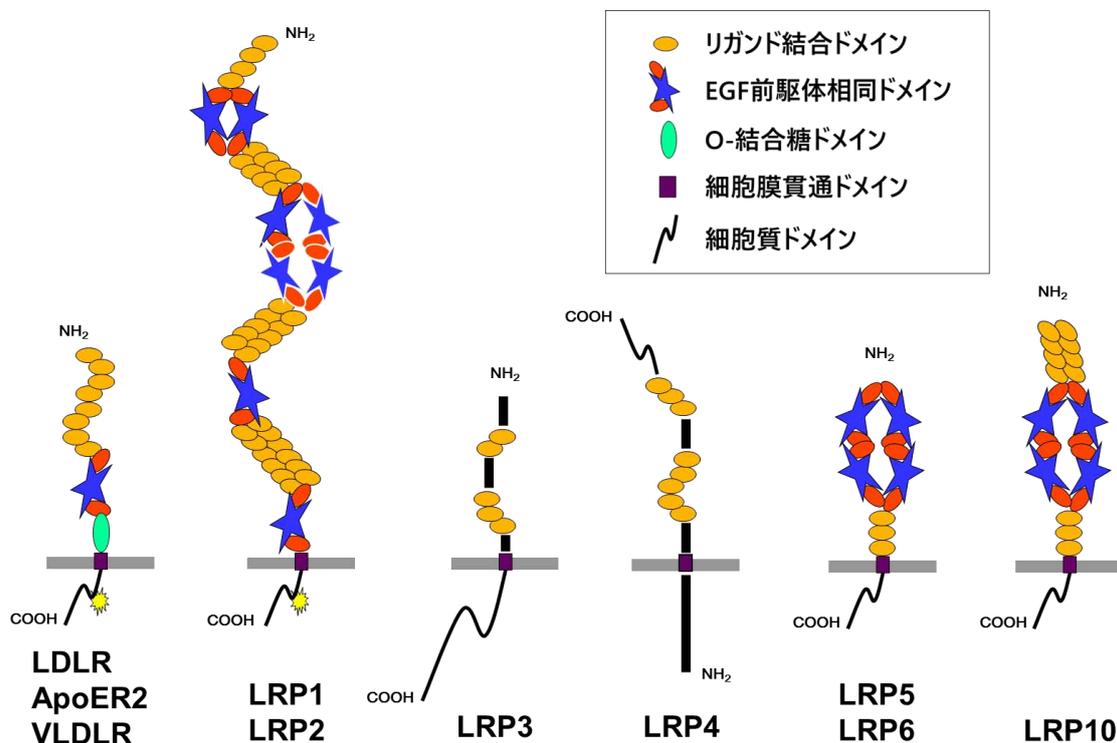


図 3. リポタンパク質受容体遺伝子ファミリー

2. 多様な生体機能を担うリポタンパク質受容体

Goldstein と Brown による LDLR の発見以来，図 3 に示しますように LDLR と構造が類似した複数の受容体が発見され，現在，リポタンパク質受容体遺伝子ファミリーは，コレステロールのみならず 30 種類以上の生体内の分子を結合する多機能性受容体であることが明らかになっています。私たちは，ApoER2, VLDLR, LRP3, LRP4, LRP5, LRP6, LRP10 を発見し，生体内での機能を解析をしています。本章では ApoER2, VLDLR, LRP5, LRP6 の生体内での機能について紹介します。

2-1. 脳神経系における ApoER2 と VLDLR の機能

ApoER2 と VLDLR は他のリポタンパク質受容体に比べて最も LDLR と類似した構造を示していますが、その発現組織は LDLR とは異なり、脳で多く発現します (Kim et al., 1996)。また、LDLR がリポタンパク質中の LDL を結合するのに対して、ApoER2 と VLDLR は VLDL を結合することが示されています。しかし、二つの受容体を遺伝子工学的に欠損させたマウスの解析結果、リポタンパク質代謝に異常は見られませんでした。二つの受容体が脳で多く発現することから、二つの受容体とともに欠損するマウスを作製し脳における機能を調べたところ、*Reeler* というマウスと同じ表現型であることが分かりました (Trommsdorff et al., 1999)。*Reeler* マウスとは *Reelin* というタンパク質を欠損するマウスで、小脳の発達に異常を示すマウスであります。*Reelin* は脳で分泌される分泌タンパク質であり、胎生期では神経細胞の移動や形態形成を、成体期では記憶の形成やシナプス可塑性の制御に関与する分子であります。胎生期の神経系の形成時に ApoER2 と VLDLR は分泌された *Reelin* を結合し、細胞内タンパク質 *Dab1* のリン酸化を誘導することにより、*Reelin* シグナルを経路を活性化し、脳神経系の形成を担うことが明らかになっています (図 4)。

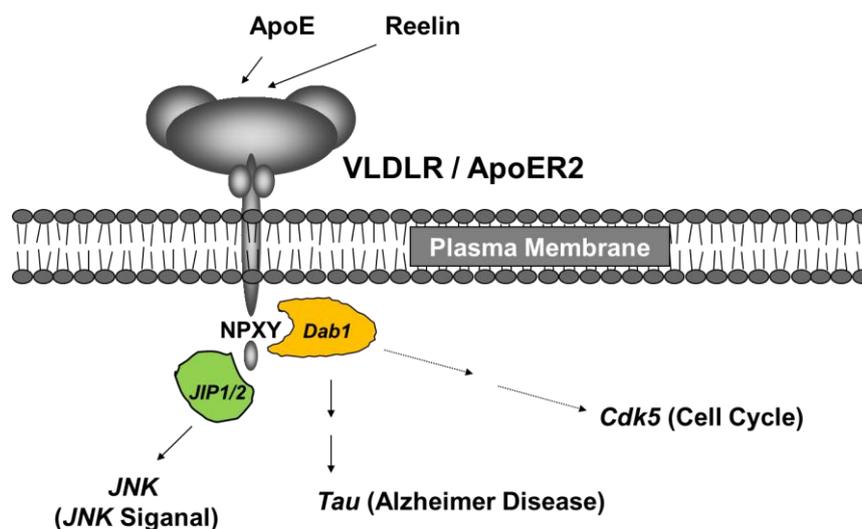


図 4. 脳神経系における ApoER2 と VLDLR の機能

Reelin シグナル伝達異常が、アルツハイマー病、統合失調症、自閉症、気分障害などにも関連することを考えると、胎生期のみならず成体期における ApoER2 と VLDLR の機能解析が今後の重要な課題であると考えられます。

2-2. 糖代謝と骨代謝における LRP5 と LRP6 の機能

LRP5 と 6 の構造は、LDLR, ApoER2, VLDLR とは違い、リガンド結合ドメインが EGF ドメインより C 末端側に位置しており、結合するリポタンパク質は ApoER2 や VLDLR と同じく VLDL のみを結合します。LRP5 の欠損マウスは、高脂肪食を与えると血中コレステロ

ールが正常マウスより高く、キロミクロンのクリアランスが悪く、肝臓でのキロミクロンの取り込みも低下していました。さらに、LRP5 欠損マウスは、インシュリンの分泌能の低下と血中グルコース値の上昇を示し、2 型糖尿病発症において LRP5 が何らかの影響を与える可能性が示唆されました (Fujino et al. 2003)。また、LRP5 欠損マウスは、正常マウスに比べ骨量が著しく低下しており、骨密度も低下しており、LRP5 が骨粗しょう症の発症に関与する可能性が示されました (Holmen et al. 2004)。実際、人の骨粗しょう症の患者において LRP5 遺伝子の変異が見つかっております (図 5)。

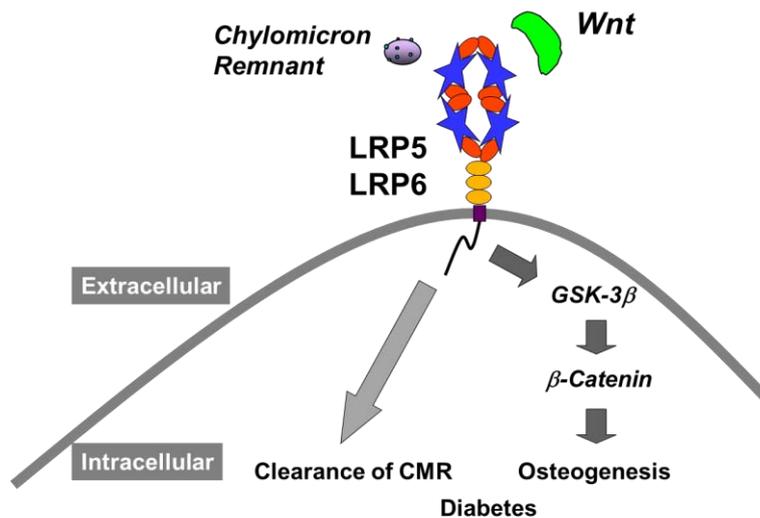


図 5. 糖代謝と骨代謝における LRP5 と LRP6 の機能

LRP5 がどのような分子機構で骨代謝に影響を与えるかを調べた結果、LRP5 が Wnt シグナルの受容体であることが分かりました。Wnt 非存在下では、細胞質内の β -catenin がリン酸化され分解されますが、Wnt 存在下では、細胞質内の β -catenin が安定化され、核内に移動し、転写因子である TCF と結合し、様々な TCF のターゲット遺伝子が転写されます。TCF ターゲット遺伝子には、骨形成に関わる遺伝子も複数報告されており、LRP が Wnt シグナルを伝達を介して骨代謝に機能することが明らかとなりました。以上の結果から、LRP5 と 6 は、肝臓でキロミクロンの取り込みを担い、食事由来のコレステロールのクリアランスに寄与すると考えられます。また、Wnt の受容体として機能し、骨代謝や糖代謝において重要な役割を担うことが示されました。

3. 新たなリポタンパク質受容体 LRP10 の生体内での機能

LRP10 の構造は EGF ドメインと細胞質ドメインが LDLR より大きい構造的な特徴を持っていますが、現在のところ、リポタンパク質との結合能力は認められていません (Jeong et al. 2010)。LRP10 の mRNA は、心臓、脳、筋肉での発現が高く、特に脳で発現が最も高いことから、LRP10 は脳で重要な機能をしていると予想されます (図 6)。

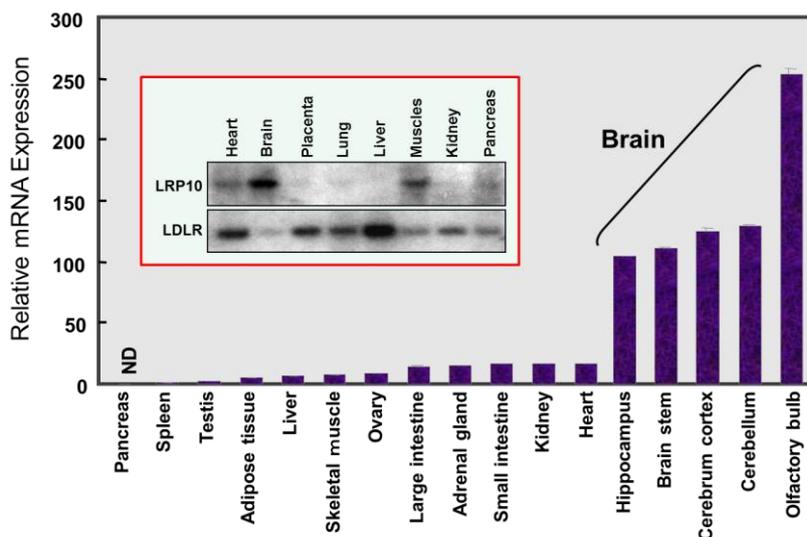


図 6. 各種組織での LRP10 の発現パターン

脳での LRP10 の局在部位を免疫染色により解析した結果、図 7 に示すように LRP10 は大脳の脳室帯 (ventricular zone) に局在していることが分かりました。このような局在パターンは VLDLR や ApoER2 の局在部位とは異なり一番基底部での局在を示しており、LRP10 が脳神経系の形成の初期に機能することが予想されます。脳神経系形成における LRP10 の機能を解析するために、ラットの舌下神経切除後、神経形成時の LRP10 の発現を調べました。ラットの舌下神経切除後の発現解析は、神経系の形成を解析する上で最適なモデルであります。LRP10 はラットの舌下神経を切除後、舌下神経核で急激に発現が増加しました。このことは、LRP10 は、神経形成時に機能していることを示します。

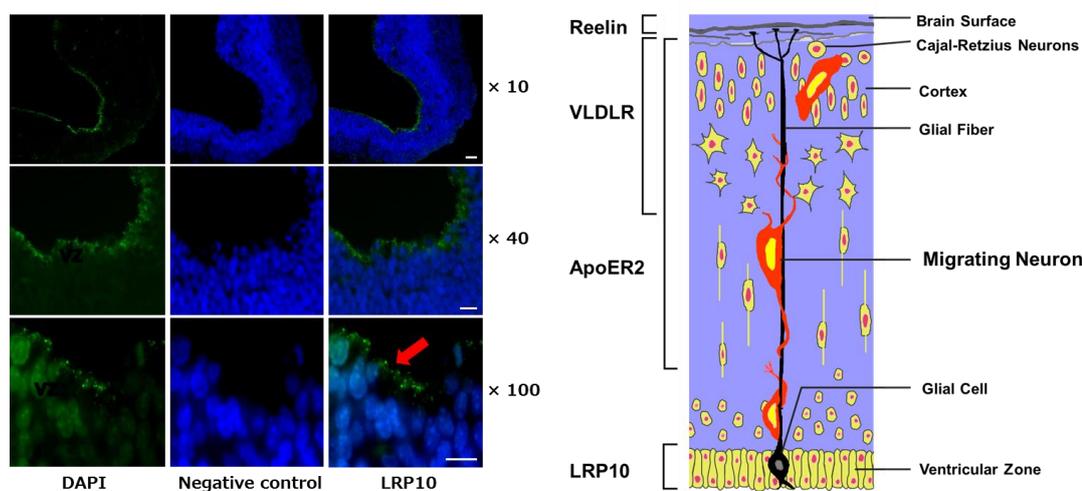


図 7. LRP10 の脳での局在パターン

現在、私たちは LRP10 の生体内での機能解明を目的に、Wnt シグナルを含む様々なシグナル伝達系における LRP10 の役割を調べています。Wnt シグナルは、生体内の様々な生命現象に関わっています。Wnt タンパク質は分泌性シグナル分子であり、人では 19 個の Wnt 遺伝子が見つっています。Wnt タンパク質は、細胞増殖、細胞死、細胞極性に機能し、組織の形態形成、神経の移動や分化にまで関与しており、Wnt シグナルに異常があると、癌、アルツハイマー病、骨粗しょう症、肥満などの疾病が発症することも明らかになっています。前述のように LRP5 と 6 は Wnt の受容体として機能しています。私たちは、LRP5 と 6 以外のリポタンパク質受容体の Wnt シグナルとの関連性を解析し、LRP5 と 6 は Wnt シグナルを上昇するが、LRP10 は Wnt シグナルを抑制する結果を得ています (Jeong et al. 2010)。これらの結果より、私たちは、リポタンパク質受容体遺伝子ファミリーが、Wnt シグナルを正にあるいは負に制御し、生体内の様々な生命現象を調節すると予想しています。

6. 謝辞

本研究は多数の実験動物を行っており、動物を飼育するために動物飼育用の棚を確保する必要があり、棚の制作に工作技術センターの協力を頂きました。センターの方々に心より感謝申し上げます。

7. 参考文献

Yamamoto T, Davis CG, Brown MS, Schneider WJ, Casey ML, Goldstein JL, Russell DW. The human LDL receptor: a cysteine-rich protein with multiple Alu sequences in its mRNA. *Cell*. 1984 Nov;39(1):27-38.

Russell DW, Lehrman MA, Südhof TC, Yamamoto T, Davis CG, Hobbs HH, Brown MS, Goldstein JL. The LDL receptor in familial hypercholesterolemia: use of human mutations to dissect a membrane protein. *Cold Spring Harb Symp Quant Biol*. 1986;51 Pt 2:811-9.

Kim DH, Iijima H, Goto K, Sakai J, Ishii H, Kim HJ, Suzuki H, Kondo H, Saeki S, Yamamoto T. Human apolipoprotein E receptor 2. A novel lipoprotein receptor of the low density lipoprotein receptor family predominantly expressed in brain. *J Biol Chem*. 1996 Apr 5;271(14):8373-80.

Trommsdorff M, Gotthardt M, Hiesberger T, Shelton J, Stockinger W, Nimpf J, Hammer RE, Richardson JA, Herz J. Reeler/Disabled-like disruption of neuronal migration in knockout mice lacking the VLDL receptor and ApoE receptor 2. *Cell*. 1999 Jun 11;97(6):689-701.

Fujino T, Asaba H, Kang MJ, Ikeda Y, Sone H, Takada S, Kim DH, Ioka RX, Ono M, Tomoyori H, Okubo M, Murase T, Kamataki A, Yamamoto J, Magoori K, Takahashi S, Miyamoto Y, Oishi H, Nose M, Okazaki M, Usui S, Imaizumi K, Yanagisawa M, Sakai J, Yamamoto TT. Low-density lipoprotein

receptor-related protein 5 (LRP5) is essential for normal cholesterol metabolism and glucose-induced insulin secretion. *Proc Natl Acad Sci U S A*. 2003 Jan 7;100(1):229-34.

Holmen SL, Giambernardi TA, Zylstra CR, Buckner-Berghuis BD, Resau JH, Hess JF, Glatt V, Bouxsein ML, Ai M, Warman ML, Williams BO. Decreased BMD and limb deformities in mice carrying mutations in both *Lrp5* and *Lrp6*. *J Bone Miner Res*. 2004 Dec;19(12):2033-40.

Jeong YH, Ishikawa K, Someya Y, Hosoda A, Yoshimi T, Yokoyama C, Kiryu-Seo S, Kang MJ, Tachibana T, Kiyama H, Fukumura T, Kim DH, Saeki S. Molecular characterization and expression of the low-density lipoprotein receptor-related protein-10, a new member of the LDLR gene family. *Biochem Biophys Res Commun*. 2010 Jan 1;391(1):1110-5.

Jeong YH, Sekiya M, Hirata M, Ye M, Yamagishi A, Lee SM, Kang MJ, Hosoda A, Fukumura T, Kim DH, Saeki S. The low-density lipoprotein receptor-related protein 10 is a negative regulator of the canonical Wnt/beta-catenin signaling pathway. *Biochem Biophys Res Commun*. 2010 Feb 19;392(4):495-9.

研究ノート

微生物がつくりだす天然有機化合物 に魅せられて

臼杵 克之助 (うすき よしのすけ)



所属：理学研究科 物質分子系専攻

専門分野：天然物有機化学・生物有機化学

趣味：こどもの野球を見ること

大村智先生が 2015 年ノーベル生理学・医学賞を受賞されたことは記憶に新しいところです。静岡県伊東市川奈の土壌から分離された放線菌が生産するアベルメクチンの発見をもとに、製薬会社によってその化学構造を改変することで創製されたイベルメクチンが抗寄生虫薬として広く活用され、寄生虫感染症の治療法確立に貢献されたことが受賞理由のひとつになっています。このように微生物が生産する有機化合物（二次代謝産物）のなかにはペニシリンやシクロスポリンなど、ヒトにとって有用な生物活性を示すものがあります。それを私たち人間は薬や薬品材料として利用してきました。本稿では、私たちの研究グループでこれまでに取り組んできた微生物由来の天然有機化合物についてご紹介していきたいと思います。

約 20 年前、杉本キャンパスの土壌から分離された放線菌 517-02 株が強力な抗真菌性物質をその菌体内に著量生産、蓄積することが見いだされました。この菌株は形態学的な特徴をはじめとする性質などから、文献未記載の *Streptomyces* 属菌の一株であると同定され、*Streptomyces* sp. 517-02 と命名されました。その菌体のアセトン抽出液より単離された結晶状の抗真菌性物質は呼吸阻害剤 antimycin A_{3b} と非常に類似した 9 員環ジラクトン構造を有することが種々の機器分析から分かり、UK-2A と名付けられました(Fig.1)¹。

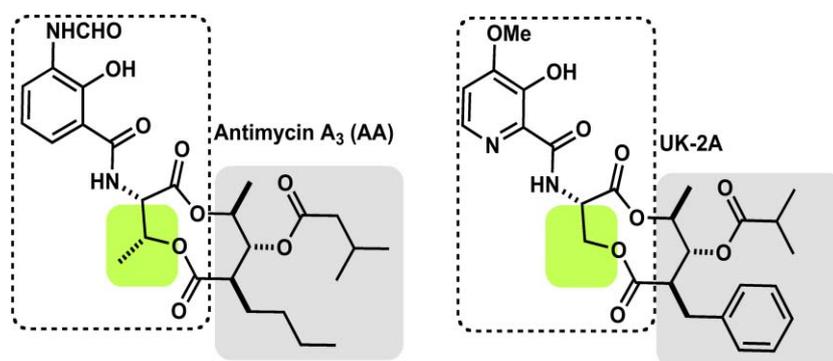


Fig.1 UK-2A と antimycin A_{3b} の構造

ヒトは呼吸によって酸素 O_2 を取り込んでエネルギーを生み出しています。ここでのエネルギーとは、生物界に共通するエネルギー通貨とも呼ばれるアデノシン三リン酸(adenosine triphosphate; ATP)です。 O_2 を取り込んでの呼吸（好気呼吸）では、解糖系→クエン酸回路→電子伝達系という経路でエネルギーである ATP が生み出されます。真核生物では、ミトコンドリア内膜に電子伝達系があり、その最終段階に位置する複合体IVにおいて、酸素 O_2 に電子 e^- と水素イオン H^+ を渡して、水 H_2O へと変換します。ヒトにとって、シアン化水素 HCN は猛毒ですが、これは電子伝達系での電子のやり取りを阻害するからです。このように、電子のやり取りを阻害する働き（呼吸阻害）をもった薬剤を呼吸阻害剤といいます。

UK-2A は antimycin A_{3b} と同様にミトコンドリア内膜における電子伝達系複合体IIIを阻害し、真菌に対して広範囲に低濃度で生育抑制を示すこと、すなわち antimycin A_{3b} と同様な抗真菌性抗生物質であることが明らかになりました。しかし、antimycin A_{3b} が非常に強力な細胞毒性を示すが、UK-2A はほとんど示さないのはなぜだろうか？構造と活性との関係に興味を持つようになったきっかけです。まず、セリン残基を含み、antimycin A_{3b} と UK-2A の部分構造を併せ持つハイブリッド分子(**Fig.2**)を化学合成し、それらの生物活性（抗菌活性、細胞毒性、活性酸素産生能）を評価しました²。Antimycin A_{3b} と **1n** との活性の違いからトレオニン残基に由来するメチル基の有無が細胞毒性に大きく関与していることを明らかにしました³。

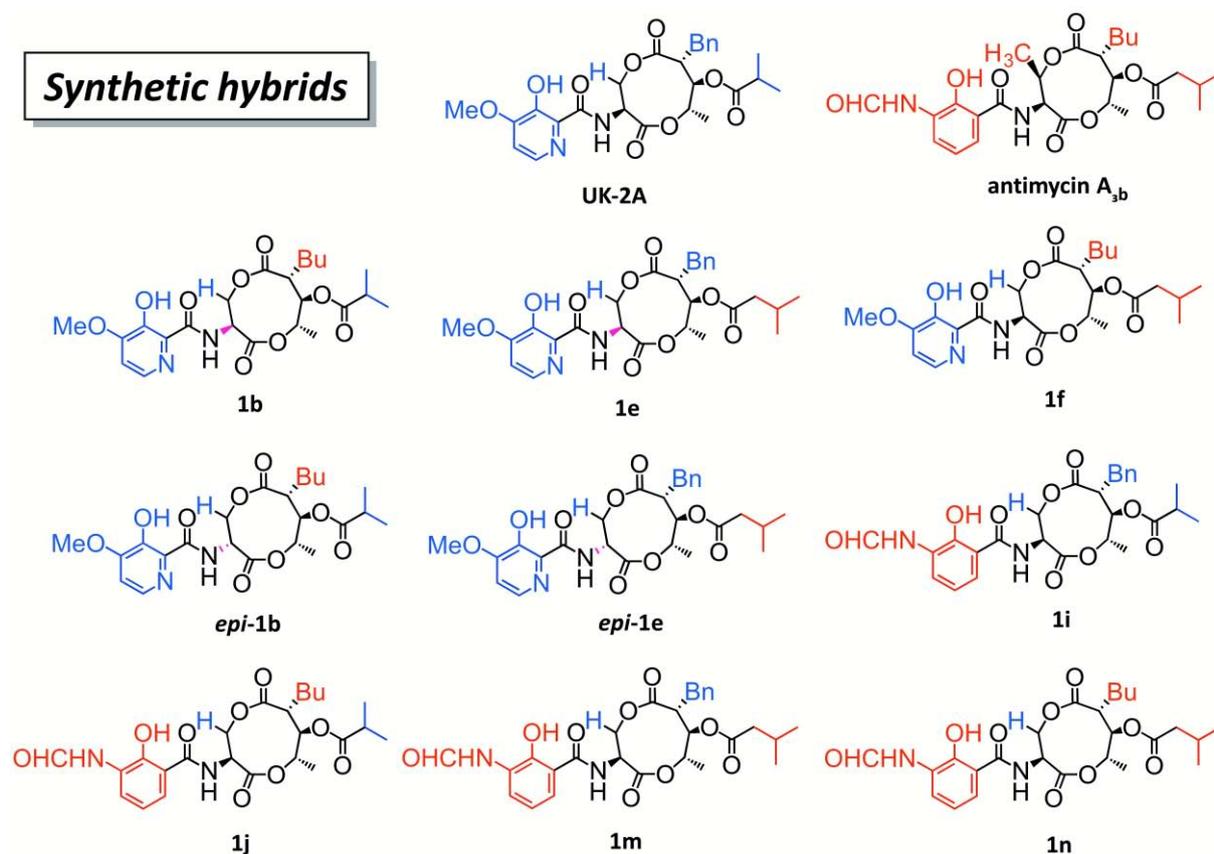


Fig.2 UK-2A と antimycin A_{3b} とのハイブリッド分子

Splenocin は、2009 年に W. Fenical らによってマウス脾細胞を用いたサイトカイン産生阻害活性を指標にして、海産放線菌 *Streptomyces* 属菌の代謝産物の中から単離された 9 員環ジラクトン構造を有する一群の化合物です⁴。なかでも、最も強い活性を有する splenocin B の構造を見たとき、驚きを禁じ得ませんでした。それまでに私たちが行っていた構造活性相関研究において、未だ合成していなかったハイブリッド分子、すなわち、9 員環ジラクトン部位に、UK-2A 由来のベンジル基とイソ酪酸エステル、antimycin A_{3b} 由来のメチル基をそれぞれ有し、9 員環ジラクトンに 3-formylamino-2-hydroxybenzoic acid がアミド結合している構造であったからです。

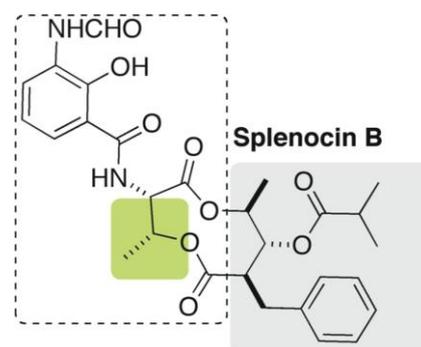


Fig.3 Splenocin B の構造

Th2 サイトカイン阻害剤はアレルギー性炎症を抑制し、喘息症状などのアレルギー症状の軽減に有用です。9 員環ジラクトン構造を有する化合物が抗菌活性に加えて、免疫抑制作用にかかわる生物活性を示す！私たちはさっそく、antimycin A_{3b}、UK-2A、splenocin B の免疫抑制作用に関する研究を開始しました。まず、splenocin B の全合成についてご紹介します。

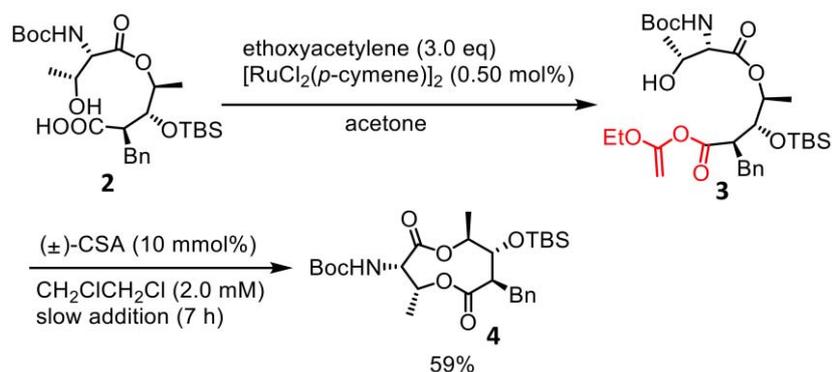
Splenocin B の歪みがかかった 9 員環ジラクトン骨格をいかに構築するかが鍵となります。単純なシクロアルカン（環状飽和炭化水素）の歪みエネルギーをまとめた Table 1 から 9 員環がもっとも歪みがかかっていることがわかります。

Table 1 一般的なシクロアルカン（環状飽和炭化水素）の歪みエネルギー⁵

環の大きさ	歪みエネルギーkcal/mol	環の大きさ	歪みエネルギーkcal/mol
3	27.5	10	12.4
4	26.3	11	11.3
5	6.2	12	4.1
6	0.1	13	5.2
7	6.2	14	1.9
8	9.7	15	1.9
9	12.6	16	2.0

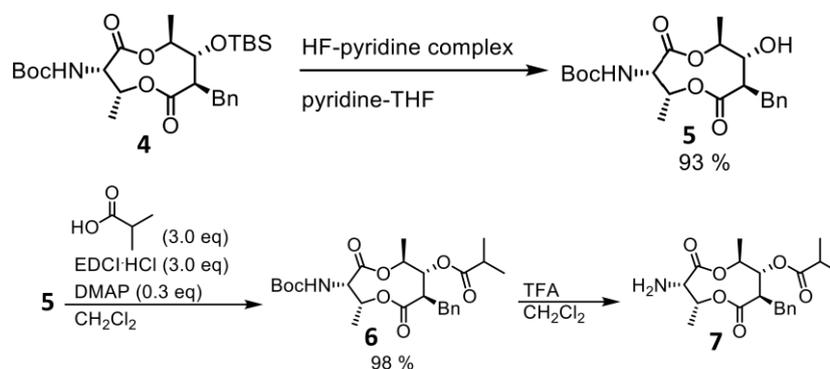
いろいろなラクトン化反応の条件を試しました。Antimycin A_{3b} の全合成で報告されている条件もやってみましたが、保護基が違うせいか、うまく進行しない。半年近く試行錯誤を繰り返しながら条件を探索しつづけていくうちに、ようやく環化前駆体 **2** からエトキシビニルエステルを経由するラクトン化反応（北-トロスト反応）⁶を用いると 9 員環ジラクトン骨格がうまく構築できることを見いだしました(Scheme 1)。

環化前駆体 **2** をルテニウム錯体[RuCl₂(*p*-cymene)]₂ とエトキシアセチレンを用いて、エトキシビニルエステル **3** に変換しました。つづいて、触媒量の(±)-カンファスルホン酸 CSA を含む 1,2-ジクロロエタン溶液に **3** を還流下で 7 時間かけてゆっくり加えることで、9 員環ジラクトン **4** を収率 59%で合成できることがわかりました。反応に用いる溶媒の種類や基質の濃度、滴下に要する時間などなど細かく条件を精査することで最適な条件が見つかりました。



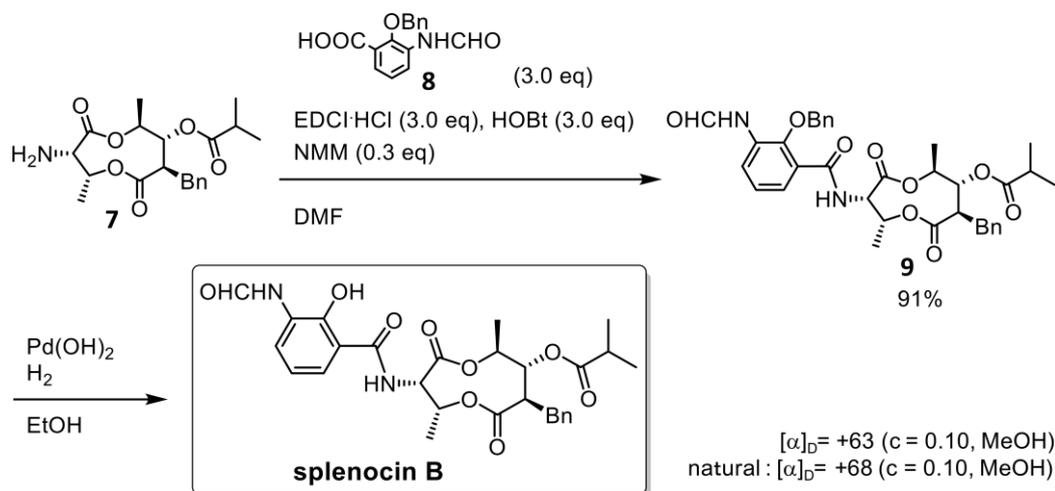
Scheme 1. 9員環ジラクトン **4** の合成

フッ化水素-ピリジン錯体で **4** を処理して TBS 基を選択的に脱保護し、**5** へと収率 93%で変換しました。つづくアシル化では、ジクロロメタン中、EDCI・HCl と DMAP を用いることでエピ化を伴うことなく **6** が収率 88%で得られました。トリフルオロ酢酸 TFA で Boc 基の脱保護を行い、**7** へと収率 98%で変換しました(**Scheme 2**)。



Scheme 2. **7** の合成

7 と 3-アミノサリチル酸誘導体 **8** との縮合を DMF 中で EDCI・HCl と 1-ヒドロキシベンゾチアゾール HOBt、N-メチルモルホリン NMM を用いて行い、アミド **9** を収率 91%で合成しました。全合成の最終段階として、**9** を水酸化パラジウム Pd(OH)₂ 存在下、水素添加することで、定量的な収率で所望の splenocin B が得られ、その全合成を達成しました(**Scheme 3**)⁷。



Scheme 3. Splenocin B の全合成

さらに、splenocin B のみならず、類似した構造をもつ antimycin A_{3b} と UK-2A も濃度依存的に IL-4 遺伝子発現を抑制することが分かりました。なかでも、UK-2A は細胞毒性が低く、現在上梓されている唯一の Th2 サイトカイン阻害薬であるスプラタスト（商品名：アイピーディ）と同程度の生物活性を示したことから、UK-2A を新規抗アレルギー剤として特許出願を行いました（特願 2015-140690）。現在、構造活性相関を明らかにするために、各種誘導体を合成し、それらの活性評価を行っています。

放線菌は、Antimycin A_{3b} に 2 つのユニットを追加して 15 員環へと環のサイズを拡大させた構造をもつ化合物もつくり出しています。15 員環テトラクトン構造を有する抗生物質として初めて単離されたのは、neoantimycin です(Fig.5)⁸。1967 年に単離され、1969 年に平面構造が明らかにされましたが、その後ほとんどといってよいほど neoantimycin に関する報告がありませんでした。生産菌がうまく働かなかったからだと考えられます。

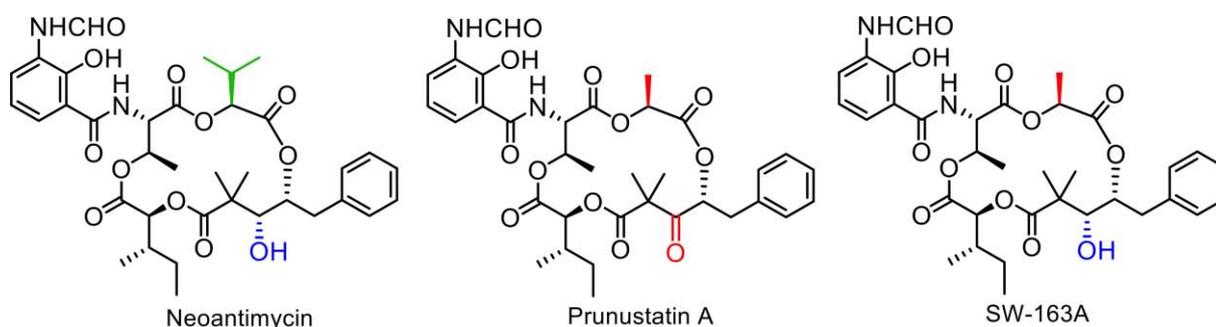
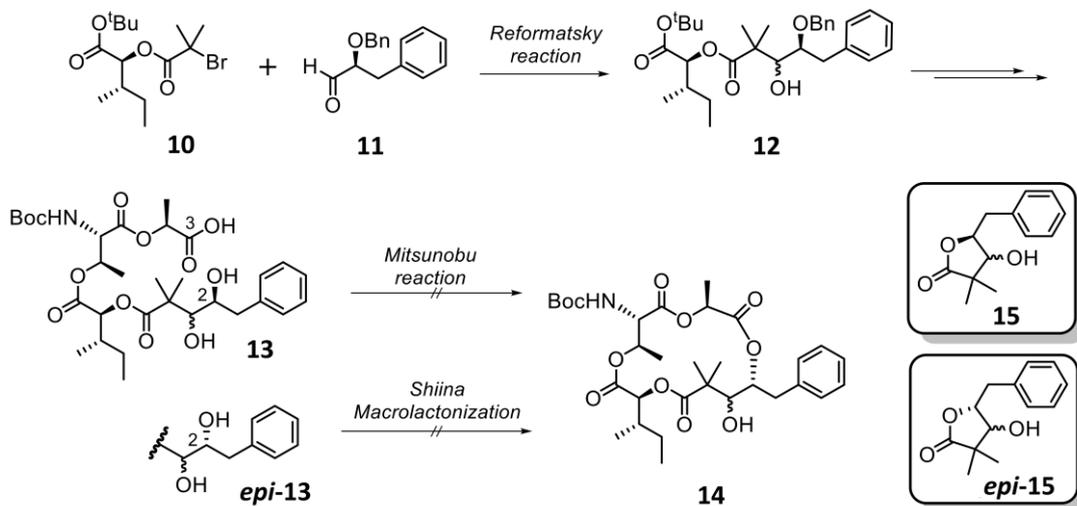


Fig.5 Neoantimycin、Prunustatin A と SW-163A の構造

ところが、2005 年に新家らにより放線菌 *Streptomyces violaceoniger* 4521-SVS3 株の培養物中から、分子シャペロン GRP78 発現抑制を指標に、prunustatin A が単離・構造決定されました。構造を決定するにあたって、prunustatin A の C1 位カルボニル基がヒドロキシ基に還元された構造を有する SW-163A を用いて解析がなされました。どちらも 15 員環テトラクトン構造を有し、L-トレオニン残基に 3-(formylamino)-2-hydroxybenzoic acid がアミド結合している点が antimycin A_{3b} と共通しています(Fig.5)⁹。

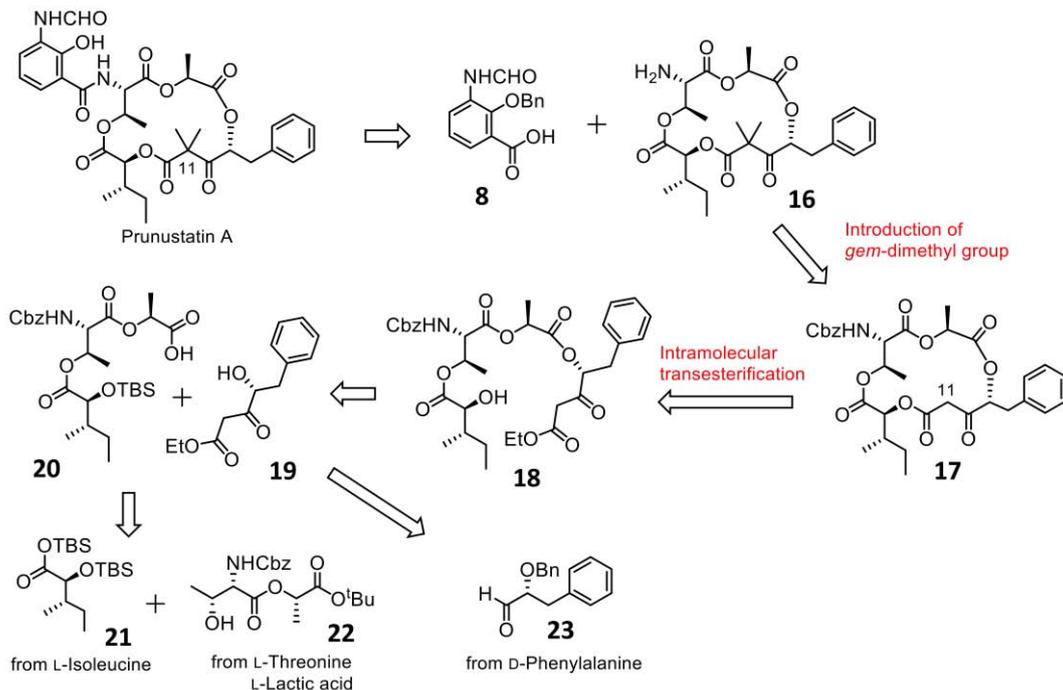
正常組織と比較して、固形癌細胞の成長速度が速いため、血管新生が癌細胞の増殖に追いつけず、グルコースおよび酸素が欠乏した状態にあります。このような低酸素・グルコース飢餓下で生存するために、固形癌細胞の多くは分子シャペロン GRP78 を高発現する小胞体ストレス応答を亢進させています。分子シャペロンが発現することで、固形癌細胞の成長が促されることから、グルコース飢餓環境下において特異的に GRP78 発現を抑制する化合物は、固形癌選択的な抗癌剤の創薬シーズとして期待されるわけです。

構造式を初めて見たとき、これは私たちが合成すべき化合物だと確信して、prunustatin A の合成研究を開始しました。上述の Table 1 をみると 15 員環はそれほど環歪みが大きくない。ならばと、15 員環テトラクトン部位を構築すべく、C2-C3 位間でのラクトン化や C11-1 位間での分子内 Reformatsky 反応による閉環などを試みましたが、いずれも 5 員環ラクトン 15、*epi*-15 を与えるのみでした (Scheme 4)¹⁰。



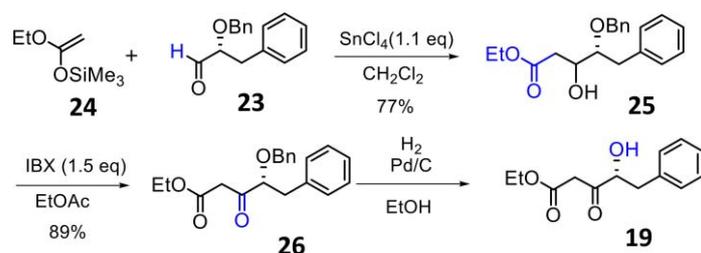
Scheme 4. Prunustatin A の合成に向けた当初の試み

かんたんな分子動力学 MD 計算を行ってみると、どうも環化前駆体はいずれも伸びた形をしている。両端の反応点が近づきにくいのではないかと…C-11 位の *gem*-ジメチル基が合成を困難にしていると考えて、*gem*-ジメチル基を合成終盤に導入する新たな合成経路を立案しました(**Scheme 5**)。



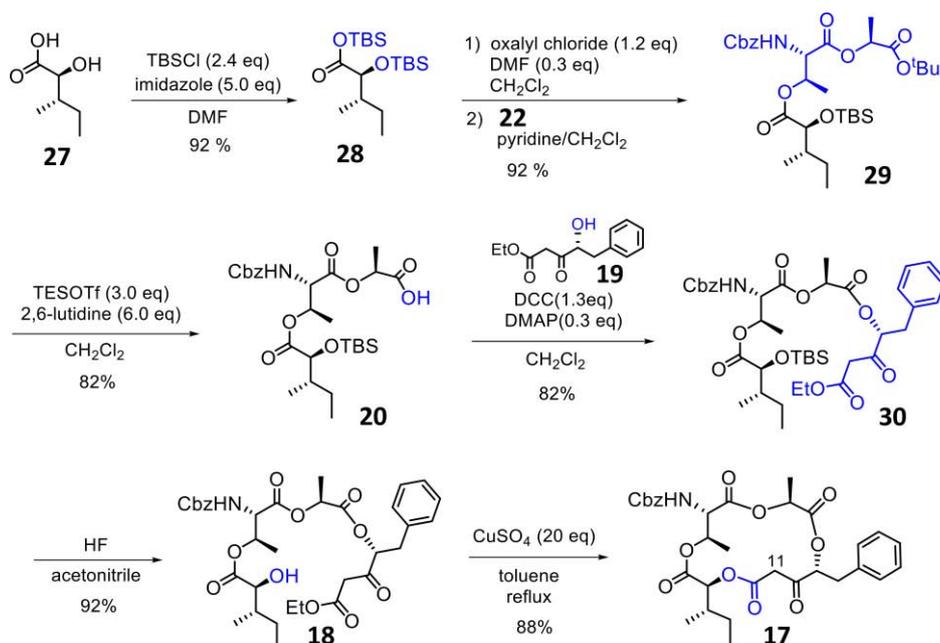
Scheme 5. Prunustatin A の合成に向けた新たな経路

D-フェニルアラニンから得られるアルデヒド **23** とケテンシリルアセタール **24** を用いた向山アルドール反応により調製したアルコール **25** を IBX 酸化により β -ケトエステル **26** へと変換した。水素添加によりベンジル Bn 基の脱保護を行い、**19** を合成しました(**Scheme 6**)。



Scheme 6. 19 の合成

L-イソロイシンから調製したヒドロキシカルボン酸**27**のヒドロキシ基とカルボキシル基をTBS保護して得られるシリルエステル**28**を酸塩化物に変換した後、L-トレオニンとL-乳酸から合成した**22**と縮合させることにより、エステル**29**を収率良く合成することができました。**29**の *tert*-Bu エステル部位のみを脱保護して得られるカルボン酸**20**とアルコール**19**を縮合させることによりエステル**30**を得ました。フッ化水素酸 HF で処理することで**30**の TBS 基を除去し、環化前駆体**18**へと変換しました。**18**を無水硫酸銅存在下、トルエン中で加熱還流することにより、望みの分子内エステル交換反応が進行し、対応する 15 員環テトララクトン**17**を収率 82%で得ることができました(Scheme 7)。



Scheme 7. 15 員環テトララクトン **17** の合成

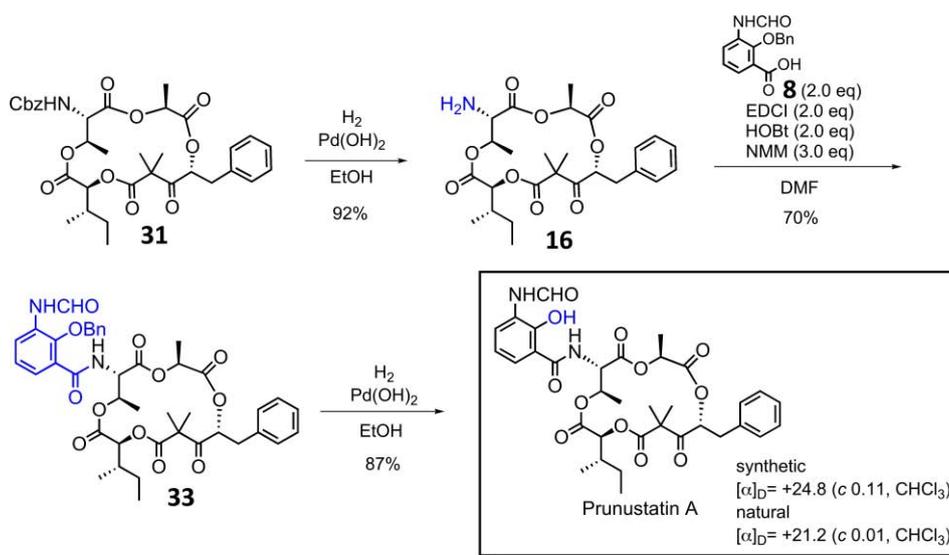
次に、ラクトン**17**の C-11 位に *gem*-ジメチル基を導入する条件を検討しました(Table 2)。塩基として炭酸カリウムを用いたところ、望みの**31**の他にモノメチル化体**32**が得られました。そこで、反応温度を 40 °C まで昇温したところ、**31**の収率は改善されたものの、**32**の副生を完全に抑制することができませんでした。そこで、反応温度を 40 °C に固定し、種々の塩基を検討したところ、炭酸ナトリウムを用いると**32**が生成することなく**31**を比較的良い収率で得られることを見いだしました(Entry 3)。

Table 2 *gem*-ジメチル基を **17** に導入する条件検討



entry	base	temperature	31	32
1	K ₂ CO ₃	rt	25%	25%
2	K ₂ CO ₃	40 °C	33%	19%
3	Na ₂ CO ₃	40 °C	62%	—
4	Li ₂ CO ₃	40 °C	trace	42%
5	Cs ₂ CO ₃	40 °C	—	—

ラクトン **31** の Cbz 基を水素添加により脱保護して得られるアミン **16** とカルボン酸 **8** を EDCI、HOBT、NMM を用いて縮合させ、**33** へと変換しました。**33** のベンジル Bn 基を水素添加により脱保護することで Prunustatin A の全合成を 30 工程、総収率 0.62% で達成することができました (Scheme 8)¹¹。合成品の ¹H および ¹³C NMR スペクトルは天然物のそれらと良い一致を示しました。



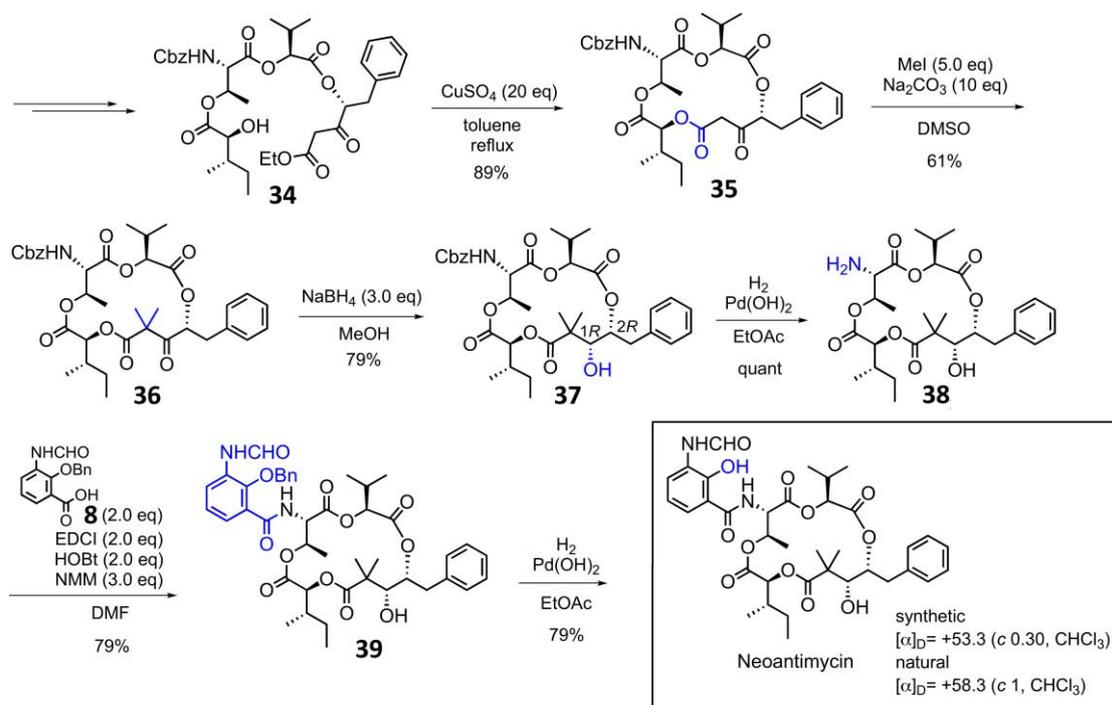
Scheme 8. Prunustatin A の全合成

この合成経路で neoantimycin の全合成も達成できると考え、合成化学的に neoantimycin の立体構造を決定しようと考え、実験を進めていました。合成の最終段階に近づいた頃、Capon らにより新たな培養で得られたサンプルで測定された各種機器分析をもとに neoantimycin の立体構造が報告されてしまいました¹²。同じ論文で、neoantimycin が KRAS の細胞膜への局在化を阻害する活性を示すことも記述されていました。KRAS は上皮成長因子受容体 (EGFR) が出す細胞増殖のシグナルを受け取り核に伝達しますが、変異した KRAS 遺伝子は EGFR からのシグナルがなくても、つねに細胞増殖のシグナルを出し続ける。RAS を介するシグナル伝達には RAS タンパク質の細胞膜への局在化が不可欠であるため、KRAS の細胞膜への局在

化を阻害する化合物もやはり抗癌剤の創薬シーズとして期待ができます。

合成化学的に提出構造を検証することと、抗癌剤に向けた創薬シーズにふさわしい有望な活性を示すこの一群の化合物の構造活性相関研究へと展開することをめざして、neoantimycinの合成研究を継続しました。

L-バリンを出発物質として合成した環化前駆体 **34** の分子内エステル交換反応はスムーズに進行し、対応する 15 員環テトラクトン **35** を収率 89% で与えました (Scheme 9)。C-11 位に *gem*-ジメチル基を導入した後、水素化ホウ素ナトリウム NaBH_4 で還元すると対応するアルコール **37** がジアステレオ選択的に得られました。分子動力学 MD 計算から *gem*-ジメチル基の一方のメチル基によって、ヒドリド H の α 面からの接近が抑制されることが示唆されています。なお、**37** を加水分解して得られた 5 員環ラク톤を標品と比較することで C-1 位の立体化学を確認しました。研究初期での苦い経験がここで役立つことになりました。あとは、Prunustatin A の場合と同じ手順で、所望の neoantimycin の全合成を達成しました¹³。合成品の ^1H および ^{13}C NMR スペクトルは天然物のそれらと良い一致を示しました。



Scheme 9. Neoantimycin の全合成

私たちは、本稿で紹介した微生物由来の天然有機化合物が抗アレルギー剤や抗癌剤などの創薬シーズとして展開可能であると考えており、学内外との共同研究者と連携して大阪市立大学発の新規創薬シーズを開発したいと夢見ています。

謝辞

本稿における研究は、大阪市立大学大学院理学研究科において共同研究者である学生諸君のたゆまぬ努力によって得られた成果です。Splenicin B の全合成では吉田賢一君、井尻美菜子さんに、Prunustatin A/Neoantimycin の全合成では小川洸君、稲岡知和君、鄭有真さんにそ

れぞれ感謝申し上げます。また、各種生物活性評価に関しては、同研究科の水原尚子特任助教、藤田憲一准教授、田中俊雄教授、都市健康・スポーツ研究センターの荻田亮教授、(一財)日本食品分析センターの吉田泉博士に心から御礼申し上げます。

研究を進めるにあたって、本学分析室ならびに工作技術センターに所属される技術職員の皆様からの温かいご支援は何よりかけがえのないものであります。この場をお借りして篤く御礼を申し上げます。

最後になりましたが、微生物由来天然有機化合物に関する研究に取り組むきっかけを与えてくださった故 柴田耕造先生(理学部化学科教授)と故 谷口誠先生(理学部生物学科教授)に感謝を込めて本稿を捧げたいと思います。

参考文献

- 1) (a) Ueki, M.; Abe, K.; Hanafi, M.; Shibata, K.; Tanaka, T.; Taniguchi, M. *J. Antibiot.* **1996**, *49*, 639–643; (b) Hanafi, M.; Shibata, K.; Ueki, M.; Taniguchi, M. *J. Antibiot.* **1996**, *49*, 1226–1231.
- 2) Usuki, Y.; Goto, K.; Kiso, T.; Tani, K.; Ping, X.; Fujita, K.-I.; Iio, H.; Taniguchi, M. *J. Antibiot.* **2002**, *55*, 607–610.
- 3) Fujita, K.-I.; Kiso, T.; Usuki, Y.; Tanaka, T.; Taniguchi, M. *J. Antibiot.* **2004**, *57*, 687–690.
- 4) Fenical, W.; Strangman, W. K.; Kwon, H. K.; Broide, D.; Jensen, P. R. *J. Med. Chem.* **2009**, *52*, 2317–2327.
- 5) Anslyn, E. V.; Dougherty, D. A. In *Modern Physical Organic Chemistry*; University Science: Sausalito, CA, 2006, pp 100–109.
- 6) (a) Kita, Y.; Maeda, H.; Omori, K.; Okuno, T.; Tamura, Y. *Synlett* **1993**, 273–274; (b) Trost, B. M.; Chisholm, J. D. *Org. Lett.* **2002**, *4*, 3743–3745.
- 7) Yoshida, K.-I.; Ijiri, M.; Iio, H.; Usuki, Y. *Tetrahedron* **2015**, *71*, 9626–9629.
- 8) (a) Cassinelli, G.; Grein, A.; Orezzi, P.; Pennella, P.; Sanfilippo, A. *Arch. Mikrobiol.* **1967**, *55*, 358–368; (b) Caglioti, L.; Misiti, D.; Mondelli, R.; Selva, A.; Arcamone, F.; Cassinelli, G. *Tetrahedron* **1969**, *25*, 2193–2221; (c) Takeda, Y.; Masuda, T.; Matsumoto, T.; Takechi, Y.; Shingu, T.; Floss, H. G. *J. Nat. Prod.* **1998**, *61*, 978–981.
- 9) (a) Umeda, Y.; Chijima, S.; Furihata, K.; Sakuda, S.; Nagasawa, H.; Watanabe, H.; Shin-ya, K. *J. Antibiot.* **2005**, *58*, 206–209; Umeda, Y.; Furihata, K.; Sakuda, S.; Nagasawa, H.; Ishigami, K.; Watanabe, H.; Izumikawa, M.; Takagi, M.; Doi, T.; Nakao, Y.; Shin-ya, K. *Org. Lett.* **2007**, *9*, 4239–4242.
- 10) 稲岡知和, 鄭有真, 臼杵克之助, 飯尾英夫 第 52 回天然有機化合物討論会講演要旨集, **2010**, 457–462.
- 11) Usuki, Y.; Ogawa, H.; Yoshida, K.-I.; Inaoka, T.; Iio, H. *Asian J. Org. Chem.* **2015**, *4*, 737–740.
- 12) Salim, A. A.; Cho, K.; Tan, L.; Quezada, M.; Lacey, E.; Hancock, J. F.; Capon, R. J. *Org. Lett.* **2014**, *16*, 5036–5039.
- 13) Ogawa, H.; Iio, H.; Usuki, Y. *Chem. Lett.* **2015**, *44*, 1214–1216.

学生実験で行うガラス細工

迫田 憲治（さこた けんじ）

所属：理学研究科 物質分子系専攻

専門分野：物理化学

趣味：野菜の栽培



1. はじめに

かつては多くの大学にガラス工作室や機械工作室があり、専門の技術職員の方が教育・研究をサポートして下さっていた。現在では、全国的にガラス・機械工作室は縮小傾向だと聞くが、幸いなことに大阪市立大学では両工作室ともに健在である。日々実験を行っている、良さそうなアイデアが浮かんでくることもあるわけで、すぐにそのアイデアを試したくなるのが人情である。筆者の専門である物理化学では装置を自作することも多く、研究のアイデアというのは、装置製作や改造に関係していることも多い。そのようなとき、民間に発注する手もあるのだが、これだと時間がかかってしまうことも多く、じれったい。その点、身近にガラス工作室や機械工作室があると、アイデアを実行に移すまでの時間を短くできるだけでなく、いろいろと融通がきいて非常にありがたい。また、民間に比べて圧倒的に低価格なのも魅力的である。

筆者も学部4年で物理化学の研究室に配属されたころから、機械工作室に足しげく通い、旋盤で部品を削り出したり、専門職員のかたに製作物の相談や製作依頼を行ったりしていた。筆者は化学科で教育を受けたので、図面の書き方や旋盤の使い方などをカリキュラムとして教えられたことはなかった。当時所属していた大学の機械工作室には、腕は確かであるがいわゆる職人氣質のこわい“おっちゃん”がいて、書いた図面に何度もダメ出しをされた。しかし、ただ図面を突き返すだけでなく、きちんとどこがダメなのかを指摘してくれていた。今思えば、その厳しい指摘を通して素人である筆者を教育してくれていたのだと思う。たしかに、そのやり取りを通して、曲がりなりにも相手に通じる図面を書けるようになったわけで、今では非常に感謝している（当時は本当に怖かったが）。

筆者の例でも分かるとおり、一般に化学科の学生が工作室と深いかわりをもつようになるのは、研究室に配属された学部4年以降であることが多く、市大の化学科も例にもれない。実際に研究活動を始めれば、工作室を頻繁に利用することになる学生も多いわけであり、学部3年生を対象とした学生実験を工作室と共同で実施することが学生の利益になるのではないかという話が出たのが昨年度のことである。これまで市大の化学科では、学部学生を対象にした本格的なガラス細工に関する教育課程は存在しておらず、また、化学科ではガラス器

具を多用した実験を行っている研究室も多いため、化学科の八ッ橋先生、伊藤先生（現高知工科大学）、ガラス工作室の堀井氏、中原氏のご尽力のもと、今年度の前期からガラス細工に関する学生実験をスタートさせた。

2. 実際のカリキュラム

市大の化学科では、学部3年前期に物理化学関連の実験を行う化学実験2を開講しており、ガラス細工はこのなかに組み込まれている。1 グループ 8~9名の学生が2日間(3、4時限目)にわたり、ガラス工作室で実習を行っており、今年度の受講者数は54名であった。実際の実習では、中原氏が実習内容の説明とガラス細工の実演を行ったのち、それぞれの学生が実際にガラス細工を行う、という手順で進めている。学生が実習を行っているあいだは、中原氏、堀井氏および筆者が、各学生の実習状況を見て回り、必要なアドバイスを与えたり、実演を交えたりして指導を行っている。今年度の実習内容は以下のとおりである。

1日目 ① 全体説明・諸注意

- ② ガラス管切断（手折り法、焼玉法）
- ③ ガラス管引き延ばし（足場作り）

2日目 ④ ゴム管止め

- ⑤ ガラス管接合（通常法、四隅焼き）
- ⑥ 課題製作
- ⑦ 自由製作

① 全体説明・諸注意

実習の冒頭では、安全面に関する諸注意が与えられる。ガラス細工では、高温のガスバーナーを使用してガラスを軟化温度まで加熱する必要があるため、火傷に要注意である。また、加熱中のガラスは赤く光っているため、高温になっていることがすぐわかるが、炎から外した加熱直後のガラスは透明に戻っており、高温になっていることが目では分かりにくく、特に注意が必要である。また、ガラスやその破片は鋭利になっていることも多く、思わぬケガを負ってしまうこともありうるため、集中力を保って実習を行う必要がある。なお、化学科の学生は白衣と保護メガネを全員購入しているため、実習の際にはそれらを必ず着用するように指導している。実習は梅雨~初夏にかけて行うので、季節柄、サンダル履きの学生も多いが、実習日には必ず足全体が覆われている靴を着用してくるよう求めている。

② ガラス管切断（手折り法、焼玉法）

全体説明が終わったあと、いよいよ実習がはじまる。はじめに、手折り法によるガラス管の切断を行う。手折り法は、ガラスが引っ張り応力に弱いことを利用した切断法であり、直径15mm程度までのガラス管を切断するのに用いられる。まず、ガラス管の外壁にヤスリで

3～4 mm 程度の長さの傷をつける。つぎに、傷を上に向け、傷の両側に親指を添えるようにして両手で握る。さいごに、肘を張り、両側に引くようにして切断する（図 1）。



図 1 手折り法

手折り法では、最初にヤスリでガラス管に傷をつけるが、ここで初心者がやってしまいがちなのが、ヤスリをのこぎりのようにガラス管のうえで往復させて深い傷を入れようとする点である。これをやってしまうと、ガラス管の傷自体は深くなるが、傷の頂点が丸みを帯びてしまい、ガラス管を引っ張っても上手く切断できない。適切な力を用い、1 回だけヤスリを這わせると、傷の頂点が鋭利になり、弱い力で簡単に切断することができる。ガラスの手折りをやったことのある方は分かるかもしれないが、最初はなかなか上手く切断することができないことも多く、苦勞している学生もいたが、何度かチャレンジしているとだんだんとコツが分かってきて、面白いようにポキポキと折れるようになっていた。

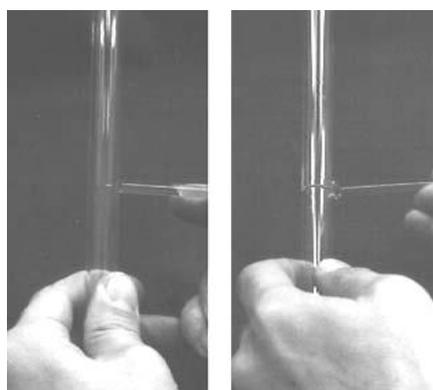


図 2 焼玉法

つぎに、熱衝撃を利用した焼玉法によるガラス管の切断を行う。まず、ガラス管にヤスリで傷をつける。つぎに、細いガラス管を熱し、ヤスリ傷の先端から 3～4 mm 離れたところに熱したガラス（焼玉）を押し当てると、急熱されることにより、ガラス管のひびが伸びる。さいごに、ひびの入ったガラス管を引っ張ると切断される（図 2）。

実際に焼玉法をやってみると、ガラス管のひびが伸びるのは、焼玉を当てた直後ではなくて、数秒たってからのことであるのがわかる。これは、ガラスに熱が伝わって膨張するのに少し時間がかかることを反映しているのだろう。また、焼玉がしっかり焼ける前に炎から焼玉を出してしまい、熱が十分伝わらないために上手くひびが伸びなくて苦勞している学生もいたが、ほどなくコツをつかんでいったようである。

③ ガラス管引き延ばし（足場作り）

実際にガラス細工をおこなうとき、太いガラス管を使用することもあるが、管が太いままでは回転させにくいので、ガラス管を引き伸ばして持ちやすい場所を作る。この部分を「足場」という。足場はガラス管を加熱して引き伸ばすことによってつくるため、ガラス管を一樣に加熱する必要がある。そのため、ガラス管を炎のなかで常に回転させるのであるが、ガ

ラス管をスムーズに回転させるには、以下のようにする。1. 左手でガラス管を上からつかみ、小指と薬指でガラス管を支える。2. 左手の親指と人差し指で回転させる。3. 右手の中指の爪の上にガラス管をのせ、親指と人差し指で軽くつかむように支えて回転させる(図3)。



図3 ガラス管の持ち方と回転のさせ方

足場を作るときのポイントは、足場とガラス管の回転軸が合うようにガラス管を引き伸ばすことである。加熱のときの回転のさせ方が悪いと融け方が不均一となり軸が合わなくなるので注意が必要である。また、ガラス管を均一に加熱できたとしても、軸が合うように引き伸ばすには、熟練の技が必要とされる。今回の実習でも、中原氏、堀井氏が作成された足場のように完全に軸があっているものを学生が作れるようになったわけではなかった。これは致し方ない部分があり、研究室に配属されてからも練習を積むしか方法はない。

④ ゴム管止め

実際、研究室ではガラス管にゴム管などをつなげることがよくやられている。このとき、ガラス管からゴム管が簡単に外れないようにするために、ガラス管側にゴム管止めをつくる。作り方は以下のとおりである。1. 足場を作り、その足場の肩から1.5~2倍のところを細い炎で回しながら加熱し、両側から軽く押すことでガラス管に膨らみをつける。2. 1でつけたふくらみのすぐ横に同様にしてふくらみをつける。3. 足場を切り取り、切り口を焼いてなめらかにする。

実際にゴム管を作ってみると意外とむずかしい。特にふくらみをつけるときの力の入れ加減にコツが必要で、ちょうどよい力加減でないと、ほとんどふくらまなかったり、ふくらみすぎたりする。また、足場とガラス管の軸がある程度あっていないと、細い炎で加熱するときに、ガラス管がスムーズに回転せず、均一に加熱することができない。実際、学生がゴム管止めをつくるときには、1つのガラス管に何か所もゴム管止めをつくって練習を行うので、実習を終わったあとには、ガラスでできた竹のオブジェのようなものが大量に出来上がっていた。これはこれで、何とも言えない味わいのあるものがあつた。

⑤ ガラス管接合(通常法、四隅焼き)

実際にガラス細工を行うときには、ガラスを接合する必要に迫られることが多い。今回はガラス管の接合実習を行ったが、このあたりになると、ガラス細工の素人がやるにはかなり難しい技術になってくる。実際の接合方法は以下のとおりである。1. 足場の付いたガラス管

を両手に持ち、接合する部分だけが熱せられるように、炎に対して接合部分が少し斜めになるようにして回しながら加熱する。2. 炎から出し、両方の接合部分を押し合わせる。3. 継ぎ目を細い炎でよく焼きこむ。4. ガラスが縮んできたら口で空気を吹き込む。5. 継ぎ目がなくなり、きれいに接合できるまで3と4を繰り返す。

実際に接合をやってみると、手順2の接合部分を押し合わせるころがむずかしく、最初はまともに押し合わせることも困難で、2つのガラス管が完全にズレてくっついてしまう。うまく接合部分を押し合わせていることができると、手順3と4を繰り返して継ぎ目をきれいにするのであるが、なかなか継ぎ目がなくなるところまではいかない。結局はこれも練習あるのみである。

⑥ 課題製作

ガラス細工の実習では、最後にこれまで習得した技術を利用して、1. キャピラリー（長さ5 cm程度）10本と保管用試験管 2. 試験管（直径15~18 mm）を製作する。この課題製作で作成したものは、学部3年後期に開講される化学実験IIIで使用することになっている。

課題製作1のほうは、多くの学生が比較的上手に作っていたが、課題製作2の試験管のほうは、学生によって出来はまちまちであった。2の試験管は、太いガラス管の一方を閉じることによって作る。ガラス管を閉じるときに発生する余ったガラスを取り除き、息を吹き込むことによってガラス管の底に丸みをつけるのであるが、底がいびつになってしまい、試験管と言いつけるのが憚られるものもいくつかあった。

⑦ 自由製作

学生実験としてのガラス細工実習は、⑥の終了後、レポート課題についての説明を行うと終了である。5時限目の授業のある学生はそのまま授業に向かうが、希望者は実験終了後、自由製作としてイルカのついたマドラーを作っている。マドラーの作り方は、中原氏が実演してくれるので、学生はそれを見て各自制作にトライしている。きちんと人数を数えていないが、大体、1/3~1/4の学生が自由製作を楽しんでいた。筆者も実際に作ってみたが、イルカをイルカらしく作るには、技術とともに美的センスが必要であり、筆者が作ったイルカは、イルカというよりナメクジであった。なお、ガラス工作室の2階には、中原氏が制作された美しいガラス細工がいろいろと置いてある。なかでも筆者の印象に残っているのは、カブトムシとクワガタのガラス細工である。売り物だったら、1万円はくだらないだろうと思わせる逸品である。

3. さいごに

ガラス細工の実験では、学生に簡単なアンケートを提出してもらっている。このアンケートの結果をみると、実験はおおむね好評のようである。ガラスというのは、普段の生活のなかでも身近なものであるが、実際に自分で作ってみる機会というのは殆どない。実際にガラス細工をやってみると、理屈抜きで楽しいものであり、学生も制作をエンジョイしていた。

一方、わずか2日間の実習のみで学生がガラス細工を極めることは不可能であり、また、筆者らもそれを求めているわけではない。実際に研究をしていると、これまで馴染みのなかったものに取り組む必要がでてくることも多いが、以前に少しでもやった経験があると、それに取り組む際の心理的障壁が著しく下がることを経験された方も多いのではないかと思う。学生が将来、ガラス細工の必要に迫られたときに、学生実験での経験が少しでも役に立つことを願っている。ガラス細工の学生実験は、ガラス工作室の堀井氏、中原氏の多大なるご尽力がなければ成立しない。特に、ガラス細工のプロフェッショナルである両氏の実演をまじかで見ながら実習を進められることが、教育効果を非常に高めている。堀井氏と中原氏のご尽力に深く感謝申し上げたい。

利用者からの報告

電解装置の製作

濱村 菜摘 (はまむら なつみ)

所属：理学研究科 物質分子系専攻

専門分野：錯体化学（無機化学）

趣味：読書、料理、ヘアアレンジ

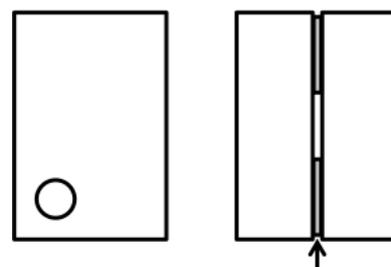


金属錯体は、金属中心が多様な酸化数を取りうるため、酸化還元反応を伴う様々な反応の触媒としてこれまでに数多く利用されてきました。しかし、1つの金属イオンを含む単核錯体では出し入れできる電子の数が限られるため、複数の電子が関与する反応には適していません。所属研究室では、多電子反応に利用できる複数の金属からなる多核錯体に着目し、その還元状態などについて調査することで錯体内の反応活性点や反応メカニズムの解明を目指した基礎研究を行っています。

各種分光分析法を用いて錯体の還元状態について調査する際、測定に必要な溶液量は1 mL ほどです。しかし、市販の装置を用いて電解を行うためには約20 mLの溶液が必要であり、過剰のサンプルを消費してしまいます。そのため、少量の溶液で電解を行うことができる小型の電解装置の製作を依頼しました。これにより、少量のサンプルで様々な測定を行うことができます。例えば、高価な重溶媒を用いて電解を行い、電解溶液をそのままNMR測定に使用することができるなど、測定の幅が広がります。

電解装置の製作にあたり、小型の電解セルの製作を相談させていただいたところ、光学セルに穴をあけ、穴同士を合わせて接続し、留め具で固定することで代用可能というご提案を頂き、図1のような電解セルの製作を依頼しました。測定の際、セルの穴の部分に電気を通す塩橋となるナフィオンを挟み、留め具で固定したところ、ナフィオンの厚さのため密着せず溶液の漏れが生じたので、上部にもナフィオンを挟みました。その結果、漏れはおさまり、留め具も問題なく使用できました。また、参照電極のブリッジが従来のもものでは短かったため、長いものを製作していただきました。電解セルや容器を固定するための留め具に関しても、4ヶ所でねじ止めできるような製作していただいたため、しっかりと固定することができました。

実際に図2のように装置を組み立て、電気化学測定を行ったところ、問題なく電解を行うことが出来ました。今後、NMR測定などを行うことにより、還元体の性質調査に繋げていき



ナフィオン

図1 電解セル(左:電解セル単体、右:二つの電解セルを合わせたときの図)

たいと考えています。

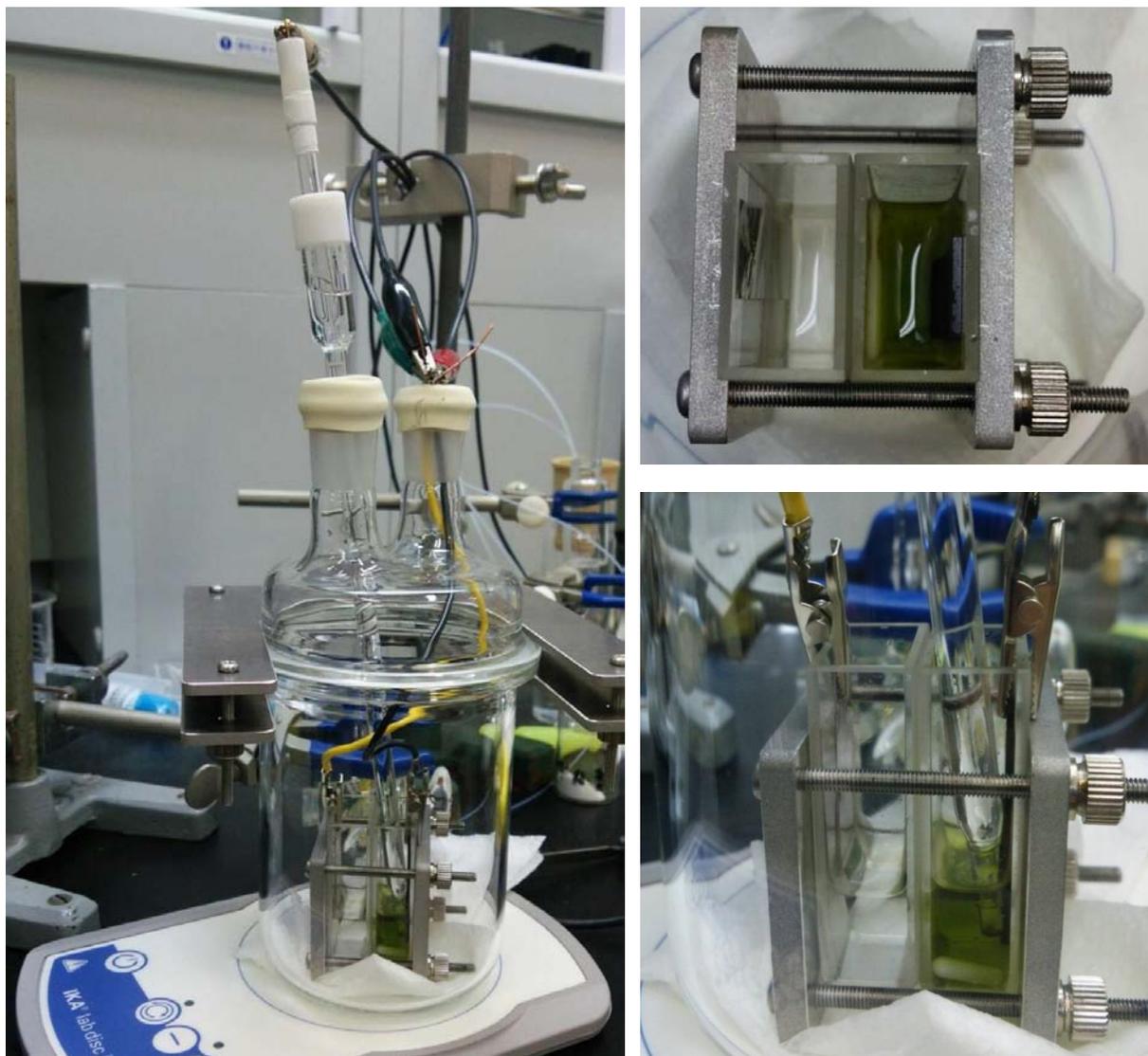


図2 装置全体 (左)、電解セル(右上:上からの写真、右下:横からの写真)

今回、電解測定を行うにあたり、測定装置の製作を工作技術センターに依頼致しました。こちらからの様々な要望に対し丁寧に対応してくださり、測定装置の完成に繋がりました。本研究が進められたのは、ひとえに工作技術センターの皆様のお陰だと感謝しております。ありがとうございました。

利用者からの報告

金属テーパー導波路型 THz 偏光子

金納 弘明 (きんのう ひろあき)

所属：工学部電子・物理工学科

専門分野：物理光学 (テラヘルツ波)

趣味：旅行, HR/HM, サイクリング



電磁波は周波数によってさまざまな呼称があります。例えば目に見える可視光線, 可視光線より高い周波数の紫外線, 可視光線より低い周波数の赤外線, 通信に利用される電波などがあります。テラヘルツ波 (THz 波) は, その名の通り赤外線と電波の間の周波数が 10^{12} Hz の電磁波です。電波のようにものを透過し, 光のように直進する性質があり, 人体に無害です。このことからセキュリティや医療分野での応用が期待されています。

THz 波の偏光を制御する光学素子としてワイヤーグリッドが用いられていますが, 細いワイヤーを等間隔に並べる必要があるため作製難度が高いこと, 複雑な構造のため取扱いに注意が必要なことがあります。そこで今回新しい偏光子として金属テーパー導波路構造を考えました。これは平行平板導波路の入射側と透過側を広げ, 徐々に電磁波が平行平板導波路に集まっていく構造となっています (図 1)。平行平板導波路の伝搬モードによりカットオフが生じ, 偏光性能を期待できます。具体的には平行平板部分に垂直な偏光 (TE 偏光) は透過し, 平行平板部分に平行な偏光 (TM 偏光) はスリット幅の 2 倍の長さに対応する周波数でカットオフが存在し, それ以下の周波数の THz 波は透過しません。

図 2 は実際に私が実験で用いた金属テーパー導波路型偏光子です。もとは市販のスリットでしたが, そのスリット部分を金属テーパー導波路に付け替えて作製しました。金属テーパー導波路は, 工作センターの植田さんに作製していただきました。金属をワイヤー放

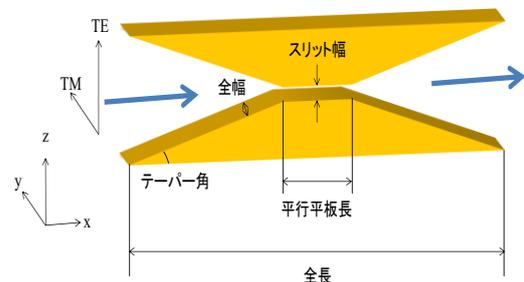


図 1 金属テーパー導波路型 THz 偏光子の模式図.

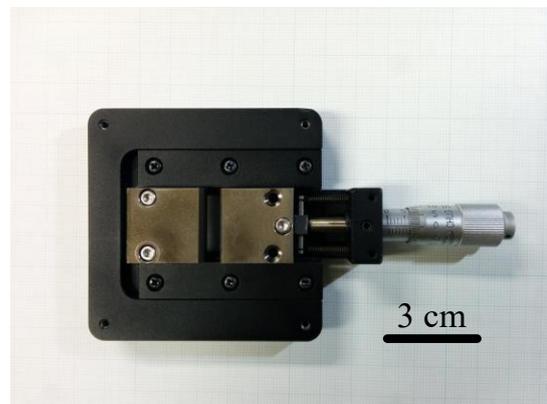


図 2 作製した金属テーパー導波路型 THz 偏光子.

電加工で切るだけの簡単な加工なので、作製難度が低く取り扱いも楽です。またマイクロメーターによりスリット幅が自在に調整可能なため、カットオフ周波数を任意に設定できます。この金属テーパ導波路型 THz 偏光子の性能評価結果が図 3 です。スリット幅が $300\ \mu\text{m}$ のときその 2 倍の $600\ \mu\text{m}$ の波長である $0.5\ \text{THz}$ でカットオフが TM 偏光のとき生じているのが確認できます。他のスリット幅についても同様です。消光比 (TM 偏光の透過率/TE 偏光の透過率) については、カットオフ周波数より低い周波数領域でそれぞれ、少なくとも 10^4 以上はあることがわかります。ワイヤーグリッドの $1\ \text{THz}$ 付近の消光比は約 10^4 なので金属テーパ導波路型 THz 偏光子も十分な性能が期待できます。今後は導波路の表面を磨いたり、平行平板長の最適な長さを見つれたりすることで、伝搬損失を小さくし TE 偏光の透過率を上げ消光比をさらによくしようと考えています。

最後に、工作センターの方々には工作機器の取り扱い方や当研究室の他の研究テーマの相談にも乗っていただき大変ありがたくまた、力強く思っております。今後も色々とお願ひすることがあると思いますが、何卒よろしくお願ひいたします。

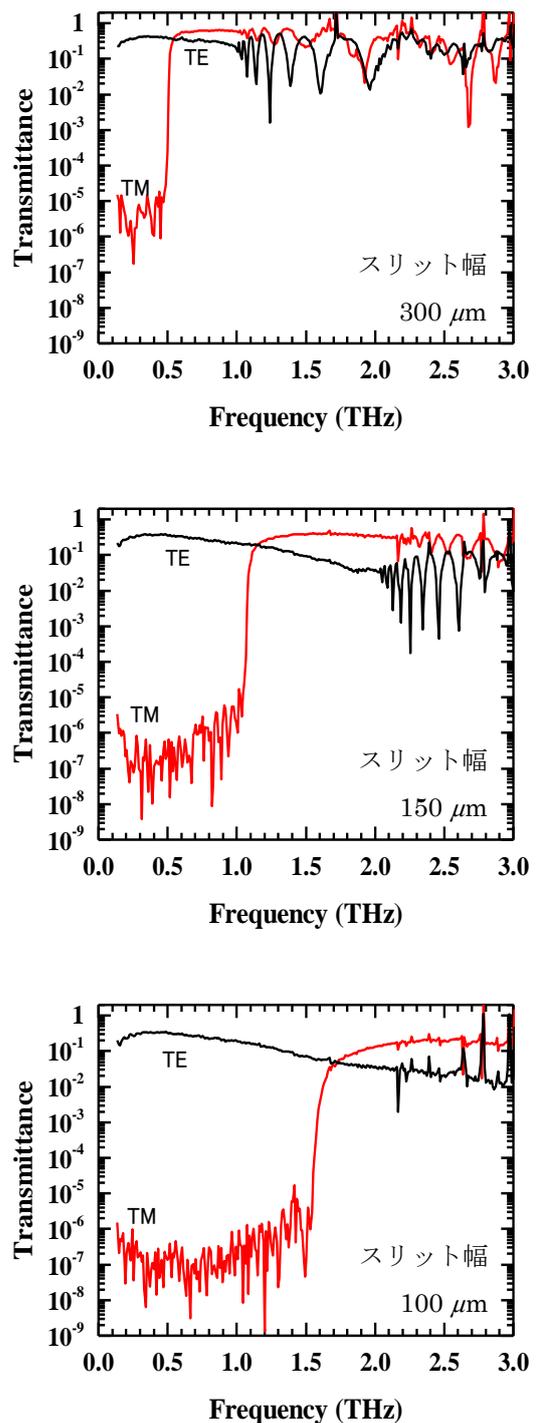


図 3 作製した金属テーパ導波路型 THz 偏光子の透過率.

利用者からの報告

光触媒を用いた人工光合成反応

山本 宗昭 (やまもと むねあき)

所属：工学研究科 化学バイオ工学専攻

環境材料化学研究室

専門分野：触媒化学

趣味：読書



「光触媒と人工光合成」

私の所属する研究室では、光触媒を用いた人工光合成の研究を行っています。光触媒は、温和な条件下では進行させることの難しい化学反応を、光のエネルギーを利用することで常温常圧に近い条件下で進行させることのできる材料です。そのような難しい化学反応の一つに、人工光合成があります。植物が行う光合成は、大気中の二酸化炭素を減らし、酸素を生み出し、エネルギーを作り出します。人工光合成は、その名の通り、植物の光合成を人工的に再現しようとする試みです。具体的には、二酸化炭素と水から酸素だけでなくメタノールなどのエネルギー源を作り出すことを目標としています。

「現在の進捗状況」

これまでに光触媒の1つである酸化ガリウムを用いて、二酸化炭素と水から、酸素、メタノールの原料となる水素、一酸化炭素を生成することに成功しています。今後の目標はこの反応の効率をさらに向上させ、実用化できるレベルまで引き上げることです。

「工作技術センター ガラス工作部門」

光触媒反応実験は、図1に示すガラスセルを用いて行っています。このセルは光を透過しやすい石英製で非常に高価なのですが、実験を重ねているとセルの一部が欠けてしまうことがあります。工作技術センターでは、破損したセルの修理や、場合によっては改良等を頂いています。長く有効に使用でき、非常に助かっています。ここに感謝の意を表します。



図1 光触媒反応セル。

技術ノート

ガラス工作室設備機器の使用について

堀井 一孝 (ほりい かずたか)

所属：研究支援課

趣味：釣り、テニス、バドミントン



はじめに

ガラス工作室にはガラス工作に必要な設備機器がたくさんあります。その中に利用者の皆様が使用できる機器があるのを知っていますか？自分たちで出来ることがあることを知れば、新しい発見も増えより良い実験が出来るようになるのではないのでしょうか。今回は、利用者の皆様が使用できる設備機器を紹介させていただきます。

機器の紹介

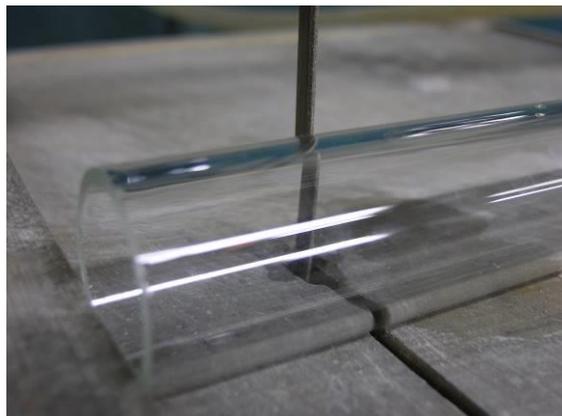
1. バーナー

ガラス工作室の2階に常設してあります。バーナーワークにより、ガラス管やガラス棒を使用して実験機器の製作・加工、ガラス器具の修理などができます。各種実技講習会もこの場所で開催します。実技講習会を開催している期間以外ならいつでも使用可能です。試験管作り、キャピラリ作りなどもできます。



2. ラクソーダイヤモンドソー

刃先にダイヤモンドを配した帯鋸刃を使用する切断器具です。ガラス・タイル・セラミックなどを切断することができます。糸鋸状の刃なので、ガラス管やガラス板などを直線的にも曲線的にも切断することができます。



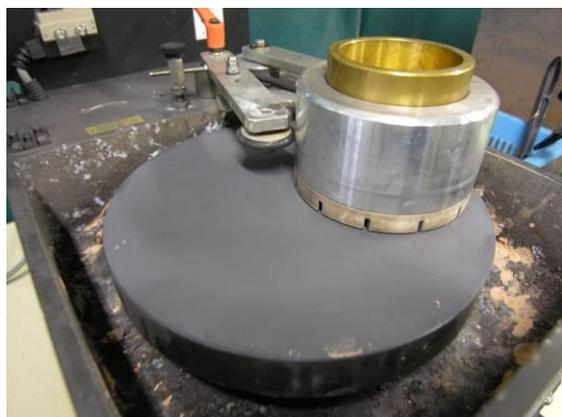
3. ダイヤモンドラップ盤

ダイヤモンド砥粒を超硬化性合成樹脂で固めた研磨盤を使用して、ガラス・セラミックなどを研磨することができます。ラクソーダイヤモンドソーで切断した切断面を研磨したり、ガラス板の面取り、ガラス器具の破損した個所（ロートの先やNMR チューブ等）を平らにすることができます。



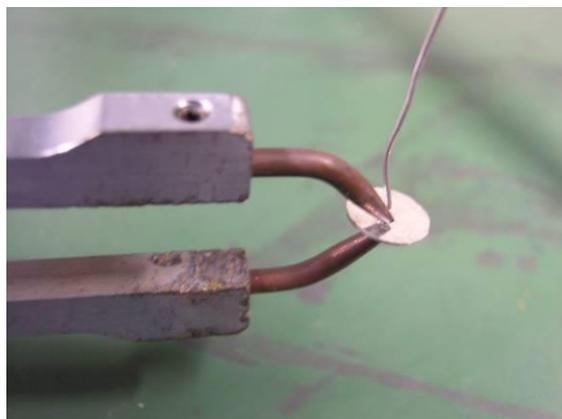
4. 卓上ラップ盤

ダイヤモンドラップ盤より精密な研磨が可能な研磨機です。表面のパッドを交換することにより、ガラスの鏡面研磨もできます。タイマーもついており、専用のホルダーを使うことで自動での研磨もできます。



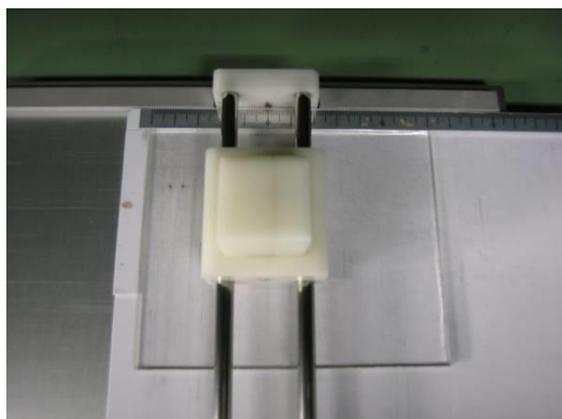
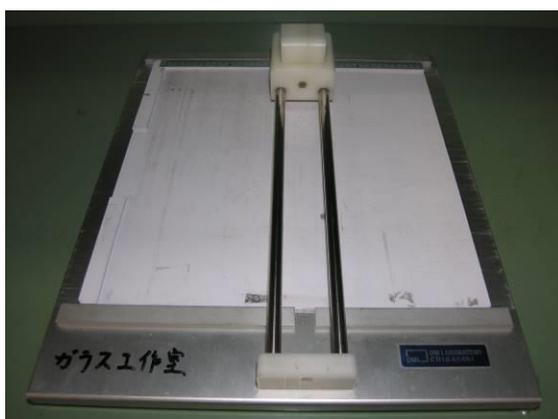
5. スポット溶接機

小型のコンデンサ式スポット溶接機で、薄い金属板や細い金属線などの溶接をすることができます。ステンレスや白金の溶接ができます。



6. TLC プレートカッター

プレーホルダーに目盛りがついているため、ガラス板を目的の大きさに切断することができます。回転式超硬刃で切れ味にばらつきがなく、初心者の方にも使い勝手がよく大変便利です。大きさ 200mm×200mm、厚み 3mm 程度までのガラス板に使用できます。



7. 電気炉

ガラス工作時に残る加工歪を除去するための電気炉です。大型・中型・小型のものがあり、小型のものは 1000 度超の高温まで上げることができ、プログラム温度調節もついているため焼成までの時間と温度、キープ時間が設定できます。それぞれのプロセスをいくつか設定することもできます。



8. 蒸留水製造装置

水道水を蒸発させたときに出る水蒸気を再度冷やし、蒸留水を製造する装置です。容器を持参すれば蒸留水を持ち帰ることもできます。



9. コルクボーラー

ゴム栓やコルク栓に穴を開けるには必要な道具です。穴開けをしたい場所に刃を当て、やや押すように回すと穴を開けることができます。スピードホルダーにゴム栓を固定し、付属のガイドリングを使用すると容易に垂直に穴を開けることができます。



終わりに

設備機器を利用する場合は利用届に記入後、職員に声をかけてから使用して下さい。使用方法がわからない場合は、職員の説明・講習を受けてから使用するようして下さい。ガラスは割れやすく、割れたガラスは大変危険なものなので安全には十分注意して設備機器を使用するようして下さい。自分で試してみようと思われる方は、協力させていただきますのでガラス工作室を訪れてみて下さい。

設備更新

卓上ボール盤

須賀 辰美 (すが たつみ)

所属：研究支援課

専門分野：工作技術センター 機械工作部門

趣味：オートバイ、エアライフル精密射撃



はじめに

工作技術センター機械工作部門の開設から30と余年が経過した。

この間、門戸を閉ざす事なく未経験者であっても工作機械に親しめる環境を作り続けてきた。しかし、当初から存在する工作機械の老朽化は確実に進んでおり、ボール盤も使用頻度が高く、それは顕著である。

あまつさえ、自由に使用できる環境とは裏腹に不慣れ故の度重なる操作不良、切削条件の不適合等々はボール盤に対する負担が大きく使用限界であると判断し、今回ボール盤2台を更新した。

中型卓上ボール盤 / (株) 遠州工業 ESD-460

主要諸元 (取説より抜粋追記)	
スイング	450 mm
最大使用ドリル径	23 mm
主軸の上下動	120 mm
テーブルの上下動	425 mm
テーブル面積 (丸テーブルタイプ)	350 mm φ
主軸テーパー	モールステーパーNo,2
主軸回転数 (60Hz 時) 回転/毎分	195, 310, 500, 810, 1310, 2100

選定の条件

- 1、ジャコブステーパー (テーパーの種類のひとつ) では無くモールステーパーである事。
- 2、作業テーブル及びテーブルアームが堅牢な造りである事。
- 3、作業テーブルに傾斜機構を持たないものである事。
- 4、主軸回転数に低速域がある事。



【Fig.1 主軸及びテーブル】

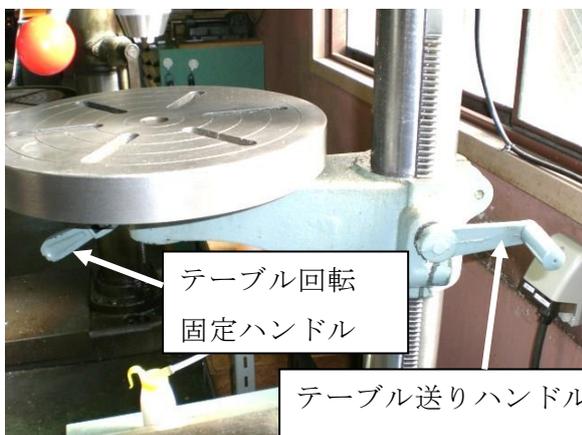


【Fig.2 ボール盤の全景】



テーブルの上下動
固定ハンドル

【↑ Fig.3 ↓ Fig.4】



テーブル回転
固定ハンドル

テーブル送りハンドル

更新紹介ついでと言っでは何だが改めて孔あけ加工をする前に留意しておいて戴きたい事柄を記す。

- 1、テーブルを上下に移動させる前に、テーブル上下動固定ハンドルは緩んだ状態か【Fig.3、Fig.4 参照】
 - 2、板材などをテーブルに直接固定し加工する際、工作物貫通後テーブルにドリルが接触しないか
 - 3、主軸回転数は工作物の材質、使用するドリル径に適しているか
 - 4、主軸起動時テーブル上下動、回転固定ハンドルは、確実に締められているか【Fig.3、Fig.4 参照】
- 以上を確認する。



【Fig.5】



【Fig.6】

【Fig.5】古いボール盤であるが、前述した事が行われていなかった為、起きた事例である。

上下動させる為のラックで、テーブル上下動固定ハンドルを締めた状態で力任せに送りハンドルを回した結果、歪んでしまった。

また、ラックと対を成すピニオンギヤも同様に大きな負荷が掛かり損傷の原因となる。

【Fig.6】は、ドリルが工作物の貫通後を考慮しなかった為に、あいたテーブルの孔である。裏にはリブが走っており、それらに片刃だけが当たるとドリルを曲げる力が働き、見た目の悪さだけで無く危険である。(写真はエポキシ系接着剤で埋めている。)

おわりに

本来、ボール盤は耐久消費財であるが、当該センターに於いては少し状況が異なるかも知れない。オートバイや車も含め全ての機械製品の耐久性はユーザーによって左右される。メンテナンスは行っても想定外の使用が続けば、どんな機械も壊れてしまう。

しかし、恐らくは他大学では行われていないであろう「自由に機械工作が出来る」という環境が残されているのも大阪市立大学の特色と捉え利用者（主として学生）の皆様には確実な操作と安全意識（危機意識）を持ってボール盤に限らず工作機械に接して頂きたい。

謝辞

今回のボール盤の更新計画は何度か蹉跌をきたし、どうにか年度内導入に至った。この間、大学計理課の西村様には御苦勞をお掛けする事となり、この場を借りて厚く御礼申し上げます。

設備更新

折れタップ除去機

植田 龍一 (うえだ りゅういち)



所属：研究支援課
専門分野：機械工作部門
趣味：競馬

はじめに

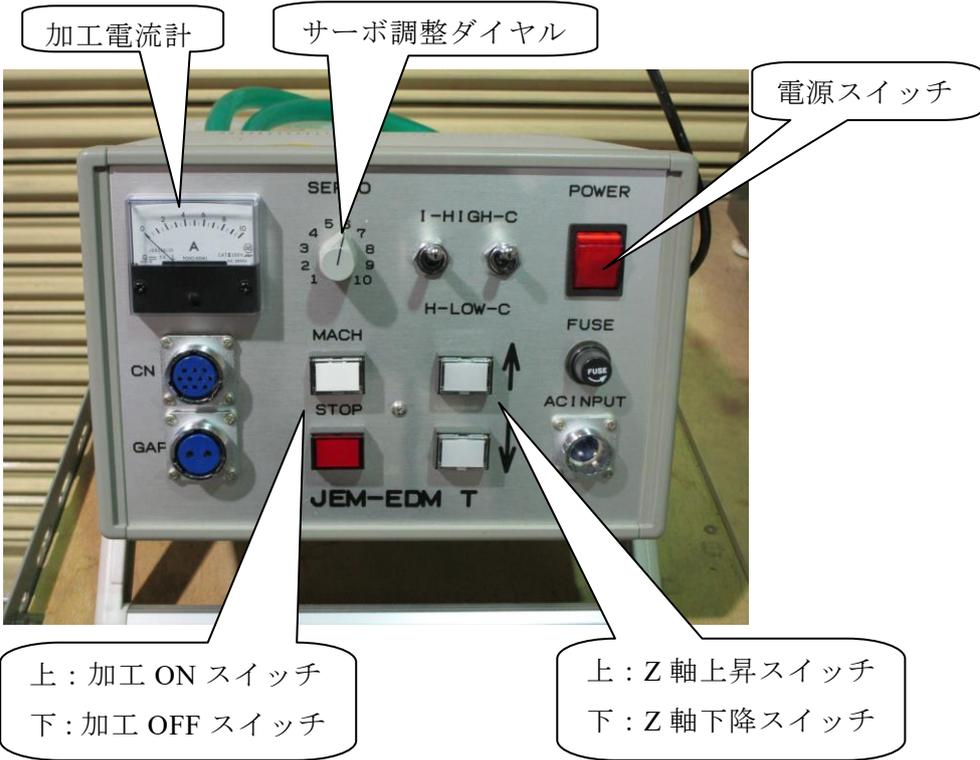
毎年四月になると新しい四回生が研究室に入っていきます。今まで、工作したことのない学生も多いです。そんな学生が穴あけをしたり、ネジ穴をあけたりします。なので、タップを折ったりもします。その時に使用しているのが今回更新した放電加工によるタップ除去機です。

更新機種

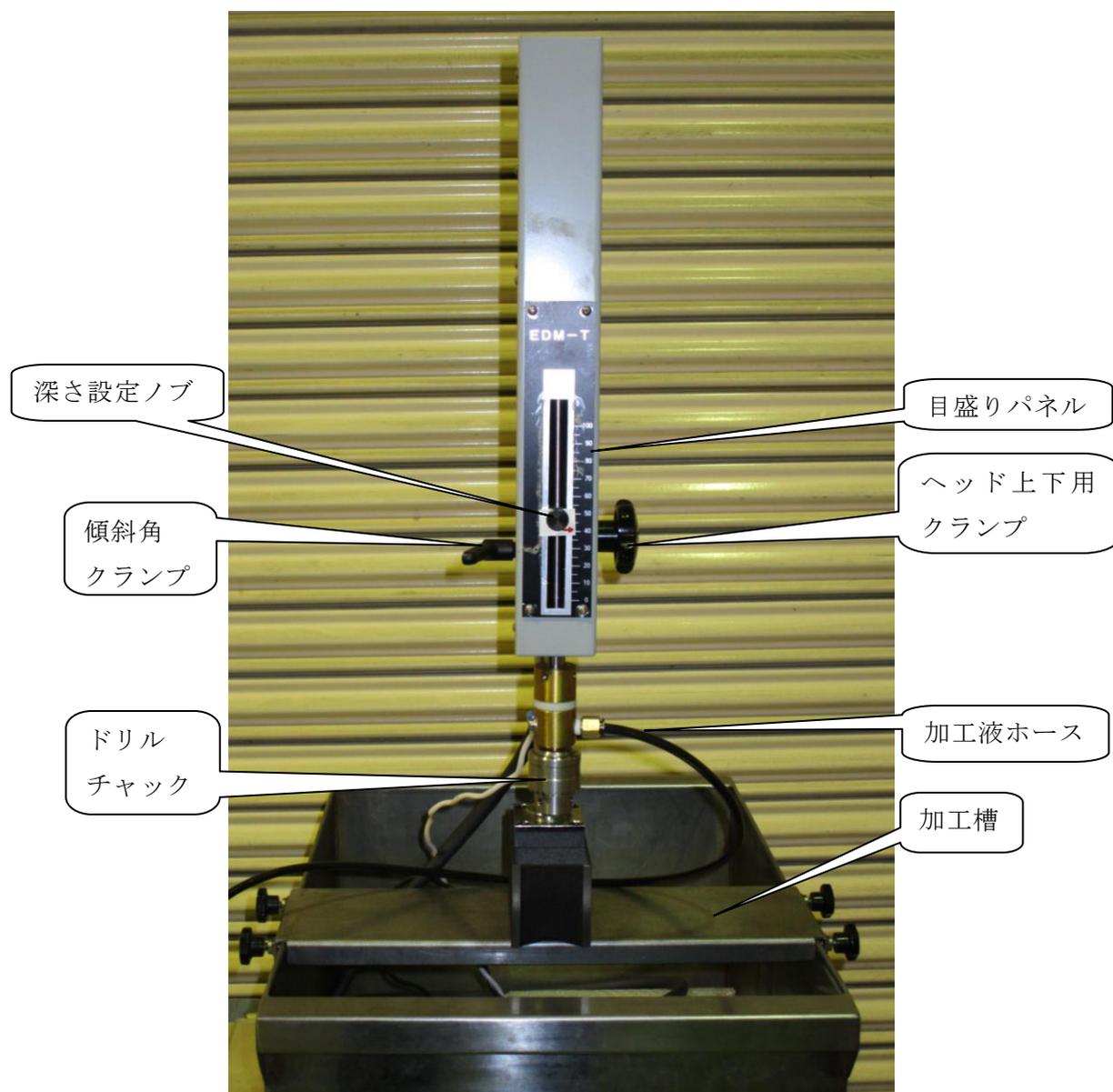
日本放電技術 欠損工具除去放電ユニット EDM-T

仕様

①電源部



②加工ヘッド部



Z 軸ストローク	100mm
電極チャック	最大 φ 6.5mm
仕様加工液	水道水
電極	真鍮丸棒 又は 銅丸棒

用途

- ・折れたタップ、ドリルを放電加工での除去
- ・超硬合金などの導電性金属の穴あけなどの加工

従来機からの変更点

機種名	EDM-T	従来機
加工における違い		
超硬合金への加工	真鍮丸棒	銀タングステン棒
加工液の種類	水道水	水道水。ただし超硬合金や銅丸棒使用の場合は、放電加工用油
傾斜の付いた材料	加工ヘッドが旋回する	加工ヘッドが旋回しないので、加工ヘッドを斜めに取り付ける
加工物と電極の接触感知	有り	無し

使用しての感想

以前は加工槽に水を貯めなくてはならなかったが、水をためなくてよくなった。時間的に早くなり使い勝手が良くなった。従来機は放電してなくても電極棒が加工し、ギアボックスの故障の原因となったが、接触感知機能が付いたことにより、放電していないときは材料に当たると止まるようになった。これにより、ギアボックスの損傷が防げるので、安心して使用できる。

資料

工作技術センター利用状況

(2016年1月～2016年12月)

【依頼工作件数】

	理学部	工学部	生活科学部	複合先端	学生支援課	その他	合計
機械工作	88	202	2	0	2	2	296
ガラス工作	345	142	3	22	16	5	533

【設備機械・器具の利用件数】

	理学部	工学部	生活科学部	複合先端	学生支援課	その他	合計
機械工作	115	1460	0	75	6	7	1663
ガラス工作	14	25	0	3	3	0	45

【物品請求件数】

	理学部	工学部	生活科学部	学生支援課	その他	合計
機械工作	195	882	7	7	0	1091
ガラス工作	5	7	0	0	0	12

【機械工作部門の時間外利用件数】

	理学部	工学部	生活科学部	複合先端	合計
機械工作	0	142	0	0	142

【講習会等受講者数】

	理学部	工学部	生活科学部	文系	教職員	合計
機械工作	14	93	0	0	0	107
ガラス工作	52	31	9	9	17	118

【実習関連】

理学部化学科化学実験Ⅱ（ガラス細工）

前期 2日×6回（計12日間） 54名（ガラス工作部門）

資料

工作技術センターの主な設備

機械工作部門

機種名	性能	数量	用途
ワイヤー カット 放電加工機	最大加工寸法 幅 750m/m 奥行 500m/m 高さ 310m/m	1	放電による 金属の切断
マシニング センター	X 軸移動量 762m/m Y 軸移動量 460m/m Z 軸移動量 450m/m	1	平面及び曲面, 溝, 穴あけ, ネジ切り加工等
NC フライス盤 (牧野)	テーブル移動量 左右 710m/m 前後 400m/m 上下 360m/m	1	平面及び曲面, 溝, 穴あけ, ネジ切り加工等
NC 旋盤	最大加工径 410m/m 最大加工長さ 550m/m	1	直径 (410m/m) 長さ (550m/m) までの旋削
大型普通旋盤	ベッド上の振り 560m/m 心間最大距離 1500m/m 主軸回転数 25~1500 (12 段) rpm	1	直径 (10~560m/m) 長さ (1500m/m) までの旋削
中型普通旋盤	ベッド上の振り 460 m/m 心間最大距離 1000m/m 主軸回転数 25~1500 (12 段) rpm	2	直径 (3~460m/m) 長さ (1000m/m) までの旋削
中型普通旋盤	ベッド上の振り 510m/m 心間最大距離 850m/m 主軸回転数 30~1000 (12 段) rpm	1	直径 (3~510m/m) 長さ (850m/m) までの旋削
小型普通旋盤	ベッド上の振り 360m/m 心間最大距離 800m/m 主軸回転数 70~1500 (6 段) rpm	4	直径 (2~360m/m) 長さ (800m/m) までの旋削
小型精密旋盤	ベッド上の振り 240m/m 心間最大距離 390m/m 主軸回転数 160~2600 (10 段) rpm	1	直径 (2~240m/m) 長さ (390m/m) までの旋削

機種名	性能	数量	用途
立型タレット フライス盤 (牧野)	テーブル移動量 左右 710m/m 前後 500m/m 上下 400m/m	1	平面及び溝加工, 穴あけ等
立型タレット フライス盤 (静岡鐵工)	テーブル移動量 左右 820m/m 前後 300m/m 上下 450m/m	1	平面及び溝加工 穴あけ等
ラジアル ボール盤	コラム表面と主軸中心距離最大 915m/m 最小 300m/m 穴あけ能力 (S45C) 35m/m, (FC25) 45m/m 主軸穴テーパ MT - No4	1	穴あけ加工
直立 ボール盤	振り 550m/m 穴あけ能力 (S45C) 40m/m (FC25) 50m/m 主軸穴テーパ MT - No4	1	穴あけ加工
卓上 ボール盤	振り 420m/m 穴あけ能力 23m/m 主軸回転数 200~2100 (6段) rpm	2	穴あけ加工 (角テーブル)
卓上 ボール盤	振り 360m/m 穴あけ能力 13m/m 主軸回転数 700~3000 (4段) rpm	1	穴あけ加工 (丸テーブル)
精密卓上 ボール盤	振り 320m/m 穴あけ能力 0.3~3.0m/m 主軸回転数 6000~13000rpm	1	穴あけ加工
鋸盤	最大切断寸法丸棒 210m/m 角棒 190×190m/m	1	金属材料の切断
小型 万能帯鋸盤	切断し得る厚み 95m/m テーブル寸法 400×300m/m ふところ寸法 315m/m	1	板材の切断 (金属, プラスチック, 木材等)
大型 万能帯鋸盤	切断し得る厚み 300m/m テーブル寸法 700×600m/m ふところ寸法 1010m/m	1	板材の切断 (金属, プラスチック, 木材等)
マキタ 丸鋸盤	切断し得る厚み 92m/m テーブル長さ 2105m/m 奥行き寸法 1500m/m	1	板材・角材の切断 (木材、プラスチック)

機種名	性能	数量	用途	
高速切断機(高速カッター)	最大切断寸法 砥石寸法	115m/m 405m/m	1	パイプ及び角・丸棒の切断
切断機(シャーリング)	剪断能力 最大切断巾	4.5m/m 1220m/m	1	薄板の切断
折曲機	折曲げ能力(手動)	1.6×2000m/m	1	薄板の折曲げ
万能工具研削機	テーブルの振り 両センター間の距離 砥石軸頭の前後送り 砥石軸頭の上下送り テーブル移動距離	250m/m 740m/m 250m/m 250m/m 500m/m	1	工具及び小物の研削
卓上ドリル研削機	研削能力	3~13m/m	1	ドリル刃の研削
ベルト研削機	ベルト寸法	100×915m/m	1	金属材料の研削
グラインダー	砥石寸法	255×25m/m	2	工具及び金属の研削
交流アーク溶接機	定格電流	250A	1	鋼材及びステンレスの溶接
TIG溶接機	交直両用 出力電流	300A	1	ステンレス及びアルミニウムの溶接
マイクロTIG溶接機	直流パルス 出力電流	50A	1	薄板の溶接
スポット溶接機	足踏式最大溶接能力	2.3m/m×2枚	1	薄板の溶接
エアープラズマ切断機	切断能力板厚	0.1~20m/m	1	鋼材及びステンレスの切断
足踏式切断機	剪断能力 最大切断巾	1.2m/m 600m/m	1	薄板の切断
エアークンプレッサー	圧力	9.9 kg/cm ²	1	エアープラズマ用
プレス機	加圧能力	5Ton	1	プレス加工用
精密定盤	寸法	600×900×100m/m	1	小物のケガキ, 測定
精密石定番	寸法	450×600×110m/m	1	小物のケガキ, 測定
溶接定盤	寸法	1000×2000×150m/m	1	大型構造物の溶接

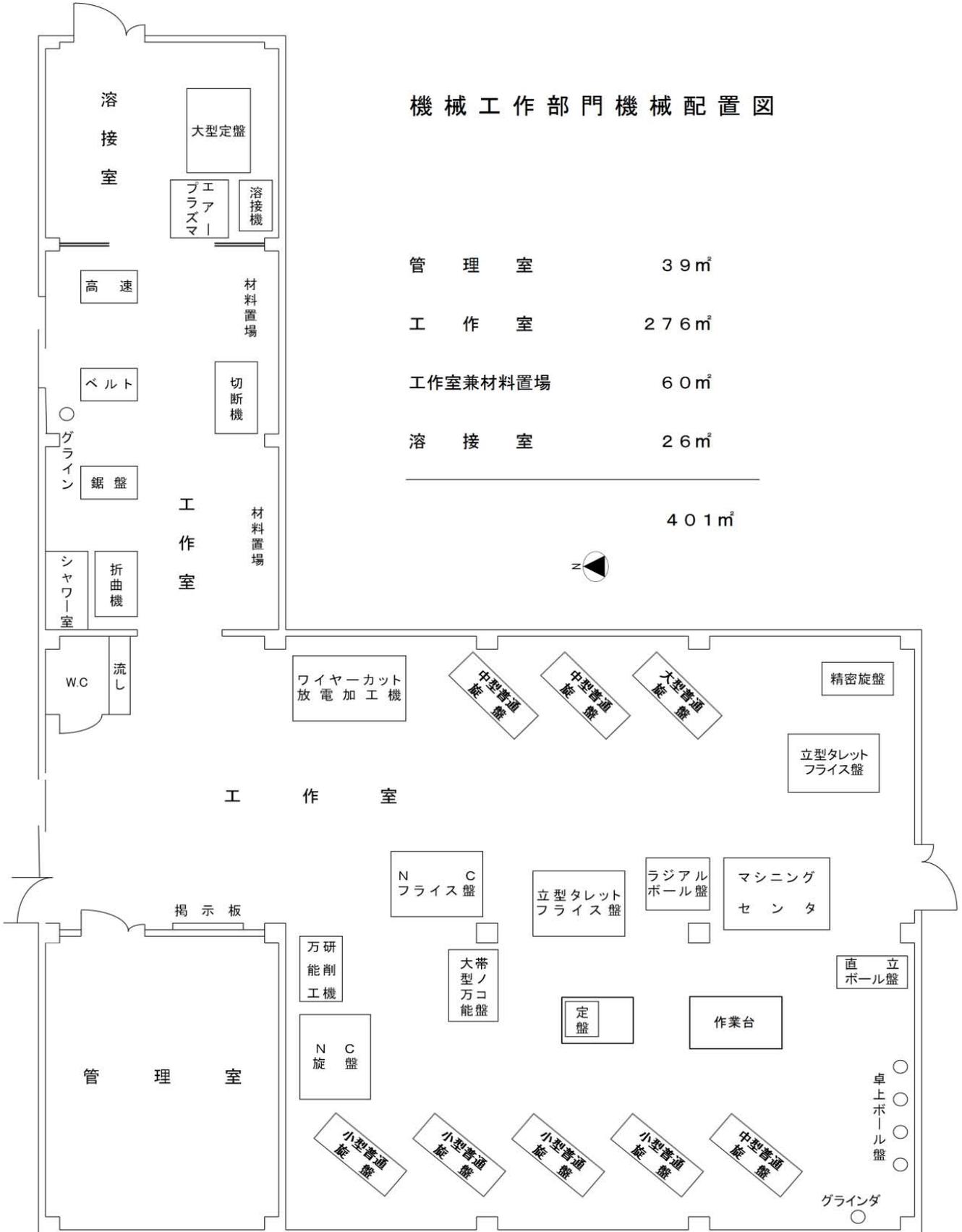
ガラス工作部門

機種名	性能	数量	用途
大型 ガラス旋盤	主軸貫通穴径 300m/m チャック間最大距離 1500m/m 主軸回転数 0~100rpm	1	大口径, 長尺ガラス管の加工 (直径 30~300m/m)
小型 ガラス旋盤	主軸貫通穴径 40m/m チャック間最大距離 600m/m 主軸回転数 0~100rpm	1	小口径ガラス管の精密加工 (直径 3~35m/m)
ダイヤモンド カッター	ホイール径 150m/m×0.7t スピンドル回転数 4500rpm	1	ガラス, セラミック等の切断
ダイヤモンド 万能帯鋸盤	切断能力 高さ 200m/m 奥行き 220m/m テーブル寸法 500×400m/m	1	ガラス, セラミック等の切断
超音波加工機	最大出力 300W 加工台寸法 100×100m/m 加工物最大重量 2 Kg	1	ガラス, セラミック, シリコン等の穴あけ及び形彫り加工
マシニングセ ンタ	主軸回転数 1000~60000rpm 移動量 X305×Y460×Z153mm	1	ガラス板, 管の穴あけ, 溝加工等
ガラス 回転研削盤	テーブルの長さ 1000m/m ダイヤモンドホイール径 125m/m 研削可能径 200m/m	1	ガラス管の端面研削, フランジの研削,
平面研削機	平面盤径 500m/m, 325m/m 回転数 0~200rpm	1	ガラス管, 板, フランジ等の平面摺加工
平面研削機	平面盤径 200m/m 回転数 225rpm	1	ガラスの平面研削, 鏡面研磨
大型電気炉	内寸 500×500×1270m/m 温度範囲 700℃	1	ガラス加工歪除去 アニール用
中型電気炉	内寸 400×400×740m/m 温度範囲 20~700℃	1	ガラス加工歪除去 アニール用
小型マッフル 炉	内寸 200×320×215mm 温度範囲 室温~1100℃	1	ガラス加工歪除去 ガラス板融着
ベーキング炉	内寸 400×420×2000m/m 温度範囲 20~300℃	1	デュワー瓶真空用
サンドブラ スト	吸上式 ノズル径 2.5mmφ	1	ガラス, 金属の表面加工
リューター	回転数 ストレート 2000~50000rpm アングル 1000~14200rpm	1	ガラス, セラミック等の研削

機種名	性能	数量	用途
卓上 複合工作機	旋盤：ベッドの振り 150m/m 心間最大距離 250m/m 主軸回転数 100~2000rpm ミーリング：主軸回転数 100~1500rpm 穴あけ能力 ~10m/m	1	ガラス加工具の加工 (金属, カーボン等)
歪検査機	JIS 直接法, JIS 比較法, 円偏光法, 直接偏光法, 歪標準器法による検査可能	1	ガラスの加工歪の検査, 測定
純粋製造器	採水能力 1.5liter/hour 加熱防止機構, 採水水位自動停止機構付	1	ガラスの化学メッキ 洗浄等
スポット 溶接機	最大出力 2~200W-S 電極加圧力 9.8~130N	1	金属の薄板の溶接 (3m/m 以下)
エアーコンプレッサー	吐出空気量 85/100L/min 最高圧力 0.8MPa	1	マシニングセンタ、サンドブラスト用
ターボ分子ポンプ	排気速度 210L/s 到達圧力 $<1 \times 10^{-6}$ Pa	1	デュアー瓶の真空引き
スクロールポンプ	排気速度 90L/s 到達圧力 5×10 Pa	1	デュアー瓶の真空引き
ロータリーポンプ	排気速度 240L/s 到達圧力 1×10^{-6} Pa	1	デュアー瓶の真空荒引、真空封じ
ホットプレート	最高温度 550°C プレート寸法 250×250mm	1	ガラス板張合せ
TLC プレート カッター	切断能力 200mm <3.0t	1	ガラス板の切断

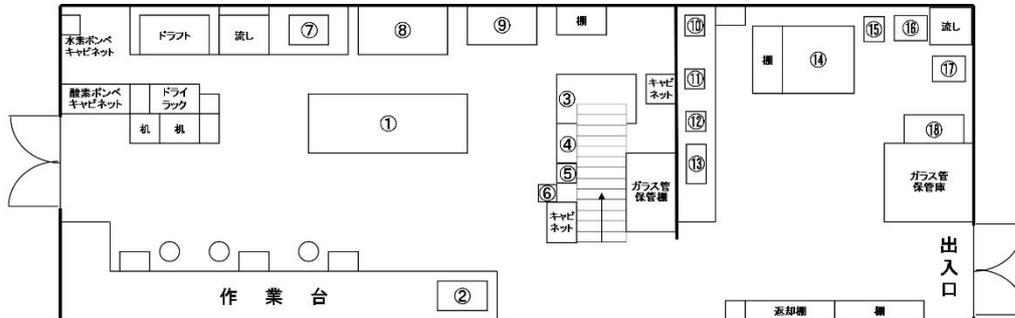
資料

機械工作部門機械配置図

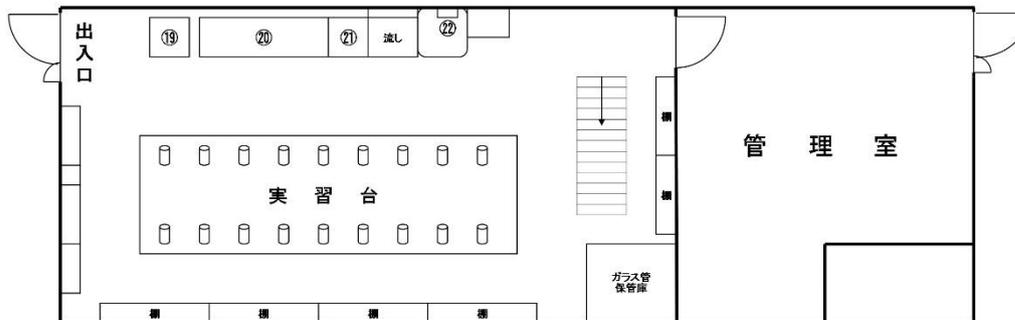


資料

ガラス工作部門機器配置図



1階



2階

- | | |
|--------------|-------------|
| ①大型ガラス旋盤 | ⑬小型複合工作機 |
| ②小型ガラス旋盤 | ⑭マシニングセンタ |
| ③大型電気炉 | ⑮エアーコンプレッサー |
| ④中型電気炉 | ⑯サンドブラスト |
| ⑤小型マッフル炉 | ⑰万能小型切断機 |
| ⑥歪検査機 | ⑱超音波加工機 |
| ⑦ダイヤモンドバンドソー | ⑲ラップ盤(磨き) |
| ⑧ガラス平面研削盤 | ⑳アニーリング炉 |
| ⑨ガラス回転研削盤 | ㉑真空ライン |
| ⑩スポット溶接機 | ㉒蒸留水製造器 |
| ⑪卓上グラインダー | |
| ⑫小型バンドソー | |

報 告

運営委員会議事録

平成 28 年 2 月 8 日

運営委員各位

工作技術センター 所長

平成 27 年度 第 1 回工作技術センター運営委員会

日時：平成 28 年 2 月 9 日（火）13：00～14：00

場所：工学部 A 棟 2 階 第 2 会議室

出席者：佐藤 嘉洋【工】石川 修六【理】伊藤 亮孝【理】

欠席者：渡部 嗣道【生科】五十嵐 幸一【工】山田 雅巳【医】

オブザーバー

（装置・施設系部門）川野 和彦【係長】

（工作技術センター）中原 啓晃【ガラス】須賀 辰美【機械】

議 題

1、所長の任期満了に伴う次期所長の選出について

運営委員会の互選により、理学部教授 石川修六 先生が次期所長に推薦されました。

2、その他

利用料の外部資金の導入に向けて進捗状況及び経過報告致しました。

平成 28 年 3 月 15 日

運営委員各位

工作技術センター 所長

第 2 回「工作技術センター運営委員会」

日時：平成 28 年 3 月 17 日（木）13：00 ～14：20

場所：工学部第 2 会議室（旧サブセンター）

出席者：佐藤（工）、石川（理）、五十嵐（工）、伊藤 亮孝（理）、山田（医）【敬称略】

オブザーバー：川野（研究支援課係長）、堀井（ガラス）、須賀（機械）【敬称略】

報 告

1) 運営委員の任期満了に伴う次期委員（28 年度）について

- ・所長の任期満了に伴う交代について

工学部教授 佐藤嘉洋 先生から理学部教授 石川修六 先生が互選により選ばれました。

2) 運営委員の交代について

- ・工学部は佐藤 嘉洋先生から加藤 健司 先生に、また五十嵐 幸一 先生から金 大貴 先生に交代しました。
 - ・理学部は伊藤 亮孝先生から西川 慶祐 先生に交代しました。
 - ・医学部は山田 雅巳 先生から山岸 敏之先生に交代しました。
- 他の委員については、もう 1 年任期があります。

3) 大型機器予算による備品購入について

4) 利用者委員会からの報告

- ・「Fabrica」27 号の発刊について

「Fabrica」27 号は現在、製本発注段階であり学内外に発送しておりません。

- ・センター談話会「火の祭」について

第 30 回工作技術センター談話会「火の祭」が平成 27 年 11 月 6 日に開催されました。

議 題

1、平成 27 年度決算について（別紙資料参照）

原案通り承認されました。

2、平成 28 年度予算（案）について（別紙資料参照）

原案通り承認されました。

資料

各種委員の取り組み

- (1) 「Fabrica」編集委員会：「Fabrica」28号発刊に向けて活動。
- (2) 談話会委員会：
本年は工作技術センター談話会「火の祭」は、31回目を迎えました。
「火の祭」は、工作技術センターが設立された1985年（昭和60年）の翌年から毎年恒例行事として開かれており、この談話会は理系学部間のまたは、教員と技術職員の交流の場として続いています。
第31回工作技術センター談話会「火の祭」を平成28年11月7日（月）午後2時00分～5時05分工学部会議室において開催、講演者及び講演題目は以下のとおりです。

講演

「希土類（レア・アース）は光る」

篠田 哲史（理学研究科）

「宇宙で植物はどう育つの？」

曾我 幸一（理学研究科）

「人工光合成に関わる光触媒の設計」

吉田 朋子（複合先端研究機構）

講演終了後「めたせこいあ」（田中記念館 1階）にて引き続き懇親会が催され、25名が参加されました。

資料

講習会実施報告

(1) ガラス細工実技講習会実施報告

平成28年度 ガラス細工実技講習会を下記の要領で実施しました。

日時： 3月28日～5月11日 午前10時～午後4時00分
期間中設定日の連続2日間

場所： 工作技術センターガラス工作部門

内容： バーナーの使い方、ヤスリ傷の入れ方、切断方法2種、ガラス管の回し方、足場づくり、曲げ方、つなぎ方、T字管

受講者数：50名

(2) ガラス細工体験講習実施報告

平成28年度ガラス細工体験講習を下記の要領で実施しました。

日時： 9月28日～10月7日、12月5日～12月14日
個別対応実施日4月11日 2時間～2時間30分

場所： 工作技術センターガラス工作部門

内容： ガラス棒カット、バーナーの使い方、ガラス細工の基本、課題制作、自由製作

受講者数：68名

(3) 機械工作講習会実施報告

平成28年度機械工作講習会を下記の要領で実施しました。

日時：第1回	4月21日(木)	10:40～11:40	受講者20名
第2回	4月21日(木)	13:00～14:00	受講者23名
第3回	4月21日(木)	14:45～15:45	受講者22名
第4回	4月22日(木)	10:40～11:40	受講者22名
第5回	4月22日(金)	13:00～14:00	受講者13名
第6回	4月22日(金)	14:45～15:45	受講者7名

受講者合計 107名

学部別参加者数

理学部：14名

工学部：93名

生活科学部：0名

場所： 工作技術センター 機械工作部門

内容： ①各種工作機械の使用実例（旋盤、ボール盤、フライス盤）
②金属材料の選別方法、各種届け用紙の記入方法
材料切断機械各種の取り扱いと注意点

平成 28 年度 工作技術センター利用者委員名簿

【運営委員会】

所 長 石川 修六 (理学部)
運営委員 加藤 健司 (工学部) 西川 慶祐 (理学部) 金 大貴 (工学部)
渡部 嗣道 (生活科学部) 山岸 敏之 (医学部)

【利用者委員会】

委員 長 加藤 健司 (工学部)
副委員 長 篠田 圭司 (理学部)

(機械工作部門委員)

[理学部] 石川 修六 (物理) 荻尾 彰一 (物理) 井上 慎 (物理) 板崎 真澄 (化学)
西川 慶祐 (化学) 迫田 憲治 (化学) 伊藤 和央 (生物) 篠田 圭司 (地球)
[工学部] 今津 篤志 (機械) 菜嶋 茂喜 (電物) 杉山 久佳 (情報)
五十嵐 幸一 (バイオ) 藤本 益美 (建築) 山田 卓 (都市)
[医学部] 山岸 敏之 (器官構築形態)
[生活科学部] 渡部 嗣道 (居住環境)
[技術職員代表] 川野 和彦 (装置開発・施設系部門)
前川 智美 (分析部門) 川脇 順子 (医学部学務)
[センター] 須賀 辰美 富高 幸信 植田 龍一 佐藤 高之

(ガラス工作部門委員)

[理学部] 石川 修六 (物理) 荻尾 彰一 (物理) 井上 慎 (物理) 板崎 真澄 (化学)
西川 慶祐 (化学) 迫田 憲治 (化学) 伊藤 和央 (生物) 篠田 圭司 (地球)
[工学部] 脇本 辰郎 (機械) 小林 中 (電物) 杉山 久佳 (情報) 尾島 由紘 (バイオ)
藤本 益美 (建築) 山田 卓 (都市)
[医学部] 山岸 敏之 (器官構築形態)
[生活科学部] 渡部 嗣道 (居住環境)
[技術職員代表] 川野 和彦 (装置開発・施設系部門)
前川 智美 (分析部門) 川脇 順子 (医学部学務)
[センター] 堀井 一孝 中原 啓晃

【Fabrica編集委員会】

委員 長 : 今津 (工)
菜嶋 (工) 尾島 (工) 井上 (理) 荻尾 (理) 迫田 (理)
須賀 (セ) 富高 (セ) 植田 (セ) 佐藤 (セ) 堀井 (セ) 中原 (セ)

【談話会委員会】

委員 長 : 板崎 (理)
伊藤 (理) 西川 (理) 脇本 (工) 小林 (工) 五十嵐 (工) 山田 (工) 渡部 (生)
須賀 (セ) 富高 (セ) 植田 (セ) 佐藤 (セ) 堀井 (セ) 中原 (セ)

工作技術センター職員名簿

(平成 28 年度)

所 長 石川 修六 (理学研究科 物理学科教授)

機械工作部門

須賀 辰美

富高 幸信

植田 龍一

佐藤 高之

ガラス工作部門

堀井 一孝

中原 啓晃

編集後記

ご多忙中にもかかわらず原稿を執筆くださいました皆様のご協力により、本号も無事発行に至ることができました。ご協力賜りました皆様にこの場をお借りしてお礼申し上げます。工作技術センターを活用した幅広い分野の成果を Fabrica 読者の皆様にご紹介できることは、編集委員として最高の喜びであります。本号でも紹介しましたように、徐々にではありますが設備を更新し環境の改善に努めております。来年度以降も皆様の研究に貢献できること、そして多くのご寄稿をいただけることを祈念しております。(今津)

【Fabrica 編集委員】

委員長 今津 篤志 (工)

菜嶋 (工) 尾島 (工) 井上 (理) 荻尾 (理) 迫田 (理)

須賀 (セ) 富高 (セ) 植田 (セ) 佐藤 (セ) 堀井 (セ) 中原 (セ)