

ファブリカ 第26号

目 次

巻 頭 言

設計図だけで受託生産してもらえる?.....1

生活科学研究科長 西川 禎一

研 究 ノ ー ト

分子性物質で磁石を作る～安定?な不安定分子の性質～.....2

理学研究科 鈴木 修一

談 話 室

地球生命はどこで生まれたか.....10

理学研究科 益田 晴恵

一番楽な切り方は?.....14

工学研究科 吉岡 真弥

工作技術センターで製作された各種ロボット.....18

工学研究科 高田 洋吾

利用者からの報告

ガラス細工体験講習は楽しい!.....25

研究支援課 寺西 章江

真空ラインの製作.....26

理学研究科 樋下 万純

GFRP 内部における非破壊マイクロひずみ解析.....28

工学研究科 片倉 由美子

スリット式防波堤を利用した波力発電システムの開発……………	30
工学研究科 刀根 健太郎	

スチールブリッジコンペティションへの参加と模型橋梁の製作……………	32
工学研究科 有山 大地	

気液界面診断装置……………	34
工学研究科 田代 龍太郎	

技 術 ノ ー ト

測定器の使い方と注意点……………	35
研究支援課 工作技術センター 須賀 辰美	

資 料

2014年度工作技術センター利用状況……………	44
工作技術センターの主な設備……………	45
機械工作部門配置図……………	50
ガラス工作部門配置図……………	51
報告……………	52
平成26年度 工作技術センター利用者委員名簿……………	55
工作技術センター職員名簿……………	56
編集後記……………	57

巻 頭 言

設計図だけで受託生産してもらえる？

西川 禎一 （にしかわ よしかず）

所属：生活科学研究科 食・健康科学講座

専門分野：細菌学（食品微生物学）

趣味：野菜作り、援農活動、読書、水彩画、
ライフル射撃、など



1999年春の本学赴任から早や16年。しかしその間に私はセンターを利用したことが無い。巻頭言を書くような大それたことに何故なったのか、と頭を抱えたが、前を向いて今後のご縁を考えてみたらネタが見えてきた。

私は食の安全確保のための研究をしているのだけれども、食材中には種々雑多な菌が紛れ込んでいて目的の病原菌を見つけ出すのは容易ではない。そこで、疎水性格子膜の利用を思いついた。5 cm四方程度の中を疎水性の線で1600に区切った濾過膜なので食品中の沢山の菌をきれいに整然と並べて培養できる。培養された菌の塊を別の格子膜に転写してレプリカを培養できれば、これを用いてDNAハイブリダイゼーションなどの手法を適用し、1600の菌塊中に潜むたった一つの病原菌塊でも効率よく識別できる。そうすれば、陽性と判定された菌塊を格子膜の原本から釣り上げて目指す菌を的確に取れることになる。ここまで構想したのは良かったが、格子膜から格子膜へと菌を正確に移植するのは大変難しい。困って調べていると同じようなことを考える人が世界には居るもので、この移植装置を作って販売しているカナダの工房をネットで見つけた。研究者を定年した人が道楽でしているような所で、社長兼従業員らしい。藁にも縋る思いで個人輸入したところ上手く作動し、英誌と米誌に各1報出せるような成果を上げ、国費留学生は無事に学位を取って母国の大学助教になれた。

この手法を使いたいという研究者も現れインドからは政府派遣の研修生も受け入れた。ところが、製造元がもう仕事をたたむと言い出した。慌てて希望者を募り纏めて6台の装置を発注、納品を待っているのだが、間違いなくこれから先の供給は無い。途方に暮れていたら巻頭言の依頼が舞い込んできて、センターを思い出した。設計図さえあれば作ってもらえるのでは（自分で作るとは言いません）、と思うことにして一安心の春を迎える。

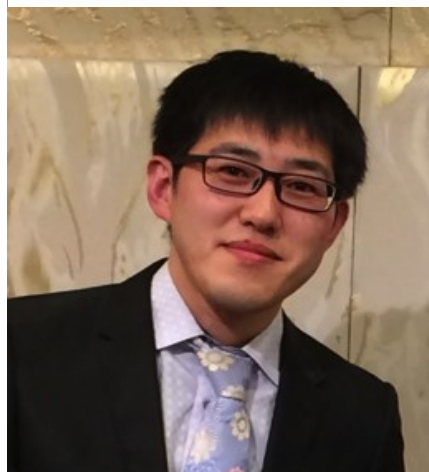
分子性物質で磁石を作る

～安定？な不安定分子の性質～

鈴木 修一（すずき しゅういち）

所属：理学研究科 物質分子系専攻

専門分野：物性有機化学・構造有機化学



人類と磁石との関わりは太古から続いており、今日の日常生活は磁石無しには成り立たないと言っても過言ではありません。磁石になる、または磁石と強く相互作用する物質はある種の限られた鉱物に代表される無機物質に特徴的な性質です。この性質を通常は磁石になり得ない有機物質を中心とする分子性物質で目指そうとする研究は学術的意義が極めて大きいと考えられ、20 世紀後半から我が国を中核として世界的規模で飛躍的に発展を遂げています。本稿においては、この分野に関する私たちの最近の研究を紹介します。

1. はじめに

人類は磁石（磁性体）を材料として巧みに利用して発展してきました。冷蔵庫にメモを貼り付けたり、こどものおもちゃに使われたりと磁石は身近に感じられるだけでなく、自動車、携帯電話、パソコンなど、私たちの日常生活の至る所に利用されています^{1,2}。また、私たち人類が磁石を利用するのと同様に、渡り鳥や体内に磁石を持つ細菌（磁性細菌）は器官で磁性を感じ取って方向を見極めていと言われています^{3,4}。

磁石の性質を示す、または、磁石と強く相互作用する物質はある種の鉱物や金属、金属酸化物に特徴的な性質として広く知られており、それらの物質内に存在する遷移金属元素がもつ孤立した電子（電子スピン）に由来し、原子そのものの性質と言えます。一方、有機物質を中心とする分子性物質では磁石としての性質は現れません。磁氣的に不活性（反磁性）な分子性物質を材料として磁石になる物質を作り出すことができれば学術的に極めて意義深いと考えられます。そのような磁性体構築を分子性物質によって目指す「分子磁性」と呼ばれる分野が、20 世紀後半から我が国を中心に萌芽し、世界的に拡大・発展を遂げてきています^{2,5,6}。本稿では、分子磁性に関する基礎的概念に関する研究を、私たちの研究グループにおける分子磁性を目指した研究に関連させて述べたいと思います。

2. 分子磁性に必要な材料：安定ラジカル分子

分子の最も大きな特徴として、私たちが原子を組み合わせて自由に構造を設計できることが挙げられます。従って、分子磁性には従来の磁性を示す無機物質よりもはるかに自由度と

可能性を秘めていると考えられます。ここで、どのような分子が分子磁性の構成成分として重要でしょうか？ 上述したように電子スピンの担い手であるということからもわかるように、それをもった分子が必要不可欠であります。通常、孤立した電子は構成分子内または分子間で対を作って強固で安定な共有結合を形成してしまい、磁気的な性質は失われてしまいます。ただ幸運なことに、分子内に孤立した電子を残している例としてラジカルと呼ばれる分子が知られています (図 1: 図中のドットが孤立した電子、不対電子を表す)。ラジカル分子は本来反応中間体と認識されてきましたが、1900 年に Gomberg によるトリフェニルメチルラジカル (**1**) の発見以来⁷、さまざまな検討がなされた結果、置換基や共役 π 電子系の拡張等の化学修飾を分子に施すことで、空気中でも取り扱い可能なラジカル分子がいくつも合成されるようになってきています。その結果、安定なラジカル分子は分子磁性の分野の発展に寄与し、1991 年には *p*-ニトロフェニルニトロニルニトロキシド (**2**) が低温下で磁石の性質を示すという発見につながりました^{2,5,6}。さらに最近では、分子性物質を利用した関連する広範な基礎および応用研究 (二次電池、電気伝導物質、分子スピントロニクス、量子コンピューターなど) の材料としてラジカル分子が注目を集めるようになってきています^{8,9}。

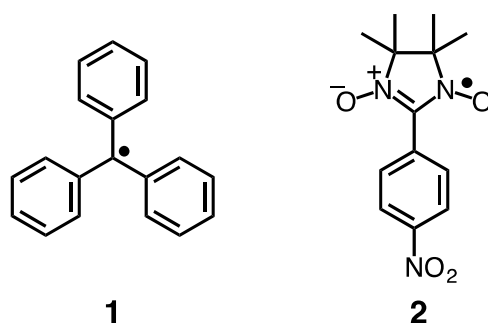


図 1. 代表的な安定ラジカル種。トリフェニルメチルラジカル **1** は固体中では二量体を形成して、不対電子を失ってしまうことが知られています。ラジカル **2** は有機開殻種として初めて強磁性体となった分子です。

3. ラジカル分子を合成する際のガラス器具

安定なラジカル分子が合成できると上述したものの、実際には不安定で過渡的な化学種がほとんどで空気中で取り扱うことは非常に困難です。それらの不安定性の原因を探ることは安定化に向けた指針や新しい性質を見出す種として非常に重要だと、私たち化学 (科学) 者は常に考えています。そのような不安定な分子を取り扱うには特殊な器具・装置が必要となってきます。こんなときに私たちは特殊なガラス器具を使うことがあります。ガラスは種々の化学種と反応しないこと、透明であるため反応の変化を容易に観測できること、自分の好きなように細工できること、などが利点として挙げられます。せっかくの機会ですので工作技術センターに作製や改良を依頼したいいくつかの器具をここで紹介したいと思います。

真空ライン (図 2): ラジカル分子は主に空気と反応して分解してしまうので、その原因を除去することで長時間安定に保存することや合成することが可能になる場合があります。真空

装置はそのときに活躍します。この装置を使用することで、容器を不活性ガスで充填することができたり、そのまま封じてしまうことで空気がない反応系を作り出せます。

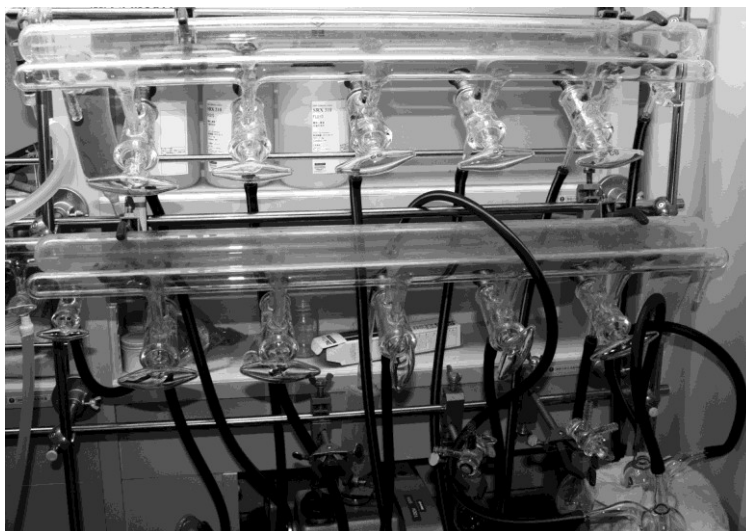


図 2. 真空ラインでは、真空下のガラス管と不活性ガス雰囲気下のガラス管があり、それを特殊なコックによって、フラスコと交互に繋ぐことが可能です。

電解用ガラスセル： ある特定の分子性物質を電気分解することで、電極表面にラジカル種



図 3. 電解用ガラスセル。大きさや形状を選んで実験を行っています。

(ラジカルカチオンやラジカルアニオン) を生成させることが可能です。こうやって得られたラジカルイオン種はそのものの性質 (磁性や電気伝導性) だけでなく、他の分子を酸化・還元させて別のラジカルイオン種を生成する合成試薬として魅力的です。私たちの研究室では、大量にラジカルカチオンイオン種を得るためのガラスセルを工作センターに作製して頂き、活用しています (図 3)。

4. ジラジカル分子：トリメチレンメタン

話題を私たちの研究に関する話題に戻しましょう。ラジカル分子が孤立した電子 (不対電子) をもっていたとしても、分子内または分子間で打ち消し合う方向に並んでしまう場合は磁石にはなり得ません。いかにして磁石になるように整列させるかが鍵となります。この分野の研究過程で、分子の設計性に着目して、二つ以上の不対電子が一つの分子内に存在するラジカル分子を詳細に調査して、不対電子を打ち消さないように整列させる方法が考案されてきました^{5,6,10,11}。その分子設計指針は現在までにほぼ確立されて、遷移金属の持つスピ量子数 (不対電子の数に比例する量) をはるかに超えるラジカル分子も報告されています¹²。しかし、不対電子間の相互作用が強い (交換相互作用が大きい) ラジカル分子は一般的に不安定で、空気中で取り扱いが可能な分子は数えるほどしかありません。そのような背景で、私たちの研究グループでは分子設計指針を基にして、新しいラジカル分子を設計・合成する研究を通して、大きな交換相互作用を有し、かつ空気中でも取り扱い可能な安定なラジカル分子を創成してきました。

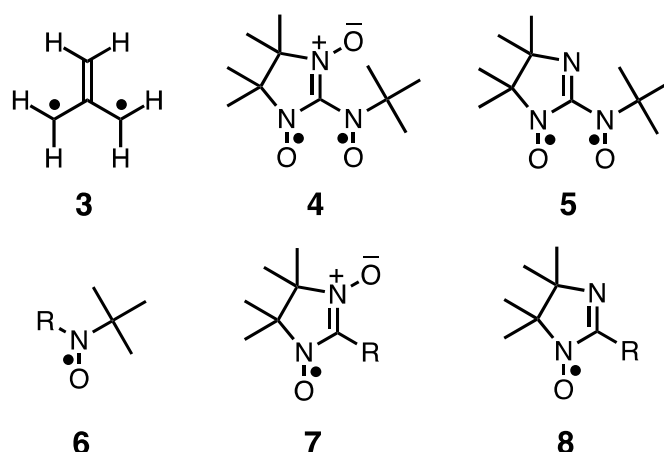


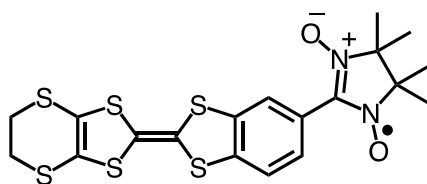
図 4. トリメチレンメタン (3) とそのヘテロ原子導入型類縁体 4 と 5。ジラジカル 4 と 5 の構造は安定なラジカルである 6、7、8 から構成されています。トリメチレンメタン (3) は非常に不安定で空気中に取り出すことはできませんが、4 と 5 は空気中でも取り扱いが可能なほど安定な化合物です。

トリメチレンメタン (3) は分子内の二つの不対電子が完全に揃った (基底三重項) 分子として知られていますが、反応性が非常に高く空気中で取り扱うことは不可能です^{5,6,10}。私たちの研究グループではトリメチレンメタン分子の炭素原子のいくつかを窒素や酸素に置き換えた分子であるジラジカル分子 4 および 5 を設計しました (図 4)¹³。これらの分子はこれまでにそれぞれが安定なラジカルとして知られている、ニトロキシドラジカル 6 およびニトロニルニトロキシドラジカル 7 またはイミノニトロキシドラジカル 8 から構成されていることが特徴です (図 4)。合成したジラジカル分子 4 と 5 は、有機合成で汎用される空気中

でのカラムクロマトグラフィーを用いた精製が可能なほど、高い安定性をもっていることがわかりました。分子の構造は X 線結晶構造解析から明らかにするとともに、SQUID 法による磁化率測定から分子内の二つの不対電子が室温下でも完全に揃った大きな交換相互作用をもつ基底三重項分子であることを明らかにすることができました。残念ながら、磁石にはなっていませんが、これらを構成成分とした研究を進めて、現在磁石にする夢を追っているところです¹⁴。

5. ラジカル置換ラジカルカチオン

分子内で二つの不対電子を揃えるもう一つの方法として、酸化によりラジカルカチオン種が発生可能な電子ドナー性が高い分子に安定なラジカル分子を導入したラジカル置換電子ドナー分子を利用する方法が挙げられます^{2,5,15,16}。この分子システムでは、化学的または電気化学的に電子ドナー分子部を一電子酸化させることで二つの不対電子が揃ったジラジカル分子 (ラジカル置換ラジカルカチオン) を発生させることが可能です。最近、テトラチアフルバレン類縁体にニトロニルニトロキシドラジカルを導入した **9** 等の誘導体が設計・合成され (図 5)^{2,15}、それらの酸化体が磁場下において電気抵抗が減少する現象 (負性磁気抵抗) を示すことを明らかにされており、分子スピントロニクス確立・発展に向けて貢献できる可能性が示されています。

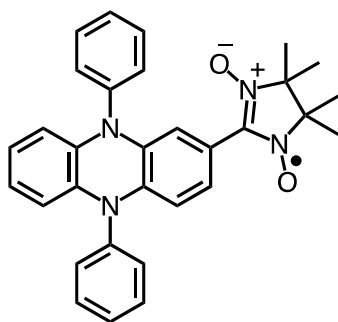


9

図 5. ラジカル置換電子ドナー **9** の構造。化合物 **9** は一電子酸化されることで、不対電子が二つ揃った基底三重項分子となります。負性磁気抵抗が観測されている数少ない有機分子の一つです。

私たちの研究グループでは、非常に高い電子ドナー性をもつジヒドロフェナジン誘導体にニトロニルニトロキシドラジカルを導入した分子 **10** を設計、合成しました (図 6)^{16,17,18}。この分子の一電子酸化体は、空気中でも取り扱い可能であり、かつ分子内の二つの不対電子が完全に揃う大きな交換相互作用を有していることが実験的にわかりました。さらに、一電子酸化体の臭化鉄塩 $10^{+\bullet} \cdot \text{FeBr}_4^-$ が約 7 K (−266 °C) で磁石 (フェリ磁性体) に相転移することを SQUID による磁化率測定や比熱測定の結果から見出しました。無機磁性イオンを使うと共に、非常に低温での相転移ではありますが、ラジカル分子を用いた新しい磁性体の設計手法の第一歩と考えています。また、臭化鉄イオンの代わりに同じような構造と化学的性質をもつ塩化鉄イオンを用いた場合、磁性相転移が観測されないことがわかりました。両塩の X 線結晶構造解析の結果、ラジカル置換ラジカルカチオン間の配列に違いが見られ、そ

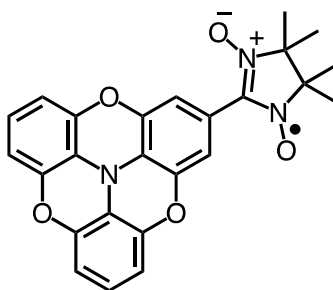
れが起因して磁氣的性質が異なることを突きとめています¹⁸。



10

図 6. ラジカル置換電子ドナー **10** の構造。化合物 **10** も一電子酸化されることで、不対電子が二つ揃った基底三重項分子になります。臭化鉄塩が磁石（フェリ磁性体）の性質を示します。

また、私たちの研究グループでは別の電子ドナー性分子である酸素架橋型トリフェニルアミンにニトロニルニトロキシドラジカルを導入したラジカル置換電子ドナー分子 **11** も設計・合成しました (図 7)¹⁹⁻²¹。この分子の一電子酸化体も同様に空気中でも取り扱いが可能であり、かつ分子内の二つの不対電子が完全に揃う大きな交換相互作用を有していることを実験的に明らかにしました。塩化ガリウム塩 $\mathbf{11}^{+\bullet} \cdot \text{GaCl}_4^-$ の結晶構造解析の結果から、ラジカル置換ラジカルカチオンが積層した構造をもっていることがわかり、分子間で不対電子は打ち消しあっているように見られましたが、興味深いことに、約 3 K (−290 °C) 付近で磁石 (弱強磁性体) に相転移することが、SQUID による磁化率、交流磁化率測定、比熱測定による解析からわかりました。このことは、分子間で完全には不対電子が打ち消し合っていないことを示しており、大変珍しい磁性体 (弱強磁性体) であると言えます。すなわち、ラジカル分子を用いた新しい磁性体構築法になり得ることを実験的に明らかにしてきました。



11

図 7. ラジカル置換電子ドナー **11** の構造。化合物 **11** も一電子酸化されることで、不対電子が二つ揃った基底三重項分子となる。塩化ガリウム塩が磁石 (弱磁性体) としての性質を示します。

6. まとめ

私たちの研究グループでは、これまでにほとんど報告例のなかった空気中でも取り扱い可能、かつ分子内の不対電子が揃う大きな交換相互作用をもつジラジカル分子を設計・合成し、新しい分子磁性材料への展開を示してきました。本稿で紹介したジラジカル分子は、分子を用いたスピントロニクスへの発展に向けて貢献できる可能性をもち、また関連分野のブレークスルーをもたらすと、私たちは考えています。自在に不対電子を有するラジカルを導入する方法の確立、さらに多くのラジカルを導入した分子の合成、分子内の不対電子の情報を外部刺激によって制御できる分子の設計、合成を継続的に検討することで²²⁻²⁴、分子磁性分野の新たな展開が萌芽されると、私たちは夢見ています。

7. 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物性有機化学研究室を中心に行ったものであり、同研究室の岡田恵次教授、小寄正敏准教授のご指導・ご助言をはじめ、所属する学生の多くの実験結果・考察によって得られた成果です。この場を借りて、謝意を表します。また、各種物性測定に関して、同研究科の工位武治特任教授、佐藤和信教授、塩見大輔准教授、大阪大学大学院理学研究科の宮崎裕司准教授、稲葉章教授、大阪府立大学大学院理学研究科の細越祐子教授、ならびに各機関の博士研究員、技術職員による多大な協力と温かいご支援に対して、心から御礼申し上げます。また、本研究の一部は、文部科学省科学研究費補助金新学術領域研究（研究略称「 π 造形」、「感応性化学」、「 π 空間」）、徳山科学技術振興財団、旭硝子財団、住友財団の研究助成により行われました。この場を借りて感謝致します。

参考文献

- 1) 佐藤銀平 著. 家電製品がわかる I-III; 井上晴夫, 藤島昭 監修; 日本化学会 編; 東京書籍: 東京, 2008–2008.
- 2) スピン化学が拓く分子磁性の新展開: 設計から機能化まで (CSJ Current Review); 日本化学会 編; 化学同人: 京都, 2014.
- 3) 前田公憲, 電子スピンサイエンス学会学会誌, **2014**, 12, 86–93. およびその参考文献を参照.
- 4) Blakemore, R. *Science* **1975**, 190, 377–379.
- 5) 分子磁性; 伊藤公一 編; 学会出版センター: 東京, 1996.
- 6) 有機磁性材料の基礎; 岩村秀 編; シーエムシー出版: 東京, 1999.
- 7) Gomberg, M. *J. Am. Chem. Soc.* **1900**, 22, 757–771.
- 8) 阿波賀邦夫 ほか, 機能材料, **2008**, 28 (7), 5–86. (特集 有機ラジカルの機能)
- 9) *Stable Radicals: Fundamentals and Applied Aspects of Odd-Electron Compounds*; Hicks, R. G. Ed.; John Wiley & Sons: West Sussex, 2010.
- 10) Borden, W. T. In *Diradicals*; Borden W. T., Ed.; John Wiley & Sons: New York, 1982, pp 1–72.

- 11) Lahti, P. M. In *Molecule-based Magnetic Materials*; Turnbull, M. M., Sugimoto, T., Thompson, L. K., Eds.; American Chemical Society: Washington, DC, 1996, pp 218–235
- 12) Rajca, A.; Wongsriratanakul, J.; Rajca, S. *Science* **2001**, *294*, 1503–1505.
- 13) Suzuki, S.; Furui, T.; Kuratsu, M.; Kozaki, M.; Shiomi, D.; Sato, K.; Takui, T.; Okada, K. *J. Am. Chem. Soc.* **2010**, *132*, 15908–15910.
- 14) Furui, T.; Suzuki, S.; Kozaki, M.; Shiomi, D.; Sato, K.; Takui, T.; Okada, K.; Tretyakov, E. V.; Tolstikov, S. E.; Remanencko, G. V.; Ovcharenko, V. I. *Inorg. Chem.* **2014**, *53*, 802–809.
- 15) Sugawara, T.; Komatsu, H.; Suzuki, K. *Chem Soc. Rev.* **2011**, *40*, 3105–3118.
- 16) Hiraoka, S.; Okamoto, T.; Kozaki, M.; Shiomi, D.; Sato, K.; Takui, T.; Okada, K. *J. Am. Chem. Soc.* **2004**, *126*, 58–59.
- 17) Masuda, Y.; Kuratsu, M.; Suzuki, S.; Kozaki, M.; Shiomi, D.; Sato, K.; Takui, T.; Hosokoshi, Y.; Lan, X.-Z.; Miyazaki, Y.; Inaba, A.; Okada, K. *J. Am. Chem. Soc.* **2009**, *131*, 4670–4673.
- 18) Masuda, Y.; Takeda, H.; Kuratsu, M.; Suzuki, S.; Kozaki, M.; Shiomi, D.; Sato, K.; Takui, T.; Okada, K. *Pure Appl. Chem.* **2010**, *82*, 1025–1032.
- 19) Kuratsu, M.; Kozaki, M.; Okada, K. *Angew. Chem., Int. Ed.* **2005**, *44*, 4056–4058.
- 20) Kuratsu, M.; Suzuki, S.; Kozaki, M.; Shiomi, D.; Sato, K.; Takui, T.; Okada, K. *Inorg. Chem.* **2007**, *46*, 10153–10157.
- 21) Kuratsu, M.; Suzuki, S.; Kozaki, M.; Shiomi, D.; Sato, K.; Takui, T.; Kanazawa, T.; Hosokoshi, Y.; Lan, X.-Z.; Miyazaki, Y.; Inaba, A.; Okada, K. *Chem. –Asian J.* **2012**, *7*, 1604–1609.
- 22) Suzuki, S.; Nagata, A.; Kuratsu, M.; Kozaki, M.; Tanaka, R.; Shiomi, D.; Sugisaki, K.; Toyota, K.; Sato, K.; Takui, T.; Okada, K. *Angew. Chem., Int. Ed.* **2012**, *51*, 3193–3197.
- 23) Zhang, X.; Suzuki, S.; Kozaki, M.; Okada, K. *J. Am. Chem. Soc.* **2012**, *134*, 17866–17868.
- 24) Tanimoto, R.; Suzuki, S.; Kozaki, M.; Okada, K. *Chem. Lett.* **2014**, *43*, 678–680.

地球生命はどこで生まれたか

益田 晴恵（ますだ はるえ）

所属：理学研究科 生物地球系専攻

専門分野：地球化学（水-岩石相互作用）

趣味：飽き症で、仕事以外は続かない



長〜い「はじめに」

「私たちはどこで生まれたのか」という命題は科学の最大の謎の一つであり、私たちの存在に関わる極めて哲学的課題である。宇宙論も進化論も、私たちがなぜここにいるのかを証明するために作り出され、検証が続けられてきたと言ってもいいだろう。宇宙観測は宇宙ができてから1億年後くらいまで見られるようになった。生命科学の発展は物理学よりもさらに急速で、遺伝子解析で得られた系統樹は、私たちが学生時代に習ったものとは別物になってしまっている（図1）。

私が学生だった頃、地下に根を張る木の根っこがなくなる土壤より下の岩石圏では2mも掘ったら生物はいないと教えられた。3000mの深海底は無生物の世界で、そんなところに住む生物等いないとも言われた。ところが、深海底には、

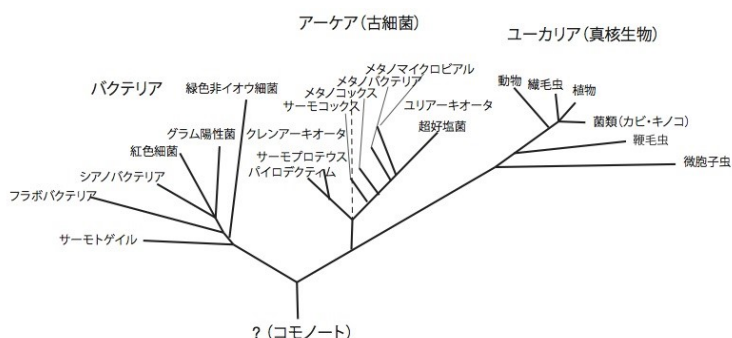


図1 SSU rRNA 遺伝子の解析により作成した全生物の系統樹

300℃を超える熱水（ぶっちゃけて言うと「海底温泉」です）が湧出しており、その周辺にはものすごく密度の高い生態系が発見された。最初に発見されたのは1983年、東太平洋海膨であったが、同様な生態系は世界中の深海底で発見されて、その数は優に100を超えている。原油を掘削する井戸では、深度が5kmを超える深さの堆積岩の中で、そこに生きている微生物が発見された。生物探査の網は、こんな場所にいるのかと思うような極限環境にまで広がられている。今や、マントルにさえ生物がいるのではないかと考える研究者もいる（たぶん）。これらの研究は、私たち生命がどこで、どのように進化したのかをある程度は教えてくれる。地球上の全ての生物は同じ祖先（コモノート）から進化しているが、大腸菌（バクテリア）は人類の祖先ではない。人類を含む真核生物に近い原生生物はアーケア（古細菌）である。アーケアには、100℃を超える高温、地下数kmの高圧、氷に閉ざされた極寒、海水が煮詰まったような高濃度の塩水、酸素や酸化性物質が著しく少ない強還元状態等、地表に生きる多

くの生物がとても苦手な場所に棲むものが多い。それ故、地球上の生物の祖先は、地球が形成されてあまり時間が経っていない時期に、今とはものすごく異なった物理化学的環境で生まれたと考えられている。これまでに発見されている世界最古の生物化石はオーストラリアで発見された 34 億年前のイオウを食べるバクテリアである。また、生物由来と推定されるグラファイトがグリーンランドの 38 億年前の岩石中に発見されており、現在ではこれらが地球上最古の生物の痕跡である。これらの生物は酸素が極端に少ない時代に生きていた。

しかし、生命の祖先をいくら辿っても、最初の生物に行き着くことはできるかもしれないが、それがどこで生まれたかは教えてくれない。なぜなら、最初の生命は化学物質が無機的に合成されたものであり、生命前駆体となる化学物質が形成された場所に関する情報は決して与えてくれないからである。ここから先は実験に頼るほかない。

生命の材料はどこから来たか

地球ができたばかりの頃、地表全体がマグマで覆われるほどものすごく高温になったことがあり（マグマオーシャンと言う）、当初の記録は残されていない。現在、地球上でもっとも古い物質は、オーストラリアの花コウ岩の中に発見されたジルコンという鉱物で 44 億年の年代を示す。地球形成が 45.6 億年と言われているので、およそ 1.5 億年後にできた物質である。この鉱物の酸素同位体比から、当時既に地球表面には海（大きな水たまり）があったと考えられている。このときの海には有機物はあまりなかったと推定される。なぜなら、マグマオーシャンの時代に、宇宙からやってきたかもしれない有機物は全部分解（燃え尽きたと言ってもいい）してしまったからである。ミラーの有名な実験は、シアンやアンモニア、水素などを含んだ原始大気中で放電によってアミノ酸（正確には加水分解してアミノ酸となるアミノ酸前駆体）が合成されることを示した。しかし、宇宙空間ではともかく、地球でこのような大気中で有機物が合成されたとは考えにくい。なぜなら、最初に海ができた頃、メタンではなく二酸化炭素が、アンモニアガスではなく窒素ガスが、硫化水素ではなく二酸化硫黄が大気を構成しており、大気はミラーの実験で仮定されたほど還元的ではなかった。水もまた水素の酸化物である。生命の材料となる有機物は宇宙空間からもたらされたという考え方がある。宇宙空間には、地球上で発見されるよりはるかに多種類の有機物が存在する。それは、分子雲の中で、ミラーの実験のようにして形成された可能性は高い。マグマオーシャンの時代に有機物は一度分解しているので、その後に落下した隕石や彗星等が材料を運んできたのであろう。それらは海底堆積物等に溜まっていった。

一方、有機物合成は、地球上で起こったと考える研究者もいる。有機物の主材料は、炭素、酸素、水素、窒素等であり、イオウ等を含めても、大気や海洋にありふれた軽元素ばかりである。それらを含む物質の多くは揮発性物質でもある。有機物が合成されるためには温度は高い方がいい。それなので、温度・圧力が高い海底熱水系は有力な候補地と考えられた。それに、地球全体の温度が高かった原始地球では、海底熱水系は今よりもたくさんあったはずである。しかし、海底熱水にはリン（リン酸）が含まれていないのは都合が悪い。陸上熱水系であればリンは得られるが、どちらにしても、水があると有機物の濃縮が起こらないとい

う欠点がある。後期重爆期説というのはかなり魅力的な仮説である。月のクレーターには 41～38 億年前に形成されたものが多くあり、この時期に、金星・地球・火星等も多くの隕石が落下したと考えられている。地球に隕石が落下したとき、その衝撃で有機物が形成されたというのである。水や炭酸塩、窒素ガスなどの材料を詰めた容器を大砲の筒のような実験装置を用いて撃ち付けて衝撃を与える実験から、多種類のアミノ酸や糖類を作ることに成功している。つまり、隕石が衝突した瞬間の高温・高圧が有機物合成に重要だと言うのである。その後、有機物は海洋底堆積物に溜まり、重合化を待つことになる。

重合化反応はどこで起こったか

宇宙空間で有機物が合成される場合には、単量体はできないで、高分子が形成されるため、重合化反応は必ずしも重要でないかもしれない。むしろ、加水分解と再構成が重要なプロセスである。地球上で単量体ないしは重合度の低い有機物から高分子が形成されて生命となるには重合反応は必須である。特に重要なものはタンパク質を作るアミノ酸や有機酸、核酸塩基である。アミノ酸や糖類の重合化は脱水反応なので、温度は高く、水分は少ない方がいい。海底熱水系では、グリシン等の重合化反応は起こるのであるが、重合速度よりも分解速度の方が速くて、アミノ酸はどんどん単量化していく。また、250℃よりも高温の熱水中では、アミノ酸自身が安定でなく、分解されて減少していく。核酸塩基とリボースも水の中では合成されないため、核酸ができない。熱水系は、生命進化のゆりかごにはなり得るが、生命発生場にはなりそうにない。

水が少なく温度が得られる場所はどこにあるのだろうか。一つは、地表付近なら、干潟である。干潟は水のある時は有機物を含んだ堆積物が溜まる。乾燥すると水を失う。火山が近いと、地熱があるので、なおいいかもしれない。しかし、原始地球の表層には紫外線が降り注いでいたはずなので、太陽光にさらされる表面では有機物は安定に存在できない。もう一つは高深度の堆積物である。海底堆積物も厚く溜まると、深くなるほど水が抜けていく。からからに乾くことはないかもしれないが、自由に移動する水がなくなる程度には水分が低下することは有り得る。堆積物には粘土鉱物がたくさんあるのも単量体が重合化するには好都合である。粘土鉱物は、

海底堆積物にたくさん含まれるアルミノ層状ケイ酸塩である。有機物は粘土鉱物表面によく吸着されるが、粘土鉱物が水分を奪う役割をするために、有機物から水が失われやすくなる。たとえば、粘土鉱物表面に吸着したグリシンは、環状 2 量体 (DKP) を経て 3 量体へと重合

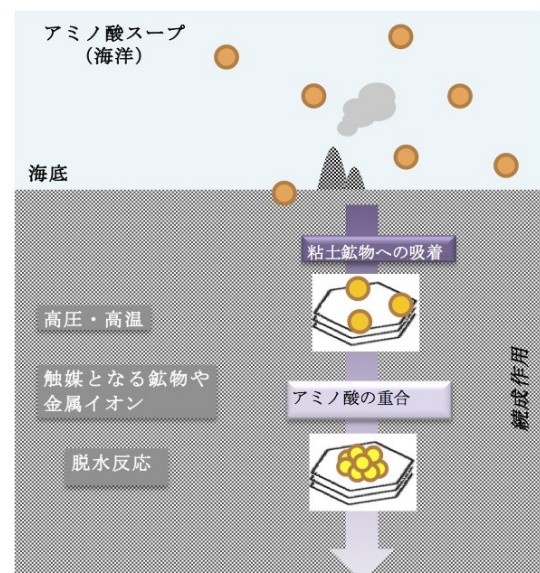


図2 海洋でできたアミノ酸が海底堆積物中で重合化するようす (淵田茂司作図)

化が進む。また、水は化学反応を促進させるためにごくわずかな必要である。

「おわりに」

太陽系の中で、生物がいるかもしれないと言われる天体が複数ある。火星、エウロパ、タイタン等である。地球にいる生物と似た生物であるという条件であるならば、「液体の水」があることが必須である。宇宙起源の有機物が海洋で化学進化して生命が発生した場合には、海のある太陽系の天体であれば、生命が存在する可能性は高い。これが、数多く行われている太陽系や太陽系外に生物を探す研究の根拠である。(残念なことに、イトカワから持ち帰られた試料には有機物はほとんど見つからなかった。最近欧州宇宙機関の探査機が着陸した彗星にはどうだろうか。) 太陽系外で生命現象の信号を読み取ろうという計画もある。ケプラー計画であるが、探査機が故障して、これまでの精度での観測は無理らしい。

一方で、後期重爆撃期説のような惑星内部での化学反応が原因である場合にはどうか。地球とよく似た化学組成を持ち、よく似た化学進化をした火星では生命が期待できるかもしれないが、岩石を主体とするのでない天体では生命発生の化学的条件が整わないであろう。地球上に高分子の有機物が現れてから生命発生までの時間は意外に短かったようである。多分、1億年以内、長くても2億年かそこらであろう。そのような急速な反応には、短時間で高濃度に有機物が濃縮されるメカニズムが必要である。その点で、宇宙起源の有機物を濃縮させるよりは、地球内部での劇的な環境変動は魅力的な考え方である。

生命発生に至るには、核酸とアミノ酸が結合する必要がある。これまでの研究では、アミノ酸や核酸のそれぞれの重合反応は説明しても、核酸とアミノ酸の重合反応にまでは至っていない。実験室での検証にも多くの課題が残されている。私たち全ての生物の体は星のかけらでできている。生命の発生は星の化学進化の必然的過程なのだろうか、あるいは地球は孤独な例外なのだろうか。

引用文献

Woese C. R. et al., Proc. Natl. Acad. Sci. USA, 87, 4576-4579, 1990.

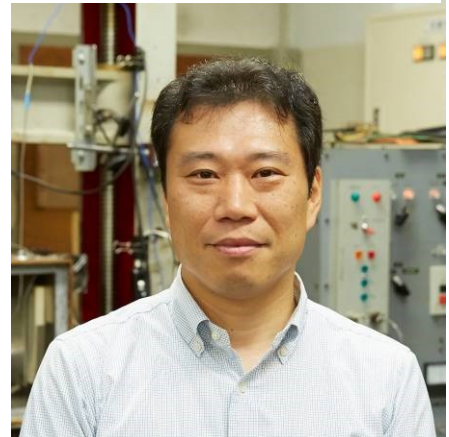
一番楽な切り方は？

吉岡 真弥 （よしおか しんや）

所属：工学研究科 機械物理系専攻

専門分野：高分子レオロジー

趣味：ビールを飲みながら野球観戦（ライトスタンド下段席）、
ギター演奏（下手ですが）



少し前から機械工学科の必修科目「設計製作実習」の世話役を担当している。「設計製作実習」は3回生対象の通年科目で、課題に沿って学生が自分たちで設計した機械装置を自分たちで作り上げるという全国的に見ても{珍しい|無茶な}内容で実施している科目である。製作課題はこここのところずっと「簡易引張り負荷装置」としている。人の力を動力として一軸の引張り荷重（最大 1000N）を引張り試験片に負荷する装置であり、平たく言えば、万力と同様の機構を用いて引張り力を発生する手動機械である。図1は過去の作品の一例である。万力のようなメカニズムなので大掛かりな機械では全くないが、剛性や強度などに基づく各部品の主要寸法の決定[設計計算]、部品の加工に不可欠な“言葉”である図面の作成[製図]そして実際に機械装置の製作を行う[加工実習]のいずれについても、3回生にとってはそれなりに{手応えのある|手強い}科目だろうと思う。本稿では加工実習時の3回生達を見ていて“機械工作”について筆者自身が改めて感じていることを紹介したい。

ものづくりや機械が好きで入学してきたとはいえ、大部分の3回生にとって金属の本格的な加工はおそらく初めての経験である。したがって最初は上手に加工できない。これは仕方のないことである。でも授業が進んでもなかなか上手にならない人が結構な割合で毎年必ずいる。ちゃんと一生懸命



図1 簡易引張り負荷装置（過年度の作品）
上端のハンドルを回して雄ネジを回転させて雄ネジと噛み合った雌ネジを上昇させ、下側にある試験片を上方へ引っ張る。人力で1000N出せる。（だいぶ錆びてきていた。）

やっているのに、である。このことをいつも最も強く感じるのは金ノコの使い方についてである。金ノコを上手に使えないのは、日本の木工ノコギリが引いたときに切れるのと切れる方向が逆である（押すときに切れる）ことが原因といった単純な話ではない。

金ノコは金属用のノコギリであり、当たり前なことだが金属を切ることができる。しかし相手は身近にある材料の中ではとても硬い部類に属する。簡単には切れない。それで一生懸命に力を入れてギコギコ切る。ご承知の通りノコギリで材料を切るには前後に動かすだけでは不十分で、切断したい方向つまり材料にノコギリを押し付ける必要がある。どちら向きにノコギリを動かしたときに切れるのかもちょっと不安な状況で相手は硬い鉄である。力を入れなくちゃいけない。すると、腕力に頼って図2のような感じになる。腕が疲れるし、力のコントロールも難しく、少しずつしか切れないし、きれいにも切れない。でも少しずつでも切れるので、鉄はこんなに切りにくいものなのかと納得して作業を続ける。とても真面目である。でもこういう時は「どうやったら楽に切れるか」を当然考えなければいけない。①押したときに切れる、②材料側にも押し付ける必要がある。この2点を楽に満足させようと落ち着いて考えれば図3の切り方に辿り着く（はずだと信じている）。ノコギリを前方に押す力と材料に押し付ける力に自分の体重を利用する。そのために片手はノコ刃の前方の近くを持つ（押さえる）のが得策である。体重をうまく載せられれば、あとはノコギリをまっすぐ前方に動かすことに集中すればよい。腕力は要らない。

3回生達が「どうやったら楽に切れるか」を考えていないはずはない。普通だれでも絶対に考える。でも彼らが図2の状態から図3の状態に辿り着けないのには実は別の理由がもう一つあることに気付く。それは金ノコで切断しようとする位置が万力での固定位置から離れてしまっていることだ。たいてい固定端から10cmは離れたところを切ろうとする。彼らはおそらくこんなことを直感的に考えている。{相手は硬いので力を入れなければならない|でも勢い余って万力に手をぶつけるのは嫌だ}。固定点から突き出した棒は材料力学の言葉で言うと“片持ちはり”である。片持ちはりに集中荷重 P を負荷した場合（「はりに負荷」と言った時、材料力学でははりの長手方向と直角の力をかけることを通常意味し、ノコギリによる負荷は実際この状態にある）、固定端から負荷位置に向かって棒材の傾き（“たわみ角”と言う）はどんどん大きくなる。負荷位置のたわみ角は、荷重 P の大きさが同じであれば、固

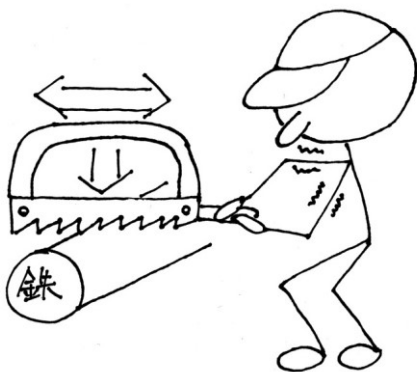


図2 経験の浅い人がやりがちな切り方

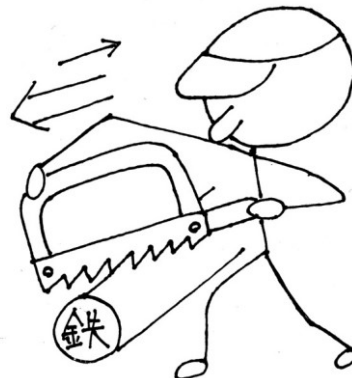


図3 楽な切り方

定端からの距離の2乗に比例して大きくなる。棒材が傾けば棒材を切断しつつあるノコ刃が通っているミゾも同じだけ傾く。ノコ刃が作ったミゾはもともとノコ刃ほどの幅しかないのだから、力をかけるたびにミゾが傾けばノコ刃が“咬まれ”て前後にスムーズに動かせない。それで体重をかけるのを諦める。機械工学科の3回生は片持ちはりの力学を知っている。しかし、切ろうとしている材料は機械の部品に使う程度の高い曲げ剛性（たわみにくさ、断面の寸法と弾性率で決まる）を持っているから目で見てすぐにわかるほどにはたわまない。それでも固定端から離れた位置を切ろうとするとノコ刃を咬む程度にはたわむ。それで鉄はこんなに切りにくいものなのかと再び納得してそのまま作業を続ける。というより、ノコギリが咬まれるとよけいに力が必要になる上に引っかかるので、勢い余って手をぶつける心配が大きくなり、万力の近くに“寄る”という発想は出ないのだろう。自分で気付かないとよい経験にならないので、“それ、片持ちはりやなあ”程度の指摘にとどめるよう心がけている。

以上は加工経験のある程度ある人なら誰でもわかっていることであり、改めて説明するほどのことでもない。しかし3回生の多くが、少し作業を続けたあとでも、それになかなか気付かない。こんな様子を繰り返し見ていて筆者自身が改めて感じているのは、「一番楽に作るにはどうしたらよいか」を作業開始前によく考えることが大切だという至極当たり前のことだ。「楽に」というのは手を抜くことではない。出来上がりが雑になるようでは本末転倒も甚だしい。作ろうとしている部品に必ず実現される必要のある機能は何か、それを実現するために最も確実に簡単で楽な方法は何か、を作業開始前にまず十分に考える（言葉で書くと凄く大げさになった）。なにより「どうすれば楽になるか」を考えることは人にとって自然なことだ。時には作業そのものの簡単さを越えて、設計自体をさらによいものに変更できることだってある（本来は設計時に十分に考えておくべきことだが）。さらに、楽に作れるならば色々な意味で作業に余裕ができるので、結果として精度が高まることだってあるに違いない。最近、研究室の学生と話す時も「それ簡単に作れるかな」とか「一番楽に作るにはどうしたらいい？」といった質問をすることが多くなった。3回生が金ノコを上手に使えないのはもちろん経験が不足しているからだが、「一番楽に切るには？」を丁寧に考えずに作業を始めていることが大きな理由の一つだろう。最初から難しそうな作業であれば誰でも慎重によく考えてから始めるだろうが、“ノコギリで切る”作業は一見とても単純で簡単な作業である。

年のせいだろう、説教じみた話になった。ついでに言ってしまうと、「何のためにするのか」＝「目的」をしっかり見極めた上で「そのために最善の方法は何か」を考えてから取りかかるとするのは、別に工作に限らず、どんなことをする時にも通用する合理的な段取りである。むしろ特別なことではない。上述した金ノコの例は“簡単に見える作業であっても”本当に重要なポイントは何かを落ち着いて考えることが大切であることを示している。残念ながら“本当に重要なこと”を見失った事例が学内で最近多い。筆者は昨年25年勤続表彰状の“配布”を受けた。「平成25年勤続表彰状の配布のお知らせ」というタイトルで表彰状を工学部支援室で受け取れという短い事務連絡メールが届き、工学部支援室に出向いて受け取った。対象者一覧表に受取り済みのチェックを入れて“配布”は完了した。「勤続表彰」という字面だけ見ても何を目的としているかは明白である。もっと言えば、大昔から広く行われている

ことであり「慣れていなかった」なんて言い訳が通るはずもない。今年度は表彰式が行われたようだが、昨年度実施された“配布”についての釈明などは今もない。金ノコで例えれば上手な使い方を教わっただけの状態である。本質は全くわかっておらず、なんとも情けない。ものごとの本質・真理の探求が使命である大学だからこそ、何事においても本質を見極めて行動するという姿勢を失ってしまっては困ると強く思う。

話を工作に戻そう。簡単そうな作業であっても、その作業では一体何が重要なポイントなのかを考えてから始めよう。それが上手に作業する近道である。とにかくいつでも“一番楽にできる方法”を一生懸命に考えればよい。ただそうは言っても、全く初めての作業で何を考えればよいのかまるっきり見当もつかない、という場合だってあるだろう。そんなときは遠慮なく工作技術センターでアドバイスを求めよう。経験豊かな技術職員諸氏が加工のテクニックに留まらず設計にまで遡って一緒に考え、そして的確な助言をくれる。偉そうなことを書いてきた筆者もこれまで本当にいろいろと助けていただいたし、これからもお世話になるのはまちがいない。この場を借りて工作技術センター職員の皆様にお礼申し上げる。

工作技術センターで製作された

各種ロボット

高田 洋吾 (たかだ ようご)



所属：工学研究科 機械物理系専攻

専門分野：動力システム工学（ロボット運動学）

趣味：ハンダ付け

1. 大阪市大のロボット

2006 年頃、学生の頃から関心があったロボットに関する研究を始めました。それから今日まで、様々な形態のロボットを製作してきました。ここでは、その一部をご紹介させていただきます。ロボットの研究は、概念的に大きく二系統に分かれます。まず、ロボットの移動に関わる機械・電気系要素の研究です。具体的には、ロボットの外観、構造、機構、モータ、パワーエレクトロニクスなどです。また、もう一方は、情報処理系統の研究です。画像認識、ロボット間通信、人工知能などが該当します。私は機械物理系専攻に属することもあり、どちらかといえば、前者の機械的・電氣的要素に偏って研究開発しているように思います。

ロボットの研究は、エンジンシリンダ内解析に用いてきた数値流体力学（CFD）の知識を活かすため、水中を泳ぐ魚ロボットに関して手掛けました。真っ先に実施したのが、稚鯉の飼育と観察です。回流水槽の中に稚鯉と 40 ミクロンの微粒子を入れて、横からレーザーシート光を照射し、光る微粒子を、CCD カメラで下から撮影しました。魚の尾ひれの動きはもちろん、尾ひれ周りの水の流れがはっきりと目で見る事が出来ます。その魚の動きを参考にしながら魚ロボットを開発していくことになりました。

水中ロボットに関しては、西日本で実施される水中ロボットフェスティバル、JAMSTEC のプールを用いる水中ロボットコンベンション、Techno-Ocean の水中ロボット競技会などがあり、各大学、高専、高校で競い合います。これらの競技会に今までに何度も本学学生らとともに出場しました。出場し始めた頃、真っ先に思ったことは、私たちが作ったロボットは、他の大学のロボットに比べて大きく見劣りするということです。それらのロボットは、見た目も美しく性能も良いのです。しかし、それらのロボットは、学生が苦労して製作したものではなく、設計のみ大学内で行い、外注によって作り出されたものでした。言わば企業が作った製品です。高価なロボットであるため、実のところ、数年続けて同じロボットを使って、内部のプログラムだけ変更して出場させているとの話を伺いました。つまり、関係学生達にとって、主な仕事は機械要素のメンテナンスと電子機器の修理です。私には、それが楽しそうには思えませんでした。また、電子基板の修理のため、競技会場でハンダ付けをしている

他大学の学生の作業を観察する機会がありましたが、修理しているのか破壊しているのか分からない程度の慣れない手付きであったため、物を作る体得的なものづくり教育が軽視されつつあると感じずにはいられませんでした。他者が作った機械が壊れ、その修理だけを担当するのは一般的に面白くありません。修理のために知識を得ようとしてもモチベーションは上がらないでしょう。対称的に、自らが新規に無から作るのは楽しく、そのモチベーションも高まります。創造ために必要な専門知識を得ようとする学習にも目的意識が加わり楽しくなるでしょう。特に工学部・工学研究科に属する学生の場合は、ものづくりに関する知識や知恵、勘所を、実際に作ることから得るべきです。

ロボットを製作するには、機械部品、電子基板、プログラムを作るための幅広い専門分野の知識を浅くでも良いので、一通り実践できる水準まで理解できていなければなりません。学生に対して、「このロボットは機械も電気も、ほぼ全て自分一人で製作しました」と対外的に自信を持って断言してもらえよう接しました。この言葉には重みがあります。ただ作ったと述べているわけではありません。当該ロボット製作における機械、電気、情報に関連する知識を幅広く保有し、実践経験も既にあることを意味しています。もちろん、学生はしんどい思いをします。ロボット作りは、まず機械部品の加工から始まります。機械工学科の学生にとって得意とする分野ですが、まだまだ合格水準の技術を持たない学生達は、工作技術センターの技術職員さんにお世話になりながら、技術水準を短期間に大きく高めていきます。機械部品を組み立てて、見た目としてロボットが完成した後は、各アクチュエータ（主にモータ）を駆動するための回路、カメラの画像を取得するための回路、信号送受信をするための回路を作らなければなりません。機械科の学生はこれを嫌います。電子基板にはプログラマブル IC（一昔前は PIC マイコンを、最近では FPGA を使用）が含まれています。電子基板への各電子部品のハンダ付けや、プログラマブル IC へのプログラム書き込みが完了した後、ほぼ確実にトラブルに見舞われます。想定通りに動かない状態に悩み、ここでロボット開発の活動が場合によっては数週間低迷します。電子基板に不備があるのか、プログラムに不備があるのかの判断が付きにくい中、結局のところ当該学生が一人でどちらも担当しているので、どちらに不備があったとしても自己責任のもと、不備に対して対処していきます。ロボット作りで辛い部分です。動作に異常が無くなれば、組み上がったロボットに電子基板を取り付けて全て完成です。今までの苦しみが報われる瞬間です。私は今まで、その瞬間に笑顔にならない学生を見たことがありません。

他大学では、設計後外注し、残された業務はメンテナンスのみです。しかし、本学は違います。学生は工作技術センターを自由に出入りできます。全てを学生が作っているのです。完成したロボットの性能を上回るにはどのように作ったら良かったのかを学生自身が把握しています。完成したばかりのロボットを改造するのではなく、完成したロボットを参考に、更に性能の高いロボットの製作が再び始まります。ロボットを完成させた学生の持つロボットを作りたいと思うモチベーションは、意外なことに完成後に高まっていることが多く、新しく入ってくる後輩学生達に良い刺激を与えながら、更に性能の高いロボットを創り出そうと試みます。

ロボットの研究を開始した 2006 年頃は想像もしていませんでしたが、その 5 年後には、各競技会で優勝できる水準に達していました。優勝に導いた当時の学生は、「このロボットは機械も電気も、ほぼ全て自分一人で製作しました」とプレゼンにおいて堂々と語り、当該学生の 6 年間の教育に関わった、市大の教職員に対する評価も良くなったと思っています。

2. 魚ロボット

水中ロボットの競技会で 2 度優勝した小型魚ロボット FOCUS について紹介いたします。図 1 が FOCUS です。ロボット前面と下面に CMOS カメラが取り付けられており、前方にある赤色の物体に対して追従する能力、底面の模様の変化から、自分の位置を推測する能力があります。エネルギー消費が小さいので、休まず 5 時間以上泳ぎ続けることが可能です。魚ロボットは当然ながら水の中で活動しますので、万一水がロボットの内部に入ってきた場合、比重が上がって沈んでしまいます。プールの底は水圧が高いので、更に多くの水がロボット内部に入り、中にある電子基板が廃棄物に変化します。浸水しないようにするためには、水密性能を高めることができる O リングを用いるべきなのですが、材質がアクリルの外殻部にタッピングによって作った雌ネジは脆く、ネジの締め付け強さに負けてしまう問題点がありました。FOCUS では、その問題点を解決するために、ヘリサート^[1]の活用を工作技術センターの職員さんに勧めてもらいました。試してみたところ、強く締め付けても全然ネジ山が欠けなくなりました。水密問題が解決したため、比較的高価で手間の掛かる FPGA を何の躊躇もせず使用できるようになり、ロボットの智能化が大きく進展しました。

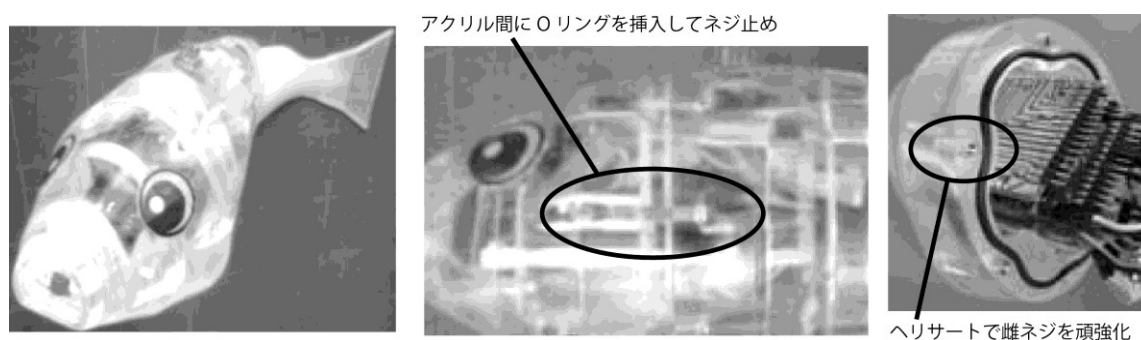


図 1 FOCUS (左:写真、中央:アクリル間をネジ接合、右:ヘリサート)

3. 社会インフラ点検用移動ロボット

3.1 橋梁検査ロボット・バイリム

2010 年 4 月に工学研究科において、「インフラ構造物の健全度診断技術と長寿命化技術の開発」プロジェクトが立ち上がりました（現在、ストックマネジメント研究センター）。2010 年 12 月 2 日の山梨県笹子トンネル事故により橋梁やトンネルなど日本国内においても社会インフラが著しく老朽化していることが浮き彫りになりました。点検の義務化は、各自治体や道路公団に著しい業務負担と費用不安を生み出し、ロボットによって安価かつ手軽に点検できる手段が求められるようになりました。そこで、2012 年 2 月にバイリム一号機、2013 年 8

月にバイリム二号機を開発しました^[2]。図 1 にバイリム二号機の構造と写真を示します。本ロボットの開発および改良に関して、檜木幹司君の修士論文にまとめられる予定です。バイリムは、永久磁石を先端に取り付けたスポーク 8 本によって構成されるリムレス車輪 4 個で、立体的な構造を有する鋼橋各箇所を自由に移動することができます。工作技術センターに工作依頼して作ってもらった部品もいくつかありますが、その詳細については文献[2]を参考にしてください。

このロボットに関連する特許出願は 3 件です。2013 年度に 3 回展示会に出展し、2013 年 12 月 17 日に大学広報室を経てプレスリリースすることにもなりました。現在は、大阪にある企業と共同研究体制を組んで、現場適用を行う一歩手前の段階です。

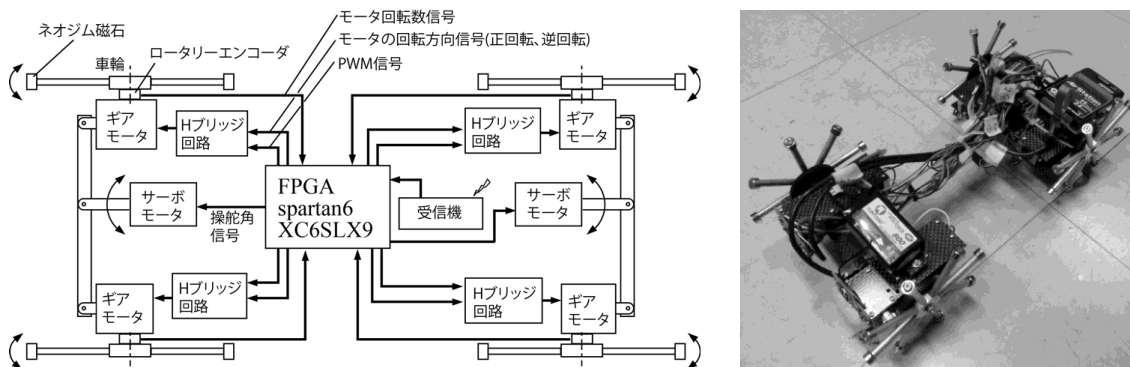


図 2 BIREM [バイリム] (左: 構造説明図、右: 写真)

3.2 鋼管外壁面移動ロボット・パグールス

老朽化しているのはトンネルや橋に限りません。工場内の各設備も痛んできています。図 3 に示すのは、鋼管外壁面移動ロボット・パグールス (PAGURUS) です。PAGURUS はラテン語で、日本語に訳すと「やどかり」になります。BIREM に構造がよく似ています。しかし、BIREM には、鋼管に吸着して移動する能力が無いのに対して、パグールスは左右の車輪の向かい角を制御できますので、鋼管に磁石が面で吸着して走行移動が可能です。本ロボットの試作と性能試験が、機械工学科 4 回生今城直人君 (本稿執筆時、大学院 修士 1 回生) の卒論テーマでした。

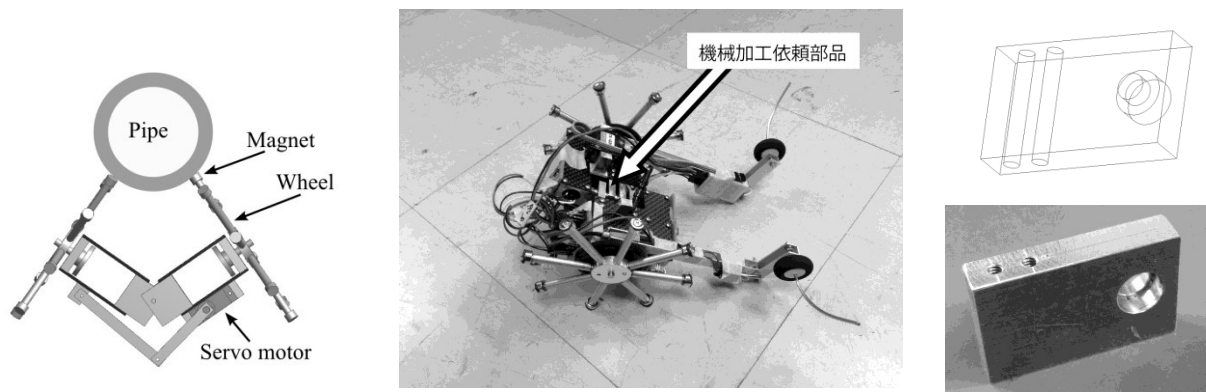


図 3 PAGURUS [パグールス] (左: 鋼管吸着時、中央: 写真、右: センターへの加工依頼部品)

学生自らがほとんどの部品を製作できますが、図 3 の一番右にある部品は、学生では加工が難しいので、工作技術センターへ製作依頼をさせて頂きました。部品の右側にある大きい穴にはベアリングが入ります。素材が丸棒の場合は、旋盤を使うことで、10 ミクロンの精度を出すことは学生にも可能ですが、元々の部材の形が直方体である場合、難易度が一気に高くなります。貫通穴であればリーマを使えば何とか精度が出るのですが、穴にはベアリングが向こう側に抜けてしまわないようにするための段があります。加工は技術職員さんの手により、NC フライス盤で行われました。精度はベアリングが丁度入る良質な部品に仕上がっていました。

このロボットは完成後、特許出願（2014-153871）や国際会議発表（ICPT2014）などの研究成果に繋がっています。現在、走行中に鋼管から落下する確率は約 5%程度であり、今後、機械機構の見直し、モデリング、制御系設計を経て、落下率の更なる低下が見込まれます。

3.3 コンクリート壁検査用移動ロボット・ホーネット

2013 年度に橋梁検査ロボット・バイリムの展示を行ったとき、数多くご指摘頂いた内容が、コンクリート橋において、磁石吸着式では使えないということでした。そこで、コンクリート橋でも使用可能なロボットについて思案した結果作り出したのが図 4 に示すホーネットです。写真のロボットは、製作途中のホーネット二号機です。

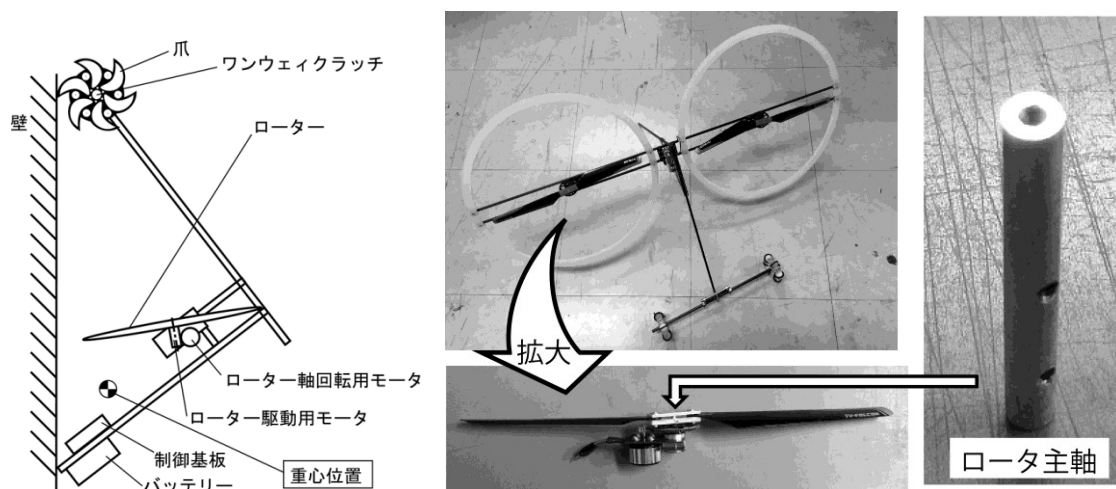


図 4 HORNET (左:壁を登るときの状態、中央:写真、右:工作センターへの加工依頼部品)

現在、社会インフラ点検用ロボットとして、無人ヘリが注目されています。その無人ヘリの欠点である (1)耐外風性、(2)操縦難易度、(3)消費電力大、(4)安全性低、以上 4 つの問題全てを軽減させる目的でホーネットを研究開発しました。図 4 左の図はホーネットを横から見た時のイラストです。壁に爪で引っ掛けつつ、ローターによって浮上力を得て、上昇します。壁に接触しながら移動しますので、空中浮遊している場合に比べて、耐外風性や操縦性が大

変優れています。また、耐外風性と操縦性に優れている関係で、安全性も自ずと高くなります。最後に残るのは(3)の消費電力に関してですが、この消費電力については、壁の状態とロボットの重心位置に依存します。壁の凹凸が激しく、爪で引っ掛かりやすい状態であれば、ロボットが静止中、ローターの回転を停止させても、壁にぶら下がった状態を保持できる可能性が有ります。上昇のときは無人ヘリと同様の電力が必要ですが、実際の検査に用いる場合は、上昇中の時間よりも静止中の時間の方が相当長くなります。また、重心位置が壁に近ければ近いほど、ロボットの重量を爪によって支える比率が高くなります。逆に壁から重心位置が遠いほど、ローターを回して浮上力を得ていなければならなくなります。ホーネット一号機において、壁が布ヤスリ（＃40）の状態として実験した結果、消費電力が 20%低減することを確認しました。壁の状態に爪が引っ掛かり易いように工夫を入れることで、消費電力は更に大きく低減するだろうと考えています。

現在、機械工学科 4 回生の都倉悠平君の手によって、ホーネット二号機が製造途中の状態にあります。なお、このロボットに関して、2 つあるローターの主軸について、工作技術センターへ製作依頼をさせて頂きました。右にその完成品の写真を示します。φ3 の棒の端面一箇所と側面 2 箇所に M1.4 の雌ネジがあります。素材は超々ジュラルミン(A7075)で、軽くて変形しにくく加工もしやすい素材ですが、高価です。この軸は各箇所で径が細くなったり太くなったりしてはならない高い精度が要求される部品です。また、側面 2 箇所のタップの下穴が細い棒の中心を貫かなければなりません。学生が旋盤とボール盤で加工できるものではなく、技術職員さんに特殊な加工方法で作製して頂きました。より簡単に作れる設計はきっと有ると思います。しかし、今のところ、その設計方法について答えが得られていません。高価な素材に加え、特殊加工を必要とする部品は量産には適しませんので、コストを抑えた設計が望まれます。

4. おわりに

以前は、『設計したら次は加工だ』と、そう思っていました。最近、『設計したかったらまずは加工だ』が正しいような気がしています。ものづくりを得意とする学生は、作ろうとするものの機構・構造をすぐに明確化し、設計製作に取り掛かるまでの時間が短いのに対して、ものづくり未経験の学生は、完成品のイメージが浮かばず、どのように加工すれば作れるのかも全然想像できず、結局、設計図を描く勇気が持てず、そこで低迷しているように思えます。設計のみをして外注に頼りすぎて、ものづくりが出来なくなった大学も散見されるようになった昨今、そのような大学の卒業生を差し置いてでも、ものづくりの経験を通じて得た実践的知識を持つ本学の卒業生が、企業でリーダーを務める未来を想像します。

作りたいものを作りたいときに作ることが出来る場所があるということは、ここ大阪市立大学の強みの一つです。また、研究室の学生誰もが、決して拒まれることなく、自由にボール盤や旋盤、フライス盤を用いて加工できること、いつでも気楽に相談に乗って下さる技術職員さんがおられることは、我々、大阪市大の教員にとっても、また、学生にとっても極めて大きなアドバンテージになっています。

参考文献

- [1] 佐藤高之, ヘリサートについて, *Fabrica*, No.24, pp.41-44, (2012).
- [2] 檜木幹司, 橋梁検査ロボットの開発, *Fabrica*, No.25, pp.34-35, (2013)

利用者からの報告

ガラス細工体験講習は楽しい！

寺西 章江（てらにし あきえ）

所属：大学運営本部 研究支援課

専門分野：通訳案内士(英語)、キャリアコンサルタント

趣味：書道、まち歩き、料理



ポオーッと目の前で火柱が上がった。ガスバーナーを扱うなど、遙か昔の高校時代以来か。むき出しの炎が、すぐ目の前にある。少し怖い。ガラス細工体験講習に参加したことを、少し後悔していた。ガラス器が好きなこと、また、工作技術センターが研究支援課の一部門であることから、以前から受けたかった講習会に同僚が申し込んでくれ、今まさにマドラーを作ろうとしている。

バーナーでガラス素材を熱してから、火から離してピンセットで成形する、言葉にするとそんな簡単なことが、なかなか出来ない。ピンセットでガラスを挟んだままバーナーで炙りそうになったり、逆にバーナーで折角熱したガラスをどう扱ってよいか悩んでいるうちにタイミングを逃し、また冷えてしまったり。それでも、何回かそんなことを繰り返すうち、成形のタイミングがつかめてきた。

次のステップは、希望の形に整えることなのだが、これは更に難関である。丸と思えば角、角と思えば丸になり、もどかしい。人間関係のようだ。イルカの形を作ろうと思っているのに、気付いたらスズメかハトみたいになっている。これまた、人生のようだ。とうとう、どうしようもなくなり、技術職員である講師に教えを乞う。私の手元のハトが講師に渡ると、あっという間にキュートなイルカになる。救われた。後は、イルカをハトに戻さないよう、自分の手元で慎重に加工する。他の参加者も、各々真剣に取り組まれており、適宜講師の指導を受け、作品を仕上げておられた。

最初感じた恐怖感は、どこへやら、夢中になって取り組んでいるうち、あっという間に講習時間が終了した。楽しかった。作品を大事に持って帰り、使ってみるのも嬉しい。

大阪天満宮の門前に「大阪 ガラス発祥之地」碑があるが、長崎で学んだ商人が大阪でガラスづくりを広めたおかげで、大阪は日本におけるガラス製造先駆の地と言われている。私は20年以上前に、長崎訪問時 地元の友人に誘われて吹きガラス教室に参加したことがあるが、今では大阪でもガラス教室が身近なものになっている。施設の問題もあるだろうが、大阪人がガラスに親しむ機会が更に増え、発祥の地復権につながれば良いと思う。そういった意味でも、本学の工作技術センターは大変貴重な場であると、再認識した次第である。

利用者からの報告

真空ラインの製作

樋下 万純（ひのした ますみ）

所属：理学研究科 物質分子系専攻

専門分野：物理化学（分子スピン科学）

趣味：読書、飼い猫と昼寝



物質の基本的な構成要素のひとつである電子は「電荷」と「スピン（自転）」という性質をもち、それぞれの性質から電流と磁性が発現する。磁性とは、磁場に反応して引力や斥力が生じる性質、いわば磁石の性質である。一般に磁石と言えば酸化鉄など金属の印象が強いが、我々の研究室では主に有機化合物における磁性について研究している。多くの化合物において電子スピンは対を作りその性質を打ち消し合っている一方で、ラジカルと呼ばれる不對電子をもつ化合物では、金属元素を持たずとも電子スピンの性質が顕在化してくる。電子スピン共鳴（ESR）法は、この様な不對電子の情報を得ることができる有力な測定法である。

ESR スペクトルは、強力な電磁石の中央に試料を置き、マイクロ波を入射しながら磁場を掃引することで得られる。有機溶媒に溶解させた有機ラジカルに対して ESR 測定を行う際には、図 1 の様に予想されるスペクトルよりもブロードな信号が得られることがある。この原因の一つに溶媒中の溶存酸素がある。酸素は基底状態で三重項状態（2 つの電子スピンが対を作らず同じ方向を向いた状態）であるために、試料化合物の電子スピンと磁気双極子相互作用を起こして線幅が広がってしまう。このため、試料化合物の構造を正確に反映したスペクトルを得るには脱酸素処理を行う必要がある。この酸素を除く方法として凍結脱気法が広く用いられる。試料溶液を液体窒素で凍結した状態で真空ポンプにより減圧吸引し、吸引を止めて試料を常温に戻す、という手順を繰り返すことによって試料濃度を変わらずに効率よく溶存酸素を除くことが出来る。試料はその後、減圧下で焼き切って封管する。この凍結脱気から焼き切りまでの一連の操作に、真空ラインはなくてはならない存在である。

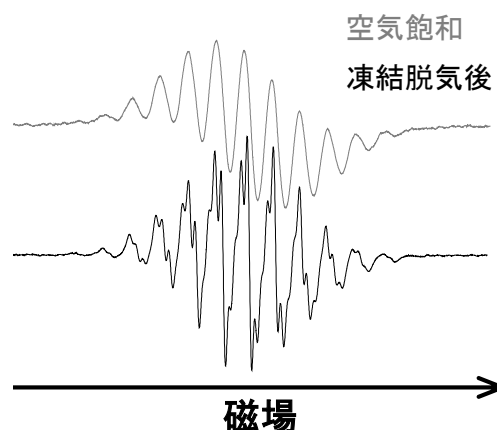


図 1 有機ラジカルの ESR スペクトルの例

昨年度末に理系新学舎の一部が完成し、研究室の引っ越しという一大イベントがあった。

ジャングルのような測定室を片づけるのは本当に骨が折れた。中でも、これまでお世話になっていた真空ラインは汚れも目立ち年期を感じる姿であった。引っ越しに際して、云十年前に学生実験で使っていたらしい真空ラインの引き取り手が募られた。コックが4つあり、油回転ポンプと油拡散ポンプが接続された中々に素晴らしいものなのだが、学生実験に用いられなくなり永らく旧学生実験室の扉近くにぼつんと展示されていたのだ(図2)。話し合いの末に当研究室で頂くことになった。積み重なった埃は5人がかりで必死に取り除いた。ガラスの欠損は素人の手に負える状態ではなく、工作技術センターへ修理・改良をお願いした。これは大変な仕事になることは予想されたが、センターの方々は快く引き受けてくださった。



図2 修理前の真空ライン

しばらくして真空ラインの製作が完了したと聞き、さっそく引き取りにいった。外枠も新しく組んでもらったので、機械工作部門の方々にもお世話になった。全体で高さは2 m 近く、幅も1 m ある大物なので、ガラス工作部門室から理学部棟まで運んでくるのも一苦勞であった。新しい真空ラインは、試料取り付け部をポンプ側から取り外せるようになっていて、万一試料を飛ばしてガラスの中を汚してしまっても洗いやすくなった。ピラニー真空計も付けて頂いたので、今まで音だけで判断していた真空度も数値として出るようになり、真空漏れなどの異常がすぐ分かるようになったのも



図3 ESR チューブ
封管の風景

いい点である。この真空ラインを用いて凍結脱気した試料を用いて、時間分解 ESR 測定を何度か行っている。時間分解 ESR 測定では、通常の ESR 測定では観測が困難な光励起状態などの短寿命成分の ESR 信号を観測できる。試料を液体ヘリウム温度まで冷却することが多いことも関連して、これまた酸素を除くことが非常に重要である。今後もこの真空ラインをどんどん活用し、よいデータを出せるよう尽力していくつもりである。

真空ラインを修理・改修して頂いた工作技術センターの皆さん、本当にありがとうございました。真空ライン以外にも日々様々な面でお世話になっており、感謝してもしきれません。今後ともよろしくお願い致します。

利用者からの報告

GFRP 内部における

非破壊マイクロひずみ解析

片倉 由美子（かたくら ゆみこ）



所属：工学研究科 機械物理系専攻

専門分野：複合材料工学

趣味：打楽器、吹奏楽、木工

繊維強化プラスチック(Fiber Reinforced Plastic; FRP)は炭素繊維やガラス繊維などに樹脂を含浸させた複合材料である。FRP は金属材料に比べて軽量かつ高強度であることから、スポーツ用品、航空機、エネルギープラントなど広い分野での利用が進んでいる。FRP は一様材料ではないため内部における亀裂発生のメカニズム、ひずみ分布などについて不明な点が多く、研究・開発のため内部のマイクロスケールでの力学挙動を解析する手法が求められている。

私達の研究グループでは OCT 断層画像にデジタル相互相関法などを用いてひずみ分布を算出する OCSA(Optical Coherence Straingraphy)を開発してきた。OCT は低コヒーレンス光である近赤外広帯域光を利用して計測対象の深さ方向の屈折率の変化を後方散乱強度分布として可視化するシステムである。OCT は $5\mu\text{m}$ 程度の高空間分解能を有し、対象の断層画像をビデオレートで取得できることから、FRP の荷重応答を断層可視化することが可能である。OCSA は変形前後の 2 枚の OCT 連続画像にデジタル相互相関法などを適用することで、マイクロスケールにて計測対象内部の変形ベクトル及びひずみの断層分布を算出する。現在、本研究ではガラス繊維強化プラスチック(Glass Fiber Reinforced Plastic; GFRP)の三点曲げ試験時の断層画像を OCT で取得し OCSA でひずみ分布を算出することを目標としており、そのために工作技術センターで三点曲げの治具を作製した。

治具を試験機に取り付けた様子を図 1 に示す。作製した治具は支点間距離を 50~140mm の範囲で調節することができ、支点径は下の二点が R2, 上の一点が R5 である。治具の作製にあたっては、JIS 規格を参考に支点の幅の可動域および支点の径を決定した。支点の R 加工は困難なので丸棒を用いた。材質は支点のみ酸化による表面粗さの変化を防ぐためステンレスを用い、その他の部品は加工性を重視して鉄で作製した。

OCT で取得した GFRP 断層画像を図 2 に示す。画像は縦×横が $2.0\text{mm} \times 2.6\text{mm}$ である。画像下から 1/6 附近の高輝度線が GFRP 表面, その下にある上に凸の曲線が圧子を示している。

GFRP には平織のガラス繊維を用いており、面内方向と面外方向に繊維が走っていることが確認できる。画像は圧子とは GFRP を挟んで反対側からビームを入射して撮影しているため、撮影範囲に到達するまでにビーム強度が落ち、全体的にぼやけた画像になっている。今後繊維のプライ数を減らすなどして鮮明な画像を取れるよう工夫する必要がある。また樹脂部分は屈折率が変化しないため後方散乱光強度が弱く、OCSA を用いても正しいひずみを算出することはできなかった。そのため現在マーカーとして樹脂にフィラーを混ぜることを検討している。

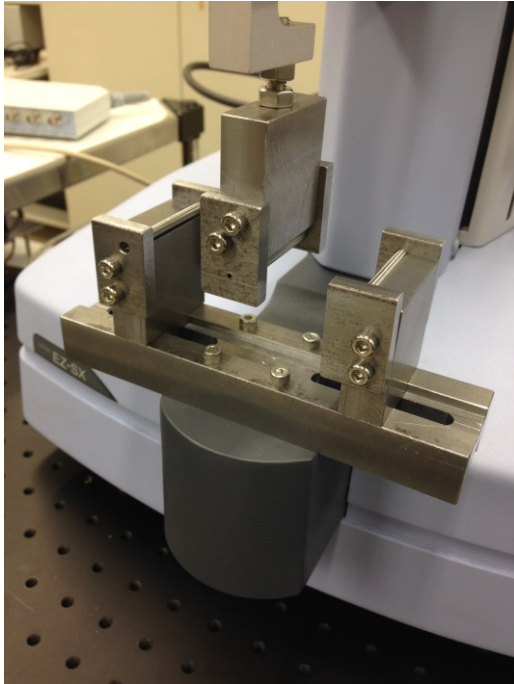


図 1. 三点曲げ治具を試験機に取り付けた様子

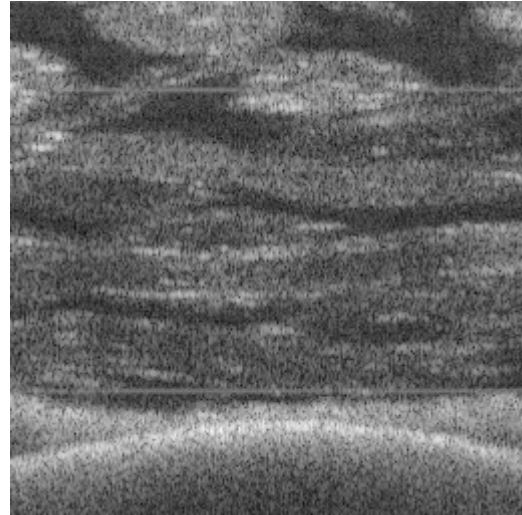


図 2. GFRP の OCT 画像

利用者からの報告

スリット式防波堤を利用した

波力発電システムの開発

刀根 健太郎 （とね けんたろう）

所属：工学研究科 機械物理専攻

専門分野：流体工学

趣味：ポールダンス



私の研究では、海に無尽蔵に存在する“波エネルギー”を“電気”に変換する「波力発電システム」を開発しています。中でも我々が提案するシステムは、スリット式防波堤を利用したもので、改築に際して普及しつつある新様式防波堤です（図 1）。

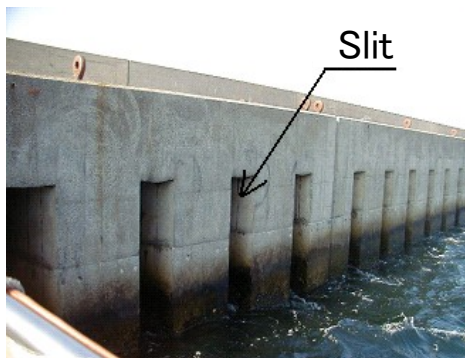


図 1 大阪湾南港にある縦スリット式防波堤

そもそも島国である日本は、海岸の総延長が 29,751km で世界第 6 位、国土面積あたりではフィリピン・ギリシャに次いで第 3 位であることから、世界有数の海洋国と言えます。そのため、日本では古くから波力発電の研究が進められており、基礎研究の分野では世界をけん引した経歴もあります。しかし、漁業や海運業を優先する国内事情から、現在では欧米に先行されている次第です。現在も国内事情は大きく変わらず、船舶の航行安全・漁場確保の観点から海上に構造物を設置することが厳しく制限されています。そのため、我々は法律をクリアする波力発電システムとして、既存のスリット式防波堤を利用する方式に着目しました。中でも、我々は屈曲板式の発電方法を考えており、実機の 1/12 スケール模型では優秀な発電能力を示しています（図 2）。作動原理は防波堤内に張られた布が水流を受け止め、布から伸びるワイヤーが上部の輪軸を回転させることで、発電機を回す仕組みになっています。回転数は見込めないものの、高トルクを生み出す機構として期待されています。

この結果を踏まえて、実用化に向けたさらなる実験を行う必要がありました。そこで、共

同研究者である同校工学部都市学科河海工学研究室の 50m 水槽をお借りし、約 1/5 スケールの防波堤模型を自作する必要がありました。

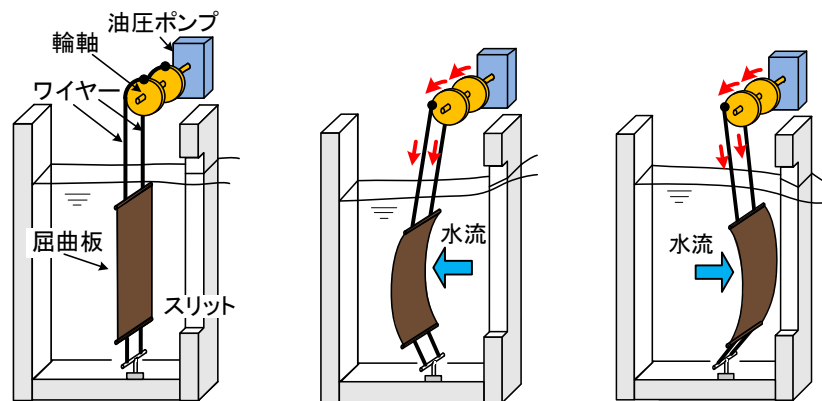


図 2 屈曲板式発電の仕組み

この状況下で、工作技術センターの方々には何度もアドバイスとサポートをしていただきました。具体的には、安全率を 3 にして材料の強度計算を行ったものの、経験的に適切な計算であるのか、製図しても自ら工作を行うため容易かつ短時間に加工できる構造なのか、追加加工にも対応しうる自由度の高い工作なのか、などです。結果として、総重量約 1t—縦 1.4 m×横 2.5m×奥行 1m の防波堤を作成することができ、現在も順調に起動しています(図 3)。本防波堤の製作を通じて“モノ作りの難しさ”を知るとともに、“楽しさ”も知ることができました。今後、エンジニアとして社会に出る前に、非常に有意義な経験を積むことができました。

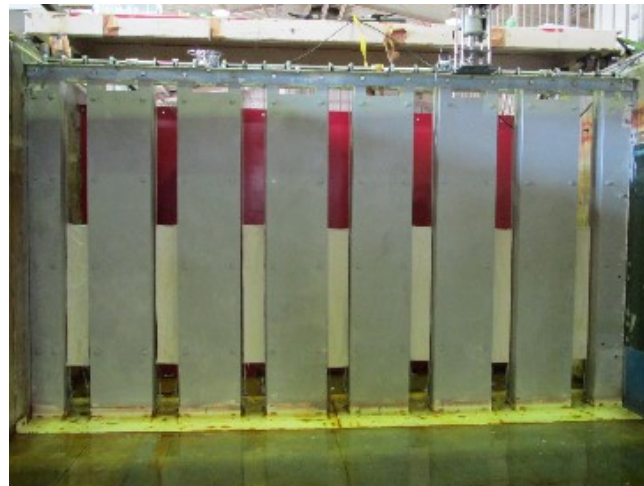


図 3 作成した縦スリット式防波堤

最後になりましたが、親切なご指導をいただきましてありがとうございました。研究の都合上、今後も大規模な工作が必要かと思いますが、後輩をよろしくお願いいたします。

利用者からの報告

スチールブリッジコンペティション への参加と模型橋梁の製作

有山 大地（ありやま だいち）

所属：工学研究科 都市系専攻

専門分野：橋梁工学研究室

趣味：野球



8月30日、31日の2日間、大阪市立大学にて開催された第5回スチールブリッジコンペティション（<http://bricom.jp/>）に参加しました。コンペティションでは、溶接またはボルト接合により製作された鋼部材を持ちより、いかに早く長さ4mの橋梁模型を架設できるか、橋梁上に錘を載せた台車（総重量150kgf）をいかに安全に通行させるか、かつ構造・デザイン面でも美しいかを競います。

橋梁模型完成までの流れは、まずはいろんな案を持ち寄り橋の構造形式を決めた上で、部材の断面寸法を、数値シミュレーションを行い設計しました。次に、図面を製作し、鋼材を発注、切断、孔開け溶接等を行い橋梁模型の部材を製作しました。製作した部材を組み立て、図面通りに橋梁が組み上がるかを確認し、本番に臨みました。

部材の製作においては多くの問題が生じ、苦労しました。たとえば、図面通りに鋼材を切断、孔開けをしたつもりでも、小さな製作誤差が積み重なり、実際に模型を組み立てると橋長が足りない、孔位置が合わず部材同士が接合できないといったことが生じ、設計を変更し部材を作り直すなどです。このような手戻りにより、全体的に工程が遅れ、架設練習のための時間を削ることになりました。この経験から、工程通りに作業を進めることの重要性をあらためて認識させられました。

大会当日の状況と結果について紹介します。大会には日本全国から19大学20チーム（約200名）が参加しました（図-1）。各チームの橋梁形式はアーチやトラスなど様々であり、構造ディテールや架設方法等に工夫が見られました。図-2に架設競技の様子を示します。私たちは6人1チームで計2チームが参加し、1チームが美観部門で1位を頂きました（図-3）。

最後に、鋼材の加工は、工作技術センターの設備を利用させていただきました。また、技術職員の方々には、装置の使い方から部材の加工に関する注意点まで、数々の御指導および御助言を頂きました。厚くお礼申し上げます。



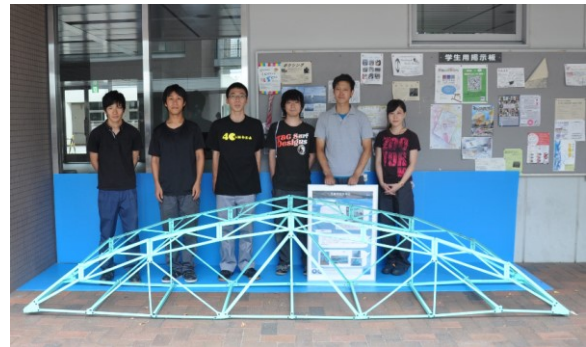
図-1 全体写真



図-2 架設競技の様子



(a) 大阪市立大学 A



(b) 大阪市立大学 B

図-3 橋梁模型と集合写真

利用者からの報告

気液界面診断装置

田代 龍太郎 (たしろ りゅうたろう)

所属：工学研究科 電子情報系専攻

専門分野：プラズマ工学 (水中プラズマ)

趣味：音楽鑑賞、ラグビー



我々の研究室では、主に液体が関与するプラズマの研究を行っています。我々は、水中に発生させた無数の気泡内にプラズマを発生させる装置を用いて、溶液中の有害物質を効率良く分解することに成功しました。その装置の概略図を図 1 に示します。水中プラズマを用いた有害物質の処理には、プラズマと水の相互作用によって生成される OH ラジカルが寄与していると言われています。そこで、OH ラジカル挙動を分析するため、図 1 の装置で発生させたプラズマの発光の時間分解分光計測を行いました。その結果、OH ラジカル発光の特異性があることが分かりました。図 1 の装置の中には無数の気泡が存在するので、気泡の一つを取り囲む環境を模擬した実験系を今回作製しました。一つの気液界面が存在できるシンプルな実験系です。その装置の写真と概略図を図 2 に示します。この装置の特徴は、上部電極の位置を変えることができるため液相と気相の長さを変化させることができることです。もうひとつの特徴は、上部と下部のガラス板に、気体と液体を循環させるための穴があることです。この図 2 の装置で発生させたプラズマの時間分解分光計測を行うことで、図 1 の装置で観測された特異な OH ラジカル発光の要因を調べています。

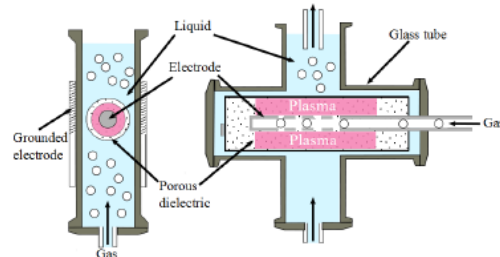


図 1 水中プラズマ発生装置

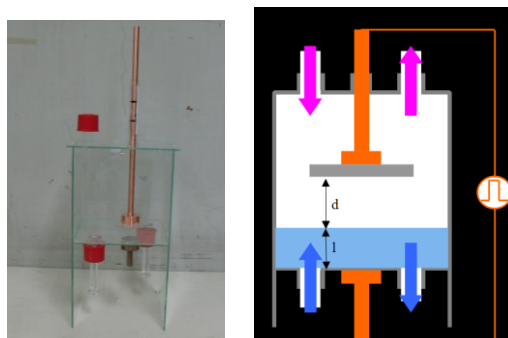


図 2 今回作製したリアクターの写真と概略図

測定器の使い方と注意点

須賀 辰美 (すが たつみ)



所属：研究支援課

担当：工作技術センター 機械工作部門

趣味：オートバイ（'99 年式ヤマハ XJR1300 所有）

ワインディングを走る事、写真

連絡先：g-suga@eng.osaka-cu.ac.jp

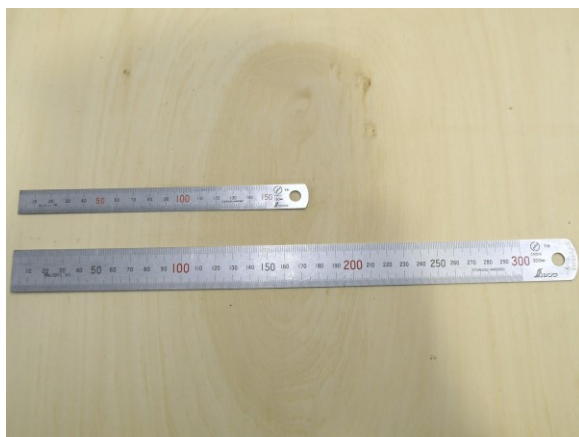
はじめに

機械工作する上で工作機械の加工精度の高さが重要な事は一般的にも周知されていますが、では、本当に狙った精度に加工できているのかを知るには同じく高精度に作られた測定器が必要であります。しかし工作技術センター機械では存在に扱われているケースを目にします。なので代表的な幾つかの測定器の取り扱い方を記します。

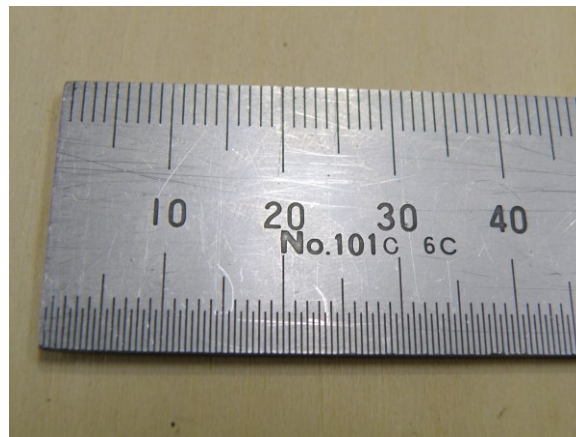
また、これらは理工系の分野だけでなく事務職でも役立てられると思いますので併せて御紹介します。

1、直尺（スケール）

いわゆる「物差し」「定規」ですが機械工作の分野では「直尺」または「スケール」と呼びます。文房具の定規との違いはステンレス鋼で出来ており、目盛りは上下に 1mm、0.5mm 単位で刻まれていて慣れてくれば、おおよそであれば 0.1 mm 単位で読めるようになります。ラインナップも 150mm、300mm、600mm、1000mm と豊富です。



スケール（上 150 mm、下 300 mm）



スケール目盛り（上 1mm、下 0.5 mm）

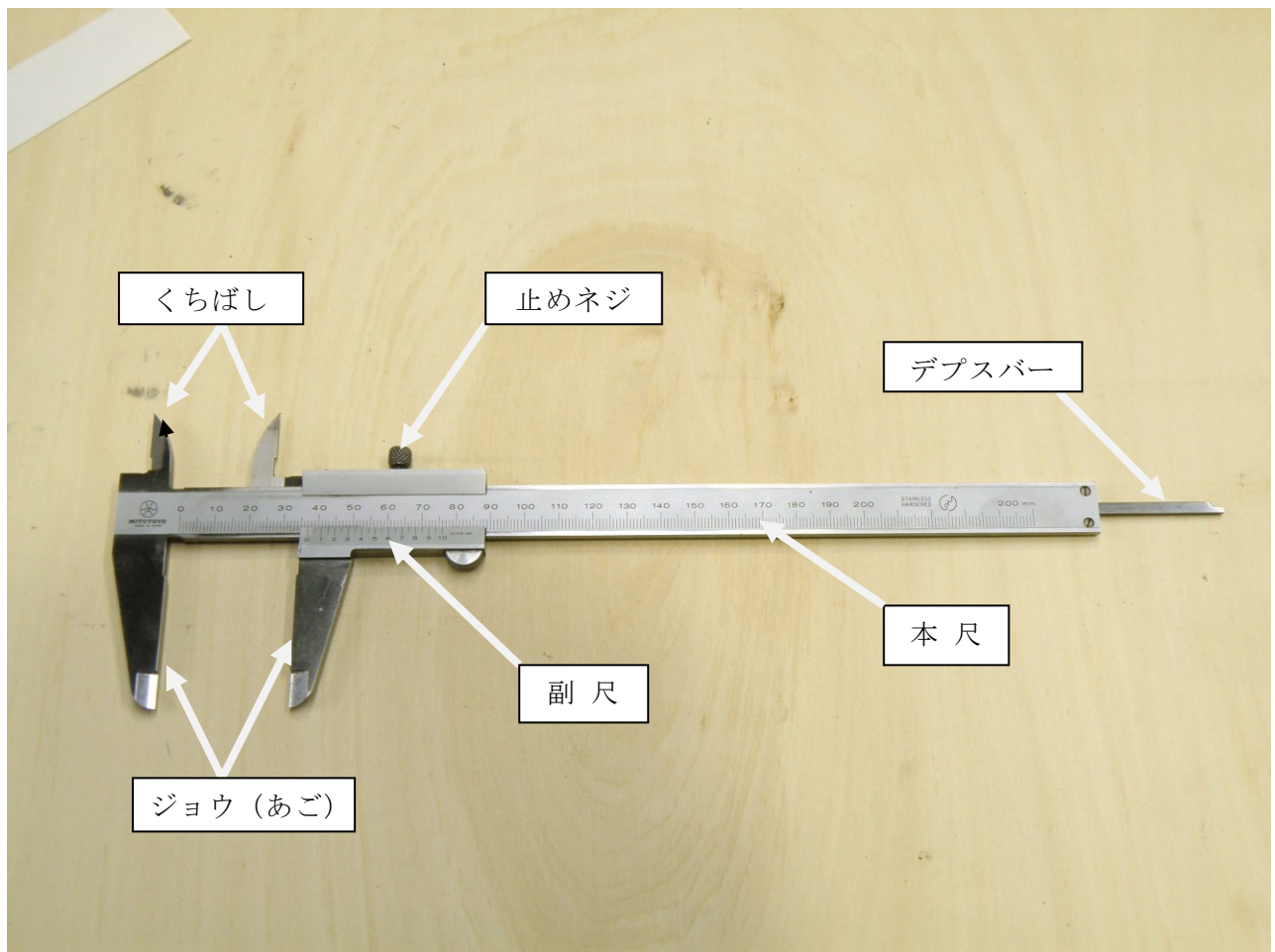
2、ノギス（バーニヤ キャリパー）

私の経験上、機械工作で一番使用頻度が高い測定器といえばノギスです。

昔、学校の先生から「ドイツ人のノニウスさんが発明して、そこからノギスになった」と聞いた事があり、後に更に詳しく知りたいと思い色々と調べたり、測定器を製造している会社の方にも訊ねたりもしましたが、どなたも「知らない」という回答で詳しい情報が得られません。（どなたか御存知でしたら上記連絡先にお問い合わせ致します。）

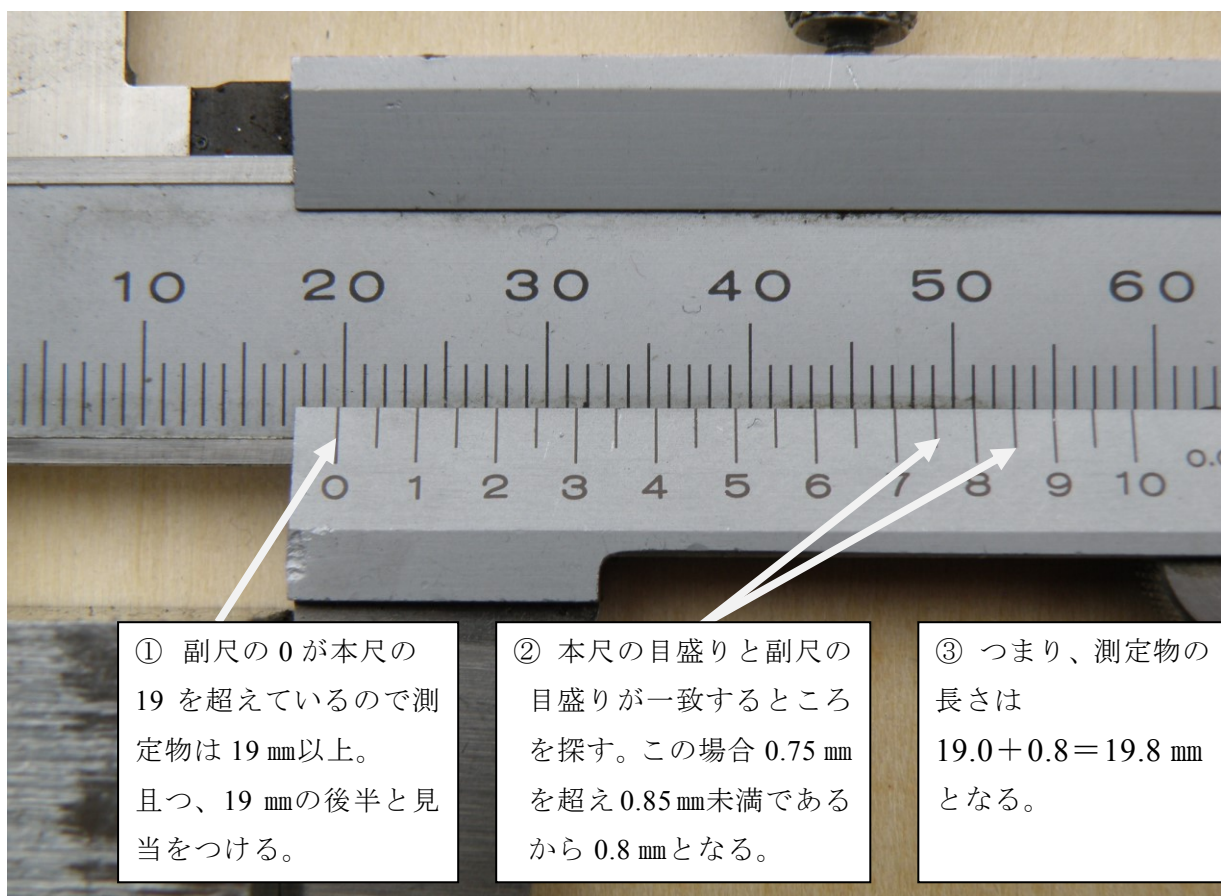
原理

ノギスは本尺 1 目盛りを 1 mm とし、副尺は本尺の 19 mm を 20 等分したもので、1 目盛りの最小の読みは $1/20 \text{ mm} = 0.05 \text{ mm}$ となる。一般的に、副尺は本尺の $(n - 1)$ を n 等分して作られています。

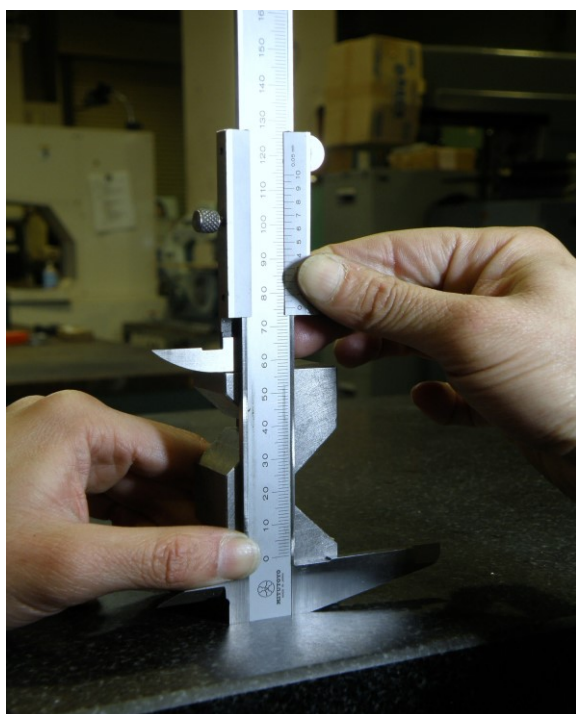


M 形 ノギスの基本構成

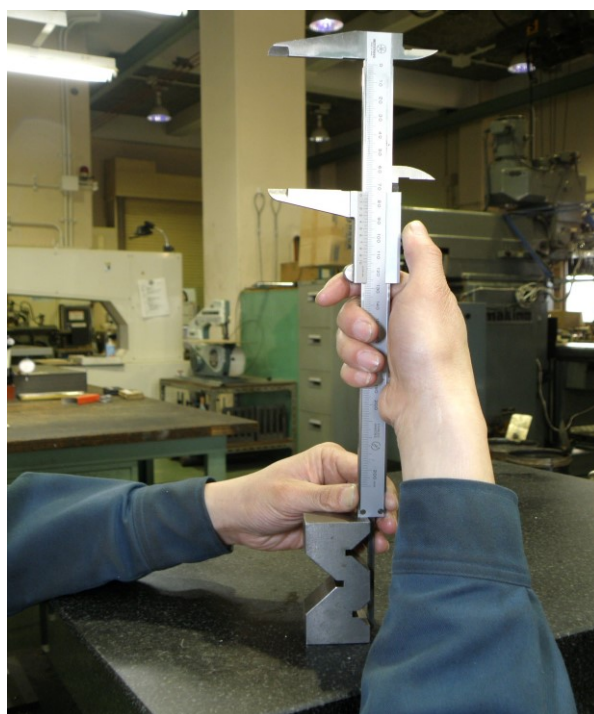
長さ及び直径（外径）の測定



高さ、深さの測定



本尺端部、副尺端部を使った高さ測定



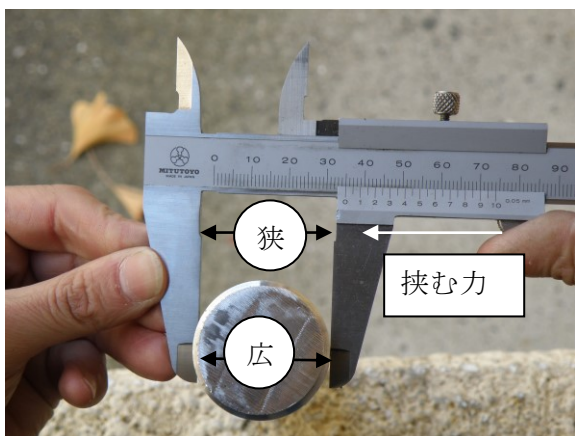
デプスバーを使った深さ測定

内径の測定



クチバシで内径を測る

ノギスを使用する際、注意すべき点と禁止事項



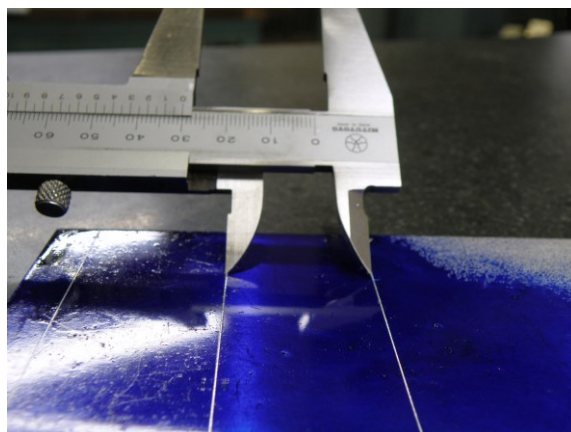
誤：読み取り部が狭くなり測定誤差となる



正：測定誤差が生じにくい



測定物に対してノギスは直角に当てる



クチバシで平行線や円を描かない



クチバシを他の道具として流用しない



落下にさせない

先の写真ではカメラのスーパーマクロを使用していて目盛りが見易いですが、実際は非常に細かく特にシニア世代には苦勞します。そんな御貴兄には「デジタルノギス」測定値の直読みで煩わしさは皆無です。



M 形デジタルノギス 150 mm

3、マイクロメータ

ノギスより精密に測定したい場合に使用します。

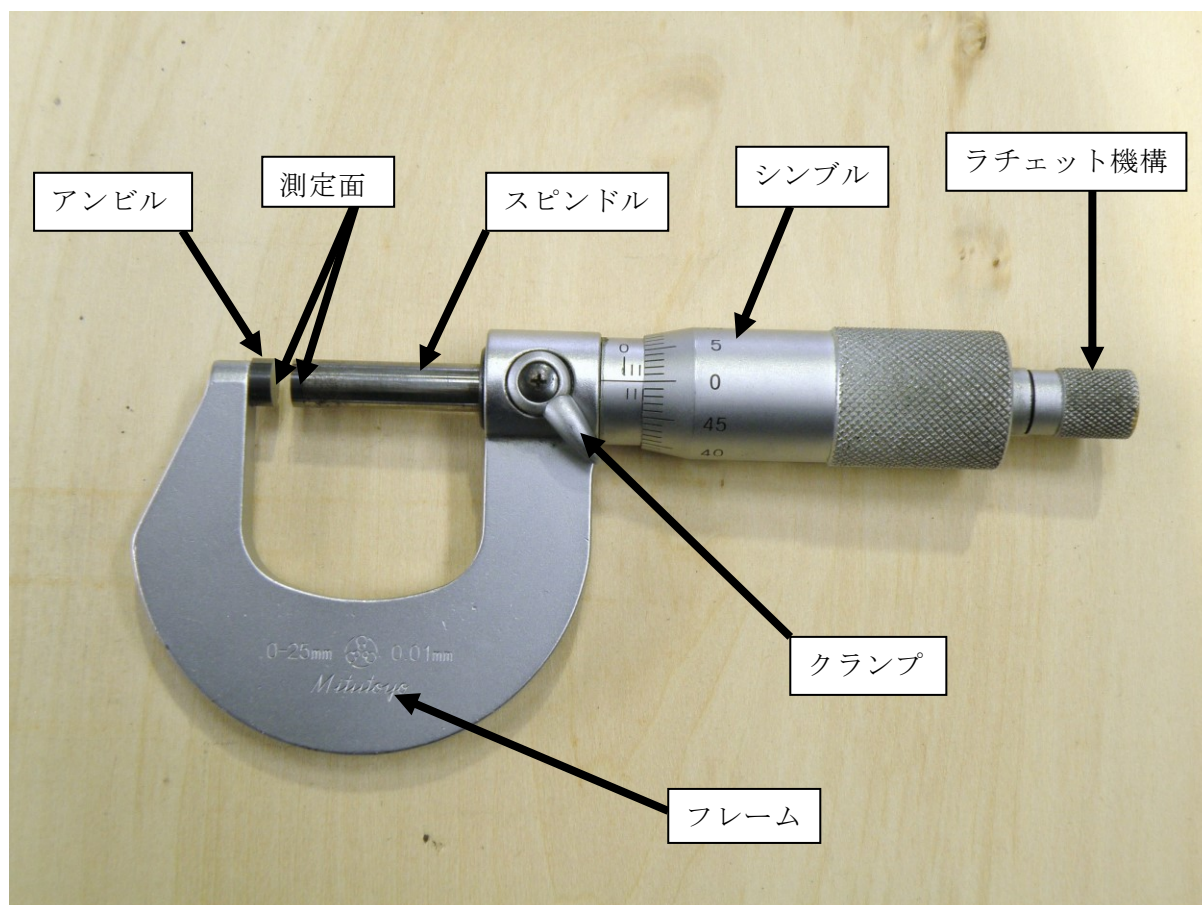
ノギスでは最小読み単位が $50\mu\text{m}$ (μm ：マイクロメートルと読み $1\mu\text{m}$ は $1/1000\text{mm}$ つまり 0.001mm です。) デジタルノギスでは $10\mu\text{m}$ が表示されますが、いずれにしても正確な測定値を出すには先に示した様に測定者の鍊度に左右されます。ですがマイクロメータの場合はラチェット機構により一定トルク以上が掛かると空転し、それ以上は測定子に押す力が加わらず誰が測定しても誤差が生じにくいのが特徴です。工作技術センターでは最小読み取り値が $1/100\text{mm}$ の物を使用していますが、これもスケールの読み同様に慣れてくると目盛りと目盛りの間を読み、おおよそ 0.002mm 単位で読み取れる様になってきます。

もっともこちらも「デジタルマイクロメータ」があり、 0.001mm まで表示されます。

原理

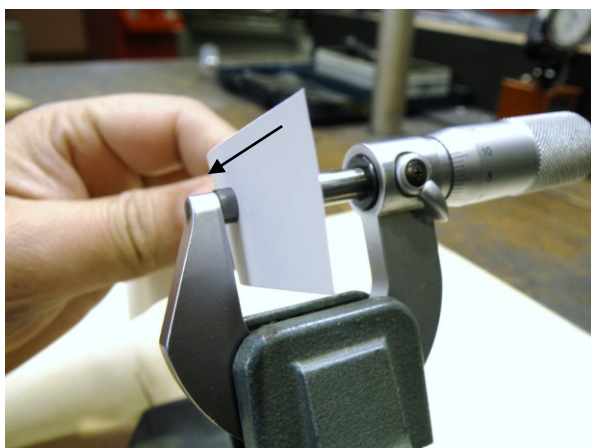
マイクロメータはネジの送り量が回転角に比例する事を応用したもので、ネジのピッチ（ネジの山と山の間隔）は 0.5mm でシンプルには 1 回転を 50 等分してあるので 1 目盛りは $0.5 \times 1/50$ なので 0.01mm となります。

平たく言えば、ネジの付いた筒を 1 周させると 0.5mm 進むので、筒の外周を 50 等分した刻みを 1 目盛り回せば 0.01mm 進んだという事になります。



外測マイクロメータの基本構成

使用前点検



測定面に紙を挟み引き抜き清掃する



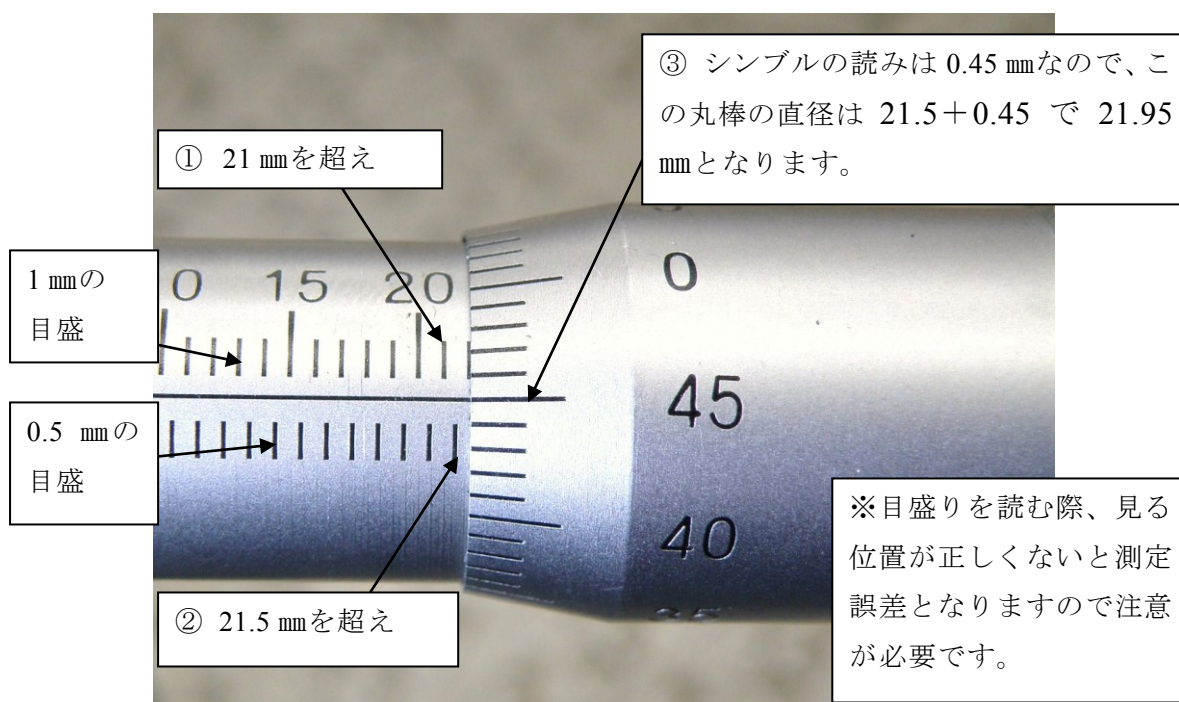
0 点の確認



早送りする時はシンブルを回して



ラチェットを回して測定物に静かに当てる





測定部の水気が飛びやすい様に 1～2 mm 開ける

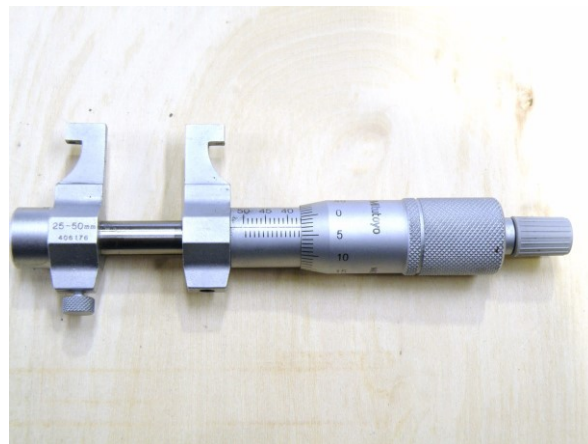


専用のケースに戻して保管

内測用もあります。



測定範囲 0～25



測定範囲 25～50



デジタルマイクロメータ

測定器の温度慣らし

子供の頃、真夏の気温の高い日に公園の鉄棒に触れて熱さのあまり手を引いたという経験は誰しもあるかと思いますが、この時、鉄棒は熱くなっただけでは無く僅かに伸びています。更に社会的な問題になるとニュース映像で御覧になられた方もおられると思いますが鉄道のレールが伸びてしまいレールが蛇の様にうねり電車が走れなくなる事態となります。対策としてレール間には隙間が設けてあるのですが、想定範囲を超えるとレールが押し合う形になり、前述した事態となります。

この伸び量を知るには機械用語では「線膨張係数」で表します。鉄系材料の線膨張係数は約 11×10^{-6} で長さ 1m の鉄材の温度が 1℃ 変化する $11 \mu\text{m}$ (0.011mm) 伸縮します。これは測定器にも起こる事で測定器の標準温度状態は 20℃ と J I S (日本工業規格) で定めています。つまり、「温度慣らし」とは測定器を使用する場所の温度に馴染ませるという事です。

精度管理にうるさい加工現場では人間の体温が伝わり測定誤差を生じさせない為に測定器に包帯などを巻いて対策しているようです。

執筆後記

今回は測定器に関して書かせて頂きましたが、測定器はこれだけに留まりません。ダイヤルゲージ、テコ式ダイヤルゲージ、ハイトゲージ、ブロックゲージ・・・etc
機械工作の現場は油まみれで汚いし、臭いしで大切に扱うものは無い雰囲気があるかもしれませんが、然にらず。加工の終えた工作物も含め、これほど物の取り扱いに神経を使う職業も多くないのではないかと思います。

測定器に限りませんが、物は扱い方しだいで新品時の性能を維持し、また寿命も違ってきます。測定器は高価な物も多いですから是非、大切に扱って頂けたらと思います。説明が不十分で分からない部分もあるかと存じますが、僅かでも参考になれば幸いです。駄文にこれまでお付き合い頂き御礼申し上げます。

参考書籍

測定のテクニック 第 9 版 / 大河出版

資 料

工作技術センター利用状況

(2014年1月～2014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	研究支援課	学 情	合 計
機 械 工 作	83	246	6	0	1	1	3	340
ガラス工作	267	124	2	5	7	1	0	406

【設備機械・器具の利用件数】

	理学部	工学部	生活科学部	学生支援課	複合先端	その他	合 計
機 械 工 作	132	1411	1	1	32	5	1582
ガラス工 作	42	64	0	5	3	0	114

【物品請求件数】

	理学部	工学部	生活科学部	学生支援課	複合先端	その他	合 計
機 械 工 作	224	942	3	3	0	0	1172
ガラス工 作	15	6	0	0	0	0	21

【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	197	0	6	203

【講習会等受講者数】

	理学部	工学部	生活科学部	医学部 (看護含)	複合先端	文系	教職員	合 計
機械工作	17	100	2	0	0	0	0	119
ガラス工作	44	28	36	4	4	9	15	140

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

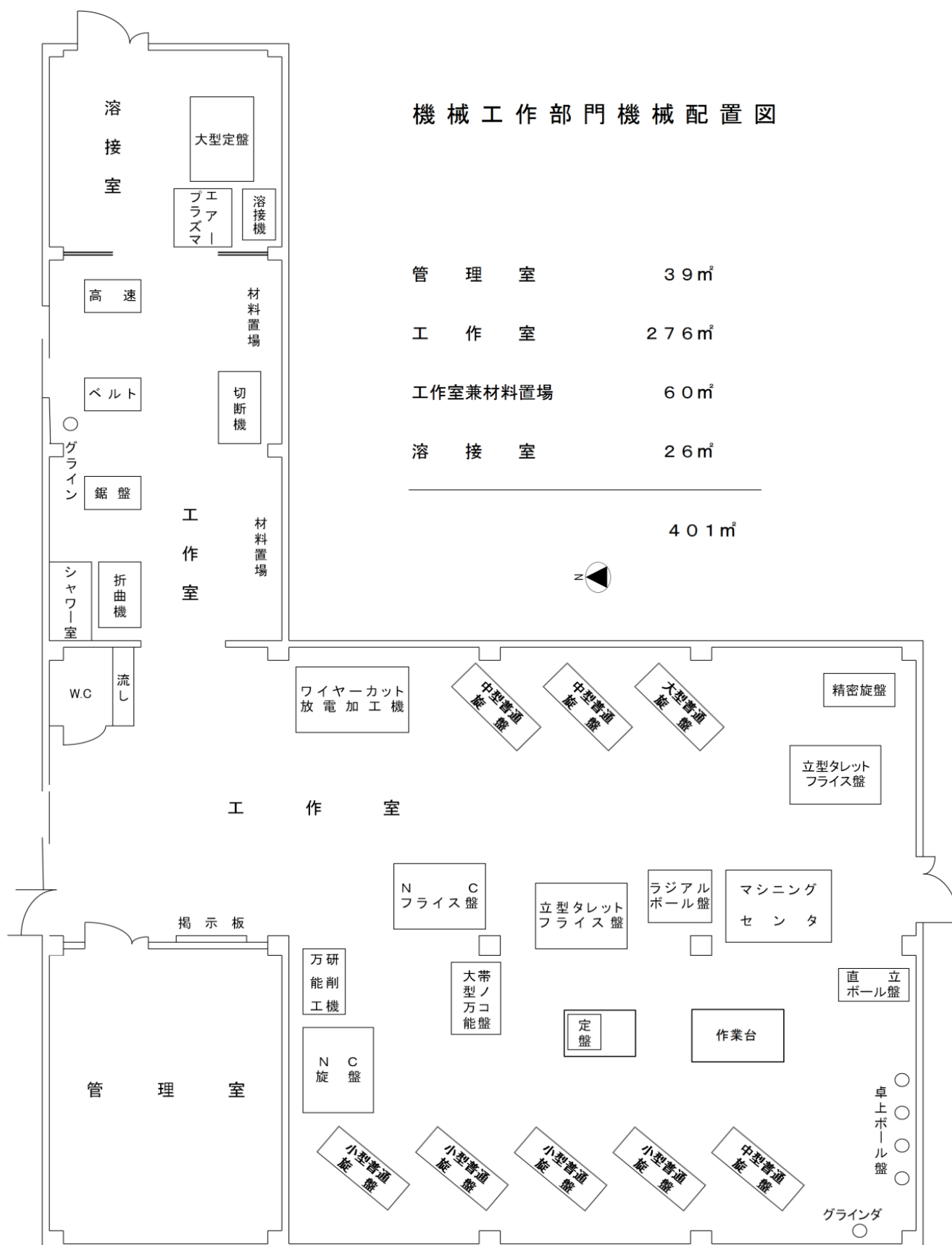
機 種 名	性 能	数 量	用 途
高速切断機 (高速カッター)	最大切断寸法 115m/m 砥石寸法 405m/m	1	パイプ及び 角・丸棒の切断
切断機 (シャ ーリング)	剪断能力 4.5m/m 最大切断巾 1220m/m	1	薄板の切断
折曲機	折曲げ能力 (手動) 1.6×2000m/m	1	薄板の折曲げ
万能工具 研削機	テーブルの振り 250m/m 両センター間の距離 740m/m 砥石軸頭の前後送り 250m/m 砥石軸頭の上下送り 250m/m テーブル移動距離 500m/m	1	工具及び小物の研削
卓上ドリル 研削機	研削能力 3～13m/m	1	ドリル刃の研削
ベルト研削機	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 1.2m/m 最大切断巾 600m/m	1	薄板の切断
エアーコンプ レッサ	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
ダイヤモンド 穴あけ機	主軸回転数 460～2800rpm (4 段) 穴あけ可能寸法 5～40m/m	1	ガラス, セラミック等の穴あけ
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
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 回転数 0～30rpm	1	長尺物の切断, フランジの研削, O リング溝の加工
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 500m/m 回転数 100rpm	1	ガラスの平面研削
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
小型電気炉	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
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

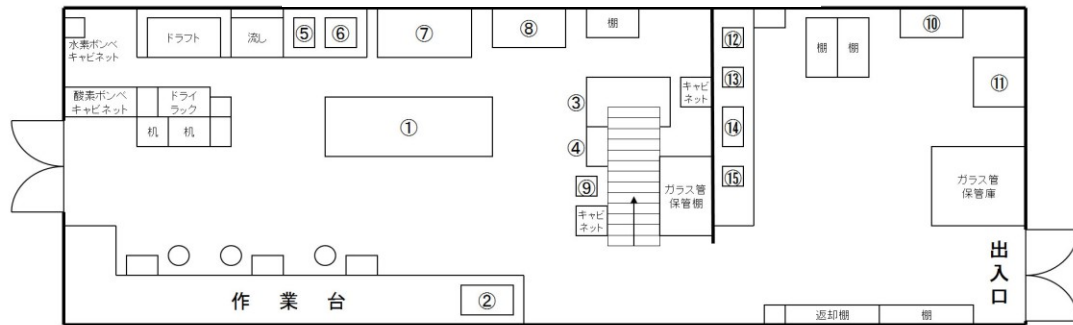
機 種 名	性 能	数 量	用 途
卓上 複合工作機	旋盤：ベッドの振り 150m/m 心間最大距離 250m/m 主軸回転数 100~2000rpm 縦フライス：最大エンドミル径 10m/m ボール盤：穴あけ能力 1~10m/m	1	ガラス加工具の加工 (金属, カーボン等)
歪検査機	JIS 直接法, JIS 比較法, 円偏光法, 直接偏光法, 歪標準器法による検査可能	1	ガラスの加工歪の検査, 測定
純粹製造器	採水能力 1.5liter/hour 加熱防止機構, 採水水位自動停止機構付	1	ガラスの化学メッキ 洗浄等
スポット 溶接機	最大出力 2~200W-S 電極加圧力 9.8~130N	1	金属の薄板の溶接 (3m/m 以下)

資 料

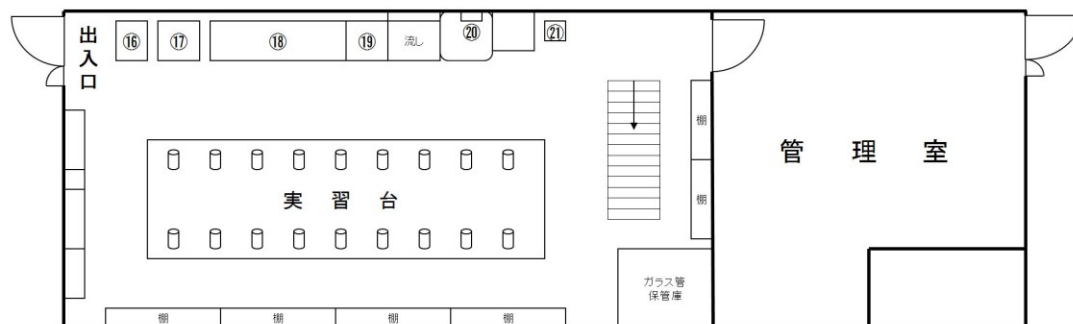


資料

ガラス工作部門機器配置図



1 階



2階

- | | |
|--------------|-----------|
| ①大型ガラス旋盤 | ⑫卓上グラインダ |
| ②小型ガラス旋盤 | ⑬小型バンドソー |
| ③大型電気炉 | ⑭小型複合工作機 |
| ④小型電気炉 | ⑮卓上ボール盤 |
| ⑤ダイヤモンドカッター | ⑯スポット溶接機 |
| ⑥ダイヤモンドバンドソー | ⑰ラップ盤(磨き) |
| ⑦ガラス平面研削盤 | ⑱アニーリング炉 |
| ⑧ガラス回転研削盤 | ⑲真空ライン |
| ⑨歪検査機 | ⑳蒸留水製造器 |
| ⑩超音波加工機 | ㉑万能小型切断機 |
| ⑪ダイヤモンドドリル | |

資 料

報 告

運営委員会議事録

日時：平成26年3月31日（金）（工学部A棟2階 部長室）
報 告

1) 運営委員の任期満了に伴う次期委員（26年度）について

- ・工学部の任期満了に伴う次期委員について、佐藤 嘉洋 先生が引き続き選ばれました。
また、辻岡 哲夫 先生から五十嵐 幸一 先生（バイオ工学に交代しました。
- ・理学部の任期満了に伴う次期委員について、石川 修六 先生が引き続き選ばれました。
また、鈴木 修一 先生から伊藤 亮孝（あきたか） 先生（化学科）に交代しました。
- ・生活科学部は西岡 基夫 先生 から渡部 嗣道 先生 (居住環境学)に交代しました。
- ・山田 雅巳 先生（医学部）はもう1年任期があります。

2) 利用者委員会からの報告

- ・「Fabrica」25号の発刊について
「Fabrica」25号は平成26年3月17日に、学内、学外とも発送しました。
- ・センター談話会「火の祭」について
第28回工作技術センター談話会「火の祭」が平成25年11月8日に開催されました。

議 題

- 1、所長の任期満了に伴う次期所長の推薦について
佐藤 嘉洋 教授が選ばれました。
- 2、平成25年度決算について
原案通り承認されました。
- 3、平成26年度予算について
原案通り承認されました。
- 4、その他

工作技術センター規定の改正について

第7条 2) 理学部・工学部・生活科学部・医学部から選ばれた教員各1名
運営委員会の委員構成を、4学部から医学部を除いた3学部に変更
するという改正案は可決されなかった。

また、本委員会に出席できない場合には、代理人を立てるか、委任
状を送付し、今後はできる限り欠席扱いとならないように努めるよ
うにする。

各種委員の取り組み

(1) 「Fabrica」編集委員会：「Fabrica」26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、29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29回工作技術センター談話会「火の祭」を平成26年11月7日（金）午
後1時～4時5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：「健康長寿を目指すための食生活とは？」

小島 明子 （生活科学研究科）

「オリジナルモノ作りと工作技術センター」

畑 徹 （理学研究科）

「多機能OCTを用いたマイクロ断層撮影」

～皮膚・軟骨・動脈硬化および複合材料への応用～

佐伯 壮一（工学研究科）

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、約30名が参加されました。

講習会実施報告

(1) ガラス細工実技講習会実施報告

平成26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31日～5月29日 午前10時～午後4時45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 : 45名

(2) ガラス細工体験講習

平成26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8日～9月12日、12月8日～12月17日
以下は個別対応で実施 4月3日、7月17日、8月22日
上記日程のうち設定した2時間30分間

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、ガラス細工の基本、課題制作、自由製作

受講者数 : 95名

(3) 機械工作講習会実施報告

平成26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24日(木)	10:40～11:40	受講者20名
	第2回	4月24日(木)	13:00～14:00	受講者22名
	第3回	4月24日(木)	14:40～15:40	受講者18名
	第4回	4月24日(木)	16:20～17:20	受講者11名
	第5回	4月25日(金)	10:40～11:40	受講者19名
	第6回	4月25日(金)	13:00～14:00	受講者20名
	第7回	4月25日(金)	14:40～15:40	受講者 8名
	第8回	4月25日(金)	16:20～17:20	受講者 1名

受講者合計 119名

学部別参加者数

理 学 部 : 17名

工 学 部 : 100名

生活科学部 : 2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26年度 工作技術センター利用者委員名簿

(敬称略)

【運営委員会】

所 長 佐藤 嘉洋 (工学部)

運営委員 石川 修六 (理学部) 伊藤 亮孝 (理学部) 五十嵐 幸一 (工学部)

渡部 嗣道 (生活科学部) 山田 雅巳 (医学部)

【利用者委員会】

委 員 長 石川 修六 (理学部)

副委員長 五十嵐 幸一 (工学部)

(機械工作部門委員)

〔理学部〕 畑 徹 (物理) 石川 修六 (物理) 鐘本 勝一 (物理) 板崎 真澄 (化学)

伊藤 亮孝 (化学) 西川 慶祐 (化学) 伊藤 和央 (生物) 篠田 圭司 (地球)

〔工学部〕 逢坂 勝彦 (機械) 武智 誠次 (電物) 宮崎 大介 (情報)

東 秀紀 (バイオ) 木内 龍彦 (建築) 山田 卓 (都市)

〔医学部〕 山田 雅巳 (医学部)

〔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)

鳥丸 博 (実験教育部門) 川脇 順子 (医学部)

〔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〕 畑 徹 (物理) 石川 修六 (物理) 鐘本 勝一 (物理)

西川 慶祐 (化学) 伊藤 和央 (生物) 篠田 圭司 (地球)

〔工学部〕 川上 洋司 (機械) 武智 誠次 (電物) 宮崎 大介 (情報)

五十嵐 幸一 (バイオ) 木内 龍彦 (建築) 山田 卓 (都市)

〔医学部〕 山田 雅巳 (医学部)

〔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)

鳥丸 博 (実験教育部門) 川脇 順子 (医学部)

〔センター〕 堀井 一孝 中原 啓晃

【Fabrica編集委員会】

委 員 長： 伊藤 (理)

西川 (理) 鐘本 (理) 山田 (工) 武智 (電物) 五十嵐 (バイオ) 伊藤 亮孝 (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： 川上 (工)

東 秀紀 (工) 渡部 (生) 篠田 (理) 板崎 (理)

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

資 料

工作技術センター職員名簿

(平成26年度)

所 長

佐藤 嘉洋 (工学研究科 物理機械系学教授)

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

本誌は執筆者の方々のご尽力で成り立っています。御多忙中にもかかわらず、多くの原稿をお寄せいただきました。原稿依頼に御快諾いただきました多くの教員、職員および学生の方々に心より厚く御礼申し上げます。また、初めての編集作業は、編集委員会の方々のご協力により円滑に進み、出版にこぎつけることができました。編集委員の皆様方に深謝申し上げます。(伊藤)

【Fabrica編集委員】

委員長 伊藤 和央（理）

西川 慶祐（理） 鐘本 勝一（理） 山田 （工） 武智 誠次（電物）

伊藤 亮孝（理） 五十嵐 幸一（バイオ）

須賀 辰美（センター以下：セ） 富高 幸信（セ） 植田 龍一（セ）

佐藤 高之（セ） 堀井 一孝（セ） 中原 啓晃（セ）

2 0 1 5 年 3 月 1 日 発行

発行 大阪市立大学工作技術センター

「F a b r i c a」 編集委員会

〒 558-8585 大阪市住吉区杉本 3 - 3 - 1 3 8

T E L : 0 6 - 6 6 0 5 - 2 7 5 1 , 2 7 5 2