

ファブリカ 第29号

目次

巻 頭 言

研究、そして人とのつながり	1
理学研究科長	中沢 浩 (なかざわ ひろし)

研 究 ノ ー ト

インフラ構造物の診断にかかわって	2
工学研究科	川合 忠雄 (かわい ただお)
宇宙の起源解明への挑戦	10
理学研究科	清矢 良浩 (せいや よしひろ)

談 話 室

ガラス工作：依頼する楽しみ	20
複合先端研究機構	岡田 恵次 (おかだ けいじ)
右手と左手とを入れ替える	23
理学研究科	三宅 弘之 (みやけ ひろゆき)
地震時の人体被災度計測ダミーの開発	27
生活化学研究科	生田 英輔 (いくた えいすけ)
波を追いかけて: Exploring physics of waves	27
工学研究科	竹内 日出雄 (たけうち ひでお)

利用者からの報告

有機分子触媒を用いた不斉合成反応	41
工学研究科	西村 祐貴 (にしむら ゆうき)
抗菌活性試験のスケールダウン	43
理学研究科	藤枝 聡志 (ふじえだ さとし)

光学解析サンプルを作製する反応容器	45
工学研究科 松尾 朱莉 (まつお あかり)	
三角断面形状型回折格子	46
工学研究科 牧尾 佑奈 (まきお ゆな)	
 <u>技 術 ノ ー ト</u>	
穴あけ工具について	48
研究支援課 富高 幸信 (とみたか ゆきのぶ)	
 <u>資 料</u>	
工作技術センター利用状況	55
工作技術センターの主な設備	56
機械工作部門機械配置図	61
ガラス工作部門機器配置図	62
報告	63
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

研究、そして人とのつながり

理学研究科長 中沢 浩 (なかざわ ひろし)



所属：理学研究科 物質分子系専攻

専門分野：錯体化学、有機金属化学

趣味：バドミントン、スキー、囲碁

「May I sit beside you?」と一人の男がバスに座っている私に声をかけてきた。「Sure」と私。今にして思えば、人とのつながりの大切さに気づかせてくれたのが 2006 年 8 月のこの日であった。私は有機金属国際会議に出席のためスペインのサラゴサに来ていた。学会会場へ行くバスに座っていると、そのバスに Luca Fadini が乗り込んできた。私の隣に座った男だ。私が国際会議に参加する目的は次の 3 つである。①自分の研究を世界にアピールする、②他人の研究動向を肌で感じる、③友人を作る。私はなるべく見ず知らずの学会参加者に声をかけることにしている。隣に座った Luca と雑談を始めた。南米のコロンビア大学の教授で、40 前後であろうか。ラテン系特有の陽気な男ですぐに気が合った。彼は南米で国際会議の Latin American Symposium on Coordination and Organometallic Chemistry (SILQCOM) を立ち上げようと奔走していた。

2008 年になり Luca から日本で学会があるので、大阪市大も訪問したいとのメールがあった。もちろん歓待した。その際に、2009 年にベネズエラで第 2 回 SILQCOM があるので参加しないかと誘われた。面白そうなので参加することにした。出発前になってベネズエラについて調べてみて驚いた。まず、行くのに結構時間とお金がかかる。また日本外務省の情報によれば、不要不急の渡航はやめるべき国にリストアップされており、身代金目当ての誘拐が日常茶飯事なので十分注意を要する、となっている。加えて、誘ってくれた Luca からは「自分はスイスの大学に移るのでベネズエラには行けなくなった。Good Luck !」との連絡がきた。身の安全を気にしながらの国際会議であったが、私にとっては非常に実りの多い学会となった。何といっても知り合い、特に南米人の知り合いが格段に増えた。この学会が縁となり、ベネズエラから私の研究室に国費留学生を迎えることになった。またブラジル人の Eduardo Dos Santos 教授を JSPS プログラムで 2012 年に招へいした。2013 年にはブラジル国の招待で彼の大学に滞在して講演と講義をする機会を得た。

理学を探究するには論理的思考が大切であるが、それに加えて人とのつながりも大切である。理学の研究といえども推進するのは人である。人との良いつながりが築かれれば、研究にも良い影響を与える。良い人間関係を築くきっかけをうまくキャッチするよう、常に心の準備をしておくのは大切である。

インフラ構造物の診断に関わって

川合 忠雄（かわい ただお）

所属：工学研究科機械物理系専攻

専門分野：診断工学

趣味：いたって無趣味（学生時代はよく旅行していました）



私が本学に着任してから早 12 年が経ちました。この間、十分なことが出来たかどうかは？ではありますが、いろいろな経験が出来たことは私の大きな財産です。本学工学研究科の特徴は良くも悪くもこぢんまりとしていてお互いの顔が見えることです。このおかげで、ここ数年は機械に籍を置きながらインフラ系の方と一緒に仕事をする機会が非常に多くなりました。

みなさんもまだ覚えておられると思いますが、2012 年 12 月 2 日の笹子トンネルの天井板崩落事故はあまりにもショッキングな出来事でした。日本の高速道路なのに、点検していたはずなのに、どうして事故が起きてしまったのか。インフラに対する信頼が大きく揺らいだ瞬間でした。実はインフラの老朽化による危険性については 2000 年代の初めから専門家によって指摘されていた問題でしたが、東日本大震災などによって後回しにされていました。しかし、笹子トンネルの崩落事故以降は NHK で「どうするインフラ老朽化」（2013 年 1 月 7 日）が放映されるなど非常に大きな関心事になりました。

私は機械に籍を置いているので、通常であればアウトサイダーとしてインフラの老朽化を見ているだけの立場でしたが、都市系専攻の山口教授や松村准教授（当時、現京都大学准教授）と一緒にインフラの老朽化に取り組むことになりました。工学研究科内に「ストックマネジメント研究センター」を作ったり、大阪府都市整備部と工学研究科との包括協定を結んだりといういろいろさせていただきました。私の残りの在職期間も 5 年ほどになりましたが、残りの期間もインフラの老朽化問題に積極的に関わっていきたいと思います。

以下にはこれまで取り組んできた研究の一端を紹介させていただきます。

図 1 は SIP（戦略的イノベーション創造プログラム）で開発した橋梁の遠隔監視システム（概略図）です。このシステムでは、橋脚の上部と下部に加速度センサーを設置し、車両が通過したときの振動を測り、振幅の比を求めて、橋脚の支持剛性を評価するものです。データは 3G 回線を通してクラウドサーバーに送られるので、手持ちの端末で遠隔からでも橋梁の監視を行うことが出来ます。図 2 は吉野川（徳島県）にかかる阿波麻植大橋にシステムを設置した様子を、図 3 は実際に振動を計測したデータを示します。振動の計測は、2016 年 8 月から 2017 年 2 月まで継続して行いました。成果の一端を図 4 に示します。

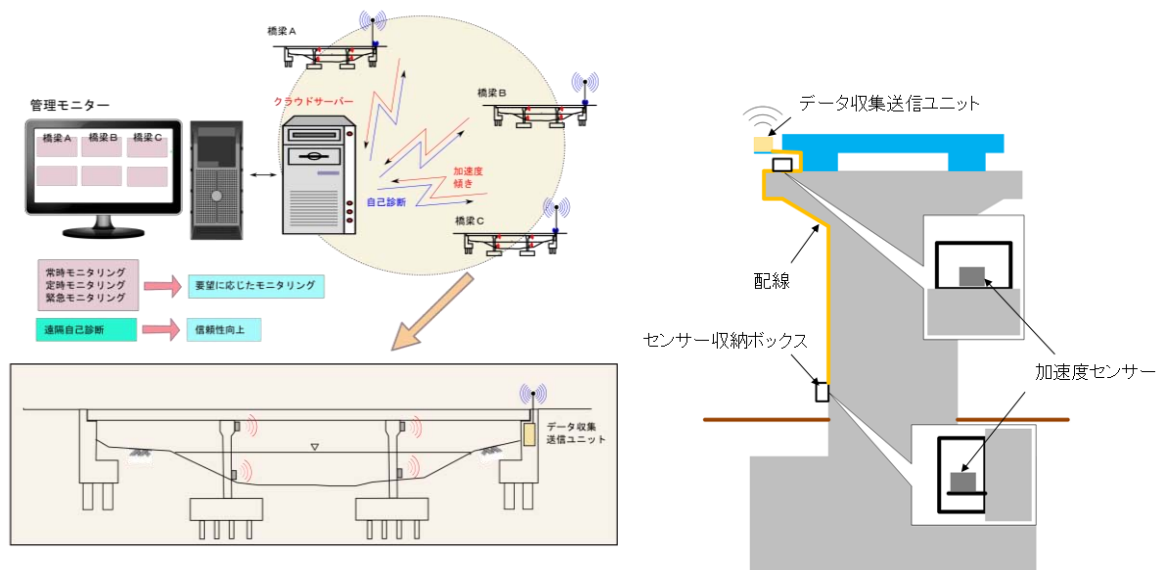


図1 橋梁の遠隔監視システム（概略図）

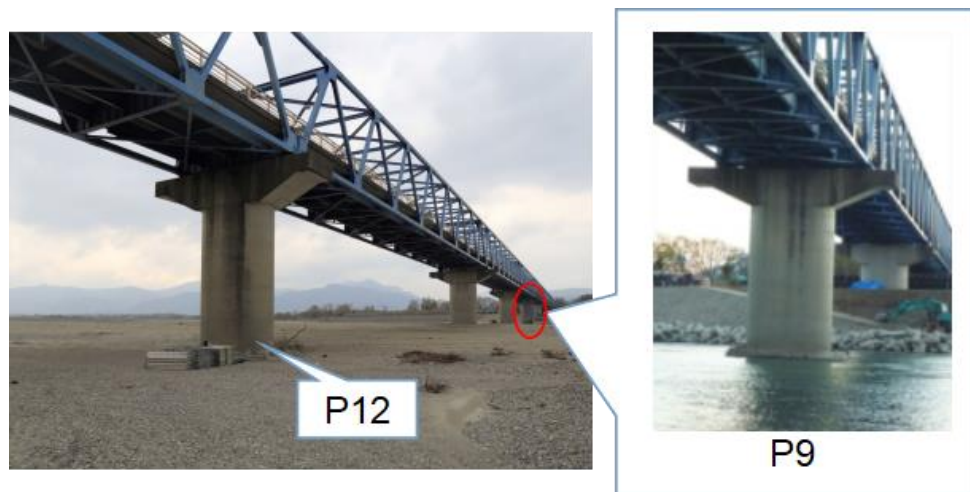


図2 吉野川（徳島県）にかかる阿波麻植大橋にシステムを設置した様子

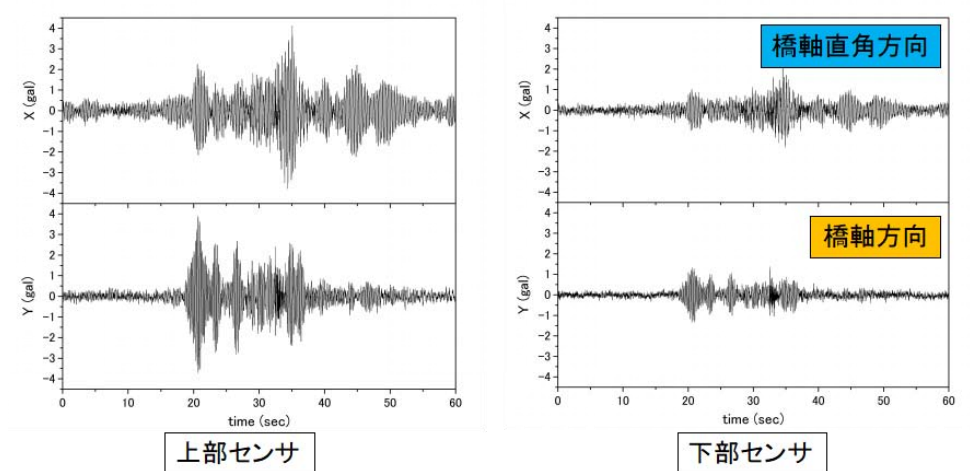


図3 実際に計測した振動データ

日本語フォントは MS 明朝を、英文フォントは Times New Roman を使用してください。

・計測結果 (P9)

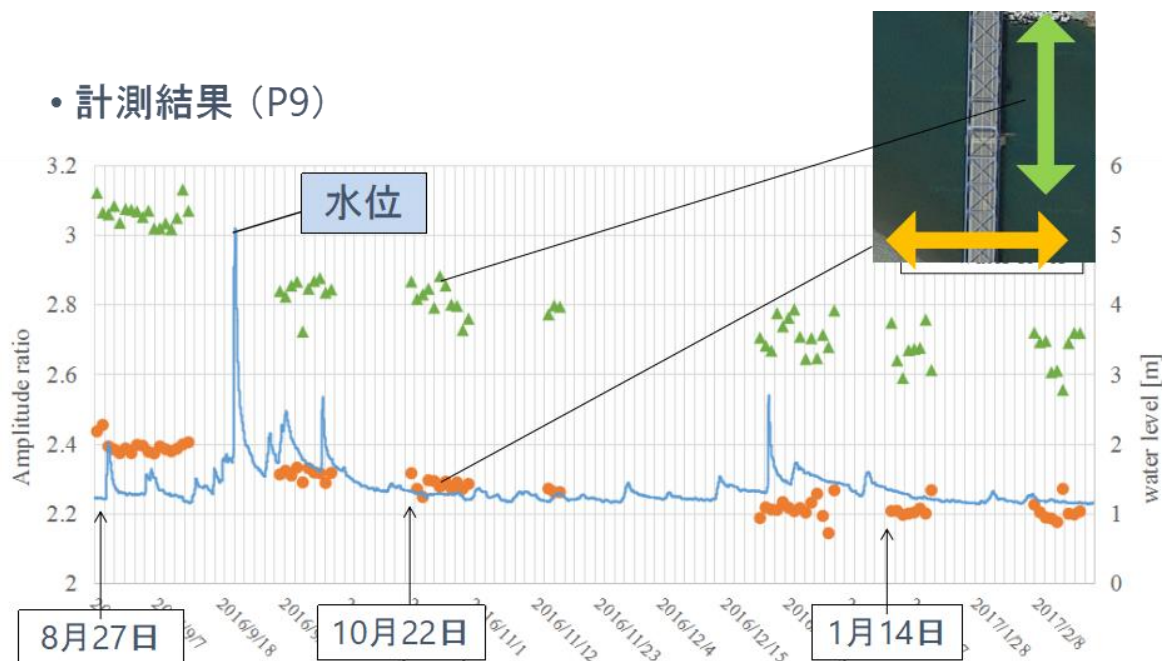
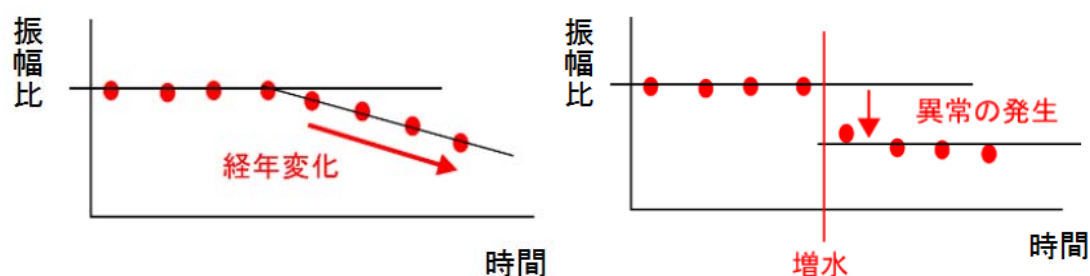


図 4 振幅比の時間変化



(a)経年劣化による健全性低下

(b)増水等の災害時における損傷

図 5 振幅比による健全性評価 (概念図)

図 4 では、9 月 20 日頃に台風が通過して水位が上昇し、P9 と呼ばれる橋脚の根元がえぐられました。この結果、振動の振幅の比が低下しました。この結果は、8 月 27 日、10 月 22 日、1 月 14 日に橋脚の回り元が 50cm ほどえぐられていた) からも確認

出来ました。この結果は、8 月 27 日、10 月 22 日、1 月 14 日に橋脚の回り元が 50cm ほどえぐられていた) からも確認出来ました。このシステムでは最終的に、図 5 のように振幅比の継続的なモニタリングにより、橋脚の経年変化 (健全性の低下) や増水等による急激な異常の発生を検出する目的に利用出来ます。

図 6 には、2016 年 2 月 13 日に池田市で起きた照明灯の倒壊写真です。この事故では小学生が大けがをしました。原因は、犬の尿が原因だと報じられていますが、照明灯の老朽化が大きな要因だった可能性があります。一般に照明灯の基礎部分の検査は地面を掘り起こすなどの手間がかかる上に、照明灯の数が多くて検査を十分に行えないことが課題となっています。図 7 には、現在開発中の照明灯の腐食を振動を利用して評価するための装置を示します。照明灯には、加振のための装置と加速度を測るための装置を取付け、加振装置によって揺らしたときの照明灯の揺れ具合を加速度センサーで計測します。単純には、腐食が進むと同じ



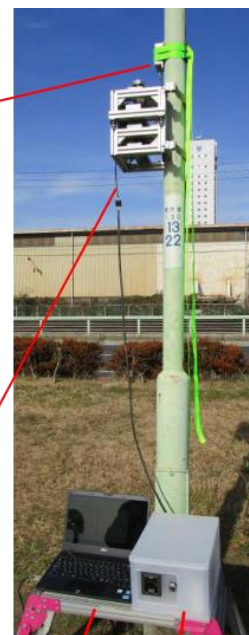
図 6 照明灯の倒壊写真（池田市）



加速度センサ
IMV HM-0013-E

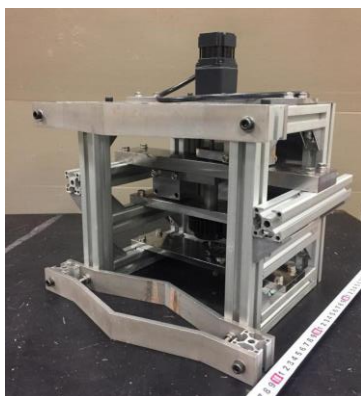


街路灯加振装置



パソコン 速度調節器

図 7 照明灯検査装置の外観



(a)初号機



(b)改良機

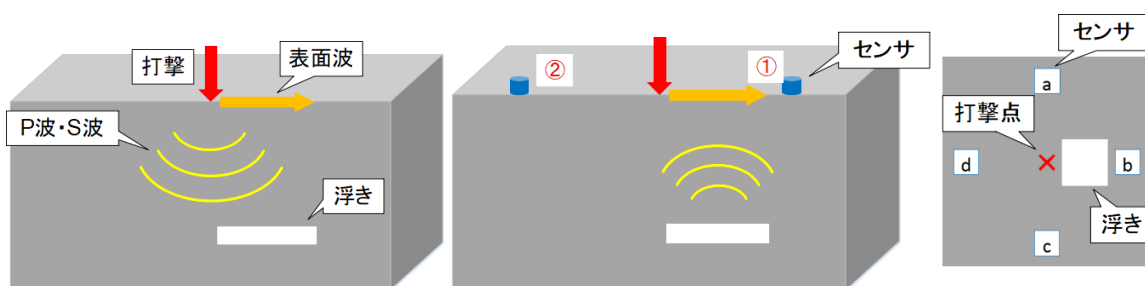
図 8 加振装置

力で揺すっても照明灯は大きく揺れます。この変化を評価することにより腐食の程度を知ることが出来ます。現在、加振装置の軽量化と評価精度の向上に取り組んでいます。図 8(a)(b)には、初号機と改良中の加振装置を示します。昨年の初号機（重量 13.8kg）に対して加振機構の簡略化、センサーとの一体化、簡易な取付け等によって軽量化（重量 8.2kg）と測定時間の短縮を図っています。現在は 5kg を目標にさらなる軽量化を目指しています。

図 9 には、コンクリート構造物に生じる剥離の写真を示します。コンクリート構造物では、表面に剥離や内部に浮き（すき間）が生じるとコンクリート片の落下や損壊の危険性が非常に高くなるので適切に検出することが必要になります。剥離は外面を見ることによって見つけることが出来ますが、浮きは内部に生じるために見つけることが困難です。図 10 には、コンクリートを叩くことによって浮きを検査する手法を示します。コンクリート表面を叩くと、コンクリートには表面を伝わる表面波と内部に伝わる P 波、S 波が生じます。P 波、S 波は浮

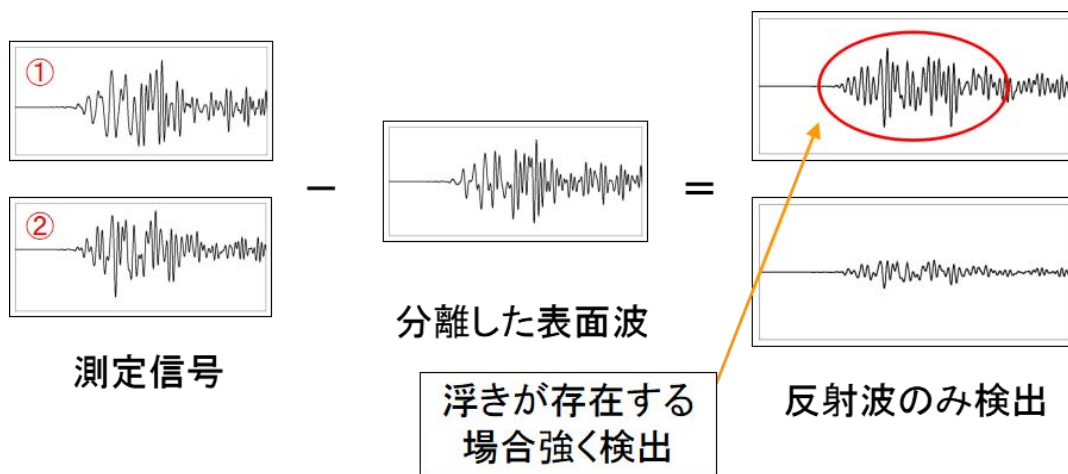


図 9 コンクリート構造物に生じた剥離



(a) 打撃による弾性波

(b) 浮きによる弾性波の反射



(c) 独立成分分析による反射波の検出

図 10 打撃試験による浮きの検出

きで反射するので、それを表面に貼ったセンサーで検知出来ます。ただし、表面を伝わる表面波もセンサーで検知されるので、表面波と反射波を独立成分分析という方法で分離します。その結果、反射波が検知された場合には内部に浮きが生じていることを検出することが出来ます。

図 11 は橋の車が通る箇所を支える U リブという所に生じるき裂を示します。このき裂は外部からの検査が非常に難しく、また、き裂が生じると落橋につながるなどその検出が非常に重要となっています。図 12 には検査方法のイメージを示します。道路面に設置したマット

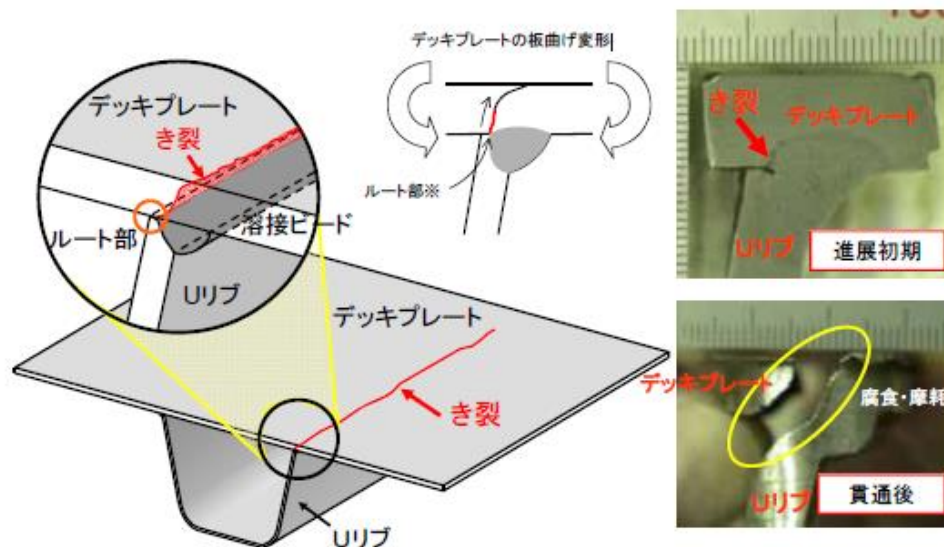


図 11 橋（Uリブ）に生じるき裂

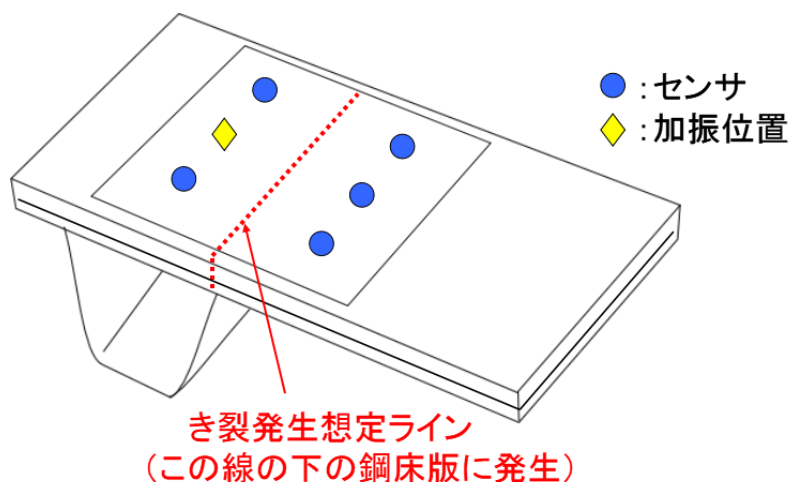


図 12 簡易検査のイメージ

に突起（車が通行するたびに突起を乗り越え、道路面に衝撃を加える）とセンサーを埋め込まれています。突起で生じた弾性波はデッキプレートに伝わり、き裂がある場合にはそこで反射します。反射波をセンサーで検出することにより、き裂が生じているかどうかを判断することが出来ます。

図 13 には橋梁に生じた腐食（金属部分）とひび割れ（コンクリート部分）を示します。従来は人間が定期的に見て、目視で損傷の程度を評価していました。しかし、疲れや熟練度の差によって、定量的な判断は難しいという課題がありました。これをカメラ画像をコンピュータで解析することにより定量化する手法について検討しました。画像の場合には、明るさ（時間帯、晴天や曇りなどの日照）やサイズ等が撮影条件によって大きく影響されます。したがって、画像を用いた評価においてはこれらの影響を受けない手法を用いる必要があります。また、損傷の程度を定量的に評価するためには、損傷の程度をよく表す評価指標を見出す必要があります。図 14 には画像の補正方法を図 15 には評価方法を示します。



(a) 腐食



(b) ひび割れ

図 13 橋梁に生じる損傷の例

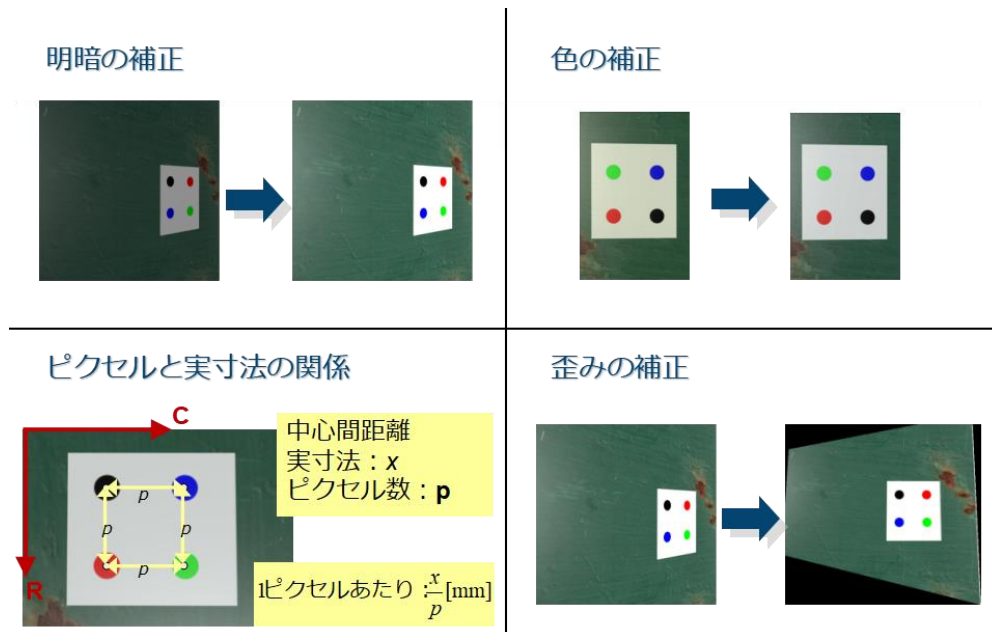


図 14 画像の補正方法

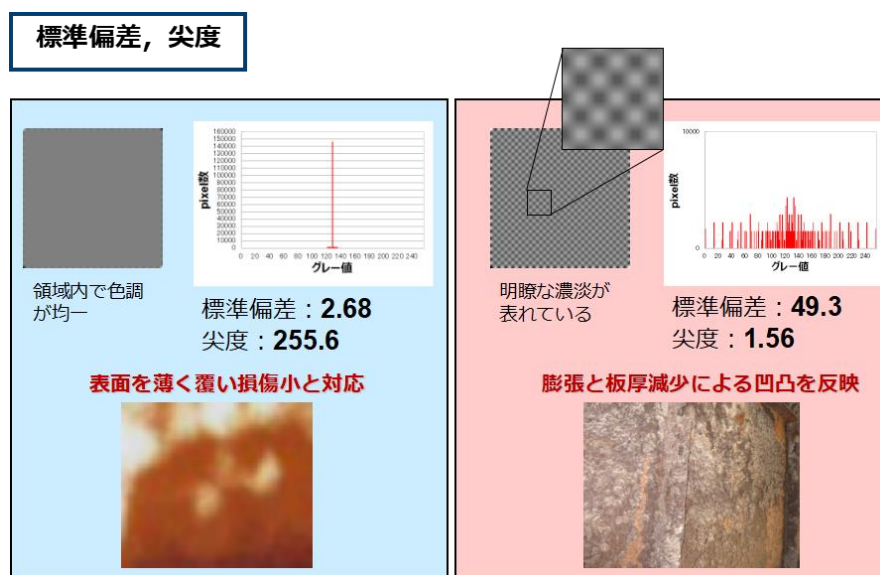


図 15 腐食の評価方法 (標準偏差、尖度)

これらの方法を用いて損傷の程度を評価し、大阪府が管理する台帳と比較したところ良い一致が見られました。

以上大まかに現在進行中のものを含め、インフラの検査について行ってきた研究を紹介しました。これらの研究は、山口先生、松村先生の協力があって初めて出来たものがほとんどです。また、大阪府都市整備部ならびに鳳土木事務所や岸和田土木事務所の多大なご協力の賜物です。ここに改めて謝意を表します。

最近の大きな流れとして IoT（Internet of Things）や i-Construction、ビッグデータ解析が大きな話題となり、すべてのもの（インフラの維持管理に関しては橋など）にセンサーを取付け、集めたデータを解析することにより、これまで見いだせなかったものを見出す、人間の労力を低減するなどの ICT 技術の適用が大きな話題となっています。インフラの維持管理においてもこの流れはますます強まるものと思われます。今後は情報処理専門の先生の協力も得ながらさらに研究を進めていきたいと考えています。

終わりに、「荒廃しない日本とするために」みなさんの安全安心な生活を維持していくために頑張りたいと思います。

宇宙の起源解明への挑戦

清矢 良浩 (せいや よしひろ)

所属：理学研究科 数物系専攻

専門分野：高エネルギー物理学

趣味：散歩



1. はじめに

自然界が結局のところ何でできているのかを理解したい、という欲求は人間にとっては普遍的なものである。そして、そのある側面はミクロな世界を理解することによって達成されることが自然である。よく知られているようにギリシア時代の哲学者は分割不可能な物質の構成要素の存在を想定し、アトムと呼んだ。現代では、物質は原子からできており、原子は原子核と電子、原子核は核子（陽子と中性子）からなり、これらの核子は主に u クォークと d クォークと呼ばれる粒子から構成されていることが分かっている。現在のところクォークは分割不可能な最も基本的な粒子、すなわち素粒子、と考えられている。電子も素粒子の一つである。本稿では、このような素粒子を対象とする実験的研究の入門的内容について、筆者がこれまで行ってきた研究に沿って述べる。その前に、導入として基本的な内容を説明する。

2. 導入

物質を構成している物質粒子は互いに力を及ぼし合っている。相互作用として身近なものに電氣的・磁氣的な力がある。これらは電磁波として空間を伝播するため、日常的には波として考えることが普通であるが、光子と呼ばれる粒子的側面もある。光子も素粒子の一つである。電荷をもった粒子間の相互作用は、この光子を仲立ちとして生じていると考えることができるのである。従って、物質粒子やその間の相互作用も含めて素粒子という概念が適用できる。また、粒子として考えることが普通である物質粒子にも波動性があることが分かっており、量子論の登場によって、これら粒子性と波動性の二面性を統一的に扱うことが可能になっている。

量子論はまた、物質を細かくしていくとどうなるかという問いが、高エネルギーの粒子間の相互作用はどのようなものかという問いと同等であることを明らかにした。量子論において、粒子性と波動性の二面性をつなぐ基本的な関係式の 하나가

$$E = h\nu \tag{1}$$

である。ここで E は粒子性に着目したときの粒子のエネルギー、 ν は波動性に着目したと

きの波動の振動数， h はプランク定数と呼ばれる定数である．ミクロな世界を「見よう」とすると短い波長，すなわち高い振動数の光が必要であるが，量子論によれば，それは大きなエネルギーを持つ粒子を必要とすることを意味する．我々の宇宙は高エネルギー状態のビッグバンで始まったと考えられているので，元々アカデミックな興味ともいえるミクロな世界の理解が，より大きな問題，つまり，宇宙の始まりの理解につながることになる．このように，素粒子物理学は空間的にも時間的にも宇宙の起源を追求する究極の学問であるといえる．

現在知られている物質粒子としての素粒子を表 1 に示す．これら 12 種類の素粒子は，大

表 1：物質粒子としての素粒子

	第 1 世代	第 2 世代	第 3 世代	電荷
ク ォ ー ク	u	c	t	$+\frac{2}{3}$
	d	s	b	$-\frac{1}{3}$
レ プ ト ン	ν_e	ν_μ	ν_τ	0
	e	μ	τ	-1

きく分けてクォークあるいはレプトンと呼ばれる粒子に大別される．世代とは 2 種類のクォークと 2 種類のレプトンで構成される組を指し，表に示したような電荷（電気素量を単位としている）の組み合わせになっている．同じような組み合わせが 3 世代にわたって繰り返されている．ニュートリノ (ν) の添え字は，対応している電荷を持ったレプトン（荷電レプトン）を示している．また，これら全ての粒子のそれぞれに，質量が同じで電荷等の符号が逆の反粒子が存在する．ニュートリノは電荷を持たないが，ニュートリノの性質を特徴づける，電荷のようなある種の物理量が存在し，その符号が逆であるという意味で反粒子を考えることができる．全ての原子はニュートリノ以外の第 1 世代の粒子から構成されている（ e は電子である）．第 2 世代や第 3 世代のクォークあるいは荷電レプトンは不安定であり，より軽い安定な粒子へと崩壊していく．従って自然界や宇宙に安定的に存在しているわけではない． t クォーク（トップクォーク）は u クォークと同じ電荷をもつが，非常に質量が大きく，それ自身で陽子の約 180 倍の質量をもつ．このように質量が大きい粒子が重要である理由は，量子論と並んで現代物理学の柱である相対論によって理解できる．その重要な式に

$$E = mc^2 \quad (2)$$

があるが，高エネルギーであることは粒子の質量が大きいことを意味する．すなわち，宇宙が始まった直後の高エネルギー状態においては質量の大きい粒子も多数存在していたはずであり，宇宙のその後の変化に大きな影響を与えたと考えられるのである．

一方，相互作用の方は 4 種類存在することが知られている．重力と電磁気力の他に，主に

原子核内を舞台としている相互作用が弱い相互作用と強い相互作用である。強い相互作用は、正の電荷をもっている陽子どうしの電氣的な斥力に打ち勝つ強い力によって陽子や中性子を結合させる核力の源である。弱い相互作用は放射性物質などの不安定な物質が崩壊していく際に作用している。崩壊の速さが比較的遅いので「弱い」と呼ばれている。これらの力を媒介する粒子の名前を表 2 に示す。この中で重力相互作用を媒介する量子論的な粒子グラビトン

表 2：相互作用を媒介する素粒子

	強い相互作用	電磁相互作用	弱い相互作用	重力相互作用
媒介粒子	g (グルーオン)	γ (光子)	W^+, W^-, Z^0 (Wボソン, Zボソン)	G (グラビトン)

ンは未確認である。弱い相互作用を媒介する粒子には 3 種類あり、その違いが明示的に表記される。この 3 種類の粒子の際立った特徴として、陽子の約 80～90 倍の質量をもっていることが挙げられる。いわば「重い光」である。また、右上付き添え字は電荷を示しており、弱い相互作用でありながら電磁相互作用と深い関わりがあることが示唆される。量子論的な重力相互作用以外の相互作用については、現在のところあらゆる実験結果を説明する有力な理論的枠組みが存在し、素粒子物理学の標準模型と呼ばれるが、その模型においては電磁相互作用と弱い相互作用は統合され、不可分な相互作用として理解されている。標準模型には、表 1 と 2 に示した素粒子に加えて、2012 年に発見された、素粒子に質量を与える役割を担うヒッグス粒子 (H) が存在する。

3. トップクォークの発見

1980 年代の後半においてトップクォークは発見されておらず、その探索が最重要課題の一つであった。そのような状況の下、アメリカのシカゴ郊外にあるアメリカ国立フェルミ加速器研究所の陽子・反陽子衝突型加速器テバトロンを用いた実験が開始された。当時として世界最高エネルギーを誇ったテバトロンは周長約 6 km の巨大な加速器であり、陽子あるいは反陽子を 900 GeV (900 ギガ電子ボルト [1]) まで加速して正面衝突させる。これは、陽子を光の速さの 99.9999% 程度まで加速することを意味する。陽子は水素の電子をはぎ取って作る。また、加速されて高エネルギーになった陽子をタングステン等の標的に照射すると様々な多数の粒子が生成されるが、その中にわずかながら陽子の反粒子である反陽子が生成される。これを集めて反陽子ビームを作る。陽子と反陽子が衝突すると、陽子と反陽子の中に存在する素粒子が相互作用により反応し、陽子と反陽子は粉々に壊れて様々な粒子が生成される。この衝突事象には様々な種類があり、どのような種類の事象がどのような確率で生成されるのかを標準模型に基づいて計算することができる。しかし、素粒子の質量を理論的に予言することはできないため、トップクォークの質量がどの程度大きいのかは分からなかった。それまでの実験でも精力的に探索されていたが、結果的にはその質量が大きいために加速器

ビームのエネルギーが足りず、生成することができなかった。テバトロン加速器を持ってしても、1995 年の発見までに約 10 年の歳月を費やした。陽子・反陽子の衝突といっても、実際に衝突するのはその構成粒子であるクォーク等であり、そのエネルギーは陽子あるいは反陽子全体が持つエネルギーの一部分にすぎない。トップクォークを生成できる程度の大きなエネルギーをもつ確率は小さいために、多くの陽子・反陽子衝突を繰り返す必要があったのである。

テバトロン加速器による陽子・反陽子衝突において、トップクォークは主として粒子と反粒子の対で生成される。これを

$$p\bar{p} \rightarrow t\bar{t}$$

と表す。上にバーが付いているものは反粒子を意味する。質量が大きい粒子は様々な軽い粒子に崩壊することがきるため、一般的にその反応過程が複雑になり、見つけ出すことが難しくなる。実際、トップクォークは不安定なため、弱い相互作用によって

$$t \rightarrow W^+ b$$

のように崩壊する。弱い相互作用を媒介する W^+ もまた不安定であり、

$$W^+ \rightarrow \begin{cases} u\bar{d} \\ c\bar{s} \\ e^+\nu_e \\ \mu^+\nu_\mu \\ \tau^+\nu_\tau \end{cases}$$

に掲げた中のいずれかの過程によって崩壊する。従って、 $t\bar{t}$ の可能な崩壊過程は基本的には $5 \times 5 = 25$ 通りある。これらをしらみつぶしに解析していった。トップクォークの生成を仮定しないと説明ができない事象が数多く見つければ発見したことを意味するわけであるが、トップクォークの生成とは無関係な反応でありながら検出される粒子の組み合わせがトップクォーク生成の場合と同じようなものも存在する。これらは背景事象と呼ばれ、いわば信号に対するノイズである。このノイズをいかに抑えてトップクォーク生成事象をより際立たせるか工夫が必要になる。どのような点に着目したのか簡単に述べると、1) トップクォークの質量が大きいこと、崩壊して生成される粒子のエネルギーが背景事象によって生成される粒子の典型的なエネルギーより大きいこと、2) また一つの事象中にそのような高エネルギーの粒子が比較的多数生成されること、3) そして、崩壊して生成される粒子に必ず b クォークが存在することである。特に最後の特徴が決定的に重要な役割を果たした。 b クォークも不安定でやがて崩壊するが寿命が比較的長いこと、生成されてから崩壊するまでにある程度空間中を飛行する。従って、陽子と反陽子が衝突する点からずれた点において粒子の崩壊が観測される。このような特徴を持つ事象を集めるのである。図 1 にトップクォークの発見を示した歴史的なデータを示す [2]。この図から、 b クォークの存在を要求した場合の事象数が、事象内で生成された高エネルギーのクォークの数が多くなるほど背景事象の予想値に対して大きな超過を示していることがわかる。これ以外にも様々な角度から定量的な吟味を重ね、この事象数の超過がトップクォークの生成と矛盾しないと結論された。さらに、トップクォークの質量も約 $180 \text{ GeV}/c^2$ という非常に大きな値であることも初めて明らかにした [3]。

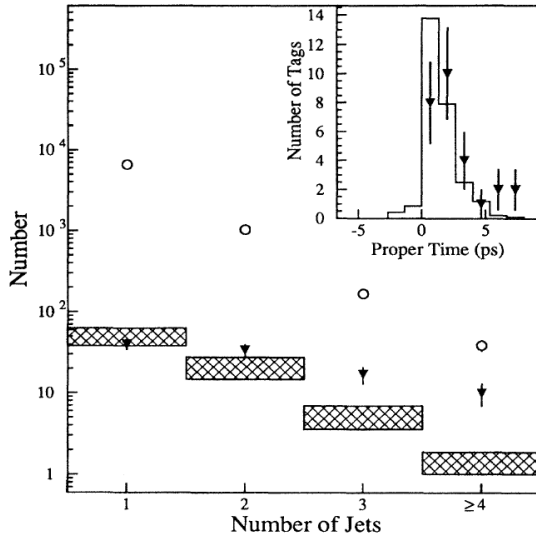


図 1：トップクォークの発見を示すデータ。横軸は一つの事象において同時に生成されたクォークの数に対応する観測量。縦軸は観測された事象数。白い丸は事象中に b クォークの存在を要求しない場合の事象数。黒い三角は要求した場合の事象数。網掛けはトップクォーク以外の背景事象の寄与の予想値であり、その幅は予想値の不定性を表す。図中の右上の図は、陽子と反陽子の衝突点から b クォークがどの程度ずれているかをデータと予想分布で比較したもの。

4. ヒッグス粒子探索

トップクォークが発見されると、ヒッグス粒子の探索に焦点が移った。ヒッグス粒子は粒子の質量の起源と言われるが、物理法則がもつ対称性と深い関係がある。4つの相互作用の中で重力相互作用以外の3つの相互作用は数学的に同じような構造を持っている。それは、相互作用を記述する方程式に対し、ある数学的な変換を施しても方程式が不変であるという性質である。相互作用の存在理由が数学的な対称性と結びついているという事実は宇宙のしくみの深淵さを感じさせるものである。また、異なる相互作用の間に数理的な類似性が存在するという驚くべき事実は、これらの相互作用が、元々は同一の相互作用として統一されており、ビッグバン直後の宇宙の急激な変化の中で分化したという描像を想起させる。しかしながら、この魅力的な解釈が成立するためには、相互作用を媒介する粒子が光子のように質量を持たないことが必要である。残念ながら、弱い相互作用を媒介する $W^\pm$ と Z^0 ボソンは質量を持っており、単純には上で述べた対称性を満たすことができない。そこで必要とされるのがヒッグス粒子である。 $W^\pm$ と Z^0 ボソンは、元々は質量を持たないのであるが、時空に潜むヒッグス粒子との相互作用によって光速で運動することが出来ず、我々には質量があるように見えると考えることができるのである。このように、対称性が見かけ上失われる物理過程は対称性の自発的な破れと呼ばれている。ヒッグス粒子の重要性は、このように相互作用を媒介する粒子に質量を与えることにある。しかし、標準模型においては物質粒子にも質量を与える役割を担っており、一人二役を演じている。つまり、物質粒子も元々は質量を持たないが、ヒッグス粒子との相互作用で質量があるように見えると考える。こうしてヒッグス粒子は、質量を持つ全ての粒子に対して、その質量の起源を担う粒子であると考えられるのである。

テバトロン加速器の陽子・反陽子衝突においては、ヒッグス粒子が一つだけ生成される頻度が最も大きい。これを

$$p\bar{p} \rightarrow h$$

と表す．生成されたヒッグス粒子がどのように崩壊するかは質量によって変わるが，トップクォークの場合と同様にその質量は理論的には予言できないので，様々な可能性を網羅的に探るしかない．例えば，ヒッグス粒子の質量が $160 \text{ GeV}/c^2$ よりも大きい場合は

$$h \rightarrow W^+W^-$$

のように，二つの W ボソンに崩壊する． W は，トップクォークの探索で述べたような崩壊パターンがあるので，それぞれに対応する衝突事象を探索する．ヒッグス粒子の生成頻度はトップクォークと比べるとずっと小さく，その探索は非常に困難であった．比較的軽い質量領域の場合は，背景事象との区別も難しく，多変量解析のような高度な統計的手法を用いながら勢力的に探索を行った．全ての解析を統合した最終結果を図 2 に示す [4]．縦軸につい

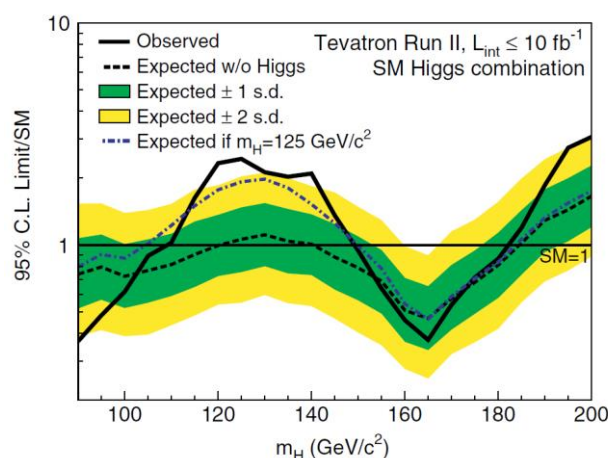


図 2：ヒッグス粒子探索の結果．横軸は探索において仮定するヒッグス粒子の質量．縦軸はヒッグス粒子の生成頻度に対して実験的に得られた上限値を標準模型の予想値で割ったもの．黒い実線で書かれた折れ線はデータから得られた結果．黒い破線は，データ中にヒッグス粒子が存在しなかった場合に得られると期待される黒実線の予想曲線．点破線は逆に，質量 $125 \text{ GeV}/c^2$ のヒッグス粒子がデータ中に存在している場合の予想曲線．

て補足説明する．実際のデータ中にヒッグス粒子生成事象が無かった場合，検出された粒子の，例えばエネルギー分布等は，ヒッグス粒子が存在しないと仮定した場合に得られる分布と同じになるはずであるが，ヒッグス粒子の存在を仮定して信号の分布を加え，徐々に大きくしていくと，やがてデータと矛盾が生じてくるであろう．この矛盾に上限を設定することにより，ヒッグス粒子の生成頻度に上限を与えることができる．つまり，その上限よりも大きな生成頻度はデータによって否定されるということである．この上限値と，理論が予想するヒッグス粒子の生成頻度の比が縦軸である．この比が 1 より小さい場合，理論予想がデータから得られた上限値を超えていることになり，その理論予想が棄却されることを意味する．図から約 $110 \text{ GeV}/c^2$ 以下と，約 $150 \text{ GeV}/c^2$ から $180 \text{ GeV}/c^2$ の質量領域は棄却された．つまり，ヒッグス粒子が存在したとしても，この質量範囲ではないということである．データ量が増えるにつれて探索感度は大きくなるので，仮にヒッグス粒子が存在しなかったら，黒い実線はやがて全ての質量領域で 1 よりも小さくなる．逆に，ヒッグス粒子生成事象が実際のデータ中に存在している場合は，そのヒッグス粒子の質量の近傍は決して排除されないで，1 以上の領域が残ることになるであろう． $110 \text{ GeV}/c^2$ と $150 \text{ GeV}/c^2$ の間に注目すると，1 よりも大きくなっているが，重要なことは，ヒッグス粒子が存在しないと仮定した場合に期待される破線よりも，実際に得られた結果である黒い実線が大きくなっており，むしろ，

データ中に質量 $125 \text{ GeV}/c^2$ のヒッグス粒子が存在していると仮定した場合に期待される点破線に近いことである。さらに詳しく解析した結果、我々のデータ中にヒッグス粒子生成事象が含まれている確からしきは 99.7% であった。日常的な感覚からすれば十分な確率といえるかもしれないが、発見を主張するにはその統計的信頼度は十分では無いと判断した。そして、2012 年に、ヨーロッパの LHC 加速器を用いた実験によってヒッグス粒子の存在が確認された。ちなみに、テバトロン加速器の運転は 2011 年 9 月に終了し、世界最高エネルギーでの衝突実験は LHC 加速器に引き継がれたが、テバトロン加速器によって得られたデータの解析は今も継続している。

5. ニュートリノ

テバトロン加速器による実験データ解析と並行してニュートリノの性質を詳しく調べる研究を開始した。ニュートリノは非常に特異な粒子であり、その質量が他の素粒子の質量と比べて桁違いに小さい。個々のニュートリノの質量の値自身はまだ分かっていないが、大体の大きさは分かっており、1 兆分の 1 という可能性もある。質量がなぜこのように小さいのかは標準模型でも説明できない大きな謎である。我々が最終的に見出したい宇宙の究極的な根本法則は、当然ながらその理由を説明しなければならない。従って、このような大きな謎は、逆に根本法則解明の大きな鍵であるかもしれないのである。また、我々の宇宙の全体的な性質として物質のみが存在し、反粒子から構成される反物質が存在しないという謎も存在する。ビッグバンで始まった宇宙の最初の瞬間において、物質と反物質は同じ数だけ存在していたはずである。直観的に言えば、一方が持っている電荷の符号を正と定義するか負と定義するかは自由であり、両者は全く同等と考えられるからである。しかし、実際には宇宙の始まり直後のある時点で何らかの原因によりバランスが崩れ、今我々が「物質」として定義するものが残っていると考えられる。これは物質と反物質の間の対称性の破れと呼ばれている。この種の対称性の破れはクォークにおいて存在することが知られているが、ニュートリノにも存在していると考えられている。しかも、ニュートリノの質量が小さいという特異性との関連で、宇宙における物質と反物質の非対称性の根本的な原因になっている可能性もある。このように、ニュートリノの性質を詳しく調べることは、最終的には宇宙の根本法則、すなわち宇宙の始まりを理解するための重要な示唆が得られると期待されるのである。

ニュートリノに質量があると一般的にはニュートリノ振動という現象が起こる。式 (1) と (2) を組み合わせると分かるように、異なる質量を持つ粒子には異なる固有の振動数をもつ波動が対応していることがわかる。3 種類のニュートリノにはそれぞれ固有の振動数があり、それらの波が重なり合うと、音波のうなりのように波の強度に振動が現れる。これはニュートリノが 3 種類の性質を交互に変化させながら振動していることに対応するのである。従って、ある一定時間の後に、ある種類のニュートリノがどのくらいの確率で存在するのかを測定すると、振動の性質、すなわち質量と 3 種類の波の重なり合い方に関する情報を引き出すことができる。

ニュートリノ振動を測定するため、茨城県東海村にある大強度陽子加速器施設 (J-PARC)

でミューオンニュートリノ ν_μ を人工的に生成し、それらを岐阜県飛騨市神岡町にあるスーパーカミオカンデに向けて照射する T2K (Tokai To Kamioka) 実験を遂行している。図 3 にその概念図を示す。ニュートリノは電荷を持たないため、直接検出することはできないが、

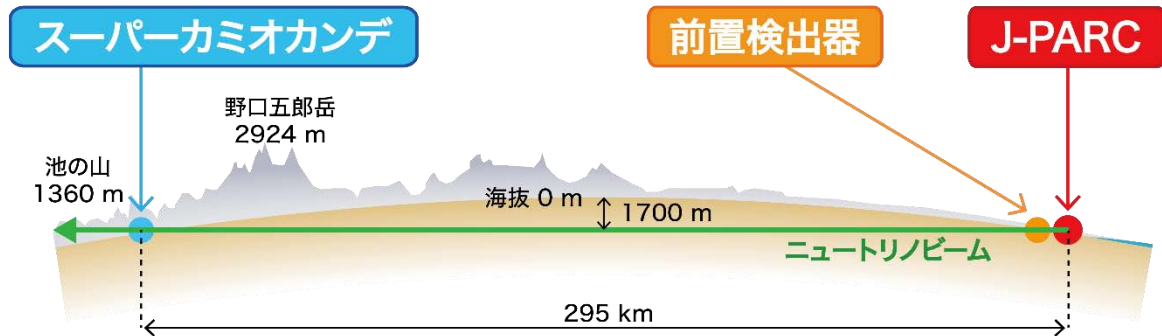


図 3: T2K (Tokai to Kamioka) 実験の概念図。人工的に生成した ν_μ がビーム中に最初どのくらい存在しているのかを前置検出器で測定し、スーパーカミオカンデで振動後のニュートリノを検出してその状態を確認する。

標的物質の原子核中の核子と衝突し、そのニュートリノの種類に対応する荷電レプトンを生成する。例えば、

$$\nu_\mu n \rightarrow \mu^- p$$

である。この場合には μ^- を同定して ν_μ を間接的に検出する。振動現象のデータ解析の例を図 4 に示す [5]。ニュートリノのエネルギーはニュートリノの速さにも依存するため、エ

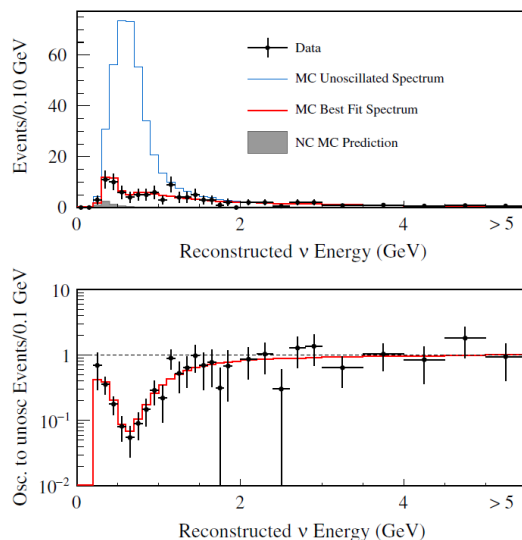


図 4: ニュートリノ振動を示すデータ。横軸は間接測定によって再構成されたニュートリノのエネルギー。上の図の縦軸は検出されたニュートリノ数。青い線はニュートリノ振動が無かった場合に期待されるニュートリノの数で、実際に観測された数は黒い点で表されている。下の図の縦軸は、青い線と実際に観測されたニュートリノ数の比。

ネルギーが異なると到達時間が異なる。従って図 4 の下側の図を見ると、時間とともにニュートリノの数が振動している様子が明らかに分かる。この実験結果は、 ν_μ が振動の結果別の種類のニュートリノになったために数が減ったことを確認したものであるが、スーパーカミオカンデにおいて電子を検出することにより、あからさまに

$$\nu_\mu \rightarrow \nu_e$$

のように振動している現象も世界で初めて確認している [6].

20 年ほど前は、ニュートリノ振動についてはほとんど何も分かっていなかったが、その後の実験研究の大きな進展のおかげで、現在では多くのことが明らかになりつつある。今後は、その全容解明に向けて、より高精度の測定を実現し、特に物質と反物質の間の対称性がニュートリノにおいても破れているのか確認することが重要である。そのために、ここ数年間は、新しい前置検出器の建設も行った。この検出器はシンチレータの薄い板を 3 次元格子状に組んだ構造をしており、それぞれのシンチレータに掘られた溝には波長変換用オプティカルファイバーを接着してある。そのようなシンチレータを大量生産するために、シンチレータとファイバーの自動接着システムを構築した。図 5 にこのシステムの様子を示す。新しい検出

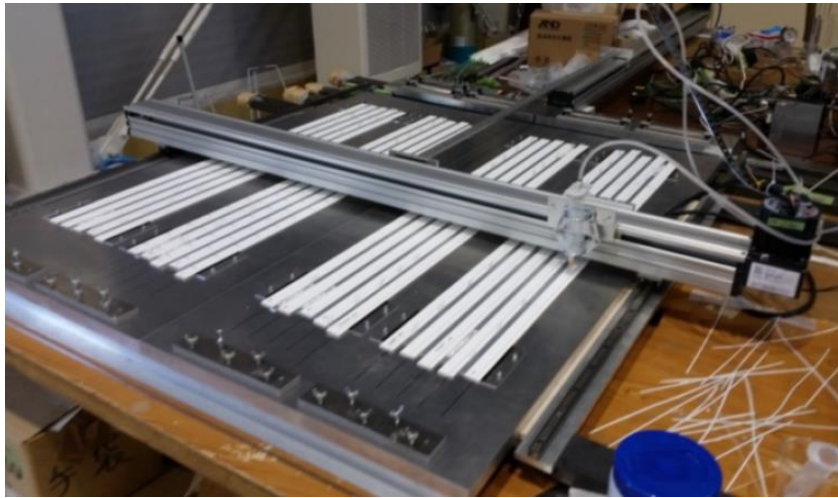


図 5: プラスチックシンチレータと波長変換ファイバーの自動接着装置。

器は予定通りに完成し、現在順調にニュートリノ反応事象のデータ収集を続けている。

6. ミューオン・電子転換過程の探索

ビッグバン的一瞬间にさらに近づくためにはもっと高いエネルギーにおける素粒子の世界を調べる必要があるが、高エネルギー加速器を建設するしか方法が無いというわけではない。量子論には不確定性原理と呼ばれる関係式

$$\Delta E \Delta t \sim \frac{h}{2\pi}$$

が存在する。 h は前と同様にプランク定数である。この式より、量子論的な物理系においては、大きなエネルギーの揺らぎ ΔE は、短い時間 $\Delta t \propto 1/\Delta E$ であれば存在できることがわかる。短い時間に現れる物理的効果は非常に小さいので、これは高精度の実験が必要であることを意味するが、高精度の測定を行いさえすれば、高エネルギーの世界を探ることができるのである。例えば、質量の大きな未知の粒子が存在し、ある物理現象に関与しているとする、我々が予想する結果からわずかながらずれた測定結果が得られることになる。

そのような測定の一つの例が、原子核に束縛されてミューオン原子を形成しているミューオンが電子に直接的に転換するミューオン・電子転換過程である。この過程は、標準模型に

においては存在しないので背景事象の問題がなく、探索する過程としては最も適しており、1 事象でも見つければ、より高いエネルギーにおける新しい物理現象を発見したことに直結する。

このミュオン・電子転換探索実験を、J-PARC の物質・生命科学実験施設 (MLF) において行うことを計画しており、原理的にはわずか数年のうちに、これまでの実験の 10 倍から 100 倍の感度で探索を行うことが可能となる予定である。ミュオン原子は陽子ビームを固定標的に照射して生成する。粒子数的に有利な固定標的と大強度陽子ビームを用いる上に背景事象も少ないため、探ることが可能なエネルギースケールは LHC の 100 倍から 1000 倍以上にもなる。このようにミュオン・電子転換探索実験は高エネルギーに感度がある強力な実験として期待されるため、日本をはじめ、米国においても、より大規模な実験が将来計画として進められている。このような状況の中、タイムリーに実験を遂行することは極めて重要である。

7. おわりに

本稿で述べた研究、特にヒッグス探索研究とそれ以降の研究の成果は、当研究室の多くの大学院生の活躍が大きな貢献となっている。最先端基礎研究の現場は、若い大学院生の才能無くしては立ち行かないという事実はいくら強調してもしすぎることはないと思う。今後も引き続きその奮闘を期待すると共に多くの学部学生が真理の探究に挑戦する仲間に加わってくれることを楽しみにしている。

ニュートリノ研究で述べた、プラスチックシンチレータとファイバーの接着システムを作成するにあたり、アルミ板からなる基礎構造体や様々な治具の制作等で工作技術センターには非常にお世話になった。このシステムは大活躍し、新検出器の建設は予定通りに進んだ。その他にも、この新検出器を囲むように配置する、さらに新しい検出器のテスト架台の作成や、ミュオン研究においては読み出しアンプの遮蔽体作成等、平素から様々な局面でお世話になっている。ここに深く感謝申し上げたいと思う。

参考文献

- [1] 電子が 1 V の電位差がある真空中を通過する間に電場によって加速されて得るエネルギーを 1 eV (電子ボルト) という。
- [2] F. Abe *et al.* (CDF Collaboration), Phys. Rev. Lett. **74**, 2626 (1995).
- [3] $E = mc^2$ を用いて粒子の質量をエネルギーに変換し、そのエネルギーを電子ボルトの単位で記すことによって粒子の質量を表すことができる。例えば、変換して得られたエネルギーが 100 GeV (ギガ電子ボルト) であった場合、 $100 \text{ GeV}/c^2$ と表す。E を c^2 で割ったものが質量であるため eV/c^2 と表記している。陽子の質量は $0.938 \text{ GeV}/c^2$ である。
- [4] T. Aaltonen *et al.* (CDF Collaboration), Phys. Rev. D **88**, 052014 (2013).
- [5] K. Abe *et al.* (T2K Collaboration), Phys. Rev. D **91**, 072010 (2015).
- [6] K. Abe *et al.* (T2K Collaboration), Phys. Rev. Lett. **107**, 041801 (2011).

ガラス工作：依頼する楽しみ

岡田 恵次（おかだ けいじ）

所属：複合先端研究機構

専門分野：有機化学（物性有機化学）

趣味：犬の散歩、下手の横好きで囲碁



退職にあたり、ガラス工作センターの堀井さんからファブリカ「談話室」の執筆依頼を受けた。ガラス工作室には、真空ラインをはじめ、いろんなガラス器具（機器）を依頼したためだと思い、引き受けることにした。ガラス工作室への依頼は、もちろん市販品の修理も多いが、一番の楽しみは目的に合った新しい器具を自分でデザインしてそれを依頼しうまく機能した時である。ここではそんな中から三つの簡単な器具を紹介する。

まずは、簡易型 Dean Stark 装置を紹介したい。Dean Stark 装置といえば、図 1 に示す脱水反応装置であり、A 部に温度計、B 部に蛇管コンデンサーを取り付け、C 部に脱水反応を起こす溶液が入った反応フラスコを取り付け、加熱前に点線の部分まで溶媒を入れておき、加熱することにより、水を D 部に分離することができる装置である。難点は水より重い溶媒中からの脱水反応には使用できない点であり、スケールの小さな反応にもあまり適していないだろう。そこで水よりも重い溶媒に適用できる装置はできないだろうかと考えてみた。それが図 2 に示す装置で、溶媒が塩化メチレンやクロロホルム等に適用できる。加熱前に点線の部分まで溶媒を入れておき、加熱により D 部に水が溜まる仕掛けである。しかし、どうして

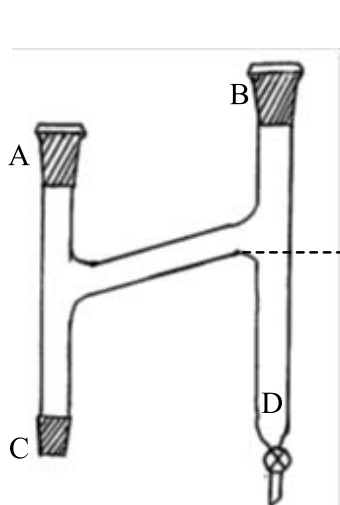


図 1．Dean-Stark 装置

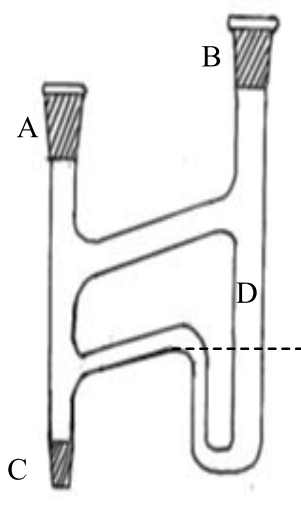


図 2．比重が 1 以上の溶媒中の脱水装置

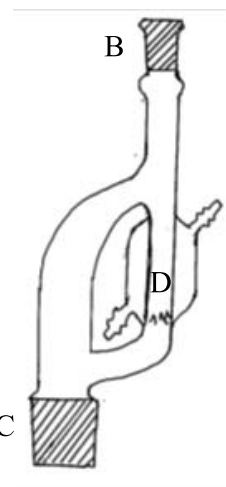


図 3．簡易型脱水装置

もハロゲン系溶媒を用いなければならない脱水反応は数少ないことや、器具の形状が少し不安定な形をしているためか、学生の使用頻度はいまひとつであった。そこでよりコンパクトな図3の装置を考案した。D部には活性化した Molecular Sieves を入れて脱水している。この装置は溶媒の比重やスケールが小さくとも使用でき学生の評価も良く頻繁に使用されている。

当研究室では不安定な化合物も時々取り扱うことがあり、図4に示すように通常のクロマト用カラムに冷却管を取り付け、冷媒を循環させる低温カラムを作成した。カラムの外側から冷媒を循環させ冷却する。A,B 部には市販の中圧カラム用のポンプで圧力をかけて溶媒を流出させるため、カラムは肉厚のものを作成した。この装置を用いると 0°C 以下で分離を行えるわけであるが、流出速度が遅くなる、セットアップに時間がかかる等の理由で、なかなか学生に使ってもらうことができなかった。そこで温度はそれほど低温にはできないが簡単に使用できる図5に示すカラムを作成した。このカラムは通常のカラムであるが、C部に氷水を入れ冷却する。氷がなくなったら醤油チュルチュルを用いて、水を抜いて氷を足すことができる。こちらはなかなか好評で、多くの学生に使用していただいた。ドライアイスエタノールで冷却すれば 0°C 以下でも使用できるが、すぐに温度が上がってしまうので、氷水で冷却し、室温では少し不安定程度の化合物の分離にお勧めである。

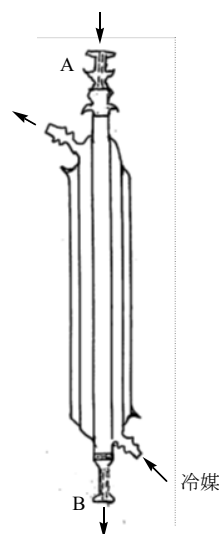


図4．低温カラム

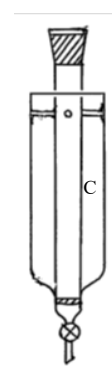


図5．簡易型低温カラム

次いで酸化や還元を吸収スペクトルで追跡し、適時反応を止め、いろんな目的に使用できる簡易型ガラス装置について紹介する。ただし、吸収スペクトルの変化を測定するだけの目的には、最近では薄層セルを用いて吸収スペクトルを測れる電解装置が市販されているのでそちらを使用した方がきれいなスペクトル変化が測定可能である。ある特定の化学種で反応を止めて、ESR スペクトルや NMR スペクトルを測定したりするには、ここで紹介する装置は有効と思われる。真空ライン等と併用して用いるので、真空ラインの取り扱いに慣れる必要があり、初めての学生には難しいかもしれない。装置の概略図を図6に示す。A部に2 mmのUV-vis 吸収スペクトル測定用のセルを取り付ける。B部には NMR や ESR 測定用のセルを取り付ける。D部には Na や

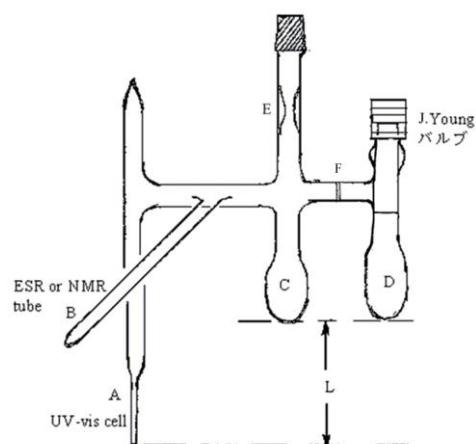


図6．酸化還元種のスペクトル測定装置

Na--アマルガム還元剤や酸化銀や酸化鉛等の酸化剤を入れておく。C 部には試料を適当なドライ溶媒に溶かし、入れておく。L の長さは吸収スペクトルを測定する機器に合わせて設計する必要がある。そういう意味では少しガラス細工も少しマスターしておく必要がある。F 部は荒い（＃1 程度）のガラスフィルターを入れておく。装置全体を真空ラインに取り付け液体窒素で冷やし freeze-thaw cycles により脱気し、E 部を封じ切る。C 部の溶液を D 部に移し、振りながら、還元または酸化を行う。D 部から C 部に移し A に反応移し吸収スペクトルを測定する。適当な時間反応させた後、望むところで B 部に一部移し NMR や ESR を測定する。B 部は測定用に封じ切るため、実際には予め適当な角度を持たせておく必要がある。

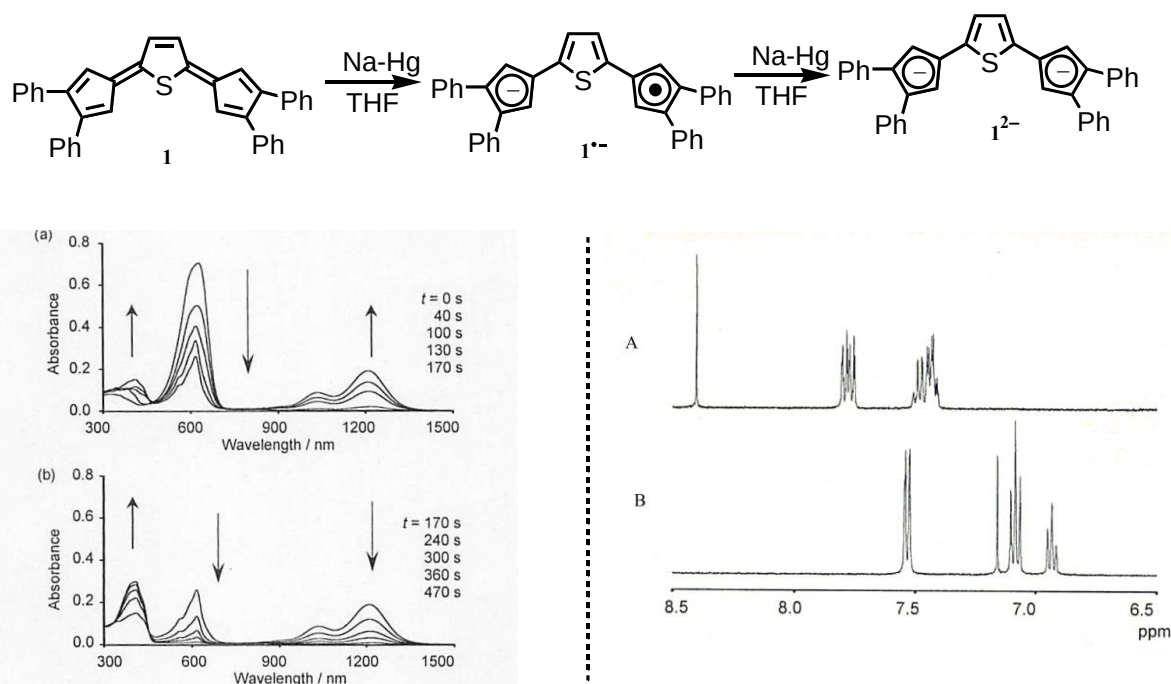


図 7. 図 6 のガラス器具を用いて測定した化合物 1 の還元反応（上段反応式）、吸収スペクトルの変化（下段左上 (a): 1 → 1(radical anion)、下段左下 (b): 1(radical anion) → 1(dianion)、および NMR のスペクトル変化（下段右上 (A) : 1（還元前）、下段右下 (B) : 1(dianion)）、M. Kozaki, A. Isoyama, K. Akita, K. Okada, *Org. Lett.*, **2005**, 7, 115-118.

そのようにして測定したのが図 7 上段に示す反応であり、図 7 下段に吸収スペクトル変化とジアニオンの NMR スペクトルを示した。

今となつては懐かしい思い出である。

感謝。

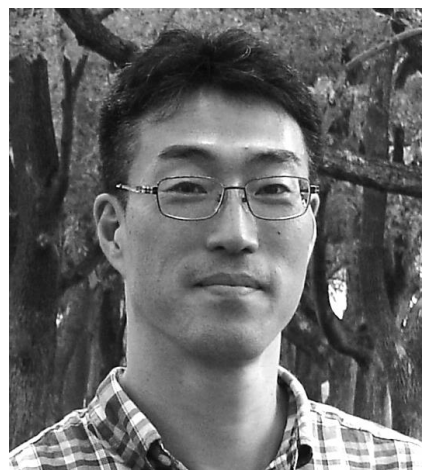
右手と左手とを入れ替える

三宅 弘之（みやけ ひろゆき）

所属：理学研究科 物質分子系専攻

専門分野：錯体化学

趣味：電車の中での読書，映画鑑賞



右手と左手を入れ替えるほど不便なことはない。これは人の手が前と後ろとを区別できる胴体に繋がっているからである。人の手の場合，右手と左手を入れ替えると後ろ向きに曲がる腕を手に入れることになる。不便になるように感じるが，後ろのものを容易に手にとることができるようになるので案外いいかもしれない。首が後ろ向きに付けられた C-3PO のようにそんなに怒る必要はないと思う。これは分子の世界でも同じで，右手と左手を入れ替えると元の分子とは全く異なる性質を示すことがある。

なぜか学生のときにアミノ酸誘導体を取り扱って以来，長い間キラルな化合物とつきあっている。キラルとは「不斉な」と日本語で言われるが，揃っていない，整っていないというなんだかよくわからない言葉だ。関連する英語も，キラリティー (chirality) やらせリシティー (helicity) やらややこしい。今回，工作センター利用者委員会委員の東海林先生からファブリカの原稿を書くように指令が来た。何を書こうかと思ったが，市大でお世話になっているキラルなことを限られたページで書いてみようと思う。固い文章は書きたくないが，キラルとはなんだということを書かないと話が始まらない。

<キラリティーって？>

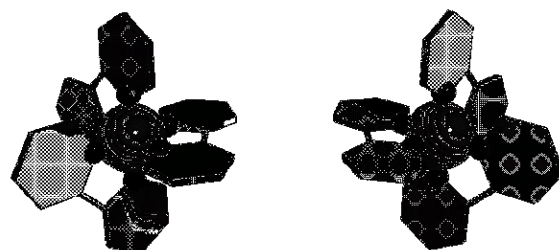
ある化合物の鏡像体がもとの形と重なり合わない場合，その性質をキラルという。キラルは形容詞として使われる。右手と左手の関係がまさに鏡像関係で，右手を鏡に映すと鏡に映った右手は左手に見える。右手と左手とは手のひらを合わせると重ね合わせることができるかもしれないが，それは手のひらが会うだけで，3次元構造としては同じではない。つまり重ね合わせることができない。「右手はキラルである」というように使われる。キラルなものは身の回りにあふれている。例えば，靴やサンダルは右足用と左足用が容易に区別でき，鏡に映った関係なのでキラルである。面白いことに，無地の靴下はキラルではないが，足を入れるとキラルになる（キラル誘起という）。また，陸王に出てくる足袋はキラルである。靴や足袋は，右足には右足用といった具合に，それぞれの足と一つになって初めて効果が発揮される。逆では履くことすらできない。キラリティーという言葉もよく使われる。これは名詞で，キラルケミストリーが素晴らしいから”キラリと光り輝く”という（オヤジギャグ的な）

意味ではなく、キラルであることという意味で使われる。「右手のキラリティーは左手とは逆である」となる。日本語ではどちらも単に不斉と表現する。

分子の世界にキラリティーがあるという発見はパスツールによる酒石酸の単結晶の分離に始まる（彼は化学者としてだけではなく、低温殺菌法やワクチンの予防接種法を開発した細菌学者、微生物学者としてよく知られる）。彼は結晶化がとても上手だったのだろう。人工的に合成した酒石酸から結晶を作ると、その形に2種類あることに気がついた。それらを光学顕微鏡で観察しながら手で分けて、互いに鏡像異性体（右手と左手の関係）であることを見出した。この結晶化を日本で再現しようとした方がおられる。とても大きな単結晶を作成し、顕微鏡を使わなくてもその面の違いが目で見えてわかるぐらい大きな単結晶を作成された^{1,2)}。この結晶作成に関する実験の手引きを發表されているので、それを参考に高校2年生が一人で再現実験を試みた。しかし、彼は手引書で示されたようなきれいな単結晶を得ることはできなかった。努力の結果、1 mm 程度の結晶を得たが、彼が当初期待したサイズではなかった。しかも、結晶内に含まれるアンモニアが抜けて白っぽくなってしまった。しかし、彼は気落ちすることなく発表用のポスターを作成し、いかに単結晶の作成が困難であることを、得られた小さな結晶を前に説明していた。高校の先生や高校生よりも大学の先生方や随分前に引退された大学の先生の方が興味を持って彼のポスターのところに來ていたのが印象的であった。この結晶の作成には温度の影響が大きいことが知られているが、気温や湿度、ちょっとした不純物の混入など何か原因があったのだろう。彼はその後大阪市大理学部化学科に入学して、立派に修士の学位を取得して社会へ旅立っていった。

<金属錯体のキラリティー>

金属錯体がキラリティーをもつことは Alfred Werner（1913年にノーベル賞受賞）によって予想され、実際に錯体を合成して証明してみせた³⁾。理学部化学科のカリキュラムでは2回生の講義で金属錯体の基礎を習い、3回生の学生実験で自分たちの手で実際に合成する。Werner が提唱した「配位説」を実証する上で鏡像異性体の存在の確認が不可欠であった。図1に典型的な金属錯体の構造を示す。金属中心に3つの板状の有機配位子が配位している様子がわかるだ



左巻きらせん 右巻きらせん
図1 らせん型金属錯体の構造。大きな球：金属イオン，小さな球：配位窒素原子，板：炭化水素部位。

ろうか。よく見ると、3つの配位子がまるで扇風機の羽のようにプロペラ状に並んでいる。左巻きプロペラと右巻きプロペラは鏡に映った関係で重なり合わないで鏡像異性体である。Werner らはそれら鏡像異性体を一旦ジアステレオマー塩として分離する方法を開発し、錯体の旋光性から、(+)体と(-)体として区別した（この光学分割法は優れた方法で、工業的にも用いられ、ノーベル賞受賞から100年経った今でも研究が進められている）。後年、金属錯体の右巻きと左巻きの構造をX線結晶構造解析法を駆使して世界で初めて明らかにしたのが大

阪市大のグループである⁴⁾。その後キラルな金属錯体が次々と合成され、分光学的性質との関連が明らかにされてきた。その中にはキラル触媒としての活性を示すものもあるが、金属錯体の研究の初期においては、それら錯体の構造を明らかにすることに主眼が置かれていたため非常に安定で構造変化を起こしにくい錯体が研究対象であった。しかし、生体中では、必要な時に必要な構造へ変化して必要な機能を発現している。人工的に金属錯体の構造を自在に変換し、必要なときに必要な活性を取り出すことができるだろうか？そのためには、錯体の構造を外部刺激により意図的に動かすことが重要である。残りの紙面を使って著者のグループが見出した動的なキラル金属錯体に関する例を紹介する⁵⁾。

<ジアステレオマーについて>

キラル中心が複数ある分子の場合、一部のキラリティーだけが反転したものの同士は鏡像体の関係ではなく、ジアステレオマーという。右手と左手を入れ替えた体と入れ替える前の元の体との関係と言える。こうなると、もとの化合物とは全く異なる性質を示す事が多い。融点や沸点が異なるのはその典型例である。沸点や融点は分子間の相互作用により大きく影響されるが、一部のキラリティーが異なったジアステレオマーでは分子同士の相対的な位置関係が鏡像体とは異なるためである。まるで同じ親から生まれた子どもたちのように、一見よく似た顔をしているが、性格は全く異なる。

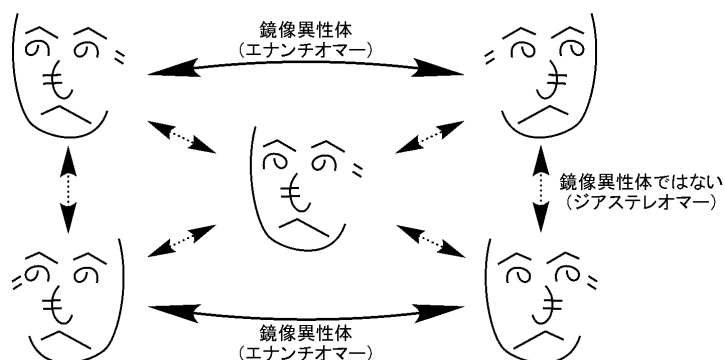


図2 ジアステレオマーが個性を現す。

<金属錯体の速やかなヘリシティー反転>

筆者らは、天然アミノ酸である(S)-アラニンから誘導したキラル 4 座配位子を用いてコバルト(II)錯体を合成したところ、その構造が左巻きらせん構造であり、硝酸イオンを添加すると右巻き方向へ速やかに反転することを見いだした(図3)。このコバルト(II)錯体では硝酸イオンのコバルト(II)中心への配位と配位子のアミド水素への水素結合が効果的に働き、右巻き構造へ反転する。この発見はたまたま(セレンディピティー)だろ？と思われるかもしれないが、左巻き錯体の分子構造を見ながら反転現象を狙って実現したものである。当初、アミド水素と相互作用すると期待した様々な有機化合物を用いてらせん反転を試みたが上手くいかなかった。もっと簡単に反転すると思っていたので何としてでも実現するぞという気力の問題に置き換わってしまった。考えられる最後の手段と祈りながら硝酸イオンを加えたところ驚くほどきれいならせん反転を観測することができたのが真相である。重要なのは構造

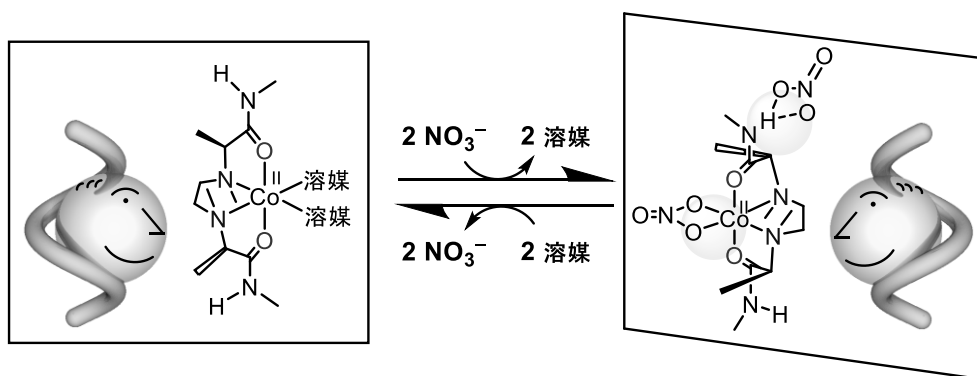


図3 錯体ヘリシティの反転プログラミング。

変化が速やかに起こることである。通常構造変化の起こりやすい金属錯体では様々な異性体の混合物を与えやすいが、筆者らの見出した錯体ではほぼ完璧に左巻きらせん構造のみが形成され、硝酸イオンを加えるとほぼ完璧に右巻きらせんへと反転した。このらせん反転は使用する溶媒組成によっても制御できることを確認した。さらに筆者らは、平面四角形型パラジウム(II)錯体においてもキラリティー反転を見いだした。いずれの錯体においても複数のキラル中心を有するので、らせん反転はジアステレオマーへの異性化反応であり、まさに生体分子で見られるらせん反転とよく似ている。この速やかならせん反転現象を応用すると、オリゴペプチドのらせん方向が硝酸イオンにより反転できること、さらにはらせん反転速度がミリ秒オーダーから時間オーダーまでコントロールできることを見出した。また、複数の外部刺激の組み合わせに応答して「動くときと動かないときとをスイッチする」金属錯体も実現できた。詳細に関してはまたの機会としたい。



このように、金属錯体の研究は構造変化の遅い静的な錯体に関する研究からスタートしたが、近年構造変化の素早い動的な錯体について精力的に研究されるようになってきた。金属錯体は分子変換化学の主役を演じることのできるパワーの持ち主であるが、変わり身の速さもこれからの時代には必要である。特に、らせんの方向をも含むキラル化合物の外部刺激応答性については様々な分野から研究者が参入し、多彩な系が実現できるようになってきた。そろそろ大きなブレークスルーを迎えそうな予感がしてならない。

謝辞：本稿をまとめるにあたり、本文中で引用した筆者らの研究は、文部科学省および日本学術振興会からの科学研究費助成により達成することができた。特に、研究の初期においてなけなしの研究費で様々なガラス器具を提供してくださったガラス工作室の堀井氏と中原氏には感謝の言葉もありません。

<参考文献>

- 1) 廣瀬良樹, 化学, **59** (No.2), 50 (2004).
- 2) 廣瀬良樹, シンポジウム モレキュラー・キラリティー 講演要旨集, IL-04, (2005).
- 3) E. C. Constable, P. A. Gale, *Chem. Soc. Rev.*, **42**, 1427 (2013).
- 4) Y. Saito, K. Nakatsu, M. Shiro, H. Kuroya, *Acta Crystallogr.*, **8**, 729 (1955).
- 5) H. Miyake, H. Tsukube, *Chem. Soc. Rev.*, **41**, 6977 (2012). など

地震時の人体被災度計測ダミーの開発

氏 名 生田 英輔（いくた えいすけ）

所属：生活科学研究科 生活科学専攻

専門分野：居住安全工学

趣味：防災グッズ収集



はじめに

タイトルを一瞥して、「人体被災度...ジンタイヒサイド...?」と怪訝に思った読者は多いかもしれない。この「人体被災度」という言葉は当然のように使用してきたが、改めてWEB検索してみても筆者が関連した研究しか出てこないようである。実は筆者の学位論文のタイトルにも「人体被災度」を使用しているが、学位論文では「地震時の家屋倒壊・家具転倒による人体被災度...（以下略）」としている。このような表現だとなんとなくイメージしてもらいやすいと思う。すなわち、「人体被災度」とは人間が地震時に倒壊した家屋や転倒した家具の下敷きになった時に、どのような影響を受けるのかを意味する。防災の最大の目的は「人が死なない」ことであるので、「人体被災度」をはじめとする災害時の人的被害研究はもっとメジャーになるべきだと日々筆者は考えているのだが、「人体被災度」という言葉が未だに広まっていないことから、防災分野ではまだまだ人的被害研究はマイナーな分野かもしれない。本稿では地震時の人的被害研究の一環として実施してきた人体被災度計測ダミーの開発の経緯とダミーの詳細を報告する。

人体被災度計測ダミーの開発に至る経緯

1995年の阪神・淡路大震災は直接死者数 5,502 人となり、その多くが倒壊した家屋の下敷きとなって死亡した。戦前より、一貫して住宅の耐震化を進めてきたわが国において、大都市近傍域で発生した M7 クラスの地震により一瞬で多くの建物が倒壊し、多数の犠牲者が発生したことは、断層近傍域で発生する強地震動対策の必要性が強く認識された。この震災を機に、科学技術庁（当時）は耐震研究の一層の進展を図るため、兵庫県三木市に世界最大の実大三次元震動台を建設することになった。現在、国立研究開発法人防災科学技術研究所が運営しているこの震動台は愛称：E-ディフェンスと呼ばれ、実大の建物や土木構造物を載せ、日々震動実験を実施している。E-ディフェンスの建設と並行して、E-ディフェンスにおける大規模破壊実験に必要な測定法、加振手法の開発などを目的とした科学技術振興調整費総合研究「構造物の破壊過程解明に基づく生活基盤の地震防災性向上に関する研究」がスタートし、その分科会として「大規模破壊実験

における人体被災度計測手法の開発」が研究テーマとして盛り込まれた。この総合研究が始まった時、筆者は宮野道雄先生（前理事兼副学長）の研究室に所属する学部学生であったが、宮野先生がこの研究に参画することになり、幸運にも卒業研究として筆者が本研究に関わる事になった。その後、前期・後期博士課程でもこのテーマの研究を継続し学位取得に至った。

この分科会は熊谷良雄先生（当時筑波大学）が主査となり、E-ディフェンスで建物破壊実験を行う際に、居住者への影響を計測するための人体被災度計測ダミーを開発を目指し、①実際の震災での人的被害発生状況の分析、②人的被害発生状況を踏まえたダミー開発、③開発したダミーを用いた実験を行うことになった。本稿では紙面の都合上、①②を紹介する。

実際の震災での人的被害発生状況の分析

ダミー開発にあたっては、実際の震災での人的被害発生状況の分析が必須であると考え、発生からそう時間のたっていない阪神・淡路大震災の人的被害の分析を行うことになった。阪神・淡路大震災はデジタル時代を本格的に迎えた時代に発生した震災であり、大量の調査データが取得され、その分析が進められていた。そのデータのうち、分科会で注目したのは建物被害データと人的被害データであった。通常これらのデータは個別に収集され分析されるが、実際の人的被害は建物被害とは切り離せないものであり、統合することになった。具体的には、警察・監察医や救急医が調査した死亡者データ・負傷者データおよび建設省建築研究所や関連学会が調査した建物被害データをマッチングし、人的被害統合データベースを構築・分析した。調査データは豊富にあったものの震災後の混乱の中で入力されたものもあったため、マッチング作業は手作業となり多くの時間を費やしたが、最終的に死亡者統合データベースは 4,956 件、負傷者統合データベースは 1,349 件となった。データベースの分析から典型的な死亡形態として「家屋による胸部・胸腹部の圧迫による窒息」、典型的な負傷形態として「家具による大腿骨等の四肢の骨折」という人的被害発生状況が明らかになった。

人的被害発生状況を踏まえたダミー開発

人的被害発生状況の分析から得られた結果を踏まえダミー開発を行った。典型的な死亡形態としては胸部圧迫を想定することになった。日本自動車研究所の分科会メンバーから自動車衝突実験用ダミーや衝突実験方法の情報提供を受け、自動車用ダミーを基にした開発を目指したが、想定される衝突形態が自動車事故と地震時の家屋倒壊では大きく異なることが判明し、地震用に特化したダミーを開発することに方針転換した。もちろん、自動車用ダミーの価格（1,000 万円以上）や、海外企業の製品が主である自動車用ダミーの詳細情報が得られにくかったことも原因である。独自にダミーを開発することになったものの、一からダミーを製作するには人体寸法や人体の力学的特性などのデータを得ることが必要である。これには相当な時間とコスト、そして倫理的な問題などクリ

アすべき課題が多いため、市販の CPR（心肺蘇生）訓練用ダミーを用いることにした。CPR 訓練用ダミーは当然ではあるが胸部の強度は人体に極めて近似していると判断したためである。ダミーの選定と並行して、どのようなセンサーをダミー内部に設置して、人体被災度を評価するかの議論を行った。この議論には阪神・淡路大震災の際に実際に監察医として遺体検案を行った、分科会メンバーの西村明儒先生（現徳島大学）の知見が非常に有用であった。すなわち、倒壊家屋の下敷きになっても人体が過度に圧迫されたとされる遺体は少なく、胸部の呼吸運動が阻害される程度の隙間に挟まれることによって死亡した例が多いと推察されるということである。肋骨が骨折するような衝撃力を受けたのではなく、倒壊した家屋部材の間で胸部が圧迫されることにより呼吸運動を阻害され短時間で窒息に至るという事である。人体でも胸部は面積も大きく、厚みもあるため、このような状況になり易いが、一方で腕や足を挟まれても骨折程度で済み、死亡に至る例は少ない。ちなみに交通事故では胸部への衝撃力での傷害が多いそうである。では、どの程度の圧迫で死亡に至るのか。これも難題であった。実は胸部圧迫による死亡は日常時には多くなく、医学分野でもデータは多くない。国内外の文献を確認したところ動物実験の論文が見つかり、その論文では体重の 3 倍の重さが胸部に載荷されると死亡危険度が高まると指摘していた。これらの結果を踏まえ、ダミー胸部には変位計を設置することにした。就寝時の仰臥姿勢で鉛直方向に圧迫を受けた際の変位を計測することにより、載荷重量を推定し、死亡危険度評価することが可能であると考えた。

典型的な負傷形態としては大腿骨骨折を想定することになった。これも就寝時の仰臥姿勢を考えると大腿骨の軸と垂直方向の力を想定することになる。また、胸部圧迫とは異なり衝撃力の計測が必要となる。実は CPR 訓練用ダミーの大腿部はスポンジ製であり、別途大腿部モデルの製作が必要となった。義肢製作会社の協力を得て、男子学生の大腿部の型を取り、シリコン樹脂を使い大腿部モデルを製作した。また、シリコン内部にはアメリカより購入した人工骨を入れ、さらに加速度センサーを骨直近に設置した。



図 1 完成した人体被災度計測ダミー

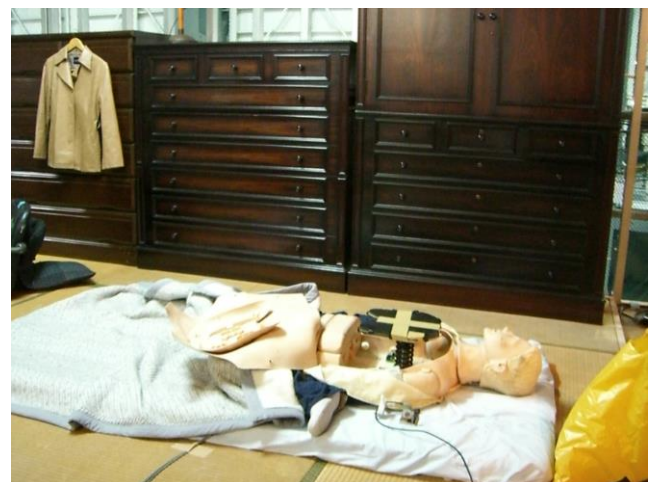


図 2 E-ディフェンスでの
震動実験を待つダミー

以上のようなプロセスを経て、地震時の家屋倒壊による典型的死傷形態を想定した人体被災度計測ダミーは完成した。その後、重りを用いた実験で計測状況を確認したうえで、実際の実験での計測を行った。家具転倒実験は比較的容易に実施できるものの、震動台での実大建物破壊実験は一発勝負であり、計測には運も関係してくるが、このような大規模な研究プロジェクトに参加できたことは研究者人生において貴重な経験になっている。

談 話 室

波を追いかけて： Exploring physics of waves

竹内 日出雄 （たけうち ひでお）



所属：工学研究科 電子情報系専攻

専門分野：光物性工学

趣味：Jazz 鑑賞(ライブ通います), ユーモアのセンスの鍛錬(特にブラックユーモア)等

1. はじめに

“What a difference a day makes (What a difference a day made)” という有名なジャズナンバーがあります[1]。縁は異なるものと日本語訳されるタイトルです。筆者は、まさにこのタイトル通りの人生を歩んできました。筆者が大阪市立大学でお世話になるのは、これで3回目です。第3期目といったところでしょうか。ホンダがF1に復帰したのと同じように第3期目です。筆者の簡単な略歴を表1に示しています。最初にお世話になったのは学部生時代。次にお世話になったのは、大学院後期博士課程時代。そして現在、電子情報系専攻にて准教授を務めています。企業では、製造部門や開発部に配属されました[2]。電子デバイス(LSI, 高周波トランジスター, 等)に関わる仕事でした。大学での研究は、主として光と物質との相互作用, 所謂光物性工学です。光は、電磁波という波の一種。光に魅せられたためなのか、まさに波のような人生を送っています。このような荒波の中でも製造, 開発および研究という世界で生き残ることができてきた主要因は、後述するように工作センターでの経験です。

表 1: 著者略歴。

学歴

	大阪市立大学 工学部 応用物理学科
	大阪大学大学院 理学研究科 物理学専攻 博士前期課程
	大阪市立大学大学院 工学研究科 応用物理学専攻 博士後期課程

職歴

	ローム株式会社 LSI 生産本部 Mixed Signal LSI 製造部
	大阪工業大学 工学部 一般教育科
	三菱電機株式会社 高周波光デバイス製作所 開発部 高周波素子開発グループ
	公立大学法人 滋賀県立大学 工学部 電子システム工学科 (准教授)
	公立大学法人 大阪市立大学 工学研究科 電子情報系専攻 (准教授)

前口上は、ここまでとして。なお本稿の最終ページには、参考文献、注釈だけではなく豆知識を載せています。

現在筆者が主として取り組んでいるのは、時間領域テラヘルツ電磁波発生メカニズムの解明です。以下に電磁波の周波数と応用例を示します。一般的な携帯電話の周波数は、約 2 GHz (2.0×10^9 Hz, 波長に換算すると 150 mm)であり、IEEE での規格に従うと S バンドと呼ばれる電波です。光通信に用いられるレーザー光の波長は、1.3 μm あるいは 1.5 μm (周波数: 2×10^{14} Hz)です。可視光の波長領域は 400 nm ~ 700 nm (0.4 μm ~ 0.7 μm)です。テラヘルツ電磁波の周波数領域は、0.1 ~ 10 THz です(1 THz = 10^{12} Hz; 波長: 3.0 mm ~ 30 μm) [3-7]。従って、テラヘルツ電磁波は、電波と光との中間領域に位置する電磁波であると結論されます。西暦 2000 年までは、この電磁波を発生させるのが困難でした。しかしながら近年では様々な機器と周辺技術の発展により、この電磁波の研究が盛んに行われています。こうした研究で得られた成果(科学)を応用した様々な事例が報告されています。応用例として、創薬開発、バイオマテリアル研究および短距離通信等があげられます[8,9]。

テラヘルツ電磁波の発生方法には様々な手法があります。例えば超高周波トランジスターおよび量子カスケードレーザーが発生源としてあげられます[10,11]。この手法では、単に周波数領域信号しか得ることができません。一方フェムト秒パルスレーザー(1 fs = 10^{-15} s) [12, 13] を利用したテラヘルツ電磁波発生手法では、図 1 に示すようにフォノンの時間領域信号を得ることができます。時間領域信号は、位相および減衰過程に関する情報を有しています。さらにフーリエ変換を介して周波数領域信号に変換できるという利点もあります。次章では、筆者が取り組んでいるコヒーレント縦光学フォノンからのテラヘルツ電磁波発生について述べます。

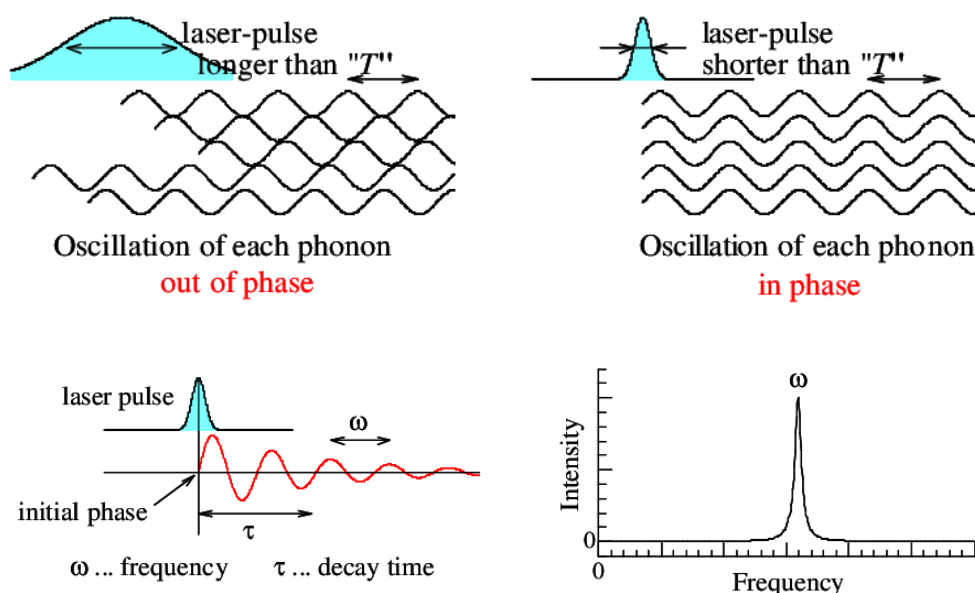


図 1: コヒーレントフォノンの概念を表す模式図。

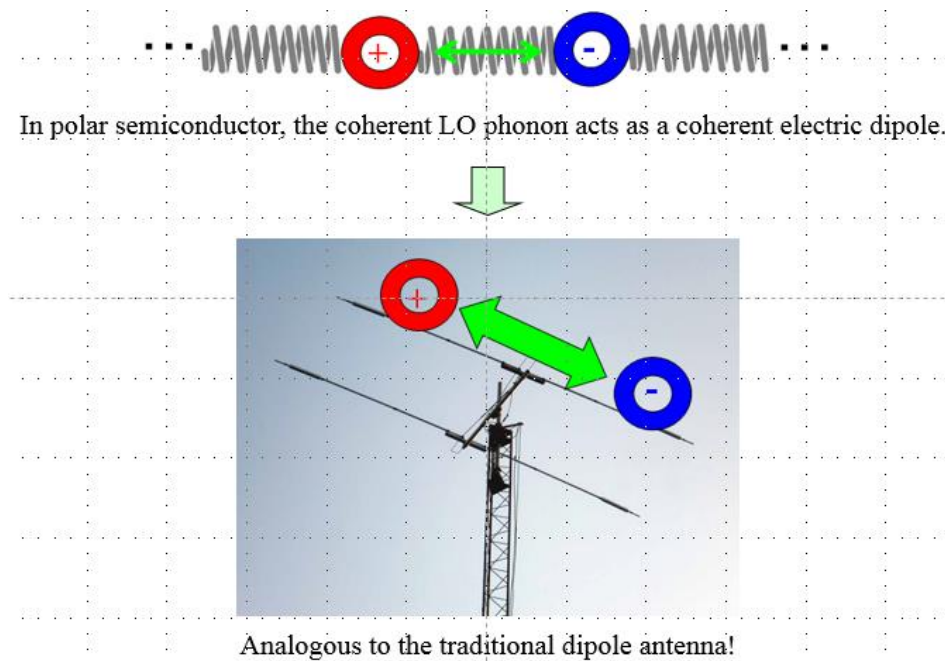


図 2: コヒーレント縦光学フォノンと一般的な双極子アンテナとの類似性。

2. コヒーレント縦光学フォノンからのテラヘルツ電磁波発生と測定系

フォノンとは結晶中の格子振動です。特に光学フォノンは、一種の双極子とみなすことができます。図 2 に典型的な電波送受信双極子アンテナと光学フォノンとの対応を示します。図 2 が示す通り、フォノンは、双極子とみなすことができます。固体物理学の世界では、こうした双極子を分極と呼びます。図 1 に示すように、光学フォノンの周期より短いパルス光を照射すると、位相の揃ったフォノン集団が誘起されます。これがコヒーレント光学フォノンと呼ばれる物理現象です。光学フォノンの周波数は、テラヘルツオーダーなので、テラヘルツ電磁波発生源として注目を浴びています[14]。一般的な時間領域テラヘルツ電磁波検システムを図 3(a) に示します。この検出手法は、光ゲート法と呼ばれる手法です。図 3(b) に示すダイポールアンテナがテラヘルツ電磁波検出素子です。この素子は、高抵抗性を有する低温成長 GaAs エピタキシャル層上に金を堆積してエッチング加工されたパターンを有します。この素子にゲート光と呼ばれるフェムト秒パルスレーザー光が照射されると、キャリアが生成されます。一方ビームスプリッターで分割されたポンプ光は、試料に照射されます。この際にテラヘルツ電磁波が発生されます。このテラヘルツ電磁波は、ゲート光によって生成されたキャリアを駆動させ、結果、電流として検出されます。図 3(a) に示すステッパーと呼ばれる装置は、ゲート光とポンプ光との間で遅延時間を発生させます。テラヘルツ電磁波は、時間遅延の関数として記録されます。微小信号のためロックインアンプと光学チョッパーを用いて位相ロック交流増幅検出されます。本研究室のフェムト秒パルスレーザーは、キットを購入してハンドメイド。テラヘルツ電磁波を検出するために欠かせない乾燥窒素ページボックス[図 3(c)]は、筆者が設計し、工作センターで作製していただいたものです。なおページボックスに取り付けられている信号を取り出すための SMA コネクタは、筆者が三菱電機

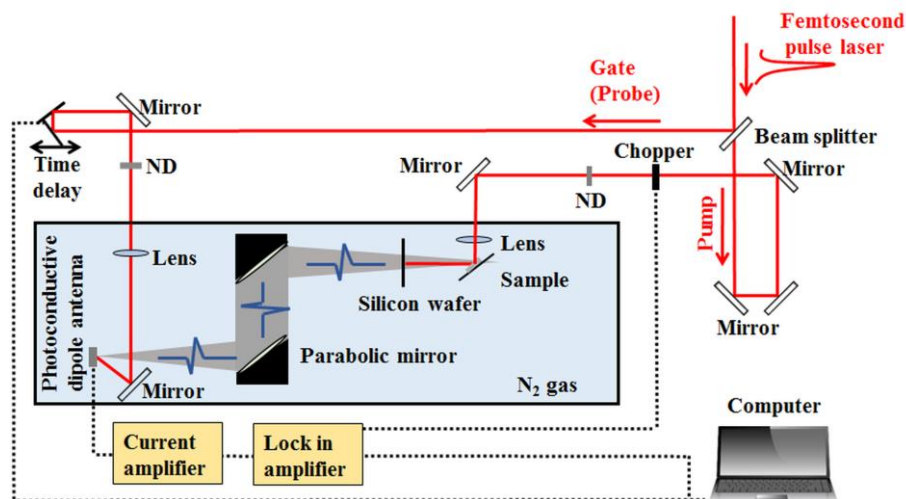
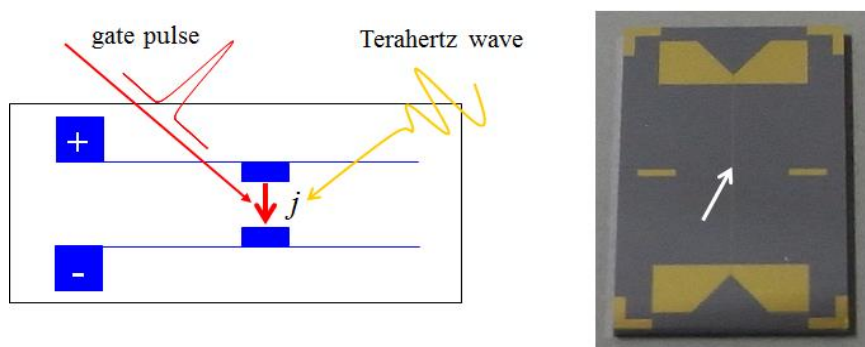


図 3(a): 光ゲート法を持ちた時間領域テラヘルツ電磁波検システムの模式図。



$$E_{\text{THz}}(t) \propto \frac{\partial^2}{\partial t^2} P \quad P: \text{Polarization of optical phonons.}$$

図 3(b): テラヘルツ電磁波検出用ダイポールアンテナの模式図と光学写真。

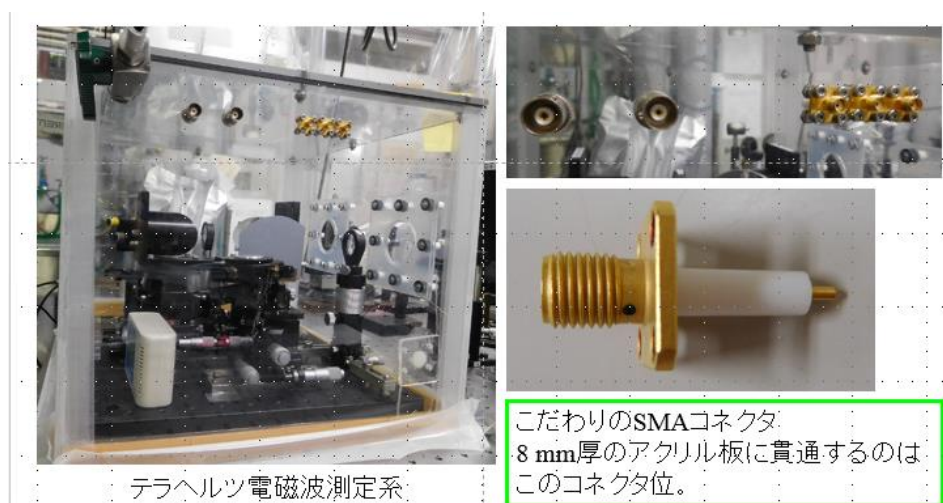


図 3(c): 工作センターで作製していただいた乾燥窒素パージボックスとージボックスに取り付けられている信号を取り出すための SMA コネクタ。

社/高周波デバイス部門で働いていたからこそ見つけることができたちょっと特殊なコネク

タです。高周波デバイスの世界広しといえど、このコネクタの存在を知っている方は、かなり少ないと思います。工作センターの技術と筆者のアイデアで得られたパージボックスです。筆者の研究室でテラヘルツ電磁波研究を促進させるために欠かせないアイテムです。

3. これまでに得られた時間領域テラヘルツ電磁波の研究成果

参考文献 14 で示されているように、コヒーレント光学フォノンからのテラヘルツ電磁波は、魅力的な現象です。しかしながら高強度のテラヘルツ電磁波を発生させるのは、困難とされ、複雑な試料構造とフェムト秒パルス光のフォトンエネルギー(周波数に相当)のチューニングという制約がありました。筆者は、この課題を解決するべく「コヒーレント縦光学フォノンは、巨視的な分極であるから、試料内の内部電場を利用して巨視的な縦光学フォノンの初期分極(初期振幅)を形成すればいいのではないか」という着想を得ました。図 4(a)は、筆者が提案した試料構造です。半絶縁性(001)面方位 GaAs 基板上に n 型層とアンドープ層(i 層)を堆積した単純なものです。(i-GaAs/ n -GaAs 構造)。この試料作製技術は、1980 年代にはすでに確立されていました[15]。この試料のポテンシャル構造を図 4(b)に示します。 i 層に形成されて

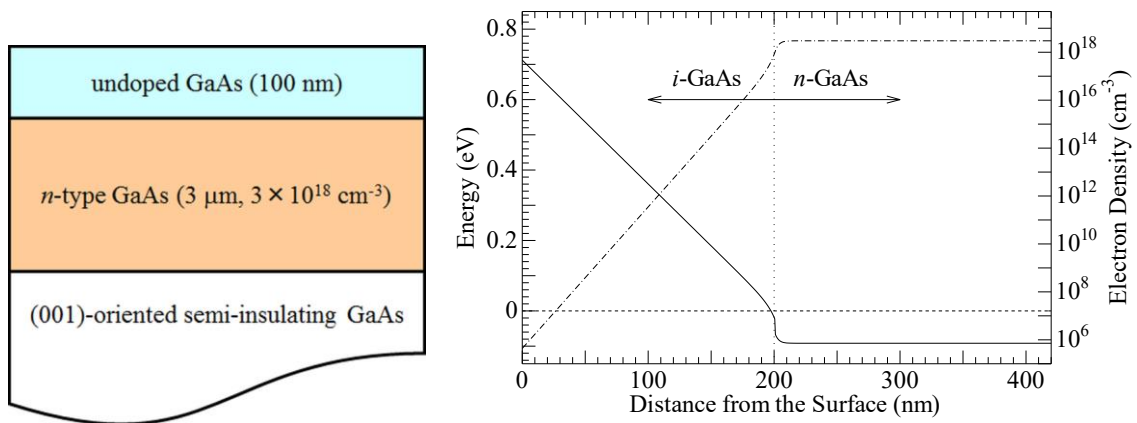


図 4: (a)筆者が提案した i -GaAs/ n -GaAs 二層エピタキシャル構造と(b)そのポテンシャル構造およびキャリア(電子)分布。

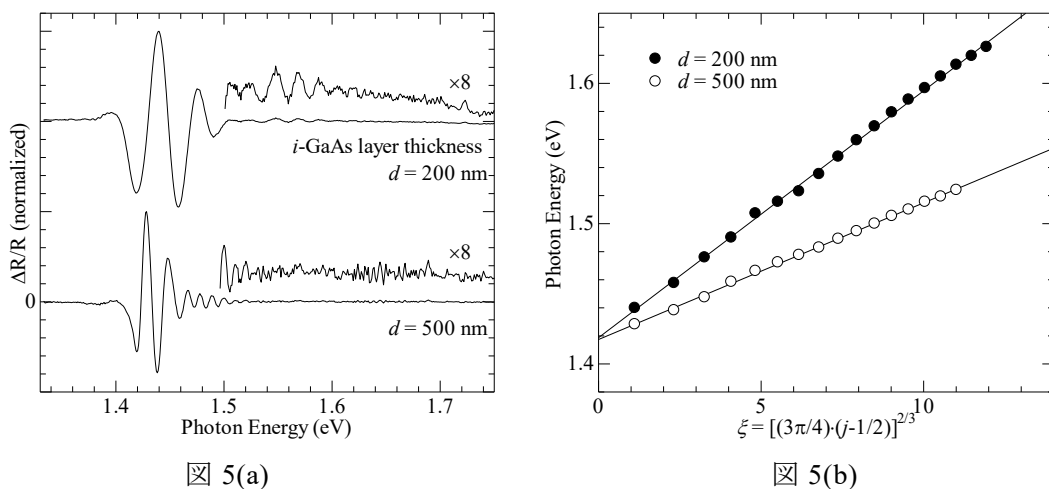


図 5: (a) i -GaAs ($d \text{ nm}$)/ n -GaAs 構造で観測されたフランチ・ケルディッシュ振動と(b)その解析方法の概略。解析手法の詳細に関しては、参考文献 20 と 21 を参照。

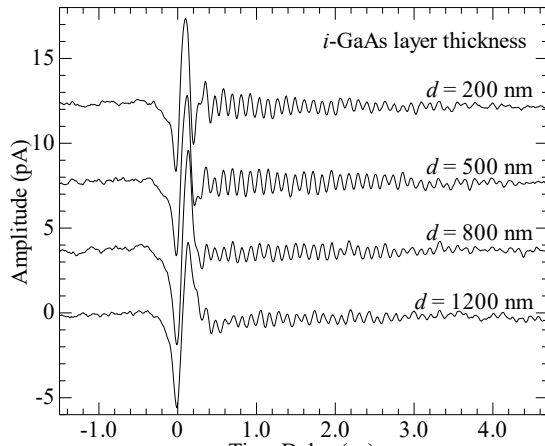


図 6

図 6: 時間遅延の関数としてプロットした時間領域テラヘルツ電磁波波形。

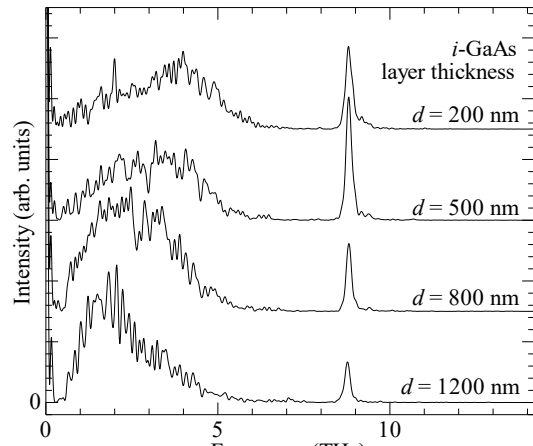


図 7

図 7: 図 6 で示される時間領域テラヘルツ電磁波のフーリエパワースペクトル。

いる線形的なポテンシャル勾配は、内部電場に相当します。このポテンシャル勾配は、表面フェルミピンングという現テク技術からヒントを得た試料構造です。商用トランジスターが世に出る前から(1950 年代)知られていた現象です。試料表面に存在するダングリングボンドに起因します[16]。この試料にフェムト秒パルスレーザー光が照射されれば現象に起因します。れると、瞬間的過渡電流が発生し、コヒーレント縦光学フォノンの初期分極(初期振幅に相当)を解放させ、結果、テラヘルツ電磁波が生成されます。本当に内部電場がこの試料に存在するのかという疑問が沸き上がると思います。証拠を図 5 に示します[17]。内部電場は、一般に光変調反射分光法と呼ばれる手法で評価できます[18]。この分光法は、1970 年代にはすでに確立された手法です。スペクトル上に現れている「波のような」振動構造は、フランツ・ケルディッシュ振動と呼ばれます[19]。この信号を解析することにより、内部電場を評価できます。評価手法の詳細を参考文献 20 と 21 にゆだねますが、得られた内部電場は、 i 層厚が 200 nm の試料では 28 kV/cm です。この試料を用いて得られた時間領域テラヘルツ電磁波を図 6 に示します[19]。時間遅延 0 ps に現れるバイポーラパルスは、瞬間的過渡電流に起因します[22]。この信号に引き続き振動構造が現れています。この振動構造の周期は、114 fs です。これは、GaAs のコヒーレント縦光学フォノンの周期に対応します。図 7 は、この時間領域信号をフーリエ変換した結果です。約 2.0 THz に出現するバンドは、上述の瞬間的過渡電流に起因するものであり、8.8 THz に現れるシャープなバンドは、コヒーレント縦光学フォノンに起因する信号です。時間領域信号の特徴を生かし、コヒーレント縦光学フォノンの寿命を探索しました[23]。図 8 に結果を示します。ポンプ光強度の増大、一光生成キャリア濃度の増加に相当し、とともに減少するという結果を得ました。コヒーレントフォノンの研究歴史は、長いものですが[24]、本結果は筆者のオリジナルな成果です。

なお高密度キャリアは、縦波集団振動を起こします。いわゆるプラズモンと呼ばれるもので、光学フォノンと同様に分極を有します。コヒーレント縦光学フォノンとこのプラズモン

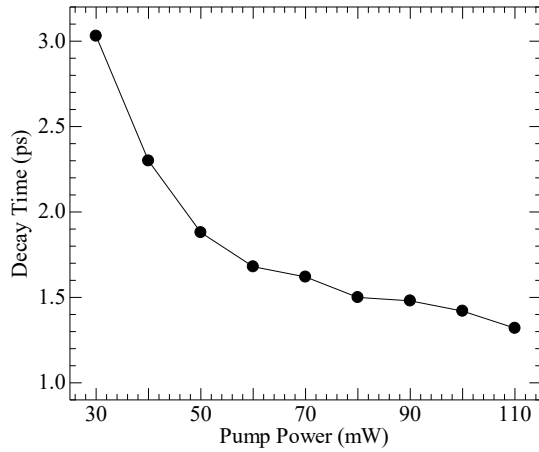


図 8

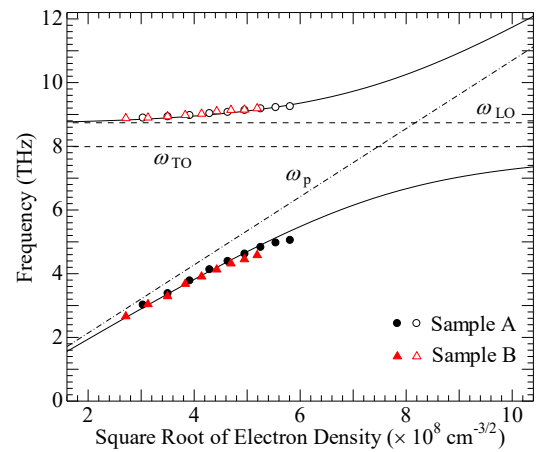


図 9

図 8: ポンプ光強度の関数としてプロットした GaAs コヒーレント縦光学フォノン寿命。

図 9: 光生成キャリアの濃度の関数としてプロットしたコヒーレント縦光学フォノン・プラズモン結合モード。

は、縦分極を介して結合し、コヒーレント縦光学フォノン・プラズモン結合モードという連成振動を引き起こします[25]。ポンプ光強度を変化させ、光生成キャリア濃度をコントロールすることにより周波数可変テラヘルツ電磁波発生素子の実現可能性も明らかにしました[26,27]。図 9 に示すのは、光生成キャリアの関数としてプロットしたコヒーレント縦光学フォノン・プラズモンの周波数です。図 9 が示すように、周波数を光生成キャリア密度で制御できます。

これまで述べたテラヘルツ信号では、光生成キャリアによる瞬間的過渡電流信号とコヒーレント縦光学フォノン信号が混在しています。もしコヒーレント縦光学フォノンからの信号のみを発生させることができれば、単色性時間領域テラヘルツ電磁波を得ることができます。先に述べた量子カスケードレーザでは、デバイス構造のばらつきや発熱に起因するピーク周波数数揺らぎを避けることができません。しかしながらフォノンの周波数は、物質固有の値です。従って、周波数安定単色テラヘルツ電磁波を得ることができます。これに成功した事例を紹介します。結果を述べるまえに、利用した物理現象を示します。図 10 に(111)面方位 GaAs 単結晶の原子配列を示しています。(111)面方位 GaAs は、試料に垂直な応力(面内方向で歪を生じさせることと類似)が印加されると、カチオンである Ga とアニオンである As の間で分極が発生します。これはピエゾ分極(電場)と呼ばれる現象です。理論的に(11 n)面方位 GaAs に面内方向で歪を生じさせると、指数 n を変化させることによりピエゾ電場を制御できることが報告されています[28]。この現象を応用した筆者の成果を図 11 と 12 に示します[29,30]。用いた試料は、分子線エピタキシー法によって(11 n)面方位半絶縁性 GaAs 基板上に成長された GaAs/In_{0.1}Al_{0.9}As 歪多重量子井戸です。面方位指数 n は、2, 3, 4 および ∞ です[31]。多重量子井戸の形成の前にあらかじめ In_{0.1}Al_{0.9}As 層厚 1.0 μm メタモルフィック干渉層(疑似基板)を成長させています。従って、多重量子井戸内の GaAs 井戸層のみが格子不整合による引っ張り歪を受けます。歪多重量子井戸は、20 周期の GaAs 井戸層と In_{0.1}Al_{0.9}As 障壁層

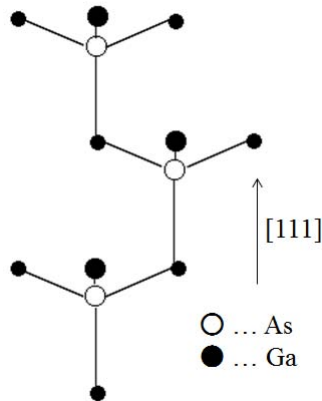


図 10: (111)面方位 GaAs 単結晶における原子配列。

で構成されています。GaAs 井戸層と $\text{In}_{0.1}\text{Al}_{0.9}\text{As}$ 障壁層の層厚は、共に 10 nm です。格子定数から推定される GaAs 井戸層内の引っ張り歪は、0.84%です(GaAs の格子定数は、0.5633 nm; $\text{In}_{0.1}\text{Al}_{0.9}\text{As}$ の格子定数は、0.5701 nm)。参考文献 28 から理論的に見積もられる GaAs 層内のピエゾ電場は、(114) 歪多重量子井戸、(113) 歪多重量子井戸と(112)歪多重量子井戸でそれぞれ 41, 72, および 144 kV/cm です。図 11 が示すようにバイポーラパルスをほぼ凌駕するコヒーレント縦光学フォノンからのテラヘルツ電磁波が観測されています。この信号をフーリエ変換したのが図 12 です。この図から明らかなように、8.7 THz にピークを有する鋭いバンドが観測されています。一方、光生成キャリアに起因する 2 THz 近傍のバンドの強度は、無視できるほど強度が弱くなっています。すなわちコヒーレント縦光学フォノンに起因する単色性テラヘルツ電磁波の発生に成功したことを示しています。

因みにこれら歪多重量子井戸は、筆者が大阪市立大学/応用物理学専攻在籍時代(学生時代)にテラヘルツ電磁波発生を目指して設計した試料ではないのです。まさに **What a difference a**

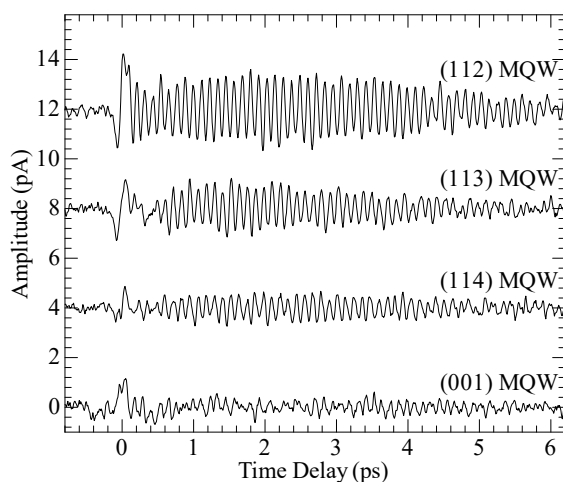


図 11

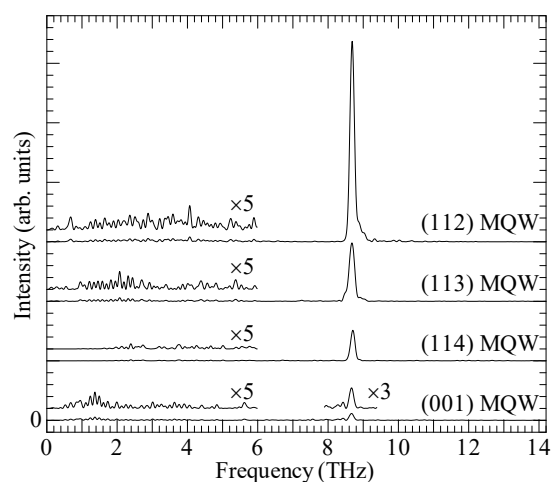


図 12

図 11: (11*n*)面方位歪多重量子井戸における時間領域テラヘルツ電磁波波形。

図 12: 図 11 で示したテラヘルツ電磁波波形のフーリエパワースペクトル。

day makes。だからこそ研究って面白い知的活動だなと思っています。

4. 今後の展望とまとめ

ここまでで紹介した筆者以外の引用文献は、1960年代から80年代にかけての論文がほとんどです。この時期は、半導体の基礎物性に対する本質的な研究がなされていた時代です。諸先輩である研究者の方々の思いは、Jazz ナンバーの Nica's Dream とほぼ類似しているような気がします[32]。

“Researchers had a vision that fundamental physics of semiconductors would one day be the novel phenomena that's of the future, you see. Don't you agree? We'll help to see that their vision will come true. And all the world will be blessed by novel phenomena too.”

この言葉を本稿の結論と結語としたいと思います。

参考文献・注釈・豆知識

[1] “*What a difference a day makes*” written by María Grever (1934)。元々はポップス音楽。数多くの Jazz ミュージシャンが歌い継いでいます。個人的には、女性 Jazz ミュージシャンである Akiko さんのアルバム「黒い瞳/Dark Eyes」(ASIN: B008861S0O, ability muse records, 2012)で謳われている曲がお勧めです。

[2] 筆者は、所謂「企業の研究所」に在籍したことはありません。開発部でコツコツと論文と特許を書いていました。

[3]日常生活では、光と電波の単位をそれぞれ波長と周波数で記述します。確かに xx Hz の周波数の光という表現をなかなか耳にしません(高等学校の物理の教科書でも、光は長さの次元で記述されています)。同じ電磁波なのに不思議だと思ふことがあります。

[4]光の色と波長との対応は、青色が約 450 nm, 緑色が約 530 nm, 赤色が約 650 nm です。

[5]余談になりますが、サイエンスとしての側面だけではなく、法的側面でも面白い点があります。例えば光無線通信の分野は電波法の適用外なので、無線局免許が不要です。ただし光ファイバーを伝わってきた信号が家庭内の無線ルーターを介して 2.4 GHz あるいは 5.0 GHz の電波信号になると、電波法の規制を受けます。日本の電波法では、3.0 THz 以下の周波数の電磁波を「電波」と定義しています。

[6] テラヘルツ電磁波の周波数帯域に対する明確な定義は、IEEE(The Institute of Electrical and Electronics Engineers)にて未だ検討中です。

[7] 本稿で定義するテラヘルツ電磁波の周波数帯を、学術雑誌 IEEE Transactions on Terahertz Science and Technology で取り扱われている 300 GHz から 10 THz の周波数レンジとしています(原文: IEEE Transactions on Terahertz Science and Technology is specifically aimed at the frequency range between 300 GHz and 10 THz – “Expanding the use of the Electromagnetic Spectrum.”)。

[8] K. M. K. H. Leong, X. Mei, W. H. Yoshida, A. Zamora, J. G. Padilla, B. S. Gorospe, K. Nguyen, and W. R. Deal, IEEE Trans. THz Sci. Technol, vol. 7, 466 (2017).

- [9] C. Walther, M. Fischer, G. Scalari, R. Terazzi, N. Hoyler, and J. Faist, Appl. Phys. Lett. vol. 91, 131122 (2007).
- [10] *Terahertz Optoelectronics*, K. Sakai ed. (Springer, Berlin, 2005).
- [11] “Terahertz Spectroscopy: Principles and Applications” S. L. Dexheimer ed. (Taror & Francis, 2008)
- [12] “*Femtosecond Laser Pulses*”, C. Rullière ed. (Springer, Berlin, 1998).
- [13] 光が 1 fs で進む距離は, ウィルス 3 個分程度です。
- [14] P. Gu and M. Tani, “*Terahertz Radiation from Semiconductor Surfaces*” in *Terahertz Optoelectronics*, K. Sakai ed. (Springer, Berlin, 2005) pp.63-97.
- [15] A. Y. Cho, J. R. Arthur, Jr, Prog. Solid State Chem. vol. 10, 157–192 (1975).
- [16] F.H. Pollak and H. Shen, Mater. Sci. Eng. R vol. 10, 275 (1993).
- [17] D.E. Aspnes, Phys. Rev. vol. 153, 972 (1967).
- [18] H. H Wieder, Surf. Sci. vol. 132, 390 (1983).
- [19] H. Takeuchi, Y. Kamo, Y. Yamamoto, T. Oku, M. Totsuka, and M. Nakayama, J. Appl. Phys. vol.97, 063708 1-16 (2005).
- [20] D. E. Aspnes and A. A. Studna, Phys. Rev. B. vol. 7, 4605 (1973).
- [21] H. Takeuchi, J. Yanagisawa, S. Tsuruta, H. Yamada, M. Hata, and M. Nakayama, Jpn J. Appl. Phys. vol. 49, 082001 (2010).
- [22] X. –C. Zhang and D. Auston, J. Appl. Phys. vol. 71, 326 (1992).
- [23] T. Dekorsy, G. C. Cho, and H. Kurz, “Light Scattering in Solids *VIII*” chap.4, edited by M. Cardona and G. Güntherdot (Springer, Berlin, 2000).
- [24] H. Takeuchi, T. Sumioka, and M. Nakayama, J. Vac. Sci. Technol. A vol. 35, 04D104 (2017).
- [25] I. Yokota, J. Phys. Soc. Jpn. 16, 2075 (1961).
- [26] H. Takeuchi, S. Tsuruta, and M. Nakayama, J. Appl. Phys. vol. 110, 013515 (2011).
- [27] H. Takeuchi, T. Sumioka, and M. Nakayama, IEEE Trans. THz Sci. Technol. vol.7, 124 (2017).
- [28] E. Anastassakis, Phys. Rev. B vol.46, 4744 (1992).
- [29] H. Takeuchi, S. Asai, S. Tsuruta, and M. Nakayama, Appl. Phys. Lett. vol.100, 242107 (2012).
- [30] H. Takeuchi, S. Asai, and M. Nakayama, J. Phys. Conf. Ser. vol.906, 012020 (2017).
- [31] (001)面方位は $n \rightarrow \infty$ に対応。(001)面方位 GaAs 単結晶では, ピエゾ電場は発生しません。
- [32] “*Nica’s Dream*” composed by Horace Silver (1956)。原曲の歌詞は” She had a vision that jazz would one day be the music that’s of the future, you see. Don’t you agree? We’ll help to see that her vision will come true. And all the world will be blessed by it too.” この歌詞に現れる She は, Nica こと Pannonica de Koenigswarter [ロスチャイルド(Rothschild)家出身] という女性です。Jazz っ てきっと素晴らしい音楽になると信じて, 若手の下済み時代を支えてきた方です。是非聞いてみたい方は, 女性 Jazz ミュージシャンであるたなかりかさんの “ON GREEN DOLPHIN STREET (ASIN: B0001ZX3CG, プライエイド, 2004)” というアルバムを手にとってみてください。

利用者からの報告

有機分子触媒を用いた不斉合成反応

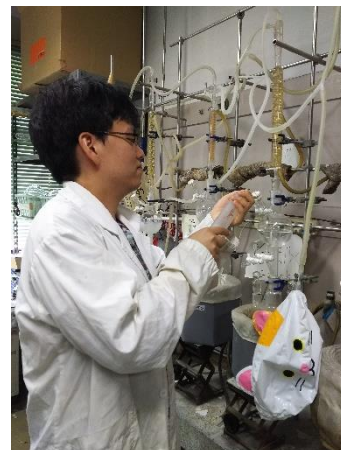
西村 祐貴（にしむら ゆうき）

所属：工学研究科化学生物系専攻

有機工業化学研究室

専門分野：有機化学（不斉合成）

趣味：野球観戦



当研究室では、触媒的新規不斉合成反応についての研究を行っています。この反応は、片方の光学異性体のみ作り分けることのできる非常に有用な反応で、当研究室では環境負荷が小さいキラルな有機分子触媒を用いて、様々な新規不斉合成反応を発明してきました。これらの反応は、医薬品開発や天然物合成などに応用することができると考えています。

触媒反応を試みる際、たいいていは 1 mmol 以下の極めて小さいスケールで行います。これらの反応は、ごく微量の水分や酸素を嫌うことが多く、厳密にそれらが除かれた条件で行わなければなりません。そこで、用いるのがシュレンク管です。

小スケール反応に適した 10 mL 程度の容量の超小型シュレンク管は市販されているものがほとんどなく、ガラス工作室で製作していただきました。シュレンク管は図 1 のように、管の右側に特殊な形状のコックが取り付けられており、十分乾燥し内部を窒素置換したシュレンク管に試薬や溶媒を入れる際に、横のコックから窒素を流しながら入れることができるため、空気や水分の混入を避けた状態で反応を行うことができます。このシュレンク管内で新たな反応が進行することを期待して日々研究を行っています。

液体の試薬の体積を計量する際、マイクロシリンジを用いますが、精密なため高温乾燥機での乾燥は不向きです。よって、アセトン洗浄したシリンジを常温で真空状態に置



図 1 シュレンク管を用いて反応を行っている様子



図 2 マイクロシリンジ用デシケータ

くことで乾燥させています。真空乾燥に用いるデシケーターは、ガラス工作室にて寸法や真空ポンプに接続する排気管の形状等を指定して製作していただいたため、全てのシリンジ針がぴったりと収まるサイズとなっております(図2)。従来使用していたものは高さが足りず、シリンジ針を曲げないと収まらなかったもので、大変重宝しております。

反応後は、生成物を単離して物性などを調べる必要があります。単離方法は様々ありますが、クロマト管にシリカゲルを詰めて上から粗生成物と溶媒を流して分離するシリカゲルカラムクロマトグラフィーがよく用いられます。図3に示したクロマト管はガラス工作室で製作していただいたもので、様々な太さや長さのクロマト管を製作・修理していただきました。これらは粗生成物の量に応じて使い分けています。



図3 シリカゲルカラムクロマトグラフィーによる単離

他にも、分液ロート・三方コック・ナス型フラスコ等、多くのガラス器具をガラス工作室にて修理・製作していただきました(図4)。これらの器具は当研究室において様々な場面で役に立っており、今後とも末永く愛用されることであろうと存じます。この場にて、工作技術センターガラス工作部門の方々に感謝の意を表したいと思います。



図4 ガラス工作室にて修理・製作していただいた器具の一部

【この装置を使った研究の発表・論文等】

Hatanaka, Yasuo*; Nantaku, Shuuto; Nishimura, Yuhki; Otsuka, Tomoyuki; Sekikawa, Tohru
“Catalytic enantioselective aza-Diels-Alder reactions of unactivated acyclic 1,3-dienes with aryl-, alkenyl-, and alkyl-substituted imines” *Chem. Commun.*, **2017**, 53, 8996 - 8999

利用者からの報告

抗菌活性試験のスケールダウン

藤枝 聡志（ふじえだ さとし）

所属：理学研究科 植物進化適応学研究室

専門分野：植物病理学

趣味：読書



私たちの研究室では、植物がいかにして病原菌から身を守っているのかを研究しています。植物は病原菌の侵入に応じて、抗菌活性物質を産生して、病原菌の繁殖を抑制する事が知られています。ファイトアレキシンと総称されるこの物質は、様々な植物で発見されていて、農業分野での応用が期待されています。ところが、多くのファイトアレキシンは合成法が確立されておらず、植物体から精製可能な量は微量で、例えば 100 kg の原料から僅かに 50 mg 程度という具合です。

研究の過程で、イネのファイトアレキシンが土壌の病原性糸状菌に対して効果がある可能性が示唆され、抗菌活性を試験する必要性が生じました。抗菌活性試験は、ファイトアレキシンを含む培地で菌を生育し、その成長量を比較する実験です。我々は抗菌活性試験で使用するファイトアレキシンの量を極力節約すべく、実験系の改良を模索しました。従来の方

法では、 $\phi 90\text{mm}$ のシャーレに培地を注ぎ、孢子・菌糸片を中心に配置して、円形に広がる菌糸の成長を計測してきました。私たちは、線状の培地の中を菌糸が成長するようになれば、培地と添加するファイトアレキシンの量を減らすことが出来ると考え、プレートの製作をガラス工作センターに依頼しました(図 1)。プレートには長さ 70 mm 幅と深さ 2 mm の 24 本の溝があり、更にそれぞれの中央部に幅と深さ 1 mm の溝があります。この中央部の 1 mm の溝に培地を流し込み、培地の中心に菌糸片を置いて培養すると、菌糸は中央の溝の培地中を成長するので、抗菌活性試験ではこの成長距離を計測します。このプレートはガラスで出来ている為、繰り返し滅菌可能で、菌糸の成長を実体顕微鏡下で観察しやすく、素材の溶出によって菌の成長に影響を与える心配が無い点で優れています。

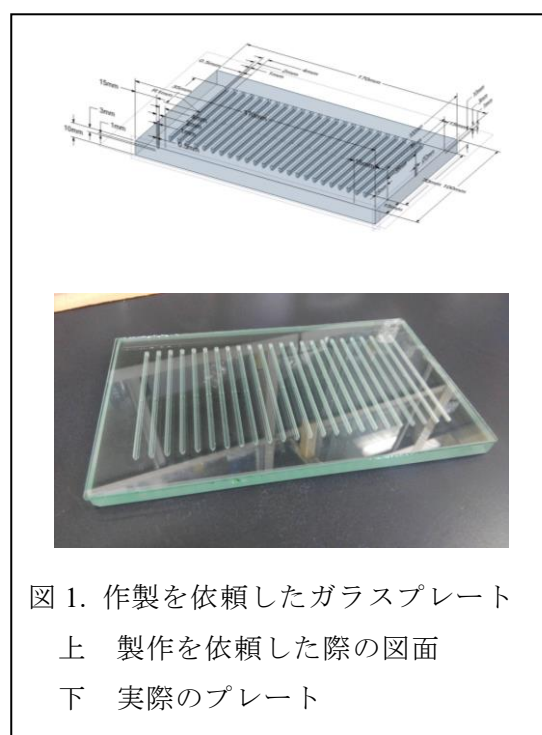
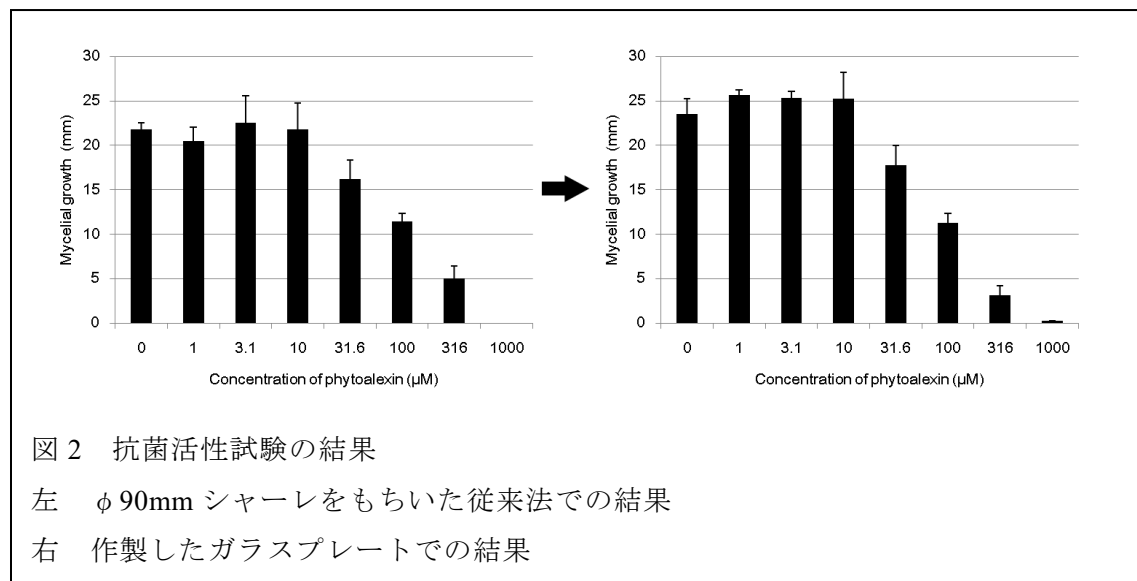


図 1. 作製を依頼したガラスプレート
上 製作を依頼した際の図面
下 実際のプレート

このガラスプレートが目論見通りに利用可能であるかどうかを検証する為に、あるファイトアレキシンの抗菌活性試験を行いました。その結果が下図 2 です。



実験の結果、新たに作成したプレートでの実験結果と φ 90mm シャーレでの実験結果はほぼ一致することが分かりました。この方法によって、最終的に必要なファイトアレキシンの量は従来法の 1/200 になり、実験を大きくスケールダウンする事が出来ました。

現在、この実験系を用いて、様々なファイトアレキシンの抗菌活性試験を行っています。

最後になりましたが、プレートの製作のみならず、その設計段階から度々相談に乗って頂き、様々な助言・助力を下さいましたガラス工作部門の皆様、本当にありがとうございました。今後とも何卒よろしくお願い申し上げます。

利用者からの報告

光学解析サンプルを作製する反応容器

松尾 朱莉 (まつお あかり)

所属：工学研究科 化学生物系専攻

専門分野：高分子科学

趣味：おしゃべり、旅行、おいしいものを食べること



私の研究ではポリマーの溶解挙動の光学解析を行っています。ポリマーを溶剤に浸漬させた時、Figure 1 のように溶解・膨潤・剥離など様々な形態が複雑に組み合わせることが想定されます。ポリマーの化学構造や溶剤の種類を変化させ、解析を行い体系化できれば、半導体などの洗浄プロセスの設計に役立つことが期待されます。

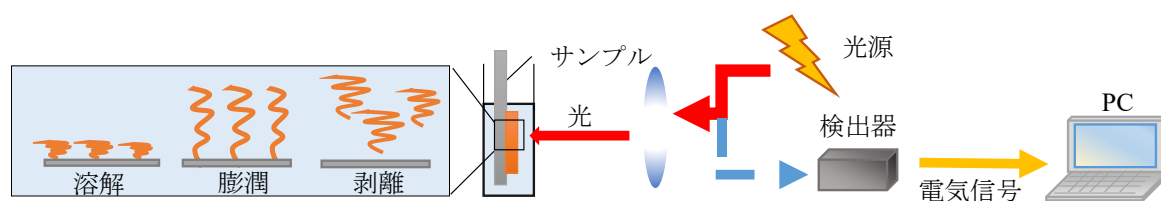


Figure 1. 光学解析のモデル

光学分析を行うにあたり、化学構造や基材との密着性を変えたサンプルを大量に作製することにしました。市販では、最適な反応容器がなく、ガラス工作室のスタッフの方に相談しに行きました。滴下や凍結脱気などを行うために必要な機能面やコスト面などを考慮して、2 cm 角のサンプルを作製するのに最適な大きさのガラス器具を設計・作製して頂きました。これにより複数の試料を同時に作製できるようになり、実験の効率が上がりました(Figure 2)。ガラス工作室のスタッフの皆様には適切なアドバイスを頂き、また気軽に対応していただきました。この場を借りて感謝申し上げます。今後もよろしくお願い致します。



Figure 2. 反応容器を用いた実験の様子

三角断面形状型回折格子

牧尾 佑奈（まきお ゆな）

所属：工学研究科 電子情報系専攻
専門分野：物理光学（テラヘルツ波）
趣味：音楽、サッカー観戦、映画



回折格子を始めとする金属周期構造体の表面では、金属表面の自由電子の集団振動と電磁波が相互作用することが知られています。その現象は表面プラズモンポラリトン (Surface plasmon polaritons, SPPs) と呼ばれ、励起できると表面方向に伝搬していきます。SPPs は、表面状態への依存性、増強電場の発生、波長以下の領域に閉じ込め可能であるという特性を有しており、それらを生かした様々な応用が期待されています。可視光領域における SPPs の励起周波数は、金属材料と構造周期および入射角によって決まります。一方、テラヘルツ (THz) 波領域 (0.1 THz-10 THz) を始めとした金属が完全導体として振る舞う周波数領域の SPPs は、金属材料による影響はなく、構造周期と入射角および複数の構造共鳴から影響を受けます。複数の構造共鳴からの影響は THz 波領域の SPPs の最大の特徴であると言えますが、詳細は未だ解明されていません。そこで私は、THz 波領域の SPPs に対する構造共鳴の影響を調査するため、回折格子の断面形状を変化させたときの SPPs について調査することにしました。

THz 波領域の SPPs の励起には、THz 波の波長程度（サブ mm）の周期の金属構造体が必要になります。とりわけ今回のテーマでは変わった形状の構造であるため、そのようなものは科学製品を取り扱うメーカーにも無く、特別に作製する他ありませんでした。そこで工作センターの富高さんに作製をお願いしました。作製して頂いた回折格子を図 1 に示します。(a)

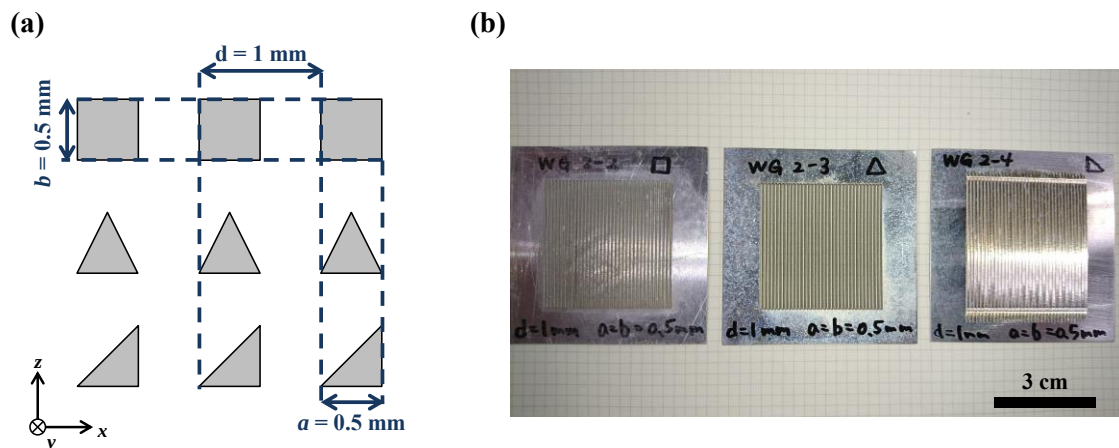


図 1. 実験に使用した回折格子。(a)は断面形状の模式図、(b)は実際に使用した回折格子。

は断面形状の模式図、(b)は実際に実験に使用した回折格子です。ワイヤー放電加工機で作製して頂きました。周期(d)は 1 mm としており、この大きさですと、特に断面形状が二等辺三角形や直角三角形の場合、細くなった金属部がよれるため作製は困難であると伺いました。しかし無理を言って 2017 年 2 月に作製して頂きました。その節は誠にありがとうございました。

これら 3 種類の回折格子に垂直入射した場合の透過率の測定結果を図 2 に示します。散布図が実験結果を示しており、実線は同様の構造を用いた電磁界シミュレーションの結果を示しています。実験結果が、理想的な系を模したシミュレーション結果と良い一致を示すことから、回折格子の完成度の高さが伺い知ることができます。また、構造共鳴の影響を考慮しない場合の ± 1 次の SPPs 励起条件を破線で示しています。一般に、SPPs 励起には規則正しい周期構造が必要で、励起によって「アノマリー」と呼ばれる透過率の急峻な低下が見られます。図 2 においても、3 種類の回折格子全てで ± 1 次の SPPs 励起条件付近にアノマリーが存在しており、SPPs が励起されたことがわかります。このことから、回折格子の完成度の高さが示されています。一方、断面形状が直角三角形の場合のみ、 ± 1 次の SPPs 励起条件よりも長波長側（図でいうと左側）に、より急峻なアノマリーが見られます。これもまた SPPs の励起によるもので、私の研究で一番確認したかったところです。更に、この 2 つの SPPs について実験やシミュレーションを用いてより詳細に調査を進めていくと、両界面で励起された表面モードがスリット間を介して共鳴し、-1 次の SPPs が長波長側にシフトしていたことがわかりました。すなわち、構造共鳴を利用することで、垂直入射時に 2 つの SPPs 励起し、それを観測することができました。この結果は、構造共鳴を利用した SPPs 制御の可能性を広げるものであると考えています。

最後に、工作センターの方々には上記の回折格子の作製だけでなく、様々な素子の作製における相談に乗っていただき、また作製していただきました。大変感謝しています。また今後、当研究室から色々お願いすることがあると思いますが、何卒よろしくお願いいたします。

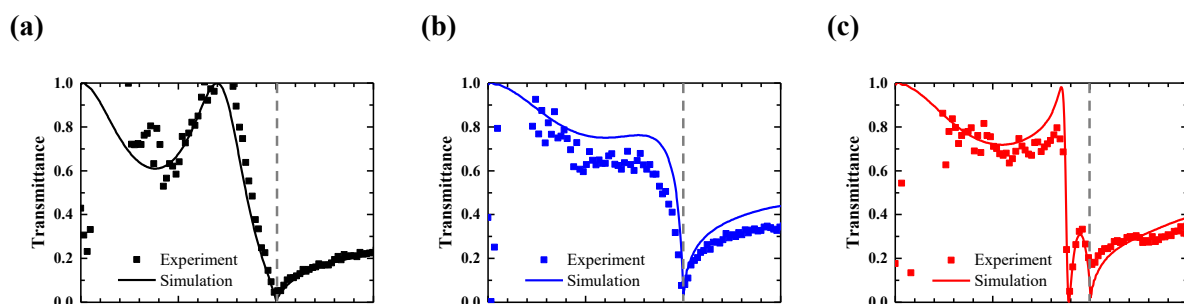


図 2. 3 種類の回折格子に垂直入射したときの透過率の測定結果。横軸は、周期を波長で規格化している。灰色の破線は ± 1 次の SPPs 励起条件を示している。回折格子の断面形状はそれぞれ、(a)正方形、(b)二等辺三角形、(c)直角三角形である。

穴あけ工具について

富高 幸信（とみたか ゆきのぶ）

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：読書



機械工作において穴あけという工程があります。材質・形状・大きさなどにより様々な工具を使用して穴あけ加工を行います。使用する工作機械もボール盤、旋盤、フライス盤など様々です。今回はボール盤、電気ドリルで使用することのできる穴あけ工具を紹介していきます。

（１）鉄工用ドリル

鉄工用ドリルは主に鉄やステンレスなどに穴をあけるためのドリルです。ドリルの材質は超硬合金と高速度鋼が主流ですが、当施設では主に高速度鋼を使用しています。高速度鋼は high-speed steel から「ハイス」と呼ばれ、HSS と略記されます。

また、ドリルの形状によってストレートドリルとテーパシャンクドリルに分けられます。ドリルを機械に固定する部分を「シャンク」と呼ばれます。シャンクがドリルの呼び径と同じサイズで円筒状のものがストレートドリルです。サイズは 0.2mm～13mm までのものがあり、最もよく使用されるドリルです。シャンクが円錐状になっているものがテーパシャンクドリルです。13mm より大きなサイズのドリルはテーパシャンクドリルです。



図1 ストレートドリル（上）とテーパシャンクドリル（下）

(2) ノスドリル

ボール盤や電気ドリルでストレートドリルなどを固定する部分を「チャック」と呼びます。電気ドリルなどのチャックは 6.5mm、10mm、13mm の 3 種類があり、それぞれそのサイズのシャンクのドリルまでしか固定できません。ノスドリルはシャンクがドリルの呼び径より細いドリルです。ノスドリルのシャンクはチャックの有効径に合わせて 6.5 型、10 型、13 型があります。このドリルは電気ドリルについているチャックの有効径以上の大きさの穴をあけるときに使用します。例えば、13mm のチャックのついた電気ドリルを使用して、18mm の穴をあけるといふときに使用します。



図 2 ノスドリル

(3) ホールソー

薄板に穴をあけるための工具です。中心のドリルをガイドにして、外周にある多数の切れ刃で外周を削り、穴あけをする工具です。図 3 のホールソーで板厚 4mm までの鋼板、ステンレス板、銅板、アルミ板などの穴あけ作業ができます。



図 3 ホールソー

（４）自在錐

自在錐はホールソーと同じように中心のドリルをガイドにして、外周を削り、穴をあける工具です。ホールソーでは一定の大きさの穴しかあけられませんが、自在錐は六角棒レンチなどを使用して、開ける穴の大きさを調整することができます。図４の自在錐では板厚 1.5mm の鉄板に 25～125mmの大きさの穴あけ加工ができます。開ける穴の大きさのホールソーがあるのであれば、自在錐よりそちらを使用すべきです。



図４ 自在錐

（５）沈めフライス

沈めフライスはボルト用の沈め穴を加工する工具です。図５の上は六角穴付ボルト用の沈めフライスで、下は皿小ネジ用の沈めフライスです。M4 の六角穴付ボルトの座ぐり加工をする場合は、まず 4.2mm ストレートドリルで穴をあけ、次に沈めフライスの先端のガイドを加工する穴に入れ、後ろの刃で座ぐり加工を行います。



図５ 沈めフライス

(6) ドリル付沈めフライス

図6の上は六角穴付ボルト用の沈めフライスで、下は皿小ネジ用の沈めフライスです。図5の沈めフライスと違い先端部にガイドではなくドリルが付いていますので、ドリル加工と座ぐり加工が同時に行えます。ドリル付沈めフライス・段付きドリルなどと呼ばれます。



図6 ドリル付沈めフライス

(7) カウンターシンク

穴あけ加工をすると、入り口と出口に不要な突起が発生します。これをバリ（かえり）と呼びます。バリをそのままにすると見た目を損なうだけでなく、触れて怪我をすることがあります。このバリをヤスリなどで削り取ることをバリ取りと呼びます。面取りとは金属の角を削り取ることです。カッターなどで角を削ると面ができるため「面取り」と呼ばれています。図7はカウンターシンクという工具で、面取り・バリ取り・皿ビスの沈めに使われる工具です。上はボール盤などに取り付けて、下は手動で使われるものです。



図7 カウンターシンク

（８）木工用ドリル

木工用ドリルとは木材加工に使われる工具で、金属の加工をメインにしている当施設ではほとんど使用されません。鉄工用ドリルでも木材に穴をあけることは可能であるが、木工用ドリルの方が、発生するバリが小さくなります。



図 8 木工用ドリル

（９）コンクリートドリル

コンクリート・ブロック・モルタル・石材製等への穴あけをする際にハンマードリル・振動ドリルなどに取り付け使用します。図 9 のコンクリートドリルは刃部に超硬チップがつけられ、3 枚刃で真円に近い穴があげられます。シャンクの形状は **SDS-plus** という形で、円筒状に切欠きが付いた形状で、ハンマードリルで使用します。ハンマードリルは回転に強力な打撃を与えて材料を砕く電動工具です。コンクリートも木工用ドリルと同じように当施設では使用頻度は多くありませんが、研究室などアンカーボルトを使用する際に、コンクリートの壁や床に穴をあけるのに使われます。



図 9 コンクリートドリル

(10) リーマ

リーマは単体で穴あけ加工をする工具ではなく、あらかじめドリルなどであけた下穴を良好な寸法・形状・仕上げ面にするための切削工具です。手作業または機械で回転させて穴に通すことで、外周の複数の切れ刃で削っていきます。



図 10 ハンドリーマ

(11) センタードリル

センタードリルは本来センター穴をあけるための工具ですが、ドリルで穴あけする際に、ドリルがずれないようにするための位置決めとしても使用されます。



図 11 センタードリル

ドリルは回転運動により材料に穴あけ加工をする工具です。ボール盤、電気ドリルなどに取り付けて高速回転させ、材料に穴をあけるので、使用する際に注意を怠ると怪我の原因となります。回転部分に巻き込まれるというのが一番の危険です。また、折れたドリルや切り屑が飛んでくるという危険もあります。今回紹介したものは当施設で主に使用している物で、これ以外にも材質・形状などにより様々な工具が存在します。回転数などの切削条件等一切触れていませんが、適した切削条件があります。製品を完成させるということが目的ですが、「安全」ということが大前提です。機械工作をする際は、保護メガネを着用して、巻き込まれないような機械工作に適した服装で、安全第一で、お願いします。

資 料

工作技術センター利用状況

(2017 年 1 月～2017 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	65	185	3	7	1	1	262
ガラス工作	262	130	5	13	1	5	411

【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	76	938	0	68	1	43	1126
ガラス工 作	13	23	0	0	2	1	39

【物品請求件数】

	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	177	534	0	0	1	0	712
ガラス工 作	12	21	1	0	0	0	34

【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	88	0	0	88

【講習会等受講者数】

	理学部	工学部	生活科学部	医学部	文系	教職員	合 計
機械工作	19	104	0	0	0	0	123
ガラス工作	21	16	17	7	15	9	85

【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） 43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 (紀和)	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
直立 ボール盤 (吉田)	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 (遠州)	振り 450m/m 穴あけ能力 23m/m 主軸回転数 195～2100 (6 段) rpm	2	穴あけ加工 (丸テーブル)
卓上 ボール盤 (吉良)	振り 420m/m 穴あけ能力 23m/m 主軸回転数 200～2100 (6 段) rpm	1	穴あけ加工 (角テーブル)
精密卓上 ボール盤	振り 500m/m 穴あけ能力 0.4～3.0m/m 主軸回転数 6000～13000rpm	1	穴あけ加工
帯鋸盤	切断能力丸材 250m/m 角材 高さ 250×幅 300m/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 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

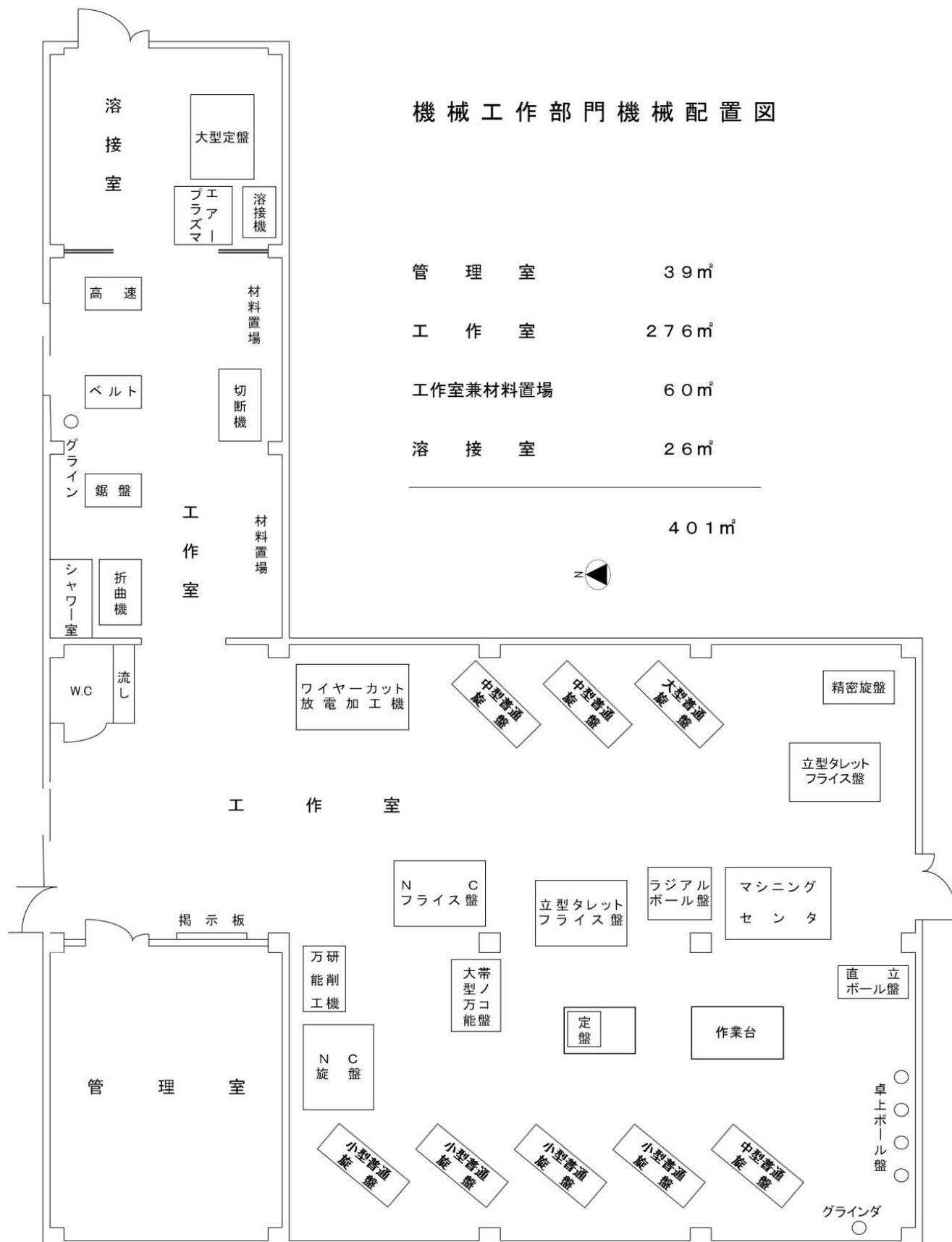
ガラス工作部門

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
リユーター	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	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℃ 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

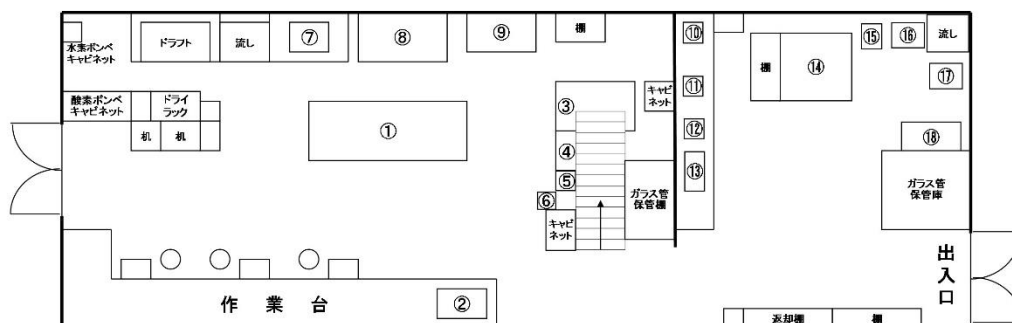
資 料

機 械 工 作 部 門 機 械 配 置 図

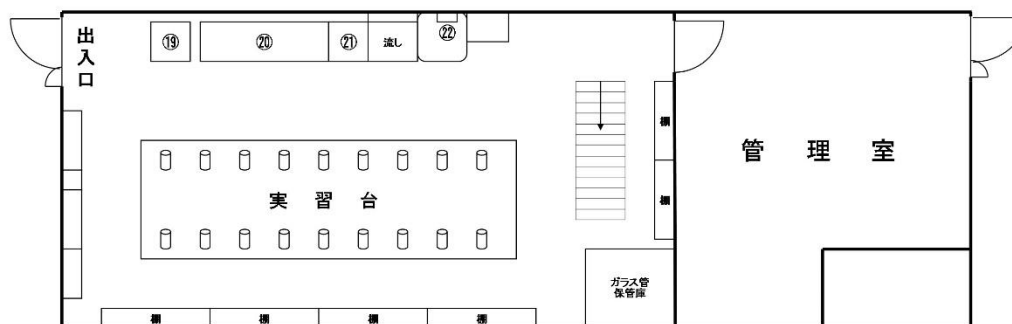


資 料

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 29 年 3 月 17 日

運営委員各位

工作技術センター 所長

第 1 回「工作技術センター運営委員会」

日時：平成 29 年 3 月 22 日（木）14：00 ～16：10

場所：工学部第 2 会議室（旧サブセンター）

出席者：石川（理）、加藤（工）、西川（理）、金（工）、山岸（医）【敬称略】

欠席者：渡部（生）

オブザーバー：安田（複合先端研究機構）川野（研究支援課係長）、
須賀（機械）、堀井（ガラス）【敬称略】

報 告

1）運営委員の任期満了に伴う次期委員（29 年度）について

- ・石川所長の任期は 29 年度も継続されます。

2）運営委員の交代について

- ・運営委員の交代はありません。

3）大型機器予算による備品購入について

- ・2 月 7 日に納入、設置工事完了しました。

4）利用者委員会からの報告

- ・「Fabrica」28 号は 3 月 2 日(木)に学内外に配布、発送を完了しました。
- ・センター談話会「火の祭」について
第 31 回工作技術センター談話会「火の祭」が平成 28 年 11 月 27 日に開催されました。

議 題

1、平成 28 年度決算について

原案通り承認されました。

2、平成 29 年度予算（案）について

原案通り承認されました。

3、「複合先端研究機構」の分担金について

複合先端研究機構の工作技術センター利用実績が増加していることから分担金の拠出を願っていたが同施設、安田係長より「複合先端」「人工光合成」併せて¥40,000_の金額が提示され委員会で承認された。

4、機械工作部門の利用年齢制限について

昨今、大学に勤務する高齢者が増加し、機械工作部門でも安全上から工作機械を使用する事ができる年齢に制限を設ける案は、年齢で制限するのではなく「トラブル発生事例に基づき注意喚起の徹底を行う」という方向が決められた。

5、蔵出し材料の割増率の変更について

機械工作部門の材料供給過剰の状態を鑑み、運営規則上の利用者が材料蔵出しを行った際に上乗せしている 15%を 10%に引き下げる案は否決され 15%を維持する事が確認された。

資 料

各種委員の取り組み

(1) 「F a b r i c a」編集委員会：「F a b r i c a」29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、32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32回工作技術センター談話会「火の祭」を平成29年11月8日（水）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

「大阪長屋保全のまちづくり」

藤田 忍 （生活科学研究科）

「工作技術センターと物性研究とのかかわり：

オリジナリティをいかに打ち出すか」

竹内 日出雄 （工学研究科）

「重力波の初検出と実験技術」

神田 展行 （理学研究科）

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、26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 29 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 29 日～5 月 11 日 10 時～16 時

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 : 25 名

(2) ガラス細工体験講習会実施報告

平成 29 年度ガラス細工体験講習会を下記の要領で実施しました。

日 時 : 9 月 25 日～10 月 4 日、12 月 6 日～12 月 15 日

14 時～16 時 30 分 (12 月 15 日は 17 時 30 分～19 時 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 : 60 名

(3) 機械工作講習会実施報告

平成 29 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 27 日 (木)	10 : 40～11 : 40	受講者 24 名
	第 2 回	4 月 27 日 (木)	13 : 00～14 : 00	受講者 24 名
	第 3 回	4 月 27 日 (木)	14 : 45～15 : 45	受講者 18 名
	第 4 回	4 月 28 日 (金)	10 : 40～11 : 40	受講者 23 名
	第 5 回	4 月 28 日 (金)	13 : 00～14 : 00	受講者 23 名
	第 6 回	4 月 28 日 (金)	14 : 45～15 : 45	受講者 11 名

受講者合計 123 名

学部別参加者数

理 学 部 : 19 名

工 学 部 : 104 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 29 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）西川 慶祐（化学）

迫田 憲治（化学）東海林 竜也（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）中島 重義（情報）北川 大地（化学バイオ）

藤本 益美（建築）山田 卓（都市）

〔医学部〕 山岸 敏之（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）

前川 智美（分析部門）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〕 石川 修六（物理）荻尾 彰一（物理）井上 慎（物理）西川 慶祐（化学）

迫田 憲治（化学）東海林 竜也（化学）伊藤 和央（生物）篠田 圭司（地球）

〔工学部〕 岸田 逸平（機械）小林 中（電物）中島 重義（情報）尾島 由紘（化学バイオ）

藤本 益美（建築）山田 卓（都市）

〔医学部〕 山岸 敏之（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）

前川 智美（分析部門）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：今津（工）

菜嶋（工）尾島（工）中島（工）井上（理）荻尾（理）東海林（理）篠田（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：迫田（理）

伊藤（理）西川（理）岸田（工）小林（工）北川（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）

資 料

工作技術センター職員名簿

(平成 29 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。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。

なお、工学部 D 棟の耐震工事の関係で、ここ 1, 2 年のうちにガラス工房を移転しなくてはならない可能性があります。詳細が決まりましたら、センターでの掲示他の方法でお知らせいたします。ご不便をおかけするかもしれませんが、ご理解のほどお願いいたします。(今津)

【Fabrica 編集委員】

委員長 今津 篤志 (工)

菜嶋 (工) 尾島 (工) 中島 (工) 井上 (理) 荻尾 (理) 東海林 (理) 篠田 (理)

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