

# Kanace

分子科学研究所 技術課活動報告

No.4

「技官、教官、事務官は研究を支える三本足の鼎である。」



### 鼎 (かなえ)

中国古銅器のうち食物を煮る三足の器。先史時代の土器を祖型とする。殷周時代には、祭器として尊ばれ、権威の象徴でもあって、奇怪な動物文や銘文をつけたものが多い。戦国時代には、貴族の日用の器となり、華美な装飾が施されたが、漢時代には無文となり、六朝時代には衰えた。隋唐以後は、本来の用途から離れ、香炉の形として面影をとどめるだけとなった。

(小学館「大日本百科事典、ジャポニカ」)

# 目 次

巻頭言 .....	名古屋大学工学部教授 正 畠 宏 祐 .....	1
特別寄稿		
完全な記録『ホログラム』 .....	岡崎国立共同研究機構管理局長 橋 本 幹 夫 .....	2
フレッシュマンのK君へ .....	技術課OB 早 坂 啓 一 .....	3
トピックス .....		6
シリーズ特集「S！」		
初心者のためのシリコン単結晶清浄表面作成技術 .....	反応動力学研究部門 間瀬 一彦 .....	7
技術活動報告		
プログラマブル・パルスジェネレーターの製作 .....	装置開発技術係 豊田 朋範 .....	13
科学技術計算のプログラミング技法 .....	電子計算機技術係 南野 智 .....	16
技術講座「知らなきや損する技術の常識」		
機械工作を10倍楽しくする方法 .....	装置開発技術係長 堀米 利夫 .....	20
マイレビュー		
生体内の情報伝達のお話 .....	機器センター 高須 良三 .....	30
C <sub>60</sub> -と私 .....	分子動力学研究部門 児玉 健 .....	33
科学講座「知って得する分子科学の常識」		
レーザーの話(前回のつづき) .....	装置開発室 浅香 修治 .....	37
“声”「本音を言わせて、聞かせて」 .....	編集担当 永田 正明 .....	38



# 巻頭言

## アラジンの魔法のランプ

名古屋大学工学部教授 正 畠 宏 祐

私は、1969年9月にひょんなことでシカゴ大学大学院に入学することになり、3ヵ月後には、Stuart A.A.Rice教授の指導を受けることになった。Rice教授は、根は理論屋さんで、実験は理論の検証のために行っているというタイプの先生である。しかも、10年毎に大きく研究テーマを変えることにしているとのことである。私が先生の研究室に参加した時は、理論グループと実験グループとがほぼ半々で、約15名のメンバーを指導していた。学位を持った博士研究員は4～5人はいるものの、基本的には全グループの構成員の直接指導であった。

さて、液体の本質の解明がRice先生の大きな研究テーマのひとつであったが、そのための実験は、水銀表面によるX線の散乱であった。それに用いたゴニオメータは、極めてしっかりとしたもので、その由来を尋ねると、光が運動量をもつ事実を立証し、量子力学の概念を打ち立てた、あのコンプトン効果の発見者である、コンプトン教授が用いていたものだとのことであった。40年以上も昔に使われた装置の一部が、博物館にも入らないで使われているのに驚いたものである。それを製作した機械工作の職人は、職人冥利に尽きるというものであろう。

Rice先生は、当時化学教室の主任教授として極めて多忙であったが、御自身の研究と教室の管理運営の二足の草鞋をこなしておられた。それが、可能であったのは、当然本人の能力にもよると思われるが、それにも増して重要なと思われる点は、教室の筆頭秘書であるG.Boshart博士の存在であった。四半世紀前に私が入学する際にもお世話になつたし、7年ほど前に、私のグループにいた中国人の研究者である温さんが、シカゴ大学の大学院に入学手続きをする際もお世話になった。Boshartさんは研究者として生きることは断念したが、教室の予算関係から学事関係一切を切り盛りしている。Boshartさんがこのような仕事をしてくれるおかげで、研究者は存分に力を發揮することができた。シカゴ大学におけるBoshartさんの寄与は、実に計り知れないものがあるのではないかと常日頃から思うことである。日本の研究所や大学にも、専門のことがよく分かつた秘書がいて、力を發揮してくれれば、研究者の本分である研究と教育における業績は、格段に上がるのではないかと思う。新しく生まれる研究系技術課に、科学の分かれる優れた事務官なり技官なりがいて存分に力を發揮していく

れば、忙しいので教官の本分を果たせない、と言い訳ができる、素晴らしい研究所が、別の見方をすれば、地獄のような研究所ができる夢想するものである。

実験研究を行っていると、実につまらないことで実験ができないことがある。たとえば、直径が3mmの小さなガスケットが無くとも、装置は動かないことがある。我々のように、市販の装置を使わないで、オリジナル装置を作つて頂いた場合には、特にそうである。工作室の技官の方にとっては、実につまらないと見えるものでも、ひとつの部品があるかないでは、天と地の違いがある。さらに、外注できない位に品質の高いものを作つてもらう場合は、その有難みを身にしみて感じる。

サービスを受けている研究者は、実にわがままである。高品質、安価、迅速を望む。さらには、アイデアを口にするだけで、望むものが得られるアラジンの魔法のランプがあればよいのになあと夢見るのである。研究者は斬新な問題を見い出し、それに解決を与える、優れたアラジンになることが期待されているが、実験研究の場合には、ランプが必要になり、またその役割をすることもある。しかし今や一種の魔法のランプで、物事が済む時代ではない。又、その所有者の命令には何でも従うという、安い魔法が通用する時代でもない。個々に固有の能力を持ったランプが求められる時代である。各人が、特有な技能を持ったランプであつてくれれば、どんなに素晴らしいかと、願う者は多いことであろう。研究者もそう願う以上は、研究者にとって素晴らしい魔法のランプが何たるかを、提案する義務がある。

絶え間ざる研鑽によって、素晴らしい魔法のランプが存在する。そして、それがすぐれた研究環境をつくっていく、と信ずるものである。そのような技術者集団が技術課であつてほしいし、そのようにどんどん近づいてほしい。また、そんな優れたランプがあつたのかと驚くような、価値の高い技能者に各人がなるのも、また素晴らしい生き方ではなかろうか。技官は依頼された業務が終われば、それで終わりと、虚しい気分になることが多いかもしれない。しかしその業務の価値は、その後に發揮し始めるのである。縁の下の力持ちとしての技術課の役割は、実は想像以上に大きいのである。

僭越ながら、取り留めも無いことをいろいろ書かせて頂いた。

## 特別寄稿

### 完全な記録『ホログラム』

管理局長 橋本幹夫

岡崎国立共同研究機構分子科学研究所では多くの研究室でレーザー装置を使用しているが、1960年アメリカのT.H.メイマンによって開発されたルビー結晶を使ったレーザー光線の発射装置は、人間の歴史に全く新しい記録方式をもたらした。

我々は文字等により外部に記録を残し、時間や空間を超えて他に情報を伝達する。そのなかで出来るだけ客観的な記録方法として身近なものに写真と言う記録方法がある。

フォトグラフィと言うこの記録方式は、レンズを通してフィルムに光の像を化学処理によって画像を固定する。この記録の特徴は、像を結ぶ空間の一点がフィルム上の一点に対応していることと、光源の距離に関する情報が記録されないことである。

D.ガボールはフォトグラフィと全く異なる記録方式を発見したが、それを実証するためには位相の一致した光を自由に取り扱えることが必要だった。ガボールの理論はレーザー光の発射装置を使用して初めて実現されたのである。この新しい写真技術をホログラフィといい、それにより記録されたものをホログラムと命名された。ホログラムは、『完全な記録』を意味する。

この新しい記録手段は写真と違ったユニークな特徴をもっている。位相の一致した光を対象物と鏡に反射させて作られる干渉模様をフィルムに記録することで、物体の距離の情報を記録できること。対象物の像がフィルム全体に記録されることである。また、波長の異なるレーザー光を使えば同一のフィルムに異なる像を記録できる。科学博物館などでレーザー光を使って立体像を浮かび上がらせる展

示コーナーを見ることがあるが、この新しい写真技術を使用したものである。

フォトグラフィは、対象物の一点とフィルム上的一点が一対一対応で記録されるが、ホログラフィは、対象物の全てがフィルム全面に全対全対応で記録される。このことは、普通の写真フィルムの一部が損失すると、該当部分の像は再現されないが、ホログラムではフィルムの一部が欠けても、不明瞭ながら像全体は再現されるのである。

1978年、A.ケストラーが発表した『ホロン革命』には「全体を構成する部分(個)も、それぞれ全体としての性質を持っており、全体を単一の部分(個)に還元することはできない。」と述べられている。組織(全体)を活かし、個人(個)を活かすホロニックの理念が具現化したものとしてホログラムを捉えられないだろうか。

岡崎国立共同研究機構も、全く独立したユニークな3つの研究所から構成されている。また、各研究所の研究部門も他から独立した研究単位として比較的自由な立場で機能している。それぞれの研究部門が個々に自由な研究活動を進めながら、結びとして研究所全体として調和して発展していくためには、それらを相互に連結するネットワーク的な役割を担っている技術課皆さんのが不可欠である。

大学では教官と事務官は車の両輪と言われ相互の信頼関係や協力関係を強調する学長さんも多いが、本当に組織の発展や活性化を考えるなら、もっと融合したホロニックな関係を築き上げなければ、厳しい社会環境の中で組織として生き残っていけない。研究所がホロニックな組織として一層発展していく上で皆さんの日々の精進を期待している。

## フレッシュマンのK君へ

拝啓

K君、就職おめでとう。フレッシュマンとして実社会へのスタートをきった貴君の喜びはもとより、ご両親様もさだめしお喜びの事でしょう。心からお祝いを申しあげます。これからは、実力と才能を生かして十分活躍してほしいと思います。先ず健康に気をつけて、そして、よく考えて行動してください。

この便りがとどくころ、もうK君は分子研で頑張って居ることと思います。私は今、貴君の先輩面をして、若き日を振り返りながら、キーを叩いています。そして、なにか共感してもらえるものが有れば幸せだと思いながら。私は昭和36年に公務員になりました。その時、私に与えられた低温の仕事は、私が希望する仕事では有りませんでした。したがって就職後も可能ならば転職をしたいといつも考えていました。振り返ると、長い間、低温で飯を食ってきたわけですが、当初から低温一筋にという気負いがあったわけではなく、与えられた仕事が、たまたま低温だけだったという理由だけです。しかし34年間も低温の仕事を続けてこられたのは、人生の筋目毎に尊敬すべき先生方に巡り会えたことと、素晴らしい先輩や自慢出来る多くの仲間に恵まれたことです。

私と低温との関わりを簡単にお話します。当時、大変な就職難でしたが、運よく職安でN自動車で設計をする仕事がみつかりました。ほぼ同時に、知人に依頼していた会社であるN社からも採用の通用がきましたので、二者択一に迷いました。しかし自分の希望より知人が私のために一生懸命になって探してくれたご恩に報いるためにN社に決めました。

そこでは溶解アセチレンガスの製造に従事しました。その工場は私の入社する2か月前に大爆発事故を起こし、工場全滅の焼け野原でした。先ず手始めに焼け跡のかたづけの土方仕事、暑い日差しの下、その仕事は2か月続けました。仕事が終ると口を利くのもいやでした。やっと復旧整備がされ、再稼動するわけですが、事故後のことでもあり、新入に対する安全教育に対しては殊のほか厳しく、むしろ、安全教育は恐怖心をあおるような内容が多々ありました。その上、事故写真や生々しい事故の体験談を聞くに付け、私は身の危険を感じて転職を考えていました。例えば、一例を挙げると爆発の際、200m先のY中学の校庭に50kgのアセチレンボンベがロケット弾よろしく飛んでいったというような話です。新入社員にとってはこのような話だけで

もビビル筈です。その上、アセチレンは空气中での爆発範囲は、2.5~80%とひろく、反応性にとんでいるため、2atmで高圧ガス(高圧ガスは通常10atm以上のガスを言う)で圧縮すると分解爆発をおこす恐れのあるガスと教科書には書いてあります。アセチレンはアセトン1に対して25倍もよく溶けるので、ボンベに石綿、木炭などの多孔度を有する物質を均一につめ、それにアセトンをしみ込ませた上で、圧縮したアセチレンをアセトンに溶解させます。そのような危険なガスのため、高圧ガス製造保安責任者免状を有する者が、必ず指揮監督をすることになっていました。会社側でも、免状保有者の確保に血眼になっており、有資格者は定年後も会社に留まっている方もおりました。この資格の合格率は10%台(有資格者不足を補うため、現在は受験者のための講習会があり、この講習会に出席すると、30~50%で取得が容易になった)だったと記憶しております。幸か不幸かそれに合格しました。どうして幸か不幸か言いますと、後ほどお話すように、この免状を取得したことが、私が一生、高圧ガスの仕事に従事することとなる原因となるからです免状を取得したので、一応一人前の高圧ガス業務に従事することが出来る事になります。しかし経験が浅いので先輩に教えを乞いながらの仕事をこなさなければなりません。責任のある仕事を任されたこの階段でも出来ればこのような危険な仕事から出来るだけ早く飛び出したいと毎日思っていました。万が一を考え、生命保険にもすぐにはいり、それをお守り代わりにしました。危険と背中合せの神経の使う仕事だったので勤務がおわると、一目散に自宅に直行して明日への英気を養っていました。そのような生活の中で、近所の子供達と仲良くなり、その子供達の勉強をみてやったりして、暇を過ごして居るうちに、これが日課の一部になり、会社の休日の日曜、祭日は早朝から夜まで子供達が入れ替わり立ち変わりで多忙な休日でした。それだけでは足りず平日は夜、自宅で子供達の勉強をみてあげました。大変評判がよく、断わるのに苦労しました。

昭和35年公務員に応募し、運よくT省に昭和36年4月付けで採用されることが内定しました。そのときの案内書の中に、物性研の超高压部門の紹介がありました。会社で高圧ガスの仕事に従事していた関係もあり、興味半分で物性研へ足を運びました。これが私が低温の道を歩むきっかけになったわけです。そのことをもう少し詳しく話してみます。昭和33年に発足した物性研究所は設立当初から

低温液化室構想を意欲的に立案していました。これより先に、東大理工学研究所低温委員会のメンバーが国産ヘリウム液化機の設計製作を計画していました。これはカスケード式のヘリウム液化機でこの計画が昭和33年に発足した物性研に引き継がれたわけです。この液化機が昭和34年7月、港区六本木のキャンパスに設置され昭和42年まで、カスケード方式の特性を生かし、水素液化機として、活動を続けました。この液化機はN社で製作されたもので、ヘリウム液化機の国産第一号です。私の勤めていた会社が物性研とそのような協力関係にあるとは露知らず、物性研の面接をうけてしまったわけです。今、思えば若き時代の一齣がほろにがくよみがえってきます。免状を持ち関連会社に勤務していた私は物性研にとって不可欠の要員と見込まれてしまつたわけです。早急、会社側に割愛方を申し込まれるはめになり、上司に説得され、心ならずもT省はお断わりして物性研へ勤務することにしました。所側の人手不足という理由で物性研訪問の数日後の2月16日からの勤務となりました。会社の仕事の引き継ぎの時間もなしに、突然の転勤というあわただしさでした。お世話になった方々に挨拶もなしにです。物性研も建設途中でしたので、日曜、祭日も関係なく徹夜の連続も珍しくない生活が続きました。

当時のリーダーであったO先生のお話ですが先人者であるカリフォルニア大学のジョーク教授(断熱消磁法の研究で有名、1949年ノーベル物理学賞受賞、同年湯川教授も受賞)を訪ねて問題点をいろいろききましたら、丁度、窓の外の新しく建築中のビルを指差して、あの上から、一人や二人落ちて怪我をする人もいるのだから、お前のところで新しい仕事をやるには、一人や二人怪我をするのは何でもないであろう。液体水素の爆発は、こここの研究室で度々やっているけれど、眉毛を焦がす程度だから心配するな、という話で済んでしまったそうです。1965年5月MITとハーバード大学の共同の加速器の液体水素泡箱が大爆発を起こし3人が死亡した事故がありました。このとき、NASAやAECの人達は、大学でなかつたら、このような事故は起らなかつたであろう、と言っていました。当時は、大学内で先端的な仕事をやるうえで、安全ばかりをいっていられないという雰囲気がありました。物性研で使用していたヘリウム液化機は国産一号機で当時の日本の技術の総力を挙げて完成させたものです。オネス(ライデン大学教授でヘリウムの液化で1813年ノーベル物理学賞受賞)の1908年から遅れること実に52年(1960年)欧米に追い付くことが第一目標でありました。したがつてこの国産一号機にも、今迄に経験したことのない、未知の事柄が山積していたのは事実です。製作を担当した技術者たちは試運転前に安全を祈って、水杯を互いに交わしたというほどに緊張し恐怖におののいていたというエピソードがあります。何の因果か分かりませんが、アセチレンの恐怖からのがれたと思っていたら、今度は低温のスタッフの一員として、この液化機の運転を

する宿命を帯びることになったわけです。免状所持者が私だけのため、法律により高圧設備としての都庁への届け出の手続もまかされました。これには2年以上かかりました。入所2年目低温液化室長に任命され、室の番頭になりました。昭和38年4月のことです。それから8か月後、技官から助手に官職が変わりました。低温委員会が組織され、委員会の委員長には金研で常磁性効果の研究で業績のあるT教授、責任所員として金研で低温化学、物性研では固体核部門の教授に就任されたS教授の2巨頭体制で低温液化室を運営されました。

当時としては、先端的な仕事であり、従事者は私を含めて、全くの初心者でした。その人達が高圧ガス製造を行なうことなので、きちんとした安全対策と管理がないと、事故を起こす危険があります。低温を扱う場合の安全に関しては、二つの面があると考えます。一つは液体水素、液体ヘリウムというような、今迄あまり一般的に扱つたことのない極低温の未知の分野に伴う危険です。もう一つは、未知だが、いろいろと違つた分野のものがはいってくる。例えば物理の測定をやっている場合、物理屋は物理的な立場から考えれば、どのようなものが危険か分かっているわけです。化学屋のほうは、水素の取り扱いには慣れているが、低温になったとき、金属が脆性を持つというような材料上の問題、あるいは、高圧や真空を扱う場合の問題には十分な知識に欠ける面があります。このような意味で低温工学の分野では、さまざまの専門分野が関係するので、すでにある専門の人には、よくわかっているような危険がいくつも組み合わさって、入ってきたため、つい、見落とされ、爆発なり、事故を起こすという例が少なくありません。一つ一つの危険はそれほど突拍子もないものではありません。しかしそれらが相乗作用をおこすと、大きな危険となるという特徴があるのではないかと思います。物理的に低温度で相変化が起きるといったこと、液体が気体に変わるだけで1Lのものが700~800Lになり常圧のものが1000気圧ぐらいにあがる。また材料的な低温での性質が分かっていないために生じる問題、更に高圧や真空の一般的な問題があります。当時、勉強会を開き真剣に対応したことを思いだします。34年に亘る自分との戦いの中、今迄の話は社会人としてスタートしてからの数年間ほどの出来事です。今、思うことは、もし人生のやり直しができるとしても、また同じ道を歩むのではないかと思います。K君、絶望や挫折に襲われたとき、それを克服するには努力が必要だと思います。また、悔いのない日々を送るために、現在どれだけ充実してどれだけ自己を集中させるかこれが大切です。将来のためにする苦労は希望によって豊かにされ、目的を達成する喜びに変わる筈です。

K君、君が将来壁に突きあつた時、転職を考えていながら、性懲りもなく、また同じ道を歩みたいという者がいたことを思い出してください。人それぞれ能力、体力、に優劣があると同様に、考え方や、価値観等、世代によって

も差異があります。そして、君には君の生き方があります。  
しかし、敢えてこのことを言いたいのです。暇をみて一度、  
遊びにいらっしゃいませんか。そして、お話を聞かせてく  
ださい。お待ちしています。

さようなら

敬具

平成7年4月吉日

K 君へ

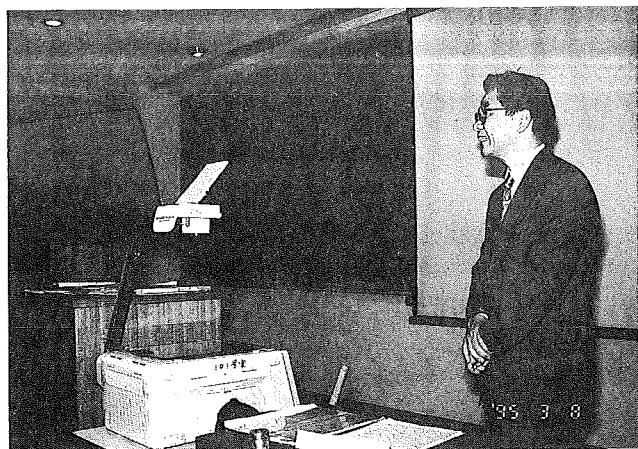
早坂啓一より



平成7年3月31日をもって技術課第二技術班長の早坂啓一氏が定年退官されました。早坂氏は昭和57年に東京大学物性研究所より分子科学研究所技術課に赴任され、当研究所の極低温分野の発展にご努力されました。また技術班長として若い技術者の指導や技術課の業務に関しても貢献していただきました。

ここに掲載した原稿は技術課OBとして早坂氏より「かなえ」に寄せていただいたものです。

平成7年3月8日に分子研技術課プレゼンテーションで早坂氏の最終講演と、同日に開催された退官記念送別会の様子をあわせて掲載します。



# トピックス

## 酒井楠雄氏に日本化学会化学技術有功賞

技術課第四技術班長の酒井楠雄氏が日本化学会の化学技術有功賞を受賞されました。以下に酒井氏の受賞に際して認められた業績を紹介いたします。雑誌「化学と工業」第48巻第3号からの抜粋ですが、その紙面をそのまま掲載します。

### 化学技術有功賞

酒井 楠雄 氏 [岡崎国立共同研究機構分子科学研究所  
技術課]



#### [業績] 放射光を用いる分子科学研究のための分光器の設計・製作

(Design and Fabrication of Spectrometer for Molecular Science Utilizing Synchrotron Radiation)

酒井楠雄氏は、昭和54年に高エネルギー物理学研究所から分子科学研究所装置開発室に転任し、立ち上げ後間もない同所の若手技官を育成しつつ、分子線測定装置など分子科学の先端的な装置の設計・製作を行った。昭和55年から世界唯一の化学専用シンクロトロン放射実験施設(UVSOR)の建設に参加し、光源である電子ストレージリングの超高真空ドーナツ管の設計に携わった。昭和58年に極端紫外光実験施設に籍を移し、上記光源に接続するビームラインの本体部(分光器、前置集光系)や真空漏れ事故安全装置を備えた先端部の設計・製作を手掛けてきた。

分子科学研究所のシンクロトロン放射光は一般的の分光、光電子分光、光化学、化学反応素過程、固体・表面光化学、光励起新物質合成の6テーマの研究を遂行するために20本のビームライン(BL)が建設されている。これらのビームラインの多くは研究者がそれぞれの目的に沿った提案、概念設計、光線追跡を行い、それを受け酒井氏が中心となって設計および製作を行ったものである。以下に真空紫外・軟X線分光器に関する同氏の代表的な業績を説明し、ついで前置集光系についても紹介する。

#### 1. BL1BとBL7B

分子科学研究所の上記施設のうち、最も長波長用分光器はビームラインBL1BとBL7Bに設置された瀬谷・波岡型分光器で6000~300Åの単色光を供給する。この分光器は3枚の回折格子を装備し、波長に応じて一枚を選ぶようになっている。その交換は、回折格子の回転軸に平行に移動台を滑らす方式によるが、移動台の軸と回転軸との距離が短いため角度の再現性に問題があった。酒井氏の提案によりその距離を長くする工夫が採用され再現性を向上できた。現在、このビームラインは有機結晶、イオン結晶、超臨界流体、生体物質などの吸収、反射、発光スペクトルの測定に用いられている。

#### 2. BL3A2とBL8B1

定偏角斜入射分光器で入射スリットと出射スリットが固定され、波長掃引の際に回折格子と平面鏡が一体となって直線上を移動し、回折格子は移動とともに回転する。BL3A2は1000~70Åの単色光を、またBL8B1は400~15Åの単色光を供給する。波長掃引に際し回折格子と平面鏡を格納した真空槽がレール上を直線的に移動するが、そのレール移動の直線性に極めて高い精度が要求された。酒井氏らはレールの下の台とレール表面までの距離を精度よく(80cmに対し10μm以下の偏差)調整することに成功した。その結果、窒素分子の内殻(K)吸収スペクトル(31Å付近)を振動準位まで分解するほどの高分解スペクトルが得られた。このような高分解スペクトルが観察されたのは国際的にも数番目で、新しい分光学を拓く画期的なことである。

#### 3. BL1AとBL7A

15~数Åの単色光を供給する2結晶分光器で、波長掃引の際には各辺に分光結晶を装置したL型金具を回転させる構造になっている。結晶は各々の辺を移動すると同時に第一結晶は入射光軸上を、第二結晶は出射光軸上を光軸がずれないように移動する工夫がなされている。これは分子科学研究所で開発した新機構で、酒井氏は中国の合肥市にある中国科学技術大学の放射光施設に招かれ、1ヵ月滞在して同種の分光器の設計を行ってきた。

#### 4. 前置集光系の設計・製作

上記の分光器の上流には前置集光系が設置されているが、それらの多くは酒井氏の設計によるものである。特筆すべき点は、鏡の支持具が放射光によって加熱された鏡を冷却しつつ、調整のための回転ができるように設計されていることである。放射光を分光せず前置集光系のみをもつビームラインでは、光エッチングや光CVD、表面光化学反応の実験、あるいはリソグラフィーや軟X線顕微鏡などの実験に利用されている。

以上のように、酒井楠雄氏は優れた機械工作技術者として金属加工を必要とする装置の設計・製作に不断の努力を重ね、化学研究の進歩に大きく貢献した。よって同氏の業績は日本化学会化学技術有功賞に値するものと認められた。

# シリーズ特集「S i」

## 初心者のためのシリコン単結晶清浄表面作成技術

反応動力学研究部門 間瀬一彦

### 1. はじめに

通電加熱方式によるシリコン単結晶清浄表面作成技術を紹介します。読者としては、やる気と時間は十分あるけれども、経験と研究費は乏しい若手研究者を対象としています。また、ここに述べるシリコン清浄表面とは超高真空( $\sim 10^{-10}$ Torr)中で作成する不純物濃度1%以下程度の表面です。微量の不純物は影響しない研究なら十分通用します。より詳しくシリコン清浄表面作成技術を学びたい方は文献[1-3]を参照ください。また、超高真空技術そのものに関心のある方は文献[3-6]をお読みください。通電加熱方式によるシリコン単結晶清浄法そのものをさらに詳しく学びたい方は論文[7]をお読みください。超高真空関連業者の連絡先を知りたいときは真空関連学会誌(放射光、応用物理、真空、日本物理学会誌など)の広告ページや文献[8]が便利です。

### 2. 材料

#### A. シリコン単結晶

シリコン単結晶ウエハーは鈴木商館(TEL:0462-40-4238)などで入手できます( $\phi 100 \times t 0.5$ で、1枚約千円)。緊急の際はニラコ(TEL:03-3541-2755)でも買えます(1枚1万6千円)。抵抗値が高すぎると通電加熱が難しくなるので、数 $\Omega / cm$ 以下の比抵抗値を持つものを選びます。入手したウエハーは専用のケース(井内盛栄堂研究用総合機器カタログ10000、p1291、1組395円)に保管しておきます。

#### B. 金属材料

通電加熱では、試料温度が高温(約1200°C)になります。高温でのシリコンは非常に反応性が高いので、試料ホルダー材料としてSUS304、銅、アルミは使えません<注1>。特に微量のニッケルシリサイドが悪影響を及ぼすような実験をする場合には、試料ホルダー部品をステンレス製工具で扱うことも避けた方が無難です。そこで、タンタルおよび、モリブデンなどの高融点金属を使います。タンタルは高価ですが、高温での放出ガス量が少ないので柔らかい、加工しやすい、スポット溶接しやすいなどの点で通電加熱用電極材料として適しています。モリブデンは、脆くて加工しにくいですが、硬く安価なのでボルトなどに適しています。タンタル、モリブデンはともに高融点加工専門業者から購入するようにします<注2>(例えば、日本バックスメタル、TEL:03-3756-1171、代理店:アイリン真空、

TEL:052-401-2061、タンタル板50×50×0.5で約3千円)。高融点金属の特性に関する文献としては、日本バックスメタルやニラコのカタログが便利です。

#### C. 絶縁材料

通電加熱では絶縁部も高温(約800°C)になるので絶縁部品としては高純度アルミニナなどのセラミックを使います<注3>。代表的なメーカーと代理店、取扱品のリストを以下に示します。

- ①信光社、TEL:045-894-4215、合成サファイア板、TiO<sub>2</sub>板など。
- ②アース製薬無機材事業部、TEL:078-222-4592、合成サファイア板、TiO<sub>2</sub>板など。  
阪神大震災の影響で大阪仮事務所に一時移っていたが、5月末に神戸に復帰した。
- ③モリテックス、TEL:03-3476-1450、サファイア球など。  
超高真空内ペアリング材料として有用。
- ④ニッカトー、代理店:オザワ科学、TEL:0565-27-2341、アルミニナ管など。
- ⑤FrialitDegussit社、代理店:バスカル、TEL:06-765-1321、アルミニナ管など。
- ⑥友玉園セラミックス、代理店:アイリン真空、真空内絶縁部品各種。  
取扱品の規格の詳細や定価については各社のカタログを参照ください。

#### D. 配線材料

通電加熱では15A近い電流を流すので、配線材料としては1.25mm<sup>2</sup>以上の無酸素銅線を用います。AC100V用ビニール平行線(ストックルームにあります)の被覆をはがし、洗浄したものでも十分使えます。無酸素銅はスポット溶接できないので、コネクターかネジを用いて配線します。 $\phi 2$ の無酸素銅棒を加工して、 $\phi 2 \times \phi 1.4 \times 7$ の無酸素銅管を製作すると、最も単純な真空内圧着端子になります。参考までに真空内配線部品のメーカーのリストを以下に示します。また、文献[5]のp1261-1263も参照ください。

- ① I S I 社、代理店:リッチモインターナショナル、TEL:03-3440-0027、真空内配線部品各種。
- ②日本バックスメタル、代理店:アイリン真空、真空内配線部品各種。

### 3. 加工、組立

#### A. はじめに

本稿で述べるレベルのシリコン清浄表面製作法ではクリーンルームは必要ありません。しかし、実験室はこまめに清掃する、作業前に手を洗う、機械油や埃で汚れた部品や装置は実験室を持ち込まない、ロータリーポンプの排気口はダクトに接続する、ポンプ油の缶などの汚れものはチャック付きポリ袋(井内カタログ p857)に入れて保管する、などの習慣は身につけた方が良いでしょう。実験室をほかの研究者と共有しているなどの理由で、清浄な環境を用意できない場合は、部品を洗净したらすぐにチャック付きポリ袋に保管する、シリコン単結晶は洗净後ただちに超高真空槽内に組み込むなどの注意が必要になります。

#### B. 工具

シリコン単結晶および洗净後の部品はプラスチックあるいはセラミック製の専用工具で扱います。そうすれば工具や手袋が誤って試料表面に触れても、表面を汚染しません。また、作業の際は新しい使い捨て手袋を使い、終わったら捨てるにします。工具と保管箱の内側はエタノールでよく洗っておきます。必要工具の1例を以下に示します。使い捨て手袋(100枚)、ダイヤペン(1本)、アクリル製定規(4本)、テフロンシート(1枚)、シリコン保管箱(50箱)、プラスチックピンセット(1本)、セラミック製ドライバー(1本)、セラミック製はさみ(1丁)、専用工具箱(1箱)(井内カタログ p1217, 840, 628, 1278, 952, 978, 631, 877 参照、合計約1万円)。

#### C. シリコン単結晶準備

シリコンウェハーは劈開により5mm×20mmの長方形に加工します。長辺を<100>あるいは<111>方向にとるとあとで方位の確認が容易です。劈開の手順は以下の通りです。

- (1) テフロンシート上にシリコンウェハーを置き、ダイヤモンドペンとアクリル製定規を用いて直線状の傷を入れる。
- (2) 傷の両端をアクリル製定規2対(4枚)で押さえ、やや両側に引っ張るように曲げて劈開する。

製造直後のシリコンウェハーは通常清浄な自然酸化膜で覆われており、超高真空中で通電加熱すれば、清浄表面を得ることができます。しかし、うっかり素手で触ってしまったり、ステンレス製ピンセットではさんだりすると、油やニッケルなどで汚染されてしまいます。この場合は以下の手順で湿式処理を行なって、汚染されたシリコン酸化膜を除去し、清浄なシリコン酸化膜を形成して表面を保護します。もちろん使用するビーカーなどはあらかじめ洗净しておきます。詳しくは論文[2]をお読みください。

- (1) 純水、特級アンモニア、特級塩酸、特級過酸化水素(30%、添加物の無いもの)を用意する。新品を使い、以後

シリコン洗净専用とする。

- (2) 水、過酸化水素水、アンモニアを5:1:1の割合で混ぜる(酸化層除去溶液)。
- (3) 水、過酸化水素水、塩酸を6:1:1の割合で混ぜる(酸化層形成溶液)。
- (4) 75-80°Cの酸化層除去溶液に試料を10分間浸したのち、純水で2回すすぐ。
- (5) 75-80°Cの酸化層形成溶液に試料を10分間浸したのち、純水で2回すすぐ。

#### D. 設計の心得

部品設計の際の心得を以下にまとめました。

- ① 機械的強度、加工性、熔接性、高温特性、磁性、価格など、材料の特性を十分把握する。

超高真空実験でよく使われる材料は、<注1><注3>に記しました。これらの材料については一通りの知識を身につけておく必要があります。ニラコのカタログや文献[4] 第2章、文献[6] 第3章を参照ください。

- ② 素人でも加工、組立ができるよう単純な構造にする。

設計において加工、組立の知識は必須です。旋盤、フライス盤、ボール盤による加工は経験しておいた方が良いでしょう。また、放電加工、TIG熔接、銀錫づけ、電子ビーム熔接は機会があれば見学しておいた方が良いでしょう。実験上の必要性が乏しいのに加工困難な工作を依頼することは研究者の基本的マナーに反します。また、単純な構造ほど故障しにくいという利点もあります。

- ③ 市販品をできるだけ使う。

装置開発室の渡辺先生が強調されているように、市販品を使うと手間を大幅に軽減できます。また、自作品にくらべ、完成度が高いので故障が少くなります。

- ④ 個々の部品の果たす役割を明確にする。

実験上の必要性が乏しい部品を削減し、構造を単純化するのに役立ちます。

- ⑤ 部品図と組立図を描いて比較する。

部品図と組立図を描いて比較すると設計上のミスを削減できます。

- ⑥ 設計図面は加工する人の立場に立って描く。

正しいけれどもわかりにくく設計図面を出すと、ときどき図面と異なる部品が届きます。この場合、失敗の責任は工作者ばかりではなく、図面を描いた人にもあります。断面図や鳥瞰図を添える、図面を色分けするなどして加工する人にとてわかりやすい図面を描くことが納期の短縮と加工費の削減、設計ミスの削減に結びつきます。

#### E. ホルダー部品の準備

電極部品例を図1に示します。加工は文献[9-11]を参考すれば素人でもできます。どうしても手に負えない場合は、外注するか、装置開発室に依頼します。

洗净の手順を以下に示します。

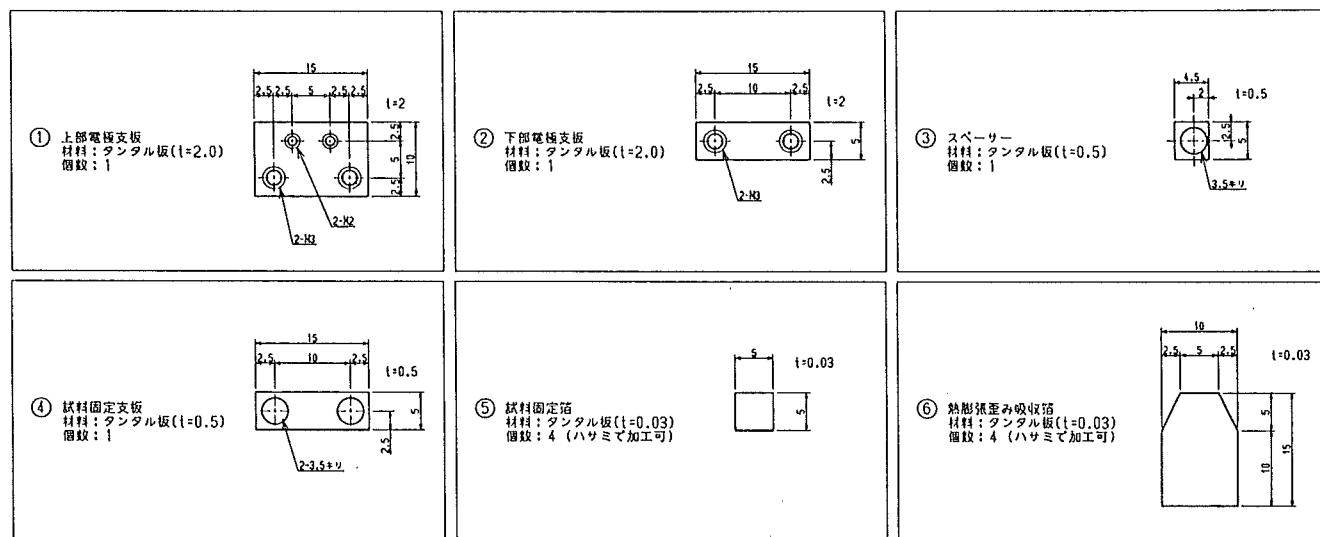


図1 電極部品例

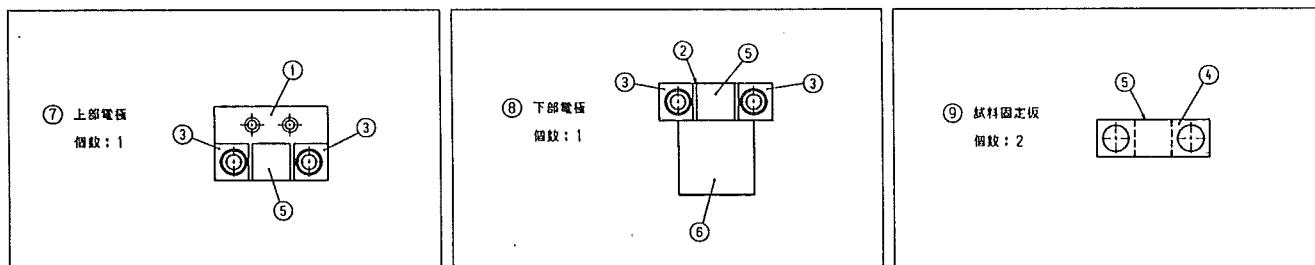


図2(a)

図2(b)

图 2(c)

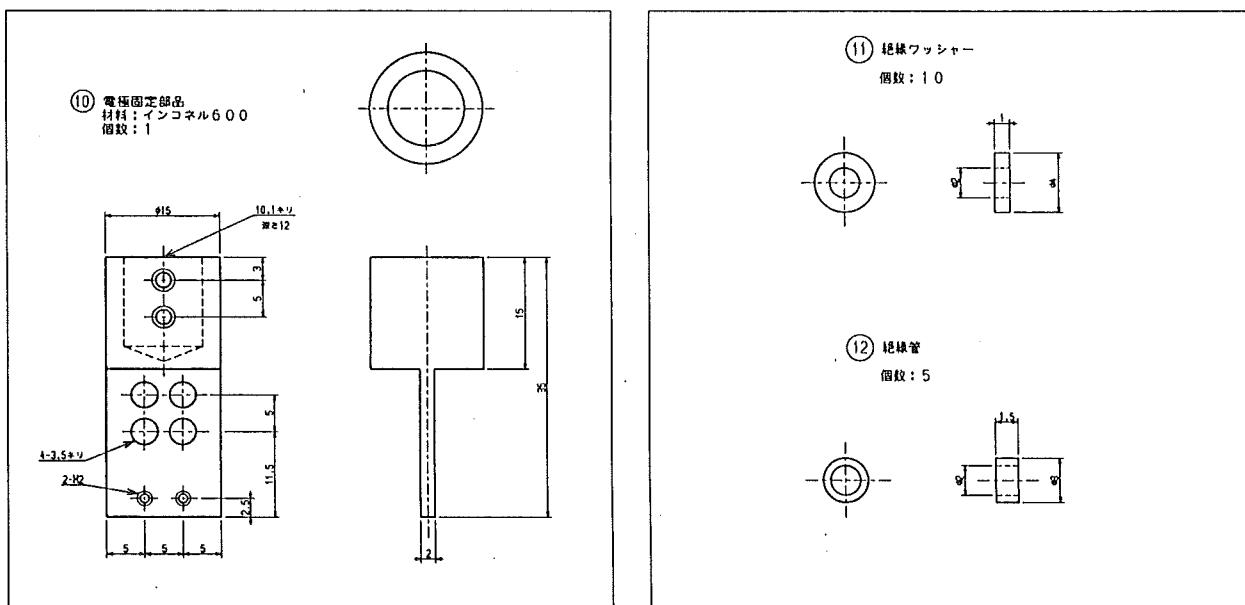


図3(a)

図3 (b)及び(c)

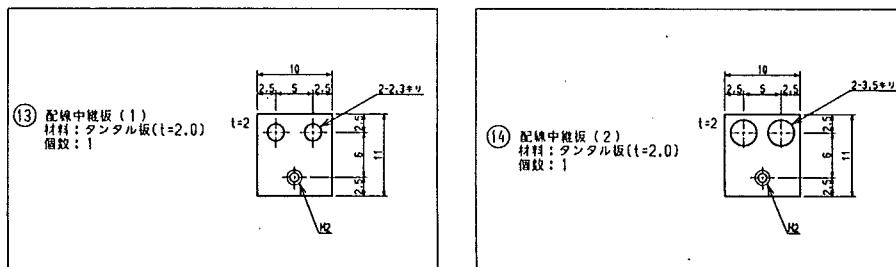


図3(d)

图 3(e)

- (1) 無リン中性洗剤(井内カタログp1016)で超音波洗浄し、純水で2回すすぐ。

(2) 特級アセトンで超音波洗浄し、純水で2回すすぐ。

(3) 特級エタノールで超音波洗浄し、乾燥させる。

トリクロロエチレンは有毒なので使わない方が良いでしょう。また、洗浄器と乾燥器は眼鏡用超音波洗浄器(約9千円)、家電製品の食器乾燥機(約9千円)で十分役立ちます。図1のホルダー部品から、スポット溶接によって、上部電極、下部電極、試料固定板(図2(a) - (c))を製作します。

#### F. マニピュレーター先端部への取り付けと

## 配線中継板の取り付け

回転マニピュレーターとXYZステージは国内外の各社、例えば、

①MDC、代理店：リッチモインターナショナル、カタログが充実している<注4>。

②真空光学、TEL:03-3756-7082、代理店：アイリン真空、  
北野精機から独立した。

③バキュームプロダクツ、代理店：SEIKO EG&G、  
TEL:052-733-2535、製品の完成度が高い。

④誠南工業、TEL:06-672-6788、大阪を代表する超高真空装置メーカー。

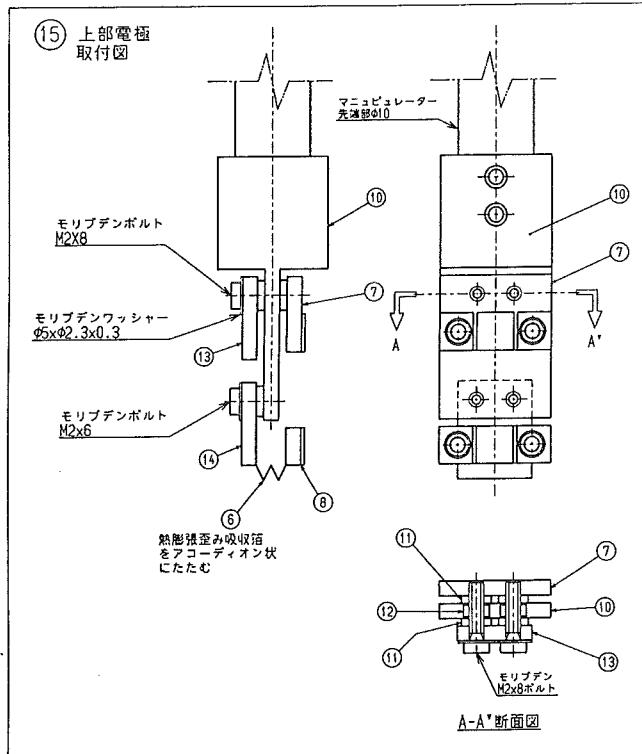
⑤北野精機、TEL:03-3773-3956、東京の中堅超高真空装置

メーカー。などで扱っています。ここでは、Φ10のマニピュレーター

先端部に電極固定部品(図3(a))を介して上部電極(図2(a))を取り付けるものとします。電極固定部品はやや高温

© 2010 Pearson Education, Inc.

⑯ 上部電極  
取付図

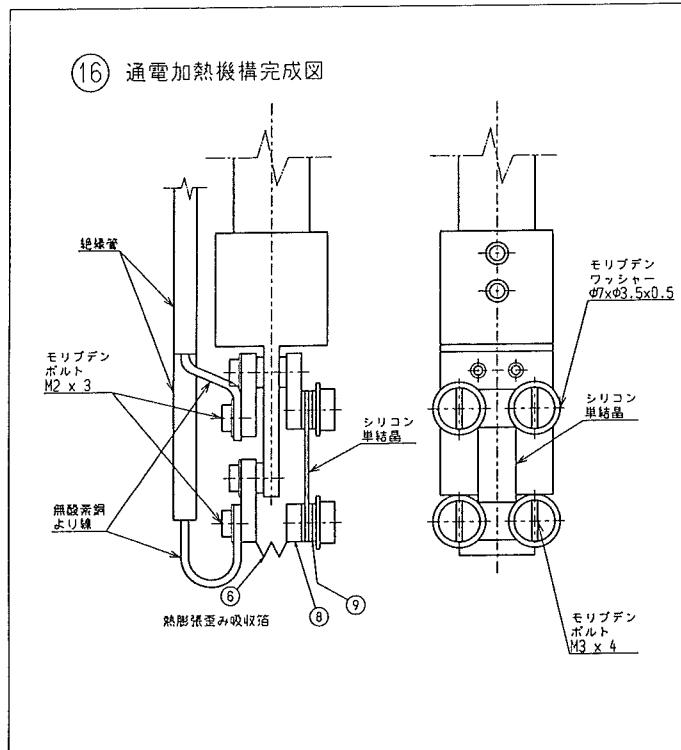


4

になる(約400°C)ので、インコネル600で製作します<sup>5</sup>。上部電極は電極固定部品に絶縁ワッシャー(図3(b))と絶縁管(図3(c))、配線中継板(1)(図3(d))、モリブデンワッシャーを介して取り付けます(図4)。ワッシャーは振動によるネジのゆるみを防ぐために使います。モリブデン製ボルト、ワッシャーは市販品を購入します(例えば、日本バックスメタル、M2×6ボルトで約千円。ニラコカタログNo.25、p234-236参照)。超高真空中では高真空中にくらべると放電しにくいので、このような単純な絶縁構造でも約1kVの耐電圧があります。絶縁管はφ3×φ2×100の高純度アルミナ管(ニッカトー、単価290円)をダイヤモンドカッター(装置開発室にあります)で切断して作ります。絶縁ワッシャーは高純度アルミナ管を切断し、両面研磨して作ります(例えばFrialit Degussit社製、アルミナ99.7%、加工料を含めて単価約700円、代理店:パスカル)。配線中継板(2)(図3(e))は電極固定部品に絶縁ワッシャーと絶縁管、モリブデンワッシャーを介して取り付けます。下部電極(図2(b))は配線中継板(2)(図3(e))にスポット溶接します(図4)。

## G. 配線と試料の取り付け

配線中継板(1)、(2)は1.25mm<sup>2</sup>の無酸素銅より線とコネクターを介して電流導入端子(無酸素銅φ1.27mm、1対)につなぎます(I S I 社カタログp133、183参照、合計約2万円)。配線の絶縁にはφ3×φ2×100のアルミナ管か、φ5×φ2×5のアルミナ製数珠玉ガイシ(友玉園セラミックス、代理店:アイリン真空、1000個で2万3千円)を使います。



5

試料を回転したり Z 軸方向に移動した場合にも無理な力がかかるないように、余裕を持って配線します。シリコン単結晶試料はマニピュレーターを超高真空槽に取り付ける直前にホルダーに固定します(図 6 (a)、構成部品は本稿で図示したものと若干異なります)。モリブデンワッシャーを介して M3×4 のモリブデンボルトによって固定するので、試料は均一に固定されますし、試料の交換も容易です。また、通電加熱時に試料が膨張しても、下部電極と配線中継板の間のアコーディオン状の箔(熱膨張歪み吸収箔、⑥)が歪みを吸収するので試料に無理な力がかかりません。

#### 4. 試料の通電加熱

通電加熱の手順を以下に示します。詳しくは論文[7]をお読みください。

- (1) シリコンダミー試料をつけたマニピュレーターを真空槽に取り付け、排気とベーキングにより超高真空( $10^{-10}$ Torr 台の良いところで、炭化水素系残留ガスが少ないこと)を達成する。
  - (2) 通電加熱によりシリコンダミー試料を1250°C程度まで加熱し、真空度が  $10^{-9}$ Torr 台に回復するまで試料ホルダーを脱ガスする。 $10^{-9}$ Torr 台より悪い真空中で通電加熱を行うと試料表面が荒れるので注意が必要です。
  - (3) いったん真空槽をリークし、実験用のシリコン試料を取り付け、再び超高真空をつくる。試料を600°C程度に加熱して、数時間放置し試料と試料ホルダーを脱ガスする。清浄な酸化膜は600°C程度では蒸発しないので表面を保護したままで脱ガスできます。
  - (4)  $10^{-9}$ Torr 台の真空中で 1250°C に 1 ~ 2 分保持し、950°C に冷却してから、 $< 2$  °C/秒の速度で室温までゆっくり冷却する。冷却速度を緩やかにすることで欠陥の少ない平坦な表面を得ることができます。
- 清浄な酸化膜で保護された試料では、800°C程度に加熱して酸化膜を蒸発させれば、清浄表面を得ることができます。炭素で汚染されている場合には、上記のように1250°C

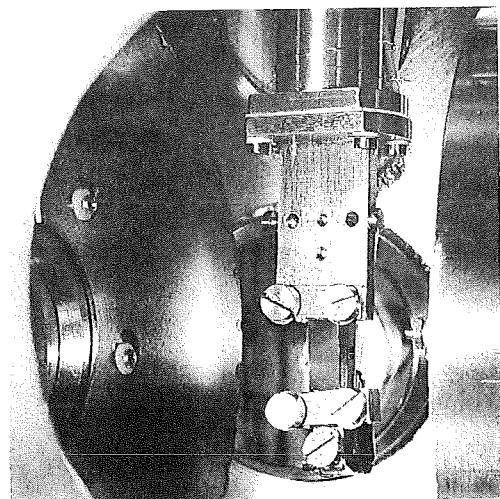


図 6 (a)

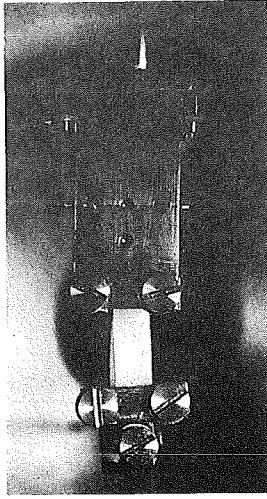


図 6 (b)

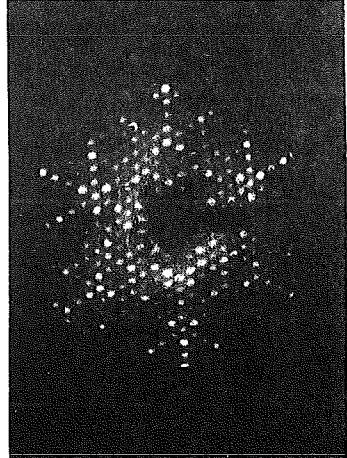


図 6 (c)

まで加熱し、シリコン炭化物を除去する必要があります。この場合は試料が融けないよう注意が必要です。シリコンは半導体なので室温では高い抵抗値を示しますが、加熱すると抵抗値は小さくなります。このため、通電加熱用電源としてはズーム機能付きの定電圧定電流直流電源(例えば高砂製作所、EX-375L、0~60 V、0~20 A、375 W、定価 17万8千円)が便利です。試料温度測定装置としてはシリコンウェハー用放射温度計(例えばチノー、IR-APOCSC、測定波長: 0.6~0.96 μm、測定可能温度: 600~1200°C、シリコンの放射係数は0.6)が便利ですが非常に高価です(約90万円)。おおよそですが、試料が暗闇の中でかすかに赤く見えたたら約600°C、室内の明るさのもとで赤く見えたら約800°C、明るく見えたたら約1000°C、眩しいくらい白熱していたら約1200°Cです。通電加熱中のシリコン試料の写真を図 6 (b)に示します(試料温度: 1130°C)。以上の手段により得られたシリコン(111)単結晶清浄表面の低速電子回折パターン(入射電子エネルギー: 70eV)を図 6 (c)に示します。清浄表面の DAS 構造(文献[1] 図 1 参照)に対応する(7 × 7)パターンが見えています。

#### 5. 装置開発室へのお願い。

装置開発に初心者向けの参考書(例えば文献[4, 10, 11])を用意していただけないでしょうか。また、小型旋盤(例えば井内カタログ p948、10万8千円)、小型フライス盤が備えられれていると便利です。本稿で取り上げたような細かい部品を作る際には、大きな工作機械はかえって不便です。また、セラミック用の超音波加工器を用意していただけと助かります。

#### 6. おわりに

先端的な実験に取り組む場合でも、最初に基本的な技術を学ぶことが重要です。専門研究グループにいれば基本的な技術が自然に身に付きますが、異分野出身の研究者には、通常ながらが基本かさえわかりません。シリコン表面科

学にも関心を寄せる分子科学者が増えている現状を鑑み、シリコン清浄表面作成に関する基本的な技術をまとめてみました。本稿の内容は主に東大物性研村田研究室で永年以上にわたり培われてきた心得と技術に基づいています。この場を借りて関係者各位に感謝いたします。

<注1>超真空ではベーリング温度(150~200°C)における蒸気圧が高い金属は使えません。なかでも注意しなくてはならないのはスズ、鉛、亜鉛を含んだ合金です。したがって、真鍮とはんだけは使えません。また、リン青銅、ジュラルミン、SUS303Aもメーカーによっては亜鉛などを含んでいる可能性があるので使用しない方が無難です。よく使われる金属は、SUS304、SUS316L、SUS310、無酸素銅、ベリリウム銅、ニッケル、純アルミニウム、素性の明確なアルミニウム合金、インコネル600、チタン、タンタル、モリブデン、タングステン、貴金属、ペーマロイ、コバルトです。

<注2>緊急の際はニラコでも買えますが、価格は3~4倍となります。ニラコも、モリブデン製ボルトは日本バックスメタルから仕入れているようです。また、同じ高純度モリブデンでも、製造元によって加工しやすさがまったく異なるので注意が必要です。組成が同じ金属材料でも加工性が異なる原因は、結晶粒の大きさや形状などが製造工程によって異なるためと思われます。似たような例として、真空熔解したSUS304は通常のSUS304と比較して、はるかに硬く、加工しにくいことが知られています。また、超真空槽製作においては板材、丸棒、パイプを使い分けます(文献[4]p3-6)。

<注3>超真空ではベーリング温度(150~200°C)で分解したり、ガスを多量に放出する絶縁物は使えません。したがって、ビニール、液体潤滑剤、粘着テープ、接着剤、木材、紙は使えません。よく使われる絶縁物は、サファイア板、アルミナ、ムライト、ステアタイト、切削性セラミックス、ガラス、テフロン、バイトン、ポリイミド、カルレッソです。また、超真空中での潤滑にはWS<sub>2</sub>、MoS<sub>2</sub>などの固体潤滑剤が使われます。超真空槽の暫定的なリーク防止用シーラント、接着剤、充填材も市販されています(文献[4]p74)。

<注4>アメリカのメーカーの製品の規格は、国内製品の規格と異なります。例えばネジはインチ規格なので、タップ穴付き製品を購入する場合は、専用のボルト、工具も同時に注文する必要があります。また、Φ34コンフラットフランジとΦ70コンフラットフランジの接続するパイプの内径が細いので、国内製の電流導入や、真空ゲージが取り付かない場合があります。コンフラットフランジの材料、寸法は国内メーカーによっても微妙に異なるので十分な注意が必要です。

<注5>SUS304同士のネジ接合部は200°C程度に加熱すると噛んでしまいます。雌ネジ部をインコネル600で作り、雄ネジをSUS304とすると、400°Cまで温度が上昇してもネジは噛みません。雌ネジ部をタンタルで作り、雄ネジをモリブデンとすると、800°Cまで温度が上昇してもネジは噛みません。また、雌ネジの下穴を大きくしてネジを甘めにします。電極固定部品はタンタルで製

作してもかまいませんが、機械的強度が落ちる、高価になるなどの欠点が生じます。

## 参考文献

- [1]田中慎一郎、「Si表面の研究 一その技術的側面ー」、Kanae No.3, p14. 最新のシリコン表面研究関連技術が述べられています。
- [2]W.Kern, J.Electrochem.Soc.137, 1887(1990). シリコンウェーハー洗浄法に関する詳細なレビューです。
- [3]青野、塚田、八木、小間編、「表面物性工学ハンドブック」p504、丸善、19,570円。高価ですがそれに見合うだけの内容を備えています。
- [4]日本真空協会編、「超真空実験マニュアル」、4000円。超真空実験を行う際の必読書です。現場で技術開発に携わる人が執筆しています。
- [5]後藤、桜井、寺田、岡野、「技術ノート(超真空装置の基本技術)」、応用物理60, 1257-1263。超真空システムの設計、超真空装置の溶接と洗浄法、試料の移動、加熱、冷却機構、超真空よう配線材料について、それぞれの専門家が詳しく、具体的に述べています。
- [6]真空ハンドブック第3版、アルバック・コーポレート・センター。様々なデータが載っています。
- [7]B.S.Swartzentruber et al., J.Vac.Sci.Technol.A7, 2901(1989). 様々な条件下での通電加熱によるシリコン表面清浄法を走査型トンネル電子顕微鏡(STM)により比較検討した上で最良の通電加熱法の手順を詳述しています。
- [8]日本真空工業界 広報委員会、国際真空産業展 GUIDE BOOK、2000円。毎年秋に開かれる真空産業展のガイドブックです。大手、中堅真空業者の一覧が載っています。
- [9]堀米利夫、「はじめての機械工作入門(その1)」、Kanae No.3, p24. 機械工作技術が詳しく述べられています。
- [10] 技能ブックス(2)「切削工具のカンドコロ」、大河出版、1700円。  
技能ブックス(3)「旋盤のテクニシャン」、大河出版、1700円。  
技能ブックス(4)「フライス盤のダンドリ」、大河出版、1700円。  
技能ブックス(5)「ネジ切りのメイジン」、大河出版、1700円。  
技能ブックス(7)「手仕上げのベテラン」、大河出版、1700円。  
技能ブックスシリーズ全20冊はいずれも、写真とイラストが豊富で分かりやすい工作の入門書です。なかでも機械工作で役立つのは上記の5冊です。
- [11]兵藤申一、「物理実験者のための13章」、東京大学出版会、2000円。実験者にとって最も基本的な心得が述べられています。

# 技術活動報告

## プログラマブル・パルスジェネレータの製作

装置開発技術係 豊田朋範

### 序

NMR(核磁気共鳴装置)の制御用に多チャンネルの設定の異なるパルスを出力する機器の製作依頼があった。このような場合、パルスを発生する機器(以後パルスジェネレータ)を複数台用意するのは場所をとるし、パルスの設定を変更するのがわずらわしい。そこで

①使用者が任意に設定したパルスを内部に記憶し、何度でも取り出せること(プログラマブル)

②多チャンネルのパルスを同時に取り出せること(マルチ・チャンネル)

という要求を満たすことのできる機器を製作することになった。

これは16チャンネルのTTL(Transistor-Transistor Logic)レベルの汎用パルスジェネレータとしても使用が可能である。

### 1. 動作概要

プログラマブルでマルチ・チャンネルという要求を実現するためにパルスの情報を、1, 0を表わす状態データ(16ビット)とその状態が持続する時間データ(32ビット)に分類して内部に記憶して、そのデータに基づいて出力を制御

するという基本構成を考えた。今回製作した16チャンネル・プログラマブル・パルスジェネレータ(以下PPG)のブロック図と仕様を図1に示す。機能的には

①フォトカプラ、シフト・レジスタで構成する、PC98からのパルスデータを受信、シリアル→パラレル変換する受信・変換部

②S-RAMとアドレス・カウンタで構成する、データを記憶し、メモリ・アドレスを設定する記憶部

③ラッチとダウン・カウンタから構成され、データに基づいてパルスの状態を保持し、その時間を計測する出力・計測部

の3つに大別できる。パルスデータの書き込み時はメモリはライトモードとなり、受信・変換部からのデータを記憶部が記憶する。一方パルス出力時はメモリはリードモードとなり、記憶部から読み出したデータに基づいて出力・計測部が動作する。このように書き込み時、出力時両方で役割を担う記憶部を除くとブロック単位ではほぼ完全に独立した動作を行う。

PPGの制御はPC98のプリンタ・インターフェース<sup>1)</sup>(以下PIF)を介して行う。コンピュータと外部機器との接続にはRS-232Cを用いる方法もあるが、PPGは最大512kBのデータを取り扱うのでデータを送受信する信号線が1本しかないRS-232Cでは転送に時間がかかる。また、データの転送とともに各部の制御信号が必要となる。そこで8ビットのデータをパラレルに送信(今回は受信を使用していない)できるPIFを用いている。PPGとPC98は電気的安全を期すためにフォトカプラを用いて絶縁している。PPGの制御はPIFの信号線の内、8本のデータ線のみを使用していて、図2のようなビット構成を成している。下位3ビットに割り当てたパルスデータはPC98から転送される時点ではシリアルである。PIFはパラレルなのに何故シリアルで転送されるのかというと、

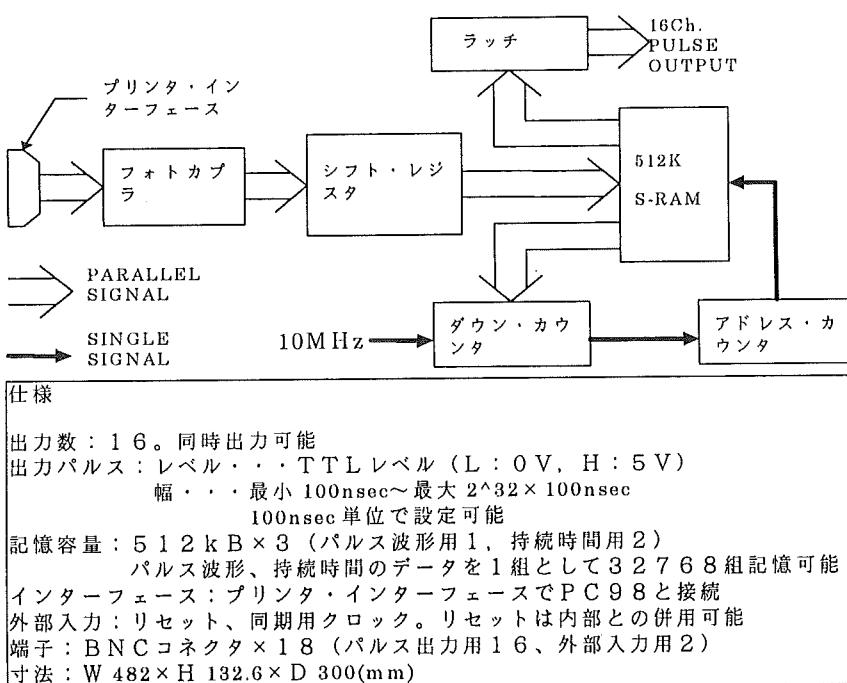
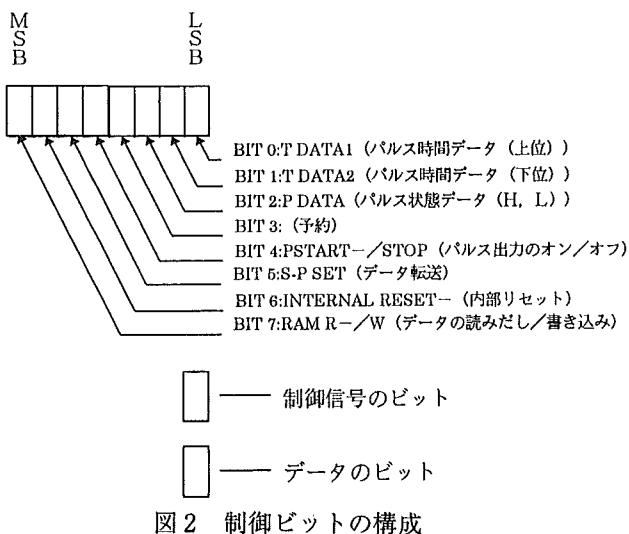


図1 PPGのブロック図と仕様



- ①PIFでは今回使用したデータビット以外に使用でき信号が2つしかなく、制御信号が図2のようにデータビットの上位4ビットを占有していること
- ②転送するデータが最大512kBと多く、それを3個扱うこと

が主な理由である。

パルスのデータは図3に示した手法で形成される。これをシフト・レジスタによってパラレルに変換した後、S-RAMに記憶する。書き込みを終了してリセット信号を送信することによって、出力を保持するラッチと出力の持続時間を計測するダウン・カウンタにデータが送られ、PC98からのスタート信号により出力を開始する。設定時間だけカウントすると最上位のカウンタからトリガが出力され、それによりアドレス・カウンタが1つ進む。以後、スタート信号を停止するまで読み出したデータに基づいてパルスをアドレス順

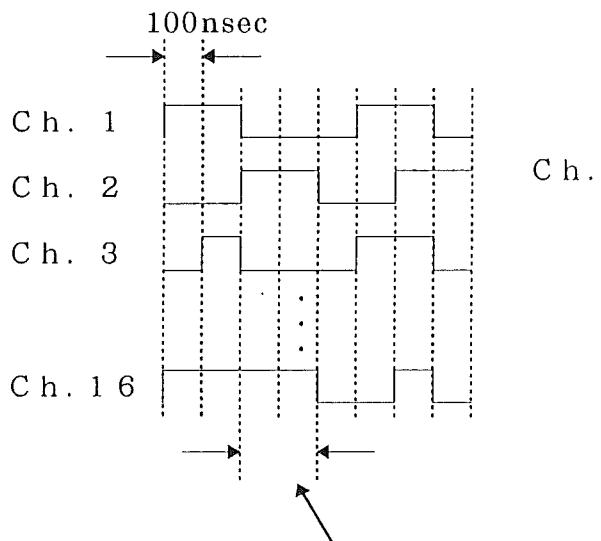
に出力するという動作を繰り返す。

外部入力としてリセットと同期クロック入力が装備されているが、これを用いることにより外部からのトリガにより、ある出力列を繰り返し出力したり他の機器と同期させて出力させることが可能となる。

## 2. 工夫点

デジタル回路ではタイミングが重要となる。今回のように短時間を取り扱う場合においては、如何に短時間で必要な信号処理を行うかがとりわけ問題となる。PPGでは最小100nsec幅のパルス出力が可能となっているが、出力の状態を持続させる時間(これがパルス幅である)を如何に正確に計測するかが機器の信頼性を左右する。PPGではある出力から次の出力までの空白期間(デッド・タイム)内にラッチとダウン・カウンタにデータを送るのであるが、このデッド・タイムが長いと設定した出力時間の誤差が大きくなる。図1のブロック図におけるダウン・カウンタは4ビットカウンタを8個直列に接続して32ビット(パルス幅の最大値 $2^{32} \times 100\text{nsec}$ はこれに基づく)をしている。ICには素子固有の入出力の時間遅延が存在し、TTL-LS系素子ではこれが約20nsec<sup>2)</sup>で、これを8個直列接続することにより時間遅延は約160nsecにもなる。そこで今回はLS系より高速動作するF系素子(時間遅延はLS系の1/2程度。例えば7414では、LSが22nsecなのに対してFはL→Hの出力変化の場合11.5nsec、H→Lの出力変化の場合では9nsecである<sup>3)</sup>)を使用して時間遅延による誤差を低減している。

また、あるトリガで次段以降の素子を制御する場合には74221のようなシングルショット素子がよく用いられるが、それらの素子は先の時間遅延がAND、ORなどのゲート素子に比較して3倍以上<sup>2)</sup>と大きい。またトリガを受けて時



例の範囲では

M	S	B	L	S	B
16	.	.	.	.	3 2 1
1	.	.	.	.	0 1 0

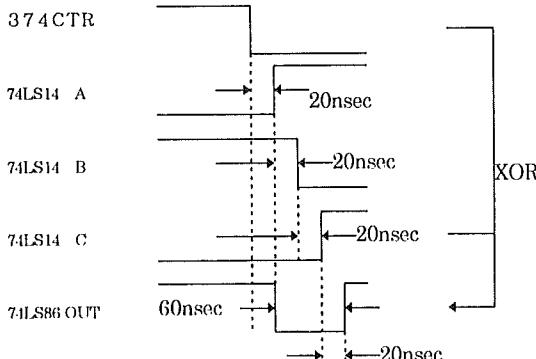
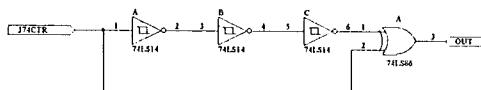
× 28

時間データは上のようになる。

時間データは、状態の持続時間が200nsecだから、 $200\text{nsec} / 100\text{nsec} = 2$ である。これを32ビットの2進数に変換すると、0 0 0 0 . . . 0 0 0 0 0 0 1 0となる

例えばこの範囲で16チャンネルのパルスがある状態を保っている。パルスの状態データはこの状態下における各チャンネルのHまたはLを1, 0に置換して、第16チャンネルのデータを最上位に置いて順番に並べた値を使う。時間データは状態の持続時間を100nsecで除算した値を使う。

図3 パルスデータの構成



LS 素子は入出力に最小約 20nsec の遅延がある。74LS14 A と 374CTR を合成しないのは 20nsec の幅ではこの信号を受ける素子が認識できない可能性があるためである。

図 4 ゲート素子を用いた信号の合成

定数に基づいた幅のパルスを出力するのであるが、時定数の決定には C, R といった受動素子を使用するため温度の影響を受けて出力パルスの幅が変化するという要因もプラスされる。これではカウンタで高速の素子を採用しても価値が半減する。そこで今回は受動素子をプルアップ/プルダウン以外では一切用いず、ゲート素子の組み合わせによって必要な信号を合成するという手法を採用した。図 4 は PPG 内部の信号 374CTR からの信号合成を示したものである。

ICに入出力の時間遅延が存在し、それが設計の際に問題になることは前述した通りである。時間遅延は現実の素子を扱う上では避けられない問題であり通常は厄介な存在である。しかし、これを逆に利用して信号を合成することでシングルショット素子よりも優れた入出力特性を実現でき、しかも安定した出力を得ることができる。この手法は

今後も使用していきたいと考えている。この手法も IC 1 個 1 個にばらつきがあるので、更に時間精度を正確にするにはディレイ・ライン素子の採用も考えられる。

### まとめ

PC98 に標準装備されているプリンタ・インターフェースを使用することにより、特別なインターフェースを製作する必要がなく汎用性が高い。インターフェースの使用には少ない信号線を如何に有効利用するかが鍵となるが、供給する信号を最小限に絞り込み、他に必要な信号は回路内部で合成することで使用する I/O ポートが 1 つで済んでいる。

今回のように S-RAM やカウンタなど必要な配線が多い素子を多用した場合、製作が複雑になり、ユニバーサル基板で製作すると基板のサイズに限界があるため、不必要に大きくなりがちである。さらに PPG で使用した S-RAM (写真 1) は SMD (Surface Mount Device : 表面実装部品の略) であり、DIP (Dual In Package の略) のピンの間隔に穴が開けられているユニバーサル基板では変換ソケットを使用すれば実装できるもののサイズが大きくなってしまい、小型化を図るために SMD を使用した価値が半減する。そこで基板加工機を使用して両面実装基板とすることで比較的小型化でき(写真 2)、製作における時間の短縮にも繋がった。

近年市場に投入される素子は徐々に SMD がその数を増しており、これらの素子の積極的な採用とともに実装技術の向上、基板加工機の利用、そして PCB アプリケーションを使用したプリント基板の設計など、基板製作の手法の転換が迫られると感じている。

### 参考文献

- 1) 「PC-9800 シリーズテクニカルデータブック -HARDWARE 編-」 アスキー出版局
- 2) TTLSTD,LS,S データブック TEXAS INSTRUMENTS
- 3) 最新 74 シリーズ IC 規格表 '94 年版 CQ 出版社

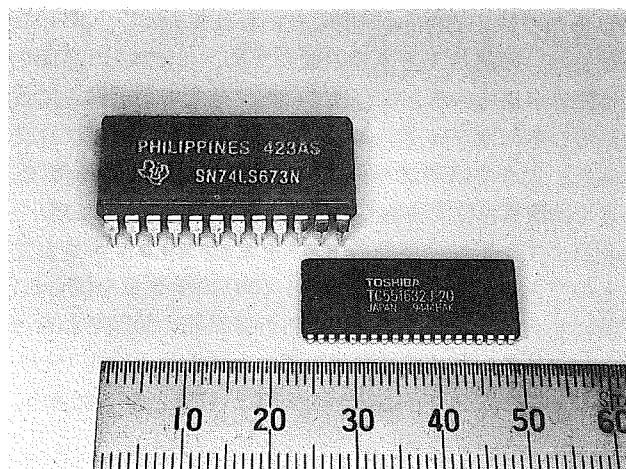


写真 1

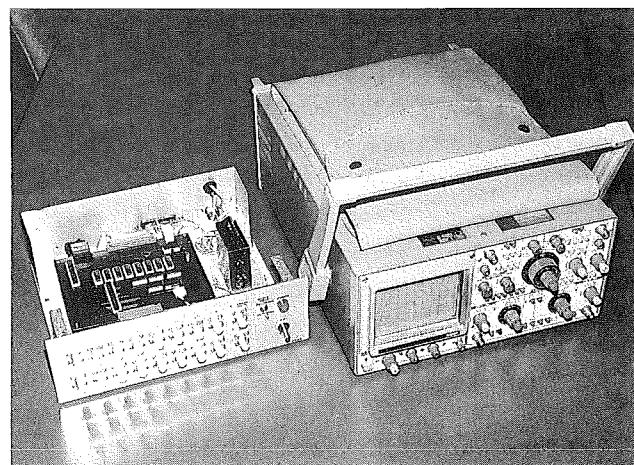


写真 2

# 科学技術計算のプログラミング技法

電子計算機センター 南野 智

## 1. はじめに

近年におけるすさまじいコンピュータ技術の発展は、サイエンス研究の進展に多大な貢献を果たした。それによって計算化学は著しく進展したのは周知の事実である。この「進展」の中身には二つの面が含まれていて、ハードの向上による計算範囲の拡大と、プログラム技法の開発による新しい計算技術の発展に分けられる。この両者を比較した場合、ハードの向上による計算技術の発展への寄与は、計り知れないものがある。

しかし反面、ソフト面の発展は、画期的と言える手法はそれほど多くなく、古くからあるプログラムの延長線上にあった。しかし近年、盛んにプログラムの並列化が叫ばれており、(実はこれもハードからの要請ではあるのだが、)新たなる流れとなってきたている。

## 2. 分子軌道計算のプログラムについて

分子軌道計算によって得られるデータは、分子を研究するものにとって欠かせない重要なデータをいくつも提供することは、もはや周知の事実である。しかし、そのプログラムは、現在では数万、数十万行とも言われるほど膨大なものになってきており、有名なプログラムは大概が企業の製品となってしまっている。

以下に分子軌道計算のプログラムの流れを示す。

- (1) 分子の核座標  $\{R_A\}$ 、原子番号  $\{Z_A\}$ 、電子数  $\{N\}$  を選び、基底関数系  $\{\phi_\mu\}$  を決める。
- (2) 分子積分、 $S_{\mu\nu}$ 、 $H_{\mu\nu}$ 、及び  $(\mu\nu | \lambda\sigma)$  を計算する。
- (3) 重なり行列  $S$  を対角化し、変換行列  $X$  を得る。
- (4) 密度行列  $P$  に対する初期値を設定する。
- (5) 密度行列  $P$  と 2 電子積分  $(\mu\nu | \lambda\sigma)$  から  $G$  行列を計算する。
- (6) 核-1 電子ハミルトン行列に  $G$  を加え、Fock 行列  $F$  ( $=H_{\text{core}}+G$ ) を得る。
- (7) Fock 行列を変換して  $F' = X^T F X$  を得る。
- (8)  $F'$  を対角化して  $C'$  と  $\varepsilon$  を得る。
- (9)  $C = X C'$  を計算する。
- (10)  $C$  を用いて密度行列  $P$  を作る。
- (11) 前の  $P$  と比べ、差が収束条件より小さければ終了、収束していない場合はもう一度(5)からくり返す。

これら一連の手続きが Hartree fock SCF(ab initio 法) の流れである。さらに、精度の良い計算を行うため、MP2 法、MP4 法、MC SCF 法、CI 法などの計算がある。

## 3. Gaussian プログラムについて

このような計算を行う上で、代表的なプログラムとして Gaussian シリーズのプログラムがある。計算機センターのライブラリプログラムの中で、もっとも頻繁にアクセスがあるプログラムはおそらくこの Gaussian 92 だとおもわれる。

以下に Gaussian 92 の概要を示す。

名称 Gaussian92

作者 Michael Frisch, James Foresman, AEleen Frisch

発売元 Gaussian, Inc

70年代に開発された ab initio 計算のためのプログラムで、ほぼ 2 年おきにバージョンアップをしている。最新版は Gaussian 94 である。表 1 に Gaussian シリーズのバージョンアップ、及び機能追加の状況を示す。(表 1)

この表に示すとおり、非常に多彩な機能を有しており、また、入力も比較的簡単で、様々なコンピュータでも動作可能で(スーパーコンピュータから Windows まで)、計算速度も他のプログラムと比べて非常に優れている。

## 4. 並列技法によるプログラミング

現在、最速といわれているスーパーコンピュータは 1 CPUあたり数十 GFlops 程度だといわれている。しかしこの数値は、微細加工と光速の壁のため、1 CPU の高速化には限界が来ていると言われている。そこで最近盛んに言われているのはプログラムの並列化である。これはプログラムを、大きくはサブルーチンまたはプログラム単位で、小さくは演算単位で分割し、それぞれの単位ごとに CPU へ割り当てる、同時に多数の CPU を使って計算しようとするものである。これによって、1 CPU の演算量を減らし、同時に並列処理を行うことによる計算時間の短縮をねらったものである。この手法を用いることにより、今までハード的な要請により不可能だった研究が可能となるだろう。

表11 Gaussianシリーズの機能追加状況

	Gaussian 70	Gaussian 76	Gaussian 80	Gaussian 82	Gaussian 86	Gaussian 88	Gaussian 90	Gaussian 92	Gaussian 92/DFT	Gaussian 94
Energies	SCF s and p functions	d function	MP2	MP4	ffunctions semi-empirical	QCI	excited states CASSCF	BD CCSD Onsager solvent effects HF stability(direct)	standard & hybrid DFT kohn-sham stability automated G1,G2, G2(MP2) CBS-Q,CBS-Q CASSCF-MP2 gen. cavity solvent effects	arbitrary sing. momentum automated G1,G2, G2(MP2)
Molecular Properties	dipole moments				16-pole moments polanzabilities hyperpolanzabilities	correl. multipole moments electron density	3D electrostatic potential electrostatic pol.-derived charges		NMR shielding tensors Atoms in Molecules bond analysis & props. programmer methods: electron affinities & ion. potentials	
Structures	proto & geometry optimizations			SCF minima & TS	MP2 CI	LST search for TS initial guess	excited states QCI CASSCF reaction path following(RC)	open shell QCI mass-weighted IRC frozen core Onsager solvent effects	standard & hybrid & redundant internal coords. hybrid DFT conical intersections gen. cavity solvent effects MP3 MP4(SDQ)	
Frequencies					analytic SCF numeric MP2	IR & Raman intensities	numeric QCI anal. & num. CASSCF numeric excited states	analytic MP2 Onsager solvent effects num.open shell QCI frozen core	standard & hybrid & analytic excited states hybrid DFT	
Advanced Algorithms						direct SCF energies & gradients	semi-direct MP4, CI, QCI & CC energies direct SCF frequencies dir.CASSCF ener. & grads direct MP2 energies & gradients	direct DFT thru. freqs. shared mem. parallel DFT thru. freqs.	network parallel SCF thru. freqs. network parallel DFT thru. freqs.	

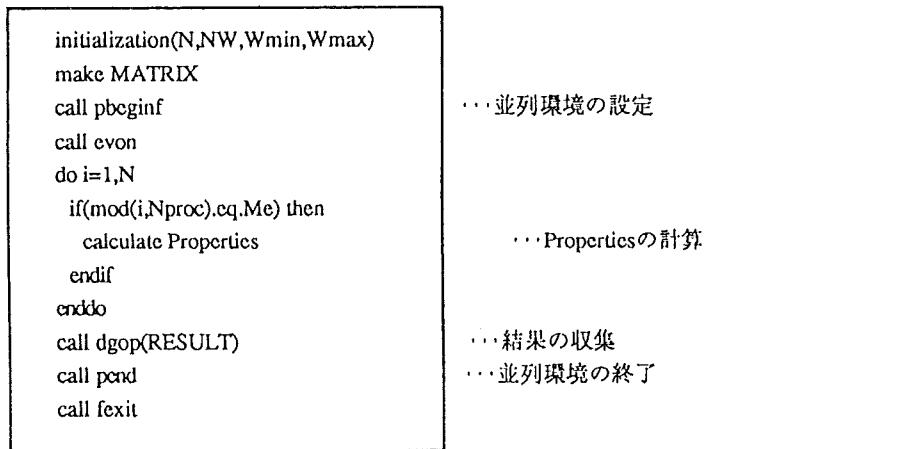
## 5. プログラムの並列化

プログラムを並列化する場合、どのようなシステム上で行うかが1つのポイントとなる。現在の並列化システムには主に二つが考えられ、共有メモリ型と分散メモリ型に分類される。共有メモリ型はメモリに格納した数値などをどのCPUからもダイレクトに呼び出すことが可能なもので、プログラムの構築は比較的容易に可能だが、システムが複雑になるため、特殊なハードウェアを必要とする。また、メモリの積載量に限界があるため、自ずと計算にも限界がある。逆に分散メモリ型は、それぞれのCPUあたりのメモリを小さくできるのと、異なったOSでも、通信が可能ならシステムを構築することができ、比較的安価なシステム構成で実現でき、有用である。しかし、メモリが分散しているため、CPUごとにデータを通信しなければならず、CPUが多くなるほど通信がネックになってくる。

## 6. 並列プログラミングモデル

並列プログラミングモデルとしては、主に二通りのプログラミングモデルが考えられる。1つはSPMD(Single Program Multiple Data)でこれは各プロセッサで同一のプログラムが実行される。もう一つはMPMD(Multiple Program Multiple Data)といわれるもので、各プロセッサでは異なるプログラムが実行されてる。ここにSPMDの例としてtcgmsgによるプログラムと、MPMDの例としてマスター・スレーブ方式のPVMによるプログラムの概略を示す。

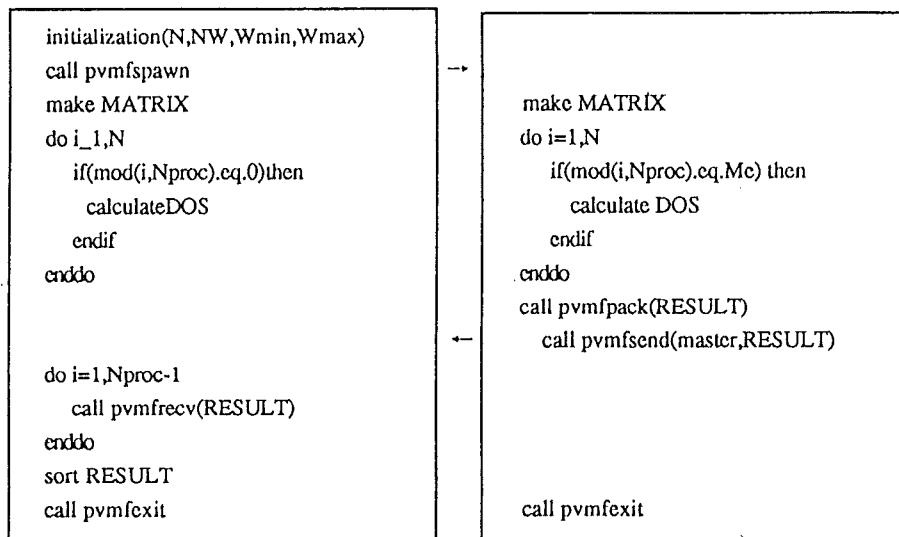
TCGMSG



PVM

マスター側

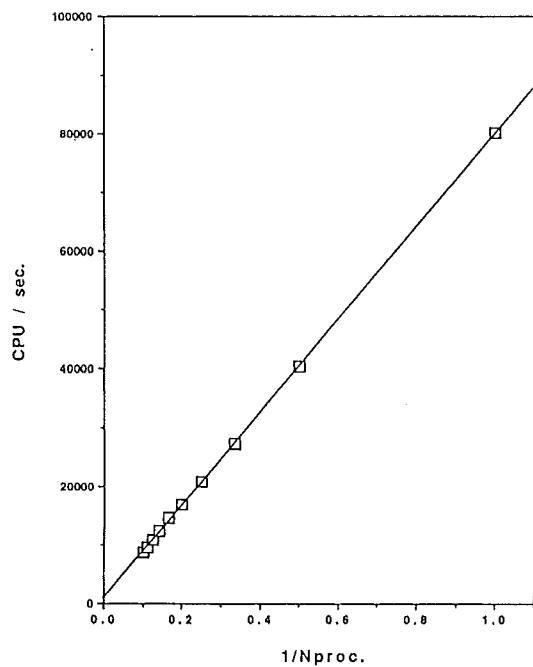
スレーブ側



## 7. ベンチマーク結果

我々が行ったMOプログラムの結果を(表2)に示す。この表から分かるように、CPUの台数が増えるほど、ほぼ直線的にCPU時間が減少していく。通信時間をのぞけばCPU時間はほぼ $1/\text{CPU}$ に減少する。

(表2) 並列計算によるCPU時間の減少率



## 8. 終わりに

このように、並列化手法によって、ハード的な計算限界は飛躍的に拡大したと言える。しかし、科学計算を行うプログラムで並列化されているものはまだまだ少なく、現在まだ過渡期にあるものと思われる。そのため、プログラムの並列化による新たな科学技術計算の恩恵もまだまだ現れてはいないが、今後主役になるのは間違いないだろう。現在、この手法の問題点の一つに通信の速さがよくあげられるが、マルチメディアの主役は通信にかかっているとも言われ、ここ数年の間にますます通信は整備されると思われる所以、この並列化手法はますます世の中に浸透していくだろう。

# 技術講座「知らなきや損する技術の常識」

—機械工作を10倍楽しくする—

## はじめての機械工作入門（その2）

装置開発技術係長 堀米利夫

前号からの続き（かなえNO.3からの続きになっていますから併せて読んでください。）

機械工作（以下、工作と省略）をするときに、工作を始める前にすること、工作によってどの工作機械を使えば良いかについては前号で概略述べました。今回は工作をする場合に工作内容によって、あるいは工作機械によって切削工具を色々使い分けが必要になります、切削工具の種類と機能などについて述べていきます。

### ●切れ刃部の材質による分類

炭素工具鋼バイト	過去のものです。実際には
合金工具鋼バイト	少ないでしょう
高速度工具鋼バイト	ハイスバイトともいいます コーティングハイスバイト
超硬バイト	現在の主流です コーティング超硬バイト
サーメットバイト	現在の成長製品です
セラミックスバイト	
CBNバイト	熱処理済みの高硬度材を削ります。CBN=立方晶窒化ホウ素
ダイヤモンドバイト	精密仕上げ用です。単結晶と多結晶があります。
ダイヤモンドコーティングバイト	超硬などの母材にダイヤモンド薄膜を被覆したもの これからのバイトです

### ●形状による分類

刻バイト	真剣 超硬の35形
	先丸剣 超硬の36形
	斜剣 超硬の31, 32形
片刃バイト	ハイスの13形および超硬の33, 34形
曲がりバイト	すみ 超硬の37, 38形
	先丸すみ 超硬の39, 40形
	横剣 ハイスの14形
	向き 超硬の41, 42形
ヘルバイト	食込みとびりを避けるために首を曲げて、ばねの働きをするようにしたものです
丸こまバイト	円錐形でクランプバイトの一種、特殊なものです
サーキュラバイト	取付け穴またはシャンクを持つ円板状のバイト、主として総形バイトとして用います

### ●構造による分類

むくバイト	刃部とシャンクとが同じ材料のもの、小寸法のもので、ハイスの完成バイトがそうであり、超硬の自動盤用バイトにもあります
溶接バイト	刃部材料をシャンクに溶接したもの、実際には少ないのでしょ
付刃バイト	普通のバイトです。ろう付けバイトといっています
クランプバイト	チップまたはブレードをシャンク、ホルダなどに機械的に締付けたバイトの総称。スローアウェイバイトはこれです
スローアウェイバイト	スローアウェイチップを用いたクランプバイトのことです
差込みバイト	ホルダに差込んで使います
組立バイト	刃部とシャンクまたはボディを組立構造としたものです

### ●機能または用途による分類

荒削りバイト	名称通りの意味です
仕上げバイト	
突切りバイト	ハイスの31形、超硬の43形 —縦突切りバイト—規格品はありません —ヘル突切りバイト— ハイスの32形
ヘルバイト	ヘル突切りバイト —ヘル仕上げバイト—ハイスの22形 —ヘルねじ切りバイト— ハイスの53形
ねじ切りバイト	ヘルねじ切りバイト —おねじ切りバイト—ハイスの51形および超硬の49, 50形 —めねじ切りバイト—ハイスの52形および超硬の

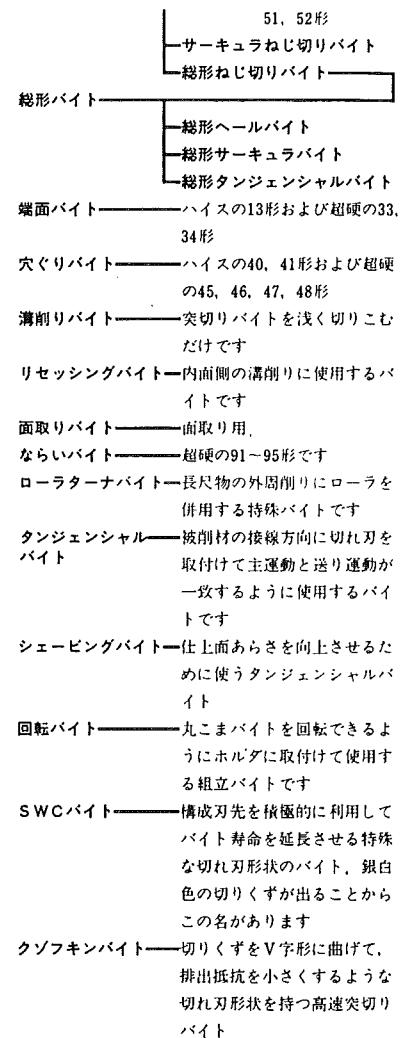
図1 バイトの分類

### III切削工具

#### 1. バイト

##### a. バイトの種類と形状

切削工具の代表としてバイトがあります。バイトは主に旋盤で工作をするときによく使います。旋盤で使用されるバイトは、形状、構造、切れ刃の材質、用途などによって色々な種類があります。図1及び2は主なバイトについて



ここには主な名称をあげました。このほかにも用途別、機能別にいろいろな名称のものがあります。

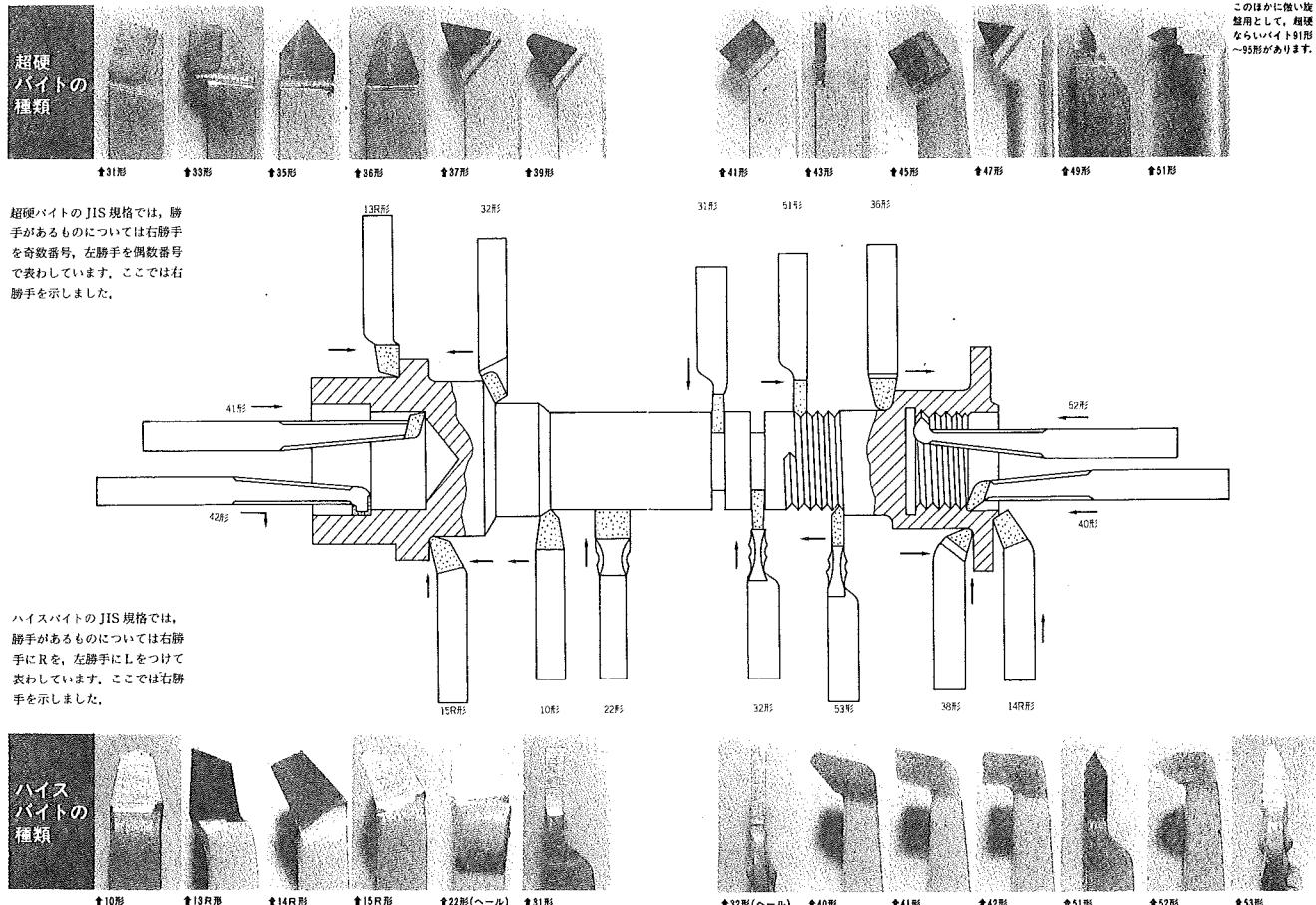


図2 バイトの種類

JIS規格をもとに分類及び種類を整理した一例です。ここに示したもののは一部でありこのほかにも多くのバイトがあります。

通常、バイトはきれなくなったら再研削して使いますが、そうでなく刃を取り替えてしまい、再研削の手間をなくしてしまったものがあります。これをスローアウェイ形バイトといい、ホルダとスローアウェイチップをセットで使います。切れなくなったらチップの刃先を取り替えます。形によって違いますが一つのチップで多いものなら6箇所あるいは8箇所のコーナーを使うことができます。

スローアウェイバイトにはホルダの形、チップの形状、チップの固定方法などによってたくさんの種類があります。加工形状、加工方法などによってそれらを使い分けます。

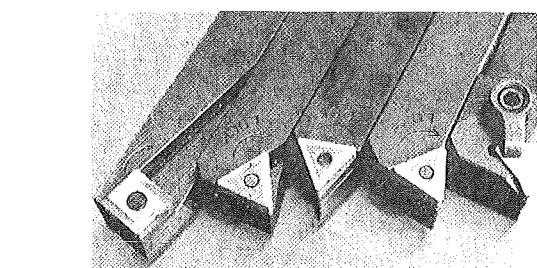


図3 スローアウェイバイトホルダーの例

す。図3はスローアウェイバイトのホルダ例を示します。図4にはスローアウェイチップの例を示します。

このようにバイトにはたくさん種類がありますが、初心者が最初からたくさんのバイトを覚える必要はありません。実際の作業を通じて経験者から徐々に教わるようすればよいと思います。

#### b. バイトの材質

工作室で使われているバイトの材質は超硬バイトと高速度工具鋼バイト(ハイスとよばれている)に大きく分けることができます。どの材質を選定するかは工作物の材質、加工形状により選定します。

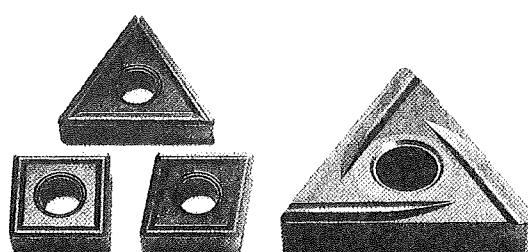


図4 スローアウェイバイトチップの例

### c. バイトの刃先角

工作物の材質などによってバイトの刃先の形状が違います。図5はバイトの名称及び刃先角の名称を、また、表1は工作材料別バイト刃先角の例を示します。

それぞれの角度の働きを簡単に述べると次のようになります。角度には働きによって違いがあることを知っておいてください。

\*すくい角(平行上すくい角、垂直横すくい角): 切り粉の流れをスムーズにする。角度が大きいと切れ味はよいが刃先の強度が低下し、寿命を短くする。一般に柔らかい材質の工作物は大きく、硬い材質の工作物は小さくする。

\*逃げ角(前逃げ角、横逃げ角): バイトを切り込ませるために必要な角度で、バイトと工作物の干渉を避けるために設ける。大きくとると刃物角が小さくなり刃先強度が低下、小さいと逃げ面の磨耗が早くなり寿命が短くなる。

\*横切れ刃角: バイトに背分力を与えるのに必要な角度で安定した切削を行うことができる(図6参照)。切削の始まりと終わりにおける衝撃を緩和させ、ノーズ(刃先先端)に衝撃がかかるのを防ぐ働きがある。角度が大きいほど切り粉の幅が大きくなつて、切刃にかかる切削力が分散されるので寿命がのびる。ただし、大きすぎるとびびりが生じやすい。

\*前切れ刃角: 大きすぎると刃先が弱くなり、小さいとびびりやすい。

\*ノーズ半径: 前切れ刃角と横切れ刃角の間にあり、切削を行うとき直接関与する重要な切刃である。加工面のあらさに大きく影響する、大きい方が仕上げ面は良好であるが、大きすぎるとびびりを生じやすい、小さいと熱及び応力の集中のため磨

耗を早める。

\*チップブレーカ: 柔らかい材質の工作物を高速切削すると、長い切粉が連続して発生し、工作物やバイトに巻き付き切粉の処理に困ります。このようなときにバイトのすくい面に流れ出てくる切粉を強制的に分断してしまう役割を果たす箇所をチップブレーカといいます(図7)。チップブレーカの形状によって切粉がコイル状にまいたり、小さく折ったりすることができます。切粉処理にはよい方法ですが色々な因子をうまく調整しないとうまく機能しません。

### d. バイト研削

バイトは使っていると次第に切れ味が鈍ってきます。それは刃先が磨耗するためです。そうした場合は刃先を再研削しなければなりません。切れないので工作していくもいいものはできません。切れなくなつたらすぐ刃先を形成

表1 工作物材料別バイト刃先角

工作物材料	高速度工具鋼バイト				超硬バイト			
	前逃げ角 $\gamma_s$	横逃げ角 $\gamma_a$	バックレーキ $\alpha_b$	横すくい角 $\alpha_s$	前逃げ角 $\gamma_s$	横逃げ角 $\gamma_a$	バックレーキ $\alpha_b$	横すくい角 $\alpha_s$
鉄 鋼 硬軟	8 8	10 10	5 5	12 12	4~6 4~10	4~6 4~10	0~6 0~6	0~10 0~12
可 鍛 鉄 鋳 鉄					4~8	4~8	0~6	0~10
炭 素 鋼 硬軟	8 8	10 12	8~12 12~16	12~14 14~22	5~10 6~12	5~10 6~12	0~10 0~15	4~12 8~15
快 削 鋼	8	12	12~16	18~22	6~12	6~12	0~15	8~15
合 金 鋼 硬軟	8 8	10 10	8~10 10~12	12~14 12~14	5~10 6~12	5~10 6~12	0~10 0~15	4~12 8~15
青銅・黄銅 硬軟	8 8	10 10	0 0	-2~0 -2~0	4~6 6~8	4~6 6~8	0~5 0~10	4~8 4~16
銅		12	14	16	20	7~10	7~10	6~10
アルミニウム	8	12	35	15	6~10	6~10	5~15	8~15
プラスチック	8~10	12~15	-5~16 <sub>1/2</sub>	0~10	6~10	6~10	0~10	8~15

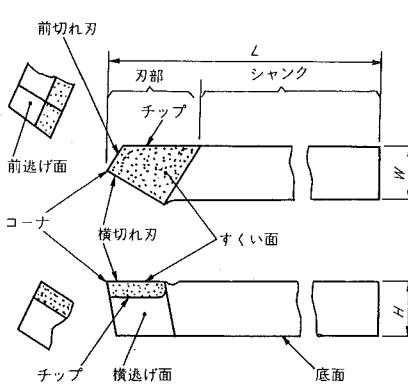


図5 バイトの名称と刃先角の名称

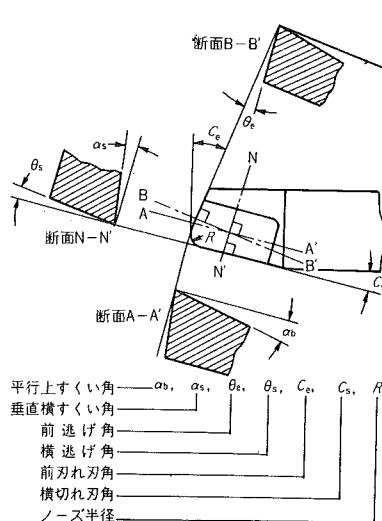


図6 バイトにかかる力

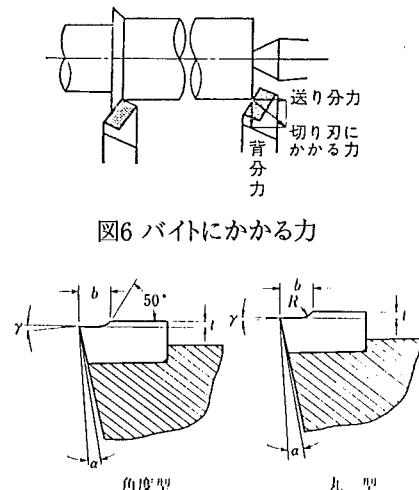


図7 チップブレーカーの例

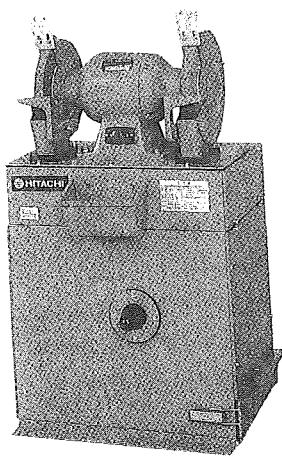


図8 両頭グラインダ

し直すことが大切です。工作がうまくなる秘訣(その3)は”切れる刃物と切れない刃物を見極められる”ことです。ところがバイトの研削はなれないと大変難しい作業なのです。再研削したのにかえって切れなくなってしまったのです。研削前と全然違う形状ができてしまったりする事がよくあります。しかし、これは経験を積む以外に解決する方法はないように思います。恐がらずに挑戦してください。何度か経験するうちにコツをつかむことができます。

度が経験するアラートを示します。図8に両頭形グラインダを使います。図8に両頭形グラインダの例を示します。グラインダは簡単に利用できますが大変危険な機械もあります。たとえば、バイトの材質によっても利用する研削砥石が違うなどの点がありますから、必ず指導を受けてから利用してください。

f 構成刃先(図9参照)

構成刃先とは切粉の一部が切削時の高圧、高温によって変質・硬化したものが工具刃先に付着し、実際の刃先に代わって切削するようになった現象です。発生・成長・脱落を短い時間で繰り返しています。構成刃先は、工具の寿命を短くするだけでなく、仕上がり面を悪くしたり、正確な仕上げ寸法が得られなくなります。

軟鋼 アルミニウム、ステンレス鋼などのねはりけの

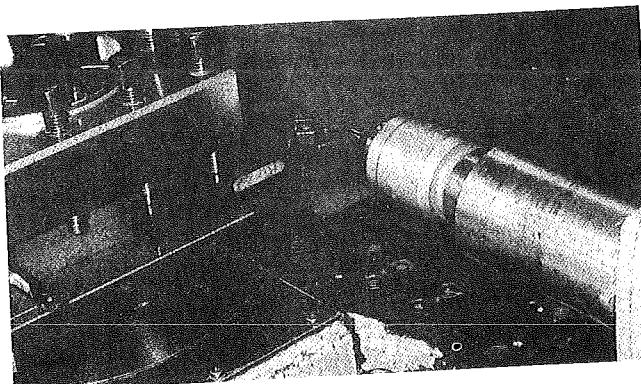


図10 バイト心高倉わせ

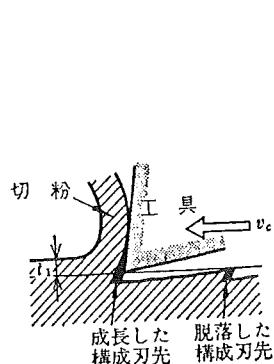


図9 構成刃先

ある材料を低速切削したときに発生しやすいので注意が必要です。

構成刃先を防ぐには、①すくい面を潤滑する、②切削速度を速くする(切削温度を被切削材の再結晶温度以上にする)、③すくい角を大きく

する、④切粉の流出  
方法を変えるなどの方法が考えられます。構成刃先はバイ  
レ以外の切削工具でも発生します。

以外の効率工法でした。バイトについて簡単に述べてきましたが、実際には研究所、大学の工作室と呼ばれるところにはほんの一部のバイトしか整備されていないのが現状であり、あとは加工形状に従い臨機応変に作業されているようです。また、このようなところの加工品は一品もの、あるいは特殊形状なものが多く規格のバイトだけでは加工できず、加工形状に合わせたバイトを自分で成形して使われていることが多いのです。工作がうまくなる秘訣(その4)は"加工形状によって適切なバイトを選択できること"です。

### g バイトの取付方法

g. バイトの収入  
実際にバイトを旋盤に取付る際に注意する点について述べておきます。

\*心高合わせ

バイトの刃先は主軸、または工作物の回転中心と同じ高さに合わせる。心高の状態で切削時の条件が変わったり、バイトの角度が変わってしまうなどの影響がでますから必ず心高合わせを行うこと。図10に心高合わせの状況と図11にバイト取付高さと角度( $\alpha$ :すくい角、 $\beta$ :前逃げ角)の関係について示す。

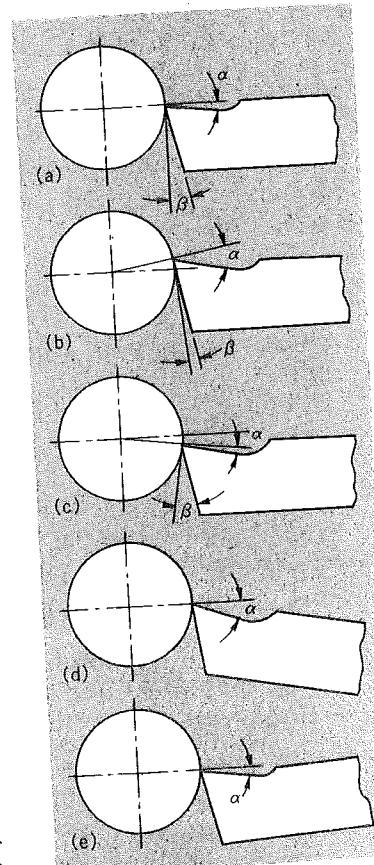


図11 バイトの取付高さと角度の変化  
( $\gamma$ :すくい角、 $\beta$ :前逃げ角)

#### \* 心高の合わせかた

心押し台のセンタと刃先を一致させれば良く、高さの調整は敷板によって行う。正確、迅速に作業を行うために①予めトースカンで往復台の上からセンタの高さを決めておきこれに合わせる、②専用の心高ゲージを作つておくなどの方法がとられているところもある。

#### \* 敷板

平行で変形の少ないものが良い、薄い敷板を多く使うより厚い敷板を使い枚数を少なくするのがよい。大きさはバイトシャンク(シャンク=図5参照)と同じものが使いやすい。

#### \* バイトの突き出し量

バイトの突き出し量は基本的にはバイトのシャンク高さを越えないのが良いとされており、実際には刃物台、工作物、チャックなどとの干渉の点で問題になることが多い。

また、内径を加工する場合は加工深さに併せて突き出しが必要である。バイトの突き出し量は“加工にあわせて最小限にするのがよい”。突き出し量が多いとバイトの剛性が低下してビビリの原因などになるので突き出し量は最小限にするのがよい。

#### \* スローアウェイバイトの取付

スローアウェイをバイトホルダに取付る時には①チップとホルダのクランプ部分をエアー、ブラシなどを使いごみを取り除くこと、②クランプ工具はサイズのあったものを使うようにする(ホルダにセットされている工具があります)。などに注意して確実に取り付ける。

## 2. フライス

### a. フライスの種類

一般的にフライスは①断続切削、②被工作材を固定し工

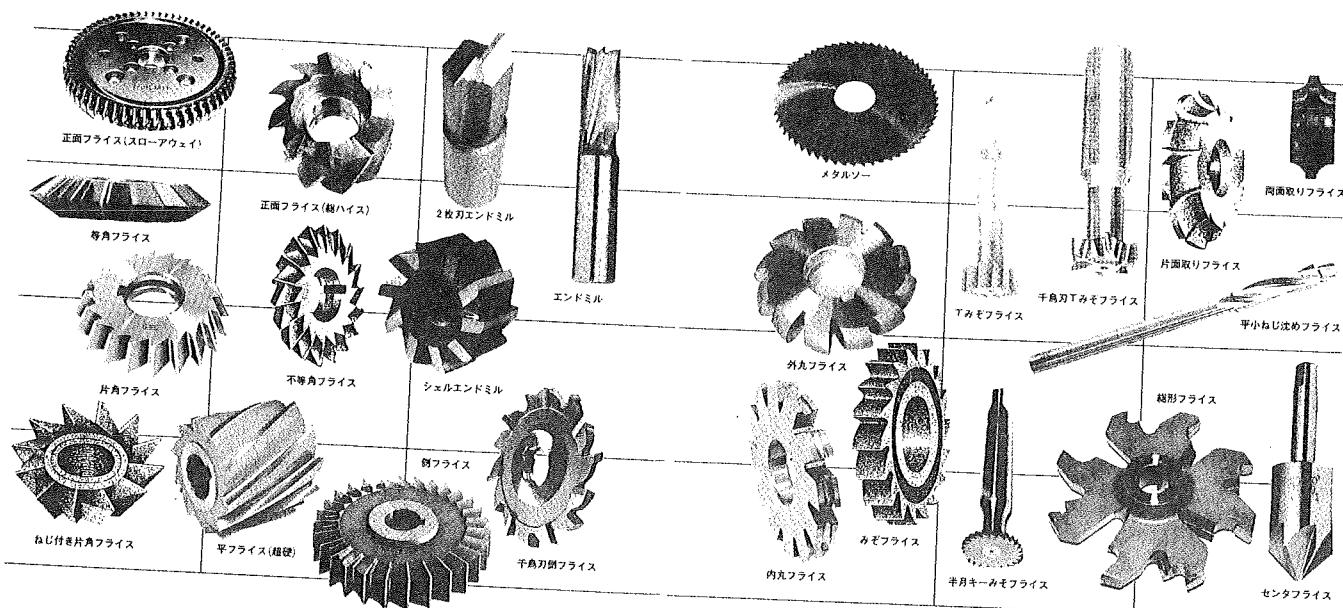


図12 フライスの主なもの

具を回転、③切削中に切粉の厚さが変わる、などの特徴を持っている工具です。図12に主なフライスの種類を示す。

フライスを大きくわ分けると円筒フライス(周刃削り)と正面フライスとに分けられます。代表的なものとして、①円筒フライス加工…平フライス、側フライスなど、②正面フライス加工…正面フライス(図13はスローアウェイ型超硬植込正面フライスを示す)などがあります。

特に、エンドミルは一本で①端面削り、②段削り、③みぞ削り、④底面削り、⑤穴加工、⑥穴座ぐり、⑦切断、など多岐にわたり加工ができます。これはエンドミルが正面と側面、両方に刃があり、2つの切削作用(円筒フライスと正面フライス)をもっているためです。図14にエンドミル削りの例を示します。

通常、エンドミルはシャンク部をコレットチャックを利用した取り付け用具を使つてフライス盤の主軸に取り付けて

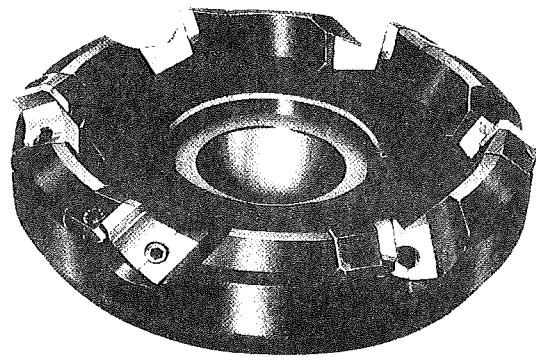


図13 スローアウェイ型超硬植込正面フライス

使用されます。エンドミルは直径よりも刃長が長い、しかも片持ち状態で加工されます。そのため径の細いものは切削時にたわみを起こすような場合もありますから使うときは太めの径のエンドミルを利用する、また、エンドミルの突き出し量を少なくすることによっても解決できます。表2にエンドミルの刃数選択の目安を示します。

フライスについてもバイトと同様にたくさんの種類がありますが、最初は正面フライスとエンドミル程度を理解するところから始めると良いでしょう。

### b. フライスの材質

フライスの材質としては高速度工具鋼(ハイス)と超硬に大きく分類されているのが現状です。フライスによってはハイスの消耗を少なくするために表面に違う材質のコーティングを施して材質改善をしているものなど色々なものが販売されていますが、植込形の正面フライスは超硬、エンドミルは高速度工具鋼が一般的です。

### c. 上向き削りと下向き削り(図15)

フライス切削はフライスに回転を与え、工作物に送りを与えて切削していくが、このときにフライスの回転と送り方向によって上向き削り(アップカット)と下向き削り(ダウンカット)の2つの切削形式があります。上向き削りはフライスの回転と送りの方向が反対方向で、下向き削りは同方向の切削です。

上向き切削の大きな利点は

- ①食い込み事故を起こしにくい。
- ②バックラッシ除去装置のない、古い機械でも使える。

下向き削りの大きな利点は

- ①刃先の寿命が長くなる。
- ②重切削ができる。
- ③仕上げ面が良い。
- ④送りのための動力が上向き削りより少ない。

総合的にみると下向き削りの方が優れていると思われますが工作機械や加工状況によって変化します。正面フライスは上向き削りと下向き削りの合成された切削です。また、エンドミルは工作の内容によって削り形態が変化します。一般的に、削り方向が問題になるような時は、下向き削りでまず切削してみることをお勧めします。

## 3. ドリル

穴加工用の工具と言えばドリルです。ドリルの種類も多くありますが一般的にツイストドリルと言われているものが単にドリルといわれています。図16にツイストドリルの各部の名称を表します。穴加工する場合に明けたい穴径のドリルを選択して作業します。

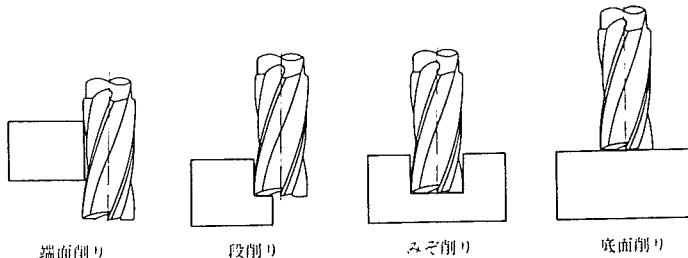


図14 エンドミル削りの例

表2 エンドミル刃数選択の目安

条件区分	特性項目	刃数	
		2枚刃	4枚刃
エンドミルの強さ	ねじり剛性	○	○
	曲げ剛性	○	○
加工面精度	あらさ	○	○
	うねり	○	○
寿命 (S50C ~ SKD11) (HB200 HB320)	加工面の傾き	○	○
	1刃送り一定 (mm/tooth)	摩耗寿命 折損寿命	○ ○
切りくず処理	能率一定 (mm/min)	摩耗寿命 折損寿命	○ ○
	切りくずの詰まり	○	○
再研削	切りくず排出性	○	○
	逃げ面研削	○	○
形状修正	底刃研削	○	○
	ボール形状、テーパ形状	○	○
穴あけ	座ぐり	○	○
	加工面あらさ	○	○
切削量	穴の拡大	○	○
	仕上切削	○	○
みぞ切削	軽切削	○	○
	重切削	○	○
端面切削	切りくず排出	○	○
	みぞの拡大・偏心	○	○
被削材材質	キーミぞ切削	○	○
	加工面積度	○	○
	びびり振動	○	○
	合金鋼	○	○
	鉄	○	○
	非鉄	○	○
	難削材(高硬度材含)	○	○

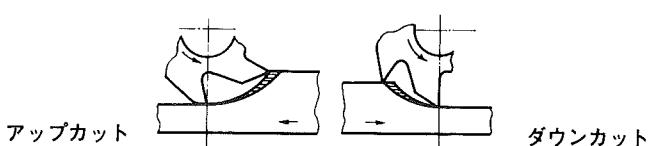


図15 上向き削りと下向き削り

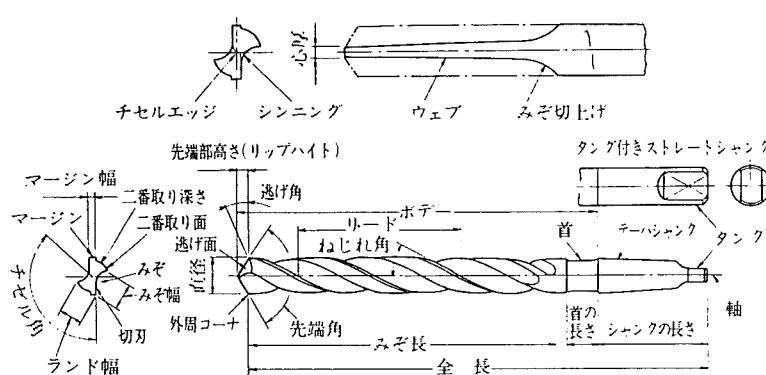


図16 ツイストドリルの各部

#### a. ドリルの径

JISでは0.2mm以上のものを規定していますがさらに細い径のドリルも市販されています(例えば0.04mm、0.1mmなど)。上限はJISでは75mmまで規定されています。

#### b. ドリルのシャンク

ドリルの径が13mm以下はストレートシャンクですがそれ以上はテーパーシャンク(モールステーパ)になります。

#### c. ドリルの逃げ(図17)

ドリルには3つの逃げが設けてあり、この逃げが適切でないと切れ味が悪く、最悪の場合ドリルが折れてしまうことがあります。長手の逃げと周刃の逃げはドリルが作られる時に既に形成され市販されていますが、切刃の逃げについては再研削をする際に注意しなければなりません。

**\*長手の逃げ:**ドリルと穴の内面が磨耗しないように先端からシャンクに向かってテーパーがついている(バックテーパー)。ただし、1mm以下のドリルはついてない。

**\*周刃の逃げ:**刃部の背が穴内面に触れて磨耗しないように各みぞの縁に沿って狭い帯(マージン)を残し、ほかは僅かに低くしてある。マージンはドリルの外周であり、ドリルの径に当たります。(図17では周辺の逃げ角)

**\*切刃の逃げ:**ドリル先端の切刃の背がきりもみされた穴の先端の円錐面と磨耗しないようにつける逃げである。硬い材料は小さく、逆に柔らかい材料は大きくとり食い込みやすくする傾向があります、大きいほうが切れ味はいいが、切れ刃が弱くなる。(図17では切刃の逃げ角)

#### d. ドリルの先端角

一般的に標準ドリルでは118°です。しかし、こ

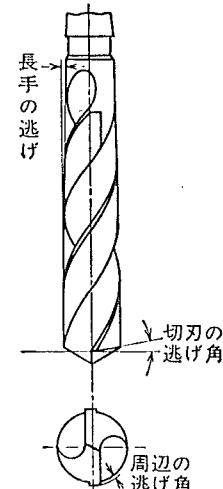


図17 ドリルの逃げ

の角度は理論上で決められる角度ではなく経験によって生まれた角度で加工物によって変えます。柔らかい材料は118°より小さく、硬い材料は逆に大きくするのが一般的です。表3に工作材料別ドリルの諸角推奨値を示します。

#### e. シンニング

ドリルは回転しながら穴を明けていますが、そのときに切削抵抗は切削トルクと切削推力(押込力)に分けられますが、実際に穴を明けるときのチゼル部(チゼル=図16参照)の押込力は大きい力となります、そこでチゼル部の押

表3 材料別ドリルの諸角推奨値

被削材	先端角	逃げ角	ねじれ角	チゼル角
鉄(軟) BIIN150	90° ~ 118°	12° ~ 15°	20° ~ 32°	125° ~ 135°
" (中) BIIN175	90° ~ 118°	12°	20° ~ 32°	125° ~ 135°
" (硬) BIIN250	118° ~ 135°	7° ~ 12°	20° ~ 30°	115° ~ 125°
鉄鋼	118°	12° ~ 15°	20° ~ 32°	125° ~ 135°
軟鋼または快削鋼	118°	10° ~ 15°	20° ~ 32°	125° ~ 135°
鍛鋼(焼なまし済)	118° ~ 125°	10° ~ 15°	20° ~ 32°	125° ~ 135°
マンガン鋼(7~13% Mn)	135° ~ 150°	5° ~ 8°	20° ~ 30°	115° ~ 125°
ステンレス鋼	118° ~ 140°	7° ~ 12°	30° ~ 40°	115° ~ 125°
合 金 鋼	125° ~ 145°	7° ~ 12°	20° ~ 32°	115° ~ 125°
合 金 鋼(BIIN 300)	140° ~ 150°	5° ~ 8°	20° ~ 25°	115° ~ 125°
アルミニウム合金(浅穴)	90° ~ 120°	12° ~ 15°	17° ~ 40°	125° ~ 135°
" (深穴)	118° ~ 130°	12° ~ 15°	32° ~ 35°	125° ~ 135°
アルミ青銅、マンガン青銅	118°	5° ~ 8°	15° ~ 40°	125° ~ 135°
銅 合 金	110° ~ 130°	12° ~ 15°	18° ~ 30°	125° ~ 135°
軟黄銅・軟青銅	118°	12° ~ 15°	10° ~ 20°	125° ~ 135°
快削用黄銅、青銅	118° ~ 125°	12° ~ 15°	0° ~ 40°	125° ~ 135°
亜鉛ダイカスト	80° ~ 135°	12° ~ 20°	10° ~ 25°	125° ~ 135°
マグネシウム合金(浅穴)	70° ~ 118°	12° ~ 18°	10° ~ 40°	125° ~ 135°
" (深穴)	118°	12° ~ 18°	25° ~ 40°	135° ~ 150°
合成樹脂、ベーカライト	90° ~ 118°	12° ~ 15°	10° ~ 20°	125° ~ 135°
铸造合成樹脂	60° ~ 90°	12° ~ 15°	10° ~ 20°	125° ~ 135°
硬質ゴム	60° ~ 90°	12° ~ 15°	10° ~ 20°	125° ~ 135°
ファイバー	60° ~ 90°	12° ~ 15°	15° ~ 20°	125° ~ 135°
スレート	118°	12° ~ 15°	20° ~ 32°	125° ~ 135°
木	60° ~ 70°	12° ~ 20°	30° ~ 45°	125° ~ 135°

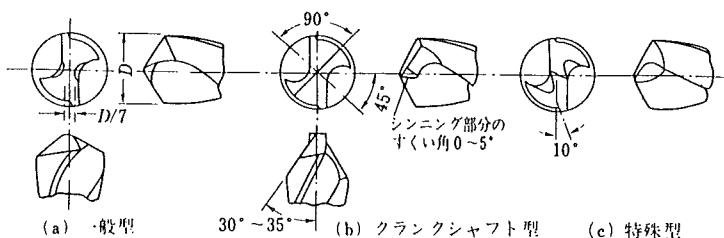


図18 シンニングの形状

込力を小さくできれば大変穴明け能率が良くなります。そのためにはウェブ(心厚)を薄くすれば良いわけですが、ウェブを薄くするとドリルの強度が低下し、たわみによる振動のため工具寿命が短くなってしまうのでウェブの厚さを変えずにチゼルエッジの長さを短くしてやることをシンニングといいます。図18にシンニング形状の例を示します。シンニングは工具寿命を延ばしたり、もみつけの食い込みがよくなる効果がありますが左右対称に正しくシンニングされてないとかえって一方に負担がかかり工具寿命を短くしてしまうことにもなりかねませんから注意してください。

#### f. ドリルの再研削(研ぎ直し)

ドリルは使っていると切れ味が悪くなり、工作能率が下がります。このような状況になったら、ドリルは再研削(研ぎ直し)をします。切れないのでドリルをゴリ押して使っていても良い加工はできません。ドリルの再研削は、バイトと同じように両頭グラインダを使って行います。ただし、バイト研削より難しいかもしれません。ドリルの持つ微妙な角度、逃げを手加減で作業しなければいけないからです。経験者でも難しいと言われており、"ドリルが研げれば一人前だ"という人もいます。

#### g. センタ穴ドリル

ツイストドリルと少し違うドリルにセンタ穴ドリルというものがあります。これは①旋盤作業で長物を加工するときに回転センタの先端が入るような穴をあける、②旋盤作業で中心に穴加工するときのドリルの案内(センタポンチの代用)を作る、③フライス盤加工でドリルの案内(センタ

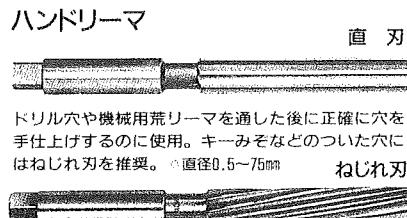


図22 ハンドリーマとマシンリーマ



図19 センタードリル



図20 面取りカッタ

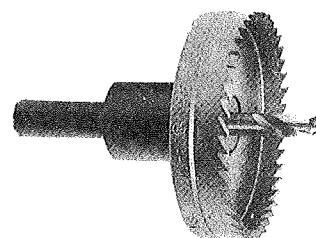


図21 ホールカッタ

ポンチの代用)などの加工の時に使います。図19にセンタードリルの例を示す。センタードリルは先端の径とテーパ部の角度の違いによって種類があります。テーパ部の角度が60°のものが一般的です。

#### h. ドリルと併用、ドリルに替わる工具

##### \*面取りカッタ(図20参照)

ドリルで穴をあけると必ずバリができる。このバリを除去し穴の縁をきれいに面取りする工具である。

##### \*ホールカッタ(図21参照)

薄い板に大きめの穴をあける時に便利である。先端のドリルを案内にして外側の円筒部の径の穴があく。市販品としては1mmおきに100mmぐらいまでありますが通常は5mmおき、10mmおきぐらいに、あるいは利用頻度の高いサイズのみが保有されている。ボール盤で使う。

#### 4. リーマ

穴を加工をするときに穴径の精度が必要であったり、穴の仕上げ面を良くするときに使います。図22にハンドリーマとマシンリーマの例を示します。リーマは予め明けられた下穴に追随して加工しますので下穴の状況によって大きく変化しますからリーマに合った下穴加工をしておくことが必要です。リーマは穴の状況を良くするために使われますが穴位置精度の改善にはなりません。

リーマの種類も色々ありますが最初はハンドリーマとマシンリーマの区別から始めましょう。

#### a. ハンドリーマ

ハンドリーマは手回しで作業するリーマで、直刃とねじれ刃があります。このリーマはシャンクのスト

レートの先端が四角になっています。ここにハンドルをさし込み作業します。

### b. マシンリーマ

工作機械に取り付けて作業するリーマで、ハンドリーマと同じように直刃とねじれ刃があります。シャンク部はモールステークになっています。

切削条件は送り速度を速く、回転数を低く設定して使うとよい。表4にリーマの切削条件、表5に工作材料別リーマ作業の取りしろ(加工時の削り量)の例を示す。

## 5. タップとダイス

### a. タップ

タップは雌ねじを加工するときに使用します。タップハンドルを使い手回しで作業するほかタッパーという付属工具と併せて、工作機械を使って加工することもできます。図23にタップとタップハンドルの例を示します。タップは使用するボルトの規格のタップを使用します。ネジのサイズにも色々な規格があります(今回はネジ規格については略)。日本で一般的なのはメートル並目ネジといわれているものです(メートルサイズの中にも並目と細目サイズの2種類があります)。このように使うネジサイズを確認

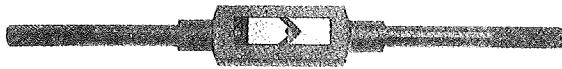


図23 タップとタップハンドル

してタップ作業しましょう。

タップは3本が一組になっていることが多いですが荒、中、仕上げ(1番、2番、3番タップといわれている)として使うためです。それぞれのタップは食いつき部(タップの先端のテーパ部分)のテーパの長さが違っていて、仕上げ用は短くなっています。山の形状等はすべて同じです。貫通穴にタップを立てることが多い場合は、2番タップを使い仕上げを兼用している場合もありますが、止まり穴のネジ穴をあける場合は最後に3番タップを使って仕上げます。食いつき部のテーパ部の長い1番で加工するとネジ部分が少なくなるためです。

タップ立てを行う時には、予めドリルで下穴を明けておかなければなりません。表6にメートル並目ネジ用タップ

表4 高速度鋼リーマの切削条件

被削材料	切削速度 [m/min]	送り量 [mm/rev]			
		リーマ径 [mm]			
		5以下	5~20	21~50	50以上
炭素鋼、鉄鋼 { 軟 硬 }	3~6	0.2~0.3	0.3~0.5	0.5~0.6	0.6~1.2
	2~4				
合金鋳造鋼 { 軟 硬 }	3~4	0.1~0.2	0.2~0.4	0.4~0.5	0.5~0.8
	2~3				
鋳鉄 { 軟 硬 }	4~6	0.3~0.5	0.5~1.0	1.0~1.5	1.5~3.0
	3~4				
可鍛鋳鉄 { 軟 硬 }	4~6	0.2~0.3	0.3~0.5	0.5~0.6	0.6~2.0
	3~4				
銅、黄銅	8~14	0.3~0.5	0.5~1.0	1.0~2.5	1.5~3.0
アルミニウムおよび合金 { 軟 硬 }	12~20	0.3~0.5	0.5~1.0	1.0~1.5	1.5~3.0
	3~12				
マグネシウムおよび合金	30	0.4~0.5	0.5~1.2	1.2~2.0	1.2~2.0

表5 工作材料別リーマ作業の取りしろ

被削材料	直径に対する取りしろ [mm]				
	リーマ直径 [mm]				
	3.0~5.0	5.0~10.0	10.0~20.0	20.0~30.0	>30.0
炭素鋼	0.1~0.2	0.1~0.2	0.2~0.3	0.3~0.4	0.4~0.5
鉄鋼	0.1~0.2	0.1~0.2	0.1~0.2	0.2~0.3	0.3~0.4
鋳鉄	0.1~0.2	0.1~0.2	0.2~0.3	0.3~0.4	0.4~0.5
可鍛鋳鉄	0.1~0.2	0.1~0.2	0.2~0.3	0.3~0.4	0.4~0.5
アルミニウム合金	0.1~0.2	0.2~0.3	0.3~0.4	0.4~0.5	0.4~0.5
銅合金	0.1~0.2	0.1~0.2	0.2~0.3	0.2~0.3	0.3~0.4

表6 タップ下穴径(メートル並目ネジ)

ねじの呼び	ドリル径	2級並目内径	
		最小寸法	最大寸法
M 1 × 0.25	0.75	0.78(80%)	0.729 0.785
1.1 × 0.25	0.85	0.88(80%)	0.829 0.885
1.2 × 0.25	0.95	0.98(80%)	0.929 0.985
1.4 × 0.3	1.1	1.14(80%)	1.075 1.142
1.6 × 0.35	1.25	1.32(75%)	1.221 1.321
1.7 × 0.35	1.35	1.42(75%)	1.321 1.421
1.8 × 0.35	1.45	1.52(75%)	1.421 1.521
2 × 0.4	1.6	1.65(80%)	1.567 1.679
2.2 × 0.45	1.75	1.83(75%)	1.713 1.838
2.3 × 0.4	1.9	1.97(75%)	1.867 1.979
2.5 × 0.45	2.1	2.13(75%)	2.013 2.138
2.6 × 0.45	2.2	2.23(75%)	2.113 2.238
3 × 0.6	2.4	2.42(90%)	2.280 2.440
3 × 0.5	2.5	2.59(75%)	2.459 2.599
3.5 × 0.6	2.9	3.01(75%)	2.850 3.010
4 × 0.75	3.25	3.31(85%)	3.106 3.326
4 × 0.7	3.3	3.39(80%)	3.242 3.422
4.5 × 0.75	3.8	3.85(80%)	3.688 3.878
5 × 0.9	4.1	4.17(85%)	3.930 4.170
5 × 0.8	4.2	4.31(80%)	4.134 4.334
5.5 × 0.9	4.6	4.67(85%)	4.430 4.670
6 × 1	5	5.13(80%)	4.917 5.153
7 × 1	6	6.13(80%)	5.917 6.153
8 × 1.25	6.8	6.85(85%)	6.647 6.912
9 × 1.25	7.8	7.85(85%)	7.647 7.912
10 × 1.5	8.5	8.62(85%)	8.376 8.676
11 × 1.5	9.5	9.62(85%)	9.376 9.676
12 × 1.75	10.3	10.40(85%)	10.106 10.441

の下穴径を示します。JISではそれぞれの下穴径が指定されていますからそれを参照してください。工作室にはタップの下穴径の一覧表が貼ってあります。

小径のタップ立てを行うときにタップを折ってしまうことがあります。タップ立て作業は加工工程の最後で行われることが多いため、最後にタップを折るようなことがあると今までの作業が台無しになってしまいますから注意して作業しましょう。このような小径タップの場合は予め下穴を大きめにしておく、切れるタップを使うことが予防策になります。

#### b. ダイス

ダイスは雄ねじを加工するときに使用します。図24にダイスとダイスハンドルの例を示す。ダイスもタップと同様の種類があります。初めてダイスで立てたネジが曲がっている経験をすることは多いと思います。手でダイスを使いネジを立てるのは結構難しいものです。

切削工具のすべてを紹介することは大変ですからその中の主な物についての概略を述べてきました。細かいところまで詳しく述べることはできませんでしたが、工作経験の少ない人が工作をするときに頭の隅に入れておくと役に立つと思われるようなことを中心に述べました。しかし、工作をするときにこれだけ理解できればよいというのではなく、工作を進めていく段階で必ずわからないところがでると思われます。このようなときに自分勝手な判断をするのではなく経験豊かな人に指導していただくことが大切なことです。工作がうまくなる秘訣(その5)は“指導を受ける姿勢が大切である”です。

今回はこれまで。

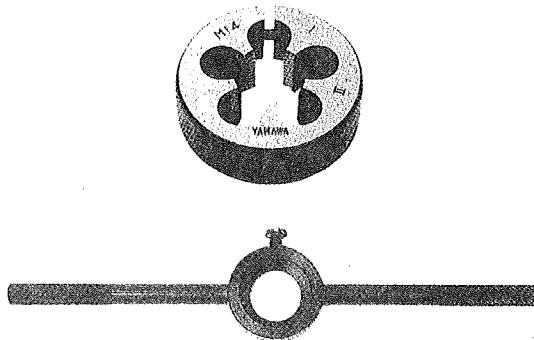


図24 ダイスとダイスハンドル

参考文献 (文中の図、表、などを引用させていただきました)

機械工作2	実教出版
機械実習1	実教出版
機械実習2	実教出版
切削工具のカンドコロ	大河出版
ツールエンジニア vol.30 No.13	大河出版
ツールエンジニア vol.31 No.11	大河出版
ツールエンジニア vol.32 No.11	大河出版
機械加工心得ノート 城谷俊一著	日刊工業新聞社
JISハンドブック 工具	日本規格協会
工具販売カタログ	各メーカー

## マイレビュー

第3号まで「最新技術情報」としてお届けしてまいりましたこのコーナーは、本号より「マイレビュー」としてスタートすることになりました。内容は、これまでに各執筆者の方々からご紹介頂いたような最新情報も含め、さらに最新ではないが時宜にかなう内容あるいは執筆者の方のロマンが味わえる読み物などを紹介してまいりたいと考えております。執筆のご無理を申し上げました際にはよろしくお願ひします。

新装開店第1号では、分子研で研究をされている総合研究大学院大学の学生である高須良三氏及び兒玉 健氏に執筆をお願い致しました。

### <執筆者紹介>

高須良三 氏

分子研の建物内で職員とりわけ研究者や技術者の机の上あるいはその周辺において文献、書類が山積みになっている光景を見つけるには苦労しない。むろん見つけに出かけなくとも私自身の机がその状態である。しかしながら、高須良三氏の机及び実験室は様相がだいぶ異なっている。ともかく机の上には何もない。あつたとしたら、誰かが伝言のためにおいたメモぐらいである。彼曰く、「かたづけの基本は捨てることです」と。

そんな高須氏は学部及び修士時代を薬学部で過ごしました。そこで、薬学と分子科学の接点ということにスポットをあてて執筆して頂きました。ニュースで報じられた怖くて憎い毒物も登場します。

兒玉 健 氏

『ラジカルズ速報 6月号』を見ていたら「兒玉」の文字が目に付いた。同サッカーチーム研究機構内連絡先のお一人である。残念ながら、第1節及び第2節の得点者の中にその名前を発見できなかったが、もう一つのサッカーで有効なポイントを稼いでいるのが兒玉 健氏である。研究のために装置開発室、極低温センター、機器センターと各施設を駆けめぐっておられるようで、お会いする機会が多い。その度に感じることは、同氏のおおらかさ、軽快さそしてきめ細かい思いやりである。

そんな兒玉氏に夢を聞いてみたくなるのは私だけではないと思う。研究とスポーツにサッカーボールを追い続ける男のロマンを味わってみたい。

(編集担当: 山中孝弥)

## 生体内の情報伝達のお話 —化学的な方法—

機器センター 高須良三

生体内の情報はどのように伝達されてゆくのでしょうか。“それは神経によって伝達されるのだろう”といわれるかもしれません。確かに神経は情報伝達の機構としては重要なのですが、脳から筋肉までは必ずしも一本の神経で繋がれているわけではなくて、途中に“つぎめ”があつたりします。また、神経と筋肉の接合部分はどうなっているのでしょうか。また、全く神経によらない情報伝達手段もあります。そこでは化学的な情報伝達が行なわれているのです。そこで、この“化学的な情報伝達”についてお話をしようと思います。

生体内を駆け回っている情報には様々なものがあります。歩いたり字を書いたりするのに必要な筋肉(これを骨格筋と呼びます)を動かすための情報、温かいとか冷た

いといった感覚を伝えるための情報です。これらの情報は体性神経と呼ばれる神経を流れ、我々が常に意識できるものです。これに対して、体温・血圧・呼吸・消化器や代謝系の制御は意識せずとも行なわれています。これら身体の恒常性を維持するための情報は、自律神経と呼ばれる神経を通して、または神経を全く介さずに伝達されることがあります。これらは意識によって制御することが困難です。

神経は、情報を電気的な方法で伝達します。神経は平常時には、図1に示すような分極を保っています。神経が興奮したとき(これが情報です)には、この分極がくずれ、くずれた状態がつぎつぎと伝播してゆくことにより情報を伝達するのです。

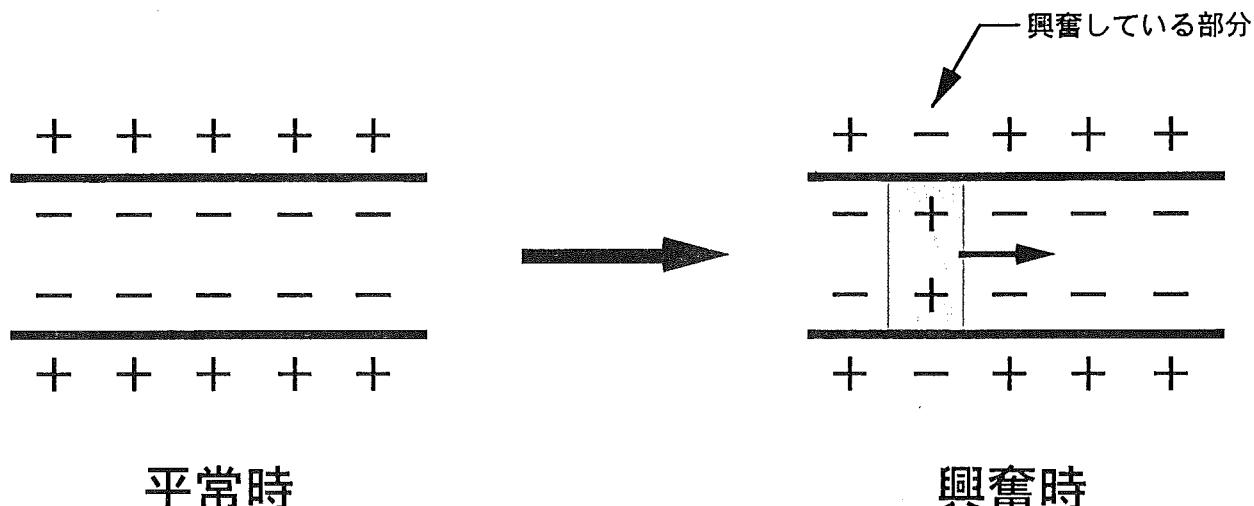


図1 神経の興奮伝達

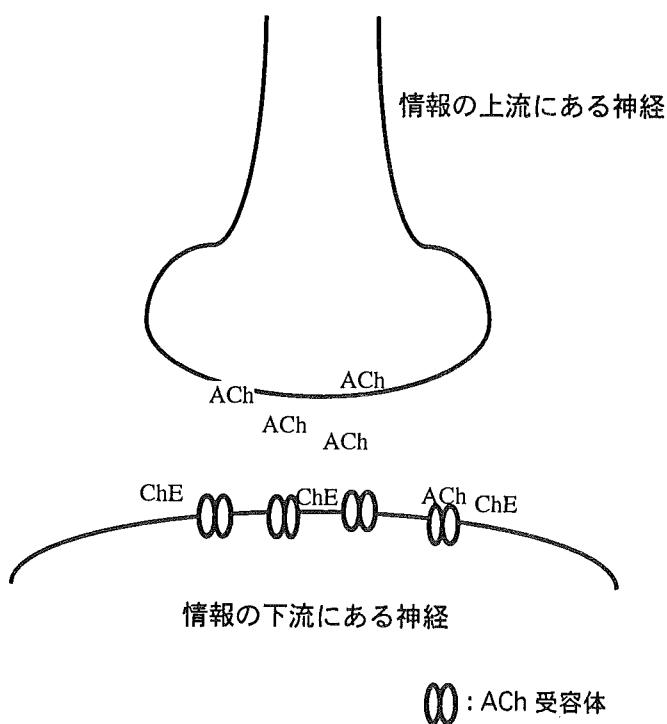


図2 シナプスの概念図

ところが、自律神経には、“つぎめ”（これをシナプスと呼びます）があります。シナプスでは、電気的な方法ではなく、化学的な方法で興奮を伝達します。その機構は次のようなものです（図2参照）。神経の上流から伝達されてきた興奮状態が神経の末端まで来ると、神経の末端では acetylcholine(ACh) を分泌します。この ACh はシナプスの中を移動し、下流の神経の先端に到着します。ここには ACh 受容体があり、ここに ACh が結合することにより、下流の神経が興奮を始めるのです。ここで受容体に結合した ACh は、そのままでは下流の神経が興奮したままになってしまいますので、用が済んだ後は cholinesterase(ChE) と

呼ばれる酵素で速やかに分解されます。ここで ChE が分解してくれるおかげで神経は次から次へと情報を伝達することができるわけです。

最近、 sarin の吸引により多くの死傷者が発生する事件がありました。sarin は ChE に結合して、その活性を減少させる（ChE 阻害と呼びます）働きを持っています。ChE が ACh と結合する部分に“ふた”をするようなものです。（ChE そのものを分解してしまうわけではありません、「血中コリンエ斯特ラーゼが減少し」という報道は誤りで、「血中コリンエ斯特ラーゼ活性が減少し」という表現が正しいと思われます）そのため、シナプスにおいて、本来なら ChE によって分解されるはずであった ACh が蓄積してしまいます。すると、下流の神経は興奮したままになってしまうのです。そのため、例えば瞳孔が縮んだり（sarin 中毒患者が「夕方になったかのように暗い」と証言したのはこの理由によります）、流涎、流涙、発汗、気管支分泌増大（口から泡を吹く）、下痢、血圧上昇、頻脈などがみられます。その他身体の随所でこのような“誤情報”が流れることにより、全身が痙攣を起こしたり、最終的には呼吸筋や呼吸中枢の麻痺が起きて窒息死に致る場合があるのです。（厳密には sarin が作用する部位はシナプスだけではなく、様々な部位に作用することがわかつております、とても一言で説明できるものではありません。）

今回の事件で“sarin は怖い”との印象を持たれた方が多いと思いますが、一般に有機リン系と呼ばれる農薬（殺虫剤）も作用機序はほぼ同じで、致死量が異なるだけです。たまたま人間と昆虫が類似した神経系を持っているために、共通した毒物となってしまったわけです。従って、有機リン農薬中毒も sarin 中毒も、解毒剤は同じで、一般には 2-pyridinealdoxime methyliodide(PAM) を用います。PAM は ChE に結合した sarin などの“ふた”を取除く役割をします。

sarin は人間には好ましくない働きをしますが、医薬

品のなかには、sarínと同様に“ウソの情報を流す”ことによるものがかなりあります。例えば、狭心症は心臓に栄養を送っている冠状動脈のまわりをとりまく筋肉が異常に縮んでしまい、心臓に充分な栄養が送られないために起こるものですが、この筋肉が縮むためには  $\text{Ca}^{++}$  が情報伝達物質となっていることが判っています。そこで、nifedipineといった薬物はこの  $\text{Ca}^{++}$  が細胞内に流入するのを妨げる働きをします。ダメされた冠状動脈は縮むのをやめるので患者さんは楽になるわけです。また、広い意味で言えば、例えば一部の糖尿病の治療(対症療法ではありますが)に用いられるinsulinも、本来ならば主に脾臓で合成されて身体の各部位に作用するようになっているのですが、なんらかの理由によってinsulinが生産されなくなった人に投与することによって、あたかもinsulinが生産されているようにウソをついているわけです。(insulinによる血糖調節は神経を経ませんが、これも立派な情報でありますから液性情報と呼びます。)

話が余りにも分子科学から離れすぎましたので、分子科学との接点について少し触れておこうと思います。先程述べました細胞内  $\text{Ca}^{++}$  の分布を直接知る方法はないものでしょうか。そこで、蛍光プローブを用いる方法がよく使われています。aequorinなどは  $\text{Ca}^{++}$  の存在下で  $\lambda = 465 \text{ nm}$  の蛍光を発することが知られており、細胞にプローブ分子を注射してUV光を照射しながら顕微鏡でみると

り、 $\text{Ca}^{++}$  の分布やその経時変化を視覚的に捕えることができるようになっています。(分子科学的というにはちょっと苦しいでしょうか?)

それから、新しい医薬品の開発にも、分子科学的手法は用いられています。情報を伝達するためには、まず伝達物質が受容体に結合することが必要です(鍵穴に鍵を差込む、とでも例えましょうか)。さらに、単に結合するだけでは駄目で、結合した後に受容体に情報を送らねばなりません(これを伝達物質の intrinsic factor と呼びます。鍵を廻す力とでもいいましょうか)。ある薬物が受容体との程度の親和力や intrinsic factor を持っているかは、かつてはしらみつぶしに薬物を合成してはその効果を測定することが行なわれましたが、最近では分子科学的な理論計算と実測値とを関連づけて、欲しい効果に相応しい薬物を予想することができるようになりました(drug designingと呼ばれています)。

しかし、例えばmorphine(よくモルヒネと呼ばれます) [図3] は脳内の  $\mu$ -レセプターという部位に結合してその効果を発現することが知られていますが、endorphinという物質は図4に示すように、似ても似つかないタンパクでありながら、やはり  $\mu$ -レセプターに結合してmorphineに類似した効果を及ぼします。このように全く予想できないような薬物が類似の効果を発現することがありますので、まだまだ意のままに drug designing を行なうことはできないのが現状です。

(余談ですが、endorphinは人間の脳内で合成される物質で、人間の痛みや快感の感覚の制御を行なうために分泌されるものと考えられています。ハリ麻酔の効果もこの物質の分泌を促すことによるものです。さらに、激しい運動することによっても分泌されます。ランナーズ・ハイと呼ばれている現象も endorphin が作用するためのようです。すると毎日ジョギングをするのは、モルヒネを腕にうちながら走っているようなもので、あまり激しいジョギングを続いているとそのうちモルヒネ中毒と同じ状態になってしまふかもしれません。御用心を。)

最後になりましたが、私のかのような拙文を掲載していただく機会を与えてくださいました山中孝弥さんに感謝いたします。

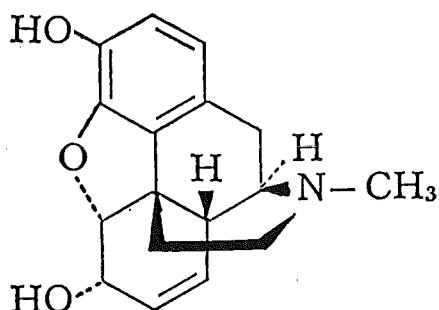


図3 morphineの構造

H-Tyr-Gly-Gly-Phe-Met-Thr-Ser-Glu  
-Lys-Ser-Gln-Thr-Pro-Leu-Val-Thr-OH

図4  $\alpha$ -endorphinの一次構造

## $C_{60}^-$ と私

分子動力学部門 児 玉 健

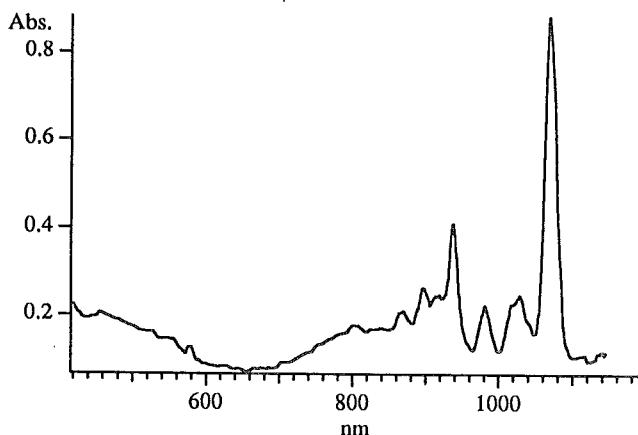
この度、機器センターの山中さんから、「かなえ」に分子研で研究している学生の文章を載せたいが、ついては自分の研究テーマに関して夢を述べるような感じで何か書いて欲しいと依頼されました。日頃、大変お世話になっていることもあります、どうしてもお断りできず書かせていただくことになりました。夢があるかどうか分かりませんが、私がこれまでに研究してきたことについて少しく述べさせていただきます。

まずは、 $C_{60}$ が発見されてからることを簡単に振り返ってみましょう。 $C_{60}$ は、1985年サセックス大学のクローテー、ライス大学のスマーリーらによって、発見されました。元はといえば、星間炭素クラスターの研究を目的にして行われた実験の中で期せずして成されたことでした。 $C_{60}$ の構造としては、サッカーボール構造が提案されましたが、実験的検証は1990年のクレッチマー、ハフマンらによるアーケ放電法を用いた $C_{60}$ の大量合成法の発見を待たねばなりませんでした。単離され、ミリグラム単位で手にすることができるようになつたおかげで、 $C_{60}$ に関する研究は飛躍的に発展することになりました。 $^{13}C$ -NMRやIRの実験により、サッカーボール構造を支持する結果が得られました。NMR測定により、 $C_{60}$ は室温では高速で回転していることが分かつてついたのでオスミウム化により $C_{60}$ に兎の耳のような突起をつけて $C_{60}$ の回転を止めてX線構造解析がなされ、最終的にサッカーボール構造が確定されました。物性方面からも研究が進み、早くも1991年には、ベル研のグループによりアルカリ金属をドープした $C_{60}$ が超伝導を示すことが報告され、この方面での研究に拍車をかけることとなりました。その後、フラーレン研究は金属内包フラーレン、巨大フラーレン、ナチューブ等、さらなる発展を続けており、その全領域を見渡すことは困難になってきています。このような現状の中で、私の研究テーマの占める位置を次に述べたいと思います。

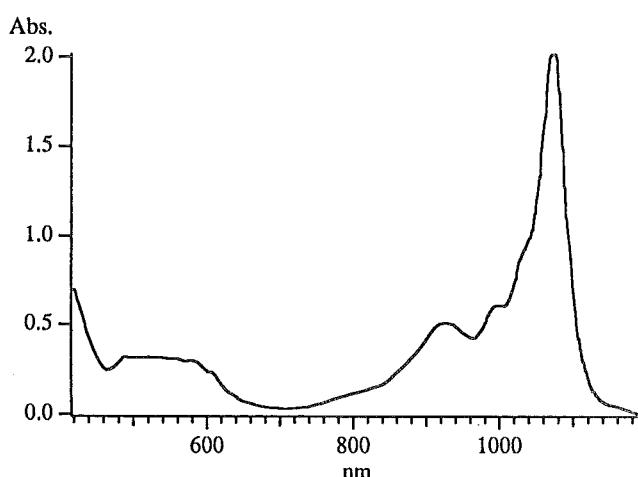
$C_{60}$ の特徴は何でしょうか?いろいろ挙げられるとは思いますが、何といつてもその真ん丸な構造がその最大の特徴と考えられます。真ん丸というのは、ちょっと粗い表現で、正確にはIh点群に属する構造であるということになります。Ih点群は正20面体が属する点群で、これに属する分子はあまり無く、ホウ素化合物 $B_{12}H_{12}^{2-}$ 分子イオンは、その稀な例の一つです。 $C_{60}$ の示す性質は、この高い対称性を反映して独特です。例えば、その分子の大きさに比べて $^{13}C$ -NMRで得られるピークがたつたの1本、IRスペクトル

が4本、ラマンスペクトルが10本であるというのは、まさに、 $C_{60}$ がサッカーボール型の高い対称性を持っているとの証拠です。高い対称性は分子軌道にも反映して、例えば、最高被占軌道(HOMO)は5重に縮退しており、また、最低空軌道(LUMO)は3重に縮退しています。この3重に縮退したLUMOがアルカリ金属をドープした $C_{60}$ の超伝導性の一つの原因になっていると考えられています。超伝導を示す組成はアルカリ金属原子3に対して $C_{60}$ が1の割合であり、このとき、粗い描像ではありますがアルカリ金属から3個の電子が、 $C_{60}$ のLUMOに飛び移っていると考えることができます。この時に生じるヤーン・テラー効果(「非直線形分子においては、縮退した電子状態は安定ではなく、電子状態の縮退を解くように分子全体の構造が歪む。」という効果)が超伝導性を理解する上で重要であると考えられています。この辺りから、私の研究テーマが少し関係してきます。私は、1個の余分な電子が3重に縮退したLUMOに入った $C_{60}$ の研究をしています。この時、電子状態は3重に縮退することになりますが、ヤーン・テラー効果により、Ih構造は安定ではなく、より対称性の低い構造へ変化することになります。この効果について分光学的手法を用いて詳細を明らかにすることを目指して研究を行っています。では、私がこのテーマを研究するに至った経緯を含めて、これまでに行ってきた研究結果を述べてみたいと思います。

私は修士過程を終えるまで京都大学理学部の放射線化学研究室(志田忠正教授)で3年を過ごしました。その研究室セミナーで私が4回生のときに加藤立久先生(現分子研助教授、当時助手)が $C_{60}$ というものの大量合成法が発見され、 $C_{60}$ がそれまでに言っていたとおり、サッカーボール構造をしていることが確認されたという紹介をされました。それが、私と $C_{60}$ の出会いです。その時は、私が $C_{60}$ の研究をすることになるなどとはまったく考えもしなくて、なんとなく、へえ、そんな格好をした分子があるのかあと思っただけでした。放射線化学研究室では、特定の溶媒に目的分子を溶かした溶液を液体窒素で冷やしてガラス化したものに $^{60}Co$ から発生するガンマ線を照射して1価のアニオンや1価のカチオンを選択的に生成する実験方法が確立されていました。4回生の終わり頃、東京都立大学の阿知波先生のところから $C_{60}$ と $C_{70}$ が送られてきました。私は、加藤先生と一緒に吸収スペクトル測定を行いました。現在でこそ、商業的にも生産され、手に入りやすくなってきた



(a)  $C_{60}^-$  / MTHF at 77K (ガンマ線照射法により生成)



(b)  $C_{60}^-$  /  $CH_2Cl_2$  + 支持電解質 at R.T. (電気還元法により生成)

図1 吸収スペクトル

$C_{60}$ や $C_{70}$ ですが、当時は多くの人の長時間にわたる努力によってかき集められて、やっと数十ミリグラム程度得られるようなものでしたので、実験に慣れない私は、無駄にすることが無いようにと大変緊張して取り扱ったことを覚えています。吸収測定の結果、図1のようなスペクトルが得られました。半経験的分子軌道計算の結果を付して報告がなされましたが、今からすると実験結果に対する私の当時の理解は大変浅く、よくわかつていなかったなあと思えます。

次に電気還元法を用いて $C_{60}^-$ を生成し、吸収スペクトルとESRスペクトルを測定しました(吸収スペクトルは図1・ESRスペクトルは図2)。ESRスペクトルは室温では観測されず、低温(液体窒素温度ぐらい)にすることにより初めて観測されました。このことに関しては、定量的な議論はできていませんが定性的には説明することができます。 $C_{60}^-$ の3重に縮退した電子状態はヤーン・テラー効果により縮退が解けますが、その分裂の大きさは、さほど大きなわけではありません。そのため(少し表現は粗いのですが)軌道角運動量は完全にゼロにならず、スピン軌道相互作用を通じての緩和機構により、電子スピノの緩和時間( $T_1$ )

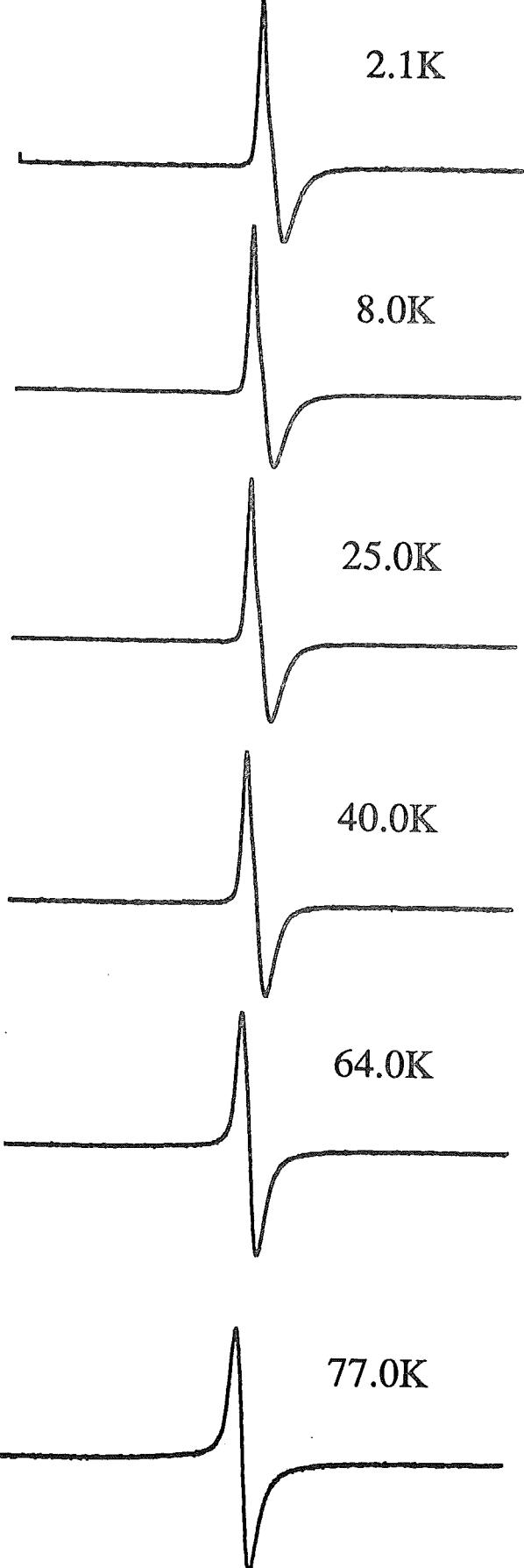


図2 ESRスペクトル

が短くなります。その結果として線幅が広がってしまい室温では検出できず、低温にして初めて検出されるということになるのです。この辺りの事情は縮退した軌道を持つ遷移金属のイオンのESRスペクトルとたいへん似通っていて、 $C_{60}^-$ と遷移金属イオンとの類比は理解を非常に助けてくれます。

液体窒素温度よりもずっと温度を下げていくとESRスペクトルの線形が非等方的になってきます(図2)。この線形の変化は、今のところ次のようにして、説明しています。NMRの実験結果から液体窒素温度では、 $C_{60}^-$ がESRスペクトルの非等方性を平均化できるほど速く回転をしているとは考えられません。したがって、平均化の機構としては、分子全体の回転ではないものを考えねばなりません。さて、 $C_{60}^-$ が、ヤーン・テラー効果を受けて歪むということは分かりますが、どのような構造に歪むかということまでは分かりません。群論を用いた議論から、例えば、D5d構造・D3d構造・D2h構造といったIh構造よりも対称性の低い構造へ歪む可能性があるということが分かります。これらの構造についてはそれぞれ等価な構造が6個・10個・15個あり(例えばD5d構造は相対する5角形の中心を貫く軸に関して引き伸ばしたような構造になりますが、 $C_{60}$ にはこのような相対する5角形の組は6組存在し、従って、等価なD5d構造が、6個存在することになります。)、それらの間を構造が移り変わることによってスペクトルの平均

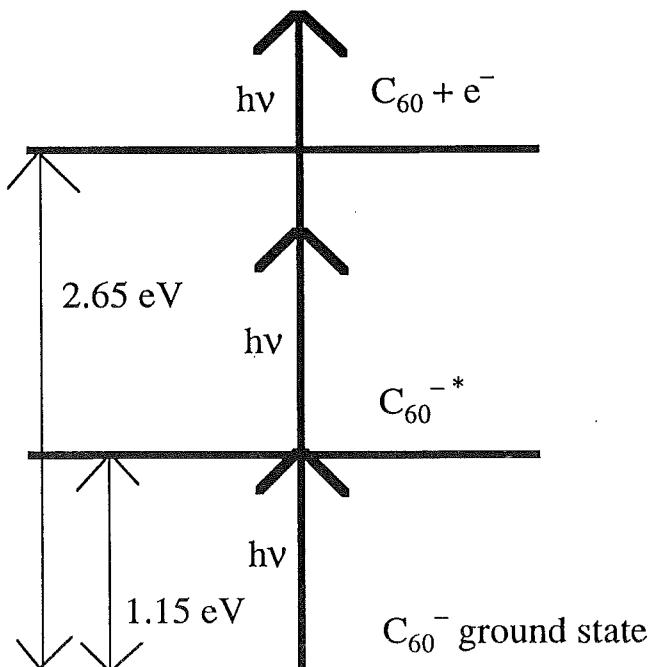


図3 エネルギー準位図

化が起こり、だいたい40Kよりも高い温度になると線形が等方的になると考えられます。ここまでとところが、修士課程において行った研究の結果のあらましです。

私がM2の時に加藤先生が分子研に移られ、1年間共同研究という形で研究を進めた後、総研大に根拠を移してさらに研究を続けることとなりました。博士課程での研究は、結局大きく分けて2本建てのテーマとなりました。一つは、気相における $C_{60}^-$ の分光であり、もう一つは、 $C_{60}^-$ を含む塩の単結晶中(結晶場のはっきり規定された状態)での $C_{60}^-$ の分光です。前者は、東京都立大学の阿知波先生のグループとの共同研究です。後者は、現在進行中であり、まだ、まとまっていません。前者について、概略を述べたいと思います。

$C_{60}^-$ に関するこれまでの分光研究というのは、すべて凝縮相中のものであり、孤立状態での研究というものはありません。 $C_{60}^-$ に本来的に備わっている性質(ここで、最も注目するのはヤーン・テラー効果です。)を明

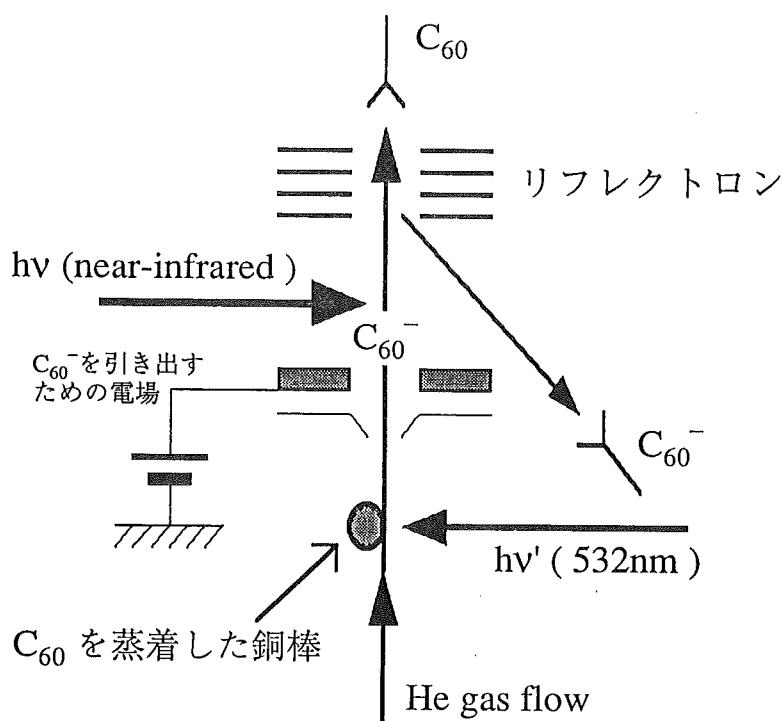


図4 実験装置模式図

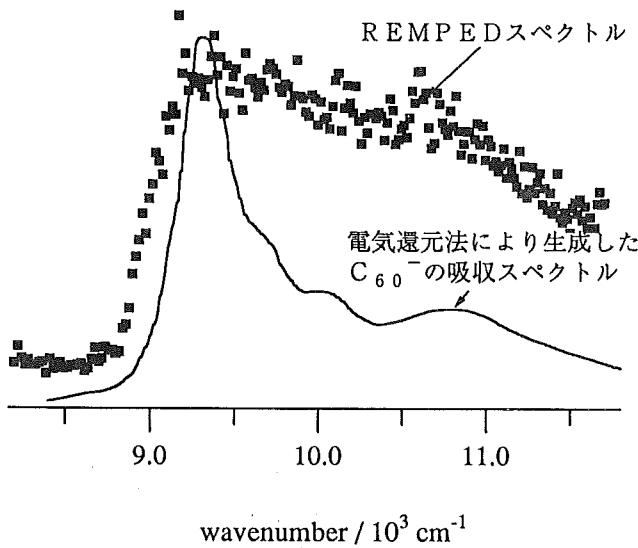


図5 REMPEDスペクトル

らかにするためには、気相の実験は、必要不可欠であると考えられます。この観点に立ち、 $C_{60}^-$ の気相における吸収スペクトルを共鳴多光子電子脱離(REMPED)法を用いて測定することを試みました。以下にREMPED法の説明をします。

$C_{60}$ の電子親和力は約2.65eVと報告されています。この電子親和力は $C_{60}^-$ の電子基底状態から第1電子励起状態への励起エネルギーの2倍よりも大きな値です(図3)。したがって、近赤外領域のレーザー光により $C_{60}^-$ を励起すると3光子を吸収することにより電子が脱離する過程が起こると考えられます。また、励起光のエネルギーが第一電子励

起状態への励起エネルギーに適合すれば、共鳴効果により電子脱離の効率が増大することが予想されます。ここで共鳴中間状態からの電子脱離の効率が励起波長によらないという仮定をおけば、電子が脱離する3光子過程の効率を支配するのは第1段目の第1電子励起状態への共鳴過程であり、従って電子の脱離した中性の $C_{60}$ をモニターすることにより得られる3光子過程の効率は、結果として $C_{60}^-$ の第1電子励起状態への吸収の効率を見ていることとなります。実験装置の簡単な模式図を図4に、実際に得られたスペクトルを図5に示します。期待されたように近赤外領域に立ち上がりを持つバンドが得られました。しかしながら、残念なことに今回の実験条件において得られた $C_{60}^-$ のビームの温度が高かったために非常にブロードなスペクトルとなってしまい詳細な分光学的知見を得るには至りませんでした。将来、ビームの温度を下げるこにより、鋭いスペクトルが得られるようになれば、 $C_{60}^-$ におけるヤン・テラー効果などについて解明することができるようになるだろうと期待しています。

結晶の実験については、また何かの機会に皆さんに聞いていただることにして、今回はこの辺で終わらせていただきたいと思います。さて、夢らしきものが語れましたでしょうか？

私の研究のほとんどは、機器センターの装置を使ってなされており、また、多くの実験装置を装置開発室において製作していただいております。さらに、冷媒として液体窒素や液体ヘリウムを使用させていただいております。この場をお借りして、機器センター・装置開発室・極低温センターの皆様に厚く御礼申し上げます。今後とも、どうぞ宜しくお願ひいたします。

# 科学講座「知って得する分子科学の常識」

## レーザーの話

装置開発室 浅香修治

前回からの続きです。

### 5. レーザーの具体的構成と種類

レーザー装置には、レーザー媒質、ポンピング源(レーザー励起起源)、光共振器が最低限必要です。まれには光共振器のないものもあります。また、必要に応じて、波長選択素子、Qースイッチ素子、モード同期素子、波長変換素子、強度安定化素子などが用いられます。

#### 【レーザー媒質】

レーザー作用を起こさせる物質、レーザー媒質は、利用する波長、ポンピング・発振のしやすさなどに関して実に多くの研究がされています。材料の面から大きくわけると、気体・固体・液体にわけられます。半導体は固体ですが、他の固体レーザーとずいぶん違った特性を持つので通常は別扱いします。また、上記のように物質内に束縛され

た電子でなく、真空中に孤立した電子にレーザー作用を起こさせる、自由電子レーザーもあります。

用いる物質によって、その物質に固有のエネルギー準位に応じた波長で発振します。気体レーザーは比較的短波長で、半導体レーザーは比較的長波長の発振が可能です。主なレーザー媒質と発振波長の関係を図8に示します。分光用途に用いるときは発振波長が自由に選べると都合がよいので、発振波長可変のレーザー媒質、たとえば有機色素、Ti:Sapphire(チタン・ドープ・サファイア)、カラーセンター等が用いられ、そのような物質は現在も盛んに研究されています。

図8の出典「レーザと未来社会」山中編、三田出版会

(続きは次号)

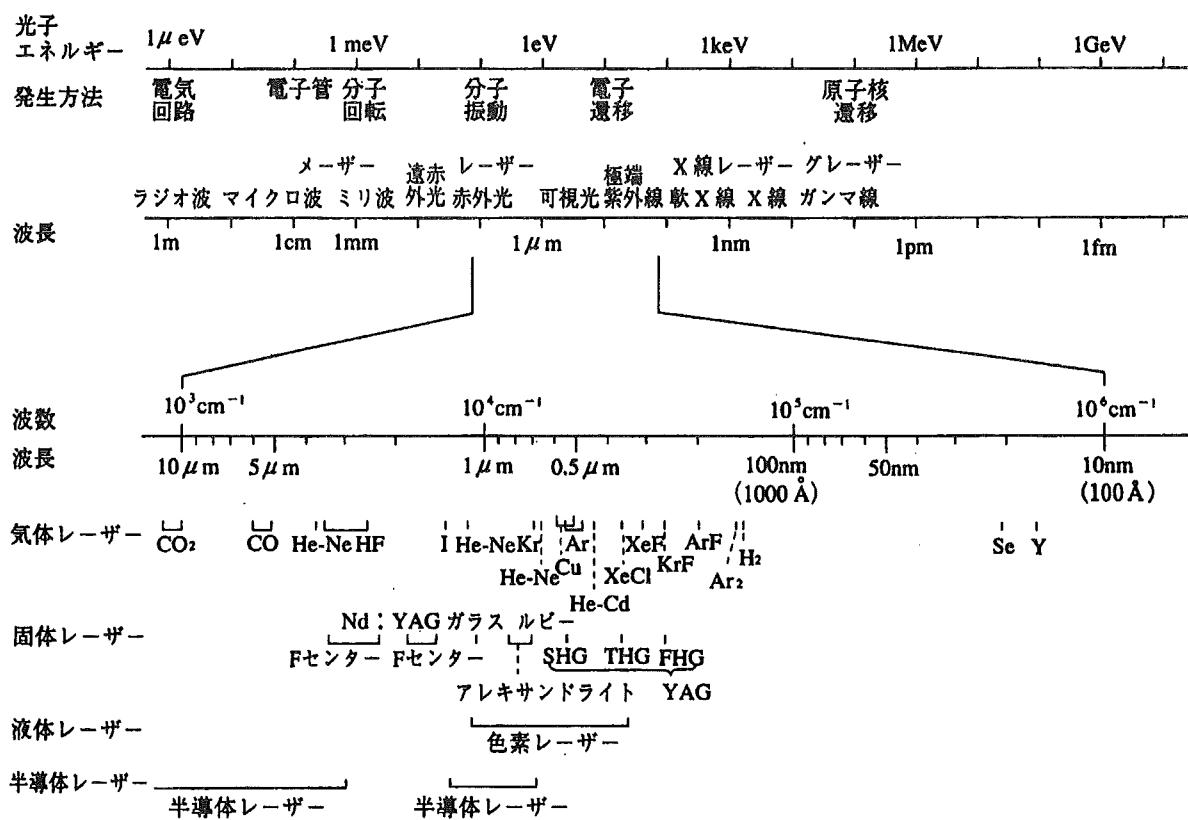


図8 主なレーザーの発振波長

## “声” 「本音を言わせて、聞かせて」

主君に忠義をつくす(忠君)

コンピュータの分野の進歩はめざましく、自分が十数年前に研究所へ来た時点から見ても演算性能、記憶容量などの量的向上は千倍を超しており今後もその勢いは止まることを知りません。電算機センターは最もすぐれた計算機を持ち、それを有効利用することを常に求められています。ですから自分が何をなすべきかははじめから明確です。先生方には「主君に忠義をつくす」ように仕えることが大切かと思います。率直な物言いと絶対服従をいつもこころがけていなくてはなりません。

日々の糧に思い煩うことなく、技術をみがき職責を果たしていくことに大きな喜びを感じます。 Give and give !

西本 史雄

これでいいのか？(技官と教官の信頼関係)

この「かなえ」も第4号を刊行することができた。どうにか、かすとりを免れたようである。しかし、この冊子を刊行して感じたことは、原稿を集めるということが、非常に困難だということである。とくに、締切日を過ぎてから、原稿依頼を断られるというケースが多々あり、その場合、発刊予定が大幅に遅れてしまう。

ここで、我々自身(施設系技官)大いに反省しなければいけない問題がある。つまり、日常業務に於いて、我々は依頼者(教官)の要求を十分満足させているだろうか。また依頼者に対し十分なサービスを行っているだろうか。依頼者の要求に十分応えることが出来て、教官と技官の眞の信頼関係が生まれるのだと思う。

我々は、依頼者の要求に応えられるよう、鋭意努力いたしますので、この冊子の原稿の依頼があった場合は、快く引き受けて下さるようお願いいたします。

酒井 楠雄

## 編集後記

原稿を執筆していただいた方々に厚く御礼を申し上げます。その原稿を長い間あずかったまま編集作業がはかどらず、やっとの思いでまとめることができました。発行予定の7月がずいぶん遅れて、執筆者の方々にはお叱りを受けそうです。この場を借りてお詫びいたします。今は、夏の真っ盛り。暑い日差しと編集関係者の催促の二重パンチを浴びつつこの編集後記を書いている次第です。この「かなえNo.4」が皆様の手元に届く頃は秋の気配が感じられる頃でしょう。

この冊子は技術課の活動報告です。その役割の一つに、主に技官から発信する技術情報誌としての位置づけがあると考えています。どんな些細な事でも記事として報告をして行くことが、その役割を果たすために重要な事だと思います。従って、なるべく多くの技官の方々からの積極的な投稿をお願いいたします。

(編集担当 鈴井)

### 分子科学研究所技術課活動報告「かなえ」編集委員

酒井楠雄(委員長)

加藤清則

松戸修

西本史雄

堀米利夫

永田正明

山中孝弥

吉田久史

鈴井光一



かなえNo.4

発行年月	平成 7 年 9 月
印刷年月	平成 7 年 9 月
発 行	岡崎国立共同研究機構 分子科学研究所・技術課
編 集	か な え 編 集 委 員 会
印 刷	有 限 会 社 研 文 印 刷

