

筑波大学 技術報告

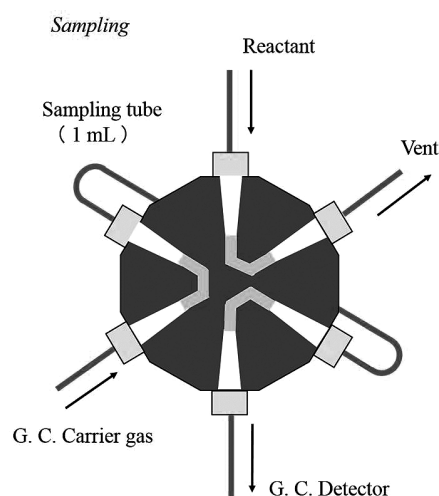
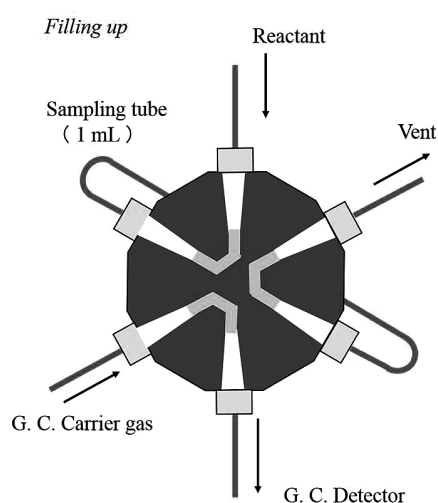
No. 35

TECHNICAL REPORT, UNIVERSITY OF TSUKUBA

2015

第14回筑波大学技術職員技術発表会報告集

<http://www.tech.tsukuba.ac.jp/2014/>



『筑波大学技術報告』No.35 の発刊によせて

本学では、技術職員の業績や活躍を広く学内外に紹介すること等を目的として、『筑波大学技術報告』を長年継続して発刊してきており、本年度は No.35 が発刊される運びとなりました。

本報告書は「第14回筑波大学技術職員技術発表会」(平成 27 年 3 月 10 日開催)における発表論文等及び技術職員からの投稿論文により構成されております。これは、教育・研究支援活動に携わる多忙な日常業務の中で、本学の技術職員が創意工夫をこらした、長時間にわたる研鑽や努力の成果報告です。

また、本発表会は、法人化後に各部局に分属された技術職員の全学的な活動の一環として定着し、準備段階において、技術発表会への積極的な参加・発表の奨励・啓発や学外者の参加を呼びかける広報活動等、今後のあり方の議論を含めて、技術発表会の開催や運営に関して大きな努力が払われてきています。

技術職員の職務は実験科学等の教育・研究支援活動のみならず、教材の作成、教育・研究機器の設置・維持管理、資料の整理、さらにIT関連技術等の広い範囲に広がってきました。技術職員の将来と職場環境等改善に向けて、平成20年には各部局やセンターに技術室、さらに全学技術委員会が設置されました。新たな技術職員組織体制の在り方について検討するために全学的に設置された「技術職員等の在り方検討タスクフォース」の第Ⅰ期では、全学的な研究基盤整備要因についての整備方針が打ち出され、環境安全管理、研究機器、情報の3分野について、全学的に管理し継承すべき技術（職員）として位置付けました。同第Ⅱ期では研究力向上のための技術職員の活用や残すべき技術の整理を課題として取り組んでおります。少子化、グローバル化、研究力強化など大学を取り巻く様々な課題の中で、より適切な技術職員組織体制を構築すべく検討を進めて参ります。

本報告書の刊行により、本学技術職員の業績を広く学内外に紹介し、各方面より忌仰のない御意見や、御指導、御助言、激励等を頂くことができればと願っています。技術職員の育成と技術力を一層向上させるために、各方面の御支援をよろしくお願い致します。

2015 年 3 月 筑波大学 副学長・理事(研究担当) 三明康郎

目 次

『筑波大学技術報告』No.35 の発刊に寄せて

三 明 康 郎 筑波大学副学長 (研究担当) i

技術発表会報告集

数理物質エリア・工学系危険物貯蔵所における危険物管理報告

伊 藤 伸 一 筑波大学数理物質科学等技術室 1

ヘテロダイン走査型トンネル分光 (HSTS) の原理と応用

松 山 英 治 筑波大学数理物質科学等技術室 8

ニューラルネットワークを使用した HD から 4K2K への解像度変換ボケ復元回路の実装

小 野 雅 晃 筑波大学システム情報工学等技術室 12

ヘアリー細胞白血病における細胞学的検査の比較検討

佐 藤 晶 子 筑波大学医学系技術室 20

医学教育企画評価室の新しい取り組みへの支援報告

菅 江 則 子・嶋 村 玲 子・廣 瀬 美 鈴・岩 本 い く 子・瀧 本 和 香 子
筑波大学医学系技術室 28

他大学技術職員との学生実験・実習にかかわる情報交換について

木 澤 祥 恵 筑波大学生命環境科学等技術室 31

リターフォールトラップを使用した長期調査

正 木 大 祐・金 井 隆 治・長 岡 講 二・佐 藤 美 幸・勝 山 麻 里 子
筑波大学菅平高原実験センター 35

脱メラニン法を行った皮膚組織の免疫染色

櫻 井 秀 子 筑波大学医学系技術室 39

技術報告

エタノールの水蒸気改質反応測定のための恒温サンプリングボックスの製作

伊 藤 伸 一 筑波大学数理物質科学等技術室 43

私の算額：海水の重水素で核融合炉を何年運転できるか

平 田 久 子 筑波大学数理物質科学等技術室 47

両面テープ固定法による樹脂材料切削加工品の紹介

小 林 浩 三 筑波大学医学系技術室 51

平かんなに加わる力の違いによる切りくず厚さの変化を計測する簡易装置の試作

田 所 千 明 筑波大学生命環境科学等技術室 56

第14回筑波大学技術職員 技術発表会報告集

開催日：2015 年 3 月10日
会場：筑波大学総合研究棟 B 公開講義室



筑波大学技術職員技術発表会の公式ウェブサイト
<http://www.tech.tsukuba.ac.jp/2014/>

数理物質エリア・工学系危険物貯蔵所における危険物管理報告

伊藤 伸一

筑波大学数理物質科学等技術室

〒305-8573 茨城県つくば市天王台 1-1-1

概要

数理物質エリア・工学系危険物貯蔵所における危険物管理について、平成 26 年度の活動を報告する。平成 26 年 4 月 1 日より前任者から引き継いだ。主に、危険物第 4 類（引火性液体）の受け入れ、保管、汲み出し作業の立ち合いと貯蔵所の管理を行った。

キーワード：危険物、危険物貯蔵所、第 4 類、引火性液体

1. はじめに

消防法に定められている危険物とは、消防法第 2 条 7 項における別表 1 に掲げられている物品で、次に示す 6 つの種別がある^[1]。

- 第 1 類 酸化性固体
- 第 2 類 可燃性固体
- 第 3 類 自然発火性物質及び禁水性物質
- 第 4 類 引火性液体
- 第 5 類 自己反応性物質
- 第 6 類 酸化性液体

工学系にある危険物貯蔵所では第 1 類、第 4 類、第 6 類の危険物を保管することができる。したがって、この貯蔵所における管理者、取扱者は危険物取扱者甲種または、乙種の各級の免状が必要である。筆者は以前甲種の免状を取得している。現時点では、第 4 類のみ保管している。具体的にはアセトンなどの有機溶媒で、化学系の実験室（一般的な意味での）において多量に使用することから、貯蔵所で保管し、必要に応じて取り出している。この貯蔵所の保安監督者は物質工学域の後藤博正先生であり、筆者は取扱者という立場で今年度から担当している。本報告書では、この貯蔵所における危険物第 4 類の取扱いと貯蔵所の管理等について報告する。また、平成 26 年 8 月 22 日に危険物取扱者保安講習に参加したことについても報告する。

2. 危険物第 4 類

危険物第 4 類は引火性液体で次に示す物質のグループがある。

1. 特殊引火物
ジエチルエーテル、二硫化炭素のほか、1 気圧において発火点が 100℃以下のもの、または引火点がマイナス 20℃以下で沸点が 40℃以下のもの。
2. 第 1 石油類

アセトン、ガソリンのほか、1 気圧において引火点が 21℃未満のもの。非水溶性液体と水溶性液体がある。

3. アルコール類
1 分子を構成する炭素の原子数が 1 個から 3 個までの飽和 1 価アルコール（変性アルコールを含む）で、次のものを除く

- 1 上記のアルコールの含有量が 60%未満の水溶液
- 2 可燃性液体量が 60%未満であって、引火点および燃焼点（タグ開放式引火点測定器による燃焼点をいう。以下同じ）がエチルアルコールの 60%水溶液の引火点および燃焼点を超えるもの

4. 第 2 石油類
灯油、軽油のほか、1 気圧において引火点が 21℃以上 70℃未満のもので、次のものを除く

○可燃性液体量が 40%以下であって、引火点が 40℃以上、燃焼点が 60℃以上のもの

5. 第 3 石油類
重油、クレオソート油のほか、1 気圧において引火点が 70℃以上 200℃未満のものをいい、次のものを除く

○可燃性液体量が 40%以下のもの

6. 第 4 石油類
ギヤー油、シリンダー油のほか、1 気圧において引火点が 200℃以上 250℃未満のものをいい、次のものを除く

○可燃性液体量が 40%以下のもの

7. 動植物油類
動物の脂肉等または植物の種子若しくは果肉から抽出した油であって、1 気圧において引火点が 250℃未満のもので、次により貯蔵保管されているものを除く

○危規則第 1 条の 3 第 7 項に基づきタンク、容器で貯蔵保管されているもの

工学系の危険物貯蔵所では、上記に該当する物質として次のものを保管している（2014 年 8 月現在）。

ジエチルエーテル（特殊引火物）
ヘキサン（第 1 石油類、非水溶性液体）

ベンゼン（第1石油類、非水溶性液体）
 トルエン（第1石油類、非水溶性液体）
 酢酸エチル（第1石油類、非水溶性液体）
 アセトン（第1石油類、水溶性液体）
 テトラヒドロフラン（第1石油類、水溶性液体）
 メタノール（アルコール類）
 エタノール（アルコール類）

それぞれの物質またはグループについて貯蔵最大数量が決められており、それ以下の量を保管している。原則として18リットル缶で、工学系の研究室が購入したものを受け入れ、保管し、汲み出し作業に立ち会っている。

3. 危険物第4類の管理作業

ここでは、危険物第4類についての管理作業について、実際の手続き等について説明する。

なお、この管理方法は前任者である渡邊ゆり子氏から引き継いだものであり、Excel ファイル等も渡邊氏によるものである^[2]。

3.1 危険物の受け入れ・搬入

各研究室の担当者から保管の依頼があった場合、危険物の種類・品名、数量について貯蔵数量範囲内であることを確認したのち、整理番号を決定し、搬入日時とともに依頼者に通知する。図1に危険物

平成 20 年 10 月 30 日									
危険物貯蔵所保管申込書									
申請者	所属	物質・分子	氏名				連絡先		
	E-mail Address								
責任者	所属	物質・分子	氏名				連絡先		
	物質名		エタノール						
量		18			l				
整理番号									
危険物種別		1類、4類(特殊、第1石油、アルコール、第2石油、第4石油)、6類							
保管場所		1	2	3	4				
搬入年月日		平成	年	月	日	確認			
搬出年月日		平成	年	月	日	確認			
太枠の中のみ書いてください									
----- キリトリセン -----									
平成 年 月 日									
危険物保管証									
物質名		エタノール							
整理番号		0							
上記のものを受け取りました									
平成 年 月 日									
所属		氏名							
★ 搬出するときこの保管証と引き換えになりますので、所属氏名を記入してお持ちください。									

図 1. 危険物貯蔵所保管申込書および保管証様式

貯蔵所保管申込書ならびに危険物保管証の例を示した。この申込書に申請者（院生または学生）の氏名、連絡先および責任者（指導教員）の氏名、連絡先を記入し、物質名、数量（リットル）、整理番号、危険物の種別、保管場所（室番号）、搬入年月日を記入する。下半分の危険物保管証は物質名、整理番号、搬入の日付（右上）を記入する。これらの記入は危険物取扱者（筆者）が行い、危険物を搬入した際に保管証を申請者に渡す。申請者は危険物を預けると同時にこの保管証を受け取り、容器を引き取る際に保管証を提出する。整理番号は今年度から新たな規則で決定することとした。8 桁の番号で次の意味を持つ。

- 1 桁目・2 桁目：年号（西暦の下 2 桁）
- 3 桁目：学域で物理工学は 0、物質工学は 1
- 4 桁目・5 桁目：研究室番号
- 6 桁目：危険物の種類
- 7 桁目・8 桁目：研究室ごとの危険物の通し番号

なお、研究室における危険物の移動量（購入量、使用量など）の学内の一括管理システム（CRIS）への報告は各研究室で行われている。

3.2 汲み出し

汲み出しは1週間に1、2回行う。実際の作業は各研究室の院生、学生が行うが、その際に立合い、場合によっては指導を行う（安全メガネや手袋の着用、静電気の抑制など）。図2は汲み出し作業時の記録表である。研究室ごとにこの表を用意しておく。表には左から容器の番号（整理番号の下2桁）、薬品名、保管量が記されており、汲み出した日付、使用者（実際に作業した者）、使用量を記入する。5 回分の記録ができるようになっており、右欄には残量を記録する。

なお、この汲み出し作業に関して今年度から安全上、次の2点を追加して行うよう指導している。まず、各研究室と危険物貯蔵所の間の学内の運搬については、原則2名以上で行うこと。これは、一度に多量の危険物を1人で運搬することは、不測の事態に対応が難しいと考えられるからである。2 点目として、貯蔵室内において作業する者は最大2名までとすること。これは、一度に大勢が危険物を扱うと

研究室 2014													
/ ~ /													
番号	薬品名	保管量	使用者	使用量	使用者	使用量	使用者	使用量	使用者	使用量	使用者	使用量	残量
40	2-プロパノール	18.0											
8	エタノール	3.2											
63 64 07	酢酸エチル	47.7											
85	テトラヒドロフラン	7.3											
13 25	トルエン	21.1											
	ヘキサン	0.0											
20	ベンゼン	3.0											
76 06	メタノール	28.0											
	2-ブタノン	0.0											
9	ジエチルエーテル	20.0											
01 02 03	アセトン	44.9											

図 2. 危険物利用記録様式

登録番号	搬入年月日	搬出年月日		貯蔵庫1				貯蔵庫3				貯蔵庫4				貯蔵庫2					
				塩素酸塩(5)	過塩素酸塩(40)	亜塩素酸塩(5)	硝酸塩(20)	過マンガ ン酸塩(5)	重クロ ム酸塩(5)	無機過 酸化物(5)	臭素酸 塩(5)	ヨウ素 酸塩(5)	特殊引 火物(100)	第1石 油類(600)	アセ トン(180)	アル コール(400)	第2石 油類(500)	第4石 油類(600)	過酸化 水素(50)	過塩素 酸(50)	硝酸(200)
				0	0	0	0	0	0	0	0	0	40	168	54	90	0	0	0	0	0
4101420	2004/9/10		benzene											6							
5101413	2005/5/27		toluene											18							
8101425	2009/2/28		toluene											18							
9101440	2009/11/25		2-prOH													18					
13101463	2013/11/6		EtAcetate											18							
13101464	2013/11/6		EtAcetate											18							
13103493	2013/12/4		Ether										20								
13103495	2013/12/25		EtAcetate											18							
13101476	2014/1/29		MeOH													18					
14101401	2014/4/2		acetone												18						
14101402	2014/4/2		acetone												18						
14101403	2014/4/2		acetone												18						
14101404	2014/4/2		thf											18							
14101406	2014/6/25		MeOH													18					
14101407	2014/6/25		EtAcetate											18							
14101408	2014/6/25		EtOH													18					
14101409	2014/6/25		Ether										20								
14103407	2014/7/25		Hexane											18							
14103408	2014/8/4		MeOH													18					
14103409	2014/8/6		Hexane											18							

図 3. 危険物保管状況様式

容器からの危険物（第 4 類）の蒸気の発生量が多くなり、引火の危険性が高まると考えられるからである。

3.3 危険物の空容器の搬出

保管している 18 リットル缶などが空になった場合は、各研究室で廃棄処分にする。その際、搬入時に渡した保管証と引き換えに空容器を渡す。保管証には空容器を受け取る際に院生または学生にその所属、氏名、日付を記入してもらう。図 3 は危険物保管状況で研究室ごとの危険物の数量の合計を表しており、危険物貯蔵所で保管している数量を示している。この Excel ファイルに整理番号（登録番号）、日付、薬品名、数量を記入するが、数量については数値を入力すると上段に合計の数量が示される。また、上段の危険物種類の下のカッコ書きの数値は、貯蔵最大数量（第 4 類はリットル）を示している。

4. 危険物貯蔵所の管理・修繕等

危険物貯蔵所の外観を図 4 に示した。貯蔵室は通路の両側に 2 室、全部で 4 室ある。通路には消火器



図 4. 数理物質エリア・工学系危険物貯蔵所

4 台と、消火用砂とスコップが 2 セット置いてある（図 5）。危険物貯蔵所の担当になってすぐ、貯蔵室内の大掃除を行った。危険物第 4 類の貯蔵室内（図 6）は排気ファンが常時回っており、また、吸気のための網戸があることから、ほこりがひどくたま



図 5. 消火用砂容器とスコップ



図 6. 危険物貯蔵所第 4 類貯蔵室内

いる状態であったため、一人で3時間奮闘した。担当が私一人であること（有資格者も少ない）から、やむを得ないが、組織として複数名の担当者を置くべきである。また、排気ファンによる排気はダクトを通じて、室外に排気されるが、室外排気口のブレードが回っておらず、スモークテスターで貯蔵室内の風向・風量を調べた結果十分でなかったため、修繕を依頼し、改善することができた。主な原因は、排気ダクトの室外排気口にある虫等の侵入を防ぐための網が目詰まりであった。網の目が数mmと小さく、目詰まりしやすいと考えられることから、今後定期的に点検する必要がある。

初夏に雨が多く降った時期があったが、この時、雨どいによる雨水の排水に問題があり、通路に雨水が漏れた。幸い、危険物を保管している室内に雨漏りはなかったが、修理を依頼し改善していただいた。この時期、中央通路の屋根の下に雀が巣を作ってしまった。雛の糞で消火器の保管箱が汚れてしまったが、鳥獣保護の観点から追い払うこともできず、巣立ちまでは毎週のように消火器保管箱を掃除した。夏には通路の入り口付近に蜘蛛が巣を張ることが多くなり、その都度掃除した。

この貯蔵所には空調設備はないので、夏場は貯蔵室内の温度が高くなることが予想された。そこで、図7に示したように最高最低温度計を設置し、一定期間の最高気温、最低気温を記録した。図8に7月



図7. 最高最低温度計

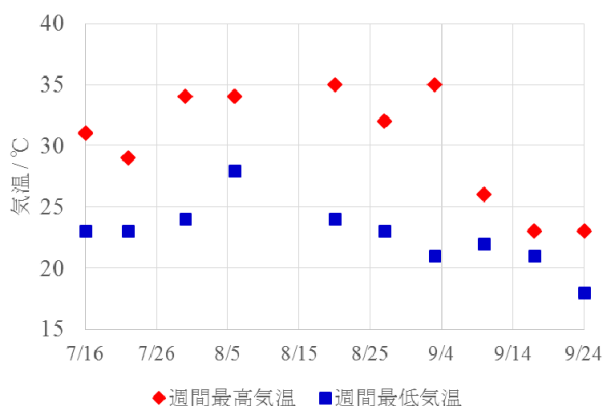


図8. 工学系危険物貯蔵所第4類貯蔵室における平成26年夏の最高気温・最低気温



図9. 設置したアース端子

16日から9月24日までの週間の最高気温、最低気温を示した。グラフの横軸に記録した日付を示したが、最高気温、最低気温はその日付の7日前からの一週間の最高気温、最低気温である。次章で述べるが、危険物火災事故の原因として、静電気の放電による有機溶媒蒸気の引火がある。工学系危険物貯蔵所ではこれまで、アース設備がなかったことから新たに設置した。市販のアースコード付きアース棒を購入して敷地内に埋め込んだ。図9に示したように、危険物第4類貯蔵室のドアノブの右側に金属プレートを取り付け、アースを接続した。有機溶媒を取り扱う直前に、このアースのプレートに触れることによって、静電気の緩和を行った。有機溶媒使用中、常にアースコードを体に取り付けて作業する方が、より効果的であるが、取扱量が少ないことと、貯蔵室内が広くないので動きにくくなるということも考えられるため、今後どのようにするかは検討する必要があると考えている。

5. 危険物取扱者保安講習についての報告

危険物を取り扱う者は、3年に一度、都道府県知事が行う危険物の取り扱いについての保安講習を受けなければならない^[3]。筆者は今年度から担当することになったので、受講した。講習会の主な内容は、配布されたテキストに基づいて1. 法令（平成23年度以降の改正）について、2. 安全管理と事故事例について、3. 危険物の事故についての事例と原因分析についてのビデオ視聴であった。以下に、一般財団法人全国危険物安全協会の刊行物である、危険物取扱者保安講習テキスト平成26年度版、「危険物の保安管理」一般編の一部を引用、転載し、保安講習の参加報告を行う。なお、この引用、転載に関しては一般財団法人全国危険物安全協会の承諾をいただいた。

5.1 法令の改正点

一般財団法人全国危険物安全協会による平成26年度版のテキストでは、平成23年度以降の消防法の法改正及び通知について記述がある。講習会で取り上げられた主な改正点について述べる。

なお、詳細については前述の危険物取扱者保安講習

習テキスト「危険物の保安管理」一般編^[3]または、総務省消防庁ホームページあるいは消防白書^[4]等を参照されたい。

先にも触れたが、危険物取扱者は3年に1度保安講習を受けなければならないが、これまでは前回の保安講習の日付から3年以内であったものが、前回受講した年度の翌年度4月1日を基準として3年以内に受講することと改められた（危規則第58条の14第1項及び第2項関係）。

エタノール等を取り扱う給油取扱所に係る技術上の基準に関する事項が新たに定められた（危政令第17条第4項、第27条第7項関係）。これは、ガソリンにエタノール（あるいはバイオエタノール）が添加されるようになったことから定められたと筆者は理解している。

製造所等の消火設備に関する事項（危政令別表第5、危規則第32条の7から第32条の9関係）として、
(1)ハロン代替ガスを用いた消火設備に係る改正として製造所等の消火設備においてもハロン代替ガスの使用を可能とするため以下の改正が行われた。

○二酸化炭素消火設備の名称を不活性ガス消火設備に改め、二酸化炭素に加えて、窒素、IG-55及びIG-541の使用を可能とした。

○ハロゲン化物消火設備の消火剤に HFC-23、HFC-227ea を追加した。

(2)製造所等の消火設備に係る技術上の基準の整備
これまで、「消火設備及び警報設備に係る危険物の規制に関する規則の一部を改正する省令の運用について（平成元年3月22日付け消防危第24号）」によって運用されてきた製造所等の消火設備の技術上の基準のうち、不活性ガス消火設備、ハロゲン化物消火設備及び泡消火設備について、それぞれ技術上の細目を定める告示が制定された。

平成23年中の主な通知の中で、リチウムイオン蓄電池の貯蔵及び取扱いに係る運用に関する項目があった（消防危第303号、平成24年改正、危政令第19条第2項第9号、危規則第28条の54第9号、危規則第28条の60の4関係）。現在、市場に流通しているリチウムイオン蓄電池には、電解液に消防法上の第4類の危険物が用いられている。リチウムイオン蓄電池設備を用いて充放電を行う際、リチウムイオン蓄電池の電解液に電気を流すため、当該蓄電池設備では危険物（電解液）を「取り扱う」ことになる。よって、蓄電池設備における電解液の量が指定数量（リチウムイオン蓄電池に用いられる電解液の場合には1,000リットル）以上となる場合、当該蓄電池設備は一般取扱所に設置しなければならない。本改正では、火災危険性を考慮した一定の安全対策を講じる場合には、危険物（第4類に限る。）を用いた蓄電池設備を設置する一般取扱所を建築物の地階等に設置することを可能とするため、当該一般取扱所に係る技術上の基準が整備された^[3]。

圧縮水素充てん設備設置給油取扱所に係る技術上の基準に関する事項として、圧縮水素充てん設備を設ける「顧客に自ら給油等をさせる給油取扱所」及び「顧客に自ら給油等をさせるエタノール等の給油

取扱所」の位置、構造及び設備に係る技術上の基準が定められた（危規則第28条の2の7第2項、危規則第28条の2の8第4項関係）。

圧縮水素充てん設備設置給油取扱所の基準の特例に関する事項として、一般高圧ガス保安規則（昭和41年通商産業省令第53号）の改正に伴い、危規則第27条の5第5項第1号及び第3号並びに同条第6項第5号に規定されている「特定圧縮水素スタンド」が「圧縮水素スタンド」に改正された。この改正により、給油取扱所に設置することができる圧縮水素スタンドの常用の圧力が40メガパスカル以下から82メガパスカル以下に引き上げられた。

平成25年中の主な通知の中で、ガソリン携行缶を安全に取り扱うための留意事項があった。（これは、京都府福知山市で行われた花火大会中の火災があったことによるものと筆者は考えている。）ガソリン携行缶の製造販売に関係する業界団体に対して、ガソリン携行缶のユーザーに特に注意すべき重要な事項及び注意表示の方法等の留意事項を周知し、当該注意表示がなされたガソリン携行缶の製造販売の取り組みへの協力について要請した。また、消防研究センターが実施した、ガソリン携行缶を炎天下に長時間置いた場合やガソリン携行缶が発電機の排熱を浴び続けた場合の性能確認実験の結果等を踏まえ、ガソリン携行缶を安全に使用するための留意事項が取りまとめられた（平成25年10月4日 消防危第177号）。

以上に平成23年からの消防法の改正点についていくつかの例を述べた。これからわかるように、リチウムイオン蓄電池や燃料電池（水素を燃料とするもの）などの技術の発展に伴って、迅速な法改正が行われている。

5.2 事事故事例と原因の分析

平成25年3月31日現在における危険物施設の総数は436,918施設であり、前年同期の447,277施設と比較して2.3%減少した。設置許可数が最も多かった平成2年の582,911施設から比べると25%も減少している。しかし、危険物施設における火災及び流出事故はむしろ増加傾向にあり、平成元年の352件と平成24年の573件を比べると、1.6倍にもなっている^[3,4]。平成25年中の事故の内容を見ると、流出事故が375件で火災事故は198件でありどちらも増加してきている。流出事故は設備の劣化が主な原因であるが、火災事故の場合はその主な原因はヒューマンエラーである。危険物を取り扱う者の再教育が重要であると考えられる。

危険物取扱者保安講習で取り上げられた近年の事事故事例のうち、一つを取り上げ、その原因について記述する。

【事事故事例】^[3]

アセトンにドラム缶に小分け作業中、静電気火花により着火した火災

原料小分け場において、ドラム缶にアセトン（引

火点 約-20℃) 50 kg を小分けするため、バルブを開けて作業を開始したところ、約 10 kg 計量した時点でドラム缶から出火した。

事故時の措置として、直ちにアセトンを供給するバルブを閉止し、消火器により初期消火を実施した。

原因は、静電気を除去するためのアース接続を忘れて、小分け作業を行っていたため、静電気が帯電し、放電した際にアセトンの蒸気に引火した。

この事故事例のように、引火性のある物質が蒸気として存在するときに、裸火はもちろん、静電気や電気火花などの着火源があると出火する。これはどこでもいつでも起こりうることで、もっとも注意が必要である。

有機溶媒は水などと異なり、電気伝導性が低いいため、流体摩擦による静電気の発生が起こるので、注意が必要である。

危険物取扱者保安講習では上記に加え、1. 地下貯蔵タンクの劣化による危険物の漏えい事故があげられ、定期点検とその記録の保存の重要性、2. 取り扱っている化学薬品の種類と量の把握と事故時に消防へ正確な情報を提供することが強調して説明された。危険物貯蔵所の今後の安全管理に大変有意義な講習会であった。

6. 技術職員の役割と今後の展望

技術職員の役割と今後の展望を考えてみる。現在の教室系技術職員の仕事を大きく分けると次の3つになる。

1. 安全衛生管理、危険物管理などの学内共通業務
2. 学類における実験・実習での技術業務
3. 専門分野（研究室）における技術業務

上記1については、今後は本部付きの専任の職員として確保される。2と3については、今後の明確な指針はいまだ示されていない。現時点では技術職員の新規採用は行われていないが、実際に業務がある以上、技術職員が退職後、その業務は教員が補う

しかない。業務内容によっては資格や免許が必要とするものもある。そうすると、これまで以上に教員への負担が増すことになるのは確実であるから、早期に技術職員の新規採用を行うべきと考える。ただし、業務を精査し、効率の良い人員配置が求められるのは言うまでもない。筆者が考える、技術職員、大学の双方にとって理想的であると考え教室系技術職員の在り方は次のようになる。まず、技術職員一人一人が自分の専門分野を持つことである。そのためには、特定の研究分野の研究室に軸足を置き、その中で自己研鑽を積み重ねることである。それによって、向上した技量を教育・研究に還元することが、技術職員と大学の双方にとって発展的であると考え。

謝辞

本報告を行うにあたり、危険物取扱者保安講習テキスト平成26年度版の一部を引用、転載することを承諾いただきました、一般財団法人全国危険物安全協会に感謝申し上げます。工学系危険物貯蔵所における危険物の管理について、ご指導いただきました前任者である渡邊ゆり子氏に感謝申し上げます。工学系危険物貯蔵所の管理、消防署による立ち入り検査等に関する連絡・事務手続きについては、筑波大学数理物質エリア支援室係長（会計担当）、海老坪正和氏にご支援いただきました。感謝申し上げます。

参考文献

- [1] 総務省消防庁ホームページ、消防法；<http://www.fdma.go.jp/concern/law/>
- [2] 渡邊ゆり子、筑波大学技術報告、No. 26 (2006) 26.
- [3] 一般財団法人全国危険物安全協会編、危険物取扱者保安講習テキスト、平成 26 年度版、「危険物の保安管理」一般編。
- [4] 総務省消防庁ホームページ、「消防白書」（平成 25 年版）；<http://www.fdma.go.jp/html/hakusho/h25/h25/>

The report of handling of flammable materials at the storage place of flammable materials in the Graduate School of Pure and Applied Sciences

Shin-ichi Ito

Graduate School of Pure and Applied Sciences, Technical Service Office for Pure and Applied Sciences,
University of Tsukuba,
1-1-1 Tennodai, Tsukuba, Ibaraki, 305-8573 Japan

This is a report of handling of flammable materials at the storage place of flammable materials in the Graduate School of Pure and Applied Sciences in the University of Tsukuba. Mainly, handling of flammable liquid and maintenance of the storage place are described.

Keywords: Flammables, Storage place, flammable liquid, inflammable substance.

ヘテロダイン走査型トンネル分光（HSTS）の原理と応用

松山英治

筑波大学数理物質科学等技術室

〒305-8572 茨城県つくば市天王台 1-1-1

概要

ヘテロダイン走査トンネル分光（HSTS）計測法という新しい局所精密計測手法を開発した^[1]。HSTS計測法は、2つの入力交流信号 f_1 と f_2 のヘテロダインミキシングを STM の探針と試料の間の接合部分で生じさせ、 f_1 と f_2 の差周波数を持つ信号 f_3 を生起する（図 1）。 f_3 は 1 eV~1 neV の広いエネルギー領域に、任意の強度で発生できる。生起した f_3 信号は任意周波数に移動でき、 f_3 信号により測定対象へ共鳴吸収を起こさせ信号を高感度に検出される 1peV の分解能と原子レベルの空間分解能を有する。

キーワード：ヘテロダイン検出、走査トンネル顕微鏡、THz 分光、精密分光

1. はじめに

物質の原子 1 つ 1 つの性質を調べる研究は、今まで盛んに取り組まれてきました。その中で、テラヘルツ波やノイズレベルの微弱信号を精密に調べる技術の開発は難しく、未だに成し遂げられていない課題でした。本研究は、微弱信号を高感度に検出する原理としてアルマ宇宙望遠鏡（アタカマ大型ミリ波サブミリ波干渉計）の検出技術に着目し、これを原子 1 つ 1 つが識別可能な走査型トンネル顕微鏡に導入して新しい精密分光計測手法を開発しました。この計測法により、物質を構成する原子の性質を高速かつ精密に計測することが可能となり、新しい物質の性質の発見につながることを期待されます。

2. HSTSの原理

本研究は、微弱信号を高感度に検出する方法として、アルマ宇宙望遠鏡の検出技術に着目しました。アルマ望遠鏡では、宇宙遠方からの極微弱なテラヘルツ波信号を窒化ニオブチタン/絶縁体/窒化ニオブチタン接合部へ導波し、ヘテロダイン検出という信号検出方法により計測しています^[3,4]の接合部の形やサイズは、原子 1 つ 1 つを観る走査型トンネル顕微鏡（STM）の探針と試料間との接合部分に良く似ています。そこで、この検出法を STM に導入し、極めて高い信号検出感度を備え、エネルギー分解能が高く、計測対象に擾乱を与えずに原子レベルの空間分解能を実現する新しい局所精密分光計測法として、ヘテロダイン走査トンネル分光（heterodyne scanning tunneling spectroscopy, HSTS）計測法を開発しました。

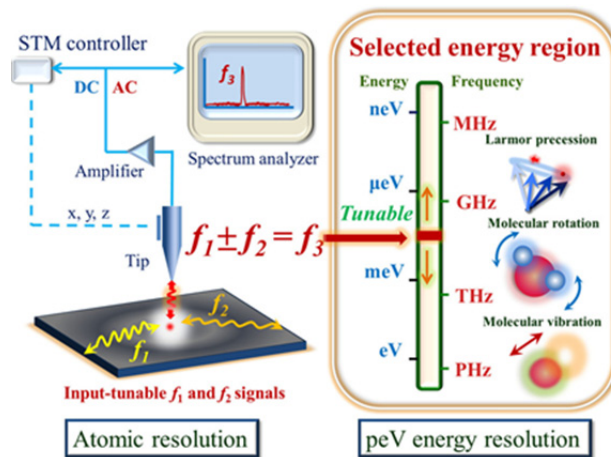


図 1. ヘテロダイン走査トンネル分光（HSTS）計測法の模式図

HSTS 計測法では、2つの入力交流信号 f_1 と f_2 のヘテロダインミキシングを STM の探針と試料の間の接合部分で生じさせ、 f_1 と f_2 の周波数の差を持つ信号 f_3 を生起します（図 1）。 f_3 は 1 電子ボルト（1 eV）から 1 ナノ電子ボルト（1 neV = 0.000000001 eV）までの幅広いエネルギー領域、すなわち 1 メガヘルツ（1 MHz = 1,000,000 Hz）から 1 ペタヘルツ（1 PHz = 1,000,000,000,000,000 Hz）までの幅広い周波数領域に、任意の強度で発生させることができます。また、発生させた f_3 信号は、ラジオをチューニングするように動かすことができます。この f_3 信号を用いて測定対象と共鳴吸収やヘテロダインミキシングを起こさせて信号を高感度に検出することで、1 ピコ電子ボルト（1peV = 1peV = 1peV = 1peV = 1peV = 0.000000000001 eV）のエネルギー分解能と原子レベルの空間分解能で精密分光を行います。例えば、固体表面上のスピンのラーモア歳差運動と呼ばれる運動や分子の回転や振動モードを、非破壊かつ無擾乱で高感度に計測することができます。開発した HSTS 計測法の精密性を示すために、装置上の様々な不安定因子を排除できる kHz（キロヘルツ）帯域のモデル入力信号（ f_1 と f_2 ）を用いて、走査トンネル顕微鏡の探針と試料（高配向性熱分解グラファイト）との間の接合部分において、ヘテロダインミキシングを起こすことができることを示しました（図 2）。この際、ヘテロダインミキシングで発生させた f_3 信号の周波数と強度を精密にコントロールできます（図 3）。次に f_1 と f_2 を接近させて相互変調ひずみと呼ばれるひずみを発生させ、高い周波

数の信号団を低い周波数の信号団に変換するビートダウンが可能であることを示しました (図 4)。さらに、ギガヘルツ (1GHz = 1,000,000,000 Hz) 領域に存在した信号をヘテロダインミキシングにより可聴周波数に変換できることを示しました (図 5)。最後に、HSTS 計測法の応用例として、通常はロックイン検波法という方法による走査トンネル分光計測を、HSTS 計測法によって高速かつ精密に行えることを示しました。ロックイン法(従来法)の結果を図 6 の右軸に、HSTS 計測法の結果を図 6 の左軸に示しています。HSTS 計測法では各サンプルバイアス (サンプルにかかる電圧) 条件において検出されるトンネル電流の交流成分を高速フーリエ変換 (FFT) によって周波数分解させた後、入力信号である f_1 と f_2 の周波数およびヘテロダインミキシングで発生させた f_3 信号の強度をプロットしました。図 6 に示したスペクトルの形状より、HSTS 計測法によって従来法と全く同じシグナルプロファイルが得られることがわかりました。ここでは 3 つの周波数成分のみをプロットしてありますが、HSTS 計測法は従来法とは異なり、観測される信号の全周波数成分を一度に、高感度に検出します。そのため、図 4 のような多数の周波数のシグナル成分が存在している場合でも、各々の強度変化を瞬時にとらえることができます。このように、HSTS 計測法が極めて優れた計測法であることが確認されました^[1]。

3. 実験結果

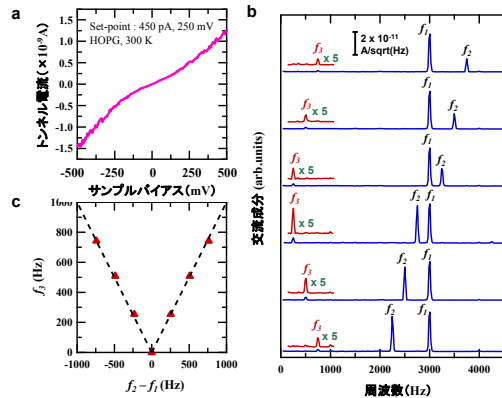


図 2. ヘテロダインミキシング信号 f_3 の生起と検出
a, 高配向性熱分解グラファイト表面にかかるサンプルバイアスを変えた際のトンネル電流の変化：電流と電圧が非線形の関係になっておりヘテロダインミキシングを起こすことが可能であることを示しています。b, f_1 と f_2 をサンプルに入力したときのトンネル電流の高速フーリエ変換結果：入力信号の f_1 と f_2 に加えて f_3 で示す信号が新たに生成していることを示しています。c, f_3 の周波数に対する f_2 と f_1 の周波数の差 ($f_2 - f_1$) : f_3 の周波数が f_2 と f_1 の周波数の差に対応しており f_3 がヘテロダインミキシングによって生起した信号であることを示しています。

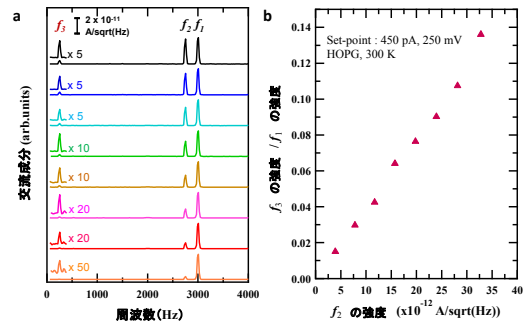


図 3. ヘテロダインミキシング信号 f_3 強度のコントロール

a, 入力 f_1 (3007.8 Hz) 信号の強度を固定し、入力 f_2 (2753.9 Hz) 信号の強度を変化させたときのトンネル電流[注 3]の高速フーリエ変換結果。b, (f_3 強度/ f_1 強度)と f_3 (253.9 Hz) 信号強度の関係： f_3 強度をコントロールできることを示しています。

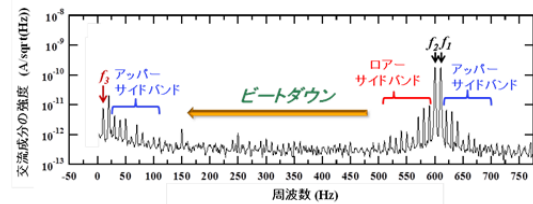


図 4. 相互作用ひずみ

2 つの入力交流信号 f_1 と f_2 の周波数を接近させたとき ($f_1 = 610.0$ and $f_2 = 600.0$ Hz) のトンネル電流の高速フーリエ変換結果：相互作用ひずみが出現し、アップパーサイドバンドの信号団が低い周波数帯域にビートダウンしていることを示しています。

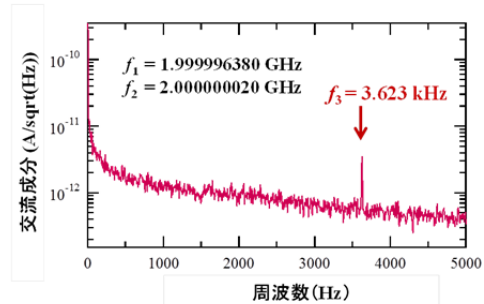


図 5. ギガヘルツ信号のヘテロダインミキシング

2 つの入力交流信号 f_1 と f_2 の周波数をギガヘルツ帯域にした場合 ($f_1 = 1.999996380$ GHz と $f_2 = 2.000000020$ Hz) のトンネル電流の高速フーリエ変換結果： f_1 と f_2 差周波 (3.623 kHz) を持つ f_3 が生起してトンネル電流成分として検出できたことを示しています。

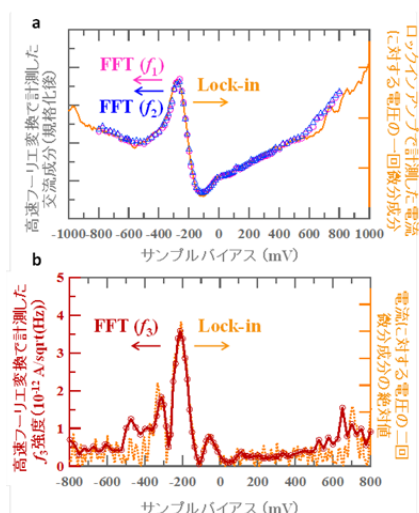


図 6. HSTS の応用例として行った走査トンネル分光計測

従来法の結果を右軸に、HSTS 計測法の結果を左軸に示しています。a, ロックインアンプで計測した、電流に対する電圧の一回微分成分 (従来法) と HSTS で計測した f_1 と f_2 の強度が同じサンプルバイアス依存性を示すことを示しています。b, 電流に対する電圧の二回微分成分 (従来法) と HSTS で計測した f_3 の強度が同じサンプルバイアス依存性を示すことを示しています。

4. これからの展望

本研究で開発した HSTS 計測法により、物質の原子 1 つ 1 つを識別しながら、それぞれの原子の性質を高速かつ精密に計測することが可能となりました。今後、物理化学、物質科学、生命科学などの様々な分野で HSTS 計測法が用いられ、これまでは計測できなかった物質の様々な重要な微細構造情報にアクセスすることで新しい物質の性質の発見につながるものと期待されます。

謝辞

本報告書作成にあたり Scientific Reports 4 (2014) 6711、Principles and Application of Heterodyne Scanning Tunnelling Spectroscopy 共著者である、近藤剛弘講師、大川治宏講師・郭東輝研究員・根本承次郎名誉教授・中村潤児教授、皆様のご支援、ご鞭撻に感謝致します。

本研究は、日本学術振興会科研費奨励研究「光ビートプローブ STM による局所プラズモン共鳴励起と量子電磁波の観測」(研究代表者: 松山 英治、研

究期間: 平成 21 年度)、新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) / 固体高分子形燃料電池実用化推進技術開発/基盤技術開発/カーボンアロイ触媒「カーボンアロイ触媒の最適活性点形成に関する研究」(研究代表者: 近藤 剛弘、研究期間: 平成 22-26 年度) の一部として実施されました。

参考文献

- [1] E. Matsuyama et al., Scientific Reports 4 (2014) 6711
- [2] Alatsky, A. V., Fransson, J., Mozyrsky, D. & Manassen, Y., Phys. Rev. B 73, 184429 (2006).
- [3] Onouchi. Nat Photon. 1, 97–105 (2007).
- [4] <http://www.almaobservatory.org/>

用語解説

注 1) テラヘルツ波: 周波数が 0.1~100 THz (テラヘルツ) にある電磁波。光と電波の中間の周波数であり、双方の特性を併せ持つ。

注 2) 走査型トンネル顕微鏡 (STM)、トンネル電流: 先端を尖がらせた金属針 (探針) が、試料表面をなぞるように走査して、その表面の形状を原子レベルの空間分解能で観測する顕微鏡。探針と試料間に流れるトンネル電流と呼ばれる電流 (0.000000001 m 程度と非常に近い距離に物質を近づけた際に流れる電流) を検出し、その電流値を探針と試料間の距離に変換させ画像化する。トンネル電流は試料の電子状態に依存するので、表面構造だけでなく電子状態も原子レベルの空間分解能で調べることができる。

注 3) 高速フーリエ変換 (FFT): 信号を周波数成分の和として表すとき各周波数成分の強度を求める計算方法 (フーリエ変換) の一つ。デジタル信号の周波数解析を行う場合には離散フーリエ変換と呼ばれる方法が用いられるが、これを高速に計算する手法が高速フーリエ変換である。

注 4) ヘテロダイン検出、ヘテロダインミキシング: ラジオなど電波工学の信号処理で用いられる高感度な信号検出方法。非線形系において 2 つの振動波形を合成または掛け合わせる (ヘテロダインミキシング・相互変調) で新たな周波数が生成する原理を用いる信号検出。信号の変調および復調、興味のある情報を扱やすい周波数領域に移す用途に使われている。

注 5) 共鳴吸収
ある物質系が振動する外場のエネルギーを吸収して励起される現象。振動の周波数を変化させると、ある値の近傍で強いエネルギー吸収が起こる。

Principles and Application of Heterodyne Scanning Tunnelling Spectroscopy

Eiji matsuyama

Technical Service Office for Pure and Applied Sciences, Graduate School of Pure and Applied Sciences,
University of Tsukuba, 1-1-1 Tennodai, Tsukuba, Ibaraki, 305-8573 Japan

Here we show a new type of atomic-scale spectroscopy, heterodyne scanning tunnelling spectroscopy (HSTS), which is based on the innovative application of the nonlinear heterodyne-mixing detection at the metal-insulator- metal heterojunction of STM tip – vacuum – sample ^[1]. We successfully detect a heterodyne beat signal f_3 ($=|f_2 - f_1|$) via tunnelling current by superimposing two different AC signals, f_1 and f_2 , onto the DC tunnelling current at a highly oriented pyrolytic graphite (HOPG) surface. We then obtain spectra of the localized electronic states of HOPG by using f_3 . HSTS can be performed with a high resolution and over a wide energy range, including the terahertz range (Fig. 1).

Keywords: Heterodyne detection, STM, Terahertz spectroscopy, Fine spectroscopy

ニューラルネットワークを使用した HD から 4K2K への解像度変換ボケ復元回路の実装

小野 雅晃 ^{a)}

^{a)} 筑波大学システム情報工学等技術室

〒305-8573 茨城県つくば市天王台 1-1-1

概要

ニューラルネットワークを使用した画像処理研究がシステム情報工学系和田研究室で行われている。画像処理研究のうちの解像度変換ボケ復元システムについて報告する。本システムは HD(High Definition video)解像度画像の HDMI(High Definition Multimedia Interface)信号を入力とし、4K2K 解像度に解像度変換をすると同時にボケ復元を行う。4K2K 画像は 4 つの HD 解像度画像に分割し、4 つのディスプレイに出力されて、4K2K 解像度の画像として表示される。解像度変換とボケ復元は、ハードウェア化したニューラルネットワークを使用する。

キーワード：ニューラルネットワーク、FPGA、4K2K

1. はじめに

筑波大学システム情報系の和田研究室では、ニューラルネットワークを画像処理などに応用している^[1]。その一環として、HD 解像度画像の 4K2K 解像度への解像度変換とボケ復元を同時に実行するニューラルネットワークのハードウェア化を行い、表示システムを構築した。このシステムを解像度変換ボケ復元システムとする。

解像度変換ボケ復元システムに入力されるのは HD 解像度の HDMI 信号である。HD 解像度の HDMI 信号は Red、Green、Blue の 3 つのハードウェア化したニューラルネットワークに入力され、1 ピクセルが 4 ピクセルに拡大される。拡大されたピクセルは集められ、フレーム・バッファの DDR3 SDRAM に書き込まれる。ピクセルは 4 つの独立した画像出力回路により、4 つの HD 解像度画像と

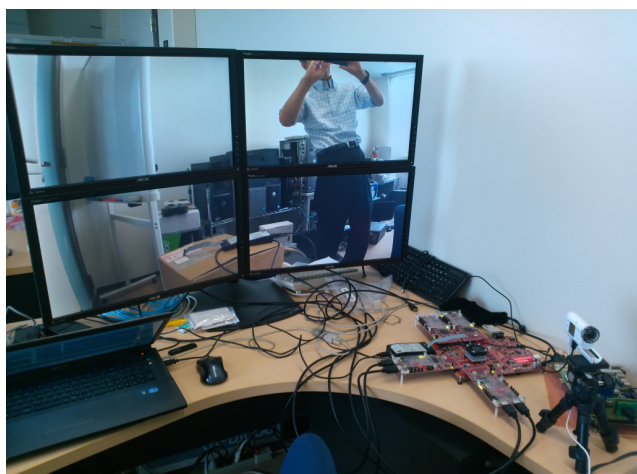


図 1. 解像度変換ボケ復元システム全体の写真

して、4 台のディスプレイに表示される。解像度変換ボケ復元システムの写真を図 1 に示す。

図 1 の右下の白い HD 解像度のカメラで撮影した HDMI 信号が FPGA(Field-Programmable Gate Array)ボードに入力されて、上の 4 台のディスプレイ画像として出力されている。

2. ニューラルネットワーク

ニューラルネットワークは、脳を模式的に実装したものである。脳のニューロンを模倣した実装をコンピュータのソフトウェアとして実現するか、または、ハードウェアの素子として実現することもできる。ニューラルネットワークは脳と同様に学習をさせて能力を獲得することができる。また、ニューラルネットワークの演算はフィードバックがないため演算の並列性が高い。演算の並列性が高いため、ハードウェアつまり、FPGA に実装することが容易である。今回のニューラルネットワークには、3 層フィードフォワード型を使用している。図 2 に今回使用した 3 層フィードフォワード型ニューラルネットワークを示す。

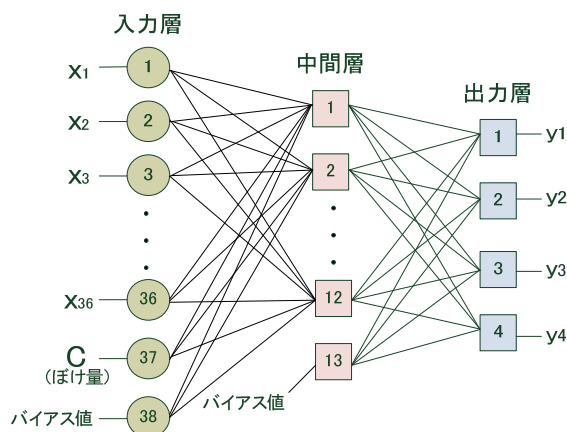


図 2. 解像度変換ボケ復元用
ニューラルネットワーク

図 2 に示すように、38 入力、13 中間素子、4 出力のニューラルネットワークを解像度変換ボケ復元用として使用した。また、解像度変換やボケ復元に関して予め学習が終了したニューラルネットワークを使用している。

図 2 の 38 個の入力の $x_1 \sim x_{36}$ までの 36 個の入力はピクセルを入力し、残りの 2 個はぼけ量とバイアス値を入力する。38 個の入力にそれぞれの重みを掛けて足しあわせ、13 個の中間素子のそれぞれへ入力する。入力層から中間層への線と中間層から出力層までの線は、重みを掛けて足し合わせることを

表している。中間層ではシグモイド関数を掛けて後段に出力する。シグモイド関数は非線形な飽和関数であり、その数式を式 1 に示す。

$$\text{sigmoid}(z) = 1 / (1 + e^{(-z)}) \quad (\text{式 1})$$

Z の変域が-10 から 10 までのシグモイド関数のグラフを図 3 に示す。

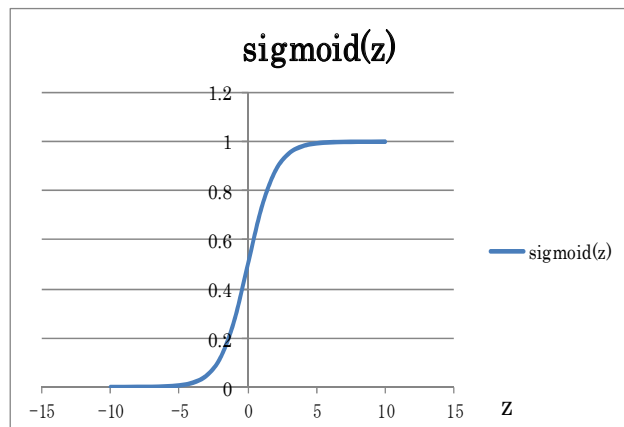


図 3. Z の変域が-10 から 10 までのシグモイド関数のグラフ

13 個の中間素子の出力にそれぞれの重みを掛けて足し合わせ、y1~y4 までの 4 個の出力層に入力する。出力素子は中間層同様にシグモイド関数を掛けて最終的な画像出力とする。

解像度ボケ復元システムでは、ニューラルネットワークを解像度変換とボケ復元に利用している。解像度変換ボケ復元用ニューラルネットワークのピクセルの入出力の様子を図 4 に示す。

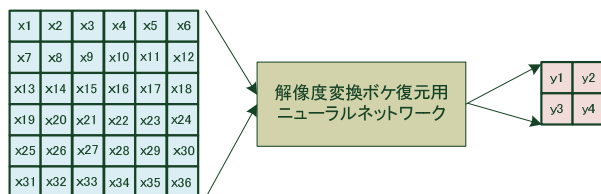


図 4. 解像度変換ボケ復元用ニューラルネットワークの入出力

ニューラルネットワークの 36 個の入力は、HD 画像の内の縦 6 ピクセル、横 6 ピクセルの正方形の画像を入力する。ニューラルネットワークの 4 個の出力は画像の出力となる。

HD 画像に対して 1 ピクセルごとにニューラルネットワークの入力をずらすごとに 4 ピクセルの画像を得る。よって、画像は縦 2 倍、横 2 倍の 4 倍に拡大され、HD の画像が 4K2K の画像に変換される。

3. 解像度変換ボケ復元用 FPGA 回路

解像度変換ボケ復元用 FPGA 回路は、TB-7K-325T-IMG の Xilinx 社の FPGA (XC7K325T-2FFG900) に実装され解像度変換ボケ復元システムの中核をなしている。解像度変換ボケ復元 FPGA 回路は、HDMI Input Module、HDMI Output Module、AXI Interconnect、DDR3 SDRAM Controller、MicroBlaze 回路に分けられる。その様子を図 5 に示す。

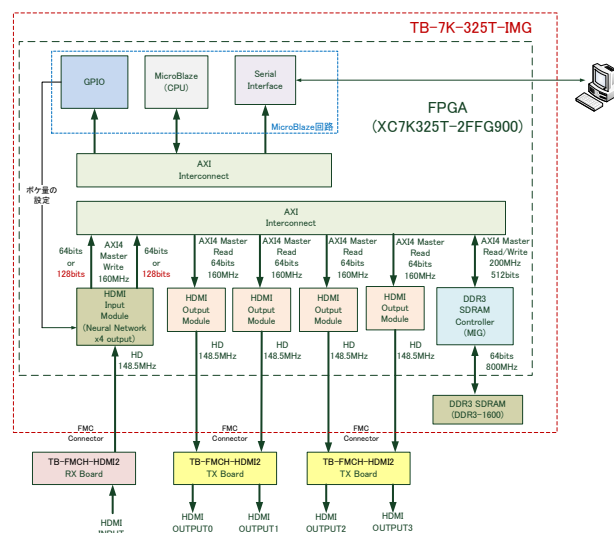


図 5. 解像度変換ボケ復元用 FPGA 回路

図 5 において、赤い破線で示されるのが FPGA ボードの TB-7K-325T-IMG である。FPGA ボード内の DDR3 SDRAM と FPGA を使用している。黒い破線の内側が FPGA 回路である。FPGA 回路内部の青い破線で示される部分が MicroBlaze 回路となる。HDMI Input Module、HDMI Output Module と TB-FMCH-HDMI2 との間は FMC コネクタで接続されている。

各モジュールは、IP (Intellectual Property) 化されている。IP は完全に独立しており、IP を交換することで簡単に機能を変更することが出来る。Xilinx 社の XPS(Xilinx Platform Studio)ツールによって IP 間が接続される。XPS の上位ツールには FPGA の回路を生成するための Xilinx 社の ISE14.7 を使用した。使用言語は VHDL(VHSIC Hardware Description Language) と Verilog HDL(Verilog Hardware Description Language)を混在して使用した。FPGA の LUT(Look Up Table)の使用率は 50 %である。

図 6 に解像度変換ボケ復元用 FPGA 回路の ISE14.7 プロジェクトを示す。

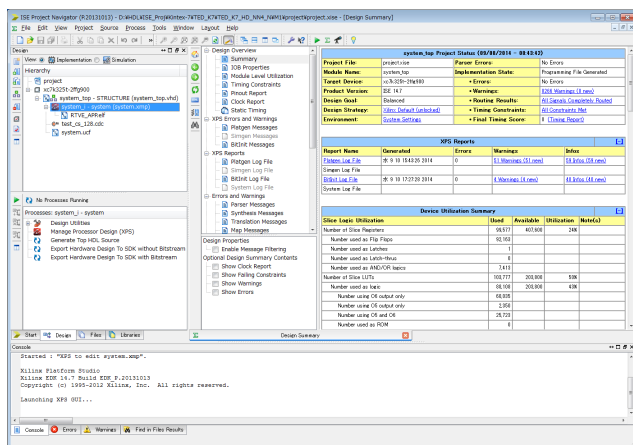


図 6. 解像度変換ボケ復元用 FPGA 回路の ISE14.7 プロジェクト

図 7 に解像度変換ボケ復元回路の XPS プロジェクトを示す。

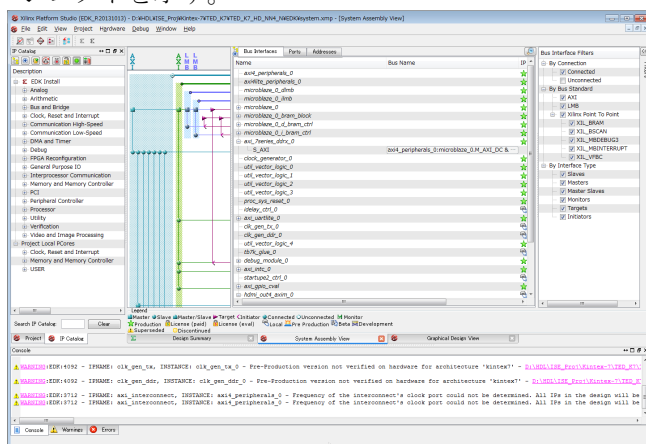


図 7. 解像度変換ボケ復元回路の XPS プロジェクト

3.1 実装に用いた FPGA ボード

解像度変換ボケ復元システムでは、東京エレクトロニクス社 inrevium「Kintex-7 FPGA 搭載 ACDC 1.0 ベースボード」TB-7K-325T-IMG^[2]をベースボードとして、FMC コネクタで、HDMI1.4a インタフェースカード TB-FMCH-HDMI2^[3]を2組接続している。図8に解像度変換ボケ復元システムに使用しているFPGAボードの写真を示す。

TB-FMCH-HDMI2 は、TX ボードと RX ボードのセットで 1 組となっていて、1 枚のボードに HDMI の出力または入力コネクタが 2 個ずつ搭載されている。RX ボードは HDMI 信号を標準的なビデオの信号に変換し、TX ボードは標準的なビデオ信号を HDMI 信号に変換する。

TB-7K-325T-IMG は、Xilinx 社の FPGA (XC7K325T-2FFG900) が搭載されている基板である。DDR3 SDRAM は 4 個搭載されて、合計 64 ビットバス幅の DDR3-1600 として使用されているので、12.8Gbytes/sec の帯域がある。高性能な FMC(FPGA Mezzanine Card)コネクタが 4 個搭載され、そこに 2 組の TB-FMCH-HDMI2 が挿入されている。2 組の TB-FMCH-HDMI2 RX ボードは、合計 4 ポートある内の 1 ポートのみに HD 解像度の HDMI 信号を入力する。入力された HDMI 信号

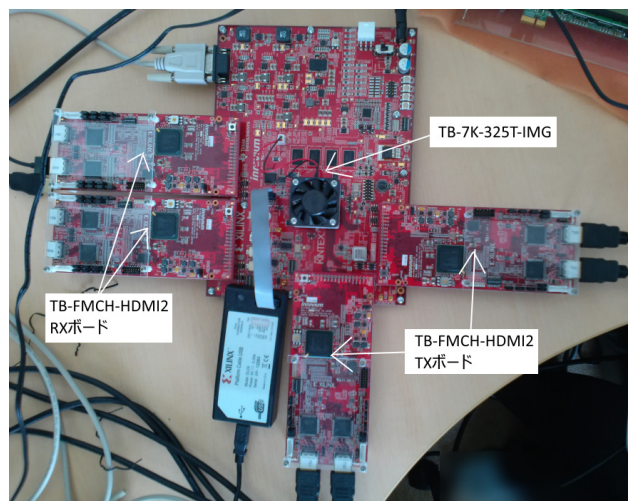


図 8. 解像度変換ボケ復元システム
に使用している FPGA ボードの写真

は RX ボード内の FPGA で処理され、標準的なビデオ信号に変換されて FMC コネクタに出力される。FMC コネクタを通して接続された TB-7K-325T-IMG は、標準的なビデオ信号を受け取り、FPGA 内に実装された解像度変換ボケ復元用ニューラルネットワークに画像を入力する。ニューラルネットワークから出力された 4 倍画像は、一旦、DDR3 SDRAM に Write される。DDR3 SDRAM から Read されたピクセルは、画像の各象限に分けられ、FMC コネクタ経由で 2 組の TB-FMCH-HDMI2 TX ボードに送られる。2 組の TB-FMCH-HDMI2 TX ボードから 4 台のディスプレイに送られて、全体で 4K2K 画像として表示される。

3.2 HDMI Input Module

HDMI Input Module は、HD 解像度のビデオ信号を 4K2K 解像度に変換し、その 4K2K のピクセル・データを DDR3 SDRAM に Write するモジュールである。**HDMI Input Module** は、1 個の HD 解像度のビデオ信号入力と 2 個の 128 ビット・データ幅または 64 ビット・データ幅の AXI4 Master インターフェース(Write のみ)を持っている。現在は 128 ビット・データ幅を使用している。この理由については、“5. AXI Interconnect と MIG の仕様による不具合とその解消手法”で詳しく述べる。**HDMI Input Module** は、ビデオ信号入力から得られたピクセルを Red、Green、Blue を担当する 3 つの解像度変換ボケ復元ニューラルネットワークに入力する。なお、図 5 に示すようにビデオ信号は TB-FMCH-HDMI2 RX ボードから送られる。ニューラルネットワークの出力は、図 4 に示すように y1 ~ y4 の 4 つの出力となる。y1 と y2 は画像のフレーム・バッファ上で連続したアドレスになるが、y3、y4 は y1、y2 と連続したアドレスにならない。例えば、4K2K 解像度画面の左上を 0 番目とした時に y1 をピクセルの 0 番目とすると、y2 は 1 番目となる。y3 は下の行になるので、y0 の番目に 4K2K 解像度分の横のピクセルが足され、3840 番目となる。同様に y4 は 3841 番目となる。HD 解像度画面のピクセルの様子を図 9 に示す。



図 9. HD 解像度画面のピクセルの番地

スループットを向上させるためには、メモリのアクセスにおいて連続したデータ転送を行う必要がある。y1、y2 と y3、y4 は別々にデータ転送すると AXI4 バスのスループットが向上するので、それぞれ別々の AXI4 Master インターフェイス回路にデータ転送を任せている。従って、HDMI Input Module は 2 つの AXI4 Master Write インターフェイス(axi4_master_inf)を持つことが図 5 に示されている。それぞれの axi4_master_inf は、128 ビット・データ幅の 32 バーストを 30 回行うことで、3840 ピクセルの画像の 1 行分を DDR3 SDRAM に Write することができる。

HDMI Input Module のブロック図を図 10 に示す。

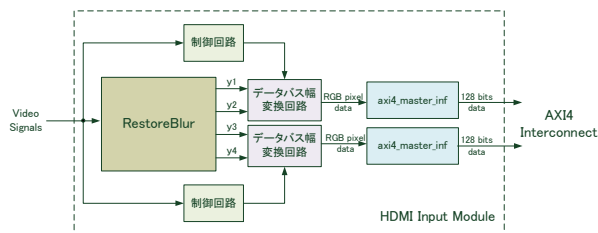


図 10. HDMI Input Module のブロック図

図 10 に示すように HDMI Input Module は、RestoreBlur、2 個の制御回路、2 個のデータバス幅変換回路、2 個の axi4_master_inf により構成されている。

RestoreBlur は、RGB(Red Green Blue) 3 つのニューラルネットワークを搭載し、解像度変換ボケ復元を行うシステムの要の回路である。

データバス幅変換回路は、ニューラルネットワークの出力の内の y1、y2 を担当するデータバス幅変換回路と y3、y4 を担当するデータバス幅変換回路の 2 個が搭載されている。データ幅変換回路は、それぞれのピクセル・データのデータ幅を 128 ビットまたは 64 ビットに変換する。データバス幅変換回路を制御する制御回路も、2 個搭載されている。

axi4_master_inf は、AXI4 Master インターフェイス用の汎用モジュールである。AXI4 バスの Write 及び Read トランザクションを行うインターフェイス回路であるが、HDMI Input Module では Write の機能のみを使用している。なお、axi4_master_inf は AXI4 バスの利点を最大限利用するため、アドレス転送とデータ転送、応答転送を完全にオーバーラップできるように設計されている。

HDMI Input Module は AXI4 バスのデータバス幅を 64 ビット幅と 128 ビット幅の 2 つに変更することができる。当初は 64 ビット幅固定になっていたのだが、64 ビットデータバス幅では画面が乱れて、正常に 4K2K 解像度で表示することができなかった。そこで、AXI4 バスのデータバス幅を 128 ビットにしたところ正常に表示することができた。

DDR3 SDRAM のデータ帯域幅には余裕があったのだが、AIX Interconnect と MIG の仕様によって、HDMI Output Module の Read トランザクションが HDMI Input Module の Write トランザクションの間に入れなかったのが原因だった。MIG のデータ帯域幅には、まだ余裕があったので、HDMI Input Module の AXI4 バスのデータ幅を 128 ビットとした。これで、Read トランザクションが無理なく Write トランザクションの間に入ることができて正常に画像を表示することができた。

3.3 RestoreBlur

HDMI Input Module 内で解像度変換ボケ復元用ニューラルネットワークを 3 つ持つモジュールが RestoreBlur である。

RestoreBlur のブロック図を図 11 に示す。

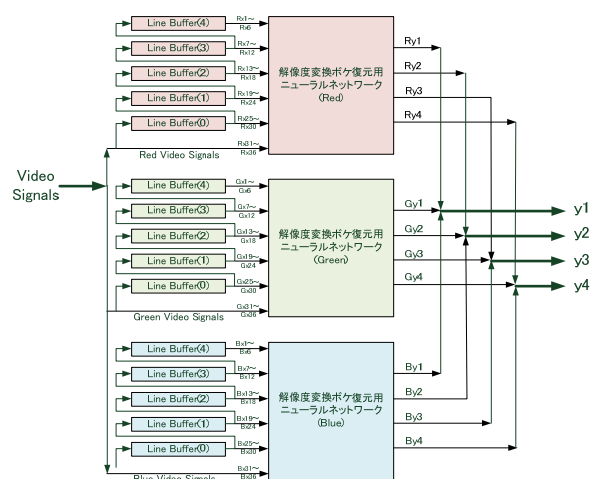


図 11. RestoreBlur ブロック図

図 11 に示すように、RestorBlur は RGB それぞれの 5 つのライン・バッファと解像度変換ボケ復元ニューラルネットワークで構成される。

図 4 に示すニューラルネットワークの入力の x36 は現在のビデオ信号のピクセルとなる。x35 は 1 クロックの遅延素子で x36 よりも 1 クロック遅れたピクセルとなる。また、x34 は同様に 1 クロックの遅延素子で x35 よりも 1 クロック遅れたピクセルとなる。x31 までは同様に 1 クロック遅れたピクセルをニューラルネットワークに入力する。

x25~x30 までのピクセルは、1 ライン前のピクセルとなる。同様に x25~x30 までは、それぞれ数字の若いほうが 1 クロック前のピクセルとなる。例を挙げると x25 は x26 よりも 1 クロック前のピクセルとなる。それ以降も同様である。

3.4 解像度変換ボケ復元ニューラルネットワークのハードウェア実装

図 11 の 3 個の解像度変換ボケ復元ニューラルネットワークは図 2 に示すように、3 層フィードフォワード型ニューラルネットワークである。ニューラルネットワークは、当初はソフトウェアの浮動小数点演算で実装されていた。ソフトウェアからハードウェアに実装するにあたって固定小数点演算へ変換を行った。最初に重みの変域をプロファイリングし、重みのビット長を確定した。このフォーマットは符号部 1 ビット、整数部 7 ビット、小数部 4 ビットの計 12 ビットで表現した^[1]。重みの演算も可能な限り演算ビット長を削減するように考慮して、ニューラルネットワークの回路が小さくなるように工夫した。図 2 にビット長を書き加えたニューラルネットワークを図 12 に示す^[4]。

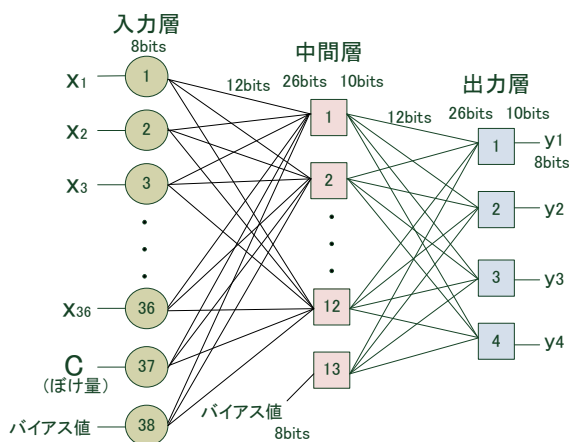


図 12. ニューラルネットワークのビット長

図 12 において、入力は 8 ビット長の RGB のいずれかの値となる。入力に 12 ビット長の重みを掛けて、それぞれの値を足し合わせる部分は 26 ビット長の演算器を持てばオーバーフローすることはない。中間層のシグモイド関数は 10 ビット入力 10 ビット出力のシグモイド関数テーブルを使用した。これはリソース削減のために FPGA の 1 個の BlockRAM に収まるテーブルを使用したためである。シグモイド関数テーブルに入力する前には、適切なビット位置で飽和演算を行い 10 ビットに丸めた。中間層の出力はシグモイド関数テーブル出力の 10 ビットとなる。中間層出力と 12 ビット長の重みを掛けて足し合わせる部分は、同様に 26 ビット長の演算器を持つ。適切なビット位置で飽和演算を行い 10 ビットに丸め、出力層のシグモイド関数テーブルに入力する。出力層のシグモイド関数テーブル出力 10 ビットを 8 ビットに丸めて y1~y4 出力とした。

このニューラルネットワークは、VHDL で書かれているが、この VHDL は重みのテーブルからオブジェクト指向言語の Ruby で書かれたスクリプトで自動生成されている。変換する際には、VHDL の掛け算記号の*を使うのではなく、重みが固定値であることを利用して、最適化を行った。入力値をシフトし、加算していくことで掛け算を実行している。論理合成ツールに最適化を丸投げするのではなく、あ

る程度、自分で最適化を行うことにより、より最適化され、FPGA の使用リソースが小さくなる。

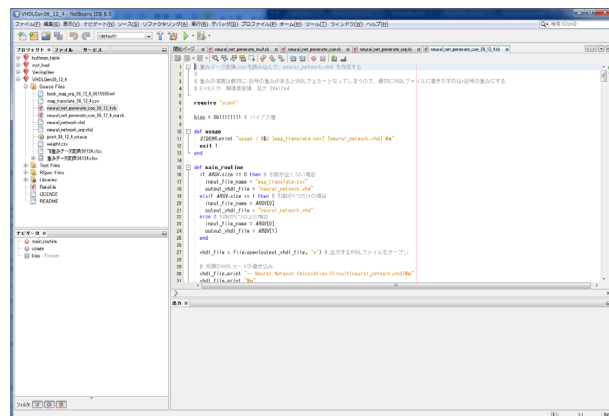


図 13. 重みテーブルから VHDL に変換する Ruby スクリプトの一部

図 13 に重みテーブルから VHDL に変換する Ruby スクリプトの一部を示す。

なお、Ruby スクリプトは、NetBeans 8.0 IDE を使用して作製した。

図 14 に Ruby スクリプトで生成されたニューラルネットワークの VHDL コードの一部を示す。

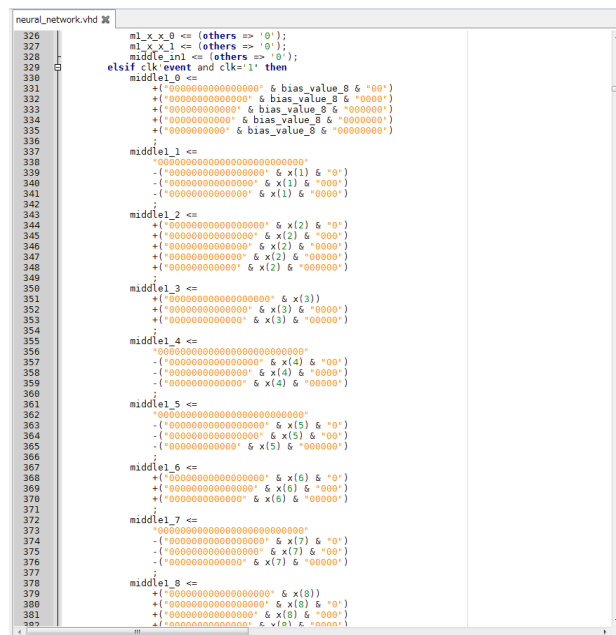


図 14. Ruby スクリプトで生成されたニューラルネットワークの VHDL コードの一部

3.5 HDMI Output Module

HDMI Output Module は、HDMI Input Module によって DDR3 SDRAM に書かれた 4K2K のピクセル・データを Read してディスプレイに表示させるモジュールである。4K2K 解像度画面は 4 個の HD 解像度画面として、4 個の HD 解像度ディスプレイに表示する。4 個の HD 解像度ディスプレイに対応した 4 個の HDMI Output Module を搭載してある。4K2K 解像度画面の分割方法を図 15 に示す。

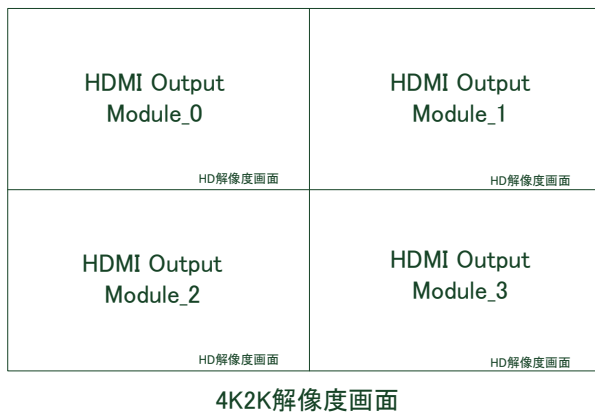


図 15. 4K2K 解像度画面の分割方法

HDMI Output Module のブロック図を図 16 に示す。

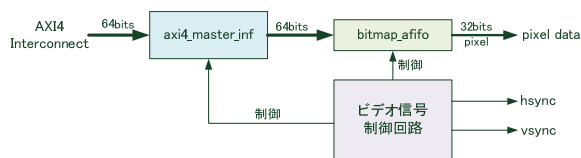


図 16. HDMI Output Module のブロック図

HDMI Output Module は、図 16 に示すように、axi4_master_inf、bitmap_afifo、ビデオ信号制御回路の 3 個のブロックから構成される。axi4_master_inf は前述したように、AXI4 Master インターフェース用の汎用モジュールである。ここでは、AXI4 Master Read 機能のみを使用している。bitmap_afifo は入力が 64 ビット幅 512 深度、出力が 32 ビット 1024 深度の非同期 FIFO である。64 ビット幅の AXI4 バスを 32 ビット幅に変換する機能と AXI4 バスの動作周波数とビデオの動作周波数の変換機能がある。ビデオ信号制御回路は、各モジュールの制御とビデオ制御信号の hsync と vsync を出力する。

HDMI Output Module の動作を説明する。

1. 画面を表示する前にビデオ信号制御回路は、axi4_master_inf に Read の要求を送る。
2. ピクセルは DDR3 SDRAM から Read され、bitmap_afifo に送られる。
3. bitmap_afifo にピクセルが貯まる。
4. 画面を表示する時には、ピクセルの RGB の値が bitmap_afifo から TB-FMCH-HDMI2 TX ボードに送られる。
5. ビデオ信号制御回路からは、hsync と vsync も同様に TB-FMCH-HDMI2 TX ボードに送られる。
6. 画面を表示していると bitmap_afifo に貯められたピクセルは消費されて減ってくる。bitmap_afifo に貯められたピクセルが bitmap_afifo の容量の半分を下回ると、ビデオ信号制御回路は、bitmap_afifo の半分の容量のピクセルを Read するために axi4_master_inf に要求を送る。
7. axi4_master_inf は、AXI4 バス越しに DDR3 SDRAM からピクセル値を Read し、bitmap_afifo に供給する。

8. 画面の表示期間中、6. と 7. を繰り返すことにより、ピクセル値を枯渇させることなくディスプレイに供給することができる。

3.6 AXI Interconnect

AXI Interconnect は、Xilinx 社の IP で、AXI Master モジュールと AXI Slave モジュールを接続する。周波数変換やバス幅変換の機能があり、動作周波数やバス幅の異なるモジュールを手軽に接続することができる。図 5 に示すように、MicroBlaze 関連と HDMI Input/Output 関連の 2 個の AXI Interconnect が実装されている。

3.7 DDR3 SDRAM Controller

DDR3 SDRAM Controller は Xilinx 社の MIG(Memory Interface Generator)と呼ばれる IP を使用している。64 ビット・データバス幅、DDR3-1600 で動作しているのも、最大データ帯域は 12.8GB/sec である。AXI4 バスのインターフェース幅は 512 ビット、200MHz の動作周波数であり、DDR3 SDRAM の最大データ帯域に見合ったバス・スピードとなっている。

3.8 MicroBlaze 回路

MicroBlaze 回路は、Serial Interface と MicroBlaze、GPIO(General Purpose Input/Output)で構成される。各モジュール間は AXI Interconnect で接続されている。MicroBlaze 回路の IP は全て Xilinx 社の IP を使用している。MicroBlaze は FPGA 上にソフトコアで実装したプロセッサである。BlockRAM に実装したソフトウェアによりパーソナルコンピュータとシリアル接続を介して通信をしながら、ボケ量の設定

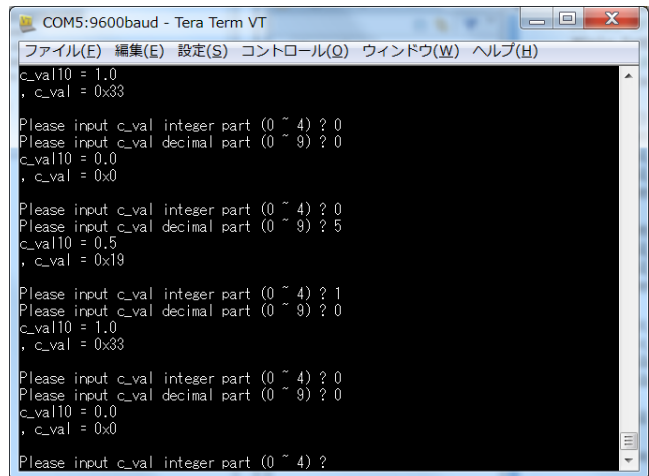


図 17. Tera Term を使用したボケ量設定の様子

を行う。Serial Interface のビットレートは 9600bps(bits per second)である。Tera Term を使用したボケ量設定の様子を図 17 に示す。

4. まとめ

RGB 用の 3 個の解像度変換ボケ復元用ニューラルネットワークを FPGA に搭載し、解像度変換ボケ復元システムを構築した。まだ多少の不具合が

あって開発途上ではあるが、HD 解像度の画像を 4K2K に変換することができた。

今回の事案では、初めて機能モジュールを IP として作製し、IP 間を XPS で接続することで FPGA 内の回路を構築していく新しい FPGA の構築方法を採用した。これによって、HDL(Hardware Description Language)を書く手間が省け、効率化することができた。

謝辞

解像度変換ボケ復元システムを制作する機会を与えて頂いた、筑波大学システム情報系の和田耕一教授に深く感謝いたします。

参考文献

- [1] 伊藤 翼, FPGA を用いた画像の高品質復元ハードウェアの研究, 筑波大学大学院博士課程システム情報工学研究科修士論文, 2014 年 3 月.
- [2] TB-7K-325T-IMG ハードユーザマニュアル, Rev.1.05, 2013/06/05, http://ppg.teldevice.co.jp/m_board/inrevium/TB-7K-325T-IMG_HWUserManual_1.05.pdf
- [3] TB-FMCH-HDMI2 ハードユーザマニュアル 2 入出力版(工場出荷版), Rev.1.03, 2014/08/13, http://ppg.teldevice.co.jp/m_board/inrevium/TB_FMCH_HDMI2_HWUserManual_1.03.pdf
- [4] 小野 雅晃, ボケ復元ニューラルネットワークのハードウェア化, FPGA エクストリーム・コンピューティング 第 4 回 発表, 2013/11/10, <http://connpass.com/event/3666/>, <http://www.slideshare.net/marsee101/ss-28113255>

Development of 4K2K Resolution Conversion and Blur Restoration Circuit based on Neural Network

Masaaki Ono

Technical Service Office for Systems and Information Engineering, University of Tsukuba,
1-1-1 Tennodai, Tsukuba, Ibaraki, 305-8573 Japan

Keywords: neural network, FPGA, 4K2K

ヘアリー細胞白血病における細胞学的検査の比較検討

佐藤 晶子

筑波大学医学系技術室

〒305-8575 茨城県つくば市天王台 1-1-1

概要

ヘアリー細胞白血病(HCL)および日本型 HCL (HCL-jv) について、HCL 細胞で特徴的な細胞質の突起、血液像、血算値、酸ホスファターゼ(ACP)活性、酒石酸抵抗性酸ホスファターゼ(TRAP)活性、好中球アルカリホスファターゼ(NAP)活性、細胞表面抗原について比較検討をした。

血液塗抹標本の検討では、HCL 細胞の核や細胞質の観察は通常風乾標本が優れ、細胞質辺縁の突起の観察は、自然乾燥標本が位相差顕微鏡像と類似の血球が数多く認められ有用な手法であると思われた。

特殊染色のACP 染色は、染色性の良い柴田方法や Janckila 方法を、TRAP 染色は、感度が高い Janckila 方法あるいは片山方法を選択すべきと思われた。

HCL 症例は、汎血球減少、単球減少、ACP 高活性、TRAP 高活性、TRAP 試験陽性、NAP 高活性、細胞表面抗原は概ね $CD5^{-}/CD10^{-}/CD11c^{+}/CD19^{+}/CD20^{+}/CD22^{+}/CD23^{-}/CD24^{-}/CD25^{+}/CD38^{-}/FMC7^{+}/HLA-DR^{+}/sIg^{+}$ であり、HCL-jv 症例は、白血球増多、単球数正常、ACP 正常活性、TRAP 活性およびTRAP 試験は染色方法で異なり(〜+)、NAP 正常活性、細胞表面抗原は $CD5^{-}/CD10^{-}/CD11c^{+}/CD19^{+}/CD20^{+}/CD22^{+}/CD23^{-}/CD24^{-}/CD25^{-}/CD38^{-}/FMC7^{+}/HLA-DR^{+}/sIg^{+}$ をみとめ多様性に富んでいた。

キーワード：ヘアリー細胞白血病、日本型 HCL、酒石酸抵抗性酸ホスファターゼ染色、CD11c

1. はじめに

ヘアリー細胞白血病(Hairy cell leukemia : HCL)は、hairy cell という名の通り細胞表面の全周にわたる不規則で長い絨毛状突起が特徴的であり、欧米では全白血病の 2%程度の稀な腫瘍であると言われている^[1]。日本では、欧米よりもさらに数が少なく稀な疾患である。

わが国の HCL は、欧米の典型的な HCL 型のほかに、細胞所見や病態などの様相がやや異なる、いわゆる HCL の亜型を形作る病型別では日本型 HCL(HCL-Japanese variant : HCL-jv)が比較的多い^[2]。このため、HCL、HCL 亜型、HCL-jv^[3]、あるいは類縁の成熟 B 細胞腫瘍との鑑別は困難をきたすことがある。

HCL では、原因遺伝子の解明が進まれており^[4]、それに伴い検査方法も推移していくと思われるが、従来の HCL 鑑別診断のための検査には、末梢血液や骨髄の検査、血液像とくに位相差顕微鏡や電子顕微鏡によるHCL 細胞の細胞辺縁の絨毛状突起(hairy appearance)の確認、特殊染色、免疫細胞化学的検査、脾等の組織学的検査などがある。

今回、HCL および HCL-jv の血液所見を検討する機会に恵まれたため、3 方法で血液標本を作成し、

末梢血液像のとくに細胞表面の細胞突起を中心に比較検討を行った。特殊染色では、酸ホスファターゼ(acid phosphatase : ACP)および酒石酸抵抗性酸ホスファターゼ(tartrate-resistant acid phosphatase : TRAP)染色は、基質に naphthol AS-BI phosphoric acid (溶解しやすい naphthol AS-BI phosphate)を用い、ジアゾニウム塩に fast garnet GBC, fast red ITR, pararosaniline の 3 種類を用いて、その染色性や特異性について比較検討をした。

また、アルカリホスファターゼ(alkaline phosphatase)染色やモノクローナル抗体を用いた細胞表面マーカーについても測定をしたのでこれらについて報告をする。

2. 末梢血液塗抹標本の作成による影響と位相差顕微鏡観察

2.1 対象および目的

HCL-jv 2 症例 を対象とした。

末梢血液標本を作製し、その標本の乾燥法の違いによる血球形態への影響について、比較検討をする。とくに細胞表面の細胞突起(hairy appearance)については、位相差顕微鏡による観察とともに比較する。

2.2 末梢血液塗抹標本作成 (風乾標本)

- 1、新鮮血をウェッジ法(引きガラス法)で血液塗抹標本を作成する。
- 2、通常通りに、塗抹後は速やかにドライヤー等の冷風で乾燥させる。
- 3、普通染色(ライト染色)を行い、光学顕微鏡で血球の観察をする。

2.3 末梢血液塗抹標本作成 (自然乾燥標本)

- 1、新鮮血をもちいてウェッジ法(引きガラス法)で血液標本を作成する。
- 2、塗抹後は、そのまま放置、あるいは標本に蓋を被せて更にゆっくり乾燥をおこなう。
- 3、普通染色(ライト染色)を行い、光学顕微鏡で血球の観察をする。

2.4 位相差顕微鏡による観察 (自然沈下法)

- 1、ヘパリン血液を入れた細試験管を、強く傾斜させ、放置する。
- 2、赤血球の沈降後に、毛細管ピペットで上清の血漿成分を取り除き、赤血球をできるだけ混入させないようにして白血球層をとる。
- 3、スライドガラスにその 1 滴を落とし、カバーガラスをかける。かるくカバーガラスをおさえてから速やかに位相差顕微鏡で観察をする。

3. 普通染色および特殊染色 (酸ホスファターゼ染色、酒石酸抵抗性酸ホスファターゼ染色、アルカリホスファターゼ染色)

3.1 対象および目的

HCL 1 症例および HCL-jv 1 症例 を対象とした。血液塗抹標本を作製し、直ちに染色もしくは凍結保存し、その後できるだけ速やかに普通染色、3 染色方法による ACP 染色および 50mM 酒石酸添加の TRAP 染色、アルカリホスファターゼ染色を行い鏡検して比較検討をする。

3.2 普通染色 (ライト染色)

- 1、血液塗抹標本上に、ライト染色液(武藤化学株式会社) 1.5ml を滴下し、2 分間、染色固定。
- 2、その標本上に、リン酸緩衝液(1/150M, pH 6.5) 2 ml を追加し、室温で 5 分間染色。
- 3、水洗、乾燥、鏡検。

3.3 酸性ホスファターゼ染色 Janckila 方法 (fast garnet GBC) ^{[5][6][7]}

- 1、固定：固定液を作成し 4 °C, 30 秒間固定。
buffered methanol-acetone pH 5.4
 - ・クエン酸 0.63g
 - ・蒸留水 30ml
 - ・メタノール 10ml
 - ・アセトン 60ml
 - ・濃 NaOH で pH 5.4 に調整
- 2、水洗：蒸留水で 5~6 回水洗し風乾。
- 3、染色：反応液を作成濾過し 37 °C, 45 分間染色。

反応液

- ・基質液 1ml
- ・酢酸緩衝液 pH 5.2(ACP 用)(TRAP 用) 50ml
- ・(purified) Fast garnet GBC 8mg

* 基質液： Naphtol AS-BI phosphoric acid 10mg
N,N'-dimethylformamide 1ml

* 酢酸緩衝液 ACP 用： 0.1M 酢酸緩衝液 pH 5.2

* 酢酸緩衝液 TRAP 用：

50mM 酒石酸加 0.1M 酢酸緩衝液 pH 5.2
ACP 用緩衝液約 45ml に L(+)-酒石酸 375mg を加えて溶解。濃 NaOH で pH 5.2 に調整し、緩衝液を加え全量 50ml とする。

- 4、水洗：流水で 5~10 分間水洗。
- 5、後染色：ヘマトキシリン液で 10 分間核染色し、希釈アンモニア水で色出しをして乾燥。
- 6、グリセリン ゼリー で封入、鏡検。
- 7、染色態度
陽性像
赤褐色から暗赤色。散在性に顆粒状に染色される。

TRAP 活性

リンパ球、好中球、好酸球、好塩基球、単球、巨核球はふつう陰性。時にリンパ球弱陽性。

Hairy 細胞は強陽性。

ACP 活性

全白血球が陽性。リンパ球、好中球、好酸球、血小板、赤芽球は弱陽性~陽性。単球、組織球、巨核球、Hairy 細胞は強陽性。

8、半定量化基準 (Mover による分類)

grade0	顆粒 なし	(0 点)
grade1	顆粒 1~5	(1 点)
grade2	顆粒 6~10	(2 点)
grade3	顆粒 11~20	(4 点)
grade4	顆粒 21~40	(8 点)
grade5	顆粒 41 以上	(16 点)

$$\text{Score} = 1 \times \text{grade1} + 2 \times \text{grade2} + 4 \times \text{grade3} + 8 \times \text{grade4} + 16 \times \text{grade5}$$

9、酒石酸抵抗性試験の判定基準

臨床的な意義を高めるために grade5 の細胞が 2 個以上認められる時に、酒石酸抵抗試験陽性とする。

3.4 酸ホスファターゼ染色 柴田方法

(fast red ITR) ^[8]

- 1、固定：固定液を作成し 11~12 °C, 20~25 秒間固定。

buffered acetone

- ・ 0.03M クエン酸 16.8ml
- ・ 0.03M クエン酸ナトリウム 3.2ml
- ・ アセトン 30ml

- 2、水洗：流水で 30 秒間水洗。

- 3、染色：反応液を作成濾過し 37 °C, 5 時間染色。

反応液

- ・ 基質液 0.3ml
- ・ 酢酸緩衝液 pH 5.4(ACP 用)(TRAP 用) 50ml
- ・ 10%MnCl₂ 3 滴
- ・ Fast red ITR salt 30mg

* 基質液： Naphtol AS-BI phosphate 20mg
N,N'-dimethylformamide 0.3ml

* 酢酸緩衝液 ACP 用： 0.1M 酢酸緩衝液 pH 5.4

* 酢酸緩衝液 TRAP 用：

50mM 酒石酸加 0.1M 酢酸緩衝液 pH 5.4

ACP 用緩衝液約 45ml に L(+)-酒石酸 375mg を加えて溶解。NaOH で pH 5.4 に調整し、緩衝液を加え全量 50ml とする。

- 4、水洗：流水で 30 秒間水洗。
- 5、後染色：ヘマトキシリン液で 10 分間核染色し、希釈アンモニア水で色出しをして乾燥。
- 6、グリセリン ゼリー で封入、鏡検。
- 7、染色態度
陽性像

濃紅色。大小の顆粒状に染色される。

TRAP 活性

正常血液細胞ではすべて陰性化する。抵抗性を示す疾患では濃紅色の顆粒が残る。

ACP 活性

単球、組織球、巨核球、好酸球、形質細胞は強陽性。好中球は全骨髓球の活性が最も高く成熟するに従って活性が弱くなる。リンパ球は

陰性から中等度陽性で、ときに T cell は粗大顆粒が限局性に認められ B cell ではきわめて弱い活性。血小板、赤芽球、好塩基球は陽性。

- 8、半定量化基準：本来は、顆粒の数と大きさで判定するが、顆粒の大きさを客観的な基準で判断することが難しく、今回は顆粒数のみで行う。

grade0	顆粒 なし	(0 点)
grade1	顆粒 1~5	(1 点)
grade2	顆粒 6~8	(2 点)
grade3	顆粒 9~16	(3 点)
grade4	顆粒 17~32	(4 点)
grade5	顆粒 33 以上	(5 点)

$$\text{Score} = 1 \times \text{grade1} + 2 \times \text{grade2} + 3 \times \text{grade3} + 4 \times \text{grade4} + 5 \times \text{grade5}$$

- 9、TRAP 判定基準

陽性顆粒が認められる時に、酒石酸抵抗試験陽性とする。

3.5 酸ホスファターゼ染色 片山方法

(pararosaniline) ^{[6][7][9]}

- 1、固定：固定液を作成し 4℃, 30 秒間固定。

buffered formalin-acetone pH 6.6

- Na₂HPO₄ 20mg
- KH₂PO₄ 100mg
- 蒸留水 30ml
- アセトン 45ml
- ホルマリン 25ml

- 2、水洗：蒸留水で 3 回水洗し風乾。

- 3、染色：反応液を作成濾過し 36℃, 1 時間染色。

反応液(ACP 用)

- 基質液 2.0ml
- 0.1M 酢酸緩衝液 pH 5.0 35.6ml
- Hexazotized pararosanilin (染色時調整) 2.4ml
- NaOH で pH 5.1 に調整

* 基質液： Naphtol AS-BI phosphate 20mg
N,N-dimethylformamide 2.0ml

* Hexazotized pararosanilin

染色時に A 液 1.2ml と B 液 1.2ml をとり、60 秒間振盪混和させる。直ちに使用。

- A 液：4% pararosanilin hydrochloride 1.2ml
- pararosanilin hydrochloride 1g
 - 蒸留水 20ml
 - 濃塩酸液 5ml

溶解し遮光して室温に保存。

B 液：4% 亜硝酸ナトリウム液(新鮮) 1.2ml

反応液(TRAP 用)：50mM 酒石酸加反応液

上記の ACP 用反応液 40ml に、L(+)-酒石酸 300mg を加え、溶解し、濃 NaOH で pH 5.1 に調整して使用する。

- 4、水洗：2 回水洗。

- 5、後染色：1%メチル緑で 2 分間核染色。または、ヘマトキシリン液で 10 分間核染色し、アンモニア水で色出しをして乾燥。

- 6、合成樹脂材で封入、鏡検。

- 7、染色態度

陽性像

赤紅色から赤色。顆粒状やびまん性に染色される。

TRAP 活性

酒石酸抵抗性を示す血球では赤色系に染色される。

ACP 活性

血液塗抹標本を作製し、数時間放置後染色をした方が染色性が高まる^[9]。単球は強陽性、好中球は弱陽性で染色されないこともある。Fast garnet GBC 方法などよりも感度が比較的低い、反応産物の拡散が生じにくく、組織切片の染色に適し、また合成樹脂材による封入のため永久標本にできる利点がある。

- 8、判定の基準

- “negative” 陰性
- “intermediate” 陰性と陽性の間
- “positive” 陽性顆粒が 20 以上あるいは細胞質全体が強くびまん性に染色される。

- 9、TRAP 判定基準

臨床的な意義を高めるために“positive”の細胞が 1 個以上認められた場合、酒石酸抵抗試験陽性とする。

3.6 アルカリホスファターゼ染色

(朝長法)^[7]

- 1、固定：アルホス染色キッド(武藤化学株式会社)を使用し、固定液で -5℃, 5 秒間 固定。

- 2、水洗：15~30 秒間流水。

- 3、染色：反応液 (基質：Naphthol AS-MX phosphate、ジアゾニウム塩：Fast blue RR)を調整し 37℃, 2 時間、湿潤箱中で染色。

- 4、水洗：流水で水洗。

- 5、後染色：サフラニン O 液で 2 分間核染色、水洗、乾燥、鏡検。

- 6、染色態度

陽性像および判定(score, rate)

青色。顆粒に染色される。

半定量化基準(0~5)をもとに陽性指数(score) 陽性率(rate)を算出する。

- 7、半定量化基準

grade0	顆粒 なし	(0 点)
grade1	顆粒 1~5	(1 点)
grade2	顆粒 30 まで	(2 点)
grade3	顆粒不平等に分布	(3 点)
grade4	顆粒平等に分布	(4 点)
grade5	顆粒密に分布	(5 点)

$$\text{Score} = 1 \times \text{grade1} + 2 \times \text{grade2} + 3 \times \text{grade3} + 4 \times \text{grade4} + 5 \times \text{grade5}$$

4. フローサイトメトリーによる細胞表面抗原測定

4.1 対象

HCL 2 症例および HCL-jv 2 症例を対象とした。

4.2 方法

- 1、ヘパリン採血液を PBS で 2 倍に希釈し、しずかに Ficoll-Paque PLUS ($d=1.077 \pm 0.001$)(GE 社)の上に重層する。
- 2、室温(18~20 °C), $400 \times g$, 30 分間遠心分離する。
- 3、上清を除き、慎重に単核球層をとり、staining medium (SM) : (0.1% BSA , 0.1% NaN_3 含有 pH 7.2 PBS 溶液)に浮遊させ、2 回遠心洗浄して、細胞を $5 \times 10^6/\text{ml}$ に調整する。
- 4、細胞 $50 \mu\text{l}$ にモノクローナル抗体を加えて、4 °C 30 分間 遮光して反応させる。

- 5、SM を加えて遠心洗浄し、再浮遊させ、フローサイトメトリーによる測定および解析を行う。

5. 結果

5.1 末梢血液塗抹標本の乾燥法の違いによる血球への影響と位相差顕微鏡像との比較

HCL-jv 2 症例の末梢血液を用いて塗抹標本を作製し、標本の乾燥の仕方(風乾および自然乾燥)による血球への影響を検討した(図 1)。

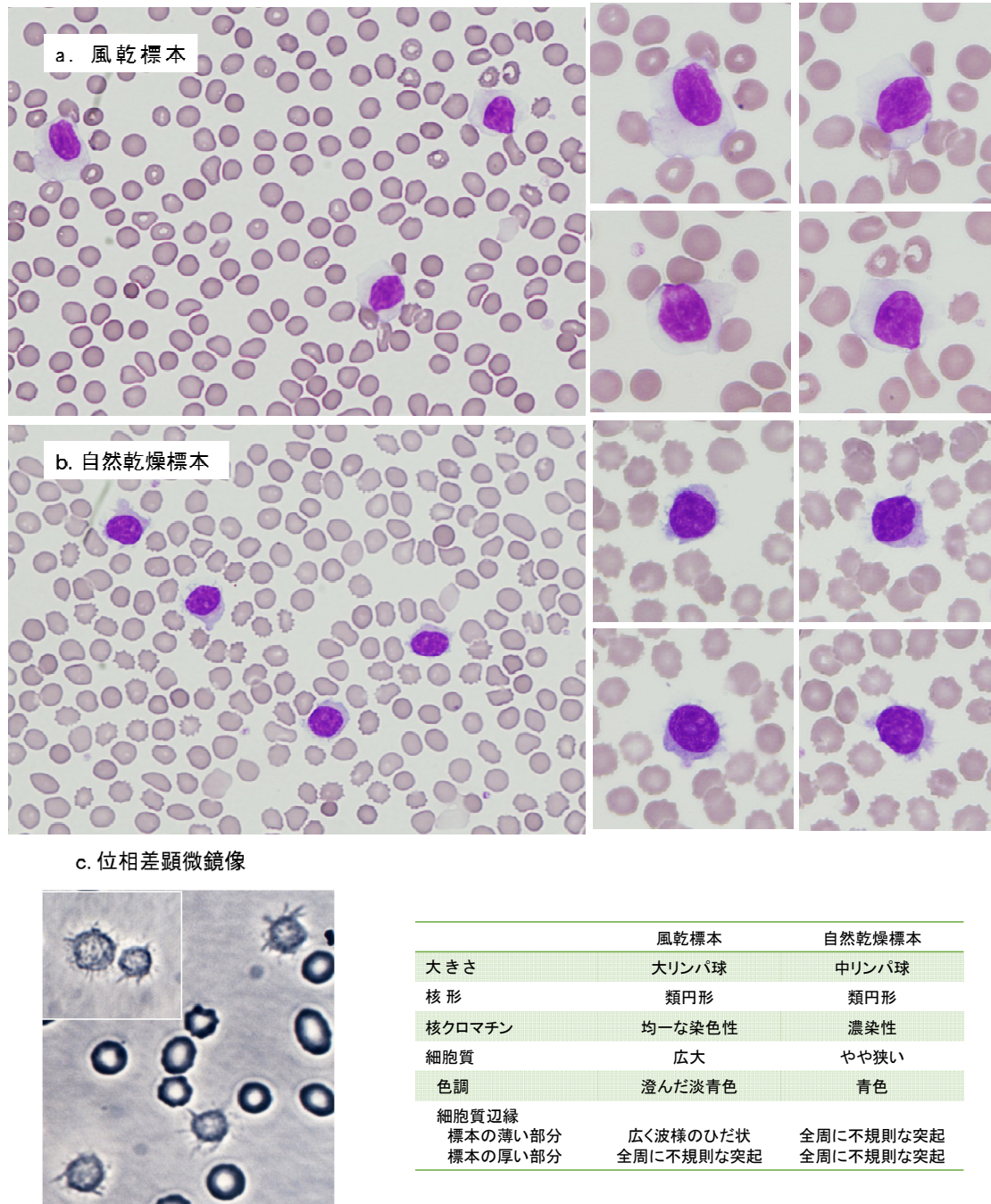


図 1. Hairy cell leukemia -Japanese variant の血液像。

位相差顕微鏡の観察では、HCL 細胞に特徴的な細胞全周にわたる不規則で長い細胞質突起が認められた。塗抹標本では、作成時の乾燥法の違いで HCL 細胞の形態に相違を認め、核や細胞質の観察には風乾標本が優れ、位相差顕微鏡像に類似した細胞質突起の観察には自然乾燥標本が有用であった。

表 1. Hairy cell leukemia 症例 と Hairy cell leukemia-Japanese variant 症例の検査値.

	白血球 ($10^9/L$)	赤血球 ($10^{12}/L$)	血小板 ($10^{10}/L$)	N	末梢血 (%)		Mono	骨髓 (%)
					abLy	Ly		abLy
HCL	3.2	3.38	5.4	29	39	28	0	36
HCLjv	24.6	4.37	13.3	9	76	11	3	47

血液塗抹標本の観察では、核(クロマチン、核小体)や細胞質(色調、顆粒、封入体)の観察には、ドライヤーなどの冷風による風乾標本の方が、自然乾燥標本よりも血球が広がり、より詳細な観察ができた。

また、自然乾燥標本では風乾標本に比較し、細胞がやや濃縮され、核クロマチンは濃染し細胞質が狭くなり顆粒の観察は難しかった。

細胞表面の細胞質突起(hairy appearance)については、位相差顕微鏡の観察では、HCL 細胞特有の細胞質全周にわたる長い絨毛状突起が、HCL-jv 2 症例においても比較的容易に確認することができた。

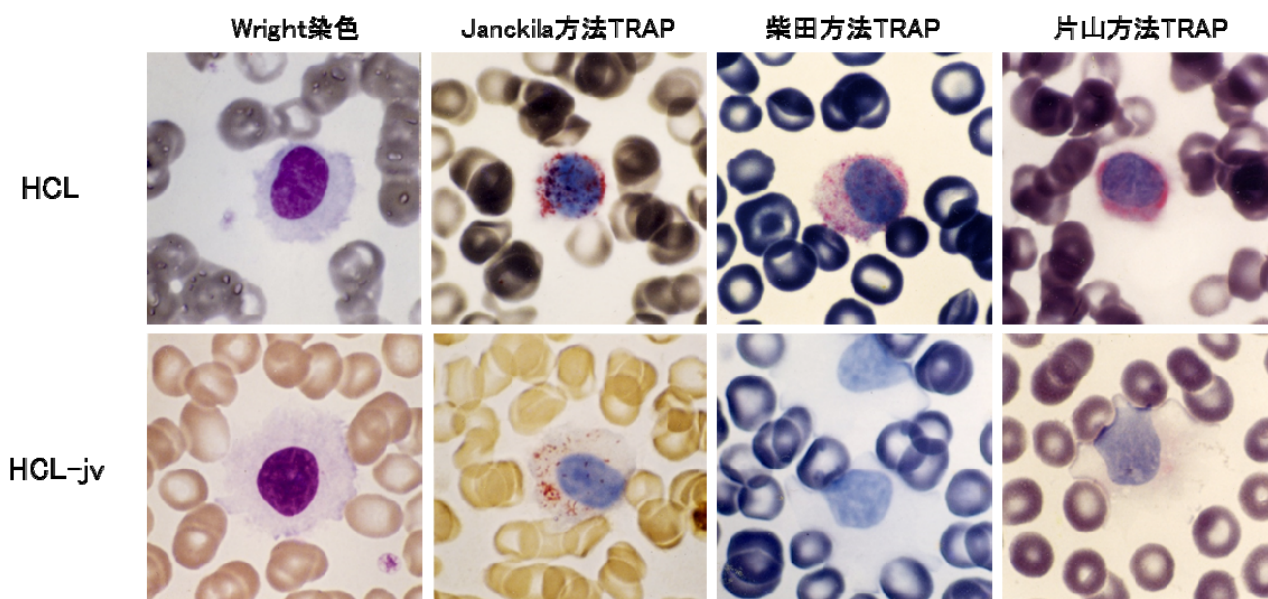
一方、塗抹標本の風乾標本では、通常血球を観察する標本の薄い部分では、HCL 細胞の細胞質は広く、辺縁は波打つような形態の血球が数多く観察され、より位相差顕微鏡像に似た細胞質辺縁の突起は、塗抹標本の引き始めや細胞の厚い部分にみられた。

自然乾燥標本では、通常血球を観察する比較的標本の薄い部分でも、位相差顕微鏡像に似た細胞質辺縁の突起を、十分に確認することができ、とくに塗抹血液標本に蓋を被せてゆっくり乾燥をさせた方が、より細胞質辺縁の突起が観察されやすかった。

5.2 普通染色および特殊染色 (酸ホスファターゼ染色、酒石酸抵抗性酸ホスファターゼ染色、アルカリホスファターゼ染色)

HCL 1 症例および HCL-jv 1 症例を用いて検討をした。

この 2 症例の血算値は、表 1 の通りである。HCL 症例では、汎血球減少および単球 0%と単球減少を認めた。一方、HCL-jv 症例では白血球増多を示し単球減少は認められなかった。



	50 mM 酒石酸抵抗性酸ホスファターゼ染色									酒石酸抵抗性試験 判定		
	Janckila方法			柴田方法			片山方法			Janckila方法	柴田方法	片山方法
	rate (%)	grade5 (%)	score	rate (%)	grade5 (%)	score	intermediate (%)	positive (%)				
HCL	56	11	300	60	14	194	30	0.3		陽性	陽性	陽性
HCL-jv	79	0.5	221	0	0	0	9.5	0		陽性	陰性	陰性

図 2. Hairy cell leukemia 症例 と Hairy cell leukemia-Japanese variant 症例の普通染色および 3 染色方法による酒石酸抵抗性酸ホスファターゼ染色、酒石酸抵抗性試験の判定.

HCL 症例の TRAP は、Janckila 方法 grade5 +、柴田方法 grade5 +、片山方法 positive + を認め、酒石酸抵抗性試験は 3 方法とも陽性の結果であった。HCL-jv 症例の TRAP は、Janckila 方法 grade5 +、柴田方法 陰性、片山方法 intermediate + となり、酒石酸抵抗性試験は Janckila 方法のみ陽性と判定された。

普通染色(風乾標本)による HCL 細胞の観察では、HCL 症例は、中型から大型のリンパ球で、核はやや楕円形、核小体は不鮮明、クロマチン結節は通常の成熟リンパ球よりも単球のクロマチン網工に類似し、細胞質は豊かで灰青色を呈し、細胞質辺縁は不整で不規則な細胞質突起を全周に認めた(図 2)。

HCL-jv 症例は、大型のリンパ球の大きさで、核は円形から類円形、クロマチン結節は中等大、核小体を持つものも認められた。細胞質は広く、淡青色を呈し、細胞質辺縁は波打つような形態を示し、位相差顕微像に似た HCL 特有の細胞質突起については塗抹標本の血球の厚い方に散見できた(図 2)。

血液塗抹標本を作製し、特殊染色 ACP および TRAP による3 染色方法(Janckila 方法、柴田方法、片山方法)の染色性について比較検討をした。

HCL 症例および HCL-jv 症例のリンパ球における ACP および TRAP の陽性率(rate)、陽性指数(score) は、表 2 の通りの結果であった。TRAP の染色像は図 2 に示す。

HCL 症例は、健常人リンパ球(n=20)^[10] に比べ、ACP および TRAP とともに高活性を示し、Janckila 方法 ACP score 728, grade5 21%, rate 99%, TRAP score 300, grade5 11%, rate 56%、柴田方法 ACP score 405, rate 100%, TRAP score 194, rate 60%、片山方法 ACP positive 1%, rate 76%, TRAP positive 0.3%, rate 30.3%であった。また、酒石酸抵抗性試験の判定は、それぞれの染色方法の基準で判定し、Janckila 方法 grade5 +、柴田方法 陽性像 +、片山方法 positive + の結果であり、3 染色方法のすべて酒石酸抵抗性試験は陽性と判定された。

HCL-jv 症例は、ACP 活性は正常範囲内で、Janckila 方法 ACP score 465, grade5 5%, rate 99%、柴田方法 ACP score 278, rate 93%、片山方法 rate 69%, positive は認められなかった。また、TRAP 活性は、染色方法により異なった染色性を呈し、Janckila 法は高活性(score 221)を示し、grade5 は標本全体を観察すれば少数(7/1400= 0.5%)ではあるが確認された。柴田方法は、標本全体を観察したが酒石酸抵抗性の血球は認められなかった。片山方法は、高 TRAP 活性 positive は陰性であったが、intermediate を 9.5%認めた。その結果、TRAP 高活性血球で判定する酒石酸抵抗性試験は、Janckila 方法は陽性、柴田方法と片山方法は陰性と判定された。

血液塗抹標本を用いてアルカリホスファターゼ染色を行い好中球の活性を比較した。HCL 症例は高活性を有し(score 357, rare 95%)、HCL-jv 症例は正常範囲内であった(Score 270, rate 88%)。

5.3 細胞表面抗原測定

HCL 2 症例および HCL-jv 2 症例の細胞表面抗原については、表 3 に示す。

細胞表面マーカーは、HCL 症例と HCL-jv 症例では概ね CD5⁺/CD10⁺/CD11c⁺/CD19⁺/CD20⁺/CD22⁺/CD24⁺/CD38⁺/FMC7⁺/HLA-DR⁺/sIg⁺ が共通して認められた。また、HCL 症例のCD25⁺/CD23⁺に比し、HCL-jv 症例は CD25⁺/CD23⁺であった。

表 2. 酸ホスファターゼ(ACP) 染色および酒石酸抵抗性酸ホスファターゼ(TRAP) 染色.

(Hairy cell leukemia 症例, Hairy cell leukemia-Japanese variant 症例, 健常人リンパ球)

	HCL		HCL-jv		健常人n=20	
	ACP	TRAP	ACP	TRAP	ACP	TRAP
Janckila方法					M±SD	M±SD
score	728	300	465	221	516±87	25±12
rate (%)	99	56	99	79	97±3	18±7
grade 5	21	11	5	0(+)	9±5	0
grade 4	34	7	21	8	24±9	0.05±0.2
grade 3	21	8	41	22	30±6	1.3±1.1
grade 2	13	6	21	20	20±7	2.5±1.5
grade 1	10	24	11	29	14±4	14.6±5.3
grade 0	1	44	1	21	3±3	81.5±7.2
柴田方法						
score	405	194	278	0	325±43	0
rate (%)	100	60	93	0	99±1	0
grade 5	39	14	4	0	15±10	0
grade 4	36	14	29	0	30±11	0
grade 3	17	12	28	0	30±9	0
grade 2	7	12	26	0	14±7	0
grade 1	1	8	6	0	9±6	0
grade 0	0	40	7	100	1±2	100
片山方法						
rate (%)	76	30.3	69	9.5	75±8	1.7±1.0
positive	1	0.3	0	0	0.3±0.9	0
intermediate	75	30	69	9.5	74.8±7.4	1.7±1.0
negative	24	69.7	31	90.5	24.9±7.7	98.3±1.0

表 3. Hairy cell leukemia 症例 と Hairy cell leukemia-Japanese variant 症例の細胞表面抗原.

	HCL 1 PB	HCL 2 PB	HCL 2 脾	HCL-jv 3 PB	HCL-jv 4 PB
CD5	—	—	—	—	—
CD10	—	—	—	—	—
CD11a	+	—	—	+	+
CD11c	+	+	+	+	+
CD13	—	±	—	—	—
CD14	±	—	—	+	—
CD19	+	+	+	+	+
CD20	+	+	+	+	+
CD21	—	+	—	+	ND
CD22	ND	+	ND	+	+
CD23	—	—	—	+	—
CD24	ND	—	—	—	—
CD25	+	+	+	—	—
CD38	—	—	—	—	—
CD79b	ND	ND	ND	ND	—
CD103	ND	ND	ND	ND	—
HC2	+	ND	ND	ND	ND
FMC7	ND	+	+	+	+
HLA-DR	+	+	+	+	+
H鎖	γ	γ+δ	δ	γ	γ+μ
L鎖	κ	κ	κ	λ	λ

細胞表面免疫グロブリン(sIg)は、HCL 2 症例 L 鎖(κ)、HCL-jv 2 症例 L 鎖(λ)、複数の H 鎖を有する症例をそれぞれ認めた。HCL-jv の 1 症例の検索であるが CD79b⁺/CD103⁺であった。なお、HC2 は HCL 1 症例で陽性の結果であった(他大学測定)。

6. 考察

今回、HCL-jv 症例の血液塗抹標本を作成し、通常のドライヤー冷風の風乾による乾燥と自然乾燥を行い、その血球への影響を比較検討した。

風乾による標本では、自然乾燥標本よりも血球のサイズが大きく、血球の核や細胞質の詳細な観察に優れていると思われる。

また、HCL 細胞に特徴的な細胞表面突起の観察には、電子顕微鏡や位相差顕微鏡による観察が行われ、電顕では、microvilli 状や pseudopod 状に認められる^[9]。今回の相差顕微鏡による観察では、HCL 症例と同様に HCL-jv 症例でも、白血球増多を呈するために、比較的容易に細胞全周にわたる特徴的な長い絨毛状突起を多数確認することができた。

一方、血液塗抹標本は、HCL-jv 症例の風乾標本では、細胞質が豊かで細胞質辺縁が波打つような形態を示すリンパ球が数多く観察され、位相差顕微鏡に類似する細胞質突起の血球は、塗抹標本の引き始めや厚い部分などにみられたが、比較的数字は少なかった。自然乾燥標本は、血球観察に適している標本の薄い部分においても位相差顕微鏡像に類似のものが比較的数字多く観察され、細胞質辺縁の突起の観察には自然乾燥標本も有用な手法になると思われる。

ACP は、酸性下で非特異的にリン酸モノエステルを加水分解する酵素であり、ヒトでは赤血球、白血球、血小板や体内の臓器に広く分布し、細胞や臓器に特異的なアイソザイムが知られている。ヒト血球 ACP は、ゲル電気泳動によりアイソザイム 0 から 5 に分かれ、好中球は 1.2.4. 単球には 1.4. リンパ球や血小板には 3. 芽球は 3b. に富む。アイソザイム 5 は、酵素活性が酒石酸で阻害されないために、TRAP と呼ばれ、hairy cell や組織球の一部、破骨細胞に豊富に認められる^[11]。

TRAP 染色では、HCL とその類縁の慢性リンパ増殖性疾患との鑑別の特異性を高めるため、酒石酸抵抗性試験の判定を高活性 TRAP 血球の出現の有無をもとに判定し、Yam らの報告では HCL 200 症例中陰性は 2 例、非 HCL 800 症例中陽性は 3 例、片山らによる報告では非 HCL 37 症例中陽性は 1 例であるとの報告がある^{[6][11]}。しかし、HCL 症例では臨床的意義が高いものの、HCL-jv では APC 活性が正常範囲と高値ではなく、TRAP 活性も高活性の血球は少ないと思われるため、判定や報告の際には慎重な対応が必要と思われる。また、健常人でも TRAP 活性を持っている血球がわずかながら有り、我々の検討では、健常人末梢血液標本(n=20)を丹念に TRAP 高活性(Janckila 染色 grade5)の血球を検索すると、血液塗抹標本 1 枚中に、0~3 個とごく少数ではあるが認められた^[10]。ときに、TRAP 染色において、染色性の確認のために強陽性コントロールが必要な場合がある。健常人末梢血液から分離した単核球分画の細胞を培養し、数日後に TRAP 高活性の大型単核球が認められるのでこれを利用することができる^{[6][9]}。

今回の HCL 症例では、ACP 高活性、TRAP 高活性であり、高 TRAP 細胞による判定の TRAP 試験も、3 染色方法ともに陽性であったが、HCL-jv 症例では、ACP 活性は正常範囲で TRAP 活性は高値から陰性、TRAP 試験は Janckila 法のみ陽性であった。そのため、染色方法の選択は重要と思われた。TRAP 染色には、感度良く染色される Janckila 法や片山法を、ACP 染色には、染色がきれいな柴田法や Janckila 法が優れていると推察された。なお、Janckila 法は、感度が高い反面、色素が沈着しやすいことがあり注意を要する場合があった。

特殊染色によるアルカリホスファターゼ活性は、HCL 症例の好中球は高活性で、HCL-jv 症例の好中球では正常範囲と反応態度が異なっていた。また、今回詳細なデータは示していないが、リンパ球におけるアルカリホスファターゼ活性(難波方法による染色^[8])は、今回の HCL 症例および HCL-jv 症例は、ともに陰性であった。

モノクローナル抗体による細胞表面抗原検索では、HCL 症例と HCL-jv 症例は、おおむね CD5⁺/CD10⁺/CD11c⁺/CD19⁺/CD20⁺/CD22⁺/CD24⁺/CD38⁺/FMC7⁺/HLA-DR⁺/sIg⁺であった。しかし、HCL 症例の CD25⁺/CD23⁺に比較し HCL-jv 症例では CD25⁺/CD23⁺であり、また 2 症例とも sIg λ で、HCL 2 症例は sIg κ であった。今回、HCL と HCL-jv のそれぞれの特異性を確認することができた。

7. まとめ

- 1、HCL 細胞の塗抹標本による観察では、核や細胞質の観察には通常の風乾標本が優れており、自然乾燥標本の観察では、標本の薄い部分でも位相差顕微鏡に似た細胞表面の絨毛状突起が細胞質全周に認められ位相差顕微鏡とともに有用と思われる。
- 2、特殊染色による検討では、ACP 染色の 3 染色方法 (Janckila 方法、柴田方法、片山方法)では、HCL 症例は 3 染色方法とも ACP 高活性、TRAP 高活性、TRAP 試験陽性であった。HCL-jv 症例では、ACP 活性は正常で、TRAP 活性は高値から低値、TRAP 試験は 3 染色方法の中で Janckila 法のみ陽性判定であった。また、NAP 活性は、HCL 症例高活性、HCL-jv 症例は正常であった。
- 3、特殊染色の ACP 染色は、染色性が高い柴田方法や Janckila 方法が良く、TRAP 染色では、感度が高い Janckila 方法あるいは片山方法を有用すべきと思われた。
- 4、血算値による比較では、HCL 症例は汎血球減少および単球減少を有していたが、HCL-jv 症例では単球減少は認められず白血球増多を呈していた。
- 5、細胞表面マーカーは HCL 症例と HCL-jv 症例ともに概ね CD5⁺/CD10⁺/CD11c⁺/CD19⁺/CD20⁺/CD22⁺/CD24⁺/CD38⁺/FMC7⁺/HLA-DR⁺/sIg⁺であった。また、HCL 症例の CD25⁺/CD23⁺/sIg κ に比し、HCL-jv 症例では CD25⁺/CD23⁺/sIg λ であり多様性に富んでいた。

参考文献

- [1] 片山勲ら, 造血器悪性疾患 9. hairy cell leukemia(HCL), 血液病学第 2 版, 文光堂, 東京 (1995) 1072-1077.
- [2] 中峰寛和ら, 成熟 B 細胞腫瘍 4. 有毛細胞白血病, WHO 血液腫瘍分類-WHO 分類 2008 をうまく活用するために, 医薬ジャーナル社, 大阪 (2010) 272-276.
- [3] 小宮正文, Hairy 細胞白血病的標本, 図説血球のみかた, 南山堂, 東京 (1985) 158.
- [4] 森山一郎ら, リンパ球系 2. ヘアリー細胞白血病の原因遺伝子 BRAF, Annual Review 血液 2013, 中外医学社, 東京 (2013) 135-142.
- [5] Janckila AJ, et al, The cytochemistry of tartrate-resistant acid phosphatase. Technical consideration, Am J Clin Pathol, 70 (1978) 45-55.
- [6] 佐藤晶子ら, 血球化学検査 白血球酸性ホスファターゼ, 日本臨床 広範囲血液・尿化学検査, 免疫学的検査 (2) 62 巻増刊 12 (2004) 777-780.
- [7] 望野唯明ら, 血液検査酸ホスファターゼ染色, 染色方のすべて, MEDICAL TECHNOLOGY 別冊, 医歯薬出版株式会社 (1988) 218-221.
- [8] 古沢新平ら, ホスファターゼ染色, 臨床病理, 特集 48 号 (1982) 101-124.
- [9] 片山勲ら, 酒石酸抵抗性酸性ホスファターゼ陽性の白血病, 臨床病理, XXXI : 7 (1983) 706-711.
- [10] 佐藤晶子ら, 白血球酸性ホスファターゼ活性の 3 染色法による検討, 医学検査, 41 (1992) 598.
- [11] 佐藤晶子ら, 血球化学検査 白血球酸性ホスファターゼ, 日本臨床 広範囲血液・尿化学検査, 免疫学的検査 (2) 57 巻増刊号 (1999) 801-804.

Comparative study of cytological examinations in hairy cell leukemia

Shoko Sato

Technical Service Office for Medical Sciences University of Tsukuba,
1-1-1 Tennodai, Tsukuba, Ibaraki, 305-8575 Japan

A comparative study of hairy cell leukemia (HCL) and hairy cell leukemia - Japanese variant (HCL-jv) was conducted based on the distinctive hairy cell cytoplasmic projections or villi, morphological features, peripheral blood count, acid phosphatase (ACP) activity, tartrate-resistant acid phosphatase (TRAP) activity, neutrophil alkaline phosphatase (NAP) activity, and immunological surface markers.

In the HCL case, the results were pancytopenia, monocytopenia, increased ACP activity, increased TRAP activity, positive TRAP test, increased NAP activity, and $CD5^{-}/CD10^{-}/CD11c^{+}/CD19^{+}/CD20^{+}/CD22^{+}/CD23^{-}/CD24^{-}/CD25^{+}/CD38^{-}/FMC7^{+}/HLA-DR^{+}/sIg^{+}$.

In the HCL-jv case, the results were leukocytosis, normal ACP activity, TRAP $-/+$ activity, TRAP test $-/+$, normal NAP activity, and $CD5^{-}/CD10^{-}/CD11c^{+}/CD19^{+}/CD20^{+}/CD22^{+}/CD23^{-}/CD24^{-}/CD25^{-}/CD38^{-}/FMC7^{+}/HLA-DR^{+}/sIg^{+}$.

Keywords: Hairy cell leukemia, Hairy cell leukemia -Japanese variant, tartrate-resistant acid phosphatase stain, CD11c

医学教育企画評価室（PCME）の新しい支援について

菅江 則子、嶋村 玲子、廣瀬 美鈴、岩本 いく子、瀧本 和香子

医学系技術室（医学教育企画評価室（PCME））

〒305-8575 茨城県つくば市天王台 1-1-1

概要

筑波大学医学類では、平成 16 年度に新カリキュラムが導入されてから 10 年を迎える。小人数グループで行う、提示されたシナリオと呼ばれる事例から問題を抽出し、解決していく PBL(Problem based learning)テュートリアル教育（1 年次～3 年次）、参加型臨床実習（4 年次 9 月～）前の身体診察実習や、臨床基本手技実習等の支援を行ってきたが、内外の状況の変化から、カリキュラムを見直す必要がでてきており、新たな支援が必要となってきた。

キーワード：定員増、共用試験実施時期の変更、臨床実習開始時期の変更

1. はじめに

新カリキュラムが導入された平成 16 年度は、1 学年 100 人として PBL(Problem based learning)テュートリアルのグループ数を 13(各グループ 7 名～8 名)設定していたが平成 26 年度は学生数が 120～130 人となりグループ数を 15(各グループ 8 名～9 名)で実施している。1 コースのテュートリアルには基本的に、2 回のコアタイムが設定されており、グループごとに 1 名の教員がテューターを担当する。このテューターの依頼は年 2 回、春学期、秋学期ごとに約 400 名弱の教員へ行ない、日程を調整している。各教員は年間平均 2 コースから 3 コースを担当する。また、グループ数が 13～15 となり、使用する部屋を確保するのが非常に困難になってきている。

4 年次に例年 6 月に行っている、共用試験の実施時期が平成 28 年度より、全国的に 9 月から翌年の 3 月までと、大幅に変更になることが共用試験機構で決定された。さらに Student Doctor という認定を受けないとクリニカル・クラークシップ（参加型臨床実習）に進めない、新しい制度も発足した。このような変更に伴い、4 年次の 8 月末から開始していた、筑波大学のクリニカル・クラークシップ（C.C.と記す）が現在のカリキュラムでは実施できなくなる。

このような状況の変化にそくして、カリキュラムの見直しが検討され、それに伴い、支援の方法も変わって行かざるを得なくなってきた。

2. テュートリアルについて

小人数グループで行う、提示されたシナリオと呼ばれる事例から問題を抽出し、解決していく方法を問題抽出型 PBL(Problem based learning) テュートリアル教育という。1 年次から 3 年次は、すべてのこの方式でカリキュラムが組まれている。小グループの数が 13 から 15 に増え、教室、担当教員の手配

は、大変な負担となっている。そこで新しい TBL(Team based learning)方式が導入されはじめている。これは事前に習得した基礎知識を元に教員が提示した応用問題への考察を通して基礎知識を統合するグループ学習ではあるが大教室で実施することにより、テューター数を半部以下に削減可能となる。PBL テュートリアルでの問題点がある程度解消される。この TBL の実施報告は次回行いたいと思う。

3. 臨床実習前の実習

3.1 身体診察実習と C.C.準備教育

臨床実習に参加するにあたり、頭頸部、胸部、腹部、筋骨格・生殖、神経の身体診察の演習が実施される。4 グループが一つの班となり各項目を 6 日間で終了する。また、5 週間をかけて臨床基本手技（静注・点滴・外科手技・救急処置）、看護師さんとのチーム医療、医療情報、薬剤部、輸血、手術部、医療面接と様々な実習が組まれている。5 グループが一つの班で実習するが学生数の増加に伴い、2 年前から実施期間が 4 週から 5 週に変更された。しかし更なる学生数の増加から 1 班の人数が 20 人を超え 25 人を超える可能性がでてきており、実習担当の教員の負担、実習シミュレーター数の不足などから 1 班の人数を減らし実習期間をさらに延ばす必要がでてきている。



写真 1. 救急実習の様子

4. 共用試験（CBT ・ OSCE）

共用試験 CBT(Computer Based Testing)と OSCE(客観的臨床能力試験)は、現在、筑波大学では 6 月に実施し、合格した学生は 8 月末からクリニカル・クラークシップ(参加型臨床実習)に参加する。平成 26 年度から、全国的に CBT 試験の合格基準が示された。その基準を満たした学生は Student Doctor と認定され、C.C.に参加できる資格が与えられる。

この共用試験の実施時期が平成 28 年度から大きく変更になる。現在は 12 月～ 3 月、4 月～ 9 月と 2 期にわかれ実施されていたが、変更後は 9 月から翌年の 3 月までの間となる。そのため現在 6 月に実施している本学の試験時期を変更せざるを得なくなってきた。それにより臨床実習に参加する時期も大きく変わり、今後カリキュラムの見直しをせざるを得ない状況である。

5. 白衣授与式

平成 23 年度から臨床実習開始直前に白衣授与式 (Clinical clerkship mission statement 宣誓式) を実施している。医学群長、医学類長、附属病院長、M4 総コーディネーターら計 5～6 名の教員に直接白衣を授与してもらい、実習に臨む行動規範を宣誓する儀式である。白衣には名札と行動規範を記したカードが与えられる。今年度からは新たに制定された Student Doctor の認定証も授与された。



写真 2. 白衣を着せてもらっている様子



写真 3. Student Doctor の認定証授与の様子

6. まとめ

今後について

今回報告した内容の他にも多くの項目で変更がある。学生数の増加、技術職員の不足に伴い支援の方法を変えていく必要がある。仕事内容の合理化や、外注その他、出来る範囲で対応していかなければならないと考える。しかし支援の質は保っていかなければならない。カリキュラムの変更にも対応できるよう努力していきたいと思っている。

New support for Planning and Coordination for Medical Education (PCME)

^{a)} Noriko Sugae, Reiko Shimamura, Hirose Misuzu, Ikuko Iwamoto, Wakako Takimoto

^{a)} Technical Service Office for Medical Science, University of Tsukuba,
1-1-1 Tennodai, Tsukuba, Ibaraki, 305-8575 Japan

Abstract It has been ten years since the University of Tsukuba School of Medicine introduced its new curriculum in the academic year 2004/2005. From the 1st year through 3rd year, the curriculum consists of problem-based learning (PBL) tutorials, in which students are presented with case studies called scenarios from which they select and solve problems. In the first half of the 4th year, we offer students physical exam training, basic clinical skill training and so on as a preparation for clinical clerkship starting from September of the year. Due to changes in internal and external circumstances, however, the curriculum needed to be revised, and new support has been needed.

Keywords: increased enrollment, change in period of implementation for common achievement test, change in period for start of clinical clerkship

他大学技術職員との学生実験・実習にかかわる情報交換について

木澤 祥恵

筑波大学生命環境科学等技術室

〒305-8572 茨城県つくば市天王台 1-1-1

概要

昨年 3 月に、学外の技術研究会での交流から一歩踏み込んだ形で、東北大学の技術職員の方を見学研修会としてお招きすることとなった。学内の遺伝子実験センター、農林技術センターの技術職員の方々のご協力をいただいて見学研修会を行ったので、その経緯と見学研修会の内容について報告する。また、9 月に北海道大学で開催された総合技術研究会に併せて北海道大学の学生実験室を見学させていただく機会があったので、その内容についても併せて報告する。

キーワード：学生実験、技術交流

1. はじめに

学生実験の支援については、インターネット上の実験マニュアルなど、情報を収集する手段はあっても、現場でどのような経緯でどのような工夫をするに至ったかを知るためには技術研究会や報告会などで直接意見交換することが非常に有意義である。更に、現場となる学生実験室を実際に見学できるとなればなおのことではあるが、なかなか機会を作ることは難しい。昨年は 3 月に東北大学の技術職員の方が見学研修会として来学する機会を設けることとなり、そのことがきっかけとなって 9 月の北海道大学総合技術研究会に併せた学生実験室の見学会に参加することとなり、技術交流からさまざまな創意工夫、参考にした事例などを目にする事ができたため、これらを報告する。

2. 東北大学技術職員の方との見学研修会

2.1 経緯と全体の流れ

2013 年 11 月に、東北大学の見学研修会担当の方から具体的な日程について打診があった。今回の見学研修会では、筑波大学の他に東京大学も見学先に予定されていたので、人数を確定していただくことと併せて、全体のスケジュールと双方の予定について、東北大学、東京大学の担当者間でメールにてそれぞれの情報について確認を行った。

また、折角の来学の機会なので、学生実験室以外での見学希望を伺ったところ、遺伝子実験センターと、農林技術センターについて見学希望があったため、遺伝子実験センターでは伊藤和幸技術専門職員に、農林技術センターでは松本安弘技術専門官と川崎敏安主任専門職員に窓口になっていただき、事務

的な手続きや技術的な質問に対する対応などについて相談させていただいた。生命環境エリアの学生実験室については、生命環境科学等技術室長に事務的な対応についてアドバイスを頂き、生物資源学類長に実験室の見学について許可をいただいた。12 月にはそれぞれのセンターと支援室に期日、見学者名とその所属の入った見学願を提出し、具体的な見学希望内容について相談させていただいた。

2 月には先方から各センターへ出張研修依頼書を郵送していただき、当日のタイムスケジュールを確定した。

2.2 見学内容

本学への見学は 3 月 17 日、13 時から 17 時の予定で遺伝子実験センター、農林技術センター、生命環境エリア学生実験室の順で実施した。見学の後、生命環境エリアにて質疑応答および意見交換を行った。

遺伝子実験センターでは学内、学外問わず、多くの利用者が分析機器を利用するという事で、利用者の登録方法などや、実際の機器の使用説明、分析機器のメンテナンスに関する創意工夫について説明があった。また、実験圃場の管理方法についても情報交換が行われた。

農林技術センターではセンター長からセンターの全体業務についてお話をいただき、その後各エリアの技術職員の方から実際にセンターの中を見学しながら業務内容についての説明を受けた。3 学期制から 2 学期制へのカリキュラムの推移とそれに対応するための工夫のほか、学内の実習だけではなく地域貢献にも力を入れている部分について詳細に説明いただいた。

生命環境エリアでは実際に使用している学生実験室の他に改修工事が終わったばかりで実験台を組み立てている段階の実験室も見えていただき、器具の保管方法や実験台の選定理由、実験室の動線確保に関する問題点などについてお話をいただいた。

2.3 考察および今後の対応

今回、学外からの見学研修の受け入れ、という初めての機会だったため、事務的な手続きについても、見学の資料作成でも全く白紙の状態スタートした。自分が所属する技術室における技術職員の組織や業務内容をはっきりと判りやすく説明するための資料を作成する段階でかなり時間がかかり、学外からの見学者が多い遺伝子実験センターや農林技術センターのスマートな対応やパンフレットなどの資料の判りやすさに考えさせられる部分が多く、今後学外の技術職員の方との技術交流を積極的に進めるにあたり、整理や工夫が必要な部分であると考えた。

E-mail:kizawa.yoshie.ge@un.tsukuba.ac.jp;

Tel: 029-853-6628

また、今回、実験室の内外を問わず、ポストサインの重要性について話題に上ることが多く、実験室の外に貼ってある安全管理のための表示や、留学生に対するトイレの使用方法についての掲示物などが注目を集めていた。こういったポストサインに関する情報交換についても、今後進めていきたいと考えている。

3. 北海道大学 自然科学実験 学生実験室見学会

3 月の見学研修会を東京大学サイドで窓口となって受け入れを行った技術職員の方から、9 月の北海道大学総合技術研究会の際に予定されている学生実験室の見学会についてお誘いを受け、参加する機会を得た。当日は、ホストである北海道大学の技術職員の方に、実験実習の支援を行っている、東京大学、京都大学、東北大学、京都工芸繊維大学の技術職員 10 名で学生実験室の見学をさせていただいた。

3.1 出席確認およびレポート提出場所

出席確認は実験室入口に設置されたカードリーダーに学生証を通すことで行うことができ、実験の説明が始まる前の準備段階で既に確認が可能である。また、レポートの提出場所は実験棟 1 階に集約されており、提出期限がはっきり明示されていて提出場所の変更などがなく、混乱する事が無いように作られている。



図 1. 出席確認用カードリーダーとレポートボックス

3.2 生物系実験室

生物系実験室では各実験台に必要な最小限の物品が配布されており、実験ごとに必要な器具等は班ごとにカゴに収納されて常に必要量を補充するシステムになっている。実験台や顕微鏡などには番号が記され、誰がその場所を使用しているかはっきり判るようになっている。



図 2. 生物系実験室の実験台とストック品の棚

3.3 化学系実験室

化学系実験室にも各実験台に分光光度計、制御用 PC およびプリンタ、pH メーターなどが既に設置しており、学期を通じて使用する実験台が学生ごとに確定されている。配布される器具にはリストが添付されており、使用した器具は綺麗に洗って同じ場所に戻し、破損などがあれば補充したのちにリストをチェックし、このリストを提出するまで実験終了にはならない。同じ化学系実験室でも有機合成実験を行う実験室では実験台に配布される装置類は必要最小限となっており、実験中に教官が見回って安全を確認できるよう実験台の間のスペースが広がっている。

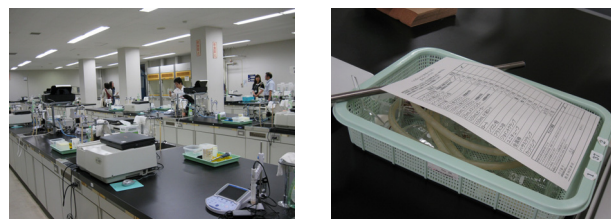


図 3. 化学系実験室と配布器具に添付されたリスト

3.4 ポストサインについて

実験室に設置された実験機器の使用方法を誤ると正確なデータが出せないし、機器の故障にもつながる。テキストなどに使用方法を明示してあっても誤った使い方をすることもあるし、機器の型式の違いで使用方法が大きく異なるケースもある。例えば基本的な事柄だとしても、それを判りやすく明示することは大人数の学生が利用する学生実験室には必要不可欠であるが、機器自体が小さくてどのように明示したらよいか判断に苦しむこともあり、実験機器の使用法や実験室全体の注意喚起のためのポストサインは、今後いろいろな方面からアイデアをいただいで確立していくべき問題のひとつと考えられる。

今回見学させていただいた実験室では、廃液に関するポストサイン、天秤に添付されたポストサインなど工夫を凝らしたものが多く、今後参考にさせていただきたいと考えている。また、実験途中で作動不良などの機器が出た場合、その症状などを詳しく書いた紙を添付して正常な機器とは別の場所に確保しておく場を設ける必要があることから、こういった場を設けるとともに記入用紙の書式などを検討したいと考えている。

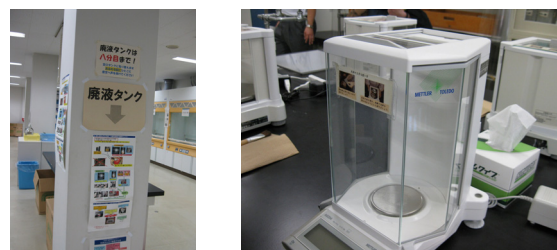


図 4. 廃液と天秤の使用法に関するポストサインの例



図 5. 作動不良の機器を確保しておく場所のポストサインの例

4. 全体のまとめと今後解決すべき問題点

学外の技術報告会での交流をきっかけにスタートした見学研修会、学生実験室の見学会だったが、ポスターやスライドにまとめたもの以上の、現場における創意工夫が直接的に目に見える形で示されること、現場で業務に従事している技術職員にその場で質問できることなど、やはり非常に有意義な機会であると言える。一方で、カリキュラムや分野の相違、当該実験における受講者数の違いなどにより、そのまま参考に出来るものとそうでないものを振り分ける必要がある。特に生物資源学類の実験室について

は、幅広い分野の学生実験を短い期間に複数同じ実験室で行う機会も多く、よりフレキシブルな対応が要求される。この状況を踏まえて、現在の問題点を担当技術職員の間で情報の共有を行いながらさまざまな問題を解決の方向へ進めていきたいと考えている。

また、見学を受け入れる立場になった場合の対外的な業務の説明についてはまだまだ改良の余地が多く、今後検討していきたいと考えている。

現在、主として使っている学生実験室の半分が改修工事中で、物品の保管場所などが未確定であるため、改修工事終了後の実験室をより使いやすく出来るよう、今回参考にさせていただいたポストサインなどを導入していく予定である。

謝辞

今回の報告内容となった見学研修会の企画に携わり、窓口になって下さった東北大学 岡田夏美様、東京大学 黒岩真弓様、学内で見学研修会の受け入れ窓口になって下さった遺伝子実験センター 伊藤和幸様、農林技術センター 松本安弘様、事務手続き他、様々な面でサポートして下さいました皆様に厚く御礼申し上げます。また、総合技術研究会でお忙しい中、学生実験室を見学させてくださった北海道大学 長嶋真美子様、田邊大人様に厚く御礼申し上げます。

For information exchange related to student experiments and training with other universities technology staff

Yoshie Kizawa

Institute of Applied Biochemistry, Technical Service Office for Life and Environmental Science, University of Tsukuba,
1-1-1 Tennodai, Tsukuba, Ibaraki, 305-8572 Japan

Last March, exchanges in technology research meeting of off-campus, it was decided to invite as tour workshop towards the Tohoku University of technology staff. Gene Research Center, and has performed a tours workshop to have received the cooperation of members of the technical staff of the Agricultural and Forestry Research Center, we report on the contents of the history and tour workshop. In addition, because there was a chance that I am allowed to visit the student laboratory of Hokkaido University in accordance with the Comprehensive Technology Workshop, which was held in Hokkaido University in September, will be reported in conjunction also for their content.

Keywords: student experiments, information exchange

リターフォールトラップを使用した長期調査

正木 大祐、金井 隆治、長岡 講二、佐藤 美幸、勝山麻里子

筑波大学菅平高原実験センター

〒386-2204 長野県上田市菅平高原 1278-294

概要

筑波大学菅平高原実験センター(以下:菅平センター)は約 36ha の野外フィールドを有しており、アカマツ林、針広混交林、ススキ草原、樹木園等が存在している(図 1)。

アカマツ林、針広混交林は草原を放棄することによって形成された二次林であり、同一平地上に隣接した形で保存・管理されている。したがって、これらの森林は、遷移のプロセスや遷移に関連する様々な研究・教育活動を行える世界的にも希有なフィールドである。筑波大学内外の研究者によって、これらの森林を利用した学内外の研究・教育活動が行われており、菅平センターでも、これらの森林および気象に関する定期調査を行っている。今回はその中でも、2007 年から開始した落葉落枝(以下:リター)量に関する調査について焦点を当てる。

リターとは、森林を構成する樹木の成長、老化、枯死、あるいは豪雪や台風などの大きな攪乱にともない、樹木を構成する部分が林床に落下したものを指す。リターには樹木から地面に落ちる葉、枝、樹皮、花、果実等が含まれ、これらには様々な重要な意味がある^[1]。まず一つは、森林の生産力を推定する際の重要な一部であることだ。毎年葉は新しく作られ、古くなったものはリターとなる。特に、落葉樹の場合は、毎年作られる葉は、冬までには全てリター

となるため、森林の生産力を推定するには、この落葉量を把握しなければならない。また地面に落下してくるリターには、窒素やリンといった様々な栄養分やミネラル分が含まれており、これらは森林に生息する様々な生物にとって欠かすことのできない資源となっている。さらに、リターには種子も含まれるが、種子は森林を構成する樹木の次世代の源である。したがって、種子の組成や量を調べることは、森林の現在の姿だけでなく将来の姿を推定することにもつながる。

また、個々の樹木はその時々気象要因の影響を受けて生産力が決まる。したがって、リター量を毎年詳細に調べることで、個々の樹木、あるいは森林全体が受けている気象要因の影響も明らかにすることができる。こういった様々な重要性があることから、学術的な調査が行われている森林においては、以前からリターに関する調査が行われてきた^[2]。

このような観点から、菅平センターでは、我々技術職員らによって、アカマツ林と針広混交林においてリター量に関する調査を 2007 年から行っている。調査開始後約 7 年間と一定期間が経過したことから、菅平センターにおけるリターフォールトラップ(以下:リタートラップ)の調査方法、結果、および課題等について報告する。

キーワード: アカマツ林、リタートラップ

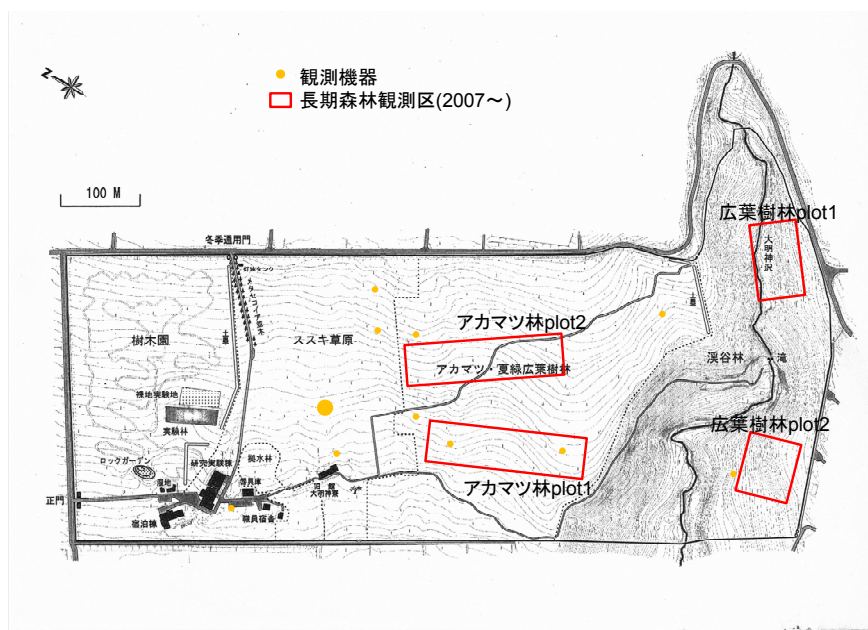


図 1. フィールドマップ

1. はじめに

調査開始前に、筑波大学生命環境系廣田充准教授の指導の下、リタートラップ (図 2) を作成した。このリタートラップは、投影面積が 1m^2 ($1\text{m} \times 1\text{m}$) になるように、寒冷紗を縫い合わせて袋状にしている。この袋状のものを塩化ビニールパイプで作成した正方形の枠 ($1\text{m} \times 1\text{m}$) に固定した。さらに、4 本の塩化ビニールパイプを支柱として、この枠を地上約 1m の高さで、かつ袋の部分が地上に触れないように設置した。リタートラップは、毎春雪解け直後 (4 月下旬) に設置し、リタートラップの破損を避けるために、根雪になる前に取り外した。本センターでは、2010 年以降は積雪期間中のリターフォールを推定するために、リタートラップ直下に寒冷紗 ($1\text{m} \times 1\text{m}$) を風で飛ばされないように杭を用いて固定した。

無積雪期間、突風などにあおられてリタートラップ内に溜まったリターが飛ばされないように、リタートラップ内に重石としてゴルフボールを入れた。

これらのリタートラップは、菅平センターの定期調査区 plot1 内で $50\text{m} \times 50\text{m}$ の中に 5 個ずつとなるよう計 20 個設置した。リタートラップが覆う土地面積は、一林分あたり 5m^2 となり対象林分面積の 0.2 % に相当する。これは、一般的なリターフォール調査の中では広い。例えば、環境省が主導的に行っている「モニタリングサイト 1000」という事業では、 $100\text{m} \times 100\text{m}$ (1ha) 辺りに開口部の面積が 0.5m^2 のリタートラップを 25 個設置するようしており、これは対象林分面積の 0.125 % に相当する (<http://www.biodic.go.jp/moni1000/manual/index.html>)。

さらに、2009 年には林床にササが優先する場所に作成したアカマツ林 plot2 ($50\text{m} \times 200\text{m}$) にも新たにトラップを計 10 個設置し、合計で 30 個のトラップを使用し調査を行った。

2. 調査方法

「リター回収」→「自然乾燥」→「仕分け」→「絶対乾燥」→「計量」のサイクルを毎年 5 月から本格的な積雪が始まる 12 月までの約 7 ヶ月間に亘って毎月行った。

以下でそれぞれの工程について説明する。



図 2, リターフォールトラップ

・回収、自然乾燥

毎月 1 回リタートラップ内に溜まったリターをビニール袋に入れて回収する。

そのままでは雨や露でリターが濡れておりその後の作業に支障が出るため、室内へ持ち帰り新聞紙の上に広げ、約 7 日間の自然乾燥を行う (図 3)。(リターの状態により日数の変動あり。)



図 3. 自然乾燥の様子

・仕分け

リターの水分がほぼ蒸発したことを確認してから、「葉」、「樹皮」、「枝」、「球果あるいは果実」、「花序」、「その他」といった項目に分別した後、「アカマツ」、「ミズナラ」、「シラカンバ」、「カラマツ」、「その他広葉樹」の樹種ごとにさらに分別を行う。この仕分けの作業を高精度で行うことは多くの手間と時間、経験を要することから、他機関では行われないことが多い。

・絶対乾燥

仕分けを行ったリターはそれぞれの項目ごとに紙袋に入れ、乾燥炉にて絶対乾燥を行う。この時の設定温度は 70°C 、時間は 48 時間を目安としている。

・計量

絶対乾燥後のリターを電子計量器に乗せ、絶対乾燥重量を測定する。この時、計量器にリターを直接乗せることもあるが、細かい物はこぼれ落ちて測定が正確に行えない場合があるため、紙袋ごと計量器に乗せ、計量後に紙袋のみの重量を測定し、紙袋を含んだ総重量から紙袋の重量を差し引くことで、リターの重量を割り出している。

3. 調査結果

上記のような方法を用いて約 7 年間の調査によって、リターフォール量の季節変動や年変動パターンが明らかになってきた。ここでは、それらの結果の中で、種ごとに各部位を仕分けるといった本調査によって、初めて明らかになった項目について報告する。

日本の冷温帯における森林は、一般的にアカマツなどの陽樹からミズナラやブナといった落葉広葉樹林へと遷移していくことが知られている^[3]。その遷移過程で森林にどのような動き・変化があるかという、広葉樹の芽生えや針葉樹の枯死が挙げられる。しかしながら、それらを継続的に記録した例はほとんどない。

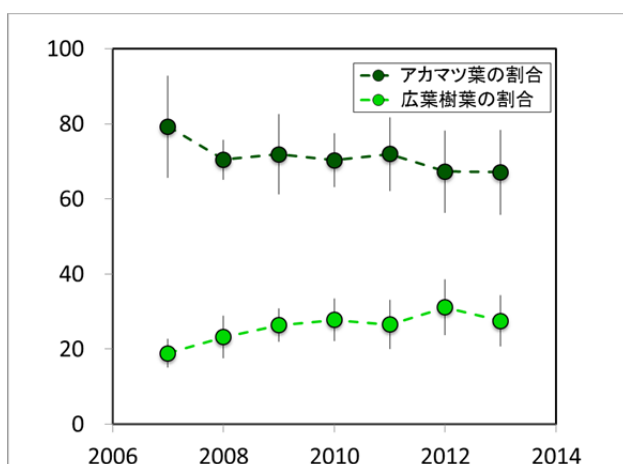


図 4. リターフォール全量に対するアカマツの葉量と広葉樹の葉量の割合 (%)

図 4 は、アカマツが優占する林分に設置したリターフォールのリター量のうち、アカマツと広葉樹の葉の相対量 (%) を示したものである。この葉量の推移を見ると、緩やかではあるが相対的にアカマツの葉量が減少する一方で、広葉樹の葉量が増加しており、先述のような針葉樹林から広葉樹林へと移り変わっていく「遷移段階」の一部が見て取れることが明らかになった。

4. まとめ

菅平センターでのリター調査は、広範囲で詳細な作業を行うことによって、より具体的な調査結果を出すことができている。この結果を用いて様々な研究が発展していくことはもちろんのこと、この調査を継続して行っていくことで、森林の遷移を深く理解しながら、大きな視点と小さな視点の両方で観察を行っていくことの重要性を再認識できるものと考えている。

謝辞

本稿をまとめるにあたりご指導、ご助言、データ提供をしていただきました筑波大学生命環境系・廣田充准教授に厚く感謝し、深くお礼申し上げます。

参考文献

- [1] B. バーク, C. マクラルティ (原著), 大園 享司 (翻訳) (2004) 森林生態系の落葉分解と腐植形成. シェプリンガーフェアラーク
- [2] 橋詰隼人(1991)鳥取大学蒜山演習林の落葉広葉樹におけるリターフォールについて、(1991) 広葉樹研究、No.6 : 1 ~ 15
- [3] 林一六 (2003) 植物生態学：基礎と応用. 古今書院

Long-term ecological research using by litter-fall traps

Masaki Daisuke, Kanai Ryuji, Nagaoka Koji, Sato Miyuki, Katsuyama Mariko

Technical Service Office for Life and Environmental Sciences

(Sugadaira Montane Research Center)

University of Tsukuba, 1278-294 Sugadaira-Kogen, Ueda, Nagano, 386-2204 Japan

Keywords: Japanese red pine woods, Litter traps

脱メラニン法を行った皮膚組織の免疫染色

櫻井 秀子

筑波大学医学系技術室

〒305-8577 茨城県つくば市天王台 1-1-1

概要

免疫染色は抗原抗体反応を利用し、酵素反応で抗原の局在を明らかにする染色方法である。皮膚組織中に過剰に沈着したメラニンは免疫染色で一般的に使用される DAB(3,3'-diaminobenzidine)発色の色調と類似した黒褐色を呈し評価を困難にしている。それを識別するためにメラニンが沈着している皮膚組織にギムザ染色を行い免疫染色の結果との識別を良好なものにした。また過剰に沈着しているメラニンを弱く脱色してより識別しやすくしたので報告する。
キーワード:メラニン 免疫染色 DAB ギムザ染色

1. はじめに

免疫染色は免疫組織化学染色とも呼ばれ医学・生物学分野において重要な役割を持った検査法である。医学分野においては 1955 年頃より行われ、近年はより高感度な手法が開発されている。病気の病理診断の補助手段として日常的にも行われている。また、研究分野においても抗原の局在、機能解析のためほとんどの組織で行われ果たす役割は大きい。

多種類の抗体を使用して免疫染色を業務としている中で生体内色素であるメラニンが過剰に産生している皮膚腫瘍の免疫染色の依頼を受けた。メラニンはチロシンの酸化生成物で、種々の酸化剤で容易に酸化漂白を受け消失することが知られている。今回、過マンガン酸カリウム・シュウ酸法を行った^[1]。

免疫染色の発色は一般的に DAB と HRP(horseradish peroxidase)の酵素反応を用いるため茶褐色を呈するが、メラニン色素の色調である黒茶褐色と重なり評価が困難になる欠点がある。今回、ギムザ液でメラニンを緑色に染め^[2]DAB の発色と染め分けをして目的抗原の局在を見やすくするよう検討した。組織検体のメラニン沈着度合いが強い今回の場合、脱色を行った方がより見やすい標本になると思われたので必要性を検討しながら行ったので報告する。なお、基本的な事であるが使用後の廃液に関しても適切に処理を行ったので、これについても報告をする。

2. 対象および方法

2.1 対象

ヒト皮膚組織は、メラニンの産生が過剰に沈着している腫瘍組織が対象であった。パラフィンブロック、薄切は、つくば組織診断センターで作製したものを使用した。

2.2 メラニンの脱色^[1]

1. 脱パラフィン操作 キシレン(パラフィン除去)、エタノール系列(キシレン除去)、
2. 洗浄:流水(エタノール除去) 3 分-5 分・純水
3. 酸化: 0.25 %過マンガン酸カリウム水溶液 3分後、流水 3 分-5 分・純水
4. 還元: 2 %シュウ酸水溶液 2 分、後流水 3 分-5 分・純水
5. 2-4の洗浄、酸化、還元を1サイクルとしてメラニンの色調を見ながら脱色操作を行う。メラニンの色調は少し残すようにする。

2.3 免疫染色^[2]・ギムザ染色^[3]

1. 脱メラニンを行った後、内因性ペルオキシターゼ活性を阻止するため 5%過酸化水素メタノール液で 5 分間反応させ、PBS(0.01M phosphate buffered saline pH7.4)で洗浄を行った。
2. 抗原賦活のために 0.1M トリス塩酸緩衝液 (pH10)オートクレーブ 105 °C 3 分行った。
3. 非特異反応を抑えるため 2 % NGS(normal goat serum)反応を室温 60 分行った。
4. 一次抗体 anti-PKA[R I α] BD Biosciences 400倍希釈(2 % NGS)を用い、4 °Cで一晩反応を行った。
5. 二次抗体は、anti-Mouse IgG HRP(Universal LSAB™ Kit /HRP DAKO)を用い室温 30 分反応させた。PBS で洗浄後 DAB(DAKO)にて発色した。5-10 分顕微鏡で観察しながら停止時間を決め純水に浸す。徐々に反応は進むので流水で完全に停止させた。
6. ドーゼ内で2 %ギムザ液(武藤化学株式会社)リン酸緩衝液(1/150M,pH6.4)を 15 分反応させた後、流水洗浄・脱水・封入を行った。

3. 結果

メラニン色素は DAB の発色色調である茶褐色と類似しており判定が困難な色調を呈していた(図1)。ギムザ染色を行うことによりメラニンは染め分けられ判読が出来るようになった。メラニンは濃緑色であった(図2)。脱色を行うことによりメラニン色素は薄れてさらに見やすくなった(図3、図4)。ここには示していないが脱色のサイクルを 4 回行ったものは完全にメラニンが脱色され、ギムザ液の染色性はなく、DAB による発色も減弱され、さらに組織の損傷が起きた。そのため、脱メラニンは、3 回までとした。図 3、図 4 より、今回の検体の脱メラニンは 2 回が最適であると思われる。

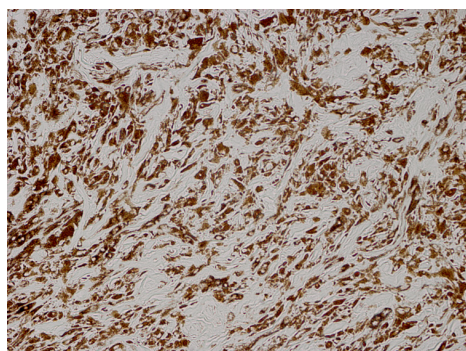


図 1. メラニン色素(無染色) ×200

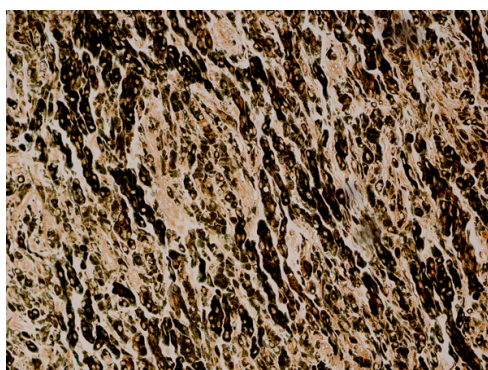


図 2. メラニン色素(ギムザ染色) +免疫染色(DAB)×200

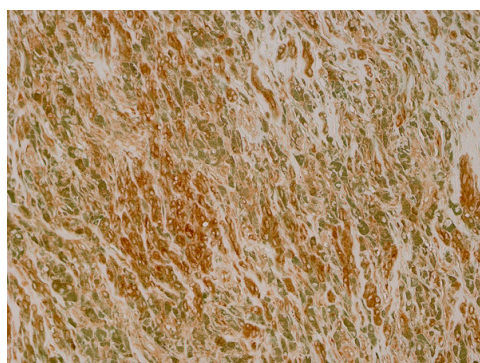


図 3. 脱色 1 回+ギムザ染色 +免疫染色(DAB)×200

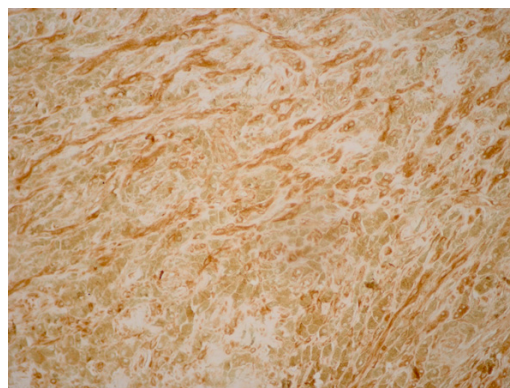


図 4. 脱色 2 回+ギムザ染色 +免疫染色(DAB) ×200

4. まとめ

今回、メラニンを過剰に産生する皮膚腫瘍組織の免疫染色依頼を受け、メラニンの脱色法とギムザ染色を行うことにより、目的である皮膚組織の免疫染色の染色像を見やすいものにすることが出来た。通常、免疫染色は目的の抗原に合わせて、陽性コントロール、陰性コントロールを対象として行うことにより正しい評価になるが、今回の抗体は、全ての細胞に発現が見られる抗体のため特定のコントロールは用いなかった。今後、他の抗体での対応についてはそれぞれに検討が必要になってくる。今回のメラニン過剰沈着の皮膚組織の経験を生かしてこれからの免疫染色について対応していきたい。

環境や職場の安全衛生に対し廃液の処理は重要な点である。使用した試薬類の廃液について、今回使用した試薬類廃液の分類は、DAB は発がん性のある物質で注意して扱うとともに含水有機廃液とし、シュウ酸溶液、ギムザ液も同様の含水有機廃液とした。過マンガン酸カリウムの洗浄液と廃液は一般重金属に分類した。また過酸化水素水/メタノールは一般有機廃液とし各々ノートに記載して適切に処理を行った。

謝辞

脱パラフィン、スライド封入に医学共通・組織標本作製室を利用しました。感謝申し上げます。

参考文献

- [1] 最新染色法のすべて月刊 Medical Technology 別冊、医歯薬出版(2011)55-56 <http://ishiyaku.co.jp/>
- [2] 名倉宏、長村義之、堤寛 改訂四版 渡辺・中根 酵素抗体法(2002) 学際企画
- [3] 青木裕志 病理技術 病理技術研究会誌 第 77 巻 2 号(2014)76-79

Immunohistochemistry of skin tissue subjected to melanin removal

Sakurai Hideko

Technical Service Office for Medical Sciences, University of Tsukuba,
1-1-1 Tennodai, Tsukuba, Ibaraki, 305-8575 Japan

Immunohistochemistry is a staining protocol that uses the antigen-antibody complex reaction to determine antigen localization by means of the enzyme reaction. Excess deposition of melanin in the skin tissue creates a blackish brown color similar to the hue of the DAB (3,3'-diaminobenzidine) coloring that is generally used in immunohistochemistry, making assessment difficult. In order to distinguish these from one another, the skin tissue in which melanin is deposited was colored with Giemsa staining to clearly distinguish it from the results of immunohistochemistry. In addition, the excessively deposited melanin was faintly decolorized, making it even easier to distinguish.

Keywords: Melanin, immunohistochemistry, DAB, Giemsa staining

技術報告

エタノールの水蒸気改質反応測定のための恒温サンプリングボックスの製作

伊藤 伸一

筑波大学数理物質科学等技術室

〒305-8573 茨城県つくば市天王台 1-1-1

概要

エタノールの水蒸気改質反応を行うための実験装置に、標準状態で液体となるエタノールや水が液化しないよう気化したままサンプリングできる装置を製作・設置した。このサンプリングボックスは、350～390 K の任意の温度で一定となるよう温度調節器によりリボンヒーターを制御した。この装置により、エタノール、水などが安定的に分析できるようになった。

キーワード：エタノール水蒸気改質反応、水素製造、アセトアルデヒド製造、強い金属・担体相互作用 (SMSI)、強い金属・酸化物相互作用 (SMOI)

1. はじめに

地球温暖化や石油資源の枯渇問題の解決策として燃料電池自動車の実用化が話題となっている。固体高分子形燃料電池は水素を燃料とするが、その水素は工業的には炭化水素やメタノール、エタノールなどの水蒸気改質反応で得ることができる^[1, 2]。最近では、エタノールが石油資源と違い、温室効果ガスの排出がないことから、最適な水素の原料として注目されている^[3, 4]。そのうえ、エタノールの脱水素反応では、水素のほかにアセトアルデヒドが生成する。アセトアルデヒドもまたさまざまな化学品の原料となるものである^[5]。エタノールは、バイオエタノールとして、米やトウモロコシ、糖類などを発酵させて得ることができるが、これらの原料は食糧として重要である。しかし、何らかの理由で食べられなくなったもの（たとえば汚染された米など）を発酵させてエタノールを得ることはできる。実際、食べられなくなったパンを発酵させエタノールを生成したという研究例が報告されている^[6, 7]。石油資源に頼らず、再生可能なエネルギーあるいは炭素質として有用である。以上のことから、筆者はエタノールの水蒸気改質反応についての技術開発をテーマとしてきた^[8, 9]。エタノールの水蒸気改質反応装置は、生成物を分析するためのガスクロマトグラフが装備されており、このガスクロマトグラフには常温で液化してしまうエタノールや水を 370 K あるいはそれ以上の温度に保持して気化させたまま分析できるサンプリングバルブが内蔵してあった。ところが、実験装置を移動した際に故障してしまった。しかも、製造年月日が古いことからメーカーの有償による修理依頼もできないことがわかった。そこで、あらたなガスクロマトグラフを設置したが、生成物を気化させたまま、サンプリングできる仕掛けがないために、製作することになった。本報告では、サンプリングバルブを恒温に保持できるボックスをガスクロマトグラフに取り付けた結果、十分な機能を発揮することができたので報告する。

2. 装置の概要

実験装置の概略を Fig. 1 に示した。

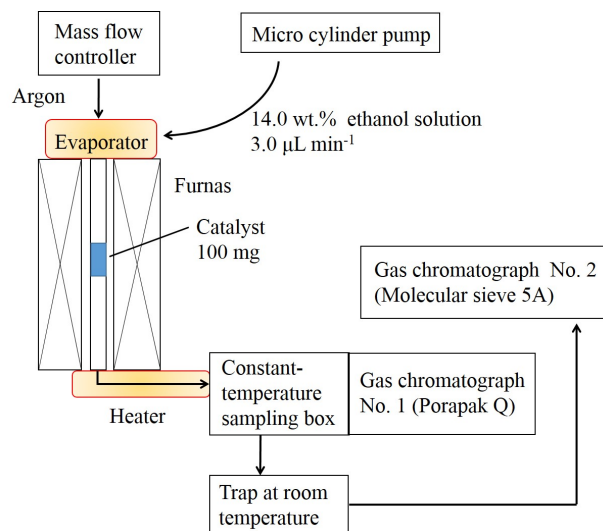


Fig. 1 The outline of the apparatus for steam reforming of ethanol.

バイオエタノールの代わりにモデル反応液として 14wt% エタノール水溶液をマイクロシリンジポンプにより気化器に導入する。気化器にはキャリアガスとしてマスフローコントローラーにより流量制御されたアルゴンガスが供給され (18 mL min^{-1})、気化したエタノールと水は反応管へ送られる。触媒層を通過し、反応生成物と未反応物 (エタノールと水) はリボンヒーターにより保温されたパイプを通りサンプリングボックスへ送られる。サンプリングボックスには温度を一定に保つため、温度調節器で温度制御できるリボンヒーターと 6 方バルブが組み込まれている。サンプリングボックスから出た反応生成物 (未反応物も含む) は、室温トラップを経てもう一台のガスクロマトグラフへ導かれる。この室温トラップの役割は、室温で液化する水やエタノールを捕捉し、室温では気体のままの状態である水素、アセトアルデヒドなどを通過させ次段階で分析するためである。

Fig. 2 には 6 方バルブの仕組みについて示した。6 方バルブは、6 つのポートがあるバルブで、レバーを 60 度回転させることにより、内部の配管が切り替わるものである。分析の待機中では、バルブを Filling up の状態にしておく。反応ガスは 6 方バルブ内を通り、サンプリング管 (1.0 mL になるように長さを決めておく) を通ったのち再び 6 方バルブ内

をってから排気される。ガスクロマトグラフ (G.C.) 本体からのキャリアガスを 6 方バルブへ導入し、インジェクションポートを経由して検出器へ送る。この状態で、反応ガスは常にサンプリング管を満たしている。分析するときには、このバルブのレバーを 60 度回すと、Sampling の状態になる。反応ガスは、6 方バルブに入ると直ちに排気される。一方、ガスクロマトグラフのキャリアガスは 6 方バルブに入るとサンプリング管を経由して再び 6 方バルブ内に入ってから検出器へ送られる。このとき、サンプリング管に満たされていた 1.0 mL の反応ガスはキャリアガスによって、検出器へ送られ分析される。この仕掛けのよいところは、正確な量のガスの分析が繰り返し行えるという点である。

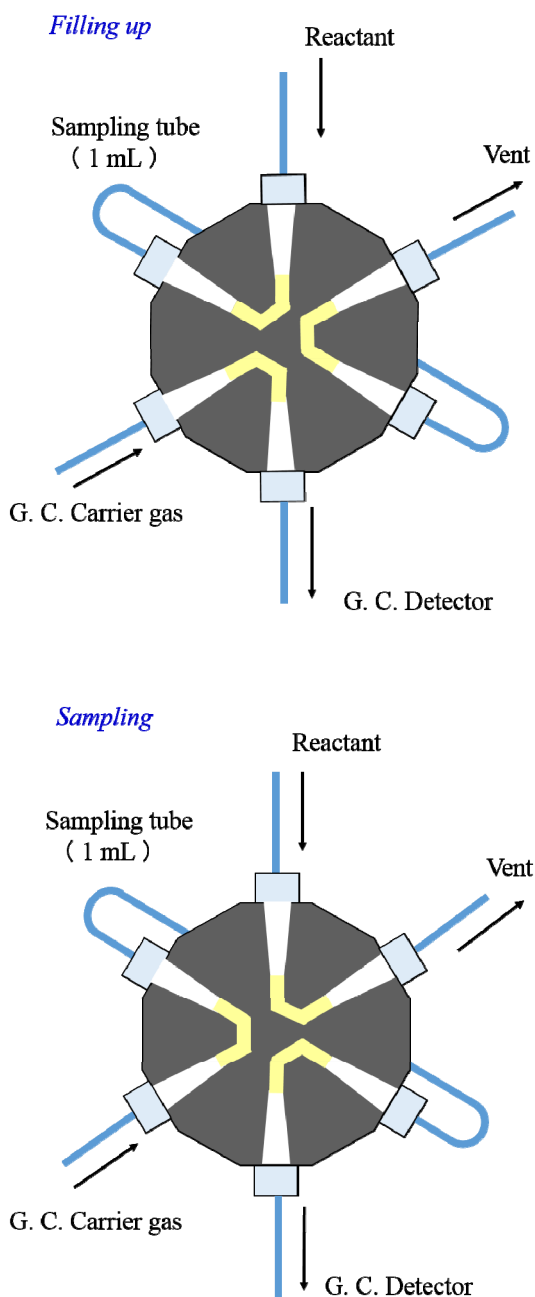


Fig. 2 The mechanism of the six ports valve.

3. 装置の製作

今回の製作に用いた主なものは次の通りである。

6 方バルブは島津製作所のもので、一般用である (ガスサンプルコック、201-35011-05)。高温用もあるが高価であることと、370 K 前後で使用するの、一般用で問題ない。

アルミボックスはサイズ 120 × 150 × 200 mm で市販のものを購入し加工した (タカチ、MB-23)。

加熱、保温のための温度調節器は K タイプ熱電対付き HAKKO, FINE THERMO DG2-100 とリボンヒーター、20 × 1500 mm、200 W である。温度調節器は ON-OFF 式であることから、100 V にそのままつなぐと温度調節器が ON になった時にパワー全開となってしまう、温度のドリフトが大きくなりすぎるので出力電圧を制御するためのサイリスタ電力調整器を接続して使用した (松永製作所、PCN-105)。

Fig. 3 に 6 方バルブをアルミボックスに取り付けているところを示した。アルミボックスはコの字型に折り曲げたアルミ板からできており、2 つのパーツを合わせることで箱になる。Fig. 3(a) は 1 つのパーツに 6 方バルブを取り付けた様子である。Fig. 3(b)に示したように、6 方バルブの配管周りにリボンヒーターを巻き付けて、さらにその上からアルミホイルを巻きつけて温度のムラがないようにした。

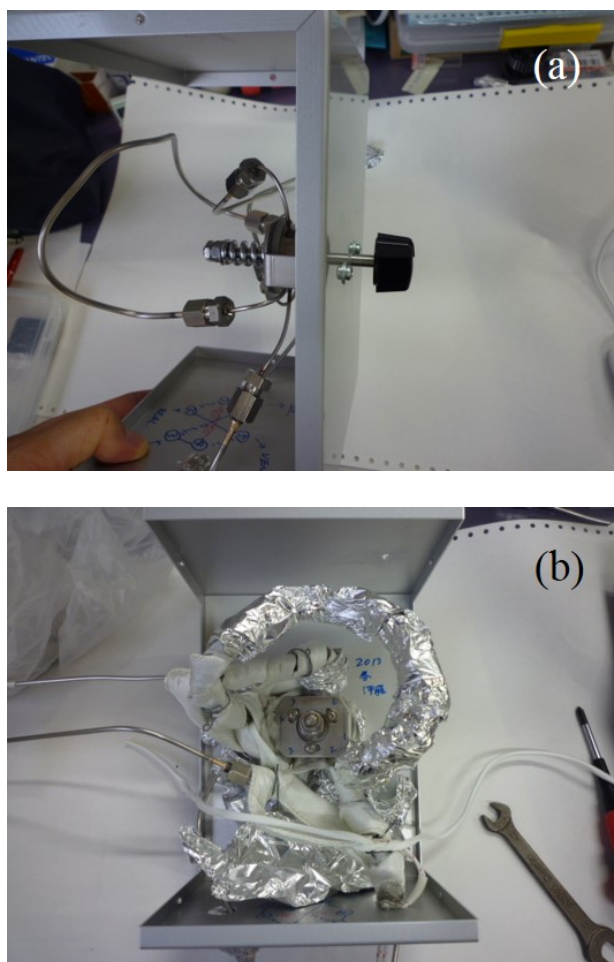


Fig. 3 The constant-temperature sampling box.

(a) the 6 ports valve was fixed in the box, (b) a heater was wound on the 6 ports valve.

Fig. 4 に、サンプリングボックスをガスクロマトグラフ側面に取り付けた状態を示した。島津製作所のガスクロマトグラフ GC-8A は、左側面に穴が開いており、キャリヤガス配管を外に引き出すことができるので、この穴を利用してサンプリングガスの導入をすることができる。



Fig. 4 The constant-temperature sampling box was connected to the gas chromatograph.

4. 測定結果

この恒温サンプリングボックスを設置し、エタノール水溶液を気化させガスクロマトグラフで分析した結果の一例を Fig. 5 に示した。反応器から恒温サンプリングボックスまでの配管はリボンヒーターで保温し、恒温サンプリングボックスの温度は 350 K であった。ガスクロマトグラフによる分析条件は次の通りである。

分析カラム： Porapak Q、2 m
 カラム槽温度： 393 K
 インジェクションポート・検出器温度： 413 K
 キャリヤガス： アルゴン、30 mL min⁻¹
 検出器カレント： 60 mA

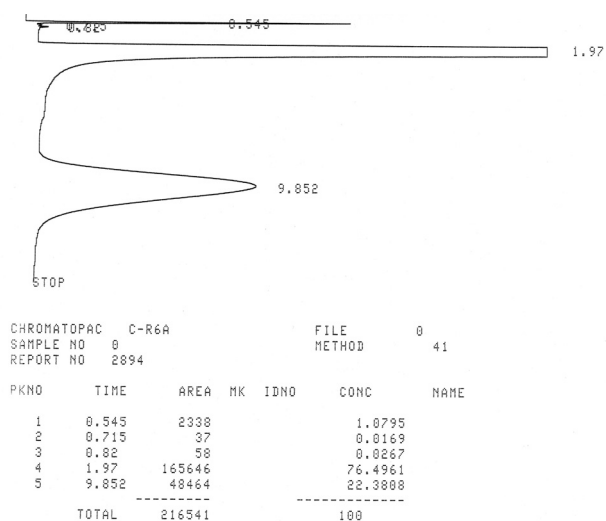


Fig. 5 A chromatogram of a sampling for steam reforming of ethanol.

クロマトグラム中の TIME は分析開始時からピークまでの時間（カラムの保持時間）で、それぞれ次の物質が検出された。

0.545 min: 水素ならびに一酸化炭素
 0.715 min: メタン
 0.820 min: 二酸化炭素
 1.970 min: 水
 9.852 min: エタノール

カラムの保持時間が 0.545 分のところでは、水素と一酸化炭素が同時に検出されているが、これはカラム充填剤の Porapak Q の性質によるもので、分離できない。そのため、水素と一酸化炭素は別のもう一組の分析器で分析したが、その結果については今回は割愛した。水のピークはチャート紙上で振り切れているが、実際に検出器の限界を超えてはおらず、その面積は問題なく計算されている。また、保持時間が 5 分ほどのところにわずかにベースラインが盛り上がっていることがわかる。これは、エタノールが脱水素反応することで生成したアセトアルデヒドによるものである。この場合は、微量であったため、ほとんどトレースレベルであった。クロマトグラムを見てわかることは、エタノールや水、あるいはそのほかの生成物がきれいに分析できていることである。また、繰り返しの分析でも再現性がよいことがわかった。その様子を Fig. 6 に示した。ある反応温度一定の条件で、エタノールの分析を行った結果である。検出されたエタノールのピーク面積は、およそ 7600 から 8000 の間でほぼ一定である。

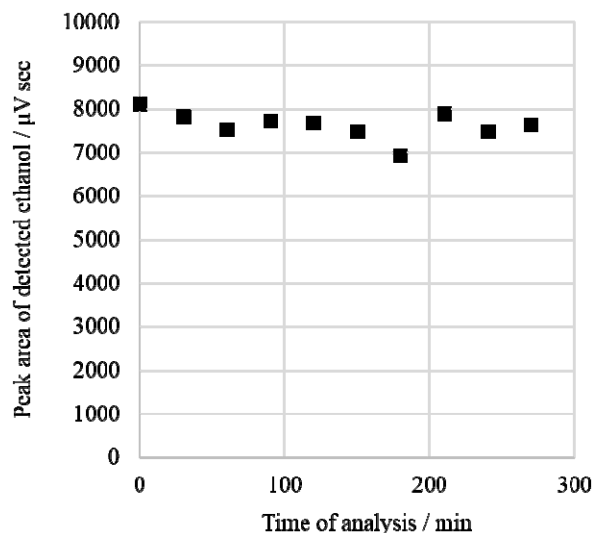


Fig. 6 The stability of ethanol detection by a gas chromatograph equipped with the constant-temperature sampling box.

5. おわりに

今回の報告では、実験装置全体ではなく装置の一部について取り上げた。以前から筆者は教育・研究の質の高さを維持するためのいくつかの重要な事柄のうち、技術職員による技術の提供についてフットワークの良さが大切であるということを訴えてきて

いる。今回の製作は科研費奨励研究を行う上でのものであった。実は、作業時間や製作費用の面であまり大きな仕事ではなかった。費用については、6 方バルブが 4 万円と少しの金額であったが、全体で 7 ～8 万円程度であった。このようなノウハウを日頃から検討し身に着けておくことで、他の業務を行う際には参考になることもあると考えている。また、今回の成果を発表することで他の技術者の参考になれば幸いである。

6. 謝辞

今回の製作は、筆者が取り組んできたエタノールの水蒸気改質反応の実験装置ならびに触媒の開発の中で行ったものである。その過程において、ご支援、ご指導を賜りました筑波大学数理物質系、中村潤児教授ならびに近藤剛弘准教授に深く感謝申し上げます。本発表を行うにあたり、また、日頃から技術職員の活動にご理解をいただいております物質工学域長、小島誠治教授ならびに数理物質科学等技術室長、喜多英治教授に感謝申し上げます。今回の製作については、その一部は科研費奨励研究（25915005）のご支援をいただきました。感謝申し上げます。

参考文献

- [1] S. Ito, Y. Suwa, S. Kondo, S. Kameoka, K. Tomishige, K. Kunimori, *Catal. Commun.* 4 (2003) 499.
- [2] Y. Suwa, S. Ito, S. Kameoka, K. Tomishige, K. Kunimori, *Appl. Catal. A* 267 (2004) 9.
- [3] J. P. Breen, R. Burch, H. M. Coleman, *Appl. Catal. B* 39 (2002) 65.
- [4] R. M. Navarro, M. C. Álvarez-Galván, M. C. Sánchez-Sánchez, F. Rosa, J. L. G. Fierro, *Appl. Catal. B* 55 (2005) 229.
- [5] S. M. de Lima, A. M. Silva, U. M. Graham, G. Jacobs, B. H. Davis, L. V. Mattos, F. B. Noronha, *Appl. Catal. A* 352 (2009) 95.
- [6] C. G. Alonso, A. C. Furtado, M. P. Cantão, O. A. A. dos Santos, N. R. C. Fernandes-Machado, *Int. J. Hydrogen Energy* 34 (2009) 3333.
- [7] M. Melikoglu, C. S. K. Lin, C. Webb, *Biochem. Eng. J.* 80 (2013) 76.
- [8] S. Ito, K. Tomishige, *Catal. Commun.* 12 (2010) 157.
- [9] 伊藤伸一、筑波大学技術報告、31 (2011) 1.

Construction of a constant-temperature sampling box for an apparatus of steam reforming of ethanol

Shin-ichi Ito

Graduate School of Pure and Applied Sciences, Technical Service Office for Pure and Applied Sciences,
University of Tsukuba,
1-1-1 Tennodai, Tsukuba, Ibaraki, 305-8573 Japan

A constant-temperature sampling box was constructed to avoid liquefaction of ethanol and water in an experimental apparatus in analyses of steam reforming of ethanol. The sampling box was connected to a gas chromatograph. It was controlled to keep at 350-390 K with a thermal controller and a heater. The analyses of ethanol and water were successfully carried out.

Keywords: Steam reforming of ethanol, hydrogen production, acetaldehyde production, Strong metal-support interaction (SMSI), Strong metal-oxide interaction (SMOI).

私の算額：海水の重水素で核融合炉を何年運転できるか

平田 久子

筑波大学数理物質科学等技術室

〒305-8577 茨城県つくば市天王台 1-1-1

概要

核融合燃料である重水素は地球上に無尽蔵であるとして一般に述べられている。確かに夥しい量ではあるが地球の重力圏という限られた空間に閉じ込められている限り有限であることには違いない。そこで核融合炉燃料として何年分になるかを推量した。

キーワード：核融合炉、重水素、海水、無尽蔵？

1. はじめに

核融合でエネルギー供給を語る際に燃料の重水素は海水に含まれていて、地球表面の 3 分の 2 は海水だからエネルギー源は無尽蔵にある、と核融合を目指している者は唱えている。この点について且ての指導教員である OUI 東千晶先生に「有限ではないか」と指摘されたことへの回答である。

エネルギー文明が開け、石炭は今迄に百数十年利用され、埋蔵量は向こう 300 年とされている。石油時代は開始から 100 年で間もなく枯渇しようとしている。原子力時代も 40 年前から実用発電が行われ、向こう 70 年でウランは枯渇する。プルサーマル方式導入で再利用しても凡そ同じ桁の期間の猶予しか見込めない。しかし核融合発電に関しては燃料の重水素埋蔵量は 100 年の桁ではないであろう。尤も東日本大震災以来の原子力発電(本稿では誤解を招かぬ為に核分裂炉と記すこともある)への不信感が強まり、核融合発電の実用化はウラン燃料の枯渇までに間に合えばよいという状態ではなくなった。

2. 算額を作るための前提

①基準設定年：ウランが採掘され尽くす頃である西暦 2100 年、または核融合実用発電開始の 2050 年、の何れかとする。重大な要素である人口の予想を考えると 2050 年が現在考える限界であるかもしれない。そこからの向こう年数を計算する。なお現代は 1.8 万年前の第 4 紀氷河時代のヴェルム氷期の後の間氷期であり、氷期は数万年乃至 10 万年周期とされている^[1]。更に太陽系の寿命として 50 億年で地球は太陽に呑み込まれるとされている。

エネルギー需要の目安として、②上記設定年の世界人口を予想する。③ 1 人あたりのエネルギー消費量は世界平均(総エネルギー消費量/総人口)とし、地域分布の格差等は考えない。年齢構成割合も不変とする。現在のエネルギー消費量からの通説の 16.5 % / 10 年の割で①の基準設定年まで増加するものとする。先進国での需要の伸びは抑えるが、開発途上国での消費量の増加は著しいであろう。しかし先進国による省エネルギー努力及び指導の下、極端な増加はこの設定年からはないものとする。④人口の年齢構成分布は世界平均して現在の日本と同

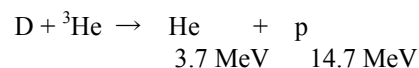
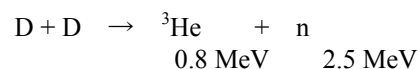
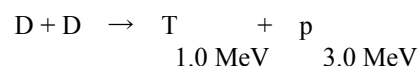
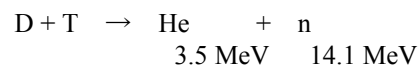
じで、且つ変動がないことにする。これにより民生のエネルギー消費の割合も変わらないとする。⑤地球上の人口分布に対し核融合発電所の設置は均等とし、特別な考慮はしない。送電コスト、損失等は当初の考慮に入れない。電力の供給は殆どが核融合発電で行われるとする。現在も行われている、若しくは将来開発されるであろう自然エネルギー等による発電は地域で行われていようが、ここでは考慮しない。

⑥海水中の重水素(以下 D と記すことがある)の存在比は 0.015 % (理科年表)^[1]である。⑦D の海水中での偏在はなく、採掘条件もここでは考えない。⑧全世界海洋体積は、1370323000 立方キロメートル(理科年表)。⑨D はほかに需要がないことにする。リチウム(Li)核融合は燃料埋蔵量が重水素資源≫リチウム資源なのでこれも考慮に入れない。

⑩発電炉の運転効率、稼働率等は現在の原子炉と同等とする。⑪核融合炉の規模、効率は最終的にはタンデムミラー炉で考えたい。

つらつら述べたが、極めて概算である、ということである。また数値の単位は出典のままで記し、随時換算する。

核融合反応は種々の燃料で 10 通り以上の組み合わせがある。T は三重水素、トリチウムである。n は中性子、p は陽子である。核融合反応を起こし易いのは以下の反応であろう。



等々。

D-T 反応に介在し、自身も燃料になりうるリチウムは鉱石や海水からも得られる金属である。埋蔵量は少なくないが、現状で既に他への需要が多く、将来の核融合発電に充分使える量は余り期待できない。ヘリウム 3 は地球上には殆ど存在しない。トリチウムは天然には殆ど安定に存在せず、重水素とトリチウムを反応させ作る。また核融合反応でも作られる。ここでは切実なエネルギー資源輸入国である我が国にとって喜ばしい、豊富な海洋資源から得られる安全・安定な重水素について論じる。

3. 現在の条件・通説で現状の核融合発電を開始させて何年運転できるかの、非常に大まかな計算

100 万キロワットの核融合炉(トカマク炉を前提に語っている)を 1 年間運転するのに要する重水素量はジェネラルアトミックス社の資料で

$$0.6 \text{ t}$$

とされている。(リチウムを用いる核融合で燃料重水素 100 kg という説もある。)また海水 200 リットル中に重水素 6 g が含まれているとされる。前述の 0.6 t を取り出せる海水の量は大雑把に

$$20 \times 10^3 \text{ m}^3$$

凡そ 20000 t となる。

ところで、理科年表では地球上の全海水量を

$$1370 \times 10^6 \text{ km}^3$$

と記している。別に理化学辞典^[2]では

$$1.5 \times 10^{21} \text{ kg}$$

とある。これに理科年表の海水の密度: 1.01 ~ 1.05 より換算すると海水量は

$$(1370 \sim 1485) \times 10^6 \text{ km}^3$$

となる。

従ってトカマク 100 万キロワット炉を延何年運転できるかということ

$$(6.8 \sim 7.4) \times 10^{13} \text{ 年}$$

となる。

ここで前記②の世界人口を予想する。ウィキペディアによると予想される最も先の人口は 2050 年で、各説あるが凡そ 100 億人とされている。

次に、現在日本の人口当たりの総電力需要は定説で 1 億 2500 万人につき 100 万キロワット炉を 100 基とされているので、目安としてそれに倣い、人口 100 億人に対しては 8000 基必要となる。この量で計算すると

$$85 \sim 93 \text{ 億年}$$

運転できる。

一般に諸説 30 億年から 150 億年といわれている^[3]。次からもう少し順を追って計算してみる。

4. 地球上の重水素の量と核融合燃料として使える量

理化学辞典によると前に述べたように地球上の海水量は $1.5 \times 10^{21} \text{ kg}$ とある。従って殆どが軽水であるとして分子量比から単純にその $2/18$ が海水中の水素の重さとする

$$1.667 \times 10^{20} \text{ kg}$$

となる。その水素量のうち重水素の存在比(個数比)は理科年表によると 0.015 % であり、その際の原子量は水素 H の 1 に対し D は 2 であるので全海水中の重水素量は

$$5 \times 10^{16} \text{ kg} = 5 \times 10^{13} \text{ t}$$

となる。

さて、では重水素の個数は、重水素の原子量

$$3.348 \times 10^{-27} \text{ kg}$$

から

$$1.5 \times 10^{43} \text{ 個}$$

と導き出せる。

ここでもう一つ考慮しなければいけないのは、核分裂炉における燃料ウランの反応式はウラン 1 個の分裂で如何程のエネルギーが取り出せるか、を基準に計算した。しかし、核融合では 2 個の重水素、または 1 個の重水素から作られる三重水素ともう 1 個の重水素との融合反応で 1 単位のエネルギーを取り出せるのである。即ち核反応の機会が単純に重水素の数の半分となる。従って 7.5×10^{42} 対が核融合を起こす燃料の基準量となる。

また採掘の技術には触れないが、採掘量の目安として地球上に存在する重水素の 50 % を可採量とする。

従って、これ以降の考察では重水素原子 7.5×10^{42} 個、 $2.5 \times 10^{13} \text{ t}$ を対象数とする。

5. 100万キロワット発電機の出力と重水素量

核融合発電ではベース電力を担える。従って 100 万 kW 発電機を年間 365 日 24 時間運転することになる。すると 1 基が 1 年間に発生する出力は

$$3.15 \times 10^{16} \text{ J}$$

となる。

さてここで冒頭 2 章に示した D - D 反応を用いる。トリチウムと陽子を得る際の 1 対の反応エネルギーの出力は 4 MeV であった。1 eV は $1.602 \times 10^{-19} \text{ J}$ であるので 4 MeV は $6.408 \times 10^{-13} \text{ J}$ である。

そこで効率 100 % (すべての燃料が反応を起こす) とすると除して

$$5 \times 10^{28} \text{ 対、} 10^{29} \text{ 個}$$

の重水素を 100 万キロワットの発電機の 1 年間の運転に要する。重さでは、前出の D の重さにこの個数を乗じて

$$0.3348 \text{ t}$$

である。

6. 発電機の必要数

核融合発電が実用となるころの世界の人口はウィキペディアによると予想の限界の 2050 年で、諸説あるが 100 億人としている。現在の我が国の総電力需要は人口 1 億 2500 万人に対し、100 万キロワット発電機 100 基分である。この割合を用いて全世界で 8000 基必要となる。

また、同じく前に述べたように電力需要は 16.5 % / 10 年の自然増加があるので 2050 年には更にその 1.84 倍(入手資料の 40 年後)となる。

なお現在の日本のエネルギー需要は電力だけでなく、化石燃料の直接燃焼による利用が電力消費の凡そ 4 倍程度ある。直接の燃焼エネルギーは殆ど 100 %エネルギーに変換されているが、電力は元の燃料の 30 %しか電気エネルギーに変換されていない。従って将来枯渇する燃焼によるエネルギーを全て電力エネルギーで賄おうとすると 1 桁多い電力エネルギーを供給しなければならないことになりかねない。如何せん相当な技術革新を要するので今回のところは現在の電力供給分と同等の量の燃焼エネルギー分を肩代わりすると考える。…ここで電力供給が倍になる。

これらを鑑みると 100 億人に対し核融合発電炉の必要量はフル稼働で

30000 基

といえる^[4]。この値は環状炉の場合のものである。筆者の従事してきたミラー方式改良型、タンデムミラーではエネルギーの取り出しが、熱変換(この変換効率が 30 %の低さである)だけの環状型とは異なり、直接変換という効率の高いシステムを活用できる。この直接変換と熱変換を組み合わせることでシステム全体では環状炉の凡そ 2 倍の効率が得られるとすると全世界で

15000 基

と概算する。タンデムミラー炉では今回の課題では関わらないがほかにも実用に向けた大きな利点を持っている。

7. 何年分の燃料となるか

今まで述べてきた 4 章「地球上の重水素の量」を 5 章「100 万キロワットの発電機の…」、6 章「発電機必要数」で除して

環状炉 25 億年、タンデムミラー炉 50 億年

の数が得られた。

8. 結論

2050 年の時点での世界の人口 100 億人に対し、海水から取り出した重水素を燃料として核融合発電を向こう 25 ~ 50 億年運転できる。

少なくとも人類の歴史の範囲、若しくは地球上の次の生命体の歴史で十分核融合発電を賄えるだけの重水素量が海水に含まれている。

謝辞

今回の課題を提起してくださった東千晶先生に謹んで感謝申し上げます。非常に大まかな条件のもとでの考察につき、改めてご指摘いただき少しずつ詰めていきたいと思います。

参考文献

- [1] 理科年表, 丸善.
- [2] 理化学辞典, 岩波書店.
- [3] 井上信行, ほか, トコトンやさしい核融合エネルギーの本, 日刊工業新聞社.
- [4] 平田久子, 核融合発電実用時の我が国の電力需給の考察, 技術報告 No. 26 (2006) 91.

How long term for fusion reactor operation by use deuterium in the sea

Hisako Hirata

Technical Service Office for Pure and Applied Science, University of Tsukuba,
1-1-1 Tennodai, Tsukuba, Ibaraki, 305-8577 Japan

Keywords: Fusion Reactor, Deuterium, Seawater, Limitless?

両面テープ固定法による樹脂材料切削加工品の紹介

小林 浩三

筑波大学医学系技術室

〒305-8575 茨城県つくば市天王台 1-1-1

概要

樹脂材料は金属材料と比較すると一般的に機械的強度が小さい、耐熱温度が低い、切削抵抗が小さいという特徴がある。機械的強度が小さいことは固定する際に材料が変形し仕上がり精度に大きな影響を及ぼしかねない。したがって、樹脂材料を変形しないように固定するには金属材料以上に工夫する必要がある。一方、切削抵抗が小さいことは金属材料と同様に強固に固定しなくてもよいことになる。今回は、切削抵抗が小さいことを利用して両面テープで材料を固定した切削加工品をいくつか紹介する。

キーワード：樹脂材料、両面テープ、固定法、切削加工

1. はじめに

工作機械で切削加工を行う際、材料をバイス等で強固に固定することが一般的である。これは、切削抵抗を十分に上回る力で固定することと同義になる。言い換えれば切削抵抗を上回る力で固定できればバイス等を用いなくともよいことになる。また、材質、形状によっては汎用のバイス等で固定したとき材料が変形することもある。そこで、それらの材料を固定するため特別に工夫された治具を用意することも考えられる。筆者は切削抵抗が小さい樹脂材料をバイス等と併用、あるいはバイス等以外の固定法での切削加工を行っている。その中から両面テープを用いて樹脂材料を固定し切削加工を行った製作品をいくつか紹介する。

2. 樹脂材料と両面テープ

ひとくちに樹脂材料と言っても種類が多すぎてこの場で説明するには紙面が足りない。両面テープも同様である。ここでは、筆者の業務場所である筑波大学医学工作室で普段扱っているものについて極簡単に紹介したい。

2.1 樹脂材料

近年、どの業界においても材料に求められる傾向のひとつとして錆びにくい材質ということがある。医学、生物学の分野ではそれが特に顕著である。医学工作室に私が赴任した 30 数年前から樹脂の利用率は 50 パーセントを超えていた。

赴任当時は、アクリル、塩化ビニール、ベークライトがほとんどであったが、その後、ポリカーボネイト、ポリエチレン、ポリプロピレン、ポリアセタ

ール、ポリエーテルイミドなどを扱うようになっていく。

2.2 両面テープ

両面テープは、粘着材が塗布される基材と粘着材の種類及びその厚さ等により用途別に多種多様な製品がある。そんな中から安価で入手しやすい一般用の薄手のものを過去から現在まで使用している。理由は、基材や粘着材の違ういくつかの種類を試した結果、あまり大きな差は見られなかったためである。

3. 両面テープ固定法による切削加工

筆者が行っている樹脂材料を両面テープで固定した切削加工には、①両面テープだけで樹脂材料を固定する方法、②バイス等と両面テープで樹脂材料を固定する方法がある。それぞれの方法で加工し、完成した製品について紹介する。

3.1 両面テープだけで固定した切削加工例

3.1.1 電気泳動用コームの加工例 1

代表的なものとしてまず、電気泳動法でゲルにサンプルを格納する凹みを作成する際に使用するコームと呼ばれる櫛型の型がある。材質はアクリル、テフロンが一般的である。使用方法によっては厚さの精度が重要である。図 1 は、テフロン製で横 89mm × 縦 37mm と比較的小さな部品であるが、厚さが 0.75mm である。0.75mm の隙間に入れて使用するの精度としては限りなく 0.75mm に近づける必要があるが、結果的に 0.74mm から 0.75mm の精度に切削加工することが出来た。

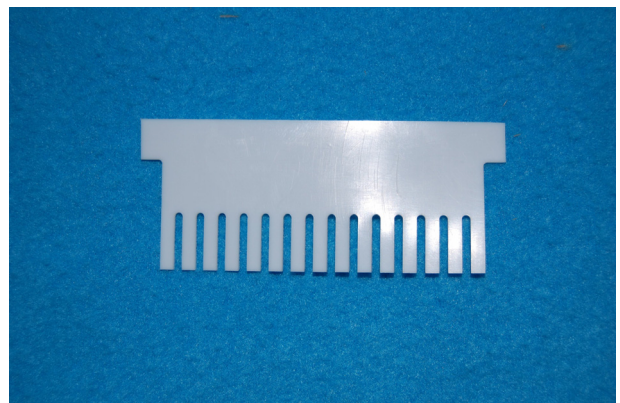


図 1. テフロン製コーム

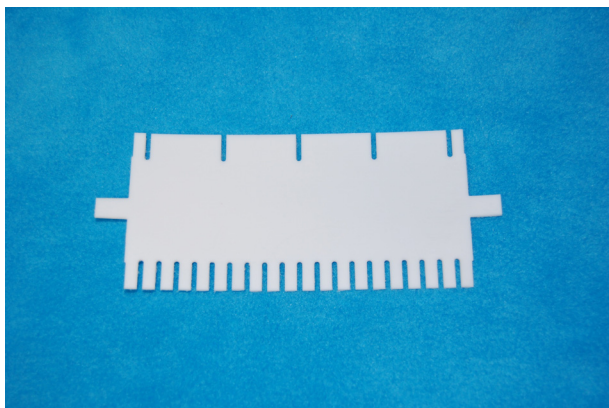


図 2. テフロン製コーム

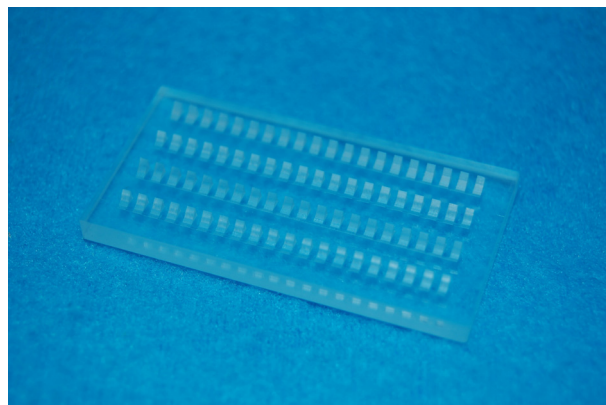


図 5. 鋳型

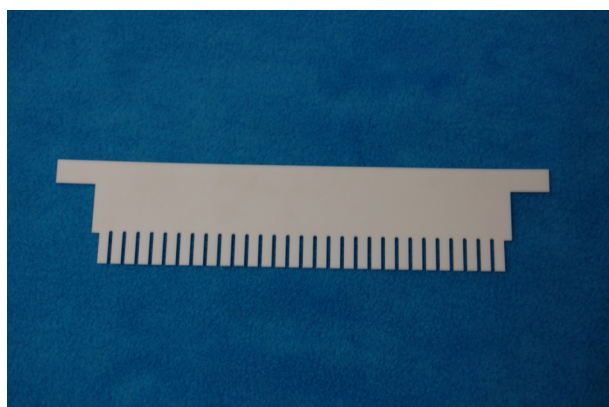


図 3. テフロン製コーム

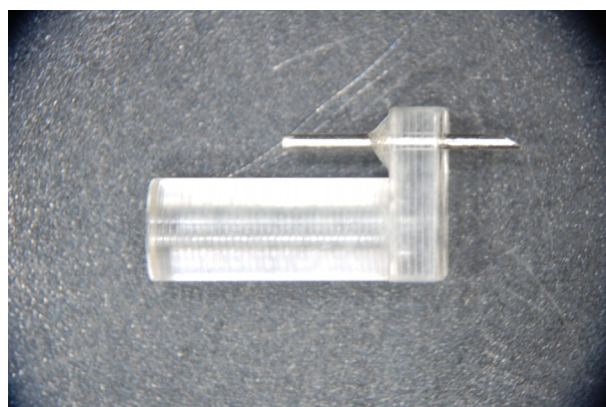


図 6. ガイド



図 4. 器具の蓋

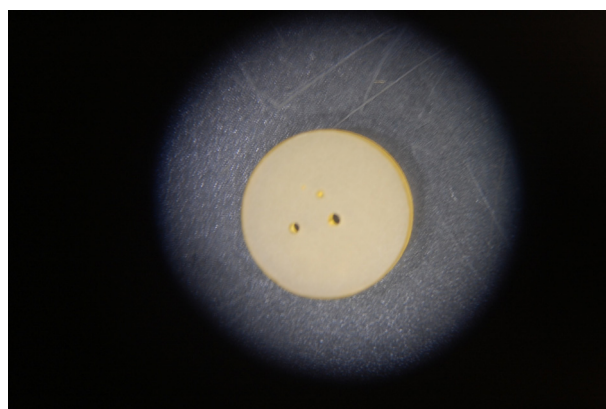


図 7. 電極ガイド

3.1.2 電気泳動用コームの加工例 2

図 2 は加工例 1 と材質は同じテフロンであるが、これまでの捨て板による加工法^[1]では困難な形状をしている。そのため両面テープによる固定法での切削加工を行った。大きさは横 153mm×縦 62mm で厚さは 1mm である。

3.1.3 電気泳動用コームの加工例 3

図 3 もテフロン製のコームである。このコームの特徴は溝の幅が 1.5mm ということである。切削面の仕上がりを見込んで直径 1mm の刃物で輪郭をなぞるように切削加工を行うこととした。したがって、

図 2 と同様捨て板による加工が困難であり両面テープによる固定法により加工を行った。

3.1.4 器具の蓋

図 4 は、新しく器具を製作したときにその部品の一部となる蓋である。通常、このような形状の部品は旋盤で加工することが多いであろう。φ90×20mm のサイズをポリアセタールで製作する。樹脂材板は、一般的に板厚の寸法公差が大きく 5~10% 程度厚めに製品ができています。そこで 20mm 厚(測定厚 21.5mm)の規格の板を両面テープで固定して切削加工を行ったものである。

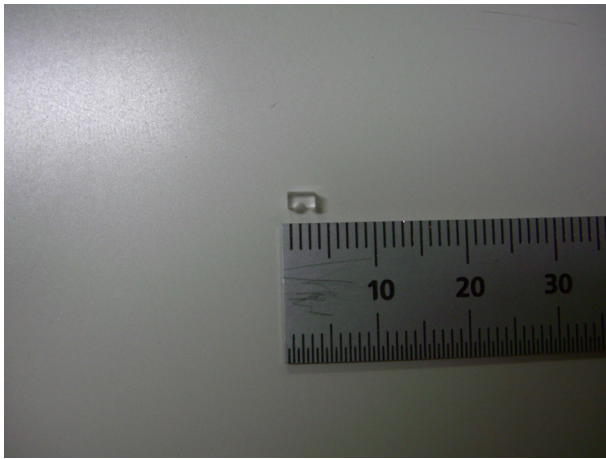


図 8. ビーズ

3.1.5 鋳型

図 5 は、培地にサンプルを入れるための凹みをつけるための鋳型である。アクリル製のこの型は 3.5mm 厚の板の上に幅 1mm、奥行き 1.5mm、高さ 1.5mm の三角形の突起が 80 個ある。それぞれの突起の高さは、限りなく揃っていることが要求されたためバイスでの固定より両面テープでの固定が有利と判断したものである。

3.1.6 ガイド

図 6 は、電極のガイドである。アクリル製の部品にステンレスのチューブを取り付けてある。アクリル部分の大きさは 1.5mm 厚で幅 3mm、奥行き 5mm の板の上に $\phi 2\text{mm}$ 、高さ 7mm の丸棒が載っているような形状である。バイス等での固定での加工は困難と判断したものである。

3.1.7 電極ガイド

図 7 は、電極のガイドとなる。この部品はポリアーテルイミド製である。この素材は樹脂材料の中では硬い部類に入る。当初、 $\phi 10\text{mm}$ 、厚さ 3mm の円盤状の板に $\phi 0.16\text{mm}$ 、 $\phi 0.32\text{mm}$ 、 $\phi 0.68\text{mm}$ 、 $\phi 0.76\text{mm}$ の穴がそれぞれ 1 個ずつ開いている。依頼者からは、大きめに製作しておいて依頼者が好みのサイズに小さくするという事で製作したが、後にこの材料が手作業で小さくしていくのは困難と判断され $\phi 5\text{mm}$ に 4 つの穴が収まるよう削りだした。



図 11. ポリ容器の蓋



図 9. ガラス容器の蓋



図 10. 樹脂容器の蓋

3.1.8 ビーズ

図 8 は、細いステンレスチューブを板に固定するためのビーズと呼ばれる部品である。図のように大きさは、幅 2mm、奥行き 3mm、高さ 2mm である。1 回のオーダーが数百個単位であったため、一度にそれだけを切削加工するための固定方法として両面テープによる固定を採用した。

3.2 両面テープとバイス等を併用した加工

これまでは、両面テープだけで固定した加工例を紹介してきた。本節では、他の方法と併用した加工例を紹介する。

ここで紹介するのはいずれも既存の容器の蓋に穴を開ける加工である。正確な材質は定かでないが、どの蓋もポリエチレン、ポリプロピレン等と思われた。これら蓋の材質は、肉薄のため柔らかい、滑りやすいといった特徴がある。通常は、旋盤のチャックで固定して穴開け加工をするのが一般的であろう。しかし、柔らかいので変形しやすく、滑りやすいので穴を開けるときの切削抵抗以上の把持が非常に困難だったため両面テープを併用して蓋を固定した。その結果、それぞれ図 9、図 10、図 11 のように目的の穴あけ加工を行うことが出来た。

4. 終わりに

今回の報告は、両面テープで樹脂材料を固定した方法により切削加工を行って完成した製品の紹介と

その固定方法についての簡単な説明にとどめた。個別の製品についての固定方法や切削加工の方法についての詳細な内容は別の機会に報告したい。

また、両面テープで固定する方法以外にも樹脂材料の変形を抑制しつつ切削抵抗に負けないように固定できる様々な方法が存在する考える。更に、樹脂材料だけでなくアルミなど金属材料でも比較的柔らかい材質のものにも適用できるであろう。今後、

業務に応用できる固定法についても検討して行こうと考える。

参考文献

- [1] 小林浩三, 精密加工用仮止め接着剤により樹脂薄板を固定しての立フライス盤切削加工の試み, 筑波大学技術報告 No.27 (第6回 筑波大学技術職員 技術発表会 報告書)

Introduction of resin material cutting goods by double-sided tape fixation method

Kozo Kobayashi

Technical Service Office for Medical Sciences, University of Tsukuba,
1-1-1 Tennodai, Tsukuba, Ibaraki, 305-8575 Japan

Compared to metal materials, resin materials generally have lower mechanical strength, a lower heat resistance temperature and lower cutting resistance. Lower mechanical strength means that the material may be deformed when it is fixed in place, and this may greatly affect finishing precision. Accordingly, a greater effort must be made as compared to metal materials to devise ways of fixing the resin material in place so it does not become deformed. At the same time, low cutting resistance means that the material need not be fixed as tightly as a metallic material. This paper introduces several cut goods created through the use of double-stick tape to fix the material in place, taking advantage of its low cutting resistance.

Keywords: Resin materials, double-stick tape, fastening method, cutting

平かななに加わる力の違いによる切りくず厚さの変化を

計測する簡易装置の試作

田所 千明

筑波大学生命環境科学等技術室

〒305-8572 茨城県つくば市天王台 1-1-1

概要

手かなな引き作業時にかんな台に加える力の違いにより切りくずの厚さがどのように変化するかを簡易装置を用いて測った。

- ・未熟練者を想定した荷重の動きでは、厚さのばらつきが多かった。また、荷重の移動方法を変えた結果ばらつきは減少した。
- ・荷重の大きさよりもその位置と移動方法による影響が大きかった。
- ・下端調整の違いによる影響は不明であった。
- ・荷重はかなな引き中供試材上にあり、特に刃口元に集中することが良好なかなな引きと思われるが、それを実現させる各荷重の位置と量については不明であった。

キーワード：かなな、切りくず厚さ

1. はじめに

木材加工におけるかなな引き作業は、高度な技術が必要とされている。特に平かななでは、かなな刃研磨や下端調整（かなな台下面の接触位置）および切削時の力の配分等、様々な技術が用いられている。これらが一体となることで非常に平滑で光沢のある材面を得ることが出来る。また、その結果薄い切りくず（0.005 mm 程度）を連続して出すことが可能となる。

手かなな引きはかななを被削材に押し付けながら移動させ切削する作業である。かなな台下面より出たかなな刃に常時一定の力を加えながら行うが、切削直前（かなな刃が被削材に食込むまで）と切削終盤（かなな台じりが被削材より離れる時）でかなな刃にかかる荷重が変化しやすい。特に終盤にはそれまで被削材上にあったかなな台が被削材より離れ、かなな台尻を下に押下げることになる。その結果かなな刃にかかる力が大きくなり切削量（切りくず厚さ）が多くなる。この傾向は未熟練者に多く見られる。

かなな下端の形状は、刃口元および台じりが平面上にあり、台がしらが離れている場合を 2 点接触といい、台がしらも平面上にある場合を 3 点接触という。下端面は中仕上げの場合は 3 点、仕上げ削りの場合は 2 点接触と一般に言われている。

下端と刃の関係は例えると、一本下駄とその歯との関係で例えることが出来る。下駄は体重のかかり方により前後に揺れる。また、かなな台（長さ 27 cm）とかんな刃の突出量（0.01 mm）の形状を拡大すると、長さ 75m のジャンボジェット機が地上 3 mm で飛ぶスケールと同じと捉えることが出来る。これ

らの例のように、かなな引き作業は、かなな台とかんな刃が被削材上で、微小で微妙な条件の中で行われている。

この職人技と言われているかなな引き作業の詳細を調べるため、簡易な装置を試作した。かなな台の調整と加える力の位置およびその大きさを変え、作られる切りくず厚さを計測しそれがどのように変化するかを調べた。そして、未熟練者のかなな引き技術の理解の一助となることを目的とした。

2. 実験

供試材は柾目取りしたベイヒバ（30 × 40 × 210 mm）を用いた。かななは 1 枚刃の平かななで刃幅は 37 mm、水平刃口距離約 1 mm でかなな台の大きさが 23 × 57 × 180 mm である。錘を移動させるためのレールを左右の木端面に木ネジで固定した（図 1）。錘は 3、4、6 kgf とし、両面にそれぞれ 2 ヶおよび 3 ヶ同じ錘を吊るした。

下端面の形状は 2 点および 3 点接触とし、定盤上に置いた研磨紙（#320～#600）を用いて調整し、形状をマイクロメータで測定した（図 2）。そして刃口元と台じりの測定結果より台がしらの凹凸を求めた。なお、接触面以外は約 0.1 mm 削り取った。

試験装置は引張り試験機を用い、鋼鉄製の梁（高さ 65 mm）を支持台とし、その上に供試材を固定した。引張り試験機で錘を吊るした状態のかななを 10 cm/min の速さで水平に引きかなな引きをした（図 3、4）。切り込み量を約 0.05 mm とし、得られた切りくずの厚みを規定の位置で測定した（図 5）。供試材面は実験毎に超仕上げ鉋盤で調えた。

試験は錘の量と取付け位置および移動方法を変えて行った。かなな下端位置とかんなくずとの関係を図 6 に示す。

図 7 は 3 点接触時のかななと錘（4 ヶ）の動きの一例を表したものである。図 8 に錘の移動により生まれたきりくず厚さのばらつきを表すための標準偏差を示した。

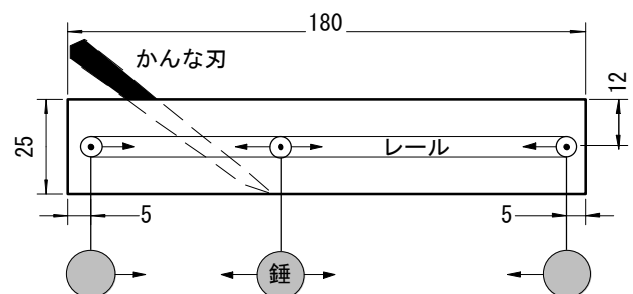


図 1. かななに取付けたレールと錘の位置 (mm)

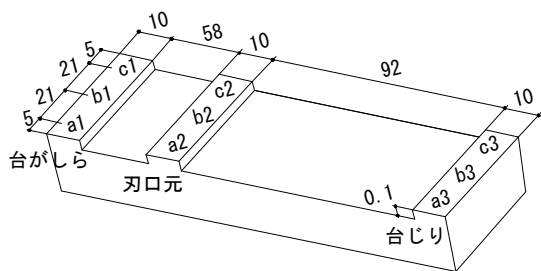


図 2. かな下端面測定位置 (mm)

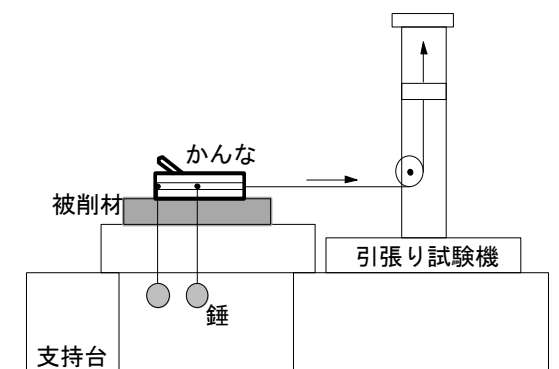


図 3. 実験装置



図 4. 実験風景

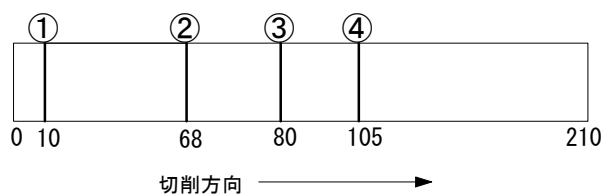


図 5. かななくず測定位置 (mm)

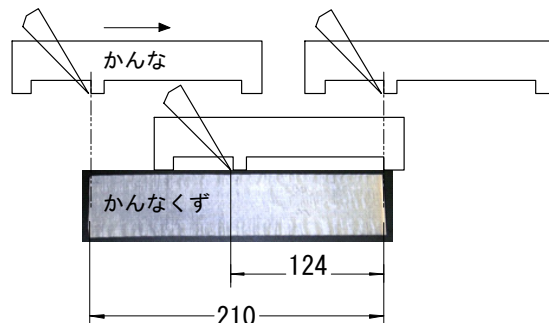
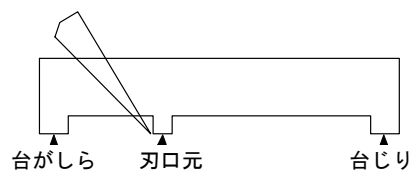
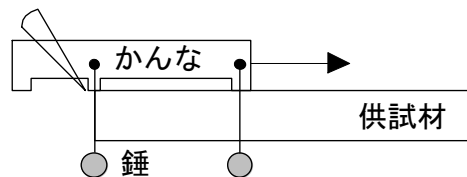
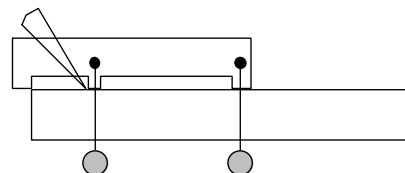


図 6. かな下端位置とかななくずとの関係 (mm)

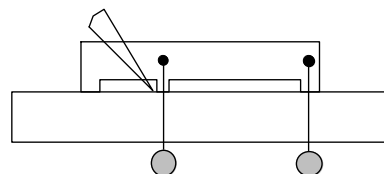
①削り初め



②台がしら供試材に載る



③かな全体が供試材に載る



④台じりが供試材から離れる

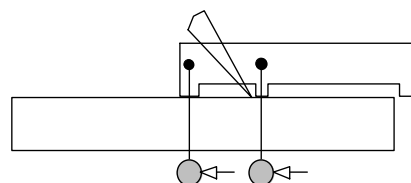
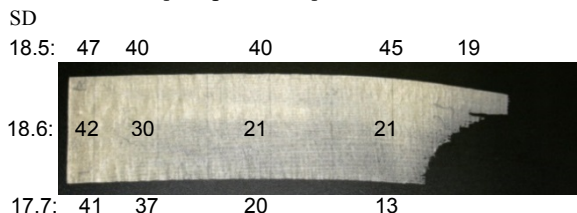
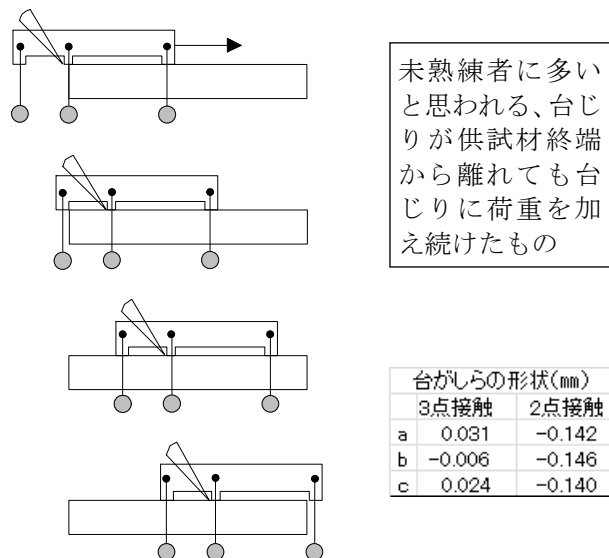


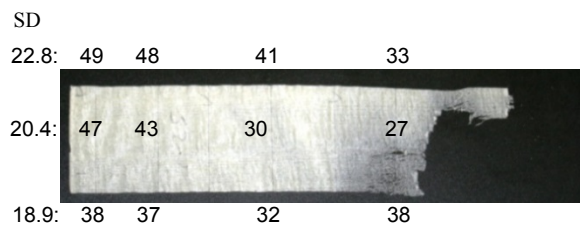
図 7. かな (3 点接触) と錘 (4 ヶ) の動きの一例

3. 結果

3.1 かな引きの間、錘を移動させない場合：[6 錘]



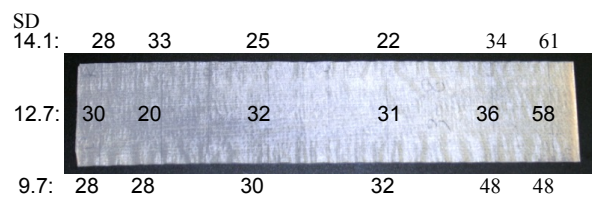
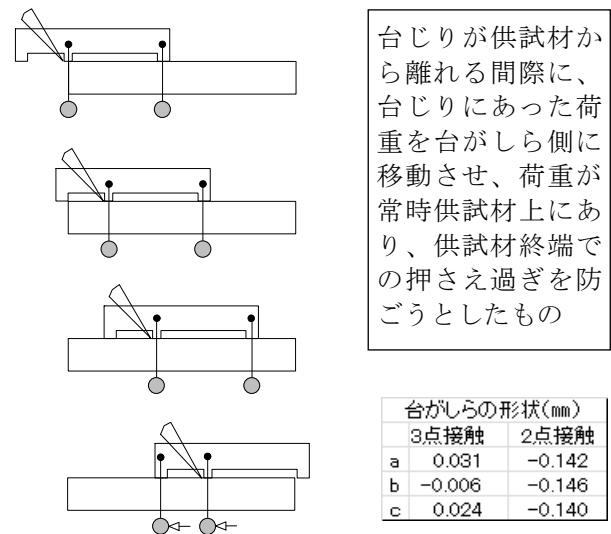
3点接触 [3×6=18kgf] 時の切りくず(μm)【図8-あ】



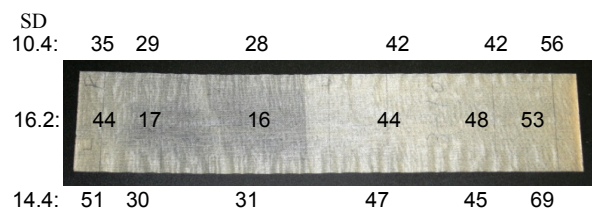
2点接触 [3×6=18kgf] 時の切りくず(μm)【図8-い】

○台じりが供試材から離れたため、全体のバランスが崩れ徐々にかな刃が浮いた状態となり、かなくずが途中で切れたと考えられる極端な例。下端接触数の違いによる影響はあまり見られなかった。

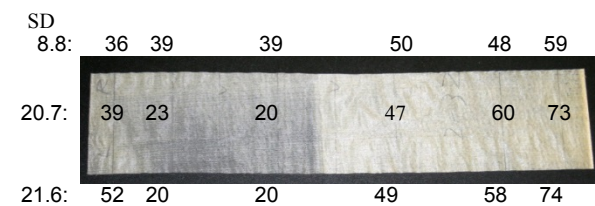
3.2 台じりが供試材終端に着いたら、刃口元の錘を台がしらに、台じりの錘を刃口元に移動させた場合：[4 錘]



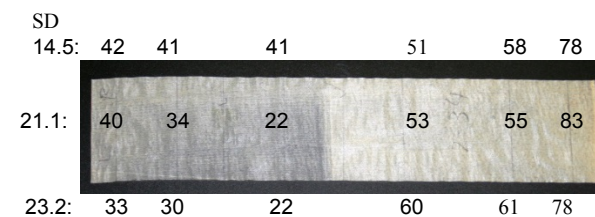
3点接触 [4×4=16kgf] 時の切りくず(μm)【図8-う】



3点接触 [6×4=24kgf] 時の切りくず(μm)【図8-え】



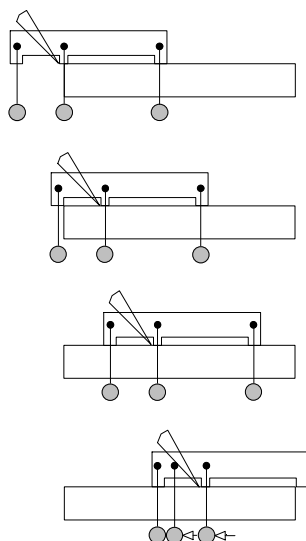
2点接触 [4×4=16kgf] 時の切りくず(μm)【図8-お】



2点接触 [6×4=24kgf] 時の切りくず(μm)【図8-か】

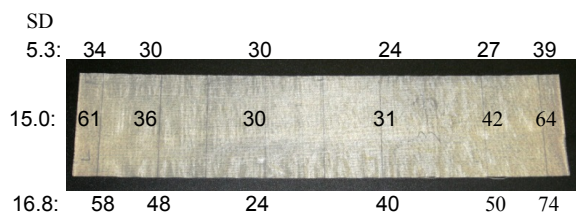
○錘移動がスムーズでなく、一部を除き厚みに極端な差がでた。刃口元に荷重が加わると厚さが増した。下端と錘の違いによる影響はあまり見られなかった。

3.3 台じりが供試材終端に着いたら、刃口元の錘を台がしらに、台じりの錘を刃口元に移動させた場合：[6 錘]

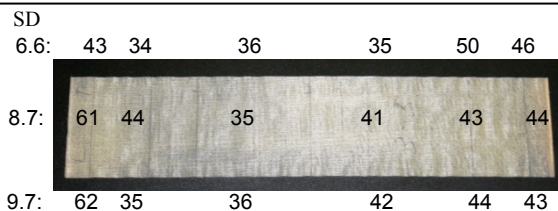


台じりが供試材から離れる間に、台じりにあった荷重を台がしら側に移動させ、荷重が常時供試材上にあり、供試材終端での押さえ過ぎを防ごうとしたもの

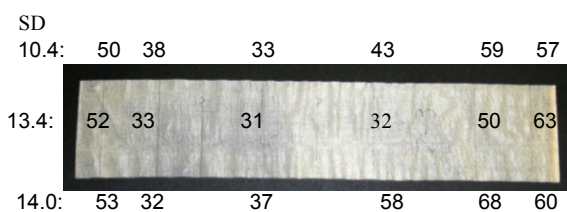
台がしらの形状(mm)		
	3点接触	2点接触
a	0.031	-0.142
b	-0.006	-0.146
c	0.024	-0.140



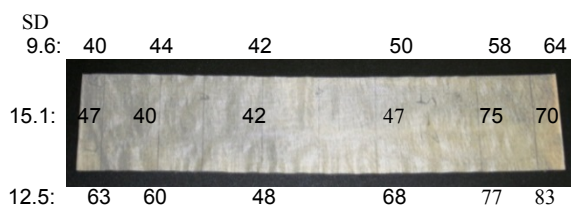
3 点接触 [3×6=18kgf] 時の切りくず(μm)【図 8-き】



3 点接触 [4×6=24kgf] 時の切りくず(μm)【図 8-く】



2 点接触 [3×6=18kgf] 時の切りくず(μm)【図 8-け】

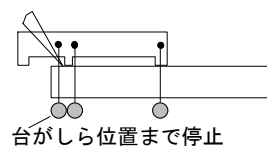


2 点接触 [4×6=24kgf] 時の切りくず(μm)【図 8-こ】

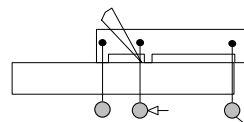
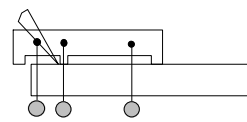
○結果 3.2 に比べ台がしら側に錘がより多くあったため、縦方向のばらつきが小さくなった。下端と錘の違いによる影響はあまり見られなかった。

3 点接触で [4×6=24kgf] のときはばらつきが全体で小さかった。
この移動の仕方は他に比べ全体でばらつきが小さかった。

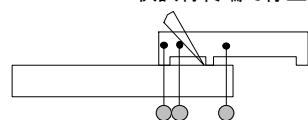
3.4 あらかじめ台がしらの錘を刃口元位置におき、台がしらが来るまでその位置で静止させる。台じりが供試材終端に着いたら台じりの錘は静止させて置き、他の錘を台がしらに移動させた場合：[6 錘]



台がしら位置まで停止

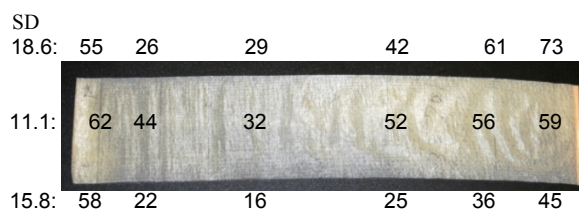


供試材終端で停止

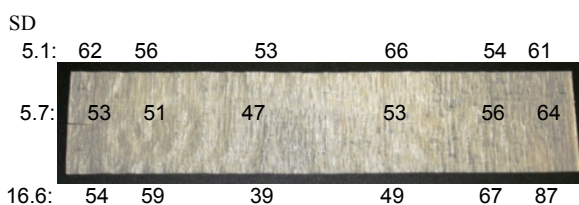


荷重が常時供試材上にあり荷重の移動が滑らかで供試材終端の削り過ぎを防ぐ。供試材上の台にかかる荷重のバランスをとりながら台がしらにより荷重をかけるもの

台がしらの形状(mm)		
	3点接触	2点接触
a	0.031	-0.110
b	-0.006	-0.094
c	0.039	-0.096



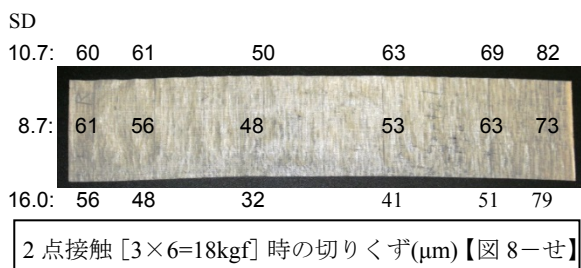
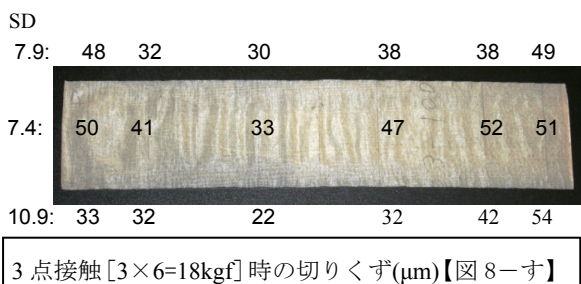
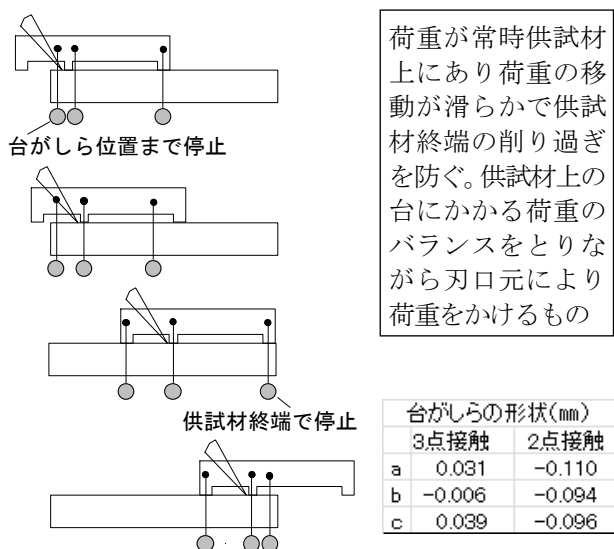
3 点接触 [3×6=18kgf] 時の切りくず(μm)【図 8-さ】



2 点接触 [3×6=18kgf] 時の切りくず(μm)【図 8-し】

○2 点接触の中央の場合、厚みのばらつきが最少で厚さも大きかった。2 点接触の片側でのばらつきの原因は不明。3 点接触は 2 点に比べ両側の厚みのばらつきが大きかった。台がしら側に荷重を加える方法だったが 3 点接触では効果が見られなかった。

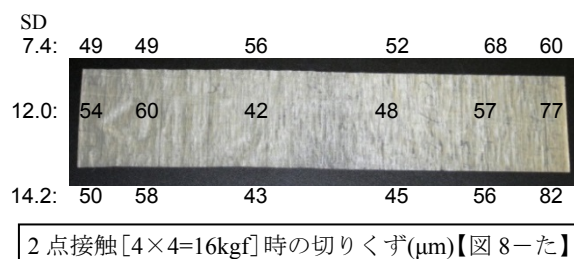
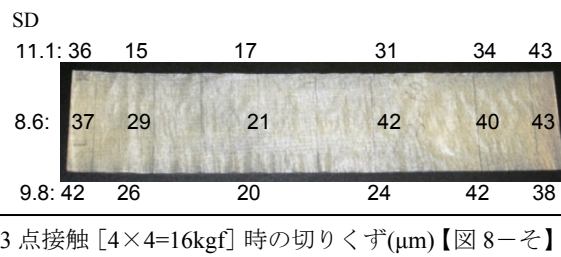
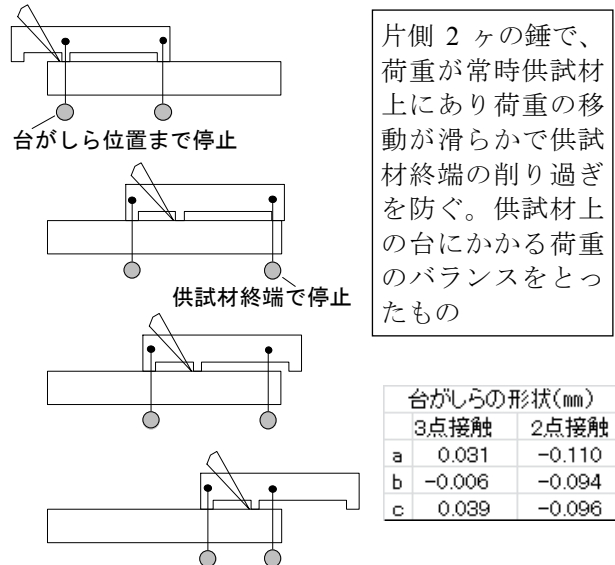
3.5 あらかじめ台がしらの錘を刃口元に移
動させおき、台がしらが来るまで停止させ
る。台じりおよび他の錘は供試材終端で静
止させて置く場合：〔6 錘〕



○全体にばらつきが小さく良好だった。特に 3 点接触で 3.4 の結果に比べばらつきが小さくなった。刃口元に荷重が加わるかな引きが良い結果を生んだと考えられる。

3.6 刃口元の錘は台がしらが着くまでは
静止させて置き、台じりの錘は供試材終端
で静止させて置く場合：〔4 錘〕

○全体的にばらつきが小さく良好だった。3 点接触



では厚みが小さかった。

3.7 切りくず縦方向中央部の標準偏差

・未熟練者を想定した荷重の動きでは、他に比べばらつきが大きくなった (図 8-あ～か)。また、錘の移動方法の改良をした結果ばらつきが減少した (図 8-さ～た)。

4. まとめ

・荷重の大きさよりも位置や動きが重要だった。
・下端調整の違いによる影響は分らなかった。
・荷重はかな引き中供試材上にあり、特に刃口元に集中することが良好なかな引きと思われるが、作業中 (引き始めから終わりまで) の力の配分については不明であった。

未熟練者へのかんな引き技術の理解の一助として行った実験だが、手さぐりで条件（錘の重さ、切込み量、移動の仕方等）を決め行ったが、だいたい想定していた結果が得られた。しかし、個々の条件の違いによる影響ははっきりつかめなかった。条件

の組合せを変えると違った結果になることも考えられた。

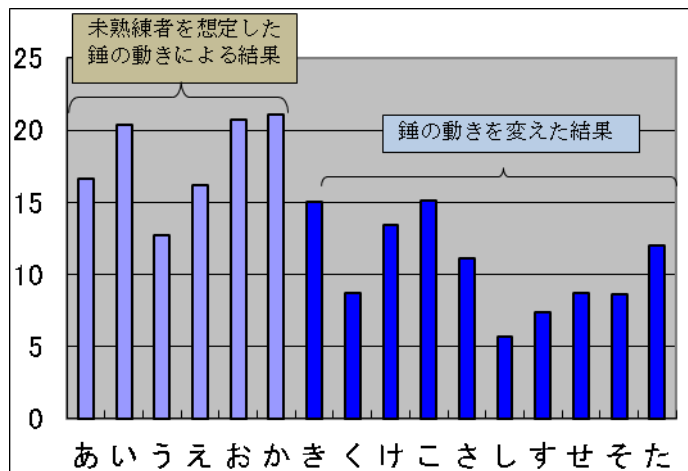


図 8. 切りくず縦方向中央部の厚さの標準偏差

The change in chip thickness due to the difference of the force applied to the Plane Prototype of a simple device for measuring

Chiaki Tadokoro

Technical Service Office for Faculty of Life and
Environmental Sciences University of Tsukuba,
1-1-1 Tennodai, Tsukuba, Ibaraki, 305-8572 Japan

Keywords: Plane, Chip thickness

筑波大学技術報告 No.35
第14回筑波大学技術職員技術発表会報告集

平成27年3月発行

編集 筑波大学技術職員技術発表会実行委員会編集小委員会

発行 筑波大学研究推進部研究企画課
〒305-8577 茨城県つくば市天王台1-1-1
電話029-853-2923～4

第14回筑波大学技術職員技術発表会
主催
筑波大学全学技術委員会
委員長 三明 康郎 筑波大学副学長（研究担当）

企画・運営
第14回筑波大学技術職員技術発表会実行委員会

〔医学系技術室〕

菅江 則子（実行委員長）
枝川 弥生（実行副委員長）

〔農林技術センター技術室〕

比企 弘（実行副委員長）
山本 倫成

〔数理物質科学等技術室〕

松山 英治
大石 健一

〔生命環境科学等技術室〕

小川 玲子
大谷 理

〔アイソトープ環境動態研究センター〕

木村 陽子

〔学術情報メディアセンター〕

小林 修

〔研究基盤総合センター技術室〕

明都 茂

〔システム情報工学等技術室〕

神戸 昌幸
中山 勝

〔附属病院手術部〕

戸松 澄世