

ISSN 0916-2674
CODEN : TDGHFG

筑波大学

技術報告

No. 26

UNIVERSITY OF TSUKUBA TECHNICAL REPORT

2006

web版

第5回筑波大学技術職員技術発表会報告集

<http://www.tech.tsukuba.ac.jp/2005/>



筑波大学「技術報告」No.26（2006）の発刊に寄せて

筑波大学の技術職員による筑波大学技術報告の発行と技術発表会が着実に継続し、発展しているのは大変喜ばしく、まず、関係各位の甚大な努力に対して敬意を表します。

本報告は、第5回の筑波大学技術職員技術発表会の発表内容を中心とする論文により構成されています。これらは、教育・研究支援の多忙な日常業務の中で、本学の技術職員の各位によって行われた創意や工夫の結晶を報告するものです。多岐にわたった内容は、本学の技術職員がカバーしている分野の広さを示しています。

最近、教育・研究支援に携わる技術職員の職務もますます高度化しており、一層の技術力の向上が求められています。一方、大学に対する評価も研究論文などの研究成果のみでなく教育や社会貢献などを含めた総合的な評価に移ってきており、その中で技術職員の役割に対する期待も益々大きくなっています。

今回の技術発表会についても、日頃の活動の能力を活かしたオンラインによる発表申し込みの受付や、発表技術のサポート体制など、いくつかの新しい試みがなされたと聞いています。また、積極的な発表の勧誘や学外者の参加へ向けた広報活動など、この技術発表会の盛会に向けて大きな努力が払われています。多忙な中で献身的に作業を担われた実行委員と編集委員の各位に改めて感謝する次第です。

本学の技術職員の技術力の向上のため、各方面の一層のご指導・ご支援を期待しております。本報告が、技術職員どうしの研鑽とともに、本学の技術職員の現状に対する各方面のご理解の契機となれば幸いです。

2006年3月

筑波大学副学長 油田信一

（研究、産学連携、社会貢献担当）

目 次

筑波大学「技術報告」No. 26 (2006) の発刊に寄せて

油田信一 副学長 (研究、産学連携、社会貢献担当) i

技 術 発 表 会 報 告 集

S TM用サンプルホルダーの製作

大石健一 数理物質科学等支援室 (電子・物理工学専攻)1

生きている細胞を記録するための顕微鏡タイムラプス観察システムの工夫

小林浩三 人間総合科学等支援室 (医学)5

姿勢安定制御実験装置の製作

神戸昌幸 システム情報工学等支援室 (装置開発班)8

PCME における技術職員の業務とその役割 I ～ カリキュラム担当 ～

森田 (阿部) 倫子、菅江則子、小野瀬恵理子、嶋村玲子12
人間総合科学等支援室 (医学)

PCME における技術職員の業務とその役割 II ～ 実習担当 ～

阿部まゆみ、大野薫、枝川弥生、大里和美、土田聡美、酒井由紀、佐藤尚江17
人間総合科学等支援室 (医学)

MALDI-TOF MS による超微量蛋白質解析への挑戦

有本光江^{AE}、廣田隆一^B、柳澤純^{CE}、馬場忠^{CE}、深水昭吉^{DE}22

^A筑波大学生命環境科学等支援室 (応用生物化学系)、^B株式会社アックス、

^C筑波大学国際地縁技術開発専攻、^D筑波大学生物機能科学専攻、

^E21世紀COEプログラム「複合生物系応答機能の解析と農学的高度利用」

危険物屋内貯蔵所 (第3学群地区) の運用と利用状況

渡邊ゆり子 数理物質科学等支援室 (電子・物理工学専攻)26

デジタルカメラによる紫外線撮影法の開発

鷺野谷秀夫 病院総務部医事課 30

ヘリウム液化機タービントラブルについて

近藤裕、宮内幹雄、敦賀将太 研究基盤総合センター (低温部門)34

長円形ファントムの製作

河原井勝一 数理物質科学等支援室 (電子・物理工学専攻)38

Maestro2 スイッチボックスの開発

小野雅晃 システム情報工学等支援室 (装置開発班)42

補体制御膜蛋白欠損赤血球の高感度測定法

佐藤晶子、櫻井秀子 人間総合科学等支援室 (医学)48

GAMMA10 セントラル部における多チャンネルマイクロ波干渉計によるプラズマ計測 嶋頼子 プラズマ研究センター	52
生簀設備の改良について 品川秀夫 下田臨海実験センター	56
情報システムの管理と運用 川上彰、和田勉、山形朝義 システム情報工学等支援室（情報システム管理班）	60
漆によるつき板の加熱接着 田所千明 生命環境科学等支援室（農林工学系）	67
発酵食品を使った微生物実験の導入方法の検討 木澤祥恵 生命環境科学等支援室（応用生物化学系）	71
E PMA表面分析装置の紹介とボロンの分析 齋藤静夫 数理物質科学等支援室（物性・分子工学専攻） 西田憲正 研究基盤総合センター（分析部門） 清水雅浩 生命環境科学等支援室（地球科学系）	74
C 軸制御による翼型ノズル形状の加工 内田豊春 研究基盤総合センター（工作部門）	78

技術報告

放射性同位元素使用施設の火災対策 松尾邦夫 研究基盤総合センター（アイソトープ部門）	83
筑波大学システム情報工学等支援室掲示板システム 山崎豊、山内勝晴、鈴木清 システム情報工学等支援室	90
パーソナルコンピュータによるガンマ 10 データ収集系の更新 杉山昭彦 プラズマ研究センター	94
ソフトウェアで実現するバーチャル測定装置の製作 山内勝晴 システム情報工学等支援室（情報システム管理班）	98
核融合発電実用時の我が国の電力需給の考察 平田久子 数理物質科学等支援室（物理学専攻）	101
ガスデポジション装置用搬送管の製作 石川健司 研究基盤総合センター（工作部門）	122

第5回筑波大学技術職員 技術発表会報告集

開催日：2006年3月15日
会場：筑波大学総合研究棟B公開講義室



第5回筑波大学技術職員技術発表会の公式ウェブサイト
www.tech.tsukuba.ac.jp/2005/

STM 用サンプルホルダーの製作

大石健一

筑波大学数理物質科学等支援室

〒305-8573 茨城県つくば市天王台 1-1-1

概要

実験・研究等に用いられる金属部品などを作るには、様々な工作機械、工具等を用いて加工する必要があります。この機械加工の内容を「STM サンプルホルダー」の製作を例にして紹介します。

1. はじめに

数理物質科学研究科の電子・物理工学専攻には、技術職員が6名おり、教育・研究を支援する仕事をしています。技術的な面から支援するために機械系、電気系、化学系の3つの専門ごとにグループを作り、ワークショップとして活動しています。

その一つの機械系ワークショップは、一人のリーダーの指導の下に、合わせて3名で仕事をしています。内容は、各種研究用装置・機器等の設計・製作、金属材料等の供給、工具等の貸出、製作図面の相談、技術的指導などがあります。

以前に、この機械系ワークショップの活動を紹介しましたが、今回はその中の機械加工について詳しく紹介します。

2. 加工例

「STM 用サンプルホルダー」を製作しましたので、この製作過程を、一般的な機械加工の方法と合わせて示していきます。STM とは、走査型トンネル顕微鏡のことで、これを使って試料を計測しようとするときに、その試料を入れて支えるものがサンプルホルダーです。材質はモリブデンという金属で、大きさは直径が20.5ミリで厚さが2ミリの円盤状のものです。

3. 機械加工の仕事

3.1 製作の依頼

各研究室において、実験・研究のための部品・装置などが必要になったときに、教員・院生・学生等がその製作の依頼に来ます。依頼者は、手書きのメモのようなものから、機械図面まで、様々な図を描いてきます。

その図を基にして、寸法・形状・材質・個数等を確認します。また、必要に応じてそのものがどのような状況で使われるかを聞きます。たとえば、穴をあけるときの、決められた寸法の軸を通すのか、細かいコードを通すのかなど、その穴がどのように使われるかによって寸法の許容差を決めます。さらに重量物を載せるとか、強い力をかけて使うなどの場合には、板の厚さを厚くするとか、材質を変えるとかが必要になることがあり、その変更について相談し

ます。また、加工した部品を組み立てる場合には、正しく組み立てられるのか、目的に合った組み立てが出来るのかを検討します。たとえば、ネジを使うか、接着剤を使うか、ハンダ付けをするか、それぞれの場合にこの部品の材質・寸法で加工が可能かなどを考えなければなりません。

このように、依頼者の用意した図を基準にして、場合によっては加工の可能な範囲内でその条件を満たすように細部を変更して、寸法・形状・材質・個数等を決めます。

本加工においては、 $\phi 8$ は、軸に通すわけではないこと、 $\phi 10.5$ の深さ0.9は、試料を入れる使い方をする事を確認しました。

3.2 製作法の検討

依頼者の用意した図を基にして、場合によっては細部を変更した後、必要に応じて機械図面を描きます。（図1）

この図面において、数字の単位は全てミリメートルです。また、 ϕ は直径を、9-M2は2ミリのネジが9か所ということを表しています。

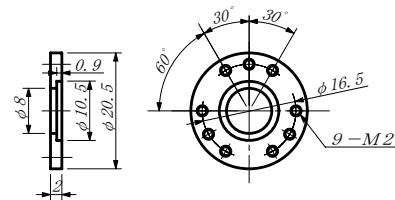


図1

次に加工の手順を考えます。まず、どのような材料から加工するかを決めます。材料は、板、丸棒、角材等の形になっていることが多く、その中から適したものを選びます。通常は、加工品の形状、加工の効率などから必然的に決まりますが、たとえば円盤状の物の場合には、板からでも、丸棒からでもできるので、加工の手順を総合的に検討して決めます。

どのような加工をするかによって、適した工作機械があり、それを選びます。工作機械には様々なものがあります。

「卓上ボール盤」はテーブルの上に材料、加工品などの被削材を取り付け、上の方にはドリルといわれる工具をチャックというものに取り付けます。このドリルを回転させて下ろし被削材に穴をあける機械です。

「旋盤」は、主として丸い棒状の材料をチャックに取り付けて回転させます。それにバイトという工

具を当てて削っていく機械です。いろいろな種類のバイトを使う事により、様々な形の加工ができます。また、ドリルを使って穴をあけることも出来ます。

「立フライス盤」は、テーブルの上に材料、加工品を取り付け、上のほうには主としてエンドミルといわれる工具をチャックに取り付けます。卓上ボール盤と違って、テーブルを左右、前後方向に0.01から0.02ミリ単位で動かす事ができます。同様に上に取り付けた工具も0.01から0.02ミリ単位で上下する事ができます。両方を動かすことにより、様々な加工ができます。

加工において、ジグというものを使う事があります。これは、加工のための補助具のようなもので、被削材を、そのままでは機械に取り付けられない場合や、加工をやりやすくする場合等に使います。ジグが必要な場合には、事前に作ります。

複数の機械を使う場合には、順番を決めます。複数の機械を行ったり来たりというように繰り返し使う場合もあります。

このように機械を選び順番を決めますが、この工程が重要です。順番が違って、いったん削ってしまうと、次の機械に取り付けできなかつたり、加工しようとする位置を決められなかつたりする場合がありますからです。

本加工においては、モリブデンの板から作り、ジグを使って、旋盤で外径部分及び穴部分を加工し、立フライス盤でネジ部分の一部を加工し、手作業でネジ部分を完成させる事にしました。

3.3 材料の用意

工程を決めた後、材料を用意します。材料は、アルミ合金・黄銅・鉄等が板・丸棒等の形としてあるので、それを切って使います。

ここで注意するのは、材料の寸法を加工状況に合わせて決めることです。単純に加工品の寸法に削りしろだけを足した大きさだと、機械に取り付けて必要な部分を削れなかつたりします。そのため、工程に合わせて必要な量を切ります。

機械系ワークショップでは、一定の種類、量の材料を保管していますので、その中から用意します。ここには種類・量の場合には、依頼研究室が研究基盤総合センター（工作部門）から購入するという手続きをします。依頼研究室に必要な書類を作ってもらい、その書類を持って工作部門に行くと材料をもらってきます。

本加工においては、依頼者が持ち込んだモリブデンの厚さ2ミリの板を使いました。

3.4 機械加工作業

(1) 安全の確保

機械加工の作業をする上で大切な事の一つに安全の確保があります。これは、様々な工具類、機械を使う過程では、ケガをしたり、事故を起こしたりする可能性があるために、それを防ぐ必要があるということです。作業者またその周囲の人がケガをしたり、事故に巻き込まれたりしたときの損失はとてもの大きなもので、場合によっては取り返しがつきませ

ん。決して人が傷つく事のないように、安全第一で作業を進めなければなりません。そのために、服装、保護具の用意に始まり、工具類・機械等の点検と正しい使い方の実践が必要です。

また、製作法の検討で述べたように、加工の手順を安全で、確実な作業ができるように決めなければなりません。被削材を機械に取り付けるさいに、チャックを締める力が不十分であったり、ジグを使わなかったために不安定な取り付けになって、加工中に被削材がはずれてしまうということも考えられます。切削工具の取り付けにおいても同様です。一つ一つの作業を確認しながら進めていくことが大切です。

加工作業は、主として「3学系共用工作室」で行ないます。これは、以前の物理工学系、物質工学系、構造工学系の3つの学系で利用するために設けられた部屋です。ここには、各種工作機械、工具等が備えられ、主に利用者講習会を受講して一定の要件を満たした教員、技術職員、学生等が利用する事が出来ます。

(2) 手順

材料を切るときから加工作業が始まります。通常は、棒状の材料の場合には、直径10数ミリ程度までは、通称弓ノコといわれる金属用のノコギリを使って手で切ります。それより大きいものは、電動の金切鋸盤を使います。板の場合には、2ミリ程度以下のものはシャーリングという切断機を使います。それより厚いものはコンターマシンという帯のこ刃を回転させる機械で切ります。

次に、卓上ボール盤、旋盤、立フライス盤などを使って加工していきます。材料をバイス、チャックなどの保持具を使って機械に取り付けます。次に、それを削るドリル、バイト、エンドミルなどといわれる工具を取り付け、材料または工具を回転またはその他の動きをさせて加工していきます。

(3) 卓上ボール盤

本加工では、最初にモリブデンの板に6ミリの穴をあけます。まず、ケガキといって、穴あけ、切断に向けた準備のような作業をします。ポンチという工具で穴をあける位置にへこみをつけ、そこを中心にしてコンパスを使って直径22ミリぐらいの円の印をつけます。次に卓上ボール盤を使って、へこみをつけた位置に、6ミリの穴をあけます。

後の加工で必要なのでアルミ合金板で同じものを2枚一緒に作ります。（図2）

(4) コンターマシン

コンターマシンで直径22ミリぐらいの円の印に合わせながら、できるだけ円に近く切ります。切ったところのバリはヤスリで削っておきます。

(5) 旋盤

モリブデンの板は、穴をあけたり、削ったりするとその周りがめくれたり、はがれたりすることがあります。それを防ぐために両側からアルミ合金板ではさむようにしてジグに取り付け、旋盤の主軸に取り付けてあるチャックでくわえます。バイトを取り付けるための刃物台があるので、そこに外径削り用

のバイトを取り付け、外径20.5ミリまで加工します。(図3)

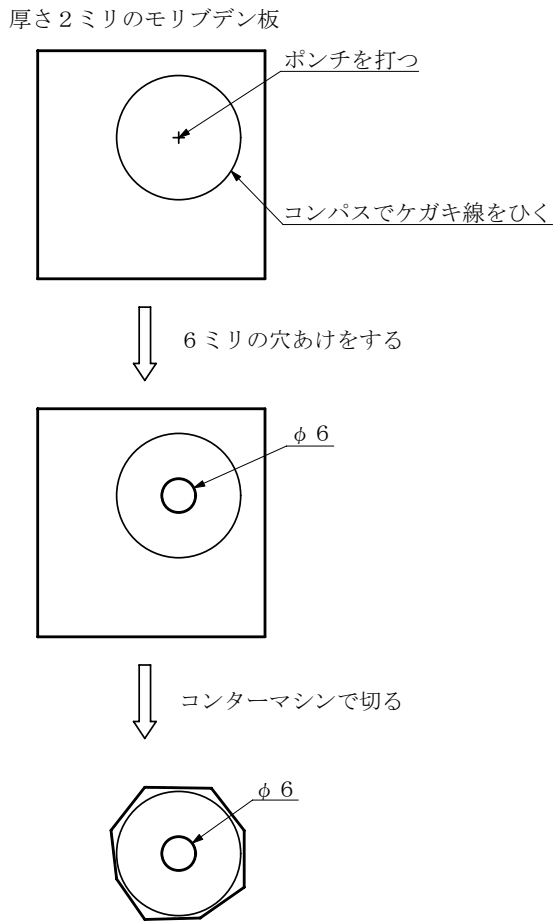


図2

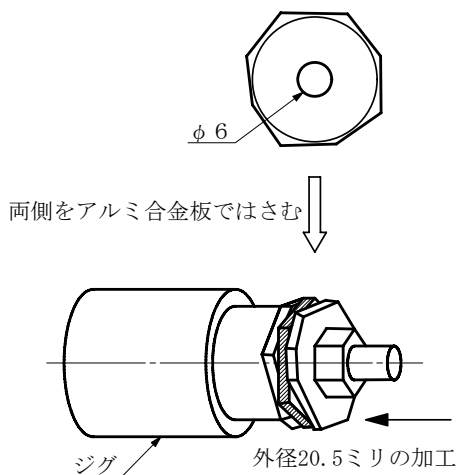


図3

(6) 立フライス盤

立フライス盤のテーブルに、角度を決めて回転できる円テーブルというものを取り付けます。そして、この円テーブルの中心と工具を取り付ける軸の中心の位置を合わせます。これは、芯出し顕微鏡というものを機械の主軸に取り付け、円テーブルの中心を目で見て合わせます。円テーブルには、芯出し用の加工品を取り付けて行ないます。テーブルを左右、前後方向に動かして円テーブルの中心位置を目盛0とします。

その円テーブルに被削材をジグと一体になったままの状態に取り付けます。

センター穴ドリルという工具を使い、直径16.5ミリの円周上にある9か所のネジのガイドのための穴をあけます。最初から寸法どおりのドリルを使わないのは、ドリルによる位置のずれを防ぐためです。センター穴ドリルですと加工時の先端の振れがほとんどありません。30度の角度は円テーブルを回転させて決めます。

次に1.6ミリのドリルで2ミリネジの下穴という穴あけをします。2ミリのメネジは約1.6ミリの穴にネジ山を切って作るためです。モリブデンは硬いので、切削油をつけながら、少し削っては戻して削った粉を取り除き、また削ることを繰り返します。ドリルの刃先の消耗が激しいので、ドリルの研削も数回しました。(図4)

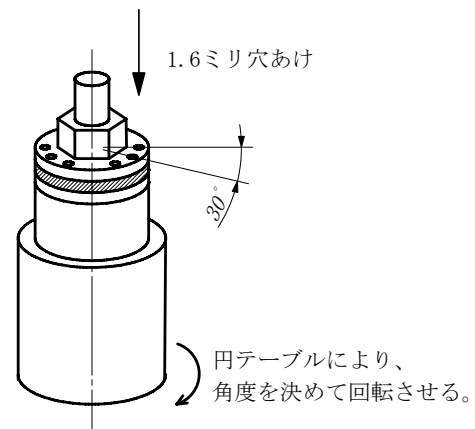


図4

(7) 旋盤

ジグから取り外して、こんどは別のジグに入れて旋盤のチャックでくわえます。反対側には心押台というのがあります。加工物の一端を支えたり、刃物を取り付ける作業に使います。ここに、ドリルをチャックを使って取り付け、8ミリの穴あけをします。

次に直径10.5ミリで深さ0.9ミリのザグリという部分の加工をします。刃物台に穴ぐり用のバイトを取り付けて加工します。

カドの部分は面取りという加工をして、削っておきます。反対側の面取りも、被削材をくわえなおして同様にします。(図5)

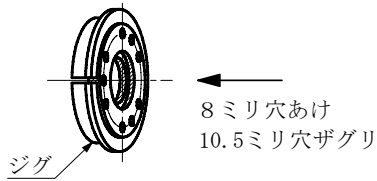


図5

3.5 手作業

ネジの加工等は手で行なう事があります。オネジ、また比較的大きなメネジは、旋盤でネジ切り用のバイトを使って加工することがありますが、比較的小さなメネジ、オネジは手作業で行なう事が多く、また、旋盤、手作業どちらでも出来る事もあります。手作業で行なう場合は、オネジはダイス、メネジはタップという工具を使い、ハンドルに取り付けて、それを手で回転させて材料を削りながら、ネジ山を作っていきます。

本加工においては、ジグから取り外し、2ミリのネジ加工をします。ハンドタップという工具を使い、手で行ないます。(図6)

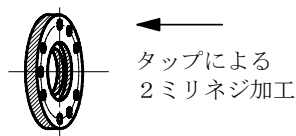


図6

3.6 仕上げ作業

切削したカドのバリをとったり、面取りといって45度くらいに削ったりします。丸棒のような形の場合は、旋盤作業においてする事がありますが、角型のものの場合には、手でヤスリを使って行ないます。また、加工品の表面の汚れを取ることもあります。

本加工においては、表面の汚れを布ヤスリ等で磨いて落としました。

3.7 後片付け

使用した機械から工具類を取り外し、掃除をしてもとの状態に戻します。必要に応じて点検、注油をします。手作業、仕上げで使った工具類もきれいにしてもとの保管場所に戻します。多くの人が共通に利用する場所、機械ですから、これはとても大切な事です。

その後、加工品は、こちらで記録するための伝票とともに依頼者に渡します。伝票には、依頼責任者の教員の署名、押印をしてもらい、加工品の名称を記入してもらって、再びこちらに返してもらいます。

本加工においては、加工品を伝票と共に依頼者に渡し、必要事項を記入した伝票を返してもらって終了となりました。(図7)



図7

4. まとめ

機械加工における重要な要素の一つに工程があります。どのような手順、方法によって目的とする形ができるのかを考えなければいけません。一見して単純なように思える形のものでも、実は複雑な工程を経て作られているかもしれません。ジグなどのために多くの材料を使っているかもしれません。

適切な工程を考えるには、確実な技術と経験が必要になると思います。それぞれの機械を正しく操作し、ジグを有効に使って、適切な工程を経ることにより、安全で確実な作業をする事ができます。そうすることにより、ケガや事故を防ぐとともに、よりよい加工品を得る事ができると思います。

この報告にあたり、ご指導いただきました物質創成先端科学専攻 佐々木正洋助教授ならびに佐々木研究室の皆様へ深く感謝いたします。

生きている細胞を記録するための顕微鏡タイムラプス観察システムの工夫

小林浩三¹

筑波大学人間総合科学等支援室

〒305-8575 茨城県つくば市天王台 1-1-1

1. はじめに

今回のテーマを実現する装置は、顕微鏡メーカーから顕微鏡にオプションを追加することで可能となる製品が販売されている。しかし、顕微鏡に専用のオプションを装着する仕様となっていて、高額な商品である。そこで、既存の倒立顕微鏡と一般的な周辺装置や機器の組み合わせや条件を工夫することで簡便で実用的な装置を経済的に構築したので報告する。

2. 概要

顕微鏡観察下で生きている細胞のタイムラプスムービーを取得するためには以下の装置が必要である；顕微鏡、カメラ、カメラコントローラー、温度を一定に保つための装置、湿度を一定に保つための装置。本報告で紹介する観察システムは、以上の条件を満たし、必要とされる実験データを得られる実用的なレベルまで達した。実験内容によっては、二酸化炭素濃度を調節し一定に保つための装置を必要とする場合があるかもしれない。今回の試みでは気相下で pH を安定させることのできる緩衝液（HEPES）を適量、培地に混ざることによって、安定した条件が得られたので、二酸化炭素濃度のコントロールを省くことができた。

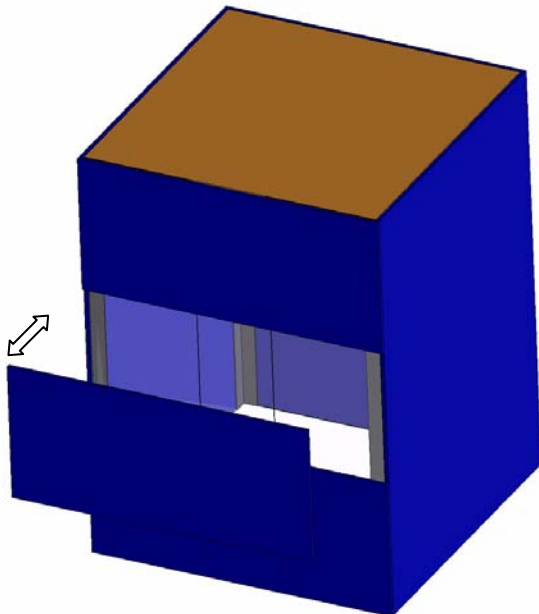


図 1. 恒温チャンバー

3. 恒温チャンバー

3.1 構造

金属製のフレームの枠組みに断熱シートを張り、卓上型の恒温チャンバーを作製した。断熱材は、2重にすることで保温効果を高めた。また、外側の材質は、非光透過にすることでチャンバー内の温度への影響を防ぐ効果を得られる。前面外側の断熱シートは、横に3分割して、それぞれが独自に取り外せる。観察中、チャンバー内へのアクセス時に3分割された中の必要なシートだけ外すことによりチャンバー内の温度が急激に変化することがない。（図1）

チャンバーの大きさは、必要な数の顕微鏡、撮影装置に応じた大きさにすることで複数のシステムを置くこともできる。

3.2 攪拌ファン

チャンバー内の天井にファンを設置した。ヒーター付属のファンでは、チャンバー内の温度を均一に保てなかった。また、ヒーター付近や顕微鏡の照明装置付近は、温度が高くなる。大きめのファンの低



図 2. サーモスタット

¹ E-mail: kkouzou@md.tsukuba.ac.jp; Tel : 029-853-3034

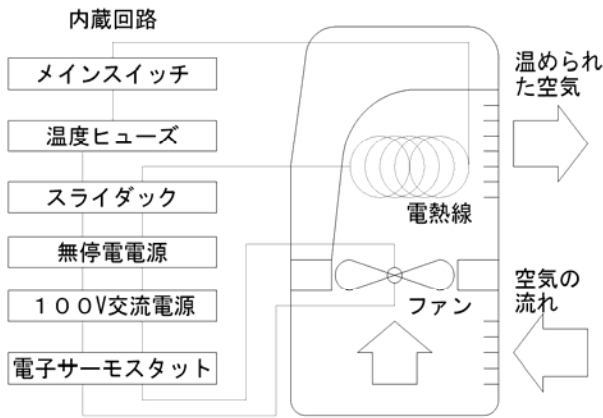


図3. ヒーター回路図

表1. 回路毎の結果

	回路1	回路2
電熱線	コントロール	常時ON
ファン	常時ON	コントロール
スライダック	無	有
結果	不可	良

回転による攪拌で、チャンバー内の温度のばらつきを極力抑えることができた。(図1)

3.3 設置

装置は、チャンバー内部の温度への影響を極力抑さえるためにエアコンにより温度コントロールされた部屋に設置した。チャンバー内部には、顕微鏡、撮影装置を置く構造とした。

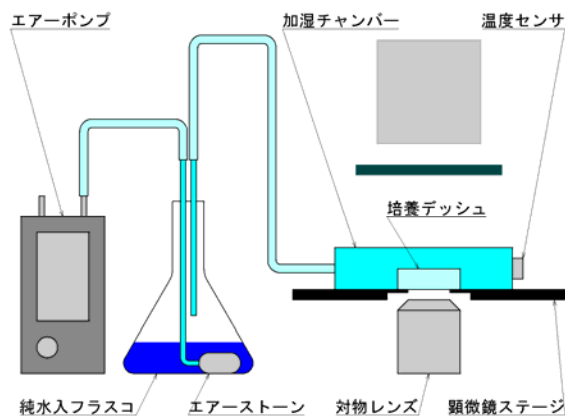


図4. 加湿システム

4. 温度コントロール

温度を正確にコントロールするためにチャンバーの容積を大きくすることは、外部からの温度変化の影響を受けにくく有利であった。温度変化が大きい場合、顕微鏡フォーカスノブに用いられているグリースが温度変化に応じて膨張収縮し、タイムラプス観察中にフォーカスがずれることがあった。従って正確な温度コントロールを実現する必要があった。

4.1 熱源

熱源には、市販のサーモスタット(図2)を介し、改造した汎用ヒーターを用いた。ヒーター内蔵のサーモスタットでは、期待通りの温度コントロールは出来なかった。そこで、電気回路に改造を施した(図3)。内蔵のサーモスタットを回路から外して、電熱線とファンを別回路とした。当初、表1の回路1で試験を行ったが、思うような結果は得られなかった。原因は、サーモスタットの機能により電熱線の電源がOFFの状態から再びサーモスタットの機能により電源がONになっても、電熱線の発熱効果が得られるまでの間にチャンバー内の温度が目標値より下がってしまった。次に回路2で試験したところ、回路1よりは良好であった。回路2は、ファンが運転・停止する。ファンが停止中の電熱線の異常加熱は回避された。

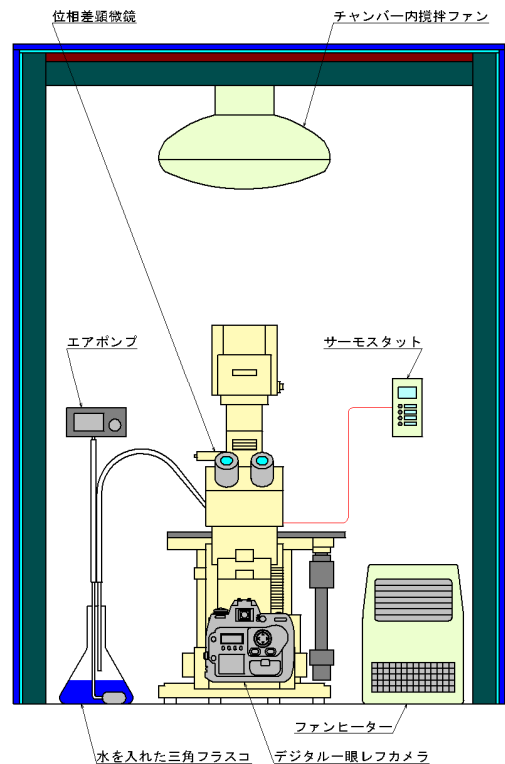


図5. 全体図

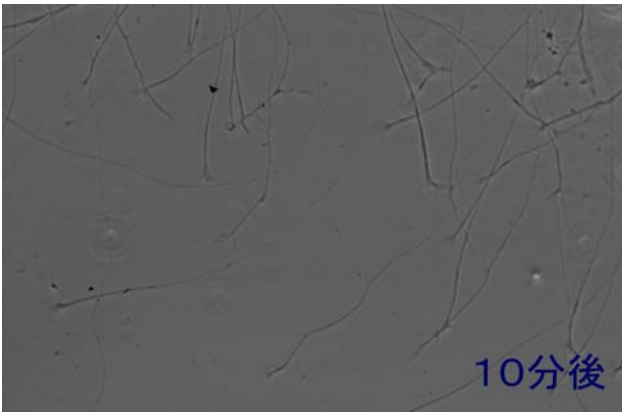
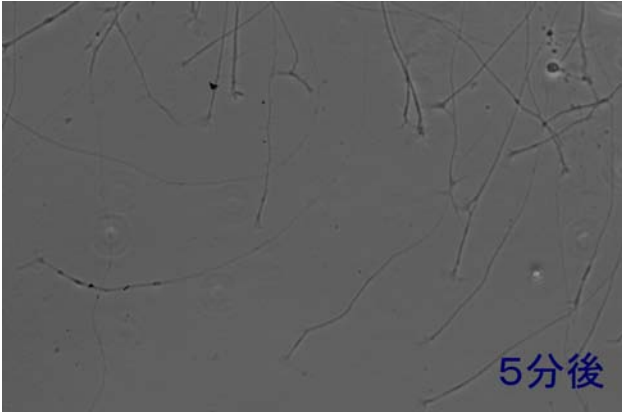
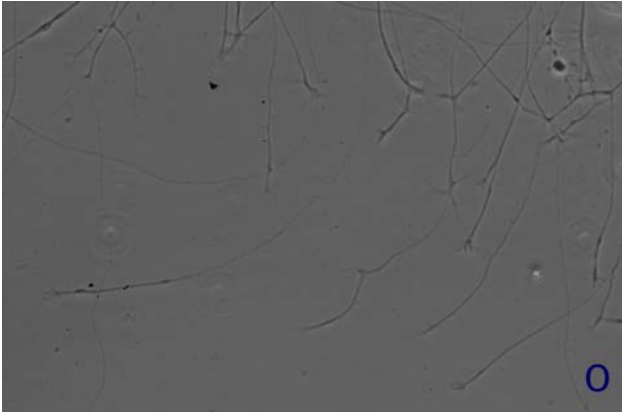


図6. 記録された画像

5. 湿度コントロール

培養デッシュの加湿にあたっては、恒温チャンバーの容積が大きいこと、チャンバー内の機器への影響を考慮して、加湿チャンバーを設置した。

図4の通り、三角フラスコ内の純水中で散気により得る加湿された空気を加湿チャンバーへ供給した。このとき三角フラスコやエアポンプをチャンバー内に設置することで温度に影響がないよう配慮した。

6. タイムラプス撮影

6.1 デジタルカメラ

今回、採用したデジタルカメラは FujiFilm 社製の FinePix S3Pro で、インターバル撮影機能を有する。パソコンのカメラコントロールアプリケーションにより動作を制御した。

観察対象となる現象のタイムスケジュールによって必要とされる時間解像度は異なるが、S3Pro では6秒以上のインターバル撮影に対応し、実用上十分であった。また、1画像の解像度も適宜調節可能であった。

6.2 ムービー作成

一連の画像（図6）から動画作成アプリケーション（QuickTime,Apple）でタイムラプスムービーを作成した。

謝辞

本報告の顕微鏡タイムラプス観察システムの工夫に当たって、人間総合科学研究科感性認知脳科学専攻（基礎医学系）一條裕之助教授、人間総合科学研究科感性認知脳科学専攻（博士前期課程一年）安藤寛氏には、多大なる協力をいただいたことに感謝します。製作に協力いただいた人間総合科学等支援室沼尻久氏に感謝します。

4.2 電圧調整

コンセントから得る交流電源電圧は、建物によって1日の中で変動がある。スライダックによる電圧調節には、限界があり、温度コントロールに大きく影響した。

御存知の通り、交流電圧の安定化電源は、高価な商品である。そこで、代わりの手段を検討した結果、パソコン用の無停電電源の一部は、入力電圧の変動にかかわらず一定の出力電圧が得られるインバーター方式を採用していることがわかり、今回の装置では、パソコン用の製品で電気容量的に十分使用可能であった。

姿勢安定制御実験装置の製作

神戸昌幸¹

筑波大学システム情報工学等支援室（装置開発班）

〒305-8573 茨城県つくば市天王台 1-1-1

概要

筑波大学システム情報工学研究科知能機能システム専攻デジタル制御研究室の依頼により製作した「三次元 VTOL-UAV 姿勢安定制御実験装置」について報告する。VTOL-UAV とは Vertical Take-Off and Landing – Unmanned Aerial Vehicle の略で垂直離着陸 – 無人航空機のことである。

1. はじめに

デジタル制御研究室では、堀憲之助教授指導のもと、VTOL-UAV 簡易モデルを用いた自動姿勢制御の研究を行っている。同研究室では、モデルの推力源として圧縮空気を使用している。ノズルから圧縮空気を噴射することでモデルが浮上し、また噴射圧力を適切に制御することで、安定した低速飛行を実現している。

図1は、一昨年度製作した1リンクモデル実験装置である。モデルとモデル支持台で構成されている。モデルは、2枚のアルミニウム板（400×40×5mm）、中心の回転軸支持部、両端の噴射ノズル部からなり、回転運動だけが可能である。モデルの噴射ノズルは、口径を変えて実験ができるよう脱着式となっている。

図2は、昨年度製作した二次元 VTOL-UAV モデル実験装置である。モデル、パラレルアーム、アーム支持台で構成されている。モデルは、アルミニウム板（165×12×3mm）の両端に噴射ノズルを持った1リンクモデルで、回転支持部に角速度センサーを取付け、回転の検出ができるようになっている。パラレルアームは支持台を基点に上下運動と回転運動ができるようになっていて、その先端にモデルを取付けている。モデルは、両端のノズルから同じ圧力の圧縮空気を噴射し、その強弱で上昇降下を行い、片方のノズルの噴射を強くすることで回転運動を行う。これにより、モデルは近似的な鉛直平面内を飛行する。

図3が、今年度製作した三次元 VTOL-UAV モデル実験装置である。モデルはアルミニウム円盤（直径156mm）で、円周上の3ヶ所に噴射ノズルがある。モデル中心部の底面には、2つの角速度センサーを直交して取付け、ロール角（x軸まわりの傾き）とピッチ角（y軸まわりの傾き）の検出ができるようになっている。本実験装置は、今年度の卒業研究テーマである「三次元 VTOL-UAV モデルの姿勢制御」に使われている。

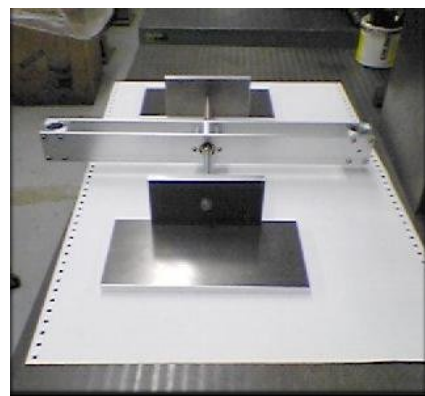


図1. 1リンクモデル実験装置



図2. 二次元 VTOL-UAV モデル実験装置

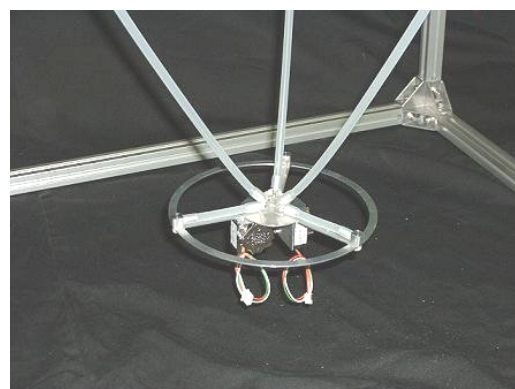


図3. 三次元 VTOL-UAV モデル実験装置

¹ E-mail: kobe@sie.tsukuba.ac.jp; Tel: 029-853-5195

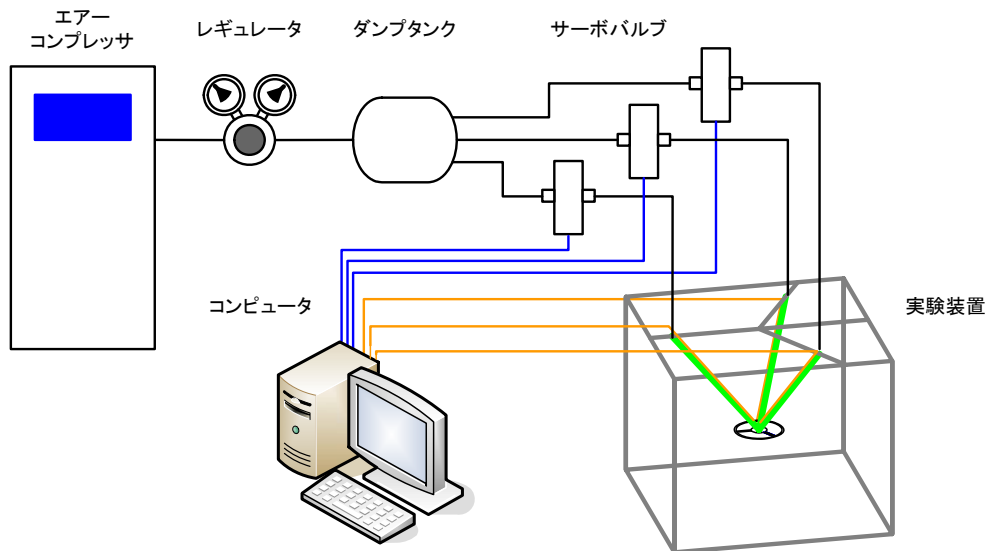


図4. 三次元 VTOL-UAV 姿勢安定制御実験装置

2. 実験装置の構成

図4に三次元 VTOL-UAV 姿勢安定制御実験装置の構成図を示す。エアーコンプレッサで作られた圧縮空気は、レギュレータで0.8MPaまで減圧され、ダンブタンクを介して3系統のサーボバルブに供給される。さらに、サーボバルブで0.15MPa程度に減圧された圧縮空気は、実験装置のエアー供給用チューブでモデルの噴射ノズルへと導かれる。

コンピュータは、角速度センサーで検出されたロール角とピッチ角の値からモデルの姿勢を判断し、モデルが安定した浮上を続けられるようサーボバルブを操作し、ノズルの噴射圧力を制御する。



図5-1
予備実験モデル1



図5-2
予備実験モデル2

3. 実験装置の設計と製作

3.1 予備実験

依頼者の「三次元 VTOL-UAV 実験装置の仕様」をもとに、予備実験モデル1（図5-1）を製作し、浮上の有無を確認するための予備実験を行った。モデルは、直径300mm、厚さ2mmのアルミニウム円盤で、直径280mmの円周上に口径2mmの真鍮製ノズル3本を均等に配置した。外径6mm、肉厚1mm、長さ1mのビニールチューブを各ノズルにつなぎ、0.15MPa程度の圧縮空気を供給してみたが、モデルの浮上は見られなかった。そこで、予備実験モデル1の一部を切り取り軽量化した予備実験モデル2（図5-2）と、デザインボードで作った軽量のモデル（図6）でも浮上実験を試みた。しかし、結果は同じであった。この実験により、0.15MPa程度の圧縮空気でもモデルを浮上させるためには、モデルの一層の軽量化とエアー供給チューブ自体の軽量化も必要であることがわかった。

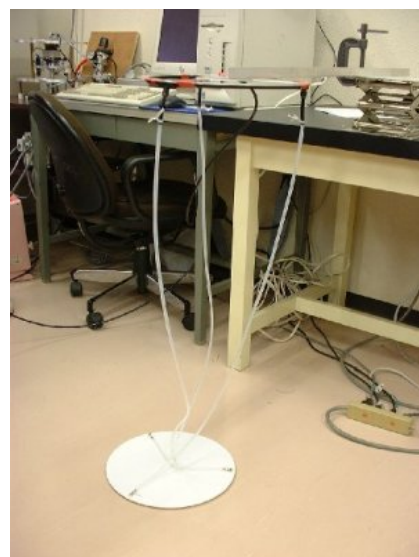


図6. デザインボードモデルでの予備実験

3.2 推力測定

モデルとチューブの軽量化の目安をつけるため、図7に示す簡易装置で推力測定を行ってみた。デザインボードにモデルと同じ口径のノズル3本を一行に取付け、ノズルと電子天秤上皿の間隔が約10cmとなるようにセットした。そして、予備実験と同じ0.15MPa程度の圧縮空気を電子天秤の上皿に向け、直接噴射してみた。その結果、約110gの推力が確保できることがわかった。



図7. 推力の測定

3.3 モデルの設計

予備実験と推力測定の結果をもとにモデルの再設計を行った。エア供給用チューブ、角速度センサー、アルミニウム円盤、噴射ノズルなどモデル本体の製作に必要な部品の総重量が110g以内になるよう表計算を使い、アルミニウム円盤の直径や厚さを決定した。(表1)

3.4 実験モデルの製作

図8に、立フライス盤によるアルミニウム円盤の加工の様子を示す。円盤は厚さ1mmと薄いため、あらかじめ用意しておいた治具に固定し、インデックスを回転させながらエンドミルにより切削加工した。



図8. アルミニウム円盤の加工

3.5 フレームの製作

三次元VTOL-UAVモデルを取付けるための架台を株式会社ミスミ²のHFS5-2020 アルミフレームで製作した。同社のアルミフレームは、サイズも豊富で組み立て、組替え、部品の追加などが容易である。これを上手く利用することで、架台作りの時間が短縮され、設計や加工に十分時間をかけることができるようになった。近年、システム情報工学研究科内の研究室でもその利用が増えている。

今回の架台(幅700×奥行700×高さ600mm)は、同社ホームページで提供されているアルミフレーム支援ソフトを用いて外形の設計を行い(図9)、細部は筆者が設計を行った。

表1. アルミニウム円盤の寸法と重量見積

外径	幅	中心	ピ ム	板厚	円盤 重量	ノ ズ ル	モデル チューブ	吊り チューブ	ジョイ ント	セン サ	モデル 総重量
300	10	50	10	2	83.08	2	6.83	49.70	25	34	200.61
300	10	50	10	1	41.54	2	6.83	49.70	25	34	159.07
200	10	50	10	1	28.26	2	4.35	49.70	25	34	143.31
160	10	50	10	1	22.95	2	3.35	44.73	7.5	34	114.54
160	8	50	8	1	19.77	2	3.35	44.73	7.5	34	111.35
160	6	50	8	1	17.28	2	3.35	44.73	7.5	34	108.86
156	10	50	10	1	22.42	2	3.26	44.73	7.5	34	113.91
156	8	50	8	1	19.34	2	3.26	44.73	7.5	34	110.82
156	6	50	8	1	16.93	2	3.26	44.73	7.5	34	108.41
150	10	50	10	1	21.63	2	3.11	44.73	7.5	34	112.96
150	8	50	8	1	18.71	2	3.11	44.73	7.5	34	110.04
150	7	50	7	1	17.19	2	3.11	44.73	7.5	34	108.53

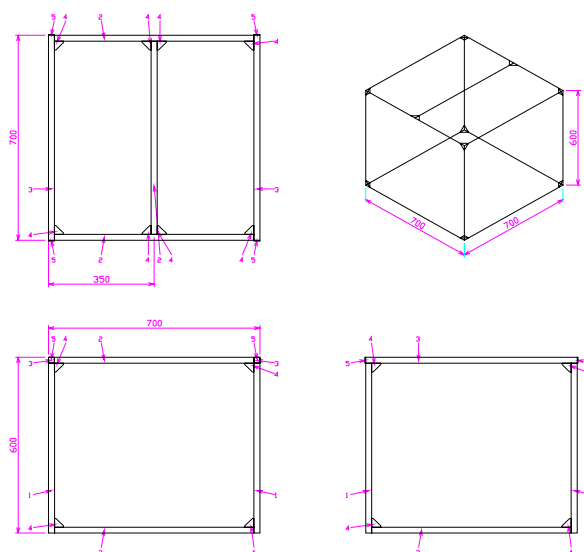


図9. 支援ソフトによるフレームの設計

² <http://www.mol.ne.jp/face/fa/fakz/>

3.6 実験装置の組み立てとチューブの選定

図10に、三次元 VTOL-UAV モデル実験装置の全景を示す。モデルは架台に配置した3本のチューブで吊り下げられた構造である。

昨年度製作した二次元 VTOL-UAV モデル(図2)では、エアー供給チューブの弾性、曲り具合、圧縮空気が充填されることによるチューブの硬化がモデルの運動に大きく影響を与えた。今回の三次元 VTOL-UAV モデルでは、それらの影響がより大きいことは容易に予想できた。そこで、完成したモデルを使いチューブの種類を変えながら簡易浮上実験を行った。図11に示す数種類のチューブの中では、LABRAIN SILICONE TUBE (4×6)が一番良好な結果を示したので、これを実験装置に採用した。

4. まとめ

デジタル制御研究室の VTOL-UAV 実験装置の製作が続けられたことは、筆者にとって大変有意義なことである。エアー供給用のチューブの影響を、できる限り低く抑えた実験装置の開発が、今後の課題である。

謝辞

本報告にあたり、御指導いただいたシステム情報工学研究科知能機能工学システム専攻・堀憲之助教授、貴重な資料を提供していただいたデジタル制御研究室の櫻村貴士氏、田邊文子氏に感謝いたします。また、実験装置製作のアドバイスをいただいた装置開発班の中島班長に感謝いたします。

参考文献

- [1] 櫻村貴士. 2次元UAVの高度制御とロール角制御, 筑波大学第3学群工学システム学類卒業論文(2004).
- [2] 安藤司真. VTOL 試作機の安定増大装置の設計, 筑波大学第3学群工学システム学類卒業論文(2004).
- [3] 吉田竜二. 空気ジェットによる非線形系の角度制御, 筑波大学第3学群工学システム学類卒業論文(2003).
- [4] 株式会社ミスミ. FA メカニカル標準部品カタログ 2005.

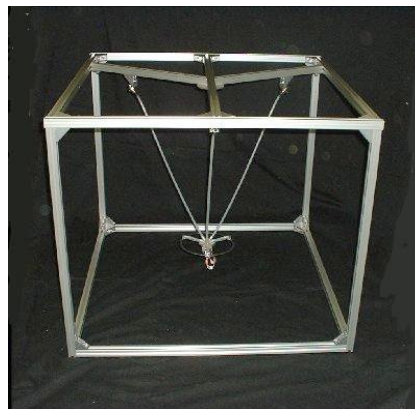


図10. 三次元 VTOL-UAV モデル
実験装置の全景



図11. チューブの選定
左から、
ポリウレタンチューブ(4×6)
ビニールチューブ(4×6)
LABRAIN SILICONE TUBE (4×6)
LABRAIN SILICONE TUBE (3×5)
LABRAIN SILICONE TUBE (2×4)

PCMEにおける技術職員の業務とその役割Ⅰ ～ カリキュラム担当 ～

森田（阿部）倫子、菅江則子、小野瀬恵里子、嶋村玲子

筑波大学人間総合科学等支援室（医学支援室）¹

〒305-8575 茨城県つくば市天王台 1-1-1

概要

医学教育企画評価室（Planning and Control for Medical Education : PCME）は平成 15 年 7 月に設置され、現在では室長以下 10 名（専任教員 1 名と兼任教員 9 名）が配置されている。この PCME の支援組織として技術職員 16 名が配置され、教育支援業務に当たっている。業務内容により「カリキュラム担当」と「実習担当」とがある。教育支援専従として組織的に配置されているこの支援組織について、その業務内容を報告し、その役割を検討する。

1. はじめに

筑波大学は平成 16 年 4 月より国立大学法人として新たな門出を迎え、様々な変革が行われている。現在、全学を上げて業務改善の取り組みが進行中であるが、残念ながら技術職員の業務組織はその対象の中に入っていないのが現状である。

技術職員は、事務職員同様、研究・教育の支援業務を行う職員として、特に技術的な支援業務を担うべく配置されている。医学地区においては、昭和 48 年開学以来、実習支援として多くの技術職員が携わり、学系棟の完成とともに、研究支援と教育支援を担当する技術職員の別配置が明確になり、現在に至っている。

2. 教育支援部門

教育支援部門として、学群実習担当と教育カリキュラム担当とに分かれて学群実習技官室（当初 9 名、現在 6 名）とカリキュラム室（当初 1 名、現在 4 名）となったのは昭和 51 年であった。

全国に類を見ない医学専門学群の技術職員による独立した教育支援組織について、医学教育学会で発表報告¹⁾を行った。

さらに、平成 14 年 10 月に看護・医療科学類が発足し、平成 15 年 10 月に新たに看護・医療科学支援の技術職員が 2 名配置され、現在では 4 名となっている。「技術職員の役割Ⅰ」では、医学類に於けるカリキュラム担当の業務について報告を行い、実習担当については「技術職員の役割Ⅱ」で報告する。

3. カリキュラム担当

3.1 医学教育カリキュラムと支援組織の必要性

医学専門学群医学類の教育カリキュラムは学問体系別の授業カリキュラムではなく、統合カリキュ

ラムと呼ばれる臓器別、症候別に編成されたカリキュラムである。統合カリキュラムは、従来の科目主体の固定時間割では実施できない。コースを積み重ねる方式の授業配置を行い、毎日毎週異なった時間割編成である。またテキストも学問大系別の教科書では対応できず、別途独自のテキストを作成してきた。

統合カリキュラムの科目は複数分野の教員の授業によって編成されているため、各科目（コース）の調整が非常に重要である。カリキュラム運用のために学年毎の総括責任教員として総コーディネーターを配置し、さらにコース毎にコーディネーター（教員）を置き、コース作成、調整、運用を行う体制を採っている。

カリキュラムの立案、作成、実施の責任者（教員）としての学年総コーディネーター、コースコーディネーターの業務を、これら教員の指示に基づき技術職員が実務を担当する組織としてカリキュラム室が設置された。

3.2 医学教育企画評価室（PCME）の設置

現在、医学教育においては大きな教育カリキュラムの改革が全国的に進行している状況である。これらカリキュラム改革を検討、企画、推進し、新たなカリキュラム導入に向けて、教育運営組織の見直しがなされた。学類運営委員会への企画、提案、実施、評価を伴った組織として、医学教育企画評価室（Planning and Control for Medical Education : PCME）が平成 15 年 7 月に設置された。室長以下兼任教員 6 名を配置し、PCME 支援組織としてカリキュラム室と実習支援技術職員室を取り込んだ組織となった。

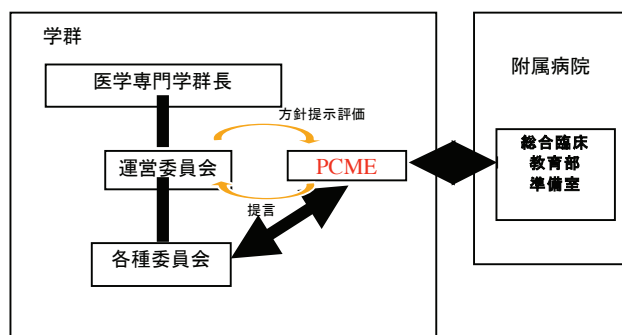


図1 PCMEの位置づけ

¹ E-mail: curmang@md.tsukuba.ac.jp; Tel: 029-853-3002, 3260

この組織改変と同時に平成 15 年度から新たに始まった文部科学省の「特色ある大学教育支援プログラム（特色 GP）」の中の「主として教育方法の工夫改善に関するテーマ」に医学専門学群は、2つの技術職員室の支援実績を基盤に「先進的な医学教育を推進する支援プログラム」として応募し、採択された。

平成 16 年度 4 月に PCME は専任講師 1 名が配置され、兼任教員 9 名となり、医学類、看護・医療科学類教員で構成されている。また、PCME の業務支援組織として配置されている技術職員は、カリキュラム担当 6 名（医学類：4 名、看護・医療科学類：2 名）、実習担当 10 名（医学類実習：6 名、看護・医療科学類実習：2 名、解剖実習：2 名）の計 16 名となった。

3.3 医学教育改革の波と新カリキュラム

平成 3 年の大学設置基準の大綱化と厚生省臨床実習検討委員会最終報告^[2]を受けて、日本の医学教育改革が始まった。さらに平成 11 年「21 世紀医学医療懇談会：第 4 次報告」^[3]を受け、平成 13 年 3 月に「医学・歯学教育のあり方に関する調査研究協力者会議の報告」^[4]として提示された「医学・歯学教育モデル・コア・カリキュラム」によって、我国の医学教育に大きな変化が確実に進み始めている。

「21 世紀医学医療懇談会：第 4 次報告」に、「国民の多様かつ高度な医療サービスに対するニーズにこたえる人材や、将来の医学・医療をきりひらく先端的研究の進展に寄与する人材が求められており」とし、教育研究活動の改善を図って「幅広い視野を持って生涯にわたり主体的に学習・研究していくことのできる医師・歯科医師を養成していく」とある。これを受けたモデル・コア・カリキュラムの骨子は、問題解決型授業（PBL テュートリアル）と参加型実習（Clinical Clerkship : C.C.）の導入である。参加型実習の導入により、全国の医学生は臨床実習（臨床現場での実習）に参加する前に全国統一の共用試験（CBT : Computer Based Test、OSCE: Objective Structured Clinical Examination 客観的臨床能力試験）を受けて、知識、技能、態度共に、あるレベルに達しないと実習できないという制度（判定は各大学で）が構築され、4 年間の試行を経て、この平成 17 年度から本格運用が始まった。共用試験の実施には「社団法人医療系大学間共用試験実施評価機構」があたり、各大学のカリキュラムに沿った時期に実施され、レベルに達したとの評価を得た学生は臨床実習に参加することが許されるシステムである。

本学では平成 4 年度から参加型臨床実習（C.C.）、平成 7 年度から早期体験実習、一部テュートリアル導入を試み経験を重ねてきた。さらにモデル・コア・カリキュラムの提示を受け「医学教育改革委員会」を設置し、検討を重ね、平成 16 年度入学生から PBL テュートリアルと参加型実習（Clinical Clerkship : C.C.）を主軸とした新カリキュラムを導入している。

このカリキュラム改革は少人数グループによる新しい授業方法の導入であり、新たな教育支援のあり方が求められている。

PCME（カリキュラム担当）の技術職員は、このようなカリキュラム改革に沿って各種委員会を支援しつつ、現行のカリキュラムを日常的に支えながら、新しい試みに対応している。

4. カリキュラム担当業務

医学類のカリキュラムの企画・評価・実施は、学年総コーディネーターのもと、各コースコーディネーターと連絡を取りつつカリキュラム担当技術職員がコーディネーターの日常業務の実務を担当する方式で行われている。

PCME 内の技術職員の役割分担は主たる学年の対応を決め、必要に応じて相互に支援し合う体制をとり、ミーティングを行って、役割分担調整、情報の共有を図っている。

表 1 カリキュラムの一例

M6 総括講義 コース名	コース名
#1 運動系臨床	#11 神経系臨床
#2 眼系臨床	#12 内分泌代謝系臨床
#3 耳鼻咽喉系臨床	#13 腎・泌尿系臨床
#4 皮膚系臨床	#14 診断治療総論 I
#5 精神臨床	#15 診断治療総論 II
#6 呼吸系臨床	#16 小児臨床
#7 循環系臨床	#17 婦人周産期臨床
#8 消化系臨床	#18 人集団医学
#9 血液系	#19 感染症
#10 免疫系臨床	#20 医療総論
各コースにコースコーディネーターを配置 #1～#5、#9、#10、#19 では 1 名、他は 2 名	

4.1 基本的業務

カリキュラム担当技術職員は各責任教員（コーディネーター等）の指示のもと、学年毎に下記の業務を遂行することが基本的な業務である。

- 1) カリキュラム編成作業の支援：カリキュラム書（シラバス）、時間割の作成
- 2) 各種実習の調整：スケジュール、人員配置、学生配置等
- 3) テキスト編集
- 4) 専門科目試験問題編集
- 5) 専門科目試験成績の集計
- 6) カリキュラムアンケートの実施集計
- 7) 教員へのフィードバック

学年総コーディネーターは、技術職員の支援により、カリキュラム編成から進級判定資料作成まで学年のカリキュラムを総合的に把握することができる。

4.2 改革に伴う新たな対応

医学教育改革によって、新しい授業形態（小人数グループによる PBL テュートリアル）、新評価方法（観察評価）、その他の教育活動（Faculty Development）の支援も行っている。

- 1) テュートリアル授業実施の支援
 - ① テューター（グループ担当教員）配置、コースガイド、シナリオ等印刷、配布準備、
 - ② テュートリアル室の確保、テューター会議準備
 - ③ 評価集計、テューター、コーディネーターへのフィードバック
- 2) 共用試験 OSCE（客観的臨床能力試験）の実施
 - ① 評価者（約 80 名）調整、OSCE 実施準備（スケジュール作成、OSCE 会議、オリエンテーション）
 - ② 試験結果のまとめ、分析、共用試験実施評価機構への報告
- 3) 共用試験 CBT 試験問題作成支援
 - ① 作成依頼、問題の入力、点検、提出
- 4) 各種 Faculty Development 支援
 - ① テューターFD
 - ② コース作成 FD
 - ③ 参加型臨床実習（C.C.）FD
 - ④ CBT 問題作成 FD

4.3 カリキュラム業務の例示

1) M6 カリキュラム

医学専門学群の評価の一つとして、「国家試験合格率の高さ」がある。合格率をある一定の高さに保つことは、勿論学生の資質が一番ではあるが、カリキュラム編成に負うところが大きいと考えている。

現 M3 以上の学年は旧カリキュラム、M2 以下は新カリキュラムであるが、それぞれ決して詰め込み式の授業編成ではない。特に M5 の 1 年間は全期間臨床実習（病院実習）のみで、講義はなく、M6 の 1 学期まで臨床実習である。

M6 の 7 月から全 20 コースの総括講義が行われるが、少ないコースは 4 コマ、多くて 10 数コマの授業で校正されている。ただし、コース終了毎に総括試験があり、夏休みを挟んで 11 月末迄実施される。総括講義開始前と終了後に計 3 回の総合試験が実施され、到達度の評価がなされる。このカリキュラムにより 6 年間に講義や臨床実習等臨床現場で学んだ知識を整理し、確実なものとする事ができる。

試験は 1 週間に 1 または 2 コースずつ、客観式試験問題（五肢選択問題）で実施される。M6 が 1 年間で回答する試験問題数は総括試験で 1064 題、総合試験で 1320 題、計 2384 題である。この試験結果は、試験問題の妥当性、問題の適切さを検討した試験問題のみで集計される客観的な評価である。この試験成績、臨床実習成績に基づき、学群・学類運営委員会で慎重に卒業判定（1 月中旬）が行われ、国家試験（2 月中旬）に臨む。

このカリキュラムを通して、学生は知識を確実なものとして獲得し、国家試験準備に入り、試験に臨むことになる。

表 2 過去 10 年間の医師国家試験平均合格率 (1996～2005)

大学・学校名	平均合格率	順位
自治医科大学	97.69	1
筑波大学	96.26	2
札幌医科大学	94.95	3
順天堂大学	94.92	4
東京医科歯科大学	94.83	5
慶応義塾大学	94.49	6
群馬大学	94.42	7
東京慈恵会医科大学	94.11	8
三重大学	94.05	9
横浜市立大学	93.98	10

客観試験問題の正解は試験実施後に公表し、自己採点を可能にしている。また、試験問題に対しての学生からの質問を所定の書式で出題教官に行うことができるシステムがある。質問の結果、問題の不備が明らかになり、削除問題として採点対象から外されることもある。あるいは、学生の質問に対して出題教員から問題の主旨について詳細な解説が返され、これを掲示することにより、学生間での知識の共有を図っている。これら業務も常に M6 総コーディネーターと連絡を取りつつ PCME 職員が行う。

試験終了後、試験問題採点結果は出題教官に「回答率、正解率、識別指数」をフィードバックし、次年度の問題作成に役立てている。

2) カリキュラムアンケート

学年末に実施するアンケートとコース毎に実施するアンケートがある。平成 4 年度から参加型臨床実習（Clinical Clerkship: C.C.）の導入の試行を始め、本格的な体制が整った平成 8 年度より診療グループ別のアンケートを実施している。実習の満足度を 5 点満点評価で集計している。図 2 に平成 8 年から

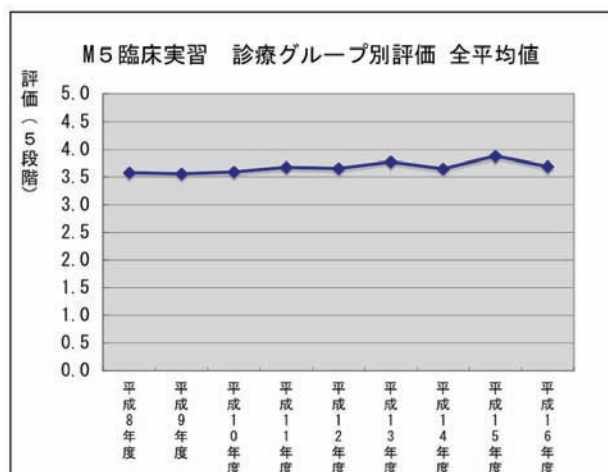


図 2 年度別グループ別評価 総平均

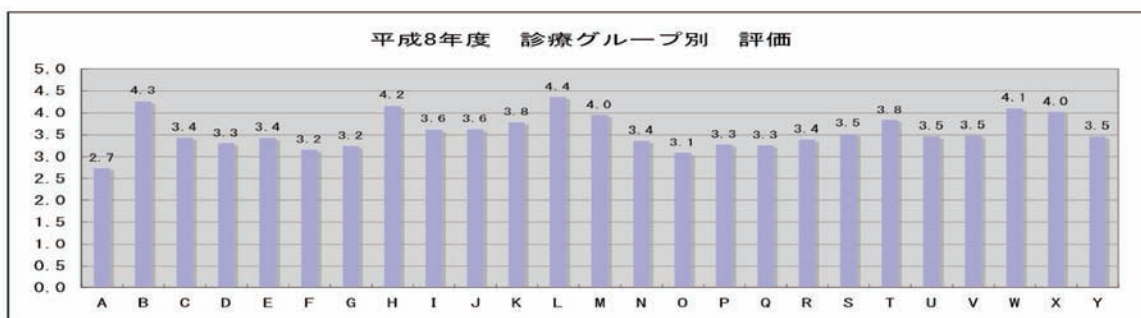


図3 平成8年度 臨床実習

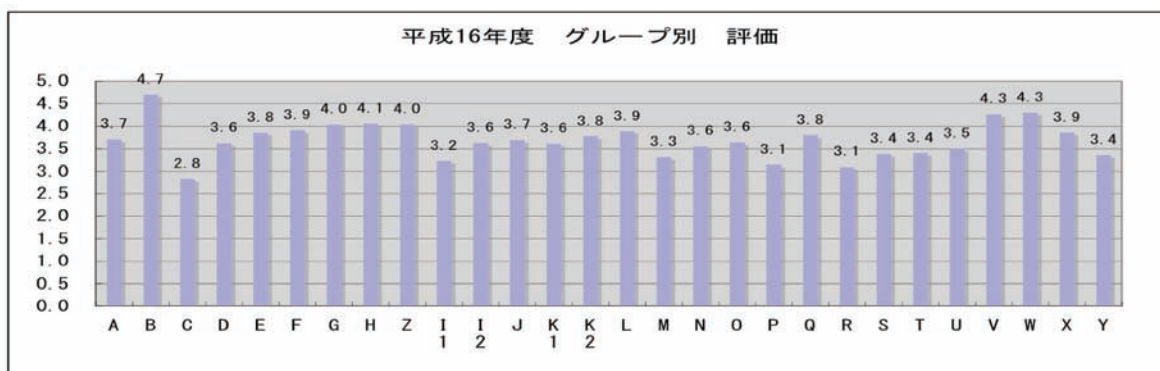


図4 平成16年度 臨床実習

16年までの診療グループ別評価の全平均値を示し、グループ別評価を図3：平成8年度臨床実習、図4：平成16年度臨床実習に示す。

平成8年度の診療グループ評価の総平均値は3.58であったが、平成15年度：3.88、平成16年度：3.69と多少上昇しているが、臨床現場での実習の評価を上げることはかなり難しいことが推察される。

これらの結果は、フリーコメントと共に各診療グループにフィードバックし、次年度の臨床実習の参考としている。

5. 技術職員による支援の利点

5.1 継続性

現在、筑波大学の技術職員は組織化されておらず、専門技術職として配置されたことから、技術職員間の定期的な異動は行われていない。諸事情による退職、定年退職、新規採用、他部署からの異動（最近、医学内では技術職員の異動が増えている）等はあるが、事務職員より長期かつ継続的に業務が遂行できるため、様々なデータの積み重ね、保管が可能である。

保存資料：1回生から現M1の32回生までの教育カリキュラム関連資料

5.2 教育情報の一元化

コーディネーターと共に PCME でカリキュラム計画を作成し、カリキュラム書（シラバス）、時間割等資料を作成することにより医学カリキュラムの全容を把握できる。さらに学年末にカリキュラムアンケートを実施し、カリキュラムの評価を行っている。

また、医学の専門科目の試験問題を PCME で編集することにより、学習到達度評価方法としての全試験内容を学年総コーディネーターが把握することをコーディネーター、総コーディネーターによる校正を通して問題内容の重なり、妥当性、難易度等の調整が行われている。

各試験の採点結果を PCME で一元管理し、学年ごとに進級判定資料としての総合評価を作成し、資料に基づき、運営委員会で厳格な進級判定を行っている。また、学期毎のクラス成績資料を作成し、クラス担任とのチュータリング資料としている。

このようにカリキュラム作成・運用を PCME に一元化することにより、授業内容の透明性、学生評価の客観性、公正性が確保できている。

6. まとめ

医学専門学群は、統合カリキュラムを実施するため、各学年に総コーディネーターとコースコーディネーターを置くコーディネーター制をとっている。コーディネーターが行うべき授業担当教員の調整、連絡等やカリキュラム立案作成、実施等の業務を、コーディネーターの支持のもとにカリキュラム担当技術職員が行うシステムを構築してきた。異動の少ない技術職員が担当するこの支援組織によって、講座制によらない統合カリキュラム実施や一元化された成績管理等を継続してこられた。

また、医学教育全般にわたる事項についても学群長、医学類長、副学類長、総コーディネーター等の指示を受けつつ、多数の教員と密な連絡調整を行ってカリキュラム実施支援に携わっている。このように、教員サイドで行うべき業務に特化して支援することにより、教務担当との業務の住み分けを行い、協調して日常業務にあたっている。

大学教育改革で唱えられ、①シラバスの作成（教育内容の提示、透明化）、②教育カリキュラム評価や授業評価、③厳格な成績評価方法として GPA（Grate Point Average）制度：単位制、④教員の教育技能の向上のための FD 実施がその主な実施されるべき項目として挙げられている¹⁵⁾。①②については開学当初より医学専門学群はカリキュラム室で継続して実施して来た。③は単位制での総合評価方法であるが、医学専門学群では進級判定に総合評価を取り入れ客観的な成績評価を実施して来ている。④については、開学当初 5 年程、泊まり込みの FD を実施した実績があるが、近年には行われていなかった。授業方法が大きく変わる新カリキュラムを実施する上で FD 実施は必須であり、新カリキュラム導入前の平成 15 年度から医学教育に関する FD を再び始めている。このように、今求められている大学教育改革の要点となる事項は筑波大学では開学当初から継続して実施されて来たことは、PCME の前身であるカリキュラム室の役割が大きく、そこに異動の少ない技術職員を配置することによって継続性が維持出来ている。



図 5 医学教育 FD 風景

以上のようなカリキュラム室の機能について、平成 7 年度に行われた筑波大学医学教育外部評価の報告書、卒前医学教育の項で、カリキュラム室において「すべてセントラルに集約されてきた。その機能なくしては完全統合教育の実施は不可能であつたらう」¹⁶⁾との評価をいただいた。

平成 16 年の法人化等を視野に入れ、教育部門の組織見直しの一環として医学教育企画評価室（PCME）に複数の教員と専任講師を配し、新たにカリキュラム室と実習支援技術職員室を PCME 支援組織として統合したことは、技術職員による教育支援が医学教育の現場で評価されたことと考えられる。

技術職員による支援業務は、評価されにくく、形にならないことが多い。しかし、今何が教育の現場で求められているかを教員と共に模索しながら、積み重ねて来たことにより、カリキュラム担当としての専門性を構築することができたと考える。

新カリキュラムの完成迄に後 4 年を残しており、今後も現在進行中のカリキュラム改革を、PCME 室員（教員）と連携してカリキュラムの具体化、特に

参加型臨床実習（C.C.）の具体案作成を支援し、さらに委員会開催、実習案の作成・検討、評価方法の検討を支援しながら、日常のカリキュラム実施がスムーズに進むよう業務を遂行して行く所存である。

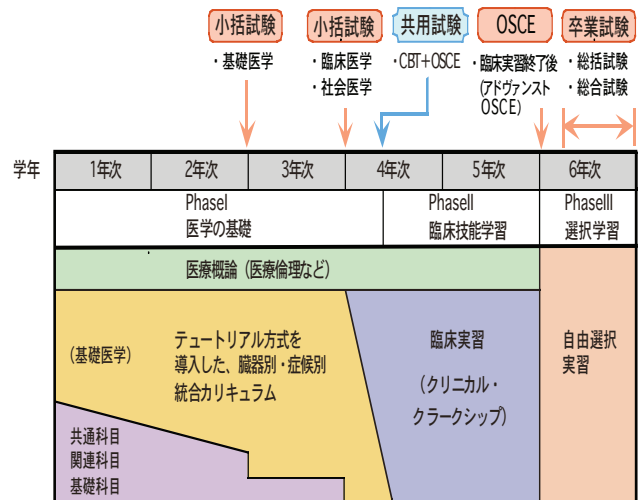


図 6 新カリキュラム

参考文献

- [1] 森田倫子, 林英生, 工藤典雄, 阿部帥, 田村昇: 筑波大学医学教育における「カリキュラム室」の役割. 医学教育 26 (1) :26-32
- [2] 臨床実習検討委員会最終報告, 臨床実習検討委員会, 厚生省健康政策局 1991年5月13日
- [3] 21世紀医学医療懇談会: 第4次報告, 1999年4月
- [4] 医学教育モデル・コア・カリキュラム: 医学における教育プログラム研究・開発事業委員会 2001年3月17日
- [5] 21世紀の大学像と今後の改革方策について - 競争的環境の中で個性が輝く大学- (中間まとめ) 1998年6月30日 大学審議会)
- [6] 筑波大学医学教育外部評価報告書, 筑波大学医学教育外部評価委員会 1998年3月

PCME における技術職員の業務とその役割Ⅱ ～ 実習担当 ～

阿部まゆみ、大野薫、枝川弥生、大里和美、土田聡美、酒井由紀、佐藤尚江
 筑波大学人間総合科学等支援室（医学支援室）
 〒305-8575 茨城県つくば市天王台 1-1-1

概要

筑波大学医学専門学群（医学類）における実習支援技術職員の業務内容とその遂行方法について報告する。

1. はじめに

医学専門学群（医学類）は、統合カリキュラムという、臓器別、症候別にコースを編成したカリキュラムである。講座主体の固定時間割ではなく、コースごとの集中型時間割である（表1）。授業科目は複数の研究グループにわたる教員によって構成され、実習も複数のグループの教員が担当することが多い。このような形態の実習を支援するために、実習支援を主とする組織（学群技官室）が作られた。

平成15年7月に、学群技官室とカリキュラム室をもとに医学教育企画評価室（Planning and Control for Medical Education : PCME）が設置された。現在、学群技官室は学群技術職員室となり、医学類実習担当6名、医科学修士担当1名で医学類実習に対応している。

主な業務は

- ・学群棟実習支援
- ・実習書（ガイドライン）作成支援
- ・実習室管理
- ・実習用機器、器具、試薬の管理
- ・共用試験（OSCE、CBT）実施支援などである。

2. 学群棟実習支援

2.1 医学類の実習について

医学専門学群医学類の定員は595名で、6学年にわたり1学年100名前後が在籍している。主に1年生から4年生までの学群棟実習を担当し、支援している。

実習形態は、1学年全員が一斉に同じ実習をするものから、1学年を16人から50人のグループに分けて、複数回行うものなど様々である。

1年生から4年生までの支援対象の実習はおよそ90項目で、のべ540余コマである。実習1項目は1～3コマである。実習内容は基礎科学から臨床医学まで多岐にわたっている。

実習室は、多目的実習室2つと、生物物理実習室、形態系実習室がある。このほかに、講義室やゼミ室、演習棟などでも実習を行っている。

2.2 仕事の流れ

カリキュラムを組む段階から、どこで実習するのか、支援職員の配分はどうか、次の実習準備までに片づけが終わるのか、など、細かいところまで考慮し、カリキュラム担当と調整をしている。多いうように見える実習場所も、実際は設備や広さによって行える実習内容は限られているので、この調整は非常に重要な意味を持っている。

誰が実習を担当するのかは、その実習が行われる学期の約1ヶ月前に、私たちの間で話し合っ

		月 1月23日	火 24	水 25	木 26	金 27
M1	1	総合科目A	体育	第1外国語	#5講義14 酵素反応速度論 (例)(和)	第2外国語
	2	総合科目A	第1外国語	医学統計学	#5講義15 酵素の反応速度論 (例)(和)	第2外国語
	3	第1外国語	生物111	実習 #5生化学実習1-1 (内田(和)、本根、入江)	実習 #5生化学実習1-2 (内田(和)、本根、入江)	#5講義16 スクレスチド代謝1 (入江)
	4	関連科目 化学111	医学のための心の科学			#5講義17 スクレスチド代謝2 (入江)
	5		#5 実習ガイダンス			#5講義18 核酸の構造 (松田)
M2	1	総合科目A	関連科目	第1外国語	専門外国語	専門外国語
	2	総合科目A	#7ガイダンス (山田)	#7内分泌腺の発生 (菅間)	体育	#7コアタイム2
	3	#6グループ学習	#7 コアタイム1	#7内分泌腺の病態 (菅間)	実習 #7内分泌代謝 糖質・脂質	#7自習
	4	#6発表会	#7自習	#7ホルモン調節機構 (菅間)		#7糖尿病 (鳥野)
	5	#6発表会・総括 (鳥野)	#7エネルギー代謝の生化学 (菅間)	#7自習		#7自習
M3	1	外国語/基礎科目	#5-8心エコー図、脈波 (渡野)	外国語/基礎科目	#5-14先天性心疾患の治療 (宇松)	#5-17虚血性心疾患の病態・検査 (渡野(和))
	2	#5-9心臓カテーテル法・心臓血管造影法 (渡野)	#5-10心不全の症候と治療 (1) (渡野)	#5-12ショックの病態・検査・治療 (鳥野)	#5-15弁膜症の症候・検査 (渡野)	#5-18虚血性心疾患の薬物療法 (渡野(和))
	3	#5-2循環器の病態 (2) (鳥)	#5-11心不全の症候と治療 (2) (渡野)	#5-13先天性心疾患・小児期心疾患の病態・検査 (鳥)	#5-16弁膜症の治療 (松嶋(美))	#5-19虚血性心疾患の外科治療 (神原)
	4	実習 #5-2循環器実習 (2) 予備	#5-12多様な反復症状を呈する部外疾患の症例 (川内)	#5-14冠動脈とその再建の症例 (渡野)	#5-16化学異常・障害の症例 (松嶋(美))	#5-17糖尿病の病態とその再建の症例 (渡野)
	5	予備	予備	予備	予備	予備
M4	1	pre-BSL	pre-BSL	pre-BSL	pre-BSL	pre-BSL
	2	13	14	15	16	17
	3	社5-11異物の異性と感染経路 (本田)	社6-11異物と法律・検死・死後検定変化 (本田)	社6-2創傷-1 (創傷による創) (本田)	社6-4創傷-3 (異変速度による創) (本田)	社6-5創傷-4 (交通事故損傷 生体反応 骨格の癒合) (本田)
	4	社5-12医療の安全 (本間(寛))	予備	社6-3創傷-2 (鈍器による創) (本田)	P 静脈血栓症・肺動脈血栓の症例 (本間(寛))	社6-6窒息-1 (窒息の機序・検死) (本田)
	5	予備	N 吸入麻酔の症例 (藤井)	0 椎間板の異常と脊柱の老化 (金岡)	0 局所麻酔薬・脊髄麻酔・硬膜外麻酔の症例 (高橋(幸))	予備
M5	1	BSL (臨床実習)	BSL (臨床実習)	BSL (臨床実習)	BSL (臨床実習)	BSL (臨床実習)
	2	"	"	"	"	"
	3	"	"	"	"	"
	4	"	"	"	"	"
	5	"	"	"	"	"
M6	1					
	2					
	3					
	4					
	5					

図1. 時間割の例 (1週間)

ている。1つの実習は複数人で担当するようにし(チーム編成)、チームの中から1人チーフを決める。チームには少なくとも1人は前回の担当者が入るようにする。

実習支援は、「準備、本実習、片づけ」からなる。

1) 準備

実習の担当が決まったら、項目担当の教員と連絡を取り、打ち合せを行う。打ち合せの内容は、実習内容の確認、予備実習の日程、ティーチングアシスタント(TA)の仕事内容、準備の方法などである。

打ち合せの後には、具体的に必要な試薬と器具、機器類をリストアップし、在庫確認と機器の動作チェックをする。必要な物品の不足分を発注する。

実習の日程に合わせて試薬を調整し、必要に応じて予備実習を行う。予備実習は、試薬がきちんと調整できているのかの確認と、私たち自身やTAが実習手順や機器のセッティングの確認をするために行っている。

予備実習が終わったら、実習室のセッティングを行う。

この「準備」の中で特徴的なものについて詳しくふれておきたい。

①実習室内のセッティング

実習室内のセッティングは、安全性と効率性を考えて行っている。狭いところにたくさんの器具を置くと混雑し、器具を破損する危険性が高くなる。また、器具を取り違えたり、汚してしまうことがある。こうしたことを防ぐために、実習の初めに使用するものだけを配置している。その他の器具は実習が進むに従って出せるように準備している。

② 試薬の分注

実験を行う場合、調整された試薬が入っている容器に直接ピペットを入れることは通常行わない。それは、試薬がピペットによって汚染されることを防ぐためである。そのために容器からいったんビーカーなどに試薬を移し、そこから必要量を分取するのが一般的である。

私たちが試薬を配付する時には、分注器に入れて出したり、試薬名を書いたラベルを貼った試験管などに、1グループ分ずつ「必要量+ α 」を小分けして(分注)配付している(図2)。

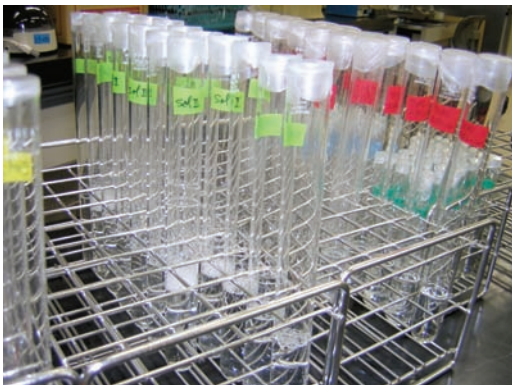


図2. 分注された試薬

あらかじめ分注して配付することにより、次のようなメリットが得られる。

i) コストの軽減

分注しておけば、学生が過剰に試薬を分取することを防げる。

試薬の作製量が減り、購入コストを減らせる。

ii) 時間の軽減

分取にかかる時間が少なくてすむ。学生たちは同じ実験をしているので、同時に同じ試薬が必要になる。分注しておかなければ、1本の試薬ビンに何人も学生が列を作ることになり、待っている間は実験が進められない。

iii) 危険性の軽減

分取にかかる時間が軽減されると、分取のために並ぶ列は必然的に短くなる。こうして混雑が緩和され、事故の起きる危険性が軽減される。

2) 本実習

本実習の直前に、実習室の最終的なセットを行う。試薬などはこの時に出す。実習担当教員やTAと、セッティングについて最終確認を行う。

実習中は教員とTAが指導することを基本としている。

教員から実習中の補助を依頼されている場合は、その教員の要望に沿った補助を行っている。その内容には、

- 動物の搬出
- 器具の入れ替え
- タイミングに合わせた試薬の調整、供給
- 機器類の使用法についての指導
- 機器類の不具合への対応
- 実習手技に関するデモンストレーション(図3)
- 廃液の分別の指導
- 感染性医療廃棄物の分別の指導
- 片づけの指導

などがある。



図3. デモンストレーション

また、学生からの質問にも答えている。実習に関する学術的な内容の質問については、教員やTAに質問するように促している。その他の質問の多くは、器具の置いてある場所をたずねるものや、それらの使い方、不足や不具合を訴えるものである。

学生からの質問やトラブルなどについては、記録をとっている。この記録は、次の実習のフィードバックや、実習書や資料の改訂のもとにしている。

3) 片づけ

①実習室内の機器、器具を撤収して実習室を元の状態に戻す。どの実習室もどのように片づけるか、私たちの間で約束事がある。

②器具類の洗浄、清掃を行う。どの器具をどのように洗浄、清掃するかは、ほとんどの場合決まっている。一例を挙げれば、ガラス器具等は、洗剤槽に1晩以上つけてからこすり洗いをし、洗剤の泡が切れてから10回流水ですすぎ精製水をかける、というような具合である。すべての職員がこの方法を守っているため、どの実習で使用した器具でも、洗浄の度合いに差がない。

使用頻度の低い実習器具は、次に使う時にカビが生えていたり、汚れて劣化し使えなくなってしまうように、通常では洗浄や清掃をしないものでもその必要があり、行っている。

③「覚え書き」を作成する。実習を行って、資料に不備があったか、うまく行かなかった点は何か、解決すべき問題点は何か、などを書き出し、翌年の実習の資料としている。実習室のどのエリアで何の項目を実習したか、器具や機器をどのように配置したかなども重要な資料となる。

3. 実習書（ガイドライン）作成支援

実習書作成支援は、1995年度から手がけている。教員が実習内容を書き、それにテンプレートを適用し、目次を付け、表紙等を作成して印刷発注をするのが私たちの仕事である。

各実習書は1～2年ごとに改訂している。私たちが支援に携わるようになり、細かな改訂も行えるようになった。学生から質問の多かった記述を分かりやすいように直したり、図を作成したりしている。

近年は、機器や器具の使い方などを私たちが作成し、巻末に付録として掲載している。このことにより、実習のたびに機器の使用説明書を出す必要がなくなり、その手間が軽減された。また、狭い実習室にたくさんの説明書を出す必要がなくなった。

4. 実習室管理

実習室ごと、エリアごとに担当を決めて実習室の管理を行っている。

また、当番を決めて、水漏れなどの異常がないか毎朝見回っている。そして何かあれば、技術職員室の全員に報告している。必要なときは、そのエリアの担当者が中心となって対応している。

5. 実習用機器、器具、試薬の管理

5.1 機器、器具の管理

医学類で所有している機器、器具などの物品は膨大な数に上る。ガラス器具やスターラー、ミキサー、

分光光度計などは共通物品として、どの実習でも使うことができる。共通の機器類は、図4のように管理担当者を決め、動作チェックとメンテナンスを行っている。共通でない物品は、実習担当者が不足を補充し、修理・メンテナンスを行う。細かい物品についてはその物品が置いてあるエリアの担当者が管理を行っている。このようなシステムにより、すべての物品に管理者がいることになる。

備品名	主な設置場所	担当教員	担当技術職員	備考
生理薬理実習装置	生物物理実習室(121)	尾崎	大野	
ボシユロム比色計	実習室(211)	内田	阿部	
DCレコーダー	実習室(211)	高橋(智)	大里	*MECLレコーダーは修理せず廃棄
pHメーター	実習室(311)、2F準備コート	高橋(智)	大里	
天秤	天秤室、準備室、実習室(311)	石井	阿部	
自記分光光度計	天秤室	石井	阿部	
低温高速遠心機	実習室(211)	高橋(智)	枝川	
フレンダー	2F準備コート	高橋(智)	枝川	
冷蔵庫・冷凍庫		石井	土田・阿部	*停電
蒸留水装置	洗浄室	石井	大里・佐藤	*断水・停電・フィルター交換等
製氷機	2F準備コート	高橋(智)	大里・土田	*断水・停電・フィルター交換等
超低温フリーザー	2F準備コート	渋谷(和)	枝川	*停電
シミュレーター	303、病院スキルラボ	前野	阿部・大里	
顕微鏡	各実習室、収納室	高橋(智)	大野・枝川・大里	
顕微鏡映像システム	実習室(321)	加藤	枝川	
デジタル顕微鏡	実習室(321)	加藤	枝川	

図4. 管理担当一覧（抜粋）

5.2 管理の例ー顕微鏡ー

医学類が所有している普通顕微鏡は、363台であり、3つの実習室にそれぞれ100余台ずつ設置してある。また、これ以外に実体顕微鏡125台、位相差顕微鏡14台等々、特殊顕微鏡を合計171台所有している(表1)。これらをデータベースで一台一台管理している。

表1. 顕微鏡所有一覧

種別		台数
普通顕微鏡	211実習室	109台
	311実習室	103台
	321実習室	110台
	予備	41台
合計		363台
特殊顕微鏡	実体顕微鏡	125台
	位相差顕微鏡	14台
	その他	32台
合計		171台
総合計		534台

管理項目は、購入年月日、規格、シリアル番号、修理履歴、使用状況などである(図5)。

年度末に学生自身に清掃をしてもらい、技術職員がチェックして、その都度メンテナンスを行っている。

こうして管理することにより、全顕微鏡のコンディションを把握することができる。修理内容の傾向をまとめ、次に学生が使用する時に、状態の良い物をピックアップできる。また、学生が使用する時の

基本台帳		記録番号: 50	
備品番号 M 776	メーカー オリンパス	規格 KHS-B1	使用状況 使用中
購入年月日 1976.3	製造番号 240724	製造日付 03.8.23	停止日付 06.2.6
93年度 コンデンサーの芯ずれ(三日月状の影) D		X4 702935	
94年度 ステージ送りつまみの曲がり交換 D		X10 713121	
95年度 ステージ送りの動きが悪い D		X40 707893	
96年度 接眼部の破損 A		X100 688544	
97年度 ついでに、レンズの芯ずれ(三日月状の影) D			
92年度	学籍番号 911719	氏名	保管場所 M2
			実験台番号 50
			修理区分 Gなし
			修理費用
故障内容			
備考			
93年度	学籍番号 921741	氏名	保管場所 M2
			実験台番号 50
			修理区分 D抜管
			修理費用
故障内容			
備考			
94年度	学籍番号	氏名	保管場所 M2
			実験台番号 50
			修理区分
			修理費用
故障内容			
備考			

図5. 顕微鏡データベース

注意に反映できる。繰り返し同じトラブルが起こる物については修理業者にその旨を伝えている。

こうして、医学類では1974年度に購入した顕微鏡が現在でも使用されている。

5.3 試薬の管理

試薬は、実習別ではなく、一括管理をしている。

実習担当者は、在庫確認の時にビンごと取り分けておくか、図6のようにビンに何の実習でどのくらいの量を使うのかのメモを貼っておく。足りない分の試薬は実習ごとに発注するか、各実習担当者の間で相談して発注している。

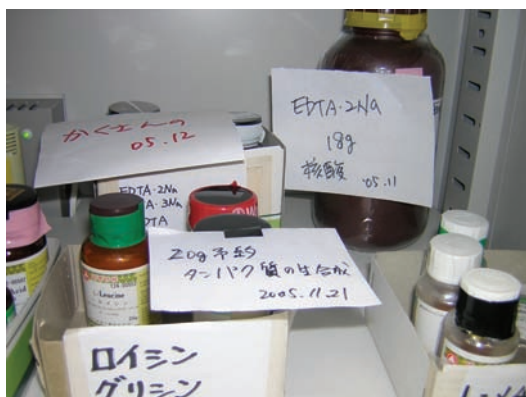


図6. 試薬に貼られた予約メモ

実習ごとに専有しないことによって、試薬の回転が早くなる。こうすることで汎用試薬の在庫が少なく済み、保管スペースと経費の節約につながっている。

毒物、劇物、PRTR 指定試薬については、受払簿を技術職員室に置き、随時受け払いの記入をしている。この受払簿を基に、IASO (薬品管理支援システム) での管理も行っている。

5.4 廃液の管理

実習で出る廃液は、その実習ごとに種類別にタンクに集めている。実習担当者は、何番のタンクに、どのような廃液がどのくらい入ったかを所定の用紙

に記入して廃液担当者に渡す。この用紙を基に、廃液担当者が搬出の手続きをしている。

搬出量はタンクで年間、無機系廃液約10本、有機系廃液約40本である。

6. 円滑な業務遂行のために

実習支援技術職員と PCME 室員教員である医学類副学類長とで「学群実習委員会」を設け、技術職員だけでは解決しがたい問題について報告、相談をしている。

また、医学類実習支援技術職員は、一つの職員室に全員が席を置いている。朝、または昼にはなるべく全員が集まり、いろいろな連絡や、提案、相談などを行っている。この他に、回覧、メールなどを利用して全員が同じ情報を共有するように心がけている。

実習以外の仕事の依頼があった場合にも、実習支援と同様に皆で話しあって対処している。どのような仕事でも、チームを作ってチームを決めている。チームは皆で分担し、1人に集中することがない。チーム員はチームの意見を尊重し、またチームをサポートしている。チーム同士は、実習を滞りなく進めるといった共通の目的に向かって、それぞれの仕事スムーズにできるように様々な問題を話しあい、調整している。これらを行うことで効率的に仕事を進めることができていると自負している。

7. まとめ

こうした組織力が見込まれて、実習以外の仕事(共用試験(OSCE, CBT)実施支援など)も依頼されるようになった。

私たちは、話し合いを重ね、時間と場所のやりくりや、人の配置を細かく検討し、滞りなく実習やその他の依頼された業務が行えるように調整をしている。こういった「コーディネート」の仕事も私たちの大きな役割の一つだと考えている。

今後もこうした組織力を活かし、変化に柔軟に対応し、職務を遂行していきたいと考えている。



図7. 臨床基本手技実習(4年生)



図 8. 生化学実習 (1 年生)



図 9. 生理学実習 (3 年生)



図 11. 診察法演習 (4 年生)



図 10. 社会医学実習 (4 年生)



図 12. 診察法演習 (4 年生)

MALDI-TOF MS による超微量蛋白質解析への挑戦

有本光江^{AE}、廣田隆一^B、柳澤 純^{BCE}、馬場 忠^{CE}、深水 昭吉^{DE}

^A筑波大学生命環境科学等支援室、^B株式会社アックス、^C筑波大学国際地縁技術開発専攻

^D筑波大学生物機能科学専攻、^E21世紀COEプログラム「複合生物系応答機能の解析と農学的高度利用」
〒305-8572 茨城県つくば市天王台 1-1-1

概要

MALDI-TOF MS を使用した蛋白質の解析で、使用するエッペンドルフチューブのメタノール洗浄のシグナルへの影響を調べた結果、メタノール処理を無くす事により、1000~2000Da 付近の共雑ピークが大幅に減少してベースラインが安定し、解析の精度が高まった。さらに、目的蛋白質に作用させるトリプシンの量を減らすことにより、より精度の高い解析結果を得ることが可能になった。この方法で BSA を使用し解析したところ、200fmol の蛋白質があれば解析可能であることが分かった。

1. はじめに

近年、プロテオーム解析技術は飛躍的に進歩しており、それに伴い解析に用いる蛋白質はより微量になる傾向にある。現在COEテクニカルファシリティーでの蛋白質の同定には主にMALDI-TOF MSを使用しているが、プロテオミクスにおいて重要な位置を占める質量分析の精度を高めるべくサンプルの調製の改善を行っている。測定用サンプルはインゲル消化法^{[1][2]}で作製しているが、超微量蛋白質の解析の精度をより高めるためには目的蛋白質固有のシグナルを鮮明にすることが大切であり、サンプル作製中に大気中の塵や溶液由来の不純物の混入を抑える工夫が必要になる。

以前より蛋白質の解析において、ネガティブピークが多数発生し、ベースラインが上がる事により影響を与えていたため、さまざまな可能性について検討していた。我々はサンプルの調整に使用するチューブの中の不純物を除くという理由で別の研究室から調整プロトコルを導入し、エッペンドルフチューブをメタノールで洗浄していた。このメタノール処理を無くす事により蛋白質のシグナルにどのように影響を与えるのかをトリプシンをエッペンドルフ内で自己消化させたものを使用し比較した。

次に、SDS-PAGE により切り出したゲル中の蛋白質をトリプシン消化する際に 20 μ l のトリプシン溶液を使用していたが、トリプシンの自己消化物のピークが非常に大きく目的蛋白質のシグナルが抑えられていた。そこで BSA の標準サンプルを用い、トリプシンを 1 μ l に減らし解析を行った。また、以上の方法を試した上で現在の測定限界を調べた。

2. MALDI-TOF MS 解析用サンプルの作製と測定方法

2.1 トリプシン自己消化物サンプルの作製

トリプシン (Promega 製) 20 μ g は添付の 50mM 酢酸溶液 200 μ l に溶かし、さらに 1.8ml の 5mM の塩化カルシウムを含む 50mM 重炭酸アンモニウムで希釈した。20 μ l (200ng) のトリプシン溶液をメタノール処理済のエッペンドルフチューブと未処理のものにそれぞれ量り取り 37 $^{\circ}$ C で 16 時間反応させ、自己消化させた。自己消化したトリプシンのペプチド断片を C-18 逆相カラムのついたチップ (ependorf 製) に吸着させ脱塩した後、サンプルプレートにアプライし、さらに α -ヒドロキシケイヒ酸 (Sigma 製) の飽和溶液を 0.5 μ l 添加し、MALDI-TOF MS により測定した。

2.2 トリプシン量を変えインゲル消化した BSA の微量測定用サンプルの作製

微量測定用の標準物質として BSA (PIEACE 製) を使用した。BSA を 200fmol (13.2ng)、100fmol (6.6ng) に希釈し、SDS ゲル電気泳動で分離した。泳動ゲルは Critrion Precast Gel 4-12% Bis-Tris (BIO-RAD 製) を使用した。泳動したゲルは質量分析用銀染色キットにより銀染色した (図 1)。比較のために 500fmol (33ng) に希釈した BSA も同時に流した。

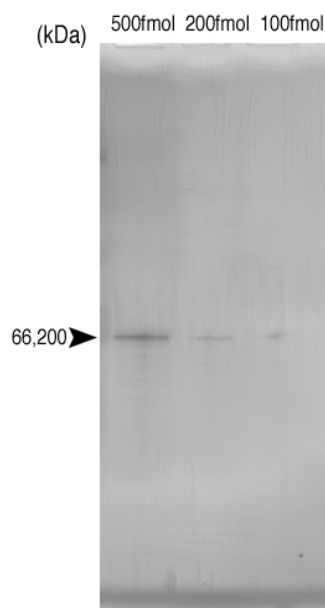


図 1. 希釈した BSA を電気泳動後、質量分析用銀染色キットで染色した

染色された 200fmol、100fmol のバンドを切り出しエッペンドルフチューブにサイコロ状に切断して入れた。ゲル中の BSA はトリプシン量を 1 μ l と 20 μ l に添加する量を変えインゲル消化法で切断し、ペプチド断片をゲルから抽出させた後、減圧乾燥させたものを 10 μ l の 0.1%TFA 溶液に溶解し C-18 逆相カラムのついたチップ (ependorf 製) に吸着させ脱塩した後、サンプルプレートにアプライした。さらに α -ヒドロキシケイヒ酸 (Sigma 製) の飽和溶液を 0.5 μ l 添加し、MALDI-TOF MS により測定した。

2.3 分析装置と解析方法

分析には MALDI-TOF MS (AXIMA-CFR Plus, 島津/KRATOS 製) を使用。

蛋白質固有のピークの数値を調べ、Mascot 社の検索用ソフトに数値を入力し、表示された結果を調べた。

3. 解析結果

3.1 トリプシン自己消化物サンプルの解析

メタノール処理をしたエッペンドルフチューブで処理したトリプシンの自己消化物のシグナルを調べたところ、多数のネガティブピークがあることが分かった (図 2 A,C)。

ークが確認され、検索ソフトにかけたところ、約半数の 71 個のピークがケラチンであることが分かった。その他のシグナルについては検索にかからない不明の物質に由来するピークであった。メタノール未処理のエッペンドルフチューブを使用したサンプルを調べるとピークが大幅に減少してベースラインが安定した。シグナルを詳しく解析したところネガティブピークは 5 つ存在し、そのうち 2 つがケラチンであることが分かった (図 2 B,D)。

3.2 インゲル消化におけるトリプシン量の検討

200fmol の BSA に対して、トリプシンを 20 μ l と 1 μ l を用いて消化させたものを解析したところ 1 μ l のトリプシンで消化した BSA は S/N 比が上昇しサンプル由来のピークがはっきりと確認された。1400-1600Da 付近ではその様子が顕著に見られ (図 3 上)、1 μ l トリプシンで消化させた BSA のシグナルで確認されたピークがトリプシン由来のピークが増えることにより相対的に低下していることが確認された (図 3 下)。

1 μ l トリプシンで消化させた BSA のシグナルパターンの中から固有ピークをピックアップしたところ、52 個のピークが得られ、検索用ソフトにかけたところ、トップランクに表示され、BSA 由来のピークが

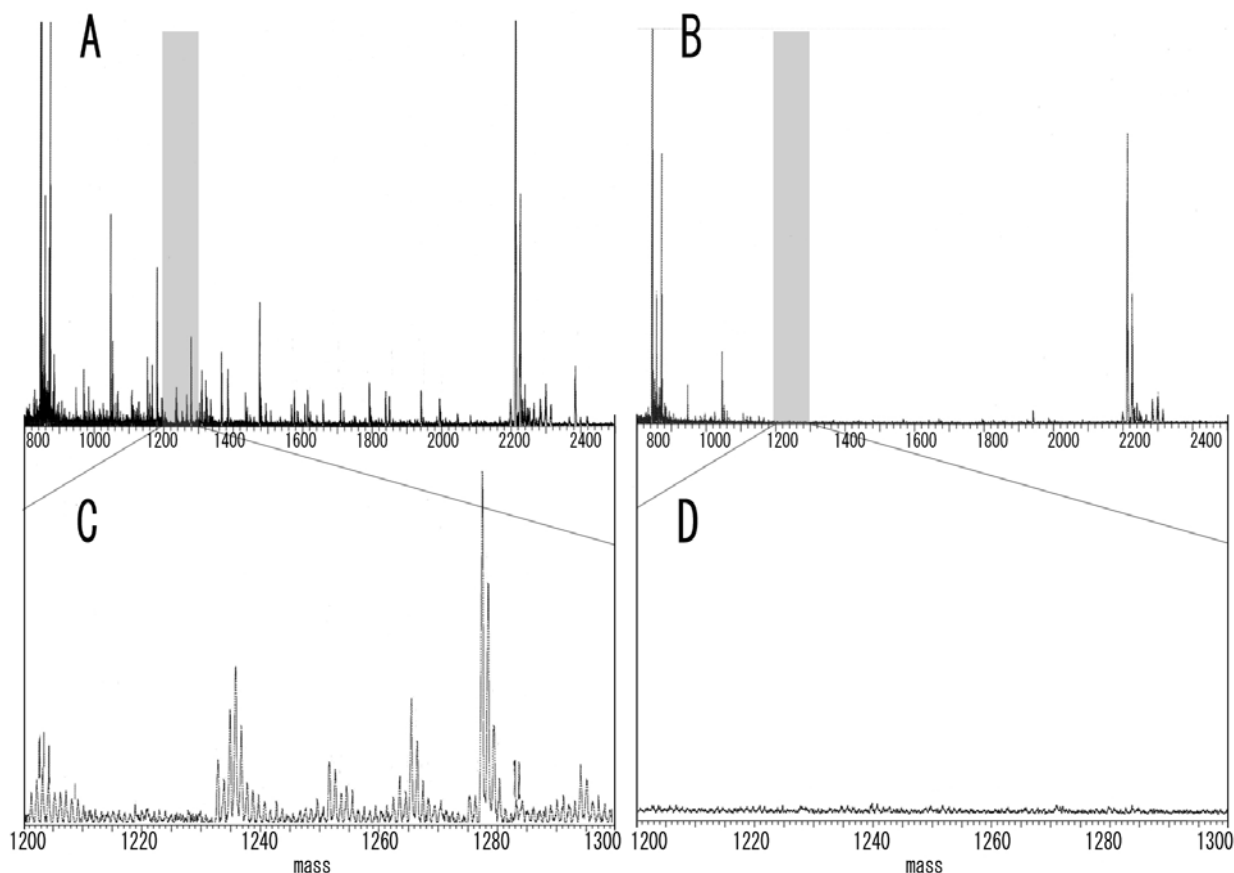


図 2. A はメタノール処理済み、B は未処理のエッペンドルフチューブを使用し、20 μ l トリプシン溶液を加え 16h で 37 $^{\circ}$ C で自己消化させ、シグナルパターンを比較した。C は A、D は B の 1200-1300 付近のグレイエリアの拡大図。

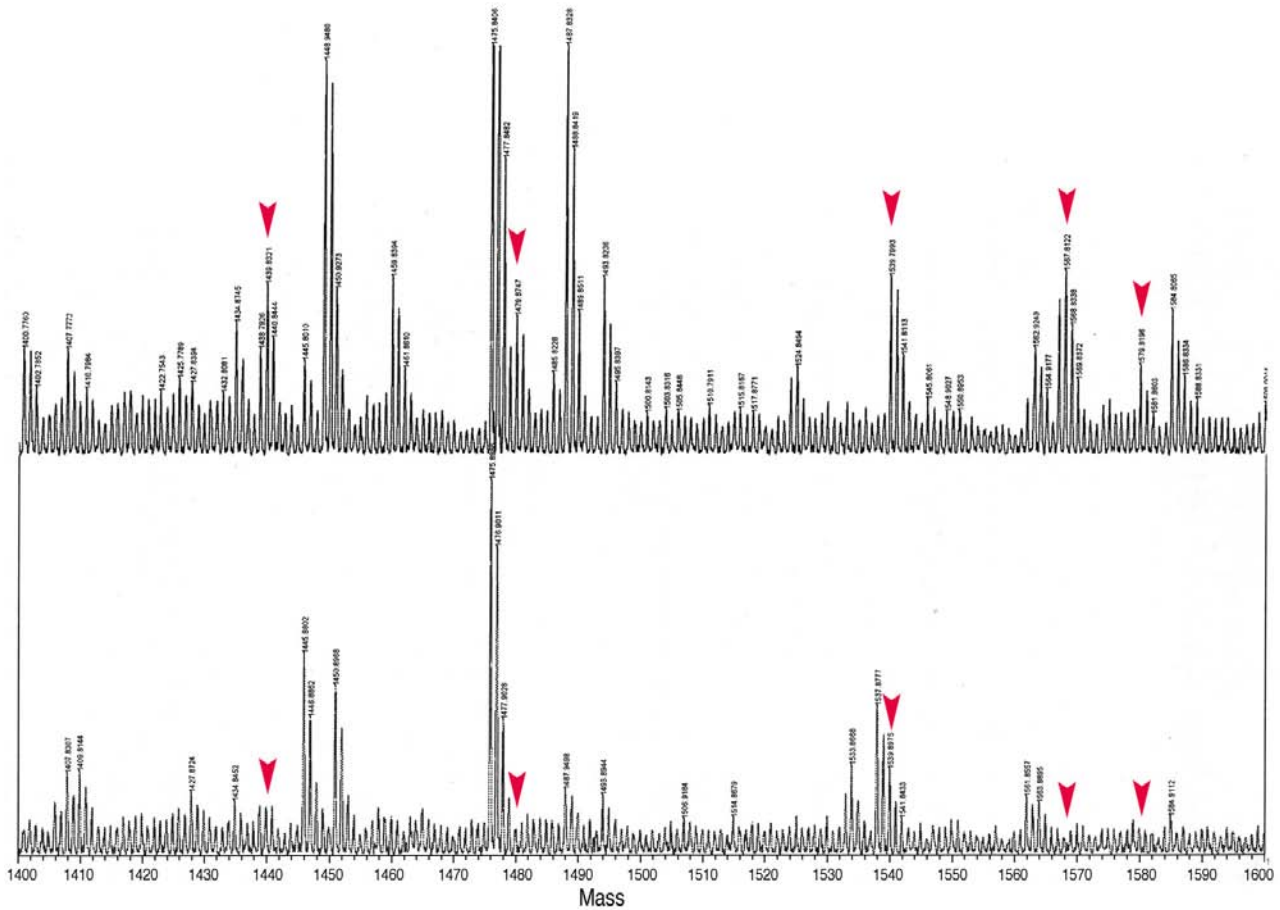


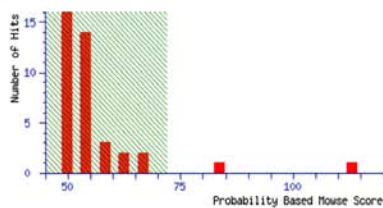
図3. 200fmolのBSAをトリプシン量を変え切断し測定したシグナルパターンを比較した。上のシグナルは1µlトリプシンで切断し、下は20µlトリプシンで切断した。矢印はBSAのトリプシン消化断片。

Database : NCBItr 20060102 (3153438 sequences; 1084939129 residues)
 Taxonomy : Metazoa (Animals) (850340 sequences)
 Timestamp : 24 Jan 2006 at 04:19:23 GMT
 Top Score : 113 for [gi|162648](#), albumin [Bos taurus]

Database : NCBItr 20060102 (3153438 sequences; 1084939129 residues)
 Taxonomy : Metazoa (Animals) (850340 sequences)
 Timestamp : 24 Jan 2006 at 04:23:41 GMT
 Top Score : 56 for [gi|55595455](#), PREDICTED: hypothetical protein XP_515399 [Pan troglodytes]

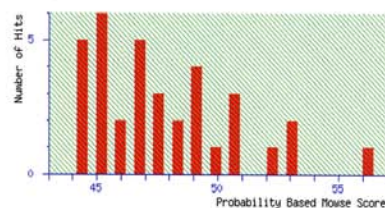
Probability Based Mowse Score

Ions score is $-10 \cdot \log(P)$, where P is the probability that the observed match is a random event. Protein scores greater than 72 are significant ($p < 0.05$).



Probability Based Mowse Score

Ions score is $-10 \cdot \log(P)$, where P is the probability that the observed match is a random event. Protein scores greater than 72 are significant ($p < 0.05$).



Concise Protein Summary Report

[Switch to full Protein Summary Report](#)

To create a bookmark for this report, right click this link: [Concise Summary Report \(.../data/20060124/F015059.dat\)](#)

Re-Search All	Search Unmatched
1. gi 162648 albumin [Bos taurus]	Mass: 71244 Score: 113 Expect: 4.3e-006 Peptides matched: 1
gi 30794280 albumin [Bos taurus]	Mass: 71274 Score: 113 Expect: 4.3e-006 Peptides matched: 1
gi 74267962 ALB protein [Bos taurus]	Mass: 71186 Score: 90 Expect: 0.00079 Peptides matched: 14
gi 229552 albumin	Mass: 68083 Score: 82 Expect: 0.005 Peptides matched: 13
2. gi 76445999 serum albumin [Bos indicus]	Mass: 55487 Score: 83 Expect: 0.004 Peptides matched: 12

Concise Protein Summary Report

[Switch to full Protein Summary Report](#)

To create a bookmark for this report, right click this link: [Concise Summary Report \(.../data/20060124/F015060.dat\)](#)

Re-Search All	Search Unmatched
1. gi 55595455 PREDICTED: hypothetical protein XP_515399 [Pan troglodytes]	Mass: 78929 Score: 56 Expect: 2 Peptides matched: 8
2. gi 28302281 Meiosis-specific nuclear structural protein 1 [Mus musculus]	Mass: 60255 Score: 53 Expect: 4.2 Peptides matched: 10
3. gi 229552 albumin	Mass: 68083 Score: 53 Expect: 4.5 Peptides matched: 8
gi 162648 albumin [Bos taurus]	Mass: 71244 Score: 51 Expect: 6.9 Peptides matched: 8
gi 74267962 albumin [Bos taurus]	Mass: 71186 Score: 51 Expect: 6.9 Peptides matched: 8

図4. 200fmolのBSAをトリプシン量を変え切断し測定したシグナルパターンを検索ソフトにかけた結果。左は1µlトリプシンで切断したBSAの検索結果、下は20µlトリプシンで切断したBSAの検索結果。

16個あることがわかった(図4左)。一方、20 μ lのトリプシンで分解させたものは27個のピークが得られた。検索の上位には表示され、BSA由来のピークは8個確認されたものの、スコアが低くはっきりと同定されるには至らなかった(図4右)。

また、質量分析銀染色キットの検出限界である100fmolのBSAでも同様にトリプシン量を変え、測定したところ、1 μ lのトリプシンを加えたBSAでは同定はされなかったものの、6位にヒットしたのに対し、20 μ lのトリプシンを加えたBSAでは18位であった。

4. まとめ

サンプル調製に使用するエッペンドルフチューブをメタノールで洗浄を行うことにより、ネガティブピークが多数発生し、ベースラインが上がる事によって解析に影響を与えていることがわかった。1000~2000付近は最も固有ピークが現れる場所でもあり、この付近の共雑ピークが大幅に減少してベースラインが安定した。また、ネガティブピークには多数のケラチンが含まれていることが分かり、微量でもイオン化されやすくシグナルが高く出るという性質があるため、固有ピークを打ち消していたことが考えられる。このケラチンが減少することにより解析の精度が高まった。これらのことから、メタノール処理によりチューブ内に大気中の塵やゲル、溶媒由来の物質が付着しやすくなっていたことが分かった。

次にトリプシン量を1 μ lに減らしてゲル内で消化させるとS/N比が上昇し、トリプシンのピークに抑えられていた固有ピークがはっきりと現れるようになり、より解析精度が高まることが分かった。一方、従来の方法で用いられている20 μ lのトリプシンで分解させたものは検索の上位には表示されたものの、スコアが低くはっきりと同定されるには至らなかった。これらの改善を行った結果、現在BSAで200fmolの濃度まで検出限界を大幅に引き上げることに成功した。

以上のことより、微量の蛋白質解析においては作用させるトリプシンの量が非常に大切であることがわかった。今後はさらなる超微量サンプルに対応すべく改善を行っていく予定である。

謝辞

MALDI-TOF MSを使用した蛋白質の解析において多大なるご指導ご協力を頂きました生命環境科学研究科の川辺洋一助手、日本学術振興会特別研究員の村山明子研究員に深く感謝いたします。また、本報告の作成や業務遂行にあたり多大なご協力を頂きました応用生物化学系技術職員の方々に深く感謝いたします。

参考文献

- [1] Linking genome and proteome by mass spectrometry: large-scale identification of yeast proteins from two dimensional gels. Proc Natl Acad Sci U S A. 1996 Dec 10;93(25):14440-5.
<http://www.pnas.org/cgi/content/full/93/25/14440>
- [2] プロテアーゼによるインゲル消化. 谷口寿章「プロテオミクス実験プロトコール」秀潤社細胞工学別冊. 23-33.2003

危険物屋内貯蔵所（第3学群地区）の運用と利用状況

渡邊ゆり子¹

筑波大学数理物質科学等支援室

〒305-8573 茨城県つくば市天王台 1-1-1

概要

危険物屋内貯蔵所（第3学群地区）は平成16年5月に使用を開始した。この施設は消防法により規制されており、そのために行っている方法を紹介するとともに、実際の利用状況はどのようになっているのか報告する。

1. はじめに

危険物とは、消防法によって定められた、それ自体が発火あるいは引火しやすい危険性を有しているか他の物質と混在することによって燃焼を促進させる物質で、その性質により一類から六類に分けられている（表1参照）。

第一類（酸化性固体）とは、そのもの自体は燃焼しないが、他の物質を強く酸化させる性質を有する固体であり、可燃物と混合したとき、熱、衝撃、摩擦によって分解し、きわめて激しい燃焼を起こさせる危険性を有する固体で、たとえば硝酸塩などがある。

第二類（可燃性固体）とは、火炎によって着火しやすい固体または比較的低温（40℃未満）で引火しやすい固体であり、出火しやすく、かつ燃焼が早く消火することが困難である。硫黄、鉄粉などが含まれる。

第三類（自然発火性物質および禁水性物質）とは、空気にさらされることにより自然に発火する危険性を有し、または水と接触して発火し若しくは可燃性ガスを発生するもので、ナトリウム金属など消火の際、水をかけると危険である。

第四類（引火性液体）とは、ガソリン、灯油など液体であって引火性を有するものである。

第五類（自己反応性物質）とは、固体または液体であって、加熱分解などにより、比較的低い温度で多量の熱を発生し、または爆発的に反応が進行するもので、例としてはニトロ化合物などがある。

第六類（酸化性液体）とは、そのもの自体は燃焼しない液体であるが、混在する他の可燃物の燃焼を促進する性質を有するもので、過塩素酸などがこれに当たる。

危険物では、それぞれの物質に対して政令で定められた量（指定数量）があり、それ以上の取り扱い及び貯蔵は消防法により定められた施設以外では禁止されており、危険物を多量に使用する際は屋内貯蔵所が必要である。

第3学群地区では、平成16年5月より危険物屋内貯蔵所の利用が始まり、筆者は、使用開始に当たって、この施設をどのようにすれば消防法の規定に従って使用できるか、また、利用者に使いやすいかを

考えて利用方法を決定し、その後使用者と協議しながら改良を加えてきた。また、そのときからずっと危険物取扱者として実際の運用に携わってきたので、どのようにして使用されているか紹介する。

表1. 危険物の類別^[1]

類別	性質
第一類	酸化性固体
第二類	可燃性固体
第三類	自然発火性物質および禁水性物質
第四類	引火性液体
第五類	自己反応性物質
第六類	酸化性液体

2. 危険物屋内貯蔵所の概要

危険物屋内貯蔵所（第3学群地区）は、第3学群D棟とG棟の間の中庭にあり、平屋建てで、貯蔵庫4室からなる。危険物貯蔵庫1および3には酸化性固体（第一類）の危険物が貯蔵される。危険物貯蔵庫2には酸化性液体（第六類）が貯蔵される。危険物貯蔵庫4は、排気設備がつけられており、引火性液体（第四類）が貯蔵され常に換気されている。この施設に貯蔵できる数量等のくわしい許可内容は、表2のとおりである。



図1 危険物屋内貯蔵所（第3学群地区）

¹ E-mail: ywatanab@bk.tsukuba.ac.jp; Tel: 029-853-5017

表2 危険物貯蔵可能量

種別	品名	第三学群		指定数量 (kg・L)	指定数量 の倍数
		(kg)	(L)		
1類 危険物貯蔵庫(1)	塩素酸塩類	5		50	0.1
	過塩素酸塩類	40		50	0.8
	無機過酸化物				
	亜塩素酸塩類	5		50	0.1
	臭素酸塩類				
	硝酸塩類	20		50	0.4
	よう素酸塩類				
	過マンガン酸塩類				
	重クロム酸塩類				
	その他政令で定めるもの				
	計	70			1.4
1類 危険物貯蔵庫(3)	塩素酸塩類				
	過塩素酸塩類				
	無機過酸化物	5		50	0.1
	亜塩素酸塩類				
	臭素酸塩類	5		50	0.1
	硝酸塩類				
	よう素酸塩類	5		50	0.1
	過マンガン酸塩類	5		50	0.1
	重クロム酸塩類	5		50	0.1
	その他政令で定めるもの				
計	25			0.5	
4類 危険物貯蔵庫(4)	特殊引火物		100	50	2
	第1石油類 非水溶性		200	200	1
	第1石油類 水溶性				
	アルコール類		200	400	0.5
	第2石油類 非水溶性		500	1000	0.5
	第2石油類 水溶性				
	第3石油類 非水溶性				
	第3石油類 水溶性				
	第4石油類		600	6000	0.1
	動植物油類				
計		1600		4.1	
6類 危険物貯蔵庫(2)	過塩素酸	50		300	0.17
	過酸化水素	50		300	0.17
	硝酸	200		300	0.67
	計	300			1
	合計				7

これまでの手順をまとめたものを図3に示す。

3. 利用方法

3.1 申し込み

申し込みは申込書の提出によって行われる。様式(図2参照)はホームページ²よりダウンロードをすることで得られる。提出方法は、電子メールの添付ファイルあるいは印刷した申込書を送付する。ただし、実際のところは、初回のみ正式の申込書を送ってもらい、次回からは、品目と量を電子メールで連絡してもらい、手元にファイルしてある申込書を訂正して印刷して使用している。

危険物貯蔵所保管申込書						
申請者	所属	数理工学研	氏名	つくば太郎	連絡先	1111
	E-mail Address	ttukuba@ab.tsukuba.ac.jp				
責任者	所属	数理工学	氏名	筑波次郎	連絡先	1234
物質名	エタノール					
量	18 (kg, l)					
整理番号	05201401					
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 17 年	10月	11 日	確認		
搬出年月日	平成 年	月	日	確認		

* 本枠の中のみ書いてください

キトリセン 平成 年 月 日

危険物保管証	
物質名	エタノール
整理番号	05201401

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2 申込書の記入例

3.2 確認および登録

申込書を受け取ったら、現在の保管量を確認し、受け入れ可能か調べる。危険物屋内貯蔵所に保管されているものは、すべて登録番号がつけられパソコン上に登録され、現在の貯蔵量がすぐにわかるようになっている。これについては、後で述べる。最大貯蔵数量を超えないことを確認したら、新たに登録番号をつけて登録するとともに、申込者に登録番号と搬入日時を連絡する。許可量を超えた場合はその旨連絡する。

3.3 搬入

搬入する危険物の容器には、研究室名と登録番号をつける。搬入時には、必ず立会い、現物を確認して保管証(申込書の下半分)を渡す。

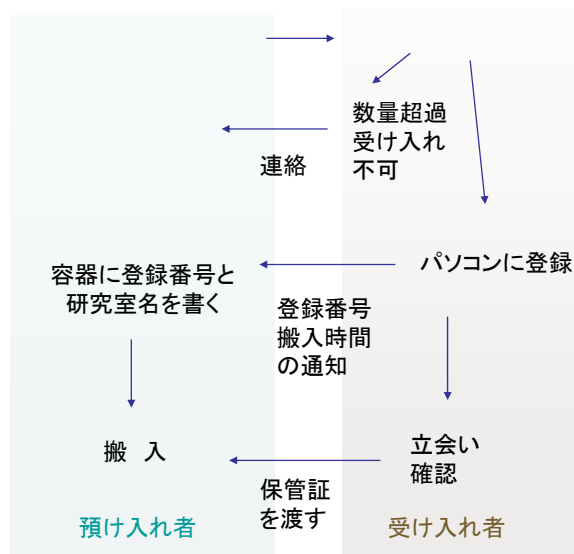


図3 搬入の流れ

3.4 詰め替え作業

この施設では、1斗缶からガロンびんへの詰め替え作業を行っている。この作業は原則として利用者と相談の上決められた時間に定期的に行われている。作業中は必ず立会い、移し替えた量と作業者の氏名を書いた記録をつけている。その様子を図4に示す。ここに書かれた量にしたがって、週に一度、貯蔵所内の在庫を確認するとともに、保管量の訂正を行って、いつでも現状に近い貯蔵量がわかるようにしている。

筑波研究室											
9 / 19 ~ 9 / 23											
番号	薬品名	保管量	月	火	水	木	金	残量			
			使用済	使用済	使用済	使用済	使用済				
11.30	メタノール	53									
31.32											
21.27	エタノール	66									
29.29											
24.35	酢酸エチル	35									
38.39	テトラヒドロフラン	31									
23.33	ヘキサン	46									
34											

図4 作業記録

3.5 搬出

3.4で述べたように、小分けされて持ち出される分の危険物についてはそのつど量を作業記録にしるしており、容器を出すときを搬出日として、保管証に搬出者の氏名を記して回収している。回収した保管証は、綴じてある申込書に添付し保管される。このことにより、その危険物の貯蔵所での在庫を確認している。

² <http://www.bk.tsukuba.ac.jp/~ywatanab/kikenbutu.html>

4. 記録

3章に記したように、申込書と作業記録はファイルに綴じて保存されている。

さらにパーソナルコンピューター上の表に登録番号と物質名および種別の貯蔵量を入力し、それぞれの種別の許可数量と現在の貯蔵量が一目で把握できるようにしている。その表の一部を図5に示す。この表を使用することで3.2に述べた確認作業が容易になる。

登録番号	搬入年月日	搬出年月日	品名	貯蔵庫4				
				特殊引火物(100)	第1石油類(200)	アルコール(200)	第2石油類(500)	第4石油類(600)
			在庫量	0	180	144	0	0
4101401	2004/7/7		THF		18			
4101402	2004/7/7		EtOH			18		
4101403	2004/7/7		Hexane		18			
4101404	2004/7/7		MeOH			18		
4101405	2004/7/7		EtAcetate		18			
4101407	2004/9/10		EtOH			18		
4101408	2004/9/10		EtOH			18		
4101409	2004/9/10		EtOH			18		
4101410	2004/9/10		MeOH			18		
4101411	2004/9/10		MeOH			18		
4101412	2004/9/10		MeOH			18		
4101413	2004/9/10		THF		18			
4101414	2004/9/10		THF		18			
4101415	2004/9/10		toluene		18			
4101416	2004/9/10		toluene		18			
4101417	2004/9/10		EtAcetate		18			
4101418	2004/9/10		EtAcetate		18			
4101419	2004/9/10		EtAcetate		18			

図5 貯蔵量の表

5. 利用状況

2004年5月から2005年12月までの搬入状況を図6に示す。この期間に搬入された危険物は第三類の第1石油類とアルコールのみであり、総計2299リットルであった。年度別に比較すると2005年度には少し減少しているが、年度末の貯蔵量を考えると大体同じように利用されていると考えられる。

また、危険物屋内貯蔵所を利用しているのは、いまのところ2研究室のみであり、そのうちの1研究室はアルコールの1リットルビンの貯蔵のみで、利用のほとんどすべてを1研究室が占めている状況である。

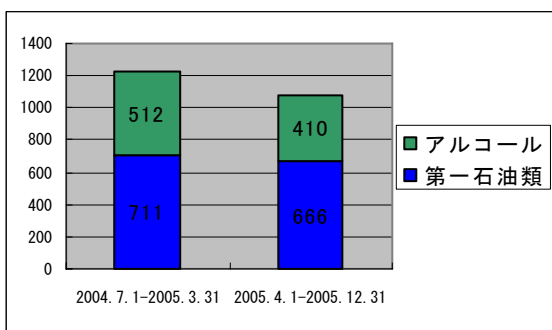


図6 年度別搬入量

6. 問題点

この屋内貯蔵所が現在抱えている問題点は、前に述べた利用者が少ないことと実際の利用と許可を受けている内容との違いが大きいことである。

まず、表2に示したようにこの施設では第一類と第六類の許可を取っているが、利用者がなく、4室のうち3室もが空室のままになっている。

次に、第四類についても、第1石油類の需要が多いのに対して、許可量は200リットルとなっているが、18リットル缶の場合では11缶しか貯蔵できず、普通使用される有機溶剤に第1石油類が多いために許可数量が不足により搬入を断る場合も出ている。

また、要望はあるが、許可を取っていないため受け入れられない危険物もある。

7. まとめ

これまで述べてきたように、第3学群地区の危険物屋内貯蔵所は使用を開始して2年近くが経過したわけであるが、利用手続きについては一応の手順が確立されてきているが、まだまだ改良の余地がある。また、許可内容の見直しなどが必要であると思われる。

参考文献

- [1] (財)全国危険物安全協会、危険物取り扱い必携(法令編)、(1996) 8.

デジタルカメラによる紫外線撮影法の開発

鷺野谷秀夫

筑波大学病院総務部医事課中央診療
〒305-8576 茨城県つくば市天久保 2-1-1

概要

医療分野や多くの科学分野に応用が可能な紫外線撮影を、デジタルカメラに応用した結果、迅速に適正な紫外線画像が得られた。デジタルカメラは、従来のポラロイドカメラと同様、瞬時に撮影結果を確認できるため、紫外線の反射、吸収がその場で分かり、有用な知見が得られる。その紫外線撮影法の基礎的実験と、今回開発した撮影装置によって得られた画像を報告する。

1. はじめに

紫外線写真は、主に 360nm にピークを持つ紫外線で撮影する撮影法である。紫外線撮影により得られる画像は、肉眼では観察し得ない波長のため、多くの科学分野で有用な知見を得ることができる。しかし、紫外線撮影は、特殊なフィルターやレンズを必要とし、撮影方法も特殊な技術が必要であったため、多くの科学者に応用されることが少なかった。今回は、特殊な撮影技術を必要としない一般の撮影者が、簡単に撮影できる撮影装置を開発することを目的として、実験を行った。今回使用した機材は、従来開発したものをを用いて基礎的実験を行った。また、多くの資料を撮影した結果、興味のある紫外線画像を得ることができたので報告する。

2. 方法

使用したカメラは、ニコンデジタルカメラ D70 ボディに紫外線撮影用レンズ・ニコン UV ニッコール 105mm レンズ、そしてケンコー製紫外線透過可視光吸収フィルターU360 (図 1) を用いた。また、常に平均的で安定した撮影が行える様に、サンパック社製紫外線撮影用フラッシュ (図 2) を使用した。図 3 は、ケンコー製紫外線透過可視光吸収フィルター U-360 と、サンパック社製紫外線撮影用フラッシュを用いたフィルターの分光吸収曲線を示す。図の U-360 の曲線は、最高透過率が 360nm にピークを持ち、僅かに 750nm にも透過を示していることが分かる。図 4 は、デジタルカメラに、紫外線撮影用レンズとフィルター、そして、紫外線撮影用フラッシュを使用した、紫外線撮影装置の全景である。この撮影装置を用いて、各種異なった資料を配置した特殊撮影用シートを撮影して、基礎的実験を行った。また、他の分野の応用を試みとして、花や人の皮膚を対象に撮影を行い、通常の可視光画像と比較検討した。また、画像処理を試み、モノクロ画像で示される紫外線デジタル画像に、色彩を配色し、紫外線の反射・吸収を分かり易く、画像表示した。



図 1、紫外線撮影用レンズ・ニコンUVニッコール 105mm レンズと、ケンコー社製紫外線透過可視光吸収フィルターU360



図 2、サンパック社製紫外線撮影用フラッシュ

3. 結果

紫外線撮影は、可視光撮影とはまったく異なった画像を示す事が特徴である。各種異なった資料を配置した特殊撮影用シートを用いて、デジタル画像においても同様な画像を示すか、基礎的実験を行った。図 5 は、資料を通常に撮影したカラー画像である。図 6 は、紫外線撮影と比較しやすくするために撮影したモノクロ画像である。図 7 は、今回開発した紫外線撮影装置により撮影した紫外線画像である。この紫外線画像は、紫外線写真の特徴を示して、紫外線特有の材質による変化を示している。図 8 は、フィルターをつけずに撮影した紫外線撮影画像である。画像は、蛍光の影響を受けて、フィルターを使用した画像とはたいへん異なった画像を示している。

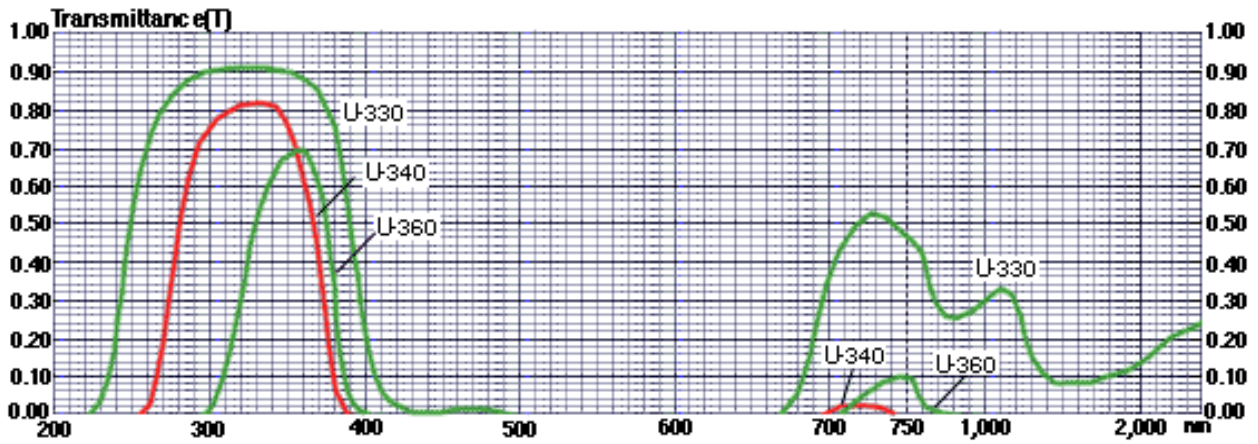


図 3、ケンコー製紫外線透過可視光吸収フィルターU-360 と、サンパック社製紫外線撮影用フラッシュに用いたフィルターの分光吸収曲線



図 4、デジタルカメラに、紫外線撮影用レンズとフィルター、そして、紫外線撮影用フラッシュを使用した、紫外線撮影装置の全景

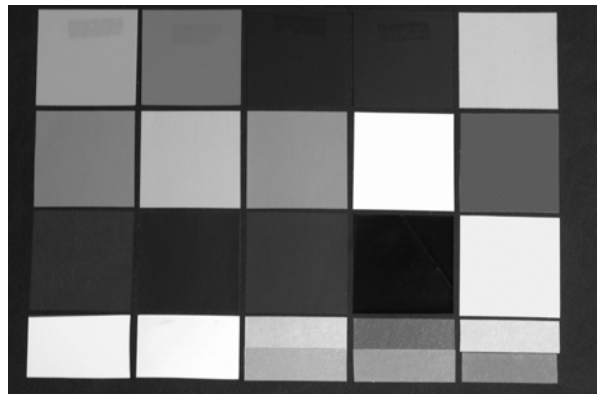


図 6、資料を通常に撮影したモノクロ画像

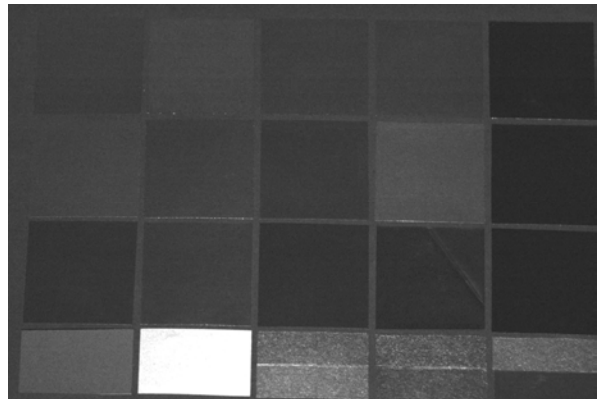


図 7、紫外線撮影装置により撮影した紫外線画像

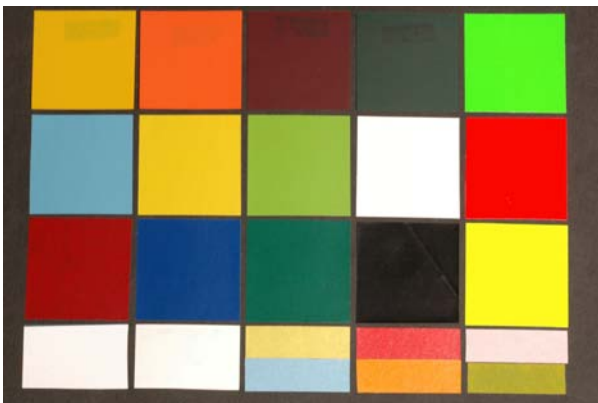


図 5、資料を通常に撮影したカラー画像

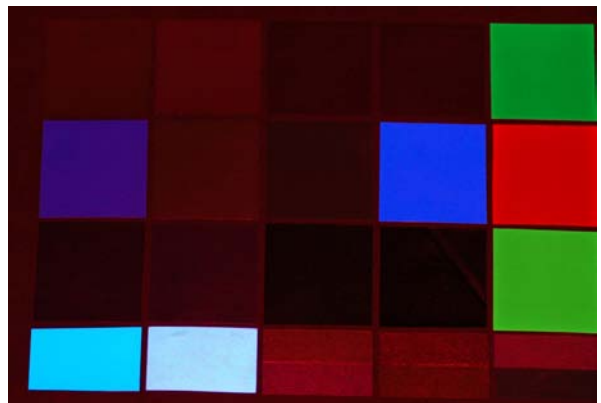


図 8、フィルターをつけずに撮影した紫外線撮影像

図9は、手背の普通撮影である。図10は、手背の紫外線撮影である。今回の撮影により得られた画像は紫外線の特徴を示し、黒く示して適正な紫外線画像を示した。図11は、アブラナの花の普通撮影であり、図12は、比較しやすいようにモノクロで撮影した画像である。図13は、アブラナの花の紫外線画像である。紫外線画像では、花びらの中心部と周辺部の色がまったく異なった紫外線の反射吸収を示している。図14は、画像解析によって濃淡の差を色彩表示したものである。紫外線撮影では、このような興味ある画像を得ることができる。

4. 考察

紫外線写真は、単一波長の撮影のため、色彩は撮影されずモノクロ画像で示される。一般に紫外線撮影による撮影は、物質の差によって表現されるため、肉眼で色彩を判断しても、その顔料の成分が同じ物質であった場合、紫外線では、図7の各種資料を撮影した紫外線画像で示されているように、同様な濃度で示される。図8は、紫外線透過可視光吸収フィルターをつけずに撮影した紫外線撮影画像であるが、紫外線透過可視光吸収フィルターをつけずに撮影した場合、物質自体の固有蛍光の影響で、紫外線画像とは異なる画像を示すことが分かった。そのため、三脚を使用せずに手持ちで紫外線撮影を行う場合は、カメラの内部を改造し、CCDの前に紫外線透過可視光吸収フィルターを装着する等の、若干の調整が必要であると考えられる。

皮膚の撮影は、皮膚のメラニン色素によって、正常な皮膚は全て黒色で示される。今回の撮影により得られた画像は紫外線の特徴を示し、手背を黒く示して適正な紫外線画像を示した。以前報告した皮膚科学における臨床への応用では、皮膚の肥厚した病変や、メラニンの減少した病変には、有用な情報が得られた。紫外線は、細胞の核に悪影響を及ぼし、ある波長の紫外線には、発癌性も報告されている。今後は、多くの病変に応用を試み、異常な画像を示した病変について、さらに研究することが重要と考える。

アブラナの花の紫外線画像は、たいへん特異な画像を示し、紫外線写真の特徴を的確に示している。アブラナの花は、以前から紫外線写真を用いて研究がされ、多くの報告がなされている。紫外線撮影が、今回の報告により一般に撮影されることで、多くの植物に応用されるものと考えられる。

今後、この装置を用いて多くの科学分野に応用することにより、肉眼では観察し得ない紫外線波長の反射・吸収をより明確化し、正確な観察を可能にするものと考えられる。それにより、多くの新発見が得られ、広く発展するものと考えられる。

5. まとめ

今回、紫外線撮影をデジタルカメラに応用した結果、適正な紫外線画像を迅速に得ることができた。デジタルカメラは、瞬時に撮影結果を確認できるため、このカメラに応用したことにより、紫外線の反射、吸収が瞬時に観察できる。そのため、迅速な対



図9、手背の普通撮影



図10、手背の紫外線撮影



図11、アブラナの花の普通撮影



図12、アブラナの花のモノクロ画像

応が要求される医療記録撮影等には、特に有効な撮影法であり、今後の利用が期待される。

紫外線は、肉眼で観察できないため、実際に撮影してみないと結果が分からず、従来の常識では考えられない変化を観察することが多い。今後は、紫外線写真を、肉眼では観察しにくい病変や、他の科学分野に広く利用すれば、多くの新発見が得られるものと確信する。

参考文献

- [1] 鷺野谷秀夫, 他: 特殊撮影の皮膚科学における応用, 日医学会誌 19 巻 14-17, 1981.
- [2] 鷺野谷秀夫, 他: 胃癌における紫外線励起蛍光観察, Progress of Digestive Endoscopy vol, 20, 110-113, 1982.
- [3] 特殊写真の臨床応用について, 日医学会誌 23 巻 3 号, 110-128, 1985.
- [4] 鷺野谷秀夫, 他: 紫外・赤外・蛍光撮影における Gray Scale 作成について, 日医学会誌 22 巻 3 号, 128-140, 1985.
- [5] 鷺野谷秀夫, 他: 紫外線撮影用レンズ UV ニッコール 105m 使用による皮膚病変撮影について, 日医学会誌 23 巻 2 号, 44-48, 1985.
- [6] 鷺野谷秀夫, 他: 紫外線カラー写真の試み, 日医学会誌 24 巻 1 号, 2-9, 1986.
- [7] 鷺野谷秀夫: 特殊写真の臨床応用について, 第 2 回筑波大学技術職員発表会, 62-67, 2003.
- [8] K.Onizawa, H.Saginoya 他: Characterization of autofluorescence in oral squamous cell carcinoma. Oral Oncology 39(2003)150-156
- [9] Y.Yoshioka, 他: Intraspecific variation in the ultraviolet colour proportion of flowers in Brassica rapa L. Plant Breeding 124,551-556(2005)



図 13、アブラナの花の紫外線画像

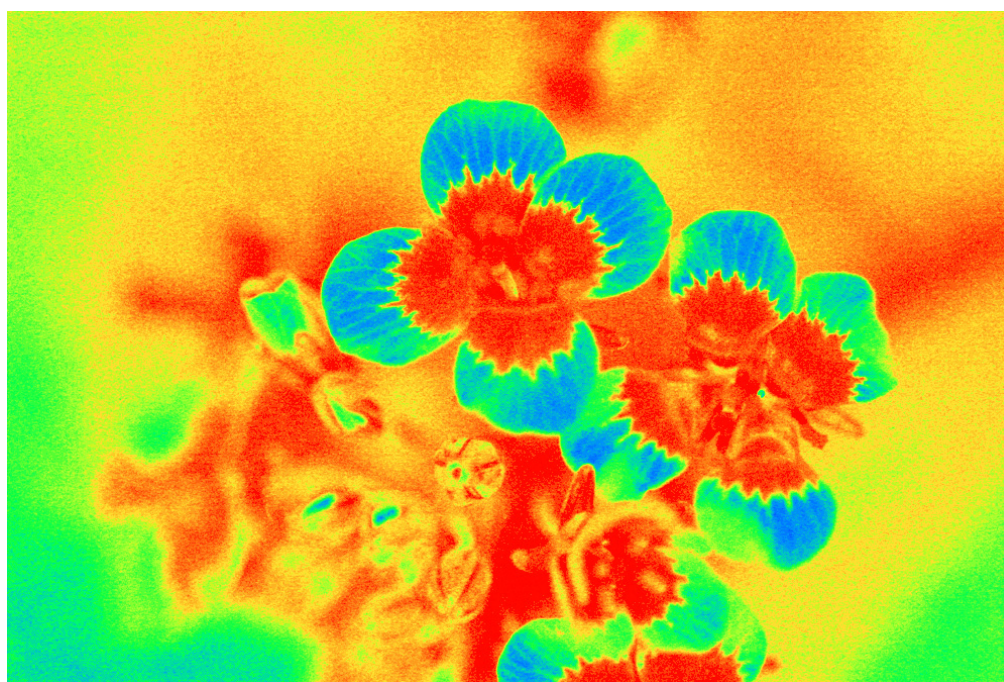


図 14、画像解析した紫外線画像

ヘリウム液化機タービントラブルについて

近藤裕、宮内幹雄、敦賀将太
筑波大学研究基盤総合センター 低温部門
〒305-8577 茨城県つくば市天王台 1-1-1

概要

ヘリウム液化機がタービン回転数異常により緊急停止した。このことについて原因調査の内容、予備タービンへの交換、及びタービンの始動特性についてまとめた。

1. はじめに

液化ヘリウムは超低温の研究や教育に欠かすことのできないものである。低温部門では、ヘリウム液化機の運転を行い液化ヘリウムを生産し、学内に供給を行っている。

現在の液化機はL i n d e 社製TCF-50で1997年に導入され運転時間は1万時間を超えている。図1に液化機のフロー図を示す。ヘリウム圧縮機で1.6 MPaに圧縮されたヘリウムガスが液化機に導かれ、熱交換器で液化室素温度の約80 Kまで予冷される。

その後タービンの断熱膨張により12 Kまで冷却し、エジェクターによるジュール・トムソン効果によって温度低下し4.2 K (-269℃)の液化ヘリウムが造られる。

この液化機にはタービンNo. 1 (以下、T1)とタービンNo. 2 (以下、T2)との二基のタービンを備え、定常運転状態においてそれぞれ毎秒4400回転と3500回転という高速回転で制御している。タービンの回転数はシャフトの回転をスピードセンサーが検知して回転計に表示し、その信号を取り込み制御プログラムによってコントロールしている。

液化機のタービンは図2のタービン構成図に示すように、Turboexpander runnerと Brake compressor impellerが同軸のシャフトで繋がり、シャフト部にスピードセンサーが組み込まれている構造である。

本報告は、液化機の最重要機器であるタービンに発生したトラブルの対応及びタービンの始動特性について述べる。

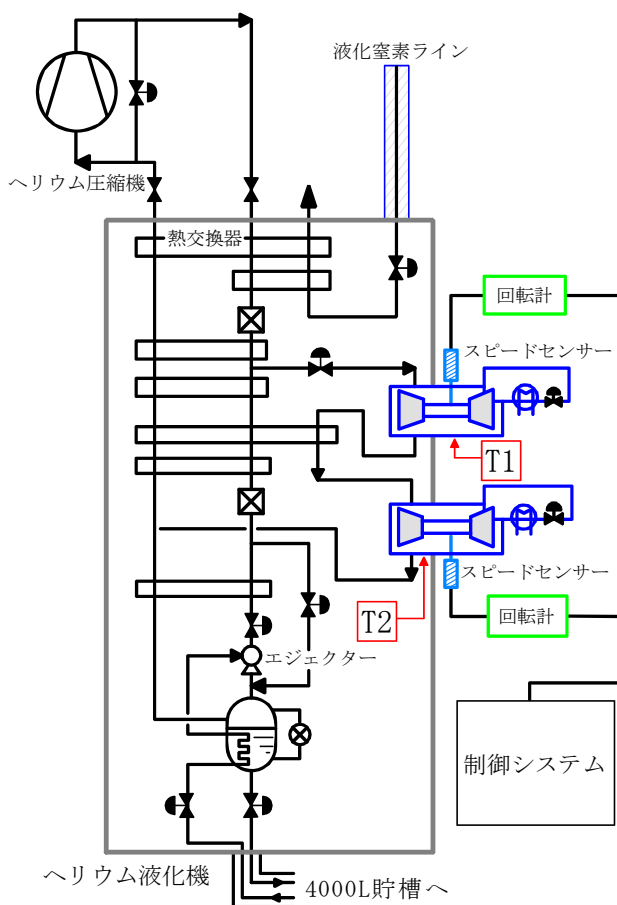


図1. 液化機フロー図

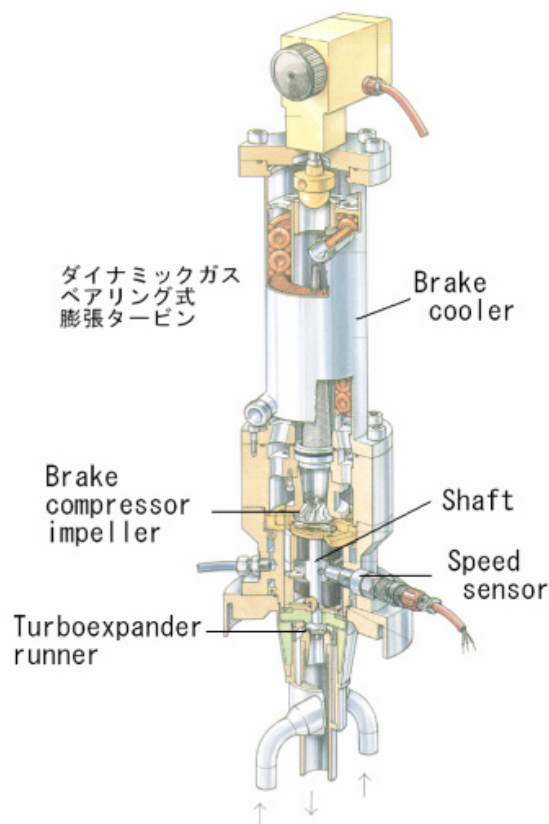


図2. タービン構成図

2. タービン異常と原因調査

正常時の液化機のタービンは図3に示すように圧縮機起動安定後、経過時間15分頃からタービン入口弁が開き、タービンが回転を始め徐々にステップアップしていく。

今回のトラブルは液化機の運転開始から32分経過した頃に発生した。図4に示すようにT2回転数が2800 rps になるところで一瞬にして4000 rps に上昇していた。

T2はタービン保護のため回転数が3800 rps になるとインターロックが作動して液化機を停止させる設定となっている。

通常T2は2800 rps で一定時間保持した後3400 rps に上昇するコントロールである。実際の回転数が一瞬で上昇することは考えられず、回転音の変化もなかったことから、ノイズによる誤作動と考え再起動を試みた。しかし、T2が全く同じ回転数になったところで停止した。

ここで、液化機の制御プログラムのバグを疑い、制御システムを一度停止し、制御プログラム用のシーケンスのダウンロードを行い運転を試みた。その結果、全く同じ症状で停止となった。

続いて現場側の回転計、回転計-タービンスピードセンサー間ケーブルの調査を行った。

まず回転計の調査は、周波数発振器で回転計に信号入力し、入力周波数の1/2の回転数を表示すれば問題ないことが確認できる。信号入力の結果、異常を発生した2800 rps 付近での回転数異常表示は起こらず、正常な値を示したため回転計は問題ないと考えられる。

次にケーブルの導通確認を行った。テスターで調査した結果、問題は見当たらなかった。

以上の調査結果から、残されたタービンスピードセンサー若しくはタービン本体のトラブルと判断し、予備のタービンへ交換を行うこととした。

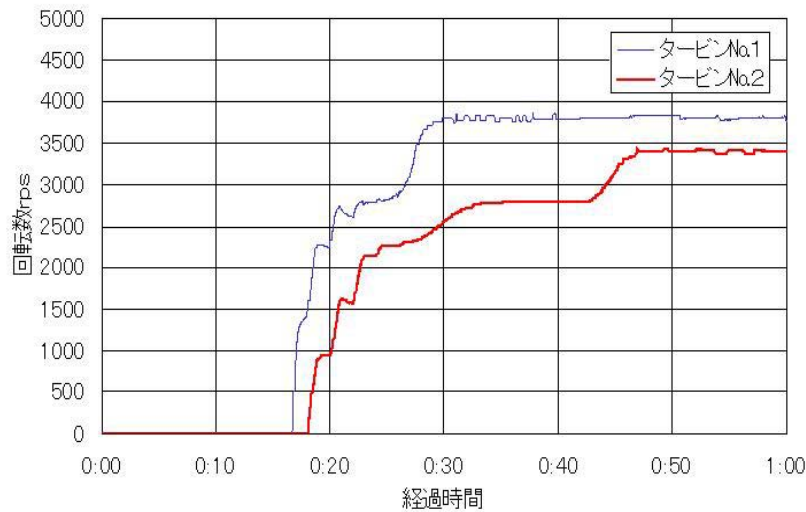


図3. 正常時のタービン回転数

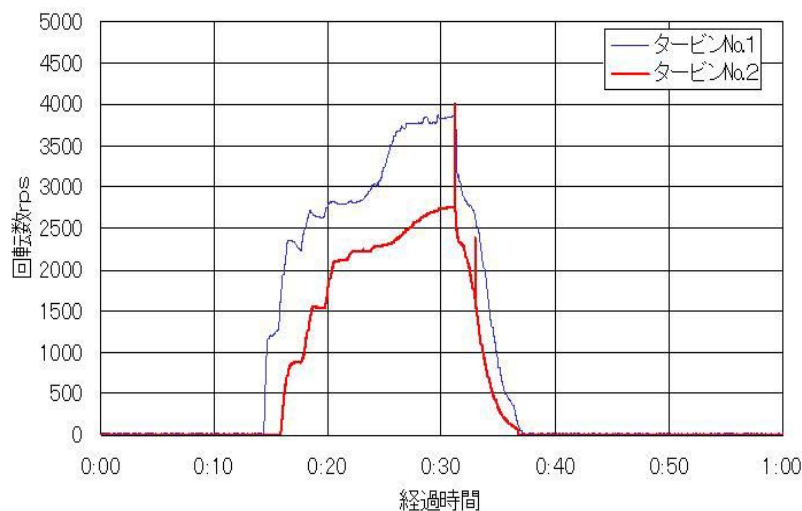


図4. 異常時のタービン回転数

3. タービン交換作業

液化機内部は冷えた状態であるため、タービン交換の準備として1日以上加温運転を行い、さらに断熱槽の真空ブレークを行い、外気との熱交換による加温で常温まで温めてから交換作業を行った。加温運転終了後、タービン内を循環している冷却水の追い出しを行い、冷却水ホース、センサーケーブルを外し、取り付けボルトを緩め、図5のように Brake cooler をチェーンブロックで吊り上げ移動させた。

そして、タービン本体の取り付けボルトを外し、タービンを液化機から慎重に取り外した。図6にタービン据え付け部、図7に Brake compressor impeller、図8に Turboexpander runner を示す。予備タービンを液化機にセットし、全ての組み付けが終了した後、気密試験と真空置換を行い、漏れ等の異常がないことを確認しタービン交換作業は完了した。図9にT1とT2の外観図、図10にT2設置図を示す。

そして、液化機の運転を行い正常に稼働することを確認した。



図5. Brake cooler 吊り上げ

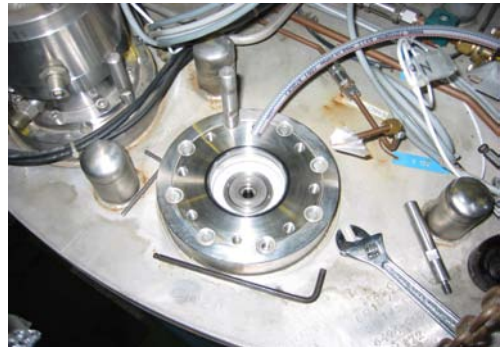


図6. タービン据え付け部

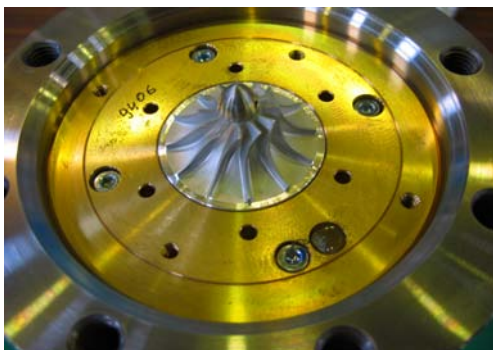


図7. Brake compressor impeller



図8. Turboexpander runner

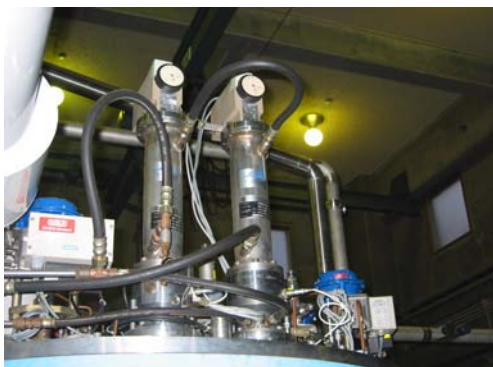


図9. T1 (左) とT2 (右) 外観図



図10. T2設置図

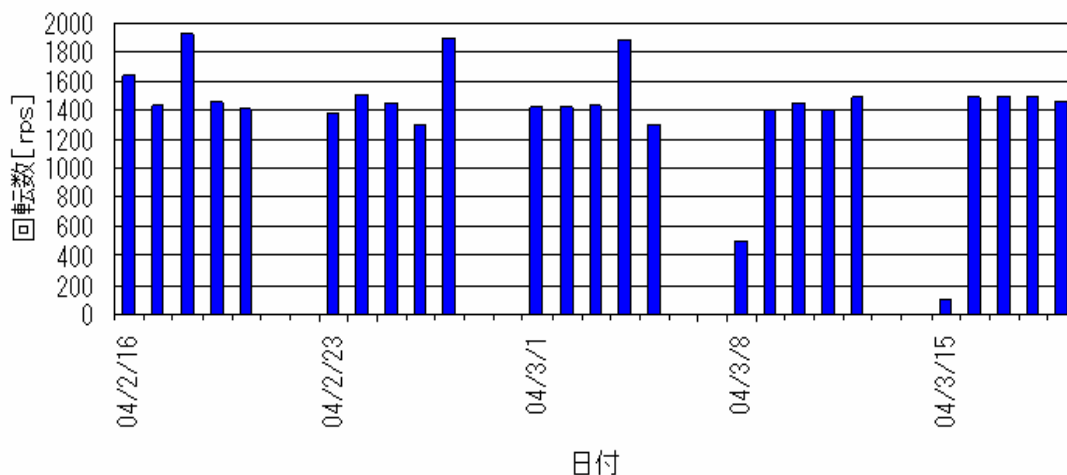


図 1 1. タービン交換前 T 2 始動時の T 1 回転数

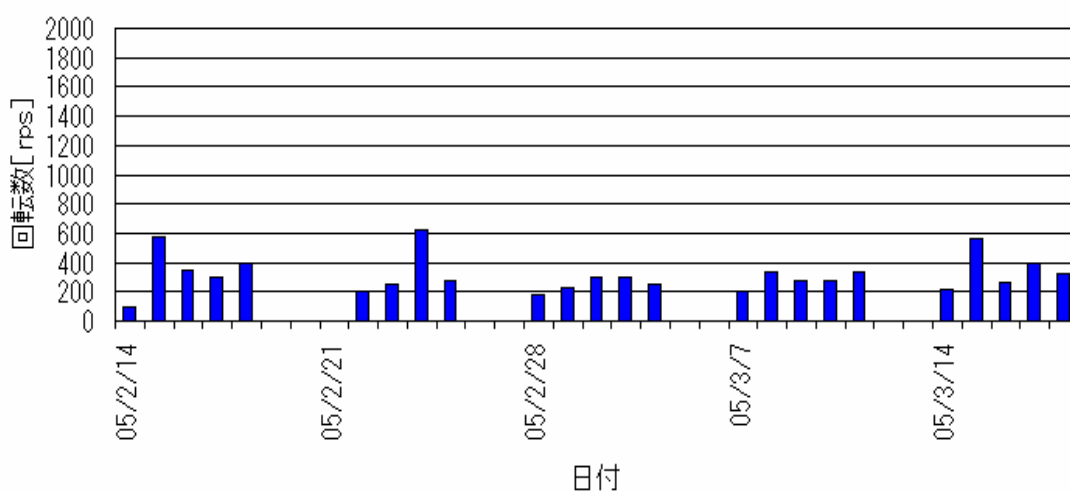


図 1 2. タービン交換後 T 2 始動時の T 1 回転数

4. タービンの特性

予備タービンに交換を行い、タービンの始動特性が変化したことについて報告する。

液化機運転の際、タービンは T 1 が先に回転を始め、T 2 が遅れて回転を開始する。トラブルが発生したタービンは、T 1 が回転を始めてから T 2 が回転を始めるまでのタイムラグが非常に大きかった。図 1 1 にタービン交換前 T 2 回転始動時の T 1 回転数を示す。早く回転始動する場合もあったがほとんど T 1 が 1 4 0 0 rps 前後に達して T 2 が回転を始めていた。

次第にその差が開く傾向があり、タービンパージ時間延長やパージ流量の増減を試みたが改善されなかった。

しかし、トラブルを期にタービンの交換を行い運転した結果、図 1 2 に示すように T 2 の回転始動が早いことが分かった。交換作業時に取り外したタービンと今回取り付けたタービンを指で回転させ比較したところ、後者のほうが若干軽く回転させることができたことから T 2 回転始動が早い要因と考えられる。

5. まとめ

スピードセンサーを交換修理したタービンを再び液化機に取り付けテストした結果、正常に稼働した。このことから、今回のタービントラブルの原因は、スピードセンサーによるものであった。

ヘリウム供給中に発生したトラブルであったため早急に対処する必要があった。

今回、原因調査に半日、タービン交換準備のための液化機加温運転に 1 日、タービン交換と試運転に 1 日の計 3 日間供給停止になったが、予備タービンを持ち、タービンの交換作業を自分たちの手で行ったことで、利用者への負担は最小限に抑えられた。

また、タービン固有の始動特性があることが分かり、今後の参考となるデータの収集ができた。

謝辞

本報告にあたり、ご指導ならびにご助言をいただいた研究基盤総合センター低温部門 吉崎亮造教授、池田博講師、古谷野有講師に感謝致します。

長円形ファントムの製作

河原井勝一

筑波大学数理物質科学等支援室

〒305-8573 茨城県つくば市天王台 1-1-1

概要

電子・物理工学専攻の巨瀬研究室では、手足や、さまざまな物体の内部構造を計測、可視化する小型 MRI の研究・開発、また、それに関連する先端的な MRI システムの開発を行っています。関節リウマチ用コンパクト MRI 用のファントムの製作依頼を受け製作しました。この事を報告します。

1. はじめに

ファントムとは擬似物体のことで、測定領域空間に RF (高周波) コイル内部の高周波磁場が均一に当たっているかを見るために、測定空間に置く液状の磁性物質を封入した容器です。数時間以上に亘る計測中に、液状の物質が漏れ出してこないことが必要な仕様です。図 1 は関節リウマチ用コンパクト MRI の写真です。ベークライトで作られた部分に長円形の穴があり、そこに腕を入れて撮像します。ファントムもこの穴に入れて機器の調整に使います。



図 1. 関節リウマチ用コンパクト MRI

2. ファントム

2.1 ファントムの寸法

図 2 に依頼されたファントムの図を示します。ファントムは長円形の容器で、アクリルで製作します。本体左右に蓋を接着して密閉容器になります。

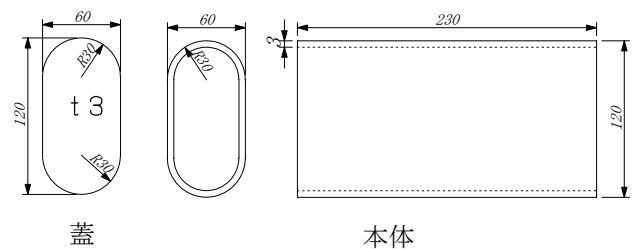


図 2. ファントム

2.2 ファントムの構成部品

図 2 の本体は曲面の部分とフラットの部分を分けて製作しました。製作したのは $t3 \times 60 \times 230$ のアクリルの板 2 点と $\phi 60 \times 230$ のパイプを縦に半分にした物を 2 点と蓋を 2 点で、合計 6 点を製作しました。図 3 に 3 点の部品図を示します。

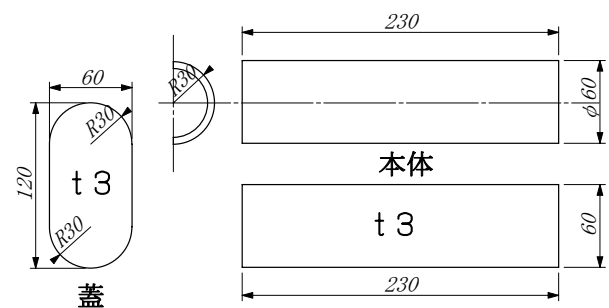


図 3. 部品図

3. 製作

3.1 機械加工

$t3 \times 60 \times 230$ の板の部分の加工は横フライス盤にバイスに加えて加工しました。 $\phi 60 \times 230$ の半円筒部は、初め円筒の長さを旋盤で 230 に加工し、治具に固定して横フライス盤で半円筒に加工しました。蓋の部分は幅 60 の加工は横フライス盤で加工し、蓋の

R30 の部分は治具を作りサーキュラにセットして立フライス盤で加工しました。

3.1.1 治具 1

半円筒部の加工にあたり図 4 の治具を使いアクリルの円筒を固定しました。半円のハッチング部分は $\phi 53.96$ の黄銅の円筒を半分にしたものでアクリルを押さえるための重石です。アルミ合金のチャンネルは厚み 5mm で 75(内寸 65) \times 40 \times 240 のサイズです。製品のアクリルに傷がつかないようにチャンネルやスペーサーや黄銅の間に養生のために紙を挟んでいます。紙の厚みは 0.02 mm です。図 5 に治具 1 を用いた横フライス盤の加工を示します。図 5 の様に治具 1 の重石の黄銅にクランプして横フライス盤に固定、高さ 30.02 mm に加工しました。

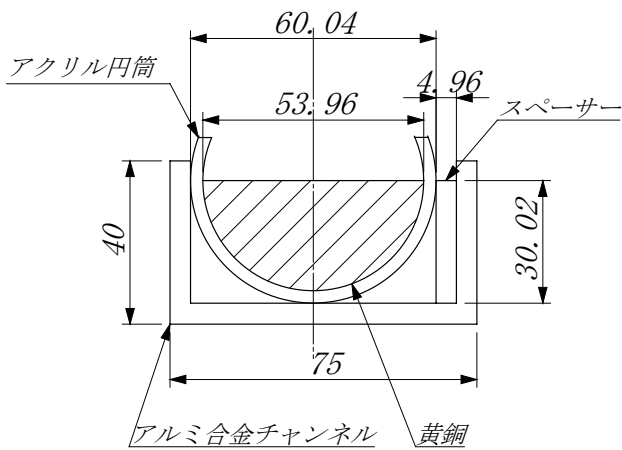


図 4. 治具 1



図 5. 治具 1 による加工

3.1.2 治具 2

蓋の製作に当たって図 6 の治具を考案しました。幅 60 に加工したアクリルの板を幅 60 深さ 2 の溝に

納め、その上に板を載せ M6 のボルトで治具に固定して使います。 $\phi 35$ の円筒部をサーキュラのチャックに加えて、30 mm オフセットしサーキュラを半回転して加工します。図 7 に製作した治具の部品と図 8 に治具を使用しての加工の様子を示します。

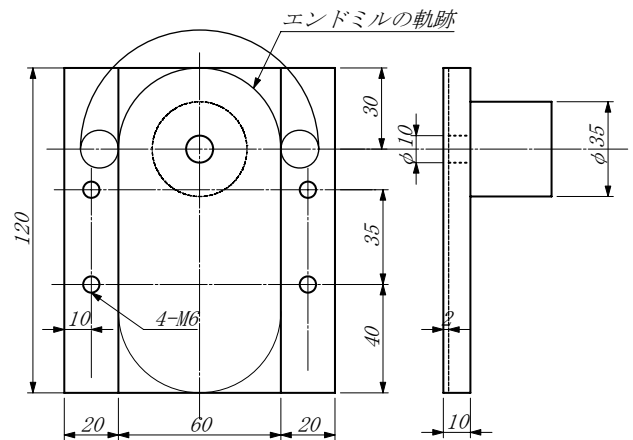


図 6. 治具 2

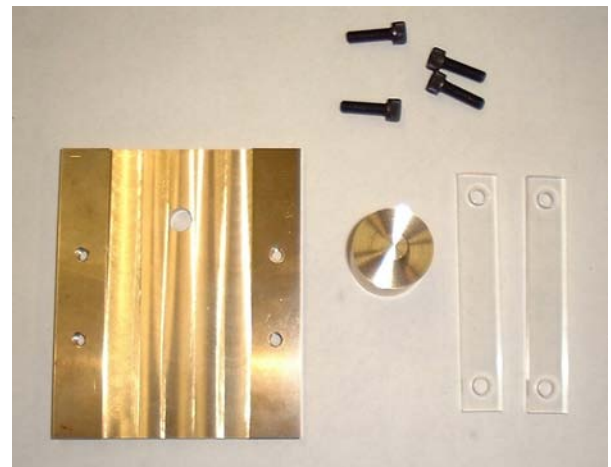


図 7. 治具 2 の部品

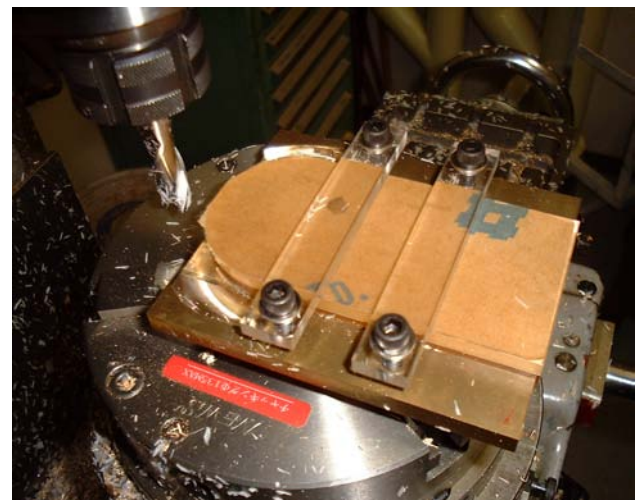


図 8. 治具 2 による加工

3.2 接着

機械加工した部品を、アクリル用接着剤を用いて接着して組み立てます。その際、接着剤の溶液が接着面以外に触れないように養生を施しました。作業はアクリル用接着剤の溶液を注射器に充填して、接着面に溶液を注入します。接着剤は市販のアクリサンデーを使用しました。

3.2.1 養生

漏れが無いようにする事が大事です。それには接着面に接着剤の溶液を行き渡らせなければいけません。そのため接着面に溶液を多めに注入します。溢れた溶液が接着面以外に触れないようにテープで養生しました。図9は養生をしたところです。図10はマスキングに使用した養生テープでNITTO TAPEです。

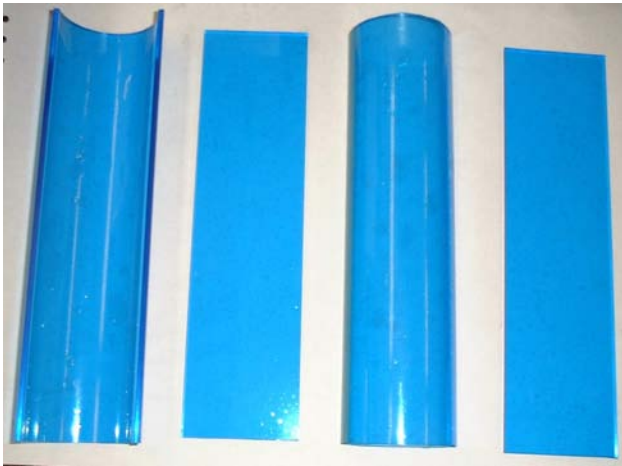


図9. 養生

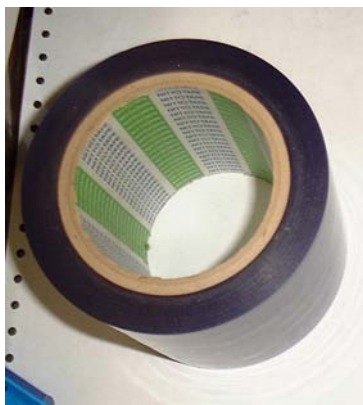


図10. 養生テープ

3.2.2 組立作業

今回はボルトやネジ等による組み立てではなく、接着による組み立てです。接着剤であるアクリサンデーは速乾性であるため、作業は迅速に行う必要があります。そのため接着剤の溶液を注射器で接合面に流す役割とアクリルの板を押さえる者の2人で作業しました。アクリルの板を押さえる方は板と板の間に隙間を作り、接着剤の溶液が流されたら接合面を密着して押さえます。図9の本体部を接着して組み立てた物が図11の写真です。



図11. 本体部接着

図12は治具2を使って作られた蓋の部分です。図11の本体部に図12の蓋を接着して製作した物が図13の写真です。



図12. 蓋

依頼された製品は、巨瀬研究室でゲル状の磁性体を入れ密閉します。そのため図 13 のファントムは片側の蓋を接着したものです。



図 13. ファントム

4. まとめ

製作したファントムは水を満たし、漏れを確認しました。接着面からの漏れの無い事を確認し製品を研究室へ引き渡しました。関節リウマチ用コンパクト MRI は筑波大学附属病院にて臨床撮像を開始しています。ファントムも MRI の調整に使われています。

謝辞

この報告にあたりご指導ご協力頂きました、電子・物理工学専攻の巨瀬勝美教授と NMR イメージング研究室の皆様に深く感謝します。

Maestro2 スイッチボックスの開発

小野雅晃¹

筑波大学システム情報工学等支援室（装置開発班）

〒305-8573 茨城県つくば市天王台 1-1-1

概要

クラスタ型コンピュータ向けネットワーク Maestro2 用のスイッチボックス(SB)を開発したので報告する。SB は8個のポートを備え、各ポートがパーソナルコンピュータ(PC)に挿されたネットワーク・インターフェース(NI)の通信ポートに接続される。SB はイーサネットのスイッチと同様に、ポート間をスイッチする。SB がスイッチするのはイーサネットなどの汎用プロトコルではなく、Maestro2 独自の通信プロトコルである。ポートの物理インターフェースは LVDS(Low Voltage Differential Signalling)を使用し、物理的な最大スループットは片方向 3.2Gbps(Giga Bit Per Second)である。

1. はじめに

システム情報工学研究科コンピュータサイエンス専攻の和田研究室では、クラスタ型のコンピュータに使用するために、高速、高機能のアドイン・カード及びスイッチから構成される通信システムを開発している。

6年ほど前には、200Mbps の IEEE1394(i-LINK)を使用した第一世代の通信システム Maestro1 を開発した。

次に、Maestro2 として第2世代の通信システムを開発した。使用した通信インターフェースは 3.2Gbps の LVDS である。通信システムは NI と SB で構成される。昨年 NI について発表したので、今回は SB について発表する。

2. MAESTRO2 クラスタネットワークの構成

Maestro2 のネットワークを Maestro2 クラスタネットワークと呼ぶことにする。Maestro2 クラスタネットワークはイーサネットの様に PC を相互接続するネットワークである。構成要素は PC の PCI スロットに挿入される NI と複数の NI に接続され、通信パケットをルーティングする SB である。

SB には8個のポートがあり、それぞれのポートが NI のポートに接続される。それらのポートは2本のケーブルで接続される。ケーブルの物理インターフェースは 700MHz 動作の8本のデータラインと1本のクロックラインを持つ LVDS 信号である。

Maestro2 ネットワークの特徴としては、次の3点が挙げられる。

1. NI、SB 共に高性能なプロセッサを搭載している、PC と処理を分担することが出来る。

2. 制御回路用 IC チップとして FPGA を搭載している、仕様変更を行うことが出来る。
 3. イーサネットに比べて、プロトコルが軽量で、しかも実効スループットが大きい。
- 図1に Maestro2 ネットワークの構成図を示す。

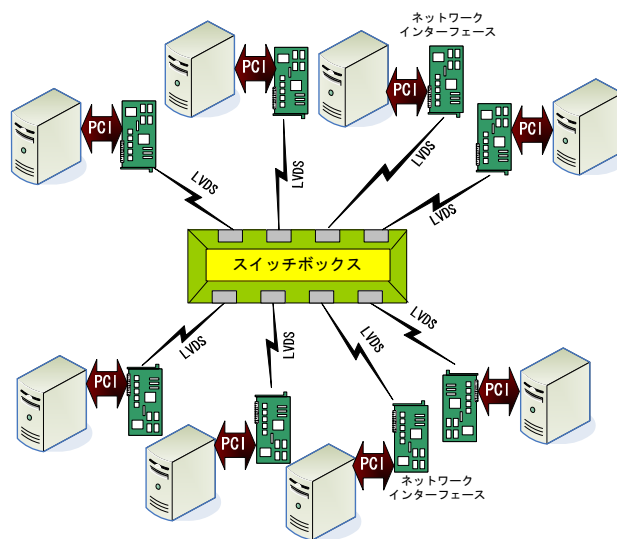


図1 Maestro2 クラスタネットワークの構成図

3. SB の構成

SB は現在 265mm×240mm の8層基板で作られている。SB は LVDS 送信チップ、LVDS 受信チップ、PowerPC603e プロセッサ、32MByte の SDRAM (Synchronous Dynamic Random Access Memory)、Xilinx 社の FPGA(Field Programmable Gate Array)チップ、XPort で構成される。

図2に SB の写真を示す。真ん中の2つが FPGA と PowerPC プロセッサである。SDRAM は基板の後ろに搭載されているので見えない。LVDS 送信、受信チップは基板の端のコネクタのそばに搭載されている QFP(Quad Flat Package)チップで、LVDS 送信チップが8個、LVDS 受信チップが8個、合計16個搭載されている。基板の左上端の青い LAN ケーブルが接続されているコネクタが XPort である。

LVDS 受信チップはナショナルセミコンダクタ社の DS90CR481、LVDS 送信チップは同社の DS90CR484 を使用している。LVDS 送信チップは FPGA から動作周波数 100MHz、32ビット幅のデータ信号を受け取り、動作周波数 700MHz、データ8ビ

¹ E-mail: ono@sie.tsukuba.ac.jp; Tel: 029-853-5195

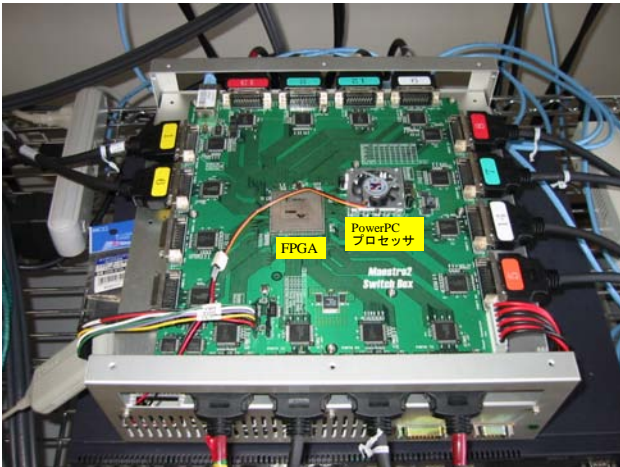


図 2 SB の写真

ット、クロック信号 1 ビットの LVDS 信号に変換する。その後、LVDS 信号はコネクタからケーブルを通り、相手方の NI に届く。LVDS 受信チップは、LVDS 送信チップの逆の変換を行う。

PowerPC プロセッサ(MPC603RRX300)は内部動作周波数が 300MHz、バスの動作周波数が 66MHz の PowerPC プロセッサを使用している。この PowerPC プロセッサはデータバスを 64 ビット持っているが、起動時に 32 ビット分だけ使用するモードに設定することが出来る。SB ではこのモードを使用し、PowerPC プロセッサのバス幅を 32 ビットとしている。

SDRAM の容量は 32MByte、動作周波数は 66MHz である。SDRAM チップはエルピーダ社の uPD45123163G5-A74 を使用している。この SDRAM チップは 128Mbit の容量を持ち、データバス幅は 16 ビットである。SB のデータバス幅は 32 ビットなのでこのチップを 2 個使用している。SDRAM の動作モードは PowerPC プロセッサがキャッシュ OFF 状態での SDRAM アクセスの無駄を省くために、シングル転送に設定されている。バースト転送が必要な場合には、シングル転送を 1 クロックごとに連続的に発生させる。命令ロードやキャッシュ ON 領域へのデータアクセスなどは 8 バーストのデータ転送が行われる。

FPGA は Xilinx 社の Virtex2 シリーズの内、XC2V3000-4BF957C を使用している。この FPGA は標準ゲート換算で 300 万ゲート相当、957 ピンの BGA(Ball Grid Array)パッケージである。FPGA には、SDRAM 制御回路、PowerPC のインターフェース回路を含め、すべての制御回路やスイッチ回路などが内蔵されている。

XPort は LANTRONIX 社の製品で、シリアル通信ポートをイーサネットに変換するモジュールである。FPGA のシリアル通信ポートをイーサネットに変換する。

4. FPGA 内部回路構成

FPGA 内部の回路は、PowerPC 制御回路、SDRAM 制御回路、内部 RAM、シリアルインターフェース、内部レジスタ、MLX、メッセージアナライザ、スイッチコントローラである。

メッセージアナライザは山際伸一氏²が作製し、MLXは青木圭一氏³が作製した。

FPGA 内部回路のブロック図を図 3 に示す。

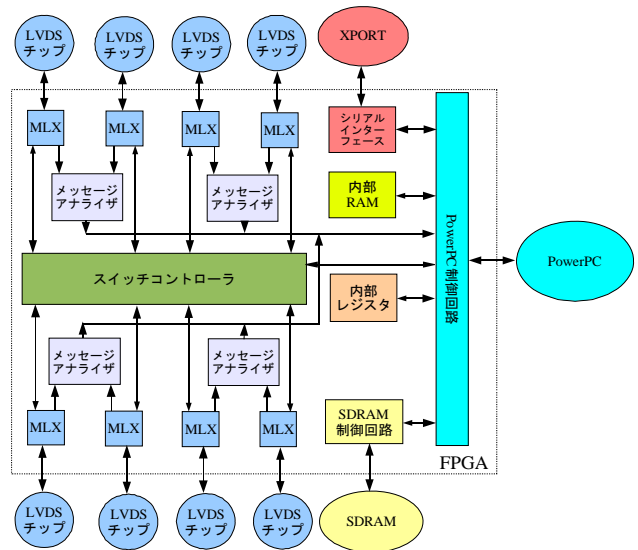


図 3 FPGA 内部回路のブロック図

これから、各回路について説明する。

4.1 PowerPC 制御回路

PowerPC 制御回路は、PowerPC プロセッサ (MPC603e, 300MHz, バス動作周波数 66MHz) へのインターフェース回路である。

PowerPC のメモリおよびメモリ領域にマップされた I/O へのアクセス手順はアドレス転送とデータ転送に分けられる。アドレス転送は以前の転送が処理できなくても、次に 1 回は前倒しに発行できる。

PowerPC 制御回路はアドレス転送を保存し、/DBG (Data Bus Grant) 信号をアサートして、データ転送を開始する。その後、PowerPC 制御回路は、データの書き込みや読み出しを終了する時点で /TA (Transfer Acknowledge) をアサートして、PowerPC プロセッサにデータ転送の完了を知らせる。

PowerPC 制御回路は FPGA 内の各回路をアドレスマップし、PowerPC からアクセスできるようにする。アドレスマップを表 1 に示す。

表 1 SB のアドレスマップ

デバイス	アドレス (上位 6 ビット)
内部 RAM	111111 (0xFC~)
SDRAM	000000 (0x00)
スイッチコントローラ	111010 (0xE8)
メッセージアナライザ	111000 (0xE0)
シリアルインターフェース	111001 (0xE4)
内部レジスタ	111011 (0xEC)

² Instituto de Engenharia de Sistemas e Computadores (INESC-ID), Portugal

³ 筑波大学 システム情報工学研究科

4.2 SDRAM 制御回路

SDRAM 制御回路は 32MByte の SDRAM を制御する回路である。PowerPC プロセッサと SDRAM のバスは同一であるため、SDRAM 制御回路はデータの出入力回路を持たない。SDRAM 制御回路は SDRAM の制御信号のみ駆動する。SDRAM の制御信号は /RAS(Row Address Strobe)、/CAS(Column Address Strobe)、/WE(Write Enable)、DQM(DQ Mask Enable)、/CS(Chip Select)、Address(0~11)である。各制御信号を適切に駆動することにより SDRAM へコマンドを与える。ただし、/CS は常時 LOW にアサートされている。

電源 ON 時には初期化手順を実行する。初期化手順はまず全バンクプリチャージを実行する。その後、モードレジスタを設定し、リフレッシュを 2 回実行する。モードレジスタは SDRAM のモードを記憶しておくレジスタで、SB では CAS レイテンシ 2、バースト長 1、シーケンシャルモードに設定している。

SDRAM は定期的にはリフレッシュをしないとデータが消えてしまう。SB では 15.6usec ごとに /RAS と /CAS を LOW レベルにアサートして、リフレッシュを実行している。

PowerPC プロセッサの SDRAM アクセス手順は、最初に行アドレスを与えて /RAS を LOW にアサートし、次に列アドレスを与えて /CAS をアサートする。書き込みの場合は同時に /WE をアサートする。キャッシュ OFF の領域にアクセスする場合には 1 回で終わるが、キャッシュ ON の領域にアクセスする場合は、8 バースト転送となるのでアドレスを変更しながら 8 回繰り返す。最後に /RAS と /WE を LOW にアサートしてプリチャージを行う。

4.3 内部 RAM

内部 RAM は FPGA に内蔵された BlockRAM を使用している。容量は 32Kbyte、データ幅は 32 ビットである。バーストアクセスに対応し、PowerPC プロセッサの最大バースト長 8 ワードに対応している。

内部 RAM には、最初に起動するブート用ソフトウェアを入れておく。現在 SB ではシリアルインターフェースからソフトウェアをロードするダウンローダーを BlockRAM に書き込んである。

4.4 シリアルインターフェース

シリアルインターフェースはパーソナルコンピュータと SB を結ぶインターフェースである。シリアルインターフェースのブロック図を図 4 に示す。

TXD、RXD などのシリアル信号線は XPort に接続される。XPort によってシリアル信号がイーサネットに変換され、PC から IP アドレスを指定して通信すれば、PC は SB のシリアルインターフェースと通信出来る。

シリアルデータの送信手順は、SB の PowerPC プロセッサがアドレス 0xE4000000 に 8 ビットのデータを書き込むと、そのデータは送信 FIFO へ送られる。送信 FIFO から出力されたデータは、パラレル-シリアル変換され TXD へ直列に出力される。

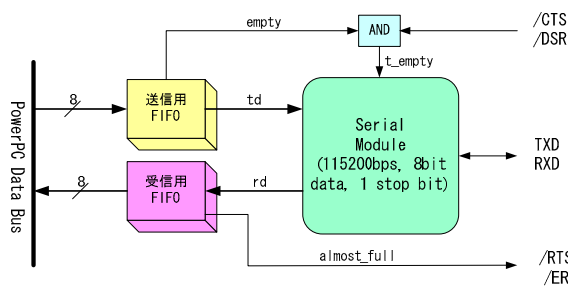


図 4 シリアルインターフェース ブロック図

シリアルデータの受信手順は、RXD からシリアルデータが来ると、シリアル-パラレル変換されて受信 FIFO にパラレルデータが入力される。これにより、ステータスレジスタのエンプティフラグが 0 になる。同時に PowerPC プロセッサはステータスレジスタをポーリングまたは、割り込みによって監視してエンプティフラグが 0 になるのを待つ。PowerPC プロセッサはエンプティフラグが 0 になっていることを確認すると、受信準備が整ったと判断し、0xE4000000 からデータを読み込む。

このシリアルインターフェースの仕様は、調歩同期、転送速度 115200bps、データ 8 ビット、1 ストップビットである。

現在シリアルインターフェースは SB に PowerPC プロセッサのプログラムのダウンロード用やモニタソフトウェアとの通信用に使用されている。

4.5 内部レジスタ

内部レジスタには、いろいろな設定レジスタ、ステータスレジスタなどが実装されている。例えば、MLX のリセットや各ポートのバッファの使用状況などである。ここに各ポートから PowerPC プロセッサにデータを渡すためのプロセッサ FIFO のステータスやデータ読み出しポートがある。

4.6 MLX

MLX はケーブルが接続されている先の NI にデータを送り出すためにカプセル化する。データは 32 バイト単位の 1 つ又は複数のパケットにまとめられ、ヘッダを付けられて送り出される。

ヘッダに書かれている送信パケット数を全部送り終わっても、後からバッファに溜まったパケットがあればコンティニューコマンドを送り、データ転送を切れ目なく継続することが出来る。

昨年発表した NI の技術報告書ではエラー訂正もハードウェアで実装されていたが、今回からエラー検出のみハードウェアで実装し、エラー訂正は上のレイヤーに任せることになった。

MLX は OSI 参照モデルで言うとデータタリク層に相当する。MLX の入力 は 64 ビット 66MHz で、出力は 32 ビット 100MHz である。MLX の最大ビットレートは 3.2Gbps である。

4.7 メッセージアナライザ

メッセージアナライザは MLX から通信データを取得し、メッセージのヘッダだけを抽出し、FIFO に

格納する。メッセージアナライザは2つのMLXに1つずつ、全部で4つ搭載されている。PowerPC プロセッサは4つのメッセージアナライザをポーリングし、ヘッダがないかどうかを探している。ヘッダがあるとPowerPC プロセッサはヘッダを解析して、その通信データを適切に処理する。

4.8 スイッチコントローラ

スイッチコントローラは各ポートのMLX出力から入ってきた通信 packets を各ポートのMLX入力にスイッチする。

スイッチコントローラはコマンド発行ユニット、リソーステーブル、スイッチユニットの3つのユニットで構成される。スイッチコントローラは、現在8つのスイッチユニットを持っているが、パラメータを変更するだけでスイッチユニットの個数を変更することが出来る。

PowerPC プロセッサはメッセージアナライザからのヘッダ情報を元にスイッチコマンドを作成し、コマンドFIFOに書き込む。コマンドFIFOに書き込まれたスイッチコマンドはコマンド発行ユニットに送られる。コマンド発行ユニットはリソーステーブルやコマンド発行ユニットにすでにエントリされているスイッチコマンドとの優先順位を判定し、発行可能なスイッチコマンドをスイッチコマンドバスに発行する。スイッチユニットはスイッチコマンドバスを常に監視して、自分に対するスイッチコマンドならばコマンドで指定された処理を行う。スイッチコントローラのスイッチコマンドバス構成を図5に示す。

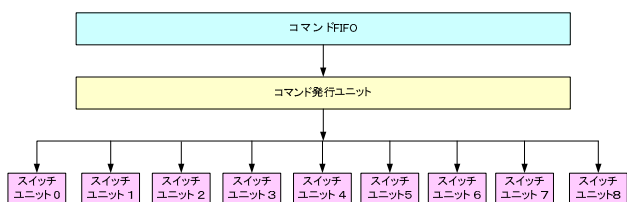


図5 スイッチコマンドバス構成図

スイッチコマンドは64ビット幅のフィールドを持っている。構成要素はスイッチコマンドの機能、書き込みポートベクタ、読み出しポート番号、転送パケット数である。スイッチコマンドの機能にはパケット転送、パケット消去、パケット生成の3つの機能がある。パケット転送はMLXに入ってきたデータを他のMLXに転送する機能である。パケット消去はMLXに入ってきたパケットをどこにも転送せずに消去する。パケット生成はPowerPC プロセッサがパケットを生成し、コマンドFIFOに書き込むことでMLXに出力する機能である。書き込みポートベクタは書き込むスイッチユニットに割り当てられているビットを持っている。そのビットを1にすると指定されたポートに書き込むことが出来る。ビットベクタなので、すべてのビットを1にするとブロードキャストが出来る。読み出しポート番号はパケットを読み出すポートの番号を指定する。

4.8.1 コマンド発行ユニット

コマンド発行ユニットの構成を図6に示す。

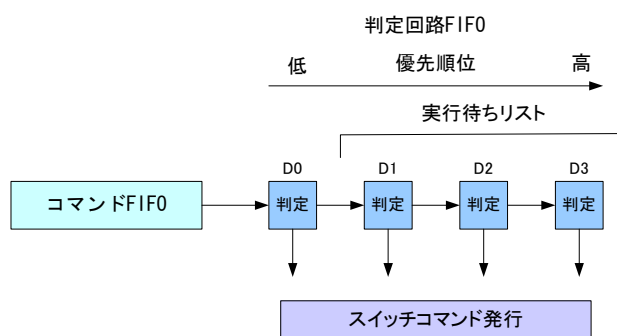


図6 コマンド発行ユニットの構成図

図6に示すように、コマンド発行ユニットはスイッチコマンドの発行を判定する判定回路FIFOで構成される。判定回路FIFOの個数はVHDLのconstant文で指定されるパラメータによって変更できる。コマンド発行ユニットは容易にコマンド発行の効率を変更できるように設計されている。

コマンドFIFOから入力されたスイッチコマンドはD0の判定回路に入力され、リソーステーブルの使用中の読み出しポート、書き込みポートの情報と比較される。D0のスイッチコマンドと使用リソースが競合しない場合に、スイッチコマンドが各スイッチコントローラに発行される。スイッチコマンドが発行されればD0のエントリは削除される。

リソースが競合した場合には、スイッチコマンドは発行されずに実行待ちリストD1にシフトされる。これでD1が有効となる。有効となったD1はリソーステーブルの使用リソースと比較される。スイッチコマンドが発行できる場合にはスイッチコマンドが発行され、発行されたエントリは削除される。

スイッチコマンドが発行されないでD2のエントリが空の場合は、次のクロックでD1のスイッチコマンドはD2にシフトされる。このように、前のエントリが空の場合は順々に前のエントリにシフトされる。

実行待ちリストに入力されているスイッチコマンドは各クロックで発行可能かどうかチェックされ、可能であれば優先順位の順に発行される。各スイッチコマンドの優先順位は、図6のようにD0が最低でD3が最高となる。

複数のエントリにスイッチコマンドが入っている場合は、リソーステーブルの使用リソース及び優先順位の高いエントリのスイッチコマンドとの依存関係をチェックし、発行可能なスイッチコマンドを発行する。以前に発行されたスイッチコマンドを後で発行されたスイッチコマンドが追い越すことが出来るアウト・オブ・オーダー発行をサポートしている。

スイッチコマンドがパケット生成の場合はD0にとどめ、実行待ちリストには入力しない。スイッチコマンドが発行できない場合はD0で発行できるようになるまで待つ。これはスイッチコマンドの次からのデータが生成データであるため、実行待ちリストに入れなかったための処置である。つまり、スイッチコマンドがパケット生成の場合はここでブロックされる。

4.8.2 リソーステーブル

リソーステーブルは現在使用中の読み出しポート、書き込みポートを記憶する。読み出しポートは 8 ビット幅の使用ビットを用意し、ポート番号のオフセットのビットが立っていたら使用中を示す。書き込み中スイッチユニットも同様に 9 ビット幅の使用ビットを用意し、スイッチユニット番号のオフセットのビットが立っていたら該当するスイッチユニットは使用中を示す。

4.8.3 スwitchユニット

スイッチユニットは通信パケットのスイッチを受け持つユニットである。スイッチユニットはパラメータによって 9 個、5 個、4 個、2 個に変更できる。9 個の場合はクロスバスイッチと同等になる。8 個の MLX の接続されたスイッチユニットと PowerPC プロセッサにスイッチするためのスイッチユニットが 1 個の構成となる。PowerPC プロセッサにスイッチするためのスイッチユニットは PowerPC プロセッサが読めるようにプロセッサ FIFO にスイッチする。9 個のスイッチユニットの場合のスイッチユニット構成図を図 7 に示す。

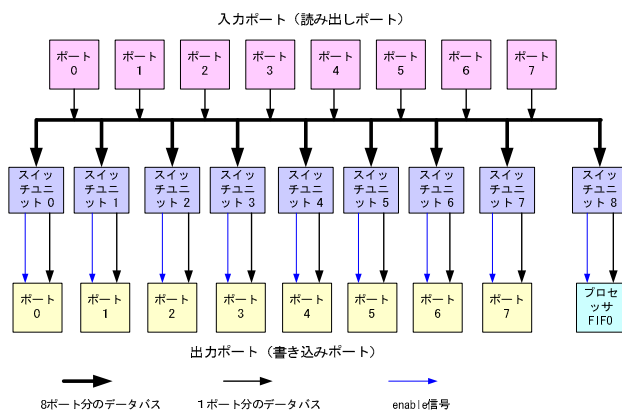


図 7 スwitchユニット構成図 (9 個のスイッチユニットの場合)

図 7 の入力ポート、出力ポートは MLX の入出力ポートに接続されている。

出力ポート 1 つごとにスイッチユニット 1 つが割り当てられているので、スイッチユニットが担当する出力ポートは 1 つとなる。

各スイッチユニットは、コマンド発行ユニットが発行したスイッチコマンドを常時監視し、自分へのスイッチコマンドを認識すると動作を始める。

スイッチコマンドで指定された入力ポートに接続された MLX にパケットが到着すると、MLX の受信パケット容量が 0 でなくなる。スイッチユニットはそれを受け、さらに送信先の MLX の送信パケット容量が 0 でないことを確かめた後に入力ポートのデータを出力ポートに送る。スイッチコマンドで複数のスイッチユニットを起動した場合には、起動したスイッチユニットすべてについて、出力する MLX の送信パケット容量が 0 でないことを調べる。

図 8 にスイッチユニットが 5 個の場合のスイッチユニット構成図を示す。出力ポート 2 個ごとに 1 つ

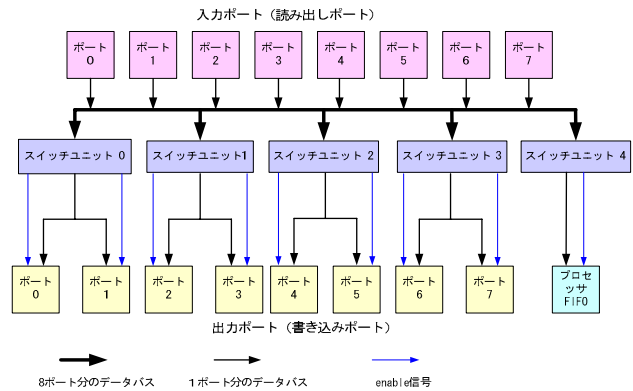


図 8 スwitchユニット構成図 (5 個のスイッチユニットの場合)

のスイッチユニットが割り当てられる。例えば、ポート 0 またはポート 1 へパケットを出力するスイッチコマンドの場合、スイッチユニット 0 が動作する。ポート 0 にパケットを出力するためにスイッチユニット 0 が動作中の場合には、コマンド発行ユニットはポート 1 にパケットを出力するスイッチコマンドを発行できない。つまり、コマンド発行ユニットもパラメータによって構造を変える。リソーステーブルも同様の構成である。

パラメータによって構造を变化することの利点としては、FPGA の使用リソースを簡単に変更できることが挙げられる。当初、スイッチコントローラを変更する場合、どのくらい FPGA のリソースを消費するか予想が立たなかったので、パラメータで簡単に使用リソースを変更できるようにした。また、パラメータを変更すればスイッチユニットの数による性能の差が簡単に測定できる。

5. 基板実装

SB には少なくとも 100MHz で 256 本の同時スイッチング出力がある。このような高速信号を多数使用しているプリント基板では、グラウンドバウンズやクロストークに注意しなければならない。

1 枚目の SB のプリント基板を基板設計業者に依頼して作成した時点では、グラウンドバウンズやクロストークを軽視し、伝送線路や電源インピーダンスに対する配慮が足りなかった。

その結果として、SB では FPGA で受け取った信号が誤るようになった。特に、FPGA と LVDS チップの距離が遠いポートが誤る率が高かった。この状況を改善しようと FPGA から LVDS の伝送クロックを 100MHz から 66MHz へ落としてみた。そうするとデータ誤りは改善するが、距離が遠いポートがデータ誤りを起こしてしまう。距離が近くデータ誤りを起こさないと考えるポートでも、0xFF7FFFFF と 0x00800000 のような 1 ビットのみ他のビットと異なるデータとそれを反転したデータの繰り返しではデータ誤りが生じた。

以上の結果からプリント基板の電源インピーダンス及び伝送線路特性が悪いと判断し、伝送線路シミュレーションをしてくれるスキルの高い基板設計業者に基板の再作製を依頼した。その結果、基板は当初 6 層基板だったがインピーダンスマッチングやク

ロストークを考慮し8層基板になった。FPGA直下に0603と呼ばれる0.6mm×0.3mmの大きさの極小コンデンサを取り付け、電源インピーダンスを改善した。さらに、伝送線路シミュレーションを行い、最適な波形になるように配線パターンを決定した。以上の対策によって再作製した基板は100MHzで正常動作するようになった。

最初から動作する基板を作製するには、伝送線路シミュレーションや、グラウンドバウンズ対策のための電源インピーダンスの最適化などの対策を十分に検討することが不可欠である。

6. まとめ

本報告ではクラスター型のコンピュータに使用するスイッチボックス(SB)の開発について述べた。

SBはNIからのパケットを他のNIにスイッチする機器である。SBはPowerPCプロセッサを搭載し、インテリジェントな処理をすることが出来る。また、ヘッダ処理をサポートするハードウェアを持ち、スイッチユニットの数を容易に変更できるように作られている。SBの1ポートあたりの理論的な最大スループットは3.2Gbpsである。

現在のMaestro2クラスターネットワークは、ハードウェアのデバックがほぼ終わり、姫野ベンチマーク、Gauss-Jordanベンチマークなどのアプリケーションを用いて評価を進めている。

謝辞

Maestro2システムの開発補助をさせていただいたシステム情報工学研究科コンピュータサイエンス専攻の和田耕一教授に深く感謝いたします。また、共同制作者であるINESC-IDの山際伸一氏とシステム情報工学研究科の青木圭一氏に深く感謝いたします。

参考文献

- [1] 小野雅晃, Maestro2 ネットワークインターフェースの開発, 第4回筑波大学技術職員技術発表会ポスターセッション(2005)
- [2] 小野雅晃, Xilinx社製FPGAを搭載したPCIボードのシミュレーション, 平成15年度高エネルギー加速器研究機構技術研究会報告集ポスターセッション(2004)
- [3] Shinichi Yamagiwa, Keiichi Aoki, Masaaki Ono, Tetsuya Sakurai, Koichi Wada, and Luis Miguel Campos. Maestro2: A new challenge for high performance cluster network. In The 6th World Multiconference on Systemics, Cybernetics and Informatics, volume XI, Computer Science II, pp.382-387, 2002
- [4] Keiichi Aoki, Shinichi Yamagiwa, Masaaki Ono, Koichi Wada, Luis Miguel Campos. An architecture of high performance cluster network : Maestro2. In 2003 IEEE Pacific Rim Conference on Communications, Computers and Signal Processing(PacRim03), 2003.
- [5] Shinichi Yamagiwa, Kevin Ferreira, Luis Miguel Campos, Keiichi Aoki, Masaaki Ono, Koichi Wada, Munehiro Fukuda, Loenel Sousa. On the Performance of Maestro2 High Performance Network Equipment, Using New Improvement Techniques. In 23rd IEEE International Performance Computing and Communications Conference(IPCCC 2004), 2004.
- [6] Keiichi Aoki, Shinichi Yamagiwa, Kevin Ferreira, Luis Miguel Campos, Masaaki Ono, Koichi Wada, Leonel Sousa. Maestro2: High Speed Network Technology for High Performance Computing. In 2004 IEEE International Conference on Communications (ICC 2004), 2004.

補体制御膜蛋白欠損赤血球の高感度測定法

佐藤晶子、櫻井秀子

筑波大学人間総合科学等支援室（医学支援室）

〒305-8575 茨城県つくば市天王台 1-1-1

概要

発作性夜間ヘモグロビン尿症（paroxysmal nocturnal hemoglobinuria ; PNH）では、補体制御膜蛋白の欠損および低下のため赤血球の寿命の短縮が認められる。そのため、通常の全血による検査方法では、異常な PNH 赤血球の陽性率は低く計測されてしまう問題点がある。

今回、網赤血球ゲート法による補体制御膜蛋白欠損赤血球の測定を考案し、従来の全血による測定法よりも溶血の影響がより少なく高感度な測定ができるかどうか試みた。

抗ヒト CD59 抗体と CD4K530 網赤血球試薬を用いて、フローサイトメトリーによる 2 カラー測定を行った。健康人による網赤血球解析では、CD59 欠損赤血球は認められなかったが（<0.1%）、PNH 症例においては、従来の全赤血球による測定に比較し網赤血球による測定は、高率に CD59 欠損赤血球を検出し得た。

この網赤血球による補体制御膜蛋白欠損赤血球の測定は、骨髄の PNH 赤血球の産生状態をより高感度に反映していると推察され、この測定方法は PNH の病態を判別する有用な測定法の 1 つに成り得ると思われた。

1. はじめに

発作性夜間ヘモグロビン尿症（PNH）は、多能性造血幹細胞における後天性の変異に起因したクローナル疾患で、glycosyl phosphatidylinositol (GPI) アンカーの合成障害を生じ、各種の血球表面に多様な GPI 結合型膜蛋白の低下および欠損が起こることが知られている^[1]。

PNH 赤血球においては、GPI 結合型膜蛋白の 1 つである DAF や CD59 の補体制御膜蛋白の発現低下や欠損を認め、それにより補体感受性は亢進し血管内溶血をきたす特徴がある。通常、体内ではたえず赤血球の崩壊と新生赤血球の補充がなされ、恒常性が維持されている。一般に、健康人の赤血球寿命は約 120 日と言われているが、PNH 赤血球では、補体性溶血をきたすため寿命の短縮がおこる。そのため、従来行われている全血による検査では、異常 PNH 赤血球の比率は低く測定されてしまう問題点がある。

異常な赤血球クローンを検出することは診断上重要であり、筑波大学血液内科では、血球の補体制御膜蛋白の発現をフローサイトメトリーによる測定で定量的に行っている。また、この異常は赤血球だけでなく、好中球、単球、リンパ球などにも高率に認められることを以前に報告した^[2]。今回、CD4K530 試薬（Cell-Dyn 4000 System ; Abbott Laboratories）を

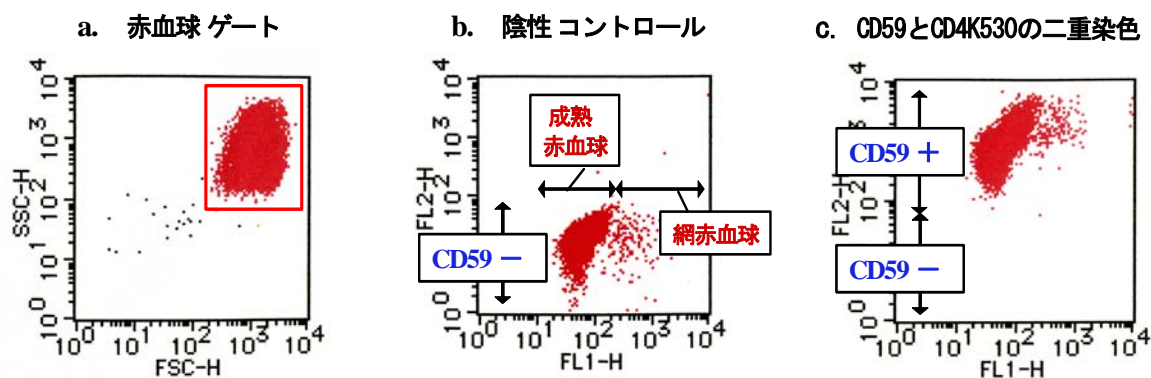


図1. 健康人による網赤血球ゲート法による CD59 解析

a : FSC と SSC により赤血球を選択しゲートする. b : CD4K530 試薬と mouse IgG 2a κ -PE の二重染色により、成熟赤血球と網赤血球が識別され、また、アイソタイプコントロール抗体を用いて、ゲートした赤血球の CD59 陽性蛍光のカットオフ値を決める. c : CD59 抗体と CD4K530 試薬との二重染色において、健康人の網赤血球および成熟赤血球は、ともに高い CD59 の蛍光を認め、CD59 の陰性血球は認められない。

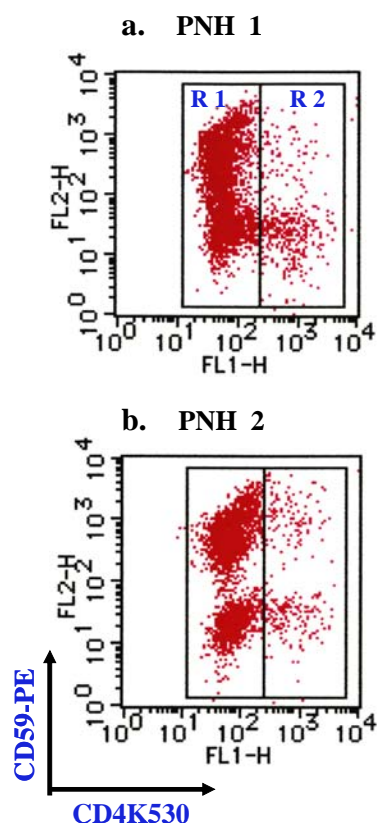


図2. PNH 症例における網赤血球ゲート法による2カラー解析図

PNH 患者の赤血球を CD59 抗体と CD4K530 試薬により二重染色し、フローサイトメトリーによる測定を行う。PNH 症例は、健常人と同様の高 CD59 蛍光を持つ血球から活性低下および完全欠損血球まで様々な発現量の赤血球を認めた。

成熟赤血球を R1 ゲート、網赤血球を R2 ゲートと設定する。2 症例ともに、R1 に比較し R2 による測定の方が、高い比率の CD59 陰性血球を検出した。

用いて、骨髄から産生された若い赤血球の網赤血球を成熟赤血球と区別し、赤血球の補体性制御因子のうち最も溶血の防御に強い CD59 の抗体を用いて染色を行い、2 カラーによるフローサイトメトリー測定を考案した。

従来の全血による測定法と比較し、網赤血球ゲート法が溶血の影響が少なく高感度な測定ができるか否か検討を試みた。

2. 対象及び試薬

2.1 対象

健常人 1 名 (網赤血球数 2.2%) および PNH 2 名 (PNH 1 : 網赤血球数 9.4% , PNH 2 : 網赤血球数 6.2%) の末梢血液を用いた。

2.2 試薬

1. CD4K530 試薬 (Cell-Dyn 4000 System ; Abbott Laboratories)
2. 抗ヒト CD59 抗体-PE (clone : p282 [H19]) (BD Phamingen)
3. mouse IgG 2a κ -PE (BD Phamingen) (陰性コントロール)
4. staining medium (SM) : 0.1% BSA (sigma) , 0.1% NaN₃ 含有 pH7.2 PBS 溶液

3. 網赤血球ゲート法による2カラー測定方法および解析

3.1 2 カラー測定

1. EDTA 採血した血液を SM に浮遊させ 1 回遠心洗浄する。
2. 赤血球を 1×10^8 /ml に調整し、赤血球浮遊液 50 μ l を試験管にとり、それに抗ヒト CD59 抗体-PE または mouse IgG 2a κ -PE (陰性コントロール) を、5 μ l を加えて、室温、暗所で 30 分間反応させる。
3. 赤血球を 1 回遠心洗浄し、沈査はかるく解しておく。
4. 測定は FACS Sort (BD Biosciences) で行った。計測の直前に 300 μ l の CD4K530 試薬を加え、ただちに 1×10^5 個の赤血球を 2 カラー測定 (FL1: BP 530/30nm , FL2 : BP 585/42nm) した。

3.2 解析

1. 解析は Cell Quest を用いて行った。前方散乱光 (FSC) と側方散乱光 (SSC) から、赤血球を選択しゲートする (図 1 a) 。
2. 赤血球ゲートの血球は、CD4K530 試薬の FL1 測定において、より高い蛍光を示す血球を網赤血球とし、低い蛍光を示す血球を成熟赤血球と識別する (図 1 b) 。図 2 のように、網赤血球ゲート (R2) 、成熟赤血球ゲート (R1) を設定する。
3. ヒストグラムを用いて、陰性コントロール用の mouse IgG 2a κ -PE より CD59 陽性蛍光のカットオフ値を決める。全赤血球 (R1+R2) 、網赤血球ゲート (R2) 、成熟赤血球ゲート (R1) のそれぞれの血球の CD59 陽性率を算出する。

4. 結果

4.1 健常人の解析

健常人の赤血球解析では、図1のようにCD59は、100%陽性となり、網赤血球および成熟赤血球ともに高い蛍光を認めた。

網赤血球分画 (R2) において、CD59 陰性赤血球は検出されなかった (<0.1%)。

4.2 PNH 症例の解析

PNH 症例では、図2のように健常者赤血球と同等の CD59 高発現血球から活性低下および完全欠損血球まで、多様な発現量の赤血球が混在していた。

全赤血球 (R1+R2) による解析では、CD59 陰性赤血球はPNH 1 症例 41%、PNH 2 症例 35%と高い比率の異常赤血球を認めた。

成熟赤血球分画 (R1) では、全赤血球よりもやや低い比率になりPNH 1 症例 38%、PNH 2 症例 33%とCD59 陰性赤血球を検出した。

網赤血球分画 (R2) では、全赤血球測定よりもさらに高い割合の異常赤血球を検出し、PNH 1 症例 76%、PNH 2 症例 61%であった。全赤血球測定と比較し、PNH 1 症例では1.9 倍、PNH 2 症例では1.7 倍であった (図3)。

5. 考察

PNH の異常赤血球は、補体の活性化に伴い正常赤血球よりも溶血しやすい特徴を持つ。血管内容血が進行すれば、異常赤血球は見かけ上減少することと

なり、異常赤血球の割合は補体性溶血の程度に影響を受け、異常クローンの比率を知ることは難しい側面を持つ。しかし、正常細胞と異常クローンの割合をより正確に知ることは臨床上重要である。

今回、フローサイトメトリーによるCD4K530 網赤血球試薬と抗ヒトCD59-PE抗体の2カラー測定を行い、網赤血球によるCD59 陰性の異常血球の検出を試みた。健常人赤血球のCD59 は、高い蛍光量を示し、この高い蛍光量は陰性血球との識別をしやすくする利点があった。また、測定に使用した抗ヒトCD59-PE の抗体量を多くすると、測定中に溶血が起こるケースを経験し 5×10^6 個の赤血球に対して $5 \mu\text{l}$ の抗体量が適当と思われた。

CD4K530 試薬は、瞬時に網赤血球を染色することが可能であり簡便であった。網赤血球の測定は、骨髓の赤血球産生能をよく反映している検査の一つと言われているが、通常 網赤血球数は約1~2% (健常人血液) しかなく、PNH 症例では網赤血球の増加をみるにしても、網赤血球を対象とした場合、正確性や精密性のために多数の赤血球を計測する必要がある。しかし、フローサイトメトリーによる測定では、数多くの血球を短時間に計測することが可能であり、なおかつ迅速に解析できる利点があった。

今回のPNH 症例による検討により、従来の全血法では、体内の補体性溶血の影響を強く受けていることがわかった。この網赤血球ゲート法による2カラー測定は、PNH 血球の産生状態をよりの確に反映した高感度の検出法に成り得ると思われた。

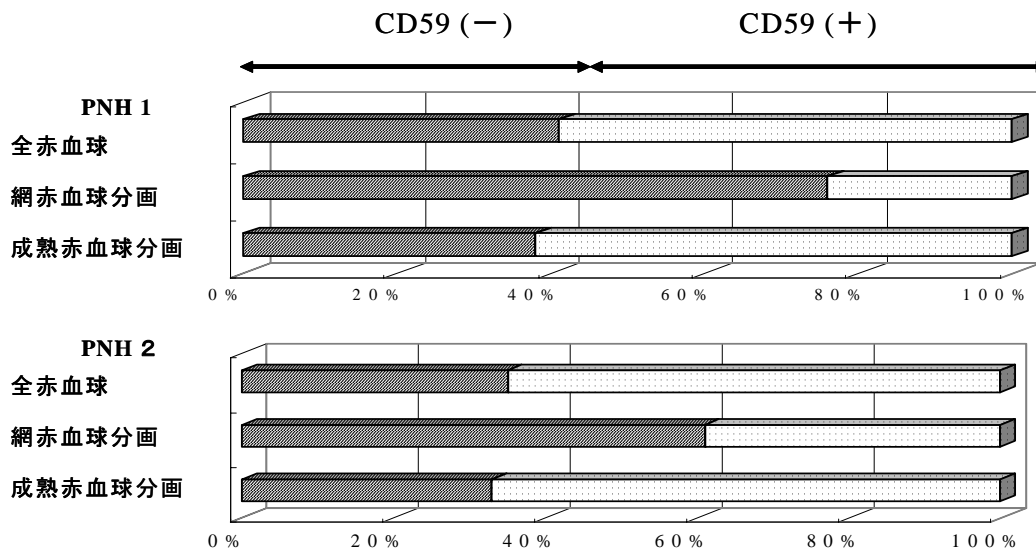


図3. PNH 症例における網赤血球ゲート法による CD59 赤血球の陽性率

PNH2 症例において、共に CD59 陰性赤血球が各分画に認められ、CD59 陰性の異常赤血球は、全赤血球 (R1+R2) や成熟赤血球分画 (R1) に比較し、網赤血球分画 (R2) の方が高率に検出された。

6. 結語

PNHは、再生不良性貧血や骨髄異型性症候群と共に骨髄不全症候群と称され、相互に移行や合併を起こすことが知られており、経時的にPNH血球を検索することが必要となる^[3]。

今回のフローサイトメトリーによる網赤血球のCD59測定は、従来の末梢血による全血法よりも、高率に補体制御膜蛋白欠損赤血球を検出することができた。このことは、溶血の影響をより少なく、またわずかな異常クローンを早期に識別できる可能性が高まり、PNH病態を判別する上でこの網赤血球ゲート法は有用な測定に成り得ると思われた。

また我々は、この網赤血球ゲート法を用いて、PNHの末梢血幹細胞移植症例において、正常造血の生着の確認を、残存するPNH赤血球に影響されることなく早期に行うことができた^[4]。今後さらにフローサイトメトリーによる網赤血球ゲート法の有用性について検討していきたい。

参考文献

- [1] 中熊秀樹. 前白血病としての発作性夜間血色素尿症 (PNH) の分子病態, *Sysmex Journal*. 27-1 (2004) 19-31.
- [2] 佐藤晶子. ヒト赤血球および白血球の補体制御膜蛋白のフローサイトメトリーによる検討, 第3回筑波大学技術職員技術発表会報告集 (2004) 10-14.
- [3] 中熊秀樹. 発作性夜間血色素尿症 (PNH) クローンの選択的拡大のしくみ, *医学のあゆみ・別冊* (2005) 210-217.
- [4] 佐藤晶子、長澤敏郎、二宮治彦. 網赤血球ゲート法によるPNH (GPI膜蛋白欠損) 赤血球の検出の有用性, 第6巻日本検査血液学会雑誌 (2005) S65.

GAMMA10 セントラル部における 多チャンネルマイクロ波干渉計によるプラズマ計測

嶋頼子¹

筑波大学プラズマ研究センター

〒305-8577 茨城県つくば市天王台 1-1-1

概要

プラズマ研究センターでは磁場によるプラズマ閉じ込め装置 GAMMA10 においてプラズマ閉じ込めの実験を行っている。磁場により閉じ込められたプラズマの電子密度分布を計測する為、セントラル部においては可動式のマイクロ波干渉計を用いた電子密度分布計測が行われている。このシステムによる電子密度分布計測は約 10 プラズマショットを要する。これを改善する為昨年度より、より少ないショットでの電子密度分布計測を目標に多チャンネルマイクロ波干渉計の開発を行っている。今年度、多チャンネルのマイクロ波干渉計をセントラル部に設置し、可動型の干渉計のデータと組み合わせることにより、1 プラズマショットで電子密度分布計測を行うことができるようになった。今回は多チャンネルマイクロ波干渉計とその計測結果について報告する。

1. はじめに

プラズマの電子密度の計測は、プラズマの状態を知る上で大変重要な値であり、マイクロ波をプラズマ内部に透過させてその位相の変化を計測する干渉法は、プラズマの内部を乱すことなく測定でき、GAMMA10 においてもアップコンバータをもちいたヘテロダイン型干渉計^[1]を導入している。

セントラル部においては可動式のマイクロ波干渉計を用いた電子密度分布計測が行われている。図 1 に可動式のマイクロ波干渉計を示す。真空容器内部に上下に設置されたホーンアンテナはラックアンド

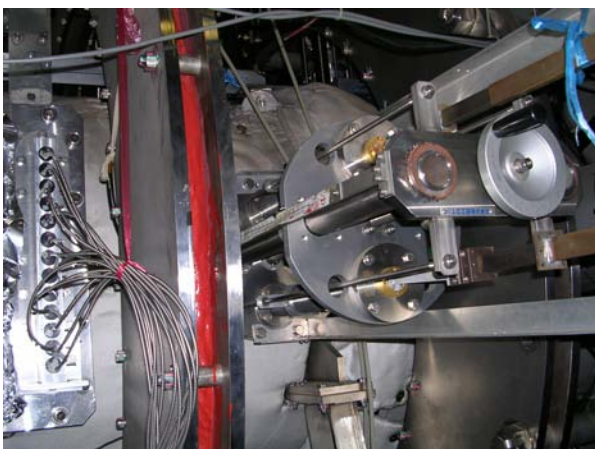


図 1. 可動型干渉計

ピニオン式になっており、ホーンの位置を水平方向に動かすことができる。電子密度分布を計測するには、電子線密度の分布を実測し、その分布を計算機で電子密度の分布に変換する。現状のシステムでは、電子線密度の分布計測は、加熱条件を一定に保ったまま、-9cm~+15cm の間で 10 プラズマショットを使い 3cm ごとにホーンを移動させて電子線密度の分布を計測している。電子密度の計算は計算プログラムを用意してあり分布計測終了とほぼ同時に行うことができる。

この方式では平均 10 プラズマショット程度のデータが必要で、ショットによるプラズマ生成の再現性の影響を受けやすい。1 プラズマショットで電子密度分布を求められるようになれば、密度測定精度が上がるとともに、プラズマ揺動の径方向分布計測にもつながりプラズマ閉じ込めの改善に役立つようになる。

昨年度、多チャンネル干渉計設計を行い、システムの検証を行った[2]。本年度は、3 チャンネルにて稼動し更に 12 月には 6 チャンネルに増設し 1 プラズマショットにて電子密度分布計測を行うことができるようになった。

2. 多チャンネル化

2.1 システム

多チャンネル化に当たり、入射するマイクロ波のビームをプラズマ中心部で集光させるようレンズを設計したが、ベンチテストの段階でうまく集光していることが確認できず、レンズ無しで稼動させた。このため、送信側のホーンは 1 つにし、ビームの広がりを利用し下部に受信ホーンを並べた。測定位置は、受信ホーンの位置と真空容器中心までの距離と光線追跡計算から割り出すことにした。

部品等の到着の関係から最初は 3 チャンネルにて計測することにし、3 チャンネルから 6 チャンネルに増設する予定とした。図 2 に多チャンネル干渉計のシステム図を示す。青で示しているのが、6 チャンネルに増設時に必要な物品である。

チャンネル数を増やす場合には発振器の出力が十分に大きければ、出力を分割し受信側を増設すればよく、発振器とアップコンバータの増設は必要ない。設置するホーンの位置はセントラル部中央 $z=0\text{cm}$ で、真空容器外部の上下にホーンを取り付ける。セントラル部の上・下部にはテフロン真空窓があり、その外側の y 方向に 6 ポート設置する。

¹ E-mail: yoriko@prc.tsukuba.ac.jp; Tel: 029-853-7464

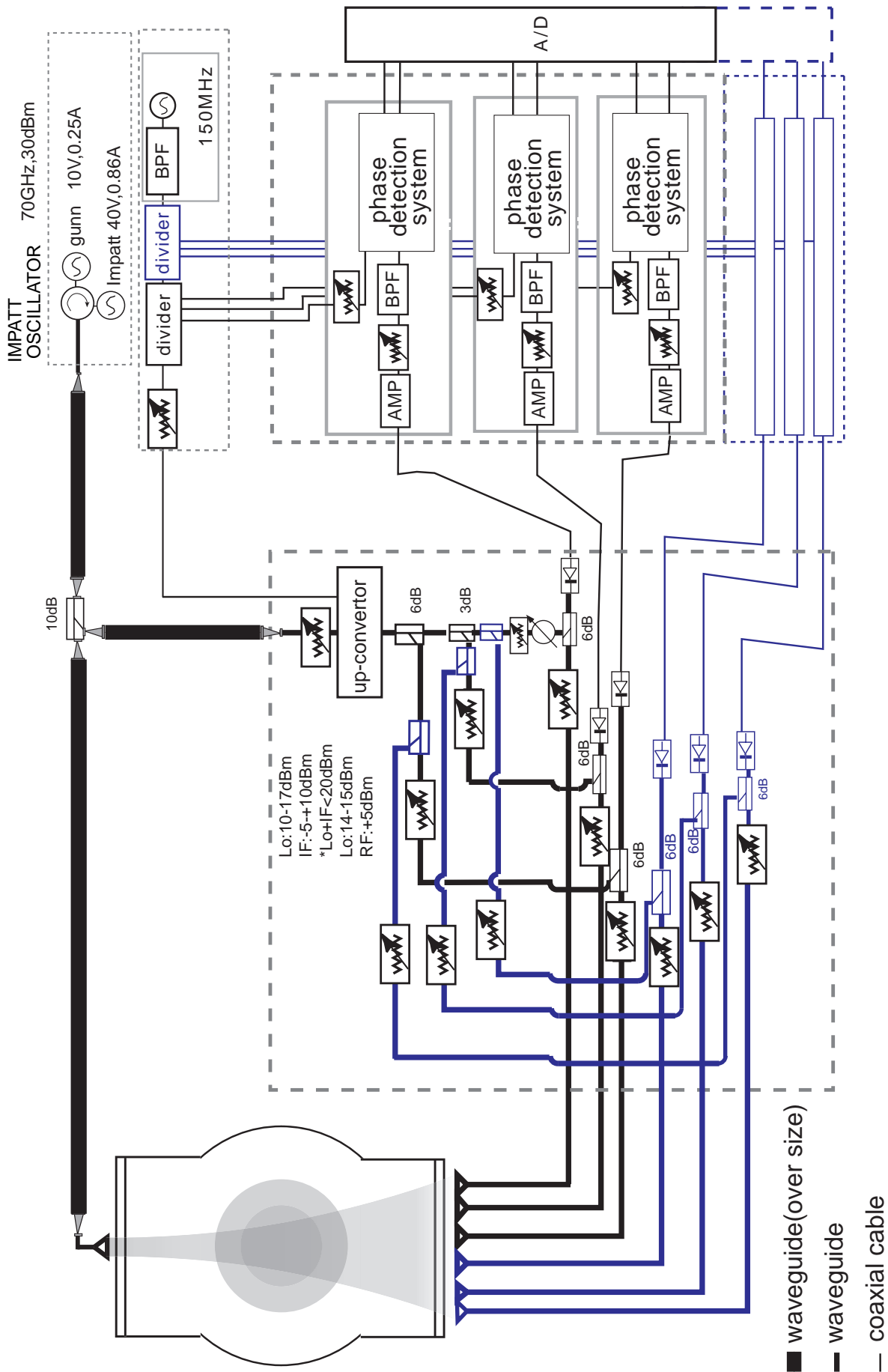


図 2. システム図

今回使用した発振器は 70GHz,出力 30dBm の IMPATT 発振器である。IMPATT 発振器で高出力発振させ GUNN ダイオード発振器と組み合わせ周波数を安定化させている。

位相検出回路の出力はサンプリング時間 0.2ms の A/D 変換機にて取り込み計算機にて線密度を計算させる。現在設置してあるセントラル部の可動ホーン型干渉計は $z=60\text{cm}$ であり、二つの干渉計を利用し、より詳細な分布計測も可能になる。

2.2 多チャンネル化の実際

レンズの設計がうまくいかない状況と、物品納入のトラブルなどにより、3チャンネルで計測を続けていたが、12月の実験にあわせビームの広がりを利用して送信ホーン1個にて6チャンネル化を行った。

6チャンネル化のときに判明したトラブルで、納入された導波管の規格違いがある。本システムで使うマイクロ波は70GHzで導波管はE-band、フランジは一部を除いてUG387の規格である。3チャンネル時に受信部に用いた直線導波管(本年度納入品)をチャンネル増設時に外したところ、フランジはあったが、導波管の規格が違っていることが分かった。図3の左が納入された直線導波管である。右がE-bandの導波管であり、太い導波管が付けられているのがわかる。返品交換となったが、マイクロ波コンポーネントはほとんど輸入品のため、納入までに数ヶ月要することになった。そのため、大部分の直線導波管を素材とフランジとを半田付けして作成した。

このように、足りないパーツは既存品で代用するなどして、多チャンネル化を行った。



図3. 直線導波管

3. 実験結果

3.1 計測

上部に送信ホーン1個を設置し下部に受信ホーン6個を設置しプラズマ計測を行った。測定位置は、受信ホーンの位置と真空容器中心までの距離、光線追跡計算から、6cm,3cm,1cm,-2cm,-4cm,-7cmと算出した。本システムで重要なのは透過波、参照波、低周波発振器パワーのバランスであり、アテネータやアンプなどを使いアップコンバータや位相検出回路の特性に合わせるようにした。得られたデータをサンプリング時間 0.2ms の A/D 変換機にて取り込み線密度の計算を行った。図4に多チャンネル干渉計の各チャ

ネルから得られた線密度の時間変化を示す。75msec以降にデータ飛びが見られるが、全6チャンネルとも線密度が計測できているのが分かる。

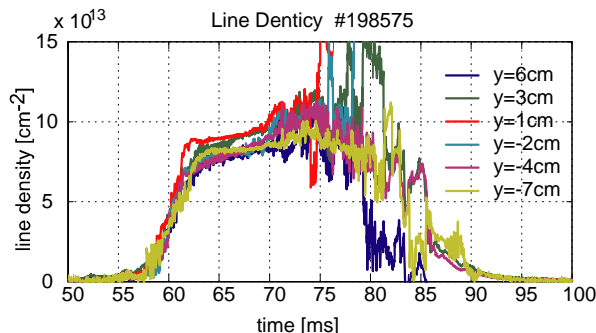


図4. 多チャンネル干渉計で得られた線密度

3.2 電子密度分布の導出

得られた多チャンネルのデータに $Z=60\text{cm}$ で計測している $y=0\text{cm}$ のデータを組み合わせた7箇所の線密度から半径方向の線密度分布を出し、更にそこから電子密度分布を計算した。得られる電子線密度の分布は中心軸がずれている為それを補正する。その補正値が図5(a)の r_0 である。データの補間をし、電子線密度の分布を8次関数で算出する。8次関数で近似した結果が実線である。その結果をアーベル変換し電子密度の分布を求める。求めた電子密度分布が図5(b)である。多チャンネルのデータと既存の干渉計のデータを組み合わせることにより1プラズマショットで電子密度の分布が計算できている。プラズマの中心部で電子密度は約 $4.5 \times 10^{12} \text{cm}^{-3}$ になっていることが分かった。

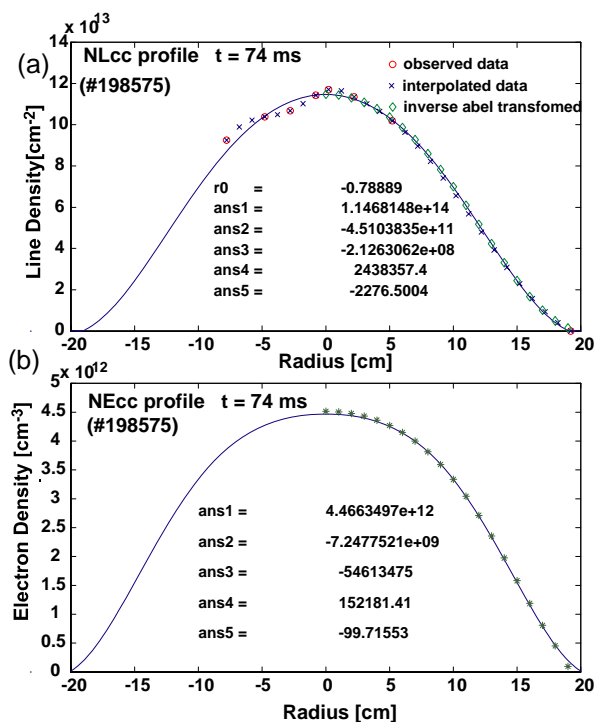


図5. 密度分布の計算

3.3 データ解析

計測することができた 60ms~74ms 間の電子線密度を用いてこの間の電子密度分布の時間変化を 0.02ms 毎に求めた。図 6 にその結果を示す。電子線密度分布を出す際に補正した半径方向のずれも反映させ、横軸に真空容器内の位置を取っている。(a)が電子線密度の時間変化で(b)は電子密度の時間変化である。このように解析することによりプラズマの局所的な揺らぎを見ることができる。

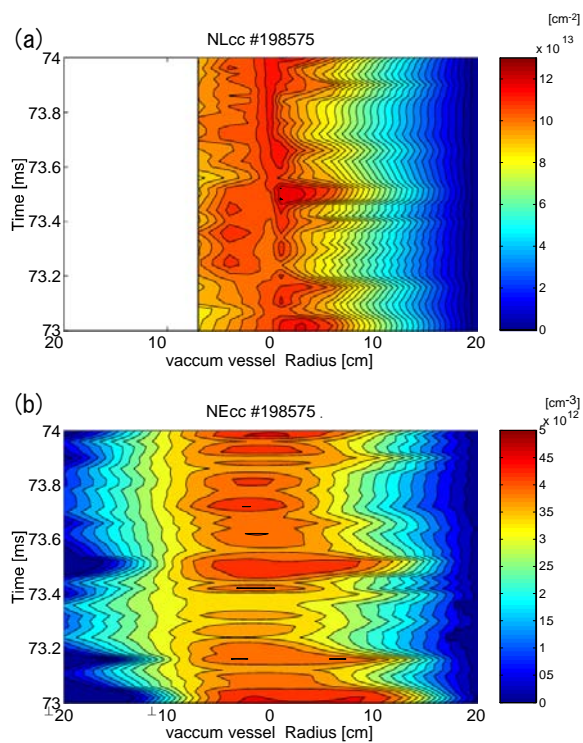


図 6. 線密度と密度の時間変化

4. まとめ

多チャンネル干渉計を 6 チャンネルで稼動することができ、1 プラズマショットで電子密度分布を計測することができた。今後はレンズを取り付け更に精度を上げ、定常的にデータを提供できるようにしたい。またプラズマ揺動の径方向分布についても解析を行っていききたい。

謝辞

本報告書を作成するに当たりご協力ご助言頂いた板倉先生、吉川先生、またマイクロ波グループの皆様に感謝申し上げます。

参考文献

- [1] 嶋 頼子:ヘテロダイン型干渉計の製作と GAMMA10 への適用, 筑波大学技術報告 (2000) 29-34.
- [2] 嶋 頼子: GAMMA10 セントラル部におけるマイクロ波干渉計の多チャンネル化, 筑波大学技術報告 (2005) 50-53.

生簀設備の改良について

品川秀夫、佐藤壽彦
筑波大学下田臨海実験センター
〒415-0025 静岡県下田市 5-10-1

概要

筑波大学下田臨海実験センター（以下、下セ）では、生簀を利用した海産生物の飼育が長い間行われてきている。こうした生簀を用いての飼育は自然の海の環境をそのまま利用できるという点で臨海実験センターにおいて非常に重要なものといえる。

現在生簀は、下セの正面にある大浦湾内に設置されており、下セの正面にある砂浜から手漕ぎボートで行き来をして実験生物の管理を行っている。しかし、近年カタユレイボヤやヨコエビ類などの飼育が新たに行われるようになり、生簀の取り付け方も変わったため以前より用いられてきた設備をそのまま使用することに不便や不都合が生じはじめた。そこで、生簀を取り付けるための筏等设备を簡便で安全に使用できるように改良した。

1. はじめに

生簀は海という環境を利用した設備であるので過酷な自然の環境に耐えるような強度が必要であり、設備自体の取替えも、より簡便なものである必要がある。下セで使用される生簀は漁業用のものとは違い小規模なものであり、実験・研究用の材料にあわせ改良し製作されてきたものである。また、今回の改良は船舶免許を持たない研究者でも使用できる手

漕ぎのボートから容易かつ安全に作業ができることを考慮したものである。

2. 材料および改良、製作

2. 1 改良

図1は、改良前のものである。金属パイプを3つのフロートで海中にぶらさげてそのパイプにおもりをつけた生簀を結びつける形になっている。さらにパイプの両端からアンカーへつなぐためのロープが出ている。

しかし、この構造の場合、生簀を取り替えるためには重い金属のパイプを海面まで持ち上げなければならず、手漕ぎのボートからでは困難な作業であった。そこで、この問題を解決するために図2のように改良した。

図2では、真ん中に穴の開いた発泡体フロートに串刺し状にパイプを通すことでパイプを海面に浮かぶように工夫した。パイプには電食しにくいようにステンレスを使用した。そして、フロートが左右にずれることのないように金具（図3）で固定した。

2. 2 金具の製作

固定金具は、図3左下のようなものをステンレスで作成し取り付けました。a または b の2種類作成した。a はステンレス製の U 字型の金具とステンレス製の

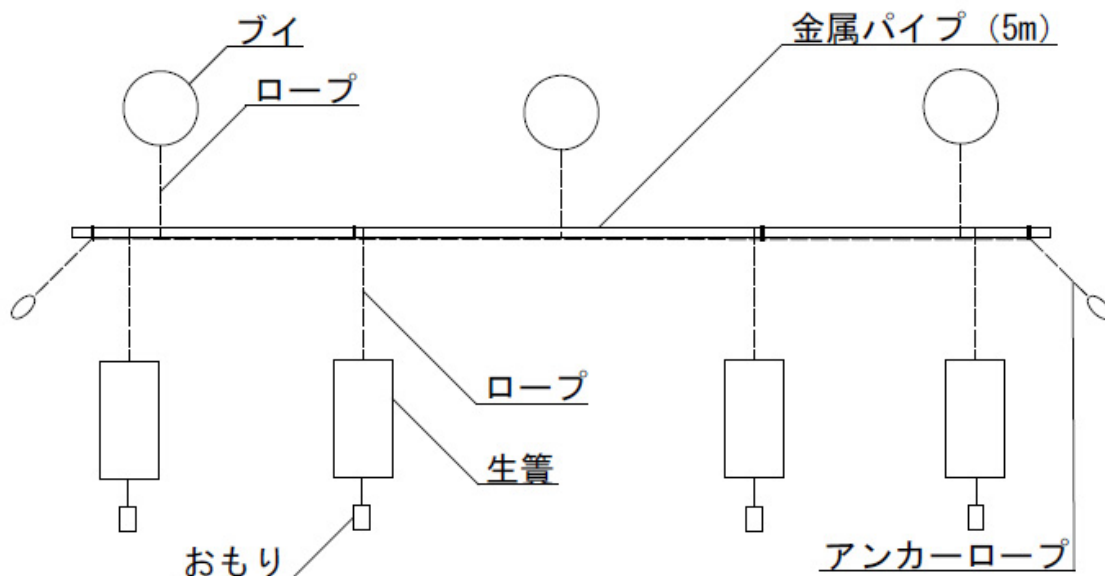


図1. 改良前の生簀設備

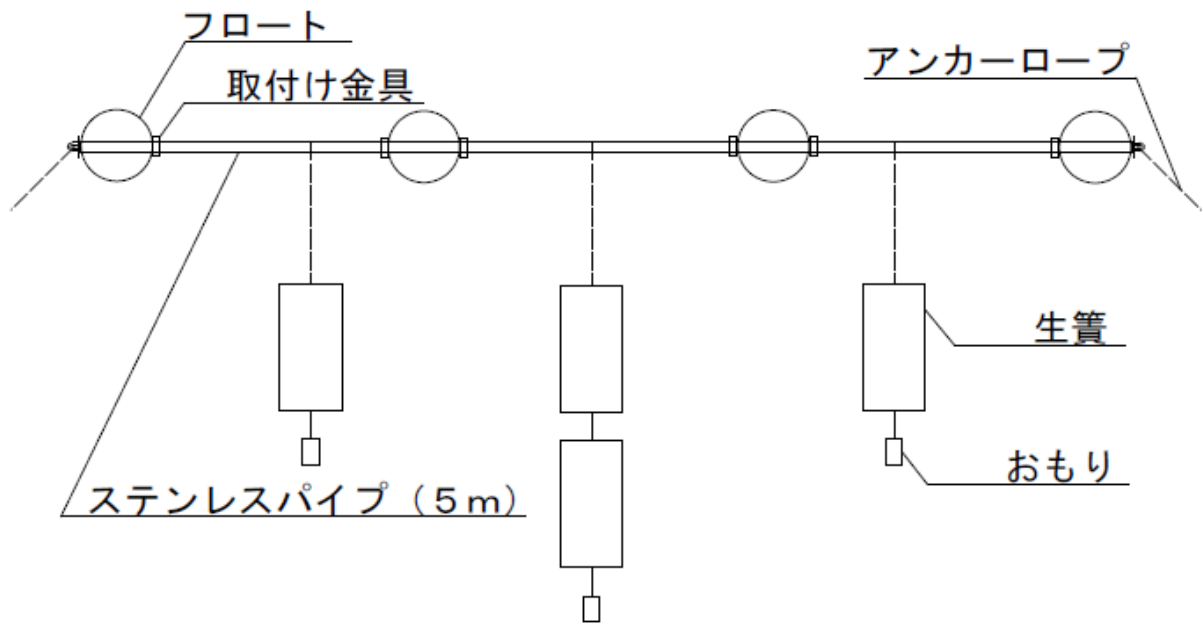


図2. 改良後の生簀設備

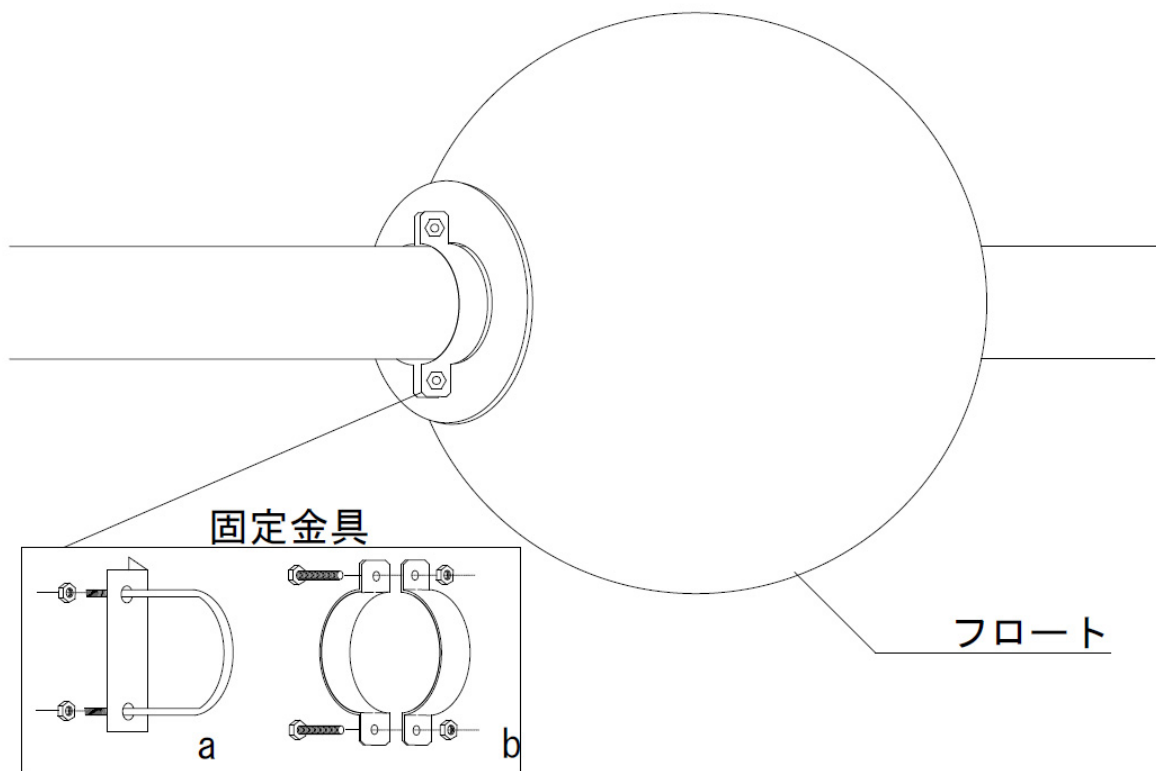


図3. フロート固定金具

アングルをナットで固定するようになっている。bはステンレスの板を曲げて製作した。どちらも使用上の問題はないが、bは板を曲げるぶん製作に手間がかかるので a の金具を使用している。また、固定金具とフロートの間にステンレス板をドーナツ状に切断して作ったワッシャー形の板を挟んだ。これは金具がフロートを傷つけないようにである。

さらに、パイプの両端にはアンカーロープを取り付ける必要があるので図4のように金具を製作した。図4上のようにパイプに挿し込みボルトで固定する。

この金具はステンレスの板を円形に切断しその中央に、挿し込んで固定するためのパイプを溶接し、その裏側にはアンカーロープを付けるための U 字型に曲げたステンレス棒を溶接した。また、そこに亜鉛板を取り付けるためのボルトを溶接し、亜鉛板を取り付けた。アンカーロープは斜め下方向にのびるので、このとき亜鉛板は邪魔にはならない。

この亜鉛板は当初付けられてはいなかったが、実際に海で使用して一年と経たないうちに電食により金具の溶接部分が写真1のように劣化して取れてし

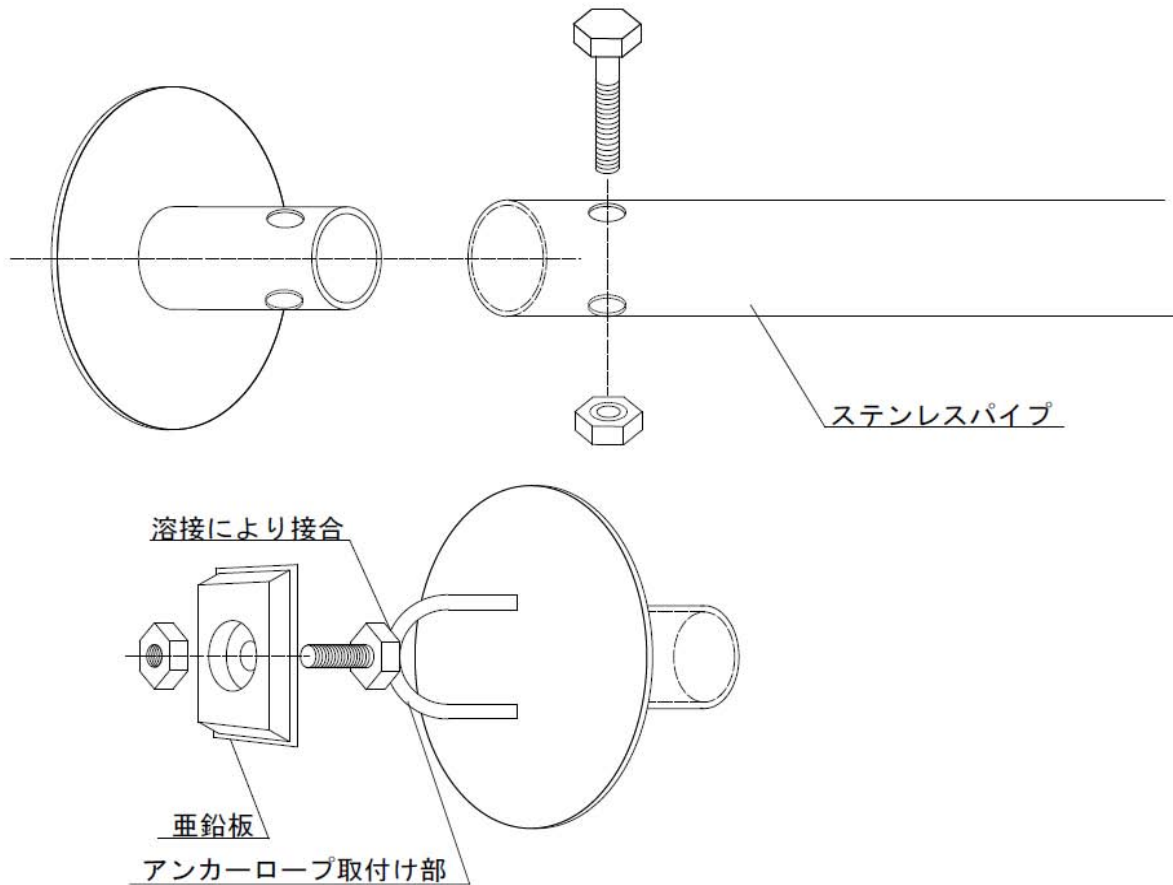


図4. アンカーロープ取り付け金具

まったため取り付けることになった。亜鉛版は船舶の電食防止用に使われているものを使用した。

3. 考察

この改良により、パイプ部分は水面まで上がり、生簀の交換は手漕ぎのボートからでも容易かつ安全に行えるようになった。改良にあわせて専用の金具を製作したが、実際に使用してみたところ、金具は写真1のように電食で劣化してしまった。よってただちに亜鉛版を取り付けた金具を製作し対処した。

しかし海という苛酷な環境で使用する以上こうした設備は劣化するのが必然である。そのためいかに劣化しにくいものを製作することも重要なことだが各部品の交換が容易であることも重要であり今回はそうした点も考慮して製作した。

今後の課題についてだが、メンテナンスや耐久性の点で更なる改良ができればよいと考えている。

最後に、写真2であるが、下セとその眼前に広がる海の様子である。手前に並んでいるのが生簀のブイである。生簀の管理は左奥の砂浜からボートで行き来して行っている。



写真1. 劣化した金具



写真2. 海上の生簀ブイの様子と背後に見える下田臨海実験センター

情報システムの管理と運用

川上彰、和田勉、山形朝義

筑波大学システム情報工学等支援室（情報システム管理班）

〒305-8573 茨城県つくば市天王台 1-1-1

概要

平成16年度からシステム情報工学等支援室の技術職員は、「情報システム管理班」、「情報アプリケーション班」、「装置開発班」の3班からなる新体制となった。この中の「情報システム管理班」の担当者が行っている業務等について、その一部ではあるが紹介を兼ねて報告する。

今回は、主に以下の3点を中心に、成果及び経過について報告する。

- 無線LANシステムの改善
- 社会学類教育用計算機システムの運用
- LDAPによるユーザ認証

1. はじめに

「無線LANシステムの改善」については、主に無線LANのセキュリティを中心に、その構築までの過程とテストの結果について報告する。

また、「社会学類教育用計算機システムの運用」については、システムの紹介と、その中のWindows環境の管理方法を中心に報告する。

3つ目の「LDAPによるユーザ認証」では、昨年度の技術発表会で報告した、システム情報工学研究科経営政策科学専攻におけるLDAP(Lightweight Directory Access Protocol)を使った認証を、今年度は社会学類へも対象を広げるとともに実際に運用する上での問題点等について検討した。

2. 無線LANシステムの改善

現在管理している2系統の無線LANは、系統毎にネットワーク管理組織及び建物が別ではあるが、実際一部のユーザは両方の無線LANを利用している。このため利用者から、認証を1つにしたいとの要望があり、システムの改善を行ったので簡単に報告する。無線LANシステムの移行にあたって先ずテストシステムを構築し、成功を確認してから本システムの移行を行う予定である。

2.1 現在の無線LAN構成

図1-1で示すように、系統AはLinuxマシンをゲートウェイとして五つのAP(Access Point)が接続されており、利用時の認証はRADIUS(Remote Authentication DialIn User Service)を使ったMAC(Media Access Control address)アドレス認証と、APの機能を利用した128ビットのWEP(Wired Equivalent Privacy)キーを使っている。もうひとつの系統BはFreeBSDマシンをゲートウェイとして、九つのAPが接続されており、利用時の認証はユーザ名とパスワードを入力するOpengate(ネットワーク利用

認証ゲートウェイ)¹システムと、APの機能を利用した128ビットのWEPキーを使っている。それぞれ利用申請によって、前者はMACアドレスの追加を、後者はユーザ登録の追加を行っている。

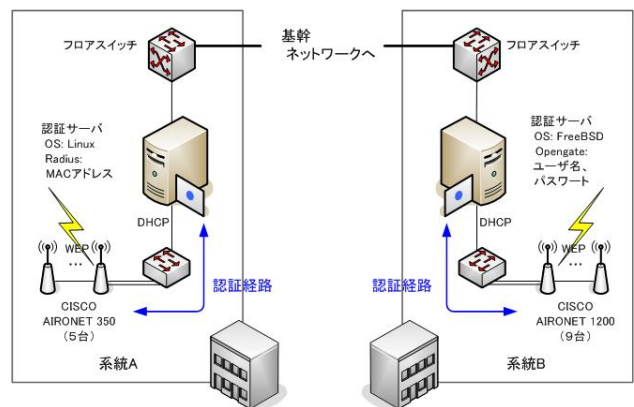


図1-1 改善前の構成

2.2 改善後の無線LAN構成

考慮した点として、認証を1つにまとめること、通信のセキュリティ強化を図ること、現在の機器を利用することが考えられ、いくつかの機能の中から、電子証明書を利用したRADIUSを使って1台のサーバで管理が可能であることに注目し、EAP-TLS(Extensible Authentication Protocol - Transport Layer Security)認証とRADIUSプロキシ機能を利用した。図1-2で示すように各RADIUSプロキシサーバは認証サーバに認証を委ねる。この機能によって2系統の無線LAN認証を1台の認証サーバで行うことができる。

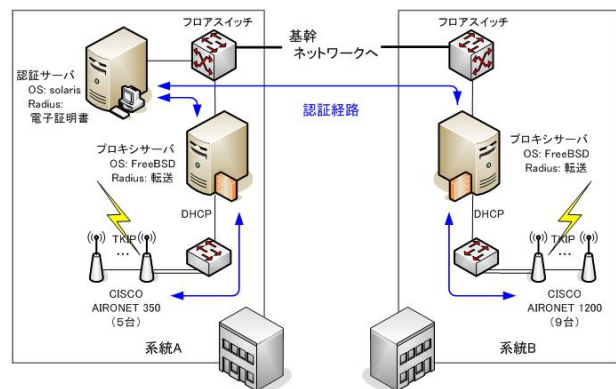


図1-2 改善後の構成

¹ <http://www.cc.saga-u.ac.jp/opengate/>

2.3 システムの設定

以下に各システムの設定において重要と思われる設定項目を記述する。

2.3.1 プロキシサーバ

プロキシサーバに必要な、DHCP(Dynamic Host Configuration Protocol)とFreeRADIUSのインストールはFreeBSDのPORTS機能を利用した。ゲートウェイ機能については予め動作していることを前提にしているので省略する。

DHCP 関連ファイル (系統 B)

```
dhcpcd.conf:
default-lease-time 600;
max-lease-time 7200;
ddns-update-style none;
#ddns-updates off;
log-facility local7;
option domain-name "sie.tsukuba.ac.jp";
option domain-name-servers sv.sie.tsukuba.ac.jp;
subnet 192.168.1.0 netmask 255.255.255.0 {
    range 192.168.1.1 192.168.1.63;
    option broadcast-address 192.168.1.255;
    option subnet-mask 255.255.255.0;
    option routers 192.168.1.254;
}
subnet 130.158.xx.0 netmask 255.255.255.0 {
}
```

RADIUS 関連ファイル

```
clients.conf: (AP の情報)
client 192.168.1.220 {
    secret = AP の設定と同じ
    shortname = an1200-1
    nastype = other
}
proxy.conf
realm NULL {
    type = radius
    authhost = 認証サーバ IP アドレス:1812
    accthost = 認証サーバ IP アドレス:1813
    secret = 認証サーバの設定と同じ
}
```

2.3.2 認証サーバ

FreeRADIUS のインストール :

既に稼動している UNIX マシンの Solaris9 に freeradius-1.0.5 を make install した。Makefile を作るための configure 文は以下の様に書いた。

```
configure --prefix=/usr/local/freeradius ¥
--disable-shared ¥
--with-openssl-includes=/usr/local/ssl/include ¥
--with-openssl-libraries=/usr/local/ssl/lib
これで出来上がった Make ファイルを make すればよい。
```

RADIUS 関連ファイル

```
users:
"an1200-1" Auth-Type := EAP
clients.conf: (プロキシサーバの情報)
client 130.158.aa.bb {
    secret = プロキシサーバの設定と同じ
    shortname = yama-bsd
}
client 130.158.cc.dd {
    .
    .
}
eap.conf:
default_eap_type = tls
tls {
    private_key_password = サーバ証明書の秘密
                           鍵のパスフレーズ
    private_key_file=/usr/local/etc/1x/cert-srv.pem
    certificate_file=/usr/local/etc/1x/cert-srv.pem
    CA_file = /usr/local/etc/1x/root.pem
    dh_file = /usr/local/etc/1x/DH
    random_file = /usr/local/etc/1x/random
    check_crl = no
}
proxy.conf:
realm NULL {
    type = radius
    authhost = LOCAL
    accthost = LOCAL
}
/etc/services:
radius 1812/udp
radacct 1813/udp
```

以上でFreeRADIUSがEAP-TLSを利用できる状態になった。

OpenSSLによる、証明書の作成 :

OpenSSLについても予め動作していることを前提にしているので省略する。ディレクトリ内で(このシステムでは/usr/local/ssl/radius/miscとした)ルート証明書(root)、サーバ証明書(cert-srv)、クライアント証明書(cert-clt)を作成する。事前にEAP/TLSに必要なOID(Object Identifier)を置く必要があったので、以下のxpextensionsファイルを作成する。

```
xpextensions:
[ xpclient_ext ]
extendedKeyUsage = 1.3.6.1.5.5.7.3.2
[ xpserver_ext ]
extendedKeyUsage = 1.3.6.1.5.5.7.3.1
```

次に、eap.confで指定した証明書を置くためのディレクトリを作成する。

```
#mkdir /usr/local/etc/1x
#chmod o-r /usr/local/etc/1x
```

それにランダムファイルを作成する。

```
#date > /usr/local/etc/1x/DH
#date > /usr/local/etc/1x/random
```

前述 OID の場所で、3つの証明書を作るスクリプトを別途作成し（ここでは省略）実行した。出来上がった証明書を、/usr/local/etc/1x/以下に配置した。

例) 当初の無線クライアント1台の場合

```
# ls -l /usr/local/etc/1x
-rw-r--r-- 1 root other DH
-r----- 1 root other cert-ctl.pem
-r----- 1 root other cert-srv.pem
-rw-r--r-- 1 root other random
-r----- 1 root other root.pem
```

以上の作業完了後 FreeRADIUS を起動する。

2.3.3 アクセスポイント

ここでは CISCO AIRONET 1200 について報告する。設定するにはアクセスポイント (AP) に有線で接続したパソコンの Web 設定画面を使って、AP の管理者権限で設定する。重要と思われる箇所を以下に記述する。

```
Security: Server Manager:
Current Server List: RADIUS
Server: プロキシサーバの IP アドレス
Shared Secret: プロキシサーバの設定と同じ
Authentication Port: 1812
Accounting Port: 1813
EAP Authentication Priority 1: プロキシサーバの IP アドレス
```

```
Security: Encryption Manager:
WEP Encryption: Mandatory
Cipher: TKIP
Broadcast Key Rotation interval: Enable Rotation with interval 3600
```

```
Security SSID Manager:
SSID: siewave2 (任意の名前)
Open Authentication: with EAP
Network EAP: NO ADDITION (要らないかも)
EAP Authentication Servers Customize Priority1: プロキシサーバの IP アドレス
Key Management: Mandatory , WPA
```

```
Accounting Settings:
Enable Accounting
Accounting Server Priorities: Customize Priority 1: プロキシサーバの IP アドレス
Set Guest Mode SSID: siewave2 (任意の名前)
```

以上の設定で動作した。

2.3.4 無線 LAN クライアント PC

無線ネットワークの設定と、証明書のインストールを以下の要領で行う。

Windows XP のセットアップ:

ワイヤレスネットワーク接続プロパティにて、ネットワーク認証を「WPA」、データの暗号化を「TKIP」と選択する。次に認証タブにて「このネットワークで IEEE802.1X 認証を有効にする」を有効に、EAP の種類を「スマートカードまたはその他の証明書」を選択、「コンピュータの情報が利用できるときは…」を有効にする。

証明書のインストール:

認証サーバの証明書を作るスクリプトを実行後、2つの証明書 (root.der、cert-ctl.p12) をクライアント PC にインストールする。

1) ルート証明書 (root.der)

USB メモリー等にコピーした root.der をダブルクリックし、「証明書のインストール」から「証明書をすべて次のストアに配置する」を選択、参照ボタンをクリックし「信頼されたルート証明機関」を選択後、OK ボタンを押す。後は完了まで進む。

2) クライアント証明書 (cert-ctl.p12)

同じく cert-ctl.p12 をダブルクリックし、証明書のインポートウィザードから「秘密キーのパスワードを入力…」に対してサーバ証明書の秘密鍵のパスワードを入力する。最後に「証明書の種類に基づいて、自動的に証明書ストアを…」を選択してから完了まで進む。

2.4 作業を終えて

当初、Solaris 9 に freeradius-1.0.4 をインストールしたが、EAP-TLS モジュールがうまく組み込まれていないため、モジュールの Makefile を手で修正した。現在のバージョンでは問題は出なかった。それと xpextensions にある数字の間になぜか余計なブランクが入ってしまい認証動作に失敗した。これに気づくまでにかなり (無駄な) 時間をかけてしまった。

3. 社会工学類計算機システムの運用について

現在、社会工学類計算機システムでは社会工学類、システム情報工学研究科社会システム専攻、経営政策科学研究科等に所属する学生及び教職員に対して各種サービスの提供を行っており、このシステム環境の利用者として登録管理されているユーザアカウント数は、平成 17 年 10 月現在では 1 千ユーザを超える状況となっている。

われわれ技術職員はこの計算機システムの登録ユーザに対し、使用するシステム環境や周辺機器についての障害が起きないように、あるいは障害が起きてもその障害の波及範囲を最小限に止めかつ迅速にその障害を取り除くように、システムの利用状況を管理し適正な運用を行うことが業務となる。また、この計算機システムの利用目的は、主に学類等教育用として講義や演習・実習などを行う際に、利用度の高い教育用資源として活用されることが大きな役割の一つとして挙げられることから、一般的な計算機システムの管理運用といった面からだけでなく、これらを含む資源が有効に機能できるように計算機システム以外での教育環境の整備や、人員削減等による実作業時の増大における作業の効率化といった面においても、われわれ技術職員が日ごろから色々な形で改善に取り組んでいる中の 1 部を紹介する。

3.1 社会工学類計算機システム構成

社会工学類計算機システムは、レンタル制度により 4 年または 5 年に 1 度リプレースをされている。現在のシステムは、平成 12 年度に導入されたもので以下のような機器構成となっている。

- ① Unix メール・ファイルサーバ×1
- ② Unix 計算サーバ×1
- ③ Windows ネットワークサーバ×1
- ④ Windows ファイルサーバ×1
- ⑤ Windows クライアント×90
- ⑥ Macintosh クライアント×45
- ⑦ ユーザデータのバックアップ装置 (UNIX 用×1、Windows 用×1)
- ⑧ プリンター装置 (高速×3、中速×3)
- ⑨ プロッター装置×1
- ⑩ 大型スキャナー読込装置×1

3.2 システム環境の管理・メンテナンス

3.2.1 Windows マシンのシステム更新作業

現在クライアント用 Windows マシン (Windows 2000 Professional) が 90 台設置されており、これらマシン群の OS や各種アプリケーションソフトウェア等についての更新作業を行う際には、図 2-1 にあるようにシステム配布用サーバを用いて作業が行われている。この配布用サーバで行われる作業には、PC 管理システム用ソフト「Symantec Ghost v7.5」を用いて行われており、あらかじめシステム更新の雛形マシン上に構築しておいたシステム環境の内容を

ネットワーク経由により、配布用サーバ上にクライアントマシンに配布するためのシステムイメージファイルとして作成保存する。また、実際にクライアントマシンへの配布作業を行う場合、講義等での利用時間帯を避けて一般ユーザにも事前にこの作業予定を掲示して実施される。

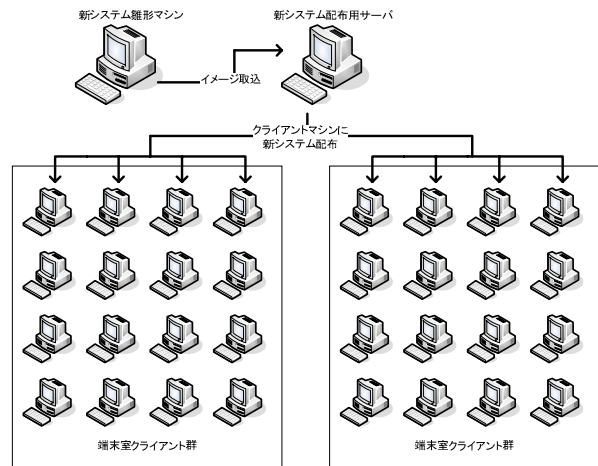


図 2-1 システム更新作業の流れ

実際の配布用サーバからクライアントマシンへのシステム配布作業では、図 2-2 にある Ghost コンソール画面の操作によって処理を行う。

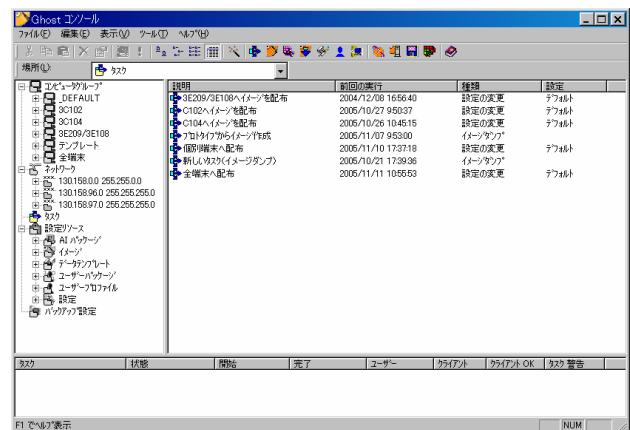


図 2-2 Ghost コンソール画面

現在システム配布作業の処理形態については、全端末 (90 台)、端末室 1 (45 台)、端末室 2 (45 台)、個別端末 (1 台) の 4 形態を設定し、それぞれの処理内容について実行できるように登録されている。

システム配布用サーバから更新用システムの配布処理が実行されると、クライアントマシンのハードディスクに保存されている Ghost ブート機能によりクライアントマシン本体が再起動され、Ghost のリストア機能が実行され図 2-3 の画面を表示し、システムの更新処理の進捗状況が分かる。

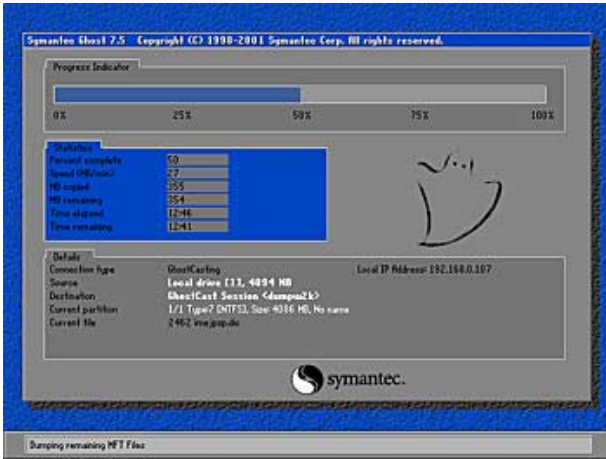


図 2-3 Ghost コンソール クライアント画面

3.2.2 ジョブのプリントアウト

社会工学類計算機システムでは、3部屋の端末室にそれぞれプリンタ装置がネットワーク接続で常設されており、ユーザはどのプリンタに対しても出力できる環境となっている。各プリンタの稼動状況については、図 2-4 のように WEB 画面からリアルタイムで状況把握ができ、消耗品補給や故障状況の確認ができる。



図 2-4 プリンタ装置 WEB モニタ画面

3.3 業務内容の見直しと作業改善

システム管理班では、平成 17 年 3 月に技術職員 1 名の削減が行われたため、4 月からの社会工学類計算機システムの業務内容の見直しをしながら以下の改善策を講じて作業の効率化を行っている。

3.3.1 Windows システム作業

①作業手順のマニュアル化

作業内容についてできるだけ判り易いものとなるように、具体的な文章や写真などで工夫してマニュアルを作成した。

②作業内容のドキュメント化

実施したシステム作業の内容について、各種作業で行われた内容を記録データとして残し、過去に実施された作業内容については、詳細に確認できるようにした。

③システム環境のドキュメント化

計算機システムとして設置されている機器についての、それぞれの個別データ（製造番号、IP アドレス、Mac アドレス、Windows サーバ登録情報、端末室配置図、修理履歴状況）の履歴簿を作成した。

3.3.2 プリントログの管理

Windows サーバでは、設置プリンタから出力されるアウトプットジョブについて、毎日プリンタ別に全出力ジョブのログが保存されるので、そのログファイルから図 2-5 にあるように簡単な集計処理を行い、大量出力を行ったユーザを確認してメールによりその出力内容と使用目的を報告させ、資源の有効利用と無駄使い防止の指導を行う。表 1 は、4 月から管理を行った 9 ヶ月間の前年度との比較を表している。

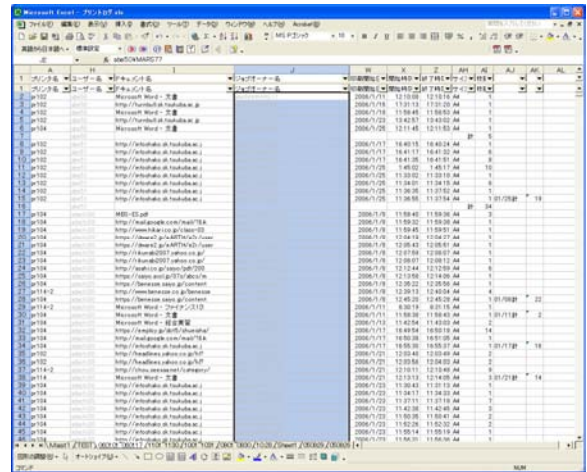


図 2-5 プリンタログによる集計

表 1 月別プリントアウト集計 (2006-01-17 現在)

	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	合計
2004年度	44,837	66,960	82,965	39,929	17,996	41,936	111,774	60,391	55,393	70,673	51,216	27,172	671,242
2005年度	44,316	53,742	63,954	26,100	16,419	36,853	42,711	27,562	41,899	18,633	-	-	388,065
前年比(%)	98.8%	80.3%	77.1%	65.4%	91.2%	87.9%	38.2%	45.6%	75.6%				

4. LDAPによるユーザ認証

昨年度に構築した LDAP 認証環境を一部変更し、更に規模を拡張して図3-1に示すような環境を構築した。今回は、新たな機能追加に加えて、規模の拡張に伴って発生する問題点等について報告する。

規模を拡張するにあたっては、社会学類の教育用システムにも LDAP 環境が適用できないか検討した。

4.1 ActiveDirectory と OpenLDAP の統合

社会学類の教育用のシステムでは、ActiveDirectory 機能を使って Windows のドメイン管理を行っている。これと OpenLDAP の認証環境を一元化するためには幾つかの方法が考えられるが、以下のような2つ方法について検討した。

- (1) ActiveDirectory による管理をやめて、新たに Samba サーバをドメインコントローラとし NT ドメイン環境を構築する。
- (2) 市販されているソフトウェアを使って統合する。

(1) の方法は、既に経営政策科学専攻で使用しており、大きな問題は発生していない。しかし、大規模な Windows 環境の場合、Samba によるドメイン管理には限界があるように思われる。本来 Windows 管理で使える環境やツールが使用できない等の制約が発生することに加え、今後新たな機能の追加や変更等があった場合、問題が発生することも懸念される。

(2) の方法は、統合のためのソフトウェアとして幾つかの物が市販されているようであるが、何れも導入のためには高額な費用が必要となる。また、ユーザ認証で使用するパスワード変更には、通常の方法とは異なり、特定の WEB ページにアクセスして変更する必要がある等、ソフトウェアによって通常の環

境とは異なった使用方法を強いられる場合があるようである。

以上のことから、社会学類教育用計算機の認証に LDAP を使用することは今回は見送り、試験的に (1) の Samba による Windows ドメイン環境を構築し動作を確認することとした。

当初、社会学類と経営政策科学専攻で別々の Windows ドメインを構築し、両者で同じ LDAP データベースを使ってユーザ認証の一元化を行うことを目標とした。Samba 環境の構築のためには smbldap-tools を使用した。この環境では各ユーザの情報は LDAP データベース内で多くの属性と値を持っている。その中に SID (Security Identifier) という Windows ドメイン固有の ID 情報が含まれる。そのため複数の Windows ドメインで、個人の情報を共有して利用しようとする各々のドメインの SID が異なるため利用できない。また、ユーザのプロファイルや Windows のホームディレクトリの場所も固定されてしまうため、不都合な場合もある

SID はユーザのレジストリ内にも含まれるようで、この面でも問題になる可能性がある。ActiveDirectory ドメインについては未確認であるが、今回使用した Samba による NT ドメイン環境を構築した場合は、異なるドメイン間でユーザ認証の一元化を LDAP データベースで行うことはできなかった。異なる Windows ドメイン間で、LDAP を使ってユーザ認証の一元化を行うためには、別な方法を検討する必要がある。

4.2 LDAP に対応したソフトウェアの導入

昨年度は、WEB アクセス、ログイン、ftp 接続、無線 LAN 等の利用に LDAP の認証が利用できることを確認した。今回は更にメール環境等について調査した。メールサーバとしては exim4 を、pop, imap 環境として Courier-pop および Courier-imap を使用した。WEB メールとしては、Squirrelmail を、メーリングリスト用には fml を使用した。また、SMTP 認証を使っ

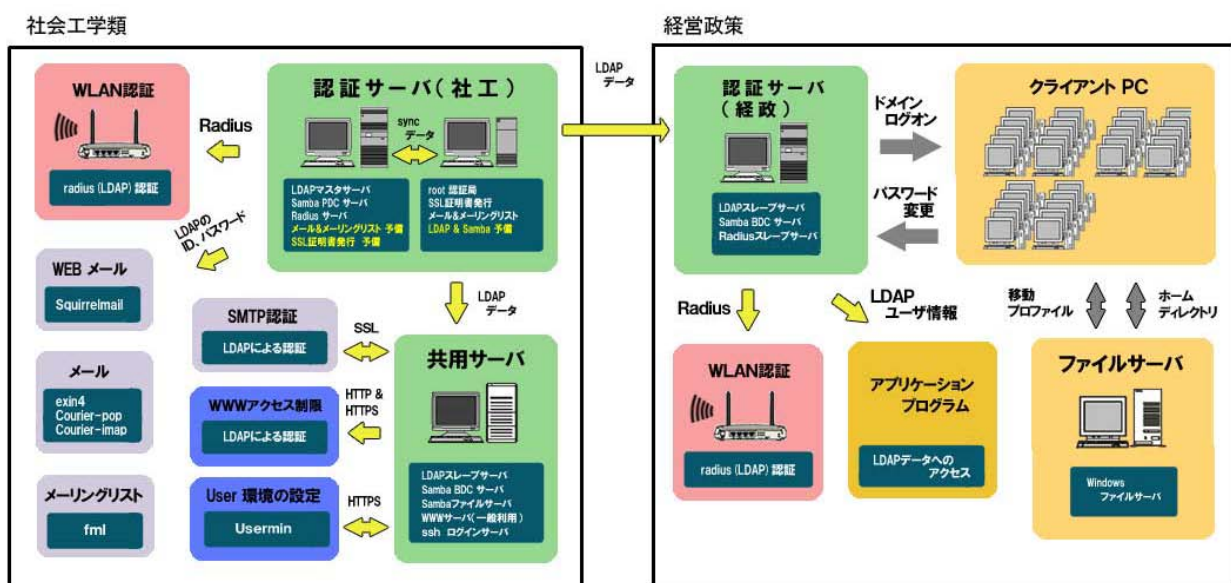


図3-1 システム構成

て、メールの中継を行うこともできるようにした。これらの機能の何れもがLDAPによる同じIDとパスワードで利用できる。

今回は、特にメーリングリストの管理を容易に行うための仕組みを作成した。メーリングリスト用のソフトウェアとしては fml を使用しているが、この管理を WEB インターフェースで行う環境は既に存在し公開されている。ただ、これは使い難いように思われたので独自に開発することにした。図3-2、図3-3に示すように、管理はWEB インターフェースを使って行い、リストメンバーの管理は予め設定されたユーザが行う。このユーザの認証、WEB ページへのアクセス制限等に LDAP サーバの情報を利用している。

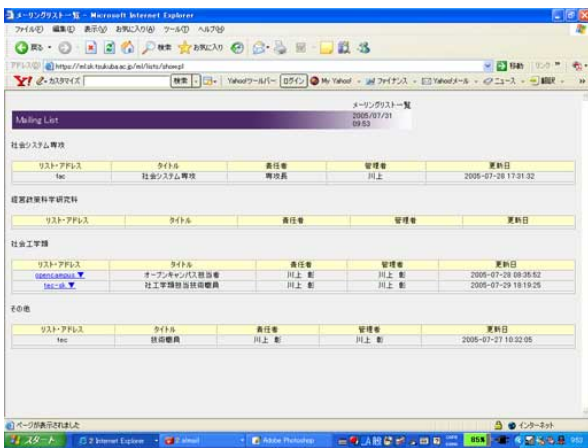


図3-2 メーリングリスト表示



図3-3 メーリングリスト管理

5. まとめ

ここで紹介した内容については、今後共同して作業を行うことによって、更に便利で効率的な環境を作ることができる。そのためには、各人の協力体制、情報の共有化を図り、技術の向上を目指す必要がある。今後、更なる協力体制を強化し、業務の改善、効率化等に向けて努力したい。

参考資料

- [1] 第1特集 無線LANの構造と認証強化、UNIX USER、ソフトバンクパブリッシング(株)、2004.7
- [2] 802.11 セキュリティ
<http://www.famm.jp/wireless/modules/newbb/>
- [3] CISCO AIRONET 1200 マニュアル
<http://www.cisco.com/japanese/warp/public/3/jp/service/manual-j/>
- [4] 梅垣まさひろ, 寺村綾子. fml メーリングリスト管理, オーム社(2000)

4.3 今後の課題

報告した機能の一部は、実際に利用されているが、多くはまだ試験的な段階である。今後は、これらの機能を公開するとともに、最適な運用方法について検討し、調整していく必要がある。

漆によるつき板の加熱接着

田所千明

筑波大学生命環境科学等支援室

〒305-8572 茨城県つくば市天王台 1-1-1

概要

これまで試みられなかった、漆による木材の加熱接着をスギのつき板を用いて行った。中国産およびベトナム産生漆で加熱接着したつき板は、通常乾燥したものに比べ約3倍の曲げヤング率の増加があった。また、中国産の曲げ強さは通常乾燥に比べ概ね増加し、ベトナム産は一部を除き減少した。器の筒製作に加熱接着を用いた場合、中国産生漆は比例限度荷重が約1.3倍に増加した。乾燥時間は通常乾燥の10日間で約8時間に短縮された。これらのことから、中国産生漆のつき板による加熱接着の効果が明らかになった。

1. はじめに

現在、漆の国内生産量は1,400kgであり戦後最大生産量のわずか4%程度で、輸入品（主に中国産）が99%を占めている。漆の消費量は年々減少し、現在（平成16年）は昭和50年の1/5までになっている^[1]。長年日本の工芸の中心的な役割を担ってきた漆工芸や漆器製作は生活の多様化や類似製品に押され、将来の展望が開けない状況になっている。漆工芸の多様な技術の伝承と新たな消費の拡大が求められている。

これまで漆器は塗りものとして高い評価を得てきた。その価値を高める螺鈿・蒔絵等の加飾には漆の接着力が用いられている。従来、漆を接着に用いる場合はでんぷんのり（小麦・米粉等）と練り合せた「のり漆」を使用するのが通例で、接着剤として漆液だけを使った例はほとんど見られなかった。また、漆工芸の分野には「焼き付け漆」と呼ばれる技法がある。通常漆は塗布した後、高湿度の常温で乾燥・硬化させるが、金属に対して付着性が悪いという理由により高温（240～320℃）による焼き付けが行われてきた^[2]。

筆者はつき板に漆を含浸させて、器を作る方法を考案したが^[3]、この器のもととなる筒の乾燥には長い時間（10日間）が必要である。乾燥時間の短縮を目的として、「焼き付け漆」を用いることを考えたが、これまで木材に対して漆の加熱による接着は試みられなかった。そこで、加熱による最適な接着条件を見つけることを目的とし実験をした。また、この結果をもとに器用の筒を製作し、通常乾燥の筒と強さの比較をした。

2. 実験項目と方法

2.1 漆の種類について

今回実験に使用した漆は中国産およびベトナム産生漆である。焼付け漆用に使用される漆の大半は中国産生漆であるが、ベトナム産生漆は塗膜強度が低い為に焼付け用として使用されることが多い。

2.2 漆の熱による硬化試験

はじめに、中国産およびベトナム産生漆の熱硬化に要した加熱温度と加熱時間の関係を調べた。測定温度は100, 110, 120, 130, 140, 150, 160, 170℃の範囲で各3回測定した。ガラス板に漆（約0.02g）を塗り、治具を用いて一定の厚み（乾燥塗膜厚さ約80μm）にひろげ、所定の温度にセットした加熱装置に静置した。加熱中、時々実験装置内のガラス板上の塗膜表面を硬さ4Hの鉛筆で引っかき、キズの付かない硬化したと認められる時間を計測した。

2.3 漆によるつき板の加熱接着試験

供試材としてスギ材より製作したつき板（厚さ0.3mm）を用い、半径方向40mm、繊維方向40mmの寸法に切り出したつき板4枚を1組の試料とし、それぞれのつき板の相対する面に漆を塗布した。塗布量は片面につき0.1gとした。塗布後、4枚のつき板を繊維方向が平行になるように重ね合わせ、2枚の金属板で挟んだ。所定の錘を金属板の上に乗せる方法で圧縮し、一式を電気炉に入れ加熱接着をした。このとき、あらかじめ金属板と錘は同温に予熱しておいた。加熱温度と時間の組み合わせは表1のとおりである。圧縮圧力を0.08, 0.16, 0.24, 0.32 kgf/cm²とし、加熱接着した試料の強度を求める曲げ試験をした。試料より繊維方向で、幅10mm、長さ40mmの短冊状の試験片を作成した。試験には小型材料試験機を供し、スパン23mmで3点荷重による曲げ試験をした。得られた結果より最適な加熱接着条件を求めた。併せて通常乾燥条件（20℃・75%）で同じ荷重を加えて接着した試料も同様の曲げ試験をし、加熱接着した試料と比較検討した。

2.4 漆の加熱接着による筒の強度試験

スギ材より製作したつき板（厚さ0.3mm、幅60mm、

表1. 漆の違いによる加熱温度と加熱時間（分）の組み合わせ

加熱温度	110℃	130℃	150℃	170℃
中国産生漆	210,240,270,300,330	90,120,150,180,210	45,60,90,120,150	—
ベトナム産生漆	—	210,240,270,300,330	120,150,180,210,240	90,120,150,180,210

長さ 650mm) に、ガムテレピン油で 50%に希釈した中国産生漆 4g を両面に塗布した。これを剥離用テフロンシートで覆った直径 45mm の円筒形の型に 4 回巻き付け固定した。これをあらかじめ決められた温度に設定した電気炉に入れ一定時間加熱し、器の筒（高さ 55mm・外径 47mm）を製作した。加熱温度は実験 2.2 より求めた最適な温度とした。比較のため通常乾燥と同様に製作した筒と共に、小型材料試験機を用いて、筒を横にした状態で横圧縮試験をした。そして、強さの目安である比例限度荷重を測定し比較検討をした。なお、試験は加熱温度ごとに 3 回行った。

3. 結果と考察

3.1 漆の熱による硬化について

中国産およびベトナム産生漆の熱による硬化について、加熱温度と加熱時間の関係を図 1 に示す。中国産、ベトナム産とも 100~130℃付近までの温度では硬化時間が急激に減少しているが、それ以上の加熱温度になると減少がゆるやかになり、徐々に一定の硬化時間（それぞれ 50 分、100 分）に近づいている。中国産生漆はベトナム産生漆の約 1/2 程度の硬化時間であった。

3.2 漆によるつき板の加熱接着について

3.2.1 グラフについて

つき板の加熱接着実験により求めた曲げ強さを図 2 に、曲げヤング率を図 3 に示す。各グラフの横軸は加熱温度を縦軸は圧縮圧力である。曲げ強さおよび曲げヤング率の大きさを色で表し、値の大きい黒色から小さい白色、そして最小値を黄色とした。また、比較のため通常乾燥で製作した試料の結果を同様に図中に示す。なお、グラフは 4 回の試験の平均値である。

3.2.2 曲げ強さについて

中国産生漆の加熱による曲げ強さを見てみると、加熱温度 150℃では曲げ強さがグラフ全体で 4.2kgf/mm²以下で、通常乾燥よりも小さな値であった。130℃加熱は通常乾燥よりも高い値で、しかも加熱時間 180 分で圧縮圧力 0.16~0.32 kgf/cm²において最も高い値の領域を示した。加熱温度 110℃では 130℃加熱よりも全体に高めの値の分布で、特に 240 分以上の加熱で高圧縮圧力の時に最も高い値の領域を示した。

ベトナム産生漆は加熱温度 170℃ではほとんど 3.0 kgf/cm²以下で、通常乾燥よりも低い値の分布になった。加熱温度 150℃では 170℃加熱より多少曲げ強さは大きくなったが、通常乾燥よりも低い値の分布であった。加熱温度 130℃は全体が高い値で、特に加熱時間 270~320 分、圧縮圧力 0.32kgf/cm²の時に最も高い値の領域になった。なお、通常乾燥の曲げ強さは中国産生漆よりも高い値だが、130℃以外は低い値で加熱による効果は無く中国産生漆との違いがでた。

3.2.3 曲げヤング率について

中国産生漆は 150℃加熱では通常乾燥よりも高い値の分布だが、他の加熱温度と比較すると低い値であった。130℃、160~200 分加熱で 0.16~0.32 kgf/cm²の圧縮圧力が最も高い領域を示した。110℃加熱では

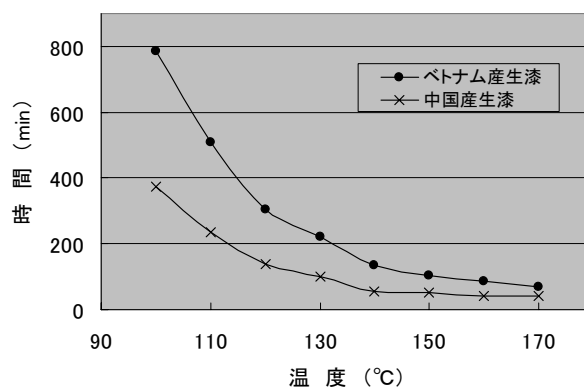


図 1. 加熱温度と硬化時間の関係

全体は高い値だが、はっきりとした高い値の領域が存在しなかった。

ベトナム産生漆は加熱温度 150℃と 170℃は同様の値であるが、150℃は圧縮圧力が大きい時に高い値になり、170℃では加熱時間が長くなると高い値になった。130℃加熱では加熱時間 240~320 分で圧縮圧力 0.3 kgf/cm²の時に最も高い値の領域を示した。

中国産およびベトナム産生漆の加熱接着と気乾燥との比較では、どちらも約 3 倍の曲げヤング率の増加があった。

3.2.4 考察

中国産生漆の曲げ強さと曲げヤング率をみてみると、加熱温度 150℃では他の加熱温度と比べ、どちらの値も低い。これは加熱温度が高過ぎるための接着不良が原因と考えられる。加熱温度 130℃ではどちらも最も高い値の領域が有り、これが中国産生漆の加熱接着に適した加熱温度ではないかと考えられる。加熱温度 110℃では曲げ強さは大きい曲げヤング率が小さい。これは加熱温度が低く完全に生漆が固化されず、生焼け状態で変形しやすくなっているのではないかと考えられる。中国産生漆は、適した温度で加熱することで、通常乾燥より強く硬い接着および固化した状態になると考えられる。本実験の範囲で中国産生漆の最適な加熱条件は、加熱温度 130℃、加熱時間 180 分で圧縮圧力 0.24 kgf/cm²であると考えられる。

加熱によるベトナム産生漆は曲げ強さが中国産および通常乾燥よりも著しく低く、逆に曲げヤング率は通常乾燥よりも大きな値になっている。これは通常乾燥では強く柔軟な接着が、加熱することにより脆く硬い接着に変化したのではないかと考えられる。そしてこれはベトナム産生漆の成分の違いによるものと推測される。加熱温度 130℃、加熱温度 300 分で圧縮圧力 0.32 kgf/cm²以上の加熱を行えば中国産と同様な結果が得られるが、加熱時間の長いのが難点である。

3.3 漆の加熱接着による筒の強度実験について

図 4 は中国産生漆を用いて加熱温度 130℃で製作した筒の加熱時間に対する比例限度荷重の変化を表したものである。加熱時間の増加に伴って比例限度荷重も増し、加熱時間 500 分を過ぎて増加量が鈍った。通常乾燥製作による筒（比例限度荷重約 3

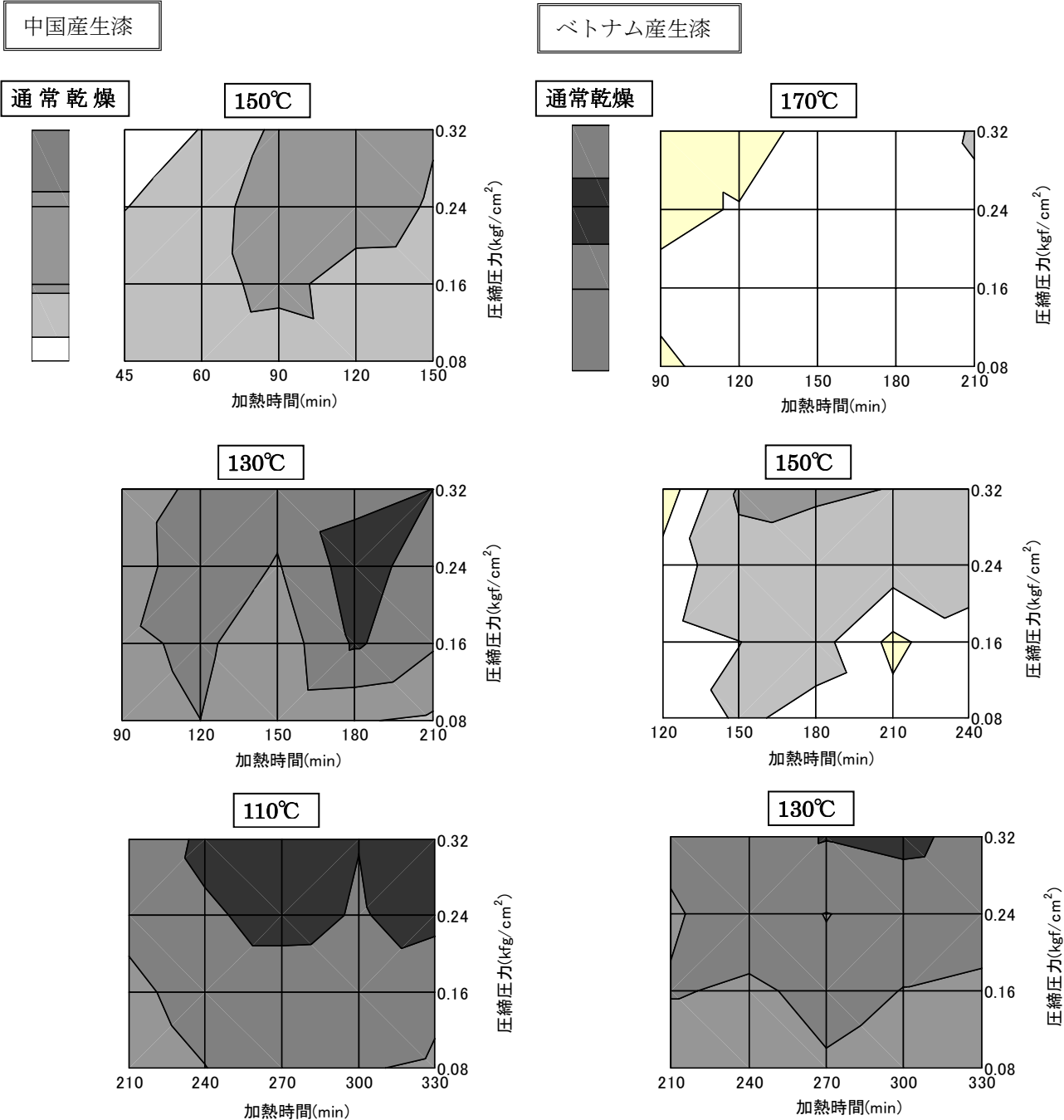


図 2. 加熱温度ごとの加熱時間と圧縮圧力による曲げ強さの分布 (単位 : kgf/mm²)

凡例 : ; 1.8 - 2.4, ; 2.4 - 3.0, ; 3.0 - 3.6, ; 3.6 - 4.2, ; 4.2 - 4.8, ; 4.8 - 5.4

kgf/mm²) との比較では、最大約 1.3 倍の増加があり加熱接着の効果が明らかになった。

4. まとめ

これまで、漆の研究は成分分析や塗膜の性能評価および漆そのものの改良等が中心に行われてきた。漆の接着力に関する研究はほとんどなされず、焼付けによる接着も行われていなかった。今回の試みである、漆の加熱によるつき板の加熱接着は、通常乾燥による器製作の乾燥時間の短縮を目的にした実験であるが、乾燥時間が大幅に短縮されかつ強度等も

大きくなり、予想外の結果が得られた。通常、木材に使用されている熱硬化性接着材は加熱温度が 130°C 前後であり、今回の結果と同様になった。なお、図 2, 3 のグラフの中で、最高値 (黒色) の領域がグラフ外に連続していると考えられるものがあり、その範囲の追実験が必要と考えられる。

謝辞

本研究は日本学術振興会平成 16 年度科学研究補助金 (奨励研究) により行われた。ここに記して謝意を表します。

中国産生漆

ベトナム産生漆

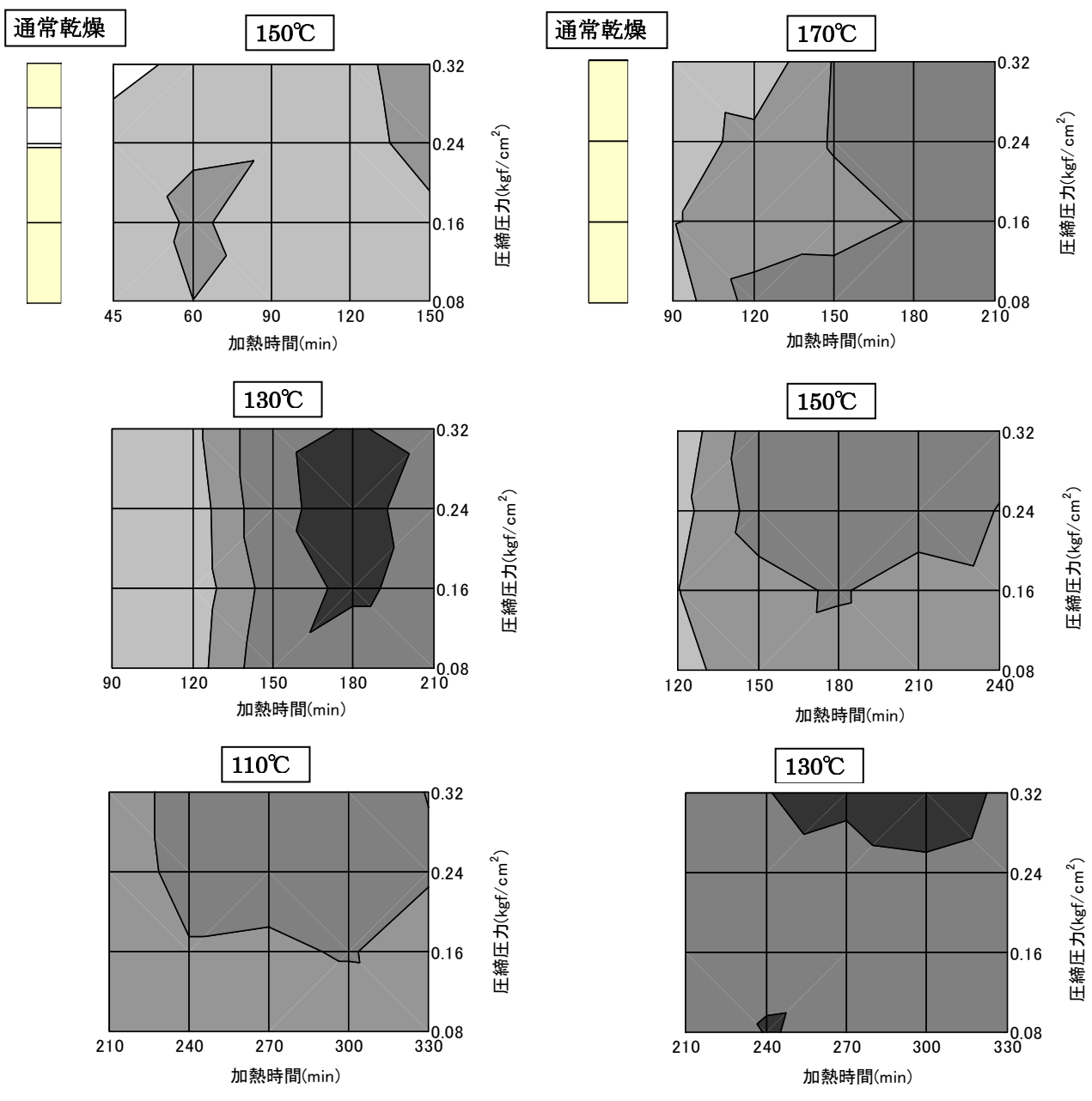


図 3. 加熱温度ごとの加熱時間と圧縮圧力による曲げヤング率の分布 (単位 : kgf/mm²)

凡例 : ; 100 - 200, ; 200 - 300, ; 300 - 400, ; 400 - 500, ; 500 - 600, ; 600 - 700

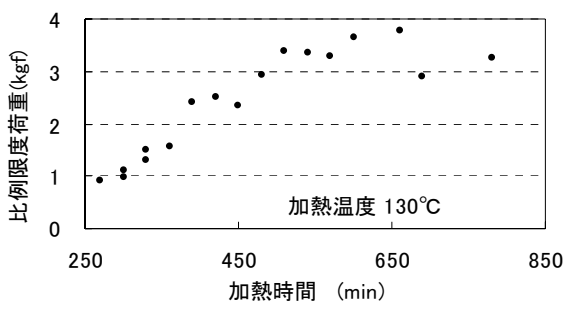


図 4. 筒製作の加熱時間と比例限度荷重との関係

参考文献

- [1] 日本特用林産振興会. 統計「特用林産物需給の推移」. http://www.nittokusin.jp/7_toukei/toukei_f.html
- [2] 木下稔夫他. 伝統的焼付け技法の研究, 保存科学 No.37 1998
- [3] 田所千明. 新しい木地製作技術を用いた摺り漆による漆器の製作, 第 21 回筑波大学技術報告 (2001) 11-18.

発酵食品を使った微生物実験の導入方法の検討

木澤祥恵

筑波大学生命環境科学等支援室（応用生物化学系）

〒305-8572 茨城県つくば市天王台 1-1-1

概要

微生物を初めて扱う学生を対象とした実験のテンプレートとして、発酵食品から微生物を単離して観察する方法を取り上げ、使用する発酵食品、培地、培養方法を検討した。常温および冷蔵品として流通している発酵食品を選び、無菌的にプレートにストリークして好気培養と嫌気培養を行い、限られた時間でより観察がしやすい条件を検討した。

1. はじめに

資源微生物実験（生物資源学類3年生・1学期）、バイオテクノロジー基礎実験（生物資源学類2年生・集中）、応用生物化学実験Ⅱ（生物学類・2学期）等の学生実験補助を行っており、各学類の学生が微生物に初めて接する場に立ち会う機会が多い。今年度は初めて「夏休み自由研究お助け隊」¹に参加する機会をいただいたこともあり、実際に身近な発酵食品から微生物を分離する方法について検討を行った。

2. 方法

2.1 試料

常温および冷蔵品として流通している発酵食品を試料とした。常温で流通しているものではビール（アサヒスーパードライ®）、醤油（キッコーマン丸大豆しょうゆ®）、味噌（生協有機大豆みそ®）、冷蔵品では納豆（生協小粒納豆®）、ヨーグルト（生きて届けるビフィズス菌ヨーグルト/yoplait®）、チーズ（フランス産ブリー、ノルウェー産ブルー）、糀（綿引秀一糀店）、酒かす（月桂冠（株））、キムチ（東海漬物（株））を用いた。

2.2 培地および培養方法

今回の実験では幅広い種類の微生物を分離するため、酵母、カビを培養するとき一般的に使われるマルト培地を使用した。嫌気培養にはこの他に乳酸菌数測定に用いられるBCP加プレートカウントアガール（日水製薬株式会社製）を用いた。組成を表1に示す。

試料をオートクレーブ滅菌（121℃ 20分）した0.8%生理食塩水に懸濁し、火炎滅菌した白金耳を用いてプレートにストリークした。30℃で静置培養を行い、2日から一週間観察を行った。

また、同じ条件で培地を半量にしたプレートを用いてストリークを行い、残りの培地を適温に溶かしてその上から重層して嫌気的な条件とし、同様に培養、観察を行った。

2.3 前培養の必要性和その方法

実際に培養を開始してみたところ、納豆やヨーグルトでは2日～3日でコロニーが観察できたが、他の試料については生理食塩水に懸濁しただけではコロニーの発生がみられず、あるいはコロニーの発生までに一週間近くを要した。一般的な土壌から微生物をスクリーニングする時よりも明らかに生育が悪いため、これは試料の中の微生物が少ないと考えるより培養条件を見直す必要があると考え、前培養を行った。

液体培地（プレート用のマルト培地に寒天を添加せず、液体のままオートクレーブ滅菌したもの）を10ml入れた大型試験管に火炎滅菌した葉サジで試料を添加し、綿栓を付して試験管振とう機で30℃2日間（250rpm）培養を行い、これを前培養とした。培養液を白金耳でプレートにストリークして培養したところ、冷蔵品の試料では微生物の生育が早く均一となり、バクテリアや酵母で2日、カビで4日でコロニーの観察が可能になった。

表1 培地組成

培地名	組成（/蒸留水1000ml）	pH	Agar
Malt培地（マルト培地）	麦芽エキス 20.0g	6	2%
	ペプトン 1.0g		
	ブドウ糖 20.0g		
乳酸菌分離用寒天培地	酵母エキス 2.5g	7	1.5%
	ペプトン 5.0g		
	ブドウ糖 1.0g		
	ポリソルベート80 1.0g		
	L-システイン 0.1g		
	ブロムクレゾールパープル 0.06g		

¹ <http://www.tech.tsukuba.ac.jp/otasuke.html>

3. 結果

3.1 常温流通品からの微生物の単離

常温流通品のビール、醤油、味噌からはコロニーの発生は認められなかった。流通中の過発酵、雑菌の混入などを防ぐための熱処理、ろ過、殺菌剤の添加などによる措置のためと考えられるが、流通品と自家製味噌の比較、冷蔵で流通する濁り酒などとの比較をしてみると新たな考察が得られることも期待される。

3.2 冷蔵流通品からの微生物の単離

3.2.1 納豆

学生実験でも多く使用しているが、好气的条件で比較的容易に生育が可能な *Bacillus.sp* が主であり、その場でサフラニン染色を行い顕微鏡で観察できる。今回は嫌気培養も行ってみたが、生育は見られなかった。(図1)



図1

3.2.2 ヨーグルト

こちらも学生実験で多く使用するが、納豆とは対照的に好气的条件では生育せず、嫌气的条件で生育する乳酸菌を多く含む。マルト培地を重層したシャーレでは、肉眼でのコロニー観察は出来ても写真に写りにくく観察しづらいため、BCP カウントアガール培地に生育したコロニーを示す。BCP カウントアガール培地にはブロムクレゾールパープルが含まれており、乳酸菌の生産する酸により pH が低下すると培地の色が紫から黄色へ変化する。(図2)

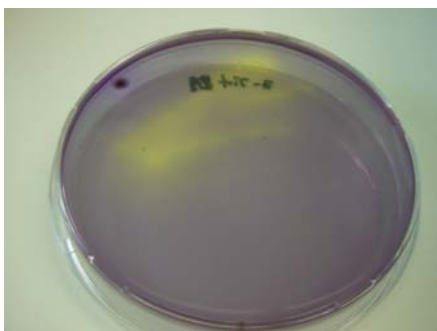


図2

3.2.3 チーズ

カビの生育を期待してブルーチーズとブリーの2種類を使用した。ブルーチーズではカビのコロニーのみ確認された(図3-1)のに対し、ブリーでは好气的なカビの生育とともに乳酸菌の生育が認められた(図3-2)。チーズも製法がさまざま、いろいろな種類の微生物を分離する可能性があり興味深い。



図3-1 ブルーチーズ

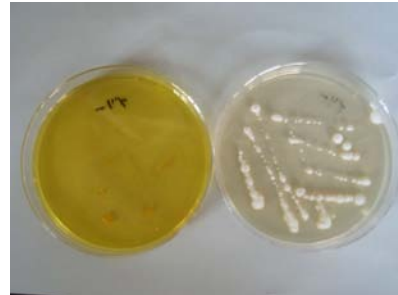


図3-2 ブリーチーズ

3.2.4 糎

流通する時期がごく限られており、夏休み自由研究お助け隊では使用できなかった。冬に再実験を行った。糎は *Aspergillus.sp* を蒸し米に接種してあるため、きれいにカビのコロニーが観察できた。時間的に余裕があれば、ここからスライドカルチャーを作製して顕微鏡観察に続けたい。(図4)



図4

3.2.5 酒かす

清酒の製造工程で出てくる食品なので事前の予想がつかなかったが、好氣的なカビのほかに嫌氣的に酸を産生するバクテリア、酸を産生しないバクテリアなど各種のコロニーを観察できた。単離、染色、顕微鏡観察など観察の材料が多く期待される。(図5)



図5

3.2.6 キムチ

乳酸発酵が行われることが有名なので乳酸菌の生育を期待していたが、ごくわずか乳酸菌と思われるコロニーを観察することができた。(図6)



図6

4. まとめ

微生物を初めて扱う学生を対象とした実験のテンプレートとして、発酵食品から微生物を単離して観察する方法を取り上げ、使用する発酵食品、培地、培養方法を検討した。常温および冷蔵品として流通している発酵食品を選び、無菌的にプレートにストリークして好気培養と嫌気培養を行い、限られた時間でより観察がしやすい条件を検討したところ、常温で流通する食品についてコロニーは観察されず、冷蔵品については試料を生理食塩水で懸濁しただけの物より事前に液体培地で前培養を行うことでシャーレ上でのコロニーの生育が観察しやすいことが確認された。更に、培地を重層することで容易に嫌気

培養が可能になり、好気培養だけでは観察できない乳酸菌などを単離することができた。

今年度の「夏休み自由研究お助け隊 2005」で発酵食品について知りたいとの依頼があり、急遽準備をしたものの試料として使えるものについての予備実験などが追いつかないままで不消化に終わってしまった。現段階ではまだ不十分ではあるが、来年度はこの結果をもとに、自由度が高い中でもいろいろな方面に考察でき、より興味を持ってもらえるような実験を組み立てたいと考えている。その上で、学類の実験においてもより有意義なサポートができるよう検討していく必要があると考えている。

謝辞

今回の実験および資料作製、写真撮影にあたり、多大なご協力をいただきました生命環境科学等支援室応用生物化学系 古川理恵技術専門職員、山末亜貴技術専門職員、有本光江技術専門職員、和田睦子技術職員に感謝申し上げます。また、実験室の使用を快諾してくださいました生命環境科学等支援室生物学類中央室の路川宗夫技術専門職員に深謝申し上げます。

参考文献

- [1] 応用生物化学実験Ⅱテキスト 筑波大学 生物学類 (2005)
- [2] 資源微生物学実験テキスト 筑波大学 生物資源学類 (2005)
- [3] バイオテクノロジー基礎実験テキスト 筑波大学 生物資源学類 (2005)

EPMA 表面分析装置の紹介とボロンの分析

齋藤静夫^A、西田憲正^B、清水雅浩^C

^A筑波大学数理物質科学等支援室、^B筑波大学研究基盤総合センター、^C筑波大学生命環境科学等支援室
〒305-8577 茨城県つくば市天王台 1-1-1

概要

電子プローブ・マイクロアナライザー EPMA (Electron Probe Micro Analyzer) は固体試料表面に細く絞られた電子線を照射して、試料と電子線との相互作用により発生する特性 X 線を効率よく検出することにより、試料を構成している元素とその量を知ることができる分析機器である。

1. はじめに

学際ナノ物質創成・分析室には、平成 13 年度教育研究拠点形成支援経費で走査型電子顕微鏡 SEM (Scanning Electron Microscope) とともに EPMA が導入された。本装置は日本電子株式会社製 (JXA-8100) でボロンからウランまでの元素分析が可能である。筑波大学で EPMA 分析装置が有るのは本分析室と研究基盤総合センター分析部門の 2 か所で、ボロン元素を分析できるのは本装置だけである。今回は EPMA 装置で可能な微小領域の定性分析や定量分析を紹介する。また、今回使用した試料はボロンの配位数がそれぞれ 3 と 4 だけの鉱物である。配位数の違いによりボロンの測定データに違いが出現するかどうかを検討した。

2. EPMA 分析

2.1 定性分析

定性分析は主に含有元素が不明な試料等の元素を特定するためのものである。当分析室では全く未知な試料の分析はほとんどない。いろいろな方法で作成した試料に含まれる元素が確実にその試料に存在するかどうかを確認するために利用されることが多い。均一に分布しているものとして作成した試料の微量元素が実は局在し、定性分析ではその元素が現れないときもある。このようなときは別な方法（組成像の観察や面分析）で確認していく。

2.2 定量分析

定量分析は測定試料に含まれる元素を重量%で定量する。定性分析で試料の元素が特定できれば、次は特定した元素を重量%で定量する。

定量分析で大事なことのひとつに標準試料がある。定量は標準試料の X 線強度と測定試料の X 線強度とを比較して決められる。標準試料は販売されているが、無い場合は自前で用意しなければならない。標準試料の善し悪しは定量分析精度に大きく影響する。標準試料は測定試料と似たものを用意する。測定試料が金属なら金属を、酸化物なら酸化物を選ぶよう



図 1. EPMA 分析装置

にする。また試料の形状が薄膜なら標準試料も薄膜が好ましい。

次に大事なことは測定試料である。EPMA 分析は表面が平らな試料面に垂直に電子線を照射した状態を条件として X 線取出角度 (本装置は 40 度) を決めてある。測定試料は可能な限り測定面を平滑に仕上げる必要がある。

2.3 点、線、面分析

定性・定量の分析手法として測定試料のある点での分析を点分析という。試料上のある線上での構成元素の強度分布を調べるのが線分析である。また試料上の特定領域の強度分布を調べるのが面分析である。

この他に状態分析がある。電子線の照射により発生する特性 X 線のスペクトルの微妙な変化を利用して元素の化学結合状態を知る方法である。

3. 学際ナノ物質創成・分析室

当分析室の EPMA 装置の操作は、基本的にはユーザーが行う。装置を利用する各研究室を単位として責任者が決まっている。責任者は一人で装置を操作できることが前提である。この条件を満たしていない研究室の利用は依頼分析を受け付けている。また、

条件を満たすように延べ 5 日間程度の研修を随時行っている。

4. ボロン化合物の分析

4.1 電子光学条件

はじめに述べたように、本装置はボロン元素の分析が可能である。しかも比較的高感度の分光結晶 (LDE2) が装備されている。配位数の違いによる特性 X 線の微妙な変化を調べる状態分析を試みた。過去に鉄や銅などの重い元素での分析例はあるが、ボロン元素では初めてである。

測定条件は電子の加速電圧: 10kV、プローブ電流: 1×10^{-7} A、プローブ径: $10 \mu\text{m}$ 、ドゥエルタイム (X 線分光器走査時の 1 ステップ当たりの測定時間) 2 秒、PHAゲイン: 128、計測範囲は L 値で 180mm から 210mm までで 0.1mm ステップである。またボロン元素の X 線ピーク強度は非常に弱いので、測定点近傍の 10 個所の測定データを加算し、そのデータをそれぞれの鉱物のデータとした。

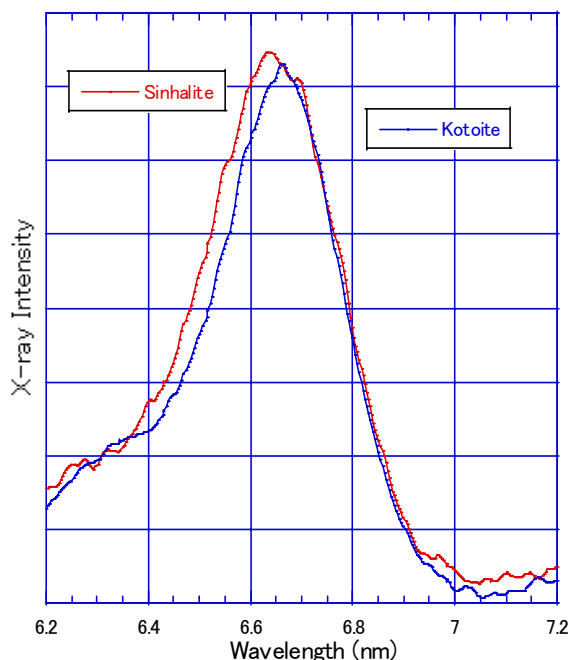


図 2. 硼酸塩鉱物の X 線スペクトル

4.2 測定結果

今回使用したサンプルの鉱物名と構造式を表 1. に示す。3 および 4 配位の硼素珪酸塩鉱物がそれぞれ

表 1. X 線ピークの波長と半価幅および B-O 結合距離

	鉱物名	構造式	配位数	波長 (nm)	半価幅 (nm)	B-O 結合距離 (Å)
硼素珪酸塩	苦土電気石 (Mg-dravite)	$\text{NaMg}_3\text{Al}_6(\text{BO}_3)_3\text{Si}_6\text{O}_{18}(\text{OH})_4$	3	6.664	0.262	1.372
	鉄電気石 (Fe-schorl)	$\text{NaFe}^{++}_3\text{Al}_6(\text{BO}_3)_3\text{Si}_6\text{O}_{18}(\text{OH})_4$	3	6.679	0.284	1.374
	デュモルティエ石 (Dumortierite)	$\text{Al}_7(\text{BO}_3)(\text{SiO}_4)_3\text{O}_3$	3	6.683	0.263	1.358 0.004, -0.005
	Average			6.675	0.270	
	リードマグネライト (Reedmergerite)	NaBSi_3O_8	4	6.684	0.261	1.472 0.011, -0.02
	ダンブリ石 (Dunburite)	$\text{CaB}_2\text{Si}_2\text{O}_8$	4	6.658	0.307	1.474 0.024, -0.018
	チンゼン斧石 (Tinzénite)	$\text{CaMn}^{++}\text{Al}_2\text{BSi}_4\text{O}_{15}(\text{OH})$	4	6.657	0.290	1.488 0.046, -0.048
Average			6.666	0.286		
硼酸塩	小藤石 (Kotoite)	$\text{Mg}_3(\text{BO}_3)_2$	3	6.662	0.251	1.384 0.008, -0.008
	シンハリ石 (Sinhalite)	$\text{MgAl}(\text{BO}_4)$	4	6.645	0.300	1.504 0.082, -0.062

3 サンプル、硼酸塩鉱物がそれぞれ 1 サンプルの合計 8 サンプルの分析を行った。

図 2.~図 4.に各サンプルのボロン $\text{K}\alpha$ 特性 X 線スペクトルを示す。図 2.は硼酸塩鉱物の 3 配位と 4

配位の比較である。図からわかるようにピーク値の波長の違いが明らかである。

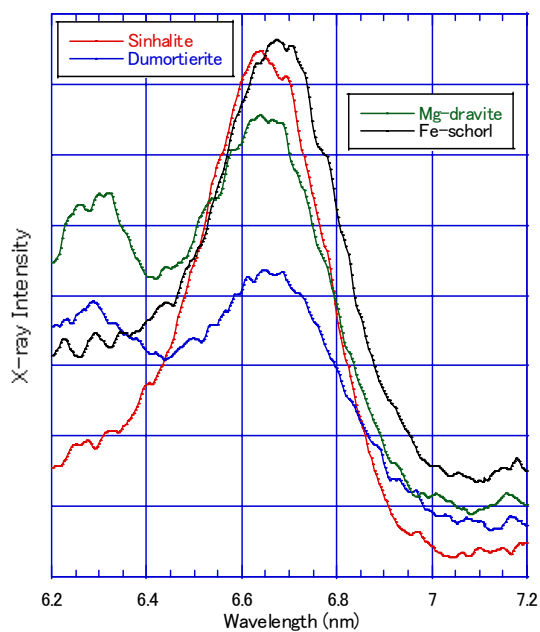


図 3. 4 配位のシンハリ石と 3 配位の
硼素珪酸塩鉱物

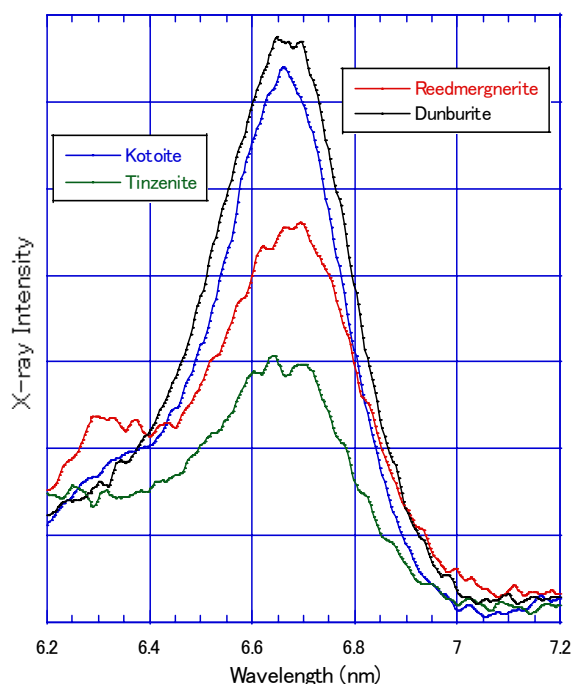


図 4. 3 配位の小藤石と 4 配位の硼素
珪酸塩鉱物

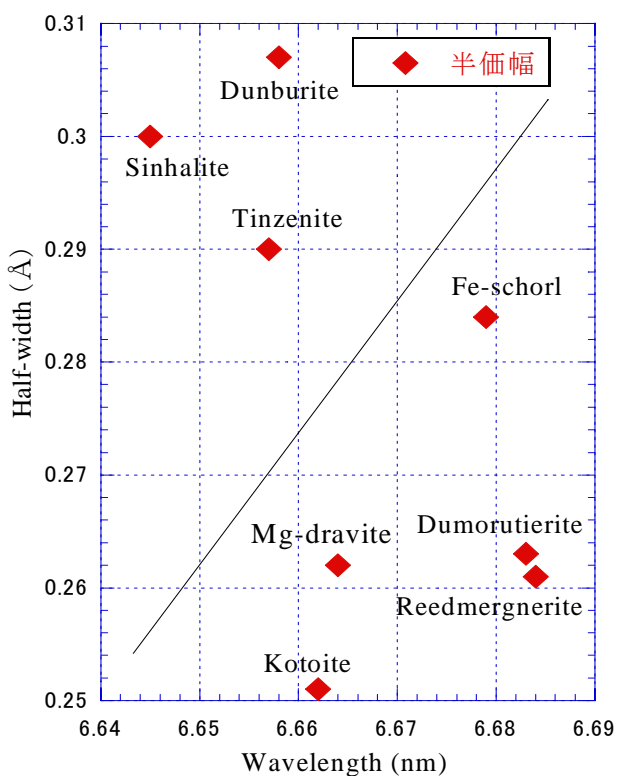


図 5. X 線ピーク波長と半価幅

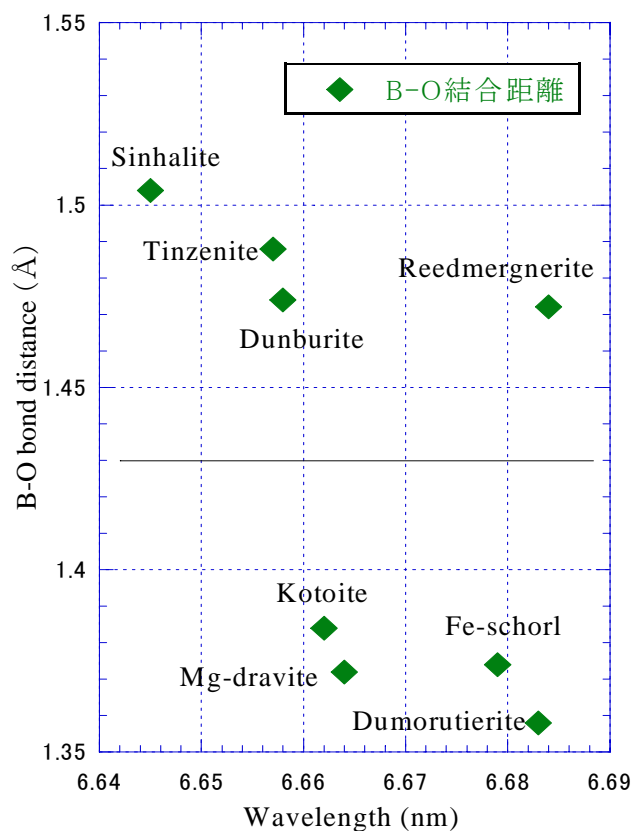


図 6. X 線ピーク波長と B-O 結合距離

図 3 はシンハリ石と 3 配位の硼素珪酸塩鉱物の比較である。図 3 は図 2 より波長の違いが顕著ではないが、同じ傾向を示した。

図 4 は小藤石と 4 配位の硼素珪酸塩鉱物の比較である。図 4 もリードマグネライトのデータを除けば図 2 と同じ傾向を示している。

5. 考察

すべてのサンプルの特性 X 線スペクトルデータからピーク値の波長と半価幅を求めた。X 線スペクトルデータは生データを 2 回スムージングしたデータである。その結果を表 1.に示す。また表 1.には構造解析データの文献から B-O 間の結合距離データを記入した。波長と半価幅、波長と B-O 結合距離の関係を図 5.と図 6.に示す。

図 5.は右肩上がりの直線を境にして左上が 4 配位鉱物、右下が 3 配位鉱物にグループ分けが可能である。ただ 4 配位鉱物のリードマグネライトが 3 配位グループの位置にある点は今後の検討課題である。図 6.については水平に引いた直線の上下で上が 4 配位鉱物、下が 3 配位鉱物に分けられる。

今回、硼酸塩鉱物において X 線スペクトルデータからボロン元素の波長ピーク値に違いが現れた。EPMA 分析データから配位数の違いによると考えられるピーク値の違いを確認したのは初めてである。

硼素珪酸塩鉱物についてはボロンの周りにより重い元素が多数あり、その作用が影響していると考えられる。いずれにしてもまだサンプル数が少ないので今後追試が必要である。

謝辞

今回のボロン分析においてはサンプルのボロン含有鉱物の提供と適切な助言を頂いた生命環境科学研究科地球進化科学専攻教授 木股三善氏に深く感謝致します。

参考文献

- [1] 日本表面科学会編. 電子プローブ・マイクロアナライザー, 丸善 (1998)
- [2] Chris, L., Ross, J.A. and Nancy L.R. (1994): The structural redetermination and crystal chemistry of sinhalite, $MgAlBO_4$ Eur.J.Mineral. 6,313-321
- [3] H. Effenberger, F.Pertlik,(1992): Verfeinerung der Kristallstrukturen der isotypen Verbindungen $M_3(BO_3)_2$ mit $M=Mg, Co$ und Ni (Strukturtyp:Kotoit) Zeitschrift für Kristallographie 166, 129-140.
- [4] Moore,P. B., T. Araki, (1978): Dumortierite, $Si_3[Al_{6.75}X_{0.25}O_{17.25}(OH)_{0.75}]$: a detailed structure analysis, N. Jb. Miner. Abh. 132, 231-241.
- [5] Fleet, M.E. (1992): Tetrahedral-site occupancies in reedmergnerite and synthetic boron albite($NaBSi_3O_8$)
- [6] Phillips, M.W., Gibbs,G.V. and Ribbe,P.H.(1974): The Crystal Structure of Dunburite: A Comparison with Anorthite, Albite, and Reedmergnerite, Am. Mineral., 59, 79-85.
- [7] Y. Takeuchi, T. Ozawa, T. ito, T. Araki, T. Zoltai and Finney, J.J. (1974): The $B_2Si_8O_{30}$ groups of tetrahedra in axinite and comments on the deformation of Si tetrahedra in silicates, Z. Kristallogr. Bd., 140, 289-312.

C軸制御による翼型ノズル形状の加工

内田豊春

筑波大学研究基盤総合センター 工作部門

〒305-8577 茨城県つくば市天王台 1-1-1

概要

強力な旋回流を発生させる装置の重要な部分である翼型ノズルの加工を、本学の研究基盤総合センター工作部門（以下、工作部門とする）が設備する、主軸割り出し機能（C軸制御）とミーリング機能を有するCNC旋盤、いわゆるターニングセンターで行った。

翼型形状の加工に際しては、翼断面の形状を再検討し、工具径補正值は2D-CADとExcelを利用して適切な値を求めた。この結果、C軸とZ軸の2軸を同時に制御することで、工作依頼者が要求する形状の翼型ノズルができた報告である。

1. はじめに

流体の渦崩壊を利用して微細な気泡を生成することができる。ただし、渦崩壊を生じさせるには非常に強い旋回流を必要とする。

工作部門では、この旋回流を発生させる装置の重要な部分である翼型ノズルを、実験目的に合わせた形状で各種加工している。図1に最近加工した翼型ノズルを示し、形状を簡単に説明する。

翼型ノズルは、半球状をした先端部と6枚の翼(vane)から構成され、図1の上が上流部、下が下流部となる。翼の先端は、流体が抵抗少なく流れるように、R形状をしている。上流部の翼幅は広く、直線に近い緩やかな曲線をしているが、下流部に行くに従い翼幅も細くなり、曲線も90°近く曲がった形状をしている。下流先端部ではエッジ状になる。この翼と翼の間で形成される溝がノズル形状となる。

本報告では、初期検討（翼型ノズル形状が加工できるか否かの最初の検討）から実際の加工に至るまでを述べる。

初期検討の説明は、初めて加工した翼型ノズル形状を例に取り、実際の加工は図1の翼型ノズル形状を例に取り説明する。

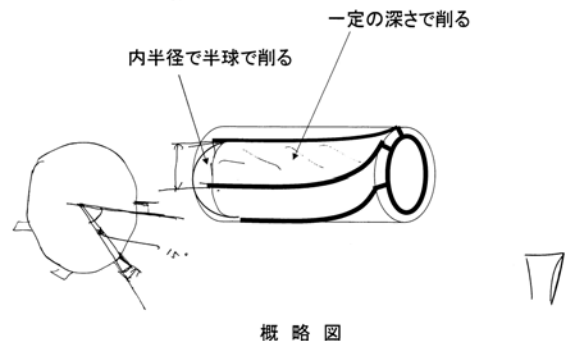
2. 初期検討

最初の翼型ノズル加工に際しては、図2に示す形状の概略と、各部の寸法等が記入された仕様書、それに依頼者自身がアクリル材から削り出した簡単な形状見本が提示された。

仕様書には、翼型ノズルの半径、全長、vane数、原点からの距離に対する円周角を算出する式、vane角、vane幅、溝角、溝幅、溝深さ、vane形状（縦軸に円周角、横軸に原点からの距離で描いた曲線）が記載されている。この仕様書と形状見本を元に翼型ノズルの形状が、工作部門が設備するOKUMA製ターニングセンターLB15II-MWで加工可能な形状で



図1. 翼型ノズルの形状



翼形状R=2.1cm; Vane:6枚

半径(R)=2.1(cm), L=5.0072(cm) 孔 a=1.6mm程度

vane数=6(枚)

円周角=27.2837 $\left(-0.0911817 + \frac{0.476315}{5.2238 - z} \right)$ (度); z:距離(cm), 0<z<L

vane角=15.(度); vane幅=0.549779(cm)

溝角=60.(度); 溝幅=2.19911(cm); 溝深さd=0.5 cm

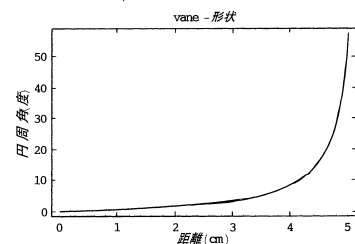


図2. 翼型ノズルの概略と仕様

表 1 LB15 の仕様 (抜粋) 単位 : mm

能力	ベッド上の振り	530
	往復台上の振り	340
容量	ノーズ間距離	760
	最大加工径	340
移動量	X軸移動量	260
	Z軸移動量	520
	C軸移動量	360° (0.001°) C軸ダイレクト制御

あるか、検討を行った。LB15 II - MW の仕様を表 1 に示す。(以下、ターニングセンターを LB15 とする)
 詳細な検討の結果、翼の曲線形状加工に関しては、加工ワークを取り付ける主軸の回転角度が制御可能なので、問題無く加工できることが分かった。しかし、翼型ノズル全体の加工に関しては、解決しなければならない以下の問題点が明らかになった。

2.1 翼断面形状の問題

LB15 の座標系を図 3 に、図 2 の概略形状から描き直した翼断面形状と、この形状を加工する場合のエンドミル位置の模式図を図 4 に示す。主軸回転角中心が C 軸、中心の軸方向が Z 軸となる。(X, Y の各軸は直感的な見やすさと説明のため 90° ずらした)

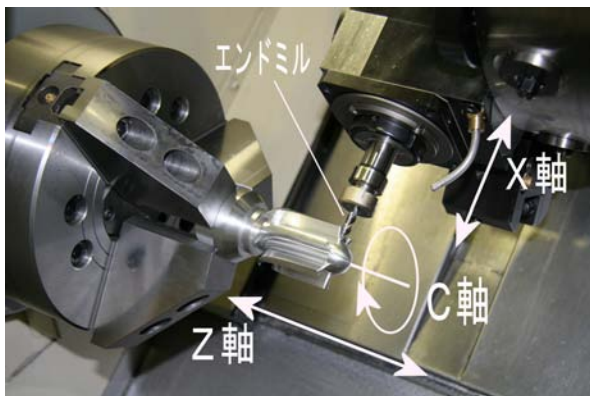


図 3. LB15 の座標系

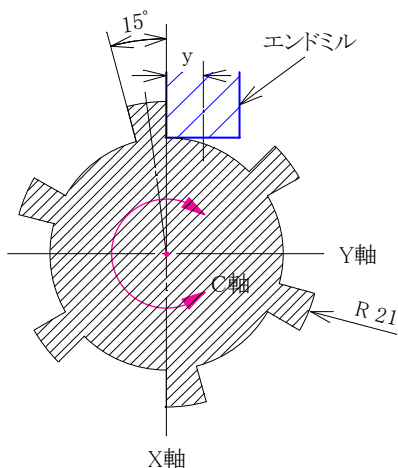


図 4. 翼断面形状とエンドミルの位置

図 4 のように、翼側面は軸中心に向かっている。LB15 は、表 1 の仕様からも分かるように Y 軸を持たず、回転工具であるエンドミル中心と主軸中心が一致し固定されている。このため図 4 の翼断面形状を加工するには、y 分だけ Y 軸がオフセットできる NC フライス盤、または Y 軸制御が可能なターニングセンター等の NC 複合加工機を使用しないと加工が非常に困難である。限りなく細いエンドミルを使えば、この形状は加工できるが非現実的である。

2.2 工具径補正の問題

翼型ノズルの概略と仕様で記された形状式から描いた翼形状を図 5 に示す。

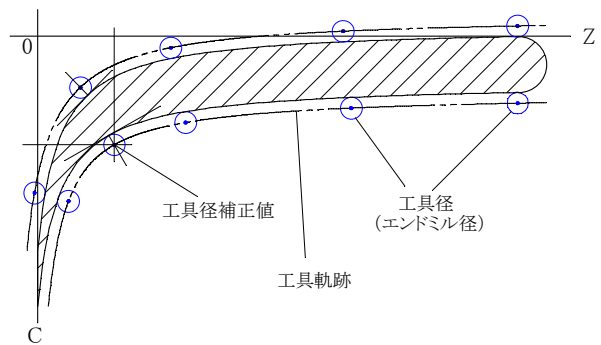


図 5. 翼形状と工具補正曲線 (工具軌跡)

ハッチング部分が翼形状を表し、上下の 2 点鎖線は各点の工具径補正值を曲線で表した。また、実際に加工する場合の工具径中心が通る軌跡でもある。

図からもわかるように、翼の曲線形状を正確に加工するには、切削工具を曲線の法線方向に工具半径分ずらした場所へ正確に位置決めしなければならない。これを工具径補正といい、補正された値を工具径補正值という。

3. 問題点への対処

3.1 翼断面形状の検討と工夫

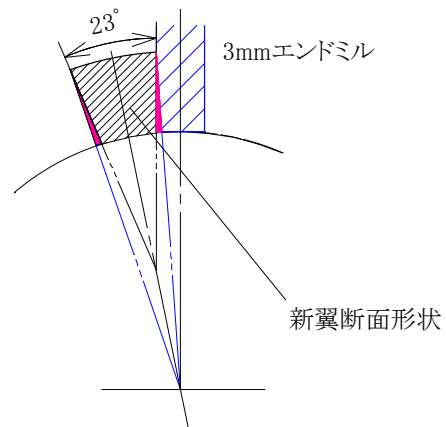


図 6. 検討した翼断面形状

翼断面形状を再検討するため、2D-CAD を使いエンドミルと翼断面の位置関係を見直した。LB15 と同じくエンドミルを軸中心上に描き、翼断面図を回転させながら描いたところ、図6の翼断面形状が得られた。細かなハッチング部が新翼断面形状。

図のように、正式な形状より根本部分が細くなる。得られた形状を、加工依頼者を交え検討した結果、この形状でも問題はないと判断され、Y 軸を持たないLB15でも、C 軸とZ 軸の同時2軸制御で加工可能な形状となった。加工に使用するエンドミル径も、この再検討で適切なものが判断できた。

3.2 工具径補正值の計算

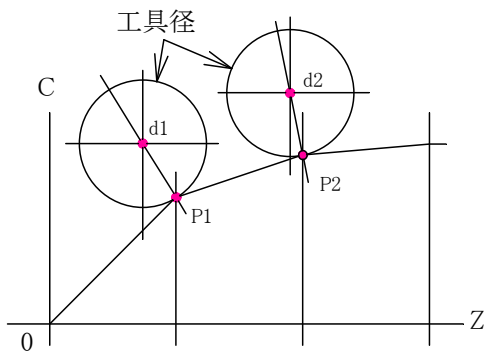


図7. 工具径補正值の計算

工具径補正值は図7に示すとおり、形状式から算出された座標値の3点を取り、線O-P1の傾き、線P1-P2の傾きから、点P1に対する法線の傾きが計算できる。この法線から工具半径分d1の位置が工具補正值になる。

以上の各点の数値計算は、全て表計算ソフトであるExcelで行った。形状式から出てくる数値は円周角なので、計算に際しては角度を円周長さに換算した。

例えば、加工例とした42mmの翼型ノズルを平面に展開すると、 $42 \times \pi = 131.947$ となる。また、 1° は、 $131.947/360 = 0.366$ となる。

平面に展開された円周角は、NCデータ作成時に再びC軸の値として角度に換算される。

4. 実際の翼型ノズル形状の加工

各種製作をしてきた翼型ノズル形状は、翼の全長、

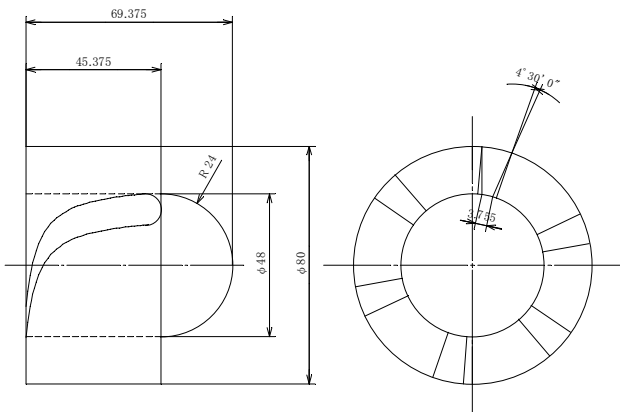


図8. 80mm翼型ノズルの寸法形状

直径、溝深さ、溝幅、先端半径が違う程度で、基本形状は同じである、加工手順も同じであるので、実際の加工説明は、図1の翼型ノズル形状で行う。

4.1 形状

翼型ノズルの寸法形状は、全体の長さが69.4mm、先端部の球面R24mm、翼の長さ45.4mm、翼の外径80mm、溝深さ16mm、翼数6枚(60°間隔)である。

80mm翼型ノズルの寸法形状を図8に示す。

4.2 材種と切削工具

翼型ノズルの材種は、切削性が良好なアルミニウム合金(JIS A2017)を採用した。

切削工具は、翼形状の粗加工用としてハイス5mmラフィングエンドミル、仕上げ用は同じくハイス6mmエンドミルを使用した。5mmと6mmの使い分けは、仕上げ代として0.5mm残すためである。

半球面と外径の切削加工は、粗加工、仕上げ加工共に、スロアウェイ片刃バイト1本で行った。

4.3 NCデータの作成

前述された工具径補正等に関する事項を踏まえ、NCデータを作成した。

翼形状曲線のデータは、翼長Zを1mm間隔で分割し、各点の座標を直線をつなぐ直線補間とした。

NCデータの作成手順を説明する。

- (1) Excelで計算された工具径補正值は、CSVファイル等のテキストファイル形式で保存。
- (2) 保存されたCSVファイルをエディタで編集し、NCデータを作成する。
- (3) 作成したNCデータは、LB15の数値制御装置(OSP5020L)へ転送し加工準備が整う。

4.4 加工手順

翼型ノズル形状の加工手順を簡単に説明する。

- (1) 加工ワークの直径85mm長さ110mmアルミニウム合金丸棒の片側を、LB15の生爪チャックのつかみ径に合わせ、汎用旋盤で切削。
- (2) LB15に着け換え、仕上げ代0.3mmを残し外径形状を切削。
- (3) 5mmラフィングエンドミルにより、翼形状と溝部を粗加工。
- (4) 6mm4枚刃エンドミルで、翼形状と溝部を仕上げ加工。
- (5) 外径形状の仕上げ代0.3mmの仕上げ切削を行い、LB15による加工は終了。
- (6) 最後に、生爪チャックつかみ代を汎用旋盤で削り落とし、翼型ノズル形状が完成する。

5. まとめ

今回のような翼型ノズル形状の加工では、翼型形状を描画するだけでNCデータの作成が可能な、3D-CAD/CAMソフトの使用が一般的である。しかし、LB15用の3D-CAD/CAMソフトは所有していない。

そこで、今までの加工経験とNC加工機の各軸の動きを理解していることで、3D-CAD/CAMソフトを使用せずに、図2のラフスケッチから要求された形状の翼型ノズルを完成させた。

初め、依頼者の希望する翼型ノズルの材種は、ステンレス鋼(JIS SUS304)であったが、最初は試作的な意味もあり、切削性の良好なアルミニウム合金(JIS A2017)を採用した。

完成した翼型ノズル形状は、実験に使われ良好な結果を得ている。その様子を図9に示す。

翼型ノズル形状を加工するに当たり、加工依頼者と加工者は、事前に綿密かつ詳細な打ち合わせを行った。その結果、当初、加工不可能と思われた翼の断面形状は、形状を若干変更することで現有する加工機械で加工が可能となった。この事は大学の工作部門として非常に重要な意味を持っている。加工依頼者と加工者の連携が重要な、今回のようなゼロからの試作的な仕事は、加工する人間のスキルをかなり向上させる。

謝辞

本報告の作成にあたり、依頼者でもあり、資料を提供していただいたシステム情報工学研究科構造エネルギー工学専攻京藤敏達助教授、研究基盤総合センター工作部門長松内一雄教授、長田秀治講師のご支援をはじめとし、工作部門の皆様の協力に感謝いたします。

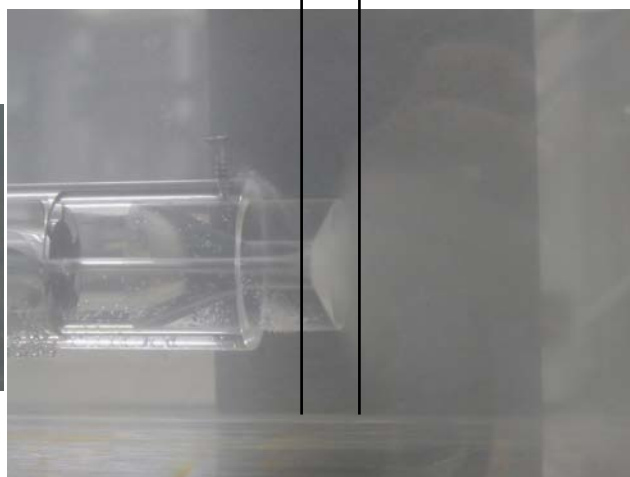
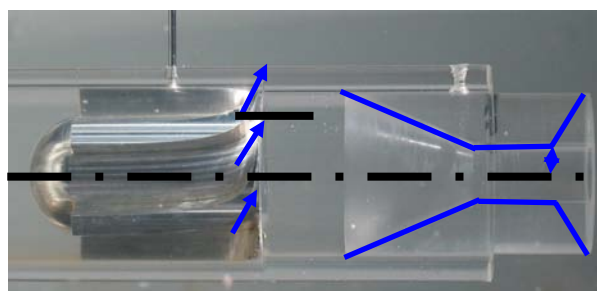


図9. 翼型ノズルによる実験の様子

技術報告

放射性同位元素使用施設の火災対策

松尾邦夫

筑波大学研究基盤総合センター アイソトープ部門

〒305-8577 茨城県つくば市天王台 1-1-1

概要

放射性同位元素に関わる不祥事は JCO の大事故に限らず紛失、湧出、許可外の不正使用等些細な事例を入れても毎年発生している。世界で唯一の被爆国である我が国は、とりわけ放射線に対しては敏感に反応し、放射線関連の不祥事は大きく報道等で扱われている。しかし、残念ながらそれらの報道内容は、単に危機感を強調し理論的に正確な考察がなされているとは思えないものも見受けられる。一方、近年において、国際的なテロの危機が身近に発生するようになり、国の関係当局もテロ対策等の危機管理に対して真剣に取り組まざるを得ない状況になってきている。本報告はこのような状況を踏まえて、医学放射線施設を例に火災発生時における種々の問題を考察した。

1. はじめに

昨年6月1日に大幅に改正された放射線障害防止法が施行された。これは1996年IAEA（国際原子力機関）がFAO（国連食糧農業機関）やILO（国際労働機関）等と共同で「電離放射線に対する防護及び放射線源の安全のための国際基本安全基準（BSS）を刊行した^[1]。我が国もBSS及びNRPB（英国放射線防護庁）で示された核種における免除レベルを取り入れ、放射性同位元素の規制値を大幅に改訂した。この規制値の元になる概念は通常使用時と火災等事故時における使用者及び公衆の被曝を合理的に評価し、核種毎に規制を免除する放射能と放射能濃度を決定する事にある。一方、この改訂と相俟って、米国の同時テロ以来、我が国においても対テロ対策に真剣に取り組む必要性から、文部科学省や茨城県等の通達によりテロの対象となりうる原子力施設や放射性同位元素等取扱施設に対し危機管理に関し尚一層の対策を求められているところである。また、これらの事とは別に、数年前より文部科学省や消防庁等からも放射線施設における火災対策の強化と所轄消防署との情報交換等の連携が求められている。

2. 施設の現況

当然の事であるが放射線傷害防止法においても、放射線施設の設置にあたっては、火災、地震等の危険に対して放射性同位元素等が散逸し、放射能汚染や放射線が環境に影響しないように十分厳しい設置基準を満たしていなければ許可は得られない。例え

ば、主要構造部は耐火構造とし、放射性同位元素の廃棄物は耐火性の容器に保管、放射性同位元素の貯蔵室や廃棄物保管室の扉は特定防火設備防火戸とし、貯蔵室のダクトには防火ダンパーを有す事などがある。また、火災以外の危機管理対策では、放射線施設の管理区域及び貯蔵室の出入りは特定の有資格者のみに貸与したカードがなければ解錠できず、扉が開閉する瞬間に監視カメラによってVTRに記録されるようになっている。したがって、有資格者が不正をしない限り他の者がこれらの施設に侵入することはできない。当該医学放射線施設以外の学内の放射線施設においても、概ね同様の措置がなされているはずである。しかし、悪意の第三者が大きな力を用いて故意に侵入を試みた場合は、これらの対策が万全であるかは不明である。また、使用者等の過失により、火災を発生させることも十分考えておかなければならないであろう。

3. 総務省消防庁の原子力施設等消防活動対策マニュアルの概要

3.1 事前対策（あらかじめ放射線施設と協議し定めておくもの）

- ・消防隊の誘導
- ・消防隊への情報提供
（事故現場の経路、緊急避難口、注水及び破壊禁止場所、立ち入り禁止場所とその理由、被曝と汚染のおそれ、放射性同位元素の概要とその影響、放射線測定データ等）
- ・消防隊への提供可能資機材
- ・隊員の汚染検査及び除染体制
- ・施設との共同訓練

3.2 火災等事故時の対策

- ・通報受信時の情報収集
（発生時刻、火災等の種別、場所、被曝或いは汚染のおそれ、放射線量率、放射性同位元素拡散危険の有無等）
- ・先着隊の活動にあたって
（隊員の安全確保のため情報収集の相手として放射線取扱主任者を適任としている。）
- ・放射線の検出活動
- ・消防警戒区域の設定
- ・汚染検査及び除染

以上は、平成14年6月に文部科学省原子力安全課放射線規制室長通知において、放射線関連の火災事故に関し、所轄消防機関との連携について述べた通知文に添付されたマニュアルの概略である^[2]。本報告ではこれらのマニュアルにおける幾つかの項目を含め以下検証を進めてみる。

4. 放射性同位元素等の保管の状況

4.1 密封放射性同位元素

1階のガンマ線照射装置には、平成17年11月現在の減衰量で約93TBq（搬入時で約146TBq）の放射能を有する¹³⁷Cs線源がある。これは、半減期が約30年なので1年経過すると約2.3%放射能が減衰する。通常の使用時に線源は照射セル内に封入された状態にあるので、使用者及び周辺にはガンマ線による被曝は殆どない。図1に示したように、ステンレス封入の線源は厚さ平均1.5cmの鉛で遮蔽されており、更にその鉛は約5mm～10mmの厚さの鋼板によって覆われている。

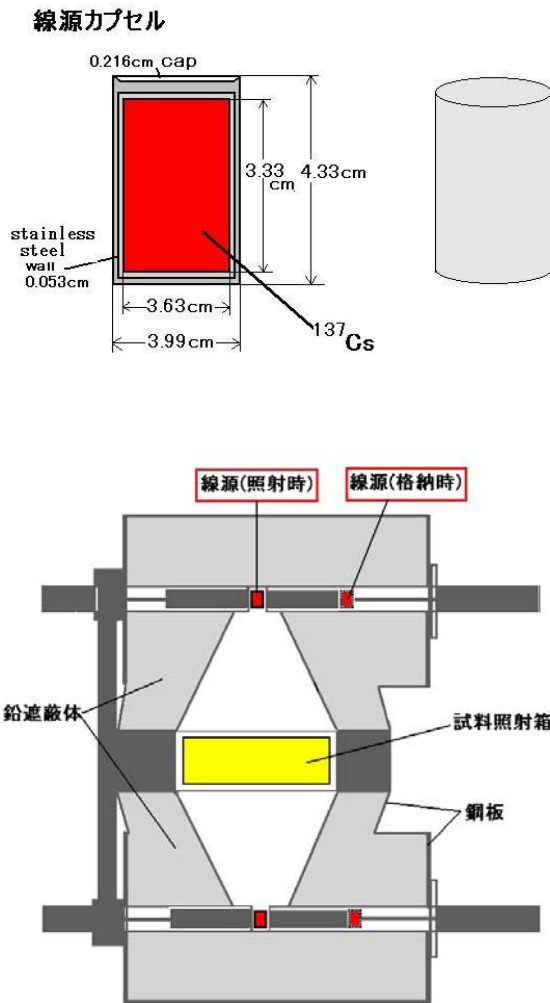


図1. ガンマ線照射装置

4.2 非密封放射性同位元素

当該施設で使用許可を受けた放射性同位元素は19核種であるが、最近5年間に使用されている核種は表1に示す12核種である。年間使用量、年間保管量は5年間の実績値の平均量であり、単位は何れもKBqである。また、線源の保管状態は、図2のとおり、放射線の種類及びエネルギーによって遮蔽構造が適宜異なっている。使用者は、これを使用の都度、貯蔵室から持ち出してそれぞれの実験にあわせて希釈、分注等をする。

表1. 放射性同位元素の保管量等

核種	年間使用量 KBq	年間保管量 KBq	1日最大使用 量 KBq	最大搬入 量 KBq
3-H	586860	5342275	832500	37000
14-C	55203	109389	222000	9250
32-P	4184093	264494	370000	370000
33-P	445497	23420	74000	37000
51-Cr	157005	62570	74000	74000
35-S	1454973	290008	92500	92500
125-I	511032	211229	44400	44000
45-Ca	15584		18500	18500
99m-Tc	536500		185000	185000
123-I	19400	18000	7400	7400
201-Tl	177600	70300	37000	37000
75-Se	1000		9250	9250

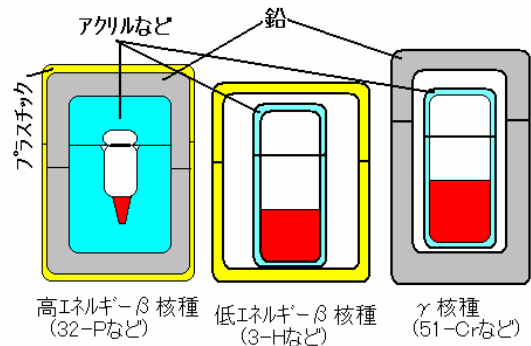


図2. 放射性同位元素の保管状態

4.3 放射性廃棄物

放射性廃棄物は液体廃棄物と固体廃棄物に大きく分けられる。火災で問題となるのは重量や容量からでなく放射性同位元素の移行割合を考慮しなければならない。これは液体廃棄物が最も多く、概ね使用量の9割程度になる。残りの1割弱が固体廃棄物のプラスチックやゴム等の手袋になり、その他は紙等の可燃物やガラス等の不燃物となる。したがって、火災の際に注意しなければならないものは実験の際に一時的に持ち出して使われる³²P-無機廃液及びその他の核種の無機廃液である。また、消防法による危険物で低温の引火特性を有するトルエンやキシレンを主成分とする液体シン

チレーション測定系の有機廃液も実験室に持ち出される。ただし、これらの有機廃液は、放射性同位元素の濃度としてはそれほど高くはなく、核種としても危険度の小さい ^3H や ^{14}C を主に含有している。また、これらの液体廃棄物は、保管の基準がポリエチレン等の容器に入れ、更に不燃材である鉄製或いはステンレス製の容器に収納するようになっている。

5. 火災時における放射性同位元素の状況

放射線施設が万一、火災になった場合、建屋内の放射性同位元素が如何なる状況になるかを最も考慮しなければならない。そこで、マニュアルにもあるとおり、大きく分けて被曝と汚染について考察する。まず、被曝について考えると、火災による熱損傷によって密封された放射性同位元素の遮蔽体は溶融し、遮蔽能力がなくなる可能性がある。その結果、放射能の高い密封線源の漏洩放射線量率が急激に増大する。次に、非密封の放射性同位元素は、線量率は低い、放射性物質自体が燃焼に伴う高熱による蒸発等で空気を汚染し、作業者がこの空気を吸入することにより内部被曝をもたらすことを考慮しなければならない。また、非密封の放射性同位元素は注水により放射性同位元素が飛散し、水を汚染して壁、床、人体等の周辺環境に拡大するおそれがある。一方、密封線源の損傷は、耐熱構造のカプセルに封入されているので線源自体による汚染の可能性は少ない。

5.1 密封線源による外部被曝

1階のガンマ線照射装置の ^{137}Cs 線源を覆う鉛遮蔽物は328度で溶融する。仮に、火元が1階からだと、この状況は火災の比較的初期の段階で到達するかもしれない。しかしながら、鉛は厚い鋼板に覆われているので、溶けた鉛は簡単に流出しないであろう。もし、火災の程度が更に進行した場合、鋼板の溶接部分や各連結部等が破壊され、中の鉛が流出することを考えなければならない。そこで、この鉛遮蔽がなくなった場合を想定して線量を計算すると表2のようになる。表中の線量率は何れも西側の約7.4 m離れた管理区域境界の点での計算値である。これより近い西真横の点は階段があるので計算を省略した。計算条件は、通常時の漏洩線量の計算と火災時の状況でAからDまでに示した如く、コンクリート壁を破壊したときや遮蔽の効果が全くない場合などを想定して計算した。更に、周辺の線量をできるだけ小さくするために、緊急措置として砂袋のブロックを積み上げた場合の線量率を表2に及びその遮蔽効果を図3に示した。砂による遮蔽のデータは文献^[3]にないので実際の ^{137}Cs 線源を使用して著者が実験により得たものである。線源から遮蔽体までは、僅かにコリメートされた条件なので、透過率から求めた

表2. 密封線源からのガンマ線量率

	鉛	内壁コンクリート	外壁コンクリート	砂囊の使用	線量率 (mSv/h)
通常時	15cm	18cm	20cm	-	0.0000007
火災時A	-	18cm	20cm	-	10.80
火災時B	-	18cm	-	-	42.34
火災時C	-	-	-	-	132.30
火災時D	-	-	-	20cm	7.28

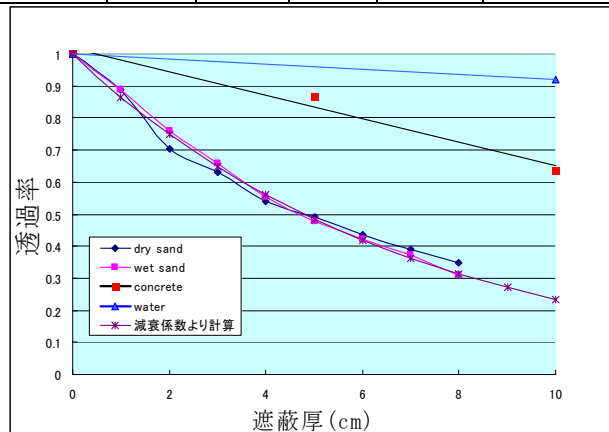


図3. 砂の遮蔽効果

減衰係数は実際より厳しい数値であるかもしれない。遮蔽体のない線源が剥きだしになった状態では、点等方線源に近似した条件になり、ビルドアップ効果の影響が大きくなって線量はもう少し過大になる事が考えられる。

5.2 非密封線源による被曝と汚染

非密封の放射性同位元素使用時に火災が発生した時、使用者のとるべき行動として、余裕がある場合は放射性同位元素を貯蔵室に戻すことは間違った判断とはならないであろう。何故ならば、貯蔵室は防火ダンパーで換気が遮断され、堅牢な耐火構造になっているからである。万一、全面的延焼になっても、室内は殆ど燃えるものがないので、放射性同位元素による損害は最低レベル（高熱による放射性標識物の分解など）に抑えられるかも知れない。むやみに管理区域外に持ち出すことは、放射性同位元素が混乱にまみれて所在不明になったり、周辺に不要な汚染をもたらすことになりかねない。更に、緊急性を要求される状況では、実験室内のフードに収納することも一つの選択肢になり得る。フード内であれば消火等の際、とりえず汚染や飛散の可能性は少なくなるからである。次に、最も緊急を要する場合は最悪の想定である放射性同位元素を持ち出す余裕のない状況が考えられる。このような最悪の状況で、非密封放射性同位元素からの外部被曝線量を以下のように仮定して計算する。通常の使用状態では表1の1日最大使用量は殆ど使われない。現実的には、図2のような搬入時の保管容器から、必要量の放射性同位元素を取り出して実験を始める場合が多い。し

たがって、実験室に、ある瞬間存在する最大量の放射性同位元素は表 1 の最大搬入量と思われる。ここでは表 1 の全ての核種が同時に存在したとして、また、容器の遮蔽体はないものとし、作業員等が 50cm の近距離で受けるであろう実効線量を計算すると約 1.5 μ Sv/h となる。次に、非密封の放射性同位元素の飛散によって作業員等が呼吸する際の内部被曝を計算する必要がある。そこで、実験室に存在する最大搬入量の 50% が飛散するものとして¹⁴⁾空气中放射性同位元素濃度から内部被曝による実効線量を推定した。実験室は安全側になるように使用頻度が高く、容積が少ない室を想定し 90m³とした。その他の計算条件としては、人の呼吸率を 1.2m³/h、摂取量 Bq から実効線量 mSv に換算する係数（実効線量換算係数）等は放射線障害防止法告示別表第 2 の値を使用した（表 3.1）。この値は核種毎及び化学形によって異なるので、火災によって推測し得る物はその値を、不明の場合は最も厳しい値を採用した。例えば³H は火災による高温で元素状水素になる事を想定し、注水時の汚染では、それを水として扱った。この汚染による廃水中の放射性同位元素濃度の推測は、初期消火活動による注水（2000 l/min で 5 分間）とその後の注水の継続によって全ての水が建屋外側のコンクリートタンクヤード内（実容積 160m³）に滞留し、希釈された場合とを比較した。以上の計算結果を表 3.2 に示す。また、外部被曝、内部被曝、空气中濃度、水中濃度の計算は次式を用いた。

(1) 外部被曝による実効線量

放射エネルギー(MBq) × 実効線量率定数*¹ × 遮蔽体透過率 × (1/距離m)²

*¹ 実効線量率定数：線源強度 1MBq の点線源から 1m の距離における実効線量率(μ Sv/h)。

ただし、 β 線核種に対してはガラスターゲットによる制動放射線の定数を使用した。

(2) 空气中濃度及び内部被曝による実効線量¹⁵⁾

(2)-1 空气中放射性物質濃度 C: (Bq/cm³) を求める。

$C = \text{放射エネルギー(Bq)} \times \text{飛散率}^*2 / \text{換気量(cm}^3\text{)}^*3$

*² : 50% *³ : 90m³ (γ 線調整実験室とした)

(2)-2 空气中放射性物質濃度 C から摂取量 I: (Bq) を求める。

$I = C \times \text{呼吸率}(1.2 \times 10^6 \text{cm}^3/\text{h}) \times \text{吸入時間}^*4 \text{(h)}$

*⁴ : 消火作業に係わる時間を 30 分とした。この時の呼吸率は日本人の通常作業時のもので火災消防作業時では大きく変化する事が考えられる。また、この摂取量は作業時間以外の呼吸により、摂取した放射性物質の濃度が更に希釈(約 1/5000 としている)されると考えられるが¹⁴⁾、ここではその効果を考慮していない。

(2)-3 摂取量 I から実効線量(mSv) を求める。

実効線量(mSv) = $I \times K \text{(mSv/Bq)}^*5$

*⁵ : K 実効線量換算係数(核種、化学形毎)

(3) 水中濃度

放射エネルギー(Bq) × 混入率*⁶ / 排水量*⁷(cm³)

*⁶ : 混入率は空气中に飛散する量の残り 50% を使用したが、注水により空气中に拡散された放射性物質が再び注水中に溶出されることを考えるとこれより大きくなる事が考えられる。

*⁷ : 排水量は 5 分間の散水時における 10m³ と希釈時の 160m³ を用いた。

表 3.1 告示別表第 2 の第 2 欄、第 4 欄、第 6 欄の値

核種	実効線量(換算)係数 mSv/Bq	空气中濃度限度 Bq/cm ³	排水中濃度限度 Bq/cm ³
3-H	1.8E-12	10000(水素)	60(水)
14-C	6.5E-9	3	2
32-P	2.9E-6	0.007	0.3
33-P	1.3E-6	0.02	3
51-Cr	3.6E-8	0.6	20
35-S	1.1E-6	0.02	6
125-I	1.4E-5	0.001	0.06
45-Ca	2.3E-6	0.009	1
99m-Tc	2.9E-8	0.7	40
123-I	2.1E-7	0.1	4
201-Tl	7.6E-8	0.3	9
75-Se	1.7E-6	0.01	0.3

表 3.2 実効線量と濃度の計算値

核種	空气中濃度 Bq/cm ³	実効線量(内部被曝) mSv	注水時の水汚染濃度 Bq/cm ³	希釈時の水汚染濃度 Bq/cm ³
3-H	0.2056	2.220E-7	1.85	0.1156
14-C	0.0514	2.004E-4	0.4625	0.0289
32-P	2.0556	3.577E+0	18.5	1.1563
33-P	0.2056	1.603E-1	1.85	0.1156
51-Cr	0.4111	8.880E-3	3.7	0.2313
35-S	0.5139	3.392E-1	4.625	0.2891
125-I	0.2444	2.053E+0	2.2	0.1375
45-Ca	0.1028	1.418E-1	0.925	0.0578
99m-Tc	1.0278	1.788E-2	9.25	0.5781
123-I	0.0411	5.180E-3	0.37	0.0231
201-Tl	0.2056	9.373E-3	1.85	0.1156
75-Se	0.0514	5.242E-2	0.4625	0.0289

5.3 放射性廃棄物の影響

放射線業務従事者は、一時的に実験中の廃棄物を専用の廃棄物容器に収納しなければならない。火災時においては、無機の³²P 廃液と、有機の³H、¹⁴C 等の廃液を考慮しなければならないであろう。³H、¹⁴C 等は放射能はごく少量であるが、液体シンチレーション試料には先に述べたように発火点の低いトルエンやキシレンが含まれている。しかし、実験終了時には、これらの廃液は廃棄物保管室に戻され、鉄製のドラム缶に収納される。したがって、有機廃液の燃焼による放射線被曝や、汚染の影響は僅少と言える。

また、³²P廃液は半減期が約 14 日なので、一定日数減衰を経て排水するものであるが、1 年間のデータから推定すると廃液の放射能は瞬間の最大値が数十 MBq 前後であった。これは表 1 の最大搬入量の 1/10 程度であるので、有機廃液と同様、保管状態を考えると被曝や汚染の可能性は低い。他の固体状廃棄物も同様に放射性同位元素による影響は小さい。

5.4 貯蔵中の放射性同位元素による影響

実験終了後の放射性同位元素は全て 1 階の貯蔵室に保管される。5.2 で述べたように、貯蔵室のダクトは火災によって防火ダンパーが作動し、周囲は厚さ 25cm のコンクリートで覆われている。また、内部には可燃性のものが少ないので、この室に延焼があるとは考えられないが、周辺の加熱により、室内の温度が上昇することを考慮しなければならない。貯蔵室の放射性同位元素は殆どが図 2 のような状態で冷蔵庫、冷凍庫に保管されている。高温により、これらの遮蔽容器が溶融し、冷蔵庫類も損壊したと仮定して線量の増分と飛散による空气中放射性同位元素濃度を最大貯蔵量で計算した結果を表 4 に纏めた。

表.4 貯蔵室の放射性同位元素濃度及び線量

核種	最大年間貯蔵数量 MBq	実効線量率(遮蔽あり) μSv/h	実効線量率(遮蔽なし) μSv/h	空气中濃度 Bq/cm ³
3-H	42550	-	-	957.38
14-C	12950	-	-	291.38
33-P	5920	-	-	133.20
35-S	11100	-	-	249.75
51-Cr	7400	0.4	5.4	166.50
32-P	37000	0.3	5.0	832.50
59-Fe	185	1.0	4.4	4.16
99m-Tc	9250	0.4	26.8	208.13
123-I	740	0.1	2.7	16.65
125-I	6660	0.1 以下	13.2	149.85
131-I	370	0.3	3.2	8.33
45-Ca	1850	0.1 以下	0.1 以下	41.63
57-Co	11.1	0.1 以下	0.1 以下	0.25
75-Se	925	0.4	8.2	20.81
85-Sr	74	0.1	0.8	1.67
109-Cd	185	0.1 以下	0.1 以下	4.16
203-Hg	11.1	0.1 以下	0.1	0.25
201-Tl	3700	0.1 以下	8.4	83.25
18-F	3700	-	-	-

それぞれの放射能値(数量)は許可を受けた核種に対する最大の貯蔵量である。これは、表 1 の実際の年間保管量とは異なり、最大の収納可能量である。したがって、実際には許可された全ての核種が常に保管されている訳ではなく、その核種は平均 7 核種前後で、数量も最大年間貯蔵量の 1/10 以下である。また、¹⁸Fは半減期が 2 時間足らずなので保管はしない。しかし、ここでは最大貯蔵数量の保管時も考慮

に入れて計算した。表中の実効線量率は容器の遮蔽がないものとし、線源から扉までの平均距離が 2.5m であることから、この距離でのコンクリート遮蔽のない場合と遮蔽壁の外側での位置を計算した。また、低エネルギーのβ線放出核種は線量率に寄与しないので計算を省略した。各々の核種の実効線量率から外部被曝の影響は小さいと見積もって差し支えないであろう。表 4 で実効線量率が比較的大きい^{99m}Tcは半減期が短く(6 時間)、¹²⁵Iは低エネルギーγ線(35KeV 前後)であることから時間の経過と簡単な遮蔽で十分低減できる。また、⁷⁵Seや²⁰¹Tlは年間を通しての保管の頻度は少ない。次に、空气中濃度の値を庫内の放射性同位元素が高熱によって 90%が貯蔵室内に飛散すると仮定し、貯蔵室の容積を 40m³、防火ダンパーは作動しているため換気はないものとして計算した。なお、非密封の放射性同位元素はその物理的、化学的状態によって飛散率はかなり変わる。また、火災の場合には周辺の燃焼物等によっても飛散率は変わってくる。放射性物質が火災時の温度より低いと殆ど全量が気化し、火災温度より高いと煙等に付着し 20%~90%が大気中に拡散する^[4]。ここでは、放射性物質の状態や化学的性質が多様なので飛散率を一律 90%として取り扱った。表 4 中には記載していないが、空气中濃度の計算値が空气中濃度限度の 10 万倍を超える核種は³²Pと¹²⁵Iの 2 核種に見られた。また、その他の核種でも全て濃度限度を大きく超えてしまうことになる。これらの計算から大量の放射性同位元素が気化蒸散した場合、換気のない貯蔵室内では空気汚染による人への影響は重大な被害を与える事になる。

6. 鎮火後における対策

6.1 汚染区域の設定

前章で述べたように、¹³⁷Cs密封線源を除いた非密封の放射性同位元素は汚染とその除染の対策のみを考えればよいことが分かる。実験室では火災時に発生した空気の汚染は、窓ガラス等の破損によって、その殆どが直ちに大気中に拡散し、希釈される事が予想されるので現実には対応不可能である。原子炉の事故のように放射性プルームやフォールアウト等の問題は小規模の研究施設では殆ど起こらないであろう。したがって、周辺環境に与える影響は、注水による水の汚染と拡大が主なものと推察できる。消防活動対策マニュアルでは土地の高低等による消防残水の流失予想範囲を求めている。そこで図 4 に注水終了後の残水拡散の推定域を示した。5.2 で注水した水は全てタンクヤードに滞留すると仮定したが、実際には図 4 のように建屋周辺に飛散するものと思われる。希釈時の注水総量をタンクヤードの最大容量である 160m³と想定したが、これは消防車の注水能力と注水時間、消防車の出動台数等によって大きく異なる。また、表 3.2 の計算結果から³²Pや¹²⁵Iが存在した場合は濃度限度を超える汚染が予想されるの

で、更に流失拡大を防ぐための土嚢等の構築も必要になる。



図 4. 注水後の水の流失推定域と放射線危険区域

6.2 放射線危険区域の設定

消防活動対策マニュアルでは放射線危険区域の設定を 0.5mSv/h 以上の放射線が検出される区域としている。図 4 ではガンマ線源中心から半径 34m の範囲をその区域に設定しているが、これは鉛の遮蔽体のみが損壊し、コンクリート遮蔽壁は存在するとした場合を想定している。このような状況にならなくとも火災時には近隣の西側病棟、生命科学動物資源センター、医学系等の居住者や教職員を退避させなければならない。仮に西側のコンクリート壁の一つが損壊する事態になった場合は、更にその区域を倍以上上げなければならないであろう。ガンマ線照射装置の東側は廃水タンクがあるので、特に満水状態であれば、約 4m の水槽により線量率は自然放射線レベルに減衰される。したがって、東側の駐車場側が緊急避難路として考えられる。しかし、現実には鉛が溶融することはあり得ることであるが、鋼板の損壊にまで至る可能性は非常に少ないので、この危険区域を設定する必要性はあまり起こらないと思われる。なお、この区域では 5 で計算した結果から、ガンマ線照射装置以外の非密封放射性同位元素による外部放射線の効果は僅かであるので考慮に入れてない。また、この危険区域で消火活動を行う隊員等は線量計の装着は必須になる。このためには、緊急用の外部被曝線量計（ガラスバッジ等）を予備に備えておかなければならない。

6.3 その他の対応

消火作業中は当然であるが、消火後の放射線量を測定することは汚染や飛散した放射性物質の捜索においても重要になってくる。このような事態では当

該施設の測定機器は使用ができなくなる場合が起こりうるので、他施設から機材を調達し、それらの施設に試料を持ち帰って測定等を行わなければならない。場合によっては超法規的判断が必要になるかもしれない。いずれにせよ、これらの事を想定し、各担当者の連携を効率よくしなければならない。また、消火活動に伴う隊員等の被曝と汚染、または、放射線障害の恐れの有無、消火活動に使用した機材等の汚染と除染の必要性等を迅速に判断しなければならない。このためにも安全な場所を想定し、汚染等の検査場所を設けなければならない。当然、この場所には放射線取扱主任者や医師、看護師が待機しなければならない。場合によっては放射性物質の汚染除去の設備、除染水の一時保管、廃棄物の保管等の設備や機材も必要になる。更に病棟、学系棟等の学内のみならず、周辺住民、報道関係者に対する広報対策も重要な要素となる。また、このような異常事態では電気系統が使用不可となる可能性が大いなので、この事も十分念頭に置いて行動しなければならない。

7. 考察

以上の計算等から ^{137}Cs 密封線源では鉛による遮蔽効果がなくなった場合、約 1 時間の被曝で放射線業務従事者の緊急作業に係わる線量限度 100mSv の 1/10 及び消防隊員の被曝線量限度 10mSv が西側管理区域境界の位置で達するおそれがある。鉛遮蔽は約 1 cm の鋼板に覆われているが、鉛の熱膨張率は鉄の約 2.5 倍あるので、この事を考慮した設計でなければ損壊は無いとは言えない。建物の種類によって異なるが大火災の場合は 1200 度程度の温度上昇があり得る⁶⁾。万一、建屋の壁が崩壊し、線源が剥き出しの状態になったときは応急の砂袋による遮蔽は有効な効果を発揮すると思われる。図 3 に示すように砂の遮蔽効果はコンクリートのそれより大きいことが分かる。これは砂の主成分が酸化珪素(場所により異なるが約 80%)で実効原子番号が比較的大きい事による。ただし、このような状況では線源自体の損傷も皆無とは言えない。一方、実験中に存在する可能性の大きい非密封放射性同位元素の吸入による内部被曝実効線量は、 ^{32}P と ^{125}I が高値を示す。各々の核種の空气中濃度は、その濃度限度の 240 倍から 300 倍近くになるが、消火時には作業者は建屋の外にいる場合が殆どであり、万一、建屋内部に侵入したとしても、消火作業以外の呼吸による希釈効果や防護マスクの着用等を考慮すると、何れも空気汚染と内部被曝による影響は無視できる値になるであろう。また、これらの空気汚染は、火災のある瞬間だけ表 3.2 のような濃度になることはあるが、短時間のうちに大気中に拡散すると思われるので、この程度の濃度では環境に与える影響は殆ど発生しないと考えられる。

唯一問題となるのは実験中の放射性同位元素による水の汚染である。その値は注水の状況によるが排水濃度限度の数倍になることもあるので、どの核種

も同様であるが、特に³²P及び¹²⁵I等の濃度限度の厳しい核種については速やかに移動し、出来るだけ実験室に放置しないようにしなければならない。いずれにせよ、空気及び水の汚染の程度は飛散率や注水の規模によって変わるので正確に推定する事は難しい。また、貯蔵中の放射性同位元素の計算では空气中濃度が大きな値(表4)を示しているが、爆発などを伴う相当程度の火災でない限り、庫内の冷蔵庫類の損壊までは至らないと思われる。しかし、貯蔵室内には存在しないが、他の実験室内には各種の酸やアルカリ及びキシレン、トルエンなどの危険物及び高圧、可燃性のガス類などが存在し、それらの組み合わせによっては発火や爆発の可能性は高い。万一、遮蔽容器の効果が無くなっても、冷蔵庫の扉が開放しなければ空気の汚染は免れるかもしれない。しかし、貯蔵室に関しては、火災の程度とその時の放射性同位元素の保管数量によっては、空气中放射性同位元素濃度限度の数万倍を超える核種によって室内空気が汚染される可能性があるため、扉の密閉の対策、庫内空気の取扱いは慎重にしなければならない。

8. まとめ

消防活動対策マニュアルでも指摘しているように、小規模の放射性同位元素使用施設での火災では、外部被曝よりも内部被曝を受ける可能性を予測している。本報告の考察でも、ガンマ線照射装置を除けば、空気と水の放射性同位元素による汚染が重要な要素となった。このことから、もし、作業員等が表3.1の濃度限度レベルを超える放射性同位元素を体内に摂取したときは内部被曝の評価をしなければならない。しかし、内部被曝の計算は放射性同位元素の化学形、粒子の大きさ、吸入区分、体内への侵入経路、排泄、個人差等様々な要因により大きく異なってくる。このため国際放射線防護委員会(ICRP)では幾つかの内部被曝の評価法を公表している。例えばICRP Publication 68^[7]では摂取量(急性摂取)から50年間の預託実効線量(放射性同位元素の摂取時から人体が50年間に受けることになる総線量)や臓器又は組織毎の預託等価線量を求める方法を掲載している。その他にも日本原子力研究所による簡易内部被曝線量評価コードなどがある。本報告の予測では放射性同位元素の使用量や保管量を過大に見積もり、最悪の条件下で計算している。幸い日常の使用状況からはこのような事態になるのは非常に希なことと思われるが、一つの可能性として肝に銘じるべきである。昨年3月、ある大学の放射性同位元素実験室でフード内のホットプレートの過熱により火災が発生した。この事故では大事には至らなかったようであるが、このような事は使用者等の不注意で放射線施設のみならず何処の施設でも起こりうる事である。要は放射性同位元素使用施設では絶対に火災事故を起こさぬよう日頃からの管理体制や教育訓練並びにマニュアルの作成及び所轄消防機関との防災訓練等綿密な連携が必要と思われる。

参考文献

- [1] 放射線障害防止中央協議会 原子力安全技術センター編 「放射線安全管理講習会」資料 平成14年
- [2] 総務省消防庁 原子力施設等における消防活動対策マニュアル検討委員会 編 「原子力施設等における消防活動対策マニュアルー第3編 放射性同位元素等取扱施設における消防活動対策」平成17年7月18日
- [3] 原子力安全技術センター編 「放射線施設のしゃへい計算実務マニュアル」 2000年 p-153
- [4] 日本アイソトープ協会編 丸善発行 「放射線施設の火災対策・地震対策」 1996年8月1日 p42-45
- [5] 原子力安全技術センター編、発行 「被曝線量の測定・評価マニュアル」 2000年10月 p79
- [6] 日本アイソトープ協会編、発行 「放射線施設の火災対策」 1972年7月1日 p18
- [7] 日本アイソトープ協会編、発行 「ICRP Publication68 作業員による放射性核種の摂取についての線量係数」 1996年5月20日

筑波大学システム情報工学等支援室掲示板システム

山崎豊、山内勝晴、鈴木清
筑波大学システム情報工学等支援室
〒305-8573 茨城県つくば市天王台 1-1-1

概要

日頃の業務効率の向上は望まれるところであるが、筑波大学でも2004年4月1日の独立行政法人化にともない、更なる業務効率の向上が必要になってきている。そこでシステム情報工学等支援室では、定常業務の中でも特に繁雑である各部署への事務連絡書類の送配布について効率化できないか考えた。この送配布業務の繁雑なところは、大量の同一書類を扱うところにある。そこでこの繁雑業務を、Webアプリケーションを利用して効率化することになった。このシステムを「掲示板システム」と呼ぶことにした。

また、事務連絡書類に関連して業務の中で使われる申請書類の様式集についても効率化を考えた。これまでこれら様式集は各部署で常備しておかなくてはならず、様式が変更になった場合その都度各部署で常備してある様式集を変更する必要があり古いものが無駄になってしまっていた。そこでこれら様式集も合わせてWeb上に登録することにした。この様式集登録のシステムは、掲示板システムの上で構築されており独立していない。また、機能的には掲示板システムと類似している。しかし、この報告書上では、説明の都合上「様式閲覧システム」として別項を立てて記述してある。

なお、本システム開発に当たっては山崎・山内が本システム全体の技術的作業を担当し、鈴木が事務業務面からこのシステムに盛り込むべき機能の検討作業を担当した。

この掲示板システムは、テスト期間を経て2004年7月から正式にサービスを開始した。

1. はじめに

掲示板システムを構築するためのコンピュータシステムとしては、Webアプリケーションでは利用者の多い構成で、オペレーティングシステムはLinux、WebサーバソフトウェアはApache、サーバサイドアプリケーションはPHP、データベースアプリケーションはMySQLで構築した。また、システム全体をSSLのセキュリティ環境で構築してある。

2. 掲示板システム

はじめに掲示板システムについて説明する。掲示板システムを利用できるのは、システム情報工学研究科、第三学群およびシステム情報工学等支援室の所属であらかじめ掲示板システムにユーザ登録された構成員のみである。掲示板システムのログイン画面を図1に示す。



図1. 掲示板システム ログイン画面

3. 掲示板

ログインすると最新の連絡事項の画面が表示される。連絡事項表示画面には、タイトルと内容の説明を一緒に表示した詳細表示画面とタイトルのみを表示するリスト表示画面の2種類がある。連絡事項の詳細表示画面を図2に示す。



図2. 連絡事項詳細表示画面

画面には連絡事項が5件ずつ表示されるようになっている。
連絡事項のリスト表示画面を図3示す。



図3. 連絡事項リスト表示画面

画面には連絡事項が10件ずつ表示されるようになっている。

3.1 掲示板登録

掲示板システムに連絡事項を登録できるのは、システム情報等支援室の各係の登録を許可された担当者のみである。
掲示板登録の画面を図4に示す。



図4. 掲示板登録画面

掲示板登録を行うと同時にその連絡事項の関係部署の構成員に連絡事項が登録された旨のメールを送付することができる。そして、この送付されたメールの本文内のリンクを選択することで掲示板システムにWebからアクセスしなくても直接連絡事項の本文を確認できる機能を備えているのが大きな特徴である。
送付されるメールの画面を図5に示す。



図5. 送付メール画面

3.2 掲示板変更

掲示板の変更は、一度登録を行った連絡事項を「3.3 掲示板削除」で述べる削除画面で削除した後、新たに登録する事によって行っている。

3.3 掲示板削除

掲示板の削除は、その連絡事項の登録人と登録人と同じ係の担当者のみが削除できる。
掲示板削除の画面を図6に示す。



図6. 掲示板削除画面

4. 様式閲覧システム

次に様式閲覧システムについて説明する。
様式閲覧システムの画面を図7に示す。



図 7. 様式閲覧システム画面

4.1 様式登録

様式システムに様式を登録できるのは、システム情報等支援室の各係の登録を許可された担当のみである。
様式登録の画面を図 8 に示す。



図 8. 様式登録画面

様式登録を行うと同時にその様式の関係部署の構成員に様式が登録された旨のメールを送付することができる。

4.2 様式変更

様式の変更は、その様式の登録人とその登録人と同じ係の担当者のみが変更できる。
様式変更の画面を図 9 に示す。

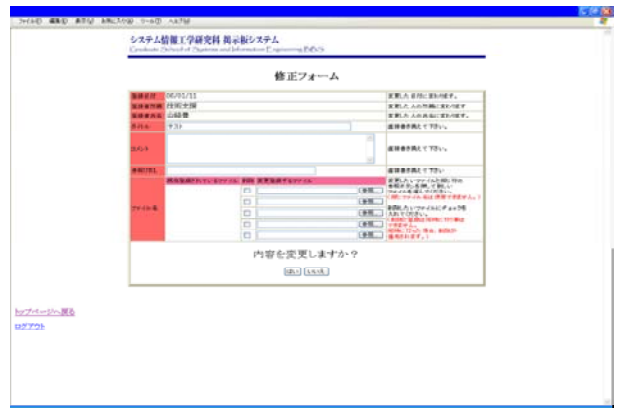


図 9. 様式変更画面

様式変更を行うと同時にその様式の関係部署の構成員に様式が変更された旨のメールを送付することができる。

4.3 様式削除

様式の削除は、その様式の登録人とその登録人と同じ係の担当者のみが削除できる。
様式削除の画面を図 10 に示す。



図 10. 様式削除画面

5. 機能の追加

掲示板システムの機能としては、作成当初は本報告書で述べた連絡事項と様式集の機能のみであったが、約 1 年の運用の結果、幾つかの機能を追加した。

5.1 会議室予約

システム情報工学等支援室にある 6 つの会議室を Web 上で予約できるようにした。

5.2 時間外勤務申請

システム情報工学等支援室の構成員が行なった時間外勤務についての申請および確認命令を Web 上で操作できるようにした。

6. 今後について

掲示板システムはサービス開始後約 2 年を経た今では、システム情報工学研究科、第三学群およびシステム情報工学等支援室の業務改善の具体的方策として定着し、業務の徹底した省力化と迅速化、さらに教員サービスの向上を実現したと自負している。そして、「5.機能の追加」で述べたように既に幾つかの機能を追加しているが、今後も更なる業務効率向上のための機能追加を考えている。また、このシステムに使われている PHP の技術は日々進歩している。これらの進歩した技術を利用すれば、業務の効率化だけでなくこのシステム自体も効率化できると考えている。

謝辞

掲示板システムの開発にあたり、研究科長等宛て文書の各教員への配布方法の電子化を強く指向された前西村仁嗣システム情報工学研究科長に感謝いたします。また、各種事務手続き様式の電子化を指向するとともにシステムの導入を積極的に推進していただいた高柳良廣システム情報工学等支援室長、さらに活用・定着に協力いただいたシステム情報工学研究科、第三学群及びシステム情報工学等支援室の皆様には感謝いたします。

パーソナルコンピュータによるガンマ 10 データ収集系の更新

杉山昭彦

筑波大学研究事業部研究事業課 プラズマ研究センター

〒305-8577 茨城県つくば市天王台 1-1-1

概要

筑波大学プラズマ研究センターに設置されている核融合実験装置ガンマ 10 に付随する CAMAC*データ収集系の新システムへの更新作業を行った。また、立型電動発電機制御系機能の中の一部である加熱系波形データ収集機能のシステム移行作業も併せて行ったので報告する。

1. はじめに

筑波大学プラズマ研究センターにて長くデータ処理用コンピュータとして使われてきたミニコンピュータ TOSBAC 7/70E を主体とした旧 CAMAC データ収集システムから、パーソナルコンピュータを採用した新 CAMAC データ収集システムへのシステム更新作業を 2001 年度に開始し、初年度はその一部のクレートを新 CAMAC データ収集システムへ移行させた。今年度は、残ったクレートのすべてを新 CAMAC 収集システムへ移行し、システム全体の更新作業を完了させた。また同様に旧処理系で行っていた、既設ガンマ 10 用立型電動発電機制御システムが処理した、発電機出力データ及び加熱系波形データの、データサーバ格納も新データ収集システム側で行える

ようにした。

2. ガンマ 10 コンピュータシステム

当センターの核融合実験装置ガンマ 10 に付随するコンピュータシステムは、ガンマ 10 プラズマ実験に於いて各プラズマ計測装置の波形出力データを収集・処理しデータサーバへ格納する CAMAC データ収集系と、ガンマ 10 実験装置本体磁場コイルへの電力供給やプラズマ加熱用の電力を担う立型電動発電機の運転制御及び発電機の稼動状態監視全般を担当する立型電動発電機設備制御系を有する。

2.1 立型電動発電機設備制御システム

当センターに設置されている立型電動発電機は、重さ約 300 トンのフライホイールを約 450rpm で回転させ、その回転エネルギーを電気エネルギーに変換して、ガンマ 10 本体磁場コイルに流す電流やプラズマ加熱用の電力を供給している。この発電機の制御全般を担当するのが立型電動発電機設備制御システムであり、実験棟運転室及び発電機棟制御室の 2 箇所に配置され、互いに発電機制御システム専用 LAN によって接続された PLC (Programable Logic Controller) を用いることにより集中管理している。

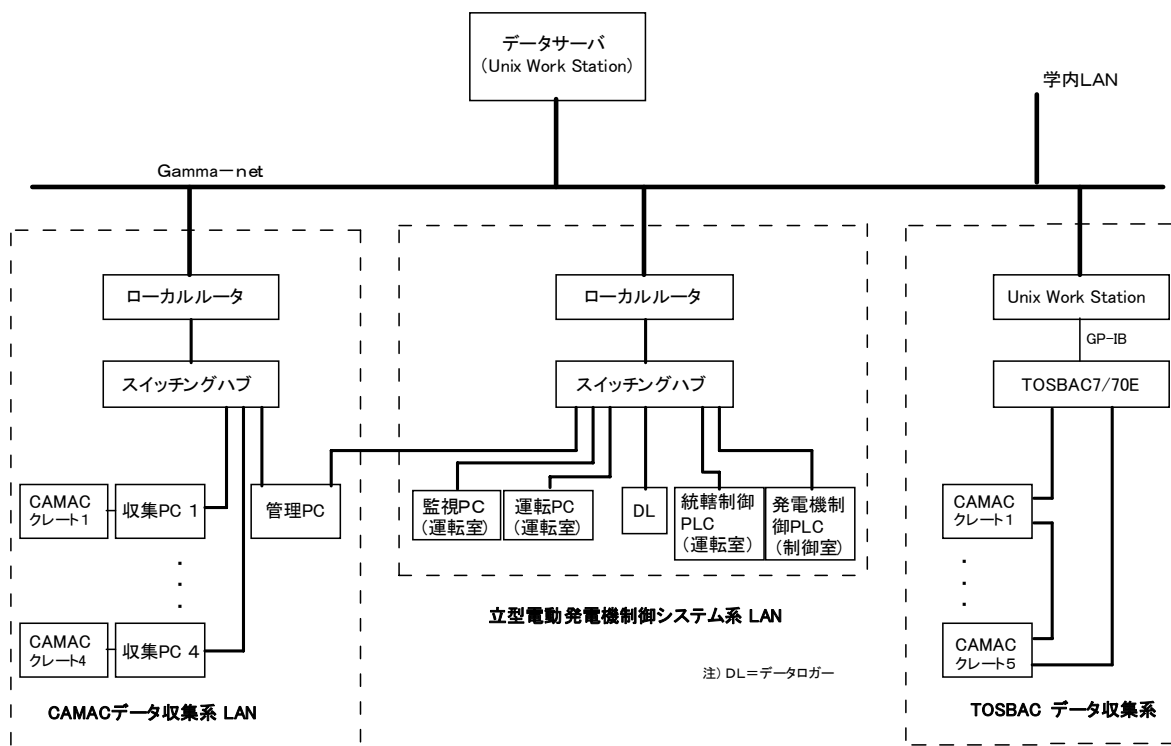


図 1 ガンマ 10 コンピュータシステム接続図(更新前)

PLC は、稼動中の立型電動発電機の回転数や出力電流の制御、冷却水動作制御や水温監視、発電機出力をガンマ10本体磁場コイルやプラズマ加熱装置に供給するためのトランスや整流器及び真空遮断器等の状態変化を監視・管理する発電機制御機能、総合実験に於いてオペレーターが統轄用 PC から入力したコイル通電電流値及びショット間隔時間を設定し、総合実験時の統轄運転シーケンス制御を行う発電機運転条件設定機能、ガンマ10本体磁場コイルへ通電した電流値の時間変化を収集する発電機出力波形データ収集機能、データロガーを介して各プラズマ加熱系からの出力データを取込むプラズマ加熱系波形データ収集機能などを有する。

また PLC は総合実験ショット進行中において、新 CAMAC データ収集システムの主体である CAMAC 管理 PC に、発電機制御システム専用 LAN を介して同期タイミング信号（実験準備、3 分前、2 分前、1 分前、10 秒前、発電、通電、フラットトップ、実験終了）及びショット終了後のショット番号を配している。

2.2 CAMAC データ収集システム

CAMAC データ収集システムは、ガンマ10プラズマ実験に於いて各プラズマ計測装置の波形出力データを収集・処理しデータサーバへ格納するシステムである。

昨年度のデータ収集システムは、TOSBAC 7/70E 系処理システムに 5 台の CAMAC クレートが、WindowsPC 系処理システムに 4 台の CAMAC クレートがそれぞれ接続され、各々データ収集を賄うという旧方式と新方式が混在したシステム運用形態になっていた。図 1 が更新作業前のコンピュータシステムのネットワーク接続図である。その方式では、まず TOSBAC 7/70E システムがデータサーバ内に最新 shot ディレクトリを作成し、引き続いて TOSBAC 7/70E システムが収集した 5 台分の CAMAC クレートのデータと PLC からのプラズマ加熱系波形データと発電機出力波形データを gamma-net 経由でディレク

トリ内に格納、同様に Windows 管理 PC は収集 PC が処理した 4 台分の CAMAC クレートデータを CAMAC データ収集系専用 LAN を経由してデータサーバ内最新 shot ディレクトリに転送し、双方のデータの書き込み完了で 1shot 分のデータとなる。

今年度は、旧データ収集システムの主体である TOSBAC 7/70E を使用した収集系を完全に廃止する為、これまで旧方式でデータ収集していた 5 台の CAMAC クレートへ Windows 収集 PC を接続し、さらに新規にもう 1 台を増設して合計 6 台の CAMAC クレートを新 CAMAC 収集システムへと切り替えた。これによって総合実験時に稼動させている 10 台すべての CAMAC クレートを WindowsPC 機による新データ収集系へと更新した。図 2 に更新作業を完了した新データ収集系の全体図を示す。なお、管理 PC 及び収集 PC に組込んでいる収集制御ソフトウェアは（株）東芝製である。

加えて PLC で処理しているデータ中の、プラズマ加熱系波形データと発電機出力波形データに関しては、CAMAC データ収集システムで処理されたプラズマ計測系データと同一の shot ディレクトリ内に取り込み Unix データサーバへ格納する必要がある。これまではプラズマ加熱系波形データ・発電機出力波形データをデータサーバへ転送・格納する機能は、旧データ収集系側が有していた。今年度のシステムの更新作業では、これら PLC が収集したデータの転送・格納機能も新データ収集システム系側で処理できるようにプログラム変更した。

3. 追加プログラム

次に、新データ収集系への移行に伴い追加したプログラムについて述べる。

今年度 WindowsPC（収集 PC）制御へ更新した 5 台の CAMAC クレートの中に、8212 CAMAC モジュールが組み込まれているクレートが存在する。8212 モジュールは他の CAMAC モジュールと比べデータバス転送速度が遅く、その転送速度の違いから現行の WindowsPC 機を接続してデータ収集処理を行った場

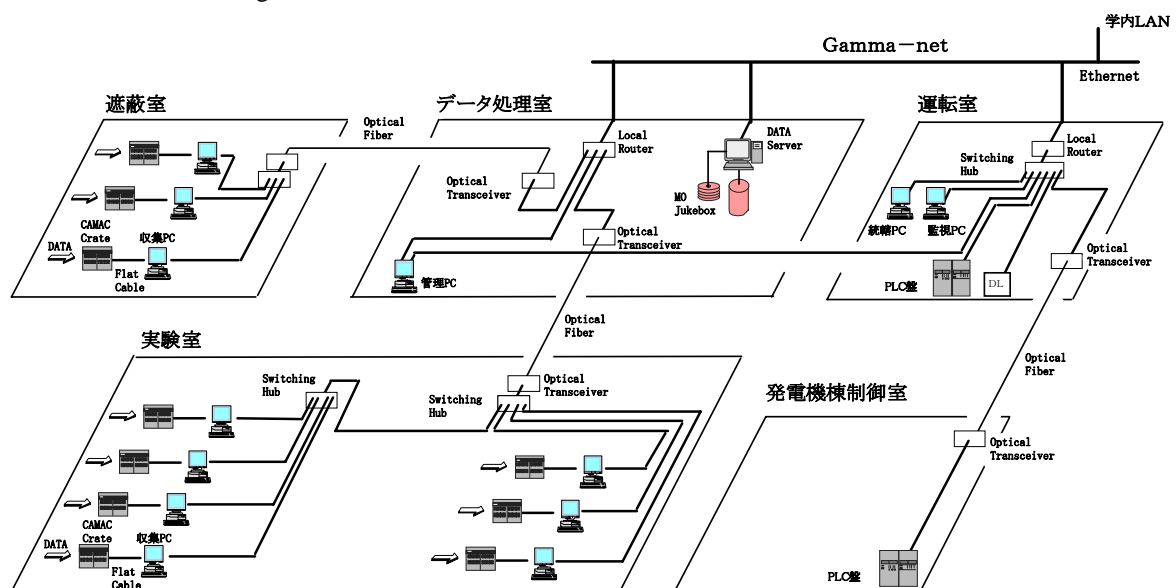


図2 新データ収集系全体図

合、8212 モジュールが有する全 32ch の入力 Port 毎に、32 個それぞれ単独の出力ファイルを作成をすることができなかった。その為 8212 モジュールについては、各 ch 入力を Port 毎にファイル出力せず、全 ch の入力データを 1 つのファイルとしてまとめて取り込むマルチ収集方式で処理することとした。しかしマルチ収集形式のファイルは、前述した様に 32ch 分のデータが 1 つのファイルに収まった形式のデータであり、そのままでは Port 毎の波形データとして解析作業が行えない。従って一般ユーザーに開放する前に、これらのファイルを Port 毎データとして展開操作する必要がある、データサーバ上でマルチファイル展開プログラムを稼働させている。

ここで、今回追加した各収集プログラムの起動タイミングについて記す。

8212 モジュールのマルチファイル用展開プログラムの起動タイミングは、管理 PC からデータサーバ上に最新の shot データをすべて転送し終わった後にスタ

ートさせる必要がある。データ転送の終了を確認する方法として、shot_no という最新 shot 番号確認用ファイルを Unix データサーバ上に作成しておき、CAMAC 管理 PC が、まず最新収集データをサーバへ転送し、全ファイルの転送終了を確認後、今度はサーバ上の shot_no ファイルの中身を 1shot 前の番号から最新 shot 番号へと更新する。展開プログラムは常に shot_no ファイルの中身を確認し、ショット番号が更新されたらマルチ収集形式ファイルの展開操作を開始する。そして展開操作が完了したら次の shot 番号に更新されるまで待機状態を保つように動作する。さらに展開プログラムと同様な起動方法で動作する PLC データの取り込みプログラムも待機している。

これら一連の命令が完了した後、データサーバの格納領域を維持するため、サーバ上で最新のデータが収集される毎に最古データから順にファイルを削除するプログラムが起動する。このプログラムも展開プログラム同様に shot_no ファイルを常時確認し、

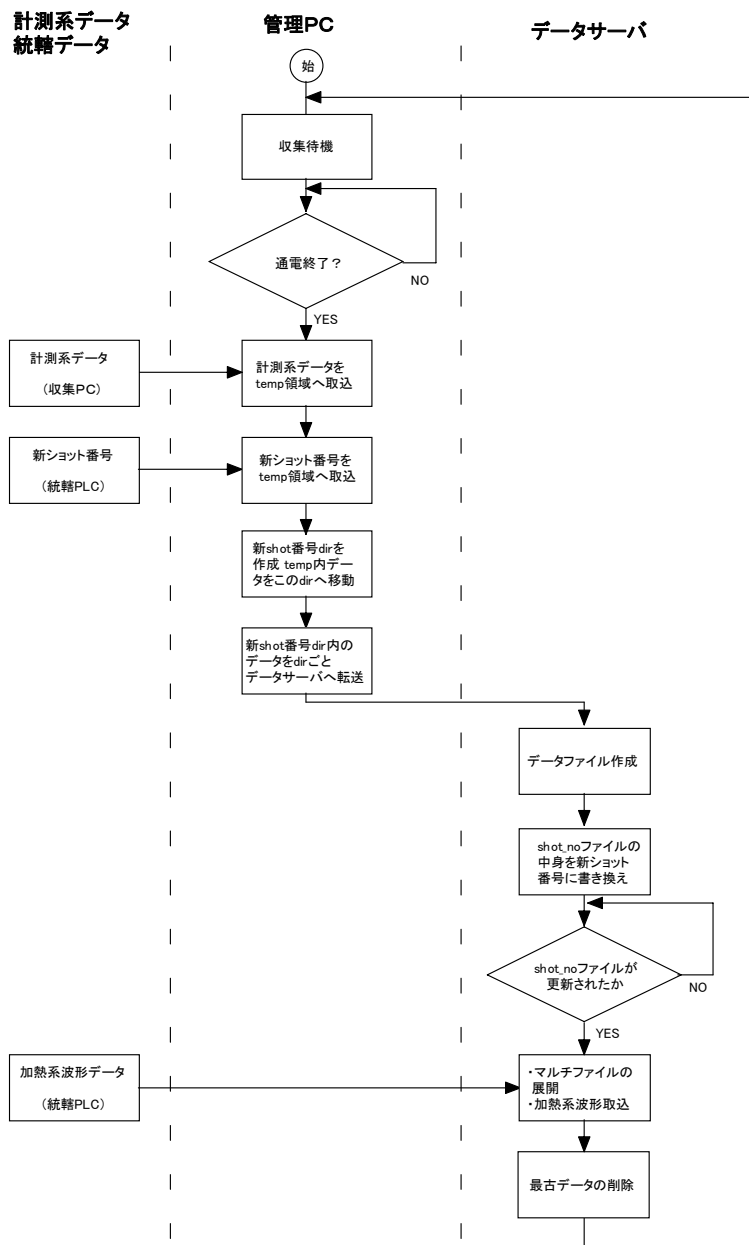


図3 新データ収集システムフローチャート

ショット番号の更新が確認できるとサーバの CPU 負荷が軽減される時間帯まで wait を掛け、ファイル削除動作を開始する。図 3 に新データ収集システムのフローチャートを示す。

尚、新データ収集システムの CAMAC 管理 PC は、2つのローカルエリア接続機能 (CAMAC データ収集系専用 LAN、発電機設備制御系専用 LAN) を有し、PLC が発した同期タイミング信号及び shot 番号を用いて CAMAC データ収集システムからのプラズマ計測系データ及び立型電動発電機設備制御システムからの発電機出力波形データ・加熱系波形データの双方の処理を行っている。

最後に、一度 Unix データサーバ上に取り込まれたデータは削除プログラムの対象となる前に光磁気ディスクへとコピーされ、ディスクチェンジャー装置によって過去のデータがいつでも読み出しできるよう管理される。

4. まとめ

前述したように昨年度までのデータ収集システムは、旧方式と新方式が混在したシステム運用形態になっており、その中核が旧データ処理システムの TOSBAC 7/70E であった。新旧混在したシステム形態時では、TOSBAC 7/70E がサーバ上にショットディレクトリを作成し、データを書き込むという形態だったため、その処理能力上、先に収集作業を終えている Windows PC 側では、TOSBAC 7/70E がサーバ上に最新ショットディレクトリを作成するまでの間、データ転送の待機を強いられていた。今年度は、従来方式でデータ収集していた残りの CAMAC クレートをすべて新方式の Windows 収集 PC 機に切り替えたことによる処理速度の向上が認められ、さらにデータ転送時に無駄な待機時間ができてしまうことがなくなり全体のデータ収集時間を昨年度より 3 分の 2 程度、それ以前の TOSBAC7/70E 収集システムを主とした時期と比べては 2 分の 1 以下に短縮することができた。また懸念であった、メーカー保守可能期間を過ぎてしまった TOSBAC 7/70E からの完全システム切り替え作業が完結できた。

謝辞

本データ収集システムの更新にあたっては、プログラム開発において当センター立松芳典先生を中心として、ハードウェア構築で当センター檜垣浩之先生ご指導のもと作業を進め、無事システム更新が終了できましたことを深く感謝いたします。

*CAMAC

Computer Aided Measurement And Control の略。コンピュータを用いて大量のデジタル情報を取扱う際の国際規格。

参考文献

杉山昭彦：パーソナルコンピュータによる CAMAC データ収集系
筑波大学技術報告 No.24 (2004) p137.

ソフトウェアで実現するバーチャル測定装置の製作

山内 勝晴

筑波大学システム情報工学等支援室, 〒305-8573 茨城県つくば市天王台 1-1-1

第三学群工学システム学類の知的・機能工学システム実験（以下、専攻実験）のテーマの一つである「センサとアナログ信号処理」において、現在、発振器、オシロスコープ等を用いて実現している実験装置を、パソコンと A-D/D-A コンバータ機能を有する USB 端末機器等を用いてバーチャルな計測機器を製作した。

1. はじめに

専攻実験のテーマの一つとして「センサとアナログ信号処理」を行っている。この中で空中音響伝送線路の複素伝達特性測定を行っているが、現在の実験装置は、**図 1** に示すように、ファンクションジェネレータからのアナログ信号を、増幅器を介してスピーカで送波し、それをマイクで受波し、オシロスコープで計測する構成である。**図 2** は、実験装置の写真である。

この装置で伝送線路の周波数特性、指向特性、減衰量、伝達速度などの測定を行っている。これらを複数の周波数で測定を行うのだが、現在、周波数設定やデータの読み取りなど手動で行われている。また時間の制約上、測定できる周波数ステップが少なくならざるを得ない。また、現在使用している機器の一部は古くなって故障も多くなっているため、リプレースする必要も出てきている。

2. 実験装置の設計と製作

発振器などの計測機器をパソコンに代替し、周波数設定などの変更の自動化や、装置設定をパソコンの画面で行えることにより、測定する周波数を増やし、多くのデータを得られないかと考えた。通常、研究室などではパソコン（以下 PC）で自動計測する際には GP-IB など接続して計測するが、GP-IB を備えた計測器やインターフェイスが高価であるため、限られた予算内で効率的な学生実験のために多くの装置を準備することが厳しい状況である。



図 2 現在の実験装置の外観

そこで、A-D 変換を備えた USB 機器があることに着目し、これをパソコンで制御する**図 3** に示すような実験装置を製作することにした。パソコン内部の遅延や USB 接続機器で遅延が出ると予想されるため、計測点を 2 地点に増やし、その間で複素伝達特性測定を行うようにする。

本製作により、GP-IB を用いる装置に比べ 1/5 以下の予算で構築することが期待できるため、今まで 3~4 人に 1 台しか割り当てられなかった実験装置が 1~2 人に 1 台使用できるようになり、学生の教育効果の向上にもつながる。またバーチャル測定器であるため、学生が自由に測定器を工夫することが可能となり教育効果の向上が期待できる。

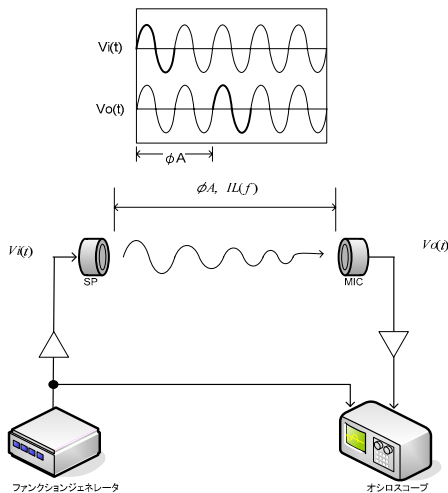


図 1 現在の複素伝達特性実験装置の構成

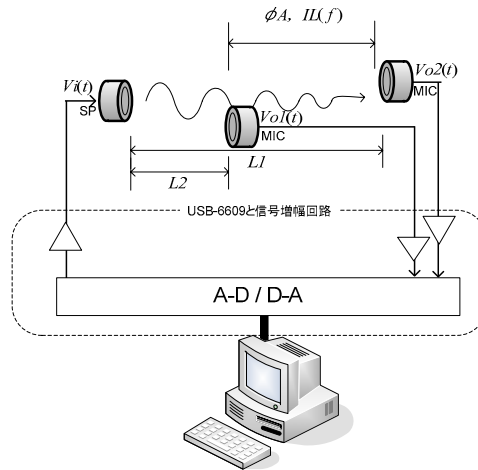


図 3 製作するバーチャル測定装置



図4 製作した実験装置



図5 USB-6009 と信号増幅回路

3. 製作したバーチャル測定装置

3.1 装置全体

送波用のスピーカと受波用のマイクは、間隔を正確に測れるように、光学実験などで使用される X 型レール上にバーを立て、動かさないようにしっかりと固定してある。マイクやスピーカの距離を正確に測定する必要があることと、向きに少しでもずれがあると計測に支障が出てしまう為である。(図4) A-D 変換にはパソコンに USB で接続できるナショナルインスツルメンツ社の USB データ収集デバイス USB-6009 (以下、USB-6009) を使用した。音波の送受波時にはアナログ信号の増幅回路が必要になるため、これらの回路を製作した。キャリブレーションができるように、それぞれの増幅回路にはボリュームが付けてある。これらを使用しやすいようにまとめたもの(図3の USB-6009 と信号増幅回路の部分)が図5である。また、この機器のコントロール、及び、プログラムの開発には同社の LabVIEW を使用した。

3.2 送信部

今回製作した実験装置は図3に示すようにパソコンで信号を生成し、パソコンのライン出力で D-A 変換を行いスピーカから送波する。発振は、図6のように出力波形を正弦波・三角波・方形波・ノコギリ波が選択できるようにし、それぞれにおいて周波数、振幅が変更できるようにしてある。この設定はプログラムを停止することなく随時変更できる。また、連続波では位相幅が大きいと位相がわからなくなってしまうので、パルス波の出力も発振できるようにしてある。

この実験装置の製作で使用した USB-6009 には A-D 変換 8 チャンネル (差動 2 チャンネル)、D-A 変換 2 チャンネルあるため、本来ならパソコンのライン出力で D-A 変換するのではなく、この D-A 変換を使用したものを製作したかった。私のプログラミングが悪かったせい、粗くて汚い波形しか作成できなく、低い周波数でも実験に使えるような波形が出せなかった。

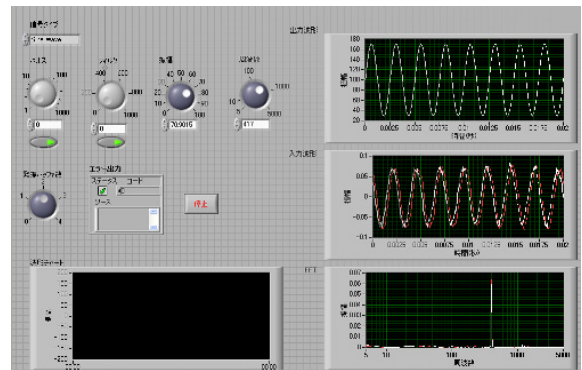
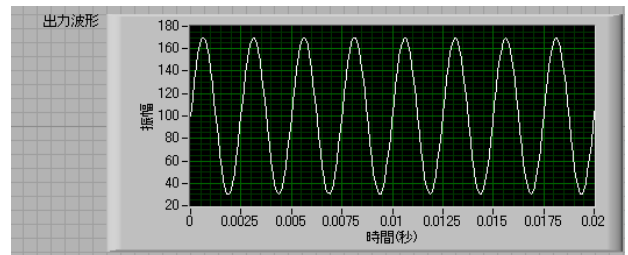
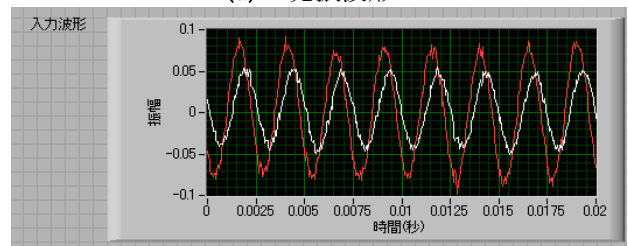


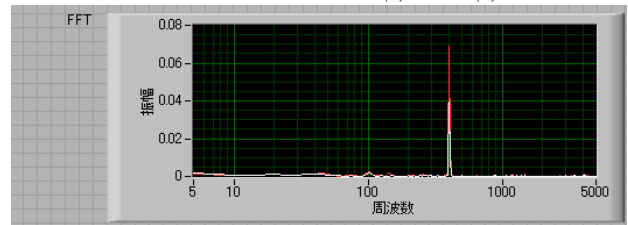
図6 製作したバーチャル測定器の操作画面



(a) 発振波形



(b) 受波した波形 ($V_{o0}(t)$, $V_{o1}(t)$)



(c) 周波数スペクトル

図7 製作したバーチャル測定器の動作例

3.3 受信部と解析部

発振された音波はコンデンサマイクで受波し、増幅器を通して USB 接続の A-D コンバータ (USB-6009)

でデジタルに変換され、パソコンに取り込まれる。取り込まれた波形は図 7 のようにリアルタイムにグラフ表示される。受波した 2 つの波形 (図 3 の $V_{o0}(t)$ 、 $V_{o1}(t)$) は同一グラフに表示することが可能で、この 2 点間の位相や振幅差を見ることができる。

図 7 (a) のグラフが発振波形、図 7 (b) グラフが伝搬してきた音波を受波した 2 つ波形 (図 3 の $V_{o0}(t)$ 、 $V_{o1}(t)$)、図 7 (c) のグラフが周波数スペクトルである。いずれのグラフも X 軸、Y 軸に対して拡大縮小することができ、そのグラフのスナップショットを簡略化されて見やすいグラフで保存ができる。学生のレポートなどに貼り付けるのにとっても便利である。また、この LabVIEW は出力表示内容を簡単に変更できるため、必要に応じてその場で変更可能である。

4. おわりに

ハードウェアの測定装置だけでは、実現できる機能に制限があったが、製作したバーチャルな測定装置だと、計測の基本原則を理解していると、ソフト的に色々な測定機能を追加することが可能になるため、クリエイティブな能力を付与できる学生実験が

できるのではないかと期待できる。

本実験装置の製作は、独立行政法人日本学術振興会 の平成 17 年度科学研究費補助金 (奨励研究) で「USB で制御する学生実験用音響伝達特性測定のためのバーチャル測定器の開発」という研究課題で採択され、補助金を受けている。

謝辞

本実験装置の製作においてご指導してくださっている知能機能システム専攻 水谷孝一教授、及び、アドバイスをして下さったシステム情報工学等支援室 小野雅晃技術専門職員、中山勝技術専門職員に深く感謝いたします。

参考文献

- [1] 筑波大学工学システム学類 平成 17 年度知的工学システム実験・機能工学システム実験テキスト
- [2] (ロバート・H・ビショップ著) 日本ナショナルインスツルメンツ株式会社監訳 尾花健一郎訳 「LabVIEW プログラミングガイド」 (株式会社アスキー 2005)

核融合発電実用時の我が国の電力需給の考察

平田久子

筑波大学数理物質科学等支援室（物理学専攻）

〒305-8571 茨城県つくば市天王台 1-1-1

緒言

我が国は平成 18 年をピークとして人口が減少する¹⁾とされているが、これまでの一人当たりのエネルギー消費量は 20 世紀の急激な増加は収まったとはいえ、僅かずつではあるが増加の一途をたどっている。技術開発が進みエネルギー効率が高まっているといえども、国民生活の向上にはエネルギー消費増加を伴う。また平均寿命も現在のところ、高い水準を維持している。高齢者層の相対的増加は生活介助に特に公共エネルギーを今まで以上に必要とする。故に、総合的には国家全体のエネルギー消費量は増加していくと予想される。

人力が大勢を占め、燃焼エネルギーが極めて少なく、エネルギーサイクルが効率良く行われていた江戸期が去り、明治維新早々の、明治 5 年に日本初のアーク灯点灯という電気元年があった。これが発電機の導入を促した。すぐさま軽工業の繊維工業、次段階の重工業である製鉄工業への発展でエネルギー需要が高まった。一方、英国の産業革命により、技術の飛躍的発達があり、エネルギー機関へと発展した。

爾来、世界の文明国では水力発電、火力発電で電気エネルギーが供給されていた。1950 年代に原子力発電が開発され、日本でも昭和 34 年に最初の発電が開始され、エネルギーの新時代に入った。以来天然のエネルギー資源を殆ど持たない日本は水力・火力・原子力その他の少しばかりの新たな発電方式との複合により 40 年以上公共の電力を供給してきた。その間オイルショック、中東戦争により原油の供給が危ぶまれたり、度重なる原子力施設のトラブルにより、国家規模の電力供給不安定に脅かされている。

また現在の問題として、原油の採掘可能な量が向う 40 年を切った事である。これに追い打ちをかけるように地球温暖化問題も猶予が無く、「地球に優しい」クリーンなエネルギーの供給が望まれている。これらの状況を鑑みて、より新しいエネルギーシステムの開発が進み、風力発電、燃料電池、ソーラーシステム、バイオマス発電、等が実用段階に入っている。それであっても現在は、国家規模の大容量エネルギー供給は水力・火力・原子力に頼らざるをえない。

現在の日本は原油の埋蔵量に注目していて、原子力の燃料であるウラン埋蔵量は気にしていないが、ウランの採掘可能な期間も残り 70 年とされている。プルスーマル方式により資源の有効利用を図り、多少はウランの利用期間を延長できる可能性があるが、わが国のエネルギー政策として未だにゴーサインを

出せずにいる。これらを総合すると、近い将来に原子力の一つであり、問題を抱えている既存の燃料を使用せず、わが国でも入手し得る燃料を用い、更に、環境汚染の心配の少ない核融合発電による電力供給が望まれる。その核融合の実現は、50 年前から「あと 50 年」といわれつづけて来ており、現在も 50 年後といわれているが、早急に目処をつけなければならない。

本論ではこの核融合発電が実用化されているであろう西暦 2050 年の時点で、国家としてどのようなエネルギー政策が行われるべきかを述べる。

.....

なお出典によりエネルギー単位がまちまちである。本論文では個々に換算せず、参考として統一単位[J]での括弧書きにとどめる。換算値は夫々有効数字 3 桁、端数は四捨五入している。発熱量で換算し、以下に係数を示す。

1 kWh:	3. 60 MJ
1 原油換算 kL:	38. 7 GJ
1 石油換算トン:	41. 9 GJ

これによると 1PJ は $25. 8 \times 10^3$ 原油換算 kL とする。又、 $23. 9 \times 10^3$ 石油換算トンである。

第 1 章 現在の我が国のエネルギー実情

2001 年の我が国のエネルギー消費は人口 1 億 2700 万人に対し、原油換算で 514.5 百万トン²⁾であった。全世界で 20%の先進国が全エネルギーの 60%を消費していることが問題となっているが、日本もその仲間になっている。エネルギー消費総量としては世界でトップクラスであり、1 人当たりのエネルギー消費量とすると石油換算でアメリカ・カナダの 8 トンは別格であるとしても、先進国で 3 トン以上、といわれる中に入っており、4 トンの消費をしている。開発途上国では 1 人当たり数百キログラム、時には数十キログラムという国さえある³⁾。日本は消費する全エネルギーでも世界有数であるが、1 人当たりでも世界のトップクラスである。

総エネルギー消費量の内訳は石油がほぼ半分を占めている(図 1-1)。石油依存度の高さにおいては、先進国の中ではアメリカを凌いでトップである。地球上での埋蔵エネルギー源としては現行消費ペースでは一番残存埋蔵量が少ないとされている石油に対する依存度が高いことは切実な問題である。殆ど

を外国からの輸入に頼り、更にその内の 90%の輸入元が政情不安な中東からということは極めて危険なことである。この点、国家規模で危機感を持っていて然るべきであるが、エネルギー機器の技術向上と日本人特有の楽天性で政府のお題目の割に危機感は見えない。実際に 2000 年 2 月をもってアラビア石油がサウジアラビア、カフジ油田の権益を失うに至った際の政府・国民の関心の低さは情けない状態であった。この問題は次に間もなくクエートでも起ころうとしている。

さて、エネルギー供給全体は大きく分けると、公共の電力供給と輸送のための燃焼エネルギーとなる。電力供給の対象は主に産業と民生とになる。輸送に関しては、電力を用いる電気鉄道と一部の新エネルギー方式(水素、天然ガスなど)で駆動する自動車を除き、殆どが石油に依存している。概ね前述の石油消費量全体の 4 割を占めている。石油消費改善の必要性は明確であるが、技術の改革に委ねねばならない状況にある。

ここで、電力に限って眺めてみる。広く国民に報らしめられているベストミックスである資源別発電電力量は 2001 年には原子力 35%、石油 6%、石炭 21%、天然ガス(以下 LNG と記す) 27%、水力 9%、その他 2%⁴⁾で、石油依存度は想像より遥かに低い。ここで石油消費の課題よりも、石炭、LNG を含む炭素燃焼による火力発電の廃棄物、二酸化炭素がもたらす地球温暖化が地球全体での深刻な問題となってくる。実際に 2003 年の原子力発電所トラブルの緊急対応のために原子力発電所総点検を行うための運転停止の代替として、休止状態だった予備力の火力発電所運転で電力供給を担った際には二酸化炭素排出量が夥しく増加した。京都議定書に表されている二酸化炭素排出削減目標に近付けるどころか遥かに超えて遠ざかってしまった。

最終エネルギー消費の視点でみると近年は産業が概ね 1/2 弱を占め、民生が 1/4 強で、運輸が 1/4 弱である⁵⁾。これらの年増加率は一定している。民生と運輸はここ 20 年間に於いて 2 倍以上の消費増加をしてきた⁶⁾。ところが産業部門ではここ 20 年に亘り、消費量は殆ど増えていない。これは技術革新、省エネルギー、合理化努力によるものである。しかしながらこの努力はそろそろ限界であろうと予想する(図 1-2)。

次に電力供給のための資源について述べよう。

1999 年度の電気事業者による発電電力量 9176 億 kWh(3303PJ) の内の構成比は火力発電が 5063 億 kWh(1823PJ) で 55.2%、原子力発電 3165 億 kWh(1139PJ) で 34.5%、水力発電は 893 億 kWh(321PJ) で 9.7%である。他に地熱発電が僅かにあり 0.4%、さらに新エネルギーで 0.2%⁷⁾である。

火力発電 55.2%のうち石炭火力 16.7%、LNG 火力 26.2%、石油火力 12%である。因みに水力発電 9.7%のうちでは一般水力が 8.4%で揚水発電が 1.3%である。これより電力の資源として考えると発電量当たりでは

ウラン	34.5%
LNG	26.2%
石炭	16.7%
石油	12.0%
新エネルギー	0.2%
自然エネルギー	10.3%(地熱、水力)

となる。つまり、電力の凡そ 90%が燃焼エネルギー、または熱変換を伴うエネルギーによるものであり、その資源の殆どが輸入に頼っているものである。また夫々資源の輸入依存度は平成 13 年度で

LNG	96.6%
石炭	98.0%
石油	99.7%

である⁸⁾。ウランは資源として輸入に頼っているが、発電資源としては準国産エネルギーと位置付けている。その理由は、①火力発電とは異なり総発電費用のうち燃料に必要な経費が約 20%で相対的に小さい(火力発電では 50%以上である)、②年 1 回の燃料交換で継続的にエネルギー供給が可能、③核燃料サイクルが実現した場合、将来的に核燃料の輸入が激減することが見込まれる、④核燃料物質を保有していても原子力発電技術を保有していなければエネルギーを得られない、ということでエネルギー転換技術の役割が極めて大きいということである。即ち、燃料そのものよりも技術の依存度が大きいので、それが準国産と定義することの根拠である⁹⁾。新エネルギーはその原理が再生可能エネルギーで考えているので当然のことながら、エネルギー資源は国内自給率 100%と考えている。これら国産エネルギー資源を加味すると 1 次エネルギー全体の輸入依存度は 80%となる。

第 2 章 現在の我が国のエネルギー政策

1 エネルギー政策基本法

平成 14 年 6 月にエネルギー政策基本法が公布された。

同法第 1 条目的において、国がエネルギー政策を如何に推し進めるべきかを端的に表している。

この法律は、エネルギーが国民生活の安定向上並びに国民経済の維持及び発展に欠くことのできないものであるとともに、その利用が地域及び地球の環境に大きな影響を及ぼすことにかんがみ、エネルギーの需給に関する施策に関し、基本方針を定め、並びに国及び地方公共団体の責務を明らかにするとともに、エネルギーの需給に関する施策を長期的、総合的かつ計画的に推進し、もって地域及び地域の環境の保全に寄与するとともに我が国及び世界の経済社会の持続的な発展に貢献することを目的とす

る。

即ち、公共の政策として、安定供給、環境への関与、為政者の責務、長期的且つ計画的であること、とされ、夫々第2条、第3条、第5、6、7、8、9条、第12条に再掲されている。これが推し進められなければならない理念である。また儼の生えた理念にならぬよう、実情に即した見通しが円滑に計られるべく文言が設けられている。

第2条、安定供給の確保にあつて、第一次エネルギー資源の確保を大きな施策としている。そこから危機管理の必要性、供給源の多様化をはかり、エネルギー分野の安全保障を図る。

第3条、環境への適合を目的として、現在エネルギー源として半分以上を占めている化石燃料による環境汚染に対し早急な処置を講ずる必要が述べられている。この点については現在でも京都議定書で示された目標達成の気配が見えないが、近い将来に国民生活に影響が出るほどの切実な状況になっていることが予想される。それを踏まえた指針を構築しておかなければならない。大気及び海洋は国境線で区切られておらず流動しているので国際関係として謳っておかなければならないし、又、努力しなければならぬ。

第5条、第6条、第7条、第9条において国内に目を向け為政者及び事業者の供給側としての責務が述べられている。併せて第5条第2項、第6条第2項、第8条において需要者側の責務、努力がうたわれている。即ち、受け身側にも責務があるとす国家の命題である。

また、第12条に本法律の具体的な方針としてエネルギー基本計画の在り方が多数述べられており、時節に適切に対応した政策を必要とする旨が述べられている。この点については技術の発展の速度、及びそれに伴って需要の変化がすこぶる早まることを前提に考えていることは予想に難くない。

実際の国民生活と政府の指針はギャップがある。行政全般の中では外交のように政府が指導的立場で進めているものもあるが、日常生活に結び付いているものは、政府は概ね後手に回っている。地球環境問題を唱えても円高で石油を入手しやすくなれば当然の経済原理で石油燃焼エネルギー利用量は増加する。この法律の理念はよく考えてあるが、具体性の点で詰めが甘い。経済等社会の状況も広く考慮し、国家としては長期的展望を持って政策を進めるべきであると提言する。

2 電力

電力は1次エネルギー総供給量の40%強が投入され、その半分を、エネルギー変換過程総合で転換効率が凡そ40%の火力発電で賄っている¹⁰⁾。電気に転換されたエネルギーのうちの6割が民生にて消費され、4割が産業で消費されている。運輸は僅か2%である。

資源を殆ど持たない我が国では発電の方式に複合

方式を採っており、水力、火力、原子力の3方式の夫々の特徴を活かし、組み合わせで運転することを設定している(図2-1)。

水力発電所は平成13年度末で1712発電所あり、最大出力46324MWである¹¹⁾。

水力は、国土が狭い上に細長い日本列島を尾根が縦断しているため河川の規模の割に落差を取れる故に水力発電としては好ましい。しかしながら逆に狭い国土故にダム・水力発電所を設置できる場所に限界があり、現状では水力発電所を増やすことは相当の困難を要する。又、送電距離の長いことから生ずる電力損失が多く、設備投資の割に需要地で得られる電力が少ないが、ともあれ送電効率改善が進んでいる。特に、他にない水力発電所の特徴は、エネルギー源が燃焼による熱エネルギーでなく水の位置エネルギーによるためクリーンであり、熱公害も少ないことである。更に、一般に電力供給は保存がきかず、需要に供給を追随させなければならないのであるが、水力発電系では需要の少ない夜間の余剰電力を用いて一度落とした水をダムの上流に還流し、揚水発電として作動エネルギーを再利用して有効利用している。とはいえ降水量、貯水量という自然現象の影響を受けているので、定常運転のベース供給を行っている自流式水力発電と、更に少ない非常運転であるピーク供給を行っている揚水式水力と調整池式水力と貯水池式水力発電で供給を伸ばし、第1章で述べた全発電量の9%にしている。

火力発電所は平成13年末にて事業用自家用含め2581発電所あり、合計の最大出力166647MWである。このうちの数にして8%に満たない200箇所の子業発電所が火力全体の82%の出力をしている¹²⁾。

火力発電は発電資源の場の制約を受けない。電力送電の損失を考慮して需要地の近傍に設置できる特徴がある。大口電力需要者の存在地が港湾沿いに位置していること、輸入に頼る電力資源の陸揚げ地が地理的に共通していること、排出される燃焼廃棄物の一般市民への影響を軽減させるため、主に港湾沿工業地帯に立地している。発電過程の特徴により逐時発電できるのでミドル供給乃至ピーク供給を行っている。一発電所当たりの出力規模は水力のそれより数倍多い。

原子力発電所は1998年現在、52基45083MWが許可されており、稼働率85%という高効率で運転されている¹³⁾。

原子力は、現在のところ安定した発電資源の供給が得られている。少ない質量の燃料で大きな電力を発生できる、一発電施設当たりの出力が頗る大きい。又、大気汚染・地球温暖化の原因となる二酸化炭素の排出がない、等の特徴を備えているが、一方で多くの意味での保安に関する問題を抱えている。発電の過程において逐次小刻みな運転を行えないのでベース供給を担っている。隠れた問題点としては、発電のための資源であるウランの埋蔵量は70年弱とされていることである。

以上の3方式によるベストミックスで大容量の電力供給を行うことが我が国の主たるエネルギー政策

であり、更に別の将来に期待される新しい方式の確立を目指した発電も支援されている。近い将来の石油枯渇を考慮すると民生及び運輸における石油消費を電力に移行することは必須であるので新しい方式の開発もさる事ながら資源から電力へのエネルギー変換効率上昇の努力が必要である。

3 運輸

航空機輸送に関しては、エンジンの出力の条件から現在のところ石油系燃料のみの使用である。

海上輸送に関しても石油系燃料を用いたエンジンが国際的にも主流である。我が国では一部、核燃料運搬を目的とした船舶で原子力機関が導入されたが、社会政策的に実用にならなかった。

陸上輸送にあっては多彩である。軌道輸送では大勢が電化され前述の電力受電で行われており、輸送力の小さい地域において石油系燃料を用いるディーゼルエンジンが用いられている。このディーゼルエンジン機関車は、最近では利用者減少に伴う過疎地での経費削減を目指しバス輸送に振り替えられることが増えている。鉄道輸送を用いていた郵便事業も高速化という社会需要に伴い自動車輸送に切り替わっている。

自動車輸送の物流では石油燃料エンジンが殆どで、更に経済性の点で二酸化炭素ばかりか窒素酸化物、硫黄酸化物までも排出するディーゼルエンジンが大勢を占めている。小規模の輸送車がガソリンエンジンを用いている程度である。今般、中央政府の政策の遅れに業を煮やした東京都知事の英断で、東京都内にディーゼルエンジンの輸送車の進入を禁止したことは、今後の我が国の政策に大きな影響をもたらす。尤もディーゼルエンジン車が普及しているヨーロッパでは現在でもディーゼルエンジン改良の努力がされていて有害排ガスを減らしつつある。

ひとの輸送を目的とした自動車輸送は最も多様である。大量輸送を目的としたバスは経費の面でディーゼル車から急には変更しにくい、遠からず排気ガスのクリーンなエンジン搭載車へ移行されることを期待したい。個人の、または小規模の自動車にあっては電気自動車、排気のクリーンな水素を燃やす燃料電池車、天然ガスエンジン車、ハイブリッド車、等が実用になっている。しかしながら石油以外の燃料供給所の設置が進まないのと、本体価格を含めて経費から個人では導入し難いので官公庁で率先して導入し始めたところである。また石油系以外は燃料ステーションが普及していないので長距離走行する自動車には現状では不便なので、この点の解決がポイントとなる。

運輸でのエネルギー消費は 98%が石油製品燃焼に依存している。石油枯渇を視野にいれると近い将来には天然ガス機関を想定しなければならないが、天然ガスも現在の見通しで可採年数は 60 年である。次の段階として近からぬ将来、燃料電池車、電気自動車になること必至である。最近では運輸トラックにもハイブリッド化が普及し始めている。

第3章 目標設定時期

本論文の題目にあるように考察の設定時期は核融合発電が実用になった段階である。核融合発電実現の見通しは、50 年前から「50 年後」と言われてきている。技術的には核分裂による原子力発電の経験を大いに利用できる利点を持っていながら、この間、研究が進むにつれ核分裂に比べ核融合実現の物理的困難さが度重なり露見したことによる。しかしながら現在の主たるエネルギー源である石油の供給可能な期間が 40 年弱とされていること、原子力発電の燃料であるウランの可採年数が 70 年であり、高速増殖炉、またはプルサーマル炉にしない限り、石油に次いで原燃料の枯渇が迫っていることを踏まえると、大容量供給電力源である核融合発電は、西暦 2050 年には実用の目途がたっていることを前提として、2050 年と設定する。

また今般、数年来立地が決まらなかった国際熱核融合炉 ITER の建設地がフランスのカダラッシュに決定したことで研究の進展に弾みがつき、2050 年という実現目標が近付いたと期待できる。

第4章 我が国のエネルギー需要の見通し

総エネルギー消費量に対する個々人の消費量の人口分布をとっても、更なる将来の予測はつかないので、第1章にて表したように我が国の総エネルギー消費量を単純に人口で除して、1 人当たりの平均エネルギー消費量で考える。

総じてエネルギー需要の見通しは第1章で触れたように人口当たりの個別エネルギー消費量であるとする。即ち、

$$\text{総エネルギー需要} = \text{人口} \times \text{1人当たりのエネルギー消費}$$

といえる。ここで本章では右辺各項の見通しについて述べる。

1 2050年の時点での我が国の人口の見通し

人口という数値を形成する大きな要素は、出生率と寿命である。

居住環境の好ましい日本列島でヒトが生活するようになった縄文期から文明文化の発達に伴い日本の人口は漸増してきた。またエネルギーサイクルが非常に理想的な状態で、効率的に営まれていた江戸時代には人口の変動が少なく、凡そ 2700 万人の人口であったとされる¹⁴⁾。開国により、明治時代となり外国からの文化文明が入り、生活形態が一変し、医療技術も進歩することで寿命が延び、日本の人口は急激に増加した。以降、増加率の変動はあっても、実数は増加し続け、西暦 2000 年の段階で我が国の人口

は1億2000万人を超え、併せて世界有数の長寿国となった。

その一方で近年少子高齢化の傾向が始まり、西暦2006年を境に我が国の人口は減少すると見られていたが、下降は前倒し傾向にある。全世界では人口は依然として増加しているが、先進国の例に漏れず、我が国の人口の自然増加率は低下している。西欧の人口転換のアジアでの初めての実現で、且つ西欧のそれよりも速い速度での実現である¹⁵⁾。また、現在のわが国の社会生活における将来への不安から、政府の一時的な人口政策が行われようとも出生率の低下は避けられない。または政府の人口政策も見通しが得られていないので、効果的な政策が行われていない現状ともいえる。

巷では長寿国日本は、第2次大戦前の、当時としては豊かな時期に健康な基礎体力を築き、第2次大戦敗戦後に粗食に耐えた世代が貢献していると考えている。従い、医療技術が進歩しているとはいえ、現在の飽食の文明社会では戦後世代以降の日本人の基礎体力は低下する一方であることは明白である。保険事業が林立するほどの生活習慣病罹患者の増加があり、それが日本人の死亡原因の大半を占めている。また、成長期である10代の児童生徒の基礎体力が低下している、それどころかいわゆる成人病に罹患している、又は予備軍が夥しい状態である。現代は社会風潮としての将来不安により将来への積極的な期待が失せ、健康な日々を目指すより日和見的な日常生活、食生活の乱れがあり、便利生活を謳歌することなどによる基礎体力の低下がある。また成熟社会の特徴の精神的ストレス、これは潜在的に大きい要因と考えられる。現実の医療費の増加は国家規模で健康障害が増えていることにほかならない。確かに医療の発達には寿命を延ばす要因ではある。しかしそれ以上に基礎体力低下、抵抗力の低い体質に至る、これらにより日本人の平均寿命は現在を峠に当面は低下の一途を辿ることは想像に難くない。総合して我が国の人口は急激に減少する見通しである。

我が国の人口推移の予想は各説あるが、極端な例として極めて長い長期揺り戻しとして明治期からの増加した速さでもって減少するとみる(図4-1上)と、図から西暦2050年で凡そ8500~9000万人と読み取れる。現在の人口の約7割といったところであろう。これ程極端な未来はあってほしくない。

現状を踏まえた信憑性のある数値として、国勢調査に基く厚生労働省人口問題研究所での統計数字がある(図4-2)。これですら1975年より予想値は殆ど毎年低下している。予想計算方法としては種々考えられているが、過去の実績のあることと、人口推移の先輩格である欧米で採用されていることもあり、コーホート法が信頼できるとされている。コーホート要因法の要素は、①将来の出生率動向、②将来の死亡動向、③将来の人口移動の動向、④出生児の男女比の動向であり、これらの各要素の予測を必要とする。

1) 出生率の動向

これらを総合して予測する際に大きい影響を及ぼ

すのが合計特殊出生率である。この合計特殊出生率は様々な社会的要因を勘案し、将来予測として高位推計、中位推計、低位推計がはじき出される。図4-3のように高位推計は合計特殊出生率の下がり過ぎた反動で現在を最低値として見込み、2020年には平成早々の値1.62になるであろうとする希望の度合いの大きいものである。中位推計は向こう数年の間は緩やかに減少しても2020年頃は現在の値程度のところに落ち着くであろう、即ち、現状維持を予想している。低位推計にあつては過去30年の低下の傾向で減少し続け、凡そ2020年頃には現在の20%減の値になると悲観的な予測をしている。

しかしながら2050年という遠い将来の予測であるがこのコーホート要因法で厚生労働省が5年毎に類推するにあたり、キーポイントとなる合計特殊出生率が予想を遥かに下回っている。図4-3は2000年の予測であったが、図4-4の1995年の細かいデータと比べ実績値予測値とも低下している。2000年当時、合計特殊出生率は中位推計で2002年から僅かずつ上向きの予想があつたが2002年、2003年とも低下し、2003年のそれはショッキングな程大幅に下がり、低位推計に限りなく近づいている。少なくとも低位推計を更に下方修正する必要を予想できる。

現実には平成16年6月に発表された¹⁶⁾平成15年の合計特殊出生率が更に下がり中位推計より遥かに低位推計に近付き、最早、高位推計は意味を持たないのではないかとさえ思える。

この合計特殊出生率から算定される2050年の人口予想は中位で図4-2に表してあり1億数百万人と読めるが、政府及び公的機関の判断は往々にして楽観がある。下方修正により9000万人前後と予想するのは難くない。

この下方修正の理由としては、①日本人の寿命の短縮、②生き方の多様化、③雇用機会均等法により拍車がかかり女性が自由になった、ことがあげられる。昨今の女性の労働形態、即ち常勤化、私的公的双方の保育体制の不足、結婚年齢の高齢化……一時的に合計特殊出生率の増加はあり得る。しかし、平均完結出生児数減少をもたらす……、未婚割合の増加、地方の都会化、子供を持って以後も児童手当の削減、義務教育への公費の補助の不安、などなど経済要素も含め、諸々を考えると当面の合計特殊出生率の増加は期待できない。出生率の低下に対し政府は根本的なところで対処できるであろうか。

さて希望をもてる人口増の高位予想を試みよう。

ここで新たな期待として、平成16年12月3日の閣議で2004年版「少子化社会白書」が決定された(新聞各紙)¹⁷⁾。2006年に我が国の人口がピークを迎えることは人口に膾炙している。が、2005年からの5年間で同時に第2次ベビーブーム世代(1971~74年生れ)を中心とした世代の出産適齢期になるとして、出生率、合計特殊出生率が変わらないまでも、人口増が期待できるとした。これをもとに、女性が働きながらも子育てをし易い社会環境を築くという取り組みを提唱した。政策というものは対象が多ければ多いほど実現し易く継続し易いので、これを契機

に人口構成改善の機会にしたい。しかし案の定、政府が考えることなので楽観はできない。

図4-2のように1920年代～1940年の人口の曲線、1945年～1970年の人口の曲線は明らかに勾配が異なる。確かに終戦後復員、引き上げてきた人で人口が増えてきただけでなく、第1次ベビーブームとなったことによる人口の増加である。同様に1970年で図の2つ目の山の勾配を大きく変えたのも第2次ベビーブームによるものであることも明白である。この世代が子を持つ年代となり第3次ベビーブームを形成することもうなずける。然らば同様に人口の一時増加はどれほどであろうかを考える。第1次は1947～1949年の3年間で予想人口カーブの7400万人に対し略690万人(9.3%)増えた。第2次は期間が広がり、1971～1974年の4年間で予想1億500万人に対し500万人(4.7%)増である。第1次と第2次ベビーブームの間隔24～25年に対し現在は結婚年齢の高齢化をしたことを考慮し、まだブームのピークが訪れていないというより、相対的にピークが小さく、裾の広いことが予想できる。図4-5に示す人口ピラミッドにて平成16年現在男女とも29歳に人口の大きなピークがあることを踏まえ、現時点で第3次ベビーブームのはしりになっていると考える。第1次、第2次と比べ子をもうける機運が低いことを考え、割合で総人口の2～2.5%どまりと予想する。従って2004～2011年の凡そ7～8年の間に、300万人の人口増を望む。

2) 死亡率の動向

本章の初めの文言のように人口予想の要素である、出生数と死亡数と自然増数、出生率と死亡率の推移を図4-6、7に示す。実数及び比率とも中位予想で2006年に出生<死亡となる予想がある。即ち、高齢人口割合が2000年に17.7%、2020年では25.5%と予想され、死亡数は加速する¹⁸⁾。近々に我が国の人口のピークを迎えるので、その人口の減少に従い、実数よりも率のほうが大きい割合になっていくものと見られる。この中位予想で出生数はほぼ直線的に漸減するが、出生率では2025年辺りで勾配が小さくなる。とはいえ死亡数、率が増加しているので分母が小さくなり我が国の人口は減少速度が小さくなりそうである。死亡率は2050年では傾きが小さいながらも増加しているが、実数では2037年辺りでピークを迎える。これは第2次大戦後の第1次ベビーブーム世代の平均寿命と一致する。それによりここを境に死亡数が減少し、自然増加数が安定すると考える。

3) 総合

少なくとも2050年の人口予想でも図4-2で示したように日本国勢図会データの1975年でのものから2000年でのものへの25年間に3割下方修正したことを鑑みると、向こう40年間の間に過去25年のペースではないまでも現在の予想を少なくとも2割は下ると考える。しかしながらエネルギー供給は国家主導であることから、予想値が下回ることは国民生活の維持のため行政上危険であることを考慮して高目設定し、2050年での我が国の人口は1億人と設定するのが適当と判断する。

因みに社会保障審議会人口部会による「日本の将来人口」(平成14年1月推計)では2050年の我が国の人口は中位推計で1億59万3千人、高位推計で1億824万6千人、低位推計で9203万1千人としている。その際の長期出生率は中位にて1.39、高位で1.63、低位で1.10と仮定している¹⁹⁾。中位の年齢別ピラミッドを図4-8に示す。ここに第3次ベビーブームによる期待値を破線で書き加えた。更に通商産業省ほど楽観していない電力中央研究所では中位推計で2007年に死亡者数が出生者数を上回り、地域差を考慮しても全国規模で2025年に総人口1億2000万人を切り、2050年では9000万人弱と推計している。高位推計でも9300万人としている²⁰⁾。

2 2050年の時点での日本人の個々のエネルギー消費量

人間の暮らしの快適さの代償はエネルギー消費である。即ち、文明が進み、それを得るための文化が進展することで、個々人のエネルギー消費は恰もエントロピーの増加のごとく増加することは否めない。

又、既に述べたように高齢者層が増加するという事は今迄以上に快適な生活が需められ、より利便性の高い生活水準となることは自明である。その助けとしての設備が増え、この点でもエネルギー消費増加は必至である。凡そ洗濯機の普及はほとんどの家庭に及んでいるが、手で洗うより大量の洗剤、水を消費する。洗剤の製造、上水道への浄化、排水の浄化、洗濯機の運転、はたまた乾燥までも日照でなく電力や燃焼エネルギーを注ぎ込む。消費者は気にもせず大量の電気エネルギーを消費している。また文明の享受であるテレビも技術の発達で液晶のように省エネルギーになっているが、質の向上を目指したプラズマテレビでは消費電力が増大した。当然のこととして省エネ努力も行われているが。また、冷暖房機器の普及率が高まったことで、夏冬夫々の平均気温の高低に拘らず、冷房度日、暖房度日は漸増し続けている²¹⁾。これなどは前に述べた日本人の基礎体力の低下と正帰還を掛け合っている。

一方で、特に火力発電により排出された窒素酸化物、硫黄酸化物による大気汚染、オゾン層破壊、また二酸化炭素による地球温暖化等の諸現象対策、それと石油枯渇対策としての省エネルギーが叫ばれて国家規模で推し進められつつある。その意味で個々の文明的利便性に対するエネルギー消費は減る可能性も持っている。

また、高齢者割合が増えるということは労働人口が相対的に少なくなるということである。従って第1章で述べたエネルギー消費の1/2を占める産業部門が縮小になる可能性が高い。その上で、高齢者は在宅する確率が高いので民生需要は相対的に増加する²⁰⁾。

非常に粗い見積もりであるが、50年前から現在までのエネルギー消費増加率とも比べ、1人当たりのエネルギー消費量は図1-2のように産業部門での消費は殆ど増加しないと予想して来た。民生では生活

水準のパロメータとして相変わらず上昇する。運輸は既に飽和傾向にある。これは合理化、高効率化、環境問題を考慮し伸びは低下すると予想する。

図 4-9 に短時間の統計であるが、わが国の 1 人当たりのエネルギー消費量をプロットしてある。資料により相当のバラつきがある。総供給の勾配の高い部分、1970 年迄は高度経済成長と読める。1990 年代後半の勾配の緩いところは省エネ努力等の結果であるが反動がついて回る。エネルギー消費量の増減は国家規模の大きなイベントで大幅な変動をきたし予想し切れない。人口同様に高位から低位まで予想し、その幅の中で類推せざるを得ない。過去 30 年に亘り恐ろしいほど直線的である国勢図会の資料から読むと 2050 年には単純に 1 人当たり石油換算 8.5 トン(356GJ)となる。総合エネルギー統計の資料からは更に読み取りにくい。しかし信頼できるとされているメンバーによる予想でも 1 人当たり 10 年間に 16.5%の消費エネルギーの増加があるとされる。政府筋の中位予想値である。「平成 13 年度電源開発基本計画」では平成 22 年度には平成 12 年度の 16%増²²⁾としている。政府筋の中位予想値である。このペースで 50 年経ると 2.1 倍と計算される。すると 1 人当たりの消費量は石油換算 8 トン(335GJ)余りということになる。これからエネルギー消費の大変動をきたす技術改良、省エネ努力を期待し、1 人当たり年間 7 トン(293GJ)の総エネルギー消費とする。因みに 1 節と同様に電力中央研究所社会経済研究所による計算では 2030 年で中位推計 5.458kl(211GJ)/人²³⁾で、図 4-9 の総合エネルギー統計との比較で読むと 2050 年には 1 人当たり年間 6.6 石油換算トン(277GJ)と読み取れる。この時政府総合資源エネルギー調査会では 2%ほど低く見積もっている。

総合すると 2002 年の我が国の国家全体のエネルギー消費総量は

$$126,479 \text{ 千人} \times 4 \text{ トン} \\ = 5.06 \text{ 億トン(石油)}$$

で 21,200PJ と計算できる。現在は 1 次エネルギーの 40%強が発電に利用され、更にその 40%(3562PJ)が電力に転換されている。この概算に対し 2001 年の実績は、1 次エネルギー総供給は 22101PJ で電力として供給された分は 3279PJ である²⁴⁾。

これに対し、2050 年は

$$100,000 \text{ 千人} \times 7 \text{ トン} \\ = 7 \text{ 億トン(石油)}$$

で 1 次エネルギー総供給は 29,330PJ となる。ところで原油、石油は現在電力用、原材料用を除き 9000PJ が燃焼エネルギーとして利用されている。これのエネルギー変換効率は高く、99%以上である。2050 年の時点で総エネルギーに対する石油需要相当分の割合は現在と同じと考えると 11940PJ となる。

これをそっくり電力で賄うとすると電力の転換効

率で除して 29860PJ の 1 次エネルギーが必要となる。この 29860PJ は現在の 1 次エネルギー総供給のうち、発電に用いられているエネルギーの凡そ 3.6 倍となる。従って 2050 年に現在の電力の単純増加分を含めて 5.0 倍以上のエネルギーとなり、それ程の発電設備が設置されていることは慮外である。

然らば実現可能なほどの程度であろうか。現在の燃焼用石油製品のうち電力に置換できる技術の見通しのあるもので、自動車燃料として用いられているのはガソリン 23%、軽油 15%で計 38%である。灯油、LPG 等の民生用燃料が 22%である。当面これ等すべて、石油の 60%は些か困難ではあるが、少なくとも自動車用燃料分相当 38%は賄う目標に充てたい。この割合を 2050 年の数値に適用して 4726PJ の電力がはじき出される。それは 11815PJ の 1 次エネルギーを必要とする。これを石油の電力振替え分とする。この値は現在の電力と略、同じ値である。これ位ならば技術的にも実現は難くないと確信する。でき得るならば民生分相当も某かは賄っていることを期待したい。この点は化石燃料を高効率に用いる燃料電池の普及が相当貢献するであろう。また、熱源として廃熱システム利用の充実によりエネルギー供給の余裕、及び化石燃料の燃焼利用の寿命延長に充てる。

これに当初の電力増加分 12820PJ(1 次エネルギー)を加えて、本報告で考察するエネルギーは

1 次エネルギー	25000 PJ
電力供給	10000 PJ

と設定する。

第 5 章 将来の電気エネルギーシステム

1 既存のエネルギー供給システムの将来見通し

1) 水力発電

水力発電は既に述べたように現在のわが国の電力供給の 1 割にも満たない。しかしながら燃焼を伴わないエネルギー源であること、わが国の水資源は安定に供給されていることを考慮すると将来に亘り水力システムは継続し続ける。また数多の発電システムの中にあつてすこぶる優良な発電効率(水車、発電機総合で)72~90%を持っている。確かに落差は得られても水量を得られない欠点はあるが、小落差のも含め小規模の水力発電所の建設が行われている。また新たな立地が検討され、現に東京電力では現在国内最大の奥多々良発電所の 1932MW を超える最大出力 2700MW のものが建設中である。

水力発電は技術的に起動・停止の応答を早くできるのでピーク電力への貢献が大きい特徴を持っている。平成 12 年度の水力発電供給量は 66471×百万 kWh(発熱量 239PJ 相当)あるが、第 4 章で述べた将来の需要の伸び率に対しては相当の伸び率の期待をできる。

平成 13 年度末総水力発電設備出力は(認可最大出

力)4632万4320kWである。建設中、着工準備中は計1327万kWある。現稼働設備の30%弱である。

発電水力の未開発分は既開発分の50%は優にある²⁵⁾。但し、大規模なものは今後は難しい。

自流式水力発電はベース電力を担い、今後も増え続ける多くの揚水式はピーク電力を担っている。同じく火力発電がミドル電力を賄っていることを考慮すると、水力発電は石油火力を補う方向を示している。2050年には現在の未開発分全てを開発しているとして、現在の150%の設備容量を持っているとする。

2) 火力発電

火力発電における設備容量は過去の実績から石油火発が多く、石油31.8%、石炭17.3%、LNG34.3%(平成12年度末)である。現状では石油火発設備は予備役状態で機能を保持しており、2003年の原子力発電施設総点検で原子力発電施設の稼働ならなかった際には発電のバックアップに活躍した。

実際わが国では石油火力発電は出力を押さえているが、石油の非エネルギー消費量は減っておらず、更に世界でエネルギー全体の伸びにあって石油消費量は決して減っていない。新たな技術開発で石油可採量が増えても、可採年数の伸びは期待してはいけない。

最近の発電実績は1999年度末でLNGがほぼ1/2、石炭は1/3弱、石油は1/4弱に止まっている²⁶⁾。実際に石油火力は枯渇を踏まえ、石炭、LNGへの転換を図っており、向こう10年間でLNG火力1100万kW開発し、平成22年度末には20%増となる設備容量6696万kWを目指している。これにより発電量で平成12年度の2491億kWh(897PJ)を平成22年度で2502億kWh(901PJ)へ増やすと見込める²⁷⁾。

また電源開発の立場で要対策重要電源として原子力、揚水発電とならんでLNG火力発電と石炭火力発電が挙げられている。

① LNG火力発電

液化天然ガスを用いた火力発電は立上がりがあるのでピーク電力を担える。石油、石炭の発電に比べ二酸化炭素排出量が少ないこと、燃料の供給が得やすく、安定していることもあり、近年は発電実績が増えている。但し見落としがちであるが、天然ガスの可採年数も向こう60年である²⁸⁾。2010年の発電量は見込まれているが、それ以降の増加は期待しない方がよい。可採年数がLNGに概ね等しいウランは燃料として再利用が可能であるが、LNGはその要件を持ち合わせていない。

② 石炭火力発電

石炭火力発電はわが国では蒸気機関車の排煙に象徴され、石炭に対するクリーンなイメージが一般には余り及んでないが、脱硫脱硝などの近代的な技術によってLNG火力発電と共に大勢を占めており、現在も建設が進んでいる。また石炭は可採埋蔵量が300年以上あり²⁹⁾、将来の電気エネルギーをもたらす有力な燃料である。わが国の過去の石炭採掘が地下掘りで労働環境も決して芳しくなかった上に落盤事故も多発したので、品質の悪さも含めて石炭への一般

市民の印象は悪いが、現在は我が国で産出したのより良質の石炭を露天掘りしている友好国より輸入でき、社会的にも好ましい資源といえる。また火力発電全般に言えることであるが、公共事業規模でありながら需要地の近くに設置できる、即ち、送電損失軽減の大きなメリットがある。これを踏まえると将来の発電事業の大きな要となることは必須である。

石炭火力発電の設備容量の増加は1999年2488万kWから2010年に4410万kWと70%増設を見込んでいる。伴い出力は1999年1529億kWh(550PJ)から2010年2351億kWh(846PJ)を見込む。現在の154%であり、稼働率は10%減で運転に余裕を持たせたことになる。現時点で石炭火力発電程大きい増設見込みをもったものはない³⁰⁾。基本的な技術の進歩、資源の埋蔵量を考慮すると2050年の時点での設備容量の多さは相当期待できる。単純に10年間に50%出力増と考えると次の40年、2050年には発電量は2050年の5倍となるが、篋棒なので高位推計値としよう。中位推計3倍、低位推計2倍とする。

3) 原子力発電

わが国の原子力発電は主に軽水炉(沸騰水型、加圧水型)で、平成13年度現在54基、4795万kWとなっている。1基当たりの出力は他の発電設備に比較して高く、設備効率が高いといえる。更に長期の点検期間を要するが、運転可能な時間に対する設備利用率が平均80%以上あり、他の発電方式に比べ結果的に設備効率が高いといえる。しかしながら厳しい安全のための規制が電力会社の積極的な建設意欲を失わせ、更に老朽化による点検項目増加、点検期間長期化が稼働率を低下させ、原子力発電システムを衰退させかねない。

ではあるが、化石燃料燃焼による二酸化炭素排出で引き起こされている地球温暖化対策、石油枯渇を踏まえ、わが国は原子力を推進させており、現在は全発電量の1/3以上を原子力発電が担っている。昨今様々な問題が起こっているが資源を持たないわが国では原子力を推進しなければエネルギー供給は間に合わない。

エネルギー供給の見通しは二酸化炭素排出削減の観点で2010年度に4800億kWh(1728PJ)を設定し、目標達成を目指している。そのための設備容量として7000万~6600万kWを見込むが増設16~20基必要とすると考えられている³¹⁾が、昨今の原子力発電所トラブルで足踏みしている。総合資源エネルギー調査会では1999年4492万kW設備、3165億kWh(1139PJ)の電力供給に対し、2010年は6185万kW設備、4186億kWh(1507PJ)の電力供給を見込んでいる²⁶⁾。一方で原子力委員会は原子力開発長期計画(1994年)として2000年に4560万kW、2010年に7050万kW、2030年には1億kWの設備容量を示した³²⁾。その後、2004年政府長期エネルギー需給見通しでは2010年までに4基運転開始1基廃止で略5000万kW設備、2030年で6基運転開始し、5800万kWとしている。これに相当する電力中央研究所の見解は2010年で5基運転開始1基廃止により5200万kW設備、2030年で11基運転開始で6600万kWとしている²³⁾。何れにしる下方

修正となった。これらのペースで原子力発電所が建設されると2050年には政府筋6600万kW、電力中央研究所8000万kWとなる。政府案を中位、電中研案を高位とする。

前に再三述べているように資源であるウランの可採年数は現在確認されているもので向こう40年分、発見される見込みを含めて70年とされており、2050年の段階での可採年数は25年となり、現在の石油可採年数40年より逼迫していることになる。最終的にはプルサーマル方式や高速増殖炉に期待しなければならない。これらは昨今の原子力発電事業者の信用下落で足踏み状態であるが、大手の東京電力、関西電力に先立ち四国電力、九州電力で市民の理解を得る地道な努力の結果、プルサーマル方式が2010年の実現を目指し一歩踏み出そうとしている。

4) 地熱発電

地熱発電は現在実用・供給段階にあるがその設備容量の総計は事業用14箇所自家用6箇所を合わせて535.25MWで、大型の発電機2基分相当である。例えば吉野川本川水力発電所で最大出力600MW、現在最大の奥多々良水力発電所は1932MWである。地熱発電所最大出力は東北電力柳津地熱発電所で65MWである³³⁾。

地熱発電最大の特徴は世界有数の火山国であるわが国には膨大な地熱エネルギーが分布しており、運転経費が少ない。また燃焼を伴わないので地球環境にも優しいクリーンなエネルギーであることである。

地熱エネルギー資源賦存量は推定で、2000m以浅の浅部地熱系で2207万kW、2000m以深の深部地熱系で4723万kW、合計6930万kWとされている³⁴⁾。柳津発電所1千箇所相当で現有設備容量の130倍である。

一方で掘削をはじめ建設に多大な経費がかかる上に運転開始までの期間が長い点がある。また多くの立地は国立公園や国定公園内にあり、厳しい開発規制がある。これを踏まえ平成14年度以降、大型開発は停止している。しかしながら、硫黄対策で設備の長寿命化をはかることや余剰熱の有効利用、効率の上昇を目指しバイナリーサイクルの実用化を進めている。また別なる改良型として高温岩体発電も候補で³⁵⁾、電中研が実証に取組み始めた³⁶⁾。

総合して将来に石油代替エネルギーとしての期待は大きくはないが原子力発電、水力発電に名を並べて長年の実績を築いている。地球温暖化ガスの排出がないこと、自然エネルギーの有効利用としての、また、需要地での供給の理念に基づき、綿々と実績を築いて行くであろう。

個々の発電量の増強とは別に、近い将来に迫っている石油枯渇に対して石油代替エネルギーの策定は必須である。

昭和55年度から始まった代替エネルギー対策推進を目的として「石油代替エネルギーの開発及び導入の促進に関する法律(代エネ法)」が制定され、開発推進が進められた。

平成22年度(2010年度)での石油代替エネルギーの供給目標は、

	石油換算万kl	PJ	%
原子力	9300	3599	28.1
石炭	11400	4412	34.4
天然ガス	8300	3212	25.1
水力	2000	774	6.0
地熱	100	39	0.3
その他	2000	774	6.0
計	33100	12810	

としている³⁷⁾。この量は現在、発電に用いられる全資源9263PJ(2001年)の16.5%増³⁸⁾以上である。石油火力発電を使わず需要を賄えることを予定している。

2 新しいエネルギーシステム

1977年には2010年の目標達成を目指し「新エネルギー利用等の促進に関する特別措置法(新エネ法)」が制定された。ここでは新しいエネルギーシステムが具体的にあげられ、更に、技術開発、利用促進が文言に盛り込まれた。

1) 風力発電

風力発電は環境に優しく、クリーンであるゆえに将来のエネルギー供給のエースとされている。今日、毎日発行されている工業新聞ではメーカーの風力発電システム開発、もしくは受注記事の載らない日は無いほどである。設備容量、設備費、100kW級からという小形発電容量、600kWでは大型とされ、規模の要素から自治体規模で導入できるので普及が速いと読める。平成6年12月「新エネルギー大綱」では2000年度に2万kW、2010年に15万kWの導入を目指す³⁹⁾としたが、それを遥かに凌いで平成15年度末で576基、46.3万kWだったものが平成16年度末では738基、68.4万kWと急速に増えている。それを踏まえ資源エネルギー庁は2010年に300万kW設備容量を目標とするとした⁴⁰⁾。

しかしながら近年の電気供給の実績では、新エネルギーとして一括りされている。風力はエネルギー密度が低く、容量の割に設置場所の広さを要する。更に設置できる場所の制約を受ける。風向きに対してはわが国は変動が激しく、検知器を用い、羽根を風に直角に向ける機構を備えて対応できるが、定格出力をもたらす風速は大型風力で10m/秒前後で、いわゆる強風といわれる強さで大人が立っていると相当な抵抗となる速度である。また台風の暴風程の風速50~60m/秒で危険防止のためカットアウトしている。中型機で数m/秒にてカットイン、10数m/秒にて最高出力、24m/秒にてカットアウトである⁴¹⁾。これらの風速範囲で有効に運転できる地域は少ない。ここから洋上風力発電の有効性が出てくるが、現状では設備費が陸上のほぼ2倍必要とされている。最近では建設費軽減へ向け、大手プラント会社が新しい建設方式を提案し⁴²⁾、コストばかりか建設期間の短縮をも図っている。

羽根は回転軸への荷重、風への強度を考慮し、プ

ラスティックを用いているが、日照、紫外線、時には潮を受けるので寿命が20年とされている。この羽根の寿命が風力発電設備の耐用年数を支配しているので、この材料開発が待たれる。羽根の材料問題解決如何によっては耐用年数増加をもたらす、コストの低減となり、大幅な風力発電設備増加に期待がもたれる。

別の解決すべき大きな課題としては騒音がある。これから設置場所の制限を持つが、適当な場所として国立公園、国定公園内が該当するので陸上では大幅な増設は困難である。解決策としてはやはり洋上風力発電が有力である。我が国は四方が海に囲まれているので設置の場は多い。

総合して現状では採算をとれる状況は少ないと考える。自治体なり、団体が環境に十分配慮していることの象徴としての有益性を付加することで価値を補っている。尤も前に述べたように設置箇所が増えれば、自ずとメンテナンス需要も増え、サービス需要が向上するので、正帰還がかかり、経費の低下に結び付く。

風力発電の効率は発電機効率、機械効率を含むと10～35%程度である。前述の設備容量に対して発電実績はというと、経済産業省で把握、公表している公共事業としての発電量は、新エネルギーのうち地熱発電のみが項目をもっているか、又は新エネルギーとして括られている状態で、今のところ風力はほとんど表に出てこない。しかし、述べてきたように一つ一つの問題解決は新エネルギーとしての足場を高め、大きな期待をもたらす。

数年前の発電システムは1基当たり500kW程度で、大型化を目指していた。これが瞬く間に我が国でも1000kWを超えるクラスが稼働し、今や3000kW級が当たり前である。また、各機械要素の改善、性能向上を平行して進めている。対風速50m/秒を80m/秒に、耐用年数20年を伸ばすことを目標にしている。平成6年12月閣議決定された新エネルギー導入大綱にて2000年度2万kW、2010年度15万kW導入を目指すこととされた³⁹⁾。平成16年、経産省は2010年に発電出力を現在の4.4倍の300万kWに増やす、と発表した。他方設備に対し採算があまり採れないので、既に第三セクターに運営を移行したものや廃止したものもある。現に環境先進国として積極的に風力発電を導入したドイツでは廃業となったケースを毎日新聞(平成16年12月9日)が紹介している。運転効率を上げられる設置をしないと保守費用の捻出も難しい。コストが他の発電システムに比べ高いので政府が発電電力を積極的に買い上げる政策を行う必要がある。

実際に図5-1によると風力発電による供給電力は急速に増加している。もっともその殆どが自家消費であるが、余剰電力の電力会社による買い上げも増加している。この数年間の設備容量、発電量の増加の割合を考えると、2010年の行政側の目標として設定した全発電量の1%に対し達成率は高いと予想したいが0.5%である。一方で増加率の大きさ、不採算による廃止の可能性を考慮すると2050年での発電量を予想するのは難しい。少なくとも大規模な公

共レベルには及ばないが、設置地域の公共施設、法人規模の自家用補助電力供給をめざす方が賢明であろう。設備の急激な増加、稼働率を考慮して、全電力供給量の1%を見込む。ここでは設置した現地への供給として送電損失も少ない。

本考察を進めている間に、一部の公共電力業者で一般風力発電事業者から買い上げる電力量に限度が設けられている事実を踏まえ、風力発電導入に対し蓄電池設備併設が奨励されることになった。他の新エネルギー同様に風力発電はエネルギー密度が低いこと、安定定常供給が得られないことで、電力会社が積極的に買い上げられないでいる。そこで経済産業省が売電を行い得る業者に対し、電力安定供給を目指し蓄電池設備を併設させようとしている。蓄電池設備は概ね風力発電設備に等しい設備費を要する。従って現時点で風力発電設備増設に少々ブレーキがかかりそうである⁴³⁾。尤も将来までには蓄電池の改良、コストダウンは図られるが、当面影響は残る。

最終的に2050年の時点で全電力供給量の2～3%供給を目標にした上で1%の供給はできると予想する。

2) 太陽光発電

未来エネルギーのエースとしての太陽光発電は石油代替エネルギーの必須条件である①環境負荷が小さい、②新規産業・雇用創出への寄与、③分散型エネルギーシステム、④電力の負荷平準化、をこなしている⁴⁴⁾。前述の風力発電同様エネルギー資源は略無料で無尽蔵である。しかしながら風力以上に効率が悪く、単結晶シリコンで13～15%⁴⁵⁾、又は単結晶シリコン30～35%、アモルファス25%、化合物半導体20～40%⁴⁶⁾といわれている。現状では設備投資が大きいし、蓄電機能も無い。尤も逆に需要地に設備できるので送電損失を考えなくもよい点は大きな利点である。

原子炉1基(138万kW級)相当を太陽光設備で賄おうとすると山手線内の1.5倍の面積92km²を太陽電池で埋め尽くすことになる程の低効率は如何ともし難く、実験室レベルでは高水準とはいっても24%程度⁴⁶⁾であり、それを実用として屋外に設置すると日照時間云々よりも風雨に因る表面の汚れが効率を下げている。又、表面反射光損失、生成キャリアのうち表面または電界での再接合により失われる損失、キャリアが光電池内部の再接合により失われる損失、太陽電池の内部抵抗による損失、太陽電池の解放起電力が光子のエネルギー以下のための損失⁴⁶⁾等、高度な技術で解決しなければならない課題が多い。これがコスト高に併せて導入促進のブレーキの理由になっている。普及とコスト低減は正帰還現象であるのできっかけが得られれば促進できよう。

設置発電量では世界の45%という高い占有率をもっている。世界の文化国家の中で低緯度にあり年間日照時間の長い利点を十分に活用すべきである。当面は「新エネルギー利用等の促進に関する特別措置法」により補助金支給で普及に努めなければならない。その普及の効果として太陽電池製造コストは年々下がっている。経済産業省の「ニューサンシャイン計画」でも低コスト化は課題の一つに取り上げ

ている。しかし既に補助金打ち切りの方向で、国際的に市場占有率が下落し、伸びてきているドイツにトップの座を譲るのは目前である。

1974年:	20000 円/W
1980	5000~6000
1983	2000
1985	1200
1990	650
1992	600
2000	200
	(目標)

産業技術総合研究所では 2002 年の発電単価で 50 円/kWh、2010 年 23 円/kWh、2020 年 14 円/kWh、2030 年には色素等新材料によって 7 円/kWh と試算する⁴⁷⁾。

すでに実用に入っているシリコン系に対し、結晶系は高効率で高価、アモルファス系は効率は低いが低廉という特徴を持つ。電池の種類はいくつかあるが夫々長短がある。低コスト化、高効率、高品質化を目指している。化合物半導体系は 35%を超える高効率を有し、一部では低コストと両立できるものもある。薄型多結晶電池は実用に近く、セルモジュールの低コスト化を進め、現在は当初 2/3 の市場占有率をもってアモルファスシリコンに代わり、全体の 2/3 のシェアを占めるほどになっている。アモルファス電池も大量・連続生産が可能という特徴を生かし、高品質化、高信頼性化、大面積化により低コストを目指している。色素増感型で高変換効率のものも進んでいる⁴⁷⁾。

実際には次節で述べる太陽熱も需要が下がっており、伸びるべき太陽光発電は設置が遅々としていることと、電池の耐用年数が 5 年程度しかないこと⁴⁸⁾、処理し難い電池ごみの急速な増加をもたらす。本節冒頭で述べたように効率の低さが、結局、公共電力として表に出ることを遮っている。少なくとも公共の電力供給には不向きである。理想をいえば将来は普及されるべきであるが容量が大きくないので家庭用として普及させていくのが好ましい。若しくは風力発電と組み合わせて離島の電力供給システム⁴⁹⁾として提案されている。これの小型は既に公共施設に普及し始めている。2000 年の時点で我が国の生産量は 100MW に近付こうとしている。

3) 太陽熱利用

普及によってエネルギーシステムとして確立している、「新エネルギー利用等の促進に関する特別措置法」の対象にはなっていない。太陽熱発電システムも原理的には可能であるが、エネルギー密度が稀薄なので有効利用するためには相当の検討をしなければならない。

4) 燃料電池

アメリカ宇宙開発用に開発、使用された燃料電池は我が国政府のムーンライト計画の下、化石燃料の高度利用が進められ、反応ガスとして水素ガス、一酸化炭素ガスがあげられる。その燃料として天然ガス、メタノール、ナフサ、水素が利用される。灯油

仕様も実証を目指している。またそのプロセスで原子力エネルギーを利用できる。研究開発段階はほぼ完了し、事業化を進める段階となっている。既存の火力発電所効率よりも凡そ 10% 高い効率をあげられるので火力発電の代替を目指しうる。

熱機関ではないので大量の冷却の問題が無く、二酸化炭素生成の問題も無い。需要地に分散して設置でき、直交変換器を介しているため短絡事故に際して容量制限をできる。

また、負荷応答性が良いのでピーク電力、瞬間予備電力として使える。

立地は広大な土地を必要としないので建設しやすく、工期も短いので商用に用いやすい。更にモジュール単位なので点検、交換が容易である⁵⁰⁾。

大容量型と小型可搬型があり、多方面に利用できるのと、廃熱までも利用できる。最近では深夜電力を用い、逆変換を行うリチャージャブルも開発中である⁵¹⁾。

リン酸型燃料電池は作動温度は 200°C で低目で、効率が 35~45% であるが発熱反応であるので冷却を必要とする。ここから排熱を温水、蒸気として給湯、冷暖房に利用できる。オンサイト型、分散配置型として使用する。

熔融炭酸塩型は作動温度が 650°C と高く、発電効率も 45~60% と高い。この排熱はガスタービン、蒸気タービンに利用することで複合発電システムにできる。炭酸塩は腐食性が高いのでそれゆえ作動温度が高くなり、電池構成材料は制約が多くなる。また水素電極で発生した炭酸ガスを酸素電極へ循環する必要があり、システムが複雑化する。1000kW 級を目指している。

固体電解質型は作動温度が 1000°C と最も高く、発電効率も 45~60% と高い。熔融炭酸塩型同様にガスタービン、蒸気タービンに排熱を有効利用できる。高出力密度でコンパクト化が可能、電解密度も高い。大容量火力発電代替型で分散配置できる、燃料の内部改質が可能、とメリットが大きい。数 kW 級を目指している。

固体高分子型は作動温度が 80°C と低く、発電効率も 35~45% と低い。排熱は温水程度の利用である。しかし小型・軽量化が可能で、電解密度が高いので家庭用、自動車用に向いている。現状は 1kW 級から数 kW 級を目指している⁵²⁾。

現在基礎技術確立の下、200kW 級の発電システムは実現しているが、将来に対し 1000kW 級の開発、信頼性の向上、コストの低減が当面の課題である。商用化が待たれるシステムで実現は近い。既に北海道から沖縄までの各地域で一戸建住宅、集合住宅、オフィスビル等で運転試験が行われている⁵¹⁾。さらに一般家庭や自動車に普及させる前提として電気事業法、消防法等関連法規による規制に対応する規制緩和案も具体性をもってきた⁵³⁾。モジュールレベルでは開発研究は終了しているため高性能化、信頼性の向上を目指し、2050 年の段階では 1000kW 級がオンサイト型として普及していることと予想する。これらは集積型にすることにより、10~30MW クラスで火力発電

代替施設として機能し得る。

また、燃料ガス製造は現時点では様々な方式が開発されつつあるが、何れも確立一步手前である。試験段階で二酸化炭素を含む燃料をも適用できる結果がえられている⁵⁴⁾。

現在は広く普及するにはなっていないが、様々な業界が得意分野を足掛かりに手掛けて開発を進めており、最も普及に近いシステムといえる。従って利点の多さから 2050 年時点では風力発電以上の大いに頼りになるシステムになろうから、風力発電のほぼ 2 倍の出力、全電力供給の 2%になると予想する。

5) 廃棄物バイオマス発電

廃棄物はごみ焼却の際の廃熱の利用というエネルギー源である。発電過程としては燃焼系で火力発電等と同様の熱変換エネルギーとなる。しかしながら本家の火力発電は熱を発生した上で過熱蒸気でタービンを回すが、この廃棄物発電では焼却余熱の利用というレベルである。いわば燃料の代替である。それでも 1999 年度は新エネルギーのうちでは黒液・塵材等に次ぐ 98 万kWの設備で石油換算 120 万k1(46440TJ)の供給を行い、太陽熱よりも実績を上げている⁵⁵⁾。

一方で熱源の安定供給、品質の均一さをもたないので公共の電力供給には些かパワー不足である。技術先進国、エネルギー先進国であるドイツでは既にエネルギー源供給の不安定さから運用困難となった施設もある。地域の公共施設の有効利用、環境問題の啓蒙、企業内ゼロエミッションの効用、がよい所である。生活地/需要地に分布という大きいメリットがある。

バイオマス発電は同様に有機物を有効利用しようというものである。セルロースの形で水素を取り出し、メタン生成時エネルギーとして取り出す。純度、抜きだしのプロセスが現状では開発途上で、効率の高い大規模な発電にはなりにくい。ただ再生可能エネルギーということで地球に優しい、とされ将来にはやはり企業内レベル、地球活性化目的で行われよう。

6) プルサーマル

前に1節3)原子力でふれたように燃料の有効利用をプルトニウム混合燃料MOXを用いたプルサーマル発電が原子力発電の視野に入ってきた。プルサーマルは軽水炉をそのまま利用できる所以設備費というコストを増やさず且つ、核廃棄物の減量化もできる。2010 年までに全国で 16~18 基⁵⁶⁾稼働を目標にしている。

燃料加工、使用済燃料再処理についても国内処理を図っていく。併せて使用済燃料貯蔵施設の必要性もあるが、政府方針として検討を進めているので、立地における社会的課題をクリアすることで実現は見える。少なくとも炉の増設が容易くないとしても既存軽水炉の一部として考える。従って、発電出力は既存施設容量に匹敵と読む。ここではプルサーマルは供給量増加には読まない。

7) 石炭ガス炉

1960 年代にエネルギーの主座を石油に奪われて

以来、脚光を浴びなかつた石炭が石油枯渇を控え、再び高度利用されようとしている。原料の石炭は当面埋蔵量の心配はなく、賦存地域の分散性という好条件がある。石炭をクリーンに、より効果的に利用することとして石油に直に代替し得ること、価格の安定化等を目指し、液化、ガス化を進めている。

これを元に火力発電を行うことは容易に実用化しうる。当面の課題はほぼ解決して試験運転、運転研究段階である。発電過程に及べば既存技術を利用できるので実現は近い。

原料の石炭が廉価である事は採算性のメリットであるし、燃料電池への適用を踏まえ、水素ガスの原料として活用の幅が広い。しかしながら決定的には二酸化炭素発生を伴うので両刃の剣である。国家級の電力供給の主たるシステムには推せない。過渡期の代替として大いに貢献できる。

3 近未来に実現する大容量発電系

1) 高速増殖炉

原子力先進国フランスを中心に技術的蓄積は略できてきているが、昨今の核拡散問題を始めとする社会的な原子力事情、エネルギー事情からフランスでは開発を中断している。わが国では 2030 年に技術の確立を目標としているが、「もんじゅ」事故で頓挫している。この様な現状で 2010 年頃までの目途の中には入っていないが、2030 年になると石油の枯渇が切実になるのでスポットライトを当てていくことになる。これらから推すと 2050 年の段階では実用の話はしにくいと予想されていた⁵⁷⁾。

ところが京都議定書に参加を渋っていたながらも、石油価格が安かった時期に石油依存度を挙げてしまい、今日、石油高騰の社会状況で原子力発電が再評価され始めた合衆国の大きな影響で、世界で原子力の復権の兆しがある。現に我が国では「もんじゅ」の運転が再開されることになった。大予算の投入が必要なので歩みは遅いが、将来のエネルギー供給の一翼となっていくであろう。

2) 核融合発電

核融合は、提案され、物理的に原理が唱えられてから略半世紀経とうとしている。原理は単純明解で、原燃料の重水素は日本列島の回りにある海水から取り出せるので燃料の原料自体の原価は安く、抽出等加工賃が大きな燃料費である。設備費は現行の原子力発電を基本に算定できよう。

放射能汚染は、核分裂利用の現行原子力発電よりも遥かに少なく、国民生活への悪い影響は少ない。技術的には多くのそれが現原子力のノウハウを利用できる。尤も連鎖反応を起こしやすい原子力は押さえ付けるといふ制御に苦勞するが、核融合の場合は実現が困難の最中にあるが、連鎖反応を起こしにくいので実現さえすれば制御はし易い。

実現への道程は、実現に近い環状型のトカマクにおいて規模が要素となっているので、簡単ではない上に、現在の研究費は国家の経済状況では捻出しにくい。また、前に再三述べてきたように技術として

一つの問題を解決すると次の問題が立ち上がるという物理現象との競り合いを行っている状況である⁵⁸⁾。

平成 17 年に ITER(国際熱核融合実験炉)の建設がフランス、カダラッシュに決まった。研究者が、一国の予算規模では賄えない大型装置に、国際レベルでの連携研究を行えるようになるので核融合実現が近付いたと期待できよう。

実現すれば他の新エネルギーに比べ大容量のエネルギーを取り出せるので電力事業に十分貢献できると考える。炉の規模としては技術の経験から現在の原子炉の規模を考えている。即ち数 10 万kWから 200 万kW級と考えるとよいだろう。従って本論文の設定時期の電力需要の多さから判断すると発電所数は現在の原子力発電所数よりも増えていく。燃料の自給率が高いことと、100 万kW級発電所の燃料の量は石炭 200 万トン、石油 130 万トン、原子力の酸化ウラン 30 トンと比べ重水素 0.6 トンで運転できるのでコストの点は現原子力発電の 1.5 倍～3 倍で済むとされている。この値はその時点での消費者物価指数の上昇を勘案すれば、さほど大きい数字とはいえない。また原理からベータ値が高いこと、つまりプラズマ密度が高いとコストは下がる。現在の原子力発電単価は他の発電システムに比べ安い⁵⁹⁾ことを勘案すると核融合による電力は十分公共事業として成り立つと考える。

更にその次の段階として、より放射能汚染の少ない開放端型で核融合を実現すれば小型化でき需要地に設置できるという好条件が整う。これはトカマクのように重水素と三重水素の核反応で中性子を放出するのに比べ、実現は難しいが重水素同士の反応なので中性子放出が少なく、環境汚染はより少ない。技術的困難さはトカマクの経験が活かされて解決に至ろう。開放端型は更に便利なことに環状型のようにエネルギー変換効率の低い熱エネルギーを取り出すだけでなく、荷電粒子として取り出せるので、エネルギー変換効率の高い直接発電でシステム全体の効率 Q 値をあげることができる。

以上、述べてきたことを総合すると核融合発電が実現すると、現在の原子力発電が担ってきた量の電力供給は十分賄えると予想する。実際に本論の設定時期 2050 年の時点での核融合発電の実現の程度は、現状の予想では実証はクリアしていて原型炉になっていようか。恐らく商用炉の手前であろう。開発を急ぐ必要がある。

4 ベストミックスへの見込み

我が国の将来の電力供給は今まで以上にシステムが多様化し、複合システムとなる。電気事業法の法改正があり、一般家庭でも発電システムを設備し、余剰電力を電力会社に買い上げてもらえるようになったので、顕著に供給システムが変わる。大きく分けて、公共の電力事業と自家用電力とが並立することになる。その点で多くの新エネルギーは自家用に用いられる可能性が大きい。

公共、自家用、いずれを問わず、ポイントとなるのは二酸化炭素の排出量で、地球環境を考慮しつつ性能を上げていかなければならない。

1) 近い将来の電力供給は、水力発電、LNG ガス火力発電、石炭火力発電、原子力発電、そして僅かの地熱発電、急成長の風力発電、そこへ燃料電池システムが大きく台頭すると予想する。ではあるが、最終的には化石燃料燃焼による電力供給はなくすことを念頭に置くべきである。

2) コストに関して発電原価は

$$\left(\text{資本} + \text{燃料費} + \text{運転維持費} \right) / \text{発電電力量}^{59)}$$

と表せる。従って既設設備は運転年数の設定が長期化していること、発電効率向上を考えると多少は低下する。又、輸入資源の価格変動、為替レートの変動は大きな前提であるが、諸物価も同様に変動するので国内経済規模では大幅な変動は考えられない。但し、新エネルギー開発にかかる費用が組み込まれることで、相対的に上昇しうる⁶⁰⁾。

問題点としては、全体としてエネルギー転換時の発電効率の低さがある。現象の原理から本質に倣って画期的な改善は期待できないので、公共電力供給においてはどこまで地道に改良できるかがポイントになる。多くの発電システムに共通するのは送電効率の改善である。又、原子力の発電割合が大きい、例えば現在の原子力発電が抱えている不安は 2050 年の時点で解決しているとして、改良型であるプルサーマル方式、高速増殖炉での新たな問題が起こりうると予想する。

基本は前に再三述べた幾つかの方式の複合であるが、予備役としての設備をどの程度維持しなくてはならないかは試算できていない。いずれにしろエネルギー供給は国民の死活問題なので安全に、堅実に普及させなければならない。

3) 地球温暖化に対する二酸化炭素排出

京都議定書に示されている温室効果ガス削減努力をし、目標達成しているドイツ、イギリスが主導しているヨーロッパ諸国が全体で僅かでも排出を減らしている一方で、議定書に批准せず温室効果ガス排出を増加させている合衆国、オーストラリアばかりでなく、批准していながら増加の一途をたどるカナダ、努力が芳しくない我が国がある。それを踏まえたエネルギー後進国からの不満が重なり、今や二酸化炭素の温暖化論を否定する説も出ている。これに対し、一概にご破算にはできない。実際に二酸化炭素の増加と地球温暖化との因果を科学的に覆す立証はされていない。政策の長期的展望ではやはり二酸化炭素排出の増加を押さえなければならない。

日常生活に近いところで電気 1kWhの末端消費で 0.38kgのCO₂を排出し、都市ガスでは 1m³につき 1.96kg、LPガス 1m³で 6.22kg、灯油 1 リットルで 2.49kg、ガソリン 1 リットルで 2.32kg排出している⁶¹⁾とされている。

各種発電システムの二酸化炭素排出量³⁶⁾を下に示

す。

	g・c/kWh(炭素換算)
石炭	270
石油	200
天然ガス	178
タワー式太陽熱	58
海洋温度差	36
潮流	35
電気事業用太陽光	34
風力	33
海上式波力	25
家庭用太陽光	17
地熱	6
原子力(ガス拡散法)	6
水力	5
原子力(遠心分離法)	3

なお将来エネルギーの核融合は原子力とほぼ同等としておく。燃料電池システムは燃料に石油を起源とするものや、反応過程で二酸化炭素を生成するものもあり、二酸化炭素排出量は低くないとする。

これにより単純に、石炭火力発電を原子力発電(ガス拡散法、以下同じ)に置き換えると二酸化炭素排出はkWh当たり 264g・c(炭素換算)、968gCO₂換算、の削減ができる。天然ガス火力発電は同様に172g炭素換算、631g二酸化炭素換算の排出削減、石油火力発電は194g炭素換算、711g二酸化炭素換算の排出削減ができる。

発効した京都議定書では、2012年までに1990年の地球温暖化ガス(CO₂換算)排出量より5%以上の削減をするということで我が国は6%を設定している。

電力中央研究所試算では中成長として電力事業で原子力に燃料転換を進めてもエネルギー消費増加により2000~2030年度平均の二酸化炭素排出量は年率-0.1%で削減スピードは鈍い。産業の第3次産業化が大きい増加原因となっている⁶⁰⁾。是が非とも化石燃料燃焼に頼らない電力供給が必要である。

第6章 将来のエネルギー供給

1 石油を何に置き換えられるか

大きな課題は化石燃料の燃焼によるエネルギーを減らさなければならないことである。また安全とエネルギーの使いやすさを考慮しエネルギーの電化を推進することである。図6-1に2001年の我が国のエネルギーバランス・フローを示す⁶²⁾。ここで極めてショッキングなのは燃焼等の他のエネルギー転換プロセスと比べ発電系の効率の低さである。確かに電力事業は決して効率は高くはないが、他のプロセスの効率と比べると歴然とする。ボイラー系で考えると蒸気の変換効率88%、ボイラーの効率91%、及び他のシステムを含めここまでを総合して63%、発電時転換効率は40%に落ちてしまう。発電の損失が殆ど熱として放出されているとすると、環境対策も含め

電気事業に対する政策を大局的に捕らえなければならない。従って発電効率の高いシステムと需要地で発電できて送電損失の少ないシステムが大目標になる。

第5章1節で述べたように石油代替エネルギーは、個々のエネルギーシステムの増産で少しずつカバーしていこうとしているが、画期的な代替エネルギーが確立するまでは、この方法で行うしかない。平行して新システムの普及を図る。この可能性は燃料電池システムに近い。しかし根本的には化石燃料の高効率な使用にすぎない。さすれば原子力発電を進化させていくのが望ましい。

即ち、石油火力発電は高性能化した原子力発電に置き換えるべきと判断する。次いで、核融合発電が台頭すると予想する。核融合も当初は実現の比較的易しいトラス型によって行うがこれは火力発電同様に熱エネルギーとして取り出しているの、将来的には電磁エネルギーとして直かに取り出せる(直接変換システム)開放端型にシフトされるべきである。

2 何の様なシステムでどれ程のエネルギーを供給するか

京都議定書で表されている基準となる1990年の地球温暖化ガス(二酸化炭素換算)排出量は、ベストミックスで発電された電力量7376億kWh(2655PJ)に対し、それぞれのシステムでの二酸化炭素排出量を合計すると、92.4Mtの炭素分で二酸化炭素339Mtである。2012年までにこれの6%減を目指すすると炭素分にて86.9Mt、二酸化炭素の形で318.5Mtが排出目標である。毎年の発電電力量は事実、増加しているの、この目標を達成するためには4章4節3)で述べた発電量当たり二酸化炭素排出量の多い化石燃料燃焼による火力発電は増やせない。現在、現実に石炭火力発電は増やしている。

1999年でも既に1990年に対し発電電力量25%増加、二酸化炭素排出は18%増である。この時の構成比は石油火力発電は実数、発電量全体における比率とも減っているが、石炭、LNG火力発電とも実数、比率が上昇している。いまこの1999年の発電量の9176億kWh(3303PJ)を全て原子力発電で賄うと仮定すると、炭素で5.5Mtの二酸化炭素排出で、軽く目標達成となるが非現実的である。凡そ二酸化炭素排出量平均値(1990年で125.3g・c/kWh)より低い発電システムに替えなければ実現できない。勿論公共電力として大量の電力供給ができなければならない。となると原子力発電で賄うしかない。

この先、2012年以降も二酸化炭素削減目標値を維持しなければならない、という前提で論を進めると相当根本的に組み合わせ比を変えなければならない。

4章で設定した2050年の電力供給量10000PJ(2780×10⁹kWh)を今まで述べてきた新エネルギー等の増設可能な量で置き換えてみる。現在では発電量の増加が期待されている石炭火力発電、増加しつつあるが2050年時点では枯渇が見えてくるLNG火力発電は

夫々25%ずつとする。原子力 30%、他に小容量で水力 6%、風力 1%、燃料電池 2%、地熱・太陽光 0.5%ずつとし、実現の可能性のある核融合 10%で二酸化炭素排出量を計算してみる。

	%	PJ	$\times 10^8 \text{g} \cdot \text{c}$
石炭	25	2500	1876500
LNG	25	2500	1237100
原子力	30	3000	50040
水力	6	600	8340
風力	1	100	9174
燃料電池	2	200	27800
二酸化炭素排出率 50 とした			
地熱	0.5	50	834
太陽光	0.5	50	4726
核融合	10	1000	16680
計	100	10000	3231194 (323Mt・c)

10000PJの電力量は $2780 \times 10^9 \text{kWh}$ で 1990 年の発電量の 3.7 倍、二酸化炭素排出 3.5 倍である。この電力量も全て原子力で賄ったとすると炭素換算 16.7Mt であるので組み合わせによって 86.9Mt に収めることは可能である。

次なる仮定は総合資源エネルギー調査会需給部会報告書(平成 13 年 7 月)²⁶⁾の 2010 年基準ケースのうちの基準設備による発電電力に上乘せすることで 2050 年の 10000PJ 実現を考える。

	億 kWh	億 $\text{g} \cdot \text{c}$
石炭	2351	634770
LNG	2341	416698
石油	383	76600
原子力	4186	25116
水力	966	4830
地熱	37	222
新エネルギー	29	986
太陽光相当で計算		
計	10293	1159222 (115.9Mt)

ここで既に 86.9Mt を 29Mt 超えている。電力量は目標の 37% である。京都議定書に拘ってベストミックスを考える。

本節最初に設定した 2050 年のうちの火力発電、原子力発電以外でその時点で確実に発電を行っているであろう計 10% の水力～新エネルギーの出力を原子力で賄うとする。10% 分 1000PJ にて炭素 5Mt に原子力 9000PJ 炭素 15Mt、計 10000PJ、炭素 20Mt となり、排出炭素量には相当の余裕があるが、原子力は現在の 8 倍で些か実現性に乏しい。

前の仮定に石炭火力を加え、残りに原子力を充当させる。

	億 kWh	億 $\text{g} \cdot \text{c}$
石炭	2351	634770

水力	1668	8340
風力	278	9174
燃料電池	556	27800
地熱	139	834
太陽光	139	4726
原子力	22669	136014
計	27800	821658 (82Mt)

これでも原子力の割合がまだ多いが、石炭火力が現在も増加していることと燃料の供給が当面安定していることを考慮し、現実性があると思えるので、基本モデルとする。この後、新しい発電システムが確立される際に、発電量当たりの二酸化炭素排出割合の低いものへ置き換えることで二酸化炭素排出量を押し下げられる。原子力発電量が現在の 7 倍という量については核融合発電に置き換えることで、燃料の供給、安全性等の問題を解決していく。核融合発電の実現が待たれる。

因みに京都議定書で提案された二酸化炭素排出削減目標値 86.9Mt 炭素相当を維持した上での、発電量増加に伴う発電システム構成割合を図 6-2 に示す。水力発電、及び新エネルギー分は 1000PJ 一定で化石燃料燃焼エネルギーを代表した石炭火力発電、原子力発電の割合を表わしている。総発電量で凡そ 9000PJ 以上の際は原子力発電が 80% を占め、変化率が小さくなり、著しい増減は見られなくなる。

今までに述べてきた既存の、そして新しい発電システム、それぞれの改良、開発、増設の実現性を考えると、水力発電は現在予想し得る開発分を十分利用し、更にプラスアルファを期待することで現在の 2 倍の出力ができよう。石炭・LNG 火力発電は設備・発電量の増加速度を考えると 2050 年には十分設備が整っていると予想する。更に石炭ガス化による開発が進んでいると十分予想できる。原子力発電は第 5 章 1 節で述べたように増設が叶っているであろう。プルサーマル方式、高速増殖炉が実用化していて効率を上げながら、安定した電力供給をしていると予想できる。以上、既存の発電施設は老朽化に対し、更新されているものとする。又、燃料電池の普及も大きいと予想できる。

ベース、ピークの分担は図 2-1 相当で、自流水力発電～制御し易いが反応を起こさせ難い核融合発電でベース供給、原子力発電～改良型石炭火力発電でベース～ミドル～ピーク供給、調整池式、貯水池式水力発電～揚水式発電でピーク供給を賄う。

第 7 章 結論

石油が枯渇し、核融合が実現している 2050 年のわが国の電力供給は、石炭が直接には代替エネルギーとなっていると予想できる。しかし、二酸化炭素排出による地球温暖化対策として化石燃料燃焼によるエネルギー事業は減らさなければならない。そこでエネルギーの電力供給の増加を見込む。エネルギー

を必要とする人口、必要電力量は、

人口	1 億人
電力量	10000 PJ

と予想する。

電力供給方式は、

水力発電、風力発電、燃料電池その他の新エネルギーで10%、
石炭を中心とした火力発電10%、
原子力発電80%

というモデルを作った。原子力については順次、核融合発電へ置き換えると考え。2050年以降は暫く核分裂である原子力と核融合が半々で80%を担い、1次エネルギー25000PJ、電力供給10000PJを賄うという政策が推進されるのが望ましい。公共事業としての電力事業は設備投資が大きく、また建設期間が長い。従って行政は長期的展望を以て政策を進めなければならないと強く主張する。図7-1に電力の資源別供給を1999年実績、2010年目標、2050年の予想を示す。

また将来へ向けての開発として、三重水素・重水素によるトーラス型核融合からより安全な重水素・重水素による開放端型への置換推進をしなければならない。更に自家用発電システム、蓄電システムの普及も今まで以上に推進されるべきである。併せて電力への転換効率40%の改善の努力、地球温暖化防止のため化石燃料の燃焼システムの削減、更には将来に向けた実現性のあるエネルギー政策を構築すべきである。

謝辞

本考察を作成するにあたり、懇切丁寧な指導を賜りました放送大学森谷正規教授に謹んで感謝の意を表します。核融合、原子力の情報についてお教え下さいました筑波大学三好昭一名誉教授に感謝します。原子力全般に亘り様々なコメントを下さいました筑波大学プラズマ研究センター市村真副センター長に感謝します。なお、石油に対する考え方については、出光興産故須磨正雄取締役の資料を参考にさせていただきましたことをここに記し、改めて感謝の意を表します。また本報告体裁につきましては筑波大学システム情報等支援室鈴木秀則技術専門官、山形朝義技術専門職員の協力を頂きましたことを記し、感謝します。

参考文献

緒言

1)厚生労働省:人口動態統計(2003.6)

第1章

- 2)日本工業新聞(2003.3.25)
- 3)原子力文化財団:原子力文化(2001.12)
- 4)日本工業新聞(2003.3.27)
- 5)総合エネルギー統計平成14年度(以下エネルギー統計と記す)6
- 6)資源エネルギー年鑑 2003-2004(以下エネルギー年鑑と記す)43
- 7)エネルギー年鑑 513
- 8)エネルギー統計 438
- 9)同上 105

第2章

- 10)エネルギー統計 8
- 11)エネルギー年鑑 522
- 12)同上 526
- 13)同上 519、ほか

第4章

- 14)原子力文化(2002.3)
- 15)日本統計協会:現代日本の人口問題(平7)2
- 16)新聞各紙
- 17)例えば共同通信系紙で平成16年12月4日記事
- 18)現代日本の人口問題 2
- 19)将来人口統計の視点 4、223
- 20)電力中央研究所報告 Y03018(平16)
- 21)エネルギー年鑑 41
- 22)同上 554
- 23)電力中央研究所報告 Y04015(平17)
- 24)エネルギー統計 8、9

第5章

- 25)エネルギー年鑑 523
- 26)エネルギー統計 526、エネルギー年鑑 513
- 27)エネルギー年鑑 524
- 28)日刊工業新聞社山崎耕造プラズマの本 110
エネルギー統計 514
- 29)一説には200年といわれている
エネルギー統計 514
- 30)エネルギー統計 526、527
- 31)エネルギー年鑑 514-519
- 32)エネルギー年鑑 629
- 33)同上 196
- 34)同上 195
- 35)日本工業新聞平成16年8月14日
- 36)エネルギー通信 1005号(平成15年8月1日)
- 37)エネルギー年鑑 120、エネルギー統計 529
- 38)本論文第4章2節
- 39)エネルギー年鑑 202
- 40)同上 124
- 41)吉岡風力発電所パンフレット
- 42)エネルギー通信 1008号(平成15年9月19日)
- 43)毎日新聞平成17年10月3日
- 44)エネルギー年鑑 143
- 45)財団法人社会経済生産性本部の見解、及びエネルギー年鑑 145
- 46)エネルギー年鑑 183
- 47)エネルギー通信 1048号(平成17年4月22日)
- 48)日本工業新聞平成16年7月22日
- 49)エネルギー年鑑 186
- 50)同上 209
- 51)エネルギー通信 1031号(平成16年8月27日)
- 52)エネルギー年鑑 210

- 53) エネルギー通信 1027 号(平成 16 年 6 月 25 日)
- 54) 同上 1033 号(平成 16 年 9 月 24 日)
- 55) エネルギー年鑑 139
- 56) 同上 644
- 57) 同上 648
- 58) 三好: ミラー型核融合装置、プラズマ・核融合学会誌、等
- 59) エネルギー統計 532
- 60) 電中研報告 Y04015
- 61) 東京電力顧客用資料

第 6 章

- 62) エネルギー統計 8

図

- 1-1 主要エネルギー消費国の国別資源構成比
- 1-2 部門別最終エネルギー消費の推移
- 2-1 わが国の一日当たりの時間帯電力供給
- 4-1 わが国の人口推移(長期)
- 4-2 わが国の人口推移(短期)
- 4-3 合計特殊出生率の年次推移(長期)
- 4-4 合計特殊出生率の年次推移(短期)
- 4-5 人口ピラミッド
- 4-6 出生数、死亡数、自然増数、中位推計
- 4-7 出生率、死亡率、自然増加率、中位推計
- 4-8 年齢別ピラミッド、中位推計
- 4-9 1 人当たり消費エネルギーの変動
- 5-1 風力発電による電力供給推移
- 6-1 平成 13 年度の我が国のエネルギーバランス・フロー
- 6-2 二酸化炭素排出削減目標値に対する発電システム割合
- 7-1 電力供給量と資源別割合

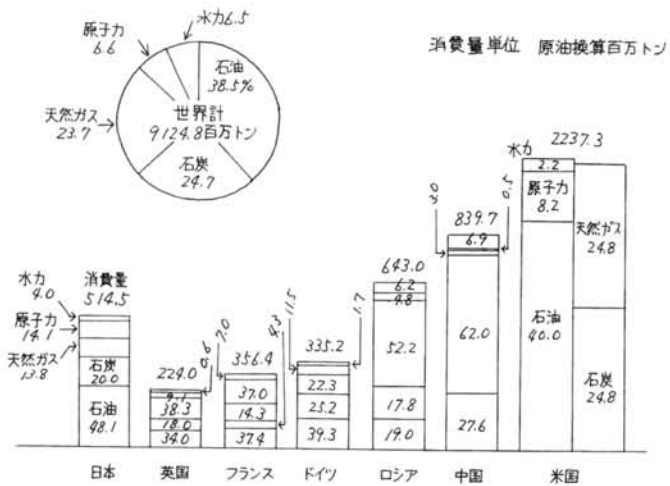


図1-1 主要エネルギー消費国の国別資源構成比 [%]

出典 日本工業新聞

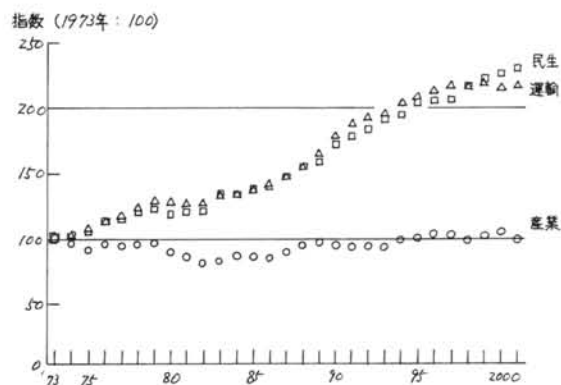


図1-2 部門別最終エネルギー消費の推移

出典: ENERGY 2003-4
資源エネルギー年鑑

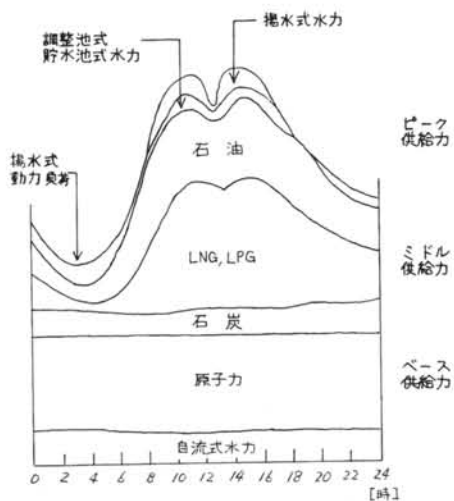


図2-1 わが国の一日当たりの時間帯電力供給

出典 各種電力資料

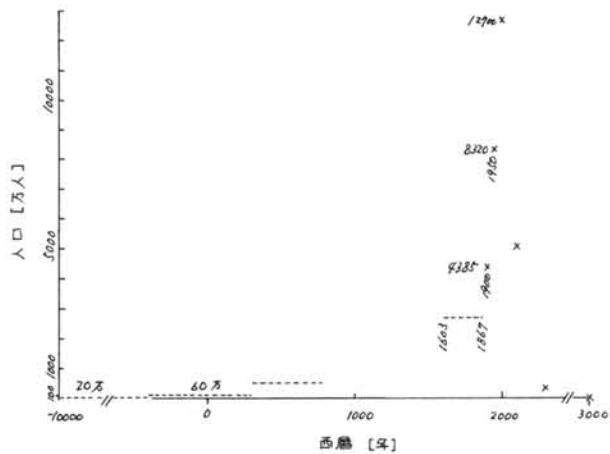
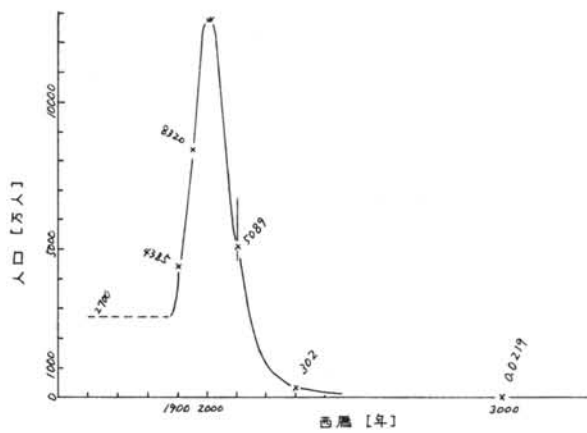


図4-1 わが国の人口推移 (長期)

学術資料 原子力文化 (2002. 3)

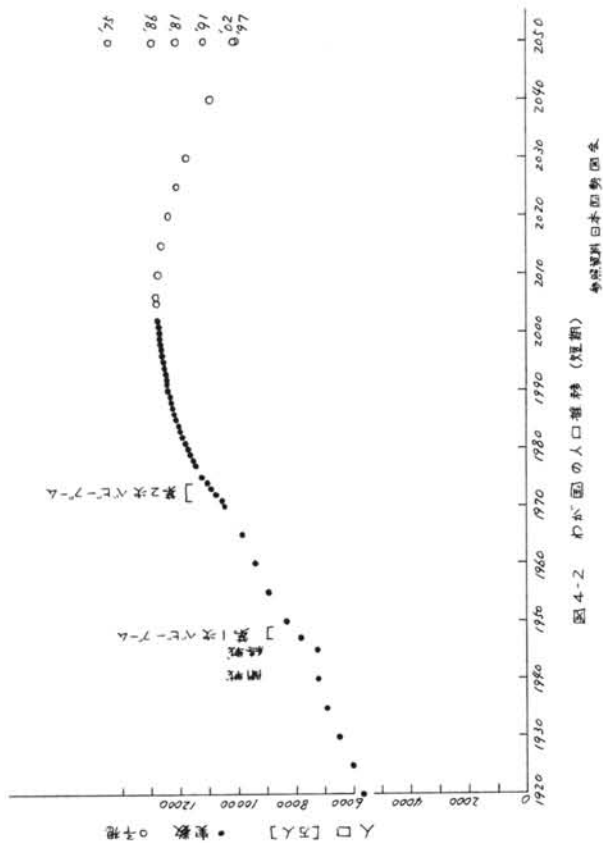


図4-2 わが国の人口増減(短期) 参照資料 日本国勢調査

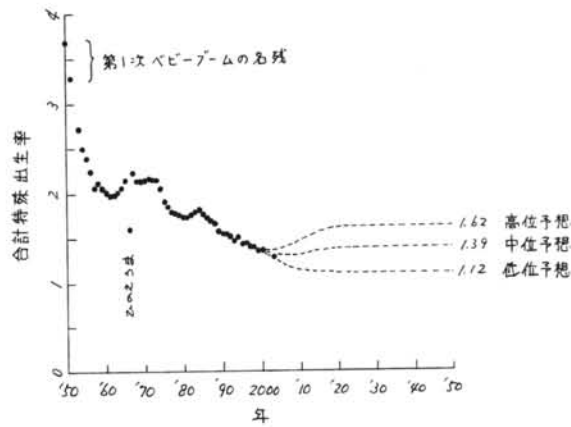


図4-3 合計特殊出生率の年次推移(長期)

出典 将来人口推計の視点 (H14.8) 2004年新聞各紙

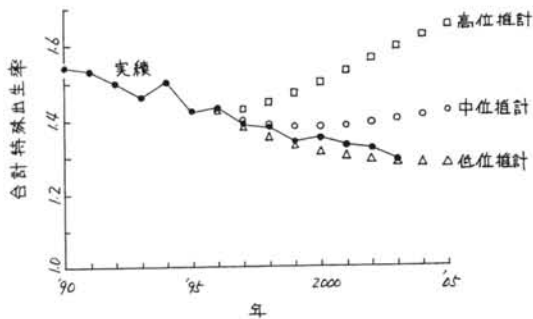


図4-4 合計特殊出生率の年次推移(短期)

出典 将来推計人口の視点 参照資料 日本国勢調査 新聞各紙(2004)

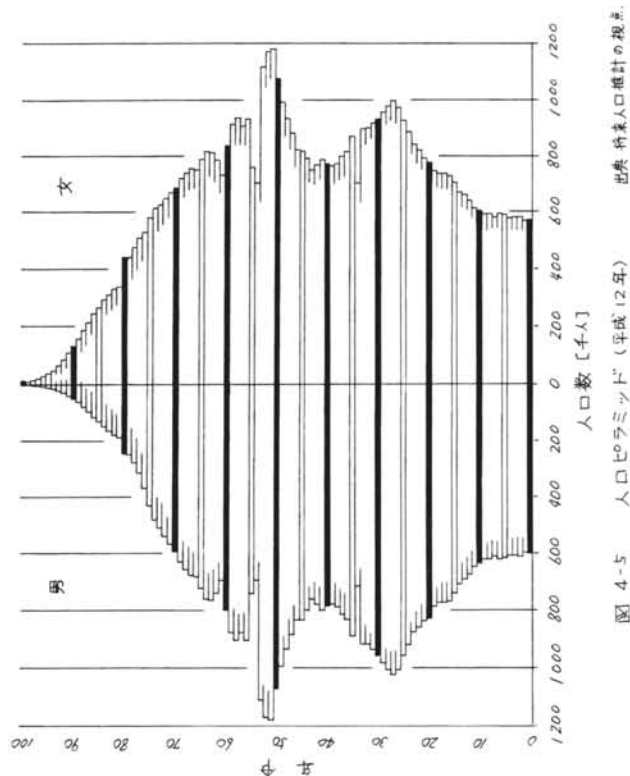


図4-5 人口ピラミッド(平成12年) 出典 将来人口推計の視点

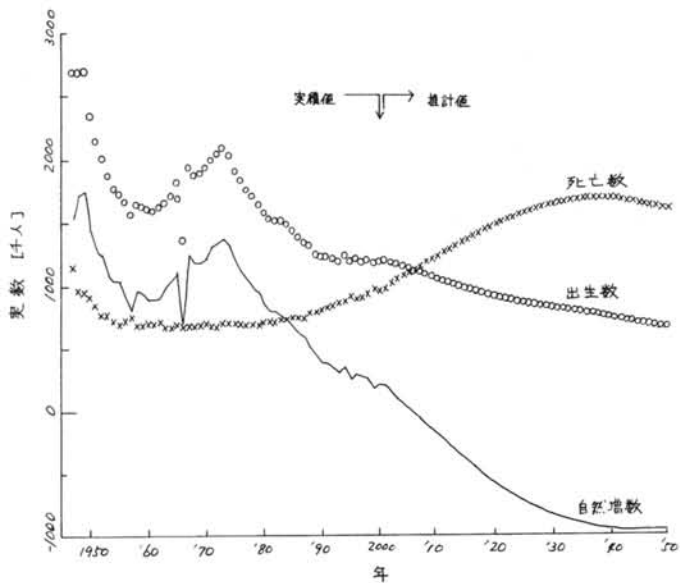


図4-6 出生数、死亡数、自然増数、中位推計

出典 将来人口推計の視点

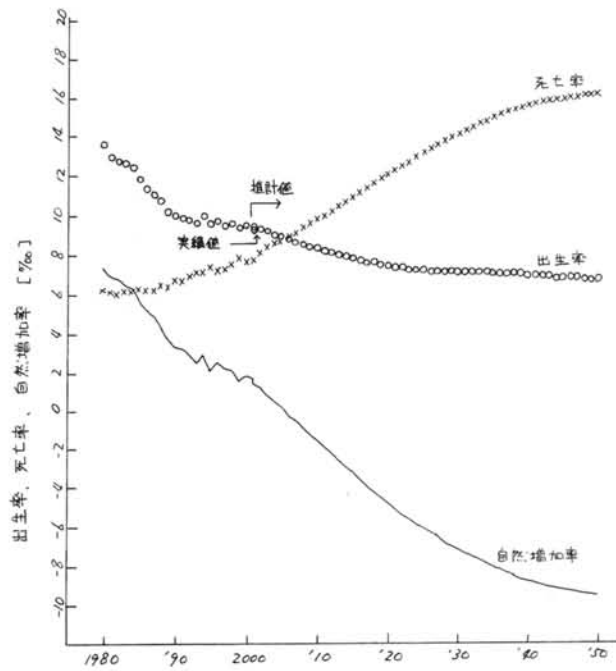


図4-7 出生率、死亡率、自然増加率、中位推計

参照資料 日本国勢調査
出典 将来人口推計の視点

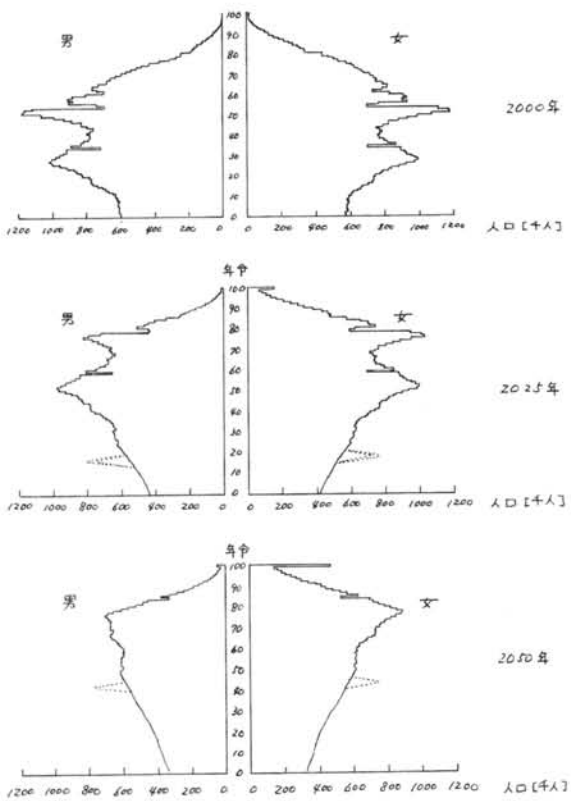


図4-8 年齢別ピラミッド 中位推計

出典 将来人口推計の視点

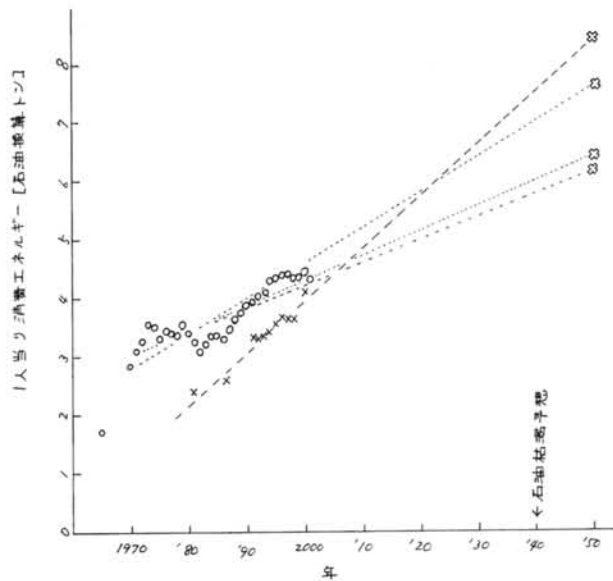


図4-9 一人当たり消費エネルギーの変動

参照資料 総合エネルギー統計 ○印
日本国勢調査 ×印

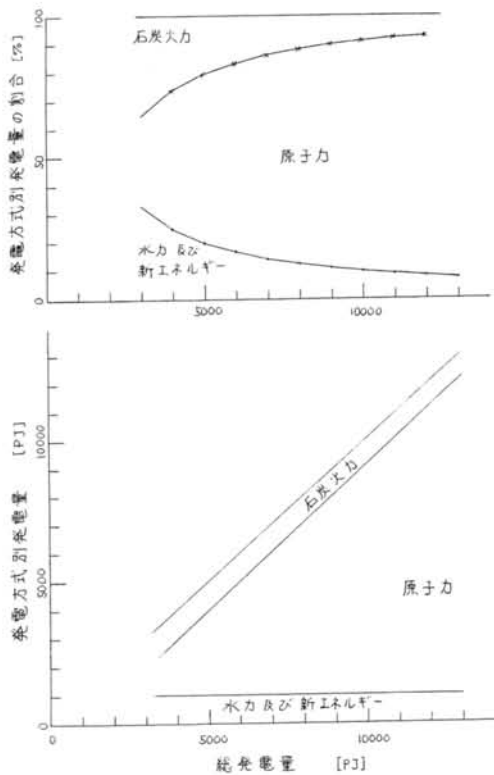
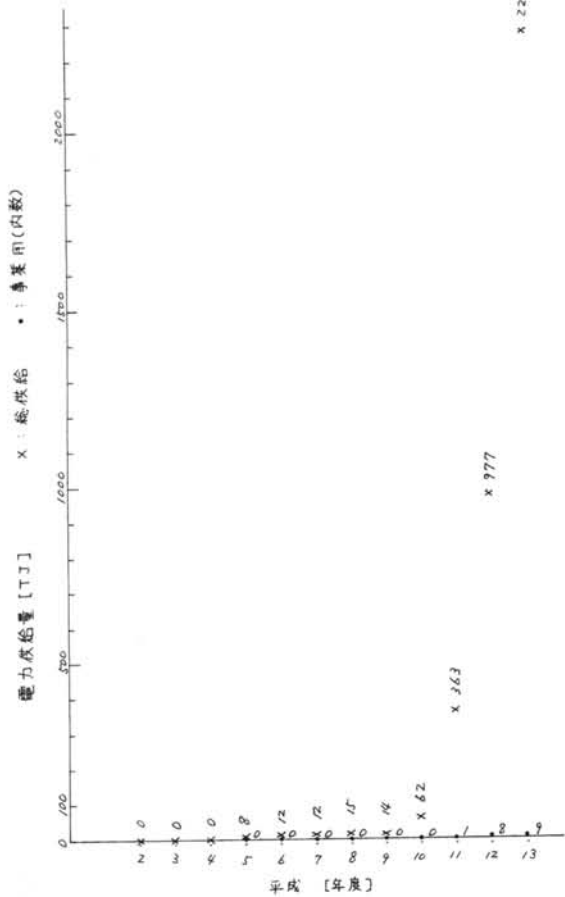


図6-2 二酸化炭素排出削減目標値に対する発電システム割合

図5-1 風力発電による電力供給推移 電力総合エネルギー統計



X 2272

X 977

X 363

X 62

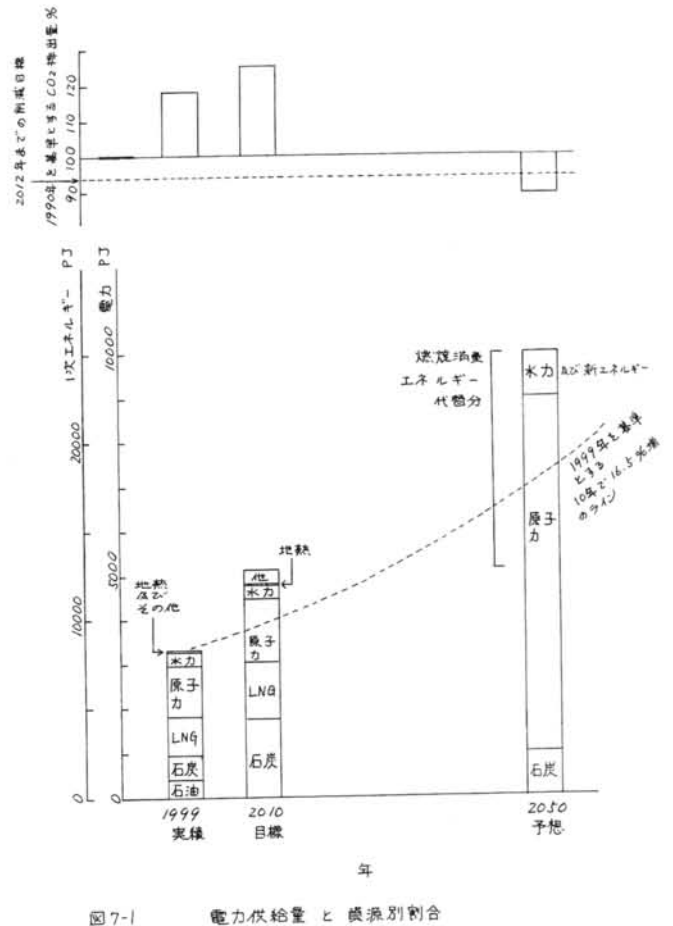


図7-1 電力供給量と燃料別割合

図 6-1 平成13年度(2001年度)の電力需給のエネルギーバランス・フロー 単位【PJ】 出典: 電力総合エネルギー統計

ガスデポジション装置用搬送管の製作

石川健司¹

筑波大学研究基盤総合センター 工作部門

〒305-8577 茨城県つくば市天王台 1-1-1

概要

超微粒子金属を作るための「ガスデポジション装置」において、搬送管（トランスファーチューブ）を製作したので報告する。

1. はじめに

筑波大学数理物質科学研究科、喜多・柳原研究室と水林・谷本研究室では金属ナノ結晶作製法としてガスデポジション装置を用いている。この装置は上と下の部屋に不活性ガスを入れ圧力差を作り、下の部屋で 1300℃に加熱し融解する母材の蒸気と圧力差で出来たジェット気流を利用して上の部屋に飛ばし、冷却した基板に蒸着させている²。融解金属超微粒子が通る搬送管内面は円滑でなければならない。図1に水林・谷本研究室から提供されたガスデポジション装置の概略図を示す。

搬送管は消耗品であり製作を依頼されるが、どのように設計・溶接したら良いか、毎回試行錯誤して作っている。今まで使用していたアダプターでは、

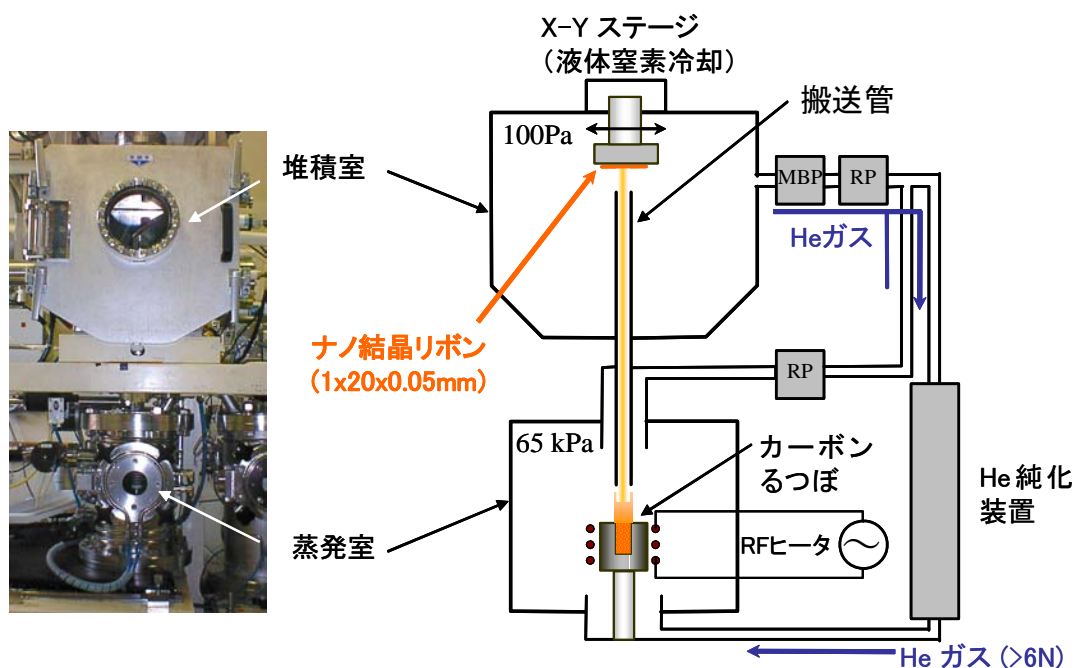
内管とアダプターの溶接の成功率が低いため、今回は試作品を作りどのような条件でアダプターと内管を溶接したとき、管の内側に溶接のはみ出しが出るかを知るため、アダプターを切断して原因を探り、再設計した。

2. 搬送管

2.1 搬送管の構成

搬送管はステンレス（SUS304）BA 管、直径 1/8 インチ（約 3.2mm）・厚さ 0.72mm・長さ 600mm の内管と、直径 1/2 インチ（約 12.7mm）・厚さ 1.2mm・長さ 460mm の外管を一方の端をアダプターに TIG 溶接（タングステン・イナートガス・アーク溶接）して二重管にした物で、反対側は開放してある。簡略断面図を図2に示す。

内管とアダプターの TIG 溶接は、溶け込みが深いと溶接の溶融金属が出るので溶け込みは浅く、気密性を要求されている。



超微粒子をガスジェット流
を用いて数msのうちに基板
上へ直接堆積固化

n-Au ($\rho/\rho_0 > 99\%$)
n-Cu ($\rho/\rho_0 > 96\%$)
n-Ni, n-Fe, ...

図1. ガスデポジション装置概略図

¹ E-mail: ishikawa@kou-c.tsukuba.ac.jp; Tel: 029-853-2526

² http://www.ims.tsukuba.ac.jp/~mizutani_lab/page/naiyou/kessyou/kessyou.htm

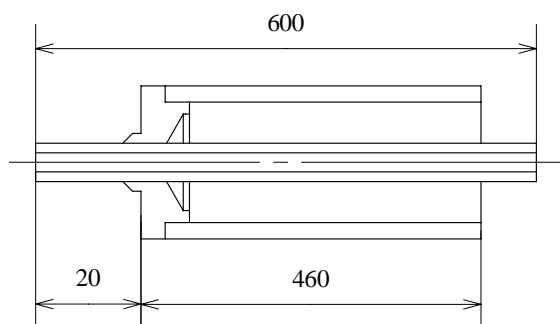


図 2. 搬送管断面図

2.2 アダプター

アダプターはステンレス製 (SUS304) で丸棒から削りだして作る。機械加工・溶接とも自分で行うので、溶接しやすいと思われる試作品を何点か作りアダプターの突起 (へり) の形状 (厚さと長さ) を変え、溶接のしやすさと管内部のはみ出しがどうか、切断して調べてみた。

アダプターのへりが薄いと溶接のとき内管への影響は少ない、しかしへりだけが溶けて丸まり、管と溶接できない状態になった。へりが厚いとアークをへりに飛ばしても、へりは溶けないで内管の方から溶け、管内部に熔融金属のはみ出しが出来る。

切断して初めてわかった事であるが溶接の熱で、管内部表面が酸化膜で覆われていた。

アダプターの溶接には、アークをアダプターのへりに飛ばし、へりを溶かしながら内管に溶接するのが一番良いと思い、図 3 の左側の形に決定した。この形状は、へりが内管と同じ厚さを持ち熱容量がほぼ等しくなっている。アークを飛ばした瞬間に、穴が開く事はないが、慎重に作業を進めないで熔融金属が内管の内側に出してしまう。

右側の図は今まで使っていたアダプターである。このアダプターはへりを小さく設計した。図 3 に新旧アダプターの断面図を示す。

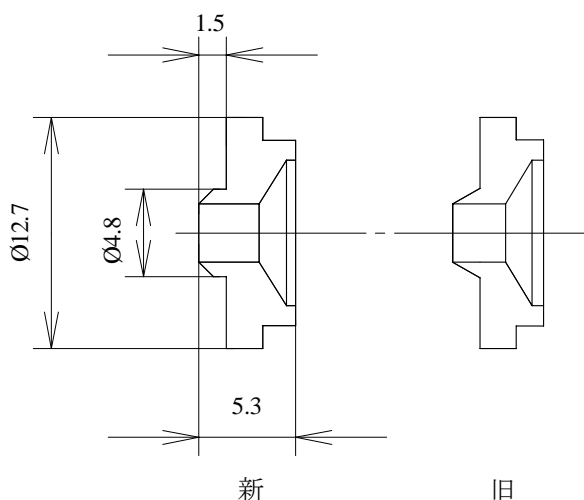


図 3. 新旧のアダプター

2.3 溶接

溶接作業はアダプターと内管を溶接し、内側に熔融金属が出ていないか、直径 1.6mm の棒 (溶接用タングステン電極) が引っかかりなく通る事を確認して検査した。この段階では外側からルーペを使い、アダプターと内管が溶接されているか、目視検査した。

内側のはみ出しがなく、目視検査もよかった物に外管を溶接して、ヘリウム・リーク・ディテクターを使い気密性の検査をする。

3. 作業の結果

今回の作業の目的は、アダプターと内管を溶接することによって、内管の内側がどのように変化しているか、溶接による熔融金属がどれくらい出るのか、内径 1.74 mm の中を知る事である。

溶接後 1.6 mm のタングステン電極を通す検査をするが、止まると中の状態の確認は全く出来ない。ただ漠然と熔融金属がはみ出していることがわかるだけである。小径なので、はみ出している量や大きさもわからない。

作業を進めるためには、どのような状態になるのか正確に把握している必要がある。何に注意して、作業を進めたらいいか全く状況がわからないので、切断してみた。

管の内側のはみ出しには 2 種類あることがわかった、ひとつは溶接の溶け込み深さが深く管内部にはみ出した物と、もうひとつはアークが直接管にあたり溶けた物である。

溶接電流が大きいと加熱時間が短く管内部の酸化が少ない、しかし溶接部材が小さすぎるため、アークを飛ばして 1/4 周回らないうちに、加熱しすぎて溶け込みが深くなり、内部のはみ出し量が多い。溶接のスタート時は電流を大きめにしても、一部分でも管とアダプターが融合したら、電流を小さくして作業したほうが良いことがわかった。

また以前のアダプター形状では、へりが小さすぎたため、溶接時にアークが直接管を加熱し、内部にはみ出しが出来ることを、切断することによってわかった。管の肉厚が薄いため、管に直接アークが飛ぶと加熱しているところが溶け落ち、穴があくので管を直接加熱しないで、アダプターのへりを過熱して、溶かし込みながら管と溶接をするように新しいアダプターを設計した。

4. まとめ

再設計したアダプターを使って溶接した結果、溶接が成功する確率が高くなった。前のアダプターでは 6 割ぐらいの成功率だったが、8 割に上がった。これは管内部を切断して見ることにより、どれくらい加熱したら良いかわかったからである。タングステン電極を通す検査でも、引っかかりなく、またへり溶接することにより溶接部分の溶接による熱変形も小さくなったと思われる。

今後の課題は、極力熱変形が出ないようにする事と溶接内部を酸化させないことだと思う。熱変形は、短時間で溶接することにより可能なことなので、アダプターの改良にかかっている。

またアダプターと内管の溶接内部が酸化して酸化物質が付いていると、ナノ結晶に影響があると思われるので、次に製作依頼が来たときには試作品として、管内部に不活性ガスを充填させて溶接し、切断して様子を見ようと思っている。

今まで作業で失敗しても原因を考えなかったが、今回失敗した物を切断して原因を調べ設計しなおして成功率を上げることが出来た。

失敗した原因を調べ直せば、次に同じ仕事が来たときには同じ失敗はしないはずだと思うので、失敗をしたときは原因をはっきり調べるべきだと実感した。

以下に今回切断したアダプターの試作品と完成品の図を載せる。

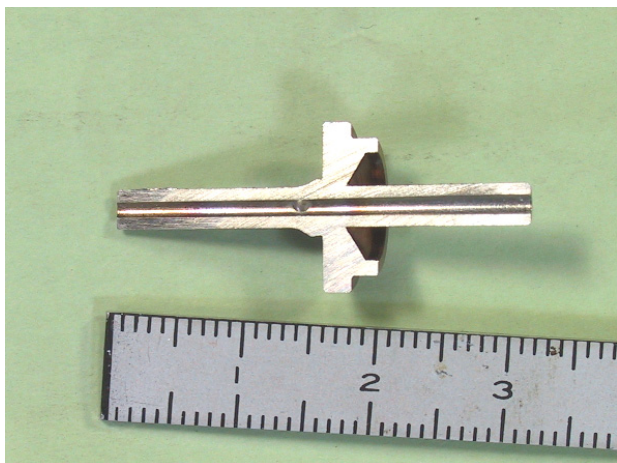


図4. 溶融金属が管内部に少しはみ出た溶接

これは、溶接時にアークを飛ばしたまま移動できずに、同じところを照射したためにできた物。

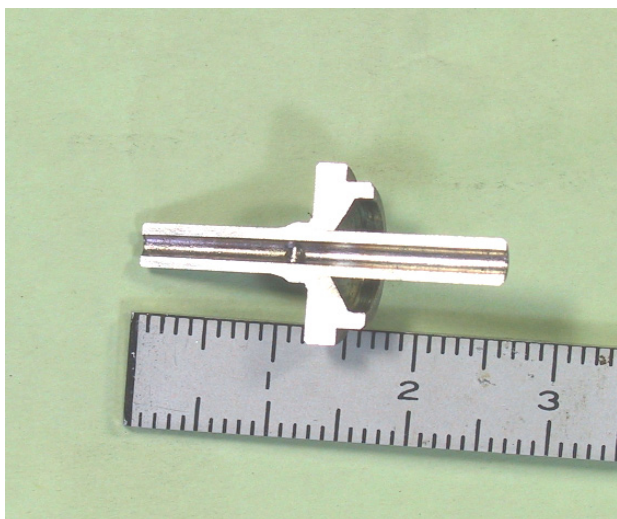


図5. 溶融金属が管内部に多くはみ出た溶接

これは、溶接電流が大きくて溶け込みが深くできた物。



図6. アダプターと管の溶接が成功した物
これは、適当な電流と送りにより成功した溶接。

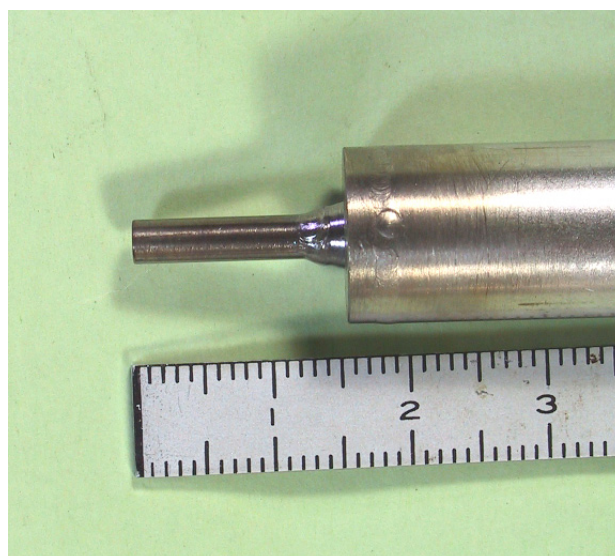


図7. 搬送管完成品

この図は搬送管のアダプター側の外管を溶接した完成品である。

謝辞

本報告書作成に当たり、資料を提供していただいた、本学数理物質科学研究科 谷本久典 助教授に感謝致します。

筑波大学技術報告 No. 26
第5回筑波大学技術職員技術発表会報告集

平成18年3月発行

編集 筑波大学技術報告編集委員会
第5回筑波大学技術職員技術発表会実行委員会

発行 筑波大学研究事業部研究事業課
〒305-8577 茨城県つくば市天王台1-1-1
電話 029(853)2924
筑波大学数理物質科学等支援室
〒305-8571 茨城県つくば市天王台1-1-1
電話 029(853)5017

第5回筑波大学技術職員技術発表会実行委員会

実行委員長

油田信一 筑波大学副学長（研究、産学連携、社会貢献担当）

実行委員

[数理物質科学等支援室]

保谷博（実行委員代表）

林茂則（支援室長）

細田厚司（室長補佐）

齋藤静夫

平田久子

鶴見明

淀縄文男

室井光裕

飯田郁雄

[人間総合科学等支援室]

稲月一高

小林浩三

菅江則子

林剛人丸

[研究基盤総合センター]

内田豊春（実行委員副代表）

西田憲正

松尾邦夫

高橋努

大和良広

近藤裕

[システム情報工学等支援室]

鈴木秀則

中島孝

山形朝義

[生命環境科学等支援室]

清水雅浩