

筑波大学

技術報告

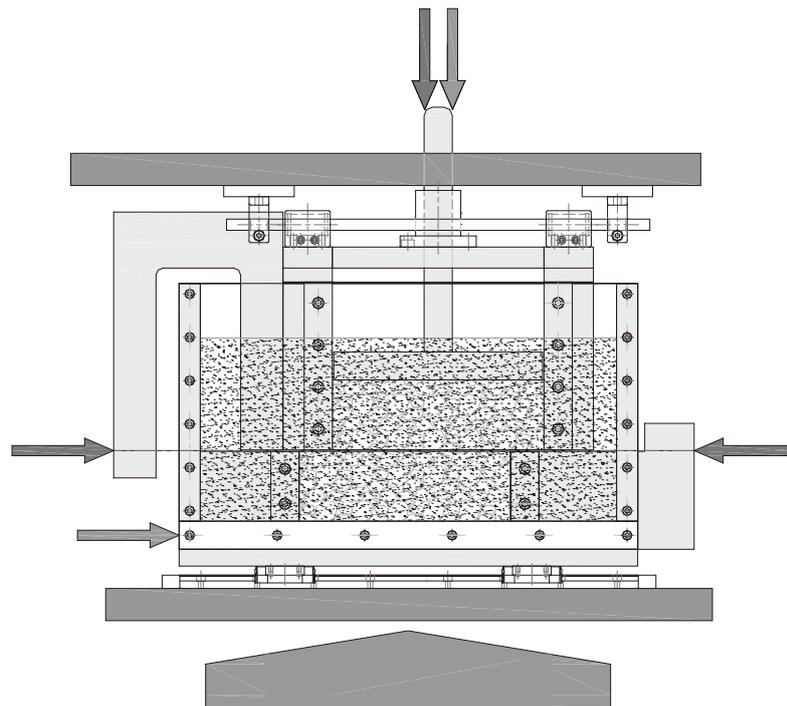
No. 28

TECHNICAL REPORT, UNIVERSITY OF TSUKUBA

2008

第7回筑波大学技術職員技術発表会報告集

<http://www.tech.tsukuba.ac.jp/2007/>



『筑波大学技術報告』 No. 28 の発刊によせて

筑波大学では、技術職員の業績を広く学内外に紹介すること等を目的として、『筑波大学技術報告』を長年継続して発刊してきており、本年度は No. 28 が発刊されるはこびとなりました。

今回の報告書は、「第 7 回筑波大学技術職員技術発表会」（平成 20 年 3 月 10 日開催）における発表論文により構成されております。これは、教育・研究支援活動により多忙な日常業務の中で、本学の技術職員が創意工夫をこらした、長期間にわたる研鑽や努力の成果を報告するものです。

また、7 年前から行われている技術発表会は、法人化後、技術職員が各部局に所属されることになったにもかかわらず、全学的な活動として継続的に充実発展してきております。技術発表会への積極的な参加・発表の奨励・啓発や学外者の参加を呼びかける広報活動など、今後のあり方の議論も含めて、技術発表会の開催や運営に関して大きな努力が払われています。

技術職員の職務は、実験科学等の教育・研究の支援活動に限られたものではなく、教材の作成、教育・研究機器の設置・維持調整、資料の整理、その他教育・研究活動の広い範囲に亘っています。特に最近では IT 技術の発達に伴うネットワークの利用等において、技術職員の協力は、一層重要な役割を果たしています。その一方で人件費抑制等の影響を受けて職場環境が厳しくなりつつある中で、多くの技術職員がこれらの役割を果たすべく頑張っている状況を是非ご理解いただきたいと思えます。

本報告書の刊行により、本学技術職員の業績を広く学内外に紹介し、各方面より忌憚のないご意見や、ご指導、ご助言、激励等を頂くことが出来ればと願っております。技術職員の育成と技術力の一層の向上のために、各方面のご支援をよろしくお願いいたします。

2008 年 3 月

筑波大学副学長（研究） 水林 博

目次

『筑波大学技術報告』No. 28 の発刊によせて

水林 博 筑波大学副学長 (研究) i

技術発表会報告集

Web サイトでの教員情報公開・管理システム

北原 匡 システム情報工学等支援室 (情報アプリケーション班) 1

RRDtool を用いた加速器のガス圧力・温度 Web モニター

大和 良広 研究基盤総合センター (応用加速器部門) 9

FPGA による PCI バス・インターフェース回路の実装

小野 雅晃 システム情報工学等支援室 (装置開発班) 17

SiO₂ 担持 Rh 触媒の調製過程における TEM 観察

伊藤 伸一 数理物質科学等支援室 (物性・分子工学専攻) 25

溶融法による酸化ガラスの特性

間宮 精一 数理物質科学等支援室 (物性・分子工学専攻) 29

可視化実験用一面せん断実験装置の製作

飯高 稔 システム情報工学等支援室 (装置開発班) 32

農業用トラクタヒッチ点位置制御による牽引車両の追従性向上の検討

～試作機の製作と効果について～

本間 毅 生命環境科学等支援室 (農林技術センター)

瀧川 具弘 生命環境科学研究科 (生物圏資源科学専攻) 36

ABO 血液型遺伝子多型の PCR-SSCP 法による解析とその応用

中村 貴子 人間総合科学等支援室 (医学支援室) 39

デジタルカメラによる赤外線撮影

鷺野谷 秀夫 人間総合科学等支援室 (体芸支援室) 45

安定したヘリウム回収率維持に向けて

宮内 幹雄、近藤 裕、敦賀 将太 研究基盤総合センター (低温部門)

池田 博 数理物質科学研究科 (物性・分子工学専攻) 51

網赤血球検出のための蛍光試薬の比較検討

佐藤 晶子、櫻井 秀子 人間総合科学等支援室 (医学支援室) 58

光ビート法による高周波の発生

松山 英治 数理物質科学等支援室 (物性・分子工学専攻) 62

海藻物質水中採取システム

土屋 泰孝、佐藤 壽彦、品川 秀夫 生命環境科学等支援室 (下田臨海実験センター) 66

第7回筑波大学技術職員 技術発表会報告集

開催日：2008年3月10日
会場：筑波大学総合研究棟B 公開講義室



筑波大学技術職員技術発表会の公式ウェブサイト
<http://www.tech.tsukuba.ac.jp/2007/>

Web サイトでの教員情報公開・管理システム

北原 匡

筑波大学システム情報工学等支援室 (情報アプリケーション班)

〒305-8573 茨城県つくば市天王台 1-1-1

概要

Web で公開される教員情報は、教職員・学生、受験生、国内外の教育・研究者への情報サービス、社会還元の一環として重要なコンテンツであると認識されている。Web 上で教員自身が公開情報を入力・編集し、発信するためのシステムを Perl による CGI (Common Gateway Interface) として Web サイト上に構築し、平成 19 年 6 月より運用している。

日常の依頼業務としての成果であり、技術的な目新しさはとくにないが、使いやすいとの評価をいただき、有益なコンテンツとして機能している。

キーワード: 教員情報管理システム、教員プロフィール、Perl、CGI

1. はじめに

システム情報工学研究科社会システム・マネジメント専攻 (SSM)、社会システム工学専攻 (SSE)、経営・政策科学専攻 (MBA-MPP) の各専攻 Web サイトでは、従来、いわゆる一覧表の形式にて教員情報を発信してきた。しかしながら、コンテンツとしては、教員氏名、職位、簡単な専門分野の表記にとどまり、情報を発信する側、情報を求める側、それぞれの要求に十分答えられない状態であった。また、各教員からの更新依頼、人事異動状況がコンテンツ管理作業まで正しく伝わらない等、更新作業が思うように進まず、情報の正確さや鮮度の維持の点でも問題があり、重要なコンテンツでありながら必ずしも十分に整備されているとはいえなかった。

「教員情報システム整備タスクフォース」(以下 TF)¹では、従来の方法による教員情報の公開形式を改善し充実させる事を目標に、仕様を決定し、CGI プログラムを作成し、運用を開始した。本システムの主たる目的は以下の 2 つであり、以降の各章にて詳細を説明する。

- Web 上で各教員が自らの情報を管理する
- 公開する情報として必要十分な項目を吟味する

2. システム構築までの経緯

2.1 これまでの状況

SSM にて従来公開してきた教員一覧 Web ページは、図 1 に示すようにシンプルで、ページデザインおよびデータ収集と維持管理の都合により、詳細な

内容は省かれていた。(表示データは実際のものではない)

氏名, 学位	専門分野	研究内容
藤田 直司 Ph.D in Economics ついでコンシン大学	計量経済学 ミクロ計量経済学	個人の経済行動のデータから嗜好のパラメータを推定する手法の開発と応用
石本 隆弘 工学博士 筑波大学	都市交通計画 社会政策施設計画 交通需要予測	都市公共交通政策、交通施設整備政策の策定、交通計画策定プロセスにおける評価とパブリックインボリューションの可能性と手法
大泉 真二 学術博士 筑波大学	都市計画 地域科学	土地開発、空間的競争セグメント、地域ゾーニング
大野 二郎 工学博士 筑波大学	都市計画 都市計画史	土地利用計画、計画制度、都市計画史
小園 巧 工学博士 筑波大学	都市環境デザイン	環境共生住宅、地域環境型住宅、フィンランドの都市計画、まちづくりとワークショップ
山田 貴 理学博士 筑波大学	ゲーム論 経済学 理論経済学	ゲーム論の発展と応用 理論と経験 住宅市場
神田 一貴 工学博士 筑波大学	数値工学	数値ファイナンス、デジタル権利、数値経済学

図 1. 従来の教員紹介ページ例

当時、全教員の 52%が教員個人で Web サイトを開設し、それらのサイトは教員一覧のページからリンクされていた。教員の属している研究室 (関連する教員、大学院生、学類(学部)生、事務補佐員等により構成される研究単位) で Web サイトを開設している場合も 9%あり、同様にリンクされていた。一方で、39%の教員がそのような Web サイトを開設していないか、リンクを希望していなかった。

- 個人的 Web サイトを開設している教員 (52%)
- 研究室 Web サイトを開設している教員 (9%)
- Web サイトを持っていない または Web サイトはあるがリンクしていない教員 (39%)

ただ、何らかの手段 (主に社会工学類コンピュータシステムの Web サービスを利用しているが、民間プロバイダの Web を利用している場合もある) で教員情報を発信している 61%の教員の Web サイトにしても、それらは個々で作成されているので、情報の内容やページデザインの統一性は全くなかった。さらに、求める情報にたどり着くまでのパスの一貫性がないため、見る側にとっては「組織の Web サイト」としての一体感を得にくかった。

¹ 便宜的に SSM, SSE, MBA-MPP 各専攻長 3 名、広報委員会メンバー 6 名、筆者ら計 10 名による専攻横断的なワーキンググループを称する。

2.2 問題解決への改善案

これらの問題を改善するため、TF では対策を検討し、2.2.1 から 2.2.4 に示す 4 つの改善案を挙げた。

2.2.1 教員個別で Web ページを作成

教員個人あるいは研究室としての Web サイトを教員が主体となって作成し、その中で教員情報を掲載し、独自に管理してもらう案である。その際、コンテンツの量、質、デザイン等のひな形を用意し、可能な限りそれに準ずるように促すこととする。

【メリット】

- ・ コンテンツの自由度がある
- ・ 既存の Web サイトを活かしやすい

【デメリット】

- ・ 新規に作成する場合の負担が大きい
- ・ デザイン・構成の統一化が難しい
- ・ Web ページ作成のスキルの差が表れる

2.2.2 専攻一括で各教員 Web ページを作成

広報委員会でコンテンツ構成、デザインを決め、専攻 Web サーバ上に全教員のページを作成する。コンテンツの管理は、原則として広報委員会で行う。教員との円滑な情報収集の方法を別途検討する。

【メリット】

- ・ コンテンツの統一が可能
- ・ 専攻 Web ページとの繋がり、一体感がある
- ・ Web ページとしての信頼性が保たれる
- ・

【デメリット】

- ・ 一括管理の負担が大きい
- ・ 教員からの更新情報を収集する方策が必要

2.2.3 TRIOS の利用

筑波大学研究事業部では、筑波大学研究者情報システム (TRIOS: Tsukuba Researchers Information Online System)²を運用しており、大学外からも Web 経由で教員情報を得る事が可能である。各教員への URL (Uniform Resource Locator) を直接指定してアクセスすれば、その教員情報を表示させる事が可能であり、このシステムを本システムの核として利用するのが最善策と考えた。

【メリット】

- ・ 教員自身が Web ブラウザにて情報更新できる
- ・ 新たに Web ページを作成する必要がない
- ・ 日本語と英語ページが既に用意されている
- ・ 詳細な項目に対応している
- ・ Web ページとしての信頼性が保たれる

しかしながら、実際に TRIOS を利用している教員の意見として、学内の広報委員会等では以下のような問題点が指摘されている。

- ・ 基本情報の更新時期が遅い (担当授業情報等)
- ・ 表示画面インタフェースのわかりにくさ
- ・ 表示項目および形式が適切でない
- ・ データ消失等の不安定さ
- ・ 過剰な情報量
- ・ 全教員の情報が掲載されていない

これらは、システムの性格上、やむを得ない所もあるが、TF が求める教員情報発信の方法として考えた場合、以下の点がデメリットとして挙げられる。

【デメリット】

- ・ 情報発信の対象が研究者向けである
- ・ 詳細ではあるが過剰で冗長な項目が多い
- ・ ページ構成が複雑で見にくい

上記は、TRIOS システムの基本的な仕様に関わる場所が大きいため、仕様の変更を期待するのは難しいと考えられる。したがって、TRIOS の利用は可能ではあるものの、最適な解とはいえない。

2.2.4 新たに教員情報システムを構築

広報委員会で教員情報を一元的に管理するシステムを新たに構築し、Web による情報の発信と管理をする。

【メリット】

- ・ コンテンツデザインに制約がない
- ・ 前述の各案のメリットを反映させられる
- ・ Web ページとしての信頼性が保たれる

【デメリット】

- ・ システムの構築および維持管理が必要

2.2.5 採択案の決定

TF では各案を検討し、2.2.4 の新たな独自の教員情報システムを作成する案が中長期的にみて最善であると判断した。その際、TRIOS のコンセプトを最大限活かし、当専攻及び関連する組織が望む教員情報発信・管理システムの構築を目指すこととした。

3. 本システムのコンセプト

3.1 基本的なコンセプト

本システムを構築するにあたり、以下を基本方針とした。

- ・ 既存の教員一覧表 Web ページの各教員からのリンク先として本システムを利用する
- ・ 受験生など、研究者以外も幅広く対象者とする
- ・ 必要最少限の教員情報をコンパクトに表示する
- ・ 更なる詳細情報は TRIOS や教員作成の Web サイトに委ね、それらへリンクし、アクセスを促す
- ・ 社会工学系組織³にて共用する

² <http://www.trios.tsukuba.ac.jp/>

³ システム情報工学研究科社会システム・マネジメント専攻 (SSM)、社会システム工学専攻 (SSE)、経営・政策科学専攻 (MBA-MPP)、理工学群社会工学類

- ・ 教員情報は随時教員自らが更新する
- ・ 情報更新インタフェースを使い易いものとする
- ・ 認証やアクセス制御等のセキュリティ対策

本システムは、概念的には、図 2 のように専攻 Web サイト等のパブリックなサイトと個人 Web サイト等のパーソナル（プライベート）なサイトとの橋渡しの役割、あるいは、その教員自身へのポータルサイト的なものとして位置づけられる。

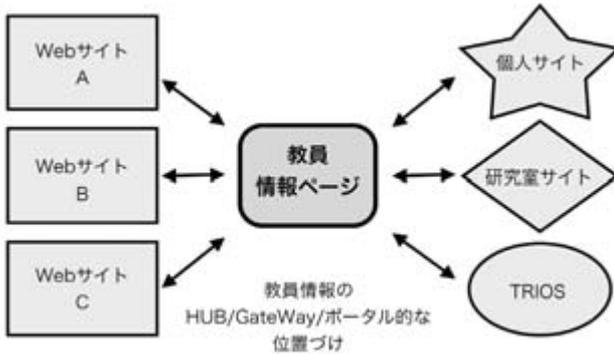


図 2. 教員情報ページの位置づけ

3.2 仕様の概略

基本的なコンセプトを受け、以下の各章で述べるようなプログラム仕様の概略を決めた。

3.2.1 教員データの項目

TRIOS を参考にしつつ、本専攻として必要な項目を吟味し、表 1 に示す 21 項目を定めた。データ編集の際のインタフェースは、基本的にはテキストの自由入力を基本とするが、必要に応じて、プルダウンメニューやラジオボタン、チェックボックスの入力方法を採用することとした。

情報の項目を必須項目（必ず表示される）と任意項目（教員が表示・非表示を選択する）に分け、教員の「顔写真」の掲載は個人情報保護を考慮し、非表示、任意の URL、似顔絵、教員がアップロードした画像からひとつを選択するようにした。

3.2.2 データサイズとデータ格納方法

登録する教員数は約 70 名で、一人当たりのデータは前項のデータ項目から大雑把に見積もると、大きくても数キロバイト程度の文字データと想定され、全体のデータサイズは、概算で 300 KB 程度になると考えられる。顔写真は、画像実体ではなく、それへのアクセスパスを格納するものとする。また、頻繁なデータ更新処理が発生するとは考えにくく、通常では、頻繁なアクセスを受けるコンテンツではないと考えられる。

したがって、データの格納には、DBMS (DataBase Management System: データベース管理システム) の優れた機能は理解しつつも、サーバを含めたシステムの TCO (Total Cost of Ownership: 総保有コスト) を考慮すると、CSV (Comma Separated Values: カンマ区切り値列) ファイルなどの汎用テキストファイ

ル形式でデータを保持し、プログラムによってデータを処理した方がよいと考えた。

表 1. 本システムで扱う項目

項目 (*は必須)	入力インタフェース
氏名*	TEXT
氏名よみ*	TEXT
職名*	TEXT / Pull Down
研究室*	TEXT
実験室	TEXT
E-Mail*	TEXT
TRIOS*	TEXT
WEB	TEXT
所属部局*	Radio Button
担当部局*	TEXT / Check Box
専門分野*	TEXT
学位*	TEXT
学歴・職歴	TEXT
担当授業*	TEXT
所属学会	TEXT
論文・著書	TEXT
受賞歴	TEXT
社会活動	TEXT
研究概要*	TEXT
指導方針*	TEXT
顔写真	TEXT / 記号

3.2.3 CGI の動作環境、処理言語

本システムは、社会工学系組織 Web サイトを運用している既存のサーバを使用するので、CGI として用いる処理言語はこのサーバで利用できるものに限られる。また、扱うデータが文字データ主体である点、今後のサーバ移行、筆者の慣れ等を考慮し、処理言語として Perl を用いることとした。

サーバ OS は Mac OS X Server 10.4.11 で、OS にバンドルされている Apache 1.3.33 および Perl 5.8.6 を使い、別途必要なソフトウェアはない。したがって、Apache と Perl が CGI として利用さえできればよいので、万一の障害等によるサーバの移行も容易である。

使用するサーバのハードウェアは、Apple Power Mac G5 (CPU: 2.5 GHz Dual PowerPC G5, Memory: 4 GB) である。

3.2.4 ユーザ認証とセキュリティ

本システムでは、教員個人のセンシティブ情報⁴は扱わないとはいえ、公開するものは個人情報であり、

⁴ 個人情報の中でも特に取り扱いに留意すべき情報として、JIS Q15001 にて規定されている。(参考文献 [1])

教員の情報はその教員のみが編集でき、本人以外には編集されないようにしなければならない。

幸いな事に、本システムが対象とする教員は、全て社会工学類コンピュータシステムの LDAP (Lightweight Directory Access Protocol) 上に登録されているので、これを教員情報編集時のユーザ認証に利用することとした。

また、編集作業は学内のパソコン等からアクセスした場合のみ可能とした。さらに、SSM の Web サイトの教員情報ページを経由した場合のみ編集可能とするなど、編集可能な環境を極力限定することにした。教員からすれば、不便とも思えるが、セキュリティ対策としてはやむを得ないと考える。

教員のメールアドレスの表記方法、本システム CGI へのアクセス URL の記述方法にもセキュリティ対策および SPAM 対策を施すこととした。

3.2.5 社会工学系組織にて共用

本システムは、旧社会工学系所属の教員(改組後、システム情報工学研究科社会システム・マネジメント専攻および同研究科リスク工学専攻に所属)の情報を対象とするものである。したがって、本システムは対象教員数が多い SSM の Web サイト内に実装されることになるが、各教員は授業等で他の研究科、専攻、学類等と関わりを持っている。さらに、それらの部局でも Web サイトが開設されており、そこにも教員紹介ページが設けられていることが少なくない。

これらの Web ページから SSM の本システムの教員情報にリンクして利用すること自体は問題ないが、教員の所属はあくまでも SSM であるということ意識させるようなページデザイン上の工夫が必要であると考えられる。

そのため、本システムでは、教員情報ページ最上部のバナー画像を適切に切り替え、その Web サイト組織と教員の所属組織、さらに関連組織との切り分けを表現することとした。

3.2.6 顔写真

教員の顔写真の掲載については、教員自身の意思を尊重するため、

- ・ 表示なし
- ・ 似顔絵⁵
- ・ 本システム上にアップロードした jpeg 画像
- ・ 任意の Web サイト上の画像の URL

から選択できるようにする。

そのために、画像のアップロード機能と自動拡大縮小表示機能を用意することとした。

3.2.7 見た目の統一

利用者は、各種 OS と各種ブラウザの組み合わせでアクセスする。その組み合わせによっては文字の大きさ、フォントの違いによって表示レイアウトが大きく崩れる場合がある。本システムでは、このよ

⁵ 社会工学系組織の広報パンフレットおよびポスター作成時に教員有志の手によって描かれたもの。

うなことがないように、CGI プログラムにて利用者の利用環境を取得し、それに対応した表示レイアウトを CSS (Cascading Style Sheets) にて調整し、極力見た目の統一をはかることとした。

4. CGI プログラム

ここまでで決まった仕様をもとに、実際に Perl で CGI プログラムを作成した。作成にあたり、参考文献 [2]の「PROFILER/自己紹介登録 CGI」(以下、オリジナルと呼ぶ)を本システムのひな形として参考にした。また、Perl でのプログラミングにあたり、参考文献 [3], [4]を用いた。

4.1 プログラムの構造

オリジナルでは、一つのプログラムにてデータの新規登録・削除等の管理、データの編集、データの表示全てを処理しているが、本システムのコンセプトおよび仕様には合致しないため、上記3つの機能を分離し、それぞれに適切なユーザ認証およびアクセス制御のもと動作するよう、プログラムを改造および新たに作成した。表2は、本システムのプログラム一覧である。末尾が.cgi のものは、Web ブラウザによってアクセスされる CGI プログラムで、末尾が.js のものは CGI プログラムによって出力される html 内で用いられる JavaScript プログラムである。

表2. 本システムのプログラム

プログラム	用途	制限
rtvprof.cgi	表示	
chgprof.cgi	編集	学内+SSM+ユーザ認証
admprof.cgi	管理	学内+管理者認証
upload.cgi	顔写真転送	学内+SSM+認証
array.js	部局データ保持	
banner.js	バナー切替	
mail.js	メールアドレス変換	

図3に、これらの CGI プログラムの相互関係を示す。教員一覧表の各教員名に rtvprof.cgi をリンクし、この CGI に教員の識別データをパラメータとして渡すことにより、教員情報ページを表示する。アクセスが学内からの場合は、教員情報ページ内に編集のためのリンクが表示され、クリックすると、当該教員を認証させるダイアログを表示し、ユーザ ID およびパスワードの入力後、編集ページに移行する。事前に管理者として登録されたユーザの場合は、管理ページに移行し、新規登録、削除、データの整理、バックアップ等の操作が可能となる。

4.2 データの構造

本システムで用いるデータファイルを表3に示す。第3章で述べたように、データファイルは全てテキストファイルである。

例として、教員の情報を保存する profile.txt ファイルのデータフォーマットを図4に示す。一般的に、データベースシステムでのスキーマやデータ属性はデータの外で定義されるが、図4のデータファイルでは、データの内部にその属性がデータそのものとして格納されているのが特徴である。

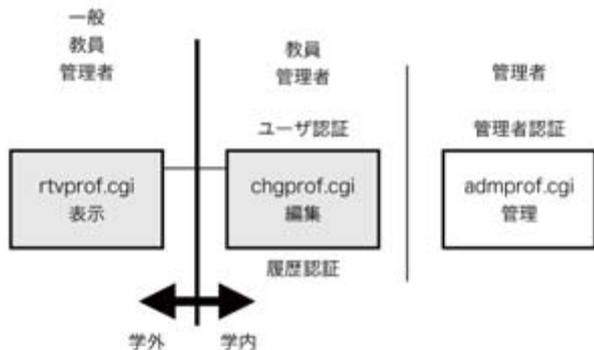


図3. CGIプログラムの相互関係

表3. 本システムのデータファイル

データ	用途
profile.txt	教員情報
staff.txt	部局情報
hint.txt	編集画面での入力支援情報
face/****.jpg	各教員の似顔絵画像
photo/****.jpg	各教員のアップロード画像
banner/****.jpg	各部局のバナー画像
****.css	各ブラウザ用のスタイルシート

項目数,段落位置,user-id,seq#顔写真URL,
"項目名1:p1","項目1データ","項目名2:p2","項目2データ",...,"項目名n:pn","項目nデータ"

図4. 教員情報データのフォーマット

例えば、"項目数"、"項目名 1:p1"などがそれにあたる。項目名 n はそのデータ項目のラベル名、pn はそのデータのタイプを定義し、0=選択項目(非表示)/1=選択項目(表示)/2=必須項目/3=所属部局項目/4=担当部局項目のいずれかを表す。

データ件数が増えると、その属性データの冗長性が問題となるが、本システムで扱うデータ件数では影響はないと考える。むしろ、データの自由度、データハンドリングの面で優位であると考えられる。これを生かし、オリジナルでは、ユーザが項目の追加や "項目名" の変更を自由に行えるが、本システムの仕様では固定とした。

4.3 プログラムでの工夫

本システムは、Perl および JavaScript で記述されている。基本的な部分は、Web ページ上のフォーム画

面から入力データを取得し、4.2章で述べたデータファイルへ書き込み、このファイルからデータを読み出して Web ページ上に教員情報として表示する、いわゆる「普通」の CGI であるが、いくつか工夫したポイントがあるので紹介する。

4.3.1 CGI の実行時パラメータ

本 CGI にアクセスする場合、

```
http://www. .../profile/rtvprof.cgi?uid=xxxxx
```

のように、教員を識別するため、xxxxx のようなパラメータが必要になるが、セキュリティ上、このパラメータをそのまま露出させるのは好ましくない。

そこで、xxxxx の部分に、単換字式暗号の一つである ROT13⁶とランダム文字列付加⁷による簡単な暗号化を施すことにした。厳密なセキュリティを求めることはできないが、実用上は十分と思われる。例えば、uid=taro というパラメータは、ROT13 後、前後にランダム文字を 2 文字ずつ追加すると、uid=a0gneb1x と暗号化(変換)されることになる。元のパラメータは、この変換と逆の手順で復号化(変換)することによって得られる。

4.3.2 メールアドレスの表記

教員の情報で、メールアドレスは重要な情報であるが、一方で SPAM メールの標的になるなど、その扱いは慎重にすべきである。html ファイル内に、

```
<a href="mailto:taro@tsukuba.ac.jp">
taro@tsukuba.ac.jp
</a>
```

と記述すると「SPAM 用アドレス回収ロボット」に探索される可能性が高い。それを避けるために、リンク機能を犠牲にし、

```
taro@tsukuba.ac.jp (@が全角文字)
taro at tsukuba.ac.jp (@を at に置換)
```

と記述したり、画像化して対処することが少なくないが、見た目が好ましくない上に、このアドレス宛にメールを出す場合 copy&paste を余儀なくされる。

これも、前章同様に ROT13 とランダム文字追加、および文字置き換え (@→%、.→@) を組み合わせで暗号化し、<script>タグとして html に出力する。ブラウズ時は、JavaScript にて復号化し、<a>タグとしてリンク表示されるが、実際のリンクは、配列内に格納された実メールアドレスを配列要素番号で参

⁶ 各文字をアルファベット順に 13 番後の文字に置き換える。Z を超えた場合は A に戻って数える。大文字小文字の関係は保存し、a は n、B は O、以下同様に Z は M になる。数字、記号等はそのまま残す。アルファベットには 26 (= 2 × 13) 文字あるので、ROT13 変換を二回行うと元に戻る。Perl では \$id =~ tr/A-Za-z/N-ZA-Mn-za-m/; で暗号化/復号化(変換)可能である。(参考文献 [5])

⁷ 文字列のあらかじめ決められた位置に、ランダムな英数字を付加し、元の文字列を偽装する。

照するような JavaScript を呼び出している。利用者はこれら一連の処理を意識することはない。例えば、

```
<script type="text/javascript">
<!--
mail('jgneb1%agfhxhong@unpq@qwc2','');
//--></script>
```

と html 内に記述すれば、JavaScript にて復号され、

```
<a href="mailto:taro@tsukuba.ac.jp">
taro@tsukuba.ac.jp
</a>
```

と同等の表示およびリンク機能を持ちつつ、表面的には一切メールアドレスを露出させない表示が可能となる。(参考文献 [6], [7])

4.3.3 バナー画像・リンクの切り替え

3.2.5 章で述べたように、教員の所属組織（通常は一組織）と教育・研究上関与している組織（通常は所属組織を含めた複数の組織）は必ずしも一致していないため、SSM の Web サイト以外からの利用も想定している。本システムでは以下の実装にて、これらの関係性を表現することとした。

- ・ 所属組織および担当組織の各項目のテキスト部分にマウスカーソルを合わせると、対応のバナーおよびリンクに切り替わり、外すと元に戻る
- ・ 同部分をクリックすると、一定時間切り替わったままになり、リンク先をブラウザ可能とする。一定時間経過すると、自動的にもとのバナーおよびリンクに戻る

また、どの Web サイトから本システムにリンクされて来たかを HTTP_REFERER 変数を参照することにより識別し、バナーおよびリンクの初期状態を決定している。これにより、例えば、SSE の Web サイト上の教員リストからのリンクでは SSE のバナー、MBA-MPP の Web サイト上の教員リストからは MBA-MPP のバナー表示となる。これらの処理は、JavaScript により行われている。画像ファイル等は、表 3 に示す banner ディレクトリ内、および staff.txt ファイルに置かれている。

4.3.4 CSS の切り替え

変数 HTTP_USER_AGENT を参照することにより、ユーザがアクセスしたパソコン等の OS およびブラウザの種類・バージョンが判明するので、それに対応した CSS に切り替える。

Web 標準⁸に沿った html を記述した上で、各 CSS の設定を詳細に調整すれば、OS やブラウザによる表示の違いはほぼなくなると考えられる。本システムでは DTD (Document Type Definition: 文書型定義) を”HTML 4.01 Transitional”とし、アクセスログの解

⁸ Web 全般の標準化・規格等については、参考文献 [8] が詳しいが、単純に html や CSS の validation チェックをするときは、以下のツールが便利である。
<http://www.w3.org/QA/Tools/#validators>

析結果を考慮し、以下の 4 種のブラウザ用の CSS で表示フォントの大きさと種類を整えることとした。

- ・ Windows: Internet Explorer and Firefox
- ・ Macintosh: Safari and Firefox

5. CGI の動作例

本システムの動作例を図 5 以降に示す。なお、表示されているデータは実際のものではない。⁹

図 5 は通常の html による教員一覧表で、本システムへの入り口となるページである。一例として、教員名「筑波太郎」をクリックすると、図 6 に示す教員情報ページが表示される。このページの項目「所属」と「担当」のデータ部分にマウスカーソルを合わせると、対応するバナーおよびリンク情報に切り替わる。図 7 は、担当項目中の”社会工学類”の部分にカーソルを合わせたときのバナー切り替えの例である。

図 6 のページ下端部には、「プロファイル修正」および「PROFILER x.x」というリンクが表示されている。前者はこの教員情報の編集ページ (図 8)、後者は管理者用ページ (図 9) に移行するためのものである。3.2.4 章で述べたように、学外からのアクセスではこれらのリンクは表示されないが、学内からのアクセスでは、ユーザ ID およびパスワードの入力後、それぞれのページに移行することができる。

図 8 に、教員情報編集ページを示す。このページでは、データの入力・修正を行う。入力データには、<a>、などの一部の html タグの入力が許されている。また、項目の表示/非表示の設定、顔写真の種類選択およびアップロードが可能である。アップロード可能な画像は一教員あたり一枚の任意の jpeg ファイルとし、表示時に適切なサイズに自動調整される。

図 9 は、管理者のみがアクセスできる本システム管理用のページである。このページでは、教員の新規登録、全教員の情報編集および削除、検索、データソート、バックアップ等が可能である。



図 5. 本システム動作例 (教員一覧)

⁹ 本システムの実際の動作は、
<http://www.sk.tsukuba.ac.jp/SSM/faculty/>
 にて確認できる。

筑波 太郎 (TSUKUBA Taro)

職名: 教授
 研究室: 3F1150 (029-853-0000)
 実験室: 3E001 (029-853-1234)
 E-MAIL: taro@sk.tsukuba.ac.jp
 TRIOS: http://www.trios.tsukuba.ac.jp/Profiles/0000/0000999/profile.html
 WEB: 研究室WEB http://www.my.domain/homepage.html

所属: 大学院 システム情報工学研究科 社会システム・マネジメント専攻

専攻: 工学部 社会工学類
 大学院 システム情報工学研究科 社会システム・マネジメント専攻
 大学院 システム情報工学研究科 社会システム工学専攻
 大学院 システム情報工学研究科 経営・政策科学専攻

専攻分野: データマイニング工学:
 ・標準ニューラル・ネットワークの理論
 ・マイニングモデルの感度解析と最適化
 ・複雑系の発見科学など

学位: 昭和51年 東京大学 工学博士

学位・職歴: 昭和46年 東京大学工学部航空学科 (宇宙コース) 卒業
 昭和51年 東京大学大学院工学系研究科 航空工学専門課程修了 (工学博士)
 昭和51年 カリフォルニア工科大学 (California Institute of Technology) 研究員
 昭和53年 東京大学工学部航空学科助教授
 平成10年 筑波大学社会学系教授
 平成16年 筑波大学大学院システム情報工学研究科教授

専攻授業科目: 社会工学類: 微積分Ⅰ, 応用確率過程学Ⅱ, 社会工学実習, プログラミング実習
 社会システム工学専攻: 応用ゲーム理論, データマイニング工学特論, 応用確率過程特論

所属学会: 電子情報通信学会, 日本制御学会
 日本オペレーションズ・リサーチ学会
 日本シミュレーション学会
 計算自動制御学会

代表的著書・論文: ■ Tsukuba, T. "A new computing method using stochastic sensitivity analysis," Lecture Notes in Computer Science, vol. 0000, pp. 000-000, 2007.
 ■ 竹園尚子, 筑波太郎 "近傍サポートによる領域別別," オペレーションズ・リサーチ, 日本OR学会機関誌, Vol.00, No.99, pp.000-000, 2006.
 ■ Azuma, J., Sakura, M., and Tsukuba, T. "A robust boosting method," J. Operations Research Society of Japan, vol. 00, pp. 000-000, 2004.
 ■ 梅園三郎, 筑波太郎 "モバイル端末を用いたオンラインショッピング," Direct Marketing Review, 日本マーケティング学会論文誌, Vol.0, pp.00-00, 2004.

主な受賞: 2000年度 データ解析コンペティション社会人の部最優秀賞
 2001年度 日本オペレーションズリサーチ学会特別研究員賞

研究概要: データマイニングは、従来の仮説に頼った構築技術と異なり、膨大なデータから自動的に未知の法則 (パターンやルールなど) を見つけ出すための知識発見型の新技術です。これにより、長年の経験と勘でしか分からなかった、データや事象間の関連、トレンドなどを機械的に発見することが可能となり、流通小売業や金融、保険、製造業など、さまざまな産業分野でビジネスに活用されています。この新技術をさらに多角的に研究し、データウェアハウスからの知識発見をベースに、金融・株取引などの金融工学システムを視野に入れて、機械適応系として知られるシステムを対象にした、新しい発見科学の構築を目指してあります。

研究指導の方針: 学部4年次や大学院1年次では、英語の文献を自分で内容を理解し、それに基づいて、自分の言葉で、研究課題を説明できるようにすることが大事と考えますので、情報通信ネットワークに関する基礎的な英語の本を精読しながら、内容について議論するゼミを週に1回開いています。最初は大変ですが、1年後には、英語の文献を、内容を理解しながら読むことができるようになります。卒業論文や修士論文のテーマが決まったら、個人ごとに、研究内容と論文の書き方について、指導します。

図6. 本システム動作例 (教員情報表示)

理工学部 社会工学類 担当教員情報

学情情報 | 専攻案内 | 受験生の皆さんへ | 学部生の皆さんへ

筑波 太郎 (TSUKUBA Taro)

職名: 教授
 研究室: 3F1150 (029-853-0000)
 実験室: 3E001 (029-853-1234)
 E-MAIL: taro@sk.tsukuba.ac.jp
 TRIOS: http://www.trios.tsukuba.ac.jp/Profiles/0000/0000999/profile.html
 WEB: 研究室WEB http://www.my.domain/homepage.html

所属: 大学院 システム情報工学研究科 社会システム・マネジメント専攻

専攻: 工学部 社会工学類
 大学院 システム情報工学研究科 社会システム・マネジメント専攻
 大学院 システム情報工学研究科 社会システム工学専攻
 大学院 システム情報工学研究科 経営・政策科学専攻

図7. 本システム動作例 (バナー切り替え)

筑波 太郎

研究室: 3F1150 (029-853-0000)
 実験室: 3E001 (029-853-1234)
 E-MAIL: taro@sk.tsukuba.ac.jp
 TRIOS: http://www.trios.tsukuba.ac.jp/Profiles/0000/0000999/profile.html
 WEB: 研究室WEB http://www.my.domain/homepage.html

所属: 大学院 システム情報工学研究科 社会システム・マネジメント専攻

専攻: 工学部 社会工学類
 大学院 システム情報工学研究科 社会システム・マネジメント専攻
 大学院 システム情報工学研究科 社会システム工学専攻
 大学院 システム情報工学研究科 経営・政策科学専攻

専攻分野: データマイニング工学:
 ・標準ニューラル・ネットワークの理論
 ・マイニングモデルの感度解析と最適化
 ・複雑系の発見科学など

学位: 昭和51年 東京大学 工学博士

学位・職歴: 昭和46年 東京大学工学部航空学科 (宇宙コース) 卒業
 昭和51年 東京大学大学院工学系研究科 航空工学専門課程修了 (工学博士)
 昭和51年 カリフォルニア工科大学 (California Institute of Technology) 研究員
 昭和53年 東京大学工学部航空学科助教授
 平成10年 筑波大学社会学系教授
 平成16年 筑波大学大学院システム情報工学研究科教授

専攻授業科目: 社会工学類: 微積分Ⅰ, 応用確率過程学Ⅱ, 社会工学実習, プログラミング実習
 社会システム工学専攻: 応用ゲーム理論, データマイニング工学特論, 応用確率過程特論

所属学会: 電子情報通信学会, 日本制御学会
 日本オペレーションズ・リサーチ学会
 日本シミュレーション学会
 計算自動制御学会

代表的著書・論文: ■ Tsukuba, T. "A new computing method using stochastic sensitivity analysis," Lecture Notes in Computer Science, vol. 0000, pp. 000-000, 2007.
 ■ 竹園尚子, 筑波太郎 "近傍サポートによる領域別別," オペレーションズ・リサーチ, 日本OR学会機関誌, Vol.00, No.99, pp.000-000, 2006.
 ■ Azuma, J., Sakura, M., and Tsukuba, T. "A robust boosting method," J. Operations Research Society of Japan, vol. 00, pp. 000-000, 2004.
 ■ 梅園三郎, 筑波太郎 "モバイル端末を用いたオンラインショッピング," Direct Marketing Review, 日本マーケティング学会論文誌, Vol.0, pp.00-00, 2004.

主な受賞: 2000年度 データ解析コンペティション社会人の部最優秀賞
 2001年度 日本オペレーションズリサーチ学会特別研究員賞

研究概要: データマイニングは、従来の仮説に頼った構築技術と異なり、膨大なデータから自動的に未知の法則 (パターンやルールなど) を見つけ出すための知識発見型の新技術です。これにより、長年の経験と勘でしか分からなかった、データや事象間の関連、トレンドなどを機械的に発見することが可能となり、流通小売業や金融、保険、製造業など、さまざまな産業分野でビジネスに活用されています。この新技術をさらに多角的に研究し、データウェアハウスからの知識発見をベースに、金融・株取引などの金融工学システムを視野に入れて、機械適応系として知られるシステムを対象にした、新しい発見科学の構築を目指してあります。

研究指導の方針: 学部4年次や大学院1年次では、英語の文献を自分で内容を理解し、それに基づいて、自分の言葉で、研究課題を説明できるようにすることが大事と考えますので、情報通信ネットワークに関する基礎的な英語の本を精読しながら、内容について議論するゼミを週に1回開いています。最初は大変ですが、1年後には、英語の文献を、内容を理解しながら読むことができるようになります。卒業論文や修士論文のテーマが決まったら、個人ごとに、研究内容と論文の書き方について、指導します。

図8. 本システム動作例 (教員情報編集)



図9. 本システム動作例 (管理者用)

6. 運用状況と今後

本システムは平成19年6月より本運用されており、平成19年12月現在、不具合や苦情もなく順調に稼働している。現在、有効教員70名中61名の教員が自身の情報を入力している。また、英語版システムも11月から運用を開始したが、入力済みの教員は40名であり、未入力の教員については広報委員会等を通して、データ入力をお願いする予定である。

データサイズは、約180KBで、教員一人あたり約2.5KBとなっている。プログラム、その他のデータ、画像ファイルを含めたシステム(コンテンツ)全体でも約5MBである。

平成19年10月と11月の2ヶ月間に記録された学外からSSMのWebサイトへの延べアクセス件数中、約39%が本システムの教員情報ページであった。

今後は、次の4点をさらに検討し改善する予定である。

- ・ Perlプログラムの最適化
- ・ htmlの標準化とCSSの適正化
- ・ フォームインタフェースの改良
- ・ セキュリティ対策の強化

また、本システムは、部局単位での小規模なWebアプリケーションとして、技術職員情報システムのようなプロファイルシステム、授業シラバス情報発信・管理システム、自己点検・評価・業績管理システム等に応用が可能であると考えられる。

謝辞

本システムおよび本報告書作成にあたり、SSM、SSE、MBA-MPP三専攻広報委員長 秋山英三准教授はじめ広報委員の先生方、ならびにSSM専攻長 香田正人教授、SSE専攻長 中村豊教授、MBA-MPP専攻長 高木英明教授より仕様の細部にいたるご助言やプログラミング上の様々なアイデアなどを賜りました。ここに深く感謝いたします。

参考文献

- [1] 個人情報保護マネジメントシステム- 要求事項, JIS Q15001:2006, <http://www.jisc.go.jp>
- [2] PROFILER / 自己紹介登録 CGI, <http://tokita.net/old/cgi/profiler/index.html>
- [3] Perlメモ, <http://www.din.or.jp/~ohzaki/perl.htm>
- [4] Perlの排他制御, http://homepage1.nifty.com/glass/tom_neko/web/web_04.html
- [5] ROT13, フリー百科事典ウィキペディア (Wikipedia) <http://ja.wikipedia.org/wiki/ROT13>
- [6] メールアドレス収集ロボット対策, <http://chronoflyer.ddo.jp/doc/robot.shtml>
- [7] メールアドレス収集ロボット対策, <http://mailrobo.7jp.net/>
- [8] World Wide Web Consortium (W3C), <http://www.w3.org/>

Content Management System for Faculty Members' Profiles on the Web Site

Masashi Kitahara

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

In the web sites of educational organizations, faculty members' profiles have been regarded as an important content for faculty members, office staff, students, and candidates for the entrance examination.

A content management system has been for faculty members' profiles using a CGI (Common Gateway Interface) script with Perl, with which each of the faculty members in our department can edit his/her own profile information on a web browser and make the profile open to the public through the Internet. The system has been run since June 2007 on our web site.

There may be little technical novelty about the system because it was designed and created according to the request from our department. However, its usability has been highly appreciated by our faculty members and office staff, and the profile information created by the system has been a useful and important content of our web site.

Keywords: Faculty Information System; Faculty Members' Profiles; CGI with Perl

RRDtool を用いた加速器のガス圧力・温度 Web モニター

大和 良広

筑波大学研究基盤総合センター（応用加速器部門）

〒305-8577 茨城県つくば市天王台 1-1-1

概要

筑波大学研究基盤総合センター応用加速器部門では、タンデム型静電加速器主タンクの電気絶縁ガスとして六フッ化硫黄 (SF_6) ガスを使用している。このガスの圧力と温度をRRDtool と lighttpd を使用してWeb上でモニターできる簡易ロガーの開発を行った。これにより高精度なデータを自動記録でき部門内どこからでも現在値と過去の変動を見られるようになった。利用されなくなった旧型PCの有効利用も目的の1つである。

キーワード：RRDtool、Web モニター、簡易データロガー、パソコン再利用

1. はじめに

筑波大学研究基盤総合センター応用加速器部門では、タンデム型静電加速器主タンクの電気絶縁ガスとして六フッ化硫黄 (SF_6) ガスを使用している。このガスの圧力や温度は、加速器の安定動作に深く関わるコロナ電流の流れ方に関与しているため監視が不可欠である。今まで我々は図1の様なアナログメータで圧力や温度を読み取りログブックに記入していたが、図1下側の遠隔監視用メータが故障し新規に購入する必要に迫られた。そこで、せっかく新しくするのであれば高精度な物を購入して、記録は自動で表示も見やすく施設内部のどこからでも見られる方がよいと考え、開発を行った。



図1. アナログの圧力計

2. 圧力計、温度計の更新

これまでの計器は、図1の様なアナログ針の圧力計を使用していたため、読み取る人間により小数点以下2桁目 (0.01 MPa) 程度の誤差が生じていた。高压ガス保安法による圧力単位の $\text{kg/cm}^2 \rightarrow \text{MPa}$ への変更も読み取り誤差を大きくしてしまった原因の1つである。

旧来の圧力計・温度計では誤差が大きすぎて加速器主タンク内の全ガス容量の計算も正確に出来なかった。そこで、新しい計器にはなるべく高精度で安価な圧力計・温度計の選定を心掛けた。加速器主タンク内のガス圧力は真空から0.6 MPa程度まで変化があるので、対応製品の選択が難しかった。最終的に採用したのは、2.1, 2.2の機器 (図2) である。

2.1 圧力計

圧力センサー：

バルコム VPRNP-A3(-0.1~1MPa)-5

表示器：バルコム C37N-SRS

-0.1~1 MPa を4桁で表示し、RS-232Cで通信可

2.2 温度計

測温抵抗体：

林電工 SR2N-P-S-H2-6.4-134/50-R1/2-316

指示調節計：

山武 C40A5G0AS3D0

-20~50°C を3桁で表示し、RS-232Cで通信可

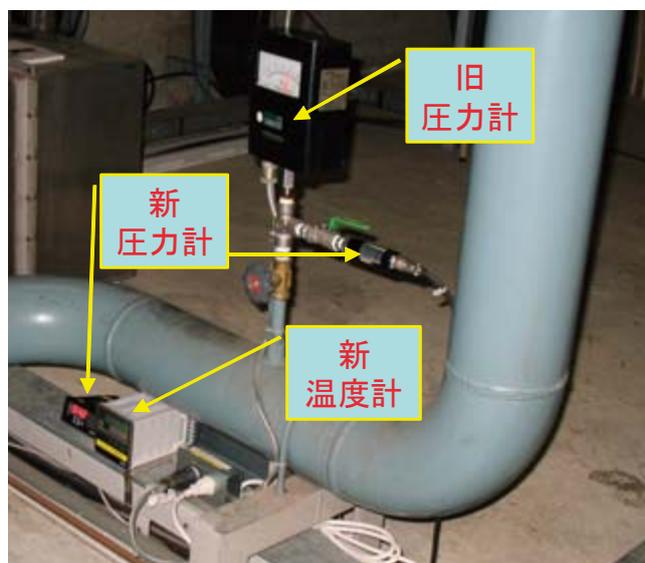


図2. 新しい圧力計と温度計

3. 使用した PC と OS

Windows95 英語版として使用されていた 8 年以上前に購入した PC を使用した。スペックとしては、CPU: Celeron 466 MHz, Memory: 128 MB で HDD も古いままである。OS は FreeBSD 6.0-RELEASE を使用した。比較的旧型の PC には RS-232C シリアルポートが標準で 2 つ付いており、これも圧力計・温度計との 2 系統の通信のためには都合が良かった。

4. Web サーバ

PC が非力で資源が乏しいため、高速性が重視される環境に最適化された、BSD ライセンスのフリーソフトウェア `lighttpd`¹ を使用した。これにより、メモリの消費量が少なく、CPU への負荷が少ない高速な動作を実現できている。

5. RRDtool

RRDtool² (Round Robin Database TOOL)^[1] は、Tobi Oetiker³ 氏が開発した、データを効率的・系統的に格納して分析処理し、図 3 の様なグラフィカルな表示を可能とする GNU General Public License⁴ のソフトウェアである。

このソフトウェアを利用する最大のメリットはデータログを長期間取る場合にグラフプロットのためのデータの間引きをユーザーが考えなくて良いことである。逐次データを RRDtool に渡すだけで非常にうまく長期ログも短期ログもデータベースより読み出して表示してくれる。また、データの間引く間隔が自由に設定できる。その他の特徴として、

- ・描画処理とデータ格納処理のコマンドが分離している。
- ・データファイルに RRD (ラウンドロビンデータベース) を採用しているので運用中にファイルサイズが増えない。

などがある。

ネットワークのトラフィック管理などの用途で様々な所で利用されている。

今回開発した Web モニターソフトウェアはこの RRDtool を Perl から利用して実現している。

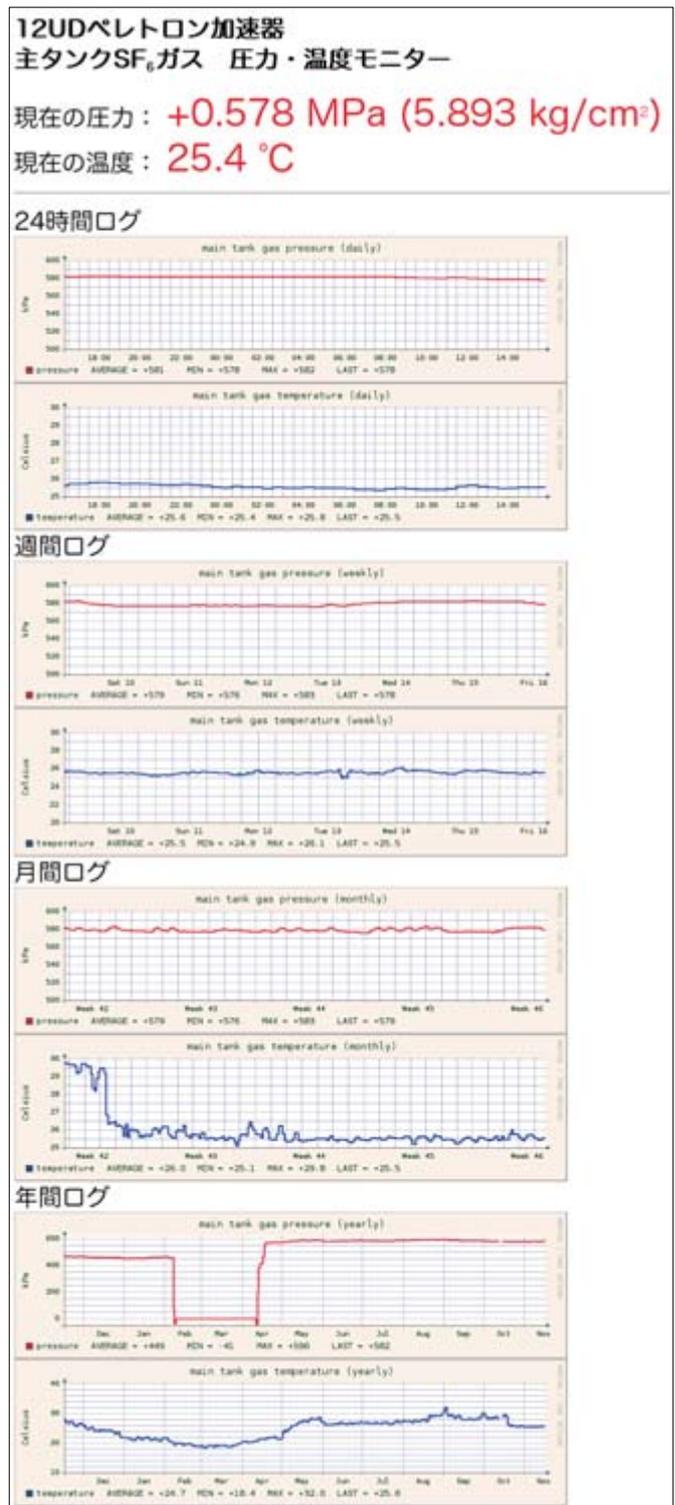


図 3. 開発したモニターの Web ブラウズ画面例

¹ <http://ja.wikipedia.org/wiki/Lighttpd>

² <http://oss.oetiker.ch/rrdtool/>

³ <http://tobi.oetiker.ch/>

⁴ http://ja.wikipedia.org/wiki/GNU_General_Public_License

6. ソフトウェアの開発・設定

計器を加速器主タンク本体に取り付ける前に現場以外の居室や開発室で PC とのシリアル通信の配線をして、ソフトウェアの開発を行った。

接続及びソフトウェアの様子を図 4 に示す。

6.1 圧力計・温度計との通信部

はじめに、通信部の開発を行った。それぞれの計器に現在値を返してくれるようリクエスト命令を送り、送られてきたデータを記録するだけの単純なものである。Perl プログラムは、KEKの小菅隆氏⁵の平成 9 年度技術研究会報告書^[2]を参考とした。実際の開発はそれぞれの機器の通信命令が全く違い試行錯誤しながら動作するように仕上げた。勉強不足や理由がわからず計器との正常な通信ができるまでに時間がかかってしまった部分を図 5 に示す。また、図 6 に最終的なソースプログラム (present_value.pl) を示す。このプログラムを cron で 2 分おきに実行し、半リアルタイムデータ (real_press_temp.txt) としてファイルに上書きしている。これは、Webアクセスの度に計測器にタリクエストに行くと複数のユーザーが同時に瞬時値を見たときに不具合が生じるのを防ぐ安易な方法である。

また、後述する RRDtool のデータに問題が生じた場合のバックアップとして、csv ファイル (main_tank_press_temp.csv) にも cron で毎正時に追記でデータを記録している。

6.2 RRDtool の設定

RRDtool の設定は Web 検索すると沢山の使用例を見ることが出来る。筆者もいくつかの Web サイトを参考にさせていただいた。それらを参考に設定ファイルを試行錯誤して完成させた。

データベースを作成するシェルスクリプト (rrdtool-create-p_t.sh) は、図 7 の通りである。最初にこれを起動し、データベースファイル (main_tank_press_temp.rrd) が出来たら、cron によりデータベースに 10 分おきにデータを追加するプログラム (rrd-record.pl) でデータを更新する。

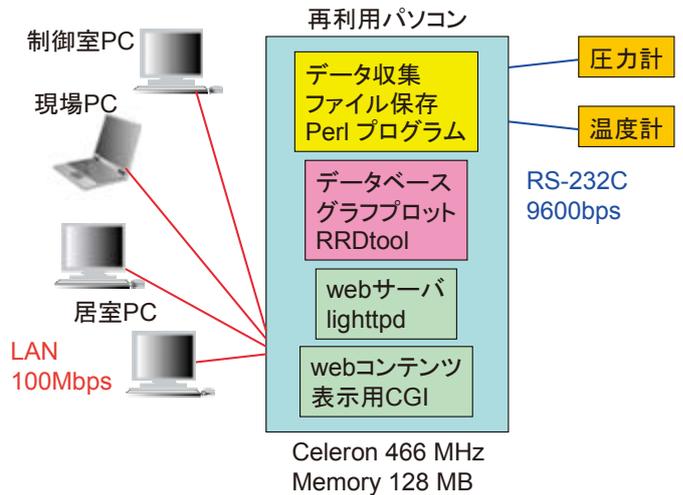


図 4. 接続及びソフトウェア

rrd-record.pl の中身は present_value.pl とほぼ同じなので省略するが、違いは書き出し部分を、

```
$RRD = "/usr/local/bin/rrdtool";
$RRA = "/usr/home/yamato/main_tank_press_temp.rrd";
# write data to RRD tool
system("$RRD update $RRA N:$press_log:$temp_log");
```

としているだけである。

24 時間、週間、月間、年間ログのグラフ png 画像ファイルを作成するシェルスクリプト (rrdtool-graph-p_t.sh) の一部は、図 8 の通りである。これを、cron により約 15 分おきに実行しファイルを以下の順で作成する。

press-daily.png	24 時間圧力ログ
temp-daily.png	24 時間温度ログ
press-weekly.png	週間圧力ログ
temp-weekly.png	週間温度ログ
press-monthly.png	月間圧力ログ
temp-monthly.png	月間温度ログ
press-yearly.png	年間圧力ログ
temp-yearly.png	年間温度ログ

com1 (圧力計と) でエラーが帰ってきてしまった

毎回コマンド列の先頭から終わりまでのデータの HEX コードで 1 バイトずつ足した数の下位 2 桁を 2 バイトの ASCII コードにしたもの (チェックサム) を追加しないとイケなかった。

× "S00RD¥r"

○ "S00RD49¥r"

CR は ¥n ではなく ¥r な事に気付くのに時間もかかった。

com2 (温度計と) の通信が出来なかった

制御コードの表記方法がわかっていなかった

"¥x020100XRS,506W,1¥x03¥r¥n"

で行けると思っていたが、¥n は単体で 0x0D 0x0A を送ってしまっていたため

"¥x020100XRS,506W,1¥x03¥n" として送信命令は OK

受信が出来なかったのは、(ETX) が Ctrl-C なので、FreeBSD の /dev/cuad1 が横取りしてしまっていた。

`stty -f /dev/cuad1 speed 9600 parenb -parodd -cstopb cs8 intr undef`;

の intr undef を付けることで解決。

図 5. 計器との通信がうまくできず解決に時間がかかってしまった部分とその解決方法

⁵ <http://pfwww.kek.jp/kosuge/>

```

#!/usr/bin/perl
# This is the main tank pressure gauge and the thermometer data collection program.
# for Real Time monitor
#      2006/3/2 by Yoshihiro Yamato

open (OUTFILE, ">/home/yamato/real_press_temp.txt");

# Device opening to transmit
open (BUFF0, ">/dev/cuad0"); # cuad0 = com1
open (BUFF2, ">/dev/cuad1"); # cuad1 = com2

# Device opening to receive data
open (BUFF1, "</dev/cuad0");
open (BUFF3, "</dev/cuad1");

# com port initialization
$press=`stty -f /dev/cuad0 speed 9600 -parenb -cstopb cs8`;
$temp =`stty -f /dev/cuad1 speed 9600 parenb -parodd -cstopb cs8 intr undef`;

print BUFF0 "S00RD49¥r";
$recv_press="";
for ($a=1; $a<=25; $a++){
    $bp = read(BUFF1, $press, 1);
    if($bp != 1){
        last;
    }
    $recv_press .= $press;
}
# Pull out only the pressure data part.
$press_log = substr($recv_press, 7, 5);
# Addition of decimal point
substr($press_log, 2, 0) = ".";

# send      "(STX) 0 1 0 0 X R S , 5 0 6 W , 1(ETX) (CR) (LF)"
#print BUFF2 "¥x02¥x30¥x31¥x30¥x30¥x58¥x52¥x53¥x2c¥x35¥x30¥x36¥x57¥x2c¥x31¥x03¥x0d¥x0a";
print BUFF2 "¥x020100XRS,506W,1¥x03¥n";
$recv_temp="";

for ($b=1; $b<=15; $b++){
    $bt = read(BUFF3, $temp, 1);
    if($bt != 1){
        last;
    }
    $recv_temp .= $temp;
}

# Pull out only the temperature data part.
$temp_log = substr($recv_temp, 9, 3);
# Addition of decimal point
substr($temp_log, 2, 0) = ".";

print OUTFILE "$press_log,$temp_log";

close (BUFF0);
close (BUFF2);
close (BUFF1);
close (BUFF3);
close (OUTFILE);

```

図 6. 圧力計・温度計との通信プログラム present_value.pl ソースコード

```
#!/usr/local/bin/tcsh
/usr/local/bin/rrdtool create /usr/home/yamato/main_tank_press_temp.rrd --step 1800 ¥
DS:press:GAUGE:1800:-0.1:0.6 ¥
DS:temp:GAUGE:1800:0:40 ¥
RRA:AVERAGE:0.5:1:600 ¥
RRA:AVERAGE:0.5:6:600 ¥
RRA:AVERAGE:0.5:24:775 ¥
RRA:AVERAGE:0.5:288:797 ¥
RRA:MIN:0.5:1:600 ¥
RRA:MIN:0.5:6:600 ¥
RRA:MIN:0.5:24:775 ¥
RRA:MIN:0.5:288:797 ¥
RRA:MAX:0.5:1:600 ¥
RRA:MAX:0.5:6:600 ¥
RRA:MAX:0.5:24:775 ¥
RRA:MAX:0.5:288:797
```

図 7. rrdtool-create-p_t.sh の内容

rrdtool graph コマンドをシェルスクリプト内で行うと、メッセージの標準出力がエラーメールとして大量に送信されて来た。これを回避するため、

```
rrdtool-graph-p_t.sh > /dev/null
```

としてエラーを解決した。

データ収集、ファイル書き出し、データベース更新の Perl プログラムやグラフ作成のシェルスクリプトがどのようなタイミングで実行されているかをまとめた物を図 9 に示す。

6.3 Web コンテンツ CGI

ユーザーの Web ブラウザからのリクエストに回答し、図 3 の様な画面を出すために CGI (index.cgi) でデータファイルの読み込み、計算処理、html での出力を行っている。詳細は図 11 の通りである。

6.4 Web ブラウザでの自動更新

加速器主タンクガス移送時や加速器運転時などガス圧力や温度の変化が比較的多いときには現場や制御室ブラウザからのリクエスト・表示更新を ReloadEvery⁶ という Firefox の拡張機能を使用し、1 分おきや 5 分おきなどに設定しデータログの再読み込みを自動化している。(図 10)

6.5 全データのバックアップ

本システムの PC は、全てを 1 台で担っているためハードディスクのクラッシュが起こると損害が大きい。そのため、Samba サーバを立ち上げ、重要なファイルを 1 日 1 回定時に筆者の常用 PC に自動的にバックアップコピーを取るようになっている。

```
#!/usr/local/bin/tcsh
/usr/local/bin/rrdtool graph /usr/home/yamato/press-daily.png ¥
--start -1days ¥
--end -1800 ¥
--imgformat PNG ¥
--width 640 ¥
--height 120 ¥
--color BACK#f0e6 ¥
--color CANVAS#ffffff ¥
--color GRID#191970 ¥
--color MGRID#999999 ¥
--color FONT#003300 ¥
--color FRAME#003300 ¥
--color ARROW#0000ff ¥
--vertical-label 'kPa' ¥
--units-exponent 0 ¥
--title 'main tank gas pressure (daily)' ¥
DEF:press=main_tank_press_temp.rrd:press:AVERAGE ¥
CDEF:kp_press=press,1000,* ¥
LINE2:kp_press#ff0000:"pressure" ¥
GPRINT:kp_press:AVERAGE:"AVERAGE = %+3.01f %S" ¥
GPRINT:kp_press:MIN:"MIN = %+3.01f %S" ¥
GPRINT:kp_press:MAX:"MAX = %+3.01f %S" ¥
GPRINT:kp_press:LAST:"LAST = %+3.01f %S"

/usr/local/bin/rrdtool graph /usr/home/yamato/temp-daily.png ¥
--start -1days ¥
--end -1800 ¥
--imgformat PNG ¥
--width 640 ¥
--height 120 ¥
--color BACK#f0e6 ¥
--color CANVAS#ffffff ¥
--color GRID#191970 ¥
--color MGRID#999999 ¥
--color FONT#003300 ¥
--color FRAME#003300 ¥
--color ARROW#0000ff ¥
--vertical-label 'Celsius' ¥
--title 'main tank gas temperature (daily)' ¥
DEF:temp=main_tank_press_temp.rrd:temp:AVERAGE ¥
LINE2:temp#0000ff:"temperature" ¥
GPRINT:temp:AVERAGE:"AVERAGE = %+4.11f" ¥
GPRINT:temp:MIN:"MIN = %+4.11f" ¥
GPRINT:temp:MAX:"MAX = %+4.11f" ¥
GPRINT:temp:LAST:"LAST = %+4.11f"
..... 週間、月間、年間分へと続く
```

図 8. rrdtool-graph-p_t.sh の内容の一部

⁶ <http://norahmodel.exblog.jp/321560/>


```

#!/usr/bin/perl
# This is the main tank pressure gauge and the thermometer data collection program.
#      2006/3/2 by Yoshihiro Yamato

open (INFILE, "</usr/home/yamato/real_press_temp.txt");

$load_value="";
for ($a=1; $a<=11; $a++){
    $v = read(INFILE, $value, 1);
    if($v != 1){
        last;
    }
    $load_value .= $value;
}

# pressure data part
$press_log = substr($load_value, 0, 6);
$press_kg_log = $press_log/0.0980665;
$press_kg_log = substr($press_kg_log, 0, 5);

# temperature data part
$temp_log = substr($load_value, 7, 10);

close (INFILE);

##### ↓html で出力 #####

print "<HTML>\n";

print "<HEAD>\n";
print "<META http-equiv=¥\"Content-Type¥\" content=¥\"text/html; charset=EUC-JP¥\">\n";
print "<TITLE>主タンク圧力・温度モニター</TITLE>\n";
print "</HEAD>\n";
print "<body text=¥\"#000000¥\" bgcolor=¥\"#FFFFFF¥\">\n";
print "<H1>12UD ペレトロン加速器<br>主タンク SF<FONT SIZE=¥\"+1¥\"><SUB>6</SUB></FONT>ガス
圧力・温度モニター</H1>\n";
print "<FONT SIZE=¥\"+3¥\">\n";

print " 現在の圧力 : ¥\n";
print "<FONT SIZE=¥\"+4¥\" COLOR=¥\"#FF0000¥\">$press_log MPa ($press_kg_log kg/cm<FONT
SIZE=¥\"+2¥\"><SUP>2</SUP></FONT></FONT><BR>\n";
print " 現在の温度 : ¥\n";
print "<FONT SIZE=¥\"+4¥\" COLOR=¥\"#FF0000¥\">$temp_log °C</FONT><BR>\n";

print "<HR>\n";
print "24 時間ログ<BR>\n";
print "<IMG SRC=¥\"press-daily.png¥\" ALT=¥\"[press-daily.png]¥\"><BR>\n";
print "<IMG SRC=¥\"temp-daily.png¥\" ALT=¥\"[temp-daily.png]¥\"><BR>\n";
print "週間ログ<BR>\n";
print "<IMG SRC=¥\"press-weekly.png¥\" ALT=¥\"[press-weekly.png]¥\"><BR>\n";
print "<IMG SRC=¥\"temp-weekly.png¥\" ALT=¥\"[temp-weekly.png]¥\"><BR>\n";
print "月間ログ<BR>\n";
print "<IMG SRC=¥\"press-monthly.png¥\" ALT=¥\"[press-monthly.png]¥\"><BR>\n";
print "<IMG SRC=¥\"temp-monthly.png¥\" ALT=¥\"[temp-monthly.png]¥\"><BR>\n";
print "年間ログ<BR>\n";
print "<IMG SRC=¥\"press-yearly.png¥\" ALT=¥\"[press-yearly.png]¥\"><BR>\n";
print "<IMG SRC=¥\"temp-yearly.png¥\" ALT=¥\"[temp-yearly.png]¥\"><BR>\n";
print "</FONT>\n";
print "</BODY>\n";
print "</HTML>\n";

```

図 11. Web コンテンツ作成 CGI (index.cgi)

7. まとめ

RRDtool と lighttpd を使用する事によって非力な旧型PC (Celeron 466 MHz) でもタンデム型静電加速器主タンクの六フッ化硫黄 (SF₆) ガスの現在の圧力・温度及び 24 時間ログ、週間ログ、月間ログ、年間ログを高速に複数ユーザーに提供できた。これは加速器の状況把握の一手段としても有効なツールとなった。例えば、加速器のコンディショニングを V_t=10 MVで行っているときに約 1 時間で 1 kPa (0.001 MPa) ガス圧力が上昇することは今回の開発機器を使用して初めて知ることができた。また、外気による温度変化で加速器主タンクのガス圧力がめまぐるしく変化していることも視覚的に把握できた。これらのデータにより温度上昇でコロナ電流の流れが減らないように空調機の温度設定を下げ調整するなどの措置を取ることもできた。

本報告書が、遠隔で計器のデータログを取りたいといった同じような目的を持つ方々の参考となれば幸いである。

システム構築時にご助言、ご協力を頂きました応用加速器部門技術専門職員 木村博美氏、圧力センサー・温度センサーの加速器主タンク配管への取り付けを行ってくださった同 石井聡氏に感謝いたします。

参考文献・参考 Web site

- [1] 「RRDtool の使い方」「RRDtool 1.2 系を使う」
Takuro KUBOTA 氏 Web ページ
<http://www.bonz.squares.net/~takuro/>
- [2] 小菅隆, ワンボードマイコン及び FreeBSD マシンを使用した遠隔電圧測定システム, 平成9年度核融合科学研究所技術研究会報告書 (1997) 186-189.
<http://pfwww.kek.jp/kosuge/paper/giken97.pdf>

Gas pressure and temperature monitor of the accelerator tank on the Web site by using the RRDtool

Yoshihiro Yamato

Tandem Accelerator Complex, Research Facility Center for Science and Technology,
University of Tsukuba,
1-1-1 Tennodai, Tsukuba, Ibaraki, 305-8577 Japan

Gas pressure and temperature in the accelerator tank in our facility are able to be watched on the Web site at all hours. The variations of the pressure and the temperature are logged on the Web site and can be shown as graphs. The monitoring system was developed by using the RRDtool and lighttpd, and it works on an old model personal computer which was not in use. As the result, the accelerator condition is able to be diagnosed in detail.

Keywords: RRDtool ; Web monitor; simple data logger

FPGA による PCI バス・インターフェース回路の実装

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

クラスター型コンピュータ向けネットワーク・インターフェース MaestroNI 用に PCI バス・インターフェース回路を開発した。PCI (Peripheral Component Interconnect) バス・インターフェース回路は FPGA (Field Programmable Gate Array) 内に実装され、PCI ターゲット転送、PCI マスタ転送を処理することができる。PCI バス・インターフェース回路の PCI ターゲット転送は単一転送に制限されるが、PCI マスタ転送はバースト転送に対応している。PCI バスの動作周波数は 66 MHz、データ幅は 64 ビットであり、理論上のスループットの最大値は 528 Mbytes/sec である。PCI バス・インターフェース回路は、市販の IP (Intellectual Property) を使用せず、PCI の規格を基に全て独自に設計・開発した。現在、Maestro2 および Maestro3 ネットワーク・インターフェース基板の FPGA に実装されて、NI 基板とホスト・パーソナル・コンピュータ (ホスト PC) を結ぶインターフェースとして使用されている。

キーワード：FPGA、PCI バス、Maestro

1. はじめに

PCI バスは、パーソナル・コンピュータ(PC)の拡張スロットとして親しまれているバス規格である。2 枚目のグラフィックカードや、イーサネットカード、A/D コンバータカード、キャプチャカード、いろいろな用途の拡張基板用のバスとして使用されている。PCI バスは PCI SIG (Peripheral Component Interconnect Special Interest Group) により 1992 年に PCI 仕様書第 1 版が出版され、スタートを切った。その後、1999 年に第 2 世代として、データ転送速度を向上させた PCI-X バスが発表された。PCI-X バスは主にサーバー機器用の拡張ボード規格として使用された。2002 年には第 3 世代として、高速シリアル通信を採用した PCI-Express が発表された。PCI-Express が主な拡張ボード・インターフェース規格として採用された現在でも、PCI バス・コネクタは、PC に必ず搭載されている。

第 4 回筑波大学技術職員技術発表会で発表した Maestro2 ネットワーク・インターフェース (Maestro2NI)^[1]と第 6 回筑波大学技術職員技術発表会で発表した Maestro3 ネットワーク・インターフェース (Maestro3NI)^[2]は、PCI バスに接続される拡張基板である。2 つのネットワーク・インターフェース(NI)は、ホスト PC のマザーボード上の 64 ビット幅、3.3 V 電圧の PCI バス・コネクタに挿入されて使用される。PCI バス・インターフェース信号は、NI

の PCI カード・エッジコネクタから FPGA にプリント配線され、FPGA 中に実装された PCI バス・インターフェース回路に接続されている。PCI バス・インターフェース回路は、NI とホスト PC の間で PCI バスを通してデータ転送を行う。データ転送は 2 種類あり、1 つが PCI ターゲット転送、もう 1 つが PCI マスタ転送である。PCI ターゲット転送は、ホスト PC が要求元となるデータ転送である。PCI マスタ転送は、NI が要求元となるデータ転送である。

PCI バス・インターフェース回路の PCI ターゲット転送は単一転送に制限されるが、PCI マスタ転送はバースト転送に対応している。PCI バスの動作周波数は 66 MHz、データ幅は 64 ビットである。

2. PCI バスの概要

2.1 PCI バスの特徴

PCI バスには次の特徴がある。

1. 64 ビットまたは 32 ビット・データ幅の同期バスである。
2. 割り込み信号とエラー信号以外のほとんどの制御信号にサステインド・トライステート方式を使用している。
3. メモリ空間、IO 空間、コンフィギュレーション空間を持っている。
4. プラグ・アンド・プレイに対応できる。
5. アドレスバスとデータバスが共用である。
6. データ転送を始める際に、マスタ・デバイスが C/BE# にコマンドを出力するので、ターゲット・デバイスは転送の種類をあらかじめ知ることができる。
7. バイト・イネーブルを持っていて、バイトごとに書き込みができる。
8. 制御信号のほとんどがアクティブ・ロー信号である。

2. のサステインド・トライステート方式は、トライステート方式の一種であり、アクティブ・ローの制御信号に使用されている。サステインド・トライステート信号は、マザーボード側で抵抗によってプルアップされている。アクティブ・ローの信号は、デバイスによって 0 レベル (アサート) にドライブされてから、1 レベル (ディアサート) に戻される動作を繰り返して、データ転送のやり取りを行う。その際に、ドライバのドライブを 0 レベルの間に OFF し、プルアップ抵抗で浮遊容量を充電して 1 レベルにすると、1 レベルに達するまでの時間が長くなる。その点を改良するために、サステインド・トライステート方式は、1 レベルにドライブしてから

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

ドライブを OFF する。図 1 に通常のトライステートバッファの波形とサステインド・トライステートバッファの波形を示す。

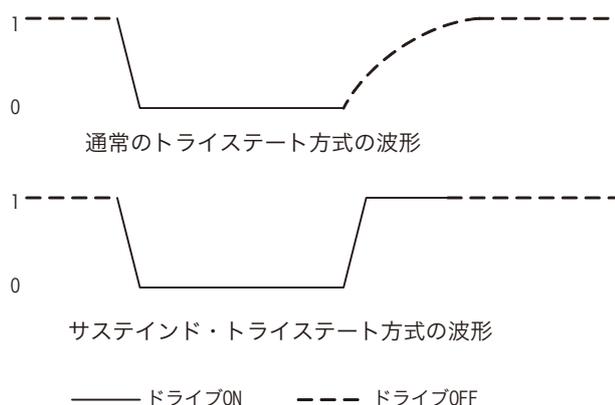


図 1 通常のトライステート方式の波形とサステインド・トライステート方式の波形の比較

2.2 PCI バスの空間

PCI バスの空間にはメモリ空間、IO 空間、コンフィギュレーション空間の 3 つがある。

メモリ空間は、ホスト PC のプロセッサのメモリ空間にマップされる。通常は BIOS(Basic Input/Output System)によって、PCI ボードで使用するメモリ領域をマップする。PCI バス・インターフェース回路では、Maestro2NI および Maestro3NI の SDRAM 領域、ネットワーク・バッファ領域、FLASH ROM (Flash Read Only Memory)、設定用レジスタの 4 つをマップしている。

IO 領域は、x86 プロセッサの IO と同様に、64 K バイトの領域がある。IO 領域は PCI バス・インターフェース回路ではサポートされていない。

コンフィギュレーション空間³⁾は、PCI ボードのステータスの監視や設定を行う領域で、8 ビット長のアドレス空間を持っている。図 2 にコンフィギュレーション空間のアドレス・マップを示す。コンフィギュレーション空間のレジスタはコンフィギュレーション・レジスタと呼ばれる。

アドレス 00h (h は 16 進数を表す) のベンダ ID は PCI ボード (PCI バスに接続されている基板を PCI ボードと呼ぶことにする) を作成したメーカーの固有コードである。ベンダ ID は PCI SIG によって、各メーカーに割り当てられる。

アドレス 02h のデバイス ID はメーカーのいわば型番となる。

アドレス 09h ~ 0Bh のクラスコードは PCI ボードの種類を表す。たとえば、PCI バス・インターフェース回路では基本クラスがネットワーク・コントローラを示す 02h、サブクラスがその他のネットワーク・コントローラを示す 80h、プログラミング・インターフェースが 00h となる。

ホスト PC のデバイス・ドライバは、ベンダ ID、デバイス ID、クラスコードなどから自分の制御すべきボードがどれなのかを判定することができる。

アドレス 04h のコマンドは、一般的にコマンド・レジスタと呼ばれている。コマンド・レジスタは、

ビット				アドレス
31	16	15	0	
デバイス ID		ベンダ ID		00h ^{a)}
ステータス		コマンド		04h
クラス・コード			リビジョン ID	08h
BIST	ヘッダ・タイプ	レイテンシ・タイム	キャッシュ・ライン・サイズ	0Ch
ベース・アドレス・レジスタ (SDRAM)				10h
ベース・アドレス・レジスタ (ネットワーク・バッファ)				14h
ベース・アドレス・レジスタ (FLASH ROM)				18h
ベース・アドレス・レジスタ (設定用レジスタ)				1Ch
ベース・アドレス・レジスタ (未使用)				20h
ベース・アドレス・レジスタ (未使用)				24h
カードバス CIS ポインタ				28h
サブシステム ID		サブシステムベンダ ID		2Ch
拡張 ROM ベースアドレス				30h
予 約			新機能ポインタ	34h
予 約				38h
最大レイテンシ	最小グラント	PCI インタラプトピン	インタラプトライン	3Ch
デバイス固有レジスタ領域 (設定用レジスタ、Block RAM)				4Ch ~ FCh

a) 00h の h は hexadecimal (16 進数) を表す

図 2 コンフィギュレーション空間のアドレス・マップ

PCI ボードのさまざまな機能を制御するためのレジスタである。アドレス 06h のステータスは、一般的にステータス・レジスタと呼ばれ、読み出しのみのレジスタである。ステータス・レジスタは、PCI ボードの状態を表す。

アドレス 10h ~ 24h の領域は、ベース・アドレス・レジスタに割り当てられている。ベース・アドレス・レジスタは、32 ビット長で、PCI ボード上のメモリ、IO (Input/Output) の領域の大きさとホスト PC でのアドレスを示す。このレジスタの 1 つ 1 つがメモリ空間、IO 空間に対応する。ベース・アドレス・レジスタの示す空間が、どちらの空間かを表すためにビット 0 が使用される。ビット 0 が 0 のときはメモリ空間となり、1 のときは IO 空間となる。ホスト PC のコンフィギュレーション・アクセスが終了した時点でのベース・アドレス・レジスタは、ホスト PC のアドレス・マップに対応するアドレスが入力されている。Maestro3NI では、10h に SDRAM、14h にネットワーク・バッファ、18h に FLASH ROM、1Ch に設定用レジスタが割り当てられている。その他のベース・アドレス・レジスタ領域は未使用のため 0 に固定されている。ベース・アドレス・レジスタの設定方法は第 5 章で述べる。

3. PCI バスの信号

PCI バスは 184 本の信号線を持っている。信号線は、システム信号、アドレス・データ・属性信号、制御信号、アービトレーション信号、エラー関連信

号、割り込み信号、キャッシュ・サポート信号、JTAG/バウンダリ・スキャン信号に分けられる。

システム信号は CLK、RST#で構成される。アドレス・データ・属性信号は AD[63:00]、C/BE[7:0]、PAR、PAR64で構成される。制御信号は、FRAME#、IRDY#、TRDY#、STOP#、LOCK#、IDSEL、DEVSEL#で構成される。アービトラージ信号は、REQ#、GNT#、REQ64#、ACK64#で構成される。エラー関連信号は、PERR#、SERR#で構成される。インタラプト信号は、INTA#、INTB#、INTC#、INTD#で構成される。キャッシュ・サポート信号は、SBO#、SDONE#で構成される。最後の JTAG/バウンダリ・スキャン・ピンは TCK、TDI、TDO、TMS、TRST#で構成される^[3]。

4. PCI バスの信号プロトコル

Maestro3NI の PCI ターゲット転送と PCI マスタ転送、コンフィギュレーション・サイクルを例にとって、PCI バスの信号プロトコルを説明する。

4.1 PCI ターゲット書き込み転送

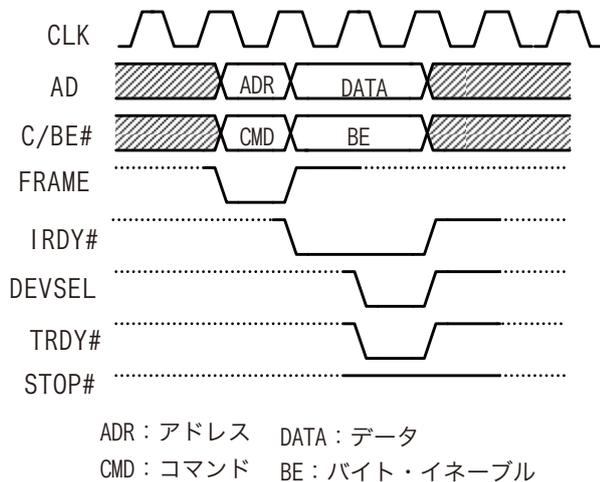


図 3 PCI ターゲット・ライト

図 3 はホスト PC から Maestro3NI への PCI ターゲット書き込み転送 (PCI ターゲット・ライト) を表している。図 3 で、実線はドライブされている信号を示している。破線は、バスの信号線がプルアップ抵抗でプルアップされているだけで、どこのドライバからもドライブされていない状態を表している。バスのハッチングは、バスがハイ・インピーダンス状態にあることを示している。なお、インタラプトなどの信号を除く大部分の信号は CLK の立ち上がり同期して変化する。

C/BE#、FRAME#、IRDY#はマスタ・デバイス (この場合はホスト PC) が常時ドライブする信号である。PCI ターゲット・ライトの場合は、AD もマスタ・デバイスが常時ドライブする。

ターゲット・デバイス (この場合は Maestro3NI) は、FRAME#が 0 になってアサートされたときに動作を開始する。ターゲット・デバイスは FRAME#が 0 になり、アサートされたときに、AD からアドレスを取得する。それと同じタイミングで、C/BE#にはコマンドが出力されている。コマンドはメモリや IO

やコンフィギュレーションの書き込み、読み出しをコードでターゲット・デバイスに知らせる。取得したアドレスが自分のベース・アドレス・レジスタで示されるアドレスだったら、ターゲット・デバイスは DEVSEL#をアサートして応答を開始する。Maestro3NI の PCI バス・インターフェース回路では DEVSEL#信号は、FRAME#がアサートされたクロックの 1 クロック後にアサートを開始している (デコード・タイミングは中速)。

マスタ・デバイスは FRAME#の後のクロックで、AD に書き込むデータ、C/BE#にバイト・イネーブルを出力し、IRDY#をアサートする。

ターゲット・デバイスは DEVSEL#と同じタイミングで、書き込みデータを受け入れ可能なことを示すために TRDY#をアサートする。IRDY#と TRDY#が同時にアサートされたタイミングで、PCI データ転送が成立する。図 3 (Maestro3NI) の場合は、単一転送であるため、1 つデータ転送が終了した時点で PCI ターゲット転送を完了する。FRAME#、IRDY#、DEVSEL#、TRDY#、STOP#はサステインド・トライステート信号なので、0 から 1 にドライブしてからハイ・インピーダンス状態となる。AD と C/BE#は通常のトライステート信号であるので、図 3 の斜線の部分でハイ・インピーダンス状態となる。

4.2 PCI マスタ転送の読み出し

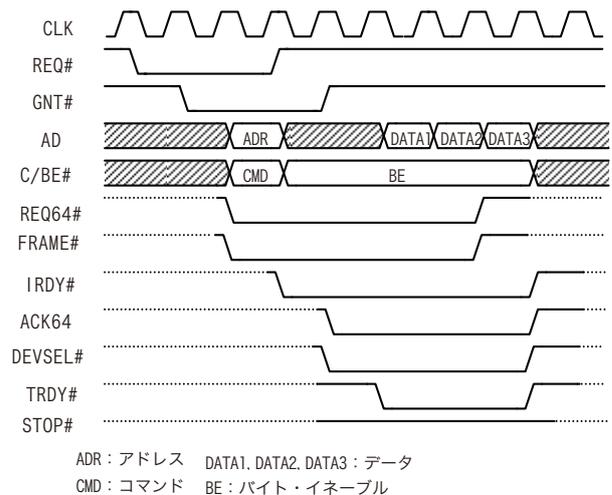


図 4 PCI マスタ・リード

図 4 は Maestro3NI からホスト PC への PCI マスタ転送の読み出し (PCI マスタ・リード) を表している。図 3 から追加された信号のうち、REQ#、GNT#はホスト PC の PCI バス・アービトラージ回路がドライブする。REQ64#はマスタ・デバイス (この場合は Maestro3NI) がドライブし、ACK64#はターゲット・デバイス (この場合はホスト PC) がドライブする。

図 4 の PCI マスタ転送は、Maestro3NI のプロセッサがホスト PC のメモリを読み出すために、PCI バス・インターフェース回路に 1 ワード (32 bit) のリードを要求した場合である。PCI バス・インターフェース回路は、初めに、バスを要求するために REQ#を 0 にアサートする。一般的にホスト PC のチップセットに内蔵されている PCI バス・アービトラージ

オン回路は、PCI バス・インターフェース回路から出されたバス要求を許可するために GNT#を 0 にアサートする。これでバスの使用が許可されたが、他のデバイスがまだ PCI バスを使用している可能性があるため、マスタ・デバイスは FRAME#、IRDY#を監視して、どちらも 1 にディアサートされたときにバスが使用されていないと認識する。バスが使用されていないときに、マスタ・デバイスは FRAME#と、もし 64 ビットアクセスをしたいときは REQ64#をアサートする。PCI バス・インターフェース回路のマスタ・アクセスはすべて 64 ビットで行われるので、図 4 では REQ64#がアサートされている。

図 3 の PCI ターゲット・ライトとの違いの 1 つは、FRAME#が連続してアサートされていることである。図 4 のように、連続してアサートする場合は、連続的にデータを転送（バースト転送）できる。3 つの 64 ビットデータをリードしているが、そのうちの 32 ビット分のデータのみ使用して、その他のデータは捨てている。これは、データバスのパイプライン化によって、バースト転送時のスループットを確保するために必要な措置である。さらに、ライトの場合は、マスタ・デバイスがトランザクションの間すべて、AD バスをドライブしていたが、リードの場合はアドレスを出力した後でドライブを OFF し、ターゲット・デバイスが AD バス上にリード・データを出力する。

PCI マスタ・リードの場合も PCI ターゲット・ライトの時と同様に、双方の制御信号のやり取りで、データ転送を行う。IRDY#と TRDY#が同時にアサートされた時が、データ転送が成功した場合である。マスタ・デバイスはデータ転送終了の 1 つ前に FRAME#を 1 にディアサートする。最後の 1 つの転送が終了したら、マスタ・デバイスは IRDY#をディアサートした次のクロックで、ドライバをハイ・インピーダンス状態にする。

ターゲット・デバイスの制御信号線は図 3 に比べて ACK64#が追加されている。ACK64#は REQ64#に対する応答としてアサートされる。つまり、ターゲット・デバイスが 64 ビット幅のデータ転送に対応している場合は、ACK64#をアサートする。ACK64#がアサートされない場合、マスタ・デバイスは 64 ビット幅のデータ転送を中断して、32 ビット幅のデータ転送に変更する。ただし、Maestro3NI の PCI バス・インターフェース回路は、マスタ・アクセス時の 32 ビット幅データ転送に未対応である。

その他の制御信号は、バースト転送として連続的にアサートされる以外は、特に変更はない。

4.3 コンフィギュレーション・サイクル

図 5 はコンフィギュレーション・書き込みサイクル（コンフィギュレーション・ライト）を表している。

コンフィギュレーション・サイクルは、コンフィギュレーション・レジスタにアクセスするために使用される。ホスト PC が電源 ON で、ブートしたときには、コンフィギュレーション・レジスタのベース・アドレス・レジスタは値が入力されていない。よって、この状態では、PCI ボードはアクセスに回答できない。このような場合でも、コンフィギュレーション・サイクルには、応答することができる。

それは、PCI スロットごとにユニークな IDSEL という信号が PCI データ転送の始まりの時にアサート(1)されるかどうかを監視すれば、データ転送の始まりを認識できるからである。コンフィギュレーション・ライトは、AD にアドレスが 8 ビットのみ出力されているなどの違いはあるが、その他はほとんど PCI ターゲット・ライトと同様である。

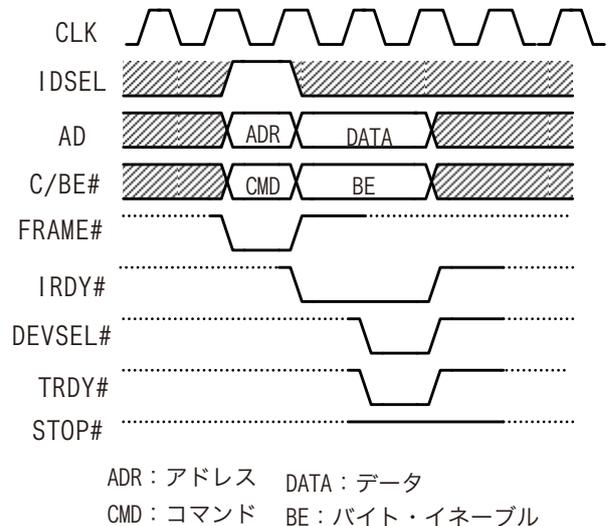


図 5 コンフィギュレーション・ライト

5. ホスト PC 起動時のコンフィギュレーション

ホスト PC を電源 ON すると起動する BIOS (Basic Input/Output System)が、PCI ボードにコンフィギュレーション・サイクルを発生させて、PCI ボード上の各コンフィギュレーション・レジスタを読み、ベース・アドレス・レジスタを操作して、PCI ボードのコンフィギュレーションを行う。

ベース・アドレス・レジスタは、メモリ領域または IO 領域をホスト PC のメモリ空間または IO 空間に確保するためのレジスタである。ベース・アドレス・レジスタには、メモリ空間では 4 ビット、IO 空間では 2 ビットの予約領域がある。この予約領域は最下位ビットから割り当てられており、割り当てられるメモリ領域の最小値は 16 バイト、IO 領域は 4 バイトとなる。予約領域の上のビットは、PCI ボードの要求するメモリ領域、IO 領域の大きさによって 0 に固定される。固定された以外の上位ビットには、アドレスを記憶する DFF (Delay Flip Flop) が実装される。例えば、Maestro3NI のベース・アドレス・レジスタ 0 (コンフィギュレーション・アドレス 10h ~13h) は SDR SDRAM のアドレスが入力される。Maestro3NI の SDR SDRAM の容量は 128 M バイトなので、必要とするアドレスビットは 27 ビットである。よって、ベース・アドレス・レジスタ 0 の 0 に固定されるビットはビット 4 からビット 26 までとなる。後のビット 27 からビット 31 までは、ホスト PC から割り当てられるアドレスを記憶するために、DFF を実装した。

BIOS によるベース・アドレス・レジスタの設定手順は以下のとおりである。

1. ホスト PC は、コンフィギュレーション・ライトを発行して、PCI ボードのベース・アドレス・レジスタにオール 1 を書き込む。
2. ホスト PC は、コンフィギュレーション・リードを発行して、PCI ボードの書き込んだベース・アドレス・レジスタを読み出す。
3. 読み出したデータのビット列のどこまでが 0 か (1 を書いたはずなのに) を調べて、そのベース・アドレス・レジスタで要求された領域の大きさを確認する。
4. 要求された領域をホスト PC のアドレス・マップ上に確保して、そのアドレスをコンフィギュレーション・ライトで、もう一度 PCI ボードのベース・アドレス・レジスタに書き込む。

このように、ベース・アドレス・レジスタの設定を通して、PCI ボードのリソースがホスト PC のアドレスにマップされ、ホスト PC のプロセッサからアクセスが可能となる。

6. PCI バス・インターフェース回路

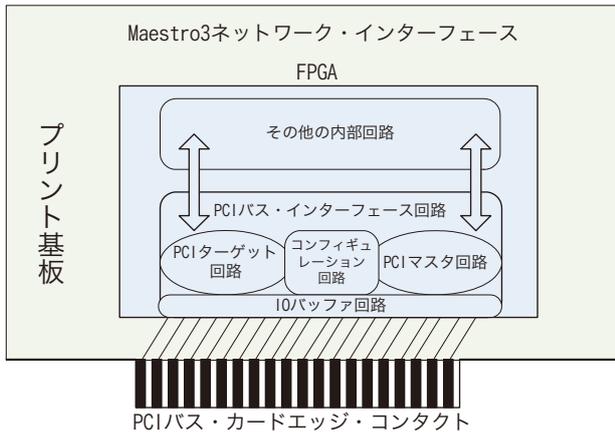


図 6 PCI バス・インターフェース回路のブロック図



図 7 Maestro3NI の PCI バス、FPGA 部分

PCI バス・インターフェース回路は Maestro3 ネットワークの一部として、主にホスト PC のメモリと Maestro3 ネットワークのデータのやり取りに使用されている。

PCI バス・インターフェース回路のブロック図を図 6 に示す。Maestro3NI の PCI バス、FPGA 部分の写真を図 7 に示す。PCI バス・インターフェース回

路はコンフィギュレーション回路、PCI ターゲット回路、PCI マスタ回路と IO バッファ回路で構成されている。

6.1 PCI ターゲット回路

PCI ターゲット回路は、単一転送のみをサポートし、バースト転送はサポートしていない。ホスト PC のプロセッサからのアクセスは 32 ビット・アクセスなので、FPGA 内の 64 ビット・バスとのインターフェースを図るため、ワードレーン変換機能を備えている。図 8 に PCI ターゲット回路のデータパス・ブロック図を示す。

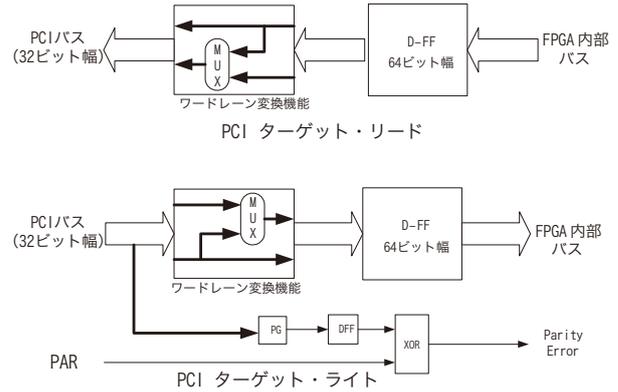


図 8 PCI ターゲット回路のデータパス・ブロック図

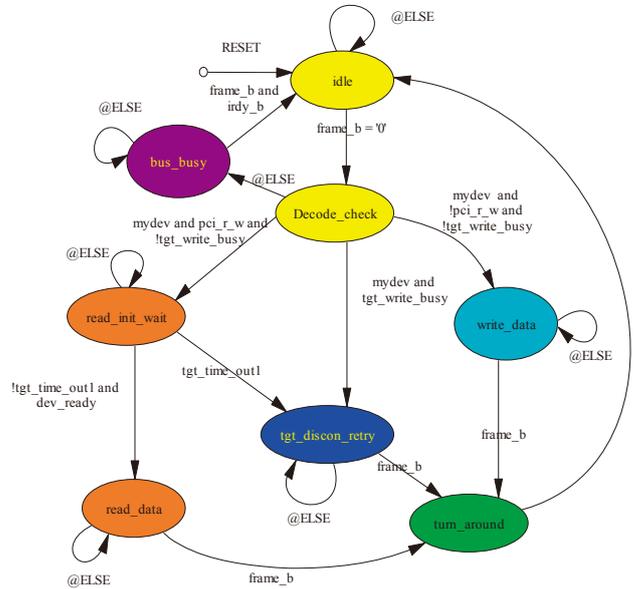


図 9 PCI ターゲット回路のメイン・ステート・マシン

PCI ターゲット・リードの場合は、FPGA 内部バスの上位 32 ビットと下位 32 ビットをマルチプレクサによって切り替え、32 ビット分を下位の PCI バスに送る。PCI ターゲット・ライトの場合は、PCI バスからアドレスを取得して、FPGA 内部バスの上位 32 ビットに出力するか、下位 32 ビットに出力するかを決定する (図 8 参照)。

PCI ターゲット回路のメイン・ステート・マシンを図9に示す。

リセット後は、idle ステートからスタートする。FRAME# (frame_b) が0 にアサートされたときに、Decode check ステートに遷移し、自分のアドレス(ベース・アドレス・レジスタに設定してあるアドレス)にヒットしたかを調べる。自分のアドレスにヒットしていない場合は、bus_busy ステートに遷移し、そのPCIバス・トランザクションが終了するまで、そのステートで待機する。自分のアドレスにヒットした場合は、ライトの場合とリードの場合に分かれる。

ライトの場合に、以前のトランザクションが終了している場合は write_data ステートに遷移し、FPGA 内部バスに書き込みデータを送る。以前のトランザクションが終了していない場合は、tgt_discon_retry ステートに遷移して、リトライ動作を行う。

リードの場合には、read_init_wait ステートに遷移して、FPGA 内部バスからリード・データが到着するのを待つ。リード・データが到着したら、reda_data ステートに遷移して、PCI バス上にリード・データを出力する。

ライトの場合も、リードの場合もデータ転送が終了したら、turn_around ステートに遷移する。ここでは、サステインド・トライステート状態のために制御信号をデアサート (1) する。

tgt_discon_retry ステートは、リトライで終了する場合に遷移するステートである。リトライで終了する場合には、ライト時に以前のトランザクションが終了していない場合や、read_init_wait ステートで処理を待っているときにタイムアウトでPCIバス・トランザクションを終了する場合がある。

図9のステート・マシンを使用して、図3のPICターゲット・ライトを実現している。

6.2 PCI マスタ回路

PCI マスタ回路は、64 ビット幅のデータ転送のみをサポートしている。IO バッファ回路、PCI ターゲット回路の一部を含めた入出力部分のブロック図を図10に示す。

図10中のIOB (Input Output Block) は、FPGA のパッド近くに実装された入出力ブロックである。IOB内には入力用、出力用、トライステート・イネーブル用の DFF が内蔵されている。PG (Parity Generator) は、偶数パリティを生成する回路である。

図10の上部が主に PCI マスタ・ライトおよび、PCI ターゲット・リードが使用する回路である。図10の下部が主に PCI マスタ・リードおよび、PCI ターゲット・ライトが使用する回路である。PCI マスタ・リード、ライトともに 512 深度の FIFO (first-in first-out) に転送データを蓄積している。PCI マスタ・ライトの場合は、ライト用 FIFO から IOB を通じて AD に出力し、PCI マスタ・リードの場合は IOB を通じてリード用 FIFO に入力している。どちらの AD も同じ FPGA の端子であり、図では便宜上、分けて書かれている。

PCI マスタ・ライトのリード、ライトともに、PCI 側と FPGA 側にそれぞれ転送数カウンタを持っている。そのため、FIFO の入力、出力両側の転送数がわかるようになっている。

PAR は AD[31:0] と C/BE#[3:0] の偶数パリティを出力する。PCI マスタ・アクセスの場合と、PCI ターゲット・リードの場合に PCI バス・インターフェース回路からパリティを出力する。

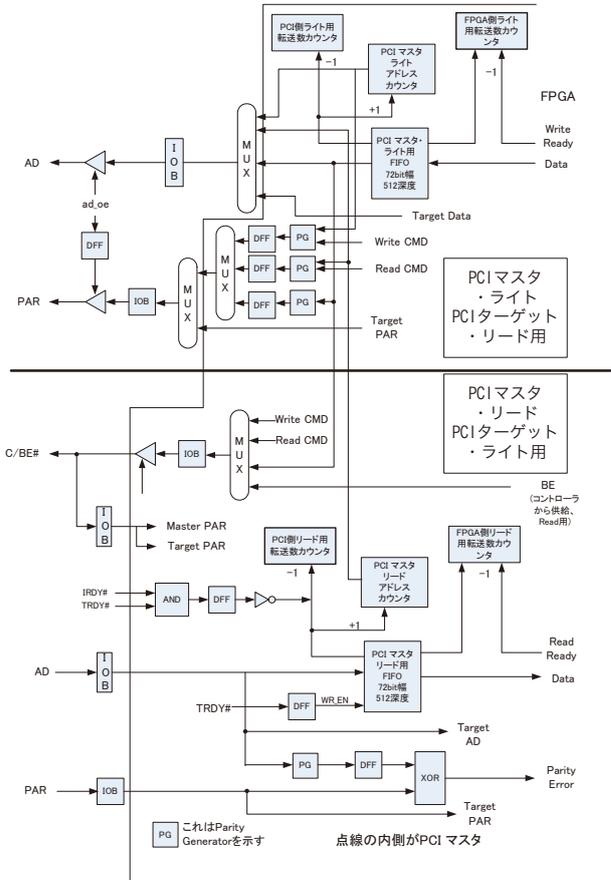


図10 PCI マスタ回路入出力部分ブロック図

C/BE# は PCI バス・アクセスの最初でコマンドを出力し、その後はバイト・イネーブルを出力する必要がある。そのため、マルチプレクサ(MUX)で入力を切り替えている。

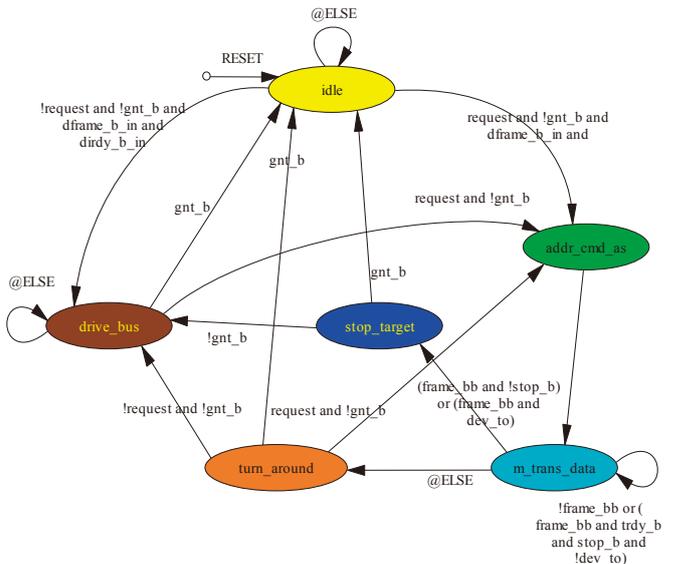


図11 PCI マスタ回路のメイン・ステート・マシン

図 11 に PCI マスタ回路のメイン・ステート・マシン^[4]を示す。

リセット後は、idle ステートからスタートする。REQ#(request) をアサートして、GNT#(gnt_b) がアサートされて、FRAME#(frame_b) と IRDY#(irdy_b) がディアサートされたときに、addr_cmd_as ステートに遷移する。addr_cmd_as ステートで、AD にアドレス、C/BE#にコマンドを出力してデータ転送が始まる。addr_cmd_as ステートから無条件に遷移する m_trans_data ステートでは、データ転送を行う。正常に終了するときには、turn_around ステートに遷移して、ドライブしている制御信号(FRAME#, IRDY#) を 1 にディアサートする。ターゲット・デバイスから STOP#をアサートされたとき、または、ターゲット・デバイスから応答がなかった場合は、stop_target ステートに遷移して、ディスクネクスト処理を行う。turn_around ステート、または、stop_target ステートで GNT#がアサートされていたら、バス・パーキングを行う必要があるので drive_bus ステートに遷移する。バス・パーキングとは、PCI バス・トランザクションを行わずに AD と C/BE#をドライブすることである。turn_around ステート、または、stop_target ステートで GNT#がディアサートされていたら、idle ステートに戻る。

以上のような動作を行い、PCI マスタ転送を行っている。

6.3 コンフィギュレーション回路

コンフィギュレーション回路は、図 2 に示したコンフィギュレーション空間に割り当てられたコンフィギュレーション・レジスタを実装している。

6.4 IO バッファ回路

IO バッファ回路は、PCI ターゲット回路および PCI マスタ回路と FPGA チップのパッドの間にあるバッファ回路である。IOB 内の DFF を積極的に使用して、タイミング・バジェットを改善することもできる。

7. 工夫および苦勞した箇所について

PCI バス・インターフェース回路を実装する上で、工夫および苦勞した箇所は以下の通りである。

1. PCI バス 66 MHz の仕様によると、入力信号のセットアップ時間は 3 nsec、出力信号のクロックからの出力時間は 6 nsec である。これは大変厳しい数値である。PCI バスの規格によると、入力信号を同じクロック内に判定する必要がある。この規格からすると、入力信号は必ず組み合わせ回路を通過して DFF に入力する必要があるため、セットアップ時間を確保することが難しい。PCI バス・インターフェース回路では、DCM (Digital Clock Manager) を使用して、クロックの位相をシフトし、クロックからの出力時間の余裕をセットアップ時間に割り振っている。それでもまだ、3 nsec の規格は満足しないが、動作には問題はない。

2. PCI バス規格書には、64 ビット幅の PCI バスも 32 ビット幅の PCI バスのトランザクションにも対応しなければならないとある。PCI バス・インターフェース回路の PCI マスタ・アクセスは 64 ビットのみ対応する。余計な回路に対応しないことによって、回路構成を簡単にし、FPGA のクリティカルパスの遅延を小さくすることができる。
3. PCI マスタ回路の出力用 FIFO は、データのクロックからの出力時間を確保するために、出力信号は DFF を使用してラッチされている。そのため、PCI データ転送の終了時にデータ転送なしのディスクネクストをされると IOB の DFF に残っているデータが消失する危険がある。この問題を回避するために PCI マスタ・ライト用 FIFO は、リワインド端子つきの FIFO を自作して使用した。
4. PCI バス・インターフェース回路の作成中に、ホスト PC のチップセットが変更になると、PCI バスの反応も異なり、PCI バス・インターフェース回路のバグが顕在化することが多かった。バグの発生する条件が限定的であるため、バグの原因を突き止めるのが困難であった。そのような場合は、シミュレーションで再現を試みた。それで再現しない場合は、検出回路を FPGA に内蔵し、FPGA 内蔵ロジック・アナライザ (ChipScope) を使用してバグを特定した。このような場合は、バグの原因の特定が非常に難しい。

8. まとめ

本報告では、PCI バスの概要について述べた後、自作の PCI バス・インターフェース回路について述べた。現在、PCI バス・インターフェース回路は、Maestro2NI と Maestro3NI の PCI バス・インターフェースとして使用されている。PCI バス・インターフェース回路のビット幅は 64 ビット、動作周波数は 66 MHz である。理論上のスループットの最大値は 528 Mbytes/sec である。

9. 謝辞

Maestro2 および Maestro3 システムの開発に参加の機会を与えて頂いた、筑波大学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。

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, 筑波大学技術報告 25 (2005) 42-49.
- [2] 小野雅晃, Maestro3 クラスタネットワーク用基板の設計, 筑波大学技術報告 27 (2007) 37-44.
- [3] 滝誠一 他, PCI バスの詳細と応用へのステップ, CQ 出版社 OpenDesign No.7 (1995) 4-140.
- [4] PCI SIG, PCI Local Bus Specification Revision 2.2, PCI SIG (1998) 1-322.

Implementation of PCI bus interface circuit by FPGA

Masaaki Ono

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

A PCI (Peripheral Component Interconnect) bus interface circuit was developed for a network interface of a dedicated cluster network called Maestro. The PCI bus interface circuit is implemented on FPGA (Field Programmable Gate Array) and can handle PCI target transfer as well as PCI master transfer. Although the PCI target transfer of the PCI bus interface circuit is limited for single transfer, the PCI master transfer supports burst transfer.

The operating frequency of the PCI bus is 66 MHz, the data widths are 64 bits, and the maximum theoretical throughput is 528 Mbytes/sec. The PCI bus interface circuit was designed and implemented without using commercial IP (Intellectual Property). Currently, the PCI bus interface circuit is implemented on FPGA of the Maestro2 and Maestro3 network interface boards to connect the NI boards with the host personal computers.

Keywords: FPGA; PCI bus; Maestro

SiO₂担持 Rh 触媒の調製過程における TEM 観察

伊藤伸一

筑波大学数理物質科学等支援室 (物性・分子工学専攻)

〒305-8573 茨城県つくば市天王台 1-1-1

概要

二酸化ケイ素 (シリカ:SiO₂) 担体にロジウム (Rh) 前駆体である硝酸ロジウム (Rh(NO₃)₃) 溶液を含浸し、乾燥、焼成、還元を行い Rh/SiO₂ 触媒を調製した。この触媒調製の各段階で透過型電子顕微鏡 (TEM) 観察を行った。その結果、前駆体溶液を含浸、乾燥後の SiO₂ 担体上に微粒子がみられた。その粒子径は、触媒の還元後にみられる Rh 微粒子の粒子径よりも小さいものであった。含浸、乾燥過程における微粒子の生成は、硝酸ロジウム前駆体のオール化によるものであると考えられる。

キーワード: 担持貴金属触媒、透過型電子顕微鏡、硝酸ロジウム、触媒調製。

1. はじめに

触媒反応を大別すると、触媒と反応物が同じ相である均一系と、触媒と反応物が異なる相である不均一系に分類される。後者では、触媒は固相で反応物が気相または液相である。担持貴金属触媒は二酸化ケイ素 (シリカ:SiO₂) や酸化アルミニウム (アルミナ:Al₂O₃) などの金属氧化物や各種ゼオライト、あるいは活性炭などを担体として、ロジウム (Rh)、白金 (Pt)、パラジウム (Pd) などの貴金属微粒子を担持したもので、これまでに多種多様な担持貴金属触媒が開発されてきた^[1]。活性成分である貴金属を担持するための担体の役割の一つとして下記のことことがあげられる。それは、貴金属の有効利用である。産出量が少なく、比較的価格が高い貴金属を無駄なく利用するために、高分散な微粒子にすることで単位重量あたりの表面積を大きくする必要がある。しかし、単に白金ブラックなどのように微粒子化したものは、高温では反応中に焼結 (シンタリング) してしまう。微粒子の場合、表面エネルギーが高いために、本来の金属塊の融点よりもはるかに低い温度で粒子界面での融解が起こる。シンタリングが起こると、表面積が低下し、活性が著しく低下する^[2]。シンタリングを防ぐためには、表面積の大きい担体に担持することで、貴金属微粒子を担体表面に固定することが有効である。

担持貴金属触媒の調製法の一つに含浸法がある。含浸法は、担体に前駆体である貴金属の錯イオンの溶液を含浸し、乾燥、焼成し、還元処理を行うことで、触媒を調製する方法である^[3,4]。この方法では、逐次的に含浸を行うことで、一種類の貴金属だけでなく複数の触媒成分を担持することができる。

これまでに、Rh/SiO₂ 触媒に炭酸カリウムを逐次含浸し、焼成、還元した触媒で、Rh とカリウムの相互作用により、水素過剰雰囲気での一酸化炭素の選択酸化反応において、高い活性を示すことを報告して

きた^[5-8]。この触媒の特徴は、その活性のみならず、高分散な Rh 微粒子が特異な形の集合体 (“Fish-egg” 構造) を作ることを報告してきた^[7,8]。カリウムを添加しない Rh/SiO₂ 触媒では、分散度は低かったが、カリウム添加 Rh/SiO₂ 触媒では分散度は高い。なぜ、炭酸カリウムを添加するとこのような触媒の形状変化が起こるのかを調べるため、まず SiO₂ 担体に Rh(NO₃)₃ 溶液を含浸、乾燥した後の状態を観察する必要がある。その方法の一つに、透過型電子顕微鏡 (TEM) 観察がある。通常、還元処理後の担持貴金属触媒の TEM 観察では、試料の調製を次のように行う。試料 (触媒) をメノウ乳鉢で粉碎した後、水を加え懸濁液としたものを TEM 観察用マイクログリッドにマウントする。懸濁液とせずに、そのままマウントすると粉体同士が重なってしまい、観察できない。しかし、SiO₂ 担体に Rh(NO₃)₃ 溶液を含浸、乾燥したものに水を加えると、担持した成分が水中に溶出してしまい、本来の状態を観察することができない。そこで、担持成分が溶出しないよう非水溶液を用いる必要がある。本報告では、シリカ担体に Rh(NO₃)₃ 溶液を含浸、乾燥した後、粉碎した試料をトルエンで懸濁液にしたものを用いて試料を作製し、TEM 観察を行った。また、触媒を焼成、還元処理を行った過程での TEM 観察の結果についても報告する。

2. 実験

今回用いた SiO₂ 担体は触媒学会参照触媒の JRC-SIO-7 (BET 比表面積: 81 m²g⁻¹) を 1173 K で 3 時間予備焼成したものをを用いた。この SiO₂ 担体 1 g に Rh(NO₃)₃ 溶液 (Rh: 1.05×10⁻² g ml⁻¹, pH = 0.8 硝酸酸性) を 1.9 ml 含浸し、383 K で一晩乾燥し、773 K 空気焼成 3 時間行った^[7,8]。還元処理は、水素気流中 (30 ml min⁻¹) 773 K で 1 時間行った。なお、pH の測定は、pH 標準溶液 2 種類 (和光純薬工業製、フタル酸塩 pH 標準液 pH = 4.01, 中性りん酸塩 pH 標準液 pH = 6.86) を用いて 2 点補正した、東亜電波製 pH メーター TOA HM-7B を使用した。

触媒調製の各段階すなわち、含浸し乾燥後、焼成後、還元後の試料を用いて TEM 観察用試料を調製した。含浸、乾燥後の試料約 10 mg をメノウ乳鉢で 10 分間粉碎し、5 ml のトルエン中に分散させた。超音波洗浄器で 1 分間超音波を照射した後放置し 3 分後に、粘着処理を施したマイクログリッドにマウントした。焼成後および還元後の試料については、試料約 10 mg をメノウ乳鉢で 10 分間粉碎し、5 ml の水中に分散させた。超音波洗浄器で 1 分間超音波を照射した後放置し 3 分後に、粘着処理を施したマイクログリッドにマウントした^[8]。TEM 観察は、本学医学系電子顕微鏡室にある TEM (JEOL 100CX) を使用した。平均粒子径の計算は、3 乗・2 乗平均

(volume-area mean) を用いた^[8-10]。3 乗・2 乗平均は、測定した粒子径の 3 乗の総和を 2 乗の総和で割ったものである。還元後の担持貴金属触媒について、得られた平均粒子径から計算した金属分散度と、水素または一酸化炭素の吸着量から求めた値は、よく一致することが知られている^[9, 10]。今回の報告では、含浸後、焼成後の粒子径を比較する際に、水素または一酸化炭素の吸着量は測定できないため、3 乗・2 乗平均の計算結果のみを求めた。

3. 結果と考察

Fig. 1 に触媒調製の各段階で行った、TEM 観察の結果を示した。Fig. 1 (a) は、SiO₂ 担体に Rh(NO₃)₃ 溶液を含浸、乾燥後の試料である。通常、粉状触媒の TEM 観察用試料を調製する際には、粉状の触媒をメノウ乳鉢でより細かく粉碎し、水を加えた後、超音波を照射して懸濁液を作り、TEM 観察用のマイクログリッドにマウントする。含浸、乾燥後の触媒では、担持成分の溶出が起こるため、今回、担持成分の溶出を防ぐために、水の代わりに有機溶媒を用いたためか、SiO₂ 担体の重なりがあり、見えにくい比較的小さな微粒子(小さな黒いゴマ粒状のもの)が存在していることがわかる。平均粒子径は、2.4 nm であった。Forrester, Wolsey あるいは Kuno らは、Rh(NO₃)₃ は水溶液中では、Fig. 2 に示したように、Rh は三価の水和したイオン、ヘキサアクアロジウム ([Rh(H₂O)₆]³⁺) として存在していると報告している (Fig. 2(a))^[11-13]。この水合イオンは、溶液の pH が強酸性では、安定に存在するが、pH が高くなると、配位している水分子からプロトンが奪われ、OH が配位するとともに、価数が三価から二価へ変化する。また、この二価のイオンは、OH 二個を介して二核化する (Fig. 2(b))^[11-13]。さらに溶液の pH が高くなると、脱水素して Fig. 2(c) の状態になる^[11-13]。今回の実験で SiO₂ 担体に Rh(NO₃)₃ 溶液 (硝酸酸性) を含浸した直後では、Rh は Fig. 2(a) の左側の状態であると考えられる。そして、383 K の乾燥過程で溶媒である水の蒸発とともに、硝酸が蒸発し pH が高くなることで、Fig. 2(a)-(c) のように変化するものと考えられる。硝酸の沸点は 1 気圧下では 359 K であるから、乾燥過程で蒸発が起こると考えられる。実際、乾燥後の試料に水を加えると、その溶液の pH は本来の前駆体溶液の pH よりも高い。二核化したのち、残りの配位水にも同様な変化が起こり、多核化が進むと考えられる。この多核体については、これがどのような構造をもっているか詳細についてはわからないが、平均粒子径が 2.4 nm であることから、Rh の水合イオンが 10 個程度結合してできたものではないかと考えている。

Fig. 1 (b) は、773 K 焼成後の試料である。含浸、乾燥後の試料とほぼ同じサイズの微粒子を見ることができる。しかし、微粒子同士が近くに存在しており、焼成処理により SiO₂ 担体上を移動して、シンタリングしつつあると考えられる。平均粒子径は、含浸、乾燥後と同じで、2.4 nm であった。この微粒子は、773 K で空気焼成してあるので酸化ロジウム (Rh₂O₃) である^[14, 15]。

Fig. 1 (c) は、焼成後の試料を 773 K で水素還元したものである。(a), (b) に比べて、Rh 粒子径は大きく、シンタリングしたことがわかる。一般的に、貴

金属微粒子は、高温水素還元でシンタリングしやすく、773 K 以上では顕著である。平均粒子径は 6.2 nm であった。

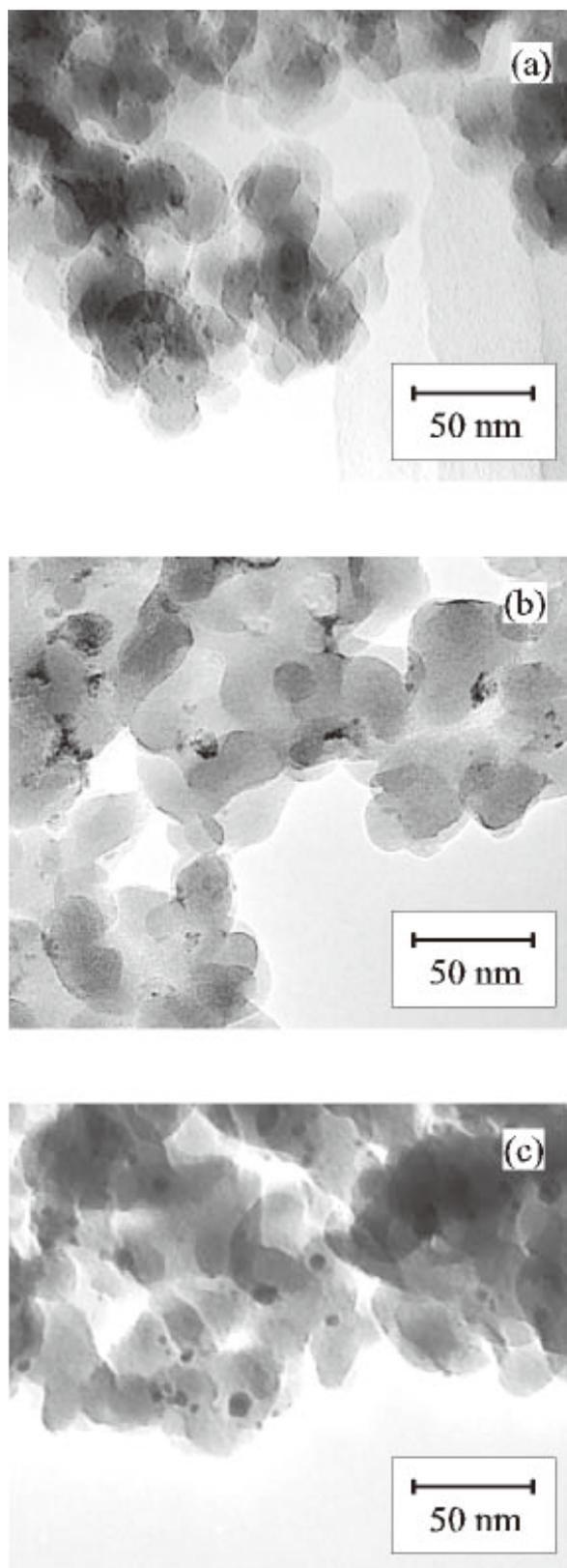


Fig. 1 TEM images of SiO₂ (JRC-SIO-7) supported Rh catalyst. (a) after impregnation of the aqueous solution of Rh(NO₃)₃ followed by dryness at 383 K, (b) after calcination at 773 K, (c) after H₂ reduction at 773 K.

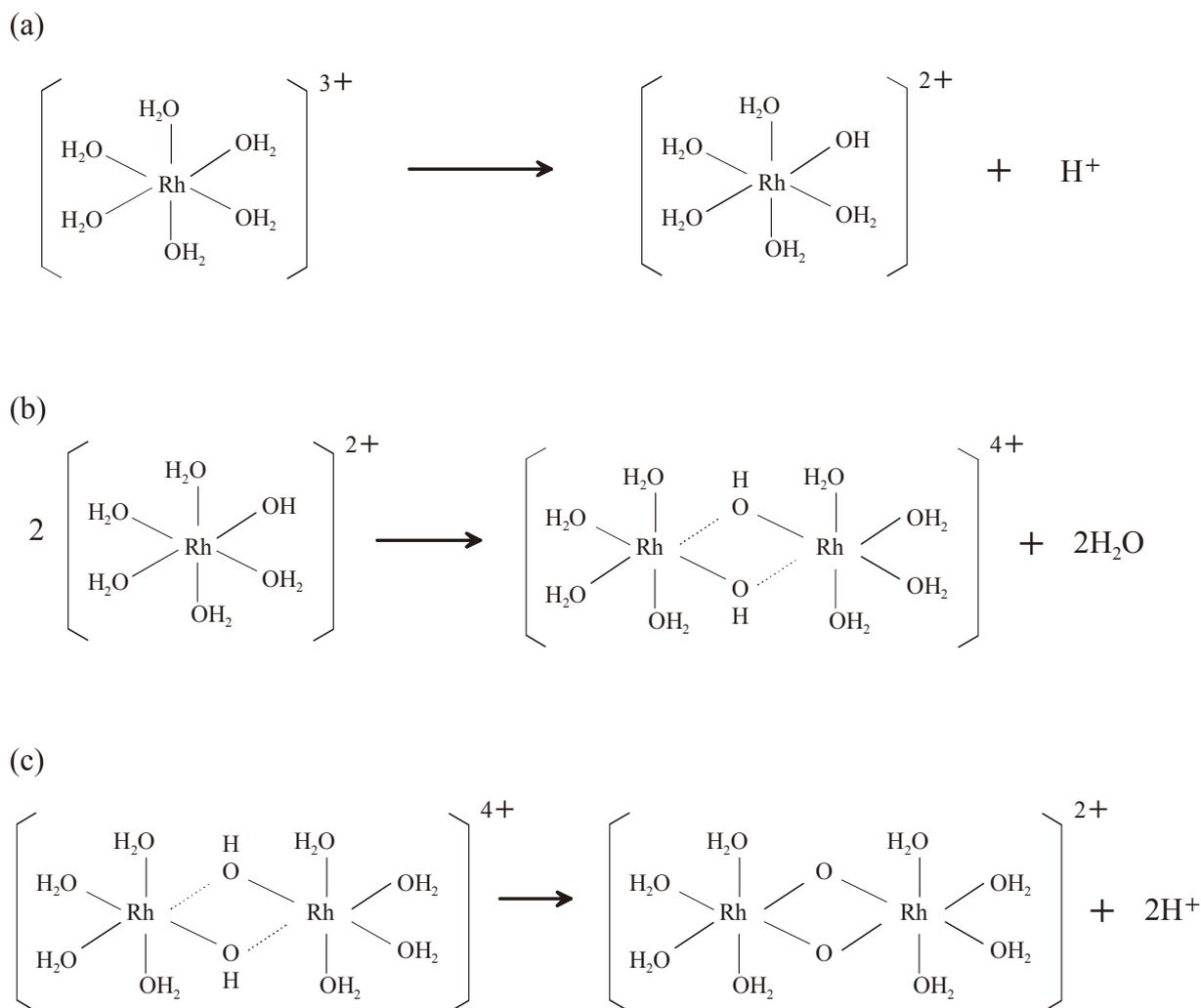


Fig. 2 Olation and oxidation of Rh complex ion ^[11-13].

treatment	mean particle size ^{a)} / nm	species of the particles
after impregnation followed by dryness ^{b)}	2.4	polynuclear complex ion ?
after calcination ^{c)}	2.4	Rh ₂ O ₃ ^[14, 15]
after H ₂ reduction ^{d)}	6.2	Rh metal ^[14, 15]

a) expressed as volume-area mean^[9, 10], b) dryness at 383 K for 12 h (overnight), c) calcination in air at 773 K for 3 h, d) H₂ reduction at 773 K for 1 h.

それぞれの粒子径測定の結果を Table 1 にまとめた。以前発表した Rh/SiO₂ 触媒にカリウムを添加した K₂CO₃-Rh/SiO₂ 触媒の還元後の Rh 粒子径が、今回得られた含浸、乾燥後の粒子径とほぼ等しいことから、次のことが考えられる。SiO₂ 担体に Rh(NO₃)₃ 溶液を含浸、乾燥することで、SiO₂ 担体上に多核化した Rh 前駆体が生成する。この試料に炭酸カリウム溶液を逐次含浸すると、この多核化した Rh 前駆体が溶液中に溶出し、その後 SiO₂ 担体上に再吸着し、特異な “Fish-egg” 構造を作ると考えられる。

5. おわりに

今回の研究で、SiO₂ 担体に Rh(NO₃)₃ 溶液を含浸、乾燥した後に Rh の多核錯体と考えられる微粒子が生成していることが確認できた。TEM 試料を作成する際に水の代わりにトルエンを用い、観察を行った結果である。比較的、簡単に作成できることから、他の担持貴金属触媒のキャラクタリゼーションにも応用が可能であると期待される。

6. 謝辞

本報告を行うにあたり、電子顕微鏡観察についてご協力いただきました、本学医学系電子顕微鏡室の大野良樹技術専門官に感謝いたします。また、日常の職務について、数々のご指導いただきました本学数理物質科学研究科、国森公夫教授、富重圭一准教授に感謝いたします。

参考文献

- [1] 岩本正和監修, 環境触媒ハンドブック, エヌ・ティー・エス, 東京, 2001.
- [2] I. Huruoya, *Shokubai*, 18, (1976) 60.
- [3] 尾崎 萃ほか編, 触媒調製化学, 講談社, 東京, 1980.
- [4] 白崎高保, 藤堂尚之編, 触媒調製, 講談社, 東京, 1974.
- [5] H. Tanaka, S. Ito, S. Kameoka, K. Tomishige, K. Kunimori, *Catal. Commun.*, 4, (2003) 1.
- [6] H. Tanaka, S. Ito, S. Kameoka, K. Tomishige, K. Kunimori, *Appl. Catal.*, A: 250, (2003) 255.
- [7] S. Ito, H. Tanaka, Y. Minemura, S. Kameoka, K. Tomishige, K. Kunimori, *Appl. Catal.*, A: 273, (2004) 295.
- [8] 伊藤伸一, 筑波大学技術発表会報告集, No. 27, (2007) 20. Shin-ichi Ito, Technical Report, University of Tsukuba, 27, (2007) 20.
- [9] K. Kunimori, T. Uchijima, M. Yamada, H. Matsumoto, T. Hattori, Y. Murakami, *Appl. Catal.*, 4, (1982) 67.
- [10] J. R. Anderson, *Structure of Metallic Catalysts*, Academic press, New York, 1975.
- [11] J. S. Forrester, G. H. Ayres, *J. Phys. Chem.*, 63, (1959) 1979.
- [12] W. C. Wolsey, C. A. Reynolds, J. Kleinberg, *Inorg. Chem.*, 2, (1963) 463.
- [13] K. Kuno, J. Ito, *Nippon Kagaku Kaishi*, 6, (1995) 432.
- [14] Z. Hu, H. Nakamura, K. Kunimori, H. Asano, T. Uchijima, *J. Catal.*, 112, (1988) 478.
- [15] Z. Hu, T. Wakasugi, A. Maeda, K. Kunimori, T. Uchijima, *J. Catal.*, 127, (1991) 276.

TEM observation in preparation process of an SiO₂ supported Rh catalyst

Shin-ichi Ito

Institute of Materials Science, Academic Service Office for Pure and Applied Sciences, University of Tsukuba,
1-1-1 Tennodai, Tsukuba, Ibaraki, 305-8573 Japan

TEM observation was carried out for an SiO₂ supported Rh catalyst in the preparation steps of the catalyst; after impregnation followed by dryness at 383 K, after calcination at 773 K and after H₂ reduction at 773 K. Small particles were observed after impregnation followed by dryness. The mean particle size was smaller than that of the Rh metal particles after H₂ reduction at 773 K. The formation of the small particles in the step of dryness may be due to ololation of Rh precursor.

Keywords: noble metal catalyst, transmission electron microscopy, rhodium nitrate, catalyst preparation.

溶融法による酸化物ガラスの特性

間宮 精一

筑波大学数理物質科学等支援室 (物性・分子工学専攻)

〒305-8573 茨城県つくば市天王台 1-1-1

概要

ガラス作製において、どの元素 (あるいは化合物) もある一定の条件さえ整えばガラスにすることができるのか。これについて化合物を構成する各原子間の結合力、結合距離、角度などの構造がガラス形成能に関係する。ここでは酸化物ガラスの形成能を表す Stanworth, Zachariasen, Sun らの基準について述べる。また、ガラス形成において、重要な臨界冷却速度についても述べる。

キーワード: ガラス形成能、臨界冷却速度。

1. はじめに

ガラスの起源は、紀元前 7000 年頃ともいわれ、古くより人間生活に係わって来た。例えば、構造材料としての窓ガラス、電球や蛍光灯の管、機能材料としてレンズ、光ファイバーなどがある。

今日、ガラスは、けい砂 (結晶質の SiO_2) を主体とし、これに炭酸ソーダ、炭酸カルシウムなどを混合した結晶質の原料を加熱して一度均質な融液とし、これを素早く冷却することにより得られる。このような方法を溶融法と言う。冷却による過冷却液体からガラスへの転移、あるいは加熱によるガラスから過冷却液体への転移は可逆的に起こる。このような転移をガラス転移と呼ぶ (図 1) ^[1,2]。無定形 (結晶化していない) 固体のうちガラス転移現象を示す物質のみをガラスと呼び、それを示さないゲルや無定形炭素などと区別している。

更に、このガラス転移現象は生体凍結保護物質 (cryoprotectant) として応用されている^[3]。生体は非常に多量の水分を含んでいることから、低温保存する際には氷の形成、水の結晶化による細胞、組織の破壊が深刻な問題となる。結晶化による組織へのダメージは、水から氷へと変化するとき起こる急激な硬度変化が大きな原因であり、結晶化を回避するためにガラス化を示す物質が検討されている。このようなことを考えると生命現象と深い関係がある。ガラス化現象を更に研究することにより、この分野への多くの貢献ができる。

ここでは、比較的単純な酸化物ガラス (SiO_2 , GeO_2 , B_2O_3 , P_2O_5) について述べる。一般的にガラスができるためには冷却過程で結晶化しなければいい。そのためには過冷却液体の粘度が温度の低下とともに、連続かつ急速に増大する必要がある。しかし、粘度のデータはすべての系について得られているわけではない。そこで化合物を構成する各原子間の結合力、結合距離、角度などの構造面からガラス形成能を表す基準を見出せば便利である (図 2)。この基準は Stanworth, Zachariasen, Sun らによって検討されている^[4-6]。この 3 者の基準について述べることにする。

また、様々なガラスを作るのに冷却速度の影響についても考慮しなければならない。従って臨界冷却速度についても述べる。

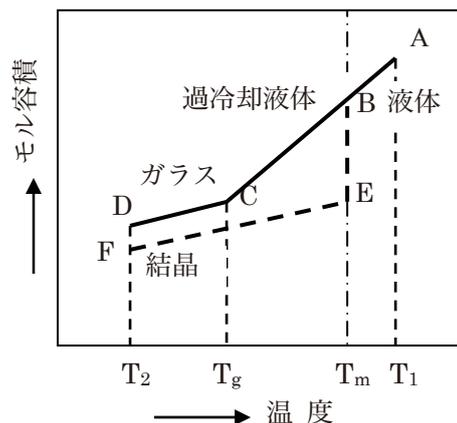
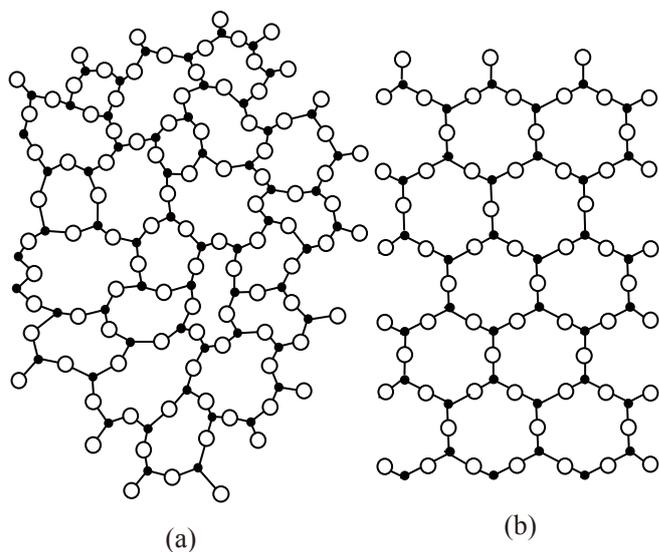


図 1. 融液の冷却により結晶化する物質とガラス化する物質のモル容積の温度変化^[1,2]



●: 金属原子 ○: 酸素

図 2. 酸化物 M_xO_y のガラス (a) ^[5] と結晶 (b) 中の原子配列

2. 酸化物のガラス形成能を表す基準

酸化物のガラス形成能をあらわす基準を Stanworth, Zachariasen, Sun の順に示す。

2.1 Stanworth による基準^[4]

Stanworth によれば、酸化物 M_xO_y のガラス形成能は化合物を構成する金属原子 M と酸素との電気陰性度の差、および金属原子の原子半径に関係があり原子半径が 1.5 Å 以上の元素の酸化物はガラスにならない。

ガラスを作りやすい SiO_2 , GeO_2 , B_2O_3 , P_2O_5 , As_2O_5 などを構成する Si, Ge, B, P, As などの原子半径はいずれも 1.3 Å 以下で、電気陰性度は 1.8~2.1 の間にあり、酸素の電気陰性度 3.5 との差が小さい。また、これらの電気陰性度の差から、M-O 結合のイオン結合性*を見積もるといずれも約 50% 以下である。

2.2 Zachariasen による基準^[5]

サッカリアセン (Zachariasen) は、ガラスが形成されるためには不規則構造になっても内部エネルギーが規則構造の結晶とほとんど同じであること、また、構造単位がつながって 3 次元の連続網目を構成することが必要であると考へた。この原理に基づいてサッカリアセンは酸化物 A_mO_n のガラス形成条件として次の 4 項目をあげた。

- (1) 陽イオン A の配位数は小さくなければならない (具体的には配位数は 4 または 3)。
- (2) 1 個の酸素イオンは 3 個以上の陽イオンと結合しない。
- (3) 酸素多面体は隣接多面体と頂点のみを共有し面や稜を共有しない。
- (4) 各酸素多面体は少なくとも 3 個の頂点を共有する。

(1), (2), (3) の条件は不規則網目と規則網目の内部エネルギーの差が小さいための条件であり、

(4) は 3 次元連続網目を作るための条件である。これらの 4 条件を満足する単一酸化物に B_2O_3 , As_2O_3 , SiO_2 , GeO_2 , P_2O_5 があるが、これらの酸化物は実際に急冷しなくてもガラスを形成する。

2.3 Sun による基準^[6]

K. H. Sun は図 2 に示すような M-O-M 結合の 3 次元的不規則網目を作るためには、M-O 結合の一つ一つが強固であることが必要であるとの考へに立って基準を導いた。

* イオン結合性: 2 種の異なる原子からなる結合 A-B において一方の原子に電子が偏在している度合、電気陰性度 X_A , X_B の差を用いて

$$1 - \exp\left\{-\frac{1}{4}(X_A - X_B)^2\right\} \quad (1)$$

で与えられる。

1 モルの酸化物 $MO_{Y/X}$ を完全にばらばらにするのに必要な解離エネルギーを E_D (kcal), M 原子の酸素配位数を n とするとき、M-O 単結合の強度 ϵ は (2) 式で与えられる。

$$\epsilon = \frac{E_D}{n} \quad (\text{kcal/mol}) \quad (2)$$

Sun は ϵ が 80 kcal/mol 以上の酸化物は単独で 3 次元網目を形成し得るとして、網目形成酸化物 (Network former, NWF) と呼んだ。

また、 ϵ が 60 kcal/mol 以下の酸化物は単独で網目を作ることはできないが、ガラスの一成分として網目形成酸化物が作る網目の中に入り、性質に影響を及ぼすことはできるとして修飾酸化物 (Network modifier, NWM) と呼んだ。

また、 ϵ がこれらの中間の 60 kcal/mol から 80 kcal/mol の酸化物は単独ではガラスを形成できないが、網目形成酸化物の一部と置き換わって網目形成に加わるとともに修飾酸化物としての役割もし得るとして、中間酸化物 (Intermediate) と呼んだ。

3. 臨界冷却速度

過冷却液体から結晶が析出する場合には最初に新しく生成する相 (結晶) の核ができ、その核から結晶の成長がおこるといふ過程をたどる。

したがって、融液を冷却してガラスを作る場合には、最も結晶のできやすい温度域を素早く通過することが必要である。では最小限どの程度の急冷を必要とするのであろうか。理論計算および実験の両面から臨界冷却速度を検討する。

図 3 に示した曲線は SiO_2 の融点、融解熱、過冷却液体のモル容積、粘度などから融点以下の各温度における核生成速度と結晶成長速度を推定し、それをもとに、各温度で過冷却液体を恒温保持したときに析出する結晶の体積割合が、 10^6 分の 1 になるまでの所要時間をプロットしたものである^[7]。

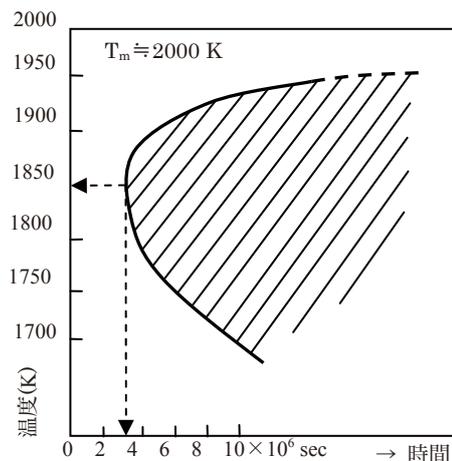


図 3. SiO_2 ($T_m \approx 2000$ K) の T-T-T 曲線。斜線の領域では結晶の体積分率 V_c/V が 10^6 以上となる (Uhlmann による^[7])

結晶の体積割合が 10^6 分の 1 という値は、過冷却液体から結晶への相転移の開始を実験的に検知し得

る限界量にほぼ等しい。すなわち、図の曲線は過冷却液体から結晶への相転移がおこるのに必要な時間と温度との関係を示したもので T-T-T (Time-Temperature-Transformation) 曲線と呼ばれる。ガラス作製の難易の目安となる臨界冷却速度は図 3 の T-T-T 曲線をもとに見積もることが可能である。すなわち、T-T-T 曲線において最も結晶化の進行速度の大きい温度を T_N 、この温度において結晶の体積分率が 10^6 分の 1 になるまでに要する時間を t_N とすると、臨界冷却速度 R_C は近似的に (3) 式で与えられる。

$$R_C \doteq \frac{T_m - T_N}{t_N} \quad (3)$$

図 3 における T-T-T 曲線の突出し部に相当する T_N と t_N はそれぞれ 1820 K および 2.5×10^6 s であり、 SiO_2 の融点 T_m は約 2000 K であるから、 SiO_2 の臨界冷却速度は約 7×10^{-5} K/s という値が得られる。表 1 に Strnad が同様にして求めた様々の物質の臨界冷却速度を示す^[8]。

表 1. 種々の物質の臨界冷却速度の計算値^[8]

物質	臨界冷却速度 (K/s)
SiO_2	2×10^{-4}
Ge	7×10^{-2}
H_2O	10^7
Ag	10^{10}

4. 結び

以上、酸化物ガラスの形成能と臨界冷却速度について述べてきた。しかし、これはガラスについての初歩の基礎知識で、まだまだ奥が深く未解決な問題が横たわっている。ここでは比較的分かりやすいトピックを紹介した。

5. 謝辞

本報告を行うにあたり、数々のご指導を頂きました筑波大学数理物質科学研究科、小島誠治教授、狩野旬助教、小島研究室ガラス班の皆様にご感謝します。

参考文献

- [1] 山根正之, はじめてガラスを作る人のために, 内田老鶴圃, 1989.
- [2] 作花済夫, ガラス科学の基礎と応用, 内田老鶴圃, 1997.
- [3] 池祐治, 小島誠治, 光学的手段を用いる GHz 超音波の非接触計測, 日本音響学会誌, 61, (2005) 461-466.
- [4] J. E. Stanworth, J. Soc. Glass Technol., 30, (1948) 154T, 366T.
- [5] W. H. Zachariasen, J. Am. Chem. Soc., 54, (1932) 3841.
- [6] K. H. Sun, J. Am. Ceram. Soc., 30, (1947) 277.
- [7] D. R. Uhlmann, J. Non-Cryst. Solids, 7, (1972) 337.
- [8] Z. Strnad, Glass-Ceramic Materials, Elsevier, (1986) 9.

The characteristics of oxide glasses grown by melting method

Seichi Mamiya

Institute of Materials Science, Academic Service Office for Pure and Applied Science,
University of Tsukuba, 1-1-1 Tennodai, Tsukuba, Ibaraki, 305-8573 Japan

Can we form glass from any materials if some proper conditions are satisfied? The glass-forming ability is affected by the structural points such as bonding strength, bonding distance between atoms which compose the compound. In this report, the glass-forming ability is discussed on the basis of the Stanworth's rules, Zachariasen's rules and Sun's rules of glass-forming ability in oxides. The critical cooling rate for forming glass is also discussed.

Keywords: glass-forming ability; critical cooling rate

可視化実験用一面せん断実験装置の製作

飯高 稔

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

システム情報工学研究科構造エネルギー工学専攻コンクリート研究室の依頼により製作した、「可視化実験用一面せん断実験装置」について報告する。

この装置を使用して、ガラス粒子を用いたガラス集合体の一面せん断実験を行った結果、LAT^[1]可視化手法によって粒子の三次元移動挙動を評価することが可能となった。LATとは Laser-Aided Tomography (レーザー援用トモグラフィ)の略で粒子体を構成する三次元的な微視構造をレーザーにより可視化する技術のことである。

キーワード：一面せん断実験、可視化、LAT

1. はじめに

コンクリート研究室では、フレッシュコンクリート(まだ固まらないコンクリート)を含水粒子集合体と見なして、粒子集合体のマクロな変形と個々の粒子の移動との関係や力学挙動を解明する理論的研究手法を開発している。研究室では微視的構造の粒状体性質を、コンクリートの粗骨材(おおむね 5 mm 以上の粒子)としてガラス粒子を用いたせん断試験を、可視化して検討することになった。可視化手法として LAT を用いる。せん断試験は、一般的に三軸圧縮試験が多く用いられる。この試験では最大せん断応力作用面が確定しにくく、せん断面上の粒子移動を測定することが難しい。そこで、せん断面の側面の観察が可能な一面せん断実験装置の製作を依頼された。

一面せん断試験^[2]は直接型せん断試験の一つで、土質試験で用いられる試験である。上下に分かれたせん断箱に供試体を納め、垂直応力を载荷した状態で、せん断箱の一方を他方に対して水平に移動させてせん断する試験で、原理的に分かりやすく、せん

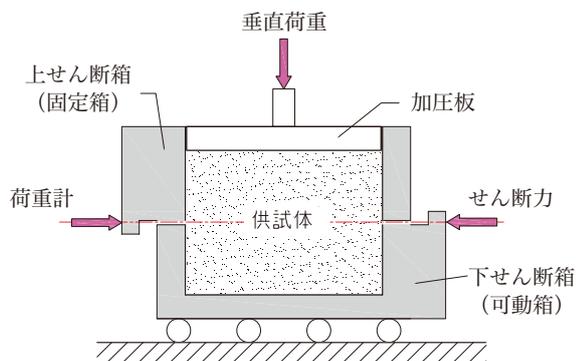


図 1. 定圧一面せん断試験の概略図

断面上の応力を直接測定できるためよく利用されている。一面せん断試験は、供試体の体積を一定に保ってせん断する定体積一面せん断試験と、せん断面上の垂直応力を一定にしてせん断する定圧一面せん断試験がある。今回製作したのは定圧で一面せん断を行う装置である。

2. LAT の概要

LAT は粒状体の内部を観察するために開発された実験手法である。粒状材料としてガラスブロックを粉砕して研磨したガラス粒子を用いる。これを水槽の中に入れ、ガラスと同じ屈折率を有する透明な液体で飽和させる。この状態でガラス粒子は見えなくなり、試料は透明になる。そこへシート状にしたレーザー光を通すと、ガラス粒子の表面で光が散乱することにより、レーザーの通った断面内の粒子の輪郭のみが浮き上がる。レーザーシートの通す位置を水平移動させ、試料を走査しながらカメラで断面撮影することにより、三次元的な粒子構造を取得することが可能となる。得られた画像からコンピュータでガラス粒子輪郭を抽出して三次元的に再構築してデータ化する。

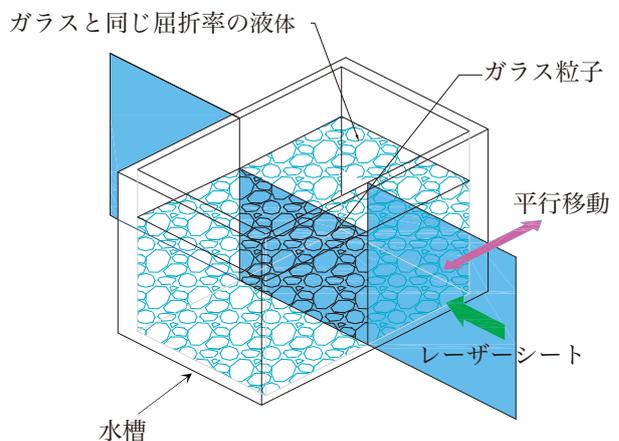


図 2. LAT の概要

3. 実験装置

依頼者から求められた実験装置の仕様は、せん断箱の断面は長方形で、内寸は試料の粒径とせん断箱の内面の周辺摩擦などから、長さ 150×高さ 100×奥行き 100 mm である。最大せん断変位量は試料の粒径などから 30 mm。せん断力はせん断箱の大きさや垂直荷重などから最大 1 kN 程度と見積もられた。

最初に、システム情報工学研究科地盤研究室で使用している一面せん断試験機(誠研舎 DT-10B)を利用して可視化実験が出来ないか検討した。この一



図 3. 既存の土質試験用一面せん断試験機

面せん断試験機は定圧式の土質用試験機で、供試体の寸法は直径 60 mm 高さ約 40 mm の円柱である。供試体として土粒子を用いる。下せん断箱にせん断力を加え水平に移動させ、せん断力は上せん断箱に当てた荷重計で測定する。

この一面せん断試験機の上下せん断箱を、アクリルなどの透明な箱で作製し、その中に試料を入れガラスと同じ屈折率を持つ液体で満たすと、上下のせん断箱の隙間から液体が漏れてしまう。液体が漏れても構わない様に、透明な水槽を作りその中にせん断箱を入れて、可視化一面せん断実験を行うことを考えたが、水槽の中のせん断箱に直接せん断力を加えるのは困難である。そこで、水槽の底に下せん断箱を固定して移動箱とし、その上に上せん断箱を載せて上せん断箱を固定箱として、水槽に固定した下せん断箱を水槽ごと载荷し移動させて、せん断を行うことにした。

LAT ではレーザーを照射する方向と、断面を観察する方向の 2 方向が透明で、直交している必要がある。また一面せん断試験では载荷面とその反対側に反力面が必要であり、垂直荷重を与える面も必要である。既存の試験装置では、レーザーを通過させる面がなく、せん断箱の大きさが土粒子用のせん断箱に比べてかなり大きいなど、装置を大幅に改造しなければならぬことから、底面からレーザーを照射し、正面を観察する装置を考案し、製作した。

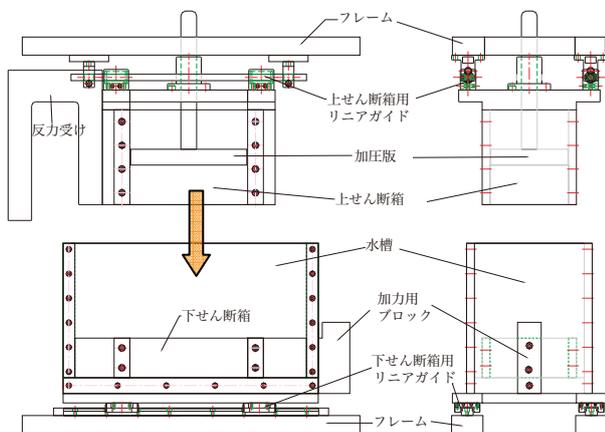


図 4. 上下せん断箱

せん断箱は加力面とその反対側の面にはジュラルミン A2017 を使用し、観測面 (撮影面) は厚さ 15 mm のアクリルを使用した。レーザーを透過させるせん断箱の底板は厚さ 20 mm のアクリルを使用し、垂直力が掛かっても耐えうるように、厚さ 10 mm の鉄板 SS400 をせん断箱の大きさの穴を開けてアクリルの下に取り付けてある。

反力受けは、回転モーメントが生じないように、せん断面の加力軸と反力軸を一致させるため水槽を跨ぐように取り付けた。材質は S45C である。

上下せん断箱ともせん断中にせん断箱間の隙間が一定に保持されるように、リニアスライドガイドを用いている。また垂直荷重用の加圧板も、せん断中に傾斜して供試体の体積変化を妨げないように、リニアブッシュを用いたガイドを設けて加圧板が傾かないようにした。

上下せん断箱間の隙間は外側フレームを上下させることによって隙間を変えることができる。今回の実験は隙間を 0.2 mm で行った。

定圧式ではせん断時の供試体の体積変化によって、供試体とせん断箱の内面との間に周面摩擦力が生じて、せん断面上の垂直応力に影響を与える。垂直力測定用の荷重計を反力側つまりせん断箱の底面に設置すれば、せん断面上の平均的な垂直力を直接測定できるが、せん断箱の底面に荷重計をつけるとレーザーを透過させる面がなくなってしまうので、簡便に加圧板に直接おもりを吊り下げて垂直荷重を与える方式とした。

せん断力の载荷は、オリエンタルモータ社製のラック・ピニオン機構のリニアヘッドに AC モータに変速ヘッドを組み合わせて減速し、速度制御回路を取り付けて構成した。最大推力は 1.5 kN である。

外側のフレームは主に、株式会社ミスミのアルミフレーム HFS8-4040 を組み合わせて使用した。

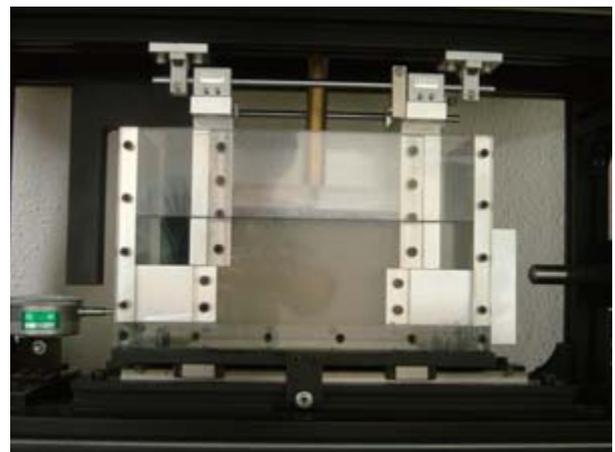
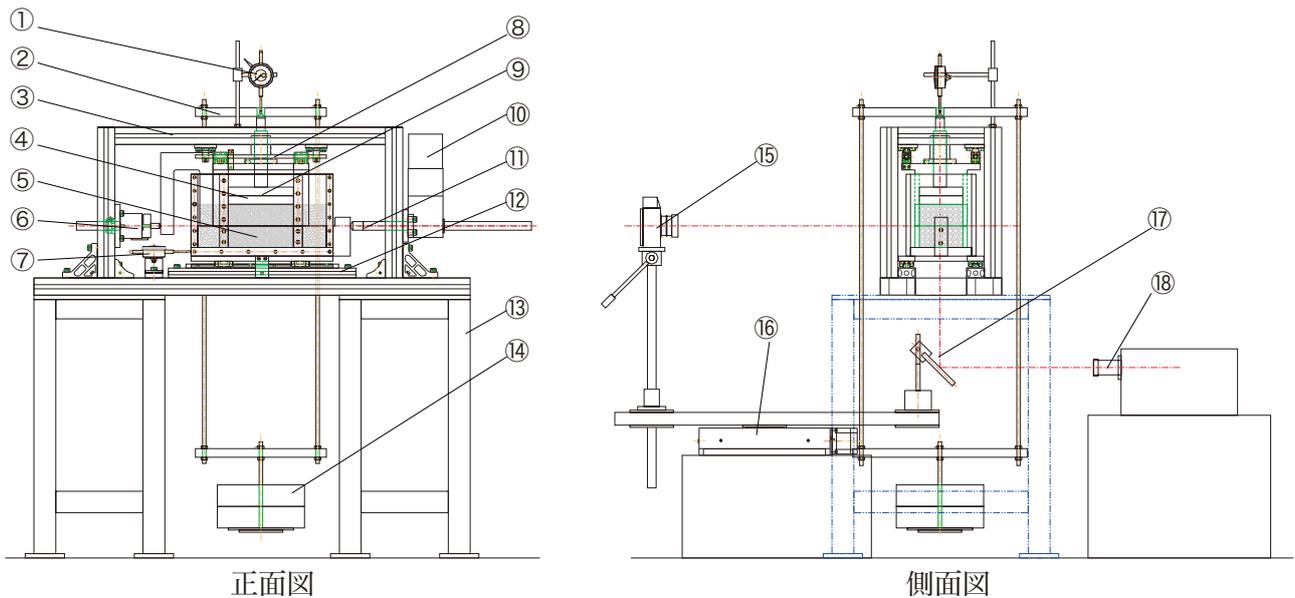


図 5. 作成した上下せん断箱

4. 実験方法の概略

実験方法は、一定の垂直荷重のもとで変位制御を行う。せん断変位速度を一定にしてせん断力を加えてせん断を行い、変位計によって水平変位と試料の上向きの垂直変位をそれぞれ測定する。せん断力は外側のフレームに固定した荷重計で測定する。せん断変位速度は、0.2 mm/min である。



- | | | | |
|--------------|-------------|--------------|-------------|
| ①変位計 (垂直変位用) | ②垂直力载荷用フレーム | ③フレーム | ④上せん断箱 |
| ⑤下せん断箱 | ⑥せん断力用荷重計 | ⑦変位計 (水平変位用) | ⑧上せん断箱ガイド装置 |
| ⑨加圧板 | ⑩せん断力载荷用モータ | ⑪加力軸 | ⑫下せん断箱ガイド装置 |
| ⑬架台 | ⑭垂直力载荷用錘 | ⑮デジタルカメラ | ⑯撮影用直動装置 |
| ⑰レーザー用ミラー | ⑱レーザー装置 | | |

図 6. 実験装置全体図

せん断力をモニターし、段階的にせん断を停止して LAT のためのカメラ撮影を行う。せん断面はせん断箱の水平変位の増加に伴って減少するため、せん断応力と垂直応力が共に増加する。せん断箱の両端付近にある粒子の移動は端面の影響で乱れているので、せん断箱の摺動面の中央 1/3 の部分にある粒子に注目して、各粒子の移動距離の水平と垂直成分を LAT 解析によって測定する。



図 8. 実験に使用したガラス粒子

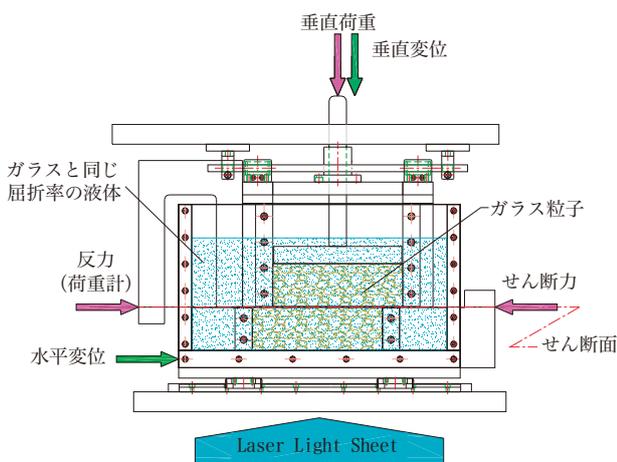


図 7. 実験図

ガラス粒子は光学ガラスをクラッシャーで粉碎してから、ボールミルを用いて角張りをとり、篩目 10 mm を通過し、5 mm に留まるものを使用している。

用いる液体は、ガラス粒子の屈折率よりも高い屈折率を持つ液体と低い屈折率を持つ液体を混合させて、ガラス粒子と同じ屈折率を実現しているが、研究室では活性度の低い 2 種類のシリコンオイルを混合して用いている。

レーザー装置にレーザーラインジェネレータレンズを取り付けて、シート状に形成したビームをレーザー用ミラーで反射させて、せん断箱の底面から試料内を透過させる。レーザーは MELLES GRIOT 社製の半導体励起固体レーザー、最大出力 2.5 W を用いた。

撮影はステップモータを使用した直動ステージの上にカメラとレーザー用ミラーを乗せ、等距離で同時に移動させスキャンし、ピントがずれないように撮影する。一回の移動距離は 0.2 mm である。画像の取得には Canon 製のデジタル 1 眼レフカメラを用いた。コンピュータを使って移動と撮影の繰り返しを自動で行う。

データの収録は、せん断荷重、水平変位、垂直変位とも動ひずみ計を介して AD 変換器でパソコンに取り込んだ。

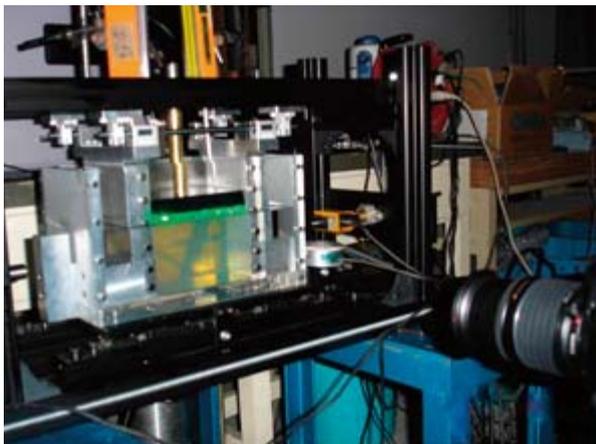


図 9. 実験の様子

5. 実験結果

図 10 はせん断前の試料である。図 11 はせん断変位 15 mm 時の試料である。垂直荷重はかけていない。

LAT 解析により、試料内部の粒子の移動方向の分布や粒子のミクロの挙動と、粒子全体のマクロなせん断挙動を観察することができた。



図 10. せん断前の試料

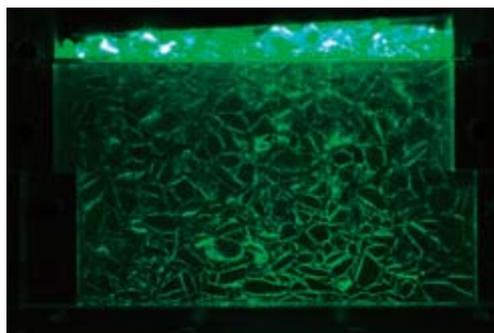


図 11. せん断変位量 15 mm 時の試料

6. まとめ

報告した装置はまだ試験的な段階である。垂直荷重は直接錘を載せて荷重をかけたが、錘では荷重に限界があるので空圧シリンダーなどを使用した載荷方法に変更し、垂直荷重の測定はせん断箱底面で行って、せん断面上の平均的な垂直力を直接測定できる方法に改良したいと思う。

謝辞

本報告にあたり、ご指導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松島巨志准教授、試料の提供などご協力いただいた山口大学工学部感性デザイン工学科李柱国准教授に感謝いたします。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孝技術専門官に感謝いたします。

参考文献

- [1] Konagai, K., Tamura, C., Rangelow, P. and Matsushima, T.: Laser-Aided Tomography: A Tool for Visualization of Changes in the Fabric of Granular Assemblage, Structural Engineering/ Earthquake Engineering, Vol.9, No.3, pp.193s-201s, JSCE, 1992.
- [2] 土質試験の方法と解説（第一回改訂版）, 社団法人地盤工学会

Fabrication of box shear test equipment for visualization test

Minoru Iidaka

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

A box shear test equipment using Laser-Aided Tomography (LAT) was fabricated for visualization of shear plane. Test samples were prepared using glass particles and silicon oil. The test showed that it was possible to assess 3-dimensional transfer behavior of glass particles using LAT.

Keywords: Box shear test; visualization; LAT

農業用トラクタヒッチ点位置制御による牽引車両の追従性向上の検討 ～試作機の製作と効果について～

本間 毅^{a)}、瀧川 具弘^{b)}

^{a)}筑波大学生命環境科学等支援室（農林技術センター）

〒305-8577 茨城県つくば市天王台 1-1-1

^{b)}筑波大学生命環境科学研究科

〒305-8572 茨城県つくば市天王台 1-1-1

概要

トラクタで牽引車両を牽引する場合に生ずる内輪差を減少させるため、ステアリング角度に合わせてヒッチ点を横方向に移動制御する方式を提案した。そして、考案した公式を応用した試作機を製作し、路上において性能試験を行った。その結果、製作した試作機は問題なく機能し、U字ターンや8の字ターン時でも、本方式によって牽引車両の追従性能は確実に向上していることが確認された。

キーワード：牽引車両、内輪差、追従性、ヒッチ制御

1. はじめに

トラクタで牽引車両を牽引して走行する場合、進路変更時にトラクタ走行軌跡と牽引車両の走行軌跡に内輪差が生じることが一般に知られている。農業機械作業には牽引作業機を使用する作業は多くあり、農林技術センターでも頻繁に使用されている。内輪差は作業に影響を与え、時には事故の発生にもつながり安全性の面からも改善が求められている。この内輪差を減少させることすなわち牽引車両の追従性を向上させることにより、作業性、安全性の向上を図ることが可能であると考えられる。

まず、右旋回のみ可能な試作機を製作し基礎試験を行ない、本方式により追従性の向上が図られ、また、他の方式に比べ実用性も高いことが分かっている。この成果は既に報告済みである^[1]。本報告は、以前製作した試作機を改良し、路上において追従試験を行った際の効果について報告する。

2. 試作機の概要

試作機は、制御部と本体部に分けられ、改良は本体部のみ行った。

2.1 制御部

制御部は、トラクタの操舵角度と移動するヒッチ点位置を検出する2つのリニア式エンコーダー、トラクタと牽引車両の折れ角を検出するロータリーエンコーダー、油圧方向制御弁を制御するためのリレーおよびコンピューターから構成される。

2.2 本体部および改良点

以前製作した試作機は、油圧シリンダー先端金具

に直結したヒッチ部を、油圧方向制御弁を介して油圧シリンダーを伸縮させ横移動させていた。その為、ストロークを長くしてトラクタに装着することは困難であることから、右旋回時のみ作動するもので最大ストロークは600 mmであった。これを、油圧モーターでボールネジを回転させてヒッチ部を横移動させる方式に変更し、最大ストローク1,300 mmで左右旋回に対応可能となった。本体部は、長さ2,240 mm、奥行き400 mmおよび高さ640 mmあり、トラクタの3点リンクで簡単にトラクタに装着することができる（図1）。



図1. 試作機をトラクタに装着した状態

本体部の製作にあたっては、今後、実作業による試験も予定していることから、牽引車量の荷重ができるだけレールガイド中心部にかかり、レールガイドおよびレールにねじれ方向に荷重がかからないように考慮し、また、トラクタにより左右のロアリンクの間隔は異なることから、小型から大型トラクタまで対応できるようにロアリンクピンは内・外向き両方で使用可能とした。

3. 試験の方法

試験は、農林技術センター所有のトラクタおよび試験用に製作した牽引車両を使用して、農林技術センター内路上において行った。トラクタ後輪車軸中心部および牽引車両車軸中心部から水滴をたらしながら走行し、水滴跡をそれぞれの走行軌跡とし、軌跡差を計測した。試作機を作動させず通常通りヒッチ点を中心に固定した状態（以後、非作動時）とス

テアリング角度に合わせてヒッチ点を移動させた場合（以後、作動時）の軌跡差を比較した。

4. 結果

まず、ステアリング角度を一定に保ち、旋回を行い軌跡差を計測した（図2）。ステアリング角度は、15度から30度まで5度間隔で行った。非作動時は、走行開始後牽引車両が内側に入り、軌跡差は徐々に大きくなり、ほぼ1回旋回したときの最大差は、ステアリング角度15度で0.26m、30度で0.64mとステアリング角度が大きくなるに従い大きくなった。作動時には、走行開始直後は、牽引車が一時的に外側を通るが、すぐにトラクタ軌跡に近づき、その後は、非作動時のように軌跡差が大きくなっていくことはなかった。最大軌跡差は、ステアリング角度30

度の0.05mであった。次に、通常作業時に頻繁に行われるU字ターンを行い軌跡差を計測した（表1）。非作動時は、旋回頂点と旋回終了の中間付近の軌跡差が最も大きく0.73mであった。作動時では、旋回開始付近および終了付近の軌跡差が大きく最大0.32mであった。旋回開始付近および終了付近に大きな軌跡差ができる原因は、ステアリング操作直後にヒッチ点が移動するため、旋回開始付近では牽引車両がトラクタより外側を通り、旋回終了付近では内側を通る。この原因を解消するためトラクタの速度に合わせてヒッチ点の作動開始を遅らせるようにプログラムを変更した。その結果、最大軌跡差は0.11mに減少した。8の字ターンを行った際も、U字ターンと同程度の結果となった。

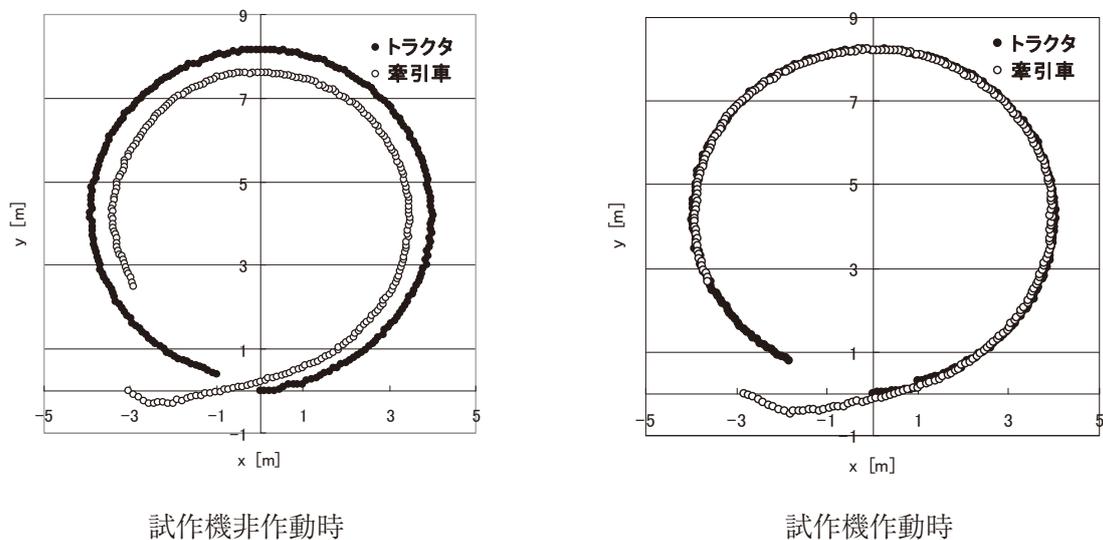


図2. 旋回時の軌跡

表1. U字ターン時の軌跡差

	軌 跡 差 [m]			
	旋回開始付近	旋回頂点付近	旋回終了付近	最大
非作動	0	-0.5	-0.46	-0.73
作動	0.32	-0.05	-0.30	0.32
時差作動	-0.11	0	0.07	-0.11

5. 考察

追従試験の結果から、製作した試作機は問題なく機能し、本方式により追従性は確実に向上され、特に、U字旋回および8の字旋回の結果から、実作業における作業性向上も十分に期待できることが確認された。今後は、数種の実作業試験を行い、実作

業での様々なトラクタ操作に対応できるよう検討を行うほか、実用性の面でも検討を進めていきたい。

参考文献

- [1] T. Takigawa, T. Honma, Q. Zhang, T. Ahamed, P. Jyunyusen, M. Koike, Development of Hitch Position Control and Its Applications, Journal of JSAM. 68(6) (2006) 51-58.

Examination of tracking performance of trailer by controlling hitch position

Tsuyoshi Honma^{a)}, Tomohiro Takigawa^{b)}

^{a)}Agricultural and Forestry Research Center, University of Tsukuba,
1-1-1 Tennodai, Tsukuba, Ibaraki, 305-8577 Japan

^{b)}Graduate School of Life and Environmental Sciences, University of Tsukuba,
1-1-1 Tennodai, Tsukuba, Ibaraki, 305-8572 Japan

To reduce off-tracking of a vehicle towed by a tractor, the control method in which hitching position was controlled based on the steering angle of the tractor was proposed. The prototype hitching position controller was fabricated, and the performance tests were conducted by using it. Through the experiments, it has been confirmed that tracking performance of the trailer during U-turn and 8-turn was significantly improved.

Keywords: trailer; off-tracking; tracking ability; hitch control

ABO 血液型遺伝子多型の PCR-SSCP 法による解析とその応用

中村 貴子

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

ABO 式血液型遺伝子型の Exon 6 領域 (Fragment I) および Exon 7 の二つの領域 (Fragment II, Fragment III) を ALF express DNA sequencer を用いた PCR-SSCP 法による遺伝子型解析の開発を行なった。

その結果 主要な 5 種類の対立遺伝子による 15 の遺伝子型を正確に判定することが可能となり日常の法医学業務に使用して成果を挙げている。

また、この方法で領域内の稀な塩基置換部位の検出ができるため、5 遺伝子の他の 16 種類の対立遺伝子を同定した。それらを使用して日本とその他の地域の allele 頻度の比較検討を行い、地域による差異があるという結果を得た。

キーワード: ABO 式血液型遺伝子、PCR-SSCP 法、塩基置換、allele 頻度

1. はじめに

ABO 式血液型多型はその他の遺伝子多型に比べあらかじめ個人の血液型がわかっている場合が多く、法医学鑑定をはじめ事故や犯罪の捜査上有用性が高い^[1,2]。

ABO 式血液型を決定する糖転移酵素遺伝子^[3,4]は第 9 染色体長腕上 (9q34) にあり、7 つの Exon で構成される^[5]。これまでに Exon6 及び Exon7 に多数の塩基置換を伴う遺伝子型が報告されており^[6,7]、現在までわかっている対立遺伝子 (allele) の数は 70 を超える^[8,9]。その検出法も PCR-RFLP 法^[10]、PCR-APLP 法^[11]、PCR-SSCP 法^[12,13]や、最近においてはマルチプレックス塩基伸長反応法^[14]など多岐にわたり解析が行われているが、多数の primer や制限酵素を使用することや、得られた PCR 産物を精製しなければならないなど煩雑な操作があり、改善すべき点が多い。

そこで ABO 式血液型遺伝子多型を早く正確に判定でき、多数検体を処理する方法として ALF express DNA sequencer (Pharmacia Biotech) を用いた PCR-SSCP 法による解析方法を検討した。ABO 遺伝子の Exon 6 領域 (Fragment I) と Exon 7 の二つの領域 (Fragment II, Fragment III) を解析することにより ABO 遺伝子型を主要な allele により 15 種類に分類するばかりでなく、稀な塩基置換の解析によってさらに詳細な遺伝子型を同定した。

それらの方法を司法解剖時の日常業務に使用している他、分散して遺棄された死体からや体液からの血液型検出などの法医学鑑定の場においても使用し成果を挙げている。また日本各県および世界各地の、allele 頻度を比較検討した結果 A101 と A102 や O-101 型を主とする O^A allele グループと O-201 型を

主とする O^G allele グループに地域により特徴的な差異があることがわかった。

2. 試料と方法

2.1 試料

日本各県、中国上海、南米コロンビア、モンゴル、ミャンマー、アメリカミネソタ州白人の一般集団の血液から所定の方法で抽出した DNA を使用した。

2.2 PCR-SSCP (Single Strand Conformation Change)

一本鎖 DNA は分子内水素結合などにより一本鎖のまま安定しようとするため、その塩基配列に特異的な高次構造をとる。したがって一組の二本鎖 DNA allele に由来する 4 本の互いに相補的な一本鎖 DNA を電気泳動すると、それぞれの塩基配列が異なるため異なる位置に泳動される。一塩基置換によってもこの一本鎖 DNA の高次構造は変化し、電気泳動の際 易動度に影響を及ぼす。このような多型を一本鎖 DNA 高次構造多型 (single-strand conformation polymorphism: SSCP) という。PCR-SSCP 法の利点は既知の変異部位だけでなく、領域内の未知の変異部位についても検出が可能であることである。

Exon 6 の全領域および Exon7 の np703 をふくむ領域^[15]を所定の primer で PCR 増幅を行った (図 1)。

PCR 反応には Hotster Taq DNA polymerase (QIAGEN) を使用し、denature 97°C : 30 秒 annealing 58°C : 30 秒 extension 72°C : 30 秒で 35 cycle を Gene Amp 9600 (Applied Biosystems) を用いて増幅した。得られた PCR 産物 1μl を Blue Dextran 色素の入った Formamide 液 14μl に加え、97°C で 5 分間 denature の後急冷し、サンプルとした。ALF express (Amersham Pharmacia Biotech) を用い、それぞれの検出条件に適した Polyacrylamide gel にて電気泳動を行い遺伝子型を検出した。

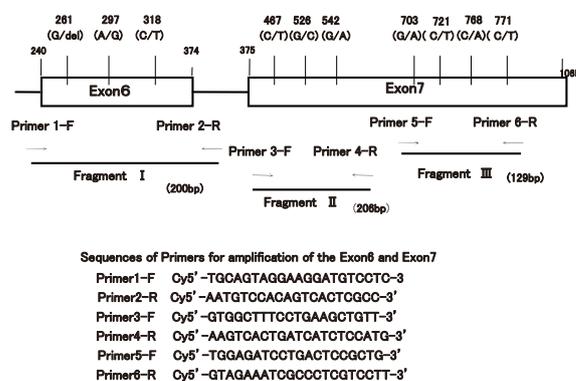


図 1. ABO 血液型遺伝子の PCR 増幅領域と Primer 配列

2.3 Sequencing

PCR-direct sequencing により PCR 産物から直接塩基配列を決定した。PCR と同一の primer を用いて、Forward 及び Reverse 方向からの cycle sequencing を行った後、Genetic analyzer (ABI,310)により分析した。

3. 結果

3.1 SSCP 法による ABO 遺伝子型のパターンと塩基置換部位

3.1.1 Fragment I の SSCP パターン

図 2 は Fragment I の SSCP パターンである。np261 において O 型は塩基が欠損 (del) しているが A 型、B 型とも正常で G (Guanine) である (G/del)。np297 では A 型では塩基が A (Adenine) で B 型では G となっているが、O 型も塩基が A のグループと G のグループの 2 種類に大別され、O^A、O^G という。それぞれ数十種類のサブタイプの Allele を含んでいる。これらの塩基置換の組み合わせによる基本的な 10 種の遺伝子型 (AA, AO^A, AO^G, BB, BO^A, BO^G, O^AO^A, O^AO^G, O^GO^G, AB) が易動度の差により、10 種のパターンとして検出される^[16](Lane 1~10)。基本的なピークと易動度の異なるピークとして検出されたサンプル (Lane11,12) は Sequence の結果、一方の遺伝子上の np318 に C>T の塩基置換部位があることがわかり O^A グループの O109 と同定できた。

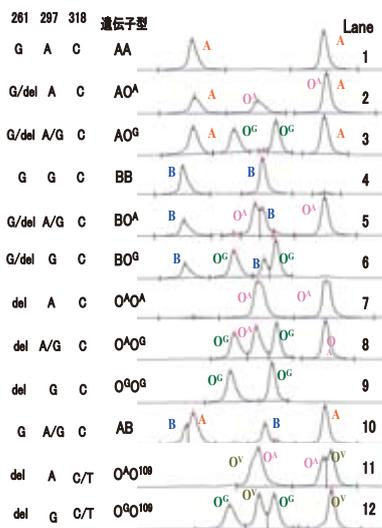


図 2. Fragment I 領域の塩基置換 SSCP pattern と遺伝子型

ピーク横に付けられた A,B,O^A,O^G は対立遺伝子の一本鎖 allele に対応しており、対立遺伝子がホモの場合は 4 本、ヘテロの場合は 2 本のピークが観察されるが、この gel 条件では A と O^A の片方の allele が分離しないため遺伝子型が AO^A の時は 3 本ピークとなる。

Acrylamide:Bis=49:1 7%gel にて泳動。

3.1.2 Fragment II の SSCP パターン

図 3 は Fragment II の SSCP パターンである。A 型 allele グループの A101 と B 型および O 型の大部分は

np467 の塩基が C (Cytosine) であるが、A102 他、十数例の allele は np467 が T (Thymine) に置換している。双方の allele はピーク位置の違いにより容易に判別することができた。

3 レーンで右にシフトしたピークが見られるがこれは np526 に C>G の塩基置換がある B 型 allele にあらわれるパターンである。また、コロンビアのサンプルで主な allele と易動度の違うピークが検出され sequence の結果 np542 に G>A の塩基置換がある O209 allele であることがわかった。さらに np496 の A に deletion がある allele がモンゴルのサンプルで検出されたが、その allele もピーク易動度の違いによって検出が可能であった。

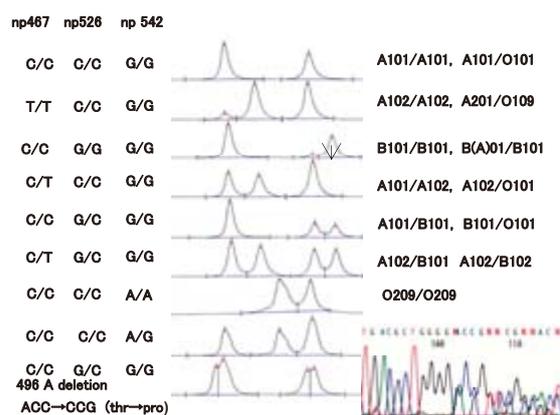


図 3. Fragment II 領域の塩基置換 SSCP pattern と変異に対する遺伝子型

np467 は A101 および B、O の大部分は C であるが、A102 他十数例 T に置換している。3 番目レーンの右側にシフトしたピーク (矢印) は np526 に C>G の塩基置換がある B にあらわれるパターンである。7 番目は np542 に G>A に塩基置換がある O209 allele の検出パターンである。

3.1.3 Fragment III の SSCP パターン

図 4 は Fragment III のパターンである。パターンの中央にやや間が開いているがその左のピークがセンス鎖、右がアンチセンス鎖のピークである。ピークを識別するため数字の番号をつけた。大部分の遺伝子型は 1, 2, 3 のピークに相当する allele の組み合わせによって検出される。1 のピークに相当するのは np703 が G から A に置換している allele で、主なものは B101 である。2 のピークに相当するのは A allele と O^A allele である。3 のピークは np771 が C から T に置換している O^G allele で、主なものは O 201 である。

4, 5, 6, 7 のピークは稀な変異 allele によって出現するピークである^[17]。4 のピークの allele は np771 が C から T に変異している他に np768 が C から A に置換している。5 の allele は np721 が C から T に、6 のピークは allele は np743 が G から C に、7 のピークの allele は np703 が G から A に置換している他、np771 が C から T に変異しているため易動度に変化を起こしている。

この allele は前半部が 4 塩基置換 (np297A>G, np526C>G, np657C>T, np703G>A) によって B allele の特徴をもち、後半部が 2 塩基置換 (np771C>T, np829G>A) によって O^G allele の特徴を持つ hybrid allele である^[18]。6 塩基置換のうち 3 塩基 (np526- Arg 176 Gly, np 703-Gly 235 Ser, np 829-Val277 Met) はアミノ酸置換をとまなう。そのうちの 176 と 235 が B 型転移酵素を転写するが 266 leu, 268 gly が A 型転移酵素を転写するキメラ構造を有し、A 型活性を呈する^[19]。この allele は今回の結果では日本人において 0.5% 200 人に 1 人程度現われることがわかった。また A104 は Fragment I の np 297A.>G で B allele の特徴を持つが、他の部分は A 101 と同じで A 型活性を持ち、日本人の 0.75% に出現する。これらのことは exon 6 において遺伝子型で B allele を示すものであっても血液型の表現形では A 型であり、検査の上で注意を要する。

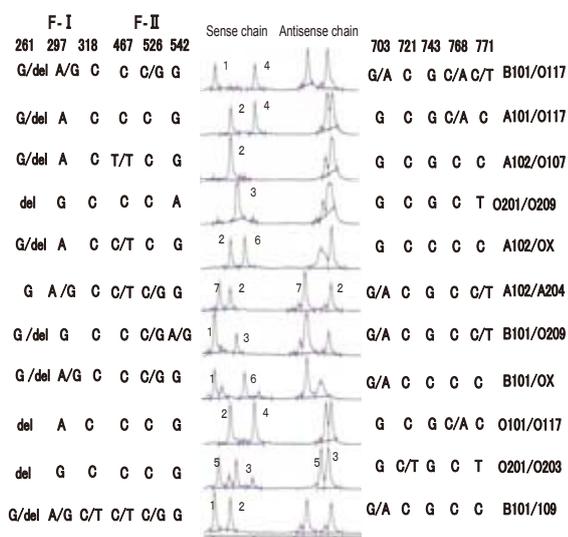


図 4. Fragment III 領域の塩基置換 SSCP pattern と変異に対する遺伝子型

ピークを識別するため数字の番号をつけた。大部分の遺伝子型は 1, 2, 3 のピークで表された allele の組み合わせであらわされる。ピーク 1 は np703 が G>A に置換しているもので 主なものは B101 型である。ピーク 2 は A 型 および O^A 型で出現し、主なものは A101, A102, O101 型等である。ピーク 3 は np771 が C>T に置換している O^G 型 で検出され主なものは O201 型 O209 型等である。ピーク 4, 5, 6, 7 は稀な allele によって出現する。ピーク 4 は np768 が C>A に置換している O117 型で検出される。

4. 考察

4.1 法医学分野への応用

事件概要

①. 上腹部、下腹部、左右上肢、左右大腿、左右下肢が、つくば市内の別々の河川から発見されたもので、頭部は発見されていない。同一人物のものであるかが鑑定の対象になった。

Fragment I でどのサンプルも AB 型と判定、II でも np467C>T のピークが出現したためすべて A102/B101 型であると判定した。この形は日本人では 100 人のうち約 7~8 人にしか表れない血液型であることや、ABO 以外の遺伝子型検査結果を含め同一人の可能性が高いと鑑定された。

②. 女性屍。腔内に精液の痕跡があり、死亡前に関係した男性の血液型を検出することになった。Fragment I において被害者(血液)の遺伝子型は BO^A であったが腔内容物から A 型であられるピークが検出され、Fragment II においても A102 型(467C>T) であられるピークが検出されて、被害者遺伝子型と異なる A102 型の存在が示唆された。後に逮捕された容疑者は A102/O101 であった。

同一の遺伝子型の場合は同一の波形を示すため、部分死体や遺留品などの DNA 検査において遺伝子型を視覚的にとらえることができる。また別の易動度のピークを検出することにより、他の DNA のコンタミネーションを容易に識別することができる利点がある。

4.2 人類学分野への応用

A101 allele と A102 allele はともに A allele グループに属し、np467 が C から T に置換しそれに伴いアミノ酸 156 コドンが proline から leucine に変化している。しかしアミノ酸置換に伴う糖転移酵素の活性には変化は見られない^[20]。

図 5 は、A101 と A102 の出現頻度の比較を行った結果をグラフで示したものである。コロンビアは A 型 allele の数が 10 と少ないので統計から除いた。A101 と A102 の頻度に大きな人種による差が存在する。

今回の調査で Caucasian (米国白人) では遺伝子頻度が A101(0.25) > A102(0.083) で A101 の頻度が高かったが、Oriental(アジア人)では全体の平均では A101(0.054) < A102(0.199) と A102 の頻度が高く、Caucasian と逆転していた^[21]。文献検索によるとペルシャ湾岸のクエートでも A101(0.112) > A102(0.018) で A101 の頻度が高く^[22]、米国白人では A101 が A 型全体の 75% であるのに対しクエートでは 86% を占めている。

一方ミャンマーの A101 の頻度は 0.064 で A 型全体で A101 型の占める割合が 32% であるが、中国上海は 0.031 で 14% と低く、一方モンゴルでは 0.038、23%、日本全体では 0.057、21% とその中間の値であった。

太平洋ソロモン諸島では A101(0.180) > A102(0.130) で A101 が 58% と若干上回っている^[23]。A101 を基準とした場合アジアでは古い地域に A101 遺伝子が多く残り、新たに変異した A102 遺伝子があとからアジア地域に広まっていったのではないかと示唆されるが、これにはさらに多くの民族の検証が必要である。

また日本各県の比較では最も A101 頻度の高い高知県と頻度の低い山口県の間 P<0.03 の有意差があるが、これも日本列島に各地からの民族が移り住んだ結果かもしれない。

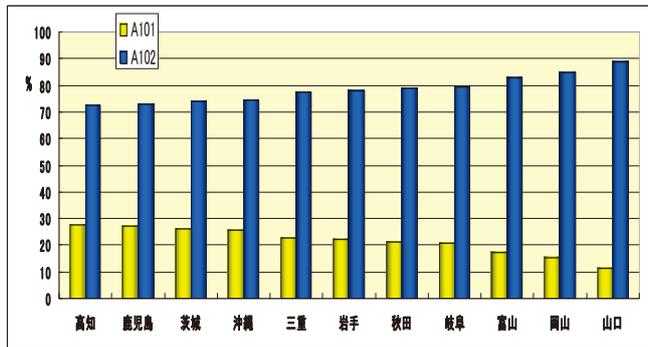
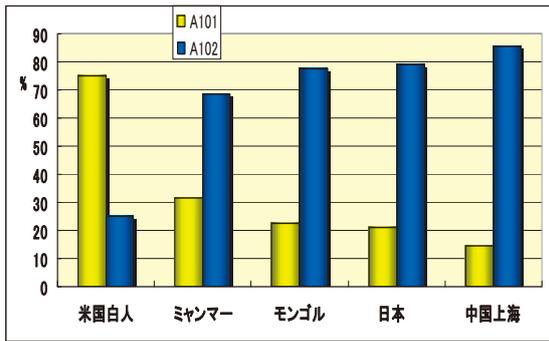


図 5. A101 と A102 の allele 頻度の A 型全体に対する割合の地域別比較
米国白人とアジア人では頻度が大きく異なっている。またアジア各地域の他、日本各県の頻度にも差がある。

O allele は np261 が欠損している。そのためアミノ酸コドン 117 にフレームシフトをきたし、不完全なタンパク質しか合成されないため、糖転移酵素活性を有しない。

O 型には大きく 2 つのサブグループがある。O^A allele group は O 型 allele のうち np297 が A のもので、O101 が主な allele である。O^G allele group は np297 が G に置換したもので O201 が主な allele で、O101 と比較するとその他にも np646、np771 などに塩基置換がある^[24]。

日本各県を比較すると岐阜県や高知県は O^A allele group 頻度の高く、沖縄県や鹿児島県は O^G allele group 頻度が高いなど日本各地において頻度の差がある (図 6)。

しかし高い有意差とは言えず日本全体においては O^A(0.299) > O^G(0.276) という結果で若干 O^A allele group 頻度が高いがほぼ同率で、これは中国上海 O^A(0.301) > O^G(0.281) や ミャンマー O^A(0.277) > O^G(0.261) の結果と類似している。しかしモンゴルは O^A(0.258) < O^G(0.340) で O^G allele group の頻度が高く、アジア各地域において頻度の差があることが示唆されたため今後他のアジア地域のデータを調査する必要がある。

コロンビアは O^A(0.368) < O^G(0.560) という結果で O^G allele group 頻度が高く、そのうち np542 に G から A に塩基置換がある O209 が、O allele 全体の 15% を占める。この allele は日本人と中国上海のサンプルでは検出されず、今回の調査でモンゴル、ミャンマー、米国白人に数例見られる程度であった。

文献によるとヨーロッパのバスク地方やアフリカのアイボリーコーストでは検出されず、エクアドルで O allele 全体の 4%、ボリビアで 12% ブラジルで 43%^[25] など、南米地域で多く観察されることがわかった。この結果は人種の特定に利用できるものではないかと考えられる。今後さらに地域、民族の調査地点を増やし検証を続けていく必要があると考える。

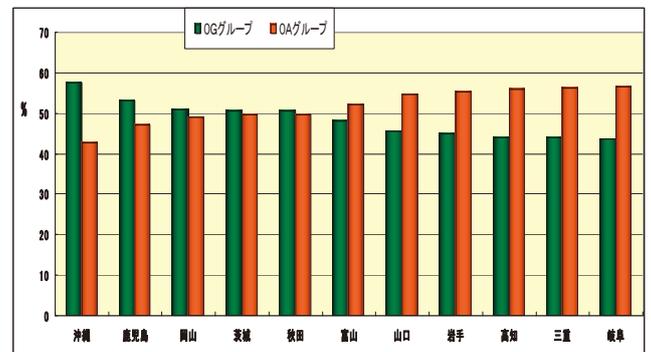
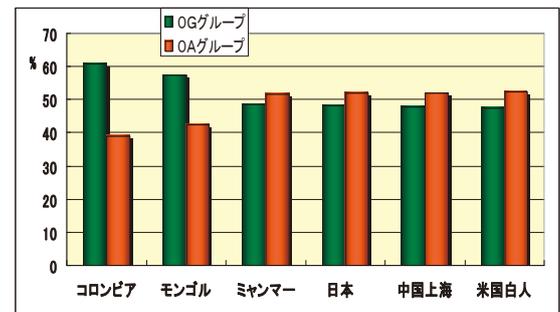


図 6. O^A グループと O^G グループの allele 頻度の O 型全体に対する割合の地域別比較
アジア各地域で O^A と O^G の頻度が異なる他 日本各県においても異なり沖縄県と岐阜県では P < 0.04 の有意差があった。

5. 謝辞

本研究を行うにあたり、手厚くご指導を賜りました人間総合科学研究科法医学教授本田克也先生に深く感謝いたします。

本研究は平成 15 年度独立行政法人日本学術振興会科学研究費(奨励研究)課題番号 15922051、平成 16 年度研究費(奨励研究)課題番号 16922159、平成 17 年度科学研究費(奨励研究)課題番号 17927024 の補助を得て行われました。よって関係者の方々に篤く御礼いたします。

参考文献

- [1] Ogasawara K, Yabe R, Uchikawa M, et al. :Molecular genetic analysis of variant phenotypes of the ABO blood group system. *Blood* :88, 2732-2737,1996.
- [2] 土井裕輔, 山本雄二, 稲垣幸代, 他. :SNaPshot Kitを用いたSNP解析による新しいABO遺伝子型判定法. *DNA多型* :Vol.9, 254-257, 2001.
- [3] Yamamoto F, Clausen H, White T, et al. :Molecular genetic basis of the hist-blood group system. *Nature*: 345, 229-233, 1990.
- [4] Yamamoto F, Marken J, Tsuji T, et al.:Cloning and characterization of DNA complementary to human UDP-GalNAc: Fuc α 1 \rightarrow 2Gal α 1 \rightarrow 3GalNAc transferase (histo-blood group A transferase) mRNA. *J. Biol. Chem* :265, 1146-1151,1990.
- [5] Bennett E P, Steffensen R, Clausen H, et al. :Genomic cloning of the human hist-blood group ABO locus. *Biochem.Biophys.Res.Commun* :206,318-325,1995.
- [6] Ogasawara K, Bannai M, Saitou N, et al. :Extensive polymorphism of ABO blood group gene:three major lineages of the alleles for the common ABO phenotypes. *Hum. Genet* :97, 777-783, 1996.
- [7] Ogasawara K, Yabe R, Uchikawa M, et al.:Different alleles cause an imbalance in A2 and A2B phenotypes of the ABO blood group.*Vox Sang*: 74, 242-247,1998.
- [8] Yip S. P :Sequence variation at the human ABO locus. *Ann. Hum. Genet.* :66, 1-27, 2002.
- [9] Yamamoto F :Molecular genetics of ABO. *Vox Sang.* :78 (suppl 2) ,91-103,2000.
- [10] Lee J.C.I, Chang J.G :ABO genotyping by polymerase chain reaction. *J. Forensic Sci*, 37, 1296-1275,1992.
- [11] Watanabe G, Umetsu K, Yasuda I, et al. :Amplified product length polymorphism (APLP) :a novel strategy for genotyping the ABO blood group. *Hum. Genet.* :99, 34-37, 1997.
- [12] Ogasawara K, Yabe R, Uchikawa M, et al. :Recombination and gene conversion-like events may contribute to ABO gene diversity causing various phenotypes. *Immunogenetics*: 53, 190-199, 2001.
- [13] Suzuki K, Iwata M, Tsuji H, et al.:A de novo recombination in the ABO blood group gene and evidence for the occurrence of recombination products. *Hum. Genet.* :99, 454-461,1997.
- [14] 橋谷田真樹, 那谷雅之, 舟山真人 :SNPsによるABO式血液型遺伝子の多型解析. *DNA多型* :Vol.9, 249-253, 2001.
- [15] 橋本良明, 中西祥徳 :ポリメラーゼ連鎖反応(PCR)法によるABO式血液型の遺伝子型判定とその親子鑑定への適用. *日法医誌*, 47(6),481-485,1993
- [16] 中村貴子, 及川明奈, 本田克也 他. :フラグメント解析による高精度 ABO 式遺伝子型検出. *DNA多型* :Vol.11,150-156,2003.
- [17] 中村貴子, 本田克也, 三澤章吾. :電気泳動パターン解析による ABO 遺伝子多型頻度分布. *DNA多型* :Vol.12, 166-169,2004
- [18] Koichi Suzuki.:ABO blood group allele and genetic recombination. *Legal Medicine*:vol 7,205-212,2005
- [19] Yamamoto F, Hakomori S. :Sugar-nucleotide donor specificity of histo-blood group A and B trnsferases is bases on amino acid substitutions. *Biol.Chem*: 265, 19257-19262, 1990.
- [20] Seltam A, Blasczyk R. :Missense mutations outside the catalytic domain of the ABO glycosyltransferase can cause weak blood group A and B phenotypes. *Transfusion* 45,1663-1669,2005
- [21] Yip S.P :Single-tube multiplex PCR-SSCP analysis distinguishes 7 common ABO allele and readily indentifies new alleles. *Blood* 95, 1487-1492, 2000
- [22] Yip S p, Choi P S. :ABO blood group in Kuwaitis: detailed allele frequency distribution and identification of novel alleles. *Transfusion* 46 (5):773-779, 2006
- [23] Ohashi J, Naka,I. : Polymorphisms in the ABO blood group gene in three populations in the New Georgia group of the Solomon Islands.*J Hum Genet* 51:407-411,2006
- [24] Roubinet F, Kermarec N, Despiau S, et al.:Molecular polymorphism of O alleles in five populations of different ethnic origins. *Immunogenetics* :53, 95-104, 2001.
- [25] Olsson L, Santos B, Chester A, et al.:Heterogeneity of the O alleles at the blood group ABO locous in Amerindians. *Vox Sang*: 74, 46-50, 1998.

PCR-SSCP analysis of ABO blood genotypes polymorphism and its application

Takako Nakamura

Institute of Medical Science, Academic Service Office for Comprehensive Human Science, University of Tsukuba
1-1-1 Tennodai, Tsukuba, Ibaraki, 305-8575 Japan

We developed a new analyzing system of one region of Exon6 (Fragment I) and two regions of Exon7 (Fragment II, Fragment III) in ABO blood genotypes using ALF express DNA sequencer. The system made it possible to discriminate 15 major genotypes including combination of five kinds of main alleles accurately it is useful for practical forensic examination. The rare single base substitutions can be detected with the system. We identified 16 kinds of rare alleles besides five main alleles. Using these results we compared the allele frequency of Japanese population with other five countries populations. It showed that there are significant differences among these populations.

Keywords: ABO blood genotypes; PCR-SSCP analyze; single base substitutions; allele frequency

デジタルカメラによる赤外線撮影

鷲野谷 秀夫

筑波大学人間総合科学等支援室 (体芸支援室)

〒305-8574 茨城県つくば市天王台 1-1-1

概要

考古学資料等、多くの科学分野に応用されている赤外線撮影を、最近開発された一眼レフデジタルカメラに応用し、撮影を行った。その撮影法と、その撮影装置によって得られた画像の評価結果を報告する。

1. はじめに

可視光線の波長は、約 400 から 600 nm であり、可視光線よりも長い波長を赤外線と呼んでいる。赤外線写真は、600 nm よりも長い波長で撮影した写真を指す^[1]。従来のフィルムカメラでは、コダック社製ハイスピード・インフラレッド・フィルムやコニカ社製赤外線フィルムを使用することにより、撮影することができる。デジタルカメラは、撮像素子に使用されている CCD が、赤外域にも感度を持っているため、従来のフィルム撮影と同様に撮影することができると思う。赤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、更に雲等が赤外線を強力に反射するため風景写真等の芸術分野にも応用されている。そこで、誰にでも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。その結果、興味のある赤外線画像を得ることができたので報告する。

キーワード：赤外線撮影、デジタルカメラ

2. 撮影装置と撮影法

今回は、ニコンデジタルカメラ D70 ボディに通常の広角レンズ・ニコンニッコール 28 mm F2.8 と紫外線撮影用レンズ・ニコン UV ニッコール 105 mm レンズ (図 1) を用いた。そして特注のケンコー製赤外線透過可視光吸収フィルター R72 と赤外線撮影用の富士フィルターをレンズの前面に使用した。また、簡易型の撮影装置として、ソニーサイバーショット DSC-T30 を用いた。ソニーサイバーショットには、レンズの前面に富士フィルター SC-68 を接着した。図 2 は、フィルターを接着した簡易型の赤外線撮影装置を示す。また、比較検討のため、他の波長のバンドパスフィルター(ある波長範囲の光だけを透過し、他波長の光をできるだけ吸収するように設計されたフィルター)を使用して、同様に撮影を行った。

これらの撮影装置を用いて、風景や多くの資料を撮影し、基礎的実験を行った。また、パソコンを用いて、フィルターを使用した撮影により得られた画像と、通常の可視光線によるモノクロ画像とを比較検討した。

3. 結果

赤外線撮影は、紫外線写真同様に、単一波長の撮影のため、カラー画像では示されず単色で示される。デジタルカメラの通常モード撮影で撮影を行うと、



図 1. 赤外線撮影に使用した機材



図 2. 簡易型の赤外線写真撮影装置



図 3. 赤外線フィルター

全体が赤色で示され観察がしにくいため、パソコンを用いて処理し、モノクロ画像に加工した。

図4は、風景を通常のカラー撮影で行った写真である。図5は、この画像を、パソコンの画像処理ソフト・フォトショップ CS を使用して、カラー情報を消去したモノクロ画像である。



図4. 風景の通常カラー撮影



図5. 図4のモノクロ画像

図6は、450 nm にピークを持つバンドパスフィルターで撮影した画像である。画像は一様に青い色の画像であるが、図5と同様の処理を行った結果、画像は、通常のモノクロ画像と比較してコントラストが強くなり、青い空は白く表現されている。植物は、より黒く表現されている。



図6. 450 nm にピークを持つ画像



図7. 530 nm にピークを持つ画像

図7は、同様の風景を、530 nm にピークを持つバンドパスフィルターで撮影した画像である。画像は一様に緑色の画像である。図5と同様の処理を行った結果、画像は、通常のモノクロ画像と比較して、緑の植物の表情がよく表現されている。



図8. 600 nm のフィルターで撮影した画像

図8は、同様の風景を、600 nm のシャープカットフィルターで撮影した画像である。画像は一様に赤色の画像である。図5と同様の処理を行った結果、画像は、通常のモノクロ画像と比較して非常にコントラストが強く、表現されている。



図9. 820 nm のフィルターで撮影した赤外線写真

図9は、同様の風景を、820 nm の赤外線透過可視光吸収フィルターで撮影した画像である。画像は一様に赤色のフィルター使用と同様に赤色の画像である。図5と同様の処理を行った結果、画像は、通常

のモノクロ画像と比較して非常に特異な画像を示した。画像の建物は、同様に表現されているが、樹木や植物は白く表現され、青い空は黒く表現されている。



図 10. 小型のカメラで撮影した赤外線写真

図 10 は、同様の風景を、赤外線フィルターを装着したソニーサイバーショット DSC-T30 で撮影した画像である。画像は、カメラ側の設定で、モノクロ撮影に設定したため、画像処理することなくモノクロの赤外線像が得られた。画像は、図 9 の赤外線のモノクロ画像と比較して樹木や植物が白く表現されるなど、同様な画像を示した。



図 11. 人物の普通モノクロ写真

図 11 は、通常のタングステンランプでライティングし撮影した人物のモノクロ写真である。図 12 は、人物を、820 nm の赤外線透過可視光吸収フィルターを使用して撮影した画像である。赤外線画像は、通常のモノクロ画像と比較して、赤外線写真の特徴を示し、眼の瞳孔ははっきり示された。また、皮膚も透明感のある特異な画像を示した。

図 13 は、通常のタングステンランプでライティングし撮影した両手のモノクロ写真である。図 14 は、両手を、820 nm の赤外線透過可視光吸収フィルターを使用して撮影した画像である。赤外線画像は、赤外線写真の特徴を示し、表在性の血管が、はっきり表現されている。



図 12. 人物の赤外線写真



図 13. 手背の普通モノクロ写真



図 14. 手背の赤外線写真

4. 考察

赤外線写真は、単一波長の撮影のため、色彩は表現されず単色で示される。そのため、一般の赤外線写真は、白黒で表示し観察するのが通常である。

今回、赤外線以外に使用したフィルターは、一般に三色分解フィルターと呼ばれている三原色のフィルターである。これらの画像は、赤外線写真を疑似カラーに処理する際、非常に重要になる画像で、赤外線カラー写真を作成する際に必要になる画像である。図 15 は今回使用したバンドパスフィルターの分光特性曲線である。今回使用したシャープカットフィルターは、赤色の SC-60 であり、図 16 に、そのシャープカットフィルターの分光特性曲線を示す。また、図 17 は、赤外線撮影フィルターの分光特性曲

線であり、シャープカットフィルターと同様な分類である。

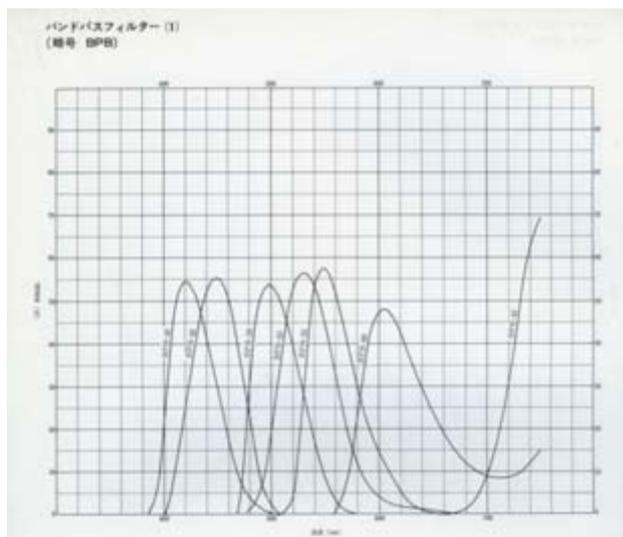


図 15. バンドパスフィルターの分光特性曲線

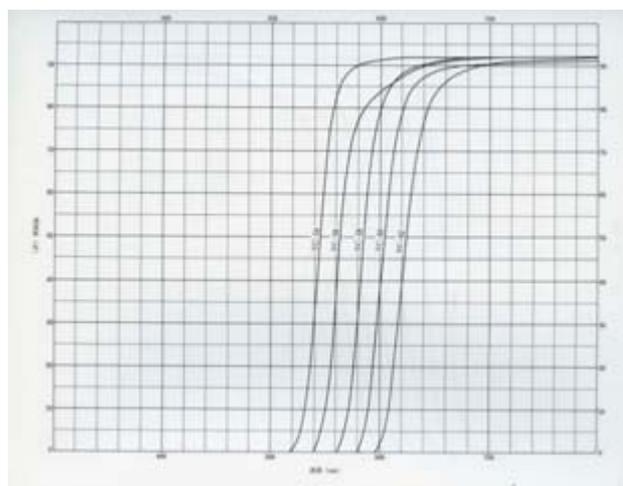


図 16. シャープカットフィルターの分光特性曲線

赤外線撮影は、このようなフィルターを使用することによって撮影できるが、もっとも重要なことは、カメラに使用されている CCD 等の前に赤外線を遮断するフィルターが付いていないかである。通常のデジタルカメラは、赤外線等の不可視光により、正常な黒が表現できないため、CCD の前にローパスフィルターと呼ばれる紫外線や赤外線をカットするフィルターが装着されている。このため、通常のデジタルカメラでは赤外線撮影が困難であるが、今回用いたニコンデジタルカメラ D70 とソニーサイバーショット DSC-T30 では可能であった。

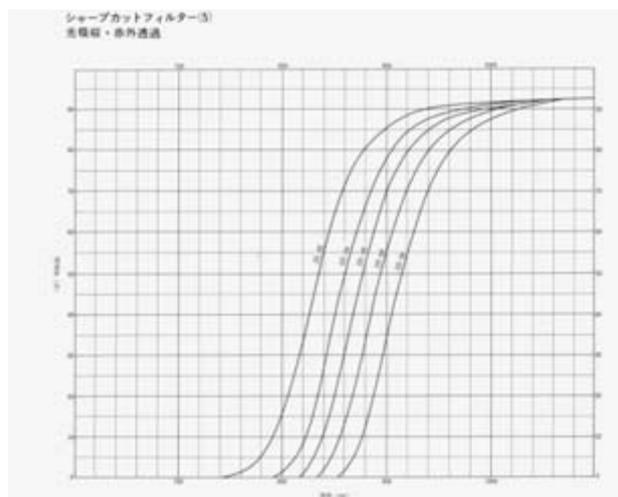


図 17. 赤外線撮影フィルターの分光特性曲線

一般に、赤外線撮影による画像は、遠くの景色が空気の層の影響を受けにくいため、はっきり写るとされている。図 18 は、山の風景を撮影した通常のモノクロ写真である。図 19 は、ニコンデジタルカメラ D70 ボディに通常の広角レンズ・ニコンニッコール 28 mm F2.8 を使用し、図 18 図と同じ場所から撮影した赤外線写真である。写真は、赤外線写真の特徴を示し、遠くの雲もはっきり示されている。図 20、21 は、ソニーサイバーショット DSC-T30 にフィルターを装着した簡易型のデジタル赤外線カメラである。この画像においても、赤外線写真の特徴をよく示して、情感のある画像をよく表現している。また、赤外線写真の特徴として人間の皮膚は、4 mm ほど透過し、表在性の血管の撮影が行えると報告されている^[2]。図 14 に示したように、デジタルカメラにおいても、従来のフィルム撮影と同様な画像が得られた。

赤外線撮影では、このように肉眼では観察し得ない興味ある画像を得ることができるため、多くの分野で応用が期待できるものと考えられる。



図 18. 山の風景写真



図 19. 図 18 と同様の赤外線写真

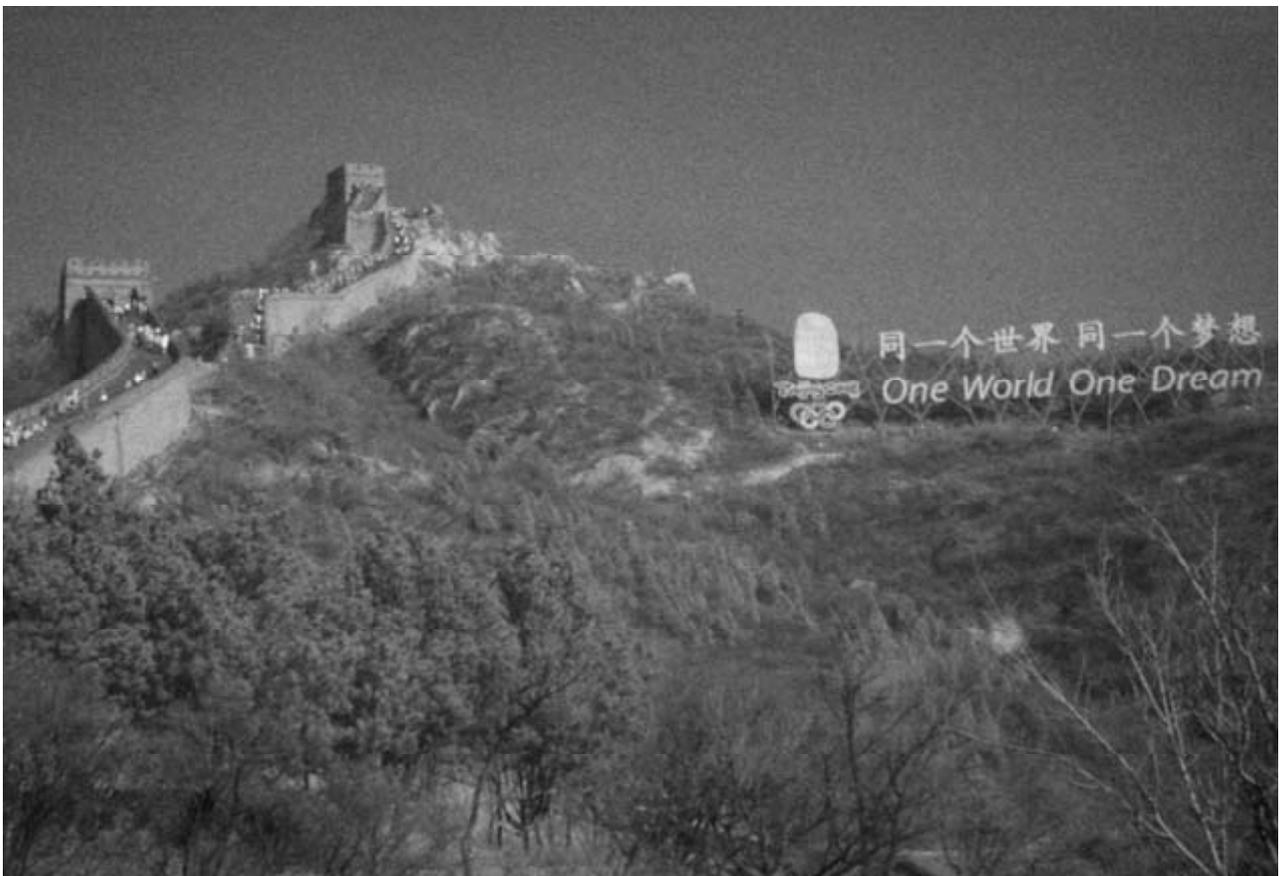


図 20. 山岳を表現した赤外線写真



図 21. 水面と遠景を表現した赤外線写真

5. まとめ

今回、赤外線撮影をデジタルカメラに応用した結果、適正な赤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、赤外線の反射、吸収が瞬時に観察できる利点が多い。今後は、赤外線写真の応用が盛んになり、多くの新知見が得られるものと確信する。

参考文献

- [1] 鷺野谷秀夫：スチルビデオカメラによる赤外線写真、写真工業 Vol.48 No.11, 113-116, 1990.
- [2] 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.

Infrared photography by digital camera

Hideo Saginoya

Art and Sport Sciences Branch, Academic Service Office for Comprehensive Human Sciences,
University of Tsukuba, 1-1-1 Tennodai, Tsukuba, Ibaraki, 305-8574 Japan

Infrared photography is applied in many fields of science such as archaeology. Photographs were taken using a single-lens reflex digital camera for infrared photography. This report concerns images obtained using this equipment.

Keywords: infrared photography; digital camera

安定したヘリウム回収率維持に向けて

宮内 幹雄^{a)}、近藤 裕^{a)}、敦賀 将太^{a)}、池田 博^{b)}

^{a)}筑波大学研究基盤総合センター（低温部門）

^{b)}筑波大学数理物質科学研究科物性・分子工学専攻（低温部門）

〒305-8577 茨城県つくば市天王台 1-1-1

要旨

低温部門では学内に液体ヘリウムの供給を行っている。ヘリウムは高価なガスのため一度使用したヘリウムは回収して再利用している。そのため定常的に供給を行うにはヘリウム回収を安定的に維持する必要がある。本報告では低温部門におけるヘリウム回収率維持に向けての取り組みについて紹介する。現在この方法によって90%以上の回収率を達成している。

キーワード：ヘリウムガス回収

1. 背景

ヘリウムは学内で強磁場発生装置、帯磁率測定装置、超低温発生装置、NMR装置等の寒剤として利用され低温実験には欠かせないものとして位置づけられる。ヘリウムの沸点は4.2 Kの液体で、貴重で高価なガスであるため供給システムはリサイクルシステムで行っている。つまり使用したヘリウムを回収することによって供給の流れが成立するシステムである。このシステムで完全なヘリウムガスの回収を行うことができれば苦労はないのであるが、僅かな隙間からでも漏れてしまうヘリウムガスは材質によって透過して逃げてしまうガスであり、現実的にはかなり難しいことである。それゆえ供給システムを

安定的に循環させるためには損失分のヘリウムを補充し必要な量のヘリウムガス量を常に保持することが不可欠となってくる。

さらに原料ガスであるヘリウムガスはすべて海外からの輸入に頼っている。国内での産出がない現状で、近年諸般の理由でヘリウムガスの輸入が制限される事態が起きている。このことは液体ヘリウムの安定供給に支障を起こす可能性を大いに含んでいる問題である。このような状況下、安定供給に必要な不可欠な方法は今あるヘリウムガスを如何に逃がさずに保有できるかに係ってくる。そこで、現在低温部門で行っている安定したヘリウム回収率の確保に向けた取り組みについて説明する。

またヘリウムガスの回収率確保は利用者の料金負担軽減へと直接結びつく。なぜなら補充したヘリウム量によって供給価格が変動するためである。

2. システム概要

図1にヘリウムのリサイクルシステムの流れを示す。リサイクルシステムは、(A)液化のためにヘリウムガスを液化用圧縮機で圧縮→(B)ヘリウム液化機で大型ヘリウム容器にヘリウムを液化→(C)大型ヘリウム容器から小型容器に移し替え実験室に運搬→(D)学内の実験装置に液体ヘリウムを汲み込み実験→(E)実験使用し蒸発したヘリウムガスはサブセン

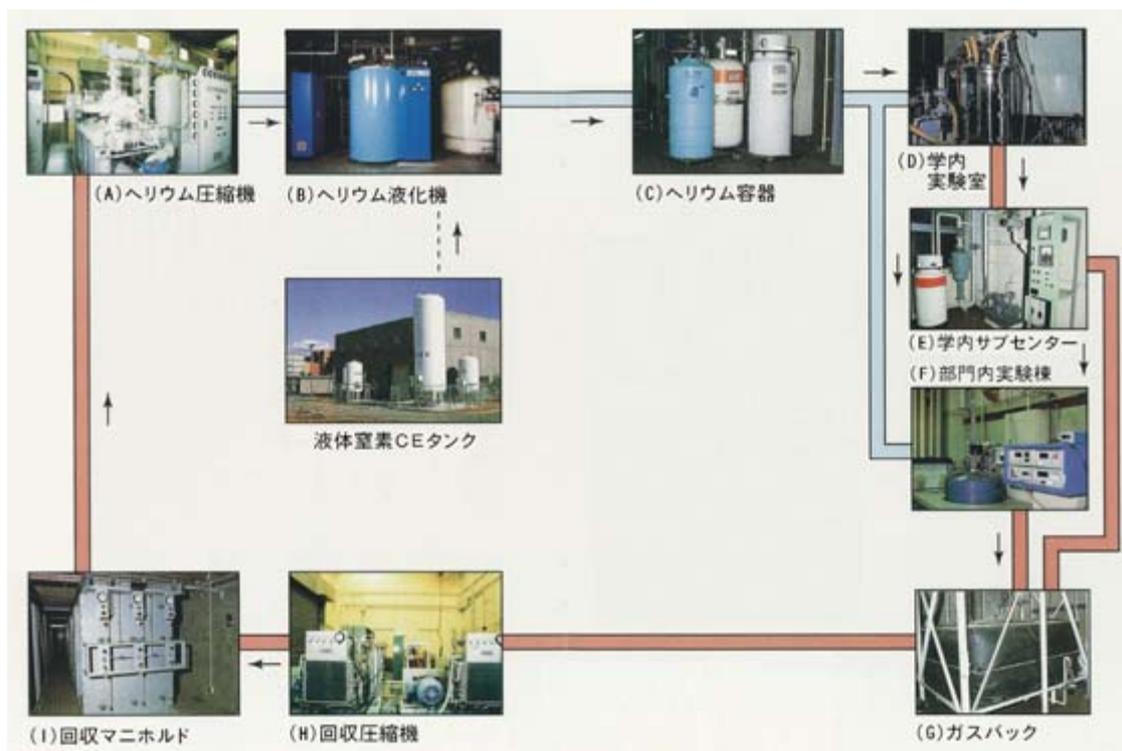


図1. ヘリウムリサイクルシステムの流れ



図2. ヘリウム回収配管

ターへ回収後、サブセンターからブローで低温部門に送風、(F)低温部門内の実験装置に液体ヘリウムを汲み込み実験、ヘリウムガスは直接低温部門ガスバックに回収→(G)全学からの回収用低温部門ガスバック→(H)回収されたヘリウムガスを高圧貯蔵するため圧縮→(I)回収ヘリウムガスの高圧貯蔵庫→(A)再液化され循環リサイクルが成立する。以上がヘリウムの供給システムである。

次に現在の回収配管の整備状況を図2に示す。学内に回収サブセンターが5箇所設置してありサブセンターを基点に建家内に毛細血管のように実験室まで配管が張り巡らせている。現在のサブセンターは工学系、自然科学系、総合研究棟B、理工学棟、TARAセンターである。サブセンターでは一度ガスバックに回収ヘリウムガスを回収し満杯になったらブローで低温部門にヘリウムガスを強制回収している。その他に4センターへの回収管が延びている。回収の方法は自然回収で直接低温部門のガスバックに回収されている。

このようにヘリウムの利用できる場所は、この回収ライン環境が整っていることが条件となる。これら低温部門から回収配管の末端までのすべて設備に対し漏れのない状態を構築することが低温部門の使命となる。以下に低温部門で行っているヘリウム回収維持向上に向けた取り組みについてハード面・リサーチ・ソフト面について優先度の高い順に述べていく。

3. 取り組み①：ハード面

ハード面とは設備の気密性能確保のことを云う。基本的なことであるが利用している設備から漏れがあっては回収率の向上はあり得ない。まずは徹底して漏れのない設備を目指すことである。点検方法はハンディタイプのヘリウムリークディテクタを用いている。図3に低温部門で使用しているリークディテクタを示す。最大感度は 10^{-5} liter/min、感知原理はガス種類による熱伝導の違いを利用している。ディテクタの先端から吸い込み、ヘリウムのとき反

応し目盛りが振れる仕組みである。現在4台保有して活用している。



図3. リークディテクタ

以下に個別の具体的な取り組み内容を区分別に説明する。

3.1 ヘリウム液化装置関係

この設備は大半が高圧ガス製造設備である。そのため高圧ガス保安法上、半年ごとに定期自主検査を実施している。検査の一環として気密試験を行うが検査はすべて自前での実施を基本として設備の状態の把握に努めている。漏れ等の発生時には修理を行い、定期的に点検して気密性を確保している。

3.2 運搬用ヘリウム容器

容器については液体ヘリウムをトランスファー中に目視で点検する。漏れが発生すると冷えたヘリウムガスによって垂直に白い煙が立ち登る。ヘリウムガスは空気より軽い煙は上昇するのでヘリウムによる漏れとして見分けることができる。白く見える煙は空気中の水分が氷となり白く見えるのである。(図4写真参照)

また他に些細なことであるが定期的なメンテナンスとして、利用者は無関心であるが漏れの発生が起こりやすいトランスファーチューブ挿入口の気密シール部のウイソシールOリングへの真空グリスの塗布を定期的に行っている。

3.3 ヘリウム実験装置

これについては各研究室にあるため頻繁に訪問して漏れチェックは出来ない。そのため方針として装置を導入時に漏れチェックを行い漏れないことを確認している。この時点で行うことは重要で漏れがあれば納入業者の責任において補修が可能である。後の研究室での補修は費用が嵩み困難なことが多い。もし漏れがある場合は補修するまでトランスファーは認めてない。次に初めての液体ヘリウムのトランスファーには立ち会い再度漏れチェックを行うようにしている。これは室温の状態では漏れがなくても低温では漏れが出てくるが多々あるため行うのである。意外に継ぎ手部やOリングシールからの漏れが見つかることが多い。このように初期条件を揃えておけば後々の維持は容易となり、利用者サイドにおいてもヘリウム回収への意識の高さを持ってもらえるので有効であると考えている。

その他にリークディテクタを貸し出し利用者による自主的なリークテストをお願いしている。

3.4 回収配管

共同溝内の回収配管については恒久的な設備として長い間黙認してきた。しかし低温部門の高圧ガス設備の老朽化対策が取り出されている昨今、意識を見直し共同溝内の回収配管について点検を実施した。その結果、一部配管の腐食劣化が見つかり改修を余



図4. ヘリウムリーク

儀なくされた。図5が改修前と後の写真である。現在は半年に一回の自主検査時に毎回点検を行っている。

3.5 回収サブセンター

サブセンター5箇所を設置してあるガスバックの漏れ検査をした結果、3箇所のガスバックから漏れが見つかった。そのためガスバックの更新工事を行い漏れは解消した。また低温部門への送風ブロワーのベアリング部からの漏れ対策として気密性の高いベアリングに交換を実施した。

4. 取り組み② リサーチ

リサーチとは回収状況の調査のことである。定期的に回収率を把握し回収状態を掌握している。定期的な調査によって漏れ発生に対し早期発見が可能となり損失量を抑える効果がある。また容器状態を知ることによって、ヘリウム供給申込み予定や各研究室の実験状況等の情報の収集にもつながる。回収率の測定は供給のない月曜日に実施している。

回収率はサブセンター単位の流量計からみた測定とヘリウム総保有量の測定の2通りを行っている。回収率測定の場合は各サブセンターガスバック及び低温部門ガスバックを空の状態にした状態を基準として測定を行っている。測定結果は各サブセンターの回収率及び各NMRの回収状況、さらにヘリウム総保有量の結果からの減少量を計算している。なおヘリウム容器の液面測定にはカーボン抵抗を利用したポイント式液面計を使用している。総計計算表はエクセルで作成した。

腐食した配管



補修後配管



図5. 共同溝配管補修

図6に回収率測定の流れ図を示す。回収率測定の手順詳細は、(1) 分担し供給している研究室を訪問しヘリウム容器の液面を測定 (2) サブセンターのブローワーを回しガスバックを空として流量計を記録 (3) 総計データ台帳に測定データを記入 (容器の液量、サブセンター流量計、NMR 報告データ、低温部門回収ガスデータ) (4) 2台のパソコンに総計デー

タ台帳とヘリウム供給台帳を入力 (5) 2台のパソコンの総計計算処理結果の照合確認<入力ミス対策> (6) 回収率結果の検証<80%以下の回収率発生の場合は調査を実施> (7) 終了となる。

図7に調査結果の表を示す。

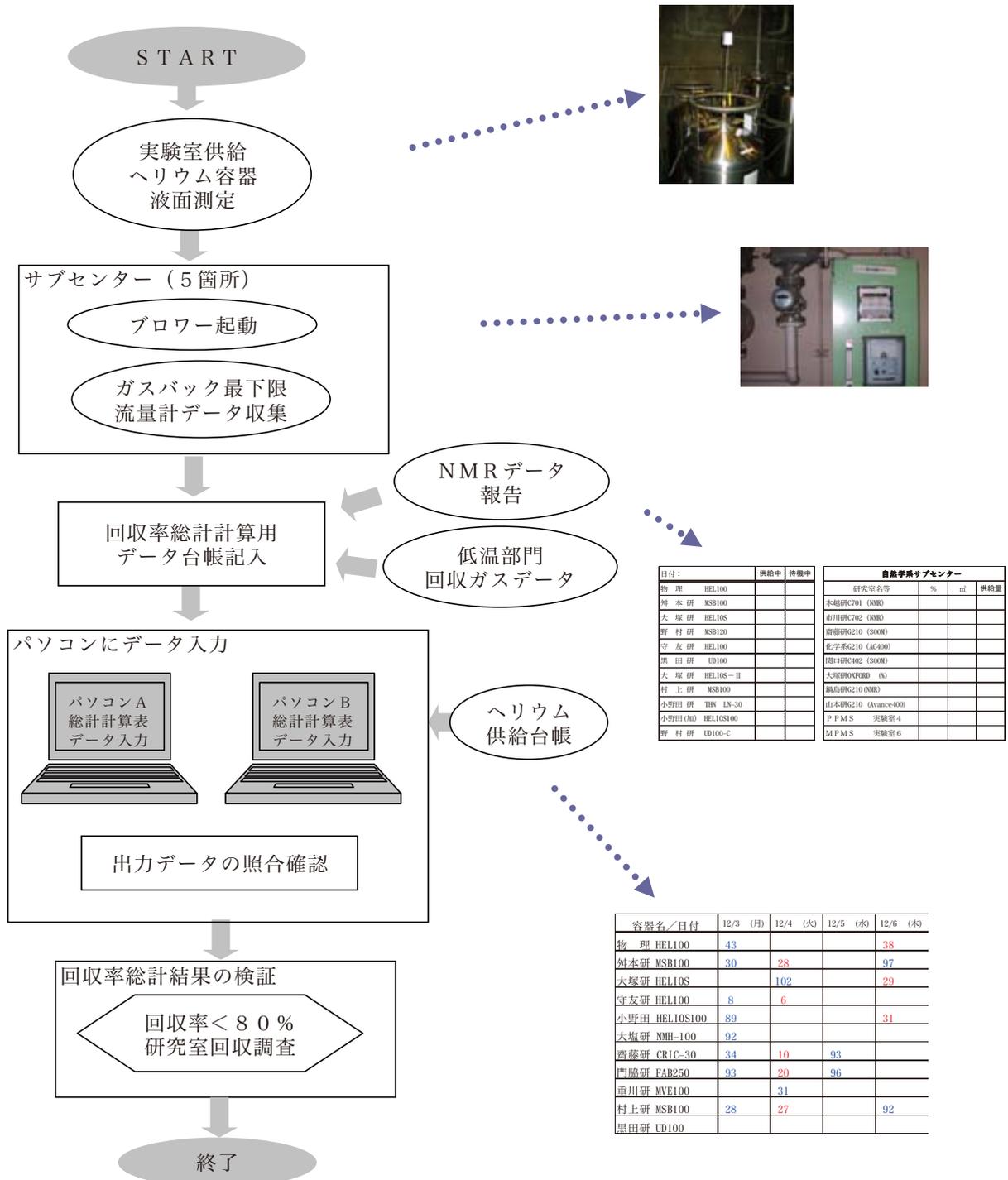


図6. 回収率測定フロー

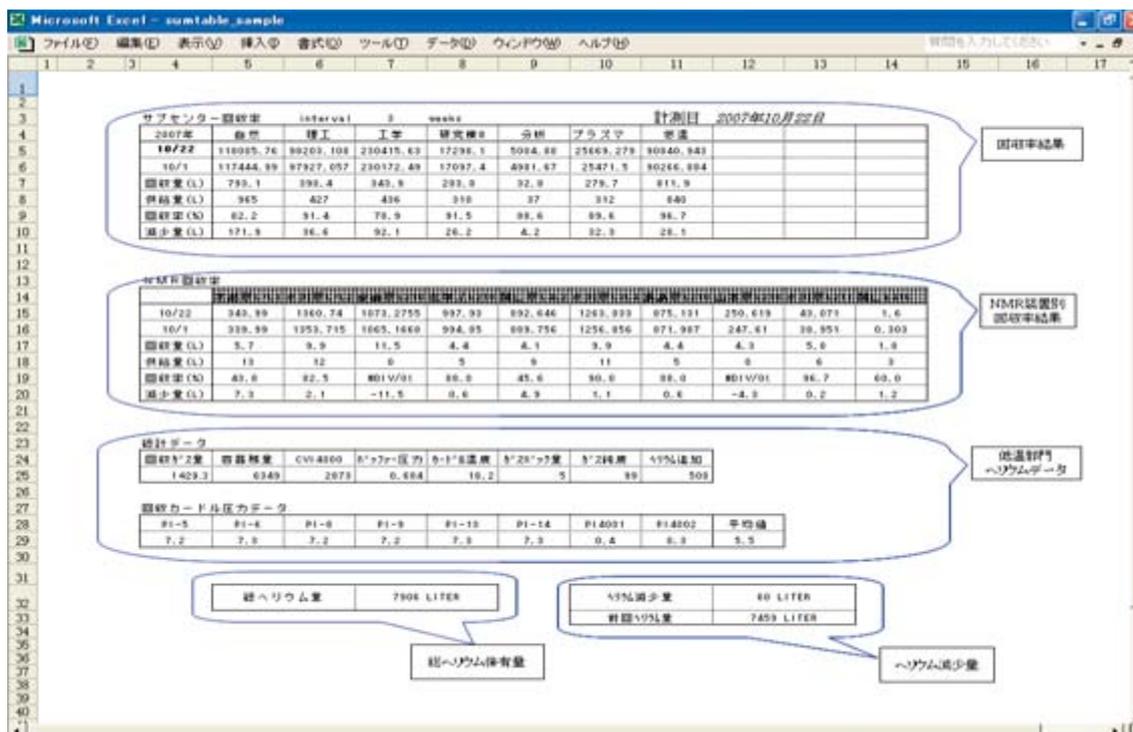


図7. 回収率測定結果

5. 取り組み③ ソフト面

ソフト面とは利用者によるトランスファー操作やヘリウム容器の取扱い上のことである。毎年新しい学生が入ってくる大学の環境なので、ヘリウム回収への関心や意識を高める必要がある。現在は研究室内での受け継ぎに委ねているが、たかがヘリウムされどヘリウムであり一研究室の漏れの発生が回収ライン全体からの漏洩に発展する怖れもあり得る。このことを踏まえて回収率測定をするため研究室訪問時には利用者とコミュニケーションを深め意識高揚を促している。図8に過去に発生したヘリウムロスを示す。

発生日	発生場所	原因	ロス量 (liter)
2007年1月	工学系G棟	マグネット装置回収ライン取り付けフロメータ回収接続口のホース割れ	31.5
2007年1月	工学系F棟	クライオスタットトランスファー挿入口ウィルソンシールOリング割れ	13.4
2004年5月	工学系M棟	ヘリウム容器移動時に回収バルブ閉め忘れ	29.9
2003年12月	工学系M棟	充填終了トランスファーチューブ引き抜き後容器トップのボールバルブを閉め忘れ	193.7
2003年6月	理修棟	NMR装置トランスファー終了後NMRトランスファー用回収バルブ閉め忘れ	152.7
2003年3月	工学系M棟	実験装置のヘリウム回収ホースの劣化割れ	38.5
2003年2月	理修棟	充填終了トランスファーチューブ引き抜き後容器トップのボールバルブを閉め忘れ	43.8
2002年12月	自然学系	ガスバック室容器置き場の回収バルブの接続間違いによりバルブ開放	72.8

図8. ヘリウムロス例

ヘリウムロスの原因が明確化したとき抑止効果の期待も含めペナルティとして追徴金を課している。

6. 回収率結果

6.1 サブセンター回収率

図9に2006年4月から2007年3月間のサブセンターの回収率のグラフを示す。グラフの変動は実験装置への充填等に関わっている。利用状況を充分把握して回収率の傾向を見極め、実際に回収率が80%割り込んだ時は速やかに原因を突き止めロスが持続しないように対処する。この定期的な回収率の調査が安定した回収率維持には必要なカギとなると考えている。

6.2 年間回収率

年間回収率は総ヘリウム保有量から計算する。計算式は

$$\text{回収率}\% = \text{回収量} / \text{供給量} \times 100$$

$$\text{回収量} = \text{供給量} - (\text{LHE 追加量} - \text{総量変化量})$$

で求める。図10が計算結果である。

7. まとめ

年間回収率は過去3年間90%以上を維持できている。定常的なヘリウムガスのロスとして、

- ①ガスバックからの透過によるロス
- ②液化機内部精製系パージによる放出ロス
- ③トランスファー時の初期ガスブローによるロス

以上3項目は避けられない損失として存在する。これに加えて操作上のミスによるロス量を考慮すると現在の93%以上の回収率は充分評価できる結果と考えている。

供給に対する低温部門のモットーは「液体はヘリウムが必要なとき、必要な量をより安い料金、安全に利用していただく」というものである。ヘリウムの供給リサイクルシステムの重要な役割である安定した回収率維持に向けて、今後もさらなる取り組みを展開して行きたい。

8. おわりに

回収システムの一つでも歯車が狂うとすぐに回収率は低下してしまいます。四六時中動いている回収システムを安定的に維持することの苦労を理解して頂ければ幸いです。また現在の回収率維持は低温部門のみの努力では為し得えません。利用者のみならずのご協力に感謝し、今後ともご協力をお願いしたいと思います。



図9. 回収率グラフ

供給量集計期間	供給量	LHE追加量	開始総量	終了総量	総量増減量	回収量	回収率
2006年度	82906 L	4161.7	7386	7290	-96	78840 L	95.1%
2005年度	69088 L	3748.5	7594	7386	-208	65548 L	94.9%
2004年度	80069 L	4225.8	7316	7594	278	75565 L	94.4%

図10. 年間回収率結果

High performance of helium-gas recovery system

Mikio Miyuchi^{a)}, Yutaka Kondo^{a)}, Shota Tsuruga^{a)}, Hiroshi Ikeda^{b)}

^{a)} Cryogenics division, Research Facility Center for Science and Technology, University of Tsukuba,
1-1-1 Tennodai, Tsukuba, Ibaraki, 305-8577 Japan

^{b)} Materials Science(Cryogenics division), University of Tsukuba,
1-1-1 Tennodai, Tsukuba, Ibaraki, 305-8577 Japan

The cryogenics division, Research Facility Center for Science and Technology, supplies liquid-helium to the laboratories in the university. Helium-gas is so expensive that the high performance of helium-gas recovery system is required. In this report we show our helium recovery system. We have achieved 93% of helium recovery rate by the system.

Keywords: helium-gas recovery

網赤血球検出のための蛍光試薬の比較検討

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

末梢血液中の網赤血球を識別するために蛍光色素の CD4K530 試薬と Thiazole orange 試薬を用いて、フローサイトメトリー測定による検出を試みた。また、その活用法として発作性夜間ヘモグロビン尿症（PNH）の形質を持つ網赤血球の分析を行いその有用性について比較検討した。

両蛍光試薬による基礎的検討では、血球との反応速度および染色後の赤血球の蛍光強度に相違が認められたが、同時再現性はともに良好であった。両蛍光試薬による CD59 陰性の PNH の形質を持つ網赤血球の検出率は、高い正の相関性 ($r > 0.99$) を認め、両者の間に有意差は認められなかった。

これらのことにより、両蛍光試薬とも幅広く網赤血球分析に有用と推察されたが、測定の際には蛍光色素の特性を考慮しながら分析を行うことが必要と思われた。

キーワード: 網赤血球、RNA 染色蛍光色素、CD4K530、チアゾールオレンジ

1. はじめに

血液中の網赤血球測定は、赤血球の産生能を把握する上で、有効な指標になることが知られている。ヒト赤血球は末梢血液中で約 120 日間の寿命を持ち、体内では、血球の崩壊と新しい血球の産生が行われ恒常性が維持されている。そのため末梢血液中には産生されてから様々な日数の赤血球が混在していることになる。網赤血球は、骨髄から放出されて間もない赤血球であり、網赤血球を対象にした測定では全血による測定と比較し、より体内循環の影響が少ない状態で赤血球を分析することができる利点がある。特に、発作性夜間ヘモグロビン尿症 (paroxysmal nocturnal hemoglobinuria, PNH) の赤血球のように体内循環中に補体による影響で溶血されやすい異常赤血球の造血病態検索には、フローサイトメトリー (flow cytometry, FCM) による網赤血球分析は優れた手法となる^[1-3]。

網赤血球は、成熟赤血球と比較し RNA 量の含有量が高く、RNA に結合し蛍光を発するような蛍光色素で処理を行えば、RNA の量に比例した蛍光強度が得られ、FCM による蛍光検出を用いて網赤血球と成熟赤血球との識別が可能となる。FCM による測定で

は、機器に備えられたレーザー光に合わせて、励起される蛍光色素を選択する必要がある。

2. 目的および方法

今回、核酸に結合する蛍光色素の中で CD4K530 試薬 (Cell Dyn 4000 System, Abbott Laboratories) と Thiazole orange (TO) 試薬 (Retic-COUNT, BD Biosciences) を網赤血球検出試薬として選択し、両蛍光試薬の網赤血球測定の反応条件について FCM による測定を行い比較した。また、その活用法として両蛍光試薬を用いて PNH の形質を持つ網赤血球を解析し、両蛍光試薬の有用性について比較検討した。

PNH 血球は、表面抗原 CD59 の発現が欠損および低下していることが知られており^[1-3]、両蛍光試薬と抗ヒト CD59PE 標識抗体 (clone: p282[H19]) (BD Pharmingen) とによる FCM の 2 カラー分析を行い、正常網赤血球と PNH の形質を持つ網赤血球を解析した^[2]。測定には、FACSsort (BD Biosciences) を用いて計測 (488 nm レーザー, FL1 検出器: BP 530/30 nm, FL2 検出器: BP 585/42 nm) を行い、Cell Quest で解析をした。

2.1 対象

蛍光試薬の基礎的検討 (経時変化、赤血球平均蛍光強度、同時再現性) については、網赤血球数の高値試料 (網赤血球数 9.4%, Cell Dyn 4000 測定) を対象とした。

両蛍光試薬の相関性については、健常人 (網赤血球数 1.2~2.2%, $n = 6$) および PNH 疾患を含む網赤血球高値試料 (網赤血球数 5.3~19.7%, $n = 6$) を対象として、PNH の形質 (= CD59 陰性) を持つ網赤血球を検出し検討を行った。また有意差については、PNH 疾患を含む網赤血球高値試料を対象とした。

2.2 網赤血球比率の経時変化

両蛍光試薬の室温反応における経時的変化を比較するために、CD4K530 試薬は添加後 75 秒間、TO 試薬は 30 分間まで、各時間ごとに赤血球 1×10^4 個を FCM で計測し、網赤血球の検出率 (%) を分析した。

2.3 赤血球の平均蛍光強度の比較

赤血球をリン酸緩衝生理食塩水（phosphate buffered saline, PBS）に浮遊させた試料を基準にして、CD4K530 試薬は 15 秒間反応後の試料、TO 試薬は 15 分間反応後における赤血球平均蛍光強度を比較した。

各試料は赤血球 1×10^4 個を FCM で計測し、成熟赤血球および網赤血球のゲート解析を行い、それぞれの平均蛍光強度の分析をした。

2.4 網赤血球比率の同時再現性

CD4K530 試薬は、15 秒間および 30 秒間反応後の試料、TO 試薬は 15 分間反応後の試料を用いた。

各試料ごとに、それぞれ 10 検体を用意し FCM で 1 検体あたり赤血球 1×10^4 個を測定して網赤血球比率（%）を解析した。平均値および変動係数（CV）を算定し同時再現性について検討した。

2.5 PNH の形質（= CD59 陰性）を持つ網赤血球の検出

健常人および PNH 疾患を含む網赤血球高値試料を用いて両蛍光試薬の相関性について検討した。抗ヒト CD59PE 標識抗体を反応させた末梢血液に、CD4K530 試薬は 15 秒間反応後の試料、TO 試薬は 15 分間反応後の試料について、FCM で赤血球 1×10^5 個を計測し 2 カラー分析による CD59 陰性網赤血球の解析を行い、相関性について算定した。

また、網赤血球高値試料の測定値を用いて両蛍光試薬の有意差検定を行った。

3. 結果

3.1 網赤血球比率の経時変化

CD4K530 試薬と TO 試薬は、赤血球との反応速度に違いが認められた。

CD4K530 試薬では、加えてから約 15 秒間までは急激に網赤血球の増加が計測されたが、その後 75 秒間までは緩慢な変化であった（図 1 (a)）。

TO 試薬は、添加後約 12 分間までは急激に網赤血球の増加が認められたが、その後の変化は少なかった（図 1 (b)）。

3.2 赤血球の平均蛍光強度の比較

両蛍光試薬の成熟赤血球の平均蛍光強度は、ともに PBS に浮遊させた赤血球の蛍光量よりも増加を示したが、TO 試薬に比較し CD4K530 試薬の方が高値であった（図 2）。

網赤血球の平均蛍光強度についても成熟赤血球と同様な傾向が認められ、CD4K530 試薬の方が高値を示した（図 2）。

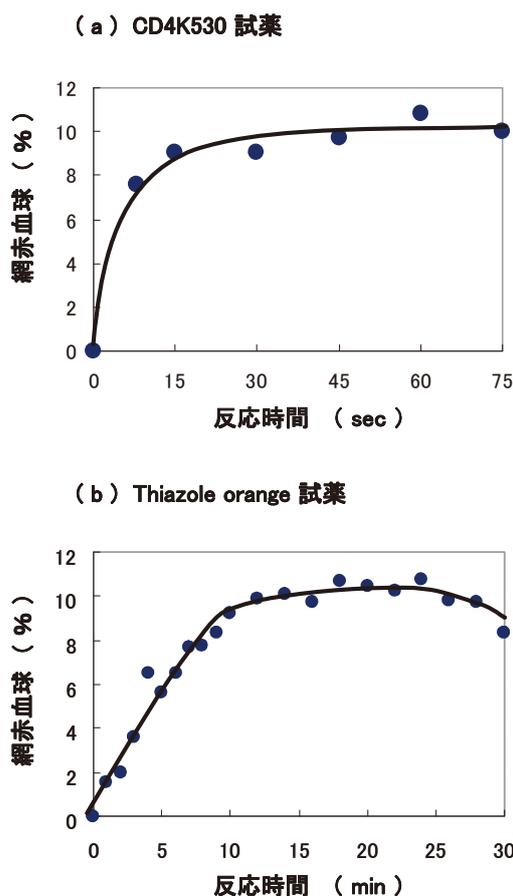


図1. フローサイトメトリー測定による網赤血球比率の経時変化。

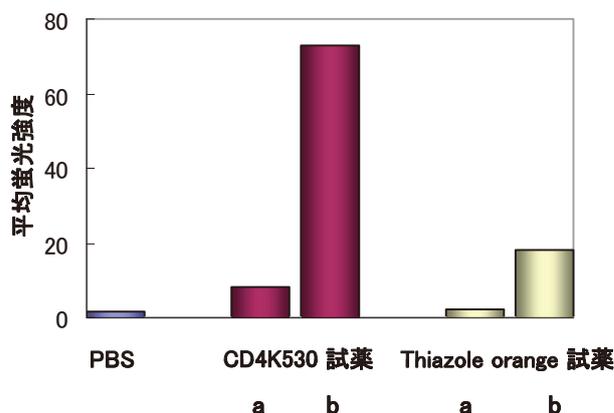


図2. フローサイトメトリー測定による赤血球の平均蛍光強度の比較。
a, 成熟赤血球 b, 網赤血球

3.3 網赤血球数の同時再現性

同一検体を 10 回連続測定し同時再現性について検討をした。

CD4K530 試薬の 15 秒間反応の試料は、CV = 1.2%、 9.73 ± 0.12 (mean \pm SD)、30 秒間反応の試料は、CV = 1.1%、 9.97 ± 0.11 (mean \pm SD) であった。

TO 試薬の 15 分間反応の試料は、CV = 2.4%、 9.71 ± 0.23 (mean \pm SD) であった。

3.4 PNH の形質 (= CD59 陰性) を持つ網赤血球の検出

健常人および PNH 疾患を含む網赤血球高値試料による PNH の形質を持つ CD59 陰性の網赤血球の検出率は、CD4K530 試薬では 0.01~83.3%、TO 試薬は 0.04~81.3% であった。この結果による両蛍光試薬の相関性は $r = 0.9997$, $y = 0.955x - 0.017$ ($n = 12$) となり、高い正の相関が認められた (図 3)。

また、網赤血球高値試料 ($n = 6$) を用いた網赤血球の CD59 陰性血球の検出率について、両蛍光試薬の有意差について検討した。この両蛍光試薬に関して有意差は認められなかった (Mann-Whitney's U test)。

4. 考察

FCM による核酸 (RNA, DNA) を検出する蛍光色素としては、pyronine Y, acridine orange, propidium iodide, CD4K530, TO 等がある。測定の際には 1 本鎖 RNA か、2 本鎖 RNA か、DNA かにより特異性が異なることがあり、分析する時には用途に合わせて蛍光色素、励起波長、検出波長を選択する必要がある。

今回、網赤血球を検出するために CD4K530 試薬と TO 試薬を用いて FCM による測定を行った。両蛍光試薬では、網赤血球検出の再現性に関してはともに良好であったが、赤血球との反応速度および染色後の蛍光強度に違いが認められた。測定には、迅速性、簡便性、正確性、精密性が求められ、また網赤血球の検出には成熟赤血球と網赤血球の蛍光強度の差が大きいものの方が良く分離され、解析をする上で信頼性が高いものになると思われる。CD4K530 試薬は、極めて短い反応時間で良好な測定ができ、蛍光強度も高い特徴が認められたが、網赤血球だけでなく成熟赤血球の蛍光強度も増加するため 2 カラー以上の分析の時には機器の蛍光補正 (compensation) のかけ方が重要になると思われた。一方 TO 試薬は、反応後の成熟赤血球の蛍光強度は CD4K530 試薬と

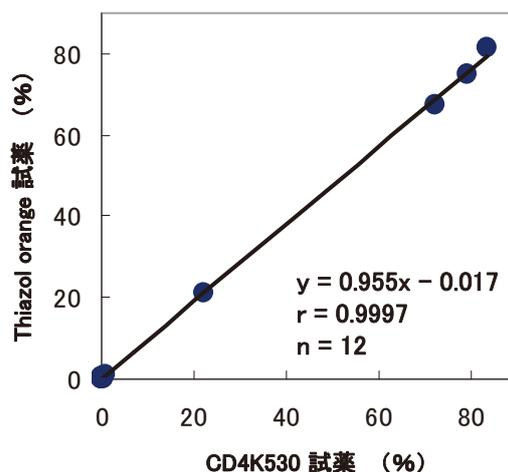


図3. フローサイトメトリー測定による CD59 陰性網赤血球比率の相関性。

比較し低く新鮮血球と比較的同等であったが、やや長い反応時間を要する特性があった。

PNH では赤血球および白血球においても細胞表面の CD59 発現の低下および欠損が認められ^[1,3]、網赤血球による検出は異常血球の検出率が全血法よりも高感度に行える利点がある^[2]。今回、末梢血の網赤血球における PNH の形質を持つ CD59 陰性血球の検出について、両蛍光試薬を用いて比較検討を行った。両蛍光試薬の測定値は高い相関性が認められた。また、異常赤血球の検出率に対する有意差も認められなかった。

これらのことにより、両蛍光試薬とも幅広く網赤血球分析に有用と推察されたが、測定の際には両蛍光色素の特性を考慮しながら分析を行うことが必要と思われた。

参考文献

- [1] 佐藤晶子, 長澤俊郎, 二宮治彦, 赤血球膜蛋白異常の検出法としてのフローサイトメトリー: 発作性夜間ヘモグロビン尿症 (PNH) の病態解析の基礎と応用, 日本膜学会誌 32 (2007) 147-154.
- [2] Sato S, Hasegawa Y, Nagasawa T, Ninomiya H, Reticulocyte-gated flow cytometric analysis of red blood cells in paroxysmal nocturnal hemoglobinuria, Lab Hematol. 12 (2006) 82-85.
- [3] 佐藤晶子, 櫻井秀子, ヒト赤血球および白血球の補体制御膜蛋白発現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.

Comparative study of fluorescent reagents for reticulocyte detection

Shoko Sato, Hideko Sakurai

Medical Branch, Academic Service Office for Comprehensive Human Sciences,
University of Tsukuba, 1-1-1 Tennodai, Tsukuba, Ibaraki, 305-8575 Japan

Detection of peripheral blood reticulocytes by flow cytometry using CD4K530 fluorescent dye and thiazole orange was attempted. Reproducibility of reticulocyte count was good for the both fluorescent dyes, but the reaction rate and fluorescence intensity of red blood cells differed. The detection rate of CD59-negative PNH-reticulocytes was also compared using the both fluorescent reagents. As a result, no significant difference was observed; high relativity was observed ($r > 0.99$) and the two fluorescent dyes were found to be useful.

Keywords: reticulocytes; RNA-stained fluorescent dye; CD4K530; thiazole orange

光ビート法による高周波の発生

松山 英治

筑波大学数理物質科学等支援室 (物性・分子工学専攻)

〒305-8573 茨城県つくば市天王台 1-1-1

概要

マイクロ波からテラヘルツにいたる電磁波は、高周波トンネル顕微鏡 (RF-STM) や近接場顕微鏡など、走査プローブ顕微鏡 (SPM) の新しい光源として有望視されている。テラヘルツ電磁波の発生に向けての第一歩として、波長が近赤外領域 1.0~2.0 μm にある 2 本のレーザービームを混合し、単一モード光ファイバを用いて非線形受光素子に導き、各々の光の周波数の差周波数をもつマイクロ波領域の電磁波を発生させた。発生した信号のスペクトル純度の計測結果から電磁波のコヒーレンスは極めて高いことが確認できた。このことから、本光ビート方法を拡張することにより、テラヘルツ電磁波の発生が可能であると期待できる。

キーワード：走査プローブ顕微鏡、テラヘルツ、光ビート、コヒーレンス

1. はじめに

従来の光にない性質、例えば、紙、プラスチックなど非金属を透過し、分子振動に対応する振動数を持ち、生体を含め材料分析上重要な領域の波長を持つ、テラヘルツ (THz) 電磁波 (電波、光) を使用した新しい分光技術が注目されている。特に微小な領域を観察する顕微分光、走査プローブ顕微鏡、近接場顕微鏡、などの最新の技術は電波・光境界領域にある光の利用が期待されている。従来からテラヘルツ電磁波の発生には多くの技術的に困難な点があり、この分光領域の光源として取扱いが簡単で高性能な (光の線幅が狭い、振動数が安定、ノイズとの振幅比が良い、振動数を広い範囲で精密に可変できる) ^[1,2] 光源はなかった。分光に使用される光には高いコヒーレンスと良好な C/N (信号光強度とバックグラウンドノイズ光強度との比) が求められる。筆者は分光の要素技術の開発と分光解析の結果に影響を及ぼす要因の研究を行っている。そこで、これらの条件を充たす電波・光境界領域の電磁波を発生させるため光ビートを用いて高周波 (RF) を発生する基礎的な実験を行った。今回は発生した信号のスペクトル純度の計測結果について報告する。

2. 装置と測定法

2.1 装置

今回使用した装置は、近赤外波長可変レーザー 2 台、光ファイバ導波路、光波長計、光受信機、スペクトルアナライザー、低雑音前置増幅器、から構成されている。近赤外波長可変レーザーは、1.0~2.0 μm の光通信波長帯域内でレーザー発振波長を精密に可変できる光発振器である。光ファイバ導波路は、光通信波長帯域内でレーザーの光を単一モードで低損失に伝送でき、各々のレーザー発振器からの 2 本の光を 1 本に混合できる機能を持つものである。光波長計は、近赤外光通信波長帯域内でレーザー発振波長を精密に計測できる測定器である。光受信機は、1.0~2.0 μm の光通信波長帯域内で 2 光波混合 (2 周波混合法) された光を受け、差周波数を出力できる非線形特性光受光素子と増幅機能を備えた光通信用の受信機である。スペクトルアナライザーは、RF 信号を周波数領域で検出して表示する測定器である。低雑音前置増幅器は、RF 信号を増幅する装置である。測定器の仕様を 2.1.1~2.1.6 に示す。

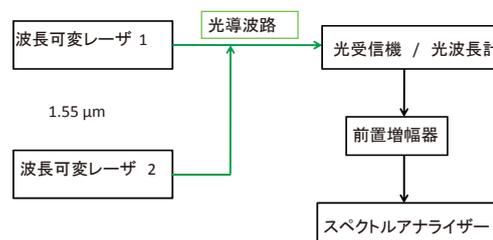


図 1. 測定装置の構成

2 周波混合法：周波数が異なる 2 つの電磁波 (光) を非線形な特性を持つ受光素子に入射させ、各々の周波数の和と差の成分を出力に生じさせる、光混合法。光、電波の表示単位：光 (n, μ) m、電波 Hz、光、電波境界領域の共通単位に明確な定めはない。

2.1.1 近赤外波長可変レーザー

外部光共振器型精密波長可変型

サンテック：RSL-210、安定度：(+,-) 0.005 nm/30 min、線幅:<500 kHz

Hewlett-Packard：:8168 F、安定度：0.001 nm、線幅:100 kHz

2.1.2 光ファイバ導波路

2 入力 1 出力光ファイバカップラ、

日本航空電子工業：DS-15-50XK-380

分岐比：45~55 %(1547,1553 nm)

過剰損失：0.25 (dB) 以下 (1.547,1553 nm)

2.1.3 光波長計

Hewlett-Packard：8120 C：1270~1650 nm、

表示解像度:0.001 nm、精度:(+,-) 2 ppm(+,-0.003 nm at 1550 nm and 1310 nm)

2.1.4 光受信機

Hewlett-Packard：11982A: Light wave converter
1200~1600 nm、変換帯域幅：15 GHz、
等価ノイズ：30 Pw \sqrt Hz

2.1.5 スペクトラムアナライザ

Anritsu：MS62B3 ~23 GHz、RBW: 1 kHz

2.1.6 低雑音前置増幅器

Anritsu：MN-2602A、

増幅帯域幅：2~8 GHz、Gain：30 dB

2.2 測定方法

実験は、マイクロ波・ミリ波領域における、電波工学上の周波数変換技術（光ビートを用い、ヘテロダインミキシングを行い光の差周波数の振動を発生する）を 1.0~2.0 μ m 領域の近赤外レーザー光に適用して実施した。具体的には、2 本のレーザー光を混合して、光通信用ファイバを用いた導波路をへて（2 光波混合法）非線形特性を持つ光受光素子に光を導き、光ビートの非線形効果ミキシングを行った^[1,2]。2 つの光の差周波数の振動数を持つ電磁波発生の手順は以下のとおりである。波長可変レーザー 1 を 1.55 μ m の波長に固定し発振させた。波長可変レーザー 2 をレーザー 1 の発振波長に合わせるように発振させた。光波長計により発振線の接近を確認した。レーザー(1, 2) の発振波長の差がマイクロ波領域で観測される信号の周波数になる。レーザー 2 の発振波長を精密に可変する（差周波数を 10 GHz 付近まで接近）。この光を単一モード光ファイバ、（3 dB 分岐、混合機能を持つ）3 dB カップラに入射し、レーザー（1, 2）の 2 本の光出力を一本の光ファイバで混合させ 2 光波を伝送し、非線形効果受光素子を持つ光受信機に導い

た。このときファイバ内の光の電界分布はレーザー（1, 2）ともに同一方向に設定されている。光受信機内で発生しているマイクロ波の出力信号を取出し RF 前置増幅器へ入力し、スペクトラムアナライザによる観測が容易な信号強度に RF 信号を増幅した。交流（AC）結合された、RF スペクトラムアナライザにより発生したスペクトルの純度を調べた。

3 結果

3.1 光波長計による計測

1270~1650 nm の計測範囲で、波長可変レーザー（1, 2）の発振線として 1550 nm 付近に 2 本観測された。図 2 はレーザー 2 の発振波長をレーザー 1 の発振波長に接近させているときの観測結果である。なお、上記の計測範囲で、レーザー（1, 2）の発振線以外の光は観測されなかった。

3.2 スペクトラムアナライザによる計測

スペクトラムアナライザで観測した図 3 の信号は、光ビートがマイクロ波領域の電磁波に変換され光受信機から出力された信号で、センター周波数 7.07 GHz、信号強度・ノイズ比：C/N 53 dBm、線幅 W：5 MHz、であった。位相ノイズは、観測した信号の中心周波数から（+,-）100 MHz の範囲で急激に減衰していた。線幅 5 MHz のスペクトル線 1 本が常に観測された。時々 2 本 15MHz の間隔内にホッピング（10 MHz の範囲に変動して希に現れる）を伴い観測された。

観測条件は、観測温度 300 K

スペクトルアナライザ設定：RBW 1 MHz

(RBW：分解能帯域幅、0 dBm = 1 mW)であった。

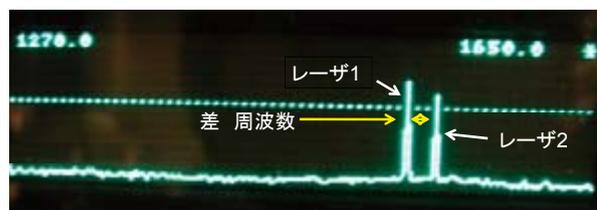


図 2. 近赤外領域レーザー（1, 2）の発振線と差周波数

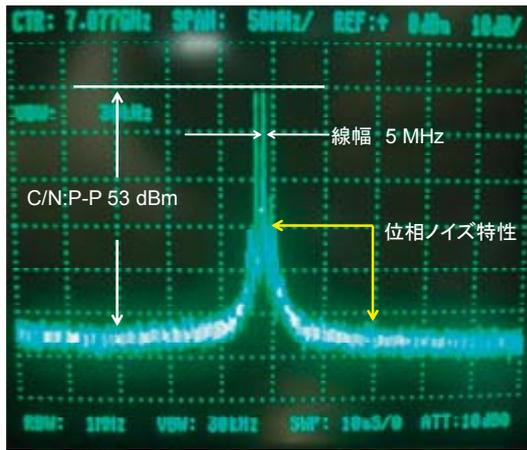


図 3. 観測されたマイクロ波領域にある RF 信号

4 考察

筆者は業務の一つとして、電子スピンの情報を得るための走査トンネル顕微鏡 (ESR-STM) を用いて、STM による分光と ESR 検出感度の向上開発に取り組んでいる。ESR における最近の技術は 100 GHz 程度の RF 信号が取り扱われ解像度の向上がはかられている。また顕微分光における、RF 技術の導入は盛んであり、テラヘルツ (THz) 分光への期待が高まっている。分光に適した極めて高い振動数の RF 電磁波が簡単に発生できれば新しい分光領域の構築が見込まれ、励起線、参照信号としてのテラヘルツ電磁波の需要は多い。2 台の波長可変レーザーが発生する光レベルの差周波数は、メガヘルツ (MHz) ~ テラヘルツ (THz) と極めて広い差周波数を連続的に発生することができる。波長可変レーザー光の発振波長を精密に可変させることで、より周波数精度の高い光ビートが作られる^[2]。この光ビートを各種の非線形効果特性を持つデバイスに照射すれば、マイクロ波からサブミリ波の電磁波を発生できる^[1,2]。実験条件の一つとして ESR-STM、の ESR 共鳴要素をもつ参照信号としてマイクロ波領域であるギガヘルツ (GHz) 帯域に光ビート周波数の設定を行ない、発生した電磁波のスペクトル純度を調べている。図 2 よりレーザー (1, 2) の発振線は良好であり、ノイズ源になりうる光は存在していない、このことは、良好な光ビートを広範囲な波長に設定できることを示している。図 3 より、観測されたマイクロ波の信号は信号強度・ノイズ比: C/N 53 dBm と 5 桁をこえる範囲にあり、線幅は W: 5 MHz、と大変良好であった。分光に使用できる電磁波の性質を備えている。まれに観測中のスペクトルにホッピングが観測されたが、これは波長可変レーザーの発振波長と線幅を高

安定化するレーザーの制御機能から生じる。ホッピングは、本実験がレーザー (1, 2) の光をヘテロダイナミクスミキシングすることによって、高精度な測定を行っているため、観測されたものと推察している。

5. まとめ

近赤外領域の波長が 1.55 μm の光は約 190 THz 付近の周波数を持つ電磁波である。2 台の近赤外波長可変レーザーにより作られた光ビートをマイクロ波の電磁波にダウンコンバージョンする (目標とする周波数まで下げる) ことが可能であり、観測された電磁波のスペクトル純度は 2 台のレーザー其々の発振線が持つコヒーレンスを含めて表されている^[2]。スペクトル純度は、5 MHz 以下の線幅を計測でき、位相ノイズに係る計測結果は 100 MHz の範囲で急峻にノイズレベルに減衰した。スペクトルの C/N 比は 53 dBm の値を計測でき、5 桁をこえる良い結果を得ることができた。スペクトルアナライザーが観測した 500 MHz のスキャン範囲にはサブスペクトルのない、純粋なビート信号 1 本のみ観測されている。これらのことから、発生した電磁波のコヒーレンスは極めて良好であり、高周波走査プローブ顕微鏡 RF-STM を始め近接場顕微鏡など SPM による新しい顕微分光に使用できるスペクトル純度を十分に備えていることが確認された。また、本光ビート法を拡張すれば、テラヘルツ電磁波の発生が可能であることが示唆された。

6. 謝辞

光ビートによる高周波の発生の実施に際し、根本承次郎 筑波大学名誉教授、筑波大学数理物質科学研究科 中村潤児 教授、重川秀実 教授、大井川治宏 講師、武内 修 講師、の多大なご指導とご鞭撻に感謝いたします。

参考文献

- [1] H. Ito, T. Furuta, Y. Hirota, T. Ishibashi, A. Hirata, T. Nagatsuma, H. Matsuo, T. Noguchi and M. Ishiguro Photonic millimetre-wave emission at 300 GHz using an antenna-integrated uni-travelling-carrier photodiode Electronics Letters 38 (2002) 989-990.
- [2] M. Musha, A. Ueda, M. Horikoshi, K. Nakagawa, M. Ishiguro, K. Ueda, and H. Ito, "A highly stable mm-wave synthesizer realized by mixing two lasers locked to an optical frequency comb generator", Optics Communications 240 (2004) 201-208.

Generation of the radio frequency signal by an optical beat method

Eiji Matsuyama

Institute of Materials Science, Academic Service Office for Pure and Applied Sciences,
University of Tsukuba, 1-1-1 Tennodai, Tsukuba, Ibaraki, 305-8573 Japan

Microwave to terahertz electromagnetic waves are considered as promising new light sources for the scanning probe microscope [SPM] such as the high frequency tunnelling microscope [RF-STM] and the near field microscope. As the first step to the generation of terahertz electromagnetic waves, two laser beams were mixed and guided through a single-mode fiber to a nonlinear detector. The wavelengths of two beams are $1.0 \sim 2.0 \mu\text{m}$ of near infrared region. The frequency of the output signal from the detector is the difference between those of two beams and is in the microwave region. It was confirmed, from the spectral purity measurement, that the coherence of the generated signal is quite high, suggesting the possibility of generating terahertz electromagnetic waves by extending this optical beat method.

Keywords: scanning probe microscopy; terahertz; optical beat; coherence

海藻物質水中採取システム

土屋 泰孝¹、佐藤 壽彦、品川 秀夫
筑波大学生命環境科学等支援室（下田臨海実験センター²）
〒415-0025 静岡県下田市 5-10-1

概要

下田市大浦湾の海底において行われた褐藻類カジメからの溶存態有機物 (DOM) 放出量測定実験において、現場調査における技術協力を行った。作業は全てスキューバ潜水により、透明ビニール袋で覆ったカジメから放出される有機物を開閉可能なコックからガラスシリンジで吸い出した。現場海底において海藻物質の水中採取を行うこのような手法は、類例のないものである。

キーワード：カジメ、潜水調査、現場採水、DOM

1. はじめに

地球温暖化の影響が拡大する現在、海洋における炭素循環を正確に推定することは大変に重要である。沿岸生態系においては大型海藻類の炭素貯留への貢献度が大きであろうと推測されてきたが、それを実際に現場計測した研究は少ない。カジメはコンブ目の大型褐藻類で、近海の沿岸海中林において最も主要な海藻類である。カジメ海中林は沿岸漁業資源である魚介類の生育場として近年その存在が重要視されており、沿岸生態系システムの働きを知るうえでも、その生態についての多面的な研究は必須であると考えられている。

筑波大学大学院生命環境科学研究科の濱健夫研究室によって2003年8月から2005年5月にかけて実施されたカジメからの溶存態有機物 (DOM) の放出量測定実験において、下田臨海実験センターの技術職員が技術協力を行ったので、これについて報告する。

2. 実験場所

静岡県下田市大浦湾の中央部に、一辺が概ね100mの投石地帯がある。これは人工藻礁及び人工漁礁として大型の礫を投入して造成されたもので、周辺の水深は7-8mである(図1)。この地点では礫上にカジメが随時自然加入して自生し、稠密なカジメ林を形成している。このカジメ林において、加入後2年以上が経過しているとみられるカジメ個体を実験対象とした。

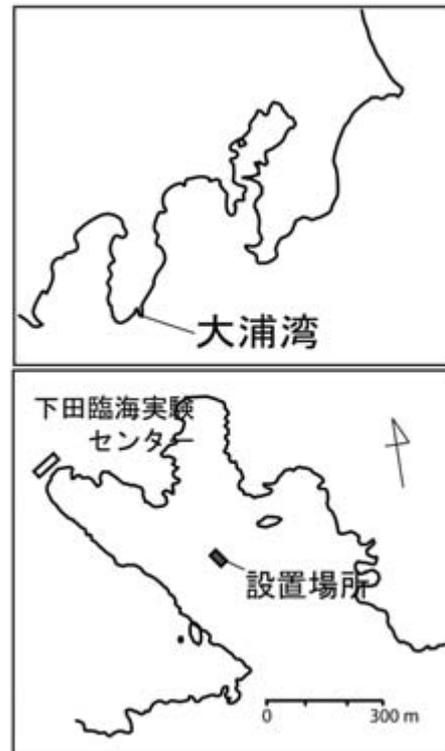


図1. 実験場所

3. 実験方法

3.1 採水用袋

縦横の長さが100cm×100cmの大型で厚手のビニール袋をカジメの袋がけに用いた。袋の底の一端にはプラスチック製の採水用コックを取り付け、コックの開閉操作によって内部の海水を抽出できるようにした(図2)。

3.2 袋掛け作業

全ての海中作業は2人1組によるスキューバ潜水によって行った。潜水して海底に到達したダイバーはDOM測定用のカジメを3個体選び、現場海水を含むように透明ビニール袋をかぶせ、茎部において袋の口をロープで結わえて閉じた(図3A)。対照実験として、カジメを含まず現場海水のみを含んだ透明ビニール袋2袋も現場付近に設置した。採水用コ

¹ E-mail: tsuchiya@kurofune.shimoda.tsukuba.ac.jp; Tel: 0558-22-6376

² <http://www.shimoda.tsukuba.ac.jp/>

ックは通常閉じておき、採水時に開いて、内部の海水を抽出できるようにした。

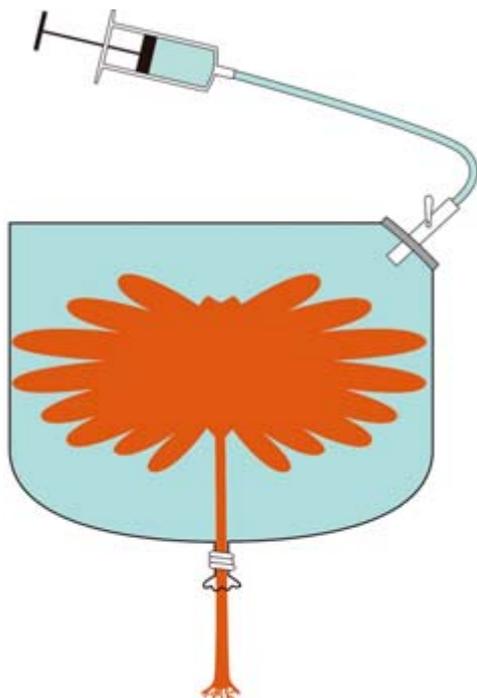


図2. カジメ袋がけに用いた採水袋の模式図
底面の一端に開閉可能なプラスチックcockを取り付けた。

3.3 試料採水方法

この袋がけ後、6-54 時間の間隔で採水を行った。ダイバーが 100 ml のガラスシリンジを持って潜り、シリンジをシリコンチューブによって袋の採水cockに接続し (図 3C)、一度接続部の混合水を吸引廃棄した後本採水を行った (図 3D)。1 回の採水量は約 20 ml であった。同じ条件での採水は 3 回ずつ行った。実験開始からの採水時間の例としては、8 月に 0 時間、5 時間、30 時間、53 時間、10 月に 0 時間、54 時間、78 時間、102 時間であった。採水サンプルは現場に待機する船上において、焼成したグラスファイバーフィルターによって速やかに濾過したのちに分析に用いた。本技術による研究の成果は、カジメより溶出する溶存態有機物の定量定性分析の結果として、既に雑誌論文として公表されている^[1]。

4. 考察

今回の実験から、この採水袋に関して、次のような点に改善を要すると思われた。採水袋内の海水は、最後に船上に引き揚げたが、その際に重量が重く、作業が難航したため、袋容積を小型化する、海藻の袋がけ時の現場海水量を減じる、海面から船上への引き揚げ方法を改良するなどの対策を講じる必要がある。また、小型フグ類のキタマクラにビニール袋

を齧られて穴が開くことがあったので、今後は袋の厚みを増すか、袋を二重にするなどの工夫が必要である。

また、ガラスシリンジは水中での扱いに慎重を要するうえに多数を運ぶことが困難であったため、プラスチックのシリンジを採用したり、シリンジの運搬ケースを作成したりするなどの対処法も考えられる。ダイバーの上下昇降回数を減じ、船上作業の研究者との連絡をスムーズに行えるように、作業手法にさらなる改良を加えたい。

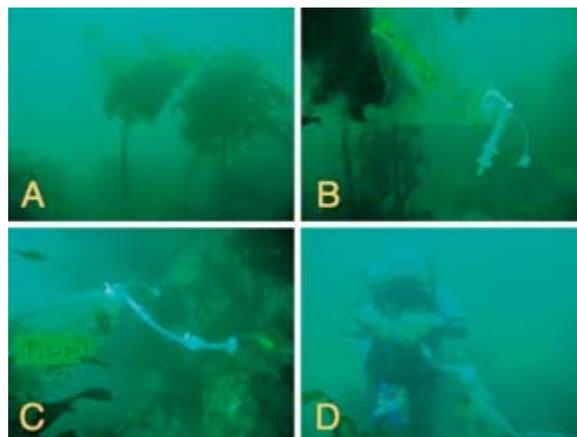


図3. A: 袋がけしたカジメ (左) と袋がけしていないカジメ (右) ; B: 採水cockの構造 ; C: 採水cockにシリンジを接続した状態; D: ダイバーによる採水の様子。

5. まとめ

沿岸海洋で行われている研究の主体は船舶からの計測機器や採集具を用いた調査によるもので、潜水者による作業を中心とした現場計測調査は、未だに少ない。水深 10 m 以浅の沿岸部海底であれば、無減圧のスキューバ潜水によって 1 時間以内の作業であれば容易に行うことができる。我々の所属する下田臨海実験センターには船舶と潜水支援施設が完備されており、海中における現場研究の支援に最適の環境となっている。今回行われたカジメの溶存態有機物 (DOM) の放出量測定実験のデータは、濱研究室の和田らによって速やかに海洋生態学関係の国際誌に論文投稿され、その内容の重要性によって直ちに受理された。また、続編の論文についても、現在投稿中である。今後このような現場研究の支援を行う機会をさらに得たいと考えている。

参考文献

- [1] S. Wada, M.N. Aoki, Y. Tsuchiya, T. Sato, H. Shinagawa, T. Hama, Quantitative and qualitative analyses of dissolved organic matter released from *Ecklonia cava* Kjellman, in Oura Bay, Shimoda, Izu Peninsula, Japan, J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 349 (2007) 344-358.

A novel *in situ* underwater sampling method for algal DOM

Yasutaka Tsuchiya, Toshihiko Sato, Hideo Shinagawa

Shimoda Marine Research Center, University of Tsukuba,
5-10-1 Shimoda, Shizuoka, 415-0025 Japan

In the *in situ* survey of dissolved organic matter (DOM) released from the kelp *Ecklonia cava* in Oura Bay, Shimoda, Shizuoka, Japan, technical assistance for the underwater sampling was provided. There has not been such underwater *in situ* study on the algal DOM. All underwater operations were carried out by scuba diving. Individual plant was covered by a transparent plastic bag containing the ambient seawater, and the open end of the bag was tied up at the algal stipe. Water samples in the bags were collected at intervals of 6-54h using 100 ml glass syringes inserted through the sampling mouth which was equipped with a valve.

Keywords: *Ecklonia cava*; underwater survey; *in situ* sampling; DOM

筑波大学技術報告 No. 28
第7回筑波大学技術職員技術発表会報告集

平成20年3月発行

編集 筑波大学技術報告編集委員会
第7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
電話 029(853)5195

第7回筑波大学技術職員技術発表会実行委員会

実行委員長

水林 博 筑波大学副学長（研究）

実行委員

[システム情報工学等支援室]

中島 孝 （実行委員代表）

高野澤 勝美 （支援室長）

鈴木 清 （室長補佐）

鈴木 秀則

澤村 博道

川上 彰

小野 雅晃

山形 朝義

[数理物質科学等支援室]

平田 久子

鶴見 明

淀縄 文男

伊藤 伸一

[生命環境科学等支援室]

横田 誠司

有本 光江

清水 雅浩

[人間総合科学等支援室]

小林 浩三 （医学支援室）

菅江 則子 （医学支援室）

林 剛人丸 （体芸支援室）

[研究基盤総合センター]

内田 豊春 （工作部門）

高橋 努 （応用加速器部門）

大和 良広 （応用加速器部門）

近藤 裕 （低温部門）

オブザーバ

[生命環境科学等支援室]

今野 均 （農林技術センター）

本間 毅 （農林技術センター）