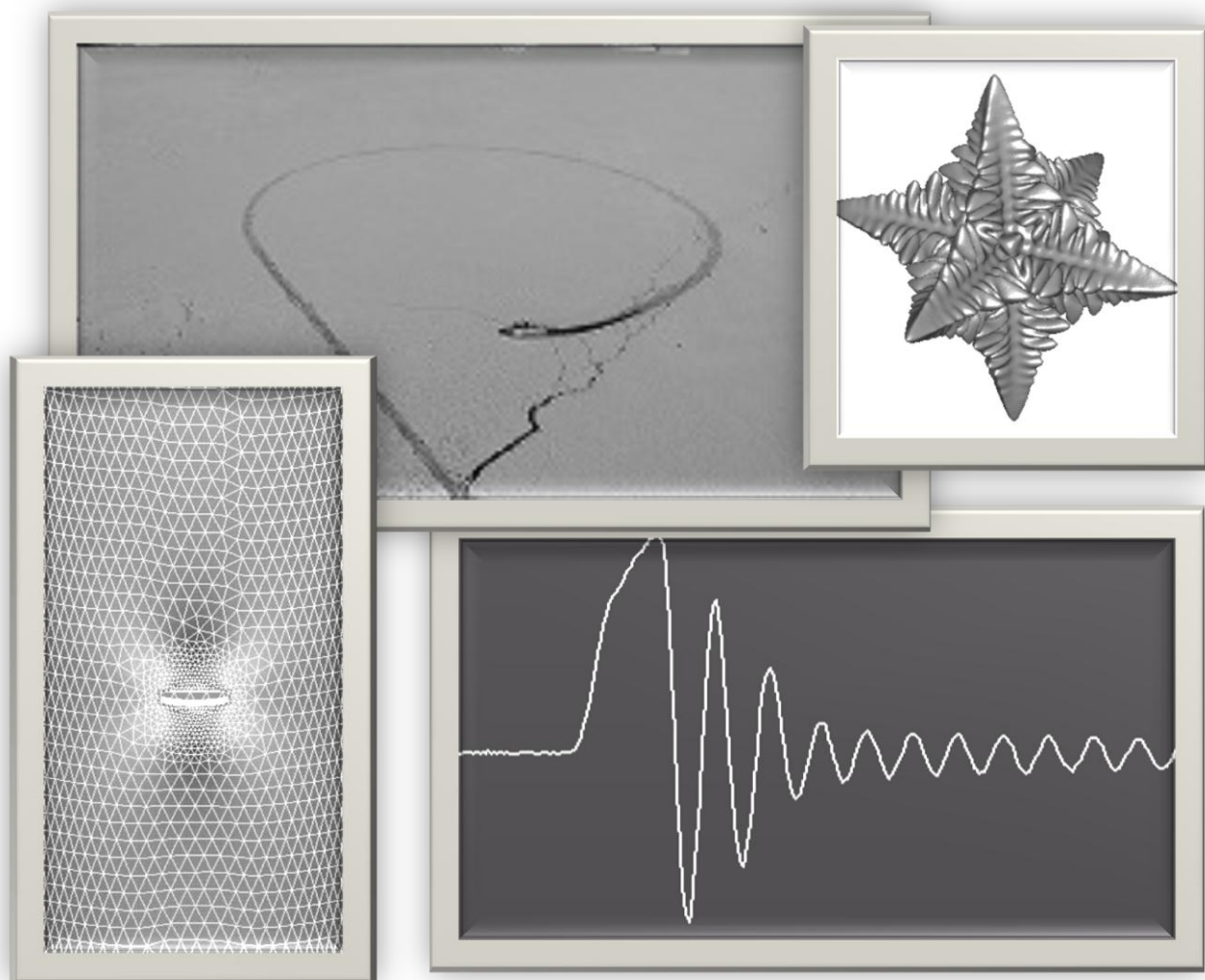


技術報告



2011.9.16

第26回 東京大学 工学部・工学系研究科 技術発表会

Proceeding of 26th Technical Symposium

Graduate School of Engineering, The University of Tokyo

	<p style="text-align: center;">技術発表会の開催趣旨</p> <p>工学部・工学系研究科に働く技術系職員は、専門技術を持って技術業務や技術開発および学生・院生の技術指導等に従事し教育・研究に多大な貢献をしている。</p> <p>それらの専門技術を科学技術の発展に即した大学づくりや社会に開かれた大学づくりの一助とするとともに、技術水準の向上と技術の継承および推進する目的で技術発表会を開催する。</p>
	<p>表紙デザイン 技術報告本文より抜粋</p> <p>Fe-C 合金デンドライトの二次元、三次元解析結果</p> <p>『マテリアル工学専攻:技術職員の役割』</p> <p style="text-align: right;">マテリアル工学専攻 市毛健一、江口敬祐、生出博巳、小口かなえ、杉田洋一、田中和彦、 中村光弘、永山直樹、西村知紀</p> <p>応力解析結果のメッシュの様子</p> <p>『大規模並列有限要素法解析ツール「ADVENTURE システム」による応力解析』</p> <p style="text-align: right;">システム創成学専攻 川手秀樹</p> <p>LabVIEW でのデータ集録</p> <p>『LabVIEW を用いた計測データの集録・解析技術の習得』</p> <p style="text-align: right;">航空宇宙工学専攻 関根政直</p> <p>水中旋回性能試験の航跡空撮</p> <p>『南極海における氷海航行性能試験の紹介』</p> <p style="text-align: right;">システム創成学専攻 土屋好寛</p> <p>ポスターデザイン</p> <p style="text-align: center;">インターネットフリー画像素材サイト EyesPic より http://eyes-art.com/pic/</p> <p style="text-align: center;">構成 化学システム工学専攻 加古陽子(広報担当)</p>

巻頭言

工学系研究科長・工学部長
北森武彦

3月11日の東日本大震災は千年に一度とも言われる未曾有の大災害と言われています。全世界の人々がテレビやインターネットでその様子を目の当たりにして、自然の猛威に茫然と立ち尽くししかありませんでした。それに続いて、複数の原子力施設の同時事故と火力発電所の停止、さらには電力供給危機、サプライチェーンの寸断と生産システムの機能不全など、我が国は国家的危機に直面しています。このような状況の中で、私たち大学人は何をすべきか、東大の教職員学生の皆さんがそれぞれの立場で、また、立場を超えて話し合い、行動しなければなりません。工学系研究科の各専攻を代表する教員が集まって、連休返上で話し合い、小冊子「震災後の工学は何をめざすのか」にまとめました。この小冊子には、電力・エネルギー、原子力工学、都市・地域の復興と再生について、短期的なアクション、中期的なプラン、長期的なビジョンがまとめられ、そして工学の新しい方向について言及されています。工学に携わる大学人として、正確な情報把握、冷静な判断、的確な計画立案が求められ、客観的に科学的根拠を持って、何をどう取り組むべきかを冷静に述べるのが大切です。機会があれば是非ご覧ください。

第26回の工学部・工学系研究科の技術発表会を迎えられ、平素からの業務の成果を発表し合い、意見を交わし、また、互いを知り合い人と人のネットワークを広げられるように期待しています。さらに、平素の業務に加えて、震災と工学についてそれぞれの立場で話し合い、意見を交換する場としてもよい機会になるのではないかと思います。

技術部の皆さんの協力と貢献に感謝し、また、一層の発展を祈念して巻頭言と致します。

第26回工学部・工学系研究科技術発表会の開催にあたって

技術部長 近山隆

工学部・工学系研究科技術発表会は工学部における学部教育と工学系研究科の大学院教育、並びに工学系研究科の研究業務・管理運営業務に関連した技術職員の成果を学内外に向けて報告する発表会です。工学部・工学系研究科という広範な分野にわたる研究教育活動を行う大きな組織の中で、技術職員は研究、技術、管理、運営のさまざまな分野において、実に多様な業務を担っております。この発表会ではこの一年間に遂行してきた業務とその改善努力の一端をご報告いたします。最先端研究を支えるのに不可欠な業務もあれば、次世代の技術者を養成するのに不可欠な教育や運営を円滑に進める業務、伝統ある技術にさらに磨きをかけて研究教育管理運営にフィードバックする業務など、さまざまな業務における努力の成果を発表すると同時に、こうした業務の一層の向上に資すべく行ってきた研修の成果についてもご報告いたします。

3月に起きた東日本大震災とそれによって引き起こされた原子力発電所の事故と電力需給の逼迫は、国民生活全般に多大な影響を与えています。わが国の産業に与える影響も大きく、技術の教育・研究についても改めて考える必要がある部分が少なくありません。本年度の技術発表会では「技術の役割・今できること ―東日本大震災を例として―」と題した特別企画を設け、この状況で技術が果たせる役割について議論していきます。

この技術発表会を通じて、私ども技術部構成員のこうした多様な業務と活動をお知り頂き、活発なご議論や忌憚の無いご意見を頂くことによって、目的に向けてさらに前進していく体制を築いていけるよう、ご指導ご鞭撻を賜りたく存じます。

また今回は、「国産飛行機誕生から100年、国産航空機の現状と将来」と題した特別講演を、航空宇宙工学専攻の鈴木真二教授にお願いしています。わが国の航空機産業のこれまでと今後について、貴重なお話をいただけるものと思います。

最後に、このイベントを取りまとめた浅川武実行委員長をはじめとする実行委員および関係各位のご努力に感謝申し上げます、また、ご多用のところをご参加頂きました皆様に厚く御礼申し上げます。

国産飛行機誕生から100年、国産航空機の現状と将来

鈴木 真二

東京大学大学院工学系航空宇宙工学専攻教授

本年は、1911年に国産飛行機が初飛行に成功して100年目にあたります。国産飛行機の開発には東京大学が深く関わっていました。そうしたルーツから、現在の国産機開発、さらに今後の研究開発動向を概観してみたいと思います。

ライト兄弟が初飛行に成功したのは1903年でしたが、兄弟が公開飛行を行ったのは1908年のことで、日本で飛行機のことを広く知られるようになったのは、1909年にフランス人が英仏海峡横断飛行に成功した後でした。そして、日本での初飛行は1910年12月のことで、徳川・日野両大尉が代々木公園においてフランスとドイツから輸入した飛行機を初飛行させました。ただし、その前年に、フランス大使館に滞在中のル・プリウールが田中館（たなかだて）東大理学部教授と協力し、12月にグライダーを上野不忍池で飛行させています。これが刺激となり、国産機の開発が何人かのパイオニアによって開始されました。その中で、最初の国産飛行機とされているのは、1911年5月5日に所沢で初飛行に成功した奈良原三次の機体です。奈良原氏は東大工学部を卒業後海軍で飛行船や飛行機の研究を行い、その後、個人的に1号機を完成させますが、エンジンの出力不足のため、初飛行には至りませんでした。その後、徳川・日野機の修理を担当し、その経験が2号機の完成に役立ちました。この時には、奈良原氏は海軍を離れていましたので、最初の国産民間飛行機とされています。この後、奈良原氏は民間飛行場や操縦学校の開設を行ったものの民間機開発は軌道には乗りませんでした。それは、政府が国産機開発ではなく、海外機導入の方針を選んだためでした。こうした状況を嘆いた田中館教授は、1918年、東大に航空研究所を、その後、東大工学部に航空学科を開設し、航空の基礎研究と教育に力をいれました。その効果は着実に実を結び、1938年には研究所で開発された研究機が周回航続距離と1万kmコース平均速度の2つの世界記録を樹立しました。

ただ、第二次世界大戦敗戦後、国産機開発は再び振り出しに戻りました。連合国が、航空に関する全ての活動を禁じたのです。航空技術者は、列車や自動車の開発で力を発揮したのですが、飛行機開発の再開は航空技術者、そして国民の夢となり、それを実現したのが戦後初の国産旅客機YS-11でした。1962年に初飛行し、1973年の製造停止まで182機が製造され世界各国で使用され、日本の技術の優秀さを世界に示しました。日本は、その後、海外メーカーとの共同開発の道を選び、今年中には就航が予定されるB787の炭素繊維複合材料主翼は、日本の企業が設計、製造します。こうした優れた技術を基に、100席クラス以下の国産ジェット旅客機MRJが、2012年の初飛行を目指し、三菱航空機（株）で製造が進んでいます。

振り返ると、田中館教授が重視した基礎研究と教育が現在にまで息づいていると言えます。航空研究所は、様々な経緯を経て、「はやぶさ」を開発したJAXAの宇宙科学研究所に繋がっています。日本は、製造分野において海外の激しい追い上げを受けています。これまでのように、海外の技術を、安く作り、性能を向上させて利益を上げることが困難になってきています。日本人の緻密な開発能力を航空宇宙のように高度で価値の高い開発に活かすことが求められます。そのためにどのような研究が今後求められるかを当日は議論したいと思います。



航空100年の記念切手（日本郵便）

Graduate school of Engineering, the University of Tokyo
26th Technical Symposium

第26回

東京大学工学部・工学系研究科

技術発表会

2011年 9月 16日(金)
9:30~17:30

工学部2号館 212号講義室・フォーラム

口頭発表・ポスター発表

特別企画・特別講演

～ 特別企画 ～

10:40~12:00

技術の役割・今できること

—東日本大震災を例として—

～ 特別講演 ～

13:00~14:00

国産飛行機誕生から100年、
国産航空機の現状と将来

鈴木 真二教授

(航空宇宙工学専攻)

～ 懇親会 ～

18:00~20:00

工学部2号館工学部展示室

(参加費3,000円)

主催：東京大学工学部・工学系研究科技術発表会実行委員会

〒113-8656 東京都文京区本郷7-3-1

東京大学工学系研究科技術部気付 技術発表会実行委員会

E-mail ; 2011tse@tse.t.u-tokyo.ac.jp

第 26 回東京大学工学部・工学系研究科 技術発表会

主催：東京大学工学部・工学系研究科（技術発表会実行委員会）

日時：2011 年 9 月 16 日（金）9:30～17:30

会場：工学部 2 号館 212 号講義室

プログラム

- | | | | |
|----------------------------------|-------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|
| <p>【開会の挨拶】
9:30～9:45</p> | <p>工学系研究科長挨拶
技術部長挨拶</p> | <p>司会： 実行委員長
研究科長
技術部長</p> | <p>浅川 武
北森 武彦
近山 隆</p> |
| <p>【セッション 1】
9:45～10:00</p> | <p>南極海における氷海航行性能試験の紹介</p> | <p>司会： 機械工学専攻
システム創成学専攻</p> | <p>浜名 芳晴
土屋 好寛</p> |
| <p>10:00～10:15</p> | <p>ロボットの仕組みと制御の基礎を学ぶ
情報理工・知能機械情報学</p> | <p>機械工学実験・ロボットによるライントレース I
○長阪 恵里 田中 雅行 永井おりが
中垣 好之 齋藤 正光 山口真奈美</p> | |
| <p>10:15～10:30</p> | <p>全機械式手動卓上万能試験機的设计
システム創成学専攻</p> | <p>○金井 誠 吉田 二郎 森田 明保</p> | |
| 休憩 (10 分) | | | |
| <p>【特別企画】
10:40～12:00</p> | <p>「技術の役割 今出来ること ー東日本大震災を例としてー」</p> | <p>司会： 原子力工学専攻
応用化学専攻</p> | <p>助川 敏男
坂下 春</p> |
| 話題提供 | | | |
| 福島第一原発事故に伴う放射線モニタリング ー東海村より報告ー | | | |
| | 原子力専攻 | 澤幡 浩之 | |
| | 製作可能な放射線検出器 | システム創成学専攻 | |
| | 静電加速器と地震 | 原子力国際専攻 | |
| | 節電のための小電力サーバー導入実験と仮想化による計算機の削減 | 電気系工学専攻 | |
| | | 高橋 登 | |
| 総合討論 | | | |
| 休憩・昼食 | | | |
| <p>【特別講演】
13:00～14:00</p> | <p>「国産飛行機誕生から 100 年、国産航空機の現状と将来」</p> | <p>司会： 技術部長
航空宇宙工学専攻</p> | <p>近山 隆
鈴木 真二</p> |
| 休憩 (10 分) | | | |
| <p>【セッション 2】
14:10～14:25</p> | <p>GPS 測量機器の測量作業と計測結果から地下水面等深線図の作成</p> | <p>司会： システム創成学専攻
システム創成学専攻</p> | <p>玉田 康二
茂木 勝郎</p> |

14:25～14:40 OpenVPN を用いた建物間のネットワーク接続について システム創成学専攻 榎本 昌一

14:40～14:55 既存ネットワークに接続するための VPN の構築 電気系工学専攻 高橋 登
休憩 (10分)

【計測・制御 G セッション】 司会： 航空宇宙工学専攻 奥抜 竹雄
15:05～15:20 LabVIEW を用いた計測データの集録・解析技術の習得 航空宇宙工学専攻 関根 政直

15:20～15:35 LabVIEW を使用した画像取得・画像処理技術の習得 システム創成学専攻 鈴木 誠

15:35～15:50 圧電アクチュエータの変位制御と能動制御の試行 機械工学専攻 石川 明克

休憩 (10分)

【ポスターセッション・展示】

16:00～17:00

(グループ)

マテリアル工学専攻：技術職員の役割

マテリアル工学専攻 市毛 健一 江口 敬祐 生出 博巳
小口 かなえ 杉田 洋一 田中和彦
中村 光弘 永山 直樹 西村 知紀

電気系工学科 3 年次の学生実験—オシロスコープ

電気系工学専攻 千葉 新吾 高橋 登
鈴木 真一 高田 康弘

工学系研究科における無線 LAN の展開

情報システム室 荒木 哲郎 山崎 一彦 近藤 元秀

ロボット工学演習のアンケートと評価 機械工学実験・ロボットによるラインレース II

情報理工・知能機械情報学 長阪 恵里 田中 雅行 永井おりが
中垣 好之 齋藤 正光 山口真奈美

Participation in the English class for staffs from the TOKAI

Nuclear Engineering SUKEGAWA Toshio
YOSHIZAKO Tomoe YASUMI Atsushi

化学・生命系：生命工学実験及び演習 応用化学専攻 坂下 春 化学生命工学専攻 鳥越 裕介

インシデント発生時対応の LAN 設置と管理

システム創成学専攻 茂木 勝郎 榎本 昌一 玉田 康二
都市工学専攻 中川 博之
応用化学専攻 坂下 春

ウィルス対策ソフトの活用法

システム創成学専攻 茂木 勝郎 榎本 昌一 玉田 康二
都市工学専攻 中川 博之
応用化学専攻 坂下 春

(個人)

大規模並列有限要素法解析ツール「ADVENTURE システム」による応力解析	システム創成学専攻	川手 秀樹
一方向 CF/PP 材の引張り試験時の失敗学	システム創成学専攻	大澤 勇 森田 明保 金井 誠
電子線マイクロアナライザー(EPMA)の基本原理を学ぶ	マテリアル工学専攻	中村 光弘
EDTA 滴定法による鉛フリーはんだ中のスズの測定における妨害の検討	応用化学専攻	藤村 一良
燃焼イオンクロマトグラフィーによるフッ化物の定量	応用化学専攻	藤村 一良 栄 慎也 浅野 功久
放射線測定器の使用法	安全衛生管理室	大久保 徹
化学・生命系：物理化学実験及び演習	応用化学専攻	高橋 信男
CFRP 製インフレーター構造物の試作	航空宇宙工学専攻	小林 やよい
造船におけるレーザースキャナの応用と点群処理について	システム創成学専攻	榎本 昌一
LabVIEW による放電加工機自作の試み	精密機械工学専攻	齋 治男
雷電流センサーの検討	原子力国際専攻	安本 勝
PIXE 法による元素の定量のための測定システムの製作と簡易評価技術の修得	原子力国際専攻 システム創成学専攻	森田 明 川手 秀樹

【表彰式】	司会：	実行委員長	浅川 武
17:15～17:30	「研究科長賞」	授与：	研究科長 北森 武彦
	「技術部長賞」「ポスター賞」	授与：	技術部長 近山 隆
【閉会の挨拶】			
17:30～17:40		技術部長	近山 隆
【懇親会】			
18:00～20:00	工学部展示室：工 2 号館（参加費 3,000 円）		

【目次】

題 目	所属（専攻）	執筆者	頁
【口頭発表】			
1 南極海における氷海航行性能試験の紹介	システム創成学専攻	土屋好寛	1
2 ロボットの仕組みと制御の基礎を学ぶ 機械工学実験・ロボットによるラインレース I	情報理工学系研究科・ 知能機械情報学専攻	長阪恵里 田中雅行 永井おりが 中垣好之 齋藤正光 山口真奈美	5
3 全機械式手動卓上万能試験機的设计	システム創成学専攻	金井誠 吉田二郎 森田明保	9
4 福島第一原発事故に伴う放射線モニタリング — 東海村より報告 —	原子力専攻	澤幡浩之	13
5 製作可能な放射線検出器	システム創成学専攻	細野米市	17
6 静電加速器と地震	原子力国際専攻	中野忠一郎	21
7 節電のための小電力サーバー導入実験と 仮想化による計算機の削減	電気系工学専攻	高橋登	25
8 GPS測量機器の測量作業と計測結果から 地下水等深線図の作成	システム創成学専攻	茂木勝郎	29
9 OpenVPNを用いた建物間のネットワーク接続について	システム創成学専攻	榎本昌一	33
10 既存ネットワークに接続するためのVPNの構築	電気系工学専攻	高橋登	37
11 LabVIEWを用いた計測データの集録・解析技術の習得	航空宇宙工学専攻	関根政直	39
12 LabVIEWを使用した画像集録・画像処理技術の習得	システム創成学専攻	鈴木誠	41
13 圧電アクチュエータの変位制御と能動制御の試行	機械工学専攻	石川明克	45
【ポスター発表】			
(グループ)			
14 マテリアル工学専攻:技術職員の役割	マテリアル工学専攻	市毛健一 江口敬祐 生出博巳 小口かなえ 杉田洋一 田中和彦 中村光弘 永山直樹 西村知紀	49
15 電気系工学科3年次の学生実験 — オシロスコープ	電気系工学専攻	千葉新吾 高橋登 内田利之 高田康宏	53

16	工学系研究科における無線LANの展開	情報システム室	荒木哲郎 山崎一彦 近藤元秀	55
17	ロボット工学演習のアンケート評価 機械工学実験・ロボットによるライントレース II	情報理工学系研究科・ 知能機械情報学専攻	長阪恵里 永井おりが 中垣好之 田中雅行 齋藤正光 山口真奈美	59
18	Participation in the English class for staffs from the TOKAI	Nuclear Engineering	SUKEGAWA Toshio YOSHIZAKO Tomoe YASUMI Atsushi	63
19	化学・生命系:生命工学実験及び演習	応用化学専攻 化学生命工学専攻	坂下春 鳥越裕介	67
20	インシデント発生時対応のLAN設置と管理	システム創成学専攻 応用化学専攻 都市工学専攻 システム創成学専攻	茂木勝郎 坂下春 中川博之 榎本昌一 玉田康二	71
21	ウイルス対策ソフトの活用法	応用科学専攻 都市工学専攻 システム創成学専攻	坂下春 中川博之 榎本昌一 茂木勝郎 玉田康二	73
(個人)				
22	大規模並列有限要素法解析ツール 「ADVENTUREシステム」による応力解析	システム創成学専攻	川手秀樹	77
23	一方向CF/PP材の引張り試験時の失敗学	システム創成学専攻	大澤勇 森田明保 金井誠	81
24	電子線マイクロアナライザ(EPMA)の基本原理を学ぶ	マテリアル工学専攻	中村光弘	85
25	EDTA滴定法による 鉛フリーはんだ中のスズの測定における妨害の検討	応用化学専攻	藤村一良	89
26	燃焼イオンクロマトグラフィーによるフッ化物の定量	応用化学専攻	藤村一良 栄慎也 浅野功久	91
27	放射線測定器の使用方法	安全衛生管理室	大久保徹	93
28	化学・生命系:物理化学実験及び演習	応用化学専攻	高橋信男	95
29	CFRP製インフレーター構造物の試作	航空宇宙工学専攻	小林やよい	97
30	造船におけるレーザースキャナの応用と点群処理について	システム創成学専攻	榎本昌一	99
31	LabVIEWによる放電加工機自作の試み	精密工学専攻	齋治男	103
32	雷電流センサーの検討	原子力国際専攻	安本勝	105
33	PIXE法による元素の定量のための 測定システムの製作と簡易評価技術の修得	原子力国際専攻 システム創成学専攻	森田明 川手秀樹	109

【原稿発表】

34	第1種作業環境測定士(有機溶剤, 特定化学物質, 金属類)登録	工学系等安全衛生管理室	平川拓洋	113
35	高温化学種採取プローブの製作コスト削減の工夫	航空宇宙工学専攻 マテリアル工学専攻	内海正文 杉田洋一 市毛健一 奥抜竹雄	117
36	平成22年度 熊本大学総合技術研究会参加報告	システム創成学専攻	金井誠	121
37	高速高温気流からのサンプルガス採取機構の開発	航空宇宙工学専攻	内海正文 奥抜竹雄	123
		日本大学生産工学部	今村宰	
38	玉掛け技能講習および 小型移動式クレーン運転技能講習の資格取得	システム創成学専攻	茂木勝郎	127
39	YAG&MOPOレーザー管理	航空宇宙工学専攻	内海正文	129
40	太陽電池を用いたビームロスモニター	システム創成学専攻 原子力国際専攻	細野米市 上田徹 尾亦孝男	133
41	教育支援教材等によるLabVIEWの基本技術の学習	航空宇宙工学専攻	松永大一郎	135
42	バーチャル計測器を用いたアナログ回路演習の一例	機械工学専攻	浅川武	139
43	高調波ノイズ対策方法あれこれ (I)	原子力国際専攻	安本勝	141
44	高調波ノイズ対策方法あれこれ (II)	原子力国際専攻	安本勝	145
45	計装化アイゾッド衝撃試験法による 一方向CF/PP材の破壊モードに関する知見	システム創成学専攻	大澤勇 森田明保 金井誠	149
46	平成22年度熊本大学総合技術研究会に参加して	マテリアル工学専攻	中村光弘	153
47	内容不明な実験廃棄物の分析と処理2010	応用化学専攻	栄慎也	155
48	技術職員集合型研修カリキュラムの開発と実施	応用化学専攻	栄慎也 坂下春 浅野功久 藤村一良	159
49	データ集積ボードを用いたグラフィカルな計測技術	機械工学専攻	浅川武	163
50	建築における石材利用に関する研究 (3) 日本における構造材としての石材の盛衰	建築学専攻	角田真弓	167
51	放射線検出器用電荷増幅器の開発	システム創成学専攻	細野米市	171
52	デジタルプロセス社Solid Edge基礎教育の受講	機械工学専攻	石川明克	175
53	第二種電気工事士資格の取得について	機械工学専攻	浜名芳晴	177
54	イオンビームのコリメート	原子力国際専攻	中野忠一郎	179
55	建築における石材利用に関する研究 (2) 建築意匠における石材	建築学専攻	山崎由美子	183
56	建築における石材利用に関する研究 (1) 極薄石材の可能性について	建築学専攻	田村政道	187

1 南極海における氷海航行性能試験の紹介

システム創成学専攻 土屋 好寛
tsuchiya@triton.naoe.t.u-tokyo.ac.jp

1, はじめに

第52次南極地域観測隊において、砕氷艦「しらせ」の氷海性能試験を実施し、試験データを採取するために同行した。しらせの輸送を円滑かつ安全に遂行するための航行・安全に必須な操船指針作成の諸データを得ることが目的である。第51次航が処女航海となる「しらせ」（以下：しらせ＝艦）は往路においてクラウン湾で海洋調査を行い、昭和基地接岸の予定がかなり遅れることになったため本務行動中に計画されていた砕氷性能試験は実施できなかった。そのため試験は第52次航に継続された。

本務行動中の南極氷海域航路において、各試験項目を設定し、適切と思われる氷況及び艦の運行状況を考慮した上で可能な範囲で艦の運転状態を変えて試験を行なった。また、フィールドを変えて水中旋回性能確認試験を実施するとともにヘリコプタによる空撮を行った。ここに試験概要を紹介する。

2、氷海航行試験項目

- ①連続砕氷性能確認試験・計測（定着氷中）
- ②ラミング砕氷性能確認試験・計測（定着氷中またはハンモック帯中）
- ③水中旋回性能確認試験・計測（定着氷中）
- ④散水効果確認試験・計測（①～③の試験の一環として実施）
- ⑤海水物性調査

3、計測システム

国立極地研究所研究プログラム「氷海モニターデータ収録システム」を主体として使用する。搭載された機器、および電動機運転情報の取得も統合した新しい収録システムとなった。

4、実験実施体制（観測隊及び同行者の範囲）

艦の性能確認試験であるため、縦組織である自衛隊との調整を行わなければならない。その際の窓口は気象長となるが、艦長の絶対的理解と航海長の協力が無くしてはこのミッションは達成できない。また、実施に当たっては観測隊長へ逐次報告しながら行った。なお、実験統括予定者であった1名と海洋グループから2名が協力者と位置づけられた。どのミッションも人数が少ないためにお互いにお互いのミッションに協力することが求められる。

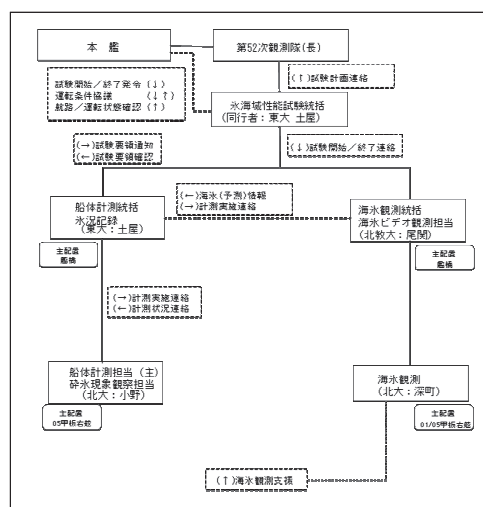


Fig.1 実験実施体制

5、実施試験内容と経過

5-1. 通常航行時計測

a) 氷海モニタリングシステム

試験項目を含めた船体に関するデータを収録した。

平成22年11月11日の晴海出港から平成23年3月18日のシドニー入港までの間のほぼ全航海において収録している。また、フリーマントルを出港しシドニーまでの往路・復路において常時主な船体運動と新たに統合した電動機データについて記録した。装置の耐久性、信頼性に大きな問題はないことを再確認した。

Fig. 2にPitchingの一例を示す。

今後、連続的な自動計測システムのデータ解析によって運転状態と船体挙動、定期的な氷況観察を含めて氷海航行性能を求めることができる。

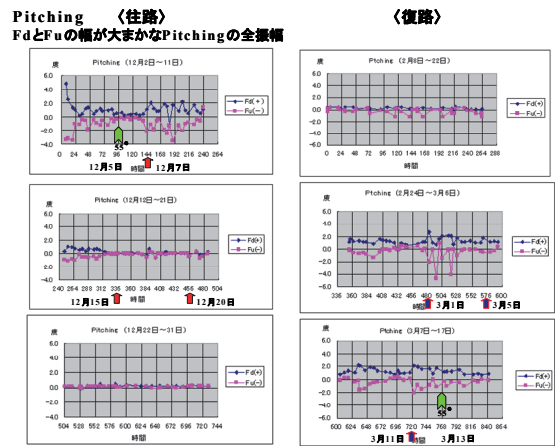


Fig. 2 氷海モニタリングシステム例

5-2. 氷海性能確認試験

①本務航路上計測

試験実施は氷況が刻々と変化する中で、船上目視観察と艦側との調整を行い判断を下した。その結果、試験はいずれも深夜に行うこととなった。

a) 定着氷中連続砕氷確認試験

- ・12月20日~21日、リュツォ・ホルム湾定着氷において実施し、これと併せて氷状観察、及び気象状況を1時間おきに記録した。Tab.1に試験内容をFig.3,4に試験氷海と砕氷を示す。

Table.1 連続砕氷確認試験実施内容

1. 連続砕氷性能確認(定着氷中直進)試験		
【連絡系統】		
試験開始/終了	:本艦 → 性能試験統括 → 海水観測統括 → 各担当	
運転状態の連絡	:本艦 → 性能試験統括/海水観測統括	
状態毎の計測開始/終了:		
船体計測統括 → 船体計測、氷況記録、EM計測	各担当	
散氷装置動作状況	:	
船体計測統括 → 船体計測、氷況記録、EM計測	各担当	
【試験の流れ(1セット)】		
連続砕氷直進(第1強速、散氷無し)	:約10分間	【計測1】
↓連続砕氷直進(第1強速、散氷有り)	:約10分間	【計測2】
↓連続砕氷直進(第2強速、散氷無し)	:約10分間	【計測3】
↓連続砕氷直進(第2強速、散氷有り)	:約10分間	【計測4】
↓連続砕氷直進(第3強速、散氷無し)	:約10分間	【計測5】
↓連続砕氷直進(第3強速、散氷有り)	:約10分間	【計測6】
航走計 約1時間、約4NM		
注)航走試験時の速力区分は、氷況に対して許す範囲で変化させるものとする。		



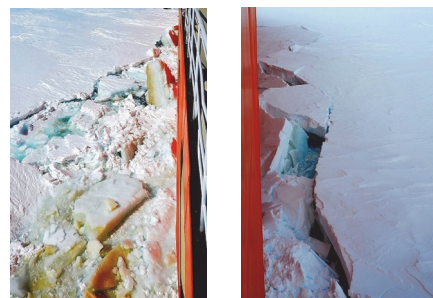
①Date:2010.12.20~21 リュツォ・ホルム湾定着氷

Fig. 3 リュツォホルム湾 (No.1) 氷況

b) ラミング砕氷性能確認試験

Table. 2 ラミング砕氷試験実施内容

2. ラミング砕氷性能試験		
①ラミング砕氷時の航行性能データを収録するとともに、氷況を記録する。		
②助走、買入時の運転ノッチは第2強速を想定。		
③助走距離を数ケース変更して試験を行う(100m、200m、300m、400m追加等)		
④助走→買入→後進のラミングサイクル(約7分間)を、同じ運転条件において少なくとも4サイクルのデータを収録する。試験実施における【連絡系統】は連続砕氷試験と同様とする。		
【試験の流れ(1セット)】		
助走距離1ラミング砕氷(散氷有り):4サイクル、約30分間		【計測1】
↓助走距離2ラミング砕氷(散氷有り):4サイクル、約30分間		【計測2】
↓助走距離3ラミング砕氷(散氷有り):4サイクル、約30分間		【計測3】
↓助走距離1ラミング砕氷(散氷有り):4サイクル、約30分間		【計測4】
↓助走距離2ラミング砕氷(散氷有り):4サイクル、約30分間		【計測5】
↓助走距離3ラミング砕氷(散氷有り):4サイクル、約30分間		【計測6】
航走計 約3時間		



左舷 12月18日 右舷 12月17日

Fig. 4 連続砕氷左右舷船側

*ラミング砕氷とは、氷が厚いと連続的に氷を砕いて進むことはできない。その時は、船をいったん 200~300m くらい後退させ、再び最大馬力で前進して氷に体当たりするとともに氷に乗り上げる格好で氷を砕く。Fig. 5~Fig. 7 に示す後退と前進の繰り返しの一連の砕氷行動を言う。

助走 → 貫入 → 後進 = 1サイクル

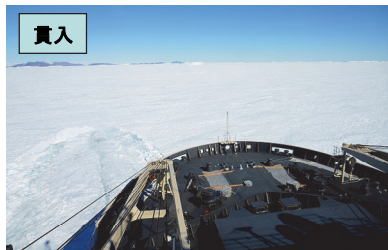
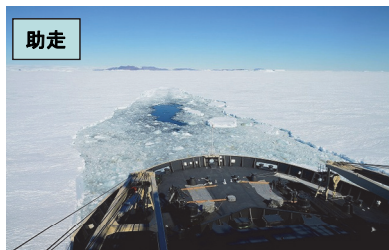


Fig. 5 ラミング助走

Fig. 6 ラミング貫入

Fig. 7 ラミング後進

- 12月21日~22日リュツオ・ホルム湾において、助走距離を200m, 300, 400mとし実施した。記録は、時間、位置、貫入速度、進出距離また、前回の試験同様に氷状観察及び気象状況を実験に併せて記録した。Fig. 8 に海水の氷況を Fig. 9 に船側砕氷の様子を示す。
- 12月26日、しらせの運行予定を考慮し、弁天島沖4.4マイルNWで実施した。実験条件および記録は前回同様であるが、氷状観察及び気象状況について、前者30分、後者1時間間隔として実施した。



Fig. 8 リュツオフォルム湾 (No. 2) 氷況

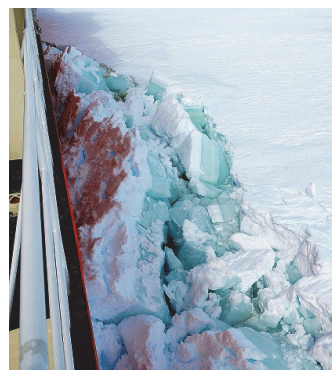


Fig. 9 ラミング砕氷右舷船側

c) ラミング散水効果確認試験

Table. 3 ラミング散水効果試験実施内容

ラミング散水効果確認試験	
試験実施における【連絡系統】は連続砕氷試験と同様とする。	
【計測の流れ(約12時間)】	
開始発令後の運転: 計測開始発令から約12時間後の計測終了発令までの間	
第2強速	
助走距離は状況によって判断	
散水は、散水有り2回、散水無し2回、散水有り2回、……を繰り返す。	
記録	ラミング毎の実施時刻の記録 ラミング毎の散水有無の記録 海水目視観測(少なくとも30分間隔の記録を目標とする)
計測	船体: 自動計測、ただし、2時間おきに動作確認 EM: 自動計測、ただし、2時間おきに動作確認



Fig. 10 ラミング散水

新「しらせ」には、艦首から約 260 トン/分の海水を散水する散水装置が装備された。ラミング砕氷時に大な抵抗となる積雪の摩擦抵抗やエネルギー吸収作用を小さくするのもで、その効果を確認する試験である。

- ・12月22日～23日、リュツ・ホルム湾多年氷帯において、散水の運転効果確認を連続12時間行う計画であったが艦側との調整の結果、6時間の試験となった。氷状観察は30分、気象状況は1時間間隔の記録とした。Table.3に内容をFig.10に散水効果試験の様子を示す。

②フィールド選定計測

海底地形測量と抱き合わせで実施したため、実施条件をお互いに譲歩した試験となっている。

a) 旋回性能確認試験

- ・2011年2月5日ホブデ湾沖の定着氷において左右旋回試験を実施した。試験に併せて氷況観察を30分間隔、気象状況を1時間間隔に記録した。またヘリコプタによって、旋回試験時の航跡を空撮した。
- ・散水効果確認旋回試験は試験時間が確保できないこと、ホブデ湾沖よりも南の海域では氷山が散在して旋回が難しく、西の海域は氷厚が厚く連続砕氷が難しいため旋回域が限られること等を考慮して実施を見送った。

ヘリコプタによる旋回試験の航跡写真をFig.11、GPSによる航跡をFig.12に示す。



Fig.11 水中旋回性能試験の航跡空撮

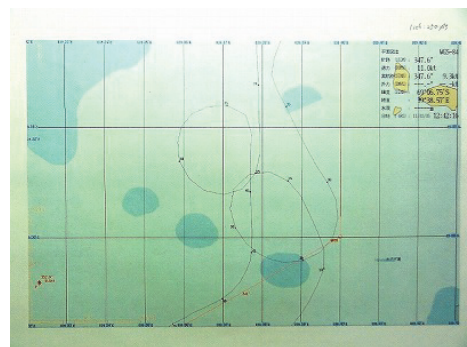


Fig.12 GPSによる左右旋回航跡

b) 定着水中連続砕氷確認試験

- ・2011年2月5日オングル海峡およびラングホブデ北岬沖の定着氷において、連続砕氷確認試験を実施した。これは、旋回試験を行う際の氷厚と曳航速力の確認を含めた氷海選定試験である。試験時は氷状観察記録および気象記録を実験にあわせて記録した。

6、まとめ

第52次南極地域観測隊に参加し南極海において砕氷輸送艦「しらせ」の氷海性能試験を実施し、そのデータを採取した。与えられたミッションをほぼ完璧に成し遂げることができた。自然を相手にしての試験であることを思えば、天候と氷況に左右されずにできたことは大変ラッキーと言えるのかも知れない。また、当研究室を修士で卒業した学生の従兄弟にあたる自衛官、航海長(2佐)との偶然の出会いも大きい。南極観測は海上自衛隊の支援無くしては成り立たない。このミッションに協力してくださった観測隊員の方々、また、自衛官の皆様に厚くお礼申し上げる。

2 ロボットの仕組みと制御の基礎を学ぶ

機械工学実験・ロボットによるライントレース I

情報理工学系研究科・知能機械情報学専攻： 長阪 恵里
eri@atre.t.u-tokyo.ac.jp

知能機械情報学専攻： 田中 雅行

知能機械情報学専攻： 永井 おりが

知能機械情報学専攻： 中垣 好之

知能機械情報学専攻： 齋藤 正光

知能機械情報学専攻： 山口 真奈美

1. はじめに

工学部機械工学科・機械情報工学科では学部2年生の冬学期から機械工学に関する専門分野の授業を取り入れ、学部生の育成に取り組んでいる。情報理工学系研究科・知能機械情報学専攻の技術職員は必修科目の機械工学実験の演習テーマの中で、「ロボットによるライントレース」を担当し、毎年、約140名の学部2年生に対して、ロボットの仕組みと制御の基礎を教え、苦手意識を持たせないように楽しみながら学べる演習を目指してきた。2010年度でこの授業は5年が経過した。その5年間の授業の概要を此处に記す。

2. 機械工学実験の経緯

この演習は2004年度の当時、工学系研究科機械工学専攻の技術職員達が機械系3学科(機械工学科、産業機械工学科、機械情報工学科)の学部3年生の夏学期に必修科目として機械工学実験「C言語によるロボット制御」というテーマで授業を立ち上げ、授業を担当してきた。その後、2005年から学部2年生の冬学期に変わり、2006年からこの演習は、ロボット工学を専門とする知能機械情報学専攻で受け持つことになり、授業担当の技術職員を代え授業内容を改編し、現在に至る。

3. 演習の目的

機械系工学科・機械情報工学科の学生は将来、ロボティクスや機械工学を習得し研究者や技術者として社会に貢献する学生達が殆どである。学部2年生にとって初めてのメカトロニクス・制御・ソフトウェア関連の演習で、まだ該当科目の講義も進んでいない段階である。ライントレースロボットという教材を用いて「ロボットというものは何か?」「ロボットを動かすには?」という基本的なことを教え、苦手意識を持たせず楽しみながら学び、進級後のロボティクス・メカトロニクス・制御・ソフトウェア分野の学習へのモチベーションを持たせることが出来るような演習を目的としている。

4. ライントレースロボットの環境

以下は、授業に使う教材ロボットのハードウェアとソフトウェアの環境を記す。

<ハードウェア環境>

- ・車輪型ロボット P-ROBO (PIC16F84:車輪用 DC モータ 2 個、赤外線センサ3個搭載)・・・Fig.1
- ・P-ROBO シリアルライター(ロボット上の PIC16F84 に書き込むためシリアル通信ツール)・・・Fig.2

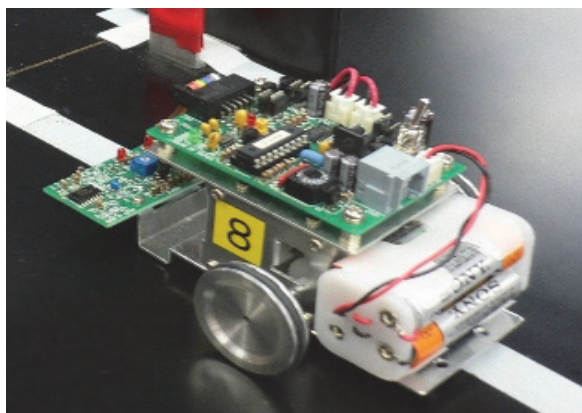


Fig.1 P-ROBO 車輪型ロボット

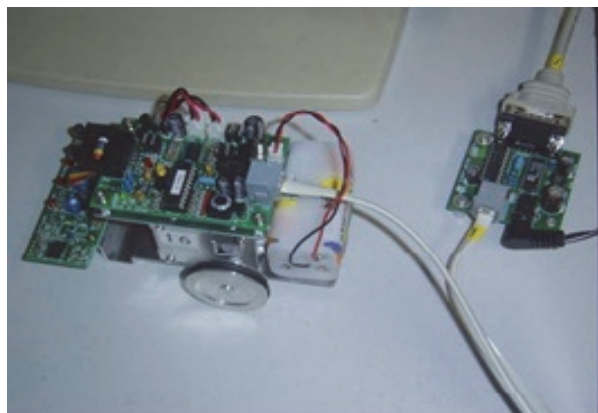


Fig.2 P-ROBO シリアルライター

<ソフトウェア開発環境>

- ・MPLAB IDE (開発統合環境:プログラム等の作業するもの)・・・Fig.3
- ・PICCLITE (マイコンチップ PIC 用のコンパイラ)は MPLAB IDE に組み込まれている。
- ・P-ROBO ライタ (P-ROBO 上のマイコンチップ PIC へ書き込むソフト)・・・Fig.4

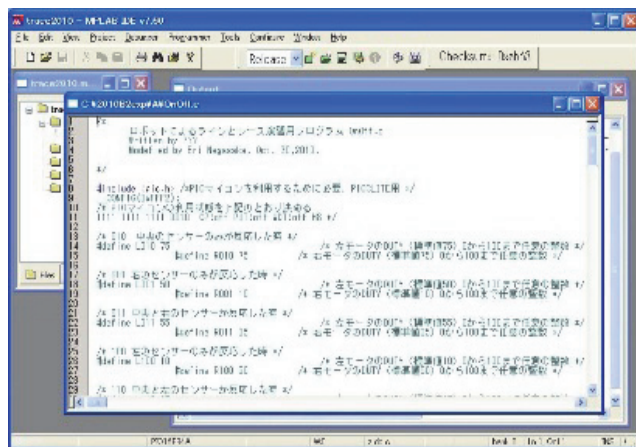


Fig.3 MPLAB IDE Ver.7.60

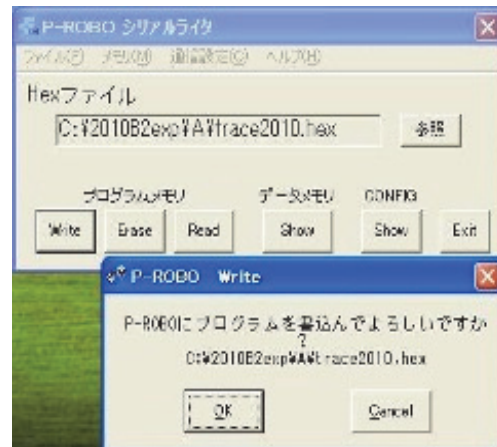


Fig.4 P-ROBO ライタ

5. 授業のスケジュール

授業は前半 90 分と後半 90 分に分かれて行。手順は以下の通りである。

前半—パルス幅変調による速度制御—90 分

講義説明→ソフトウェア使用手順説明→演習開始(前半用のプログラムの書換え作業→ロボット上のマイコンチップ PIC に実行ファイルの書き込みをする→ロボットを走行させてデバッグする)

後半—PID 制御—90 分

PID 演習用ファイル置換→講義説明→演習開始(後半用のプログラムの書換え作業→ロボット上のマイコンチップ PIC に実行ファイルの書き込みをする→ロボットを走行させてデバッグする)

[5-1. 演習内容詳細]

【前半 90 分の演習内容】

ロボットの定義と開発の流れ、ロボットに必要とされる代表的なセンサやモータの紹介をする。実際に使う教材用の車輪型ロボットのハードウェアとソフトウェアの説明をする。

前半の演習で取り扱う制御は Fig.5 で示す通り、ライン上にあるセンサ3つから得た情報より、5つの動作が区別される。車輪のモータは左右別々に速度を変化させることができるので、左右のモータ速度の差から曲がる動作ができる。実際に走らせてその走行の様子から各動作に与える左右の車輪の速度をハンドチューニングし高速な走行になるようにする。

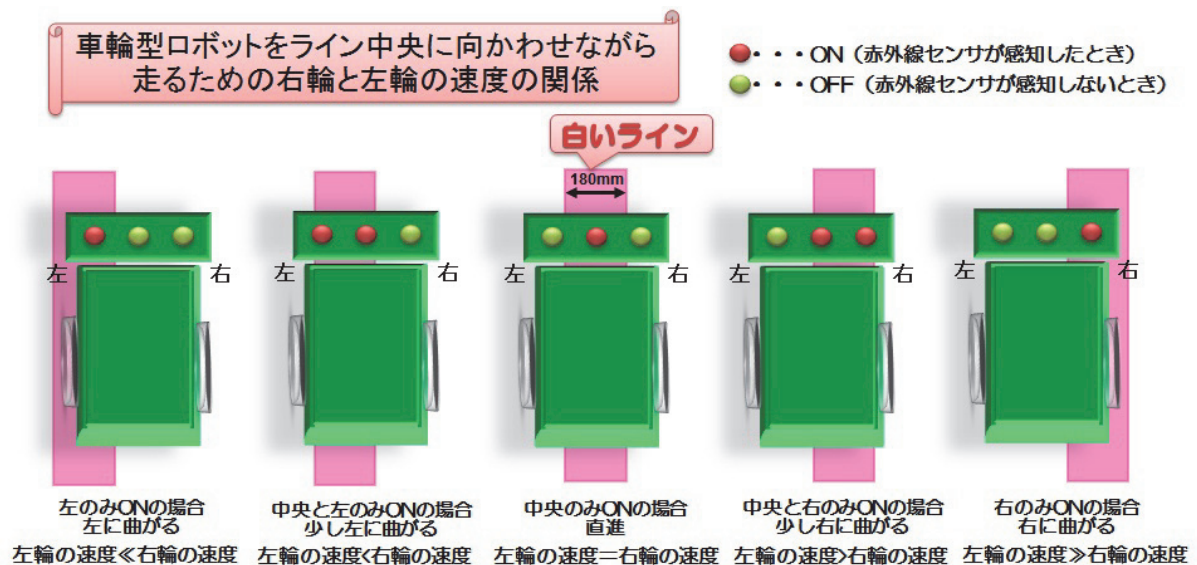


Fig.5 ライン上での車輪型ロボットの5つの動作とライン中央に乗せるための方法

コースから外れた場合は後進をするようにプログラムに記載している。この制御は Fig.5 の動作と後進の6つの動きしかできないため、荒い走行しかできない。しかし、ハンドチューニングである程度までは高速な走行になるので、この制御方法を用いた走行を体験する。

【後半 90 分の演習内容】

前半の制御での問題点を挙げ、より高速な走行をするためにはラインに沿った滑らかな走行が必要であることを説明する。一つの例として、古典制御理論の PID 制御を挙げ、このロボット用の PID 制御設計方法を説明する。Fig.6 はわかりやすいように言葉の式にしたものである。

$$\text{操作量} = \text{比例制御 (P制御)} + \text{積分制御 (I制御)} + \text{微分制御 (D制御)}$$

$$\text{操作量} = (\text{比例ゲイン} \times \text{偏差}) + (\text{積分ゲイン} \times \text{偏差の累積}) + (\text{微分ゲイン} \times \text{現在と前回の偏差の差})$$

Fig.6 PID 制御の一般的な式

このロボットの場合、偏差の値はロボットが目標とするライン中央からどの程度離れたかを数値化したもので、赤外線センサの ON・OFF 状態の組み合わせで決まる。ゲインという偏差に対する制御

入力の感度は自由に調整することができるので、比例ゲイン、積分ゲイン、微分ゲインの値をハンドチューニングし操作量に算出する。操作量からロボットの左右の車輪の速度に還元しラインに沿ったなめらかな走行を実現させることが出来る。この制御方法では殆どの学生が1周30秒を切った高速な走行を実現している。

6. 5年間の評価

2006年度～2010年度までの計5年間で学部2年生642名中554人(86.3%)が5段階評価の最高値の5という楽しかったとの評価を得られた。おそらく、プログラム言語もまだ未習熟で不安を抱きながらロボットを動かす学生が殆どであるのにも関わらず、この演習を通してロボットに親しみを覚え、ロボットを動かす楽しさを抱いてくれたと考える。(Fig.7, Fig.8, Fig.9 参照)

7. 終わりに

今回は知能機械情報学専攻の技術職員達が行った学部2年生向けのロボット教育の授業の概要を提示した。今後は5年間の経験を踏まえ、技術職員各々が反省点・改善点を見つけフィードバックしながら、より一層の授業の質を高めたい。そして、学生が将来へつながる学業へのモチベーションを持たせることができるようなロボット工学の教育の質の向上を目指したい。

謝辞

この演習をゼロから立ち上げ授業を完成させ、引き継ぐ際にも快くご指導をしてくださった工学系研究科機械工学科専攻の技術職員の皆様には深く感謝いたします。そして、この演習を支えてくださっている知能機械情報学専攻・原田達也准教授に深く感謝いたします。

最後に、一緒に担当した2009年8月19日にご逝去された元知能機械情報学専攻技術専門員の藤田裕二氏には哀悼の意を込めてこの演習の報告を捧げます。

参考文献

2004年: 東京大学工学部・工学系研究科技術報告書「技術職員プロジェクトⅠ～Ⅲ」(p29-42)

2004年: 東京大学工学部・工学系研究科技術報告書「技術職員プロジェクトⅣ～Ⅹ」(p57-p98)



Fig.7 授業の風景Ⅰ (授業前半)

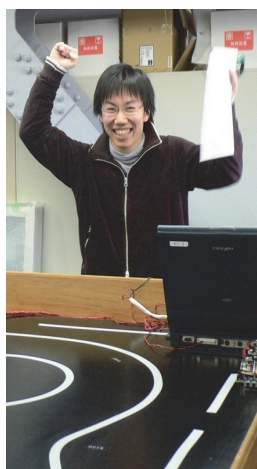


Fig.8 授業の風景Ⅱ



Fig.9 授業の風景Ⅲ (授業後半)

3 全機械式手動卓上万能試験機の設計

システム創成学専攻 金井 誠

システム創成学専攻 吉田二郎

システム創成学専攻 森田明保

mkanai@giso.t.u-tokyo.ac.jp

1. はじめに

大学の教育研究で使用される実験装置に、コンピュータが組み込まれ、実験に対してあまり知識のない学生でも、試験機に組み込まれたパソコン画面の操作で実験が行える環境ができつつある。当研究室で最近購入した材料強度試験機は、コンピュータ上で、試験機の全てが制御でき、試験終了時には、ヤング率、最大応力などの材料物性値が自動的に計算される。

このことは一面では大変便利であるが、実験者が計測原理を理解しないまま実験を行ったり、実際の現象の観察をしないで計測された値を鵜呑みにするなどの弊害も生じている。学生に対し試験機の構造や計測原理を教えることが出来れば、このような弊害も減少できると思われる。

三田純義，清水貴史（群馬大学）らは、中学校技術科の加工学習において、生徒に材料の物性としての強さおよび断面形状や寸法などの力学的構造による強さを理解させるために、木材や金属などの材料に荷重を加え、材料が破断または変形するまでの荷重と変位を計測し、その数値を視覚的に表示することのできるような卓上小型簡易材料試験機を設計・製作した。¹⁾ 仕様は、最大スラスト荷重 500[N]、テーブルの広さ 137mm×350mm である。

佐々木圭一、菊池護（岩手大学工学部技術部）らは形状記憶合金の熱-荷重特性を調査するため、2,000[N]程度の引張荷重が発生できる小型単軸引張試験機を作成した。²⁾

これらの試験機は、小型であるが、負荷荷重がそれぞれ 500N、2000N と比較的低荷重である。

学生に、試験機の原理、計測の原理を理解させ、簡単に実験が体験できるには、なるべく実物と同じ材料で試験が出来る必要がある。そこで、学生が計測原理を理解できるようにするため JIS 規格試験片を使用できる全機械式の手動卓上万能試験機を設計したので報告する。

2. 設計方針

学生に対し試験機の構造や計測原理を教えるには、講義室で使用できることが必須である。そこで以下の9項目が満足できるような試験機を設計した。

- 1) 講義机に載せて実験ができる。
- 2) 20kg 以下の重量で持ち運びが可能。
- 3) 試験は、引張、3点曲げ、圧縮試験が実施できる。
- 4) 試験荷重能力 1 tf 以上。
- 5) 計測機構を理解する為に全機械式試験機を採用。
- 6) 荷重精度が高い。
- 7) 製作が容易。
- 8) 学生が体を動かして（手動）実験ができる。
- 9) JIS 規格と同等な材料寸法で試験が可能。

上記の条件より、開発する試験機の仕様は、総重量 20kg 以下、高さ 70cm 以下、荷重能力 1 トン以上を目指す事とした。本自作試験機仕様とほぼ同等な既製品の試験機は、島津製作所

小型卓上試験機 EZ-L、本体負荷容量最大 5kN、大きさ幅 371×奥行 538×高さ 1333mm、試験機重量約 60kg EZ-L 本体価格 165 万円である。

3. 試験片のサイズ

本試験機で実験可能な試験項目は引張試験、3点曲げ試験、圧縮試験とした。

引張試験片の寸法は JIS K-7073 炭素繊維強化プラスチックの引張試験法に従った試験片（全長 130mm 以上、幅 15～25mm、ゲージ長 60mm 以上）で実験できるよう設計した。³⁾

3点曲げ試験片の寸法は JIS K-7074 炭素繊維強化プラスチックの曲げ試験法に従った試験片（長さ $l=100\text{mm}$ ， $b=15\text{mm}$ ， $h=2\text{mm}$ ）で実験できるよう設計した。

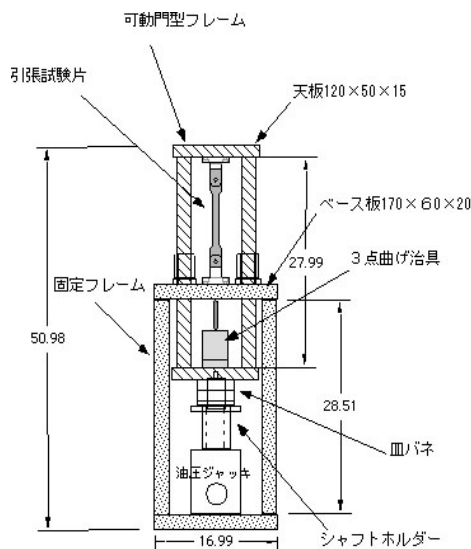


図 1、全機械式手動卓上万能試験

4. 試験機の設定

試験機的设计図を図 1 に示す。試験片への負荷は、固定フレーム下部に置かれた油圧ジャッキにより手動油圧ポンプを返して荷重するよう設計した。油圧シリンダーは小型で大荷重が加えられる利点がある。試験は、引張、圧縮方向が可能となるよう、図中の斜線で示した可動門型フレームを採用した。油圧ジャッキを上下させると可動門型フレームもそれと連動し動く。固定フレームベース板と可動門型フレーム上部天板の間で引張試験、ベース板と可動門型フレーム下部天板の間で、圧縮及び 3 点曲げ試験が実施できる。フレームの可動範囲は 3 点曲げ変位が 35mm まで実施できるようにした。

5. 荷重の計測

通常、材料試験機の荷重はロードセルおよびひずみアンプを使用し計測している。今回設計した試験機は、電気を使わないという設計思想であるのでロードセルは使用しない。荷重を計測する方法として、油圧ポンプに圧力ゲージを取り付けその圧力値より荷重を計算する方法、試験力検定用のダイジングボックスを取り付け、その変位から荷重を計算する方法などを考えた。しかし、圧力ゲージでは低い荷重時には精度がでない、また、ダイジングボックスでは材料取り付けの中心軸が狂うと高荷重時にダイジングボックスが外れ危険であるので学生の使用には向かない、などの欠点があり採用には至らなかった。種々の検討をした結果、皿バネを利用すると構造も簡単で且つ、精度の高い計測ができる事が分かった。

	一枚	二枚	三枚
一段	① 単体	② 2枚並列、直列1段	③ 3枚並列、直列1段
二段	④ 2枚直列	⑤ 2枚並列、直列2段	⑥ 3枚並列、直列2段
三段	⑦ 3枚直列	⑧ 2枚並列、直列3段	⑨ 3枚並列、直列3段
荷重したわみ			

図 3、皿バネの組み合わせと荷重特性

皿バネを使用した荷重計測の原理を示す。4) 皿バネは、coned disc spring 又は belleville spring といわれ、中心に孔のある円形板を円錐状に加工し底のない皿形にしたバネである。図2のような構造になっており荷重が加わると図中の高さ h が変化する。この変化は荷重と比例する。また、皿バネを図3のように直列に重ねると重ねた枚数分のたわみが得られる。例えば、皿バネ B-50 は 500kgf の荷重が加わると 1.05mm たわむ。この皿バネを直列に 10 枚重ねると 500kgf で 10.5mm のたわみが得られる。このように皿バネの変形量を計測することにより荷重が計算できる。また、皿バネを直列に重ねると重ねた枚数分のたわみが得られるので、高精度な荷重計測が期待できる。本装置では、荷重 1 tf に対し皿バネのたわみが 10mm 生ずるように皿バネ 10 枚直列を選んだ。試験機の負荷用ジャッキと門型フレームベース版の間に皿バネを配置し荷重の計測が可能となるよう設計した。

6. フレームの強度計算

理想的な試験機のフレームは定格荷重が加わっても変形しない事である。試験機支柱のひずみを 200μ strain 以下、上下テーブル及びベッドの中央変位量を 0.1mm 以下とし、各部品の寸法を決定した。

以下にその強度計算例を示す。

梁が図4のように荷重を受けた場合の3点曲げの式を用いることとすると以下のようになる。

$$\delta = \frac{Pl^3}{48EI} = \frac{Pl^3}{48E \frac{bt^3}{12}} = \frac{Pl^3}{4Ebt^3}$$

ここで δ は中央点の最大たわみ量(mm)、P は中央点の荷重 1,000(kgf)、 l はスパン長さ(mm)、E はヤング率 21,000(kgf/mm²)、b は板幅(mm)、t は板厚(mm)、I は断面 2 次モーメントとして各板のたわみを計算する。

1) 固定台の天板のたわみの計算

鋼板の板厚を 20mm とすると

$$\delta = \frac{1000 \times 150^3}{4 \times 21000 \times 60 \times 20^3} = 0.084(mm)$$

2) 引っ張り台の天板のたわみの計算

鋼板の板厚を 15mm とすると

$$\delta = \frac{1000 \times 90^3}{4 \times 21000 \times 50 \times 15^3} = 0.051(mm)$$

となった。

荷重 1 tf が加わった場合の中央部最大たわみは 0.051mm となった。また、ベッドの中央部最大たわみは 0.084mm となった。いずれも、たわみが 0.1mm 以下であり、設計最大たわみの許容値以内であることが分かった。試験機の総重量は 18.5Kg となり目標重量を達成できた。

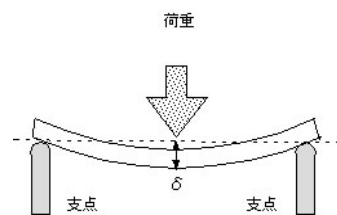


図4、3点曲げによるたわみ

7. 容易に制作できる工夫

通常、試験機を自作するには、旋盤、ボール盤、フライス盤、溶接機、切断機などの工作機械を使用する。しかし、研究室でこれらの設備を持つ事は難しい。そこで、試験機の部品は、なるべく市販の汎用機械部品を使用して組み立てるように工夫した。

試験機の全部品リストを表1に示す。これらは全て市販の汎用機械部品である。例えば、図5のようなシャフトが必要な場合、

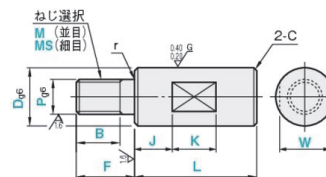


図5、シャフトの形状

図中の大文字で表したシャフト径、長さ、ねじ長さ、ねじ寸法などを指定して注文できる。⁵⁾ これらを組み立てる為に加える加工は、ドリルによる穴明け作業及びねじ切り作業だけであり、簡単な金属加工だけで組み立てる事が可能である。

表1、 部品注文リスト

品名	型番	製造会社	単価	重量	個数	合計金額	合計重量
EL型低身ジャッキ	EL 10 S 3.5	大阪ジャッキ	26000	2.4	1	2600	2.4
手動油圧ポンプ	TWA-0.3	大阪ジャッキ	30000	3.5	1	30000	3.5
油圧カプラ	B-6JG	大阪ジャッキ	3600	0.1	1	3600	0.2
油圧ホース	RH-6	大阪ジャッキ	13200	1.6	1	13200	1.6
皿バネ	B-50 (50*25*3.4)	東海バネ工業	250	0.01	10	2500	0.1
高さ調整ピン	JPHAFM6-L40-D25-F9	ミスミ	1850	0.2	1	1850	0.2
シャフトホルダー	STHRBN25	ミスミ	2110	0.3	1	2110	0.3
シャフト	SFAM20-285-F30-B20-P12-T20-S20-Q12	ミスミ	2310	0.9	2	4620	1.8
シャフト	SFAM20-280-F25-B25-P12-T25-S25-Q12	ミスミ	2310	0.9	2	4620	1.8
フランジ付きリニアボールブッシュ	LBHC20	ミスミ	2350	0.2	2	4700	0.4
肉厚ヒンジベース	HGCJB4-T12-W4-H30	ミスミ	6120	0.1	2	12240	0.2
上部ベース板	SS2RGNP-120-50-20	ミスミ	1080	0.5	2	2160	1
下部ベース板	SS2RGNP-200-60-20	ミスミ	2000	1.9	1	2000	1.9
下部ベース板	SS2RGNP-200-100-20	ミスミ	3300	3.1	1	3300	3.1

8、まとめ

学生に、試験機の原理、計測の原理を理解させ、簡単に実験が教室の講義で体験できるような全機械式の手動卓上万能試験機を設計した。開発する試験機の仕様は、総重量 20kg 以下、高さ 70cm 以下、荷重能力 1 tf 以上を目標としたが、当初の目標を達成できた。現在、部品を注文し組み立て作業に入っている。完成時には、本試験機の精度、使い勝手などを調査し、報告する予定である。本報告は平成 23 年度工学系研究科個別研修の成果の一部である。

参考文献

- 1) 三田純義, 清水貴史: 卓上材料試験機と活用, 日本機械学会関東支部ブロック合同講演会 -2008 おやま- 講演論文集 (2008.9), pp. 51-52, 平成 20 年 9 月
- 2) 佐々木圭一, 菊池護: 小型単軸引張試験機の設計・製作, 第 10 回岩手大学工学部技術部報告 7, 94-95, 2004-03
- 3) JIS ハンドブックプラスチック 1, 日本規格協会, 2007.
- 4) さらばねテクニカルガイド, 東海バネ工業株式会社, <http://www.tokaibane.com>
- 5) ミスミ FA 用メカニカル標準部品, 株式会社ミスミ.

4 福島第一原発事故に伴う放射線モニタリング —東海村より報告—

原子力専攻 澤幡 浩之
sawahata@nuclear.jp

1. はじめに

平成23年3月11日、14時46分に発生した東北地方太平洋沖地震は、高さ14～15mの大津波を伴い福島第一原子力発電所（以下、原発と称す）を襲来、その機能を一瞬にして破壊した。その結果、日本における最大規模の原子力事故を引き起こす事となった。後にこの未曾有の大惨事を政府は、被害の大きさから「東日本大震災」と命名した。Fig-1に当日の日本各地の震度を示す。（気象庁提供）

東日本大震災の影響を受けた原発では、3月12日午後、1号機で大規模な水素爆発が発生し原子炉建屋が破損した。以降、2号機、3号機についても様々な事故、事象が発生しており、その結果、近隣の地域は言うに及ばず遠くは半径100km圏を超えて放射性物質が飛散した。これまで、原子力専攻では近隣の放射線状況の指標とすべく、3月15日以降、モニタリングポストによりデータを集積し、それを文科省と連携しHP等で情報提供を続けている。今回は、その内容について映像を含めて報告する。

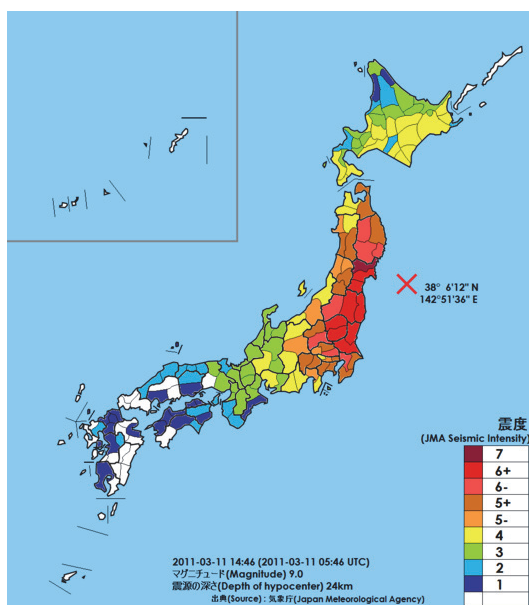


Fig-1 東日本大震災での各地の震度（気象庁提供）



Fig-2 モニタリングポスト

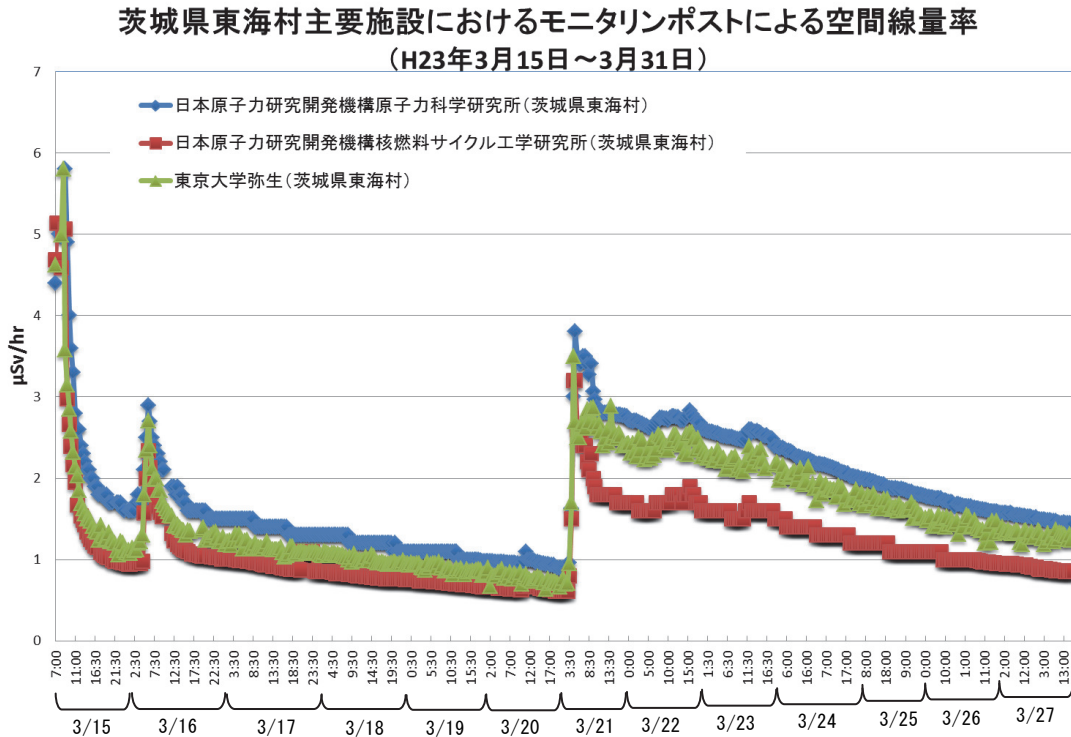
2. 茨城県東海村主要原子力施設でのモニタリング

3月15日以降、原子力専攻ではモニタリングポスト（Fig-2）により、24時間体制で1時間おきの空間線量を計測し文科省へ報告している。東海村では原子力専攻の他に、日本原子力研究開発機構の原子力科学研究所および核燃料サイクル工学研究所も同様にモニタリングを行い文科省へデータを提供している。

今回の原発の事故では、被災以降、ベント（格納容器内の蒸気の放出作業）、水素爆発、圧力抑制プールの爆発、冷却水漏れなどにより、大気中、土壌、溜まり水、立坑、海水、および地下水などへ放射性物質が放出された。その

ような中、原子力専攻や日本原子力研究開発機構ではモニタリングポストなどの専用の設備を備えているため、近隣の放射線量の指標とすべくモニタリングを開始した。Graph-1に3月中のモニタリングの結果を示す。

Graph-1



グラフで示した通り、3月15日、16日、21日に数値の上昇が顕著に見られた。これは原発での様々な事象の際に、風雨などの気象現象が起因して放射性物質が東海村まで到達したと考えられる。また、核燃料サイクル機構の値に対し、原子力専攻と原子力科学研究所の値が全体的に高めに計測されている。これは、モニタリングポストの設置場所付近に松林があり、松が放射性物質を吸着し易い植物であることから松に蓄積された分が嵩上げされた可能性が考えられる。いずれにせよ、3月21日以降、際立った数値の上昇は見られず、現在まで1μSv/hr以下で推移している。

3. 福島第一発電所付近の空間線量

原子力専攻では、原発まで直線距離にして凡そ100kmという地の利を生かして、幾度となく様々な現地調査を行っている。

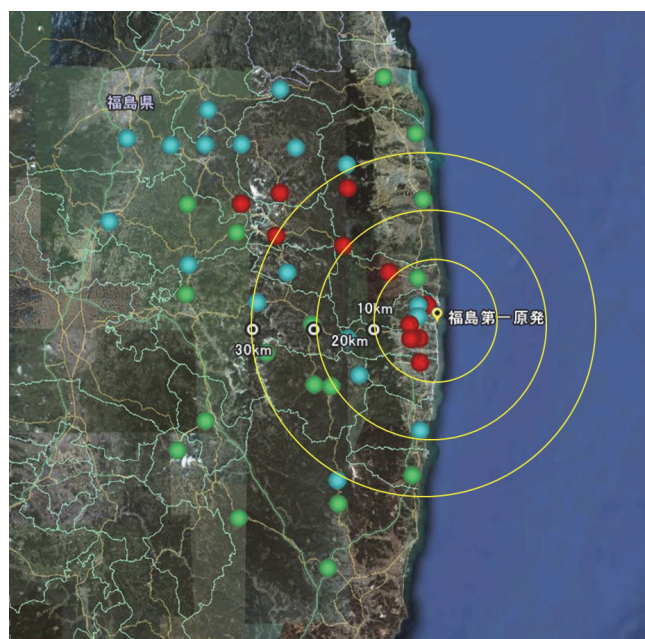
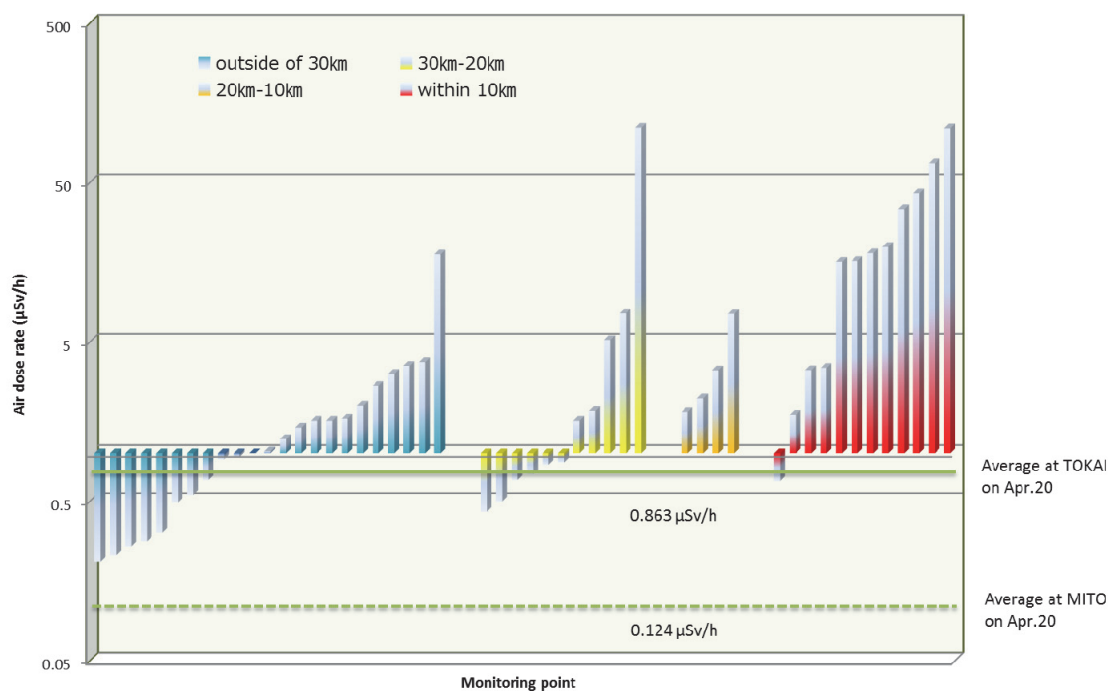


Fig-3 福島県各地の空間線量率 (4月22日)

今回は一例として、4月20日に採取した様々な地点での地面から1m50cmにおける空間線量率を計測した結果を報告する。Fig-3に示した点は赤丸が5 μ Sv/hr以上の地点、青丸が1 μ Sv/hr以上5 μ Sv/hr未満の地点、そして緑の丸が1 μ Sv/hr未満の地点を示している。図に示したように、ホットスポットという現象により、原発からの距離に依存せず、遠距離でも高線量の箇所もあれば逆に近距離でも線量の低い箇所があり、所謂、斑現象が起こっている事がわかる。

Graph-2 Air dose rate on FUKUSHIMA (2011.Apr.20)



また、Graph-2は上記のデータをグラフ化したものであるが、政府が制定した10km、20km、30kmのエリアを問わず線量率の強弱（斑現象）がある事がわかる。なお、同グラフ中の緑色の実線と点線は東海村と水戸市での4月20日の空間線量率の平均値を示したラインである。東海村の平均が0.863 μ Sv/hr、水戸市の平均が0.124 μ Sv/hrであるが、このように比較してみると如何に福島県の各地域の汚染が深刻であるかが伺える。

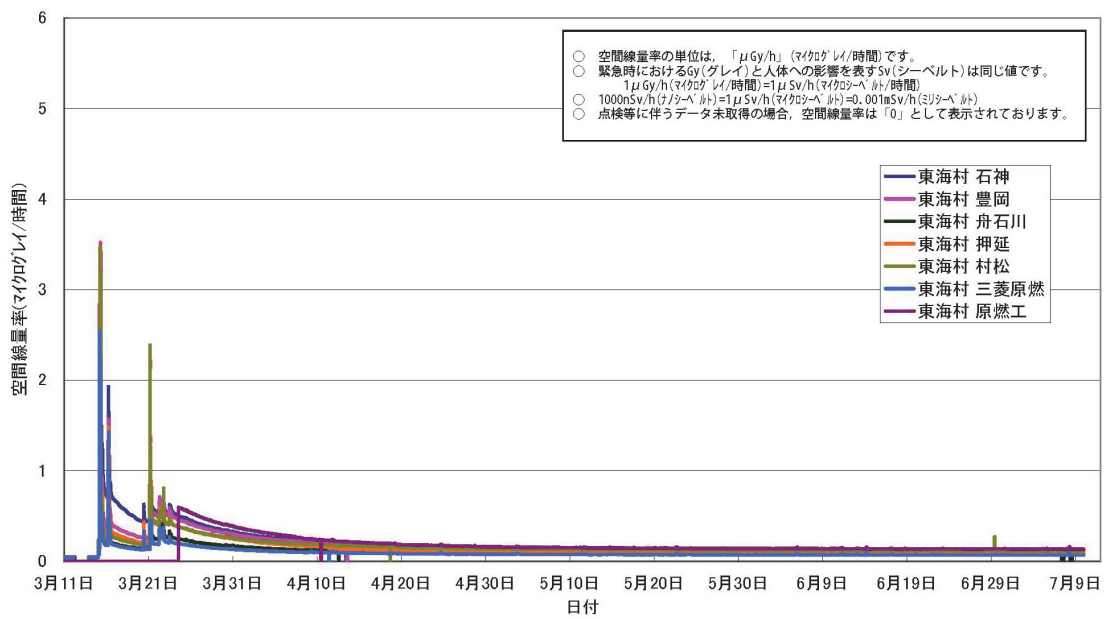
4. まとめ

原子力専攻では、東日本大震災以降、文科省や近隣の原子力主要施設と共に、空間線量率を測定してそのデータを社会に公表する役割を果たし今も継続している。一般の住民の方々は、自らの周辺地域に放射線が放出される事を予想していなかった。また、当然ながら、放射線を計る術を有していなかった。そのため、今回の災害においては放射線の知識、それを測定する設備、知識を有した我々のような立場の者が、地域住民をはじめとして一般の方々へ正確な情報提供をする事は必要不可欠であり当然の責務である。

また、災害以降、東海村においては直接的に健康被害が及ぶほどの線量を計測していない。水戸市についても同様である。参考までにGraph-3は、茨城県が発表している最近までの東海村各所での放射線状況を示したものであるが、前途したように3月21日以降、数値の上昇は見られず、現在のところ安定した状況が続いている。然しながら、福島県の方々は今もなお、地

震と放射線の両方の被害に苦しみ悩んでいる。崩壊した原子炉の終息は早急の祈願であり、短期間で解決する事が期待されている。然しながら、周辺地域の除染作業や地盤改良などを考えれば、この先、何十年もこの“災害”は継続される。我々に何が出来るのか、どんな“復興”に手を差し伸べられるのか、一人の国民として、また、放射線の知識とそれを取扱う技術を有する技術職員として「何をすべきか」を考えていかななくてはならない。

Graph- 3 茨城県の放射線状況(固定観測局(東海村))



5 製作可能な放射線検出器

システム創成学専攻 細野 米市

連絡先: hosono@sophie.q.t.u-tokyo.ac.jp

1. はじめに

一般に放射線とは、荷電粒子性放射線(高速電子、荷電重粒子)と非荷電粒子性放射線(電磁放射線、中性子)に分類される。高速電子は、原子核崩壊以外で生成される β^- であり、荷電重粒子は α 線、陽子、核分裂生成物等である。電磁放射線は、 γ 線(X線)を指しており、中性子は高速・低速中性子等を言っている。これら種々の放射線を測る方法は、放射線入射によるガスの電離を利用したもの、発光現象(シンチレーション)を利用したもの、半導体内での電子-正孔対生成を利用したもの等々がある。

ここでは、最初に①Ge半導体検出器を用いた福島原発事故による汚染状況の測定結果例を紹介し、②CsI(Tl)シンチレータとピンフォトダイオード(以下PDと略)を組み合わせた検出器、③数千円で買えるレーザ用PD(受光面: $4 \times 4 \text{ mm}^2$)を用いた検出器、④220円の蛍光灯を利用した検出器について述べる。

2. 放射線検出器

2-1 Ge半導体検出器

Ge半導体検出器は、放射性物質の核種同定や土壌や葉物および食物等々に含まれる放射能濃度を測定するのに最適な放射線検出器である。最近のTVは、この検出器を使って福島原発事故による放射能汚染物質の測定を行っている様子を放映する機会が多い。

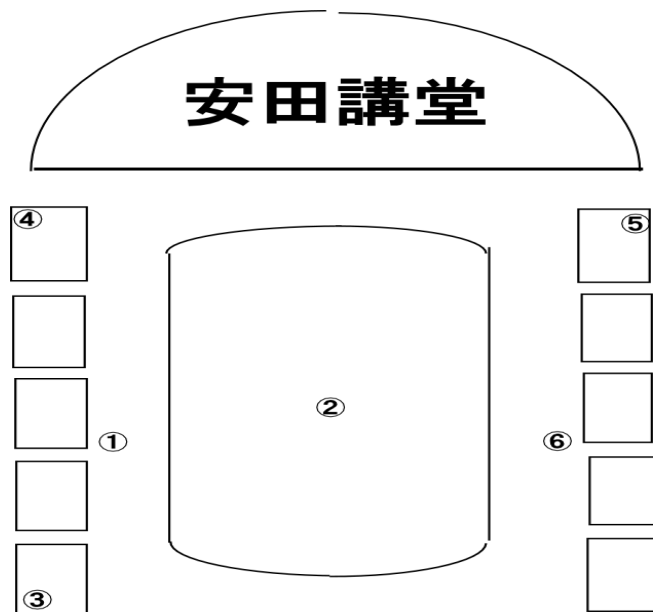
筆者は、この検出器(ORTEC製)を用いて福島原発事故による東大内の汚染状況を測ってきた。その測定例を第1図に示す。同図は、5月17日に測定したものである。福島原発から大量に放出された放射性物質が、東京を汚染したのは3月16日頃と3月21日頃と考えられている。なお、この検出器を製作することは困難である。

同図は、それから2ヶ月近くたった5月17日の安田講堂前広場の土(表面1cm以内)と芝生の土壌を測ったものである。一番高濃度なところでCs-137とCs-134が、約 $10,337 \text{ Bq/Kg}$ であり、低いところで約 $1,000 \text{ Bq/Kg}$ であった。I-131は、高濃度のところで約 330 Bq/Kg であった。放射能濃度の高い所は、「吹き溜まり」となっている場所であった。

2-2 CsI(Tl)とPIN型PD(又はAPD)を用いた放射線検出器

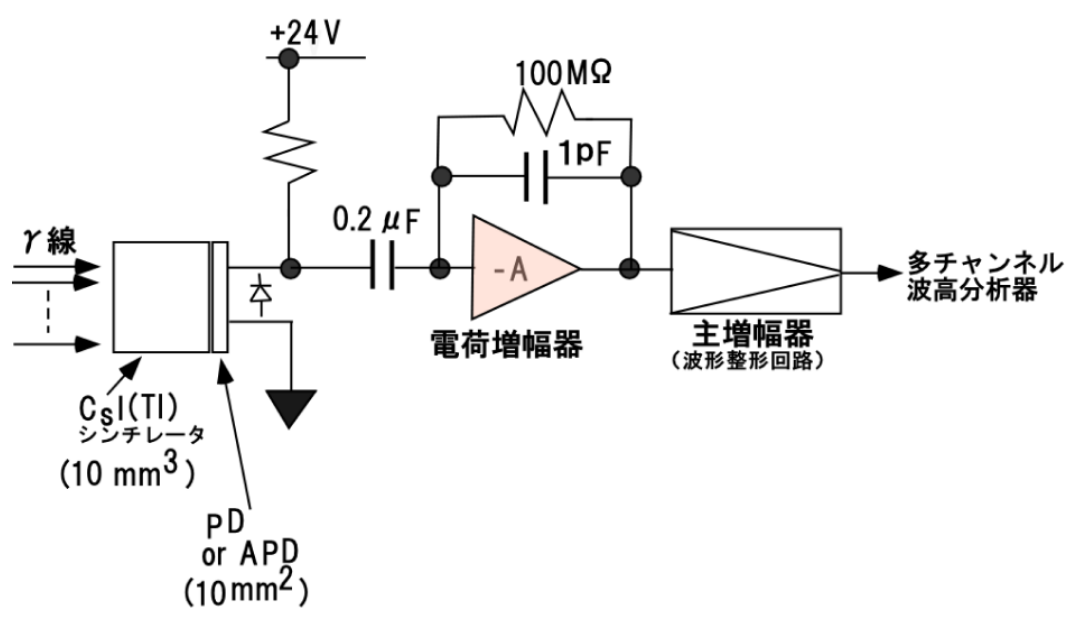
検出器の概要を第2図に示す。CsI(Tl)とPIN型フォトダイオード(浜ホト: S3590-01)を組み合わせる理由は、放射線入射時のCsI(Tl)の発光波長が 540 nm で減衰時間約 $1 \mu \text{ s}$ であることから、PDの特性と相性が良いためである。この検出器の特徴は、①電磁場の影響を受けない。②安価である。③小型軽量である。④バイアス電圧が低い。等である。作り方にもよるが下限の検出限界 γ 線エネルギーは、良くて 40 keV 程度で悪いと 120 keV 程度である。

検出器は、 $10 \text{ mm} \times 10 \text{ mm} \times 10 \text{ mm}$ のCsI(Tl)に受光面積 $10 \text{ mm} \times 10 \text{ mm}$ のPDを用いて



① Cs-134 : 5135 Bq/Kg Cs-137 : 5202 Bq/Kg I-131 : 329 Bq/Kg	② Cs-134 : 481 Bq/Kg Cs-137 : 511 Bq/Kg I-131 : 30.5 Bq/Kg
③ Cs-134 : 454 Bq/Kg Cs-137 : 442 Bq/Kg I-131 : 53.2 Bq/Kg	④ Cs-134 : 1634 Bq/Kg Cs-137 : 1551 Bq/Kg I-131 : 114 Bq/Kg
⑤ Cs-134 : 513 Bq/Kg Cs-137 : 611 Bq/Kg I-131 : 34.5 Bq/Kg	⑥ Cs-134 : 2223 Bq/Kg Cs-137 : 2364 Bq/Kg I-131 : 138 Bq/Kg

第1図 安田講堂前の質量放射能濃度

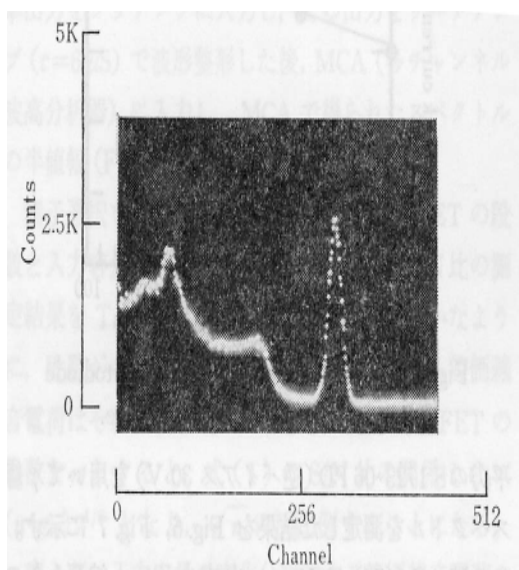


第2図 CsI(Tl)とPIN型PDやAPDを用いた放射線検出器の概要

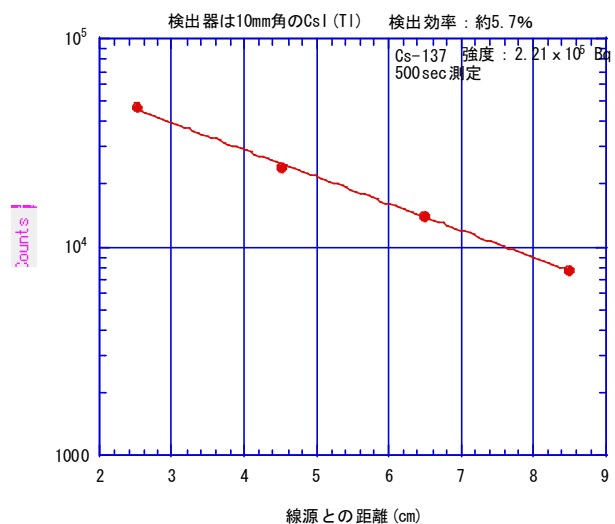
いる。Cs-137 から放出する 662keV の γ 線を測定した時の測定スペクトルを第 3 図 (S/N 比特性が良いアンプを使用した例で分解能は 6.1%であった) に示す。

FET 素子等 4 個で電荷増幅器を製作し、検出器と線源との距離を変えた時の特性を第 4 図に示す。この実験は、線量が増変化した時の検出器特性をみるためのもので、結果は良好な特性を示している。この時の検出効率は約 5.7%であった。実験に用いた線源は、標準線源で強度が 2.21×10^5 Bq であった。

同検出器を簡単に作る方法は、多チャンネル波高分析器の代わりに計数回路を使用し、アンプは全て市販のオペアンプを用いると良い。その場合、特性は悪化するが安価に製作できる (約 2.5 万円程度?)。



第 3 図 Cs-137 の測定スペクトルの例



第 4 図 線源距離を変化させた時の出力

2-3 レーザ用フォトダイオード(PD)を用いた放射線検出器

以下に容易に入手可能な PD を用いた放射線測定を述べる。PD そのものは半導体であり、空乏層に放射線が入射すると電子-正孔対を生成する。空乏層が数百ミクロン程度あるため、十分に γ 線を測ることが可能である。しかし数十 keV になるとフォトピークが得られない。

第 2 図と同様な測定手法で線源との距離を変えた場合の測定結果を第 5 図に示す。同図は、電荷増幅器をディスクリート素子 (良好な素子を選択した J-FET) で作った場合 (上部) と数百円のオペアンプを使用した時 (下部: LF356 使用) の特性である。市販の安価なオペアンプを使用しても十分に γ 線計測が可能と言える。この時の検出効率は約 0.7%であった。

2-4 蛍光灯を利用した放射線検出器

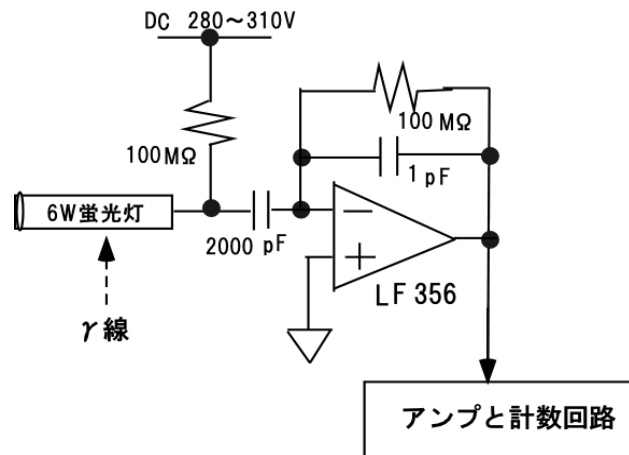
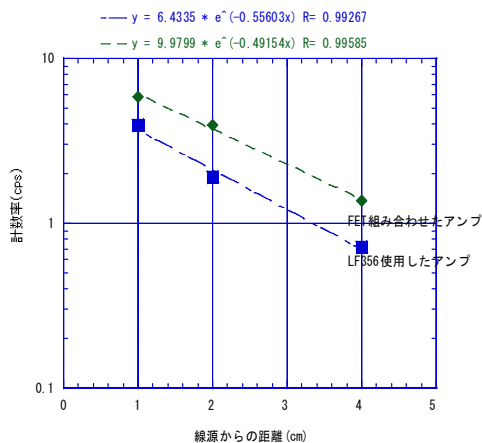
Ar ガスは、放射線が入ると電離することから、比例計数管や電離箱に用いられてきた。市販の蛍光灯は、少量の Ar ガスと Hg を微量含んでいることから、筆者は、蛍光灯でも放射線検出ができると考え、某メーカーの 6W の白色直管蛍光灯 (単価 220 円) を購入して、放射

線検出器を試作した。その概要を第 6 図に示し、プラトー特性を第 7 図に示す。同図から試作した検出器は、電離箱として動いている様子が分かる。この時用いた線源は、Sr-90 (β線放出) で、明確では無いが約 450cps の β線を放出していると推定される。線源と蛍光灯の距離は約 4cm であった。実験結果は、あまり良い特性とは言えないが、改良すれば簡単な放射線検出器になると考える。

3. 結び

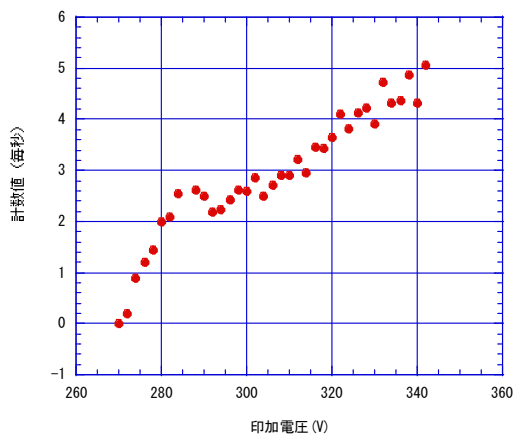
Ge 半導体検出器の測定例を紹介し、CsI(Tl)と PD を組み合わせたシンチレーション検出器やレーザ用 PD を用いた検出器および市販の蛍光灯を用いた検出器について述べた。それぞれ特長を持っているので目的に合わせて使用することが重要と考える。

今後は、100 円ショップで売っている 100 円ライターのガス (ブタンガス) を用いた放射線検出器や家庭で用いられる LED を用いた放射線検出器の試作・開発を進めたい。



第 5 図 線源距離を変化させた時の出力

第 6 図 蛍光灯を用いた放射線検出器の概要



第 7 図 蛍光灯を利用した放射線検出器の特性

6 静電加速器と地震

原子力国際専攻 中野 忠一郎
nakano@n.t.u-tokyo.ac.jp

1. はじめに

2011年3月11日14時46分、宮城県沖で発生した地震(マグニチュード9.0、震源の深さ24km、後に東北地方太平洋沖地震と名付けられた)は、プレートとプレートとの境界で発生する海溝型地震といわれる。この地震による大きな津波は、東北地方から関東地方の太平洋沿岸にかけて未曾有の被害をもたらした。そして更に、東京電力福島第1原子力発電所においては原子炉建屋の水素爆発及びメルトダウン・メルトスルーを引き起こし、その事態はロシアのチェリノブイリ原子力発電所事故と並ぶレベル7(国際原子力事象評価尺度。最高レベルで、深刻な事故と定義される)とされた。

地震は巨大施設の原子力発電所に限らず、大型設備の多い加速器施設にも大きな影響を与える。今回の東北地方太平洋沖地震は東北地方や関東地方に設置された大学・研究所や民間会社の加速器施設に大きな損傷を与えた。筆者は、加速器の管理・運営上、地震は大敵と考え、加速器と地震に関してこれまでいくつかの報告を行ってきた^{1,2)}。

本報では、先の報告に、東北地方太平洋沖地震が静電加速器に及ぼした影響の幾つかの事例を加え、詳細に報告する。

2. 地震により影響を受けた加速器施設

2.1 神戸商船大学の加速器と兵庫県西部地震

神戸商船大学(現在は神戸大学)には米国 NEC(National Electrostatics Corporation)社製タンデム型静電加速器 5SDH(ペレットロン、最大発生電圧 1.7MV、横型)を中核として、核反応実験用チェンバーや PIXE ターゲットチェンバー、パルスイオン注入装置が付帯設備としてある。

1995年1月17日、明石海峡を震源とする M7.3 の直下型地震(兵庫県西部地震)に見舞われ、パルスイオン注入装置を除き、すべてのシステムが横転、また上下震動などの衝撃により破壊された。1995年度の震災復旧予算が付き、加速器は NEC 社製タンデム型静電加速器 5SDH-2(最大発生電圧 1.7MV)へと更新され、また付帯設備のオーバーホールなども行われた³⁾。スムーズに復旧した好例といえる。

2.2 九州大学の加速器と福岡県西方地震

九州大学大学院理学研究院タンデム加速器施設には、タンデム型とシングルエンド型の静電加速器がある。前者は横型で最大発生電圧 10MV、後者は縦型で最大発生電圧 6MV の性能を有している。

2003年3月20日10時53分、福岡県西方の玄界灘で M7.0 の地震が発生した(福岡県西方沖地震)。

九州大学箱崎地区にあるタンデム加速器施設は、タンデム型静電加速器においてターミナルを支持しているパイロックス・ガラス製カラムに9ヶ所の破損(ガラス割れ)やイオン源室の床の沈下があり⁴⁾、またシングルエンド型静電加速器は完全に崩壊した。図1に地震で崩壊したシングルエンド型静電加速器を示す。

地震が年度末ということで復旧予算が付くか分からないが状況だったが、取りあえず予算申

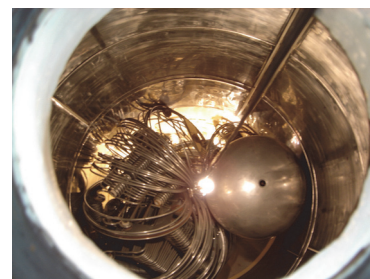


図1 地震で崩壊したシングルエンド型静電加速器

請し、研究室予算の立替で見切り発車をした。その後、文科省の災害支援関連経費が付くことになった。これも神戸商船大学とならび災害復旧の好例といえる。

2.3 広島大学の加速器と芸予地震及び大分県西部地震

広島大学大学院工学研究科には日新ハイボルテージ社製シングルエンド型静電加速器 AH-2000H (最大発生電圧 2.5MV、横型) が設置されている。

2001年3月24日15時28分に瀬戸内海安芸灘を震源とするM6.4の地震が発生した(芸予地震)。広島大学東広島キャンパスは震源から約40kmにあり、震度5強～6弱を記録した。加速器は、外見上異常は見られずアライメント調整で済んだ。しかし地震発生から約7ヶ月後の11月5日に轟音とともに加速器が崩壊した。図2に崩壊した加速器を示す。2002年2月初めにHVEE(High Voltage Engineering Europe)製カラムの先行手配を行い困難な手続きの末に学長裁量経費が付き、2003年6月21日に修理を終えた。



図2 崩壊した加速器

加速器タンクを開けた時の状態。加速器本体を支える絶縁カラムの接着面が破断し、ポッキリ折れた状態でターミナルシェルが加速器タンクに接触している。

2004年9月21日10時13分、瀬戸内海中部を震源とするM4.6の地震が発生した(瀬戸内海中部地震)。この地震でカラムに2カ所の剥離が見つかり、無償修理だがオランダまでの搬送・通関手数料は大学持ちとなった。幸い、学長裁量経費で修理予算要求がスムーズに認められた。

2006年6月12日5時1分、大分県中部を震源とするM6.2の地震が発生した(大分県西部地震)。東広島市では震度3-4を観測した。この地震で、カラム基部の磁器絶縁物のうちの1個が完全剥離した。6月14日、部局支援グループの現任を受けるとともに、「被害状況報告書」を提出した⁵⁾。復旧は財務省よりの「災害復旧予算」で実施された。三度目にして復旧がスムーズにいった好例といえる。

3. 東北地方太平洋沖地震が影響を及ぼした主な静電加速器施設

宮城県沖で発生した今回の地震は海溝型地震と呼ばれている。内陸の活断層で起きる直下型地震に比べ規模が大きいという特徴がある。今回の地震の加速度分布図を図3に示す⁶⁾。同図から、震源地は宮城県沖で、仙台を中心とする宮城県と岩手県南部に最大加速度が1000galを超える地域がある。一方、震源地から離れた茨城県の沿岸側からつくば市、笠間市にかけての地方でも最大加速度が1000galを超えている。この地域の代表的な静電加速器施設が受けた地震の影響を以下に示す。

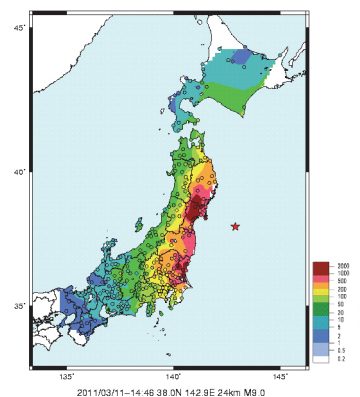
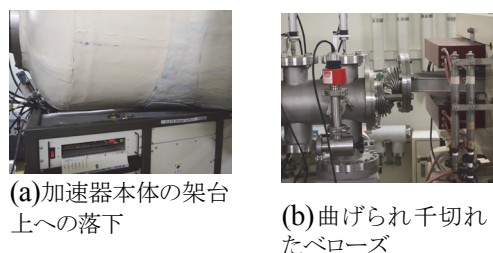


図3 東北地方太平洋地震の加速度分布

3.1 東京大学工学系研究科原子力専攻の加速器

茨城県東海村にある東京大学工学系研究科原子力専攻の重照射管理部(通称HIT)にはHVEE社製タンデム型加速器(タンデトロン、横型、最大発生電圧1MV)とGIC社製バンデグラフ型加速器(General Ionix Corporation、シングルエンド、横型、最大発生電圧3.75MV)の2台の加速器が設置されている。前者は、激しい横揺れにより加速器本体を架台より支えているピンが外れ、横にズレながら架台上に落下した。加速器本体の上流及び下流側のペローズが上下及び



(a) 加速器本体の架台上への落下

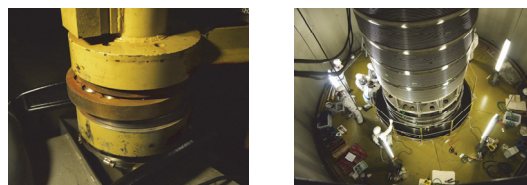
(b) 曲げられ千切れたペローズ

図4 被害を受けた1MVタンデトロン

左右方向に曲げられ千切れた。加速器真空系の破損と加速管破損による絶縁ガス(SF6)の飛散など加速器として致命的な損害を受けた。被害を受けた1MVタンデトロンを図4に示す。また後者においては、ターミナルシェルに凹みが見られるなどタンク内で動いた様子が見られる。同タイプの加速器では広島大学の加速器の事例があるように、カラムの絶縁物の接着部分の剥離が心配される。

3.2 日本原子力研究開発機構東海研究開発センターのタンデム型加速器

日本原子力研究開発機構東海研究開発センターには NEC 社製タンデム型静電加速器(ペレトロン、縦型、最大発生電圧 20MV)が設置されている。この加速器の特徴は、高さを抑えるために、イオン源からの負イオンは加速器上部のターミナルへと加速されつつ導かれ、ここで電磁石により 180°反転されるとともにストリッパチャネルで正イオン変換されて、加速器下部へと再加速されるもので、全体に逆U字の構造となっている。それでも加速器圧力タンクの長さは、絶縁カラムシステムを 20 ユニット積み上げてあるので 26.6m にもおよぶ巨大なものである。そこで加速器構造体の底部に免震機構が設置されている。1 ユニットは 12 本のカラムポストで構成され、総計 240 本のカラムポストのうち今回の地震で 40 本にひび割れが見つかった。加速管に致命的なダメージはなくカラムポストのひび割れで済んだのは、免震機構が有効に作用したと施設側では考えている。しかし、その免震機構も一部外れかかっており、危機一髪のところだったと言える。図5に被害を受けた20MVペレトロンを示す。分析電磁石をはじめとする付帯設備などは大きくズレたりしており、その被害は大きい。



(a) 免震機構の一部。外れかかって中のベアリングが見えている。
(b) 修理作業中の風景。加速器タンク内は 8 畳間ほどの広さがある。

図5 被害を受けた20MVペレトロン

3.3 筑波大学研究基盤総合センター応用加速器部門の加速器

筑波大学研究基盤総合センター応用加速器部門には NEC 社製タンデム型静電加速器(ペレトロン、縦型、最大発生電圧 12MV)と HVEE 社製タンデム型加速器(タンデトロン、横型、最大発生電圧 1MV)がそれぞれ 1 台設置されている。後者のタンデトロンは大きな被害を受けなかったが、前者のペレトロンは加速器タンク内の加速器構造体が崩壊するという壊滅的な状態となった。なお、加速器棟の高さは 41.6m、その中に納まる加速器タンクは高さ 17.9m、直径 4.83m と巨大なものである。図6に崩壊したペレトロンを示す。



図6 崩壊した筑波大学の12UDペレトロン加速器

図3より、つくば市近郊は大きな地震加速度を受けたことが分かるが、筑波大学のタンデム加速器関係者によれば、一度目の宮城県沖を震源地とする強い地震よりも、二度目の茨城県沖を震源地とするゆっくりとした揺れの地震により加速器が崩壊したとのことである。縦型で高い(長い)加速器構造体と長周期振動とが共振し揺れが増大したと考えられる。

4. 東京大学工学系研究科のイオン加速器(MALT)について

東京大学工学系研究科原子力国際専攻の加速器管理部には NEC 社製タンデム型静電加速器(通称 MALT、ペレトロン、縦型、最大発生電圧 5MV)と HVEE 社製タンデム型加速器(通称 RAPID、タンデトロン、横型、1.7MV)がそれぞれ 1 台設置されている。加速管及びコラムの接合が広島大学や HIT と同様の接着剤方式は RAPID で、私のいる MALT (Micro Analysis Laboratory, Tandem Accelerator) は米国 NEC 社製の技術であるセラミックスと金属の溶着方式となっている。

東北地方太平洋沖地震の発生時、MALT は加速器のコンディショニング中で 3MV 程度の高電圧を発生させていたが、安全に停止することができた。また真空系関連も正常に稼働しており、真空悪化は生じなかった。ただビームラインに設置してある磁気浮上型ターボ分子ポンプのみ 1 台が壊れた。また施設関連では、1 階部分の標的室 I と標的室 II との間にある片開き遮蔽扉(厚さ 80cm)のピンが外れ少し動いたこと、5 階イオン源室内のキャスター付作業機が 20cm 程度移動、旧建屋と新設建屋とのつなぎ目部分の塗装剥離が観察された程度であった。

MALT の絶縁カラムシステムは震度 5(80~250gal)に耐え得る設計になっている⁷⁾。今回の地震は震度 5 弱(文京区)、最大加速度 202.5gal(観測点:新宿)であり、絶縁コラムシステムの耐震設計以内であった。しかし、芸予地震における西条市近郊での最大地震加速度は東西・南北・上下それぞれで 273gal、244gal、151gal であったことから、芸予地震クラスの巨大地震が東京を襲った場合、大きな被害が発生することが予想される。筑波大学の加速器は絶縁カラムシステムを縦に 12 ユニット積み上げた 12UD 型(最大発生電圧 12MV)である。一方、MALT は 5 ユニット積み上げた 5UD 型(最大発生電圧 5MV)で、積み上げた高さは約半分弱ほどである。震源地からの距離(地震強度)や地盤、また地震の揺れ周期とも関連するが、筑波大学の加速器は崩壊した。MALT が実質ターボ分子ポンプ 1 台の実害で済んだことは僥倖であったと思われる。

地震等の自然災害に起因する大型装置の崩壊・損傷では、“壊れる時に壊れる”と事後の修復、処理などが円滑に進むということも、広島大学大学院工学研究科の加速器崩壊の教訓のひとつといえる。しかし今回は地震と津波による甚大な被害に加えて、福島第 1 原子力発電所のレベル 7 事故がある。東日本大震災への災害復旧が何より急務となっている。よって、科学技術・研究予算については後回しとなり、加速器施設の復旧がスムーズにすすむかどうかは微妙なところと考えられる。

5. おわりに

太平洋プレートとフィリピン海プレートが潜り込むユーラシアプレートと北米プレートの上に、日本列島はのっている。それ故、日本は火山国であるとともに地震国でもある。本報では、MALT を含め地震により大なり小なり被害を被った国内 7 ヶ所の加速器施設について報告した。加速器を管理・運営していく上で本報が参考になれば幸いである。

広島大学大学院工学研究科の西山文隆氏、九州大学大学院理学研究院の前田豊和氏、日本原子力研究開発機構東海研究開発センターの松田誠氏、筑波大学研究基盤総合センターの笹公和氏、東京大学工学系研究科原子力専攻の岩井岳夫氏、小亦孝男氏に有益な情報を頂きました、ここに感謝いたします。

参考文献

- 1) 中野忠一郎、“地震により崩壊した広島大学工学部の加速器の視察”、第 11 回東京大学原子力研究総合センター技術発表会、2002 年 9 月、pp18-21
- 2) 中野忠一郎、“加速器と地震”、平成 19 年度核融合科学研究所技術研究会、2008 年 3 月、pp55-57
- 3) 谷池 晃, et al, “神船大タンデム加速器の現状”, 第 11 回タンデム加速器とその周辺技術の研究会, 1998 年 7 月(於:東工大), pp4-6
- 4) 前田豊和, et al, “九大タンデムにおける福岡県西方沖地震の被害” 第 18 回タンデム加速器とその周辺技術の研究会, 2005 年 7 月(於:九州大学), pp147-150
- 5) 西山文隆:「HVEE 製 AN-2500 用絶縁カラム剥離事故のドキュメント」(2007)
- 6) 防災科学技術研究所強震ネットワーク K-NET
- 7) 入札仕様書「5MV タンデム型静電加速器用の発電システム、絶縁コラム、圧力タンクおよび運転制御システム」伯東株式会社(1992.2.21)

7 節電のための小電力サーバー導入実験と仮想化による計算機の削減

電気系工学専攻 高橋 登

noboru@gavo.t.u-tokyo.ac.jp

1. はじめに

現在、研究室のインフラサーバーは、各タスク毎にハードウェアが異なっており、このことが恒常的な消費電力の増大につながっている。本報ではこのインフラサーバーを小電力で稼働できるサーバーに置き換えることが可能かどうか検討を行った結果を報告する。併せて専攻事務室で仮想化によって計算機を削減した事例を紹介する。

2. 小電力サーバー導入実験

インフラサーバーは現在4台稼働しており、他の研究用サーバーを合わせると、10台が常時稼働しているため、1台あたり平均200Wの消費電力とすると毎時合計2000Wを消費していることになる。これは一般的にサーバーはパソコンと比較して、低負荷状態でも消費電力が大きいこと、電源部分が冗長化されていることも要因となっている。

東日本大震災によって起因した電力の供給不足から、節電が社会全体での至上命令となっているが、東京大学においても様々な取り組みが行われている。情報理工・工学系では江崎教授を中心とするプロジェクトによって、使用電力のリアルタイムモニタリングが可能となり節電に効果を上げている。同時に、各研究室毎に稼働しているインフラサーバーを仮想化する技術の提供によって、6割ほどの節電が可能となった。これは近年の業務用サーバーの高性能化によって実現できたことであるが、業務用のみならず、個人用のPCにおいても性能が向上し、十分に業務用としても耐えうるレベルに達している。

2.1 初期設定

今回導入実験に使用したMac mini Serverもその一つであり、Mac OS X Serverをプリインストールした製品で、高性能ながら消費電力がノートPC並みまで抑えられている。また、家庭から小規模なOfficeでの使用を前提としているため、設定などが非常に容易にできるような仕様となっている。なお、Mac OS X Serverをソフトウェアとして購入し、既存のApple社のハードウェアにインストールして使用することも可能であるが、Mac mini Serverはサーバーに特化した製品であるため、コストパフォーマンス的にも優れた製品である。（図1,2）

今回の実験は以下の条件により実施している。

- ・ルーターを使用せず工学部LANに直接接続（省電力、簡易性）
- ・開放ポートはhttpを除きSSLのみ（安全性）



図1. Mac mini Server
(左は比較のためのiPhone)

- ・稼働サービスは、Web、mail、iCal、Wiki、ブログ、FTP（内部のみ）

Mac mini Server は初期状態で 500GB の HDD が 2 台内蔵されており、片方の HDD に OS がインストールされているが、冗長性を持たせるためにまず RAID1（ミラーリング）を行って OS の再インストールを行った。初期設定は非常に簡単でアシスタントに従って進めればすぐに終了する。その後利用するサービス毎に細部の設定をする訳だが、詳しいマニュアルも付属していないため、参考書、ネットでの記事が頼りとなるが、利用者に比例して書籍、記事も大変少なく通常の Linux での設定がそのまま当てはまらないことが多く苦勞する。ただ、設定が GUI で行えるため、アドミンとクライアントのウィンドウを並べて表示させ、すぐに動作を確認できるのは大変便利である。今回はできる限りこの GUI での設定を前提として作業を行った。ただどうしても CUI（コマンドライン）での設定を余儀なくされた部分も存在したが、ここで注意しなければいけないことがある。ネットの記事でも指摘されていたことであるが、CUI での設定をしすぎると GUI での設定に影響を与えサービスが動かなくなるという点である。実際 Web の設定でこの状況に陥りバックアップファイルから復元することになった。なお、GUI での設定には通常画面共有か ARD（Apple Remote Desktop）で行うが、新たに USB イーサネットアダプタを追加して、プライベート側からのアクセスで行い、グローバル側からの管理ポートのアクセスはセキュリティ上行わないことにした。ネットワークアダプタを 2 個にしたことで、NAT や VPN も設定可能であるが、当面当該マシン以外には設置予定がないこと、VPN は現在他の機器により実現されていることから設定はしていない。

設定時の注意事項を記しておく。

- ・CUI での設定をしすぎると稼働しなくなる場合がある。（各種 conf ファイルをエディターで修正する際は注意する）
- ・ライセンスのアクティベートを常に行っているポートがあるので、ファイアウォールの設定は注意する。（閉じてしまうと入力欄がグレーアウト状態になり設定不能となる）
- ・WinSCP などで sftp を使用する場合は sshd.conf の設定が必要となる。（GUI への影響なし）

2.2 稼働状況

2.2.1 安定性



図2. Mac mini Server と既存のサーバー(1U)との比較

さて、サーバーの稼働状況であるが、OS のアップデートなどは通常の Mac と同様に半自動的に行われ、常に最新の状態が保たれるためいたって安定している。そもそも MacOSX 自体安定したものであることから領けることである。特筆すべき点として、Apple 製品だけに、iMac、MacBook 等のパソコン、iPhone、iPad 等のポータブルデバイスとの親和性が良く、これらのクライアント側から見ても安定したシステムである。mail、iCal はサーバー名アカウントを入力しただけでほとんど自動的に設定が完了し利用することができる。

Wiki やブログを作成すると、これらポータブルデバイスで表示する際には自動的にフォーマットが変換され、見やすく扱いやすいものになる。

現時点ではまだ試験的に高負荷を与えることしかしていないが、十数年前に使用した Linux 系の同種のアプライアンスサーバーに比較するとはるかに高性能で安定性が高いことが感じられる。

2.2.2 消費電力

今回の主題である消費電力であるが、定常状態で計測したところ平均 30W であり、負荷を与えた場合でも 50W ほどであった。これは前述のインフラサーバー 4 台分の 1/20 になる。さすがに 40 人弱のメンバーに対してのサービスをストレスなく提供することは難しいと思われるが、例えば 10 人ほどの研究グループ、身分毎に分けて負荷に応じて台数を増減させ、これらを ARD で一元管理することは容易である。仮に 4 台としても 1U サーバー 1 台分に満たない。また、消費電力が少ないことはメンテナンスにおいても省力化が図れる。通常サーバーなどは瞬停（瞬断）や不安定電圧に備え無停電電源を設置しているが、商用電源が停止した場合に 20～30 分ほどの供給能力しかなく、この間に復旧しない場合は適切な操作によって停止させる必要がある。しかしながら小消費電力であればこの停電稼働時間が飛躍的に伸びるため、場合によっては停止することなく継続して運用が可能となる。また、小型で発熱が少なくファンレスであるため冷房装置のある部屋でなければならないといった制約もなく、設置場所を自由に選べることも有利である。弱点である記憶容量に関しても、IEEE1394b、iSCSI などの高速通信プロトコルを用いた大容量外部ストレージを増設することで対応が可能である。

2.3 考察

長時間稼働における耐久性、信頼性、安定性についての報告は秋の発表時までお待ちいただきたいが、小消費電力、保守作業の軽減という点においては現時点でも優れた機器であることが実証された。また、ここ数年利用者が増大している iPhone、iPad 等のポータブルデバイスへのサービス提供を考慮した場合には、他に選択肢がないといっても過言ではない。

3. 仮想化による計算機の削減

3.1 背景

専攻事務室で使用する PC は、数年毎に老朽化した機器から逐次更新を行っているが、それに伴って OS 自体もバージョンアップされるのが常である。しかしながら、業務システムの一つである「学務システム (Campus Square)」は依然要件に Windows XP が指定されているため、Vista 以上の OS では使用することができない。これは、現在同システムが稼働しているサーバー OS が、Windows XP ベースである、Windows 2003 Server のためであると思われる。このため、旧マシンを存続させこの業務専用で使用してきたが、ハードウェアを 2 台並べるため、スペース的にも省エネの観点からも望ましくない。そこで、MS から無料で提供されている Virtual PC 2007 をインストールして、Vista 上で XP を動かシシステムの起動を可能とした。

3.2 設定

マイクロソフトによると Virtual PC 2007 のインストール要件として、ホスト PC のエディションは Vista Business 以上とされており (MS 以外のネット上の記事でも Home Basic、Home Premium は使用不可との記載がある)、エディションが Vista Home Basic である専攻 PC のグレードアップを検討したが、

実際にインストールしてみると、機能の制限があるということだが使用には全く支障がないことがわかった。

実際のインストール作業であるが、まずマイクロソフトのサイトからVirtual PC 2007をダウンロードしてホストPCに保存する。32bitと64bit版があるので注意する。保存したら実行すると特に難しい設定は必要なく簡単にインストールができる。Virtual PC 2007をインストールしただけでは他のOSを使用することはできないので、使用するゲストOSをインストールしなければいけないのだが、それぞれのゲストOSのインストールディスクが必要となる。インストールに際して一番問題になるのはここであると思われる。つまり、通常PCを購入するとインストールされているOSのインストールディスクは付属されていない。リカバリディスクを作成することはできるがそれをインストールに使用することはできない。よってゲストOSを別途購入しなければいけない訳であるが、XPなどはすでに購入すること自体困難となっている。幸いにも過去に購入したXPのディスクが存在したのでインストールが可能であったが、入手が困難な場合はインストールが不可能となる。この場合は方法がないかというところでそうでもなく、マイクロソフトから使用期限付きで英語版ではあるが無償でXPイメージがダウンロードできるのでこれを利用するか、有償となるがホストPCのOSをWindows 7のProfessional以上のエディションにアップグレードしてしまう。こうすることでこのエディションで無償提供されている「Windows XP mode」、「Windows Virtual PC」を利用できるようになり、この場合はゲストOSのインストールディスクは必要なくXPのセットアップが完了する。

3.3 運用

学務システムを利用するためには、Virtual PC 2007、続けてWindows XPを起動し、システムとVPN接続するためのソフトを起動する。その後学務システムを起動するといった手順を踏まなければならないのだが、PCが分かれていた際にもWindows XPからの起動といった手順は変わりがないため、設置スペース、省電力、データの受け渡しに関するメリットなどを考えると大きな改善と言える。(図3,4)

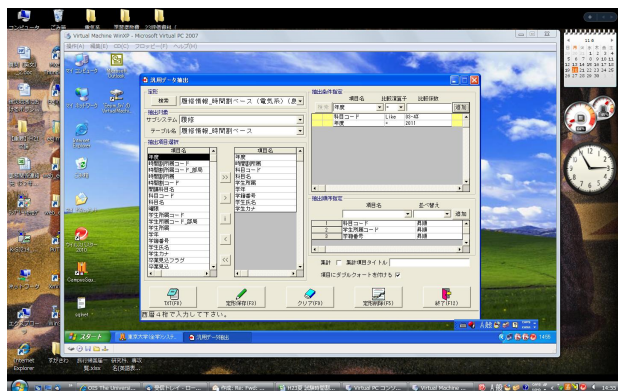


図3. Windows Vista > Virtual PC 2007 > Windows XP > VPN > 学務システム 起動画面



図4. Windows Vista と Windows XP をディスプレイで切替えて使用

4. まとめ

今回の節電を機に小電力サーバーへの置換が可能であるかを検証するため実験的に運用を行った。その結果単体では困難であっても複数台組み合わせることで可能なこと、また、簡単な仮想化によって機器の台数を減らせることで省電力化が可能であることが明らかとなった。

仮想化による計算機の削減につきまして、専攻事務室の皆様にご協力いただきましたことを感謝致します。

8 GPS 測量機器の測量作業と計測結果から 地下水面等深線図の作成

システム創成学専攻 茂木 勝郎

kmogi@sys.t.u-tokyo.ac.jp

1. はじめに

現在では、携帯電話、カメラまで搭載されるようになった GPS(Global Positioning System)。公共測量では、GPS 測量機器を使い、その測量解析結果を成果品として、提出することが出来るようになった。ここでは、野外調査で行った、精密 GPS 測量とその測量結果から得られた考察を紹介いたします。

2. GPS 測量

2.1 GPS 測量概要

静止測量は、GPS 機器を 2 台以上使用し、同時計測することにより各測量点での誤差を除去し相対位置及び標高を測量するものである。そのうちに 1 地点を仮設基準点として長時間計測することにより、計測での位置誤差を小さくすることができる。この仮設基準点に既知情報を入力してやれば、他の地点の相対位置標高を高精度で決定することが可能である。仮設基準点の選定においては、調査地域のおおよそ中心におくと良い。

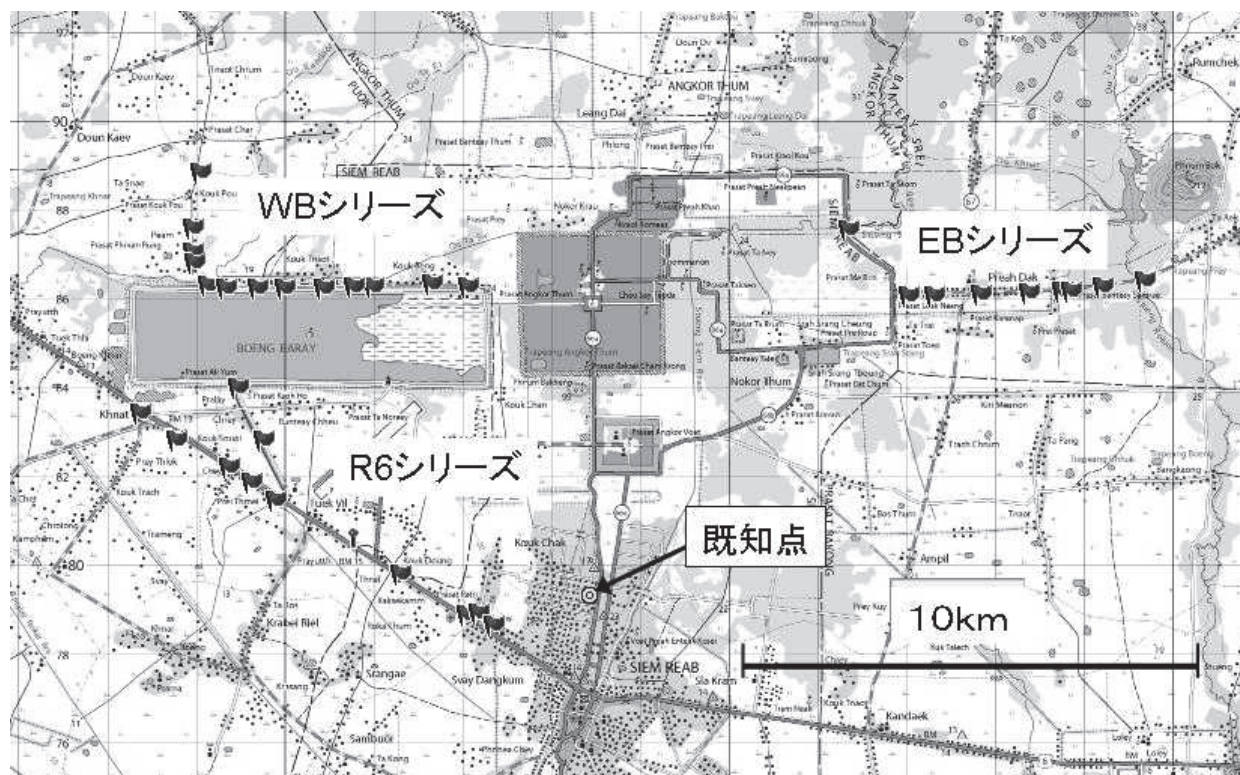


Fig.1 : カンボジア王国シエムリアップ周辺の調査地域 (R6,WB, EB)
(カンボジア王国発行 1/10 万地図に加筆)

2.2 GPS 機器

機器の構成は、GPS 本体（メモリ内蔵）、コントローラ（PDA）、アンテナを基本とし、静止測量には三脚。RTK(リアルタイムキネマティック)測量には、携帯電話(もしくはデータ通信カード)を利用する。この RTK 測量は、データセンターと携帯電話で通信し、計測データをデータセンターに送りその解析結果を手元のコントローラ（PDA）へ表示・計測終了（保存）するのである。作業地域は、国内の携帯電話通話可能域と限定的であるが、1 地点辺りの測量時間が大幅に減少させることができ、作業効率が上がります。

この発表は、それが出来ない地域(携帯通話圏外)での測量方法として静止測量を紹介する。

メーカー：日本 GPS ソリューションズ株式会社（現日立造船株式会社）

機種：Netsurv2000(VR), NetsurvG6(VR)

精度：静止測量(水平：±5mm+0.5ppm×基線長，垂直：±5mm+2ppm×基線長)

RTK 測量(水平：±10mm+1ppm×基線長，垂直：±20mm+1ppm×基線長)

2.3 作業手順

2.3.1 仮設基準点の設置

長時間計測することから、電源（AC）があることが望ましい。日本の公共測量では、衛星取得タイミングは 15 秒～30 秒（日本各地に設置されている電子基準点の衛星取得タイミング）です。しかし、GPS 測量機器を 2 台以上使う場合は、両方の衛星取得タイミングを 1 秒にすることで、約 30 倍の密度の情報が取得可能になり、1 地点における作業時間を短縮することが出来る。機器の設置地点は、上空の開放状況を鑑み十分な場所に設置する。（仰角 15 度くらいに何も無いこと。）



Fig.2 : GPS 設置状況

2.3.2 各測量点

この測量も取得間隔を仮設基準点と同じにする必要があり、1 秒にする。計測地点も同様に、各地点の上空開放状況を鑑み十分な場所に設置する。

また、事前に仮設基準点と各測量地点の距離を計算しておく。これは地図上を物差しで測る程度でよく、各地点のおおよその測定時間の参考になる。1 秒の衛星取得タイミングであれば、10km 以内：15 分、20km 以内：20 分、30km 以内：30 分で十分な測量が可能である。上空の状況により 5～10 分追加して測量すればよい。

GPS の測量終了後、目標測点と GPS 測点の間を水準測量で高低差を測量しておく。ここでは、井戸口標高を測量を目的としており、井戸口から水面までは、センサー付き水位メ

ジャーで計測する。

3. 解析

取得したデータは、「Trimble Total Control」(Nikon Trimble 社製)で解析した。当日の内に仮解析して誤差の大きい地点は、再度測量した。(Fig.3)

4. 図面化

この解析結果を元に、各井戸水位を地図全体に配置して、地下水水面図を作成する。地理情報システム (Geographic Information System=GIS)のソフトウェアを利用して作成することも可能である。

井戸水位と地図を見比べてみると水面標高に関して矛盾すること地点があることが、わかった。

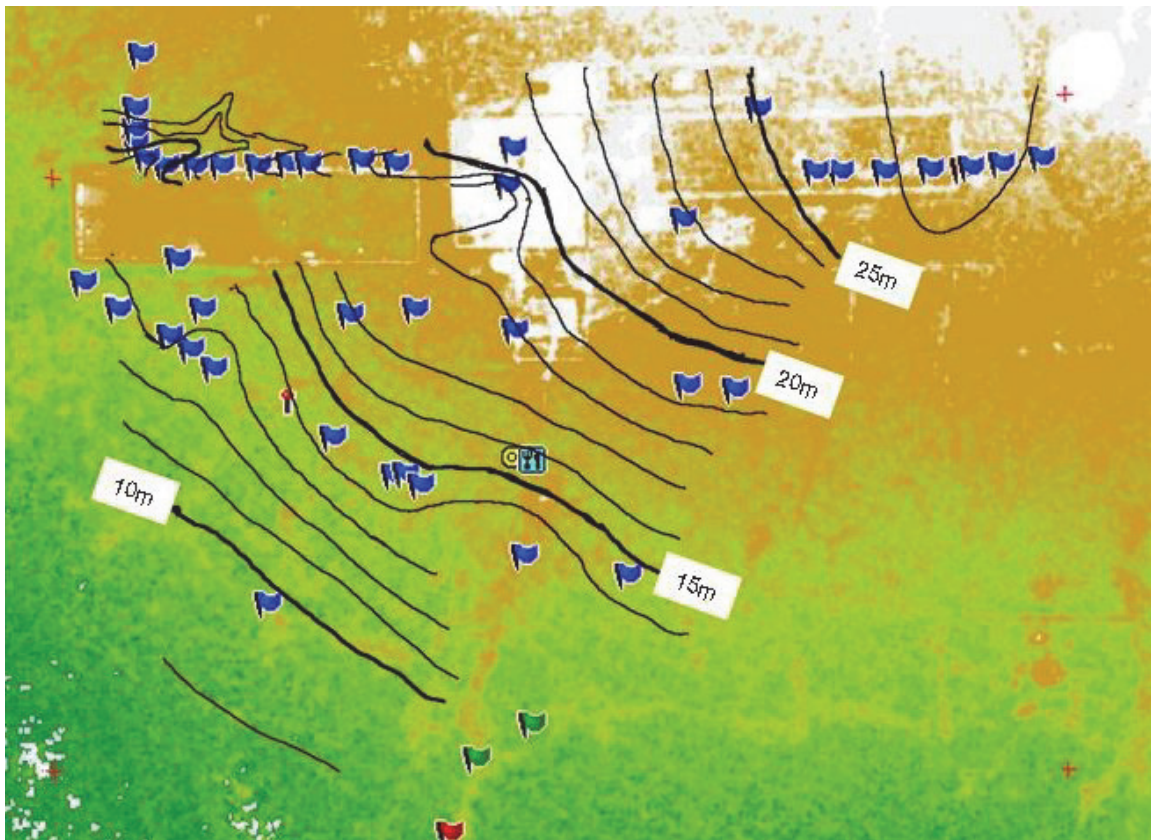
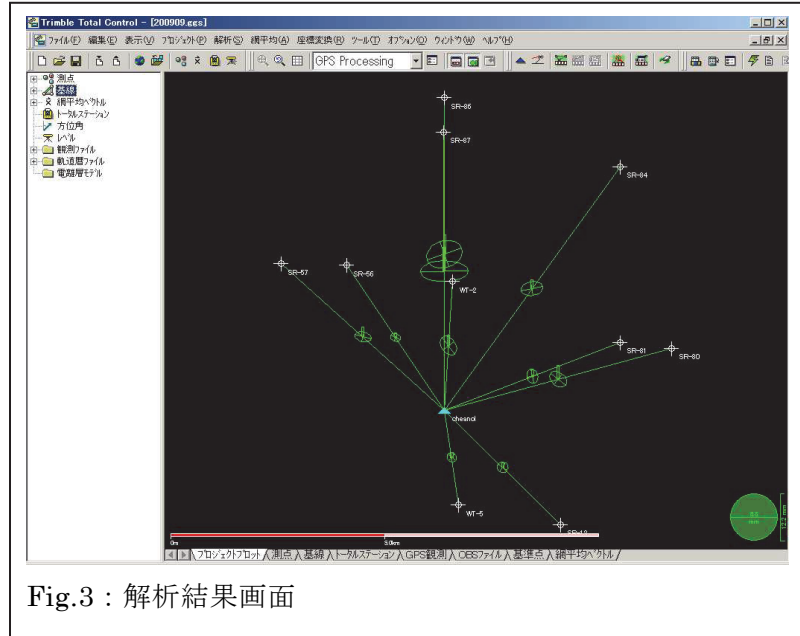


Fig.4 : 地下水水面図(2009年9月時点) (SRTM データをカシミールで加工し加筆)

Fig.4 が作成した図である。地下水水面図を引いていない場所があるが、これは、他の地区と比べて、情報が足りないので引かなかったのである。今後、追加測量することにより、更に詳細

な地下水面図へ更新できるだろう。

5. まとめ

この測量で、各領域において、いくつかの傾向が見出せた。西バライの北部（測点 WB シリーズ）では、東から西へ向かう緩やかな地下水面標高の低下が見られる（Fig.5）。ここでは、南北測点もあり、そこでは北から南へ向かって地下水面標高が低下している。

この傾向は、少なくとも乾期には、

WB-23 の西側に位置する川に向かう浅層地下水の流出が起こっていることをと考えられる。また、西バライの水面標高（15.9m）と地下水面標高との関係からは、西バライの広大な遊水面と地下水との直接的な交流は想定されにくい。

このように、精密な測量と地下水位計測を組み合わせることにより、浅層地下水挙動をより正確にとらえられることが明らかになった。今回用いた方法は、GPS 精密測量に基づくものであり、国内外のどのような地域でも適用可能であり、また、極端に時間がかかる方法ではないために、汎用性が高いものと考えている。

6. 謝辞

この測量作業は、2009 年度科学研究費（徳永）の調査に一部で行われました。この調査おいての基礎データ作成の測量作業を任せていただきました新領域創成科学研究科の徳永朋祥教授に謝意を表すとともに、この調査のために GPS 機器のお貸しいただきました人工物研究センターの六川教授と工学系研究科・都市工学専攻の滝沢教授に御礼申し上げます。

参考文献

アンコール遺跡周辺地域の GPS 測位による地下水位の決定、茂木勝郎、他（2009 年地下水学会秋季講演要旨：p260-261）

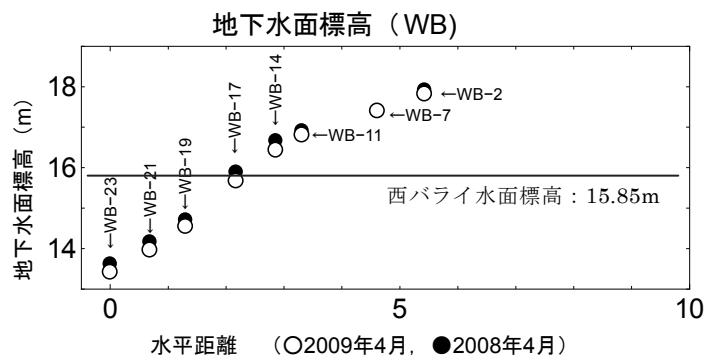


Fig.4. : WB シリーズと西バライの水面標高 (WB-23 を 0 としての水平距離)

9 OpenVPN を用いた建物間のネットワーク接続について

システム創成学専攻 榎本昌一
eno@nakl.t.u-tokyo.ac.jp

1 はじめに

システム創成学専攻（旧環境海洋工学専攻）は実験水槽等の設備を除き、教職員や学生の居室、実験室、演習室がひとつの建物（工学部3号館）内にあったのだが、その建物の建替えが決まり、昨年7月に住民は退避先へ移動し、3号館は解体された。現在、新3号館として2年後の平成25年3月完成を目指し、工事が行われている。

我々の退避先は学内の空き部屋のある建物にバラバラに配置され、さらに数名の教官は学外の貸事務所を退避先として使用することとなった。筆者の管理する計算機演習室も4つの建物に分散されてしまった。その演習室のネットワーク管理だが、当初は部屋毎の個別管理を考えていたが、ユーザ管理、ログ管理等の作業が煩雑になる為、一括管理を行うことを決めた。ただし、工学部のネットワークルールでは建物間の VLAN (Virtual Local Area Network) 接続は行わないこととなっている。そこで、各演習室を VPN (Virtual Private Network) 接続することを考えた。本編はその報告である。



図1 工学部3号館（2010年6月撮影）

2 ネットワークの設計

ネットワーク設計に際し、現状の把握をし、求められる点をまとめてみた。ネットワークが必要な演習室は、工学部8号館5階517号室、同519号室、工学部8号館3階324号室、動揺水槽演習室、仮設プレハブの4カ所であるが、同じ8号館でも517号室と324号室はネットワーク的には別なセグメント扱いとなっており VLAN 接続はできない。また、ネットワークに接続する演習用の PC はすべてノートパソコンで、無線 LAN を用いる。今回、ネットワークを構築するための予算は計上されておらず、新たに高額な機器は購入できない。また、P2P パケットが検出された場合、すぐにそのユーザを特定する機能が必要である。このような条件のもと表1のようないくつかの案を考えた。

案3のルート接続と案4のブリッジ接続については次章で説明する。最終的に案4を選んだ。安価での構築が可能であり、一元管理が出来ることに魅力を感じた為である。

3 OpenVPN とは

今回、VPN ソフトウェアとして OpenVPN を選んだ。OpenVPN はサーバ・クライアント間に暗号化されたトンネルを作成し通信を行うオープンソースのソフトウェアである。各種 OS

表 1 ネットワーク構築案

案 1 : 各セグメントに無線 LAN ルータを設置	
長所	<ul style="list-style-type: none"> ・ ネットワーク構築が簡単 ・ 古いルータを使うことができる
短所	<ul style="list-style-type: none"> ・ 無線 LAN ルータ毎の管理が必要 ・ Syslog サーバが必要
案 2. 各セグメントに VPN ルータを設置	
長所	<ul style="list-style-type: none"> ・ ネットワーク構築が簡単
短所	<ul style="list-style-type: none"> ・ 新規購入となる (高価) ・ VPN ルータ毎の管理が必要 ・ Syslog サーバが必要
案 3. OpenVPN でセグメント間をルート接続	
長所	<ul style="list-style-type: none"> ・ フリーソフトなので無料 ・ 古い PC を使用できる
短所	<ul style="list-style-type: none"> ・ 各セグメントに OpenVPN ・ NAT DHCP サーバの構築が必要
案 4. OpenVPN でセグメント間をブリッジ接続	
長所	<ul style="list-style-type: none"> ・ フリーソフトなので無料 ・ 古い PC を使用できる ・ 管理を一元化出来る
短所	<ul style="list-style-type: none"> ・ 親セグメントに、NAT・DHCP サーバの構築が必要 ・ ネットワークトラフィックが親セグメントに集中する

に対応しており、事前共有した秘密鍵、公開鍵証明書、ユーザ名/パスワードを使っての Peer to Peer 相互認証を行う。使用例としては、自宅 PC やモバイル PC から職場の OpenVPN サーバへの接続や、ネットワークセグメント同士の拠点間 VPN 接続を実現することができる。

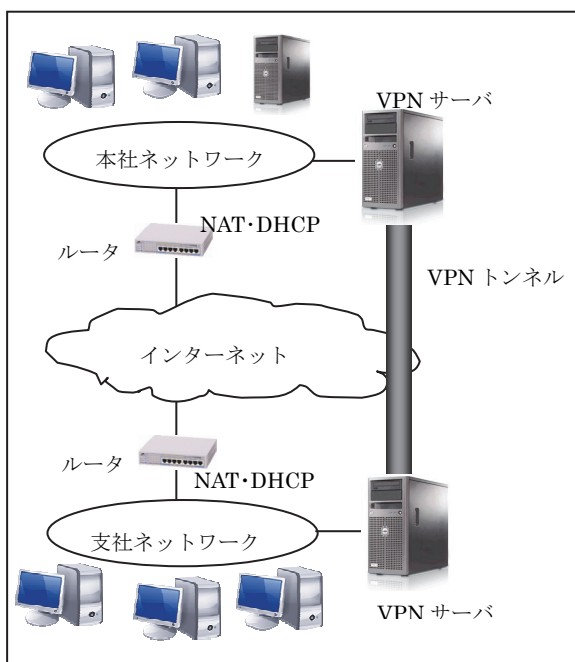


図 2 OpenVPN によるルート接続

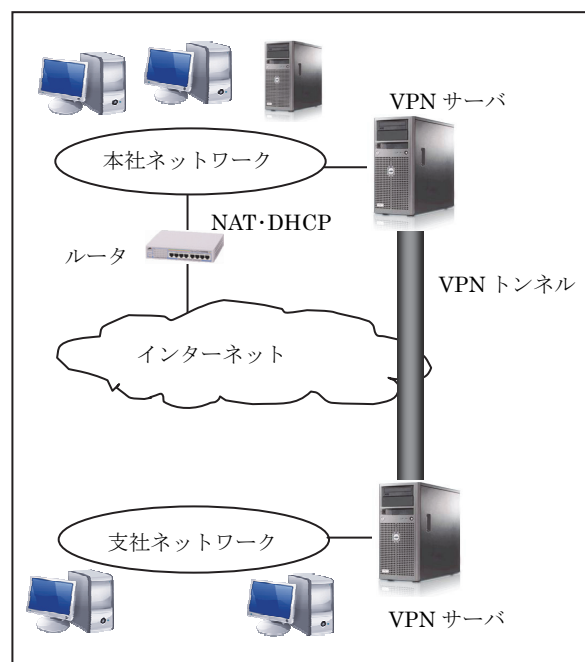


図 3 OpenVPN によるブリッジ接続

拠点間 VPN 接続を構築する場合、接続形態には、ルート接続（図 2）とブリッジ接続（図 3）のふたつがあり、共に VPN サーバ間で VPN トンネルを通す形になる。例として本社と支社を繋ぐ場合を考えてみる。ルート接続の場合、本社側、支社側のネットワークセグメントは独立しており、必要がある場合のみ設定されたルーティングによって別のネットワークセグメントに接続する。各ネットワークセグメントは独立している為、それぞれに NAT、DHCP 等のルータが必要になる。それに対して、ブリッジ接続は支社のネットワークは完全に本社のネットワークの一部となる。支社からの全てのパケットは本社ネットワーク経由となる。ひとつのセグメントの為、本社の NAT、DHCP 等のルータで全てのネットワークセグメントを制御することが出来る。

4 システムの構築作業

OpenVPN サーバの構築は、インストール、公開キー作成、環境設定の順番で行う。環境設定は設定ファイルを編集すればよい。今回は 1 対 4 の拠点間接続になる。表 2 に設定ファイル上で編集した変数を記しておく。

また、親セグメントで NAT、DHCP サーバの構築も行った。OS としては Fedora release 13 を使い、NAT ルータと DHCP サーバ機能を組み込んだ。特に DHCP サーバでは、MAC アドレスと配布 IP アドレスを対として登録する方式を採用することでセキュリティを上げることが出来る。これらのサーバはかつて演習で使用していたマシンを流用した。また、全てのサーバは LAN と WAN の NIC が必要となる為、6 枚の NIC を購入した。唯一使用した予算である。

図 4 にシステムの全体図を示す。

表 2 設定ファイルの変数

Server	Client
local 133.11.0.0	client
port 1194	dev tap
proto udp	dev-node tap-bridge
dev tap	proto udp
dev-node tap-bridge	remote 133.11.0.0 1194
ca ca.crt	resolv-retry infinite
cert server.crt	nobind
key server.key	persist-key
dh dh1024.pem	persist-tun
server-bridge	ca ca.crt
192.168.0.2	cert client.crt
255.255.255.0	key client.key
192.168.0.3	comp-lzo
192.168.0.8	verb 3
duplicate-cn	
keepalive 10 120	
comp-lzo	
persist-key	
persist-tun	
status	
openvpn-status.log	
verb 3	

5 運用

ユーザ登録用の Web を作成し（図 5）、昨年 9 月末に運用を開始した。ユーザ登録画面で必要事項を記入し、送信すると、私の所に登録願いの旨のメールが届く。そして手動で DHCP サーバに登録する。全自動でも出来ないことは無いが、登録の流れの最後に人間の確認があった方が、システムの状態を見ることもでき、また、登録依頼者の確認もできる。

このシステムの運用を開始して 10 ヶ月経ったが、今のところ問題なく順調に動いている。

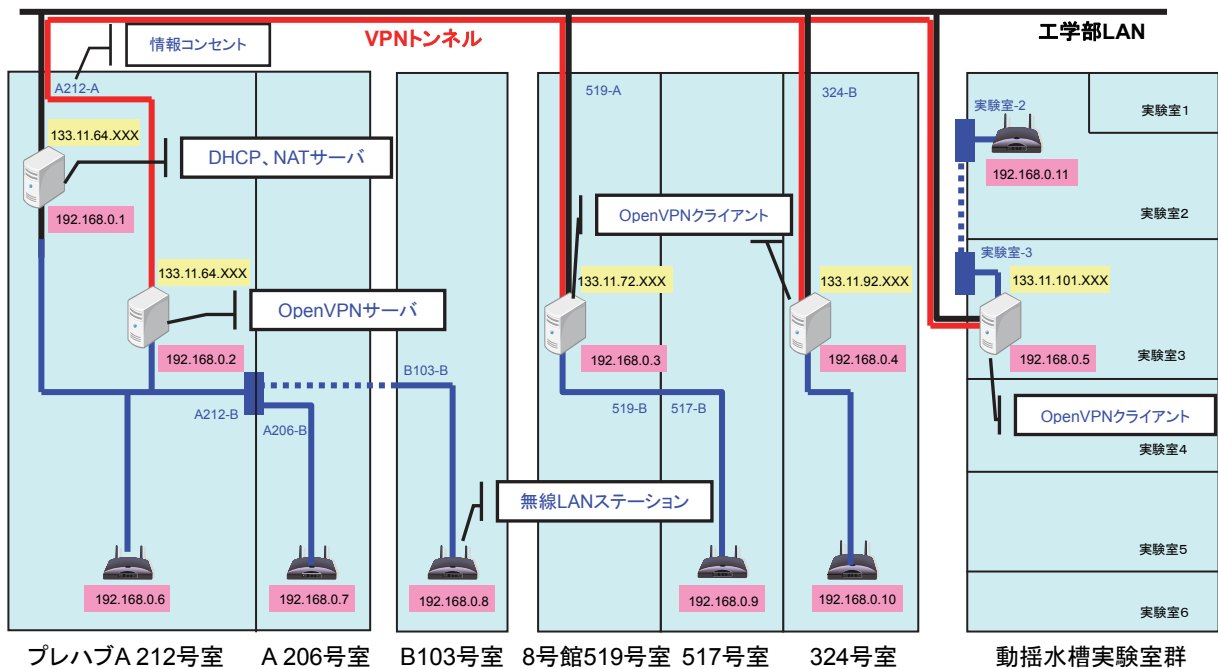


図4 システム図



図5 登録用Web画面

6 おわりに

今回は新3号館完成までの2年半の間の応急処置的なネットワークの構築であったが、かなり安定したシステムの構築ができた。2年半後にはひとつの建物での管理に戻るが、その時は情報基盤センターで管理している全学規模のLDAP (Lightweight Directory Access Protocol: 一元的にユーザ管理を行うシステム) を専攻システムで取り込めないか検討したい。これにより、こちらでのユーザ管理の作業が無くなることになる。

10 既存ネットワークに接続するための VPN の構築

電気系工学専攻 高橋 登

noboru@gavo.t.u-tokyo.ac.jp

1. はじめに

VPN とはインターネットを介して拠点間を暗号化した通路で結び、離れた場所であってもあたかも同一ネットワーク上であるかのように、接続された機器を扱うことができる技術である。本報では既設の研究室ネットワークに変更を加えることなく、外部から接続するための VPN 構築について報告する。

2. VPN の概要

今から8年ほど前は本郷・柏両キャンパスに研究室があったため、この2点間でVPNを運用していたが、当時は専用のルーターが必要で高価なものであった。しかしながら、ここ数年家庭用の安価なルーターであってもVPN機能が搭載された機器が多数存在し、外出先から自宅のPCに接続するなどの目的で使用されている。

柏の研究室がなくなったため現在はVPNの運用は行っていないが、以前のように設定し直すことで再構築は可能である。しかしながら今回の設置方針として、非常時に備え通信経路を冗長化する、既存の設定に変更を加えないを条件としたため新たな方策を検討した。

2.1 ルーター1台による構築

私の居室には研究室 LAN（プライベート）と工学部 LAN（グローバル）の2系統が配線されているためこれを用いて設定を行った。

使用したルーター[A]は BUFFALO WHR-HP-GN で、まずこの機器だけでの運用を検討した。基本的にはルーター[A]のグローバル側を工学部 LAN に接続し、プライベート側を研究室 LAN に接続すれば済むと思われるが、そうはいかない研究室の特殊事情がある。ここ数年急増している P2P インシデントの対策として、メンバーが研究室 LAN に PC を接続するためには、MAC アドレス、機種、ホスト名等で利用申請し、管理者はこれらの情報から予めメンバー毎に確保されているプライベートアドレスを付与し LDAP サーバーによって管理する。登録が終了し PC を LAN に接続すると、DHCP サーバーによってこの付与されたアドレスが自動的に設定されるため通信が可能となる。なお、自己に割り当てられているアドレスを固定で設定しても接続が可能となっている。いずれにしてもインシデント発生時には当該マシンとメンバーの特定が容易にできるようになっている。

さて、このような研究室 LAN の環境においてルーター[A]の VPN 設定をした場合、外部から接続する PC を1台に限定すると、研究室 LAN 側のアドレスも1個だけ確保すれば良いのだが、それでは利便性が悪くなる。最低でも4,5名程は同時に接続できるようにするため、接続された順に研究室 LAN 側のアドレスをルーター[A]の DHCP 機能で割り当てようとすると不具合が発生してしまう。それは、先程の LDAP サーバーと連動した研究室の DHCP サーバーよりも先に、ルーター[A]の DHCP 機能が優先されて研究室 LAN に内部から接続した PC に割り当ててしまうからである。もちろん、研究室 LAN DHCP の設定を変更して当該アドレスには割り当てないよう設定をすれば対処できるのだが、今回の方針に反するため他の方法を検討することにした。

2.2 ルーター2台による構築

ルーターを2台用いた接続は、DMZ ゾーンなどを構築する際に行われることが多いが、この場合上流のルーターのプライベート側に下流のグローバル側をつなぐといった、いわゆるカスケード接続が普通である。しかしながら今回の状況では単に段数が増えただけでこの接続では同じ結果となってしまう。そこで、2台目のルーター[B] (BUFFALO WZR-HP-G301NH)を反転させ、2台のルーターのプライベート側同士を向かい合わせて接続することにした。こうすることで、2台の内側で小さな LAN (便宜的に窓口 LAN と呼ぶ) が構築され、研究室 LAN 側にも固定アドレスを1個だけ割当てれば良く、前述の DHCP 問題は解決されることになる。(図1)

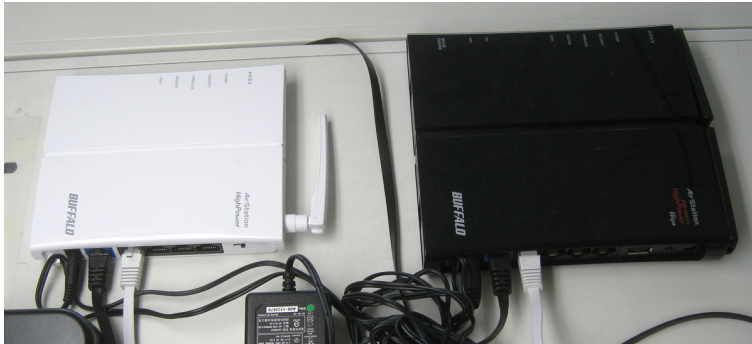


図1. 向かい合わせて接続した2台のルーター
ルーター[A]:BUFFALO WHR-HP-GN(白)
ルーター[B]:BUFFALO WZR-HP-G301NH(黒)

実際の設定について説明すると、ルーター[A]に関してはVPNサーバーであるPPTP(図2)と外部から接続する4台分のDHCP(図3)割当てに関する設定を行う。この際窓口LANには研究室LANと異なるネットワークアドレスを指定する必要がある。また、窓口LANから研究室LANにアクセスするためにこの経路の設定(図4)も行う。ルーター[B]の設定は、グローバル側に研究室LANの固定アドレスを指定し、プライベート側には窓口LANの任意のアドレスを指定する。

ユーザー名	taro
パスワード	***** ***** (確認用)
[拡張設定]	
IPアドレス割当て方法	<input checked="" type="radio"/> DHCPサーバー設定の範囲から取得 <input type="radio"/> PPTPサーバー設定の範囲から取得 <input type="radio"/> 固定IPアドレス IPアドレス: <input type="text"/>

図2. PPTPサーバーの設定

LAN側IPアドレス	IPアドレス: 172.18.66.56 サブネットマスク: 255.255.0.0
DHCPサーバー機能	<input checked="" type="checkbox"/> 使用する
割り当てIPアドレス	172.18.66.57 から 4 台 除外IPアドレス: <input type="text"/>

図3. 窓口LAN DHCP設定

宛先アドレス	サブネットマスク	ゲートウェイ	メトリック	操作
172.19.0.0	255.255.0.0	172.18.66.55	15	<input type="button" value="修正"/> <input type="button" value="削除"/>

図4. 研究室LANへの経路設定

なお、VPNを使用する際には工学部LANに接続するルーター[A]のグローバル側に対して、GRE(プロトコル47)とPPTP(Point to Point Tunneling Protocol)が使用するTCPの1723番のフィルタリングを開放する必要がある。

3. おわりに

既存のネットワークに影響を与えることなく、新たなVPNを構築する手法を提案した。これにより、外部・内部からの不正アクセスを遮断できる、より安全なネットワークが利用できるようになった。

11 LabVIEW を用いた計測データの集録・解析技術の習得

航空宇宙工学専攻 関根 政直

sekine@mat.t.u-tokyo.ac.jp

1. はじめに

小職は航空宇宙材料学 藤本研究室の各種実験・計測機器の整備・改良を主な業務とし、さらに実際の操作・試験を通して、学生への実験・技術指導、安全指導を行っている。しかし当研究室の大半の各機器は10～20年を超えるものであり、計測データの集録には旧式のPCやペンレコーダーなどを用いており、それらの老朽化などにより交換部品・消耗品の入手が困難になっている。また限られた運営費交付金では更新も困難となっている。

そこで本研修では、NI社のLabVIEWを用いることで、既存の実験・計測機器を活かしながら、効率よく計測データを集録・解析する方法を構築・提案し、限られた研究室・実験室の資源を最大限に活用することを目的とした。

なお本研修は技術部計測・制御技術グループの方々から指導・助言等をいただきながら実施した。

2. 航空宇宙推進学実験

毎年冬学期に当専攻で学部3年生を対象に実施される学生実験で、小職はその1テーマ“軟鋼および鋳鉄の引張破断試験 ～延性・脆性破壊の検証～”を担当している。本実験は延性、並びに脆性材料(S35C 並びに FC200)の引張破断試験(写真1)、およびそれぞれの破断面のSEM観察を通じて、延性、脆性破壊の違いを考察するものである。昨年度までは引張試験機から出力される荷重-伸びの値をペンレコーダーで記録していたが、本研修の実施により荷重-伸びのデータ集録プログラムを作成し、これにより測定結果を記録した(図1)。



写真1 引張試験機

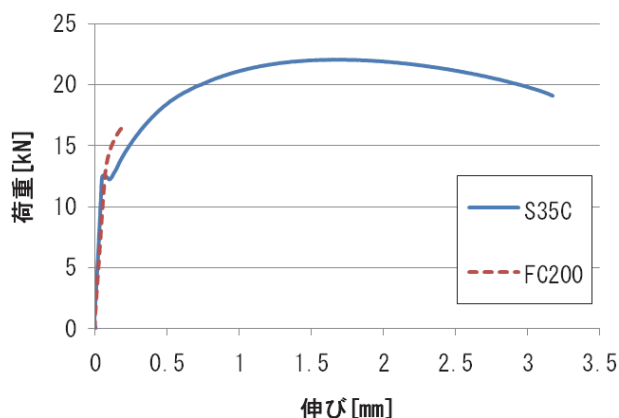


図1 引張破断試験結果の例

3. 倒立ねじり振子を用いた内部摩擦の測定

当研究室では各種材料の変形を粘弾性挙動ととらえ、その変形のメカニズムを調べる実験を行っている。自由振動をする物体はその粘性減衰(内部摩擦)によりやがて静止する。倒立ねじり振子(inverted torsion pendulum, 写真 2)は試験片にねじりの自由振動を与えることにより、物体の内部摩擦を測定する試験機である。本試験機による試験片のねじり角は、渦電流式非接触変位計から電圧値で出力される。これを従来は AD 変換により旧式の PC で集録・解析したが、本研修によりデータ集録プログラムでの集録・解析が可能となった(図 2)。

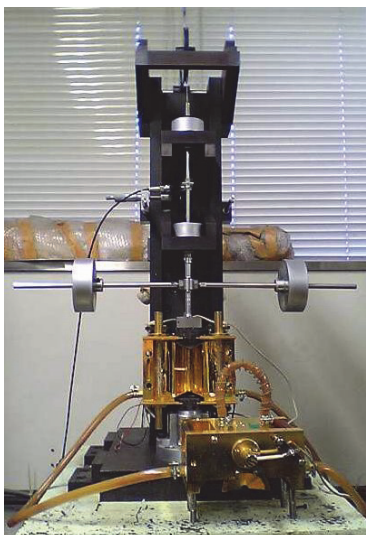


写真 2 倒立ねじり振子

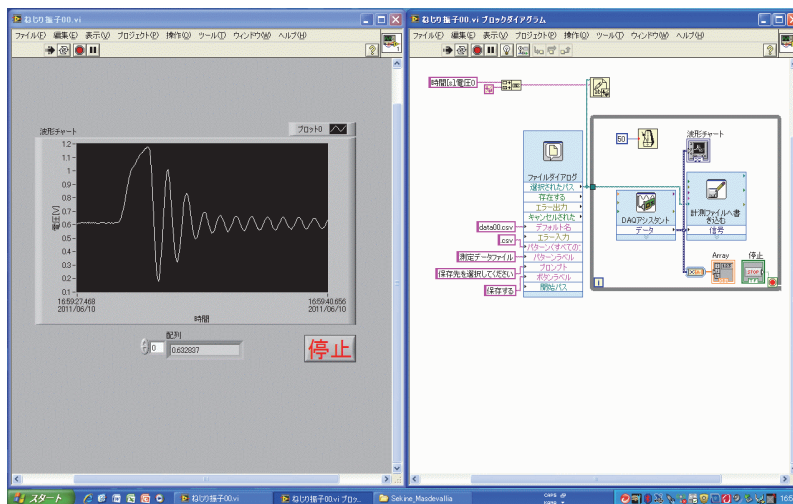


図 2 LabVIEW でのデータ集録

4. おわりに

本研修を通して、従来ペンレコーダーなどに記録していた計測結果を、DAQ デバイス(NI USB-6221BNC)を用いて集録し、それらを PC のディスプレイに表示し、数値を CSV ファイルに保存する、LabVIEW によるデータ集録プログラムを作成するための知識を習得した。今後は他の実験・計測機器からもデータ集録可能となるようにプログラムを拡張することで、当研究室の全実験・計測機器のデータ集録・解析、さらにそれらの操作・制御も LabVIEW で実現できる環境整備が当面の課題・目標となる。

謝辞

本研修は平成 22 年度工学系研究科技術部個別研修(OJT)にて実施した。関係者諸氏に厚く御礼申し上げる。

参考文献

- ・ 小澤 哲也, “図解 LabVIEW データ集録プログラミング”, 森北出版, 2008
- ・ 関根 政直, “倒立ねじり振子を用いた金属およびセラミックスの内部減衰の測定”, 第 21 回東京大学工学部・工学系研究科技術発表会, 2006 年 9 月 26 日, pp. 25-28

12 LabVIEW を使用した画像集録・画像処理技術の習得

システム創成学専攻・鈴木 誠

suzuki@frcer.t.u-tokyo.ac.jp

1.はじめに

近年、品質検査分野では品質の向上、自動化による時間軽減が求められている。大学での研究実験においても手動作業から自動化導入により誤作動削減や無駄な時間を効率化することは必須となっている。この品質向上や自動化による時間軽減に対して LabVIEW を使用した画像集録・画像処理技術が多様に使われている。また、LabVIEW を使用した画像集録・画像処理技術は自動車、通信、半導体など幅広い業界で使用されており高い汎用性がある。この研修では実験中の画像集録による物体の状態変化観測や再現性のデータ検証などを視野に入れながら、カメラの選定を含めた一連の画像処理環境の準備から画像システムを構築する過程を通じて、最終的に LabVIEW による画像集録・画像処理技術を習得したので報告する。

2.画像処理環境

2.1 カメラ I/F の種類と特長

カメラの I/F の種類は大きく分けてアナログ・デジタル (CamLink・USB・1394・GigE) の 5 種類になる (表 1)。今回はコストパフォーマンスと普及率で優れている IEEE 1394 を使用した。

表 1 カメラ I/F の種類と特長 (△良 ○適 ◎最適)⁽¹⁾

	アナログ	CamLink	USB	1394	GigE
スループット	△	◎	○	○	○
コストパフォーマンス	○	△	◎	◎	◎
ケーブル長	◎	○	△	△	◎
普及率	◎	◎	△	○	△
CPU への負荷	◎	◎	△	○	○
I/O 同期	○	◎	△	○	○

2.2 使用機器及び接続図

PCI スロット付の PC に IEEE1394 インタフェースボード (PCI-8252) を取り付け、IEEE1394 ケーブルでカメラと接続し、カメラにレンズを取り付ける (図 1)。

①カメラ (BASLER scA640-70fm)

フレームレート : 70fps、モノクロ、画素数 (pix) : 659 x 494

CCD サイズ : 1/3 インチ (4.8mm×3.6mm)、1394 ケーブルから直接電源供給

②画像集録ボード (PCI-8252)

カメラ入力ポート (IEEE 1394a×3)、データ転送 : 400Mb/s

3 ポートに 12 W の IEEE 1394 バス電源を供給

③カメラレンズ 16mm F1.4

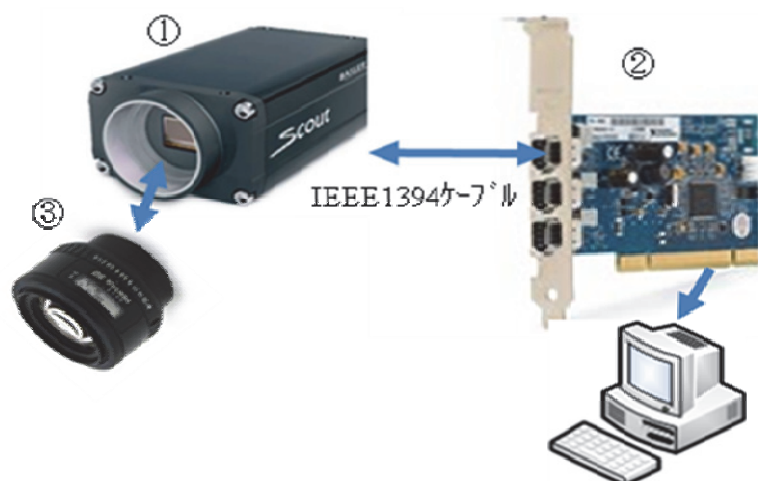


図1 使用機器接続図

3.照明による画質向上

光源については電力消費の多い白熱電球から環境対策、省エネ推進の点で LED 及び蛍光灯タイプ移行が進められ、白熱電球は 2012 年までに環境省、経済産業省主導で製造と販売の完全中止が決まっている。この政府要請に対して、現在は大多数の電機大手メーカーは生産販売撤退し、困難・特殊用途のみ対応している。照明方式はおもに3通り（リングライト・ストロボ・バックライト）で、表2に示すように各々メリットとデメリットが存在する。

表2 照明方式⁽¹⁾

	リングライト	ストロボ	バックライト
ライト説明	カメラレンズの周囲に照明を配置	光パルスを点滅照射	カメラと光源の間に検査対象物を配置
メリット	均等な照明	動作ぶれを低減	シルエット化。エッジ検出、距離測定に適す
デメリット	円形のグレアが発生する可能性あり	画像が暗い場合、ゲイン調整が必要	湾曲した物体は光が分散

4.LabVIEW による画像集録

LabVIEW による画像集録はおもに2通りある。初めに、ナショナルインスツルメンツ（以下NI）のMAX（Measurement and Automation Explorer）により、NI製ハードウェアの設定（画像入力ボードの認識、カメラ属性）から画像集録をする方法で静止画像・連続画像（動画）の集録を行った。続いて、LabVIEWのVIにより静止画像・連続画像（動画）集録のプログラム作成を行い、さらに、少し発展させ1画像取得にかかる時間を計測するもの、画像のヒストグラム情報からしきい値を変化させる2値化プログラムにより画像情報の変化を理解できるプログラムを作成した。作成したVIについては発表時紹介する。

5. LabVIEW による画像処理

LabVIEW による画像処理を 2 通りのソフト (NI Vision Assistant、Vision Builder AI) を使用して試みた。NI Vision Assistant はパターンマッチング、光学文字認識 (OCR)、粒子解析など数百の画像処理関数がある。各々の処理には特にプログラミングがいらず、試作やテストで作成した処理を LabVIEW プログラムや C のコードに生成使用可能であり、作成後、LabVIEW の VI 上でしきい値変更や範囲変更など微小な修正が容易にできる。例として粒子解析のプログラムの図 2 に示す。

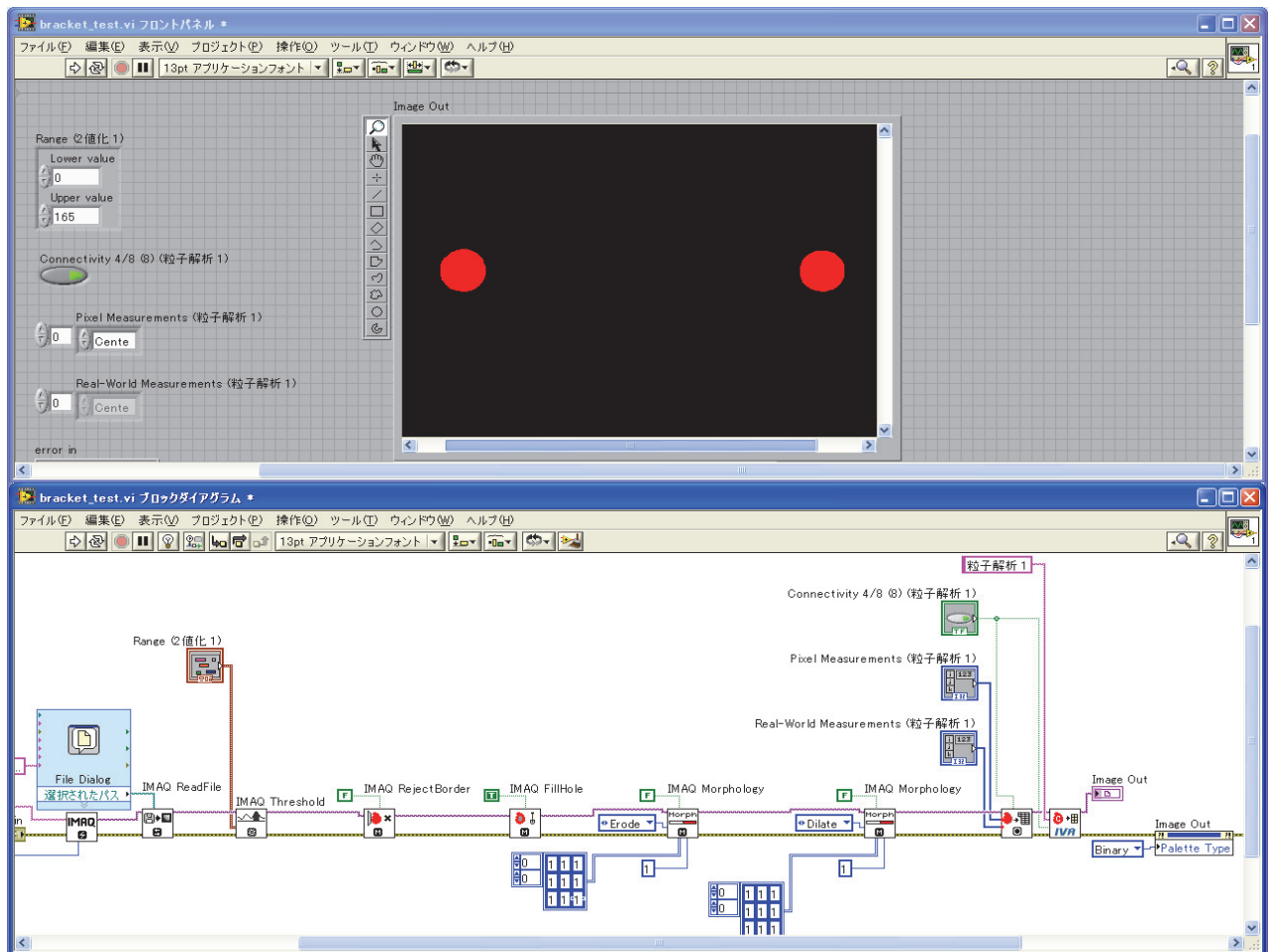


図 2 NI Vision Assistant

Vision Builder AI はパターンマッチング、光学文字認識 (OCR)、粒子解析など 100 以上のマシンビジョンソフト合否判定のカスタマイズが可能である。必要な機能をメニューから選択・設定し、プログラミング不要な初心者用対話式のソフトウェア環境である。例としてコネクタの製品正常判定検査を図 3 に示す。

6. おわりに

今回の研修で以下の技術を習得することが出来た。

(1) 画像処理環境 (カメラ I/F の種類と特長)

画像処理環境についてはカメラ I/F の種類と特長を調査した。今回はコストパフォーマンスと普及率で優れている IEEE 1394 を使用した。

(2) 画質向上調査（照明による撮像の違い）

照明は実際の画像取得時、照明の当て方や光源を変え、照明方法の違いによるメリット、デメリットを確認した。

(3) MAX とグラフィカル言語 LabVIEW による画像集録

MAX と LabVIEW の VI プログラムを使用し、静止画像・連続画像（動画）などの画像集録を行った。

(4) 画像処理ソフトウェア（NI Vision Assistant、Vision Builder AI）

LabVIEW 関連の画像処理ソフト（NI Vision Assistant、Vision Builder AI）を使用し、パターンマッチング、光学文字認識（OCR）、粒子解析などの画像処理方法を習得した。

LabVIEW を使用した画像集録・画像処理技術は自動車、通信、半導体など幅広い業界で使用されており高い汎用性がある。今後は習得した技術を利用して、実験中の画像集録による物体の状態変化観測や再現性のデータ検証などに生かせればと考えている。

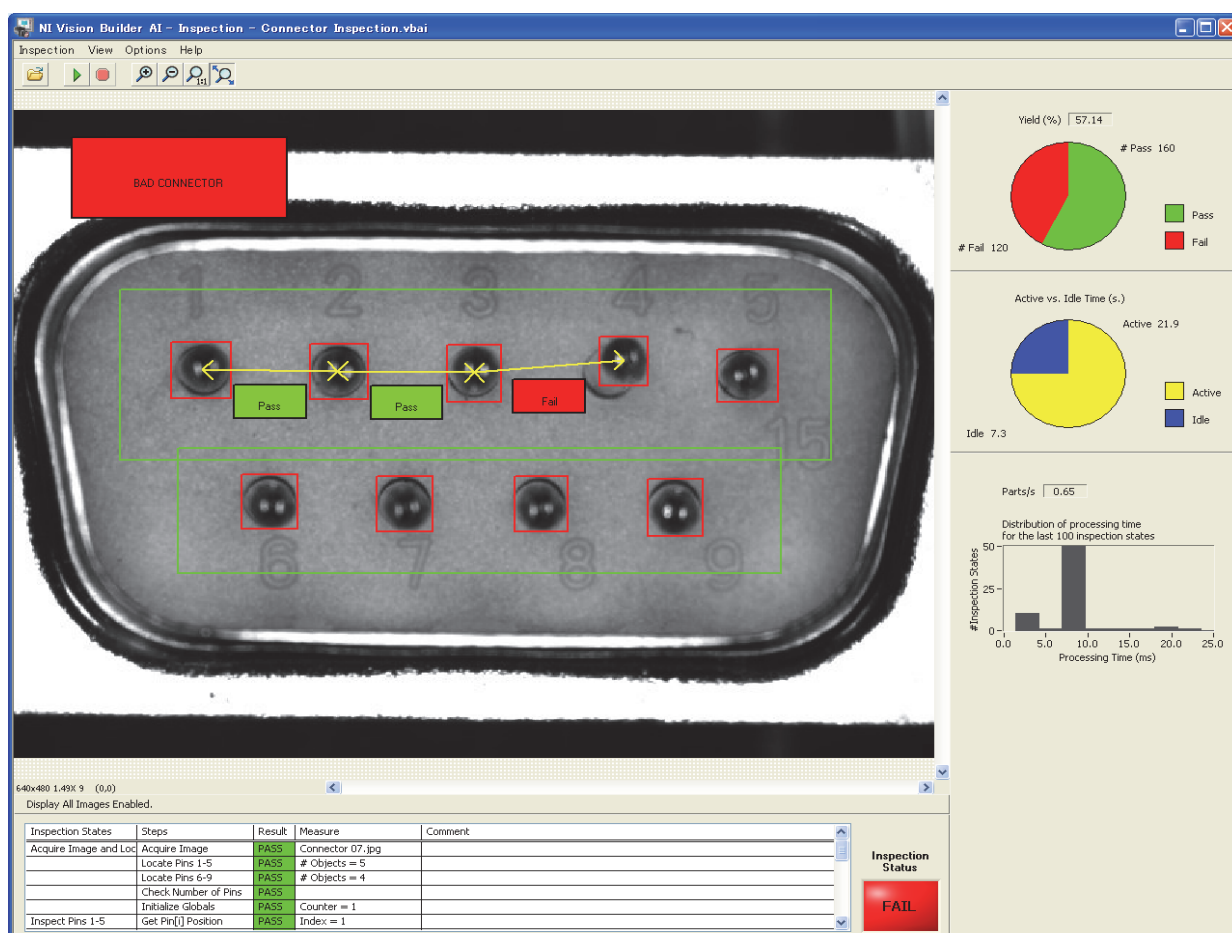


図 3 Vision Builder AI

謝辞

この技術習得には 2010 年度 OJT（10-080）を活用させていただきました。ここに深甚なる感謝の意を表します。

参考文献（1）LabVIEW による画像集録・解析セミナー（学内セミナー資料）

13 圧電アクチュエータの変位制御と能動制御の試行

機械工学専攻 石川明克

ishi@kobo.mech.t.u-tokyo.ac.jp

1. はじめに

本報告では、筆者が圧電素子を初めて取り扱うこともあり、圧電アクチュエータ（圧電駆動装置）の利用法の学習を含めた形で、日本NI社のグラフィカルプログラム言語であるLabVIEWを利用したフィードバック制御と能動制御についての試行結果を報告する。

歪ゲージや渦電流型センサー等を利用した変位制御装置が付属した圧電アクチュエータ一式は、一般的に市販されているが高価であるため簡単に試用することができない。そのため、既存の差動変圧器（LVDT）を利用した変位フィードバック制御を試行することにより、その機能を学習した。また、小型の荷重負荷装置を製作する場合には、圧電アクチュエータ自身の変形や試験機本体の変形を除去すると都合が良いため、比較的新しい知見である能動制御⁽¹⁾の応用についての試行を実施した。

2. 圧電アクチュエータの概要⁽²⁾

圧電アクチュエータは、高変位精度、高速応答性、高発生力を特徴とするデバイスであり、精密位置制御を必要とする産業機械分野で応用が進められ、ナノメータから数百マイクロメートルの範囲での極めて微小な位置決め要素として用いられることが多い。これらは、電界を加えることによって歪みが発生する圧電材料の性質（逆圧電効果）を利用したアクチュエータで、ジルコン酸チタン酸鉛（PZT）に代表される圧電セラミックスがよく用いられている。また、その利用される理由は、小さい領域では従来の原理のアクチュエータは摩擦や粘性に比べて駆動力が小さくなるので、小さい領域でも必要な力を発生することが重要になっていることに由来する。ちなみに、一般に圧電素子はピエゾと呼ばれることが多い。

本報告で使用したものは、積層型圧電アクチュエータであり、電圧を印加すると伸び縮みする圧電セラミックスを、110マイクロメートルほどの薄い層にして電極で挟み、それを200～300層ほど積層したアクチュエータである。この内、NECトーキン製の圧電アクチュエータは、電極がセラミックスの層全体に一樣に広がる（全面電極という）、非常に特徴的な構造を採用しているため、構造がシンプルで作りやすく、寿命が長く、信頼性も高いと言われている。したがって、これを単体で購入して制御機能の検証を試行することにした。

3. 圧電アクチュエータの特性問題の解決手法

使用した圧電アクチュエータ（NECトーキン ASL170）の特性は、負荷と除荷の間でヒステリシス（図1）が存在するため、印加電圧と変位の間で一意性が保たれない問題がある。この問題を解決するためには、圧電アクチュエータの変位を制御器にフィードバックし、変位目標値とする電圧（指令信号： SG ）と変位計出力電圧（フィードバック電圧： FB ）の位相を逆（180度）にして、偏差信号が零となるように閉ループで制御すればよい。

また、荷重と変位との間には直線性（図2）があるが、その関係は印加電圧をパラメータとして変化する。このような場合は、スケーリング関係を仮定することが有効であり、以下にその手法を記述する。図2より、荷重を $P(N)$ 、変位出力を $D(V)$ とすれば、

$$D = C_0 + C_1 \cdot P \quad (1)$$

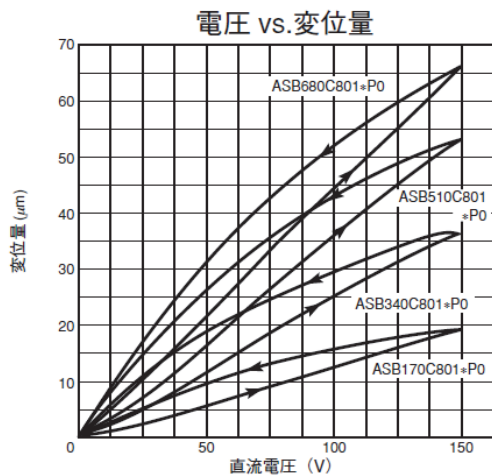


図1 圧電アクチュエータのヒステリシス特性⁽³⁾

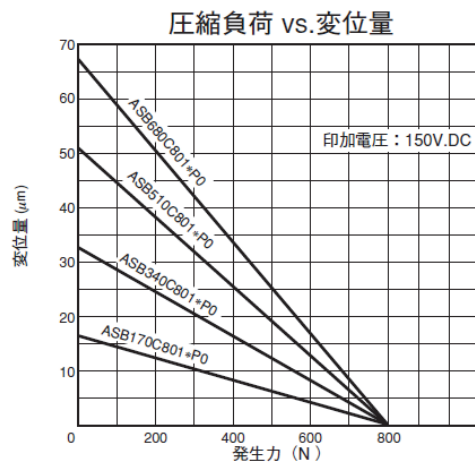


図2 圧電アクチュエータの荷重-変位特性⁽³⁾

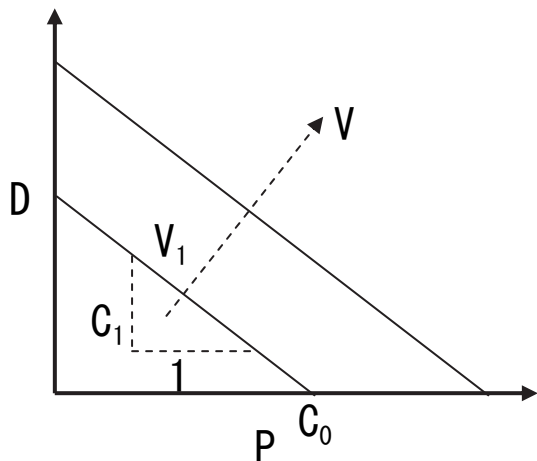


図3 荷重と変位の関係模式図

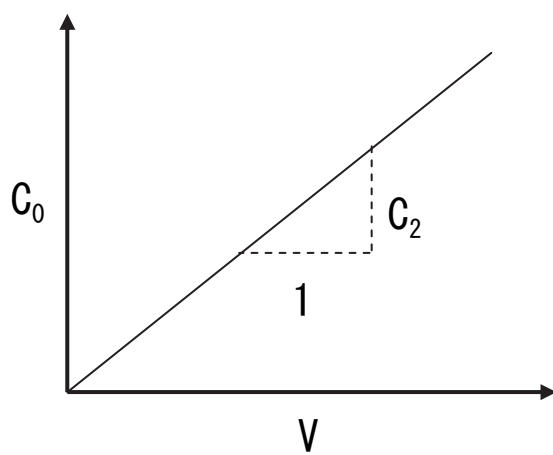


図4 最大荷重のスケーリング関係

$$P = (D - C_0) / C_1 \quad (2)$$

ここで、 $C_0(N)$ は図2より明らかに制御電圧 $V_1(V)$ を負荷して変位計出力 D を零にした場合(換言すれば変位を零に拘束した場合)に発生する最大荷重であり、 $C_1(V/N)$ は荷重 P に対する変位形出力 D の勾配である。

次に、図3に示すように、制御電圧 V が変化した時、勾配 C_1 が変化しないと仮定すれば、 V と C_0 の関係は図4のように、

$$C_0 = C_2 \cdot V \quad (3)$$

のスケーリング関係が成立し、任意の V に対して C_0 が一意に求まる。

したがって、制御電圧 V は既知であるため、荷重と変位のどちらか一方が測定可能であれば式(1)(2)より、未知である他方が求められることになる。

4. 変位フィードバック(負帰還)制御結果

図5は試作した付加機構である。図中のPZT負荷位置に圧電アクチュエータを内蔵して、別に用意したドライバモジュールに制御電圧を供給して、カンチレバーに荷重を負荷する構造である。LVDTコイルが乗ったステージはカンチレバーに連動し、LVDTコアは固定されているので、LVDTでステージの変位を取り出し、変位計で増幅して電圧を測定

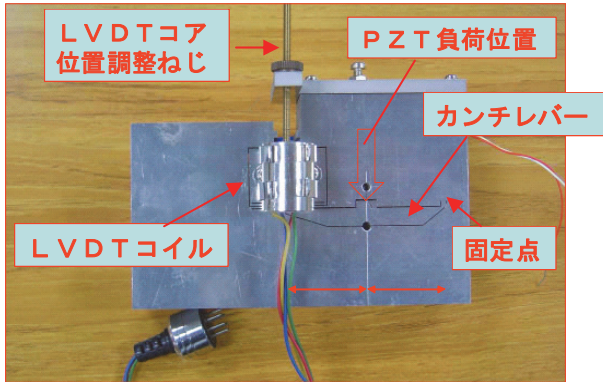


図5 試作した負荷機構

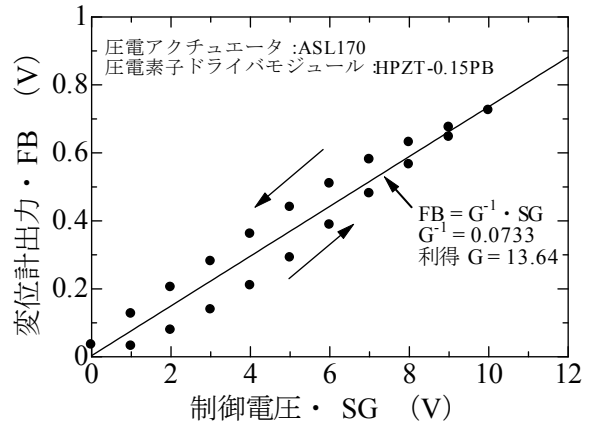


図6 測定されたヒステリシス

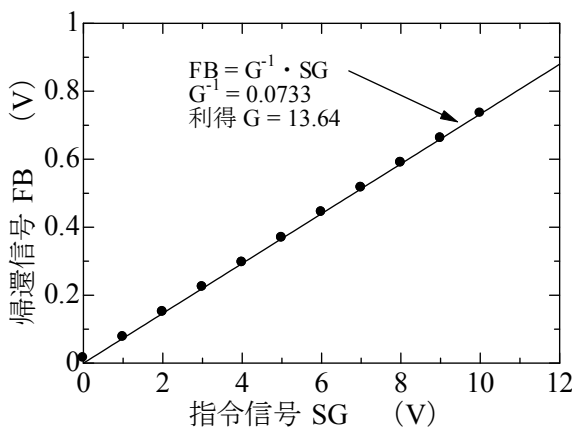


図7 変位フィードバック制御結果

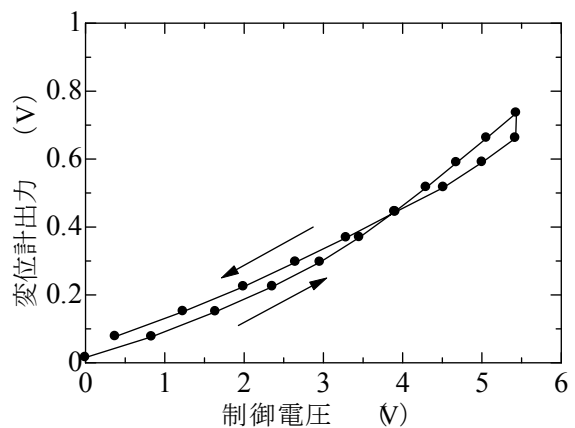


図8 制御電圧と変位計出力の関係

することができる。制御電圧の信号発生と変位計出力電圧のデータ集録は、日本 NI 社のデータ集録デバイスを使用して、LabVIEW によりプログラミングした。

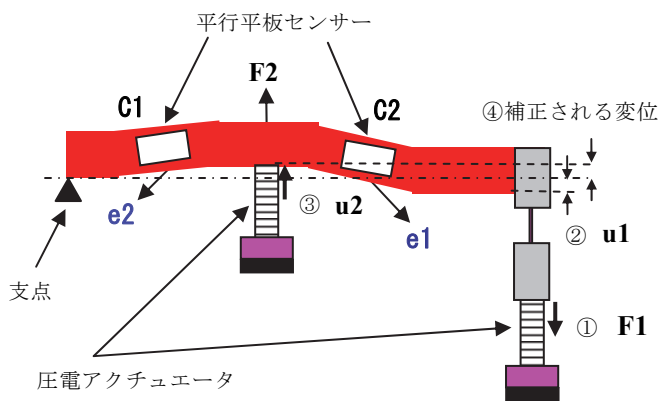
図6のプロットは制御電圧と変位計出力との関係であり、図1のようなヒステリシスが確認できる。図中の直線は回帰直線であり、横軸を指令信号 SG 、縦軸をフィードバック信号 FB と仮定すれば、フィードバックゲイン (利得) を 13.64 倍に設定すれば偏差を零にできることが分かる。

図7は変位フィードバック制御を施した結果である。図中の直線は、図6での利得 13.64 の回帰直線であり、測定データとほぼ一致している。これより、期待通りに制御されていることが確認できた。図8はこの時の制御電圧と変位計出力の関係である。

5. 能動制御

図9は、機械工学専攻の中尾政之教授が発案した「力と変位を独立に制御する機構」を具体化した機構図である。①右側の圧電アクチュエータで初期引張負荷を与えた場合②右側の平行平板が下に u_1 だけ引張られる③左側の圧電アクチュエータにより、変位 u_2 をコンプライアンス制御で自動的に補正する④最終的に $(u_1 - u_2 = 0)$ となり、平行平板構造を含めた片持ちばりを仮想的な剛体と考えることができる。

図中の計算式は、各係数を求めた後、荷重計測用の歪ゲージ出力 e_1 (V) から、 $u_1 = u_2$ を条件に、PZT 制御用の制御信号 SG とフィードバック信号 FB との間の歪ゲージ出力 e_2 (V) の利得を計算したものである。C1 に負のコンプライアンスを持たせるのが特長であ



$$\begin{aligned} u_1 &= C_2 \cdot e_2, & u_1 &= C_1 \cdot e_1 \\ e_1 &= C_2/C_1 \cdot e_2, & C_1 &= -0.909, & C_2 &= 0.334 \\ C_2/C_1 &= -0.367 \text{ (ネガティブ)} \\ SG &= C_3 \cdot u_1 = C_3 \cdot C_1 \cdot e_1 = C_4 \cdot e_1 \\ C_3 &= 6.90, & C_4 &= -6.27 \\ FB &= C_4 \cdot C_2/C_1 \cdot e_2 = 2.30 \cdot e_2 \end{aligned}$$

図9 提案した能動制御機構の原理

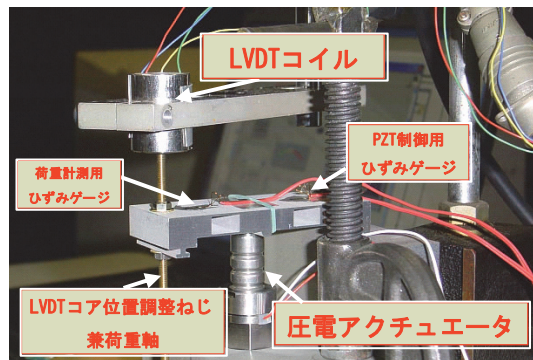


図10 能動制御機構のプロトタイプ

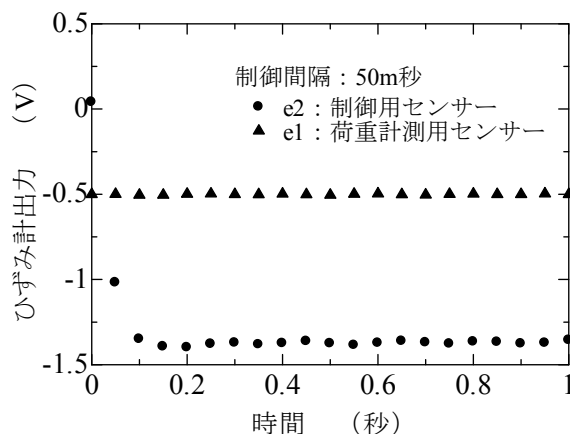


図11 能動制御の結果

り、負のコンプライアンス制御と呼ばれる⁽¹⁾。

図10は、本能動制御機構を試作したプロトタイプである。この機構を用いて荷重500gの錘を負荷した時の能動制御結果を図11に示す。荷重が一定に保持されながら、この荷重により移動した荷重点の変位をキャンセルする能動制御動作が確認できた。

6. おわりに

本報告は、圧電アクチュエータの特性問題を解消するためのスケーリング則の提案、及び変位フィードバック制御の検証、さらに、荷重と変位を独立に制御可能な機構の能動制御についての試行を報告した。なお、本報告は平成22年度工学系研究科技術部個別研修第10-070号の経費、及び平成22年度科学研究費補助金(奨励研究)課題番号22917007の経費を受けて実施したものの一部である。

参考文献

- (1) K. Matsumoto, Y. Hatamura, M. Nakao, Annals of the CIRP Vol. 49/1, p313 (2000)
- (2) (株) アプライドマイクロシステム HP、用語解説(アクチュエータ関係)
<http://www.applied-micro-systems.net/f000.html>
- (3) NEC トーキン、積層圧電アクチュエータ Vol.05、p 12 (平成21年8月)
http://www.nec-tokin.com/product/pdf_dl/sekisou_actu.pdf

14 マテリアル工学専攻：技術職員の役割

マテリアル工学専攻 市毛健一、江口敬祐、生出博巳、小口かなえ
杉田洋一、田中和彦、中村光弘、永山直樹、西村知紀

1. はじめに マテリアル工学専攻はバイオマテリアルコース、環境・基盤マテリアルコース、ナノマテリアルコースの三つのコースから成り、全ての工学に通じるマテリアルを研究している。単にモノを創り出すだけにとどまらず、マテリアルを通じた環境問題の解決にまで及びそのテーマは無限であり、創造への挑戦というテーマを掲げている。具体的には人工臓器、人工ウイルス、鉄鋼材料、金属、セラミックス、半導体、有機材料、原子・分子レベルで高度に設計・制御されたナノマテリアルなど、対象は多岐にわたっている。当専攻の技術職員は、4研究室に4名、工作室4名と機器室1名の計9名であり、実験機器製作、合成・製造プロセス、シミュレーション、分析・評価等様々な職務にあたっている。以下に各技術職員の在籍する研究室等の紹介と職務・役割等を述べる。

2. 吉田・神原研究室（江口敬祐 技術専門職員）

当研究室では特に、半導体、電子セラミックス、オプトガラス材料、エネルギー材料、複合材料など、現代の先端材料の開発にとってなくてはならない「プラズマ材料工学」の総合的な研究（プラズマの生成、物性、そして材料開発への応用）を行なっている。プラズマは自然界ではオーロラや稲妻などで馴染み深く、実験室ではプラズマを作るために放電を利用している。具体的には以下2種類のプラズマ発生装置を用いて何れも電池関連の研究を推進している。

①プラズマスプレーPVDによる次世代リチウムイオン電池作成

リチウムイオン電池負極の材料として一般に使用される黒鉛は、炭素原子6個あたりにリチウムイオンを1個しか吸蔵できないのに対し、シリコンは原子1個あたりに最大で4.4個吸蔵できるため、一般に高容量化（重量あたりの容量は約10倍）が図れる。しかし、シリコン系の材料は、充放電を繰り返すことで体積が大きく変化し、粒子構造が崩れることでサイクル寿命などが低下する問題があった。そこで当研究室では現在プラズマスプレー技術により、原料粉末の完全蒸発・急速凝縮を行わせてSi-O-C系のナノ複合化粒子を作成し、これらを負極材料とした電池試験を行いながら高容量・高サイクル特性等の性能向上を目指している。特に小職の担当分野としては、これらプラズマ装置関連の維持管理及び学生への技術・安全指導は勿論のこと、実際にシリコンを薄膜状に作成し、分析・評価等を行っている。さらにプラズマトーチ設計関連を含むシステム

立ち上げ等にも携わっている。

②メゾプラズマ超高速クラスター法による太陽電池デバイス創製

当研究室では熱プラズマを用いたSiCやSi₃N₄等の耐熱コーティングやダイヤモンドなどの超高速堆積では長い歴史を有し、例えばSiCでは1mm/hの堆積速度を実現してきた。本研究では、その技術的・原理的背景に立って、現行薄膜化プロセスとは全く原理を異にする本クラスター堆積を基本として、熱・低圧の両プラズマの特長を兼ね備えたと考えられるメゾプラズマにより、半導体材料の超高速・大面積薄膜化技術の確立を目指す。特に太陽電池用微結晶Siの超高速・大面積堆積を目指すために、ビームX線を用いたナノクラスター計測法を検討し、新堆積技術の提案とその学術的基盤の確立を目的とする。



図1 各種プラズマの分類

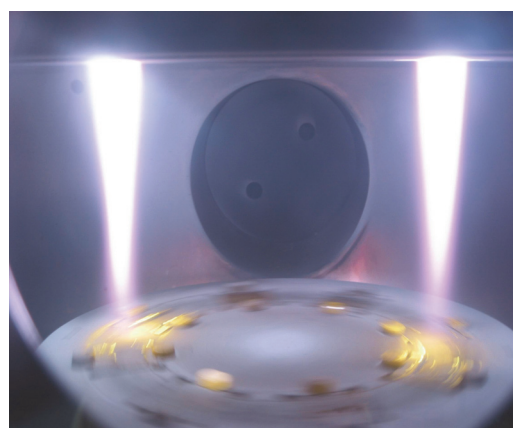


図2 ツイン熱プラズマ画像

3. 鈴木研究室 (小口かなえ 技術専門職員)

当研究室では、鉄やアルミなどの金属凝固組織形成過程の解明を目的とし、コンピューターシミュレーションにより凝固組織解析を行っている。解析手法は、フェーズフィールドシミュレーション、分子動力学法、MPS粒子法等で、ミクروسケールからマクروسケールに対応した様々なシミュレーションを行っている。当研究室での技術職員の役割は、科学技術計算用のハイパフォーマンスPCや研究室内ネットワークの管理、フェーズフィールド法、MPS粒子法による凝固組織解析、MPI並列ライブラリーやGPUマシンを用いた解析プログラムの高速化、学生へのプログラミング指導等である。本稿では、マイクロ組織分野の代表的な凝固組織解析手法であるフェーズフィールド法を紹介する。フェーズフィールド法は、一個ないし数個のデンドライトの生成過程を対象としている。図1にFe-C合金デンドライトの二次元、三次元解析結果を示す。フェーズフィールド法では、液相は0、固相は1、界面で0~1の連続的な値をとる秩序パラメータ ϕ を用いて自由エネルギー変化により相の成長を計算するものである。この計算のための物理的背景は非常に強く、デンドライト1次枝及び2次枝間隔の定量的予測が可能である。解析の対象は融液成長、拡散相分解、マルテンサイト変態、再結晶など数多く、組織形

成過程を扱うあらゆるプロセスでの予測・解析の強力なメソッドとして用いられており、今後益々その重要性は高まっていくと思われる。

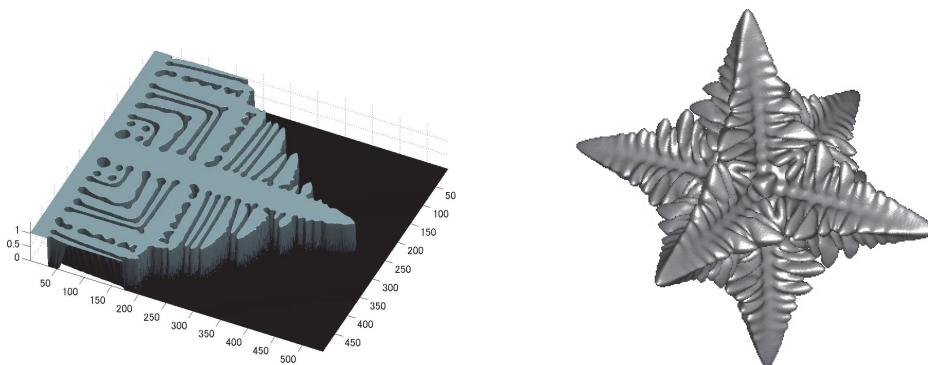


図1 Fe-C合金デンドライトの二次元、三次元解析結果

4. 山口研究室（田中和彦 技術専門職員）

山口研究室では、固体(主に酸化物)中のイオン輸送とその化学反応を利用した、イオン移動機能デバイスのためのマテリアル設計・開発を行っている。特にナノスケールにおける特異効果のメカニズムを解明し、次世代燃料電池やデバイスへの応用を目指している。

原料の形態は、粉末、溶液等であり、混合後、成形、加熱・熱処理し、最終生成物を得る。金属、酸化物等のターゲットを原料とし、スパッタで基板に製膜させる場合もある。加熱・熱処理には、100～1600℃、空気中や種々の雰囲気で加熱可能な電気炉を用いる。雰囲気制御のためのマスフローコントローラ、電気炉の一部は自作である。合成された材料は、結晶構造(XRD)、導電率(電気化学測定装置)、熱分析(TGDTA, TDS)、微細構造(SEM, TEM)、分光(吸収, 発光, 可視紫外, 赤外, ラマン, 光電子)等により、多面的に評価している。評価装置にも一部自作の道具が用いられている。当研究室の実験には多様な道具や機器を使用するため、道具の設計・製作および相談、測定機器の操作指導、修理・定期検査対応、情報収集等を行っている。年度の初めには主に新入生を対象とした構成員に対するガイダンスを助教と分担して開催している。

また、専攻での共通機器をいくつか管理しており、他研究室からの機器使用に関する相談、操作指導、維持管理を行っている。

その他、研究室のインフラ設備の管理を行っている。ウェブページ作成、ネットワーク管理、安全管理等である。特に安全管理に関しては、リスクマネジメントに試行段階から関わることができ、昨今では、環境整備と学生を含む研究室構成員全員が取り組むシステムが機能してきている。

5. 鳥海・喜多・長汐研究室（西村知紀 技術専門職員）

当研究室では従来微細化により高性能化を遂げて来たSi-MOSFETを代表とする半導体デバイスが、微細化の限界を超えた高性能化を実現する為に、新たな材料の設計や材料の制御手法についての研究を進めている。具体的には高誘電率ゲート絶縁膜の材料設計、次世代高移動度MOSFETにおける新規チャネル材料の検討、単層グラファイトの特性解明、新型メモリデバイスなどである。本稿ではMOSFETの新チャネル材料として期待をしているGeについて紹介する。

従来までバルクの材料的特性からGeのMOSFET応用の期待がありながら、電氣的に良好な酸化物/Ge界面の形成が困難であったため、MOSFET特性は得られてなかった。しかし、熱力学的もしくは速度論的な制御により良好な界面を形成することに成功し、Ge-MOSFETのポテンシャルを示すことに成功してした。現在は更なる界面の理解に基づいて、Siを大幅に超える特性を得ることに成功している。しかしまた一方で金属/Ge界面においては界面の接合特性に金属の仕事関数が殆ど反映されない非常な特殊な系であり、MOSFETにおいては寄生抵抗の観点からも問題となる。極薄の絶縁膜を界面に導入することによりこの現象は緩和するが、この緩和には絶縁膜種依存性があることから少なくとも2種類以上のメカニズムが存在することが示唆されることがわかった。

その他研究活動一般において、半導体プロセスには多くの化学薬品や真空装置、加熱装置などを使用する。そこでフッ酸といった毒物、高電圧や発熱物等による事故防止のため、研究室のスタッフと共に学生への安全教育や装置の管理維持などを行なっている。

また、専攻において共通クリーンルーム内に電子顕微鏡や電子線描画器、紫外光の露光器を所有している。これらに関しては学生自身が全ての操作を行なう形式とすることで、使用者への装置構造及び原理の理解の必要性を意識付けている。またこれらは専攻内で広く公開され、高性能装置が簡単に使用できる環境を提供している。

6. おわりに

今回の発表でマテリアル工学専攻における研究室所属・技術職員の役割の一端を理解していただけた事と思う。今回は4研究室に在籍する4名の技術職員の役割等を紹介した。次回、工作室に在籍する4名と機器室に在籍する1名の技術職員の技術等を紹介する予定である。

15 電気系工学科3年次の学生実験—オシロスコープ

電気系工学専攻・千葉 新吾

高橋 登

内田 利之

高田 康宏

chiba@aida.t.u-tokyo.ac.jp

1. はじめに

電気系に限らず、3年次に進学した理工学系の学生にとって、教養科目の講義中心から、実験・研究中心の4年次以降の大学生活環境のスムーズな移行を行う上で、学生実験の役割は非常に重要である。

本発表では、本大学工学部電気系3年次学生が受ける学生実験の課題で、オシロスコープを用いた発振器からの正弦波・方形波の観測と直列共振回路の特性・過渡現象の観測を紹介する。

2. オシロスコープの原理

オシロスコープでは波形表示にブラウン管 (Braun Tube, CRT : Cathode-ray Tube) を利用する。ブラウン管は、電子銃から蛍光面に向けて放出される電子ビームを水平、垂直の2方向に偏向させて、蛍光面の輝点の位置を制御している。この偏向を信号波形により行うことで波形の表示が可能となる。電子ビームの偏向にはコイルに電流を流して磁界を発生させる電磁偏向と、電極板に電圧を印加して電界を発生させる静電偏向とがあるが、オシロスコープの場合は、偏向の直線性が得られる静電偏向が利用されている。なお、テレビジョン用のブラウン管では、大きな偏向が可能な電磁偏向が用いられている。図1はオシロスコープ用のブラウン管の構造を簡単に示したものである。

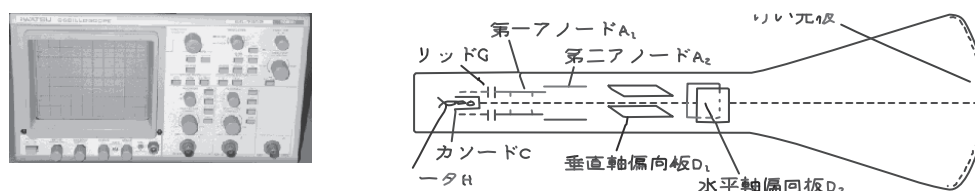


図1 オシロスコープの外観と静電偏向のブラウン管の構造

本実験では、

(1) オシロスコープを用いて、正弦波出力電圧最大時の発信器の周波数特性を、発信機の出端子に

- 定格負荷に等しい抵抗を並列に接続した場合
- 何も接続しない場合

を測定し、結果を比較する。

(2) オシロスコープの画面上に発信器からの方形波を表示させ、方形波の周波数を変化させて理想的な波形とどのように異なるか観察する。

3. 直列共振回路の過渡現象

電気回路の応答波形を時間領域で直接解析することも重要である。特に、インダクタンスやキャパシタンスのようなエネルギー蓄積素子が回路に含まれているときは、エネルギーの蓄積あるいは放出の際に過渡現象が観測されることが多い。

たとえば、直列共振回路で端子間を短絡したときは、CとLに蓄えられているエネルギーの放出が過渡応答として観測される。回路の微(積)分方程式をたてて計算すればすぐわかるように、この応答は回路の固有周波数と初期条件によって決定される。たとえば $t=0$ でCの電荷 $q=q_0$ 、Lを流れる電流 $i=0$ (これはCの電荷の変化 $dq/dt=0$ の条件と同じである) とすると、応答(Cの電荷の変化)のだいたいの様子は図2のようになる。すなわち、二つの固有周波数が実数でしかも互いに異なる場合、応答は指数的(exponential)になり、一致する場合は臨界的(critical)になる。これに対して二つの固有周波数が互いに共役な複素数である場合は振動的(oscillatory)な状態となり、図2Ⅲのような減衰振動が起る。減衰振動の山の高さが約4%に減少するまでにほぼQ個の山があるので減衰振動波形を観察することによってもだいたいのQの値を知ることができる。

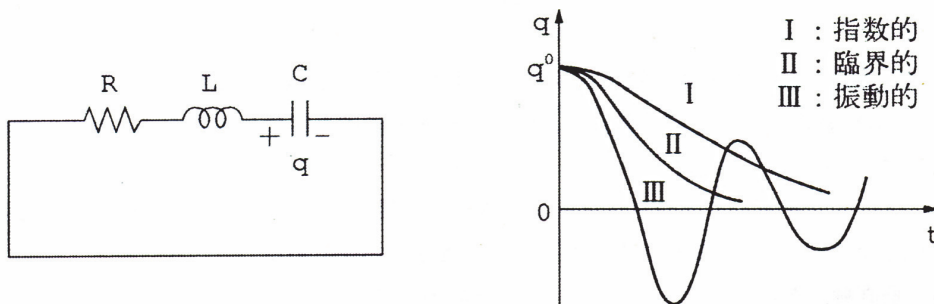


図2 直列共振回路の過渡現象

本実験では、オシロスコープを用いて、

- (1) アドミタンス(絶対値および位相)が周波数と共にどのように変化するかを観測する。
- (2) 抵抗を変化させて、過渡現象の様子を観測する。

4. 謝辞

本発表にあたり、御協力頂いた電気系工学専攻助教の岸 真人先生はじめ、電気系3年次学生実験関係各位に感謝いたします。

16 工学系研究科における無線 LAN の展開

情報システム室 荒木 哲郎

t-araki@t-adm.t.u-tokyo.ac.jp

山崎 一彦

近藤 元秀

1. はじめに

近年コンピュータネットワークは、コンピュータで利用する様々なアプリケーションや、サービスにとって電気や電話等と同様に重要なインフラとなっている。無線 LAN に関する規格は、IEEE802.11 委員会で策定されており古くは 1990 年代前半より利用されている。策定される規格は徐々に拡張され、現在普及している規格(802.11n)では理論上最大 600Mbps の通信が可能となっている。特に持ち運べるノートパソコンや、その他の情報端末で、さまざまな場所においてネットワークに接続できる無線 LAN へのニーズは当然生まれてくるものと考えられる。

工学系では、旧来一部でのみサポートしていた無線 LAN のエリア拡充及び、研究室で発生するループ等によるトラブルを減らす事を目指し一部エリアに先行導入した。本報告では、今回導入した無線 LAN における概要と、特徴を報告する。

2. 工学系での無線 LAN 提供エリア

今回の無線 LAN システム導入前は、工学系として設置した無線 LAN は工学部新 2 号館及びそのシステムを利用した、8 号館一部、工学部列品館の一部に提供していた。そのほか、無線 LAN としては、情報基盤センタが提供するサービスがあり、主に工学系図書館や、共通スペース等で提供されている。今回、工学系として導入したエリアは工学部 7 号館全館（ただし一部を除く）及び、工学部 1 号館 1 階及び 2 階の社会基盤専攻、化学・生命系の共通講義室に提供した。（表 2-1 参照）

表 2-1 無線 LAN 提供エリア

既存提供箇所			
設置	場所		用途
工学系	新2号館	全体	工学系ネットワークに接続
	8号館	教授会室	
	列品館	大・中会議室	
情報基盤センタ	工学系図書館、その他	理学部7号館を除く	教育計算ネットワークに接続
	新2号館	1階共通講義室、フォーラム	イベント用(一時)、公衆無線LANサービス
新規提供箇所			
設置	場所		用途
工学系	7号館	一部除く	工学系ネットワーク、研究室LANに接続
	1号館	1階、2階共通講義室	

3. 無線 LAN の構成の概要

3. 1. 利用可能無線 LAN の規格

工学系で利用可能な無線アクセスポイントは、表 3-2 に示す無線規格及び速度に対応している。この中で最新の規格を採用して最も速度が出る 802.11n は今回導入した新規エリアでのみ利用可能となっている。これら規格の中で、5GHz を利用する規格の特徴としてノイズの影響を受けにくくまた、チャンネルが多いため速度が出るのが期待される一方、障害物に弱いとされる。反対に 2.4GHz はノイズの影響を受けやすいが、障害物に強いとされる。そのため新規に無線端末を購入する場合は、最新の 802.11n 対応を謳った製品でかつ 2.4GHz、5GHz のいずれにも対応したものを検討するのが望ましい。

表 3-2 無線 LAN 規格概要

対応規格	周波数帯	通信速度(理論値)
802.11b	2.4GHz	11Mbps
802.11a	5GHZ	54Mbps
802.11g	2.4GHz	54Mbps
802.11n	2.4GHz / 5GHz	600Mbps

3. 2. ネットワーク構成概要

導入した無線 LAN 機器は、①無線集中コントローラ、②アクセスポイント、③PoE スイッチ（アクセスポイント収容スイッチ）からなり、②のアクセスポイントは各無線 PC が接続する先となるため、建物内の各場所に設置する。③の収容スイッチは、アクセスポイントに LAN ケーブルで給電する機能（802.11af）を有する物を選定した。これにより、アクセスポイント収容の為の LAN ケーブルの敷設のみで大幅な電源工事が削減できる。また、アクセスポイントを収容する PoE スイッチの接続を既存の有線フロアスイッチと独立した事により、スイッチ障害で該当エリアの無線・有線が同時に停止するリスクの分散を可能としている。PoE スイッチはいくつかのフロアのアクセスポイントを収容することにより、PoE スイッチの台数を削減した。

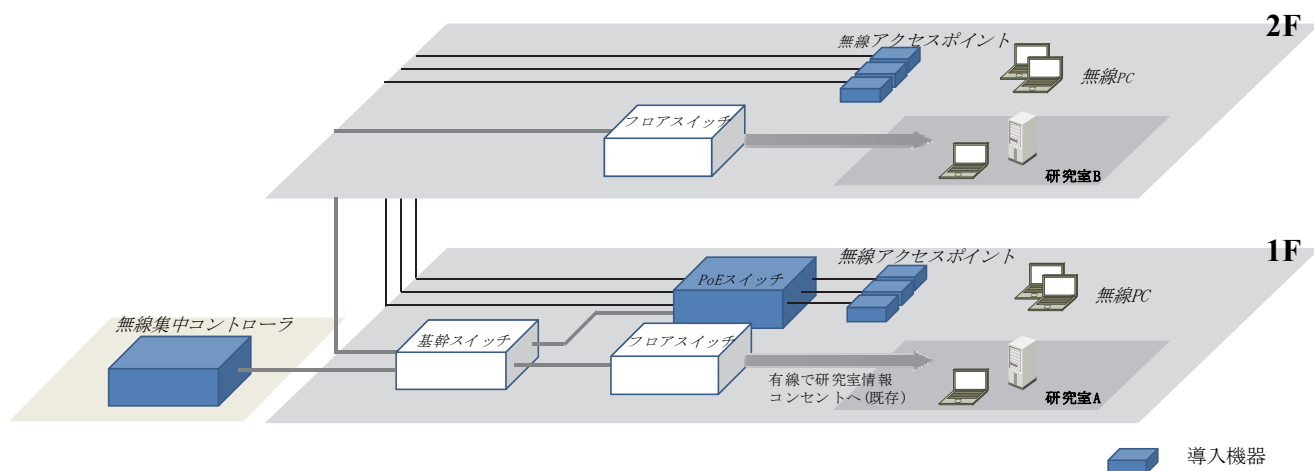


図 3-1 無線 LAN 構成概要

4. 本システムの特徴

本システムにおける特徴を以下に記載する。

4. 1. プライベート LAN 接続

本システムでは、基本的な機能としてエリア内において接続した無線端末がインターネットに接続可能な環境を提供する。それに加えて、申請時に希望することによって各研究室のプライベート LAN に接続する機能が提供可能となっている。具体的には、通常であれば無線端末は研究室のネットワークとは異なる IP アドレスが払い出されるため回避策はあるものの、そのままでは研究室内のプライベート LAN に存在するファイルサーバ等にアクセスすることは容易ではない。(図 4-1 左) これに対して、本機能では論理的に各端末をあたかも研究室のプライベートネットワークに接続しているような環境を提供することができる。これにより、研究室のみで公開しているサーバ等へのアクセスが容易に可能となる。(図 4-1 右)

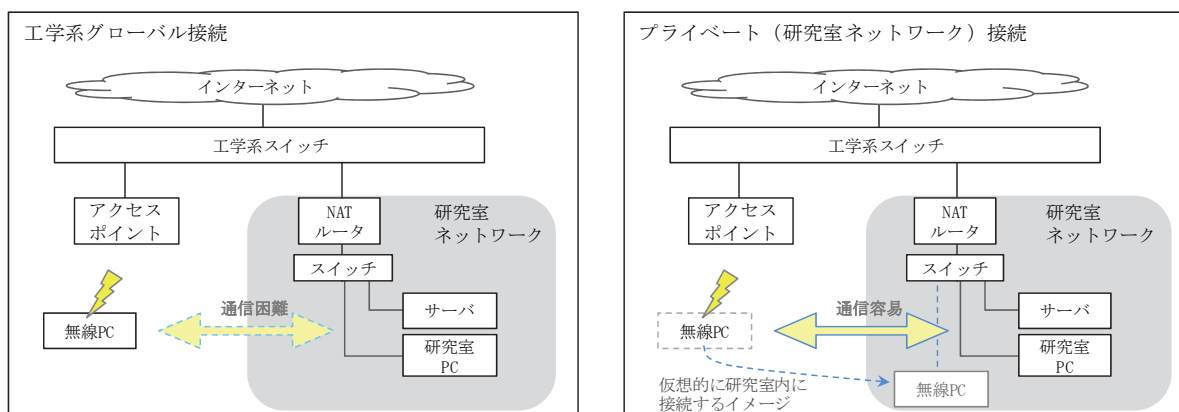


図 4-1 無線端末の接続イメージ

4. 2. 工学系建物間ローミング

将来的に無線 LAN のサポートエリアを工学系の複数の建物でサポートしていった際に、どこでも同じ環境を提供できる構成を目指した。これにより、4. 1のプライベート LAN 接続機能が研究室のある建物以外の建物にいても、研究室プライベートネットワークに接続することが可能となる。

4. 3. 全学共通無線 LAN サービスについて

今回導入した工学系無線 LAN 装置は、現在東京大学で実験中の「全学共通無線 LAN サービス実験」(以降、共通無線 LAN と記載) 参加要件を満たしたものであり、本実験に参加している。これにより工学系の提供する無線 LAN エリアでは工学系以外の学生についてもそのインフラを利用することが可能となっている。詳しくは、全学共通無線 LAN サービスの案内ページ参照。(実験期間 2011/3/2~8/31)

5. 問題点、及び今後の課題

5. 1. 研究室 NAT ルータ導入における弊害

現在工学系ネットワークでは、多数の建物に張り巡らされており各研究室個別のネットワークまで情報システム室で面倒がみられない状況にあり、各研究室では独自に NAT ルータ（ブロードバンドルータ）を導入して個別に研究室ネットワークを構築しているケースが存在する。この場合、ブロードバンドルータの LAN 側 IP アドレスを初期設定のまま利用するケースが多いため、各研究室の LAN 側 IP アドレスの体系が重複するという現象が発生しており、無線 LAN 接続時に研究室ネットワークへ接続することが困難となっている。そのため、将来的に工学系全体に広げていく場合 4.1 で述べたプライベート LAN 接続機能を希望する場合は、研究室の LAN アドレスを工学部内で重複のないネットワーク体系に合わせて頂くことを条件とする等で回避していく必要がある。

5. 2. 電波到達性について

今回 7 号館に導入した経緯としては、本学では古い建物が多く構造的に壁を電波が透過しにくいことが考えられるためまずは比較的新しい建物において実施した。しかし電波測定をした結果、アクセスポイントをすべて廊下に設置する方法では各部屋の中での電波強度が弱くなる傾向にあり、全域をカバーするためには当初想定を上回るアクセスポイントを設置する必要があった。そのため 7 号館全体への提供を目指しつつもある程度優先順位を付け利便性の高いエリアに優先して設置した。この問題は他の建物でも発生する問題と考えられるため、今後の展開においては同様にある程度設置エリアの優先順位を加味する必要があると考えられる。

6. おわりに

稼働開始からの、利用者の推移は右図のように推移している。利用者は順調に増えているものの、純粋な工学系の利用者（図 6 上）よりも共通無線 LAN（図 6 下）の利用者のほうが多い。これに関しては、本報告執筆時にまだ研究室プライベート接続を開始していない状況もあるが、事前登録なしで利用できる共通無線 LAN の利便性ゆえと考えられる。しかしながら、本システムなくしては共通無線 LAN サービスも利用できないことから、利用者が増えていることは無線システム導入に対する成果があったと考えられる。

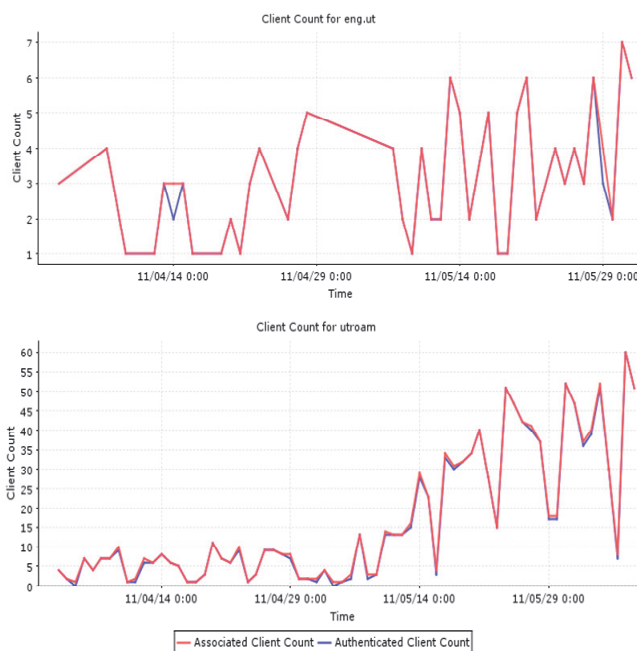


図 6 無線利用者推移

17 ロボット工学演習のアンケート評価

機械工学実験・ロボットによるライントレース II

情報理工学系研究科・知能機械情報学専攻： 長阪 恵里
eri@atre.t.u-tokyo.ac.jp

知能機械情報学専攻： 永井 おりが

知能機械情報学専攻： 中垣 好之

知能機械情報学専攻： 田中 雅行

知能機械情報学専攻： 齋藤 正光

知能機械情報学専攻： 山口 真奈美

1. はじめに

工学部機械工学科・機械情報工学科では学部2年生の冬学期から機械工学に関する専門分野の授業を取り入れ、学部生の育成に取り組んでいる。情報理工学系研究科の知能機械情報学専攻の技術職員は必修科目である機械工学実験の演習テーマの中で、「ロボットによるライントレース」を担当し、毎年、約140名の学部2年生に対して、ロボットの仕組みと基礎を教え、苦手意識を持たせないように楽しみながら学べる演習を目指してきた。平成22年度でこの演習は5年が経過し、学生のアンケート回答と評価について此处に提示し、考察する。

2. 演習の目的

機械系工学科・機械情報工学科の学部2年生にとって「機械工学実験」は初めてのメカトロニクス・制御・ソフトウェア関連の演習で、まだ該当科目の講義も進んでいない段階である。ライントレースロボットという教材を用いてロボットの制御の基本を教え、苦手意識を持たせず楽しみながら学び、進級後のロボティクス・メカトロニクス・制御・ソフトウェア分野の学習へのモチベーションを持たせることが出来るような演習を目的としている。

3. 「ライントレースロボット」のアンケートの集計

この演習は担当の技術職員達が学生の目からみた授業の感想等を聞くことによって、更なる授業の質の向上と個々の問題点を省みるために、学生に授業終了後に授業へのアンケートを行っている。平成22年度で5年が経過し、此处に学生から得たアンケート回答の5年分を集計し提示する。

【3-1. アンケートの内容】

2006年度から下記のアンケートを行っている。(Table 1 参照)

満足度、テキスト、C言語について、5段階の評価をしてもらい、それぞれその理由を記載してもらった。満足度については楽しかったか、勉強になったか、興味を持ったかの3項目を設けた。テキストについては見易さ、分かりやすさ、参考になったかの3項目を尋ねた。C言語については理解度を自己判断して回答してもらった。

Table 1 アンケートの内容

機械工学実験 「ロボットによるライトレース」 アンケート						
● 満足度チェック (5段階評価)						
楽しかった	5	4	3	2	1	つまらない
勉強になった	5	4	3	2	1	勉強にならなかった
興味を持った	5	4	3	2	1	興味を持たなかった
理由を書いてください。						
● テキストについて (5段階評価)						
見やすい	5	4	3	2	1	見にくい
わかりやすい	5	4	3	2	1	わかりにくい
参考になった	5	4	3	2	1	参考にならない
理由を書いてください。						
● C言語について (5段階評価)						
得意	5	4	3	2	1	出来ない・知らない
● 感想						
自由に書いてください						

【3-2. アンケート回答の年度ごとの集計結果】

下記に平成 18 年度～平成 22 年度までのアンケート回答の結果を示す。(Table 2, Table 3, Table 4)

Table 2 学生の満足度の年度別回答割合と集計結果

満足度			5	4	3	2	1	
楽しかった	回答数	135名						
		H22	91.9%	7.4%	0.7%	0.0%	0.0%	
		139名	H21	91.4%	6.5%	2.2%	0.0%	0.0%
		126名	H20	84.9%	13.5%	1.6%	0.0%	0.0%
		110名	H19	83.6%	12.7%	3.6%	0.0%	0.0%
		132名	H18	78.8%	16.7%	3.8%	0.0%	0.8%
勉強になった	回答数	135名						
		H22	51.1%	39.3%	8.1%	1.5%	0.0%	
		139名	H21	51.1%	33.1%	12.2%	3.6%	0.0%
		126名	H20	36.5%	42.1%	19.8%	1.6%	0.0%
		110名	H19	40.0%	37.3%	20.9%	0.0%	1.8%
		132名	H18	40.2%	33.3%	20.5%	5.3%	0.8%
興味を持った	回答数	135名						
		H22	81.5%	16.3%	2.2%	0.0%	0.0%	
		139名	H21	77.7%	18.0%	4.3%	0.0%	0.0%
		126名	H20	63.5%	31.0%	5.6%	0.0%	0.0%
		108名	H19	62.0%	29.6%	8.3%	0.0%	0.0%
		132名	H18	60.6%	31.1%	6.8%	0.0%	1.5%

満足度 (Table 2) を参照すると、「楽しかった」は最も高い「5」を殆どの学生が回答している。そして「5」と「4」の回答率を合わせて、ほぼ 100% に近い値を示している。「勉強になった」も「3」以上の良い評価を得ている。「興味を持った」に対しても「5」と「4」を合わせて 90% 以上であり、非常に高評であることが分かる。3 項目共年度毎に高評の方へ回答数が増えており、多くの学生が好感をもって授業を受けていたことが分かる。

Table 3 授業の配布資料の年度別回答割合と集計結果

テキスト			5	4	3	2	1	
見やすい	回答数	135名	H22	52.6%	40.7%	5.9%	0.7%	0.0%
		139名	H21	56.8%	28.8%	14.4%	0.0%	0.0%
		126名	H20	38.9%	50.0%	10.3%	0.8%	0.0%
		110名	H19	44.5%	40.0%	14.5%	0.9%	0.0%
		133名	H18	57.9%	31.6%	10.5%	0.0%	0.0%
分かりやすい	回答数	135名	H22	38.5%	43.0%	17.0%	1.5%	0.0%
		139名	H21	33.8%	44.6%	18.0%	2.9%	0.7%
		126名	H20	27.0%	42.9%	26.2%	4.0%	0.0%
		110名	H19	26.4%	38.2%	30.9%	3.6%	0.9%
		133名	H18	20.3%	45.1%	27.8%	6.8%	0.0%
参考になった	回答数	135名	H22	43.0%	43.7%	12.6%	0.7%	0.0%
		139名	H21	40.3%	44.6%	14.4%	0.7%	0.0%
		126名	H20	32.5%	48.4%	17.5%	1.6%	0.0%
		109名	H19	32.1%	42.2%	22.0%	2.8%	0.9%
		133名	H18	24.8%	45.1%	28.6%	1.5%	0.0%

テキスト(Table 3)とは、講義資料や手順書等の配布資料についてのアンケート回答である。見やすさに関しては「5」と「4」の回答が多く高評であった。テキスト内容の分かりやすさと、参考になったかについては、どちらも毎年度、「4」の回答が多く、更に年度毎に高評へ回答数が増えている。おそらく、配布資料が見やすいと感じたことで、配布資料を参考にしながら、授業時間内で授業内容をよく理解した学生が多かったのだろうと考える。

Table 4 C 言語の理解度(自己判断での評価)年度別集計

C 言語			5	4	3	2	1	
得意	回答数	134名	H22	3.0%	13.6%	34.1%	28.8%	21.2%
		139名	H21	2.9%	13.7%	37.4%	33.8%	12.2%
		126名	H20	2.4%	18.3%	34.9%	34.9%	9.5%
		110名	H19	4.5%	12.7%	30.9%	33.6%	18.2%
		132名	H18	2.3%	13.6%	34.1%	28.8%	21.2%

C 言語(Table 4)の理解度について5段階のうち、自己判断でC 言語が出来るかのレベルを記載してもらった。この時期はC 言語の授業が始まったばかりなので、C 言語の理解度が低い回答が多い。

5年間の年度別のデータをみると、年々、満足度やテキストの高い評価が上がってきている傾向がある。そして、C 言語の理解度が低いと感じながらも、楽しく授業を受けていることが分かる。

【3-3. 5年間の満足度のデータ】

5年間の総学生数の満足度の回答を集計し割合を算出した。(Table 5 参照)

Table 5 学生の満足度の5年間の回答割合と集計結果

満足度		5	4	3	2	1	総人数
楽しかった(%)		86.3%	11.2%	2.3%	0.0%	0.2%	
	(人)	554	72	15	0	1	642
勉強になった(%)		44.1%	36.9%	16.0%	2.5%	0.5%	
	(人)	283	237	103	16	3	642
興味を持った(%)		69.5%	24.8%	5.3%	0.0%	0.3%	
	(人)	445	159	34	0	2	640

Table5を参照すると「楽しかったこと」と、「興味を持ったこと」は高評である「5」回答が多く、学生が楽しみながら授業を受けていたことが分かった。

【3.4 アンケートで得た考察】

過去5年間の学生の回答は年々、楽しいこと、興味をもったことに高い評価を得られていることが分かった。平成18年度から資料等の大きな改編はないため、年度を重ねる毎に、高い評価が増えてきたことに対し考えられることは、アンケートでの学生の声を真摯に受け止め、次の授業に反映させてきたことである。そして、技術職員全員の経験が増して授業中の教材のトラブルが少なくなり、円滑に授業を遂行できるようになったことで、技術職員各々が余裕をもって学生からの質疑応答をし、笑顔で学生達に接している時間が増えたからではないかと考える。

4. アンケートで得た意見

一部ではあるが、ここに学生の感想を掲載する。

[満足度について]

- ・数学、C言語、実機との関連がとてもおもしろかった。(平成22年度)
- ・パラメータ変更の影響がわかりやすく面白かった。(平成21年度)
- ・今までの授業内容が目に見える制御にふれたのが興味深かった。(平成20年度)
- ・制御の仕方で動きがこれほど変わることに感動した。(平成19年度)

[テキストについて]

- ・手順とかは説明を聞かなくてもすぐ理解できるくらい分かりやすかった。PIDなどは今後出てくるだろうと思うので参考にした。(平成22年度)
- ・授業でやったがよくわからなかったことも理解できた。(平成21年度)
- ・図も多く理解しづらいところは分かりやすくとえてあったりして良かった。(平成18年度)

[演習全体の感想について]

- ・ライントレースロボットの制御だけでもここまで奥深いものなのだなと感じた。今後このような分野に進んで、様々なロボットの制御を体験してみたいと強く思った。(平成21年度)
- ・今までの実験で一番楽しかったし、燃えた。今、学んでいることが具体的にどのように活きるのかを知ることができてよかった。(平成20年度)
- ・普段ソフトウェアやシステム制御で学んでいることが実際体験出来てよかった。(平成20年度)

5. 終わりに

今回は知能機械情報学専攻の技術職員達が行った2年生向けのロボット工学教育の授業について、学生の貴重な意見を含んだアンケート結果を提示した。今後も学生達の意見を参考に授業の質を少しでも向上できるよう個々の技術職員が反省点・改善点を見つけフィードバックをし、更なるロボット工学教育の質の向上を目指したい。

参考文献

2004年: 東京大学工学部・工学系研究科技術報告書「技術職員プロジェクトI～III」(p29-42)

2004年: 東京大学工学部・工学系研究科技術報告書「技術職員プロジェクトIV～X」(p57-p98)

18 Participation in the English class for staffs from the TOKAI

Nuclear Engineering; SUKEGAWA Toshio, YOSHIZAKO Tomoe, YASUMI Atsushi
 sukegawa@nuclear.jp

1. Introduction

The third English conversation training class for staffs has been announced by the technical division of School of Engineering. This course has been started in order to encourage fundamental communication skill in English since Oct 4, 2009 under the name of “Global 30” project¹⁾. However, people in the TOKAI campus could not take the first and second English classes because of the location. Therefore we managed to use video-conference system and participate from a remote place. At this time we took evening course to participate easily.

2. Detail of the Class

Evening course: Tuesday and Friday, from 18:00
 to 20:00.

Period: From November 2, 2010 to March 9, 2011.

Study contents: Writing, listening, role playing
 conversation and presentation.

Instructor: Mr. Bryan Nguyen (US)



Photo: Studying view

3. Introduction of the presentation in the TOKAI

Writing e-mail: We learned writing about various cases like making notification lecture, asking for permission, and writing invitation so on. We figured out that all of the writing should be written in polite sentences considering receivers. In the presentation, there were many topics related to energy because of our belongings: the technical division of School of Engineering.

Here, we want to introduce one of the assignments in TOKAI. But our assignment became unimpressed topics by the terrible earthquake occurred in March 11 2011. Though, we introduced 3 topics of presentation regarding of the nuclear power. Before the earthquake, the nuclear atomic industries change their conditions sharply in Japan.

- (1) The strategy of the Japanese nuclear atomic companies in the world: SUKEGAWA Toshio
- (2) The nuclear waste management and disposal: YASUMI Atsushi
- (3) Education of the nuclear atomic energy: YOSHIZAKO Tomoe

(1) The strategy of the Japanese nuclear atomic companies in the world

Power plant companies make progress by the international association and intensify competition to contract the power plant. Each Japanese makers associate Westinghouse electric co., General electric co., AREVA (France public co.). Japan has 3 big companies in the nuclear power plant industry. Especially, Toshiba group can make the two type of reactors called boiling water and pressurized water reactor. They received 60% orders for the US planning.

Currently, the world has the important issue which is called “the nuclear RENAISSANCE”. Nuclear reactor does not generate the greenhouse gas in the generation of electricity and the electricity which can be stably formed. Generation of a lot of electricity is reevaluated and construction rush is caused in the world. The developing countries now become a high economy growth. Construction of 66 bodies of atomic plant plans dynamically at present in the world, 22 bodies are China which is becoming advanced nation.

On the other hand, Japan has lost Korea in the nuclear power plant order achievement race from the capital of UAE which would construct for the Middle East Asia to be the first time. The main nuclear power companies were amazed at the result. France proposed the supply of the military planes and annexed construction of the Ruble museum. Korea accepted a partnership in cooperation of the supplying nuclear fuels. Moreover, Korea’s offer was 20 percent less expensive than France. As the result, between Japanese government and nuclear power plant makers established the new promoting company to win the competition in the world in 2010. Fortunately, Japan received Vietnamese nuclear power plants for the 2nd period construction. This is the first time for Japan to make power plants in the developing country.

Here, I would like to explain the ratio of operation hour of power plants in the world. The ratios are U.S. 90%, South Korea 93%, France 76% and Japan 59 %. In the case of Japan, the safety standards are high and an inspection has to be done once per year. So, the weakest point is a low ratio of operation hours. Besides, Japan has many earthquakes and the constricted materials become a high quality and cost compared with foreign countries.

But, the energy demand in the world increases by 1.6 % of annual rates, according to “the world energy view 2008. In 2030, they estimate the increase about 45 % as a standard growth from this time forward.

(2) The nuclear waste management and disposal

By the operation of nuclear facility, contaminated waste is generated by the nuclear reaction. Radioactive waste is reduced the volume by the various treatment and moved over the safety condition by then.

Recently, radioactive waste is buried underground storage called a concrete pit type or trench type according to the difference of contaminated levels. Trench type is stored the waste into the shallow underground. After that, the waste filled with soil and sand around the one, and the top of surface is also covered with soil and sand. Low radioactive waste is buried in concrete pit type this method. Concrete pit type is stored the waste in a concrete pit in shallow underground, which filled with mortar and concrete around the waste. After the one filled with clay around the concrete pit and the top of surface is covered with dirt and sand.

High radioactive waste is buried in this way. About the way of management, that storage is restricted strictly as the control areas. To confirm the radioactive level in the environment emitted from disposal facility, which carries out periodically measuring about the radiation and radioactivity. The waste into the underground is deemed to be safe state with the passage of time.

The required management time of higher contaminated waste into the concrete pit will be demanded 300 years by the estimation of decay.

(3) Education of the nuclear atomic energy

People have been given a few chances to get the knowledge of nuclear power in school education. There are some people who are against nuclear power in Japan. The reason might be that they had an experience of atomic bombs. By the broadcasting for nuclear power with a biased view, the bad images for nuclear power run through the world. In the nuclear power field, what Japanese government and officers have done is getting rid of its fear, not giving us the correct information on the nuclear power. I am worried that misunderstanding impedes our ability to benefit from the technology and society.

From the perspective of social studies and science, they should have time for free discussion and group projects to obtain the correct knowledge, for example, safety, energy and environment engineering, accident, industry or economy, science and politics of the nuclear power. Nuclear power education has some specificity. That is peaceful application, merit and demerit in use. Teachers are required to have right knowledge and unprejudiced instruction for students.

Do you know that nuclear power is called crystal of intelligence? That is why nuclear power field requires all of the engineering knowledge and skills. Those are safety, mechanics, electricity, physics, chemistry, medical science, biology, sociology, metrology, computer, of course, English. If you major in nuclear power, you would have to study hard.

In the society, training of future leaders and improving their career are important in the world. Nuclear Engineering Research Laboratory Graduate School of Engineering the University of Tokyo is located in Tokai-mura. The students here will be gained highly advanced knowledge with its curriculum. Those are same detailed lectures, extensive exercises and experiments so on. It is also necessary for them to understand the world statements and political policies. Nuclear power textbooks are written in Japanese, though, now Tokyo University is preparing English power textbooks under the supervision of IAEA has become a world standard.



Photo: Lecture for Graduate student

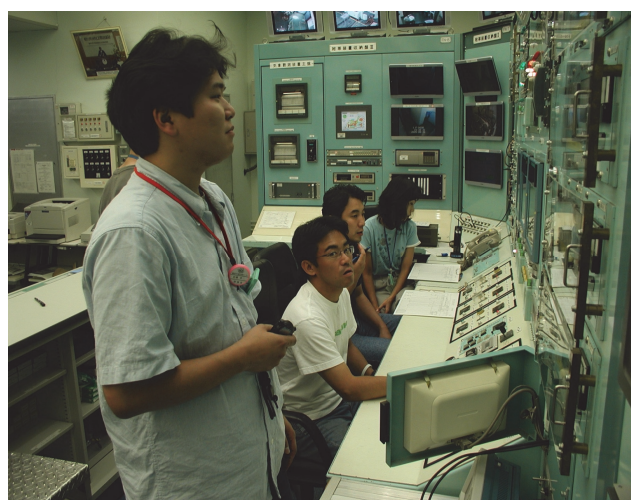


Photo: Exercise for Graduate student

4. Discussion

(1) We discussed effective use of the other energy; wind power, geothermal power, solar power and wave activated power generation. Most of the composition material is recyclable and they don't go out of the radioactive waste like the atomic generation of electricity. In the case of solar power, the cost is about 3 times higher than the other way of the generation of electricity by the calculating of mechanical lifetime and total generation of electricity. Besides, the total generation of electricity affects weather and so on. If the other natural resources are more effective and safer than nuclear power, we all would select the one.

(2) Mr. Bryan Nguyen introduced his research and construction site of disposal in Korea regarding of nuclear waste management and disposal. Also he showed design of concrete pit or trench type pit and various treatments according to the difference of contaminated levels

(3) Education in the nuclear power field becomes increasingly important. Whether we use of nuclear power or not in the future, people should make decisions based on the correct knowledge.

5. Conclusion

Participants were satisfied with the class. Moreover the attendance rate of participants was very high. However there were a little problem in listening and understanding when we carried on a conversation through the video-conferencing system. Still we could understand them when speakers spoke slowly and used Japanese.

6. Acknowledgements

We would like to thank all the people for this great opportunity and cooperation to learn English. Especially, we are really thankful to Mr. Bryan Nguyen for your excellent lecture. Also we show our appreciation to everyone of technical division of the TOKYO. We had a good time and learned a lot.

References

1) Kanae Oguhi, Masakazu Enomoto, Makoto Kanai, Masanao Sekine, Masaru Yasumoto; 25, A report of the English conversation training for staffs, Proceeding of 25th Technical Symposium, Graduate School of Engineering, The University of Tokyo, PP87-88.

19 化学・生命系：生命工学実験及び演習

応用化学専攻 坂下 春

sakasita@appchem.t.u-tokyo.ac.jp

化学生命工学専攻 鳥越裕介

1. はじめに

この発表では工学系技術部、教育基盤部門として化学・生命系 3 専攻(応用化学・化学生命工学・化学システム工学)が実施する学部学生(3年生)を対象として実施している学生実験のうち、冬学期に行われる学生実験の中の「生命工学実験及び演習」について紹介する。

生命工学実験は化学生命工学専攻の学生全員と応用化学専攻と化学システム専攻の学生から履修希望者を募って行われている。バイオテクノロジーの発展を背景に「生命工学実験及び演習」が開講されたのは 1992 年のことであった。その後、日々進化するバイオテクノロジーに対応するための実験改訂を行ってきた。実習内容は大きく分けて「遺伝子組み換え」と「酵素反応解析」でバイオセーフティーや廃液の取扱など、実験室での環境安全をも含めて指導する。「遺伝子組み換え」においては 2008 年ノーベル化学賞を受賞した下村脩博士の発見したオワンクラゲから抽出した蛍光タンパク質 GFP 変異体が大腸菌の細胞に導入し、発現させるまでの一連の組換え DNA 技術を習得させる。

2. 生命工学実験の実験日程と概要

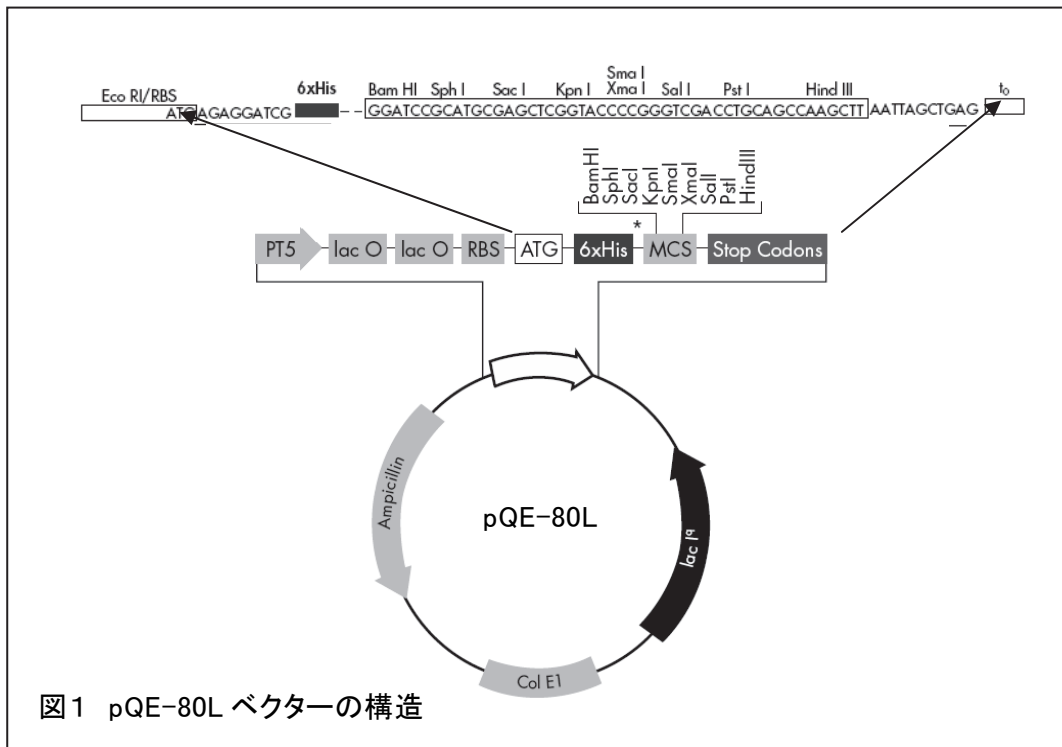
- 1 日目: 実験講義
- 2 日目: LB培地の調製、PCR 反応による目的 cDNA 断片の増幅・単離
制限酵素によるDNA切断、泳動用アガロースゲルの作製
- 3 日目: アガロースゲル電気泳動、DNA連結反応、大腸菌の形質転換
- 4 日目: プラスミド少量抽出に用いる試薬の調製
形質転換株の選別と液体培地での培養、SDS-PAGE ゲルの作製
- 5 日目: GFP 発現のための培養、プラスミドの少量抽出
- 6 日目: 制限酵素による抽出プラスミドの切断・電気泳動による確認
GFP の精製と SDS-PAGE による GFP の発現確認
- 7 日目: 実験講義、課題, 酵素反応速度実験に使用する試薬の準備
- 8 日目: 酵素反応速度の測定・解析
- 9 日目: 予備日

①PCR 反応による目的遺伝子の cDNA 断片の増幅と単離

PCR(Polymerase Chain Reaction)反応は、目的遺伝子 cDNA 断片を増幅・単離するのに非常に優れた方法である。原理としては、目的 DNA のそれぞれの鎖に対して相補的なプライマーを、増幅させたい領域をはさむように設計し、化学合成する。

②制限酵素によるDNA切断

PCR により増幅した cDNA 断片(GFP 遺伝子)を2種類の制限酵素 Bam HI と Pst I で同時に切断する。



③組み替えDNAの作製。発現用ベクターと連結反応(ライゲーション)

組み換え DNA 技術とは、特定の遺伝子を、種を異にした細胞に導入し、目的 DNA の複製と発現を行うための技術である。本実験では、クラゲ由来の遺伝子である GFP の変異体が大腸菌の細胞に導入し、発現させる事を意味している。

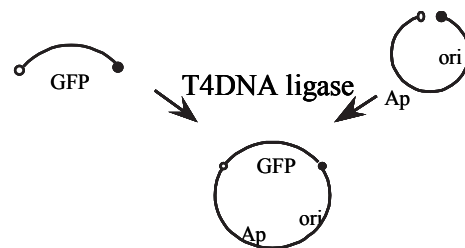


図2 挿入断片とベクターのライゲーション反応

④形質転換(トランスフォーメーション)

DNA連結反応によって得られたプラスミドを大腸菌の中に取り込ませ、プラスミドの形質を発現させる。健全の細胞は外部からプラスミドを取り込まないが、ここで使用する大腸菌は、一価および二価イオン処理を行って細胞膜の透過性を変えたものであり、ケミカルコンピテントセルと呼ばれている。形質転換の後、抗生物質アンピシリンを含む固体培地で培養すると、プラスミドを取り込んだ大腸菌のみが生き残り、コロニーを形成する。

⑤蛍光活性の検出

プレート上のコロニーに紫外線を照射する。緑青色の蛍光を発したコロニーが目的とする遺伝子組換えに成功した菌のコロニーである。

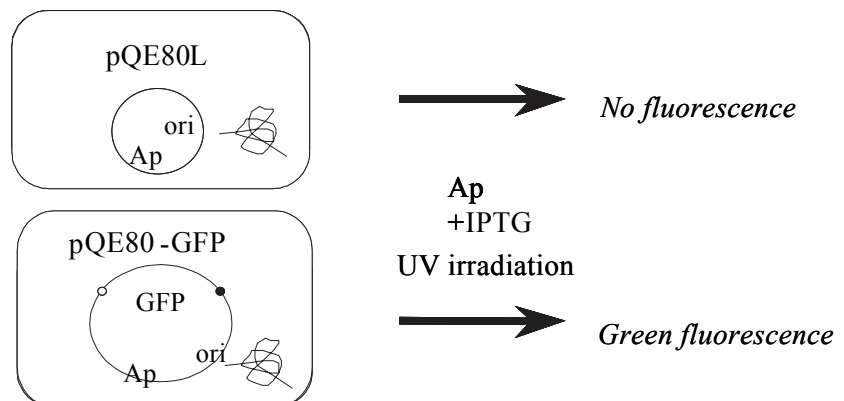


図3 大腸菌の形質転換と GFP 活性検出

⑥プラスミドの少量抽出プレート上から液体培地にコロニーを移し、一晩振とう培養する。増殖した菌からプラスミドを抽出する。培地の容量が少量(数 ml)のため少量抽出(mini-scale preparation)と呼ばれ、略して mini-prep. と呼ばれることもある。抽出後アガロースゲル電気泳動を行ない、DNAの存在を確認する。

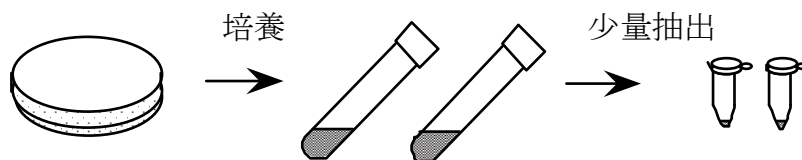


図4 培養から少量抽出まで

⑦抽出したプラスミドの制限酵素による切断

抽出したプラスミドを制限酵素 Bam HI および Pst I で切断し、アガロースゲル電気泳動を行ってDNA断片長を調べる。その結果から、目的の遺伝子組換えに成功したかどうか判断する。

⑧GFP 活性の観察

液体培地で培養した組換え菌を少量取り、紫外線を照射して緑色蛍光を観察する。

⑨SDS-PAGEによる GFP の発現確認

Isopropyl-1-thio-β-D-galactoside (IPTG)を加えた液体培地で培養した組換え大腸菌の全蛋白質を電気泳動し、目的蛋白質であるGFPの発現を確認する。対照実験として挿入断片を持たないベクタープラスミドで形質転換された大腸菌(白いコロニー)を用いる。更に対照実験としてIPTGを加えない液体培地で培養し、目的タンパク質(GFP)の発現が誘導されないことを確認する。この電気泳動は、SDS ポリアクリルアミドゲル電気泳動(SDS-PAGE)と呼ばれる方法によって行う。

⑩酵素反応速度の測定

一般に、取得した酵素の性質を明らかにするためには、酵素量と酵素活性を測定する。すなわち、酵素の反応速度を測定し、その速度定数を決定する。本実験では、測定の容易さから、酵素として、アルカリフォスファターゼ(Alkaline phosphatase :子ウシの小腸 Calf intestine 由来)を用い、p-ニトロフェニルリン酸(基質)の加水分解速度を生成物(p-ニトロフェノール)の濃度の経時変化から求める(p-ニトロフェノールは、アルカリ条件下で405 nmの吸収を測定することにより定量できる)。

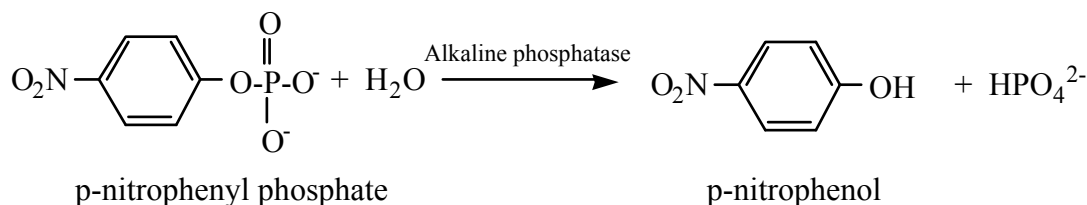


図5 アルカリフォスファターゼの反応

3. 遺伝子組み換え実験における安全教育について

ア) P1レベルの拡散防止措置

大学を始めとする研究機関は、「研究開発等に係る遺伝子組換え生物等の第二種使用等に当たって執るべき拡散防止措置等を定める省令」(平成16年文部科学省令・環境省令第1号、巻末

資料を遵守し、環境中への遺伝子組換え生物の拡散を防止しなければならない。この省令には、実験中は実験室の窓や扉は閉めておくこと、組換え体微生物を含む試料は廃棄前に必ず滅菌すること、組換え体微生物が付着した器具は滅菌せずに実験区域から持ち出さないこと等の封じ込め方法が定められている。以下はP1レベルの拡散防止措置として遵守する事項である。()内は対策内容

- (1) 遺伝子組換え生物等を含む廃棄物(廃液を含む。)については、廃棄の前に遺伝子組換え生物等を不活性化するための措置を講ずること。(オートクレーブにて滅菌を行っている)
- (2) 遺伝子組換え生物等が付着した設備、機器及び器具については、廃棄または再使用前に遺伝子組換え生物等を不活性化するための措置を講ずること。(殺菌消毒剤とオートクレーブ)
- (3) 実験台については、実験を行った日における実験の終了後、及び遺伝子組換え生物等が付着したときは直ちに、遺伝子組換え生物等を不活性化するための措置を講ずること。(殺菌消毒剤、エタノール消毒)
- (4) 実験室の扉については、閉じておくこと(実験室に出入りするときに除く。)(P1 レベル表示)
- (5) 実験室の窓については、昆虫等の侵入を防ぐため、閉じておく等必要な措置を講ずること。
- (6) すべての操作において、エアロゾルの発生を最小限にとどめること。(無菌的環境の徹底)
- (7) 実験室以外の場所で遺伝子組換え生物等を不活性化するための措置を講じようとするときその他の実験の過程において遺伝子組換え生物等を実験室から持ち出すときは、遺伝子組換え生物等が漏出その他拡散しない構造の容器に入れること。(すべて実験室内で操作)
- (8) 遺伝子組換え生物等を取り扱う者に当該遺伝子組換え生物等が付着し、又は感染することを防止するため、遺伝子組換え生物等の取扱い後における手洗い等必要な措置を講ずること。
(手洗いの徹底。実験室出入口に殺菌消毒剤を設置)
- (9) 実験の内容を知らない者が、みだりに実験室に立ち入らないための措置を講ずること。
(P1 レベル実験室であることの表示と注意事項の掲示と指導)

イ) 生命工学実験における廃棄物、ゴミの処理について

学生には実験初日に生命工学実験における安全指導を行うと共に廃棄物の処理と正しいゴミの捨て方等の一覧表と廃棄場所の配置図をテキストに明示している。

- 可燃ゴミ: 主として紙類 ■不燃ゴミ: 塩化ビニルなど ■金属ゴミ: アルミホイルなど
 - 実験系プラスチック:
 - ◇ フィルム系プラスチック(手袋、ラップなど)
 - ◇ 固形プラスチック(チップ、チューブ、プラスチック製試薬ビンなど)
 - ◇ 注) 内容物は取り除いてから捨てる。菌が付着しているものは滅菌、オートクレーブ
 - 付着物のあるシャーレ類: 大腸菌を培養したプレート
専用袋に入れてオートクレーブ滅菌後、指定集積所に排出する。
 - 有害固形廃棄物(L分類):
フェノールやエチジウムブロマイドの付着した廃棄物(可燃・不燃とも)
注) フェノール廃液はドラフト内の専用容器に捨てる。
- ※菌体の付着した竹串はビーカーなどに集め、オートクレーブ滅菌後可燃ゴミとして捨てる。
※生活系のゴミ(食品、飲料容器など)は実験室では一切捨てないこと

20 インシデント発生時対応の LAN 設置と管理

システム創成学専攻 茂木 勝郎
 応用科学専攻 坂下 春
 都市工学専攻 中川 博之
 システム創成学専攻 榎本 昌一
 システム創成学専攻 玉田 康二
 k-tamada@sys.t.u-tokyo.ac.jp

1. はじめに

ネットワークは公共のインフラともあり学外への迷惑防止の観点から不特定通信が出来るソフトウェアを禁止及び監視をしています。工学系研究科では事象発生が起こった場合の対応として該当研究室・担当者に原因調査と対策実施を通知しており、通知を受け取った担当者は対応・対策を実施し報告をしなければならない。今回、研究室で事象発生時に対応出来る LAN の設置・管理情報についてポスター発表をする。

2. 管理環境

事象発生時に対応するために 1 番必要なのがログ（通信履歴）取得である。ログ取得が出来ない場合には被疑 PC 特定に研究室使用 PC すべて一台一台手作業で調査しなければいけない場合があり、台数が少ない場合は構わないが主な研究室構成等を考えると少数はあまり見受けられない。そこで今回は工学系研究科でも推奨をしているルーターを使用した構築例（Fig.1）を提示する。

現在、工学系研究科では以下の 2 台を推奨している。

- ・ YAMAHA ルーター RT58i
- ・ YAMAHA ルーター NVR500

理由としては、SYSLOG サーバー機能を備え USB 端子をもっており USB ストレージを使用する事によりログ長期間取得が容易である。研究室で利用が多いルーターは SYSLOG サーバーへの転送機能は備えているが機器本体で長期間ログ保持機能がほぼ無い。そのため外部 SYSLOG サーバー等を使用しないとイケない。欠点として無線機能提供が無い。一般的なルーターより多少高価である。また、ログ取得時の設定・注意点を記す

- ・ 定期的にログファイルを整理する。
 ログ確認時にファイルサイズが大きいと一般的なエディタ等では開くことが出来なくなる。
 定期的にバックアップ等を行うことが望ましい
- ・ USB ストレージのフォーマット形式に注意する。
 FAT 形式・NTFS 形式があり、これにより作成されるログファイル 1 つあたりのサイズが異なる。

3. 設置事例

ある研究室にて情報コンセントに無線ルーターを接続使用し、プライベートネットワークを構築している。ルーター本体のログ保持機能もわずかで、外部 SYSLOG サーバーも無く構築も難しいのでインシデント発生時に対応が難しい。そこで推奨ルーターを使用したいが、既存構築のどこに設置すれば良いか。また、推奨ルーターには無線機能提供が無いがどうするのか？

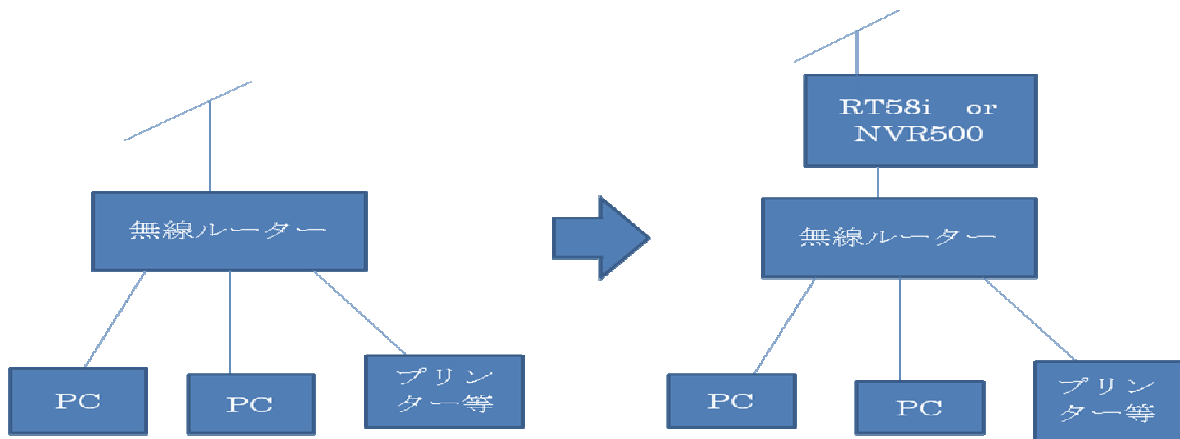


Fig.1 構築事例

- ・情報コンセントと既存無線ルーターとの間に設置
- ・個々PC への IP アドレス配信は推奨ルーターから配信、既存無線ルーターの IP アドレス配信は停止する。
- ・無線ルーターはルーター機能からブリッジ機能に切り替える。これにより無線機能は利用出来る
- ・ルータにおいて、Mac-address 登録による接続制限をかける。

簡単な事例を挙げましたが、詳細に関して情報ポータルサイトには工学系ネットワーク利用指針から今回報告をさせて頂いたルーター設置マニュアルが置いてあります。

4. おわりに

工学系研究科技術職員有志による情報・ネットワーク技術グループ発足から約1年が過ぎ、その期間にいくつかの勉強会が行われた。その勉強会で行ったうちの2つをグループ発表をしました（「ウィルス対策ソフトの活用法」を参照）。これは、前年度技術発表会にてポスター発表をおこなった「PCを工学系Networkに接続するまで」の後に続く必要な内容かと思われます。最後に本発表を承認していただき、助言・協力をしていただいた情報・ネットワーク技術グループの皆様に感謝致します。

21 ウィルス対策ソフトの活用法

応用科学専攻 坂下 春
都市工学専攻 中川 博之
システム創成学専攻 榎本 昌一
システム創成学専攻 茂木 勝郎
システム創成学専攻 玉田 康二
k-tamada@sys.t.u-tokyo.ac.jp

1. はじめに

工学系研究科ネットワークを利用する条件の1つとしてPCにセキュリティ対策が施されている事が必須である。セキュリティ対策とは個々で使用しているPCのUpdateやウィルス対策ソフトをインストールすることである。幸い工学系研究科では利用手続きを行えば費用負担無くウィルス対策ソフトが利用できる。また、ウィルス対策ソフトは使用しているPC自体の最新セキュリティパッチ所在も確認しインストールを促してくれるため一石二鳥である。そこで今回はこのウィルス対策ソフトの1つであり工学系研究科で1番利用が多いと思われるウィルスバスターの活用法を簡潔であるが参考にして頂ければと思い発表する。

2. 事前情報

東京大学情報基盤センターが扱うウィルス対策ソフトウェアの配布について

ウィルスバスター2011 クラウド

- ウィルスバスター2011 英語版
- Server Protect for Windows NT
- Server Protect for Linux
- InterScan VirusWall エンタープライズエディション
- Sophos Anti-Virus Windows 版、Mac 版
- ESET Smart Security 4.0

工学系研究科におけるウィルス対策ソフトの利用については利用手続きを行えば上記にソフトウェアが共通経費から負担となり研究室で費用負担はない。

3. ウィルスバスター2011 クラウドの特徴

- バージョン 2011 からクラウドサーバー対応となり動作が軽くなった。2010 以前のバージョンから早めにバージョンアップしたほうが良い。クラウド対応したことで重さの主な原因の約 80%をパソコンから削除した
- 2011 からパーソナルファイアーウォールというウィルスバスター独自のファイアーウォール機能が削除され、Windows ファイアーウォールを補強する「ファイアーウォールチューナ」機能が追加された（初期設定ではオフ）

- 共通利用のPCにアクセス規制を設定するにはツールボタンの中にある有害サイト規制を有効にする
- Web レピュテーションにより危険なサイトをブロック
(危険なサイトへのアクセスを自動的にブロック) Web、メール、ファイルに対応
Yahoo!、MSN、Google の検索結果についても安全性を色別で評価
- ID とパスワードを暗号化する GuardedID Standard
(ツールの中の無料ツールセンターの中にある)
※2010 バージョンではブラウザがハングアップすることが報告されている

4. 事例

ここからは事例として専攻・研究室等での個々や共通利用する PC に施すと便利な機能を紹介する。

(1) リモートファイルロック機能 (主に個々PC で使用)

パソコンの盗難防止として、リモートファイルロックという機能もあります。デスクトップ上に作成された「リモートファイルロック」というフォルダに、重要なファイルを移動すると暗号化され、パスワードを入力しないと開かないようにできます。(Fig.1 参照)

(2) Outlook Express 等に迷惑メール対策ツールバーを追加 (主に個々PC で使用)

最近では使用しているメールサーバーが対応していることが多いが、もっと迷惑メール対応をしたい場合に使用 (Fig.2 参照)



Fig.1

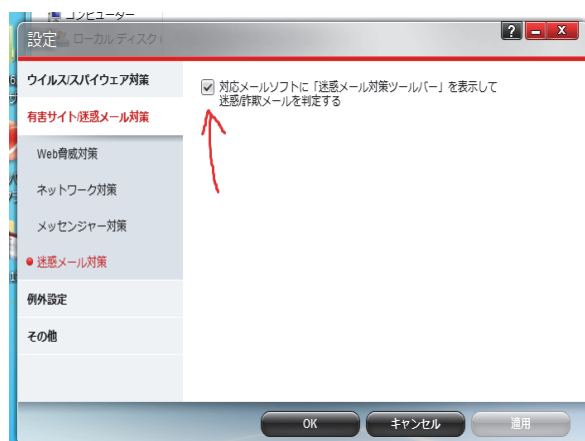


Fig.2

(3) ファイアウォールチューナーの追加 (主に個々PCで使用)

Windows ファイアウォールで検知出来ない種類の脅威に対応できる(Fig.3 参照)

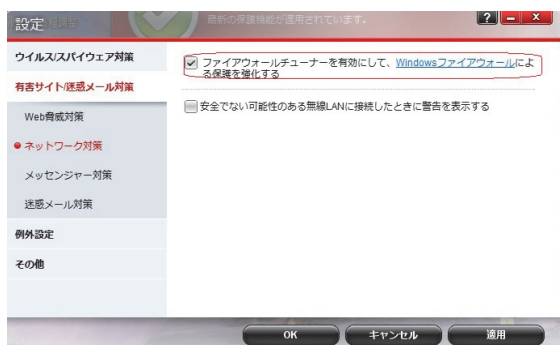


Fig.3

(4) サイトアクセス制限 (URL フィルタ) の追加 (主に共通 PC にて使用)

ルール-URL フィルタでフィルタレベル「高」を選択するとすべての制限を設定でき、個別にはコミュニケーション/メディア関連 (例えばブログ/掲示板/チャット/メッセージャー/Webメール/P2P/ストリーミングメディア/ソーシャルネットワーク) やショッピング/エンターテインメント、アダルト、議論の余地のある話題等のサイトの閲覧を禁止/許可をかんとんに設定することが出来る。さらに個別の制限として、例えば、有名大型掲示板「2ちゃんねる」を禁止したければ、「http://*.2ch.net」と指定し、「禁止」すれば良い。「*」はワイルドカード) また、WEB 利用できる時間帯制限等のスケジュールも設定できる。(Fig.4~Fig7 参照)



Fig.4

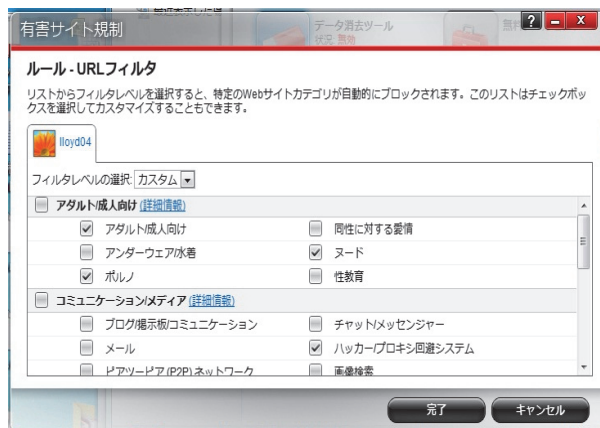


Fig.5

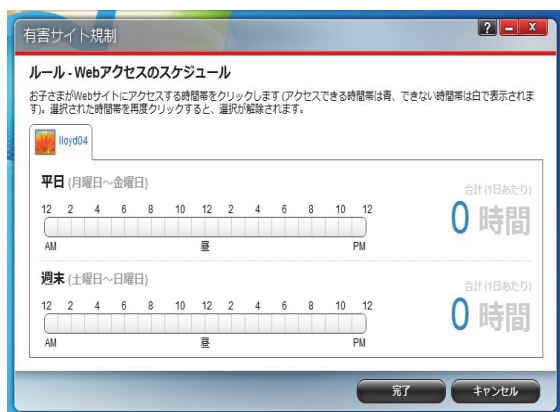


Fig.6



Fig.7

(5) ウィルス・スパイウェアの対策（主に共通 PC に使用）

特に図書室・談話室等に設置されている共通 PC 利用時に USB ストレージ等の外付けから起動出来るプログラムを未然に防ぐ事が出来る。(Fig.8 参照)

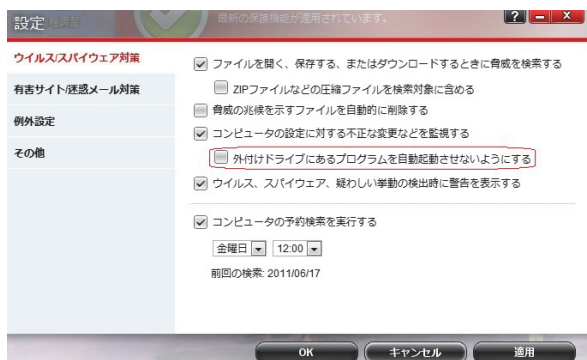


Fig.8

5. おわりに

工学系研究科技術職員有志による情報・ネットワーク技術グループ発足から約1年が過ぎ、その期間にいくつかの勉強会が行われた。その勉強会で行ったうちの2つをグループ発表をしました（「インシデント発生時対応の LAN 設置と管理」を参照）。これは、前年度技術発表会にてポスター発表をおこなった「PC を工学系 Network に接続するまで」の後に続く必要な内容かと思われます。最後に本発表を承認していただき、助言・協力をしていただいた情報・ネットワーク技術グループの皆様へ感謝致します。

参考資料

情報・ネットワーク技術グループ勉強会 ウィルスソフト活用編 坂下 春

22 大規模並列有限要素法解析ツール「ADVENTURE システム」 による応力解析

システム創成学専攻
川手秀樹
kawate@sys.t.u-tokyo.ac.jp

1. はじめに

著者が所属する研究室では知的シミュレーションによる知的人工物と環境調和型社会のシステムデザインを基本研究理念として、大規模並列計算力学、計算力学の知能化、複雑系シミュレーションなど様々な研究テーマに取り組んでいる。大規模並列計算力学では固体・流体・熱・電磁場の大規模並列有限要素法解析に関する研究を行っており、同時に大規模な現実問題に定量的に展開するための研究も進めている。また1977年に設計用大規模計算力学システム開発プロジェクト¹⁾(ADVENTURE PROJECT)が発足され、誰でも自由に使うことのできるオープンソースの大規模並列有限要素法解析ツール(ADVENTURE システム)として開発が行われてきた。2002年のプロジェクト終了後も独立したオープンソースソフトウェア開発プロジェクトとして継続してシステムの保守・機能拡張が行われ、これまでに多くのモジュールが開発されている。本報告ではADVENTUREシステムの概要紹介と構造解析の一例としてADVENTUREモジュールを利用した切欠付モデルの応力解析について報告する。応力解析は構造材におけるき裂の発生・進展挙動の解明から疲労寿命予測に向けた研究活動への取り組みとして、応力集中部にき裂を有するモデルの破壊力学解析を行うことを目的に、その第一段階としてADVENTUREシステムを利用して貫通切欠付配管モデルの作成から応力解析までの一連の処理を実行したものである。

2. ADVENTURE システム

ADVENTURE システムは、1千万～1億自由度級の大規模メッシュを用いて自然物や人工物を丸ごと詳細にモデル化し、多様な並列分散計算機環境のもとで固体の変形や熱・流体の流れ等の力学解析から可視化、設計最適化までを行える汎用並列計算力学システムとして開発されたシステムである。2011年5月現在、主要モジュール7、追加モジュール14がプロジェクトホームページより公開され、誰でも自由にダウンロードして利用することが可能である。

ADVENTURE システムは従来のCAEシステムと比べて大きな特徴を有する。それらは下記のようにまとめることができる。

- 1) 数百から1億自由度メッシュによる丸ごと解析(従来:百万自由度規模が上限)
- 2) 2000プロセッサの超並列計算機環境でも90%を超える高い並列効率(従来:8から10プロセッサの並列環境が適用限界)
- 3) 優れた移植性: 単一プロセッサ、PCクラスター、超並列計算機、地球シミュレータ、Grid/ITBL環境(従来:単一プロセッサ、数プロセッサの小規模PCクラスターのみ)
- 4) ライセンスフリー/オープンソース(従来:バイナリー配布、高いライセンス料)

5) 拡張性と保守性：モジュール構造と I/O の標準化(従来：IGES 対応程度、閉じた構造) ライセンスフリー/オープンソースの基本方針のもと、これまでに企業のエンジニア、研究所、大学の研究者を中心にダウンロードされたモジュールは 8,000 本を越えている。各モジュールの名称と機能の簡単な説明を図 1 に示す。

【 主要モジュール群 】

1. ADVENTURE_TriPatch (IGESファイルから3角形表面パッチ生成)
2. ADVENTURE_TetMesh (3角形表面パッチから4面体メッシュを生成)
3. ADVENTURE_BCtool (メッシュに境界条件・物性値を付与)
4. ADVENTURE_Metis (メッシュを部分領域に分割)
5. ADVENTURE_Solid (並列弾塑性解析ソルバー)
6. ADVENTURE_Visual (解析結果を並列に可視化)
7. ADVENTURE_IO (ADVENTUREモジュール用IOライブラリー)

【 追加モジュール群 】

[Pre-process]

8. ADVENTURE_CAD (ソリッドモデルを作成し3角形表面パッチを出力) [Main-process]
9. ADVENTURE_Forge (並列剛塑性解析ソルバー)
10. ADVENTURE_Impact (並列衝撃接触解析ソルバー)
11. ADVENTURE_Thermal (並列熱伝導解析ソルバー)
12. ADVENTURE_Fluid (熱流体解析ソルバー)
13. ADVENTURE_Magnetic (並列電磁場解析ソルバー) [Optimization]
14. ADVENTURE_Opt (パラメトリック最適化)
15. ADVENTURE_Shape (ノンパラメトリック形状最適化) [Material modeling]
16. ADVENTURE_Material (実験データから材料パラメータを同定) [Utility]
17. ADVENTURE_Auto (自動解析や自動最適化用のユーティリティ)
18. ADVENTURE_iAgent (ユーザを支援するインターフェースエージェント)
19. ADVENTURE_FEMAPtool (NASTRAN, FEMAP用データコンバータ)
20. ADVENTURE_sFlow (定常非圧縮性粘性流解析)
21. ADVENTURE_DecisionMaker (最適化計算結果を多次元に可視化し、ユーザの意志決定を支援)

図 1. ADVENTURE システムモジュール群 (ADVENTURE HP より)

3. ADVENTURE システムによる応力解析

応力集中部にき裂を有するモデルへの解析準備の第一段階として、き裂ではなく切欠きを有する配管のモデル作成から応力解析までを ADVENTURE システムを利用して行った。

3.1 モデル作成

はじめにシステムモジュールの一つである ADVENTURE_CAD を利用し、配管中央部に貫通切欠きを有するモデルを作成した。図 2 に作成したモデルを示す。モデルの形状は長さ 300mm、外径 100mm、内径 80mm であり、長さ方向中央部に周方向長さ 20mm、幅 2mm、深さ方向に貫通している長方形の切欠きを有している。

各モジュール間の関連を含む ADVENTURE システム全体の流れの概略を図 3 に示す。

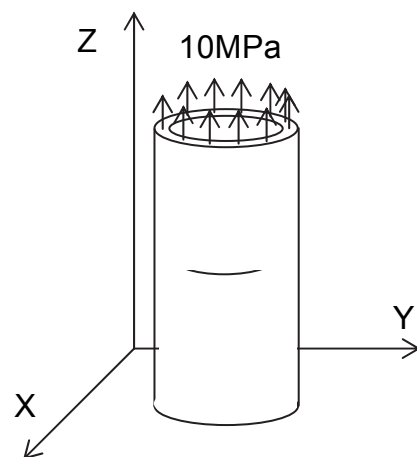


図 2. 貫通切欠付配管モデル

3.2 メッシュ生成

作成した形状モデルに対して ADVENTURE_TriPatch により三角形の表面パッチを生成し、続いて ADVENTURE_TetMesh により表面パッチから四面体メッシュを生成した。切欠き近傍は応力の変化が大きくなることを考慮して、より詳細な解析ができるように他の部分よりも細かいメッシュを生成した。モデル自体は小規模のため、全体の総要素数は約 50,000 である。

3.3 境界条件設定

解析を行うためにはメッシュに対して解析の条件となる境界条件や物性値を与える必要がある。そのために ADVENTURE_BCtool を用いて境界条件を設定した。今回の応力解析に用いた境界条件は、配管底面の変位を完全に固定 ($XYZ=0$) し、上面 (Z 方向) に均等な引張り荷重 (10MPa) を負荷した。境界条件を設定することで解析に向けた一体型解析モデルが作成される。ADVENTURE_BCtool は GUI ベースで境界条件設定が行えるため、初めて使用する場合でも比較的分かりやすく利用しやすい。

3.4 領域分割

並列計算を行うための前処理としてメッシュ及び境界条件を設定した一体型の貫通切欠付配管の解析モデルに対して ADVENTURE_Metis を用いて領域分割を行った。ADVENTURE_Metis はメッシュを単層、あるいは 2 階層に分割することができる領域分割ツールである。領域分割を行う際には解析規模と解析に用いる CPU 数を考慮して領域数や部分数を決定する必要があり、最適な領域数などを決定するためにマニュアルに示されている指針を参考にした。

3.5 解析

領域分割されたモデルに対して ADVENTURE_Solid による応力解析を実施した。一般に公開されている ADVENTURE_Solid は静的固体解析のためのソルバであり、balancing 領域分割法(BDD)に基づく前処理を組み込んだ階層型領域分割法に基づいた並列ソルバを採用している。このように並列計算機環境に対応することで大規模な解析を可能としている。今回の解析で取り上げた貫通切欠付配管モデルの解析規模は大きくないため単一 CPU

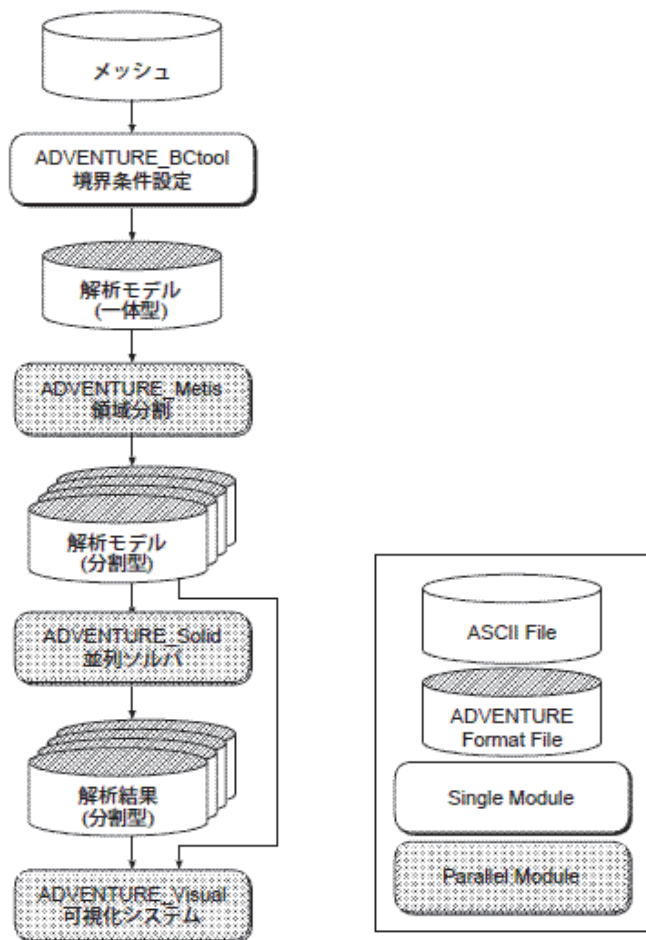


図 3. ADVENTURE システム全体の流れの概略 (ADVENTURE HP より)

でも十分解析可能であるものの、今後の PC クラスタによるき裂付モデルへの解析を念頭におき並列計算を用いて解析を行った。ここでは解析規模の大きさから同一 PC 内の 2 つの CPU で並列計算を行ったが、並列計算としての手順は複数台の PC による大規模な並列計算と同じである。解析に要した時間は約 20 秒であった。

4. 解析結果

応力解析で得られたモデルの変形の様子を図 4 に示す。なお、図 4 の解析結果は視覚的に分かりやすくするために変形を 100 倍のスケールで表示している。切欠部近傍と変位固定した底面、荷重を荷した上面での応力が高くなっていることが分かる。また、図 5 に解析結果のメッシュの様子を示す。この様子から応力が集中する切欠部の四隅からそれぞれ 45° 方向に応力が高くなっていることが分かる。また、切欠きの中央部が変形し、いわゆる口開き状態になっており、それに伴い周囲に窪みができていることが確認できる。

5. おわりに

本報告では大規模並列有限要素法解析ツールとして開発された ADVENTURE システムの概要紹介と解析の一例として、貫通切欠付配管モデルの応力解析について順を追って各モジュールの機能を含めて紹介した。今回の解析は応力集中部にき裂を有する構造材の健全性評価への第一段階として貫通切欠付配管モデルの作成から応力解析までを行ったものであり、この解析を通して構造材におけるき裂の発生・進展挙動の解明に向けた解析準備を整えることができた。

今後はき裂を有するモデルを準備し、初めにき裂に対する応力解析を実施する予定である。その後、き裂への破壊力学パラメータ解析を行い、き裂の進展挙動をベースとして構造物の健全性評価までをトータルに行うことを考えている。

[参考文献]

- 1) ADVENTURE プロジェクトホームページ(<http://adventure.sys.t.u-tokyo.ac.jp/>)

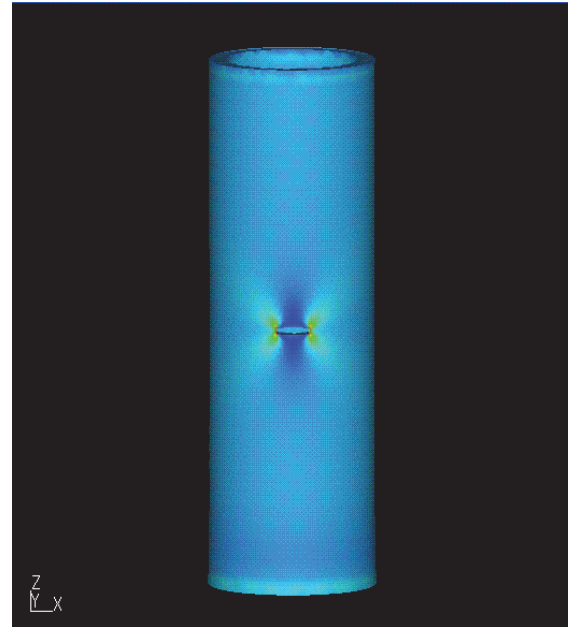


図 4. 貫通切欠き付配管の応力解析結果
(変形を 100 倍で表示)

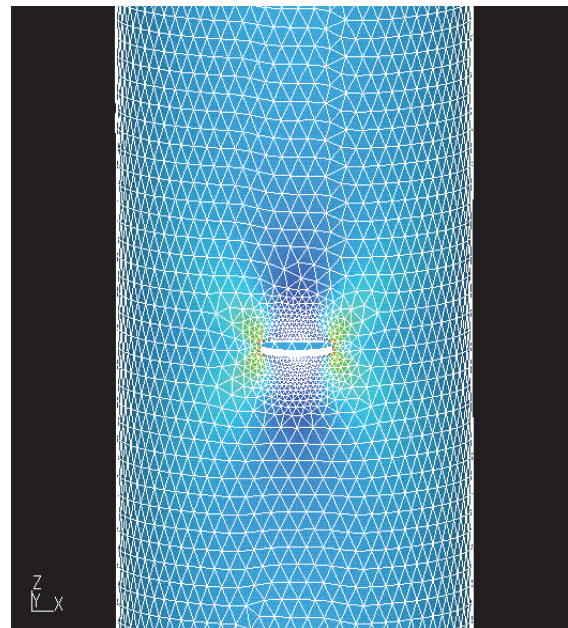


図 5. 応力解析結果のメッシュの様子
(変形を 100 倍で表示)

23 一方向CF／PP材の引張り試験時の失敗学

システム創成学専攻：大澤 勇、森田明保、金井 誠
ohsawa@giso.t.u-tokyo.ac.jp

1. はじめに

本年1月に卒業研究まっ最中の4年生¹⁾から次のような妙な相談を受けた。「引張り試験片をチャックで掴んだのですが、負荷できずに抜けてしまうのですが？」という内容のもの。この材料は現在NEDOプロジェクト²⁾で展開中の新規材料で、強化繊維と樹脂の接着性を特に弱めた一方向炭素繊維（CF）／ポリプロピレン（PP）樹脂の複合材料である。この相談に対して最終的には問題は解決したのであるが、本報ではその時得られた知見をその後、整理してまとめた失敗学である。繊維強化複合材料というのはいろいろな特性を持った基材（繊維、マトリックス樹脂）の組み合わせで出来上がる複雑構造の材料である。たとえ、JIS試験規格通りに試験を進めたとしても良い結果が得られるとは限らない。解決のポイントとなるのは個々の構成基材の特性を良く理解した上で、適切なジグや装置・知恵を活用して、最適な評価を行うことである。紙面が限られているので詳細は省くことになるが、ここでは要点を中心に記してみたい。

2. 引張り試験に供した材料とその成型

評価に用いた引張り試験片用の基材は、企業から提供された2種類のプリプレグ・テープ（樹脂を予備含浸した炭素繊維テープ）を自前でホットプレス成型して試験片としている。その「一方向炭素繊維（CF）／ポリプロピレン樹脂（PP）」の繊維強化複合材の試験片では、樹脂の組成が（1）繊維との接着性が劣るPP（2）繊維との接着性が優れるPPの2種類を準備し、このプリプレグ・テープを金属製の成形型を用いて、ホットプレスにより所定の条件で成形した。試験片は厚さ1mm、幅15mm、全長20cm（Vfは45%ほど）を1本ずつ独立成形している。炭素繊維は三菱レイヨン（株）、PP樹脂は東洋紡（株）のポリプロピレン樹脂を用いている。なお、諸般の事情で基材・成形等の詳細を記述できないことをご理解いただきたい。

3. チャック掴み部の及ぼす影響への検討

図1は一方向炭素繊維強化プラスチック材の引張り試験時における典型的な破壊モードである。この種の材料は最大荷重に至ると突然大音響を発生して脆性的に破壊し、繊維束は細かく裂かれ、直後には細やかな繊維が飛び散って短い単繊維がキラキラと輝く光景が見られる。このような破壊を起すためには、試験機のチャックから試験片の掴み部を介して荷重がうまく伝達されていなければならず、そのために重要なのは試験片の掴み部分の加工であることは間違いない。

3.1 試験片の掴み部補強の有無による実験の成否

図2は上述した抜けの生じた試験片の掴み部の様子を示した。写真でも判るように試験片の掴み部表面がむしられた状況とな



図1 一方向炭素繊維強化プラスチック複合材料の典型的な引張り破壊の様子

っていた。この CF/PP の組成は炭素繊維と PP 樹脂の接着性が劣る組み合わせの試験片である。実験に使用した試験機は設置されて1年内の最新式のもので、引張り用チャックは複合材料用を用いていた。この場合の大きな問題点は試験機の金属チャックで直接に CF/PP 試験片を掴んでいることである。複合材料用チャックを使ったというものの PP 樹脂は所詮柔らかな種類に属し、金属製の尖ったチャックで突き刺すように掴まれればつかみ部破損が先行し、負荷荷重は試験片へ伝達できなくなる。一方、図3は同類の試験片をエメリーペーパー（#600）を写真のように介することで、何ら問題なく引張り試験に成功した。試験規格 JIS³⁾ によれば複合材試験片の掴み部については、いろいろな補強方式を解説しているが、我々の研究室では「費用・手数」対「効果」の関係からエメリーペーパーの各種粒度のものを適切に使い分けることでチャック部損傷の生じない適切な引張りデータを取得している。図3に見られるようにペーパー上には金属チャック目跡がしっかりと食い込んでいるが、試験片つかみ部上の損傷は全く生ぜず面圧で掴んだような状況となり効果的な負荷伝達を可能にしている。



図2 抜けの生じた試験片のチャック部（引張り負荷失敗）

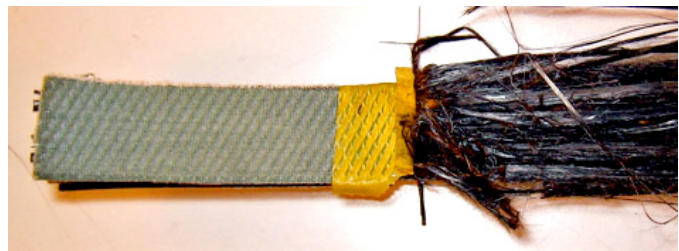


図3 エメリーペーパーを介したチャック部（引張り負荷成功）

3.2 試験片のつかみ部補強の有無による強度大小への影響

本節の試験片で用いている PP 樹脂では、炭素繊維との接着性に優れた硬めの樹脂を用いている。そのために図4に示すように直接金属チャックで負荷しても試験片の掴み部分は破損するまでには至らなかった。しかしながら金属チャックに依る凹み（準破損）は目立ち、チャック端における応力集中によるチギレ破壊が先行すると同時に繊維束に沿った破壊で全体破壊へと至っていることが確認できる。一方、図5は同類の試験片を3.1節と同様にエメリーペーパーを介して負荷したために面圧状態で掴んでおり、顕著なチャック目跡は試験片まで届かずチャック端でのチギレ破壊は発生していない。代りに試験片ゲージ部分は繊維束が更に細かく裂けたような状況となり、一方向材特有の竹箒（たけぼうし）状の理想的な膨れ破壊となった。これは繊維樹脂界面の接着状態の優れている「一方向炭素繊維/エポキシ複合材」の破壊に良く似たモードでとなっている。この図4、図5の破壊モードの違いは強度特性へも影響を及ぼした。すなわち、図4の場合では5本の平均強度が1,179MPa、変動率2.8%、破断時の平均伸びは1.2%であったのに対して、図5の竹箒状の場合では平均強度1,430MPa、変動率3.4%、破断時の平均伸びは1.5%に至り、強度平均値は実に21.2%も向上する結果となった。図6は図4の方式による5本の実験値を示す



図4 金属製チャックで直接に掴む（強度は低めの破壊モード）

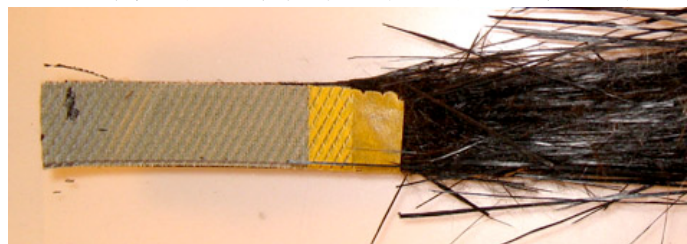


図5 ペーパーを介して掴む（理想的な破壊モード）

と共に、図7は図5の方式による5本の実験値の強度の結果を示した。以上のように複合材料の破壊強度試験に於いては試験片のチャック掴み部を破損させないようにするための方策は非常に重要であり、更に破壊モードも加味しながら負荷法の善し悪しを判断し、強度を求める必要がある。

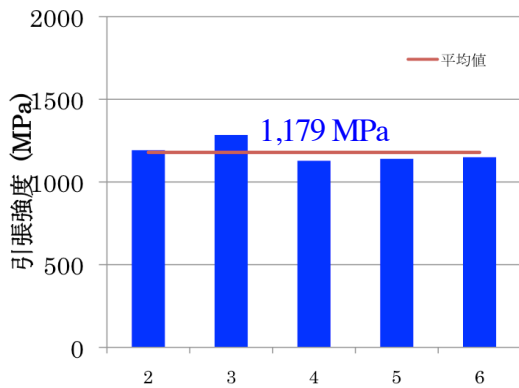


図6 試験片(図4)の引張り強度の実験値

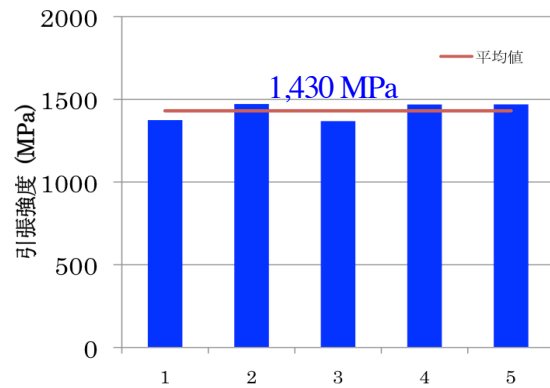


図7 試験片(図5)の引き張り強度の実験値

4. 応力-歪み線図におけるヤング率の上昇挙動

ここでは前節までの失敗学とは趣を異にする内容である。一方向炭素繊維強化プラスチックにおいては破断応力まで応力-歪み線図は巨視的には直線であると理解されている。しかし、よく観察してみると引張り応力の増大に伴って初期の立上り接線、すなわち引張りヤング率(弾性係数)と比較して徐々に上昇するという特異な挙動が見られ、5000 マイクロ過ぎる当りからは直線性も良くなっている。この挙動は金属材料の加工効果に類似したような硬化現象とも取れる。この現象は他の材料では絶対に見られないもので、通常では徐々に接線の傾斜が低下していくのが一般材料である。金属材料ではこの直線挙動は弾性限度内に限られた現象で、その後は降伏して、歪のみが大きく増加してくる。図8は繊維/樹脂界面の接着性が劣る試験片の場合の線図、図9は繊維/樹脂界面の接着性が優れる試験片の場合の線図で、共に同様の傾向を示している事が判る。なお、この挙動は「応力剛化現象」⁴⁾として知られているようであるが、著者らの勉強不足もあってこの特異挙動の理由やその詳細については不明なのが実状である。文献⁵⁾のストランド試験法に依ると特に Pitch 系の高弾性炭素繊維では初期立ち上がり部に比べ破断直前では 50%~65%も向上するものもあり、PAN 系の高強度炭素繊維においては概ね6~7%の向上したという実験報告がある。JIS 試験法³⁾に依ればヤング率の求め方は、引張り歪が立ち上がり直後の 0.05%~0.25%間の直線部から算出する事-

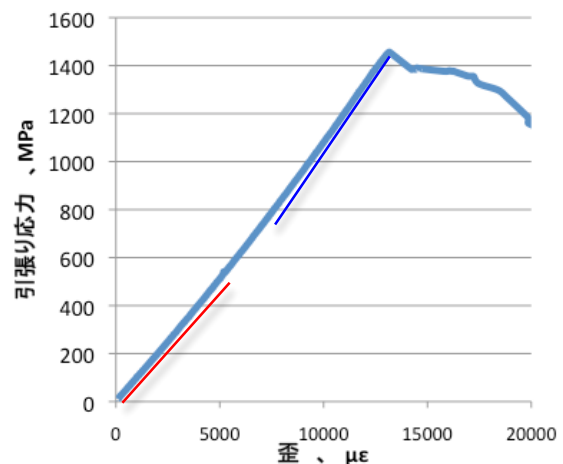


図8 試験片「図3」から得られた応力-歪み線図

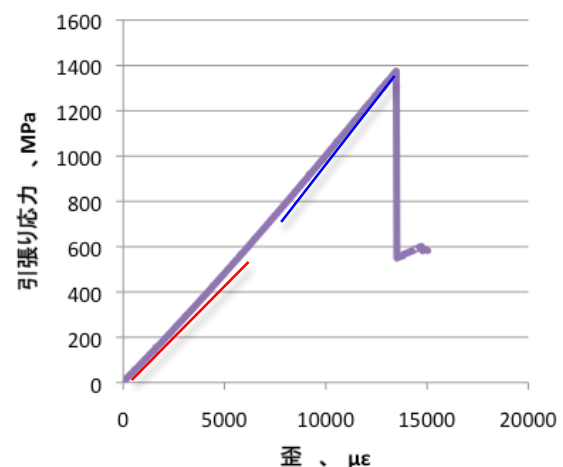


図9 試験片「図5」から得られた応力-歪み線図

との記述がある。本計測においてはJIS法による立上り部（初期傾斜法）と破断前3000マイクロ間の直線部（後期傾斜法）の2カ所の傾斜部からヤング率として値を求めてみた。図10は硬いPP樹脂を用いた試験片図5の計測結果をJIS法（初期傾斜法）と後期傾斜法で求めた結果をグラフに示した。5本の平均値比較で92.0GPaが105.1GPaへと14.2%も向上し、また接着性の劣る試験片図3においても同様に99.1GPaから114.2GPaへと15.3%も向上したことを確認した。炭素繊維自身にはこの上昇挙動は顕著ではない⁶⁾とすると理由を推理してみると、例えば①初期状態では炭素繊維配向の初期不整であるのが、負荷と共に繊維が直線状態に引き張られる。あるいは②繊維/樹脂界面の接着度合いが影響するために、界面強度の優れた接着の良い状態では、樹脂のポアソン効果により物理的な繊維締め付けが生じ、その変形拘束で後期傾斜が上昇する---などが考えられよう。なお、JIS⁷⁾では破断荷重の20%から60%の範囲内で計算するという規定もあるという。

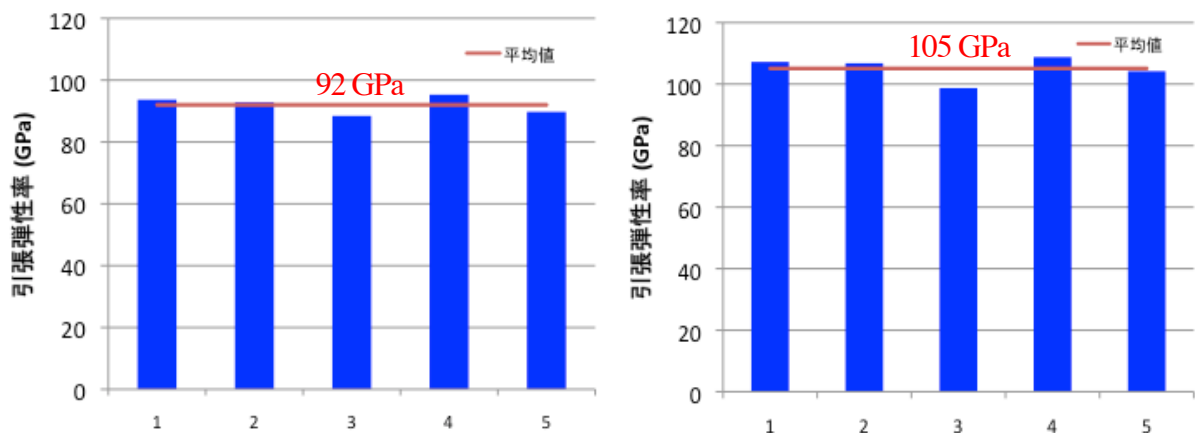


図10 硬いPP樹脂を用いた試験片の初期傾斜（左）と後期傾斜（右）によるヤング率の向上

7. おわりに

実験経験の浅い4年生の失敗例をヒントにして、失敗学的に問題点を挙げながら解決のアプローチをまとめてみた。繊維強化プラスチックの材料試験の場合、公的な材料試験規格に従って実施しても見掛けの値にとどまり、本来の実験値が得られていないケースが有ったりする。本報のチェックつかみ部の失敗例のように壊してはいけない部分を先行破損させていたり、或は材料の破壊モードが理に叶わなかったりするケースも発生してくる。ましてや繊維強化プラスチックは複雑な材料構造であるために、特に曲げ破壊においては層間せん断等も絡んで来たりする。望ましい破壊を評価するためには、どのような注意・工夫が必要になるか?という観点から逆スタートして、現有試験規格にとらわれ過ぎずに、対象材料にふさわしい知恵も汲みいれて実施・評価するアプローチが良い材料試験になるものと考え。

参考文献

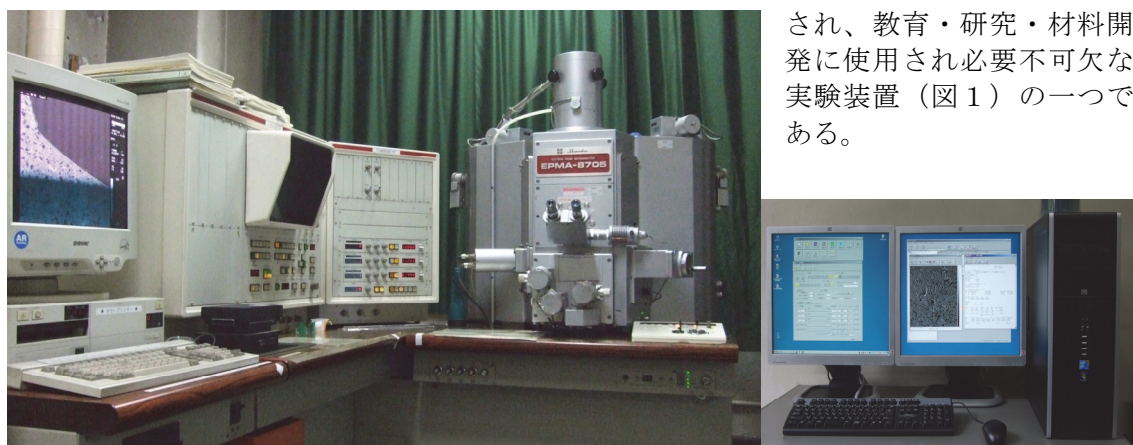
- 1) 鶴沢研究室 出町郁子 平成22年度卒論“卒論題目:熱可塑性複合材料とその溶着継ぎ手の力学特性評価”、2011年2月
- 2) NEDO 平成22年度「サステナブルハイパーコンポジット技術の開発」中間評価報告書
- 3) JIS-K-7073 “炭素繊維強化プラスチックの引張試験方法”
- 4) 松井醇一監修“炭素繊維の展開と評価方法”炭素材料学会、REALIZE INC pp.185、1988
- 5) 松井醇一氏メモランダム、2011年5月20日
- 6) 圖子博昭氏メモランダム、2011年5月13日
- 7) JIS-R-7601-1980 炭素繊維試験方法

24 電子線マイクロアナライザ (EPMA) の基本原理を学ぶ

マテリアル工学専攻・中村光弘
nakamura@material.t.u-tokyo.ac.jp

1. はじめに

EPMAは(Electron Probe Micro Analyzer)の略で固体試料表面に細く絞られた電子線を照射して、試料と電子線との相互作用により発生する特性X線を検出し、試料を構成している元素とその量(重量%)を知る装置である。定量性に優れ、分析領域は $1\mu\text{m}$ 程度である。分析感度もよく、周期律表で $_{11}\text{Na}\sim_{92}\text{U}$ では分析限界濃度は $0.001\sim 0.01\text{wt}\%$ 程度をもっている。他の代表的な表面分析法であるオージェ電子分光分析やX線光電子分光分析のように超高真空度を必要とせず、真空排気系はオイル拡散ポンプである。かつ装置自体も使いやすく操作も簡単である。分析試料の表面は原則的には鏡面仕上げ程度を必要とするが、さほど難しくはない。大きな特徴は定量分析等に信頼できる標準試料が必要不可欠であることである。マテリアル工学専攻では島津製作所製 EPMA8705 が昭和 62 年に設置



され、教育・研究・材料開発に使用され必要不可欠な実験装置(図1)の一つである。

図1 電子線マイクロアナライザ(EPMA8705,島津製作所製)とコンピュータ制御部(Win-Q)

2. 1 原理

図2のように原子は原子核と、そのまわりを一定のエネルギーをもって回る電子(軌道電子とも呼ばれK殻、L殻、M殻等)とからなる。この原子核に拘束されている電子のエネルギーよりも、大きな運動エネルギーをもった電子が原子(試料)に照射されると、K殻の電子は外に飛び出し、そこに空孔ができる。この状態は原子全体としては不安定な状態(励起状態)であるのでL殻やM殻の外殻電子が直ちに空孔を埋める(電子遷移)。その後、L殻やM殻に空孔ができるが、それは同様により外殻の電子遷移により埋められる。空孔に外殻電子が遷移する際、外殻電子は内殻電子よりも大きいエネルギーを持っているために、遷移により余分なエネルギーが生じる。この余分なエネルギーが外部に電磁波となって放出される。この放出された電磁波が特性X線である。入射する電子の運動エネルギーは、電子を加速させる電圧(加速電圧)で定義され、原子核に拘束

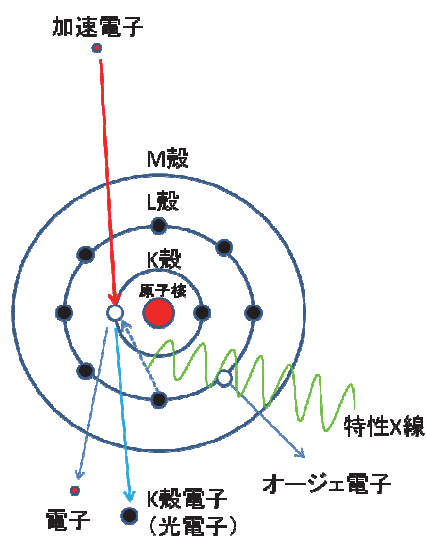


図2 特性X線の発生機構

されている電子を飛び出させるに必要な最低の運動エネルギーを臨界励起電圧と呼んでいる。

軌道電子のエネルギーは元素により決まっているために、電子遷移により発生する特性X線のエネルギーも元素固有のものになる。また発生する特性X線にはそれぞれの遷移により名前が付いている。K軌道の遷移で発生した特性X線はK系列X線と呼ばれ $K_{\alpha 1}$ 、 $K_{\alpha 2}$ 、 $K_{\beta 1}$ などがあり、L軌道の遷移で発生した特性X線はL系列X線と呼ばれ $L_{\alpha 1}$ 、 $L_{\alpha 2}$ 、 $L_{\beta 1}$ などがある。特性X線は発生するが、場合によっては遷移によって生じた余分なエネルギーが特性X線を出さずに、そのエネルギーを直接他の拘束電子に与えて、その電子が外に飛び出すことがある。これをオージェ効果と呼び、飛び出した電子をオージェ電子と呼ぶ。特性X線の飛び出す確率を蛍光収率と呼んでいるが、蛍光収率と原子番号の関係は軽元素で収率が小さくなっている。軽元素ほどオージェ電子収率が大きい。

連続X線（白色X線）は加速された電子が試料に照射された際、電子のもつエネルギーの一部が電磁波として発生する現象で、その衝突はエネルギーが失われるまで繰り返されるので、連続X線のスペクトルは連続的な分布を示す。EPMA では連続X線はバックグラウンドとして処理される。

2. 2 X線分光器 (WDS)

ブラッグの法則

入射電子線によって試料から発生した特性X線はX線分光器(X-ray spectrometer)の分光結晶(analyzing crystal)により、ブラッグの法則と呼ばれる条件(図3)

$$n\lambda = 2d\sin\theta \quad (1)$$

を満足する波長の特性X線だけがより分けられる。ここで、 d は結晶の面間隔(spacing)、 θ はX線の入射角及び反射角、 n は反射次数、 λ はX線の波長である。

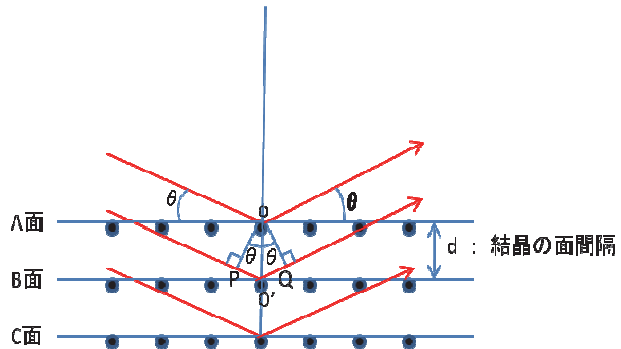


図3 単結晶によるX線の回折

X線分光器

WDSの構造(図4)は、X線発生源Sに対してX線取り出し角度 α の一直線上を、分光器が移動する、すなわちローランド円の中心が移動する構造となっている(結晶直進型集光X線分光法)。ブラッグの法則の回折条件式(1)及びX線発生源Sと分光結晶の位置Cまでの距離をLとして、分光結晶に対するX線の入射角 θ 、反射角 θ と、ローランド円半径をRとすると

$$L = 2R \sin \theta \quad (2)$$

となり(1)式と(2)式より

$$L = \frac{R}{d} n\lambda \quad (3)$$

となる。Lを読み取ることで、特性X線の波長 λ を知ることができる。

分光結晶は、発生した特性X線を高感度かつ高分解能に集光するために湾曲した結晶が用いられており、その湾曲率がローランド円の直径2Rに湾曲させ、なおかつその分光結

晶の表面はローランド円の半径Rに加工されており、完全集光型ヨハンソン型分光結晶と呼ばれている。分光結晶は非常に特殊な加工がメーカーによってなされている。

分光結晶の種類と分光範囲

EPMA8705 で利用される波長は $_{82}\text{Pb}(L_{\alpha})1.175 \text{ \AA} \sim$ $_{5}\text{B}(K_{\alpha})67.2 \text{ \AA}$ の広い範囲であるが、最新型の EPMA では $_{92}\text{U}(M_{\alpha}) \sim$ $_{4}\text{Be}(K_{\alpha})$ の範囲で分析可能である。すべての波長をとらえるには数枚の分光結晶を交換使用するか、又は数台の分光器を必要とする。また直線で動く分光結晶の距離は装置上の制約から限定されるため、実際には図 5 のように面間隔 d の異なった数種類の分光結晶が用意されており、目的とする元素の波長に対応した分光結晶を選んで分析することになる。

分光結晶で回折された X 線は検出器に入る。検出器は X 線の気体電離作用を利用した、ガスフロー型比例計数管とガス封入型比例計数管が用いられている。ガスフロー型比例計数管は軽元素の X 線の検出に用いられ、分析時に常時 Pr ガス (Ar90%, CH₄10% の混合ガス) が流されている。検出器には X 線が入るための薄い膜を張った窓があり、非常に薄い高分子膜が用いられている。ガス封入型比例計数管は不活性ガス (Kr, Xe など) と CH₄ の混合ガスが封入されており、重元素の検出に用いられる。窓には X 線の吸収が小さい 20~30 μm の厚さの Be が張られている。

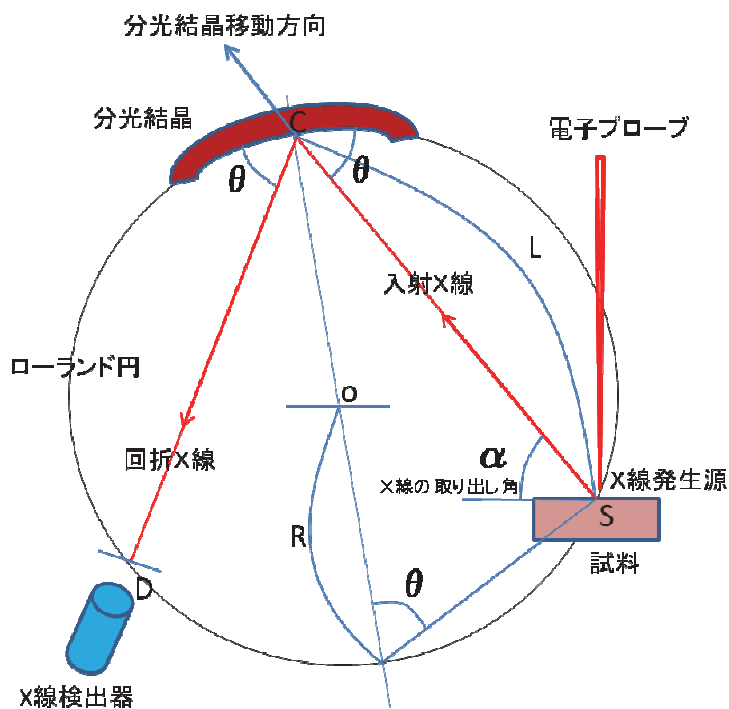


図4 X線分光の原理(WDS)

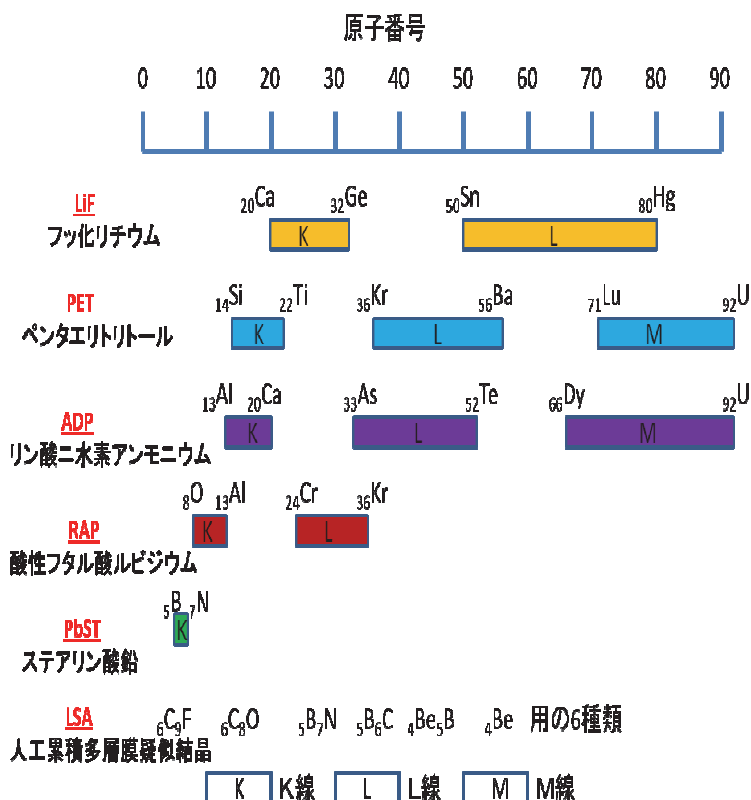


図5 分光結晶の種類と分光範囲

3. 定量分析

EPMA では、分析試料（“濃度”未知試料）より発生した特性X線の強度と標準試料（“濃度”既知試料）のそれを比較することにより、定量分析（含有元素の重量濃度を得る）を行っている。そのため、標準試料が準備（入手）できなければ定量分析を行うことはできない。EPMA による定量分析法は色々提案されているが、ここでは最も一般的に使用されている ZAF 補正計算法について述べる。ZAF 補正計算法は大変複雑で難しいので、ここでは簡単に述べる。分析試料から発生する特性X線の強度は、基本的には重量濃度に比例している。例えばA元素を含む分析試料から発生したA元素の特性X線強度を I_{unk}^A とし、100%A元素からなる標準試料から、分析試料と同一測定条件で発生したA元素の特性X線強度 I_{std}^A とすると、これらの比を K_A とおく。この K_A は相対強度と呼ばれている。

$$K_A = \frac{I_{unk}^A}{I_{std}^A} \quad (4)$$

発生する特性X線が重量濃度に比例していることから、 K_A は分析試料中のA元素の重量濃度を示しているはずである。しかし、実際には真の重量濃度を示さない。したがって K_A に補正を施して、真の濃度 C_A を求める必要がある。

補正が必要になる原因（効果）は次の三つである。

- (i) 原子番号効果： Z(atomic number effect)
- (ii) 吸収効果： A(absorption effect)
- (iii) 蛍光励起効果： F(fluorescence effect)

この三つの効果でありこの効果が、 K_A が真の濃度を示さない理由である。この三つの効果を ZAF（ザフ）効果と呼んでいる。

ZAF 補正計算法

ZAF 補正計算法は、分析試料から測定された特性X線強度と、標準試料から測定された特性X線の強度比である相対強度 K_A に ZAF 効果を考慮した理論補正を施して（ZAF それぞれの補正係数 G を求めて K_A に乗ずる）、真の濃度 C_A を求める方法である。

$$C_A = K_A \cdot G(ZAF) \quad (5)$$

この理論式は近似計算であり、まず最初に真の濃度として相対強度 K_A を 100% に標準化した K_A' を第一次近似値として用いる。1 回目の補正で求められた数値 C_A' を第二近値として再び補正係数を算出して、第三次、第四次と順次 C_A 値が収斂するまで計算が繰り返される。

4. まとめ

EPMA の基本原理を学び、それを理解する事が出来た。次回、実際の試料を測定し、測定上の問題や最適分析条件を探索しその結果を報告する予定である。

5. 参考文献

- 1) X線マイクロアナライザ 内山 郁、渡辺 融、紀本静雄著 日刊工業新聞社
- 2) 電子プローブ・マイクロアナライザー 日本表面科学会 編 丸善株式会社
- 3) 電子線マイクロアナリシス 一走査電子顕微鏡、X線マイクロアナライザ分析法ー 副島啓義著 日刊工業新聞社

25 EDTA 滴定法による鉛フリーはんだ中の スズの測定における妨害の検討

応用化学専攻・藤村一良
fujimura@appchem.t.u-tokyo.ac.jp

1 はじめに

はんだは、鉛とスズの合金であるが、その用途により種々の割合の製品が JIS¹⁾および ASTM²⁾ で規定されている。スズは、鉛に対し商品価値が高く、又、含有率によって、はんだ付け温度などの性能に影響を及ぼすため、はんだ中のスズ量が製品規格内に収まっているかを精度良く測定する必要がある。しかし、ポーラログラフィー、原子吸光法等による機器分析では精度が不足であるため、湿式分析に頼らざるをえないのが現状である。

はんだ中のスズの分析は、現在 JIS³⁾及び ASTM⁴⁾には、酸化還元滴定法であるヨウ素滴定などが採用されている。この方法は煩雑な操作を必要とし、また分析時間がかかる欠点がある。

一方、錯形成反応を利用した EDTA 滴定法による、はんだ中のスズの分析は Ottendorfer⁵⁾の報告があるが、精度が良くなく、大貫⁶⁾らがこれを改良して JIS の参考法⁷⁾と成っている。しかし、これもまだ精度に問題があるとされている。

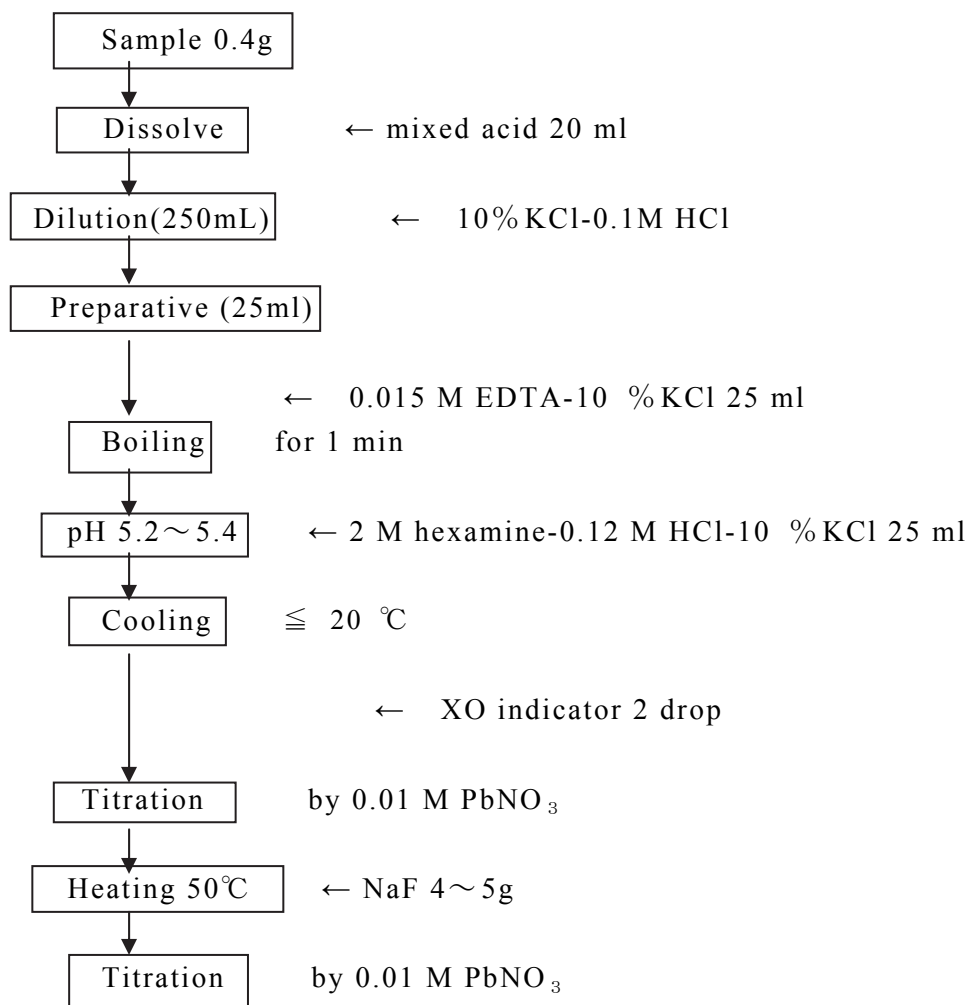
上記観点から、著者等は既報⁸⁾で、Ottendorfer の方法について検討を加え、精度良い分析法を開発したが、微少のスズの損失が有った。本法では、スズの損失を防ぐため既報の希釈および中和操作を改良し、滴定精度を向上させるための滴定条件の設定を行った。これにより更に精度の良い迅速な分析法を開発し報告⁹⁾した。

近年、はんだ中の鉛が経年変化等により環境問題を起こす事が問われ、日本、欧米において現在鉛フリーはんだを用いるようになってきている。この鉛フリーはんだにおいても、本法の EDTA 滴定法が適用可能であるか、銅、銀が添加されている鉛フリーはんだについて前回報告した¹⁰⁾。鉛フリーはんだ中には、スズに銅、銀とが添加されているが、この他の共存物の影響について、今回検討した。

ま と め

はんだ中のスズの総量分析法として JIS の酸化還元滴定法の場合、操作時間は熟練者で数時間かかると云われているが、本法では1時間以内に終了するので、はんだ中のスズの迅速分析法として優れている。今回分析した銅を含む溶液時に有色の鉛フリーはんだにおいても、終点は明瞭であり定量可能であり他の元素の妨害も少ないと思われた。この研究に試料を提供していただいた、タルチンケスターの森山氏等に感謝する。

Procedure



文献

- 1) JIS Z 3282^{:2006} : はんだ
- 2) ASTM Standards, B 32-83 : Standard Specification for SOLDER METAL
- 3) JIS Z 3910^{:2008} はんだ分析方法
- 4) ASTM Standards, E 46-83 : Standard Methods for
CHEMICAL ANALYSIS OF LEAD - AND TIN - BASE SOLDER
- 5) L.F.Ottendorfer : Chemist Analyst,47,96(1958)
- 6) 大貫左一郎, 浮ヶ谷清 : 分析化学, 11, 1313 (1963)
- 7) JIS H 1501⁻¹⁹⁷⁵ ホワイトメタル分析方法
- 8) 藤村一良, 澤田嗣郎 : 分析化学, 37,383(1988)
- 9) 第 11 回東京大学工学部・工学系研究技術発表会、P47(1996)
- 10) 平成 22 年度熊本大学総合技術研究会 報告集、P103(2010)

26 燃焼イオンクロマトグラフィーによる フッ化物の定量

応用化学専攻 藤村一良、栄慎也、浅野功久

fujimura@appchem.t.u-tokyo.ac.jp

【はじめに】

当大学において廃講座、研究室の閉鎖、研究の跡継ぎがいなくなった等により、内容物不明の試薬、廃液等が排出される。これを処理するためのワーキンググループが東京大学工学部内に組織され、年間に1000件を越える試料を分析し、当大学内にある環境安全研究センター(センター)に処理を依頼している。この内容物不明の廃棄物の分析は、エネルギー分散型蛍光X線装置(EDXRF)、X線回折分析装置(XRD)、原子吸光分析装置(AAS)、プラズマ誘導発光分光分析装置(ICP-AES)、イオン電極、フーリエ変換赤外分光光度計(FT-IR)、フーリエ変換ラマン分光光度計(FT-Raman)、ガスクロマト質量分析装置(GC-MS)、イオンクロマトグラフ装置(IC)、燃焼ハロゲンイオンクロマトグラフ分析装置、元素分析装置(CHN)、走査熱量計(DSC)等と多種の測定装置を用いる。走査熱量計は、試料の爆発性の有無を確認するために行い、ラマン分光は試料を容器から取り出すことなく内容物を分析するために採用している。これらの機器は従来、工学系研究科応用化学専攻分析化学実験室の共通機器を使用しているが、これを年々拡充し、不明廃棄物の分析のために充実を図っている。

固体試料は、波長およびエネルギー分散型蛍光X線分析装置、X線回折装置を用いて分析し、有機物と予測される場合はさらに、GC-MS、FT-IRおよびFT-Ramanを用いている。液体試料は、蛍光X線、FT-Ramanで分析後、センターにおけるフェライト法の支障になるイオン¹⁾の存在とマトリクス確認のため、ICを用いて分析している。以上の内容で東ソーイオンクロマトグラフ2001を用いてのICでの分析を報告²⁾した。また、東ソー新イオンクロマトグラフ2010を用いての水溶性試料の分析と、有機溶媒系をヤナコ自動燃焼ハロゲンイオンクロマトグラフ装置でのフッ化物イオンの分析を報告した³⁾。今回、東ソーイオンクロマトグラフ2010を用いての水溶性試料の分析条件の検討と、有機溶媒系をヤナコ自動燃焼ハロゲンイオンクロマトグラフ装置でのフッ化物イオンの迅速分析条件の検討と実試料分析結果を報告する。

【装置・方法】

陰イオンクロマトグラフィー

Tosoh IC-2010,

Column : TSKgelSuperIC-AnionHS (4.6×100mm) , Eluent : 5.7 mM NaHCO₃ – 4.5 mM Na₂CO₃

- 20%Acetonitrile,

Flow rate : 1.2 mL/min, Temp. : 40°C, Sample loop : 30μL

陽イオンクロマトグラフィー

Tosoh IC-2010,

Column : TSKgelSuperIC-CationiHS (4.6×100mm)

Eluent : 3 mM methanesulfonic acid - 0.4 mM 18-crown-6at - 0.2 mM histidine,

Flow rate : 1.2 mL/min, Temp. : 40°C, Sample loop : 30 µL

燃焼イオンクロマトグラフィー

Combustion system: SQ-10/HSU-35 (Yanaco)

Moving Furnace: 950°C (13 min)

Fixed Furnace: 950°C(3 min)

Sample: 50 µL

Absorbent: 40 mL 1.7 mM NaOH-0.03% H₂O₂

(Sample was diluted by 800-fold.)

Ion chromatography: Tosoh IC-2010

Column: TSKgelSuperIC-AnionHS(4.6×100mm)

Eluent: 7.5 mM NaHCO₃-0.8 mM Na₂CO₃

Flow rate: 1.5 mL/min, Temp.: 40°C, Sample loop: 30 µL(from absorbent)

【まとめ】

Tosoh IC-2010 を使用し、カラムに TSKgelSuperIC-AnionHS、-CationiHS を使用した場合、アニオン検出では過塩素酸、チオシアン、チオ硫酸イオン等に有効であると共に、カチオンでは、アンモニウムイオンの検出と共に、アルカリ、アルカリ土類の共存の識別および、迅速分析に有効であった。

有機溶媒系試料はヤナコ自動燃焼ハロゲンイオンクロマトグラフ装置によるフッ化物イオンの迅速分析の検討を行い、この結果 300 種以上の不明廃液中のフッ化物イオンの迅速分析をすることが出来た。この場を借り本研究に、協力いただいた東ソーの石橋様とナックテクノサービスの長嶋様に感謝いたします。

○参考文献

- 1) 環境安全指針（平成 17 年）東京大学安全管理委員会環境安全部会編（東京大学環境安全研究センター）
- 2) 第 26 回イオンクロマトグラフィー討論会
- 3) The 4th Japan-China-Korea Joint Ion Analysis Symposium, 54-P(2010)

27 放射線測定器の使用方法

安全衛生管理室 大久保 徹

t-ohkubo@t-adm.t.u-tokyo.ac.jp

1. はじめに

3月11日の東北地方太平洋沖地震による福島第一原子力発電所での原子力災害により、地球規模の大気汚染、海洋汚染を引き起こしています。これにより、新聞等では各地の空間線量、水、食品等の放射能濃度について報道されており、心配になり個人で放射線測定器を購入したが使い方が判らず使用していないなどの話も聞きます。ここでは、一般的な放射線測定器について述べ、技術発表会では実際に測定器を用意して使用方法等を説明します。

主な放射線測定器には、電離箱サーベイメータ、GMサーベイメータ、シンチレーションサーベイメータ、中性子サーベイメータ等があります。放射線には、 α （アルファ）線、 β （ベータ）線、X（エックス）線、 γ （ガンマ）線、中性子線等があり、放射線の種類と線量の低い場所、高い場所により測定器を選びます。

2. 電離箱型サーベイメータ

図1のように電圧を印加した電極板の間を荷電粒子が通過すると空気分子が電離され、電子と正イオンとが生成されて、電極に電子と正イオンが集められ電流が流れます、この電流を増幅させ取り出して、線量当量を測定します。 γ 線は、空気中分子を直接電離はしないが、電離箱の壁に入射して相互作用により発生する電子が荷電粒子として電離箱内の空気を電離します。X線、 γ 線の測定に使用され、30keVから2MeVまでのエネルギー特性は良いが線量の低い場所には向きません。測定を開始する前にゼロ点調整が必要となります。

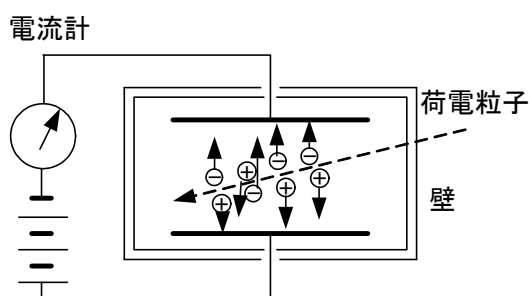


図1. 電離箱

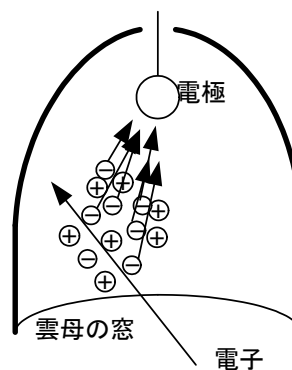


図2. GM計数管

3. GMサーベイメータ

図2のように、GM計数管は低エネルギーの β 線でも測定できるように薄い雲母の窓があり、円筒状の陰極とその中心軸上に細い金属線の陽極を持つ検出器です。窓から入る荷電粒子は内部の気体を電離して、電子と正イオンを生成します。電極には高電圧が印加されているため、電子と正イオンは電極へ引きつけられます、電子は中心の陽極へ加速され、さらに

気体を電離していき、最初に電離した数の電子と正イオンより多くの電荷を電極に集まるため電気パルスとして信号を取り出します。管内には、アルゴンガスと少量のハロゲンガス等を放電抑止用に添加しています。 β 線に感度が良いため放射線物質の汚染検査等に使用します。 X 線、 γ 線の場合でも図3のように管壁へ当たり発生する電子により測定は出来ませんが、エネルギー特性は悪くなります。線量の強いところではメータが振れなくなる窒息現象が起きるので注意が必要です。通常のGMサーベイメータでは線量当量 (μSv) の表示ではなく放射線のカウント数をカウント毎分 (cpm) で表示しています。管壁を工夫して X 線 γ 線の線量当量を測定する測定器もあります。

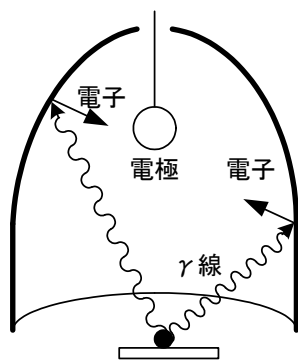


図 3. GM 計数管

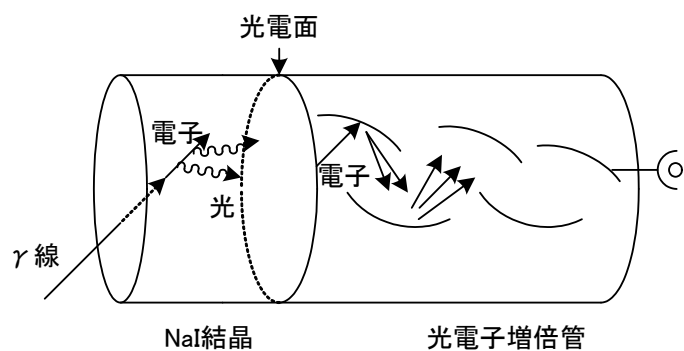


図 4. NaI(Tl)シンチレーション

4. シンチレーションサーベイメータ

透明な固体中を荷電粒子が走るとシンチレーション光（蛍光）を発生します。この光を電子に変換して電気信号として取り出す測定器です。NaI (Tl) シンチレーションサーベイメータを図4に示します。NaI結晶に発光量を増やすため、活性体としてTlを微量混入しているのでNaI(Tl)と表します。結晶に γ 線が入射すると、結晶との相互作用により電子を放出します、この電子が荷電粒子として結晶中を走り光を発生します。光電面により光を電子に変換して、高電圧を印加した光電子増倍管により電子を増幅させ電気信号として取り出し、線量当量を測定します。取出した信号の波高は入射してきた γ 線のエネルギーと比例するためこの信号をマルチチャンネルアナライザで測定することで γ 線のエネルギースペクトルを測定することも出来ます。シンチレーションサーベイメータでは X 線 γ 線を感度よく測定出来ますが50keV以下の X 線、 γ 線は測定できないので注意が必要です。

5. おわりに

同じ型の測定器でも測定値は異なります、標準線源等による較正により、どの測定器も同じ値を得ることが重要となります。放射線測定器を知るためには、測定器に触れて、放射線をはかることです、興味のある方はポスター会場にお越し願います。

参考文献

「初級放射線教育講座」(株)千代田テクノル 2009年
「放射線をはかる」柴田徳思 日本規格協会 1992年

28 化学・生命系：物理化学実験及び演習

応用化学専攻 高橋 信男

bukka@appchem.t.u-tokyo.ac.jp

1. はじめに

教育基盤部門では、2年前から部門発表の特集として学生実験の発表を行っている。化学・生命系は応用化学科、化学システム工学科、化学生命工学科の3学科があり、学部3年生は6つの学生実験を受講する。前期に3学生実験、後期に3学生実験のローテーションで実施している。今回はその中の後期に実施している物理化学学生実験全般を簡単に紹介する。

2. グループ分け

今年度は応用化学科53名、化学システム工学科37名、化学生命工学科42名であるが、後期実験では、生命工学実験（化学生命工学科は全員）を受講する学生の希望を取り、3つのグループに編成する。学生は物理化学実験、化学工学実験、生命工学実験の3つの実験をローテーションに従い受講する。

3. ガイダンス

最初にガイダンスを行うが学生はローテーションに従い実験を行うので、個々の実験の注意すべき点などを説明する。特に物理化学実験では、1テーマを2日間、8名を基本とし2人1組として実験を行うので共同作業の重要性を強調している。

4. 実験項目

○起電力測定 of 熱力学的応用（1日）

水素電極並びにガラス電極を用いて水溶液中の水素イオンの活量の測定を行い、その熱力学的意味について考察する。

○導電率測定 of 熱力学的応用（1日）

交流ブリッジを用いて酢酸の導電率を測定し、その結果とオストワルドの希釈律を用いて酢酸の乖離定数を定める。

○熱量測定（2日）

ここでは塩酸と水酸化ナトリウム水溶液の中和反応を例に取り、定温壁型熱量計を用いた反応熱の測定及び熱量測定におけるデータの吟味を行う。

○セラミックスの電気測定（2日）

半導体セラミックス材料である酸化亜鉛を題材とし、セラミック素子の作製法、電気測定の手法、データの解釈の方法を、また、半導性の起源となる格子欠陥についても学ぶ。

○反応速度（ラクトンの酸加水分解）（2日）

γ -ブチロラクトンの加水分解反応をディラトメータを用いて追跡し、その速度論的解析を行う。

○固体の光学特性（2日）

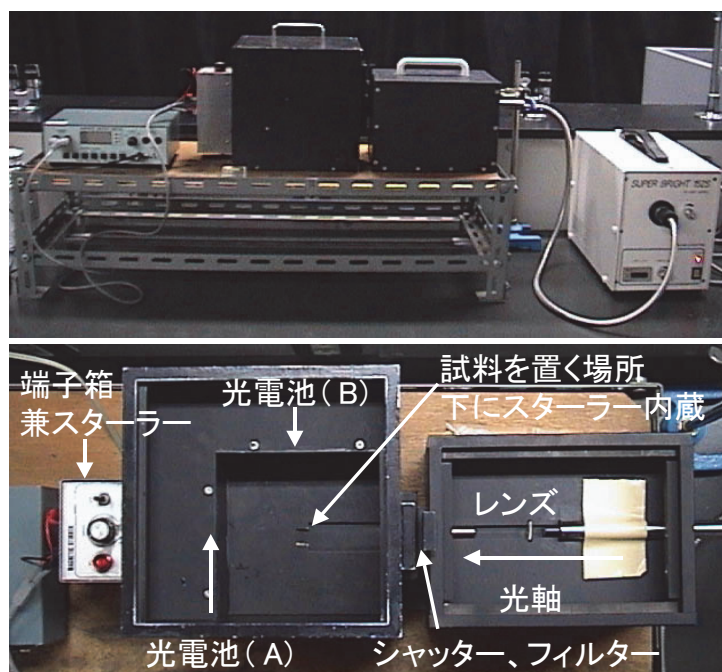
半導体や金属の光吸収スペクトルや反射スペクトルから固体のバンド構造を理解する。
また、蛍光スペクトルの測定から固体の蛍光メカニズムを理解する。

○光化学の基礎（2日）

フルオレセインナトリウムを題材として、分子の光化学を考える上での基礎となる概念（光励起、寿命、蛍光、光化学反応、蛍光の消光、偏向解消）について理解する。

5. 実験装置の例

この実験セットは、実験テーマ「光化学の基礎」で使用している。



5. あとがき

物理化学実験を簡単に紹介してきたが、各テーマで使っている個々の実験装置は手作りが多い。実験装置の例でも取り上げたが、学生実験で使用する物品類は簡素化と丈夫さをモットーとし、主に4月から7月を中心に改良している。本文では取り上げなかったが、実験開始前に職員及びTAが製作した、DVDで実験解説、注意事項、実験の流れを見せて学生の理解を深めている。

29 CFRP 製インフレータブル構造物の試作

航空宇宙工学専攻 小林やよい
kobayashi@aastr.t.u-tokyo.ac.jp

1. はじめに

近年、宇宙構造物としての「インフレータブル構造」に関する研究が盛んに行われている。インフレータブル構造の特徴である軽量・高い収納性・機構部品の少なさ、など宇宙構造物に適合可能な要素がいくつかあり、形や材料、収納方法や展開方法など様々な研究がなされている。

筆者の在籍する研究室もインフレータブル構造に関する研究を行っている。その研究実験にかかわっていく中で在籍研究室の長である青木隆平教授よりひとつアイデアをいただき、実験をしていくこととなった。これはその実験の経過報告である。

2. インフレータブル構造

まず、「インフレータブル構造」を簡単に紹介する。インフレータブル (Inflatable) とは、空気を入れて膨らむ膜構造のことを意味する。遊園地等にあるエア遊具というものだったり、アドバルーンのようなものだったり、あるいはインフレータブルカヌーというものもあるが、これらのものは実際使用するまではコンパクトに収納されていて、使用する際に膨らませるような構造物である。このような構造をインフレータブル構造とよばれている。

このような構造物を宇宙において使用できないかという研究が現在盛んに行われている。宇宙まではコンパクトに収納し、軽量化して、宇宙空間において大きく展開する。使用する材料、収納方法、展開方法など、考えられる点は多種多様で、構造物の用途もアンテナや、太陽光パネル、居住空間など、さまざまに考えることができる。

3. CFRP とインフレータブル構造

インフレータブル構造の問題点のひとつとして、膜構造であるために膜に損傷が起きた場合、その構造を維持することが難しくなるという点がある。膜の膨張材に空気などのガス、あるいは若干の液体などを利用しその圧力で構造をもたせるのだが、膨張材の挿入されている部分に何らかの損傷が起き、内部にある膨張材が漏れだすと、構造が保てなくなる。損傷の原因はいろいろ考えられるが、宇宙環境内であればデブリが衝突するような外的要因はその一つだ。

外的損傷を防ぐため、CFRP でインフレータブル構造を作ってみてはどうか、というのがこの報告の目的である。CFRP は軽量で高強度な材料である。インフレータブル構造の周りに取り付けておくことで、外的損傷を少なくすることができるのでは、と考える。

問題は収納性である。CFRP は炭素繊維と樹脂でできており、樹脂が硬化することでその形状を保つ。成型後は外的損傷がな

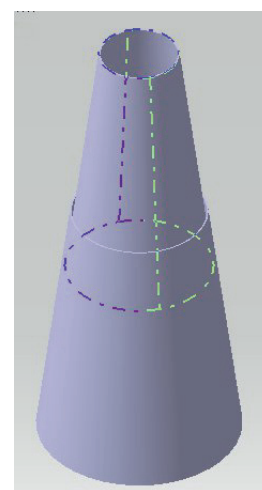


図1 テレスコピック形状
(破線の部分が一部材、若干の重なりを持って二部材がある)

ければ高強度を保つために現在は様々な大型構造物に使用されているが、収納という面ではあまり利点は見られない。そこで図1のようなテレスコピック形状を考え、中空円すい形状をCFRPにて数点作成する。連続的に、若干重なり部分を持つことで収納性を高め、引き上げることで円すい状の形状になるような構造物である。そのCFRP円すい構造の内部にインフレータブル構造を装着する。インフレータブル構造が空圧アクチュエータとなって膨らむことにより、CFRP部材が組みあがるような構造を考えている。

4. 製作

CFRPインフレータブル構造について、現段階ではまだ試作段階である。使用する繊維はプリプレグ方向材で、硬化温度と時間は130℃・2時間であるため、成型用の型を石膏にて製作した。図2のような凹型で製作し、プリプレグを型にはわせ、真空バックを使用して型に密着させて、オーブンにて熱をかける、というのが考えていた成型方法である。

プリプレグ方向材は目指す強度によって繊維方向を決定し、必要枚数を積層していくものであるが、今は強度は考えず、積層しやすいために図3のような扇型の形に切り取り、6枚をまず重ねてから型にはわせて製作した。出来上がったものが図4である。筆者自身不慣れな点が多くてうまく作成できず、現在は1部材のみで、きれいな出来ではない。



図2 成型型

中空の円すい筒状のものを作成するにあたり、始めから輪に成型して作成したいと考えていたが、のちに調べるうちに円すい筒を縦半切りにした状態のものを二つ作成後に接着する方法もあり、今後の参考としたい。ゆくゆくは、図1のような形状で組みあがり、空圧部分をつけて動かすことができれば、と考えている。

5. まとめ

今回この報告のもととなったアイデアを提供していただきました青木先生、それから積層構成等今後の参考となる相談をさせていただきました横関先生にはお礼を申し上げます。最後に、今回、このような報告を受け付けていただきました技術発表会事務局に感謝いたします。

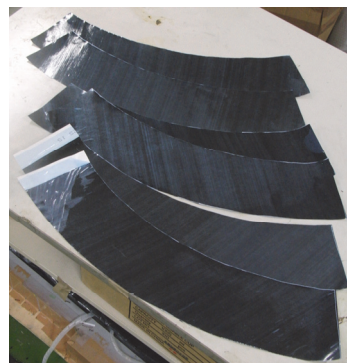


図3 プリプレグ

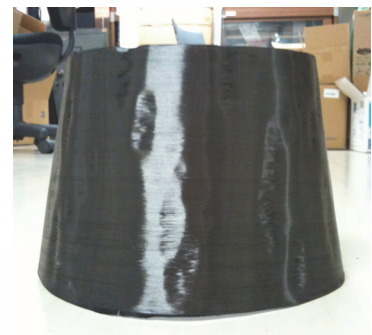


図4 出来上がり部材

【参考文献】

1. 「宇宙インフレータブル構造物」樋口 健 (現・室蘭工業大学 教授)、宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究所ホームページ (<http://www.isas.jaxa.jp/j/forefront/2006/higuchi/index.shtml>)
2. 「大気圧を保持するインフレータブル構造に関する研究」本多菜摘、東京大学修士論文、平成 23 年 3 月

30 造船におけるレーザースキャナの応用と点群処理について

システム創成学専攻 榎本昌一
eno@nakl.t.u-tokyo.ac.jp

1 はじめに

船は自動車や家電製品とは違い多くの部品を持つ単品生産であり、また、その建造も非常に多くの行程を必要とするものである。我が国の造船業が世界的にその競争力を上げるためには、さらなる技術力の向上により建造効率を高める必要がある。

筆者所属研究室では、3年ほど前に、主に土木・建築で使われていた3次元レーザースキャナに注目し、造船現場で使うことで建造効率を上げられないかを考え、数社の造船会社と共同で検討し、実験的に現場で使用してみた。本報告はこれまでに実験を行ってきた造船現場におけるレーザースキャナの応用についての報告である。

2 3次元レーザースキャナとは

3次元レーザースキャナ（図1左）は主に橋梁やビルなどの人工物や地形などを計測するために使われている計測器であるが、近年、精度向上、スキャン速度の向上により、生産設備のメンテナンス、災害時の復旧などにおけるシミュレーションなどへの活用されている。

計測する仕組みはスキャナから出され戻ってくるレーザーにより距離 r を、また、 r とレーザーの発射角 θ 、 ϕ から、 x 、 y 、 z の3次元座標を持った点のデータを出力するものである（図1右）。スキャナ自体が水平面上に回転し（ ϕ ）、縦回転にレーザーを発射する（ θ ）。からの出力データ群を点群と呼び、スキャナの計測データを点群と呼ぶ。

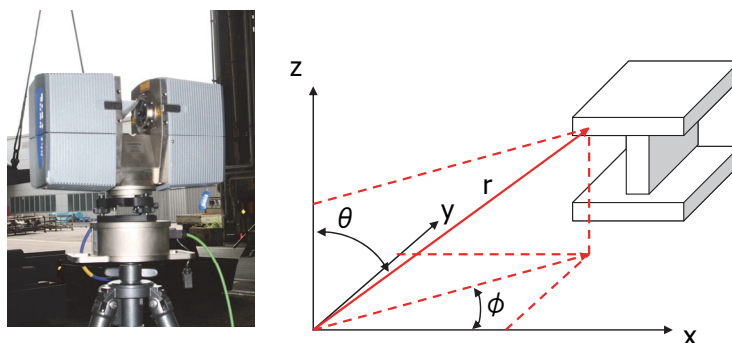


図1 3次元レーザースキャナと計測原理

3 造船所での計測実験

3-1 ブロック精度計測システム

大型船の建造ではブロック工法が用いられている。これは、小さな部品から20~40mレンジの大型部品（ブロック）を工場内で製作し、ドック内でそのブロックを組み上げるといった工法で、ドックの効率化を高め、船の建造効率を上げられる。ここで問題となるのがブロックの精度である。造船所の方に聞いたところ、2cm以内の誤差であればドック内での修正は出来るが、それ以上の誤差の場合、ドック外での修正となり、さらに最悪の場合は作り直すこともあり、工期の遅れとなる。現在、ブロック精度計測はトータルステーションというレーザー測定器を用い、ブロックの抜き取り検査、またはベテラン作業員が見た目でおかしいと感じたブロックについて計測を行っている。このトータルステーションは1点のみの計

測をするものであり、また、プリズムマーカー（反射板）を必要とするため、マーカー取り付けのための足場作りが必要で、1つのブロック計測に半日から1日を要する。

このブロックの精度計測に3次元レーザースキャナを用いること思いついた。3次元レーザースキャナであれば、足場の必要はなくなり、マーカーも必要とせず、抜き取り検査をせずに短時間で全てのブロックを計測することが出来る。図2はブロック、図3はブロックの接合部分であるロンジといわれる部品とスキャン画像（点群データ）である。



図2 ブロック



図3 ロンジ（上）と点群データ

ブロックの精度を確認するためには計測した点群データと設計用の CAD データとの誤差を見比べればよい。図4は点群データと CAD データの誤差を可視化したもので、誤差の大きさを色分けしている。

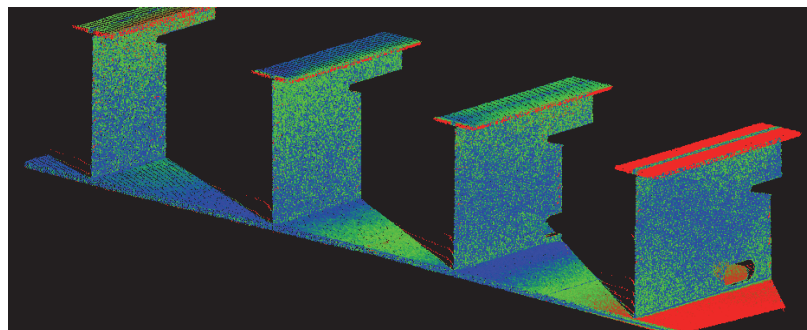


図4 点群データと CAD データの誤差の可視化

3年前に比べればスキャナの精度も上がり、また、後述する点群処理ソフトウェアも改良され、造船所からはこの実験に対し、かなりの評価を得ている。

3-2 曲げ板の精度計測システム

船舶の船首部、船尾部は流体特性を生かすために複雑な3次元形状をしている。この形状の鉄板をプレスマシンで作りは出来ない。現状では作業員がガスバーナーで熱し、水をかけて冷やすといった塑性変形により複雑な曲面を出している。これまで、熟練作業員が持っているノウハウにより作業をしていたが、近年の研究でどこをどの程度熱すればどの位の曲げをえられるかが体系化されつつある。しかし、完全ではないため、その精度検証には設計用の3次元 CAD から曲面にあわせた木型を作り出し、曲げては木型を合わせるとい

った行程を繰り返し製作している。

そこで、3次元レーザースキャナで曲げ板をスキャンし、CAD データと比較し、その結果をリアルタイムで表示することによって、木型のない曲げ板作業が出来るのではないかと提案した。図5は曲げ板、図6はその点群データ、図7は点群データと CAD データとの誤差を可視化したものである。

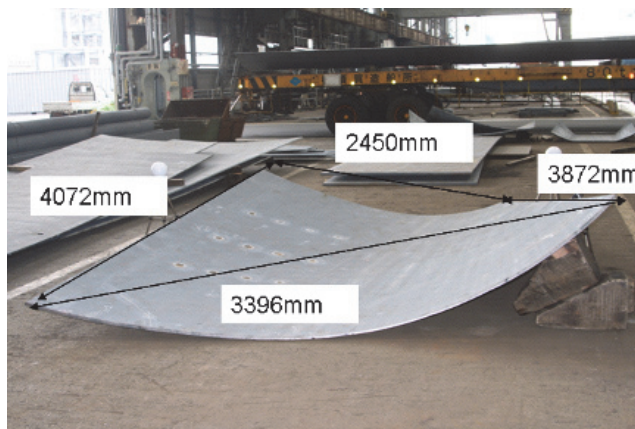


図5 曲げ板

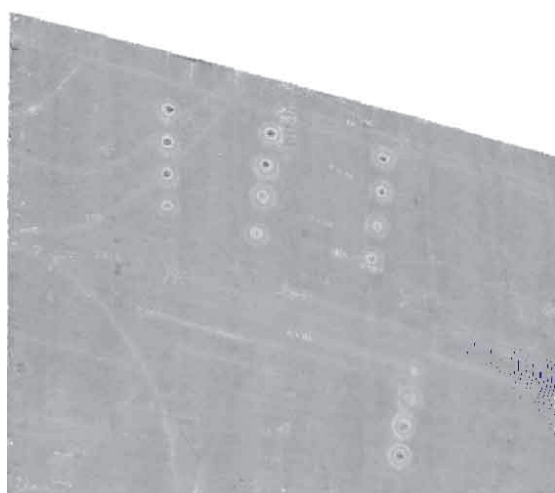


図6 曲げ板の点群データ

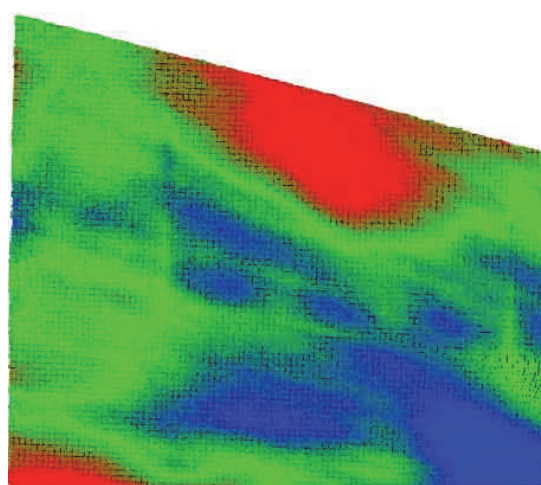


図7 誤差の可視化

このシステムは造船所からは早急に実現化したいとの要望がある。その理由として、木型を製作するのにかなりの金額が必要なこともあるが、熟練作業員が少なくなっていることが挙げられる。このシステムに求められていることは、良い精度で誤差表示する事だけではなく、リアルタイムでの表示である。スキャンを始めてから点群データ処理、CAD データとの比較、誤差表示を数分で行なわなければ、作業に支障をきたすからである。現在、システムの高速化を検討している。

3-3 その他の計測

上述のシステムの他に造船所からはレーザースキャナを用いた精度計測に関して、次のような問い合わせがあり、現在検討中である。

○ 自動車運搬船のデッキの高さ計測

自動車専用船 (PCC : Pure Car Carrier) では運搬する車の高さぎりぎりの寸法でデッキを設計する。建造中にこのデッキ高を計測が必要である。現在は決められた長さの棒を立てながらデッキ高を計測している。

○ バルクキャリア (ばら積み貨物船) の荷物室ハッチ開口部の平面度計測

荷物室ハッチの開口部の平面度がないと、ハッチを閉めても隙間が空いてしまうため、荷物室に海水が入ってしまう事がある。

○ 船で使われるパイプの形状認識

加工されたパイプ群から必要なパイプを抽出する。

6 点群データ処理システム “PUPULPIT”

上述のシステムの基盤となるのが点群データ処理システムである。このシステムを“PUPULPIT”と名付けた（図8）。このシステムを軸にシステム毎（ブロック精度計測、曲げ板精度計測等）にプラグインプログラムを作成している。

その基本機能としては、次の通り。

- 点群読込（1ファイル、複数ファイル、6000万点以下の点群）
- 点群表示（点の大きさ、色の変更、ファイル単位の非表示）
- 点群編集（矩形、自由多角形による切り出し／削除）
- 点群中のエッジ検出
- 点群出力（処理結果の保存）
- 視点移動
- ファイル単位の点群移動

なお、“PUPULPIT”は筆者研究室とソフトウェアベンダーとの共同開発を行っており、基本機能プログラムは無償でダウンロードが出来る（<https://pupulpit.com/>）。

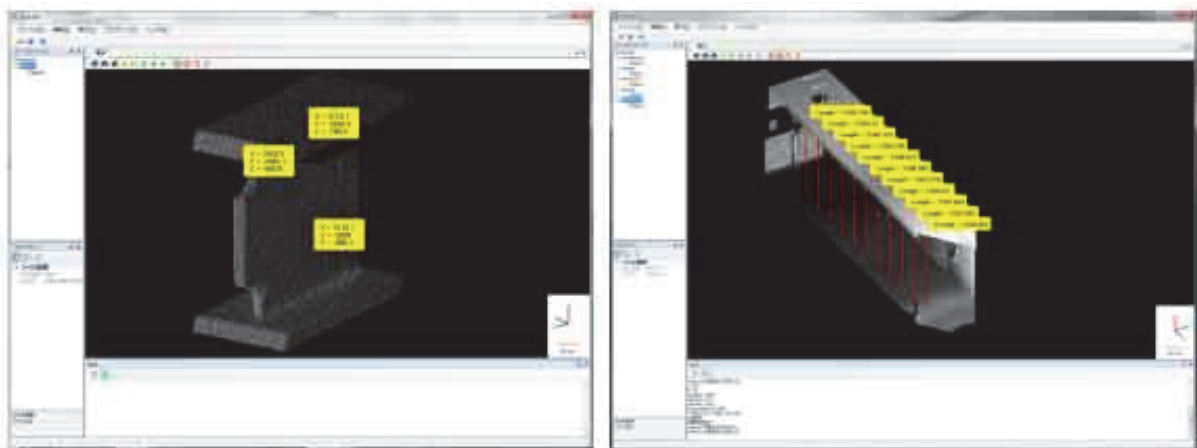


図8 点群データ処理システム “PUPULPIT”

7 おわりに

現在、3次元レーザースキャナは元来の土木・建築業界だけではなく、文化財の計測など多方面に広がっている。技術革新も相まって、数年前までは高価であった3次元レーザースキャナが、昨年からは廉価版のものが出始め、今後、各産業への浸透が考えられる。今回私たちは造船所を的を絞り、システムの開発を行ったが、そのノウハウは各方面の産業、特に物作りの現場で通用するものである。

31 LabVIEW による放電加工機自作の試み

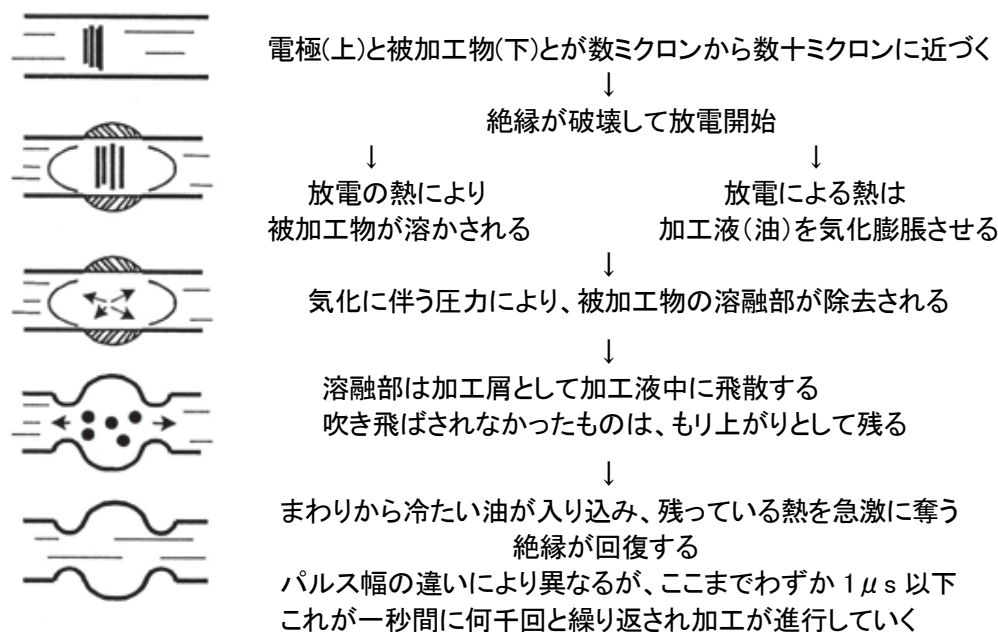
精密工学専攻 齋 治男
sai@edm.t.u-tokyo.ac.jp

1. はじめに

放電加工は、工具電極と加工物の間に微小な放電を生じさせ、放電による溶融・爆発による除去作用を利用した加工であり、導電性のある材料ならば切削が難しい硬いものであっても複雑形状を高精度で加工できるという特徴を持つ。また、加工反力が小さいということから、時間的制約と機械の可動範囲をある程度限定することができれば、安全に複雑で高精度な部品加工が出来ると考え、放電加工機自作を試みた。

2. 放電加工の原理

放電加工の原理を以下に示す。



3. 自作放電加工機のサーボ機構

極めて微細な加工を行うマイクロ放電加工などを除いた一般的な放電加工における放電電圧は、印加電圧の大小によらずおおむね 20 数 V となる。加工中の平均電圧をモニタすることで、あらかじめ設定した基準サーボ電圧との比較を行い電極の送りを制御することにより、安定した放電を維持できる。

放電回路にはコンデンサ放電回路を用いた。スイッチング素子を持たず電源とコンデンサ、抵抗で構成でき、コンデンサ充電過程と放電過程を交互に繰り返すことで溶融・除去加工が進展していく。放電加工においては電極の送り制御が加工の安定性や加工速度にかかわってくる。放電加工では極間距離が狭くなるほど絶縁破壊が起きやすく放電遅れ時間は短くなるため充電時間が十分に取れず平均放電電圧は低くなる。また極間が狭くな

り短絡状態になると平均電圧はゼロとなる。電極送りが早過ぎれば、短絡などが起こり加工不安定となり加工速度が低下する。この場合、送りを逆(後退)にし電極が離れるように制御して短絡を回避する。逆に送り速度が遅すぎたり極間が広がった場合は放電遅れ時間が長くなり放電頻度が低下し、やはり加工速度は低下する。この場合は極間平均電圧は上昇する。従って電極を降下する方向に制御する。安定した放電を維持するための主軸送り機構としてフィードバックサーボ機構を採用した。極間平均電圧(時間平均)をモニタし、基準電圧(サーボ電圧)と一致するように制御する。

主軸の送り機構に、LabVIEW を利用して放電電圧値の測定を行い、その値をもとにモータの制御を行う放電加工機の試作を試みた。加工機は、ベース、支柱、リニアガイド+電極取付部、ステッピングモータ、加工層からなる。ステッピングモータ主軸には送りネジが接続され、送りネジの回転に従って電極が上下に走査される。平均放電電圧と基準電圧(通常 6 V 前後)を比較し、放電間隙が狭いか短絡の場合は間隙を広げるようにモータを回転させ、電極が加工物から離れる。逆に平均極間電圧が大きくなった時には電極間隙長も広がったと判断し、電極が加工物に近づくようにモータを回転させる。並行して、LabVIEW を利用したサーボ制御を実施中であるが現在、連続放電は実現できていない。

まず極間の状態を目視による波形観察などから、送りネジを手動で制御した。図 1 は、板厚 1 mm の SUS 板に対して電極径 $\phi 0.5\text{mm}$ で穴加工した様子である。加工時間 1~2 分程度で貫通穴加工が可能であった。次に、極間電圧の平均値と基準電圧とを比較する回路を製作し、主軸の自動制御を試みたいと考える。現在 LabVIEW でのパルス発信プログラムまでは完成している(図 2)。このプログラムによるモータ駆動、比較回路への導入を試行中である。

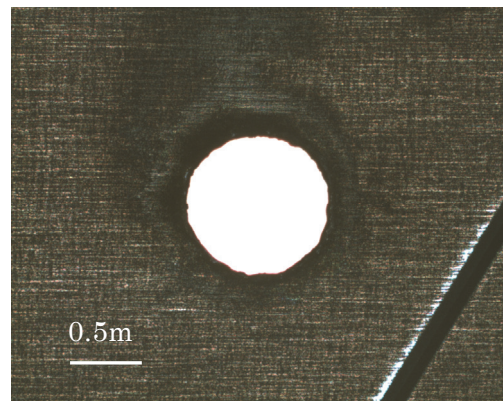


図 1 放電加工機による穴加工

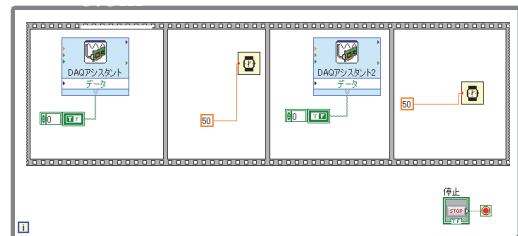


図 2 LabVIEW ブロックダイアグラム

4. おわりに

LabVIEW の計測機能を用いて平均放電電圧を測定しながら、その値を使ってのモータサーボを行うことができたが、想定した応答速は得られなかった。

今後の方針として、より高速な IO モジュールや FPGA の導入によるサーボの実現、放電波形のモニタ化、ロジック回路の LabVIEW への置換えなどを行いたいと考える。

なお、本報告は 2010 年度個別研修費により行いました。ここに謝意を表します。

[参考文献]

- 1) 齋藤長男, 毛利尚武 他: 「放電加工技術」基礎から将来展望まで(日刊工業新聞社 1997)
- 2) 齋藤長男: 「放電加工のしくみと 100%活用法」(技術評論社 1980)

32 雷電流センサーの検討

原子力国際専攻 安本 勝

yasumoto@n.t.u-tokyo.ac.jp

1. はじめに

一昨年、富士山測候所の落雷対策調査の機会を得て調査した。その時に、富士山測候所には山麓から接地線と高圧電源が来ており、測候所接地抵抗値は山麓側接地抵抗値で決まっていることを知った⁽¹⁾。山麓から接地線で繋がる、富士山頂に富士山測候所という電極が存在していることになる。この接地線に流れる電流を観測することで何らかの検出手段に使えないだろうか検討してみた。可能性としては、三つ考えられる。先ず①富士山測候所の落雷電流の観測である。測候所の落雷頻度は高く、落雷モニターが可能になると、富士山頂の雷電流の特徴が分かる。次に②電離電流から富士山頂の電離状態の観測が出来ないか、最後に③連続的な地抵抗測定により異常の前兆現象を捉えられないか、の三つである。①は1MHz成分までの広帯域測定が可能である必要がある。一方、②、③は周波数成分は低くても良いが高い検出感度が求められる。いずれも有用性はあるが、比較的短期実現の可能性が高い落雷電流測定に着目して検討を試みた。

2. 富士山測候所の特徴

富士山測候所の接地は、測候所のある場所と山麓で接地を行っている。測候所のある場所の接地抵抗値は大きく、他方、山麓側接地抵抗値は小さい。そのため、測候所の接地抵抗値は山麓側接地抵抗値で決まっている。従って測候所の落雷電流の大半が接地抵抗値が小さな山麓側接地線に流れる⁽¹⁾。また、測候所の対地静電容量は大きく、一方山麓からの接地線は距離が長くインダクタンスが大きくなる。従って正確には、測候所の落雷電流は、測候所全体の接地インピーダンスの逆数と山麓側接地線インピーダンスの逆数により分流され大地に流れることになる。正確な測候所全体の落雷電流は、この分流がどのような周波数特性を持っているか知ること、山麓側接地線に流れる雷電流のみを測定し補正することで、知ることができる。このため落雷電流の分流比の周波数特性を求めることが必要であるが、これは次のように実施することで可能である。落雷頻度を高めるため、できるだけ高い避雷針を用意する。避雷導線により正確な値が観測可能な周波数特性の良い雷電流センサーを設ける。この避雷針に落雷したときの避雷針の雷電流観測波形と山麓側接地線に流れる雷電流モニターの観測波形とを比較することで補正係数を求める。山麓側接地線に流れる雷電流モニターにこの補正係数を考慮することで測候所全体の落雷電流を常

時観測可能になる。なお、富士山測候所の風雪条件は厳しく、高い避雷針は常設できない。また測候所の被雷箇所は、避雷針により制御できるが、設置箇所は限られ完璧な制御は難しい。

測候所の落雷電流は、接地線だけでは無く高圧電源ケーブルの接地シースにも流れる。従って、測候所の避雷電流は、両線のトータル電流になり、両線に流れる電流を一緒に測定する必要がある。また両線を施工した後に測定できるようにするため、磁路を分割できるようにして後から挟み込んで磁気回路を構成できるようにする必要がある。

3. 雷電流の検出

雷電流は、被雷電流路になる接地線および高圧ケーブルを円周で囲む磁気回路を構成し、電流路を流れる電流による磁場を検出することで測定することになる。落雷電流は、正負いずれかの単極性のインパルス電流になる。山麓側の被雷電流が接地線および高圧ケーブルを通し流入する場合も考慮することが必要である。その他に測候所側の三相高圧電源が絶縁不良の場合、ゼロ相電流が、接地線に集めきれず一部岩盤に流れることも考えられ、この対策も必要である。

雷電流検出器には 2 種類用意する必要がある。一つは山麓からの接地線と高圧電源に後から挟み込む磁路を構成でき、雷電流を測定し校正することで測候所の正確な雷電流を観測可能にするものである。もう一つは正確な雷電流測定を可能にするもので前者の校正に用いるものである。避雷針被雷電流を正確に測定するもので、磁気回路は分割型である必要は無く、雷電流路は単線のため細くなる。校正が終われば撤去できるものである。前者は、接地線と高圧ケーブルの両線を後から挟み込みできるように分割して磁路を構成できる大きさのものでなければならず、これは常時測定に使用するものになる。

測候所の落雷電流は、測候所全体の接地インピーダンスと山麓側接地線インピーダンスに分流されることになる。従って山麓側接地線に流れる雷電流から測候所の被雷電流を知る場合、山麓側接地線を流れる雷電流測定計は、よく被雷する避雷針の正確な落雷電流を測定できるようにし、その電流と比較校正する必要がある。

富士山の落雷は高さ分だけ雷雲が低くなり、その分雷電流も大きく持続性があるのではないかと予測している。また、前述したように山麓からの接地線は長くインダクタンスは大きくなるため、雷電流の低い周波数成分がさらに強調される。

雷電流のように大電流測定にはロゴスキーコイルが一般的に使用されるが、

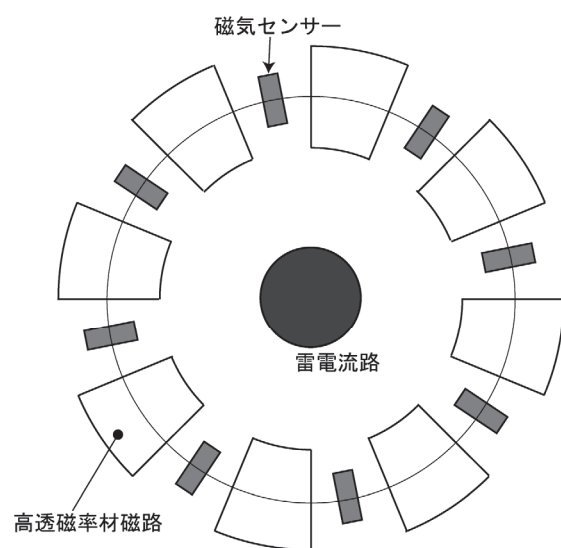


図1 磁気飽和、偏心による被測定電流磁場変化、および外部磁場による影響の防止策

上述のような持続性の電流にどこまで使用可能かどうかには検討する必要がある。ロゴスキーコイルは、磁性材を使用していないため、磁気飽和が無く磁気回路の周波数依存性は無い。しかし、検出回路検出電圧は、コイルで磁場変化による誘起電圧を検出するため、出力電圧は周波数に比例して増加する周波数特性になる。また検出回路の寄生インダクタンス・静電容量による周波数依存性があり、周波数特性は低いものもあるので使用上注意する必要がある。

代わるものとして、検出器の磁気回路は、図1の構成にすることで磁気飽和を抑えることを考えた。また磁場の検出には、MIセンサーの特徴である、直流から1 MHz以上の高周波数までの応答性と出力電圧に周波数依存性が無いことに着目して、図1中の磁場検出センサーに適用することを検討した。ここではMIセンサーの特徴である高検出感度は必要なく、逆に扱う電流に合わせた桁単位の感度の抑制が必要になる。磁気回路は、検出部磁場を使用範囲内に抑えてコンパクトにする工夫を必要とする。入手できるMIセンサーの周波数特性で不足する高周波成分は検出コイルで補い使用する方法も考慮する必要がある。

4. MI センサー

細い磁性体線に高周波電流を流すと表皮効果が生じあるインピーダンスを持ち一定のインピーダンス電圧降下を生じる。これに線方向に磁界が加わることで表皮効果に変化が生じインピーダンスが変わるため、電圧降下も変化する。この磁気-インピーダンス効果 (Magneto-Impedance effect) を MI 効果といいこれを適用したセンサーである⁽²⁾。1 MHz を超える応答性が得られ、検出感度はフラックスゲートと同程度 (約 0.01 nT) のものが得られる。この MI センサーは周波数応答性が 1MHz のものも開発されているが、検討のため測定に使用したものは、廉価に入手でき、周波数応答性は 1 kHz のものである。

5. 実現性の検討

設計上の要点は、①測定電流の範囲で磁路に磁気飽和が生じないようにすること、②電流路の位置変化の影響を受けにくくすること、③外部磁場の影響を受けにくくすること、④十分な周波数応答性があること、⑤磁場センサーの使用範囲と最大検出電流磁場範囲が一致すること、である。後から取付可能なように分割形にすることも必要である。

実現には市販されているセンサーを使用することになる。本報告で入手した MI センサーは

コンパス用のもので説明書通り使用することで機能し、扱いやすくなっている。測定は図2の測定系で行った。フ

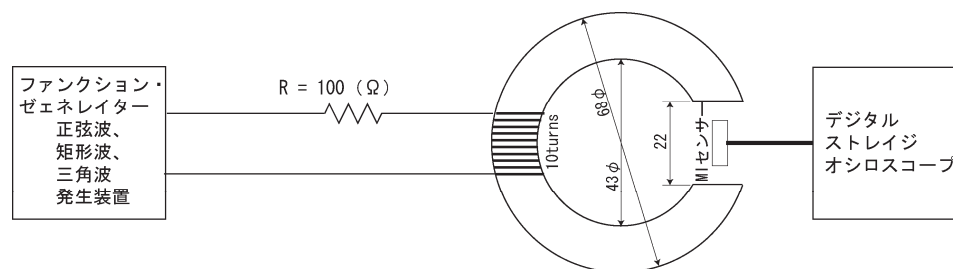


図2 磁気回路・MIセンサー特性測定系

フェライトトロイダルコアの一部を図2のように一部を平行に切り取り、このギャップでは近似的に平行磁場ができるようにした。印加電流はファンクションゼネレーターの出力電圧を一定にして出力に 100 Ω を通してフェライトトロイダルコア 10 巻数のコイルに加えた。このコイルのインダクタンスは 23 μH であり、100 kHz 以内

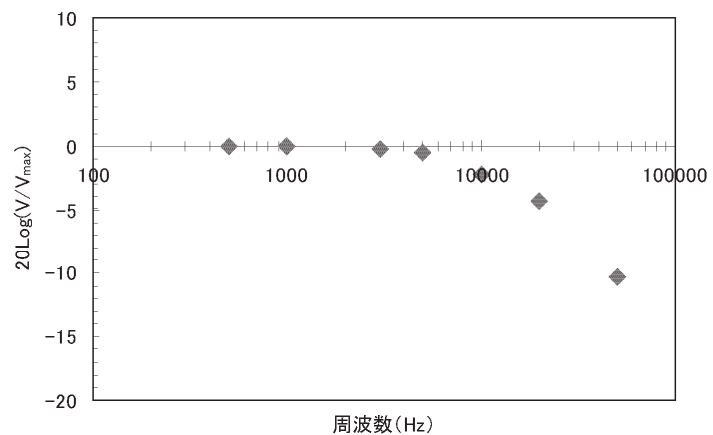


図3 磁場測定系のMIセンサー出力の周波数特性

では一定電流源とみなせることができる。入手使用センサーの仕様による周波数応答性は 1 kHz あるが、測定結果では図3の特性が得られ、-3dBで10 kHzの特性が得られている。MIセンサーの理論的境界は1 MHzを超えており、今後高周波に対応したセンサーが廉価に市販されるものと考えている。適用可能にする桁単位の安定な感度の抑制は、工夫により可能である。

落雷は何時生じるか分からず、起きたときには確実に捉えることが必要である。この長時間の連続測定を可能にするため、高時間分解能を保ちながらの常時観測は記録上無理であり、ある一定レベル以上の電流を検出したときに、その時刻と電流を十分時間分解能得られるように記録し、雷電流がゼロになった時点で最初の状態にリセットされるようにすることで長期観測が可能になる。この機能の一部はデジタルオシロスコープで代用する方法もある。

6. おわりに

もし富士山測候所の被雷電流の通常観測が可能になれば、高所位置にある富士山の雷電流の特徴を捉えることが可能になるものと考えている。またハワイの標高 4200 m マウナケア山頂にあるスバル望遠鏡も電源は山麓側から取っており⁽³⁾、富士山測候所と類似の条件が備わっていることが推測される。本雷電流の測定方法が高所山岳地での雷の特徴を観測する有用な手段として使用できるものになると考えている。さらにセンサーの具体化の検討を進める予定である。

フェライトトロイダルコア切断には総合研究機構の師山氏のお世話になった。また、本報告は2010年工学系研究科技術部個別研修の成果であることを記して関係各位に感謝する。

7. 参考文献

- 1) 安本, 佐々木, 土器屋 : 「富士山測候所の雷対策調査と対策の提案」, 2009年夏、富士山頂で行われた観測・研究の成果第3回報告会, NPO 法人富士山測候所を活用する会, pp14-19 (2010).
- 2) 毛利佳年雄 : 「磁気センサー理工学」, コロナ社(1998.3.10).
- 3) H21年度 KEK 技術研究会での国立天文台スバル望遠鏡所属の方からの情報

33 PIXE 法による元素の定量のための測定システムの製作と 簡易評価技術の修得

原子力国際専攻 森田 明

morita@n.t.u-tokyo.ac.jp

システム創成学専攻 川手秀樹

kawate@sys.t.u-tokyo.ac.jp

1. はじめに

原子力国際専攻加速器管理部にあるタンデム型加速器（HVVEE 社製、最大加速電圧 1.7MV）は、共同利用実験装置として3つのビームライン（RBS 分析ライン、PIXE 分析ライン、イオン注入ライン）を持ち、各々研究及び教育に貢献している。PIXE 分析ラインでは、大きく分けて環境分析と文化財分析の利用に供しており、2007 年度より工学部システム創成学科の環境・エネルギーシステムコース（E&E）3年生を対象とした環境分析の実験実習を実施している。しかし、これまで PIXE 分析ラインでは試料元素中の定性分析のみを行ってきた。そこで今回、分析技術の拡大を目指し標準試料を用いて定量分析を視野に入れた測定システムの製作と簡易評価技術修得に向けた検討を行ったので報告する。

2. タンデム型加速器の構成

図1にタンデム型加速器の構成を示す。イオン源は、セシウムスパッタ型（固体試料用）、デュオプラズマトロン型（気体試料用）の2系統あり、各イオン源で生成させたイオンをコントロールパネル上で切り換えることにより、各ビームラインの試料に照射することができる。加速電圧の昇圧方式はシェンケル型であり、イオン加速部中央ターミナル電圧は最大 1.7MV である。ビームコースは、イオン注入、PIXE (Particle X-ray Emission) 分析、RBS (Rutherford Backscattering Spectrometry) 分析ラインの3コースからなる。

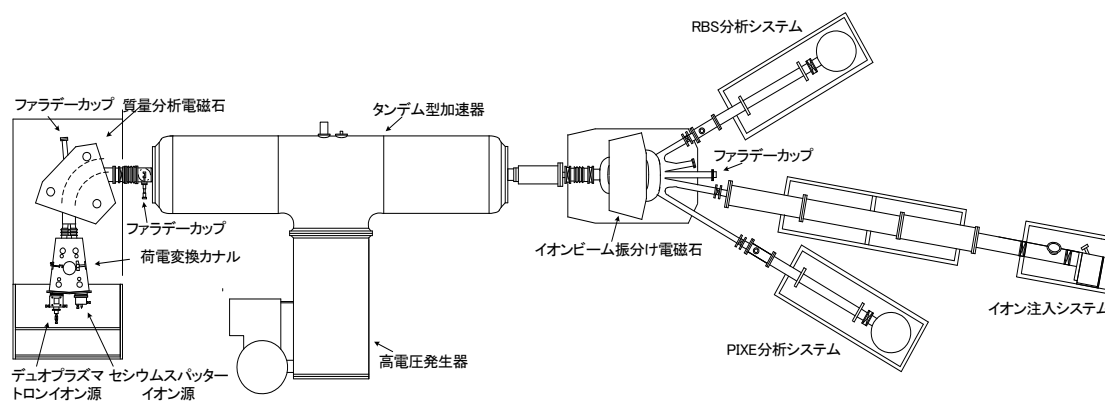


図1. タンデム型加速器の構成図

3. PIXE 測定系¹⁾

タンデム型加速器の3つのビームラインのうち、今回定量分析導入に向けた技術修得を行った PIXE 測定系を図2示す。半導体検出器で検出された信号は前置増幅器、主増幅器、AD コンバータを経由して、マルチチャンネル波高分析器に出力される。前置増幅器は、検出器からの入力電荷パルスを変圧パルスに変換するもので、損失なく主増幅器に送るためのインターフェイスの役目をもっている。主増幅器は、後続の AD コンバータの入力レベルに対応した信号に増幅するものであり、通常 1000 倍程度に増幅される。マルチチャンネル波高分析器は多数のパルス波高値区間の計数を同時に測定するものである。

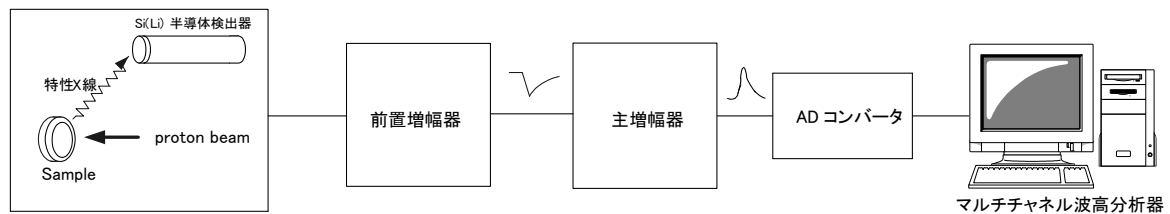


図2. PIXE 測定系

4. 測定準備

4-1. 光学系測定システム

図3にビームの光学系測定システムを示す。液体試料の定量を行うには照射ビーム径が試料を完全に覆うサイズにする必要がある。そこで、ビーム径を広げるための光学系測定システムを製作した。このシステムはコリメータに安価で耐熱性の高いタンタル(Ta:0.2mm厚)を用いてチャンバー入口のコリメータサイズを $\phi 2\text{mm}$ から $\phi 6\text{mm}$ に拡大したものである。これにより、ビームサイズを $\phi 2.8\text{mm}$ から $\phi 3.5\text{mm}$ に広げることができた。

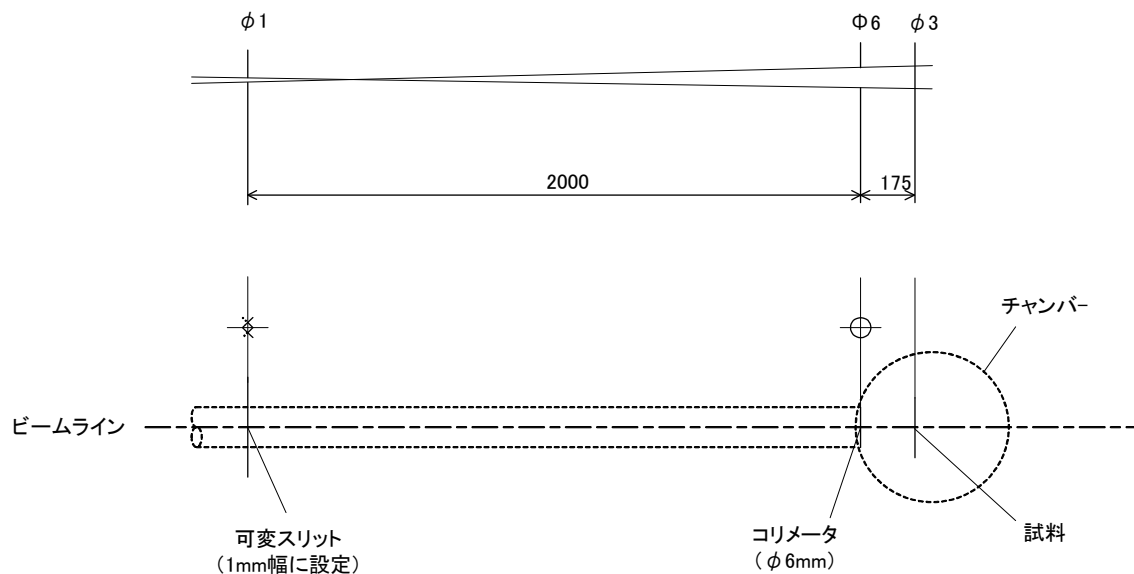


図3. ビーム光学系測定システム

4-2. バックリング材の選定²⁾

試料を滴下する薄膜、すなわちバックリング材は $6\mu\text{m}$ 厚のポリプロピレン膜を使用した。ポリプロピレンは、耐熱性の問題、つまり融点が低いという欠点がある。しかし、入手が容易で不純物が少ないため今回バックリング材として使用した。図4に $6\mu\text{m}$ 厚のポリプロピレンのバックグラウンドを測定した結果を示す。

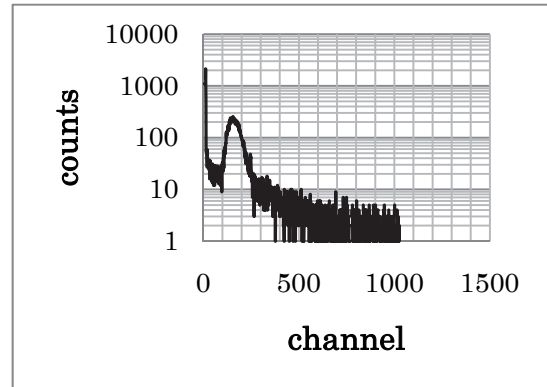


図4. ポリプロピレンのバックグラウンド

4-3. 滴下量の最適化

ビーム径内に試料を収めるための最適な滴下量を知るために、いくつか滴下量を変えながら試料サイズを計測した。図5はバックリング材に標準試料を模擬したインクで着色した超純水を滴下した時の様子を示している。このサイズ計測から滴下量はビーム径 $\phi 3.5\text{mm}$ に収まる一回の滴下量 $4\mu\text{l}$ を標準として滴下することとした。

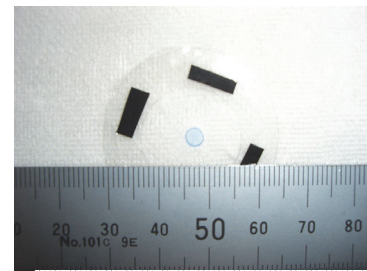


図5. 滴下量の測定

5. 定量分析のための準備

5-1. 標準試料の作成

測定に用いた標準試料は鉄の標準溶液を希釈して 0.01、0.1、1、10、100ppm の標準試料を作成した。ただし、濃度の高い溶液から低濃度の溶液を直接作成すると操作誤差を生じるため、約 10 分の 1 段階ずつ低濃度の溶液を順に作成することとした。標準試料は 35mm の円の中心に 20mm の孔の開いているアクリル板の孔に、 $6\mu\text{m}$ 厚のポリプロピレン膜を導電テープで貼り付けたものをバックリング材とし、その中心に標準溶液 $4\mu\text{l}$ を滴下し、自然乾燥した。

5-2. バインダー（展着剤）の滴下³⁾

バックリング材として用いたポリプロピレン膜は疎水性のため、乾燥後、試料が剥落しやすく均一性も良くない。これを改善するためにバインダー（酢酸ビニル）の添加を試みた。バインダーは超純水を加えて 0.1% 溶液に調製した。

6. 測定

図6は広島大学からいただいた石英板にビームを照射している様子である。今まで使用していたアルミナ蛍光板より反射が少なくビームの形状を鮮明にすることができた。低エネルギー側の X 線を吸収除去するためのアブソーバは $250\mu\text{m}$ 厚のマイラーを用いた。また、使用したバックリング材は熱に弱いため、ビーム強度をあまり高くせず、 5nA 以下に抑えて測定を行った。

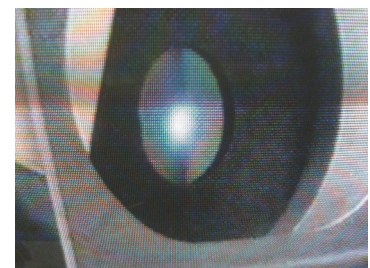


図6. ビーム照射の様子

7. 測定結果

7-1. 検量線の作成

実試料の測定時の元素の濃度を定量するために Fe の標準溶液を用いて標準試料を作成し、その測定結果から検量線 (図 7) を作成した。すべての測定結果は、ビームの照射電荷量を $5 \mu\text{C}$ で規格化した。

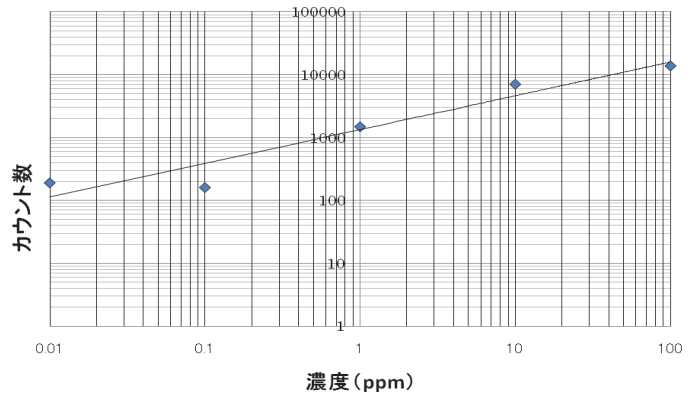


図 7. Fe の検量線

7-2. 分析感度 (検出下限) ^{4),5)}

一般に分析感度は測定に利用する信号 S と、バックグラウンド値 N_B との比 S/N_B の大きさによって決まる。従って、バックグラウンドが低ければ低いほど分析感度は高くなると考えられる。 S がバックグラウンドの値、 N_B の平方根の何倍かになったときに S の値を有効な値とし、この S の値を検出限界とする方法がある。PIXE 分析法の場合にはバックグラウンドの決定が特に難しいが、測定信号の有効数値を N_B とすると、検出下限は次式のように考えられる。

$$N_s \geq 3\sqrt{N_B} \quad (1)$$

Fe の検量線と (1) 式より濃度の検出下限を求めた。その結果、Fe の検出下限は 0.000423ppm となった。

8. おわりに

タンデム型加速器にある PIXE 測定システムの測定技術を広げることを目的に、これまでの定性分析に加えて定量分析を行うための第 1 段階として、検出下限の向上を目指した測定システムの製作 (ビームサイズの拡大)、バインダーの添加等を試み、鉄元素の検出下限を求めた。これら一連の手順を通し、定量分析に向けた評価技術の修得に関して具体的な検討をすることができた。

今回の報告は、定量を行う上での第 1 段階であったが、マシンタイムの時間に限りがあったため、十分な測定を実施することができなかった。今後はビームの均一性等を考慮に入れたより精度の高い定量技術を目指す予定である。

なお、本報告は 2010 年度工学部・工学系研究科個別研修 (OJT) により実施した。

【参考文献】

- 1) 合志陽一, 佐藤公隆: エネルギー分散型 X 線検出器-半導体検出器の使い方-, 日本分光学会 測定法シリーズ 18, 学会出版センター(1993).
- 2) 伊藤誠二, 森田明: PIXE 法におけるバックグラウンド低減対策, 第 20 回東京大学工学部・工学系研究科技術発表会 (2005), pp.35-38.
- 3) 西山文隆, 菊池哲也, 村尾智: PIXE 法による水分析の高度化-軽元素分析へのアプローチ-, 地質調査所月報 (2000), 第 51 巻, 第 10 号.
- 4) 橋本芳一, 大橋恒彦: 放射化分析・PIXE 分析法(共立出版社, 1986), pp.131-147.
- 5) 小山友作: 水中の微量重金属類濃度分析への PIXE 法の適用, 東京理科大学大学院工学研究科電気工学専攻修士論文 (2003).

34 第1種作業環境測定士(有機溶剤, 特定化学物質, 金属類)登録

工学系等安全衛生管理室 平川 拓洋
hirakawa.takuhiro@mail.u-tokyo.ac.jp

1. はじめに

安全衛生管理業務の一つに作業環境測定がある。労働安全衛生法(以下、安衛法と略称)により定められた作業所では、定期的な作業環境測定の実施が法的に義務化されている。

東京大学は国立大学法人化以降、安衛法に基づいた作業環境測定を実施している。今後の作業環境測定業務において、計画、測定、評価および報告の一連の業務を主導的役割で遂行するためには、筆者にも登録が必要になった。

今後の測定対象として頻度が高いと考えられる、有機溶剤、特定化学物質および金属類について、登録講習を受講し、修了試験合格を経て登録を行った。技術系職員のさらなる労働衛生意識の向上のため、これら情報の共有化が有意義と考えられるので報告する。

2. 作業環境測定士とは

有機溶剤、鉱物性粉じん、特定化学物質、金属類および放射性物質を取り扱う作業場における作業環境測定は、厚生労働省指定機関に登録された作業環境測定士でなければ実施できない。産業医、衛生管理者あるいは労働衛生コンサルタントと連携して、事業場の職場環境の維持管理に貢献する役割を有する。

作業環境測定士は第1種と第2種に分類される。第1種はデザイン・サンプリングから分析および解析まで全て実施できる。第2種はデザイン・サンプリングと簡易測定器による分析のみが可能である。

3. 作業環境測定士取得までの流れ

ここでは、筆者が経験した国家試験による取得について記述する。第1種作業環境測定士の国家試験では、表1に示す試験科目がある。受験の際、既に所持している資格・免許類によっては科目免除があり、それにより試験手数料や試験時間が変わる。

表1 第1種作業環境測定士国家試験の試験科目

分類	試験科目
共通科目	労働衛生一般、労働安全衛生関係法令、サンプリング、分析概論
選択科目	有機溶剤、鉱物性粉じん、特定化学物質、金属類、放射性物質

※選択科目で合格した科目に関してのみ、第1種の登録講習受講が可能である。

これらの科目について合格すると合格証が送付される。その後、登録講習を受講して、最終日の修了試験に合格すると、修了証が送付される。この時点で登録手続きを行う資格が生じる。合格後の登録は義務ではないが、未登録の状態では作業環境測定士の名称を使用して業務することはできない。以下、登録講習に関する内容を報告する。

4. 共通科目

共通科目は第2種講習とも呼ばれ、作業環境測定士となる初期段階で受講必須とされる。

講習は3日間であり、表2に示す内容に関する知識・技術を習得する。基本的には国家試験で出題された内容に基づく内容で、労働衛生の基礎¹⁾、デザイン・サンプリング²⁾など基礎が中心である。実習が重要視される面があるので、積極的な取り組みと確実な理解が肝要である。

表2 共通科目登録講習の概要

分類	項目
労働衛生管理の実務	有害因子と健康障害、有害物の体内侵入の形態、有害物の量に関する指標、作業環境管理の進め方、評価、管理区分の決定方法、実習
デザイン・サンプリングの実務	作業環境測定のための目的、デザインの方法、演習
実習	実習(相対濃度計による粉じん測定、検知管によるCO ₂ 濃度測定)、各種捕集方法、流量校正、

※座学・実習ともに受講の後、実技試験および筆記試験(合わせて2時間)が課せられる。

実技試験：実習内容に基づく装置の組立て、運転および周辺知識の口頭試問

筆記試験：講習内容および作業環境測定士として習得すべき基礎知識

5. 選択科目

選択科目に関する講習は第1種講習とも呼ばれ、第1種作業環境測定士の国家試験合格者またはそれと同等の者が受講資格をもつ。すなわち、有機溶剤だけを測定したい場合は、有機溶剤のみ選択科目として受講すれば良く、その他の科目は特に受講を要さない。

いずれの科目についても、全2日間の講習(座学・実習)を修了する必要がある。共通科目と同様に、実習内容が重要視される。修了試験(実技・筆記)に合格する必要がある。

5-1. 有機溶剤

第1種有機溶剤(クロロホルムなど)および第2種有機溶剤(アセトンなど)を製造し、または取り扱う屋内作業場等では、6カ月に1回の頻度で作業環境測定が必要である。人間の健康に対する有害性は、第1種の方が第2種よりも大きいとされる。

有機溶剤の捕集および分析は、表3に示す方法がある。

表3 有機溶剤の測定に係る方法

目的	方法の種別
捕集	直接捕集法、液体捕集法、固体捕集法
分析	検知管法、吸光光度分析法、ガスクロマトグラフ分析法(GC法)

※各物質について、適切な捕集－分析方法を適用する(詳細はガイドブック 5³⁾参照)。

登録講習では、次の内容について実習を中心に実施された。

- ①検知管法による混合有機溶剤の定量
- ②直接捕集法および固体捕集法－GC法によるトルエンの定量
- ③ヒドロキサム酸吸光光度法による酢酸エチルの定量

修了試験は、筆記および実技について、それぞれ 30 分および 10~15 分で実施された。

5-2. 特定化学物質

第 1 類物質 (PCB など) および第 2 種物質 (弗化水素 など) を製造し、または取り扱う屋内作業場等では、6 カ月に 1 回の頻度で作業環境測定が必要である。人間の健康に対する有害性は、第 1 類の方が第 2 類よりも大きいとされる。

特定化学物質の捕集および分析は、表 4 に示す方法がある。

表 4 特定化学物質の測定に係る方法

目的	方法の種別
捕集	直接捕集法、液体捕集法、固体捕集法、ろ過捕集法
分析	検知管法、吸光光度分析法、原子吸光分析法、ガスクロマトグラフ分析法(GC法)、イオンクロマトグラフ分析法(IC法)、高速液体クロマトグラフ分析法(HPLC法)

※各物質について、適切な捕集－分析方法を適用する(詳細はガイドブック 3⁴⁾参照)。

登録講習では、次の内容について実習を中心に実施された。

- ①直接捕集法および固体捕集法－GC法によるベンゼンの濃度測定
- ②液体捕集－ランタン-アリザリンコンプレクソン吸光光度法による弗化水素の濃度測定

修了試験は、筆記および実技について、それぞれ 30 分および 10~15 分で実施された。

5-3. 金属類

特定化学物質障害予防規則、鉛中毒予防規則(以下、鉛則)など複数の規則で規制され、”金属類”としての安衛法上の予防規制はない。測定対象事業場も各規則により定められている。いずれも、6 カ月に 1 回(鉛則については 1 年に 1 回)の頻度で作業環境測定が必要である。

金属類の捕集および分析は、表 5 に示す方法がある。

表 5 金属類の測定に係る方法

目的	方法の種別
捕集	液体捕集法、ろ過捕集法
分析	吸光光度分析法、蛍光光度分析法、原子吸光分析法、誘導結合プラズマ原子発光分析法(ICP-AES法)、誘導結合プラズマ質量分析法(ICP-MS法)

※各物質について、適切な捕集－分析方法を適用する(詳細はガイドブック 4⁵⁾参照)。

登録講習では、次の内容について実習を中心に実施された。

①原子吸光分析法による鉛の定量 (直接法、有機溶媒抽出法)

②ジフェニルカルバジド吸光光度分析法によるクロムの定量

修了試験は、筆記および実技について、それぞれ 30 分および 10~15 分で実施された。

6. おわりに

作業環境測定为国家試験に合格し、工学系研究科の作業環境測定には登録前から部分的に関与していた。第 1 種作業環境測定士登録後の平成 22 年度下期作業環境測定からは、一部測定結果の解析、評価までを作業環境測定士として遂行している。

今後の定期的な測定において主導的立場で技術的実務を推進する他、作業環境改善後の効果確認のための測定にも対応できよう。この点で、本登録は十分な効果があったと考えられる。

一方、身につけた知識や技術は急速に陳腐化することが少なくない。作業環境測定の場合も、近年の医工学の発展は目覚ましく、それに伴う労働衛生工学に関する最新技術や学会基準⁶⁾、所轄官庁の法規制・通達等⁷⁾を積極的に注視する必要がある。最近の一例を挙げれば、インジウム・スズ酸化物(ITO)の吸入毒性について新たな研究報告が見られ⁸⁾、ITO 取扱い作業場における作業環境測定が厚生労働省からの技術指針⁹⁾において定められた。

東京大学内で測定対象になるか否かはともかく、作業環境管理を俯瞰する意味では、多くの最新情報を収集・解析して見識を高めておくことは肝要であろう。また、それが技術者としての成長にも繋がると考える。さらに上を目指した自己研鑽に励んでいく所存である。

7. 参考文献

- 1) 社団法人日本作業環境測定協会編：「作業環境測定のための労働衛生の知識 (第 3 版)」，社団法人日本作業環境測定協会, (2008).
- 2) 社団法人日本作業環境測定協会編：「作業環境測定ガイドブック 0 総論編 (改訂第 4 版)」，社団法人日本作業環境測定協会, (2010).
- 3) 社団法人日本作業環境測定協会編：「作業環境測定ガイドブック 5 有機溶剤関係 (第 3 版)」，社団法人日本作業環境測定協会, (2009).
- 4) 社団法人日本作業環境測定協会編：「作業環境測定ガイドブック 3 特定化学物質関係－金属類を除く－ (改訂第 3 版)」，社団法人日本作業環境測定協会, (2010).
- 5) 社団法人日本作業環境測定協会編：「作業環境測定ガイドブック 4 金属類 (第 4 版)」，社団法人日本作業環境測定協会, (2009).
- 6) 例えば、日本産業衛生学会，“許容濃度等の勧告(2010)”，*作業環境*, **32(1)**, pp.87-98, (2011).
- 7) 例えば、厚生労働省 労働基準情報 <http://www.mhlw.go.jp/bunya/roudoukijun/anken.html>
- 8) Nagano, et.al. ; “Two- and 13-week Inhalation Toxicities of Indium-tin Oxide and Indium Oxide in Rats”, *J. Occupational Health*, **53(2)**, pp.51-63, (2011).
- 9) 厚生労働省：「インジウム・スズ酸化物等の取扱い作業による健康障害防止に関する技術指針」平成 22 年 12 月 22 日基安発 1222 第 2 号

35 高温化学種採取プローブの製作コスト削減の工夫

航空宇宙工学専攻 内海 正文
 tklab@mail.ecc.u-tokyo.ac.jp
 マテリアル工学専攻 杉田 洋一
 マテリアル工学専攻 市毛 健一
 航空宇宙工学専攻 奥抜 竹雄

1. はじめに

第 24 回^[1]に開発し第 25 回技術発表会で改良発表^[2]した、高温高速気流の化学種採取用プローブは約 2000K 程度の火炎中の化学種採取を多数回測定することを可能とした。これらの成果は既に日本燃焼学会において「予冷ターボジェットエンジンのアフターバーナにおける水素過濃燃焼での NO_x 生成挙動」と題して共著発表^[3]されている。

開発し改善を行ったプローブの冷却機能の成果は十分であるが、今後非常に多くの実験回数を必需とされている現実がある。さらに、冷却効果が高いとは言え全く損傷が現れないという事は無い。2 週間の実験終了後点検において高温気流に直接接触れる化学種吸入口が、極わずかに丸みを帯びてきていた。今後プローブを製作する上で複数個が必要と思われる。プローブ支持部や冷却機構も一体化し薄肉パイプもレーザー溶接が必要な構造のため、新しく製作するには全て一体として作成する必要があるが金額が張る。そこで吸入口部分だけ着脱が効くような形に出来ればコストダウンとなるため、着脱型プローブの設計を検討する事にした。

2. 着脱型プローブの特徴

着脱型プローブは全体の形状は略 25 回技術発表会紹介型と同様である（図 1 参照）材質もシール材は銅製だがその他は SUS 304 を用いた。

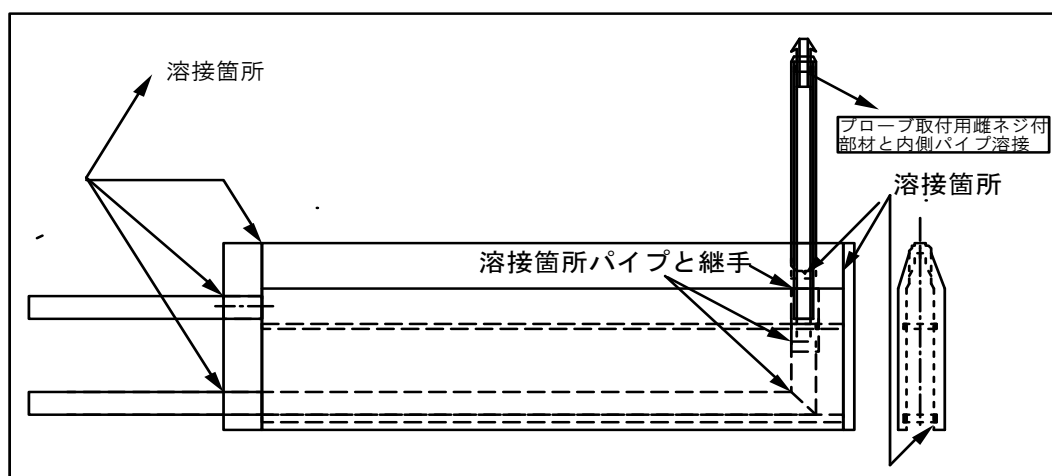


図 1. プローブ先端部着脱型概要図

25 回技術発表会で紹介した型との大きな相違点は内側管部分に図 2 の形状のメネジ付き接続具を採用し内側管とレーザー溶接した。プローブ先端形状は図 3 に示す。

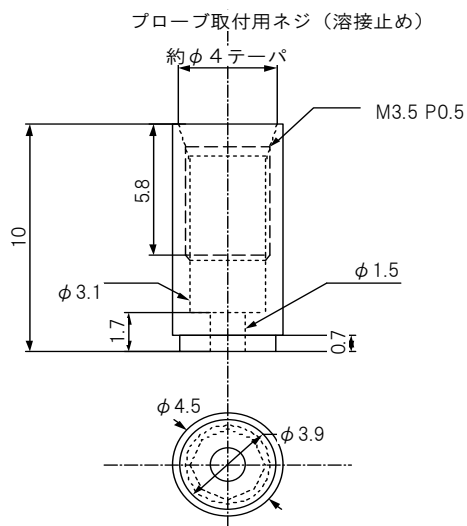


図 2. 採用型プローブ取付けネジ部

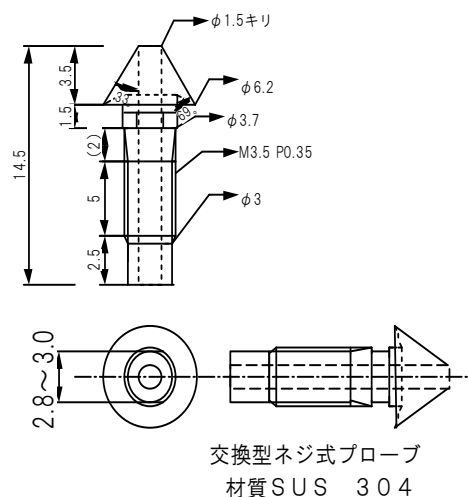


図 3. 採用型交換ネジ式プローブ

図 2 と図 3 の部品は通常余り用いない M3.5 のネジで接続できるようにした。接続時には 0.7~0.8mm のスペースが空く。内側管は 0.3Mpa の高温空気を吸入するため、予め真空ポンプで真空にされた真空槽内のテドラーパックに入る。このため圧力としては外圧が掛かる状態と等しくなるため、当初は図 4 のような構造を設計していた。

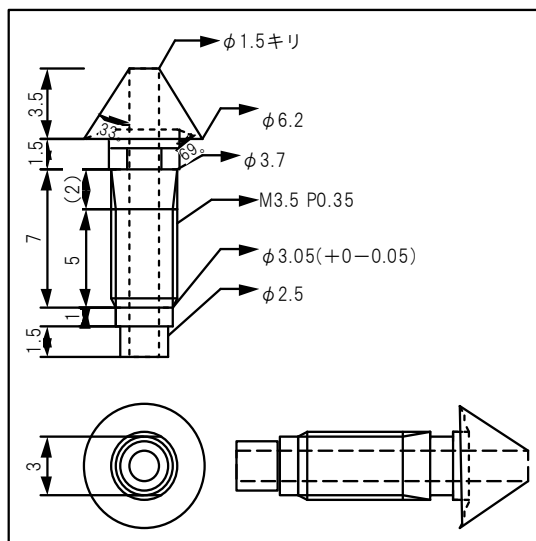
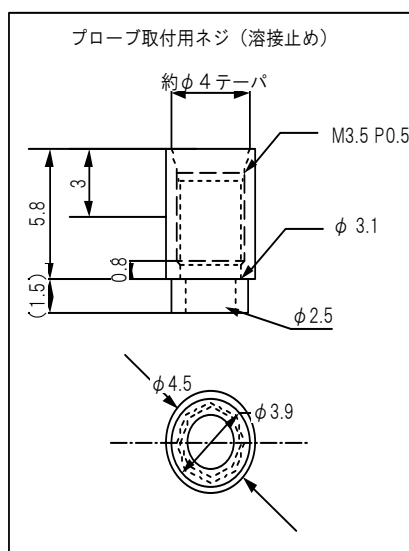


図 4.当初案のプローブおよび取付け部

当初案は圧力に対するシーリングは高いと思われるが SUS の最細部では外径 2.5φ に 1.5φ の穴が貫通して、肉厚は 0.5mm しか無い。このため制作上の難易度が高いと判断し、本提案型を採用し、内径 1.5φ 外径 3φ 高さ 1mm のシーリング用銅製リングを用いた。これにより深さ方向 0.2~0.3mm 分が締め増し可能域となる。又、シーリング材が銅製のためネジの締め増しを出来るようプローブの傘状部分の首部に平行部を設けた。部品全体は小型で肉厚も余り無く強度が小さいため締め増しは余力を入れられない。しかし、実験時の温度は 2000K にもなり、プローブを高温気流中に投入している時間は 5 秒間（吸引時間は 4 秒）なので銅の熱膨張によりシーリングは可能であると判断した。従来の実験結果より、採取する化学種の体積は半分程度でも十分足りる事がわかったため、吸引部の口径は 1.5φ とした。吸入部先端から 16.2mm の位置で内部管内径を 3.9φ と拡大し体積の増加分が吸引した化学種の反応を促進させない効果を期待した。外側管の外径は従来の φ6 と同じであるが肉厚は 0.3mm から 0.2mm と変え、二重管の間を流れる冷却水流量を増した。

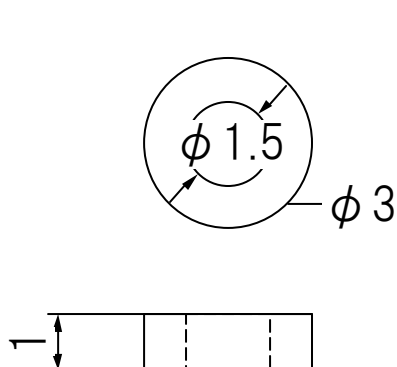


図 5. 銅製のシーリング材

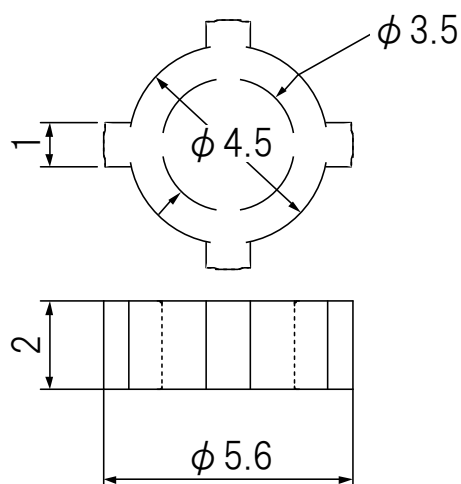


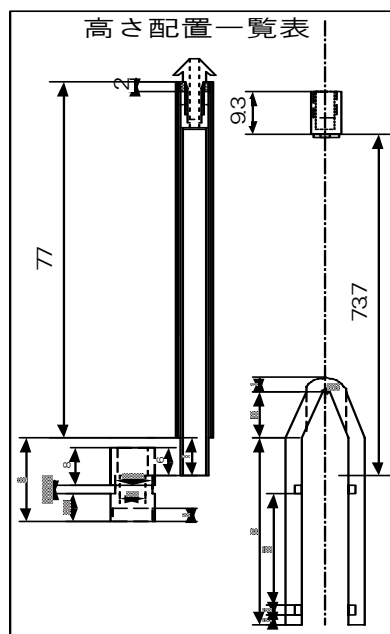
図 6. 芯出しリング

3. 芯出しリングについて

図 6 に芯出し用リングの図を示す、これは二重管の外側管と内側管の芯を出し、又、同時にプローブを垂直にたてる目的である。今回は図のような寸法にし、前記の目的の外に外側管と芯出しリングの上面を合せた時プローブ傘状の末端との距離が 1.5mm となるように設計した。2 年前の開発時（第 24 回技術報告参照^[1]）に冷却水流れは均等であったが耐久性改善時に手違いで傘部との距離が 3.5mm 程離れてしまい、偏りの有る流れに成ったため距離が固定化するように改善した。又、従来は芯出しリングを溶接していたが着脱型に変更したため差込だけでプローブのネジ部を締めて固定し用いる。そのため、プローブの首部分の寸法を 3.7φ とし、芯出しリング内径寸法をネジ部寸法と同じ 3.5φ としている。リング厚さも 2mm と、やや厚めに取り冷却水が出来るだけ均等に流れるよう配慮した。

4. 冷却器からのプローブ高さ

冷却器からのプローブ高さは全体的には超音速風洞の主流空気圧が 0.3 Mpa、流速 M2 の高温高速の流れ場に冷却器そのものを入れるため冷却器で乱された高温空気が流れ場に影響しないよう十分な高さを取った。



又、2 図および 3 図のシールや傘部の位置と芯出し位置の関係、冷却器内部のパイプ接続用治具や内側管、外側管それぞれの長さ、プローブとプローブ固定用メネジ付き治具等の長さや、溶接時の埋め込み量等関係があり、複雑に絡み合っている。これらの数値を確認することが非常に重要になっている。このため関連する器具を縦方向に整理し確認を行った。図 7 に高さ関係配置図を示す。縮小しているため非常に見にくいですが、それぞれの高さに関する配置関係は理解してもらえないのではないかと思います。

図 7. 先端交換型プローブ高さ位置関係図

5. 終わりに

4 枚と原稿枚数が限られているため、部品図の全てを出せず、プローブ先端部分に関して詳細報告しました。そのため理解しづらい面があると思うが実験手法や冷却器の詳細、風洞緒言などは参考文献で確認して頂けたらと思います。プローブ先端部分は 3 個作成し、この部分を交換する事で化学種採取プローブ 3 台分のコストを略一台分にすることが出来た。又、必用に応じてこの先端部分だけを追加で製作する事も可能となり大幅なコストダウンを可能にした。

参考文献

【1】第 24 回東京大学工学部・工学系研究科技術発表会 2009、P 113～116.

「高温高速気体中における化学種濃度測定用気体採取プローブの開発」内海、奥抜、杉田

【2】第 25 回東京大学工学部・工学系研究科技術発表会 2010、P 155～158.

「高温高速気流中の化学種濃度測定用プローブの耐久性改善について」内海、奥抜、杉田

【3】日本燃焼学会第 48 回燃焼シンポジウム 2010、E313

「予冷ターボジェットエンジンのアフターバーナにおける水素過濃燃焼での NOx 生成挙動」

種子田 尚、西田 俊介、George Ianus, 喜多 翔ノ介、内海 正文、奥抜 竹雄¹、

荒木 幹也²、高橋 周平³、田口 秀之⁴、今村 幸、津江 光洋¹

1. 東京大学大学院工学系研究科、2. 群馬大学工学部、3. 岐阜大学工学部、4. 宇宙航空研究開発機構

36 平成22年度 熊本大学総合技術研究会参加報告

システム創成学専攻・金井 誠
mkanai@giso.t.u-tokyo.ac.jp

1、はじめに

平成22年度 熊本大学総合技術研究会が平成23年3月17、18日熊本大学で開催され、全国から870名の技術職員が参加し、活発な技術交流・討論が行われた。本技術研究会は、大学、高等専門学校及び大学共同利用機関の技術職員が、日常業務で携わっている様々な技術活動について発表する研究会で技術職員の交流と技術の向上を図ることを目的として実施されている。参加者の内訳は、研究所70名9機関、大学601名59機関、高等専門学校91名24機関、企業・自治体8名6機関、一般50名、本学教職員・学生50名、計70名98機関であった。

筆者は、「精密実験装置の大規模移転に関する留意点」と題し口頭発表を行い、東大工学部3号館の立て替えに伴う大規模な実験設備及び精密機器の移転に関する留意点を紹介した。

2、研究会内容

本技術研究会の内容を紹介する。

分科会で発表されたテーマは、機械工作・ガラス工作、装置関係、回路・計測・制御、極低温、情報・ネットワーク、生態・農林水産、生命科学、分析・評価技術、実験・実習技術地域貢献、建築・土木技術、環境・安全衛生管理、集中技術交流セッション、里山・里地・里海の生態系と環境技術、各種法規と倫理に対する取組み、エコ・エネルギー、マイコン活用技術の事例と応用、走査型電子顕微鏡の新展開、集中技術交流、特別講演、基調講演、技術職員の今後を考えるシンポジウム、であった。

これらの内、特に筆者が興味を引いた発表内容を記す。

- 1) CNC旋盤を使ったRESTRICTORの製作、満井伸也、九州工業大学 技術部 機械工作第一技術班
旧世代対話プログラミングにおける石英ガラスへの細穴加工条件、渡辺一功、河野慎二、大阪府立大学 工学部生産技術センター
- 2) 微細加工技術によるシリコン薄膜ターゲットの作製、榊原昇一、大阪大学産業科学研究所
- 3) 電気ヒーターを熱源とした教育教材「スターリングエンジン」の試作、中木村雅史1、山本浩治1、立花一志1、千田進幸1、梅原徳次2、名古屋大学全学技術センター工学系技術支援室1、名古屋大学大学院工学研究科2
- 4) 旧態の実験装置における安全対策、高橋龍太郎1、松沢卓2、横浜国立大学工学研究院等技術部（機械システム工学）1、横浜国立大学工学研究院等技術部（機械工場）2
- 5) 画像処理による砥粒切れ刃3次元計測、松尾修二1、坂口彰浩2、川下智幸2、佐世保高専技術室1、佐世保高専電子制御工学科2
- 6) 機械加工時の寸法計測システムの開発、小林一誠、旭川工業高等専門学校 技術創造部
- 7) ガラス加工技術研修 –立ち上げから環境構築まで–、真木大介、斎藤泰男、外山貴子、原口智宏、三宅琢磨、宮崎大学工学部教育研究支援技術センター

- 8) 焼仕上げ用石英ガラスバーナーの製作、笠原哲也、東北大学工学部・工学研究科 技術部製作技術班 第3 製作
- 9) 創成点固定による小径ボールエンドミル加工の高精度化 ー切削抵抗3分力の測定ー、小島龍広1、扇谷保彦2、矢澤孝哲2、吉村太志2、長崎大学工学部教育研究支援部1、長崎大学工学部機械システム工学科2
- 10) 機械工作室における依頼加工の変遷、佐藤祐司、波多野直也、森正、京都大学工学研究科機械理工学専攻
- 11) 研究室に埋もれている資産を生かして小さなものを遠くから見る、上村光宏、東京大学生産技術研究所
- 12) 旋盤作業で役立つ「システム治具」の製作、笹山智仁、奈良工業高等専門学校 技術支援室
- 13) 教育研究支援技術センターにおける技術研修報告 ～NC フライス盤による3次元加工技術習得～、矢野康之、田之上二郎、長友敏、小島丈英、宮崎大学 工学部 教育研究支援技術センター
- 14) 形彫り放電加工を利用した曲り穴加工、磯谷章、静岡大学工学部実験教育支援室
- 15) 表面粗さに焦点を当てた切削条件指標の作成、稲尾大介、熊本大学工学部技術部
- 16) ガラス加工技術習得のための活動報告、斎藤泰男、外山貴子、原口智宏、三宅琢磨、真木大介、宮崎大学工学部教育研究支援技術センター
- 17) ミニCNC フライスキットの組み立てから始動まで、正角豊、金沢大学理工研究域(工学系)技術部
- 18) 理学研究科技術開発室における機械工作実習の紹介、早田恵美、田村裕士、高橋清二、京都大学理学研究科技術開発室
- 19) 精密CNC フライス装置の製作、近藤聖彦、青山正樹、鈴木光一、自然科学研究機構 分子科学研究所
- 20) 一年生向け学生実験「レンズを作る」の紹介、中川翔、早稲田大学 理工学術院統合事務・技術センター技術部教育研究支援課 (一系)
- 21) 「へんでこな機械」を用いたうまくいかない教材の開発と活用法の研究、中尾卓嗣、豊田工業高等専門学校 技術部
- 22) 簡易マイクロバブル発生ノズルの製作、飯田祐也、富山高等専門学校
- 23) 2年生向け学生実験Ⅰ「円柱まわりの流れ」、細井健司、埼玉大学 総合研究機構技術部
- 24) 流体解析ソフトを利用した流れの可視化による流体现象教育教材の作成、浦恵里夏、富山高等専門学校 技術室
- 25) 活性炭製造機(移動式簡易鉄板窯)の製作・試験、佐々木康隆、小川正人、北海道大学 理学研究院 技術部機器・試料製作技術班機械工作
- 26) 直線翼垂直軸風車を用いた環境教育教材の開発、奥原真哉、松江工業高等専門学校 実践教育支援センター
- 27) ハイブリッド・ニッティング・システムの開発、篠原和夫、信州大学繊維学部 技術部

3、おわりに

平成 22 年度熊本大学総合技術研究会への参加は、平成 22 年度工学系研究科技術部個別研修(FJT)として取り組んだ。本機会を与えてくれた関係各位にお礼申し上げます。

37 高速高温気流からのサンプルガス採取機構の開発

航空宇宙工学専攻 内海 正文

tklab@mail.ecc.u-tokyo.ac.jp

航空宇宙工学専攻 奥抜 竹雄

日本大学生産工学部 今村 宰

1. はじめに

内燃機関の排気ガスに含まれる環境汚染物質の計測は、昨今の環境問題に際して重要な技術課題であり、実機において運転の制御に積極的に利用されているのみならず、実験室など開発の現場においても機関の特性を評価する上で不可欠な技術となっている。このような排ガス測定器は多くの場合、連続運転している内燃機関の排気ガスを対象としているが、大学の実験室においてはその要素研究を行っている場合も多く、機器の様々な制約や安全性の観点から長時間に渡る試験運転が常に行える環境にあるとは言い難い。著者らのグループでは、次世代のジェットエンジンのアフターバーナ燃焼器を対象とした開発研究を行っているが、燃焼器の耐熱性の観点から最大でも10秒程度しか最大熱負荷運転は行えない。そのため上記に述べたような排ガス測定器の計測に必要な十分な量の排気ガスを確保できず、採取機構の開発が必須であったことが本報告の背景にある。様々な方策を検討した結果、連続運転時のように排気ガスを直接測定器に導くのではなく、排気ガスを一度採取し適切な後処理を行った後、高感度の排ガス測定器に誘導することで、排気ガスを分析できることが明らかとなってきた。本報においては、上記の観点から開発した排気ガスの採取機構について報告する。

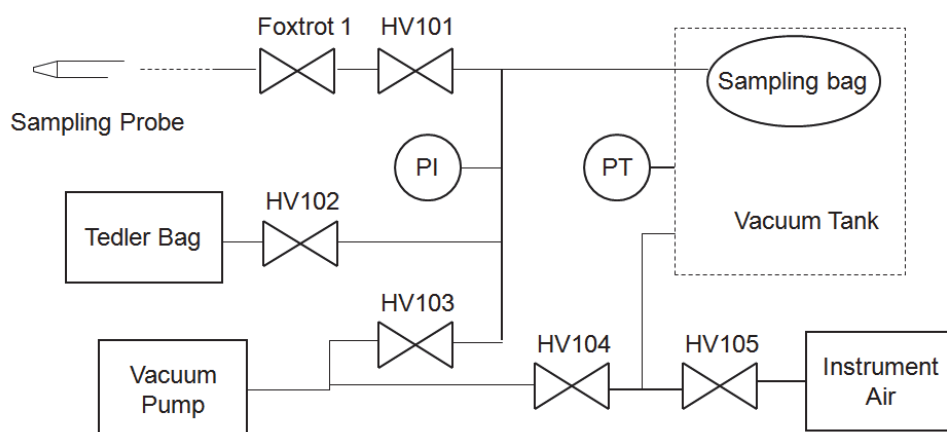
2. 採取機構に要求される性能と開発の実際

図1に今回開発したガス採取システムの概要を示す。対象とするのはジェットエンジンのアフターバーナの燃焼試験に伴う高速高温の排気気流であり、その気流内にサンプリングプローブを挿入してサンプリングを行う。高速高温気流に挿入するため、プローブ部には十分な剛性と耐熱性能が求められ、プローブ開発については過去^{1,2)}に報告してきた。このプローブの下流部分が今回開発を行い、本報にて報告する部分である。サンプリングプローブからできるだけ多くの気体を採取するためには下流側との圧力差を大きくとればよいので、下流側は真空状態であることが望ましい。しかしながら、下流側に大きな真空タンクを接続した場合、採取終了後にタンク内の圧力が大気圧以下となってしまう、真空タンクに採取した気体を排ガス計測器に誘導することが困難であった。次にテドラバック®などの柔軟な袋に排気ガスを採取すれば、袋を外から加圧することで排気ガス測定器に誘導できると考えたが、単純に袋の内部を真空にするだけでは、袋外部の大気圧のためにサンプルガスがほとんど採取されないという問題が生じた。以上のような事象に基づき、最終的に図1に示されるような機構を開発した。サンプリングプローブは、ゴム製のテドラバック®（以下、サンプリングバック）に接続されており、サンプリングバックは真空容器の中に収められている。このような二重構造にすると、採取前にサンプリングバックお

よび真空容器を真空状態とすることでプローブの前後に十分な圧力差を生じ、またサンプリングバックも外圧の抵抗なしに膨張することができる。サンプリングバック内の圧力は採取後には大気圧以下であるが、この構造であればサンプリングバックを囲む真空容器内に空気を送ることでサンプリングバックを圧縮し、採取したガスを押し出す機構も備えることができる。最終的にサンプリングバックから押し出された採取ガスは異なるテドラバック®に収集することとした。これは排ガスの分析に時間がかかるため、実験毎に排気ガスを収集できる機構を備えておけば、通風燃焼試験と排気ガスの分析を独立に行えると考えたためである。

3. 採取方法と実証試験

ガス採取に先立ち、図1における手動弁HV101～104を開放して、サンプリングバック、真空容器、最終的なガス収集用のテドラバック®を真空引きする。この際サンプリングバックを確実につぶすため、サンプリングバックを十分に真空引きしたのちに、真空タンクを真空引きした。真空容器サンプリングバック、真空タンク、および配管が十分な真空状態になったのを確認した後、手動弁HV103およびHV104を閉止して、真空ポンプを切り離す。この状態で燃焼器の燃焼試験を開始し、サンプリングプローブが高温気流の所定の位置に移動した後、電磁弁 Foxtrot1 を遠隔操作により開閉しガス採取が行われる。ガスの採取時間は最大で4秒程度とした。Foxtrot1 が閉止後に、サンプリングプローブは気流外に退避される。燃焼試験終了後、HV105を開いて真空容器に空気を送り込むことで、サンプリングバック内の採取ガスをテドラバック®に輸送した。なお真空槽の内容積は5Lである。サンプリングバックが膨張する際に真空槽内部との摩擦によって均等に膨らまず破裂する事象が生じたため、真空槽内に緩衝剤を挿入してサンプリングバックがなるべく均一に膨張するようにしている。



Phase	HV101	HV102	HV103	HV104	HV105
Vacuuming	Open	Open	Open	Open	Close
Sampling	Open	Open	Close	Close	Close
Sample Transfer	Close	Open	Close	Close	Open

図1 開発した採取機構の概要

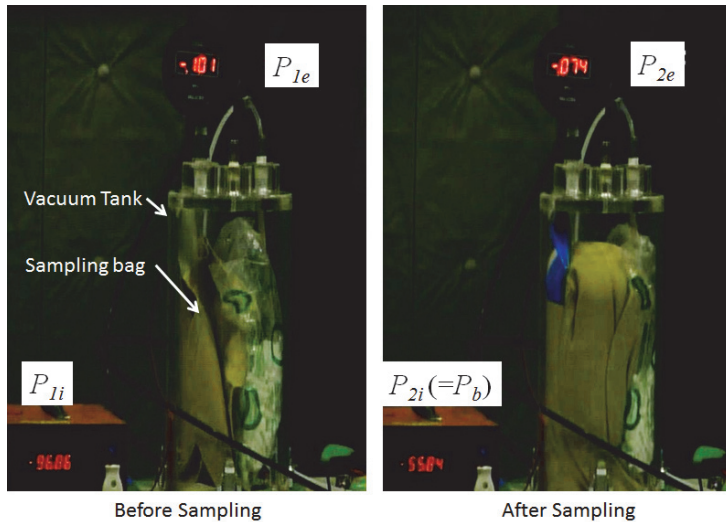


図2 採取前後のサンプリングバックの様子

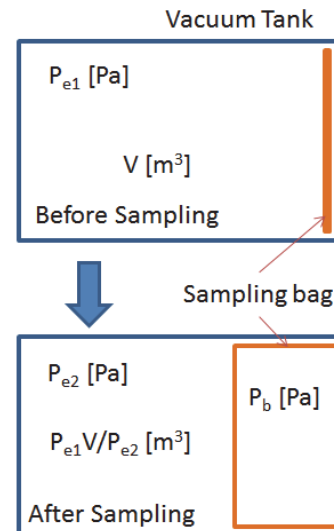


図3 採取体積見積りのモデル

表1 採取前後のサンプリングバック，真空槽圧力(単位 kPa(G))と採取ガスの体積

Date	Test No.	Condition	sampling time, s	Before sampling		After Sampling		Estimated Volume V_n , L(standard)
				p_{1e}	p_{1i}	p_{2e}	$p_{2i} (=p_b)$	
Tue, Nov. 26,	N026	L_1500K	4	-100	-97.79	-76	-44.76	2.67
Tue, Nov. 27,	N027	R_1700K	4	-99	-94.05	-75	-41.76	2.71
Tue, Nov. 27,	N028	R_2000K	4	-101	-99.29	-82	-48.73	2.59

図2にはガスの採取前と採取後（テドラバックへの輸送前）のサンプリングバックの写真を示してある．この図に示されるように捕集によりサンプリングバックが膨張し，膨らみガスが採取されている様子がわかる．また右上，左下のデジタル表示は，各々真空槽内，サンプリングバック内のゲージ圧(kPa)を示しているが，採取によりサンプリングバックおよび真空槽内の圧力が上昇していること，さらに採取前にはサンプリングバックおよび真空槽内の圧力に大差はないが，採取後にはサンプリングバック内の圧力が真空槽の圧力よりも高くなっていることがわかる．

4. 採取ガス量に関する考察

採取したガスの体積に関して簡単に見積もりを行うため，図3に示すようなモデルを考える．今，温度は常に常温で一定と仮定し，サンプリングバックの外側の真空槽の圧力が， P_{e1} （採取前）から P_{e2} （採取後）に変化したとする．採取前にはサンプリングバックは完全に潰れており，サンプリングバックの外側の気体が占める体積は真空槽の体積 V に等しい．採取後のサンプリングバックの外側の体積は $V P_{e1} / P_{e2}$ であるから，サンプリングバックの中では，体積が $V(1 - P_{e1} / P_{e2})$ で圧力が採取後のサンプリングバック内圧力 P_b の採取ガスで満たされていることとなる．これから，大気圧 P_{atm} 状態におけるサンプリングガスの体積 V_n は，

$$V_n = \frac{P_b}{P_{atm}} \left(1 - \frac{P_{e1}}{P_{e2}} \right) V \quad (1)$$

として見積もることが可能である。表 1 にはガス採取試験のサンプリングバック、真空槽圧力の計測結果と、式(1)を用いて見積もった採取ガスの体積（標準状態）を示す。多少ばらつきはあるものの 4 秒間の採取時間で、標準状態で約 2.7L のガスが採取されていることがわかる。

以下では、この採取されたガスの体積の妥当性について検証する。採取の対象としている高温気流であるが、全圧が 0.3MPa(A)、全温が 2000K 程度の水素過濃燃焼ガスである。すなわちガス組成の大部分は窒素と水素であり、比熱比 γ は 1.4 に近い値であると見積もられる。燃焼器下流にはノズルが接続されており膨張比（面積比）は 2.0 程度であるが、実際のジェットエンジンの飛行環境とは異なり大気圧雰囲気を実験しているため不足膨張しており、サンプリングしている場所でのマッハ数は 1.36 程度と見積もられる。超音速気流であるからサンプリングプローブ入口での圧力はレイリーのピトー管公式によって求められるべきではあるが、低マッハ数のため一次的な考察としては燃焼器内の気流全圧と同じと仮定して差し支えない。（ $M=1.36$, $\gamma=1.4$ で $p_0/p_01=0.97$ 程度である。）サンプリングプローブ（内径 ϕ 2mm）で採取ガスがチョークしているとし、流入空気的全温と気体定数を $T=2000\text{K}$, $R=287\text{J/kg/K}$ と仮定し 4 秒間に吸引する体積を求めると 2.83L 程度となる。これに流量係数などを加味すれば、表 1 で見積もっている採取体積量は妥当な値の範囲内であり、今回開発した採取機構が構想したとおりに動作していることを示していると言える。比熱比や温度などが採取流量の見積もりに与える影響についてであるが、臨界流れ係数 σ^* は、 $\gamma=1.4$ で $\sigma^*=0.685$, $\gamma=1.3$ で $\sigma^*=0.667$ であり、3%程度の違いであるため、前述の議論と合わせて考えると比熱比が流量に及ぼす影響は小さい。しかしながら、流入空気温度 T_0 とガスの組成より求まる気体定数 R に関しては、各々平方根が採取流量に反比例、正比例するので、これらの影響は決して小さいものではないが、例えば全温が 2000K と 1500K では 15%程度の差であり、流量係数や近似の精度を考えると本報の考察の結果に影響を与えないと考える。

5. まとめ

高温高速の気流よりガスを採取してガス分析を行うことを念頭に、サンプルガスの採取機構の開発を行った。柔軟な袋状のサンプリングバックを真空容器に収める二重構造とすることで、限られた時間内にガスを採取することに成功した。また採取したガス体積を見積もったところ、理論的に吸引できるガス体積量と大差なく、本機構が有効であることが示された。また本機構を用いることにより、採取したガスを分析用のテドラバック®に輸送することが容易であることも実証でき、内燃機関の排気ガス評価試験において有効な手法であることが示された。

文献

- (1) 内海正文, 奥抜竹雄, 杉田洋一, “高温高速気流中における化学種濃度測定用気体採取プローブの開発”, 東京大学工学部・工学系研究科技術報告 (ISSN 1343-909X), pp.113-116 (2009)
- (2) 内海正文, 奥抜竹雄, 杉田洋一, “高温高速気流中の化学種濃度測定用プローブの耐久性改善について”, 東京大学工学部・工学系研究科技術報告 (ISSN 1343-909X), pp.155-158 (2010)

38 玉掛け技能講習および

小型移動式クレーン運転技能講習の資格取得

システム創成学専攻 茂木勝郎

kmogi@sys.t.u-tokyo.ac.jp

1. はじめに

野外調査を行う作業の際、危険を伴う大型機材の搬送と設置がある。その作業をするために必要な資格として玉掛けと小型移動式クレーン運転（車載式クレーントラックなど、通称でユニックとも言われる。）の資格取得は、これら調査業務の安全な遂行と荷の上げ下ろしの時間の短縮という効率面からも必要である。また、計測機器の設計製作を行っており、この講習の受講の結果、計測機器をつり上げる場合、安全な吊り下げ治具の取り付け位置などを機器の設計に反映できるものとする。つまり、この2つの資格を持っていると、一人で小型移動式の積載型クレーントラックの運転と玉掛け作業ができるようになる。ここでは、技能講習についてを報告する。

2. 技能講習

2つの技能講習は、労働安全衛生法に則り、それぞれ3日間（19時間、20時間）であるが、関連する資格を所持していると一部の受講科目が免除となり、3日間（16時間）なる。玉掛けと小型移動式クレーンは、相互に関連する資格なので、受講順序は、特に気にする必要はない。これは、「移動式天井クレーン運転技能講習」も同様である。今回は、交通の便を考えコマツ教習所埼玉センタを選択した。

2. 1 玉掛け技能講習

学科

1. 関係法令（1時間）
2. クレーン等に関する知識（1時間）
3. クレーン等の玉掛けに必要な力学に関する知識（3時間）※(免除2時間あり)
4. クレーン等の玉掛の方法（7時間）

実技

1. クレーン等の運転のための合図（1時間）※（免除1時間あり）
2. クレーン等の玉掛（6時間）

合計時間数 19時間（免除者：16時間）

3日間の講習のうち、1日目、2日目と学科講習を受け、学科試験を行う。その可否についてはすぐに判定される。免除者は、2日目の午前中までに小テストを受け、その日の講習は終了する。私は、引き続き、学科講習および、小テストと合図の実技講習を行って2日目を終了する。3日目は、午前、午後と実技講習を行い、最後に2つの実技テスト「ワイヤーの選定、荷の重量目測」と「玉掛け作業」を行う。「玉掛け作業」実技テストは、「事前打ち合せ」、「釣具の確認」、「作業補助者への指示と安全避難確認」、「クレーン運転士への的

確な指示」を行うことが重要である。最後に「作業終了」の確認し、「釣具」の収納をして終える。

2. 2 小型移動式クレーン運転技能講習

学科

1. 関係法令（1時間）
2. 小型移動式クレーンに関する知識（6時間）
3. 小型移動式クレーンの運転に必要な力学に関する知識（3時間）※(免除3時間あり)
4. 原動機及び電気に関する知識（3時間）

実技

1. 小型移動式クレーンの運転のための合図（1時間）※(免除1時間あり)
2. 小型移動式クレーンの運転（6時間）

合計時間数 20時間（免除者：16時間）

こちらにも「玉掛け技能講習」と同様に3日間の講習のうち、1日目、2日目と学科講習を受け、学科試験を行う。その可否についてはすぐに判定される。同じ教習所なので、全体の流れは同じである。私は、前述のとおり「玉掛け技能講習」修了者としての受講なので、2日目の午前中までに小テストを受け、その日の講習は終了した。3日目は、午前、午後と実技講習を行い、最後に実技テスト「クレーンの運転」を行う。この実技テストは、「荷台の上から、安全な高さに調整」し、「吊り上げた荷物」をポールの間を通すように、また、荷が揺れないように注意しながら、「荷台定位置に戻す」操作テストである。荷を荷台から切り離す、「地切り」、壁を越える作業時は、通り抜ける高さを声出し「確認」して壁を越える。ちょうどその日は、風が強く、荷の揺れ止めに苦労した。

3. まとめ

この2つを取得すれば、一人で作業をできるようになる。しかし、実際は、自分以外の作業者が居ると思います。その人たちへの声出し(注意喚起)を充分及び簡潔に行うことが重要です。

4. 謝辞

この資格取得にあたって、平成22年度工学部工学系研究科技術部研修（FJT）に応募し採択され、無事資格取得できたことに御礼申し上げます。

参考文献

- ・コマツ教習所(株) (<http://www.komatsu-kyoshujo.co.jp/index.html>)
- ・玉掛け講習テキスト（コマツ教習所株式会社）
- ・小型移動式クレーン運転者教本（社団法人：全国登録講習機関協会）

39 YAG&MOPO レーザー管理

航空宇宙工学専攻 内海 正文
tklab@mail.ecc.u-tokyo.ac.jp

はじめに

技術系職員の業務は多岐に渡っている、筆者は研究や実験業務における学生、院生への技術指導を始め超音速風洞の運営管理、運転業務、実験装置の開発・設計製作、研究室内の高圧ガスや試薬の管理を始めとする安全管理全般等に関わっている。又、実験装置の維持管理も重要な職務で有り今回の報告では、YAG レーザーおよび MOPO (+FDO オプシオン) レーザーの使用法と日常管理に関して報告する。

1) レーザーの日常管理

先ず、前記したレーザーは使用しないと直ぐに出力が低下するため理想的には毎日使用する事が望ましい。しかし現実的には難しく MOPO レーザーを使用しない場合は YAG のコントローラーを POWER ON の状態で冷却水や内部循環水（純水）を作動させクリスタルの洗浄を行なう事で劣化を防ぐ、実際のレーザーの発振は週 1 回程度で済む。又、内部循環水は 1 ヶ月に一度程度交換し保守している。レーザーの環境は温度管理が重要で 20 度～22 度程度の範囲で出来るだけ一定温度を通年管理する。温度が変化するとクリスタルが歪んだり MOPO レーザーのミラー系の調整がずれたりするからである。又、停電時には電源を切りブレーカーを落とす等を行なう、停電復旧時に回路が破壊するのを防ぐためである。又、メモリーのバッテリー交換は年 1 回程度必要となっている。



図 1. 左側 YAG と右側 MOPO レーザー

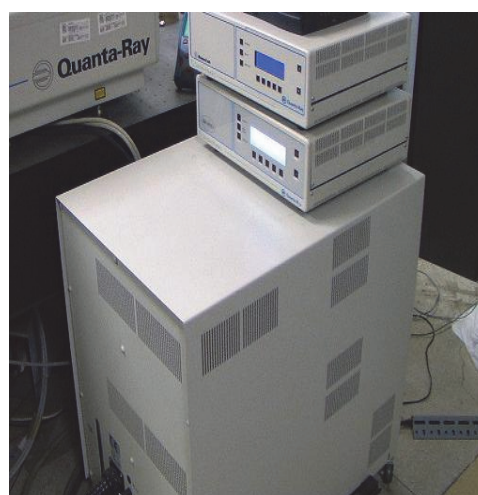


図 3. (上 : YAG、中 : MOPO の各コントローラー、下 YAG 電源ユニット)



図 2. YAG 通常状態、リセット点滅

これらは常時電源 ON、停電予定時だけ電源を切り、回路破壊に備える。

2) 通常時レーザー使用法

外部循環式冷却水を流し、循環用ポンプを ON にする、窒素を 0.2Mpa 程度で流す。電源ユニット ON を確認し、レーザー出力部にパワーメーターを設置（又は確認）する。YAG コントローラーの POWER ON を押す。この状態は内部循環水が廻り、クリスタルを洗浄している。セルフチェック機能が働き OPERATE 画面の QSWITCH OFF ランプが点灯したら、RUN LP を押すと Pulse 値が 10 程度を示す。この状態で約 20 分程度レーザーが安定するのを待つ、しっかり待たないとレーザーにノイズが乗ってクリスタルを傷つける。

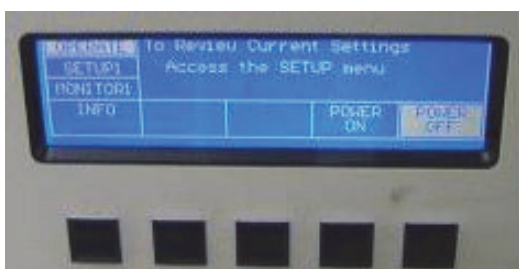


図 4. YAG コントローラー POWER ON を押す。



図 5. セルフチェック後 RUNLP を押す。

3) RUN NORM で MOPO レーザー発振

RUN LP 操作の後 20 分後に左端の RUN NORM を押すと MOPO レーザーが発振する。Q-SW の BLD UP TIME の電圧を測定し 2.18V 付近の値を示しているか確認する。この状態でパワーメーターの出力を測定し 1.5MJ 位のレーザー出力があれば良好な状態である。出力が弱い場合は YAG コントローラ画面の pulse 値を見ながらミラーの角度調整をする。最大角度 5 度程度で微調整し出力値の高い所を探す。終了時の操作は OPERATE を押し図 5 の画面より LAMPS OFF を押す、この状態で 20 分程度待機して十分冷却し POWER OFF にして冷却水ポンプ、冷却水および窒素ポンベの元栓を締める。



図 6. RUN LP 後、上の画面で 20 分待機し RUN NORM を押す。

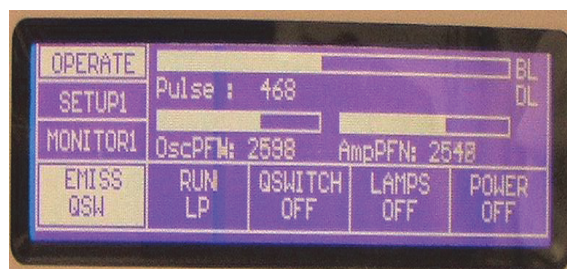


図 7. MOPO からレーザーが出力するレーザーが正常稼動していれば、1.5mj 程度の出力が有る。



図 8. 電圧測定箇所 (Q-SW) 2.18V 程度を示す。

4)レーザー発振無し時の管理

これは、YAG や MOPO レーザーの発振をしないだけで操作法は殆ど変わらない。まず、水道水を流し循環用ポンプのスイッチを入れる、そこで窒素ポンベの元栓を開け2次圧を0.2Mpa 程度に設定し、YAG コントローラーの POWER ON スイッチを押し待機する、この間に内部循環水（純水）がレンズを洗浄してくれる。1時間後 LAMPS OFF を押し20分間待機する。その後 POWER OFF した後、ポンプスイッチを OFF にして冷却水およびガスポンベの本栓を確実に締める。

5)内部循環冷却水の交換

内部循環用冷却水（純水）の交換は一月に一度程度必要である。専門家によればイオン化交換水でも可との事だが、経験的には純水を用いた方が出力低下は少ない気がする。冷却水の交換は先ず純水 5ℓをポリタンクに準備し、図 3 における YAG 電源ユニットのコントローラーの電源を入れたまま、光学台上にずらし電源ユニットカバーをはずす。



図 9.ユニットカバー内の冷却水タンク

ユニットカバー内には図 9 に示す冷却水タンクがある。太い管側が給水側で細い管側からは循環した水が戻る仕組みになっている。最初に細い管側を抜き、空のバケツに入れ YAG コントローラーの POWER ON スイッチで冷却器内の水を排出する。（ユニットカバーをはずしてあるためレーザーの発振は無い）水が出なくなったら OFF にする。細い管はそのままの状態を維持し、太い管（給水側）を予め用意した純水の容器に差込 POWER ON にして循環させ中を漱ぐ。しばらくしたら OFF にし、細い管をユニット内の冷却タンクに戻す。この状態で図 10 のユニット側面に排された水位計を見ながら POWER ON にし水量が適当に成った所で OFF にする。サイフォン効果に気をつけながら太い管を冷却水タンクへ戻し水位センサーを確認する。ホースを冷却水タンクに戻す際には十分に注意し管を穴部分に垂直に差し込む必用が有る、曲がって入るとタンク内の水位センサーの浮きが下がってしまい、インターロックが掛かってしまうためである。



図 10.純水用容器と水位計

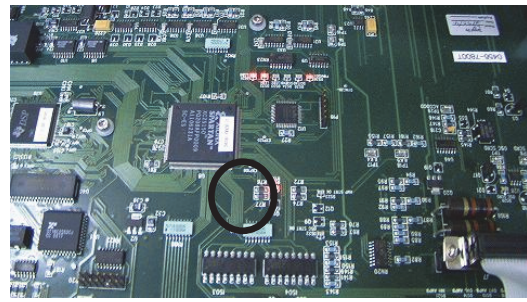


図 11.WTRR LED の点検

作業終了後ユニット内部の図 11 の黒丸部分の WTRR と書かれた LED を点検する。LED が光っていれば問題が生じている。ホースを抜いてやり直す。

6)比較的起こり易いトラブル対応

通常時のレーザー稼動時に起りやすいトラブルに RUN NORM を押した後、以下の画面になる場合がある。この際は MONITOR ボタンを数回押し、D LOK ENABLE の画面から DLOK ボタンを押し、作動させる。さらに、MONITOR ボタンを数回押し、BEAM LOK 画面で BEAM LOK ON を押し、BEAM LOK を作動させる。

この時点で 1MJ 以上の出力が出ていない場合 MOPO のクリスタル角度調整や DeviceFDO の角度調整、マップ書き換え等があるが説明に時間が掛かるため省略する。

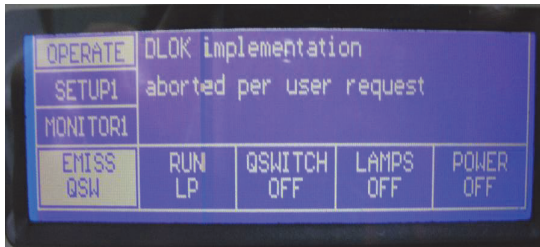


図 12.トラブル画面

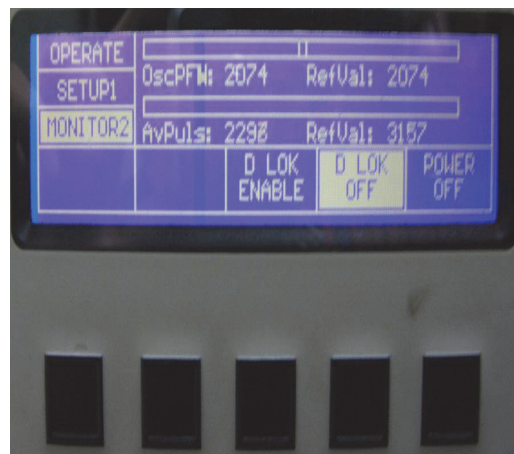


図 13 .D LOK ボタンの画面
黒く四角いボタンの 3 個目で D LOK ENABL を作動させる



図 14.BEAMLOK ON を作動させる

7)終わりに

レーザー等実験装置の管理には、日常主に利用している学生の卒業や夏季および冬季の休暇を始めとする長期休暇などもあり、職員が日常から管理に携わっていないと対応できない場合がある。今回は日常管理の中で注意点等を整理して発表する事にした。

40 太陽電池を用いたビームロスモニター

システム創成学専攻 1) 原子力国際専攻 2)

細野米市、上田 徹、尾亦孝男

連絡先：hosono@sophie.q.t.u-tokyo.ac.jp

1. はじめに

電子線型加速器（ライナック）や大型の円形加速等々では、物理、化学、医学をはじめとする様々な分野で幅広く利用されてきた。東大 35MeV ライナックもピコ秒パルス電子線やフェムト秒パルス電子の加速とそれを用いた実験を積極的に展開してきた。それらの実験において、ビーム加速を安定的に行うための一助として、ビームロスモニターがある。特に大型化している加速器では、ビームが加速軌道から外れた場合にそれがどの地点であるかを知る上でなくてはならないものである。

一般にビームロスモニターは、数メートルの中空ケーブルに電離箱用のガスを封入し、加速ビームが軌道より外れた場合に発生する放射線を検出する方法や、比例係数管を用いたものがある。また、太陽電池と CsI (Tl) シンチレータを組み合わせたものもある。

こうした中で筆者らは、最も簡便なビームロスモニターの開発を目指し、無バイアスで使用可能な太陽電池を用いる方法を試みた。この方法は、太陽電池をシリコン半導体検出器として使用する方法であり、加速器のみならず大線量の放射線場における有効な放射線計測手段になりうると思われる。このモニターの特性を求めため、東大 35MeV ライナックを用いて特性測定を行った。

2. 実験

実験に用いた太陽電池は、市販されているもので受光面積が 226.8 cm^2 であった。実験は、ビームライン上にカーボンターゲット（200mm厚）を設置し、その後に厚さ50mmの鉛のブロックを置き、さらにその後に太陽電池を置いておこなった。35MeVライナックで加速したパルス電子線がターゲットに当たり、その時発生する γ 線を太陽電池に入射した。太陽電池は、遮光のためアルミホイルで覆って使用し、バイアス電圧をかけずに行った。太陽電池の出力は、オペアンプ1個で構成したI/V変換器を通して電圧信号に変換し（照射室）波形整形回路を通した後、約50m離れた加速器制御室のオシロスコープを用いて観測した。なお、ターゲットに当たる加速された電荷量と発生する γ 線は、リニアな関係にある。

実験は1ナノ秒パルス電子線を用い、電荷量 $0.52 \sim 1.6 \text{ nC/pulse}$ の間で行った。繰り返しは10ppsであった。加速電荷量は、電子銃のグリッドバイアス電圧を調整することによって変化させた。測定の概要を第1図に示し、 0.74 nC/pulse 時のアンプの出力波形を第2図に示す。この時の出力は約 10.5 V であった。

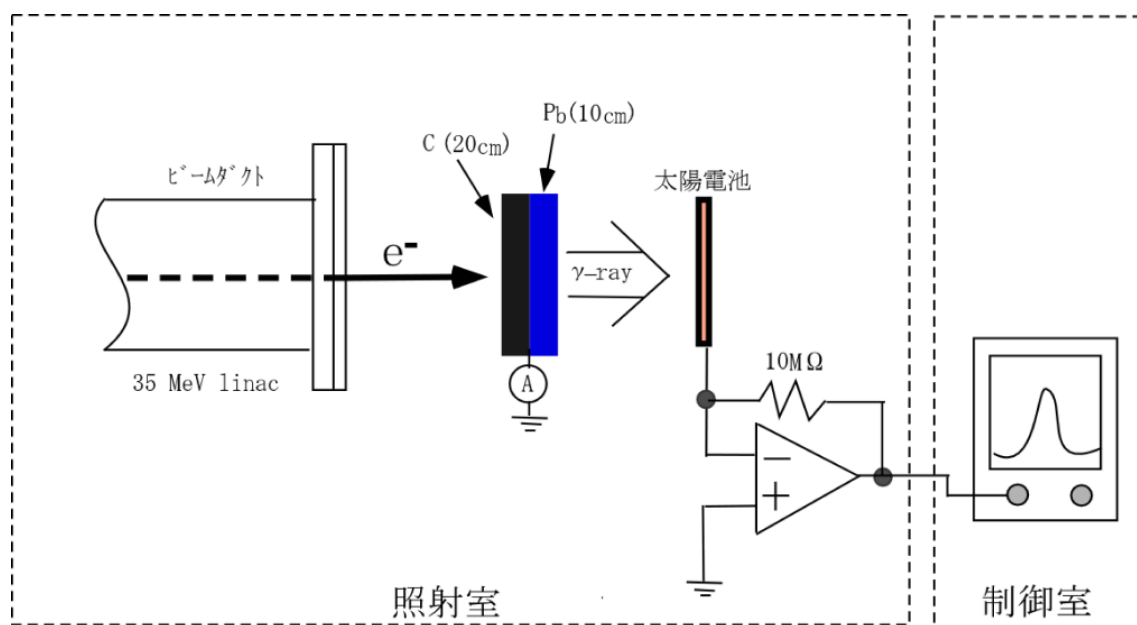
加速電荷量を変化させた場合のアンプ出力を第3図に示す。同図より、加速電荷量に対するアンプ出力は、直線性が十分にあることが明らかである。さらに、このモニターをビームラインから外し、90度下方の真下の床の上に置いた時の γ 線の強さは、 $1/248$ に減少した。この場合にもモニター出力は、上記と同様に良好な直線性が確認された。こうした一連の実験により本モニターをターゲット後方に設置した場合、下限の検出限界加速電荷量は、約 $1.5 \times 10^{-13} \text{ [C/pulse]}$ であることがわかった。

3. むすび

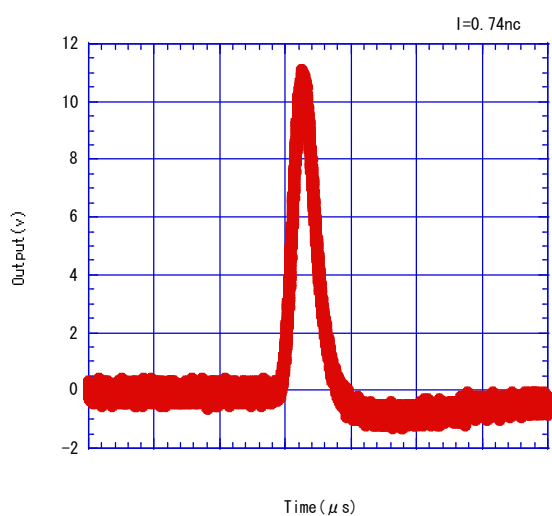
東大35MeV電子線ライナックを用いてパルス幅1nS、加速電荷量 $0.5 \sim 1.6 \text{ nC/pulse}$ を用いてビームロスモニターの特性測定を行った。その結果、測定可能な下限の加速電荷量は、信号のノイズレベルを増幅器出力

値で20mVと仮定すると、約 1.5×10^{-13} [C/pulse] (電子の数で約 10^6 個)ということが分かった。また、ビームラインから90度方向真下の床の上では、ターゲット後方よりも γ 線強度が約 $1/248$ となることが分かった。いずれの場合にも、 γ 線強度とモニター出力は、良好な直線性を持つ事を確認した。今後の課題としては、加速電荷量と発生するガンマ線強度の関係を求めることがあげられる。

本実験の費用は、平成22年度の個別研修費を用いている。

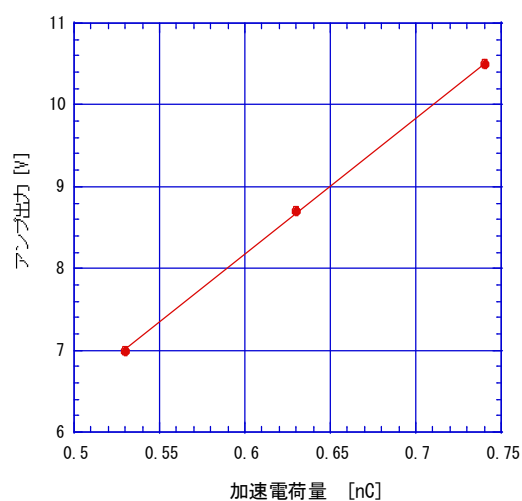


第1図 測定の概要



横軸: 50 nS/div. 縦軸: 2V/Div.

第2図 0.74 nC/pulse 時の出力波形



横軸: 0.05 nC/pulse, 縦軸: アンプ出力:1V/Div.

第3図 加速電荷量に対する出力電圧

41 教育支援教材等による LabVIEW の基本技術の学習

航空宇宙工学専攻 松永 大一郎

matsu7@flight.t.u-tokyo.ac.jp

1 はじめに

今日、研究室において学生や研究員等に技術指導を行い、学生実験等で教育技術指導や装置の開発、実験課題の技術開発等をおこなっている。このたび幸運にも個別研修の申請の承認により、教育支援教材等を用いて LabVIEW の利用方法を考察し計測・制御等の学習をより深めるようなモデルの製作を検討・考察できることとなった。LabVIEW による計測・制御技術を習得することは有益であるが、LabVIEW をほぼゼロから始る人にもより導入可能である入門的な方法を考察した。LabVIEW を用いた実験・試験等のシステムを構築し、LabVIEW による計測・制御技術の習得を可能にすることを目的とする。教育支援教材には、ロボット等の製作キットや、制御事例（環境計測の）サンプルモデルのキットなどが上げられるが、計測センサーのバリエーションの豊富さから、今回、採用した教育支援教材はレゴ社の「マインドストーム」という、組み立てブロックのキットを使用した。

2 導入について

LabVIEW による計測・制御環境を構築するに当たって、以下のような事象が考えられるがその中で、自分が最も近いものに「○」、ある程度近いものに「△」、まだまだであると考えられるものに「×」

表1 導入について

- イ. × すでに導入している(実験システムに組み込まれた計測機器がある)
- ロ. △ 知っているが、導入には至っていない
- ハ. △ 導入してみたいが、どのような事が出来るのかわからない
- ニ. × すぐ接続できそうな計測する対象がある。
- ホ. ○ 具体的な計測対象が無い(又は対象は在るが、導入リスクを考慮して躊躇している)

を付けてみた(表 1)。上記のような場合、「USB 型 DAQ デバイス」を使用するのが、わりと安価で一般的であると考えられるが、「ニ」が×の対象の場合は、計測対象を作成する必要がある。そこで、実験的な導

入手法例の1つとして教育支援教材等を活用したこの方法を導入することにした。

2.1 定期的に行われている講習

LabVIEW を提供している日本ナショナルインスツルメンツ社(NI)は定期的に無料の講習を行っ

表 2 参加した講習

日付	講習内容	会場
2010年6月30日	アカデミック向け教育・研究ソリューションセミナー	東京本社オープンハウス
2010年7月2日	はじめての LabVIEW 体験セミナー	東京本社オープンハウス
2010年12月2日	アカデミック向け教育・研究ソリューションセミナー	東京本社オープンハウス
2011年1月25日	LabVIEW モータ制御系設計ハンズオンセミナー	大宮ソニックシティ 808
2011年5月11日	LabVIEW を用いた LEGO MINDSTORMS NXT 制御セミナー	AP 浜松町 Room H

ているが私は次の講習(表 2)に参加した。このほかにも「計測・制御技術グループ」が本郷キャンパス内で行った体験講習にも

参加した。

2.2 教育支援教材と LabVIEW

教育支援教材と LabVIEW を使用して、簡単な実験・計測を可能とする環境を構築して LabVIEW を学習し、計測・制御システムについて、今後の学生実験やその他の実験活動の役に立てるようなアイデアを提供できれば幸いではあるが、まだ更に、改良および学習を行い、LabVIEW の使用・活用方法についての思慮を深めてゆく必要があることがわかった。教育支援教材:NXT と呼ばれる簡易マイコン(レゴ・マインドストーム:ARM7(*Atmel*® AT91SAM7S256))にはサーボモータの入出力ポートが3ポート、各種センサー類の入力ポートが4ポートあり、計 7 つの入出力を同時に制御可能なシステムを構築することが可能で、専用のツールキットをインストールすることで、(バージョン 2010 ではインストールソフトに同梱されていた)あえて、計測ルーチンを作成する必要が無く、LabVIEW の 1 ブロックとして、ブロックダイアグラムのプログラムに組み込むことができるので、初心者には難しい測定機器の入出力問題(別途にキット・プログラムを作成する等)を容易に回避できる。このシステムには、PC 上で仮想実験空間を構築できる「ターゲット PC モード」(または双方向モード)とプログラムのかたまりを、マイコンに送り込みスタンドアロンで駆動できる「ターゲット NXT モード」が存在し、プログラムはターゲットが異なると、全く異なるブロックを使用することになるので、新たに作り直す必要があることがわかった。「ターゲット PC モード」は PC ⇔NXT 間で双方向通信を行いながら計測の過程を検証できるモードとなる。「ターゲット NXT モード」はプログラムを NXT 用に変換したコード(*.rxn ファイル)を PC ⇒NXT へダウンロードして、NXT 上で実行するモードとなる。「ターゲット NXT モード」の長所は、NXT 内部で高速な制御動作、およびデータの記録が可能となる。短所としては、内部のメモリ容量に限りがあるため、ダウンロードするプログラムとデータを内部に記録する場合は、記録ファイルの要領を合わせた総量が動作の限界となるため注意が必要である。これらは、単独で動作するため、プログラムやデータ記録要領が有限であるが、動きのある状態量変化に素早く対応できるプログラムを構築、追従することができる。また、そのようなモデル構築に適しているといえる。「ターゲット PC モード」を使用する長所は、プログラム領域に限界がないので、巨大・長時間駆動のプログラムを構築可能、また PC 内部で解析した結果をコマンドとして NXT へ送り動作結果を PC に反映させることができる。記録データを直接グラフ等で確認できるため、問題解決(解析)を速やかに行うことが可能。これにより、長時間の環境変化の様子などをセンサーから読み取り PC へそのデータを送ることで計測できるモデルの作成を可能とする。

2.3 LabVIEW との接続について

「ターゲット PC モード」で使用する場合、接続プロトコルは USB と Bluetooth (Class2 / 2.5mW / 10m) の 2 種類がある、USB による接続の長所は、機器間の接続確立が早く容易である(パスワード等が必要ない)、情報量が多く通信速度も速い。短所は、ケーブルの届く狭い範囲でしか作業できない、ケーブルが邪魔。これに対して Bluetooth の長所は、10m なのでそれほど動作範囲はないが、ケーブルに拘束されない自由な運動モデルを検証できる。

2.4 計測対象(各種センサー類)

教育支援教材を使用することで、どのような計測が可能になるのかを以下に示してみた(表 3)。

表 3 各種センサー類

- 温度センサ
- カラーセンサ(色識別)
- 光センサ(明暗識別)
- コンパスセンサ(方位)
- ジャイロセンサ(1 次元角速度検出)
- 光距離センサ EOPD Sensor(移動センサ)
- IRSeeker (Infrared Electronic Ball 位置検出)
- Infrared Electronic Ball
- サウンドセンサ(マイク)
- タッチセンサ(スイッチ)
- サーボモータ*(x3 機)

ただし、サーボモータ(*)は3機のモータへの駆動出力とモータの回転を検出する入力を同時に検出しコントロールすることを可能とする。上記の各種センサーを使用出来るような環境を構築することは多少難しいこと(人によっては「秋葉原で数千円で構築できるよ」と言われる可能性もあり、多少の恐れはあるが)また、なるべくパーソナル(持ち運び等が容易)な形で行える方法は無いだろうかと考え、今回のような方法で行なってみた。

3 制御系モデルのサンプル

代表的で基本的なサンプルモデルとして、光センサとサーボモータ(x2 機) を使用して簡単な白黒ライン検出移動制御のプログラムによる考察を行った。ただし、脚は左右モータ駆動輪と胴体を支える無動力輪で構成した 3 脚の躯体モデルを作成して行った。制御方法は、入力条件によってその都度出力値を変えるものと、プラス・マイナスのオフセット値を設定してセンサーの入力値に応じた出力を行う方法があるが、今回はオフセット値を決めて行った方が動きが滑らかだったので、こちらの方法で行った。表 4 は最大出力(75)から割り出したゲイン値でこれにより制御をおこなった。また、コース上に灰色線が各所にありここで誤作動をするため White/Gray 間でオフセット値を決め 60 以下は切り捨てて設定を行った。

3.1 制御系について

表 4 各種制御値

Light Sensor			
検出値		明暗別検出値	
Max:	72	White:	72
Min:	40	gray:	60
		Black:	40
White/Black で検出		White/Gray で検出	
振幅 λ	± 32	振幅 λ	± 12
オフセット	56	オフセット	66
Power(75)	32×2.34375	Power(75)	12×6.25
各種制御値			
Kc	6.25	Kp	3.75
Tc	0.560	Ki	13.4
		Kd	0.262

制御においては、出力結果から LabVIEW による視覚的な、実験モデルを構築できるのでおもしろいが、力学モデルを考慮した場合、基本的には制御を主軸としたものになると思われるが、制御モデルを構築する際に、LabVIEW を使用することが適切なのか、また、他のソフトとの連携によるプログラム構築が容易に実現可能であるのか検討する必要がある。ただ、制御構成の流れがそのままプログラムとして反映できる LabVIEW を使用することは、今後の学習プロセスにおいても大変有意義であると考えられる。

4 終わりに

より高度な制御を行うためには、内部電源の電圧変化によるサーボモータへの出力変化を考慮したようなサブ vi 回路等を製作する必要があることがわかった。LabVIEW は必要なブロックがあらか

じめ用意されているために、容易に回路(プログラム)を構築できることが長所ではあるが、より発展的なことを行うためには、新たに必要なオリジナルのブロックを作成する必要があると考える。教育支援教材で用意されたセンサー類のほとんどはまだ未使用であるためこれらを使用して今後どのようなプログラムが作成できるかまた、そのようなものが実際の実験や、毎年行う学生実験において説明等も含めて、より深い実験対象への理解とつながるためにはどのような手法で行うべきか創意工夫が必要であると考え。ただ、すぐには応用できないものの、自分で制御等を学習するには大変有益な教材であると考え。

4.1 謝辞

本報告は平成 22 年度工学系研究技術部技術職員個別研修第 10 - 110 号によるものであり、このような機会を与えていただいた「計測・制御技術グループ」の皆様には大変感謝している。

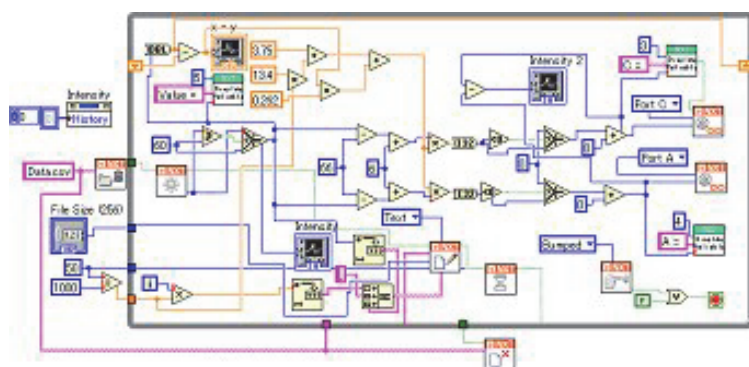


図1 制御系モデルのサンプル

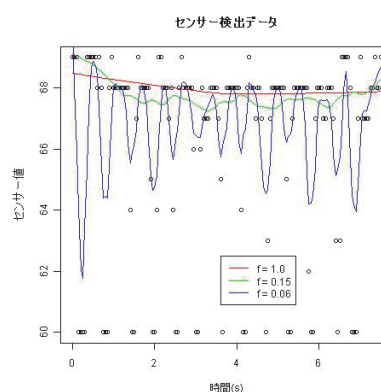


図 2 センサー計測結果

《参考 URL 》

1. Lego で行われる主な競技大会

- ・ First Lego League (FLL) <http://www.firstlegoleague.org/>
- ・ ET(Embedded Technology) ボコン <http://www.etrobo.jp/>
- ・ 関西 LEGO 競技大会 <http://amateur-factory.jp/factory/>

2. 文献

- ・ レゴマインドストーム公式サイト
<http://www.legoeducation.jp/mindstorms/>
- ・ The Central Site for the LDraw Family of LEGOR CAD Software
<http://www.ldraw.org/>
- ・ LabVIEW Add-ons for LEGO(R) MINDSTORMS(R) NXT
<http://zone.ni.com/devzone/cda/tut/p/id/4435>
- ・ 「ET ロボコン」最新記事一覧
http://monoist.atmarkit.co.jp/mn/kw/et_roboco.html

《参考文献》

- 1) Michael Gasperi. *LabVIEW for LEGO MINDSTORMS NXT*. National Technology and Science Press, Nov 8, 2008.
- 2) 堀桂太郎. 図解 LabVIEW 実習. 森北出版, 2009.09.
- 3) 三島健太. LabVIEW で学ぶ最新 LEGO Mindstorms NXT 入門. 技術評論社, 2011.05.
- 4) 小澤哲也. 図解 LabVIEW データ集録プログラミング. 森北出版, 2008.11.10.

42 バーチャル計測器を用いたアナログ回路演習の一例

機械工学専攻 浅川 武

asa@fml.t.u-tokyo.ac.jp

1. はじめに

バーチャル計測器を用いてアナログ回路の基礎演習を可能にすることを目的とした。バーチャル計測器¹⁾を用いたアナログ回路演習の技術習得にあたり、バーチャル計測器を実現するためには、NATIONAL INSTRUMENTS 社(以下 NI 社) LaboVIEW(Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench)のプログラミング言語²⁾を用いた。バーチャル計測器の考え方としては、データ集録から解析、表示までの全過程をパソコン上で行い、バーチャル計測器を用いてアナログ回路演習を実施し可能となった一例について報告をする。

2. アナログ回路演習

例えば、直流モータの回転角度を目標値(指定した回転角度)に追従させる位置制御装置をブレッドボード上にアナログ回路で試作し、アナログ回路の基礎を演習することを想定している。しかし、これらの全回路を実行することは時間や労力を要するため、バーチャル計測器を用いて、オペアンプの特性測定のみを第一に考慮し例題とした。

2.1 バーチャル計測器

構成は、パソコン、データ集積ボード、ソフトウェアの3要素からなる。パソコンは、デスクトップ型を使用し、使用するデータボードは、A-D コンバータ機能をもったデータ集積ボードが必要なため NI 社 PCI-6221 を接続した。OS は、Windows XP を使用した。ソフトウェアは、バーチャル計測器用の LaboVIEW (NI 社) の評価版ソフトを用いた。

2.2 オペアンプの特性測定

基本となる反転増幅回路の動作確認した後、時間の関数信号の入力(図1)の回路にて、関数信号として正弦波信号を入力した場合の加算演算増幅回路の動作確認を図3に示した。演習課題(可変抵抗器)の出力を $e1$ 、増幅器の入力 $e2$ に時間の関数信号である正弦波形を入力して、入力波形 $e2$ と出力波形 $e0$ を同時にオシロスコープにて観察した。これらによりオペアンプの特性測定を行った。

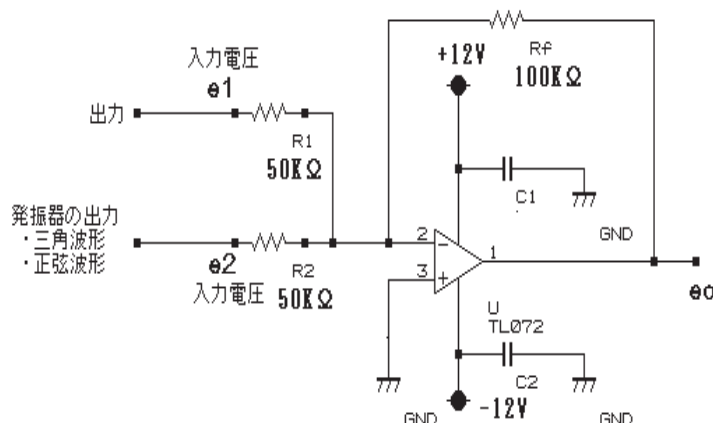


図1 時間関数の関数信号の入力

パソコン、データ集積ボード等から新構成されたものを図2、LabVIEWにての動作確認を図3に示した。これらにより新たなオペアンプの特性測定を実施し可能にした。発信器およびオシロスコープなどの計測器を不用意にて行うため、時間の短縮にもなった。

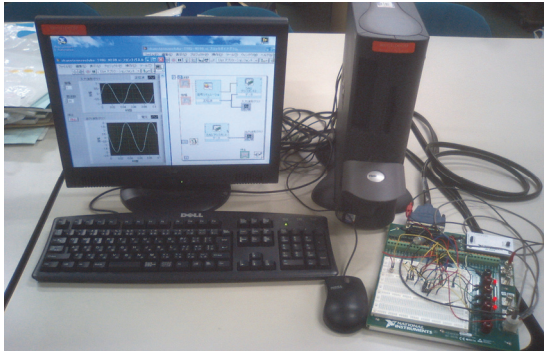


図2 バーチャル計測器にての新構成

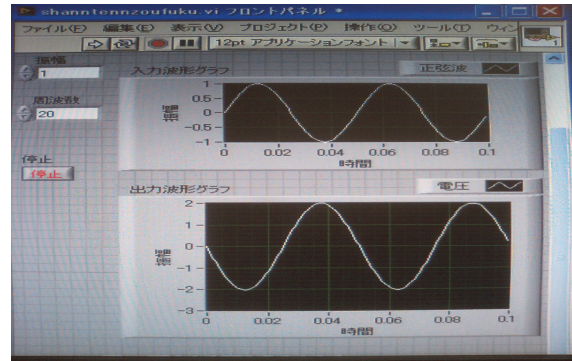


図3 LabVIEWによる動作確認

実際には、アナログ回路を組み立て、組立回路の測定により理論的な原理を理解することであるが、大きく分けて基本課題と応用課題になる。主に反転増回路、加算演算回路およびDCモータ駆動回路などを説明する。半田付け製作を優先し演習時間内に終了するため、止もうえ省略する課題もある。

3. 結果および考察

オペアンプ回路を製作して発信器およびオシロスコープなどを不用意にて実行し、加算演算増幅回路を一例として、入力と出力の波形を観測するバーチャル計測器を作成したことにより、評価版ソフト使用にてアナログ回路演習が限定可能になった。同時に、新たなオペアンプの特性測定が可能となった。よって、今後は、フィルター回路特性評価も可能となるため、市販ソフトを購入して自由に使用できるよう総合的に推進していかなければならない。そして、より省力化するためにもノートパソコンへ適用する予定である。

4. おわりに

バーチャル計測器を用いたアナログ回路演習の基礎演習が可能となったと共に、新たなオペアンプの特性測定が可能となった。なお、本報告の一部は、平成22年度工学部・工学系研究科個別研修(FJT)の補助を受けたことを記し、謝意を表すとともに報告いたします。

文献

- 1) 堀 桂太郎, “図解LabVIEW 実習-ゼロからわかるバーチャル計測器”, 森北出版(2007)
- 2) NI 社監訳, 尾花健一郎等訳, “LabVIEW 8 プログラミングガイド”, (株)アスキー(2008)

43 高調波ノイズ対策方法あれこれ（I）

原子力国際専攻 安本 勝

yasumoto@n.t.u-tokyo.ac.jp

1. はじめに

大学の同一建物内にある 2 変電室の三相変圧器間に位相差が観測された。この原因は電源周波数成分電流だけでは現れない値であり、高調波電流を考えなければ説明が付かないものであった⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾。この実態は、高調波電流による問題の広がり大きさを認識させるものであった。高調波ノイズは、実際に多くの場面でノイズトラブルの原因になっている例が多数報告され、経験もしている。高調波ノイズ対策の基本は、電気機器でノイズ発生を抑制対策することと耐ノイズ性を高めることであるが、多数の電気機器の使用環境になる建物内の電源系統や接地系統でもノイズ源の混入があってもノイズの影響を受けにくい構成にすることが総合的なノイズ対策として必要になっている。情報化は進み、電気機器は単独ではなく多数を有機的に結合して使用することが一般的になってきており、その規模は益々大きくなっている。一旦トラブルが発生するとその影響を受ける範囲・大きさは益々大きくなっている。使用環境でのノイズ受容性に関する対策は、電源・接地系統への対策であり、そこで使用する電位の基準になる接地系統ができるだけ共通インピーダンス電圧降下部分を持たない構成方法にすることが必要である。この対策方法は四つあり、一つは①接地系統のインピーダンスをできるだけ小さくすること、次に②コモンモードノイズ電流を抑制すること、三つ目に③共通インピーダンス電圧降下部分を無くすこと、最後に④どうしても生じる接地間電位差を吸収すること、である。これら 4 点について報告する。

2. 接地系統インピーダンスの低減方法⁽⁴⁾

2.1 電気機器の等価コモンモードノイズ源の特徴

電気機器ノイズにはノルマルモードノイズ（以下 NMN）とコモンモードノイズ（以下 CMN）がある。ここで問題にしているノイズは、CMN である。CMN 電流は電源・信号系統通から流出して接地系統を介して元に戻ることになる。CMN は、一般的に NMN が回路の不均衡等により CMN に変換され発生する。

このノイズは、接地系統を広く流れ、接地系統に電位分布ができ、接地間電位差により逆に回路系に侵入しノイズトラブルの発生事例となる場合が多い。できるだけ電気機器ノイズ

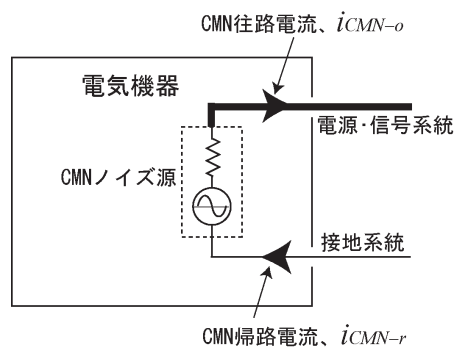


図1 CMN電流の特徴 $i_{CMN-o}=i_{CMN-r}$

源で CMN の元になる NMN および CMN の発生を抑制することが対策の基本になる。

電気機器の CMN 源は図 1 に単純化できる。このノイズ源の特徴は、流出する電流 i_{CMN-o} と戻る電流 i_{CMN-r} が同じになるということである。これはキルヒホッフの法則でも自明のことであるが、このことを置き去りにすると、接地線の実効インピーダンスを高め、また外部回路との結合を高めてしまい外部ノイズからの影響も受けやすくなるなど、適切な対策はできない。

2.2 接地線のインピーダンス低減方法

電気機器の CMN 電流は流出量と戻る量は必ず一致する。電源・信号系統と接地系統は対にし、接地系統は図 2 に示すように同軸被覆構造にすることで外部磁束を原理的に 0 にできる。インダクタンスは、定義から、接地線に流れる単位電流当たりの外部磁束と言うことになる。そのため、接地線のインダクタンスは、接地線を同軸被覆構造化することによって理想的には 0 にでき、従って、接地線の著しい低インピーダンス化が可能になる。

また、この構成は外部ノイズに対しても大きな侵入抑制効果がある。ノイズ周波数成分が高くなると、接地線自己インダクタンスと各線の相互インダクタンスを等しくできるため、外部ノイズ電圧が、接地線だけではなく接地線と対になる電源あるいは信号各線に同じように加わるため、電源あるいは信号内部からは外部ノイズ電圧の影響が現れないように作用するためである。

3. ノイズ電流の抑制

3.1 電源系統ノイズ成分インピーダンス増加（分離トロイダルコアによる電源ラインフィルター）による方法

ノイズ電流の抑制は接地系統のインピーダンスを高めることで実現することは誤りである。本来接地系統のインピーダンスはできるだけ小さくし一定電位を確保できるようにすることが基本である。例外としては他の接地系統への影響が無視できる個所で用いる場合に限られる。例えば、単

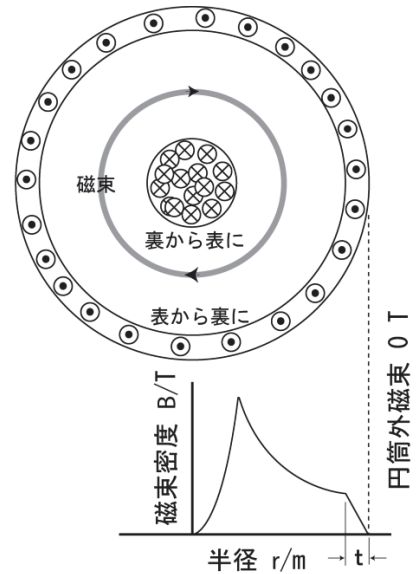
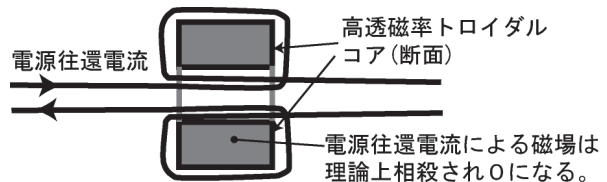
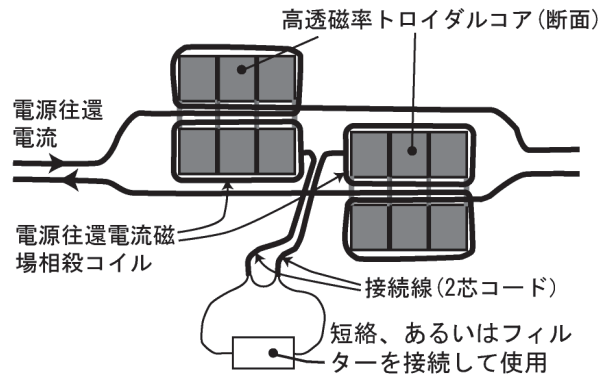


図 2 往還電流(直流)が作る同軸円柱円筒導体上の磁束密度分布



(a)一般的な電源フィルター



(b)分離トロイダルコアによる電源フィルター

図 3 分離トロイダルコアによる電源フィルター

独自の電気機器の場合、あるいは各変圧器の各 B 種接地のインピーダンスを抵抗やリアクトルで高めて抑制する場合である。また変圧器の B 種接地は非対称である場合が一般的であり、そのために NMN の一部が CMN に変わるが、対称性を高めるため、CMN に変わる割合も小さくすることになる。

接地系統にリアクトルを入れる場合、線径は細いためリアクトルはコンパクトにできるが、電源ラインに入れる場合、電源線をまとめてリアクトルに入れなければならないので内径が大きなトロイダルコアを使用することになる。いずれの場合も効果があるのは、CMN 成分のみに対してである。

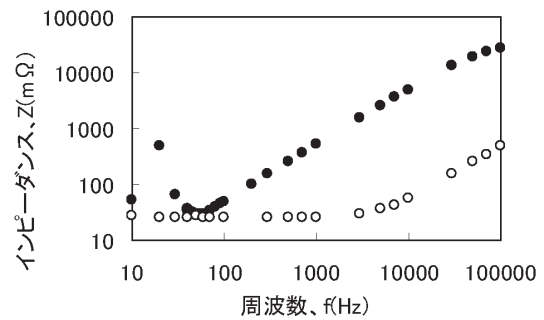
ここでは電源ラインの各線に高透磁率トロイダルコアを用いるようにすることで使用コアの径は小さくでき、また CMN だけではなく NMN も抑制可能にする方法を紹介する⁽⁵⁾。この実現は、図 3 に示すように、二次側回路に電源周波数成分による磁気飽和を防止するため、電源周波数成分では直列共振状態になるフィルタを置くことで実現した。トロイダルコアの特性は複数個を組合せることで特性を揃えた。試作品の測定結果を図 4 に示した。電源線に適用しやすく、NMN、CMN いずれにも効果があり、高調波抑制に大きな効果が得られる。

3.2 高透磁率トロイダルコアによるノイズ電流の拡散対策⁽⁶⁾

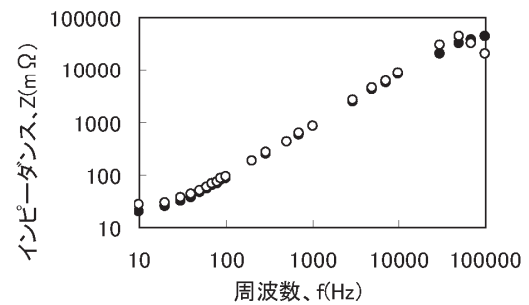
電源あるいは信号・制御系統に流れる電流 i_l 、そのうち接地線に集められない

漏洩電流 i_e との i_e/i_l は、図 5 の周波数特性になる。

接地線のインピーダンスが大きいと接地線以外の建物等導体構造物への漏洩電流は大きくなる。上記対策により接地線を同軸状被覆構造化することでのインピーダンスを下げ、高透磁率トロイダルコアを通すことで漏洩電流を大幅に抑制できる。この関係は図 5 に表される。接地線の実効インダクタンスを L_0 、高透磁率トロイダルコア



(a) NMNインピーダンスの周波数特性



(b) CMNインピーダンスの周波数特性

図 4 分離トロイダルコアの二次側結線状態による周波数特性

- 二次側に50Hz直列共振回路
- 二次側短絡

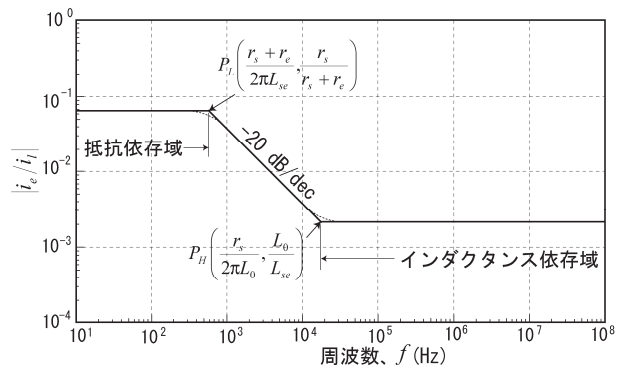


図 5 接地線のインダクタンス (L_0)

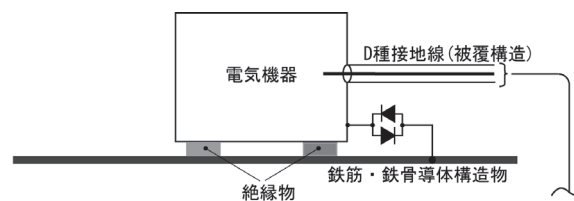
のインダクタンスを L_{se} とすると、インダクタンス依存域周波数成分における漏洩電流の割合 i_e/i_l は、 L_0/L_{se} で表

される。 L_{se} は、近似的に使用した高透磁率トロイダルコアで得られるインダクタンスになる。高調波対策を考慮する場合、インダクタンス依存域周波数成分の対策と同時に、電源地絡時の電流容量の問題もあるので、電源周波数である抵抗依存域周波数成分への対策を併用することが必要である。なお、現在一般的である線状で独立に考えた接地システムによる対策では、基本的に抵抗依存域周波数成分に限られてしまう。

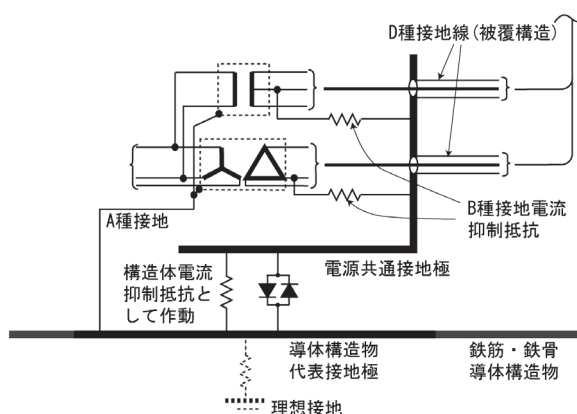
3.3 ノイズ電流制御

ここでの方法は抵抗依存域周波数成分には大きな効果がある。ノイズ発生源から流出したノイズ電流は必ずノイズ発生源に戻る。この循環路はできるだけ狭い範囲に限定すべきであるが、鉄骨の場合、接地系統抵抗は小さく一般的に広範囲に広がっている。現状では鉄骨構造体の場合、鉄骨構造体の抵抗値は小さく、抵抗依存域周波数成分は接地線にノイズ電流を集めきれず、鉄骨構造体に流れてしまうことになる。これを制御して構造体に流さないようにする方法が図6に示す方法である。図6(a)は負荷側電気機器は建物導体構造物から絶縁しD種接地線に接続することで構造体には流さないようにできる。また変電設備側は電源共通接地極を新たに設けて建物構造体電位代表接地極との間に構造体電流抑制抵抗と正逆並列接続したダイオードとを並列に接続することで建物構造体に流れるノイズ電流を抑制できる。ダイオードは図7に示すように正常時は絶縁状態であるが、電位差が0.7V以上だと接続状態になり、安全が確保できる。

本報告は「高調波ノイズ対策方法あれこれ(II)」とで一つになっています。引き続き続報をお読み下さい。文献類は続報にまとめて掲載しています。



(a) 電気機器負荷側におけるノイズ電流制御
建物導体構造物から絶縁し、漏洩電流はD種接地線に流す。



(b) 変電設備におけるノイズ電流制御
ノイズ電流は、建物に流さないように抑制し、D種接地線に集める。

図6 ノイズ電流制御

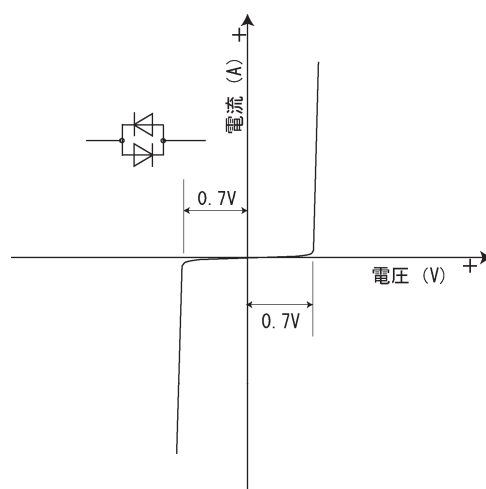


図7 能動素子によるノイズ電流制御
順逆並列接続シリコンダイオード特性

44 高調波ノイズ対策方法あれこれ（Ⅱ）

原子力国際専攻 安本 勝

yasumoto@n.t.u-tokyo.ac.jp

1. はじめに

省エネルギー、軽量化、およびコンパクト化のため、インバータの導入は一般化している。このことを反映して、電源電流中の高調波電流は増加し、トラブルも増加している。この主なトラブルの発生原因は、コモンモード高調波による共通インピーダンス電圧降下によるものである。この高調波による共通インピーダンス電圧降下とその干渉を抑制する電源・接地系統の対策方法についての報告であり、「高調波ノイズ対策方法あれこれ（Ⅰ）」の続編である。

2. 共通インピーダンス電圧降下とその干渉の抑制方法

2.1 接地系統への対策

共通インピーダンス電圧降下の抑制 共通インピーダンス電圧降下は共通インピーダンスに電流が流れることにより生じる電圧降下である。この共通インピーダンスが各回路の相互干渉部分になる。この対策方法として一点接地にすることが必要である。しかし、実際には実現できない場合が多い。例えば、一点接地したつもりでも、電気機器が理想的な機能をせず容易に循環路が構成されてしまう。その循環路にノイズ電流が流れるため、理想とする一点接地が実現していない場合が多い。

従って接地線にはノイズ電流が流れることを前提にし、できるだけ接地線のインピーダンスを小さくすることにより、共通インピーダンス電圧降下を小さくできるようにすることが、大きなシステムや複雑な回路では重要になる。

2.2 電気機器・建物への対策

(1) 独立した単独使用電気機器への対策⁽⁷⁾ 本来接地系統のインピーダンスを高めることは許されないが、他の電気機器と連携使用しておらず単独使用電気機器の場合、接地線にインダクターを入れることで実質的に CMN 源のインピーダンスを高めることができ、流出する CMN 電流を抑制することができる。商用周波数成分に対しては問題にならないインピーダンスであれば安全性の問題も生じない。地絡時等インダクターに過大な電流が流れる場合、十分な容量を確保していないと、インダクターは焼損する。この場合、漏電遮断機能があれば、過大電流を抑制でき、安全電位も確保することができる。インダクターも小さくでき、場所を取らず簡単に対策が可能である。

接地線を外すことでノイズが著しく減少する例は、一般的に電気機器コモンモードノイズが電源と接地線間に加わることにより生じている場合が多い。左記のインダクターによる簡易対策ができない場合、接地線は安全確保上外すこ

とはできないので、電源にノイズカットトランスや電源フィルターを使用して循環路を断つ対策をしなければならない。

(2) 電気機器に複数接地極の存在 別に独立の接地システムを用いることで安定な測定を確保できる場合もあるが、利用は狭い範囲に限られる。システムが大きく複雑な場合、複数の接地システムを独立に存在させることは難しい。

図8(a)は過去に経験したノイズトラブルの原因になっていた電気機器の接地端子と構成されていた等価的なノイズ源を示した。各接地端子は独立で無かったことが原因で接地システムにノイズ電流が流れ、複数電気機器のそれぞれの接地間に共通インピーダンス電圧降下が生じて測定分解能を低下させるノイズトラブル

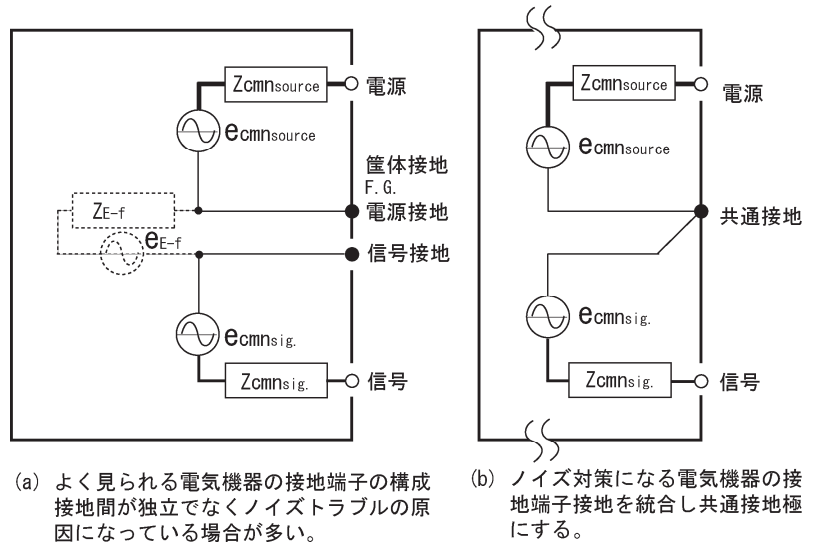


図8 大システム用電気機器のノイズ対策を考えた接地端子の構成

が生じていた。大きなシステムを考えた場合、図8(b)のように接地端子を一つにすることでノイズ対策しやすいシステムの構築ができる。

(3) 建物内複数接地極の存在 このような複数接地極の例は建物内にある実験設備にも多く見られ、複数の接地極を用意してあるが独立になっていない例は多く、逆にノイズを増加させてしまう場合が多い。ノイズ専用接地極を設けて実際に使用されていた例では、その接地極がノイズを高める原因になっていた。接地極はノイズ電流循環路中の途中を接地点とすることになるが、この循環路の電流変化により変動している電位を導入することになっていた。これはノイズ専用接地極を設けることでノイズを吸収してもらえると誤解して設けていたことが原因と考えている。理想的な独立の接地極は存在できず、一定電位を保証するものでもない。

(4) 等電位を確保できない筐体 電気機器が塗装された板や骨組で作られた筐体になっているものを見かけることがよくある。この筐体の部材間の導電性をテスターで見ると導通が無い。そうしたもののなかで、筐体部位間で電位差を生じている例がありアース間に循環電流を流す原因になっている例もあった。

塗装による問題例は多く見かけられ、高電圧充電部がある場合、立入制限と同時に静電シールドにフェンスが使用されているが、塗装によって絶縁されるため、誘導電荷が移動しにくく、静電シールド上問題ある例も多くある。

一方、筐体の絶縁管理も必要である。大きな電気機器筐体は、鉄筋・鉄骨構造体と意図しない電氣的接続が生じ、そのため流れる電流により筐体に電位分布を生じ、等電位を確保できない。接地は、複数個所にならないように筐体の

絶縁を確保し、接地端子を介して接地を取るようにすることが必要である。

2.3 変電室等電源設備への対策

変電室の変圧器は、複数変圧器の場合、各 B 種接地は単独接地極を接続接地して用いている場合が一般的である。現在でも大学電気設備の B 種接地はこの方法である。個別接地の場合、電源・接地系統の CMN 電流循環路は、電気機器ノイズ源から、電源系統、変圧器、B 種接地極、D 種接地極、および D 種接地線を通して電気機器ノイズ源に戻ることになる。これは電気機器個々にあり、一つの循環路ではなく、共通部分が重なり有った循環路になっている。特に共通部分となるところは接地極抵抗になる。これは建物内電気機器の共通するものになる。接地を統合することで無視できるようになるが、地絡電流は大きくなる。この対策として各変圧器に抑制用の抵抗と高周波成分には高インピーダンスになるインダクターを設けることで抑制でき、共通インピーダンスは変圧器系統ごとになる。各電気機器に CMN 電流の流出を防止するノイズカットトランスあるいは電源フィルターを用いることで共通インピーダンス電圧降下は著しく小さくできる。一方で電源出力での共通インピーダンスを小さくする工夫も必要である。その方法として、線路インピーダンスを下げるため、電源や信号・制御系統と対にし、できれば被覆構造にして配線することが必要である。また接地に対する電源の対称性を確保して CMN 電流が増加しないようにし、電源と接地系統間にコンデンサーを並列対称に接続するなどにより、高調波成分に対して低インピーダンス化をはかる必要がある。電気機器に使用する接地は電源用と信号・制御用共に一つにすることで複雑な循環路は作らず、システムの複雑化にも対応しやすいものになる。

大学では A、B、D の各種接地極は基本的に個別接地である。各変圧器 B 種接地は、接続して独立の単独接地極を設けている。そのため、接地極抵抗が大きな共通インピーダンスを持つ配線になっている。

電源系統および B 種接地線に高透磁率トロイダルコアをインダクターとして使用することで共通インピーダンスを変圧器系統ごとにできる。しかし、この方法は、高調波電流が大きいとトロイダルコアが加熱する恐れがあるので採用時には、過熱防止対策が必要である。

3. 高透磁率トロイダルコアによる接地間電位差の吸収

大きな実験設備のような複雑なシステムにな

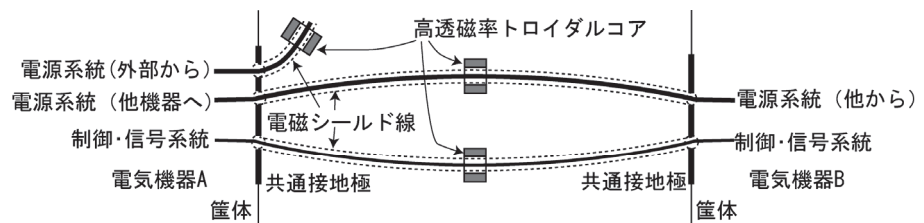


図9 異なる接地間電位の吸収方法

ると接地間の電位差はどうしても生じてしまう。この接地間電位差の吸収は、図9に示すように異なる電位の接地極間の接地線は被覆構造の電磁シールド線にして高透磁率トロイダルコアに通して使用することで可能になる。高透磁率

トロイダルコアにより接地線インダクタンスと接地線と対になる各線の相互インダクタンスはほぼ等しくなる。従って、直流成分に対して効果は無いが、ノイズの高周波成分に対しては効果を発揮する。得られるインダクタンスが大きくなほど効果は大きい。もしコアに巻くことが可能ならば多く巻くことで巻き数の2乗倍のインダクタンスが得られ大きな効果が得られる。適用に際し、注意しなければならないことは、①高透磁率トロイダルコアの使用効果を得るため、電磁シールド線は適用区間で絶縁されていなければならないことである。例えば途中でコネクタの露出部分が接地系統露出部分に接触したとすると電磁シールド線全体の効果にならない。次は、②電源系統と信号・制御系統とは分離して対策することである。一緒にしてしまうと漏洩電流を接地線に集め難い電源系統は、信号・制御系統との結合を高めることで影響を与え好ましくない。三つ目は、③対策は2接地極間に限られる。三つの異なる電位差の接地極への対策は、それぞれに連係がある場合、それぞれの間3系統の対策が必要になる。

4. 終わりに

まとめとして、①接地系統の実効インピーダンスを小さくする方法、②CMN電流を抑制する方法、③共通インピーダンス電圧降下を抑制する方法、および④接地間電位差の吸収方法を明らかにした。

省エネルギーを背景にインバータ電源は一般化してきている。そのインバータから発生する高調波ノイズによるトラブル事例は確実に増えている。電気機器側での抑制が基本であるが、もしCMN発生源が建物内設備や広範囲に及ぶ情報機器管理システム内に混入しても、それらに使用される電源・接地系統にも抑制可能にする構成にすることが今後ますます重要になると考えている。

本報告会を技術の共有・継承の場として捉えており、本報告内容を今後に活かしていただければ幸いである。

5. 参考文献

- 1) 島田,高田,中村,安本:「変電室における電源回路異常有無の活線調査」,東京大学工学系研究科技術発表会技術報告,81-90(2008).
- 2) 島田,高田,中村,安本:「2008年工学系研究科電気設備調査報告」,東京大学工学系研究科技術部(2009.1.14).
- 3) 安本島田,高田,中村:「接地線電流による活線電源回路診断」,第26回電気設備学会全国大会講演論文集,7-10(2008-9).
- 4) 安本:「接地線の実効インダクタンス測定方法」,第27回電気設備学会全国大会講演論文集,161-164(2009).
- 5) 安本:「分離トロイダルコアによる電源ラインフィルター」,第28回電気設備学会全国大会講演論文集,257-260(2010).
- 6) 安本:「誘導遮蔽によるノイズ対策方法」,第10回東京大学工学部技術発表会,33-36('95-7).
- 7) 安本:「電気機器のノイズ電流を抑制する簡易な対策方法」,第23回東大工学系研究科技術発表会技術報告,29-34(2008.9).

45 計装化アイゾッド衝撃試験法による

一方向CF／PP材の破壊モードに関する知見

システム創成学専攻：大澤 勇、森田明保、金井 誠
ohsawa@giso.t.u-tokyo.ac.jp

1. はじめに

金属材料の材料衝撃試験、特にシャルピー衝撃試験では靱性を求めることを目的とした試験であり、き裂に対する抵抗力を求めている¹⁾。その試験法はJIS²⁾に規定されており、具体的には試験機ハンマーの振り上げ角度と試験後の振り上がり角度からハンマーの質量の位置エネルギーの差として吸収エネルギーを求めている。そして、試験温度に対する吸収エネルギーをプロットし、その遷移曲線の上部棚（延性破壊）と下部棚（脆性破壊）の平均値をエネルギー遷移温度としている。更に試験片の分離した破面中の脆性破面の面積率に対する試験温度のプロットから破面遷移曲線を求めて、その平均値から破面遷移温度も決定している。

一方、複合材料やプラスチックにおける衝撃試験³⁾は、金属の試験法から派生したものと考えられるが、材料の破壊そのものは金属材料の破壊とは全く異質なものであり、よってその材料にふさわしい衝撃評価法が求められていた。このたび、研究室に計装化アイゾッド試験機が新たに導入され、現在開発中⁴⁾の一方向強化炭素繊維（CF）／ポリプロピレン樹脂（PP）⁵⁾の複合材の衝撃評価⁶⁾を行い、複合材のアイゾッド試験結果として有意な知見を得たので、その概要を記してみたい。

2. 計装化アイゾッド衝撃試験機

プラスチック系材料の場合にはシャルピー試験法による報告を多く目にするが、アイゾッド試験のデータも多い。その衝撃値は試験機ハンマーの振り上がり角度差から求められた吸収エネルギーを示している。今回導入されたのはインストロン社の試験機で我が国では1号機となる計装化アイゾッド試験機POE2000であり、図1にパソコンと試験機本体で構成される外観を示す。この試験機はハンマー部の根元にあるロードセルで荷重を実測し、そしてハンマーが試験片を叩く時の実測スピードから変位を求め、動的な荷重－変位

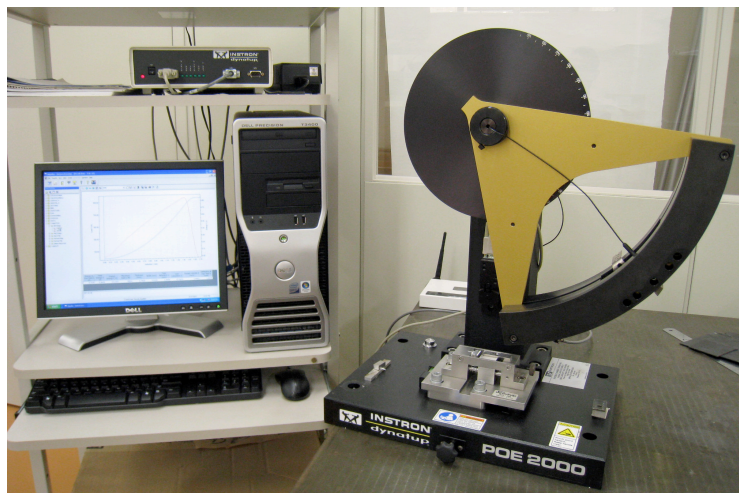


図1 計装化アイゾッド衝撃試験機の外観

関係の衝撃線図を表し衝撃過程時の挙動を詳細に示している。本報では試験機の振り上がり角度50度、ハンマー重量11.975kgの設定で実験を行っており、試験片への衝撃時のスピードは1.5m/sec前後である。

3. 炭素繊維（CF）／ポリプロピレン（PP）の供試複合材料

用いた複合材料の炭素繊維は三菱レイヨン（株）⁷⁾のTR50S（引張り強度=4900MPa、弾性率=240GPa、密度=1.82g/cm³）で、炭素繊維表面のサイジング処理は汎用のエポキシ・サイズ剤（CF-エポと標記）あるいは変成ポリブ

ロピレン (CF-ポリと標記) を施した。PP 樹脂は東洋紡 (株) のポリプロピレン樹脂で、炭素繊維との接着性の劣るもの (PP-劣と標記) と優れる (PP-優と標記) の2種類を繊維と組み合わせて一方向CF/PP成形複合材を準備した。板の成形は先ずPPシート成形後にフィルム・スタッキング法によってCF/PPプリプレグ・シートを作製し、そのシートを12枚積層してオートクレーブ成形したもので、Vf=50%を目標としている。アイゾッド試験片寸法は幅10mm、厚さ2mm、全長65mmで、試験片の掴みジグから自由端までの長さは試験機の関係から22mmとしている。諸般の事情で基材・成形等の詳細を説明できないことをご理解いただきたい。

表1 炭素繊維の表面処理剤とPP樹脂

表面処理剤	
CF-エポ	汎用のエポキシ・サイジング
CF-ポリ	開発品の変性PPサイジング
樹脂の接着性	
PP-劣	接着性に劣るポリプロピレン
PP-優	接着性に優れるポリプロピレン

4. アイゾッド衝撃波形と破壊過程との対応

図2には繊維/樹脂界面の接着性の劣る試験片の典型的な衝撃荷重-変位線図を示す。一方、図3には界面の接着性に優れる場合の衝撃線図を示す。繊維強化積層複合材料の破壊様相は⁸⁾、金属材料の破壊の場合と大きく異なっている。特に静的曲げ変形による破壊に於いては、変形に伴って①圧縮側の座屈破損挙動、②引張り側の繊維破断挙動、そして③層間せん断破壊挙動という積層材固有の破壊モードが観察されていく。図2の場合、急激な荷重ドロップが2カ所もあり非常に複雑な衝撃波形となっていることがわかる。

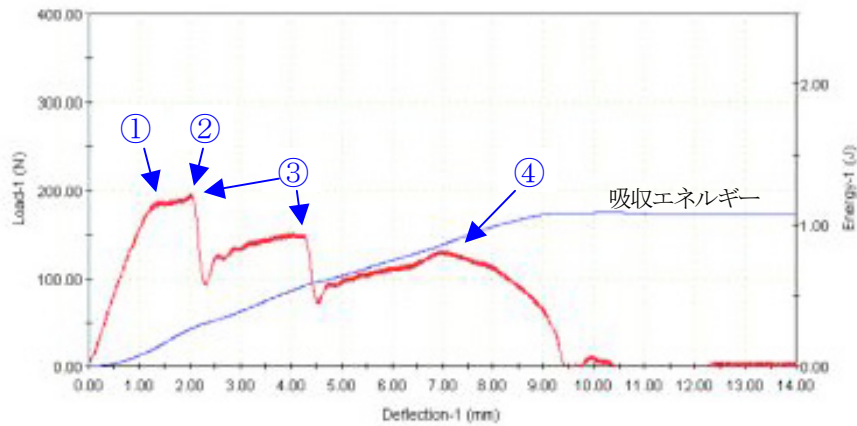


図2 界面接着性が劣る場合の衝撃荷重-変位線図 (CF-ポリとPP-劣の組み合わせ)

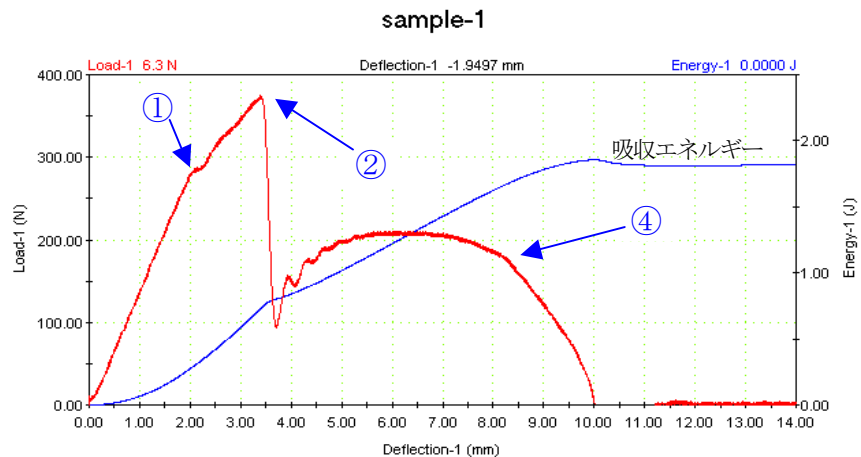


図3 界面接着性が優れる場合の衝撃荷重-変位線図 (CF-ポリとPP-優の組み合わせ)

衝撃負荷後の試験片の破壊モードの観察からは、上述した①②③のモードが明瞭に確認でき、加えて層間せん断は2~3カ所で発生している。アイゾット試験では試験時間が8msec 前後と非常に短い挙動であるため、逐一の破壊モードは追えていない現状があるが、静的曲げの破壊過程のようすから図2の衝撃破損過程を類推してみたのが図中に記した①②③④であり、経験的にも間違っていないと考える。ここで④は試験機ハンマーが試験片から徐々に外れていく挙動に対応していると理解している。そういった観点から図3の接着性の優れたケースの衝撃波形をみると、破壊挙動は単純であることが理解でき、実際の衝撃負荷後の試験片の破壊モードからの観察からも層間せん断③による破壊が全く生じてないこと。そして、引張り側の繊維破断②が厚さの中央層近くまで達しているという2点が大きな違いとなって現れている。この違いは最大荷重値を比較してみても一目瞭然で、界面接着性の良し悪しが衝撃波形から判別可能となり、積層板の破壊モードとの対応も充分可能となる。

図4は炭素繊維表面のサイジングがエポキシ系で、PP樹脂の接着性が「優」「劣」の2つの実験結果を重ね合わせた衝撃波形である。上述したように接着性の優れたPP、そして接着性の劣るPPの場合を比較すると(1)接着性「優」材では、最大荷重値が明らかに高く出ること。(2)接着性「劣」材では、層間せん断挙動に対応する荷重ドロップ現象が明瞭に現れること。更には、衝撃破壊に要した吸収エネルギーを2本の右上がり線図で表しているが、接着性「優・劣」PP材の違いの影響も明瞭に現れた。実験では試験片それぞれ5本ずつ実施しているが衝撃波形の再現性は良く、特に①②③④モードに対応する挙動の再現性も驚く程安定した結果を示した。

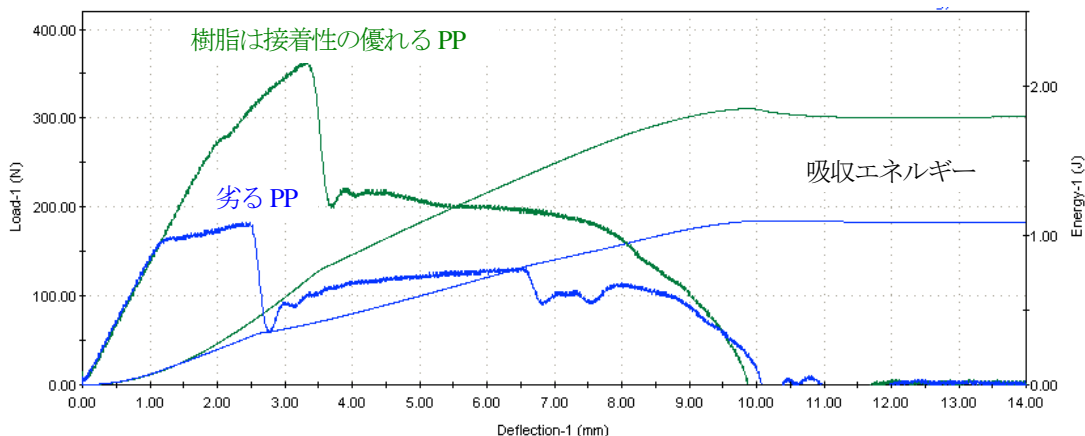


図4 PP樹脂接着性の「優・劣」の異なる衝撃荷重—変位線図 (炭素繊維サイジング剤はCF-エポ)

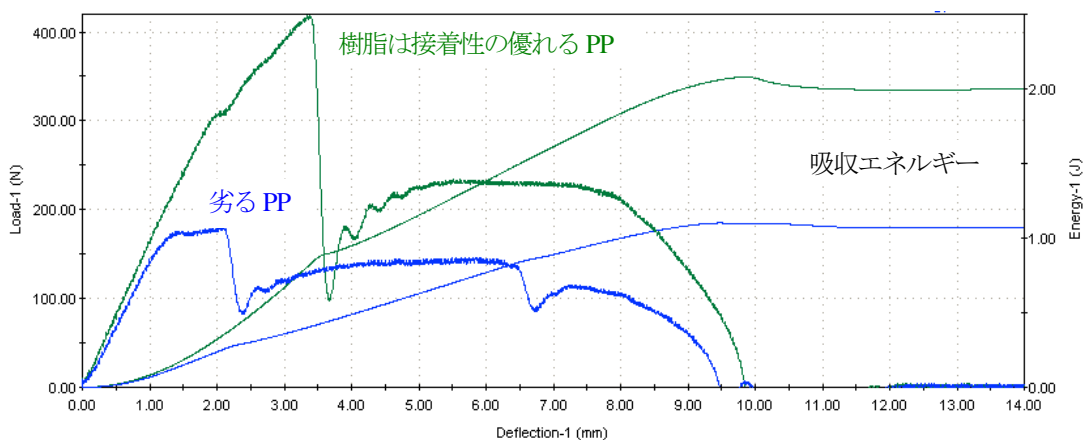


図5 PP樹脂接着性の「優・劣」の異なる衝撃荷重—変位線図 (炭素繊維サイジング剤はCF-ポリ)

図5では炭素繊維表面のサイジングは変成ポリプロピレン系で、PP樹脂の接着性が「優・劣」となる2つの実験結果を重ね合わせた衝撃波形であるが、図4と同様の傾向を示す結果となっている。

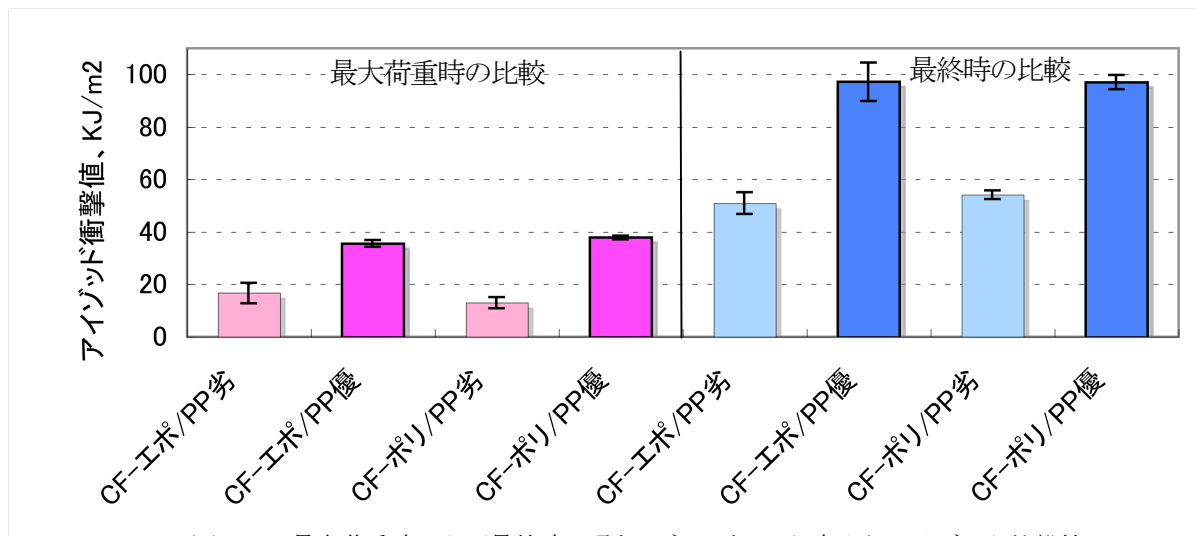


図6 最大荷重時および最終時の吸収エネルギーから求めたアイゾット衝撃値の比

図6は衝撃波形データを基に、最大荷重時までの吸収エネルギーと最終的な全吸収エネルギーを試験片断面積で除した衝撃値を、組み合わせグループ別に棒グラフと標準偏差のエラーバーで表した。計装化によりこのような比較も容易に行え、「接着性の優れたPP>接着性の劣るPP」ということが明解に表現できると共に、定量的にも明らかになった。一方、靱性⁹⁾という観点から吸収エネルギーを整理してみると「接着性の優れたPP<接着性の劣るPP」という傾向が得られ、界面接着性の優劣は程々のバランスが求められる特性でもある。

5. おわりに

計装化アイゾット試験機を用いて一方向強化炭素繊維 (CF) /ポリプロピレン (PP) からなる複合材の衝撃波形と破壊モードとの対応を検討し、要点をまとめた。その結果、計装化することにより①圧縮側の座屈破損、②引張り側の繊維破断、そして③層間せん断破壊という積層材個々の破壊挙動を衝撃波形とともに非常に良く説明できるようになった。これによって、吸収エネルギー値のみの評価を行っていた今までの衝撃試験法では確認できなかった試験過程での破損モード過程が手にとるように明らかになり、複合材料積層板の衝撃試験に於いては計装化アイゾット試験機を用いた評価が非常に有力な手段になることを明らかにできた。

参考文献

- 1) 栗飯原研究室 “E&E コース 基礎プロジェクト 材料強度実験”、平成23年度夏学期
- 2) JIS Z 2242 “2005 金属材料のシャルピー衝撃試験方法”
- 3) JIS K 7062 “ガラス繊維強化プラスチックのアイゾット衝撃試験方法”
- 4) NEDO 平成22年度「サステナブルハイパーコンポジット技術の開発」中間評価報告書
- 5) 日本経済新聞 “「炭素繊維車」の材料開発” 朝刊1面、2010,5月31日
- 6) 高橋研究室、平成21年度修論、山内美穂 “炭素繊維強化ポリプロピレンの界面接着性と力学特性の評価” 2010.2月
- 7) 三菱レイヨン (株) 炭素繊維ホームページ <http://www.mrc.co.jp/pyrofil/product/index.html>
- 8) 宮入裕夫ほか共訳、D.ハル、T.W.クライン共著、“複合材料入門 [改訂版] ” pp134、2003
- 9) B I G Barr, K Liu and R C Dowers “A toughness index to measure the energy absorption of fiber reinforced concrete” The international Journal of Cement Composites and Lightweight Concrete, Vol.4, Num.4, Nov. 1982pp.48-71, April 2008, pp.221-227

46 平成22年度熊本大学総合技術研究会に参加して

マテリアル工学専攻・中村光弘
nakamura@material.t.u-tokyo.ac.jp

1. はじめに

平成23年3月17日（木）9時から18日（金）17時まで熊本大学黒髪キャンパスにて、平成22年度熊本大学総合技術研究会が開催された。3月11日に起きた東日本大震災の直後だっただけに、開催が危ぶまれたが実行委員会から開催するとの連絡を頂き参加致しました。ただ東北地方の多くの大学、高専、研究機関や関東、北海道の太平洋側の方々の欠席が目立ちましたが、大会初日の夕方に行われた情報交換会には1000人近くの発表者が集まり、熊本大学長の谷口 功先生も最後までご参加して下さい、大震災に負けずに仕事をしようと全員で誓いました。

総合技術研究会を通じて感じた事は、自分自身と似たような人々がこんなにたくさんおり、皆様、頑張っておられると感じました。また、情報交換会で他大学等の方と色々お話しでき、他大学の状況や考えていることなどを聞くことができ大変参考になりました。研究会（セッション）は、実験装置が全く同じ装置を使用している方や仕事の内容が分析評価をしている方など私自身とよく似ている人たちの集まりでしたので質問が大変厳しい印象をうけました。大変熱心に多くの方がセッションに参加して下さいました。また、研究会で聴講した内容で興味を持った内容の概略を報告する。熊本大学総合技術研究会に参加するにあたり東京大学工学部・工学系研究科・技術部より個別研修（FJT）の助成を受けました。

2. 発表

(1) 3月17日（木）午後：セッション名：分析・評価技術分野

口頭発表 「Ta,Ni 及び Nb 金属微粒子の凝集状態について」

質問：大阪大学電子顕微鏡センターの方からNi微粒子の磁性と今回発表の結果との関連について質問がでた。

返答：今回の実験で使用したNi微粒子は非磁性であり、粒径が大きく粒径サイズからも自発磁化はしていないと思っている。もし、磁化しているならば、d-値が極端に大きくなるはずであるが、d-値はいずれの他の性質（総個数、平均粒径、標準偏差やフラクタル距離等）とも相関は認められなかった。

(2) 3月18日（金）午前：セッション名：集中技術交流 E「走査型電子顕微鏡の新展開」－新たな観察・分析手法と適応分野の拡大－

口頭発表 「走査型電子顕微鏡(SEM)の基本原則と結像条件の測定」

質問：京都大学の方から電子ビームの開き角 α （実測）を使って焦点深度を計算し

ているにも関わらず、焦点深度の実測値との値が異なるのはなぜか。浜松医科大学・実験実習センターの方から、生物系試料での観察条件についてコメントを頂いた。

返答：今回は 70 度傾斜の特殊型試料ホルダーを製作し、それに粒径サイズが 1 μ m のアルミナ粒子を張り付けて実測を行った。SEM 観察をするとアルミナ粒子を平坦に分散させ塗布することは難しく、でこぼこで焦点深度の測定に適していないように思われた。焦点深度を測定するのに適した試料をまだ見つけていない。対物可動絞りの汚れも影響しているのではないかと思っている。

3. 聴講

(1) SIMS による Mn/Cr 相対感度係数の測定のための合成 $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ の新規作成

東京大学・理学系研究科・市村康治氏

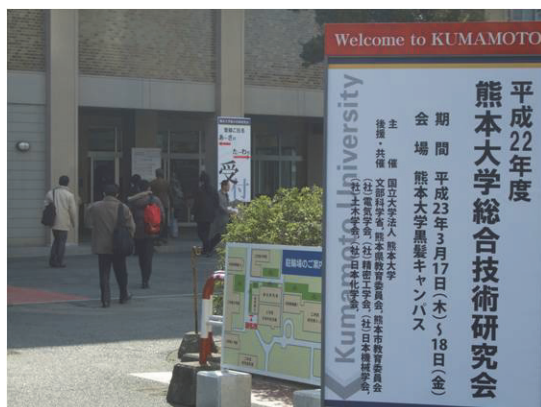
核種 ^{53}Cr の存在度を分析の手がかりとする ^{53}Mn - ^{53}Cr 年代測定法は隕石の形成に関する時期についての知見を得るためにもちいられている。これまで二次イオン質量分析計(SIMS)により年代測定が報告され、相対感度係数の測定に問題があり、筆者は相対感度係数の測定に適した炭酸塩鉱物は地球では産出していないため、ACV 法と熱水法を組み合わせ、dolomite($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$)と言われる炭酸塩を新規に合成した。合成された試料を粉末 X 線回折装置と走査型電子顕微鏡に設置した EDS 検出器を用いて試料を評価し、SIMS による Mn/Cr 相対感度係数の測定のための試料の条件を満たしている事を確認している。

(2) 走査電子顕微鏡で薄膜試料の透過二次電子像を観察する試料ホルダーの改良

浜松医科大学・実験実習機器センター・村中祥悟氏

TEM で観察用の超薄切片やネガティブ染色体標本などの薄膜試料を、SEM を用いて透過二次電子像で観察するための試料ホルダーを開発した。そして開発された試料ホルダーの操作性と像質向上のために、さらに対物可動絞りの移動機構を内蔵する試料ホルダーに改良している。広域用絞り(300 μ m)と高分解能用絞り(60 μ m)の切り替え及び芯だしを試料全域で可能として、走査電頭が透過電頭に匹敵する機能と操作性とを備える事に成功している。

開発した駆動機構の動力には圧電(ピエゾ)素子を用いたパルス電圧駆動のアクチュエータを使用し、磁場への影響は皆無としている。アクチュエータは顕微鏡の鏡筒外から鏡筒を介してパルス電圧を印加して制御している。実際に得られた画像は W フィラメントの汎用型 SEM では、数千から 2~3 万倍の透過二次電子像が示された。電界放射型電子銃を搭載した高分解能 SEM では 100 万倍の透過二次電子像が示され、同一場所の TEM 像も示され画像の情報量に差は認められなかった。



総合技術研究会受付会場の様子



3月17日 ポスターセッションの様子

47 内容不明な実験廃棄物の分析と処理 2010

応用化学専攻

栄 慎也

shinchan@appchem.t.u-tokyo.ac.jp

1. はじめに

試薬ビンのラベル等がはがれた等で中身が何かわからない1つの成分で出来ている試薬を不明試薬と称しています。これと実験等で出た内容物を明示していない試薬ビン中の合成物やその中間物質、さらには実験不明廃液等を含めて内容不明実験廃棄物と称しています(図1参照)。発表者はこれまで1995年頃と1999年から2005年度まで不明試薬及び内容不明実験廃棄物の分析と処理を実施し、約2700件の実験不明廃棄物を処理してきた。しかし、2006年度末の東京大学工学系研究科安全衛生管理室の調査の結果、約8000個にもおよぶ実験不明廃棄物が確認されている。さらに新たな報告もありませんが増加していた。工学系研究科安全衛生管理室は2005年から副室長(教授)が中心となった不明実験廃棄物処理ワーキンググループ(W.G)を発足させた。現在(平成23年4月1日)のW.Gは教員1名、助教1名、技術職員5名、事務部技術職員5名、派遣職員2名で運営している。W.Gは実験不明廃棄物を出した研究室等の教職員と協力しつつもW.Gの担当者が主体となりラベリング、分析及び処理依頼まで行っている。処理依頼が困難なものは中間処理し、安全な物質として処理依頼を行っている。2010年度は工学系だけで約1600件の分析処理を行った。3.11の震災の影響で分析処理を一時中止していたが工学系の分析対象は残り140件まで減らすことができた。一方2008年度の環境安全本部の調査で東京大学全体には2万件以上の内容



図1 実験不明廃棄物の一例

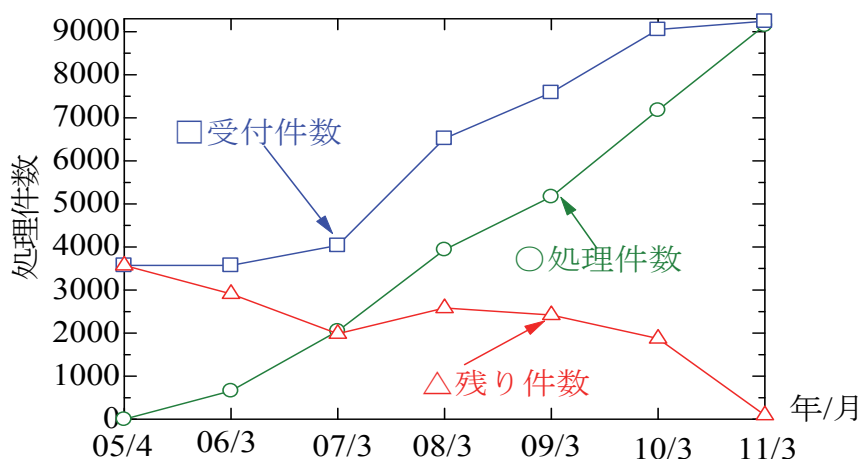


図2 工学系の実験不明廃棄物処理の推移

不明実験廃棄物が残されており、これらの分析処理の協力が求められ現在環境安全研究センターと共同で開発した簡易分析処理に従って分析の協力を行っている。2010年度は個体試料で約600件、液体試料で約300件の分析を行った。

WGの分析作業は個々の分析法についてはマニュアル化され、分析の流れもフローチャートを作り作業を進めているが完全な分析の流れは無く、分析対象に多方面からアプローチをかけて情報を集め総合的に判定している。さらに直面する多くの課題に独自の分析技術を開発し作業の進展を図っている¹⁾²⁾。また、課金等の運営全体に関する会計処理も行っている。

固体及び液体の内容不明実験廃棄物を分析する際に法律や毒性の点で問題となる金属元素としては放射性元素、水銀、ベリリウム、オスニウム、タリウムやヒ素、カドミウム、鉛などがある。この中で鉛はんだなどの原料をはじめ鉛蓄電池の材料であるなどなじみが深い反面、鉛化合物の一部は強い中毒性を持っているためその取扱いは十分に注意する必要がある。今回、鉛及び鉛化合物の分析の流れを中心に報告する。

2. 鉛及び鉛化合物の分析法

2.1 固体の不明廃棄物

内容不明実験廃棄物の分析を行う際に最初に分析する装置はエネルギー分散型蛍光X線分析装置(EDX:図3参照)である。発表者が所属する分析化学実験室が所有するEDXはナトリウム(Na)以上の元素の定性・定量が可能であり、固体及び液体を複雑な前処理を必要とすることなく分析することが出来る。そのため、ほとんどの内容不明実験廃棄物は初めにこの装置で分析し、分析結果の情報から次のステップに移る。このEDXでの鉛の検出下限は試料によって異なるが図5を参照すると約100ppm

(0.01%)程度である。鉛が化合物が主成分の場合は問題ないが、検出限界付近で鉛の含有が疑われる情報が得られた場合はより高感度に測ることが可能な波長分散型蛍光X線装置(WDX)による定性を行なっている。我々が使用しているWDXはホウ素(B)より原子量の大きな元素の定性が可能でかつ、前処理方法の工夫により高感度に分析が可能になる。この装置の検出限界は図6から5ppmレベルである。

但し、試料の前処理や測定に時間がかかりかつランニングコストもよりかかるため、使用方法を厳密に規定し分析を行った。その結果、全体としては確実に迅速に分析を進める事が可能になった。EDXはナトリウムからしか検出できな

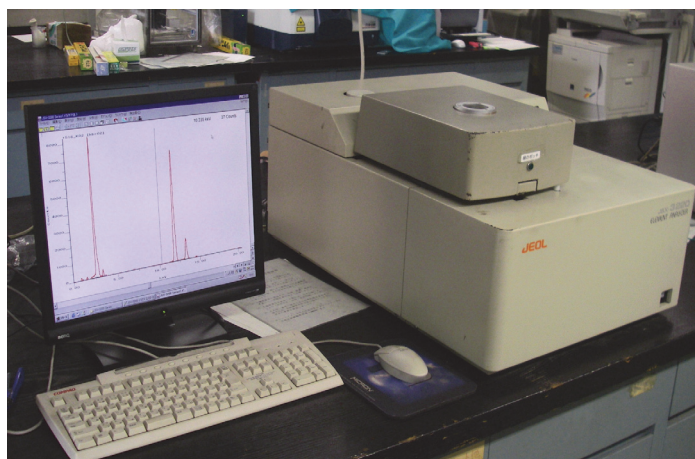


図3 エネルギー分散型蛍光X線装置外観



図4 波長分散型蛍光X線装置外観

いに対して、WDXはB(ホウ素)

から検出できる。このため、WDXで分析すると有機物であればC(炭素)、N(窒素)、O(酸素)の情報が得られる。このように蛍光X線分析は分析を行うに初期に極めて有効な情報をもたらす事がわかる。

分析例1：含水した硝酸鉛

白色の重量感のある不明廃棄物をEDXで分析したところ、鉛が99%を示した。無機化合物の可能性が示唆されたので粉末X線分析

(XRD)で分析したところ多くのピークが測定されたが検索してもこれに該当する物質がヒットしなかった。このためWDXで分析したところ鉛の他に、N(窒素)、O(酸素)が1:4の割合で多く検出した。この結果から硝酸鉛が含水したため、XRDのデータベースの最強線を消してしまいヒットしなかったものと考えられた。100℃で充分乾燥後XRDで分析するとデータベースとよく一致した。

分析例2：含水した酢酸鉛

分析例1と同様に透明感のある重たい不明廃棄物をEDXで分析したところ、鉛が99%を示した。分析例1と同様にXRDで分析したところ多くのピークが測定されたが検索してもこれに該当する物質がヒットしなかった。このため有機物の可能性が高いと考えフーリエ変換赤外分光装置(FT-IR)にかけて検索を行ったがデータベースからはヒットする物質がなかった。このため、WDXで分析したところ鉛、C(炭素)、O(酸素)がモル比で1:1:1の割合で検出した。これをCHN元素分析装置で分析したところ炭素と水素が1:3で検出されその他の物質が80%以上を示した。以上の元素比率から含水した酢酸鉛の可能性があり真空乾燥機で十分に乾燥後、FT-IRで分析したところ予想通り酢酸鉛がヒットした。乾燥前には水のOH吸収等が検索を妨害しヒットしなかったものと考えられた。

このように内容不明な廃棄物は長期間保管に適した場所に置かれておらず、環境の影響を強く受け通常であれば簡単に同定できるものがうまく同定できない事例が多い。また、鉛化合物ではないが同定できても変色で更に分析をしないといけなかった例もある。

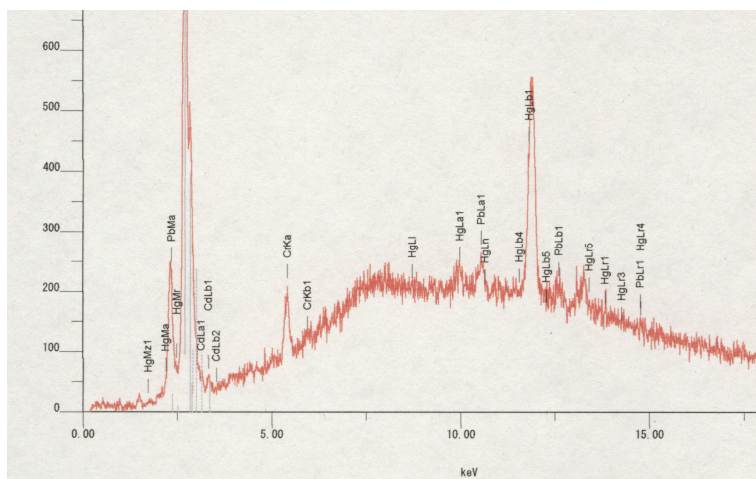


図5 エネルギー分散型蛍光X線装置によるABS樹脂中の重金属のスペクトル

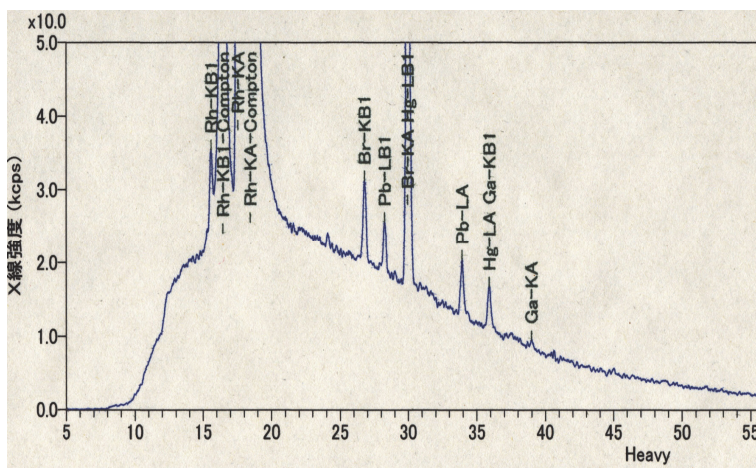


図6 波長分散型蛍光X線装置によるABS樹脂中の重金属のスペクトル

認証値は共に Cd:9.341 μ g/g Cr:94.27 μ g/g
Hg:93.81 μ g/g Pb:94.21 μ g/g

2.2 液体の不明廃棄物

液体の不明廃棄物中の鉛は初めに EDX もしくは WDX で分析し、その後の分析法を検討している。ピークが小さく判別がつかない水性試料の場合には、濃縮を行なって分析することがある。濃縮方法はろ紙に溶液を滴下し、真空乾燥後再び溶液の滴下を繰り返す。この回数が増えるところ紙上で回数分の濃縮が行うことができる。最後に ICP 発光分析 (ICP-AES) で ppm レベルまで定性・定量している。ICP-AES で分析する際には水系の内容不明廃棄物の場合、超純水で 100 倍に希釈したのち 64 元素の 3 波長を測り定性・定量を行っている。一方、有機系の内容不明廃棄物の場合、硫酸で分解後 100 倍に希釈して 64 元素を同様に測っている。鉛の測定波長は 220.353、216.999、261.418nm の 3 波長で分析している。

分析例 3：微量の鉛化合物の EDX での誤認

右図のような内容不明な実験廃棄物を EDX で分析したところ図 8 のようにヒ素のピークが現れた。このためヒ素化合物として分析を試みた。しかし、ICP-AES で分析するとヒ素は検出されず、鉛が 50ppm 程度検出された。このため WDX で改めて分析したところ図 8 のように鉛が検出された。EDX では鉛の La 線 (10.55 KeV)

のみが SN 比 3 で検出され、これを砒素の Ka 線 (10.53 KeV) として誤認したためと考えられる。一方、WDX では鉛の Lβ 線も検出されるので、このような誤認は生じなかったと考えられる。

3. 謝辞

本報告を行なうに際して工学系研究科安全衛生管理室不明実験廃棄物処理ワーキンググループ (W.G) 各位に感謝いたします。

4. 考文献

- 1) 栄 慎也 平成 18 年度 名古屋大学総合技術研究会 実験・実習技術研究会報告集 p.107-110
- 2) 栄 慎也 平成 19 年度 機器・分析技術研究会 in とやま 報告集 p.39-42

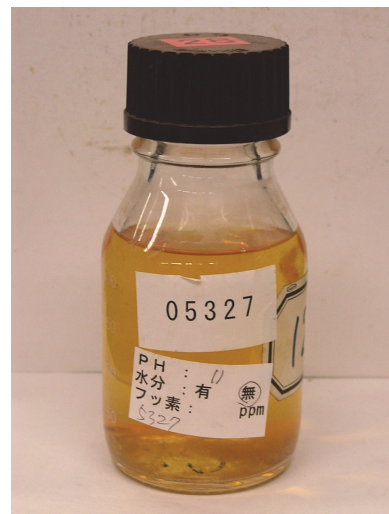


図 7 内容不明実験試薬

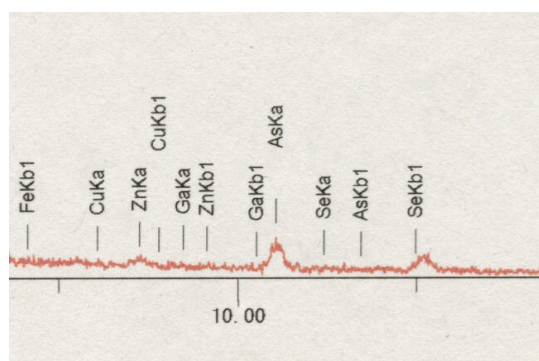


図 8 不明廃棄物の EDX のチャート

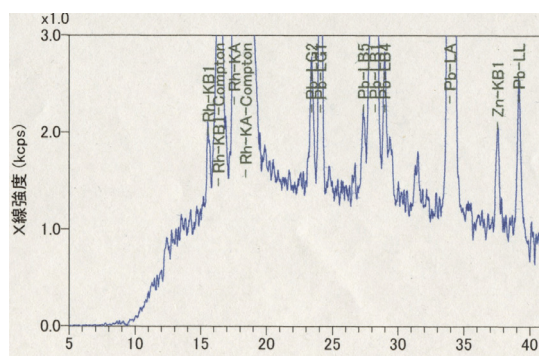


図 9 不明廃棄物の WDX のチャート

48 技術職員集合型研修カリキュラムの開発と実施

応用化学専攻

栄 慎也、坂下 春、浅野 功久、藤村 一良

shinchan@appchem.t.u-tokyo.ac.jp

0. はじめに 東京大学本部(技術職員研修企画委員会)が主催する技術職員研修は集合型の研修(講習と実習を組み合わせたもの)と学外派遣型の研修の2つがある。この中で集合型研修は技術職員が中心となってカリキュラムを開発し、使用する機器の確保や日程調整などの運営、実際の講習や実技指導また予算の管理や研修報告書の作成等を行っている。発表者は化学系の分析化学技術に関する研修計画の作成とその実施に関係してきた。カリキュラムの作成方法とその実施方法に関して今後同様の計画の作成の参考となるようにその流れを報告する。

1. 研修目標の作成 研修を行うに際して最も重要なことは獲得目標を何に設定するかである。技術職員研修の場合、他者から「この技術は全学の共通の技術としてふさわしいので研修会を開催して欲しい」との要望をうけその要望に沿って実施されることが多い。しかし、その技術が研修を受ける人にとって常に必要なのか、必要な時がある、その技術の存在を知っていることによって自分の仕事の幅が広がるといった受け手にとっては様々であることが考えられる。このため、その研修受講者が取得できる内容が今後どう生かせるのかを考慮して研修計画を作成しなければならない。我々の化学系の分析化学技術の研修では、研修を受ける人が同じ分析装置を管理運営することがまれで、その技術を使う必要が生じたときに使うことができる知識と技術を習得できるように設計している。

2. 研修計画の作成 年度の初めに技術職員研修企画委員会(以後企画委員会)から本部人材育成課能力開発チーム(以後本部チーム)を通して各部局の技術職員研修委員に各部局からの研修課題の募集が通知される。この通知が研究科等の部局事務(工学系は総務課人事・給与チーム)から研修担当代表者に送付され研修実施計画書及び概算予算書の提出が求められる(図1)。研修主催者特にその代表者は所属部署の長と連絡し研修実施の必要性を説明し、施設の利用等の理解と協力を取り付ける。承認が下りれば研修実施計画書及び概算予算書を提出する。研修期間は通常連続する3日間で計画されることが多い。実施時間は9時から17時で計画されることが多い。

平成21年度 技術職員研修実施計画記入用紙

研修の名称	研修の目的	受講対象者	定員	研修期間(場所)	研修内容・方法	担当	照会先(担当係)
化学技術関係 (分析化学基礎コース)	実験及び研究に必要な分析化学の専門的知識と技術を修得させ、職員の能力、資質の向上を図る。	教室系技術職員(研究室または実験室に所属し、現在及び今後、分析化学の知識及び技術の修得を必要とする者)	8名	10月から11月にかけて週1日、合計5日間 (工学部5号館化学・生命系分析化学実験室)	X線分析装置、ガスクロマト質量分析装置(GC-M S)、元素分析装置、赤外分光(F-T-IR)、プラズマ誘導発光分光分析装置(ICP)、化学センサーに関する講習と実験	坂下技術専門員・栄・浅野技術専門員、藤村技術職員、	工学系・情報理工系統務課職員チーム(内線) 詳細の問合せ先工学系研究科技術部(内線28831)

図1 研修実施計画書の記載例

なお研修実施計画書には本来は日時の決定が必要となるが数か月先のことが多く「〇月上旬」といった日程で提出している。また、概算予算についても前年の実績に基づいて作成している。初年度であれば必要な消耗品、装置の使用料等を加味して作成する。また、学外の方を講師

として招く場合は謝金も予算化することができる。この計画書等を企画委員会で精査検討され採択されればその趣旨が採択通知書が送られてくる。採択されれば実施要項、研修の日程表（開催日時は決まっていなければ空欄）、予算の細目を作成し再び提出する（図3～5）。

平成21年度技術職員研修経費概算

研修の名称	定員	経費				合計
		講義謝金等	教材・材料費	旅費	その他	
コンピュータネットワーク研修	30名					0
化学技術関係 (分析化学基礎コース)	8名		20万円			20万円
化学技術関係 (極微量分析コース)	8名		20万円			20万円

図2 経費概算書の記載例

- 東京大学技術職員研修実施要項
(化学技術関係 分析化学基礎コース)
- 1.目的
実験及び研究に必要な分析化学の専門的知識と技術を習得させ、職員の能力、資質の向上を図る。
 - 2.対象者
教室系技術職員（研究室または実験室に所属し、現在及び今後、分析化学の知識及び技術の習得を必要とする者）
 - 3.定員
8名
 - 4.期間
平成21年1月19日（月曜日）、平成21年1月26日（月曜日）
平成21年2月2日（月曜日）、平成21年2月9日（月曜日） の4日間
 - 5.場所
工学部 5号館 化学・生命系 分析化学実験室（241号室）他
 - 6.研修内容
別紙日程表のとおり
注）実習（実験）時には試薬で汚れるため作業着または白衣を着用（各自持参）していただきます。また、保護メガネの着用も必要となりますが保護メガネは貸与します。
 - 7.研修方法
第1日目 午前 午後は分析装置（X線分析装置、ガスクロマト質量分析装置（GC-MS）、元素分析装置、核磁気共鳴分析装置（NMR）、プラズマ誘導発光分光分析装置（ICP）、センサー）に関する講習。第2日目、第3日目の午前 午後は2班に分かれて実習（主に固体及び液体の試薬を分析）。第4日目 午前には実験結果の解析と補充実験 午後は分析業務の現状についての講習、質疑、討論及びレポート作成等を行なう。また、期間中に化学実験を行うに際しての安全講習を3時間程度行います。
 - 8.経費
研修に伴う旅費等は派遣部局の負担とする。
 - 9.その他
所定の課程を修了した者には、修了証書を授与し、併せて人事記録に記載する。

図3 実施要項の作成例

		9:30	10:00	12:00	13:00	14:30	15:00	17:30
第1日目	開講式	オリエンテーション	安全教育 化学薬品の取り扱い			講義 微量分析の基礎と応用 応用化学専攻 栄 慎也	実習 試料の前処理 藤村 一良 栄 慎也	
第2日目	蛍光X線分析 森口 恵美					原子吸光分析（フレイム） 栄 慎也		
第3日目	ICP 発光分析、原子吸光分析（フレイムレス） 栄 慎也					微量分析 技術を用いた 応用例の紹介	実験結果 のまとめ	レポート作成 閉講式

図4 研修日程表の作成例

極微量分析コース費用詳細

試薬及びアルゴンガス等	20,000
カーボンチューブ	50,000
マイラーフィルムセット	50,000
ICP用トーチ	80,000
	200,000

図5 予算細目の作成例

3. 実施計画及び予算計画の作成 2か月程度前に研修実施のスケジュールを決定する。それに合わせて、学内外の講師に日程調整を依頼する。もし、日程が合わない場合には協議して最適な日程に調整する。同時に研修における講義の場所及び実験施設及び装置の使用予約を行う。研修に必要な物品リストに従って物品の購入を行う。購入物品の伝票処理は工学系の場合財務チームに依頼する。納品書には研修担当者2名の納品日とサインをする。発注済データ入力票には指定のコード番号を記入（事前に財務チーム担当者と連絡を取って調べておく）して印刷する。見積もり、納品、請求書と発注済データ入力票の4枚をまとめて財務チームの担当者に送る。以上が整ったのち研修スケジュール表（図4に講習

日を入れたもの）及び東京大学技術職員研修実施計画書（図3に開催日時等確定したものを入力したもの）を作成し、総務課人事・給与チームを通して本部チームに送る。本部チームは技術職員のいる部局事務を通して受講者の募集を行う（主にポータルサイトを用いる）。受講希望者は業務に支障を及ぼさないように配慮しつつ所属部局の責任者の承認を取る。次に必要事項を記入した技術職員研修推薦書を部局事務に提出し、本部チームに送る。募集期間内にあった応募者を本部チームは表にして研修担当責任者に送られる。募集人数に達しない場合は研修会の開催の是非をきかれることがある。募集人数を超えた場合は増員が可能かまたは受講者の選別を求められる。研修受講者が決定すると受講者に決定の通知が主催者には受講者のリストが送られる。同時に主催者は受講に際して必要な連絡事項（図6：例えば作業着持参等）を作成し本部を通して受講者に通知する。

4. 研修の実施

研修数日前から最終の準備を行う。受講者が決定したらその受講者へ研修の注意を作成し、事務を通して伝えられる。主催者は受講者の受け入れ態勢の最終的な確立を行う。具体的には使用する装置や機材、材料の点検や確認、安全面の確認、講義資料の作成と印刷、外部からの講師の受け入れの確認などである。また、受講者用の出勤簿が事務から届く。実施当日は初めに開講式とオリエンテーションを行う。開校式では技術部長や開催専攻の長の挨拶、技術職員を含む講師の紹介、受講者の自己紹介等を行う。オリエンテーションは研修のスケジュールや注意点の説明を行う。その後はスケジュールに従って講義、実習を行う。講義については主催側の教員もしくは技術職員が行う場合など最適な人選を行っている。また、その技術を使うのに際して必要な安全教育を行うため部局の安全衛生管理室の

受講者に対する連絡事項【化学技術関係 極微量分析コース】

1. 研修期間
平成22年10月18日（月）、10月25日（月）、11月1日（月）
2. 集合日時及び研修会場等
初日（10月18日（月）9：30）は、工学部5号館6階第1会議室（641号室）において、受講受付の上、同室に備えてある出席簿に押印して下さい。
また、2日目（10月25日（月））以降は、分析化学実験室において出席簿に押印して下さい。
3. 携行品等
筆記用具及び実習の際の白衣・作業着等は、各自持参のこと。
持参の試料がある場合は、初日に担当者に連絡すること。
4. 研修日程及び受講者名簿
別紙のとおり。
5. 修了証書
最終日に修了確認の上、閉講式において授与します。
6. その他
やむを得ない事由で欠席又は遅刻する場合は、事前に本部人材育成グループ能力開発チーム（内線22317）又は、工学系・情報理工学系等総務課人事・給与チーム（内線26019）まで連絡して下さい。
なお、研修期間中は、特に緊急の場合を除き、電話の取り次ぎは致しません。

図6 受講者に対する連絡事項作成例



図7 実習風景

講師を招いて講義を行ってもらう場合もある。化学系の場合は技術職員がその日の実習内容について実習前1時間から2時間程度講義を行っている。実習については多くの場合技術職員が受講生を指導している。人数はマンツーマンもしくは数名のグループに1名の技術職員が張り付き細かく指導する。研修最終日に研修のまとめを行う。研修内容の発表会を行うところもある。その他研修に対するレポートを課している場合が多い。化学系の研修の場合、研修課題を現在の仕事にどのように結び付けることが可能かについてレポートを書いてもらっ



図8 閉講式での修了証書授与

ている。また、本部からのアンケート（技術系共通）があり記入してもらっている。最後に閉講式を行い事前に届いていた修了証書を授与する。授与者は技術部長や開催専攻の長にお願いすることが多い。その後記念写真を撮ることもある。また、受講者に率直な感想を求めることもある。研修終了後に懇親会を開催する場合も多い。

5. 研修報告及び決算報告 研修が無事に修了すれば研修責任者は研修結果報告書の作成を行う。同時に決算報告書の作成をおこなう。これらを研究科事務を通して本部に報告する。また研修内容を年報等への報告書として原稿を作成し投稿する。

6. 課題と今後の展開 本年の実施に際してポータルサイトで募集を行ったところ工学系の特任研究員の方や技術補佐員の方から受講したいとの要望が来ましたので（正確には技術補佐員の方は上司の教員の方が受講させたいとの要望でした。）本部チームと協議したところ、当方が受け入れることが可能であれば受け入れて下さいとのことであったため了解し受講して頂きました。特任研究員の方や技術補佐員の方が参加されたことによる研修の運営に大きな問題は生じませんでした。また、今回の受講した研修内容に関しても今後の研究や業務に大変役に立ち、さらに研修参加による多彩な職種の教職員の中に専門技術を通じた人的ネットワークを築き協力関係を作ったことが今後の発展につながるとの感想を頂いております。

このように多彩な職種の教職員が増える中で技術職員限定で行うことは、合理的とはいえず専門技術の習得を必要とする教職員全てを対象として実施すべきであると考えています。このため今後は技術職員研修であるがこの技術を必要とする人の応募を認める内容で実施していく予定である。

49 データ集積ボードを用いたグラフィカルな計測技術

機械工学専攻 浅川 武

asa@fml.t.u-tokyo.ac.jp

1. はじめに

昨年利用したアクセサリボックス上に $\pm 15V$ 電源および $0\sim 5V$ の調整可能な電源が既に備えられているため、そのボックスの一部を利用した。今までは、発信器やオシロスコープなどを用意して、入力と出力の波形を観測していたが、主に、アナログ入力およびアナログ出力について習得した。ノートパソコンへデータ集積ボードのカードを挿入して、片持ちはりのひずみ測定の実践を通して反転増幅回路のアナログ回路を学ぶ方法を考慮し、グラフィカルな計測技術が可能となったので、その一例などについて報告する。

2. バーチャル計測器関連、ひずみ測定およびはりのたわみ

バーチャル計測器は、NATIONAL INSTRUMENTS 社(以下NI 社) LaboVIEW(Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench)のプログラミング言語¹⁾を用いた。バーチャル計測器の考え方としては、データ集録から解析、表示までの全過程をパソコン上で行う。構成は、ノートパソコン、データ集積ボード(カード)、ソフトウェアの3要素からなる。パソコンは、ノート型を使用し、使用するデータボードは、NI DAQCard-6024E (PCMCIA 用)を挿入接続した。OSは、Windows XP を使用した。ソフトウェアは、バーチャル計測器用のLaboVIEW (NI 社)のソフトを用いた。

2.1 データ集積ボード(カード)について

市販されているNI DAQCard-6024E (PCMCIA 用)を購入した。なお、使用に関しては、以下のとおりである。16チャンネルアナログ入力マルチファンクションDAQ、12ビット、200 kS/秒、①2つの12ビットアナログ出力、8つのデジタルI/Oライン、②2つの24ビットカウンタ、NI-DAQmxドライバソフトウェアおよび計測サービス付属、③NISTトレーサブルな校正証明書がダウンロードでき、70を超える信号調節デバイスが利用可能、④LabVIEW、LabWindows/CVI、VB (Visual Basic) /VS.NET (Visual Studio.NET) 対応Measurement Studioとの優れた統合性、⑤ハンドヘルドデータ集録アプリケーションに対してはLabVIEW PDA モジュールとともに使用可能であった。新構成のイメージは、図2のとおりである。

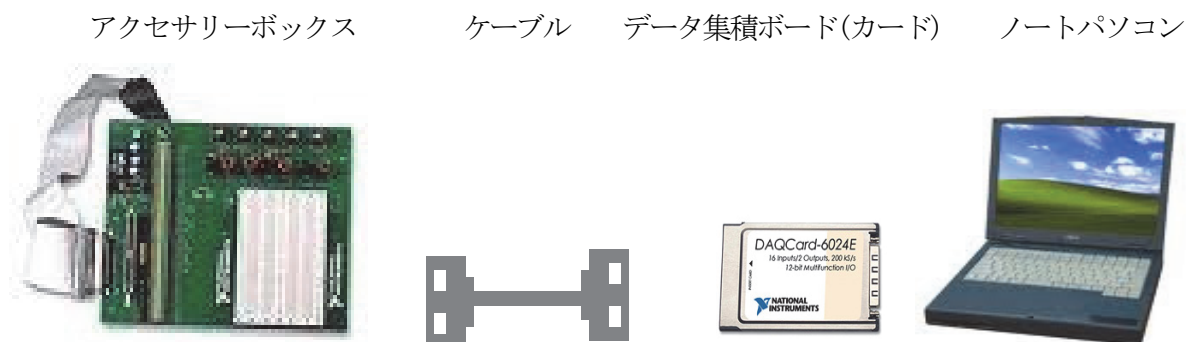


図2 新構成のイメージ図

2.2 鋼の片持ちはりのひずみ測定

図3のように、一端を固定し他の一端に荷重Wを加えた矩形断面の片持ちはりの表面に、ひずみゲージを1枚接着した場合、ひずみゲージ接着箇所の表面応力 σ は、

$$\sigma = \varepsilon_0 \cdot E$$

なお、ひずみ ε_0 の計算式は次式のようにになります。今回の鋼の試験片は、 $b=10\text{mm}$ 、 $h=2\text{mm}$ 、 $L=300\text{mm}$ とし、まず始めにひずみ測定の仮実験をおこなった。

$$\varepsilon_0 = \frac{6WL}{Ebh^2}$$

b : はりの幅
 h : はりの厚み
 L : 荷重点からひずみゲージ中心までの距離

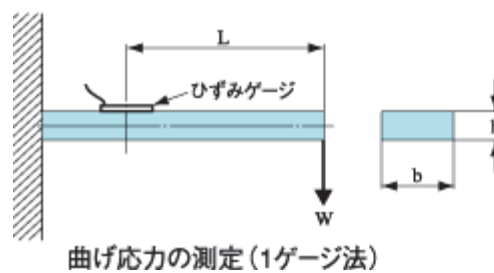


図3 矩形断面の片持ちはり

ひずみゲージ(G1)は、試験片の先端付近から $x=300\text{mm}$ のところに貼付して、局所的な長さ変化 ΔL を検出しているが、実際にはこの変形量から導き出される物理量である応力、外力、圧力等に置きかえて評価することが一般的です。曲げ応力の計測として、簡易な1ゲージ法(図4)を用い、ブリッジボックスへゲージを組込み、Wに荷重をかけひずみ測定実験を行った。詳細については割愛した。

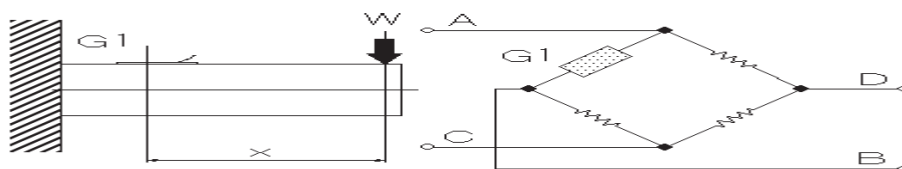


図4 曲げ応力の計測<1ゲージ法>

2.3 片持ちはりのたわみの求め方

はりのたわみを求めて方は、以下の通りである。たわみを求める微分方程式は

$$\frac{d^2y}{dx^2} = -\frac{M}{EI}$$

E: ヤング率、 I: 断面二次モーメント、 M: 曲げモーメント

・片持ちはりの場合

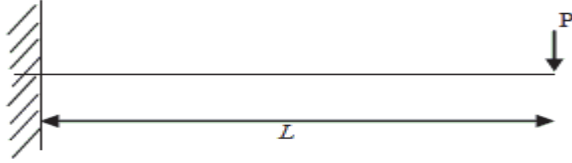


図5 片持ちはり

境界条件で解く場合は、以下のとおりである。

未知数が2つありますので、境界条件を用いて解きます。まず、支点にはたわみは発生しないので境界条件は以下のように、

$$x=0, y_1=0 \quad (0 < L \text{ の場合})$$

また、固定端では回転はしないため、回転角が0です。

$$x=0, \theta_1=0 \quad (0 < L \text{ の場合})$$

$$0 = -\frac{P}{EI}(0-0+A)$$

$$A = 0$$

$$0 = -\frac{P}{EI}(0-0+0+B)$$

$$B = 0$$

です。

以上のように、境界条件から未知数を求めることが出来ました。

よって、たわみとたわみ角の式は次の通りです。

$$\frac{dy_1}{dx} = -\frac{P}{EI}\left(\frac{x^2}{2} - Lx\right)$$

$$y_1 = -\frac{P}{EI}\left(\frac{x^3}{6} - \frac{Lx^2}{2}\right)$$

です。

よって $x=L$ のたわみ及びたわみ角は以下の式で示されます。

$$\theta_1 = \frac{dy_1}{dx} = -\frac{P}{EI}\left(\frac{L^2}{2} - L^2\right) = \frac{PL^2}{2EI}$$

$$y_1 = -\frac{P}{EI}\left(\frac{L^3}{6} - \frac{L^3}{2}\right) = \frac{PL^3}{3EI}$$

です。

計算値では、 $E=210\text{GPa}$ 、 $P=10\text{N}$ 、 $L=0.3\text{m}$ とすると、たわみは 0.00257m となった。

2.4 測定実験

データ集積ボードのカードを挿入後、アクセサリボックス上へ反転増幅器の回路を組み込み、ひずみアンプの信号をアナログ信号へ入力させ、ノートパソコンへ出力させた。片持ちはりのひずみ測定

ヘグラフィカルな測定技術に応用した例を、図6に示した。試験片材質は、鋼と複合材を用意した。



図6 データ集積ボード(カード)利用による構成

3. 結果および考察

1枚ゲージにて仮実験を実施し、もう少し正確にたわみを測定するには、図7のようにしなければならない。すなわち、ブリッジ回路の二辺にひずみゲージが、他の二辺に固定抵抗が接続される回路です。2枚のひずみゲージのうち1枚をアクティブゲージ、他の1枚を温度補償用のダミーゲージとするアクティブ・ダミーがあります。1ゲージ法では、表面側の引張りの影響を受けるため、多少のデータの数値にばらつきがあり、2ゲージ法(引張り成分を除去し曲げ成分を測定)にて、再度データを取り直し直線部分のみデータとして用いた。鋼の場合のおもりと変位の関係は、図8のようになった。データは、おもりを先端にのせてから、上下のゆれを抑えるため、各々3分後からデータを取り始め、一番最初と一番最後のデータを、除いて整理するとほどよい直線となった。両試験片ともより多くのデータを収集し複合材への応用も構想しつつ、特に複合材試験片に関しては、2mmゲージを貼付使用していたため、広範囲の10mmゲージへ変更し試行しながら測定するなどの課題を残した。

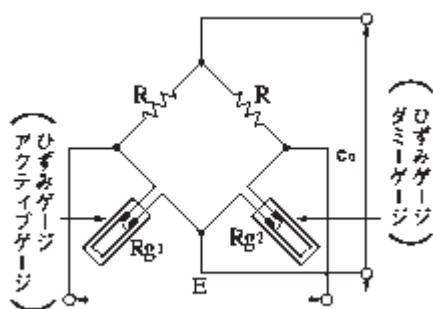


図7 2ゲージ法

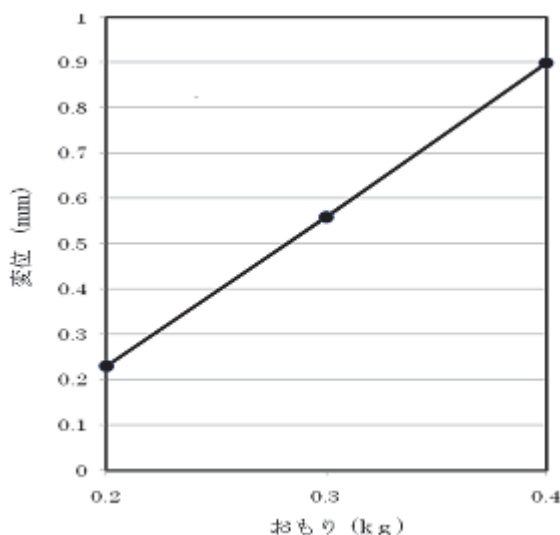


図8 おもり-変位の関係

4. おわりに

ノートパソコンへデータ集積ボードのカードを挿入して、片持ちはりのひずみ測定へグラフィカルな計測技術の応用可能となった。本報告の一部は、平成22年度工学部・工学系研究科個別研修(OJT)の補助を受けたことを記し、謝意を表すとともに報告いたします。 文献省略

50 建築における石材利用に関する研究（3）

日本における構造材としての石材の盛衰

建築学専攻 角田 真弓
tsunoda@arch.t.u-tokyo.ac.jp

1. はじめに

建築における石材利用は大きく構造材と表層意匠材としての2種に区分される。こと日本においては、石垣や基壇、基礎など基盤構築物を除くと、構造材としての利用は西洋建築の輸入とともに始まり、大正12年の関東大震災とともに姿を消してゆく。そこで、本稿では構造材としての石材を中心に、日本における石材の導入から関東大震災までの経緯を整理して検討を行いたい¹。

2. 明治期における石材利用

建築における石材利用は西洋建築とともに輸入されたが、当時の石材輸入量は限られており²、大半の石材は国内で生産されていた。しかし、当時の状況を記す資料は少なく、いくつかの記録を整理すると以下の通りとなる。

明治13年 同業者37名で「石陽組合」が設立

原石の共同採掘、運搬、配分から各種製品の意匠の改善、研磨方法、光沢の出し方の研究。

18年 曾根達蔵「豆相地方建築石坑の状況」（『工学会誌』40）

20年 中村達太郎「石材弁」（『建築雑誌』7）

22年 巨智部忠承「東京建築石材の改良を求む」（『建築雑誌』35、『工学会誌』95）

23年 桂二郎、杉村二郎により「関東石材会社」設立

26年 妻木頼黄「室内装飾用御影石及大理石艶出しの法」（『建築雑誌』75）

28年 米国人ギルデールの援助で大理石板石製造開始（金生山）

33年 初めて建材として金生山大理石を利用

42年 佐野利器「石材試験成績」（『建築雑誌』268）

44年 妻木頼黄「建築石材としての本邦石材」（『建築雑誌』300,301,302）

このように大理石が主であるが、徐々に建材としての地位を確立している様子が見えてくる。しかし、同時期に輸入されたレンガに比べ、生産量³、使い勝手等から必ずしも良いとは言えず、構造材としての普及は限られたものであった。

表 現存する石材を用いた明治期に建設された主な建築

建築名	所在地(当初)	建設年代	構造	設計者
尚古集成館	鹿児島	慶應元	石造	
旧リンガー住宅	長崎	明治元頃	木及び石造	
泉布観	大阪	明治4	レンガ及び石造	ウォートルス
龍谷大学本館	京都	明治12	木造石貼	
日本銀行本店本館	東京	明治29	1階石造、2.3階レンガ造石貼	辰野金吾
旧札幌電話交換局舎	北海道	明治31	石造	
大阪府立図書館	大阪	明治37	レンガ及び石造	野口孫市
旧日本郵船株式会社小樽支店	北海道	明治38	石造	佐立七次郎
日本ハリストス正教会教団復活大聖堂 (ニコライ堂)	東京	明治41	レンガ及び石造	ジョサイア・コンドル
表慶館	東京	明治41	石及びレンガ造	片山東熊

岩崎彌之助高輪別邸（開東閣）	東京	明治 41	レンガ造石貼	ジョサイア・コンドル
旧東宮御所（迎賓館赤坂離宮）	東京	明治 42	石造及び鉄骨レンガ造	片山東熊
旧トーマス住宅	兵庫	明治 42	石、レンガ及び木造	デ・ラランデ

なお、現在のコンクリートに近い人造石はローマ建築にも見られるが、日本に於いても近世期には普及していたという。国学者黒川真頼による『工芸誌料』（明治 11 年）にも「石工」の項において、「練石（ねりいし） 練石を作ることは其の始め詳かならず。日野資勝卿の寛永 15 年（1638）の記の裏書に云く、作石の事、石の粉一斗二升、土一斗、石灰一斗六升、右に塩七升を水にてとき、右の三種を練り合わせ作るとあり。当時既に練石の法あり、石工の練石をつくりしこと以て見るべし。工人法を伝えて今に至る。」と記されている。

3. 地震学の発達と不燃化

このように石材、レンガが建材として普及した背景には、建築の不燃化があった。当時の東京市街地における一番の関心事は度重なる火災に対しどう予防するか、つまり防火、不燃化である。木造建築が大半を占める明治初期の日本に、西洋からもたらされたレンガ造は、都市の不燃化に最適であった。その結果、銀座れんが街に代表されるように、官庁をはじめとする公共建築にはレンガ造が採用されることとなる。また、地震学者ミルンは明治 16 年の講演⁴で「耐震にはレンガ造が最適」であると話しており、耐震面でもレンガ造が優れていると考えられていた。これらの流れを受け、明治 20 年代に入ると建築の耐震性は徐々に取り上げられることとなる。明治 20 年には文部省より造家学会（後の建築学会）へ地震動と建築の関係性の調査依頼が出され⁵、レンガ造は防火性ととも耐震性も備え持つ、新たな工法として定着しようとしていた。石材もレンガ同様、不燃、耐震両面で優れた建材であると考えられていた。

しかし明治 24 年 10 月 28 日、レンガ造の耐震性能を如実に表した濃尾地震が発生する。この地震によるレンガ造建築の被害は甚大であり、西洋のレンガ造の耐震性能では地震の多い日本では弱点があることが明らかとなった。一方で未だ大半を占めているのは木造建築であり、双方ともに改良が求められた。そこで翌 25 年には「震災予防調査会⁶」が設置され、レンガ造の鉄材による補強とともに従来の木造建築に対する改良も進められることとなる。次の大きな転機となるのは明治 39 年の米国サンフランシスコ地震であった。レンガ造、木造、鉄骨造、鉄筋コンクリート造が混在していた当地において、鉄材で補強のないレンガ造は倒壊、木造建築は耐震性を示すが大火災に見舞われるなか、鉄筋コンクリート造は耐火性ととも耐震性に高い性能を有し、このことを受け鉄筋コンクリート造の導入が進められた⁷。また、当時日本には存在しない鉄骨造の高層ビルの耐震性も大きく評価された。ここで鉄筋コンクリート造、鉄骨造が将来的な建築構造になると考えられたのである。

さらに、大正 12 年 9 月 1 日に発生した関東大震災はその後の建築構造、法整備に大きな影響をもたらすこととなった。被害率からすると⁸、レンガ造、石造>木造>鉄筋コンクリート造、鉄骨造となるという。この結果を受け、明治初期に導入されたレンガ造、石造は姿を消すこととなり、木造は耐震性を求めた改良が求められ、主要な公共建築は耐震壁を伴った鉄筋コンクリート造、鉄骨造が主流となってゆく。

4. 関東大震災における被害状況

関東大震災を契機に石材は建材として用いられることが減少するが、ここで具体的な被害状況を見てゆきたい。濃尾地震を契機に作られた震災予防調査会であるが、調査報告『震災予防

調査会報告』第百号は、奇しくも関東大震災火災誌となる。第百号は（甲）地震編、（乙）地変及津波編、（丙）建築編（上・下）、（丁）建築以外の工作物編、（戊）火災編の5部門で構成され、同会幹事今村明恒による発刊の辞「斯くして本報告第百号は吾人が後世子孫に遺すに足るべき唯一の大震災火災誌で有り得ると思うのである。」のとおり、詳細な記録が残されている⁹。

ここで、この調査報告における建築石材の被害状況を確認したい。「建築材料ノ被害調査報告」¹⁰によると、石材の被害状況は以下の通りであった。

I 花崗岩

耐火性が低い（約200度で亀裂が入り、約500度で破壊）と言われているが、火災に於いてはこれに達しない温度であっても剥落の起きる場合がある。800度程度になると粒状に崩壊するが、この不規則な崩壊を起こすことが構造材としては致命傷であり、海外では建築条例で花崗岩が非耐火材料であることを明示し、構造材として使用する場合はレンガ等で被覆するよう定められている場合もある。

写真1は京橋電話局（現中央区銀座）であり、細道を隔てて並んでいた木造家屋が焼失したため、かなり高温で熱せられたと言われている。震災前と比較すると、表面が侵され玉葱状に剥落していることが解る。

II 安山岩

緻密堅硬であり、花崗岩よりも耐火性に優れている一方で、凍害の被害を受けやすいとも言われている。

写真2は東京帝国大学法文学部教室（現在の法文2号館あたり）であり、窓廻には安山岩が使用されているが被害は軽微であるといえるであろう。

III 凝灰岩

300度位で変色するが1000度に至っても潰裂することはなく、形状収縮にとどまる。ただし、大谷石は気泡部分が脆いが、緻密な青石よりも強いという。

※ここでは指摘をされていないが、風化には弱い。

写真3は神田区内の邸宅の石塀であるが、笠石は花崗岩、塀は安山岩、手前に立てかけられたのは凝灰岩（大谷石）であり、花崗岩、安山岩はともに剥落が起きているが、凝灰岩は表面の変色にとどまる。写真4はニコライ堂下の大谷石土留壁であるが、気泡部分により、剥落が起きている。写真5は青石の塀であり、かなりの高温であったためか、大谷石よりも被害が大きい。

IV 砂岩

建材としての使用例は比較的少ないが、花崗岩、安山岩、石灰岩よりも強く、特に石英などが膠結材となる物が最も強いと



写真1 京橋郵便局

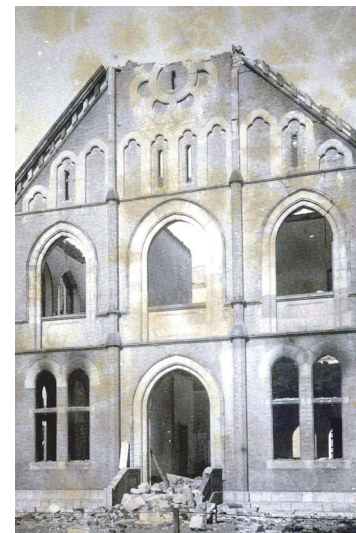


写真2 東京帝国大学
法文学教室



写真3 神田区内石塀



写真4 ニコライ堂下土留壁



写真5 青石の堀



写真6 朝鮮銀行

いう。

V スレート

主に瓦に代わる屋根葺材として使われる。この地震で瓦葺が脱落、重量による倒壊をもたらしたのに対し、スレート葺は脱落もなく、屋根自体への被害がないことから耐震性は高いといえる。しかし、耐火性は劈開に沿って割れやすく、また熱伝導率も瓦に比べ高いため屋根構造である木部に熱を伝えやすい。

VI 石灰岩、大理石

耐火性は低く、600度位より炭素ガスを放出して生石灰に変化する。1000度になると粒状に崩壊、亀裂を生む。写真6は朝鮮銀行であるが、端部はほとんど原形を留めていない。

この報告では、結論として「石材は構造材としては、耐震性にも又耐火性にも特種のものを除いては、其の価値低く」とし、止むを得ず使用する場合には相当の対処をするよう、また、装飾材として使用する際も「気儘に大材を使用して、構造に無理をなし、従って危険を招くが如き事を避け」さらに、稜部を少なくするよう、さらに「一旦大火に会えば、殆ど如何なる石材も犯される事は覚悟せねばならない」と石材は建材には適さないと結論付けている。

5. おわりに

このように、建材としての石材は関東大震災により構造材としての限界を露呈することとなる。しかし、石材の持つ質感、表情への評価は変わることなく、以後は表層意匠材としての石材の可能性を追求し、建築を飾ることとなる。

¹ 本章を作成するにあたり、以下の文献を参考とした。日本建築学会『近代日本建築学発達史』、1972.10。大橋雄二『日建築構造基準変遷史』、1993.12。「戦前期建築学教育資料からみる持続再生学 被災記録写真と大工道具」(文責角田真弓)『2009GCOEcSUR Annual Report』2010.3。

² 財務省貿易統計より

³ 古くは安政4年より国内でレンガは焼成されていたという。慶応2年には横須賀製鉄所に於いて建築用レンガが焼成され、各地へと広まる。

⁴ ミルン「地震学」『工学叢誌』2輯20号、1883.06、pp.306-318

⁵ 「地震と家屋との関係取調委員」として坂本復経、藤本壽吉、小島憲之の3名が造家学会より選定された。「本会記事」『建築雑誌』11巻、1887.11、pp161

⁶ 設置当初の委員は、会長 加藤弘之、委員 菊池大麓、古市公威、小藤文次郎、辰野金吾、関谷清景、巨智部忠承、田中館愛橋、中村精男、長岡半太郎、田辺朔郎、大森房吉。

⁷ サンフランシスコ地震の被害調査に赴いたのは、当時工科大学建築学科の教授佐野利器と中村達太郎であった。

⁸ 前掲『日本建築構造基準変遷史』p.122

⁹ 武村雅之「震災予防調査会報告100号の今日的意義」『「関東大震災」研究の新潮流』シンポジウム、首都圏形成史研究会、2010年4月24日

¹⁰ 田中正義、尾崎久助等、『震災予防調査会報告』100号丙下、pp343~372

51 放射線検出器用電荷増幅器の開発

システム創成学専攻
細野 米市

連絡先：hosono@sophie.q.t.u-tokyo.ac.jp

はじめに

熊本大学工学部に於いて3月16日から表記の総合技術研究会が開催された。同研究会には、全国から約870名の参加があった。記念講演として、「太陽光発電システムの現在と未来」と題して大澤悟氏（富士電気システムズ株式会社 太陽光システム統括部長）の話があった。大震災の後とあって講演内容はタイムリーでもあり興味がわく内容であった。

太陽光発電は、無尽蔵なエネルギー源である、電気に変える変換効率（現在20%以下）は改善される可能性がある、Co₂やNo_xが出ない、各家庭での太陽光の利用拡大等々が述べられた。

私の興味ある技術職員の組織化問題では、それに関してパネルディスカッションが行われた。同ディスカッションは、全国的に興味を持っている方が多く、メイン会場に入りきらず他の教室にも中継を行った程であった。全体で400～500人程度の参加があったと思われる。パネラーは、電気通信大学、熊本大学、名古屋工大、広島大学等であった。そこでの議論は、今から20年以上前の議論内容と同じと思え、「まず組織化ありき」であった。

発言者は、「組織ユートピア」ともいえる発言が多く、技術職員の在り方や法的根拠および学内規則等も話題にならなかった。また、北大・東北大・阪大・名大・京大等の旧7帝大系の大学からの発言が皆無であった点が残念に思えた。

一方、会場で出会った方で、かつて熱心に組織化を進めてきた知人は、「組織化して一生懸命やったが、仕事は増えて事務職から利用されただけであった。処遇も何ら変わらなかった。今組織化を進めている大学で技術職員が利用されるだけの組織にならなければ良いが・・・。」と懸念する意見が印象的であった。

筆者は、回路・制御の分科会でFJT申請の題名である「放射線計測用電荷増幅器の開発に関する発表」をさらに分かり易くするため、「APDを用いた放射線検出器用電荷増幅器の開発」という題名で口頭発表を行った。発表会場は、震災の影響で発表取り消しが多数でたため、講演する段階で参加者が10名以下になってしまい、少し寂しさを感じた。

筆者の発表は、2010年の技術発表会で報告した内容をさらに発展させたもので、放射線計測用電荷増幅器としては、ワールドレコードとなるS/N比特性を持つもの増幅器についてであった。登壇した時にパソコンの操作ミスがあり、データの一部が消去されたことから、少し分かり難い発表となってしまった。この点が残念であった。発表内容としては、電荷増幅器を構成する初段のFET素子の選択方法と回路構成に関する技術的なものと、それを応用したγ線や中性子計測等について報告した。

講演に対する質疑応答の中で、「APDを用いて中性子計測するという事はどの様にやりますか」との質問があった。その方は、中性子エネルギーが1eV程度の計測をやられている

方とのことであった。筆者の対象とする中性子エネルギーは、ポリエチレンラジエータを用いて「500keV以上の高速中性子の(n, p)反応を利用して測定する方法」と答えた。発表に用いたパワーポイントを以下に示し、報告としたい。なお、内容上で不明な点は、御質問していただければ幸いである。

APDを用いた放射線検出器用電荷増幅器の開発

細野 米市
東京大学工学系研究科
システム創成学専攻

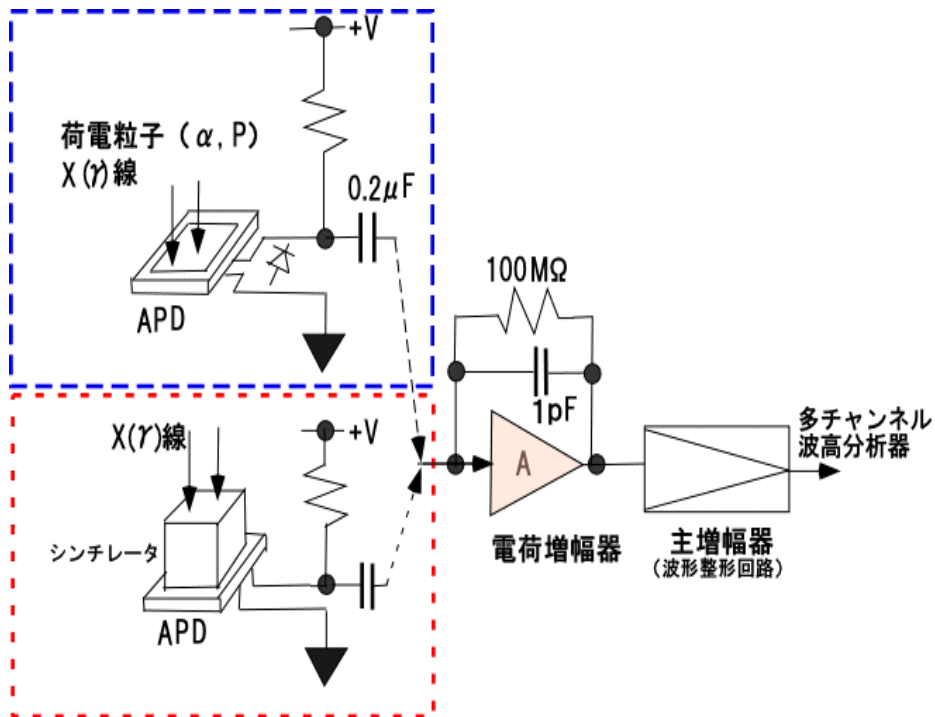
1

APDを用いた放射線検出器の特徴 (APD: Avalanche Photo Diode)

- (A) APDの空乏層(10 μ m前後)を利用した検出器では、
- ①電磁場の影響を受けない。
 - ②小型・軽量である。
 - ③半導体検出器に比べて安価(約6万円)。
 - ④1keVから数十keVのX線が測定可能。
 - ⑤バイアス電圧が比較的低い。
 - ⑥常温で使用可能。
- (B) シンチレータやラジエータと組み合わせた場合
- * MeVオーダーの γ (X)線まで測定可能となる。
 - * 中性子検出器として使用可能。

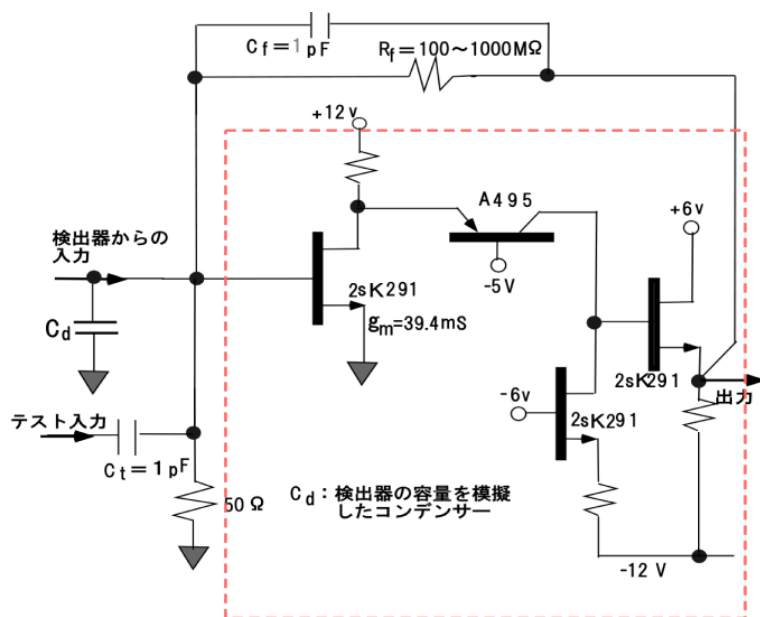
将来は、受光面が大きくなり(現行10mm角)、増幅率(現行50~100)が増大化の可能性あり。

測定に重要なS/N比  APDの端子間容量, 暗電流。

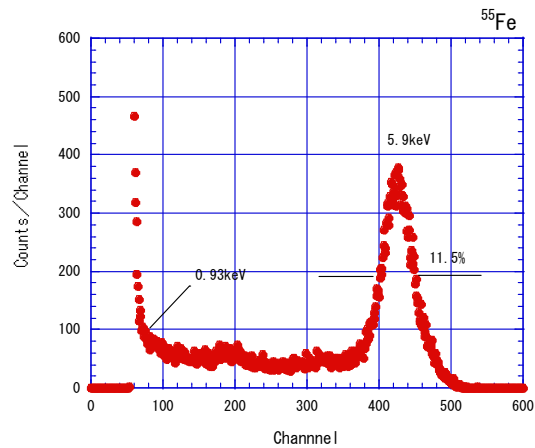


APDを用いた放射検出器の概要

実際の電荷増幅器回路



5.9keVのγ線スペクトル測定結果



APD に直接γ線を入射し、試作した電荷増幅器を用いて測定した例

電荷増幅器の入力段に使用するFETを特性の揃った素子を選択し並列に4本使用することによって、gm値を140[mS]に増加させ、S/N比の改善を図った。その結果は、等価雑音電荷は以下の通り(APDの端子間容量は80pF)であった。

	入りに容量なし	入りに100pF付加
試作の 電荷増幅器	0.709×10^{-16} [C] ($\tau=3\mu\text{s}$)	0.882×10^{-16} [C] ($\tau=3\mu\text{s}$)
市販の 電荷増幅器 (FET冷却タイプ)	0.49×10^{-16} [C] ($\tau=0.5\mu\text{s}$)	1.2×10^{-16} [C] ($\tau=10\mu\text{s}$)

* 500pF接続時は、 3.8×10^{-16} [C] であった。

* 従来の回路は、100pF時に約 4.0×10^{-16} [c]であった。

* 今後、これを用いて大気圧PIXE分析を行う予定である。

52 デジタルプロセス社 Solid Edge 基礎教育の受講

機械工学専攻 石川明克

ishi@kobo.mech.t.u-tokyo.ac.jp

1. はじめに

機械系二専攻（機械工学専攻、知能機械情報学専攻）の学部2年生は、冬学期に本郷での機械工学総合演習第一でCAD（計算機支援製図）の基礎を学び、学部3年生の夏学期には、機械工学総合演習第二⁽¹⁾でCADを応用してSE(スターリングエンジン)の設計を学んでいる。さらに、機械工学専攻では3年生冬学期に、創造設計演習⁽²⁾において、これまでに学んできた基礎学問（アナリシス）の知識を総動員し、より良い設計解を実現するために個別の知識をどのように導入・統合（シンセシス）するのかを考え、さらに独自のアイデアを注入してもらおう。創造設計演習の中の一つのテーマである振動設計演習⁽³⁾では、これまで学習してきた振動学、材料力学、機構学、設計・加工の知識を総合的に用いて、要求仕様を満足し振動に関する性能を追求する構造設計を行うとともに、CAD→CAE(計算機支援設計)→CAM（計算機支援製造）→性能評価という一連の設計過程、設計ツールの活用を経験することにより、機械工学における創造プロセスを体験、理解する。

これらの演習で共通に使用するCADソフトは、Solid Edge ST2と呼ばれるデジタルプロセス社が販売する3次元CADである。筆者の担当する振動設計演習の中のCAM演習においても、CAMソフトを利用することで、このCADデータから形状データを得て、CL（工具軌跡）データやNC工作機械のメモリーに転送するポストデータを作成している。したがって、指導上CADソフトの操作が必要となり、Solid Edge 基礎講座を受講する研修を実施することとした。

2. Solid Edge ST2 の概要⁽⁴⁾

Solid Edge Synchronous Technology2（略称：Solid Edge ST2）は、SIMENS PLM Software から開発されている機械系ミッドレンジ3次元CADで、最初にOffice互換の認証を取得した機械系CADとしてユーザインターフェースを中心に操作性に優れている特長を持っている。

Solid Edge ST2は、3次元の部品モデルの作成から複数の部品を組み合わせて製品構造を再現するアセンブリデータの作成、また、3次元モデルから2次元図面が作成できるミッドレンジCADシステムである。これ以外にも、配管や板金モデルの作成、解析など豊富なアプリケーションを備えている。

Solid Edge ST2は、フィーチャと呼ばれる幾つかの要素の組み合わせを使って履歴操作するヒストリモードに加え、形状を直接選択して操作するノンヒストリモードを統合している。これにより、ヒストリ操作とノンヒストリ操作を切り替えて最適な設計を行うことができる。

3. Solid Edge 基礎教育の内容

- 第一日目：①Solid Edge の概要説明を受けた後、ファイル操作、表示操作等の基本操作を学習した。
- ②作成履歴の残るモデル（トラディショナルモデル）作成方法に関して部品の作成の仕方について、「突き出し」、「切抜き」等パーツ作成方法とスケッチ環境を学習した。
- 第二日目：①部品の組み立てについて、アセンブリの概要から作成、編集、検査等を学習した。
- ②図面作成について、各種ビューの作成、寸法・注釈等の記入方法を学習した。
- ③分解図について、分解表示の作成、分解表示環境等を学習した。
- ④3次元注記（PMI）について、作成方法、ビューソフトでの表示等を学習した。
- 第三日目：①モデル作成履歴のないノントラディショナルモデルの作成方法を学習した。
- ②板金専用機能について、モデリング、材料特性設定等を学習した。

以上のように、盛りだくさんな学習内容ではあったが、全てに実習や問題が用意されていて具体的な操作を習得することができた。この内、トラディショナルモデリングの内容は、以前のバージョンと変わらないが、マイクロソフト社のオフィスに近い環境となっていて使い勝手が進歩していることが実感された。

4. おわりに

本報告は、デジタルプロセス社が主催する Solid Edge 基礎教育について報告した。本講習は、非常に有意義であり、高価で複雑なハイエンドの業務用ソフトではなく、Solid Edge のようなミッドレンジの CAD ソフトは、教育的有用性が大きいと考える。また、この学習の成果として、学生が作成した形状モデルの理解や修正等に、今後の職務の中で生かしていきたいと思っている。

なお、本報告は 2010 年度工学系研究科技術部個別研修第 10-02F 号の経費を受けて、受講したものの成果をまとめたものである。

参考文献

- 1) 石川明克・他、第 24 回技術発表会技術報告、p61、2009
- 2) 創造設計演習配布資料、機械工学専攻、2010
- 3) 諸山稔員、第 24 回技術発表会技術報告、p29、2009
- 4) Solid Edge ST2 基礎編、デジタルプロセス（株）、2010

53 第二種電気工事士資格の取得について

機械工学専攻 浜名芳晴

hamana@tthtlab.t.u-tokyo.ac.jp

1. 始めに

工学系研究科では、実験や演習、研究において電気配線などの電気工事を行うことが日常的に発生する。しかし、電気事業法・電気工事士法において主な電気工事は電気工事士でなければ作業を行ってはならないと定義されている。したがって、教育研究活動においてコンプライアンスの向上を図るために、さらに作業を行うための技術を客観的に認定されるためにも、国家資格を取得することは非常に重要である。そこで、筆者が資格取得のために、各種講習会や国家試験を受験したのでその課程を報告する。

2. 電気工作物

大学で扱うブレーカー、配線、コンセント等の電気設備は、電気事業法で定義されている電気工作物である。従って、電気事業法の概要を下記に示す。

電気事業法の主な目的は、「①電気の利用者の利益を保護する、②電気事業の健全な発展を図る、③公共の安全を確保し環境の保全を図る」である。また、「電気工作物とは発電・変電・送電・配電又は電気使用のために設置する機械・器具・ダム・水路・貯水池・電線路その他の工作物である」と定義されている。さらに、電気工作物は下記の通り分類されている。

(1) 一般用電気工作物

電力会社から低圧(600V以下)の電圧で受電した電気を使用する一般住宅や商店などの電気設備や小出力発電設備。

(2) 事業用電気工作物

電力会社など電気を供給する事業のため発電所設備から需要家の引込線に至るすべての設備。

(3) 自家用電気工作物

上記の(1)(2)以外の電気工作物。

ただし、電気事業法施行令第一条三によると電圧 30V未満の電氣的設備は電気工作物から除外されている。

3. 電気工事士

電気工事士は、電気工事士法で定められている。電気工事士法の主な目的は、「①電気工事の作業者の資格と義務を定める、②電気工事の欠陥による災害の発生を防止する」である。また、作業を行える範囲によって、一種、二種、認定、特殊(ネオン)、特殊(非常用予備発電装置)に分類されている。第二種は前述の一般電気工作物に係る電気工事の作業が行えるので、大学における教育研究活動においては第二種電気工事士資格で十分である。さらに、自家用電気工作物に係る簡易電気工事は、第二種電気工事士資格取得後に認定電気工事従事者認定講習の課程を修了し認定電気工事従事者を取得すると行える。そこで、電気工事士資格が必要な作業と誰でも行える作業(電気工事士法施行規則第二条より抜粋)を以下に示す。

(1) 第二種電気工事士でないと行えない作業(電気工事)

電線相互を接続する作業。電線を直接造営材等に取り付けまたは取り外す作業。電線管、ダクト等に電線を収める作業。配線器具を造営材等に取り付けまたは取り外す作業、または電線を接続する作業。配電盤を造営材に取り付けまたは取り外す作業。

(2)誰でも行える作業(軽微な工事、軽微な作業)

露出コンセントの取替え。600V以下で使用する差し込み接続器、ソケットその他の接続器またはナイフスイッチ、その他の開閉器にコードまたはキャブタイヤケーブルを接続する工事。(延長ケーブルの作成やコンセントへの接続)600V以下で使用する電気機器(配線器具をのぞく)端子に電線をねじ止めする工事。600V以下で使用する電力量計、電流制限器、フューズを取り付けまたは取り外す工事。600V以下で使用する電気機器に接地線を取り付けまたは取り外す工事。

4. 第二種電気工事士試験

第二種電気工事士試験は、受験資格に制限が無く筆記試験と技能試験に分かれている。技能試験は筆記試験に合格しなければ受験することができない。平成22年の筆記試験の合格率は59.8%、技能試験の合格率は73.0%で合格者数は約4万3千人、比較的難易度の低い資格である。下記に、それぞれ概要を示す。

(1)筆記試験

一般問題30題と配線図問題20題の合計50題出題され約6割以上の正答で合格である。一般問題は、電気に関する基礎理論、配電理論、配線設計、材料、工具、施工方法、検査方法、法令などから出題される。配線図問題は、配線図の図記号、材料等の選別、電線条数、関連法規などから出題される。筆記試験対策としては、様々な団体が開催している講習会に参加して、出題傾向やポイントを絞って学習すると効率的である。

(2)技能試験

技能試験では、40分程度の制限時間中に配線図に従って正しく施工する。合格基準は、「①電氣的に致命的な欠陥のない、②施工上重大な欠陥(ケーブル等を著しく損傷)のない、③施工上軽微な欠陥(ケーブルや電線に軽度の傷)が3以下」のすべてを満たさないとならない。

施工時間が非常に限られているため、作業の熟練が必要である。従って、技能試験対策としては、技能試験問題は予め13題公表されているので、事前に材料等を準備し十分に訓練をし工具になれスムーズな作業がおこなえることが重要である。また、筆記試験同様に講習会に参加して効率のよい作業方法を学ぶと効果的である。

5. 終わりに

本報では、電気工作物や関連法令と筆者が取得した第二種電気工事士資格に関して概要を述べた。第二種電気工事士資格は比較的容易に取得が行えるので、今後の技術職員のキャリアアップに生かせると期待する。

なお、本報告は工学系研究科技術部技術職員個別研修(FJT)の実施によるものであり、関係各位へ謝意を表します。また、高田康宏氏には技能試験のための専用工具を拝借させて頂きこの場をお借りして御礼を申し上げます。

<参考文献>

[1]電気事業法、昭和三十九年七月十一日法律第七十号

[2]電気工事士法、昭和三十五年八月一日法律第三百三十九号

[3]電気事業法施行令、昭和四十年六月十五日政令第二百六号

[4]電気工事士法施行規則、昭和三十五年九月三十日通商産業省令第九十七号

54 イオンビームのコリメート

原子力国際専攻 中野 忠一郎
nakano@n.t.u-tokyo.ac.jp

1. はじめに

東京大学工学系研究科原子力国際専攻に設置されたタンデム加速器研究設備（Micro Analysis Laboratory Tandem Accelerator、The University of Tokyo、略して“MALT”と呼ばれる）は、タンデム加速器から発生する多様なイオンビームの高いエネルギー安定性という特徴を生かして、種々の極微量分析等の加速器分析研究を行っている。粒子励起X線分析法（Particle Induced X-ray Emission、略してPIXE（ピクシー）という）も加速器を用いた精密微量分析法の一つである^{1,2)}。

PIXE で使用するビームは PIXE chamber 内に設置されたコリメータによりコリメートされ、所望のビーム径とされる。しかしコリメータエッジでの散乱やコリメータと試料間での距離によるビーム自身の発散があり、実際のビーム径は異なる³⁾。このことは、試料のピンポイント測定でその箇所が近接する場合（例えば、PIXE 測定システムを用いての試料の元素マッピングなど）においてビーム照射面が重なる、あるいは散乱によるシステムピークの発生など問題となる。測定精度を向上させる上で、正確なビーム径をもつビームが要求される。

本稿では、二重コリメータ方式を用いて正確なビーム径のイオンビームをつくったので報告する。

2. MALT のビームラインと PIXE コース

図 1 に MALT のビームラインを示す。PIXE コースは標的室 2 に設置されていたが、コッククロフト型

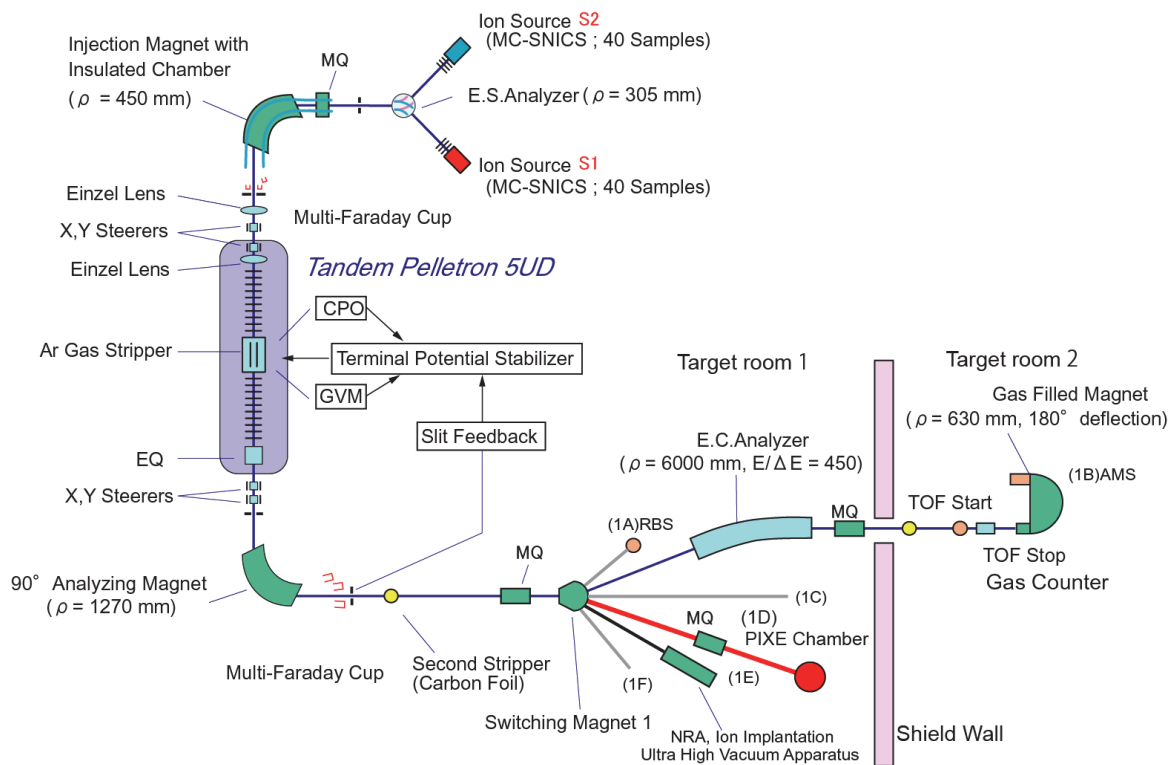


図 1 MALT のビームライン

加速器(最大発生電圧 500kV、シングルエンド型)が同コース付近に設置されるにあたり、標的室 1 の 1D コースへと移設されている。加速器からのビーム搬送距離が短くなったことにより、ビーム搬送に必要なレンズや電磁石等の元素のいくつかが不要となり、ビーム搬送が容易になった。また標的室 1 での PIXE 実験中であっても遮蔽扉を閉めておけば標的室 2 で作業が可能となり、標的室 2 の有効活用が可能となった。

3. イオンビームのコリメート

イオンビームをコリメートする方式として、X-Y スリットを使用した方法と平板に穴をあけた方法がよく用いられる。前者は、スリットが連続稼働するので任意の大きさの角形をしたビームを得ることが可能である。半面、真空中での稼働となることから蛇腹などを用いた複雑な構成となる。一方後者は、構成は単純となるが、アパーチャーの径が固定されるという制約がある。MALT では後者を採用している。

試料を取り付けない状態、いわゆるブランク状態にし、コリメータを使用して得られたビームを通すと、PIXE chamber やその中の構成物の材質に起因

した特性 X 線のピークが観測されることがある。システムピークと呼ばれるが、これはコリメータのエッジにより散乱されたイオンビーム(散乱線という)がこれらのものに当たり、発生した特性 X 線が検出器に入ることにより現れる。この散乱線の拡がりは意外と大きく、試料の測定箇所が近接する場合(例えば、試料の元素マッピングなど)においてはビーム照射面が重なるなどの問題を生じる。正確なビーム径のビームを得るにはこれらの散乱をいかに小さく抑えるかが重要

となる。コリメータのエッジによるビームの散乱を図 2 に示す。

ビームの散乱はコリメータの厚さに起因することから、コリメータの厚さはできる限り薄くした方がよい。コリメータによく使用される Ta 板では、取り扱いを考えると厚さ 0.1mm 程度が限界となっている。

図 3 に直径 0.5mm のコリメートされたイオンビームをつくるために設計した二重コリメータ方式の概略を示す。Ta 板は厚さ 1.0mm を用いた。アパー

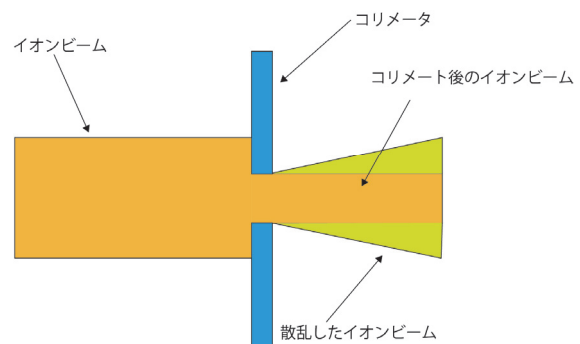


図 2 コリメータのエッジによるビームの散乱

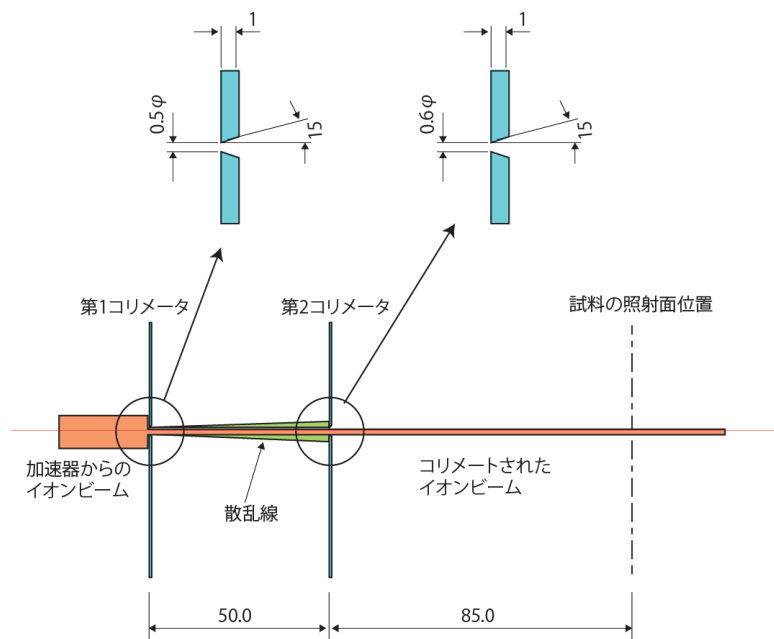


図 3 二重コリメータ方式の概略

チャーには鋭いエッジをもたせることにより、コリメータの厚さに起因する散乱線の発生を少なく抑えている。がしかし、それでも散乱線は発生する。そこで二重コリメータ方式とし、第 1 コリメータの発生した散乱線を、更に除去する目的で第 2 コリメータを設置している。なお、第 1 コリメータのオリフィスは直径 0.5mm だが、第 2 コリメータのアーチャーは直径 0.6mm としている。第 2 コリメータの設置位置は試料の照射面位置に近いことが望ましいが、PIXE chamber 内の他の構成部品との兼ね合いから 50.0mm とした。

4. コリメートされたイオンビーム径と散乱線の測定

二重コリメータ方式を用いてつくった直径 0.5mm のイオンビームを用いてシステムピークを観測した。その結果を図 4 に示す。なお、イオンビーム電流 1nA、測定時間 600 秒である。図 4 からシステムピークは観察されていない。二重コリメータ方式の有効性は理解されるが、もし散乱線が生じているとすると、散乱線の拡がりまでは分からない。

コンタミネーション(Contamination)法を用いてイオンビーム径と散乱線の測定を試みた。図 5(a)に紙を用いた結果を示す。紙にビームを照射し、その焼け跡からビーム径を同定するもので、同図よりイオンビームはおおよそ直径 0.5mm と確認できる。試料の急激な炭化による真空悪化を避けるために 1nA 以下のイオンビーム電流を使用したため、測定に長時間を要した。なお散乱線は確認できない。次にアクリル板上にビームを照射しビーム径の測定を行った。アクリルは融点の低いで、紙の焦げ跡よりもビーム痕跡が明瞭に把握できる。これはコンタミネーション法の変形といえる。その結果を図 5(b)に示す。同図よりビーム径はおおよそ 0.5mm と同定できる。しかしこの手法でも散乱線は確認できない。紙及びアクリルを用いたコンタミネーション法ではビーム強度の小さい散乱線の拡がりまでは見ることは難しい。

次に、スリットを利用してイオンビームの散乱線を測定した。スリットは、長さ 40mm、スリット間距離は一方が 4mm、他方が 0mm、いわゆる二等辺三角形をしたものである。またスリットの表面には

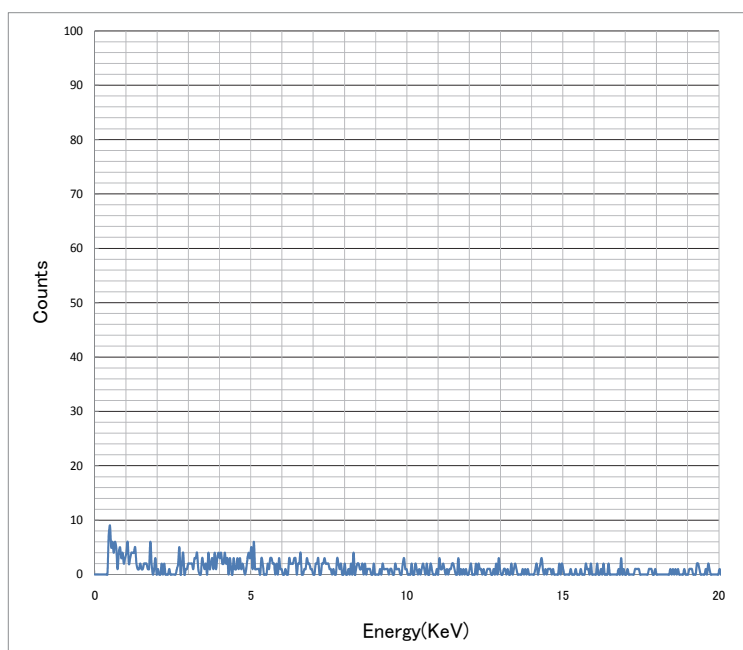
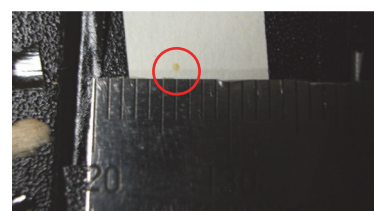
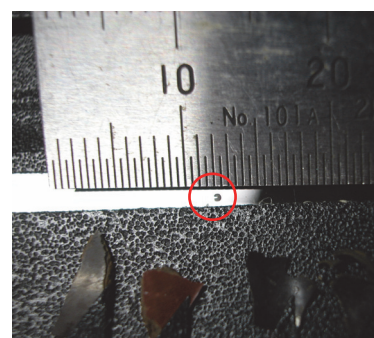


図 4 MALT PIXE System のシステムピークの観察



(a) 紙を用いた場合



(b) アクリルを用いた場合

図 5 コンタミネーション法によるビーム径の測定
ビームスポットは○で囲まれた中にある。

フッ化カルシウム粉末(CaF)を塗布した。イオンビーム電流は 1.8nA、計測時間は 600 秒とした。スリット間隔が 1.4mm と 0.7mm の場合の測定結果を図 6 に示す。スリット間隔が 1.4mm の場合、カルシウムピークは現れず、図 4 と同様のバックグラウンドレベルとなっている。このことは、直径 0.5mm のイオンビームと散乱線は 1.4mm の隙間を通り抜けていることから、これよりも十分に小さいことが理解される。次にスリット間隔が 0.7mm の場合、カルシウムピークが現れているが、その個数は僅かである。イオンビーム電流と計測時間から、この近傍が散乱線と考えられる。

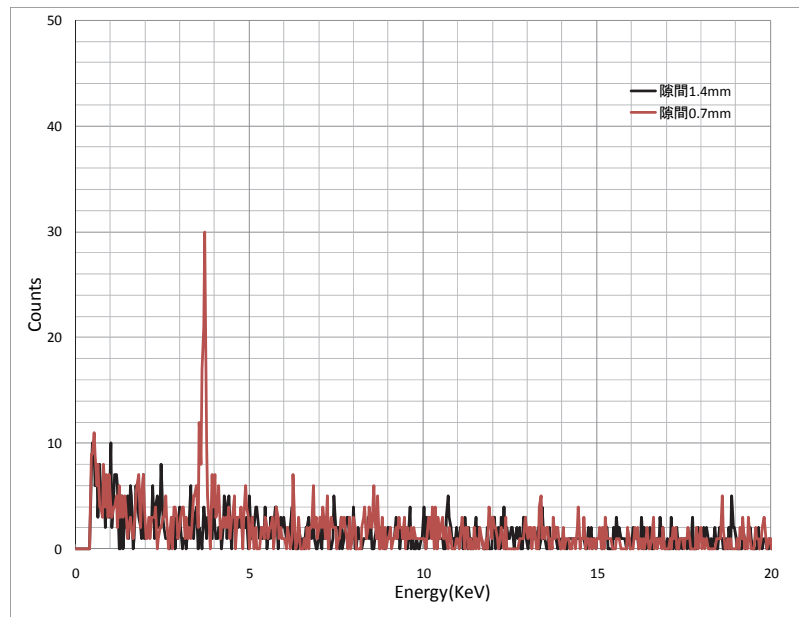


図 6 イオンビームの散乱線の測定結果

図 5 及び図 6 よりイオンビームのビーム直径は 0.5mm、また散乱線の直径はおおよそ 0.7mm と分かる。二重コリメート方式により散乱線が十分に抑えられていることが理解される。

5. おわりに

所望のビームを得るための二重コリメート方式は、コリメータのエッジによるビーム散乱の影響を抑える目的で有効である。特に、試料のピンポイント測定でその測定箇所が近接するような場合、散乱線等の影響を小さくできる。コリメータの最小アパーチャー0.5φをもつ MALT PIXE System でマッピング測定を行う場合、マッピング分解能は 0.7mm 程度となる。

なお、本報告は 2010 年度工学部・工学系研究科個別研修(OJT)として実施した。

参考文献

- 1) 橋本芳一、他:放射化分析・PIXE 分析法(共立出版社、1986) pp131-147
- 2) 石井慶造:応用物理放射線 Vol.23,No.4(1997)pp3-7
- 3) 中野忠一郎:第 23 回東京大学工学部・工学系研究科技術発表会、pp19-22 (2008.9)

55 建築における石材利用に関する研究（2）

建築意匠における石材

建築学専攻 山崎由美子

yu@arch.t.u-tokyo.ac.jp

1. はじめに

建築設計を行うために、建築を見る事はとても大切なことであるが、建築単体を見るだけでなく、街並み全体を観察し、建築が街並みにどのような影響を与えているかを知ることでも重要なことである。また、建築材料がどのように使われているかを知ること、建築デザインの幅を広げるのに有効な手段である。

そこで、様々な建築材料の中から石材に注目し、現在ではもっぱら化粧材（仕上げ材）として使われている石材について建築を見ることにより分析する。

2. 文献調査

建築のどの箇所に、どのように石材が使われているかを明らかにするために、建築雑誌『新建築』の巻末に掲載されているデータシートから仕上げ材として石材が明記されている建築を抽出する。

調査対象：『新建築』新建築社 2006年1月号～2010年12月号（月刊）

5年間で「データシート」が掲載されている事例は695例（海外事例を除く）。その中で仕上げ材として石材が使われている事例は280例であり、全体の約4割にあたる。

利用箇所別では、外構が全体の71%（199例）、ついで内部床の62%（176例）、内部壁23.5%（66例）、外壁15%（43例）とつづく。比重が大きいという石の特質上、外構と床に使われることが多いと思われる。屋根、天井は数例しかなく、屋根材のケースでは、屋上庭園などの散策通路に使われている事例と屋根葺き材として使われている事例があった。

表1 石材使用建築数

掲載年	掲載建築数 (海外事例除く)	石材使用建築数	外部仕上げ数			内部仕上げ数		
			外壁	外構	屋根	床	壁	天井
2010	142	39	7	21	0	22	3	0
2009	149	59	8	41	1	38	17	0
2008	127	53	9	37	3	34	13	1
2007	145	73	9	59	0	46	19	0
2006	132	56	10	41	3	36	14	1
合計	695	280	43	199	7	176	66	2

石材の種類としては花崗岩が一番多く、次いで大理石、御影石であるが、御影石は花崗岩の別名であることから、事例の半数以上に花崗岩が使われていると言える。これは、花崗岩が耐久性・耐摩耗性に優れるため、屋内外に利用可能であること、また、仕上げ方法が多岐にわた

表2 2010年 石材使用建築作品リスト

発行月	掲載数	石材使用数	名前	設計者	外部仕上げ			内部仕上げ			主要用途	所在地
					外壁	外構	屋根	床	壁	天井		
12	13	4	空飛ぶじゅうたん	近藤春司				御影石タイル貼り			歯科医院	千葉県
			室町東三井ビルディング	日本設計		花崗岩ビシヤン塗装		大理石水磨き 花崗岩自然肌・磨き 小たつき			事務所・複合商業	東京都
			日本橋室町野村ビル	日本設計	花崗岩割肌・磨き	花崗岩JB		大理石水磨き 大理石割肌・磨き 大理石水磨き			事務所・複合商業	東京都
			朝公園の住宅	安藤忠雄建築研究所		黒御影石 スジ引き仕上げ		黒御影石 スジ引き仕上げ			専用住宅	大阪府
11	16	3	東京国際空港(羽田)貨物合同庁舎	久米設計				花崗岩JB			ターミナル施設	東京都
			東急キャピタルタワー	隈研吾建築都市設計事務所	石ルーバー :花崗岩	花崗岩(ジェット仕上げ) 飛石・延段・丹波石 石張擁壁・花崗岩石橋		安山岩水磨き 大谷石敷き			ホテル等 ゲストハウス	東京都 茨城県
			鹿嶋の研修所						琉球石灰岩		スタジオ兼用住宅	静岡県
10	13	3	海光の家	岡田哲史建築設計事務所				花崗岩			ギャラリー	石川県
			石川県政記念しいのき迎賓館	山下設計	花崗岩貼り			花崗岩			保育所	群馬県
			昭和保育園	山下成一郎設計室		花崗岩					保育所	群馬県
9	13	3	大島「家プロジェクト」	妹島和世建築設計事務所	大島石(砕石)						展示場	岡山県
			季風煥美術館	安藤忠雄建築研究所		新見石灰石4分砕石 バステルストーン 玉石					美術館	香川県
			恵比寿のオフィス	原広司				花崗岩張り			事務所	東京都
8	2	1	長楽寺納骨堂	山本良介アトリエ		砂利・栗石		大理石 本磨き眠り目地			納骨堂	香川県
7	16	5	安藤百福記念 自然体験活動指導者養成センター	隈研吾建築都市設計事務所		砕石敷					研修施設	長野県
			Loopecture 福良	遠藤秀平建築研究所		淡路砂岩くずれ石積み 淡路豆砂利 洗い出し塗装		淡路砂岩 くずれ石積み			海岸保全施設	兵庫県
			日本赤十字社医療センター	久米設計	花崗岩打ち込み			花崗岩			病院	東京都
			日産厚生会・玉川病院南館	KAJIMA DESIGN							病院	東京都
			内田洋行 ユビキタス協創広場CANVAS	ハワープレイス				花崗岩			事務所 ショールーム	東京都
6	15	6	香坂私立一支部博物館 長崎埋蔵文化財センター	黒川紀章建築都市設計事務所				花崗岩			博物館、埋蔵文化	長崎県
			富士ゼロックス R&D スクエア	清水建設			中国産花崗岩JP	中国産花崗岩JP			事務所・研究所	神奈川県
			日東工務新本社・研究所	竹中工務店			花崗岩				事務所	東京都
			国際仏教大学	横総合計画事務所				御影石	大理石		大学、寄宿舎	東京都
			鶴岡市立藤沢周平記念館	高谷時彦事務所				花崗岩			文学館	山形県
			平城京跡第一次大極殿正殿	奈良文化財研究所				凝灰石(黄龍石) 敷石			屋外展示場	奈良県
5	14	2	竜王駅・南北駅前広場	安藤忠雄建築研究所				花崗岩			駅舎	山梨県
			京都工芸繊維大学60周年記念感	京都工芸繊維大学 都市環境設計研究室等				御影石水磨き 花崗岩本磨き 一部水磨き			講義室	京都府
4	14	3	小野路堂管理棟 森風閣	谷口大造/スタジオボス							管理事務所	東京都
			東邦音楽大学70周年記念館	野生司環境設計				御影石			学校	埼玉県
			ヤマハ銀座ビル	日建設計	花崗岩打込み型枠兼用 鉄筋コンクリート成形板			花崗岩			物品販売、ホール	東京都
3	13	4	IZU PHOTO MUSEUM	新素材研究所	利根川自然石乱積み			御影石緑石			美術館	静岡県
			山梨県市庁舎	梓設計				御影石サンドジョット、 一部本磨き			庁舎	山梨県
			ベイサイドマリーナホテル横浜	吉村靖考建築設計事務所				乱形石張り 自然石歩道 白玉砂利			ホテル	神奈川県
			villa kanousan	橋沢祐輔建築計画事務所							週末住宅	千葉県
2	1	0										
1	12	5	澄心寺庫裏	宮本佳明建築設計事務所				砕石敷き			寺院庫裏	長野県
			虎屋京都店	内藤廣建築設計事務所				御影石			飲食店、菓子 製作所、事務所	京都府
			フラワージュショップH	乾久美子建築設計事務所				御影石張り			店舗	東京都
			新潟駅南口駅舎接続施設/南駅前広場	堀越英嗣・堀越共同企業体				御影石			駅舎接続施設	新潟県
			國學院大学渋谷キャンパス再開発計画	日建設計					さび石 瀬戸内海産花崗岩		大学	東京都
合計	142	39			7	21	0	22	3	0		

ることなどが理由に挙げられる。

また、建築の所在地で採石される石材を使用している事例もあった。外構では比較的安価で施工も簡単な砂利敷きなどの事例も多くみられた。外壁では、打ち込みPCカーテンウォールが数例あった。これはプレキャストコンクリートの化粧面に石材を打ち込む工法であり、現場での石張りの必要がなく、壁面利用の施工が簡略化されるなどの利点がある。砕石を積み溶接金網で外周を固定したもの、石ルーバーなどもあった。

4. 石材仕上げ方法と特徴

石は圧縮強度が大きく、耐久性に富み、花崗岩・大理石など一部の石材を除き、耐火性、耐熱性に優れる反面、引張強度、曲げ強度が小さい。また、比重が大きく、運搬に不向きである上、硬質であるため、加工が困難であり、職人の技量によるところが大きい。



写真1
小口積み溶接金網

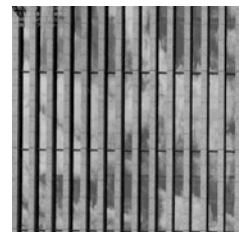


写真2
石ルーバー

花崗岩・砂岩は屋内外の床および壁に利用出来るのに対し、大理石は外部の利用には適さない。それぞれの石の特質により適した仕上げ方法があり、その種類と特徴は以下の通り。()内は最も一般的に利用される石材

□磨き仕上げ

- ・本磨き：石材の表面を「粗磨き→水磨き→本磨き」の順に磨いた表面仕上げ。光沢が出るまで研磨するために石本来の色つやが出るが、滑りやすい。(花崗岩、大理石)

- ・水磨き：うっすらとツヤが出る程度に磨いたもの。柔らかい雰囲気は出るが、外装では汚れやすい。研磨あとが残る事もあり、本磨きよりも難しい。

- ・粗磨き：ざらついた感じで光沢はない。濃色の石材では白っぽい色合いになる。荒磨きとも表記される。

□粗面仕上げ

- ・割肌：石目に沿って割裂し、大きな凹凸面を自然のままに造る仕上げ。薄くて面積の大きい製品は造りにくい。(砂岩)

- ・JB (ジェットバーナー)：石表面をバーナーで加熱し、それを急激に冷やすことにより、石材結晶の熱膨張率の違いを利用し表面の一部を剥離させ凹凸をつくるもの。(花崗岩)

- ・J&P (ジェットポリッシュ)：ジェットバーナー仕上げの後、軽く研磨し滑らかにしたもの。色ものの石は色合いがさえる。(花崗岩)

- ・ビシャン：「ビシャン」という多数の格子状突起のあるハンマーでたたき、斑点状の粗面模様をつける仕上げ。最近では職人不足により、「機械ビシャン」も使用される。

- ・小たたき：ビシャンでたたいた後、両刃と呼ばれる先の薄いハンマーを用い、1~2mm幅の細かい平行線を石面に刻む仕上げ。

- ・サンドブラスト：細かい砂や鋼鉄の粉粒を圧縮空気ですり付け、細かく目粗しする仕上げ。やや白みを帯び、ややざらついた感じになる。施行後、表面に鋼鉄が残っていると、錆色が出ることがある。ビーズ粒を使うビーズブラストもある。

- ・ウォータージェット：複数のノズルから高圧水を石表面に噴し、石の表面を荒らした仕上げ。粗磨きに似た色調となる。

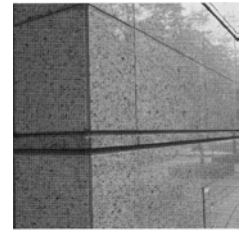


写真3
本磨き仕上げ



写真4
割肌仕上げ

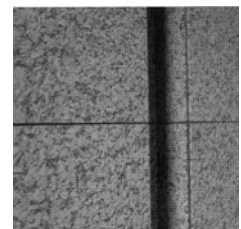


写真5
ジェットバーナー
仕上げ

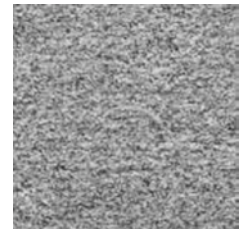


写真6
小たたき仕上げ

3. 街並調査

実際の街の中で、石材がどのように使われているかを知るために街並調査を行った。

調査方法：街路の反対側から、建築写真を撮影する。次にひずみを photoshop で修正しながら張り合わせ、街路の連続立面写真を作成する。連続立面写真と地図データ等を照らし合わせ、連続立面図を作図し、外壁化粧材として石材が使われている建築を抽出する。また、光の反射など時間による変化を見るために、ビデオ撮影も行った。

対象街路：明治通り（神宮前交差点から渋谷方面）・本郷通り（赤門から正門）・渋谷文化村通り・青山通り など

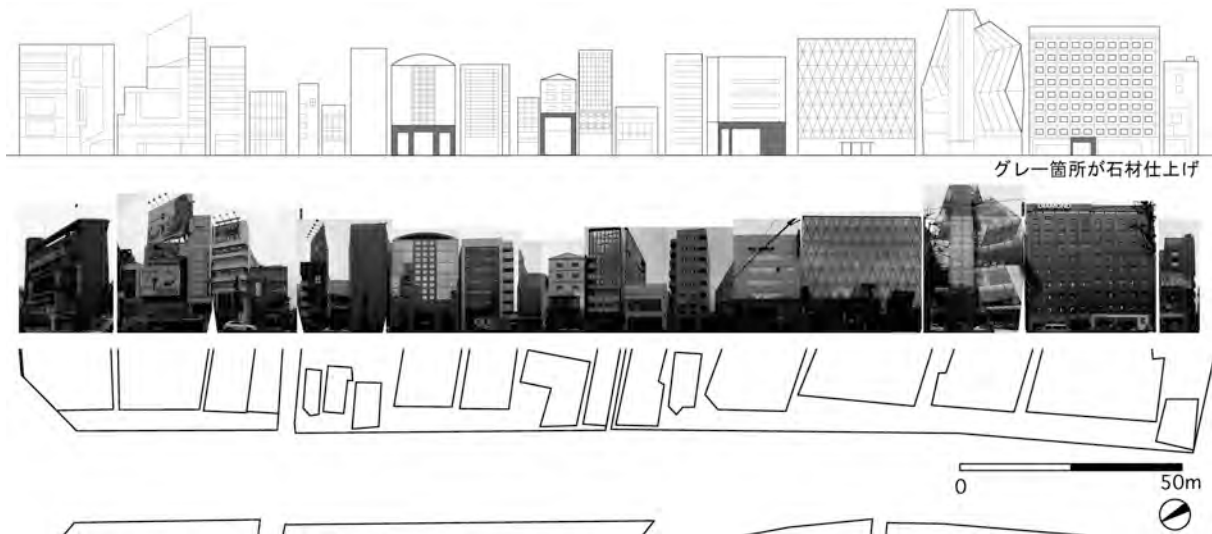


図1 明治通りの連続立面図（神宮前交差点から渋谷方面に向かって左側）

明治通りでは、19棟中、外壁に石材が使われているのは4棟のみであり（約2割）、全面ガラスの建築がある一方、すべての建築で基壇部のみ石材が使われていた。街路に面し複数の店舗が入っている建築ではビルの入り口に石材が使われており、店舗への入りやすさとは反対に、限られた人しか入れない雰囲気醸し出していた。ほかの調査街路でも1~2割程度しか石材は使われず、やはり基壇部のみであった。店舗の外壁に石材が使われる場合は、比較的高価なものを使っているケースが多く、「石仕上げ=高級感」を演出していた。

石材を使うことにより、建築に重厚感が得られ、粗面仕上げでは壁面に細かい陰影が出来き、また、磨き仕上げでは光をやわらかに反射することがわかった。

5. おわりに

街並調査・文献調査から、仕上げ材として石材が利用されている建築は少なく、使われる箇所も限られていた。これは、石材の特質による施工上の問題や職人不足、価格の高さなどが原因として考えられる。しかし、部分的であっても石材を使う事によって、他の仕上げ材では得られない様々な効果が得られることがわかった。

今後は街並調査を継続して行うとともに、文献調査の事例を過去にさかのぼり年代別の利用方法に違いがあるか、また海外事例、新しい工法などの調査を行いたい。

謝辞

この報告の一部は平成22年度工学系研究科技術部個別研修（OJT）の予算によるものであり、この場をかりてお礼を申し上げます。

参考文献：

- 『新建築』新建築社 2006年1月号～2010年12月号
- 『建築材料用教材』日本建築学会 2009年
- 『わかる建築学6 建築材料』加藤武彦・渡辺英彦編 学芸出版社 2009年
- 『建築知識』株式会社建築知識 1999年9月号
- 住宅建築専門用語辞典 <http://www.what-myhome.net/index.html>
- 石の用語辞典 <http://homepage2.nifty.com/kujira/yougo.html>

56 建築における石材利用に関する研究（1）

極薄石材の可能性について

建築学専攻 田村 政道
tamura@arch.t.u-tokyo.ac.jp

1. はじめに

2009年、「建築学専攻の歴史と役割」という題で専攻に所属する技術職員5名がそれぞれの専門分野の紹介を行った。2011年現在、異動などで3名が在籍するのみとなった。

そんななか、次のステップというほどではないが、同じモノをテーマとしてそれぞれの専門分野の切り口から発表できないかと考えていたところ、たまたま筆者のところに石材の研究話が持ち込まれた。筆者が検討した事柄については後述するが、それぞれの専門分野の切り口からまとめること、内容的に必ずしも連続してないが連番とすることの2点を約し、あとはそれぞれが独自に行うこととした。

筆者は、建築仕上材料の変遷の概略を押さえ、新しい形の建築仕上材料としての極薄石材の可能性について検討したので報告する。

2. 建築仕上材

建築仕上材料は、構法を含めて時代の要請とともに変化してきた。例えば、明治初期に西洋化に貢献した「レンガ造」は文明開花を彩り、中央官庁街やレンガアーケード建設などの新たな時代の到来を認知させたが、濃尾地震や関東大震災によりレンガ造の持つ耐震性不足という弱点を露呈した。その後、レンガの見付け寸法を継承した陶磁器質タイルの台頭へとつながる。それは、「積む」から「張る」ことでの建築物としての趣を残しつつ建物としての耐震性を確保する術であった。そして、タイルは現場張りから工場でのタイル先付けのプレキャストコンクリートに取って変わり、近年の中・高層建物の主要な構法システムとなっている。

これは石材においても同様であり、石材そのものを積み重ねて使う構法から「積む」「張る」という時代を経て「引っかけ」「差し込む」といった構法システムへと変化し、表面テクスチャ・色調・素材感のみを残した軽量乾式工法が現在の石工法の主流となっている。

一方、住宅産業に視点を移せば、戸建て住宅の外装仕上げ材は、幾度の都市大火という歴史を経て防耐火構造を優先とし、裸木造の下見板張りから鉄網モルタル塗り、さらには防火認定を有したタイルや石張り調のサイディング材へと移行してきている。また、近年の地球環境への配慮から間伐材の有効利用などの観点もあり、アルミや軽量鉄骨材などに木質調のプリントを施した表層デザインなど時代背景の要請とともに益々多様化している。

このように社会的背景により、建築仕上材料は重厚長大から短小軽薄といった表面重視の傾向となり、塗装系による溶剤や膜（フィルム化）による塗装、定着化による新材料や新技術が開発されることにより驚くほど「薄く・軽く」なっているといえるであろう。この傾向は新技術・材料の開発で今後も続くと思われる。

そして建築材料仕上材料の軽量化の実現は、近年叫ばれているCO²の削減という命題に対し、建設コストや輸送コストなどの削減という点から寄与できる。また、限りある石材資源の有効利用という観点からもこの研究開発の重要性や社会的意義があると考えられる。

3. 極薄石材

建築仕上材としての石材の薄さ・軽さを追求することで極薄石材が開発され、筆者の所に持ち込まれた。極薄石材は、石材の転写ともいうべき技術で製造される。その転写イメージを図1に示す。

堆積岩の表面にFRPを薄く塗布し、一定程度乾燥したところで引き剥がすことでFRPの表面に石のテクスチャを転写する。ここで得られた表面に石材が転写された薄く軽いFRPシートのことを極薄石材と呼ぶこととする。約1mm厚の極薄石材を写真1に示す。

ところで極薄石材は、FRPの成形過程でその形を平面のみならず曲面とすることも可能である。また、FRPを含浸させる基材を布とすることにより巻物状として供給することも可能であり、運搬や取扱が板状のものに比べて飛躍的に向上するという副次的なメリットもあるが、今回は板状の極薄石材についてのみ報告する。

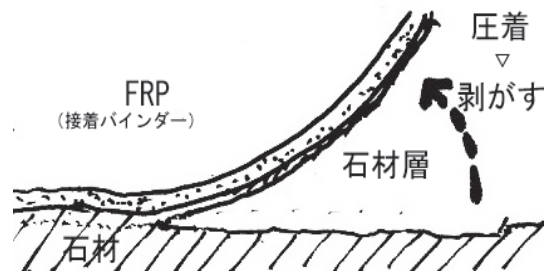


図1 極薄石材の転写イメージ

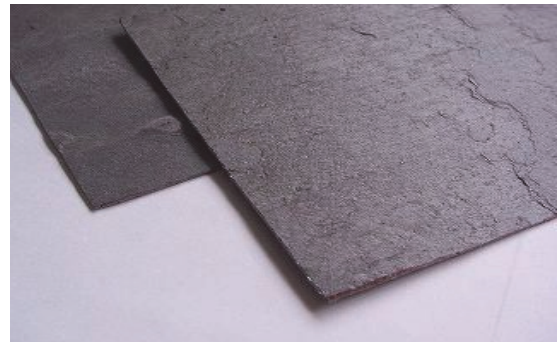


写真1 極薄石材

4. 各種性能試験

極薄石材を建築仕上材料として用いる場合に必要となる性能は様々考えられる。そこで以下の様な試験を実施した。

- 1) 引張強度 → 単純引張りにより強度を求めた
- 2) 基材との接着強さ → 引き剥がし及び引き抜き強度を求めた
- 3) 耐候性 → 促進劣化試験（メタルハライドランプ式）を行った
- 4) 耐火性能 → コーンカロリメータ試験で総発熱量、最大発熱速度を求めた

1) 及び2) の強度試験は、極薄石材そのものの引張強度及び基材との接着強度を求めた。また、3) の促進劣化試験との組合せで、劣化前後の強度比較を行った。

詳細な結果は割愛するが、400 サイクル（1サイクルを2時間とし、光源照射 1.8 時間→休止 6 分→純粋噴霧 1 分→休止 5 分、光源はメタルハライドランプ）の劣化促進による強度低下は最大でも 2 割程度であった。元々軽くて薄い材料であることから、今回用いた接着剤では接着強度の低下による剥落落下の危険性はほぼないものと考えられる。また、極薄石材そのものの強度低下も同様な傾向であった。

一方、促進劣化による表面の変色、FRP 基材に付着している石材の粒の抜け落ちによる表面のむら等は意匠的に美しくなく現状のまま用いるには経年劣化の観点から問題と思われる。基材の改良が必要であろう。

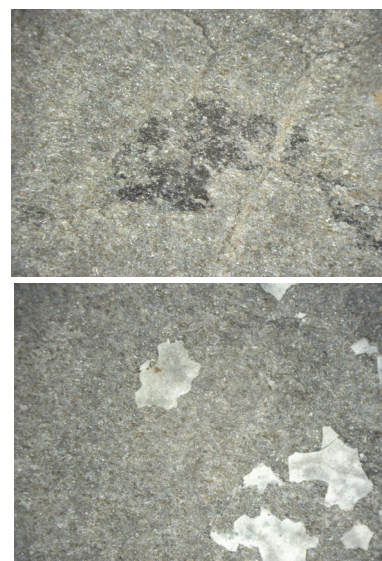


写真2 促進劣化後表面のむら

4) の防耐火性能は、外装材として用いる場合には、極薄石材を施工した基材との関係で評価することになるのでここでは論じない。一方、内装材料として用いる場合は、極薄石材そのものの防耐火性能が問題となる。そこで、コーンカロリメータ試験を実施した。

【コーンカロリメータ試験】

コーンカロリメータ試験は、ISO 5660-1 で示される試験法であり、現行の防火材料性能評価制度の中で最も主要な認定評価手法のひとつである。試験は、大きさ 100×100mm の試験体をコーン型の電熱ヒータにより加熱し、発生する可燃ガスに電気スパーク（着火源）を与えて燃焼させ、その際の発熱速度や総発熱量を測定するものである。試験は、加熱強度 50kW/m² とし 20 分間継続した。図 2 に装置の概念図と写真を示す。

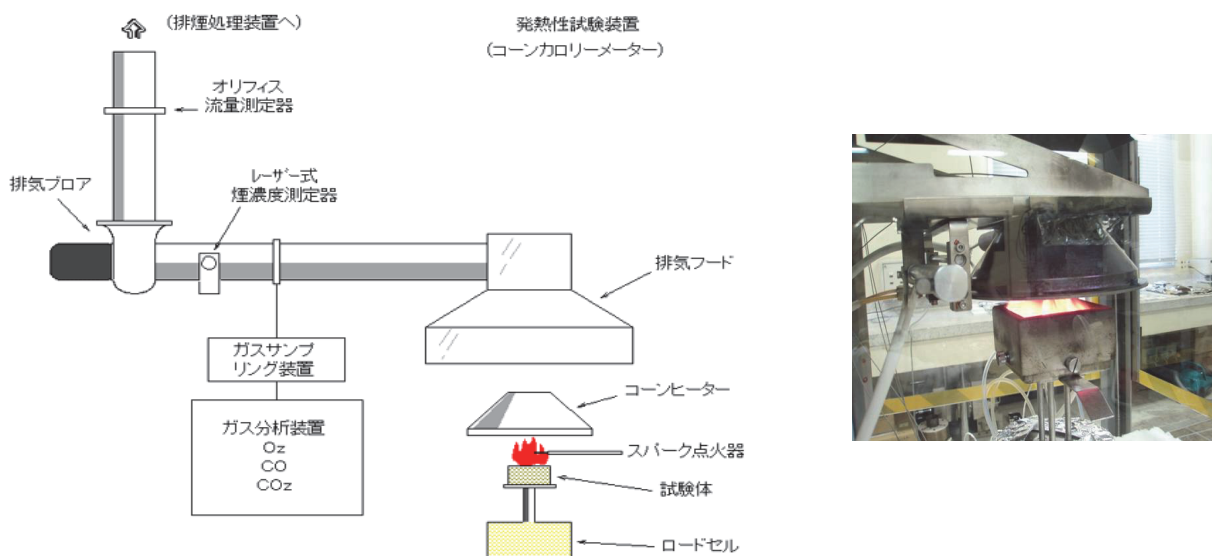


図 2 コーンカロリメータ試験装置

コーンカロリメータ試験の判定基準は、以下の様である。

- 総発熱量：8(MJ/m²)以下
- 最大発熱速度：10 秒以上継続して 200(kW/m²)を越えない
- 加熱中、裏面まで貫通する亀裂及び穴が無い
- 試験時間：不燃 20 分、準不燃 10 分、難燃 5 分

各試験体と最大発熱速度 Max (kW/m²) 及び総発熱量 THR (MJ/m²) の数値を表-1 に示す。また、時間経過との関係を図-1 に示す。

表-1 各試験体と最大発熱速度 Max (kW/m²) 及び総発熱量 THR (MJ/m²)

試験体	Max (kW/m ²)	THR (MJ/m ²)	着火 (s)	消火 (s)	初期質量 (g)
SL 103 難燃処理	259.81	18.77	21.6	298.1	18.10
SL103 未処理	720.39	29.26	18.5	213.1	14.00
SL58 未処理	602.47	39.85	21.2	222.1	20.40
FRP+EPS	441.72	71.66	20.8	412.1	30.10

試験結果から、最大発熱速度 200 (kW/m²) 以下、総発熱量 8 (MJ/m²) という基準値を満た

すものはなかった。時間経過との関係でも5分以内に最大発熱速度のピークをむかえているため、準不燃あるいは難燃という判定からもほど遠い結果となった。また、極薄石材表面に難燃塗料を塗布することで最大発熱速度のピークを抑制することがある程度可能であったが、基材にFRPを用いている以上、着火すると一気に燃え上がり最大発熱速度のピークをむかえるという燃焼特性を改善するしか方法がないものと思われる。図3に難燃剤を塗布した試験体の結果を示す。

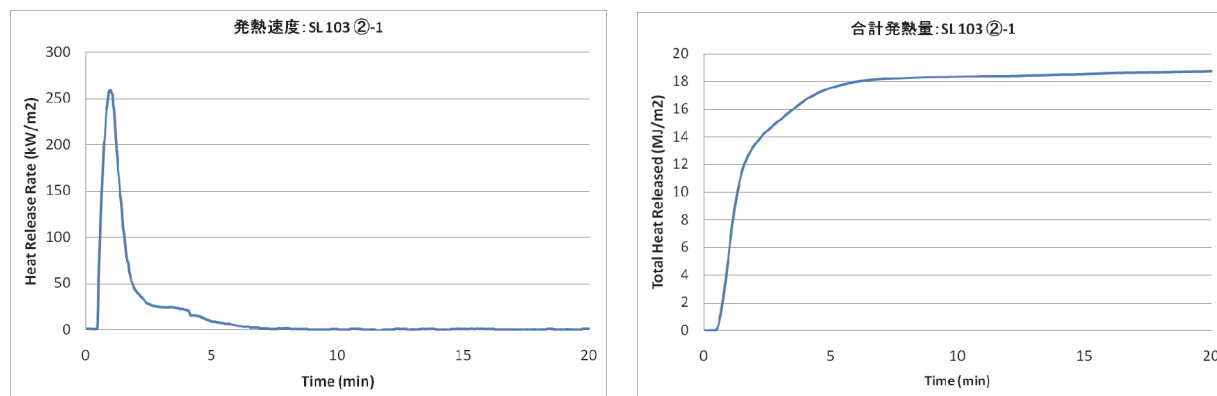


図3 最大発熱速度及び総発熱量

5. まとめ

極薄石材を仕上材として使うことを想定して各種試験を実施した。表面の石の粒子の抜け落ち等で意匠的に問題はあがるが、素材自体が軽量・極薄であることから強度や接着性などは特に問題にならないと思われる。防耐火的な観点から、外装材の用途であれば下地材を不燃で構成することにより構造認定の取得が可能であると考え、燃えやすい材料が建築物の外側に貼られ、それらが街区に集合的あるいは点在することは、様々な危険性をはらんで来るだろう。一方、内装仕上材として用いることは現状では無理な結果となった。

今後は、基材であるFRPの不燃化を進める。あるいは、基材そのものを再検討し不燃化を推し進める必要がある。

6. おわりに

今回、コーンカロリメータ試験と併せ、BOMB試験及び着火性試験を行った。BOMB試験は、酸素を高圧で充填した容器中に試験体をいれ、完全燃焼させることで材料の純粋な発熱量を計測する試験である。着火性試験は、コーンカロリメータ試験と同様な加熱装置（コーン）を用い、一定時間毎に口火が試験体に近づき可燃性ガスへの着火を促す機能があり、材料の持つ発火性が評価可能である。コーンカロリメータ試験よりも簡便な操作で試験を行えるため、より多くの試験体を扱える。BOMB試験で素材そのものの発熱量を把握し、着火性試験で試験体をスクリーニングし、残ったものをより精緻な結果が得られるコーンカロリメータ試験で確認するという手法が有効ではないかと考えている。

それを確認するため2010年度のOJTに応募し採択されたが、最終的な確認実験を行う直前に東日本大震災が発生し、当初の目的を達成できずにOJTを終えることとなったのは残念である。そのためそれらの内容を割愛した。機会があれば、追加実験を行い当初の目的を完結させたいと考えている。

最後に、本報告の一部はOJTの助成を受けたものであることを記すとともに感謝を表します。

平成22年度個別研修一覧

氏名	所属	研修課題
細野 米市	システム創成学専攻	太陽電池を用いた放射線検出器に関する技術開発とその応用技術修得
山崎 由美子	建築学専攻	町並み調査技術の習得
田村 政道	建築学専攻	防火試験技術の修得
中野 忠一郎	原子力国際専攻	イオンビームのコリメート技術の習得
関根 政直	航空宇宙工学専攻	LabVIEWを用いた計測データの集録・解析技術の習得
安本 勝	原子力国際専攻	MIセンサーを用いた電流センサー開発による技術修得
石川 明克	機械工学専攻	メゾスケール型負荷装置の試作
鈴木 誠	システム創成学専攻	LabVIEWを使用した画像取得・画像処理技術の習得
森田 明	原子力国際専攻	PIXE法による元素の定量のための測定システムの製作と簡易評価技術の修得
齋 治男	精密工学専攻	多目的放電加工機構築のためのLabVIEWによるモータ制御の習得
松永 大一郎	航空宇宙工学専攻	LabVIEWによるモータ制御の習得
浅川 武	機械工学専攻	データ集積ボードを用いたグラフィカルな計測技術の習得
浜名 芳晴	機械工学専攻	電気工作物の取り扱い技術の取得
石川 明克	機械工学専攻	Solid Edge 講座 基礎コース受講
茂木 勝郎	システム創成学専攻	玉掛け技能講習および小型移動式クレーン運転技能講習の資格取得
藤村 一良	応用化学専攻	EDTA滴定法による鉛フリーはんだ中のスズの定量
浅川 武	機械工学専攻	アナログ回路の基礎演習の発表
安本 勝	原子力国際専攻	高調波トラブル対策技術の提案
榎本 昌一	システム創成学専攻	第6回情報技術研究会(九州工業大学)及び平成22年度 熊本大学総合技術研究会に参加し、「OpenVPNを用いたネットワーク構築」及び「GPGPUによる高速演算について」発表する
細野 米市	システム創成学専攻	放射線計測用電荷増幅器の開発に関する発表
中村 光弘	マテリアル工学専攻	・Ta, Ni及びNb微粒子の凝集状態について ・走査型電子顕微鏡の基本原理と結像条件の測定
金井 誠	システム創成学専攻	精密実験装置の大規模移転に関する留意点

第26回東京大学工学部・工学系研究科技術発表会実行委員

技術部長 近山 隆

【事務部】

総務課長 飯塚 博正
財務課長 羽賀 敬
総務課 人事・給与T係長 遠藤 三津雄

【技術部】

実行委員長 浅川 武 (機械工学専攻)
副実行委員長 中村 光弘 (マテリアル工学専攻)
事務局補佐 内海 正文 (航空宇宙工学専攻)
事務局補佐 森田 明 (原子力国際専攻)

広報責任者 角田 真弓 (建築学専攻)
広報副責任者 加古 陽子 (化学システム工学専攻)
広報担当 栄 慎也 (応用化学専攻)
広報担当 戸塚 恵理 (情報理工学系研究科)

編集責任者 齋 治男 (精密工学専攻)
編集副責任者 加藤 孝義 (システム創成学専攻)
編集担当 鈴木 誠 (システム創成学専攻)
編集担当 澤幡 浩之 (原子力専攻)

会場責任者 内田 利之 (電気系工学専攻)
会場副責任者 石川 明克 (機械工学専攻)
会場担当 奥抜 竹雄 (航空宇宙工学専攻)
会場担当 江口 敬祐 (マテリアル工学専攻)
会場担当 府川 和弘 (総合研究機構)