

Suzuka National College of Technology

SNCT News Letter

鈴鹿高専技術便り

第 7 号

「産学共同」の今昔

鈴鹿工業高等専門学校長
中 根 孝 司



「産学共同」という言葉は、私にとって実に印象深い、時代の言葉である。

昭和40年代、「産学共同」という言葉は、一般的には悪い意味で使用されていたのである。

華々しい大学紛争の終局期に大学に入学したとき、「産学協同」は学生運動の標的の一つであった。どうして産学協同がいけないのか、その時点では何もわからなかった。しかし、ヘルメット姿の活動家は口々に「象牙の塔」の閉鎖性を非難するとともに、返す刀で、「産学共同」という言葉を発して、時には特定の教官名をあげて何度となく糾弾していた。その結果、「産学共同」は問題があることを心に刻まざるを得なかった。しかし問題の核心が何処にあるかは依然わからなかった。そのうちに、教養課程から専門学部（法学部）に移行することとなり、そのうちに産学協同の問題が臍気ながら判るようになった。それは、特定の産業界からの研究資金が大学の教官の研究のために入ってくるのだが、その研究資金のため当該教官の学問の自由が保障されなくなるのではないかという理念の問題とともに、特定の産業界から当該教官に来る研究資金の流れ及び使途が不透明であるという実際の問題であるということであった。

学問の自由の問題は、これまで国家（権力）と大学教官との関係の問題と意識されてきたが、アメリカの場合と同様に、産業界と大学教官との問題でもあることが認識され出したことである。殊に国立大学にあっては、戦前から設置者である国（文部省）との間で学問の自由をめぐる事件がいくつも起こっていることは周知の事柄であり、これらの教訓の下に憲法23条（学問の自由）が規定されている。しかしながら、戦後、科学技術の進歩による産業の急激な発展に伴い、国だけでなく、産業界も大学の研究に期待と関心を向けるようになった。

（次ページに続く）

目次

「産学共同」の今昔（校長 中根孝司）	1
SUZUKA産学交流会 第9回産学官交流フォーラム（江崎尚和）	2
第1回全国高専テクノフォーラムに参加して思うこと（小倉弘幸）	4
こんな形の地域貢献もありますー「産学技術サロン」の紹介ー（齋藤正美）	6
研究者紹介（近藤一之、花井孝明）	7

しかし、産業界と大学との関係をどのようにすべきか、大学はどの程度産業界の要請に関与（コミット）すべきか等の問題についての大学内部や社会のコンセンサスのないまま、なし崩し的に「産学共同」が進められた。その結果、大学内部（特に産業界との接点を持たない教官）から強い批判が出ることとなったのである。

もう一つの問題として、「産学共同」のルールが明確でないことが指摘されていた。すなわち、産業界からの研究資金が大学が知らないうちに、特定の教官に入金され、その教官の私的資金として使用されていたことが問題であった。この点については、早速、外部研究資金の受入のルールが確立されることとなり、この問題は解消することとなった。

現在では、大学等の高等教育機関の使命や役割として、教育研究はもとより、地域貢献も当然の責務として認識されるようになった。「産学共同」は善い意味として、高等教育機関の当然の責務として、社会的に認知されているのである。その間、昭和50年代のある時期に、学術行政に関与し、民間等との共同研究やその特許権の取扱の改善等の学術審議会の審議に関わってきた者にとって、今日の産学官連携協力の仕組みの充実と関係者の意識の変容に驚きを禁じ得ない。しかし、

「社会や経済が生き物である」と同じように、「産学官連携協力も生き物」であり、日々変化・変容していくべき性質のものであることからして、厳しい社会経済環境の中で、これをどのように巧く育てていくかは、それを担っている産学官の関係者の意識と行動にかかっていることは言をまたないであろう。特に、経済のグローバル化は、産学官連携協力による地域産業の活性化に当たり、その地球的規模での視野や長期的な見通しの下、産業経済動向の正確な把握を要請するばかりでなく、産学官関係者の素早い決断と実行力による企業チャンスの獲得が不可避とさせてきている。

このようなスピードを必要とする社会経済の構造改革の時期に、鈴鹿高専の責任者として着任し、身の引き締まる思いを新たに実感しつつ、地域の発展に少しでもお役に立てば幸いであると思っている。

SUZUKA産学交流会 ー第9回産学官交流フォーラムー

産学官共同研究推進委員会副委員長

江崎 尚 和



平成15年3月7日、第9回目となる産学官交流フォーラムが鈴鹿商工会議所、SUZUKA産学交流会、鈴鹿高専の主催で盛大に開催された。また、このフォーラムは鈴鹿高専卒業生の企業経営者や技術者達で構成される鈴鹿高専ヒューマン&テクノロジーネットワークとの共催にもなっている。（財）三重県産業支援センター、（株）三重TLO、三重県中小企業家同友会からの来賓を含め参加者総数は94名であった。

フォーラムでは特別講演として、静岡県浜松市に本社を置く（株）浅沼技研 代表取締役社長の浅沼進氏による「ものづくりの再構築ーオンリーワン企業への挑戦」が行われた。同社は、米国標準技術研究所の技術認定を取得し、その極めて高精度な寸法計測技術をベースに三次元測定機検証用ツールの製作や航空機、自動車、産業機械部品の試作・加工で業績を伸ばしたまさに日本でオンリーワンの企業である。浅沼社長のチャレンジ精神とバイタリティーあふれる講演はまさに日本企業が今後歩むべき道について示唆に富んだ内容であり、多くの参加者の感銘を呼ぶものであった。

特別講演に続いて、産学リレー講演と題して鈴鹿地区における産学連携活動に関連した以下の5件の講演が続いた。

「地域から和と知を生み出すために」

鈴鹿高専 産学官共同研究推進委員長 齋藤正美氏

「21世紀に必要な地域の知恵と技術」

鈴鹿防災㈱ 代表取締役 久畑久一郎氏

「連携から生れる新しい技術－芍薬の抗菌性研究のその後」

鈴鹿高専 助教授 生貝 初氏

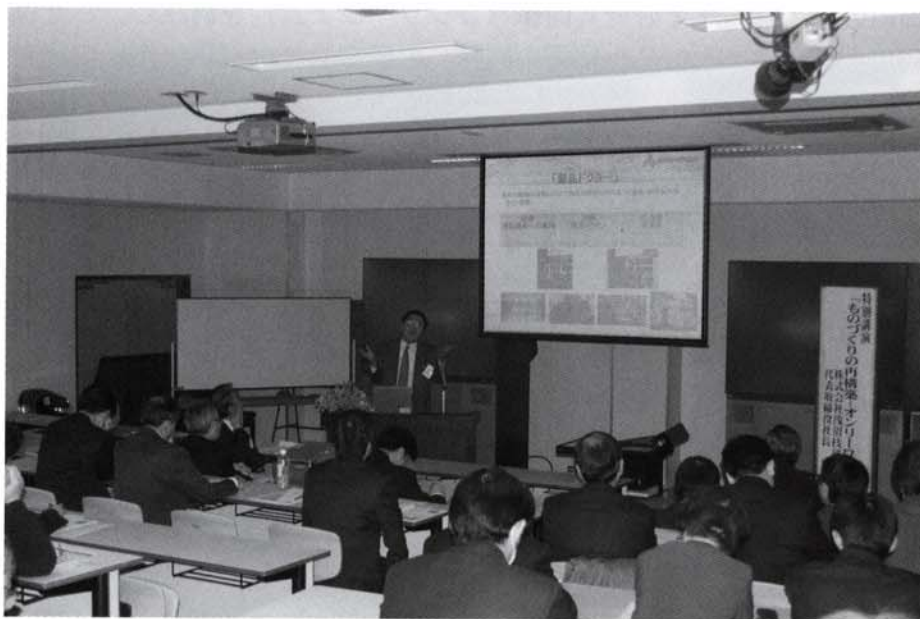
「連携から生れる知恵－産学技術サロン活動を通して」

三恵工業㈱ 専務取締役 大森久男氏

「鈴鹿高専における試み－セレンディピティーから何かが生れる」

鈴鹿高専 助教授 江崎尚和氏

年に3回、それぞれ鈴鹿医療科学大学、鈴鹿国際大学、鈴鹿高専で開催される本フォーラムも9回目を迎え、立ち上げから丸3年を経たことになる。スタート当初の熱意と盛り上がりは衰えることなく、今や鈴鹿市の産学官連携活動への取り組みは中部経済産業局からモデル地区のひとつに指定されるまでになり、その名は全国的にも知れ渡るようになった。核となって運営いただいている商工会議所関係者のご尽力の賜物であると感謝する次第である。この3年の間に、種から新しい芽が芽吹き、大地に根を張りめぐらすとともに枝葉を茂らせることができたように思う。いよいよ次は実を結ぶこと、我々に課せられたこれからの大きな課題である。



「ものづくりの再構築－オンリーワン企業への挑戦」特別講演風景

第1回全国高専テクノフォーラムに参加して思うこと

共同研究推進センター長
小倉 弘 幸



8月26, 27日に釧路高専主催で上記フォーラムが開催された。その内容は次の通りである。

8月26日(火)は事例発表(9件)の後、(財)北海道科学技術総合振興センター理事長・戸田一夫氏の基調講演および釧路工業高等専門学校・地域共同テクノセンター長・岩渕義孝氏の特別講演があった。ついで、20件の事例発表が2会場にて分散して行われた。

8月27日(水)は国立高等専門学校協会会長・四ツ柳隆夫氏の特別講演があり、引き続いてオーガナイズドセッション「地域協力」「共同研究推進」「産学連携の仕組みづくり」の3テーマが並行して行われた。それぞれのセッションでの基調講演は順に、釧路工業技術センターセンター長・東藤 勇氏、久留米工業高等専門学校長・柳 謙一氏、鈴鹿工業高等専門学校共同研究センター長・小倉弘幸で行われた。3番目のセッションのオーガナイザーは本校副校長・齋藤正美氏で討議がまとめられた。

事例発表例等で印象に残ったテーマとその概要の抜粋を以下に示す。

高専の産学官連携は全体を通して見ると未だ華々しい成果が現れていないが、いずれの高専も独立行政法人化を控え、様々な仕掛けをしながら、種々のファンドに参入して頑張っているのが現状である。しかし、スポット的には果実の得られている高専の例もあるのも事実である。これから、我々は何を、どのように受けとめるか、内省したいと思う。

○ NEDO 地域コンソーシアム研究総括代表者としての開発研究・西岡 守(阿南高専)

平成12年度にNEDO地域コンソーシアムの代表者としてベンチャー企業支援型開発事業に参加した。四国内の産・官・学で研究共同体(コンソーシアム)を構成し、「ゼロエミッションを目指した未利用木資源の二次製品化技術の開発」の研究テーマ(単年度)で研究開発を行った。

○有明高専の地域連携・川瀬良一 (有明高専)

ここでは、この1年で一気に連携活動が活発になったことを述べる。有明高専の地域連携は施設や財源などの環境が整備され、また、学内外の人々の意識も高まり、急速に進展している。今後は開始された共同研究などが高い成果を上げ、地域および本校がさらに活性化されることが望まれる。また、新製品・新技術開発の成功による、「高専発ベンチャー」の夢が広がりつつある。

○日本高専株式会社の基盤と成立条件・大成 博文(徳山高専)

いよいよ「独立行政法人化」の時代を迎えることになった。

- ①独法化の内容は、「中期目標」と「中期計画」に具体化されることから、その内容と実行の程度が問題となる。
- ②法人のスケールメリットをどう引き出すかという問題と個々の高専の個性化をどのように発揮するか。これをいかに統一するか。
- ③不可避免的に発生する熾烈な「高専間競争」をどう克服するか。
- ④「大学法人化の嵐」から、どのような影響を受けるか。これらを踏まえ、「全国レベル」, 「各高専レベル」, 「個人レベル」のそれぞれにふさわしい手段を装備することが必要となる。ここでは、その一つとして、「日本高専株式会社」の設立を検討する。

○民間等との共同研究事例について

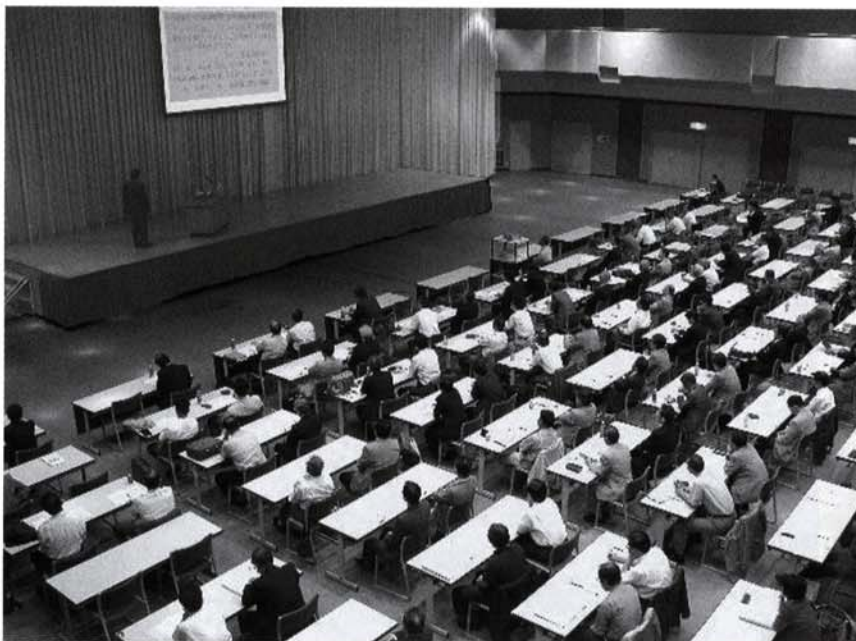
(高導電性フッ素系ゲル電解質の合成とLiイオン2次電池の開発)・京 兼 純 (奈良高専)

A社との共同研究に至った経緯は、高専での研究状況の把握と技術シーズを求めて奈良高専フォーラム、専攻科特別研究発表会に、A社の技術者が参加されたことから始まる。A社から技術相談を受けると共に、当該研究室で進めている研究のうち、Liイオン二次電池の開発がA社の事業内容に添うものであったため協同研究からスタートさせることとなった。本共同研究は、平成13年度～平成14年度の文科省科学研究費補助金・基盤研究(C)にも採択されており、これまでの研究成果は学会誌等発表(6件)、国際会議(5件)、学会口頭発表(8件)となっている。また特許2件を出願している。産官学連携が大切な柱の一つとなるので、常に次のキーワード『研究、業績、競争、特徴、評価、認定』を念頭おいて、新たな企業や高専間等との連携を模索することは重要で意義があるものと考えている。

○産学連携戦国時代をどういきるか・小島 昭 (群馬高専)

共同研究の受け入れ数は、地域共同技術開発センター設置後激増し、平成14年度には23件に達した。受託研究および奨学寄付金の受け入れ数も着実に増加している。これら外部資金の受け入れ金額は約4千万円に達した。

全国の大学高専などで多数の共同研究は実施されているが、実用化にまで到達した例は極めて少ない。本校には全国的にも高く評価されている成功事例がある。機械工学科下田祐紀夫教授と(株)吉田鉄工所との共同研究で開発した「鉄骨加工用シナイ定規の製造装置」の特許である。これを基礎に製造された製造装置は「鉄骨くん」と名付けられ国内はもとより海外にまで販売され、有効特許として使用料を得ている。国有特許保有数は評価の重要なパラメーターであり、平成12年度における全国高専での有効特許はこれのみであった。産学共同研究を基本とした地域貢献は、本校の基本目的の一つである。この点を達成するために、情報発信、新技術開発、学生への科学技術教育、教官研究等をより一層行う。



第1回全国高専テクノフォーラム 講演風景

こんな形の地域貢献もありますー「産学官技術サロン」の紹介ー

電子情報工学科
齋 藤 正 美



今や大学・高専には教育と研究だけでなく「社会と地域への貢献」という第三の役割が求められる時代になっています。そのため鈴鹿高専では、これまで各種の産学官連携活動や公開講座・出前授業等の地域連携活動を積極的に実施してきましたが、活動の効果を一層高めるためには、教職員だけでなく、学生にも参加できるもの、あるいは地域の方々を中心となって実施・運営していけるような何かを創り出すことが必要と感じてきました。ここで紹介する「産学官技術サロン」はそのような考え方から生まれた鈴鹿地域独自の特色ある産学官連携活動です。「技術サロン」は、SUZUKA産学交流会の役員と会員を中心に、いろいろの職種、立場、年令の人達20数名が集まり、平成14年7月から始めました（本校共同研究推進センターで毎月一回の割合で開催）。最初は何のテーマも課題もありません。何もないところから出発し、21世紀に必要な技術や事業、高齢化・少子化・教育など今後に予測される大きな問題や課題、地域における人づくりや街づくりの在り方などについて自由な議論を繰り返し、その中から新しい技術や事業案を生み出そうということがもともとの方針でした。1回、2回、3回と続けていくうちに興味ある新しい技術と事業化構想が提案され、だんだん具体的になってゆきました。ちょうど一周年（第12回）を迎えた現在、テーマは大きく3つ（環境、健康、ものづくり）に絞られてきています。それぞれのグループでは、新しい緑地化技術、高齢者用健康増進器具、雨水利用技術を実現するためのビジネスモデルの構築、市場調査、特許化の検討などが始まり、今後の事業化に大きな期待がもてるような段階にまで進展しています。

この活動では、産業界や民間の方達がリーダーとなっていること、地域に根ざした技術や事業に特化していること、異分野の人達がそれぞれの立場から知恵を出し合っていること、地域への貢献という意識を共有していること、三重大学等大学のベンチャークラブの学生も参加していることなど、文字どおり産・学・官が協働して事業を進めている点で全国的にも斬新な組織と方法論であると言えます。私はこのような手法を地域における「知を生み出すシステム」と呼んでいます。今では参加メンバーも50名を超え、その中で鈴鹿高専の先生方が積極的に役割を担おうとしていることに誇りを感じています。



会議風景

電子回路の研究を通して



近藤 一之(KONDO Kazuyuki)

電気電子工学科

所属学会：電子情報通信学会

IEEE

計測自動制御学会

映像情報メディア学会

研究分野

電気電子工学・計測工学

電子回路

キーワード

電子回路, 計測制御, 信号処理

使用・応用分野

1. アナログ信号処理回路設計
2. A/D変換回路、D/A変換回路の変換理論等に関する検討
3. 電子回路研究を通じて得た技術の工学教育への応用

皆様にこの紙面を通じて私の研究をご紹介できる機会を与えていただいたことは誠にありがとうございます。筆者は、鈴鹿高専卒業以降、企業に3年勤めた後、静岡大学電子工学研究所の職員として電子回路の研究に関する仕事を始めました。しかし、この頃はまだ研究者の見習いであり、上司である教授に教えを請い、指示の通りに回路を作っているだけでした。研究所に4年お世話になった後、母校である鈴鹿高専に戻って既に20年が経とうとしています。この間、一貫して電子回路の研究、特にスイッチトキャパシタ回路を用いたA/D変換器、容量測定回路の研究などに従事してきました。大学にいたときと違って自分自身でテーマを見つけて研究を続けていくことの難しさを感じています。そもそも電子回路は、人によって作ってもらった部品を組み合わせるものだから、ただ作って動作したと言うだけではだめであり、そこに何かいままでにはない新しい機能を付加しないことには研究として認めてもらえません。値打ちのあるものを作り出そうとすれば、そこに何か一つのアイデアが必要となってきます。

スイッチトキャパシタ回路とは

スイッチトキャパシタ(以下SCと省略します)回路の研究は1972年にスイッチとキャパシタで構成された回路が抵抗と等価であり、これを用いてフィルタが構成できることを示したことに始まります¹⁾。これは図1に示すようにスイッチ(スイッチといっても手動でオン/オフするものではなく、MOSFETを用いたアナログスイッチのこと)2個をキャパシタ(日本ではコンデンサと言っています)に接続します。スイッチ S_1 と S_2 はクロック信号 ϕ と ϕ がHighレベルのときそれぞれオンとなります。まず、スイッチ S_1 がオンになり(このとき S_2 はオフである)、キャパシタ C には $Q_1 = CV_1$ の電荷が蓄えられます。次にスイッチ S_2 がオンになる(この直前に S_1 はオフになっている)と C の電荷は $Q_2 = CV_2$

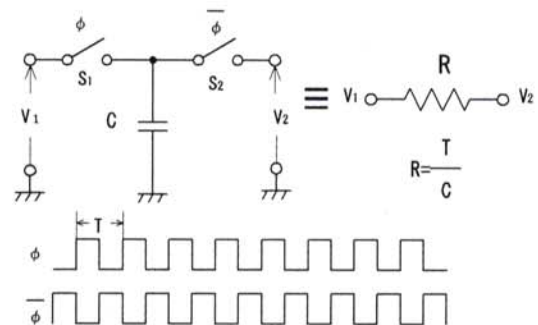


図1 スwitchトキャパシタ等価抵抗TS1S2

となります。このとき、 Q_1 と Q_2 の差の電荷 $\Delta Q = Q_1 - Q_2$ に相当する電流が V_1 側から V_2 側へ流れることになります。再び S_1 がオンとなり、 C を Q_1 に充電します。この動作を周期 T で繰り返します。このとき流れる電流は時間に対しては離散的ですが、これを平均すればキャパシタの値 C に比例し、スイッチのオン/オフの周期 T に反比例することになります。つまり、この回路は C と T の値により電流を制御できる等価抵抗であるといえます。この等価抵抗 R は $R = T/C$ と表すことができます。

この等価抵抗を用いてフィルタを構成すればクロックの周波数を変えることでフィルタのカットオフ周波数を自由に決めることができます。しかもアナログスイッチもキャパシタもMOS IC工程で製作することができますから、モノリシックIC化フィルタを実現することができました。これには等価抵抗のアイデア、これをフィルタに利用すれば、フィルタの特性を上手く制御できる、モノリシックIC化ができるなどのアイデアがみられます。

SC回路をA/D変換器、D/A変換器に利用する

また、図1の回路はアナログ量である電荷をスイッチのオン/オフでデジタル制御するアナログ/デジタル混成回路であるとも言えます。そこに着目し1975年SC回路でA/D変換を実現

研究者紹介

する回路が発表されました²⁾。ここにもSC回路の特性を活かしてA/D変換あるいはD/A変換に利用しようというアイデアがあります。

SC-A/D変換器で容量値を測定する

前項のSC-A/D変換器は未知電圧 V_x を既知の基準容量 C_r サンプルし、蓄えられた電荷 $Q_x = C_r V_x$ をA/D変換するものでした。ここで容量値を未知の値 C_x であるとし、これに既知の基準電圧 V_r を充電し、その電荷 $Q_x = C_x V_r$ をA/D変換すれば、容量測定回路が実現できます。このアイデアは静岡大学電子工学研究所所長である渡邊によって提案されました。拙著論文にもこの容量測定回路の測定範囲を拡大し、容量型センサの信号処理回路に応用する方法が提案されています³⁾。

新しい変換方式により変換速度と精度を改善する

二重積分型（変換原理は電圧-時間（V/T）変換です）と電荷平衡型（変換原理は電圧-周波数（V/F）変換です）A/D変換はともに積分型の変換法で高い精度が得られますが、変換時間は n ビットの変換に 2^n クロックサイクルを要し、低速でした。そこでこの変換法を組み合わせ、 n ビットのうち、上位 m ビットを電荷平衡型で変換し、残りの下位 $k = n - m$ ビットをシングルスロープA/D変換することで変換速度が $2^{(n/2)-1}$ 倍となります。両変換法の特徴である変換精度が高いことは失われず、また回路構成要素は共通な部分がほとんどであるので回路規模も大きくなりません。高い変換精度と変換速度とを同時に得ることができます。

このための回路が図2に示すSC積分型高速A/D変換器です。回路は大きく分けてSC積分器と比較器およびデジタル制御回路で構成されています。回路動作はV/F変換期間 T_{VF} とV/T変換期間 T_{VT} に分けられます。 T_{VF} では電荷平衡型変換が行われ、上位 m ビットが決定されます。続く T_{VT} では下位 k ビットがシングルスロープ積分型変換により求められます。詳しい動作は拙著論文4)をご覧ください。

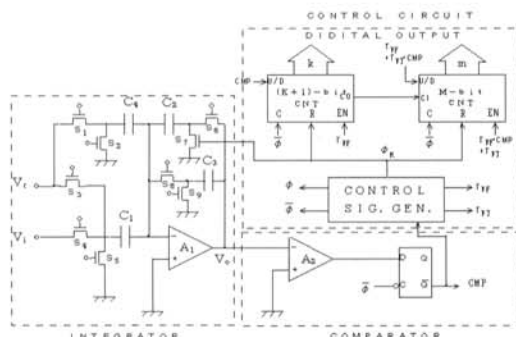


図2 スイッチトキャパシタ積分型高速A/D変換器の回路構成

個別部品により変換器を試作し動作原理を確認しました。その波形が図3に示されています。上の波形が積分器出力 V_o で下が制御信号 T_{VF} と T_{VT} です。 T_{VF} の期間では基準電荷の引き出

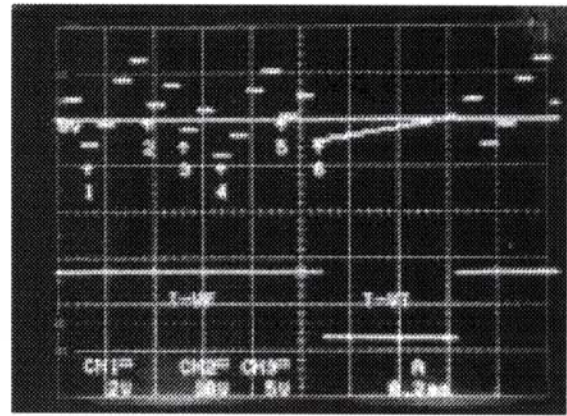


図3 出力電圧 V_o と制御信号の波形

し（写真では上向きの矢印で示してあります）が6回行われており、上位4ビットは0110と決定されます。 T_{VT} の期間では電荷の蓄積が8回行われており、これから下位4ビットは1000と求められます。 T_{VT} では電圧が負であるのでダウンカウントをすることになり、全体の値は0110 0000 - 0000 1000 = 0101 1000と決定されます。

研究成果や研究で得た知見を工学教育に還元する

積分型高速A/D変換器とそれを利用した容量測定器のデータをパソコンに取り込み、展示可能な形態にし、産学交流の展示会で披露したり、学生に研究成果を説明したりしました。既存のものにアイデアを加えることで精度や速度が向上することを学生に理解してもらうことができ、電気電子工学に対する興味を高めることに貢献できました⁵⁾。今後も自分自身の研究を進め、またその成果を工学教育に還元していきたいと思っています。（本研究は三重県RSPに応募しています。）

参考文献

- 1) D. L. Fried: "Analog sample-data filters", IEEE J. Solid-State Circuits, vol. SC-7, no.4, pp. 302-304, (Aug. 1972).
- 2) J. L. McCreary and P. R. Gray: "All-MOS charge redistribution analog-to-digital conversion techniques - part I", IEEE J. Solid-State Circuits, vol. SC-10, no. 6, pp. 371-379, (Dec. 1975).
- 3) K. Kondo and K. Watanabe: "A switched-capacitor interface for capacitive sensors with wide dynamic range", IEEE Trans. Instrum. & Meas., vol. IM-38, no. 3, (June 1989).
- 4) K. Kondo and K. Watanabe: "An integration-type high speed analog-to-digital converter", IEEE Trans. Instrum. & Meas., vol. 39, no. 1, pp. 61-65, (Feb. 1990).
- 5) 近藤、斉藤: "産学官交流活動を活用した工学教育の試み - A/D変換器及び静電容量測定回路に関する研究成果を展示することを通して -", 論文集「高専教育」、第25号, pp.293~298, 2002年3月。

電子レンズの球面収差補正に関する研究



花井 孝明 (HANAI Takaaki)

電気電子工学科

所属学会：日本顕微鏡学会

応用物理学会

電気学会

研究分野

電子光学

電子顕微鏡学

キーワード

電子レンズ, 球面収差,
電子顕微鏡, 薄膜レンズ

使用・応用分野

1. 超高分解能電子顕微鏡法
2. 電子線プローブ装置

1. はじめに

電子顕微鏡（以下電顕と略する）は材料科学、医学・生物学などの広い分野で物質の構造とその物性・機能との関連を解明するのに役立てられてきた。しかし、電顕の最も重要な性能である分解能は最近10年以上の間向上されておらず、通常用いられる加速電圧200kVの場合で0.2~0.3nmに止まっている。これは、実用上の分解能がすでに理論的な分解能の限界に達しているためであり、現状を打開するためには、理論分解能そのものを向上させる以外に方法はない。

理論分解能は、電子の波長と、対物レンズとして用いる電子レンズの球面収差係数で決まる。電子の波長は加速電圧の増加により短くできるが、電子照射による試料損傷が急激に増大するという致命的な欠点があるため、球面収差の低減により分解能を向上させる方が現実的である。理論分解能は球面収差係数の1/4乗に比例するので、分解能の向上のためには球面収差係数を一桁以上低減する必要がある。これは現在の技術の延長では不可能であり、球面収差を完全に補正する新しい手法を開発する必要がある。

また、走査電子顕微鏡、各種電子線分析機器、電子線リソグラフィ装置など、電子ビームを細く絞って試料に照射する電子線プローブ装置においては、高電子流密度の電子ビームをできるだけ小さなプローブに絞ることが要求されるが、この場合も電子線プローブをつくる電子レンズであるプローブフォーミングレンズの球面収差がプローブ径を決定する要因となる。したがって、電子線プローブ装置の空間分解能の向上にも電子レンズの球面収差補正が不可欠である。

電子レンズの球面収差補正は、電顕が発明された1930年代から長年にわたり電子光学分野における最大の課題のひとつであった。最近になってようやく、非回転対称電子レンズとコンピュータによるレンズ電流制御を組み合わせた手法により、実用的なレベルの球面収差補正が達成された¹⁾。しかし、この方法は高価な装置を必要とし、装置の安定性にも問題が残っている。

当研究室では、より単純で安価な球面収差補正法として、薄膜レンズと呼ぶ特殊な静電形レンズを開発し、これを走査電子顕微鏡の一種である走査透過電子顕微鏡に応用して、球面収差補正による分解能の向上を実証した²⁾。ここでは、現在開発中の通常タイプの透過電子顕微鏡用薄膜レンズについて現状を紹介する。

2. 電子レンズの球面収差と薄膜レンズの概要

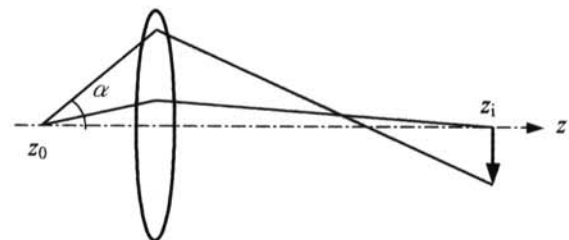


図1 球面収差

図1に示すように、電子レンズの物面 z_0 において光軸（レンズ中心軸）上から出発した電子線のうち、光軸近傍を通る近軸電子線はレンズを通った後像面 z_i で光軸に交わるが、レンズの外縁部を通る電子線ほど強い収束作用を受け、像面において光軸から δr だけ離れた位置に到達する。すなわち、物面の1点は δr だけぼけて結像される。このぼけの大きさを球面収差と呼ぶ。一般に球面収差は電子線の開き角を α として、

$$\delta r = C_s \alpha^3 \quad (1)$$

と表される。ここで、 C_s は球面収差係数と呼ばれ、電子顕微鏡の理論分解能を決める重要なパラメータである。 C_s の値は電子顕微鏡の用途によって異なり、高分解能像観察専用の装置で約0.5 mm, 分析機能を併せ持つ装置で1~2 mm程度の値が標準的である。

絞りを入れて開き角 α を小さくすれば球面収差は減少するが、このとき物面に置いた試料の微細

研究者紹介

構造の情報が絞りにによって除かれてしまう。なぜなら、プラグの回折条件式は結晶格子間隔を d 、電子波長を λ として、

$$2d \sin \frac{\alpha}{2} = \lambda \quad (2)$$

であり、 α が小さいときには(2)式は、 $\alpha = \lambda / d$ と書けるので、周期の小さな構造の情報ほど高角の電子線に情報が乗るからである。したがってより高い分解能を得るためには、装置に固有のパラメータである C_s 値を低減することが不可欠となる。例えば、現在一般に用いられている加速電圧200 kVの電顕で0.1 nmの分解能を達成するためには、大雑把に言って C_s の値を現状より2桁小さい値にする必要がある。

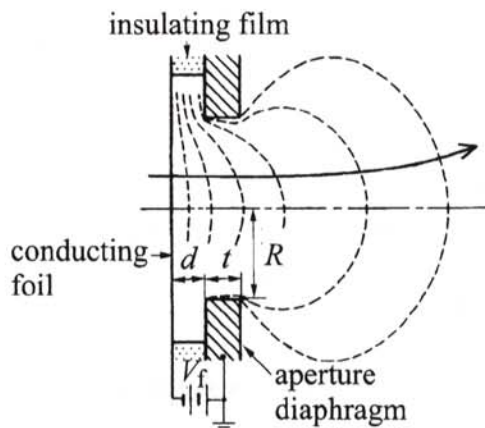


図2 薄膜レンズの基本構成

図2に球面収差補正のために開発した薄膜レンズの基本構成を示す。薄膜レンズは、電子線行路上に置いた導電性薄膜とこれに平行な円孔電極の間に電圧 V_f を加えた静電レンズであり、破線で示すように、電子を減速・発散させる等電位面を持つ。このレンズでは、電圧 V_f に比例する電荷が薄膜上に誘導され、凹レンズとして動作して負の球面収差を持つことができる。薄膜レンズの特長は、その構造が簡単でコンパクトに作製できる点であり、商用の電子顕微鏡にほとんど変更を加えずに球面収差を補正できる可能性がある。

この薄膜レンズを用いて商用の電顕の球面収差を補正するために、日立H-8000型電子顕微鏡の試料ホルダと下側のポールピースとの間に挿入できる薄膜レンズを作製した。その概略を図3に示す。鏡体のアンチコンタミネーションデバイス用の穴を利用して薄膜レンズホルダを差し込み、その先端部に薄膜レンズを取り付けた。導電性薄膜として厚さ10 nmのカーボン蒸着膜を用い、これをモリブデン板の開孔部に張って固定した。円孔電極は厚さ $t = 0.1$ mmのモリブデン板に直径 $2R = 0.3$ mmの円孔を開けたもので、この円孔電極と薄膜を張った電極との間に厚さ $d = 40$ mmのマイカをはさんで絶縁した。静電力による薄膜の破損を避けるため、低い V_f で補正できることが望ましく、そのためには薄膜レンズを対物レンズの後焦点面付近に配置する必要がある。しかし、

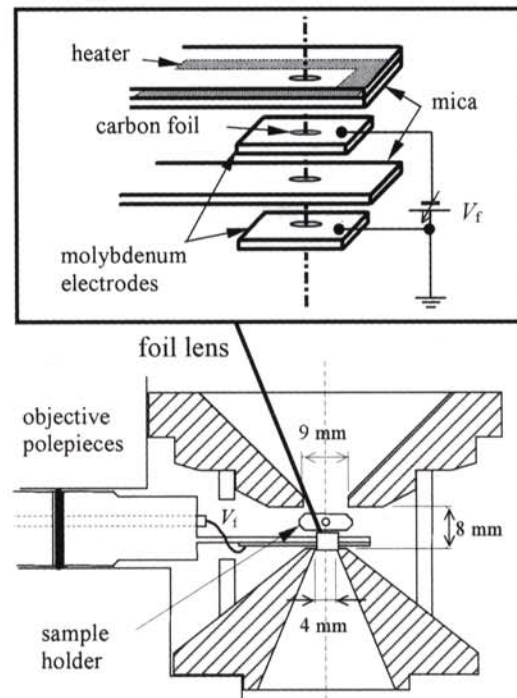


図3 透過電子顕微鏡に組み込んだ薄膜レンズ

このとき強い透過電子ビームが薄膜の中央に集中するため、コンタミネーションの堆積により薄膜の透過率が減少して、像のコントラストが低下してしまう。この問題を解決するために、マイカで絶縁したニクロム箔に通電して、薄膜を約140℃に加熱している。薄膜レンズホルダの厚さは2 mmで、その上下にスペースがないため、今回試作した薄膜レンズでは対物絞りは使用できない。

3. 球面収差係数の測定法

球面収差係数の測定法として、非晶質薄膜のdefocus像のパワースペクトルを用いる方法が一般的であるが、補正時の小さい球面収差係数を高い精度で測定するためには、干渉性の良い電子源を用いて高い空間周波数の情報を得ることが必要であり、われわれの顕微鏡では十分な精度が得られなかった。そこで、従来から用いられてきた、結晶微粒子の明視野像と暗視野像のずれの大きさを球面収差とする方法の測定精度を向上させる工夫をし、球面収差係数の測定に用いることにした。

従来の明視野・暗視野法では、微粒子を軸上照明し、ガウス像面(正焦点時の像面)での暗視野像の明視野像からのずれを球面収差として測定する。しかし、実際に正焦点位置を見極めるのは困難であり、defocusによる誤差が避けられなかった。そこで、入射ビームを数mrad傾斜させることにより、球面収差係数とdefocusを同時に測定する方法を考案した。図3に示すように、傾斜させた入射ビームの波数ベクトルを k_0 としたとき、逆格子ベクトル g の格子面により波数ベクトル $k_1 = k_0 + g$ と $k_2 = k_0 - g$ の二つの回折ビームが生じたとする。これらの回折ビームの方向は、光軸に関して非対称であり、光軸となす角度もそれぞれ異なっている。このため、対物レンズの球面収差とdefocusによる二つの暗視野像の明視野像からの

金微粒子の電子顕微鏡像

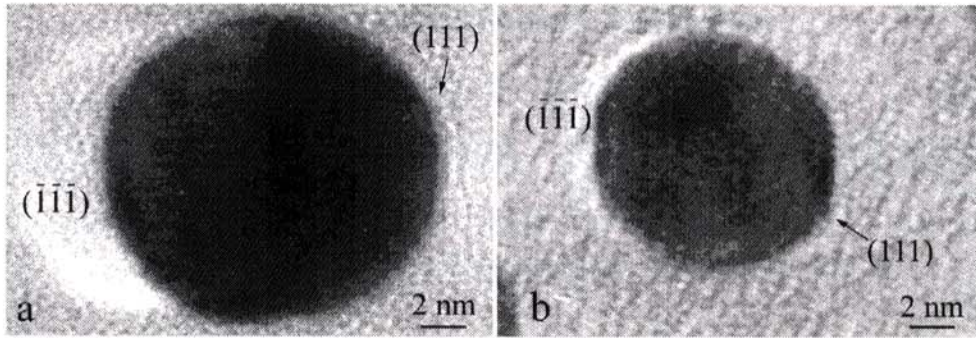


図4(a) 薄膜レンズを組み込まないときの像

図4(b) 薄膜レンズを組み込んだときの像 ($V_f = 400$ V)

ずれ d_1 と d_2 は、一般に方向も大きさも異なっている。入射ビームの傾斜角が、明視野像に対する球面収差が無視できる程度に小さいとき、このずれを表すベクトル d_1 と d_2 は次のように書くことができる。

$$d_1, d_2 = -C_s \lambda^3 |k_{0t} \pm g|^2 (k_{0t} \pm g) \pm \Delta f g. \quad (3)$$

ここで、 Δf はdefocus量、 k_{0t} は k_0 の横方向成分を表す。式(3)の中で、 g は格子像から決めることができるので、未知数は k_{0t} の2個の成分、 C_s 、および Δf の計4個である。したがって、 d_1 と d_2 についてそれぞれ格子像に垂直および平行な成分を測定すれば、式(3)を解いて C_s と Δf を求めることができる。

4. 実験結果

加速電圧200 kVで、薄膜レンズを用いずに撮影した金微粒子の電顕像を図4(a)に示す。二つの{111}暗視野像が対応する格子縞とともに観察されている。入射ビームが傾いているため、右側の暗視野像と比べて左側の暗視野像の方がより大きく明視野像からずれていることが分る。この像から式(3)を用いて求めた C_s は2.1 mmであり、defocus量は70 nm、入射ビームの傾斜角は2.5 mradであった。 C_s の値が実験に用いたH-8000の公称値1.6 mmと比べて大きいのは、薄膜レンズとの接触を避けるために試料位置を標準より上げ、それに対応して対物レンズの励磁を基準値より10%弱めているためである。

図4(b)は薄膜レンズを組み込んで、 $V_f = 400$ Vで動作させたときの像である。(a)と比べて暗視野像のずれが減少していることが分る。これらの像から測定した球面収差係数の薄膜レンズ電圧に対する変化を図5に示す。この図の直線は計算値を示しており、実験結果とかなりよく一致している。以上のことから、新しく開発した薄膜レンズを用いてTEM用対物レンズの球面収差係数を低減できることが明らかとなった。

図5の直線を外挿すれば、600 V程度の薄膜レンズ電圧で $C_s = 0$ となることが期待できる。しかし、図4(b)のカーボン支持膜のコントラストから分るように、 $V_f = 400$ Vですでにかなりの像障害が見られ、 $V_f = 600$ Vでは像障害がさらに大きくなって、球面収差係数の測定に必要な格子像が観察できなかった。この像障害を引き起こして

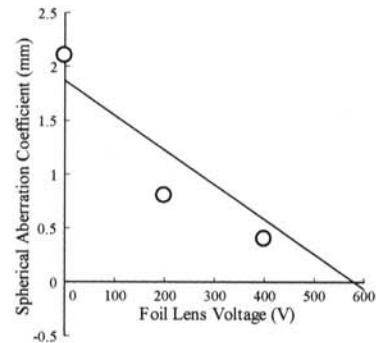


図5 球面収差係数の薄膜レンズ電圧に対する変化

いる非回転対称な軸上収差の原因としては、試作した薄膜レンズの工作精度および軸合わせの精度の不足、薄膜レンズの加熱電流により生じた磁界の影響などが考えられる。また、図4の像が全体にコントラストが低いのは、機械的振動に加えて、対物絞りを使用できないためにバックグラウンドレベルが高くなっているためと考えられる。今後、工作精度を高めるとともに、薄膜レンズ全体をさらに薄くして対物絞りが使えるようにするための工夫が必要である。また、精度の高い軸合わせ方を利用することも重要と考える。

5. おわりに

本研究は、将来の実用化を目指したものではあるが、まだ基礎研究の段階にある。また、たとえ0.1 nmを切るような超高分解能が実現できたとしても、すぐに地域社会に貢献できるような応用を見出すことは難しいだろう。

基礎研究が重要であることに疑問の余地はない。1990年代後半にドイツにおいて球面収差補正の実用化が達成されたが、これは50年近くに及ぶ基礎研究の積み重ねが産学共同プロジェクトに発展した成果であった。

しかし、高専での研究において地域社会を無視することはできない。今後は、基礎研究を継続しながら、産学連携のシーズと成りうる応用研究に力点をシフトさせていきたいと考えている。

参考文献

- 1) Uhlemann S. and Haider M., Ultramicroscopy, 72 (1998) 109.
- 2) Hanai T. et al., J. Electron Microsc., 47 (1998) 185.

◆ お知らせ ◆

お問い合わせ・ご質問・ご要望等は下記までお願いします。

〒510-0294 三重県鈴鹿市白子町 国立鈴鹿工業高等専門学校庶務課

TEL 0593-68-1717 FAX 0593-87-0338 E-mail : jim3@jim.suzuka-ct.ac.jp

産学技術サロン（主催 鈴鹿商工会議所）

毎月最終金曜日 16:30～

鈴鹿高専共同研究推進センター会議室

せれんでクラブ

毎月第3金曜日 16:30～

鈴鹿高専共同研究推進センター会議室

行事内容

平成16年

2月12日（木）
卒業研究発表会

3月18日（木）
卒業式、専攻科修了式

3月5日（金）
SUZUKA産学交流会産学官交流フォーラム

3月27日（土）～28日（日）
おいん鈴鹿産業フェスタ（鈴鹿市文化会館付近）

3月5日（金）
鈴鹿高専ヒューマン&テクノロジー
ネットワーク技術交流会

編集後記

平成16年、新年おめでとうございます。

昨年の鈴鹿高専は、J A B E E（日本技術者教育認定機構）による技術者教育プログラム認定審査一色でありましたが、本年も引き続き、四月に全国55の国立高等専門学校が一つの独立行政法人国立高等専門学校機構に法人化されるなど、教育・研究を取り巻く環境も大きなうねりの中にあります。そのような中で、産学官共同研究を担う本推進協議会の活動もまた見直されるのかもしれませんが。（K. Y）

SNCT News Letter 第7号 平成16年2月印刷 平成16年2月発行

編集 国立鈴鹿工業高等専門学校産学官共同研究推進協議会

発行 国立鈴鹿工業高等専門学校

三重県鈴鹿市白子町（〒510-0294）TEL 0593-68-1717 FAX 0593-87-0338 <http://www.suzuka-ct.ac.jp/>

印刷 東写真工芸株式会社

（再生紙を使用しています。）