

SME LIBRARY 29

日本の工作機械を築いた人々



佐藤 壽芳 氏

東京大学 名誉教授

SME 日本支部



古川 日本の工作機械の発展に貢献した方々にお話をうかがう SME ライブラリーは、1987 年の第 1 回が牧野フライス製作所の牧野常造さんでした。

そして、前回の第 28 回に登場いただいたのが、

ご子息で最近まで社長をされていた牧野二郎さんです。親子 2 代は初めてですが、それだけ長く続いているということになり、今後このようなケースが増えていくと良いかもしれません。

これまでお話をお聞きしたのは、どちらかといえば工作機械や関連メーカーの方々でしたが、今回は久しぶりに研究者のお立場で工作機械技術の発展に尽くしてこられた佐藤壽芳先生にお話をうかがう機会ができ、大変光栄に思います。

私と佐藤先生との出会いは、機械学会のびびり問題や構造解析の共同研究で、当時私は東京都立大学の助手をしていて、佐藤先生は東京大学生産技術研究所におられて、工作機械の剛性について研究を始めたのが最初だったと記憶しています。

佐藤先生は長く切削加工に関する研究をされ、その後機械技術研究所（現・産業技術総合研究所）の所長や中央大学でも教鞭を取られ、現在はお父様が後半生であった戦後に創業された印刷会社の名誉会長として多忙な日々を送っておられます。

そこで、本日は先生の生い立ちや東京大学での研究活動、さらにはさまざまな社会貢献までいろいろお聞きしたいと思います。

佐藤 本日は古川先生が長くご尽力されてきた SME ライブラリーにお招きいただき、大変光栄に存じ、ありがたくお礼申し上げます。早速ですが、本題に入らせていただきます。

私は、当時父が陸軍造兵廠大阪工廠に勤務していた関係で、昭和 8（1933）年に兵庫県西宮で生まれ、その後、父の勤務地の異動ですぐに東京に移りました。

父は、明治 34（1901）年に山形県庄内地方の余目（あまるめ）町で生まれました。羽越本線に新庄から最上川に沿って通っている陸羽西線が接続しているところです。父の実家は造り酒屋で、今は従兄の息子の世代で続いています。父が生まれる前後に始

佐藤壽芳氏(さとう ひさよし)氏

1933 年生まれ。番町小学校、成城高校を経て東京大学工学部機械工学科卒業。生産技術研究所教授、工業技術院機械技術研究所長、中央大学理工学部教授などを歴任する。工学博士。東京大学名誉教授。1966 年に MIT（マサチューセッツ工科大学）研究員（訪問教授）として 1 年間出張する。

日本機械学会名誉員、精密工学会名誉員、CIRP（国際生産工学会議）名誉員、ベルギー王位学士院外国人会員、先端加工機械技術振興協会理事長、大連理工大学客座教授。

機械学会論文賞、工作機械技術賞論文賞、瑞宝中綬章、ベルギー王冠勳章（コマンドール章）など受賞歴も多い。

現在は、父親が創業した(株)千代田グラビヤ名誉会長として毎日出勤、住まい近くの多摩川沿いの往復 4km のウォーキングを欠かさず、80 代半ばを過ぎても健康の秘訣を実践する。



めたと聞いています。父は鶴岡中学に入学するとすぐに仙台の陸軍幼年学校に入り、陸軍士官学校を経ていわば文科系の「陸軍大学校」に相当する理科系の「砲工学校」に進みました。

明治維新後日本が近代をはかるなかで、工兵や砲兵を重視したナポレオンの指導力に注目してフランスの先進的な軍隊組織に倣ったと聞き及んでいます。ちなみに、幼年学校以来フランス語を学んでいました。

父は砲兵科でしたが、兄弟姉妹も 7 人と多かつたなか、6 男で、父親つまり私の祖父を士官学校時代に亡くしてから、それまでに増して勉学に励み、恩賜の銀時計、軍刀の荣誉に輝いています。将校任官後には、認められて東京大学工学部電気工学科に学んでいます。

このような来歴は、子供にとっては励みと同時に圧力でもあったと思えます。ちなみに、年子の弟は父の経歴の一半をなぞり、外務省に勤務、中国大使を拝命していました。

私が小学校に上がる前の昭和12(1937)年から昭和14(1939)年にかけて、父は当時のソ連邦の在モスクワの日本大使館付武官となり、敦賀港からウラジオストック、シベリア鉄道経由の赴任でした。

当時の軍務の在りかた上、父が単身の赴任でした。母方の祖父が見送りに連れて行ってくれ、父の乗船した船が敦賀港を去ってゆく船影は写真との混交はなく、未だに脳裏に鮮明です。成長過程の記憶の始まりは何歳時かという課題があれば、私の場合は別離の強い悲しさが4歳時であったといえます。

同地では、父の行動によく尾行が付いていたようで、電車やバスに乗る際に乗るふりをせず、発車直前に飛び乗りそれを撒くような行動もとっていたためか、ソ連から好ましくない人物として1週間以内の国外退去命令が出たそうです。

ソ連滞在時には、南部の中近東諸国との国境地域にも足を運んでいて、戦後になって同地域が任地、あるいは経済交流の相手先となる方に対しては、相互理解展開の関係とするには勢力の傾注が求められる点で興味深い所と示唆していました。

それからは隣国のポーランドで大使館付武官として勤務し、ヒトラー率いるナチスドイツの興隆の状況や、1936年から39年(昭和11年から昭和14年)にかけて起こっていたフランコ将軍によるスペイン内戦の状況を視察して、アメリカ経由で帰国しています。

楽しみであった日曜夕刻に見せてもらえた8mm映画、家のなかの映写会では、父がヨーロッパで撮り貯めてきたナチスドイツの歩調を揃えた行進の映像が、帰途にアメリカで購入してきたディズニー社のポパイやミッキーの漫画映画とともに楽しかった記憶です。

先にいいましたように、陸軍の海外勤務の職務に就く方々の場合の典型的な報道では、陸大という文系の出身と伝えられるのが大方であったのに対し、砲工学校、東大工という理系の出身で、日本の官庁組織のなかでは報道の在り様として大きくは扱われないと見えていました。

父がアメリカ経由で帰国後間もなくの1941年、ドイツがソ連に侵攻しました。第2次世界大戦につながる“独ソ戦”ですが、子供心ながらの記憶では、親戚が集まったとき、自分はこの戦争を想定していなかったとする述懐が印象として残っています。

武官としてソ連、ヨーロッパと滞在して情勢に直

接触れ、現場感に即した分析が伴っていたと見られるにもかかわらず、予測し得なかったことは、国家間の最高機密を対象としては、分析の組織的在り方には課題を残していたと推察されます。

家庭内の重鎮である父の不在は、空虚感が避けられません。母方祖父の近隣に住んでいて、陰に陽に祖父とその一家の配慮があったと思えますが、子供育成の責は母が覚悟して一身に負っていました。

空虚感があったものの、将来は自分も外国勤務の体験をしたいとする想いも募っていました。1963年には東京大学生産技術研究所助教授に就任、先任教員ご恩顧のご縁により、1966-67年の学年期にアメリカのMIT(マサチューセッツ工科大学)の機械工学科・材料加工研究室に訪問教授、研究員の職務に就く機会に恵まれることとなり、想いが実現されました。

父が帰国した1939年からアメリカ軍の爆撃により焼け出された1945年5月までの間、周波数帯域が異なるヨーロッパで諸国間の放送に対応するべくつくられた、父持ち帰りのテレフンケンの大型で家具と調和する前面意匠を備えたラジオが、居間には据えられていました。

しかし、これは選局の表示と操作性に関わる仕組みの頑健性が不十分で、調子を維持するための調整に母は大変苦勞していたのが今に残る印象です。

父は折節に家族の写真をよく撮っており、ローライフレックスを愛用していました。ライカ、ステレオ方式のローライフレックスなども利用していました。戦後、朝鮮戦争を契機に国産カメラの秀逸性が認められ、ニコンの1眼レフが発売されると早速に購入、私が使うようにも勧めてくれていました。

1941年12月8日に、日本が真珠湾を攻撃して太平洋戦争が始まりました。早朝の臨時ニュースのチャイムの音とそれに続く宣戦布告の放送は、未だに耳に鮮やかです。

ここに至るまでには、1940年9月日本はフランス領インドシナ、ベトナム北部に軍の派遣、進駐を強行し、1941年7月にはさらにベトナム南部に進駐の強行を重ねました。とくに南部への進駐によっては、米英蘭の厳しい反発を招いて対立を険しくし、開戦へ誘導するものとなりました。

父は1941年10月にフランス領インドシナ、仏印進駐の現地に赴いて間もなく、太平洋戦争が開戦、占領後はシンガポールに南進、南方総軍の参謀とし

て留まっていた。出立の日、母は気丈な性格でしたが、万一のことを覚悟していたのでしょう。秘かに涙していたことが忘れられません。

シンガポール攻略時に山下大将が英軍のパーシバル将軍に降伏を迫った話は、報道では華々しく伝えられていましたが、日露戦争時に敵将に敬意を以て対峙した史歴と対比しては、思いに残るところがあったと聞こえていました。シンガポール侵攻時の射合いでは、音を立てて飛び交う弾丸の下をくぐったと聞きました。時に陸軍中佐でした。

シンガポールに勤務の昭和18(1943)年3月に大佐に昇進、陸軍省戦備課長に任命されて帰国してきました。父は理系の出身でしたが、経済の重要性を認識、実務を通して研鑽を積むべく心掛けていたと見えます。新たな職務名は兵站そのものといえ、単に「いくさ」の準備をするに止まらず、民間企業の経営力基盤の視点を踏まえ、国家レベルで兵站(ロジスティック)を担うことになっていました。これによっては戦争の継続の可否を見通すことが役割ともなり、敗戦時に至るまで継続に厳しい局面を見続け、終結の判断を見誤らない態度の保持を踏まえ、敗戦時には周囲の徹底抗戦の行動抑止に力を尽しました。

1944年6月15日にアメリカ軍がサイパン島に上陸して7月6日に守備隊が玉砕、その後は同島にB29が配備され、11月24日からは同機による東京空襲が始まり、1945年3月10日には東京下町が壊滅、同5月25日には山の手地区が爆撃され、渋谷区の住居が焼夷弾の直撃を受けて全焼しましたが、父と母は火の海のなかを明治神宮外苑に向け避難しましたが、その途次で偶然に母方祖父母と会い、誘導して無事に避難ができていました。

アメリカ軍がサイパン島に襲来する直前、我が家では同島に派遣される父の部下の送別会を開いていました。世間では東条首相に忌避される考えかたを持つ人は、この死地への赴任を命じられているとの話向きも絶えず、厳しい戦争の最中にみられる枢要の人士の権力を背景とした不一致は、釈然としない違和感を覚えるものでした。

アメリカ軍は1945年4月1日に沖縄に上陸、5月末には守備隊は玉砕しています。私は余目の父の実家に縁故疎開することになっていましたが、疎開先でアメリカ軍が沖縄に上陸・侵攻した話を聞くにつけ、山形の地の豊か平穏な稲作耕地に囲まれては

いるものの、脱力感を受けていました。

ちなみに、番町小の学校疎開先は山梨の富士吉田でした。終戦後の11月以降には、翌年3月までは疎開から帰って番町小に復学しましたが、休み時間の遊びの音頭取りの級友は疎開前後で変わり、その分学級の雰囲気変化が生じていました。

疎開時の8月に入っては低空で侵入する艦載機の空襲を受け、近くの羽越線の鉄道駅に停車していた蒸気機関車が、汽笛を鳴らして蒸気を噴出したと見えた途端に銃撃を受け、頭上低く聞くこととなった射撃音のけたたましさも身の危険を感じる印象強いものでした。

それ以前の7月には太平洋沿岸の日立の工場がアメリカ軍の艦砲射撃を受け、発射音ははるか300km彼方の庄内まで聞こえてきていました。

戦後になってから明らかにされたことでしたが、職掌柄、日本の国力と内情を把握できていた父は、いかに戦争の終結を迎えるかを秘かに考えていて、天皇陛下のご決断あっていよいよ終戦の日を迎える段階に至っては、徹底抗戦を叫ぶ周囲とは違って、暴発の回避を強く主張していたようです。当時としては、この主張には身の危険もあったと聞き及んでいます。

戦争が終わると、疎開先であった実家の余目に一度だけ戻ってきましたが、軍人であったのに意気消沈することもなく、すぐに頭を切り替えてこれからは実業に邁進する勢いであったのには、その後の人生における事に当たったの処置に少なからず学びました。

終戦後の3年ほど「復員省」で戦後の後始末に従事しましたが、おそらくその間に何をしようか考えていたのだと思います。伝手を頼ってグラビヤ印刷の経験者を募り、同志13人でその印刷事業を始めました。企業経営は未経験でしたが、陸軍の半生の間に戦時中ではありましたが、職掌を通じて実業界にも知己を得て、ビジネスはいかにあるべきかについて学ぶ一方、敗戦を契機に、民間人市民として生きる決心をしたと家族内の一員として推察しています。

塩野七生女史は、著書「想いの軌跡」のなかで、防衛大学校の卒業式に招かれて祝辞を述べた機会に、シーザーが軍事に優れた指導者であったうえに、市民としても模範たるべきよう心掛けた故事を例に、卒業生が軍事に関して大成を目指すのみならず、

市民としても社会を支える要員となるよう説かれています。父は敗戦時に40代半ばでまさに人生の折り返し点にありました。

それまでの半生を軍務組織のなかで尽力していたところ、職務の転換をはからなければならない事態に遭遇したものでした。

事業の立上げはまさに今でいう“ベンチャー”であったかもしれませんが、前半生を組織のなかでも目的が明確な陸軍で、兵站到視点を置く職務に尽くした経験を活かし、シート状枚葉紙への印刷から輪転機による高速連続印刷と刷上り製品の円滑出荷、異形サイズ対象への印刷、カラー印刷の導入、フィルム印刷への展開など、着実に事業の発展を実現しています。

社名の「千代田グラビヤ」は、創業の地が戦後新しく東京都千代田区となり、その意味するところも慶賀の意味があるとも受け止められ、新制度の発足を機に決めています。ただ、当時は可燃物を扱う工程があり、発足早々に火災を起こし、これを契機に母方祖父の千駄ヶ谷の住いの戦災焼け跡地に工場を建てる幸いに恵まれましたが、そこも1964年の東京オリンピックで立ち退きが求められ、現在の大崎に移転した次第です。

グラビヤ印刷は凹版印刷で、平版印刷よりはインクの量を多く使いますが、立体感があって印刷が美しく仕上がるので、精密な写真印刷などに向いています。そのようなことで、最初は出版印刷から始めましたが、グラビヤ印刷の特徴を生かしたセロファン、フィルムの印刷、これは食品のパッケージ印刷が主ですが、それに木目画像を使った建築材料を対象に展開してきました。

その後、プラスチック製品の射出成型時に印刷箔を型内に引き込み、成型と同時に転写方式でPCの筐体表面を加飾する製品、掃除ロボットの表面加飾にみる転写箔の印刷、筆記用具への転写箔の印刷や「おい、お茶」のCMで有名になったお茶のパッケージ印刷なども頂戴しています。

東京大学工学部機械工学科へ

古川 先生は東京大学工学部の機械工学科に進まれるわけですが、それまでも東京ですか。

佐藤 はい、昭和15(1940)年に四谷の番町小学校に入学していましたが、戦争が激しくなり、サイパン島の陥落後そこを基地にしたB29の爆撃が1944

年末から始まることが見込まれ、1944年8月末には山形県庄内の余目の酒造業を営む父の実家に、兄弟3人が縁故疎開することになりました。

酒造業は父の兄である叔父が当たっており、実家では父の母である祖母が健在で、酒造業の酒蔵を見通せる台所広間が板の間で正座をして食事をする場所となっていました。手洗いも半ば離れで、外気が吹き抜けのような環境でした。

その年の冬は地元で数十年ぶりという大雪の年でもあり、今から振り返ると寒さ対策や暮らしの利便性がそれなりにできている東京から移ってよく暮らせたというのが実感です。

母は1944年の暮れに疎開をしてきましたが、このような環境下で、寒さもひとしおと感じたと推察され、また戻ってくるとしていたものの、いったん東京に戻った後、戦時下の環境で父を1人にしておくことにも課題を感じたためもあり、戻ることはないままになっていました。

秋は稲作の収穫期ですが、1944年のこの時期では、稲刈り後に稲藁を乾燥させるために運ぶ作業が小学生の仕事で、その作業に従事したところ、稲藁に付きものの草棘が下着の下に入り込み、体中がその刺激でチクチク感に晒され、眠れなかったことも記憶です。

千駄ヶ谷の住居が1945年5月25日の東京山の手地区の爆撃で焼失し、成城に住まわれていた父の親しい知己のお世話に預かって、敗戦直後の1945年11月初旬に山形の疎開から戻ることができました。早朝に余目を出立して、今では半日余の旅程のところ、小田急線の経堂駅留めで最終電車を待つ旅程で、やってきた電車は1両でした。

母と番町小学校を見に行ったら、校舎は焼けただけ、窓ガラスが鉛細工のように溶けて固まっていた。知己のお宅は成城学園の校門を目の前にしたところでした。番町小の1人の級友が成城に在住し、しかも駅まで20分余もかかって毎日通っていたのは驚異的なことでした。

彼と2人で、しばしば吹きさらしの連結器のところに乗って通ったのも戦争直後の混乱期であったからこそのことと思っています。

弟2人は学園の小学校に入れていただけでしたが、卒業を控えた6年生であった私は試験を受けての入学が求められ、番町小学校に卒業まで通学した後、入学試験を受けて旧制成城高校の中学である尋常

科に入学ができました。戦後のことであり、2年牛

する振動が自励振動を示唆する記述がありますが、



では6-3制の新制の成城学園中学、高校となって卒業しています。番町小では四角の校庭対角線が50mの運動場でしたが、成城では周回400mの徒競争路があったのは感激でした。

東大工学部を志望した理由は、父が軍人でも砲工学校卒業後に東大工電気工学科に派遣されていたこと、母が弟3人、妹3人の7人兄弟姉妹で、弟3人のうち2人が東大工と経済出、妹二人が東大工出身者に嫁いでいたことなどの影響があったかもしれません。

昭和33(1958)年に東大工学部機械工学科を卒業して大学院修士課程へ進学することにしたとき、学部からの進学者は3人、いま1人の方は通産省に勤務されていたところ、大学院に戻られてきて、結局全部で5人でした。

機械工学科の藤井澄二教授は1932年にマグロヒル社から機械振動論(Mechanical Vibrations)を出版されていたMITのデン・ハルトック教授の知遇を得て、アメリカに留学する方もまだおられなかった1953年頃、MITに1年の滞在をされました。

デン・ハルトック教授はオランダ出身で、アメリカのウェスチングハウス社からMITに移られています。藤井先生の出張の目的の1つは、アメリカの制度に倣った新制の大学院の将来像を確実にするために、本元の姿を知っておきたいとお考えであったと仄聞しています。

ちなみに、1932年には東大造船の妹澤克惟(せざわ・かつただ)教授が岩波書店から大著「振動学」を出版されており、デン・ハルトック教授の著書と対比して、偶然とはいえ、世の中にはこのようなことがあるもので、大変興味深いことです。

「Mechanical Vibrations」には、切削時に発生

する振動が自励振動を示唆する記述がありますが、妹澤先生の著書には自励振動自体の記述がありません。彼我の相違が垣間見える点です。

戦前のヨーロッパの環境に知見を有していた父は、実業界の指導的立場にある人士が学位を有していた事例にも触れていて、新制大学院のあり方にはその視点からの指摘もありました。ありていに申せば、新制大学院の成果の浸透を見通す一方、その必要性を受け止めていたと改めて思う次第です。

半面、就職が当面の課題として重要な学生にとっては、大学院へ行っていたら就職先がなくなるというも逼迫した発想であり、友人の親身、率直な指摘でした。しかし、それから程ない7年後の1965年には学部学科員数60名の半数が大学院に進学するという急激な変化が見て取れます。

社会的には日本の高度成長が実感として捉えられるようになり、生活にもゆとりが備わりつつあったことが背景にあったと思えます。実際、その後には東大理科I類の定員も増え、産業界の要請に応えることになっています。

大学院では、制御工学、振動工学を専門とされていた藤井澄二先生にご指導いただきました。先生は講義をされるときに資料や教材をまったく持たず、チョークの箱とチョーク1本だけで、すべて空に収められた講義内容を黒板に向かって論理を的確に進められ、時折学生の方を振り返られて「間違っていないよね」と確かめられる、学生が理解できることを突き詰められた刮目の講義でした。

早かった自励振動研究

ターボポンプの自励振動現象である「サージング」に関する研究が藤井先生の初期の研究で、東大生産技術研究所の図書室の昭和22(1947)年の機械

学会の論文誌合本では、先生のその論文だけがページの周囲がボロボロになっており、いかに多くの研究者が関心を持って閲覧、納得したかを物語っています。それまでは現象そのものの理解に甲論乙駁があり、現象の的確な理解はできていなかった課題が氷解、首肯されたといえます。

藤井先生がこれを課題とされたのは、昭和 17 (1942) 年のご卒業と同時に B29 迎撃の戦闘機機関に過給機搭載の試作に取り組みされていたところ、サージ現象が発生し、その対処に苦心された経緯があったと仄聞しています。戦時であったとはいえ、卒業と同時に実践現場の課題に取り組みでの解決、成果に敬意を禁じ得ません。

切削時に発生する自励振動、いわゆる「びびり振動」については、1937 年に当時旅順工業大学におられ、後に九州大学を経て名古屋大学に移られた土井静雄先生が、機械学会に論文を発表されました。

これは世界最初の切削の自励振動に関する論文で、意図的に振動を発生させても、自励振動としても、振動数は振動系の固有振動数とほとんど同じ振動数になることに関していました。しかし、これが自励振動と判断されて理解を得られたのは戦後の 1940 年代後半でした。

その背景には次の経緯があったと伺いました。

私の大学院時の指導教官藤井澄二教授との対話のなかで、土井教授が切削時に観察される振動現象について藤井教授に当該振動がどうも理解できないと疑問を表明されたことがあり、藤井教授がそれは自励振動であろうと示唆されて、土井教授が膝を打たれたと伺いました。

その対話があった時期は伺い損ねましたが、土井先生が 1954 年に出版された著書「工作機械の振動」のなかでは、すでに自励振動一色になっていますから、1950 年代前半に自励振動と明確に認識されるようになっていたと推察されます。

1965 年の ASME (アメリカ機械学会) の論文誌に、アメリカ空軍が航空機生産に工作機械が多く使われていることに関連して、振動に関わる工作機械の機能、仕様を特定する方策を明確にする視点のプロジェクトを実施して、工作機械と加工時に発生する振動について、安定限界の判別法や発生する自励振動の特性などについて論文を掲載しています。

これを遡ること 10 余年、1953 年にはアメリカの GE 社の技術者ハーンがやはり ASME に論文を書いて

いて、旋削切削痕に注目して、1 回転前の振動の痕跡と次の回転の振動の痕跡の位相関係を調べ、1 回転前に進んでいけば痕跡を残すだけですが、遅れていけば振動が始まるとして現象を説明しました。

切削の多重再生効果

そのような流れで自励振動現象は次第に解明されて、私が研究を始めた頃には、安定判別や基本的な振動挙動の特性は先駆者がすでに解明済みで、事象がわかっており、今更研究することはないと見られていたかもしれません。

しかし、安定限界はあるとして振動が起こってから有限振幅になるのは、藤井先生のサージと同じで、振幅が有限になる事象の構造があって、振幅がその限度に止まります。切削の場合、最も単純な旋削の場合の構造を考えると、1 回転前の切削で切り屑形状が分離、分断されることに加え、さらにその前の回転の痕跡が切り屑上に重畳して残される状況になります。私の論文では、これを「多重再生効果」と名付けました。

ちょうどその頃、複合材料をつくるのに繊維状金属があればいいということになり、東大生産技術研究所の中川威雄先生は自励振動が起こる条件の下で、繊維状の切削チップをつくりました。そうすれば各種の材質のものができるので、先生の事例では金属繊維を混ぜた自動車のブレーキパッドなどに応用され、本来の糸繊維製造の企業が新製品として業容を展開していると聞いています。

古川 私は佐藤先生の後にびびり振動を研究していて、1965 年の ASME の論文誌に掲載されたシンシナチ・ミラクロン社の論文は、かなり体系化されたものだったと記憶しています。その後ですね、細かい切りくずが出るのであれば、それを使って何か応用したらいいのではないかと中川先生たちが考えられたのは…。

田中 私は当時、東芝機械の生産技術課で大形プラノミラーの開発を進めていましたが、中川威雄先生と鈴木清先生が訪ねてこられ、プレーンカタで長さ 50mm × 断面積 0.5mm² の切り屑をつくりたいのだが、東大生研のフライス盤ではびびって切



り屑が折れてしまう。どうしたらよいだらうかとご相談を受けました。

ちょうど、開発したプラノミラーでご所望の切り屑をつくり、機械の剛性さえあれば生産性良く切り屑がつくれることをご覧に入れました。

これが金属やコンクリートに混ぜ込んで補強材とする「鉄苧」（てつすさ、てっさ。補強のために土壁に混ぜ込む短く切った藁）で、コンクリートがひび割れで水漏れを起こさないように、トンネルのライニングや滑走路の舗装に使用されています。

「てっさ」専用のミーリング加工機を何台かつくらせていただきましたが、その後鈴木清先生が丸棒を旋盤で削り、びびり振動をコントロールして所定の切りくずを能率良く生産する方法を考案され、現在はこの方法で生産されているようです。

佐藤 古川先生がシンシナチ・ミラクロンの話をされましたが、当時同社には切削時の力学を解明したマーチャントという方がいて、私がミラクロン社を訪問した際には、彼自らが工場を案内してくれました。

古川 そのマーチャント博士を日本に招いたときに、招待した日本工作機械工業会から、経費節減のためか通訳を仰せつかって閉口したことがありました。

ところで、先のシンシナチ・ミラクロンの論文は安定、不安定の解析ですが、それに対して佐藤先生はそれだけではなくて、安定、不安定の限界から不安定状態に入った時の振動の挙動、すなわち振幅がどのように変化するのか、発達するのか、止まってしまうのかについても、解明が求められる、つまり、単に安定、不安定問題だけでなく、振幅の伸び率を考えなければならないというのが主な主張でしたか。

びびりのメカニズム

佐藤 そのように申し上げたかもしれませんが、自励振動の現象の構造をイメージすると、まず発振の限界を把握しなければならない。ポンプのサージングの場合、発振後の振幅が極端に増大せず、有限の振幅に留まっている機構を解明するというのでした。

それを最も簡潔な形態として旋削で見た場合、再生効果が効いていると考えられます。そして、切り屑が加工表面から切り離されていきます。その際、

工具の形状や設備条件にもよりますが、1回転前だけではなくて、2回転前、3回転前から切削痕が残る。それが多重再生効果です。

古川 工具が1回転して削りますよね。そこにびびりが発生して、「うねり」と見える粗さ面ができます。それをさらに削ると、新しく1回転後の粗さ面が発生して、それを「再生」というわけですが、先生のお考えだと、1回転前のうねりが何かの具合で工具刃先と接触しなければ、2回転目でもそのまま残ってしまうということでしょうか。

佐藤 はい、工具形状と切削軌跡の状態によりますが、数回転前も影響を受けるということです。

古川 そういうお考えで、びびり発生後の発展過程を研究されたというわけですね。頭のなかではわかっていたつもりでしたが、言葉で正確に表現できずにいました。改めてご説明いただいて理解できました。「再生」ということが重要だということですね。

もう1つ確認したいことですが、先のシンシナチ・ミラクロンの自励振動の論文ですが、あの論文に対して佐藤先生はどのようなご意見をお持ちですか。

佐藤 ご指摘のミラクロン社の論文は切削の自励振動発生機構を自動制御の手法を適用して解明したのが特徴で、機構の特徴の理解を深めたと思っています。

切削の基礎事例である旋削の場合、びびり振動については、再生効果があると思います。しかし、バラバラになった切りくずには1回転前だけでなく2回転前、条件によってそれ以前の回転時の痕跡が残っているということです。

古川 学位論文もこの研究で取られたのですか。

佐藤 いや、実は私の学位論文は「耐震設計」です。修士課程では振動抑制、不安定系に発生する振動の安定化の解析、博士課程では不規則振動論による地震のシミュレーションとこれに対する応答計算で、地震動の最大値に注目するため、極値の密度関数を介して最大値を推定して、アナログコンピュータを使って発電プラントと配管系の振動を解析するわけですが、建屋の質量に比べて設備や配管など機械系の質量は圧倒的に小さい。その結果、地震発生時は機械類だけが振り回されるような大きな振幅の振動になるのです。

地震に対する応答の計算には、入力が問題になります。地震波形を電圧に変えるのですが、日立製作

所製のアナログコンピュータは、透明なフィルムに地震の波形を描き、それを光電的に走査して読み取り入力にするものでしたが、変換素子の特性によったので、当時はこれがまた不安定でした。私が修士課程から博士課程に進む1960年頃に、東大建築の武藤清先生が霞が関ビルを設計された際、藤井先生に相談され、アナログコンピュータを利用されていました。

アナログコンピュータは微分方程式を解くために積分計算を要素として解きますが、構造物を質点系として解析する際、質点を表わす増幅器をつなぐのに、接続ワイヤを使ってパッチボード上で無数の接点で接続させると、端子が点接触であったため確実に繋がらない危険性が高いものでした(笑)。

古川 それをお聞きして大変懐かしいことを思い出しました。1963年でしたか、制御の富成襄(とみなり・のぼる)先生が東大から都立大学に移ってこられました。富成先生は証券会社の社長の御曹司でお金持ちでした。

佐藤 そう、確かに使われている車が違っていましたね(笑)。

古川 車もアルファロメオとか外車ばかりでした。それで先生が都立大にこられると、何とご自身でアナログコンピュータを買ってしまったのです(笑)。だから、制御の学生はもちろん、私など加工関係もよく富成先生の装置をお借りしたものでした。

びびり振動研究の国際議論

話は変わりますが、先生がびびり振動の研究をめぐってCIRP(国際生産工学アカデミー)の国際会議で、トルスティといろいろ議論があったと聞いています。

佐藤 トルスティは、チェコスロヴァキア(当時)の工作機械研究所の所長をしていましたが、チェコ動乱を機にイギリスに避難、カナダを経て最終的にはアメリカのフロリダ大学に落ち着きました。

彼は、CIRPやMTDR(工作機械設計研究国際会議)などで、自励振動発振限界についての解析法や見解を示したのですが、その後の研究について彼の論文の出所には問題がありました。経緯からすると、私がKondo, Kawanoと連名で1980年11月の同学会冬の講演会に講演発表し、これが1981年のASME論文誌に多重再生効果に関する論文として掲載されました。

この論文は1980年のCIRP Ann.に投稿していましたが、採否の判断回答に時間を要していると見たため、急遽投稿して独創性主張の権利の確保を意図したものでした。

1981年のCIRP GAはトロントで開催され、この主催にはその折、トロント近郊にいたトルスティが投稿された論文の整理に当たっていたと見えています。彼が自らの論文を発表した講演に出席し、講演終了後の質疑の時間に入ってすぐに質問に立ち、経緯と問題点を指摘したところ、彼は私を凝視するのみで回答、反論もまったくないまま、講演を終了しました。

私は、回答によっては彼の論文が剽窃ともできる旨を明確にする心づもりのニュアンスを込めていましたが、これを察知したかどうかは不明です。

彼とは会議の席上だけでなく、会議外のところでも議論をしたことがあります。振動発生後の挙動に関しては、私が意味を述べたのに対し、被削面に振動痕を付け、加工部品を台無しにする点で、これを論じることは無意味としていました。しかし、その後には、いつの間にか、必要性を主張するようになっていました。

ミラクロン社にはASMEに論文を投稿していた技術者にケッグがいましたが、先の挙動が求められるならば、振動発生時の加工の継続の可否判断を含め、生産管理に有用となるうとの見解が表明されました。

振動問題に関しては、時刻歴領域と振動数領域での扱いかたがあります。私の論文は主として振動数領域の扱いで、これによって実際の振動の挙動が説明されることになります。

彼がびびり現象の全体像をどれだけ把握していたかは、明確にはわかりません。しかし、先の問題点を自らの発想に基づいて深く把握していたとは思われません。



相良 最近、日本の大学でびびりに関する研究は、カナダのアルティンタスの研究を引用して敷衍することが多いようですが、それもトルスティの流れでしょうか。

佐藤 私はアルティンタスの研究を詳しくは見ていませんが、それほど画期

的な研究はしていないような気がします。アルティンタスはトルスティの手引きがあったので現在の仕事に就けたと思義を感じていました。反面、トルコ出身の中堅どころの研究者は、トルスティは配下の仕事を自分の仕事としてしまうとしている話も聞こえました。

相良 研究をよく見ると、たとえばエンドミルの断面を細かく分けて、それぞれがどのような切削をするか一度分割してまた総合するというようなことです。

佐藤 それは印刷用の製版をつくる過程で精度を上げることと同じかもしれません。

相良 最近は工作機械メーカーも、びびり振動を抑制するために、切削条件をできるだけ安定した回転領域にずらそうとしていますが、先生はどのようにお考えでしょうか。

佐藤 私はそこまでは見えていません。何年前にオークマさんがやろうとされていると聞いたことはありますが、それについては一度詳細に説明を受けたいと思っています。

相良 切削する工具を付けて動特性を測定するというのは、本当は最初にやらなければならないことですが、実際の現場でそれをやるとなると大変です。もう少し汎用性のあるものというか、それをやらなければいけませんね。

古川 基本はわかっているのですが、機械の形がずいぶん変わってきましたから。

佐藤 たとえば、旋盤のベッドとリブがどんな形状であれば剛性が最も高いのか、おそらく有限要素法を使えばわかりますが、実物と比較してどうなのかとなると、ベッドだけを取り出して振動実験することは必ずしも容易ではありません。

そこで振動実験を可能にする一つの提案ですが、定盤の上にボールベアリングのボールを載せ、ボールよりやや口径の大きな球面座を持つ受けを被せ、受けの面上にベッドを載せます。ベッドは3か所で支えれば安定しますから、そのようにして加振する振動実験をすれば、支持条件は明確にできて、実験と解析の両方が可能になり、比較もできるようになります。

ベルギー王立学士院会員に

古川 先程 MTD R の話がありましたが、この会議は元々イギリスのバーミンガム大学とマンチェスタ

ー大学が交互に開催していたもので、バーミンガム大学はトバイヤス先生、マンチェスターのほうは私が師事したケーニヒスバーガー先生が中心でした。

そのトバイヤス教授は、1960年代前半だったと思いますが、旋削中心ですがびびり振動について長く研究されていて、佐藤先生はトバイヤスさんについて何か思い出はございますか。

佐藤 彼には数回会った程度で、あまり交流はありませんでした。現在オーストラリアにいるブライアン・ストーンは、以前にトバイヤスのところにおいて、直接指導を受けたアンドルーとは気脈が通じていましたが、トバイヤスには業績を持って行かれたかの如く、彼のことをあまり良くいいません。

ベルギーにジャック・ピーターズ、正式には「ペテルス」というのですが、やはり工作機械の振動について研究をしている方がいて、一度日本に来たことがあります。昨年か一昨年に90余歳で亡くなられましたが。

古川 彼は確か神父でもありますよね。

佐藤 はい、私がアメリカからの帰りの1967年にヨーロッパに寄った際、ベルギーのルーバン・カトリック大学で会ったのが最初です。

彼の来日のときにお世話をされたのが、機械工学科の竹中規雄先生、菊池庸平先生でした。菊池先生は、お酒がお好きでしたが、あまりお強くないのに、どうも限界を超えて飲んでしまわれる。そんなことがありました。

古川 ピーターズ先生とは、来日のときにお会いしましたし、その後イギリスからの帰りにベルギーの大学にうかがって、大学の歴史を聞いたり、昼食も共にしたりしたのですが、英語の発音が難しくして理解しにくかったことを覚えています。これは私のヒアリングにも問題があったのですが…。

佐藤 あそこの大学には、ヴァンハルク教授もおられましたね。私が1991年にベルギー王立学士院の外国人会員に推挙され、2012年にベルギー王冠勲章コマンドール章を叙勲されたのも、お2人のご尽力によるところが大きいのです。

MITでの思い出

古川 佐藤先生はMIT（マサチューセッツ工科大学）にいらっやっていますね。

佐藤 はい、それも鶴戸口先生が親しかったP. スミス先生のご縁をいただき、1966年から1967年ま

で学年に1年間、MITの機械工学科、材料加工研究室に籍を置く機会がありました。当時、先方が出してくれた給料の名目的な円対ドル換算の額では、日本給与額をはるかに上回っていました。しかし、これをそのままいうことは誤解を招くもとと考慮し、日本の給与額はいわず仕舞いでした。

MITでは40代初めの「フルプロセッサー」(教授)と10歳も年長の「アソシエイトプロセッサー」(准教授)が研究室を構成されており、滞在して間もなく准教授の方は昇任されましたが、厳しい世界を実感しました。日常では、これをその時点の結果と受け止め、研究室の運営に当たられていると拝見しました。

古川先生もご存じと思いますが、日本では毎週ある教授会が、MITでは学期に数回でした。つまり、全体のことは全体取り仕切りの責任を負う主任ともいべき教授がいて方向性を決め、個々の教授方は問題が生じない限り、それに従って運営するとしていると見えました。

それと、当時の日本の大学教授の生活では考えられなかったことは週末の休日の過ごし方です。ケネディ家の別荘で有名なボストンから1時間余のケープコッドや北方ニューハンプシャー州の湖水地域に先生方が別荘を持たれていて、教授の1人などは、週末は別荘に通ってひたすらボートづくりでした。

エンジンとコントローラは買ったけれど、船体は自分がつくったと誇っておられました。滞を終えての帰国直前にお礼に伺った際には、艇長10m弱くらいだったか、ボートに搭乗の機会を得ましたが、ゆとりの暮らしの一端を実感させていただきました。

私自身は、専門を加工、工作機械に転換する時期でもあり、研究室に並ぶ1台の旋盤を対象に、工作機械の振動と精度計測を課題と見定め、その後の研究課題ともできたことは、大変ありがたく、嬉しいことでした。

当時、アメリカでは「サバティカル」と称して、7年に一度に講義から解放される期間が取れるとされていました。滞在の期間をサバティカルとされるか否かは別として、その趣旨には注目する意義があるでしょう。

生産技術研究所時代

古川 東大生産技術研究所は当時東京の六本木に

ありましたが、本郷の学部との関係などについてもお話しいただけたらと思います。

佐藤 私が勤務した時代は、生研はとても落ち着いたところでした。最初は千葉にあったのですが、当時の茅誠司総長が生研所員の希望を聞いて下さり、手を尽くされて六本木に移動し、さらに後には駒場に移転しました。元々は戦時中に技術系卒業生を増員するべくつくられた東京大学第二工学部が前身で、受験は一斉ですが成績順に1番は東京、2番は千葉と振り分けたと聞いています。

それがわかると学生たちは、千葉では通勤、通学の時間もかかるし、大変な違いだと思ったのですが、戦争が激しくなって食料不足が深刻になると、千葉では、畑はあるし、海も近いので食料環境は良かったという話も聞いています。

古川 熱力学で有名な平山直道教授は第二工学部のご出身ですよ。

佐藤 生産技術研究所になってから有名なのは、ロケットの糸川英夫教授でした。所内ではロケットばかりに金を使ってといわれていましたが、チームは後に航空宇宙研究所に移るのですが、当時物理学など理学部の研究者たちがロケットの利用価値や必要性を認めていて、それで存続したと聞いています。

結局はその後の日本のロケット開発、宇宙開発に大きく貢献したのですから、外部からいろいろいわれても、本当に大事なものは何かという確固たる信念を持ち、判断するというのは、とても大切なことだと思います。

古川 先生は、東大の本郷のほうでは講義はされなかったのですか。

佐藤 学部は教育が前提ですから、本郷の教授の方々には立ち位置を明確に決めてやっておられました。大学院の存在が次第に大きくなり活発になると、生産技術研究所も大学院の講義に関与するようになって、学部とバランスを取りながらですが、大学院としての専門教育には力を入れていきました。

ただ、大学院生が増えたことで論文課題取り組みの重点は大学院生が取り組むことが主体となり、学部学生各位は教員と接する機会が従来に比し減り、課題錬磨に未達の経緯になったのではないかと思います。教授の方々の教育の力点はどうしても大学院生の論文課題を重視するというようになっていたのが懸念でした。

それと、生研の性格上、産業界との共同研究、つ

まりプラスアルファで産学共同のような形式を發展させるという方針もありましたね。

古川 大学教授は一般的に、大学での研究と同時に教育、学術的な社会貢献をしなければなりません。さらに、技術特許取得など特記事項もあって、これが論文評価にもつながるといふ、現在はそのような時代です。

先生はそのようなさまざまな社会活動もしてこられて、とくに東大生研の基本姿勢は、良い意味での産学共同など社会貢献だと思いますが、先生は個人的にどうお考えですか。

佐藤 生研ではよく“産学共同”といいましたが、何をやるにもお金がかかるわけです。そこで、実際に資金を受ける場合2通りあって、1つは共同研究ということで契約を交わして開発費を受ける。もう1つは寄付です。

もちろん、用途は明確にしますが、これだけでやってくれといった無理もありますね。製鉄や自動車は多いといっても100万円単位で、工作機械は研究費ではなくて、現場で測定をするといった共同研究がほとんどでした。

古川 現在の大学は、工作機械の場合はいろいろなメーカーから借りている場合が多いようですね。もちろん、寄贈されるケースもあるでしょうが。

だから、今の大学の工作機械研究は完成した機械を使う研究が主体で、工作機械の要素を開発するか、全体をまとめるとか、新しい材料を開発するといったベーシックな研究があまりないような気がします。

逐次2点法の開発

佐藤 私の場合は、東芝機械さんと大形横中ぐり盤の真直度測定をできたことが充実した経験でした。大形工作機械の形状精度を曲線で可視化するというもので、直接現場で測定できたのは大変ありがたく嬉しいことでした。

形状をレーザ方式、あるいはオートコリメータ方式で測定するのが一般的ですが、工具台にセンサを2つ付けて測定対象とする機械の、たとえばベッドの側面を2つのセンサ間の距離ごとに移動測定したデータを整理すると、工具の運動と対象のベッド側面の形状精度が同時に得られる「逐次2点法」の結果を、これまでの2つの方法と対比して検証できるというものでした。大学院生の課題としていたなか

で生まれた手法でした。

真直精度を測定する場合は、一般的には真直規格かオートコリメータを使いますが、レーザはビームの通過途中の空気の流動が擾乱となり、測定には雑音となって結果が乱され、その信頼性が劣化する懸念が伴います。

その点、逐次2点法は形状精度の傾斜姿勢成分による測定誤差には注意を要しますが、測定論理は明確です。

この応用としては、自動車底部の重心付近に路面に向けてレーザセンサで2点測定を行ない、車を走行させながら路面の凹凸を計測できることとなります。レーザ光を帯状にすれば道路幅全体に対する測定が可能で、道路補修箇所の特定を無人で安全に実現できます。

この測定車両を最も有効に使われたのは、道路面の舗装材料を供給される企業で、無駄のない舗装材料を準備することが可能になったと聞いています。

相良 佐藤先生はびびり振動と地震と振動がご専門なのに、どうして逐次2点法を考えられたのかと思っていました。それが東芝機械と関係があったことは知りませんでした。

田中 その後、測定器のメトロロジーフレームとして立てて使用する2500mm口の定盤の平面度を、使用状態で測定したいと佐藤先生にご相談して、逐次2点法による測定を試みましたが、うまくいきませんでした。

佐藤 定盤平面度測定の困難性の解決は難しいのか、伺いたくなります。3次元測定装置の誤差空間評価と補正への展開もあり得るかと思考していましたが、もう何十年も前のことですが、そんなこともあったわけですね。

古川 先生は東京大学を辞められてからも、いろいろお勤めになられていますね。

佐藤 東大に在籍時の1990年に機械技術研究所所長を拝命して、定年前の3年間2か月余を勤めました。1991年にはオランダ女王陛下ご来臨、そのご案内に天皇・皇后両陛下が随伴、行幸啓の栄に浴したことが忘れがたい思い出です。

中央大学理工学部には9年間勤務しましたが、私立大学と国立大学とでは学生の意識がかなり違うことを改めて知りました。中央大学では定年までに1年を残して退職させていただき、敗戦時に陸軍大佐で陸軍省戦備課長だった亡父が、戦後3年を経て

創立した(株)千代田グラビヤに関係することになりました。亡父は鶴岡中学入学後程なく陸軍幼年学校に入学、敗戦時には44歳で、前半生を軍務に服していました。

印刷ロール技術の進歩

田中 印刷ロールは私たちの加工の仕事とも関係が深く、佐藤先生が千代田グラビヤの経営を担われるようになってから、東京の大崎と茨城の工場を何度かお伺いし、印刷ロール加工機や加工方法を見せていただいたことがありました。

今でもロールの仕事が多くて、たとえばセキュリティ用のパターンをつくるロールの需要が多いですね。最近では偽物が多いので、ホログラム認識用を彫刻やレーザでつくるわけですが、いろいろ勉強させていただきました。

佐藤 オリジナルはドイツの機械ですね。写真フィルムに階調を付けて彫刻して版をつくりませんが、化学工程でエッチングして深さを出す場合、正確な深さが出ないことがあります。

そこで、ある大きさのロールに対して、ダイヤモンド工具で版の全面に階調を付けた形でインク溜めを彫るわけですが、最初にそれを見たときこれは日本人が発想できるだろうかと思いました。

ただ、彫刻してさらにめっき仕上げをするロールの仕上げ技術は、今では日本が進んでいます。

古川 先生がかつて所長をされた機械技術研究所を始め、歴史ある研究所が統合されて新しい組織になりましたが…。

佐藤 2001年に機械技術研究所や電子技術総合研究所、計量研究所などが「産業技術総合研究所」として統合されましたが、ひとつ思うことは、かつての各研究所の存在感が見えなくなり、それぞれの特徴、個性が消えてしまった懸念があります。

正直申し上げて、私もどう受け止めたらいいか明確ではありませんが、専門相互間の融合は欠かせないものの、せめて機械、電気、精密といった基礎専門領域の内容がわかる呼称は残されても良かったのかなと思います。

良き市民としてどう生きるか

古川 最後になりましたが、佐藤先生は現在、お父上が創業された千代田グラビヤの名誉会長として継いでおられますね。

佐藤 日常のことはまったくやれていません。毎日出社はしていますが、会社の実務は長男が社長として果たしてくれており、年寄りだから“名誉”と付けておくとの意味合いです。



顧客様との対応も実際に私がかかわることはまずなく、年末、年始、折節行事の挨拶に社長と並んで私が研究者として永年に

いただいたご厚誼に感謝

しつつ、革新に向けた歩みと努力を今後を生かすよう尽くすと愚考しているものです。

ただ、創業当時は火災に遭ったり、オリンピックで工場が立ち退きになったり、会社を立ち上げるときに父はずいぶん苦労したと思います。一旦緩急ある場合への心の準備は欠かせないところです。

ちなみに、ひとつ記憶にあるのは、印刷用紙はロールで搬入されますが、運送従事者がその大きなロール紙を貨物車両の荷台上からドスンと乱暴に地面に落とすのを見た父が注意すると、運送屋さんがこれくらいのことは大手他社さんでもしていますよと反論するので、父は「うちはよそ様とは違う」と一段と声を高めて叱責していたことがあります。

先程も申し上げましたが、塩野七生女史の著書「想いの軌跡」に、防衛大学校の卒業式に招かれた際の祝辞で、「専門家」として優れたな「軍人」を目指すと同時に、良き「市民」でもなければならぬという趣旨を述べた旨が書かれています。私たち技術の専門家も同時に良き「市民」であるべきという命題への取組が求められている印象です。

これまでの経過のなかで、研究には学制のなかでご指導いただくこととなった指導教員諸先生、部内や所内の先輩、同僚の教職員各位、研究室の職員各位、大学院生諸君、共同研究のなかでの企業から派遣された各位あつて進めることができたことに、心から感謝する次第です。

古川 先生は健康法というか、何か特別におやりなのですか。

佐藤 最近、私より若い方の訃報を聞くにつけ、生命を与えていただけている限り、これを維持する健康には留意しています。私は小学時代にツベルクリン反応で陽転していましたし、高校進学時には校医に休学させるとまでいわれたくらい、頑健とはいえ

ませんでした。

機械技術研究所時代、公務員の定期健診は東京・虎の門病院だったのですが、待ち時間に何気なく壁を見ていたら、手書きの図が張ってあり、横軸に体重、縦軸に血圧やコレステロールといった項目が描かれていて、体重が増えるとそれらの数値が直線的に増えて悪くなっていました。すなわち、適切な体重を維持することが健康管理の要諦と受け止めました。

そのような次第で、毎朝起抜けの10分前後の我流ストレッチは、40歳の初期には始めていました。歩きは基本と何うにつけ、1週間に1回、約1時間のウォーキング、通常の歩行をしています。自宅から多摩川縁近くまでの往復、距離では4kmほどです。しかし、年齢相応の歩行が限界と自戒しながらです。医師殿からは、ジョギングは膝を痛め、心臓負担も生じるリスクがあるとされ、歩行を勧められました。

20分ほど歩けばうっすら汗が出始め、1時間続けた後は真に快適です。反面、この途次で何らかの身体不都合発生のリスクに備えては、役職を含め、身分証明をできる証書の保持を心しています。これも医師殿の勧めです。

このように周辺各位のご配慮あって日々の活動が成り立ってきましたが、家のなかの立ち居振る舞いは、家族の支援あっての成立ちです。この場を借りての謝意表明をご容赦ください。

古川 それ健康の極意ですね。本日はありがとうございました。

出席者（順不同、敬称略）

古川勇二（元・SME 東京支部長、

元・東京都立大学工学部長、

元・東京農工大学技術経営研究科長、

前・職業能力開発総合大学校校長）

田中克敏（東芝機械ナノ加工システム事業部技術顧問）

相良 誠（東芝機械工作機械事業部技術顧問）

中村迪彦（SME 日本支部事務局）

2019年9月18日 東芝機械㈱東京支店