

SME LIBRARY 5

日本の工作機械を築いた人々



中 田 孝 氏

東京工業大学 名誉教授
東京精密測器 相談役
豊橋工倶西島鉄工所 顧問

S M E 東京支部

本稿は大河出版「応用機械工学」1988年4～5月号掲載

——SME 東京支部では、日本の工作機械ならびに生産技術分野で先駆者となった方々のお話をライブラリーとして残そうという企画を続けております。そこで今回は、中田孝先生にご登場願うことになりました。

先生は、東京工業大学で教鞭を取られて、切削加工を始め歯車、さらに NC と機械工学の中核でご活躍され、その後は東京精密測器で会社経営もなさるなど、エネルギッシュな活動をなさってこられました。そこで、これまでの先生の数々のご研究や業績などについて、ご苦労話を含めていろいろお話いただければ幸いです。

先生は昔から数学がお好きだったそうですが、やはり理科系に進もうと思われたのですか。

中田 数学はね、普段勉強していなくても試験はぶっつけ本番でもできるのです。しかし、漢文や歴史は暗記物で、普段から勉強していないと試験には間に合わない。それで入試に国語や漢文のない蔵前（東京高等工業学校、後に東京工業大学）に進もうと思ったのです。

中学は私立の京華中学です。数学は得意だったので、先生が書いた幾何の本の間違いを夏休みに全部直してあげたら、これで校正ができたよとおっしゃって、それからは少々できなくても満点をくれました。

その代わり国語は、仕方なく白紙の答案を出したこともあります。だから当時の私立中学というのは、私のように国語や歴史がほとんどできなくても、数学ができるというだけで卒業させてくれたのです。今だったら、落ちこぼれもいいところですよ（笑）。

中学から蔵前を受けた者は 15、6 人いましたが、結局合格したのは私ともう 1 人だけだったのです。それで中学の卒業式の茶話会のときに、校長に「蔵前に受かりました」といったら、「本当かい？」とこりゃご挨拶でしたね（笑）。まあ、1 番、2 番が落ちて私みたいなのが受かってしまったのでね。

——先生は蔵前の高等工業を出られてまた大学に行かれておられますね。大学を出られてから、まず何をなさろうと考えられたのですか。

中田 ええ、私は 1928（昭和 3）年に蔵前を卒業したのですが、まだ東京工業大学ができていなかったもので、しばらく高工の研究室で先生の助手をしていました。

私は技術の“色気違い”でしてね（笑）、最初から



1908（明治 41）年 3 月東京・浅草生まれ。東京高等工業学校（蔵前）を経て、1932（昭和 7）年東京工業大学機械工学科を卒業。同大学教授、同精密工学研究所所長などを歴任する。東京工業大学名誉教授・工学博士。

退官後は東京精密測器㈱で取締役社長、会長として会社経営も手がけた。歯車研究の第一人者として、また日本初の NC 工作機械を試作し、我が国の NC 開発研究の基礎を築いた功績ははかり知れない。

日本学士院賞、日本機械学会論文賞、大河内記念技術賞など数々の技術成果を始め、精機学会会長（当時）、日本機械学会会長、計測自動制御学会会長などを歴任し、我が国工学分野の中核にあつて、80 歳の現在もなおエネルギッシュにご活躍中である。

自分は何の専門家になろうとも思わなかったが、当時ドイツやスイスの精密測定機が工作実験室に入っていたので、その勉強をしたかったのです。ただ、ぶっかったものに対して興味が出てきましてね。

しかし、最初に切削をやったときには、こんな嫌なものはないと思いましたね。だから、大学でどうしてこんなものをやるのかと、恩師で機械科の関口八重吉主任教授に食ってかかったことがありましたよ。

——最初は切削をおやりになったのですか。

中田 はい、そうです。工具の寿命試験をね。当時は、薄い銅板をサンドイッチして超硬チップをシャンクにろう付けしたりして、皆自分でやったものです。その頃の切削速度は、せいぜいが 100m/min が限度でしたが、ダイヤモンド工具になるとずいぶん速かったのです。私がやっていたのは、切削面積が 3mm² くらいでした。

——3 mm² というと相当大きいですね、

中田 昔、東京工大にチャックの径が 400mm、ベッ

ドの長さが3mもあるジョン・ラングの可変速型の大きな旋盤がありました。大きな材料を削るには径が大きければ切削速度を上げることができましたからね。簡単な光学式のツールダイナモメータ（切削力測定器）を自作して、それを使ってどうにか測定できるようになったのです。

最初はローデンハウゼンの油圧式切削ダイナモメータを使ったのですが、刃先の沈下が大きくて自励振動が起こってしまい、欠けやすい超硬バイトの寿命試験には向かなかったのです。

その後、本格的な測定器をつくろうということになりましてね、当時の芝浦製作所（後に東芝）第3工場の工場長が藤島亀太郎さん（初代東芝機械社長）で、あそこにはよく出入りしたものです。そこで知り合ったのが、タンガロイの発明者である中村素博^{はじめ}博士、後に紡機の研究で博士になられた加藤鉞郎^{きつろう}さんです。

加藤さんは東京工大の海老原敬吉先生の直属の弟子で、いわば私の兄弟子です。シップ（SIP）のインポリュートテスターを使って歯車の誤差測定の研究をされていましたが、歯車の精度測定をやり始めたのは、日本ではあの方が最初でしょう。その後に東芝機械に移られましたが、その加藤さんに「お前、ちょっと来い」といわれて、私が手下みたいになって今の東芝タンガロイの工場にはよくお邪魔したものです。

当時、超硬バイトで大砲の砲身を中ぐり加工するのに、途中で止めるわけにはいかず徹夜でやることになって、それも何回かやらされました。砲身はマンガン鋼で、あらかじめ硬度を測ってから削るのですが、一晩おくと硬度がぐんと上がっているんです。そのとき初めて、加工でこんなに時効硬化するものかと驚きました。

まあ、そんなわけで私は工作機械から入ったわけですが、最初は切削の研究なんか嫌ですと関口先生にいったのです。しかし、先生は芝浦製作所からはすでに多額の研究費を貰ってしまっているし、私の兄弟子なども皆逃げてしまっただけでデータが出せない。そこで「中田さん、何とかしてくれ」ということになったのです。

先生は、アメリカ式にいつも“Mr”のつもりで私たちのことを“さん”付けで呼んでいましたね。その先生にどうしてもといわれて、それじゃ機械学会に出せるような論文にでもまとめればいいのか

と申し上げたら、先生は「うん、それでいい。そうすれば義理が済む」と白状されました（笑）。

先生にそうまでおっしゃられると、こちらでも断わり切れなくて、「それじゃ、やりましょう」ということになったのです。

ところが切削を実際にやってみると、存外に面白いものなのです。すぐに色気付いてしまう（笑）。この研究も3年くらい続いて、でもようやく先生が機械学会で発表され、義理は済んだと思ったら、関口先生が「それじゃ、今度は……」とおっしゃる。

「先生、ちょっと待ってください。もうこれで義理は果たしたので、何でもいから別なことをやらせてください。こんな研究は金と時間さえあれば馬鹿でもできます」と申し上げたら、「君もひどいことをいうね」といわれました（笑）。

歯車との出会い

——先生は歯車のご研究でも第一人者でおられますが、歯車を始められたきっかけは何ですか。

中田　そもそも私は、大学の教師になろうとは夢にも思っていませんでした。精密測定の技術を身に付けたら逃げ出そうと考えていましたからね。同じ1人の人間が研究するのですから、テーマは変わっても考えかたは変えられません。しかし、端から見ると「お前のしていることは八百屋じゃないか」と思われたでしょう。

まったくその通りでして、切削の研究にしても先生が研究費を貰ってしまったから、しょうがないからやったというわけ（笑）。それに嫌気が差していた頃、後に東京都立大学の教授もされた同僚の岩浪繁蔵さんが、佐々木重雄先生の下で歯車の研究をしていたのですが、どうしようもなくなって流体のほうにいつてしまった。それで結局、切削よりはましだと思って皆が嫌がった歯車をやるようになったのです。

岩浪さんは、苦労して歯車1回転ごとのトルク変動を測定していました。これは、最初は海老原先生が中心になってピエゾ（圧電気）の動力計を使ってやっていたのですが、当時からうまくいかなかった。

私は、この動的試験機械は原理的に良くないし、歯車の誤差に起因するトルク変動を測るには、測定機自身の剛性が足りないと主張していたのです。そのうちに岩浪さんも大学を辞めて、この研究を続け

る人がなくなってしまった。そこで、私が引き継いだようなわけです。

そのとき東京工大に歯車工作精度の測定を依頼してこられたのが 国鉄におられた五十嵐修蔵さんです。五十嵐さんには大変お世話になりました。当時は浜松工場長をされていて、各社の歯車加工機の精度検査を考えられ、全国の会社に依頼して歯車が 18 枚と 36 枚の標準歯車をホブ盤や歯車研削盤で削ってもらいました。それらの歯車を、大学にあったシップとサウラーの片歯面噛合い試験機を使って測定することになったのです。

そんなわけで、大学の研究室は歯車の山でした。そのときに歯車の静的精度測定をしたのが加藤鉞郎さんだったのです。しかし、先生もそれに嫌気が差して、後に交流 400Hz の高速ポットモータを多数ギャング運転する紡機の研究で成功しました。当時、加藤さんは助手でしたが気が短くて、何しろ学長と喧嘩をしてしまうくらいなんですから（笑）。

そして、私も苦勞して 3 年かかってようやくピエゾ・トルクメータをつくりました。しかし、一時はゆき詰まって、大きなことはいったが果たして本当につくれるかどうか本気で悩んだものです。でも、幸いにしてこれがうまくいって、どうにか測定できるようになったのです。その後は、順調に歯車の動的試験もできました。

当時の歯車には、精密なマージの研削盤で仕上げたものもあるし、ホブ切りやフェローズ・カッタ仕上げのものもある。だから、歯形は標準でもいろいろな誤差があるのは幸いでした。そこで、動的なトルク変動や歯車騒音についても研究しました。誤差が大きければトルク変動も大きく、騒音も大きくなります。そんなことから、このピエゾ・トルクメータを使って歯車の動的精度を向上させる研究を始めたのが、私が歯車にかかわるきっかけになったというわけです。

転位歯車の研究

——転位歯車のご研究でも大変な業績を残されていますね。

中田 歯車の騒音を研究することになって、それでは歯車騒音はなぜ起こるかという、誤差が原因で回転むらが発生する。そこで、回転むらの慣性力が変動するからだろうと、自分で理論的な計算もしてみました。

後になって、動的試験機を使ってやってみたら、どうやら私の理論通りになることがわかりました。しかし、標準歯車だけではつまらない。歯車にはすべり率や噛合い率といった問題がある。それには 1 種類だけの設計歯車では対応できないのです。それで歯車の歯形の研究を始めたのです。

当時の私の知識といえば、“インボリュート曲線とは、円筒に糸を巻いてそれをピンと振りながらほぐしていくときの糸の先の軌跡”といった程度のものでした。後は全部自分で計算しようと考え、成瀬政男先生の名著すら読まなかったのです。

それはどうしてかといえば、確かに先生の本を読めばできるはずですが、理想的な歯形があったとして、それを加工するためには特殊なホブが必要です。しかし、それを注文するには大変な研究費が要ります。

歯形を変えてみると、なぜ良いのかについては佐々木先生がドイツから持ち帰ったシーベル教授の著書に、転位歯車のことが少し出ていたのですが、これが非常に難解な本でした。しかし、この本を読んでもみると、たとえばモジュールが 6 で圧力角が 15° あるいは 20° の 1 種類のホブを少し半径方向にずらせば、いろいろな種類の歯形ができるというのです。

私は、この本を読んでこれだと思いました。この方法なら大学にあるモジュール 6 のホブ 1 つあれば、後は転位すればいろいろな歯形がつくれると考えたわけです。ですから私は、歯車の動的試験を行なう実験資料を自分でつくるために、転位歯車の研究を始めたというのが本音です。

そうしたらまた例の色気が出てきて、今度は転位歯車に凝ってしまったのです。この計算は厄介でして、表などもずいぶんつくりました。戦争中に特別な“極インボリュート関数表”をつくろうと考えましたが、実は後になって、そのときにつくらなくて良かったと思いました。

というのは、当時は何桁もの反 $\cos$ 関数表がなければそれを計算することができなかったのですが、その頃 7 桁までの反 $\cos$ 関数表を持っていたのは東北大学の天文学科だけで、しかも日本に 1 冊しかなかったのです。私は、今でいう計算用のプログラムまでつくって女の子と一緒に計算を始めたのですが、これじゃとても間に合わない。しかも戦争の最中です。

戦後しばらくして、日立製作所がコンピュータを

完成したので私はそれを借りることにして、歯車の親友で日立中央研究所の橋本誠也博士と一緒に、再び極インボリュート関数表に挑みました。プログラミングには時間がかかりましたが、後はわずかな時間でその関数表が印刷までされたのには驚きましたね。この表は、その後に『歯車工学便覧』（日刊工業新聞社）の巻末にすべて収めました。

一方で歯車の転位だけを追及していくと、どうしてもその基礎まで立ち入らないと気が済まなくなります。転位歯車の式も、正確でしかもわかりやすいものをつくりました。実験用歯車が必要になって、金をかけずにそれをつくろうと自分で削ってもみました。ですから、私のやることはいつも“泥縄”なんです（笑）。問題にぶつかって真剣にならないと本気になれない。ただ、私はこの転位歯車とトルク変動でどうにか博士号を貰いましたけれどね。

標準歯車の場合は、2つの歯車の中心距離は両歯車の歯数の和で決まりますが、転位歯車だと同じホブで切っても浅く削ったり深く削ったりすれば、その距離を変えることができます。たとえば、歯数が2枚違う同軸の2つの歯車を1つの歯車に噛み合わせることができるのです。これは理論的にも合います。

ドイツには“不思議歯車”といって、すでに似たような歯車がありました。これはバックラッシが少しあるのですが、それをメッサーシュミットの可変ピッチプロペラをつくっていたVDMが採用していたのです。

そこで、住友プロペラ（後に住友精密工業）が戦前にライセンスを買ってつくり始めたのですが、どうもドイツの図面と輸入した実物とのデータが合わないという。

当時、工場長をされていたのが蔵前の1年先輩の永島菊三郎博士でした。この方は大変な学者で。塑性力学の大家でしたね。永島博士は戦後は住友原子力の社長もなさり、学会会議のメンバーにも最高点で当選なさいました。

そこで私が、それは転位歯車を使えばいいとアドバイスしたこともあって、永島さんから「お前もちょっと来い」といわれて、住友プロペラにはよく行ったものです。その会社には、五十嵐さんや島秀雄さんなどもよく来ておられました。

VDMの可変ピッチプロペラをダイムラー・ベンツ型エンジンに付けて、戦闘機「飛燕」に搭載したの

です。プロペラ回転軸の穴を通して機関砲の弾丸を発射させるのですが、どうしても歯車機構を使って可変ピッチにしなければならない。その設計のお手伝いをしたのです。それがようやく完成して生産を始めた頃に終戦になって、結局使いものにはならなかったのですが、転位歯車の実用というのは、どうもこのあたりが最初でしょうか。

いずれにしてもこの転位歯車の計算は厄介でしたが、戦後しばらくして、ヘンミ計算尺に頼んで転位歯車用計算尺をつくったことがありました。これを使えば面倒な計算でも30秒くらいでできたので、結構売れたようです。こうした研究を加えられて1953（昭和28）年に、成瀬先生、和栗先生と一緒に私も日本学士院賞をいただくことができたのです。

転位歯車については、ひとつエピソードがあります。後にIFTOMMという機構学の国際会議がサンフランシスコであったときに、私がこの転位歯車計算尺の話をしたら、皆喜んで聞いてくれました。そのときに、大変スリルを感じたことがあったのです。

というのは、講演の前夜にフォード自動車の技師が私を訪ねてきたのです。論文はすでに提出してありましたから、おそらくそれを読んできたのでしょう。私の原式を使ってコンピュータで計算をしてみたというのです。

伝動軸から回転を取り出して、食違い軸歯車機構を使って車の速度計に伝えたい。これまでは標準歯車を使っていたが、歯数が少ないのでアンダーカットを起こすから、どうしても転位歯車にしたいというのです。それで、フォードのコンピュータを使って出した結果がこれだと見せてくれたのです。

私の計算尺は平歯車はもちろん、内歯歯車、はすば歯車、それから食違い軸歯車にも使えるように設計してあったのですが、これは弱ったと私は思いました。

その晩、私はすぐに計算尺を使ってフォードのデータを計算してみました。そうしたら、コンピュータで計算したのとほとんど精度の変わらない答が出たのです。

翌日、講演の席で私は、その技師の質問に答えていいました。私はこの計算尺1本で計算してみましたが、あなたのところの大型コンピュータで計算したのと同じでした。結果的にこの計算尺の正しさを証明してくれたようなもので、“thank you very much for your cooperation”とね。

NC の謎解き

——さて本日は、先生がNCを初めて手がけられたときのお話を、ぜひうかがいたいと存じます。1952年に世界最初のNC工作機械をマサチューセッツ工科大学（MIT）が開発したときに、先生はアメリカの雑誌に載っていたNCテープの断片から推理して、そのしくみを解明なさったそうですね。

中田 いや、何も私だけがやったわけではなくて、最初は大学の機械工学科と精密工学研究所で総合研究をやるというのが動機です。当時、東京工大のなかには旧精密機械研究所と旧電気科学研究所というのがあって、これらを統合したのが精密工学研究所でしたから、電子工学と精密機械の研究者たちが雑然と同居していたのです。

そこで、こうした人材でNCの総合研究をやるとしたのですが、それだけ雁首を揃えても本気でやるのはたった3、4人くらいだったなあ（笑）。

戦争中は大学にいてもすることがないので、テールワークの論文ばかり書いていて、36歳でどうやら教授にさせてもらいました。終戦になって金も物もなくなって、実験というのはまったくできませんでしたね。私は理論よりも実験のほうが好きだったのですが、そんなわけで少しは理論的なこともやらなければと考えました。

それで、大岡山（東京工業大学の所在地）で何をやるかということになったのですが、当時は研究費もないし食うにも困る。ではどうするかということになって、なるべくエネルギーを使わないようなことをしようということになりました（笑）。

そこで、熱伝導の川下研介教授や航空力学の岡本哲史教授、電気の栗野潔教授などと、少し勉強しようじゃないかということになったのです。だいたい若い助手の人たちが一所懸命勉強しているのに、教授が勉強しないということはないとね。

それである当時は、カリフォルニア工科大学のベートマンの微分方程式の本を輪講することになって、面白かったけれど分厚い本だから、1ページごとにああでもないとかやっているとなかなか先に進まないのです。たとえば誰かが「これはよく知っている楕円関数第2種の……」といい始めると、「いや、俺は知らない、ちょっと黒板に書いてやってみろよ」という具合です。

でも、この輪講はだいぶ勉強になりました。次は

さらに電気や数学の人たちが入ってきて、サイバネティクスの基になったノバート・ウィナーのフーリエ積分の本を勉強し始めたのです。

表題は確か“Interpolation and extrapolation”といいましたが、電気工学科の宮田近房教授、この方は数学の達人で、それから遠山啓教授、やはり電気の栗野潔教授、それに今度東京工大を退官した池辺潤先生、彼は当時まだ助手でしたがそんな人たちが参加して、教授と助手が一緒になってサイバネティクス関係の文献を読み出したのです。

そんなことをしていた昭和22、23年頃に、私の戦前からの知合いだったヘルベルト・ジーボルツという人が日本にやってきました。彼は昭和10年頃から、今のニフコ（日本レギュレータ）の基になった日本アスカニアの顧問をしていた人です。

日本アスカニアは、戦前にアメリカン・アスカニアから別れた人たちがつくった会社で、実はこれが日本の自動制御の先駆けになったともいえるでしょうね。

ジーボルツ氏はもともとブレスラウ大学を出たドイツ人でしたが、ナチスに反対してアメリカに渡ったのです。彼は昨年（1985年）亡くなりましたが、終世私の先生ともいえる人です。戦前はいろいろお世話になっていたのですが、戦争が激しくなって一旦アメリカに帰られました。

戦後になって、彼はアスカニア・レギュレータ社の副社長になっていましたが、すぐに日本に來られて、どうだ、生きていたかと私を訪ねてくださったのです。当時、私は歯車をやっていましたが、そこで自動制御のことなども教わったようなわけです。

ジーボルツ氏は再び1950（昭和25）年に日本に來られて、そのときにもいろいろ新しい話をうかがいました。そして、またアメリカに帰って2年ほどして彼が私に送ってくれたのが、この「サイエンティフィック・アメリカン」という雑誌でした（写真1）。

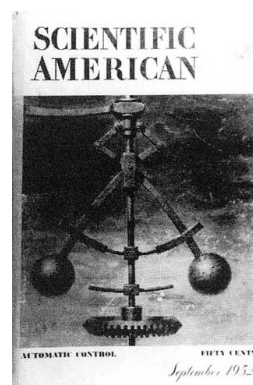


写真1「サイエンティフィック・アメリカン」誌
1952年9月号

私がNCにかかわるようになったのは、実はこの雑誌がきっかけだったのです。この本は自動制御の特集で、そのなかにMITでNC工作機械の研究をしているという記事もあったのです。この機械（写真2）は、私もだいぶ後になって見にいきましたが、シンシナチ・ミラクロンのハイドロテルを使って駆動させるNCフライス盤でした。

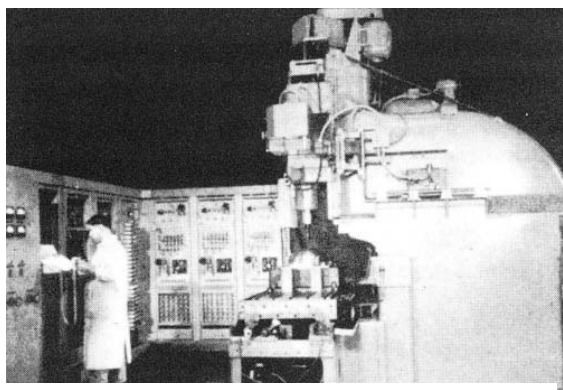


写真2 世界最初のNC工作機械。MITが1952年に開発したNCフライス盤

私はこの本を読んでみてすぐ、こりゃ面白いと思いました。たとえば、このカム（図1）を削るのにこんなテープ（図2）に関係があるということがわかった。そして、さらにセンセーショナルなことが書いてあったのです。つまり、あの機械は1パルス12.7 μ m（0.0005inch）づつ送ることができ、10feetつまり3mの長さのテープを使って1時間働かせるというのです。

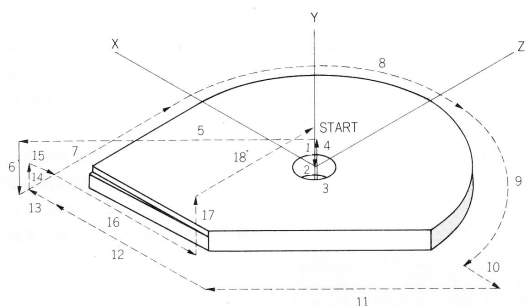


図1 カムの図面

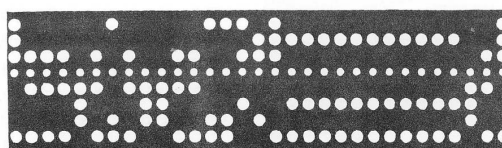


図2 図1のカムを加工するNCテープ

私は電気屋ではないのでよくわからなかったのですが、テープはどうもテレタイプのを使っているようだということになって、パンチ穴が7つあるからこれは2進法だということがわかった。そこで遠山

君に、「おい、2進法を教えろよ」とこの本を見せたら、皆が面白がって調べ始めたのです。

本の写真にある制御装置の真空管の数を虫眼鏡で数えたり、2進法の0か1で計算ができるんだと遠山君がいう。0+1=1, 1+1=2ではなくて10だ、1+1+1=3ではなくて11だ、というわけです。

そこで、私が中学時分に夜店で買った『2進法』という物理学校の先生が書いた小さな本のことを思い出したのです。それには、2進法は易者が使う算木と同じだと書いてあった記憶がある。算木の真ん中に溝がある（1）のが女、ない（0）のが男という具合で、それらの算木を組み合わせていろいろな卦を見るというものです。

その組合わせを2進法で計算するといくつに相当する、ということが書いてありました。私は10進法しか知らなかったの、それを思い出して2進法というのは面白いものだ、と再認識したのです。

そうして見ると、なるほどテープには穴が幅方向に7つあいている。7個あればそれらの組合わせで、アルファベット27文字と数字は表現できるわけです。しかし、このNCテープはそう簡単にはいかないのじゃないかと考えました。確かに長いテープに穴があいているけれども、これだけでは工作機械を動かすだけのデータとしては不足だろうとね。

そこでさらに調べていくと、これはどうもテープを長手方向に読んでいくのではないかということに気が付いたのです。さらに記事を読んでみると、なるほど「レジスタ」という言葉が出てくるんです。

それじゃレジスタとは何だということになって、テープの長さ方向に16ピッチ、穴の数で16個分を一区切りにしてレジスタに蓄える。つまり、ここに送りに相当する数値データが入っているのではないかと推理したのです。

テープの幅方向に下に3つ並んでいる穴はそれぞれX, Y, Z軸を表わしていて、後はいろいろな情報が入っているというわけです。とにかく16で切って、+-の情報や稼働時間の選定に3穴を残して、残った13穴の有無を10進法に直せば、 $2^{13}=8192$ 種類のパルスを運用できるというわけです。

今、 $2^9=512\text{Hz}$ のパルス発生器の出力を制御するとすれば、 $8192 \div 512 = 16$ 秒の間、この指令でフライス送りできることになります。

一方、1パルスで0.0005inch送ることができると仮定すれば、 $0.0005 \times 8192 = 4.096\text{inch}$ 、つまり

104mmの送りになりますから、テープ1コマ16個の穴の有無で16秒間に1~100mmまで、任意の位置送りができるというわけです。

それなら、長さ方向に16個穴があれば済むのではないかと考えました。すると、上の4つの穴のうち残りの3行の穴は、読み違いチェック用や加工開始、切削油をかけるといった指令情報を表わすのではないかと、そこまでは見当が付きませんでした。

パンチテープと並んでカムの絵がありましたから、何か関連があるのではないかと考えはしたのですが、その絵には寸法が入っていません。皆は関係がありそうとは思っても、それから先がまったくわからないのです。

ちょうどその頃、私の親友で東京工大の数学の池原止戈夫教授がMITに留学中で、しかもウィナーの直弟子でもあったので、私は先生に手紙を書いて、日本でMITのNCフライス盤のニュースを知ったので、このカムの寸法が書いてある資料があったら探してくれないかと、その絵をコピーして送りました。それでようやく寸法の入った図面を手に入れ、改めてこの寸法とテープとの関連性を追いかけていったのです。

今度は電気屋の池辺潤君が夢中になりましてね。彼は府立一中から一高に進み、東京工大の電気を卒業した秀才で、数学が滅法好きなんです。それで2人でテープの穴の計算を始めたのです。そうしたら、カムの径やテープの角度などが寸法とピッタリと合ったのです。

これだ、これだ、と皆で歓声を上げましてね。ここまでわかれば、動かすほうは私がやるからということになりました。池辺君のお兄さんの洋君が佐々木先生の助手で摩擦伝動の研究をしていたので、「そんなことをしていたら泥沼だぞ、こっちのほうが面白いぞ。佐々木先生が何かいったら、俺が喧嘩してやるよ」と油圧の研究をやらせてしまった(笑)。

それで、高価だけれどヴィッカーズの可変速油圧減速機を手に入れば、なんとかいけそうだったということになったので、今度は精密工学研究所の海老原所長に直談判して、とにかく日本ではまだどこも手を付けていないから、文部省の試験研究費を貰ってくださいとお願いしたのです。

実は、後になって東京大学の生産技術研究所や機械試験所でもやり始めていたことを知ったのですが、そうしたら、当時の金で750万円をボンと出して

いただきました。

この金を元にいろいろな案を出しましてね。これから工作機械をつくってはい間に合わないし、第一そんなに研究費もない。油圧モータはどうしても必要だからこれは買うとして、他はどこから貰おうじゃないかということになりました。

電子関係はその当時は少し手がけていまして、テープを翻訳してスイッチングして、そのデータをレジスタに1個ずつ記憶させるのに電話交換機のロータリスイッチを使うらしいということがわかりました。秋葉原(東京)のジャンク屋で集めた部品を使って実験したらうまくいったので、それならもう少しちゃんとしたのを貰おうということになったのです。

というわけで、今度は富士通信機製造(後に富士通)の尾見半左右副社長にお願いにいったのです。尾見さんは蔵前の電気を出た大先輩で海老原先生もよくご存じでしたから、紹介していただいて電話交換機の部品を貰いにいって、まずそれを何に使うかという話から始めました。

いろいろとご説明申し上げたら、そりゃ面白いことを始めたね、とおっしゃってくださった。そこで、ついてはあまり金がないので、真空管もたくさん欲しいしレジスタも要る。それに、当時はパルスモータなどない時代でしたから、その代わりに交換機の度数計もくださいと全部貰ってきました。

今度はサーボ関係です。私は歯車をやっていたので、懇意にしていた森幸製作所から差動歯車などを貰ってきて組み立て、それに自作したパルスモータを2つ付けて、それぞれ+方向と-方向に回転するようにしました。

そして、これらを使って差動歯車で指令パルスを回転角に変えるようにしたのです。これに機械式フィードバックをかけて、それからヴィッカーズの流体変速機を動かし、さらに旋盤の送りねじを動かそうというものでした。こうすれば、とにかく工具台は縦送りできる。

さて、それでは実際にはどうするかとなると、これは大変でした。ちょうどその頃、池貝鉄工の永瀬恒久さんのところで「AN18」という油圧倣い旋盤が完成したのです。油圧倣い旋盤というのはご承知のようにアナログ式です。

片方にテンプレート(型板)があって、型板に沿ってスタイラス(触針)が動くと、それに応じて油

圧バルブのスプールも動く。さらに機械本体が油圧でフィードバックされて動き、工具がスタイラスと同じ動きをするというしくみです。

そこで、この油圧做い旋盤を利用しようということになりました。これを使えば他に何も要らないというわけです。スタイラスを動かすにはマイクロメータ機構を利用することにして、三豊製作所（後にミットヨ）に無理をいって、マイクロメータのヘッドだけ貰ってきました。

そして、これを駆動させるのにパルスモータに相当するものを付けて最終的に光学的にフィードバックさせて、パルス数をミスカウントしないようにしたのです。

——当時は、国産のパルスモータというのはあったのですか。

中田 いや、自分でつくったのです。元々は富士通から貰ったシーメンス形の電話の度数計ですが、これに発生したパルスに応じて回転するようにしたのです。ですから、そんなに速くは回れない。それで永瀬さんにお願ひしましてね、私のほうもそんなに金がないからなるべく安く譲ってほしいとね。そして、歯車取付け用に送りねじのシャフトだけ長くしてほしいと注文を付けました。この機械だけで500万円くらいかかりましたかな。だから、それで資金はほとんどなくなってしまったんですよ（笑）。

——750万円のうちの500万円ですから、ヴィッカーズの油圧減速機を買ったら後はほとんど残らなかったでしょうね。

中田 それからがまた大変でした。1957（昭和32）年の機械学会の総会に、海老原先生が代表でこの研究を特別講演するということになったのです。それでその日も4月4日と決まったけれど、3日前になっても装置が動かない。それで先生が、「おい、中田さん、大丈夫かね。もし駄目だったら、当日は風邪を引いたことにしよう」といわれる（笑）。

こちらは徹夜続きで、池辺潤君などは電子関係のチェックで大変でした。そして油圧のほうも全部チェックして、後はつなげればうまくいくよ、ということになりました。

精密工学研究所は手狭でしたから、機械は1階に置いて電気関係は3階にある。その間に長いケーブルを引いて、アンプのパワー関係は下、指令を送るシステムは3階という具合で、電話でやり取りしたものです。

そんなわけで、やっとデータが取れたのは講演の2日前です。加工誤差も $5\mu\text{m}$ くらいに収まったのですが、ただの円筒形状の加工だけじゃつまらないというので、テーパやsin曲線形状にも挑戦して成功しました（写真3）。

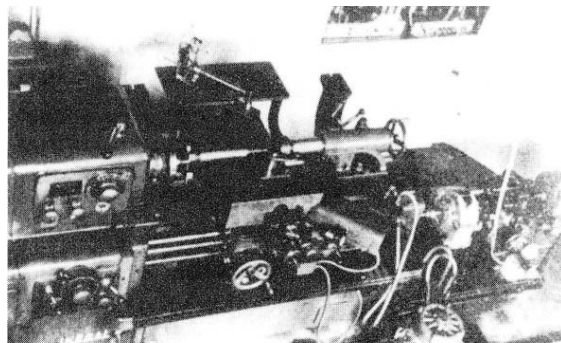


写真3 中田教授が開発した日本最初のNC旋盤

このようにやってみると、MITの方法もだいたい見当がついてしまったのです。たとえば、回転中のものからパルスを取り出すいわゆるA/D（アナログ/デジタル）変換についても、当時は「レゾルバ」などという言葉はありませんでしたが、ポジションコーダを使えばできるという具合です。

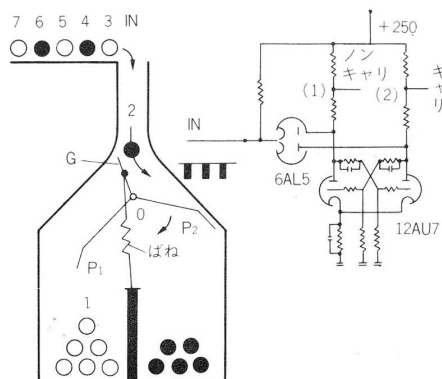


図3 フリップ・フロップ回路を説明するのにつくった模型

コントローラも最初は真空管を使っていましたが、ちょうどその頃幸いにしてトランジスタが出始めたので、性能は悪くてもフリップ・フロップ回路のオン・オフだけだから使えそうだとそれに代えました。

しかし、機械屋にいわせると私たちのしていることはさっぱりわからない。パルスの計算はどうするのだというわけで、フリップ・フロップ回路を説明するのにこんな模型（図3）をつくったこともあります。白と黒に塗ったパチンコ玉を、白は奇数、黒は偶数とします。そして番号順に下に落とせば、ゲートが左右に開いて玉が振り分けられる。これがトランジスタのオン・オフ制御（フリップ・フロップ

回路)というわけです。

模型では動作は遅いけれども、半導体IC なら百万分の1秒でパルスを選別できるから、これをいくつか付けてパルス・レジスタにすればいいことになります。

テープに穴があいていますが、この穴はスイッチング回路で、工作機械でいえば送り変換用歯車です。これがずらっと並んでいて、途中に差動歯車を入れれば加算ができる。そのスイッチングをするのがパンチ穴というわけです。

この穴を順番に読み取って、さっきの16ピッチをひと固まりの情報にしてレジスタに蓄えていく。それを翻訳して機械を動かす。これで旋盤は数分間は動くだろうというわけです。その間に、一方でNCテープの情報を別のレジスタに読み込み、次の加工に備える。

このようにレジスタを交互に使えば、機械を休めなく動かすことができる。そのようにして1パルスで約 $13\mu\text{m}$ 送り、10feetで1時間連続運転できるから、曲線も加工できることが実証できたのです。

さて、講演する日になりました。場所は三田(東京)の慶応義塾大学の講堂で、発表は海老原先生ですが我々は黒子役で、スライドをつくったりビラを書いたり、原稿ももちろん書きました。

当日は満員の盛況で、なかには脳貧血を起こして医務室に担ぎ込まれる者まで出たくらいでした。こういっては大変おこがましいですが、この講演によって日本の工作機械業界は、今後何をしていくべきかという指針を示せたと思っています。

その日は、私の歯車研究の恩師で九州大学の和栗明先生も会場にお見えになっていまして、先生は非常に地道に工作機械と取り組んでおられましたが、何しろ電気と聞いただけで毛嫌いなさる方でした(笑)。

私がNCをやっていると申し上げると、「歯車をやらずにそんなことに手を出しているのか。“クリン・パテレンのエレキ”で機械が動くもんじゃない。やれるものならやってみろ」と普段からおっしゃる(爆笑)。

講演の後に質疑応答がありまして、和栗先生が人を食ったような質問をなさったのです。「エレキを使ってそこまでいくとは大したものだ。しかし、数 μm の精度が出せるというのは、電気を使ったからそこまでいったのですか」とね。

当時は私も若かったですから、向きになりましてね。「いや、そうではありません。池貝鉄工の永瀬さんに頼んでつくってもらった旋盤の精度が高かったから、ここまでできたのです。電気はただ機械に指令を送るだけで、精度を上げるためには何も寄与していません」と正直に申し上げたのです。

でも、後になってしみじみ、和栗先生は良いことをおっしゃったなと思ったことがありました。といいますのはね、まだ藤島さんがお元気だった時分に、東芝機械が完成させたあの有名な5mのマスターホブ盤(親歯車ホブ盤)が、どうしてもこれ以上精度が上がらないといわれたことがありました。それじゃ私たちにやらせてくださいということになり、東芝機械の朝倉行一さんと、まず歯切りしたときの繰返しピッチ誤差のデータを取ったのです。

この測定には水平振子式振り振動計を使いました。そして、最初はこれをアナログでやろうということになって、誤差に見合ったカムをつくり、これを使って親ウォームホイールの進み遅れを、油圧サーボとウォーム軸の差動歯車で制御しました。

実際に中心になってこれをやったのは、後に東京工大の教授になった福田康正君です。彼は東大の航空学科を出た秀才で、現在は東京精密測器の社長をしています。彼は、ホブ盤の誤差補正にNC技術を使う研究で学位を取ったのです。ですから、設計はすべて私の大学でやりました。そしてこの装置を歯切盤に付けたら、累積ピッチ誤差 $2''$ 以下、親ウォーム歯車のピッチ円上で累積ピッチ誤差が $2\mu\text{m}$ に収まったのです。

さて、そうすると今度は歯車のピッチ誤差をデジタル化しようということになりました。歯車の誤差を測定してテープのパルス信号に変えて、これを基準にして補正すればいいというわけです。つまり、補正カムをつくる代わりにテープでやろうとしたのです。

最初は制御せずに歯車を切ってみれば、歯車の誤差がわかる。その誤差を補正するようにテープをつくるのは簡単です。そのテープを使ってまた加工して、もう一度誤差を測ってまたテープにする。これを3回くらいやると、誤差をなくすことができるというわけです。

そうすると、私が和栗先生に向かって「工作機械の精度を電気で上げることはできないですよ」と啖呵を切ったことを恥ずかしく思いました。あのと

きは先生が“キリシタン・パテレン”できたので、こちら思わず反論してしまいましたが、先生にそういわれたので電気で工作機械の誤差をなくすことができましたのです。やはり、先輩のいうことは聞くものです。

その後、ホブ盤の誤差のフィードバックを自動的に行なう仕事にかかわって、それから自動制御のほうに入り込んでしまったのです。しかし、当時は歯車の研究からグレて、制御工学に頭を突っ込んだとよくいわれたものですが、実は無意識のうちに歯車のことは忘れてはいなかったのでしょうか。

アメリカの NC 開発

——その当時は、富士通はまだ電気油圧パルスモータを手がけていなかったんですね、

中田 ええ、まだでしたね。それでその講演会の翌日でしたか、富士通の尾見さんが稲葉清右衛門さん（後にファナック社長）を連れて、私のところに来られたと思います。稲葉さんは確か尾見副社長の甥にあたるのではなかったでしょうか。

尾見さんが、当社にこんな男がいる。ついては NC をうちの会社でやらせてくれないかとおっしゃる。私は、たまたまアメリカの雑誌に載った MIT の記事を見てやっただけで、特許を取るなんてことは考えてもいない。実際そうしませんでしたし、データもオープンに使ってもらいたかったからです。電子回路は池辺君が中心になってつくり、A1 サイズの回路図だけで 50 枚にもなりました。

私は尾見さんに、この研究はそちらからいろいろ協力していただいたから実現できたのです。だから、データも何も全部貸して差し上げますと申し上げた。

残る問題は、富士通から貰ったシーメンス形の電話交換機の度数計です。私どもはこれをパルスモータの代わりに使ったが、当時すでにアメリカではパルスモータが登場していましたから、「尾見さん、そちらはパルスモータの研究をおやりになりませんか」とお願いしました。

それで夢中になったのが稲葉さんです。彼は実に勉強家でしたねえ。そりゃ、すごかった。うちの研究所に入りびたりで、何日徹夜したかわかりません。そこで、せっかく勉強を始めたのだからと、私は稲葉さんをけしかけました。ただし、パルスモータの効率を上げる研究は池辺潤君の学位論文にするから、これには手を付けないでほしいとね（笑）。

そこで稲葉さんも、サーボバルブとパルスモータを組み合わせたフィードバック機構の研究を始めたのです。つまり、パルスモータでねじを回転させて直線運動に変え、サーボバルブのスプールが動くようにした。これなら電気を使わずに済むというわけです。

一方、うちのほうでは池辺洋君が中心になって電気油圧サーボバルブを完成していました。それとフィードバック回路を組み合わせうまくいったので、それでは実際に製品化しようということになりました。当時、池辺兄弟のお父さんの池辺常^{つね}刀^{とう}さんが東京精密測器の社長をされていたので、そこでつくることになったのです。

後の話ですが、そのサーボバルブを最初に採用してくれたのがジャパックスでした。放電加工機の電極の動きを制御するのにこのバルブを使ったのです。

その後、富士通では NC 機械を完成しましたし、パルスモータもできた。さらに、油圧と組み合わせたドライバーもできたので、NC に関するデータがたくさん集まりました。

ちょうどその時期に、私はフルブライト留学生としてアメリカのパデュー大学に行くことになったのです。そこで、このデータやスライドを持って向こうの会社を説明して回ったことがあります。

当時のアメリカでも、NC はあまり知られていなかったですね。というのは、NC の開発は空軍の極秘プロジェクトだったからです。後日談を聞いてみるとなかなか面白いのですが、航空機産業以外は自動車産業などもほとんど関心を示さなかったですね。

では、なぜ空軍が NC を必要としたかといえは、MIT が NC を開発した 1952 年は朝鮮戦争が激しさを増していた時期で、アメリカ軍のジェット戦闘機がよくソ連のミグに落とされていました。当時のアメリカ軍機は翼がリベットつなぎだったので、機体の強度が持たないわけです。

そこで、翼桁を一体で削り出すことになって、これはフライス仕事でしかも自動的に加工しなければ駄目だということです。そして、その治具をつくっていたのがジョン・パーソンズで、彼は小さな町工場の経営者でした。

パーソンズは、治具をつくるのに IBM のコンピュータで数値計算して、それを目で追ってシップのジグボーラを動かしていたのです。そこで彼は、それなら何も人間が付いていなくても、コンピュータの

データをテープに翻訳してサーボモータを回し、機械を運転させればいいと考えたわけです。ちょうど昔のジャカードの織物機械と同じです。

これに目を付けたのがアメリカ空軍です。そしてさらにMITに働きかけて、本格的にNCの研究をバックアップしようということになったのです。MITのサーボ機構研究所（後に電子システム研究所）で中心的にNCの研究を始めたのが、マクドノーとサスキンドです。

2人ともその後MITを辞めて、サスキンドは近くにNCのコマンドシステムをつくる工場を始めました。アメリカでは、このように大学で大きな業績を上げた人でも、教授として残るとは限らないんですね。

——パーソンズは、その後どうなったのですか。

中田 私もよくわからないのです。パーソンズは、おそらく職人気質のアイデアマンでしょう。そして、それをバックアップしたのがMITのマクドノーやサスキンドといった学者です。NCを開発するにあたって、このコンビを実現させた空軍首脳部の見識というのは、本当に素晴らしいと思います。日本ではなかなかできないことです。そのNCを、私がスパイみたいにして日本に紹介したというわけです（笑）。

——先生は、いわば暗号を解読するようにしてNCの謎解きをやられたわけですね。本当に感嘆しました。

中田 私がパデュー大学に留学していたときに、大学で3日間にわたってNCのシンポジウムがあったのです。そのときは、空軍の将官がずらりと並んでいました。それにGE社やフォード社の幹部も来ていました。そこで出た質問というのは、「空軍だから金に糸目を付けないのだろうが、NCはいったいどこまで安くなるのか」、「加工精度はどのくらいか、自動車産業にどこまで使えるか疑問だ」の2つがほとんどでした。

私もシンポジウムの幹事役の教授連中に勧められて、最終日にパデュー大学の代表の形で、“どのようにして日本でMITのNC工作機械をスパイしたか”

（笑）という話を1時間半させられました。まだ大学にはNC機械もなく、専門家もいませんでした。会場には機械技術者が多かったので、まず2進法からわかりやすく説明したら皆喜んでくれました。NCはまだアメリカ国内でも一般的ではなかったからです。

——それはいつ頃のお話ですか。

中田 確か1959年です。1958年にアメリカに行つて、帰国する少し前だったと記憶していますから。

——NC以前にも、シンシナチ・ミラクロン社の油圧倣い方式の「ハイドロテル」があったと思います。しかも、同じような加工が可能だったにもかかわらず、デジタル方式のNCでやろうと考えたのはなぜでしょうか。

中田 実は、私も最初は同じように思いました。しかし、ハイドロテルで3次元形状を倣い削りする場合に、基準になるマスターは手仕上げるにせよつくらなければならない。マスターさえできれば、ハイドロテルを倣っていくらでもコピーをつくります。

それでは、マスターはいったいどうしてつくればよいのかということになります。それには3次元形状を幾何学的にすべて数値に直して、それを基にして加工すればいいではないかということです。

また、NCは大変金がかかるものだと考えていたのですが、何から何までNCで加工するのではなく、マスターをつくるのにNCが必要ではないかと思ったのです。マスターさえできれば、後は倣い加工でいくらでも複製できるというわけです。そうしたら、コンピュータの普及でICが安くなり、よけいなことをしないで皆NCになってしまいました。

——MITのNC装置は確か真空管でした。トランジスタもほとんど使えず、膨大な費用がかかってまず採算が合わないのが明らかだった時期に、あえてNCの開発に着手したのはどうしてでしょうか。

中田 それはさっきもいいましたように、アメリカ空軍は目的のためには手段を選ばなかったからです。ある程度用途が立てば、量産化でコストダウンさせることは可能だと考えたことでしょう。すでにトランジスタもつくられ始めていましたし、数年すれば大量に使われ出すだろうと見抜いていたと思います。

「真空管で人間なみのコンピュータをつくったとしたら、それを冷やすにはナイアガラの水がいる」（笑）というジョークがありますが、それくらい真空管は使いにくかった。しかし、そうしてまでもNCを開発しなければならない事情があったのです。

パーソンズのNC装置の場合は、それほど細かいデータ処理はできなかったでしょう。MITの機械では1パルス13 μ m送るところまでいったのですが、パーソンズが最初に試みた頃は、せいぜい1パルス

100 μ m が限度だったと思います。それ以上精度を上げるためには、レジスタのセット数によって決まります。ですから、当時の真空管と比べても、現在のようなトランジスタやICを使えば、精度ははるかに向上しているのです。

——パーソンズだけの力では、おそらくNCは完成していなかったでしょうね。やはり軍やMITのバックアップがあればこそその感があります。

中田 そう思います。といいますのはね、当時アメリカの軍需省の長官をしていたのが、バンネバー・ブッシュ博士です。彼は最初はMITの電気工学科の教授でしたが、演算子数学の大家であるウィナー博士とも親しく、機械方面にも明るくて機械式微分解析機をつくった人として有名です。ただ、現在からみればちゃちなもので、やっと6次の常微分方程式が解ける程度でしたが、当時としてはそれは大変な代物でした。

砲弾の飛行経路を計算するいわゆる「弾道学」では、空気抵抗や温度差などをファクターとする高度な微分方程式を必要としたのです。アメリカにはこれとMITで完成させたレーダがあったので、日本海軍はやられてしまったといわれるほどなのです。

ブッシュは、あのマンハッタン計画（原子爆弾製造計画）の立案者でもあったようで、NCの開発にあたってもおそらく陰で糸を引いていたに違いないのです。彼はMITにも強い影響力を持っていましたから、そこのサーボ機構研究所がNCを手がけたのでしょう。

技術者の大事なこと

——当時の中田先生の論文に名を連ねていた方々の多くは、その後日本のNCの開発に中心にかかわっていられますね。

中田 そういふことになりますか。皆何らかの形で関係してきたことはできますね。だから、稲葉さんとはよく飲んだものです。彼は本当に努力家でした。油圧パルスモータの研究で論文を書いて、東京工大で学位を取られたはずですよ。稲葉さんとはそんな因縁もあるんですよ。

NC工作機械の問題のなかで何が大切かというと、ソフトウェアよりもハードウェアです。つまり、機械要素をしっかりさせなければというので、大学を辞めてから自動制御を手がけ、理化学研究所の工作

部の連中がつくった東京精密測器に入りました。

当時の社長の池辺常刀博士の要請で入社したのですが、面白いからといって試作受注だけでは企業はやっていけないので、アメリカに留学して以来自分で手がけてきた、応用の広い電気油圧サーボバルブの製造に踏み切ったのです。

“乞食3日やったらやめられない”の例えで、それも今年（1987年）でちょうど20年になります。最初はNC機械用として油圧サーボバルブの開発製造事業を始めたのですが、今では産業用ロボットや構造物の動的試験機などにも使われています。いずれにしても、“つくる”ということが頭になれば研究はあり得ないというのが私の持論です。

しかし、会社経営というのは大変です。20年の大半は銀行に頭を下げに回ったようなものです（笑）。それと労使問題です。うまくいかなくなると、私はコンピュータを持って病院に入ってしまう。しかし、これも都合がいいもので、入院しているうちに論文がいくつか書けました（笑）。

最近、職人のことに興味を持っていろいろな本を読んでいるのです。そのなかに指輪の飾り職人のことが出ていて、私より少し若いらしいのですが、かなり腕のいい弟子に向かって「名人になってはいけない。上手な人間になれ」といっているそうです。^{*}

それはどうしてかということ、名人というのは自分が気に入るまで時間におかまいなしに仕事をしている。そうすると、注文したほうはしびれを切らしてもう頼まなくなる。

それよりも、自分としては80%くらいの出来でも、期日をきちんと守るほうが信用があるということですよ。しかし、それは腕が下手では駄目なのです。そこまで考えて“上手”でなければならない、とその人は弟子に教えているというのです。感心しました。

実は私の父は日本画家だったのですが、昔は「文展」に入選しないと哀れなものでした。しかし、一度入選すると画商が来て絵を買ってくれるといった、いわば画家の登竜門だったようです。父はどちらかといえば今いった“名人”のほうで、本当に自分が気に入った作品でないと出品しないのです。しかるに、それでも落選してしまう。

それがあるとき、どうにも期限に間に合わなくなって、ちょっと気が向いて庭先で2日もかからずに写生したのが入選してしまったのです。親父は憤慨しましてね、何か月もかかって綿密に描いたのとど

う違うのだというわけです。しかし、後の簡単に描いた絵のほうが前の努力が実って、端から見ると大作のものよりはるかにエスプリがあったのでしょうね。

私も現在、通産省関係の研究所から依頼されている一種の架構強度計算を、マトリクス法を使ってようやく完成させたのですが、もっと簡略に効率良くできる方法があったのかもしれない。まだ精度が足りないとばかりに工員連中を遊ばせてソロソロやっていたら、今の名人と同じでもういらないよといわれるところでした。技術屋もやはり“名人”になってはいけないのではないかと思います。

——大変興味深い、また貴重なお話をうかがうことができました、本当にありがとうございました。

(1987 年 12 月 4 日 東京都立大学)

出席者 (50 音順, 敬称略)

梅沢三造 (SME 東京支部長)

栗野常久 (未踏加工技術協会)

古川勇二 (東京都立大学)