

塑性加工とともに40年

40 Years devoted to Prastic Working of Metals

- A commemorative lecture by the former Director of the Institute -

鈴木 弘*

Hiromu SUZUKI



本稿は、昭和51年3月24日に生産技術研究所で行われた定年退官記念講演の内容を若干短縮して取りまとめたものである。記念講演はスライドを多数用いて、スライドと相補う形で講演されたので、本稿は表現の体裁は多少変わっているが、できるかぎり講演内容を忠実に伝えるよう努めた。

あと一週間ばかりで定年退官の日を迎えることになりましたが、今日は退官記念講演の機会を設けていただきまして、平素は親しくお話をする機会のない方もお集り下さって、私の考えの一端を聴いていただけることになりましたことは、今後お目に掛ることの少なくなることを思えば、誠に貴重な場を提供していただいたと申すべきでありまして、私としては非常に嬉しく感じております。

今日の講演の題目は「塑性加工とともに40年」としておきましたが、私が昭和15年に大学を卒業したことは、先刻司会の方からご披露がありましたので、卒業後36年しか経っていないではないか、とのご批判もあるかも知れません。ごもっともですが、しかし、実は私の専門は卒業後に決まったのではなくて、卒業の2年前にすでに決まっていたので、塑性加工分野の勉強は38年間続けているといえないこともないので、2年ばかり切上げれば40年になるわけです。精度5%といえば、工学の実験などの精度としてそう悪い方でもありませんから、今日の私の話は比較的精度のよい話としてお聞きいただければ幸いです。

大学在学中に私の専門の決まった事情が、その後私が研究者としての道を選ぶに至ったことに影響を及ぼしているように思われますので、その間のいきさつを多少申し上げます。

大学の2年に進級したばかりの時、当時駒込にありました理化学研究所で、応用物理学の権威として著名であった真島正市先生の研究室で、実験の勉強をさせていただくことになりまして、午後は毎日のように理研に通いました。これは大学の正規の課程ではなくて、真島先生に個人的にお願いしたのが、許されて実現したものですから、いわば偶然恵まれた幸運であったわけです。

その頃、隣の大河内研究室では、塑性加工学の分野での日本の草分けである福井伸二先生が、薄板の深絞り加

工の実験に没頭しておられました。この研究が、そのすぐ後に先生の学位論文となり、さらにライフワークへと発展し、また薄板の深絞り加工を技能の領域から学問の領域へと引上げる世界で最初の研究でもあったものなのです。この塑性加工の領域での問題が、若い研究者により追求されている。いわば研究というものの真剣勝負の現場を見る機会に恵まれたのが、私に深い印象を与え、また塑性加工を一生の仕事と決心させる機会ともなったのです。

こんなわけで、38年前に塑性加工の分野に足を踏入れて、今日までにひとすじに過した塑性加工とともに暮した40年の話をしてみたいとも考えております。しかし塑性加工学という学問は、現在でも大学の学部での講義とはいえ、ごく少数の大学で行われているに過ぎず、今日ご出席の大部分の方には縁の薄い学問ですから、専門的な話をしましてもご興味が薄いかと思いますので、私が過した塑性加工の領域内での40年間の思い出話を主体にして話してみようと思います。

思い出話をするようになれば、老人になった証拠だといわれますが、私は60才になって定年退職するのですから、権威ある東大が私を老人と認定したことを思えば、今さら気にすることもなかるうかと考え、臆面もなく思い出話をすることにしました。私自身では老人の意識は全く持っていませんので、今日の話も若い方々に多少のご参考になればという気持ちこめて、ご挨拶のつもりです。しかし、そのために思い出話を持出したのは、多少は意味があります。

第1の理由は、生研の誕生期から現在まで引続いて在職した一人の教授の研究生生活の歴史には、その時々を生研の方針や空気がおのずから反映しているものと思われまますので、皆様が生研の過去を知り将来に向かって進歩を計られるためのご参考になる点があるかも知れない、と期待したことです。この温故知新が第1の理由です。

第2の理由は、研究というものが工業技術の進歩に大きな貢献をし得るものであり、ひいては人類社会の福祉

* 東京大学生産技術研究所 第2部

をもたらす原動力となるものだということを、皆様とともに確認したかったことです。これは、私の研究が特に工業技術の進歩に貢献したなどと申すのではなく、おしなべて工学の研究というものが、工業技術の進歩に貢献し得るものであり、正しく工業技術を活用すれば人類の福祉に役立つものである。という意味であることは、いうまでもなくご理解願えると思います。

理学分野の研究は高く評価し、工学分野の研究を一段低く見る、誤った風潮がわが国の一部にあることは、否定し得ない事実です。また、工業技術の進歩をそのまま公害の増大と短絡させる考え方が、一部のジャーナリズムにおいて巾をきかせていることも、否定できません。

このような偏った考え方が誤であることは、説明するまでもないと思いますが、国内で唯一の総合工学研究所である生研こそ、基礎研究にもとづく工業技術の進歩発展とその正しい応用に、自信をもって立向うべき立場にあることを、皆様とともに思い起したいと考えた次第です。

塑性加工学の性格と歴史

前置はこの程度にしまして本題に入りますが、私の研究が、学問的に、また工業的にどのような立場に置かれているかをあらかじめ申し上げておくのが、これから以後の話を理解していただくのに役立つと思いますので、最初にその位置付を簡単に申し上げておきます。

私の専門の塑性加工学という学問は、工業材料に力を加えて形を変えて、目的の製品を製造する技術の学問です。工業材料と申しましても、現実には金属材料が大部分ですが、ほとんどすべての金属材料は、工業製品として市販されるまでに、塑性加工の工程を経ています。板・棒・管・線の形への成形、それを曲げたり、といった工程はすべて塑性加工であることはいうまでもありませんが、鍛造・押出しなどの工程の製品には、一見塑性加工製品とはわからぬものもあります。

特に薄い板や細い線などの場合には、繰返し繰返し数十回の塑性加工を経て製造されるものがあります。直径0.02ミリメートルのアルミの極細線などは、1グラムの製品が数千円という高い値段になり、地金の10,000倍にもなるのは、塑性加工を百回位も繰返し加える技術のむづかしさに対する対価なのです。

ただ今申しましたのは、一製品でも繰返し多数回の塑性加工を受けるものがあるということでしたが、塑性加工の工程を通して製品化される金属材料の量もまた巨大なものであることも忘れてはなりません。

金属材料の中で最も多量に使用されているのは鉄鋼ですから、これを代表選手として生産量の膨大さをご紹介します。わが国の鉄鋼生産量はアメリカ・ソビエトと肩を並べ、世界のビッグスリーのひとつにのし上

主要国の粗鋼生産の推移

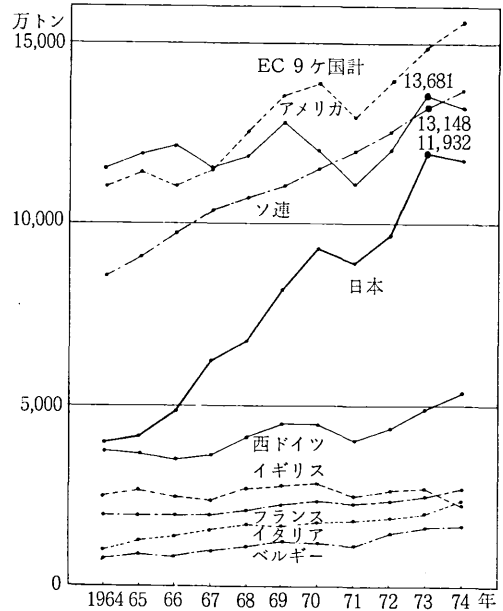


図1 生産量は米・ソに次ぎ世界第3位

ていて、一昨年には年産1億3,000万トンにまで達しています。

この1億3,000万トンという量は、霞ヶ関ビルと同じ大きさの鋼塊にして40本余り、巾1メートル厚さ0.3ミリメートルの薄鋼板にすれば赤道の周囲に1,400回も巻きつけられる程の長さになり、新幹線用のレールを製造すれば、月まで複々線を敷ける巨大な量なのです。これだけの莫大な量の鉄が日本一国で毎年生産されています。

このように、塑性加工の生産の規模が大きいということは、技術の改良進歩によりもたらされる経済的利益もまた巨額に達する、という結果になりますので、研究を担当する立場としては大いにやりがいがあるのは、この専門に従事するものの恵まれた点といえることができます。

誕生間もない塑性加工学を専攻

先ほど申し上げましたように、私が塑性加工学というものを知り、その勉強を志したのが38年前ですが、大学卒業後の約2年半ばかりの間は、鋼管の製造と大型鋼材の鍛造の現場の技術者として勤務し、昭和17年に東京大学に研究者・教育者としての職務を得て、以来今日に至った次第ですが、この間の学問ならびに社会事情の歴史的背景が、私の研究生活に種々の影響を及ぼしていますので、その一端を最初にご紹介しておきましょう。

大学で研究・教育されている諸学問には、長い歴史を持ち、その伝統の上に新しい発展が積み上げられている専門と、きわめて最近に学問として新しい分科を生じたばかりであって、それ以前には学問的伝統の全くなかっ

た専門とがあります。私の専攻した塑性加工は、比較的新しく発展した専門の中の一つです。

金属材料が降伏するまでの性質を知ることは、機械や構造物の設計のための大切な前提条件と考えられ、比較的早くから学問的な検討が行われてきました。材料力学や弾性学がそれです。しかし降伏して後の材料の挙動、すなわち応力と歪との関係を学問的に検討する必要があると認識されたのは、今世紀に入って以降のことでした。それが学問としての体系をおよそ形づくる程度にまで発展して塑性学といわれるようになったのは、1930年に近い頃なのです。

塑性加工学は、材料を降伏させるまで力を加えて塑性変形させて形を変えて希望の製品を製造する技術を対象にしたものですから、材料の降伏して後の応力と歪との関係を理論的に把握する“塑性学”の分野で学問としてのある程度の体系ができなければ、塑性加工の学問が成立しない性質のものです。

このようなわけで、圧延や引抜き加工についての解析的な研究がはじめて行われたのは1925年頃でした。しかも、最初に発表された論文はきわめて初歩的な内容のものであったのは、当然でもありましょう。圧延の研究が次第に進み、圧延荷重や圧延トルクをかなり厳密に計算することのできる式がOrowan氏により発表されたのが1940年すなわち私の大学卒業の年でした。いわば、圧延工学の土台がようやく出来上がり、実際の圧延技術と圧延工学とを結びつけて、圧延の技術体系と学問体系とを造り上げて行くべき時期に入る丁度その時に、私が大学を卒業して塑性加工の研究を志したわけです。もちろん、塑性加工は圧延ばかりではありません。鍛造・押し出し・引抜き・板金加工など数多くの分野があります。しかし、圧延以外の諸加工法についても、昭和15年頃は、学問的にも技術的にも近代的な発展の時期に入ろうとする時期でしたから、私は期的には大へん恵まれた時にこの学問に入門したということが出来ます。

昭和17年春、西千葉の地に東京大学第二工学部が設立されましたが、当時日本一の工学部を創り上げようとの理想に燃えたこの学部に、日本で初めての塑性加工学の講座が設けられたのも、先ほど申し上げました塑性加工学の興隆期を、当時の先輩の諸先生が認識された結果であったのでしよう。適当な既成の専門家がなかったため私がこの講座を担当して勉強することになりました。

このように、対象として巨大な経済的価値を持ち、学問としては興隆期に入ったばかりの若い学問を担当する幸運に恵まれましたが、私の学者としての研究の姿勢に大きな影響を及ぼしたものに、生産技術研究所の誕生、そして私が第二工学部から生産技術研究所へと勤務が変わったことがあったことを忘れてはなりません。

生産技術研究所での研究の開始

生産技術研究所は工業研究の中で、実際の工業技術に近い側の研究を行うことが特長とされています。工業生産の場における実際的課題を取上げて研究し、また新しい工業技術を基礎的学理から深く掘起して行く研究をする、などがその使命とされています。これは生研の設立の歴史にも関係があります。工学の研究においては、この目的はきわめて重要なものでありますから、このような目的が掲げられるのは当然ではあります。生研の創設の際の事情から、特に強調されて生研の設置目的として謳われている点もあります。

第二工学部を廃止して新しく生研を創設することが計画された当時、東大には工学系の研究所としては、現在の宇宙航空研究所の前身である理工学研究所がすでに在りました。当時はまだ占領軍の最高司令部が日本の政治の実質的な実権者でありましたが、その中の科学技術方面の担当者が、東大の中に工学系研究所を2研究所も置くことは不要であるとの主張を容易に変えず、生研の創立になかなか賛成しなかったのです。そこで、生研の立場が理工研とは異なることを明確に打出したのが、理工学研究所は工学の研究の中で理学寄りの側を、生研は工業技術寄りの側を、それぞれ担当するという説明だったのです。したがって、生研設立後は、生研の教授助教授の間で、工業技術に直結した研究に重点を置いて早く成果をあげたいとの気持が強く働いていました。

またその頃は、企業には海外技術の導入一辺倒の風潮がありました。日本の企業は戦争の打撃から立直れないで、自主的な技術開発の力が全く涸渇し切っていたことも事実ではありますが、技術を自主的に開発する努力をすることの重要性まで忘れ果てて、技術導入に狂奔する姿は、私には苦々しいかぎりとしかしいような感じでした。

このような大学内外の容観情勢を意識して、生研の教授助教授の間では、海外からの導入技術以上のすぐれた新技術を創造し、生研の存在意義を社会に認識させたいといった意地のようなものが共通の考え方になっていた時期がありました。

戦争中と敗戦直後の混乱から、社会環境もようやく立直り始め、設備と研究費は不十分ながらも研究も可能となってきまして、私も若手の研究者の一人として大いに研究意欲を燃していましたので、早速手掛けたのが“逆張力引抜き加工の研究”でした。

逆張力引抜き加工の研究

“逆張力引抜き”というのは、ダイスに線を通して引抜き加工をするときに、ダイスの入口側でも逆方向の力を加えながら引抜き作業で、この点が在来からの引抜き加工

とは異なるので、このように呼ばれています。逆方向からも力を加えても、引抜力の方が大きくて、材料がダイスの出口側へ移動して行く点では普通の引抜加工と全く同じです。しかし、在来法と異なるのは、ダイス内に在る材料には、引抜力と逆張力と両方向の力が加わるのでいわば、両方へ引張られて伸びようとする潜在的な状態になっているところを、ダイスで外径をしごくので、すなわち変形が生じる点にあります。

引抜加工という加工法は、ダイスの孔よりも太い材料をダイスでしごいて、断面積を減少させる加工法でありますから、材料の外周部分はダイスに接触して後方にしごかれ、中央部の材料は引抜力で引かれて先行するのが引抜加工の変形の特徴であります。しかし、この特徴が引抜加工の多くの問題点の原因にもなっています。すなわち、引抜いた材料の外周部の加工硬化が必要以上に起こり、そのため引抜製品の加工性が悪くなる。引抜いた後に材料に強い残留応力が発生して、弯曲する傾向があり、真直ぐな製品が容易に得られない。などの技術上の問題点は、すべて材料の外周と中心軸部との間に歪の差があることが原因なのです。

逆張力を加えながら引抜けば、これらの材料の品質に関する技術的な問題点が大幅に改善されるばかりでなくダイスの摩耗が減少して工具のコストが減少するとか、価額の安い潤滑油でも引抜き加工が可能だとか、作業上の利益もあり、すべての点で在来法よりもすぐれています。

逆張力を加えながら引抜くと、このように各種のすぐれた点があることが、研究の結果具体的に明らかになりました。非常に多数の試験片を使って、広い範囲に条件を変えて実験しましたので、これらの長所を傾向として明らかにすることができたばかりでなく、定量的にもはっきり把握できましたので、いわば基礎的研究としては一応の成果が得られた、と申しても差支えないかと思えます。

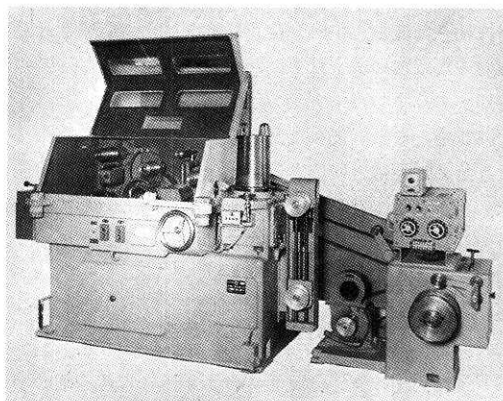


図2 逆張力伸線機 (細線用小型機)

実用機の開発、開発研究を経験

大学の研究はこの段階で完了と考えるのが、従来であれば普通でした。しかし、当時の生産技術研究所では新技術の開発が研究所としての課題である、という空気が支配的であったことは先刻申し上げたとおりです。したがって、基礎研究の結果数多くの利点の見出された“逆張力引抜法”を、実際の工業技術として誕生させようと私が考え、その方向へと研究を進めたのは当然でもありましたし、生研の置かれていた環境が研究方針に影響を与えた一例ともいえます。

逆張力を加えながら引抜くことがすぐれた結果を生むとわかれば、これを実現する方法はないわけではありません。機械工学的にも、電気工学的にも、何種類かの方策があります。しかし、この課題の困難性は、安価な方式で実現できるかどうかという点にあります。引抜加工という加工法は元来非常に低コストであるのが特長ですから、機械装置に投入し得る予算には厳しい制約がある。これが実際上きわめて大きな問題点なのです。

幸いに、太線用と細線用と2種類の逆張力伸線機を考案することに成功しまして、数年間の間に二百数十台が実用されましたが、その間に、実用機を研究開発する際の諸問題の解決という貴重な経験を積むことができたのは誠に幸いでした。実用機の完成という課題を目的とする場合には、その中心となる基礎研究の完了は、目的への到達の道のりの半分にも及んでいない、という点が技術開発のむずかしさでもあり、重量なポイントなのです。

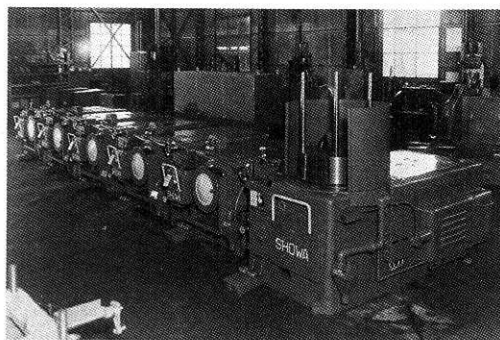


図3 太線用逆張力伸線機 (ストレートライン形)
交流モータと流体トルクコンバータを組合わせて直流モータの代用とした点にも新技術があり、直流方式の1/3の価額であった

基礎研究以外に、それを取巻く周辺の諸技術のバランスのとれた組立、総合、新技術を実際に駆使する立場の技術者や技能者の理解を求めめるための教育指導、などの技術的な領域での広い準備も欠くことのできないものです。さらにまた、新技術を採用した場合の経済的効果、新技術実現のために必要な投資額と所要期間などを予測して、企業の幹部の理解を求めめる必要があります。

場合によっては積極的に説得することさえしなければなりません。

この種の仕事には、大学内の普通の仕事では経験できない内容が多いのですが、逆張力伸線機を種々の用途に開発する機会に、製品や業種の異なる多くの会社と対応する機会に恵まれたので、大変勉強になりました。また伸線機という機械が比較的小型の機械で、大型のものでも当時は1,000万円余りでしたから、社運をかけて開発というような性格のものではないので、新しい用途向の機械でも思い切って採用と、責任者が決心しやすい性質があったのも幸運な条件の一つでした。

このようなわけで、逆張力伸線機の開発を通じて、新技術の開発の勉強を積んだことが、後に大型の圧延機の新技術の開発を可能とする踏切台になったのです。これについては後にお話ししたいと思います。

材料の変形抵抗の研究

引抜加工の基礎研究を本格的に始めたのが昭和21年、一段落したのが昭和25年で、すぐに引続いて逆張力伸線機の開発研究を数年行いましたが、それと平行して昭和28年頃から金属材料の変形抵抗の研究を始めました。変形抵抗は塑性加工を理論的に取扱うためには必要欠くべからざるデータであります。機械部品の設計をする際には使用材料の降伏応力を知る必要があります、疲労を論ずる際にはSN曲線が必要であるのと同様に、塑性加工の理論的解析のためには材料の変形抵抗の値が必要なのです。

それにもかかわらず、変形抵抗のデータが戦前には全くなかったのです。したがって、実際の塑性加工を理論的に検討したり、塑性加工機械を理論的根拠に従って設計したり、は全く不可能でした。塑性加工の学問的検討には材料の変形抵抗は必要不可欠の基礎データでありながら、その研究が全然行われていなかったことは、きわめて不合理なことでありますが、おそらく、その測定が

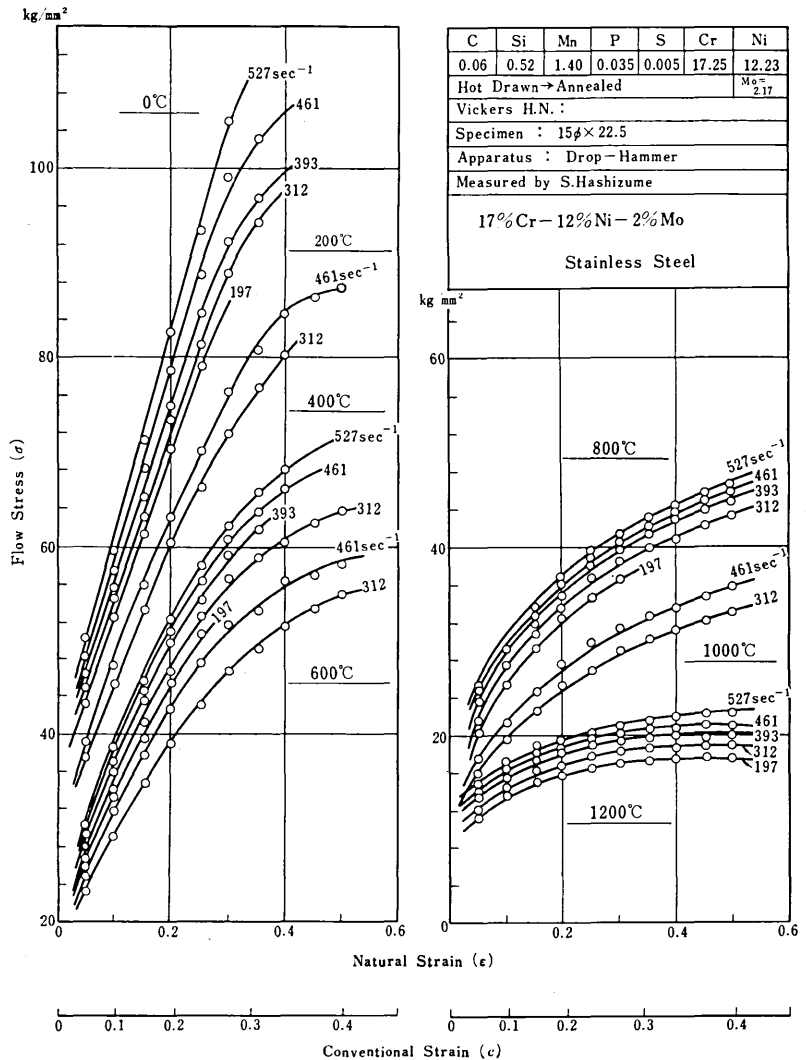


図4 ステンレス鋼の変形抵抗曲線

困難なために止むなく放置されていたのではないのでしょうか。

材料の変形抵抗は、歪履歴の影響を受けて変わるばかりでなく、変形する際の温度と歪速度との両者によっても変化します。したがって、特定の材質についても実験条件を変化しながら、数百回の実験を繰返さなければなりません。しかも実用の工業材料の種類は非常に多数ですから、実験の数は莫大なものです。なお、実験量が莫大であるばかりでなく、実験技術的にもきわめて高度のレベルを必要とします。

しかし、塑性加工技術の理論的研究のためには必要不可欠の要素なので、実験の困難は排除して、何としても実用金属材料については、変形抵抗を調べあげて社会に提供しなければならないと考えました。こんなわけで、昭和26年頃からこの研究に着手しました。その後

私の研究室ではこの研究は多くの人に受継がれて十余年間行われ、多量のデータを得て公表しました。歪速度の高い場合は落下衝撃式、歪速度の低い場合はカムプラスチックメータで測定しましたが、いずれの装置も、その後国内の多くの研究機関に設置されたこの種の装置の原形となりました。

当時わが国では、住友金属工業の池島俊雄博士、八幡製鉄の豊島清三博士、日本特殊鋼管の井上勝郎博士も、変形抵抗測定の重要性について、私と同じ認識を持ち研究を進めておられたので、後には4者で協力して研究をしました。こんな次第で変形抵抗に関する研究は大いに進みまして、日本の研究成果が質量ともに海外の水準を上まわり、リードしています。

塑性加工の研究は現在日本が世界でも最も活発に行っていて、しかも学問的にも高いレベルの研究が少くありませんが、その中では圧延の研究は、変形抵抗の測定値を用いて理論的な把握をする研究姿勢をとっていたことが、後に圧延機のコンピュータコントロールが採用される時代に入ったとき、大きな成果をあげたのです。このことは後にお話しますが、圧延に限らず、他の塑性加工法についても、わが国の研究は変形抵抗を接点として解析的研究と実験的研究との両者が結びつき、総合的な研究に発展する傾向が共通していまして、このことが、わが国の塑性加工の研究成果を世界で第一流のものとしている一つの理由のように思われます。

私達の後にも、わが国では変形抵抗の測定をした人が少なくなく、材料の種類が拡大され、測定と実験式との精度が一層高められていて、それが実用の塑性加工技術に具体的に貢献しているのを見ますと、私が変形抵抗の研究を始めたねらいが外れていなかったことを確信する次第です。

圧延の研究に着手

先ほども申しましたとおり、変形抵抗の研究は十年以上も継続していますが、それと平行して昭和30年頃から圧延の研究を鈴木研究室で手掛けるようになり、私の定年退官の時期まで約20年間続いていますので、私の研究室の主力研究課題のような形になっています。また最近10年間の圧延に関する私の研究はほとんどすべてタンデムストリップ圧延機に関するものでもあります。私としては研究対象をタンデムストリップ圧延機に限定しているわけではありません。

しかし、現役を終りの時期の研究対象がタンデムストリップ圧延機になったのは、それなりの理由があります。タンデムミルは、大形圧延機が数台(多いものは7台)集合構造になっていて、1本の材料ストリップを順次加工するものですが、時間的には全スタンド同時に圧延しますから、技術的には全圧延機を総合的に1システムと

して取扱わねばならない問題が多いのです。このような見方をした場合には、タンデムミルは百内外の独立変数を含む大システムでありまして、その特性を解析することや、技術上の諸課題をこのシステムに発揮させることなどは高度の工学的研究対象となります。最近の10年間のタンデムミルの技術的課題にはこの種の問題が多く、また、この種の問題の研究によってタンデムミルの近代化が推進されてきました。

第2の理由は、タンデムミルにより圧延されるストリップに要求される寸法精度はきわめて厳しくて、ミクロン単位で対策を検討する必要があります。これに対応するには、ロールと材料とが接触して材料の塑性変形が生じている部分について、材料の弾塑性変形問題、ロールの弾性変形について、高度の学問的手法を駆使して応力と歪との分布を研究しなければなりません。研究課題として学問的に興味深いものでありますが、なおそれ以上に、研究成果を実現する手法を導入することにより、新技術の生れる可能性もあります。このような意味からも、タンデムストリップ圧延作業は興味ある研究対象なのです。

さらにまた、タンデムストリップ圧延を価値ある研究対象としている第3の理由は、その生産能力の大きな点です。熱間圧延では年産500万トンに達するものがあり、冷間圧延でも年産100万トンを越える圧延機がありますから、製品の品質改善、歩どまり向上により得られる経済的利益は巨額なものとなります。したがって、技術向上のためには、解決の相当困難な高度の研究課題といえどもアタックするだけの意味が十分あるわけです。

このような事情がありますので、私の東大在職の最後の10年はタンデムストリップ圧延が主研究課題となりましたし、また、それ以前からもこれの研究に強い関心を持ち続けていました。しかし、何しろ100億円級の設備で、1本100~200万円もするストリップを圧延しているのですから、実験を簡単にやらせてもらうわけにはいきません。しかも独立変数が100にも及ぶ大システムですから、20年前の手廻し計算機の時代には、解析は不可能といい切っても差支えない状態でした。要するに、実験も解析も寄せつけない。深い経験と高度の勘との世界に在ったわけです。

タンデムストリップ圧延という、この近寄り難い巨大な課題の研究が私の研究室で可能になったことについては、いくつかの理由が考えられます。その理由には、私のそれ以前の研究成果なり研究姿勢から必然的に生れてきたものであれば、時代の進歩が幸運に作用したものもありますが、私としては、現役最後の10年をこの課題の研究で過し。研究者として楽しくまた充実した時間を過したことを感謝し、またその実現した過程を誠にさいわいであったと感じています。

精密圧延機の開発

私がタンデムストリップ圧延の研究を研究室で具体的に始めたのは昭和40年頃ですが、それに先立つ約10年の間も圧延の研究は手掛けていました。タンデム圧延ではなくて、単スタンドの圧延作業に関する基礎的な勉強を続けていましたが、その間に小形の精密圧延機の開発研究を3回手掛ける機会に恵まれたのが、私の研究室における圧延技術の研究能力を飛躍的に充実させる結果になりました。

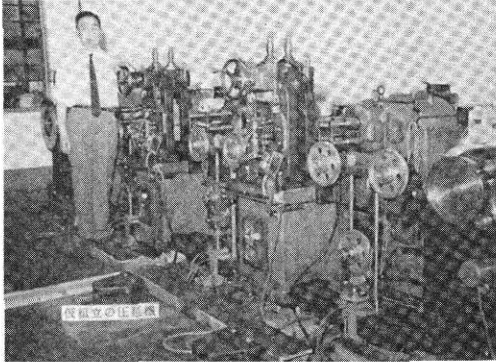


図5 時計せんまい用の精密圧延機の試運転

その当時の最高水準圧延技術を適用しても実現不可能の高い精度で圧延することを要求された課題に当面して理論的に考えられる限りの方法を導入して新しい方式の圧延機を製作して解決したことにより、圧延理論と圧延技術との有機的な総合について自信を得たことは大きな成果でした。また実用の圧延機を設計製作する責任を持ったことの当然の結果として、圧延機の機械設計上の問題は一応すべての範囲にわたり勉強しなければならなかったことはいうまでもありません。計測機や自動制御の技術も避けて通ることはできませんから、後にタンデムストリップ圧延を研究する際に必要となった多くの知識をこの機会に習得することができました。

実用の精密圧延機の開発研究であって、精密圧延加工の学問的側面のみ基礎的研究ではありませんから、実用機の開発に伴う研究以外の種々の配慮もまた欠くことができない大切な条件です。以前に逆張力伸線機の開発に際して経験したことが、この際に大いに役立ちました。

また精密圧延機の中の一つは3タンデム圧延であったことも、タンデム圧延の貴重な情報を得るに役立ちました。

このように、逆張力伸線機の開発研究と圧延に関する基礎研究との両者が土台となって、その上に精密圧延機の開発研究が成立し、さらに精密圧延機の開発研究によって得られた理論と技術との両面にわたる知識と経験とを基礎として、タンデムストリップ圧延の研究へと進

んでいった私の研究進展過程には、必然的な研究の流れがあったように思われます。

しかしこれとは全く別に、時代の流れという別の要素があり、これは願ってもない形で全く良いタイミングでタンデムストリップ圧延の研究を可能とするように作用してくれました。この、時代の流れという言葉で申ししたのは、コンピュータの出現と進歩です。さきに申しましたとおり、タンデムストリップ圧延は独立変数が百にも達する複雑な大きいシステムですから、コンピュータがなければ、その解析もできなければ、シミュレーションも不可能だったでしょう。コンピュータにより複雑な演算が可能になったということは誠に幸運でした。

しかも、コンピュータの出現は別の形でもタンデムストリップ圧延の研究に大きな可能性を与えてくれました。タンデム圧延機にコンピュータを取着けて、計算機制御をするようになったことによって、人手で運転する従来の圧延機では到底採用できなかったような複雑な作業でも、それがすぐれた結果につながるとわかれば、採用して実施することが可能になりました。その結果として内容の複雑あるいは技術的要求の高度なことなどは問題としないで、良い結果につながる新技术を探求することさえすればよい、と条件が緩められたので、研究対象が大いに拡大できました。これもコンピュータの出現という時代の流れが、タンデムストリップ圧延の研究に発展進歩の機会をあたえた一面です。

さらに今一つ、私の研究室でのタンデムストリップ圧延の研究に具体的に好ましい影響を及ぼした社会的な条件がありました。それは、最近10年余の間に日本では近代的な大製鉄所が6ヶ所も建設されたことです。これはわが国の製鉄産業の驚異的な膨張の結果として出現したのですが、イギリス、ドイツ、フランスなどで、それぞれの国が誇る代表的な製鉄所がやっと1ヶ所ずつ建設された期間に、日本では6ヶ所も相次いで建設され、しかも各製鉄所が競って圧延機の近代化を取入れました。その結果として、タンデムストリップ圧延に関する研究成果が新鋭設備に導入され、その実施結果からさらに新しい研究への要求が生れる、という形で研究が加速されしかも研究と実際技術との関係が一層近づいて行きました。

私に圧延に関する基礎的な勉強を重ねる10年の準備期間が恵まれ、小形精密圧延機で理論と実際との総合の研究を終えた段階で、コンピュータによる解析が可能になり、しかもそれを適用するチャンスが次々と出現してきた、という組み合わせは、私にとってはこれ以上は望み得ない好条件であったと感謝しています。しかも、制鉄各社とも、圧延機を人手による運転から計算機制御に移すために、高度の圧延理論を身につけた技術者の必要を強く感じるようになりましたので、若い優秀な研究者・技

術者を鈴木研究室へ派遣しました。この結果、研究室にはすぐれた若い頭脳が集り、私の脳裏にあった研究課題を研究することに協力してくれました。

私の現役期間の最後の10年余りは、私がそれまでに頭の中で育成して来た種苗ともいうべき圧延に関する研究課題が、若い人の協力ですくすくと育って行った時期でもありまして、研究者としては実に楽しく、毎日を充実感とともに送ることができました。

このような時期の準備段階となった精密圧延機の開発研究の一二の例をご紹介します。

最適剛性理論の適用

時計のぜんまい用のコエリバー条材の圧延の研究は圧延機の本格的な開発研究の第1回の経験である上に、当時としては不可能視されていた精度への挑戦でもあったので、私としては印象が強烈で、今でも記憶に新たなものがあります。その研究成果の一部は当時の生産研究の特集号として公刊されていますので、詳しい内容に興味をお持ちの方はそれをご覧ください。ここではアウトラインだけを披露します。

昭和30年頃から時計のぜんまいがいわゆる白ぜんまいといわれる錆ない材料に代りました。当初は輸入材を使用しましたが、厚さが60～100ミクロンの製品で、肉厚のばらつきが3ミクロン位ありまして、選別して厚さを揃えて使用しなければ、時計の精度が低下しました。肉厚精度が1ミクロン以内におさまっていれば、無選別でそのままぜんまいとして組込みが可能というわけで、その圧延技術の開発を委託されたのです。

当時の圧延の常識ではまず実現不可能な数字でした。しかし、その少し前の時期から私は最適圧延機剛性理論という構想をまとめておりまして、理論的にはこの要求に応えられる可能性がありましたので、この理論を適用して解決することで、依頼者である第二精工舎の諒解を得、また協力を受けることになりました。

圧延機は圧延中に弾性的に歪みますが、当時はその剛性値については特に関心が払われていませんでした。私は、圧延作業により、その作業目的に応じた最適剛性値があることを発見し、また作業条件の諸因子から最適剛性値を求める理論をすでに明らかにしていたので、この場合にも、圧延粗材の寸法精度・圧延作業条件の変動範囲・新たに圧延機を製作する場合の機械精度などを検討した結果、成功の見通しをつけることができましたので、新圧延機の製作と圧延技術の実施についての指導協力を引受けた次第です。

関係者の方々の熱心な協力のおかげもあって、圧延製品の90%以上が1ミクロンの精度を満足するという成功をおさめることができました。この成功は、圧延機剛性についての認識を改めさせ、また圧延機剛性を変化し得

る構造の圧延機の有用性をも示唆するもので、大きな意義のある開発研究でした。また後に大形タンデムストリップ圧延機に、剛性傾斜配分という構想で取入れられ、広巾ストリップ材の品質向上に貢献するきっかけともなったものです。

次に引続いて開発研究を依頼されたのが、大太平洋横断海底電話同軸ケーブル用の銅条の圧延でしたが、これは別種の技術的課題が今一つ同時にはいつていて、開発問題として面白い課題でした。圧延で製造する銅条の1本の長さは約2,000メートル、日本から中継地のハワイまででも約8,000キロメートル、当然の結果として製造したケーブルは何千本も接続しなければなりません。この接続するケーブルの材料になる銅条の肉厚に差があると、通話の雑音レベルが悪くなるのだそうです。

当時世界最高といわれた銅条用の圧延機では、1本のコイルについては3ミクロンの精度で圧延可能でしたが何千本という銅条のコイルを長期間にわたって製造すると、各コイルの1本ごとの平均肉厚は一定値に揃わないで10ミクロン近いばらつきは発生は避けられないことが確かめられていました。

そこで、私に要求された課題は、1本のコイル内の肉厚精度も、各コイルの平均肉厚間のばらつきも、両者ともに3ミクロン以内というものでした。この場合も、この用途に専用する圧延機を製作し、また圧延技術も新しい方式を採用する、という条件でした。

この圧延機でも最適圧延機剛性理論にしたがい圧延機

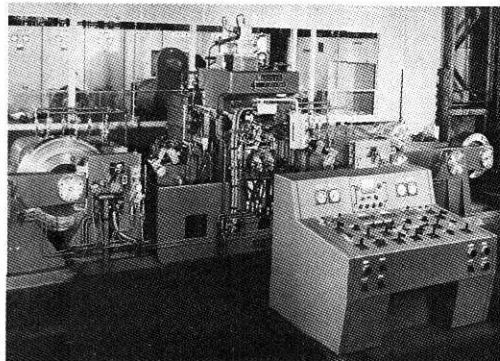


図6 太平洋電話ケーブル用精密圧延機
ロール間隙はミクロン単位で
デジタル設定が可能である

を設計製作すれば、1本のコイル内の精度を目標値におさめることが可能なことは、容易に見通しをつけることができました。今一つの課題であるコイル同志の肉厚平均値の差を減らす方法は、素材から製品まで数回の圧延を繰返す際に、1回の圧延の度ごとに、圧延条件の変動に起因する肉厚差が次第に縮小して行く機能を導入する方法で解決することにして成功しました。この方は、固定パススケジュール理論と仮に呼んでいますが、コイル同

志の肉厚差は事実上ゼロになりまして、この際にも、圧延理論の応用によって小気味よいほどスッキリと解決できました。

圧延機的设计製作と、圧延作業の技術との両者に、圧延理論を忠実に導入して、作業目的を実現するための各種の最適化を行えば、現在の圧延技術水準よりもかなり高い水準の要求にも応えられた、という経験は非常に大きな意義のあるものでした。しかしその反面、これらの開発の間にいくつかの反省もありました。当時はまだ自動制御の機器の性能が低く、実際の制御対象の被制御特性の解析に対する認識が一般に弱かったので、自動制御の機能を安定させるのに非常な苦労がありました。技術開発に際しては、中心技術のみでなく、関連技術への関心を十分に払わねばならないことを強く感じた次第です。

また、ぜんまい圧延機は3スタンドのタンデム圧延でしたが、当時はまだタンデム圧延機の総合特性の理論はほとんどなかった時代ですから、各スタンドの圧延の相互干渉を予測することが不可能でした。そこで、相互干渉を避けるためのルーパを各スタンド間に置いて解決しましたが、鉄鋼用のタンデムストリップ圧延の技術の改善進歩をはかるとすれば、タンデム圧延機の総合特性の解析をまづ行って、その総合特性を確実に把握しておくことが、前提条件であることを痛感した次第です。

タンデム圧延機の研究始まる

先にも申上げましたように、昭和30年代の10年間は、鈴木研究室では圧延の基礎の研究と精密圧延機の開発研究が行われた期間でありまして、この期間の研究を基礎としまして、昭和40年頃から大形タンデムストリップ圧延機による圧延作業へと研究が進んで行きました。あるいは、逆張り伸線機以来の蓄積された研究室の力が、タンデム圧延という好個の題材を得て結集したという見方もとれるかも知れません。

この時期に入ると多数の研究者・技術者が鈴木研究室に集ってきたことはすでに申しましたが、その結果多くの研究が平行して活潑に進みました。圧延関係のみに注目しなくても、タンデム圧延の総合特性の解析、ミルセッティングの計算方法、最適パススケジュールを求める方法、タンデムミルの剛性の影響、タンデムミルの増減速時の過渡特性、圧延機剛性の傾斜配分理論、タンデムミル AGC 特性の総合評価、4段圧延機の形状制御、エッジドロップの機構などの各種の重要な問題についての論文がこの時期に多数発表されています。

内容は複雑な上に非常に専門的な話になりますので、今日はそれに触れることは割愛させていただき、最初にもおことわりしましたように、思い出話だけに致します。

先ほど精密圧延機の開発研究の話題の際に、圧延機剛

性の最適値を選ぶことによって、製品の肉厚精度を高めることが可能になったことをご披露しましたが、その頃から、タンデム圧延機の剛性の傾斜配分を考え、その採用を多くの製鉄会社へすすめたことがありました。傾斜配分というのは、上流側すなわち入口側のスタンドの剛性は強く、下流の出口側スタンドでは逆に剛性を弱くする配分をさすもので、このようにすれば、上流側では粗材の肉厚不均一が大巾に改善され、下流側では製品の形状が改善されるはずなのです。

しかし、当時はこれを数値解析で示すことなどはできなかったもので、いわば理論的推測の域を出ていませんでした。また圧延機剛性を高めめることは困難が多く、特に大巾に高めめることは不可能でした。こんな状態ではすすめる私の方でも強くはすすめられず、会社側でも理解しにくい事情もあったこととて、実現しないままに10年以上が過ぎてしまいました。

剛性傾斜配分理論の圧延機実現

その後コンピュータでタンデム圧延作業をシミュレートできるようになりましたので、傾斜配分の効果を数値解析して立証できました。また油圧圧下装置が開発されこの油圧装置に自動制御装置を装置して、圧延機の見掛けの剛性を任意の値に制御することも可能になりました。このように客観条件の変化があったことも原因となって住友金属工業の鹿島製鉄所に傾斜配分の冷間タンデム圧延機が誕生しました。この圧延機は、油圧圧下式で剛性は調節可能ですが、普通の作業の場合には5スタンドの中、第1、第2の両スタンドの剛性が3,500 t/mmと普通の圧延機に較べて6~7倍も強く、最終の第5スタンドは逆に普通の圧延機の半分位の強さの200 t/mmに設定されています。在来形の冷間タンデム圧延機では圧延機剛性は全スタンドとも等しくて400~500 t/mm程度ですから、この新しい方式を剛性傾斜配分形式と呼ぶわけです。

試験圧延の結果は良好でした。第1、第2の両スタンドの剛性を広い範囲に変化させて、圧延素材の持つ肉厚の不均一がこの両スタンドで圧延されて後に改善される程度を試験した結果によりますと、在来形の圧延機に較べて肉厚精度の向上は5~6倍にも及んでいます。この値は理論的に予測された値とも一致していますが、とにかく、私が予想したとおりの効果が実用の大形圧延機で実証されたことは、この方式の提唱者としては大きな幸いでした。その後この方式を取入れた冷間タンデム圧延機は引続いて2台誕生して、現在すでに移動しています。世界にさきがけて、わが国で実績がどしどし生れて行くのは、日本の製鉄産業には高度の圧延理論を理解できる技術者が数多く存在しているので、この種の、効果を理論的に予測できる技術の採用が早いためであります。

この方式の優秀性を実績が立証しましたので、今後は、日本以外の国で設置されるものも含めて、新しく建設される冷間タンデムミルは、剛性傾斜配分の方式を取入れて行くものと思われます。

熱間タンデムストリップ圧延機の場合はまだ実績はありません。しかし本質的には全く同様の利点が期待できるものですから、将来日本の製鉄産業に設備投資の可能な時が再来すれば、熱間タンデムストリップ圧延機にも実現することが期待されます。

完全連続タンデム圧延機の誕生

タンデムストリップ圧延機の領域で最近開発された新技術のうち、世界の注目を集めたものに“完全連続式冷間タンデムストリップ圧延機”があります。これは昭和47年に日本鋼管福山製鉄所に設置されたものでありますが、従来は材料のコイル1本ごとに圧延機の起動と停止を繰返していたのに対して、この新圧延機では圧延粗材は圧延直前に溶接してつないで置き、圧延は無停止で連続的に圧延して、圧延後に走間切断機で必要に応じて切断して別々に巻取るものです。

従来方式に較べて50%の能率向上が可能です。しかし同一寸法の製品をいくらかも続けて圧延していればよいというものではなく、普通は1日に数十回も製品の寸法を変えなければなりません。製品の寸法変更のためには圧延機全スタンドのロール間隙とロール速度とを変更しなければなりません。その際に瞬間的にでも各スタンドの圧延条件の調和がくずれると、材料が切断したり、ライン外に飛出したりという大事故が起こります。したがって、圧延中に圧延条件の変更をすることは不可能であるとして、圧延条件の変更は圧延機を停止して行うの

が、タンデム圧延機が誕生して以来40年間にわたって守られてきた原則です。

この新技術の主役をなすものは、圧延途中で圧延条件の変更を行う“走間設定変え”の技術でありまして、長年不可能とされていたタブーに挑戦してこれを克服して完成した画期的な技術であります。この新しい技術の開発研究を完成する中心的な役割を演じたのが鈴木研究室の出身者でありまして、走間設定変更の際の数秒の間に生じる急激な過渡現象について、タンデム圧延の総合特性の理論的解析と現象のシミュレーションとを繰返して研究しまして、この過渡現象の特性を解明するとともに、また設定変更の実施を可能とする技術を確認しました。

さきにも申しましたように、圧延機にコンピュータを取付けて、いわゆるオンライン・コンピュータ・コントロールを実施するようになっている最新の圧延機では、

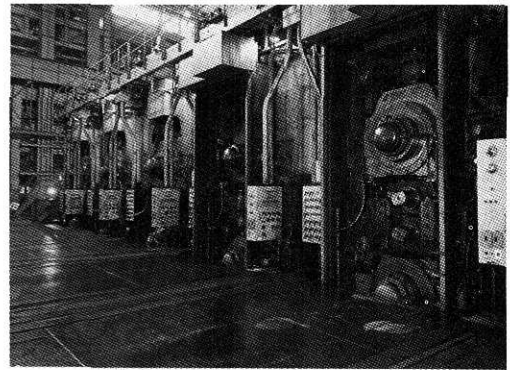


図7 完全連続冷間圧延機
圧延機本体前面景、手動運転装置は自動運転の際には使用しない。前面は図示のように無人運転になる。

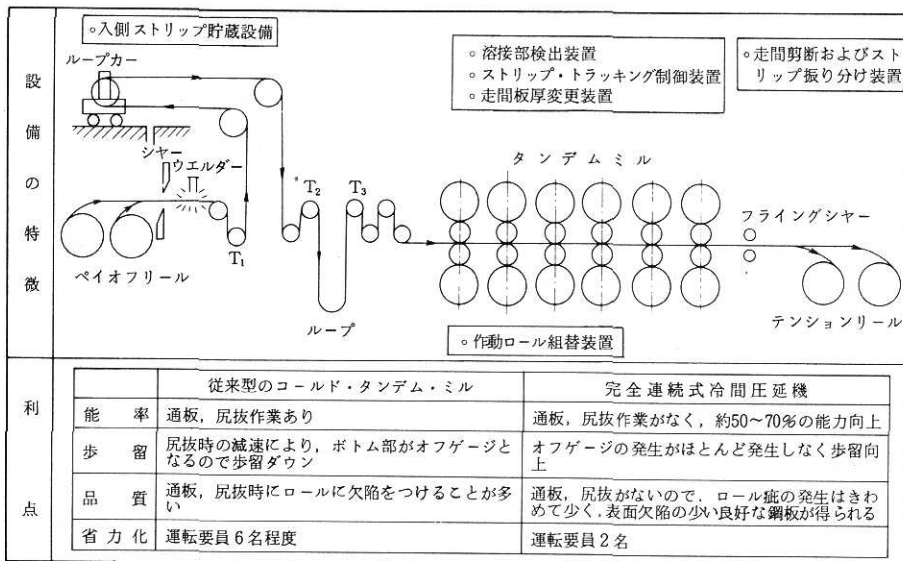


図8 完全連続式冷間圧延機

行うべき操作の正しいソフトウェアが完成されていさえすれば、その内容が複雑微妙なものであったとしてもコンピュータが正確に再現しますから、複雑微妙ということ自体は決定的な問題点ではありません。

したがって、この走間設定変更の新技術の場合も、高度の理論解析により過渡現象に適應するソフトウェアを組上げたものではありませんが、実用には支障はありません。したがって、冷間タンデム圧延について画期的な技術の完成となり、世界の注目を浴びたわけです。私も基礎研究の一部分に協力していますので、わが国の圧延理論研究成果が欧米諸国のそれを大巾に抜き去った一事例と感じて、大いによるこんでいる次第です。

なおご参考までにこの新技術の経済的メリットをご紹介します。まず、生産能力ですが、在来の材料コイル1本圧延ごとに起動停止を繰返す方式に較べると、同一時間内の生産能力は約50%増となります。また在来のタンデム圧延機では起動停止にともなう増減速期間中は圧延製品の寸法不良が起きますが、それがなくなるので材料歩どまりは1.3%も向上します。年間100万トン程度生産する大型設備ですから、その利益は莫大な金額に達することは申すまでもなく明らかでしょう。

また材料をエンドレスにつなぎますから、材料の先端と末端とを圧延する必要がなくなり、ロールの寿命が延びることの利益も無視できません。さらにまた、作業人員が、36人から8人に大巾に減ることは、数字に現われた以上の大きなメリットとして考えなければなりません。このような操業上の利益が種々ある場合には、設備投資は高価になるのが普通ですが、この場合は生産能力が大巾に向上しますから、同一生産能力という条件で比較すればかえって設備費は20%の減少となっています。

日本の圧延技術への基礎研究の貢献

ただいまご紹介しました、鹿島製鉄所の剛性傾斜配分のタンデムミルと、福山製鉄所の完全連続式タンデムミルとの2例は、圧延理論が実際の圧延技術に直接的な貢献をしたことを理解しやすい好い例でもありますし、一方、その理論の研究には私も関係していたものでもありますので特に話題に取上げた次第でございます。しかし、これ以外にも、私の研究室で行われた研究で実際の生産設備の設計思想の基礎に取入れられたものや、生産技術の改良進歩の形で実際の生産に影響したものは、いくつか数えられます。

また私の研究室に限らず、最近の10年間には製鉄会社や圧延機メーカーの研究所や現場の研究者・技術者により世界にさきがけて実現された圧延技術を多数あげることができます。これらの、日本で完成された新技術を、海外のそれに較べますと、日本の方が量・質ともにすぐれていると見られています。特にいちじるしい特長は、日

本の技術は研究に支えられ理論的な基礎との結びつきが強いということです。

日本の圧延技術の発展に理論的な方法が強く取入れられ、また実際に役立って来た、その理由はなぜか、これの理由はいろいろありましょう。私の気づいているものもいくつかありますが、時間の余裕もありませんので、今日はその分析は差し控えます。しかし最も直接的な理由は、日本では材料の変形抵抗の研究が早期に、しかも組織的に行われ、その結果、圧延荷重・圧延動力・圧延速度などを解析的に求めることを可能とする基礎が固められていたことだといえます。

いま私が、日本では特に申しましたのには意味があります。日本以外のいわゆる工業先進国では、過去何十年にもわたって、圧延作業を論じるに当っては、材料の変形抵抗の値には関心を払わないで、“圧延の動力曲線”という別の形で材料の特性を表現してきました。“圧延動力曲線”というのは、任意の材料1トン分を圧延する際に消費された動力を実測した値なのです。過去長年にわたって蓄積した圧延の実際記録を整理して、要求される圧延条件に応じて必要な圧延動力を読取れるような形に整理してある線図のことです。

材質の異なる材料ごとにこの線図がありますから、現場の作業指針としては便利でもあり、また実績の値ですから、たよりがいもあるものであることは確かです。しかし実績にはそれなりの欠点もあります。過去のもの大巾に形式・構造のちがう圧延機を使って新しい圧延作業をする場合には、過去の実績にたよるわけにはゆきません。圧延実績のない新材料を圧延しなければならない場合などは、どうしようもなくなることもあります。

これに較べて、日本で広く採用されている“材料の変形抵抗”を基礎とした技術であれば、材料の物性値である変形抵抗と圧延のメカニズムを示す理論式との組合わせで、圧延作業を論じるのですから、一般性があります。新しい構造・方式の圧延機でも、新しい材料の圧延でも作業内容を推論できるだけの应用能力が具わっています。アメリカを中心とする外国方式は、昨日の技術を基礎として今日の技術を確実に実現する、ものであるのに対して、日本の方式は、今日の知識を踏台として明日の技術を組立てる、ともいえる相違があります。

アメリカが世界にさきがけて自国内に多数の製鉄所を持ち、またその豊富な実績を基盤として、圧延の技術と圧延機とを世界に先込んだ歴史が、圧延動力曲線という形に結集した。これに対して、実績は乏しくしかも急発展した日本の鉄鋼業の生活の智恵が、“材料の変形抵抗”であったとも見られます。10年前には、この相違は優劣の差ではなく、技術の様式の差でしかなかった。あるいは、日本の研究者と技術者とが苦しまぎれに新しい方式を生み出した、と見られ、それ以上のものではないと批

判されても仕方がなかったかも知れません。

しかし、圧延作業へのコンピューターの導入により事情は一変しました。圧延機のオンライン・コンピュータ・コントロールを実施するためには、作業者が勘と経験とにたよっていた内容までも“圧延の理論”に組入れなければならなくなりました。また、どのように複雑な作業でも、必要ならばコンピュータに実施させることが可能になりました。これらの圧延を取巻く環境の変化は、日本式の理論方式には活躍の場を提供し、アメリカ式の実績方式には体質改善をして出直おす要求を突きつける結果となりました。最近10年間のわが国の圧延技術の急上昇がこの間の事情を語る証人となっていると申してもよいでしょう。

矯正・ロールフォーミングなどの研究

以上申し述べました引抜加工・圧延の外にも、私の研究室で相当長時間にわたって力を注いで参りました研究がございます。代表的なものに矯正・ロールフォーミングの両題目があります。塑性加工の重要な技術でありながら、理論的な研究が少なく、技術体系の樹立されていなかった分野でありましたので、昭和30年頃に研究課題として取上げました。

その後研究室の内外の若い研究者の協力を得て、この両分野とも基礎的研究が進み、技術体系も大分とこのように考え、私なりにある程度満足も致しております。また何人かの工学博士もこれらの研究から誕生しています。したがって、その研究の発展経過についての思い出話をしたいのはやまやまでございますが、残念ながら時間がなくなりましたので、本日は割愛させて戴きます。

以上ご披露しましたのは、研究を取まく外側の話ばかりでございます。またその上、取上げなかった研究課題もありますので、本日のご出席の研究室OBの方の中にはご不満の向もあるかと思えます。しかし今日の講演は、研究室関係者以上に多数ご出席の、生研一般の方々にも聴いていただくという意味が多分にありますので、その点はお許し下さるようお願いいたします。

なお、その意味あいから、最後に生産技術研究所の皆様にご感謝と希望とを申し上げて、私の講演を終わりたいと存じます。

生研の皆様に感謝と希望とを

われわれの生研では、他の研究分野の研究者の協力と助言とを、当然のこととして求めることができます。私自身も多くの方の協力を得、また多少のお手つだいをしてきたと考えています。

また、事務・技術などの研究の直接責任を負わない人達の研究遂行への協力もよく行われています。研究協力

掛という他に例のない組織が存在することが、それを如実に表わしている、と私は思っています。

さらにまた、工学の研究では欠くことのできない企業との協力関係が、適正に管理された条件のもとで、必要に応じて実現できています。大学機関の中でも最も整備されたルールに沿って運営されているように思われま

す。また外部からの研究者の受入れが可能であり、それが有効に機能して、委託研究員の数も他の研究機関に較べて圧倒的に多い。

これらの諸条件は、研究遂行のためには非常に望ましいものでありますが、他の研究機関ではすべてが満たされていないように思われます。生研ならではの貴重な資産だと申さねばなりません。今日の生研において、これらの諸条件が満たされていますことは、生研創立以来の先輩の方々の遠見と、それを護り育ててこられた同僚の方々の良識によるものでありますが、このすぐれた研究環境のもとで、研究生活を送ることができた幸いを深く感謝致しております。

内側から見た生研はこのように研究環境に恵まれたすぐれた研究組織でございます。一方外側から見ますと、工学の全分野にわたる専門を網羅し、学問と社会との要請に応じて研究課題を流動的に選べる、総合工学研究所としての性格が強く注目をひきます。このような性格の総合工学研究所は、工学の今後の発展のためにはきわめて必要性が高く、その反面運営の焦点を絞りにくいものであるだけに、将来の研究所の在り方を身を以て示す責任を負わされているように思われます。

この種の研究所は、その要素となる各研究室が、それぞれの専門において最先端の研究能力を持っていることが、存立の基本条件であると私は考えております。どうか、生研のすぐれた研究環境を活用して、すべての研究室が従来以上に充実発展を続けられ、それぞれの専門領域では日本のセンターとしての立場を占めるようになっていただきたい。また、そうならば、生研の将来は一層豊かに開かれて行き、生研のすべての人にとり働きがいのある職場ともなることにも通じるものと信じます。

生研の発展を心から祈ります。

また、最後に私個人にかかわることについて一言申し上げることをお許し願います。私は生来必ずしも頑健な方ではありませんが、塑性加工工学の研究と関連技術の振興とに全力投球をする環境を与えていただき、また34年間の長きにわたり無事務めることを可能にいただいたことを、定年を迎える今、心から感謝致しております。

また、所長在任の3年間をも含めて、長期間にわたり生研の多数の方から強いご支持とご協力をいただいたことを、この機会に改めて厚くお礼申し上げます。

(1976年6月24日受理)