

# これまでに手懸けた機械工作法実習と機械工学実験

建設・機械系（機械システム工学科） 落合 一雄

## 1 はじめに

「月日の流れは早いもの」と耳にする事はよくあった。しかし1日は24時間、1年は365日と月日の流れの速さが変わる筈がない。数年前までは、月日の流れの速さが変わる事を到底理解出来なかった。だが定年の二文字が目前に迫り来ることにより、しみじみと月日の流れの速さの意を活字に表現する事はできないが、実感出来るようになった。

室蘭工業大学に36年数ヶ月お世話になったが、36年を振り返ると、大学の建物は勿論の事、教官や学生そして技官の気質も大きく様変わりした。大学の建物は木造平屋の実験棟で、教官室と講義棟は一部二階建てのブロック作り、大学の周辺には、官舎と数件の民家があるだけ、遠く鷺別には蒸気機関車が力強く黒煙を吐き出しながら走る雄姿が、なにもさえぎる事なく見えたものである。

教授には、旧海軍大佐？、又元ドイツ駐在武官の肩書きの方もいらした。当時は学生数も少なく、躰のきびしい教官の目は常に一人一人の学生に行き届いていたようだ。技官は教官の来る前に、冬であればまず、教官室のストーブを焚き、部屋の清掃を行なう事から1日が始まる。技官はどうあるべきとか、技官の技術の向上等、無論考える余地もなければ考えさせてくれる機会すらもない。ある意味では、のどかな時代でもあったのかもしれない。

様々な移り変わりの中での36年間、私が主に行なってきた事は、機械工作法実習と機械工学実験、卒業研究等の実験装置の製作その他である。これまでに担当した機械工作法実習と機械工学実験の概略を報告する。

## 2 機械工作法実習

実習は機械科といわれていた昭和38年頃は短期大学部も含め週2回であったが、機械工学科・産業機械工学科、更に短大が2部機械科となり週3回行なうようになった。

平成11年現在、機械システム工学科と夜間主と名称は変わったが、機械システム工学科の学生数は100名以上になる。それを2組に分け週2回、夜間主が1回と回数は変わらないが、1組の学生数は10名以上の事もある。

当初実習指導は課題を専門とする技官が担当していたが、今は、定員削減の影響を受け科の全ての技官が、どの実習課題もこなせるようローテーションを組んで行なっている。

参考までに、現在の実習課題は、旋盤での旋削作業、手仕上げ作業、溶接作業、NCフライス切削作業、NCフライスのプログラム作成作業の5課題である。

実習課題も、その時によって変わったが、担当した実習課題のいくつかを、記憶をたどって、おおまかな内容を紹介する。

## 2. 1 板金作業

昭和38年～39年頃と思う。塵取りの作成である。亜鉛板に、図面通りの寸法をけがき、かな切りバサミで切断し、折り曲げハンダ付けをする。いたって簡単な作業である。しかし、当時の学生は黙々と作業をこなした。学生諸君に気の毒になり、教官にお願いしその課題の変更を申し入れた事を記憶している。ちなみに30数年過ぎた今も、実習工場で、その時制作した塵取りを使用しているのを見て懐かしくなる。(学生名入である。)

## 2. 2 旋盤精度検査

昭和14年に年製作されたベルト掛けの段車式旋盤の精度検査である。聞くところによれば軍需品の製作に酷使し、終戦時に払い下げられた旋盤とも聞いた。一見して各部の精度はないと思われる旋盤の精度検査である。結果的には検査を行いどの部分がどの位JIS規格から外れているか、ということでレポートをまとめる事とした。

大学で、何時になったらまともな旋盤が使えるのか、とのレポートの所感を読んだ事もあった。現在では、それなりの旋盤が使用されていることを付け加えておく。

## 2. 3 鋳造実習

鋳造に関しては、若干の経験もあった事と、室蘭工大から1ヶ月間、日本製鋼所室蘭製作所へ研修に出して頂いた事もあり、実習らしい事が出来たと思っている。

実習では、鋳造の歴史の話から始まり、鋳型を作る鋳物砂の砂試験を行い、現物型法にてモーターカバーの鋳型をつくる。出来た鋳型に、溶融したアルミニウムを鋳込んだ。よくできた完成品は、その学生に持ち帰らせたが、最近講座で学生諸君が灰皿として使用していた事をおぼえている。

## 2. 4 旋盤実習

旋削作業については、切削に関する論文で博士を取られた教授のお手伝いをさせて頂いた事もあり、それなりの知識は持ち合わせていた。実習時間の短縮で鋳造実習の時間が取れなくなった事もあり、やむなく中止となり旋盤実習を担当することとなった。

課題であるが、ハンドルの把手を選定した。汎用旋盤にて、縦送りと横送りを同時に操作してハンドルの把手を削り出す事は、旋盤を初めて操作する学生にとって大変なことのようみえたが、反面かなり興味をもって作業していたようにも思えた。

## 2. 5 手仕上げ作業

科の技官は全ての実習課題をこなせるべき担当のローテーション化で、手仕上げ作業を

担当する事になった。ミクロン単位の工作が出来る工作機械が出現した現在でも、それ以上の寸法精度をだすための方法に手仕上げ作業があることを説き、後に北海道の形状を、厚さ5ミリの真鍮板にけがき、弓鋸と組ヤスリを用いてゲージ通りに形状をととのえる。機械万能の時代に、なぜ人間が汗して、手に豆をつくり作業しなければならないのか。真の手仕上げの重要性を認識しない学生が多かった事をレポートの所感から感じ取ることが出来た。

### 3 機械工学実験

機械工学実験は各講座が1～2のテーマで前期、後期を通し3年目学生を対象に行なっている。実験のテーマはその時々に応じて種々のテーマに取り組んだが、比較的に学生が興味を持って実験出来るようにしてきたそのいくつかを時代に沿って、おおまかな実験内容を紹介する。

#### 3.1 溶接接合部の金属組織に関する実験

溶接接合部の金属組織に関する実験と題して、溶接熱影響部の組織と機械的性質の差異を調べる事を目的とする事である。

通常溶接部は大きく分けて溶接金属、熱影響部、母材で構成されている。図1参照。軟鋼板に被覆アーク溶接にて単層ポンド盛りを行い、その断面を研削し、エメリー紙による研磨を繰り返す、腐食させた後顕微鏡にて、ビード部の組織、熱影響母材部の組織、さらには粒状パーライト等の組織等を、倍率を100～400倍にし検鏡し、スケッチして各部の硬度をマイクロビッカース硬度計で測定する。

図2は硬度測定の結果である。熱の影響による硬度の違いが、はっきりと出ている。

図3は溶接部、熱影響部、母材部等を、それぞれ400倍にて検鏡写真撮影したものである。

この実験の具体的目的として、レポートすべき課題は以下の事柄である。

#### 考察課題

- (1) 検鏡資料の作成手順(研磨、腐食)を知る。
- (2) 溶接部組織の観察、および硬度試験の方法と組織の違いによる硬度を知る。
- (3) 熱サイクル組織、機械的性質についての検討

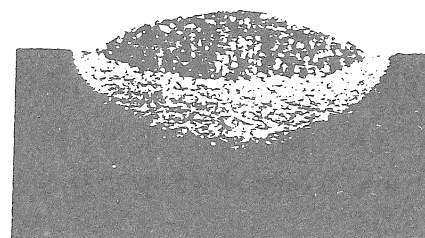


図1 溶接部、熱影響部、母材

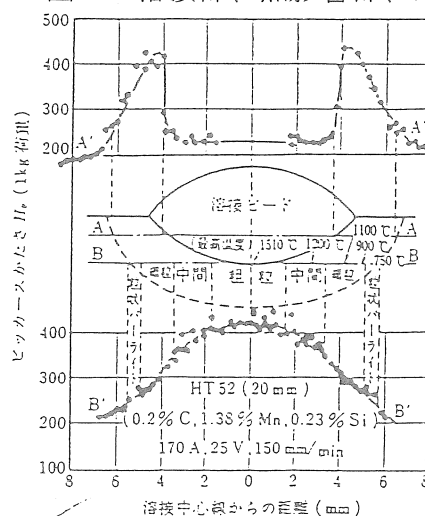


図2 硬度測定結果

ポンチ荷重とポンチストローク線図の実験値と計算値を図 6 に示す。

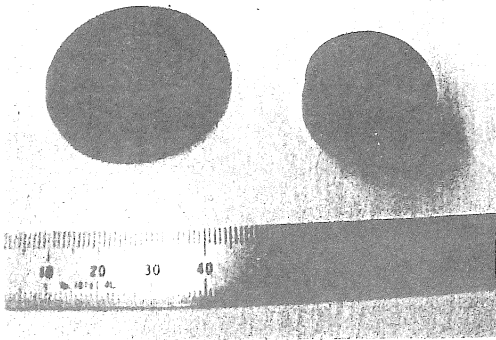


図 5 板材と製品

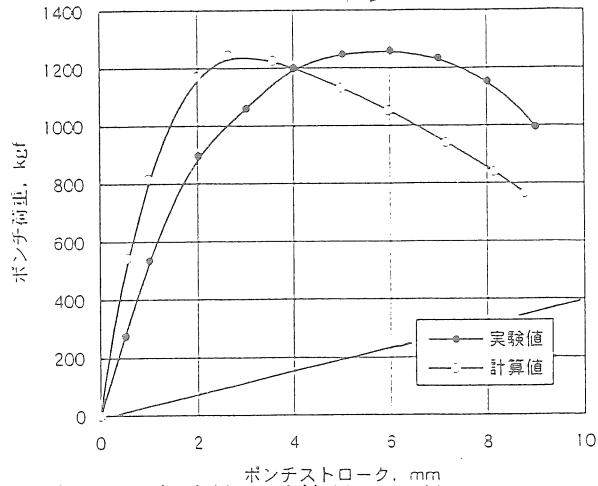
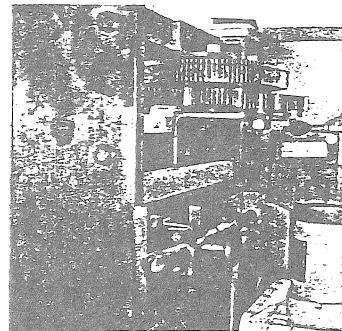


図 6 実験値と計算値の比較

この実験を行なうに際しては、実験装置を製作する事から始めなければならないという難問から取り掛からなければならなかった。本来この形状のポンチとダイスはもともとプレス加工機に設置されていたもので、そのまま使用すれば、絞る時間はものの 0.1 秒もかからない。到底絞りの過程などを観察する事は出来ない。そこで遅い速度にて絞られていく実験機を製作することとなった。図 8 にその実験機を紹介する。

ポンチとダイスはそのまま使用することとした。小型モーターを利用して、いかに大きな力と遅い絞り速度を得るかは、歯車をおおいに活用する事で解決した。絞り力はロードセルからストレンメーターを通して X Y レコーダーへ、深さ方向は、差動トランスからストレンメーターを通して X Y レコーダーで記録する。

この試験機的设计に際して、どこで勘違いをしたのか、たぶん、必要以上に安全係数をかけすぎたものと思う。装置重量が非常に大きい実験装置なったことを、あえて付け加えておく。図 7 に計測系の概略図を示す。



力、速度変換歯車群

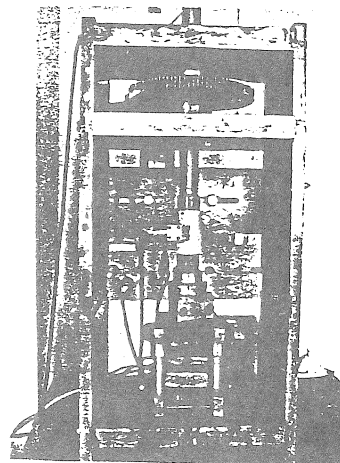


図 8 深絞り加工機

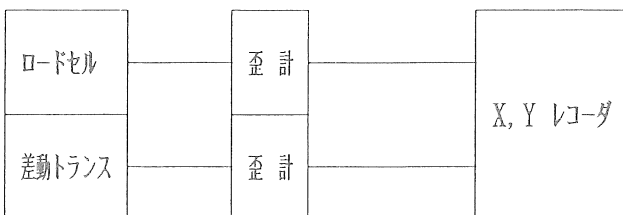


図 7 計測系概略

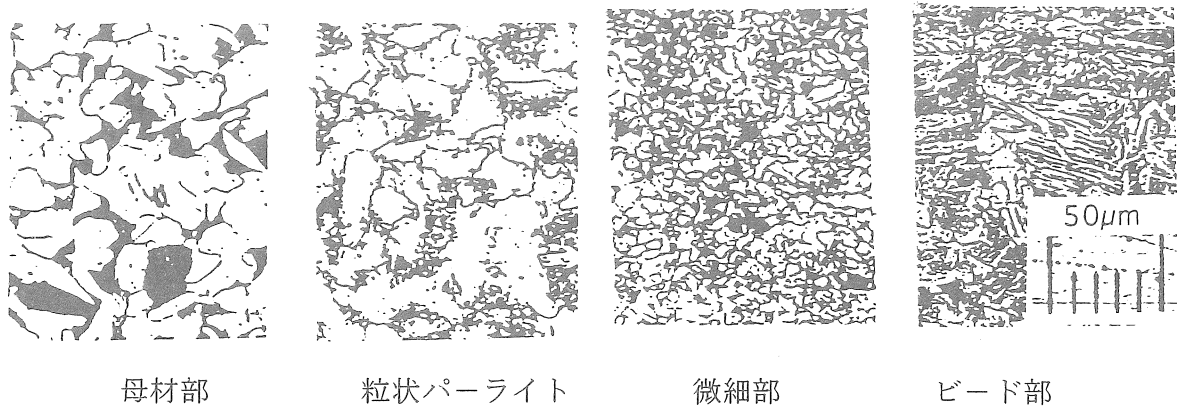


図3 溶接各部の組織

### 3. 2 塑性加工に関する実験

塑性加工に関する実験は、深絞り加工実験である。図4のように、穴のあいたダイスの上に円板をのせ円柱状のポンチを穴の中に通して底付き容器を作る加工である。

円筒製品ばかりでなくいろいろな形の成形が行なえるので、日用品から電気部品、機械部品、自動車部品および航空機のボディなどの成形に広く利用されている。図の破線は直径 $D_0$ の板から直径 $d$ の製品を絞る途中の段階で、外周が $D$ まで絞り込まれたところを示すが、穴より外にでているフランジ部分では円周方向に大きい圧縮応力を受け板が薄い場合には座屈を起こして、しわが発生する。このフランジしわの発生を防止するためにダイス上にしわ押さえをつける。

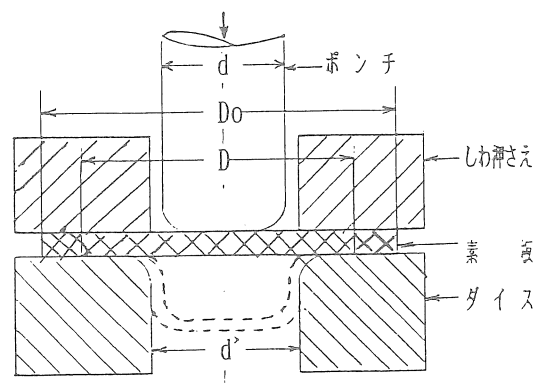


図4 深絞り加工

したがって、素板はダイスとしわ押さえの間をすべりながら順次ダイスの中に絞り込まれてカップとなる。しかし、しわ押さえの圧力があまり大きかったり、素板の直径 $D_0$ が大きければ、ポンチが押し込まれる力が增大してついに壁部の破断をおこし、あまり深い製品を作る事ができない。以上が深絞りの概要である。

実験は、絞り込む時の平頭ポンチ～ダイス間の抵抗を測定し、ポンチ荷重の初等解析による計算値と実測値の比較を行い、この加工の理解を深める。

本報告では、あえて式の誘導を事細かく報告はしないが、解析するとき、いくつかの仮定を設定することを、付け加えておく。

- 降伏応力  $Y_m$  完全塑性体とし  $Y = 25 \text{ kgf/mm}^2$   $m = 1.3$
- 摩擦係数  $\mu$  0.3
- 板厚さ 0.6mm 不変とする。
- 使用材料 一般構造用圧延材 2種

実験結果より得られた製品と元材の直径 40 mm の板材を図5に、深絞り加工における

### 3. 3 切削および研削に関する実験

切削はバイトという単体の刃物で金属を削るのに対して研削は研削砥石の表面の砥粒の複数の鋭い部分で工作物の表面から微小な切り屑を削り取る高速切削作業である。形態こそ違いますが除去加工法としては切削と同じである。しかし寸法効果には大きな差を生じる。その差を生じるメカニズムを定性的に説明することが、この実験の目的である。

#### 3. 3. 1 切削実験

切削工具による炭素鋼 (S35C) の準二次元長手旋削において、工具の横搦り角の変化による切削機構の解析を行なう。また、工具横搦り角を一定にし切削速度を変化させた時の切削機構の解析を行なうことを目的とする。

##### 切削実験 1

被削材 炭素鋼 (S35C)

工具形状  $(0, \alpha, 7, 7, 10, 0, 10, 0.3)$   $\alpha$  は  $-10^\circ, -5^\circ, 0^\circ, 5^\circ, 10^\circ, 15^\circ$  と変化する。

切り込み 1.5mm 送り 0.3mmpr 切削速度 100mpm

上記実験条件から横搦り角  $\alpha$  を変えた時の横搦り面にかかる切削抵抗主分力  $FP$  と送り分力  $FQ$  を測定し、そのときどきの切り屑厚さ  $t$  の測定値から以下の解析を行い考察する。

搦り面摩擦力  $F$ 、搦り面垂直力  $N$ 、搦り面摩擦係数  $\mu$  の計算を行い、横搦り角  $\alpha$  の変化により、 $F$ 、 $N$ 、 $\mu$  がどのように変化するかを考察する。

とくに、 $\mu$  の変化であるが、クーロンの摩擦法則が成立するとすれば、わずかな横搦り角  $\alpha$  の変化で  $\mu$  の値が変化することはないと思われる。しかし、計算値には、明らかな違いがでてくる。その意味について考察する。

次に、切り屑厚さの測定値より剪断角  $\phi$  を計算し、 $\alpha$  の違いにより  $\phi$  の変化も考える。また  $\phi$  が計算されたことにより、剪断歪み  $\gamma$  も  $\alpha$  の変化でどのように変わるかも考察する。

先に計算された摩擦係数  $\mu$  から搦り面摩擦角  $\beta$  を計算する。 $\beta$  が計算されたところで、merchant の切削方程式、 $2\phi + (\beta - \alpha) = \pi/2$  と Lee-shafter の切削方程式、 $\phi + (\beta - \alpha) = \pi/4$  の 2 本の方程式をグラフにし、更に実験値もプロットし、いずれの方程式にも合致しない理由を考える。

その他、剪断面剪断応力  $\tau_s$ 、剪断面垂直応力  $\sigma_s$  を求め  $\alpha$  との関係を考える。最後に、切削エネルギーについての意味を簡単に考察せよ。というのが切削実験 1 である。

##### 切削実験 2

基本的には実験 1 と変わらないが、切削条件で工具形状の搦り角  $\alpha$  を  $5^\circ$  と一定にして

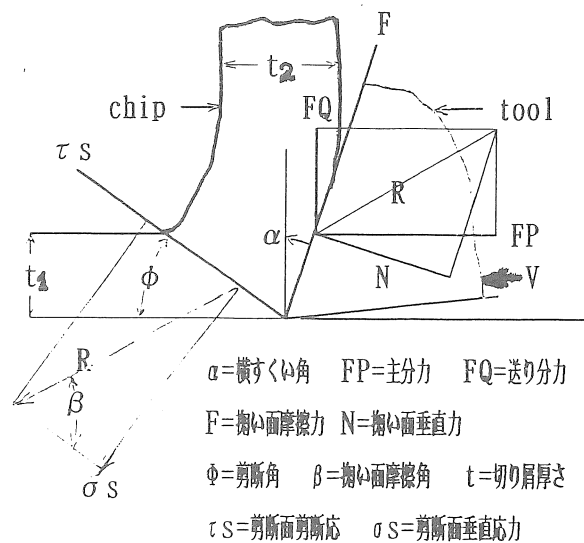


図9 切削理論図

おき切削速度を 10mpm~150mpm と 10mpm ごとに变化させ、以下の考察をする。

- 1) 切削速度の変化に対する切削抵抗の変化を求める。さらに、切削速度の変化により、切削抵抗に著しく変化が認められれば、その理由について考察する。
- 2) 切削速度の変化に対する、掬い面摩擦係数の変化を求める。通常、切削速度の増大に伴い、掬い面摩擦係数は減少するが、その理由を考察する。
- 3) 切り屑の裏面を観察し、構成刃先の消滅する切削速度域と、その時の切削抵抗を比較検討する。

切削に関する実験で、理解に苦しんだと思われるところは切削理論図で、切り込み深さとと思われるところが、何故送りになるかということと、構成刃先とはどのようなものかとの疑問が多かった。

二つの疑問を解決するには教科書をみれば、理解するのは簡単であるがなかなか見えてくれない。そこで、図 10 と



図 10 構成刃先

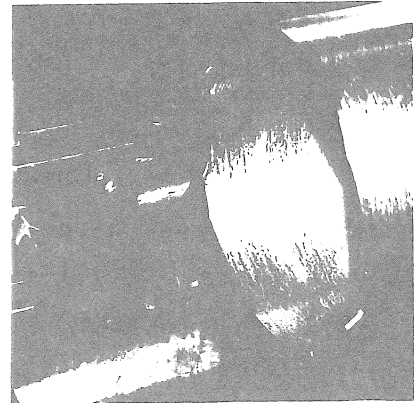


図 11 二次元模型

図 11 を作成し、これを見せる事により、理解し易くなったように思われる。

計算量も多く、考察も多いのでレポートをまとめるのに苦労したが、実験を通してより講義の内容が理解できたことと、切削の奥の深さを知る事が出来た旨の所感を読むとき技官としての責任をしみじみ感じたものである。

### 3. 3. 2 研削実験

研削実験は、設定された研削条件から研削抵抗を測定し、与えられた被削材の比研削抵抗を求める。この場合、小野によって与えられた理論に従って測定値の処理を行なう。

$$F_t = K_0 \cdot f \cdot W^{-2\epsilon} \cdot \Delta^{\frac{\epsilon}{2}} \left( \frac{V}{V_0} \right)^{1-\epsilon} \cdot D^{\frac{\epsilon}{2}}$$

小野の理論式

$K_0$  = 比例定数                       $D$  = 砥石直径 (mm)  
 $W$  = 平均切刃間隔 (mm)       $f$  = 研削幅 (mm)  
 $v$  = 加工物速度 (mpm)       $\Delta$  = 砥石切り込 (mm)  
 $\epsilon$  = 加工定数                       $V$  = 研削速度 (mpm)

研削実験では、切削実験で使用した加工材 S35C の as rolled 材の ANNIELD (焼きなまし) HV210 と QUENCHED (焼き入れ) HV741 の 2 種類を実験材とした。旋削では加工材に硬度差があれば、KS (比切削抵抗) に顕著な影響を受けるのに対して、研削の場合はほとんど 硬度差の影響受けない。これは何故か定性的な説明をさせる目的である。

実験条件として研削幅 5mm, 切り込み深さ 0.01, 0.02, 0.03mm 研削速度 1880mpm 加工速度 3, 6, 10, 15mpm 平均切刃間隔 0.5mm と設定しデータを取り、砥粒 1 個が

預かる平均切り屑断面積による単位切り屑断面積と先の切削実験から、3点の切削面積による単位切り屑断面積を両対数用紙にプロットする。其の事により形態こそ違い同じ除去加工法における切削と研削の寸法効果が一目で確認できる。

#### 4. 実験、実習を担当して感ずること

実習と実験を通して学生と接する機会をもてた事は、ある意味で私にとって幸いであったように思う。各講座に配属された少数の学生との接触は多いが、より多くの学生と接触できるのは、実験と実習である。多くの学生からさまざまな質問をうけたものである。適切な受け答えの出来ない質問など、自らが学び日をおって回答したこともあった。そのためには、自らが学ばなければという意欲にかりたたせられた事である。

機械システム工学科では、実習は勿論のことだが実験についても技官に主体性をもたせて実験内容などについてのアレンジもある程度自由にさせてくれたところが多いとも聞いている。実験の説明、機器の取り扱い、レポートの採点など全てまかされていた。この事に関しては疑義を唱える技官もいたが、これくらいの事はむしろ技官が積極的にやるべき事と認識を新たにすべき事と思っている。

レポートの所感、講義等で理解出来なかった部分が実験を通してより理解出来たとか、視点の違った考察等のレポートをみたときに、説明、方法等工夫の重要性を知った。

#### 5. おわりに

今後大学はどう変わるか私には分からない。しかし、諸般の情勢からすると今までの大学の態勢は徐々に変化することは予想される。とくに技官の存在は大きく変わる事とおもう。予想される情勢のなかで我々技官にとって大切なことは、技官一人一人が教育・研究支援者であることをより強く自覚し、優秀な技術者となる事ではなかろうか。我々技官は既存の態勢に甘んじていては技官に対する教官の認識も変わらない。いわゆる教官の単なる便利屋さんではいけない。技官でなければ出来得ない技術を身に付けることが重要だろう。その為には技官が一定の技術力を得る為の環境の整備を我々自らが整え、技術屋としての色合を鮮明にすべき自助努力をしなければ、近い将来必ずや大学に技官の必要性はなくなると思う。幸いな事に、学内措置ではあるが技官には技術部なるものがある。運用如何によっては有効に活用出来ると思われる。技術部という組織の中で技官が本来の研究支援者としてどうあるべきか等を技官が一丸となって真剣に議論を深める事が重要であろう。教官に技官の必要性を認識させるためにも技術部を真に我々技官の組織と捉え、技術研修を積極的に活用し、自己研鑽を重ね蓄積し技官が習得した技術を学内外に技術発表を重ね、室工大の技官の存在を認識させる事が、しいてはキラリと光る室蘭工大を多くの人々に知らしめる一因子になると確信する。