



## 温故知新(下)

横山武人\*

さて、私はその大正4年(1915)工業出として日給35銭で国鉄にも就職はせず、米沢の高工(今の山形大学工学部)機械科に入学した。

そしたら、工作法の講義の図面は今になって較べてみると Lineham<sup>1)</sup> Text Book of M. E. (1895)からのそのまま前記 Low<sup>2)</sup> の Pocket Book of M. E. の図面も全く同じ出所であったようだ。

そして大正7年(1918)卒業した。卒業論文は「機械の償却について」を書いた。そして室蘭在の今の新日鉄に就職した。そこで鑄造と木型工場担当になった。チルド鑄物、セミスチールや純銅鑄物の羽口などに苦労した。可鍛鑄物は失敗でした。その時は日独戦争(大正3年1914青島攻略)中で月給40円、手当32円、残業手当(土日以外)毎日20銭であった。その時100t高炉で日産150tを無理して生産し ton 当り530円で三井物産に先売しておいた、そして一基増築したが、翌8年(1919)11月11日午前11時ベルサイユ条約で独乙は降伏の調印をした。

そしたら鉄の値段は一挙に100円以下に下落した。いくら首切り、合理化(その頃この熟語はなかった)しても105円以下では生産できぬ。

私はその前々月9月11日東北大学工学部機械工学科に入学したので、むろん未婚だったし首切りにあい、妻子をかかえて路頭に迷うこともなかった。

それから、東北大も神戸高工(今の神戸大)大阪工専(今の府大工)只今の産大工も上記の様な切削談義ですまし工場や職場に運搬設備もなく、重量物は三脚を組んでチェンブロックで吊る程度で工場見学ではビックリする始末であ

った。

ところが業界はスッカリ変わった。前号の図3で津和先生の図解を紹介した通り、適応制御工があるいは大体は精密、小物は自動組立まで進んでいる、NCは衆知として本号では一応その辺まで眺めてみる。

切削理論という大袈裟ですが、この Low<sup>2)</sup> の本の図8に示す切くずの生成について市川<sup>3)</sup> は

## 削截工具の作用

図中Mは物体、Tは工具で矢の方向に進行するものとする。C点は金属工具で最も強きを要する。abに平行するMの断面は圧縮の状態、abに平行する断面はせん断を呈する。その最も薄弱な部分はacに沿うてあり、削片はacの方向に削截されつつ工具の面に沿うて巻きあげられる。ただしこのacの方面は物体の圧縮強さ、せん断強さによって違う。

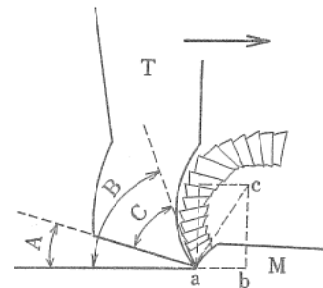


図8

この削截にあたり多量の熱を発生する。これは削片と工具間の摩擦と分子の抵抗に帰因する。故に水、石けん水、油など整滑料を要する。しかし鑄鉄、黄銅には不要であると述べてある。

初期の切削理論として誠に興味深い。

この発生熱の分布については田中、津和の精密工作法(上)<sup>3)</sup>に見える。図9に示す。

尚、生田稔郎<sup>4)</sup>の研究に、酸素を切削面に吹き付ければ、仕上面も奇麗で加工変質層の生成

\* 横山武人 (Taketo YOKOYAMM), 大阪産業大学, 工学部, 機械工学科, 機械製作研究室, 教授, 工学博士 M. Sc. (Wales), 機械製作

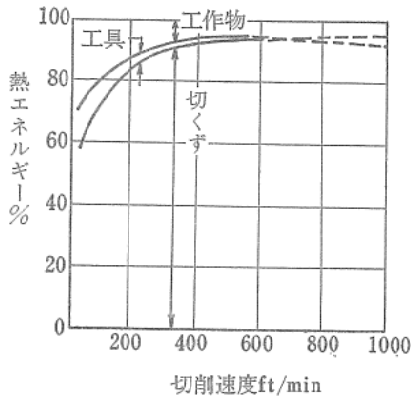


図9 切くず，工具，工作物に伝わるエネルギーの割合

も切削抵抗も少ないが，工具の損傷が激しい。窒素を吹込めば工具の寿命は長いが外の結果は酸素の逆に出る。酸素の場合は小さいシャープなくさび形の構成刃先ができて切削を助けるとある。

なお同君の研究にチッププレーカを20 $\mu$ 位の振幅で20K. Hertz位の振動を与え，かつ冷水を注ぐと極めて細い切くずが出るという研究もある。

切くずの生成

ところが最近まで切くずは図10に示す三種類に分類されて久しかったが，大越先生が図11に示すむしろ型を提唱（1930年）して以来四種類となった。

- a) 裂断形切りくず
- b) せん断形切りくず
- c) 流れ形切りくず

と

- d) むしれ形切りくず

この切りくずの形の変化について図12に示すような条件も Rosenhein や Sturney<sup>5)</sup> によって提唱されている。

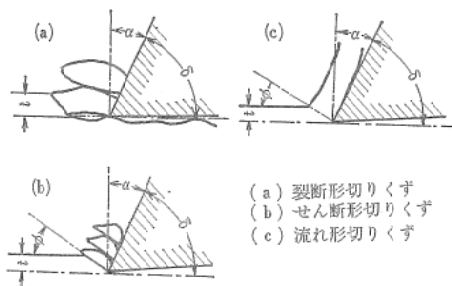


図10 切りくずの3形

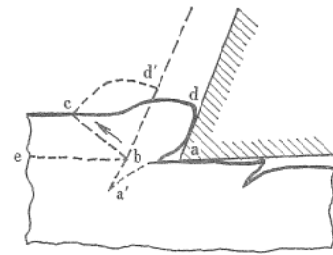


図11

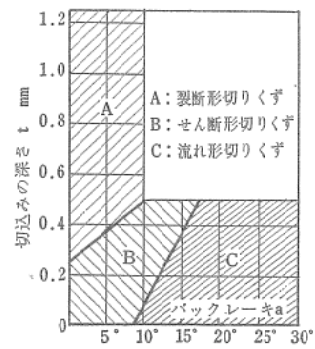


図12

切削抵抗

前号表1と2に示した角度は「工具を推進するに最も少き力を要する角」と「もっと刃先を強くしてその耐力を（筆者曰く工具の寿命でしょう）持続せしめるには，その角度を増さざるべからず，その角度」とである。

それで切削抵抗を表す式でなるべく多くの諸条件を入れた式を紹介する。

鋼材の場合

$P_s$  比切削抵抗 (mg/mm<sup>2</sup>)

$\sigma_s$  材料の引張強さ (kg/mm<sup>2</sup>)

$H_B$  ブリネルかたさ

$\delta$  スクイ角の余角 (90—刃物角—前逃げ角)

$k$  取付角 (横切刃角の余角)

$n$  切込/送り = t/s

$r$  刃先の丸味の半径

$q$  切くずの面積

$$P_s = 230 \left( \frac{\sigma_s}{60} \right)^{0.5} \left( \frac{\delta}{76} \right)^{0.66} \left( \frac{60}{k} \right)^{0.2} \left( \frac{n}{5} \right)^{0.12} / q^{0.1}$$

(直線刃の場合)

$$P_r = 230 \left( \frac{\sigma_s}{60} \right)^{0.5} \left( \frac{\delta}{76} \right)^{0.66} \left( \frac{r}{1.74} \right)^{0.1} \left( \frac{n}{5} \right)^{0.07} / q^{0.15}$$

(丸刃の場合)

これは海老原，益子<sup>6)</sup> 両教授の式であるが，鋳鉄についても類似の式がある。ただし鋳鉄に

は引張強さ  $\sigma_z$  の代りにブリネルかたさ  $H_B$  を使用している。

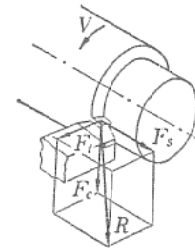
しかし大体今のところ次に示す値に落ちついている表3を参照されたい。

切削面積を  $A$  ( $\text{mm}^2$ ) とすれば、切削抵抗主分力  $F_c$  (kg) は

$$F_c(\text{kg}) = k_s(\text{kg}/\text{mm}^2) \times A(\text{mm}^2) \quad (7.26)$$

で計算される。

$k_s$  は比切削抵抗 (specific cutting force) とよばれ、被削材材質の固有の値である。しかし  $k_s$  の値は送りの値が小さくなれば、すなわち切削面積の厚さが薄くなれば、大きくなる。これは、寸法効果とよばれている現象である。 $k_s$  の値を、表3に示す。この表より、各種材料を切削するときの切削抵抗の概略値を知ることができる。なお、送り方向分力  $F_s$ 、背分力  $F_t$  はそれぞれ、 $F_c$  の値に0.3~0.5ぐらいの係数を乗じて求めることが多い。



$F_c$ : 主分力  $F_t$ : 背分力  
 $F_s$ : 送り分力

図13 一般に行われている旋削作業における切削抵抗

**刃先の強さ** 次にバイトを強くするには、すくい角を小さくして、できたら逃げ角も小さくして、刃物角を大きくすればよい。とくにすくい角を負にすれば一層丈夫になる(その形は前号に述べた)。

刃先を図14に示すようにすくい角を $0^\circ$ として逃角を $8^\circ$ としてまた、すくい面とシャンク

表3 比切削抵抗 ( $k_s$ )

単位 ( $\text{kg}/\text{mm}^2$ )

被削材	引張強さ または かたさ ( $\text{kg}/\text{mm}^2$ )	送り (mm/rev)			
		0.1	0.2	0.3	0.4
普通鋼	50<	360	260	190	136
	50~60	400	290	210	152
	60~70	420	300	220	156
	70~85	440	315	230	164
	85~100	460	330	240	172
鋳鋼	50~70	360	260	190	135
	>70	390	285	205	150
合金鋼	70~85	470	340	245	176
	85~100	500	360	360	185
	100~140	530	380	275	200
不銹鋼	60~70	520	375	270	192
マンガン鋼		660	480	350	252
鋳鉄	ブリネル <200	190	136	100	72
	" 200~250	290	203	150	108
合金鋳鉄	" 250~400	320	230	170	120
チル鋳物	ショア 65~90	360	260	190	126
黄銅	ブリネル 80~120	160	115	85	60
青銅		340	245	180	128
アルミ合金		140	100	70	52

注. 切削面積はほぼ切込×送り (t×s) に等しい。

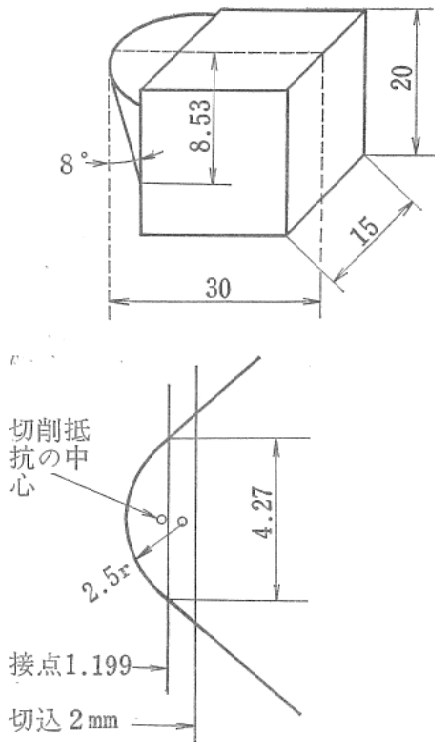


図14

上面の間に2mmの差をつけ刃先長10mmにわたり低いとしよう。

なお刃先のノーズ半径  $r=2.5\text{mm}$  切込  $t=2\text{mm}$  送り  $S=0.2\text{mm/rev}$  として被削材を引張強 $50\text{kg/mm}^2$ 以下にすると、比切削抵抗  $k_s$  は表から  $k_s=260\text{kg/mm}^2$  となる。

すると切削面積  $A=st=0.2 \times 2=0.4\text{mm}^2$  切削抵抗  $Ak_s=0.4 \times 260=104\text{kg}$ 、すると刃先にかかる曲げモーメント  $M=104 \times 29=301.6\text{kgcm}$  (工具を30mm出して抵抗は切込の中央にかかるとした) そして刃物台の所の面の断面係数  $Z=BH^2/6=1.5 \times 4/6=1\text{cm}^3$ 、曲げ応力  $\sigma_b=M/Z=301.6/1=301.6\text{kg/cm}^2$  で大丈夫である。

普通曲げ応用の許容値は  $500\sim 600\text{kg/cm}^2$  である。

なお、シャンク幅とノーズ半径とを直線で結び、丁度切込2mm位(正確には1.198725mm)のところで接するので、この面を危険と見てその面の応力を求める。

抵抗モーメント  $M=104 \times 0.198725=20.667\text{kgmm}$

そしてその点の刃先の幅は4.26925mm、また、前二番を  $8^\circ$  として、その点の刃先の厚さは  $1.19875/\tan 8^\circ=8.529375\text{mm}$

それで、その面の断面係数  $Z=\text{巾} \times \text{厚}^2/6=51.76\text{mm}^3$ 、曲げ応力  $\sigma_b=M/Z=20.667/51.76=41.08\text{kg/cm}^2$  これも大丈夫で刃先も欠損することはない。

**仕上面あらさ** ここでこの場合の仕上面あらさをチェックしてみる。

普通最大高さ  $R_{\text{max}}=S^2/8R$

$S$ は送り  $\text{mm/rev}$ 、 $R$ はノーズ半径  $\text{mm}$ 、

それで上例では

$$R_{\text{max}}=0.2 \times 0.2 / (8 \times 2.5) = 0.0020 = 2.0\mu$$

▽▽▽ 精密仕上 ( $1.5\sim 6S$ ) の範囲である。

**たわみ** 次にバイトのたわみを計算する。

切削抵抗  $104\text{kg}$ 、片持りとして刃物台から出ている長さ  $l=30\text{mm}$ 、(切削抵抗のかかる点からは  $29\text{mm}$ )、シャンクを幅15、厚さ20とすると、断面二次モーメント

$$I=BH^3/12=15 \times 20^3/12=10000\text{単位}$$

$E$ はシャンク材硬鋼の弾性係数  $22000\text{kg/mm}^2$

たわみ  $y=w l^3/3EI$

$$=104 \times 29 \times 29 \times 29 / (3 \times 22000 \times 10000)$$

$$=0.003843\text{mm}=3.843\mu$$

少し多いからシャンクを厚さだけ5mm増しして25mmにすると、断面二次モーメント  $I=19531$  となり、たわみ  $y=1.968\mu$  となる。

**振動数** 昔は最後の仕上げにヘールバイトを使い、仕上かんなで木材を薄いかんなくずを出すような仕上をした。今は振動切削などというてかなりの文献はある。

図14に示す刃先の振動数を計算する。すくい角を  $0^\circ$  として、主に刃先  $0.23''$  の長さが(重量で23%が正確)振動するとしよう。

$$\text{するとその質量 } m \text{ は } \frac{1.5 \times 1.8 \times 3 \times 0.23 \times 7.85}{980 \times 1000}$$

$$=1.49 \times 10^{-5}\text{kgcm 単位}$$

$$I=BH^3/12=1.5 \times 2 \times 2 \times 2/12=1$$

$$\text{はね定数 } K = \frac{3EI}{l^3} = \frac{3 \times 2200000 \times 1}{3 \times 3 \times 3} = 244444$$

$$\text{振動数 } f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{k/m} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\left( \frac{244444}{1.49 \times 10^{-5}} \right)}$$

$$=20385/\text{秒}$$

表面あらさには差しつかえがないとみる。

振動については非常によく原因についても防振についても研究が進んでいるが、古い1958年8月の Machinery (英) では振動の原因として

不つりある部品のあるとき	24%
すえつけの不完全	21%
軸受のガタ	12%
歯車のすき間	10%
摩耗による	10%
往復部品の運動	6%
衝撃力による	5%
モータの回転ムラ	4%
その他	8%

としてある。

外にもバイトの出し過ぎ、低過ぎなど色々ある。

### 精度の上昇

温故もこれ位にして、知新の方は見本市や型録におまかせずとして図15<sup>8)</sup>に示すのは、加工仕上面精度の変せんを示すものである。

### 自動組立の例

図16に示すような球入軸受の自動組立<sup>18)</sup>を堺市で見学したのは已に古い。

内外輪のみぞ径を自動的に測定し、その結果

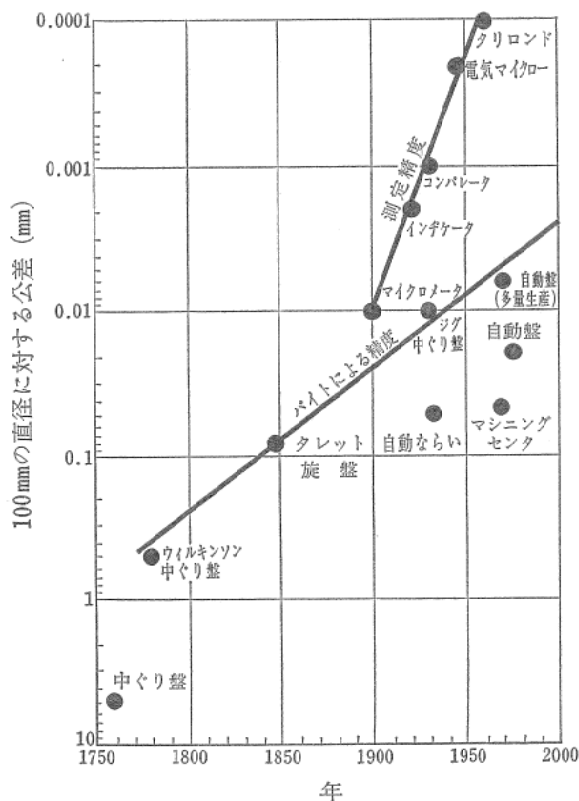


図15 切削工具による加工の仕上精度の変せん (直径100mmを加工する場合)

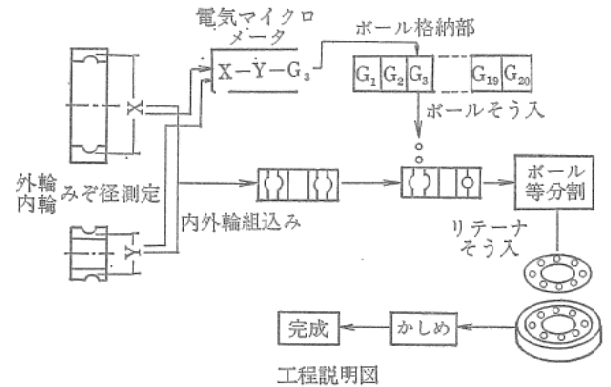


図16

から適当な径のボール (すでに  $1\mu$  の幅で20の級に自動選別されている) を選択組合わせて、さらに自動組立完成品の自動検査まで行なう。

図17に示すは筆者が堺市生産技術委員会報告第16号<sup>19)</sup>に出した自動化促進特集 (その2) の一頁である。

### 生産工程の将来システム

1969年の国際生産加工会議で IMS (integrated) 集積製造システム という言葉を定義して

製品の性能とその他の概要を入れると十分実用に供しうる製品が出てくる。

その構成要素は

- ① システム的設計 製造システム全体を見通した企画により、工程設計が行われ企画目的を明確に表現すること。
- ② 生産計画 設計、製造、販売のサイクルを通じて調和のとれた計画であること。
- ③ 生産管理 ムダ、ムラ、ムリのない管理であって順調な生産が行われること。
- ④ 生産設備 斬新な設計による、必要にして十分なる設備であること。
- ⑤ 機能、精度の信頼性が十分で、経済的にも合理化された条件そして標準化されたものであることが望ましい。

これらは融通性のある自動化、最適化を目標としたシステムであり、これらのシステムを自由自在に処理するのはコンピュータテクノロジーである。

図17にその骨組を示す。

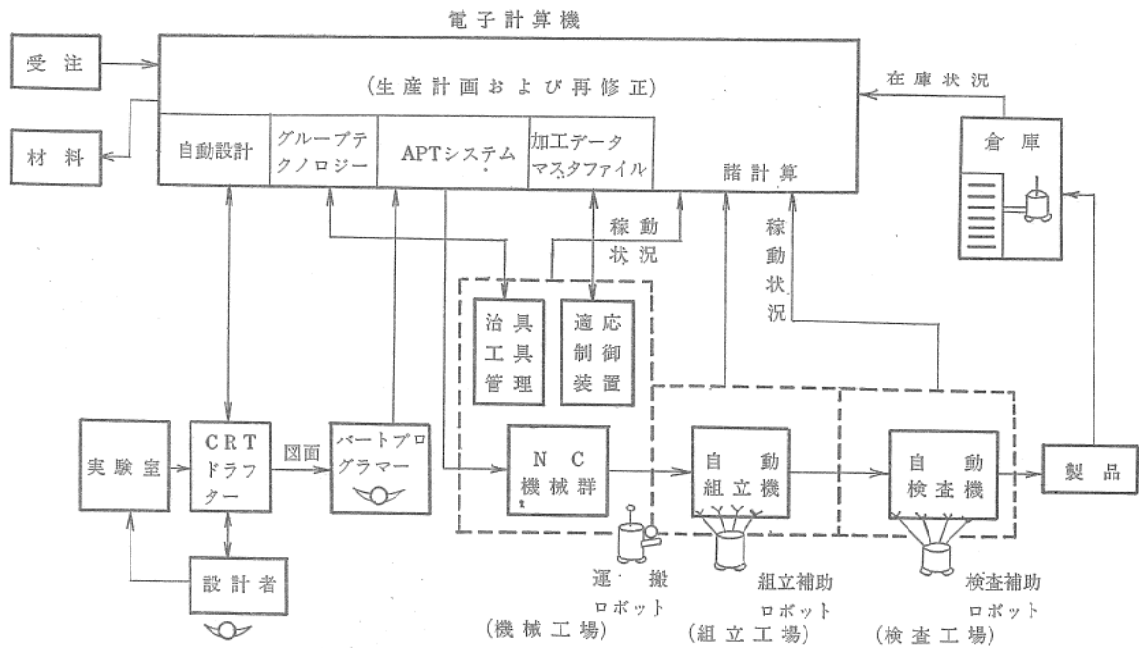


図17 生産工程の将来システム

注. 適応制御装置, 最良条件をセットしておけば自動的にその条件とあうように制御される.

CRT ブラウン管

APT NC用自動プログラミング方式

グループテクノロジー 多種少量生産を設計にまでさかのぼって形状をかえ, 中種中量生産に持ち込む手法である.

文 献

(1) Lineham Text Book of Mech. Eng (1895)

(2) D. A. Low Pocket Book of Mech. Eng (1898)  
市川忠一, 袖珍機械工学便覧 (明41, 1908)  
(3) 田中義信, 津和秀夫, 精密工作法 (上) (昭30, 1955)  
(4) 生田稔郎, ガスの吹付を仕上面 (精機昭38, 11月, 1963)  
(5) Rosenhein & Sturney 機械製作法図集II (昭26, '51)  
(6) 海老原敬吉, 益子正巳, マシナリー臨時増刊 (昭25, 1950)  
(7) Den Hartog 機械振動論 (昭11, 1936)  
(8) 橋本文雄, 躍進する今日の工作機械 (昭49)