

温故知新(上)

横山 武人*

私は大正4年(1915)に米沢の工業学校機械科を卒業した。その時の級友は18名だった。各人から会費15銭(0.15円)を集めて謝恩会をした。機械科の先生3人, 実習(木, 鋳, 鍛, 手仕, 機)の先生5人をお招きした。

そのとき土田科長は「君等の学問はこれで十分だから, この上は就職したら十分腕を磨きなさい」と訓示せられた。

その頃は「大学出を傭入れたら 会社が潰れる」と言うた時代だと思ふ。

その時分の授業は毎日午前4時間は学科, 午後3時間は土曜日も学習であった。そして鋳物と機械仕上の実習の先生は何んでも呉の海軍工廠の職工養成所出身という噂で, 後年日本製鋼所の室蘭工場で旋盤の若狭さんに大阪機工の大阪工場で鋳物の増本さんにお目にかかった。

私は3年間寮生活をしましたが毎週土曜日の夜の茶菓袋は5銭, 月謝70銭, 旅学旅行費積立30銭で卒業して国鉄に就職すると日給35銭であった。

寮費は月4~5円で, 学生が献立を作り一汁一菜でしたが, 毎週1回は米沢牛肉の焚合せがあり, その頃の小使(使丁, 今は用務員)に「牛肉などを喰ったら1週間は寒くないだろう」とからかわれた。

小遣銭として毎週金曜日に捺印の上50銭を舎監から戴だいた。

そして私は1番で卒業して, 県から銀時計とLow¹⁾のポケットブックの翻訳書: 市川忠一訳(5版)機械工学便覧²⁾(定価3円)を戴だいた。

そこでその原本のLowの機械仕上げの中か

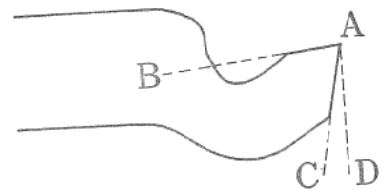


図1

ら抜萃する。

削截工具の角度(漢字は翻訳書による)
 間隙角 CAD 3°~5° 時に10°
 刃先角(工具角)BAC 60°~70° 鋳鉄, 鍛鉄
 80° 青銅
 20°~50° 木工

削截角 すなわち

スクイ角は上記の値から $90^\circ - BAD = 90^\circ - BAC - CAD$

鋳鉄, 鍛鋼 27°~15° 時に10°
 青銅 7°~5°
 木工 67°~35°

切削速度 鋳鉄, 鋼 10~20 fpm
 (3.045~6.09 m/mn)
 鍛鉄 15~25 fpm
 (4.57~7.62 m/mn)
 黄銅, 青銅 20~40 fpm
 (6.09~12.18 m/mn)

注: この本の出版は明治41年(1908)で, すでに高速度鋼が1906年に完成されていると思うが, この本の原本 Low ポケットブックの序文は1998年1月に書かれ, かつ市川氏に対する翻訳許可は1905年10月で未だハイスのない時代の書で, 上記のデータは炭素工具鋼製工具を使用する場合と考える。

この切削速度を旋盤士の妻君がクランクを回わしギアを経, 被削物を回わすとすると

* 横山武人(Taketo YOKOYAMA), 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. S. C. (Wales) 技術士, 機械製作

クランク半径 35cm, 毎分4回 として1馬力の $\frac{1}{3}$ が実在の馬の馬力で 妻君はその $\frac{1}{6}$, 効率75%とすると 切削力Fは

$$75 \times 60 \times \frac{1}{3} \times \frac{1}{6} \times 0.75 = 2\pi \times 0.35 \times 4F$$

$$F = 12.78 \text{ kg}$$

$$\text{切削速度 } 2\pi \times 0.35 \times 4 = 8.8 \text{ m/分}$$

これをギアでスピードアップすれば, 切削力は減る, それであんまり深い切り込みや, 送りをかけると旋盤は止ったらしい.

それから動力掛けとなり, モータから主軸カウンタシャフト次に直結となった. その上, この頃は1本のテープで数台を動かす, しかも工具は連動で, そして製品は所要の形に切削される.

その後のスピードアップについて, 津和先生の著書³⁾ 機械加工学から引用する.

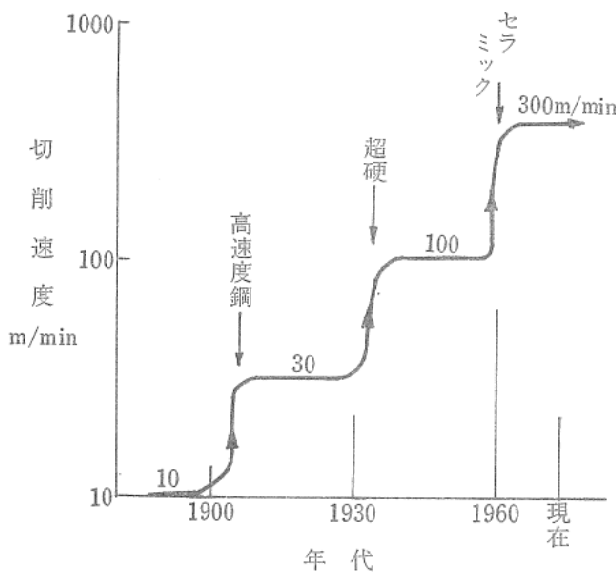


図2 切削速度の推移

図2 に工具材料の進歩と切削速度上昇の概略値を示す. 1900年代に 高速度鋼が発明されて, 一挙に切削速度は3倍に, 1930年代には超硬によってまた3倍に, そして60代にはセラミック工具によってさらに3倍と, 30年毎に3倍づつという段階的で急激な切削速度の増加を遂げた.

こうした切削速度の増大は高速工作機械の実現となって生産性増大に直接貢献したが, そこには工作機械要素の発達が後盾となっていた. 高速化による単純な生産性増大は, 自動工作機

械の発展を促進したが, その際には快削材料の発展が大きな影響を与えたことを忘れることはできない. 自動化の流れは制御技術の発展と相まって数値制御工作機となり, さらには切削技術と結び付いて適応制御へと発展している. これらの関係を図3に示す.

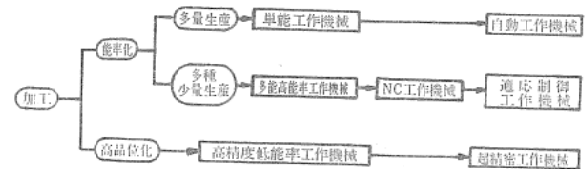


図3 加工と工作機械の流れ

以上は専ら生産性を目指しての発達過程であるが, もう一方の柱として, 加工精度向上の歴史がある. 加工精度の追求技術は, その本質上, 生産性追求のように華々しくはないが, 地道な技術的蓄積がなされてきた. 高精度を目指すときは, 切削その他の精密加工法があるので, 切削による精度追求は, 専ら特殊の場合に限られる. すなわち研削の困難な軟質材の加工である.

工具としてダイヤモンドバイトが実用されたことが, 加工精度向上にとって大きな変革をもたらせた. その剣バイトによる高速微細送りは精密旋削および精密中ぐりとして, 精密工作機械の実現と相まって, 新境地を開拓した. 最近では, ダイヤモンドバイト刃先稜を特殊技術によって鋭どく研ぎ上げ特殊設計の精密機械による低速切削に応用して, 1μ 以下の精度を達成する超精密加工技術も出現している. 要するに刃物による加工精度向上技術には, 工具と工作機械の適したものをを用い, 低速の微小切削をすることが本質的要件である.

切削速度上昇の過程

こういうふうに切削速度の上昇は, 工具材質はむろん工作機械の構造, かつ被削材の適性化によるところが大きいことは, 津和先生が指摘された通りであるが, この切削速度に関して考慮すべき項目を大方入れた式を紹介する.

米国機械学会⁴⁾の実験式である.

$$v_T = \frac{k_t, k_h, k_d, k_m, k_f, k_r, k_c}{\sigma^a L^b T^n}$$

$v_T = T$ 分の寿命を与える切削速度
(ft/min)

δ, L 図4参照 (平均切くず厚さ, 切刃長 inch) $\delta = ts/L$

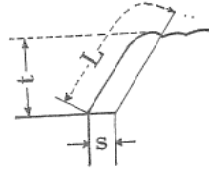


図4

- a, b, n 定数
- k_t 工具の材質による定数
- k_n, k_a 高速度鋼の焼入れ, 焼戻し温度による定数
- k_m 被削材の種類による定数
- k_f 切削剤の影響を表わす定数
- k_r すくい角の影響を表わす定数
- k_c 切削の形式による定数

具体的な数値については, 橋本, 朝倉⁵⁾の機械工作法Ⅱ 表7.8 バイト寿命方程式を引用する.

工具の形たとえば P10(0, 10, 6, 6, 15, 0.7)の P10 は衆知の通り, 超硬合金の P10 種そして, カッコでくくった数字は角度で, 前すくい角, 横すくい角, 前2番, 横2番, 前切刃角, 横切刃角, ノーズ半径 (mm) を示す (図5参照)

また $V_{60} : V_{240} : V_{480} = 1 : 0.79 : 0.7$ (鋼) なお鋳鉄には $1 : 0.67 : 0.57$ にとる⁶⁾.

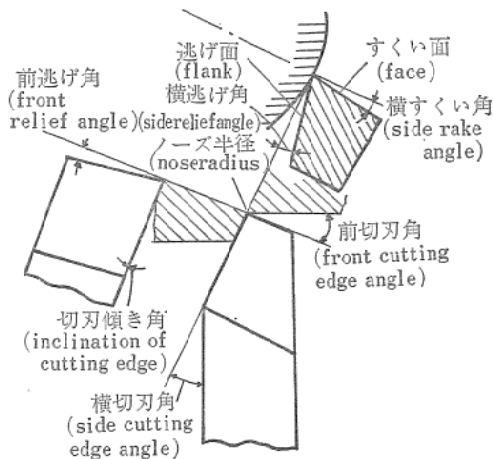


図5 バイト各部の名称

工具の寿命を示す, フランク摩耗やクレータ摩耗を図6に示す.

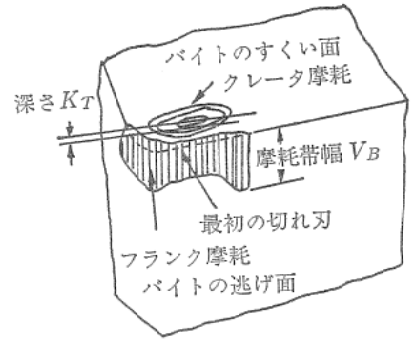


図6 工具の摩耗

バイトの寿命式の使用例

今, 送り 0.22mm/rev でバイト P10 を使って S15C (焼なまし) を切削する. そして寿命 240 分にしようとするれば, そしてフランク摩耗 0.6 mm の寿命とするには $TV_{60} = 325$ の $325 \times 0.79 = 257$

または直接 $VT^{0.18} = 680$ $V_{240}^{0.18} = 680$ から $V = 254$ を出してもよい.

注: 送り S は上式で, 直接寿命には関係がないが, 仕上角アラサには山の高さ $h = S^2/8R$ として出てくる, R はバイトのノーズ半径である.

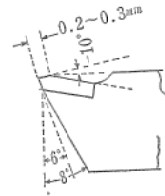


図7

しかるに今日の工具は超硬合金⁷⁾の付刃バイトにして図7のように -10° 位の負のすくい角にする, アメリカでは装甲板 (Mn鋼) 加工用バイトに -45° という文献⁸⁾がある.

表1 バイト角度表示法

切刃傾き角	0, 6, 6, 6, 15, 15, 0.8
横すくい角	
前逃げ角	
横逃げ角	
前切刃角	
横切刃角	
ノーズ半径	

表7.8 バイト寿命方程式 (工業技術院機械技術研究所資料より)

被削材	引張強さ かたさ	フランク摩耗 寿命判定基準 $V_B=0.6$		すくい面摩耗 寿命判定基準 $K_T=0.05$		切削工具および形状	送り (mm/rev.)
		寿命方程式	rV_{60}	寿命方程式	cV_{60}		
S15C 焼なまし	H _B 113	$VT^{0.18}=680$	325	$VT^{0.14}=590$	342	P10(0, 10, 6, 6, 15, 15, 0.7)	0.22
S25C 焼なまし	53.3kg/mm ² H _B 149	$VT^{0.15}=678$	360	$VT^{0.17}=550$	280	P05(0, 10, 6, 6, 15, 15, 0.7)	0.20
S35C 焼なまし	58.4kg/mm ² H _B 153	$VT^{0.18}=470$	233	$VT^{0.18}=395$	189	P05(0, 5, 6, 6, 15, 15, 0.7)	0.20
S45C 焼なまし	64.5kg/mm ² H _B 176	$VT^{0.16}=405$	218	$VT^{0.19}=392$	185	P05(0, 5, 6, 6, 15, 15, 0.7)	0.20
S55C 焼なまし	65.1kg/mm ² H _B 183	$VT^{0.20}=400$	179	$VT^{0.20}=353$	155	P05(0, 5, 6, 6, 15, 15, 0.7)	0.20
SC46 焼なまし	53.9kg/mm ² H _B 150	$VT^{0.18}=554$	265	$VT^{0.16}=497$	258	P10(0, 6, 6, 6, 15, 15, 0.7)	0.20
SCMnHz 焼なまし	75kg/mm ² H _B 203	$VT^{0.27}=110$	36	$VT^{0.26}=100$	34	M10(0, 0, 6, 6, 15, 15, 0.5)	0.20
SUS22B 焼なまし	H _B 164	$VT^{0.13}=479$	280	$VT^{0.19}=580$	265	P10(0, 10, 6, 6, 15, 15, 0.5)	0.17
SUS27B 焼なまし	55.4kg/mm ² H _B 137	$VT^{0.21}=320$	124	$VT^{0.26}=370$	109	P20(0, 10, 6, 6, 15, 15, 0.5)	0.17
SCM3 焼入れ焼戻し	102.9kg/mm ² H _B 285	$VT^{0.28}=202$ ($V_B=0.5$)	136	$VT^{0.30}=350$ ($K_T=0.06$)	120	P10(0, 5, 6, 6, 15, 15, 0.5)	0.20
SNCM8 焼入れ焼戻し	106.8kg/mm ² H _B 321	$VT^{0.23}=262$	103	$VT^{0.24}=210$	79	P20(0, 0, 6, 6, 15, 6, 0.5)	0.20
SF45 焼なまし	46.8kg/mm ² H _B 126	—	—	$VT^{0.23}=595$	230	P10(0, 10, 6, 6, 15, 15, 0.5)	0.20
FC30	35.3kg/mm ² H _B 229	$VT^{0.18}=162$	74	$VT^{0.21}=181$	77	K20(0, 10, 6, 6, 15, 15, 0.5)	0.20
チルドロール 鋳鉄	H _s 70.8 (H _v 558)	$VT^{0.16}=22$	12	$VT^{0.13}=23$	14	K01(0, 0, 6, 6, 15, 15, 0.5)	0.20

(備考) rV_{60} , cV_{60} はそれぞれバイト寿命60分のときの切削速度の値を示す。

負のすくい角については、機械製作³⁾に強い鋼や鋳鋼、不銹鋼につき -4° , -6° , -8° , 時に調質鋼には -15° も見える。

なお市川氏は Low のデータが古いと思うたのか、あるいは高速度鋼の開発を聞いておられたでしょうか、次のデータを追加しておく。

これらの角度は物体の種類により異なり、ま

た同種の物と言えども工場または切截者により多少の相違あり、質の硬軟、工具の良否、熱処理の適否にまた切截(切り込み)の深淺にもよる。そしてハート氏は

第1表は工具を推進するに最も少なき力を要する所謂切削抵抗の最も少なき角度、第2表は少しく刃先を丈夫にして寿命を長くする。

第1表 抵抗少ない角

材質	削 截 物		
	鋳鉄	鍛鉄	黄銅
削 截 角	54	55	66
間 隙 角	3	4	3
工 具 角	51	51	63
ス ク イ 角	36	35	24

第2表 工具が丈夫である

材質	削 截 物		
	鋳鉄	鍛鉄	黄銅
削 截 角	70	65	80
間 隙 角	3	4	3
工 具 角	67	61	77
ス ク イ 角	20	25	10

注: スクイ角(90-削截角)また削截角また削截角=間隙角+工具角で筆者の計算である。

そして最近は次のようにまあ落ちついている。

(次号つづく)

表7.6 バイト形状の標準値

加工物材料	高速度鋼バイト				超硬バイト			
	前逃げ角 θ_e	横逃げ角 θ_s	平行すく い角 ab'	垂直横す くい角 an	前逃げ角 θ_e	横逃げ角 θ_s	平行すく い角 ab'	垂直横す くい角 an
铸铁	8	10	5	12	4~6	4~6	0~6	0~10
鉄(硬) 鉄(軟)	8	10	5	12	4~10	4~10	0~6	0~10
可鍛铸铁	8	8	0	10	4~8	4~8	0~6	0~10
炭素鋼(硬)	8	10	8~12	12~14	5~10	5~10	0~10	-5~10
炭素鋼(軟)	8	12	12~15	14~22	6~12	6~12	0~15	-5~10
快削鋼	8	12	12~15	18~22	6~12	6~12	0~15	8~15
合金鋼(硬)	8	10	8~10	12~14	5~10	5~10	0	-5~5
合金鋼(軟)	8	10	10~12	12~14	6~12	6~12	0	-5~10
青銅, 黄銅(硬)	8	10	0	0~10	4~6	4~6	0~5	4~8
青銅, 黄銅(軟)	8	10	0	0~5	6~8	6~8	0~10	4~16
銅	12	14	15	20	7~10	7~10	6~10	15~25
アルミニウム	8	12	35	15	6~10	6~10	5~15	8~15
プラスチック	8~10	12~15	-5~15	0~10	6~10	6~10	0~10	8~15

参考文献

- 1) D. A Low Pocket-Book for M. E. (明治31) 1998年
- 2) 市川忠一 機械工学便覧 明治41(1908)版
- 3) 津和秀夫 機械加工学 養賢堂 昭38
- 4) Tool Engineers H. B. (1974)
- 5) 橋本文雄・朝倉健二 機械工作法II 共立出版 KK (1950)
- 6) 佐々木外喜雄外 新編機械製作 養賢堂 (1935)
- 7) クルップ工場 Wi(e)dia(mont) 大正15(1926)
- 8) Parsons Tools, Jigs & Fixtures. (1965)