

ハンドラップ技術の新展開

湿式ラップから乾式ラップへ

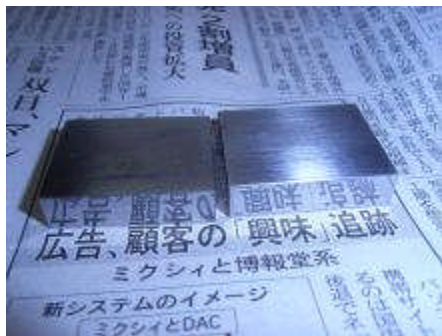
三輪測範製作所

【1】 はじめに

ゲージ屋の仕事というのは、ゲージの寸法精度がきちんと実現できるかどうかはその技倆がかかっているわけですが、そのためには、ゲージの測定面がきちんと仕立て上げられているかどうか問われます。

ゲージ測定面の仕立て上げには、①面粗度については、ラップ工具を用いてラップ作業をする場合に採用する砥粒粒度で決まりますし、②平面度については、通常は、オプチカル・フラットで検証します。

きちんとゲージ面が仕立て上げられているか否かは、ブロックゲージの表面と接着させてみれば簡単に分かることですから、昔から、ブロックゲージとリングングさせてみるということが試みられてきました。測定機にあてがってみるとかどうかの検証方法がなくてもブロックゲージだけで検証可能なものですから、最も簡便で確実な検証方法と言えるわけです。



ラップ・サンプルを作成しました。

材質は、SK3（日立金属（株）：YCS3）／8T。

ラップ粒度は#8000。但し、乾式ラップです。

ほぼ鏡面仕上げと言えるレベルに仕上がります。



サンプル相互をリングングさせてみます。

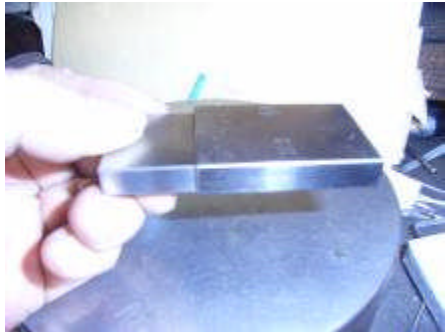
接着面積が小さくても、良くリングングしています。



比較的小さな寸法のブロックゲージをサンプルの間に挟み込みます。

つまり、いわゆる「3面合わせ」ですから、平面度の検証が保証されます。

これ位の3個組み合わせでは、ばらけません。



50mmのブロックゲージとリングさせた場合、水平においてもばらけません。

それだけのリング強さを発揮しています。



75mmのブロックゲージの場合。

さすがに、水平にすればばらけます。

写真のような持ち方をすれば大丈夫です。



100mmのブロックゲージの場合。

ここまで来ると、ふとした拍子にばらけます。

もう少し仕上げを頑張らないといけません。

現在使用しているオプティカルフラットは $0.1\mu\text{m}$ の平面度のものですが、これで光筋が出ないところまでラップ・サンプルを仕上げても、 $0.01\mu\text{m}$ レベルでの精度検証は不可能ですから、仕上げレベルとしては、以上のようなことがハンドラップでの検証の限界を示唆しています。

ところが他方、JIS 1級のブロックゲージの寸法精度がほぼ $\pm 0.2\mu\text{m}$ であると言えますから、製作すべきゲージの平面度並びに平行度・寸法精度)は、ブロックゲージの寸法精度・平面度・平行度をよく反映し得

るものだと言えることとなります。

さて、「ブロックゲージの面とリングングするゲージ仕上げ面の実現」は、長い間、ゲージ屋の到達すべき目標でしたが、この「リングング」という現象については諸説ありました。

一つは、大気圧の作用であろうと見る説。

これは、かつてヨハンソン社のブロックゲージのリングング力が強く、1セットのブロックゲージを全部リングングさせて1本の棒状にしても、容易にはばらけなかったということからの見方で、ブロックゲージの面がごく僅かに凹面になっているのではないかと考えられたためでした。しかしながら、ごく僅かに凹面になっているのかどうかは確認されないわけでしたから、単なる憶測でしかありませんでした。

二つには、リングングするべき2面間に何らかの力（分子間引力」と仮称されていました）が働いているという見方です。

ブロックゲージの仕上がり面はナノ・レベルの凹凸があるわけなのですが、何らかの重力効果があるのか、電子共有に依るような力が働くのか、いずれにしろ、現時点では証明できるような話ではなさそうです。

三つには、リングング面に介在する「油膜」の効果だと見る説。

一般的にはこの説明で割り切られていますが、ブロックゲージ面の平面度がよく仕立てられていないと、その油膜による接着の効果も発揮されないわけですから、結局、リングングとは、リングングさせるべき2つの面のそれぞれの平面度の問題であるという、問いを持って問いに答える結果となります。

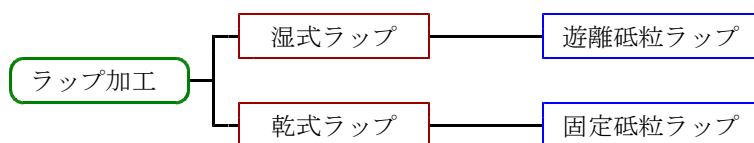
結局は、この問題は、どの程度に平面が仕立て上げられればリングングの現象が生じるかを、仕上がり各段階をトレースしていきつつ検証していくということが必要になり、この点はハンドラップという技法に基づかないとできないこととなります。なぜなら、ハンドラップ技法に夜と、ワーク面の任意の場所に対して任意な加工（ラップ）が可能であり、また、ワーク面を凹面に仕立てるということも可能ですから、さまざまな平面を創り出すことができるからです。このことは機械ラップでは実現できません。

ハンドラップ技術というのは、手作業に基づいて、ワークに対して「平面を創り上げる技術である」ということ、その平面が創られるのと同様並行的に対向2面間の「寸法平行度」が創り上げられていく技術・技能であると言えます。

もちろん、ゲージ、特にハサミゲージの製作に固有な技術・技能とされてきたわけでしたが、現在では、必ずしもゲージ製作にのみ局限されるものではなくなってきていると考えています。

【1】 湿式ラップと乾式ラップという区分

一般的には、教科書等での説明では、下図のように分別されている。



遊離砥粒ラップというのは、ラップ工具面上にラップ砥粒とラップ油の混和したものを展開させ、一定の加圧力の下でラップ作業を行うものです。この場合のラップ作業の研磨力というのは、砥粒が破碎されるこ

とによって新しい切り羽が自生してくるからという説明がなされています。

他方、固定砥粒ラップというのは、文字通り、固定された砥粒の研磨力を利用するものなのですが、その砥粒が破砕されて新しい切り羽が生じるとはいえ、その段階では固定された砥粒の先端が磨滅するわけですから、研磨力は直ぐに劣化します。

この二種類の分別は、研磨砥粒の利用の仕方による分別だということができそうなのですが、原理的に考えれば、遊離砥粒ラップの場合、ただ研磨砥粒がころころと転動すれば研磨力が発揮されるというわけではありませんから、ラップ砥粒がラップ工具面上で固定されることによってその研磨力が発揮されると見ないといけなんでしょう。

つまり、ラップという作業が成り立つのは固定砥粒の効用であるわけであって、従って、この二方式の間に原理的な違いはないわけです。

ラップ工具として「鋳物」が採用されるのは、その研磨砥粒を表面に固定させるだけの凹凸が上手く形成できるからであって、この点を踏まえると、ラップ工具として何も「鋳物」のみに固執すべき理由はありません。

ハンドラップの世界では、#3000程度のWA砥粒を用いての鋳物製ラップ工具というものが一般的ですが、この場合、鋳物製ラップ工具で#6000WA砥粒を使うことは著しく困難です。ラップ工具面が直接ワーク面と接触してしまうからで、つまり、鋳物の表面には#6000砥粒を固定してその研磨力を発揮させるだけの凹凸は形成できず、もっと大きな凹凸になるということを示唆しています。

従って、ラップ工具にどのような材質が採用可能かと考えると、#6000砥粒を使いたい場合には、あるいは、#20000砥粒を使いたい場合には、それぞれの粒径の砥粒を表面に上手く固定できるだけの凹凸を形成できる材質を選択すれば良いだけのことになります。

湿式ラップ（遊離砥粒ラップ）という技法は、SK5/SK4/SK3/SKS3/SKS2といった従前からの工具鋼に対応したものだったとすることができます。

WA砥粒やGC砥粒を使っている限りでは問題点が顕在化してきませんが、ダイス鋼に対してはほとんどラップ力がありませんから、湿式ラップという技法ではダイス鋼に対応できません。

因みに、WA砥粒を用いてダイス鋼製ワーク面をラップしようとする、と、不可避免的にピンホールが発生してきます。このピンホールの由来を上手く説明することはできませんが、例えば、WA砥粒の研磨力がダイス鋼に対しては決定的に不足しているからと考えて、cBN砥粒とかダイヤモンド砥粒とかを使えばどうなるかを検証することは、一度はやってみる意味はあるでしょう。

なお、ダイヤモンド砥粒を用いての湿式ラップ（遊離砥粒ラップ）について若干説明を加えておきます。

一般的には、3 μ m粒径のものが採用されており、また、その粒径のものが《限界である》とされているようです。これは、鋳物製のラップ工具を使用している場合での限界であって、鋳物製ということから離れれば限界ではなくなります。0.5 μ mどころか0.1 μ m粒径のものまでラップ砥粒として活用できるわけで、市販のダイヤモンド砥粒は総てハンドラップのラップ砥粒として活用可能になります。

一般的に、ラップ盤での機械ラップの世界では1 μ m粒径のものが限度とされているようですが、この点はラップ盤の機械的なメカニズムの問題の反映であるようで、ハンドラップでは何ら制約条件にはなりません。

0.5 μ m粒径でのハンドラップで実現できる面粗度（ワークの表面凹凸）は10nm以下になります。

機械ラップの世界でダイヤモンド砥粒が採用される場合というのは、教科書等でよく説明されているよう

に、いわゆる「ポリッシュ工程」に該当します。下地処理として遊離砥粒ラップがなされる場合、そのワーク表面は梨地に仕上がってそこにとどまりますから、それを鏡面に仕上げるために微細なダイヤモンド砥粒で磨き上げるということなのです。

ダイヤモンド砥粒の「硬さ」と「粒度」によってワーク表面の超微細加工による鏡面での仕上がりが実現するというわけなのですが、この場合、ダイヤモンド砥粒が固着したラップ工具表面をワーク表面上で滑らせる、言い換えれば、ほとんど加圧力を負荷しないという方法のようです。

ダイヤモンド砥粒の働きとしてワーク表面の凹凸は消去することができますが、そこから更に1 μm 削り込もうとする場合にはかなりな加圧力の負荷が必要になります。この加圧力の行使ということが、ハンドラップでは難しいわけです。

つまり、ハンドラップでのダイヤモンド砥粒の活用という場合、仕上げるべきワーク表面の下地の凹凸を消去して、その使用されているダイヤモンド砥粒の粒度に応じた面粗度まで磨くという手順になるわけですが、その下地の面粗度が粗い場合、その傷痕をダイヤモンド砥粒でのラップで消去することが困難ですから、その下地の傷痕がいつまでも残ります。そういう仕上がり面になるわけです。

それを解決しようとする場合、ワークの下地加工の段階でできるだけ精密微細な面に仕立て上げることが必要になるわけですが、それができるならば、ダイヤモンド砥粒でのラップで仕上げなければならないという理由がなくなります。

ワーク表面を鏡面にするということは、そのラップ痕を消去するという作業になるわけですが、その作業の主旨は、ラップ砥粒を可能な限り微細なものとすることによってそのラップ痕を視認できなくなるようにするということです。

遊離砥粒ラップの場合、どうしてもその採用粒度に相即したラップ痕というものは回避できませんから、ラップ痕を生じ難くするために、加圧力を負荷しないでワーク表面を滑らせるというような技法に帰結します。ただ、容易に推測できるように、このことは最終的な「磨き上げ」という意味になりますから、最終的に磨き上げられた二面間の寸法というものは、事前には定義できません。

【2】 乾式ラップの利点

ダイヤモンド砥粒を使用しての湿式ラップの場合、遊離砥粒として完全に払拭できれば良いのですが、幾分かでも残存した場合、ブロックゲージを酷く損耗させます。超硬製の保護ブロックゲージを使用していたとしても、ダイヤモンドの硬度に対しては超硬製と言っても耐久力は十分に発揮されず、確実に損耗していきます。従って、ハサミゲージの製作に際して、ダイヤモンド砥粒の採用というのは、別にブロックゲージの損耗具合をコントロールする、つまり、損耗状況を検証していく手順が伴わないと、実務的にはまともな寸法精度が出ていないという事態に陥ります。

そのような事態を回避する、ブロックゲージの損耗を抑制するということはできないことから、ダイヤモンド砥粒を採用しての湿式ラップ（遊離砥粒ラップ）の方法というのはハサミゲージ製作においては採用すべきではないと言えるわけです。

ダイヤモンド砥粒の採用に傾斜するのは、その仕上がり面の「光輝性」が隊やモンドの硬度に基づいて実現され、「鏡面仕上げになる」という利点が評価されてのことなのですが、そうではなくて、ワーク表面を一層微細にラップすることによって鏡面が実現されるという道を志向すべきことで、そのことによってブロックゲージの損耗を回避できるわけです。

「乾式ラップ」の「乾式」とは、遊離砥粒ラップでの場合のようなラップ油の使用をしないという意味であって、「乾式ラップと言っても油を使っているのではないか」という意見がありますが、そういう主旨のことではありません。

乾式ラップの利点は、遊離砥粒ラップの場合でのようなブロックゲージの損耗は抑止されるという点が最も大きいですが、それに付け加えれば、粒径の異なる砥粒が混和するということがありませんから仕上がり面粗度が一定する、ラップ工具面上での研磨力の不均等・偏在ということがありませんからラップ効率が優れている、鏡面の実現が容易である、といったことが指摘できます。

特に、焼き入れダイス鋼の表面ラップに際してピンホールが全く生じないということは、顕著な利点になります。言い換えれば、ダイス鋼製ハサミゲージの製作に際しては、乾式ラップの技術・技能の適用以外には製作技術は成り立たないと言って良いわけです。

更に付け加えれば、SK(S)材製ゲージとダイス鋼製ゲージと、ともに乾式ラップで製作できるということであれば、実は、「乾式ラップという技法がハサミゲージ製作の一般技法になる」という意味になります。

そもそもが、ラップ砥粒+鋳物製ラップ工具+ラップ油という構成のものがハサミゲージ製作の独自技術・技能とされてきたわけでしたが、それはSK(S)材に対する限られた範囲・対象の世界でのみ通用するものであって、ダイス鋼に対してはほとんど無効なものでしたから、その評価は改められないといけません。

乾式ラップの技術・技法というのはいわゆる「砥石ラップ」のことですから、その「砥石」の効用のみに技術・技能が集中されれば良いということになりますから、ハサミゲージ製作技術それ自体が非常に簡単・簡明なものになるということも、併せて指摘しておかないといけません。

つまり、湿式ラップの場合、ワークとラップ工具の間に砥粒を含んだ油層が介在しているために、ラップ工具のオペレーションがそのままワーク表面に反映されるということが難しく、そのためかなりの熟練を要する作業でありました。

それに対して乾式ラップの場合、ラップ工具となる砥石それ自体がワーク面に対して直接的に作用するわけですから、工具のオペレーションがそのままワーク面に反映されていくわけです。

固定砥粒ラップで問題にされるのが、ラップ滓の除却という問題です。

ハンドラップでの場合は単純にラップ滓を払拭するというだけで簡単に解決できるわけですが、機械ラップの場合、あるいは、より一般的には機械上での砥石での研削作業においては、研削滓・ラップ滓の除却という問題はかなり深刻な問題としてさまざまな解決策が模索されています。

従って、ラップ滓の除却がそもそも問題にはならないという点が、ハンドラップの世界での独自の優位性になるのではないかと考えたりしています。

ハンドラップの場合、ラップ工具面上に固着するラップ滓というものが、実は、砥石砥粒のワークに対する切り込みを浅くするものです。従って、ラップ作業の進行に相即して、当初は切り込みが深くてラップ効率が高く、次第に切り込みが浅くなって自ずと超微細加工になっていく、という次第です。

鏡面ラップというものが、ラップ痕が視認できないような超微細加工の結果という理解に基づけば、より微細な砥粒の採用が求められるという筋道になりますが、従って、#6000よりは#10000、#10000よりか#20000という具合にどんどん微細なものに進んでいくわけですが、実はそうではないのではないかと考えられます。

#20000では当然にワーク表面は鏡面になりますが、同じレベルの鏡面は#6000で実現可能なの

です。つまり、#6000によるラップ作業で発生したラップ滓が工具表面に固着するわけですが、そのラップ滓が今度はラップ砥粒としてワーク表面に作用するわけで、例えば、ダイス鋼の表面を微細なダイス鋼粒子でラップする、共擦り状態にするということです。相互に潰し合いをすることになりますから、当然ラップ痕は生じません。ハンドラップでの鏡面実現には、こういうメカニズムも成り立つわけです。

もともと、#20000でのラップの場合、ラップ痕自体もごく微細なものとなり、併せてラップ滓も一層微細なものとなりますから、#6000の場合に比べても鏡面はごく簡単に実現されることは自明なことで、従って、一層微細な砥石の活用を図るということは大切な試みになります。

【結論】

遊離砥粒ラップ(SKS3/SK3)

砥粒粒度	採用砥粒	ラップ工具	注 記
～#4000	WA	鋳物	標準
#6000～#8000	GC	鋳物以外	WAでは研磨力が発揮されがたい。 GC#8000がもっともラップ結果が良好
#10000～#30000	GC	鋳物以外	粒度に応じたラップ面が作れる

(注) 鋳物製ラップ工具を使用する場合、WA/GC砥粒で#6000程度が「しきい値」になり、それ以上に微細な砥粒粒度に対してはほとんど有効性を発揮しません。
また、#6000～#20000が有効なラップ工具が確立できたとしても、それがまた#30000では有効性を持ちません。つまり、湿式・遊離砥粒ラップというのは、その採用粒径に応じて、働き方の原理がかなり複雑なものとなります。
上の表は、そのことを意味しています。

砥粒粒度	採用砥粒	ラップ工具	注 記
～2 μm	D	鋳物以外	ラップ力は期待するほど大きくはない。
1 μm	D	鋳物以外	標準
0.5 μm	D	鋳物以外	実務的にはこの辺が限界

(注) 鋳物製ラップ工具を使用する場合、ダイヤモンド砥粒では3 μm粒径が限度です。2 μm粒径で成功されているケースは極めて稀だろうと思います。
従って、鋳物以外のラップ工具というものを考えなければなりません。この場合、ラップ工具としては#6000以上に微細なWA/GC砥粒を採用した場合と共通のものが使用できます。
なお、ラップ工具に用いる材料の物性によって、0.1 μm粒径のダイヤモンド砥粒を使つてのラップが可能になります。

固定砥粒ラップ(SKS3/SKD11)

砥粒粒度	採用砥粒	ラップ工具	注 記
#600～#30000	cBN	cBN砥石	←これだけ