

# 限界プレーンゲージ・案内

三輪測範製作所

## ● 「限界プレーンゲージ」とは？ 規格の話

「限界プレーンゲージ」というタームは、1997年に改訂された「JIS B 7420」で初めて登場したもので、従前の「内径用栓ゲージ」「外径用リングゲージ」及び「外径用ハサミゲージ」を統括する用語として登場しました。

ゲージの使い途として穴と軸との嵌め合い関係を保証するものとして、穴用の栓ゲージと軸用のリングゲージ・ハサミゲージとは同じ原理の対称関係にありますから、全体を統括する用語が求められたわけです。そこで、特に「限界」という言辭が付加されているのは、ゲージの構造が、ワークを加工する際の最大許容値と最小許容値の幅（製作公差幅）を明瞭に限定するために、「通り部」と「止まり部」を持たせたものとなっているということを示しています。

これに対して、最大値だけ、最小値だけ、あるいは、特定の寸法値だけでゲージが作られているものは、それが寸法基準を示しているという意味で「マスター・ゲージ」と指称されることがあります。

なお、限界プレーンゲージについての規格を定めているのが「JIS B 7420」ですが、その前提となる嵌め合いの「限界ゲージ方式」を定めているのが「JIS B 0401-1」と「JIS B 0401-2」です。

また、これら「JIS B 0401-1/JIS B 0401-2」、つまり「寸法公差及び嵌めあいの方式」にない公差に対する公差等級については、日本精密測定機器工業会の定めている「JMAS4005:1998」に拠ります。

1997年のJIS規格の改訂に際して、従前あった「工作用」と「検査用」のゲージの区別が廃止され、規格上は「工作用ゲージ」に一本化されました。

従って、特にユーザーから「検査用」である旨の明示の指示がなければ、「工作用」ゲージとして製作されます。

また、従前あったIT5級のゲージ製作公差の規定が省かれています。しかしながら、IT5級のゲージの需要は広くありますので、その場合は、改訂前のJIS規格（いわゆる「旧JIS」）を援用して製作されます。

## ● 材質について

「JIS B 7420」では、ゲージ材質として、ハサミゲージの場合はS K 4もしくは同等以上の材質が求められています。

一般的にはSK4/SK3/SKS3、具体的には、日立金属(株)のYG4/YCS3/SGTが採用されてきました。

ただ、従前、これらの材料を供給してきた日立金属(株)が2008年に生産撤退をしてしまいましたから、それぞれゲージ・メーカでは材料のストックを有しているとは言え、いずれそれが払底してしまった後は、一般的な焼き入れ可能な鋼材としてのSK5か、あるいはダイス鋼しか入手できなくなります。

ユーザーのゲージ使用条件とか、被測定ワークの物性によって、いわゆる炭素工具鋼・合金工具鋼以外に、ステンレス鋼の採用が考慮されて良い問題です。

SUS420J2は、いわゆる「マルテンサイト系ステンレス鋼」として、ノギスの他、多くの測定工具等で採用されている材料です。

「マルテンサイト系ステンレス鋼」という意味は、焼き入れ硬化処理が可能なステンレス鋼だという意味で、最高硬度HRC56が可能です。通常の炭素鋼（例えば、SK5）の場合はHRC58程度が上限になりますが、それよりも硬度が低くて大丈夫かという疑問が寄せられますが、測定工具として用いる場合、その焼き入れ硬度だけの問題に限られず、その耐摩耗性能との関連で判断されるべき問題で、13%クロム鋼であるSUS420J2の場合、例えばSK5よりも耐摩耗性は優越していると言えます。

SUS420J2以外のステンレス鋼としてSUS440Cというものがあります。

ステンレス鋼として最高の焼き入れ硬度が保証される（HRC62位とされています）ものですが、ハサミゲージ材料としては4mm/5mm厚の薄板材の入手が困難であるという点や、ダイス鋼でゲージ製作が出来るならその方が有利という事情があって、あまり普及はしないと思えます。

ダイス鋼（SKD11、日立金属(株):SLD）は、既に金型材として広く採用されている材料ですから、測定工具用素材としては申し分ありません。SGT(SKS3)に対して「3倍」の耐摩耗性能という利点は、長期にわたるゲージの活用を保証するものでありますから、私も積極的にダイス鋼製ゲージへの転換を図っております。

現在は、ゲージの製作寸法として、JIS製作公差の下限ジャストに製作するように要請される場合を中心に、製作すべき寸法精度を保證する面粗度の問題等、ダイス鋼で製作する場合のメリットをアピールしています。

いわゆる「スチール製ブロックゲージ」の材質がダイス鋼であるわけですが、具体的なダイス鋼鋼種は特定できません（ブロックゲージのメーカーからは非公開です）が、熱膨張率がブロックゲージとワークであるハサミゲージとでほぼ一緒というのは、製作時の困難さを緩和します。

## ●形状安定性の問題

ゲージ材料は、製鋼所で圧延・焼鈍された時点で最も結晶状態が良好であり、それを切断・切削・研削・打撃・曲げ・・・といった外力が加わるごとに《内部応力》が蓄積されていきます。内部応力がどれくらい蓄積されているとしても、それが全体としてバランスされていれば変化原因とはなりません、実際には不均衡さが残り、バランスがとれるまで形状変化が続きます。

また、測定部の焼き入れ硬化処理に伴う《熱応力》と部分的な材料物性の変化に伴う《組織応力》があります。

炭素工具鋼の場合、物理的な外力を被ることに起因する《内部応力》と、焼き入れ硬化処理に伴う《熱応力》とが、形状安定性を損なう主要な変化原因と言えます。

《内部応力》に原因する変化の方向性は様々ですが、《熱応力》に原因する変化の方向性は、その焼き入れ部分が収縮する方向に作用します。他方、焼き入れ部分のマルテンサイト化による変化は、体積膨張です。

ゲージ製作において材料加工と焼き入れが必須である以上応力の問題は回避できませんが、それは材料物性における物理法則であるわけですから、《内部応力》を緩和・減殺し、《熱応力》を緩和・解放する方策は存します（というより、既に研究実証されてきた問題です）。

ゲージ製作工程に於いてそれらがどのように配慮され、実施・履行されているかはゲージそれ自体の品質保証の問題に帰結します。

## ●ゲージの精度条件

製作サイドから言えば、ゲージ測定面間の平行度は正確に確保されているという条件の下で、各測定部の寸法値が製作公差内に入っているかないかを確認していくことが製作工程における実際で、従って、ゲージ測定面間の平行度と寸法値を同時に実現していくこととなります。

最終的な仕上げ寸法値は、通り側は公差範囲内の最小値、止り側は同じく最小値かいくぶん公差範囲中央寄りまでで仕上げるのが望まれています。

これは、公差範囲内の最大値付近だとゲージ寿命が短くなるからですが、JISで規定されているゲージ製作公差以外に各ユーザー・サイドで内部的な検定公差・校正公差が定められている場合、JISで規定するゲージの製作公差よりも大きく取られている場合があり、あるいは、JIS規格よりも絞り込まれている場合もあって、必ずしも一概にゲージ製作公差内でのばらつきはどのように許容されかが論点になる場合もあります。

平面度の問題については、ゲージ測定面上の凹凸（起伏、もしくは、うねり）が $2\mu\text{m}$ 以下の場合、光の回折作用によって隙見（スキミ）ではそれが確認できないため、オプティカル・フラットで平面度を確かめていくこととなります。

適正に平面度が仕上げられた場合、ブロックゲージ面とリングングします。

面粗さの問題については、どのように規定されていたとしても、#3000程度のラップ砥粒を用いて最終ラッピングすれば充分クリアできますし、それが一般的な方法です。場合によっては、もっと微細な砥粒でラッピングすべき場合もあります。ただし、どの種の砥粒を用いるかによって、同じような面粗さであっても、光沢その他の面性状は微妙に異なります。

なお、ゲージの製作工程上、最も手間と時間を要するのがラッピング仕上げ工程であるわけですが、ゲージ公差や被測定物の物性に応じて、適切な面粗さを「選択する」ことは大事な弁えだと思えます。

砥石仕上げから鏡面仕上げまでの間で、選択が可能です。ただ、研磨材等の資材が充実してきており、鏡面仕上げには昔ほどの労苦は要しなくなっていることは確かです。鏡面仕上げのゲージが安価に供給されればユーザーからは歓迎されるでしょう。

## ●特殊仕様の問題

既述で「経年変化と指称されているゲージの寸法変位は、応力の問題である」ということを説明しましたが、ここでは、ユーザーサイドに於いて、落とした・蹴った・ぶつけた・無理な使い方をした・・ということに因るゲージの寸法変位を回避するため、ゲージ自体を丈夫なものにしておきたい、という場合に要請される「総焼き入れのゲージ」の問題です。

焼き入れ処理に際して、加熱の不均一さと冷却の不均等さによって変形の結果を招き、しかも、その変形の量と質は事前予測ができません。その歪みやひずみを補正することは結構困難ですから、リスクを織り込んだコストとならざるを得ません。

焼き入れ処理以前の工程における《内部応力》の問題がうまく解決されていない場合、焼き入れによって事前の予想以上に歪み・変形を生じることがあります。これも一般的には「焼き入れ歪み」に含めて理解されている現象ですが、実体的には、内部応力が熱処理によって解放された結果生じた歪み・変形と理解すべきものです。従って、内部応力が蓄積されないように注意深く製作される必要があります。

ただ、ゲージ寸法が狂いやすいとされる場合、ゲージの母材の材質自体が「弱い」「強度が足りない」

とされる場合は、もう少しカーボン量が高い鋼種の採用が検討されるべきです。

もう一つの原因・理由として、ゲージの製作時に、仕上げ代が過大であったり不足した場合に「叩き合わせ」を行って寸法調整をしてしまうという場合、当然、そのようなことを行えば内部応力が蓄積されそれが残留応力となって、寸法変位・形状変化の原因となります。

あるいは、仕上げを完了して、ゲージ簿材に入った細かな傷等を除却する場合に、平面研削盤でゲージ表面を研削してそのままにするというような場合、研削を掛けることによって母材表面には焼き入れ状態が残って、それが後の寸法変位・形状変化の原因・理由となります。つまり、平面研削で砥石による研削時に火花が出るということは、その火花に照応する熱をゲージ母材が被るということであって、そのために母材表面は熱変性を生じているということの意味します。

従って、平面研削盤で研削し放ちというのはいかにも具合が悪い。

総焼き入れゲージを製作しても、その素材の耐摩耗性が改善するわけではありませんから、ゲージを超硬製にすれば解決するはずだという期待が寄せられます。ゲージの寸法変化は専ら「摩耗」「磨損」によることが原因・理由となっているという理解がその前提にあるわけです。

そのような「理解」が正しいか否かという問題はありますが、測定部だけに超硬製のチップを貼り付けてゲージとするという場合、その「土台」の作りから検討されるべきです。論理的には、そのような作りにおいては、「土台」は総焼き入れでないあまり意味がないということになりますし、総焼き入れにする場合は、既述のような問題点が解決されないといけません。

超硬材というのは、「摩耗しない」「磨損しない」ということが期待されるわけですが、そのことは、実際には、ワークに対してゲージが「刃物」となるということの意味します。

## ●ゲージの品質保証の問題

ゲージの品質を決定するのは、面粗さ・面平行度・寸法精度であることは敢えて指摘するまでもありませんが、そのうち、寸法精度（トレーサビリティ）は証明対象です。

それ以外に、何度か言及している《応力の問題》については、結果として現出するのは寸法変位においてですから、品質保証の問題は寸法精度問題に置き換えることができます。

従前からは、このような考え方に立ってゲージの良否が判断されてきました。

しかしながら、逆に見れば、客観的に第三者によっても検証可能な寸法精度（変位）値がどのような条件によって現出せしめられているのかという点が品質保証の対象に含まれる、ということも可能です。

現在では、ユーザーに対して、この点が、ゲージ製作サイドの《説明責任》もしくは《証明責任》の対象となっている、と考えなければならないようです。

よく照会されるのですが、ゲージ納品時にその検査成績書が添付されるのか、その場合に成績書の作成費用として何か請求されるのか、と問われます。

検査成績書の添付というのは、自分の製作品がこのような品質のものですと報告・連絡するものであり、あるいは、こういうふうに製作しましたと主張することを意味します。メーカーとしては検査成績書の添付は当然なことで、顧客から請求されて提出する、あるいは、顧客側の負担で作成するというものでは、そもそもないわけです。

しかしながら、例えばブロックゲージを購入する場合、JIS 1級該当品ですと販売されているものに対して、「その検査成績書が欲しい、校正証明書を添付して欲しい」と要求することは、その購買者の「特別事情」と解して、そのための費用は別途請求するということになっています。こういうことが言わば「業界慣行」となっていますから、「右へ倣え」になるわけです。

## ●ステンレス製ゲージの特質

開発の機縁は、ユーザーサイドでのゲージの保守管理が不十分な場合、ゲージ測定面における発錆が回避し難い、という点の解決が求められたためです。

通例、この問題に対しては、硬質クロムメッキを施すことで対処されてきました。

製作工程としては、施されるべき硬質クロムメッキ層厚みを予定して仕上がり寸法よりも少し大きめに下仕上げを行い、硬質クロムメッキを行った後にメッキ層の不均等さを補正しつつ寸法仕上げをするという経過を辿るため、仕上げ工程が2回となるためにコストがかかるという問題と、硬質クロムメッキ層厚みが期待したほども正確にコントロールされていないという問題とがあつて、適正・正確な仕上がり精度を実現することが困難でした。

特に板ゲージの場合、栓ゲージやリングゲージの場合とはまったく違って、薄板の内側端面（ゲージ測定面）に正確なメッキを要求すること自体に無理があるわけです。従つて、メッキ技術によって改善を図ろうとすることは、技術的・経済的にかなりな無理を生じます。

ステンレス材の採用に当たって、焼き入れ硬度の問題と、《材料強度》の問題があります。

SUS420J2の場合、焼き入れ硬度は理論上の上限としてHRC56とされています。

炭素工具鋼での焼き入れ硬度が少々甘かった場合と同様という理解もできる水準ですが、耐摩耗性は優良ですから、それで十分と判断されるか否かはユーザーサイドの判断に拠ります。

《強度》の問題というのは、俗に言う「材質としての腰の強さ」のことなのですが、使用目的あるいは使用条件との相関において判断されるべきものであり、炭素工具鋼との単純な比較で判断されるべきものではないと思えます。

いわゆる「JIS仕様形状」に準拠して、特に問題は生じません。

ユーザーの求めにより、場合によっては「補強」を考慮する必要が生じます。「補強」は、コストとの兼ね合いがありますが、熱処理により実現されます。

なお、製作完了後に場合によっては、防錆のため《不働態化処理》を行います。

《不働態化処理》というのは、ステンレス材表面に酸化クロム層を確実に生成させて、鉄と酸素との結合を遮断させるものですが、これには3つの方法があります。

1つは、「酸化酸」にワーク全体を浸漬して表面全体に強制的に酸化クロム層を生成させる方法。もっとも単純な、分かりやすい方法です。但し、処理時間を要します。そこで、2番目の方法として、電気化学的な装置を用いて短時間に処理する方法。3番目には、ワーク表面を微細に磨き上げる方法。マルテンサイト系ステンレス鋼の場合は、以上の3つの方法を使い分けて行けば十分だと思います。

## ●形状仕様の問題

通例はJIS B 7420の「付図」に拠る形状仕様を採用して製作していますが、不合理な点も指摘できるため、ユーザーごとに独自仕様が規定されている場合も多いのが現状です。

他のページで幾つかの具体的な事例を紹介していますのでご参照下さい。

## ●ダイス鋼製ゲージの世界へ

ダイス鋼(SKD11：日立金属(株)《SLD》)は、既に金型材として広く採用されている素材であることは承知されているわけで、ゲージ用材料としても採用されてきてはいます。

ハサミゲージの材料として考えた場合、何よりも先ず、SKS3(SGT)に対比して3倍の耐摩耗性という点が製作を著しく困難なものにしてきました。従前の製作技術・技能ではとても太刀打ちできないということが露呈してしまったわけです。従って、ハサミゲージ用素材としては未だ一般的なものではありません。

従前からのハサミゲージ製作技術・技能というのは、鋳物製ハンドラップ工具+WA/GC(場合により、ダイヤモンド砥粒)+ラップ油という組み合わせでの遊離砥粒ラップ/湿式の技法であったわけですが、このうち、鋳物製ハンドラップ工具ではいわゆる「鏡面ラップ」ができ得ないということと、遊離砥粒ラップ/湿式の技法ではダイス鋼のワーク表面にピン・ホールが生じてまともな仕上がり面が実現できないというわけです。

(なお、この「ピン・ホールが生じると」という点は、遊離砥粒ラップ/湿式でWA砥粒を使用している場合に現認していますが、私自身は、砥粒やラップ由の「改善」によって解決できる問題ではなく、遊離砥粒ラップ/湿式という技法それ自体に伏在している「限界」と理解しています。)

従って、固定砥粒ラップ/乾式の技法への転換を図ってきたわけです。

このサイトの他の所で、その技法の開発過程と顧客側が享受し得るメリットというものを詳しく説明しております。ご参照下さい。

