訪問記　精密測定機器作りの元祖

～（株）ミツトヨ　宇都宮事業所～

1　はじめに

ノギスやマイクロメータといえば機械系の学生なら誰しも1度は実験や実習などで使ったことがあるだろう．だが，それを作っているメーカは？と聞くと，答えられる人は多くないかもしれない．今回はノギスの国内シェア90%以上を誇る精密測定機器メーカ（株）ミツトヨの宇都宮事業所に伺った．ミツトヨはマイクロメータを最初に国産化したのを皮切りにノギス，三次元測定機などさまざまな精密測定機器を開発し，世界各地に拠点をもつ精密測定機器のトップメーカである．この宇都宮事業所では主にノギス，ハイトゲージ，三次元測定機，リニヤスケールおよび試験機の製造が行われており，ノギスの生産個数は月に12万丁に及ぶ．

宇都宮は都心よりも風が冷たく肌寒かった．工場に着くと，そこは背の高い松で囲まれており，独特の雰囲気が漂っていた（**図1**）．敷地内にもところどころに松が切らずに残してある．これは殺生を嫌う創業者の意向だそうである．

2　熟練の職人

私たちは最初に会社全体と宇都宮事業所の概要を説明していただいた後，生産技術部の建屋に伺った．入った瞬間，接着剤のような少し刺激のあるにおいが鼻をついた．

工場内では「師匠」と呼ばれる人物が作業を行っていた．「師匠」とは「余人をもって替えがたい卓越した技能を持つ者」というミツトヨ独自の称号であり，今回お会いした木村師匠（**図2**）はこの道50年の大ベテランである．木村師匠はミツトヨ製品の精度を校正する装置に用いられるレールの仕上げ加工を行っていた．精密測定機器自体の校正を行うわけだから，そのレールには非常に高い精度が要求される．だが，この精度は機械加工では実現することができない．機械加工を行っただけでは，レールは微妙に曲がった状態にあるそうである．木村師匠はこの曲がったレールをラップと呼ばれる研磨加工によって，2本の各面の平行度，平面度を1μm以内に仕上げていくという．1μmの凹凸を削り取っていく感覚とはどういったものなのか，想像もつかない世界である．このレールだけでも仕上げるのには1，2箇月を要するそうである．

木村師匠はねじ締めの重要さについても説明してくださった．いくら精度の良い加工をしても，組立時にトルク管理を怠たれば，使用を繰り返すうちにずれが生じてきてしまう．ねじ1本でも心を込めて締めることが必要である．木村師匠が手掛けた機械は5，6年たってもねじを締め直す必要がないそうだ．

木村師匠には加工以外にも重要な仕

図1　宇都宮事業所

図2　レールの仕上げを行う木村師匠

事があった．それは，技術の伝承である．私たちが訪問したときも後進の方に指導している最中であった．そして，最後に指導する技術者としての心構えを教えてくださった．

「例えば規則があっても自分が守っていなければ人には言えない．自分がきちっと守ってこそ人にも言える．長い間の仕事によって人に言えるものを依頼されたり，だれにも負けない仕事をしたりするためには何かなくてはならない．そのためにはきちっとした仕事をする．我々にはごまかしはきかないんだよ．」

3　三次元測定機とは

次に，三次元測定機を製造する第２製造部の建屋へ伺った．そこに入るとすぐに，電子音を発しながら動いているロボットのようなものが目に入った．どうやらこれが三次元測定機らしい．ここには外部から三次元測定機で寸法を測定してほしいとの依頼も来るそうだ．

三次元測定機とは何を計測するのか．まず一次元の測定機から考えてみる．一次元測定機とは基準となる点から測りたい点までの一方向の距離を測定するものであり，ものさしがそれにあたる．次に，二次元測定機は一次元測定機の情報に加え奥行きの情報も測定する．つまり，座標で言えば測りたい点のｘ，ｙ座標を同時に計測する測定機である．そして，三次元測定機では二次元測定機の情報に高さの情報が加えられ，測りたい点のｘ，ｙ，ｚ座標を同時に計測することができる．測りたい点の座標を計測することから，三次元測定機は別名，座標測定機ともよばれる．三次元測定機では，ある面からの穴の中心までの距離や２面の平行度といったものさしでは測れないような立体的な寸法を測ることができる．この工場では，月に 190 台の三次元測定機を生産しており，１台１台手作業による組立や検査が行われている．

三次元測定機には接触式と非接触式との２種類がある．接触式は３軸直行のロボット（**図３**）であり，アームの先端にはプローブが取り付けられている．このプローブの先端が測定物に接触すると電気信号が出力されて，その点の座標値が計測される．１点１点の座標値を測定し，それらを演算することによって測りたい寸法を計測している．また，接触による変形や摩耗を少なくするため，プローブの先端には硬い工業用のルビーが用いられているそうである．誤差は最も高精度のもので 1m あたり最大 1.35μm であり，これは世界でも最高の精度である．また，自動車のボデーを計測する測定機でも，大型乗用車サイズで最大 0.1 mm 程度だそうである．

非接触式では，座標の測定は CCD の画像やレーザを用いて行われる．このため，精度は接触式に及ばないが膨大な測定値を短時間で得ることができる．したがって，非接触式は，例えば携帯電話のケースやエンジンブロックなどのように複雑な形状をもつものが，どのくらい設計どおりにできているかを評価するために用いられる．ただし，精度が及ばないといってもその精度は 1m あたり 6μm 程度である．

組立現場の入口付近の床には境目があった．組立室の床は外からの振動が伝わらないようにするため，厚さ 1m のコンクリートでできているそうだ．入り口は二重扉になっており，温度の変化がおきにくい構造になっている．二重扉の間にはさまざまな種類のプローブが展示してあった．ねじの深さを測るものや非接触式の CCD カメラなど，何を測るか，どのくらいの精度で測るかによって種類が異なるそうである．

図３　三次元測定機

4　精度を高める

展示されたプローブの横には，エアホッケーを小さくしたようなものが設置されていた．これは三次元測定機に用いられているエアベアリングの原理を体験するものである．エアベアリングは，軸受に空気を吹き付けて案内面との間に空気の層を作ることによって軸受を支持しており，エアホッケーのパックが浮いているのと同じ原理である．この空気のすきまの大きさは 5μm 程だが，約 100kg の荷重を支えることができるそうだ．試しに体験装置

に体重をかけて押さえてみたが，軸受を接触させることはできなかった．エアベアリングの利点は，間に空気があることで面の粗さが平均化され，誤差を小さくできることである．

三次元測定機では，その精度を高めるために温度の管理が重要となる．それは温度が変わると物の大きさも変わってしまうからである．三次元測定機を構成するさまざまな部品を同じ室温で組み立てないと，後でストレスが生じて誤差の原因となるため，組立現場の室温は 20 ± 1℃に保たれているそうである．さらに，測定時の環境の温度変化も精度に大きな影響を及ぼす．温度変化による変形量は材料によって異なり，鉄は 1℃ 変化すると 1mあたり 11μm変化するのに対し，低膨張ガラスは 0.01μm 以下と小さい．そのため，高精度タイプの三次元測定機の基準スケールには低膨張ガラスが用いられている．一般的にお客様から必要とされる寸法も 20℃ の値であるそうだが，そのために室温が 20℃ に保たれた測定部屋を準備してもらうのは大変である．そのため，スケールと測定物の温度を計測した上で寸法を測定し，その値が 20℃ での値となるような換算が行われている．

温度以外の誤差の原因としては，三次元測定機自体の幾何的な誤差が挙げられる．それを解消して更なる高精度を実現するために，三次元測定機ではソフト的にこの誤差をとる補正技術が用いられている．この補正技術を使う理由は二つあり，一つは手仕上げにも限界があること．もう一つは手仕上げによって 1 台 1 台仕上げると製品の値段が上がってしまうことである．

この補正に用いられる幾何精度には 21 項目ある．それは，x，y，z 軸の各軸に対する真直度や角度が 6 項目ずつの 18 項目，残りは各軸の直角が 3 項目で合計 21 項目である．製品が組み立てられた後，これらの項目をレーザや直定規などの器具で測定し，ゆがんでいる部分をソフト的に補正することによって，更なる精度の向上を実現している．また，このような補正技術を用いることで，組立時の個人誤差も補正することができるため，均一な精度をもつ製品を生産することが可能である．この補正の基礎技術はヨーロッパにあるミツトヨの研究所と共同で開発されているそうである．

建屋の外に出ると，大きな石が置かれていた．これは三次元測定機の土台に用いられるもので，材料は墓石と同じ物だそうである．土台に石を使うのは，経年的な変形が小さい，何かがぶつかっても欠けるだけで盛り上がったりしない，さびないといった利点があるからである．しかし，石には水を吸収して膨張する性質があり，膨張して盛り上がると安定した土台として使用することはできない．そのため，世界各地の石の水を吸収する度合いや剛性などのデータから適したものを選んでいるそうである．

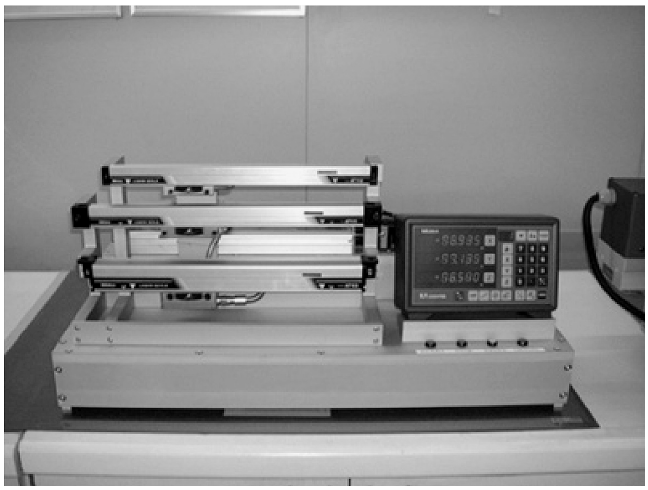

図 4　リニアスケール

図 5　ヘッド内の回路の製作現場

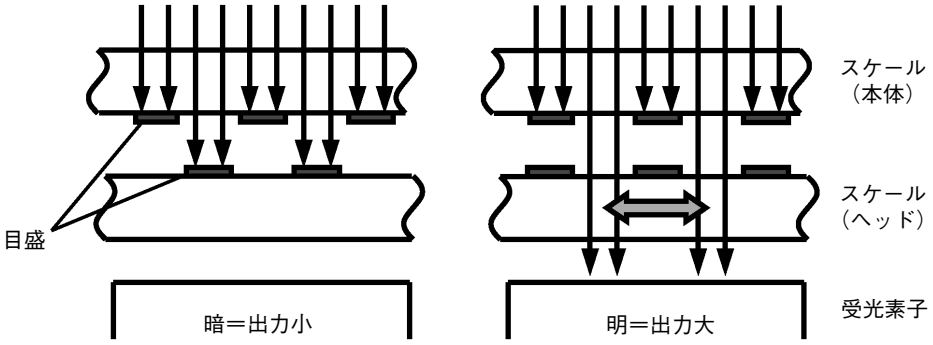

図 6　ヘッド移動量の検出原理

5　清原製造部

私たちは最後にリニアスケールを製造する清原製造部へと向かった．この辺り一帯の清原工業団地は国内でも最大規模の工業団地である．工業団地に入ると辺りの風景は一変し，大きな工場がいくつも並んでおり別世界のようだった．

リニアスケール（**図4**）は主にコントローラ，スケール本体，それに沿って移動するヘッドから構成されている．高精度な位置決めを行うことができるため，半導体などの電子部品を製造するロボットや，精密加工を行う工作機械に用いられている．私たちはまず，組立現場へ伺った．ほこりを嫌うため，白衣で全身を包んだ人やロボットがヘッド内に入れる電子回路を製作していた（**図5**）．

ヘッドとスケール本体にはそれぞれ目盛が書かれたガラス製のスケールが入っており，二つの目盛を通り抜ける光の変化量を電気信号に変えることによって，移動量の検出が行われている（**図6**）．このスケールの目盛は，クロムを真空蒸着させた後，その上に感光液を塗布して目盛の部分だけ残るように転写し，エッチングを行うことによって書かれている．

次に，工場の地下9mにある研究棟へ案内していただいた．この地下研究棟は，高精度ガラススケールの研究施設として建設されたものである．壁は一面コンクリートで覆われており，秘密基地のような雰囲気だった．

地下の利点は，1年間あるいは1日を通じて湿度や室温の変化が小さいことである．前述したように環境の変化によって物は変形するので，高い精度を保証するには環境を一定に保つ必要がある．この研究棟では室温20±0.2℃，湿度45±10%に管理されているそうだ．また，外部からの振動もほとんど受けることのない構造になっている．

図7　案内してくださった若狭さん（後列左），大坪さん（後列右）と取材班

ここでは，高精度のガラススケールを製造するための部屋が6部屋あり，さらにそのいちばん奥には製造されたスケールの精度をレーザによって校正する装置が設置された部屋がある．この装置に用いられているのが「木村師匠」が仕上げたレールである．

これらの部屋はクラス100のクリーンルームである．クラスとは空気の清浄度の指標であり，1立方フィート（1フィート＝30.48cm）あたりに存在する粒径0.5μmの粉じん数を示している．通常の外気はクラス1 000 000であり，クラス100というのは非常に高水準である．そのため部屋は二重扉になっており，残念ながら中を拝見することはできなかった．

ところで，この校正を行う装置自体の精度を保証しているものは一体何なのだろうか？それは清原製造部と同じ建物内の計量標準キャリブレーションセンタにある標準器（ヨウ素安定化レーザの波長）であり，それを用いて年に3回校正が行われている．さらにこの標準器の精度を保証しているのは，国家標準になっている産業技術総合研究所の計量標準センタにある標準器である．他の製品も同様であり，精度を校正している標準器をたどっていくと，すべては国家標準の標準器にたどり着く．つまり，ミツトヨの製品の精度は国家標準へのトレーサビリティがとれているのである．

6　おわりに

清原製造部の工場を出たときには，あたりはすでに暗くなっていた．半日がかりの見学であり，今回見せていただいたのはミツトヨの製品のほんの一部である．しかしながら，その技術力の高さ，精度を高めることへのこだわりを随所で感じた．技術者の思いがこめられたミツトヨの精密測定機器．ノギスやマイクロメータを使う機会があったら1度よく見てみてほしい．そこにはおそらく「Mitutoyo」の文字が書かれていることだろう．

最後になりましたが，私たちの取材に対し，丁重に対応してくださった大坪聖一さん，木村俊雄さん，下村俊隆さん，八重樫信夫さん，横溝信次さん，若狭泰助さんにこの場をお借りして心より御礼申し上げます．ご自分の手がけた製品に関して，できる限り多くのことを伝えたいという熱心な姿がとても印象的でした．また，移動中の車内では学生生活に関するお話も伺うことができ，現場以外も印象に残る見学となりました．お忙しい中，誠にありがとうございました（**図7**）．

（文責　メカライフ学生編集委員　大西崇文，大竹理香，滝　康嘉，増田良太）