

# 卓上スイス式 CNC 旋盤の開発

## Development of Desktop Swiss-type CNC Lathe.

真壁 友<sup>(1)</sup>

MAKABE Tomo

清水 博<sup>(2)</sup>

SHIMIZU Hiroshi

永井 邦幸<sup>(2)</sup>

NAGAI Kuniyuki

(1) 長岡造形大学

(2) 株式会社プレテック・エヌ

キーワード：切削加工、工作機械、旋盤、CNC

Keywords：Cutting work, Machine Tools, Lathe, CNC

We have developed a prototype of desktop Swiss CNC lathes. This lathe is aimed at low-volume production and for DIY users. It can be controlled from computers and is capable of making precision parts. While it is difficult to make shafts with 3D printers, this lathe can easily make cylindrical parts such as shafts.

### 概要

卓上スイス式 CNC 旋盤の開発と試作を行った。この旋盤は DIY ユーザ向けと少量生産を目的としている。コンピュータから制御を行い精密な部品を作る事が可能である。3D プリンタではシャフトを作るのは難しい。しかしこの旋盤を使えばシャフトなど円柱状のパーツを簡単に作ることができる。

### 開発の経緯

ここ数年でモノ作りの環境は大きく変化した。物を作るには優れた技能と大掛かりな設備が必要であった。しかし 3D プリンタを使い CAD ソフトで作り出した形状をコンピュータから出力することが可能になった。同時に Arduino などのマイコンを中心とした電子回路の開発環境の発展もモノ作りで重要な変化である。モデル（形状・外見）だけではなく実際に動く物として試作を行うことが可能となった。いわゆるプロトタイピングである。3D プリンタで形状を作り出し、Arduino を使い、プログラミングして実際に可動するモデルの製作が可能となった。

しかし、3D プリンタで出力する形状や用途には向き、不向きがある。外観形状を製作するのは得意であるが出力精度、出力される物の強度には限界がある。現在主流の

3D プリンタは樹脂に熱を加え積層させる MDF タイプと紫外線レーザーで樹脂（レジン）を硬化させる 2 タイプがある。MDF タイプでは樹脂を積層するので寸法精度を出すことは苦手である。出力する素材も熱を加えて柔らかくできる素材に限定され強度に限界がある。レジン硬化させる光造形の 3D プリンタも同じく強度を出すことは苦手である。モデルを作る事は得意な 3D プリンタも機構部品を作成する用途には向かない。光造形プリンタであれば平歯車やカムといった精度が必要な部品の出力も可能であるが、強度が必要で機構部品に必要な回転軸を作成することは無理がある。

通常、回転軸（シャフト）は旋盤を使い製作する。旋盤加工は金属丸棒を回転させ、硬い金属製の刃（バイト）を金属に押し当て金属を削る加工方法で、切削と呼ばれる技法の一つである【図 1】。旋盤では工作物をチャックに固定し回転させバイトを前後左右に動かして加工を行う。旋盤加工を行えば金属丸棒から望む形状のシャフトを作成することが出来る。しかし精密な物を作るには技術と経験が必要になる。そして、精度の高い加工を行うには卓上旋盤でも重量 100kg 程度の機種を必要とする。卓上旋盤にはホビー用、生産向けと多様な機種があるが、加工物のサイズが幅広く大きいものから小さいものまで扱える事が可能となっている。一方、小型軽量の卓上旋盤もある。しかしこれはホビーユーザー向けで機械精度を考えると機構部品を作成するには十分な物とは言えない。

今回開発する旋盤は極端に割り切った仕様で本体の小型化、高精度化を狙っている。加工最大直径 6mm、長さ 20mm 程度のシャフトを加工する専用機として開発する。3D プリンタで出力した平歯車やカムの中心軸として使うといった使い方を想定している。そして特別な加工技術を持たない人にも使えるようにコンピュータ制御（CNC）でパソコンで作成したデータから出力できるようにする。

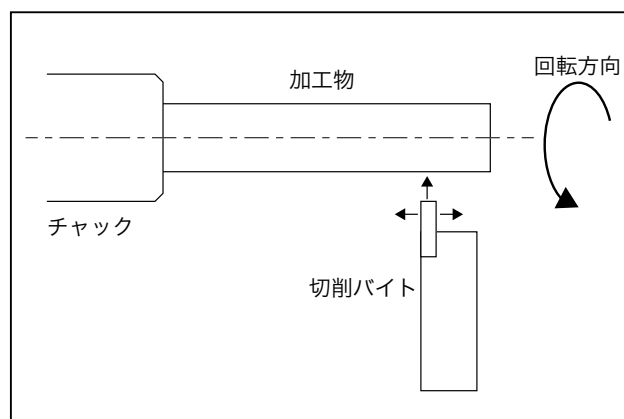


図 1 旋盤加工

## 旋盤の方式について

シャフトの様に細い形状の切削は通常の旋盤では難易度が高い。前述したように通常の旋盤はチャックで材料を固定して回転させバイトで切削する。この時にバイトが材料を押すことになり、材料がバイトと反対側に曲がる【図2】。短く太い材料ではこの影響は小さく無視できるが、細い材料では大きな影響があり、精度を出すことが困難となる。そこで、この問題を解決する方法としてスイス式旋盤がある【図3】。この方式では材料を固定するチャックとは別にバイト近くで材料を保持するためのガイドブッシュが備えられている。このガイドブッシュでバイト付近で材料を保持しバイトによる歪みの影響を小さくして工作精度を上げることが可能となっている。長さ方向の移動は材料を固定しているチャックが動く事になる。今回開発する CNC 旋盤ではこのスイス式を採用する。

## 切削バイト

旋盤作業では切削する形状によってバイト（刃）の形状を使い分ける。汎用旋盤では操作者が自分で刃を付け替え作業を行う。CNC 旋盤では自動で工具を取り替える装置が付いている。しかし自動で工具を交換する装置は大きく高価なものとなる。そこで今回製作する CNC 旋盤ではバイトを1種類で交換の必要の無い物とした。突っ切りタイプのバイトで左右送りが可能なタイプを採用。このバイトにより溝加工、突っ切り、右送り、左送りが可能となる。た

だし、通常のバイトに比べると切れ味は劣る。そして刃を取り付ける際には刃先が回転軸と平行になるようにする必要がある。刃先と回転軸の平行が出ていない場合には溝の底面が斜めになる、面が斜めになるといった加工の不具合が出る。【図4～6】参照。

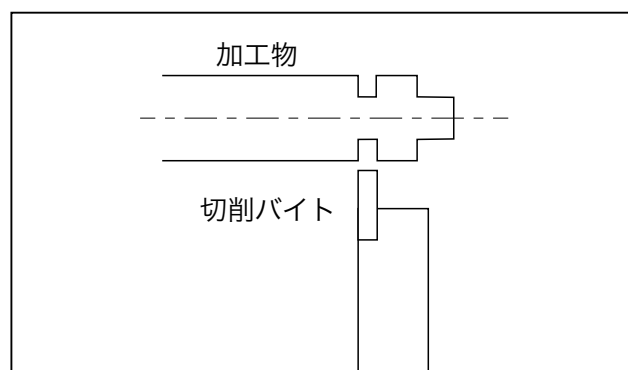


図4 正しく取り付けられたバイトと加工物

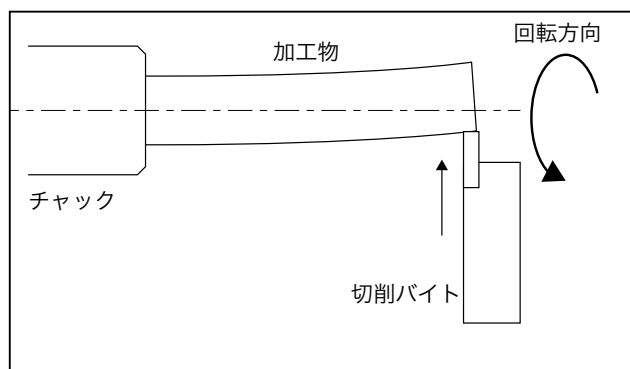


図2 旋盤加工による材料の歪み

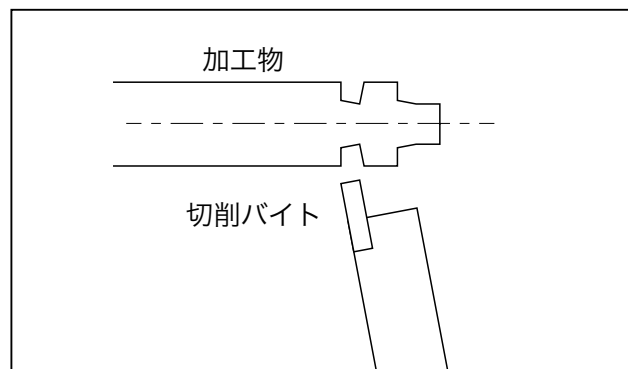


図5 曲がって取り付けられたバイト

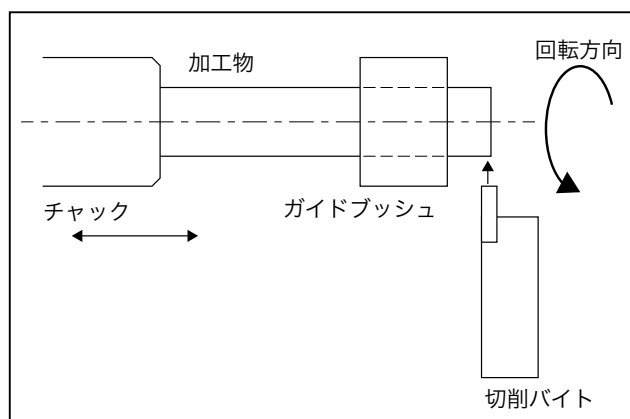


図3 スイス式旋盤の仕組み

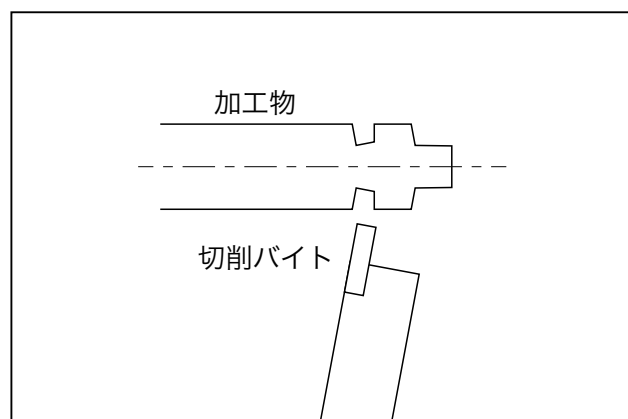


図6 曲がって取り付けられたバイト

### 旋盤本体の設計

旋盤の外観は【図7】【図9】の通りである。3軸を制御し各軸（X,Z,A）の方向は【図8】の通りである。ステッピングモータとボールネジを使い各軸を動かす。各軸のガイドにはリニアガイドを採用する。汎用旋盤ではキサゲ仕上げを必要とするカミソリをガイドに使う方法が一般的である。しかしこの旋盤では小径の切削専用としたことによりリニアガイドを採用。汎用のリニアガイドを使うことにより組み立てと調整を簡素化し本体価格を抑える狙いがある。

本体サイズはカバーを含み

幅 430 × 奥行き 300 × 高さ 260mm

となっている。

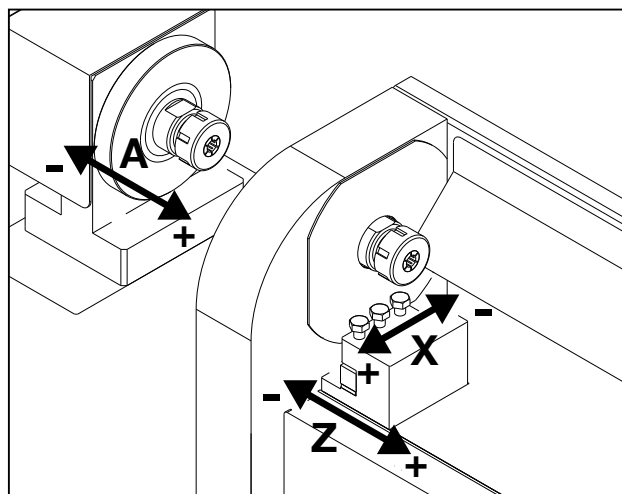


図8 3軸の方向

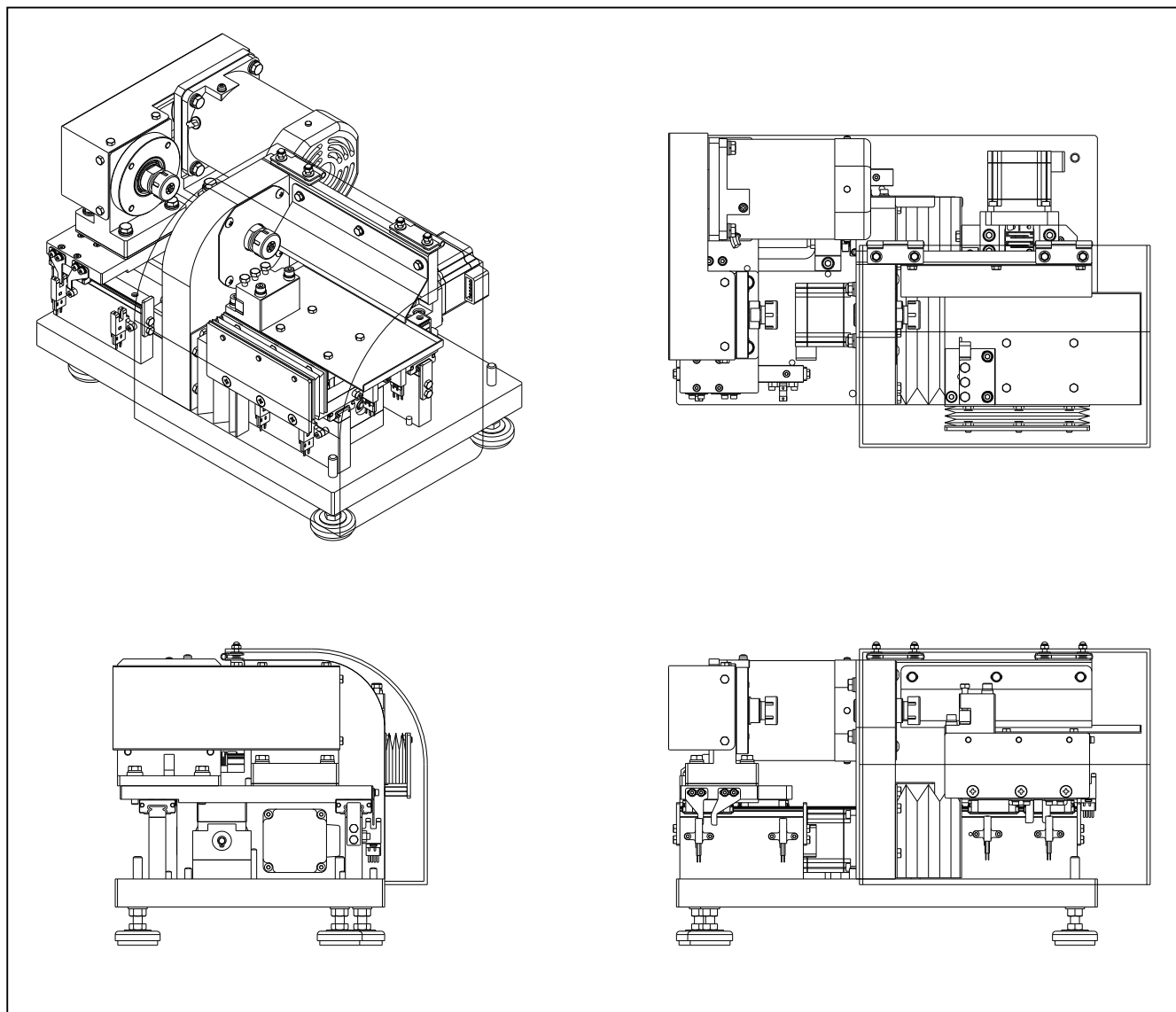


図7 装置外観

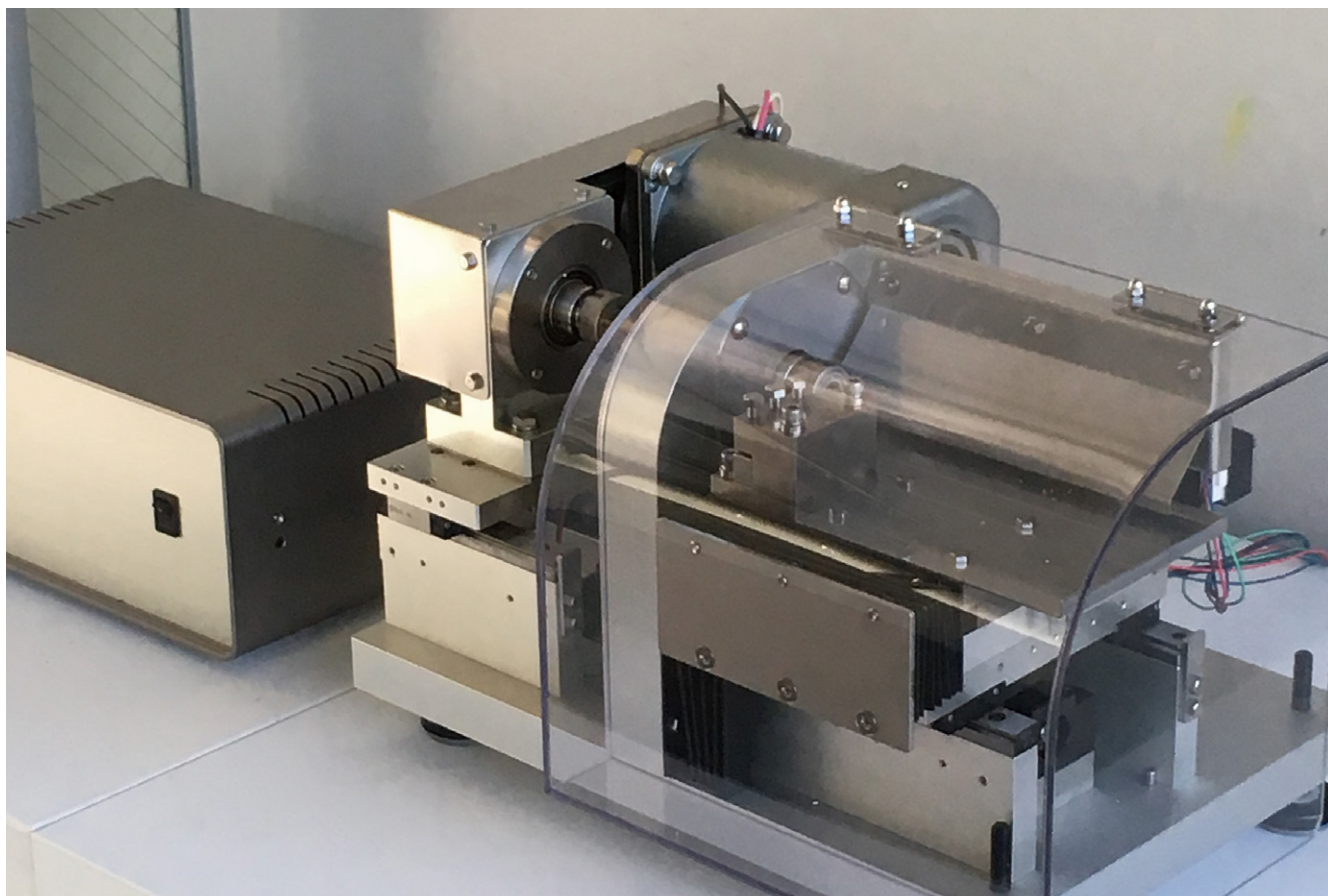


図9 CNC 旋盤の外観

### 制御の精度

各軸の制御はステッピングモータを使いボールネジで行う。ステッピングモータはオリエンタルモータの基本ステップ 0.9 度の高分解能タイプを使用した。ボールネジはリード 2 mm のタイプを使用。ステッピングモータを 1/16 のマイクロステップで駆動し分解能は 0.0003125 mm (0.3125  $\mu$ m) となる。この分解能により 1  $\mu$ m 以下の制御が可能になる。

### 旋盤にもとめられる精度

前述の通り今回の旋盤で作る工作物の用途はシャフトである。シャフトとして求められるのは回転軸としての精度、つまり回転した時のブレが無い事。そして軸受け部分の精度である。軸受けはベアリングの使用を想定する。内径 1 ~ 3 mm 程度のマイクロベアリングに完成した軸を圧入して使う事を想定する。ベアリングの内輪に軸を入れる場合には中間ばめを使う。中間ばめは公差クラス h5 となり 3 mm 以下の場合には公差 0 ~ - 4  $\mu$ m となる【注 1】。たとえば内径 1 mm のベアリングに入れる軸は 1.000 mm よりも最大で 4  $\mu$ m 小さく仕上げる必要がある。加工誤差を  $\pm 2 \mu$ m として 0.998 mm で加工して 0 ~ 4  $\mu$ m の範囲に仕上げる事を目指す。前述の通り各軸の最小ステップは 1  $\mu$ m 以下であるので制御精度としては目的の加工精度を出す事が可能と考えられる。

### 制御回路

この CNC 旋盤の制御回路には Arduino を採用する。Arduino はホビーユーザー向けに開発されたマイコンでパソコンと USB で接続し簡単にプログラム可能であるという特徴を持つ。この Arduino に grbl【注 2】をインストールし CNC 制御回路として使う。Arduino にステッピングモータドライバを積んだシールド（拡張基板）を接続し 3 軸の制御と主軸モータの制御を行う。grbl は USB から受信した制御コード（G コード）により各軸を制御する。grbl に G コードを送信するホストにはパソコンを使う。パソコンのソフトウェアは専用ソフトを開発し、このスイス式 CNC 旋盤に適したインターフェースを実装する。このソフトウェアは Processing で開発し MacOS、Windows で動作が可能となっている。Processing はプロトタイピングのプラットフォームとしても広く使われる環境でありユーザーも多い。ソフトウェアをオープンソースにする事によりユーザーが自身で使いやすくカスタマイズする事も可能となる。MacOS、Windows 以外にも Raspberry Pi でも動作させる事が可能である。Raspberry Pi にタッチスクリーンを搭載し省スペースなシステムの構成も可能である【図 11】。パソコン側のソフトウェアの画面は【図 10】の通りである。各軸のジョグ操作、G コードの読み込みと実行、各軸の補正值の入力といった基本操作が可能になっている。材料である金属丸棒をチャックにセットした様子を【図



12】に切削した様子を【図 13】に示す。

切削の動画は YouTube (<https://youtu.be/YfDQ7s5k2zc>) を見ていただきたい。

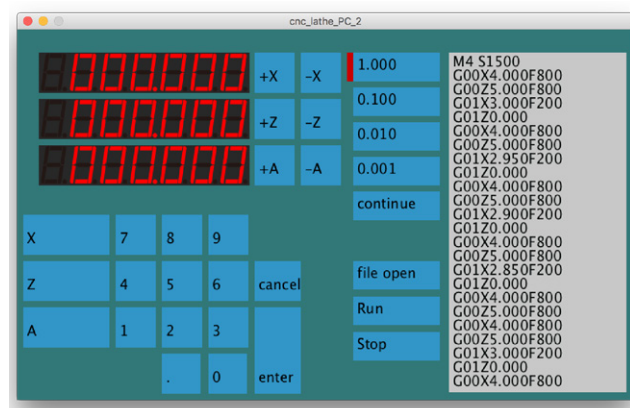


図 10 ソフトウェアの画面



図 11 Raspberry Pi で組んだシステム

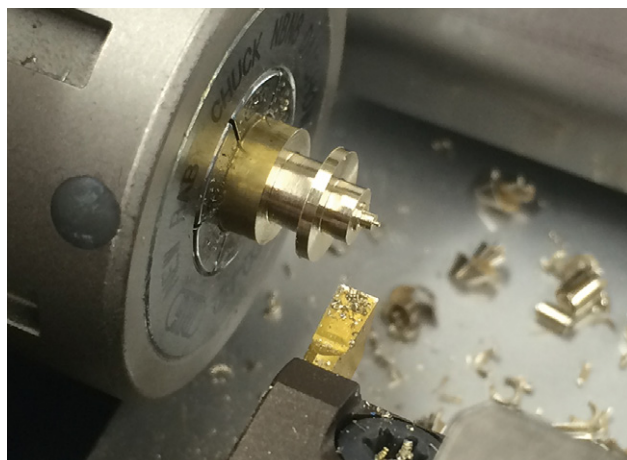


図 13 切削の様子

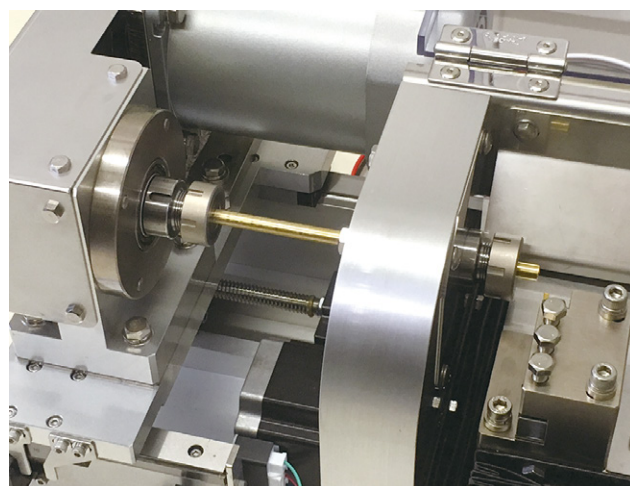


図 12 金属丸棒をセットした様子



図 14 長さ検証用に切削した真鍮丸棒

## 切削精度の検証

切削精度の検証は次の通り行った。

長さ方向の検証は次の通りに行った。長さ 25mm に真鍮棒を切り出しその長さをマイクロメータを使い測定した。中心部の削り残しの影響を避けるために中心には穴を開けてある。切削した丸棒は【図 14】の通りである。測定結果は【表 1】の通りで、最大が 25.010mm、最小が 25.004mm。平均 25.007mm。± 3μm となった。

直径方向の切削精度の検証を行うために【図 15】のような形状のシャフトの切削を行った。切削した物は【図 16】の通りである。【図 17】の箇所をマイクロメータで計測した。結果は【表 2】の通りである。a の値を見ると切削した順番に直径が細くなっている。これはバイトが切削による熱の影響で膨張しバイトが長くなり結果として切削した直径が細くなっていると推測される。試しにバイトが冷えるまで時間を置いて切削したものが表の 6 番目の値である。熱の影響を除去するためには切削液をかけて刃先を冷却するといった解決策、もしくはバイトの温度が安定してから切削するといった方法がある。また内径 1mm のベアリングに圧入したものが【図 18】である。

長 さ
25.005
25.007
25.005
25.009
25.010
25.004

表 1 長さの測定結果 (単位mm)

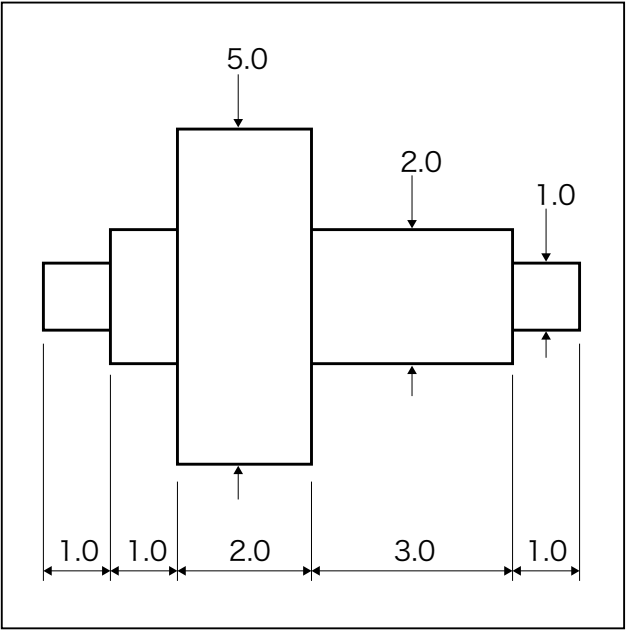


図 15 テスト切削したシャフトの寸法 (単位mm)

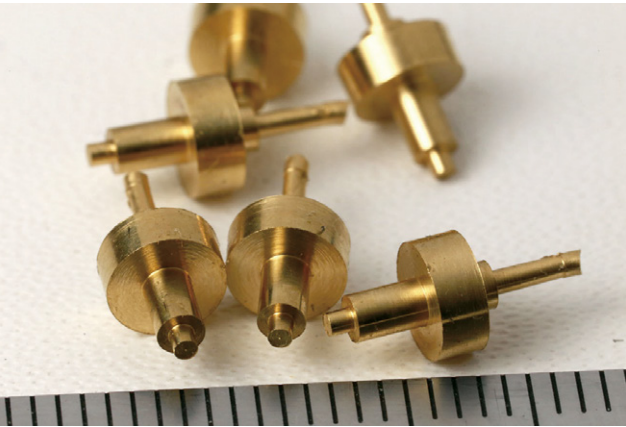


図 16 切削したシャフト

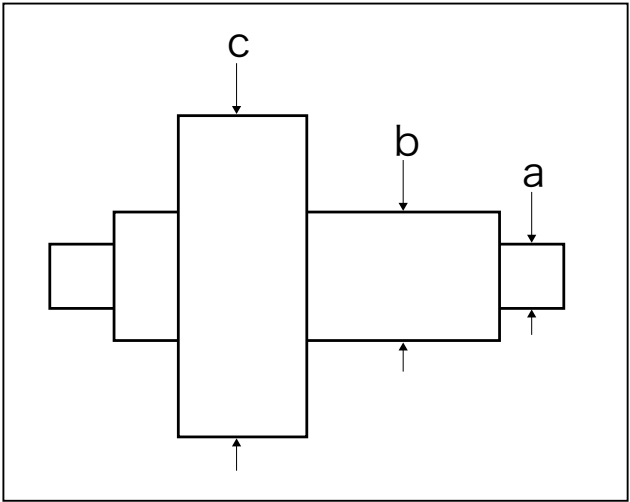


図 17 測定箇所

切削順	a	b	c
1	0.994	2.001	5.019
2	0.994	2.000	5.010
3	0.993	2.001	5.012
4	0.987	1.998	5.014
5	0.984	1.996	4.996
6	0.997	2.004	5.008

表 2 直径の測定結果 (単位mm)



図 18 内径 1 mm のベアリングに圧入

## 今後の課題と展開

今回の試作機のスピンドルは 2500 回転／分と小径の切削としては低速回転である。そのため細い部分の切削で不利になっていると考えられる。また切削の最後の部分（図 15 の左側）で図面の通りに仕上がらない問題がある。最後の切り落とし近くで細い部分で切削が安定しない。切り落としで期待するよりも太い直径で材料が外れてしまうといった問題がある。この問題を解決するためにバイトの種類の検討、スピンドルの回転速度といった検討を行う必要がある。試験切削と測定により 3D プリンタの機能を補完するためのホビー用、少量生産の産業用としても十分な性能を持つ工作機械としての可能性を示す事が出来た。大量生産の現場では無理としても少量生産の現場では活躍できる性能を持っている。またソフトウェアの整備が今後の課題となる。CNC を動かすためには動作の指示を記述した G コードと呼ばれる座標を指示するコードが必要である。通常 CNC 装置では G コードは CAM と呼ばれるソフトウェアを使い自動で生成する。しかし、この旋盤用の G コードは全て手入力で作成する必要がある。G コードを生成するための専用 CAM ソフトウェアの開発も今後の課題として残っている。

この試作機は機械要素技術展 2016（名古屋、東京）、燕三条ものづくりメッセ 2016 での展示を行った。来場者からの反応としては量産機へと展開するのか、価格帯はといった質問が寄せられていた。今後、上記の課題の解決を検討しながら量産機の試作設計へと取り組みたい。

## 参考文献・資料

1. はめあい選択の基礎 / 寸法公差及びはめあい  
[http://jp.misumi-ec.com/pdf/fa/2014/p1\\_2287.pdf](http://jp.misumi-ec.com/pdf/fa/2014/p1_2287.pdf)  
2016.10.29 閲覧
2. grbl open source, embedded, high-performance g-code-parser  
<https://github.com/grbl/grbl> 2016.10.29 閲覧