

課題情報シート

課題名：	ボールねじ等の自動計測システムの開発		
施設名：	職業能力開発総合大学校東京校		
課程名：	応用課程	訓練科名：	生産系
課題の区分：	開発課題	課題の形態：	製作

課題の制作・開発目的

(1) 課題実習の前提となる科目または知識、技能・技術

機械：機械設計、機構設計、加工、シーケンサ、精密計測

電子：マイコン制御、回路設計・製作、センシング、圧電素子

情報：画像処理、データ通信、データ処理

(2) 課題に取り組む推奨段階

応用課程 2 年次

(3) 課題によって養成する知識、技能・技術

以下の実践力を身につけます。

機械：自動化機器設計製作、精密測定

電子：計測制御、自動化制御

情報：画像解析、データ処理

各科共通：創造性・協調性を包含したコンセプチャルスキル、ヒューマンスキル

(4) 課題実習の時間と人数

人 数：生産機械システム技術科 3 名

生産電子システム技術科 3 名

生産情報システム技術科 3 名

時 間：936 時間

各種機械の製造において、生産性の向上、人的負荷の軽減などが大きな課題となっており、自動計測システムの開発が重要となっています。今回計測するボールねじは組立て時にナットとねじ軸の間にボールを組み込みますが（図 1）、高精度の研削加工を行っても、ねじ軸、ナットのねじ溝の精度公差は±数 μm はあり、これに対応した径のボールを組み込まなければ、高精度のボールねじを組み立てることができません。現在このボールの最終選定は組立作業者の熟練感覚に

より行われています。本開発課題は、この作業負荷を軽減し、ボールの選定を自動化することを目的としました。

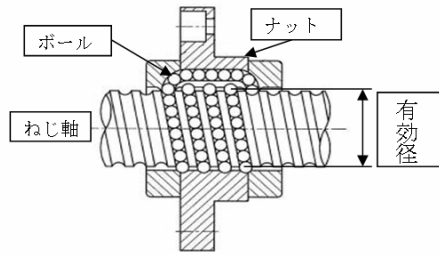
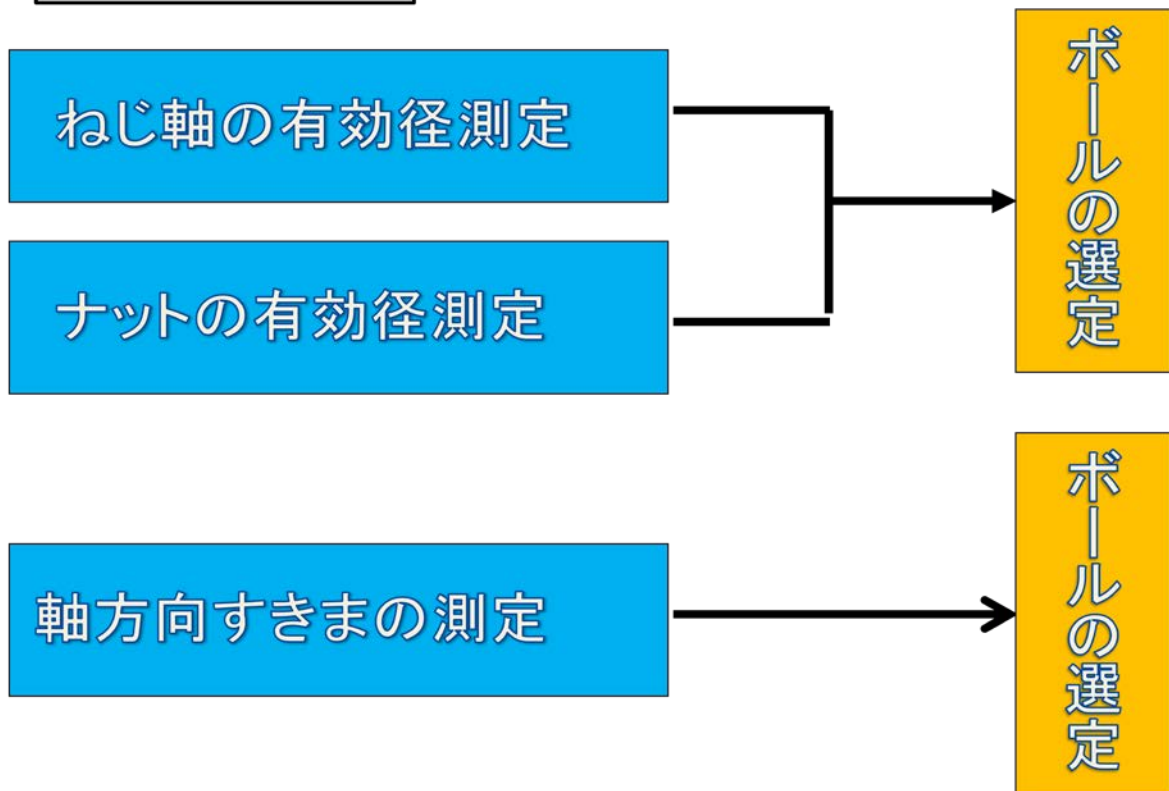


図1 ボールねじ断面図

課題の成果概要

今回はボールねじに組み込むボールの選定をするために、有効径測定による方法と軸すきまの測定の2つの方法について開発を行いました。

測定方法



選定方法	効率	実現性	検査
有効径差計測	○	△	—
すきま計測	△	○	○

① (ねじ軸、ナットの) 有効径差計測

a) 画像処理によるねじ軸の有効径の測定

有効径差による計測

有効径差による計測は、ねじ軸の有効径計測とナットの有効径計測から構成されます。図2のようにねじ軸に基準ボールを当てた時の有効径 u_1 と、ナットに基準ボールを当てた時の有効径 u_2 を計測し、それぞれの有効径と基準の有効径 s の差 σ_1 、 σ_2 を以下の計算式により求めます。

$$\sigma_1 = s - u_1$$

$$\sigma_2 = s - u_2$$

求めた σ_1 、 σ_2 を図3のグラフにプロットして適合するボール径と基準ボール径との差 ε を求め、基準ボールの半径 r と ε から以下の計算式により適合するボール径 d を求めます。

$$d = 2r + \varepsilon$$

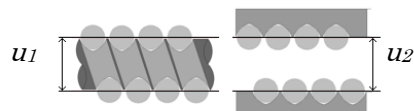


図2 ねじ軸とナットの有効径

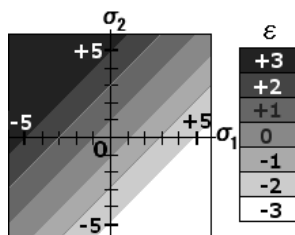


図3 ボール径選定グラフ

・ねじ軸有効径計測方法

ねじ軸の有効径計測は、図4で示した δ を図5の画像処理装置を使用することにより計測します。 u_1 をねじ軸の直径 D と δ から以下の計算式により求めます。

$$u_1 = D + 2\delta$$

ここで δ は、基準ボールをねじ溝に収めた際のボール中心からねじ軸外径線までの距離です。

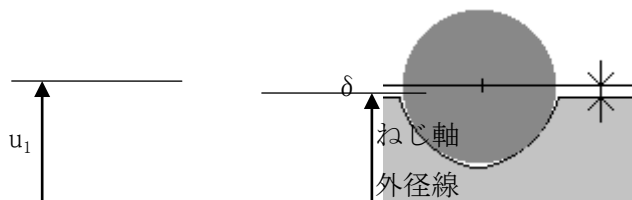


図4 画像処理で求める距離

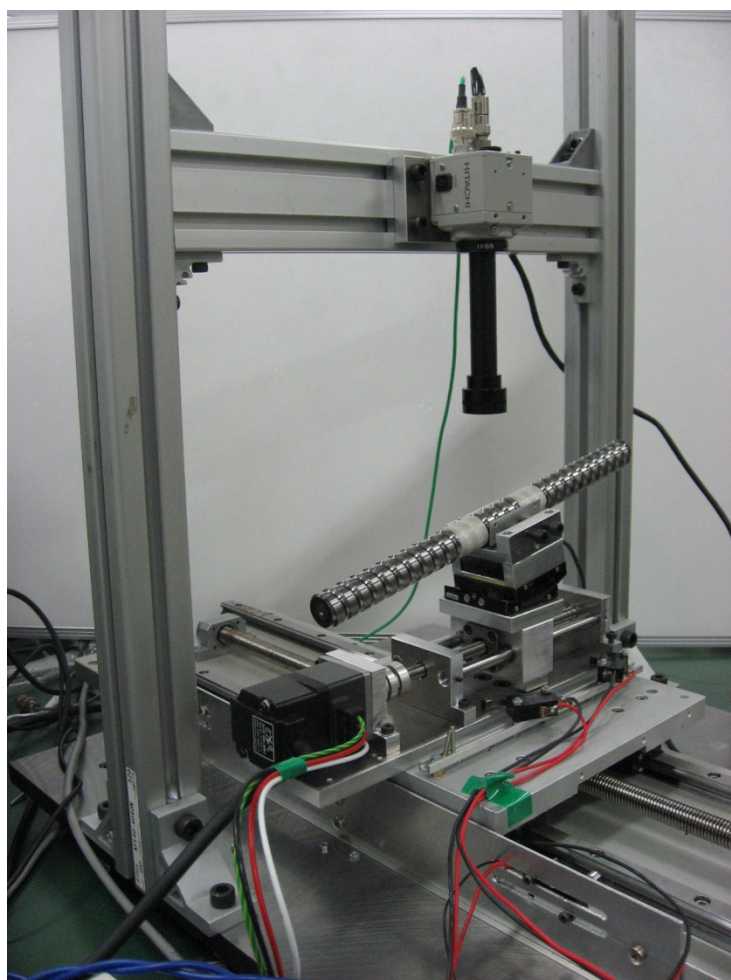


図5 ねじ軸の画像処理装置

・ねじ軸の有効径計測結果

ねじ軸有効径計測プログラムの計測結果を図6に示します。この計測は、 $s = 20mm$ 、基準の溝リードが $10mm$ 、 $r = 2.38mm$ 、 $D = 19.8mm$ のねじ軸において、基準ボールが溝に収まった際のねじ軸有効径を求めたものです。計測の結果、 $u_1 = 20.0728mm$ です。



図6 ねじ軸有効径計測結果

・ナットの有効径計測方法

ナットの有効径計測装置の計測部を図7に示します。ナットの有効径計測は、基準ボールを取りつけた計測部をナット内部に入れて徐々に広げていき、計測部のボールがナット溝に接触した位置を歪ゲージによって判断します。ナット溝にボールが接触した時に計測部が開いた幅から有効径を求めます。計測部が開く前の太さを B 、計測部の開き幅を ρ 、計測点での開き幅係数を k とするとナットの有効径 u_2 は以下の計算式で求められます。

$$u_2 = B + 2r + k\rho$$

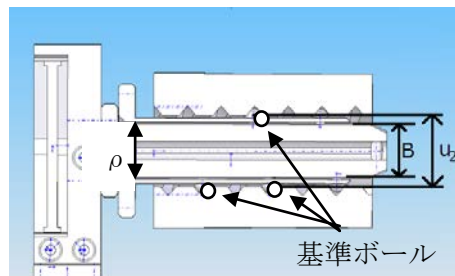


図7 ナットの有効径計測部

・ナットの有効径計測結果

図8に計測部の開き幅と歪の関係を示します。この図からボールが接触した点から歪が大きくなっていることが分かります。計測の結果、 $\rho = 0.35mm$ です。しかし、 k を確定するためには、今後も実験を繰り返す必要があります。

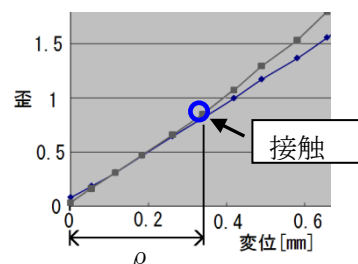


図8 歪と変位の関係(ボール有無)

・有効径差によるボール選定

ねじ軸の有効径計測の結果、 $u_1 = 20.0728\text{mm}$ でした。しかしナットの有効径計測は、 u_2 を求めるために計測実験と計測機の調整を行う必要があります。

② 軸方向すきまの測定

ボールねじに基準のボールを入れて組み立て、その軸方向すきまを計測することにより適合するボールの径を選定する装置を製作しました(図9)。様々な径のボールにより組み立てたボールねじを用い、それぞれの軸方向すきまをロードセルと変位センサを用いて力と変位の関係を測定し、ボール径と力および変位との相関を計測しました。図10は規格のボールとそのボールより $6.7\mu\text{m}$ 小さいボールによる実験データです。横軸に力(kgf)縦軸に変位(μm)を取っています。

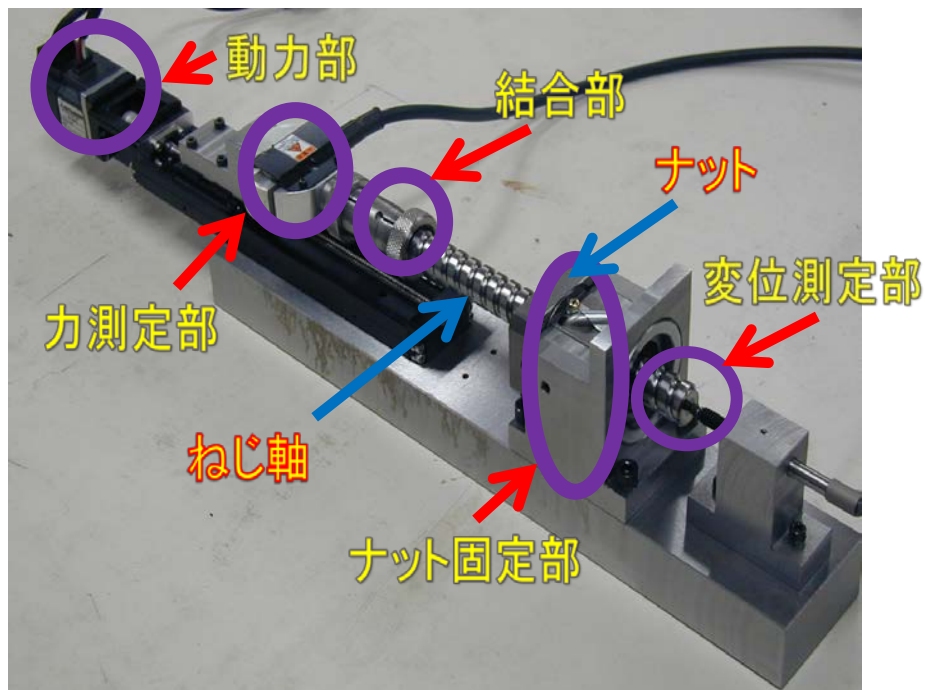


図9 ボールねじ荷重-変位曲線計測装置

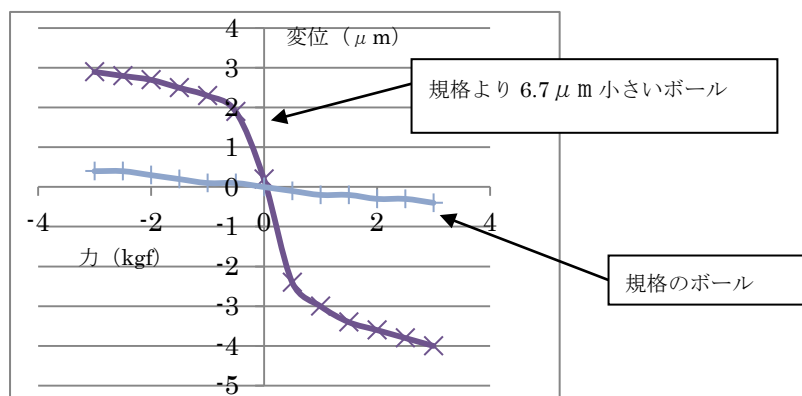
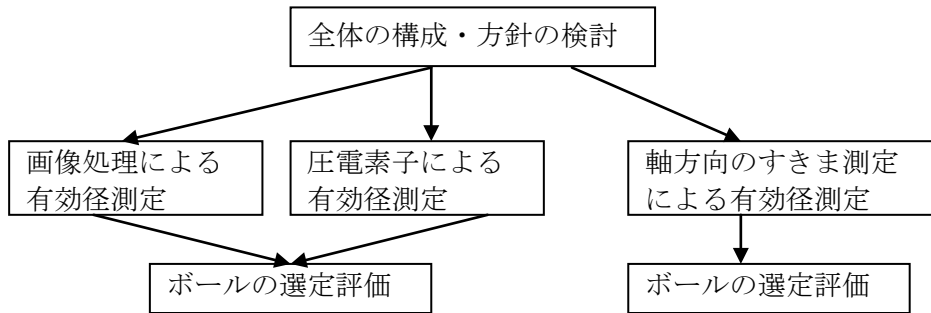


図10 ボールねじの荷重 - 変位曲線

結果として、図 10 より軸方向すきまに対し、荷重－変位の傾向が明らかに異なります。このことからこの手法が、ボール径選別のための計測が可能であることが分かります。

課題制作・開発の訓練ポイントおよび所見

<製作（制作）・開発過程の概要>



<指導案的イメージ>

養成する能力 (知識、技能・技術)	課題制作・開発のポイント	訓練（指導）ポイント
○計測機構の考案と設計	◇ミクロンオーダーの精度が出る設計になっているか。 ◇CAEによるたわみの計算。	●加工精度が実現可能な精度範囲にはいつているか。 ●微調整が可能な設計になっているか。 ●常識的に妥当な計算といえるか。
○加工技術	◇各種工作機械の取り扱い。	●精度のでる加工方法。
○アクチュエータ技術	◇各種モータ、圧電素子の位置決め精度、ストローク、荷重(トルク)特性の妥当性。	●機構に対して適当な選定になっているか。
○センサ技術	◇センサの選定が妥当か、回路設計が妥当か。	●計測精度がでるか。
○画像処理技術	◇適切な画像ボード、レンズが選定されているか。処理プログラムの妥当性。	●精度がでているか。
○ヒューマンスキル コンセプチャルスキル	◇統合したバランスのとれたシステムの創造。	●質問を投げかけ、他科との問題点を自分で考えさせます。 「〇〇をすると、どうなる？」

<所見>

今回の課題は精度が要求されるため、機械、電子、情報の各仕様が妥当な精度を出すための機器選定、機構・回路設計になっているかが大事です。即ち、機械の担当する機構や加工上の精度と電子の担当する計測上の精度、情報の担当する画像処理の分解能による精度などですが、一つの部分の精度が悪いと全体に影響を及ぼし、システム全体の精度が一番悪い精度によって決まります。3科の精度のレベルが偏らないように連携をとるように指導する必要があります。

また、ボールねじという普段機械以外の学生があまり目にしない機械部品の計測であるのでボールねじの構造、動作など電子、情報の学生はよく理解しておく必要があります。

このように3科の学生がそれぞれ精度を上げ、しかも相互のインターフェースにも気を使わなければモノが出来上がりません。そのため、協調性・コミュニケーションなどのヒューマンスキルおよび、創造性・構成力などのコンセプトチャルスキルを養成しなければなりません。そこで極力、学生が自分で考え、自分で周りを見て、今ここでどういうアクションをとると（逆に、ここであるアクションをとらない場合も）他人がどのように考え行動するのかを考えさせ、そうすることが全体のシステムにどのような影響が出るかを創造・予測できるような質問を投げかけるようにしました。

課題に関する問い合わせ先

施設名 : 職業能力開発総合大学校東京校
住 所 : 〒187-0035
東京都小平市小川西町2-32-1
電話番号 : 042-341-3331
施設 Web アドレス : <http://www.ehdo.go.jp/tokyo/ptut/>