

卒業論文

変形センサの開発

平成 14 年 2 月 28 日提出
指導教官 長尾 高明教授

知能機械システム工学科

1020090

伊藤 達也

目次

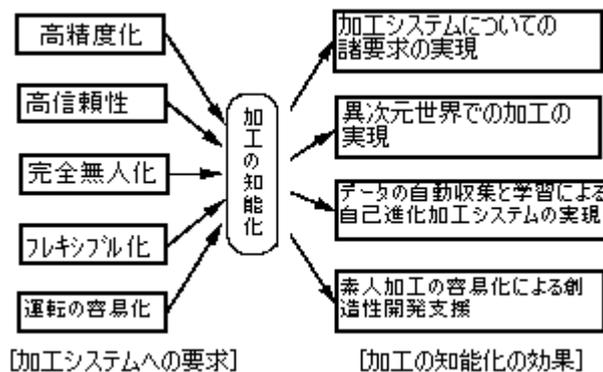
1 . 序論	3
1 . 1 本研究の背景	4
1 . 2 知能化生産システムとは	5
1 . 3 本研究の目的	6
2 . 設計	7
2 . 1 変形センサの必要性	8
2 . 2 変形センサの変形検出の原理	9
2 . 3 平行平板構造	10
2 . 4 変形センサの設計	11
3 . 加工	13
3 . 1 使用材料	14
3 . 2 使用機械及び工具	15
3 . 3 加工手順	19
4 . 考察	22
4 . 1 考察	23
4 . 2 今後の展望	23
謝辞	24
参考文献	25

第一章

序論

1.1 本研究の背景

ものを作る加工システムにはそれぞれの時代にそれぞれの場所でさまざまな要求が与えられる。現在の工業化された先進国の生産技術の先端で求められることは何か。それを示したのが(図 1.1)である。加工した生産物に対して高精度・高信頼性が、生産システム全体に対して完全無人化やフレキシブル化が、また機会の操作者の立場から運転の容易化が、それぞれ求められる。これらの要求を同時に満たすには、「知能化生産システム」の考え方が不可欠である。この考えが実現すると前述の種々の要求が満たされるばかりでなく、原子レベルの超微細な加工や宇宙における加工のような遠隔加工など、異次元世界での加工が実現する。さらに加工で生じる諸々の現象のデータの自動収集が可能となり、それを利用して学習することにより、将来は自己進化する加工システムが実現すると考えられる。また、加工システム自体が自立的な判断を行い、不完全な操作にも適正な支援を行えるところから、素人の加工を容易にする効果があり、人間の創造性開発の支援に力を発揮すると考えられる。

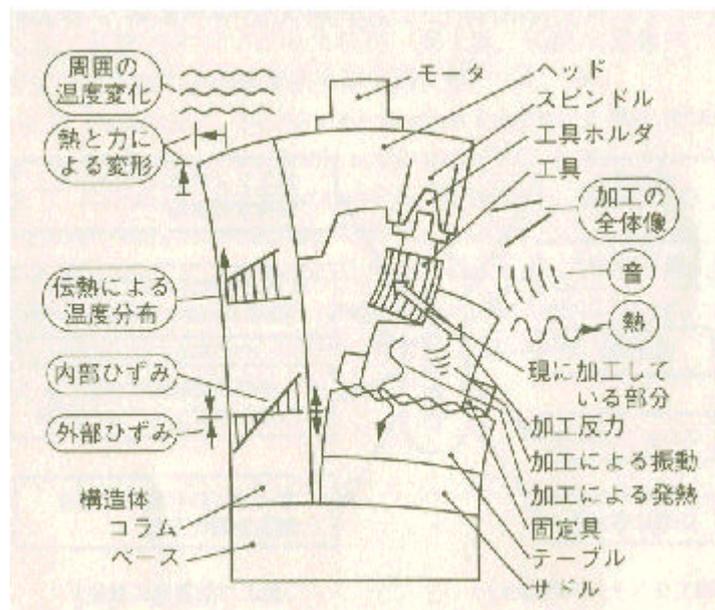


(図 1.1)加工システムに求められる事柄と知能化の必要性

1.2 知能化生産システムとは

工作機械が加工を行うとき、機械および被加工物(ワーク)を含む系全体に(図 1.2)種々の物理現象が生じている。これらの原因により、精密な加工をする上の障害になっている。知能化加工システムにおいてはこれらの加工現象からの情報を取得し、その情報をもとに加工自体が制御される結果、所望の製品を作り出すことができる。また、生産拠点内で工作機械などがこのような情報を得る各種センサを装備しており、かつネットワークにつながっていて、それらの機械自身が知能化されているとともに、それら自身も情報を外部から受け、また外部へ情報を発信することができる。これらのことによってあらゆる種類の制御が可能となり、また外部から制御することはもちろん、地球の裏側など遠隔地からのテレオペレーションすら可能となる。

多数の機械、多くの事業所が一つのコンピュータシステムの基に統合され、遠隔地から操作できる工作機械群よりなるシステム統合により、集中管理が容易になる。



(図 1.2)加工で生じる種々の物理現象

1.3 本研究の目的

知能化生産システムを構成するには、各部各種の現象を正確にとらえ、リアルタイムでモニタする各種センサが必要になる。その中でも力センサ、および構造体の変形を感知する変形センサがきわめて重要である。そこで今回、実験室の工作機械用に変形センサを開発した。

第二章 設計

2.1 変形センサの必要性

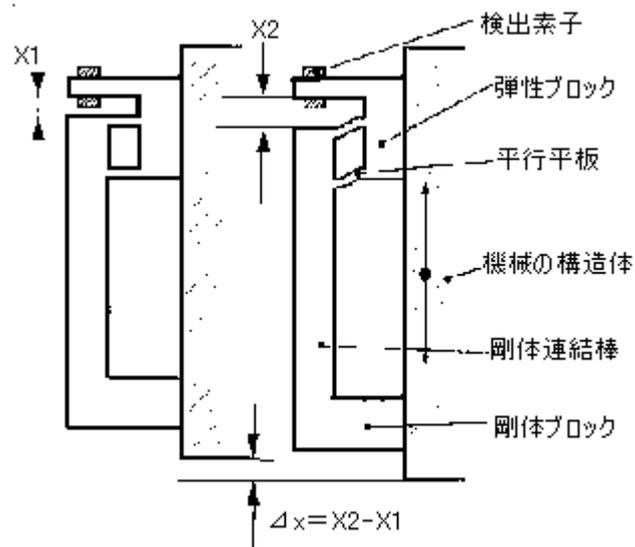
一般に機械は、機械本来の機能を実現するための機構(ここでは仕事体とよぶ)と、その部位を支える機構(構造体とよぶ)とからなる。仕事体で発生する力、熱、振動、音などは、ハウジング、フレーム、コラムなどによばれる構造体に伝わり、それを変形させる。この因果関係をあらかじめ知っていれば、逆に構造体に生じた変形を図ることでそのときの仕事体の運転状態を知ることができる。

知能化生産システムでもこの因果関係を求めており、それが(図 2.1)の(A)研削盤、(B)マシニングセンタ、(C)3次元形状測定機である。マシニングセンタでは、切削工具付近のスピンドルモータの発熱や切削液の噴霧冷却によって、構造体であるコラムがたわみ、工具位置が変化する。このとき、その構造体の熱変形と工具位置との因果関係を知っていれば、熱変形を測定することで工具位置が推定できる。もちろん、レーザーを機械の外から照射して工具位置を直接測長することも可能である。しかし、実作業中に用いると、工具や被加工物が加工中に動くのでレーザーの視線がそれらに追従できず、また、切削液が噴霧され周辺の湿度が変化するのでレーザー出力に誤差が重畳する。

そこで構造体の変形を測定するセンサとして「変形センサ」がある。

2.2 変形センサの変形検出の原理

変形センサは(図 2.2)に示すように、構造体の2点間に固定された2個の弾性ブロックと、その2個の弾性ブロックを結ぶ剛体連結棒からなる。この2個のブロックは片方に平行平板構造を配していることが特徴であり、この構造により図の連結棒の軸方向(x方向)のみに柔に弾性変形できる。構造体に変形すると、連結棒はx方向に剛であるから図に示すようにブロックの平行平板だけが変形し、これを検出素子で測定する。



(図 2.2)変形検出の原理

2.3 平行平板構造

ここで、平行平板を用いた変形センサの設計の参考になるように、平行平板構造を用いた変形センサの設計に用いる 1 次変形の計算式を(図 2.3)に示しておく。例えば、S45C の 20mm の角棒に端部から 5mm のところに $l=1\text{mm}$ 、 $t=0.35\text{mm}$ になるようにワイヤカットで角穴をあけ、薄板の根元にひずみゲージを貼って変形センサを作ると、定格荷重 98N (10kgf) の場合

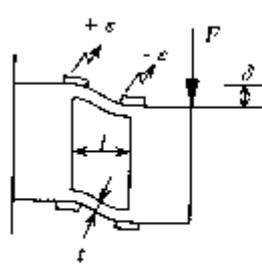
$$= 0.28\ \mu\text{m}$$

$$= 290 \times 10^{-6}$$

$$K = 353\text{N} / \mu\text{m} (36 \cdot \text{kgf} / \mu\text{m})$$

$$F = 754\text{Hz}$$

となる。これを実際につくってみると、種々の簡略化や製作誤差にもかかわらず、出力(約 4)、剛性、固有振動数とも、この簡略計算の約 80% 程度のものが得られ、平行平板構造の性能が優れていることがわかる。



幅： b

可動部質量： m

縦弾性係数： E

たわみ $\delta = \frac{Fl^3}{2Ebt^3}$

根元のひずみ $\epsilon = \frac{3Fl}{2Ebt^2}$

剛性 $K = \frac{2Ebt^3}{l^3}$

固有振動数 $f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{2Fbt^3}{ml^3}}$

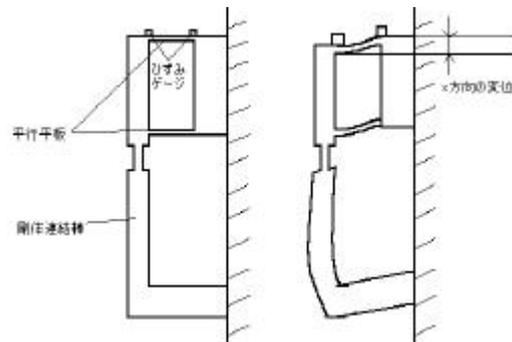
(図 2.3)一次変形の計算式

2.4 変形センサの設計

変形センサの主要機能は

構造体の2点間の微小変形をセンサ内の平行平板の変形に集中させる
任意の方向の変形をそのほかの方向のそれと干渉させない
力によって生じた変形と熱によって生じた変形とを分離する
その変形を各種の検出素子で検出する。

である。実際に設計した変形センサの機構を(図 2.4)に示す。



(図 2.4)変形センサの変形検出の原理

機能 の変形の検出素子として、レーザー干渉、光てこ、静電容量、などが知られているが、ここでは最も安価で時間ドリフトが少ないひずみゲージを用いた。大型建造物では構造体の変形を知るために、構造体表面に直接ひずみゲージを貼ることが広く行われている。しかし、機械の構造体では一般に生じるひずみが小さいので、直接ひずみゲージを貼っても十分な出力が得られないことが多い。この、変形センサは、構造体表面上で局所的にひずみを測っても検出できないくらい小さな変形でも、ブロックの低剛性部にひずみを集中させると、変形を効率よく検出でき機能 は満たされる。

機能 の変形の干渉防止のために、センサの弾性ブロックに平行平板構造を採用した。例えば(図 2.3)に示したように、x 方向とその垂直方向(z 方向)に変形が生じて、平行平板の容易変形方向の x 方向にだけ変形する。さらに、剛体連結棒の自由度のある y・z 方向にノッチを設けることにより、y・z 方向へ曲がりやすくなり x 方向以外への大変形を吸収できる。

機能 の力変形と熱変形の分離は、変形センサの材質を変えることで実現できる。変形センサの材質を構造体の材質と全く同じにすると、変形センサには、両者の温度が同じときには熱膨張差による変形が生じないので、

力による変形のみが検出できる。一方、両者の材質が異なると、熱膨張差が生じるので、力変形だけでなく熱変形も検出できる。

今回設計した変形センサの設計図を別紙に示す。

第 3 章

加工

3.1 使用材料

S 4 5 C (大同アミスター株式会社製スタープレート 20 × 45 × 80)

S 4 5 C (丸棒 1m)

六角穴つきボルト(ステンレス製M 6 × 1 2)

S 4 5 C の主用化学成分と機械的性質

主用化学成分(%)		機械的性質		
C	M n	降伏点(N/mm ²)	引張り強さ(N/mm ²)	伸び(%)
0.42 ~ 0.48	0.60 ~ 0.90	4 9 0 以上	6 9 0 以上	1 7 以上

S 4 5 C を使用した理由として

- ・ 安価である
- ・ 加工しやすい
- ・ 剛性がある
- ・ マシニングセンタも鋼である

が挙げられる。

3.2 使用機械及び工具

図 3.2.1 でオープン CNC マシニングセンタ(大阪機工株式会社製 VM4)を示す。

図 3.2.2 でワイヤカット放電加工機(三菱製 DIAX SX10 0.2mm 黄銅ワイヤ)を示す。

図 3.2.3 で M6 タップとハンドル

60 フライス

10 ドリル (OSG 製 EX-GOLD)

6 ドリル (OSG 製 EX-GOLD)

5 ドリル (OSG 製 EX-GOLD)

10 エンドミル (OSG 製 EDS) を示す。



(図 3.2.1) オープン CNC マシニングセンター



(図 3.2.2) ワイヤカット放電加工機



(图 3.2.3) 使用工具

3.3 加工手順

本体部分

上の穴2つを 6ドリルであけた。

下の穴2つを 5ドリルであけた。

穴つき六角ボルトの頭の部分4つを 10エンドミルであけた。

下から15mmを深さ10mm削るために、10エンドミルで深さ5mmで1mmづつ7往復半させ、その作業をもう1回繰り返した。

裏も 10エンドミルで1mmづつ32往復半させて削った。

ワイヤカット放電加工機で外周と内側を切り平行平板にした。
出来たものを図3.3.1に示す。



(図 3.3.1)本体部分

留め金部分

80×45×20 のスタープレートをワイヤカット放電加工機で、15×45×20 を 2 つ、30×45×20 を 1 つに切り分けた。

そのそれぞれに、本体部分と同じように穴をあけた。

10 ドリルで連結棒の通る穴をあけた。

厚さを 10mm にするのにそれぞれ平フライスを用いた。

出来たものを図 3.3.2 に示す。



(図 3.3.2 各部品)

連結棒

連結棒は本実験室に加工手段が見つからなかったため今回は加工できなかった。

変形センサの全体を図 3.3.3 に示す。
本体部分を図 3.3.4 に示す。



図 3.3.3 変形センサの全体



図 3.3.4 変形センサの本体部分

第4章

考察と展望

4.1 考察

- ・ 連結棒を通す穴を 10 のドリルであけたが、それでは棒が通らなかったなのでエンドミルでもう少し穴を広げれば良かった。
- ・ 上に同じく六角穴つきボルトの頭が入る部分ももう少し大きくすれば良かった
- ・ 本体の平削りも平フライスを使えば良かった。見た目もきれいなうえ早い。
- ・ 平行平板構造については完璧な設計と加工だと思う。ゲージを貼る位置も確保できている。
- ・ ゲージを貼って検定してみなければわからないが、変形は x 軸の 1 軸だけであり、他の軸の変形が干渉することはないと思われ、設計は成功したと思われる。

4.2 展望

- ・ センサの変形方向選択性、センサの出力感度、センサの剛性、センサの温度特性の検定実験。
- ・ スーパーインバー製の変形センサとの比較。
- ・ 今回の実験は設計と加工を目的に進めてきたので、今後はこのセンサを用いて上記のような検定実験を進めてもらいたい。

謝辞

本研究は、長尾高明教授の指導を受け学び研究したものです。研究全般にわたり、長尾高明教授には、貴重な御助言、御指導を頂きました。

院生の木崎さん、更谷さん、上條さん、学部生の大谷さん、井村さん、柳原さん、刈谷さん、桜木さん、福永さん、小林研究室の橋本さんには、多くの御協力を頂きました。

以上の方々に深く感謝し、厚く御礼を申し上げます。

参考文献

長尾高明、畑村洋太郎、光石衛、中尾政之、“ 知能化生産システム ” 朝倉書店

J I S ハンドブック鉄鋼 日本規格協会