

卒業論文

**ジョイスティック用
平行平板式力センサ
の開発**

1 p - 17 p

平成14年 2月 25日提出

指導教官

長尾高明教授

高知工科大学

知能機械システム工学科

1010225 柳原暁文

1020115 桜木徳男

1020105 刈谷篤史

目次

1	序論	2
2	加工の臨場感通信システム	3.4.5
	2 - 1 臨場感通信システムとは	
	2 - 2 臨場感通信システムにおける操作システムの必要性	
3	操作システムの構成	
	3 - 1 ハードウェアの構成	6
	3 - 2 ジョイスティック	7
4	力センサの製作	
	4 - 1 力の検出	8
	4 - 2 力センサの製作	9.10.11.12
	4 - 3 力センサの設計に用いる一次変形の計算式	13
5	力センサの検定及び比較	
	5 - 1 力センサの検定実験	14
6	結果・考察	
	6 - 1 結果	15
	6 - 2 考察	15
7	今後の展望	16
	謝辞	17
	参考文献	17

1 章

序論

加工で生じている力を検出することは、現象の解明を求めるにせよ、制御系を構築するにせよ、必須の事柄である。加工で生じる力はもともと多分力である。

このため、 X, Y, Z の3軸方向の力や3軸まわりのモーメントをそれぞれの成分に分離して検出する多軸力センサは、従来の力学現象の解明に用いられてきた。近年になって、ロボット、加工機械、建設機械などの力制御、作業状況の把握遠隔操作などでも多軸力センサの必要性が高まってきた。従来の研究では、加工の現場と操作者を切り離してネットワークで2つの場所を遠隔操作で結びつけ、実際に加工をすることができるようにはなっている。しかし2つの場所を切り離したことで実際の現場での様子はコンピューターの操作画面と数値、現場の映像という形でしか伝わってこない。以上のことから従来の研究では加工の現場と操作者を切り離すことはできても、実際に現場で操作しているように感じさせる加工の臨場感通信システムは完成されていない。そのため昨年、長尾研究室ではシステムに必要不可欠であるセンサの開発に取り組んだ。

しかし、昨年度開発された力センサは、感度は良いが長期安定性、耐環境性には問題があり破損してしまった。よって、我々は設計から見直し、改良する事とし、そして昨年度との剛性の比較を行いシステムに組み込むことを試みた。

2 章

2 - 1

臨場感通信システムとは

加工の臨場感通信システムとは、工作機械を操作する操作者と、工作機械および非加工物が異なる世界にあるときに、操作者にあたかも目の前で加工をしているように感じさせるシステムである。このシステムを実現するには実際の加工の際に感じているように操作者に感じさせる必要がある。

加工における異なる世界とは人間が備える感覚器官では直接知覚することができない遠隔地や微小世界、あるいは、真空中、宇宙空間、水中等の環境を意味する。これらの世界と人間の存在する空間とを加工反力、加工熱、加工音、加工状態等の情報と機械の制御情報とによって、有機的に結合するのが本システムである。このような環境に設置された対象を加工、操作しようとするときのような問題が生じる。

- 1 . 対象が遠隔地に存在する場合、通信が高速であっても遅れ時間を生じる。
- 2 . 対象が真空中に存在する場合には、工作物から加工音が伝わってこない。
- 3 . 微小世界では支配する物理法則が異なる。具体的には、慣性力よりも摩擦や粘性力、静電気力の影響が大きくなり、人間が通常存在する世界の感覚では微小世界の対象を自由に操作できない。

これらの諸問題を克服するシステムが加工の臨場感システムである。このシステムを用いることによって、以下のような利点が生じる。

- 1 . 対象となる被加工物がどこにあっても、同じ感覚で操作することができる。
- 2 . 対象となる被加工物がどのような大きさのものであっても、同じ感覚で操作することができる。
- 3 . 対象となる被加工物がどのような大きさで、どこにあっても、同じオペレーションルームで作業することができる。

以上の利点をもう少し詳しく見ていく。

1 .

操作者と被加工物の位置関係

加工の臨場感通信システムが完成するとオペレーションルームとマシンサイトの物理的な位置関係はもはや問題とはならない。例えばオペレーションルームとマシンサイトが離れていても操作可能となる。

2 .

操作者と被加工物の相対的大きさの問題

従来、微細加工をする際には、電子顕微鏡の画面だけを頼りに加工を行っていたが、本システムが完成するとあたかも手で扱っているのかのような加工を行うことができる。

3 .

オペレーションルームの同一性

上記の2点を可能とするようなオペレーションルームはそのシステムとしての類似性が強い。従って、1つのオペレーションルームで遠隔地にあるマシンサイトでの加工を行うことも可能である。

これらの数々の特徴を持つシステムが加工の臨場感通信システムである。

2.2 臨場感通信システムにおける操作システムの必要性

人間が実際に工具を使って加工する時のことを考えてみると、加工とは根本的に考えてみると、「被加工物に工具を接し、力を与え、かつ工具の位置を動かす事によって被加工物に形状を好ましい形状に変化させること」といえるだろう。このとき工具と被加工物を持っているのは手である。手は3次元の位置が分かり、また力覚、感覚、温覚といった感覚を備えている。したがって、手を媒介することによって、位置を直感的に知ることができるのはもとより、加工反力によってもたらせる情報は非常に多くの情報を操作者に与えてくれるだろう。例えば手に返ってくる振動によって加工状態がわかる。また、加工の際の力加減といったものも感覚的に自由に変えることができる。

以上のようなことから操作者の手からの力情報を受け取り、操作者に工具に位置・反力をフィードバックするような装置を導入することによって、加工の臨場感通信システムが完成するのではないかと思われる。

3章

ハードウェアの構成

ここで操作システムのハードウェアの構成について述べる。操作システムを実現するためには3次元位置を操作者に伝え、また操作者の手からの力を検出する機構が必要である。この部分が3次元ジョイスティック部である。3次元ジョイスティックはマシニング・センタの座標系であるので、それにあわせて直行座標系とし各軸はリニアガイド、研磨ボールネジ、ステッピングモータを使用した直動機構を組み合わせた電動スライダーを利用する。

人間の力を検出するためには力センサが必要である。我々は昨年度と同じく平行平板構造を3つ組み合わせた力センサを制作した。力センサの出力はストレイン・アンプを介してアナログな電圧情報に変換され、A/D変換ボードに入力されデジタル信号となり、コンピューターに取り込まれる。

また、ジョイスティック側からではなく、コンピューター側から電動スライダーを動かすときは、PCPG46というモータ・コントロールボードとA/D変換ボードを搭載したコンピューターから直接電動スライダーにパルス信号を送り、動かすこともできる。

2 . ジョイスティック

ジョイスティックはマシニング・センタにならって直行座標系をつかった。実際使用したマシニング・センタでは、X軸はワークのベット側、Y、Z軸ではツール側が動くようになっているが、ツールを固定した座標系からみればツールがX、Y、Zの3次元で移動すると考えられる。図3・1にその概略図をしめす。また、図3・2に全体の写真をしめす。

直行座標系であるので、各軸は直線運動をする機構が必要となるそのための機構として電動スライダーを使用した。これはそれ自体にステッピング・モータが取り付けられているし複数の結合も可能である。

3分力・力センサはこのジョイスティックのテーブル上部に取り付けられている。

2 . 力センサ

操作者の手からの力を検出するために、3軸力を検出するためのセンサを用いる。3次元ジョイスティック自体が400mm程度であることや人間の手が使うものである事を考えると、なるべくコンパクトなサイズにせざるをえない。実際に使用する場合にはセンサの上部にプラスチックの棒を装着し、それを持って操作することになる。

力センサの制作と検定方法は4章及び5章で述べる。

4 章

2 . カセンサ

力の情報は3軸力である。そこで3軸力の検出が可能で小型の力センサを製作した。力センサは平行平板をもちいたもので、各軸とも4ゲージとした。

2 . 力の検出

加工で生じている力を検出することは、現象の解明を求めるにせよ、制御系を構築するにせよ、必須の事柄である。加工で生じる力はもともと多分力である。このため、X,Y,Zの3方向の力や3軸まわりのモーメントをそれぞれの成分に分離して検出する多軸力センサは、従来の力学現象の解明に用いられてきた。

一方近年になって、ロボット、加工機械、建設機械などの力制御、作業状況の把握、遠隔操作などでも多軸力センサの必要性が高まってきた。これは、例えば、力による加工においては、工具と被加工物との間に作用している力は、方向についても、位置についても本質的に3次元であり、そこで作用している力の位置や大きさを知るには、工具側から検出するにせよ、被加工物側から検出するにせよ、本来、力の3軸方向の各成分モーメントの3軸まわりの各成分、合計6成分を検出しなければならないからである。別の言い方すれば、工具と被加工物のどちら側からであれ、加工で生じている力の大きさや方向がわかるためだけでなく、そこで生じている現象を正しく把握することができ、ひいては適切な制御ができることになる。

このような目的に使用される多軸力センサには、多くの事柄が要求される。

力やモーメントの各成分が多成分の干渉なく検出できること。
剛性・固有振動数が高く、センサを挿入したことで系の力学特性ができるだけかわらないこと。
十分な感度をもつこと。
センサ自体が運動部分に取り付けられることが多いので、軽量でコンパクトなこと。
長期安定性、耐環境性に優れていること。
コストが安く信頼性が高いこと。

しかし昨年度の力センサは上記の 、 に問題はなかったが、 に問題が発生した。（昨年度設計図を図1に示し、写真を図2に示す）それで私たちは力センサの製作にあたって を重要と考え製作にあたった。（本年度設計図を図3に示し、写真を図4に示す）
上記の要求を満たすために次の事が言える。

設計を見直し加工の精度をあげる。

力センサの材質を考慮する。

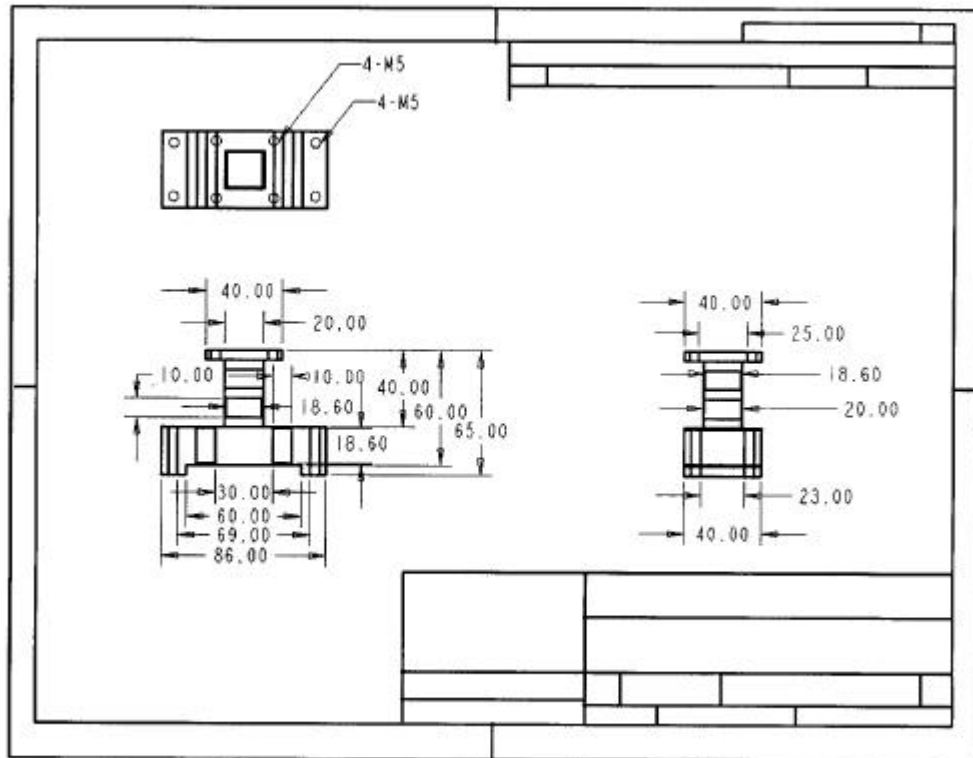


图 1

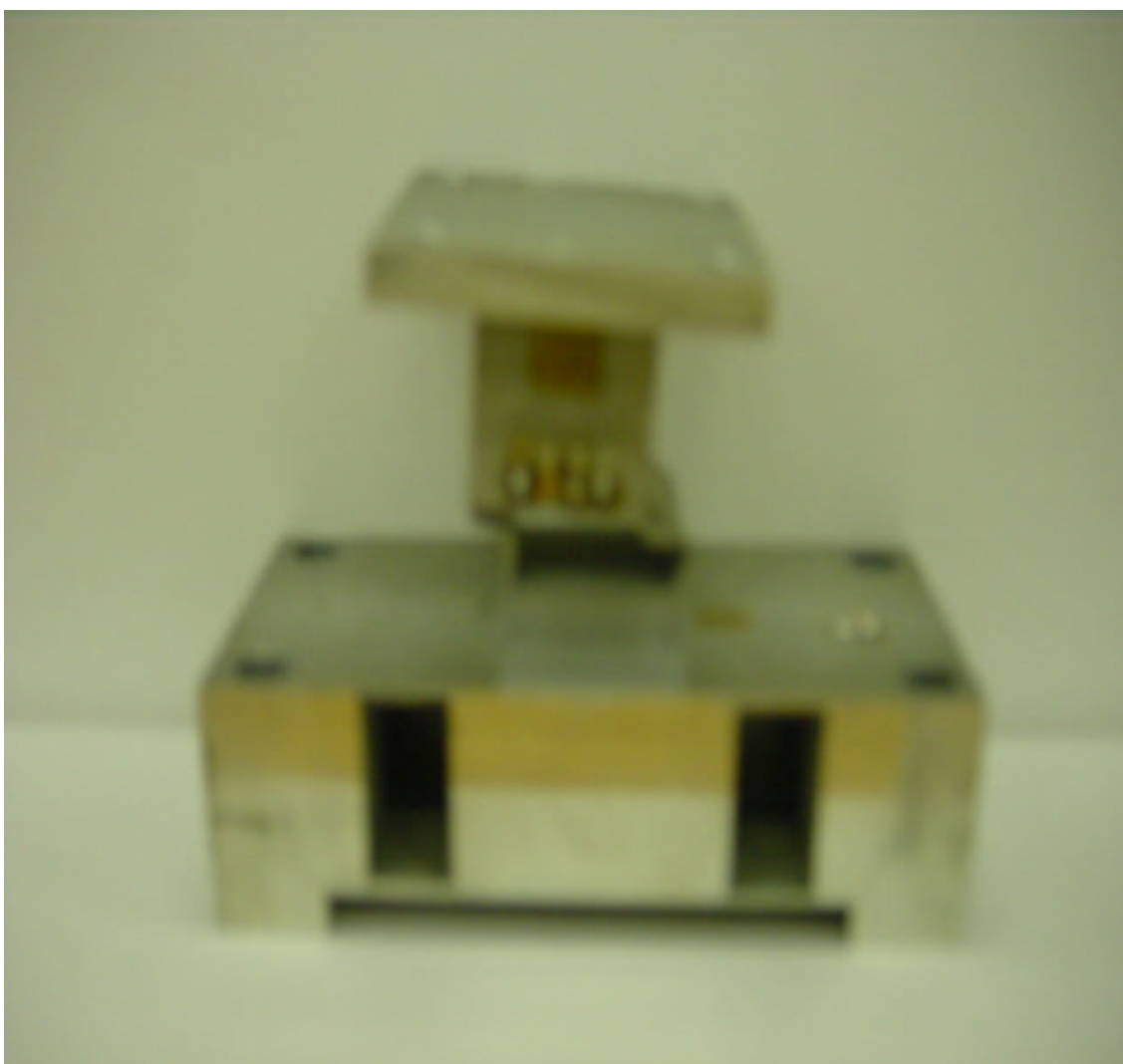


图 2

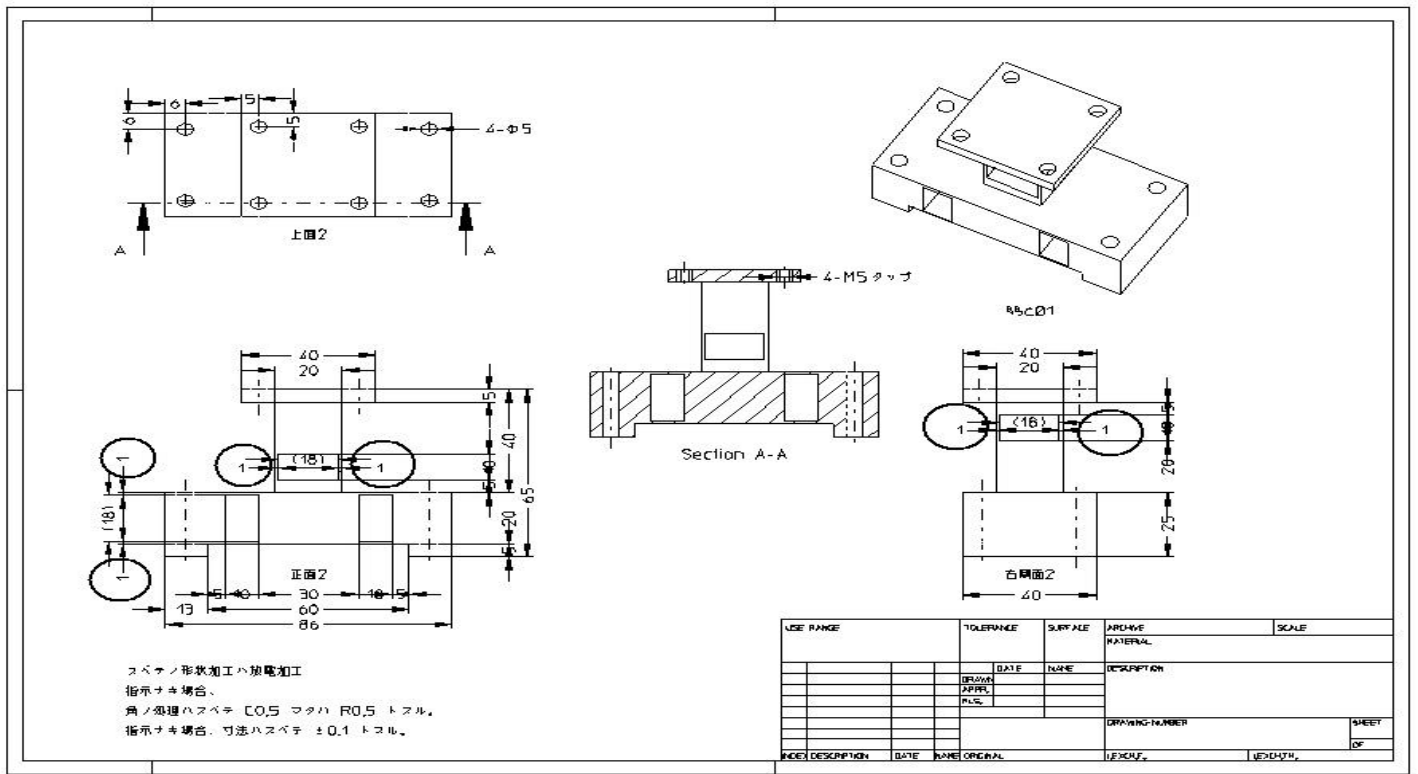


図 3

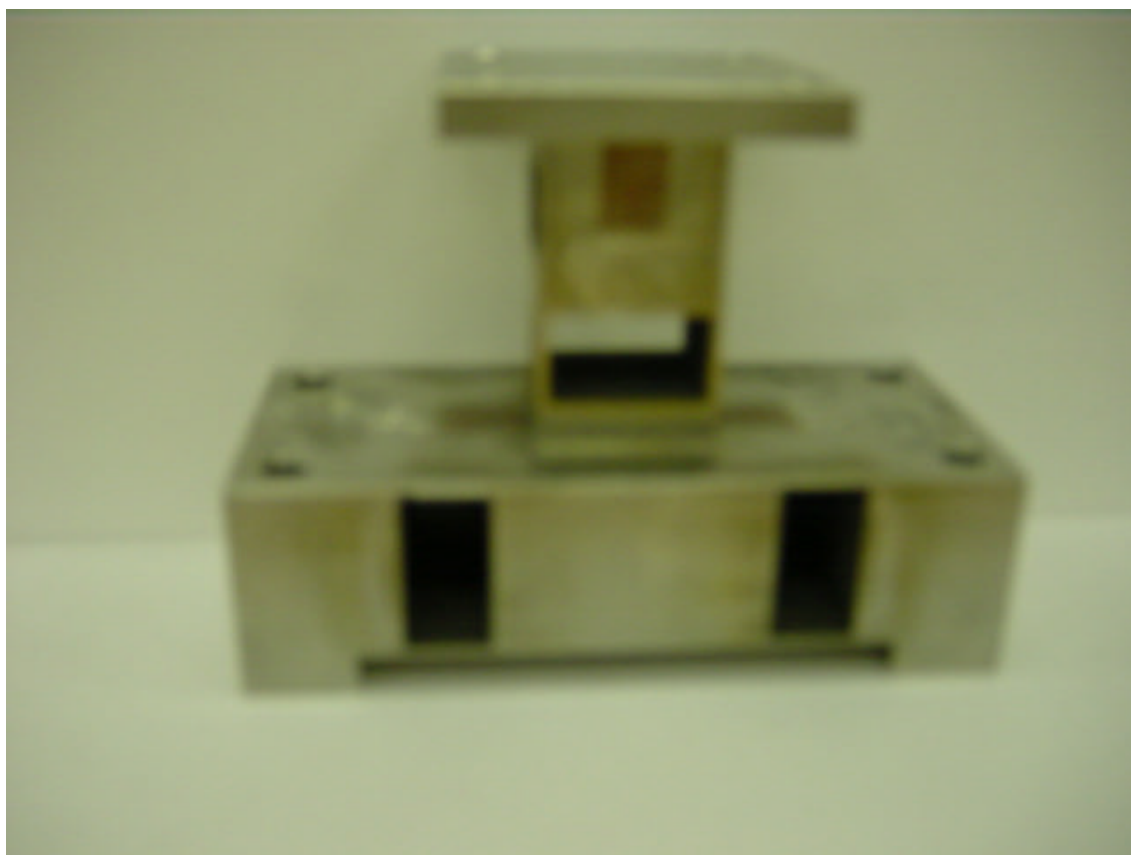


图 4

3 . カセンサの設計に用いる 1 次元変形の計算式

ここで、平行平板を用いた力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力センサの設計に用いる 1 次元変形の計算式を図 5 にしめす。例えば、s 4 5 c (調材質) の角帽に端部から 5 mm の所に $l = 1 \text{ mm}$ 、 $t = 0.35 \text{ mm}$ 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力センサをつくると、定格荷重 98 N (10 kgf) の場合、

$$\begin{aligned} &= 0.28 \mu\text{m} \\ &= 290 \times 10^{-6} \\ K &= 353 \text{ N}/\mu\text{m} \text{ (} 36 \cdot \text{ kgf}/\mu\text{m} \text{)} \\ F &= 754 \text{ Hz} \end{aligned}$$

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。

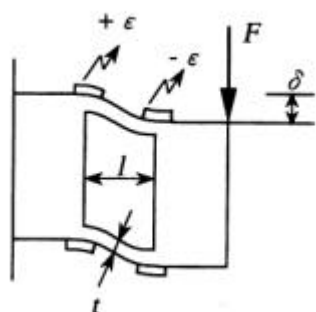


図 5

$$\begin{aligned} \text{幅} &: b \\ \text{可動部質量} &: m \\ \text{縦弾性係数} &: E \\ \text{たわみ} &= Fl^3/2Ebt^3 \\ \text{根元のひずみ} &= 3Fl/2Ebt^2 \\ \text{剛性} &K=2Ebt^3/l^3 \\ \text{固有振動数} &f = 1/2 \sqrt{2Ebt^3/ml^3} \end{aligned}$$

5章 力センサの検定

力センサの検定を行った。検定方法は第4章図5の1次変形の計算式を使い。昨年度制作された力センサ、本年度制作した力センサのたわみ、根元のひずみ、剛性、固有振動数をそれぞれ調べ、比較した。またステンレスの弾性係数は197GPa、アルミニウムの弾性係数は27GPaで計算した。

$$\text{たわみ} = Fl^3/2Ebt^3$$

昨年度

$$0.26 \mu\text{m}$$

本年度

$$0.012 \mu\text{m}$$

$$\text{根元のひずみ} = 3Fl/2Ebt^2$$

昨年度

$$5.5 \times 10^{-6}$$

本年度

$$0.37 \times 10^{-6}$$

$$\text{剛性の公式 } K=2Ebt^3/l^3$$

昨年度

$$370.44 \text{ N} / \mu\text{m}$$

本年度

$$394 \text{ N} / \mu\text{m}$$

$$\text{固有振動数 } f = 1/2 \sqrt{2Ebt^3/ml^3}$$

昨年度

$$703 \text{ Hz}$$

本年度

$$1850 \text{ Hz}$$

6章

1. 結論

力センサの製作は設計において穴の部分の厚みを0.7から1.0に変える事により強度、剛性が上がった。

材質もアルミからステンレスに変えることによりさらに剛性が上がりました。

加工においても昨年度よりも誤差0.1mmになりよくなった。

既存の電動スライダーに装着可能となり、力を検出することができた。

2. 考察

昨年度と本年度の力センサの比較を行うために、昨年度と同じ設計図を基にして改良してよくなったが感度が落ちてしまった。

センサとしては機能したが制御まではいたらなかった。

力センサを製作するにあたって次のような事がいえる。

材質が低コストである。

剛性、感度共にいいものである。

加工が簡単な材質である。

回路を考慮したうえで設計を考える。

加工の精度をよくする。

7 章

今後の展望

今後の展望としては、製作、加工された力センサの検定を行ない、電動スライダーにとりつける。
完成させるには、次の事項が必要になると思われる。

- 力センサの検定において大量のデータをとる。
- 制御プログラムの見直し。
- 既存の X 軸電動スライダーの制御。
- 力センサの材質、設計、加工の見直し。

今回の研究では、昨年度壊れた力センサを製作することだけ为目标にすすめてきましたが、出来上がった力センサを組み込んだシステムの制御には至りませんでした。

昨年度の力センサは、剛性が弱く、精度もよくなかったので、設計と剛性に力をいれました。上にも述べたように今後は制御のプログラムの研究を進めてもらい、よりよいセンサとシステムを作成してもらいたい。

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、ご指導をいただきました。

長尾研究室の皆様
学部院生 沢田さん

以上の方々に深く感謝し、厚くお礼を申し上げます。