薄板の一体成形による平行平板構造を用いた 吊り下げ型角速度センサ

学生員 佐藤 宏 司 (名古屋大学)
 正 員 新 井 史 人 (名古屋大学)
 正 員 福 田 敏 男 (名古屋大学)
 正 員 糸魚川 貢 一 (株式会社 東海理化)
 非会員 塚 原 靖 典 (株式会社 東海理化)

Dangler Type Vibrating Gyroscope Using the Parallel Beam Structure by the Sheet Metal Molding

Hiroshi SATO, Student Member, Fumihito ARAI, Member, Toshio FUKUDA, Member (Nagoya University), Kouichi ITOIGAWA, Member, Yasunori Tsukahara, Non-member (Tokai Rika Co., LTD.)

We produced a new vibrating gyroscope using a parallel beam structure. This gyroscope has some following significant features, (1) The sensor device does not interfere to the reference vibration of the drive device. (2) This structure can convert the small Coriolis force into large concentrate strain. (3) Resonance frequency of the drive unit and the sensor unit can be easily adjusted by changing the mass of the tip. (4) Mechanical coupling can be suppressed by applied voltage to sensor device. However, this gyroscope is unsuitable for the mass-production, since the structure is complicated.

In this paper, we solve this problem by the presswork and the hydrothermal method. We optimized of the parallel beam gyroscope for the presswork based on the FEM analysis, and put PZT thin films by the hydrothermal method. Using these two methods, we produced the dangler type gyroscope suitable for the mass production of a small size gyroscope with the advantage of the parallel beam structure.

キーワード : 振動型ジャイロセンサ、平行平板構造、プレス加工、水熱合成法、PZT 薄膜

Keywords : Vibrating Gyroscope, Parallel Beam Structure, Press Work, Hydrothermal Method, PZT Thin Film

1. はじめに

近年、圧電材料を利用した振動型ジャイロセンサ（音叉型、音片型、三角柱型等）が小型、低価格でビデオカメラの手振れ補正、車の姿勢制御やナビゲーションシステム等に広く利用されている⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾⁽⁴⁾⁽⁵⁾。

圧電材料を用いた振動型ジャイロセンサは、一般に駆動用と検出用の2種類の圧電材料を用いる。まず駆動用の圧電材料に電圧を加え逆圧電効果を用いて参照振動を励振する。その後回転が加わった時に参照振動に対して直交する方向に発生するコリオリ力を、検出用の圧電材料に生じる歪みから正圧電効果により電気信号に変換し検出している⁽²⁾⁽³⁾⁽⁵⁾。検出原理が単純であり、機械的な磨耗部分がないためメンテナンスフリーであることから、コマ型ジャイロ、リングレーザージャイロや光ファイバー

ジャイロ等の従来からあるジャイロセンサと比べ小型で低価格である特徴を持っている。しかしコリオリ力により生じる歪みは微弱なため、高感度な振動型ジャイロセンサを作製することは困難である。

我々は加えた力を集中歪みに変換するすることのできる平行平板構造を利用し、(1) 検出部と駆動部が干渉を起こしにくく (2) コリオリ力による変形を集中歪みに変換し (3) 共振周波数の調整が簡単に行うことができ (4) 漏れ振動の抑制が可能な特長を持つ振動型ジャイロセンサの研究を行ってきた⁽⁶⁾⁽⁷⁾⁽⁸⁾。

しかし我々の提案した平行平板型ジャイロセンサは構造が複雑で機械切削時の加工精度、圧電材の張り合わせ誤差などによる漏れ振動の増大、及び作製コストの面で問題があった。本論文ではこの問題に対して、機械切削による平行平板構造の作製の代りにプレス加工による構

造の作製、上部の構造を下部の中に折り込むことによる構造の小型化及びモーメントの影響の軽減、4枚の圧電材の張り合わせの代りに水熱合成法による圧電材料の一括製膜を行い、切削加工による加工誤差や圧電材の張り合わせ位置のずれの影響を軽減し、量産性に適した振動型ジャイロセンサの作製、評価を行った。

2. 平行平板型ジャイロセンサ

我々の提案した平行平板型ジャイロセンサは平行平板構造の以下のような特徴を利用することにより、高感度化を行っている。(1) 可動端は駆動方向に平行に移動する。(2) 駆動方向に加わる力を集中歪みに変換する。(3) 駆動方向以外には剛性が高く、歪みの集中は起こらない⁽⁹⁾。この構造は畑村らによりこれまでに歪みゲージ等を利用しピン型ロードセルや多軸の力センサ等に用いられてきた^{(10) (11)}。

平行平板型ジャイロセンサの構造は図1(a)に示すように大きさは縦5mm、横5mm、高さ24mmの直方体の金属(SUS304)に切削加工により平板部の厚みが $250\mu\text{m}$ になるように貫通する穴(上部:幅4.5mm、高さ10mm、下部:幅4.5mm、高さ8mm)を空け、上下2つの平行平板構造を作製している。上部と下部の平行平板構造の駆動方向は直交しているため、外部から力が加わってもそれぞれの駆動方向にのみ変形がおり、干渉は起こらない。また外部から加わった力は平行平板構造の平板部と結合部の境界で集中歪みに変換される。

この構造の4つの側面に上下2分割した圧電材料(PZT板、長さ12mm、幅5mm、厚み $150\mu\text{m}$)を貼付け振動型のジャイロセンサを作製している。下部の圧電材料に位相の180度異なる駆動電圧を上下の電極に加え、平行平板の駆動方向に参照振動を励振する。上部の構造の振動方向は参照振動の振動方向に対して直交しているため、参照振動方向には剛性が高く、ほとんど変形がこない。外部から回転が加わると、振動方向に対して直交する方向(検出方向)にコリオリ力が発生する。この力により上部の側面に張り付けた圧電材料に集中歪みが起こり、正圧電効果により電荷が発生する。この集中電荷を計測し角速度を求める。

このように平行平板構造を用いることにより、平行平板型ジャイロセンサは従来の振動型ジャイロセンサに比べ、

- 駆動部による参照振動が検出部に影響を起しにくい構造である。
 - コリオリ力による変形を集中電荷に変化することができる。
 - 共振周波数の調整、漏れ振動の抑制が可能である。
- の特長を持っている^{(7) (8)}。

3. 平行平板型ジャイロの改良

平行平板型ジャイロセンサの作製工程は図2に示すように機械切削による母材の切り出し(図2-a)、及び平板構

図1 平行平板型ジャイロセンサと吊り下げ型ジャイロセンサ

Fig. 1. Parallel Beam Gyroscope and Dangler type Gyroscope

造の作製(図2-b)、4枚の圧電材の張り合わせ(図2-c)の3つの行程がある。しかし切削加工で平板を作製しているため平板部の厚みの均一性や、圧電材料を4枚張り合わせたときの位置の対称性を保つのは困難であり、作製時に誤差が生じる。この誤差により、参照振動が検出方向に漏れるメカニカルカップリングの影響が大きくなりS/N比が低下する。また生産性の面でも切削加工、及び4枚の圧電材の張り合わせ工程は量産には向いていない。

そのため我々はこの問題に対して板のプレス加工による平行平板構造の成形(図3-a)、及び水熱合成法による圧電材料の一括製膜(図3-b)を行い、固定部を取り付ける(図3-c)ことにより、作製時の誤差の影響を軽減し、量産性を向上させ、また上部の構造を下部の中に折り込むことにより構造の小型化及びモーメントの影響を軽減した図1(b)のような吊り下げ型ジャイロセンサを試作した。

まず、板厚 $300\mu\text{m}$ のチタン板を幅3mm、高さ11.5mmの大きさになるようにプレス加工で図3-bのように加工し、表面に水熱合成法によりPZT薄膜を均一に $15\mu\text{m}$ 成長させる。その後、電極としてアルミを駆動部及び検出部に蒸着し、アクチュエータやセンサに用いている。この時、駆動部の電極は振動変位を大きくするため平板部の長さ全体に、検出部は歪みの集中する平板と支持部の境界部のみに電極としてアルミを成膜している。そして固定部を取り付け、平行平板構造を作製している(図3-c)。

〈3・1〉 水熱合成法 東工大の大場らにより、水熱合成法を用いてTi基板上にPZT多結晶膜を直接形成できることが1991年に報告されている^{(12) (13)}。水熱合成でPZT多結晶薄膜を作製する利点として、(1)水溶液中での成膜のため3次元構造物にも膜を作製することができ(2)成長プロセスを繰り返すことにより厚い膜を作製することができ、(3)分極処理が不要(自然分極)である。

図2 平行平板型ジャイロセンサの作製法

Fig.2. Manufacturing Method of the Parallel Beam Gyroscope

図3 吊り下げ型ジャイロセンサの作製法

Fig.3. Manufacturing Method of the Dangler Type Gyroscope

表1 EDX による PZT 膜の組成分析結果

Table 1. fructification of the composition analysis of the piezoelectric ceramics by EDX

Constituent	PZT film was used for atm(%)
Pb	55.91
Zn	33.77
Ti	10.31
Total	100

などが挙げられる。その後、東大の樋口らにより成膜条件が改良され、マイクロ超音波モータや加振型接触センサ等について研究が行われている⁽¹⁴⁾⁽¹⁵⁾。

この方法は核生成プロセス(step1)と、結晶成長プロセス(step2)の2つに分けられる。核生成プロセスでは水溶液中に Pb^{2+} , Zr^{4+} イオンと、Ti 基板との化学反応により基板と結合力の強い PZT 多結晶膜を成膜させる。その後、結晶成長プロセスでは Pb^{2+} , Zr^{4+} , Ti^{4+} を水溶液中に供給し、PZT 多結晶を成長させる。

この様にして作製した PZT 多結晶薄膜の SEM 写真を図4に示す。図4より $5 \sim 10 \mu m$ の PZT 結晶が積層し成長しているのがわかる。

今回作成した PZT 薄膜を EDX(堀場製作所 E-MAX 3700)を用いて組成比を測定した。測定結果を表1に示す。

表から分かるように今回作成した膜は Pb を 1 とすると $Zn = 0.6$ 、 $Ti = 0.18$ となり、電気機械結合係数が最

図4 作製した PZT 薄膜の SEM 写真

Fig.4. SEM Image of the PZT Thin Film

大となる組成比の PZT($Pb_{0.95}Zr_{0.05}Ti_{0.46}O_3$) と比べ、Ti の割合が低くなっている。

次に PZT 薄膜の圧電定数を計測するため、成膜時に長さ 30mm、幅 5mm、厚み $50 \mu m$ の評価用の Ti 板を混入し、バイモルフ構造を作成した。DC 電圧をバイモルフに加え、その変位をレーザー変位計(キーエンス:LC-2400)を用いて測定した。入力電圧をバイモルフの先端変位との関係は

$$\delta = \frac{3l^2}{2t} \frac{(1-a^2)Y_f}{a^3Y_s + (1-a^3)Y_f} d_{31}E, (a = \frac{t_s}{t}) \dots (1)$$

(l :バイモルフの長さ、 t :全厚さ、 t_s :チタン板厚さ、 Y_f :PZT のヤング率、 Y_s :チタン板のヤング率)で示される⁽¹³⁾⁽¹⁴⁾。ただし PZT のヤング率 Y_f は

$$Y_f = \frac{\frac{f_c^2}{f_0^2}(1 + 2\frac{t_f d_f}{t_s d_s}) - 1}{8(\frac{t_f}{t_s})^3 + 12(\frac{t_f}{t_s})^2 + 6(\frac{t_f}{t_s})} Y_s \dots (2)$$

(f_c :バイモルフ構造の共振周波数、 f_0 :チタン板のみの共振周波数、 t_f :PZT 膜の厚み、 d_f :PZT 膜の密度、 d_s :チタン板の密度)で示される。それぞれ $f_c = 131.32Hz$ 、 $f_0 = 103.0Hz$ 、 $t_f = 15 \mu m$ 、 $d_f = 4.27 \times 10^6 g/m^3$ 、 $d_s = 4.0 \times 10^6 g/m^3$ を実験より求めた。PZT のヤング率 Y_f は $Y_f = 5.373 \times 10^{10} N/m^2$ となり、(1)式より圧電定数 d_{31} は $d_{31} = 50.9 \times 10^{-12} m/V$ であった。この値は焼結による圧電セラミックスに比べ低い値になっているが、EDX の評価より分かるように今回作成した PZT 薄膜の組成比のコントロールが十分で無かったことが原因であると考えられる。また図4に示した PZT の SEM 写真より分かるように表面が荒らいために、厚みが正確に測定できないこと、作製した膜を PZT 膜単一の膜と仮定し、(2)式を用いて求めたことによる計算誤差も大きいと思われる。

〈3・2〉 センサ部とアクチュエータ部 振動型ジャイロセンサの感度を向上するためには一般的に検出側と駆

動側の共振周波を近づけることが望ましい⁽¹⁶⁾。従来の平行平板型ジャイロセンサ(図5-a)の上部(検出部) f_{upper} の共振周波数は式(3)

$$f_{upper} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{2Ebt_u^3}{m_t L_{sensor}^3}} \dots\dots\dots (3)$$

で示される⁽⁸⁾。ここで L_{sensor} 、 t_u 、 b 、 E はそれぞれ、上部の平板の長さ、厚み、幅、材料の縦弾性係数で、 m_t は上部先端の剛体の重さである。

同じように下部(駆動部)について考えると、上部と下部の駆動方向とは直交しているため下部の駆動方向の振動に対しては剛体と考えることができる。上部全体の重さを m_d 、駆動部の平板の長さ、厚み、幅を、それぞれ L_{drive} 、 t_l 、 a とすると、下部の共振周波数 f_{lower} は以下のようにになる。

$$f_{lower} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{2Eat_l^3}{m_d L_{drive}^3}} \dots\dots\dots (4)$$

この2式が等しくなるように設計することが望ましい。吊り下げ型構造(図5-b)においても、平行平板構造の特徴は保たれるため、上2式はそれぞれ吊り下げ部と上部、構造支持部と下部とが対応する($L_{drive} = L_{fix}$ 、 $L_{sensor} = L_{hang}$)。プレス加工で作製を行うため、この二式の平板部の厚みを一定($t_u = t_l$)として、共振周波数を等しい($f_{upper} = f_{lower}$)とすると

$$L_{fix}^3 = \frac{m_t}{m_d} L_{hang}^3 \dots\dots\dots (5)$$

となる。ここで m_d は吊り下げられた構造全体の重さ、 m_t は吊り下げられた先端の重りであるため、 $L_{hang} > L_{fix}$ となり、吊り下げ部の平板の方が支持部より長くなる。一般に速度 V で振動している質量 M の物体に角速度 Ω が加わったとき発生するコリオリ力は

$$F_c = 2MV\Omega \dots\dots\dots (6)$$

で示されるため、平板部の長い吊り下げ部分を駆動部に用いた方が圧電材料による振動速度 V が大きくなり、発生するコリオリ力が増大する。逆に検出部では平行平板構造特有の変形が生じ、力は集中歪みに変換されるため、平板の長さの影響は受けない。そのため吊り下げ型ジャイロセンサでは図5-(b)に示すように、平板の長い吊り下げ部の方を駆動部に、平板の短い支持部の方を検出部に利用している。

〈3・3〉 共振周波数の調整 作成したプロトタイプは有限要素法を用いて共振周波数が合うように解析を行った結果、全体の大きさを高さ11.5mm、幅3mm、板厚300 μ mのチタン板、上部の重り $m_t = 0.26g$ 、駆動部の重さ $m_d = 0.69g$ とすると $L_{fix} = 5.5mm$ 、 $L_{hang} = 7.5mm$ となった。

またこれを式(3)、式(4)に代入すると $L_{fix}^3 = 166.38$ 、

図5 平行平板ジャイロセンサと吊り下げ型ジャイロセンサの原理

Fig.5. Principle of the Parallel Beam Gyroscope and the Dangler Type Gyroscope

$\frac{m_t}{m_d} L_{hang}^3 = 158.97$ となり式(5)をほぼ満たしている。この条件でプロトタイプを作製し、共振周波数を測定すると駆動部1.774kHz、検出部1.935kHzとなり、2つの共振周波数は離れてしまった。これは作製時の誤差による影響であると考えられる。この様に離れた2つの共振周波数を合わせるため、上部に重りを付加し共振周波数をコントロールする方法を用いた⁽⁸⁾。これまでの平行平板型とは異なり、駆動部は上部から吊り下げていることから上部に重りを付加しても平行平板構造の重りの大きさは変わらないので共振周波数は変化せず、検出部のみの共振周波数が変化する。今回上部に0.091gの重りを付加することにより、共振周波数は駆動部1.767kHz、検出部1.788kHzとなった。

〈3・4〉 変形モードに関する考察 平行平板構造の上部に荷重が加わると図6-(a)に示すような平行平板構造特有の変形モードが現れ、歪みは平板と平板を固定している部分との境界に集中する。このことを利用して平行平板型ジャイロセンサでは平板の側面の電極を2分割し、歪みの集中する場所からの出力のみを検出している。実際の平行平板構造では支持部が完全な剛体でないため、図6-(b)に示されるように一様な曲げモードによる変形も生じている。そのためコリオリ力が上部に加わったときに生じる変形はこの2つの変形モードの重ね合わせた変形が生じる。従来の平行平板効型ジャイロセンサは平行平板構造を2つ積層した構造になっており、下部の固定端から上部の重りまでの距離が離れているため、曲げモーメントの影響が大きくなると考えられる。そのため検出部の4つの電極から発生する電荷にはばらつきが生じてしまう。図5-(b)のように上部の平行平板構造を内部に入れる吊り下げた構造にすることにより曲げモーメントの影響が軽減され、平行平板構造特有の変形モードが大きく現れる。

図7、図8に吊り下げ型ジャイロセンサの駆動部を駆

図6 平行平板変形モードと曲げモード
Fig. 6. Deformation of the Parallel Beam Mode and Bending Mode

動したときの振動変位を示す。駆動部の4つの電極に位相の180度異なる5Vの正弦波を入力し、駆動方向に参照振動を励振する。

その時の吊り下げ型ジャイロの駆動部端点(図5のA点)および駆動部固定点(図5のB点)の駆動方向(X方向:図7)と検出方向(Y方向:図8)の振動変位をレーザードップラー振動計(グラフテック:AT3500)を用いて測定した。図7より駆動部端点(図5-(b)のA点)が駆動方向に振動しているのに対して、駆動部固定点(図5-(b)のB点)は支持部の平行平板の駆動方向と直交しているためX方向には変形がおこっていない。

また図8よりY方向の変形は駆動部端点、駆動部固定点の変形量がほぼ同じであることから、駆動部は平行に検出方向に駆動しており、曲げモードによる変形がほとんど生じていないことが分かる。

図7 吊り下げ型ジャイロの駆動周波数と駆動方向への振動変位との関係
Fig. 7. Relationship between the Drive Frequency and the Displacement to the Drive Direction

4. 角速度検出

作成したプロトタイプを用いて角速度の測定を行った。角速度の測定原理は平行平板型ジャイロセンサと同じ

図8 吊り下げ型ジャイロの駆動周波数と検出方向への振動変位との関係
Fig. 8. Relationship between the Drive Frequency and the Displacement to the Sensing Direction

で、駆動部を用いて参照振動を励振する。外部から回転が加わると、参照振動に対して直交する方向(検出方向)にコリオリ力が発生する。この力により検出部の側面に張り付けた圧電材料に集中歪みが起こり、正圧電効果により電荷が発生する。この集中電荷を計測し角速度を求める。しかし駆動部と検出部の共振周波数を近づけているため、駆動方向の参照振動が検出方向に漏れるメカニカルカップリングの影響が大きく現れ、検出信号に大きなオフセットが発生する。このオフセット電圧により角速度の検出が困難になる。振動型ジャイロセンサを高感度化するためには、このメカニカルカップリングによる影響を少なくする必要がある。

〈4・1〉 漏れ振動の抑制 図8に示す様にメカニカルカップリングによる影響により共振周波数近辺では検出方向へ参照振動が大きく漏れているのが分かる。図10に駆動部の共振周波数1.767kHzで駆動した場合のA点、及びB点での駆動軌跡を示す。駆動部に位相が180度異なる±5Vの正弦波を上下の電極に加え、平行平板の駆動方向に参照振動を励振し、X方向、及びY方向から計測した結果を示している。図10から解るように非常に大きな漏れ振動(50%の漏れ)が発生している。これは2つの共振周波数が20Hz程度しか離れていないことと、吊り下げた構造をアクチュエータに用いたため従来と比べ漏れ振動が発生しやすくなっているのが原因であると考えられる。またこの漏れ振動により、検出部の下部電極の差の出力は42mVのオフセットが生じている。

この漏れ振動を前回我々が提案した検出部の一部をアクチュエータに用いる手法⁽⁸⁾を用いて漏れ振動を抑制した結果を図10に示す。この手法は平行平板構造に荷重が加わったときに4個所に生じる変形が連成しているのを利用している。図9のような回路を用い、駆動電圧に対

して 150 度位相のずれた $\pm 11V$ の正弦波を検出部の上部に加えることにより、検出方向に発生する漏れ振動を 5% 程度に抑制している。この時、発生するオフセット電圧を 10mV まで減少させた。

図 9 吊り下げ型ジャイロの回路

Fig. 9. Control Circuit of the Dangler Type Gyroscope

図 10 A 点 と B 点の軌跡

Fig. 10. Trajectory of the A point and the B point

〈4・2〉 角速度の測定 このようにメカニカルカップリングの影響を抑制した状態で回転を加え、角速度を検出した。図 11 に吊り下げ型ジャイロの角速度に対する出力電圧の特性を示す。図 9 に示す回路を用いて検出部の 2 つの下部電極の差を同期検波を行わずに 80 倍に増幅し振幅変化を読み取っている。

図 11 より角速度に対して出力電圧が比例していることがわかる。感度は従来の平行平板構造に比べ低下しているが、これは水熱合成法により作成した圧電薄膜が従来のバルク材に比べ圧電効果が低いのが原因であると考えられる。

5. まとめ

本稿では、平行平板型ジャイロセンサの問題点である構造の複雑さを解決するために、プレス加工、および水

図 11 角速度を加えたときの出力

Fig. 11. Relationship between Output and Rotation Speed

熱合成法を用いて、切削加工による加工誤差や圧電材の張り合わせ位置のずれの影響を軽減し量産性に適した吊り下げ型ジャイロセンサを考案し、試作、評価を行った。

このように高感度ジャイロセンサがより低価格で作製することができるになれば、これまでのビデオカメラの手振れ防止や車の姿勢制御などだけでなく、三次元マウスなどの位置認識デバイス、ラジコン模型やゲーム機器等のホビー用途への応用が期待される。

今後は水熱合成より作成した圧電薄膜の向上や、検出部の電極にフィードバック制御した電圧を加えることによる振動の抑制、AGC (Auto gain control) 回路による参照振動の安定化を行い、さらなる感度向上、計測レンジの拡大、出力の安定性を目指す。

(平成 12 年 9 月 25 日受付, 同 12 年 12 月 13 日再受付)

文 献

- (1) Jan Söderkvist "Micromachined gyroscopes" Sensors and Actuators A, 43 pp.65-71 (1994)
- (2) Watson Ind., ANGULAR RATE SENSOR APPARATUS, US Patent No. 4,628,734
- (3) 市瀬、寺田 "音叉型振動ジャイロ"、日本工業出版、超音波テクノ、Vol.6, Vol.9, pp.42-47
- (4) W.D.Gates, "Vibrating angular rate sensor may threaten the gyroscope" Electronics, 41 (10) pp.130-134 (1968)
- (5) S. Fujishima, T. Nakamura and K. Fujimoto, "Piezoelectric vibratory gyroscope using flexural vibration of a triangular bar" Proc. 45th Symp. Frequency Control, Los Angeles, CA, USA, pp .261-264, (1991)

- (6) T. Fukuda, H. Sato, F. Arai, H. Iwata, K. Itoigawa "Parallel Beam Micro sensor/Actuator Unit Using PZT Thin Films and Its Application Example" International Conference on Robotics and Automation '98 Proceedings, pp.1498-1503 (1998)
- (7) H. Sato, T. Fukuda, F. Arai, H. Iwata, K. Itoigawa "Analysis of Parallel Beam Gyroscope" International Conference on Robotics and Automation '99 Proceedings, pp.1632-1637 (1999)
- (8) 佐藤宏司、新井史人、福田敏男、糸魚川貢一、塚原靖典 "平行平板型ジャイロセンサの設計と解析" 電気学会論文誌 E, Vol.120-E, pp.128-133, No.3 (2000)
- (9) 谷泰弘、畑村洋太郎、長尾高明、竹中規雄 "平行平板形研削動力計に関する一考察 (第1報)", 精密機械, 48, 6 pp.772-777(1982)
- (10) 畑村洋太郎、飯野謙次、小野耕三、高田龍二 "ロボット用六軸力計の試み" 機論 C54. 497 pp.241-246(1993)
- (11) 畑村洋太郎、高田龍二 "ピン型ロードセルの開発" 機論 C54. 497 pp.241-246 (1993)
- (12) K. Shimomura, T. tsurumi, Y. Ohba, and M. Daimon "Preparation of Lead Zirconate Titanate Thin Film by Hydrothermal Method" jpn.J.Appl.phys.30 pp.2174-2177 (1991)
- (13) Y. Ohba, M. Miyauchi, T. tsurumi, and M. Daimon "Analysis of Bending Displacement of Lead Zirconate Titanate Thin Film Synthesized by Hydrothermal Method" jpn.J.Appl.phys.32 pp.4095-4098 (1993)
- (14) 森田剛、神田岳文、黒沢実、樋口俊朗、"水熱合成法による PZT 薄膜の応用" 信学技報 US97-30, pp.33-38, (1997)
- (15) M.K.Kurosawa, H. Yasui, T. Kanda and T. Higuchi: 'Perforamance of Hydrothermal PZT Film on High Intensity Operation', Proc. of the IEEE International Workshop on Micro Elctro Mechanical Systems (MEMS), pp56-61, (2000)
- (16) 前中 一介、藤田 孝之、前田 宗雄 "振動型マイクロジャイロの設計指針" 平成9電学研資 33-42 電気学会論文誌 E, Vol.118-E, pp.377-383, No.7/8, (1998)

佐藤 宏 司 (学生員) 1995 年名古屋工業大学工学部電気情報工学科卒業 1998 年名古屋大学大学院工学研究科マイクロシステム工学専攻修士課程修了同年同博士後期課程に進学し、現在に至る。センサ、アクチュエータに関する研究に従事、現在に至る。

新井 史 人 (正員) 1988 年東京理科大学大学院修了、88 年富士写真フィルム入社、89 年名古屋大学助手、93 年工学博士 (名古屋大学)、94 年名古屋大学大学院工学研究科マイクロシステム工学専攻 講師、98 年より助教授、現在に至る。マイクロシステム、マイクロロボティクス、インテリジェントシステム等の研究に従事。電気学会、IEEE などの会員。

福田 敏 男 (正員) 1977 年東京大学大学院博士課程修了、77 年通産省工業技術院機械技術研究所、82 年より東京理科大学工学部講師、83 年助教授、89 年 4 月、名古屋大学工学部教授、94 年名古屋大学大学院工学研究科マイクロシステム工学専攻教授、97 年より名古屋大学先端技術共同研究センター教授、現在に至る。知能ロボット、自己組織化ロボット、マイクロシステム、メカトロニクス、計算機知能、等の研究に従事。電気学会、IEEE などの会員。現在 IEEE Robotics & Automation Society 会長。

糸魚川 貢 一 (正員) 1982 年日本大学理工学部電子工学科卒業。同年、株式会社東海理化電機製作所入社、半導体プロセス、マイクロマシンに関する研究、開発に従事、現在に至る。

塚原 靖 典 (非会員) 1998 年名古屋大学大学院量子工学専攻前期博士課程修了。同年、株式会社東海理化電機製作所入社、センサに関する研究、開発に従事、現在に至る。