



# ワンチップ・マイクロコントローラを用いた回転軸温度情報の光学式非接触データ伝送システムの研究 (第1報) \*

— 小型化, 小電力化および回路構成 —

横山和宏\*\* 鈴木孝昌\*\*\* 小林 滋† 松平雄策\*\*\* 永井 豊††

Optical & Non-contact Data-transmission System of Rotating Spindle Temperature  
by Adopting One-chip Micro-controller (1st Report)

— Size Decreasing, Power Decreasing of the System and Characteristics of Electric-circuit —

Kazuhiro YOKOYAMA, Takamasa SUZUKI, Shigeru KOBAYASHI, Yuusaku MATSUDAIRA and Yutaka NAGAI

This paper deals with the size decreasing and the power decreasing of rotating-head. The head is the most important part of the developed data-transmission system and is installed on the rotating spindle. The size decreasing is achieved by three methods; the adoption of one-way data-transmission from the rotating head toward the stationary head, the realization of function of nine electric-IC-parts by a one-chip micro-controller and the adoption of digital-filtering process after data transmission accompanying no RC-hardware filter in the rotating head. As a result of the three methods, also the power consumption at the electric circuit in the rotating head is decreased to 40mW, and the coin-type battery system and the non-contact power supply system are developed. Characteristics and composition know-how of the electric-circuit including thermo-couple in the rotating head are experimentally analyzed in detail.

**Key words:** optical system, rotating spindle, temperature, thermo-couple, one-way data-transmission, one-chip micro-controller, digital-filtering, size decrease, power decrease, characteristics.

## 1. 緒 言

すでに報告した温度情報の光テレメータシステム<sup>1)~3)</sup>は、回転側に装着する回転ヘッドが外径 65mm 全長 180mm と大きいので、高回転速度の回転軸への適用に問題があり実用的でなかった。温度だけでなく回転軸の物理量を外部の静止体側に取り出す技術は、高回転速度の回転体についてこそ大きなニーズがある。そこで上記システムの回転ヘッドを小型化することにした。最も小型化した状態は回転ヘッドの電気回路を 1 個の IC に集積化した状態であると考えられる。しかし、IC への集積化は 1 億円を越すコストがかかると言われており、極めて多数の需要がなければ実現の見通しさえ立たない。この一連の研究では、IC 化への中間目標としてもしくは IC 化の次善の方法として、通常の電子部品の数分の一の大きさの表面実装用素子を用い、回転ヘッドの小型化を取り上げることにする。この表面実装用素子による小型化(以下に表面実装化と呼ぶ。)の前段階として、電気回路を確定すること、具備すべき機能の検討および可能な限りスペースを削減することが必要である。本研究では、すでに報告したシステム<sup>1)~3)</sup>をベースとして、具備すべき機能を考慮しながらスペースの削減を検討し、回転ヘッド内の電気回路を確定することにした。さらに、熱電対を含んだ電気回路の

構成とキャリブレーションを考慮したノウハウについても検討を行っている。

## 2. 回転ヘッドの小型化

### 2.1 単一方向伝送方式の採用

文献 1) のシステムと本研究のシステムの構成を比較して図 1 に示す。文献 1) のシステムでは、A/D 変換用のチャンネル指定を含む 8bit の制御指令を静止体側の赤外発光ダイオード LED0 から回転ヘッド上のフォトダイオード PD0 へ送信し、これに対する応答として温度に相当する電圧値をスタート 1bit とデータ 12bit を含む合計 16bit の情報として回転ヘッド上の赤外発光ダイオード LED1 から静止体側のフォトダイオード PD1 へ送信していた。従って、複数点の温度情報を、静止体側のパソコンのプログラムに従って任意の順序でサンプリングできるという特長があった。この際、データのサンプリングレートは 75  $\mu$ s/data (実測値)であった。即ち、特定チャンネルだけをサンプリングする場合には 13.3kdata/s、8ch の A/D 変換器を用いているので全チャンネルを繰り返しサンプリングする場合には同一チャンネルについては 1.6kdata/s が可能であった。このサンプリングレートは通常温度測定としては十分であると考えられる。

そこで、静止体側からの制御指令の送信を省略し、全 8ch 分の温度情報を自動的に繰り返し回転ヘッドから静止体側へ送信する単一方向伝送方式を採用することにする。即ち、全 8ch を順次測定する制御指令を回転ヘッド内に設置したワンチップ・マイクロコントローラ PIC16F84 で自動生成することにする。この結果、サンプリングチャンネルの順序は固

\* 原稿受付 平成 13 年 7 月 13 日

\*\* 正 会 員 新潟大学大学院自然科学研究科 (新潟市五十嵐 2 の町)

\*\*\* 新潟大学工学部

† 新潟大学大学院学生

†† 学 生 会 員 新潟大学大学院自然科学研究科

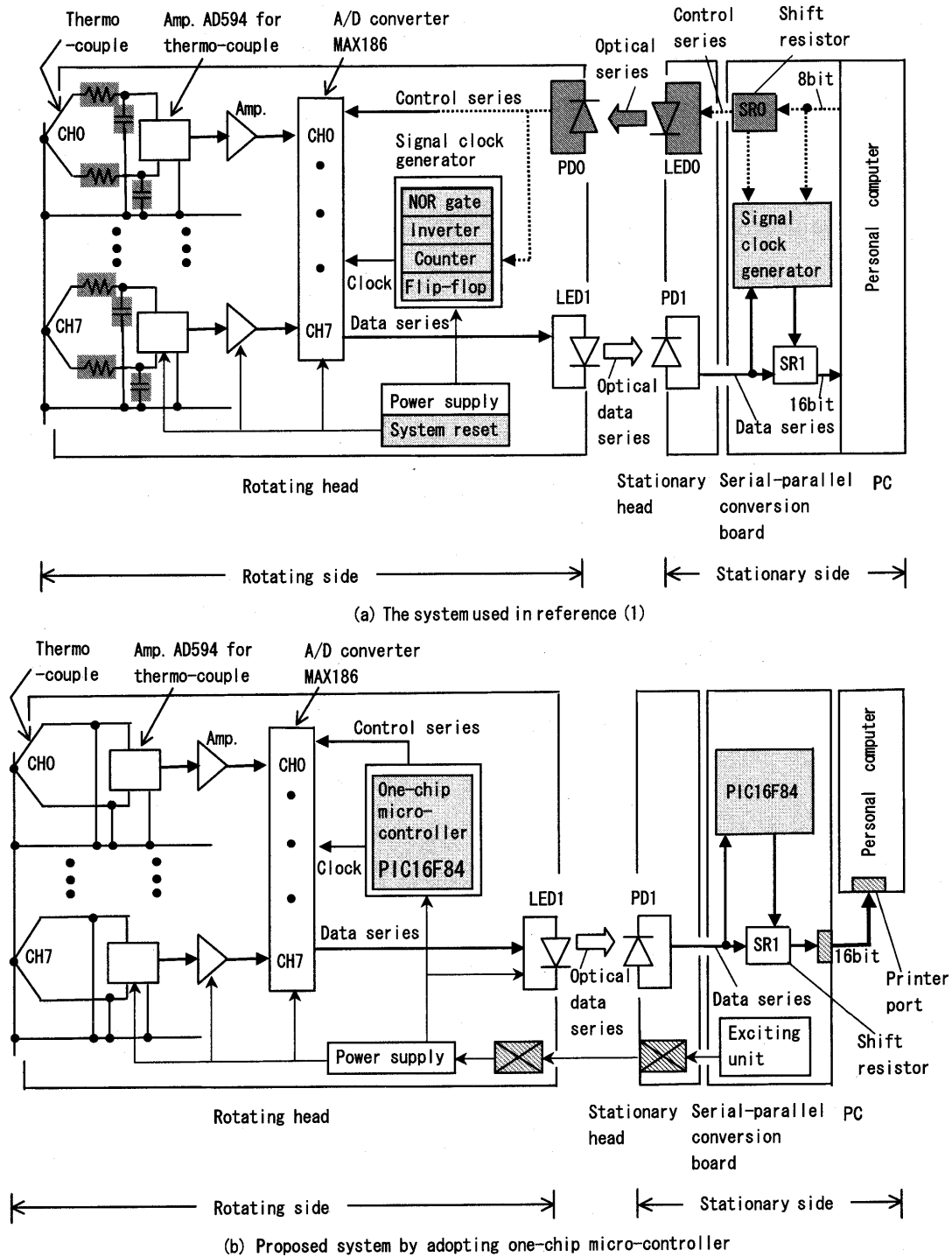


Fig.1 Optical & non-contact data-transmission system

■ : Deleted    ▒ : Replaced    ▨ : Established

定されるが、静止体側からの制御指令を受信するフォトダイオード PD0 およびこれに関連する電子部品をすべて削除できるので、回転ヘッドの小型化に有益である。さらに、パソコン内で制御指令を生成する必要がないので、その生成に要していた時間だけプログラム実行時間が短くて済むので、本システムをリアルタイム補正に使用する場合に速応性が良くなる、もしくは、より複雑な補正用演算を行うことができると考えられる。

## 2.2 ワンチップ・マイクロコントローラの採用

前節に記した A/D 変換制御指令を回転ヘッド内で自動生

成するために、ワンチップ・マイクロコントローラを採用した。さらに、A/D 変換により得られる合計 16bit の温度情報を、回転ヘッド上の LED1 から、調歩同期式に静止体側の PD1 に向けてシリアル伝送する。この際に用いるシグナルクロックの生成にも、このマイクロコントローラを使用する。その結果、前節の処置と併せて、カウンタ 3 個、フリップフロップ 3 個、NOR ゲート 1 個、インバータ 1 個の合計 8 個の電子部品を削除することができる。さらに、文献 1) のシステムには電源投入時および電源瞬断時に確実にシステムをリセットする機能を持たせるための、システムリセット用の電

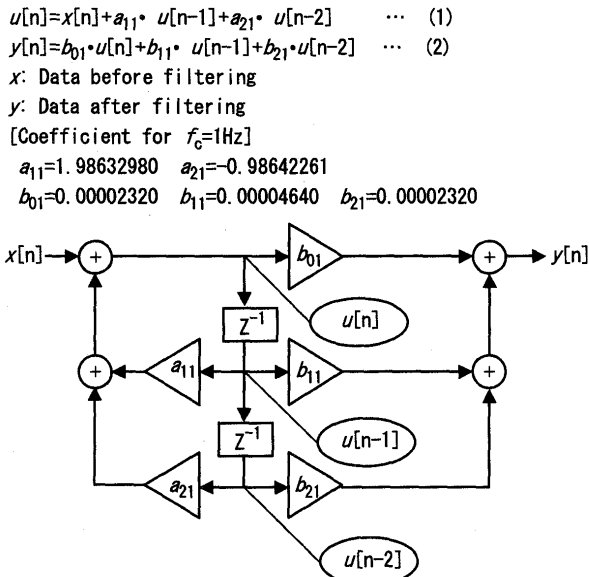


Fig.2 2nd order IIR digital filter

子部品を用いていた。しかし、ワンチップ・マイクロコントローラにはこの機能が内蔵されているので、さらにシステムリセット用電子部品1個を削除した。

なお、A/D変換制御指令、その結果得られる温度情報およびこれらのタイミング用のシグナルクロックのタイムチャートは文献1)の図4と同一である。

2.3 デジタル・フィルタリングの採用

文献2)のシステムでは、各チャンネルの鉄線およびコンスタンタン線に対してそれぞれ  $1.5 \mu\text{F}$  のコンデンサ1個と  $27\text{k}\Omega$  の抵抗1個、合計32個の部品からなる遮断周波数  $f_c=3.9\text{Hz}$  のローパスフィルタを回転ヘッド内に設置していた。本研究では、回転ヘッドを小型化するため、上記のハード的なフィルタを削除し、回転ヘッドからのデータを受信した静止体側のパソコン内で、ソフト的な方法であるデジタル・フィルタリングを採用することにした。ここでは、2次のIIRデジタルフィルタを用いることにし、 $f_c=1\text{Hz}$ とした。このフィルタリングにおける信号の関係、演算式および係数を図2に示す。

8チャンネル全てを繰り返し測定する。各チャンネルのデータ伝送直後にデジタルフィルタリングを行い、最終チャンネルのデータ伝送後にデジタルフィルタリングとリアルタイム補正用の演算処理を行う時間を見込んでいる。その結果、同一チャンネルのサンプリングレートは  $650\text{data/s}$  とした。得られたデータのデジタル・フィルタリング前のパワースペクトルと  $f_c=1\text{Hz}$  のフィルタリング後のそれを図3に示す。フィルタリング前の信号には主軸回転速度に相当する成分およびその高調波成分が含まれているが、フィルタリング後は  $1\text{Hz}$  よりも高周波の成分が十分減衰していることが分かる。サンプリングしたデータを時間軸に対して表示したものを図4に示す。デジタル・フィルタリング前のデータに比べ、フィルタリング後のデータは変動が小さくなっていることが分かる。フィルタリング後のデータが最初ゼロから立ち上がっているのは、サンプリングプログラムのスタート時にはメモリがゼロであり、図2中の演算結果がその影響を受けているためである。その影響がない時刻で、 $0.1\text{s}$ 間

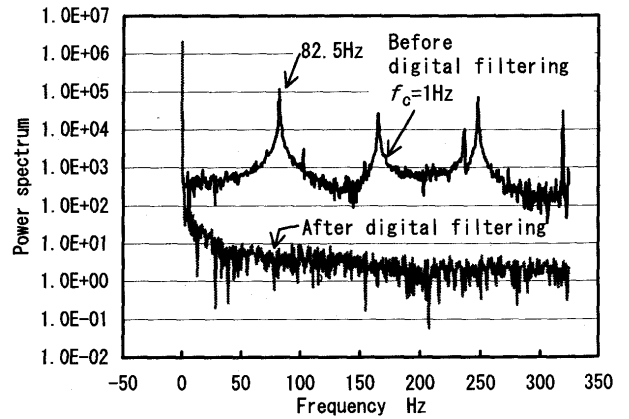


Fig.3 Power spectrum of transmission data (Sampling rate  $650\text{ data/s}$ ,  $N=5,000\text{rpm}$ ,  $L_0=0\text{mm}$ )

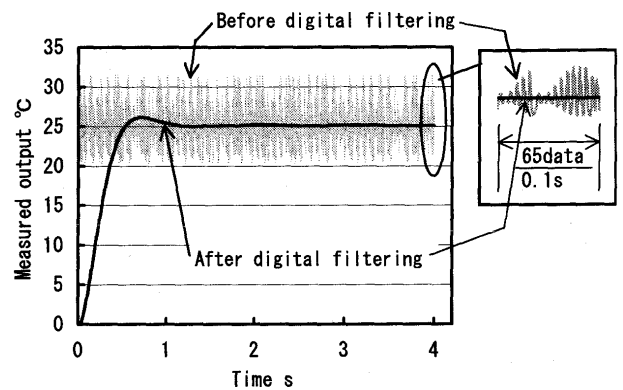


Fig.4 Example of measured output ( $650\text{data/s}$ ,  $N=5000\text{rpm}$ ,  $L_0=0\text{mm}$ )

Table 1 Fluctuation amplitude of measured output (In the system by electro-magnetic power supply)

		$N=0\text{rpm}$	1,000	3,000	5,000
$L_0=0$	$f_c=1\text{Hz}$	0.001(0.417)	0.013(1.394)	0.002(2.371)	0.005(2.957)
	2	0.002(0.404)	0.038(1.368)	0.007(2.344)	0.009(3.034)
	5	0.015(0.417)	0.110(1.406)	0.026(2.317)	0.025(2.980)
	10	0.036(0.312)	0.197(1.406)	0.086(2.329)	0.098(3.058)
$L_0=5$	$f_c=1\text{Hz}$	0.001(0.352)	0.011(1.369)	0.008(2.411)	0.003(3.153)
	2	0.002(0.365)	0.007(1.355)	0.008(2.462)	0.011(3.231)
	5	0.015(0.326)	0.132(1.420)	0.063(2.488)	0.030(3.165)
	10	0.060(0.339)	0.307(1.355)	0.164(2.435)	0.085(3.308)

↑ Before digital filtering  
 ↓ After digital filtering

の両データの変動振幅を整理して表1に示す。熱電対の高温接点は回転軸に導通させて固定している。鉄線・主軸の接触点と主軸・コンスタンタン線の接触点との間の距離  $L_0$  が  $0\text{mm}$ ,  $5\text{mm}$  および  $35\text{mm}$  の場合について、主軸の回転数  $N$  は  $0\text{rpm}$  から  $5,000\text{rpm}$  まで  $1,000\text{rpm}$  毎に、デジタル・フィルタの遮断周波数  $f_c$  は  $1\text{Hz}$ ,  $2\text{Hz}$ ,  $5\text{Hz}$  および  $10\text{Hz}$  について、また電源が非接触給電の場合とバッテリーの場合についても検討した。表1は結果の一部を示している。各種の条件下においても遮断周波数を小さく設定することにより、測定値の変動振幅を小さくできることが分かる。電源がバッテリーの場合についても、同様の結果が得られた。

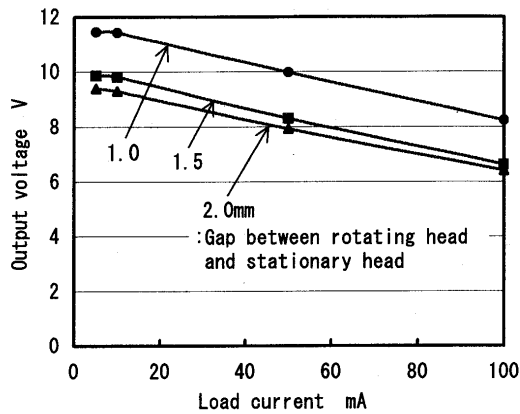


Fig. 5 Characteristics of electro-magnetic power supply  
(Exciting condition:  $18V \times 20kHz$ )

## 2.4 小電力化に伴う電源の小型化

### 2.4.1 小型バッテリーの採用

文献 1), 2) のシステムでは  $5V \times 35mA$  の電力を消費していたが, 2.1 節から 2.3 節までの対策を実施した本研究のシステムでは消費電力を  $5V \times 8mA$  とすることができた. この結果, コイン型の小型バッテリー (二酸化マンガンリチウム二次電池, 外径 25mm 厚さ 3.4mm 6 個, 全厚さ 22mm,  $9V \times 180mAh$ ) を使用できることになり, 回転ヘッド内の電源部を小型化することができた.

### 2.4.2 非接触給電方式の採用

消費電力が減少したので, 静止体側のスイッチ ON で連続的に電力供給が可能な方法として, 電磁誘導現象による静止体側から回転ヘッドへの非接触給電方式の電源を作成した. 回転ヘッド側に 1 個および静止体側に 1 個, いずれも回転体の軸芯上にコイルを内蔵したフェライトコアを対向させて配置し,  $18V \times 20kHz$  の励磁用クロックパルスにより電力を輸送する. コイルの巻き数は時計方向 70 巻および反時計方向 70 巻とした. コイルを含むフェライトコアは外径 25.6mm 厚さ 8mm である. この給電方式の特性を図 5 に示す. 同図の結果から, さらに小型化できる見通しが得られた.

本章に述べた種々の検討結果により得られた回転ヘッドの構造を図 6 に示す. 本研究ではすでに作成していた専用のプラスチック製電気回路基板を利用したので, 直径は変更せず回転ヘッドの長さのみを 70mm と短くした.

電気回路基板の直径を小さくし, 回転ヘッドの直径も小さくして高い遠心力に耐えられるよう改良するのは, 今後の表面実装化と同時に実施する予定である.

## 3. プリンタポートを用いたデータ入出力の汎用化

文献 1), 2) のシステムでは, シリアル・パラレル変換ボードを作成し, 拡張スロットにセットして受信データを処理していた. その方法では, PC98 互換機と AT 互換機のように拡張スロットの寸法・規格が異なるパソコンおよび拡張スロットがないノート型パソコンなどに対して, 別々のハードウェアを用意する必要があるため, データ伝送システムの適応性が悪い.

そこで, 静止体側で受信したデータを同一のシリアル・パラレル変換ボードを経由させることにし, このボードの出力コネクタを 36 ピンのセントロニクス対応コネクタとする.

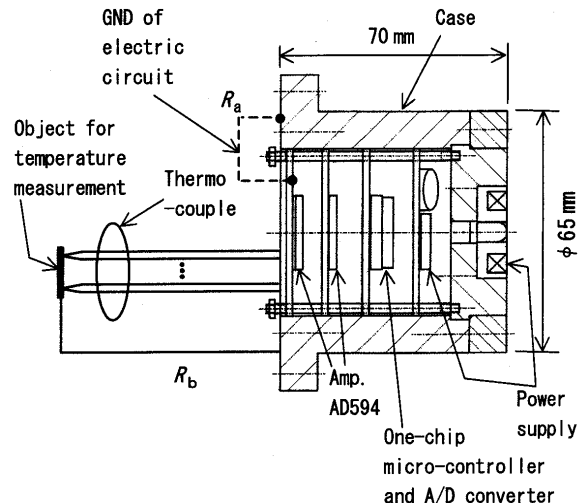


Fig. 6 Rotating head of proposed system and electric circuit

このコネクタは PC98 互換機用プリンタケーブルおよび AT 互換機用のそれらに共通に対応しているため, プリンタケーブルを介してプリンタポートからパソコンに入力することにした. プリンタケーブルは PC98 互換機用または AT 互換機用の市販のケーブルを用いることが容易であり, プリンタポートは全てのパソコンに存在する. 従って, パソコンに対応したプリンタ・ケーブルを選択する以外には, ノートパソコンを含みいずれのパソコンに対しても, 静止体側のハードウェアは同一品で良いことになる. また, ソフトウェア面では, プリンタポートのアドレスは PC98 互換機と AT 互換機で異なるが, 適切なアドレスを指定したデータ伝送用のプログラムを用いることで容易に対応できる. 以上の結果, 本システムの適応性が大いに改善される.

なお, データ入力時に一部のピンから信号を出力するので, プリンタポートは双方向モードで使用している. また, シリアル・パラレル変換ボードにおいても, 文献 1) のシステムでは 21 個の IC 部品を用いていたが, ここまでに述べた対策に伴って IC 部品を 6 個とし, ボードの構成を単純化している.

## 4. 熱電対を含む電気回路の構成とキャリブレーション

### 4.1 電気回路グラウンドと回転ヘッドケースの絶縁

測定レンジ  $0 \sim 50^\circ C$  とし,  $0.1^\circ C$  程度の測定精度を実現するには, 作成した電気回路の各チャンネルの出力特性を, 熱電対を含めてキャリブレーションする必要がある. キャリブレーションにおいては, 熱電対の高温接点をジュワー氏瓶 (2重ガラス壁の魔法瓶) 中の水中に入れ, このときの出力を測定する. 水温は  $0 \sim 5^\circ C$  および約  $45^\circ C$  の 2 種を用いることにし, 文献 1) の式 (1) ~ (6) の方法により特性を定めた. この際の回転ヘッドケース, 回転ヘッド内の電気回路グラウンド, 熱電対高温接点の関係を図 6 に示す. 素線径  $0.32mm$  の鉄・コンスタンタン被覆熱電対を使用した.

本研究で取り扱うデータ伝送システムの適用対象の 1 例は, 回転主軸の温度測定である. 固体である主軸の温度を測定するには, 例えばむき出しにした箔状の熱電対線を直接固体に押しつけることにより, 熱電対高温接点の温度を被测温固体の温度にできるだけ一致させる必要がある. 従って, 熱電対の高温接点は, 相互に電氣的に短絡した状態であるとともに,

Table 2 Wiring of electric-circuit and coefficient in calculation Eq.

$$\theta = a_0 + a_1 \cdot V + a_2 \cdot V^2 + a_3 \cdot V^3 \quad \theta: ^\circ\text{C}, V: \text{mV}$$

	$R_a = \infty \Omega$ [GND of electric-circuit is not connected with the case of rotating head]					$R_a = 0 \Omega$ [GND is connected]			
	$a_0$	$a_1$	$a_2$	$a_3$		$a_0$	$a_1$	$a_2$	$a_3$
$R_b =$					$R_b =$				
9.2 $\Omega$	-0.460	0.01325	-8.7E-08	1.0E-12	9.2 $\Omega$	-0.733	0.01340	-8.9E-08	1.0E-12
4.6	-0.517	0.01325	-8.7E-08	1.0E-12	4.6	-1.180	0.01358	-9.1E-08	1.1E-12
2.2	-0.497	0.01325	-8.7E-08	1.0E-12	2.2	-0.417	0.01322	-8.6E-08	1.0E-12
0.1	-0.572	0.01326	-8.7E-08	1.0E-12	0.1	-3.090	0.01435	-10.2E-08	1.3E-12
Max. difference of $\theta$ between above cases for $V (=0 \sim 4.096) = 0.112^\circ\text{C}$					Max. difference of $\theta$ between above cases for $V (=0 \sim 4.096) = 2.673^\circ\text{C}$				
GND of electric-circuit should not be connected with the case of rotating head									

主軸およびこれに固定している回転ヘッドの金属製ケースに電気的に短絡した状態になっている。この状態を考慮してキャリブレーションした結果を表2に示す。受信データは0～4,096mVの範囲にあるので、電気回路のグラウンドを回転ヘッドケースに結線しない場合、表2左半分の結果からキャリブレーション時の $R_b$ 結線による換算温度の最大差は0.112 $^\circ\text{C}$ である。これに比べ、電気回路のグラウンドを回転ヘッドケースに結線した場合、換算温度の最大差は2.673 $^\circ\text{C}$ であり、 $R_b$ の抵抗値に大きく依存している。高温接点は回転ヘッドのケースに電気的に短絡して使用するので、これと同様な結線でキャリブレーションする方がよいと考えられる。従って、 $R_b$ を結線し $R_a$ は結線しない状態でキャリブレーションするとともに使用するのが良いことが分かる。

#### 4.2 熱電対の長さの影響

温度測定レンジが0～50 $^\circ\text{C}$ の場合、熱電対自体の出力からA/D変換器入力までのゲインが約1,500と大きいので、熱電対は使用する線そのものについてキャリブレーションする必要があり、また熱電対の長さは実際に使用する長さでキャリブレーションすることが望ましい。しかし、反復使用時の一部切断により長さが変化する場合や使用時の長さとキャリブレーション時の必要長さによりかなり差がある場合など、キャリブレーション後に熱電対長さが異なることによる影響を検討した。その結果を表3に示す。長さ700mmと1,400mmの範囲では、熱電対の長さは換算温度の値に殆ど影響しないことが分かる。

### 5. 結 言

表面実装用素子による小型化の前段階として、電気回路を確定すること、具備すべき機能の検討および可能な限りスペースを削減することを検討し、以下の結論を得た。

- (1) データの単一方向伝送方式の採用、ワンチップ・マイクロコントローラの採用、デジタル・フィルタリングの採用、電源の小型化を実施することにより、回転ヘッドを外径65mm全長70mmに小型化できた。
- (2) プリントポートからデータをパソコンに入力することにより、PC98機、AT互換機のいずれにも容易に対応できるデータ伝送システムを作成した。

Table 3 Thermo-couple length  $L_{TC}$  and coefficient in the equation (GND is not connected)

	$a_0$	$a_1$	$a_2$	$a_3$
$L_{TC} =$				
1,400mm	0.011	0.01322	-8.6E-08	1.0E-12
700	0.044	0.01323	-8.6E-08	1.0E-12
Max. difference of $\theta$ for $V (=0 \sim 4.096\text{mV}) = -0.073^\circ\text{C}$				

- (3) 使用時とキャリブレーション時の状況を考慮し、熱電対を含む電気回路の詳細な構成を明らかにした。

### 謝 辞

本研究の一部は、メカトロニクス技術高度化財団ならびにファナックFAロボット財団の研究助成を得て行われました。ここに記して感謝いたします。

### 参 考 文 献

- 1) 横山和宏, 鈴木孝昌, 星名浩: 回転軸における温度情報の光テレメータリングに関する研究(第1報 高速多チャンネル光テレメータシステムの開発), 精密工学会誌, 62巻7号(1996)1009～1013頁
- 2) 横山和宏, 遠藤覚, 鈴木孝昌: 回転軸における温度情報の光テレメータリングに関する研究(第2報 計測可能時間の延長・熱電対高温接点が主軸に導通している場合の計測), 精密工学会誌, 64巻9号(1998)1355～1359頁
- 3) 横山和宏, 遠藤覚, 鈴木孝昌, 松平雄策: 回転軸における温度情報の光テレメータリングに関する研究(第3報 主軸の熱膨張・熱変位のオンライン推定), 精密工学会誌, 65巻1号(1999)150～154頁
- 4) 三上直樹: デジタル信号処理プログラミング入門, CQ出版(株)(1993)p154.