



回転軸温度情報のリモコン式データ伝送システムの研究*

横山和宏** 鈴木孝昌*** 小林 滋† 永井 豊††

Remote-control Data-transmission System of Rotating Spindle Temperature

Kazuhiro YOKOYAMA, Takamasa SUZUKI, Shigeru KOBAYASHI and Yutaka NAGAI

This paper deals with the data-transmission system adopting the opto-electronic parts for the remote-controller of electric appliances. The signal with appropriate bit-pattern and specified wave-form is used, and the system has much longer distance nearly 1,000mm between the light-emitting-diode and the light-receiving-module than the maximum length of 3-20mm in the reported system of faster-transmission rate. Then the data-transmission from not only rotating spindle but also revolving body is realized. Three techniques, which are adoption of one-way data-transmission, one-chip micro-controller and digital-filtering process, are adopted as same as in the faster-transmission system. The data-transmissions from the end-surface of rotating spindle and from the cylindrical-surface are confirmed.

Key words: remote-control, data-transmission, optical system, rotating spindle, revolving body, temperature, thermo-couple, one-chip micro-controller.

1. 緒 言

回転体の情報を静止側に抽出するテレメータ技術については、回転する工具側から切削抵抗の情報を光学式に転送するシステム¹⁾が開発されている。また、高速回転軸の軸受焼付き防止用の温度モニタリングや主軸の熱膨張推定用の温度測定を実現するため、回転軸の温度を測定しそのデジタル化した情報を外部に伝送するシステムも開発され、そのシステムを基にワンチップ・マイクロコントローラを用いて小型化したシステム^{2)~4)}についても報告されている。これらのシステムはいずれも、発光素子と受光素子間の距離が数十 mm 以下とそれほど長くないものの、工作機械や一般の回転軸への適用においては、実用上は何の問題もない。

しかし、自転運動と公転運動する回転体、公転運動する物体、あるいは比較的長いストロークで往復運動するテーブルの情報を外部に伝送するには、1m 程度以上の伝送距離を実現することが望ましい。このような使用例として、試料封入ポットが自転および公転する染色試験機の温度コントロールへの利用や信号ケーブルが往復運動精度に影響するのを防止する用途などが考えられ、またバイオ関係の検査装置への用途もあるものと予想される。さらに、数 m とかなり長い伝送距離を実現すれば、同一室内にある複数の回転軸からの情報を壁際の受光素子で受け取ることも可能になるので、信号ケーブルの室内引き回しを大幅に省略できると考えられる。このように数 m 程度の伝送距離が必要な場合には、FM テレメータ⁵⁾が用いられることが多いが、外部の電磁場によるノイズへの対策のため、周波数変調が実施され高価になるという問題点がある。

本研究では、家電製品に用いられており比較的安価に入手

できるリモコン式受光モジュールと発光素子を利用して、約 1m までの伝送距離でかつ受光モジュールの配置の制限が少ないシステムを開発している。また、回転軸の端面からの送信だけでなく、円筒面からの送信についてもデータ伝送できるシステムとなっている。

2. リモコン式データ伝送システム

2.1 システムの構成

図 1 は、本研究のリモコン式データ伝送システムの構成を示している。図 1 において、熱電対から専用アンプ AD594 とプリアンプを経由して A/D 変換器 MAX186 までは、高速光テレメータシステム^{2)~4)}と同一である。基本的な相違点は、発光素子としてリモコン用の発光ダイオード(Remo-con LED)を用い、受光素子としてリモコン用の受光モジュール(Remo-con PD module)を用いていることである。これに伴って、発光ダイオードに供給する信号、すなわち送信する光学式信号、受光モジュールの出力、これらに関わるワンチップマイクロコントローラ PIC16 の動作、およびデータの伝送速度が相違するが、これらの詳細については 2.2 節で説明する。発光素子と受光モジュール間の距離が長いので、回転ヘッドへの非接触給電は実際には不可能である。そこで、回転ヘッド内の電気回路の電源にはバッテリーを用いている。

回転側のユニットを小型化するために、①回転側から静止側に向かったの単一方向データ伝送を行うこと、②ワンチップマイクロコントローラ PIC16 を用いること、③回転側電気回路にはノイズフィルタを設けずデータ伝送後の静止側パソコンにおいてデジタルフィルタリングを行うこと、その結果として実現した④回転側回路の小電力化、および⑤プリンタポートからのデータ入力を実行していることについては、高速光テレメータシステム^{2)~4)}と同様である。

2.2 信号処理の詳細

図 1 のリモコン式データ伝送システムにおける回転ヘッド側の信号と静止体側の信号の詳細な関係を図 2 に示す。図中

* 原稿受付 平成 16 年 6 月 21 日

** 正 会 員 新潟大学工学部 (新潟市五十嵐 2 の町)

*** 新潟大学工学部

† 新潟大学大学院自然科学研究科 (現:アスモ (株))

†† 学生会員 新潟大学大学院自然科学研究科 (現:NSK プレジジョン (株))

回転軸温度情報のリモコン式データ伝送システムの研究

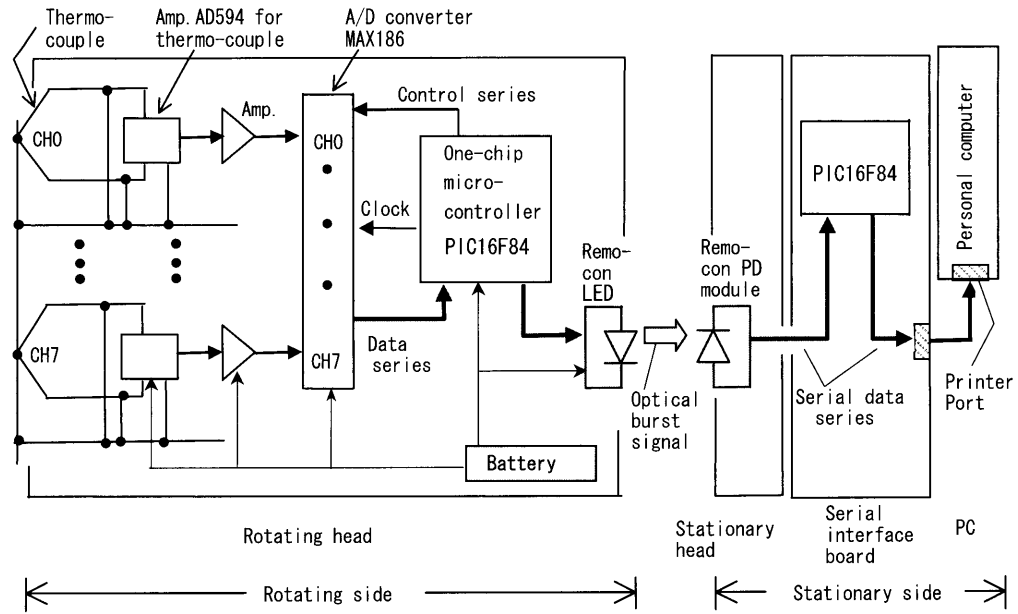


Fig.1 Remote-control data-transmission system developed
; Modified

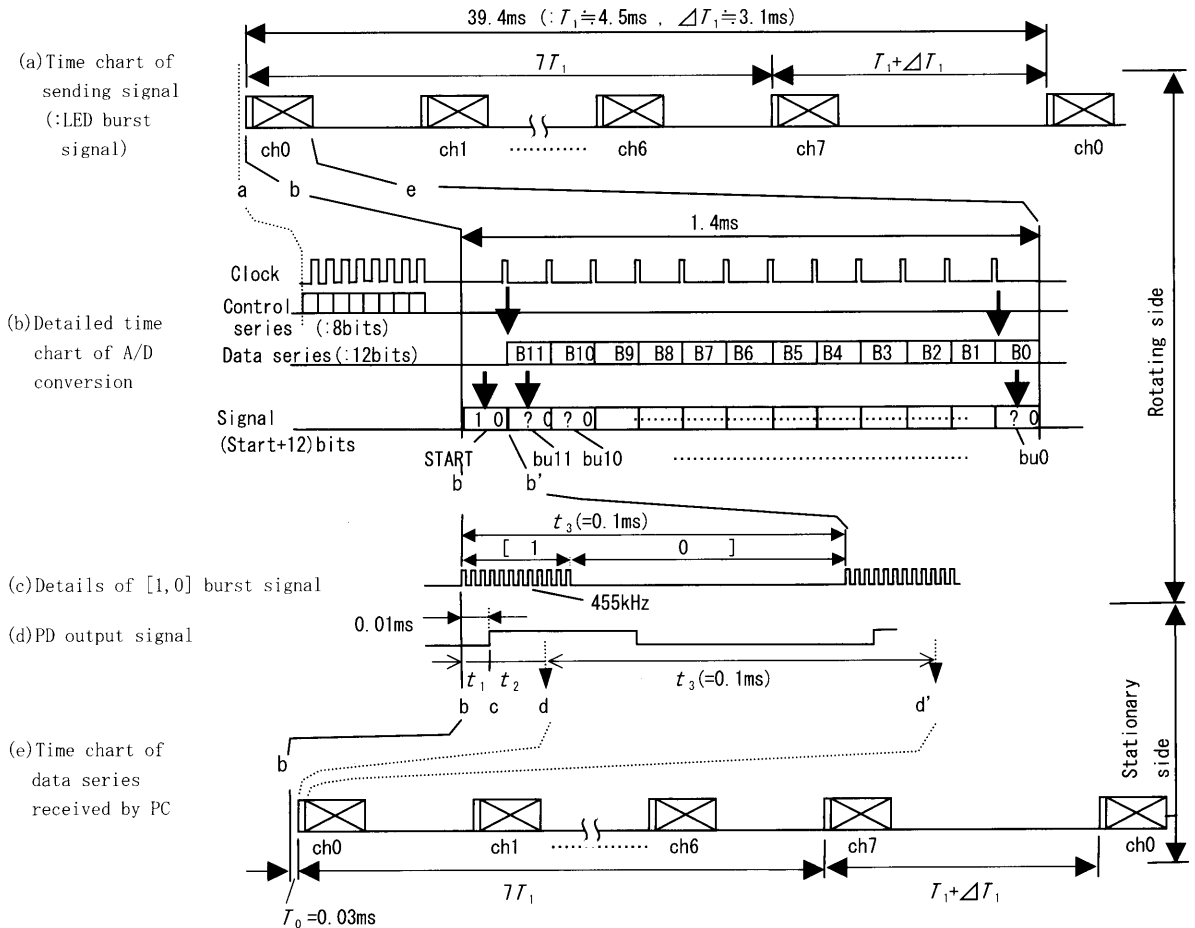


Fig.2 Time chart and details of signals transmitted from LED to PD

の信号間に、例えば b----b と表示しているのは、その位置が同一時刻であることを示している。図 2(a)の順序で全チャンネルの情報を送信する。図 2(a)の ch0 の場合を例として、シグナルクロック(Clock),A/D 変換指令(Control series),A/D 変換の結果(Data series:12bits)の詳細を図 2(b)に示す。また、

実際に送信するバースト波信号の詳細を図 2(c)に示す。図 2(b)中の入出力のタイミングを定義する Clock およびどのチャンネルを A/D 変換するかを定義する制御指令 Control series をマイコン PIC16 で生成するのは、高速光テレメータシステム^{2)~4)}の場合と同様である。

Table 1 Specification of data-transmission systems

	Fast transmission system ^{2)~4)}	Remote-control system
Max. transmission length	≒10mm	≒1000mm
Transmission rate	8ch *650data/s	8ch *25.4data/s
Total channel number	8ch	8ch
Range	0-50°C	0-50°C
Resolution of A/D converter	12bit	12bit
Measurement accuracy of temperature	≦0.1°C	≦0.15°C
Measurement accuracy of temperature change	≦0.05°C	≦0.15°C
Cutt-off frequency of digital filter	1Hz	1Hz

リモコン式データ伝送システムにおける信号処理の特徴は以下の通りである。A/D変換の結果得られた Data series (12bits: B11,.....,B0, 図2(b)参照)を, 図1に示すように, マイコン PIC16 に入力した後, 先頭に“1”なる数値の Start bit を付けて, “1,B11,.....,B0”なる信号とする。さらに, 図2(b)に示すように“1”なる信号を [1,0] として, “0”なる信号を [0,0] として送信するものとする。実際にマイコンにより生成し, リモコン用発光ダイオード Remo-con LED に供給するバースト波信号 burst signal*1 を, [1,0] を送信する場合の例について, 拡大表示したものを図2(c)に示す。同図のようにバースト波信号の [1] が一定時間 t_1 続くと, 図2(d)に見られるように, 受光モジュールの出力が High になり, [0] がある時間続くと受光モジュールの出力が Low になる。ただし, バースト波信号が High である時間と受光モジュールの出力が High である時間は, 一般的に同一長さではない。つぎに, 図2(d)に示すように, 受光モジュールの出力が High になった瞬間から適切な時間 t_2 後の受光モジュールの出力が High であれば, そのビットを“1”と認識する。引き続き, バースト波の発生周期に等しい時間 t_3 毎に受光モジュールの出力が High であればそのビットを“1”, Low であれば“0”と認識する。この処理を Start bit を含め 13bit まで繰り返して, 図2(e)に示す ch0 の Data series のパソコンへの入力が完了する。13bit の信号をシリアルデータとしてパソコンに入力する点は, シリアル-パラレル変換したあとパラレルデータとして入力する小型高速光テレメータシステム^{2)~4)}の場合と異なっている。同様の信号処理により, 全チャンネルのデータ伝送を完了する。図2(a)と(e)の比較から明らかなように, 送信データに比べて時間 T_0 だけ遅れてデータを受信している。

リモコン式データ伝送システムと小型化した高速光テレメ

*1 図2(c)に示すように, バースト波信号の包絡波形が伝送したい信号の波形となっている。受光モジュールは決められた周波数のバースト波にのみ反応するように作成されているので, 定常的な明るい環境においても信号を伝送できる。すなわち, 伝送システムの感度を上げることができるので, データ伝送距離を大きくできる。

Table 2 Characteristics of LED and PD module in remote-control data-transmission system

Remo-con LED (TLN105B, Toshiba Corp.)	Remo-con PD module (TPS831, Toshiba Corp.)
Absolute max. current =100mA	Burst wave frequency = 455kHz
Peak current used at LED = 14, 28mA	Peak-sensitive wavelength = 940nm
Peak-emission wavelength = 950nm	

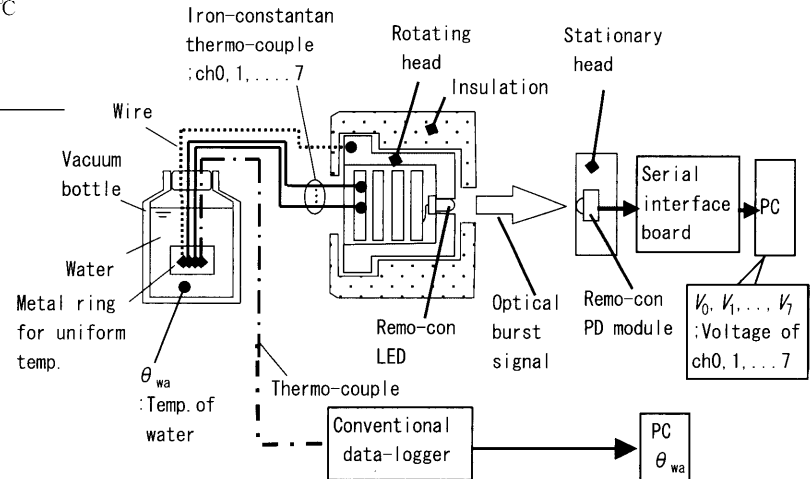


Fig. 3 Calibration of the system

ータシステム^{2)~4)}の実現した仕様を, 対比して表1に示す。表2にはリモコン式データ伝送システムで使用した発光素子と受光モジュールの特性を示す。

3. 実験と結果

3.1 校正実験とシステムの測定精度

本研究のリモコン式データ伝送システムにおける校正の概要を図3に示す。真空2重ガラスビン式魔法ビンの1種であるジュワー氏ビン中の水中に, 金属製リングの周上にほぼ均等な位置に計8チャンネルの鉄・コンスタンタン熱電対をはんだ付けする。熱電対は回転ヘッド内の各チャンネル用のアンプ AD594 に結線しているので, 水温に相当する出力電圧が本研究のシステムにより計測され, パソコンに入力される。上記の金属製リングには別の熱電対をはんだ付けされており, ジュワー氏ビン中の水温を市販のデータログで測定している。金属製リングに全ての熱電対をはんだ付けすることにより, チャンネル間の温度差を極力小さくしている。小型高速光テレメータシステム^{2)~4)}の場合と異なり, 回転ヘッド中の電気回路基板の温度は測定していない。これは, 本研究のシステムがバッテリー駆動であるので, 非接触給電の場合の誘導起電力による回転ヘッド内の温度上昇は十分小さく, これに基づく出力電圧への影響が少ないので, この影響を補償する必要がないと考えたからである。

図3のジュワー氏ビン中の水温 θ_{wa} が, 約5°Cごとに異なる状態で測定した本研究のシステムの出力電圧と水温の関係を図4に示す。両者の関係を各チャンネルについて, 以下のように3次式で近似した結果, 表3の変換式を得た。

回転軸温度情報のリモコン式データ伝送システムの研究

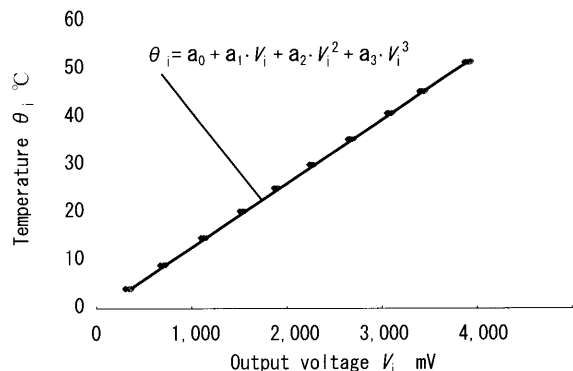


Fig. 4 Calibration results

Table 3 Conversion Eq. (1) to temperature

ch0	$\theta_0 = -0.336 + 0.013252 V_0 - 4.980E-08 V_0^2 - 6.81E-12 V_0^3$
ch1	$\theta_1 = 0.286 + 0.013341 V_1 - 7.370E-08 V_1^2 - 3.55E-12 V_1^3$
ch2	$\theta_2 = -0.389 + 0.013330 V_2 - 4.336E-08 V_2^2 - 8.99E-12 V_2^3$
ch3	$\theta_3 = 0.024 + 0.013378 V_3 - 8.497E-08 V_3^2 - 2.01E-12 V_3^3$
ch4	$\theta_4 = -0.818 + 0.013420 V_4 - 2.732E-08 V_4^2 - 11.1E-12 V_4^3$
ch5	$\theta_5 = -0.080 + 0.013459 V_5 - 6.124E-08 V_5^2 - 7.04E-12 V_5^3$
ch6	$\theta_6 = -0.576 + 0.013523 V_6 - 6.724E-08 V_6^2 - 5.49E-12 V_6^3$
ch7	$\theta_7 = -0.686 + 0.013425 V_7 - 9.873E-08 V_7^2 + 0.99E-12 V_7^3$

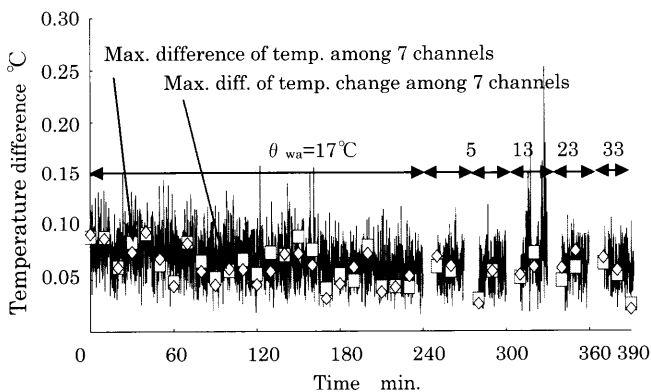


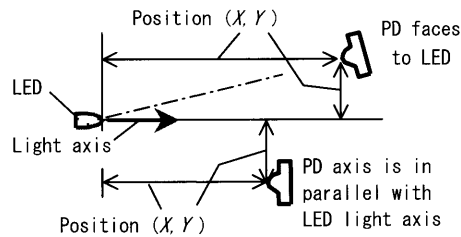
Fig. 5 Measurement accuracy of the developed system

$$\theta_i = a_0 + a_1 \cdot V_i + a_2 \cdot V_i^2 + a_3 \cdot V_i^3 \dots (1)$$

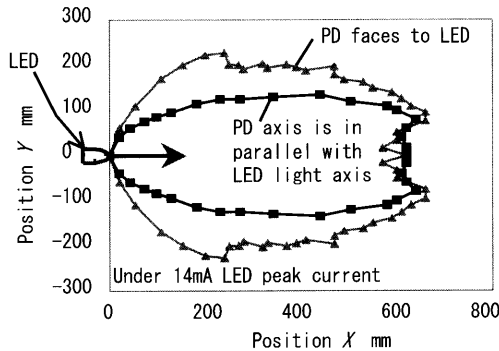
ただし、 θ_i (°C): 各チャンネルの測定温度
 V_i (mV): 各チャンネルの出力電圧
 a_0, a_1, a_2, a_3 : 定数, 係数

本研究のリモコン式データ伝送システムでは、同一チャンネルのサンプリングレートは 25.4Hz であり、パソコン内にデータを入力した後で遮断周波数 1Hz のローパス・デジタルフィルタリング (パワースペクトルの 2 次 IIR デジタルフィルタ⁶⁾) を行っている。

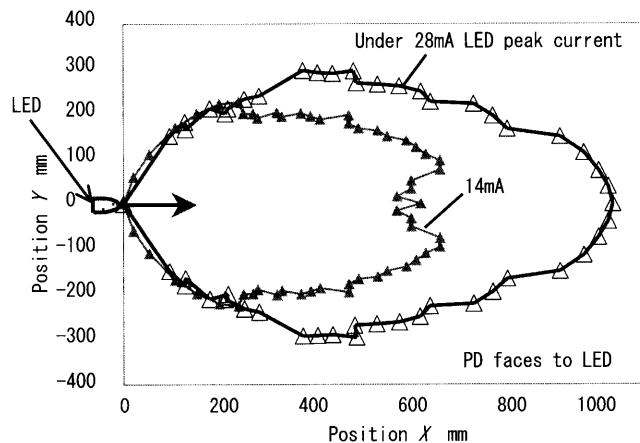
図 3 の実験装置を用い、ジュワー氏ピン中の水の温度が 0 ~ 50°C 間の数種類の温度の場合について、改めて出力を長時間にわたり測定し、システムの測定精度を求めた。得られた結果を、8 チャンネル間の温度の最大差、および温度変化の



(a) Measurement of data-transmissible area



(b) Influence of direction of PD module



(c) Influence of peak current to LED

Fig. 6 Data-transmissible area in the remote-control system

最大差として求め、図 5 に示す。水温 23°C の場合の一部を除き、本研究のシステムの測定精度は 0.15°C 以内であり、文献 2) のシステムに比べやや劣っていることがわかる。両システムは、図 1 中の温度測定用熱電対から、AD594、プリアンプ、および A/D 変換器まで、同一の構成であるので、基本的に同一の測定精度を期待できる。しかし、回転ヘッド内の熱電対用アンプである AD594 を搭載している電気回路基板の温度変化による出力変化について、補償を行わなかったことにより、本研究のシステムの測定精度がやや劣ることになったものと考えられる。

3.2 回転軸端面からのデータ伝送

回転体の端面上に LED を設置し、データ伝送した場合の伝送可能な範囲を求めた結果を図 6 に示す。図 6 (a) に示すように、PD モジュールの軸芯を LED の発光軸中心線と平行に維持した場合、および PD モジュールを LED 発光部に向けた場合について測定している。図 6 (b) は、LED に流すピーク

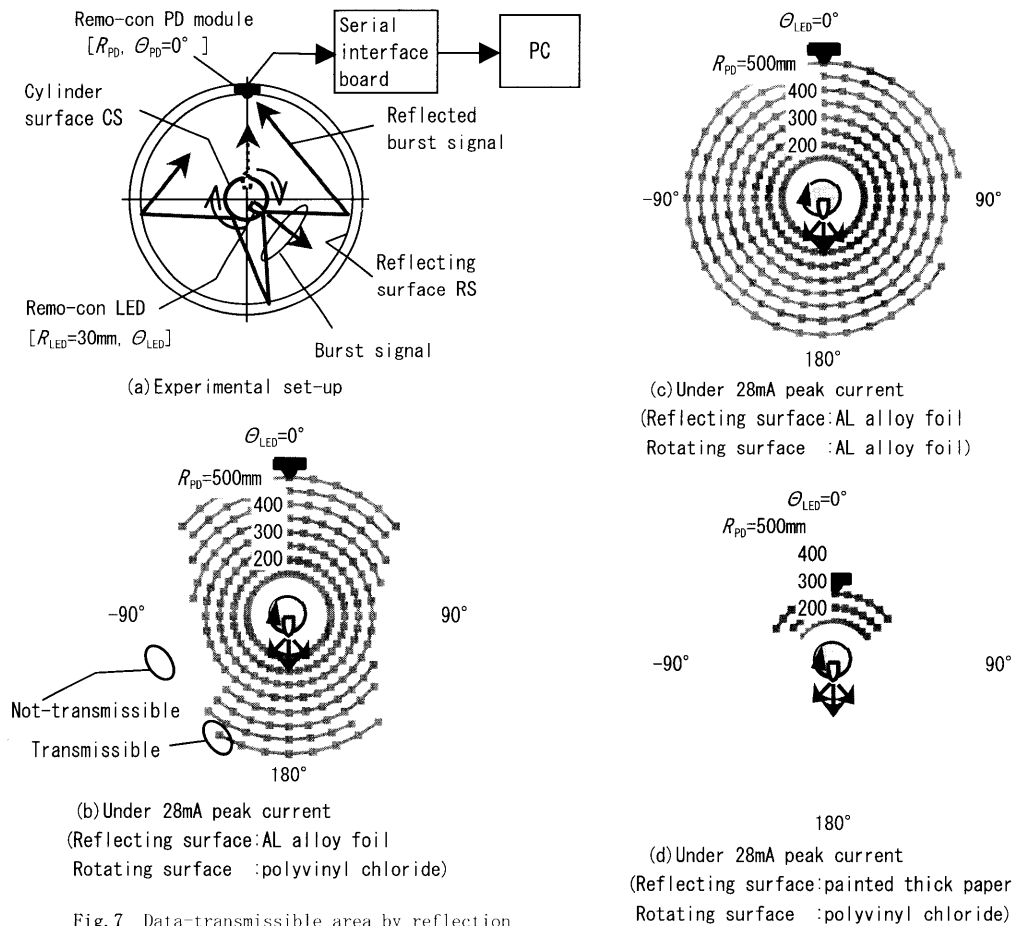


Fig. 7 Data-transmissible area by reflection through cylindrical surface

電流^{*2}が14mAの場合の結果である。LEDから最長約600mmまでデータ伝送可能であること、およびPDモジュールをLED発光部に向けた場合の方がLEDの発光軸に垂直方向の幅広い範囲に伝送できることがわかる。図6(b)の例えば(X,Y)=(342,130mm)が伝送可能であることは、PDモジュールを(X,Y)=(342,0mm)に設置すれば、LEDが自転するだけでなく(Y=-130,130mm)の範囲で公転を伴う場合にも、データ伝送できることを意味している。つぎに、さらに遠い範囲へのデータ伝送を行うため、LEDへのピーク電流を2倍の28mAとした場合の結果を図6(c)に示す。ピーク電流を大きくすると、伝送可能な範囲が広がることが分かる。特にLEDの発光軸方向のデータ伝送距離が長くなり、最長約1mまで伝送できることが分かる。

3.3 回転軸円筒面CSからのデータ伝送可能範囲

工作機械のコラムなどのハウジングで覆われた空洞内において、回転軸の円筒面CSを經由してデータ伝送を行わせる場合について、伝送可能な範囲を求める。使用した発光素子、受光モジュールは表2のものと同じである。実験装置およびその結果を図7に示す。同図(a)のように、半径30mmの回転軸円筒面CSにLEDを設置し、これを囲み半径 R_{PD} の反射面RSを配置し、反射面RSの $\theta_{LED}=0^\circ$ なる位置に受光モジュールを固定している。LEDから送信したバースト波が直接受光モジュールに到達するか、または反射面RSで反射され受

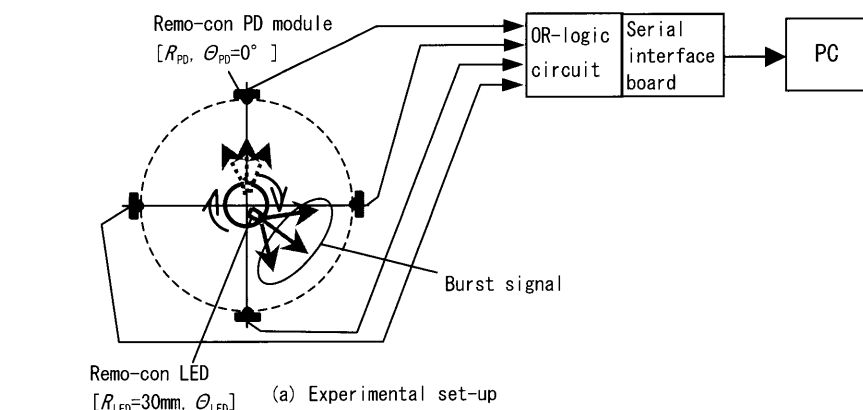
*2 LED (順電圧1.35V, データシートから)と直列に設置した光強度調節用の抵抗270Ωを含む電気回路の電圧5Vから、 $(5-1.35)V/270\Omega \approx 14mA$ と計算したLEDに流れる電流値。

光モジュールに到達すれば、データ伝送が可能になる。LEDを設置した円筒を角度 10° ごとに伝送可能かどうかを測定し、その結果を図7(b)(c)(d)に示す。LEDへのピーク電流値はいずれも28mAである。

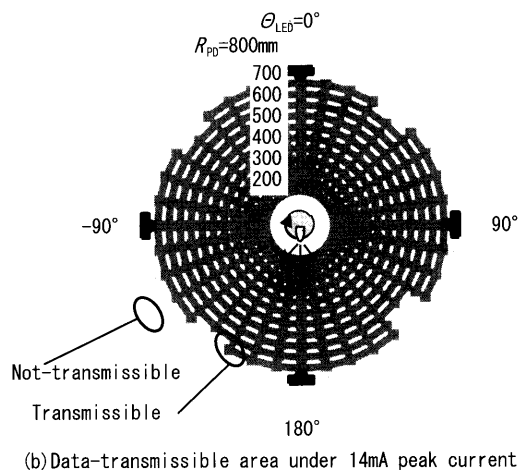
図7(b)は、反射面RSの反射率が良く、回転軸円筒面CSが塩化ビニル製で反射率が悪い場合の例である。LEDの送信方向が受光モジュールに向かう場合および受光モジュールと反対方向の 180° 付近では半径500mmの空洞内でデータ伝送可能であるが、送信方向が $\pm 90^\circ$ 付近で反射面RSの半径が大きい場合はデータ伝送できないことが分かる。図7(c)は反射面RSおよび回転軸円筒面CSの反射率が良い場合の結果である。半径500mmの一部を除きデータ伝送が可能であることが分かる。図7(d)は、ペイントを塗布した反射率が悪い反射面RSの場合の結果である。空洞内のほとんどすべての領域でデータ伝送できないことが分かる。工作機械のハウジングはペイントを塗布しているので、図7(d)と同様に受光モジュール1個に対しては、円筒面CSからのデータ伝送は事実上不可能であると考えられる。

上記の問題を解決する方法の1つとして、図8のシステムについて検討する。実験は図8(a)に示すように、回転軸の円筒面CS上の1個のLEDからバースト波信号を送信し、この周囲に固定した4個の受光モジュールの出力をOR回路として結合しているため、少なくとも1個の受光モジュールで受信することにより、回転軸円筒面CSからのデータ伝送システムを実現できる。ここでは、反射面RSがない場合も

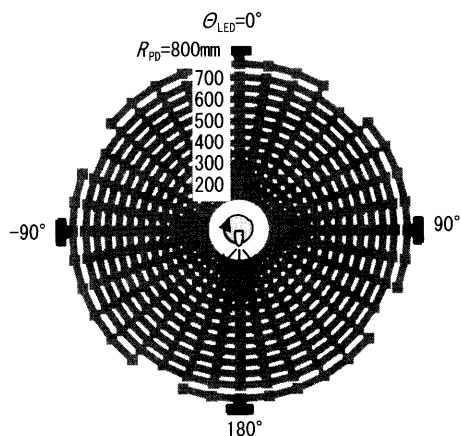
回転軸温度情報のリモコン式データ伝送システムの研究



データ伝ができるようにするため、回転軸の周囲には反射面を設置していない。図8(b)はLEDのピーク電流が14mAの場合の結果である。受光モジュールを半径550mmの範囲に設置することによりデータ伝送できることが分かる。図8(c)はLEDのピーク電流が28mAの場合の結果である。受光モジュールを半径700mmの範囲に設置することによりデータ伝送できることが分かる。



(b) Data-transmissible area under 14mA peak current



(c) Data-transmissible area under 28mA peak current

Fig. 8 Data-transmissible area by four PD modules and OR-logic through cylindrical surface

3.4 連続測定可能時間

本研究のリモコン式データ伝送システムにおいては、発光素子と受光モジュール間の距離が長いので、回転ヘッドへの非接触給電は現実的に不可能である。そこで、回転ヘッド内の電気回路の電源はバッテリーを用いている。外径φ25mm×厚さ3.5mmのコイン型二酸化マンガンリチウム二次電池(3V×90mAh)を3個直列に結線して1組とし、これを2組並列に結線して、外径φ25mm×高さ21mm、9V×180mAhの電源を作成し使用している。これをレギュレータにより5Vの定電圧とし使用する。図9は、図8(b)(c)の場合のそれぞれについて、データ伝送が可能なバッテリー寿命テストを行った結果である。所定の電圧は5Vであるが、実際には約4Vまでデータ伝送が可能であった。

4. 結論

家電製品用のリモコン式発光素子と受光モジュールを用いたシステムについて検討し、以下の結論を得た。

- (1) リモコン式データ伝送システムを作成し、バースト波による変調信号を用いることにより、データ伝送距離約1mを達成した。その結果、自転および公転している回転軸からのデータ伝送が可能であることが分かった。また、バースト波による変調を行ったので、データ伝送レートは8ch*25.4data/sと遅くなった。
- (2) 回転軸円筒面からの伝送については、周囲に4個の受光モジュールを配置することで、現実的にデータ伝送できる。
- (3) 小型のコイン型バッテリーを用いて、約30hrの連続測定ができる。

参考文献

- 1)池崎八生, 竹内芳美, 坂本正史: 光伝送を使用した回転工具の切削抵抗測定(第2報 装置の改良と切削抵抗の解析), 精密工学会誌, 53, 5(1987)755.
- 2)横山和宏, 鈴木孝昌, 小林滋, 松平雄策, 永井豊: 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), 精密工学会誌, 67,12(2001)2037.
- 3) 永井豊, 横山和宏, 鈴木孝昌, 小寺岳彦: 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2報 測定精度), 精密工学会誌, 69,10(2003)1480.
- 4)横山和宏, 永井豊, 鈴木孝昌: 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3報 円筒面からのデータ伝送と非接触給電), 精密工学会誌, 69,11(2003)1600.
- 5)例えば, 温度測定テレメトリーシステム, (株)立山電子 Web カタログ.
- 6)三上直樹: C言語によるデジタル信号処理入門, CQ出版(株)(2002)285.

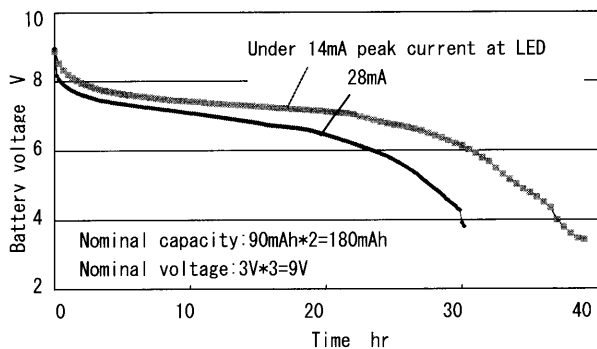


Fig. 9 Life test of the power source assembled with the coin type manganese dioxide rechargeable lithium battery