

# 回転式トルク検出器の開発

## —自動釣り機における回転速度及びトルク制御の研究—

小田原 幸生  
機械電子部

Development of Rotary Torque Detector  
-Study of Speed and Torque Control of Motor for Automatic Fishing Machine-

Yukio ODAWARA  
Mechanics & Electronics Division

### 要 旨

漁業用釣り機（電動リール）において、リールの回転速度とトルク調整が可能な自動釣り機の開発を行っている。トルク制御において良好な応答性を得るために、負荷に直結した回転軸のトルクを直接検出してフィードバック制御を行う必要がある、非接触による給電、光による信号伝送の機能を持つ、簡便な回転式トルク検出器を開発した。

### 1. 緒 言

一本釣りでは掛かった魚を引き寄せるため、単に釣り糸を引く（巻上げ）だけでなく、漁船の揺れや魚の遊泳により釣り糸に強い力がかかったら直ちに緩めること（巻下げ）が必要である。従来から釣り機には過負荷対策のため摩擦クラッチが使われているが、釣り糸の張力を一定に保つ手段としては適当でなく、一本釣り用釣り機への適用は難しかった。

平成8年度に直流モータのチョップ制御によりトルク調整が可能な一本釣り用自動釣り機<sup>1)</sup>を開発したが、モータとリールの間にある歯車の慣性のため、負荷が急激に変化した時に制御が追従できない問題があった。そこで、リール回転軸のトルクを直接検出してフィードバック制御を行うため、回転式トルク検出器を開発した。

### 2. 回転式トルク検出器の概要

#### 2.1 従来の方法との違い

トルク検出では検出対象が回転するので、検出部への電力供給や信号伝送のため、回転部との接点にスリップリングや回転変圧器が用いられてきた。しかし、スリップリングでは接点の摩耗や接触不良が起き、保守や交換が必要であり、回転変圧器ではこれらの問題はないが、高価である。このため、検出を行う回転軸にひずみゲージ及び検出回路（回転式トルク検出器）を取り付け、これと観察者側の電源、表示装置との間で非接触により電源供給、信号伝送を行う簡便なトルク検出方式を考案した。トルク検出器の概略図をFig.1に示す。

#### 2.2 トルク検出器への電力供給

トルク検出器への電力供給には、トルク検出器に取り付けた環状のコイルに対し、コイルを巻いた鉄心（内鉄型）の枠を鎖状にリンクさせ、電磁誘導により電力を供給する開放型回転変圧器を用いた。詳細は別稿の「回転式検出器への非接触電力供給方法」<sup>2)</sup>で述べたので、本報告では省略する。

#### 2.3 トルク検出回路

ひずみゲージによるトルク検出には直流方式を用いた<sup>3)</sup>。Fig.2に回路図を示す。

回路の電源は、開放型回転変圧器からの交流電力を整流・安定化し、12(V)単一電源とした。回路消費電流は回転

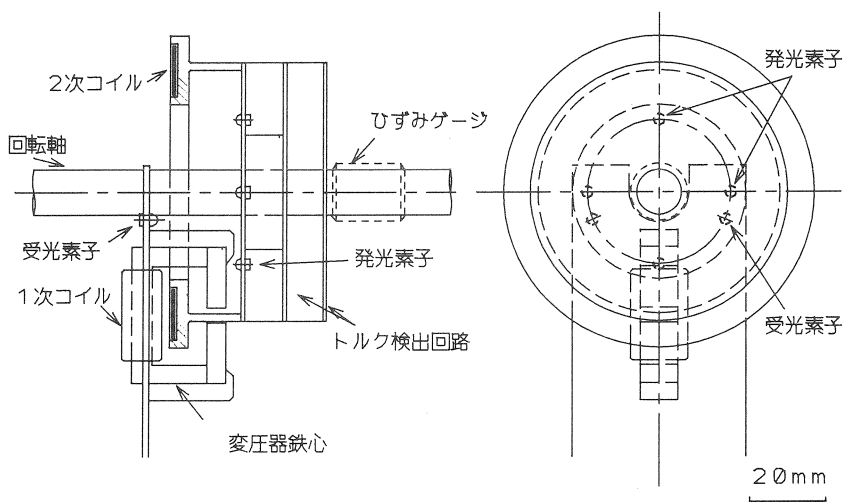


Fig. 1 トルク検出器の概略図

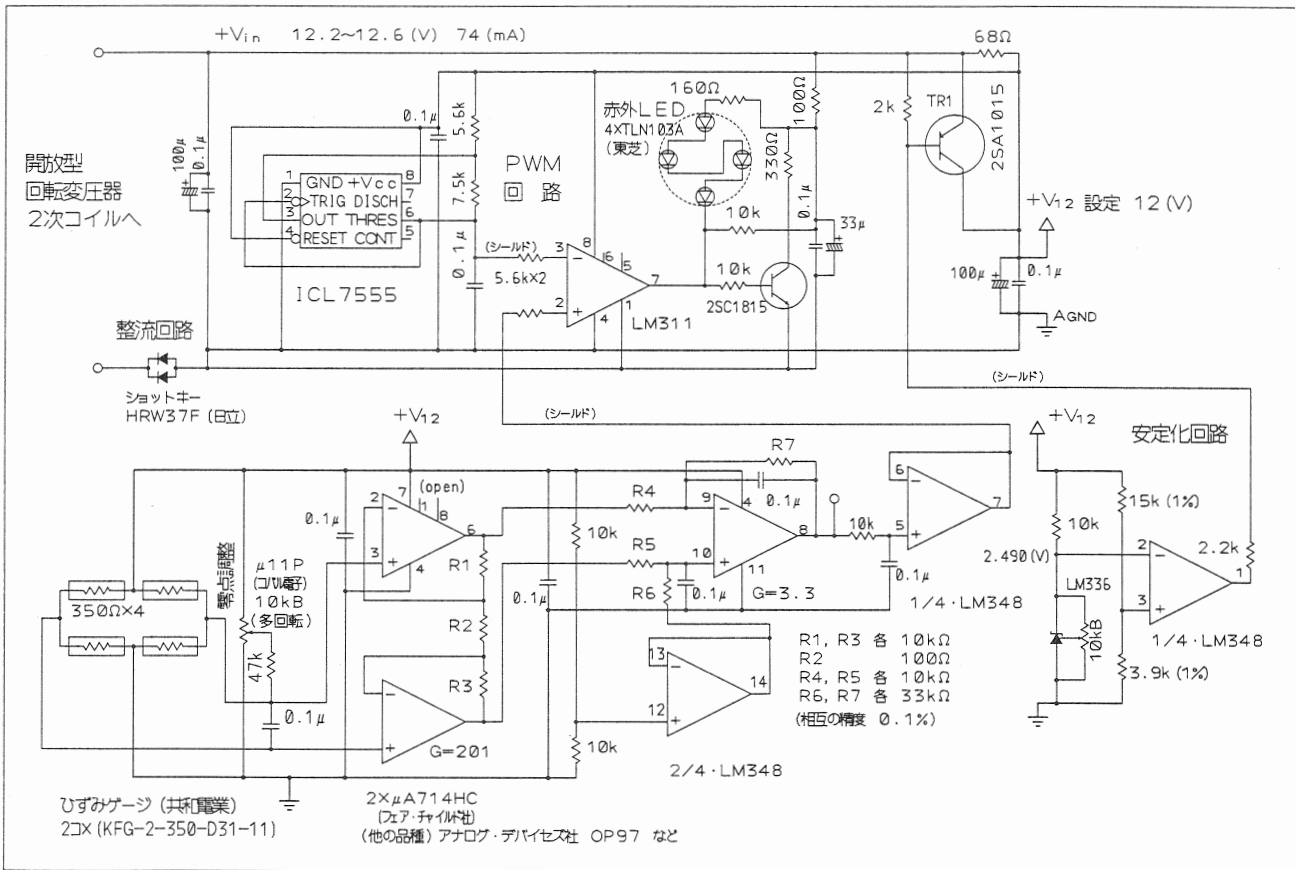


Fig. 2 トルク検出回路

変圧器の駆動回路にフィードバックできないので、消費電流を一定に保ち、電圧の変動を押さえた。

PWM (パルス幅変調) 回路において、回路を簡単にするため、三角波の発生に C-MOS タイマ IC (ICL7555) のコンデンサの充放電波形を用いた。この場合の出力の直線性誤差を計算により求めた結果、最大1%となった。

回転変圧器からの漏れ磁束は、回転変圧器とトルク検出回路の間に設置したアルミ板と銅箔で軽減させることができたが、なおトルク検出器の電源ラインや信号にパルス状ノイズやサージ・ノイズが残った。これは抵抗・コンデンサによるフィルタでは取り除くことはできず、増幅器の入力抵抗を高くして軽減することができた。

#### 2. 4 トルク検出器からの信号伝送

検出信号はPWMを用い、トルク検出器に環状に取り付けた複数の発光素子を点滅させ、観察側に光伝送した。

この方式では次の問題がある。回転により、発光素子・受光素子の距離、角度が変化し、受光強度が変化する。一方、受光素子などの回路の応答遅れにより、PWM波形の立ち上がり、立ち下がりの波形は時間軸に対して垂直ではない。このため、PWMのオンオフ判定レベルを一定とすると、受光強度の変化により本来のPWM信号のオン時間、オフ時間が変わる。これはPWM伝送周波数を高くするほど顕著になる。

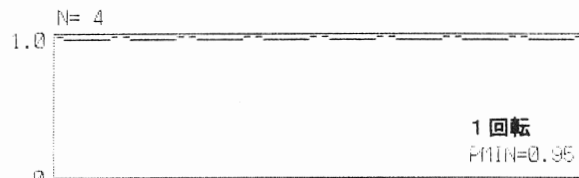


Fig. 3 シミュレーションによる受光強度の変化

そこで、受光強度の変化を小さくするため、複数個の発光素子、受光素子を用いた。今回は4個の発光素子、2個の受光素子を用い、受光素子の配置は一方の入射光が最大の時に他方が最小になるように取り付け(回転中心からの取り付け角 135°)、それぞれを並列接続した。発光素子、受光素子の特性が揃っているものとしてシミュレーションした結果を Fig. 3 に示す。この結果、受光強度の変化は5%となった。

もう一つの対策として、受光した信号のオン・レベルとオフ・レベルをそれぞれサンプル&ホールド回路で検出し、PWMのオンオフ判定レベルを受光した信号の中間に制御するようにした。これは背景光の影響を軽減する効果もある。補整回路のブロック図を Fig. 4 に示す。

Fig. 5(a) はトルク検出器から送られた一定デューティ比の信号を受光し、そのPWM信号を記録したものである。発光素子、受光素子の特性のパラツキから、シミュ

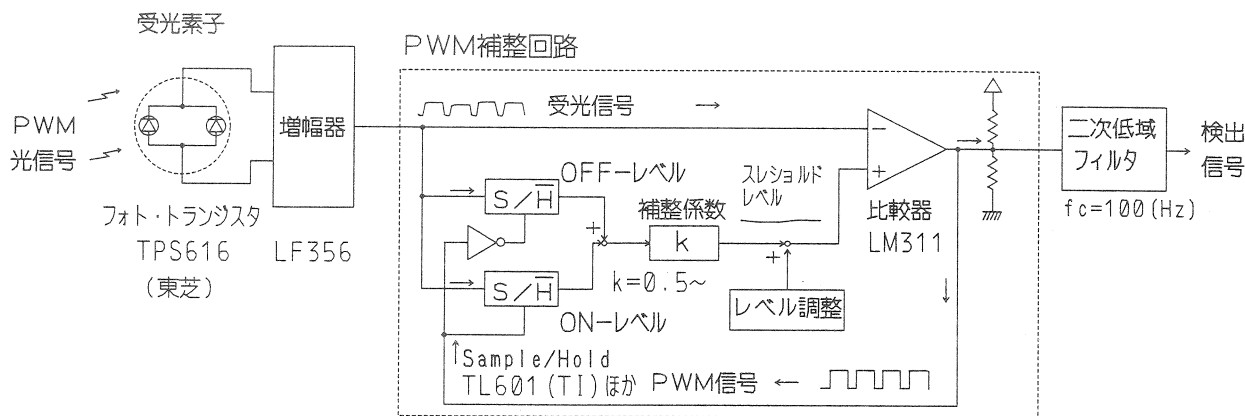


Fig. 4 PWM信号補整回路のブロック図

レーションの結果 (Fig. 3) よりも受光強度の変化は大きい。(b)は補整しない場合、(c)はオンオフ判定レベルをオン・レベルとオフ・レベルの中間に制御 (補整係数  $k=0.5$ ) したもので、この補整により誤差を半分に軽減できた。しかし、なお受光強度の影響が見られるので、補整係数  $k=0.6$  とし、受光強度の影響を何もしない場合の3分の1、全測定範囲の1000分の1に小さくできた。(d)これは、受光強度に対して、受光素子の応答速度も影響を受けるためである。この補整では、背景光の強さが大きく変わる場合は非線形の影響を受けて誤差が大きくなるので、基本的に背景光は除去しなければならない。

2.5 トルク検出器の製作

トルク検出器の回路は回転するため、円形のガラス・エポキシ製プリント基板上に回路を製作した。プリント配線を用いることにより細かい配線が可能になり、検出器が小型化できるが、配線が基板の表面に露出しているため絶縁の点で不利であり、温度によるゼロ点の変動を引き起こす。そこで、初段の増幅器の入力には敢えてリード線による配線を用い、端子の間隔も広くとった。当初、プリント配線にスプレー式防湿剤を塗布したが、却って絶縁性は低下した。最終的にはプリント配線をハンダ・メッキするだけにした。防湿処理にはもっと良い方法があるかと思われるが、今回は検討を行っていない。

2.6 ひずみゲージのコーティング

当初はコーティングを行わなかったもので、トルク検出器の温度特性を調べていた時、ひずみゲージ及び回転軸が結露し、ゼロ点が大きく変動してしまった。この反省からコーティング剤を用いることにした。

ひずみゲージのコーティングには、ひずみゲージ及びその接着剤の防湿と、ひずみゲージの温度分布を均一にする保温の目的がある。今回は、コーティング剤にエポキシ樹脂 (アラルダイト) を用いたので、その施工と効果について述べる。

まず、ひずみゲージの上に直接エポキシ樹脂を2mmの厚さに塗布したが、硬化中に液が垂れ、均一な厚さが得

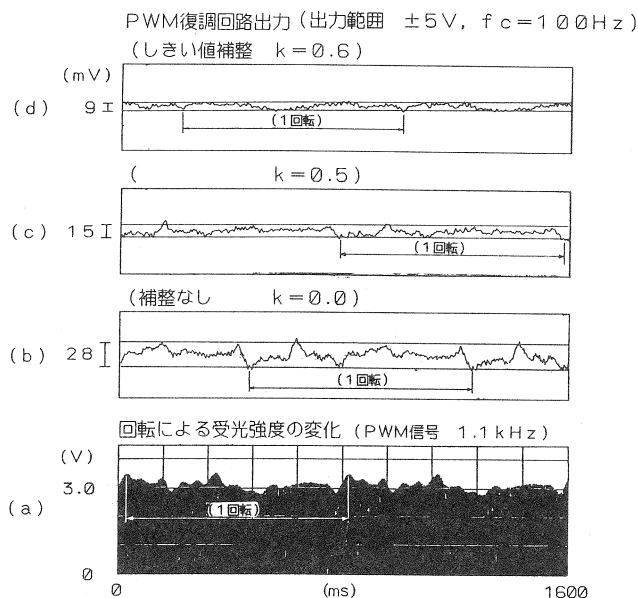


Fig. 5 受光強度によるPWM信号補整の効果

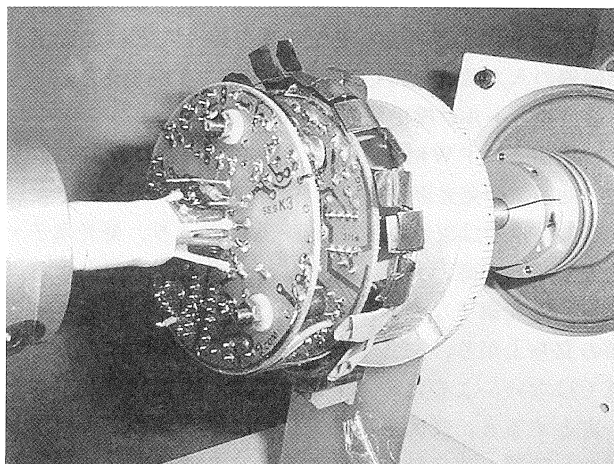


Fig. 6 トルク検出部の写真

Table.1 トルク検出器の試験結果

温度による ゼロ点の変動	10~30°Cで $0.45 \times 10^{-6}$ ひずみ (電源投入後 20 分を基準とした.)
電源投入後の ゼロ点の変動	$0.36 \times 10^{-6}$ ひずみ (10~30°C, 電源投入後 1~30 分)
ゼロ点の経時変化 (39 日)	$0.20 \times 10^{-6}$ ひずみ (10~30°C, 電源投入後 20 分)
回転による ゼロ点の変動	$0.18 \times 10^{-6}$ ひずみ 検出範囲 $\pm 100 \times 10^{-6}$ ひずみ
直線性誤差	1%以内 (計算値)
PWM 光伝送周波数	1kHz

$1 \times 10^{-6}$  ひずみ  $\rightarrow$  50.4mV  
指示範囲  $\pm 5$  V

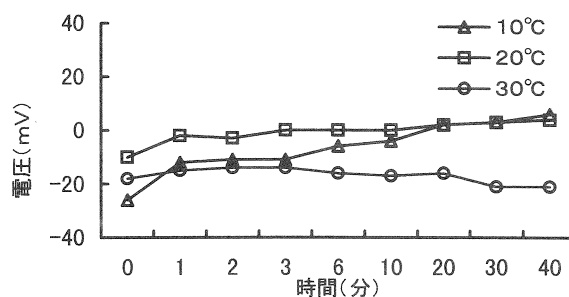


Fig.7 ゼロ点のドリフト

られなかった。ひずみゲージを貼りつけた回転軸の径が  $\Phi 12\text{mm}$  と小さかったこともあり、温度によるゼロ点の変動や経時変化が大きくなり、失敗であった。

次に、ひずみゲージの上に薄いシートを挟んでエポキシ樹脂を薄くコーティングし(厚さ約 0.5mm)、回転軸を回転させて樹脂が垂れないように硬化させた。そして、補強のためエポキシ樹脂の周りをビニルテープで被覆した。(Fig.6) この結果について次の章で述べる。

### 3. トルク検出器の試験

#### 3.1 トルク検出器の性能の把握

試作したトルク検出器について、基本的な性能の把握を行った。この結果を Table.1 に示す。また、Fig.7 に電源投入後のゼロ点の変動を示す。

#### 3.2 試験結果についての考察

ひずみゲージによる計測ではゼロ点が基準となるので、この安定性が非常に重要である。ゼロ点の温度影響について市販のひずみ測定器(直流型)と比べると、市販のものは  $0.2 \mu\text{ひずみ}/^\circ\text{C}$ <sup>4)</sup> であり、試作したものはこれよりも一桁小さく、遜色がない。

試験結果についてトルク検出器に用いた部品の規格から検証する。初段の増幅器( $\mu\text{A}714\text{C}$ )のオフセット電圧温度ドリフトは最大  $1 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$ <sup>5)</sup>(検出器出力は 2000 倍の  $2\text{mV}/^\circ\text{C}$ )、他の増幅器(LM741 相当)は最大  $15 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$ <sup>6)</sup>(検出器出力は 10 倍の  $0.15\text{mV}/^\circ\text{C}$ )であり、抵抗器については温度係数の小さいものを対で用いるなどして温度影響を理論的には無視できる位に小さくした。  $1 \mu$  ひずみは検出器出力に換算すると、2.1 (ゲージ率)、12V (ひずみゲージ・ブリッジ電圧)、2000 (増幅率)をかけて 50.4mV となる。よって、回路の温度影響は、最も大きい初段の増幅器の数値(検出器出力  $2\text{mV}/^\circ\text{C}$ )をひずみ量に換算して  $0.041 \mu$  ひずみ/ $^\circ\text{C}$ となり、実際の結果もこれと同じオーダーの数値となった。

### 4. まとめ

- 1) 回転式トルク検出器の開発を行い、開放型回転変圧器による非接触給電、回転式検出器からの PWM 光伝送の方式を確立した。
- 2) 回転式トルク検出の特性の把握を行い、市販のひずみゲージ測定器に匹敵する性能を確認した。ただし、ゼロ点の温度変動は回路の絶縁が不完全であると大きくなる。

### 5. 結 言

今後の課題として、釣り機のトルク制御に応用し、トルク検出の一つの方法として信頼性を確立したい。また、他の回転体の計測に役立てることができるように、理論の確立を図りたい。

本研究で助言していただいた大分工業高等専門学校 電気工学科 兼田 護 教授に感謝の意を表します。

### 参考文献

- 1) 小田原 幸生：平成 8 年度研究報告 P.96~99
- 2) 小田原 幸生：平成 10 年度研究報告 p.71~74
- 3) トランジスタ技術別冊センサーインターフェーシング No.2 ストレイン・ゲージの活用技術 (p.82~102) (CQ出版社) 1983
- 4) ひずみゲージによるひずみ測定入門 (大成社) 1998 第1刷 p.123
- 5) FAIRCHILD 社 1982 LINEAR DIVISION PRODUCT
- 6) National Semiconductor 社 Operational Amplifiers Data Book 1993