

半導体レーザーを用いた光ファイバージャイロの研究

宮松 圭芳 (指導教員 佐藤 憲史)

1. 目的

現在人工衛星などでは姿勢を安定させるため、機械式ジャイロが使われている。しかし可動部の信用性やベアリングの摩耗などのために定期的なメンテナンスが問題となっている。そこで光ファイバージャイロが開発されている。現在は研究が進み精度が上がってきているが、ロボットなどに組み込むためには、小型化と安定化が課題となっている。本研究は光ファイバージャイロの精度を上げ、小型化することを目的としている。

2. 光ファイバージャイロの原理

光ファイバージャイロは円状に巻いた光ファイバーを用いた角速度検出器である。光がこのファイバーを一周する時、ファイバーを回転すると、時計回りと反時計回りで光路差が生じる。このとき光路差は以下の式で表される。

$$\frac{4A\omega}{c} = \frac{4\pi r N \times r\omega}{c} = \Delta l \quad \dots(1)$$

ここで Δl は光路差、 A は面積、 N は巻き数、 r はファイバーの半径、 c はファイバー中の光速度、 ω は角速度である。この光路差により分離された二つの光の間に位相差が生じる。この位相差をサニャック干渉計で検出することにより、角速度を得る。

3. 設計

実験にあたり、ターンテーブルを回すための角速度 ω を求める。実験に用いるファイバー長は16m、半径は $r = 0.2$ m、巻き数 $N = 12$ である。また実験よりファイバーの屈折率が1.5であり、 $c = 2 \times 10^8$ m/sとなる。サニャック干渉計では光路差を $\lambda/4$ 程度にする必要がある。この研究で用いる半導体レーザーの波長は $\lambda = 1.55$ μ mである。よって $\lambda/4$ となる光路差は $\Delta l = 0.25$ μ mである。この時検出される角速度は $\omega = 8.3$ rad/s (1.3回転/s)である。この値を基準にしてファイバーを回転させ、理論値との比較を行う。

4. 実験

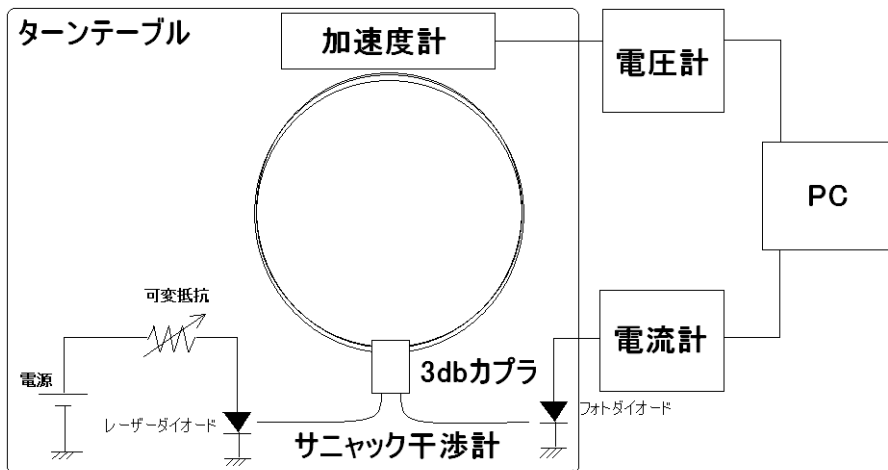


図1 光ファイバージャイロ実験装置

図1の回路を用いて実験を行う。ターンテーブル上に回路を乗せ、設計より毎秒一回転を目安に回し、加速度と光の出力電流を測定する。

加速度計は、加速度が微小な振子に作用したとき、振子の変位量を計測して加速度を得るものである。

加速度から以下の式で角速度を求める。

運動方程式は $F = mr\omega^2 \dots(2)$ 、

遠心力は $F = ma \dots(3)$ 、

(2)、(3) 式より $a = r\omega^2 \dots(4)$ 、

(4)式より $\omega = \sqrt{a/r}$ 。また測定電圧から加速度への変換は $a = v/S_F$ である。 v は測定電圧、 S_F はこの加速度計の出力感度 $S_F = 2 \text{ V}/(9.8\text{m/s}^2)$ である。

5. 結果

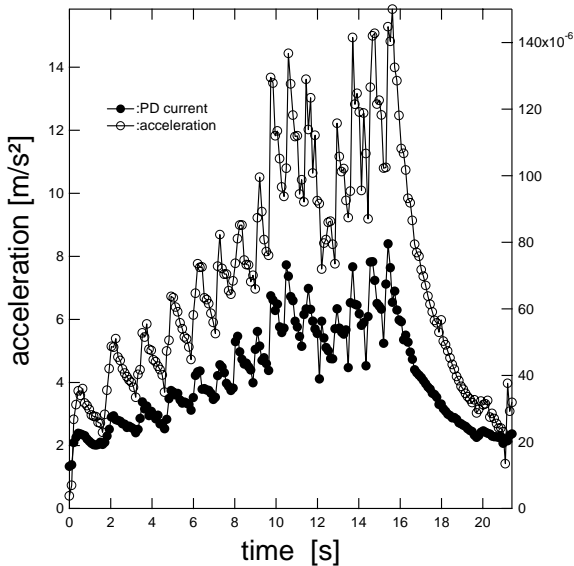


図3 加速度と出力電流の時間変化

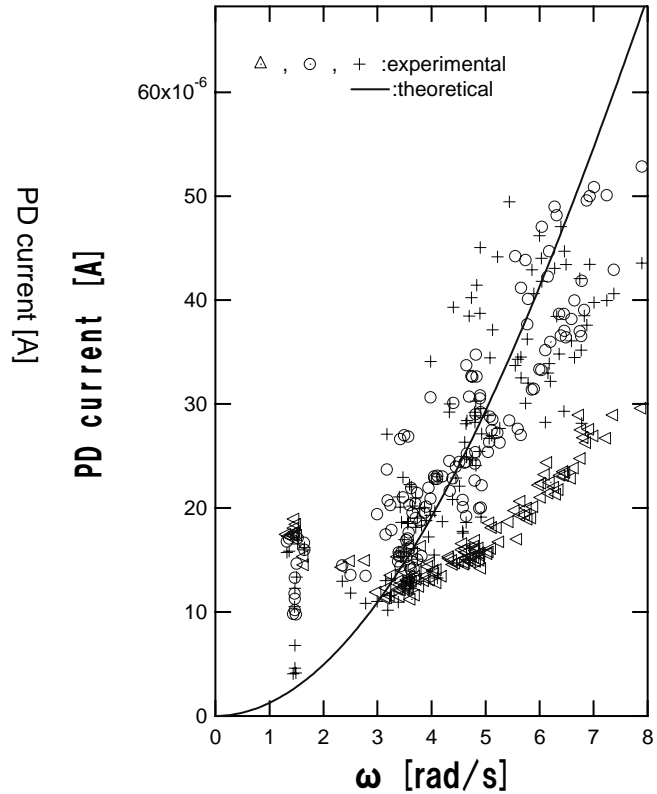


図4 角速度に対する光の出力

加速度計の出力電圧とフォトダイオード(PD)の出力電流を図3に示す。加速度の増減に伴いフォトダイオードの出力が増減し、加速度によって光の出力が変化することがわかる。

ジャイロの回転による角速度に対する光の出力の、三回の測定結果を図4に示す。図4の曲線はフォトダイオードで出力される電流の理論曲線を示したものであり、 $I \propto E^2 = 1 + \cos[\pi\{(2\Delta l/\lambda) - 1\}]$ で求めることができる。

図4より実験値は、ほぼ理論通りの波形が出ていることがわかる。しかし数値にばらつきがでてしまった。これは、ターンテーブルを手動で回転させたため回転時横揺れが起き、これに加速度計が反応してしまったこと、今回の実験では短い光ファイバーを多数接続したため、ファイバーの偏波による干渉計の不完全性から、回転前に電流値を0にすることができなかったこと、などが考えられる。

6. 課題

数値のばらつきと角速度の測定範囲を増やすことが課題である。このため自動で回転できるターンテーブルを用い、回転数を上げ横揺れをなくす、ファイバー長を増やす、ボビンの直径を広げる、など実験装置の改善を行う。そしてファイバーの接続点を減らし、接続時二つのファイバーの偏波面を統一するコネクタを使用する、などのファイバーの偏波保持が必要である。