

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 4月 2日現在

機関番号：12608

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2010～2011

課題番号：22656058

研究課題名（和文）

スローライトと光ジャイロを利用した並進速度の直接計測法

研究課題名（英文）

The direct measurement of linear speed using a slow light and an optical gyroscope

研究代表者

澤野 宏 (SAWANO HIROSHI)

東京工業大学・精密工学研究所・助教

研究者番号：40514295

研究成果の概要（和文）：

本研究では、スローライトと光ジャイロの技術の組み合わせによる並進速度を直接計測可能な新しい計測方法を提案した。提案する計測方法の原理確認をおこなうための実験装置を製作し、速度計測実験をおこなった。その結果、検出光の周波数と速度の間に相関がみられ、製作した実験装置による並進速度の計測可能性を示した。しかし、スローライトを用いずにおこなった速度計測実験でも同様の結果が得られたことから、提案する原理とは違う原理で速度が検出されていると考えられる。したがって、本実験における速度の検出原理を追求することが重要であることを明らかにした。

研究成果の概要（英文）：

This research proposed the new measurement method which can measure directly the linear speed using a slow light and an optical gyroscope. The experimental device for evaluating the principle of the measurement method was set, and the speed measurement experiments were conducted. As a result, correlation was found between the frequency of detected light and speed, and the possibility of the proposed measurement method was shown. However, the same result was obtained in the speed measurement experiments without using a slow light. Therefore, it is thought that the speed was detected by the principle different from the proposed principle. This research showed that it is important to clarify the detection principle of the speed in these experiments.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,900,000	0	1,900,000
2011年度	1,200,000	360,000	1,560,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,100,000	360,000	3,460,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学・知能機械学・機械システム

キーワード：メカトロニクス，速度センサ，スローライト，光ジャイロ，レーザ

1. 研究開始当初の背景

振動制御やアクチュエータの制御など、幅広い分野で並進速度の計測技術が必要とされている。しかし、現在開発されている速度センサは加速度の積分により速度を算出する原理に基づくものであり、並進速度を原理的に直接計測できるセンサは存在しない。加速度の積分による速度計測方法では誤差の累積が問題となるため、並進速度を直接計測可能な計測法が必要とされている。

回転速度の計測に関しては、光ジャイロによる回転速度の直接計測技術が開発されている。光ジャイロは図1に示すように回転速度によって生じる見かけの光速の差を光の干渉によって検出するものであり、光速の絶対性を利用して速度の直接計測を可能にしている。一方、今まで光ジャイロの計測原理を並進速度の計測に応用することは困難であった。これは図2に示すように、干渉させるために光を往復させると、見かけの光速の変化が相殺されるためである。

近年になって、電磁誘導透過やフォトニック結晶を用いて光の伝搬速度を大幅に減衰させるスローライトの技術が開発されている。このスローライトの技術を用い、図3に示すように往路と復路で光の速度を変化させることにより、光ジャイロの計測原理に基づく並進速度の直接計測が可能となる。

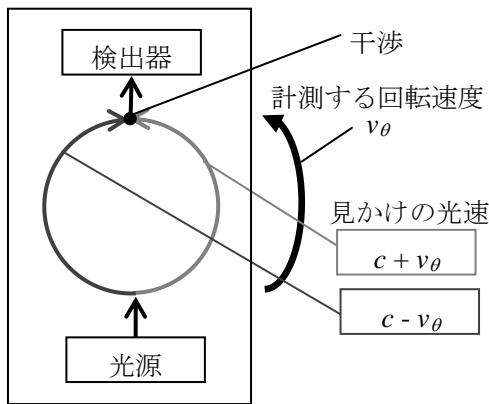


図1 光ジャイロの速度計測原理

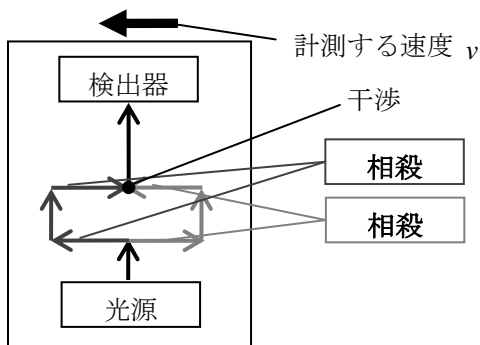


図2 並進速度計測の問題点

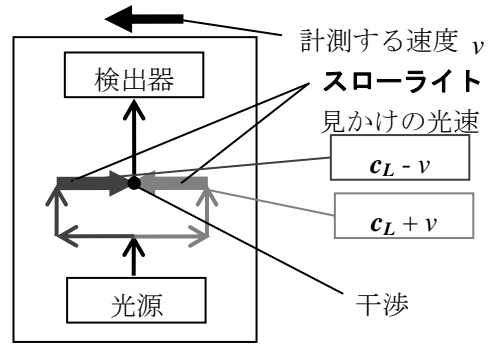


図3 スローライトを用いた並進速度の検出

2. 研究の目的

本研究の目的はスローライトと光ジャイロの技術の組み合わせによる、並進速度を直接計測可能な新しい計測原理を提案することである。

この目的を達成するため、下記の項目を実施した。

- (1) 提案する計測原理の有効性を検証するための実験装置の設計および製作
- (2) 製作した装置を用いた速度計測実験
- (3) 実験結果に基づく提案する計測原理の検証

3. 研究の方法

(1) 原理確認のための実験装置の製作

本研究で製作した、計測原理確認のための実験装置の構成を図4に、外観を図5にそれぞれ示す。

レーザ光源には波長 488nm, 出力 30mW のアルゴンレーザを用いる。光源から射出されたレーザはビームスプリッタでポンプ光とプローブ光に分けられる。プローブ光は音響工学周波数シフタ (AOFS) を用いて波長変調を施したのち、ポンプ光と合成した状態で X 軸テーブルへと送られる。

X 軸テーブル上ではハーフミラーを用いて光路を 2 つに分割し、駆動方向に沿った方向で Na 管に照射される。Na 管は Na 粒子が封入された減圧管であり、この管にコイルを巻きつけ、400°C まで加熱することにより管内は Na 蒸気で満たされる。この管内にレーザ光を通すことにより、スローライトを発生させる。

Na 管を抜けたレーザ光はハーフミラーで合成され、ここで光の干渉が発生する。合成したレーザ光はビームスプリッタでポンプ光を分離し、フォトダイオードでプローブ光の強度を電流値として検出する。フォトダイオードで検出された電流情報は IV 変換器で電圧に変換、増幅したのち、データ収集システムを用いて PC に取り込まれる。

実験装置を遮光エンクロージャで覆うことで、外部からの光の影響を抑制している。

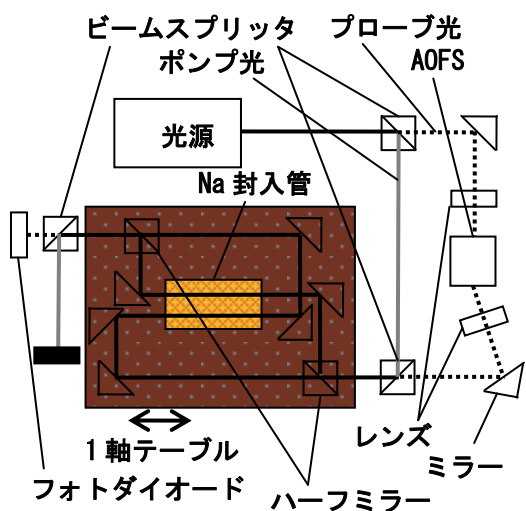


図4 原理確認実験装置の構成

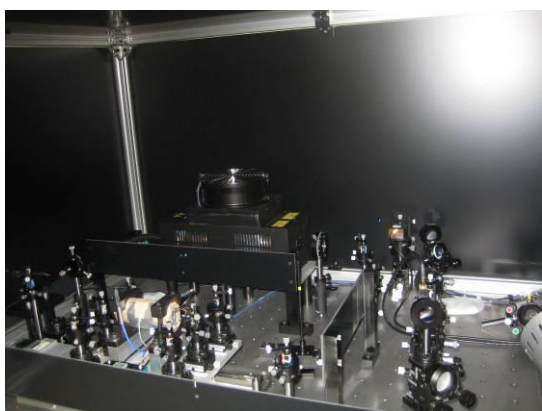


図5 原理確認実験装置の外観

(2) 速度計測実験

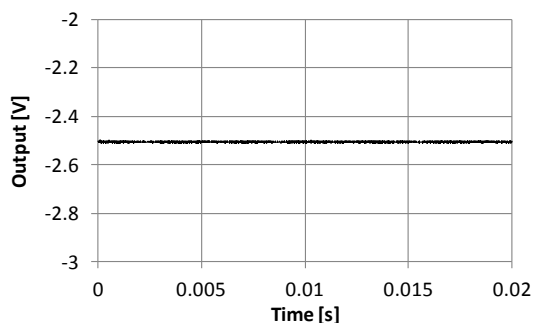
本研究で提案する速度計測原理の有効性の確認をするため、速度計測実験をおこなった。図4における1軸テーブルを、速度を0mm/s(静止)から1.00mm/sまで0.04mm/s刻みで変化させて駆動させ、速度と光出力の関係を調べた。

図6に速度と光出力波形の関係を、図7に出力のFFT解析結果をそれぞれ示す。

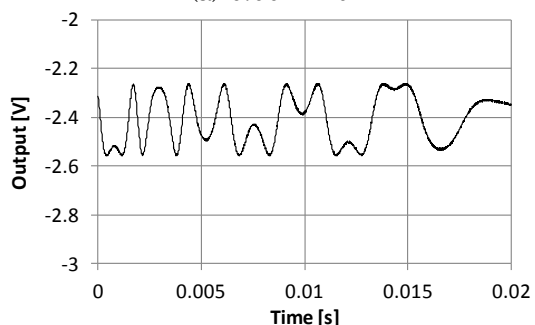
速度を変化させることにより、出力の振動周期が大きく変化することが分かった。また、振動振幅に関しても周期ほど顕著ではないものの、速度の違いによる変化が生じることが分かった。したがって、速度と光出力の間に何らかの相関があり、この相関を明らかにすることで速度の直接計測が可能になる。

しかしながら、速度と光出力の相関を明確に示すパラメータの抽出には至っていない。この関係を明らかにするためには、速度による光出力の変化がどのような原理に基づいて生じているかを明らかにする必要がある。

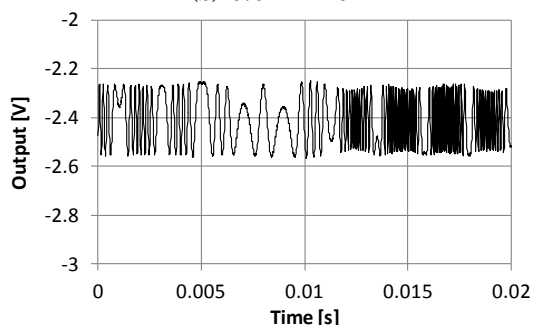
そこで、次節において、速度による光出力の変化がどのような原理に基づいて生じているかを調べる。



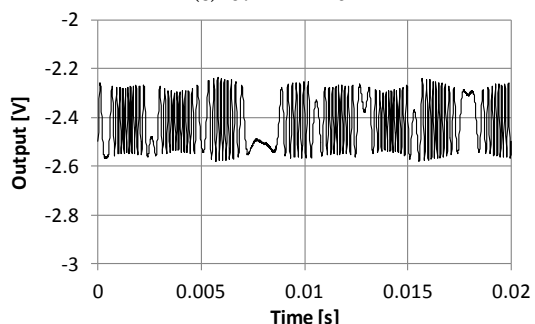
(a) 0.00mm/s



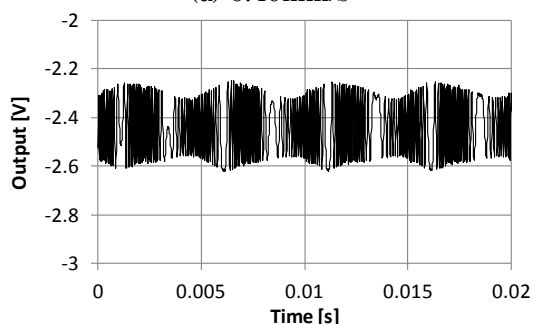
(b) 0.04mm/s



(c) 0.12mm/s



(d) 0.40mm/s



(e) 0.80mm/s

図6 速度と光出力波形の関係

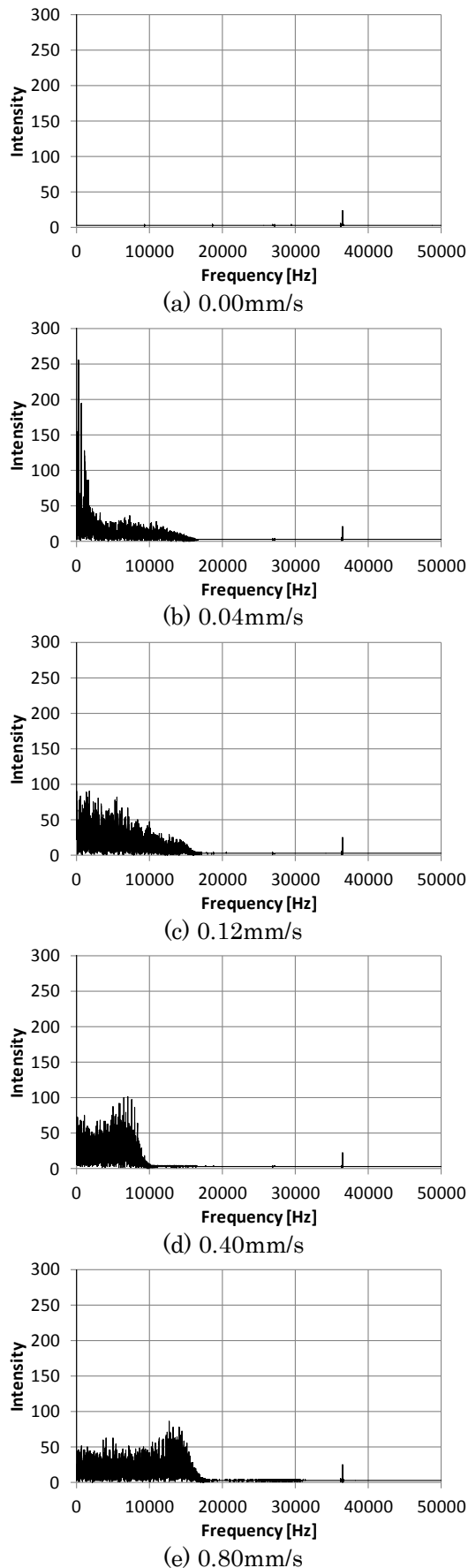


図 7 速度と光出力の FFT 解析結果の関係

(3) 速度検出原理の検討

本節では、速度と光出力の相関を明確にするため、速度による光出力の変化がどのような原理に基づいて生じているかを調べる実験をおこなった。

まず、速度による光出力の変化とスローライトの関係を調べるため、図 4 の実験装置からスローライトの発生にかかわる Na 管をはずし、図 8 に示す実験装置を構築した。この実験装置を用いて、前節と同様に速度と光出力の関係を調べた結果、前節と同様の実験結果が得られた。

この結果から、本研究で得られた速度による光出力の変化が、本研究で提案したスローライトに基づく原理ではなく、別の原理で生じたものであることが明らかになった。したがって、今後、本実験における速度の検出原理を追求することが重要である。

一方、図 4 および図 8 の実験装置では光源と検出器であるフォトダイオードが 1 軸テーブルの外にあり、テーブル上の光学系との間で相対変位が生じる。そのため、光出力の変化が光源および検出器と 1 軸テーブルの間の相対変位によって生じているものである可能性がある。

そこで、図 6 における光出力波形の変化が速度によって生じるものであることを確認するため、図 9 に示すように、光源および検出器を 1 軸ステージ上に搭載した実験装置を構築した。製作した装置の外観を図 10 に示す。この実験装置は単純な構成であり、図中の右側のハーフミラーで光路を分離し、左側のハーフミラーで合成することで光干渉を生じさせる。

図 9 の実験装置を用いて前節と同様に速度と光出力の関係を調べた結果、やはり前節と同様の実験結果が得られた。この結果から、本研究で得られた光出力の変化が、相対変位によるものでないことが明らかになった。

以上の実験結果は、光ドップラーに近い原理により、単純な構成の干渉光学系を用いた並進速度の直接計測の可能性を示すものである。

しかしながら、速度の検出原理が明確になっておらず、検出原理の検討および説明が今後の課題である。

また、本実験において、光出力の変化が、相対変位によるものでないことを明らかにしたものの、装置の振動によるものである可能性が残っている。このため、振動と光出力の変化の関係を調べ、光出力の変化が速度によるものであることを確認することも今後の課題である。

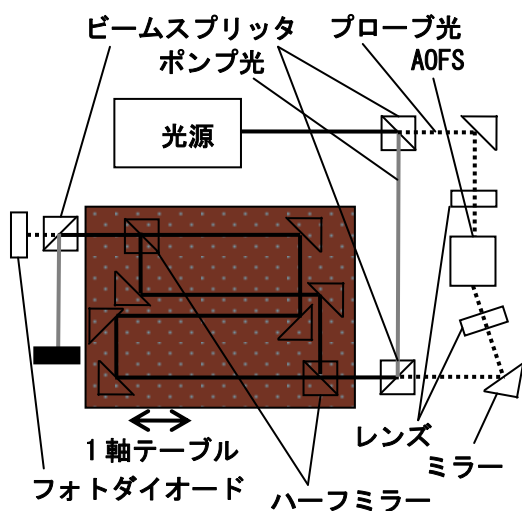


図8 スローライトなしでの原理確認実験

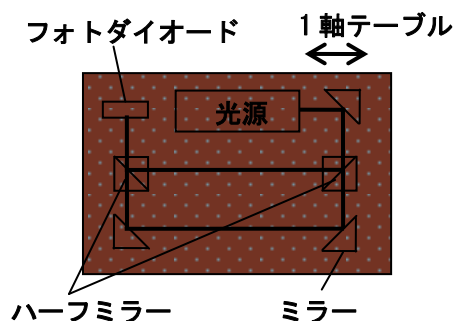


図9 検出原理検討実験装置の構成



図10 検出原理検討実験装置の外観

4. 研究成果

本研究では、並進速度の直接計測方法の開発を目的として、スローライトと光ジャイロを組み合わせた計測原理を提案した。提案する計測原理の有効性を検証するために、原理確認実験装置を製作し、速度計測実験をおこなった。

実験の結果、速度と光出力の間に何らかの相関があり、この相関を明らかにすることで速度の直接計測が可能となることを明らかにした。

一方、速度検出原理確認のためにおこなった実験において、スローライトを用いずにおこなった速度計測実験でも同様の結果が得られたことから、提案する原理とは違う原理で速度が検出されていると考えられる。

したがって、速度の検出原理の検討および解明が今後の課題であることを明らかにした。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

澤野 宏 (SAWANO HIROSHI)

東京工業大学・精密工学研究所・助教

研究者番号：40514295

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし