

光ドップラー効果による微小物体速度計測

庄司 悠 小林 弘和 岩下 克

1. 研究内容

本研究では、血流の測定、流体の測定などの微小物体の運動を想定し、それらの運動を再現し、レーザー光の反射からドップラーシフトを検出し、物体の運動速度を測定する。微小物体の運動を再現する方法として、MEMS ミラーを用いる。MEMS ミラーは複数の画像を任意の時間・タイミングで表示することができる。また、表示する画像は1ピクセル単位で表示させることができるため、物体の大きさ・運動速度を自由に設定することができる。ドップラーシフトを検出するにあたり、光ヘテロダイン検出法を用いる。

2. レーザードップラー速度計の原理

図1に示すように速度 v で動いている物体に周波数 f_0 の光を入射したとき、散乱光の周波数はドップラー効果により僅かに偏移する。これをドップラーシフトといい、ドップラーシフト Δf は次式で表すことができる。

$$\Delta f = v \cos \theta / \lambda$$

ここで λ は光の波長、 θ は速度ベクトルと入射光のなす角である。しかし、光の周波数は非常に高く散乱光を直接測定してドップラーシフトを検出するのは困難である。そのため、ドップラーシフトした散乱光に入射する前の光を参照光として干渉させ、うなりを測定することでドップラーシフトを検出する光ヘテロダイン検出法を用いる。

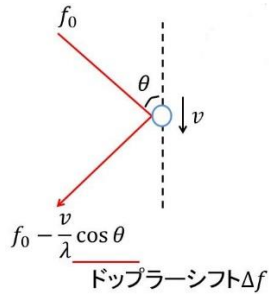


図1. ドップラーシフト

3. 実験手順

図2に本研究で使用する実験系を示す。MEMS ミラーに表示させる画像は、黒背景に白点(1×1ピクセル)がランダムに描かれたもので、その画像を1ピクセルずつずらして微小物体の運動を再現する。光源から照射したレーザーをビームスプリッターで2方向に分け、MEMS ミラーとミラーに照射させ、反射光をフォトダイオードで検出し、オシロスコープで測定しドップラーシフトを算出する。その際、オシロスコープに内蔵されたローパスフィルタを使用し、信号判別を容易にする。光源からのレーザーは照射範囲が広いので、絞りを使い範囲を狭める。また、ミラーからの反射光とMEMS ミラーからの反射光ではパワー差が大きいので、可変フィルタを使いミラーからの反射光を制限する。

MEMS ミラーでの反射は乱反射となり、反射光が複数存在するため、反射光の中からパワーの強いもの2つをフォトダイオードで検出する。

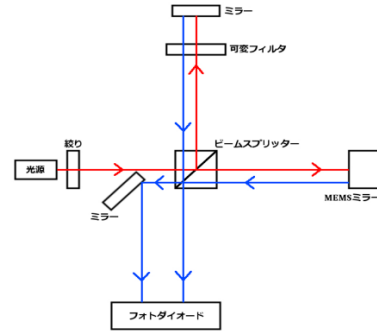


図2. 実験系

4. 実験結果

図3、図4に画像の表示間隔を500usに設定して実験を行った結果を示す。図3よりドップラーシフトは64.1[Hz]となり、図4よりビート周波数(うなり)は64.03[Hz]となった。

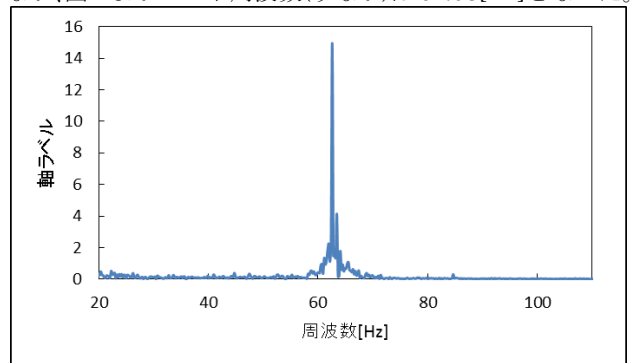


図3. ドップラーシフト

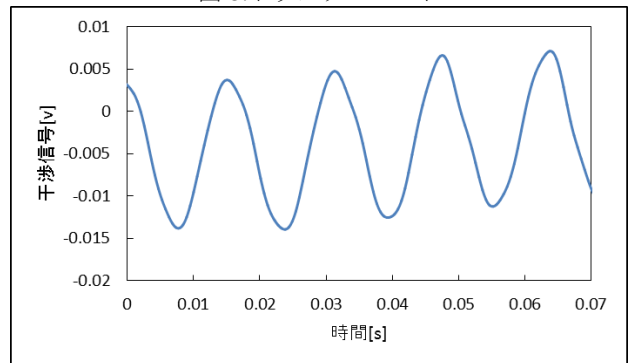


図4. ビート周波数

5. まとめ

ドップラーシフトとビート周波数は検出することができたが、そこから求めた速度と理論値の速度が合わなかった。今後の課題として、測定値から速度を求められるように、使用する画像の変更、ノイズ除去を行う。