

# 光渦の干渉を用いた散乱媒質の回転速度測定

1180008 糸井 奎太 (岩下小林研究室)  
(指導教員 小林 弘和 准教授)

## 1. 研究背景・目的

レーザードップラー速度計は、移動物体に照射した光波のドップラーシフトを検出することで、非接触に物体の移動速度を測定する技術である。レーザーを用いるメリットとしては、非接触により測定物体への影響が少なく、高温、微小な速度測定が可能で、反射があればよいので素材を選ばない点が挙げられる。

本研究は、直線運動ではなく回転運動をしている物体の速度を、レーザー光の回転ドップラーシフトを用いて検出することを目的とする。

## 2. 光波に対するドップラー効果の原理

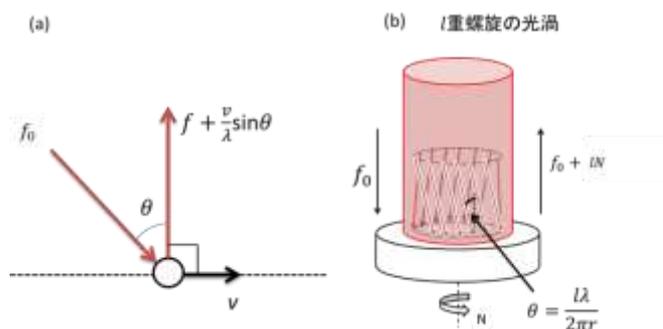


図1 (a) ドップラーシフト (b) 回転ドップラーシフト

図1 (a)に示すように速度 $v$ で動いている物体に周波数 $f_0$ の光を入射させたとき、散乱光の周波数はドップラー効果により $\Delta f = v \sin \theta / \lambda$ だけ偏移する。ここで $\lambda$ は波長、 $\theta$ は入射角である。しかし、光ビーム断面内で回転する運動の物体を考えると、移動方向と光の進行方向が垂直になり $\theta = 0$ となるため $\Delta f = 0$ となる。したがって、光ビームの断面内で回転するような物体の速度は通常の光ビームでは検出できない。そこで、 $l$ 重の螺旋状に伝搬する光渦を用いることで図1(b)に示すように角度 $\theta = \lambda / 2\pi nr$ で光線が入射する状況を作る。このとき回転速度 $N$  (周/s)に対してドップラーシフト $\Delta f = lN$ を生み出すことができる。実験では回転方向の異なる光渦(+ $l$ と- $l$ )を回転する散乱板に入射することで $\Delta f = 2lN$ の信号を得る。

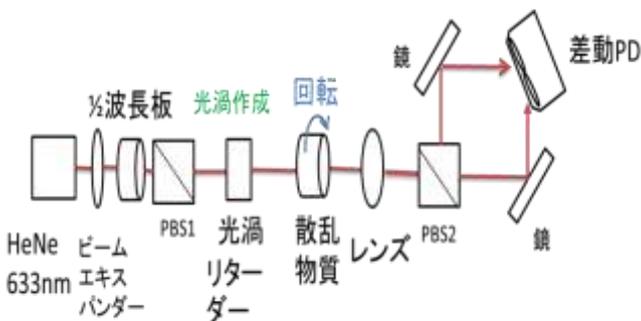


図2 実験系 (PBS: 偏光ビームスプリッター、PD: フォトダイオード)

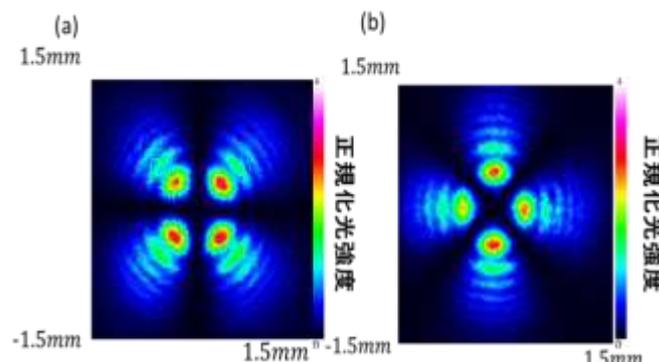


図3 (a) PBS2 を透過した光強度分布 (水平偏光)  
(b) PBS2 で反射した光強度分布 (垂直偏光)

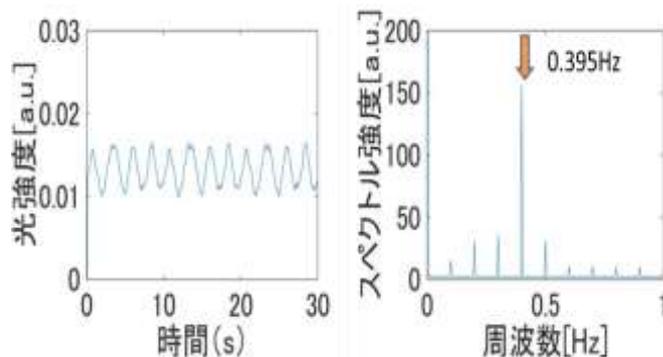


図4  $N = 0.1$ (周/s)のときの (a) 時間と電圧の関係 (b) フーリエ変換

## 3. 実験構成・結果

図2に実験系を示す。光源として HeNe レーザー (中心波長 633nm) を使用し、ビームエキスパンダーでビーム径を拡大させる。1/2 波長板は偏光ビームスプリッター (PBS1) に通過する水平偏光のパワーを調節する。光渦リターダーにより光線を $\pm 2$ 重螺旋状にし、回転運動を再現した散乱物質に入射して透過した光をレンズで集光する。その後 PBS2 で水平偏光と垂直偏光に分離し、それぞれの光強度を差動フォトダイオードで観測する。図3 (a) に PBS2 を透過した水平偏光の光強度分布図3 (b) に PBS2 で反射された垂直偏光の光強度を示す。1 周で 4 回の強度変化があるため、 $\Delta f = 4N$  が観測されるはずである。図4(a)に1回転の周期を10秒としたときのオシロスコープで観測される反射光強度の時間変化、またその結果をフーリエ変換したものを図4(b)に示す。1周期に相当する0.1Hzに対して4倍の0.4Hzの地点でピークが観測された。

## 4. まとめ

光ビームを散乱媒質の中心に通し、2重螺旋における光のドップラーシフトを用いて回転物体の速度測定を行うことができた。螺旋の数が増えると観測されるビート周波数も大きくなることから、精度が高まると考える。今後の展望としては実験構成の縮小を図り、血液の流れの測定など、直接触れることができない流れの計測への貢献が期待される。