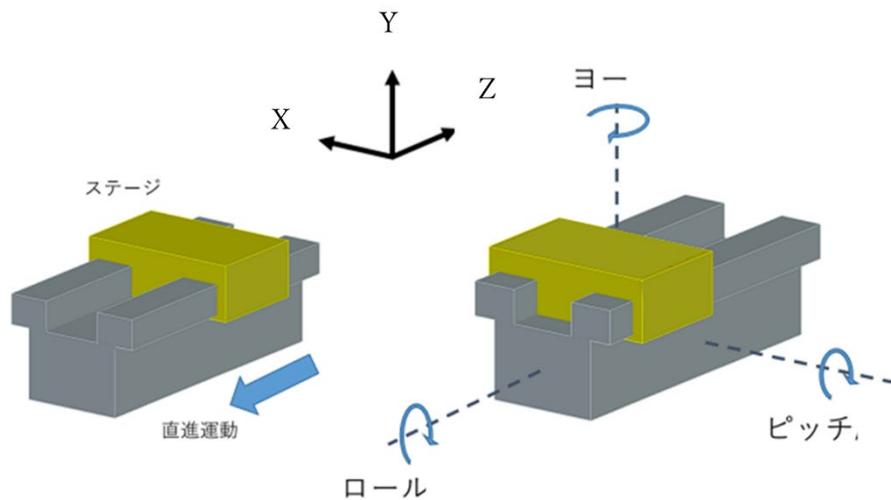


回転軸の軸方向と軸周りの運動を 検出する非接触センサ

東京電機大学 工学部 先端機械工学科
教授 古谷 涼秋

2024年10月31日

従来技術とその問題点



直動ステージの変位を測定する場合

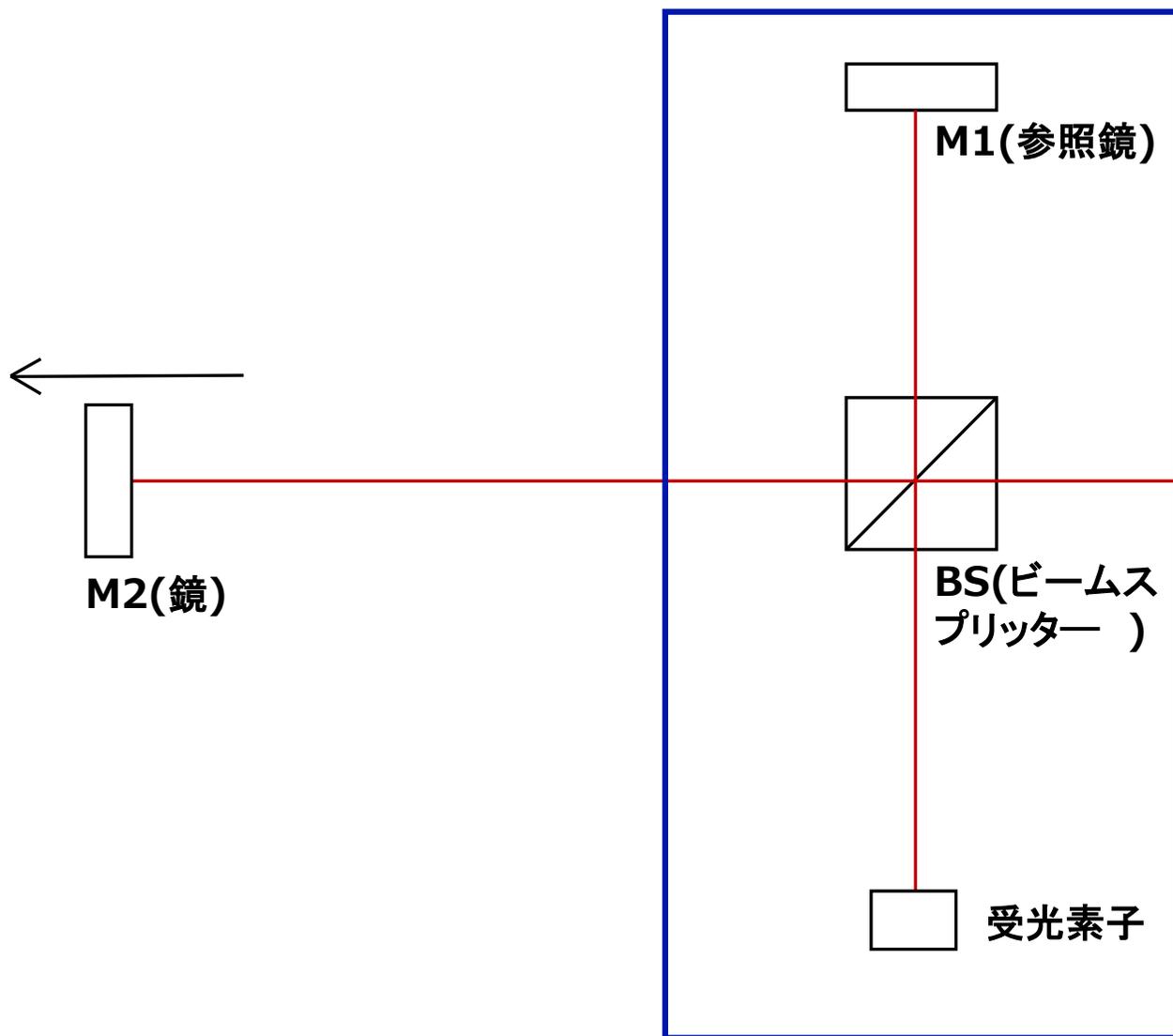
- 直進方向の変位
 - 直進方向に垂直な2方向の変位
 - 直進軸を含む面内の回転角
 - 直進軸を中心とする回転角
- を測定する必要がある。

レーザー干渉計を使って測定する場合

- ✓ 光学部品(レンズ, 鏡, 波長板など)の光軸合わせが大変。
- ✓ 光軸近傍にキヤッツアイ(反射鏡)を設置する必要がある。
- ✓ 使用する光学部品の数が多い。
- ✓ 光軸から外れると、(反射光が戻ってこない)測定できない。

などの問題がある。

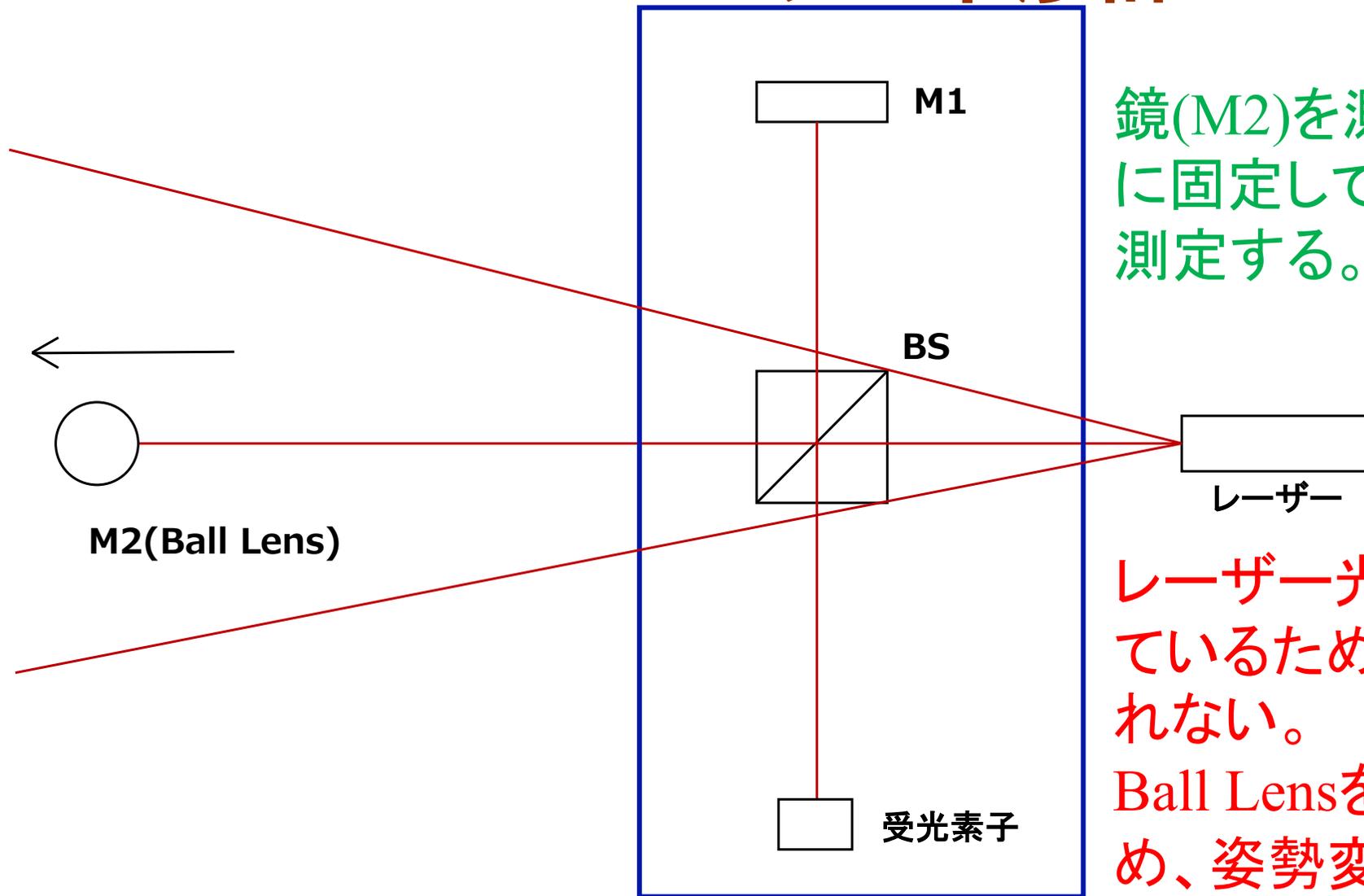
通常の光軸方向の測定方法



鏡(M2)を測定したい物体に固定して、M2の変位を測定する。

光軸からはずれた場合に、測定できない。
姿勢変化があった場合に、測定できなくなる。

煩雑な光学系の調整を必要としない レーザー干渉計

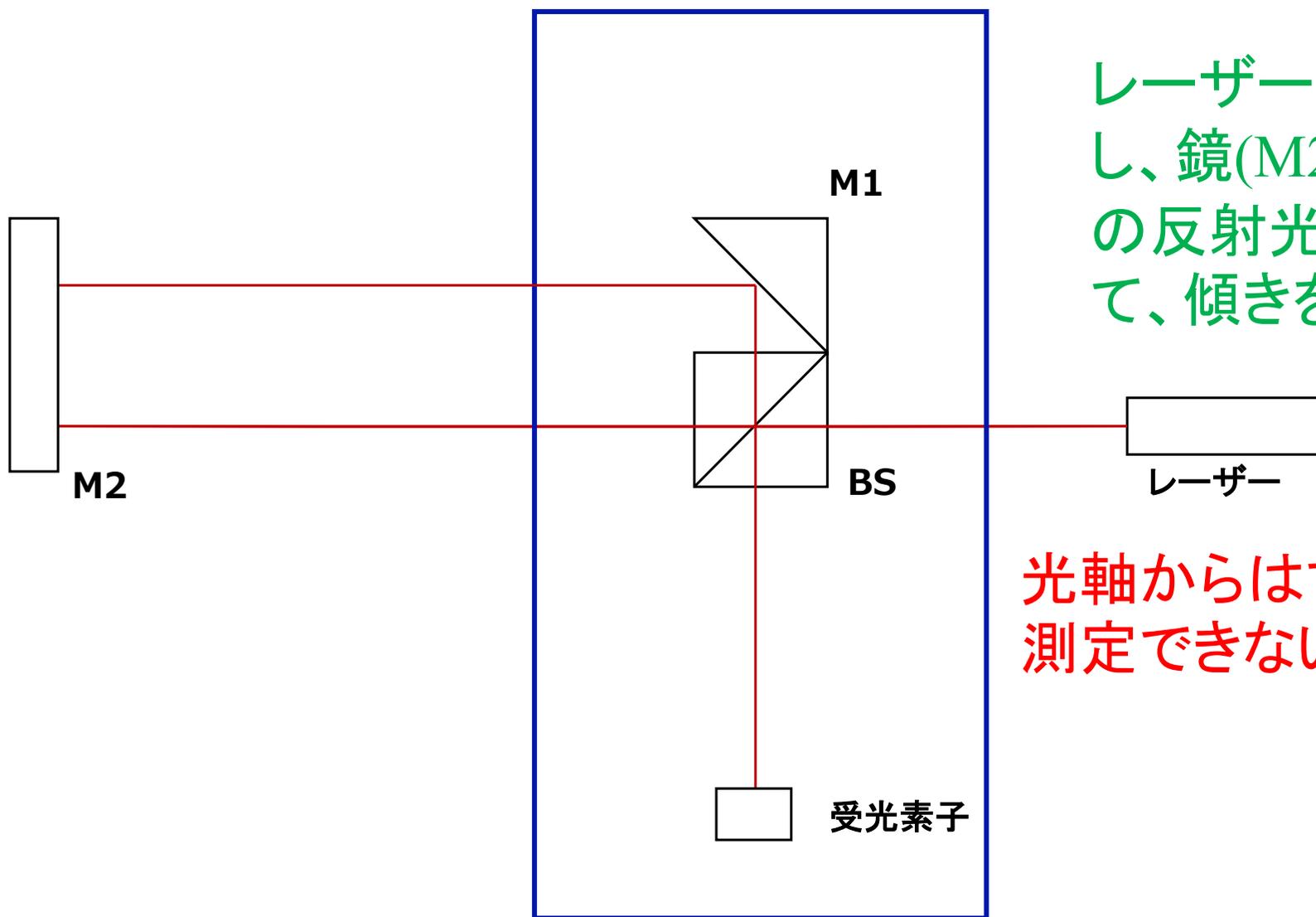


鏡(M2)を測定したい物体に固定して、M2の変位を測定する。

レーザー光を拡散光にしているため、光軸から外れない。

Ball Lensを使っているため、姿勢変化の影響を受けにくい。

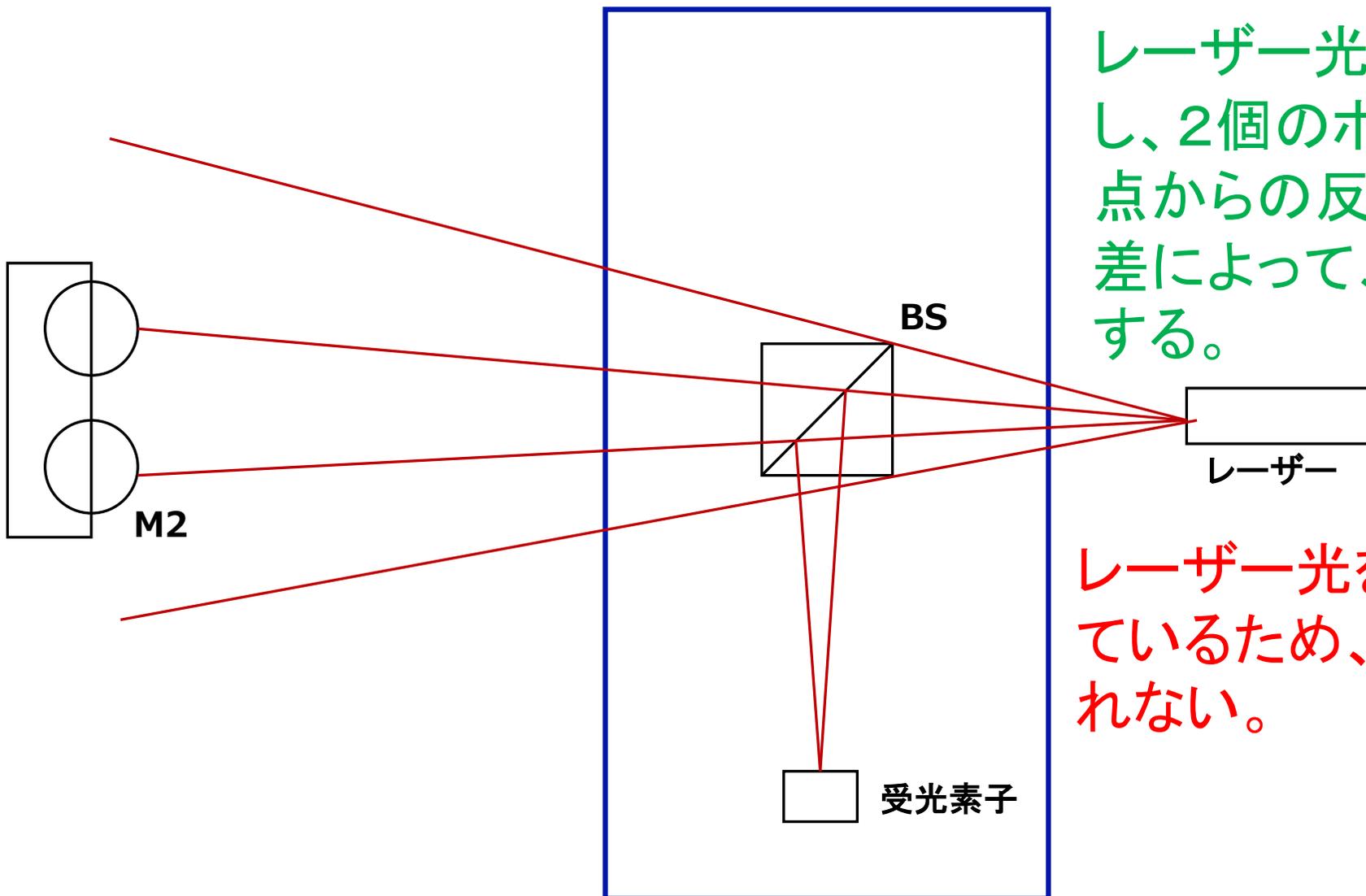
通常の角度の測定方法



レーザー光をBSで2分割し、鏡(M2)上の2点からの反射光の位相差によって、傾きを測定する。

光軸からはずれた場合に、測定できない。

煩雑な光学系の調整を必要としない レーザー干渉計(角度)

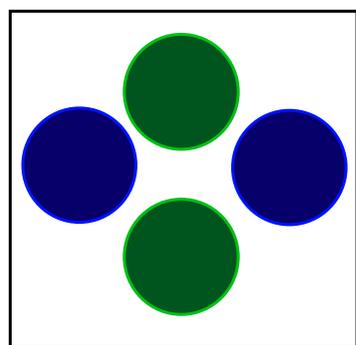


レーザー光をBSで2分割し、2個のボールレンズ2点からの反射光の位相差によって、傾きを測定する。

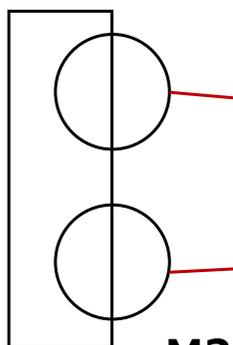
レーザー光を拡散光にしているため、光軸から外れない。

煩雑な光学系の調整を必要としない レーザー干渉計(角度)

ボールレンズの組み合わせを変えると、異なる方向の角度変化の測定が可能。



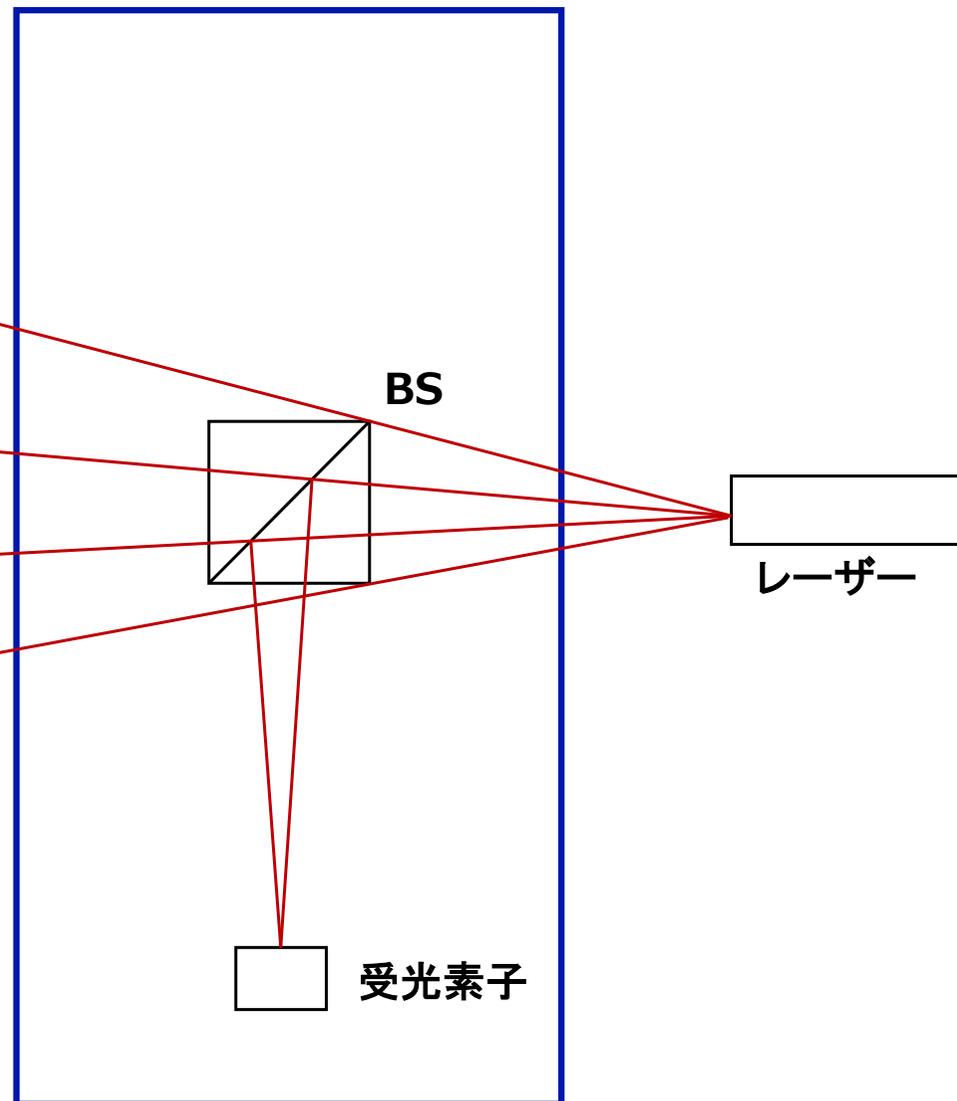
二方向の角度検出が可能



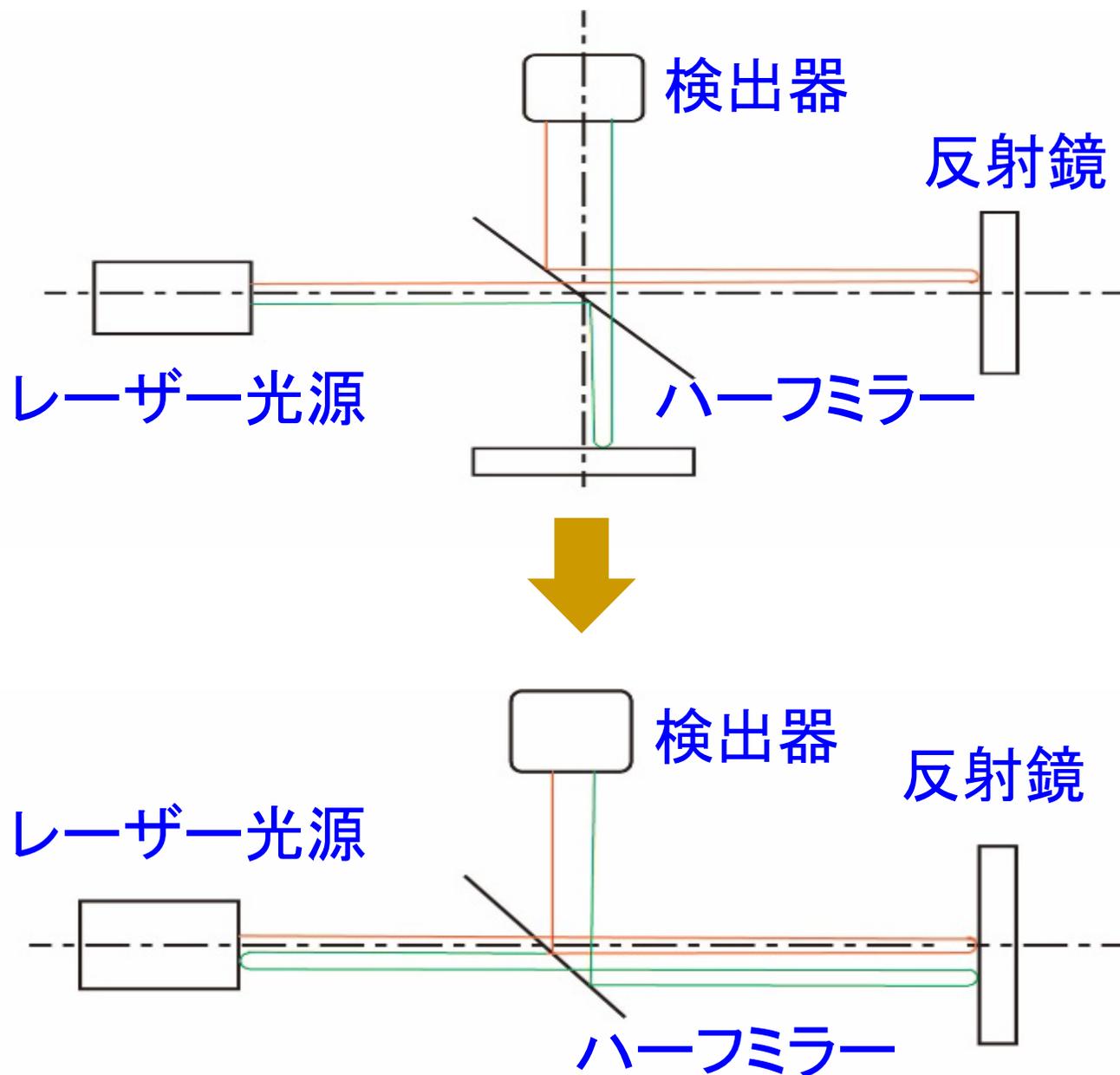
M2

透過型液晶

ボールレンズの組み合わせによって
5自由度の測定が可能
光軸周りの角度変化の測定が困難



1 本技術の光軸方向の変位測定方法

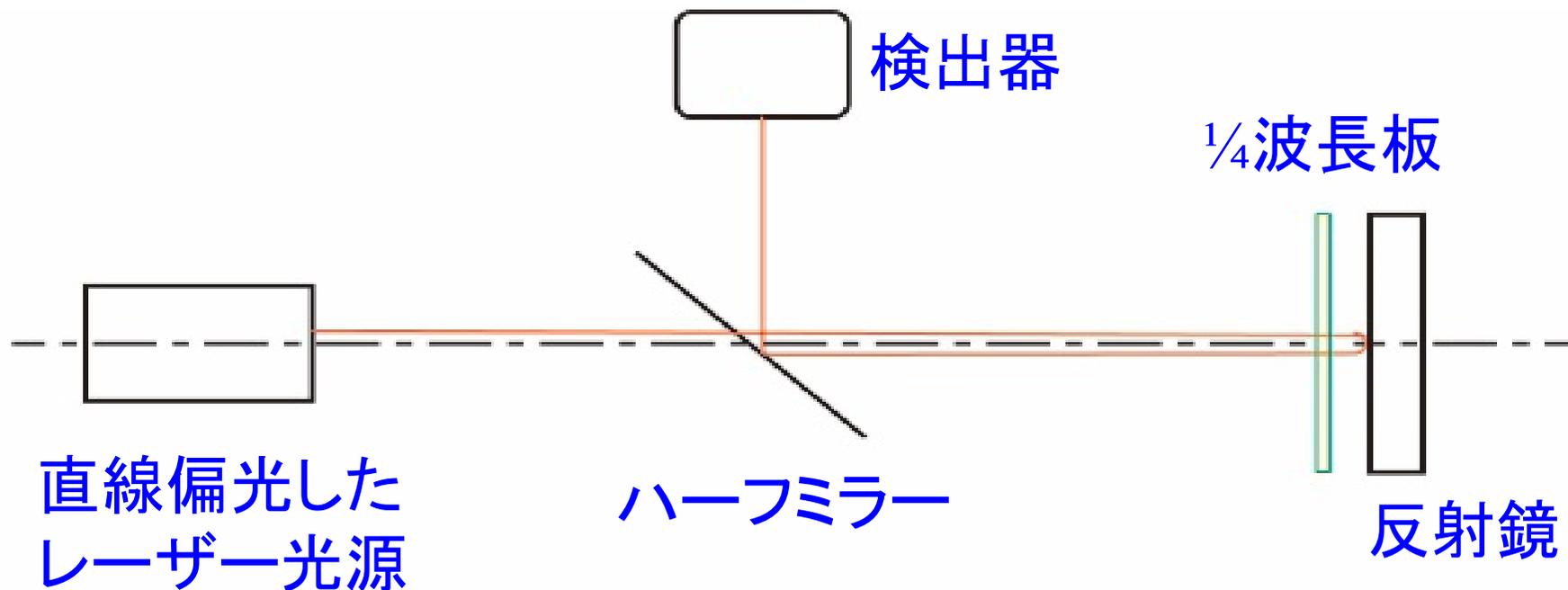


➤ レーザー光源の開口を反射鏡の代わりとすることで、反射鏡を1枚減らす。

2 本技術の光軸周りの角度測定方法

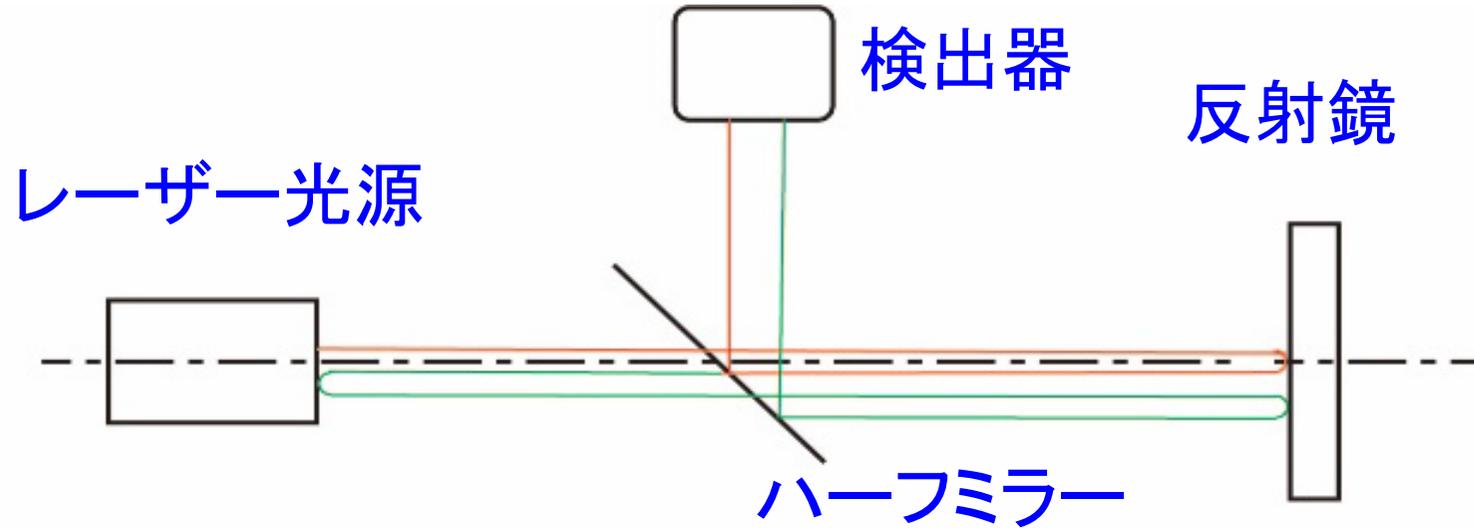
光軸周りの角度変化の測定に用いる原理

直線偏光したレーザー光が、 θ だけ傾いた1/2波長板を透過した後、レーザーの偏光方向は、 2θ だけ回転する。

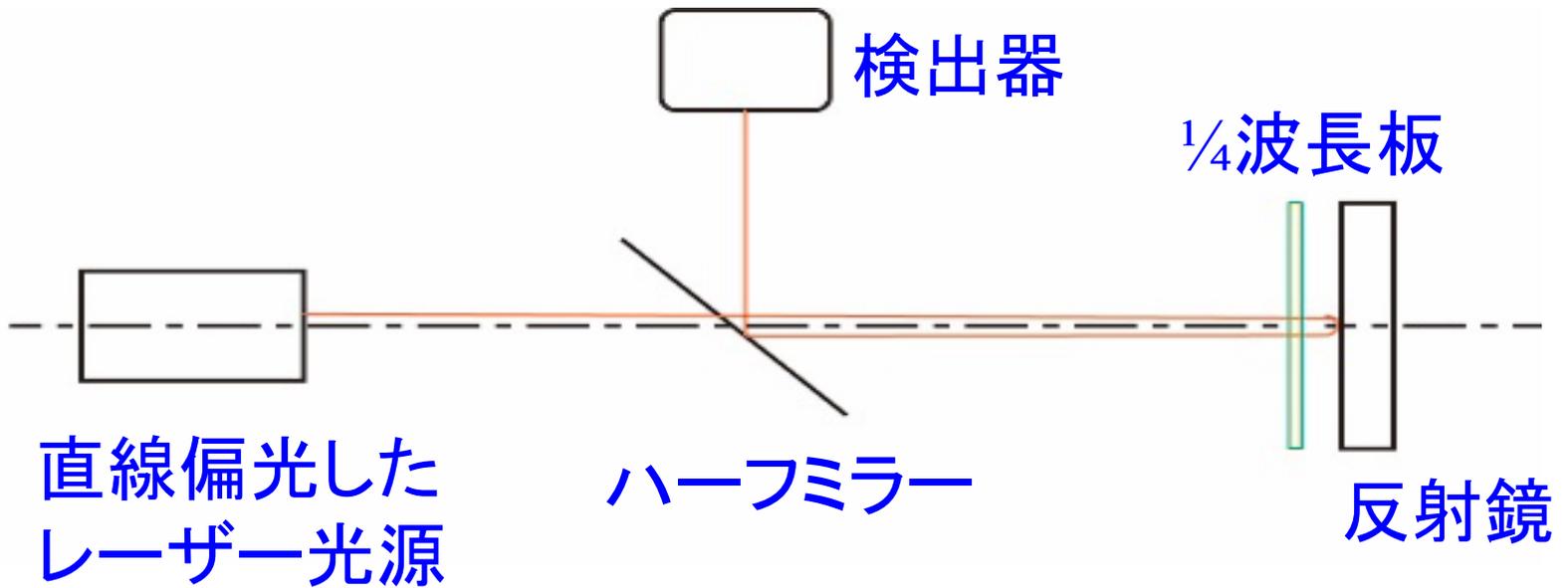


① + ② 本技術の変位 + 角度測定

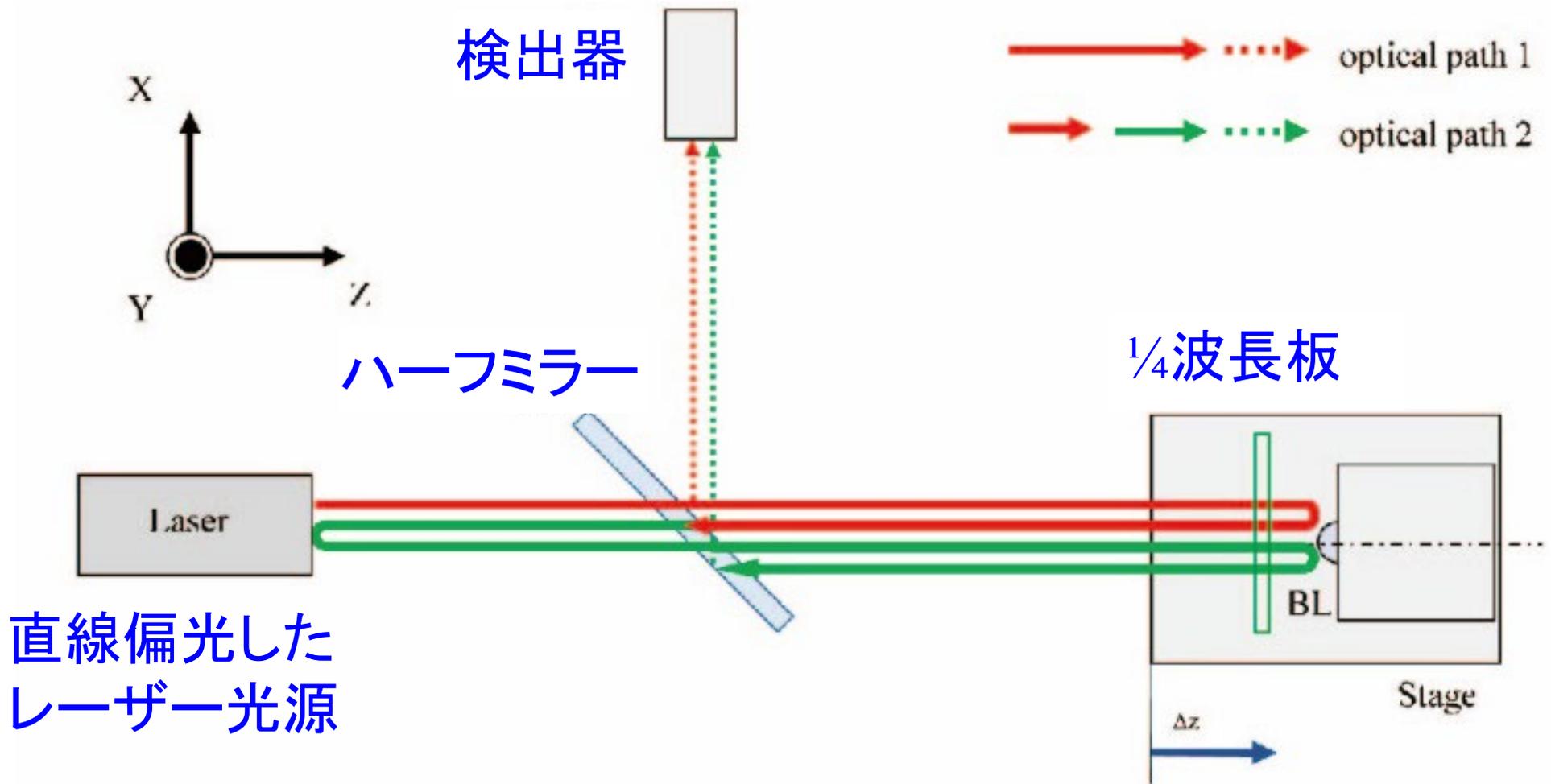
①



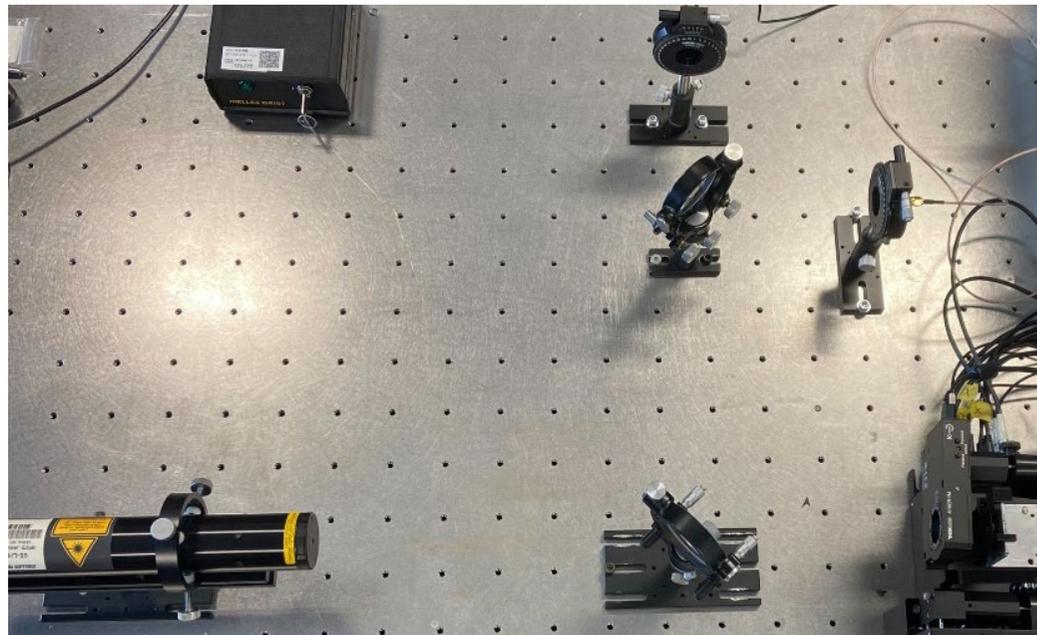
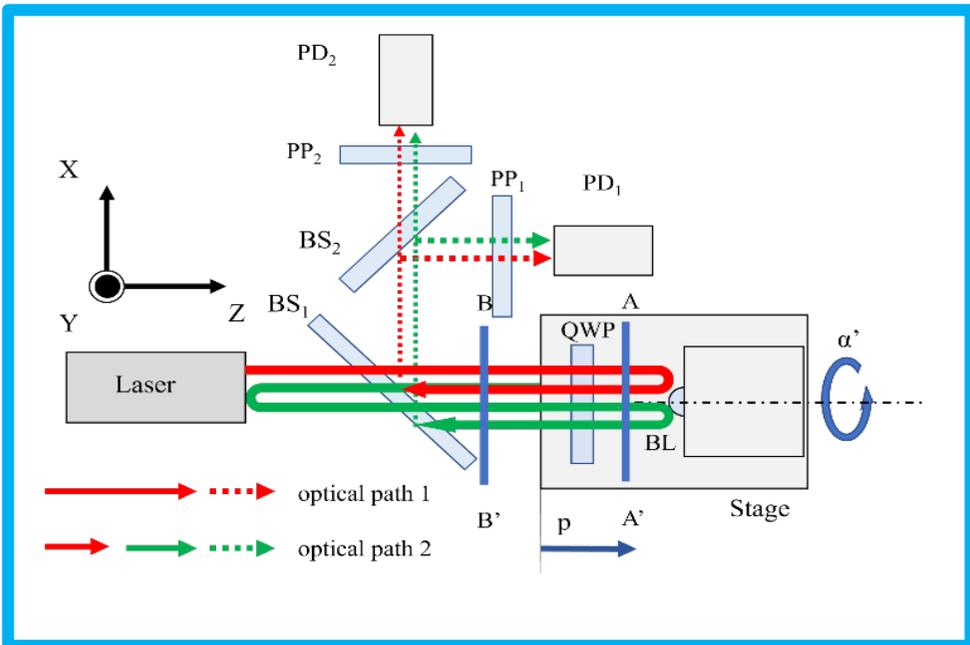
②



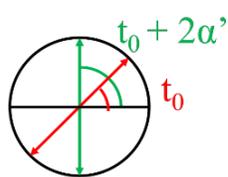
① + ② 本技術の変位 + 角度測定



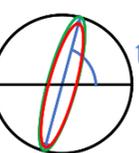
1 + 2 本技術の変位 + 角度測定



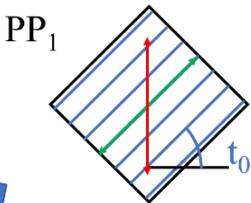
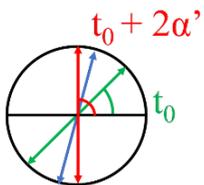
Laser oscillator aperture mirror



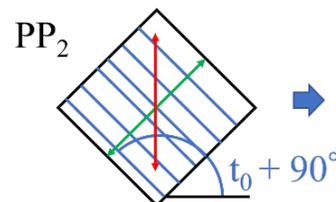
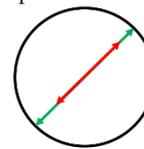
A - A'



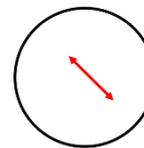
B - B'



PD₁



PD₂

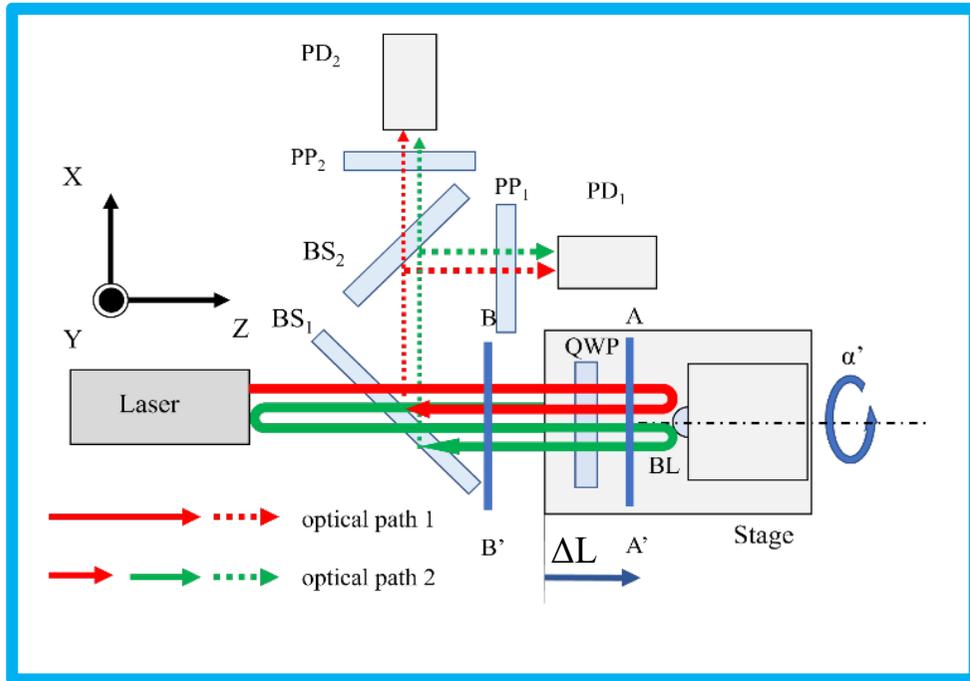


- Polarization state of light path 1
- Polarization state of light path 2
- Axis of optical element

初期の偏光 : t_0
波長板の傾き : α'
反射時の偏光 : $2\alpha'$

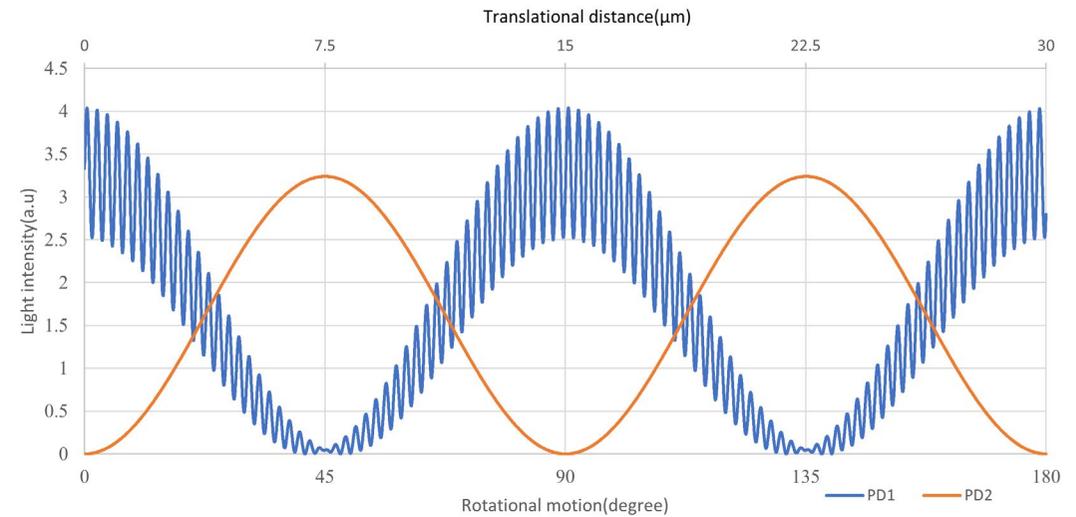
検出器1 : 変位 + 角度
検出器2 : 角度のみ

① + ② 本技術の変位 + 角度測定



シミュレーション

30μmの並進運動と180度の回転



$$I_{PD1} = b^2 + a \sin(2\alpha') (2b \sin(p) + a \sin(2\alpha'))$$

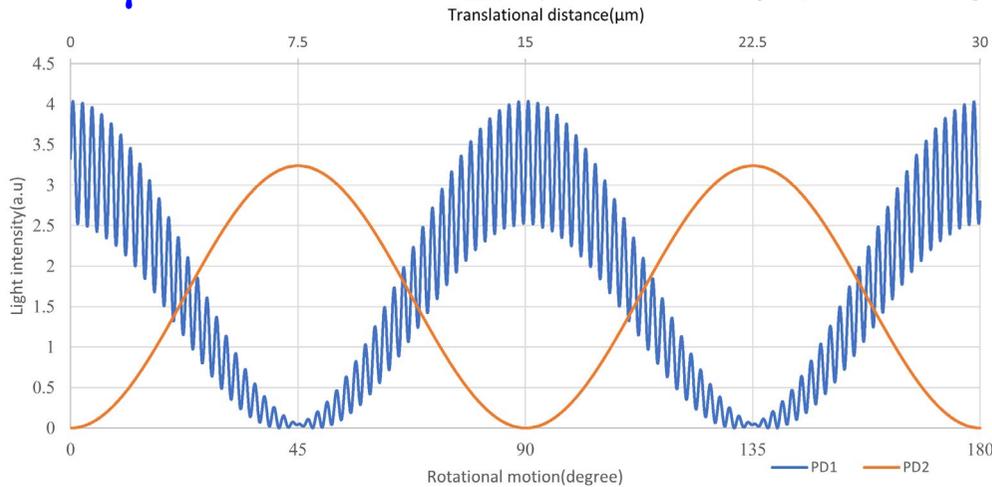
$$I_{PD2} = a^2 \cos^2(2\alpha')$$

$$\Delta L = \frac{\lambda}{4\pi} p$$

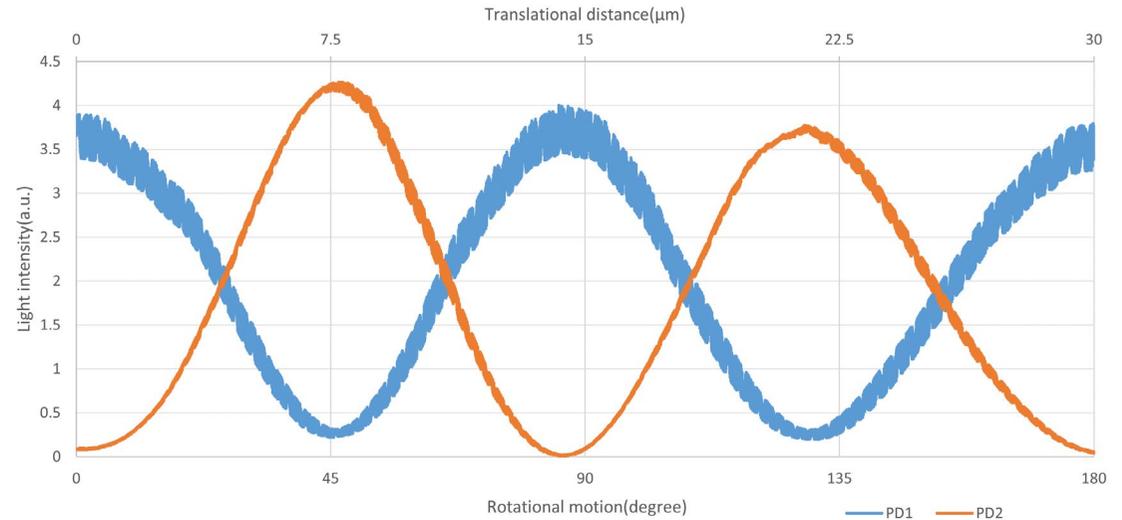
① + ② 本技術の変位 + 角度測定

シミュレーション

30 μm の並進運動と180度の回転



実験結果



$$I_{PD1} = b^2 + a \sin(2\alpha') (2b \sin(p) + a \sin(2\alpha'))$$

$$I_{PD2} = a^2 \cos^2(2\alpha')$$

$$\Delta L = \frac{\lambda}{4\pi} p$$

分解能・精度

- 変位・角度は、アナログ信号からOne-shotで検出できるため、分解能・精度はアナログ信号の信号処理（A/D変換の分解能，計算精度）によって決まるため，今後の検討。
- レーザー干渉計であるため，空気の屈折率の影響を受ける。
- 同一経路を複数回通過する干渉計であるため，1回目と2回目の時間差が少なければ，空気の屈折率変化が小さいことが期待できる。

新技術の特徴・従来技術との比較

- 光軸方向の並進変位と光軸周りの回転角を同時に測定できる。
- 移動体に1/4波長版とボールレンズだけを取り付けることで測定ができる。
- 光路1と光路2の光強度の差をキャンセルできるため、光強度が誤差要因とならない。
- 同一の経路を複数回通過する干渉計のため、1回目と2回目の時間差が少なければ、空気の屈折率変化が小さいことが期待できる。

想定される用途

- 直線運動するステージ（案内軸）の変位とステージのロール誤差の同時測定。
- 車軸のような回転軸の軸方向の変動と回転角の非接触同時測定。
- 一般に、一方向の変位とその周りの回転誤差があるような場合。

実用化に向けた課題

- 現在、直線運動と回転運動を同時に行った場合に、変位測定、角度測定が可能なことは確認済。
- 2系統のアナログ信号をA/D変換し、後処理によって、変位・角度を出力している。アナログ信号をリアルタイム処理して、リアルタイムでの変位・角度出力の実現。
- 実用化に向けて、角度信号、変位信号を分周して高感度に。

企業への期待

- レーザー光源，ハーフミラー，光検出器，信号処理回路などを小型一体化。
- 信号処理：リアルタイムでの変位，角度出力が可能な回路技術。
- 角度信号，変位信号を分周して高感度測定を実現する分周技術。

企業への貢献、PRポイント

- 本技術は並進移動の変位と回転角度を非接触での測定が可能のため、この装置を組み込むことで、加工装置、検査装置を高精度にすることで貢献できると考えている。
- 回転角度については、測定範囲を限定することにより、より高感度な測定が可能となる。

本技術に関する知的財産権

- 発明の名称 : 干渉計
- 出願番号 : 特願2023-112724
- 出願人 : 学校法人東京電機大学
- 発明者 : 古谷 涼秋、石井 広太

産学連携の経歴

- 2006年-2007年 大手精密機器メーカーと共同研究実施
- 2009年-2010年 JST地域イノベーション創出総合支援事業「シーズ発掘試験」(A)発掘型に採択
- 2009年-2011年 大手素材メーカーと共同研究実施
- 2021年-2024年 センサーメーカーと共同研究実施

お問い合わせ先

東京電機大学

研究推進社会連携センター 産官学連携担当

TEL 03-5284-5225

e-mail crc@jim.dendai.ac.jp