

# 計算機による鏡の制御の研究

7B-8

生田目勝義 山田新一 藤川英司 藤本眞克\*  
 武蔵工業大学 \*国立天文台

## 1 はじめに

国立天文台で始まっている重力波観測プロジェクトでは、重力波観測機器として基線長20[m]のファブリペロー型レーザー干渉計を建設中である。このレーザー干渉計に用いている鏡は、重力波の性質上あらゆるノイズ特に地面振動を嫌うため、その対策として振り子の形に設計されている。こうすることで、振動の比較的高い周波数成分がカットできる。しかし、低い周波数成分は残るので、鏡の姿勢を直接制御してこの影響を軽減することが必要である。

本研究ではこの鏡の姿勢制御をするための基礎研究を簡単なハードウェアを構成して行い検討した。

## 2 重力波観測器

重力波観測器として用いられているファブリペロー型レーザー干渉計の原理と構造について述べる。

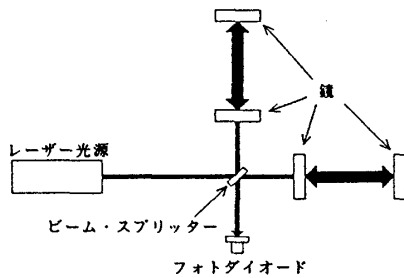


図1: ファブリペロー型レーザー干渉計

図1でレーザー光源から入射した光はビーム・スプリッターによって2つに分けられ、それぞれ手前の鏡（ハーフミラー）を通過する。通過した光は、奥の

鏡と手前の鏡との間で多重反射を繰り返し、最終的に手前の鏡を通過してビーム・スプリッターで重ね合わされてフォトダイオードに入る。このフォトダイオードに入った光の光量を観ることで重力波が観測される。

次に、この干渉計に用いている鏡の形状を図2に示す。鏡の自由度は図2に示すように、X、Y、Z軸それぞれの正負方向と、X、Z軸それぞれを中心とした回転方向の5自由度である。したがって、実際の制御ではこれら5方向について行わなければならない。

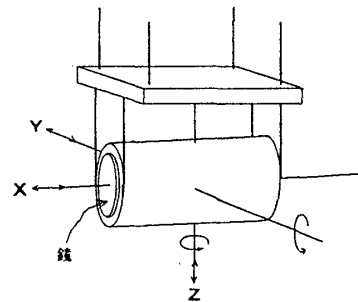


図2: 鏡の自由度

## 3 鏡の姿勢制御システム

鏡の姿勢制御はその制御範囲から大きく分けてグローバルコントロールとローカルコントロールの2つに分けられる。グローバルコントロールとは、干渉計を動作域に止めるために、干渉計の出力から鏡の光軸方向の動きを読み取り鏡を制御することである。一方、ローカルコントロールとは、主にグローバルコントロールの負担を軽減するため、地面に対する鏡の動きを他に設けたセンサーで検出し、地面に対して静止するように制御することで、本研究で行う鏡の制御は、このローカルコントロールである。

次に、これをもとに構成したハードウェアについて述べる。システムを簡単にするために鏡の自由度をZ軸を中心とした回転の1つだけとした。光位置検

Computer Control on Mirrors

Katsuyoshi Namatame, Shin-ichi Yamada, Hideji Fujikawa,  
 Masakatsu Fujimoto\*

Musashi Institute of Technology, \*National Astronomical  
 Observatory of Japan

出センサーと回転ステージに固定された鏡を向かい合わせて約80[cm]離して光学ベンチの上に置き、鏡にレーザー光をあててその反射光をセンサーで読み取ってモーターで回転ステージを回し鏡の向きを調節するものである。使用するモーターは1ステップ角が0.72度の5相ステッピングモーターで、これに合わせてバックラッシュ対策を施した減速比が1/120の回転ステージを作成した。

## 4 鏡の制御とノイズ対策

本研究での鏡の姿勢制御アルゴリズムは、センサーの出力からセンサー上の光の位置を得ることによって鏡の向きを検出し、光の位置がセンサーの中心にくるようにモーターを回転させて制御するというものである。この制御方法を実現するために様々な実験を行ったところ、図3のようにモーターを動作させてセンサー上の光の位置を調節する時に、センサーの出力に大きなノイズが入ることがわかった。

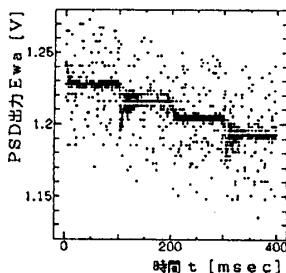


図3: モーター動作中のセンサーの出力  $E_w$ 。

その後詳しく調べてみると、モーターに、計算機とのインターフェイスと電源をつなぐと、モーターが動作中でなくてもノイズが入ることがわかった。

そこで、次の3つのノイズ対策を施した。

1. センサーの出力端子のすぐ後ろにローパスフィルターを挿入する。
2. モーターの電源をスイッチング式でないものにする。
3. ソフトウェア的にローパスフィルターのような処理をセンサーの出力に施す。

なお、1番目の対策のローパスフィルターはカットオ

フ周波数が約1.6[kHz]で、3番目の対策のローパスフィルターのカットオフ周波数は約16[Hz]である。

これらの対策の中で有効だったのは2番目と3番目の対策を組み合わせで、これによって図4のようにセンサー上の光の位置を特定できるようになった。

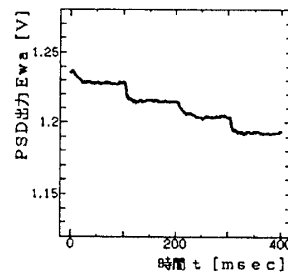


図4: ノイズ対策後のセンサーの出力  $E_w$ 。

次に、前述の制御方法での制御実験について述べる。ノイズ対策の3番目の影響で光の位置検出までの時間が長くなってしまい、光の位置検出からモーター停止までの時間は約0.43秒かかってしまうが、実際のシステムで予想される鏡の振動（おもに地震によって起こる）が約1[Hz]程度であることから、制御が十分可能であることがわかった。

## 5 おわりに

本研究では要求されている必要最低の条件は達成できたが、実際の重力波観測用レーザー干渉計に導入するためには、他に使用する機器などへの影響を考慮して、今回用いたようなノイズが発生するモーターはあまり使うべきではないので今後、さまざまな制御方法を試す必要がある。

## 参考文献

- [1] 三尾典克, 大橋正健: 重力波アンテナ技術検討書”干渉計ハンドブック”, 1992.
- [2] NHKアインシュタイン・プロジェクト: NHKアインシュタイン・ロマン”やさしい相対性理論”君は宇宙をどこまで知るか, 日本放送出版協会, 1992.