

1.85m および 45m 電波望遠鏡に搭載する定在波除去装置の開発

大阪府立大学 M1 片瀬徹也

1. はじめに

我々は、長野県の野辺山電波観測所内に 1.85m 電波望遠鏡を設置している。この望遠鏡を用いて、分子雲中の一酸化炭素分子の回転遷移スペクトルを観測し、星がどのように形成されるのかを研究している。昨年 5 月に、大質量星形成領域 Ori-KL の観測を行った。その際、定在波の影響によりスペクトル図のベースラインがうねってしまった(Fig.1)。この定在波の影響を少しでも小さくしようと、定在波除去装置(Path Length Modulator、以下 PLM)を開発し、1.85m 鏡に設置した。

さらに、野辺山電波観測所の 45m 電波望遠鏡に搭載されている 100GHz 帯 2 ビーム受信機にも PLM を搭載することが決定し、開発を行った。

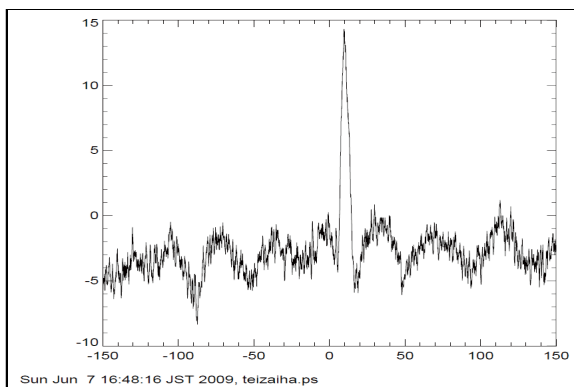


Fig.1 Ori-KL の観測結果

縦軸：強度[K]

横軸：ドップラー速度

2. PLM

PLM は 2 組の「く」の字型の平面鏡が平行に並んでおり、そのうち 1 つが周期的に振動する装置である。その振幅は観測波長の 1/4、もしくはその整数倍である。

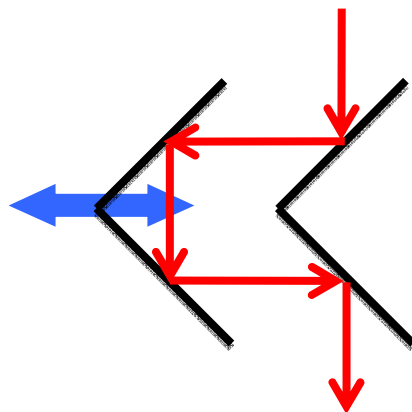


Fig.2 PLM

赤線：ビームの光軸

青線：平面鏡の振動

3. 定在波低減の原理

定在波は、とある波とその反射波が同じ位相で重なり合うことで発生する。一般的に電波望遠鏡において、定在波はホーンから漏れ出した局部発振信号がある点で反射して発生すると考えられている。ホーンから反射面までの距離を L とすると、ホーン付近での定在波の電界強度は、

$$E(t) + E\left(t + \frac{2L}{c}\right) \quad (1)$$

ここで、 t は時間、 c は光速である。

(1)式をフーリエ変換すると、

$$E(\nu) + E(\nu) \exp\left(2\pi i \frac{2L}{c} \nu\right) = E(\nu) \left\{1 + \exp\left(2\pi i \frac{2L}{c} \nu\right)\right\} \quad (2)$$

ν は周波数である。

パワー強度と電界強度の関係 $P = |E|^2$ より、定在波のパワー強度は、

$$P(\nu) = E(\nu)^2 \left\{1 + \exp\left(2\pi i \frac{2L}{c} \nu\right)\right\} \left\{1 + \exp\left(-2\pi i \frac{2L}{c} \nu\right)\right\} = 2E(\nu)^2 \left\{1 + \cos\left(2\pi \frac{2L}{c} \nu\right)\right\} \quad (3)$$

(3)式のコサインの部分が周期 $c/2L$ の定在波成分である。

PLM を用いて、光路長 L を $L+2\alpha$ に変化させると、定在波成分は

$$\cos\left(2\pi \frac{2L}{c} \nu\right) \Rightarrow \cos\left\{2\pi \left(\frac{2L\nu}{c} + \frac{4\alpha\nu}{c}\right)\right\} = \cos\left\{2\pi \left(\frac{2L\nu}{c} + \frac{4\alpha}{\lambda}\right)\right\} \quad (4)$$

となる。

$\alpha = \lambda/4$ となるとき、定在波は1周期変化する。この定在波と元の定在波を重ね合わせることで、スペクトル図のベースラインのうねりは低減することができる。

4. 1.85m 鏡に搭載した PLM

4.1 設計

3D 設計ソフト **Inventor** を用いて設計を行った。

開発の際、注意した点は

- 2組の「く」の字型平面鏡の間隔は 100mm
- エッジレベルは 30dB 落ち

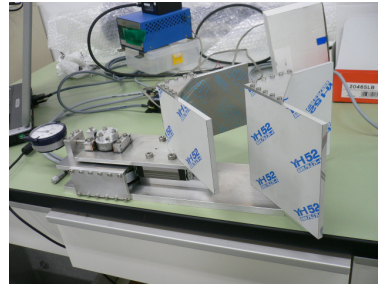
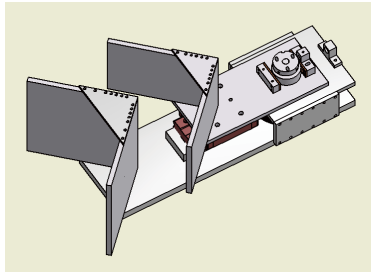


Fig.3 設計した PLM (左 : 3D CAD)

4.2 設置

以下に、1.85m 鏡の光学系の図を示す(Fig.4)。アライメント調整をしやすいようにビームがほぼ平行波となる場所を選んだ。GRASP(物理光学手法)を用いて、開口能率が 2%低下することが分かったが、大きな変化ではないと判断した。

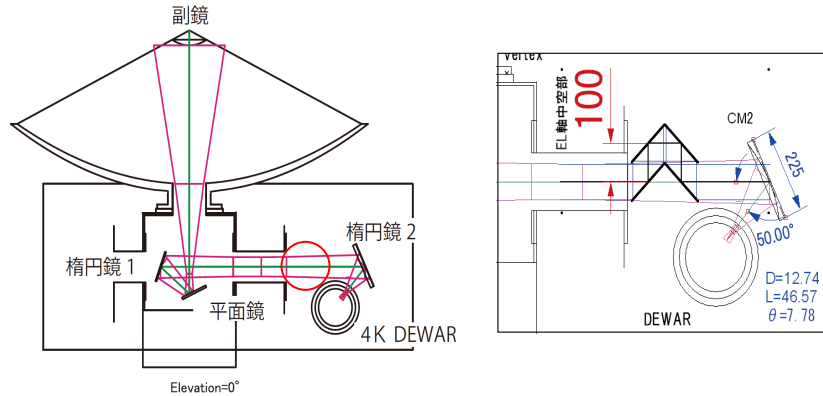
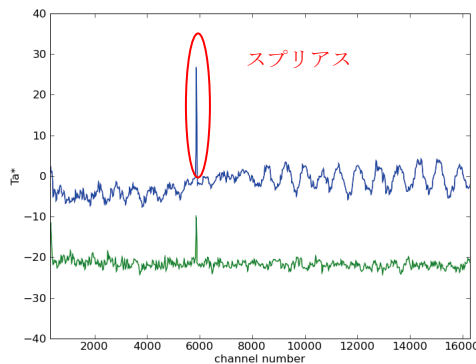


Fig.4 1.85m 鏡の光学系

4.3 試験結果

sky のベースライン測定(ON-OFF 測定)を行った結果を以下に示す(Fig.5)。



青 : PLM 動作 OFF
 緑 : PLM 動作 ON

Fig.5 sky のベースライン測定

定在波が 1/5 程度に低減されることが分かった。

5. 45m 鏡に搭載した PLM

5.1 設計

45m 鏡搭載用 PLM は Fig.6 の 2 ビーム受信機に取り付けるものである。それゆえ、2 ビーム分をカバーするために横に広い構造となった(Fig.7)。

注意した点は、

- ・ 振動部分の重量が重くなるため、振動部はできるだけ軽量化した
 - ・ 2 ビーム受信機に直接取り付くので、柱部分(PLM の足の部分)を頑丈にした
- である。

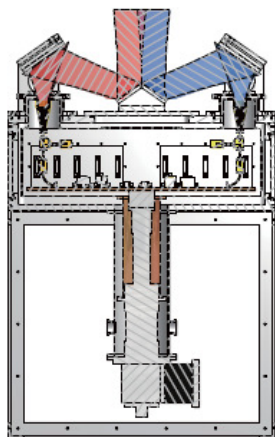


Fig.7 2 ビーム受信機

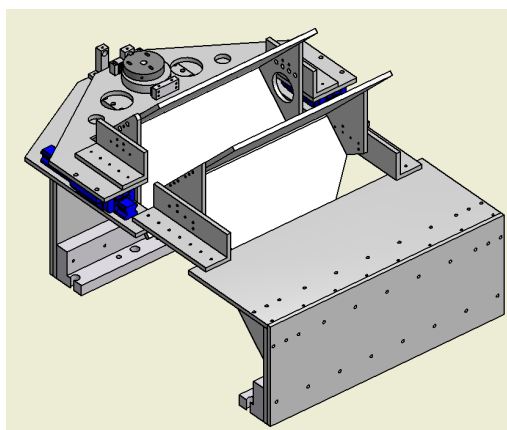


Fig.8 2 ビーム受信機用 PLM

5.2 設置

PLM を取り付けて、5Hz で振動させた。すると、2 ビーム受信機が振動してしまうという問題が発生した。これは受信機内の観測素子が壊れる原因となる。そこで、2 ビーム受信機を 45m 鏡の柱と固定することにより、振動を抑えた。その結果、PLM を 3Hz 程度で動かすことに問題はないと判断した。

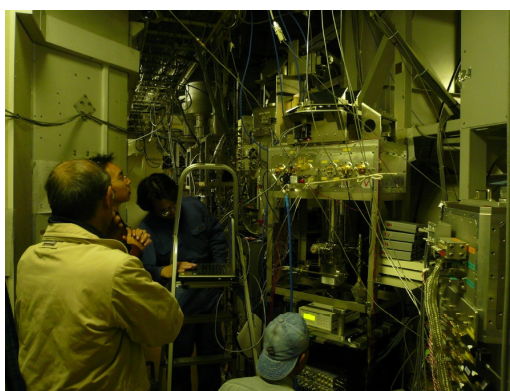


Fig.9 搭載試験の様子

5.3 試験結果

1 ビームのみで試験を行った。ポジションスイッチ観測(ON 点と OFF 点を大きくずらす観測)で、定在波の影響がみられた。そこで、ポジションスイッチ観測で PLM を用いた結果を、以下に示す(Fig.10)。

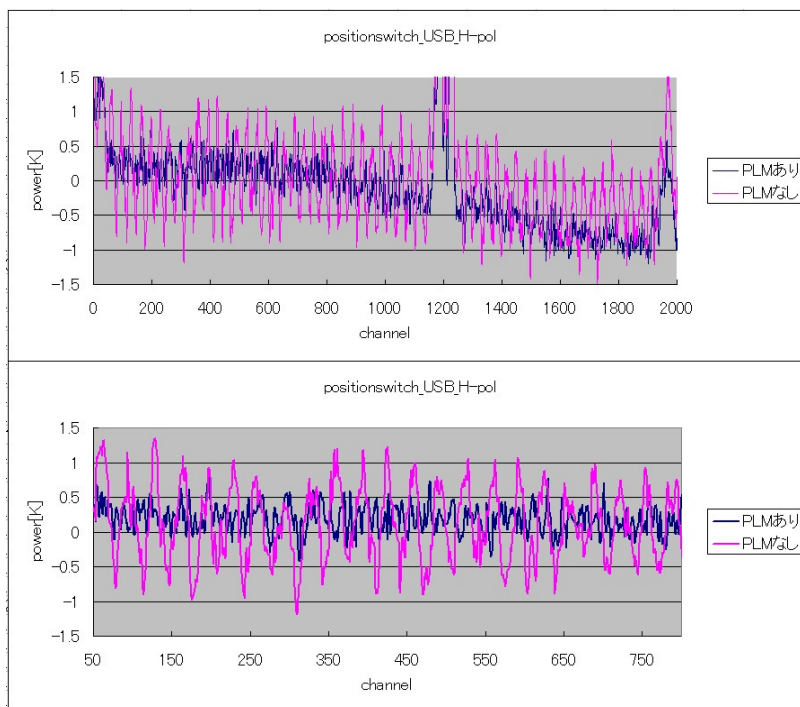


Fig.10 USB 側片偏波の結果

試験の結果、2SB 両偏波で定在波が発生せず、USB 側の片偏波でしか定在波の影響が見られなかった。しかし PLM を用いると、定在波が低減されることは分かった。