

第1章 重力参照計の評価

??にて述べたように、本較正装置では重力参照計を用いて絶対角度を測定するが、これまでに使用が想定されていた Digi-Pas 社製の DWL5000-XY は要求性能を満たさなかった。今回、新たに候補となった Sherborne Sensors 社製の DSIC-2051-60 を評価した。本章では、はじめに要求精度と評価すべき事項について確認したのち、本重力参照計の概要を共有、評価手法と結果について述べる。

1.1 要求精度と評価内容

要求される精度は、表??中にある値から合計誤差が $\delta\theta < 0.1^\circ$ となることであり、式(??)で表される θ_{sens} にして $\delta\theta_{\text{sens}} < 0.06^\circ$ である。これを重力参照計の要求精度に換算する。式(??)より、重力参照計の各 X 軸、Y 軸の誤差を $\delta\theta_X, \delta\theta_Y$ とすると、 θ_{sens} の誤差 $\delta\theta_{\text{sens}}$ は

$$\delta\theta_{\text{sens}} = \sqrt{\left(\frac{\sin \beta}{\sin^2 \alpha + \sin^2 \beta} \delta(\sin \alpha)\right)^2 + \left(\frac{\sin \alpha}{\sin^2 \alpha + \sin^2 \beta} \delta(\sin \beta)\right)^2} \quad (1.1)$$

$$\delta(\sin \alpha) = \sqrt{\left(\frac{d \sin \alpha}{d \theta_X} \delta\theta_X\right)^2 + \left(\frac{d \sin \alpha}{d \theta_Y} \delta\theta_Y\right)^2} \quad (1.2)$$

$$\delta(\sin \beta) = \sqrt{\left(\frac{d \sin \beta}{d \theta_X} \delta\theta_X\right)^2 + \left(\frac{d \sin \beta}{d \theta_Y} \delta\theta_Y\right)^2} \quad (1.3)$$

$$\frac{d \sin \alpha}{d \theta_X} = \cos \theta_{\text{slope1}} \cos \theta_X - \sin \theta_{\text{slope1}} \sin \theta_{\text{slope2}} \frac{\sin \theta_X \cos \theta_X}{\sqrt{1 - \sin^2 \theta_X - \sin^2 \theta_Y}} \quad (1.4)$$

$$\frac{d \sin \alpha}{d \theta_Y} = -\sin \theta_{\text{slope1}} \cos \theta_{\text{slope2}} \cos \theta_Y - \sin \theta_{\text{slope1}} \sin \theta_{\text{slope2}} \frac{\sin \theta_Y \cos \theta_Y}{\sqrt{1 - \sin^2 \theta_X - \sin^2 \theta_Y}} \quad (1.5)$$

$$\frac{d \sin \beta}{d \theta_X} = \sin \theta_{\text{slope1}} \cos \theta_X + \cos \theta_{\text{slope1}} \sin \theta_{\text{slope2}} \frac{\sin \theta_X \cos \theta_X}{\sqrt{1 - \sin^2 \theta_X - \sin^2 \theta_Y}} \quad (1.6)$$

$$\frac{d \sin \beta}{d \theta_Y} = \cos \theta_{\text{slope1}} \cos \theta_{\text{slope2}} \cos \theta_Y + \cos \theta_{\text{slope1}} \sin \theta_{\text{slope2}} \frac{\sin \theta_Y \cos \theta_Y}{\sqrt{1 - \sin^2 \theta_X - \sin^2 \theta_Y}} \quad (1.7)$$

のように表される。 $\theta_{\text{slope1}} = 210^\circ, \theta_{\text{slope2}} = 40^\circ$ は??にて導入したスロープの角度である。重力参照計の両軸とともに同程度の誤差を持つと仮定し、スロープの角度から生じる誤差を無視すると、およそ $\delta\theta_X \sim \delta\theta_Y \leq 0.04^\circ$ が要求精度となる。

観測サイトはその気温が $-20^\circ\text{C} \sim 20^\circ\text{C}$ と変動する過酷な環境である。そのため、恒温槽を用いてこの温度の下で出力結果を測定し、温度変動による出力の変動を評価を行う。

1.2 重力参照計の概要

図 1.1 に本重力参照計の外観を示す。図中の X 軸、Y 軸と重力に対して垂直に交わる水平面のなす角が θ_X, θ_Y であり、これを出力する。また、各軸は対応するセンサの温度も出力することが

できる。公称の精度は 0.08° であるため、その精度を再評価し、要求精度を満たすかを確認する必要がある。

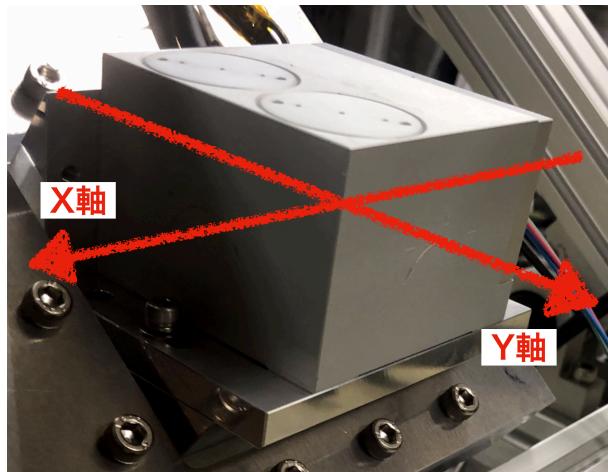


図 1.1: 重力参照計 Sherborne Sensors 社 DSIC-2051-60 の外観

1.3 溫度による出力の変化の評価

1.3.1 評価手法

図 1.2 に評価系を示す。重力参照計をアルミニウム製の厚み 30 mm のプレートの上に設置した。このプレートには 3 つのアジャスターが取り付けられており、これを回すことでプレートの傾きを調整できる。プレートには新潟精機製の気泡管水準器 FLW-200002 を 2 つ、互いに垂直になるように設置し、これを参考してプレート全体が水平になるようにアジャスターで調整した。この時の水平度の精度は気泡管水準器の精度によって決まり、 $< 0.01^\circ$ である。また、プレート上には USB 温度計を設置し、周囲の空気の温度を測定した。以上の測定系を恒温槽^{*1}に入れ、温度を変化させたときの出力を測定した。

図 1.3 に USB 温度計を用いて測定した恒温槽内の温度 T_{USB} の変化の様子を示す。 20°C から -20°C まで冷却したのち、再び 20°C まで昇温し、出力の変化を測定した。各温度 10° 刻みで 3 時間ほどかけて変化させ、温度が安定している状態が生まれるようにした。測定中には Web カメラを用いて 10 分ごとに撮影し、気泡管水準器の気泡の位置が変化していないかを確認した。例として、図 1.4(a) に $T_{\text{USB}} \sim 12^\circ\text{C}$ で撮影された写真を、図 1.4(b) に $T_{\text{USB}} \sim -18^\circ\text{C}$ で撮影された写真を示す。全ての写真を確認したところ、気泡の位置に変動はあったものの水平度が $< 0.01^\circ$ に収まっていることが確認できた。

^{*1} 恒温槽は京都市産業技術研究所より貸借した。

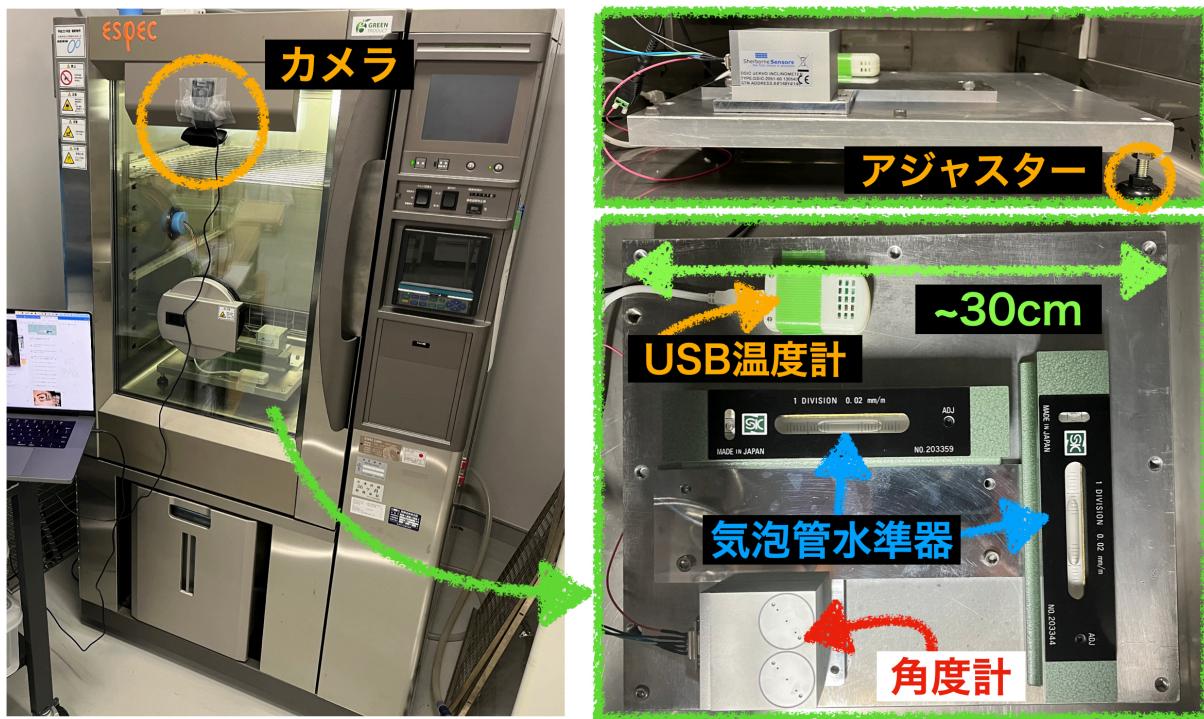


図 1.2: 恒温槽を用いた重力参照計の温度変化評価系

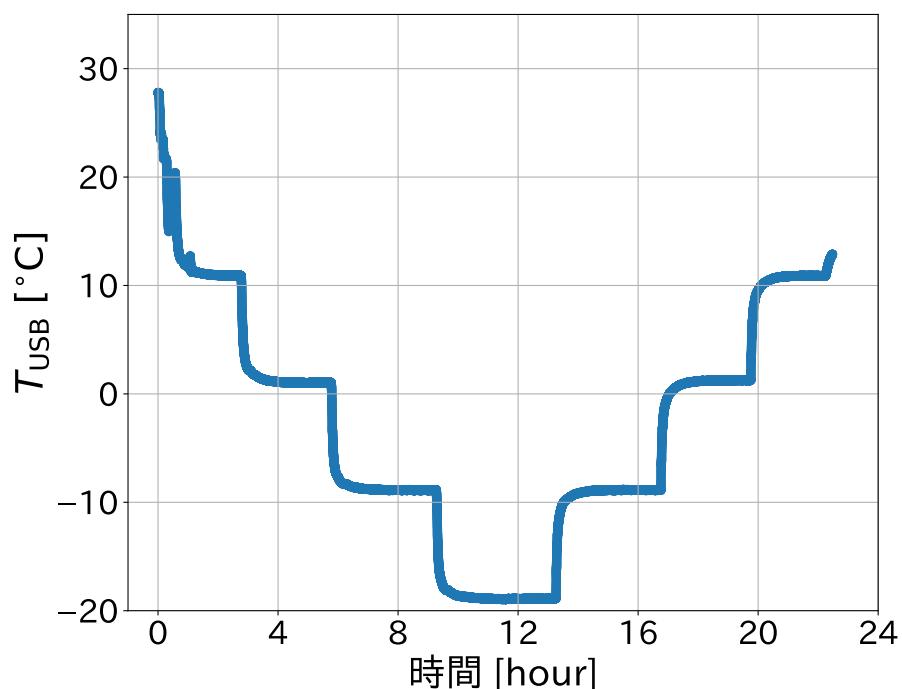


図 1.3: 恒温槽の温度変化

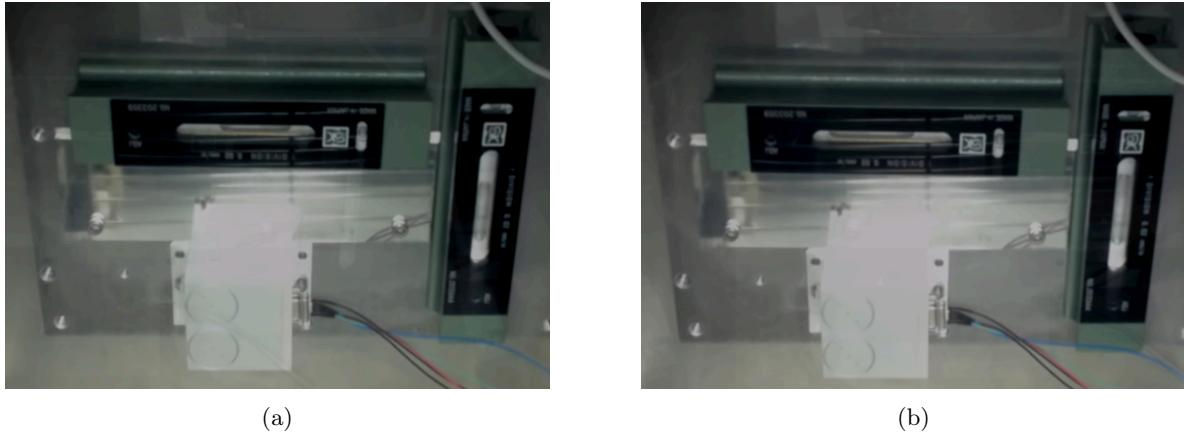


図 1.4: Web カメラを用いて撮影された恒温槽内の様子。(a) $T_{\text{USB}} \simeq 12^\circ\text{C}$ で撮影された写真。(b) $T_{\text{USB}} \simeq -18^\circ\text{C}$ で撮影された写真。

1.3.2 評価結果

観測サイトでの気温変動は十分ゆっくりであるか、較正の時間帯を選ぶことで急激な温度変化を避けることができるため、恒温槽の温度が安定し、評価計全体と熱平衡であるような状態のデータを用いて評価を行う。図??に重力参照計の X 軸が出力する温度 T_X と、その温度が安定的になったときの出力角度 θ_X の変化を、図??に Y 軸について同様の結果を示す。各温度安定時の出力角度は、それぞれ平均を取り、その標準偏差と気泡管水準器が保証する 0.01° を誤差として示している。どちらの軸に関しても、ヒステリシスを見るために冷却時と昇温時のデータを分けて示している。

1.3.3 評価結果の考察

1.3.4 まとめ