

テクニカルレポート V o l . 1 5 - 3

株式会社フォトンプローブ

報告者 平野雅夫、黒川翔、平野ゆかり

報告日 2015年2月27日

題名 多重型光学系光路長差0mm条件下で大気中と真空中の結果について

概要 前2回の報告で、多重型光学系光路長差ゼロの設定条件下での測定結果を報告した。2報告は大気中か真空中かの相違がある。空気の屈折率変動が及ぼす測定結果への影響を議論する。

結論 空気の屈折率変動による変位量は、光路長差をゼロにすること、温度を安定化させることで、初めてその影響が確認できた。
また、設計等すべてにおいて、最適な条件を選択した結果として、長時間の安定測定を可能したと総括できる。

報告内容

1. 光路長ゼロ条件下における空気屈折率が及ぼす影響について
2. 変位量変動例(前回報告のデータ再掲)における解析
3. 考察・反省

報告詳細

1. 光路長ゼロ条件下における空気屈折率が及ぼす影響について

光路長差が設計ではゼロであるが、実際の光路では少しずれが発生しているはずである。

そこで、その実際の光路長差に対する、温度変動と、真空の影響度合いを一覧する。値は変位量で単位は[nm]である。

光路長差[mm]	温度変動 0.01℃	温度変動 0.02℃	温度変動 0.05℃	温度変動 0.1℃	温度変動 0.2℃	大気変動 5%	大気変動 1%
0.01	0.0023	0.0046	0.0165	0.023	0.046	0.138	0.0276
0.02	0.0046	0.0092	0.023	0.046	0.092	0.2765	0.0553
0.05	0.0165	0.033	0.0825	0.165	0.33	0.69125	0.1383
0.1	0.033	0.066	0.165	0.33	0.66	1.3825	0.2765
0.2	0.066	0.132	0.33	0.66	1.32	2.765	0.553
0.5	0.165	0.33	0.825	1.65	3.3	6.9125	1.383

使用した定数は、空気の屈折率=1.000276505、

アルミの線膨張係数=0.00002301

大気変動5%とは、実験中、光路長の空気圧力が5%の範囲内で変動する条件(空気圧力変動は、大気圧変動、風の流れ、などすべて含む)

この表は、光路長差0.1mmある場合に、温度変動が0.1度あれば、0.33nmの変位量の変動が発生することを示す。そして、大気変動が1%生じると、0.28nmの変位量の変動が生じる。大

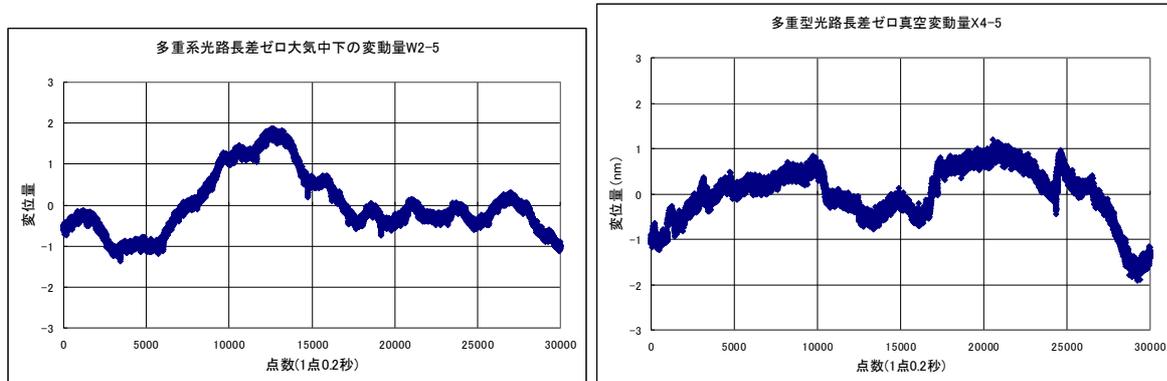
Optical Measuring Instruments and Parts

気中測定では、この両者が働くので、真空中測定との2倍程度の変動が発生することが予想される。

2. 変位量変動例(前回報告のデータ再掲)における解析

多重系光路長差ゼロの光学系における大気中と真空中の測定において、いずれも6000秒間に数nmの変動幅に入ることを示した。今回はその2つの条件での相違を、比較する。

まず、データを再掲する。



上図が大気中測定の例、下図が真空中測定の例である。いずれも、6000秒間、 ± 2 nmの変動幅に入っている。そして、いずれも温度制御により温度変動が0.1度以内に抑えられた推測できる。

測定日時・天候が異なるので直接比較は無意味であるが、データとしては共に最も安定した測定環境下で得られているので、このような差が、空気の屈折率で発生するか否かを議論の対象とした。

先のテクニカルレポートで、真空の効果について議論した。標準型においては光路長差が大きいので、真空の必要性が薄いことも述べた。今回は光路長差を機械精度でゼロとしている。この条件下では真空議論が出来る。

6000秒間、温度制御が出来たととしても、温度変動量は0.1度程度が限界であろう。また、温度測定結果もそれを裏付けている。

光路長差も、0.1 mm以下は制御できない領域にある。したがって、温度変動による変位量の変動は、0.33 [nm]は発生する。空気の変動は2種あり、大気圧の変動と、風の流れである。大気圧の変動は、測定により、0.3%程度であり、対流を生じさせないように、真空チャンバー内で測定している。

対流の影響は無視できることの説明；

真空チャンバー内では空気の流れを引き起こすのは2つある。そのひとつは、AOM等による熱分布が引き起こす温度差。もうひとつは、真空ポンプ等につながっている接続管による温度分布。2番目寄与は管のコンダクタンスより1番目寄与よりはるかに小さいと思われる。いずれにせよ、チャンバー内で風速 v で空気が動いている場合、ベルヌイの定理により(定理の前提である非粘性・非圧縮とする)、圧力は真空に比べ、 $\frac{\rho}{2}v^2$ 、

だけ減少する。 $\rho = 1.226 [\frac{Kg}{m^3}]$ および、 $v = 1 [m/s]$ (到底ありえない数値ではあるが)、

を用いると、0.6 [Pa]の変動を生む。大気圧の101300 [Pa]に比べ、0.000

Optical Measuring Instruments and Parts

6%となり、問題にならないことが知れる。

上記の測定結果を今の議論に当てはめると、真空中での測定のばらつきを、光路長差0.3mm、温度変動0.1度、とすると結果を説明できる。そして、大気中測定と真空中測定の差、およそ0.4[nm]、に対応する大気変動は、0.3mmの光路長差において、約0.5%であると推測できる。この値は、測定結果とほぼ一致する。

光路長差0.3mmも制御することが難しいので、この程度の変位量変動は現状装置では限界であることを知る。

真空中の測定結果の線幅が広い(ノイズが大きい)が、これは、真空ポンプの振動が真空チャンバーに伝わったものではないかと推測できる。温度等を含めた環境はすべて同一だからである。

3. 考察・反省

多重型光学系は現状環境において、限界に近い変位量変動を示した。設計・機構・部品・環境設定等すべてにおいて、最適を求めた結果と判断できる。