

テクニカルレポート V o l . 1 5 - 2

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1月31日

題名 多重型光学系光路長差ゼロにおいて、真空中における測定結果**概要** 多重型光学系光路長差ゼロの設定条件下の真空中での測定結果を報告する。
真空中での光路長ゼロ光学系では、空気の温度変動及び空気の存在を考慮しなくても良いことを、実験的に示した。**結論** 前回の大气中での測定に対して、変位量変動はより抑えられた。本実験系では100Pa以下の気圧であれば、データに変動はなく、その領域では理論的検討が成り立つことが知れた。長時間実験により、6000秒の長時間にわたって、変位量変動を±1nm、の範囲に抑えることが出来た。前回のレポートと同様に、長時間測定でこの縦分解能保持は理論どおりに測定できたことを示している。**報告内容**

1. 光路長ゼロ条件下における真空中測定の問題点について
2. 変位量変動例
3. 考察・反省

報告詳細

1. 光路長ゼロ条件下における真空中測定の問題点について

空気の屈折率は、気圧により大きな変動を受ける。機械的光路長差に対して、光学的光路長差はずれが生まれる。そのずれの大きさを一覧する。(温度は15度とする)。単位は[nm]。

機械的光路長 差[mm]	1000Pa ずれ	500Pa ずれ	100Pa ずれ	50Pa ずれ	10Pa ずれ
0.01	0.027	0.013	<0.01	<0.01	<0.01
0.02	0.054	0.027	<0.01	<0.01	<0.01
0.05	0.136	0.068	0.0136	<0.01	<0.01
0.1	0.273	0.137	0.0273	0.0137	<0.01
0.2	0.545	0.272	0.0545	0.0272	<0.01
0.5	1.365	0.683	0.1365	0.0683	0.0136

これより、機械的光路長が0.5mm以内の場合、超高真空は必要がなく、100Pa程度の準真空室で事足りることが知れる。

そこで、真空として、100Pa以下を確認して計測を行った。

真空中の測定において問題点として以下の点がある。それを検討する。

(1) 真空ポンプの動作の是非

真空ポンプを動作させて、チャンバー内の真空をより低圧に保持し続けることは、上

記の観点からは有利であるが、真空ポンプの動作に伴う振動・騒音が悪影響を与える恐れがある。(真空ポンプは建物外に設置したが、配管は壁を抜いて設置されている。)測定の際、短時間測定ならば、ポンプ動作を停止することができる。しかし、長時間測定では、リークにより、100 Pa を超えてしまい、安定した条件を得にくい。

(2) 露点の問題

チャンバー内は光学部品が数多く配置されている。空気を抜く際のスピードは、これら光学部品に影響を与える。ひとつは、吸引力による歪みの発生であり、もうひとつは、露の発生である。これらは、スピードを抑えることで、影響を抑えることが出来る。

(3) チャンバーの歪み

チャンバーはアルミ材質なれど30 mmを越す厚みがあり、光学系のベースも60 mm程度ある。この厚みに対する歪み量を求める。(弾性材料科学の書籍によると、円板(半径 a 、厚さ h 、周囲支持、等分布荷重 p 、の場合の最大たわみは中心で生じ

$$w_{\max} = \frac{3(1-\nu)(5+\nu)pa^4}{16Eh^3}$$

と与えられる。 ν はポアソン比、 E はヤング率である。使用しているアルミに対して、

$\nu = 0.345$ 、 $E = 7.03 \times 10^{10}$ [Pa]、である。また、 $p = 101300$ [Pa]である。ここで、 $a = 0.2$ [m]、

$h = 0.09$ [m]、とすると、

$$w_{\max} = 2.076 \times 10^{-6} \quad [\text{m}]$$

$$= 2.076 \quad [\mu\text{m}]$$

光回路の光ビーム重ね合わせなどの作業は、光学ベースから10mm程度離れた面内で行っている。この歪みは、その面に垂直の成分であるから、直接的な光路長差を生み出さない。しかしながら、(簡単のために) 三角形的な角度歪みを考慮すると、

$$\frac{2.076 \times 10^{-6}}{0.2} = 1.038 \times 10^{-5}、割合だけ光路長が伸びる。光路長差の0.5 mmにも働き$$

$$5 \times 10^{-4} \times 1.038 \times 10^{-5} = 5.19 \times 10^{-9}$$

の歪み量が発生する。0 [Pa]から100 [Pa]に真空度合いが変化すると、その歪み量の変化は

$$w_{\max}(0\text{Pa}) - w_{\max}(100\text{Pa}) = \frac{3(1-\nu)(5+\nu)a^4}{16Eh^3}(p - (p - 100)) = 2.049 \times 10^{-9}$$

光路長差(0.5 mm)がもたらす光路長の伸びは、

$$5 \times 10^{-4} \times \frac{2.049 \times 10^{-9}}{0.2} = 5.1225 \times 10^{-12} \quad [\text{m}]$$

$$= 0.0051 \quad [\text{nm}]$$

となり、問題にするには十分小さいことが知れる。

つまり、現状の構成(特にベースを含めた厚み)においては、真空圧力を100 Pa以下に抑えれば、チャンバーの歪みの影響を考慮しなくても良いことが知れる。

2. 変位量変動例

真空中の測定においても、大気中測定で問題となった点は存在するので、温度変動を極めて安定するような制御を行った。特に温度変動に関してはグラフ化しないが、0.1 度以内の変動に抑えられていると思われる。この条件下で長時間測定を行い、温度が安定する時間領域に対して、図 1 に示すような変位量変動を得た。6000 秒にわたり、 $\pm 1 \text{ nm}$ の変動に抑えることが出来ている。

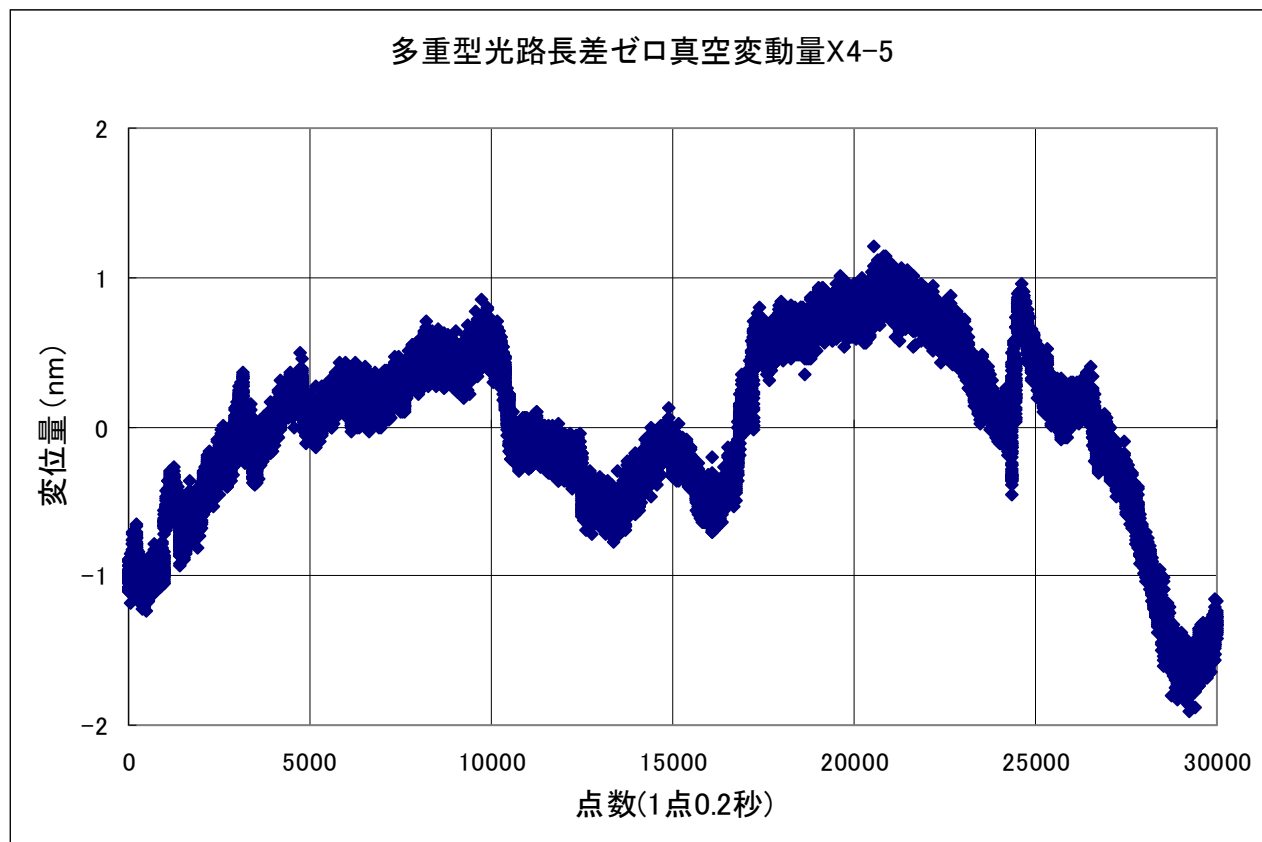


図 1 6000 秒にわたり $\pm 1 \text{ nm}$ の変位量変動の抑えた測定例

ノイズ成分は、明確ではないが、真空ポンプからの振動・騒音に基づくと考えられる。この測定前の温度変動を図 2 及び図 3 に示す。前回の報告では、200 分の遅延が見られることを示したが、今回も 200 分程度の遅れを示した。ただ、測定結果は、前回と異なり、170 分から 180 分遅れではないかと、推測できる結果となった。

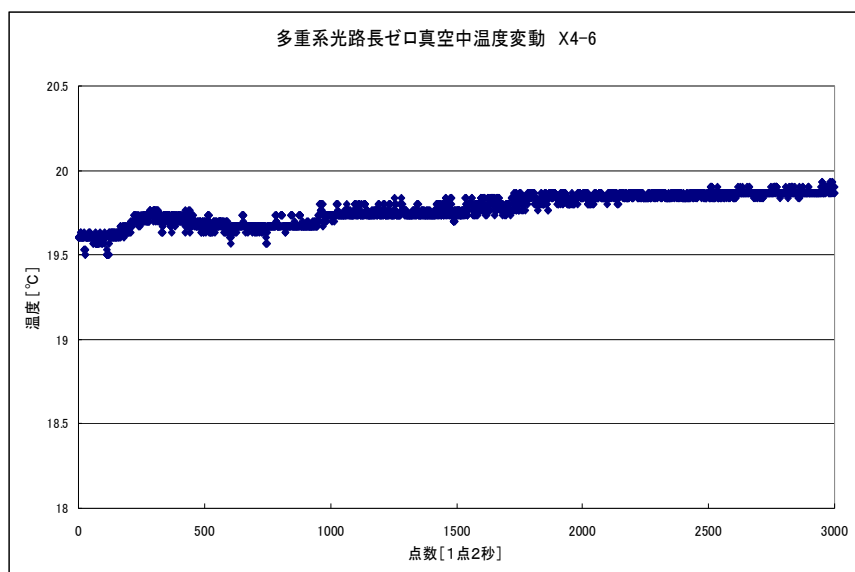


図2 図1 測定 of 200 分前から 100 分前の温度変動

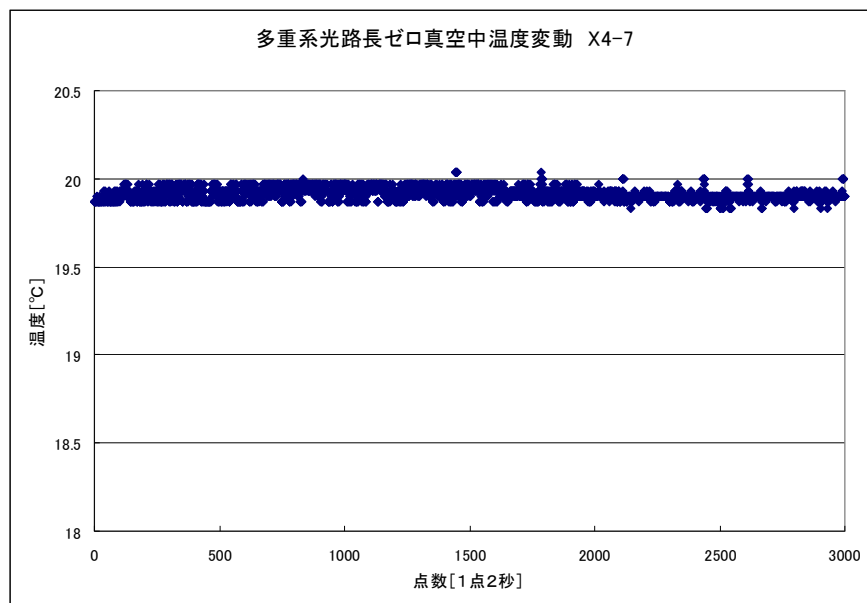


図3 図1 測定 of 100 分前から 0 分前までの温度変動

温度計測の精度は 0.1 度であることから、変位量測定時間中は精度範囲で一定であると判断できる。

3. 考察・反省

大気中と同じ程度の結果を得た。大気中の測定においても感じたことだが、図1のようなデータを得るためには、長時間、温調し、動作させなければならない。レーザ光源・シフタドライバ・AOM・光電変換・信号処理・真空チャンバー。いずれも長時間動作で安定した状態になり、はじめてリアルモード長時間測定において、 $\pm 1 \text{ nm}$ の変動を実現できる。逆に言えば、リアルモードで長時間高安定度を望むことは、測定装置個々の特性を良くすること、装置を安定させること、が重要な因子と知りうる。

安定化させるための準備時間はどの程度必要か明確ではないが、図1のように 6000 秒にわたり安定した状態にするためには、最低でも 400 分の連続動作、(人の立ち入り禁止)、が必要だった。

安定時間帯がもっと短い場合は、どの程度の準備時間が必要かは今後の課題であろう。