

位相変調光を利用した振動波形の精密測定

Precise measurement of vibration waveform using phase-modulated light

農工大工, °宮田 直之, 田中 洋介, 黒川隆志

Tokyo Univ. of Agri. And Tech., °Naoyuki Miyata, Yosuke Tanaka, Takashi Kurokawa

E-mail: 50012645138@st.tuat.ac.jp

1. はじめに

レーザ干渉計を利用した振動計測には、振動によるドップラー一周波数シフトを利用するドップラー法や、干渉光強度の変化を観測するホモダイン法などの手法がある。ドップラー法は測定レンジが広いが、原理的に速度測定である。そのため、積分計算から振動変位を求めるが、高速振動では測定誤差が生じる可能性がある。ホモダイン法は、特に微小振動では有効である。しかし、振幅が大きくなると、出力が振動変位に比例しなくなる。そのため、出力データを補正するか、位相変化を打ち消す制御を行い、制御信号から振動変位を求める。これら従来手法に対し、我々はこれまで、複雑なデータ処理や制御機構を用いることなく、入射波長の 1/4 程度の比較的大きな振幅、かつ周波数 100 kHz~MHz オーダーの高速な振動時間波形を測定する手法を提案し、基礎検討を進めてきた[1]。提案手法は、偏波保持ファイバによる Michelson 干渉計と LiNbO₃(LN)位相変調器による高速な位相変調信号を利用する。今回、PZT の振動波形の測定について、従来手法との比較を含めて行い、提案手法の有効性を確認したので報告する。

2. 位相変調光を用いた非定常振動波形計測の原理

Fig. 1 に提案する振動測定装置を示す。半導体レーザ($\lambda = 1.5 \mu\text{m}$)からの出射光が、偏波保持光ファイバで構成された Michelson 干渉計に入射する。参照光は、LN 位相変調器により三角波で位相変調され、ミラーで反射する。信号光は空間に出射し、振動物体で反射する。反射後、参照光と信号光は再び光ファイバに戻り、カップラで合波された後、干渉信号が PD で検出される。

Fig. 2 に振動に伴う干渉波形の変化を示す。三角波位相変調による位相変化は、半波長を超えない範囲で、物体変位に伴う位相変化よりも大きくとる。また、三角波による位相変調 1 周期 ΔT の間に、干渉光パワーが最小値となる時刻が必ず 1 回あるように動作点を設定する。本手法では、ホモダイン法とは異なり、動作点によって測定感度や補正係数が変化するということはない。そのため、動作点は、上記条件を満たす範囲であれば、どこでもよい。参照光が三角波で位相変調されているため、干渉信号もまた三角波となる。出力信号が最小となるタイミングは、物体の位置変化に比例して変化する。Fig.2(a)でこのタイミングは、周期 ΔT を $T_1:T_2$ に内分する時刻であり、(b)では $T_3:T_4$ に内分する時刻である。このタイミング変化、すなわち出力信号のデューティ比変化が、物体の変位を与える。

LN 位相変調器の半波長電圧を V_{π} 、LN 位相変調器に印加する三角波信号の電圧振幅を V_A とすると、変位 ΔL は、

$$\Delta L = \frac{\lambda V_A}{2nV_{\pi}} \cdot \left(\frac{T_1 - T_2}{T} - \frac{T_3 - T_4}{T} \right) \quad (1)$$

で与えられる。LN 位相変調器は一般に 10 GHz 以上の高速性を有するため、受信装置側が十分に広い帯域を備えていれば、100 MHz 以上の高速な振動波形を測定出来る。しかも、この手法は複雑なフィードバック制御等を必要としない。

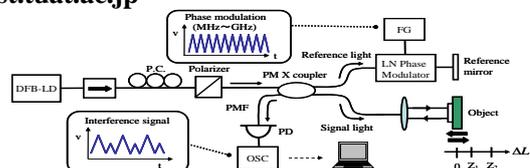


Fig.1 Experimental setup for vibration waveform measurement.

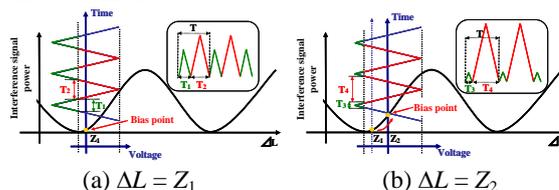


Fig.2 Interference signal for different optical path length difference.

3. 圧電素子の振動計測実験

Fig.1 の実験系で圧電素子の振動計測を行った。参照光路の位相変調器 LN₁には、周波数 5 MHz、振幅 1.25 V の三角波を印加した。信号光路の終端には、反射鏡をとりつけた圧電素子を配置し、周波数 75 kHz、振幅 7.5 V の正弦波を印加した。Fig.3 (a)に提案手法で測定した振動波形を示す。比較のため、Fig.3(b)にレーザードップラー法で測定した振動波形を示す。また、Fig.3(c)にはホモダイン干渉波形の補正により得られた比較的信頼性の高い振動データ波形を示す。Fig.3(a)で観測された振幅 80 nm の振動は、Fig.3(c)とよく一致しており、Fig.3(b)のような歪みもない。このことから提案手法では比較的大振幅、かつ高速な振動波形を簡便に測定できることが示された。

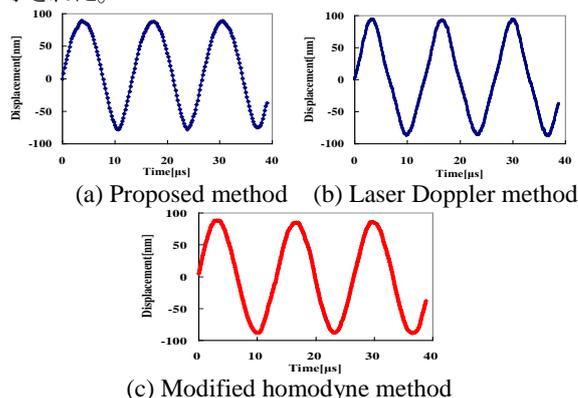


Fig.3 Measured vibration waveforms.

4. まとめ

三角波位相変調光を用いた振動波形計測により、実際に振動する圧電素子の振動を測定し、良好な測定結果を得た。今後、更なる高速振動の測定を実証する予定である。

謝辞

本研究の一部は公益財団法人旭硝子財団の支援を受けた。

参考文献

[1] 宮田, 田中, 黒川, 光波センシング技術研究会 LST50-24, pp.157-162, 2012 年 12 月。