

# 光干渉現象を用いた音場計測の考察

三輪基敦<sup>1</sup>・一木祐志<sup>2</sup>・三輪一樹<sup>2</sup>・金井徳兼<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 電気電子情報工学科 (wa-3@ele.kanagawa-it.ac.jp)

<sup>2</sup> 電気電子工学科 (2005 年度卒業生)

<sup>3</sup> 電気電子情報工学科 (nkanai@ele.kanagawa-it.ac.jp)

## A Experimental Study of Sound Measurement Using Light Interference Phenomenon

Motoatsu MIWA<sup>1)</sup>, Yushi ICHIKI<sup>2)</sup>, Kazuki MIWA<sup>2)</sup>, Norikane KANAI<sup>3)</sup>

### Abstract

This paper describes the experimental demonstration of detection of sound field using Michelson Interferometer. It is found that the interference fringes changed by pressure of sound field. The method reported in this paper is shown to be valuable technique to analysis the information of phase of sound field using Hilbert Transform.

Key Words: Sound field, Michelson Interferometer, Hilbert Transform

### 1. はじめに

音は重要な要素のひとつとして、われわれの生活に密着している。

音検知ための道具のひとつにマイクロホンがある。マイクロホンには多くの種類があるが、現在主に使われているのは、コンデンサマイクロホンやダイナミックマイクロホンである[1]。これらのマイクロホンを用いて音場の測定をおこなう場合、マイクロホン自体によって音場を乱し、正確な測定がおこなわれない。また、マイクロホンは温度や湿度によって感度が増減するため、校正が必要となる。

そこで、本研究では非接触型で音場を乱さず、マイクロホンの校正を必要としない方法として、光干渉現象を用いた音場計測の基礎実験をまとめたものである。

### 2. 光干渉計について

十分に離れた 2 つの地点に周波数が同じ点光源 S1 と S2 があり、これらの点光源から十分に離れ、光波面が平面波になる観測点 M を考える。このとき観測点 M での光強度  $I$  は、

$$I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} \cos \delta \quad (1)$$

であらわせる。 $I_1$  は S1 の光強度、 $I_2$  は S2 の光

強度、 $\delta$  は S1 から M までの光路長と S2 から M までの光路長の差によって生じる位相差である[2]。

光干渉計には多くの方法があるが、本研究ではマイケルソン干渉計を用いる。マイケルソン干渉計の概略を図 1 に示す。

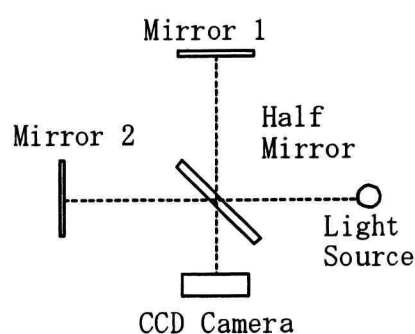


図 1. マイケルソン干渉計

Fig.1 Michelson Interferometer

光源が発した光波はハーフミラーにより 2 つに分けられ、それぞれミラー 1 とミラー 2 で反射し、再びハーフミラーによって CCD カメラ上で 2 つの光波が加算される。このとき、片方の光路長上で音圧変化が生じることで、光波の屈折率が変化し、音圧変化を受けていない光波と位相差が生じ干渉縞が生じる。

音圧による光波の屈折率変化については,

$$\Delta n = \frac{1}{\gamma} \frac{\Delta P}{P} (n-1) \quad (2)$$

によって求められる.

ただし,

$\Delta n$ : 音による屈折率変化分

$n$ : 大気の屈折率

$\Delta P$ : 音圧の変化分

$P$ : 大気の大気圧

$\gamma$ : 比熱比

とする[3].

### 3. 実験

#### 3. 1 実験装置

本研究では, 図2に示すようなマイケルソン干渉計をもちいた実験装置で実験を行う. 2つある光路上の片方に, 光波の進行方向に対して音波が垂直に当たるようにスピーカボックスを設置する. スピーカボックスは光干渉計に影響を与えないよう三脚に設置し, 独立させる.

干渉計の光源は波長  $0.632 \mu\text{m}$  の He-Ne レーザを使用する. ハーフミラー面の中心から各ミラーまでの距離を  $350 \text{ mm}$  とし, その片光路上に幅  $240 \text{ mm}$  のスピーカボックスを挿入する. 図3にスピーカボックスの概略図を示す. スピーカボックス内は光波に音を当てる部分 A とスピーカを収める部分 B の2つに分かれている. A には光波が通過できるように穴が開いている. また B は2つのスピーカで構成しており, スピーカ裏面から生じる音波が測定に影響を与えないようにボックスで覆い, その中をグラスウールで満たしている.

2つスピーカの音波が同位相になるように接続し, パソコンによって制御する.

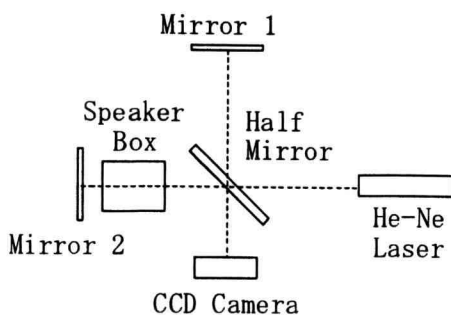


図2. 音検出の実験概略図

Fig.2 Experiment of Sound Measurement

また位相の検出方法はヒルベルト変換を用いる. ヒルベルト変換は, 周波数領域に表現された個々の波の位相をすべて一様に  $90^\circ$  遅らせる変換法であり, 変換後の信号の任意の時間における瞬時の位相を求めることができる. 連続信号  $f(t)$  の

ヒルベルト変換  $h(t)$  は

$$h(t) = \frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{f(u)}{t-u} du \quad (2)$$

である[4].

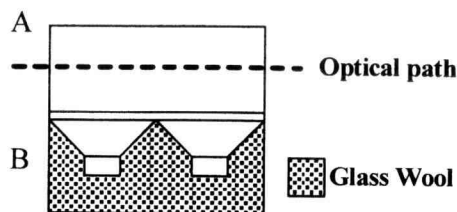


図3. スピーカボックスの概略図

Fig.3 Composition of Speaker Box

#### 3. 2 実験方法

本実験と解析を以下の手順にておこなう.

- ①単一周波数をスピーカから駆動させ, CCD カメラをもちいて干渉縞を干渉縞画像としてパソコンに記録する. このときの画像は縦  $240 \times$  横  $320 \text{ pixel}$  の大きさである.
- ②記録した干渉縞画像をモノクロの8ビットA/D変換を行い数値化する.
- ③干渉縞画像の縦  $120 \text{ pixel}$  列目の数値データを取り出し, ヒルベルト変換をおこなう.

なお位相は, ヒルベルト変換後に求めた位相をアンラップし, 最小二乗法で近似したときの傾きの値とした.

#### 3. 3 実験結果

実験は以下の2つの条件でおこなった.

- ①駆動信号振幅を変化させた場合
- ②駆動信号周波数を変化させた場合

無音状態の干渉縞を CCD カメラで記録した画像を図4に示す.

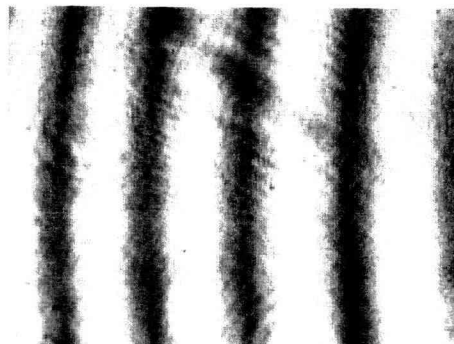


図4. 無音状態の干渉縞画像

Fig.4 Interference pattern of no sound pressure.

マイケルソン干渉計では光路長が同じ、もしくは光路長差が波長の整数倍であれば干渉縞は生じないが、図4では無音状態にもかかわらず干渉縞が生じている。これは干渉計装置を設置するときに、使用するレーザの波長レベルで光路長を調整できなかったため生じたものと考えられる。

したがって各実験において、対象とする測定の前に無音状態の干渉縞画像を記録し、それぞれの位相を求め、その差分を用いて有音時の位相差とする。

#### ①駆動信号振幅を変化させた場合

ここではスピーカを駆動する正弦波信号の振幅を変化させた場合について述べる。

実験条件は、駆動信号の振幅を 2, 4, 6 Vp-p の 3 条件に設定し、それぞれ駆動信号周波数を 2 kHz と 4 kHz とする。

このときの求めた位相差を図5に示す。

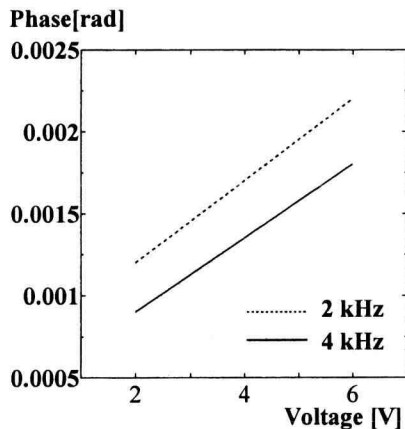


図5. 駆動信号振幅を変化させたときの位相

Fig.5 Phase of signal amplitude change.

#### ②駆動信号周波数を変化した場合

ここでは駆動周波数を変化させた場合について述べる。

実験条件は、駆動信号振幅は 6 Vp-p に固定し、駆動信号の周波数を 1 kHz から 10 kHz まで、1 kHz ごとに変化させる。このとき求めた位相差を図6に示す。

#### 5. 考察

図5より、駆動信号の振幅を大きくすると位相が比例して大きくなるのがわかる。これは、信号振幅の大きさによって、スピーカボックス内を通過するレーザの光路長が振幅に比例して変化することがわかる。

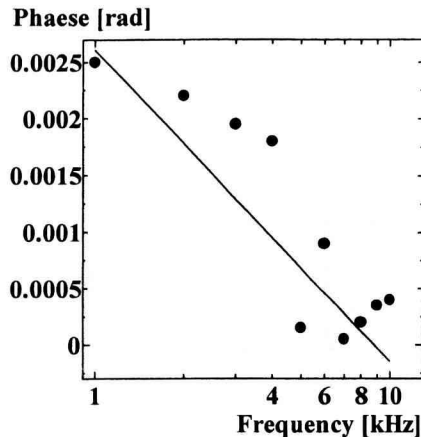


図6. 駆動周波数を変化させたときの位相

Fig.6 Phase of signal frequency change.

図6より駆動周波数が高くなると、位相差が対数近似で小さくなっていることがわかる。また、駆動周波数が 5 kHz や 7 kHz では位相差がほとんど見られなかった。これは音波によって変化した光路長差がレーザの波長の整数倍に近かったため、位相差が小さくなったのではないかと考える。

#### 6. おわりに

本実験は、音信号をレーザ光で計測するための基礎実験と位置づけておこなった。

信号振幅や周波数の変化によって位相が定量的に変化することがわかった。しかし、干渉縞画像の縞数の規格化、縞位置の規格化やスピーカボックス内の固有振動については検討していない。今後はこれらの点を課題として研究を進める。

#### 参考文献

- [1] 電気情報通信学会編, 音響工学, pp. 94-120 (1996) .
- [2] Eugene Hecht, 尾崎義治, 朝倉利光, ヘクト光学 II—波動光学—, pp. 153-157 (2003) .
- [3] 池田, 後藤, 岡本, 滝澤, 及川, 山崎, レーザCTを用いた再生音場の測定, 日本音響学会誌 62 巻, pp. 491-499 (2006) .
- [4] 戸田浩, 章忠, 川畑洋昭, 最新ウェーブレット実践講座 入門と応用, pp. 35-46 (2005) .