

変調器の変調深さに依存しない光検出器の校正法

新しい手法による変調周波数特性の測定

産総研では超音波音圧標準を供給するため、レーザ干渉法によるハイドロホン感度校正システムを構築している。このシステムを構成する光検出器の変調周波数特性はシステム全体の不確かさに直接影響するため、光検出器自体の校正が重要となる。そのため、二重に変調された光を利用する新しい手法による変調周波数特性の校正技術を開発した。この特徴は、基準の変調器や検出器を使用せずに、小さな不確かさで光検出器の変調周波数特性を校正できることである。

A system for calibrating hydrophone sensitivity by laser interferometry has been constructed at the AIST. The frequency response of the photodetector(PD) in the system is one of important factors in determination of total measurement uncertainty of the calibration. So a novel calibration technique using twice-modulated light was proposed. This technique can determine the frequency response of the PD with small uncertainty without using a standard PD or a standard modulator.

超音波音圧標準

わが国では、多数の超音波診断装置が利用されているが、それらの性能を正しく評価するために重要な超音波標準が、先進諸外国に比べて大きく立ち遅れている状況にある。そこで産総研は、超音波標準を確立し、供給するため、レーザ干渉法によるハイドロホン感度校正システムの開発を行っている。この感度校正システムに使われている、レーザ干渉計の光検出器の変調周波数特性はシステム全体の測定不確かさに直接影響を与えるため、kHzからMHzの周波数帯域における光検出器の変調周波数特性を正確に校正する必要がある。

変調周波数特性の測定法は数多くあり、GHzでの測定も実現されている。しかし、kHz程度の比較的低い周波数からMHz帯にわたり小さな不確かさで

校正を行うことには困難が伴う。この問題を解決するため、高速回転するポリゴンミラーと干渉計を組み合わせた方法が提案されている。しかし、この方法は回転機構の不安定さによって測定の不確かさが増加する問題点がある。そこで我々は、この機械的な方法の欠点をもたない方法として、縦続した二つの光変調器により二重に変調された光の性質を用いた純電氣的な変調周波数特性の測定法を新たに考案した。

光検出器の変調周波数特性

光検出器は光の強度に対応した電気信号を出力するセンサであり、主要な特性の一つが光検出器の感度、すなわち入射光強度と出力電圧の比である。この感度は一般に入射光強度の変調周波数に依存する。これを変調周波数特性という。

吉岡 正裕 よしおか まさひろ
masahiro.yoshioka@aist.go.jp
計測標準研究部門
音響振動科 音響超音波標準研究室

2000年4月、工業技術院電子技術総合研究所に入所。現在、超音波音圧標準を供給するためのハイドロホン感度校正技術に関する研究に従事している。今後は構築した校正システムをもとにトレーサビリティ制度を確立していきたいと考える。また、超音波の安全性確保の立場から、医療応用を重点に置いた超音波計測技術についても研究していきたい。

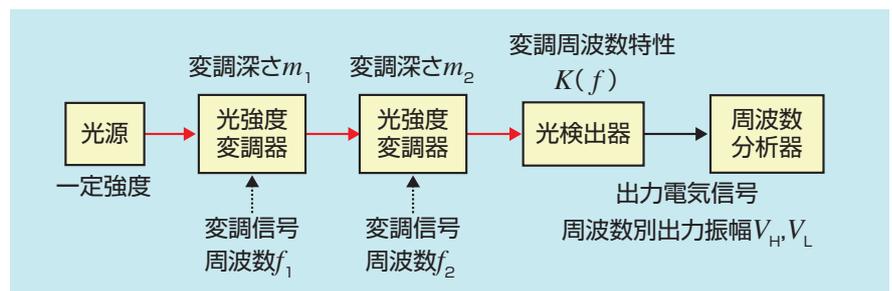
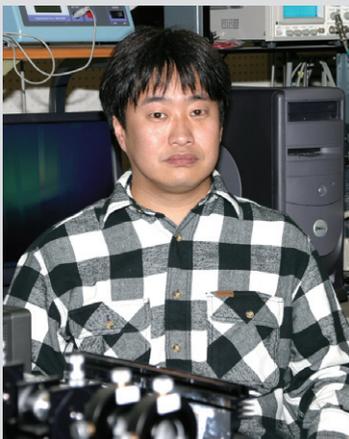


図1 二重に変調した光による光検出器の変調周波数特性校正法

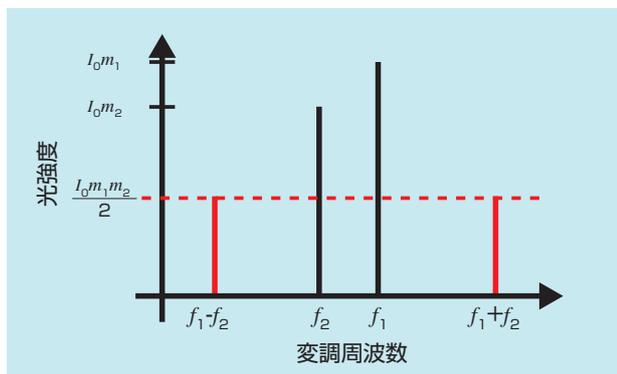


図2 二重に変調された光強度の変調周波数スペクトルの模式図

光検出器の変調周波数特性として周波数毎の感度の絶対値は重要ではあるが、ある周波数での感度を基準とした相対値で示された変調周波数応答が正確に分かっていれば十分である場合が多い。変調周波数応答は、光通信においては波形再生の忠実度に関係し、また、我々の目的に対しては hidroホン校正の不確かさに影響する。

二重に変調した光による測定法

図1に測定法の概略を示す。光強度変調器は入力信号の大きさに応じて出力光強度を調節するものであるが、その変調深さは入力信号だけでなく変調器個々の性能にも影響される。光源からの一定強度 I_0 の光を変調深さ m_1 、 m_2 の2つの変調器を用いて、それぞれ異なる周波数 f_1 、 f_2 で強度を変調させたとき、2番目の変調器を通過した後の変調光強度のフーリエスペクトルは図2に示した模式図のようになる。このスペクトルには、原理的に等しい振幅 $I_0 m_1 m_2 / 2$ を持つ二つの周波数成分 $f_1 + f_2$ 、 $f_1 - f_2$ が含まれる。この変調光を光検出器に入力したときに得られる出力電気信号を周波数分析して、周波数 $f_1 + f_2$ 、 $f_1 - f_2$ の振幅 V_H 、 V_L を測定する。光検出器の周波数 f における感度を $K(f)$ とすると、周波数 $f_1 + f_2$ 、 $f_1 - f_2$ に対する K の比、すなわち周波数 $f_1 - f_2$ を基準とした $f_1 + f_2$ での変

調周波数応答は次式で与えられる。

$$\frac{K(f_1 + f_2)}{K(f_1 - f_2)} = \left(\frac{2V_H}{I_0 m_1 m_2} \right) / \left(\frac{2V_L}{I_0 m_1 m_2} \right) = \frac{V_H}{V_L}$$

$f_1 - f_2$ を一定に保ちながら変調器への入力信号の周波数 f_1 、 f_2 を調節すれば、任意の周波数 $f_1 + f_2$ の変調周波数応答が得られる。最終的な測定値結果には変調深さ m_1 、 m_2 が含まれていないことがわかる。

この測定原理の妥当性を確かめ、また測定の不確かさを評価するために、光変調器として音響光変調器 (AOM) を用いた校正装置を構築した。図3に校正装置の写真を示す。

また、図4に光検出器の変調周波数応答の測定した一例を、測定の不確かさを表すエラーバーと共に示す。この装置の不確かさを与える要因としては、二つの光変調器の相対位置、光検出器の出力信号を記録するADコンバータの周波数特性、信号周波数のばらつき、出力信号に含まれるノイズなどがある。同図に示すように、本装置の20MHzまでの周波数領域における不確かさ値は $\pm 1.6\%$ 以下であり、ポリ

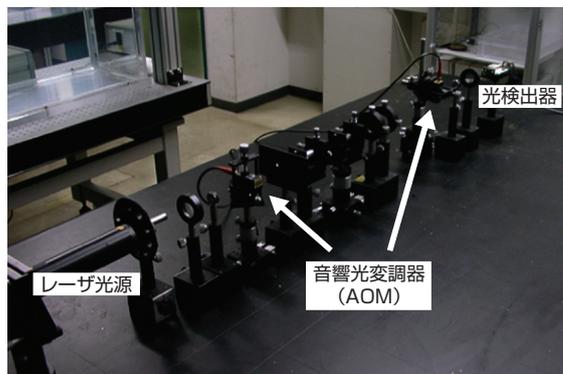


図3 音響光変調器 (AOM) を用いて構築した校正装置の写真

ゴンミラーを使う機械式よりわずかによい程度であったが、更なる改善の見込みがあり現在研究中である。

また、本校正技術の利点は、測定の不確かさを向上するだけでなく、静止機器であるため測定周波数をさらに広げることのできることである。今後、本方法を組み入れた hidroホン感度校正システムを完成させ、今年度中に超音波音圧標準の立ち上げを行う予定である。

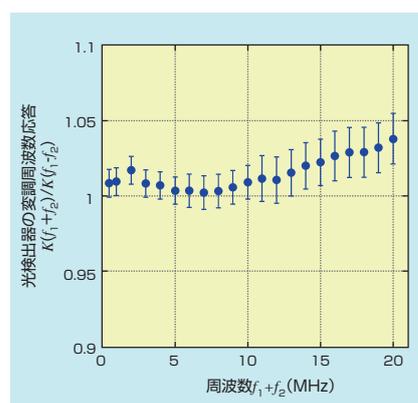


図4 光検出器の変調周波数応答を測定した一例
横軸は、変調周波数を表す $f_1 + f_2$ の値、縦軸は、周波数 $f_1 - f_2$ (この例では 1.5 kHz) の感度を基準とした周波数応答、またエラーバーは測定の不確かさを表す。

関連情報：

- 吉岡正裕、佐藤宗純：特願 2003-380808 「光検出器の変調周波数特性測定装置および測定方法」
- M. Yoshioka, S. Sato, and T. Kikuchi: IEEE Journal of Lightwave Technology Vol. 23, No. 6, p.2112-2117(2005).