

光マイクの研究 III

～2山分布によるノイズキャンセリングの可能性～

熊本県立熊本北高校 自然科学部 物理分野

目的

- ① 同時録音で「2山分布」の性質を解明
- ② 「2山分布」の性質を利用してノイズキャンセリングに挑戦

結論

- ① 2山分布は逆位相であることが間接的に示された
- ② 2山分布の一つの波形を位相反転して重ねることでノイズが低減し、2山分布のみ増幅する可能性を見出した

1. はじめに (先行研究)

私たちは2年前から「光波マイクロフォン」略して「光マイク」の研究を継続して行っている。

図1は光マイクの概略図である。レーザーが発射され、受信機であるフォトダイオードに当たっている。ここで、スピーカーからの音の疎密波がレーザー光を横切ると、光の一部がわずかに屈折し、フォトダイオードで受信して音に変換することで、スピーカーの音を録ることができる。

昨年度は、光マイクにて音波を当てたレーザーをフォトダイオードで受信するとき、中心から少しずれた2か所で音のピークが現れることを発見、これを「2山分布」と名付けて研究した。

私たちはこの「2山分布」現象が、音波の入射方向に沿ってできることをつぎとめた。(図2)この「2山分布」を4つのダイオードからなるPSDモジュールを用いて録ることで、音の入射方向の分離録音の可能性を見出すことができた。(図3)しかし、雑音部分があまりにも大きく、ノイズを減らして、音質改良することが課題となった。

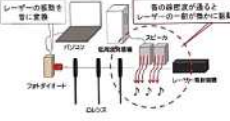


図1 光マイクの概略図



図2 2山分布の概略図



図3 PSDモジュール (C1043-06)

2. 研究の目的

私たちは2山分布に関する光波マイクロフォンの論文を読んでみた。論文には回折の理論計算により2山分布それぞれの波形は逆位相であることが載っていた。

2山分布が互いに逆位相になる理由は以下のように考えられる。音は空気疎密波であり、疎と密で屈折率が少し異なる。レーザー光は密の方をわずかに屈折するため、音波がレーザーを横切ると、音波方向に屈折することで、レーザーの中心からはずれた2箇所でピークが現れる。よって2山分布のそれぞれの波形は互いに逆位相に現れると考えられる。(図4)

私たちは、この「2山分布」の性質を解明するために実験を始めた。最終的には「2山分布」の性質を利用してノイズキャンセリングに挑戦した。

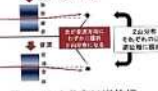


図4 2山分布は逆位相

3. 実験 I : 2山分布の検証

(1) 実験装置

2山分布が逆位相である性質を調べるためには、2山分布を同時に録らなければならない。そこで、私たちは「オーディオインターフェイス」(図5)と、音波解析ソフト「Audacity」を使用することで、2つの音をトラックに分けて、それぞれ周波数解析をすることが可能にした。装置の概略図を図6に示す。

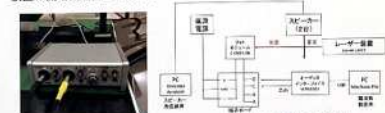


図5 オーディオインターフェイス (SERIES1021)



図6 装置の概略図

(2) 実験内容

- ① フォトモジュールA・B・A-C・B-Dにてインターフェイス2chにそれぞれ接続する。
- ② 光マイクのレーザーに対してx軸上に7000Hzの音、y軸上に5000Hzの音を同時に当てる。
- ③ フォトモジュールのx,y座標を固定、フォトモジュールを移動させて、縦横1.0mmエリアにて、図7のように0.10mm間隔でレーザーを当てて光マイクで測定する。

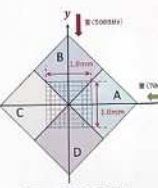


図7 実験 I の概要

(3) 実験結果

図8はフォトダイオードA、Bでのx軸上7000Hzとy軸上の5000Hzの実験結果を表したものである。丸で囲んだ箇所が、音量が大きい場所を表している。音波方向に関わらず、フォトダイオードの「境界面」で測定されやすい特徴が見られる。ただ、課題として、2つのフォトダイオードが平行に並ぶ場合で、それぞれ2山分布が別々にかつ明確に測定されたデータは得られなかった。これは、方向分離録音の課題でもある。

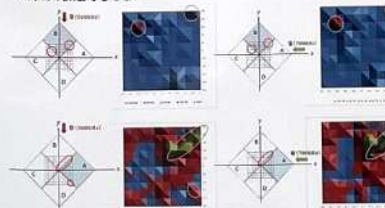


図8 実験 I の結果 (ダイオードA,B 音7000Hz,5000Hz)



図9 実験 I の考察

音波方向に関わらずフォトダイオードの境界面で測定されやすい特徴について、次のように考えられる。

図9のAでは、2山分布が互いに逆位相のため、フォトダイオードに2つとも入ると信号が打ち消されてしまう。

しかし、図9のイやウでは、境界面で2山分布のうち1つのみがフォトダイオードに入っている。信号が打ち消されずに測定することができると考えられる。すなわち、2山分布がフォトダイオードの境界面のみで測定されていることから、互いに逆位相の関係であることが間接的に示唆されている。

2山分布が別々に、かつ明確に測定されたデータが得られなかった理由は、測定エリアが非常に小さく、加えてフォトモジュールの中心がそれぞれのダイオードの角になるため、2山分布を合わせるのかなり難しかったからと考えられる。つまりこれらは、受信部を広くなくフォトモジュールの面で捉えることが非常に難しいことを意味している。

結論 I

- ・2山分布がフォトダイオードの境界面で測定されていることから、互いに逆位相の関係であることが間接的に示唆された

4. 実験 II : 2山分布によるノイズ除去

(1) 理論

私たちは、この2山分布の性質を利用して、ノイズキャンセリングができないか考えた。ノイズキャンセリングとは、あるノイズ音に対して、逆位相になる音をスピーカーから出力し空間で打ち消し合わせ「騒音レベルを下げる」もので、ヘッドホンなどで音もれを打ち消すなどして応用されている。

2山分布の性質を利用したノイズキャンセリングとは、次のような仕組みである。光マイクのレーザーによる2山分布は逆位相に対する仕組みである。光マイクのレーザーは同位相であると考える。ここで、2チャンネルのうち片方だけを上下反転して位相を逆転させると、2山分布は同位相になりノイズが互いに逆位相になる。この2つの音を同時に聞くと、聞きたい2山分布の音が増幅され、逆にノイズ音が低減する。(図10)私たちはそうように考え、実験で確かめようとした。

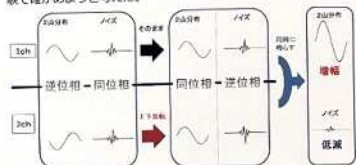


図9 2山分布によるノイズキャンセリングの仕組み

(2) 実験内容

- ① フォトモジュールA・Cにて、インターフェイス2chにそれぞれ接続する。
- ② 光マイクのレーザーに対してx軸上に7000Hzの音を当てて2山分布がフォトダイオードA、Cにそれぞれ入る場所を探す。
- ③ 2山分布の一つを音波解析ソフト「Audacity」にて位相反転して音を重ねる。

(3) 実験結果

図10は、実験 II で得られた2山分布の波形である。赤の点線部分に注目すると、互いに逆位相に見える。しかし全体としてノイズがのりすぎて正弦波が隠れているため、逆位相を波形から確認するのは難しかった。

実際にノイズキャンセリングする前と後の周波数グラフが図11である。グラフの横軸は音の周波数、縦軸は音量の相対値を表している。

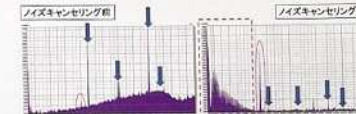


図10 実験 II の2山分布の波形

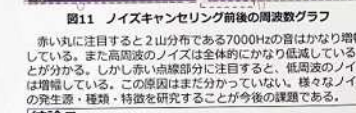


図11 ノイズキャンセリング前後の周波数グラフ

赤い丸に注目すると2山分布である7000Hzの音はかなり増幅している。また高周波のノイズは全体的にかなり低減していることが分かる。しかし赤い点線部分に注目すると、低周波のノイズは増幅している。この原因はまだ分かっていない。様々なノイズの発生源・種類・特徴を研究することが今後の課題である。

結論 II

- ・2山分布の一つの波形を位相反転して重ねることでノイズが低減し、2山分布のみ増幅する可能性を見出した。(ただし低周波は除去できていない)

5. 今後の展望

光マイクの方向分離録音では、レーザー一本で左右の方向を分離できる。したがって、レーザー3本あれば左右以外に上下、前後を分離することができ、理論的には全方向の音を録音することが可能だ。全方向を見ることができるとVRに、この光マイクの技術を活用すればスポーツやコンサート等で、空間にレーザーを通して臨場感あふれる全方向の音を録ることが可能だ。しかし、このことを実現するには、まずノイズ除去を行い、可聴域をクリアに再現する必要がある。

今後もノイズキャンセリングを研究していき、VR対応の3D音空間を光マイクで録音・再現したい!

6. 謝辞

東海大学名誉教授の園田寛先生、東海大学基礎工学部電気電子情報工学科の佐松崇史先生には大変お世話になりました。感謝申し上げます。

【参考文献】

- [1] 光波マイクロフォンの開発—光による音(可聴域から超音波まで)の直接検出—
東海大学名誉教授 園田寛
- [2] 主成分分析と独立成分分析による光波マイクロフォンのS/N比改善
東海大学 知能情報処理研究室 佐松崇史 川上龍太郎