

極小領域オーディオスポット ～音のスポットライトを目指して～

立命館大学情報理工学部 教授 西浦 敬信

1. はじめに

音は拡散する性質を持つため、これまで音のある場所にだけ届ける音のスポットライトは実現が困難であった。しかしながら、近年パラメトリックスピーカ(超音波スピーカ)¹⁾の普及に伴い、音を直線的に届ける技術が注目されてきた。超音波は人に聴こえる可聴音よりも高い周波数の波であり、直進する性質を持つ。そこで、可聴音を超音波に乗せて空气中を伝播させ、空気の色を使って可聴音を復調させることで、パラメトリックスピーカは直線的な音波の再生を実現した。

パラメトリックスピーカは可聴音を用いて超音波を変調するところが最大のポイントとなる。変調により、キャリア波と側帯波の2種類の波が発生するが、この2種類の波の相互作用により空気中にて可聴音が再生される原理である。この原理を活用し、2種類の波を別々のスピーカにて放射することで、空間のある1点にだけ音を再生可能な極小領域オーディオスポット²⁾の開発に成功した。本解説では、極小領域オーディオスポットの原理から実用化までをわかりやすく解説する。

2. パラメトリックスピーカの原理

パラメトリックスピーカ¹⁾は超音波を使った超指向性スピーカである。基本的には図1のとおり可聴音を用いて超音波を変調して空気中に放射し、空気の色による超音波同士の干渉により、空気中にて徐々に復調が行われ、直線的に可聴音を届けるというしくみである。通常のスピーカは人間に聴こえる低い周波数の波を再生するため、音波が拡散し、どの場所においても音が聴こえるのに対して、パラメトリックスピーカは空気の色と超音波の直進性を積極的に使うため、スピーカの50～100cm以上遠方の正面方向しか音が聴こえない。その結果、現時点において直線的なオーディオスポットを実現可能な音響デバイスとして高い注目を浴びている。

ちなみに、パラメトリックスピーカの変調はラジ

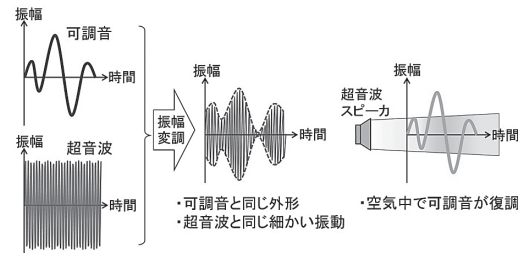


図1 パラメトリックスピーカの原理

オと同じ原理である。ラジオは可聴音を用いて電波を変調し、空气中を伝播させ、ラジオ受信機により復調させ可聴音を再生する原理に対し、パラメトリックスピーカは可聴音を用いて超音波を変調し、空气中を伝播させ、空気の色を使って空気中にて復調を行い、可聴音を再生する原理である。ラジオにAM(振幅変調方式)、FM(周波数変調方式)があるように、パラメトリックスピーカにもAM、FMによる変調方式がある。

3. 極小領域オーディオスポット

パラメトリックスピーカにおいて、可聴音によって超音波を変調すると、図2のようにキャリア波と側帯波の2種類の波が生成される。キャリア波は運び役となる超音波であり、側帯波は可聴音の情報が含まれた超音波である。これら2種類の超音波を空気中に同時に放射することで、直線状に可聴音を生成するのがパラメトリックスピーカである。ちなみに、キャリア波と側帯波を同時に放射しない限り、空気中での干渉が生じず、可聴音は再生されない。

極小領域オーディオスポット²⁾は、このキャリア波と側帯波の干渉に着目した技術である。これまで2種類の超音波を1台のパラメトリックスピーカで放射して直線的なオーディオスポットを実現していたのに対し、極小領域オーディオスポットでは、キャリア波と側帯波を2台以上のパラメトリックスピーカを用いて放射することで、その干渉エリアのみで可聴音を再生し、空間1点での音の再生を実現する。

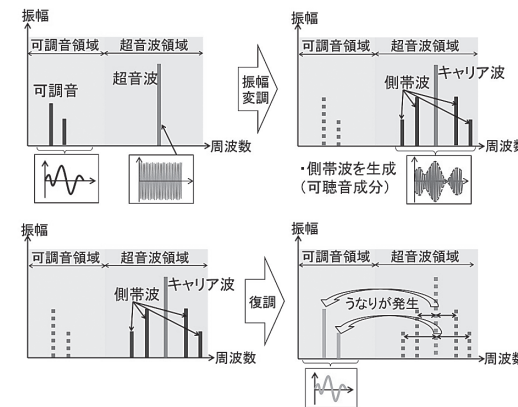


図2 キャリア波と側帯波

この現象を用いて2種類の超音波の干渉エリアを制御できれば、空間のどの場所でも極小領域のオーディオスポットを実現できる。

2種類の超音波の干渉は、おんさの現象と同じように捉えることができる。異なる周波数を持つおんさAとおんさBを同時にたたくと、空気中「うなり」が生じ別の音Cが発生する。極小領域オーディオスポットから放射する2種類の波は、ともに超音波のため、おんさAとおんさBから生じる音はともに聴こえず、空気中「うなり」である音Cのみ可聴音として聴こえる。よって、「うなり」の周波数と再生エリアを制御することで、音声や音楽など可聴音のある空間の1点でのみ再生することが可能となる。

4. 極小領域オーディオスポットの実用化に向けて

3.の原理に基づき超音波を干渉させると、空間のある1点で可聴音を再生できるが、周囲にも音が漏れるという問題があった。これは側帯波が複数の周波数を含むことに起因するものであり、側帯波の放射エリアにおいて、側帯波同士の干渉により復調が確認された。そこで、1台のパラメトリックスピーカから側帯波を放射するのではなく、図3のように側帯波を分割して複数のパラメトリックスピーカから分割した側帯波を独立して放射することで、図4に示すような空間1点での極小領域オーディオスポットを実現した。最新の研究成果では、約10cm四方(高音質領域は約2cm四方)の超極小領域でのオーディオスポットの実現に成功し、現在、オーディ

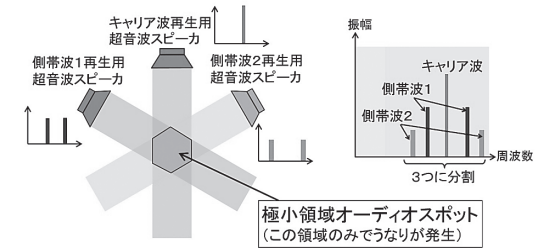


図3 極小領域オーディオスポットの原理

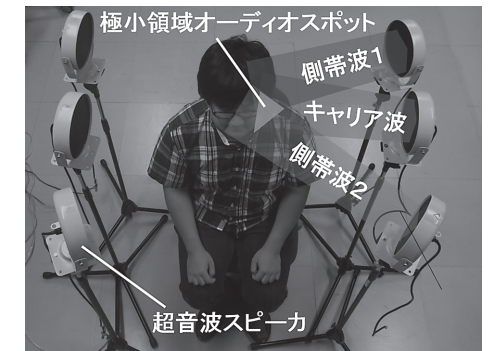


図4 極小領域オーディオスポット

オスポット領域の大きさを自由に制御³⁾するために、さらに研究を推進している。

5. まとめ

超音波技術を応用することで空間のある1点でのみ音を再生可能な極小領域オーディオスポット技術を開発した。今後は実用化を目指して「音の広告」など新しい分野の産業を創出したいと考えている。

謝辞

本研究の一部は文科省 COI STREAM および科研費の助成を受けて行われた。また、立命館大学情報理工学研究科 中山雅人博士、生藤大典氏、小森慎也氏、上村亮介氏、松井唯氏(現在、富士通株式会社)の協力に感謝する。

参考文献

- 鎌倉友男, 酒井新一, “パラメトリックスピーカの原理と応用,” 信学技報, 105(556), pp. 25-30, 2005.
- 松井唯 他, “キャリア波と側帯波の分離放射によるオーディオスポット形成,” 信学論(A), 97(4), pp.304-312, 2014.
- 小森慎也 他, “オーディオスポット制御のためのフレキシブルパラメトリックスピーカの基礎的検討,” 音講論(春), pp.885-888, 2015.