

# キャリア波と側帯波の分離放射による極小領域オーディオスポットの実現

## 1. 概要

超音波スピーカー（図1）は超指向性をもつ新しい音響再生デバイスとして近年注目されており、人間の耳には聞こえない超音波を可聴音により変調し、超音波の持つ高い直進性をキャリア波として積極的に活用した超指向性スピーカーです。しかし、直線形状の放射特性を持つため、室内の壁や天井などによる反射の影響を受けやすく、ある特定の領域にのみ音を伝達する（再現する）ことが困難な状況でした。（図2）

超音波スピーカーは超音波を可聴音により変調し、空気中にて復調させることで可聴音を空間に再現する技術ですが、超音波を変調する際にキャリア波と側帯波の2つの信号が発生し、これらを超音波スピーカーから同時に放射することで空気中にて直線状に復調が生じ超指向性を実現するという原理となります。（図3）そこで、このキャリア波と側帯波を別々の超音波スピーカーから放射（＝分離放射）することができれば、図4のように空間上で重なる極小領域にのみ復調が生じ、可聴音を再現することができるのではないかとという着想に至りました。

本技術の応用可能性として、例えば、美術館における絵画や彫刻の説明用スピーカーとしての利用や広告業界におけるデジタルサイネージ用スピーカーとしての活用などが期待できます。またスポーツ分野において例えばサインの代わりに超音波スピーカーを用いて特定の選手に指示を出すことや、介護分野では聞かれない個人情報を特定の人にだけ（例えば介護者にだけ）伝えることもできたりと、これまでの日常生活が劇的に変わる要素も含まれております。なお、本研究成果は電子情報通信学会論文誌に学術論文として2014年4月に採択・掲載されております。（文献[1]）

さらに本研究開発は、文部科学省科学研究補助金基盤研究（S）「複合現実型情報空間の表現力基盤強化と体系化」（課題番号 24220004）にて培った音像プラネタリウム技術をベースに、文部科学省革新的イノベーション創出プログラム（COI-T）「運動を生活カルチャー化する健康イノベーション」および立命館大学 R-GIRO「多世代交流型運動空間による健康増進研究拠点」の枠組みにて、音像による運動空間シェアリングのコア技術として開発を進めております。

この度、我々はキャリア波および側帯波を2台以上の超音波スピーカーにより分離して放射することで、空間内に手のひらサイズの極小領域にオーディオスポットを形成することに成功しましたのでご報告申し上げます。



図1：超音波スピーカー

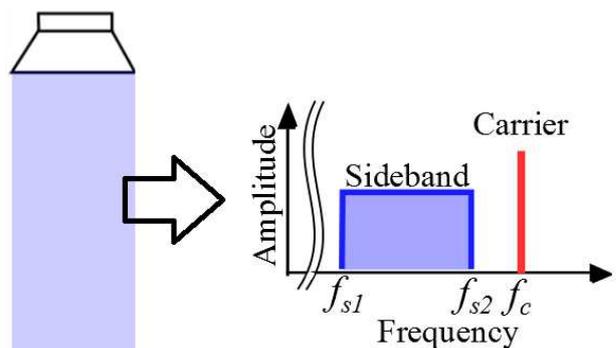


図3：キャリア波と側帯波

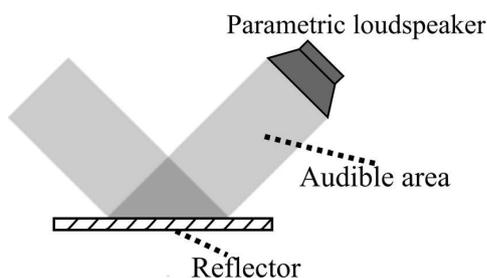


図2：従来の超音波スピーカーの指向特性

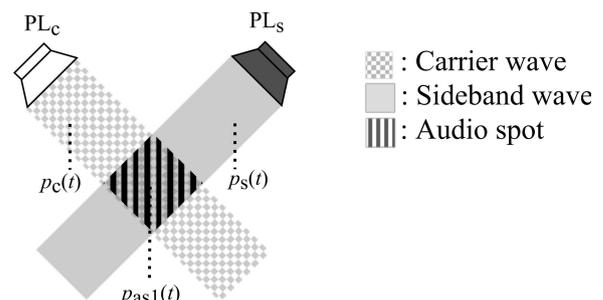


図4：分離放射による極小領域オーディオスポット

## 2. 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（基本アイデア）

超音波スピーカーでは、キャリア波と側帯波の相互作用により可聴音として復調される原理のため、どちらか一方の波が存在しない場合、再現したい可聴音には復調されません。そこでキャリア波と側帯波に分離して、複数の超音波スピーカーから各々放射することで、キャリア波と側帯波が重なる領域のみにオーディオスポットを形成する手法を考案しました。（図5）キャリア波と側帯波が重なる領域でのみ可聴音への復調が生じるため、任意の極小領域でのみオーディオスポットを形成できることが最大の特徴となります。一方、それ以外の領域では復調が生じず基本的には可聴音は再現されませんが、側帯波上のパスでは側帯波同士の差音による混変調歪みが発生し、若干の復調が生じるため、わずかながら可聴音が聞こえる可能性があります。また、分離放射を行うことで、超音波スピーカーから離れた位置において復調する領域が形成されるため、従来の超音波スピーカーと比べて音圧レベルが小さくなるという問題が生じます。

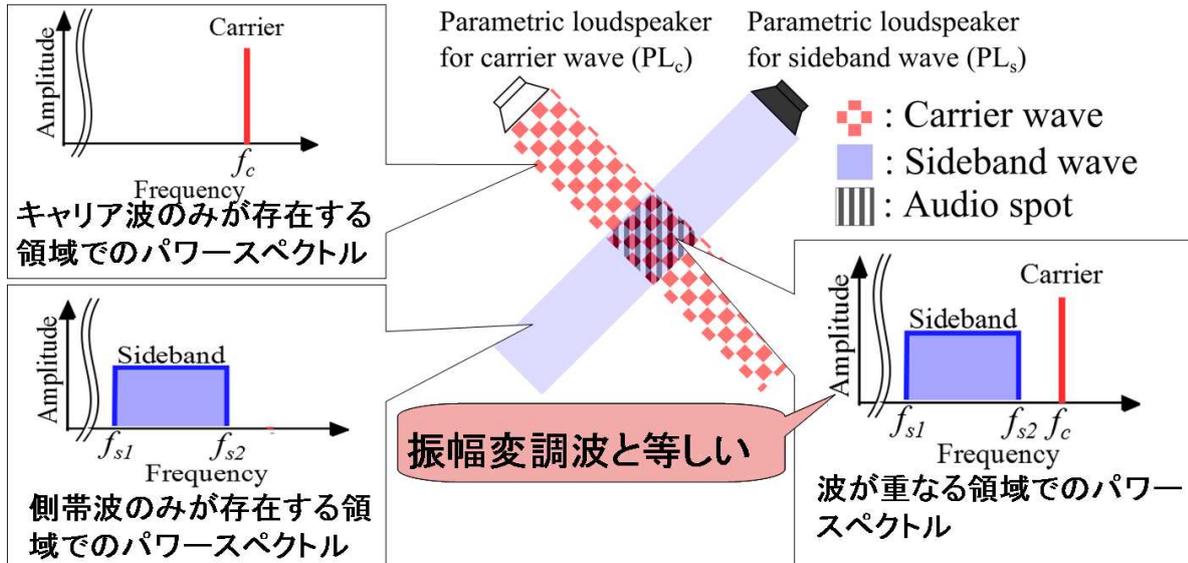


図5：分離放射の基本的概念

## 3. キャリア波と複数側帯波の分離放射による極小領域オーディオスポット（実用的検討）

分離放射において混変調歪みを抑圧し、かつ音圧レベルを向上させるため、側帯波を周波数帯域ごとに分割してそれぞれ異なる複数の超音波スピーカーから放射する手法をさらに考案しました。図6はキャリア波と帯域分割した側帯波を複数の超音波スピーカーで放射する提案手法の概略です。この方式により、混変調歪みが顕著に発生する領域を除去することに成功しました。また、複数の超音波スピーカーから可能な限り最大化した側帯波を出力することで、1台の超音波スピーカーによる再現音と比較して音圧レベルの向上も期待できます。

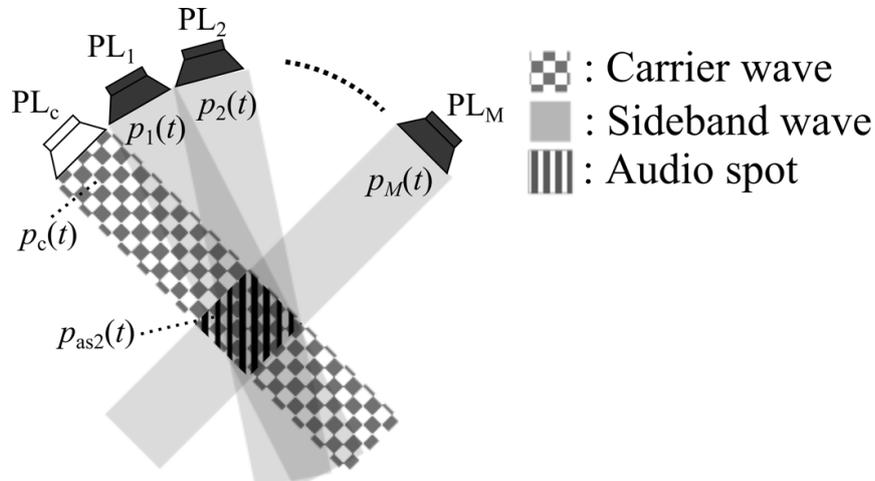


図6：複数側帯波を用いた提案手法によるオーディオスポット形成の概念図

#### 4. 評価実験

有効性を確認するため復調された可聴音の再生音圧レベルを計測する評価実験を行いました。図7が従来のキャリア波と側帯波を同時に放射した際の音圧分布、図8がキャリア波と複数の側帯波を別々の超音波スピーカにて分離放射したときの音圧分布です。2つの図を比べても明らかなように分離放射を行うことで任意の空間上の極小領域にオーディオスポットを実現できていることが確認できました。

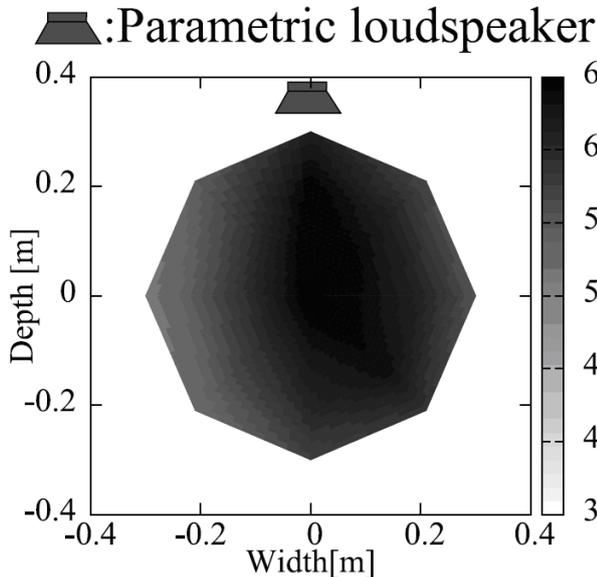


図7：超音波スピーカへの指向特性

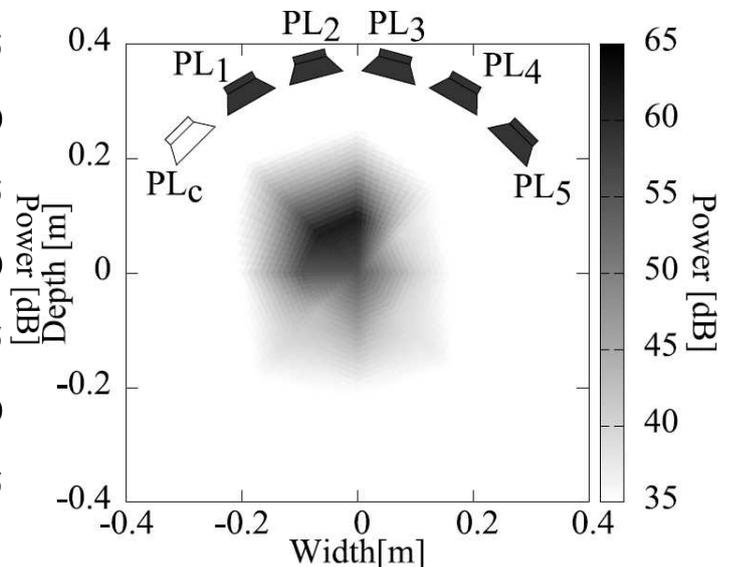


図8：分離放射による指向特性

#### 5. まとめ

本研究では、キャリア波と側帯波に分離して放射することで、2つの音波が重なる特定の領域のみで可聴音波を復調させる極小領域オーディオスポット形成手法を提案しました。加えて、混変調歪みの低減と可聴音の音圧レベルの向上を行うため、帯域分割した側帯波を多数の超音波スピーカから各々放射して、キャリア波と各側帯波をオーディオスポット形成したい領域にて重ね合わせることで、側帯波同士の差音による混変調歪みを低減、多数の超音波スピーカを利用することで再生音圧を向上させる手法を提案しました。評価実験の結果、分離放射を行うことで、空間内の極小領域にオーディオスポットを実現できることに成功しました。

#### 6. 今後の展望

今後は、側帯波の分割に加えてキャリア波を放射する超音波スピーカも複数台利用することで更なる音圧・音質の向上を目指します。その上で美術館における絵画や彫刻の説明用スピーカとしての利用や広告業界におけるデジタルサイネージ用スピーカとしての活用などを念頭に実用化に向けて検討を進めてまいります。さらにこの考え方をさらに発展させることで、空間内のある極小領域に音源を創り出す音像ホログラムの開発につなげる計画です。

#### 7. 参考文献

- [1] 松井唯, 生藤大典, 中山雅人, 西浦敬信, “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”, 電子情報通信学会論文誌(A), Vol. J97-A, No. 4, pp. 304-312, Apr. 2014.
- [2] 松井唯, 生藤大典, 中山雅人, 西浦敬信, “サラウンドパラメトリックスピーカを用いたキャリア波と側帯波の分離放射における混変調歪みの低減”, 日本音響学会 2014 年春季研究発表会, pp. 903-904, Mar. 2014.
- [3] 松井唯, 生藤大典, 中山雅人, 西浦敬信, “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の評価”, 日本音響学会 2013 年秋季研究発表会, pp. 721-722, Sept. 2013.
- [4] 松井唯, 生藤大典, 中山雅人, 西浦敬信, “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の基礎的検討”, 日本音響学会 2012 年秋季研究発表会, pp. 867-868, Sept. 2012.

## 8. 6/2（月）記者発表 極小領域オーディオスポットの実演および体験について

当日は従来の超音波スピーカーによる直線状オーディオスポットと今回開発した分離放射による極小領域オーディオスポットの両方を実演します。ポスターを見ている大人と子供の2名に対して、それぞれ異なるオーディオスポットを構築することで、必要な情報を必要なユーザーにのみ提示することが可能となります。

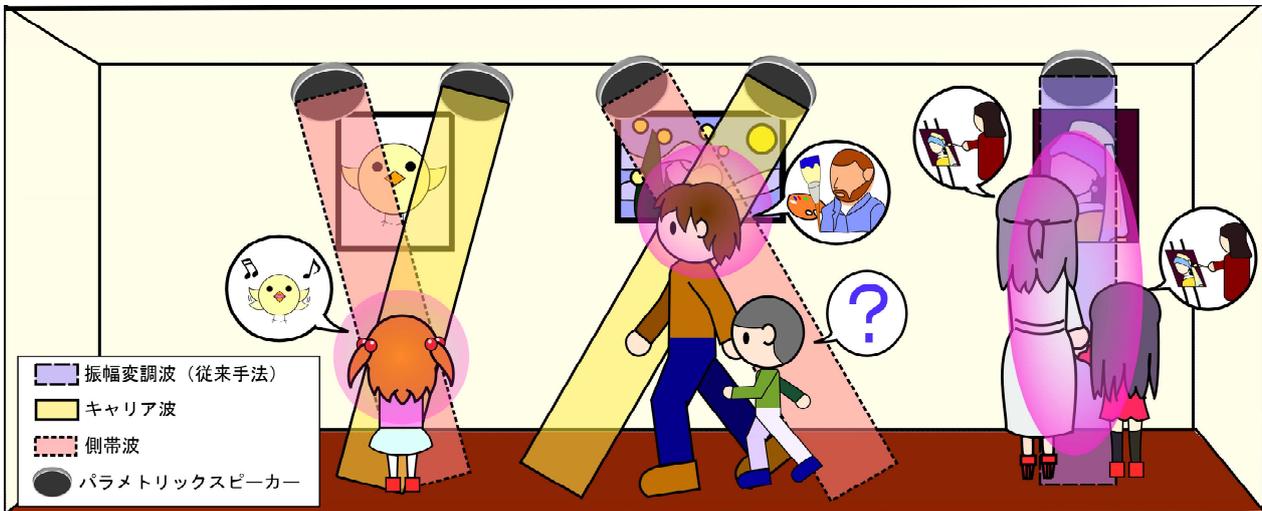


図9： 極小領域オーディオスポットのデモンストレーション概要

## 9. 用語説明

### ※1 超音波スピーカー：

超音波を用いることで強い指向性をもたせた音響システムを指します。変調されて超音波が空気中を伝播する際に、特定の狭い範囲に可聴音が出現する。「パラメトリックスピーカー」とも呼ばれています。

### ※2 キャリア波：

搬送波のことです。変調される側の波を指し、波を運ぶ役割を持ちます。超音波スピーカーのキャリア波としては通常 40kHz あたりを使うことが一般的です。

### ※3 側帯波：

変調したキャリア波はキャリア周波数の近傍にある周波数成分を持ちます。この成分を側帯波と呼びます。

### ※4 オーディオスポット：

ある領域にのみ音を伝達する（音を再現する）手法を指します。音のスポットライトとも呼ばれます。

### ※5 変調・復調：

可聴音（原音）をキャリア波に乗せるために適した形に信号を変換する操作を変調と呼びます。また変調された信号波から原音を取り出す操作を復調と呼びます。超音波スピーカーの場合、この復調が空気中にて生じるため、復調処理は不要となります。