

# 音センサ・ディスプレイ複合アレイ： 音-可視化-人のインタラクション手法

藤森 潤<sup>1,a)</sup> 栗原 誠<sup>1</sup> 及川 靖広<sup>2</sup> 山崎 芳男<sup>2</sup>

**概要：**ある空間内の一点の物理量を可視光の強度や色相に変換する機能をもつデバイスをセンサ・ディスプレイ複合 (SDC: Sensor-Display Composite) デバイスと呼ぶことにする。我々は音場の理解を補助する可視化を目的に MEMS マイクロホン、フルカラー LED とマイクロプロセッサを備えた“音 SDC”を開発し、理論で示される物理量に対して偽信号が発生しない枠組の中で音 SDC アレイによる可視化の実験を行ってきた。その中で特に実音場におけるリアルタイムの可視化手段は、可視化の対象の正しい理解という枠組みを超えた人との関係を構築可能ではないかという問が生まれてきた。本論文は、パラボラ反射鏡を用いた音の撮像系及びポリプロピレン製フィルムの局所的変形 (しわ) から発する音や息などの気流による空力音のリアルタイム可視化実験によって示される音、可視化、人のインタラクションについて報告する。

## Sound Sensor-Display Composite Array —A Method of Human Interaction with Sound and Its Visualization—

FUJIMORI JUNICHI<sup>1,a)</sup> KURIHARA MAKOTO<sup>1</sup> OIKAWA YASUHIRO<sup>2</sup> YAMASAKI YOSHIO<sup>2</sup>

**Abstract:** SDC (Sensor-Display composite) is a small device equipped with a sensor and a single pixel display to visualize sensing data at the point where it is placed. In order to make a visualization help us to understand sound field, a sound-SDC that has a MEMS microphone, full-color LED and microprocessor is developed. Visualization by a sound SDC array has been conducted in the framework which avoids aliasing in the theoretical physical quantity. The experiments raised a question whether the visualization especially in realtime or near realtime in a real sound field can establish an interaction with a person in the manner that is more than understanding correctly an object to be visualized. This paper reports the interactions of human, sound and its visualization such as an image sensing system with a parabolic reflector, aerodynamic sound by air currents or breath as well as sound emitted from the local modification (wrinkles) of polypropylene film.

### 1. はじめに

ある空間内の一点の物理量を可視光の強度や色相に変換する機能をもつデバイスをセンサ・ディスプレイ複合 (SDC: Sensor-Display Composite) デバイスと呼ぶことにする。SDC は設置された位置で観測された物理量をその位置で光に変換するデバイスであり、空間に分布する物理量を可

視化するための“画素”として機能する。また SDC の点光源からその位置を決定することが容易であるので、観測した物理量とその位置情報を同時に伝送できるデバイスでもある。

SDC のアイデアは古くから提案されているが、それを実現する手段は様々である。音に関係する物理量では、古くはろうそくの炎のちらつきやレイリー板が反射する光の利用を例に挙げることができる。電気音響技術が生まれてからはマイクロホンとアナログアンプで駆動された電球や LED、さらに我々が開発している SDC のようにデジタル信号処理を利用するものも提案されている。一方で音圧が

<sup>1</sup> ヤマハ (株)  
Yamaha Corporation, Japan

<sup>2</sup> 早稲田大学  
Waseda University, Japan

a) junichi\_fujimori@gmx.yamaha.com

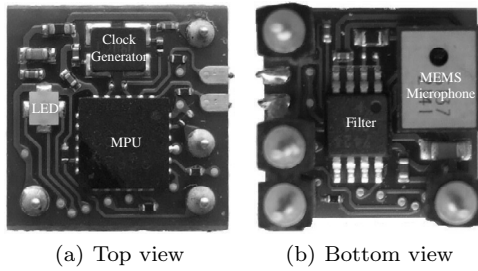


図 1 音 SDC デバイスの外観

Fig. 1 Top and bottom view of a sound-SDC device

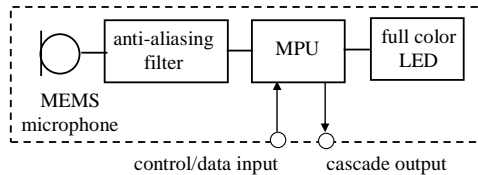


図 2 音 SDC デバイスの機能ブロック

Fig. 2 Block diagram of a sound SDC device

高い用途では音響センサと LED を直結したパッシブ回路による SDC も提案されている [1] .

我々の SDC は音場の理解を補助する可視化を目的に開発された“音 SDC”と呼べるものである．正しく対象を理解するためには理論で示される物理量に対して偽信号が発生しない方法で可視化を実現することが重要である．そのような枠組の中で音 SDC アレイによる可視化実験を繰り返す中で，特に実音場におけるリアルタイムあるいは準リアルタイムの可視化手段は，可視化の対象の正しい理解という枠組みを超えた人との関係を構築可能ではないかという問が生まれてきた．ここでいう可視化の対象と人との関係はある種のインタラクションと呼ぶことができよう．より正確に述べるならば，可視化の対象である音と人の可視化手段を介したインタラクションが我々の関心の対象である．ここに“インタラクション”の意味は様々であるが，情報技術における意味や取り扱い（例えば [2]）より物理的な側面に重点を置くものである．

本論文は音 SDC による音あるいは音場の可視化手法 [3] の概要を述べ，我々の音 SDC が各種の可視化手法を実現できる高い自由度を持つことを示す．最後にそれを利用した音，可視化，人の 3 要素が関与するインタラクションの可能性を検討するための実験と考察を述べる．

## 2. 音 SDC による音の可視化

開発した音 SDC デバイス単体の外観を図 1 に，その機能ブロックを図 2 に，仕様を表 1 に示す．

この音 SDC の特長は MEMS マイクロホン，フルカラー LED とマイクロプロセッサを搭載し，そのプログラムをコントロール/データライン経由で書き換えて処理内容を容易に変更できること，形状が 1 cm 四方と小さいので 3 次

表 1 音 SDC デバイス仕様

Table 1 sound-SDC device specification

Item	Value
Sensor	analog output MEMS microphone
Display	full color LED
Analog processor	Anti-aliasing filter
Digital processor	8bit micro processor 10 bit AD converter
Power supply	3.5 V
Dimensions	10 mm(W) 10 mm(D) 3 mm(H)
Sampling frequency	16 kHz
Sample word length	8 bit
Sample buffer size	256 samples
PWM resolution	1/1250

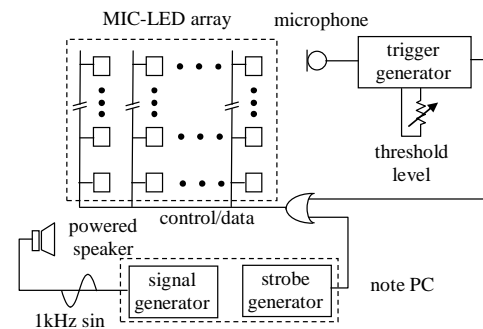


図 3 音 SDC アレイによる可視化装置例のブロック図

Fig. 3 A block diagram of an example of visualization equipment using a sound-SDC array

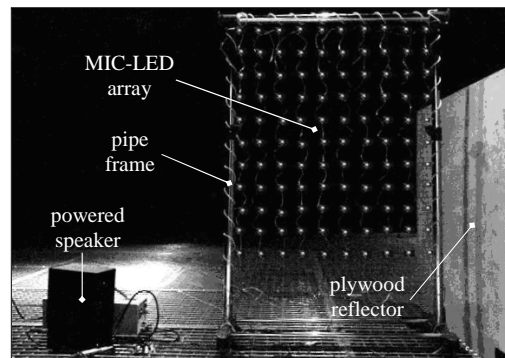


図 4 柔軟で大型の音 SDC アレイによる可視化装置の例

Fig. 4 An example of visualization equipment with a flexible and big sound-SDC array

元空間の自由な位置に多数配置できることである．

### 2.1 音場の可視化

このような特長を生かした音 SDC デバイスのアレイを用いた可視化装置の典型的なブロック図と柔軟な構造を持つ大型アレイの例，固い平面構造を持つ小型アレイの例をそれぞれ図 3，図 4，図 5 に示す．

これらの例では波の伝播を可視化するために，音 SDC がマイクロホンからの出力を 256 サンプルだけバッファに



図 5 固い平面状で小型の音 SDC アレイによる波面の可視化装置の例

Fig. 5 An example of wave front visualization equipment with a rigid planar and small sound-SDC array

記録し、その後に任意のタイミングでバッファからサンプル値を読み出し、振幅値に比例した輝度でかつ正值は緑、負値は赤の LED を点灯するようなプログラムがロードされている。サンプルを開始するタイミングはアレイとは別のコントローラから送られ、そのタイミングはコントローラが持つマイクロホンの入力レベルに対して設定されたある閾値を超えた時点である。

## 2.2 音源の可視化

図 5 と同様のアレイを用いながら、音 SDC がマイクロホンからの出力を低域、中域、高域の 3 帯域のフィルタを通し、各フィルタの出力で赤緑青の LED をそれぞれ駆動するプログラムがロードされたアレイをパラボラ反射鏡の焦点面上に設置した音の撮像装置の例を図 6 に示す。先行する音の撮像装置 [4] は表示装置とマイクロホンアレイが分離した専用の装置であり、パラボラ反射鏡による倒立象を正立させて表示が可能である。

## 2.3 可視化の用途

音、音場を可視化することで間接的ではあるが視覚情報の利点である正確な情報の共有が可能になる。具体的な利用方法の一つは音、音場の状態を可視化によって理解を深め、望ましい音質を得るように音、音場を構成する要素を変更することである。また別の利用方法は図 6 に示すような音の撮像装置により複数の音源がどのような位置関係でどのように発音しているかを捉え、音源探査や、人あるいは

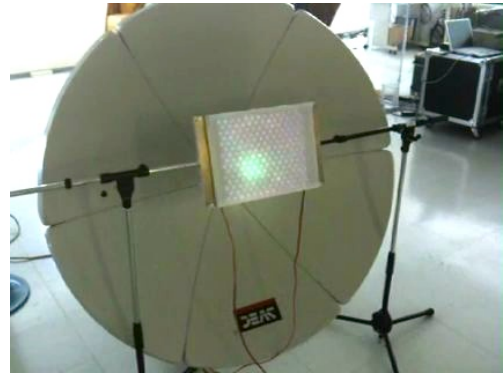


図 6 パラボラ反射鏡と SDC アレイによる音の撮像装置

Fig. 6 A sound image sensor by using a parabolic reflector and a SDC array

は動物の音によるコミュニケーションの状態を観察することである。

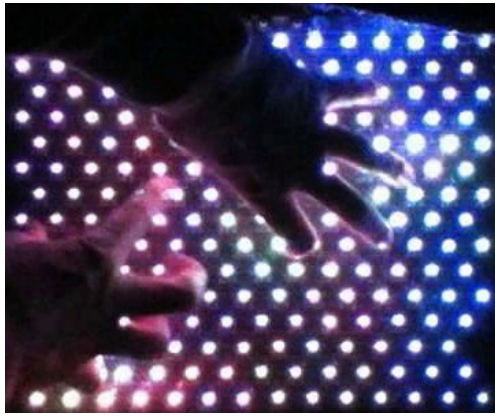
## 3. 音、可視化、人が関与するインタラクション

既に述べたように我々の音 SDC アレイは音、音場の理解を補助する可視化を目的に開発された。一方、音 SDC デバイス単体のサイズが 1 平方 cm 程度で MEMS マイクロホンの出力をプロセッサで出力した後にフルカラー LED で表示できる機能を持つため、音によってコントロール可能な“画素”として利用できる可能性も見えてきた。

2.1 節と 2.2 節で示した可視化手法の主要な差異は、時間軸の伸長が前者にはあるのに対し後者には無い点である。肉眼で動きを知覚できない程度に速くあるいは遅く変化する事象に対しては、いったんそれらの事象を記録して時間を圧縮あるいは伸長した情報提示が必要である。したがって、時間伸長を持つ可視化手法を用いたインタラクションには避けがたい時間遅延が含まれ、それが無い場合に比べてインタラクション系が複雑になる事が予想される。そこで本論文では音 SDC を 2.2 節で示したプログラムとアレイを用いて音、可視化、人が関与するインタラクションの可能性を検討した。

時間伸長を持たない可視化手法を用いる場合には、可視化の対象が音圧の時間的平均値の空間分布などに限定される。具体的には定在波あるいは音響レンズや反射鏡の撮像系による象であるが、指向性が鋭い音源を用いれば撮像系がなくても直接的に象をつくることできる。例えば高い音圧の超音波に反応するパッシブな音 SDC を空間にまばらに配置した構成による報告がある [5]。

我々の音 SDC は可聴帯域音の可視化を目的にしているので、2.2 節で示したような比較的大型の撮像系を必要とし設置場所の制約を受けやすい。そこで音 SDC アレイの近傍で可聴音源による直接的な象を作る手段を検討した。



(a) A



(b) B

図 7 ポリプロピレンフィルムの変形による音の可視化

Fig. 7 A visualization of sound generated by deformation of polypropylene film

### 3.1 ポリプロピレンフィルムの音源

透明なポリプロピレンフィルムを2枚重ねて音 SDC アレイの前面に置き、フィルムを変形させた場合に発生する音で明確な輝度や色相の不均一な分布(象)を得ることができた。図 7(a) はフィルムを音 SDC に接触する程度に近接して設置した場合、図 7(b) はフィルムを音 SDC に接触しない程度に離して設置した場合である、なお MEMS マイクロホンは音 SDC の LED が実装された面とは反対の面に実装されている。

### 3.2 気流による空力音

気流が音 SDC デバイスによって乱されることによって発生する空力音を可視化した例を図 8 に示す。この例は小型のアレイを用いているので、狭いノズルから吹き出す細かい気流が必要であるが、図 4 に示すような大型のアレイを用いればより幅の広い気流に起因する空力音を可視化することが可能である。

## 4. 考察

音、可視化、人が関与するインタラクションの概念図を図 9 に示す。図中の矢印 A, ..., E はインタラクションを構

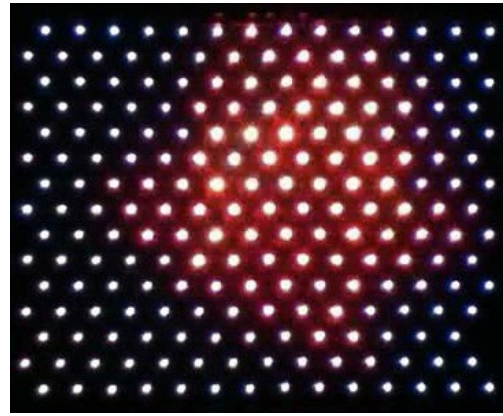


図 8 SDC デバイス周囲における空力音の可視化

Fig. 8 A visualization of aerodynamic sound around SDC devices

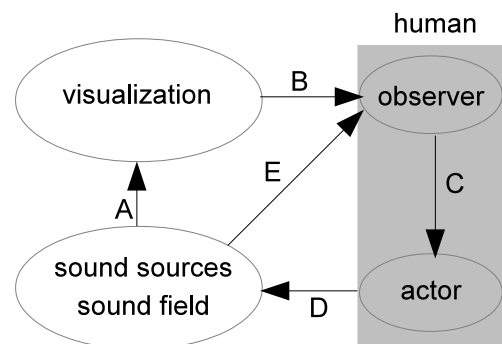


図 9 可視化、音、人が関与するインタラクションの概念図

Fig. 9 A concept of an Interaction involving visualization, sound and human

成する要素間の作用や操作を示す。

経路 C-D-E は音と人とのインタラクションを、経路 C-D-A-B は音の可視化と人とのインタラクションをそれぞれ表す。本論文ではリアルタイムの可視化に限定しているので、経路 C-D-E と経路 C-D-A-B の時間差はほとんど無い。また音あるいは音場の可視化を表す操作 A が存在することが重要であり、その意味で音に関連した視覚表現であると考えられる電気音響機器の操作子や楽器が関与するインタラクションとは異なる系を扱っている。

特に可視化手法が多くの視覚情報を提示する能力を備えている場合には、人が音を使って視覚情報を生成しようとする意図を生ずる可能性が高くなると予想された。

図 7 に示したポリプロピレンフィルムの変形(しわ)による音の可視化においては、予想に反して表示装置上には明確に明るさの分布の偏りが現れ、色もある程度の分布の偏りが認められた。一方、フィルムを変形する動作と発生する音の関係は、音量や発音タイミングは動作に大きく依存するが音色やピッチ感はあまり依存しない。このことから、フィルムを変形する動作に起因する状態の変化がより顕著な可視化装置に人は注意を向けることになると考えられる。図 8 に示した SDC デバイス周囲における空力音の

可視化でも同様のことが言える。

しかし、音あるいは可視化のどちらか一方だけを体験するより、その両方が同一の動作に関連して変化する状態がより人の注意を集めることができると考えられる。それらに関して直接的に客観的な評価を行うのは容易ではないと思われるが、音と可視化のどちらの変化幅もより広くすることはより興味深いインタラクションになることが期待される。

## 5. むすび

音場の理解を補助する可視化を目的にプログラマブルでフルカラーの画素として機能する音 SDC を用いたフレキシブルなアレイや固い平面状のアレイによる音あるいは音場の可視化手法を開発している。特に実音場におけるリアルタイムあるいは準リアルタイムの可視化手段は、可視化の対象の正しい理解という枠組みを超えた人との関係が構築可能ではないかという問が生まれてきた。本論文では時間伸長を持たない可視化手法に関して、音と可視化を含むインタラクティブな表現の可能性を検討し、音 SDC の表示能力や処理能力がインタラクションの質に大きく寄与していることが明らかになった。従ってより良いインタラクションを得るには音 SDC の能力の向上が必要である。考えられる改良すべき点として、例えば現在の音 SDC はシリリアルラインによるコントロールが可能であるが、マイクロホンからの信号を相互に交換することはできない。このため音圧傾度の計算やフェーズアレイを構成できない。またコントロールラインとパワーラインのどちらも有線であるため配線が必要である、などが考えられる。さらに時間伸長を持つ可視化手法を用いたインタラクションの可能性も今後の検討課題である。

## 参考文献

- [1] 中村健太郎, 杉本恒美: 圧電セラミックスと発光ダイオードを用いた超音波音場の測定, 電子情報通信学会論文誌 (C), J86-C, No.12 (2003).
- [2] 中小路 久美代: インタフェースからインタラクションへ, 情報処理, 48(2) (2007)
- [3] 藤森潤一, 栗原誠, 本地由和, 及川靖広, 山崎芳男: センサ・ディスプレイ複合アレイによる音場の可視化, 電子情報通信学会論文誌 (A), J94-A, No.11 (2011).
- [4] 大内康裕, 及川靖広, 山崎芳男, 田中正人: 音響テレビを用いた音場の可視化, 音響学アコースティックイメージング研資 (2009).
- [5] 木村健太郎, 宝珠山治, 鳴海拓志: 音場とのインタラクションを可能にする音場可視化のための超音波電力伝送手法, 日本バーチャルリアリティ学会大会論文集 (2011).