

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 5 月 30 日現在

機関番号：12608

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2013～2014

課題番号：25540120

研究課題名(和文)超小型多成分調合嗅覚ディスプレイを用いた香る音楽コンテンツの制作

研究課題名(英文)Music with scents using miniaturized multi-component olfactory display

研究代表者

中本 高道(Nakamoto, Takamichi)

東京工業大学・精密工学研究所・教授

研究者番号：20198261

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では超小型嗅覚ディスプレイを開発し、香りと音楽が相互作用する新しいメディアアートの提案を行った。複数のマイクロポンプと弾性表面波デバイスを用いて、タブレットPC同等サイズで8成分調合可能な嗅覚ディスプレイを開発し、水晶振動子センサと官能検査による評価を行った結果、低揮発性香気成分でも残香の少ない嗅覚ディスプレイが実現できることを確認した。そして、マイクロポンプの種類、治具、駆動回路を工夫することにより、さらに小型化できる見通しを得た。そして、コンテンツとしては音と香りのバーチャルアイスクリームショップを制作してリサーチデモを行い、さらに楽曲と香りの印象の相互作用をアンケート調査した。

研究成果の概要(英文)：We have developed miniaturized olfactory display and proposed novel media art utilizing interaction between scents and music in the present study. Our olfactory display with its size compatible with a tablet PC consists of multiple micropumps and a surface acoustic wave device to blend 8 odor components. We confirmed both using a quartz-resonator sensor and sensory test that we had no smell persistence even if we used low-volatile scent components. Moreover, it was found that the selection of micropump type, the new jig structure, the refinement of drive circuit enables further miniaturization. Then, we demonstrated virtual ice cream shop as a content with interaction between music and scents. Furthermore, the impression changes caused by the interactions between the melodies and scents were studied using a questionnaire survey.

研究分野：ヒューマンインタフェース

キーワード：嗅覚ディスプレイ SAWデバイス マイクロポンプ バーチャルリアリティ クロスモーダル効果 音楽
感性インタフェース

1. 研究開始当初の背景

現在、我々は視聴覚に関して豊富なヒューマンインタフェースを有している。しかし、それ以外の感覚のヒューマンインタフェースもリアリティを高めるために必要である。その中でも嗅覚は人間のムードや情緒に深く関係しており、嗅覚情報を自由に表現できれば新しい芸術表現の方法として発展していく可能性がある。テレビ番組のディレクターの話によると香りの情報をリアルに伝えるには香りを嗅いでいる人の表情を映すしか方法がないという。そこで、視聴覚情報と同じように香りを提示する嗅覚ディスプレイが必要になる。また、我々は日常生活で音楽を聴く機会は多いが、音楽に香りを重畳させるとムードを引き立てたり印象を強めたりする効果が期待でき、新しいコンテンツを実現できる可能性がある。本研究では超小型嗅覚ディスプレイを開発し音楽と香りの相互作用について研究を行う。

2. 研究の目的

本研究では超小型嗅覚ディスプレイを開発し、香りや音楽が相互作用する新しいメディアアートを提案することを目指す。多成分調合できる超小型嗅覚ディスプレイは世界初であり、さらに高速に香りを切り替えることができるようになると音楽への応用が可能になる。映像と嗅覚の相互作用に着目した研究はあるが、嗅覚ディスプレイを音楽に応用した例はまだない。

音楽に香りをつけて癒しの効果を出したり快眠を促進する例はこれまでもあったが、音楽のバックグラウンドとして1種類の香りを流し続けるだけである。嗅覚ディスプレイを用いると香りを時間的に変化させることが可能で、喜怒哀楽や昂揚・鎮静等の状況に応じてその場面の印象を強めることが可能になる。新しいメディアアートの形態を提案する。

3. 研究の方法

(1) 超小型嗅覚ディスプレイの開発

本研究で開発する嗅覚ディスプレイは、図1に示すように複数のマイクロポンプから滴下する香料を SAW (Surface Acoustic Wave) デバイス上に滴下し、アコースティックストリーミング現象により、瞬時に霧化して香り提示を行う。

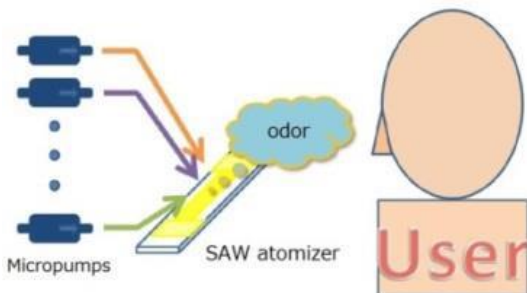


図1. 嗅覚ディスプレイの構成

香り発生後は配管を通さずに直接に鼻元に提示するためにすばやく香り提示を行うことが可能で、残香の問題がない。香気成分の中で揮発性の低い低揮発性香気成分は残香の問題があり、その解決が嗅覚ディスプレイ開発の急務であった。低揮発性香気成分は、濃度が低くても人間は敏感に感じることができるので無視できない成分である。

そこで、まず複数のマイクロポンプから液滴を供給し、その液滴を SAW デバイスで霧化して人の鼻に匂いを供給するシステムを製作する。そのために、マイクロポンプ制御回路及び駆動回路を製作する。

マイクロポンプを駆動する回路をパワー MOS FET を用いて試作する。また、FPGA (Field Programmable Gate Array) より指定した周波数 (DC-300Hz 程度) の矩形波が発生できるようにして駆動回路に接続する。そして、プリント基板上にマイクロポンプを多数並べて実装する。SAW デバイス (共振周波数 61MHz) としては IDT (InterDigital Transducer) の外側に反射器を備えたデバイスを外注製作しマイクロポンプを実装した基板に組み込む。

その SAW デバイスの駆動用に RF パワーアンプが必要である。RF パワーアンプモジュールを用いた D 級増幅器を試作して上記 SAW デバイスを駆動する。また、SAW を励振するためには中心周波数で励振する必要があり、デバイスにより少しずつ異なるために励振周波数を可変にする必要がある。周波数を可変するには DDS (Direct Digital Synthesizer) を使用しその出力の duty 比を調節する回路を設計して FPGA に実装する。

さらに、FPGA の中に CPU コアを組み込み、CPU コアにより各マイクロポンプの流量制御、SAW デバイスの duty 比、周波数制御を行うプログラムを作成する。

そして、指定された各要素臭の濃度を調合して毎秒発生させるようにする。そして、指定したレシピで調合可能かを水晶振動子センサを用いて測定して調べる。それから、香りを提示して残香がどの程度残るのかを調べる。

全体としては、8成分を任意の比率で調合できる超小型嗅覚ディスプレイを開発し、wearable 化への見通しを得る。

(2) 香る音楽コンテンツの開発

音楽に同期させながら、香りを発生させるコンテンツを制作し、実演を行ってアンケート調査により香りと音の相互作用を検証する。また、基礎的な研究として、香りと和音の提示によるクロスモーダル効果、香りと楽曲の音色提示によるクロスモーダル効果を調べる。

4. 研究成果

(1) 超小型嗅覚ディスプレイの開発

マイクロポンプにはダイヤフラム型のもの

を用いるが、ダイヤフラム型のマイクロポンプを駆動するためには、250Vp-p 程度の交流電圧が必要である。マイクロポンプを駆動する回路としてはパワーMOS FET でスイッチングする回路を製作した。電源電圧は+200Vと-50Vが必要で、この電圧はDC-DCコンバータを用いて得た。また、各マイクロポンプからの吐出量は駆動時間と駆動周波数で制御する。そのために、マイクロポンプ制御用のDDS回路を設計し、FPGAに実装した。さらに、ポンプの駆動時間、周波数をタブレットPCからのコマンドに応じて制御する回路及びソフトウェアを開発した。

そして、香料の溶液を入れる液溜、マイクロポンプからSAWデバイス表面に導く細いステンレスチューブ及びそれを固定する治具の設計製作を行った。

駆動周波数と流量の関係を単位時間当たりの滴下した液体の質量を測定することにより、明らかにした。ダイヤフラム型ポンプは周波数が増加すると流量が増加するが、ずっと周波数を上げていくとダイヤフラムの変位が小さくなるために流量は低下する。この流量が低下する周波数領域の方が、微量の液滴吐出には向いていることがわかった。

次にSAWデバイス及びその駆動回路の検討を行った。SAWデバイスは61MHz、LiNbO₃ 128°回転Y板X伝搬の基板に励振用IDT及び反射器を実装したものを外注試作した。電極材料はAu/Crである。

霧化のためには、SAWデバイスの駆動には高いRF電力が瞬間的には必要になる。ここでは、最大30W程度まで出力可能なRFパワーアンプモジュールを用いることにした。SAWデバイスは50Ωになっていないので、RFパワーアンプモジュールとはインピーダンス整合が必要になる。インピーダンス整合をとったことにより、霧化に最低限必要なRF印加電圧が少なくすむようになることがわかった。

また、RFパワーアンプモジュールにはコントロール端子があり、その端子をアクティブにしないとRF出力を得られないようにすることができる。FPGAからのRFバースト信号をRFモジュールに入力するが、本来デジタル出力であるFPGAの出力には雑音が多く存在し、それをそのままRFパワーアンプモジュールに入力すると信号のないはずの期間にも出力が発生し、SAWデバイスに過大な電力がはいってしまうことがある。そのためにFPGAで発生させるRFバースト波の包絡線信号をRFパワーアンプモジュールの制御端子に入力して信号入力があるときのみ、RFアンプモジュールがアクティブになるようにした。

RFアンプモジュールにはRFバースト波を入力するが、RFバースト波はFPGAで生成する。SAWデバイスはデバイス毎の個体差があるために、駆動周波数をデバイスに合わせて調整する機能が必要になる。この

機能を実現するためにDDS回路を設計した。DDS回路の入力にはクロック信号を入力するが、クロック信号が高い方が細かい周波数調整が可能になる。そこで、ボード上のクロックをFPGAに実装したPLL(Phase Locked Loop)回路で逡倍してどの程度の周波数のクロック信号まで出力できるかを調べたところ、400MHz程度まで可能なことがわかった。そこで、そのクロックをDDSに入力して50kHz間隔でRF信号が生成できることがわかった。この程度の周波数分解能があれば、デバイス毎の周波数調整は可能である。

また、RFバースト波の繰り返し周期、duty比を制御する回路も設計した。そして、これらもタブレットPCから制御できるようなソフトウェアも制作した。

それから、液溜、マイクロポンプからSAWデバイスに液滴を導く治具は外注により試作した。さらにDC-DCコンバータ、LiPoバッテリーも実装した8成分嗅覚ディスプレイを図2に示す。

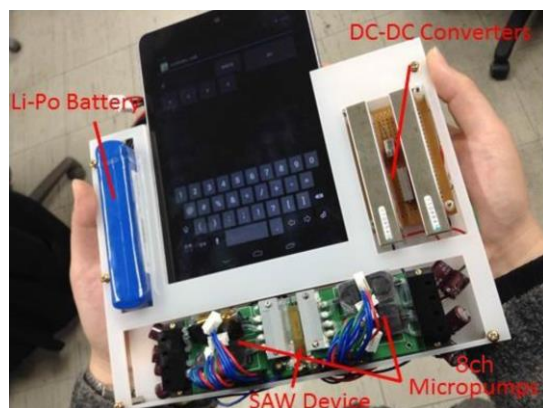


図2. タブレット同等サイズの8成分調合嗅覚ディスプレイ

同図の中心にはタブレットPCがあり、その両脇にLiPoバッテリーとDC-DCコンバータがある。またタブレットPCの下にSAWデバイスがある。SAWデバイスの左右には4成分ずつのマイクロポンプ、液溜が配置されている。RFモジュール、FPGA、マイクロポンプ駆動回路はSAWデバイスの基板の下部に配置されているため、この図では見えない。

このように、タブレットPC同等サイズの嗅覚ディスプレイを開発し、可搬にして使用できることも確認した。

次にさらなる小型化を検討した。まず、マイクロポンプとして、さらに小型のマイクロポンプを用いることにした。そして、マイクロポンプと液溜、極細ステンレスチューブを一体化する治具を3Dプリンタで製作した。その治具の写真を図3に示す。

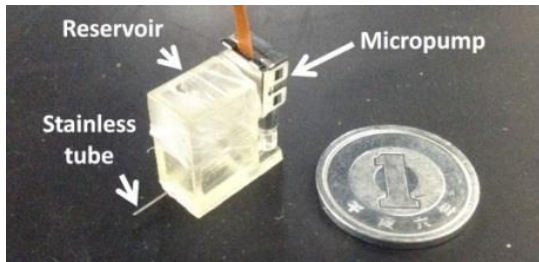


図 3. 液溜一体型のマイクロポンプ治具

そして、マイクロポンプの駆動回路の検討を行った。DC-DC コンバータを使用せずに高電圧交流信号を発生させる。インダクタに流す電流をチョッピングしてそこで発生する電圧でダイオードを介してキャパシタを充電することで高電圧を得る昇圧チョッパ回路を開発した。そして、開発回路により 100Vp-p 程度の交流電圧を発生することができ、マイクロポンプを駆動できることがわかった。

その結果、駆動回路に関しては実装面積が約 50%、マイクロポンプ治具に関しては、実装面積が 1/4 になり大幅な小型化が達成できる見通しを得た。

さらに、霧化の安定化に関しても検討した。これまでに、最初霧化できても途中からできなくなることがあった。我々は霧化の際に温度が上昇し、それに伴い霧化に最適な励振周波数が変化する現象を見出した。従って、温度をモニタするか SAW パワーをモニタしてそれをもとにして励振周波数を変化させれば、常に安定に霧化することが可能になる。赤外線温度センサを用いて SAW デバイスの温度計測を行い、実時間で SAW デバイス励振周波数を変化させる実験を行い、霧化の安定性が飛躍的に向上することを確かめた。

(2) 香る音楽コンテンツの制作

音と香りを同時に体験者に提示し、聴覚・嗅覚のクロスモダリティをアピールするインタラクティブ・アート作品を作成した。体験者が音（電子音）と香り（アイスクリームのフレーバ）を同時に体験できる作品である。この作品はドイツ・ベルリンで行われた国際会議のリサーチデモで実演を行い、多くの体験者から好評を得た。図 4 はベルリンでバーチャルアイスクリームショップの実演を行っている様子である。

なお、この実演の際は、電磁弁高速開閉方式の嗅覚ディスプレイを使用した。

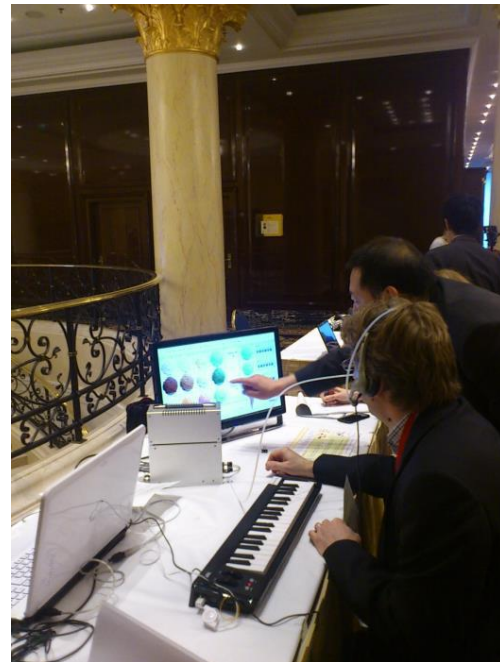


図 4. バーチャルアイスクリームショップの実演風景

次に音楽の三要素（旋律、和音、拍子）のうち、和音に注目して香りと同時に提示したときの体験者の印象における調和／不調和を調べた。明るい香りの代表としてオレンジ、暗い香りの代表としてオークモスを用い、明るい和音としてハ長調 I 度、暗い和音としてハ短調 I 度を用いて、これらを組み合わせると音と香りの同時提示を行った。ともに音色は正弦波である。また、嗅覚ディスプレイとしては、マイクロポンプと SAW デバイスを用いたものを使用した。

その結果、明るいオレンジは明るい和音と調和すると答えた人が多かったが、オークモスは和音と調和する印象について、顕著な違いはみられなかった。

音の三要素（大きさ、音高、音色）のうち音色に注目し、楽曲のみを提示したときと香りを同時に提示したときの体験者の印象の違いを調べた。軽い印象の香りとして酢酸リナリル、重い印象の香りとして安息香、冷たい印象の香りとしてミントを選び、音色が軽い楽曲、音色が重たい楽曲。音色が冷たい楽曲について合計 9 通りの場合を体験者に提示し、その印象を調べた。評価は 37 語の感性ワードを配置した感性空間を利用し、体験者に印象にあった感性ワードを選んでもらった。この実験でもマイクロポンプと SAW デバイスを用いた嗅覚ディスプレイを使用した。

その結果、同じ印象の香りや楽曲を同時に提示した場合、その印象を示す感性ワードや近傍の感性ワードが選ばれる頻度は上昇

する傾向にあることがわかった。そして、反対の印象の香りと楽曲を同時に提示した場合は、その印象を示す感性ワードは楽曲の印象を示す感性ワードに収束する傾向が得られた。無関係な印象の香りと楽曲を同時に提示した場合は、その印象を示す感性ワードは楽曲の印象を示す感性ワードに引き寄せられる場合と感性空間全体に印象が拡がって傾向が定まらないケースがみられた。

香りの印象も楽曲（音色）の印象も主観的ではあるが、同じ印象の香りと楽曲を同時に提示した場合には心理面で調和感が形成されるのではないかと考えることができる。

今後、本研究で得られた知見をベースにして、音と香りのクロスモーダル効果を利用して、より我々の感性に訴えるコンテンツを制作してみたい。

5. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕（計 5 件）

- ① 中本 高道、匂いセンサと嗅覚ディスプレイ、薬学雑誌、査読無、134 巻、2014、333-338、
https://www.jstage.jst.go.jp/article/yakushi/134/3/134_13-00234-5/_pdf
- ② 中本 高道、嗅覚ディスプレイの最新動向、電学論 E、査読無、133 巻、2013、178-183、10.1541/ieejsmas.133.178
- ③ Y. Ariyakul, T. Aizawa and T. Nakamoto, Tiny Olfactory Display Based on SAW Streaming and Electroosmosis, IEEJ, 査読有, 133-E, 2013, 206-211, 10.1541/ieejsmas.133.206
- ④ 中本 高道、嗅覚ディスプレイの国際会議デモ、日本 VR 学会誌、査読無、18 巻、2013、84-87、
<http://journal.vrsj.org/18-2/s8-11.pdf>
- ⑤ Y. Ariyakul and T. Nakamoto, Improvement of odor blender using electroosmic pumps and SAW atomizer for low-volatile scents, IEEE Sensors Journal, 査読有, 13, 2013, 4918-4923, 10.1109/JSEN.2013.2271912

〔学会発表〕（計 18 件）

- ① 中本 高道、嗅覚インタフェースの現状と今後の展望、電気学会全国大会シンポジウム、2015 年 3 月 24 日～2015 年 3 月 26 日、東京都東京都市大学
- ② 橋本 和樹、中本 高道、弾性表面波デバイスとマイクロポンプを用いたウェアブル嗅覚ディスプレイの研究、電気学会全国大会、2015 年 3 月 24 日～2015 年 3 月 26 日、東京都東京都市大学

- ③ 中本 高道、ヒューマン嗅覚インタフェース、匂い再現デバイスの展望ワークショップ(招待講演)、2015 年 2 月 23 日、京都大学、京都府
- ④ 中本 高道、匂いセンサと嗅覚ディスプレイ、産総研ヒューマンストレス研究会(招待講演)、2015 年 1 月 20 日、大阪府千里ライフサイエンスセンター
- ⑤ 中本 高道、ヒューマン嗅覚インタフェース、九州大学分子デバイスシステムセミナー(招待講演)、2014 年 12 月 12 日、九州大学、九州
- ⑥ Masaaki Iseki and Takamichi Nakamoto, Cross-modal effect on scent and music, digital olfaction society conference, 2014 年 12 月 8 日～2014 年 12 月 9 日、東京工業大学、東京都
- ⑦ K. Hashimoto and T. Nakamoto, Study of wearable olfactory display using surface acoustic wave device, Digital Olfaction Society Congress, 2014 年 12 月 8 日～2014 年 12 月 9 日、東京都東京工業大学
- ⑧ HENG-CHUNG CHANG, BARTOSZ WYSZYNSKI, WEILEUN FANG, NAKAMOTO TAKAMICHI, A NOVEL POWDER BASED OLFACTORY DISPLAY, Digital Olfaction Society Congress, 2014 年 12 月 8 日～2014 年 12 月 9 日、東京都東京工業大学
- ⑨ 中本 高道、ヒューマン嗅覚インタフェース - 匂いセンサと嗅覚ディスプレイ -、産業技術研究所センシング技術コンソーシアム第 7 回講演会(招待講演)、2014 年 11 月 12 日、愛知県名古屋市愛知県産業労働センター
- ⑩ T. Nakamoto, Human Olfactory Interface -Odor sensing system and olfactory display-, Korea Sensor Conference(招待講演)、2014 年 11 月 14 日、Kangwon National University, Korea
- ⑪ 伊関 方晶、中本 高道、嗅覚ディスプレイを用いた香りと音のクロスモーダルの効果、日本 VR 学会大会、2014 年 9 月 17 日～2014 年 9 月 19 日、愛知県名古屋市名古屋大学
- ⑫ T. Nakamoto, K. Hashimoto, T. Aizawa, Y. Ariyakul, Multi-component Olfactory Display with a SAW Atomizer and micropumps controlled by a Tablet PC, IFCS2014, 2014 年 5 月 19 日～2014 年 5 月 22 日、Taipei, Taiwan
- ⑬ 橋本 和樹、相澤智之、アーリヤクル・ヨッシリ、中本 高道、タブレット端末に装着可能な弾性表面波デバイスを用いた嗅覚ディスプレイの研究、電気学会全国大会 2014、2014 年 3 月 20 日、愛媛大学、愛媛県
- ⑭ 相澤智之、橋本 和樹、アーリヤクル・ヨッシリ、中本 高道、マイクロポンプを用いたタブレット端末対応多成分調合

型嗅覚ディスプレイの研究、電気学会全国大会 2014、2014年3月20日、愛媛大学、愛媛県

- ⑮ 伊関 方晶、中本 高道、嗅覚ディスプレイを用いたインタラクティブ・アート、電子情報通信学会 HCG シンポジウム、2013年12月18日、愛媛県松山市総合コミュニティセンター
- ⑯ Iseki Masaaki and Nakamoto Takamichi, Cyber Incense Smelling with Olfactory Display, ICAT2013, 2013年12月12日、日本科学未来館、東京都
- ⑰ Yossiri Ariyakul, Takamichi Nakamoto, Movie with scents generated by olfactory display using SAW device and EO pumps, ISOEN2013, 2013年7月3日, EXCO, Daegu, Korea
- ⑱ Takamichi Nakamoto, Recent trend of olfactory display, ISOEN2013(招待講演), 2013年7月3日, EXCO, Daegu, Korea

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 1 件)

名称：匂い発生装置

発明者：中本高道、橋本和樹

権利者：東京工業大学

種類：特許

番号：特願 2015-040291

出願年月日：2015年3月2日

国内外の別：国内

○取得状況 (計 0 件)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

中本 高道 (Nakamoto Takamichi)

東京工業大学・精密工学研究所・教授

研究者番号：20198261