

令和 6 年 6 月 9 日現在

機関番号：12608

研究種目：基盤研究(A)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21H04889

研究課題名（和文）香りの再現と創作を行う嗅覚ITの研究

研究課題名（英文）Study of Olfactory IT for reproducing and creating scents

研究代表者

中本 高道（Nakamoto, Takamichi）

東京工業大学・科学技術創成研究院・教授

研究者番号：20198261

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 32,200,000円

研究成果の概要（和文）：香りを再現し新しい香りを作り出す技術によりITで扱える情報の範囲を大きく広げることができる。本研究では、要素臭同士を調合して香りを再現し、さらに言語表現から対応する香りを要素臭の調合比で表し、意図した香りを提示することを目的とした。要素臭を嗅覚ディスプレイにセットして精油の香りを再現できることを示し、指定した香り記述子セットから対応するマススペクトルを作成できることを示した。さらに、香り記述子の追加によりその印象が増加することを官能検査で確かめた。また、匂いのドメインアダプテーションと単語レベルの対照学習を行って匂い情報を獲得するシステムを提案し、匂いと言語の埋め込み表現の類似度を向上させた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

現在、我々はまだ嗅覚を情報として扱うことができない。しかし、嗅覚は情緒、雰囲気、記憶に関連する重要な感覚であり、この情報もIT技術で扱うことができればデジタル情報の範囲が大きく拡大する。本研究では、まず要素臭を嗅覚ディスプレイで調合することで香りを再現できることを示した。要素臭の調合比で香りを表現できることを意味し、デジタル嗅覚技術の根幹をなすものである。また、香りの創作を行うシステムは今までに報告されたことはなく、その学問的意義は極めて大きい。また、嗅覚IT技術は社会的にはウェルビーイングに貢献できる。高齢者の認知・記憶機能の維持向上に嗅覚は有効と考えられ、大きな社会的意義も有する。

研究成果の概要（英文）：Range of information handled by IT technology can be expanded by scent reproduction and creation technique. We aimed to reproduce an odor by blending odor components and to obtain the recipe of odor components, followed by the presentation of intended scent. We show the odor reproduction of essential oil by the olfactory display with odor components and show it is possible to make mass spectrum corresponding to a set of odor descriptor scores. Moreover, we confirmed that the odor impression increased by adding the corresponding descriptor to the set of intended odor descriptors. Then, we propose the system to acquire scent information by odor domain adaptation and the contrastive learning at a word level. It enhances the similarity between the embeddings of odor and language.

研究分野：知覚情報処理

キーワード：嗅覚ディスプレイ 要素臭 香りの知覚 香りのクリエイション 深層学習 独立成分分析 自然言語処理 匂いの埋め込み表現

1. 研究開始当初の背景

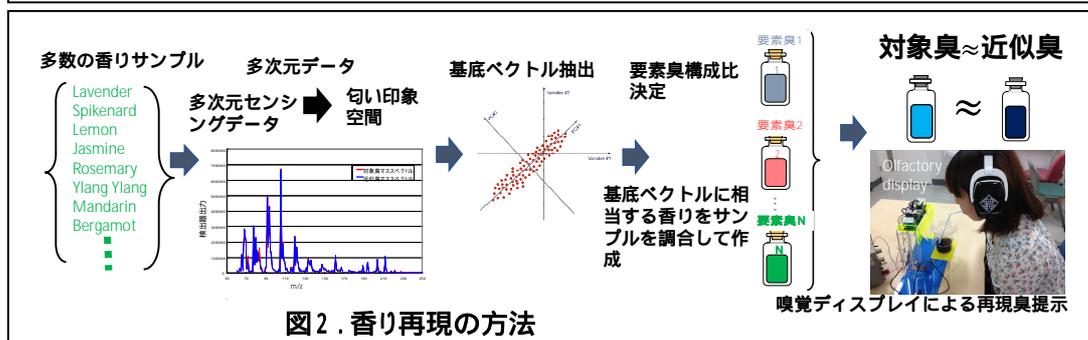
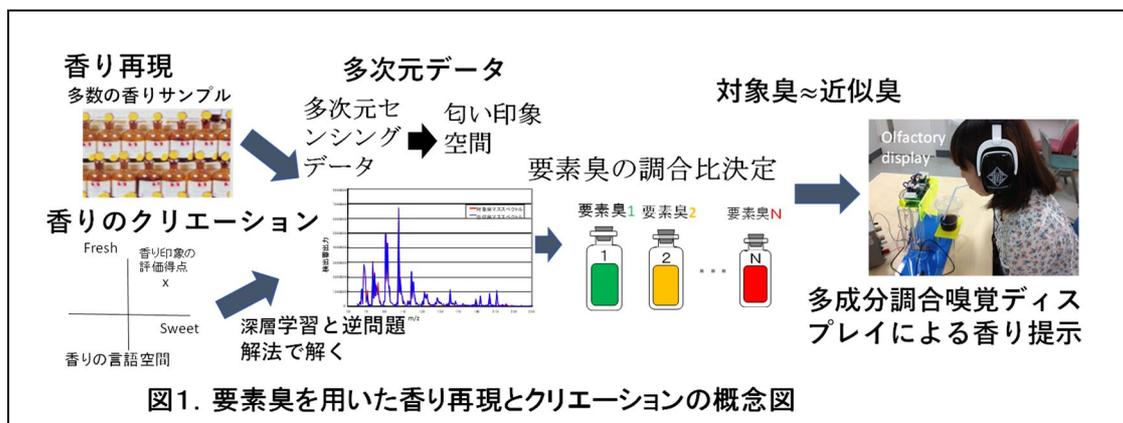
視覚や聴覚の情報はコンピュータ上で容易に取り扱うことが可能で、コンピュータに入力してさらに再生させることも我々は日常的にあたりまえのことのように行っている。それに対して、嗅覚情報はコンピュータで取り込んで記録し、再現することもこれまでにまだ十分にできていない。しかし、嗅覚は我々の記憶、情緒、雰囲気等に重要な役割を果たしており、必要不可欠な感覚である。世の中にはIT技術で扱えない情報もまだあるが、香りを再現し新しい香りを作り出す技術が確立できればIT技術で扱える情報の範囲が大きく広がる。現代社会において、映像や音響を再現する手段がない場合の不便さを想像すると、香りの再現と創作は社会に大きな影響をもたらすと考えられる。香りとIT関連産業はこれまでほとんど接点がなかったので、新しい産業が数多く創出される可能性がある。

2. 研究の目的

本研究では、要素臭同士を調合することにより香りを再現して、さらに言語表現から対応する香りを要素臭の調合比で表し、嗅覚ディスプレイで意図した香りを提示することを目的とする。

3. 研究の方法

図1に示すように、香りの再現及び香りのクリエイション(香りの創作)いずれにおいても、香りの多次元センシングデータを求め、それを匂い印象空間に写像する。香り再現においては、匂い印象空間において対象臭と調合臭のパターンマッチングを行い、その後多次元センシングデータを各要素臭の多次元センシングデータに分解する。分解する時に求まる要素臭の構成比を多成分調合型嗅覚ディスプレイに与えることにより、多様な香りを再現することができる。香りのクリエイションにおいては、言語表現から対応する多次元センシングデータを求めて、同様に各要素臭の多次元センシングデータに分解する。



香りの再現の方法の詳細を図2に示す。あらかじめ多数のサンプルを多次元センシングして得られたデータから基底ベクトルを求め、基底ベクトルに相当する香りをセンシングしたサンプルを調合することにより求め、要素臭とする。そして少数の要素臭を嗅覚ディスプレイで調合することにより、近似的に対象臭を再現する。

また、香りのクリエイション実現方法の考え方を図3に示す。匂い印象空間で香りを定義して、その香りに相当する香りの多次元データを得て、各要素臭に分解して要素臭レシピを得、それを嗅覚ディスプレイに与える。言語データからセンシングデータへの写像は1:1写像になるとは限らないためにセンシングデータから言語空間の写像をもとにして逆問題を解いて、言語表現に対応する香りのセンシングデータを求めることにする。センシングデータとしては、線形重ね合

わせが成立し扱いやすく多量のデータを収集するのに適している質量分析器データ（マススペクトル）を考える

4. 研究成果

【要素臭】香水等には香りを持続させるために保留材が入っている。保留材は無臭だがマススペクトルを有するためにその影響を取り除く必要がある。そこで、本研究では独立成分分析(ICA)を用いて保留材を除いた香気成分マススペクトルを抽出し、要素臭に分解して香り再現を行った。185の精油マススペクトルにランダムに5種類の保留材マススペクトルを加えたものにICAを行って抽出した独立成分(IC)とオリジナルサンプル(Orange sweet)との相関係数を表1に示す。また、各保留材と最も近い独立成分のスペクトルを図4に示す。表1よりIC2がオリジナルサンプルと高い相関係数を有し他のICすべてとの

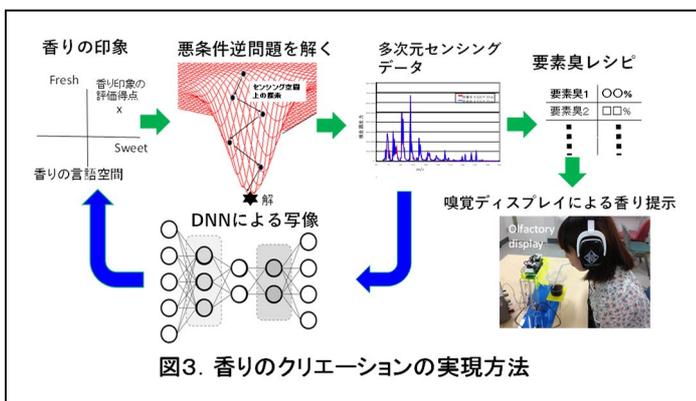


図3. 香りのクリエイションの実現方法

表 1. オリジナルサンプル及び保留材マススペクトルと各独立成分との相関係数

	IC1	IC2	IC3	IC4	IC5	IC6
Orange sweet	0.19	0.98	0	0.01	0	0.07
Benzyl benzoate	0.51	0.01	0	0.01	0.01	0.86
Benzyl salicylate	0.99	0.03	0	0.01	0.01	0.06
Propylene glycol	0	0	0.1	0.99	0.05	0
Dipropylene glycol	0	0.01	0.99	0.02	0.03	0
Octanoic Acid	0.01	0.01	0.02	0.1	0.99	0.01

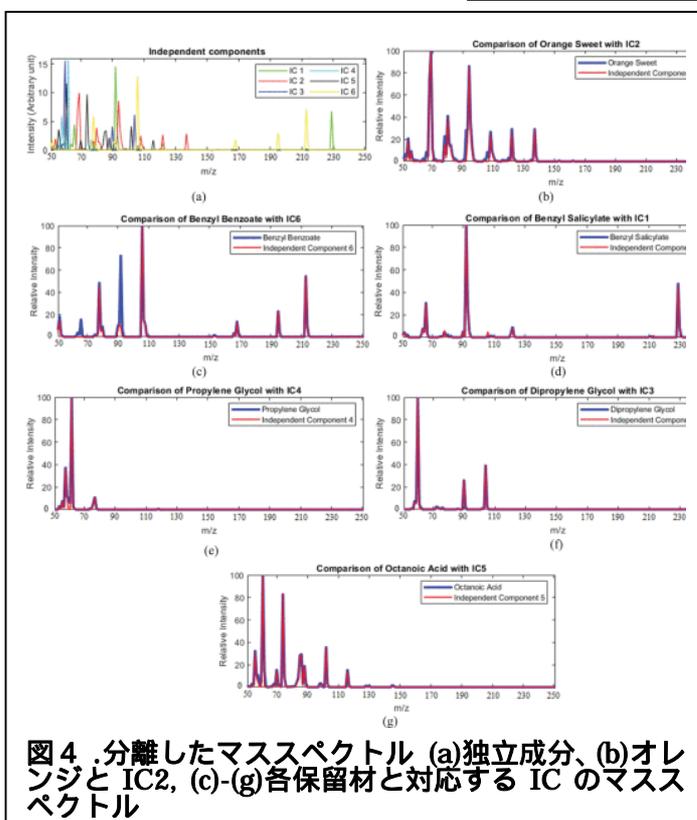


図4. 分離したマススペクトル (a)独立成分、(b)オレンジとIC2、(c)-(g)各保留材と対応するICのマススペクトル

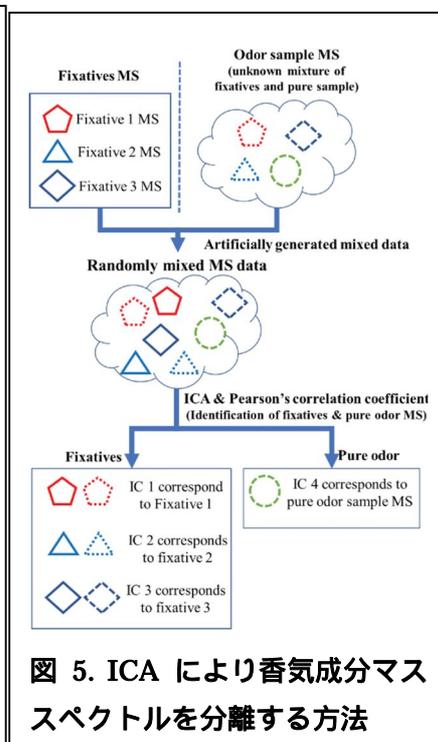


図 5. ICA により香気成分マススペクトルを分離する方法

ことがわかった。また、図4よりオリジナルサンプル及び各保留材のマススペクトルは対応する独立成分とほぼ等しくなることがわかった。

どの独立成分が香気成分であるかはICAで解析する前はわからない。しかし、各保留材のマススペクトルはあらかじめわかっている。また、各ICは保留材のいずれかに相当する。そこで、図5に示すように、各ICと各保留材のマススペクトルの相関係数を用いることにより、どのICがどの保留材に相当するかがわかる。最後に残ったICが香気成分のマススペクトルということになる。

【嗅覚ディスプレイ】 185種類の精油を20成分の要素臭で再現できることがこれまでの研究でわかっている。そこで、液体レベルの調合だけでなく嗅覚ディスプレイで香り再現が可能かを調べた。図6に示すように、嗅覚ディスプレイでは、20のマイクロディスペンサから射出した

液滴を弾性表面波デバイスで霧化して、ファンで香りをユーザに送って調合臭を提示する。調合比は各マイクロディスペンサから液滴を射出する頻度によって決定される。マイクロディスペンサには電気浸透流ポンプを利用して液体香料を供給する。当初は電気浸透流ポンプの印加電圧を一定としていたがそうするとマイクロディスペンサの駆動周波数により液滴量が異なることが判明した。そこでパソコンから DA コンバータを介して電気浸透流ポンプの印加電圧を可変にできるようにして、駆動周波数に合わせてポンプ印加電圧を変更できるようにし、一滴の射出量がいつも同じになるようにした。

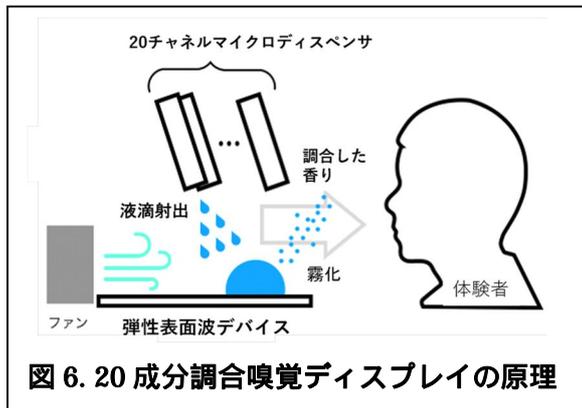


図 6. 20 成分調合嗅覚ディスプレイの原理

改善した嗅覚ディスプレイを用いて、オリジナルの香り要素臭から再現した香りが区別できるかを官能検査（3点識別法）で調べた。2つ同じで一つ異なる香りを提示し被験者にどれが異なるかを当ててもらおう方法であり、正解率が1/3になれば両者が区別できないことになる。表2より両者を区別するのは難しく、有意差はないことがわかった（有意水準5%）。

【香り印象からセンシングデータの予測】

まず、マススペクトルから香り印象の予測を行った。マススペクトル空間及び香り印象空間それぞれにオートエンコーダを使用して次元圧縮を行い、2つの特徴量空間の間を多層パーセプトロンで写像するDNNを用いている。パラメータ最適化を行った結果、相関係数0.93まで精度を向上させることができた。そこで、香り記述子のスコアからマススペクトルの予測を行った。図3に示すように、マススペクトルに初期値を設定しDNNで香り記述子スコア（香り印象）を予測する。あらかじめ指定した香り記述子スコアと一致すれば終了し、その時のマススペクトルが正解となる。一致しなければコスト関数を減少させるように勾配法でマススペクトルを更新し、DNNへ入力する。この操作を香り記述子スコアが一致するまで繰り返す。なお、ここで使用するマススペクトルはあらかじめオートエンコーダで次元圧縮したマススペクトル特徴量を用いた。

表 2. 20 要素臭と嗅覚ディスプレイを用いた香り再現の官能評価（正解数/被験者数）

	液体レベルの調合	嗅覚ディスプレイによる香り提示
Lemon (Citrus)	3/9	8/18
Paromarsa (Exotic)	3/9	5/18
Carrot Seed (Spice)	2/9	3/18
Elemi (Resin)	1/9	3/18
Lavender (Floral)	2/9	5/18
Cypress (Woody)	3/9	6/18
Mentha arvensis (Herb)	3/9	9/18

図7に計算機実験の結果を示す。香り記述子スコアとしてはDREAMデータセット(A. Keller et al, 2015)を用いた。10個の香気分子について、それらのマススペクトル特徴量と計算で得られたマススペクトルの特徴量を主成分分析散布図上にプロットした結果、両者は近い位置にあることがわかった。つまり、香り印象スコアからマススペクトルを正しく推定できたといえる。

図8にDNNを用いたDREAMデータセット内の383分子に関する香り印象予測の結果を示す。同図(a)では21記述子スコアについて、ほぼ予測できているのがわかる。同図(b)では記述子Pleasantnessのみそのスコアを0.6倍したときの結果である。記述子Pleasantnessのスコアは正しく予測できているが、他の記述子のスコアは真値からずれている。これは記述子スコア同士は完全に独立ではなく相関があるため、記述子Pleasantnessのスコアが変化したためにずれたものと考えられる。このように記述子同士の相関があるため、指定された記述子スコアすべてを満足できるとは限らないが、可能な限り満足する

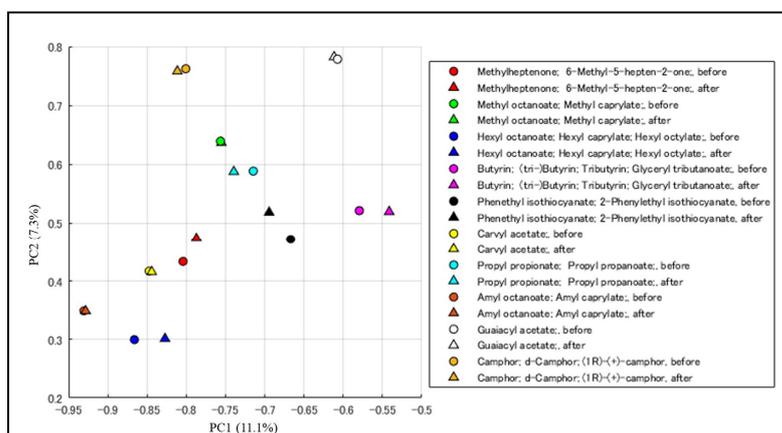
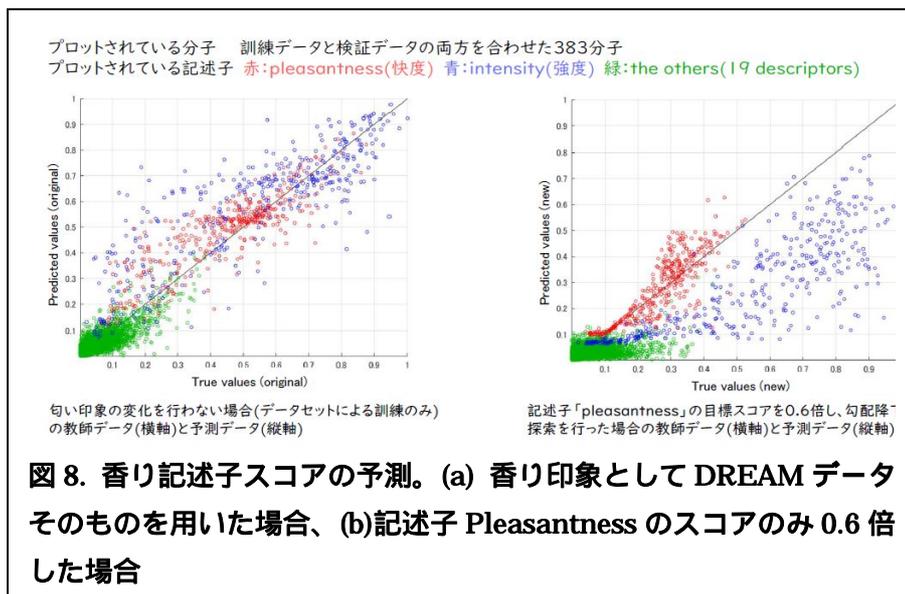


図 7. 指定した香り記述子スコアに対応するマススペクトル特徴量と計算して得られたマススペクトル特徴量の主成分分析結果

ようなマスペクトルを出力する。

【香りのクリエイション】 上記のように、香り印象からそれに対応するマスペクトルを求めることが可能になった。このマスペクトルを図2の方法で要素臭に分解することができれば、香り印象に対応する香りを実際に作成することが可能になる。要素臭のマスペクトルは分かっているので、非負拘束最小二乗法を用いて各要素臭の比率を計算し、計算結果に基づいて調合して近似サンプルを作成した。この調合臭を用いて、精油に関して得られている20要素臭を用いて、香りクリエイションの基礎実験を行った。精油はすべて実測し、香り記述子は著書”The Dictionary of Essential Oils”(Sellar, W., 2007)、から得た。この場合は記述子の組み合わせになるので、前述のDREAMデータセットとは異なり2値データとなる。この実験に用いた精油は96種類である。オリジナルの香りの記述子セットに記述子“Floral”を加えて対応する香りを作成し、オリジナルと比べてどちらかFloralの印象になっているかを複数の体験者に尋ねた。また、別の香りの記述子セットに記述子”Sweet”を追加し、オリジナルと比べてどちらがSweetの印象になっているかを複数の体験者に尋ねた。その結果、それぞれの場合について、FloralとSweetの印象が増加していることが確認できた。



このように、香りのクリエイションが実際に可能なことがわかった。しかし、DNNで香り印象を予測する際に予測精度が不十分なサンプルも存在し、このようなサンプルの場合は意図した通りの香りを作成するのが困難であった。DNNの推定精度は学習に用いるサンプル数に依存し、もう少し大規模なデータセットが必要である。また、この実験で使用した記述子は2値データであるが、複数レベルで構成される連続値データの方が精度向上には望ましい。

【匂いに関する言語埋め込み空間の作成】

匂い情報と言語情報は密接な関係にあり、例えば、“ラベンダーの香りがするね。”や“昨日にんにく食べた?”のように、自然言語文の意味を適切に理解するためには、匂い情報が必要な場合がある。また、言語情報と匂い情報の関係を把握することで、今後、任意のテキストを与えたときに、必要な化学物質を推論し、テキストに関連する香りを自動生成する技術を開発できる可能性もある。

匂い情報と言語情報を関連付ける研究は数多く行われているが、重要な役割を果たす、言語埋め込み空間と匂い埋め込み空間の一致度がこれまであまり高くなく、言語埋め込み空間が必ずしも匂い情報を正確に表現しているわけではないことが報告されている。先行研究で利用している言語埋め込み空間には2つ問題がある。1つ目は、言語埋め込み空間の学習に一般的なコーパスしか利用されておらず、匂いに関するコーパスの少なさから匂い情報を十分学習できていない可能性がある。2つ目に、先行研究では、word2vecやfastTextなどの従来の単語埋め込み表現が用いられており、近年多くの言語タスクで高い性能が確認されている事前学習済み言語モデルを元にした埋め込み表現と比較して性能が低い可能性がある。

そこで、これら2つの問題に対処し、言語埋め込み空間に匂い情報をより持たせることで、言語埋め込み空間と匂い埋め込み空間の一致度を向上させることに取り組む。1つ目の問題に対処するため、匂いに関するコーパスを用いた領域適応を言語モデルに対し行うことで匂い情報を獲得する。2つ目の問題については、言語タスクで高い性能が得られることが確認されているBERTやRoBERTaなどの文埋め込み表現を得る言語モデルの利用を検討するが、必ずしも適切な単語埋め込み表現を構築するわけではないことが知られているため、文レベルの対照学習を用いて改良した言語モデルを利用する。さらに、類義語と対義語を利用した単語レベルの対照学習を行うことで、語彙知識を学習した単語埋め込み表現を得る手法を提案する。上の手法を組み合わせた言語モデルをTOLE (Thesaurus-enhanced Odor-adaptive Linguistic Embeddings)と呼ぶ。

実験の結果、TOLEを用いることで既存手法と比較して、記述子を元にした匂い埋め込み表現と言語埋め込み表現の類似度が向上し、2つの空間の一致度が向上したことを確認した。さらに、TOLEが先行研究と比べ、記述子の情報からマスペクトルの情報を予測する性能も向上させることを確認した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計12件（うち査読付論文 7件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 6件）

1. 著者名 中本 高道	4. 巻 Vol.10 No.11
2. 論文標題 匂いセンサの研究開発動向	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 車載テクノロジー	6. 最初と最後の頁 33-38
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 伊関方晶、Dani Prasetyawan、横式康史、中本高道	4. 巻 142
2. 論文標題 多成分調合型嗅覚ディスプレイを用いた匂いの再現研究 多成分調合型嗅覚ディスプレイを用いた匂いの再現研究	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 電気学会論文誌	6. 最初と最後の頁 63-70
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1541/ieejsmas.142.63	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Daisuke Hasebe, Manuel Aleixandre, Takamichi Nakamoto	4. 巻 -
2. 論文標題 Exploration of sensing data to realize intended odor impression using mass spectrum for odor mixture	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 PLoS One	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1371/journal.pone.0273011	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Manuel Aleixandre, Takamichi Nakamoto	4. 巻 22
2. 論文標題 Online learning for active odor sensing based on a QCM gas sensor array and an odor blender	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 IEEE Sensors Journal	6. 最初と最後の頁 22310-22318
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/JSEN.2022.3215127.	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Tanoy Debnath and Takamichi Nakamoto	4. 巻 12
2. 論文標題 Machine learning for Scent: A Method of Extracting Sensing Data for Desired Scent Impressions, Expert systems with applications.	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 16297
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-022-20388-0	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Iseki M, Prasetyawan D, Yokoshiki Y, Nakamoto T	4. 巻 142
2. 論文標題 A study of odor reproduction using multi-component olfactory display.	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Electrical Engineering in Japan	6. 最初と最後の頁 63-70
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/eej.23392	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 中本高道、D.Prasetyawan、伊関方晶	4. 巻 23
2. 論文標題 要素臭と嗅覚ディスプレイによる香り再現	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 アロマリサーチ	6. 最初と最後の頁 22-26
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 中本高道	4. 巻 275
2. 論文標題 難しいとされた再現に成功 匂いは伝えられる	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Healthist	6. 最初と最後の頁 10-13
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 M.Iseki and T.Nakamoto	4. 巻 E104-A
2. 論文標題 Evaluation of temporal characteristics of olfactory displays with different structures	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Trans. IEICE	6. 最初と最後の頁 744-750
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1587/transfun.2020EAP1028	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Tanoy Debnath, Takamichi Nakamoto	4. 巻 12
2. 論文標題 Predicting individual perceptual scent impression from imbalanced dataset using mass spectrum of odorant molecules	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Scientific Report	6. 最初と最後の頁 3778
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-022-07802-3	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Dani Prasetyawan;Takamichi Nakamoto	4. 巻 9
2. 論文標題 Suppression of Interference of Fixative with Odorant Samples in Mass Spectrum using ICA	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEEE	6. 最初と最後の頁 134402-034412
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/ACCESS.2021.3115760	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 中本高道	4. 巻 26
2. 論文標題 ウェアブル嗅覚ディスプレイ	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 日本バーチャルリアリティ学会誌	6. 最初と最後の頁 24-27
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.18974/jvrsj.26.3_24	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

[学会発表] 計26件(うち招待講演 4件/うち国際学会 6件)

1. 発表者名 Toshiki Kawamoto, Masaki Tashiro, Takamichi Nakamoto, Manabu Okumura
2. 発表標題 Creating Linguistic Embedding Space for Odors
3. 学会等名 International Symposium on Olfaction & Electronic Noses (国際学会)
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 Aleixandre Manuel, Prasetyawan Dani, Nakamoto Takamichi,
2. 発表標題 Odor Synthesis Method Based on Odor Components Using Deep Neural Networks
3. 学会等名 電気学会ケミカルセンサ研究会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 Ziteng Bao, Manuel Aleixandre, Takamichi Nakamoto
2. 発表標題 Quantification of Ternary Gas Mixture Based on Active Sensing Method Using QCM Sensor Array
3. 学会等名 電気学会全国大会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 原世紀, Dani Prasetyawan, 中本高道
2. 発表標題 機械学習を用いた精油の匂い記述子の予測
3. 学会等名 電気学会全国大会2024
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 Manuel Alexandre, Takamichi Nakamto
2. 発表標題 Translation of binary odor descriptors to continuous odor ratings
3. 学会等名 Sensor Symposium,
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 川本稔己, 田代真生, 中本高道, 奥村学
2. 発表標題 匂いに関する言語埋め込み空間の作成
3. 学会等名 2023年度人工知能学会全国大会 第37回
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Manuel Aleixandre, Takamichi Nakamoto
2. 発表標題 Online learning for active odor sensing system based on a sensor array
3. 学会等名 IEEJ workshop
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Dani Prasetyawan, Takamichi Nakamoto
2. 発表標題 Separation of Pure Perfume Mass Spectrum from Interferences Using ICA
3. 学会等名 International Symposium on Olfaction and Electronic Noses (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Nanxin Gong, Manuel Aleixandre, Takamichi Nakamoto
2. 発表標題 Odor Recorder Based on an Array of QCM Sensors Using Both Frequency Shifts and Resistance Changes
3. 学会等名 IEEJ Chemical sensor workshop
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 林寛人、中本高道
2. 発表標題 20成分調合嗅覚ディスプレイの特性最適化
3. 学会等名 日本VR学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Nanxin Gong, Manuel Aleixandre, Takamichi Nakamoto
2. 発表標題 Odor Recorder Based on an Array of QCM Sensors Using Frequency Shifts and Resistance Changes of Multiple Harmonics
3. 学会等名 IEEE Sensors (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yuzhi Wang, Takamichi Nakamoto and Hiroaki Matsunami
2. 発表標題 Prediction of Mouse Olfactory Receptor Response to Single Compounds and Mixture
3. 学会等名 電気学会E部門総合研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 中本高道
2. 発表標題 要素臭を用いた香りの再現
3. 学会等名 嗅覚に切り込むアートセミナー、東京大学教養学部付属教養教育高度化機構、SHIBUYA QWS Innovation協会（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 長谷部大祐、中本高道
2. 発表標題 マスペクトルデータと機械学習を用いた匂い印象予測モデルの性能向上
3. 学会等名 センサ・マイクロシステムと応用システム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Daisuke Hasebe, Takamichi Nakamoto
2. 発表標題 A Model to Predict Mass Spectrum from Odor Impression using Deep Neural Network
3. 学会等名 IEEE Sensors 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 八山広野、横式康史、中本高道
2. 発表標題 インクジェット素子とSAW霧化器を用いた嗅覚ディスプレイ
3. 学会等名 日本バーチャルリアリティ学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 羽生雪子、中本高道
2. 発表標題 ウェアラブル嗅覚ディスプレイにおける呼吸同期匂い提示の検討
3. 学会等名 日本バーチャルリアリティ学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Saya Onai, Nathan Cohen, Takamichi Nakamoto
2. 発表標題 The Aromatic Garden Exploring new ways to interactively interpret narratives combining olfaction and vision including temporal change of scents using olfactory display
3. 学会等名 SIGGRAPH Asia (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 N.Cohen, S.Onai, T.Nakamoto
2. 発表標題 The Aromatic Garden - Exploring a new way to interactively engage with narrative environments combining olfaction and vision
3. 学会等名 4th Renewable Futures conference 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 中本高道
2. 発表標題 多次元データ解析を用いた香りの再現
3. 学会等名 理研シンポジウム (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 中本高道
2. 発表標題 デジタル嗅覚技術の最前線
3. 学会等名 日本信号テクニカルフォーラム（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yuzhi Wang, Takamichi Nakamoto, Hiroaki Matsunami
2. 発表標題 Method to Explore Odor Components using Olfactory Receptor Response
3. 学会等名 電気学会全国大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 柏木雄介, プラセティアワンダニー, 中本高道
2. 発表標題 独立成分分析を用いた香気成分マスペクトル抽出方法の検討
3. 学会等名 電気学会全国大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Dani Prasetyawan・中本高道
2. 発表標題 Extraction of Perfume Mass Spectrometry with Independent Component Analysis
3. 学会等名 電気学会全国大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Tanoy Debnath・Takamichi Nakamoto
2. 発表標題 Inverse method to predict Mass Spectrum for binary Odor Descriptor using Machine Learning
3. 学会等名 電気学会全国大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 中本高道
2. 発表標題 多次元データ解析による嗅覚情報処理
3. 学会等名 センサ&IoTコンソーシアム(招待講演)
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計5件

1. 著者名 中本高道	4. 発行年 2022年
2. 出版社 株式会社情報機構	5. 総ページ数 11
3. 書名 嗅覚ディスプレイとは、<Q&Aで理解する> におい分析・評価・コントロール事例集	

1. 著者名 伊関方晶、中本高道	4. 発行年 2022年
2. 出版社 CMC出版	5. 総ページ数 11
3. 書名 嗅覚ディスプレイの開発、おいしさの科学とフードテック最前線、都甲編	

1. 著者名 赤羽、高橋、佐藤、中本	4. 発行年 2021年
2. 出版社 技術情報協会	5. 総ページ数 13
3. 書名 嗅覚及び力覚インタフェースを用いたマルチモーダルVR環境の構築、VR/AR技術における感覚の提示、拡張技術と最新応用事例	

1. 著者名 中本高道	4. 発行年 2022年
2. 出版社 株式会社情報機構	5. 総ページ数 15
3. 書名 想定されるにおい分析以外の応用例とは 専門書【におい分析評価/対策事例と頻出Q & A集】	

1. 著者名 中本高道	4. 発行年 2022年
2. 出版社 株式会社情報機構	5. 総ページ数 8
3. 書名 国内外の開発動向と今後の課題とは 専門書【におい分析評価/対策事例と頻出Q & A集】	

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 香り発生装置	発明者 中本高道、八山広野	権利者 国立大学法人東京工業大学
産業財産権の種類、番号 特許、特願2021-089976	出願年 2021年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	奥村 学 (Okumura Manabu) (60214079)	東京工業大学・科学技術創成研究院・教授 (12608)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------