

補助事業番号 2017M-144
補助事業名 平成29年度 人工知能による高精度な電子鼻の作製と移動ロボットの鼻への応用補助事業
補助事業者名 大阪工業大学 味・テクス&デザイン工学部 システムデザイン工学科 大松 繁

1 研究の概要

本研究ではこれまであまり研究されていなかった嗅覚情報処理を人工知能の助けを借りて行う。まず、反応速度を速めたP型金属酸化物半導体ガスセンサを新たに開発し、それを用いた匂い計測とデータベースの構築を行う。つぎに、人工知能による特徴量抽出とそれを用いた階層型ニューラルネットワークによる匂い識別を行う電子鼻を作製する。さらに、その小型軽量化を図り、移動ロボットの鼻としてロボットに装着し、その性能評価を行う。

まず、反応速度の速いP型金属酸化物半導体ガスセンサを開発し、様々な異なる匂いに対応したセンサを多数アレイ状に配列した匂い計測装置を作製して種々の匂い計測を行い、そのデータベースを構築する。

そこで得られるデータはビッグデータであるため、匂い識別に必要な特徴量を抽出することが難しい。本研究では砂時計型ニューラルネットワークを基本とした人工知能をも用いて匂い識別に必要な特徴量を抽出する。

それを階層型ニューラルネットワークで学習し、匂い識別を行う電子鼻を作製する。この装置の小型軽量化を図り、ベクトル演算による高速化と高精度化図るためにFPGAを導入する。

さらに、小型軽量の電子鼻を移動ロボットに装着し、匂いの発生源や匂いの種類と濃度を特定する。また、似通った匂いで識別が困難な場合には、その情報をWiFiを経由してクラウドコンピュータに入力し、クラウドコンピューティングによる匂い識別の高精度化を図り、異臭の早期発見や空港での薬物検査など社会の安全・安心に寄与する。

2 研究の目的と背景

本研究の目的は匂い情報を計測する匂いセンサをP型酸化物半導体を用いて新たに作製し、匂いデータベースを構築する。さらに、人工知能を用いて匂い特徴量を抽出する。また、機械学習を匂いデータベースで得られた匂いデータベースに適用して、匂い識別器を作製する、さらに、匂い識別器の小型軽量化を図り、その匂い識別器を移動ロボットに装着し、匂い発生源探索を行い、人間社会の安全安心を確保することである。

人間は5感情報を巧みに用いて賢い意思決定や知的活動を行っている。5感情報の中で、嗅覚味覚情報は化学変化に基づいた情報処理であり、データの再現性が低く安定した情報収集が困難であるため、あまり研究されていなかった。しかし、人型ロボットの研究推進や五感情報を用いた情報の質を向上させるためには、味覚や嗅覚の情報を利用することが

必要である。このような状況下で、匂いセンサの開発とそれを用いた匂いデータベースに人工知能を用いて、高精度な匂い識別を行い、移動ロボットの鼻を構築し、上記の目的達成を行う。

3 研究内容

研究内容は、匂いセンサの製作、匂いデータ計測、匂いデータベースの構築、人工知能による匂い特徴量の抽出、匂い識別と匂い識別器の製作、匂い識別器の小型軽量化、移動ロボットの鼻として利用、匂いロボットの鼻の性能評価からなっている。具体的には次のようになっている。

(1) 匂いセンサの作製

① P型金属酸化半導体匂いセンサの開発

研究代表者による匂いセンサの開発とその性能評価を行った。この結、立ち上がり（吸着）特性および立下り（脱離）特性がいずれも優れた応答速度の向上が図られた。

(2) 匂いデータベースの構築

市販の匂いセンサ12個と本研究で作製した匂いセンサ12個を使用して匂い計測を行い、匂いデータベースを構築した。

② 匂い計測実験と匂いデータベースの構築

芳香族化合物、アロマ、アルコール化合物などに対して、様々な匂いとその濃度に対する匂いデータベースを構築した。

(3) 匂い特徴量の抽出と匂い識別器の小型軽量化

人工知能による匂い特徴量の抽出と匂い識別器の作製とその小型軽量化を行った。

③ 人工知能による匂い特徴量の抽出

砂時計型ニューラルネットワークを用いて、匂いの特徴量を抽出した。

④ 匂い特徴量を用いた匂い識別匂い特徴量を用いた匂い識別

化合物および様々な濃度に対する匂い特徴量を用いた匂い識別を行い、良好な識別結果を得た。

⑤ 匂い識別の小型軽量化

バズベリーパイとビーグルボーンブラックという2つの小型マイコンを用いて、匂い識別器の小型軽量化を図った。

(4) 移動ロボットの導入による匂い検知能力の検討と匂いのクラウド化

移動ロボットの鼻として用いた場合の検知能力について検討した。

⑥ ロボットの鼻の作製とその機能調査

移動ロボットに装着するロボットの鼻について検討し、既存の人型ロボットNAOの購入を検討したが、資金とロボット機能についてマスターするのに時間を要することなどで、今回は購入を見送ることとした。それに代わる移動ロボット

として、AIBOを購入した。

いずれのロボットもハードウェアの開示がなされていないため、手探り状態となった。

匂いの源を探るために、AIBOを回転させて匂いの源を突き止める方法を考えたが、匂い濃度が低い時にはご識別が多く出た。

⑦ 移動ロボットの鼻の実験と識別器のクラウド化

移動ロボットの鼻の実験を積み重ね、WiFi接続でクラウド情報を利用して、この誤識別の改善と移動ロボットの運動制御について考察中が現状である。

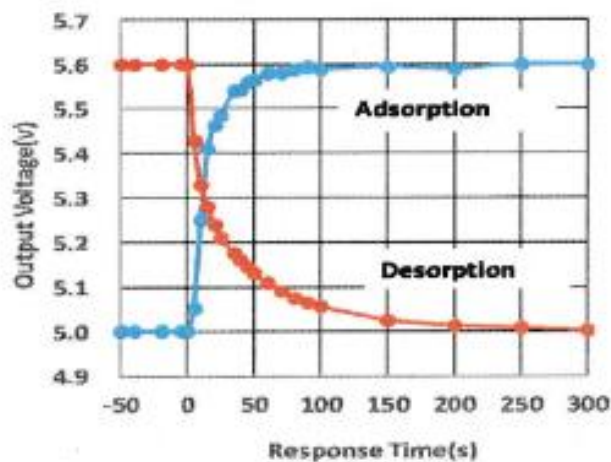


図1. ガスセンサの匂い分子の吸着特性（水色）と脱離特性（オレンジ色）

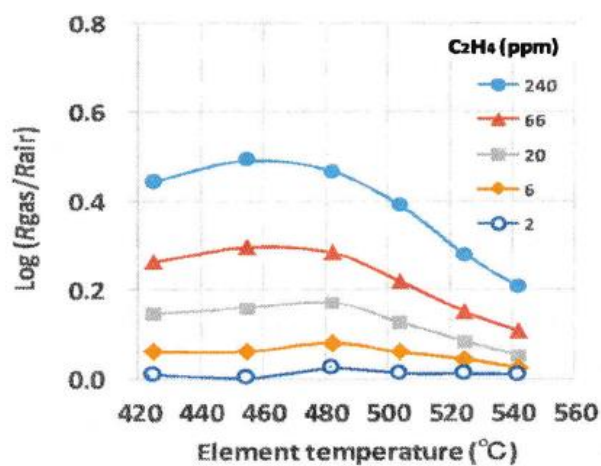


図2. ガスセンサの温度対抵抗の特性



図3. 超高速並列計算機：左右の計算機が作業分担して並列演算を行っている

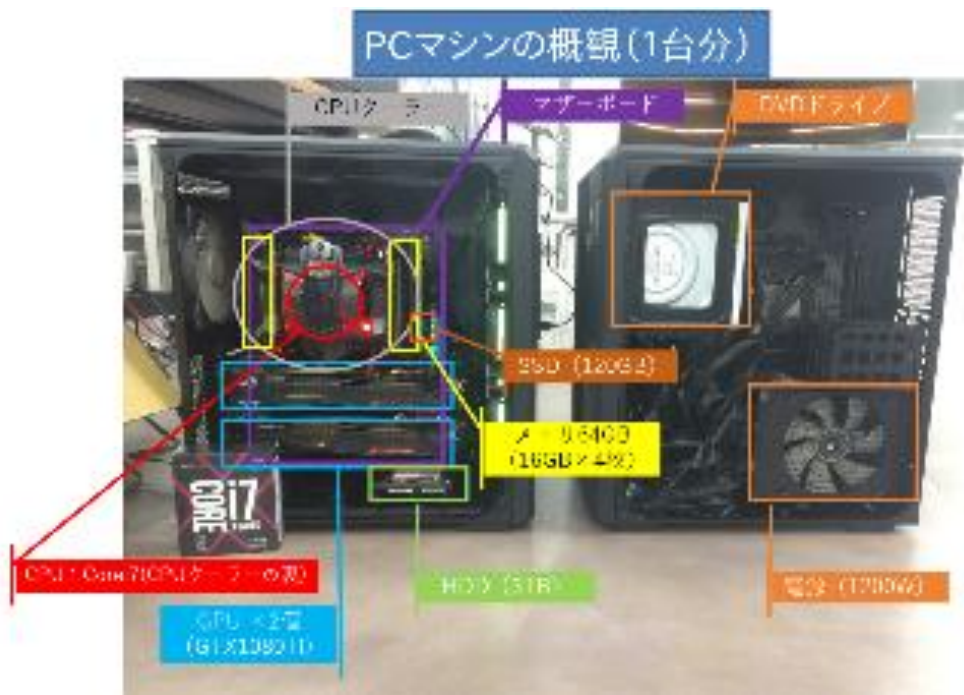


図4. 並列計算機の1台分の概観

0

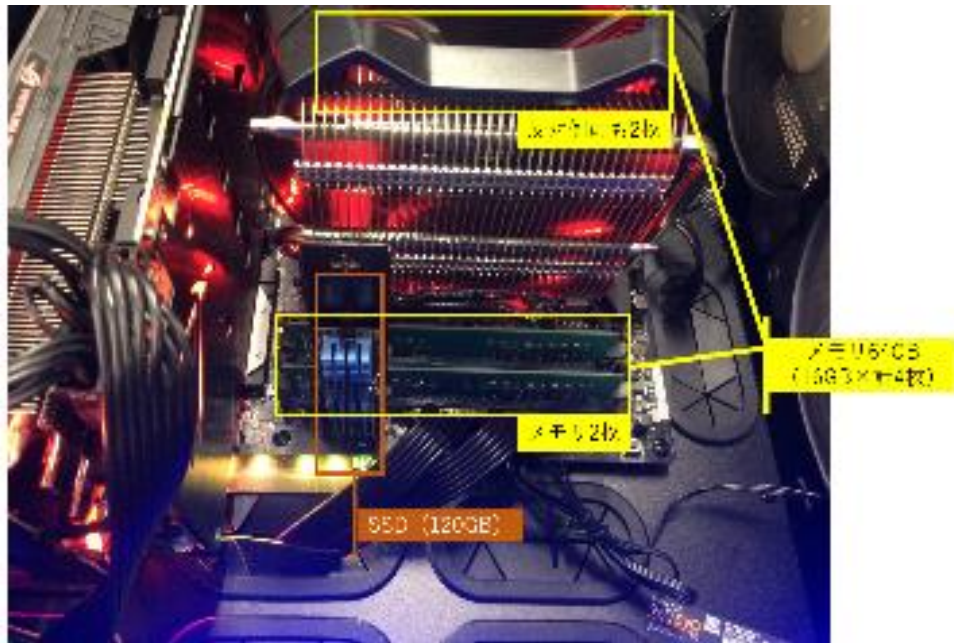


図5. 並列計算機1台のメモリ一部

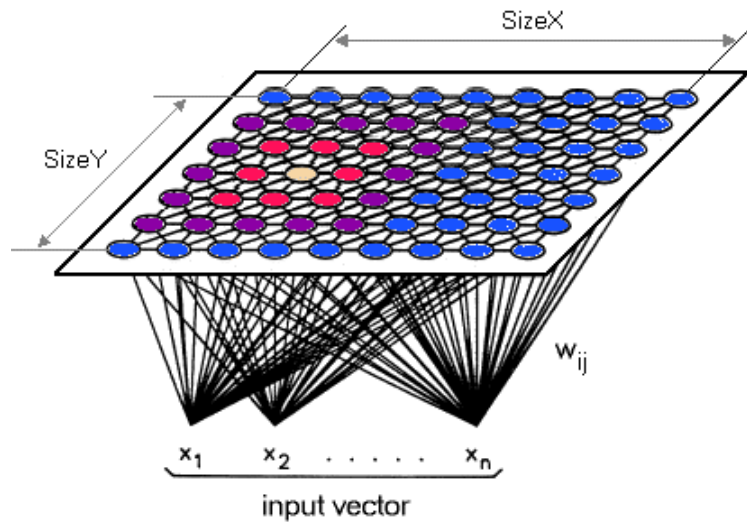


図6. 使用した自己組織化特徴地図の構造

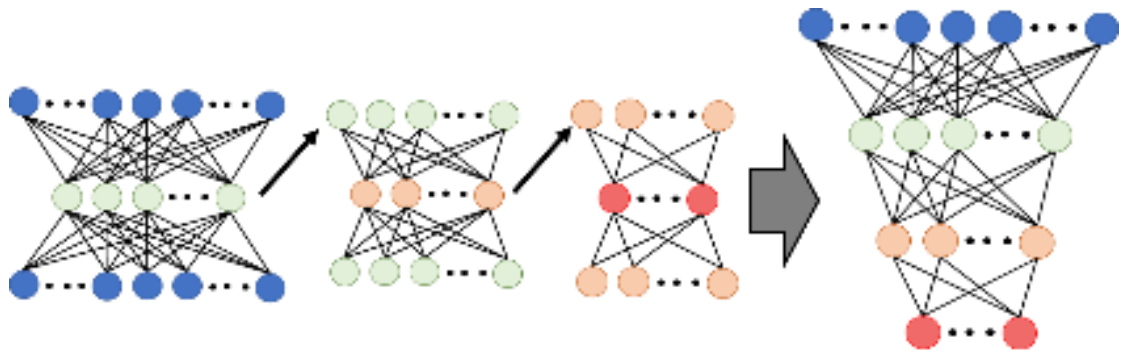


図7. 匂いの特徴量抽出法

表1. 匂い識別用サンプル（アロマオイル）

No.	品番	名称
1	0153	Ocean
2	1095	Fresh valve coffee
3	1104	Juniper Aloe
4	1105	Green tea & Lemongrass
5	1444	Green tea & Lemongrass, Cedarwood
6	1514	Spring bloom
7	1524	Orange spice
8	1533	China Rain
9	1551	White Cashmere
10	1562	White tea & Thyme
11	1595	Summer Symphony
12	1649	Green Bamboo

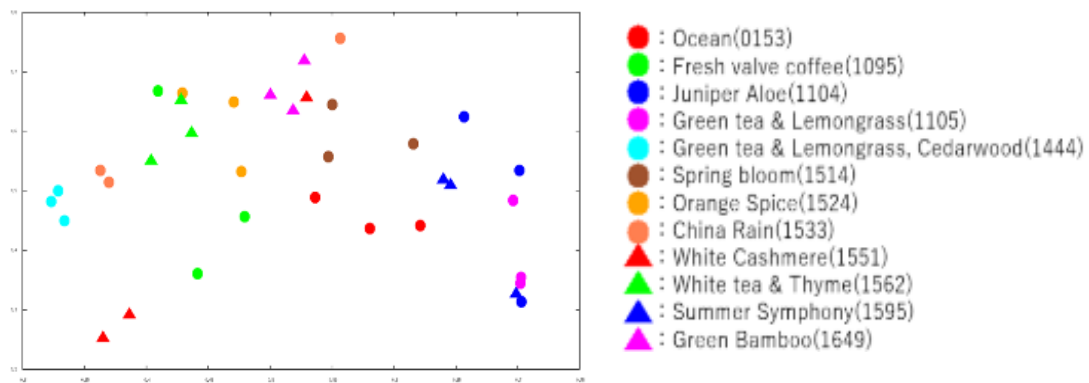


図8. 匂いデータの特徴分布

表2. アロマオイルのクラスタリング

クラス	センサ番号	アロマオイル
1	2, 8, 10, 11, 12	Ocean(0153) Spring bloom(1514) Green Bamboo(1649)
2	1, 2, 5, 8, 12	Fresh valve coffee(1095) Orange Spice(1524) White tea & Thyme(1562)
3	5, 8, 10, 11, 12	Juniper Aloe(1104) Green tea & Lemongrass(1105) Summer Symphony(1595)
4	2, 5, 6, 7, 12	Green tea & Lemongrass, cedarwood(1444) China Rain(1533) White Cashmere(1551)

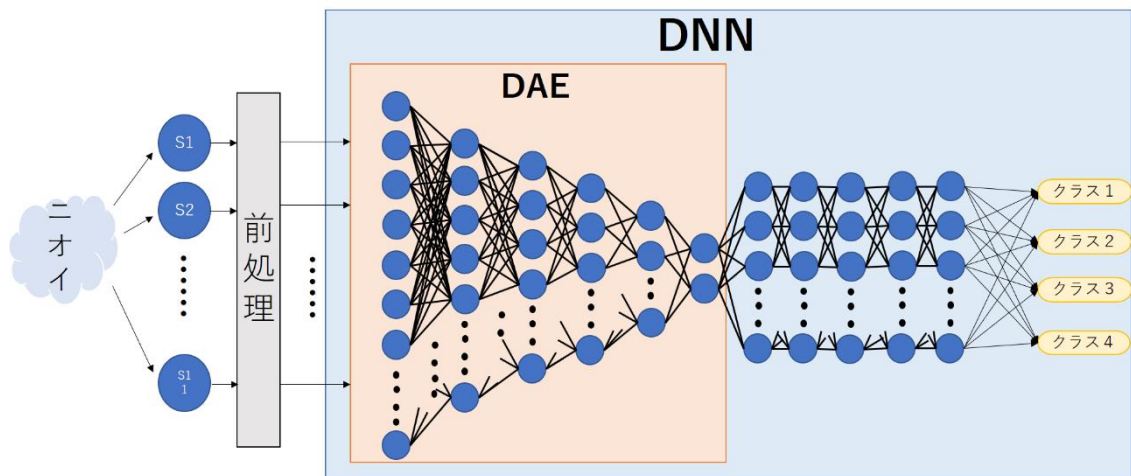
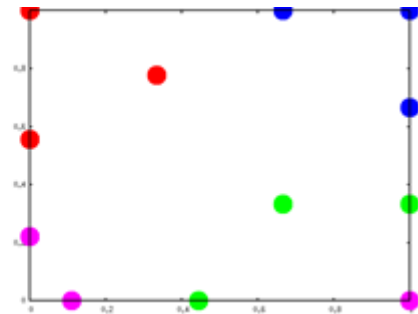


図9. 深層学習ニューラルネットワークの構造

- クラス 1
- : Ocean(0153)
 - : Juniper Aloe(1104)
 - : Orange Spice(1524)
 - : Green Bamboo(1649)



- クラス 2
- : Fresh valve coffee(1095)
 - : Green tea & Lemongrass, Cedarwood(1444)
 - : White tea & Thyme(1562)

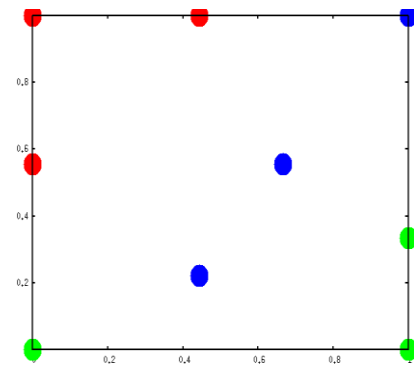
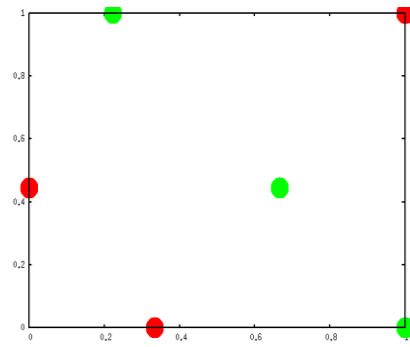


図10. クラス1とクラス2の特徴分布図

クラス 3

- : Green tea & Lemongrass(1105)
- : Spring bloom(1514)



クラス4

- : China Rain(1533)
- : White Cashmere(1551)
- : Summer Symphony(1595)

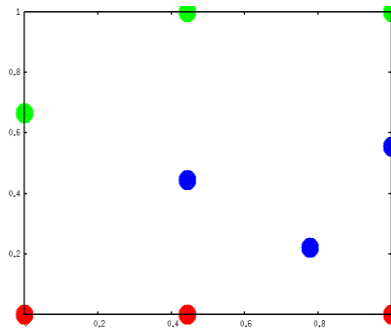


図 1 1. クラス 3 とクラス 4 の特徴分布図

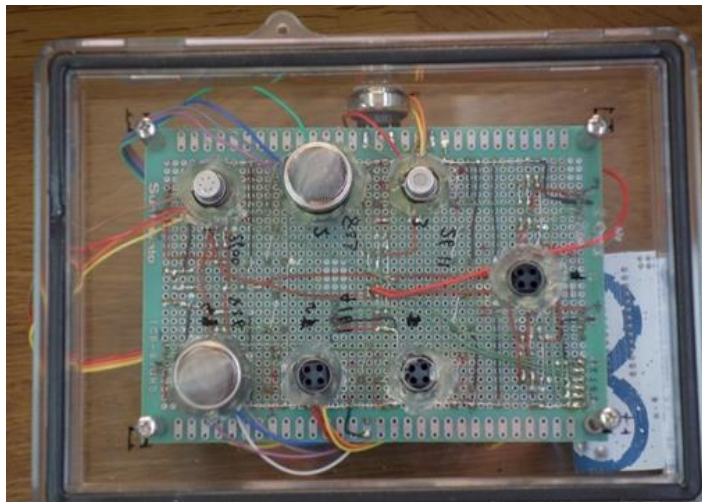


図 1 2 作製した小型匂いセンシングシステム

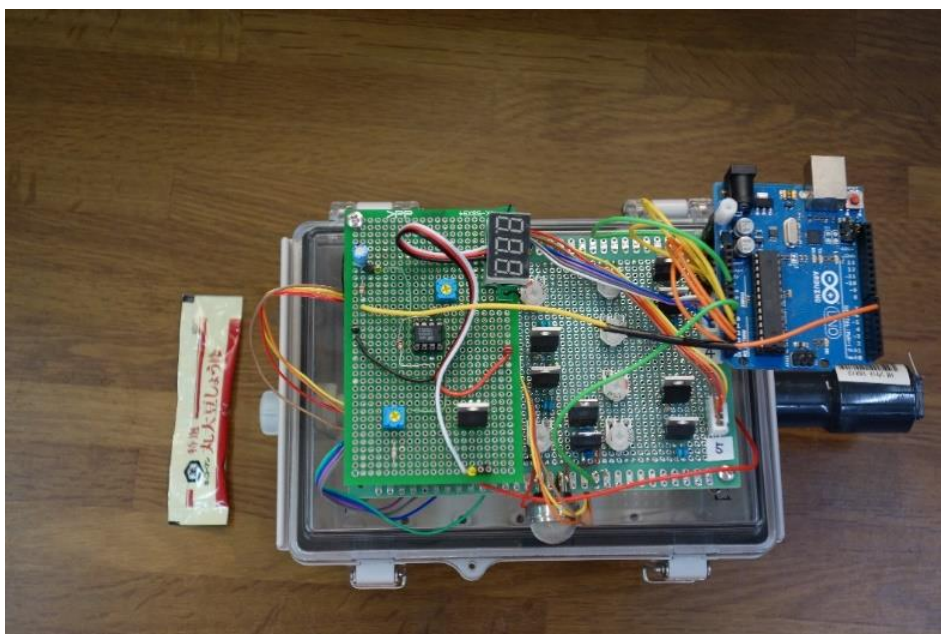


図 1 3 作製した匂い識別システム



図 1 4 匂い計測・識別器とKunkun body



(a) 充電中



(b) 匂い探索中

図 1 5 移動ロボットAIBO

4 本研究が実社会にどう活かされるか—展望

本研究はこれまであまり注目されなかった匂い情報処理に関するもので、研究者も少ない。しかし、人間が生きてゆく過程で匂い情報がなければ、無味乾燥な情景が目に見え、例えば、嗅覚と相関が強い味覚の識別が困難になり、高級な寿司を食べてもその味がわからず、食の楽しみを享受できない。お酒やワインの香り等々も区別できないなど嗅覚情報が有している情報の価値は大きく、人間の生活の幅を広げてくれている。このような動機で匂い研究を始めたが、研究者の数は相変わらず増えていない。そこで考えたのが、鼻を有するロボットの作製であり、匂いをかぎ分けるロボットの開発を夢見て、匂い情報処理の原理などを考えてきた。今回、多額の研究費を頂くことができたので、匂いセンサ、匂い計測、匂い識別などの研究を行い、国際会議に度々出席し、世界の匂い研究を調査することができた。また、匂い情報処理として、コニカミノルタ（株）が共同研究を申請して頂いたので、研究の励みとなっている。

以上のような環境下で、今回の補助により、鼻を有するロボットの開発にチャレンジする動機付けを与えて頂いた。しかしながら、人型ロボットの鼻を作りたいと思い、まず、匂いセンサの開発、匂い計測、匂い識別までは十分にできるようになったが、小型軽量化やロボットの鼻の信号をロボットの行動（運動制御）と関連付けるには、ロボットのハードウェアや高度な通信技術やより深いハードウェアの知識が必要になっている。これが統一的に理解できるようになれば、

匂いを感じるロボットの作製は可能になると思われる。

5 教歴・研究歴の流れにおける今回研究の位置づけ

2000年4月から匂い研究に着手した。動機はタイ国からの留学生が博士課程に入学し、バンコクで川の臭さがすごいのが何ら手を打っていないので、匂いを測る研究をしたいという申し出があったことによる。2004年にリチャード・アクセルとリンダ・バック博士が嗅覚受容体の発見でノーベル医学生理学賞を受賞したが、それ以降とくに研究が進んだようには思われなかった。2010年に大阪府立大学を定年退職し、大阪工業大学に特任教授として勤務した。そこで、ナノ材料研究所の先生方と匂いセンサの作製法に着手し、電気学術振興賞・進歩賞（電気学会）2011年や文部科学大臣表彰 科学技術賞（研究部門）2011年などを受賞し、匂い情報処理の研究を継続し、2019年3月に同大学を退職し、現在、広島大学特任教授となって現在に至っている。

私立大学の特徴として、特定の人をマスコミ用に取り上げる傾向が強く、その1人として匂い情報処理の研究者として宣伝して頂いた。匂いの計測や識別ができるということをもマスコミ主導でいろいろと宣伝して頂いたお陰で、匂い研究者が居ることが知られてきた。申請者の名前よりも、研究を宣伝して頂いたので、少しは匂い研究にご理解頂けたように思っている。

広島大学では、研究のレベルが正当に評価されるのでロボットの鼻をハードとソフトの両面から徐々に詰めてゆく計画を立てて研究中であるので、精度の良いロボットの鼻を数年内に完成する積りで研究に着手したところである。

6 本研究にかかわる知財・発表論文等

代表的な論文は、別添、したように16件である。この中で、掲載決定論文は資料 no. 15 と資料 no. 16 であり、資料 no. 9 は2018年9月に最優秀論文賞を受賞している。

7 補助事業に係る成果物

とくに、なし

8 事業内容についての問い合わせ先

所属機関名： 広島大学（補助事業実施期間：大阪工業大学）

デジタルものづくり教育研究センター

データ駆動型スマートシステム部門

（デジタルモノづくりキョウイクケンキュウセンター

データドウガタキョウイクケンキュウブモン）

住 所： 〒739-8521

東広島市鏡山一丁目3番2号

担 当 者： 産学官連携担当主幹 小畑 由美子（オバタ ユミコ）

担当部署： 広島大学社会産学連携室 社会産学連携部
E-mail: syakai-dejital@office.hiroshima-u.ac.jp
U R L : <https://commu.office.hiroshima-u.ac.jp/>