

調査報告書 2023年7月発行

におい検知の可視化 2023

～ においの検出・伝送と再現を実現するデジタル嗅覚テクノロジー ～

SAMPLE

企画・調査・編集

株式会社ふじわらロスチャイルドリミテッド

〒101-0031

東京都千代田区東神田 2-8-1 TSR 第2ビル

Tel: 03-5821-3993 Fax: 03-5821-4030

E-mail: info@fujiroth.com

Website: <http://www.fujiroth.com/>

目次

1.	本調査レポートの背景および定義.....	10
1.1.	本調査レポートの背景と調査対象.....	10
2.	Executive Summary.....	14
3.	におい関連ビジネスの大きな方向性.....	15
3.1.	においの検出・伝送・再現に係るビジネスの全体像.....	15
3.2.	「においのデジタル検出技術」の概要.....	16
3.3.	においのデジタル伝送と再現技術の概要.....	18
3.3.1.1.	デジタル嗅覚の台頭 (Business Scents: The Rise of Digital Olfaction)	18
4.	においのデジタル検出と分析.....	24
4.1.	においセンサ概論.....	24
4.1.1.	においセンサの特徴と課題.....	25
4.1.1.1.	ガス、におい検知の動向、方式分類、目的、感度、アプリマップ.....	25
4.1.1.2.	ガス、においの単位と各種数値.....	27
4.1.1.3.	検知閾値、認知閾値.....	28
4.1.1.4.	現状のにおい分析手段 (B2B)	29
4.1.1.5.	におい・嗅覚 関連団体/業界団体.....	30
4.1.2.	においセンサの技術概要.....	32
4.1.2.1.	においセンサの構成.....	32
4.1.2.2.	人間の嗅覚の仕組みとデバイスによる模倣.....	32
4.1.2.3.	においセンサのキーテクノロジーと構成.....	34
4.1.2.4.	ガス・においセンサのトランスデューサ技術分類.....	35
4.1.3.	それぞれのトランスデューサの原理概論.....	36
4.2.	においセンサの開発と社会実装の現状.....	45
4.2.1.	におい検知のための新たなセンシング技術の研究動向.....	45
4.2.1.1.	研究で多用される e-nose の例.....	45
4.2.2.	新たなセンシング技術の研究動向 (論文・特許)	50
4.2.3.	国内外における研究開発機関・企業の取り組み.....	67
4.2.3.1.	国内研究開発動向 (大学・研究機関)	67
4.2.3.2.	国内研究開発・実用化動向 (企業)	73
4.2.3.3.	呼吸に関する研究開発動向 (大学・研究機関)	79
4.2.3.4.	海外研究開発動向 (大学・研究機関)	84
4.2.3.5.	海外研究開発・実用化動向 (企業)	85
4.2.3.6.	その他のセンサリスト.....	103
4.2.3.7.	ガスセンサ製品例.....	104
4.2.4.	においセンサ用 AI 開発の動向.....	104
4.2.4.1.	AI 開発の研究動向 (レビュー論文・特許)	104
4.2.4.2.	AI 開発の研究開発・実用化動向 (大学・研究機関、企業)	117
4.2.4.3.	二オイ分析系搭載のある AI ベンダリスト.....	134
4.3.	マルチセンサアレイにおいセンサのアプリケーション.....	136
4.3.1.	アプリケーションの可能性と分類.....	136
4.3.1.1.	においセンサの技術特徴とアプリケーション分野との関係.....	136
4.3.1.2.	においセンサの設計方向とアプリケーション分野との関係.....	137
4.3.1.3.	広範な嗅覚能力獲得のための開発内容.....	137
4.4.	現在のにおいセンサ社会実装における課題.....	139
4.4.1.	課題感 概要.....	139
4.4.2.	においの見える化が難しい理由 (におい化学研究所 喜多氏)	139
4.4.3.	においセンサの技術的課題と実装のための調査.....	140
4.4.3.1.	においセンサの技術的課題.....	140
4.4.3.2.	においセンサ実装の課題につながる研究例.....	141
4.4.4.	市場導入のためのにおいセンサ設計とアプリケーション.....	159
4.4.5.	においセンサのビジネス上の課題感.....	160
4.4.6.	においセンサの社会実装に帯する事業者の認識.....	160
4.4.7.	社会実装における事業者の声と改善・最適化の方向性.....	161
5.	においのデジタル伝送と再現.....	162

～ においの検出・伝送と再現を実現するデジタル嗅覚テクノロジー ～

5.1.	においのデジタル伝送と再現の概要	162
5.1.1.	香りを捕獲・分類・伝送・再現するデジタル嗅覚に関する調査文献	162
5.1.2.	多様なにおい再現のための手法 主要な例	166
5.1.3.	においの持つ意味合いと役割 (学問的な背景など)	169
5.1.3.1.	嗅覚とメンタルヘルスの関係	169
5.2.	においのデジタルデータベース化と伝送	173
5.2.1.	においのデジタルデータベース化と伝送 概要例	173
5.2.2.	デジタルデータベース化のためのにおい検知手段	173
5.2.3.	データベース実用例 (研究含む)	175
5.2.4.	データベース研究例	177
5.2.4.1.	ヒトの嗅覚知覚における多様なタスクを統合するプリンシパルオールドマップ	177
5.2.4.2.	におい、におい物質、嗅覚受容体、におい物質と受容体の相互作用を探索するためのリポジトリ	178
5.2.4.3.	代謝活動が嗅覚の表象を体系づける	188
5.3.	ディフューザ (Scent Release device)	190
5.3.1.	ディフューザ例	190
5.3.2.	ディフューザの例	191
5.4.	ディフューザのアプリケーション	194
6.	においの検出・伝送と再現の市場規模	196
6.1.	におい検知の市場	196
6.1.1.	世界市場規模	196
6.2.	アプリケーション分類による世界市場規模の具体的推定	198
6.2.1.	分類ごとの市場規模推移	198
6.2.2.	分類別の詳細市場規模推移	200
6.3.	デジタルディフューザ機器市場	204
6.4.	まとめ 「においの検出・伝送と再現」の市場規模	205

図表

FIG. 1	人間の嗅覚反応とにおいの検出・伝送と再現に関する嗅覚テクノロジー	11
FIG. 2	におい計測の重要な方向性	12
FIG. 3	本レポートの対象となるにおいセンサの形状分類	12
FIG. 4	においビジネス全体像	16
FIG. 5	The Rise of Digital Olfaction	19
FIG. 6	香り4.0 研究会	22
FIG. 7	香り4.0 研究会 香りの知覚	22
FIG. 8	香り4.0 研究会 香り×人間情報データベースの構築	23
FIG. 9	ガス・におい検知開発動向	25
FIG. 10	ガス検知・におい検知 方式と目的	26
FIG. 11	本調査が対象とするにおい濃度とアプリケーション	26
FIG. 12	臭気濃度、臭気指数	27
FIG. 13	においを表わす単位	27
FIG. 14	B2Bにおけるガス・においの分析	30
FIG. 15	現場ガス分析事例	30
FIG. 16	人間の嗅覚の仕組みとデバイスによる模倣	33
FIG. 17	人間の嗅覚の仕組みとデバイスによる模倣 (新村 東京医科歯科大学)	33
FIG. 18	デバイスによる模倣 (マルチセンサアレイ)	34
FIG. 19	においセンサのテクノロジー	34
FIG. 20	においセンサ参入企業の役割分担	35
FIG. 21	ガス・においセンサのトランスデューサ技術分類	35
FIG. 22	金属酸化物半導体	38
FIG. 23	検出原理 QCM,SAW	39
FIG. 24	SPRセンサ	40
FIG. 25	Bio-Inspired Strategies: A Review	44
FIG. 26	gas sensors based on nanostructured materials	50
FIG. 27	FET gas sensors	51
FIG. 28	QCM based gas sensors	52
FIG. 29	Nanomaerial-based sensors for VOC detection	54
FIG. 30	固体シリコンナノワイヤベースセンサ	56
FIG. 31	Medical Care	58

～ においの検出・伝送と再現を実現するデジタル嗅覚テクノロジー ～

FIG. 32	脂質二重膜に再構成された昆虫嗅覚受容体を用いた高感度 VOC 検出器	62
FIG. 33	脂質二重膜に再構成された昆虫嗅覚受容体を用いた高感度 VOC 検出器	63
FIG. 34	Low Cost Optical Electronic Nose for Biomedical Applications	66
FIG. 35	九州大学 今井研究室	68
FIG. 36	MSS (Membrane-type Surface stress Sensor)	69
FIG. 37	NanoWorld/東陽テクニカ	70
FIG. 38	アロマビット QCM 型と CMOS 型	71
FIG. 39	株式会社アロマビット 小型ニオイセンサ 5C-SSM	71
FIG. 40	Aroma Coder V2	72
FIG. 41	コンセプトモデル「AROMAROID」	73
FIG. 42	JAIST-太陽秀電 においセンサの共同開発	75
FIG. 43	nose@MEMS	76
FIG. 44	noseStick	76
FIG. 45	新 Kunkun dental	77
FIG. 46	欧州における疾病検出においセンサの研究団体	79
FIG. 47	The schematic overview	80
FIG. 48	Owlstone Technology	81
FIG. 49	Technion	82
FIG. 50	Sniffphone	83
FIG. 51	CEA-Leti (France, 電子情報技術研究所)	84
FIG. 52	Nanoscent	87
FIG. 53	DOAC members	87
FIG. 54	Aryballe Si-Ph Olfactory sensor-1	90
FIG. 55	Aryballe Si-Ph Olfactory sensor-1	90
FIG. 56	DEVICES AND METHODS TO COMBINE NEURONS WITH SILICON DEVICES CROSS-REFERENCE	93
FIG. 57	Koniku Scent-Detecting Device	94
FIG. 58	BRAIN CELL COMPUTER CHIP COULD CONTROL DRONES	95
FIG. 59	Sensigent	96
FIG. 60	Sensigent データ分析	97
FIG. 61	Nanosniff	97
FIG. 62	NanoSniffer 微量爆発物検出	98
FIG. 63	Foodsniffer	99
FIG. 64	Results Foodsniffer	102
FIG. 65	The e-nose Company	103
FIG. 66	Data Processing	107
FIG. 67	Electronic Nose and Its Applications: A Survey-1	110
FIG. 68	Electronic Nose and Its Applications: A Survey-2	113
FIG. 69	Current e-nose applications	113
FIG. 70	Challenges in e-nose systems	114
FIG. 71	生物由来の人工細胞と AI を組み合わせた人工嗅覚	119
FIG. 72	Continuous prediction in chemoresistive gas sensors using reservoir computing	120
FIG. 73	MSS/大阪大学の AI 研究	122
FIG. 74	ガス流量制御無しの変換数比に基づくフリーハンドのガス識別	123
FIG. 75	NEC においの電子化～ 分析技術	124
FIG. 76	最先端嗅覚 IoT センサに基づくにおいデータマイニング	124
FIG. 77	NEC 異種混合学習技術	125
FIG. 78	Using Deep Learning to Predict the Olfactory Properties of Molecules	127
FIG. 79	Machine learning (Google)	130
FIG. 80	Headwaters	134
FIG. 81	においセンサの技術特徴とアプリケーション分野との関係	136
FIG. 82	デバイス設計特徴とアプリケーション分類の関係	137
FIG. 83	センサ素子数 (感応膜種類数) の増加による高性能化	138
FIG. 84	においセンサ 技術課題	140
FIG. 85	Artificial olfactory sensor technology that mimics the olfactory mechanism: a comprehensive review	141
FIG. 86	A LITERATURE REVIEW OF SCENT TECHNOLOGY AND ANALYSIS ON DIGITAL SMELL	144
FIG. 87	機械学習によるスマート e-nose 技術の進展	145
FIG. 88	Summary Receiver Operating Characteristic (SROC) Curve Analysis of All Electronic Noses	157
FIG. 89	Applications of E-nose for fermented food and beverage	158
FIG. 90	デバイス設計とアプリケーションの関連性	159
FIG. 91	においセンサのビジネス上の課題感	160

～ においの検出・伝送と再現を実現するデジタル嗅覚テクノロジー ～

FIG. 92	社会実装における事業者の声と改善・最適化の方向性	161
FIG. 93	多様なにおい再現のための手法 主要な例	167
FIG. 94	NIMS 擬嗅臭の判定-1	167
FIG. 95	NIMS 擬嗅臭の判定-2	168
FIG. 96	嗅覚ディスプレイ-1	168
FIG. 97	嗅覚ディスプレイ-2	169
FIG. 98	嗅覚とメンタルヘルスの関係	170
FIG. 99	Olfactory Virtual Reality (OVR) for Wellbeing and Reduction of Stress, Anxiety and Pain	171
FIG. 100	各社のデフューザーを構成するセンサ・DB・デフューザー 代表的な例	173
FIG. 101	ヒト嗅覚システムを再現したにおいセンサーの開発	174
FIG. 102	REVORN	175
FIG. 103	香味発酵株式会社	175
FIG. 104	香味発酵 においの数値化でできること	176
FIG. 105	NTT データ×香味発酵	176
FIG. 106	A Principal Odor Map Unifies Diverse Tasks in Human Olfactory Perception 要約	177
FIG. 107	A Principal Odor Map Unifies Diverse Tasks (図1)	178
FIG. 108	OlfactionBase	178
FIG. 109	NanoSmells: Artificial remote-controlled odorants	181
FIG. 110	Predicting natural language descriptions of mono-molecular odorants	182
FIG. 111	Predicting natural language descriptions of mono-molecular odorants (図1)	183
FIG. 112	Predictive modeling for odor character of a chemical using ML combined with natural language processing	185
FIG. 113	Metabolic activity organizes olfactory representations	188
FIG. 114	Metabolic activity organizes olfactory representations (図2)	189
FIG. 116	Aroma shooter	191
FIG. 117	Scentee Machina	191
FIG. 118	Remni SCENT	192
FIG. 119	におい提示装置	192
FIG. 120	OVR ION	193
FIG. 121	OLORAMA Technology	193
FIG. 122	Scentscape Bio-Media Application	194
FIG. 123	Scentscape Bio-Media	195
FIG. 124	においセンサの世界市場ポテンシャル	196
FIG. 125	においセンサの特徴によるアプリケーション分類	198
FIG. 126	分類と市場規模推移 (数量 (M))	199
FIG. 127	分類と市場規模推移 (金額 (億円))	199
FIG. 128	分類A アプリケーション別市場規模推移	200
FIG. 129	分類B アプリケーション別市場規模推移	201
FIG. 130	分類C アプリケーション別市場規模推移	202
FIG. 131	分類D アプリケーション別市場規模推移	203
FIG. 132	Scent synthesizer 市場規模推移	205
Table 1	生体ガス成分と検出濃度・検出意義	28
Table 2	におい成分の種類と認知閾値	28
Table 3	臭気強度と濃度の関係	29
Table 4	におい・嗅覚 業界団体	31
Table 5	におい・嗅覚 関連学会	31
Table 6	代表的なセンサアレイ向けトランスデューサの特徴と課題	36
Table 7	Sensor types and their properties	37
Table 8	Most known electronic noses	45
Table 9	Main applications of e-nose in disease diagnosis. N/A = not mentioned.	59
Table 10	国内研究機関の嗅覚研究の状況-1	67
Table 11	国内研究機関の嗅覚研究の状況-2	68
Table 12	国内各社のにおいセンサ開発・実用化動向	74
Table 13	呼吸センサ 研究・実用化の状況例	79
Table 14	海外研究機関の嗅覚研究の状況	84
Table 15	海外研究機関の嗅覚研究の状況-2	85
Table 16	海外各社のにおい・ガスセンサ開発・実用化状況-1	85
Table 17	海外各社のにおい・ガスセンサ開発・実用化状況-2	86
Table 18	Sensors and their applications in PEN3	101
Table 19	国内の口臭・体臭ガスセンサ 研究・実用化の状況例	103

Table 20	国内のガスセンサ 実用化の状況例.....	104
Table 21	嗅覚センサ AI 主な研究開発と実用化状況.....	117
Table 22	におい分析経験のある AI ベンダリスト.....	135
Table 23	Summary for drift compensation by ensemble.....	147
Table 24	Characteristics and Outcomes of All Studies Included in the Qualitative Analysis-1.....	154
Table 25	Characteristics and Outcomes of All Studies Included in the Qualitative Analysis-2.....	155
Table 26	Characteristics and Outcomes of All Studies Included in the Qualitative Analysis-3.....	156
Table 27	Characteristics and Outcomes of All Studies Included in the Qualitative Analysis-4.....	157
Table 28	デジタル香気技術の限界 (2017 年以降のみ)	165
Table 29	Summary of different databases related to olfaction.....	180
Table 30	各社のデیفューザ.....	190

1. 本調査レポートの背景および定義

1.1. 本調査レポートの背景と調査対象

本調査レポートは嗅覚関連ビジネスの全体像を対象として、「においのデジタル検出技術」と「においのデジタル伝送と再現」に着目し、現在の課題や将来動向を示す事を目的としている。

「においの可視化 2019～においセンサの研究開発と市場開拓の動向～」（第一弾）では、主にトランスデューサ開発動向に関して分析した。「においの可視化 2021～においセンサの研究開発と市場開拓の動向～」（第二弾）では、呼気・皮膚ガスによる疾病検知開発動向、自動車応用検討動向、データプロセッシング（AI）研究開発動向など多くの新たな動向分析を加えた。「においの可視化 2022～ ガスセンサを含むマルチセンサアレイにおいセンサのアプリケーション～」では、各種のアプリケーションへの応用を意図したマルチアレイにおいセンサの具体的な研究開発の動向を示すことに注力した。アプリケーション大分類を示した上で、特に、「医療用途」、「危険の検知」、「自動車」、「製造プロセス管理（品質管理：官能検査に於ける官能検査員においパネルの補助の分野を含む）」に重点を置いた。

本書「におい検知の可視化 2023～ おいへの検出・伝送と再現を実現するデジタル嗅覚テクノロジー～」では、デジタル嗅覚技術の進展に着目し、「においのデジタル検出技術」と「においのデジタル伝送と再現」における、現在の課題や将来動向を示す事を目的としている。

尚、第3章はにおいセンサの基本的な概論であるため、既刊の資料と同様の内容で残した。第4章の4.1～4.3は、既刊の資料内容に必要なアップデートを加えた。

まず「においのデジタル検出技術」においては、特ににおいセンサの市場動向と社会実装に於ける課題を中心にまとめている。

新たに求められているにおいセンサは、人間の嗅覚を模したマルチセンサアレイ方式を用いて、AI分析により、口臭・体臭や環境の空気質など、においの認識・識別を可能とするものである。また、マルチセンサアレイを用いて特定の物質の濃度を高感度・高選択性をもって検出し、例えば非侵襲の病気検出手法などその応用の拡大が期待されている。

例えば、各種業種の製造プロセスでは、品質管理に於ける官能検査があらゆる業種でおいパネルが重要な判断を下している。しかし官能分析は、人間の器官にある受容体（消費者の知覚）に基づいて製品の感知的品質を決定するための確立された方法だが、時間がかかり、主観的または偏った（パネルの結果に依存する）結果になることもある。においセンサで代替する場合の新たな課題は、人間が使用する豊富な記述子を、においセンサの反応に相関させることである。他のアプローチでは、自然言語記号を使用してにおいセンサの反応にパネルの反応に近い記述子を提供することが試みられている。

においの識別、分類にマルチセンサアレイを用いる検討が、日本を始めとする世界の複数の研究団体などの研究において一定の成果を上げ、その後多くの企業などで研究開発が活発化しており、一部実用化が始まっている。日本・海外ともにアプリケーションオリエンテッドな研究も多く発表されており、研究論文ではe-nose(電子鼻)と表現されることが多く、本書ではマルチセンサアレイ方式のにおい識別センサを論文の概要説明の際にe-noseと表現する場合がある。

小型・高感度なトランスデューサによるマルチセンサアレイ方式のにおい識別センサは、市場開拓の途上にあるが、有用でありながら、まだ期待通りの市場獲得の成果を得ていない。本書では、現状の社会実装に於ける課題を整理するとともに、それをベースに技術開発を含めた今後の市場導入の進むべき方向性としての業界動向を示した。また、におい識別のためのマルチセンサアレイ方式のデジタルにおいセンサに

関する、センサの出力をパターン分析するためのAIを含む各種手法や、実用化を目指す各種センサ方式の具体例な製品事例、研究事例は前号からの継続で動向を示した。

においセンサの応用用途は多岐に亘るため、においセンサの特徴からアプリケーションの大分類を作成し、大分類に基づき、「医療用途」、「危険の検知」、「自動車」、「製造プロセス管理（品質管理：官能検査に於ける官能検査員においパネルの補助の分野を含む）」、コンシューマ製品搭載など、関連する全てのアプリケーションを総合した市場規模予測を行っている。

次に「**においのデジタル伝送と再現**」において、現状のディフューザとは異なる進化したデジタルディフューザの研究動向と実現のための重要技術に関して整理している。

においは他の感覚による刺激とは異なり、強烈な情動や連想を即座に引き出し、その情動がもたらす生理的・行動的な反応を活性化する。においに対する感情反応は、高次の認知プロセスを介さずに瞬時に起こることである。香りはアロマセラピーにおけるリラクゼーション効果、集中力や認知機能の改善などの他、VRにおける空間のリアルな再現や、各種商業施設に於ける心地よい空間演出、ブランドアイデンティティの向上などの効果が期待できる。簡易なディフューザから業務用のディフューザまで既に様々な製品化がなされ、我々の生活に溶け込んでいる。

精密なにおいデータベースに基づき、その場の状況に応じて、適切な香りを現場で調合して再現することが可能になることにより、VRにおいてもリアル社会においても、その応用は更に拡大することが想定される。本書では、精密なにおいデータベースの構築法に関する各社・各研究機関の検討状況と各種のディフューザについて整理している。

人間の嗅覚反応とにおいの検出・伝送と再現に関する嗅覚テクノロジーの関連を次の図に示すが、本書では、デジタル嗅覚、デジタルディフューザに関わる最近の研究動向を整理している。同図では、においセンサを、社会実装用の社会実装においセンサとともに、においの再現に使用する要素臭の分析等が可能な分析情報を提供する精密なデジタル嗅覚センサについても言及している。

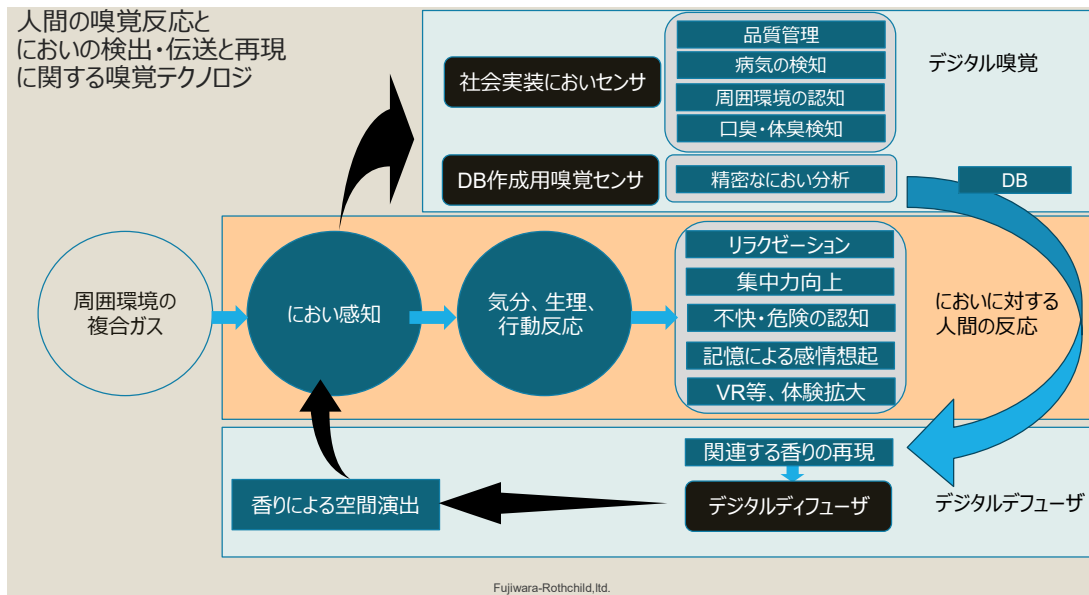
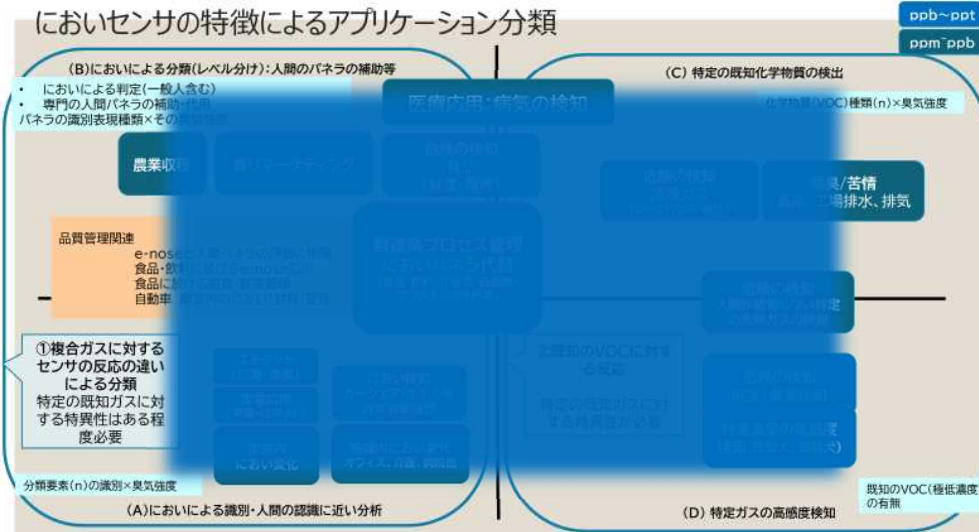


FIG. 1 人間の嗅覚反応とにおいの検出・伝送と再現に関する嗅覚テクノロジー

SUMMARY 参考図

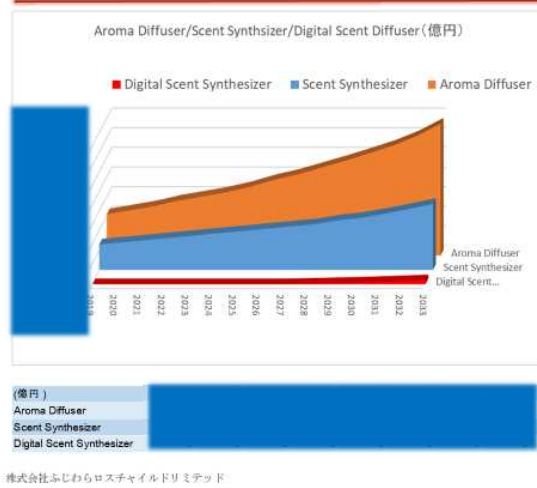
においセンサの特徴によるアプリケーション分類



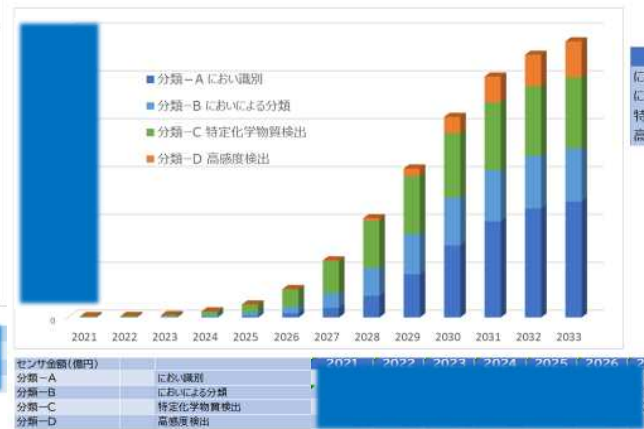
においの検出・伝送・再現に係る技術の全体像



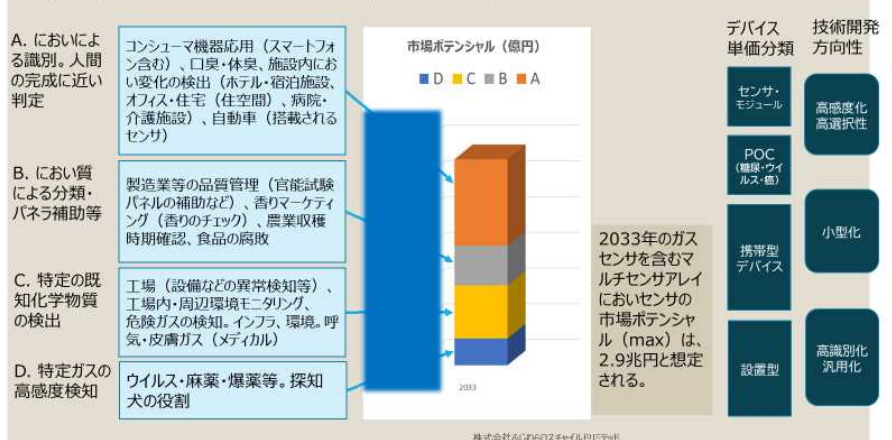
AROMA DIFFUSER/SCENT SYNTHESIZER/DIGITAL SCENT DIFFUSER



分類と市場規模推移(金額(億円))



マルチセンサアレイにおいセンサの2033年 世界市場ポテンシャル





「におい検知の可視化 2023」

～ においの検出・伝送と再現を実現するデジタル嗅覚テクノロジー ～

204 ページ

無断禁転載

株式会社ふじわらロスチャイルドリミテッド

2023 年 7 月発行

価格 電子ファイルのみ ¥600,000 ハードコピー及び電子ファイル ¥650,000