

調査報告書 2022年4月発行

におい検知の可視化 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対応 ～

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.	本調査の背景および定義	11
1.1.	本調査の背景	11
1.2.	本レポートの調査対象	12
2.	Executive Summary	14
3.	においセンサ概論	15
3.1.	においセンサ概論	15
3.2.	においセンサに要求されるシステム設計	15
3.3.	においセンサとアプリケーション対応	16
4.	においセンサの構成と一般情報	19
4.1.	ガス、におい検知の動向、方式分類、目的、感度、アプリマップ	19
4.1.1.	ガス・におい検知動向	19
4.1.2.	ガス・におい検知の方式と目的	19
4.1.3.	本調査が対象とするにおい濃度とアプリケーション	20
4.2.	ガス、においの単位と各種数値	21
	臭気濃度、臭気指数	21
4.3.	検知閾値、認知閾値	22
	物質の検出とその意義・目的	22
4.3.1.	VOCの指針、環境省の指針値	22
4.3.2.	臭気強度と濃度の関係	23
4.4.	現状のにおい分析手段（B2B）	23
4.5.	におい・嗅覚 関連団体／業界団体	24
4.6.	においセンサの技術概要	25
4.6.1.	においセンサの構成	25
4.6.2.	人間の嗅覚の仕組みとデバイスによる模倣	26
4.6.3.	においセンサのキーテクノロジーと構成	28
4.6.4.	においセンサの開発内容	29
4.7.	ガス・においセンサのトランスデューサ技術分類	29
4.7.1.	それぞれのトランスデューサの原理概論	30
5.	においセンサのアプリケーション開発・研究動向	39
5.1.	アプリケーションとおいセンサ機能の分類	39
5.2.	医療：VOCによる病気検知（高感度・高選択性）技術アプローチ	41
5.3.	医療：皮膚ガス検知の現状と可能性	41
5.3.1.	皮膚ガス検知概論	41
5.3.1.1.	皮膚ガスの放散経路	42
5.3.1.2.	皮膚ガス関連アプリケーション	43
5.3.1.3.	皮膚ガス計測機器	44
5.4.	医療：呼気による疾患検知	46
5.4.1.	呼気分析	46
5.4.1.1.	呼気分析 概論	46
5.4.1.2.	重要なバイオマーカーと疾患	46
5.4.1.3.	呼気による肺がん検知の精度	47
5.4.1.4.	GC-MS（gas chromatography-mass spectrometry）	48
5.4.1.5.	Colorimetric Sensors（比色センサ）	50
5.4.1.6.	GC-MSとe-noseの組合せ	51
5.4.1.7.	VOCの数と精度、及びセンサの種類と精度との相関関係	51
5.4.2.	呼気のおいによる疾患検知動向（研究事例）	53
5.4.2.1.	呼気による糖尿病の検知	53
5.4.2.2.	e-noseによる活動性結核の診断の検出	54
5.4.2.3.	がん	57
5.4.2.4.	膵臓癌と慢性膵炎	76
5.4.2.5.	胃がんの検出	76
5.4.2.6.	膵臓と大腸がんの検出	77
5.5.	品質管理関連アプリケーション	78
5.5.1.	パネラが行う官能検査 関連情報	78

～ 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対応 ～

5.5.2.	e-noseと人間パネルの評価の相関.....	80
5.5.3.	食品 (FOOD)	82
5.5.3.1.	食品品質のための e-nose レビュー	82
5.5.3.2.	チーズ.....	90
5.5.3.3.	茶の香り.....	92
5.5.3.4.	バジル.....	96
5.5.3.5.	ジュース.....	99
5.5.3.6.	多段階分類による食品臭の認識.....	106
5.5.3.7.	香辛料.....	110
5.5.3.8.	腐食・腐敗・鮮度検知.....	111
5.5.4.	自動車.....	119
5.5.4.1.	自動車のにおい評価法 国際規格.....	119
5.5.4.2.	日産の例.....	120
5.5.4.3.	自動車内装部品.....	120
5.5.4.4.	車室内空気.....	125
5.6.	危険の検知.....	129
5.6.1.	爆発物の検知.....	129
5.6.2.	その他のガス検知.....	139
5.6.2.1.	COVID-19 においによる陽性判定.....	147
5.7.	分類と同定.....	149
6.	におい検知のための新たなセンシング技術の研究動向 (アップデート)	157
6.1.	研究で多用される e-nose の例.....	157
6.2.	新たなセンシング技術の研究動向 (論文・特許)	162
6.2.1.1.	e-nose の先端材料.....	162
6.2.1.2.	生体受容体を用いた高感度 e-nose.....	170
6.2.1.3.	光学 e-nose の開発例.....	174
6.3.	国内外に於ける研究開発機関・企業の取り組み.....	177
6.3.1.	国内研究開発動向 (大学・研究機関)	177
6.3.1.1.	国内研究機関・大学においセンサ開発・実用化動向.....	177
6.3.1.2.	物質・材料機構 MSS (Membrane-type Surface stress Sensor, MSS)	178
6.3.1.3.	JST 味覚・嗅覚・食感イノベーションによる食サービスの創出.....	180
6.3.1.4.	COSCo (CMOS Odor Sensor Consortium).....	180
6.3.1.5.	株式会社アロマビットシリコンセンサテクノロジー.....	181
6.3.1.6.	東京工科大学 複合ナノデバイス (木村) 研究室.....	181
6.3.2.	国内研究開発・実用化動向 (企業)	182
6.3.2.1.	国内各社においセンサ開発・実用化動向.....	182
6.3.2.2.	太陽秀電.....	183
6.3.2.3.	I-PEX 株式会社 (旧社名 第一精工株式会社) 凸版印刷.....	184
6.3.2.4.	Konica Minolta.....	185
6.3.2.5.	株式会社アロマビット.....	187
6.3.2.6.	REVORN.....	188
6.3.3.	研究開発・実用化動向 (大学・研究機関・企業)	189
6.3.3.1.	呼吸に関する研究開発動向.....	189
6.3.3.2.	研究開発・実用化動向 (大学・研究機関・企業)	189
6.3.3.3.	Owlstone Breath Biopsy.....	190
6.3.3.4.	The Enose Company aeoNose.....	191
6.3.3.5.	Technion (LNBD).....	192
6.3.3.6.	SniffPhone.....	193
6.3.3.7.	口腔がん診断技術 (北九州大学他) 2018/12/10 発表.....	194
6.3.4.	海外研究開発動向 (大学・研究機関)	195
6.3.4.1.	海外研究機関.....	195
6.3.4.2.	海外研究機関・大学においセンサ研究開発動向 (表)	195
6.3.5.	海外研究開発・実用化動向 (企業)	196
6.3.5.1.	Nanoscent / Sumitomo chemical.....	197
6.3.5.2.	Digital Olfaction Automotive Consortium (DOAC).....	198
6.3.5.3.	STRATUSCENT.....	201
6.3.5.4.	Arybelle 臭気検知 AI センサ.....	202
6.3.5.5.	KONIKU.....	204
6.3.5.6.	Sensigent.....	208

～ 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対応 ～

6.3.5.7.	Cyranose 320.....	208
6.3.5.8.	C2Sense.....	209
6.3.5.9.	NanoSniff Technologies.....	211
6.3.5.10.	Sensirion.....	212
6.3.5.11.	Foodsniffer.....	213
6.3.5.12.	The e-nose Company.....	216
6.4.	その他のセンサリスト.....	217
6.4.1.	ガスセンサアレイによる口臭・体臭センサ.....	217
6.4.2.	ガスセンサ製品例.....	217
6.5.	においセンサ用 AI 開発の動向.....	218
6.5.1.	AI 開発の研究動向 (レビュー論文・特許).....	218
6.5.2.	AI 開発の研究開発・実用化動向 (大学・研究機関、企業).....	229
6.5.2.1.	においセンサ AI 関連研究機関・大学 (表).....	229
6.5.2.2.	日立、東京大学.....	229
6.5.2.3.	リザーブコンピューティングによるガスセンサアレイデータ分析の例.....	230
6.5.2.4.	大阪大学 産業科学研究科 (鷲尾隆).....	231
6.5.2.5.	NEC.....	234
6.5.2.6.	Google.....	236
6.5.2.7.	Intel Neuromorphic Chip.....	240
6.5.2.8.	IBM.....	241
6.5.2.9.	ヘッドウォータース.....	242
6.5.3.	二オイ分析経験のある AI ベンダリスト.....	243
7.	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.....	244
7.1.	アプリケーションの可能性と分類.....	244
7.1.1.	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.....	244
7.1.2.	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.....	245
7.1.3.	広範な嗅覚能力獲得のための開発内容.....	245
7.2.	アプリケーション開拓と将来の市場ポテンシャル推定.....	247
7.2.1.	世界市場規模.....	247
7.3.	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.....	249
8.	本書の内容に関係のあるふじわらロスチャイルドリミテッドのレポート.....	252

図表

FIG. 1	におい計測の重要な方向性.....	12
FIG. 2	本レポートの対象となるにおいセンサの形状分類.....	13
FIG. 3	EXECUTIVE SUMMARY.....	14
FIG. 4	におい計測～対策フロー.....	16
FIG. 5	におい検知の種類.....	18
FIG. 6	ガス・におい検知開発動向.....	19
FIG. 7	ガス検知・におい検知 方式と目的.....	20
FIG. 8	本調査が対象とするにおい濃度とアプリケーション.....	20
FIG. 9	臭気濃度、臭気指数.....	21
FIG. 10	においを表わす単位.....	21
FIG. 11	B2Bにおけるガス・においの分析.....	24
FIG. 12	現場ガス分析事例.....	24
FIG. 13	人間の嗅覚の仕組みとデバイスによる模倣.....	26
FIG. 14	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).....	27
FIG. 15	デバイスによる模倣 (マルチセンサアレイ).....	27
FIG. 16	においセンサのテクノロジー.....	28
FIG. 17	においセンサの構成.....	28
FIG. 18	においセンサ参入企業の役割分担.....	29
FIG. 19	ガス・においセンサのトランスデューサ技術分類.....	29
FIG. 20	金属酸化物半導体.....	32
FIG. 21	ガスセンサの小型化.....	32
FIG. 22	検出原理 QCM,SAW.....	33
FIG. 23	SPR センサ.....	34
FIG. 24	Bio-Inspired Strategies: A Review.....	37

～ 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対応 ～

FIG. 25	においセンサの特徴によるアプリケーション分類	39
FIG. 26	VOCによる病気検知(高感度・高選択性) 技術アプローチ	41
FIG. 27	新型「ヘルスキオスク端末」旧型「ネットワークヘルスキオスク」	45
FIG. 28	NTT ドコモ ウェアラブル皮膚アセトン測定装置 計測原理	45
FIG. 29	VOCの数と肺がん検知の性能との関係	52
FIG. 30	結核菌の早期検出を目的とした e-nose 技術 1	55
FIG. 31	結核菌の早期検出を目的とした e-nose 技術	56
FIG. 32	Characteristics of available e-noses	59
FIG. 33	Aeonose (The e-nose Company)	78
FIG. 34	官能評価	79
FIG. 35	各種製造工程、食品、薬品、香料等の品質管理例	79
FIG. 36	Experimental setup	81
FIG. 37	Results	81
FIG. 38	デンマーク産ブルーチーズとモデルチーズを用いた実験	91
FIG. 39	カマンベールチーズを用いた実験	91
FIG. 40	Sample preparation and Preliminary Sensor Array	93
FIG. 41	Classification of Green Tea Varieties	94
FIG. 42	フラッシュ GC ノーズ HERACLES II	98
FIG. 43	Mohaghegh Ardabili e-nose system	100
FIG. 44	Radar graph response of the sensors for the different types of fruit juices	100
FIG. 45	Architecture of the e-nose system	103
FIG. 46	ワインパネラー及びセンサ出力	103
FIG. 47	PCA 結果	104
FIG. 48	Materials and Experiment setup	106
FIG. 49	Specimens	107
FIG. 50	Multi-Step Detection	107
FIG. 51	Input data visualization after preprocessing	108
FIG. 52	Bosch BME688	109
FIG. 53	RICOH 香辛料の香気の可視化と識別	110
FIG. 54	RICOH Ion Mobility Spectrometry 原理	110
FIG. 55	FAIMS based volatile fingerprinting for real-time postharvest storage infections detection	112
FIG. 56	FAIMS 反応に基づく PC スコアプロット	113
FIG. 57	主要 VOC のイオン電流と FAIMS 応答との比較	113
FIG. 58	Electronic Sensors	115
FIG. 59	Summary of e-nose applications	119
FIG. 60	自動車のにおい評価法 国際規格	119
FIG. 61	イオンモビリティスペクトロメトリによる自動車内装部品の臭気評価	122
FIG. 62	Odor Evaluation of Vehicle Interior Materials Based on Portable e-nose	123
FIG. 63	Odor Evaluation of Vehicle Interior Materials Based on Portable e-nose	124
FIG. 64	Odor Evaluation of Vehicle Interior Materials Based on Portable e-nose	124
FIG. 65	車室内空気質	127
FIG. 66	TNT と RDX の検出レベルと蒸気濃度に対する人と犬の検出レベル	130
FIG. 67	Comparison of the principles of operating of canine sense of smell with bioelectric analogue sensing mechanism	130
FIG. 68	Examples of B-EN systems for explosive detection	132
FIG. 69	Improving the Chemical Selectivity of an e-nose to TNT, DNT and RDX Using Machine Learning	136
FIG. 70	Electronic nose prototype for explosive detection	138
FIG. 71	BOSCH BME680	141
FIG. 72	An Array of 16 Single-Type Miniature Micro-Machined Metal-Oxide Gas Sensors	142
FIG. 73	Ethemole and Acetone	143
FIG. 74	Chemical Sensors for Environmental Monitoring and Homeland Security	144
FIG. 75	Classification and Identification of Essential Oils from Herbs and Fruits	151
FIG. 76	Method	154
FIG. 77	予備認識モデル構築のための PCA 分析	155
FIG. 78	gas sensors based on nanostructured materials	162
FIG. 79	FET gas sensors	163
FIG. 80	QCM based gas sensors	164
FIG. 81	Nanomaerial-based sensors for VOC detection	165
FIG. 82	固体シリコンナノワイヤベースセンサ	167
FIG. 83	Medical Care	169
FIG. 84	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	172

～ 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対応 ～

FIG. 85	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	173
FIG. 86	Low Cost Optical Electronic Nose for Biomedical Applications	175
FIG. 87	九州大学 今井研究室	178
FIG. 88	MSS (Membrane-type Surface stress Sensor)	179
FIG. 89	NanoWorld/東陽テクニカ	179
FIG. 90	味覚・嗅覚・食感イノベーションによる食サービスの創出	180
FIG. 91	CMOS (COSCo), 株式会社アロマビットシリコンセンサテクノロジー	181
FIG. 92	東京工科大学 複合ナノデバイス	182
FIG. 93	JAIST-太陽秀電 においセンサの共同開発	184
FIG. 94	nose@MEMS	185
FIG. 95	noseStick	185
FIG. 96	Kunkun body	186
FIG. 97	Kunkun dental	187
FIG. 98	Aroma Coder V2	188
FIG. 99	欧州における疾病検出においセンサの研究団体	189
FIG. 100	The schematic overview	190
FIG. 101	Owlstone technology	191
FIG. 102	Owlstone Medical	191
FIG. 103	Technion	192
FIG. 104	Sniffphone	193
FIG. 105	においによる口腔がん診断技術 (北九州大学他)	194
FIG. 106	CEA-Leti (France, 電子情報技術研究所)	195
FIG. 107	Nanoscent	198
FIG. 108	DOAC members	198
FIG. 109	STRATUSCENT SafeScent	202
FIG. 110	Aryballe New Digital Nose Sensor	203
FIG. 111	Aryballe / Improvement of sensitivity	204
FIG. 112	Airbus is developing bomb-detecting 'electronic noses'	205
FIG. 113	DEVICES AND METHODS TO COMBINE NEURONS WITH SILICON DEVICES CROSS-REFERENCE	207
FIG. 114	BRAIN CELL COMPUTER CHIP COULD CONTROL DRONES	208
FIG. 115	Sensigent	209
FIG. 116	Sensigent データ分析	209
FIG. 117	C2Sense-1	210
FIG. 118	C2Sense-2	211
FIG. 119	Nanosniff	211
FIG. 120	NanoSniffer 微量爆発物検出	212
FIG. 121	Sensirion	213
FIG. 122	Foodsniffer	213
FIG. 123	Results Foodsniffer	216
FIG. 124	The e-nose Company	216
FIG. 125	Data Processing	220
FIG. 126	Electronic Nose and Its Applications: A Survey-1	222
FIG. 127	Electronic Nose and Its Applications: A Survey-2	224
FIG. 128	Current e-nose applications	225
FIG. 129	Challenges in e-nose systems	225
FIG. 130	生物由来の人工細胞と AI を組み合わせた人工嗅覚	230
FIG. 131	Continuous prediction in chemoresistive gas sensors using reservoir computing	231
FIG. 132	MSS/大阪大学の AI 研究	233
FIG. 133	ガス流量制御無し伝達遅延に基つてフリーハンドのガス識別	234
FIG. 134	NEC においの電子化～ 分析技術	235
FIG. 135	最先端嗅覚 IoT センサに基つてにおいデータマイニング	235
FIG. 136	NEC 異種混合学習技術	236
FIG. 137	Using Deep Learning to Predict the Olfactory Properties of Molecules	237
FIG. 138	Machine learning (Google)	239
FIG. 139	Headwaters	242
FIG. 140	においセンサの技術特徴とアプリケーション分野の関係	244
FIG. 141	デバイス設計特徴とアプリケーション分類の関係	245
FIG. 142	センサ素子数 (感応膜種類数) の増加による高性能化	246
FIG. 143	においセンサの世界市場ポテンシャル	247
FIG. 144	においセンサの特徴によるアプリケーション分類	249

～ 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対応 ～

FIG. 145 マルチセンサアレイにおいセンサ 合計金額トレンド.....250

FIG. 146 マルチセンサアレイにおいセンサ 分類A 詳細金額トレンド.....250

Table 1 におい・ガスセンサの用途分野（可能性含む）.....18

Table 2 生体ガス成分と検出濃度・検出意義.....22

Table 3 におい成分の種類と認知閾値.....22

Table 4 臭気強度と濃度の関係.....23

Table 5 におい・嗅覚 関連学会業界団体.....25

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.....30

Table 7 Sensor types and their properties.....31

Table 8 主な皮膚ガスの生成機構と放散経路（推定を含む）.....42

Table 9 皮膚ガス計測機器開発/販売事例.....44

Table 10 Studies Reporting Breath Test Performance for LC Detection (GC-MS).....48

Table 11 Studies Reporting Breath Test Performance for LC Detection (e-nose & Colorimetric Sensors).....49

Table 12 Studies Reporting Breath Test Performance for LC Detection (combining of GC-MS and e-nose).....51

Table 13 Breath Test Performance for LC Detection between GC-MS and e-nose (including Colorimetric sensors).....52

Table 14 Summary of studies that report a positive correlation between breath acetone and blood glucose concentration.....53

Table 15 Summary of studies that report a negative correlation between breath acetone and blood glucose concentration.....53

Table 16 Characteristics of available e-noses.....58

Table 17 肺疾患における e-nose 技術 喘息-1.....60

Table 18 肺疾患における e-nose 技術 喘息-2.....61

Table 19 肺疾患における e-nose 技術 慢性閉塞性肺疾患-1.....62

Table 20 肺疾患における e-nose 技術 慢性閉塞性肺疾患-2.....63

Table 21 肺疾患における e-nose 技術 嚢胞性線維症.....63

Table 22 肺疾患における e-nose 技術 間質性肺疾患(ILD).....64

Table 23 肺疾患における e-nose 技術 肺がん.....65

Table 24 肺疾患における e-nose 技術 肺腺(非)小細胞肺癌.....66

Table 25 肺疾患における e-nose 技術 肺がん・悪性胸腺中皮腫.....67

Table 26 肺疾患における e-nose 技術 肺感染症-人工呼吸器関連肺炎.....67

Table 27 肺疾患における e-nose 技術 肺感染症-結核.....68

Table 28 肺疾患における e-nose 技術 肺感染症-アスペルギルス症.....68

Table 29 肺感染症-コロナウイルス感染症.....68

Table 30 肺疾患における e-nose 技術 閉塞性睡眠時無呼吸症候群(OSA).....69

Table 31 肺疾患における e-nose 技術 その他.....69

Table 32 A list of some of the common commercially available electronic nose models.....83

Table 33 Some recent trends of e-nose application for red meat quality.....117

Table 34 Some recent trends of e-nose application in poultry.....117

Table 35 Some recent trends of e-nose application for fish quality.....117

Table 36 Examples of TNT detection techniques [10].....132

Table 37 List of papers firstly presenting an e-nose using MOX gas sensors.....141

Table 38 Sample subdivision according to properties of interest.....154

Table 39 Most known electronic noses.....157

Table 40 Main applications of e-nose in disease diagnosis. N/A = not mentioned.....169

Table 41 国内研究機関の嗅覚研究の状況-1.....177

Table 42 国内研究機関の嗅覚研究の状況-2.....177

Table 43 国内各社においセンサ開発・実用化動向.....183

Table 44 呼吸センサ 研究・実用化の状況例.....189

Table 45 海外研究機関の嗅覚研究の状況.....195

Table 46 海外研究機関の嗅覚研究の状況-2.....196

Table 47 海外各社におい・ガスセンサ開発・実用化状況-1.....196

Table 48 海外各社におい・ガスセンサ開発・実用化状況-2.....197

Table 49 Sensors and their applications in PEN3.....215

Table 50 国内の口臭・体臭ガスセンサ 研究・実用化の状況例.....217

Table 51 国内のガスセンサ 実用化の状況例.....217

Table 52 嗅覚センサ AI 主な研究開発と実用化状況.....229

Table 53 におい分析経験のある AI ベンダリスト.....243

Table 54 分類A の市場金額トレンド.....251

Table 55 分類A の市場金額トレンド詳細.....251

1. 本調査の背景および定義

1.1. 本調査の背景

においは環境の快・不快を決定する重要なファクタのひとつであるにもかかわらず、におい（嗅覚）は他の五感と比較すると人工センサの商品化が進んでいない分野である。市場においては、ガスクロマトグラフィ質量分析装置（以下、GC-MS）を用いた成分分析から原因物質を特定し対策を検討する方法論が主である。簡易的には特定グループのガス成分の濃度をメーカー基準の尺度で表示するガスセンサや計測器があるが、ガスの選択性・特異性が不十分であり、また人間の嗅覚のようにそのにおいの質を表現することはできない。

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には、官能試験を行うにおいパネルが多く存在している。品質管理に於ける官能検査はあらゆる業種でに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覚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。e-nose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、e-nose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e-noseの反応に人間のような記述子を提供することが試みられている。

この、においの識別と、特定物質の高感度な検出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e-noseと表現する。

これらの小型・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。人間と同様な認識レベルを持ちかつ広範囲の臭いに対応できる汎用的な嗅覚センサは、小型化してセンサ数を増やし、AIを活用し、分析結果のライブラリを充実させるなどの段階を踏む。

応用研究の多くの分野で、マルチセンサアレイの特徴を活かすセンサ開発やデータ分析手法などが発表されており、酸化半導体などのガスセンサを使用するマルチセンサアレイを用いる検討も非常に多く存在する。従って、本調査においては、酸化半導体などのガスセンサを使用するマルチセンサアレイを含む、様々な種類のe-noseによる市場開拓のための研究開発動向を、アプリケーション検討の具体的な例を記述する。人間の嗅覚を高度に人工的に模倣した新型のにおいセンサマルチアレイシステムは、同領域で小型化、高感度化、高選択性などのメリットを有し、それがこれらの市場にどんなインパクトを与えるのか、可能な範囲でその予見も行った。

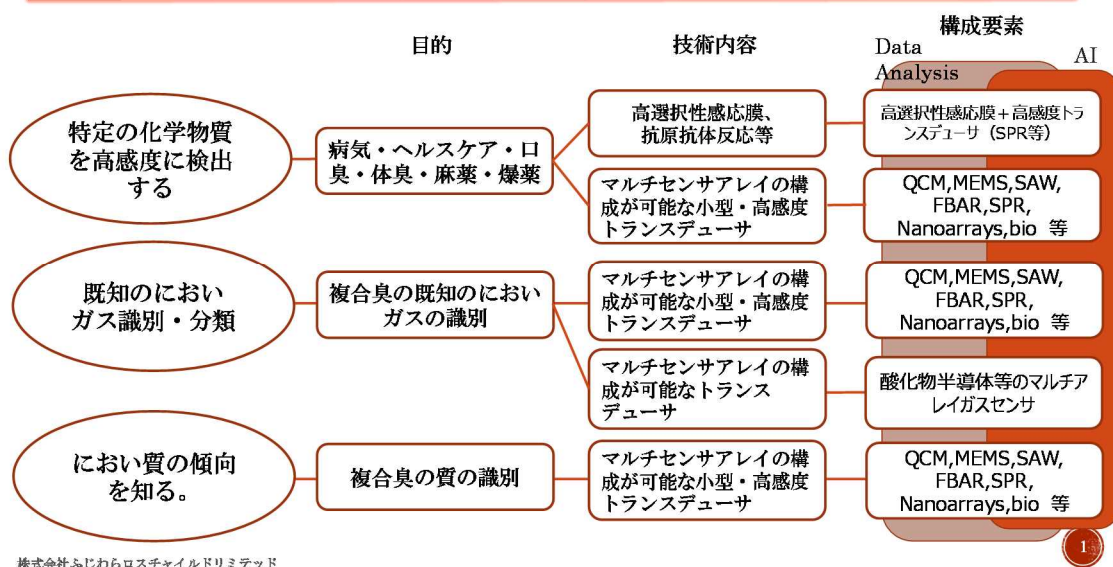
本調査においては、既知の識別ルールに基づく分類に対してセンサが正しく分類・識別をするという基本の用途を中心にアプリケーション研究の例を多く挙げ、その課題も示す。その用途は多岐に亘るため、アプリケーション大分類を示した上で、本書では、「医療用途」、「危険の検知」、「自動車」、「製造プロセス管理（品質管理：官能検査に於ける官能検査員においパネルの補助の分野を含む）」に重点を置いた。

～ 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対応 ～

重要な点としては、①複合ガスに対するセンサの反応の違いによる分類、であるか、②既知の VOC に対する反応（特定の化学物質に対する反応性）を重視するかが大分類になり得ることである。①は、化学物質を特定しないがにおいの質を人間の認識と関連させることで、多くの人間パネルの代行或いは補助の用途が開ける。こうした点に関しては重点的に対応すべく構成を配慮した。

尚、3章、4章は、においセンサの基本的な概論であるため、弊社の既刊の資料と同様の内容であるが若干のアップデートを加えた上で残した。また、6章は情報の追加とアップデートを行い、7章では5章のアプリケーション詳細情報に対応する形で新規に設定した形式で市場情報を示した。

におい計測の重要な方向性



株式会社ふじわらロスタイルドリミテッド

FIG. 1 におい計測の重要な方向性

1.2. 本レポートの調査対象

- 本調査では、人間が認識・識別できるにおいガス（種類・濃度）の範囲で、複合臭のにおいの質を人間の認識に近い形でにおいの識別（質やイメージ）を表現・判定できる能力を有する、部分的な特異性を持つ電子化学センサの配列と適切なパターン認識システムからなる機器センサをにおいセンサ (e-nose) と定義し、調査対象とする。
- また、本調査では、上記に加え、既知の識別ルールに基づく分類に対してセンサが正しくにおいの分類・識別を行うという基本機能に関して、既に実用化されている酸化半導体などのガスセンサをマルチセンサアレイ化して上記の目的を達成するセンサを、先行技術として調査対象に加えた。従って、当該機能の用途に関するアプリケーション研究の例を多く挙げ、その課題も示す。
- においセンサは、基本的には複合臭に対応し、人間の認知感度の高い物質がにおい検知において重要であるケースがあり、基本的には高感度・高選択性のマルチセンサアレイが期待されている。本書の主眼は、その技術開発やマーケティングの掘り下げにある。
- e-nose の用途は多岐に亘るため、アプリケーション大分類を示した上で、本書では、「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。

～ 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対応 ～

- また、におい識別のためのマルチセンサアレイ方式の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、研究事例を示す。
- 製品分類的には、Handy、Portable タイプの機器、業務用としての小型の据え置き型と Embedded 型も対象に含める。技術内容としては POCT も含む。また、酸化物半導体ガスセンサ等を使用するマルチガスセンサアレイを使用する製品動向も含むため、やや大型の業務用においセンサ機器も対象に含める。

本調査の調査対象となるにおいセンサの形状分類及び定義

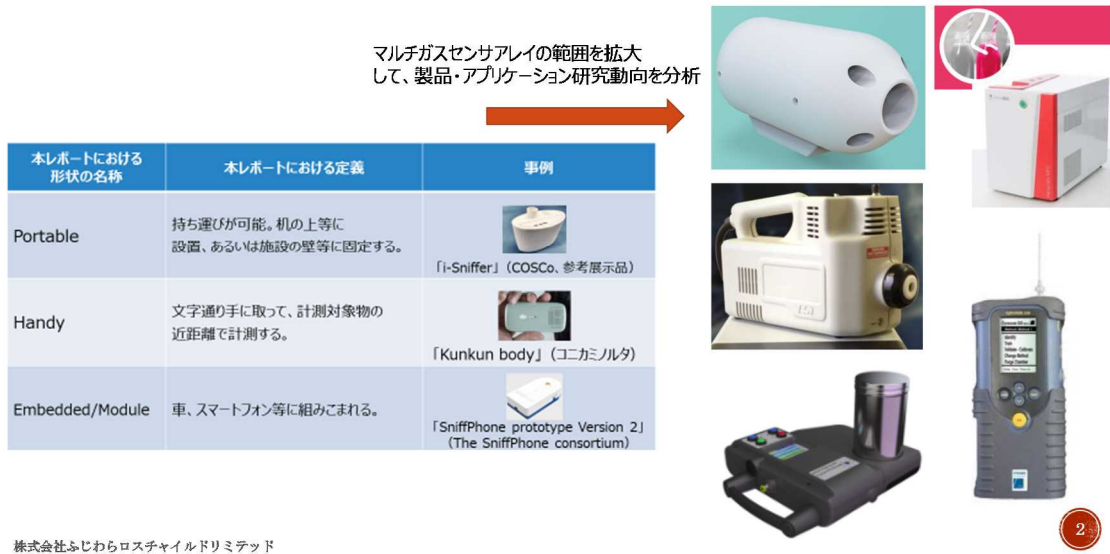


FIG. 2 本レポートの対象となるにおいセンサの形状分類

2. Executive Summary

においセンサ市場のポテンシャルは、2032年には、世界市場で、\$27Bと想定される。においセンサは、研究機関の実用化研究から企業の商品化検討レベルへと移行しつつあり、採用検討も盛んに行われ始めている。呼気センサによるPOC 機器市場、工場や環境センシングとしてのIoT 市場、スマートフォンへの搭載、家電機器への搭載、自動車向け市場など、市場は既存の市場へのにおい検知機能追加の形で、医療・ヘルスケアへの貢献、生活の利便性向上、安全性向上、効率化、人間の認知の代替などの利便性をもたらしつつ、市場規模を拡大する。

「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。本書「においの可視化～ 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、本書では、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。

重要な点としては、下図の圧縮図左上の図中①複合ガスに対するセンサの反応の違いによる分類、であるか、②既知の VOC に対する反応 (特定の化学物質に対する反応性) を重視するかが大分類になり得ることである。①は、化学物質を特定しないがにおいの質を人間の認識と相関させることで、例えば多くの人間パネルの代行或いは補助の用途が開ける。こうした点に関しては重点的に対応すべく構成を配慮した。

「人間がにおいを嗅いだときに使用する豊富な表現 (記述子) を、e-nose の反応に相関させること」が、上記のアプリケーションへの応用における最も重要な視点であり、この実現のためにも AI を含むデータアナリシス技術の発展が最も期待される。

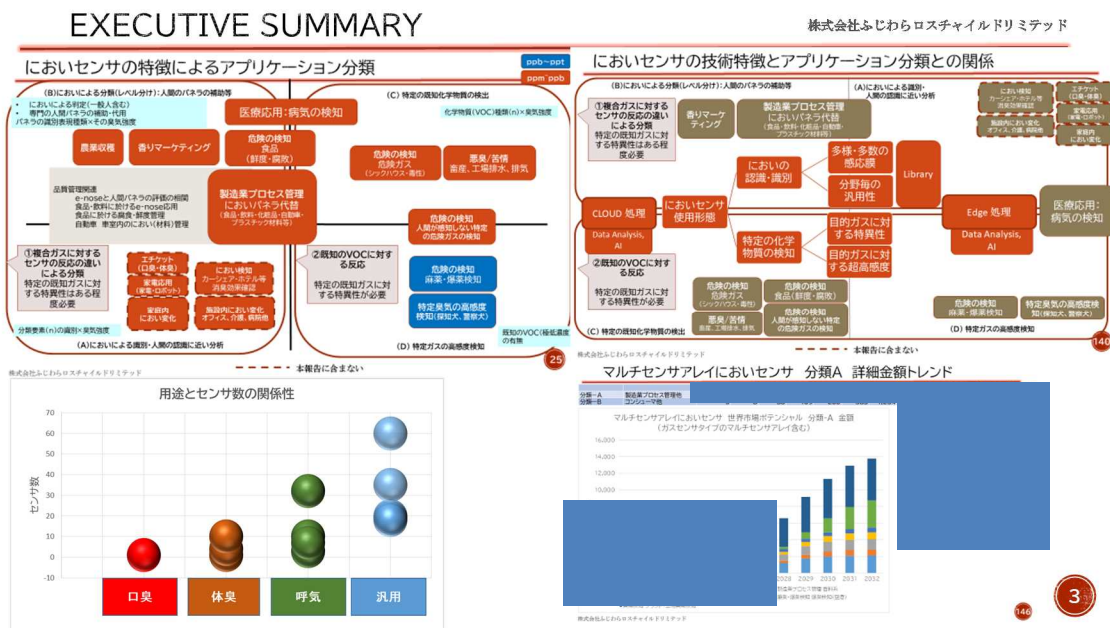


FIG. 3 EXECUTIVE SUMMARY

8. 本書の内容に関係のあるふじわらロスチャイルドリミテッドのレポート

本書の内容に関連する弊社レポートのタイトルを下記する。一部の情報は下記を参照している。

バイオケミカルセンシングデバイス動向 2019 (' 19 年 5 月発行)

バイオケミカルセンサは、酵素・微生物・抗体といった生体に関連する物質が有する分子識別機能を利用して、体液中の検出対象物質の検出・計測を行うセンサであり、基本的なバイタル測定を基本とする **Physical sensor** と異なり、各種のホルモンや免疫系の物質の検出によって、疾病の発見や健康状態、その変化の予兆までとらえることができる。従って、**Physical sensor** 系とは異なる市場を形成していくことが期待されている。医療従事者以外でも利用可能なデバイスとして、グルコース測定を中心として、2026 年には、約\$44B の市場規模が想定される。

におい検知の可視化～研究開発と市場開拓 2021 (' 20 年 11 月発行)

「においセンサの研究開発と市場開拓の動向 2019」(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が、本書「においセンサの研究開発と市場開拓の動向 2021」(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、COVID-19 対応など多くの新たな動向分析を加えた。また、センサ開発動向として、生体の嗅覚細胞やニューロンの模倣によるセンサやにおい識別などが追記されるとともに、シリコンナノワイヤ応用など新たなにおいセンサの開発動向に関して追記した。においセンサ用途の AI に関しては、今後更にその役割が重要になるとみられるため、海外の動向に関するレビュー論文からの抜粋および日本における開発動向とその応用目的・適用範囲などに関して記している。

セルフケアのためのストレス検知デバイス最新動向 2021

～ウェアラブルデバイスの進化、バイオマーカの多様化、AI 活用など～ (' 21 年 2 月発行)

ストレス検出には、唾液、汗、尿などから採取される体液や呼気、皮膚ガスをバイオマーカとするもの、及び生体信号としての心電 (ECG)、脈波 (PPG)、皮膚電気活動(EDA)、脳波によるストレス検知デバイスなどに関して研究が続けられている。更には、AI の進展により、音声やテキスト、顔画像によるストレス度合いの検出が試みられ、商品化が進められている。声だけで、うつ状態の検知が可能であるとの報告もある。セルフケアのための、生体信号利用とバイオマーカ利用を合わせたストレス検知可能なデバイスの市場は、2025 年までに、約 \$29B の規模となり、2030 年には、\$41B が期待できる。



「におい検知の可視化 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対応 ～

253 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

2022年4月20日発行

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