

人工嗅覚エレクトロニクス・インフォマティクスの 研究最前線と展望

開催日時 : 2022 年 9 月 21 日

場所・形式 : 東北大学川内北キャンパス+オンライン

主催 : シリコンテクノロジー分科会

世話人 : 高橋綱己 (東大), 長島一樹 (東大), 田中貴久 (東大), アルブレヒト建 (九大),
山本洋平(筑波大), 大塚洋一(阪大)

本シンポジウムは IoT (Internet of Things) / CPS (Cyber-Physical System) 技術の発展を背景に社会的な重要性が高まっている生体ガスや食品揮発ガスといった分子群を計測・識別する人工嗅覚システムの実現に向けた最新の研究動向と課題について議論することを目的に開催された。センサ材料, デバイスから計測のためのアナログフロントエンド回路, センサデータ処理を含む人工嗅覚システムの実現に必要な広い範囲の技術分野, かつ金属錯体, 低分子からタンパク質を含む応用分野からなる 9 件の招待講演を通して現状と課題の整理を行った。シンポジウムには会場 50 人程度, オンラインを合わせて最大 170 人程度と多くの方に参加いただき, 大変活況な議論がなされた。以下に各招待講演の概要を紹介する。

東京大学の内田教授からは「小型・低エネルギーの低分子センサ:集積化と応用分野の可能性」として, ヒトの呼気に含まれる水素やアンモニアといった低分子を選択性良く検出可能な低エネルギーセンサデバイス技術が紹介された。呼気の直接計測の為には相対湿度 90%程度含まれる水蒸気の影響を受けないセンサデバイスの重要性が強調され, 水蒸気中を含むガス中の選択的な水素センシングを実現した触媒金属ナノシートをチャンネルとしたセンサデバイス技術が紹介された。センサデバイスの低エネルギー化については熱電素子や太陽光などの環境発電で駆動できる 0.1 mW ~1 mW 以下をターゲットとし, ナノ電荷チャンネルのジュール熱で分子検出に必要な化学反応を起こすジュール自己加熱技術が紹介された。このほかにも, 触媒金属の合金化による分子選択性の制御やポルフィリン修飾グラフェンセンサ, イオンゲルをチャンネルとした多電極センサアレイ等の技術が紹介され, センシング原理に基づく検出対象低分子と水分子との選択性, 低エネルギー動作, マルチガスセンシングの重要性が述べられた。

物質・材料研究機構の吉川氏からは, 「嗅覚センサの研究・開発・実証・実装」として, 膜型表面応力センサ (MSS: Membrane-type Surface stress Sensor) を軸とした嗅覚システムの研究開発展開が数多く紹介された。嗅覚センサ分野のこれまでの研究開発の歴史が概観され, 現状の嗅覚センサシステムの課題が感度, 選択性, 再現性として示された。高感度な膜応力センサに多様な感応膜を組み合わせることができ, MSS センサの特長を活かし, 標準評価系の構築やガスサンプル群からの擬原臭の抽出といった基礎的な内容から, 生体ガスや食品ガスの実装・応用事例まで幅広い研究が紹介された。

東京大学の柳田教授からは, 「頑強な人工嗅覚機能を実現する“堅い”分子認識ナノ界面技術」として, 従来の感応材料では相反する堅牢性と分子認識能を両立するための材料界面設計技術が紹介された。理想的なセンサ材料と触媒材料の設計指針の類似性が議論され, 構造異性体をはじめとした形状・特性が

きわめて似通った分子を堅牢な材料で識別することの重要性が強調された。堅牢性、分子認識性（選択性）に加えて高感度を達成するための方法として、濃縮部と検出部を分離した嗅覚センサシステムが提案されるとともに、固体分子テンプレート技術や呼気分子群の分析による個人認証といった事例が紹介された。

豊橋技術科学大学の野田准教授からは、「イメージセンサ技術を応用した CMOS アレイセンサによるマルチガスセンシングとにおいセンシングシステムへの展開」として、従来の値（例：温度や分子の濃度）を得るセンサから物理・化学現象が見えるセンサ技術への展開に関する取り組みが紹介された。イメージセンサのアレイ化技術を基盤として各種感応膜と組み合わせることでイオンや分子等の二次元空間分布を可視化する集積化センサ技術による溶液中 pH の空間分布計測実証が紹介された。その他にも、9種の有機系ガス感応膜を CMOS イメージセンサ上に配置したマルチガスセンシングや、集積化センサチップ上に分子ふるい（フィルター）を配置して有効なセンサ種を増加させる手法が紹介された。

東京医科歯科大学の三林教授からは、「生体ガス情報化を先導するバイオ蛍光式ガスセンサとイメージング技術」として、呼気や皮膚ガス、尿のような生体分子のセンシングを目的としたセンサ技術と応用事例が紹介された。本公演でも、生体ガスの計測には湿度（水）の影響を排除することがきわめて重要であることが強調され、酵素を利用したバイオ蛍光式ガスセンサは動作原理から本質的に湿度の影響を受けず、また高い分子選択性を有することが紹介された。本センサを用いた、ppb から ppm までの幅広い濃度範囲の個期中エタノールセンシングや、ヘッドホン型の皮膚ガスセンサシステムの実証事例が紹介された。

中央大学の上野教授からは、「単層グラフェン表面を用いた化学・バイオセンサ」として、アプタマ（分子認識機能を有する DNA）を単層グラフェン表面に修飾し、金属錯体や低分子、疾病マーカーとなるタンパク質等を溶液中で選択的に検出するセンサ技術が紹介された。本センサの作製法、検出特性、検出原理が示され、アプタマの多様な選択性を活かしたセンサ設計や、シクロデキストリンを修飾したセンサ表面に関する展開が紹介された。

東京大学の竹内教授からは、「バイオハイブリッドセンサによる高感度検出」として、材料設計等で人工的に実現することが難しい機能素子に分子や細胞などの生体材料を直接用いたバイオハイブリッドセンサの提案と議論がなされた。はじめにバイオハイブリッド技術分野としてセンサ（嗅覚細胞）、リアクタ（組織）、アクチュエータ（筋肉）、プロセッサ（神経ネットワーク）の4種が紹介され、それぞれの期待される応用事例が概観された。その後、生物の嗅覚受容体が有する高選択性かつ高感度な分子検出原理が示され、昆虫（蚊）の嗅覚受容体を用いたバイオハイブリッドセンサの素子構造・分子検出機構が紹介された。実証事例として、構造がきわめて類似した2種のフェロモンの識別や呼気中の微量肝臓がんマーカーの検出が紹介された。

大阪大学の鷲尾教授からは、「計測インフォマティクスによる人口嗅覚の革新に向けて」として、情報数理の観点から嗅覚センサデータ処理の現状と課題、展望についての議論がなされた。現状、センサ材料・デバイス研究開発等（計測科学）とデータ処理（情報数理）は個別に研究が進められているとし、センサの高度化に伴うデータの複雑化に対応するには計測データを扱うことに特化した情報数理（計測インフォマティクス）の発展が不可欠であると強調された。計測インフォマティクス技術の事例として、入力（ガスの流れ）を出力（センサ応答変化）に変換する伝達関数（個々のセンサの特性に相当）に着目することで、入力（ガスの流れの変動）の情報が不明でも識別を可能にする計測データ処理技術が紹介され

た。

慶應義塾大学の石黒教授からは、「人口嗅覚用分子センサのアナログフロントエンド回路とシステム」として、IoT 機器に搭載可能な、嗅覚センサ計測用の超低消費エネルギー回路・システム技術が紹介された。センサの計測に不可欠なアナログ-デジタル変換回路について、mW や nW オーダーの超低電力回路技術が紹介された。センサ計測システムの事例として、ジュール自己加熱を利用した分子センサの低電力駆動回路や、二次元クロスポイント型分子センサの計測回路技術が紹介された。

今回、嗅覚センサ技術の研究動向と展望の議論活発化を目的として、応用物理学会内でも異なる分類で講演されている様々な技術分野や、普段は応用物理学会では議論されることが少ない分野も含んだ講演でシンポジウムを企画した。結果として予想を上回る聴衆が集まり、盛んな議論がなされた。これを機に、今後も本テーマの活発な議論が継続することを期待したい。