

2023年 第70回応用物理学会春季学術講演会シンポジウム報告

ナノテクノロジーを駆使したウイルス検出最前線

～ヒト感染性ウイルスを迅速に検出可能なグラフェンFETセンサーによる  
パンデミックのない社会の実現～

世話人：松本和彦（大阪大学産業科学研究所）、田中健一（三菱電機）

上智大学で開催された2023年第70回応用物理学会春季学術講演会におい

て、初日の3月15日（水）に、「ナノテクノロジーを駆使したウイルス検出最前線 ～ヒト感染性ウイルスを迅速に検出可能なグラフェンFETセンサーによるパンデミックのない社会の実現～」と題してシンポジウムを開催した。世話人の大阪大学の松本が開催の趣旨説明を行った後、JSTの未来社会創造事業の田中健一統括から挨拶をいただいた。その後、2件の基調講演と4件の招待講演、一件の一般講演を行った。

1件目の基調講演は「CMOS電位検出センサアレイ技術によるマルチウイルス検出」と題して豊橋技科大学の澤田和明教授より講演をいただいた。澤田教授が15年以上の歳月をかけて開発されたCMOSセンサーアレイを用いて、DNAのハイブリダイゼーションを電位で検出し、かつ金粒子で100Mまで検出可能とした。また新型コロナウイルスに関して、アプタマーを用い、pHを検出することで100copies/ $\mu$ Lの検出感度を実現した。

2件目の基調講演は「AI ナノポアを用いた感染症迅速検査法」と題して阪大産研の谷口正輝教授より講演をいただいた。300nmの微小な穴をウイルスが通過する際に変化するイオン電流の形状をAIを用いて解析することによりウ

ウイルスの種類を判断することが可能になる。1つのウイルスが通過してウイルスの種類を正確に判定する確率は65%であるが5つ程度通過したのちは90%以上の正確さで判定できる。この手法でコロナウイルスの $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$ 、 $\delta$ 型を正確に判定できた。また同一のコロナウイルスのスパイクタンパク質のみを変化させることにより、ウイルスの型を判定できたため、スパイクタンパク質でウイルスの型をAIが判定していることがわかった。また甲子園での選抜高校野球大会で生徒の新型コロナウイルス検査を行ったところ、PCR検査の結果とAIなのポアの結果が100%で一致した。

一般講演として、「集積化グラフェンFETによるウイルス検出」と題して大阪大学の松本和彦教授より講演があった。32個の集積化グラフェンにマイクロ流路を形成して定量的な溶液交換、夾雑物（唾液など）の洗浄を可能とし、新型コロナウイルスの検出に成功した。また抗体を短縮化し、表面電位を制御することにより感度を一桁近く上昇させることに成功した。また抗原検査では陰性、PCRでは陽性反応が出た患者の唾液を用いてグラフェンFETで計測したところ、正確に陽性反応を検出した。またウイルスの検出をSEMでも確認できた。

以下に4件の招待講演について述べる。

村田製作所の牛場翔太氏は「社会実装に向けたロバストなグラフェン FET バイオセンサの開発」と題して、実用化する際に必要なグラフェン FET 作成プロセスに関して招待講演を行なった。グラフェンは酸化シリコン基板上に転写して FET を作成すると、転写プロセスの際に場所によっては破れやコンタミが形成されるが、目視では確認が困難な場合がある。これを画像処理を行うことにより、破れ、コンタミを明確に判断できる手法を開発した。また作成したグラフェン FET をバイオ計測用のリン酸緩衝生理食塩水に長時間浸潤すると、グラフェンが剥離してしまう場合がありうる。この問題を解決するために、基板の疎水化をはかり、グラフェンと酸化シリコン基板との結合力を高める手法を開発した。さらにグラフェン FET は溶液中で特性がどんどん変化していくドリフト特性を示す。これはグラフェンや基板上のレジストなどの残渣のイオンに溶液中のイオンが入り込んで電荷を変化させるためである。この解決法として、リン酸緩衝液や NaCl 液中にグラフェン FET を長時間浸潤させてイオンを完全に中和させて解決できることを示した。

京都府立医科大学の渡邊洋平講師は「臨床におけるニーズとウイルス—生体分子相互作用の最新知見」と題して PCR などの機器を実際の病院で使用する際

の問題点を指摘した。PCR の判定は完璧と思いがちだが、サイクル数、個人の手技の優劣、使うプライマーの違い、Ct 値の設定、コピー数の違いにより、結果は大きくブレるものである。なるべく低コピー数を使用することにより、正確な結果が得られる。また PCR 診断も、場合状況に応じて検査に 3 時間かかる COBAS6800 や 50 分で済む GeneXpert などを使い分けているのが現状である。これらの現状に、いかにグラフェン FET センサーを現場に合わせて実用化することが重要なポイントになる。

村田製作所の木村雅彦氏は「グラフェン FET センサの社会実装に向けての展望」と題して、企業が実用化する際の検討事項について招待講演を行なった。今回のパンデミックは終息に向かっているが、歴史を見るかぎり、必ず将来パンデミックが生じることは自明である。次のパンデミックに備えて迅速簡便にウイルスを検出する技術を開発することは必須である。グラフェン FET は構造が簡単である為、工業化に向いているが、現状では FET 特性にばらつきがある為、ロボット化を推進してばらつきを抑えることが社会実装には重要である。またポータブル計測機器を様々な進化させてきて、実用化への道を探っている。検査値段も重要なファクターであるが従来の抗原検査に引けを取らない値段で可能

であると予測している。またこれらの検査は費用が発生する為に公共性とのミスマッチが課題になると予測される。臨床検査は2024年に実施を予定している。

中部大学の河原敏男教授は「ウイルスセンサの社会実装に向けての大学の取り組み」と題して、病院での取り組みについて招待講演を行なった。東海大学病院は感染対策チームを作成し、全ての医師や看護師がその感染対策チームに関するリンク医師、リンクナース制度を設けて感染対策に当たった。このリンクナース制度は東海大学病院が世界に先駆けて設置した制度であるが、今では世界中で展開している。また病院は公益性が重要である為、希望患者を無制限に受け入れることにより、感染が広がってしまった経緯がある。

以上のシンポジウムを4時間にわたって開催し、活発な意見交換や、講演後の質問も多数あり、盛況に開催できた。上智大学における会場参加者が50名、ウェブ参加者は80名の合計130名の参加があった。