

技術紹介

1 インドにおける新型コロナウイルス検査装置の実用化に向けた取り組み

Toward the practical application of the testing device for COVID-19 in India

國方 亮太

Ryota Kunikata

商品開発センター 主任

須田 篤史

Atsushi Suda

商品開発センター 技術シニアマネージャー 博士(材料科学)

キーワード: 新型コロナウイルス感染症(COVID-19)、電気泳動装置、サステナブル社会、新興国市場

Keywords: Novel coronavirus disease(COVID-19), Electrophoresis device, Sustainable society, Emerging markets

要 旨

2019 年に存在が確認された新型コロナウイルス感染症(COVID-19)は、変異を繰り返しながら世界中で猛威を振るい、多くの人的・経済的損失をもたらしました。その結果、特に開発途上国、新興国における感染症に対する医療環境の向上が、サステナブル社会の実現に向けた人類共通の課題であると強く認識されました。

現在、我々は新興国であるインドの医療環境の向上を目的とし、AMED プロジェクトの下、新しい新型コロナウイルス検出用デバイスの開発に取り組んでおります。本稿では、インドにおける医療の現状について紹介するとともに、デザインアプローチの手法にもとづき行った新型コロナウイルス検出に対するニーズの探索、そのニーズを満たすデバイスコンセプトの検討、および試作機開発を通じたコンセプトの妥当性評価について報告いたします。

SUMMARY

The novel coronavirus disease (COVID-19), first identified in 2019, raged around the world with repeated mutations, causing many human and economic losses. As a result, it has been strongly recognized that a common challenge of humankind toward the realization of a sustainable society is to improve the medical environment for infectious diseases, especially in developing and emerging countries.

We are currently working on the development of a new device for the novel coronavirus detection under the AMED project with the aim of improving the medical environment in India, an emerging country. In this paper, we would like to introduce the status quo of medical care in India, then report on the exploration of needs for the novel coronavirus detection, the study of device concepts to meet those needs, and the evaluation of the validity of the concepts through prototype development, which are conducted based on the design approach.

1. はじめに

2019年に初めて存在が確認された新型コロナウイルス感染症(COVID-19)は、2020年には世界中に拡がり、変異を繰り返しながら猛威を振るいました。世界的にようやく沈静化しつつある状況においても、新たな変異株の出現によるパンデミックの再来は依然大きなリスクとして認識されております。2023年2月の段階で感染者数は7億5千万人以上、死亡者数は680万人以上に上り、¹⁾人流の制限や工場閉鎖といった防疫措置により経済への影響も多大なものとなったことから、感染症への対策強化は喫緊に取り組むべき人類共通の課題として強く意識されるようになりました。特に開発途上国や新興国においては、インフラや医療従事者の不足、不安定な政治情勢等を背景にCOVID-19のみならずエイズや結核、マラリアといった感染症によっていまだ多くの人が命を落としています。これらの国々における医療環境の向上や格差の是正は、サステナブル社会実現のために先進国政府およびグローバル企業が率先して取り組むべき社会的課題といえます。

これまでに当社は、「インフラの整わない場所でも使用できること」、「訓練を受けた医療従事者、検査技師でなくても簡単に使用できること」を特長とした、医療・ライフサイエンス分野向けのセンシングデバイスJEC-200を開発してきました(図1)。²⁾このデバイスは、細胞塊、組織片といった生体由来の検体からの微量物質あるいは呼吸活性等を電気化学的な手法により高感度かつ多点で検出するための計測装置であり、多機能集積化や小型化、さらにはシステム全体のデザイン最適化等を徹底したことで高い可搬性と操作性を実現しています。これら開発の中で培った可搬性、操作性向上に関するノウハウを生かすことで、インフラ不足、専門技師不足といった問題を抱える開発途上国・新興国における医療環境の向上に貢献できるものと考えます。

昨年度より、我々は国立研究法人日本医療研究開発機構(AMED)の支援の下、過去の開発で培ったノウハウを活用して、新興国インドを対象とした新しい新型コロナウイルス検出用デバイスを開発しております。本稿では、インドにおける医療の現状について紹介するとともに、本開発プロジェクトにて取り組んだインドにおける新型コロナウイルス検出に対するニーズの探索、そのニーズを満たすデバイスコンセプトの創出、および試作機開発を通じたコンセプトの妥当性評価について報告いたします。

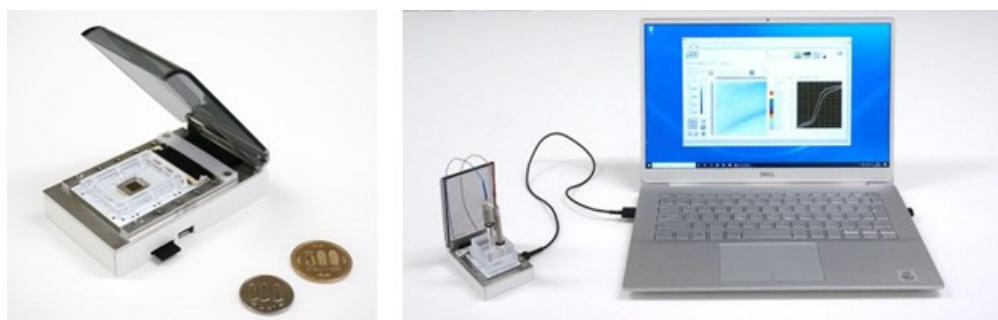


図 1. JEC-200 の外観

2. 開発の背景

2.1 インドにおける健康・医療の状況

2023 年 1 月のインドの人口は約 14 億 2800 万人であり、2022 年末に中国を抜き世界一位となりました。中国の人口が 2022 年より減少に転じたのに対し、インドの人口は 2060 年ごろまで増加し続け、世界総人口が 100 億人を超える 2100 年に至るまで世界一位であり続けると予測されています。³⁾2022 年の国民一人当たりの名目 GDP は 2256.6 米ドルであり、⁴⁾世界銀行による国民総所得(GNI)に基づく所得分類では、⁵⁾インドネシア、ナイジェリア、エジプト等と同じ「低中位所得国」に分類されています。また貧困層とされる人口の割合が 10.01%(2019 年)と高く、2019 年の時点にて世界で最も多くの貧困層が存在する国となっています(世界総貧困層人口 6 億 4800 万人の約 21%)。⁶⁾

健康・医療に関しては、他の低所得国、低中位所得国と同じく、全死因に対する感染性疾患を原因とする死者の割合が高いという特徴があります。具体的には、低所得国(コンゴ民主共和国、エチオピア、アフガニスタン、北朝鮮等)では平均で 38.4%(2019 年)であり、低中位所得国であるインドでは 20.0%となっており、この数値は、1990 年の約 40%と比較すると劇的に改善されてはいるものの、多くの人々が結核、HIV、腸管感染症等にて亡くなっていることを示しています。特に結核による死亡割合は 4.5%と高く、死亡数で見れば約 42 万人/年であり世界 1 位となっています。⁷⁾

2012~2017 年のインドにおける政策方針・目標を示した第 12 次 5 カ年計画では、医療における主要課題の項において、公的医療サービスが質・量ともに不十分であり、また民間医療機関がその受け皿となっているが、治療費が高いため債務を抱える人が多いと述べられています。⁸⁾2019 年のインドの保健医療支出に占める一般政府財源割合は 33.1%であり、これは日本の 84.0%、米国の 82.8%、英国の 79.4%、中国の 56.1%と比較して大幅に低い値となっています。⁹⁾また 2019 年の人口 1000 人当たりの医師数についても 0.9 人と、日本の 2.6 人(このデータのみ 2020 年)、米国の 2.64 人、英国の 2.95 人、中国の 2.24 人と比較して低い水準にあります。⁹⁾都市部と農村部の格差が大きいことも特徴であり、先程の第 12 次 5 カ年計画では、農村部の推奨医師数が 10 万人当たり 85 名であるのに対し、実際には 10 万人当たり 45 名であると述べられています。⁸⁾

2.2 インドにおける COVID-19 の被害状況

COVID-19 に関しては、2021 年 5 月初旬に最も大きな感染者数のピーク(一週間移動平均にて 391,279.5 人/日)および死亡数のピーク(同 4140.3 人/日)を経験しましたが、2023 年 2 月 27 日時点ではそれぞれ 257.6 人/日、0.9 人/日と落ち着いております。¹⁰⁾また 2023 年 2 月末における各国政府により報告された人口 10 万人当たりの死亡数で比較すると、インドは 38.46 人と、欧米(米国 335.09 人、英国 304.85 人、イタリア 315.37 人、ロシア 271.42 人)、および中南米(ブラジル 328.82 人、アルゼンチン 288.66 人、メキシコ 258.26 人)の国々に比べ被害はより低いレベルにあるように見えます。¹⁰⁾しかし、COVID-19 の影響をより正確に予測するために WHO が算出した「超過死亡数」*にて比較すると、インドは 2020-2021 年の 24 カ月の期間における人口 10 万人当たりの死亡数が 342 人と、欧米および中

* 超過死亡数は、発生した死亡数と、それ以前のデータに基づくパンデミックがない場合に予想される死亡数との差として定義されます。COVID-19 による直接的な死亡数の他、パンデミックが保健システムや社会に与える影響により、人々が必要な予防や治療が受けられなかったために発生した間接的な死亡数を含むと考えられます。

南米の国々(同期間にて米国 280 人、英国 218 人、イタリア 266 人、ブラジル 320 人、アルゼンチン 198 人、メキシコ 484 人)と同等かより高いレベルの被害を受けていると推定されています。¹¹⁾公式に報告された死亡数と超過死亡数の解離は、低中位所得国にて高い傾向にあり、特にインドは調査された 194 カ国中で最も高い解離を示しています(公式報告数の約 9.9 倍)。これらの国々では、多くの人が COVID-19 に罹患していることが見過ごされたまま死亡している可能性が高く、検査に対する医療アクセス向上のニーズが特に高いと予想されます。

2.3 開発の目的

2022 年のインドの GDP 成長率は中国をしのぎ 6.8%、GDP 総額でも数年以内に日本を抜き世界 3 位になるといわれています^{12,13)}。インド商工省により設立された India Brand Equity Foundation (IBEF) によると、インドの医療機器市場の規模は 2020 年の時点にて 120 億米ドルであるが、今後年平均成長率(CAGR)33%にて成長し、2025 年には 500 億米ドルに到達すると予測されています。^{*,15)}このようにインド市場におけるビジネス展開は、大変魅力的といえます。

一方インドは新興国群 BRICS の一角でありながら、いまだ結核、HIV、マラリア等の感染症により亡くなる人が多く、その対策強化は喫緊の課題であるといえます。特に COVID-19 に関しては、公式に報告された死亡数と超過死亡数の解離が大きいことから、感染症の検査に対するニーズは高いものと予想されます。そしてこれらの課題は、インド医療の事情(高い医療費自己負担率、少ない医師数・医療インフラ、都市部/農村部の格差)を考慮したうえで取り組む必要があります。我々は、これらの課題をインドのみならず他の開発途上国・新興国における世界共通の課題ととらえ、新型コロナウイルス検査用デバイスの開発を通して、サステナブル社会の実現に貢献することを目的としております。

3. サステナブル社会の実現に向けた取り組み

3.1 活動の体制

本稿の記載内容は、厚生労働省による助成のもと実施される AMED 事業「開発途上国・新興国等における医療技術等実用化研究事業」(令和 3 年～5 年)によるものです。本事業では、途上国・新興国等の公衆衛生上の課題の解決および日本の医療の国際展開に貢献することを目的として、企業、大学、研究機関等が複数の開発グループを結成し、グループごとに独自に設定した課題の達成に取り組んでおります。我々は、北陸先端科学技術大学院大学(JAIST)発のバイオ系ベンチャーである BioSeeds 社のリーダーシップの下、新興国インドを対象とした「現場使用可能な新型コロナウイルス変異株 RNA 検出システムの開発と開発途上国・新興国での性能評価」を課題として、新型コロナウイルス検査用デバイスのコンセプト創出と試作機の開発を主に担当しております。

* 集計主体および方法が異なるため単純比較はできませんが、2020 年の日本国内市場は 39,096 億円(2020 年の平均レート 106.77 円/\$ 換算にて 366 億米ドル)であることから、¹⁴⁾インドは 2025 年には現在の日本市場規模を凌ぐこととなります。

3.2 バイオデザイン・イノベーション・プロセスに基づく開発戦略の策定

バイオデザイン・イノベーション・プロセスとは、2001年にStanford大学のPaul G. Yock教授らが提唱した、デザインアプローチをもとにした医療機器開発におけるイノベーション創出のためのプロセスです。適切にニーズをとらえる事が、イノベーション創出のための最重要課題であるとし、そのためにプロジェクトの最初期にて医療現場の観察による徹底したニーズ探索を行います。また医療現場の観察によるニーズ探索には、ニーズ達成の難易度、自社シーズや事業形態との親和性、収益性等を一切考慮しない新鮮な視点を持つ事を求めており、これによりイノベーション創出の種となる潜在ニーズを、取りこぼすことなく収集することを目指しています。

適切にニーズ設定が行われ、イノベティブな製品が生まれるよう、AMEDにより本事業における開発戦略の策定にバイオデザイン・イノベーション・プロセスを導入することが要求されております。一方、本手法に不慣れなグループであっても円滑にプロセスを実施できるよう、大学のバイオデザインチームあるいは医療系コンサルタント等によるサポートが提供されております。

バイオデザイン・イノベーション・プロセスは「ニーズ特定」、「コンセプトの創出」、「事業化」の3フェーズより構成されており、現在事業開始2年目にあたる我々のプロジェクトでは、このうち「ニーズ特定」、および「コンセプトの創出」までを実施しております。以下に、我々が行ってきた活動を報告いたします。

3.3 ニーズ特定

バイオデザイン・イノベーション・プロセスにおける第一のフェーズでは、まずは医療現場の観察を行い、そこに内在する課題を思いつく限り列挙し、それぞれをニーズへと落とし込んでいきます。思い込み、思い入れ等による課題の見逃し、取り違え等を防ぐため、この段階ではニーズ達成の難易度、自社シーズや事業形態との親和性、収益性等は一切考慮せず、可能な限り新鮮な視点で現場を観察することに努めます。例えば、自社シーズを意識して現場観察を行った場合、そのシーズに合致する課題にばかり注目してしまい、重要なニーズを見逃すことになりかねません。我々はこの考えに従い、COVID-19患者を受け入れるムンバイ市およびバンガロール市の私立/公立17病院の医師に対して、遠隔によるインタビュー調査を実施しました(図2)。なお、現地で現場を観察しつつ直接インタビューすることによる気付きも多いため、本来であればプロジェクトのメンバーがインドの病院を訪問するべきですが、防疫措置によりインドへの渡航が困難だったため遠隔でのインタビューとなりました。インタビューでは、病院側が訴える「困りごと」「不足する点」等の直接的なニーズを聞き取るとともに、COVID-19患者の来院→医師による診断→診断結果の通知→治療に至るフローにおいて、医師、看護師、および患者がそ

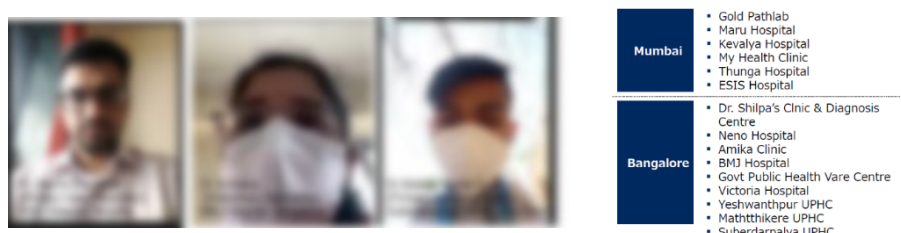


図2. インドの医師に対す遠隔によるインタビュー調査の様子

れぞれ具体的にどのような行動をするかを聞き取ります。例えば医師の行動については、「1日に対応する患者数はどの程度か?」、「診断の具体的な手順は?」、「治療の具体的な手順は?」等について聞き取り、また患者の行動についても「自宅からの来院に使用される主な交通機関は何か?」、「待合室における待ち時間はどのくらいか?」、「陽性となった場合どのような治療を受けるか?」等について聞き取ります。インタビュー後、開発グループ内にてこれらの行動を振り返り、その中に問題点、改善すべき点等の課題がなかったかを詳細に検討します。この操作により、病院側が訴える顕在ニーズのみならず、いままで病院側も意識してこなかったような潜在ニーズについても、取りこぼすことなく探索できるとしています。

次に、こうして探索したニーズを、“ニーズステートメント”と呼ばれる簡潔な構文にて表現し直します。例えば、大人数の患者が狭い待合室で待機しているため、患者間における二次感染の危険性が高いことが、ある病院の患者の行動分析により明らかとなった場合は、この問題点が有するニーズを、「患者に対し、二次感染の防止をもたらすため、待合室での密を防ぐ方法」といった短い構文にて表現します。このように、ニーズステートメントは必ず「対象Xに対し、目的Yをもたらすため、課題Zを行う方法」という構文とすることで、問題解決の対象X、目的Y、課題Zを明確にし、メンバー間での共有を容易にします。17病院へのインタビューを通し、今回のプロジェクトではニーズステートメントを計25個作成しました。

ニーズ特定最後のステップとして、これら25個のニーズステートメントを絞り込むことで、本プロジェクトにて我々が取り組むべきニーズを選定しました。ニーズ選定では、まず2つのニーズステートメントについて、インド医療環境向上への貢献度、事業性等の観点から、どちらがより重要なニーズであるかを比較し、優劣の度合いに応じた点数を付与します。さらに操作を25個のニーズステートメントについて総当たり方式にて行う事で、各ニーズステートメントの点数の合計からランキングを作製します(図3)。さらに、そのニーズを満たすデバイスを開発する場合の難易度、保有技術との親和性等に基づく採点結果も加味し、最終的に本プロジェクトにおける開発ターゲットとすべき、最も重要度が高いニーズステートメントを特定しました(ニーズステートメントの具体的な内容、具体的な評価基準、選別結果については社外秘)。

No.	ニーズステートメント	NS-1	NS-2	...	NS-25
NS-1	X1に対し、Y1をもたらすため、Z1を行う方法		5.0		10.0
NS-2	X2に対し、Y2をもたらすため、Z2を行う方法	0.2			1.0
⋮	⋮	0.1	5.0		0.2
NS-25	X25に対し、Y25をもたらすため、Z25を行う方法	1.0	0.1		

Score	Criteria Value
10.0	Much More Value
5.0	More Value
1.0	Equal Value
0.2	Less Value
0.1	Much Less Value

図3. ニーズステートメントの絞り込みに使用する作業シートの例

3.4 コンセプト創出

バイオデザイン・イノベーション・プロセスにおける 2 番目のフェーズでは、初めに特定されたニーズを満たすためのデバイス要件の設定を行います。ここでデバイス要件とは、新型コロナウイルス検出用デバイスにおける検出精度、検出に要する時間、操作性、値段等の目標値、目標仕様を指します。これらは前項の医師に対するインタビューの他、想定されるデバイス操作者の属性(年齢、専門性、操作練度等)、想定されるデバイス設置環境(温湿度、清浄度、電力インフラ有無等)、競合となり得るデバイスの仕様・市場価格等、様々な情報を踏まえて設定します。

次に、設定したデバイス要件を満たすためのデバイスコンセプトを検討します。ここでデバイスコンセプトとは、ニーズを満たすための具体的な技術・手法にあたり、本プロジェクトに関しては新型コロナウイルス検出用デバイスに採用する検出手法、部品構成等を指します。ブレインストーミングの手法を用い、メンバーの自由な発想のもと提案される様々なコンセプトを列挙した後、既存の保有技術にて実現可能であること、あるいは新規に開発すべき要素が十分に小さいことを条件に絞り込みを行います。なお、本プロジェクトにおいては数年以内に開発可能であることを条件にしております。我々は医師に対するインタビュー及び競合技術に関する調査から、いくつかのデバイス要件を設定し、その要件を満たすデバイスコンセプトを検討いたしました。例えば、デバイス要件として新型コロナウイルス検査用デバイスの具体的な目標価格を設定し、その要件を満たすためのデバイスコンセプトとして、安価な部品にて実施でき、かつ保有技術にて実現可能な電気泳動法を採用したデバイスを検討いたしました。また、農村部等における医師不足に対応するため、誰でもが簡単に操作可能であることをデバイス要件とし、この要件を満たすためのデバイスコンセプトとして、シンプルかつ分かりやすいサンプル設置手順、直感的に操作できる専用ソフトウェアを検討いたしました。

さらにデバイスコンセプトの妥当性を検証するために、デバイスの試作品を作製しました。バイオデザイン・イノベーション・プロセスにおける試作品の開発は、ソフトウェア開発等で広く採用されているアジャイル開発と同様に、完璧を求めずに行われます。コンセプトに関わる点については上述のとおり慎重に検討しながらも、筐体、その他部品には可能な限り既製品を採用することで、構想から完成までの期間を短縮しました。試作、評価、再設計を短いサイクルで繰り返すことにより、コンセプトや仕様を柔軟に変更させていきながら、最終製品の形に近づけていくプロセスです。

図 4 に本プロジェクトにて作製した新型コロナウイルス検査用デバイスの試作機の外観および模式図を示します。試作機は、作成したデバイスコンセプトに基づいてデザインされており、新型コロナウイルスの検査手法として電気泳動法を採用しております。電気泳動法は一般的な生化学分析に広く用いられている分析手法の一つであり、被検者の検体を含むサンプルが、周囲に形成された電場の影響によりゲルシート上を移動(泳動)する様子を観察しています。サンプルの移動速度は、検体に新型コロナウイルス由来の核酸が含まれるか否かにより異なるため、所定時間当たりの移動量の比較により陰性/陽性の判別が可能です。COVID-19 の確定診断手法として一般的に用いられるリアルタイム・PCR 法の装置が、高価な光学部品(光源、光学系路、検出器)により構成されるのに対し、電気泳動法の装置は、電場を形成するための電極、透明なサンプルを可視化するための安価な光源、カメラ等により構成されており、原価を低く抑えることが可能です。一方で、電気泳動法はリアルタイム・PCR 法と比較して検出感度が低いとされ、COVID-19 の確定診断には使用されてきませんでした。そこで、我々はサンプルの前処理段階

において、本プロジェクトの統括である BioSeeds 社の M. Biyani らのグループにより過去に開発された新規核酸増幅法¹⁶⁾を採用しております。本増幅法は RICCA (RNA Isothermal Co-assisted and Coupled Amplification)と命名されており、従来の PCR と比較して感度が高く、また PCR と異なり等温条件における増幅が可能であるため、温調機構が不要であるという特長があります。これにより、電気泳動法により検出時の感度が低下しても、結果としてリアルタイム-PCR 法と同程度の精度にてウイルスを検出可能となっています。

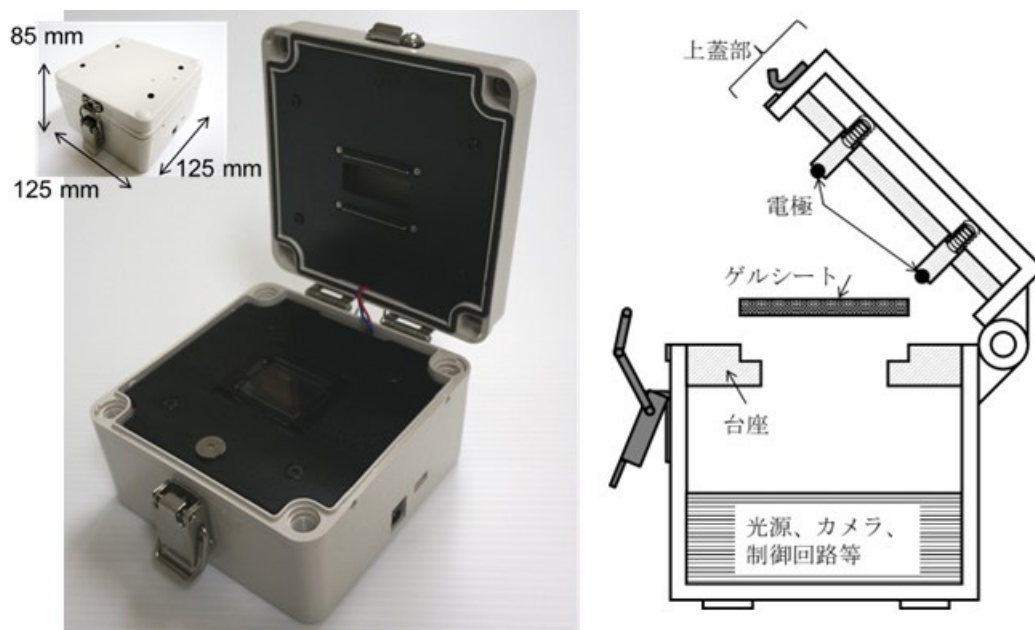


図 4. 新型コロナウイルス検査用デバイスの試作機の外観および模式図

筐体サイズは $125 \times 125 \times 85 \text{ mm}$ と非常にコンパクトであり、前述した電極、光源、カメラの他、これらモジュールを制御するための回路がすべてこの中に集積されています。上蓋が開くボックス形状となっており、上蓋を開く→サンプル滴下済の使い捨てゲルシートを設置する→上蓋を閉じるといった非常にシンプルで分かりやすい操作によりサンプルを導入することができます。また、電気泳動結果の撮影は内蔵のカメラと専用のソフトウェアにて実施可能です。

3.5 コンセプトの妥当性評価

作製した試作品はインドの複数の病院の医師のもとに持ち込み、複数回にわたりユーザビリティ評価を実施しました。また、2022年9月15日～17日に Hyderabad にて開催されたインドの理化学機器の展示会である India Lab Expo 2022 に出展することで、看護師、検査技師、大学研究者、民間検査会社関係者等、医師以外の様々な層のユーザーに実物を手に取ってもらいながら、性能、使いやすさ、デザイン、価格について意見を収集しました(図 5)。現在はこれらの意見をもとに、我々が作成したデバイスコンセプトの妥当性を評価・ブラッシュアップするとともに、次の試作に向けた設計を行っています。



図 5. インドの展示会の様子および配布パンフレット

4. まとめと今後の展望

AMED による「開発途上国・新興国等における医療技術等実用化研究事業」に参加し、新興国インドにおける実用化を目指した新型コロナウイルス検査用デバイスの開発を行っております。バイオデザイン・イノベーション・プロセスに基づき、インドの医師に対するインタビュー調査によるニーズ探索を実施し、このニーズを満たすためのデバイス要件、およびデバイスコンセプトを決定しました。さらにこのコンセプトに基づきデザインされた試作機を開発し、ユーザビリティ評価を行うことでコンセプトの妥当性を評価しました。現在、様々な層のユーザーによる評価結果を反映し、製品化に向けたデバイスのブラッシュアップを行っております。

「謝辭」

本研究はAMEDの課題番号JP21hk0302011の支援を受けております。

[参考文献]

- 1) World Health Organization, 新型コロナウイルス感染症(COVID-19) 公式情報特設ページ, https://extranet.who.int/kobe_centre/ja/covid(参照 2023-2-21).
- 2) 國方亮太, 須田篤史, 航空電子技報 **43**, p.29 (2021).

- 3) United Nations Department of Economic and Social Affairs Population Division, World Population Prospects 2022, <https://population.un.org/wpp/>(参照 2023-2-21).
- 4) International Monetary Fund, World Economic Outlook Database, <https://www.imf.org/en/Publications/WEO/weo-database/2022/October>(参照 2023-3-10).
- 5) The World Bank Group, World Bank Country and Lending Groups, <https://datahelpdesk.worldbank.org/knowledgebase/articles/906519-world-bank-country-and-lending-groups>(参照 2023-3-10).
- 6) The World Bank Group, Poverty and Inequality Platform, <https://pip.worldbank.org/home#messages>(参照 2023-3-6).
- 7) Institute for Health Metrics and Evaluation, Global Burden of Disease Study 2019 Data Resources, <https://ghdx.healthdata.org/gbd-2019>(参照 2023-3-1).
- 8) (独)国際協力機構, インド保険医療セクターに係る情報収集・確認調査報告書, p.99 (2014).
- 9) The Organisation for Economic Co-operation and Development, OECD.Stat Web Browser, <https://stats.oecd.org/>(参照 2023-3-10).
- 10) World Health Organization, Coronavirus (COVID-19) Dashboard, <https://covid19.who.int/>(参照 2023-3-1).
- 11) World Health Organization, Global excess deaths associated with COVID-19 (modelled estimates), <https://www.who.int/data/sets/global-excess-deaths-associated-with-covid-19-modelled-estimates>(参照 2023-2-28).
- 12) International Monetary Fund, World Economic Outlook Database: October 2022 Edition, <https://www.imf.org/en/Publications/WEO/weo-database/2022/October>(参照 2023-3-6).
- 13) Goldman Sachs, Global Economics Paper **December 6**, p.45 (参照 2023-3-6).
- 14) 平井 祐治, 医機連ジャーナル **119**, p.49 (2022).
- 15) India Brand Equity Foundation, Medical Devices Industry Report-November 2022, <https://www.ibef.org/industry/medical-devices#>(参照 2023-2-28).
- 16) Radhika Biyani, Kirti Sharma, Kenji Kojima, Madhu Biyani, Vishnu Sharma, Tarun Kumawat, Kevin Maafu Juma, Itaru Yanagihara, Shinsuke Fujiwara, Eiichi Kodama, Yuzuru Takamura, Masahiro Takagi, Kiyoshi Yasukawa and Manish Biyani, Scientific Reports volume **11-15997**, p.1 (2021).