ウイルス感染防止シールドの 医療現場との共同開発事例について*

Case Study of Joint Development of Viral Infection Protection Shield with Medical Institutions

細田彰一**

Shouichi HOSODA

Key words

COVID-19, droplet infection, tracheal intubation, PCR virus test, participatory design, rapid prototyping

1. はじめに

本稿では、COVID-19の流行にともなう医療機関と試作環境をもつ設計との連携の一例について述べる。どういった対処がベストなのか、現在もまだ確定していないことと、連携のダイナミズムを伝えたいため、出来事を時系列に沿って解説していく。

新型コロナウイルス感染症（COVID-19）は、2020年1月に中国での感染者情報が出されたのをはじめとして、同年2月に中国武漢での死者急増と医療崩壊の報道、同年4月には世界的な流行が起り、都市封鎖や海外渡航中止勧告措置が取られる事態となった¹⁾。日本では同年1月に感染者が確認された後、同年3月末から4月にかけて第1波の流行が起こった²⁾。この3月、4月時点において全国平均では37%、東京都では56.2%の医師が医療崩壊の危機を感じており³⁾、日本の医療現場での感染に対する危機意識が非常に高まっていた。COVID-19は、飛沫感染することが知られていた。空気感染、エアロゾル感染については、この時点でははっきりせず、同年10月にアメリカ疾病対策センターが、飛沫感染で説明できない症例の増加により可能性を認めた⁵⁾。しかし、飛沫感染の方が感染経路としては一般的であり、感染者の口からの飛沫を避けることが感染防止には有効である。また、COVID-19は、呼吸器に重篤な症状が出ることが多い。そのため、感染者のせきやくしゃみだけでなく、気管支鏡検査や重篤者の気道確保のための気管挿管、PCR検査時の飛沫などをできるだけ浴びないようにすることが重要である。COVID-19に関連する気管挿管やPCR検査時には、使い捨ての全身を防護する服を着ることにはなっているが、防護服にも、できる限り飛沫を付着させない方が防護効果は高い。そのため、防護効果のあるシールドやボックスの需要が高まった。同年4月以降、ボックス型のシールドが市場に出回る

ようになった。

2. 気管挿管用飛沫感染防止シールドの製作

2.1 発端：東埼玉総合病院からの依頼

2020年4月7日に新型コロナウイルス緊急事態宣言が出され、多くの企業・学校などにおいて在宅勤務や自宅学習が推奨された。

日本工業大学（以下、本学）が参加している「彩の国連携力育成プロジェクト」に協力してもらっている東埼玉総合病院より、防護服の代わりになるものではないが、できる限り飛沫をブロックできる簡易シールドができないかという相談があった（同年4月14日）。この時点では、東埼玉総合病院ではCOVID-19の患者の受け入れはなかったが、今後受け入れの可能性もなくはないこと、COVID-19以外にも気管挿管は行っていることから、対策を打っておきたいとのことであった。その際、出所は調査しても不明であったが、簡易飛沫防止シールドの図面を東埼玉総合病院が所持しており、それを作ってほしいという要望であった。そのシールドはアクリル板の切削と、曲げ加工が必要とされる構成であった。筆者は、人間工学を応用したプロダクトデザインとラピッドプロトタイピングを専門としており、その図面を基にした試作が可能であること、人間工学に基づいた改良を施したいため、現場の協力（主に意見収集）をお願いしたいということを東埼玉総合病院に伝えた。

2.2 試作のリソース

その時点で日本工業大学も教職員に対して出勤自粛を勧告していた。シールドの試作を行うのには大学の機材を使用する必要があるため筆者は大学に出ていたが、設計・試作において、2名で対応をせざるを得なかった。本来は、試作プロセスにおいて簡易な実験を行い、改良していくのが筋ではあるが、それでもできる状態ではなかった。また、医療機関だけでなく、接客や会議などの場面でも飛沫防止シールドが必要とされており、その影響で材料のアクリル板が手に入りにくい状況であった。とりあえず、在庫の材料と確保できる人員で作業を始めたが、心もとない状況で

*原稿受付 令和2年10月20日

**日本工業大学基幹工学部機械工学科（埼玉県南埼玉郡宮代町学園台4-1）

図1 第1試作

あり、学内外の協力者を探す試みも開始した。同年5月に入るところには、協力者も増え、材料入手も可能になった。ただし、学生が入構できないため、学内での人間工学的検討などは円滑にできる状態にはならなかった。そのため、現場の医師によるユーザ参加型デザインアプローチを基に改良を施していく方針を取った。

本学所有のレーザー加工機（ユニバーサルレーザー ILS9.75）およびアクリル曲げヒーター（goot HA-400）を用いて試作を行った。最初の試作は、依頼日の翌日（同年4月15日）に制作し、東埼玉総合病院にSNSを通じて意見や感想をもらった後、同年4月17日に試作（第1試作：図1）を病院に持参して、その場で数名の医師・看護師へのヒアリングを行った。

2.3 第1回ヒアリング（同年4月17日）

この日のヒアリング時点では、病院から提供された図面とおりの試作である。改良などを加えなかったのは、気管挿管という作業について筆者に知識が少なかったためである。そのため、ヒアリングの最初には、気管挿管作業について簡単なレクチャーを受けた。その後、試作を見てもらったり、気管挿管を行うシミュレーションを行いながら、ヒアリングを行った（図2）。

このヒアリングより、以下のことが判明した。

- ・ 医療現場の飛沫感染への不安の大きさ
- ・ 気管挿管する医師の姿勢や、気管支鏡を用いるときの視点
- ・ 気管挿管時には、横に看護師などの助手が付くという事実

特に救急医療現場での不安が大きく、それをある程度解消するという要望が強かった。患者の横に付き添う助手への飛沫を防ぐ仕組みが現在ないので、それを検討する必要がある。また、両腕の間についたてがある形状で、腕がス

図2 検証風景（東埼玉総合病院提供）

トレートに伸ばせない状況であるため、腕が通る部分の横幅の検討も必要だと思われた。

2.4 設計改善および試作

以上の結果を受け、改良案を検討した。第1試作群のついでに型に、市販のゴミ袋などをクリップやテープで固定して、横方向の飛沫をガードするアイデアを試すことにした。また、腕が外から通る部分の横幅を変化させたもの数種（第2試作群）を新たに設計・試作した（図3）。横幅を変化させたのは、腕を両側からついたての向こうに伸ばす関係で、ついたての手が通る部分の幅を狭くすることにより、作業性を高めようという意図である。

2.5 協力病院の増加

同年4月17日以降、国際医療福祉大学・獨協医科大学埼玉医療センター・自治医科大学附属病院から試用したいとのオファーがあった。それぞれの病院とは、Zoomを用いた会議・メール・SNSを用いて情報交換を行った。試作品は、各病院に郵送して、救急現場のスタッフの意見や工夫について報告してもらった。

2.6 横幅を変えた第2試作群のユーザーレビュー（同年4月23日）

東埼玉総合病院には、同年4月23日に持ち込み、2回目のユーザーレビューを行った。第2試作群のレビューから、飛沫がシールドの上を越えてやってくるものの可能性も指摘があり、その対策が必要となった。横幅を狭くし、腕の通りを良くするという部分については、飛沫を直接浴びる可能性とのトレードオフ条件であり、狭めすぎない方

図3 第2試作群

図4 ビニールシートを使っているところ（自治医科大学附属病院提供）

がよいとの見解であった。市販のゴミ袋やビニルシートを用いた横のガードについては、東埼玉総合病院だけでなく、他の病院でも試してもらい、一定の評価をもらったが、現場での設置、片付けなどの運用を考えると、その準備や効果について、まだ工夫を要する状況だと考えられた（図4）。

2.7 ボックス型および第3試作の制作（同年5月12日）

上方向の飛沫のガードについては、これ以上ついたてを高くするのは安定性その他の問題もあり、上部にアクリル板の曲げ箇所を追加し、ついたてが仰臥位の患者の口の直上まで伸びる構造を採用した（図5）。これにより以前の試作より小型化できた上に、飛沫の飛散防止範囲を広げることができた。側面の飛散防止に関しては、これといった対策が取れないため、既に各所で作られている、患者の頭に被せるボックス型で、気管挿管する医師が腕を入れられる穴が二つ開いたものも試作することにした（図6）。

上部を折った第3試作に関しては、側面の飛沫防止の点を除けばおおむね高評価であった。ただし、側面のガードについてはこの時点ではノーアイデアである。その一方、側面上面の飛沫のガードもできるボックス型については、現場の医師・看護師からはあまりコメントもなく、評価が高くないことがうかがえた。理由を探っていくと、その大きさに起因するらしいということが分かってきた。COVID-19において気管挿管が増えることは予想されていたものの、個々の医療機関でそれを行う頻度は多くても一日に数件レベルである。2020年5月時点では1週間に数回レベルであった。ボックス型は、使用していないときにかさばり、収納に困るのである。ついたて型は、設置面積が小さい上に、複数個スタッキングすることもできるため、収納も見据えた場合にはこちらの方が良いという判断

図5 第3試作

をする医師が多かった。ただし、気管挿管をする医師により、判断の違いがあることも徐々に分かってきた。空気感染防止も含めた完全気密を求める医師もいれば、防護服は着るので簡易なもので、防護服にかかる飛沫をある程度防止できればよいという医師もいる。さまざまな医師や医療機関の要望を、一つのプロダクトで満足させるのは困難であることが判明した。

2.8 第4試作の制作

上記の結果を受けて、第3試作を基に独立した左右のついたてを置く3パーツ構成の第4試作を考案した（図7）。左右のついたては、気管挿管の補助者がいるどちらか一方のみを使うことも可能である。また、左右のついたてを立てて中央のついたてを外し、その間に仰臥位の患者の頭を置き、さらにその上から70リットル以上の透明ゴミ袋をかぶせることで、ボックス型に近い飛沫防止効果を得るこ

図6 ボックス型（自治医科大学附属病院提供）

図7 第4試作

とも可能な構成にした。また、この3パーツは未使用時には重ねてコンパクトに収納できるように工夫した。また、この第4試作を東埼玉総合病院にて見てもらい、大きな問題がないことが確認できたため、とりあえずの最終版とした。

3. PCR 検査用飛沫感染防止シールドの制作

3.1 PCR 検査用飛沫感染防止シールドの要求事項

同年5月頭より、気管挿管ではなく、COVID-19のドライブスルーPCR検査用の飛沫感染シールドの設計・制作についても東埼玉総合病院から依頼があった。幸手市・杉戸町の北葛北部医師会が、今後拡充されるPCR検査に対応するための備えである。気管挿管用のシールド制作活動を聞いた医師会が興味をもった。COVID-19のPCR検査では、検査者は防護服を着るのだが、防護服の中はかなり暑くなるため、その暑熱対策と、防護服への飛沫を軽減し、医療従事者への感染の可能性も減らす試みである。提

図8 自動車の窓の位置⁷⁾

図9 PCRシールド試作CAD図

示された条件は以下のとおりである。

- ・ ドライブスルーに対応させたい
 - ・ 6カ月はもたせたい。しっかりとしたものを作ってほしい
 - ・ 最後は分解して廃棄できるという
- ドライブスルーが希望であったので、まず最初に、自動車に乗ったままで検査する場合のついたて型シールドを考えてみた。それに際し、まずは一般的な自動車の窓位置を、自動車の図面から検討した。問題は2点あった。
- ・ 乗車位置の低いスポーツカーから高いSUV・小型トラックまで、極端なものを除いても口の高さが1100～1450mmくらいと、かなりの高低差があること（図8）。
 - ・ ついたてが車体やバックミラーに当たることにより、損害賠償が発生する可能性があること。

このことから、とりあえずは車を降りて検査するタイプのシールドを検討することとした。気管挿管用のシールドと同じく、未使用時にはなるべくコンパクトに畳んでおけると、清潔状態を維持するために透明窓以外の外装を交換できるようにすることを考慮した。交換する外装部分は、軽くて扱いやすい段ボールを使うこととした（図9）。

図 10 PCR 検査シミュレーションの様子（東埼玉総合病院提供）

3.2 制作体制

同年 5 月後半に試作することになったが、いまだ出勤自粛・学生の登校禁止が続いており、大学での試作は困難な状況であった。しかも、今回は人の身長サイズの造作が必要であるため、筆者の環境では試作するのが困難である。協力を申し出てくれた白石工務店、段ボール家具を扱うホテルグリーンコアと共同で試作を行うこととした。同年 5 月 25 日に試作が完成し、翌日 26 日に、幸手市の権現堂第二公園の仮設テント下に設置しシミュレーションを行った（図 10）。

3.3 シミュレーション結果のフィードバック

現地のシミュレーションの結果、問題点が出てきた。当日降った雨で段ボールが曲がってしまったこと。また、段ボールも医療廃棄物として扱う必要があるため、取り替えて使うことは難しいことである。それ以外では、おおむね問題はなかった。医師会からは段ボール外装の代わりとしてアクリル板を希望されていたが、合板に比べるとぶつけたときに割れたり、加工自由度が低いことから、化粧合板を選択した。同年 6 月以降は、実際に PCR 検査で用いられ、実用に足ることが証明された。

4. 考察

筆者はプロダクトデザインが専門で、試作制作については必ずしも得意分野とはいえない。ただ、デザインプロセスの中で試作と検証を繰り返しながら設計を練っていく必要があり、小規模ではあるが試作環境があったことが、今回のコラボレーションにつながった。医療の現場は、ものづくりの文化も施設もないため、簡単な道具を工夫して作ることも困難である。現場レベルで試作環境をもつ組織と医療現場がつながることは、現場の非常時の対応能力を底上げできる可能性がある。

一方、今回制作した気管挿管および PCR 検査用シールド

が、有用であったかどうかは疑問の余地が残る。どちらにせよ初めに防護服ありきの補助ツールであり、実際の感染をどの程度防げるかは未知数である。また、防護服を正しく用いていれば、感染のリスクは大きくはない。防護服や医療用マスクが不足するような医療崩壊状況では、あまり役に立たない。試作し、現場で試用したこと自体は有意義なことであると思われるが、こうしたアイデアに飛びついて動いてしまったことは一種の過剰反応であったのではないかという疑念はある。今後は、現場の要望に沿って素早く試作・提供しつつも、本当に有用なデバイスを検討するという二つの動きを同時に行うような活動形態が求められるのではないと思う。

5. 謝辞

現場に関する助言や試作品のフィードバックを頂いた東埼玉総合病院の中野智紀先生、国際医療福祉大学の志賀隆教授、獨協医科大学埼玉医療センターの松島久雄教授、自治医科大学附属病院の中山雅之准教授、各種シールドの制作に協力いただいた一般社団法人さいしんコラボ、株式会社タイラ、白石工務店の白石充氏、ホテルグリーンコアの入澤健氏、日本工業大学の平山晴香先生に感謝します。

参考文献

- 1) 外務省：海外安全ホームページ、各国・地域における新型コロナウイルスの感染状況、https://www.anzen.mofa.go.jp/covid19/country_count.html, (2020)。
- 2) 国立感染症研究所：茨城県における新型コロナウイルス感染症流行第 1 波の記述疫学、<https://www.niid.go.jp/niid/ja/diseases/ka/corona-virus/2019-ncov/2502-idsc/iasr-in/9820-486d03.html>, (2020)。
- 3) 厚生労働省：新型コロナウイルス感染症について国内の発生状況など、<https://www.mhlw.go.jp/stf/covid-19/kokunainohas-seijoukyou.html>, (2020)。
- 4) 関山健：データで見る武漢の新型コロナウイルス高致死率と医療崩壊、<https://www.spf.org/spf-china-observer/document-detail026.html>, (2020)。
- 5) 岩崎雅子、高橋直純：医師 9 割、医療崩壊の危機「感じた」3・4 月—COVID-19 対応都道府県調査、2、<https://www.m3.com/open/iryoIshin/article/809708/>, (2020)。
- 6) 日本経済新聞：新型コロナ『空気感染』の可能性 米 CDC が指針改定、<https://www.nikkei.com/article/DGXMZO64652960W0A001C2000000/>, (2020)。
- 7) 車の塗り絵・CAD データ、<https://nurie-cad.matrix.jp>, (2020)

細田彰一

千葉大学工学研究科工業意匠専攻（修士課程）修了。修士（工学）。(株)INAX にて水回りの UD を担当。その後いくつかの教育機関を経て現職。プロダクトデザイナー。義手のデザイン提案。安価な機材を用いた取り回しの良い RP 環境などについて研究している。