

ウイルスをほぼ完全に遮蔽できるマスクの開発、および、 ロックダウンを不要化する社会基盤の提案

藤井雄作*, 橋本誠司, 田北啓洋

群馬大学

*<fuji@gunma-u.ac.jp>

要旨: ウイルスの侵入、漏洩をほぼ完全に遮蔽でき、既存の技術で製作可能なマスク「自由外出マスク」を提案する。これが開発され、全国民に配布されれば、ロックダウンは不要となる。「自由外出マスク装着者」は、抗体保有者と同様に、マスク装着者がウイルスに感染することもなければ、他者にウイルスを感染させることもない。感染拡大時には、「自由外出マスク」を全国民一斉装着すれば、簡単・確実に感染収束となる。今回、ヘルメット部とウエストポーチ部で構成される「自由外出マスク」を開発した。また、「自由外出マスク」を活用した「ロックダウンを不要化できる社会基盤」の提案を行う。

1. 背景

現在、コロナ感染症 (COVID-19) により、世界全体が、「新しい生活様式」と「ロックダウン (=外出自粛, 営業自粛を含む, 行動規制, 経済規制)」を併用した対策を取っているが、突然変異を繰り返すコロナウイルス (SARS-CoV2) に対するワクチン, 治療法の迅速な開発・普及の目途が立たない中、ロックダウン断続状態から脱却する目途は、立っていない [1-3]。

「自由外出マスク」を各国民に一人一台ずつ配布することは、いつでも、簡単・確実に感染を収束させる「決め手」を持つことを意味する。また、最悪な感染拡大状況下でも、「自由外出マスク」を着用さえすれば、外出は自由にできるので、あらゆる業種において、各事業者は、「状況により、自由外出マスク着用義務付けが有り得る」を想定し、対策を用意しておけば、事業の停止をする必要はなくなる。そうしさえすれば、東京オリンピックも、大学入試共通テストも、確実に実施できることになる。

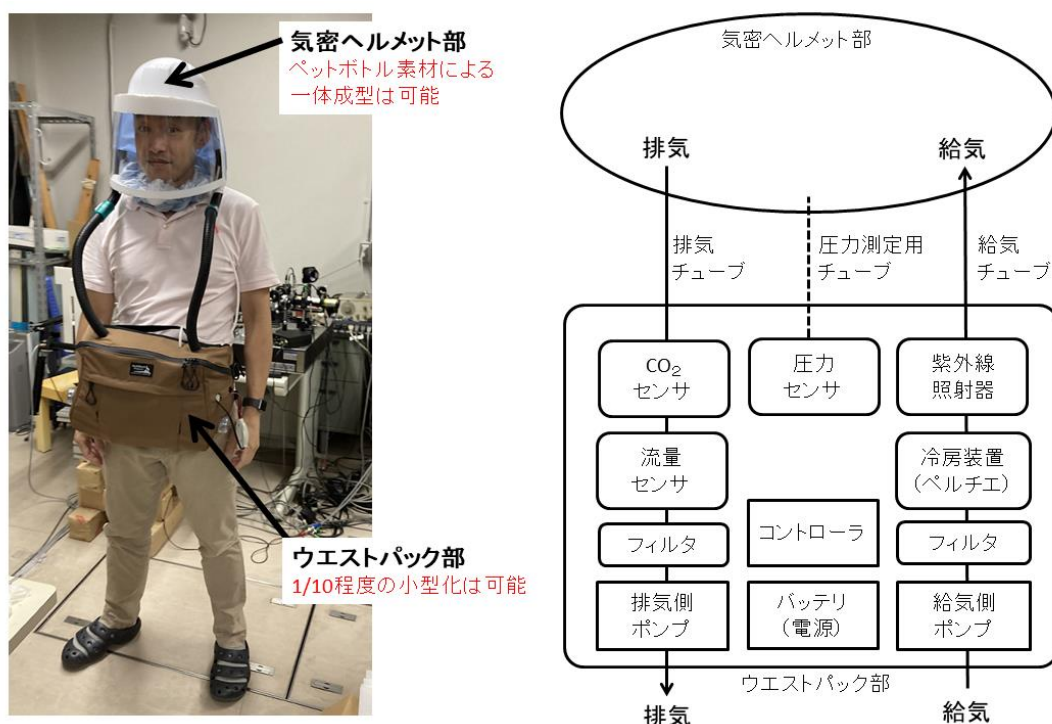


図 1. 「自由外出マスク」の試作機

2. 「自由外出マスク」の仕様

ウイルスの侵入、漏洩をほぼ完全に遮断するマスクとして、「自由外出マスク」を提案する。「自由外出マスク」は、様々な形態が考えられるが、最も、簡単に実現できる形態として、気密ヘルメット部と、清浄化された空気の給気、排気を行う機械部が納められたウエストパック部からなる形態を提案する。図1に開発した「自由外出マスク」試作機を示す。

[1] 気密ヘルメット内を、僅かな陽圧に制御することにより、首のシール部からの外気侵入を完全遮断でき、ウイルスの侵入は完全遮断できる。ウイルスの外部漏洩は、首シール部の気密程度に依存するが、高いレベルで抑止できる。

[2] 一定流量に制御された吸気により、ヘルメット内に、常に新鮮な空気の流れを作る。これにより、肺へ余分な負荷を加えることなく、新鮮な空気を呼吸することができる。

[3] ウエストパック部に納めたポンプによる強制給気、強制排気により、流れ抵抗が非常に大きな高性能フィルタを挿入することができる。これにより、通常の不織布マスク着用時のような息苦しさがない状態を作ることができる。さらに、ウイルス侵入・漏洩の遮断をより高いレベルで100%に近づけたい場合は、ウイルス死滅装置（紫外線照射器、プラズマクラスター発生器など）を挿入することが好適である。また、快適性の向上のため、温湿度調整装置、空気組成調整器（酸素濃縮器、二酸化炭素吸着器、など）を挿入することもできる。

機械部の小型軽量化により、ウエストパック部は、ヘルメット部と一体化することもできる。ヘルメット部は、柔らかいフィルム素材で作ることが好適である。現在の科学技術をもってすれば、上記のような機能を有する「自由外出マスク」の開発・大量生産は容易であろう。

3. 「自由外出マスク」による“疑似”集団免疫の獲得

基本再生産数 R_0 は、感染症に感染した1人の感染者が、誰も免疫を持たない集団（社会）に加わったとき、感染期間中に直接感染させる平均人数として定義される[4-6]。定義から、“周りに感染者が殆どいない状態”においては、当該集団（社会）について $R_0=1$ なら定常状態、 $R_0<1$ なら収束、 $R_0>1$ なら拡大、ということになる。 R_0 は、ウイルスの性質だけでなく、当該集団の性質（人種の体質、状態、公衆衛生の状態、各人の健康状態、など）にも依存する。公衆衛生を向上させることにより、あらゆるウイルスに対して R_0 を低減できる。

基本再生産数 R_0 は、模式的に次式で表せる。

$$R_0 = \beta \times k \times D$$

β ：一回の接触当たりの感染確率

k ：単位時間あたりに一人の人間が集団内で他者（＝未感染者）と接触する平均回数

D ：平均感染期間

すなわち、基本再生産数 R_0 を低減する上では、以下が有効。

β の低減：個人免疫力の向上、マスク着用、手洗い励行、社会的距離の確保。

k の低減：在宅勤務・在宅学習の導入、営業規制、外出規制。

「新しい生活様式」は、 β 、 k を低減させた状態、「ロックダウン」は k を極端に低減させた状態、と言える。

「自由外出マスク」着用者の割合 W_r により、基本再生産数 R_0 は修正され、修正基本再生産数 R_{0m} となる。

未感染者が W_r の割合で「自由外出マスク」を装着すると、感染し難くなる未感染者の割合が W_r となり、感染し易いままの未感染者の割合は $(1-W_r)$ となる。「自由外出マスク」のウイルス遮断率を S_r としたとき、マスク装着者の感染確率は、マスク非着用者のその $(1-S_r)$ 倍になると考えられる。以上より、近似的に以下の関係式が導かれる。

$$R_{0m} = [(1-W_r) + W_r(1-S_r)]R_0 \\ = (1-W_rS_r)R_0$$

$$W_r = [1 - R_{0m}/R_0] / S_r$$

例： $R_0=5$ のときに、 $R_{0m}=1$ とするのに必要な「自由外出マスク ($S_r=1$)」着用者の割合は、 $W_r = 1-1/5=0.8$ (80%) となる。これにより、感染拡大は止まり、定常状態に落ち着くことになる。なお、上記の計算式では、マスク

装着者の割合、感染拡大の状況が変化しても、個々人の移動や接触の様態は変化しないことを仮定している点で、少し無理があるので、参考程度として考えるべきである。

図2に、基本再生産数 R_0 を修正基本再生産数 $R_{0m}=0.5$ 、または、 1.0 に修正するために必要な「自由外出マスク ($S_r=1$)」着用者の割合 W_r を示す。

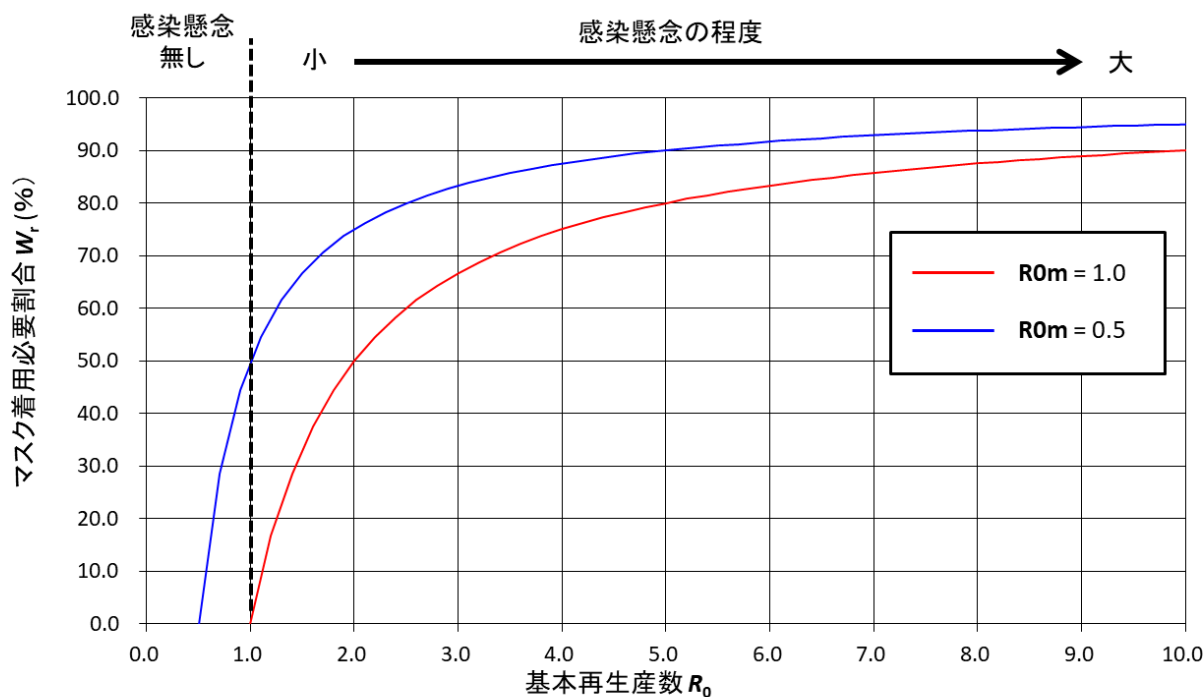


図2. 自由外出マスク着用必要割合 W_r (%)と基本再生産数 R_0 の関係

例えば、当該ウイルスの社会に対する基本再生産数 $R_0=5$ の時は、修正再生産数を1として感染定常化を図るために必要な「自由外出マスク ($S_r=1$)」着用者の割合 W_r は、未感染者のみが着用することを考慮すると $W_r = 0.8$ (80%)となる。すなわち、全国民が、接触人数の80%以上に対して自由外出マスクを着用して接触すれば感染は収束に向かう。なお、これまでに、COVID-19の基本再生産数 R_0 として報告されている数値は、概ね5程度以下であるので、上記の議論は現実的である。[7]

「自由外出マスク」におけるウイルス遮蔽率 S_r が1 (100%) ではない場合は、図1で求めた W_r を S_r で乗じた値を用いれば良い。低コストで製造し、配布・普及させる上では、最低限の性能を見極めることも重要である。なお、市販の不織布マスクは、通常の装着状態では、大部分の空気はフィルタ部 (不織布) を透過せずに、回りの隙間を流れていることが示されている[8]。

ここで、着目すべき点は、「自由外出マスクを全国民が保有する」は、「政府がロックダウンすることなく、感染拡大・収束を制御する手段を持つこと」を意味するという点である。現在のように、感染拡大に対して、過剰に怯える必要は無くなるという点である。

4. コロナ時代の社会様態：自由外出マスクによる新しい社会基盤の出現

コロナ時代の社会様態は、以下のようにすると予想している。

- [1] 全国民が一人一個の「自由外出マスク」を保有する。
- [2] 感染拡大の恐れが出た場合、政府は非常事態宣言を出し、外出時の「自由外出マスク」着用を義務付ける。
* 「自由外出マスク」さえ着用すれば、何の制約も無く、自由に外出できる。

- * 政府は、基本再生産数 R_0 を推定し、図1に基づき、自由外出マスク着用必要割合 W_r (%)を算出し、公表する。各国民は、自身の接触数について、マスク有の接触数の割合が全接触数の W_r 以上になるようにマスクを着用すれば良い。
- * 自由外出マスク着用必要割合 W_r (%)の推定を誤り、感染拡大を招いたとしても、目標 W_r を引き上げることにより、いつでも、迅速・確実・簡単に、感染を収束させることができる。

[3] ウイルス感染収束が確認された時点で、政府は非常事態宣言を解除し、外出時の「自由外出マスク」着用の義務はなくなる。

原始人と異なり、現代人は、「川や水溜まりの水」でなく「浄化された水」を飲む。一方、「空気」は、ウイルス、PM2.5、花粉、ホコリを始めとする様々な汚染物質を含んでいるが、現代人は、原始人と同様に、周りに存在する「自然の空気」を呼吸している。「自由外出マスク」の登場により、空気も「自然の空気」ではなく、「浄化された空気」を呼吸したいという強力な需要が顕在化してくることが予想される。すなわち、ウイルスの感染拡大の有無に拘わらず、また、政府による着用要請の有無に拘わらずに、多くの国民が外出時に、「自由外出マスク」を着用するようになることも予想される。そのような社会は、あらゆる感染症に対して、基本再生産数 R_0 がゼロに近くなり、あらゆる感染症に対して極めて強靱な社会となる。

人々は、外出時には、（足が汚れたり、ケガをしったりしないように）「靴」を履く。同じ様に、外出時には、（肺が汚れたり、ウイルス感染したりしないように）「自由外出マスク」を着用するようになることもあり得る。そうなると、多くの国民が、様々な種類の「靴」を所有するように、様々な種類の「自由外出マスク」を所有することになる。最低限の機能の「自由外出マスク」は市販価格2,000円程度を実現できると予想している。一方で、様々な機能が付加されたモデルも開発・生産され、市販価格で1万円、10万円、100万円の「自由外出マスク」も出てくると予想する。

「自由外出マスク」、及び、その周辺システム（乗り物・施設におけるサービス給排気ポートの提供、家庭用消毒エアロックシステム、など）は、コロナ時代における、必要不可欠な社会基盤となると考えている。そして、快適さ、便利さ、機能性、デザインが、世界中の多くの企業による集中的な努力によって、急速かつ大幅に改良・向上されていくと予想している。

5. まとめ

「自由外出マスク」を国民一人一人に行き渡らせることは、感染拡大をいつでもストップする手段を持つこと意味する。予防法（ワクチン）、治療法の開発の目途が立たない現状において、「自由外出マスク」を開発すること、そして、それを大量生産し普及させることは、人類がコロナウイルスに対して、確実に、速やかに、主導権を取れる唯一の方法である。「自由外出マスク」の普及に向け、日本国政府が動くことを切望している。

参考文献

- 1) “COVID-19 Dashboard by the Center for Systems Science and Engineering (CSSE) at Johns Hopkins University (JHU)”, ArcGIS. Johns Hopkins University.
<https://gisanddata.maps.arcgis.com/apps/opsdashboard/index.html#/bda7594740fd40299423467b48e9ecf6>
- 2) “Here Comes the Coronavirus Pandemic: Now, after many fire drills, the world may be facing a real fire”, Editorial, The New York Times (29 February 2020).
<https://www.nytimes.com/2020/02/29/opinion/sunday/corona-virus-usa.html>
- 3) 藤井雄作, “新型コロナウイルスとの共存に向けて”, 社会安全とプライバシー, Vol. 4, No. 1, pp. 1-5, (2020).
http://jjssp.e-jikei.org/ARCHIVES/vol04no01/JpnJSSP_vol04_no01_p01.pdf
- 4) D. J. Daley and J. Gani, “Epidemic Modeling: An Introduction”, Cambridge University Press (2005).
<https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.aje.a010286>
- 5) P. Fine, K. Eames, and D. L. Heymann, “‘Herd immunity’: A rough guide”, Clinical Infectious Diseases, Vol. 52, No. 7, pp. 911-916 (2011). <https://doi.org/10.1093/cid/cir007>
- 6) G. P. Garnett, “Role of Herd Immunity in Determining the Effect of Vaccines against Sexually Transmitted Disease”. The Journal of Infectious Diseases. Vol. 191, No. Suppl. 1, pp. S97-S106 (2005).
<https://doi.org/10.1086/425271>

- 7) B. Rahman, E. Sadraddin and A. Porreca, “The basic reproduction number of SARS - CoV - 2 in Wuhan is about to die out, how about the rest of the World?”, Review in Medical Virology, Vol. 30, No.4, e2111 (2020). <https://doi.org/10.1002/rmv.2111>
- 8) “100% “leakage rate” of cloth mask”. Asahi Newspaper Digital. (6 July 2020)
<https://www.asahi.com/articles/ASN7430PVN72UBQU00B.html>



藤井雄作 FUJII, Yusaku

群馬大学大学院理工学府

1989年3月東京大学工学部船舶工学科卒業, 1991年3月東京大学大学院工学系研究科修士課程修了. 2001年東京大学より博士(工学)の学位修得. 1991年4月川崎製鉄株式会社入社, 工業技術院計量研究所, 産業技術総合研究所 を経て, 現在群馬大学理工学府教授. 2004年よりNPO法人e自警ネットワーク研究会理事長. 防犯カメラシステム, 精密計測, 光波干渉計などが専門.



田北啓洋 TAKITA, Akihiro

群馬大学大学院理工学府

2006年3月徳島大学大学院機能システム工学専攻博士後期課程修了. 徳島大学および宇都宮大学の研究員を経て, 現在は群馬大学理工学府において助教に就任. 主な研究分野は防犯カメラシステム, フェムト秒レーザー加工, 干渉計測, 精密計測. 博士(工学).



橋本誠司 HASHIMOTO Seiji

群馬大学大学院理工学府

1999年3月宇都宮大学大学院工学研究科博士課程修了. 1996年~1999年日本学術振興会特別研究員. 2000年より小山工業高等専門学校機械工学科助手, 2002年より群馬大学工学部助手, 2005年に同助教授, 2016年に教授, 現在に至る. 博士(工学). 主にシステム同定・制御理論の産業分野への応用に関する研究に従事. 2001年, 2003年 IEEE IES Best Presentation Award 受賞. 2012年 IEEE IMCS Best Application Paper Award 受賞. 計測自動制御学会, IEEE 会員.