

## 深紫外線照射装置を用いた電子マスク試作の基礎的検討

所属：杏林大学 保健学部 臨床工学科

田沼佑都、芥川雅貴、磯部拳臣、佐々木萌

TANUMA Yuto, AKUTAGAWA Masaki, ISOBE Kenshin, SASAKI Moe

### 要旨

理化学研究所の研究により、深紫外線を特定条件下で 30 秒以上照射すると新型コロナウイルスを不活化させる効果があることが分かっているため、深紫外線のウイルス不活化作用を用いた再利用可能な N95 代替マスクの開発を研究目標とした。空気リザーバ内に 30 秒以上空気が滞留しているか確認するために、二酸化炭素を用いて空気滞留時間測定を行った結果、ウイルス不活化に必要な照射時間 (30 秒) を確保できていることが確認できた<sup>1)</sup>。

### 1. 研究目的

新型コロナウイルスの感染爆発当初はマスク供給不足が発生し、ディスポーザブルマスクをアルコール消毒、再利用している事例が多々見受けられたことは記憶に新しい。しかし、ディスポーザブルマスクを再利用するとマスクの性能が低下し、本来の能力を発揮できないようになる。

臨床工学技士は新型コロナウイルス患者に装着する ECMO を管理する業務に携わるため、新型コロナウイルスを含んだ飛沫核の充満する環境で業務に努めている。そのため、患者への充実した医療の提供と医療従事者の感染防御のために再利用可能な N95 代替マスクの開発を研究目標とし、電子マスクと名付ける。

### 2. 深紫外線によるウイルス不活化の機序

深紫外線に新型コロナウイルスを不活性化する効果があることは知られていたが、その機序は明らかでなかった。理化学研究所の間陽子らは新型コロナウイルスを含む液体培地に 30cm の距離から波長 253.7nm の深紫外線を 500 $\mu$ W/cm<sup>2</sup> の放射照度で、30 秒間照射する実験を行った。報告によれば、照射時間に依存してウイルス感染価の減少が確認され、30 秒間の照射で新型コロナウイルスの感染性が 99.99% 減少したとしている。

感染性が 99.99% 減少した新型コロナウイルスを透過型電子顕微鏡で観察したところ、深紫外線の照射前後で形態の変化は全く見られなかった。そこで、ウイルス内の構造タンパク質であるスパイクタンパク質(S タンパク質)やヌクレオチドタンパク質(N タンパク質)の量とウイルス RNA の量を測定した。その結果、構造タンパク質の量は深紫外線照射の有無による顕著な差異は認められなかったが、ウイルス RNA の量は 30 秒間の深紫外線の照射によって、有意な減少 (ウイルスゲノムの損傷) が確認された。

上記実験により、深紫外線が新型コロナウイルスを不活化する機序は、ウイルス内における RNA の塩基部分の吸光度が深紫外線領域である 265nm 付近で最大となるために、紫外線

を吸光した塩基では隣り合ったウラシルやシトシンが結合し、ピリミジン二量体が形成されることで RNA が複製されなくなり、ウイルスが不活化されることだと分かった<sup>1)</sup>。

### 3. 研究方法

電子マスク(図 1)は、UV カットアクリル板で作成した直方体のリザーバ上部に深紫外線照射装置を設置、そこからリザーバ内部に深紫外線を照射し、ウイルスが不活化された空気をマスク使用者が装着するトータルフェイスマスクに送り込む設計である。深紫外線照射装置は日機装株式会社の深紫外線 UV-LED 評価用 3×3 面照射アレイ VM0303F-134 を使用した。この装置は照射面が 3×3 の LED で構成されており、波長は 265nm である。波長 265nm は波長 253.7nm の次にウイルスに対して有効性を示す波長であり<sup>2)</sup>、波長 253.7nm を発生させるためには紫外線ランプを使用する必要があるのに対して波長 265nm は LED で発生させることができるので、今回の実験では取り回しの良さを考慮し、波長 265nm を使用した。

リザーバ内は空気出入口部分をラビリンス構造にすることで空気出入口からチューブを通して深紫外線が漏れ出ないようにしつつ、空気がリザーバ内に滞留する時間を延長する構造を取っている。

リザーバ内の空気滞留時間が深紫外線の作用によりウイルスを不活化することができる時間(30 秒以上)を上回っているか確認するために、コロナウイルスエアロゾルの代わりに空気に比べ比重が大きい二酸化炭素をリザーバ内に流し、トータルフェイスマスクのチューブ接続口に設置した二酸化炭素濃度測定器で滞留時間を測定した。チューブ接続部に人間の肺を模擬するための蘇生バッグを接続して実験を行った。一回換気量 500mL、換気回数を 1 分間に 40 回のペースで換気を行った。

二酸化炭素ボンベから供給された二酸化炭素を溜めた袋を空気取り込み口に接続し、蘇生バックで呼吸を模擬することで二酸化炭素濃度測定器が二酸化炭素を検知するまでの時間をリザーバ内での空気滞留時間とした(図 2)。

ラビリンス構造の中を左右に空気が進んでいくように仕切りを設置した状態をリザーバ横、上下に空気が進んでいくように仕切りを設置した状態をリザーバ縦とした(図 3)。

最初の実験は、リザーバ横、リザーバ縦それぞれに滞留時間の差が生じるか測定することを目的とし、それぞれ 2 回ずつリザーバ内における空気滞留時間の測定を行った。

次の実験は、リザーバ縦で上下の向きを変え、深紫外線が照射されている領域からの出口が上部、出口が下部の違いにより空気滞留時間に差が生じるかを測定することを目的とし、それぞれ 3 回ずつ測定した(図 4)。

### 4. 結果の概要

最初の実験の結果は、空気がラビリンス構造内を左右に蛇行するリザーバ横で、空気滞留時間は 1 回目、2 回目ともに 19 秒とウイルス不活化に必要な深紫外線照射時間である

30 秒以上を確保できていなかった。また、空気がラビリンス構造内を上下に蛇行するリザーバ縦では 1 回目 46 秒、2 回目 40 秒とリザーバ内での空気滞留時間はいずれも 30 秒以上であり、平均空気滞留時間は 43 秒であった(表 1)。

上記より、リザーバ横に比べてリザーバ縦の方が空気滞留時間が長くなることがわかった。

それを踏まえて行った次の実験の結果は、深紫外線が照射されている領域からの出口が上部にある場合は、1 回目 42 秒、2 回目 42 秒、3 回目 40 秒で、平均空気滞留時間は 41 秒であった。また、出口が下部にある場合は 1 回目 37 秒、2 回目 36 秒、3 回目 33 秒で、平均空気滞留時間は 35 秒であった (表 2)。

実験結果より、深紫外線が照射されている領域の出口が上部にある場合に出口が下部にある場合と比べ空気滞留時間が長くなることがわかった。

## 5. 結論

結果より作成した電子マスクは、深紫外線がウイルスを不活化するために必要な 30 秒以上の照射時間を確保できており、N95 マスクと同等の性能を有する再利用可能な電子マスクになり得る可能性を持つことが分かった。

深紫外線が照射されている領域の出口が上部にある方が、出口が下部にある場合に比べ、空気滞留時間が延長されていた理由は、コロナウイルスエアロゾルを模擬した二酸化炭素は空気より比重が大きいため空気の下に滞留しており、深紫外線が照射されている領域からの出口が上部にあると二酸化炭素が出ていきにくいためだと考えた。

今後の課題は、深紫外線を酸素分子に照射するとオゾンが発生し、オゾンは濃度が高くなると人体に影響を及ぼすため、オゾン濃度が作業環境基準値である 0.1ppm を超えていないか調べる必要がある。

## 文献

- 1) Chieh-Wen Lo, Ryosuke Matsuura, Kazuki Iimura, Satoshi Wada, Atsushi Shinjo, Yoshimi Benno, Masaru Nakagawa, Masami Takei and Yoko Aida: UVC disinfects SARS-CoV-2 by induction of viral genome damage without apparent effects on viral morphology and proteins. *Scientific Reports* 11:19804, 2021
- 2) Ryosuke Matsuura, Chieh-Wen Lo, Takayo Ogawa, Masaru Nakagawa, Masami Takei, Yasunobu Matsumoto, Satoshi Wada, Yoko Aida: Comparison of the inactivation capacity of various UV wavelengths on SARS-CoV-2. *Biochemistry and Biophysics Reports* 32:101379, 2022

謝辞:本研究の一部は東北大学加齢医学研究所における共同研究助成により実施されました。

指導教員

杏林大学保健学部臨床工学科

磯山 隆、小林博子

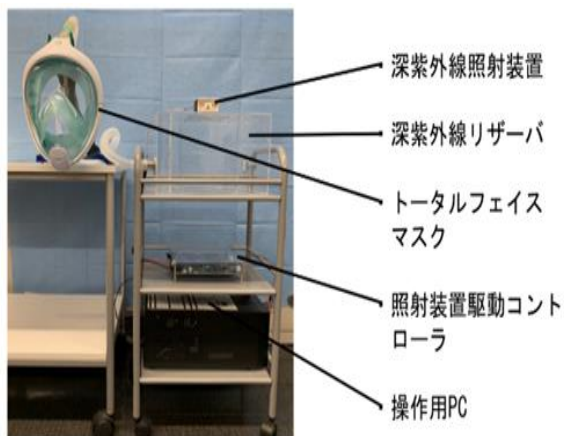


図1 電子マスクの構成



図2 実験風景

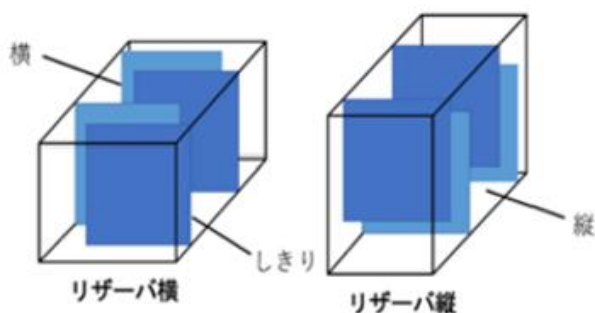


図3 リザーバ横とリザーバ縦

表1 リザーバ横リザーバ縦の比較実験結果

	横[s]	縦[s]
1回目	19	46
2回目	19	40

表2 深紫外線照射領域出口の上下の比較実験結果

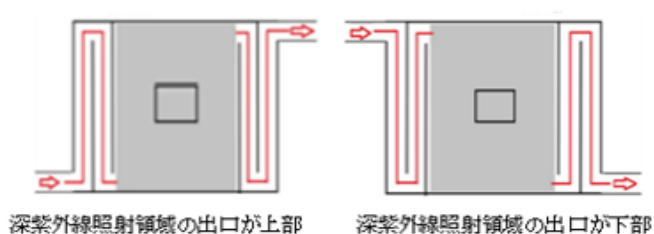


図4 深紫外線照射領域出口の上下の違い

空気の流れを矢印で示した。中央の灰色の部分が発光領域である。左図は空気が深紫外線照射領域の下部から流入し、上部から流出される。右図は空気が深紫外線照射領域の上部から流入し、下部から流出される。

	出口上部[s]	出口下部[s]
1回目	42	37
2回目	42	36
3回目	40	33