

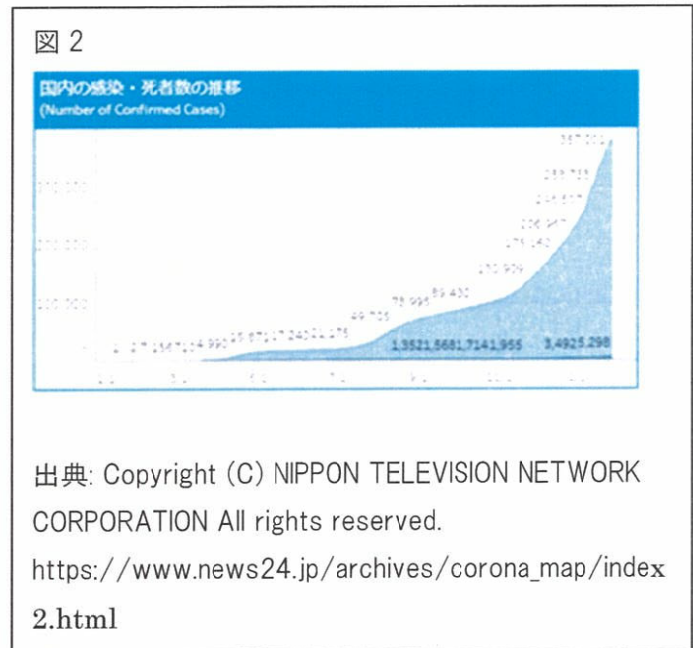
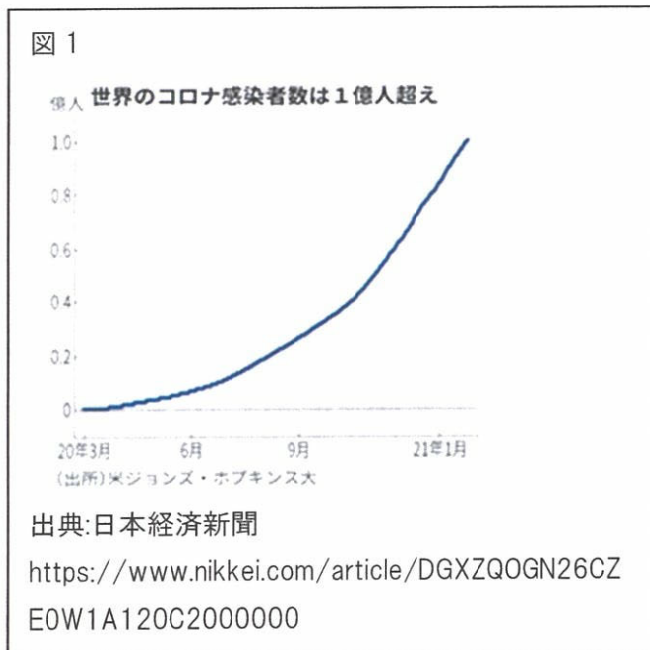
『新型コロナウイルス(SARS-CoV-2)感染拡大防止機器の開発と危機管理』

北村裕紀

1)はじめに

新型コロナウイルス感染症(COVID-19)は、中国武漢で2019年末に初めて報告された後、瞬く間に世界中に拡大し、米ジョンズ・ホプキンス大の集計によると、感染者は2021年1月27日世界全体で1億人を超えた。死者は210万人を超える。図1:世界の感染者数(累計)

我々、日本国においても感染者37万人以上、死者も5000人を超える状況となっており、その感染者数も5000人/日を超えることが度々ある。図2:日本国内の感染者数推移(累計)



我々は今だかつて経験したこともないコロナウイルス感染への恐怖と新たな生活環境を受け入れざるを得ない今、かつての普通の日々の有難さを実感している。

連日、テレビ等のメディアからは、速報として「感染者数」が伝えられ数字の変化に一喜一憂する日々を過ごしていた。しかし、その感染者数も今では感覚も薄れ東京都における100人の感染者程度では少ないと感じるようになった。地球規模で開発を進めたワクチンも2020年12月7日イギリスで90歳の女性マーガレット・キーナンさんから始まり、各国で接種が行われている。一方で、新型コロナウイルスにも感染力を増した変異種が次々と発見されるなど不安が絶えない日々を送っている。

だが、そういった状況下においても日々技術革新は進んでおり、逃げ、怯え、守る、ばかりではなく、それぞれの得意分野を武器とし、英知を結集しウイルスに立ち向かう人々がいる。我々の生活そのものがコロナウイルスの蔓延により再構築され、例え不便を感じたとしても将来的にはそれらの暮らし方が当たり前の日常生活となっている事だろう。今後、想定することすらもできない如何なる危機が訪れたとしても、問題解決型の姿勢をとり続ける限り、どんな苦難も乗り越えられるものと私は確信している。我々の祖先は数えきれない疫病に苦しめられ克服してきた。その末裔である私達自身が、そういった意味で希望そのものであると期待してやまない。

2020年4月23日朝日新聞社により、「家庭内感染の抑制を目的としたベッドサイズのシェルター開発」の記事が朝日新聞社を通じ公表された。(資料1)

これらは私を含め5人の有志によって造り上げたものである。本開発のコロナ対策シェルターはコロナを無くす、という願いから『コロナックス』と命名された。本文ではコロナ感染抑制シェルター開発の技術的背景と、更に開発を進めている紫外線ウイルス不活性化マシンをご紹介しますと共に、今後のウイルス対策と、その危機管理にお役立てて頂ければ幸いです。

資料1



新型コロナウイルスの家庭内や病院内での感染を防ぐ簡易的な隔離シェルターを、三重県の会社員が中心となって開発した。感染拡大が収まらないなか、「少しでも早く世に送り出したい」と、1カ月ほどで開発。費用は原価で約4万円に抑え、商品化をめざす。

開発したのは、大手電機メーカーに勤める北村裕紀さん(51)＝三重県明和町＝ら有志5人。プラスチック製の枠組みを透明なビニールで覆い、空気循環のための換気扇をつけた。飛沫(ひまつ)感染を防ぐことを最大の目的にしたという。



開発したのは、大手電機メーカーに勤める北村裕紀さん(51)＝三重県明和町＝ら有志5人。プラスチック製の枠組みを透明なビニールで覆い、空気循環のための換気扇をつけた。飛沫(ひまつ)感染を防ぐことを最大の目的にしたという。

北村さんによると、空気の循環で感染を防ぐ仕組みはすでにあったが、換気扇のサイズが大きくなり、コストもかかって一般家庭向きではなかった。開発したシェルターは換気できる空間をできるだけ狭め、低コストで作れるのが特徴。縦210センチ、横100センチ、高さ105センチで、シングルベッドがちょうど納まるサイズにした。

人が寝たときの腰の上あたりの位置を境に、ビニールでシェルター内を区切った。息をする空間のみを換気することで、効果的に空気を循環させるとする。

全国で感染者が増え始めた3月上旬に着想。家庭内での濃厚接触が感染の一大原因になっている問題点に目を付けた。家庭内だけでなく、医療機関の病室や、人が密集して感染拡大のリスクが高くなる体育館の避難所など災害時の活用も想定する。

北村さんは「今は一割が争われる状況で、誰も感染のリスクを負っている。シェルターを使って命を守ってほしい」と話す。

2020年4月23日 朝日新聞掲載

資料2

家庭内感染35.7%、7月の19.1%から大幅増 東京都モニタリング会議



都道府県	7月	8月
東京都	19.1%	35.7%
大阪府	10.1%	10.1%
神奈川県	10.1%	10.1%
埼玉県	10.1%	10.1%
千葉県	10.1%	10.1%
茨城県	10.1%	10.1%
栃木県	10.1%	10.1%
群馬県	10.1%	10.1%
東京都(合計)	19.1%	35.7%

東京都は3日、新型コロナウイルスの都内の感染状況などを分析するモニタリング会議を開いた。感染経路が分かっている人のうち家庭内感染の割合は8月は35.7%で、19.1%だった7月から大幅に増加したとの報告があり、家庭内にウイルスを持ち込まないための対策が重要との指摘が出た。

都のモニタリング会議

感染状況の評価は前週同様、4段階で最も深刻な「感染が拡大している」とした。1日あたりの感染者(直近1週間の平均)は前週から約40人減って183.1人(2日現在)。新規感染者数や感染経路不明者数は引き続き減少傾向だが、再増加へ厳重な警戒が必要との分析が示された。

医療提供体制も引き続き4段階で上から2番目の「体制強化が必要」とされた。入院患者数は約3週間ぶりに1500人を下回ったが、「再増加への警戒が必要な状況で、医療機関への負担が長期化している」とされた。

PCRなど検査の陽性率は3.8%で、前週から約1ポイント低下。都医師会の猪口正寿副会長は「経済活動が活発になると感染機会が増加する恐れがある。高齢者施設などに対し、感染拡大抑制の観点から無症状者も含めた集中的なPCR検査などを検討する必要がある」と語った。【内田幸一】

2020年9月4日 毎日新聞社掲載

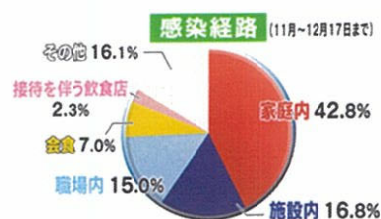
2) 新型コロナウイルスと家庭内感染

2020年9月3日、東京都は、新型コロナウイルスの都内の感染状況などを分析するモニタリング会議において、「家庭内にウイルスを持ち込まない為の対策」が重要であると発表。(資料2)

現に感染者4人のうち3人迄が家庭内感染によると報じられている。その後も家庭内感染が感染原因の中核を維持し以下、施設内、職場内の順で接触時間に関する感染への影響が浮き彫りとなっている。

(資料3)

資料3



出典:NHK 調査

また、先にも述べた感染者数の爆発的増加によって、医療崩壊は現実的なものとなり、ホテル待機や自宅療養となる対象者が増えているのも事実である。そういった中、感染リスクを下げる目的で開発した『コロナックス』は一般家庭のみならず、開発からの時間経過と共に様々なニーズが提案された。

次にコロナックスの導入例を紹介する。三重県内の観光ホテルの一例である。目的は宿泊者が急に体調を崩した場合を想定し医療手配までの待機場所としての使用や介護者

への感染抑制として設置された。この様に、最悪な事態を想定したうえで、その対策を講じることが正に危機管理の原点であるといえよう。(写真1)

写真1



ホテル設置例

写真2



2020年 熊本豪雨避難所設置例

その他、臨時の患者対応エリアの構築、換気が困難とされる船や飛行機など閉鎖された空間への設置、災害時、密を伴う避難所への設置など、想定するだけで、その使用用途は無限に存在し、地球規模での活用が期待される。(写真2)

3) 感染経路の遮断

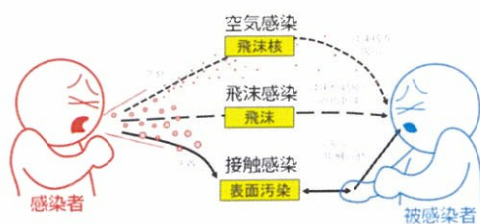
コロナウイルス感染しないためには、その感染メカニズムを想定した対策や有効な手段を取り入れなくてはならない。実践的かつ効率的なアプローチは感染経路の遮断である。

資料4は早稲田大学田辺研究室の報告する室内環境における3つの感染経路である。①空気感染、②飛沫感染、③接触感染と報告されている。

そこで我々は、①空気感染および②飛沫感染に着目した。ポイントは飛沫及び飛沫核といわれる呼吸内蒸気を含むウイルスの飛散感染である。

資料4

飛沫核、空気感染、接触感染の3ルートがある(早稲田大学田辺研究室)



室内環境では、主に3つの感染経路がある

出典: <https://www.covid19-jma-medical-expert-meeting.jp/topic/1729>

4) 浮遊飛沫と感染リスク

一般的に自然呼吸による蒸気は、上部気道を通る間に気道粘膜から加温加湿され、気管分岐部付近では、相対湿度 (relative humidity) 100%RH となり、口や鼻から放出される。成人1日の呼吸量を計算すると1回当たりの吸い込む空気量は約500ml。1日の呼吸回数は概ね28800回となり、ペットボトル3万本近くもの空気を吐き出している。これを体積に換算すると $14400\text{l} = 14.4\text{m}^3$ となり、3.6畳(高さ2.5m)分の空気量に匹敵する。

また、相対湿度100%RHで放出された場合の1日の水分量の次のようになる。体温が 36.5°C であった場合、飽和水蒸気量は $44\text{g}/\text{m}^3$ で時間と飽和水蒸気量を考慮すると、 $24(\text{時間}) \times 60(\text{分}) \times 44(\text{g}/\text{m}^3) / 1,000,000(\text{ml}/\text{m}^3)$ とすることで、概算600cc/日の水分が呼吸によって放出されていることになる。尚、呼吸によって放出された蒸気は乾燥状態においては、水分蒸発でさらに微細化が加速すると推測される。放出蒸気は気温の低い場所では霧状になり目視でき、咳くしゃみ等で放出される飛沫や粗粒子は、空気の密度等により、挙動、特に滞留時間が大きく影響される。これ程のウイルスを含んだ水分の飛散が懸念され、これが次に説明する物性挙動に関係する。

資料5に示すように、ストークスの方程式でも粒子径が浮遊滞留時間に大きく作用する事を示している。方程式右辺第1項に D_p (浮遊塵径)があり、終末速度(落下速度)は、異物サイズの2乗と相関関係にある。

資料5

浮遊塵を球形とした場合の代表的な近似式
(ストークスの方程式)

$$V_t = \frac{D_p^2 (\rho_p - \rho_f) g}{18\eta}$$

V_t : 終末速度 [m/s]
 D_p : 浮遊塵径 [m]
 ρ_p : 浮遊塵の密度 [kg/m³]
 ρ_f : 空気中の密度 [kg/m³]
 g : 重力加速度 [m/s²]
 η : 空気の粘度 [Pa·s]

終末速度は直径の2乗に比例する。
 【例】
 50 μ m vs 5 μ m $\Rightarrow (50 \div 5)^2 = 100$ 倍の終末速度
 50 μ m vs 20 μ m $\Rightarrow (50 \div 20)^2 = 6.25$ 倍 "

出典: CEL (Clean Environment Lab.)

球形で密度が同じ直径5 μ mの飛沫と、50 μ mの浮遊粒子を比較すると、落下速度は計算上50 μ mの浮遊粒子の方が5 μ mの飛沫より100倍程度速くなる。裏を返せば、飛沫核の様な微細粒子はより長い時間、空気中を漂い感染リスクを高める。従って、空気感染を抑制するには気流の制御こそが対策の核であるとの結論に達したのである。

5) 浮遊飛沫の可視化

長年の研究は家電製品の製造現場における浮遊粉塵や異物(ごみ)の対策であった。研究ターゲットの浮遊塵の最小粒径は概ね5 μ mであり、新型コロナウイルスの飛沫感染

といわれる粒径サイズ(5 μ m)と偶然にも近似した。しかしウイルス径は、0.1 μ mとも言われ、残念な事にこれらは肉眼視できない。

我々の『コロナックス』開発において飛沫挙動の可視化は設計構造を確かなモノとする過程で必要不可欠であることから、タバコの煙や超音波加湿器から出る水粒子からの浮遊飛沫を応用し、そこにグリーンレーザー光を照射することで可視化し、疑似的に飛沫^{※1)}や飛沫核^{※2)}対策の検討を進めることができた。この実験で得られた結果を基に安価で効率的な気流抑制を可能としたのである。(資料6)

資料6

出典: TBS 新・情報 7Dey'S ニュースキャスター

※1) 飛沫(唾液 etc.)= 超音波加湿器の水浮遊飛沫(5 μ m以上)

※2) 飛沫核(呼気・蒸気 etc.)= タバコの煙(約 0.5 μ m)

6) 開発目標設定(コロナックスについて)

CDC(アメリカ疾病予防管理センター)による医療施設における環境感染管理のためのCDCガイドライン、IV空気感染隔離室の為の感染管理と換気要求4項において、居室の換気は1時間12回以上が望ましいとある。開発品のコロナックスは、一般家庭やホテル、学校、会社等の休憩所や保健室等を想定している為、シングルベットサイズの小型枠をシートで囲う程度とし、静音タイプのシロッコファン

で局部排気し、CDCで推奨される換気効果を超えることを目標とした。さらに、使用者である感染者に対して、透明性の高い日本国製の樹脂シートを採用し視覚的にも可能な限りストレスを軽減、さらには食事提供や会話も可能とする為、シロッコファンと同径(40cm角)程度の常時開放窓も設けた。

7) 背反对策と換気効率

資料7

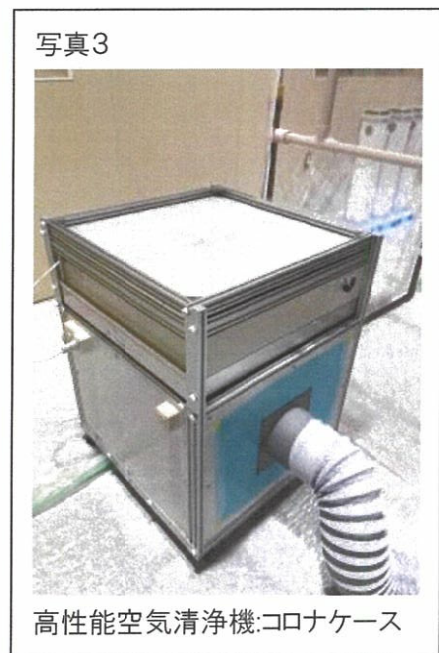
出典: TBS 新・情報 7Dey'S ニュースキャスター

コロナックスの常時開放窓には、重要な役割と大きくは二点の背反懸念がある。

一点は、常時開放窓とシロッコファンと直線的な位置に設け換気効率を高める。しかし、使用者に直接気流が当たり疲れの原因となる点である。この対策として、常時開放窓を使用者が横になった際、顔の高さより上に設定することで風(気流)が顔に直接衝突することを避けその心配も解消された。

二点目は、使用者(被感染者)からの飛沫の外部漏洩である。この対策については、まずはコロナックスの換気効率について説明が必要である。コロナックスは換気効率向上の為、腰から上の部分を一枚のシートでセパレートし換気の対象容積を極力小さくした。資料7参照。その結果として、CDC 推奨値の40倍以上の換気が行われ、対象範囲のみならず、常時開放窓において部分的に速い流速が得られ使用者から放出された呼気からの飛沫拡散を抑制し、結果的に二次感染のリスクを軽減させるのである。気流の見える化によって、外部漏洩は確認されなかった。

8)排気処理と紫外線殺菌灯搭載高性能空気清浄機『コロナケース』写真3

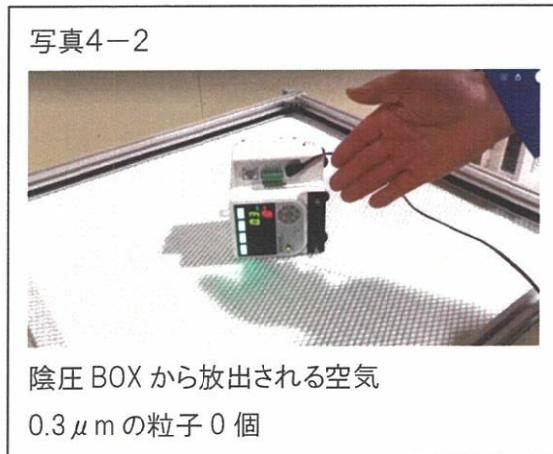
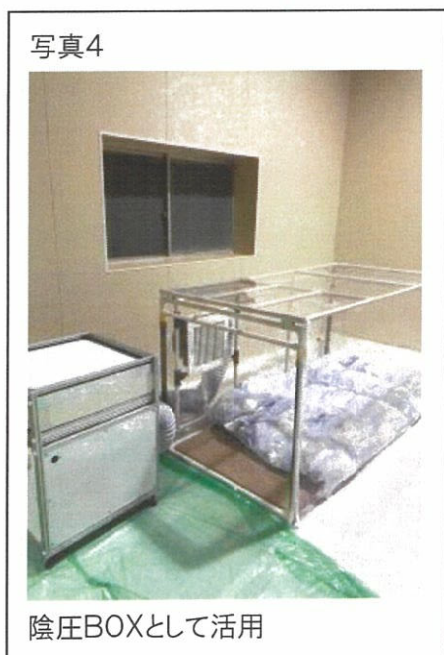


次はコロナックスから排出されるウイルスの処理問題である。処理方法は大きく分けて、①薄める(大気開放)か、②捕集するか、③不活性化するか、の3パターンである。そこで我々は三重県保健所の意向も考慮し②捕集、③不活性化の2つを取り入れた高精度空気清浄機の開発に着手したのである。その上で、我々はHEPAフィルター(0.3 μ m 粒子 99%以上)による捕集に加え、ウイルスの処理(不活性化)を目的とした、紫外線 短波長 UV-C 波長253.7nmによる不活性化技術を取り入れた。この紫外線による方法は、CDC ガイドラインIV、空気感染隔離室のための感染管理と換気要求B項において空気感染隔離室の空気清浄化のために補助的な工学的コントロールの必要性が言及され、UVGI(紫外線殺菌照射 ultraviolet germicidal irradiation)としても紹介されている。使用する紫外線は人体に悪影響を及ぼす為、直接人体に照射されないようにBOX の設計には配慮した。

併せて紫外線 BOX 内に光触媒の塗布を施し、BOX 内に衝突付着したウイルスの不活性化を期待した。更に、使用用途を広げる為、陰圧と陽圧の切り替え可能な設計とした。以下①,②を例とする。

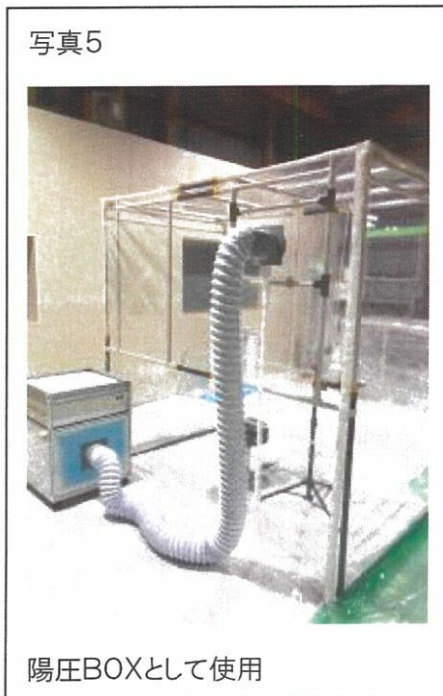
①陰圧 BOX として使用する場合の例:感染拡大対策(写真4)

コロナックス→紫外線によるウイルスの不活性化→高性能フィルターにて飛沫の捕集→クリーンに空気の放出



②陽圧BOXとして使用する場合の例:感染予防対策(写真5,5-2)

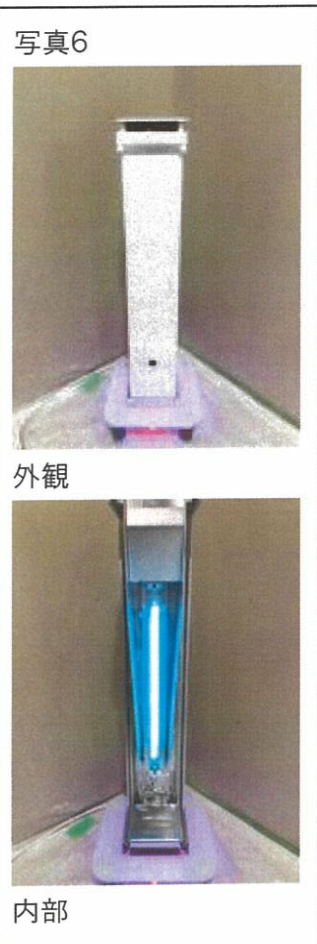
大気→高性能フィルターにて飛沫の捕集→紫外線によるウイルスの不活性化→コロナックスへクリーンな空気の送り込み



①,②で紹介したように吸気と排気を逆転するだけで、用途が増えメリットが高い。また有人環境下で安全に24時間連続稼働できるのは理想である。コロナックス同様、コロナケースというネーミングもコロナ消すから命名された。

※参考能力『コロナケース』($10\text{m}^3/\text{min}$ 、 $0.3\mu\text{m}$ 以上の粒子を99.97%集塵)

9)次々と開発されるコロナ対策機器(紫外線空気循環器:コロナックススタンド・エスプリ)写真6,6-2



2020年12月開発の紫外線空気循環器について報告する。ウイルス対策においては、次亜塩素酸、オゾン、アルコールなどによるウイルス不活性化報告がされており、これらは人体の呼気によって吸引される為、安全な濃度管理などが要求される。一方で、紫外線 短波長 UV-C 波長253.7nmは紫外線が身体に暴露しなければ安全であることから、機器構造体を十分に配慮した設計であれば問題なく使用できる。そこで我々は紫外線遮光方式による空気殺菌装置を採用した。コロナックススタンド エスプリはファン循環型殺菌装置なので、浮遊細菌濃度の時間的変化(T時間後の細菌濃度 C_T)は次の式で求めた。

$$C_T = C_0 e^{(-\alpha T/R)}$$

$$\alpha = \varepsilon nV \quad ※e \text{ は自然対数の底}(e \approx 2.72)$$

C_T : T時間後の細菌濃度(m^{-3})

C_0 : 初期細菌濃度(m^{-3})

T: 時間(h)

R: 部屋の容積(k)

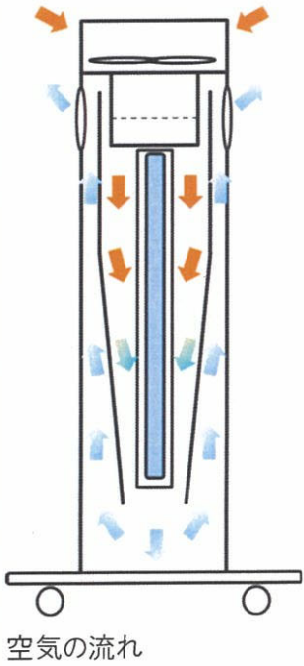
ε : 殺菌された空気の殺菌率

n: 台数

V: 殺菌装置の循環風量(k/h)

※Panasonic 文献参照: <https://www2.panasonic.biz/ls/lighting/plam/knowledge/pdf/0320.pdf>

写真6-2



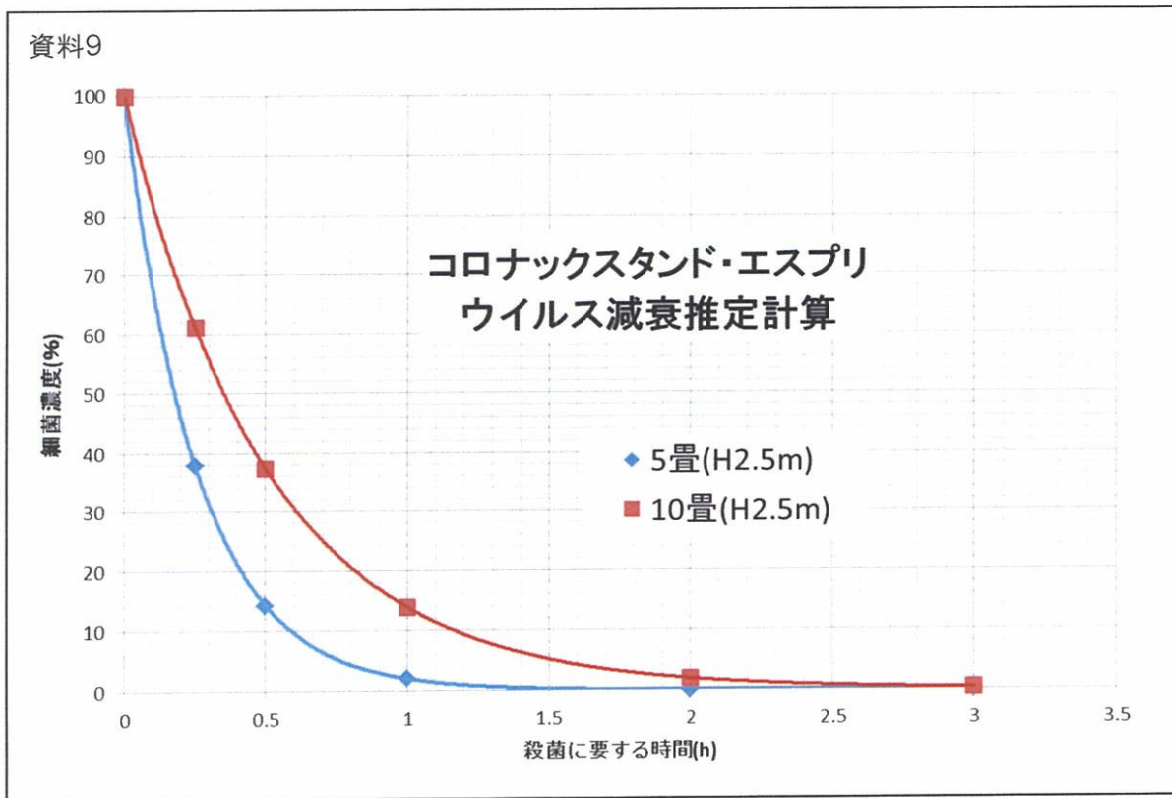
資料8

	メーカー	Panasonic	新規開発品		
			コロナックススタンドエスプリ	UV-Shower GL15-1250	コロナケース
ファン能力	商品名	シャキーン	95.0	1250.0	600
60Hz	m^3/h	58.8	0.03	0.35	0.17
殺菌灯	m^3/s	0.02	1.00	5.00	3.00
GL15	本数	1.00	4.90	24.50	14.70
	殺菌線出力(W)	4.90	0.21	0.07	0.36
	前	0.07	0.08	0.11	0.36
	側	0.08	0.09	0.11	0.36
装置内面積(m^2)	底	0.02	0.02	0.20	0.36
	合計	0.62	0.37	2.24	2.16
機器内体積	m^3	0.02	0.01	0.14	0.22
機器内通過時間	s	1.03	0.42	0.39	1.30
許容殺菌線密度	w/m^2	7.90	13.40	10.95	6.81
殺菌率	$\%$	92%	83%	73%	93%
ウイルス1/10時間	10畳(40.4 m^2 H2.5)	1.7時間	1.2時間	0.1時間	0.2時間
	20畳(80.9 m^2 H2.5)	3.5時間	2.4時間	0.2時間	0.4時間

ウイルス量が1/10になるまでの時間比較

資料8の表からも分かるように、ファン循環型殺菌装置は強い紫外線をいかに効率よく処理するのがポイントであり、我々が開発したコロナックススタンド・エスプリ、UV-Shower、コロナケースは理論計算上処理能力によって使い分けが必要である。次にコロナックススタンド・エスプリについてのウイルス減衰時間表を添付する。(資料9)

資料9

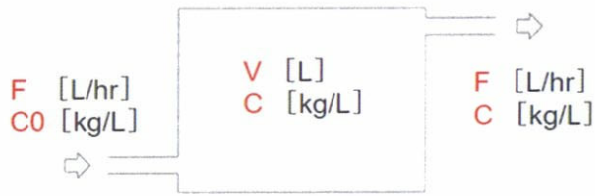


この表からも分かるように、浮遊ウイルス濃度を1/10に減衰させるのに5畳程度(高さ 2.5M)であれば0.6時間で到達。半減なら、10分程度となる。

10)環境と換気

ウイルスの処理方法として、換気により薄めるのは簡単なだけに効率が悪い。参考までに部屋の換気を100%行うにはどれだけの空気の量を必要とするか、これには置換率で計算する必要がある。

資料10



参考文献:[空気を入れ替えるときに必要な空気の量 | スミオコミュニケーションズ \(sumio-communications.net\)](https://sumio-communications.net)

資料10の簡単なモデルを参考にした。

- ・空気流量:F(L/hr)
- ・新鮮な空気の濃度:C0(kg/L)
- ・空気の濃度:C(kg/L)
- ・部屋の容量:V(L)

空気のインプット= $F \times C_0$ (kg/hr)

空気のアウトプット= $F \times C$ (kg/hr)

蓄積= $V \times C/t$ (kg/hr)とし、これによる空気の物質収支では、時間 t(hr)に依存し、新鮮な空を流す時間が長くなれば、置換された新鮮な空気濃度は

$F \times C_0 = F \times C - V \times C/t$ で示される。また、新鮮な空気を流した量は、部屋の大きさの $(F \times t)/V$ 倍と示すことで、新鮮な空気の置換率 (C/C_0) は、次の式で求められる。(資料11,12)

$$\text{置換率(\%)} = (1 - \exp(-(F \times t)/V)) \times 100$$

資料11

置換率	新鮮空気を流した量 (部屋容積の倍数)
$1 - \exp\{-(F \times t)/V\}$	$(F \times t)/V$
0	0
39.34693403	0.5
63.21205588	1
77.68698399	1.5
86.46647168	2
91.79150014	2.5
95.02129316	3
96.98026166	3.5
98.16843611	4
98.88910035	4.5
99.3262053	5

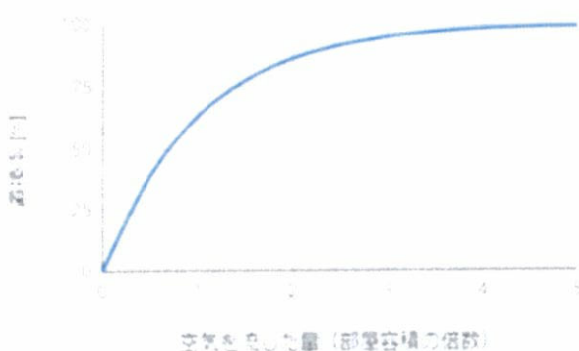
出典: 出典:スミオコミュニケーションズ 空気を入れ替える時に必要な空気の量

<https://sumio-communications.net>

この表からも、新鮮な空気を部屋の容積の5倍程度を、入れなくては99%以上入れ替えができないという結果になる。新型コロナウイルス感染対策において換気を推奨されているが、これらの多量の空気を送り込むのは困難であり、実際、感染者の増加がその結果を導いているに過ぎない。

我々は暑くも寒くも一年を通じて四季を感じて生きている。先に述べたように換気と室温を合わせて考えると外気を5倍も入れ換えれば当然、暑くもなり寒くもなる。様々な環境や感染状況を総合的に考えると、紫外線空気循環器を用いて直接的な浮遊ウイルス対策は必須である。家庭内、職場などある一定の生活環境を維持した状態には、飛沫対策、付着対策、そして浮遊対策といった理屈に則した幅広い対策は当然のことながら必要であり、またどれ一つが欠損していてもいけない。我々はウイズコロナの思想ではなく、0(ゼロ)コロナの環境を構築しなくてはならない。

資料12



出典:スミオコミュニケーションズ 空気を入れ替える時に必要な空気の量

<https://sumio-communications.net>

11)最後に

このウイルスに私を立向わせ戦わせた理由を紹介する。

コロナックス開発有志の内1人が成人 T 細胞白血病(ATL)を発症した。私と共に17年の時を刻んだパートナーである。臍帯血移植で助かった命、寛解状態を維持し、新型コロナウイルス感染症による肺炎、最悪の事態を回避する事が最重要課題となった。それがコロナックス開発の根源となった。

世の中には、状況は多少異なっても、私と同様の境遇に立たされている人も少なくないと思われる。今も人類は世界中で新型コロナウイルス感染症に苦しめられている状況にある。

ウイルス感染や変異との恐怖と隣り合わせでの危機管理において、最大限に意識を集中しウイルスと戦い、夫々の役目を果たしてこそ、新たな普通の生活を取り戻せるものと確信している。

ここに、私を除くコロナ対策開発の有志4人を記載する。



(株)ACYTS(アクティス)代表 野呂恭嗣

(株)田中工務店代表 田中宏和

success 代表 田俣晃司

北村音響 熊谷 香

【参考文献】

- ・早稲田大学田辺研究室: <https://www.covid19-jma-medical-expert-meeting.jp/topic/1729>
- ・CEL(CleanEnvironment Lab.): [付着塵と浮遊塵の関係 - CEL \(jimdofree.com\)](https://www.jimdofree.com/attachment/1729/1729001.pdf)
- ・Panasonic 殺菌灯: <https://www2.panasonic.biz/ls/lighting/plam/knowledge/pdf/0320.pdf>
- ・スミオコミュニケーションズ:空気を入れ替える時に必要な空気の量 <https://sumio-communications.net>