

# 過酸化水素（H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>）によるN95マスク再利用のリスク管理に向けた技術資料

## Technical Report for H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-Based N95 Reuse Risk Management<sup>1</sup>

### 1. 概要

過酸化水素（H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>）蒸気／プラズマによる除染は、研究業界、製薬および医療業界、また警察および消防署によって使用されている確立された除染方法である（Mickelsen et al., EPA Report, 2017）。多くの病院では過酸化水素蒸気（ウェット方式のHPVまたはドライ方式のVHP™）もしくは過酸化水素ガスプラズマ（HPGP）が使用されています。HPV、VHP™およびHPGPは、院内の細菌芽胞やウイルスを含む高耐性の病原体を失活させます。多くの研究（Battelle, 2016, 2020; Bergman, 2010; Viscusi, 2009）が、特定のN95 FFR／レスピレーター（通称「N95マスク」）がHPVの適切な使用によって安全に除染されたことを報告しています。これらの研究のほとんどは、Bioquell HPVシステムを使用しています。

このシステムは、大量のN95マスクの一括除染を目的とした空間内すべての気流がコントロールされた除染システムで、N95マスクが充填されたトレイを乗せたカートを出し入れして処理を行います。これはデューク大学医療センターによって開発されたプロトコルに似ています。12フィート（約3.7m）四方の部屋で1サイクルあたり700枚のN95マスクを処理することができます。または気流がコントロールされたBSC（安全キャビネット）にHPVシステムを一時的に装着することで、BSCのサイズによるが100-120枚程度のN95マスクを一度に処理することができます。これらは一般的に、除染およびエアレーションに1サイクルあたり6-8時間かかります。

Battelle社の研究では、最大20サイクルのHPV処理がN95マスクのフィルター性能、圧力低下、フィット性、および弾性ゴムバンドの品質に影響を及ぼさないことが報告されました。

過酸化水素ガスプラズマ（HPGP）においては高濃度で3サイクル処理した際にフィルター性能が低下します。ただし低濃度サイクルにおいては2回の処理までフィルター性能が保たれることが報告されています（個人的なコミュニケーション, J.Yarwood, ASP）。しかしこれはまだ第三者によって実証されてはならず、プロトコルの確立が大きな問題となっています。

除染方法	略称	解説	プロバイダーの例
過酸化水素蒸気	HPV	ウェット方式の過酸化水素蒸気、3時間以上のエアレーション	Bioquell
過酸化水素ガスプラズマ	HPGP	イオン化された過酸化水素プラズマ（未確認）、1時間のエアレーション	ASP（ステラッド）
蒸気化過酸化水素	VHP™	ドライ方式の過酸化水素蒸気、3時間以上のエアレーション	Steris

### 2. 連邦によるガイダンスの状況

CDCは、過酸化水素蒸気の使用を含むN95マスクの除染と再利用に関するガイダンスを2020年3月31日に発表し

<sup>1</sup>Tranlated to Japanese from N95Decon Research Document. Not Peer Reviewed. Version 1.2,4/2/2020.

[https://static1.squarespace.com/static/5e8126f89327941b9453eef/t/5e86d8be51cbbf1de3b3688e/1585895615567/200402\\_N95DECON\\_HPВ\\_technicalreport\\_v1.2\\_final.pdf](https://static1.squarespace.com/static/5e8126f89327941b9453eef/t/5e86d8be51cbbf1de3b3688e/1585895615567/200402_N95DECON_HPВ_technicalreport_v1.2_final.pdf)

ました ([Decontamination and Reuse of Filtering Facepiece Respirators, 2020](#)). N95マスク除染のためのHPVシステムであるBattelle社の除染システムは2020年3月28日、FDAから緊急使用許可（EUA）を受けました。彼らのシステムでは1日8万枚のN95マスクが処理できるそうです(Battelle,2020)。この領域の第一人者であるRutala氏の提言では「幾つかの予備研究から過酸化水素蒸気による除染は部屋/家具/装置などの表面に存在するMRSA/セラチア/ボツリヌス菌/クロストリジウム・ディフィシルなどを殺滅する効果の高い方法であると言われているが、本法が安全性および実際の感染率の低減に及ぼす影響についても更なる調査が必要」と言われています ([Rutala et al. 2019](#))。FDAの支援のもとBattelle社が行った研究（2016）では、確立されたサイクル条件のもとで実施されたBioquell HPV処理が微生物の生存率を $10^{-6}$ に下げると同時に、N95マスクの高い過性能と低い通気抵抗を最大50サイクルまで維持したと報告されています。ただし使用者はマスク着用時にシールチェックを実行する必要があります。詳しくは定期的に更新されるCDCガイドラインおよび[N95Deconの法的免責事項\(Decontamination and Reuse of Filtering FacepieceRespirators, 2020\)](#)を参照してください。

### 3. 作用機序

過酸化水素の除染法は、病室や安全キャビネット（BSC）、熱に耐えられないもしくは拡散制限スペースのある医療機器や医療材料の最終除染（terminal decontamination）に用いられている。HPVシステムは液状の過酸化水素を熱により蒸気化し、それが有効濃度に達するまで室内に放出します。個々の汚染物体は無包装で部屋または安全キャビネット（BSC）内に配置されます。通常、HPV処理には以下の各フェーズが含まれます - 室内の湿度を変更するための調整フェーズ（ドライまたはウェット処理）；部屋中を飽和させるガス処理フェーズ（約15分）；一定濃度を維持する滞留フェーズ（約125分）；HPVの除去と酸素/水蒸気への分解を行うエアレーションまたはクリアランスフェーズ（約4-6時間）。

微生物とウイルスの不活化は、主に過酸化水素ガスとヒドロキシ/ヒドロペルオキシフリーラジカルの複合的な作用によって起こります (Finnegan et al. 2010)。

過酸化水素プラズマ装置は、病院では手術器具の迅速滅菌の方法として、包装またはタイベックパウチに入れた状態で処理されます。プラズマは包装下においても材料に浸透した濃縮された過酸化水素を迅速に排除すると言われています。

### 4. 潜在的なSARS-CoV-2 不活化効果

HPV, VPH™およびHPGPは、インフルエンザウイルスをはじめ、*G. stearothermophilus*（BIの指標菌芽胞）や院内のクロストリジウムディフィシルや結核菌など、SARS-CoVよりも耐性が高いウイルスや病原菌を殺滅することが知られている。 ([Battelle, 2016](#); [EPA, 2004](#); [Heckert et al. 1997](#); [Kenny et al. 2020](#); [Rudnick et al. 2009](#); [Hall et al. 2007](#))。

Bergmanら(2010)の研究では、6つの異なるN95マスク（産業用N95: 3M 8210, 3M 8000, Moldex 2200、外科用N95: KC PFR95-270, 3M 1870, 3M 1860。各モデルn=6で試験）に対してHPGP、HPV、およびその他の方法で3サイクルの除染を実施しました。HPV除染法（Clarus R™、Bioquell）は、15分のガス処理フェーズおよび125分の滞留フェーズで64m<sup>3</sup>の室内に8g/m<sup>3</sup>の濃度を達成しました（5700 ppm）。*Geobacillus stearothermophilus*芽胞を含む生物学的インジケータ（BI）を室内の5ヶ所に配置し、それぞれ $10^{-6}$ の芽胞の減少が各処理後に確認されました。

FDAのために作成された2016年のBattelle社のレポートでは、HPV処理によるN95マスクの品質および微生物減少効果への検証結果がまとめられています。20分のガス処理フェーズ（2g/分）と150分の滞留フェーズ（0.5g/分）によるHPV処理（Clarus C™, Bioquell）では、飛沫やエアロゾルの状態でN95マスク（3M 1860）上に接種された*Geobacillus stearothermophilus*が完全に不活化されました。また著者らはさらに繰り返し50回の除染が達成されたことを示しました。ここではN95マスクは積み重ねた状態で露出チャンバー内に上下互いに設置されています（図11、Battelle 2016）が、これはチャンバー内のセンサー読取値にバラつきを生んだことから推奨されません（個人的なコミュニケーション、B. Heimbuch）。

ケニーらによる未査読のレポート（2020）では、3つの異なるバクテリオファージをエアロゾル化し接種したN95マスク（3M 1870）に対するHPV（BQ-50、Bioquell）による除染効果が評価されました。HPV1回の処理でN95上のファージは完全に殺滅されました。N95マスクは33 m<sup>3</sup>の室内に置かれたラックにマスクの弾性ゴムバンド部分によって吊り下げられ、16g/分で30-40分のガス処理フェーズ、25分の滞留フェーズ、および150分のエアレーションフェーズに供されました。

Heckertら（1997）は、9種類の外来（動物由来）のウイルスをガラスとステンレス片に接種しました。HPV治療後、ウイルスカ価は0に低下しました（全血中の豚コレラウイルスを除く）。Steris社のVHPTM P1000を使用して、2g/分で30分のガス処理フェーズでH<sub>2</sub>O<sub>2</sub>濃度は1.73 mg/L（1211 ppm）に維持されました。

## 5. N95マスク（FFR）の適合性

Viscusiら（2009）は、6つの異なるN95マスク（Bergmanら、2011と同じ）に対して高濃度HPGPを含む5種類の除染方法を評価しました。高濃度HPGPの1サイクルの処理ではフィルターの品質に影響はありませんでしたが、3サイクルの処理で6種類のうち4種類のマスクでフィルター効率が5%以上低下しました。これはFDAが推奨する95%の基準値を下回るフィルター効率でした（Bergman et al. 2010）。

Bergmanらの研究（2010）で評価された3種類のHVP除染方法はフィルター性能を低下させず（フィルター効率 98%以上、通気抵抗にも変化なし）、またN95マスクのいかなる物理的変形も確認されませんでした。

2016年のBattelle社フェーズ2調査レポートでは、N95マスクのフィルター性能とフィット性が評価されました。上記SARS-CoV-2不活性化セクションと同じく露条件で15個のN95マスクがそれぞれ10, 20, 30, 40, 50回の除染サイクルに供されました（計85個）。除染処理後の85個すべてのN95マスクにおいて、不活性とバイオエアロゾルの捕集効率は99%以上を維持し、通気抵抗の低下は見られませんでした。ただし30サイクル後の評価サンプルでは、ゴムバンドの劣化が観察されました。これはストラップの伸長と弾力性の喪失によるもので、マスクのフィット性に悪影響を与える可能性があります。マネキンフィットテストの結果では、最大20サイクルまで劣化は確認されませんでした（20サイクルを超えるテストサンプルのフィットテストは行われていません）。3M 1860 N95モデルのみが評価されました。

デューク大学医療センターのHPVシステム（Schwartzら、2020）は、Battelle社の研究結果を取り組みました。N95マスク（3M 1860）は車輪付きカートのステンラック上に重ね置きもしくは伸縮性ゴムバンドによって吊り下げられ、彼らのNIAID Regional Biocontainment Laboratoryにある12フィート（約3.7m）四方の部屋で除染システム（Bioquell Clarus™C システム：35%H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>溶液とHPVの均一分散システム）に供され、25分の

ガス処理フェーズ20分の滞留フェーズで480+ ppmのHPV濃度を達成しました。100枚のN95マスク（3M 1860）がHPVで1回処理され、エアレーションフェーズ中のマスク近傍の気流中のH2O2濃度がOSHAのばく露許容限界値（1ppm, 1.4mg/m<sup>3</sup>）を下回っていることが確認されました。また、4時間でH2O2濃度はデバイスの検出限界を下回りました（PortaSens II™センサーで測定された検出限界以下）。顕著な臭気を検出しなかった3名の被験者による定性テストでは、N95マスクの物理的特徴またはパフォーマンス（説明なし）に劣化は見られませんでした。彼らは現在、Bioquell Z-2およびBioquell ProteQ™システムの10回以上の繰り返し処理についてフィット性の評価をしています。

未査読のKennyらの研究（2000）では、フィルター性能の測定は行われなかったものの、5回のHPV処理の後、3M 1870 N95マスクは「変形のない新品同様だった」と伝えられている。2020年3月16日、オランダ国立公衆衛生研究所は3M 8822マスクへのHPGP（STERRADNX100 with AllClear™のExpressサイクル）の最大4回の処理の結果、2サイクルの処理ではマスクの変形やフィット性の損失は見られず、3または4サイクルの処理でフィット性が損なわれたことを報告しました。フィルター効率に関する評価結果はありませんでした。彼らはまた、このプロセスで処理した使用後マスクを培地に72時間接触させ、SARS-CoV-2の増殖が見られなかったことを報告しています。

ステラッドによるHPGP処理は、適切な条件で使用されれば、25分または27分間の処理で10個のタイベック包装されたN95マスクを個別に除染でき、2サイクルまではフィルター性能とフィットを損失させません（個人的なコミュニケーション, J. Yarwood, ASP）。処理後に60分の通気（包装を開いた後）を行うことで、残留したH2O2の放出を可能にします。HPGPは、集中的な処理によりフィルター性能を低下させる可能性があります（Bergman et al, 2010）。そのため、この処理方法の確立されたプロトコルが問題になります。最新のCDCレポート（2020）ではこの方法は推奨されていません。

重要なポイントとして、HPV, VHPTMおよびHPGPはセルロース素材に適合していません。これは3Mの1860 N95マスクの成分リスト（3M 1860 データシート）に記載はされていませんが、他のPPEのモデルに存在する可能性があります。PPEにおけるセルロースの存在は、H2O2ベースの除染を採用するにあたり重要な検討項目です。

## 6. データのサマリー表

表1. *G stearothersophilus* 芽胞やウイルスに対するHPVの効果

著者	媒体（手段）	HPV濃度	時間（分）	菌種	効果 (log 減少値)
A	室内の生物学的インジケータ (N=5)	8 g/m <sup>3</sup>	ガス 15; 滞留 120	<i>G stearothersophilus</i> 芽胞	≥6
B	エアロゾル接種された3M 1860 N95マスク (N=15)	2 g/分 0.5 g/分	ガス 20; 滞留 150	<i>G stearothersophilus</i> 芽胞	≥6
C	飛沫接種された3M 1860 N95マスク (N=3)	2 g/分 0.5 g/分	ガス 20; 滞留 150	<i>G stearothersophilus</i> 芽胞	≥6



D	エアロゾル接種された 3M 1860 N95マ スク、VHP™にて50 サ イクル処理 (N=5)	2 g/分 0.5 g/分	ガス 20; 滞留 150	<i>G stearothermophilus</i> 芽胞	≥6 (50サイ クル)
E	接種された 3M 1860 N95マスク(各 フェースN=3)	16 g/分	ガス 30-40; 滞留 25	フェーズ phi-6 フェ ーズ T7 フェーズ T1	≥6
F	9種類のウイルスを 接 種したガラスとステン レス	2 g/分	ガス 30	鳥インフルエンザウイルス アフリカ豚コレラウイルス ブルータンクウイルス 豚コレラウイルス ニューカッスル病ウイルス オーエスキー病（仮性狂犬病ウイルス） ブタ水疱病ウイルス 水疱性発疹ウイルス 水疱性口内炎ウイルス	≥6

A: (Bergman et al., 2010), B: (Battelle, 2016) Phase 1 aerosol inoculated filters, C: (Battelle, 2016) Phase 1 droplet inoculated filters, D: (Battelle, 2016) Phase 3 aerosol inoculated filters, E: (Kenny et al., 2020), F: (Heckert et al. 1997).

表 2. HPVのN95マスクへの影響

著者	N95マスク	HPV濃度	時間 (分)	処理回数	フィルター 性能	N95マスクへのダメージ
G	6種類のN95マ スク(各モデル ごとN=6)	8 g/m <sup>3</sup>	ガス 15; 滞留 120	3	>97%	特になし
H	3M 1860 (計N=85)	2 g/分 0.5g/分	ガス 20; 滞留 150; エアレーション 300	10, 20, 30, 40, 50	>99% 全てのN95 マ スクにおいて	30回以上においてゴムバンドを 伸ばした時に破砕
I	3M 1860 (N=100)	ゴール: 480+pp m	ガス 25; 滞留 20; エアレーション 240	1	評価なし	特になし

G: (Bergman et al., 2010), H: (Battelle, 2016), I: (Schwartz et al., 2020).

## 7. 戦略

Bioquell、ASP（ステラッド）、Steris、Battelle、Halosilなどの会社よりシステムが市販されています。ただし室内/キャビネット内へのH<sub>2</sub>O<sub>2</sub>のガス供給と滞留の方法や、システムが使用する液体H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>濃度および室内に浸透される蒸気化H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>の濃度は異なります。[注: Bioquell社は過酸化水素蒸気（HPV）と呼称する一方で、Steris社は蒸気化過酸化水素（VHPTM）と呼称しています]。BioquellシステムにはHPVを生成するジェネレーター、エンクロージャー内のHPV濃度/温度/相対湿度を測定するモジュール、およびHPVを酸素と水蒸気に分解するエアレーターユニットが内蔵されています。また、遠隔コントロール用の台座がエンクロージャーの外側に設置さ

れ、HPVがエンクロージャー内部に飽和するまで供給されH<sub>2</sub>O<sub>2</sub>は表面で凝縮し始めます（Hallら,2007; Rayら,2010）。Steria社のVHP™システムには、一体型のエアレーターユニットとサイクル開始前の湿度設定のための除湿器を備えたジェネレーターが室内に設置されます。もしくは、このSteris社システムは院内の既存の安全キャビネット（BSC）に接続することもでき、Steris社の訓練を受けた作業員によってエンクロージャー外部から操作されます。このシステムは、蒸気の流れをジェネレーターに戻す際に乾燥させることにより“結露しない”VHP™を提供します。Bioquell社のシステムが空気中のH<sub>2</sub>O<sub>2</sub>濃度をコントロールしない一方で、Steris社のシステムはばく露期間中において安定したH<sub>2</sub>O<sub>2</sub>濃度を保持します。

Halosil社のシステムはHaloMistという、低濃度（0.01%）の殺微生物性硝酸銀が添加された低濃度（5%）の過酸化水素を含み、エアロゾル化される際にppbレベルの水溶液に変換されるソリューションを使用しています。Halosil社の噴霧器は過酸化水素と銀を凝縮した微小液滴を蒸発させることで100-120 ppmのH<sub>2</sub>O<sub>2</sub>蒸気含有量を生成し、蒸気相の過酸化水素濃度を初期の5%より向上させます。この非常に低い銀濃度がN95の静電帯電膜に影響を与える可能性は低いと考えられますが、N95マスクのフィルター性能に与える影響は除染を複数回繰り返した後に検証決する必要があります。

Bioquell社のシステム（Duke, Bergman(2010) およびBattelle(2016)にて使用）は添加剤抜ききの35%過酸化水素をしています。このような高濃度の過酸化水素は毒性があり、爆発する可能性があるため安全に取り扱われる必要があります。製造メーカーはRFIDチップの付帯したボトルを使用しており、サードパーティ（非純正）の過酸化水素を使用することはできません。

デューク大学医療センターは、Bioquell Clarus™Cシステムを使用したN95マスク除染の標準業務手順書（SOP）を作成し、100以上のN95マスクを用いた訂正テストを実施しています（上記参照; Schwartzら,2020）。マスクは除染の前後および使用前にチェックされ、目に見える血や髪の毛の付着もしくはダメージが確認されたマスクは廃棄され、除染の対象にはなりません。N95マスクはサイズ（例：一般用：3M 1860、小型：3M 1860）や目に見える顔料の有無によって4種類に分類され、除染後のゴムバンドの適合性（伸長性を評価）、ノーズブリッジ、フィット性がチェックされました。デューク大学医療センターのプロトコルは、Battelle社のプロトコルのように再処理したマスクを同じ使用者に戻すことを求めています。マスクを同じユーザーに戻す理由は、当該マスクは当初その使用者によってフィットテストがなされ適合していること、または万が一もとの使用者がN95マスクの疎水コーティングや帯電性を損なう可能性のある不適合ワイプ（アルコールまたは界面活性剤; Viscusiら,2007を参照、または除菌用ブリーチ剤: Heimbuchら,2014を参照）を使用している可能性を考慮している。どちらの場合も、使用者は再利用の度にシールチェックを行う必要があります。

## 8. 主なリスクと不明なこと

プロトコルにおける濃度設定は複雑であり、不完全な除染または爆発の危険を伴います。したがって、訓練を受けた担当者のみがHVP, VHP™またはHPGP装置を操作する必要があります。H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>ガスは火災や爆発を引き起こす可能性がある強力な酸化剤であり、また腐食性があり皮膚、目または肺の損傷を引き起こす可能性のある刺激物です。H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>ガスはN95マスクの成分と相互作用を起こし有毒な残留物を生成する可能性があります - これはH<sub>2</sub>O<sub>2</sub>の分析化学試験で評価することができます。OSHAのばく露許容限界値は、8時間の時間加重平均（TWA）で1 ppmですが、除染プロセス中の部屋の濃度は100 ppmを超える場合があります。

臭気を感じることはN95マスク上に危険な残留物が残っていることの警告にはなりません。十分な除染

ができていないこと（*G.stearothermophilus*芽胞が不活化していること）または十分なエアレーションができていないことの定量テストが、他モデルを代表する見張り役のN95マスクで実施される必要があります（例えば、PortaSens-IIテストなどを用いて）。N95 マスクのゴムバンド劣化の可能性は除染20サイクルを超えると増加します；ただしこれは除染方法やN95マスクのモデルによって異なる可能性があります。ゴムバンド（およびフィット性）は除染後、毎回の使用前に試験される必要があります。

## 9. 結語

複数の研究が示している通り、*G.stearothermophilus*芽胞を含むエアロゾルもしくは飛沫によって汚染されたN95マスクは、 $H_2O_2$ 処理により芽胞レベルでは $10^{-6}$ の除染を達成することが確認されています。さらに、N95マスクのフィルター性能は最大50回の除染サイクルを経ても劣化は見られませんでした。ただし、20サイクルのHPV除処理染後、N95マスク3M 1860のゴムバンドは劣化を示し、伸ばした際に永久的な変形を示しました。短所は、HPV処理後の完全なばく露およびエアレーションのためにN95マスクを個別に配置または吊るす必要があり、密閉したバッグに入れられないことです。エアレーションを含んだ除染に必要な一般的な時間は4-8時間です。

一部の病院はHPGPシステムを所有しています（過酸化水素ガスプラズマ；ステラッド, Irvine, CA）。高濃度における3回サイクル処理（ステラッド100S）はN95のフィルター性能を許容できないレベルまで低下させます（Bergman, 2010）。ASPによると（個人的なコミュニケーション, J. Yarwood）、低濃度の3回サイクル（ステラッド100NX, AllClear, Expressサイクル）はフィルター性能を低下させないとのことですが、これは第三者による検証が待たれます。過酸化水素ガスプラズマは有毒な $H_2O_2$ 蒸気と個々のタイベック包装されたマスクの迅速な浄化を実現します（55分の合計処理時間）。

（米国の）多くの病院では室内全域を最終除染（Terminal decontamination）できるHPVシステムを既に所有しており、専用の除染室として配備することができます。N95マスクを配置したトレイを載せたカートを移動させ室内外に出し入れすることで処理を行うことができます。または、病院内の既存の安全キャビネット（BSC）をVHP™（ドライ方式の蒸気化 $H_2O_2$ の有効性および安全性についてはデータ保留中）またはHPVユニットに接続することができます。別の解決策として、除染の外部サービスプロバイダー（例：Battelle社）にを送付することが挙げられます。

処理フェーズまたは滞留フェーズにおいて適切な $H_2O_2$ 蒸気の濃度を得るためには、処理量が当該HPVシステムの仕様通りに供給される必要があります。 $H_2O_2$ 蒸気が不活性 $O_2$ と水蒸気に変換されるエアレーションフェーズは、その時間が長い場合（300分）は隣接する部屋で行われることがあります。適切な処理が行われていることを確認するため、またエアレーション後に入室する作業者の安全を守るためにも、除染中のHPV濃度は常に測定されている必要があります。OSHAが定めるばく露許容限界値は1 ppm（1.4 mg / m<sup>3</sup>）です。HPVは臭いや刺激により検知されることもありますが、使用者が検知するよりも低い濃度で呼吸器系の危険をもたらす可能性があります。

N95DECONが提供するコンテンツは、情報提供のみを目的としています。医療助言の提供を構成するものではなく、それぞれの専門家による医療的判断、アドバイス、診断、または治療の代替となることを意図したものではありません。N95DECONが提供するすべてのコンテンツの使用または依存は、あなた自身のリスクでのみ取り扱いください。N95DECONの全ての免責事項に関しては、以下のリンクを参照ください。

<https://www.n95decon.org/disclaimer>

## References

- 3M Technical Data Sheet: Disposable respirator, 1860, 1860S, N95.  
<https://multimedia.3m.com/mws/media/15389790/3m-disposable-respirator-1860-1860s-technical-data-sheet.pdf>.
- Battelle (2020). FDA letter of approval (3/28/2020) for Emergency Use Authorization for the Battelle Decontamination System, an HPV system for decontaminating N95 respirators. <https://www.battelle.org/inb/battelle-critical-care-decontamination-system-for-covid19>
- Battelle (2016). Final Report for the Bioquell H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> Vapor (HPV) Decontamination for Reuse of N95 Respirators. Prepared by Battelle Columbus, Ohio. Prepared under Contract No. HHSF223201400098C. Study Number 3245. Prepared for the FDA. July 2016.
- Bergman, M.S., et al. (2010). Evaluation of Multiple (3-Cycle) Decontamination Processing for Filtering Facepiece Respirators. *J Engineered Fibers and Fabrics*, 5(4), 33-41.
- Bergman, M.S., et al. (2011). Impact of Three Cycles of Decontamination Treatments on Filtering Facepiece Respirator Fit. *J Int Soc Respiratory Protection*, 28(1), 48-59.
- Decontamination and Reuse of Filtering Facepiece Respirators using Contingency and Crisis Capacity Strategies. Centers for Disease Control. National Center for Immunization and Respiratory Diseases (NCIRD), Division of Viral Diseases. (March 31 2020).  
<https://www.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/hcp/ppe-strategy/decontamination-reuse-respirators.html>
- Dutch National Institute for Public Health and the Environment 03/20/2020 study Reuse of FFP2 masks. [https://www.rivm.nl/sites/default/files/2020-03/Hergebruik%20mondkapjes%20Informatie%20ENG\\_def.pdf](https://www.rivm.nl/sites/default/files/2020-03/Hergebruik%20mondkapjes%20Informatie%20ENG_def.pdf)
- Finnegan, M., et al., (2010). Mode of action of hydrogen peroxide and other oxidizing agents: differences between liquid and gas forms. *Antimicrob Chemother*. 65, 2108-1225.
- Hall, L., et al., (2007). Use of Hydrogen Peroxide Vapor for Deactivation of *Mycobacterium tuberculosis* in a Biological Safety Cabinet and a Room. *J Clin Microbiol*, 45(3), 810-815.
- Heckert, R.A., et al. (1997). Efficacy of Vaporized Hydrogen Peroxide against Exotic Animal Viruses. *Appl Environ Microbiol*, 63(10), 3916-3918.
- Heimbuch, B.K., et al. (2014). Cleaning of filtering facepiece respirators contaminated with mucin and *Staphylococcus aureus*. [Am J Infect Control](#). 42(3):265-70.
- Kenny, P.A., et al. (2020). H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> vapor sterilization of N95 respirators for reuse. (preprint, not peer reviewed) <https://doi.org/10.1101/2020.03.24.20041087>
- Mickelsen, R.L., et al. (2017). Low-Concentration H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (LCHP) Vapor for Bioremediation: Assessment and Evaluation Report. EPA 542-R19-001. May 2017.
- Rudnick, N. et al., (2009). Inactivating influenza virus on surfaces using hydrogen peroxide or triethylene glycol at low vapor concentrations. *Am J Inf Control*. 37, 813-819.
- Rutala, W.A., et al. (2019) CDC Guideline for Disinfection and Sterilization in Healthcare Facilities (May 2019) 2008) <https://www.cdc.gov/infectioncontrol/pdf/guidelines/disinfection-guidelines-H.pdf>
- Viscusi, D.J., et al. (2007). Effect of decontamination on the filtration efficiency of two filtering



facepiece respirator models. *J Int Soc Resp Prot.* 24:93–107.

Viscusi, D.J., et al. (2009). Evaluation of Five Decontamination Methods for Filtering Facepiece Respirators (FFR). *Ann Occup Hyg*, 53(8), 815-827.