

〈原 著〉

低濃度二酸化塩素による空中浮遊インフルエンザウイルスの制御 —ウイルス失活効果の湿度依存性—

西村 秀一¹⁾・林 宏行²⁾・浦 繁²⁾・阪田総一郎³⁾

Inactivation of Airborne Influenza Virus Using Low Concentration of Chlorine Dioxide: About the Relative Humidity-dependency

Hidekazu NISHIMURA¹⁾, Hiroyuki HAYASHI²⁾, Shigeru URA²⁾ and Soichiro SAKATA³⁾¹⁾Virus Research Center, Clinical Research Division, Sendai Medical Center, National Hospital Organization, Sendai, Japan,²⁾Research & Development Division, AMTEC Co., Ltd., Osaka, Japan, ³⁾Takasago Thermal Engineering Co., Ltd., Tokyo, Japan

(2017年3月10日受付・2017年6月22日受理)

要 旨

低濃度二酸化塩素 (ClO₂) のウイルス不活化能を種々の湿度条件で検証した。ClO₂は高湿度で不安定で、市販のゲルタイプ製剤では閉鎖空間で一定低濃度維持できない。そこで高湿度で低濃度 ClO₂環境を一定時間維持できる乾式法製剤を用いて実験した。一定室温下で低、中、高の三つの湿度条件下、生活空間でヒトが耐えうる濃度限界とされる 20-30 ppb の ClO₂の、空中浮遊インフルエンザウイルス不活化能を調べた。各湿度、ガス濃度の閉鎖空間でウイルスを空中に放出し、一定時間ガス曝露後、一定量の空気を回収し含まれる活性ウイルス量を調べた。その結果、相対湿度 30% 環境では、曝露 20 分後の回収ウイルス量は、対照のガス非存在下と統計学的な有意差はなかった。湿度 50, 70% では、対照でも回収ウイルス量が放出量の約 10% と 2% 程度まで低下した一方、ガス存在下ではそれぞれ 0.3% と 0.03% まで低下し、低下は統計学的に有意であった。以上、湿度 50-70% 環境下であれば、20-30 ppb 程度の低濃度 ClO₂にも抗ウイルス効果はあった。だがそれは、感染管理の視点からは、患者から空間に放出され一定時間経過後残存する活性ウイルスの絶対数から見れば、湿度自体による大幅な感染リスクの減弱にやや上乘せされる程度の効果でしかない。一方湿度 30% では、この程度の濃度では感染リスクの低下はほとんど望めないことが、明らかになった。

Key words : 二酸化塩素, インフルエンザウイルス, 湿度, 空中浮遊, ウイルス不活化

はじめに

二酸化塩素 (Chlorine dioxide : 以下 ClO₂) は、ホルマリンの代替薬剤として殺菌消毒に使用されることのあるガス状の化学物質である。米国環境保護庁 (EPA) はその使用法を公開しており、ppm レベルの高濃度については 21 °C 以上の温度と 65% 以上の相対湿度が必要である、としている¹⁾。一方わが国では、30 ppb あるいはそれ以下のレベルの低濃度での使用におけるウイルス不活

化あるいは殺菌について、必要とされる使用時の温度や湿度の条件の情報が明示されることなく、効果だけを標榜する商品が市販されている。それらは市中の一般家庭や事業所等で広く使用されているが、それだけにとどまらず、ときに医療従事者の側から感染制御への応用を提案されることもある。だが、そうした目的での採用の適否判断には、真に有効であることについてのエビデンスが非常に重要である。そこで我々は、そうした商品のウイルス不活化や殺菌作用の効果の有無について、ひとつひとつテーマを絞った検証を行ってきている。そしてこれまで、そうした低濃度では、冬季の室内の温度湿度を模した条件下では空中浮遊ウイルスに対する不活化効果

¹⁾国立病院機構仙台医療センター臨床研究部ウイルスセンター、²⁾アムテック株式会社研究開発部、³⁾高砂熱学工業株式会社

がほとんどないこと²⁾、さらに、環境に付着したウイルスや細菌を模してスライドガラス上に滴下したウイルス液や菌液中のウイルスや細菌に対する失活あるいは殺菌効果もほとんど期待できないことを、明らかにしてきた³⁾。我々のこれらの成績は、低濃度 ClO₂を利用してインフルエンザウイルスの感染制御が可能であったとする動物実験⁴⁾やガラス表面に付着したウイルスや細菌^{5,6)}さらには空中浮遊状態の細菌やバクテリオファージ⁷⁾の制御にも有効であったとする報告と、矛盾するものであった。しかし、それらの報告のほとんどは、室内温度域における ClO₂の有効性を、濃度と暴露時間の変数との相関だけで論じたものであった。我々は、先に述べた EPA による高濃度での殺菌効果と相対湿度の関係の記述から、彼我の結果の違いの原因はガス使用の際の湿度条件にあるとの仮説を立て、冬季室内空気条件下の実験^{2,3)}に続いて夏季の室内実験条件を加えた広範囲の湿度環境下での、低濃度の ClO₂の空中浮遊インフルエンザウイルスの不活化実験を行なおうとしてきた。だが、技術的な問題からこれまで長い間、高湿度環境下で ClO₂の空間濃度を一定の低濃度に長時間維持することができずにいた。しかし、今回そのための方法を確立し実験が可能となったので、その方法ならびに得られた成績を報告する。

材料と方法

試験空間

空中浮遊ウイルス実験は大筋でこれまでの我々の報告と同じ方法^{2,3)}で、常時 50 Pa の陰圧が確保される環境試験室内で行ない^{2,3)}、今回は試験室内の 25 m³の密閉クリーンブースで実施した。環境試験室の温度をほぼ 21-22 °C に固定し、温度、湿度をモニタリングしながらブース内の相対湿度を 30、50 あるいは 70% の 3 通りになるよう温調器、加湿器、除湿器を手動で on/off 調整し、試験を実施した。

試験空間内での二酸化塩素の発生と濃度維持

低濃度二酸化塩素の発生は、先行研究でたびたび検証対象としてきたゲルタイプの据え置きボトル型二酸化塩素製剤、クレベリン G ゲル 60g (大幸薬品 吹田市)ならびに乾式法製剤であるソリッドタイプ⁸⁾の乾燥顆粒状二酸化塩素製剤 AMTEC P-34D (アムテック、大阪市)を用いた。ガス濃度は、定電位電解方式ガス濃度センサー搭載型 ClO₂濃度計 (インタースキャン社, Model1443-1000b) を用いて測定した。いずれの ClO₂発生源を用いても、空間の ClO₂は温湿度に応じて微妙にあるいは時に大きく変動した。そこでブース内の ClO₂の濃度が一定に保たれるよう、濃度センサーでモニターしつつ生活空間でヒトが感覚的に耐えうる濃度限界とされる⁹⁾ 20-30 ppb を目標に、以下の要領で手動で調整した。

顆粒剤を含む分包体を気中に固定したステンレス金網

上に置き、下方から扇風機で気流を当て分包体からのガス発生を促進し、更なる発生ガスがブース内に均一に拡散するよう別の扇風機を用いてブース内空気を攪拌した。ガスの発生量の調整は、顆粒剤に当てる気流速度を調整したり、製品顆粒剤の量をパスボックス越しに増減したりして行った。

ウイルスおよび空中浮遊ウイルスの発生、回収と定量

本研究は、材料をひとつの実験室株である A/愛知/2/68 (H3N2) 株ウイルスに代表させ、発育鶏卵尿膜腔で増殖させたインフルエンザウイルス液 (1x10⁷ Plaque Forming Unit (PFU)/mL, タンパク質濃度約 1 wt%) を用いた。1-10 μm の径のミストを発生させることのできるネブライザー (オムロン社製 NE-C16) を用い、ウイルス液を実験空間内に 4 分 30 秒間、液体容量にして 3-4 mL 相当噴霧し、浮遊終了後 30 秒経過時を基点として 0 分、10 分、20 分経過後にブース内の空気を吸引ポンプで 120 L 採取し、その中からウイルスを含むミストをゼラチン膜フィルター (ザルトリウス社) で濾過採取した。その後フィルターを 37 °C の培養液で溶解し、回収された活性ウイルスの量を MDCK 細胞を用いたブラーク法で測定した。

結 果

当初我々は、先行研究でたびたび検証対象としてきたゲル基質に溶解された ClO₂が自然に放散されるタイプの製剤であるクレベリン G ゲル 60g を用いて、30 ppb の低濃度の ClO₂についての、低湿度から高湿度状態までの条件下での効果の検証を試みようとした。だが、同製品では、中～高湿度で二酸化塩素濃度の 30 ppb の濃度を維持することはできなかった。わずか 2 m³の閉鎖小空間に製品を置いての予備の実験でさえ、相対湿度 30% (30%RH) では未使用品 1 個開封後 20 分で目的濃度に達した一方で、50%RH ならびに 70%RH では製品 1 個では濃度の上昇が極めて遅く、2 個開封してそれぞれがやっと 20 あるいは 10 ppb 台の濃度になり、その後濃度は不安定に推移した。(図 1) そのため、同製品を用いての実用空間に近い容積 25 m³の閉鎖空間での試験を断念し、つぎに乾燥顆粒状二酸化塩素製剤 AMTEC P-34D での試験に切り替えた。これは、1~2 mm の顆粒体に安定化した亜塩素酸ナトリウムを担持させ乾燥させた、ガス体の ClO₂を低濃度で安定的に放出させる製剤である。ブース内に設置する顆粒剤の量をガス濃度の減衰にあわせて適宜増やすことが可能で、それにより 25 分間の試験時間中、ブース内ガス濃度を目標数値の 20-30 ppb の範囲に維持することができた (図 2)。ガス濃度維持に必要な顆粒量の Log 値は、湿度と高い一次正相関性を有し (相関係数 R²=0.95)、結果的に湿度の上昇に対応して顆粒量を指数関数的に増加させる必要があっ

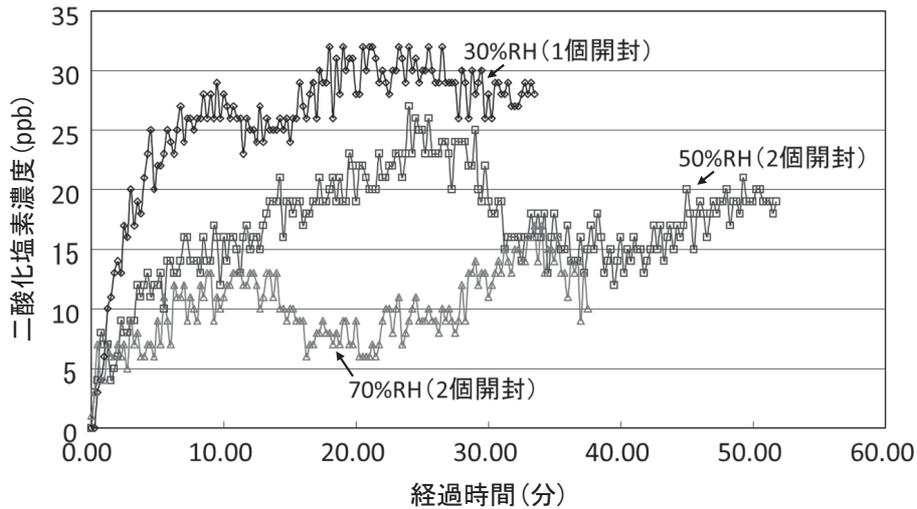


図1 クレベリン G による 2m³ 空間での二酸化塩素濃度の変化

クレベリン G ゲル 60g を用い、低湿度から高湿度状態までの使用条件下での 30ppb の低濃度の二酸化塩素の濃度の空間を作ろうとした。30%RH の成績は未使用品 1 個を開封した際の成績であり、50%RH と 70%RH は 2 個を開封した成績。

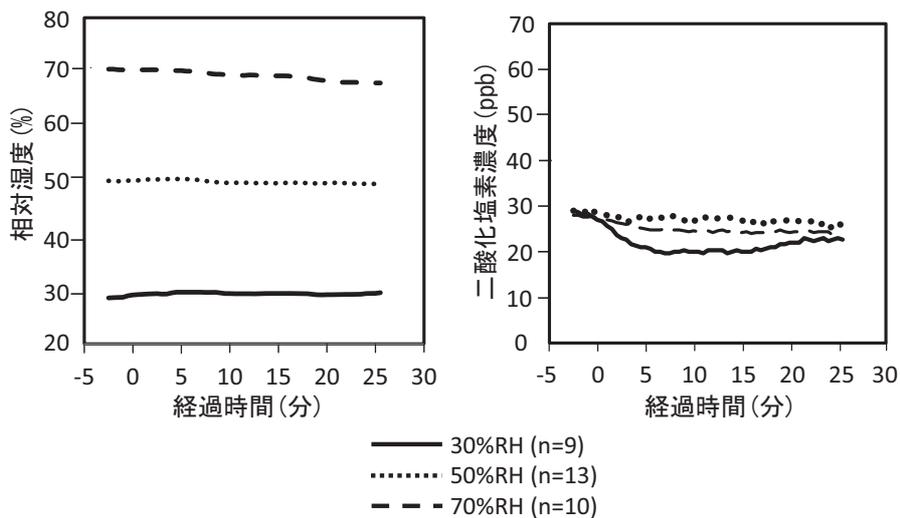


図2 空中浮遊ウイルス実験空間の二酸化塩素濃度の時間的推移と温湿度

25m³ の密閉クリーンブース内の温度、湿度の維持目標をそれぞれ 21.5℃、相対湿度 30、50 あるいは 70%RH とし、二酸化塩素濃度の維持目標を 20-30ppb とし、空中浮遊ウイルスに対する不活化能検証実験を実施した際の、当該空間の実際の温湿度ならびに二酸化塩素濃度の時間的推移。

た (図 3)。

図 4 に、本試験で行った結果の空中浮遊ウイルスの経時的失活の様子をグラフで示した。ウイルス液ミストの噴霧後、それぞれの時間、相対湿度、ClO₂濃度の条件下で一定量の空気からゼラチン膜フィルターに回収された活性ウイルスの量を、噴霧当初を 1 としたときの相対量としてあらわしている。ClO₂濃度を 0 ppb ならびに、20-30 ppb に設定し、同じ測定を 3-5 回繰り返して各データの平均と標準偏差を求めた。この図から、相対湿度によって低下の度合いが違っていたことがわかる。

対照としてのガス非存在下では、回収された活性ウイルスの量の低下は 30%RH では浮遊 20 分後の時点でもごくわずかだった一方、50 および 70%RH では 90 数%程度の大きな低下が認められた。20-30 ppb ClO₂ガス存在下では、30%RH では非存在下と比べて若干の低下が認められた程度であったものの、50 および 70%RH では湿度のそのものによる低下からさらに一桁ないし二桁低下していた。これらの成績を統計学的に検討する目的で、得られた数値の差を対数減少値¹⁰⁾ : Log Reduction Value : LRV 値, [LRV] = log₁₀ × ([初期値] / [実験値])

であらわし、各濃度のガス存在下と非ガス存在対照の活性ウイルス回収量についての有意差検定を行った(表1)。その結果、ガス濃度20-30 ppbでは、30%RHの低湿度条件下では失活は検出されても対照と比べて有意の低下

は認められなかった一方、50%RHと70%RHの環境下ではこのような低濃度であっても低下は有意と判定され、その程度は70%RHの方が大きかった。

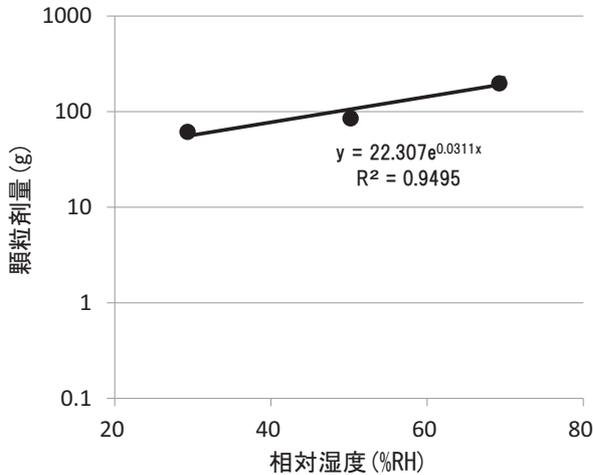


図3 空間湿度と、当該空間湿度でのガス濃度維持に必要な乾燥顆粒状二酸化塩素製剤量

低濃度二酸化塩素の発生に使用した乾燥顆粒状二酸化塩素製剤 AMTEC P-34D の、25m³の密閉クリーンブース内で目的ガス濃度を維持するのに必要であった量と当該空間の相対湿度との関係を示した。

考 察

高湿度の閉鎖空間でClO₂をある一定の低濃度に保つことは、技術的に容易なことではない。湿度が高くなるに従い空間内部の器材の表面に付着している水分への溶入、器材への吸着や分解等により急速に濃度が低下するためである¹¹⁾。ClO₂発生剤には、発生時に水分の発生を伴う湿式法製剤と水分の発生が殆どない乾式法製剤がある⁸⁾。本試験では、空間中の湿度を手動で調整したが、湿度の維持に対する製剤自体の影響を極力抑えるために、さらには製剤の量の増減を介したガス発生量調整のしやすさの点から、後者に属するソリッドタイプの乾燥顆粒状ClO₂製剤を選択した。結果的にガス濃度維持のために用いられた顆粒量は、湿度の上昇と指数関数的に対応した。この事実は、市販の小さな簡易型製剤製品を用いても通常的生活環境レベルの室内容積環境下では一定の低濃度ClO₂環境の維持が非常に難しいことを、意味している。

これまでClO₂を用いる病原体制御は、ppmレベルの高濃度で行われてきた。だが、その毒性から米国産業衛

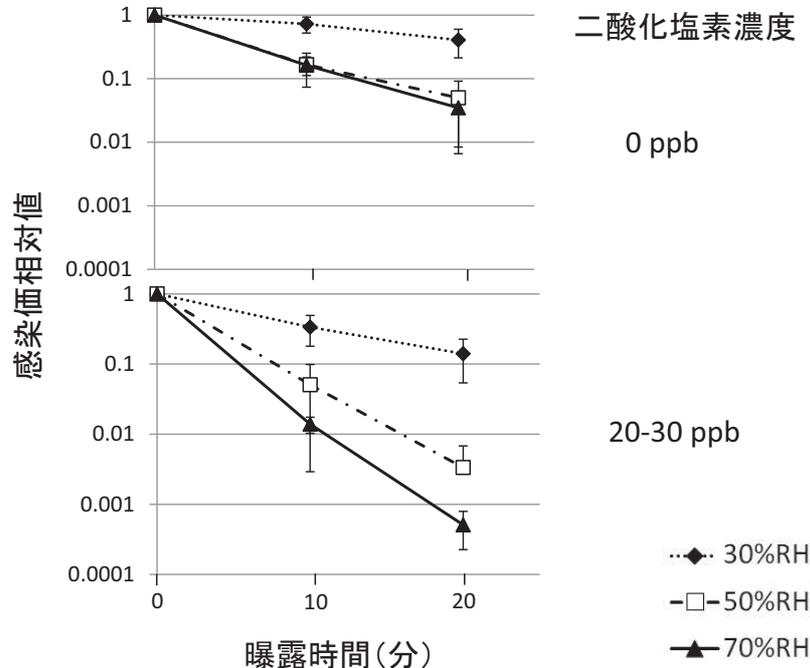


図4 種々の相対湿度、二酸化塩素濃度の条件下における空中浮遊ウイルスの経時的失活 気温22℃、容積25m³の密閉クリーンブース内の相対湿度ならびにClO₂濃度を、それぞれ30、50、70%RHならびに0ppbならびに20-30ppbに設定し、各条件下、ウイルス液ミストの噴霧後、一定の時間経過後一定量の空気から回収された活性ウイルス量、噴霧当初を1とした相対比で表している。各条件で3-5回の繰り返し実験を行い、平均値と標準偏差値をもとめた。

表 1 ClO₂ ガス処理による浮遊ウイルス不活化効果評価結果

相対湿度	ガス濃度 (ppb)	活性ウイルス数減少効果 (LRV 値) ¹⁾			P 値 ²⁾
		n	平均値	SD	
30%	0	3	0.42	0.21	-
	20-30	3	0.90	0.25	0.0626
50%	0	5	1.41	0.34	-
	20-30	5	2.68	0.48	0.014*
70%	0	4	1.69	0.64	-
	20-30	3	3.34	0.32	0.0013*

¹⁾ 散布直後の回収活性ウイルス数 (PFU 値) を 1 とし、曝露 20 分後の相対値を LRV に換算

²⁾ 同条件下の対照 0 ppb の値との比較を Student-t 検定した。(危険率 5%, 両側検定)

*5% 危険率で有意差あり

生専門家会議は、人体に許容される作業環境基準濃度を 100 ppb 以下としており¹²⁾、また 30 ppb 以上の濃度環境に対しては多くの人がそのガス特有の臭いに不快感を持つ⁹⁾とされている。よってヒトのいる環境での使用は、現実的には 30 ppb 以下に限られる。

そのような低濃度でも感染制御が可能であったとする研究報告は、ほとんどが本邦からのものであり、動物実験⁴⁾のみならず集団での感染制御の介入試験^{13,14)}もあるほか、*in vitro*⁵⁻⁷⁾の実験報告もかなりの数に上る。だが、これらの研究のほとんどは同一グループからの有効性を主張する報告であり、*in vitro*の実験もほとんどが一定の温湿度域でのものだけであった。例外的に複数の湿度条件下での実験報告もあったが、それらは低湿度領域を除いた RH50% 付近と 70% 付近の範囲のみでの報告であった⁶⁾。すなわち、これまで低濃度 ClO₂ガスの有効性の根拠とされてきた実験成績には、冬季の室内を想定した低湿度の条件下のものは含まれていなかった。よって、低濃度 ClO₂を利用して感染制御を図ろうとするならば、湿度条件を低湿度から高湿度までを広く設定した検証が不可避であった。

本研究によって、低湿度では低濃度の ClO₂ガスに空中浮遊インフルエンザウイルスに対する不活化作用はほとんど期待できない一方、高湿度条件下であれば、従来知られている湿度そのものによるウイルスの活性減衰効果¹⁵⁾に付加的に、同ガスがウイルスを不活化する能力を発揮できる可能性が示された。ただし、結果の解釈には注意が必要である。たとえば湿度 70%RH の場合、対照で放出直後に比べ 20 分後の回収活性ウイルス量は 50 分の 1 の量までの低下が認められた一方、20-30 ppb のガス存在下では約 2200 分の 1 の量までの低下が認められている。このように比で表現した数値では一見極端に大きな差のように見える。だが、それらを実数で表現すれば、感染管理上、異なって見えてくる。

実際のインフルエンザ患者の 1 回の咳に含まれるウイ

ルス量は、ウイルス遺伝子コピー数で言えば、スーパープレッダーとされる患者ですら数百から千程度のレベルであり、活性ウイルスの量はその中の 100 分の 1 かそれ以下の程度であることが報告されている^{16,17)}。感染管理は、このレベルのウイルス数で考える必要がある。たとえば上述の患者が 100 回咳をすれば、空气中に活性を持ったウイルスが数千個放出される。これはウイルスの時間的失活の少ない低湿度の状態では脅威だが、50-70% RH では先の減衰率を適用すれば 20 分後には数十個である。さらに通常の部屋の容積を加味すれば、ウイルス濃度は高くてもせいぜい数個/m³である。これにヒトの呼吸容積を加味すれば、その場でウイルスを吸い込む確率は相当低いことが理解できる。さらには、図 4 のグラフの傾きからは、時間をさらに長くすればガス空間のウイルスは検出限界以下になることが予想されるが、それはガスが存在していても同じである。数個/m³は、ガスなしでもさらなる時間経過とともに 0 個/m³となっていく。これにさらに ClO₂で介入する意義は、かなり低いと言わざるを得ない。

だが、それでも感染制御においてできる限りのことをするという意味での使用は、あっても良いかもしれない。本邦の冬季室内暖房環境では、50-70%という湿度は望めず、したがって 20-30 ppb ClO₂ガスでは全く効果が望めないことを理解しつつ、夏季あるいは熱帯の高温多湿の地域のような限られた温湿度条件のもと、温湿度自体によるウイルス失活の上に付加的な効果を期待する程度であることを承知の上で使用するのであれば、あえて否定はしない。ただしその場合でも、使用環境の相対湿度と ClO₂のガス濃度の維持がきちんと担保できることが必須であることは、言を俟たない。

各湿度における浮遊ウイルスへの ClO₂の不活化効果は、ClO₂の効果の純粋な湿度依存性と、湿度そのものがウイルス活性へ及ぼす影響という二つの要素の影響を受ける。今回は、元来後者の影響が大きいインフルエン

ザウイルスが検証対象であったが、湿度に対する耐性はウイルスによって異なる¹⁸⁾。よって、とくにその影響が乏しいようなウイルスでは、トータルでのウイルス失活の湿度依存性はインフルエンザウイルスより低くなる可能性はある。ClO₂のウイルス失活効果については、個々のウイルス種ごとに本研究と同様、すべての湿度帯での実験を行う必要があるだろう。

以上、本研究により、もし感染管理目的で低濃度のClO₂を用いて空中浮遊インフルエンザウイルスを不活化させようとするならば、環境湿度の管理が非常に重要であることが明らかになった。

謝 辞：この場をお借りして、本研究に協力してくれた仙台医療センター臨床研究部ウイルスセンターの職員と客員研究員諸氏に深謝いたします。

利益相反自己申告：申告すべきものなし。

文 献

- 1) US EPA: Anthrax spore decontamination using chlorine dioxide: <http://www.aquamira.com/wp-content/uploads/2015/05/anthrax-spore-decontamination-using-chlorine-dioxide-pesticides-us-epa.pdf>. accessed April 19, 2016.
- 2) 西村秀一：ウイルス不活化効果を標榜する市販据置き型二酸化塩素ガス放散製剤の、冬季室内空間相当の温湿度での空中浮遊インフルエンザウイルス不活化の実用性の有無の検証。環境感染誌 2016; 31: 310-3.
- 3) 西村秀一：二酸化塩素ガス放散製剤のインフルエンザウイルス不活化および黄色ブドウ球菌殺菌能の検証—低湿度環境表面での検討—。環境感染誌 2017; 32: 131-4.
- 4) Ogata N, Shibata T: Protective effect of low-concentration chlorine dioxide gas against influenza A virus infection. J General Virology 2008; 89: 60-7.
- 5) Morino H, Fukuda T, Miura T, Shibata T: Effect of low-concentration chlorine dioxide gas against bacteria and viruses on a glass surface in wet environments. Letters in Applied Microbiology 2011; 53: 628-34.
- 6) Morino H, Fukuda T, Miura T, Lee C, Shibata T, Sanetaka T: Inactivation of feline calicivirus, a Norovirus surrogate, by chlorine dioxide gas. Biocontr Sci 2009; 14: 147-53.
- 7) Ogata N, Sakasegawa M, Miura T, Shibata T, Takigawa Y, Taura K, *et al.*: Inactivation of airborne bacteria and vi-

ruses using extremely low concentrations of chlorine dioxide gas. Pharmacology 2016; 97: 301-6.

- 8) 日本二酸化塩素工業会：二酸化塩素の自主運営基準設定のための評価について—ガス製品— (2014. 3), II項 (評価対象物資の概要) : <http://chlorinedioxide.or.jp/wordpress/wp-content/uploads/2014/03/ce8e9d8e9c7aa15e2aa90cadb233bfa7.pdf> : 2017年1月20日現在.
- 9) 国民生活センター：二酸化塩素による除菌をうたった商品一部屋等で使う据置タイプについて— : http://www.kokusen.go.jp/news/data/n-20101111_1.html : 2010年11月11日現在.
- 10) Dunkelberg H, Fleitmann-Glende F: Measurement of the microbial barrier effectiveness of sterilization containers in terms of the log reduction value for prevention of nosocomial infections. Am J Infect Cont 2006; 34: 285-9.
- 11) Tsutsumi H, Shinoda F, Tanabe S, Setujima M, Nakahara K: Effects of various indoor environmental factors on the decay of chlorine dioxide gas concentration: Implications of its use against pandemic influenza. HVAC&R Research 2012; 18: 643-57.
- 12) US Department of labor: OSHA Chlorine dioxide: https://www.osha.gov/dts/chemicalsampling/data/CH_226600.html. accessed April 19, 2016.
- 13) Ogata N, Shibata T: Effect of chlorine dioxide gas of extremely low concentration on absenteeism of schoolchildren. Int J Med. Med Sci 2009; 1: 288-9.
- 14) 三村敬司, 藤岡高弘, 三丸敦洋：二酸化塩素放出薬のインフルエンザ様疾患に対する予防効果。環境感染誌 2010; 25 (5): 277-80.
- 15) Schaffer FL, Soergel ME, Straube DC: Survival of airborne influenza virus: effects of propagating host, relative humidity, and composition of spray fluid. Arch Virol 1976; 51: 263-73.
- 16) Hatagishi E, Okamoto M, Ohmiya S, Yano H, Hori T, Saito W, *et al.*: Establishment and Clinical Applications of a Portable System for Capturing Influenza Viruses Released through Coughing. PLoS One 2014; 9: e103560doi: 10.1371.
- 17) Lindsley WG, Blachere FM, Thewlis RE, Vishnu A, Davis KA, Cao G, *et al.*: Measurements of airborne influenza virus in aerosol particles from human coughs. PLoS One 2010; 5: e15100.
- 18) Harper GJ: Airborne micro-organisms: survival tests with four viruses. J Hyg Camb 1981; 59: 479-86.

[連絡先：〒983-8520 宮城県仙台市宮城野区宮城野2丁目8-8
国立病院機構仙台医療センター臨床研究部ウイルスセンター 西村秀一
E-mail: vrs.center@snh.go.jp]

***Inactivation of Airborne Influenza Virus Using Low Concentration of Chlorine Dioxide:
About the Relative Humidity-dependency***

Hidekazu NISHIMURA¹⁾, Hiroyuki HAYASHI²⁾, Shigeru URA²⁾ and Soichiro SAKATA³⁾

¹⁾*Virus Research Center, Clinical Research Division, Sendai Medical Center, National Hospital Organization, Sendai, Japan,*

²⁾*Research & Development Division, AMTEC Co., Ltd., Osaka, Japan,* ³⁾*Takasago Thermal Engineering Co., Ltd., Tokyo, Japan*

Abstract

Chlorine dioxide gas has bactericidal and virucidal abilities. However, it is unstable under high humidity, and it is difficult to keep its concentration low in a high-humidity, closed environment. We have now developed a methodology that can maintain low chlorine dioxide concentration in air even under high humidity. Using this method, the effect of humidity on airborne influenza virus inactivation by exposing the virus to the gas at a very low concentration was examined: the gas concentration was set between 20-30 ppb, which is considered to be the maximum limit concentration that people can tolerate in a day; room temperature at 21.5°C; relative humidity (RH) at 30%, 50% or 70%. For each condition, the virus was atomized in the closed chamber, and after 20 minutes, the virus in the air was collected for titration. The result showed only a slight and statistically insignificant decrease of virus titer in the air collected from 30% RH environment, compared with that of non-gas exposed control. On the other hand, statistically significant decrease of virus titer was observed under 50% and 70% RH; a reduction of about 0.3% and 0.03%, respectively, from the initial airborne influenza virus load, while the reduction in the non-gas control was about 10% and 1%, respectively, and it was statistically significant.

Thus, it was shown that chlorine dioxide at low concentration of less than 20-30 ppb has an ability to inactivate airborne influenza virus under 50% and 70% RH conditions. However, from a viewpoint of infection control, it is a minor effect for reducing infection risk, which is merely additional to the major effect by the humidity itself of 50% and 70% RH conditions, when we consider the actual load of viruses released from an influenza patient in a room space and still remain active after certain time. Besides, it was also observed that such a low concentration of chlorine dioxide is almost meaningless for the infection control under 30% RH condition which is commonly observed as normal humidity in the temperate zones in winter.

Key words: chlorine dioxide, influenza virus, humidity, air-borne, inactivation