【研究論文】 【平成27～29年度 県単研究】

小型滅菌装置の高機能化と低コスト化に関する研究開発

天本 義己，阿部 宏之
機械電子情報技術部

ヘルスケア関連の感染が病院環境における深刻なリスクとなっている。そして，従来用いられてきた液体洗剤では，細菌除去が不十分，あるいは複雑形状物の洗浄が困難との報告がされている。他方，県内では，病院従事者を対象としたニーズ調査から，災害時・救急医療環境での使用をも想定し，小型・可搬で，短時間に感染予防措置を出来る装置等が求められていることが分かった。

小型・可搬化を可能にする方法として，低温大気圧プラズマやプラズマクラスターイオンがあり得る。前者は，小型・可搬化，簡略化の妨げとなる要因を内包している一方，後者のプラズマクラスターイオンは，寒天平板培地上の細菌コロニー形成に対する一定の抑制効果が報告されているほか，大気を利用する方式のため，特定のガス供給ユーティリティを要しない利点を有する。本研究では，小型・可搬で簡便な装置の低コスト製作の検証を目的として，既存のプラズマクラスターイオン装置を用い，簡易自動送風機能を付属させたプロトタイプの製作を試み，プラズマクラスターイオン照射が寒天平板培地上の大腸菌コロニー形成に与える影響を調べた。プラズマクラスター送風を寒天平板培地上の大腸菌に120秒および1200秒行ったサンプルを，送風をしなかったサンプルとともに，37℃のインキュベーターで24時間培養したところ，その大腸菌コロニーの形成数において，有意な差は認められなかった。

キーワード：プラズマクラスターイオン簡易送風装置，プロトタイプ，寒天平板培地上大腸菌コロニー，

1 緒言

本テーマは，高圧水蒸気滅菌メーカーと連携の下，県内企業とともに，低コストで高機能な高圧水蒸気小型滅菌器の開発・製造を試み，それをケーススタディとして，医療機器産業への参入に必要な要件を抽出しようとするものであったが，高圧水蒸気滅菌のみに限るのでなく，広く感染防止の観点で，病院やクリニックで求められていることを把握，理解し，その解決に役立つ可能性のある方法を探索し，プロトタイプを製作し，その評価を行うこととした。

2 方法

2.1 調査

2.1.1 動向把握

国内外の研究論文による文献調査を実施。また，日本医療機器学会大会に参加し，講演，シンポジウム，マネジメントセミナ等の聴講による調査を実施した。マネジメントセミナでは，医療機器とその運用における，感染防止に関する現状ならびに昨今の変化および変質について，大学病院の部門長，医療機器販社，クリニックの歯科医等，それぞれの立場からの報告と提言がなされたのを傾聴した。

2.1.2 病院ニーズ調査

地域イノベーション戦略支援プログラム（東日本大震災復興支援型）知と医療機器創生宮城県エリアで実施した「医療従事者ニーズ調査」[1)]の結果をシェアし，そこから，感染防止に関するニーズを抽出した。同調査は，県内42病院，145名の従事者の協力を得て，880件に上るニーズを集めたものである。調査対象者の平均経験年数は20年で，その職種は，理学療法士，臨床検査技師，臨床工学士，放射線技師，薬剤師，看護師，事務職，栄養士，作業療法士，言語聴覚士，となっている。

2.1.3 低温大気圧プラズマとプラズマクラスターイオン

学術論文調査および特許情報調査により，低温大気圧プラズマの有望性と難点を捕捉した。大阪大学大学院工学研究科アトミックデザイン研究センター表面反応制御設計研究部門プラズマ応用設計分野 准教授 北野勝久先生の業績が先進的であるとの判断のもと，その文献[2)]を起点とした調査を行った。

プラズマクラスターイオンに関しては，独立行政法人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 医師 西村秀一先生の報告[3]をよりどころに調査・把握を行った。

2.2 プロトタイプの製作

プラズマクラスターイオン簡易送風装置のプロトタイプの製作では，プラズマクラスターイオン発生装置（シャープ株式会社製 IG－B20），無線デバイス（モノワイアレス社製，TWE - Lite），p型MOSFET(IRLML6402)およびn型MOSFET(IRLML6344T)，ブレッドボード，3Vリチウムバッテリー（Golden Power 社，CR2032），10kΩの抵抗を使用して外部スイッチ回路を作製することで，装置のスイッチング電圧と無線デバイスのスイッチング電圧のマッチング，外部からのリモートON／OFFを可能にする装置の製作を試みた。

2.3 寒天平板培地上大腸菌塗抹試験

2.3.1 寒天平板培地の作製

寒天平板培地は，Soy-Beans Casain Digest（以下，SCDと略する）30gを水1000mlに混合，スターラー攪拌した溶液を作製し，そこに，寒天12gを入れ，軽く振り混合した後，高圧水蒸気滅菌装置に入れ，121℃で15分処置したものを，滅菌シャーレーに9mlずつピペッティングし，室温冷却し，寒天平板培地とした。

2.3.2 大腸菌塗抹サンプルの作製

コールドストックしてあった Escherichia coli NBRC3301 100μl をSCD培地10ml に入れ混合し，37℃に設定したインキュベーターに24時間入れた後，0.1% ペプトンを入れた生理食塩水により10倍希釈溶液を作製した。その溶液の一部を用いて，さらに10倍に希釈した溶液を作製した。この10倍希釈の作業を繰り返しながら，希釈度が10倍ずつ増した溶液を，希釈倍率10^1倍から10^{10}倍まで，10種類用意した。これら希釈倍率の異なる10種類の溶液を，シャーレ中の寒天平板培地に100μl 垂らし，コンラージ棒でならし広げて塗抹サンプルを作製した。同塗抹サンプルは，各希釈倍率毎に4ヶ作製した。

2.3.3 培地表面へのプラズマクラスターイオン送風

2.3.2 で作製した各希釈度毎の4つの塗抹サンプルのうち，2つはプラズマクラスター送風に晒し，残りの2つは送風にあてずに対照とした。それら全てのシャーレを，37℃のインキュベーターで24時間培養した。それらの中から，菌コロニー数のカウントに適したサンプル（30 ～ 300コロニー／寒天培地）のデータを採用した。シャーレ内塗抹サンプルにプラズマクラスターイオン送風した様子を図1に示す。大腸菌を塗抹した寒天培地の入ったシャーレを上下逆さまにして保持し，培地表面のおよそ3cm下から，プラズマクラスターイオンを送風した。晒した時間は120秒および1200秒。これらは，陰圧のドラフトチャンバー内で行い，チャンバー内温度は実験開始時に18℃で終了時において16℃であった。

図 1 大腸菌を塗抹した寒天培地の入ったシャーレとプラズマクラスターイオン送風装置の位置関係

3 結果

3.1 調査

3.1.1 動向把握

世界保健機関（WHO）によると，ヘルスケア関連感染による罹患は，ヨーロッパで年間約450万人，米国で年間170万人，そのうち，それぞれ10万人と37,000人が死亡していると推定されている[4]。ヘルスケア関連感染は，全世界の病院環境において深刻なリスクとなっている。我が国においても，医療施設における院内感染（病院感染）の防止について，留意事項等の通知[5]が厚生労働省によりなされている。

病院環境における汚染対象表面種および汚染菌種については，床，ベッドレール，リネン，マットレス，患者のガウンや衣服，カーテン，ベッド上のテーブル，コールボタン，コンピュータのキーボード等[6) 7) 8) 9) 10) 11)]の表面が，メチシリン耐性黄色ブドウ球菌（MRSA），クロストリジウム・ディフィシル（Clostridium difficile），バンコマイシン耐性腸球菌属（VRE），および大腸菌，緑膿菌，肺炎桿菌，およびアシネトバクター・バウマンニなどの多剤耐性グラム陰性菌など[12]によって汚染され，それらが病院環

表 1　医療従事者ニーズ調査[1)]から抽出した感染防止に関するニーズ

回答者		ニーズ				
施設名	職種	内容	分類			
S病院	看護師	災害時・救急医療環境で滅菌操作できる装置				災害時・救急医療環境
A病院	臨床検査技師	ガス滅菌機器の小型化		簡易・小型		
A病院	臨床検査技師	採尿時における感染対策。手やカップを汚染しない採尿システム	排せつ関連			
T病院	薬剤師	災害現場・救急医療に必要になる簡易滅菌器		簡易・小型		災害時・救急医療環境
SS病院	栄養士	導入済みだが、食中毒対策に電解水が有効で生成機を重宝している。			工夫	
SN病院	薬剤師	洗浄・殺菌機能付、感染防止介護トイレ	排せつ関連			
SN病院	看護師	泌尿器で使う陰洗ボトルや排尿処理バケツ等を簡易的に洗浄・乾燥できる機器。感染管理目的。現在は除菌スプレーで消毒・乾燥。時間かかる	排せつ関連			
K病院	看護師	災害時・救急医療環境、短時間で滅菌できる道具や薬剤			短時間、滅菌同等	災害時・救急医療環境
K病院	臨床工学技士	災害時・救急医療環境、感染者の排泄物を簡易に殺菌・消毒できる装置		簡易・小型		災害時・救急医療環境
MS病院	看護師	使用頻度の少ない病院に対応した小型で簡易な滅菌オートクレーブ		簡易・小型		
TS病院	臨床工学技士	既に商品開発を済ませたニーズだが、簡易型無菌テント。血液透析の場での、インフルエンザ感染防止対策。		簡易・簡便		

境の中で長期間生き残ることが報告されている。

表面除染には，主として，水を含む液体洗剤が使用され，塩素系流体，第4級アンモニウム系化合物，フェノール系物質のほか，最近は，溶解した過酸化水素などの消毒剤が用いられ，前述の細菌をある程度取り除けるようになってきている[13) 14)]。ハイリスクの医療機器・器具については，高圧水蒸気，エチレンオキサイドガス，オゾン滅菌器を使用した除染がされている[15) 16) 17)]。しかし，これらの除染法のうち後者の2つは，化学物質による健康被害を患者および職員にもたらす欠点がある[18)]。また，上述の液体系洗剤では，柔らかい家具，ベッドリネン，カーテン，マットレス，布張り家具等の除染が難しく，ベッドフレーム，ロッカー，コールボタンなどの複雑な器物が十分に洗浄しきれない場合がある[13) 14)]。

また，ここ数年，手術用ロボットが急速に普及したことに伴い，ロボットのパーツ等の洗浄・滅菌に関する講演が日本医療機器学会大会において増えている。複雑でミクロな構造物を十分に滅菌・洗浄するための方法論の試行錯誤と検討が繰り返しされている。

国内のクリニック，特に歯科に関しては，第91回日本医療機器学会大会の歯科セッションにおいて，座長が「感染防止が正式にセッションで取り上げられるようになったことに，隔世の感を抱く。以前なら，とにかくアンタッチャブルで，口にしてはならないとの雰囲気が強かった」とコメントされたことに象徴されるように，これまで「臭いもの，都合の悪いことにはフタ」をしてきた，業界の風潮・文化が，ここに来て，変化しつつあることが感じられる。今後は患者側からの感染予防に対するニーズや期待の増大に伴い，顧客サービスの観点から，クリニック側が，費用対効果を横目で見ながら，推進あるいは推進を検討するケースが増えることが推察される。関連ビジネスが始まり広がる可能性が推察できる。また，都市型の歯科クリニックは，その経営が立地に依存する度合いが大きいため，家賃の高さが問題になっていて，それとの関係から，狭い空間の有効活用が一つのテーマになっている模様。クリニック内の省スペース，空間合理利用ニーズが潜在・顕在していることが伺われた。

3.1.2 病院ニーズ調査

地域イノベーション戦略支援プログラム（東日本大震災復興支援型）知と医療機器創生宮城県エリア実施の「医療従事者ニーズ調査」[1)]で得られた全880件のニーズから感染防止に関するニーズ11件を抽出した結果を表1に示す。簡易・小型化を求めるニーズが4件，災害時・救急医療環境でのニーズが5件と多かった。また，食中毒防止や，透析患者のインフルエンザ感染防止など，具体の症状・状況に特化したニーズに対し，自力対応したり，装置開発したりするなど，現場で高い意識と実行力を有する例のあることがわかった。

3.1.3 低温大気圧プラズマについて

低温大気圧プラズマは，電子，イオン，および反応性および中性分子による電気的に準中性の「海」で，その状態下での電子/イオン成分は，バックグラウンドガスの電子/イオン成分の100万分の1程度である[19) 20) 21)]。電子は質量が小さいため，印加電場に反応しやすくなる。このような媒体に電場を印加すると，周囲の「ガス」のイオンおよび中性分子よりはるかに大きなエネルギーを得た

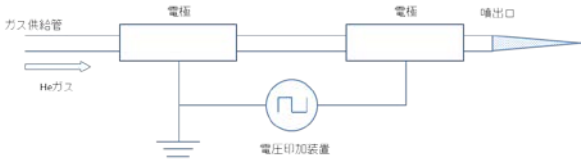

図 2　低周波プラズマジェットの模式図

電子が出現する[20) 21) 22)]。こうして，電子の平均エネルギー（温度スケールで測定した場合，数万ケルビン）が中性物質，イオンおよびラジカルのエネルギーよりもはるかに大きい非平衡状態が，室温に近いまま達成され，低い平均ガス温度で高温の化学反応や物理反応を促進できる状態になっているため，プラズマに晒される対象物の温度上昇をもたらすことなく，高エネルギー成分を照射することが出来る。

そして，TeschkeとEngemannが，図2に示すような，内径2～5mmの石英パイプにHeガスを通し，電圧印加装置により10kHzほどの低周波のパルス電圧を印加してパルス放電させることで噴出口から細く伸びる，LFプラズマジェット生成方式を提案したことで，アスペクト比の大きい形状のプラズマジェットを，印加する電圧の向きに応じて射出方向を決めて噴出できるようになった[23)]。媒質ガス流がプラズマ化しているので，対象物に直接的にプラズマ照射することが可能である[24)]。

北野らは，LFプラズマジェットの放電機構を明らかにし，それに基づき，媒質ガス塊中に電場を形成する電場形成要素を備え，幅広いパラメーターで安定したプラズマ流を生じさせることに成功し，その装置と方法について出願し特許されている[24)]。さらに，北野らは，pHを3.5になるよう調整した液体に60秒ほど低温大気圧プラズマを照射することで，その殺菌力を滅菌保証レベル；微生物の生存確率 1.0×10^{-6} にまで向上できることを示し，その方法と装置を特許されている[25)]。

このように，LFプラズマジェットは，特定の範囲のpHを有する酸性溶液との組合わせにより，滅菌法となり得ることが示されており，期待される方法である。

一方，低温大気圧プラズマは生成時に紫外線を放射することが，ヘリウムガスを用いた場合[26)]およびアルゴンガスと窒素ガスを用いた場合[27)]について，それぞれ分光測定結果で示されている。作業者や周囲にいる者の目や皮膚への悪影響を避けるための防護策の措置が必要とされる手法である。また，酸素ガス共存下で低温大気圧プラズマを発生させると，オゾンガスの発生が避けられないことから，装置の使用においては，換気を十分に実施すること，作業者による吸引の防止に努めることなどが，注意喚起されている[28)]。以上の利点，特質，問題点，不利な点をまとめたのが表2である。

表2　低温大気圧プラズマの評価

項目	調査結果	評価
1．利点	・処理対象は平面でなくてもよい ・アーク放電による放電損傷が少ない ・プラズマ安定　対象による変化少 ・高密度プラズマの利用が可能	
2．殺菌効果向上	・PH＜4．8の液体併用で劇的向上 （北野ら JP4408957）	・殺菌有意性大 ・酸性液ダメージが新たな問題 （対象物・使用者）
3．問題点 （使用者の立場で）	・紫外線発生 ・オゾン発生	使用者の健康への悪影響を低減あるいは回避策の併設が課題
4．不利な点 （使用者の立場で）	・ガスボンベ必要 ・電源必要	・ハンディ化，可搬化に不利 ・とり回し悪し

3.1.4 プラズマクラスターイオンについて

西村が，常温・常湿環境下に容積約14.4m^{3}の閉鎖ビニールチャンバー（縦1.8m×横4.0m×高さ2.0m）を用い，同チャンバー内にプラズマクラスターイオン発生装置を空気攪拌用の小型ファンと共に設置し，チャンバー内1mの高さに寒天平板を置き，プラズマクラスターイオンに2時間暴露させた後，37℃のインキュベーター内で24時間培養したところ，一定のコロニー形成抑制効果があったことを報告している。

3.1.5 低温大気圧プラズマとプラズマクラスターイオンの比較

低温大気圧プラズマとプラズマクラスターイオンの比

表3　プロトタイプ製作に向けた，低温大気圧プラとプラズマクラスターイオンの比較

	低温大気圧プラズマ	プラズマクラスター活用
殺菌	◎　効果有 酸性溶液との組合わせで効果飛躍的向上	○　一部効果有
紫外線	×　放射有	◎　ユニット使用で眼への直接入射なし
オゾン	×　発生有り 人体には害、殺菌には功	×　発生有り 人体には害、殺菌には功
ガス　ボンベ	×　必須	◎　不要（大気使用のため）
ガス　価格	×　高価	◎　無料、同上
ガス　使用量	×　大量	◎　心配無用、同上
設備、	△　電源、マスフロー	◎　市販ユニット活用可
費用	×　マスフローが高価で購入困難（予算の制約）	◎　手ごろな価格の入手可

較を表3に示す。殺菌力については，低温大気圧プラズマが，pH3．5程度の酸性溶液と組み合わせた場合に，滅菌保証同等レベルの性能を有し，優れているが，低温大気圧プラズマは，ガス供給が必要なため，そのユーティリティーが欠かせず，装置・設置が大掛かりになり，また，消耗品経費も掛かる。さらに消耗品ガスが欠けると装置としての用を足さない。また，作業者の健康被害を防止するための策を装置構成や運用においてしなければならない不利がある。一方，プラズマクラスターイオンの方は，特定のガスを要さないため，装置簡略化，操業簡便化において比較優位がある。西村が報告したように[3]一定の効果があるなら，適用可能性を検討する余地があると考え，プラズマクラスターイオン簡易送風装置を作ることとした。

3.2 プロトタイプの製作

送風される対象物をステージ上に置くと自動で送風が開始されるように製作したプロトタイプを図3に示す。対象物としてスパチュラをステージ上に置いてある。対象物の重量でステージが沈み，スイッチが入り，その信号が無線デバイスを通し，受信側に送られ，外部スイッチ形成回路を通し，本体にONの信号を伝え，送風を開始させる構成となっている。送風口には，風が対象物に向かうようにフードを取り付け，また，風の発生を視認するためにフードに短冊状のフィルを取り付けた。プロト作製は，シャープ株式会社製プラズマクラスターイオン発生装置IG－B20を採用し活用した。同装置がスイッチ端子への接続が可能であったため，外部スイッチを設置することができた。本体のスイッチングが，OFF→弱→強→OFFとトグルする形式だったので，マイコンを用い，ON／OFF作動に単純化する改造をした。改造には無線デバイス中のマイコンプログラムを用いた。外部スイッチ回路は，ブレッドボード，抵抗およびMOSFETを用いて作成した。本体の横に付着している青い部分がそれである。本体のスイッチング電圧5Vと，無線デバイスのスイッチング電圧3．6Vの調整を図っている。その回路を図4に示す。

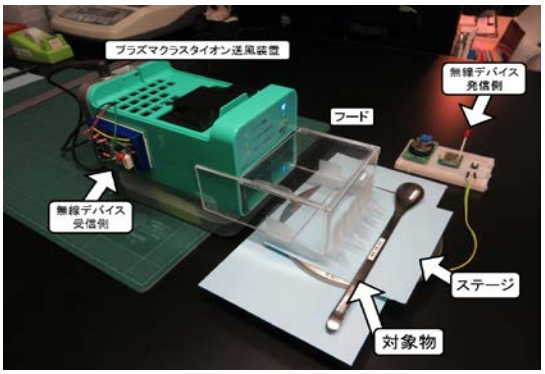

図3　自動送風開始機能を付属させたプラズマクラスターイオン発生プロトタイプ

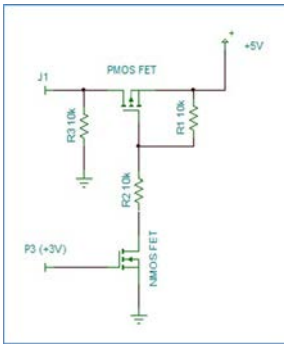

図4　外部スイッチ回路

3.3 寒天平板培地上大腸菌塗抹試験

図5に，寒天平板培地上に塗抹した大腸菌にプラズマクラスターイオンを送風暴露している様子を示す。送風暴露およびインキュベーター中での培養の後，カウントに適したサンプルは，希釈倍率が10^{-6}のサンプルで，そのコロニー数は，送風なしの場合は127および58で，

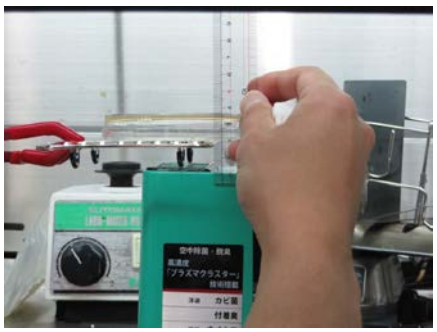

図 5　寒天平板培地上に塗抹した大腸菌にプラズマクラスターイオンを送風暴露している様子

図 6　寒天平板培地試験の一例；プラズマクラスターイオンに120秒晒したサンプル（左）と，0秒晒さしたサンプル（右），いずれも希釈倍率 10^5 倍

送風時間120秒の場合は57および42，送風時間1200秒の場合は26および50であった。送風の有無による有意な差は見られず，西村の結果[3)]と異なった。

謝辞

本研究を進めるにあたり，宮城県産業技術総合センターの小松迅人氏，小野仁氏および石川潤一氏に多大なるご協力を頂きました。ここに謝意を表します。

参考文献

1) 地域イノベーション戦略支援プログラム(東日本大震災復興支援型)知と医療機器創生宮城県エリア成果概要 平成24年度～平成28年度 p.387
2) 北野勝久:大気圧低温プラズマの新しい応用 ～分析装置から医療～，大阪大学大学院工学研究科アトミックデザイン研究センターアニュアルレポートVol.1(2014)p.43-47
3) 西村秀一:殺菌性能を有する空中浮遊物質の放出を謳う各種電気製品の，寒天平板培地上の細菌に対する殺菌能の本体についての解析，感染症学雑誌第86巻第6号(2012)pp.723-733
4) Flanagan ME, Welsh CA, Kiess C, et al.:A national collaborative for reducing health care associated infections: current initiatives, challenges, and opportunities. Am J Infect Control 2011; 39 : p. 685-689.
5) 厚生労働省: 医療施設における院内感染の防止について www.mhlw.go.jp/topics/2005/02/tp0202-1.html
6) Lu P-L, Siu LK, Chen T-C, et al. : Methicillin-resistant Staphylococcus aureus and Acinetobacter baumannii on computer interface surfaces of hospital wards and association with clinical isolates. BMC Infect Dis 2009; 9: p.164.
7) Carducci A, Verani M, Lombardi R, Casini B, Privitera G. : Environmental survey to assess viral contamination of air and surfaces in hospital settings. J Hosp Infect 2011; 77: p. 242-247.
8) Cheng KL, Boost MV, Chung JWY. : Study on the effectiveness of disinfection with wipes against methicillin-resistant Staphylococcus aureus and implications for hospital hygiene. Am J Infect Control 2011; 39: p. 577-580.
9) Hooker EA, Allen SD, Gray LD. : Terminal cleaning of hospital bed mattresses and bed decks does not eliminate bacterial contamination. Am J Infect Control 2011; 39: p. E23-E24.
10) Creamer E, Humphreys H. : The contribution of beds to health care associated infection: the importance of adequate decontamination. J. Hosp. Infect 2008; 69: p. 8-23.
11) Morgan DJ, Liang SY, Smith CL, et al. : Frequent multidrug-resistant Acinetobacter baumannii contamination of gloves, gowns, and hands of healthcare workers. Infect. Control. Hosp. Epidemiol. 2010; 31: p. 716-721.
12) Otter JA, Yezli S, French GL. : The role played by contaminated surfaces in the transmission of nosocomial pathogens. Infect. Control. Hosp. Epidemiol. 2011; 32: p.687-699.
13) Guilhermetti M, Marques Wiirzler LA, Castanheira Facio B, et al. : Antimicrobial efficacy of alcohol-based hand gels. J Hosp. Infect. 2010; 74: p. 219-224.
14) Dixon JM, Carver RL. : Daily chlorohexidine gluconate bathing with impregnated cloths results in statistically infections. Am. J. Infect. Control. 2010; 38: p. 817-821.
15) Diab-Elschahawi M, Blacky A, Bachhofner N, Koller W. : Lumen claims of the STERRAD 100NX sterilizer: testing performance limits when processing equipment containing long, narrow lumens. Am J Infect Control 2011; 39: p. 770-774.
16) Berrington AW, Pedler SJ. : Investigation of gaseous ozone for MRSA decontamination of hospital side-rooms. J. Hosp. Infect. 1998; 40: p. 61-65.
17) Saito R, Uetera Y, Saito Y, Okamura N, Moriya K, Koike K. : Evaluation of the efficacy of a low temperature steam and formaldehyde steriliser by using biological indicators. J. Hosp. Infect. 2009; 73: p. 179-180.
18) Svrcek J, Marhoul A, Kacer P, Kuzma M, Panek L, Lerveny C. : The influence of operating conditions on the efficiency of vapor phase hydrogen peroxide in the degradation of 4-(dimethylamino) benzaldehyde. Chemosphere 2010; 81: 617.
19) Kogelschatz U. : Atmospheric-pressure plasma technology. Plasma Phys. Cont. Fus. 2004; 46: p.

B63-B75.
20) Fridman AA, Kennedy LA. : Plasma physics and engineering. Boca Raton: CRC Press; 2004.
21) Roth JR. : Industrial plasma engineering: applications to nonthermal plasma processing. Boca Raton: CRC Press; 2001.
22) Raizer Y. : Gas discharge physics. Berlin: Springer-Verlag; 1991.
23) M. Teschke and J. Engemann Contributions to Plasma Physics, : Piezoelectric Low Voltage Atmospheric Pressure Plasma Sources, 2009; 49(9): p.614-623.
24) 日本国特許第4677530号
25) 日本国特許第4408957号
26) 赤松 浩:プラズマジェットの放電および分光評価, プラズマ応用科学 Vol.17(2) Dec. (2009), p.91-96.
27) 湯地敏史, 須崎嘉文, 山脇孝, 松島勇雄, 赤塚洋:大気圧非平衡DCパルス放電プラズマの発光分光計測及びPENフィルムの表面改質, 高温学会誌 33, 3(2997), p.137-141.
28) 株式会社アクアWebページ「大気圧プラズマとは」 https://www.aqa-kyoto-plasma.com/blank