

留置尿道カテーテル用紫外線殺菌装置の開発と温度測定

Development and thermometry of an ultraviolet radiation disinfection device for detention urethral catheters

○曾根本洋章*, 齊藤玄敏*

○Hiroaki Sonemoto*, Hiroyuki Saito*

*弘前大学大学院

*Hirosaki Univ.

キーワード： 院内感染 (Health-Associated Infection, HAI), 尿路感染症 (Urinary Tract Infection, UTI), 留置尿道カテーテル (Detention urethral catheter), 紫外線 (Ultraviolet), 殺菌装置 (Disinfection device)

連絡先： 〒 036-8561 青森県弘前市文京町 3 番地 弘前大学大学院 理工学研究科 齊藤研究室
齊藤玄敏, Tel./Fax.: (0172)-39-3694, E-mail: saito@cc.hirosaki-u.ac.jp

1. 諸言

近年の医療現場の問題点の一つとして、院内感染 (Health-Associated Infection, HAI) による過剰な医療費が挙げられている。1000床規模の病院を例とすると、年間11億円を超え、全国の病床数を150万床とすると、総額は約1兆7000億円となる。このうち、尿路感染症 (Urinary Tract Infection, UTI) が占める金額は約3786億円である。さらに、高齢化に伴い、病院や介護施設などで尿道カテーテルの使用数が増加しており、尿路感染症の発生件数が増加傾向にある。

院内で発生するUTIの80%以上が尿道カテーテルの留置が原因である¹⁾。尿道カテーテルは自力で排尿が困難である患者などに対し、尿道口から膀胱内にカテーテルを留置して尿を体外に導き出す目的で使用される。使用前には薬品類でカテーテルの消毒を行うが、留置期間中は患者の負担が大きいことなどから、交換・殺菌を行っていない。また、1日カテーテルを留置する

ことで、3~10%でUTIが発生し、1ヶ月以上留置した場合にはほぼ確実にUTIが発症する。さらに、一度UTIが発生すると留置中に治癒することはない²⁾。現在、カテーテルメーカーが銀イオンコーティングなどの感染症対策を施しているが、その効果は不明である。それゆえ、尿道カテーテルを装着した状態で、UTIを予防することが重要である。

本研究室では、UTIを予防するため、留置尿道カテーテル用の殺菌装置の開発に取り組んでいる。この装置は患者が装着中にあるカテーテルを殺菌対象としているので、殺菌時間をできるだけ短くして、患者の負担を少しでも軽くする必要がある。そこで、装置には短時間殺菌を可能とするため紫外線を用いている。

紫外線には強い殺菌力があり、中でもUVCは最も強い殺菌力がある。紫外線の波長範囲は、100~400[nm]で、UVCは短波長の100~280[nm]である。細菌のDNAの光吸収スペクトルは、紫

外線の細菌への殺菌効果の波長特性と類似しており、特に UVC の 260[nm] 付近の波長領域で最も殺菌効果が高いことがわかっている³⁾。

本研究では、看護師や自宅療養中の患者でも安全かつ簡単に扱うことができる、紫外線を用いた尿道カテーテル用の殺菌装置の設計、作成を行い、殺菌装置の殺菌所要時間算出と温度測定を行った。

2. 装置設計

尿道カテーテルの細菌侵入経路を Fig.1 に示す⁴⁾。開発装置は尿道カテーテルの細菌侵入率が 45[%] と最も高い場所であるカテーテルと糞尿バッグの接続部を殺菌対象としている。

装置は、ABS 樹脂部品、紫外線ランプ、合成石英ガラス板、インバータ、メインスイッチ、開閉検知センサなどで構成されている。ABS 樹脂部品は、隙間ができないように CAD で設計し、3D プリンタで作成した。さらに、仕切り板を設置し、二重構造をとることで、紫外線ランプから照射される紫外線が装置外部に漏れにくい構造にした。紫外線ランプは、殺菌効果が高い 254[nm] の波長を効率よく照射することができる冷陰極低圧水銀ランプを用いた。合成石英ガラス板により、尿道カテーテルが紫外線ランプに直接触れないようになっており、その紫外線透過率は約 98[%] となっている。

装置使用法は、装置を開いてカテーテルの接続部を上下から挟み込み、両端の穴にカテーテルを通して設置する。そして、AC アダプタを装置に接続し、メインスイッチを ON にするという簡単な使用方法である。開閉検知センサによって、装置が閉じたときのみ紫外線が照射される。さらに、カテーテルのアダプタを作成し、異なる径のカテーテルにも対応できるようにした。装置の仕様を Table 1 に、作成した装置を Fig.2, Fig.3, カテーテルのアダプタを Fig.4 に示す。また、紫外線強度測定実験により紫外線漏れがないことを確認した。

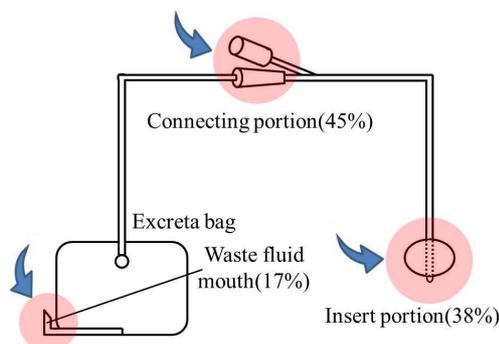


Fig. 1 尿道カテーテルの細菌侵入経路.

Table 1 殺菌装置の仕様.

| | |
|-------------------------------------|----------------------|
| 寸法 [mm] | W225 × D84.2 × H84.2 |
| 重量 [g] | 647 |
| UV ランプ | 冷陰極低圧水銀ランプ |
| UV 波長 [nm] | 254 |
| UV 強度 [$\mu\text{W}/\text{cm}^2$] | 6124 |
| 形状 | 円筒 |
| 外装材料 | ABS 樹脂 |
| 安全対策 | 開閉検知センサ 内部に仕切り設置 |



Fig. 2 装置外観.



Fig. 3 装置内部.

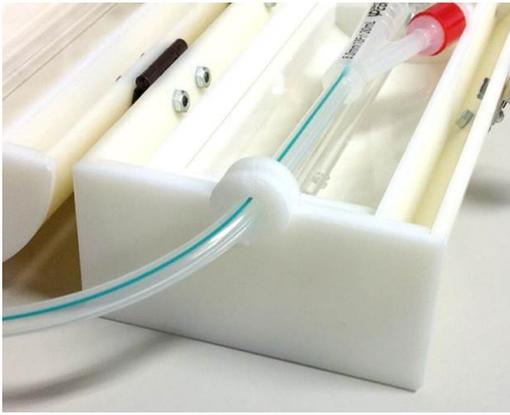


Fig. 4 カテーテルのアダプタ.

3. 殺菌時間算出

細菌を 99.9[%] 殺菌するための紫外線照射量は、細菌毎に定められている⁵⁾。したがって、細菌に照射される紫外線強度が明らかになることで、式 (1) から殺菌時間を求めることができる。

$$T = \frac{UV_{rad}}{UV_{int}} \quad (1)$$

ここに、

T : 殺菌時間 [s],

UV_{rad} : 紫外線照射量 [$\mu\text{W}\cdot\text{s}/\text{cm}^2$],

UV_{int} : 紫外線強度 [$\mu\text{W}/\text{cm}^2$],

である。

紫外線ランプの強度は一定値になるまで時間を要するが、その時間内にも殺菌は行われている。そこで、作成した装置の紫外線強度を一定時間間隔で測定し、殺菌時間を算出した。

殺菌時間算出手順は、

- ① 殺菌装置の紫外線強度を 10[s] 間隔で測定
- ② 板厚 1.2[mm] のシリコンゴム板の紫外線透過強度算出
- ③ 10[s] 毎の紫外線照射量算出
- ④ 累積照射量と時間の関係の曲線を描く
- ⑤ 曲線から細菌を 99.9[%] 殺菌できる時間を読み取る

である。

殺菌装置はカテーテル接続部の外部と内部の殺菌を必要とし、一般的な尿道カテーテルは、1.2[mm] の厚さのシリコンゴムでできている。カテーテルの内部に透過する紫外線強度は、板厚

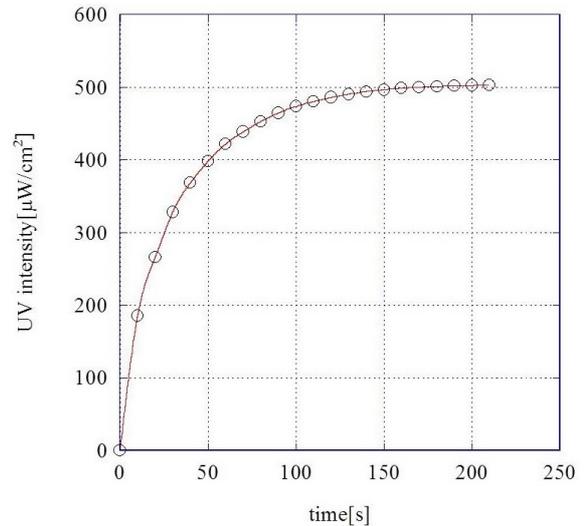


Fig. 5 板厚 1.2[mm] のシリコンゴム板の紫外線透過強度と時間の関係.

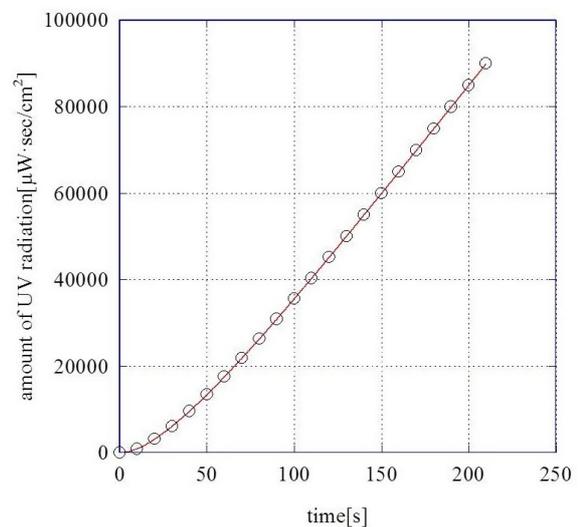


Fig. 6 累積紫外線照射量と時間の関係.

1.2[mm] のシリコンゴムを透過した紫外線強度と考えることができる。そこで、0.5, 1.0, 1.5, 2.0[mm] の異なる板厚のシリコンゴム板 4 枚を用いて透過率を求める。そして、③で時間間隔 10[s] を T [s] として各照射量 UV_{rad} [$\mu\text{W}\cdot\text{s}/\text{cm}^2$] を求める。④では、③で求めた各照射量を用いて、各時間までの累積照射量を算出し曲線を描く。例えば、30[s] までの累積照射量は、0~10[s], 10~20[s], 20~30[s] の各照射量を累積した値となる。最後に、⑤で各細菌を 99.9[%] 殺菌できる時間を読み取ることで、殺菌時間を求めることができる。

シリコンゴム板を用いた実験から算出した透過率8.2[%]を乗算した、板厚1.2[mm]のシリコンゴム板の紫外線透過強度と時間の関係を Fig.5 に、求めた累積照射量と時間の関係を Fig.6 に示す。本研究では、殺菌所要時間を求める際に、UTIの原因とされている大腸菌、緑膿菌を99.9[%]殺菌するのに要する紫外線照射量、9000, 16500 [$\mu\text{W}\cdot\text{s}/\text{cm}^2$]⁵⁾の値を用いた。その結果、大腸菌は39[s]、緑膿菌は58[s]となり、作成した装置を使用し、尿道カテーテルの接続部を殺菌した場合、大腸菌と緑膿菌の両方の細菌を99.9[%]殺菌するのに要する時間は、約60[s]であることがわかった。

4. 温度測定

装置使用中に装置に設置している紫外線ランプのフィラメントから熱が発生していることを確認した。そのため、その熱がカテーテルや装置の部品、人体に対して影響がないか調べるために、サーモカメラを用いて装置の温度測定を行った。

実験は、装置を継続して使用した場合、病院で看護師が患者への毎日のバイタルチェック時に使用すると想定した場合の2つのパターンを行った。

4.1 装置を継続して使用した場合

この温度測定は、装置の電源を切り忘れた場合の装置の最高温度を測定することを目的としている。実験には試作装置を用い、紫外線ランプのフィラメント付近のガラス表面である Fig.7の四角の枠の中をサーモカメラの撮影範囲とし、装置の電源をONにして3600[s]の最高温度を記録した。さらに、継続して使用した後で電源をOFFにし、装置が常温に戻るまでの間も測定した。

測定結果を、Fig.8, Fig.9に示す。赤のラインは低温熱傷の危険があるとされる44[$^{\circ}\text{C}$]⁶⁾で、

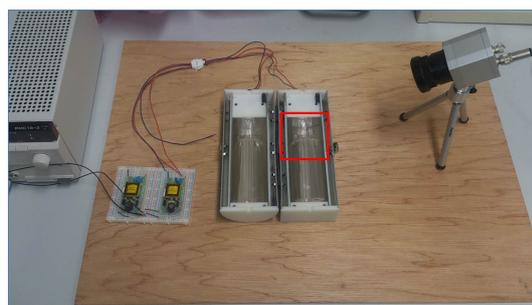


Fig. 7 温度測定実験の様子.

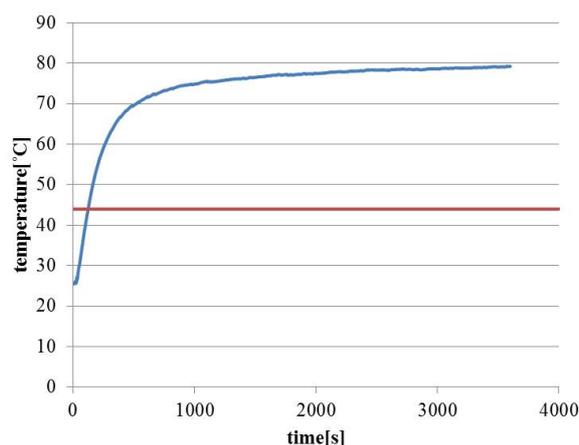


Fig. 8 3600[s] 継続使用した場合の温度測定結果.

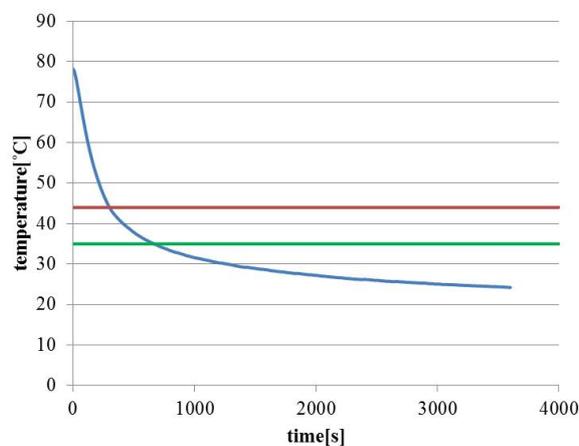


Fig. 9 3600[s] 継続使用後、3600[s] 電源をOFFにした場合の温度測定結果.

緑のラインが常温の範囲 ($20 \pm 15[$^{\circ}\text{C}$]$)⁷⁾の最高温度とされる35[$^{\circ}\text{C}$]である。電源をONにして3600[s]の場合は、最高温度は約80[$^{\circ}\text{C}$]であった。前述したこの装置の殺菌時間60[s]では、フィラメント付近のガラス表面は約32[$^{\circ}\text{C}$]、赤のラインを超えたのは126[s]だった。したがって、算

出した殺菌時間では人体には危険がないということがいえる。カテーテルの接続部に対しては、カテーテルはシリコンゴムとポリプロピレンできており、耐熱温度はシリコンゴムが200[°C]、ポリプロピレンが120[°C]とされているので、装置から発生する熱はカテーテルに影響しないことがわかった。装置の部品に対しては、ABS樹脂の耐熱温度が、60~95[°C]とされているので、3600[s]電源を入れた状態にしておくと、装置の部品に影響が出る可能性がある。電源をOFFにして3600[s]の場合は、赤のラインを下回った時間は305[s]、緑のラインを下回った時間は672[s]であった。

今回の測定では、ランプのフィラメント付近のガラス表面を撮影範囲としたので、フィラメント自体はより高い温度であることが予想される。したがって、今後は、フィラメント付近を直接測定すること、安全対策として、殺菌時間60[s]で電源を切るタイマーやサーモスタット、さらには、熱を逃がすような機構にする必要があると考える。

4.2 看護師のバイタルチェック時に使用すると想定した場合

この温度測定は、病院などで、看護師が尿道カテーテルを使用している患者の血圧や体温を測っている間に、殺菌装置でカテーテルを殺菌し、バイタルチェック終了後に同じ装置を用いて、別の患者に対して再びバイタルチェックとカテーテルの殺菌を行うことを繰り返すということを想定している。実験方法は、前述した装置を継続して使用した場合と同様であるが、測定時間は、電源ONと電源OFFのサイクルを10回繰り返した。電源ONの時間は、算出した殺菌時間の60[s]、電源OFFの時間（インターバル）は、180, 300, 480[s]とした。看護師の行動に当てはめると、インターバルは装置使用後の片づけ、次の患者への移動や準備などの時間となる。

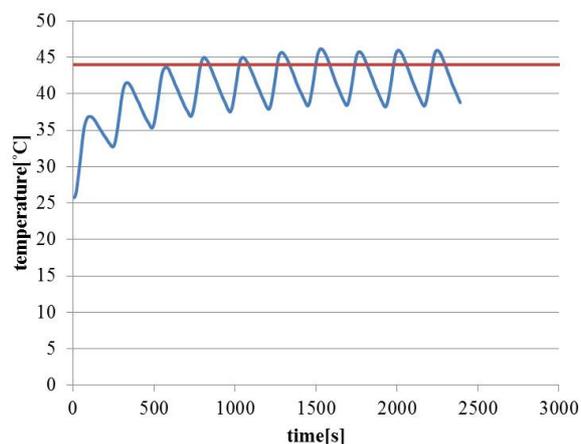


Fig. 10 電源をOFFにする時間を180[s]にした場合の温度測定結果。

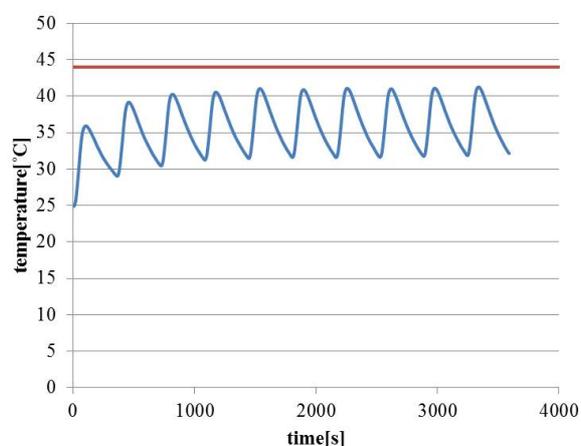


Fig. 11 電源をOFFにする時間を300[s]にした場合の温度測定結果。

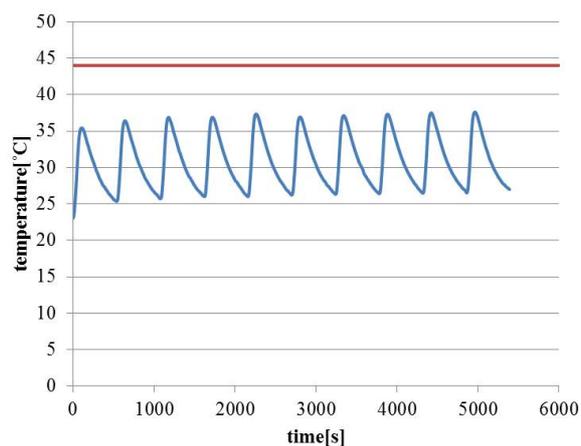


Fig. 12 電源をOFFにする時間を480[s]にした場合の温度測定結果。

各測定結果を Fig.10, Fig.11, Fig.12 に示す。低温熱傷の危険があるとされる44[°C]を赤のラインで示す。

180[s]と300[s]の場合は、徐々に温度が上昇する傾向がみられた。480[s]は他とは異なり、ほぼ温度の上昇がないままの温度変化であった。180[s]では、4回繰り返したあたりから44[°C]のラインを超え、一定の温度変化となることを確認した。一方で、300[s]と480[s]では44[°C]を超えることはなかった。この結果から、作成した装置の人体に対して安全な使用法は、装置使用後は300[s]以上電源をOFFにして再び使用することが推奨される。180[s]の場合は、最初の2回の連続使用のみ安全である。

5. 結言

本研究では、簡単かつ安全に使用できる紫外線を用いた尿道カテーテル用殺菌装置の設計、作成を行った。装置は尿道カテーテルと糞尿バツクの接続部を殺菌対象としている。構成部品にはABS樹脂を使用し、装置に隙間ができないように3Dプリンタで作成した。安全装置として開閉検知センサ、装置内部に仕切りを設置し、二重構造にすることで紫外線が漏れにくい構造にした。そして、紫外線強度測定実験により、作成した装置は大腸菌と緑膿菌を約60[s]で99.9[%]殺菌できることがわかった。

装置に設置している紫外線ランプは冷陰極ではあるが、フィラメントから熱が発生し、フィラメント付近が熱くなっていることが確認された。そのため、発生している熱が、装置の部品や人体に影響がないか確認するために、温度測定実験を行った。その結果、3600[s]継続して電源をONにしていると、フィラメント付近のガラス表面の最高温度は約80[°C]となり、所要殺菌時間60[s]では、約31[°C]であった。このことから、殺菌時間内は安全な温度であるが、継続して使用すると、危険な温度になることがわかった。そのため、使用した場合は、所要殺菌時間で電源をOFFにするタイマーや、危険な温度になる前に電源をOFFにするサーモスタッ

トを設置するなどといった安全対策が必要である。さらに、作成した装置を病院などで、看護師のバイタルチェック時に使用すると想定すると、装置使用後に300[s]以上電源をOFFにすることで、装置のガラス表面に関しては、人体に対して安全であることがわかった。

今回の温度測定は、紫外線ランプのフィラメント付近のガラス表面の最高温度を測定したもので、直接フィラメント付近のABS樹脂で作られた部品などに対して測定を行っていない。さらに、実際に装置の使用中に人が触れる可能性が高いのは装置の外装なので、今後は、ランプのフィラメント付近や装置の外装など、様々な場所で測定を行う必要がある。また、インターバルのパターンを増やして測定を行うなど、条件を変えた測定を行い、作成した装置の推奨使用法を検討する予定である。

参考文献

- 1) 木村聡: 院内感染防御とコストベネフィット, 臨林と研究, Vol.81, No.7, pp.4-7(2004)
- 2) 塚本泰司, 高橋聡: V. 院内感染対策から見た特殊病態患者管理, 3. 尿道カテーテル留置例, 日本内科学会雑誌, Vol.97, No.11, pp.2737-2742(2008)
- 3) Tianhong Dai, George P. Tegos, Tyler G. Dennis, Don Anderson, Ed Sinofsky, Michael R. Hamblin: Ultraviolet-C Irradiation for Prevention of Central Venous Catheter Related Infections, Photochem Photobiol, Vol.87, No.1, pp.250-255(2011)
- 4) 田中純子: 尿道カテーテル管理の指導, 月間ナース, Vol.26, No.10, pp.86-91(2006)
- 5) 紫外線殺菌効果とは, 株式会社タムラテコ東京, <http://www.tokyoteco.com/uv.html>(2013)
- 6) A. R. Moritz, A. R. and Henriques, F. C. Jr.: Studies of thermal injury -The relative importance of time and surface temperature in the causation of cutaneous burns, American Journal of Pathology, Vol.23, No.6, pp.695-720(1947)
- 7) 日本工業規格 JIS Z 8703(1983)