

第4回日本保健物理学会・日本放射線安全管理学会合同大会 @ 九州大学

2022/11/25 演題番号 2C1-5

紫外線殺菌灯による大線量UV-C 照射事故後の後遺症の報告

松浦法雄¹⁾，秋吉優史¹⁾

大阪公立大学 工学研究科 量子放射線系専攻¹⁾

紫外線による殺菌・不活化効果



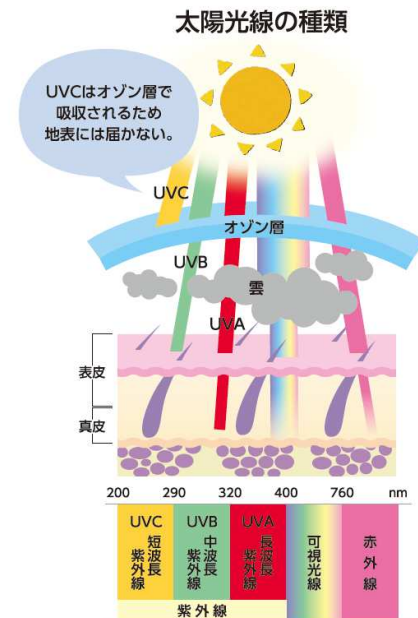
紫外線は、放射線のようにDNAの主鎖を切るだけのエネルギーは無いが、配列している塩基同士を励起して接合してしまう場合がある。特に、**ピリジミン二量体**の生成が紫外線による損傷の主たる物と言われており、DNAの複製を妨げる遺伝子損傷となる。菌、ウイルスの種類を問わずに紫外線は不活化に有効で(多少の強い、弱いはあるが)、**SARS-CoV-2も紫外線で不活化**されることが様々な論文で報告されている。

紫外線は波長によって長い方から UV-A (400-315nm), UV-B (315-280nm), **UV-C (280nm未満)** と分類される。

紫外線による殺菌効果のピークは **260nm** 程度で、310nm 程度になるとほとんど効果が無くなるため、254nmの波長の紫外線を放出する低圧水銀ランプが「殺菌灯」として広く用いられてきた。報告されているデータ(*)を元にするると、8Wの**UV-C 殺菌灯(GL-8)**からの紫外線照度を実際に測定してみた結果、正面位置15cmの距離でおよそ**3秒で99.9%のSARS-CoV-2が不活化可能**であるという計算となった。

このように紫外線は強力な不活化作用を持つため、COVID-19下に於いて様々な物品の消毒に活用された。しかし、**人体に照射すると皮膚や眼に非常に強い炎症を生じさせる**ため庫内での使用か、人が居ない環境での使用に限られる。

*Mara Biasin et al., Scientific reports, 11 (2021) 6260.



事件事例

ある飲食店ではコロナ対策として殺菌灯を客席やトイレなどに設置して、人が居る状況で使用していた。このため、非常に重度の紫外線被ばく事故が発生した。特に足下の至近距離(15 cm程度)の場所に設置されていた殺菌灯により2時間半もの間、素足に照射され続け、概算で 3,600 mJ/cm² という、許容限界値基準(TLV, 254nmでは 6mJ/cm²) の600倍にもなる被ばくとなる。それでも照射時には症状は現れず、数時間後の夜中に痛み、赤みが出てきたとのこと。

当日深夜→足の痛みと赤みに気付く

翌朝→足に異常な痛さ、目も終日痛み開けづらい

翌々日→顔の皮がめくれ、赤いことに気付く

紫外線による皮膚及び角膜に対する炎症は、その場ですぐには現れず、数時間程度経ってから現れるため、被ばくしている自覚が無く、症状が重篤化してしまうという特徴が有る。



← 事故から2日後の症状。
右足の白い部分は足を組んでいて陰になっていたとのこと。

→ 事故から14日後の症状。別の部分に日光を浴びたところ水ぶくれのような症状が出たとのこと。これまでUV-Cでは報告されていないが、光線過敏症を誘発している可能性がある。



これまで事件事例として、2004年に発生した病院の病室の殺菌に使われている殺菌灯が患者と家族がいる状態で30分間作動してしまったという事故が論文として報告されている(*)ほか、日本生物工学会では「研究における事故」として3件紹介してる。しかし、いずれも短期的な炎症の報告のみで長期的影響の報告はこれまで行われていない。

*城戸真希子他, 紫外線C発生装置(クリーンライザー®)による皮膚障害事故-UVCによる角層障害についての検討を含めて, 日皮会誌, 114(12), 1911-1916(2004).

これまでに報告されている紫外線の人体影響

紫外線殺菌

ご利用上の注意

(一社) 日本照明工業会
(一社) 照明学会

2021/08 に日本照明工業会・照明学会から一般人向けの「紫外線殺菌 ご利用上の注意」と言うパンフレットの作成が行われた^(*)。紫外線の**有用性**の周知だけでなく、紫外線による**事故**について取り上げると共に、透過力が低い等の**弱点**や、**いい加減な製品も存在すること**など、上手に使える**有用な紫外線利用上の注意点**についての周知を行っている。

しかし、その中でもUV-Cによる影響は一時的な炎症についての記載に留まっている。

皮膚専門誌に於いても、強い紅斑や水疱形成は起きず、淡紅色の紅斑に留まると記載されている^(**)。

紫外線の種類	UV-A	UV-B	UV-C
波長領域 (nm)	400 ~ 315	315 ~ 280	280 ~ 100
人体への影響	即時黒化 黒化増強	ビタミンD ₃ 生成 DNA損傷反応 (殺菌作用) 日焼け (サンバーン、サンタン) 皮膚がん・良性腫瘍 角結膜炎(雪目) 白内障・翼状片	DNA損傷反応 (殺菌作用) 紅斑生成 (サンバーン) 角結膜炎
	光線過敏症、免疫機能低下、しみ・しわ		

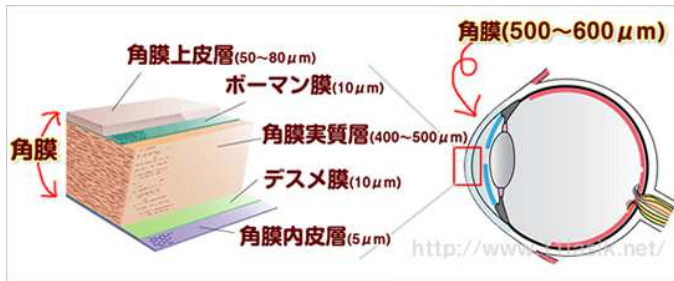
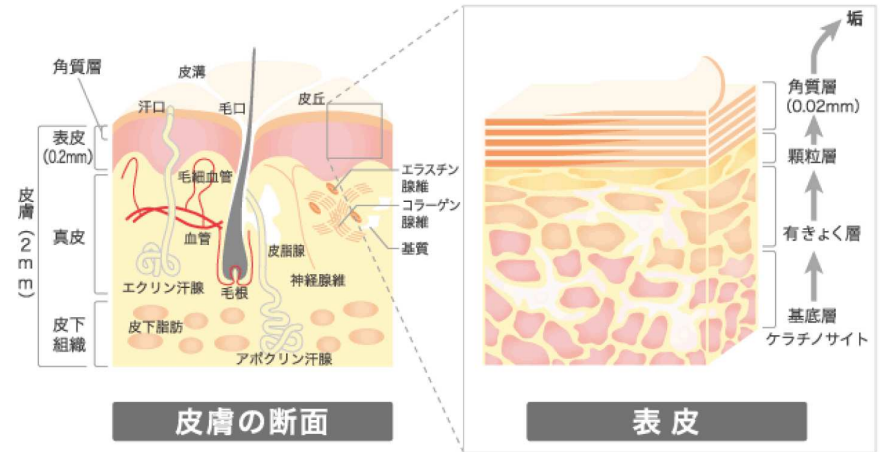
(*) https://www.jlma.or.jp/siryo/pdf/pamph/notice_UV-light-emitting.pdf

(**) 市橋正光, -綜説- 太陽光と皮膚 基礎編紫外線に対する皮膚反応: 損傷と修復, 皮膚, 27 (1985) 951-968.

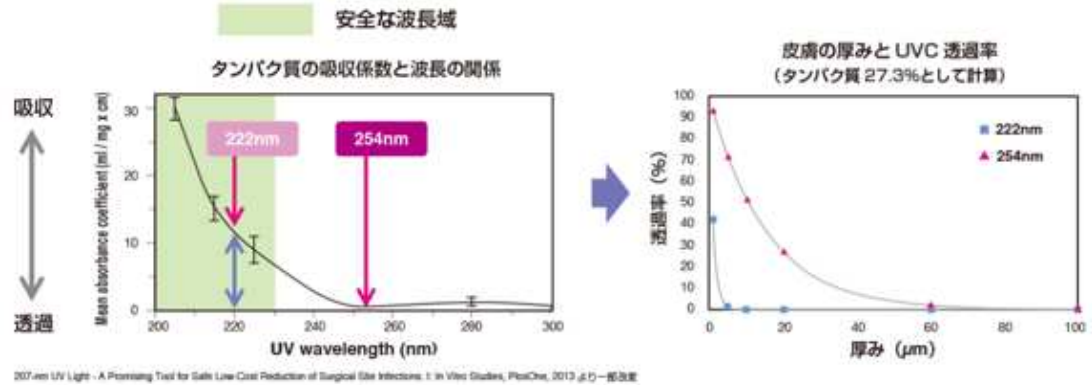
皮膚の構造と紫外線の透過率

紫外線は一般的に波長が短くなるほど吸収されやすくなり、透過率が下がる。UV-Aでは真皮や皮下組織、水晶体にまで到達するのに対して、殺菌灯の波長254nmでは皮膚の内側60 μ m程度までであるが、顆粒層や有きょく層、眼では角膜上皮の内側の細胞に炎症を発生させる。

一方で近年話題となっている222nmの波長では、厚さが20 μ m程度の角質層(死んだ細胞の層)や角膜上皮でほぼ完全に止められるため、炎症が発生しないと言われている。



角膜の構造。角膜全体で0.5mm程度の厚みがあり、最上層の角膜上皮は極めて新陳代謝が活発なのに対し、角膜実質細胞は数が大変少なく傷の治りが遅いと言われている。



1. 222nmは254nmと比較すると、タンパク質の吸収係数で10倍以上高い。
2. 厚み20 μ mでの生体透過率は、222nmで0.01%以下、254nmでは30%程度。

長期影響



2ヶ月程度経過した時点で、くるぶしのあたりを見ると分かるように色素沈着、紅斑が残っている。毛穴の開きもこの頃から顕著になる。継続的な目の痛み、目脂(めやに)発生に加え、紫外線アレルギー、または光線過敏症が疑われる症状を自己申告している。具体的な自覚症状は日光を浴びた後の全身の紅斑や痒み、倦怠感等である。



8ヶ月程度経過した時点で、色素沈着、紅斑はかなり回復しているが、角質の剥落、鳥肌のように毛穴が非常に目立つような状態になっていた。皮膚科医の診療も受けているが保湿クリーム等の処置ぐらいしか現状、出来る手段が無いとの見解である。本人の説明によると、「肌が薄いままのようで少しでも引っ掻いてしまうとすぐに傷がつきその痕も残る、日中に上下長袖の服・日焼け止め日傘で数時間外出しても日光アレルギーのような症状が軽くでる。」とのことである。

事故後、一年半以上経過した2022年10月の時点で改めて事故被害者とコンタクトを取り、症状の聞き取り調査と皮膚状態の微視的観察を行った。

アレルギーが疑われる前述の紅斑等に加え、頭痛や倦怠感、吐き気を強く感じるようになった。更に、目の奥の痛みが断続的に続き、目脂が毎日出る状態である。

なお、調査、公開に当たっては大阪公立大学工学研究科倫理委員会の審査、承認を受けており、本人に書面での了解を得ている。

長期影響（皮膚状態観察）

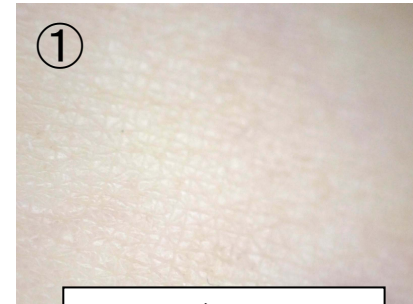
2022年10月に行った皮膚状態の微視的観察結果（オリンパス TG-6
及び Hozan L-815/835 顕微鏡を使用）。



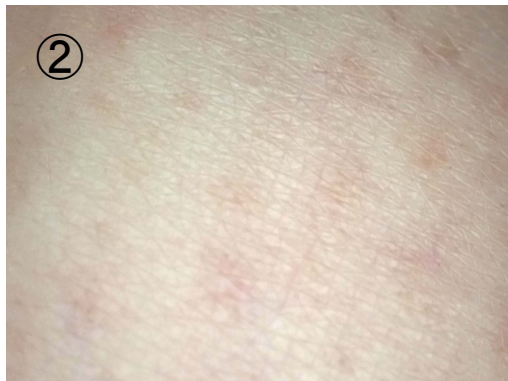
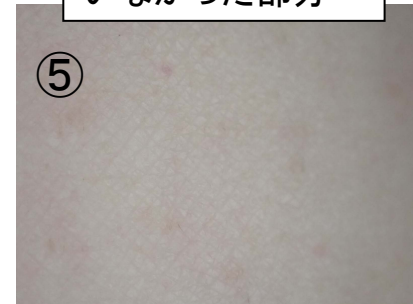
事故後2日後の状態。



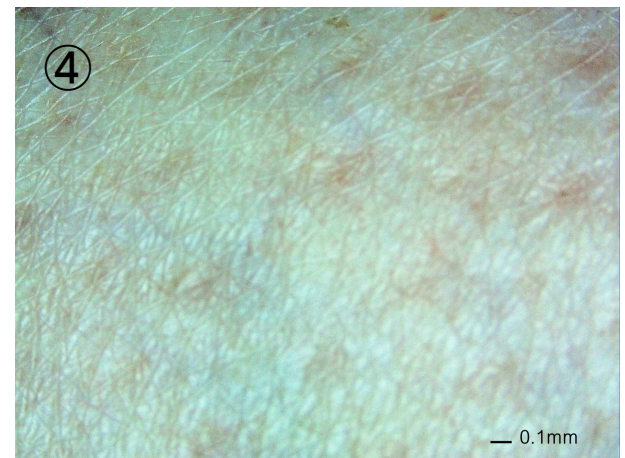
左足の状態。写真では分かりにくいですが、
若干の紅斑が見られる。



UV-Cが当たって
いなかった部分



局所的な紅斑が未だに残っており、未照射の部分と比べて皮膚の繊維化が見られ、ターンオーバーによる回復はされていない。



— 0.1mm