

極少量に相当し、クリプトスポリジウムの感染性が、細菌やウイルスに比べて著しく紫外線感受性であることを示している。

また、必要紫外線照射線量が脱囊での評価結果と感染の評価結果で大きく異なることは、低線量の紫外線を照射したオーシストが、塩素やオゾンによる処理でも観察されている「生きてはいるが、感染性は喪失した状態のオーシスト (Viable but non-infectious oocysts)¹⁴⁾」になることを意味する。イメージを図1に示す。図1の網掛け部分が、「生きてはいるが感染性を喪失した状態のオーシスト」である。このような状態にあるオーシストを不活化済みと見てよいのか、それとも不活化されていないと見るべきなのか、その判断によって紫外線消毒のクリプトスポリジウムに対する評価が大きく異なる。すなわち、クリプトスポリジウム対策としての消毒技術としてみた場合、感染性による評価結果では、紫外線はきわめて優れたクリプトスポリジウム不活化剤であるが、生育活性で評価すると、塩素と同様、水処理におけるクリプトスポリジウムの不活化にはほとんど役に立たない消毒剤ということになる。

(2) 生育活性か、感染性か、いずれの評価方法を選択すべきか

では、生育活性、感染性のいずれの評価結果に基づくのが妥当なのであろうか。生育活性で不活化されたと判定された場合、それは生物学的な完全死を意味する。したがって脱囊法や生体染色法による結果に基づいた不活化評価は、きわめて安全側の評価であることは間違いない。しかし、極めて多量の紫外線を照射する必要がある、実用的でない。では、感染性ではどうであろうか。

紫外線は DNA 上に二量体（とりわけピリミジン二量体）を形成させ、生命活動の維持に障害を来たす。これが紫外線による生物不活化の主たる機構である。ところが、生物は DNA に生じた損傷を修復するためのいくつかの機構を備えており、クリプトスポリジウムも例外ではない。回復プロセスには、可視光が触媒として作用する光回復 (photoreactivation) や、光の助力を要しない暗回復 (dark repair) があり、いずれも水中の大腸菌や病原細菌などで明らかな証拠が得られている¹⁵⁻¹⁷⁾。もし、このような DNA 回復プロセスでクリプトスポリジウムの感染性が取り戻されるとなると、回復がすべて生じたあとの不活化レベルで評価しなければならない。そうしないと、紫外線消毒した直後は不活化されていたのに、水を使用する段階では回復していて、感染症が発生してしまうということになりかねない。そこで次に、紫外線を照射したクリプトスポリジウムの回復を、DNA レベルと感染性の双方の視点から見てみよう。

① DNA レベルでは明らかに回復する

DNA 上に生じたピリミジン二量体数を推定する方法として、ESS (Endonuclease sensitive site) 法がある。これを用いて、紫外線を照射していないオーシスト、紫外線照射直後のオーシスト、紫外線照射後に可視光を照射 (光回復処理) したオーシスト、紫外線照射後に暗所保存 (暗回復処理) したオーシストの4種類のオーシストについて、DNA 上の二量体の数を調べた報告がある^{13,18)}。それによると、紫外線照射によって DNA に二量体が多数形成され、紫外線照射直後の二量体数が多いものほど感染性の低下が著しかった。したがって二量体の形成量と感染性の低下の間に強い相関があるといえる。しかし、紫外線照射したオーシストを、光回復処理 (可視光線の照射) した場合も暗回復処理 (暗所保存) した場合もともに、二量体数が大きく減少した。このことは、クリプトスポリジウムのオーシストでも、DNA レベルでは明らかに回復が生じることが実証されたことになる。すなわち、一大事である。

②感染性は回復しない

ところが、上述の4種類の処理をしたオーシストの感染性を調べると、紫外線によって一旦感染力を喪失したオーシストは、光回復処理しても暗回復処理しても、感染性はまったく回復しない¹³⁾。DNAレベルでは明らかに回復しているのに、感染性は全く回復しないのである。

③DNAでは回復するが、感染力は回復しない、

これをどう考えるか？説明のためのアイデアとしては、

- a：感染試験ではオーシストがマウスに経口投与されたあと、脱嚢によるスポロゾイトの遊離、腸管の寄生部位へのスポロゾイトの侵入、生育段階の進展の少なくとも3段階のプロセスを経なければならぬ。その間に暗回復が発現する時間が与えられるので、紫外線照射直後といっても、実際には暗回復込みの感染性が測定されている。
- b：オーシストの生産が行われるには全DNAが複製されなければならない。光回復や暗回復で確かにDNAの回復は生じるが、回復は不完全で、回復後になお少数の二量体が残存し、感染性の完全回復には至らない。
- c：DNAに極少量の紫外線感受性の特に高い部分があって、その損傷は回復不能のため、感染力が再度発現することはない。

などが考えられるが、いずれも実証されていない。しかし、光回復や暗回復処理によって感染性が回復しないことが複数の研究者により繰り返し実証されているので、万一、感染の回復があったとしても、感染性試験では検知できないほど極めて軽微なレベルにとどまると判断してよい。また、感染性病原体の感染力を喪失させ、それが回復しなければ、消毒の第一義的な目的は達成されると考えられることから、紫外線の不活化効果は感染性による評価結果に基づいて判断してよいといえよう。かくして紫外線消毒は10mJ/cm²程度の少量の線量でクリプトスポリジウムを99.9%以上不活化できる、きわめて有効なクリプトスポリジウム対策技術となったのである。

6. 紫外線消毒の適用

(1) 紫外線のクリプトスポリジウム不活化力

紫外線のクリプトスポリジウム不活化に関するこれまでの研究のうち、マウス感染性による定量的な結果が得られていて、かつ信頼性があると考えられるデータを図2に示す。クリプトスポリジウムの99%不活化は4mJ/cm²未満、99.9%不活化は7mJ/cm²未満で達成されており、細菌やウイルスに比べるとクリプトスポリジウムが著しく紫外線感受性である。最近、WHOがクリプトスポリジウムの3log不活化(99.9%不活化)紫外線照射線量として10mJ/cm²を提示しているが¹⁹⁾、これまでの実験データから見て、ある程度の安全を見込んだ、妥当な値であるといえる。

なお、これらのデータはいずれも清澄水に精製したオーシストを添加した実験系で得られたものであることから、きわめて低濁度であって、保護作用のない水(ろ過を採用している水道ではろ過水)に適用すべきであり、濁度の高い原水や十分な沈澱が行われていない沈澱水などに適用する場合は、濁質や色度成分などの共存成分の影響を加味した線量を適用しなければならない。

(2) 不活化に及ぼす影響因子

1)水温：化学消毒剤では水温が大きく影響する。これは塩素でも、二酸化塩素でも、オゾンでも確認されており、特にオゾンの場合は水温が10℃低下すると必要CT値が4倍にも増加する⁵⁾。しかし、紫外線は物理線であり、基本的に水温の影響を受けない¹³⁾。

2)紫外線の照射線量率：化学消毒剤の不活化効果は、消毒剤や微生物の種類によっては、単純CT値（濃度時間積）では表せない場合がある。たとえば、塩素によるクリプトスポリジウムの不活化では、不活化CT値が塩素濃度に依存し、塩素濃度が高いほど大きなCT値が必要であることが明らかになっている。しかし、紫外線の場合は線量率（化学消毒剤の濃度に相当）に依存せず、単に、照射線量（照射線量率×照射時間）にのみ依存するとみなしてよいようである¹³⁾。

3)色度・濁度：化学消毒剤の場合は混合が十分であれば消毒槽内での濃度分布は比較的均一であるが、紫外線照射槽では色度成分や濁質が共存すると、それらが紫外線を吸収・散乱して対象物質への光の到達を妨げるので、ランプからの距離によって到達する線量率が異なる。このため、紫外線消毒では照射槽における線量率分布を考慮した取り扱いが必要となる。また、濁質や色度成分などがオーシスト壁の表面に付着すると、オーシスト内部に到達する紫外線の量が減少することになり、所定のレベルの不活化が達成されないおそれがある。これらの影響についてはいまだ十分には明らかにされていないが、よほど極端な場合を除いては、WHOの提唱した $10\text{mJ}/\text{cm}^2$ を常時維持すれば、99.9%の不活化が達成できないような事態には至らないと考えられる。

（3）水道への適用

クリプトスポリジウムを対象として水道水の消毒に紫外線照射を適用する場合、すべての水に照射する最低線量として、WHOの提示した $10\text{mJ}/\text{cm}^2$ が妥当であろう。これだけ照射すれば、少なくとも99.9%のクリプトスポリジウムの不活化が保障され、クリプトスポリジウムに効かないという塩素消毒の欠点がカバーできることになる。しかし、これは紫外線が塩素の代替となることを意味しない。もし、塩素の代替とするのであれば、病原細菌や病原ウイルスに対する不活化効果も兼ね備える必要があるが、その場合は $10\text{mJ}/\text{cm}^2$ 程度の照射量では極めて不十分であり、ヨーロッパで検討されているように $40\text{mJ}/\text{cm}^2$ といったレベルの照射が必須となる。

適用位置に関しては、クリプトスポリジウムの不活化データがいずれも精製したオーシストで得られていること、濁質や色度成分などの光の透過を妨げる物質が存在すると効果が低下すること、などを考慮して、ろ過後とするのが望ましい。塩素は紫外線により分解されるが、 $10\text{mJ}/\text{cm}^2$ 程度の照射した時の残留塩素（遊離塩素）の低下は、pH6～8のとき、わずか $0.03\text{mg}/\text{L}$ にも満たない程度なので、塩素消毒の前でも後でも適用可能である。

原水や沈澱水など、濁質などが共存する水に適用する場合にあっては、より多くの線量を照射して、処理水の安全性を担保する必要があるだろう。

7. おわりに

本稿ではクリプトスポリジウムのみを対象にしてきたが、紫外線消毒の効果は、クリプトスポリジウムと同様に水道における集団感染を引き起こしてきたジアルジアに対しても同様に有効である。また、紫外線消毒設備のインシャルコストは砂ろ過法や膜ろ過法の十分の一以下であり、最も経済的なクリプトスポリジウム対策技術でもある。したがって、この20年間にわたって世界の水道で大規模な集団感染を引き起こしてきたクリプトスポリジウムとジアルジアに対して、われわれは能力的にも経済的にも優れる技術を見出したことになる。

このような背景から、わが国では現在、クリプトスポリジウム対策として、紫外線消毒を塩素消毒の補完技術として導入することを前提に、クリプトスポリジウムによる汚染のおそれの判断基準の精緻化と、汚染のおそれの程度に応じた対策のあるべき姿に関する検討が行われている。

紫外線消毒技術が、水道界に導入され、国民の公衆衛生の向上に貢献できる日も近い。

参考文献

- 1) 黒木俊郎、渡辺祐子、浅井良夫、他(1996)神奈川県内で発生した水系感染症. 感染症誌 70:132-140.
- 2) 埼玉県衛生部(1997)「クリプトスポリジウムによる集団下痢症－越生町集団下痢症発生事件－」
- 3) 志村有通, 竹馬大介, 森田重光, 平田強 (2001) 塩素の *Cryptosporidium parvum* オーシスト不活化効果とその濃度依存性, 水道協会雑誌 70(1), 26-33(2001)
- 4) Finch G R, Black E K, Gyurek L and Belosevic M (1993) Ozone inactivation of *Cryptosporidium parvum* in demand-free phosphate buffer determined by *in vitro* excystation and animal infectivity, *Appl. Environ. Microbiol.*, **59**(12), 4203-4210.
- 5) Hirata T, Shimura A, Morita S, Kimura S, Motoyama N and Hoshikawa H (2001) The effect of temperature on the efficacy of ozonation for inactivating *Cryptosporidium parvum* oocysts. *Wat.Sci.Technol.*, **43**, 163-166.
- 6) Hirata T and Hashimoto A (1998) Experimental assessment of the efficacy of microfiltration and ultrafiltration for *Cryptosporidium* removal, *Wat. Sci. Technol.*, **38**, 103-107.
- 7) Lorenzo L M, Ares M M E, Villacorta M M and Duran O D (1993) Effects of ultraviolet disinfection of drinking water on the viability of *Cryptosporidium parvum* oocysts. *J. Parasitol.*, **79**, 67-70.
- 8) Campbell A T, Robertson L J, Snowball M R and Smith H V (1995) Inactivation of oocysts of *Cryptosporidium parvum* by ultraviolet irradiation. *Wat. Res.*, **29**(11), 2583-2586.
- 9) Shin G A, Linden K, Handzel T and Sobsey M D (1999) Low pressure UV inactivation of *Cryptosporidium parvum* based on cell culture infectivity. *Proc. AWWA Wat. Qual. Tech. Conf.*, ST-7.4.1-ST7.4.8.
- 10) Haffman D E, Slifko T R, Coulliette A, Rose J B and Dussert B W (2000) Comparison of cell culture and animal infectivity analysis of low and medium pressure UV treated *Cryptosporidium parvum* oocysts. *Proc. 1st World Water Congress of Int. Wat. Assoc.*, **7**, 52-53.
- 11) Linden K G, Shin G A and Sobsey M D (2000) Comparative effectiveness of UV wavelength for the inactivation of *Cryptosporidium parvum* in water. *Proc. 1st World Water Congress of Int. Wat. Assoc.*, **7**, 99-100.
- 12) Clancy J. (2000). UV rises to the *Cryptosporidium* challenge, *Water 21*, **10**, 14-16.
- 13) Morita S, Namikoshi A, HIRATA T, OGUMA K, KATAYAMA H, OHGAKI S, MOTOYAMA N, FUJIWARA M (2002) Efficacy of ultraviolet irradiation in inactivating *Cryptosporidium parvum* oocysts, *Appl. Environ. Microbiol.* 68(11) in press.
- 14) Hirata T, Chikuma D, Shimura A, Hashimoto A, Motoyama N, Takahashi K, Moniwa T, Kaneko M, Saito S and Maeda S (2000) Effects of ozonation and chlorination on viability and infectivity of *Cryptosporidium parvum* oocysts. *Wat.Sci.Technol.*, **41**(7), 39-46.
- 15) Lindenauer K G and Darby J (1994) Ultraviolet disinfection of wastewater: effect of dose on subsequent photoreactivation. *Wat. Res.*, **28**, 805-817.

- 16) Harris G D, Adams V D, Sorensen D L and Curtis M S (1987) Ultraviolet inactivation of selected bacteria and viruses with photoreactivation of the bacteria. *Wat. Res.*, **21**, 687-692.
- 17) 土佐光司, 平田強, 竹馬大介, 古畑勝則, 福山正文 (1997) 下痢原性大腸菌の紫外線による不活化と光回復. *水環境学会誌* 20(9), 10-615.
- 18) Oguma K, Katayama H, Mitani H, Morita S, Hirata T and Ohgaki S (2001) Determination of pyrimidine dimers in *Escherichia coli* and *Cryptosporidium parvum* during ultraviolet light inactivation, photoreactivation and dark repair, *Appl. Environ. Microbiol.*, **67**(10), 4630-4637..
- 19) WHO(2004) Guidelines for Drinking-water Quality 3rd ed., Vol.1, Recommendations.

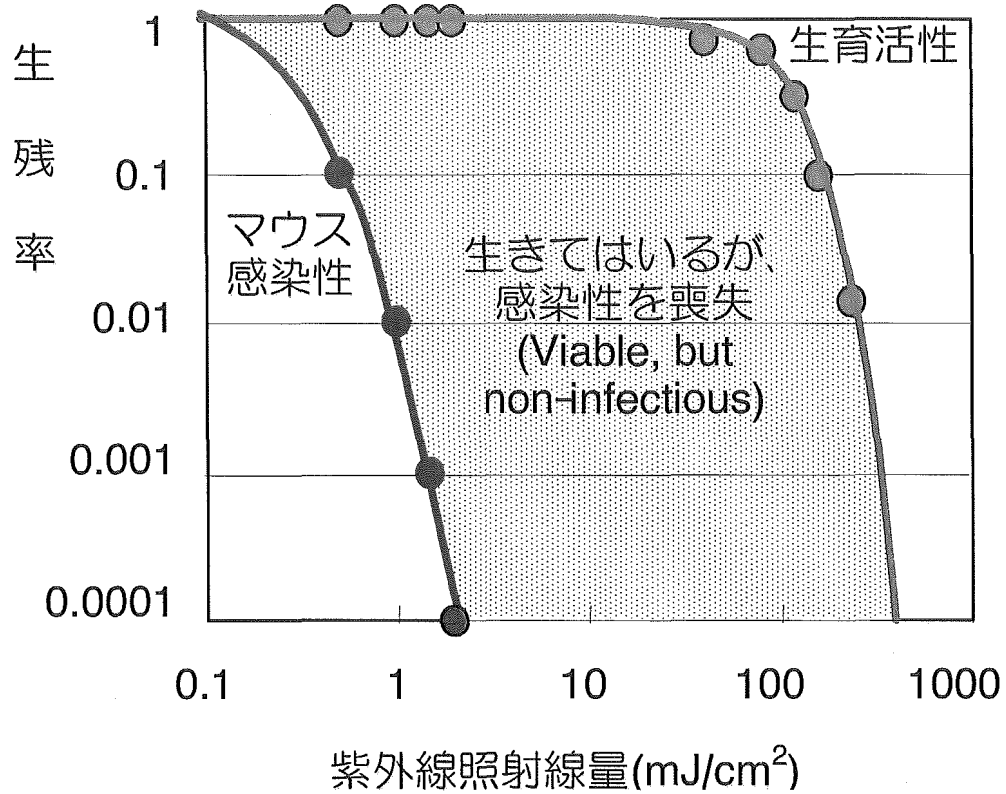


図1 紫外線照射線量と生育活性及び感染性

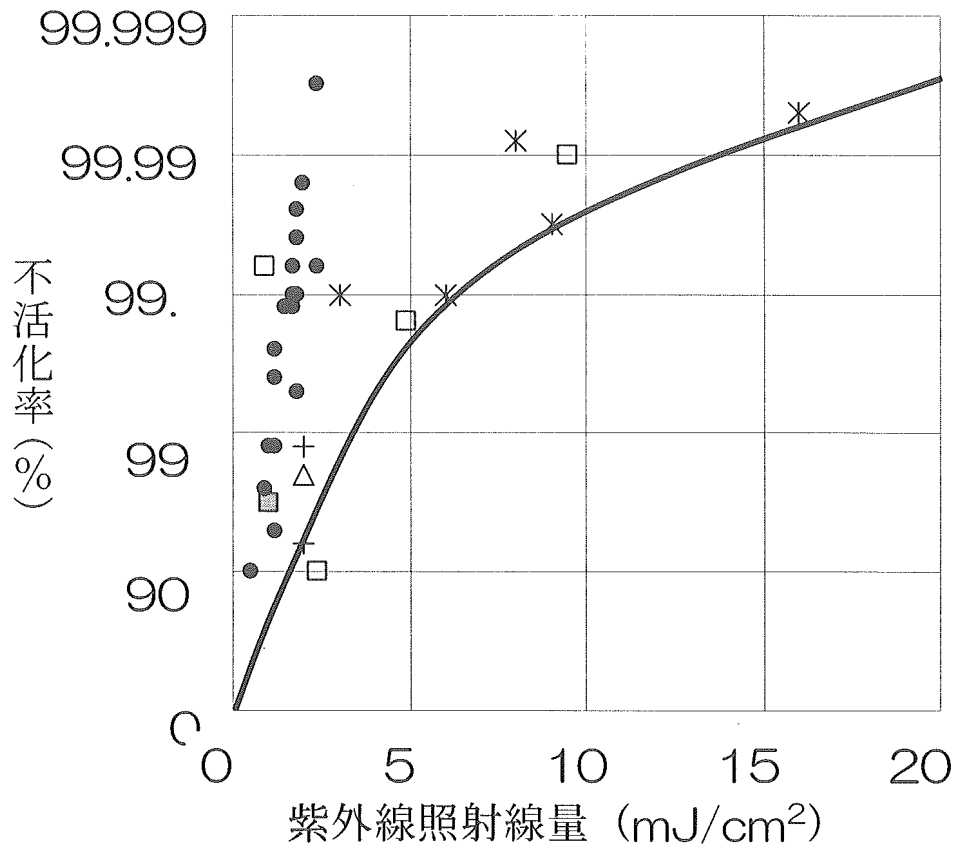


図2 マウス感染性による評価結果

第3編

紫外線による原虫類の不活化に関する文献調査

紫外線による原虫類の不活化に関する文献調査

分担研究者 財団法人水道技術研究センター 藤原 正弘

1. はじめに

現在、浅井戸や湧水、伏流水を水源とし、塩素消毒のみによる浄水方式の水道事業体においては、クリプトスポリジウムの汚染のおそれがあると判断された場合、クリプトスポリジウムの暫定対策指針により、急速ろ過、緩速ろ過、膜ろ過等のろ過施設を導入しなければならない。厚生労働省による調査では、平成16年3月末現在、水道原水のクリプトスポリジウムによる汚染の恐れのある施設は4,811施設あり、そのうち対策済みの施設は2,751と57%に過ぎない状況にある。

水道における感染性微生物に対する浄水方式としては、急速ろ過、緩速ろ過、膜ろ過が導入されており、消毒方式として塩素処理、オゾン処理、二酸化塩素処理等が実用化されている。また耐塩素性の感染性微生物に対しては、浄水処理として膜ろ過等のろ過方式が、消毒方式としてはオゾン処理が用いられている。しかし近年水道において紫外線(UV)を用いた消毒方法への関心が高まっている。これはUVが、塩素やオゾン処理のような消毒副生成物を生成することなく、耐塩素性の微生物に対しても不活化の効果があることが認められてきたからである。

アメリカ環境保護局(US-EPA)においては、2003年6月に「紫外線消毒ガイダンスマニュアル」のドラフトが提案されている。US-EPAでは、飲料水の微生物汚染の規制を強化するため、長期第2段階表流水浄水処理強化規則(LT2ESWTR)を策定中である。これは水源のクリプトスポリジウム濃度に基づき、一部の水道事業体に対して浄水処理の強化を求めるものである。UV消毒は、水道施設がこれらの対策を実施していくうえで必要な方法のひとつと考えられている。アメリカでは、クリプトスポリジウムの不活化にUV処理が有効であるとの判断により、20箇所以上の浄水場で実施施設を用いた実験が行われて、現在では30以上の施設において実施を前提とした試験運転が行われている。

我国においてもこの感染性微生物対策研究委員会をはじめ、*e-Water*プロジェクトの第2研究グループや、日本水道協会において紫外線照射によるクリプトスポリジウム対策についての調査が行われている。日本水道協会および水道技術研究センターでは、ともに紫外線消毒のガイドラインを作成中である。

本研究では、海外における紫外線による原虫類の不活化に関する文献調査を実施し、実施施設におけるUVの使用状況、UV装置の建設コストや維持管理コスト、UVによる微生物の不活化等に関する情報を整理したので、ここにその概要について報告する。

2. 調査した文献リスト

調査した文献は次ページ以降の表-1に示す74編である。

1993年	1編
1998年	4編
1999年	4編
2000年	14編
2001年	11編
2002年	13編
2003年	14編
2004年	13編

なお、平成14年度に調査した文献は26編（No.1～No.26）、平成15年度は24編（No.27～No.50）、平成16年度は24編（No.51～No.74）である。

表-1 収集文献一覧

No.	著者名	所 属	論文タイトル	文献名	Vol.	No.	発行年
1	Zia Bukhari Thomas M. Hargy James R. Bolton Bertrand Dussert Jennifer J. Calvey	Clancy Environmental Consultants	Medium-pressure UV for Oocyst inactivation	J. AWWA	91	3	1999
2	Jennifer L. Clancy Zia Bukhari Thomas M. Hargy James R. Bolton Bertrand W. Dussert Marilyn M. Marshall	Clancy Environmental Consultants	Using UV to inactivate <i>Cryptosporidium</i>	J. AWWA	92	9	2000
3	Miodrag Belosevic Stephen A. Craik James L. Stafford Norman F. Neumann Joop Kruihof Daniel W. Smith	University of Alberta, Edmonton, AB, Canada	Studies on the resistance/reactivation of <i>Giardia muris</i> cysts and <i>Cryptosporidium parvum</i> oocysts exposed to medium-pressure ultraviolet radiation	FEMS Microbiology Letters	204		2001
4	Alexander A. Mofidi Helene Baribeau Paul A. Rochelle Ricardo De Leon Bradley M. Coffey James F. Green	Metropolitan Water District of Southern California, USA	Disinfection of <i>Cryptosporidium parvum</i> with polychromatic UV light	J. AWWA	93	6	2001
5	Gwy-Am Shin Karl G. Linden Michael J. Arrowood Mark D. Sobsey	University of North Carolina	Low-pressure UV inactivation and DNA repair potential of <i>Cryptosporidium parvum</i> oocysts	Applied and Environmental Microbiology	67	7	2001
6	Erin D. Mackey Thomas M. Hargy Harold B. Wright James P. Malley Jr Robert S. Cushing	Carollo Engineers	Comparing <i>Cryptosporidium</i> and MS2 bioassays implication for UV reactor validation	J. AWWA	94	2	2002
7	Stephen A. Craik Daniela Weldon Gordon R. Finch James R. Bolton Miodrag Belosevic	Department of Civil & Environmental Engineering, University of Alberta, Edmonton, AB, Canada etc.	Inactivation of <i>Cryptosporidium parvum</i> oocysts using medium- and low-pressure ultraviolet radiation	Water Research	35	6	2001
8	Alexander A. Mofidi Ernest A. Meyer Peter M. Wallis Connie I. Chou Barbara P. Meyer Shivaji Ramalingam Bradley M. Coffey	Water Quality Metropolitan Water District of Southern California, USA etc.	The effect of UV light on the inactivation of <i>Giardia Lamblia</i> and <i>Giardia muris</i> cysts as determined by animal infectivity assay	Water Research	36		2002
9	Andrew T. Campbell Peter Wallis	Aureon Biosystems GmbH, Austria Hyperion Research Ltd. Medicine Hat, Alta., Canada	The effect of UV irradiation on human-derived <i>Giardia lamblia</i> cysts	Water Research	36		2002
10	Karl G. Linden Gwy-Am. shin Mark D. Sobsey	Department of Civil & Environmental Engineering, Duke University University of North Carolina	Comparison of monochromatic and polychromatic UV light for disinfection efficacy				
11	Erin D. Mackey Robert S. Cushing Gil F. Crozes	Carollo Engineers	UV DISINFECTION SYSTEMS FOR THE INACTIVATION OF CRYPTOSPORIDIUM: EVALUATING PRACTICAL IMPLEMENTATION ISSUES	Proceeding, AWWA, Ann. Conf., Denver			2000
12	Gwy-Am Shin Karl G. Linden Gaetan Faubert Mark D. Sobsey	University of North Carolina	LOW PRESSURE UV INACTIVATION OF <i>CRYPTOSPORIDIUM</i> AND <i>GIARDIA LAMBLIA</i> based ON INFECTIVITY ASSAYS AND DNA REPAIR OF UV-IRRADIATED <i>CRYPTOSPORIDIUM PARVUM</i> OOCYSTS.	AWWA, Water Quality Technology Conference Proceedings			2000
13	Frank J. Loge Robert W. Emerick Donald E. Thompson Douglas C. Nelson Jeannie L. Darby	Department of Civil and Environmental Engineering, University of California at Davis	Factors Influencing Ultraviolet Disinfection Performance Part 1: Light Penetration to Wastewater Particles	Water Environment Research	71	3	1999
14	Gwy-Am Shin Karl G. Linden Thomas Handzel Mark D. Sobsey	University of North Carolina	LOW PRESSURE UV INACTIVATION OF <i>CRYPTOSPORIDIUM PARVUM</i> BASED ON CELL CULTURE INFECTIVITY.	AWWA, Water Quality Technology Conference Proceedings	2		1999
15	Christine A. Cotton Douglas M. Owen Gary C. Cline Timothy P. Brodeur	Malcolm Pirnie Inc.	UV disinfection costs for inactivating <i>Cryptosporidium</i>	J. AWWA	June		2001

No.	著者名	所 属	論文タイトル	文献名	Vol.	No.	発行年
16	Nicole Ginsec Jeannie Darby	University of California	SENSITIVITY OF MICROORGANISMS TO DIFFERENT WAVELENGTHS OF UV LIGHT: IMPLICATIONS ON MODELING OF MEDIUM PRESSURE UV SYSTEMS	Water Research	34	16	2000
17	Karl G. Linden Gwy-Am Shin Mark D. Sobsey	University of North Carolina	Relative efficacy of UV wavelengths for the inactivation of <i>Cryptosporidium</i>	Water Environment Federation			2000
18	Debra E. Huffman Theresa R. Slifko Joan B. Rose	University of South Florida	Efficacy of pulsed white light to inactivate Microorganisms	AWWA, Water Quality Technology Conference			1998
19	Thomas Hargy		Status Of UV Disinfection of Municipal Drinking Water Systems In North America	Water Conditioning &	June		2002
20	Alexander A. Mofidi Helene Baribeau James F. Green	Metropolitan Water District of Southern California, USA	INACTIVATION OF <i>CRYPTOSPORIDIUM PARVUM</i> WITH POLYCHROMATIC UV SYSTEMS	AWWA, Water Quality Technology Conference Proceedings	2		1999
21	Kumiko Oguma Hiroyuki Katayama Hiroschi Mitani Shigemitsu Morita Tsuyoshi Hirata Shinichiro Ohgaki	Department of Urban Engineering, University of Tokyo College of Environmental Health, Azabu University	Determination of Pyrimidine Dimers in <i>Escherichia coli</i> and <i>Cryptosporidium parvum</i> during UV Light Inactivation, Photoreactivation, and Dark Repair	APPLIDE AND ENVIRONMENTAL MICROBIOLOGY	67	10	2001
22	Shigemitsu Morita Atushi Namikoshi Tsuyosi Hirata Kumiko Oguma Hiroyuki Katayama Shinichiro Ohgaki Nobuyuki Oguma Masahiro Fuijwara	School of Environmental Health, Azabu University, Department of Urban Engineering, University of Tokyo	Efficacy of UV irradiation Inactivating <i>Cryptosporidium parvum</i> Oocysts	APPLIDE AND ENVIRONMENTAL MICROBIOLOGY	68	11	2002
23	Stephen A. Craik Gordon R. Finch James R. Bolton Miodrag Belosevic	Department of Civil & Environmental Engineering, University of Alberta, Edmonton, AB, Canada etc.	INACTIVATION OF <i>GIARDIA MURIS</i> CYSTS USING MEDIUM-PRESSURE ULTRAVIOLET RADIATION IN FILTERED DRINKING WATER	Water Research	34	18	2000
24	Jennifer L. Clancy Thomas M. Hargy Marilyn M. Marshall John E. Dyksen	Clancy Environmental Consultants	UV light inactivation of <i>Cryptosporidium</i> oocysts: Animal infectivity studies demonstrate the efficacy of pulsed and advanced UV in inactivating <i>Cryptosporidium</i> oocysts.	J. AWWA	90	9	1998
25	Debra E. Huffman Theresa R. Slifko Joan B. Rose	University of South Florida	Inactivation of bacteria, virus and <i>Cryptosporidium</i> by a point-of-use device using pulsed broad white light	Water Research	34	9	2000
26	A. C. Drescher D. M. Greene A. J. Gadgil		<i>Cryptosporidium</i> Inactivation by low-pressure UV in a water disinfection device	Journal of Environmental Health			2001
27	Z. Bukhari M. LeChevallier	American WaterWorks Service Company, Inc	Assessing UV reactor performance for treatment of finished water	Water Sciences and Technology	47	3	2003
28	R. L. Rajaja, M. Pulkkanen, M. Pessi H. Heinonen-Tanski	University of Kuopio	Removal of Microbes from municipal wastewater effluent by rapid sand filtration and subsequent UV irradiation	Water Sciences and Technology	47	3	2003
29	Markku J. Lehtola Ilkka T. Miettinen Terttu Vartiainen Panu Rantakokko Arja Hirvonen Periti	National Public Health Institute	Impact of UV disinfection on microbially available phosphorus, organic carbon, and microbial growth in drinking water	WATER RESEARCH	37	5	2003
30	John E. Dyksen Marilyn M. Marshall Arun Gera Jennifer L. Clancy		Cost of advanced UV for inactivating crypto	J. AWWA	Sep		1998
31	Mr. Ben F. Kalisvaart	Berton UV-technik, The Netherlands	Photobiological effects of polychromatic medium pressure UV lamps	Water Science and Technology	43	4	2001
32	Harold B. Wright Yuri A. Layryshyn	Trojan Technologies Inc.	An assesment of the bioassay concept for UV reactor validation	Water Environment Federation			2000
33	Karl G. Linden Gwy-Am Shin Mark D. Sobsey	Department of Civil & Environmental Engineering, Duke University University of North Carolina	Comparative effectiveness of UV wavelengths for the inactivation of <i>Cryptosporidium parvum</i> oocysts in water	Water Science and Technology			2001
34	Marc-Oliver Buffle, Kuang-ping Chiu, Fariborz Taghipour	Trojan Technologies Inc.	UV reactor conceptualization and performance optimization with computational model	Water Environment Federation			2000
35	Gwy-Am Shin Karl Linden Mark D. Sobsey	University of North Carolina	Comparative inactivation of <i>Cryptosporidium parvum</i> oocysts and coliphage MS2 by monochromatic UV radiation	Water Environment Federation	43	12	2000
36	M. Otaki, A. Okuda, K. Tajima, T. Iwasaki, S. Kinoshita, S. Ohgaki	Ochanomizu University, University of Tokyo	Inactivation differences of microorganisms by low pressure UV and pulsed xenon lamps	Water Sciences and Technology	47	3	2003

No.	著者名	所 属	論文タイトル	文献名	Vol.	No.	発行年
37	Marilyn M. Marshall, Samuel Hayes, Jackie Moffett, Charles R. Sterling, and Wayne L. Nicholson	Department of Veterinary Science and Microbiology	Comparison of UV Inactivation of Spores of Three Encephalitozoon Species with That of Spores of Two DNA Repair-Deficient <i>Bacillus subtilis</i> Biosimetry Strains	Applied and environmental Microbiology	69		2003
38	W. B. Anderson, P. M. Huck, D. G. Dixon, and C. I. Mayfield	Department of Biology, University of Waterloo	Endotoxin Inactivation in Water by Using Medium-Pressure UV Lamps	Applied and environmental Microbiology	69		2003
39	Wayne L. Nicholson and Belinda Galeano	Department of Veterinary Science and Microbiology, University of Waterloo	UV Resistance of <i>Bacillus anthracis</i> Spores Revisited: Validation of <i>Bacillus subtilis</i> Spores as UV Surrogates for Spores of <i>B. anthracis</i>	Applied and environmental Microbiology	69		2003
40	J. L. Zimmer, R. M. Slawson and P. M. Huck	Department of Biology, University of Waterloo	Inactivation and potential repair of <i>Cryptosporidium parvum</i> following low- and medium-pressure ultraviolet irradiation	Water Research	37	14	2003
41	Ronald Gehr, Monika Wagner, Priya Veerasubramanian and Pierre Payment	Department of Civil Engineering, McGill University	Disinfection efficiency of peracetic acid, UV and ozone after enhanced primary treatment of municipal wastewater	Water Research	37	14	2003
42	Sigrid Peldszus, Susan A. Andrews, Rosana Souza, Franklyn Smith, Ian Douglas, Jim Bolton, Peter M. Huck		Effect of medium pressure UV irradiation on bromate concentrations in drinking water, a pilot-scale study	Water Research			2004
43	ETV Joint Verification Statement		Medium-pressure ultraviolet radiation technology used in drinking water treatment				
44	O. Hoyer		Testing Performance and monitoring UV system for drinking water disinfection	Water Supply	16		1998
45	Y. A. Lawryshyn B. Cairns		UV disinfection of water: the need for UV reactor validation	Water Supply	3	4	
46	G. E. Whitby G. Palmateer	Fischer & Porter (Canada) Limited	THE EFFECT OF UV TRANSMISSION, SUSPENDED SOLIDS AND PHOTOREACTIVATION ON MICROORGANISMS IN WASTEWATER TREATED WITH UV LIGHT	Water Science and Technology	27	3, 4	1993
47	James Dallan		Ultraviolet light in TOC reduction	Water Conditioning &			2002
48	Nadia Abboud		Ultraviolet disinfection for small systems	Water Conditioning &			2002
49	Ron Hallett		New Advances in UV water Treatment	Water Conditioning &			2003
50	Eugen Nisipeanu, Muhammad Sami		Computer Simulation Optimizes Design of UV disinfection Reactors	Water Conditioning &			2004
51	Lorenzo Liberti, Michela Notarnicola, Domenuco Petrucci	Polytechnic University of Bari	Advanced Treatment for municipal wastewater reuse in agriculture. UV disinfection: parasite removal and by-product formation	Desalination			2002
52	Michael A. Butkus, Michael P. Laare, Jeffrey A. Starke, King	U.S. Military Academy	Use of Aqueous Silver to Enhance Inactivation of Coliphage MS-2 by UV disinfection	Applied and environmental Microbiology			2004
53	J. L. Zimmerl and R. M. Slawson	University of Waterloo	Potential Repair of <i>Escherichia coli</i> DNA following Exposure to UV Radiation from Both Medium- and Low-Pressure UV Sources Used in	Applied and environmental Microbiology			2002
54	Wright, Harold B., Mackey, Erin, Cushing, Robert;	Carollo Engineers	A COMPARISON OF UV DISINFECTION FOR DRINKING WATER, WASTEWATER, AND RECLAIMED WASTEWATER	WEFTEC 2002 Conference Proceedings			2002
55	Samel, Leslie S., Norton, Joshua M., McLelland, Julie	Charlotte-mecklenburg Utilities	IMPLEMENTATION OF BEST-VALUE UV SYSTEMS THROUGH COMPETITIVE LIFE CYCLE COST BIDDING PROCEDURES	WEFTEC 2003 Conference Proceedings			2003
56	W. A. M. Hijnen, A. J. van der Veer, E. F. Beerendonk and G. J.	Kiwa Water Research Ltd.	Increased resistance of environmental anaerobic spores to inactivation by UV	Water Supply	4	2	2004
57	Jolis, Dome nec, Lam, Curtis, Pitt, Paul;		RESEARCH NOTE: Particle Effects on Ultraviolet Disinfection of Coliform Bacteria in Recycled Water	Water Environment Research			2001
58	Bircher, Keith, Cater, Steve, Obukuro, Karen	Calgon Carbon Corporation	THEORETICAL AND EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF WAVELENGTH DEPENDENCE OF UV DISINFECTION,	Disinfection			2000
59	C. Lemoine et al.	Vivendi Water	Optimum location of an ultraviolet step in a surface water treatment plant	Water Supply			2002
60	Ka M. Lai, Harriet A. Burge, and Melvin W. First		Size and UV Germicidal Irradiation Susceptibility of <i>Serratia marcescens</i> when Aerosolized from different suspending media	Appl. Envir. Microbiol.	70	4	2004
61	Erwin Duizer, Paul Bijkerk, Barry Rockx, Astrid de Groot, Fleur		Inactivation of Caliciviruses	Appl. Envir. Microbiol.	70	8	2004
62	Nicki Pozos, Kate Scow, Stefan Wuertz and Jeannie Darby		UV disinfection in a model distribution system: biofilm growth and microbial community	Water Research	38	13	2004
63	Santiago Caballero, F. Xavier Abad, Fabienne Loisy, Francoise S. Le		Rotavirus Virus-Like Particles as Surrogates in Environmental Persistence and Inactivation Studies	Appl. Envir. Microbiol.	70	7	2004
64	Chen, C. Z., Jack, El, Horvath, R. W.;		Disinfection Using Low-Pressure High-Intensity UV Lamps for Water Reclamation	Disinfection			2000
65	Gehr, R., Pinto, D., Santamaria, M	McGill University	FOULING OF UV LAMPS WITH VARYING INFLUENT WATER QUALITY	Disinfection			2000
66	R. Keller et al.	Universida Federal do Espirito	Inactivation of <i>Salmonella</i> spp. from secondary and tertiary effluents by UV irradiation	Water Science & Technology	47	3	2003

No.	著者名	所 属	論文タイトル	文献名	Vol.	No.	発行年
67	Templeton, Michael, Andrews, Robert C., Hofmann, Ron, Whitby,		UV INACTIVATION OF FLOC-ASSOCIATED MS-2 COLIPHAGE	WEFTEC 2003 Conference Proceedings			2003
68	BillMcCann Rhodes Trussell Joe Jacanagelo		Disinfection developments:the rise of UV in China	WATER21	April		2002
69	Md Zamir Bin Alam, Masahiro Otaki, Hiroaki Furumai and Shinichiro		Direct and indirect inactivation of microcystis aeruginosa by UV-radiation	Water Research	35	4	2001
70	Alexander A.Mofidi Karl G.Linden	Metropolitan Water District of Southern California,USA	Disinfection effectiveness of ultraviolet(UV) light for heterotrophic bacteria leaving biologically active filters	Journal of water Supply: Research and			2004
71	James R. Bolton, Bertrand Dussert, Zia Bukhari, Thomas Hargy , Jennifer L. Clancy	Calgon Carbon Corporation,Clancy Environmental Consultants	Inactivation of Cryptosporidium by medium-pressure Ultraviolet light in finished drinking water	AWWA, Annual conference Dalls			2004
72	Rongjing XIE	Centre for Advanced Water Technology	Ultraviolet Application in Singapore-Current Status and Future Trends in Water Production	2nd Asia Conference on Ultraviolet Technologies for Environmental Application			2004
73	Regina Sommer, Alexander Cabaj, Thomas Haider ,Georg	Medical University Vienna etc	UV drinking Water Disinfection-Requirement, Testing and Surveillance:Exemplified by the Austrian National Standards M5873-1 And M 5873-2	2nd Asia Conference on Ultraviolet			2004
74	Nicola A. Ballester James P.Malley Jr.	Metcalf and Eddy	Sequential Disinfection of adenovirus type 2 wity UV-chlorine-chloramine	J. AWWA	October		2004

3. 文献のジャンル別分類

調査した文献を内容別に分類し、その概要を下記のとおり整理した。

なお、紫外線照射量と原虫類の不活化率のデータに関しては、表-2に記載した。

表-2 紫外線による原虫類の不活化率

出典	対象	紫外線量(mJ/cm ²)	不活化率	評価方法	ランプ
No.1	Cryptosporidium Parvum	123	0.2	DAPI/PI	中圧
		123	0	脱嚢	中圧
		246	1.4	DAPI/PI	中圧
		246	2.0	脱嚢	中圧
		246	>4.5	感染性	中圧
		19		DAPI/PI	中圧
		19		脱嚢	中圧
		19	3.9	感染性	中圧
		66	0	DAPI/PI	中圧
		66	0	脱嚢	中圧
		66	>4.5	感染性	中圧
		159	2.0	DAPI/PI	中圧
		159	2.0	脱嚢	中圧
		159	>4.5	感染性	中圧
No.2	Cryptosporidium Parvum	3	3.4	感染性	中圧
		3	3	感染性	低圧
No.3	Giardia muris	10	>2.6	感染性	中圧
No.4	Cryptosporidium Parvum	7.5	1	感染性	中圧
		7.5	1	感染性	多色光
		11	2	感染性	中圧
		11	2	感染性	多色光
No.5	Cryptosporidium Parvum	3	3	感染性	低圧
No.6	Cryptosporidium Parvum	45	>4.7	感染性	高出力低圧
No.7	Cryptosporidium Parvum	>25	3	感染性	低圧
		>25	3	感染性	中圧
No.8	G.lamblia	3	>2	感染性	低圧
	G.muris	3	>2	感染性	低圧
No.9	G.lamblia	10~40	0	DAPI/PI	低圧
		10	>2	感染性	低圧
		20~40	>8	感染性	低圧
No.12	Cryptosporidium Parvum	3	3	感染性	低圧
	G.lamblia	1	4	感染性	低圧
No.14	Cryptosporidium Parvum	3	3	感染性	低圧
No.20	Cryptosporidium Parvum	7.5	1	感染性	多色光
		11	2	感染性	多色光
No.22	Cryptosporidium Parvum	1	2	感染性	低圧
		230	2	脱嚢	低圧
No.23	G.muris	5.4	2.2	感染性	中圧
		88.2	2.8	感染性	中圧
		88.8	0.43	脱嚢	中圧
		88.2	0.14	核酸染色法	中圧
No.26	Cryptosporidium Parvum	120	5.4	感染性	低圧
No.27	Cryptosporidium Parvum	10	1.16	感染性(q-PCR)	中圧
		20	1.24	感染性(q-PCR)	中圧
		40	1.84	感染性(q-PCR)	中圧
		5	>8	感染性(IF)	中圧
		5	>8	感染性(IF)	中圧
No.35	Cryptosporidium Parvum	3	3	感染性	低圧
No.37	Encephalitozoon intestinalis	60	3.2	感染性	低圧
	Encephalitozoon cuniculi	140	3.2	感染性	低圧
	Encephalitozoon hellm	190	3.2	感染性	低圧
No.40	Cryptosporidium Parvum	1	1.5	感染性	低圧
		3	>3.4	感染性	低圧
		1	>3.2	感染性	中圧
		3	>3.2	感染性	中圧

(1)UVの実装置に関する文献 No.24、25、27、28、29、41、43、45、46、51、54、
64、66、71

本研究は、*C.parvum* を不活化できる、従来にはない UV 照射装置に関する最初の研究であり、3種類のシステムに関して実験を行い、不活化率を脱嚢法、DAPI/PI法、動物感染試験法等を用いて評価を行った。

一つの実験装置の中に 85W の低圧水銀ランプを 6 本設置し、253.7nm での最低理論照射線量が $14.6\text{mW} \cdot \text{s}/\text{cm}^2$ とした。

Trial 1 の実験では、サンプルを遠心分離せず、直接、核酸染色法を用いて、回収率を評価した結果、脱嚢法及び動物感染法に最低限必要な 1×10^7 個のオーシスト以上の 5×10^7 個のオーシストの回収が確認された。

Trial 2 の実験では、多量の微粒子が存在したため、脱嚢試験を行えず、動物感染試験法のみを使用した。不活化率は 4log 以上であったが、感染したマウス数が 0 なので、正確な数値は不明である。本実験は trip control として行ったが、動物感染試験法及び脱嚢法において、明確な差は見られず、輸送及び計測までの時間が、不活化率を測定するにあたり、影響を与えないことが分かる。

Trial 3 の実験では、脱嚢法、DAPI/PI 法、動物感染試験法を用い評価を行い、その結果を Table 3 に示す。378L/分と 1514L/分の流速によって、両者とも 4log 以上の不活化が行われ、流速による不活化率の差異は確認されなかった。

パルス光を用いた実験では、1.7~2.9log の不活化が得られ、動物感染試験方法において、UV 処理水に感染性は確認されなかった。また、各評価方法による *C.parvum* オーシストの不活化率は 2log 程度であり、動物感染試験方法でも $100 \sim 10^5$ 個のオーシストを摂取したが、感染したマウスは確認されなかった。しかし、UV を照射しない系においても不活化が確認され、今後検討する必要がある。(No. 24)

白色パルス光を用いた UV 殺菌装置 ”を用いて、*Klebsiella terrigena*、*polio virus type 1* (Lsc2ab 株)、*simian rotavirus SA11*、*Cryptosporidium parvum* の不活化試験を行った。初期濃度はそれぞれ、 $10^5\text{CFU}/\text{mL}$ 、 $10^4\text{PFU}/\text{mL}$ 、 $10^4\text{PFU}/\text{mL}$ 、 10^4 オーシスト/ mL であった。15.4L/分にて照射実験を行い、それぞれ、>7log、>4log、>4log、>4log の不活化率を達成した。また、活性の指標として、細胞培養感染法及び動物感染法の両方にて行い、同様の結果が得られた。

白色光により *Klebsiella terrigena* は平均して 7.79log 不活化された。何れのユニットのデータからも、UV 処理後 48 時間を経過しての、リグロウスは見られなかった。また、水質の差による不活化率の違いは生じなかった。

Bacteriophages MS-2 と PRD-1、*enteroviruses*、*poliovirus* は、それぞれ 4.3log 以上、5.4log 以上、6.23log、4.86log 以上不活化された。

Cryptosporidium oocyst の不活化率は、DAPI/PI 法、脱嚢法、細胞培養感染法、動物感染法において次のとおりであった。

脱嚢法では、average case water で 0.67log、worst case water で 0.53log であった。

DAPIによる染色法では、average case water で 0.31 log、worst case water で 0.28log であった。

MPN を用いた細胞培養感染法では、3.40 以上の不活化率が得られ、average case water では動物感染法で >4.6log、細胞培養感染法で 4.2log、worst case water では動物感染法で 4.1log、細胞培養感染法で 5.5log の不活化率が得られた。

本研究は動物感染法と細胞培養感染法を比較した最初の研究のものであり、高濁度 (>30NTU) のサンプルでは、濁質の影響にて不活化率を過剰評価する可能性があるが、今後の研究で改善されると思われる。(No. 25)

アメリカの最も大きな水道事業者であるアメリカンウォーターシステムズでは、最終処理水に紫外線を照射する実施可能性調査を長期にわたり行い、さまざまな試みを行った。粒状活性炭でろ過後、直径 12 インチ (0.3m) の紫外線装置内で紫外線照射し、処理水の流量は 600 g p m (2,700L/min) であった。12 ヶ月にわたって化学的測定 (THM、HAA、UV254、DOC、TOC、金属、硝酸塩、亜硝酸塩) および物理的測定 (ランプ電圧、流量、センサー計測数値) を実施し、装置性能への影響を検証した。MS2 バクテリオファージを用いて、さまざまなランプの形状、様々な稼動時間でのランプによる照射実験を実施した。これらの不活化のデータは、ベンチスケールの不活化データとかなりの相関関係があることを証明している。クリプトスポリジウムオーシストにおいては、ベンチスケールの研究では、HCT-8 細胞を用いた感染力評価による検証を実施した。双方の分析結果とも、オーシストイノキュラが増加し、HCT-8 細胞の感染度が高まるにつれ、オーシストに紫外線処理を施すと、著しく異なる感染反応の結果が出た。本研究のデータを踏まえると、試験管感染分析評価は少量の紫外線照射 ($5\text{mJ}/\text{cm}^2$ - $10\text{mJ}/\text{cm}^2$) で、>3 logs の不活化を証明した。(No.27)

都市下水放流水を水道水あるいは農業用水として取水するような場合、下水から如何に微生物を除去するかが問題となっている。近年、フィンランドの4箇所の下水処理場にてパイロットプラントによる実験結果、PACによる凝集+砂ろ過に紫外線処理を組み合わせることにより、好結果が得られることが分かった。砂ろ過での除去効果は、SSが90%、濁度が70~80%、色度が20~50%で、これにより、紫外線透過率を20%まで改善することができた。微生物除去については、90~99%、りんは0.05mg/Lまで除去することができた。UV照射の効率、紫外線照射装置にFRNAファージを添加することにより計測した。パイロットプラントでは、UV照射強度 $140\text{mWs}/\text{cm}^2$ にて、99.9%以上のMS2減少が可能であった。なお、砂ろ過および後段でのUV照射により、実験を行った全ての微生物を減じることが可能で、場合によっては検出限界以下まで生物除去が可能であった。この場合、SSおよび濁度は1-2mg/L、1NTU程度まで除去可能であった。(No.28)

化学物質や微生物の性質に対するUV消毒の効果は水によって異なる。したがって、各水道事業者は飲料水中の化学物質や微生物的な特性に対してUV消毒の効果を確認させるための研究をそれぞれ行わなければならない。(No.29)

モントリオール下水処理場にて、*Enterococci*、MS-2 coliphage、*Clostridium*、*perfringens*(CP)を指標菌とした PAA・UV・オゾンによる消毒能力の評価を実施した。

PAA 濃度が 6mg/L を越えた場合は、大腸菌を 9,000CFU/100mL 以下のレベルまで消毒することができる。*Enterococci* についても同様の結果が得られた。また、CP においては全く反応がなかった。しかしながら、PAA 濃度が 1.5mg/L を越えた場合は MS-2 を初めの 1/10 とすることができた。

この流出水は、多くのオゾン要求量を必要とし、また、比較的高い UV 照射量が必要であることが予想される。その理由として、高濃度の COD・鉄・SS を UV による照射により処理できるからである。UV20mJ/cm² に対して大腸菌は、1,000CFU/100mL (光回復が起こらないための目標値) 以下の指標菌に対し、特徴的な 2 段階の減少カーブを示す。これに対し、MS-2、CP は直線的に減少する。CP は指標菌の中で、最も耐久性がある指標菌である。

4 種類の指標菌の反応の相違点は、消毒によるものであり、1 つの指標菌によるものだけでは不適切であろう。消毒を行うために必要とされる要求量は、採算が合わず、また処理場における早期段階での除去が必要とされる。(No.41)

Sandiego の Otay 浄水場内の Aqua2000 研究センターにて Otay 湖の水を凝集、沈殿、二層ろ過した Otay 浄水施設の放流水に MS-2 を添加し、紫外線による不活化実験を実施した。処理水量は、695gpm であり、紫外線透過率は 84%、ランプ出力は設定の 81% で実施した。

MS2 ウイルスの原水中の初期濃度は、 5×10^4 pfu/100mL ~ 1.1×10^5 pfu/100mL であり、処理水中の濃度は 4×10^2 pfu/100mL ~ 1×10^2 pfu/100mL 以下であり、除去率は 2.1~3log 程度である。既に紫外線耐性を定量的に測定されている MS2 ウイルスを用いて、*Cryptosporidium* や *Giardia* の不活化率を計測した。用量-反応曲線により MS2 ウイルスを 2log 不活化する際に必要な紫外線量は 42.8mJ/cm² である。本実験では、2.1~3log の不活化が得られたので、40.3~67.6mJ/cm² の等価線量である。(No.43)

紫外線技術は、装置が対象に必要な紫外線量を照射でき、操作条件・水質により紫外線量を監視、調整できることを保障しなければならない。分析モデルや数理モデルよりも、バイオアッセイを用いた手法が、紫外線装置の性能検証には適している。分析モデルは、平均計算紫外線量を計算するものであり、不適當である。計算流体力学を用いた数理モデルでは、熟練した専門家ならば、正確に装置性能を予測できるが、バイオアッセイ試験に比べ、多くの検証を必要とする。(No.45)

下水消毒のために UV を照射した場合、流出における SS 分と、糞便性大腸菌群数には直線的な関係がみられる。その際、糞便性大腸菌及び大腸菌(NAR)の光回復はガラス容器において発生するが、取水河川においては検出できなかった。これらを踏まえ、UV システムは、最大流下率での照射寿命の最終段階において低 UV 照射及び高 SS 分のため設計されるべきである。(No.46)

100m³/h のパイロットプラントを用い、下水の二次処理水(沈殿処理水及び砂ろ過水)の

UV 消毒における寄生生物、副生成物への影響確認実験を行った。この実験により、UV 照射による寄生生物（ジアルジア、クリプトスポリジウム）の除去性が認められ、消毒副生成物の生成は認められなかった。また紫外線消毒の維持管理費は 17~35 ユーロ/1000m³ であった。(No.51)

米国における UV 消毒の役割は変わってきている。UV の照射量に必要な条件は、UV 耐性ウイルスおよび UV に敏感な原生動物（cysts/oocysts）の発見により変化する。UV は、一回の照射量を監視および検証に厳密な条件を課すことで、市営飲料水の消毒に導入されている。膜で濾過した後の再生水への UV の使用は、下水への使用よりも飲料水への使用法を適用する。この論文は、水質の影響、UV 照射量の必要条件、監視装置、および検証の点に重きを置きながら、飲料水と下水と再生水への UV 消毒の適用法の違いを議論している。これらの違いの評価は、それらの UV の必要性をより理解する点で、有効な手助けとなるだろう。(No.54)

近年、塩素消毒は、副生成物を生成することが明らかになり、廃水の代替消毒技術として、紫外線消毒技術が注目を集めている。但し、再生水の消毒を行い、水質基準を満たすためには、多数の紫外線ランプを設置しなければならなくなり、その場合、維持管理に労力がかかると共に、費用もかかる。最近の技術として、高強度低圧紫外線ランプが開発されており、低圧ランプや、中圧ランプよりも、効率的であるとの報告がある。その性能を確認するために、1999 年より、高強度低圧紫外線ランプを用いた実証実験を Pomona Water Reclamation Plant(WRP)にて 5 ヶ月実施している。

この実験の主旨は、1) 高強度低圧紫外線ランプを用いて、再生水中の大腸菌群数が 2.2 MPN/L に消毒できるかどうか。2) バクテリアと大腸菌ファージの紫外線量との応答曲線の作成 3) ベンチスケールの実験装置を用いた同様の線量-応答曲線の作成 4) バクテリアと大腸菌ファージの光回復性の検討 5) 従来ランプとのエネルギー効率の比較 である。(No.64)

本研究の目的は、異なる濁度の廃水中の *Salmonella spp.* の紫外線による不活化効率に関して、検証することである。実験は、バッチの実験機と実サイズの装置を用いて実施した。*Salmonella spp.* は、臨床サンプルより取得し、UASB 反応槽、3 つの浸漬曝気生物ろ過 (BAF)、3 次ろ過施設を有する廃水処理施設の廃水をオートクレープで圧力殺菌したものに、*Salmonella spp.* を添加した。SS が存在する、UASB 処理水中の *Salmonella spp.* は、SS が紫外線の遮蔽を行なってため、不活化されないとの結果が得られた。紫外線消毒は、2 時処理水、3 次処理水には、有効であった。(No.66)

約 400 万人の生活用水及び工業用水として、シンガポールで 140 万 m³/日の水を消費している。この内、約 50% を工業用水が占める。この内、半分の量をマレーシアから Public Utilities' Board's Johor River Waterwork が、原水として購入している。

水の再生利用は、海水淡水化に比べ、建設費は半分で済み、維持管理費も 1/4 ですむ。水の再生利用には、MF 膜、RO 膜、及び紫外線消毒の組み合わせ処理が、水不足に悩む地域

で用いられている。シンガポールでは、2012年度までに、シンガポールの水需要の15～20%を占めると思われる。(No.71)

(2) UV装置のコストに関する文献 No. 15、30、55

最近の研究により、クリプトスポリジウムの不活化には、UV処理が有効かつ経済的であることが分かってきた。本紙の中では、施設規模に応じたイニシャルコスト、ランニングコスト等の比較を行っている。

UV設備のコストに関して、水質、処理水量毎のイニシャルコスト、ランニングコスト、1000galあたりの施設単価、イニシャルコスト、ランニングコストの内訳について調査している。3,800m³/日以下の小規模施設においては、低圧ランプを用いて2社の金額の比較を行った。3,800m³/日以上の大規模施設においては、中圧ランプ又は高出力低圧ランプを用いて4社(Aquionics-Berson-Hanovia, Calgon Carbon, Trojan Technologies, Wedeco-Ideal Horizons)の金額比較を行った結果、会社間の金額の差は40%以内であった。

大規模施設の金額の中には、中間ポンプ、建物、配管類、機器費、電気費、請負業者等の人件費等に金額が含まれている。小規模施設の金額の中には、機器費、プレハブ小屋代、を含んでいる。また、維持管理費には、低圧および高出力低圧ランプを1年毎の交換費、中圧ランプの半年毎の交換費、等が含まれている。

USEPAの調べにより、他の消毒方法より、UV消毒は安価であることが分かる。(No.15)

UV技術は処理された飲料水中の *Cryptosporidium* を効率的に不活化することが示された。既設の水処理プラントでこの技術を応用する費用は、現場での具体的な条件(水処理方法、水質特性、ポンプ揚程、建物の面積及び *Cryptosporidium* の不活化要求レベル等)に依存する。このプロジェクトで行ったコスト比較では、UV技術が飲料水の処理への応用に対し費用効果が高く、現場での条件次第ではあるが、従来の薬品処理の代替法として価格競争が可能であることを示している。(No.30)

下水処理水の消毒に関する最適UV装置の選択についての各社製品の性能及びコストの比較検討と、施設建設費・運転管理費・維持管理費等のライフサイクルコストでの入札による総コストの削減を実施した。(No.55)

(3)紫外線による微生物等の不活化 No.31、35、36、37、40、61、63、73

紫外線消毒は、塩素に代わる消毒方法として、飲料水やプロセス用水、廃水に用いられている。紫外線照射後の微生物の回復を阻害するために、微生物には、可能な限り、多くの部位に損傷を与える必要がある、殺菌効率の高いランプは、幅広い波長を持ち、特定の波長にて高出力を持つよう改良されたランプである。同線量において、従来の低圧ランプに比べ多色中圧ランプの方が、消毒副生成物を生成することなしに、より高い不活化が、可能であった。(No.31)