

2. 文献リスト

調査した文献は次ページ以降の表に示す 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 L. 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 Kruithof Daniel W. Smith	University of Alberta, Edmonton, AB, Canada	Studies on the resistance/reactivation of <i>Giardia</i> <i>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 P. 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, AW WA, Ann. Conf., Denver			2000
12	Gwy-Am Shin Karl G. Linden Gactan 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</i> PARVUM 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</i> <i>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 Ginsce 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. Sliifko 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 Hiroshi 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 Fujiwara	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. Sliifko 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. Bukharl 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 B. 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 Terittu Vartiainen Panu Rantakokko Arja Hirvonen Pertti	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. Layrshyn	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, a. 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. J. 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	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 Abbound		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, Michele Notarnicola, Domenico 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. Bulkus, 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 Wertz 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	Mo 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 Viena 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	>8.4	感染性	低圧
		1	>8.2	感染性	中圧
		3	>8.2	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 $>4.6\log$ 、細胞培養感染法で $4.2\log$ 、worst case waterでは動物感染法で $4.1\log$ 、細胞培養感染法で $5.5\log$ 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($>30\text{NTU}$)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 $600\text{gpm}(2,700\text{L}/\text{min})$ 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、 $>3\log$ 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 $0.05\text{mg}/\text{L}$ まで除去することができた。UV照射の効率は、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 $1\text{-}2\text{mg}/\text{L}$ 、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、各水道事業体は飲料水中の化学物質や微生物的な特性に対してUV消毒の効果を明確に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。分析モデルや数値モデルよりも、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、不相当である。計算流体力学を用いた数値モデルでは、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)

Cryptosporidium parvum は単色の紫外線に対して高い感受性を示すことが確認された。254nm は可視光の中で微生物に最も有用であることが示されており、この波長の近辺が中圧ランプによる不活化の際にも大きな役割を占めていると考えられる。

また、MS2 が *Cryptosporidium* より紫外線に対して耐性を持つとの結果が得られた。両者を比較すると、MS2 は、全体の大きさ及びゲノムの大きさが小さく、紫外線照射の対象とはなりにくい可能性が考えられる。事実、水系の腸内微生物の中でも紫外線耐性の強い微生物であり、大腸菌ファージ MS2 は、紫外線消毒の処理性能を評価するのに有用な微生物であるといえる。(No.35)

従来、紫外線消毒は高濁度時においては、濁質による妨害のため、効率の悪い方法と考えられてきていた。さらに、太陽光による光回復による問題も取り上げられていた。近年は、従来の低圧、中圧ランプを異なる広範囲にて高いエネルギーを照射するフラッシュタイプ(例：パルスキセノンランプ)が開発されてきている。本研究では、2種類の大腸菌ファージと3種類の大腸菌に関して、低圧ランプとパルスキセノン(PXe)ランプによる不活化効率の違いに関して検討を行う。パルスキセノンランプでは、光回復が生じず、また、高濁度時においてもテーリングが無いことが確認された。(No.36)

254nm の紫外線を照射した場合、*Encephalitozoon intestinalis*, *Encephalitozoon cuniculi*, *Encephalitozoon hellm* の芽胞は 3.2log の不活化を行うのに、それぞれ、60,140,190J/m² の紫外線量が必要であった。この不活化機構は、紫外線量を測定する際に用い、DNA 回復欠損のある *Bacillus subtilis* 株の内生孢子のそれと類似している。これより、*Encephalitozoon* 種も低線量にて不活化され、紫外線感受性の高い *B.subtilis* 株は、紫外線装置の性能を評価する際の有用な微生物であるといえる。(No.37)

本研究は、*Cryptosporidium parvum* の低圧及び中圧ランプ(1~3mJ/cm²)による不活化及び回復能について検討をおこなった。リン酸塩バッファに懸濁させた *Cryptosporidium parvum* に、紫外線照射を、ベンチスケールにておこなった。オーシストの懸濁液は、5℃若しくは25℃で UV 照射後、120時間、明条件、暗条件で培養した。

Cryptosporidium parvum の感染性は、HCT-8 を用いた細胞培養感染法及び抗体染色法により、計測した。低圧、中圧ランプともに、明暗条件での回復は見られなかった。(No.40)

胃腸炎の原因となる食物や水系感染症ウイルスのほとんどはノロウイルスである。培養方法の欠如は使用される培養ウイルスを変換回路と不活性化の内部において増加する。本論文における不活性化は、腸内イヌ科カリシウイルス群 no.48 (CaCV), 呼吸器ネコ科カリシウイルス群 F9 (FeCV), FeCV・CaCV と PCR における減少の単位の不活性化と相互関連のあるノロウイルスを対象としている。浮遊しているウイルスの不活性化は 0℃~100℃までの範囲における温度と経過時間が関係する。0~150mJ/cm² の範囲における UV-B 照射は不活性化の要因となり、両方のウイルスに対し、34mJ/cm² の強度において 3D (D=1 log₁₀) で減少する。70%濃度エタノールによる不活性化は効率的でなく、30分経過して 3D の割合の減少であった。塩化水素溶液は 300ppm 以上でやっと効果が現れる。FeCV は

CaCV に対し、pH3 以下あるいは pH7 以上において高い安定性を示す。すべての処理に対し、RNA ウィルスが発見されることは、不活性化を減少させる。ノロウィルスは動物カリシウィルス群より敏感であることはなく、過小な pH 及び過大な pH に対しては強く抵抗した。全体的に、両方の動物ウィルス群は熱や UV-B を照射した際、エタノールや次亜塩素酸塩で培養した際において同様な反応形態を示した。低い pH における CaCV の低い安定性は典型的な腸内ウィルス（あるいはカリシウィルス）の反応を示してはいない。エタノールや高次亜塩素酸塩の濃縮による反応は、ノロウィルス群及びウィルスのない安全な水に伴い、媒介物の除去に対し表面的なウィルスの不活性化が必要であることを示している。(No.61)

ウィルス様粒子 (Virus-Like Particles, 以後 VLPs と略称) について、病原ウィルス (ロタウィルス) のサロゲート物質としての評価を行った。VLPs に緑色蛍光蛋白を付加した GFP-VLPs と異種 RNA を含んだセドウィルスの安定性をフローサイトメトリー法及び PCR により確認した。20°C 1 ヶ月、海水条件下においてロタウィルス、GFP-VLPs 間には大きな違いは生じなかったが、セドウィルスは大きな減少傾向を示した。

飲料水、遊離塩素 1.0mg/L の条件下においてはロタウィルスに対して GFP-VLPs 及びセドウィルスが高い耐性を示した。0.2mg/L では経過時間 30 分までは、三者に大きな違いは認められなかったが、以後ロタウィルスが大きく減少した。

Ct 値による評価においては、GFP-VLPs 及びセドウィルスの除去率 90% の状況下において、ロタウィルスは 99.99% 除去されることがわかった。GFP-VLPs 及びセドウィルスは紫外線照射 (以後 UV 照射と略称) における耐性がロタウィルスに比べ高い。2 者のうちセドウィルスの方が UV 照射による影響がはっきりしており、90% の除去率に対して、ロタウィルスは 99.99% 除去されることになる。

これらのサロゲート物質は、病原ウィルスを導入できない実環境において、ウィルス除去効果の正当な評価手法として新たな可能性をもっている。(No.63)

adenovirus serotype 2 の高出色低圧ランプ、塩素、クロラミンによるベンチスケールでの不活化実験を実施した。本実験では、laboratory-grade water 若しくは、アンモニアを添加した天然水を用い、塩素/クロラミン処理の前段、若しくは、後段に紫外線を照射した。adenovirus serotype 2 の不活化率は、細胞培養法により計測した。遊離塩素 CT 1.22mg-min/L の条件では、3.72log の不活化、preformed chloramine CT 264.5 mg-min/L の条件では、1.2log の不活化、sequential chloramine CT 40.5 mg-min/L の条件では、1log の不活化、UV 40mJ/cm² の条件では、1log の不活化がなされた。sequential chloramine CT 40.5 mg-min/L の後段に、紫外線を 40mJ/cm² 照射することで、4log までの不活化が可能であった。これより、Adenovirus のような紫外線耐性を有する微生物に対しては、消毒剤の組み合わせが有効であることが分かる。(No.73)

(4) 紫外線消毒効果の確認(生物線量計等)

No.32、39、44

近年、計算流体力学が、紫外線装置線量の分布を予測できる、最善かつ唯一の方法とされている。本研究では、様々な装置における紫外線照射線量分布を予測し、不活化が一次反応であると仮定し、文献により得た不活化定数を用いて *Cryptosporidium*、*E.Coli*、

rotavirus、MS2 バクテリアファージ、の不活化率の推定を行った。また、2相性の紫外線の用量-応答曲線を用いて、廃水中の糞便性大腸菌群の不活化の推定を行った。バイオアッセイ法を用いて、装置を評価する場合、評価を行う微生物と実験で用いた微生物が同じような不活化機構を有するかどうかには注意を払わねば、必要紫外線照射量を見誤る可能性もあることが確認され、改良したバイオアッセイ手法を適用する必要がある。(No.32)

B. anthracis Sterne の孢子は、*Bacillus subtilis* の標識株に一般的に使用される株よりも 254nm の UV に対して 3~4 倍の耐性を有しているということが文献レビューで明らかにされている。この報告を確かめるために、*B. anthracis* Sterne の孢子を単離し、UV による不活化の実験が、*B. subtilis* の 2 種類の標識株 WN624 と ATCC 6633 を用いて実施したところ、*B. subtilis* の孢子に対して効果的である標準 UV 処理が、*B. anthracis* の孢子の不活化に対しても十分効果があるということと、標準 *B. subtilis* の株の孢子が、*Bacillus anthracis* の孢子の UV 不活化に対する biosimetry モデルとして確実に使用できるということを示している。(No.39)

細菌やウイルスを 4log 不活化するには、低圧ランプ(253.7nm)で 400J/m² の紫外線量が必要であるが、副生成物の問題が生じるため、240~290nm の広波長域での紫外線照射が注目されている。4log の不活化には、装置内の全ての水に対して、均質に 400J/cm² 以上の紫外線を照射する必要があり、照射面や流れ方式により性能が変化する可能性があるため、計算と実際の性能が異なる場合がある、そのため、400J/m² で 4log の不活化の性能を評価するには、紫外線耐性が既知の細菌を用いた生物線量計を用いる必要がある安全な紫外線消毒は、流量調整と標準化された紫外線センサーにより、紫外線量を監視する必要があり、最低必要紫外線量を下回らないようにする必要がある(No. 44)

(5)クリプトスポリジウム不活化と UV 波長に関する文献 No.10, 16, 17, 33

216,230,242,255,263,271,280,290nm の UV 波長に関して *Cryptosporidium*、MS-2 大腸菌ファージの不活化実験を行った。*Cryptosporidium* は、250-270nm で不活化効率が大きい結果が得られたが、MS-2 大腸菌ファージでは、220nm 以下及び 260-270nm の UV 波長が効果的との結果が得られた。この殺菌効率の差異は、*C.parvum* の 2 重螺旋 DNA と MS-2 大腸菌ファージと MS-2 の単鎖 RNA の核酸の UV 吸収効率の差異によるとの仮説が立てられるが、詳細な検討が必要であると思われる。(No.10)

大腸菌群(*Citrobacter diversus*、*citrobacter freundii*、*Klebsiella pneumoniae*)、バクテリアファージの 254nm、280nm、301nm における UV への感度を測定した結果、280nm における不活化効率は各種大差が無かった。301nm における不活化効率は種類によってばらつきがあったが、不活化効率としては大きくない。本研究より、1 種類のバクテリアや細菌の不活化効率より、他の種の不活化効率の予想が可能になる可能性が示唆された。(No.16)

230,240,256,261,270,280,290nm の UV 波長に関して *Cryptosporidium* の不活化実験を行い、250~275nm の波長域においては、2mJ/cm² にて 2log の不活化が可能であり、この範囲の波

長は、他の波長に比べ、不活化効率が低いことが分かる。また、多色型の中圧ランプと254nmの淡色型の低圧ランプについては、不活化効率に大差ないことが確認された。

(No.17)

Cryptosporidium parvum の不活化に関して、210~295nmの波長の中圧水銀ランプが効果があることが知られている。本研究では、各波長毎に $2\text{mJ}/\text{cm}^2$ の紫外線照射を行った結果、250~275nmの波長に関しては $2\log_{10}$ 程度の不活化効果が得られたが、その他の波長域に関しては、 $2\log_{10}$ の効果が得られなかった。(No.33)

(6)紫外線消毒シュミレーション

No.34、50

紫外線照射装置内における照射量は照射強度と照射時間の積により求められる。しかし、実際には、短絡流等の影響があるので、理論値よりは、少ない値しか得られない。実際に有効な紫外線量を求めるには、詳細な装置内の流動を把握する必要がある。

紫外線の理論消毒モデル(CoDiM)により、様々なタイプの紫外線照射装置が検討され、実際の結果との比較検討が行われている。(No.34)

CFD(コンピュータによる流体力学)手法は、異なるレベルの水質を使用することにより、異なる配置・水理条件・エネルギー水位複数の反応槽の比較を行うことができる。技術者によると、プロトタイプとテストによる費用を削減するため、性能に対する詳細情報は、CFDによりプロトタイプ以上に最適にすることとなる。この観点は、従来より多くの設計評価を行うことができる。結果として、技術者は最適化設計を高レベルで行い、短絡的思考を排除し、水頭の縮小化、全エネルギーの削減、経験的理論を用いたものより効果的な消毒システムを構築することができる。(No.50)

(7)内毒素の不活化

No.38

脱イオン水に様々な濃度の内毒素を注入し、中圧UVランプから紫外線を照射してこの内毒素の不活化を評価した。内毒素は実験条件下($100\sim 600\text{mJ}/\text{cm}^2$)で行われたUVに比例して不活化することが明らかにされた。不活化の割合は、照射線量 mJ/cm^2 当たり $\sim 0.55\text{endotoxin unit}/\text{ml}$ であった。(No.38)

(8)紫外線消毒による臭素酸減少に関する文献

No.42

飲料水の中圧ランプによる照射による臭素酸の生成能に関して研究を実施した。2種類の水源からの水に対して $20\mu\text{g}/\text{L}$ の臭素酸を添加し、76L/分のパイロット実験装置にて、最大 $718\text{mJ}/\text{cm}^2$ の紫外線を照射した。片方の水では、臭素酸の減少は確認されなかったが、高線量 ($696\text{mJ}/\text{cm}^2$) の条件下のもう片方の水では19%までの臭素酸の除去が確認された。両原水の主な水質の違いは、硝酸濃度(4及び $0.1\text{mgN}/\text{L}$) と、DOC(4.1 及び $3.1\text{mgC}/\text{L}$)であった。(No.42)

(9)小規模水道における紫外線消毒

No.48

アメリカの産業は連邦、州及び地方の行政機関によって統制されている。規制に応じて水道事業はしばしば大きなコスト負担を負うこととなる。安全飲料水法（SDWA）の規制を受けている 170,000 の公共水道事業のうち、小規模水道は最も難しい要求を受けている。

給水人口が 500~3,300 人と定義された小規模水道は、一般的に少ない顧客をベースとしており、基幹施設の改良に対して州の資本投資が少ない。

しかし、資本の少ない小規模水道でも、大きな地方自治体と同様に、需要者に対して安全な飲料水を造り供給する責任がある。一般に、小規模水道事業者は、より大きな飲料水処理施設で一般的に使用されている浄水技術をスケールダウンして採用している。しかし全てのシステムが同様ではなく、大規模な事業体のシステムを小規模化することが、効果的で経済的とはいえない。大規模な技術力を持たない小規模事業者にとって効果的な消毒方法の選択肢の一つとして UV 消毒がある。(No.48)

(10)従来の紫外線システムとの比較

No.49

従来の UV システムはシングルの UV ランプまたは管の中に格納された形での集合ランプとして設計されており、各ランプは防水の石英ガラス製のカバーで覆われている。また、石英カバーは設計温度で操作されるよう、流水からランプを保護するために用いられている。これらの従来の UV システムの設計は、維持管理が難しい点があり、いろいろ見直されている。現在の UV システムは、設計の転換により、チューブの外側の代わりに石英管の内側にポンプで水を注入する。さらに石英管は外から空気で覆われている。

また、高 UV 線量が、楕円形の反射鏡で連結された二つのランプを用いることにより得られることが発見された。(No.49)

(11)銀による相乗効果

No.52

ウィルスの不活化のために使用される UV 照射と銀の間に UV 照射による消毒効果を高める相乗効果が見られた。UV 強度が $40\text{mJ}/\text{cm}^2$ の時、UV 照射と銀の相乗効果は、銀が低濃度 ($10\ \mu\text{g}/\text{liter} - P<0.0615$) の時でも見られた。同じ UV 強度で、銀濃度が $0.1\text{mg}/\text{liter}$ の時、MS-2 の不活化は 3.5 logs (99.97%) に達した。同条件で、無銀の場合の MS-2 の不活化は 1.8 logs (98.42%) であり、銀添加を行うことにより顕著な改善が観察された。UV 照射と銀の相乗効果をモデル化するために改良 Click-Watson 反応式を使用した。MS-2 の不活化が 4 logs (99.99%) の場合、希釈係数(n)は 0.31 であった。この結果から、UV 強度の変動は銀濃度の変動に比例し、MS-2 の不活化に強い影響を与えることを示す。(No.52)

(12)UV 装置の運転操作に関する文献

No.11、65

最近の研究では、UV が *Cryptosporidium oocysts* の不活化のために効果的であることを示している。UV 消毒は膜やオゾンに替わる費用効果が大いと考えられる。しかし、実施に当たって、操作や維持管理上の必要条件、信頼性、副生成物の生成、制御の必要条件、建設上の問題、コストや他の処理技術との比較等の解決されていない多くの問題が残っている。Carollo 社は現在、表流水浄水場で *Cryptosporidium* の不活化に対する UV 消毒の実施に付帯する実際的な問題を調査するため、AWWARF/EPRI/ECW Tailored Collaboration プロジェクトを行っている。

3種の異なるUV反応槽の形状、3種類のランプのタイプ（中圧、低圧、低圧－高出力）について、6ヶ月インターバルで2回以上テストを行った。UVの照射線量は40mJ/cm²であった。

初期のデータによれば、この線量は *Cryptosporidium oocysts* を 4-log 不活化する。

UV反応槽の能力は、電力消費量に基づき毎日監視され、UVセンサーの光輝（輝度）の読みとり、ランプ照射時間、UV装置通過による圧力低下及びワイパーが性状に作動しているかどうかをチェックしている。

4つのUV装置は、200gpmで40mJ/cm²又はそれ以上のUV線量を照射し、2～4ヶ月テストされ、低圧－高出力系では200gpmで供給されたユニットごとに不活化に関して最も効果的に実施した。低圧と低圧－高出力ランプ出力に関する温度の影響は、寒い季節に適用して考えなければならない。4つの異なる装置の光輝センサーの性能は、大きく変化し、UV線量を監視する上での精度と信頼性に大きな課題を残している。これは消毒に対するUV技術を満足させる上で最も困難で、重要な問題となりそうである。(No.11)

紫外線ランプのファウリングに関する研究を St.Eustache Que の排水処理施設にて実施した。この施設では一般排水を生物ろ過により、生物処理を行っている。また、夏場には、りん除去のため、アルミを使用している。Trojan UV 3000の実験施設は2本の紫外線ランプを有する3系列のモジュールからなる。これらモジュールは、邪魔板により仕切られ、他の系列とは、それぞれ独立している。1系列のモジュールにて紫外線を照射した際、他の系列は、電源 off(OFF)及び、可視光のみの照射 (VIS) のそれぞれに設定を行った。トレーサー実験による分散係数は、約 0.01 であった。有機物、無機物、生物的要因によるランプのファウリングに関して検討した。(No.65)

(13) UV照射への濁度の影響に関する文献 No.13, No.18, 57

廃水中においては、固液界面上において、照射UVが遮断されない場合のみ、対象微生物は不活化が可能となるので、装置設計においては、対象水中の微粒子数が一つの設計要因となる。(No.13)

水道水を脱塩処理した水(type1)と脱塩水道水に溶解性物質(TDS)500mg/L、濁度 10NTU、全有機炭素(TOC)2.5mg/L以上添加した水(type3)の水に対して、200nm～400nm付近に波長を有する白色パルス光を用い、どちらの水質に関しても、EPAガイドライン中にあるバクテリアの7log不活化、ウイルスの4log不活化、原虫類の3log不活化が、可能であることが確認された。(No.18)

3次処理水中の7μm以上の懸濁物質が増加するに従い、不活化速度は減少する傾向にある。最低限約800J/m²の紫外線量が、カリフォルニアにおける排水の大腸菌に関する再利用基準を満たすためには、必要であるといわれている。(No.57)

(14) UV施設の導入状況に関する文献 No.19

UVによる浄水処理施設は、Ft.Benton, Montana 以外、北アメリカにはなかったが、近年、増加の傾向にあり、建設中、計画中のものを含めると、2~1,800million-gallons/day(1gallon = 3.785 L)のUVによる浄水処理施設が存在する。Calgon Carbon 社がカナダやアメリカ等において、低線量のUVによるCryptosporidiumの不活化に関し、特許を取得し、1000ガロンにつき、0.015\$の特許料を徴収するとしており、他の浄水処理方法に比較したUV処理装置のコストメリットを損なう可能性がある。

(15) DNAの光、暗回復に関する文献

No.21、53

大腸菌とクリプトスポリジウムのUV不活化、光回復、暗修復は核内感受性部位(ESS)の試験により研究されてきた。この研究により微生物の染色体のDNAの中にUVにより誘発されたピリミジン二量体を測定することができた。UVにより不活化された大腸菌の99.9%において、UV照射線量と、大腸菌のDNA中に誘発されたピリミジン二量体の数の間に高い相関性が認められた。大腸菌のコロニー形成能もDNAのピリミジン二量体の数と高い相関性があった。このことはESS試験がコロニー形成能の測定に用いられてきた従来法と同等の方法であることを示している。大腸菌は、UV照射により99.9%が不活化された後に蛍光線を照射されると、UVにより誘発されたDNA中のピリミジン二量体は、連続的に修復され、コロニー形成能は徐々に回復した。しかし、UV不活化後、暗状態に放置すると、大腸菌はピリミジン二量体の修復とコロニー形成能の回復のいずれも示さなかった。クリプトスポリジウムは、UV不活化後蛍光線を照射されたとき、DNA中のUVにより誘発されたピリミジン二量体が連続的に修復されるが、動物への感染性の回復は認められなかった。UV不活化後に暗状態に置かれた場合、クリプトスポリジウムもピリミジン二量体の修復にもかかわらず、感染性の回復は示さなかった。したがって、クリプトスポリジウムの感染性は、染色体DNAのピリミジン二量体の修復後でさえも、光再活性化または暗回復のいずれによっても回復しなかった。(No.21)

本研究では、実験室で培養された非病原性の実験用大腸菌株に対して、低圧及び中圧の紫外線照射実験を行った後、大腸菌の回復性について分析した。検体に対しては、中圧にて紫外線強度5, 8, 10 mJ/cm²、低圧にて紫外線強度3, 5, 8, 10 mJ/cm²の照射を行った。さらに照射後は、検体を37℃の再活性光線下または暗室という環境で培養し、照射後4時間を経過するまで観測を行った。

実験の結果、大腸菌は低圧紫外線に耐えて回復するが、中圧紫外線に対する回復は認められなかった。しかし中圧においても、紫外線強度を3 mJ/cm²まで低下させたケースについては、ついに大腸菌の回復が確認された。

本研究は、飲料水処理に用いられる中圧照射と低圧照射との違いにより、細菌の回復率が変化することを、明確に実証したものである。(No.53)

(16) 紫外線消毒施設の設計に関して

No.59

新しいDBPの基準(臭素酸イオン 10 µg/L)を満足させるためには、オゾン注入量を最小限にし、臭素酸発生量を抑える必要がある。表流水を取水している浄水場では、消毒レベル

を現状のまま維持する必要があるため、本件に関して、関心を抱いているケースが多い。そのため、代替消毒剤として紫外線消毒を評価する必要があり、本研究では、水質(アトラジン、BOOC、亜硝酸塩、等)の観点からみた中圧ランプの影響を評価し、紫外線消毒設備をGACの前段、もしくは、後段のどちらに設置すべきかに関して、検討を行なっている。本研究にて示している結果によると、クリプトの不活化が必要とされる条件では、問題にならない差である。(No.59)

(17)エアロゾルを用いた紫外線消毒 No.60

今日、世界中で空気中の細菌を不活化するための紫外線滅菌照射実験が、様々な環境条件の設定下で行われている。システムの差異と実験条件によって、結果が大きく変わる可能性があることが一般的に認識されている。

本研究では、懸濁溶液の成分がエアロゾル径と *Serratia marcescens* に対する紫外線滅菌照射に影響することを実験によって確認する。我々の研究室に設置した実験装置にて、*S. marcescens* は次の溶液中に懸濁させ、紫外線滅菌照射を行う。(1)超純水 (2)リン酸緩衝液 (3)ウシ胎仔血清、(4)リン酸緩衝生理食塩水 (0.8%塩化ナトリウム)、(5)人工唾液 (リン酸緩衝生理食塩水と 10%ウシ胎仔血清)。(No.60)

(18) 配管内の生物膜と紫外線消毒 No.62

二つの配水システムモデルを並行して運転し、配水システム中の生物膜や微生物群集構成への UV 消毒の影響を調べた。一つのシステムでは UV ランプの照射を受け、もう一つのシステムでは対照実験として、UV 照射がない以外は同じ条件とした。UV 照射下の生物膜は、対照実験と比較し、水理的滞留時間を 12 時間から 2 時間へ減少させることによる栄養物質の利用しやすさの増加に対して、より敏感であった(すなわち従属栄養微生物の定常時密度がより大きく増加した)。しかしながら、UV 処理は生物膜の微生物群集に対して常に一定の効果があるわけではなく、HPC 密度を制御する過程は、生物膜を構成する微生物中の特定の菌株に対して独立であることを示している。微粒子による遮蔽は、UV 感受性をもつ微生物の生存に貢献している証拠があった。この仮説は、ある一つの実験で UV 照射下の生物膜群集と対照実験系とで高い類似性があることだけでなく、UV システムにおける UV 感受性をもつ微生物が存在することと一致している。日和見感染性病原体の細菌への侵入現象を仮想するため、生物膜群集が定常状態に達した後、それぞれの系に日和見感染性病原体を加えたところ、日和見感染性病原体は UV 処理によって影響を受けないが、そのかわり従属栄養微生物の生物膜密度と相関が見られた。(No.62)

(19) 水質が紫外線消毒に及ぼす影響 No.67、

アルミフロックと関連して MS-2 大腸菌ファージの紫外線による不活化能力を評価した。ベンチスケールの実験を、MS-2 をウイルスのサロゲート物質として、紫外線消毒前に、カオリン土粒子により凝集した場合及びウイルスの塊として集合した場合、に対して実験を行った。本実験は、微粒子サイズ、ウイルスの集合状態、濁度等が浄水処理に準じるよう実験条件の設定を行なった。また、3 番目として、PBS 溶液に MS-2 を入れたコントロール実験を行った、フロック微粒子とウイルスの塊により、ウイルスは紫外線を阻害されていること

が示された。本要因による 1.1log の不活化減少が確認された。ウイルスの結合状態は、透過型電子顕微鏡を用いて、測定した。(No.67)

(20) 規格

No.72、74

近年、飲料水への紫外線の適用はヨーロッパのみでなく、全世界で増加傾向にある。1997年から2005年度までに、全世界で、紫外線消毒施設の導入数はやく10~30%増加するとされている。一方、塩素消毒は、87%~55%まで減少すると予想されている。紫外線消毒の特徴として、①薬剤の添加がない②反応時間が短く、反応槽が必要ない③pH、温度に依存しない④不活化に特化した消毒メカニズム⑤寄生動物への有用性(*Cryptosporidium*)が挙げられる。

これ以外に、紫外線照射量を直接計測、若しくは、計算することが出来ないことも明らかになってきている。これは、流体中の紫外線照射が、紫外線出力、水の流れ、紫外線透過率、水利特性等の影響を複雑に受けているためである。

そのため、紫外線消毒の効率を計測する標準のルールを作成が必要になる。すでに Austrian Standards Institute(1996,2001,2003)、US-EPA(2003,draft)、DVGW(1998,2004)が規定されている。

上記3つの手法において、通常、紫外線消毒施設の性能を評価するにあたり、生物線量計を利用している。(No.72)

2003年6月に紫外線消毒ガイドライン(UVDGM)(案)がEPAより発表された。UVDGMに基づき、Clayton Country Water Authority(CCWA)社は、Freeman Road Plantにおいて、紫外線消毒施設の構成及び妥当性を検証した。Tier2の分析によると、Tier1に比べ、紫外線の安全率と要求紫外線量が12%減少した。(No.74)

4. 文献抄録

次ページ以降に、文献の抄録を掲載する。