

N-9 アフリカの無電化地域での 安全な水供給を目的とした太陽光殺菌 および水位差利用型膜ろ過処理の現地実験

○橋本 崇史^{1*}・滝沢 智¹・Yacouba Konate²

¹東京大学大学院工学系研究科都市工学専攻 (〒113-8656 東京都文京区本郷7-3-1)

²国際水環境工学研究所 (2iE、ブルキナファソ) 環境衛生工学専攻

* E-mail: hashimoto@env.t.u-tokyo.ac.jp

1. 背景と目的

2015年までに安全な水へのアクセスができない人口を半減するというMDGsに対して2010年には世界平均として目標を達成したと報告されている¹⁾。一方でアフリカのサブサハラ地域ではMDGsの達成は困難とされている。またアフリカの都市部では電力供給はあるが、非都市部や農村の多くの地域では電力供給がなく、そのため電力を要する浄水処理は行われていない。

このような開発途上国の無電化地域において太陽光などの自然エネルギーを活用した浄水処理が提案されている。太陽光を利用した消毒方法 (SODIS)²⁾は、その初期投資の低さと簡便さから開発途上地域に適した技術の一つとされているが、その消毒効果は天候に依存するため安定的でない。膜ろ過は安定した処理水質を実現可能なことから安全な水供給に適している。セラミック膜はその物理的強度から高濁度の水源の処理にも適しており、また熱へも耐性があることから高温の原水の処理にも適しているという特徴を持つ。

本研究では国連ミレニアム開発目標 (MDGs) 後を見据え、開発途上国の無電化地域での安全な水供給を目指して、西アフリカのブルキナファソにおいて太陽光を用いた昇温による水の殺菌効果、及び水位差利用型の手動式セラミック膜ろ過による浄水処理の検証を行った。

2. 実験方法

(1) 実験実施場所

実験実施場所はブルキナファソの首都ワガドゥグ (Ouagadougou) から北東に35 kmほどにあるジニアレ (Ziniare) 近郊に位置する集落Barkoundoubaとした (図1)。この集落では土壤中に浸透した表流水を浅井戸で汲み上げて飲用を含む生活用水源として利用している。

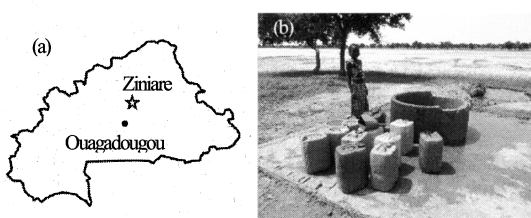


図1: Ziniare 近郊の実験実施場所 (a) と水源の浅井戸 (b)

(2) 水質分析

(a) 一般水質項目

試料の水温、pH、濁度については現場での採水時に測定を行った。DOC、UV₂₅₄測定用のサンプルは現場での採水から数時間以内に孔径0.45 μmのメンブレンフィルター (PTFE, アドバンテック東洋) でろ過後、保冷して持ち帰り測定した。金属類測定用サンプルは前述のフィルターろ過後のサンプルを硝酸でpH2以下に調整して持ち帰り、ICP-MS (Agilent 7500, Agilent) で分析を行った。陽イオン、陰イオンに関しては上述のフィルターろ過後のサンプルを持ち帰り、イオンクロマトグラフィー (861 Advanced Compact IC, Metrohm) にて測定を行った。

(b) 大腸菌、大腸菌群

1 ml から100 ml の試料を孔径0.45 μmのフィルター (37mmモニターユニット、アドバンテック東洋) でろ過し、m-ColiBlue培地 (HACH) を同フィルターに通水した後、37℃にて18-24時間培養を行った。培養後、大腸菌、大腸菌群を計数した。

(3) 太陽光による昇温実験

現地において日常的に採水に用いられているポリタンク (25 L、①)、表面の黒いナイロン製バッグ (25 L、②)、及び表面を黒く覆ったDuran瓶 (1L、③) の3種類

(図2)を日向に静置し、太陽光の照射による温度上昇の推移を調査した。③については放物型の反射板を用いて容器表面に太陽光を集光した。水温、タンク・容器表面の温度、および太陽光強度をモニタリングした。

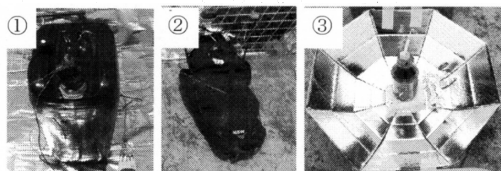


図2:各容器①ポリタンク、②ナイロン製バッグ、③Duran瓶

(4) セラミック膜ろ過

膜ろ過試験には、公称孔径0.1 μm 、膜面積0.19 m^2 のセラミックMF膜(φ30 x 450mmL、日本ガイシ)を用い、全量ろ過方式で行った。無電化地域における清澄な水の造水を目的として、原水タンクを地上約2.5 mの場所に位置させ、水位差を膜ろ過の駆動力に用いた(図3)。膜ろ過に際して、凝集剤は用いていない。現地試験ではろ過水の積算重量を秤で測定することで流量を定量した。閉塞した膜の逆洗には足踏み式手動加圧ポンプを用いた。ろ過水側を約150 kPaに加圧した後、ろ過水ホースに残留したろ過水(およそ0.5 L)を逆流させ、膜孔内・膜面の閉塞物を除去した(以下、この操作を逆洗と呼ぶ。)



図3:水位差利用型小型膜ろ過
浄水ユニット

3. 結果と考察

(1) 原水水質

表1に昇温実験および膜ろ過試験の原水とした地下水(浅井戸)の水質を示す。濁度 36.9 NTU と濁っており、また大腸菌や大腸菌群もそれぞれ 10^2 CFU/100ml、 10^3 CFU/100ml のオーダーで存在していた。現地ではこの浅井戸の水を飲用、調理用、および生活用水に用いている。一方、有機物は DOC として 2.5 mg/L 程度、無機物は

表1:地下水、および膜ろ過水の水質

	温度 [°C]	pH [-]	濁度 [NTU]	DOC [mg/L]	UV ₂₅₄ [1/cm]	硝酸 [mg/L]	T-Fe [mg/L]	T-Mn [mg/L]	Al [mg/L]	As [μg/L]	F ⁻ [mg/L]	大腸菌 [CFU/10ml]	大腸菌群 [CFU/10ml]
地下水	28.2	7.3	36.9	1.97	0.018	8.94	0.008	0.004	0.04	0.44	0.33	9.5-17	274.5-417.5
膜ろ過水	28.6	8.2	0.04	1.4	0.019	8.71	<D.L.	0.003	<D.L.	0.49	0.34	N.D.*	N.D.*

*[CFU/100ml] * [CFU/100ml]

ずれも WHO ガイドライン値に比べて大きく低い。このことから、濁質と病原微生物を除去することで安全な水源として活用可能であると言える。

(2) 太陽光照射による病原微生物の不活化

図4に太陽光照射による水温、日照、気温、相対湿度の推移を示す。現地で用いられているポリタンク(①)では水温の上昇は最も小さく、4時間ほどの照射でも40°Cに満たなかった。ナイロン製バッグ(②)では50°C程度まで水温の上昇が見られた。反射板を用い、また表面を黒く覆ったDuran瓶(③)では水温の上昇速度も大きく、70°C程度まで上昇した。表面を黒く覆うことで吸収するエネルギーが大きくなるが、より効率的に水温を上昇させるためには、太陽光の集光、水量に対して表面積の大きな容器を用いること、が必要と言える。一方、日照に関しては、遮るものがない場合は1000 W/m²程度あるが、太陽光が雲等で遮られると500-600 W/m²程度まで低下した。その結果水温の上昇が一時的に止まってしまうなど自然エネルギーの活用における不安定な側面も見られた。

図5に各容器における大腸菌、大腸菌群の不活化効果を示す。①、②では水温が50°Cを超えておらず、不活化効果は得られなかった。一方、③では65-70°Cの水温を90分ほど維持していたこともあり、大腸菌、大腸菌群の不活化効果はそれぞれLRV(Log Removal Value)値として2.4Log、1.3Logとなった。大腸菌は70°C付近で不活化されることが知られている³⁾。100ml中から不検出となるまで不活化されなかった原因としては、容器内の温度分布により不活化に必要な温度に満たない部分があったことが考えられる。

(3) 膜ろ過による水質改善効果

膜ろ過により原水中の濁度、および微生物は除去され、ろ過水濁度は0.04 NTU、大腸菌、大腸菌群は100 ml中から未検出であった(表1)。上述の通り、太陽光照射のみでは日照の影響を受けるなど病原性微生物の不活化効果は十分でないが、膜ろ過と組み合わせることで、病原微生物に対するマルチバリアとして安全な飲料水供給の手段として活用可能と言える。

(4) 膜ろ過運転およびその持続性

図6に試験における流束の推移を示す。膜ろ過の駆動

力は一定である。流束は通水量の増加に伴い低下し、15 L通水した時点で約30%程度低下した。膜ろ過の前に凝集処理を行っていないため、膜孔内への閉塞物の蓄積による閉塞の進行が早いと考えられる。その後、手動での逆洗（図7）を実施したことで閉塞物は除去され、初期流束を上回る回復を見せた。このことより手動ポンプによる150 kPa程度での逆洗で閉塞の解消が可能であり、無電化地域においても持続的に膜ろ過による水処理が可能

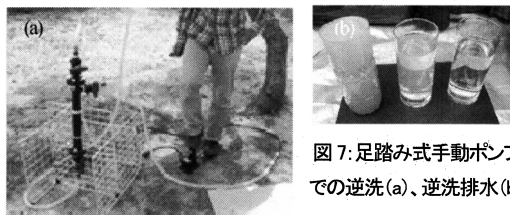


図7: 足踏み式手動ポンプでの逆洗(a)、逆洗排水(b)

であることが示唆された。

4. 結論

本実験では無電化地域における安全な水供給を目指し、太陽光による殺菌および水位差利用型の膜ろ過処理の検討を行い、以下の知見を得た。

- (1) 太陽光照射による昇温効果は、現地で用いられているタンク（緑色）では40℃程度まで、表面を黒くした場合で50℃程度までであったが、表面積の大きい容器（黒色）を用いて反射板で集光することで70℃程度まで昇温可能であることが分かった。
- (2) 70℃まで昇温した場合、大腸菌、大腸菌群の不活化効果はLRV値としてそれぞれ2.4Log、1.3Logであったが、100 ml中から検出された。
- (3) 膜ろ過処理により大腸菌、大腸菌群は除去される過水中から検出されなかった。
- (4) 手動ポンプでの逆洗により閉塞物質が除去され、透過流束は使用前の水準以上まで回復した。

これらのことから、逆洗用の手動ポンプを備えた水位差利用型の膜ろ過システムにより電力を用いることなく持続的に安全な水供給が可能であることが分かった。また太陽光による殺菌処理と組み合わせることで、病原微生物に対するマルチバリアとしてより安全な飲料水供給の手段としての可能性が示唆された。

本研究は、「地球規模課題対応国際科学技術協力」の支援を受けて行われたことを記して謝意を表す。

参考文献

- 1) WHO/UNICEF, Progress on sanitation and drinking-water: 2012 update. (2012).
- 2) M. Wegelin, S. Canonica, K. Mechsner, T. Fleischmann, F. Pesaro, A. Metzler, Solar Water disinfection: scope of the process and analysis of radiation experiments, J. Water SRT-Aqua 43 (1994) 154–169.

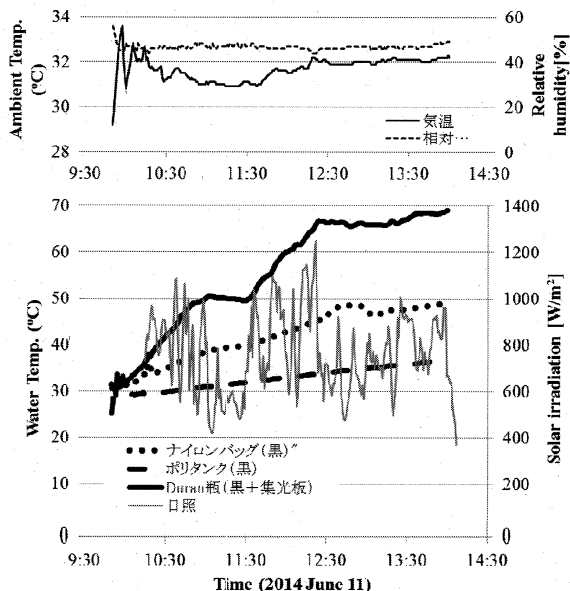


図5: 太陽光照射による水温の推移

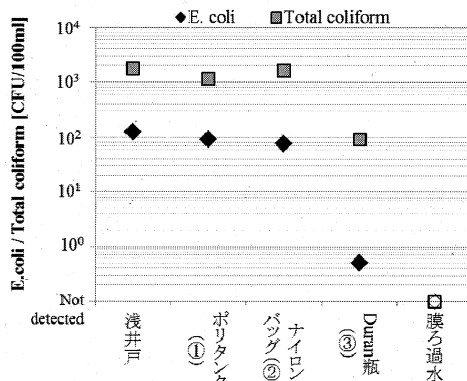


図6: 原水、各処理における大腸菌・大腸菌群の検出結果

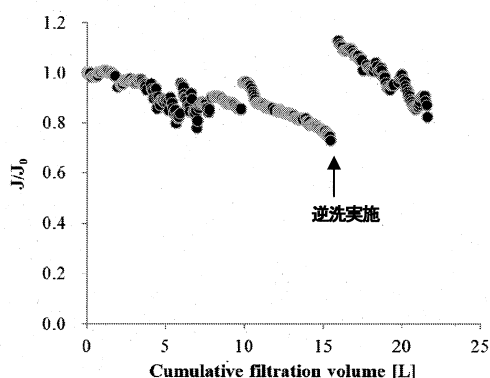


図6: 膜ろ過試験における比透過流束の推移