

フレネルレンズを使った太陽光による殺菌効果の研究

Sterilizing effect under concentrated solar rays through fresnel lens

近藤 浩子* 小竹 秀典**
 Hiroko KONDO Hidenori KOTAKE
 澤田慎治***
 Sinzi SAWATA

Abstract

It is one of the sterilizing method to expose natural water obtained from river or lake to concentrated solar rays through fresnel lens. There are three possibilities of sterilizing mechanisms in this system, the temperature rise of water, the temperature rise of bacteria themselves in the water and the ultra violet ray effect. The effect of each possibility was examined by counting the number of bacteria comparing the sample from the standard sterilizing process with that from solar sterilizing process. It has become clear that the temperature rise of bacteria themselves is the main process of sterilizing.

Key words: Solar energy, Sterilizer, Concentrating system, Fresnel lens, Hygiene, Bacteria, Drinking water.

1. まえがき

日本は年間降雨量が比較的大きく、豊かな水資源に恵まれている。水道の蛇口をひねると、あたり前のように飲用となりうる水が得られ、炊事、入浴、洗濯など日常生活においてすべてこの水が用いられている。しかし、世界の国々を見た場合、このような状況は極めてまれである。ヨーロッパ、アメリカなど先進国でも飲料水は比較的貴重な水である。開発途上国にいたっては未処理の雨水や河川水を飲用している地域が多く見受けられる。その結果、自然水中に存在する病原菌が人体に入り、風土病を発病させる。例えば住血吸虫による脳萎縮症は世界で年間2億件にも達すると言われている。また飲料水を通じて腸チフス、赤痢、コレラ、腸炎ビブリオなどのいろいろな伝染病が媒介されることは周知の事実である。このような危険な水を使用している地域の人々にとって、自然水の殺菌は非常に重要なことであり、いかに安全かつ安価に行なうかがポイントとなっている。本論文は集光した焦点部の高密度エネルギーにより、水中の有害微生物を殺菌する効用について実験的に検証し、その相関から殺菌効果を論じたものである。

2. 現在の水処理技術

先進国における上水道では、貯水槽から各家庭の蛇口まで、実に多くの経路を経て飲料水が供給されている。例えばわが国では、ダムなどの貯水池に溜められた水は取水塔より取り入れられ、混和池に移される。ここで硫酸アルミニウムやポリ塩化アルミニウムなどの凝集剤を投入し、よく混合することによりフロックを形成させる。これを沈殿

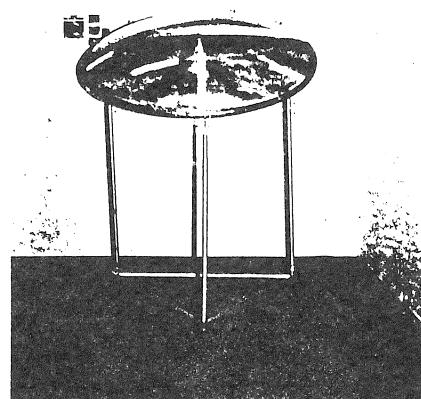


図1 フレネルレンズを使った殺菌装置

原稿受付 平成2年9月10日

* 会員 国城金型工業株式会社 技術開発室
 愛知県豊川市小田淵町4-26

** 会員 国城金型工業株式会社 技術部長
 *** 会員 通商産業省 工業技術院 電子技術総合研究所

池に導き上澄みと汚泥に分ける。この上澄み水を砂などをろ材とした急速ろ過池でろ過し、これに塩素を注入したのちに排水池、排水ポンプ、配水管などを経て各家庭に分配される。このような経路では、細菌はフロックとして除去され、さらに塩素消毒によって殺菌される。⁽¹⁾

このような処理方法では、大掛かりな設備や高度な管理技術が必要であり、開発途上国においては実施に無理がある。塩素消毒は、残留塩素により処理水の再汚染を防ぐことができる優れた方法であるが、発ガン性物質であるトリハロメタンの発生、塩素臭の付着などを考慮すると必要悪と言わざるを得ない面がある。

また、薬品を使った急速ろ過が普及する前は、生物ろ過膜による緩速ろ過が主流であった。これは、まったく薬品を使わずに砂でゆっくり濾すだけであるが、細菌をはじめ臭いや金属成分も除去される。この生物ろ過膜とは、砂層や砂粒の表面にできた粘り気のあるあるぬるした膜のことであり、バクテリアや藻類、カビ類などでできている。この膜によって、細菌も除去されるのであるが、広い敷地が必要なこと、また目詰まりを起こした際は、水を干したのち砂層表面を1~2cm削り取って回復させる必要があることなど、緩速ろ過も高度な管理技術が必要である。⁽²⁾

このように先進国の水処理方法は、大掛かりな設備と高度の管理技術が必要である。一方、発展途上国の中には、開放型の浅井戸や河川水などの地表水を飲み水としており、煮沸や蒸留以外に簡易な浄水手段を持たないのが現状である。煮沸や蒸留は残留薬品による種々の問題を引き起こさない熱的浄水方法であるが、水は衆知の如く、顯熱も潜熱も大きく、昇温のための熱エネルギー消費量が大きいために、一般的には飲料用等の浄水方法としては採用されていない。

熱的浄水でありながら、水の顯熱・潜熱の負担を軽減できる方法として、水中に集光した焦点を作り、高密度の工

エネルギー域を有害微生物が通過すると生物膜を熱的に破壊させてしまうという原理の提唱⁽³⁾があり、高密度光の手段があれば可能となる省エネルギー型の熱的浄水方法がある。

3. フレネルレンズによる殺菌

3. 1 装置と実験の概要

本装置は太陽光を集光する手段として点集光型フレネルレンズを使用している(図1)。これは、フレネルレンズ(アクリル樹脂製、直径1.5m)の焦点部分に、ガラス容器にいれた自然水を置いて行なうものであるが、作用・効果を明確に把握して装置の試作、改良を行なう際に、どこにポイントを置くべきかを解明し、技術の確立を図る必要がある。

少ないエネルギーでより多くの処理水を効率よく得る殺菌装置を開発するために、フレネルレンズを使用した太陽光による河川水の殺菌試験を行なった。

なお、細菌数の測定は水道法(昭和32年法律第177号)に基づく水質基準に関する省令(厚生省令第56号)の検査方法によって行なった。この省令においては、すべての細菌を計測する一般細菌と、大腸菌及びこの仲間を測定する大腸菌群の2項目が指定されている(表1参照)。この大腸菌群は、次の理由で水質汚染の指標細菌として、WHOや多くの国で用いられている。⁽⁴⁾

- ①人体の排泄物中に常に大量に存在し、消化器系伝染病菌は常に大腸菌群と一緒に存在すること。
- ②消化器系伝染病菌よりは生物学的な抵抗力がすこし強くて、一般細菌よりはすこし弱く、水中で病原菌よりはすこし長く生存する。つまり大腸菌群の検出されないと、病原菌が最初に存在していたとしても、すでに死滅してい

表1 水道法による水質基準

	検査項目	水質基準
法第4条第1項第1号 に掲げる用件	一般細菌	1m ² 中の集落数100以下
	大腸菌群	検出されないこと

表2 点集光型レンズの特性

材質	PMMA
直径	1500mm
平均肉厚	5.7mm
表面曲率半径	2000mm
集光面積	1.65m ²
重量	10kg
セグメントの幅	3mm
焦点距離	1500mm
焦点の直径	約50mm
透過率	約80%

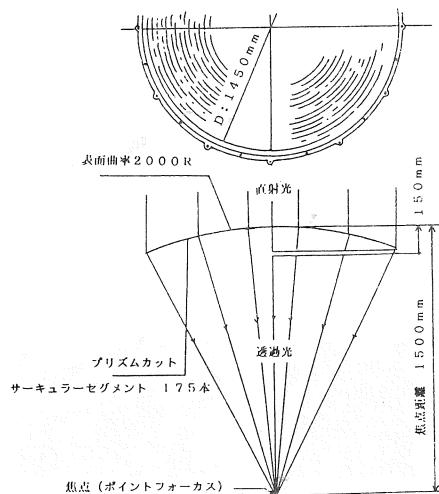


図2 点集光型フレネルレンズの形状と集光状態

るはすである。またあまり長く生存できる菌では、病原菌がすでに死滅してしまっているのに、いつまでも危険信号を示すことになって指標細菌としては不向きである。

③検出が容易で、かつすみやかに行なわれる。

④試験が鋭敏で、きわめてわずかな量でも検出できる。⁽⁵⁾

なお、一般細菌・大腸菌群とも測定における誤差範囲は測定値の±10%程度である。

3.2 殺菌のメカニズムと検証方法

フレネルレンズで太陽光を集光し、この焦点に細菌を含む自然水を置くと、水温が上昇し細菌数が減少することは、以前より知られていた。では、この細菌の減少は何が原因で起こっているのであろうか。フレネルレンズでの殺菌の主な要因を解明することは装置の改良に必要不可欠なことである。考えられる次の3点の要因について解明の実験を行なった。

1) 細菌が直接太陽光線のエネルギーを吸収し、死滅する。

細菌の太陽光線の吸収特性などは未だ判明されていないが、水温があまり上昇していないにもかかわらず細菌数が極端に減少していることがある。これは、太陽エネルギーが効率よく細菌のみに働きかけている為と思われる。水温は致死するまでには至っていないとも、細菌にとっては致死するにいたるエネルギーが、供給されていると考えられる。

2) 水自体の温度が上昇して細菌の成育に適さない環境となり細菌が死滅する。

一般に細菌は、ある温度以上（概ね60°C以上）になると酵素蛋白の熱変性が起こり死滅する。

3) レンズで集められた太陽光線の中の紫外線が殺菌を行なっている。

これは、アクリル樹脂がほとんど紫外線を通さないこと、紫外線は可視光より屈折率が大きいので焦点がレンズに近いところに出来ているであろうことを考えると殺菌の主力になっている可能性は非常に低いが一般的に「太陽光による殺菌」というと紫外線が思い出される場合が多いので確認事項の中に含めた。

この3点について検証するために次のことを考えた。すなわち、本装置のフレネルレンズで殺菌を行なうと水温上昇が見られる。季節や光量によって異なるが、例えば500mlの水は5分で25°C前後上昇する。この水温上昇効果の殺菌作用を定量化するためには、温浴を用いて試験水と同じ昇温条件で比較検証することにより確認できる。また殺菌用UV（紫外線）ランプと同条件でフレネルレンズ殺菌を比較検証すれば太陽光線中の紫外線による殺菌作用が確認できる。

3.3 実験方法及び結果

表2及び図2に今回使用したフレネルレンズの概要を示す。また、図3に実験に用いたサンシャインスティライザーの概略図を示す。この装置で行った実験方法とその結果は次の通りである。

(1) 実験 1

a. 目的

フレネルレンズによる殺菌は、単なる水温上昇によるものなのか、それとも細菌に直接太陽エネルギーが働きかけ起こっているのかの確認。

b. 測定条件

採水及び試験年月日

採水：1990年 2月27日

午前 9時30分～10時00分

試験：1990年 2月27日

午前 11時00分～12時00分

気温：15°C 水温：11°C

天候：快晴 全天日射量：約660W/m²

採水場所：愛知県豊川市国府町 音羽川

試験場所：愛知県豊川市小田瀬町4-26

国城金型工業株式会社 軟地内

東経：137° 21'

北緯： 34° 49'

1回の処理水量：500ml

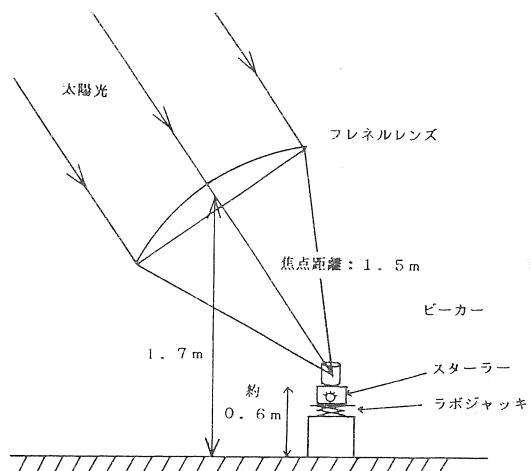


図3 フレネルレンズによる殺菌方法

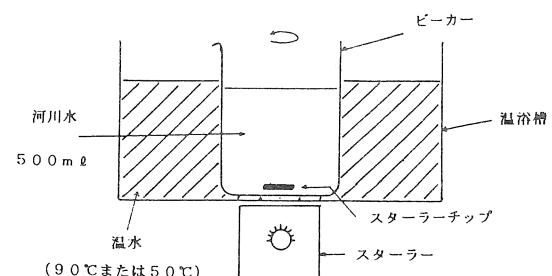


図4 温浴での殺菌方法

c. 殺菌方法（次の5種類の方法で殺菌した。）

- ① フレネルレンズで2.5分間殺菌（図3参照）
 - ② フレネルレンズで5分間殺菌（図3参照）
 - ③ フレネルレンズで10分間殺菌（図3参照）
 - ④ 90°C温浴で2.5分間殺菌（図4参照）
 - ⑤ 90°C温浴で5分間殺菌（図4参照）
- 河川水は殺菌中マグネットスターで攪拌した。

d. 結果及び結論

フレネルレンズによる結果と温浴での殺菌を比較すると、一般細菌、大腸菌群とも前者の方が効果が高い（表3、図5参照）。最終水温を比較してみると5分処理、10分処理ともフレネルレンズでの殺菌の方が低いにもかかわらず、細菌数が少なくなっているので、太陽エネルギーは直接細菌に働きかけているものとみられる。すなわち水温はあま

り上昇しなくても、細菌が直接太陽熱を吸収して死滅していると思われる。

(2) 実験 2

a. 目的

実験1における結果より、90°C温浴でも細菌数は減少しているがこれはガラスピーカーの壁面に接している部分が高温となり、ここで対流により殺菌が連続的に行なわれたためではないかと推定される。これを確認するためには50°C温浴と90°C温浴との殺菌効率の比較により、その影響を明らかにする。

b. 測定条件

採水及び試験年月日

採水：1990年 3月 6日

午前 9時30分～10時00分

試験：1990年 3月 6日

午前 11時00分～12時00分

気温：12°C 水温：12°C

天候：快晴 全天日射量：約570W/m²

採水、試験場所、1回の処理水量は実験1と同じ。

c. 殺菌方法（次の2種類の方法で殺菌した。）

- ① 90°C温浴で2分間殺菌（図4参照）
- ② 50°C温浴で10分間殺菌（図4参照）

河川水は殺菌中マグネットスターで攪拌した。また、最終水温は、特に同じになるように留意した。

d. 結果及び結論

①、②の殺菌方法では最終水温は37°Cと同じであるが、90°C2分間温浴の方が一般細菌、大腸菌とも少ない（表4、図6参照）。これより90°C温浴においてはガラスピーカー壁面で殺菌が行なわれていると推定される。

(3) 実験 3

a. 目的

実験1①のデータ（フレネルレンズで5分間殺菌）と実験2②のデータ（50°C温浴で10分間殺菌）を比較してみると、処理後の水温は同じであっても殺菌効率は随分異なる。しかしこの2つのデータは、原水の細菌数が異なっているので再度この2方法について同一の原水で試験し、太陽光が直接細菌に作用していることを検証する。

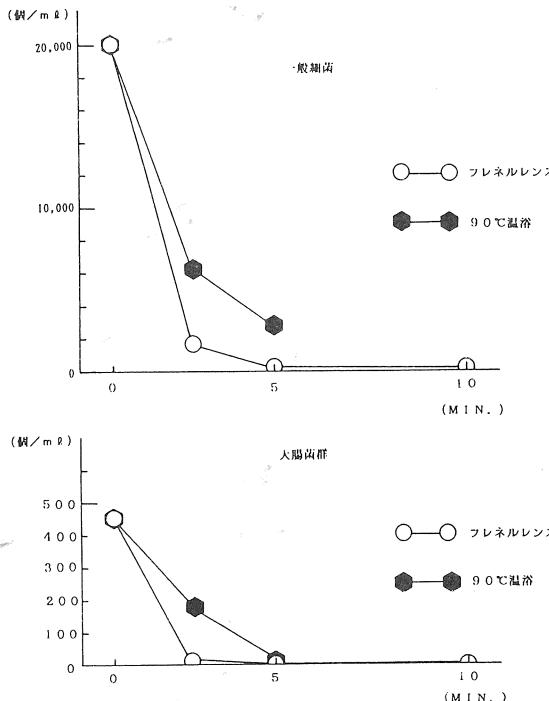


図5 90°C温浴とフレネルレンズの比較

表3 90°C温浴とフレネルレンズの比較

処理方法	細菌数 (個/mℓ)		殺菌効率		最終水温
	一般細菌	大腸菌群	一般細菌	大腸菌群	
① レンズ2.5分間	1,600	9	92%	98%	12°C→34°C
② レンズ 5分間	225	2	99	100	12°C→48°C
③ レンズ 10分間	192	0	99	100	12°C→80°C
④ 温浴 2.5分間	6,100	180	70	60	12°C→40°C
⑤ 温浴 5分間	2,800	9	86	98	12°C→54°C
ブランク (未処理)	20,000	450	---	---	12°C→13°C

表4 溫浴温度と殺菌効果

処理方法	細菌数(個/mℓ)		殺菌効率		最終水温
	一般細菌	大腸菌群	一般細菌	大腸菌群	
① 90℃温浴2分間	7,200	85	22%	35%	12℃→37℃
② 50℃温浴10分間	8,400	100	9	23	12℃→37℃
プランク(未処理)	9,200	130	---	---	12℃→13℃

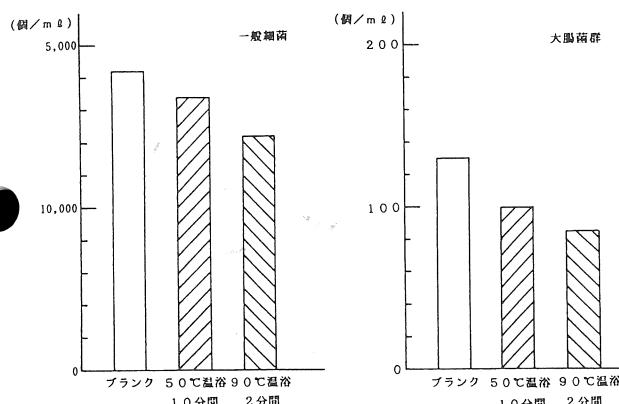


図6 溫浴温度と殺菌効果の関係

d. 結果及び結論

処理後の水温は、フレネルレンズ、50℃温浴とも34℃であるが、フレネルレンズの方は細菌量が減少しているのに比べて、50℃温浴は一般細菌、大腸菌群とも増加している（表5、図7参照）。この現象は次のように解釈することができる。

一般細菌、大腸菌群とも細菌数を測定する場合は36℃±1℃に設定した恒温槽にて細菌が肉眼で確認できる集落になるように一定時間培養する。この事柄からも分かるように34℃は細菌類の増殖に適した温度である。したがって50℃温浴で単に温められただけの原水中の細菌は増加したのではないだろうか。一方、フレネルレンズによる殺菌では温度が34℃になったにもかかわらず細菌の減少が見られるのは、集光された太陽エネルギーが直接細菌に作用しているためと考えられる。

なお、今回の実験で殺菌効率が実験1の①より小さな値となったのは、実験1の原水の細菌数は一般細菌で20000、大腸菌で450であったが、実験3では一般細菌は355000、大腸菌群は19700と一般細菌、大腸菌群とも原水の細菌量が大きく異なっていたためと思われる。

b. 測定条件

採水及び試験年月日

採水：1990年 9月 4日

午前10時30分～11時00分

試験：1990年 9月 4日

午後12時00分～1時00分

気温：30℃ 水温：26℃（但し試験は水温14℃

に冷却した後行なった。）

天候：晴天 全天日射量：約830W/m²

採水、試験場所、1回の処理水量は実験1と同じ。

c. 殺菌方法（次の2種類の方法で殺菌した。）

①フレネルレンズで2.5分間殺菌（図3参照）

②50℃温浴で5.5分間殺菌（図4参照）

河川水は殺菌中マグネットスターで攪拌した。また、②の試験は①と同じ水温になった時点で終了した。河川水の水温は26℃であったので、約25℃上昇すると約50℃となってしまい、熱のみで死滅する細菌が多くなり、その結果①と②の有為さがはっきりしなくなる恐れがあったので、水温を約12℃になるように冷却した後、試験を行なった。

表5 50℃温浴とフレネルレンズの比較

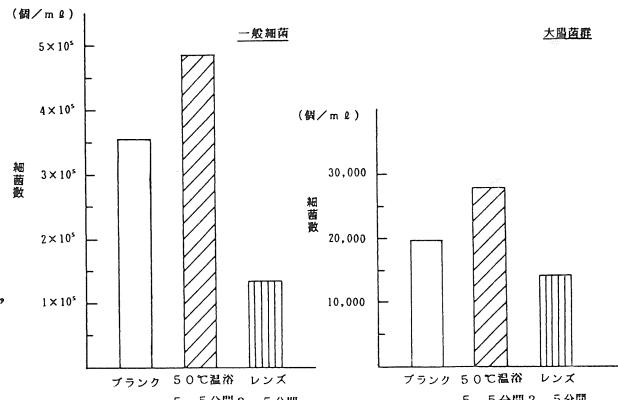


図7 50℃温浴とフレネルレンズの比較

処理方法	細菌数(個/mℓ)		殺菌効率		最終水温
	一般細菌	大腸菌群	一般細菌	大腸菌群	
①レンズ2.5分間	135,000	14,200	62%	38%	14℃→34℃
②50℃温浴5.5分間	485,000	27,800	0	0	14℃→34℃
プランク(未処理)	355,000	19,700	---	---	

(4) 実験 4

a. 目的

紫外線ランプの殺菌効果との比較：本装置が殺菌線（254nm）を主として発光する紫外線ランプの効果と対比して、どの程度の作用効果を有するか、その能力を相対的に確認する。

b. 測定条件

採水及び試験年月日

採水：1990年 1月 11日

午前 9時30分～10時00分

試験：1990年 1月 11日

午前 11時00分～12時00分

気温：11°C 水温：11°C

天候：快晴 全天日射量：約570W/m²

採水、試験場所、1回の処理水量は実験1と同じ。

c. 殺菌方法（次の3種類の方法で殺菌した。）

①フレネルレンズで5分間殺菌（図3参照）

②フレネルレンズで10分間殺菌（図3参照）

③殺菌用紫外線ランプ（東芝G L-10）を5分間照射（図8参照）

河川水は殺菌中マグネットスターラーで攪拌した。

d. 結果及び結論

実験結果は表6及び図9から判るように、本装置は本実験条件においてUVランプの殺菌率を上回る殺菌効果があると示されている。この実験では水中を通過する光エネルギー量に1桁以上の差があり、本装置では太陽光中の紫外線を水中に集光する可能性はきわめて微量と考えられるため、作用の比較にはならないが、殺菌装置として紫外線ランプが使われる状態を想定した幾何学的配置の条件で能力を比較評価することができる。

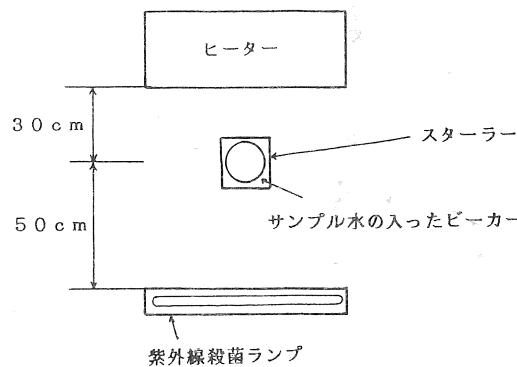


図8 紫外線ランプによる殺菌方法（平面図）

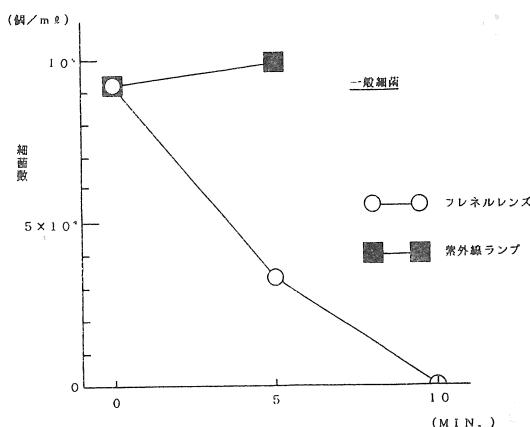


図9 紫外線ランプとフレネルレンズの比較

表6 UVランプとフレネルレンズの比較（紫外線の効果）

処理方法		細菌数（個/mℓ）		殺菌効率		最終水温
		一般細菌	大腸菌群	一般細菌	大腸菌群	
①	レンズ 5分間	33,000	292	64%	48%	11°C→36°C
②	レンズ 10分間	119	0	100	100	11°C→52°C
③	UV 5分間	99,000	430	0	23	11°C→17°C
	ブランク（未処理）	92,000	560	---	---	11°C→13°C

4.まとめ及び考察

実験結果をまとめると、次のようなになる。

実験1及び3：太陽光を細菌が直接吸収して死滅している。

実験2：太陽熱による水温上昇も殺菌効果がある。

実験4：紫外線ランプによる一般的な使用方法の殺菌性能を上回る効果がある。

このことからフレネルレンズによる殺菌は主に細菌が集光された太陽光を直接吸収して死滅しているためと思われるが、水温上昇も殺菌を助けていると考えられる。

次にこの一つについて考察を行なった。

1) 太陽光を細菌が直接吸収して死滅している。

実験1と実験3より、単に水温を上昇させるのみでは細菌の殺菌にはあまり効果がなく、処理後の水温によってはかえって細菌が増加してしまうことがあることも判明した。従ってフレネルレンズによる殺菌は、水温が上昇して細菌に働きかけているのではなく、太陽光が直接細菌に働きかけている。すなわち細菌自体が太陽エネルギーを吸収し、瞬間に死滅していると推定される。特に実験3の①レンズ2.5分間殺菌で減少した細菌はすべてこの原理で死滅したものと考えられる。

2) 太陽熱による水温上昇も殺菌効果がある。

次に微生物の生育温度について考えてみる。微生物や細菌の生育可能温度は、-7~75°Cの範囲にあるが、温度範囲によって表8の三群に大別される。⁽⁶⁾ 微生物の生育速度は、最適温度と下限温度の間では他の化学反応と同じように温度上昇とともに促進され、10°Cの温度上昇により約2倍となる。しかし、最適温度より高温になると増加率は減少し、更に高温になると酵素蛋白の熱変性がおこって生育は阻害される。この酵素蛋白の熱変性は成育の最適温度より少し高温では可逆的であるが、より高い温度では蛋白は凝固して酵素は不可逆的に破壊される。

河川水にはこの好冷菌、中温菌、高温菌がいろいろな割合で含まれていると推定される。実験2の最終温度は①、②とも37°Cであるので菌種によっては温浴処理で増殖することも考えられるが本試験では反対に減少している。これは、採水時期が冬期であり水温も低かったので熱に弱い低温菌、中温菌が多かったためと考えられる。50°C温浴で、一部の菌が殺菌されているのは、この低温菌や弱い個体が破壊されたためと思われる。

表8 微生物の生育温度

生育温度 (°C)	好冷菌（または低温菌）	中温菌	高温菌（または高熱菌）
下限	0（またはそれ以下）	15	40
最適	12~18	25~40	50~60
上限	25	45~55	75

以上のように、原水に含まれている菌種と処理後の水温との兼ね合いで殺菌効率については一概に論ずることはできないが、太陽熱による水温上昇にも殺菌効果はあると考えられる。

一方、装置の構成としては、本装置は太陽光の焦点部分を処理水が通過する方式とすることもできる。これによると従来例に見られる加熱方式の水殺菌装置より熱慣性（サーマルライナーシャ）が小さく変動入力系にも適合する。よって従来例が水温上昇のみの殺菌作用によるもので時として昇温不十分の場合、菌類、緑藻などの培養温床となる危険性があったのに比較して極めて安全である。

3) 実験4により水中微生物の紫外線による殺菌は期待出来ない。

実験4で検証されたのであるが、このような結果となったのは、やはりフレネルレンズ（アクリル樹脂製）とガラススピーカー共に紫外線を通しにくい物質であったこと、更にもし水層まで紫外線が到達していたとしても水中で大幅に減衰するために（表7は253.7nmのいわゆる殺菌線の透過率であるが、飲料用水でも透過率10%程度である⁽⁷⁾）殺菌に寄与しなかったのであろうと推察される。紫外線ランプを使用した水の殺菌実験においても殺菌効果が上がらなかった理由としてガラススピーカーと、水中での紫外線の減衰が上げられる。

水中における殺菌は、高密度の光エネルギーによって可能となることがこれらの結果から結論される。

表7 種々の物質の殺菌線(253.7nm)の透過率

物質名	厚さ(cm)	透過率(%)
再蒸留水	約300cm	10
飲料用水	10~80cm	10
海水（鎌倉）	5cm	44
砂糖液（無色）	0.9cm	10
溶融石英板	2.5mm	90
窓ガラス版	1.0mm	0
アクリル樹脂	1.0mm	0

5. あとがき

先進国では都市部に概ね人口が集中する傾向があるが、発展途上国では、人口が1カ所に集中しておらず広い地域に分散している場合が多い。例えばアフリカでは、種族ごとに部落を形成し住んでいる。フレネルレンズを使った本殺菌装置は、このような地域の人たちでも自力で生活に必要な飲料水を得ることが出来るように考案されたものである。

今後更に、微生物核が熱的に破壊するために必要な吸収エネルギーについて、波長帯や最低量などを詳細に研究し、殺菌効率の向上に必要な知見を明らかにすべきであると考えている。

これらの現象は高密度の光が透明又は半透明な媒質中にある特定な物質だけに作用し、光エネルギーを与え、分解したり、活性化させる熱科学的分野に通じる現象であり、太陽エネルギーの新しい活用方法を教唆すると考えている。媒質中に特殊な状況を作り出す高密度光に関する関する研究が蓄エネルギー技術と結び付いて発展することを期待したい。

本論によりフレネルレンズを用いた殺菌装置は、クリーンな太陽光で水温を上昇させること無く、効率よく殺菌が行なえることを明らかにした。この特徴を活かした装置の実用化普及を目指した改良が行われ、省エネルギー問題、水資源問題に役立て行くことが今後の課題である。

6. 謝辞

本研究を進めるにあたり指導していただいた電子技術総合研究所の方々、及び稻垣実男元衆議院議員に感謝致します。また、レンズを開発し検討されてこられた国城金型工業株式会社の平松保会長、池下宏社長をはじめとする皆様に感謝致します。

引用文献

- (1) 暮しを守る会調査部編、水道の水は飲んではいけない(1980), 57-63, 株式会社青春出版社, 東京
- (2) 小島貞男著、おいしい水の探求(1985), 99-110, 日本放送出版協会, 東京
- (3) 稲垣実男, 澤田寿子著, 太陽光・热水処理方法及び該方法に使用する装置(1989), JPA pH-1-41847
- (4) 合田健著, 水質工学基礎編(1979), 107-111, 丸善株式会社, 東京
- (5) 石橋多聞著, 飲み水の危機(1970), 185-188, (財)東京大学出版協会, 東京
- (6) 吉井久雄, 金子安之, 山口和夫共著, 食品微生物学, 1971, 101-102, 405-406, 技報堂出版株式会社, 東京
- (7) 東堯, 白石啓文著, 食品の殺菌技術, 1976, 133, 150-152, 三秀書房, 東京