

# マーシャル諸島共和国 淡水化装置開発レポート



2015 年3月

国際農林水産業研究センター (JIRCAS)

琉球大学 (UR)

資源開発省 (MRD)

マジュロ上下水道公社 (MWSC)

環境保護庁 (EPA)

マジュロ環礁地方政府 (MALGOV)

内務省 (MIA)



## 要約

太平洋地域には約 3 万の島が広い海域に点在し、そのうち約 1 千の島には人々が居住している。これらの島の中でも、環礁島は低平で面積も小さく、幅も狭い。また、地盤の透水能も高いため、河川や湖沼は発達しない。従って、水資源は基本的に天水に依存するため、乾季や渇水期には地下水が重要な水資源となる。

環礁島はそのほとんどが熱帯、及び亜熱帯に存在し、年間降水量も多い。しかし、太平洋ではエルニーニョ現象の影響を受けて、干ばつが発生することがある。また、地球温暖化による気候・気象変化により干ばつが生じる範囲が拡大、変化することが懸念されている。これらの影響は、水源が天水と地下水に限られ、低緯度にある低平な環礁島において強く現れる。そのため、環礁島では安定的に水資源を確保することが困難になりつつある。

大洋州のミクロネシアに存在するマーシャル諸島共和国も、上記のとおり、環礁島の問題を有している。とりわけ、首都のマジュロ環礁はマーシャル諸島共和国の人口の約半数が居住しており、水資源の確保が極めて重要な課題となっている。1998 年にはマジュロ環礁で乾季の数ヶ月間にほとんど降雨がない大干ばつが発生した。この干ばつによる水不足は極めて深刻であった。

干ばつ期の造水法として、逆浸透膜法による淡水化装置が導入されている。しかし、維持管理のためにエンジニアが必要であり、離島や小集落での導入は困難である。よって、マーシャル諸島共和国では、干ばつ時に海水からできるだけ多くの淡水を生成する技術の開発が望まれている。

このような背景のもと、JIRCAS と琉球大学は 2011 年よりマジュロ環礁において簡易な太陽光淡水化装置の開発の取り組みを行なってきた。本レポートは、これまで 4 年間の成果や太陽光淡水化装置実証の技術的課題をとりまとめたものである。



## 目次

第1章 序章	1
1.1 はじめに	1
1.2 調査研究の方法	1
1.3 レポートの構成	1
第2章 マーシャル諸島共和国の現況	2
2.1 マーシャル諸島共和国の気象	2
2.2 マーシャル諸島共和国で発生した干ばつ	2
2.3 マーシャル諸島共和国の干ばつ対策	2
第3章 太陽光淡水化装置の特長	3
3.1 新しい太陽熱集熱方法の原理	3
3.2 太陽光淡水化装置の特長と目標	5
第4章 太陽光淡水化装置の開発	8
4.1 実証試験方法	8
4.2 実証試験結果	10
4.3 実用化の課題と対策	15
4.4 実用化に向けた実施体制の整備	18
第5章 結論	20
第6章 おわりに	21
付属資料	22
1. 活動リスト	22
2. 論文・資料リスト	28
3. 聞き取り調査リスト	29
4. 参加者リスト	33



## 図リスト

- 図 3.1.1 バガス炭の光学顕微鏡写真(上), 及び走査型電子顕微鏡写真(下)
- 図 3.1.2 炭化温度別のバガス炭の比表面積 (SA) と全炭素量 (TC) の関係
- 図 3.1.3 太陽光の吸収性と液体中に分散したバガス炭の透過性の関係
- 図 3.2.1 太陽光淡水化装置の特長
- 図 3.2.2 太陽光淡水化装置の構成
- 図 4.1.1 集熱試験方法
- 図 4.1.2 造水試験方法
- 図 4.1.3 屋内試験装置
- 図 4.1.4 3連式太陽光淡水化装置
- 図 4.2.1 ローラ圃場における集熱試験結果
- 図 4.2.2 屋内造水試験結果
- 図 4.2.3 屋内造水試験結果
- 図 4.2.4 放熱試験結果
- 図 4.3.1 太陽光淡水化装置の改善策 (設計構造)
- 図 4.3.2 太陽光淡水化装置の改善策 (集熱性)
- 図 4.3.3 太陽光淡水化装置のこれまでの改良
- 図 4.3.4 集熱器の諸元
- 図 4.4.1 マーシャル諸島共和国の実施体制
- 図 4.4.2 日本国内の実施体制

## 表リスト

- 表 3.2.1 市販製品との比較
- 表 4.3.1 太陽光淡水化装置の改善策

## 写真リスト

- 写真 4.2.1 ローラ圃場における集熱試験
- 写真 4.2.2 屋内造水試験
- 写真 A-1-1 運営委員会
- 写真 A-1-2 淡水レンズ保全管理セミナー
- 写真 A-1-3 ローラ圃場の大使館・JICA 説明会
- 写真 A-1-4 環境保護庁で開催した運営委員説明会
- 写真 A-1-5 第1回世界灌漑フォーラムの展示
- 写真 A-1-6 INCHEM TOKYO 2015 の展示
- 写真 A-1-7 日本大使館表敬訪問

## 略語

DUD	:ダリット-ウリガ-デラップ地区(ダウNTOWN) Darrit-Uliga-Dalap
EPA	:環境保護庁 Environmental Protection Authority
IR	:赤外線 Infrared
JIRCAS	:国際農林水産業研究センター Japan International Research Center for Agricultural Sciences
MALGOV	:マジュロ環礁地方政府 Majuro Atoll Local Government
MIA	:内務省 Ministry of Internal Affairs
MRD	:資源開発省 Ministry of Resources Development
MWSC	:マジュロ上下水道公社 Majuro Water and Sewer Company
OCHA	:国連人道問題調整事務所 UN Office for the Coordination of Humanitarian Affairs
PALM7	:第7回太平洋島サミット The 7 <sup>th</sup> Pacific Islands Leaders Meeting
PIF	:太平洋諸島フォーラム Pacific Islands Forum
RMI	:マーシャル諸島共和国 Republic of the Marshall Islands
RO	:逆浸透膜 Reverse Osmosis Membrane
SEM	:走査型電子顕微鏡 Scanning Electron Microscope
USAID	:米国国際開発庁 United States Agency for International Development
UV	:紫外線 Ultraviolet
VIS	:可視光 Visible ray

## 挨拶

太陽光淡水化装置開発レポートは、マーシャル諸島共和国マジュロ環礁ローラ島やダウントウンにおいて実施された淡水化装置開発に関する調査研究に基づいて作成されたものです。太陽光淡水化装置開発の成果やそのプロセスにおいて明らかになった課題について記載されています。

太陽光淡水化装置の実証試験や説明会はローラ圍場や環境保護庁で開催されました。説明会に参加した運営委員は、稼働している太陽光淡水化装置を拝見させて頂くことができ、たいへん興味を持ちました。特に、水資源開発を担当しているマジュロ官省地方政府により、活発な質疑応答が行なわれました。

太陽光淡水化装置は、飲料水の確保と安定的な農業生産を目的として開発されました。干ばつ時に逆浸透膜法の淡水化装置との併用が望まれています。太陽光淡水化装置は多目的な用途に利用できるポテンシャルを有しており、干ばつ時以外にも利用することができます。

太陽光淡水化装置の工夫点は、海水と太陽光のみを利用して蒸留水を造る技術だけでなく、バイオマス（バガス炭）が吸熱材として使用されている点にあります。誰もが廃棄物として利用しなかったさとうきびの絞りかすがバガス炭に加工されて、利用されています。

この太陽光淡水化装置は完成に至っていません。しかし、これまでの開発のプロセスにおいて装置の性能は示されているので、早期に実用化されることを切に願います。最後になりましたが、マーシャル諸島共和国を代表して、JIRCAS と琉球大学にこのレポートを作成していただいたことに感謝いたします。

2015 年 3 月



資源開発省事務次官  
レベッカ・ロレーニ



## 挨拶

国際農林水産業研究センターは、農林水産省の交付金により、島嶼環境保全プロジェクトを実施してきました。そのプロジェクトの1つの課題として、2011年11月から琉球大学と共同研究を実施し、太陽光淡水化装置の開発に取り組んできました。この課題は、近藤教授を中心に開発した「簡易淡水化装置」の原理を、マーシャル諸島マジュロ環礁ローラ島の実験圃場において、実用化の可能性を検証するための試験を行い、実用化に向けた課題を明確にするものです。

熱帯島嶼地域における水資源は、ほとんど雨水に依存し、質、量ともに気象条件等に大きく左右されて不安定な状況にあります。太陽光淡水化装置は、バイオマスを活用して太陽エネルギーのみで海水を純粋と塩を廉価で安定的に生産できる画期的なシステムです。実用規模で能力が実証されれば、熱帯島嶼地域に飲料水確保や安定的農業生産に効果が期待されます。

本プロジェクトの最終成果物の1つとして、このレポートが作成されました。太陽光淡水化装置開発のこれまでの取組が記載されています。試験の結果、直面した課題を情報共有することによって、このレポートが今後の淡水化装置完成に向けた取り組みの一助になれば幸いです。

最後になりましたが、JIRCAS を代表して、淡水化装置の製作にご尽力頂いた日本、及びマーシャル諸島共和国の関係者の方々に謝意を表します。

2015年3月

幸田 和久

JIRCAS プロジェクトリーダー  
幸田 和久

## 第1章 序章

### 1. 1 はじめに

環礁島は、面積が狭く低平で、集中豪雨や干ばつによる降雨の偏在、海面上昇にともなう海岸侵食、地下水への塩水進入及び淡水レンズの縮小等、地球温暖化による影響が強く懸念されると指摘されている。このため、水資源はとりわけ脆弱であり、飲料水やかんがい用水等の確保は、深刻な問題となっている。現在の一般的な造水法としては、火力発電所に併設した多重蒸発缶法や逆浸透膜法があるが、いずれも大規模な設備や多大な電力、火力等のエネルギーが必要であり、エネルギーインフラや経済基盤の脆弱な離島や小集落での導入は困難である。2011年、国際農林水産業研究センターと琉球大学は、海水から淡水を低コストで供給することができる小規模な淡水化装置の開発に関する共同研究を開始した。

### 1. 2 調査研究の方法

太陽光淡水化装置開発のための調査研究方法は、マーシャル諸島共和国の干ばつの現況調査、太陽光淡水化装置の実証試験、関係機関での聞き取り調査、及び装置の展示会や説明会等における情報収集である。

### 1. 3 レポートの構成

本レポートは、6つの章と4つの付属資料から構成されている。

第1章は、調査研究の背景、及び各章に記載した内容の概要が記載されている。

第2章では、調査対象地のマーシャル諸島共和国における干ばつ時の状況が記載されている。

第3章では、太陽光淡水化装置の特長や開発の課題が整理されている。

第4章では、太陽光淡水化装置の実証試験方法と結果が記載されている。

第5章では、第2章から第4章までに記載した内容を総括している。

第6章では、今後の課題が記載されている。

最後に、付属資料では、実施した活動、とりまとめた論文・資料、聞き取り調査の結果、及び参加者リストが示されている。



## 第2章 マーシャル諸島共和国の現況

### 2. 1 マーシャル諸島共和国の気象

マーシャル諸島共和国の気候は、海風の影響が強く海洋性熱帯気候に分類される。マジュロ環礁の年間平均気温は 27.5℃、平均年降水量は 3,255mm である。マジュロ環礁では乾季の数ヶ月間にほとんど降雨がない干ばつが発生している。とりわけ、1998 年の干ばつ期間中の総降水量は、乾季の 4 ヶ月間で 72mm しかなく、平年値の 8.6%と極端に少なかった。

### 2. 2 マーシャル諸島共和国で発生した干ばつ

マーシャル諸島共和国では 2012 年末から 2013 年 7 月頃にかけて、北緯 8 度以北に存在する 21 の環礁と 4 つの島において、かんばつが発生した。干ばつにより、飲み水及び生活用水の不足、農作物への深刻な被害、ならびに不衛生な水の摂取に伴う疾病などが発生した。マーシャル諸島共和国クリストファー・ロヤック大統領は、4 月 19 日に干ばつ緊急事態宣言(State of Drought Emergency)を発出した。その後、干ばつの影響がさらに深刻化したことから、5 月 8 日に宣言レベルを災害事態宣言(State of Drought Disaster)に引き上げた。国連人道問題調整事務所(OCHA)(2013 年 5 月 1 日現在)によると、被災地域の居住者は 3,200 人であり、米国国際開発庁(USAID)の調査では中程度の被害まで含めると、約 5,000 人が被災したとしている。

### 2. 3 マーシャル諸島共和国の干ばつ対策

現在、海水を淡水に変換するために用いられている主な技術は蒸発法と逆浸透膜(RO)法である。マーシャル諸島共和国でたびたび発生する干ばつに対して、米国政府、豪州政府、USAID、及び日本政府等が逆浸透膜法の淡水化装置等を支給し援助している。RO 法は、①海水からの転換率が低いこと(40~50%)、②生成された淡水中に残渣塩分が含まれること、③装置の組立・設置、及びメンテナンスが大変なこと、ならびに④多大な火力や電力が必要であること等の問題・課題がある。この RO 法の淡水化装置は、干ばつ期以外には使用されていない。



### 第3章 太陽光淡水化装置の特長

#### 3. 1 新しい太陽熱集熱方法の原理

太陽光淡水化装置は海水と太陽熱のみから淡水を生成する装置である。吸熱材としてバガス炭を使用する。図 3.1.1 にバガス炭の走査型電子顕微鏡 (Scanning Electron Microscope, SEM) 写真が示されている。バガス炭を拡大するとミクロンオーダーの微細な多孔が観察される。

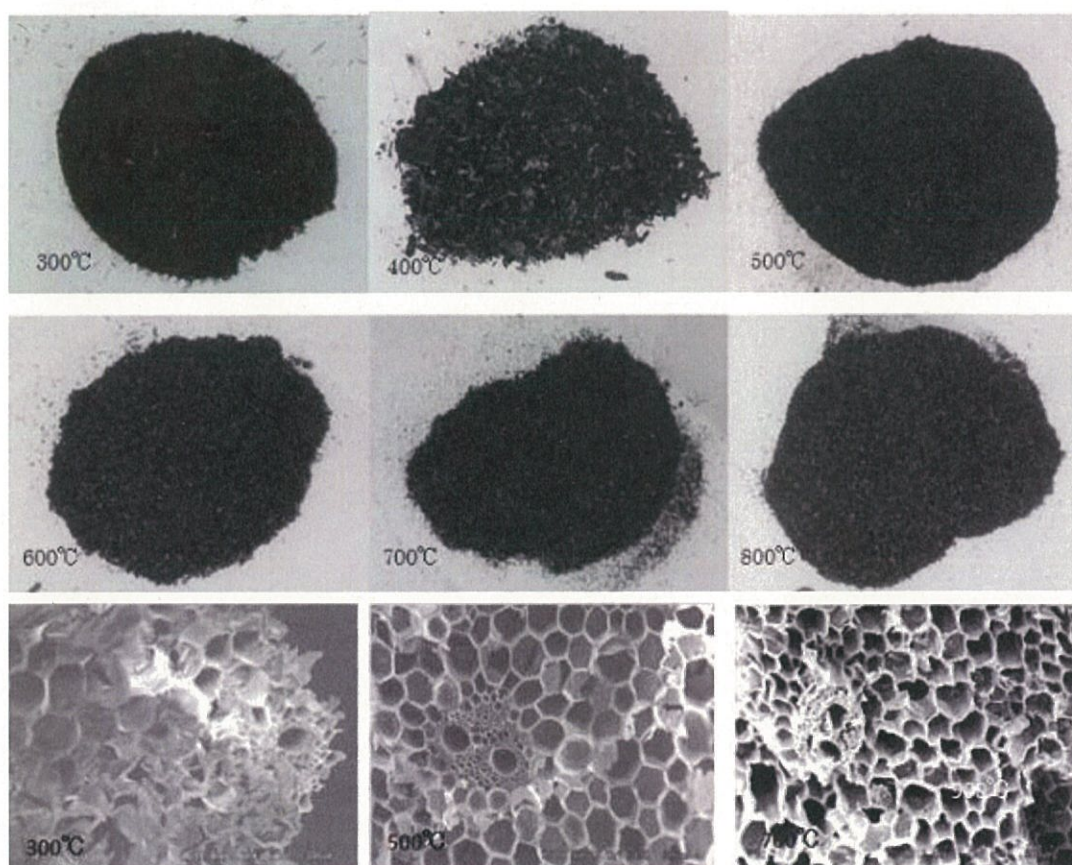


図3.1.1 バガス炭の光学顕微鏡写真(上), 及び走査型電子顕微鏡写真(下)  
(写真に記載された数字は炭化温度を示している。)

図 3.1.2 は炭化温度，バガス炭の比表面積(単位質量当たりの表面積)，及び炭化率の傾向を示す。500℃以上で炭化したバガス炭の比表面積は非常に大きい。これは，図 3.1.1 の SEM で観察されるマクロポア以外に SEM で観察されないミクロポア，メソポアが多数含まれることを示している。よって，ミクロからナノサイズまでの多層的なポア構造が，広範囲の太陽エネルギーを効率よく吸収するものと推定される。

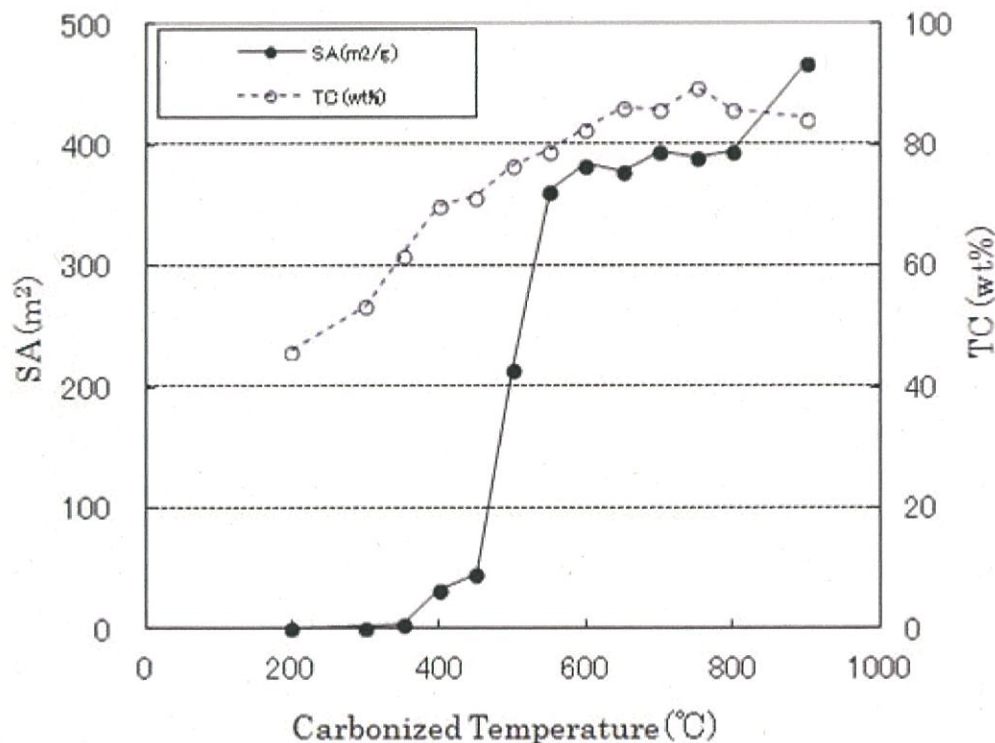


図 3.1.2 炭化温度別のバガス炭の比表面積 (SA) と全炭素量 (TC) の関係

図 3.1.3 はバガス炭分散液の光透過率の波長依存性を示している。0.1%という微小量のバガス炭の分散でさえ，紫外線 (UV) ～可視光 (VIS) ～赤外線 (IR) 領域のすべての光を均一に効率的に吸収することが可能である。この波長に依存しない光吸収性は，多孔性による光吸収機構であることを裏付けるものである。バガス炭の多孔に吸収された光はすべて熱に変わるため，バガス炭が分散している液体の温度が上がる。この原理を応用すれば，火力や電力等の多大なエネルギーインフラがない地域においても，海水を沸騰させて淡水を製造することができる。

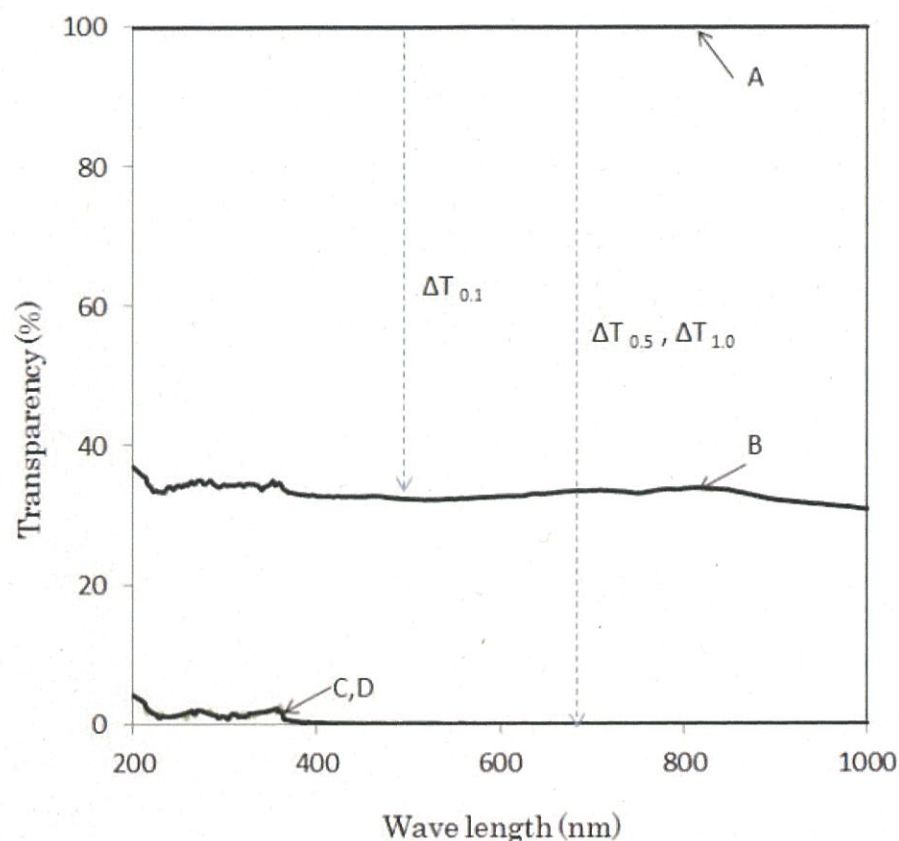


図3.1.3 太陽光の吸収性と液体中に分散したバガス炭の透過性の関係

(A:バガス炭を含まない, B:バガス炭0.1%, C:バガス炭0.5%, D:バガス炭1.0%)

### 3. 2 太陽光淡水化装置の特長と目標

太陽光淡水化装置の特長は、図 3.2.1 に示すとおり、①構造が大変簡易で、可動部はなく、形状も自由であり、操作や維持管理が容易であること、②エネルギー源として太陽光のみを必要とするため低コスト、低環境負荷であること、及び③世界中で使用できることである。また、インプットは太陽熱と海水のみであり、小型・軽量であることから、小島嶼国の離島等の条件不利地での適応性も高い。

マーシャル諸島共和国では、過去に実施された水資源供給プロジェクトを参考として、太陽光淡水化装置の淡水供給能力の目標値を 4L/人・日としている。太陽光淡水化装置は、淡水の生成に応用できるポテンシャルを有している。太陽光淡水化装置の構造は非常にシンプルである。この装置は、図 3.2.2 に示すとおり、外箱、上蓋、及び集熱器から構成される。



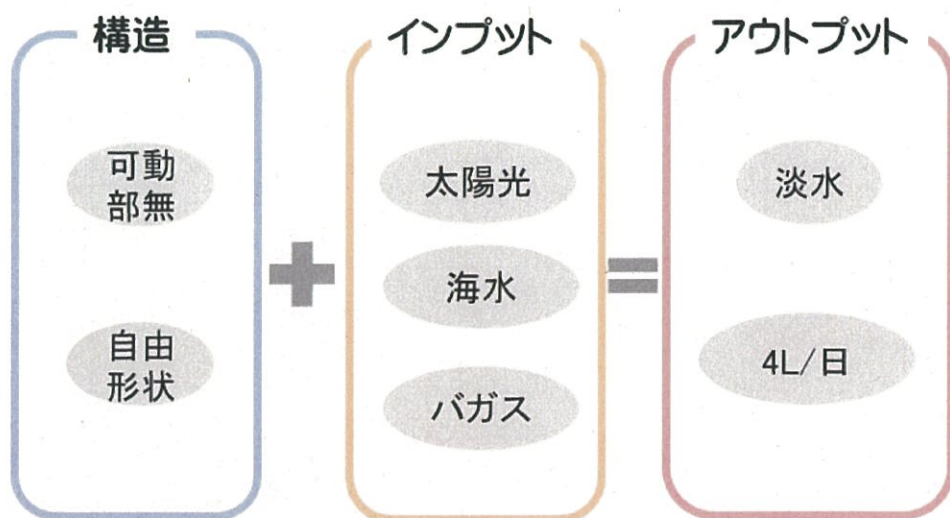


図 3. 2. 1 太陽光淡水化装置の特長

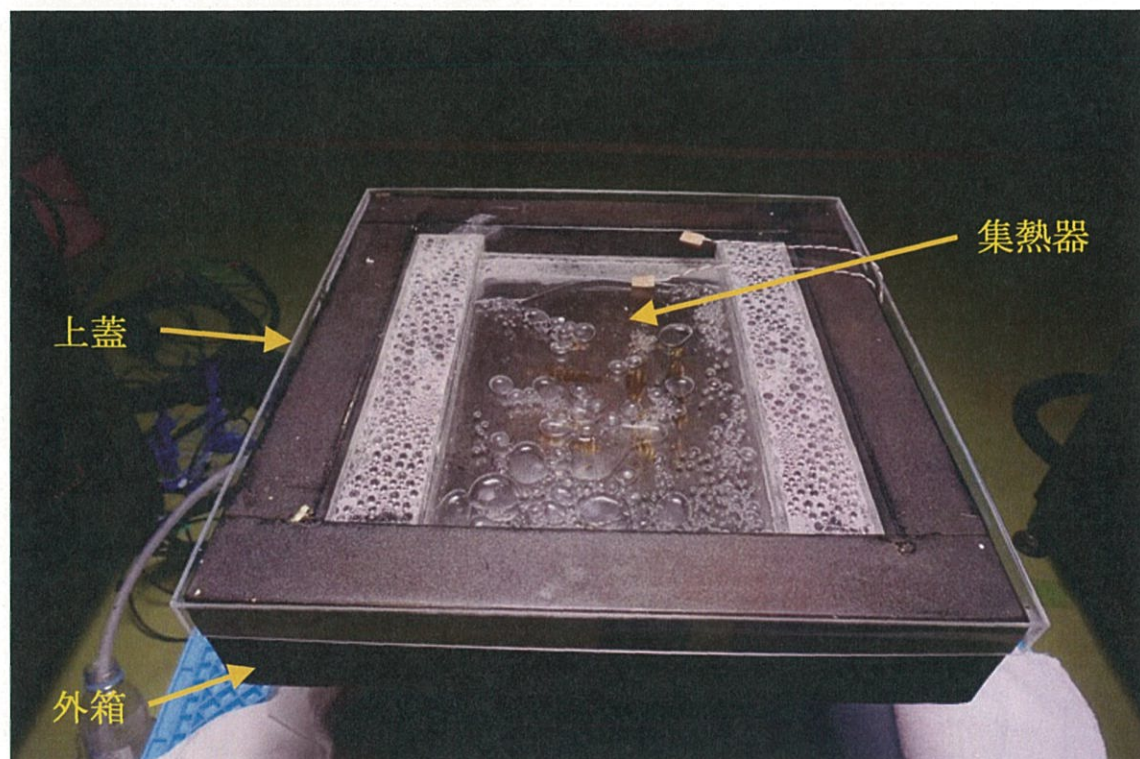




図 3. 2. 2 太陽光淡水化装置の構成

マーシャル諸島共和国に緊急支援されたオーストラリア製市販製品との比較結果を表 3. 2. 1 に記載する。

表 3.2.1 市販製品との比較

製作者	JIRCAS・琉球大学	FCUBED 社（オーストラリア）
長所	集熱効率が低い（約 70℃まで約 100%の集熱効率）。	蒸留しなくても蒸気圧により造水可能。内表面に凝縮・落下した水滴を集水。
短所	沸騰しなければ造水不可	表面に傾斜が必要なため、十分な集熱量が得られない
外観		
コスト	250 ドル*	200 ドル

備考）＊：集熱器は約 170 ドル、外箱は約 80 ドルであった。大量生産によりコスト削減は可能。

## 第4章 太陽光淡水化装置の開発

### 4. 1 実証試験方法

#### (1) 集熱試験

太陽光は日射計で測定され、装置への影響が把握される。太陽光淡水化装置各部の温度はセンサーで測定され、データロガーにより記録される。特に試験開始直後の80分程度の温度曲線の立ち上がりから、装置の性能が評価される。試験全体を通じて、装置の課題と改善策が明らかにされる。

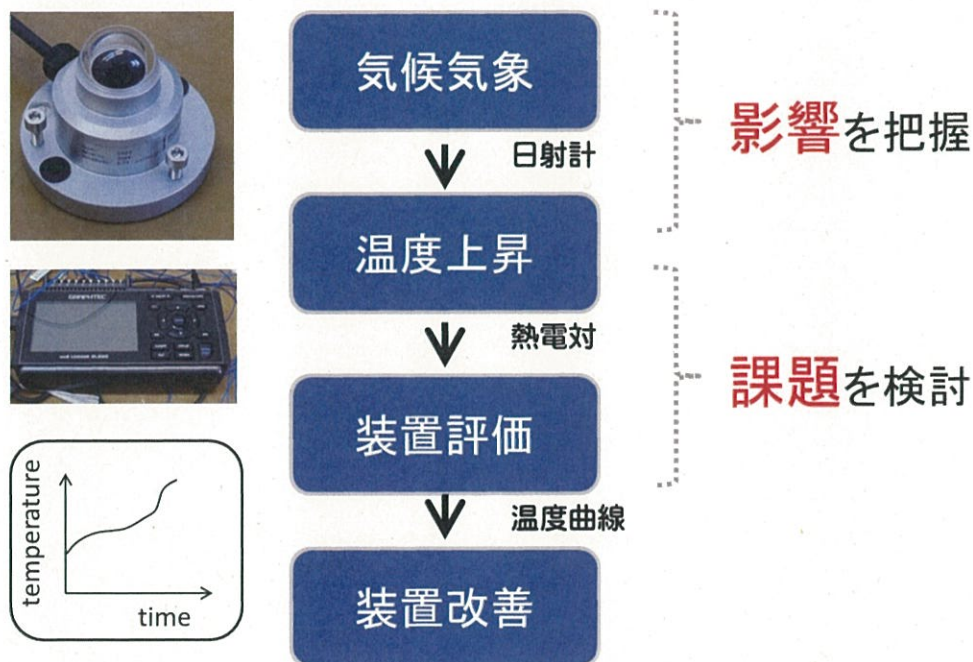


図 4.1.1 集熱試験方法

#### (2) 造水試験

太陽光は日射計で測定され、太陽光淡水化装置への影響が把握される。天秤はかりで蒸発した水量が測定される。造水曲線から太陽光淡水化装置の性能が評価され、課題と改善策が明らかにされる。



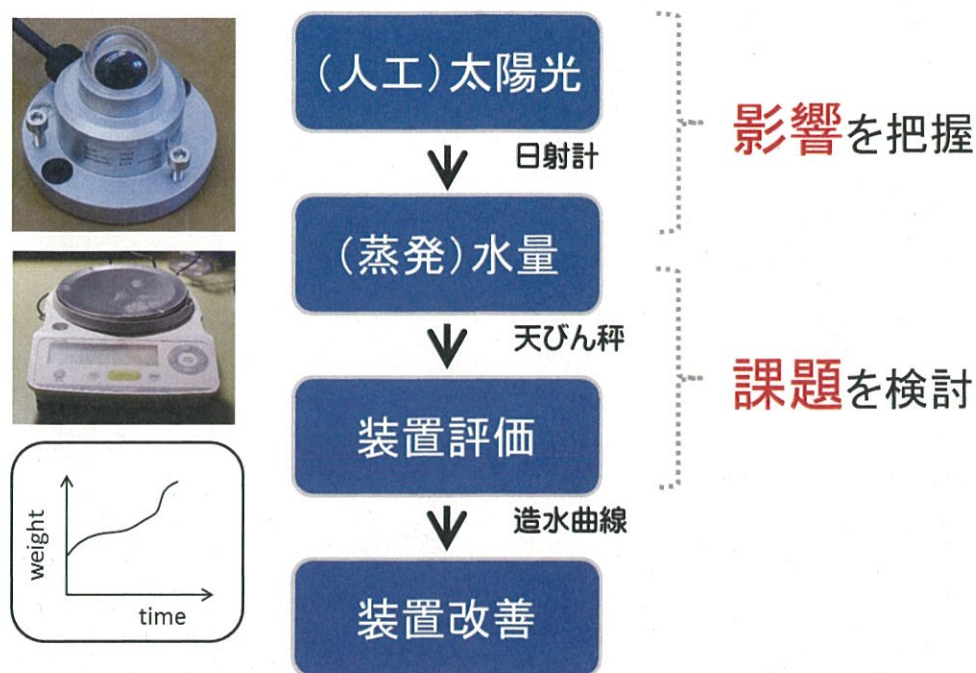
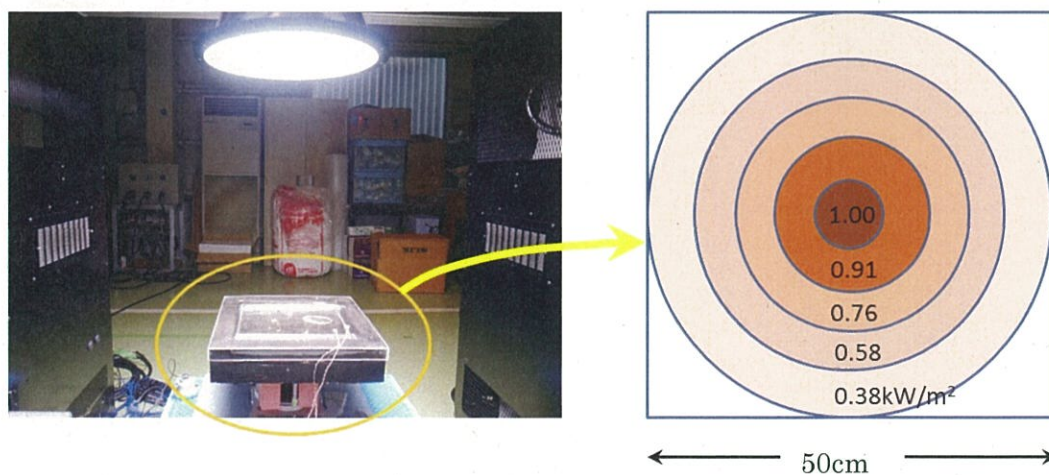


図 4.1.2 造水試験方法

### (3) 屋内試験

雨天時や予備的準備的試験時には、ソーラシミュレータを用いた屋内試験を実施する。ソーラシミュレータの波長分布は自然光の波長分布に近い。照度分布は中心付近から 50cm 離れると約 40%に減少するため、大きな装置の実証試験は困難である。

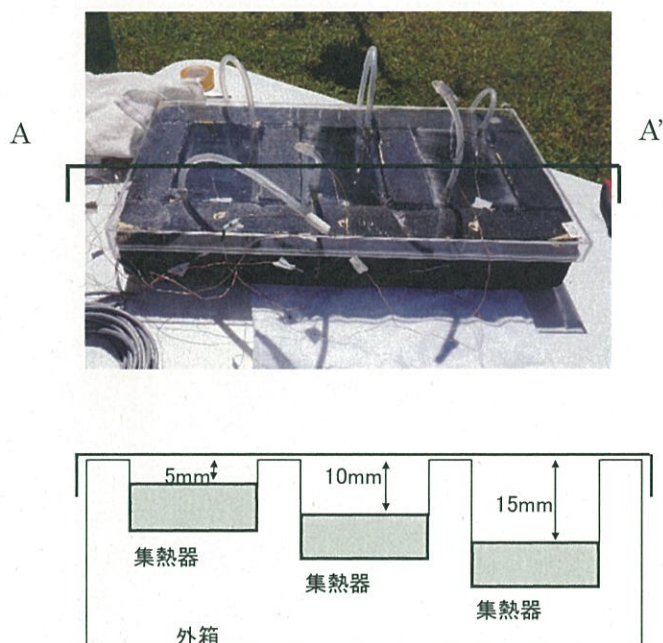


(左) ソーラシミュレータ (右) 照度分布

図 4.1.3 屋内試験装置

#### (4) 放熱試験

小型の3連式太陽光淡水化装置が放熱試験に用いられた(図4.1.4)。3連式太陽光淡水化装置は、異なる深さ(5, 10, 15mm)の3つの小型集熱器が設置されている。集熱器上面とアクリル製の上蓋の間に存在する空気層の厚さが異なる。3つの集熱器の大きさは、縦16cm, 横10cm, 高さ8mmである。装置本体には動力や熱源は不要で、可動部はなく、形状も選択でき、構造はシンプルで軽量である。集熱器内に満たした海水を太陽熱のみによって沸騰させ、蒸留させた蒸気を集め凝縮することにより淡水が作られる。太陽光淡水化装置の集熱効率を高めるため、多孔質構造のバガス炭が、海水の0.5%(海水の透明度がなくなり、太陽光がほぼ吸収できる濃度)の割合で水中に分散される。



模式断面図

図4.1.4 3連式太陽光淡水化装置

#### 4. 2 実証試験結果

マーシャル諸島共和国(RMI)と日本においてこれまで実施してきた実証試験の中からそれぞれ1例ずつ取り上げる。

##### (1) RMIにおける集熱試験

日本で太陽光淡水化装置を試作し、事前に稼働を確認した後、RMIに空輸した。装置の大きさは、長さ700mm, 幅600mm, 高さ100mmである(写真



4.2.1)。

海水淡水化の実証試験は、マジュロ環礁ローラ島にある実験圃場で行った。太陽熱吸熱材として0.5w%のバガス炭を分散させた海水4.5リットルで淡水化装置を満水とし、日中太陽の下で実証試験を実施した。太陽光は全天日射計によって、また、淡水化装置内の海水温度は、k型熱電対を用いて測定し、すべてのデータはデータロガーにより記録した。淡水を生産するために用いた海水は、ローラ島のラグーンビーチで採水した。

図 4.2.1 は、2012 年 8 月 23 日に実施した集熱試験の結果である。バガスを含んだ海水の温度は約 40 分で 100℃まで上昇し、午後 4 時までの約 3 時間沸騰した。したがって、蒸気を集めることにより、海水から淡水を容易に生成できることがわかった。図 4.2.1 の温度-時間曲線から、淡水は 1 日当たり約 8 時間生成できると推測される。太陽光強度、水温の上昇率等によって算定される太陽光吸収効率 82%以上であった。これは、従来の太陽光集熱器の 40%より高いが、従来の装置とは異なった集熱機能を有する材料を使用しているためと推定される。



写真 4.2.1 ローラ圃場における集熱試験



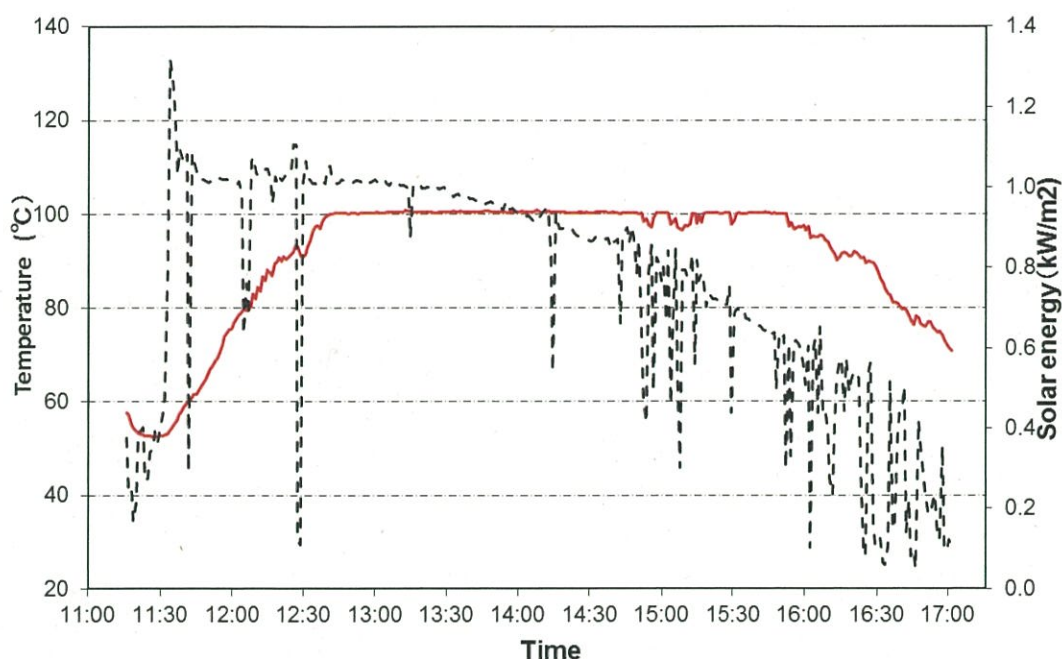


図4.2.1 ローラ圃場における集熱試験結果

## (2) 日本における造水試験

日本で太陽光淡水化装置を試作し、事前に稼働を確認した後、人工太陽熱による屋内試験を実施した(写真4.2.2)。装置の大きさは、長さ400mm、幅400mm、高さ90mmである。

淡水化の実証試験は、埼玉県にあるセリック(株)テクニカルセンターで行った。太陽熱吸熱材として0.5w%のバガス炭を分散させた塩分濃度3.8%の塩水400ミリリットルで集熱器を満水とした。人工太陽光の照度は一定値で $1.0\text{kW/m}^2$ とした。淡水化装置内の塩水温度は、k型熱電対を用いて測定し、温度データはデータロガーにより記録される。

上蓋内の温度は、約1時間で $100^{\circ}\text{C}$ 近くまで上昇し、バガス炭を含んだ塩水は約2時間、継続的に沸騰した。この蒸気を凝縮し蒸留水を集めることによって、塩水から淡水を生成することが可能である。天秤はかりで装置全体の重さがモニタリングされる。蒸気の流出による重さの減少分を造水量とした。このデータから作成した造水量-時間曲線が図4.2.2に示されている。太陽光淡水化装置が1日8時間稼働した場合、造水量は $3.7\text{リットル/m}^2 \cdot \text{日}$ と推定され、4リットルの目標値をほぼ達成できた。集熱器の内面に付着した水滴を集めることが今後の課題である。小型装置の理論的な蒸発量は、日射量と気化熱によって計算される。今回の実験で計算された造水効率は、図4.2.3に示すとおり、約30%であった。

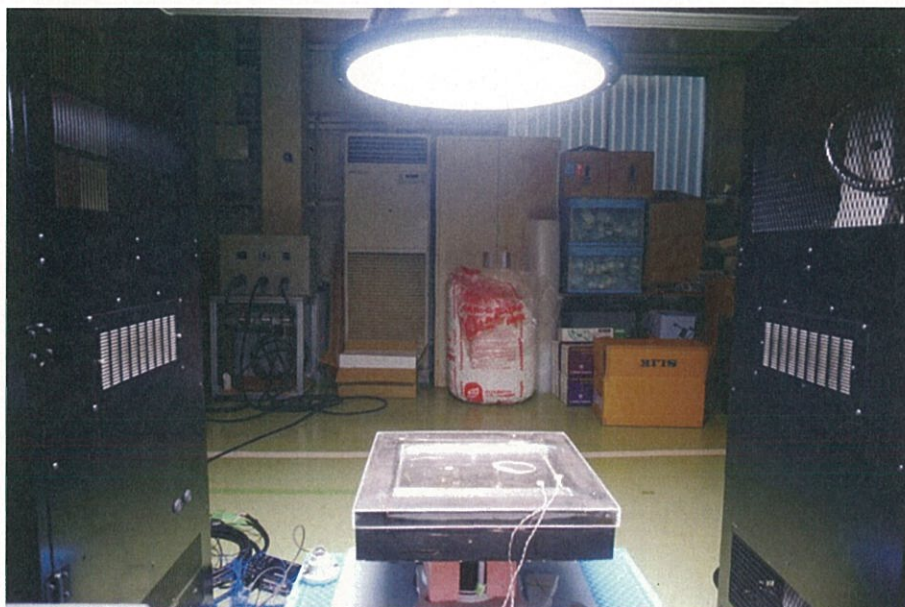


写真 4. 2. 2 屋内造水試験

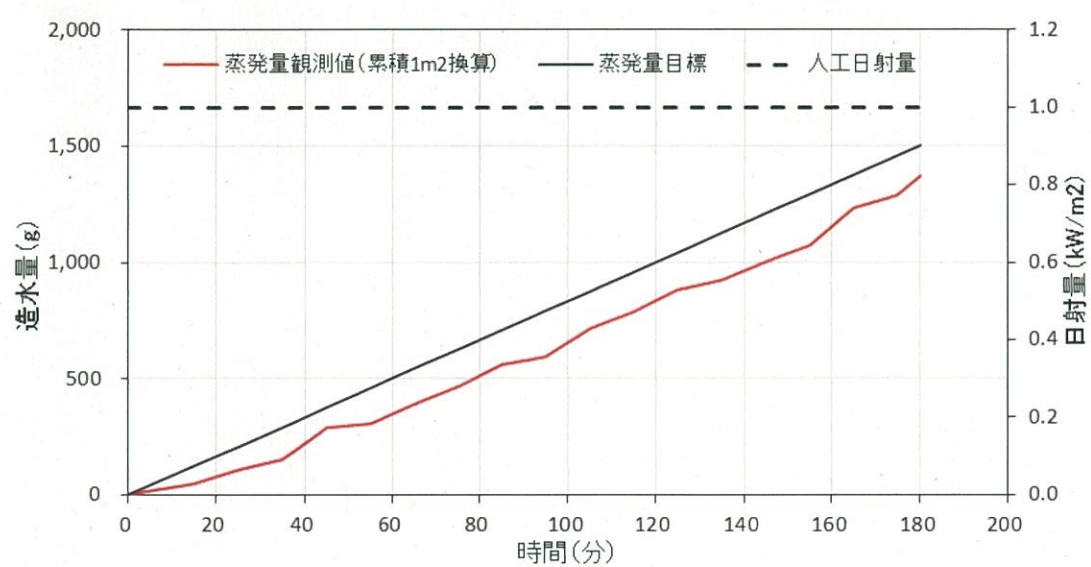


図 4. 2. 2 屋内造水試験結果

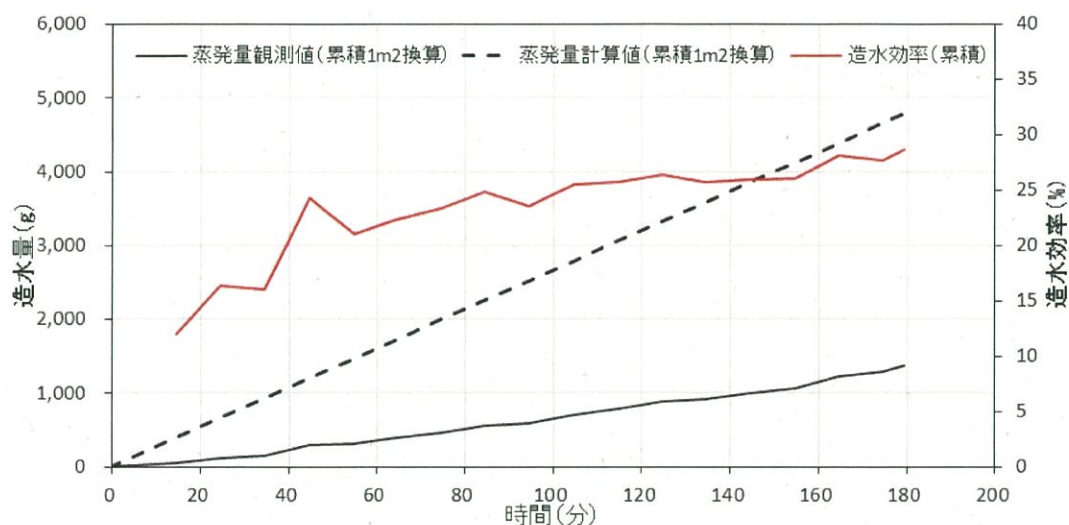
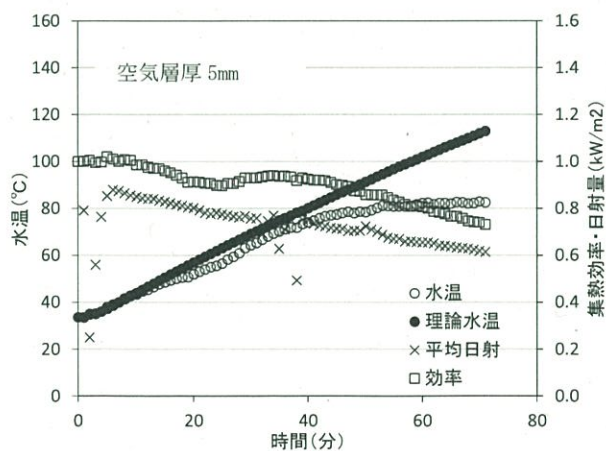


図 4.2.3 屋内造水試験結果

### (3) 日本における放熱試験

2013 年 8～9 月，琉球大学やマジュロ環礁ローラ島において，空気層厚と放熱の関連性や放熱対策を明らかにするため，小型の 3 連式太陽光淡水化装置の集熱実験を行った。全天候日射計で日射量を，データロガーで装置の温度のモニタリングを行った。

集熱実験の結果を図 4.2.4 に示す。約 50～70℃以上の高温になると，集熱器流出口の水温上昇における理論値（装置と水をあわせた熱容量と日射量から算定される温度）と実測値の間に乖離が生じた。このことは，高温時の放熱が課題であることを示している。また，空気層厚が 5mm や 15mm の場合には，理論的な水温と実測値の水温の乖離が始まる温度は厚さ 10mm の結果に比べて低かった。





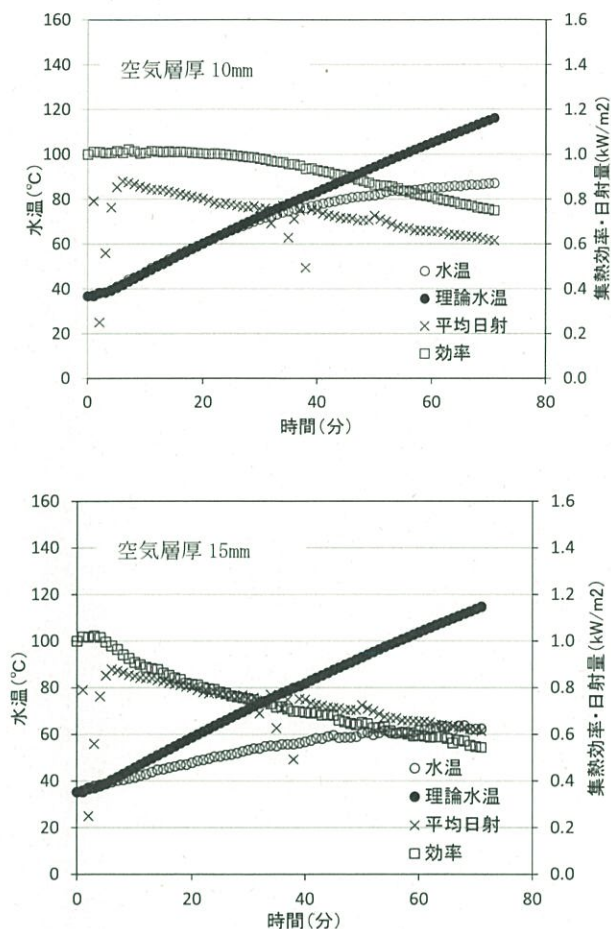


図 4.2.4 放熱試験結果

アクリル製上蓋と集熱器上面の間に存在する空気層は断熱効果の役割を果たしている。一方、太陽熱の吸熱によって空気層内に対流が発生し、集熱性が減少する。よって、気象条件（日射量）と空気層厚によって太陽光淡水化装置の集熱効率が変化する。図 4.2.4 に示すとおり、日射量があまり変化しない場合、太陽光淡水化装置内の空気層の断熱効果は対流による放熱より大きいいため、空気層の薄い太陽光淡水化装置は集熱効率が高い。なお、理論水温が 100°C を超えているが、これは単純に太陽エネルギーにより、水が全く蒸発しない加圧下密閉系での計算である。実際は蒸発や熱のロスがあるため、見かけの温度上昇は小さくなるので、理論曲線で考慮するべきである。

#### 4. 3 実用化の課題と対策

太陽光淡水化装置の実用化に向けた課題は、図 4.3.1 に示すとおり、軽量化、

耐熱化，簡素化，及び放熱防止である。図 4.3.2 に示すとおり，実証試験結果をもとに改良を続けてきた。

### （１）軽量化対策

当初，集熱器の枠としてステンレス鋼板を使用した。しかし，ステンレス鋼板は重すぎるため，木板を使用することに変更した。集熱器に使用していたステンレス鋼板も取りやめ，アクリル太板も重すぎるため，薄板に変更した。集熱器を軽量化できると，外箱の枠となる木板も不要であることがわかった。現在の太陽光淡水化装置は外枠の木板を取り外して使用している。

### （２）耐熱化対策

当初，外箱として発泡スチロール系の断熱材を使用していた。しかし，実証試験の結果，熱変形したことから，フェノール系の断熱材を使用することとした。耐熱温度が 100℃程度のアクリル板を集熱器として使用すると熱変形のため，漏水問題が発生する。このため，耐熱温度が 130℃程度の耐熱性アクリル板を使用することとした。

### （３）簡素化

当初，集熱性を向上させるため，流水経路を長くとした。しかし，蒸気の上昇が期待通りではなかったため，これを取り外すこととし，集熱器内部の構造を簡素化した。

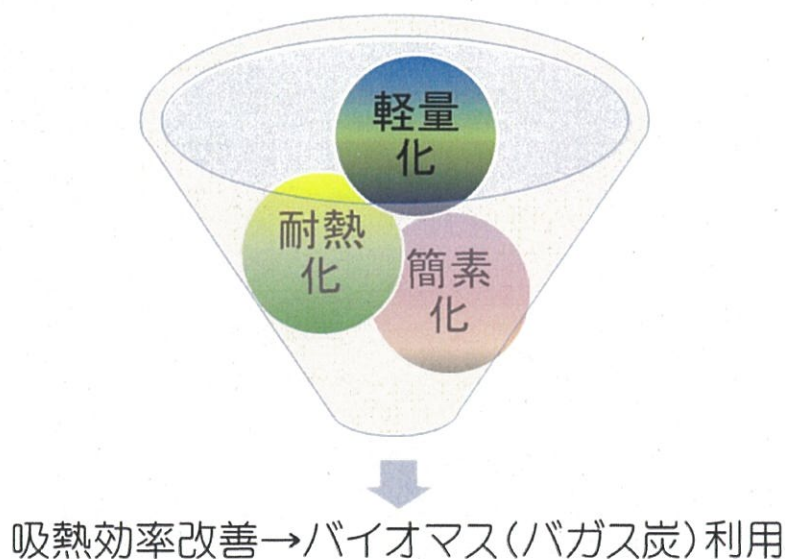


図 4.3.1 太陽光淡水化装置の改善策（設計構造）

#### (4) 放熱防止

太陽光淡水化装置を開発するための課題は、約 50～70℃以上の高温時の放熱である。その要因は、①内部の空気層の対流、②太陽光の輻射、及び③外箱の伝熱と考えられる。小型3連式淡水化装置を用いて集熱実験を行なった結果、集熱器上面とアクリル性上蓋の間の空気層の対流により、空気層厚が薄い時に集熱効率が良いことがわかった。



図 4.3.2 太陽光淡水化装置の改善策（集熱性）



図 4.3.3 太陽光淡水化装置のこれまでの改良



## (5) 改善策と評価

これまでのとられてきた太陽光淡水化装置の改善策について表 4.3.1 に示す。水質分析、水滴の収集、供用試験が今後の課題である。

表 4.3.1 太陽光淡水化装置の改善策

改善項目	Ver. 2	Ver. 3	Ver. 4	具体的対策
軽量化	○	○	◎	アクリル耐熱性樹脂
耐熱化	○		◎	フェノール性断熱材、耐熱性樹脂
簡素化	◎	◎	◎	
放熱防止	○		○	空気層厚はほぼ一定、反射防止フィルム使用
評価	○	○	◎	

備考) ◎非常に良い ○良い (Ver. 1 との相対評価) なお、バガス炭は Ver. 1 より使用

## (6) Ver. 4 の仕様

これまでもっとも評価の高かった Ver. 4 の集熱器の諸元を以下に示す。

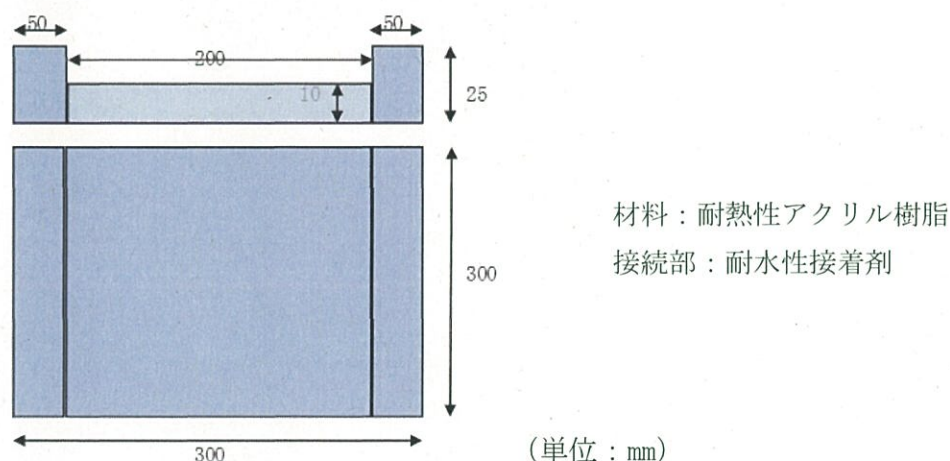


図 4.3.4 集熱器の諸元

## 4. 4 実用化に向けた実施体制の整備

マーシャル諸島共和国では、JICA・大使館をはじめとして、資源開発省を中心とする運営委員、特にマジュロ上下水道公社の支援・協力のもと、実施体制を整備する必要がある。太陽光淡水化装置の普及方法としては、JICA の草の根技術協力事業等があげられる。

日本国内では、沖縄県の製作者等が太陽光淡水化装置の製作を行なった。また、事前の予備試験として、人工の太陽光を用いた屋内試験を埼玉県的人工太陽光試験場で実施した。加えて、屋外試験を茨城県の国際農林水産業研究センター

や沖縄県の琉球大学で実施した。

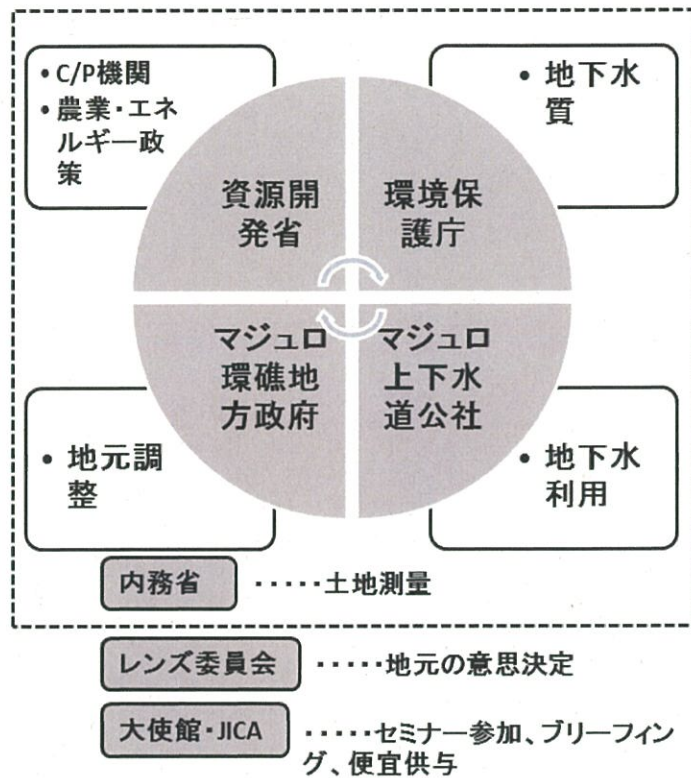


図 4.4.1 マーシャル諸島共和国の実施体制

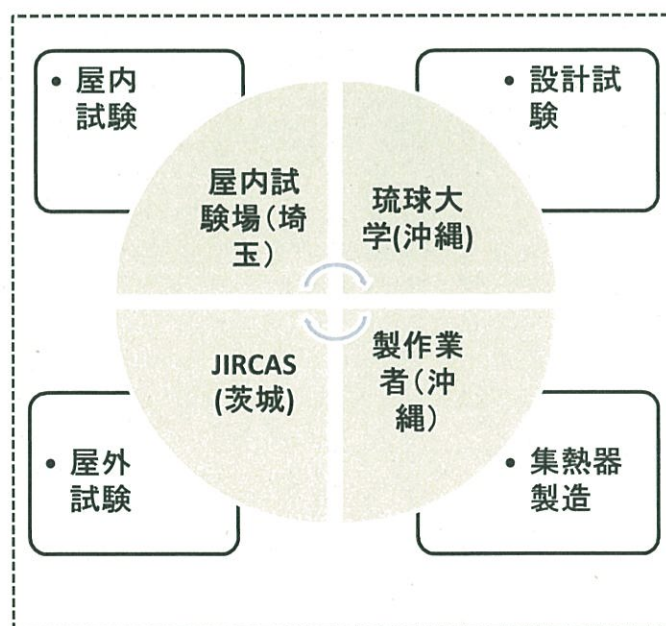


図 4.4.2 日本国内の実施体制

## 第5章 結論

バガス炭を海水に分散することによって、太陽光のみを用いて、海水を蒸発させ淡水を生成する新しい淡水化装置の開発に取り組んだ。バガス炭の特徴である多層多孔構造は、太陽熱を効率よく吸収し、太陽熱によって海水を容易に蒸発させることができる。太陽光淡水化装置の実証試験を行い、軽量化、耐熱化、簡素化、及び放熱防止を改善項目、4リットル/日を目標として、装置の改良を行った。その結果、この装置は、おおむね、造水目標を達成することが可能であることがわかった。また、放熱防止のため、断熱効果を確認した結果、太陽光が大きく変化しない晴天時には、上蓋と集熱器の間の空気層厚は薄いほうがいいことがわかった。



## 第6章 おわりに

太陽光エネルギーと海水（または塩水）のみを用い、蒸留により海水（または塩水）から淡水を生成する太陽光淡水化装置を試作し、改善に取り組んだ。太陽光淡水化装置は、簡易な構造と太陽光のみを使用することから低コストであること、海水から淡水への変換率が高いこと、塩分を含まないこと等、多くの利点を持つ。この技術を用いることにより、水問題で苦しむ島嶼国を始め世界中の人々に対して、淡水の生産を支援することが期待される。

太陽光淡水化装置で生成した蒸留水中に含まれる水質評価は行なっていない。今後、吸熱材として使用したバガス炭の影響や蒸留水中の残留塩分等の分析が必要である。また、水温の上昇に伴い、集熱器の内側に水滴が付着する。この水滴を回収し、利用することができれば、造水効率の改善が見込まれる。さらに、太陽光淡水化装置を実証機として、マーシャル国の人々に供用し、その結果を改善点としてフィードバックすることも含めて今後の課題である。

本レポートは、農林水産省の運営費交付金により、JIRCASが実施した海外プロジェクトの成果を活用している。マーシャル諸島共和国の実証試験の実施にあたり、RMIのMRI、EPA、及びMWSCにご協力頂いた。ここに謝意を表する。

## 付属資料

### 1. 活動リスト

マーシャル諸島共和国で実施した調査研究の成果の情報共有，意見交換，普及に関する活動について，以下に記載する。

毎年4月，調査結果，及び調査計画を議題として，関係機関との協力を維持・強化するため，運営委員会を開催した。



写真 A-1-1 運営委員会

また，毎年10月，研究成果の情報共有や意見交換を行なうため，一般公開で淡水レンズ保全管理セミナーを開催した。



写真 A-1-2 淡水レンズ保全管理セミナー



加えて、在マーシャル国日本大使館や JICA マーシャル支所を対象として、ローラ島の資源開発省の管理圃場において、太陽光淡水化装置の説明会を行った。



写真 A-1-3 ローラ圃場の大使館・JICA 説明会

さらに、2013 年 9 月、環境保護庁で運営委員を対象とした淡水化装置の説明会を行った。



写真 A-1-4 環境保護庁で開催した運営委員説明会

マーシャル諸島共和国以外の国際的な活動としては、2013 年 6 月にブラジル国サンパウロで開催された第 28 回国際甘蔗糖技術者会議 (ISSCT) に参加し、ポスターペーパーの展示・発表を行った。

また、同年 9～10 月にトルコ国マルディンで開催された第 1 回世界かんがいフォーラムに参加し、小型淡水化装置の稼働状況を参加者に説明した。





写真 A-1-5 第1回世界灌漑フォーラムの展示

国内の活動としては、2013年10～11月に東京で開催された INCHEM TOKYO 2013 に参加し、ポスターペーパーや小型淡水化装置の稼働状況の展示・発表を行った。



写真 A-1-6 INCHEM TOKYO 2015 の展示

また、2013年11月に沖縄で開催された太陽光エネルギー学会に参加し、講演を行った。加えて、12月に筑波大学で「バイオマスの有する巧な構造とその利活用」セミナーを共催し、講演を行なった。

太陽光淡水化装置に対する現地のニーズについて、特に、大使館・JICA から聞き取り・確認を行った結果、以下の知見を得た。

- ①淡水化装置は、医療用（消毒）としても使用できる。首都のマジュロ環礁だけではなく、離島にも普及してほしい。
- ②草の根技術協力のフレームワークで現地の普及をして頂きたい。
- ③かんばつの発生による非常事態宣言が発出されると、逆浸透膜法の淡水化装置が現地で支援されている。逆浸透膜法の淡水化装置は大型の固定式であるため、JIRCAS の太陽光淡水化装置のほうが利便性は高い。
- ④太陽光淡水化装置は、非常に重要な位置づけにあるため、是非、開発を急いでいただきたい。給水システムや集水システムは手動でもよい。ポンプを使うと電気が必要になり、維持管理がたいへんである。離島では2～3年しかもたない。本体だけでもいいので、村レベルでモデル的な実証試験を行い、普及・波及できるような簡易なものがよい。太陽光淡水化装置の実施可能性は非常に高いと考えられる。すでに候補地としてバングラデシュから手が挙がっている。
- ⑤逆浸透膜法の淡水化装置の性能は150～300 ガロン/日と高いが、故障が多く、維持管理が問題である。干ばつ中に使用した逆浸透膜法の淡水化装置はマジュロ上下水道公社が回収して、維持管理を行っている。
- ⑥干ばつ時に水が必要な時には、淡水化装置が届かず、タイムリーな共用と支援ができないことが問題である。



写真 A-1-7 日本大使館表敬訪問



これまでの活動一覧表を下記のとおり示す。

### (1) 国内検討会

会議名	開催月日	会議の概要, 参加者数
勉強会	平成 23 年 9 月 22 日	農村工学研究所(高橋理事, 今泉領域長参加)との共催で, 淡水レンズの研究に関する成果発表, 参加者数約 10 名。
発明審査委員会	平成 24 年 10 月 2・10 日	淡水化装置の意匠登録出願について
気候変動勉強会	平成 24 年 7 月 26 日	農村工学研究所において気候変動に関する発表・意見交換。「淡水化装置開発及びシミュレーション」。約 20 名参加。

### (2) シンポジウム・ワークショップ

会議名	開催地	開催月日	会議の概要, 参加者数
淡水レンズの管理保全セミナー	マジュロ(マーシャル)	平成 23 年 10 月 14 日	調査成果の公表, 関係者の発表等。大使館, JICA, 現地行政関係機関, 地権者等, 参加者数約 30 名
淡水レンズの保全管理セミナー	マジュロ(マーシャル)	平成 24 年 10 月 26 日	調査成果の公表, 関係者の発表等。大使館, JICA, 現地行政関係機関, 地権者等, 参加者数約 20 名
淡水レンズの保全管理セミナー	マジュロ(マーシャル)	平成 25 年 10 月 24 日	調査成果の公表, 関係者の発表等。大使館, JICA, 現地行政関係機関, 地権者等, 参加者数約 30 名
バイオマスの有する巧な構造とその利活用セミナー	つくば大学	平成 25 年 12 月 20 日	調査成果の公表。筑波大学北アフリカ研究センターの研究者等, 参加者数約 20 名
第6回淡水レンズの保全管理セミナー	マジュロ(マーシャル)	平成 26 年 10 月 24 日	調査成果の公表, 関係者の発表等。大使館, JICA, 現地行政関係機関, 地権者等, 参加者数約 30 名

### (3) 国内外の広報活動

講演会等名称	演題・活動内容	開催都市名(国名)	参加者数	開催年月日
第 6 回世界水フォーラム 日本パビリオン JIRCAS ブース展示	ポスターペーパー「淡水レンズの管理保全」	マルセイユ(フランス)	約 3 万	平成 24 年 3 月 12~17 日
第 6 回太平洋・島サミットサイドイベント	ポスターペーパー「淡水レンズの管理保全」展示	東京(日本)	約 4 万	平成 24 年 5 月 24~27 日
つくば一般公開	パネル展示・説明	つくば市(日本)		平成 25 年 4 月 18~20 日



グローバルフェスタ 2013	ポスターペーパー展示・パンフレット配布・説明	東京(日本)	約 8 万	平成 25 年 10 月 5～6 日
INCHEM TOKYO 2013	淡水化装置の開発に関するポスターペーパー展示・動画放映・パンフレット論文配布	東京(日本)	約 3 万	平成 25 年 10 月 30～11 月 1 日
NANO TECH 2014	淡水化装置の開発に関するポスターペーパー展示・動画放映・パンフレット論文配布	東京(日本)	約 5 万	平成 26 年 1 月 29～31 日
グローバルフェスタ 2014	ポスターペーパー展示・パンフレット配布・説明	東京(日本)	不明(雨天)	平成 26 年 10 月 4～5 日

#### (4) 国内外の国際会議・委員会等

国際会議・委員会等名称	主催者名	開催都市名(国名)	開催年月日
第 3 回運営委員会	JIRCAS, MRD	マジュロ(マーシャル)	平成 23 年 4 月 29 日
ローラ統合的水・土地管理 諮問委員会	JIRCAS, EPA	マジュロ(マーシャル)	平成 23 年 5 月 17 日
第 4 回運営委員会	JIRCAS, MRD	マジュロ(マーシャル)	平成 24 年 4 月 24 日
第 5 回運営委員会	JIRCAS, MRD	マジュロ(マーシャル)	平成 25 年 4 月 24 日
第 6 回運営委員会	JIRCAS, MRD	マジュロ(マーシャル)	平成 26 年 4 月 21 日

## 付属資料

### 2. 論文・資料リスト

- ・ 大使館/JICA 現地説明会資料（和文）(2012.8)「淡水化装置の開発」
- ・ Kondou, Y., Koda, K., Omori, K., Kawamitsu, Y., Ueno, M.,(2013.6) Properties and Structure of Bagasse Char, and Novel Application for Production of Freshwater by Seawater Desalination, ISSCT, No.28, 2013. (国際甘蔗糖技術者会議（英文）)
- ・ Kondou, Y., and Koda, K.,(2013.9) Development of the Desalination Device, Majuro Explanation Meeting, 2013. (運営委員現地説明会資料（英文）)
- ・ Koda, K., and Kondou, Y.,(2013.10) Desalination Device, 5th Seminar on Conservation and Management of the Freshwater Lens. (第5回淡水レンズ保全管理セミナー資料(英文))
- ・ 近藤義和, 幸田和久(2013.11) 太陽熱蒸発法による淡水化装置の開発-マーシャル諸島共和国での実証試験報告-, 太陽/風力エネルギー講演論文集 2013 (日本太陽エネルギー学会), pp.467-470.
- ・ 近藤義和, 幸田和久(2014.3) バガス炭を用いた太陽熱吸収システムとその応用, 第61回応用物理学会 (九大)
- ・ Koda, K.(2014.4) Development of the Desalination Device, Majuro Explanation Meeting, 2013. (運営委員会現地説明会資料（英文）)
- ・ Koda, K.(2014.10) Desalination Device, 6th Seminar on Conservation and Management of the Freshwater Lens. (第6回淡水レンズ保全管理セミナー資料(英文))

(備考) 特許（意匠）出願件数は2件である。

## 付属資料


### 3. 聞き取り調査リスト

第1回灌漑フォーラム参加者との情報提供、及び質疑応答の概要を記載する。

(No. 1)


氏名	Kumar 教授
所属	インド国農業経済学
テーマ	灌漑が作物と環境に及ぼす影響
水源	河川
灌漑手法	スプリンクラー
問題点	灌漑開発
植物・作物	果樹
淡水化装置の利便性・適用性	ある。コストの低減と大型化を期待している。
写真	

(No. 2)

氏名	Siddamal 課長
所属	インド国灌漑省
テーマ	シミュレーションによる統合的水管理
水源	ため池
灌漑手法	表面灌漑
問題点	水量
植物・作物	米、茶、小麦
淡水化装置の利便性・適用性	メカニズムを知りたい。コストは高価ではない。
写真	




(No. 3)

氏名	Karagoz 課長
所属	トルコ国州水利工事総局
テーマ	区画整理事業
水源	河川
灌漑手法	表面灌漑
問題点	水量
植物・作物	米
淡水化装置の利便性・適用性	たいへん見込まれる。
写真	


(No. 4)

氏名	Einaz 技師
所属	イラン国 Doroudzan かんがい排水ネットワーク
テーマ	SWAP モデルシミュレーション
水源	河川
灌漑手法	表面灌漑
問題点	水量
植物・作物	小麦
淡水化装置の利便性・適用性	世界中どこでも使えそうである。
写真	

(No. 5)


氏名	橋本研究員
所属	地球総合環境研究所
テーマ	水の再利用
水源	永源寺ダム
灌漑手法	重力灌漑、ポンプ灌漑
問題点	水量
植物・作物	水田
淡水化装置の利便性・適用性	バガスなしでも沸騰しているのはすごい。何度まで水温は上昇するのか？常に給水が必要ではないか？
写真	 A woman in a dark jacket and light-colored pants stands next to a small, portable water treatment device. The device is a blue and white unit on wheels. They are outdoors on a paved area in front of a building with large windows. The background shows a dry, hilly landscape under a clear blue sky.

(No. 6)

氏名	Mustafa 農業技師
所属	トルコ国州水利工事総局
テーマ	排水
水源	地下水
灌漑手法	ポンプ灌漑
問題点	水質
植物・作物	果樹、綿、穀物
淡水化装置の利便性・適用性	コストは？太陽光のみで沸騰するのか？淡水生産量は？
写真	 A group of people, including a man in a patterned jacket and a woman in a black top, are looking at a large display board. The board contains various charts, graphs, and text. They are indoors, in a room with large windows and a wooden floor. The display board is part of a presentation or exhibition.



(No. 7)

氏名	Mustafa 農業技師
所属	IWMI(ウズベキスタン国)
テーマ	コスト
水源	河川
灌漑手法	表面かんがい
問題点	水量
植物・作物	綿、穀物、果樹、野菜
淡水化装置の利便性・適用性	バガスは永久に使えるか？それ以外に使える吸熱材はないか？
写真	 A photograph showing three men in a meeting room. One man in a dark suit is pointing at a presentation board. Two other men, one in a light shirt and tie and another in a light blue shirt, are looking at the board. The room has large windows with yellow curtains.



## 付属資料

### 4. 参加者リスト

本課題は、2011年から2014年の4年間、下記の参加者の協力によって実施された。

[マーシャル諸島共和国]

日本大使館

安細和彦，水谷正孝

JICA マーシャル支所

友部秀樹，石塚順次，江崎弘信，仲宗根哲治

資源開発省

レベッカ・レローニ

マジュロ廃棄物公社

ジョレリック・ティボン

環境保護庁

ローエル・アリック，デボラ・ベーカー・マナセ，エイブラハム・ヒッキング，ジュリアス・ラッキー，ジョアン・コマンタ，ダグラス，ポール・ポール，ロドリゴ，近藤礼華

内務省

事務次官代理

マジュロ環礁地方政府

市長代理

マジュロ上下水道公社

ジョセフ・バトール，アーリントン・ロバート，ハルストン・デブルーム

マジュロ気象サービス事務所

リー・チェックリック

マーシャル諸島短期大学

カール・ハッカー, ダイアン・ミヤゾエ, ランウェ・フォスター, ビウマ・サムソン

マジュロドウィッツベスト (Majuro Do It Best)

ラリー・ヘルナンデス

日本リサイクル社.

吉村進

[その他]

ハワイ大学

グレン・フクモト, アンドレア・カワバタ

[日本]

JIRCAS

幸田和久, 小林勤, 大森圭祐, 飯泉佳子

京都工芸繊維大学 (前琉球大学)

近藤義和

琉球大学

川満芳信, 上野正美

沖縄産業

日高, 津嘉山

大興製作所

矢沢

[編集委員]

川島知之, 土居邦弘, 山岡和純