

令和 4 年 6 月 3 日現在

機関番号：82626

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19H04331

研究課題名(和文) 太陽光をエネルギー源とした光熱変換膜による海水淡水化の研究

研究課題名(英文) Seawater desalination with photothermal conversion membranes using the energy of sunlight

研究代表者

藤原 正浩 (Fujiwara, Masahiro)

国立研究開発法人産業技術総合研究所・材料・化学領域・上級主任研究員

研究者番号：90357921

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 15,900,000円

研究成果の概要(和文)：太陽光を熱へと有効に変換することができる光熱変換膜と疎水性膜とを海水と接触させ、太陽光を照射すると海水は気化して疎水性膜を透過し、膜下に海水から得られた淡水ができる。この海水淡水化を連続的に行うため、海水を親水性膜により自動供給し、この上に光熱変換膜を重ねる三重膜法を作製した。また、海水からの水蒸気が凝縮する際の凝縮熱を回収してエネルギー効率を向上させるため、この三重膜を多段に積み重ねた多段膜法を考案した。この多段膜法によって太陽光エネルギーの利用効率100%以上で海水から淡水を得ることに成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

地球規模での水不足問題を解決するには、海水を淡水化することが有効な方法である。しかしながら現在実施されているほとんどの海水淡水化は化石燃料を利用しているため、地球温暖化を促し、さらなる水不足問題を引き起こす可能性がある。本研究は、海水淡水化のためのエネルギーを太陽光エネルギーでまかなう方法の創出を目的としており、その成果は地球温暖化をもたらさない海水淡水化法を社会に提案することができる。また、本研究では光エネルギーの変換法も検討するため、太陽光エネルギーの高度利用の基礎構築にも貢献できる。

研究成果の概要(英文)：The production of freshwater by the desalination of seawater is performed with photothermal conversion membranes that efficiently convert solar energy to heat and hydrophobic membranes using the energy of sunlight. Three-ply membrane system made of photothermal conversion, hydrophobic and hydrophilic membrane was fabricated for the mass production of freshwater, where seawater was automatically supplied using hydrophilic membranes. Multi-stage three-ply membrane apparatus was intended to the recycle use of the latent heat obtained by the condensation of water vapor, which improves the utilization efficiency of solar energy. Using this multi-stage apparatus, large volume of freshwater was obtained from seawater with the efficiency of solar energy more than 100%.

研究分野：材料化学、環境化学

キーワード：海水淡水化 太陽光 光熱変換材料 エネルギー変換 淡水製造 微細構造 太陽熱蒸留

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

研究代表者のこれまでの研究から、アゾベンゼン修飾陽極酸化アルミナ膜への紫外・可視光の同時照射下で起きる水の膜透過は、アゾベンゼンの分子運動(あるいは、この運動により誘起された発熱)が水を気化することによって引き起こされることを明らかにした。この現象は、水が気化しての膜透過であるため蒸留と同じ機能を持ち、気化した水蒸気を回収できれば海水の脱塩が可能であり、海水淡水化へと利用できる。次に、アゾベンゼンのように光異性化能はないが、太陽光に含まれる幅広い波長の可視光を吸収できるディスパースブルー 14 等の色素類を修飾した PTFE などの疎水性膜を用いると同様に海水淡水化が可能であると確認し、本技術を、太陽光を利用した技術に進展させることができた。また可視光と共に太陽光の主成分である近赤外線も吸収能が高いソルベントブラック 5 を用いると、さらに多くの海水から淡水を得ることに成功した。疎水性膜は撥水性であるため膜上の海水量が低下する球状の水滴となり膜との接触面積が減少するという問題があるが、疎水性膜上に親水性膜を重ねる二重膜法を採用することでこの課題を克服することもできた。この二重膜法では、色素類は親水性膜にのみ修飾すればよく、疎水性膜は非修飾のものをそのまま使用でき、システムの簡便化にも繋がった。このように、アゾベンゼン修飾陽極酸化アルミナ膜を改良・最適化することで、太陽光を利用した海水淡水化法を創出することに成功していた。しかしながら、太陽光エネルギーの海水淡水化への利用効率は依然 50% よりも低く、エネルギー効率の向上や淡水の大量製造という課題が残っていた。

### 2. 研究の目的

本研究は、「1. 研究開始当初の背景」で述べた課題を克服し、本海水淡水化技術を実用的水準にまで高めることを目的とした。淡水を大量に製造するには、疎水性膜上へ海水を多量に導入する必要があるが、膜上の水量が増えると淡水化効率が低下することがこれまでの研究でわかっている。そのため、膜上の海水を少量に維持しながら自動的に供給できる装置を構築する必要がある。そこで本研究では、親水性膜の毛細管力や植物の蒸散流機構を応用した海水の自動供給法を検討し、この方法の最適化を試みることにした。一方、疎水性膜下に回収される淡水は、膜を透過した水蒸気が凝縮して得られるが、従来の方法ではこの水蒸気を十分に回収できていないため、淡水回収量から算出される太陽光エネルギー利用効率が 50% よりかなり低いものになったと考えられる。そこで、この凝縮過程を改良することで淡水の回収量を増加させることで、実際上の太陽光利用効率の向上も試みた。さらに、この水蒸気の凝縮の際に放出される凝縮熱を再利用することで、エネルギー利用効率を飛躍的に向上させ、最終的には 100% 以上となるような海水淡水化技術の創出を目指した。

### 3. 研究の方法

本研究では、疎水性膜としては PTFE 膜を用い、その上にセルロース製の親水性膜を重ねる二重膜法を基本とし、この方法の改良を試みた。色素としては地表の太陽光とよく一致するスペクトルを持つ黒色色素であるソルベントブラック 5 を用い、これを親水性膜にのみ修飾(塗布)した。この二重膜をフランジに挟み膜上に海水を貯める装置を構築し、上方からソーラシミュレータの疑似太陽光や実際の太陽光を照射し、膜下に回収された水の量とその塩濃度(電気伝導率から算出)を測定することで海水淡水化性能を評価した。また、この装置への海水の自動供給のため、一辺を長くしたセルロース製親水性膜を疎水性膜上に配置し、さらにその上に光熱変換膜を重ねた三重膜法を用いて、親水性膜の毛細管現象を応用した海水の装置下方からの自動供給を行った。膜下での水蒸気の凝縮を促し淡水回収量を増加させるため、ヒートシンク等を膜下に設置、また熱の放出を促すアルミニウム製放熱板をその下に敷くなどの改良も加えた。一方、三重膜部分を多段化した装置を用い、疎水性膜を透過した水蒸気から淡水が生成する際の凝縮熱を回収する装置も考案した。この装置では、PTFE 膜下に種々のシートを置き、その下に海水を汲み上げたセルロース製親水性膜を敷き、シート上の水から放出された凝縮熱を、シートを通じて親水性膜に染み込んだ海水へ伝導させることを目的とし、太陽光エネルギーのリサイクル利用も検討した。

### 4. 研究成果

研究開始当初は、地表に届く太陽光に含まれる紫外線・可視光から近赤外線までを良好に吸収できる色素であるソルベントブラック 5 を修飾したセルロース製親水性膜を疎水性の PTFE 膜上に重ねた二重膜法を基本として検討した。疑似太陽光を上方から照射すると PTFE 膜下に脱塩された淡水を得ることができた。膜下に回収される淡水の量は、膜上に導入した海水が少ないほど多くなる傾向があった。これは、海水量が少ない場合、PTFE 膜上に海水が薄く拡がり色素の発熱を効果的に水の気化に利用できるためであるが、海水導入量が少量のため海水は短期間に消費されてしまい、海水を随時加えるという煩雑な操作が必須となる。

セルロースろ紙等の親水性膜は、毛細管力で水を吸い上げる蒸散流と類似の機能を持つ。そこで、海水の自動供給のため、一辺を長くしたセルロース製親水性膜を用い装置下方から海水を吸

い上げて自動供給する装置を作った(図1-A)。色素を修飾していない膜は容易に海水を吸い上げることができたが、ソルベントブラック5修飾部での水の展開(染みこみ)が著しく抑制された。これはソルベントブラック5が疎水性化合物であり、水の展開が阻害されたためである。そこで、非修飾の親水性膜上に光無反射のシート材(市販品ファインシャットSP、図1-Bは走査型電子顕微鏡像)を重ねる三重膜法を創出した。図1-Cにはソルベントブラック5を修飾したセルロースろ紙とファインシャットSPの拡散反射スペクトルを示す。ソルベントブラック5修飾ろ紙は波長1000nm以上の近赤外線の多くを反射しているが、ファインシャットSPは波長300nmの紫外線から波長2200nmの近赤外線までを反射しておらず、地表の太陽光の全てを利用できると考えられる。この三重膜法では海水はセルロースろ紙中を迅速に拡がり、海水淡水化が実現できた。この装置のPTFE膜下の水受部を熱放出性の高いアルミニウム製シャーレにした場合、シャーレ内に回収できた水量は30分照射後で0.29gであった。また、毛細管力を用いて海水を自動的に供給した場合、海水を適宜供給すること無く6時間以上の連続稼働も可能であった。

太陽光による発熱を利用して海水を気化させる海水淡水化法には、(1)太陽光エネルギーを利用した光熱変換材料の発熱、(2)この熱による海水の気化、および(3)気化した水蒸気の凝縮による脱塩された淡水の生成の三つの過程がある。ファインシャット等の光熱変換材料による発熱の過程(1)、親水性のセルロースろ紙中を薄く拡がった海水気化の過程(2)は、上記の検討で一定程度の最適化ができたと考えられるが、水蒸気の凝縮により淡水が生成する過程(3)は十分に最適化されたとは言えない。そこで、水蒸気の凝縮を促すため熱拡散が速く表面積の大きいアルミニウム製ヒートシンクをシャーレ内に設置することとした。その結果、シャーレ内に回収できた水量は30分照射後、0.29gから0.52gへと増加した。また、このヒートシンクを設置したアルミニウム製シャーレをアルミニウム製の放熱板上に置いた場合、回収水量はさらに増えた(30分照射後0.65g)。これらの実験では装置のPTFE膜より上の構成は全く同じであり、放熱を促し膜下部の水蒸気の凝縮を促進することのみで水の回収量を著しく増加させることができたことであり、過程(3)の改良に成功した。また、それと同時に、この水蒸気凝縮過程が淡水製造において極めて重要であることも確認された。人工海水を用いて同じ実験を行うと、30分照射後に0.62gの塩濃度0.01%未満の淡水を得ることができ、また海水自動供給によって照射時間を6時間に延ばすと、7.11gの淡水を得ることができた。

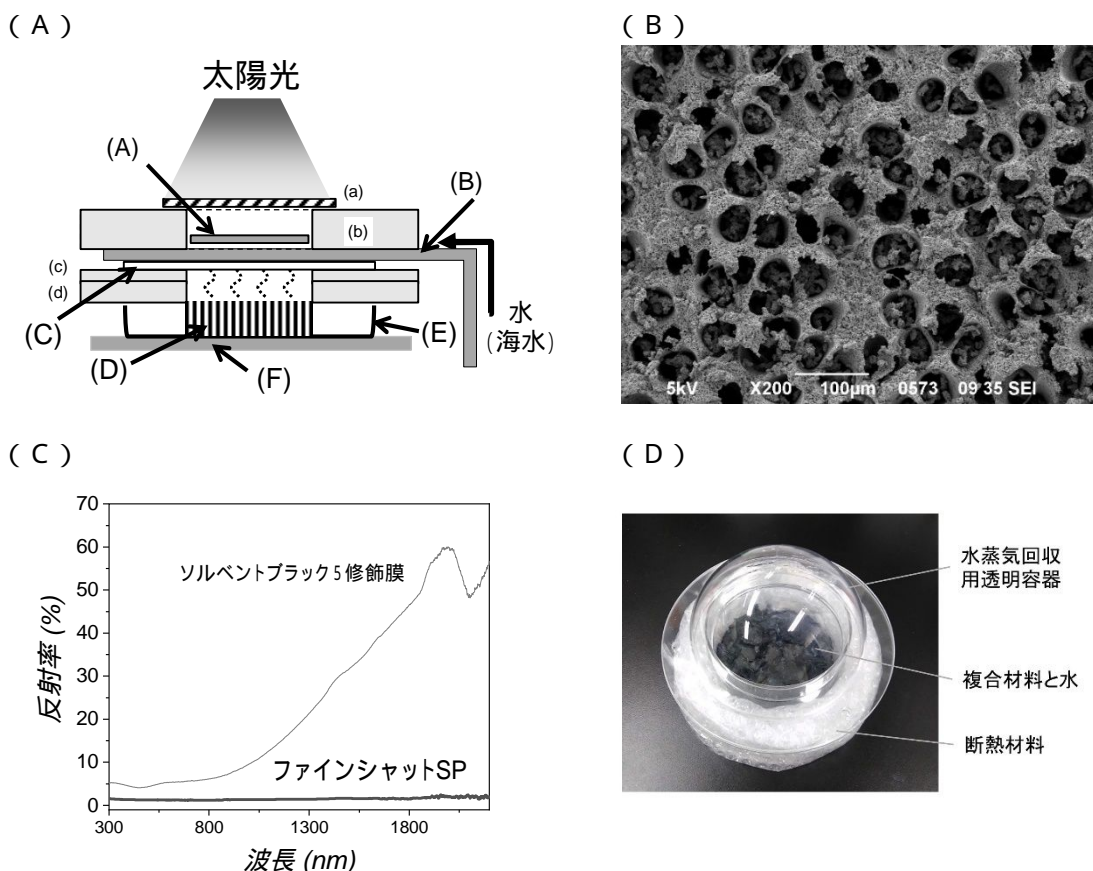


図1 (A) セルロース製親水性膜による水の自動供給を組み込んだ海水淡水化装置、(B) 光熱変換シート(ファインシャットSP)の走査型電子顕微鏡、(C) 光熱変換材の拡散反射紫外可視近赤外スペクトル、(D) 窒化チタン複合材料を入れた太陽熱蒸留器

一方、国立研究開発法人物質・材料研究機構では、太陽熱による海水蒸留用ナノ材料として、セラミックウールに窒化チタンナノ粒子を化学的に修飾した複合材料を作製した。別途、蒸発し

た水蒸気を回収できる簡易太陽熱蒸留器も作製し、その中に上述の複合材料を入れ、屋外での実太陽光による熱蒸留の実証実験を行った(図1-D)。6時間屋外に放置することで、脱塩水は約28 mL得られた。これは、太陽光強度が1000 W/m<sup>2</sup>であれば、単位時間単位面積当たり690 mL/h/m<sup>2</sup>の脱塩蒸留水が得られることを意味する。この実験では水蒸気回収容器の内側に親水性コーティングをしても多少の水滴による曇りが発生しており、この曇りをなくすことができれば造水効率はさらに高くなることが予想される。成人が1日に必要な水の量は、約2500 mLとも言われている。今回の実験結果を元に試算すると、標準的な太陽光強度1000 W/m<sup>2</sup>で1時間の日射が続いた場合、約3.5 m<sup>2</sup>(およそ畳2枚分強)あれば成人1人が必要な1日分の蒸留された清浄な飲料水を確保できる。今回の結果は、人口密度が低い地域で海水等の水源があれば、開発した窒化チタン複合材料と太陽熱蒸留器を用いることで最低限必要な蒸留水を確保できることを示したことになる。

上述のように、PTFE膜下での水蒸気の凝縮を促進するには、凝縮熱を迅速に放出させることが有効であることがわかった。ところで、この放出された凝縮熱を別の海水を気化させることに再利用することができれば、海水淡水化の太陽光エネルギーの利用効率を飛躍的に向上させることができる。そこで、PTFE膜下に種々のシートを置いてその上に水蒸気を凝縮させ、このシート下に海水が展開したセルロース製親水性膜を敷くことで、この凝縮熱を海水の気化に再利用できる多段装置を考案した(図2-A)。表1に1段から3段までの多段装置による水の膜透過量を示す。PTFE膜下に回収できる水の総量は段数と共に増加し、3段の装置の3段目においても、1段目や2段目と同等の水を回収することができた。すなわち、凝縮熱は二度再利用されて水を気化させることができ、人工海水を用いた実験ではこの装置においても海水は淡水化された。一方、凝縮熱を下方の海水に伝えるシートを適切に選択することが重要であることがわかった。熱伝導率が1 W/mK以下と熱伝導性の乏しいポリメタクリル酸メチル(PMMA)やポリ塩化ビニル(PVC)をシートとして用いた装置では水の総回収量が多く(Run 3,6)、熱伝導率が200 W/mK以上と高いアルミニウムや銅を用いた装置では総回収量は低くなった(Run 4,5)。PMMAやPVCをシートに用いた場合、段目間の水回収量に大きな差はないが、アルミニウムや銅のシートでは、段目上がるほど回収量が減少している。このことは、PMMA等は凝縮熱を有効に下の段に伝えているが、アルミニウム等では熱を十分に下段に伝えきれておらず、装置外部へ放出させていることを示している。凝縮熱の伝導のモデル実験として、約90℃に加熱した蒸留水1 mLをPMMAシート、あるいはアルミニウムシート上に置き、当該シートの背面の温度をモニターした。結果を図2-Bに示す。アルミニウムシートの場合、温水を置くと迅速に背面の温度は上昇したが、その後温度は急激に下がり4分後にはほぼ最初の温度に戻った。一方、PMMAシートでは背面温度はすぐには上がらないが、10分程度かけてゆっくりと温度が下がっていった。すなわち、水の熱をゆっくり背面に伝えているということである。このゆっくりとした熱伝導により、凝縮熱はセパレータ下方の海水を含んだセルロースろ紙に無駄なく伝わり、効率良く海水を気化させたものと考えられる。

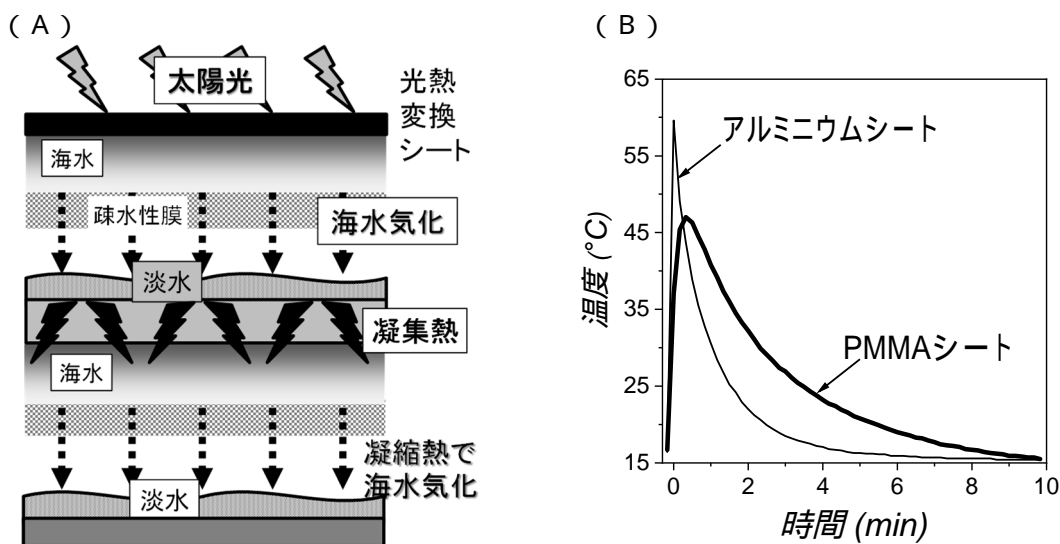


図2 (A) 水蒸気の凝縮熱を再利用する多段装置の概念図、(B) 約90℃の水滴(1 mL)を置いた種々のシートの水滴下面での温度変化

親水性のセルロースろ紙を用い毛細管力で海水をくみ上げる方法では、光が照射されるろ紙上方末端部には濃縮された海水や海水に含まれた塩分が残ることになる。図3-Aに示すように、脱塩された淡水の回収量の増加割合は照射時間と共に減少する。使用後のセルロースろ紙には海水から析出した塩成分が観測でき、この塩が淡水製造を抑制したのと考えられる。そこで、セルロースろ紙内での塩成分の析出を抑えるため、上方から下方に海水を流すサイフォン法(図

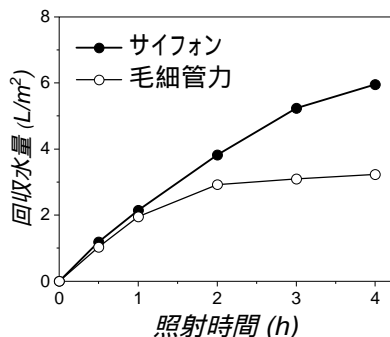
3-B)を考案した。この方法での淡水回収量の増加は照射時間とほぼ比例して増えた(図3-A)。このサイフォン法を用いた装置を用い、海から採取した実海水を実際の太陽光の照射下において行った実験の結果から、真夏の太陽光(1000 W/m<sup>2</sup>)を4時間利用できる場合、大人が1日に必要とされる飲料水量約1.5 Lを製造するためには0.3 m<sup>2</sup>弱の膜面積で達成可能であると算出でき、本海水淡水化法は実現可能の高い技術であることが確認できた。また、その際の太陽光エネルギー利用効率は100%以上となった。

表1 凝縮熱を再利用する多段装置による水の膜透過量

Run	段数	シート材料	回収水量 (L/m <sup>2</sup> /h)				エネルギー効率 (%)
			1 段目	2 段目	3 段目	合計	
1	1	PMMA	0.81	-	-	0.81	35
2	2	PMMA	0.63	0.76	-	1.38	59
3	3	PMMA	0.65	0.71	0.71	2.07	89
4	3	Al	0.64	0.45	0.27	1.36	58
5	3	Cu	0.67	0.30	0.17	1.14	49
6	3	PVC	0.65	0.69	0.67	2.02	86
7	3 [1]	PMMA	0.43	0.62	0.36	1.41	60

照射条件：1000 W/m<sup>2</sup>、1時間。照射範囲：40×40 mm。[1] 人工海水(Marine art SF-1)使用。

(A)



(B)

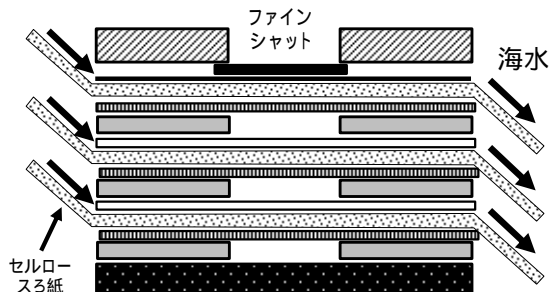


図3 (A)海水の自動供給に毛細管力、あるいはサイフォン法を用いた場合の回収水量の経時変化、(B)サイフォン法の概念図

疎水性膜細孔中における水溶液の挙動の解析では、細孔内の試料溶液の NMR スペクトルがブロード化するため分子の運動性が著しく低下していることを明らかにしたが、この NMR 法によるさらに詳細な解析は困難であることもわかった。そこで、膜蒸留の手法を用い PTFE 膜に水蒸気を透過させ、膜の状態を赤外線スペクトル(Attenuated Total Reflection; 全反射測定法 ATR)で観察することにした。その結果、PTFE 膜上に単に蒸留水を展開しただけでは観測されないが、PTFE 膜上に 60 °C の温水(蒸留水)を展開し水蒸気を膜透過させた場合、1030 cm<sup>-1</sup>近傍の吸収に変化が観測された。フッ化水素はこの領域に吸収を持つと報告されており、PTFE 膜表面に吸着した水蒸気とフッ素との何らかの相互作用が観測された。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計10件（うち査読付論文 9件 / うち国際共著 4件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Fujiwara Masahiro, Kikuchi Masaki, Tomita Kisho	4. 巻 190
2. 論文標題 Freshwater production by solar desalination of seawater using two-ply dye modified membrane system	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 DESALINATION AND WATER TREATMENT	6. 最初と最後の頁 1~11
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5004/dwt.2020.25624	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 藤原正浩	4. 巻 26
2. 論文標題 太陽光を用いた環境に優しい海水淡水化技術	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 保全科学 (大阪大学環境安全センター誌)	6. 最初と最後の頁 2~8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Besteiro Lucas V., Cortes Emiliano, Ishii Satoshi, Narang Prineha, Oulton Rupert F.	4. 巻 129
2. 論文標題 Hot electron physics and applications	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 150401~150401
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0050796	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Fujiwara Masahiro, Tomita Kisho, Kikuchi Masaki	4. 巻 92
2. 論文標題 Seawater Desalination with Light Energy Incorporating Artificial Transpiration Stream Using Gas Injection Tube	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Bulletin of the Chemical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 1024~1031
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1246/bcsj.20180395	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Fujiwara Masahiro	4. 巻 73
2. 論文標題 Water managements with membrane permeation using light energy	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Bulletin of the Society of Sea Water Science, Japan	6. 最初と最後の頁 328 ~ 338
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Stanciu Stefan G., Tranca Denis E., Pastorino Laura, Boi Stefania, Song Young Min, Yoo Young Jin, Ishii Satoshi, Hristu Radu, Yang Fang, Bussetti Gianlorenzo, Stanciu George A.	4. 巻 3
2. 論文標題 Characterization of Nanomaterials by Locally Determining Their Complex Permittivity with Scattering-Type Scanning Near-Field Optical Microscopy	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 ACS Applied Nano Materials	6. 最初と最後の頁 1250 ~ 1262
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsanm.9b02019	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Fujiwara Masahiro, Takahashi Kouki, Takagi Kaito	4. 巻 508
2. 論文標題 Improvement of condensation step of water vapor in solar desalination of seawater and the development of three-ply membrane system	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Desalination	6. 最初と最後の頁 115051 ~ 115051
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.desal.2021.115051	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Ishii Satoshi, Kaur Manpreet, Nagao Tadaaki	4. 巻 59
2. 論文標題 Solar Water Distillation Using Titanium Nitride Nanostructures	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of the Society of Powder Technology, Japan	6. 最初と最後の頁 79 ~ 82
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.4164/sptj.59.79	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Ishii Satoshi, Higashino Makoto, Goya Shinya, Shkondin Evgeniy, Tanaka Katsuhisa, Nagao Tadaaki, Takayama Osamu, Murai Shunsuke	4. 巻 10
2. 論文標題 Extreme thermal anisotropy in high-aspect-ratio titanium nitride nanostructures for efficient photothermal heating	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Nanophotonics	6. 最初と最後の頁 1487 ~ 1494
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1515/nanoph-2020-0569	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Besteiro Lucas V., Cortes Emiliano, Ishii Satoshi, Narang Prineha, Oulton Rupert F.	4. 巻 129
2. 論文標題 Hot electron physics and applications	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 150401 ~ 150401
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0050796	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計17件 (うち招待講演 3件 / うち国際学会 8件)

1. 発表者名 藤原正浩、高橋滉希、菊地正希、富田貴匠
2. 発表標題 色素修飾多重膜を用いた太陽光による海水淡水化
3. 学会等名 2020年度日本海水学会第71年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Fujiwara Masahiro, Kikuchi Masaki, Tomita Kisho
2. 発表標題 Freshwater production by solar desalination of seawater using membrane permeation
3. 学会等名 12th International Congress on Membranes and Membrane Processes (国際学会)
4. 発表年 2020年



1. 発表者名 Ishii Satoshi、Shinde Satish、Kaur Manpreet、Yu Min-Wen、Nagao Tadaaki
2. 発表標題 Transition metal nitrides and transition metal carbides for photoelectric and photothermal conversions
3. 学会等名 METANANO 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 石井智、シンデ・サティッシュ・ラクスマン、カウアー・マンブリート、ユー・ミンウェン、長尾忠昭
2. 発表標題 遷移金属窒化物の光励起ホットキャリアとその応用
3. 学会等名 分子研研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 藤原正浩、菊地正希、富田貴匠
2. 発表標題 色素修飾疎水性膜を用いた太陽光利用海水淡水化
3. 学会等名 2019年度日本海水学会第70年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 藤原正浩
2. 発表標題 太陽光を用いた環境に優しい技術
3. 学会等名 大阪大学「環境月間」講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Fujiwara Masahiro, Kikuchi Masaki, Kisho Tomita
2. 発表標題 Solar Desalination with Membranes
3. 学会等名 15th IUPAC International Conference on Novel Materials and their Synthesis (NMS-XV) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kaur Manpreet, Ishii Satoshi, Shinde Satish L., Nagao Tadaaki
2. 発表標題 Efficient Water Desalination by using Photoexcited TiN Nanoheaters in Nanoporous Anodized Aluminum Oxide
3. 学会等名 日本表面真空学会学術講演会2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kaur Manpreet, Ishii Satoshi, Shinde Satish L., Nagao Tadaaki
2. 発表標題 Highly Efficient Water Desalination Based on Photoexcited TiN Nanoheaters
3. 学会等名 ICSFS19-The 19th International Conference on Solid Films and Surfaces (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kaur Manpreet, Ishii Satoshi, Shinde Satish L., Nagao Tadaaki
2. 発表標題 Photoexcited TiN Nanoheaters in Nanoporous Anodized Aluminum Oxide for High-Efficiency Water Desalination
3. 学会等名 応用物理学会秋季学術講演会2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 藤原正浩、高城海斗、高橋滉希、菊地正希、富田貴匠
2. 発表標題 Solar seawater desalination using two-ply membrane
3. 学会等名 Pacifichem 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 藤原正浩、山内しのぶ
2. 発表標題 Energy-efficient compact multi-stage solar desalination by automatic seawater feeding
3. 学会等名 5th International Conference on Desalination using Membrane Technology (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 藤原正浩、山内しのぶ
2. 発表標題 太陽光利用海水淡水化の高エネルギー効率化
3. 学会等名 第70回高分子討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Satoshi Ishii, Kaur Manpreet, Shunsuke Murai, Shinya Goya, Makoto Higashino, Katsuhisa Tanaka, Zhi-Ying Yang, Kuo-Ping Chen, Tadaaki Nagao
2. 発表標題 Titanium nitride for light-to-heat and heat-to-light conversions
3. 学会等名 META 2021 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Satoshi Ishii, Nicholaus Tanjaya, Makoto Higashino, Shinya Goya, Evgeniy Shkondin, Katsuhisa Tanaka, Tadaaki Nagao, Osamu Takayama, Shunsuke Murai
2. 発表標題 High aspect ratio structures for extreme anisotropy in effective thermal conductivities
3. 学会等名 METANANO 2021 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 石井 智, 東野 真, 呉屋 伸哉, ショコルデン・エフゲニ, 田中 勝久, 長尾 忠昭, 高山 修, 村井 俊介
2. 発表標題 高アスペクト比窒化チタン構造の光熱変換と異方性熱伝導
3. 学会等名 第82回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 タンジャヤ・ニコラウス, カウアー・マンプリート, 長尾 忠昭, 石井 智
2. 発表標題 Photothermal Heating and Heat Transfer Analysis of Titanium Nitride Nanostructures
3. 学会等名 第18回プラズモニクスシンポジウム
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

受賞 1) 日本海水学会親潮賞 「色素修飾疎水性膜を用いた太陽光利用海水淡水化」藤原 正浩、2019年6月6日 2) Distinguished Award 2019 for Novel Mater. Synth. ; ; IUPAC & NMS "Porous materials to environ. technol. using light", 藤原 正浩、2019年9月10日 3) 文部科学大臣表彰 若手科学者賞 「遷移金属窒化物光励起電荷の機能開拓に関する研究」、石井智、2021年4月17日
---

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	石井 智  (Ishii Satoshi)  (80704725)	国立研究開発法人物質・材料研究機構・国際ナノアーキテク トニクス研究拠点・主幹研究員   (82108)	
研究分担者	金久保 光央  (Kanakubo Mitsuhiro)  (70286764)	国立研究開発法人産業技術総合研究所・総務本部・総括企画 主幹   (82626)	2020年度から削除(産業技術総合研究所内での人事 異動により、担当業務が研究ではなくなり、研究を 継続することが困難になったため)

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関