

新たな資源としての海洋深層水の現状と展望 —島嶼地域のGX社会モデルの中核として期待と課題—

Current Status and Prospects of Deep Ocean Water as a New Resource Expectations and Challenges as the Core of GX Society Model in Island Regions

池上康之*

1. はじめに

海洋深層水は、国際的にGX（グリーントランスフォーメーション）が最重要施策の一つとして推進されている中、新しい資源として、また、「七つの海」に次ぐ「8番目の海」として期待されている。このような状況の中、この海洋深層水を核として利用した沖縄県久米島の「久米島モデル」が、島嶼地域のGXモデルとしてADB（アジア開発銀行）やUNIDO（国際連合工業開発機関）、IRENA（国際再生可能エネルギー機関）など多くの国際機関から注目されている。

この「久米島モデル」は、沖縄県久米島に設置された海洋温度差発電を核とした海洋深層水複合利用による「エネルギー」「水」「食糧」「雇用」などの「カーボンニュートラルで持続可能な先進的島嶼地域のGX社会モデル」である。沖縄県久米島では、2000年、水深約600mの海底に海洋深層水取水管が設置され、2013年にはこの海洋深層水を利用した海洋温度差発電の実証試験が世界に先駆けて開始された。海洋深層水取水管の設置前は、サトウキビが久米島町の最大の産業であったが、現在は、海洋深層水を利用した海洋深層水利用産業が、サトウキビの約2.5倍の産業規模になっている。一方、近年、海洋深層水の産業利用が進み、この海水量は不足し逼迫している。この状況を解決するために、久米島町は、国の支援を得て令和3年度より約10倍の取水量を目指した新たな海洋深層水取水管設置の可能性調査（FS）を実施している。

我が国の島嶼地域をはじめ海洋深層水が取水可能な沿岸地域のGX社会実装を推進するために、「GX公共インフラ」として「海洋深層水利用施設」が整備されれば、北海道から沖縄まで全国の離島で、

この「先進的SDGs離島モデル」が構築され、離島の総合的かつ戦略的な強靱化に貢献できる。まさに、このことは、令和5年4月に閣議決定された『第4期海洋基本計画』において、「離島における海洋深層水等の地域資源を活用した産業の振興を通じて、海洋産業の振興を図るとともに、再生可能エネルギーの利用の促進を図る」と掲げられている。さらに、この日本版離島モデルである「先進的SDGs離島モデル」は、世界の島嶼地域のSDGs推進にも国連等の国際機関と連携して貢献できる。

本稿では、この海洋深層水を核とした複合利用による「エネルギー」「水」「食糧」「雇用」などの「持続可能な先進的離島の地域社会モデル」の現状と課題、および推進のためのモデルについて概説する。

2. 海洋深層水とは

海洋深層水は¹⁻⁵⁾、光合成による有機物生産よりも有機物分解が卓越し、かつ鉛直混合や人為の影響が少ない、補償深度（主に水深200m）以深の資源性の高い海洋水と定義され、安定した低温性、富栄養性、清浄性、水質の安定性など、表層水に比べて多くの有用な特徴を持っている。

海洋深層水は、大元をたどれば表層の一般的な海水であるが、高緯度地域で冷やされ比重が大きくなった表層の海水は、200m以深の深海に沈降する。深海では光が十分には差し込まないために、光合成による有機物生産が進まない一方、マリンスノーと呼ばれる表層から沈降した有機物は微生物の働きにより無機物の状態まで分解される。その結果、有機物の分解産物である無機栄養塩類は海洋深層水中に高濃度で蓄積される。海の深層では、急激な温度変

* 国立大学法人 佐賀大学エネルギー研究所 所長、教授

化がないため水温は低温で安定する。植物によって有機物が生産されないために動物にとっての餌がなく、したがって生物の密度は表層より著しく低く、清浄性が高い。そして上記のとおり無機栄養塩類に富む。

この海洋深層水の①低温安定性、②清浄性、③富栄養性の3つの資源価値を下記の通り利用して、国内外で各種の産業や研究開発が推進されている。特に、この海洋深層水は、世界の「七つの海」に次ぐ「8番目の海」として期待されている。

①冷温性

- ・海洋温度差発電、火力発電への給気冷却・復水器利用
- ・建物・地域冷房（データセンター、直接およびヒートポンプ利用）
- ・周年農業、冷室農業、植物工場
- ・水産養殖
- ・海洋環境保全
- ・海水淡水化（フラッシュ蒸発法）

②清浄性

- ・海水淡水化（RO膜）
- ・水素製造、次亜塩素酸製造
- ・化粧品等高水質要求産業への利用
- ・タラソセラピー

③肥沃性（富栄養性）

- ・ミネラル回収、資源回収（リチウム、マグネシウム、ウラン等）
- ・藻類培養（有価物利用、藻類バイオマス利用）
- ・食品、サプリメントへの利用
- ・飲料への利用
- ・海域肥沃化（水産資源の回復）
- ・漁場創生

特に、この海洋深層水は、下記のことが、期待されている。

- ・海洋温度差発電利用後の海洋深層水のカスケードな副次利用による、カーボンフリーな産業振興効果（図1）
- ・海からの再生可能エネルギー（海洋温度差発電）で一次産業を振興（エネルギー起源CO2排出のない産業へ）
- ・エネルギー効率の高い冷熱利用による省エネ化（90%以上）（空調、データセンターなど）
- ・気候変動により懸念が増した食糧・プロテインクラシスに対するリスクヘッジ。
- ・海水からの希少資源の回収（リチウムなど）

- ・育てる漁業推進による水産資源保全
- ・熱帯・亜熱帯地域・島嶼地域の地産地消：フードマイレージの削減によるGHG排出削減
- ・藻類の増殖と利用による直接的な炭素固定
- ・次世代につなぐ地域教育・環境教育への活用

具体的な実施例としては、次のようなことが挙げられる。海洋深層水を海洋温度差発電の冷熱源として利用する適地は、多くの地域が水問題を抱えており、海水淡水化との複合利用は、実用化推進の大きな力となっている。インドでは、既に2005年より、海洋の温度差エネルギーを用いたスプレーフラッシュ海水淡水化を100トン/日のレベルで実用化させ継続して運用している。一方、この淡水化された水と海洋温度差発電で発電された電気での水素製造によって、電力貯蔵のみならず、エネルギー輸入に頼ってきた地域にとっては、エネルギー輸出に繋がる可能性も米国やフランスを中心に期待されている。さらに近年では、データセンターの急増によりその運用コストで最も占める割合が多い空調冷却に海洋深層水の冷熱性が見直され数多く提案がなされている。データセンターでは、約80%程度の電力削減に繋がることが期待されている。また、海洋深層水を用いて、乱獲や環境変化で水産資源が減少している魚場を修復および回復させ、持続可能な水産資源の確保を目指した海洋牧場などへの複合利用も期待されている。これまで水産庁の「拓海」などの日量10万トン海洋深層水を使ったプロジェクトが提案され取り組まれた。

なお、2023年4月に閣議決定された「第4期海洋基本計画」では、これらの海洋深層水の有効性および実績が認められ、内閣府や経産省等に関連する施策として「海洋の産業利用の拡大の中で海洋深層水等の地域資源を活用した産業振興（海洋基本計画第2部 海洋の産業利用の促進 40-43頁）」が挙げられている。

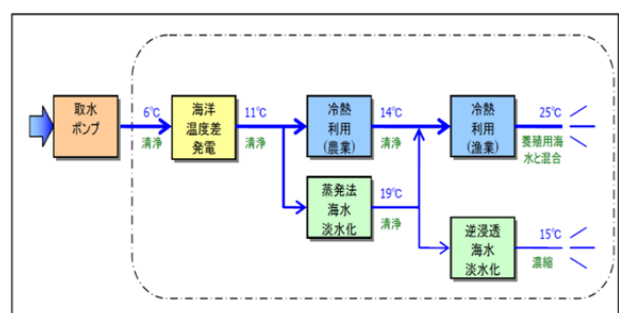


図1 海洋深層水のカスケード利用³⁾

3. 海洋深層水とブルーエコノミー

ブルーエコノミーの視点から海洋深層水を評価したとき、水資源やクリーンエネルギーの創出という役割に限らず、海洋深層水取水施設が設置された地域社会の経済的社会的波及効果および持続可能性の向上への貢献を評価することが重要である。その地域社会における「エネルギー」「水資源」「雇用」「環境保全」「産業創出」「地域強靱化」「農水産業振興」の点での評価が不可欠である。特に、陸上型の海洋深層水利用の場合は、個々の複合利用のコスト指標のみの場合は、それぞれの評価をミスリードする可能性が高い。

内閣府の「平成 29 年度離島地域における海洋深層水を活用した地域活性化可能性調査報告書」⁴⁾によると 1MW の海洋温度差発電の運用が可能な既存の取水量の約 10 倍を可能とする新たな海洋深層水の取水管を設置した場合、「評価期間 45 年間全体を通して費用に対する便益（いわゆる費用対便益法による評価「B/C」）は「2.155」と算定され、評価基準値である「1」を上回る結果となった。このことから取配水設備等インフラ投資に対する社会経済的効率性は、十分にありといえる」と評価している。これは、取配水設備等のインフラ投資に対する直接効果としての売上高、直接雇用人数を含む社会経済的効率性および中・長期的な持続発展可能性、経済効果を調査分析し評価したものであり、経済効果も十分に発現できることが見込める、としている。

現在、日本における海洋深層水の取水施設は、15 箇所である。図 2 に示すように、久米島の取水施設は、我が国最大であり、他の地域と比較して桁違いにその取水量が大きく、日量 1 万 3 千トンである。世界的には、1 位 ハワイ州自然エネルギー研究所、2 位 韓国 江原道高城郡、3 位 台湾 花蓮 / 光隆に次ぐ、第 4 位である。

海洋深層水の取水深さは、日本第 2 位であるが、世界的には、1 位 仏領タヒチ Brighton Hotel (960m)、2 位 ハワイ州自然エネルギー研究所 (915m)、3 位 仏領タヒチ Intercont' Hotel (914m)、4 位 仏領タヒチ Taon 病院 (880m)、5 位 伊豆赤沢 DHC (800m) 6 位 台湾 花蓮 / 台湾肥料 (662m)、7 位台湾 花蓮 / 光隆 (618m) に次ぐ、第 8 位である。

4. 島嶼地域の GX 社会モデルとしての「KUMEJIMA MODEL」

「KUMEJIMA MODEL（久米島モデル）」は、

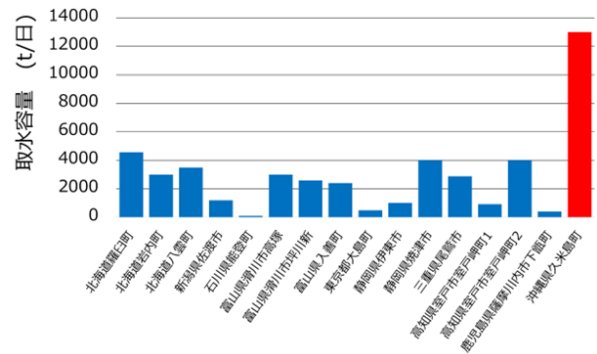


図 2 日本の海洋深層水施設と取水量 (出典：久米島海洋深層水協議会)



図 3 「久米島モデル」 (出典：久米島町)

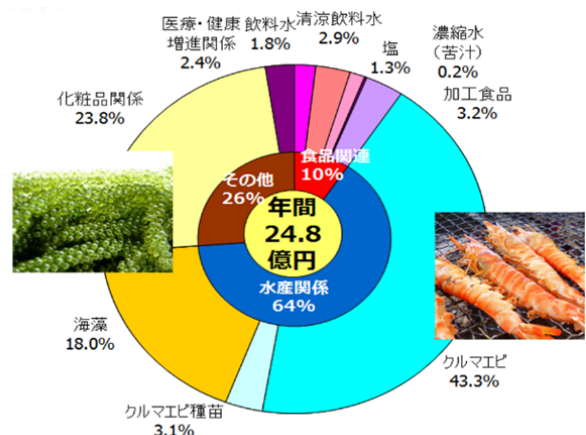


図 4 久米島海洋深層水産業の現況 (出典：久米島海洋深層水協議会)

海洋温度差発電を核として海洋深層水を複合的に利用し、「エネルギー・水・食糧」の自給自足で持続可能な開発を目指す社会モデルとして、国際的に高く評価され、関連分野において多くの国と地域で広く認知されている(図 3)。まさに「久米島モデル」は、「KUMEJIMA MODEL」として国際的に認知されている。この「KUMEJIMA MODEL」は⁶⁾、世

界的に海洋温度差発電および関連の国際会議において、海洋深層水を複合的に利用する持続可能な地域社会のシンボリックな国際的に開発目標および、世界的な先進事例と紹介されることが多い。このような評価は、沖縄県久米島町が、世界に先駆けて実施し、社会的実績とロードマップを示したからであるといえる。一方、本格的な「KUMEJIMA MODEL」の社会実装と運用は、現在の海洋深層水取水量が、既存の約10倍の日量10万トン以上になり、1MW海洋温度差発電プラントが稼働してからであるが、今日の評価は、現在、海洋深層水を利用した久米島町の地域社会が2000年より継続的に発展続けている実績によるところが大きい。特に、久米島町での長年の海洋深層水利用が、新産業創出、雇用創出、観光産業の活性化等の地域経済の活性化に実際に繋がっているからである。

久米島町が将来ビジョンとして提唱している持続的発展モデル「久米島モデル」は、海洋深層水の特徴を余すところなく活用して「エネルギー・水・食糧」を自給し、地域資源を生かした新産業振興地域を構築するという先導的なモデルであることから、海外の島嶼地域からの関心が特に高い。これまでに熱帯・亜熱帯の太平洋の島嶼・沿岸地域を中心として69カ国もの人々が視察に訪れるほどである。この「久米島モデル」の魅力は、モデルが単なる海洋深層水の利用に留まらず、新産業創出、雇用創出、観光産業の活性化等の地域経済の活性化に実際に高い実績を挙げているからである。まさに、地域が有する「海のポテンシャル」を余すことなく有効利用して、持続可能な経済的発展、「カーボンニュートラル」や「GX」に繋がっているからである。「久米島モデル」は、「GX」の国際的な先駆的モデルと言っても過言ではない。

4.1 「KUMEJIMA MODEL」のロードマップ

「KUMEJIMA MODEL」が注目されているのは、カーボンニュートラルやSDGsが叫ばれる中、その実現に向けて国際的に先頭を走るだけでなく、その実現に向けた明確なロードマップを国内および海外に向けて発表していることである。具体的には、2000年海洋深層水利用が始まった頃には、久米島の主産業がサトウキビであった。現在は、久米島における海洋深層水利用関連の産業は、サトウキビ産業の約2倍以上の年間の売上高は24.8億円規模（平成27年度）にまで発展している。特に、「車エビ」および「海ぶどう」においては、出荷額が日本一である。この売上高は久米島全体の農業生産額：年間

19.8億円および水産業生産額：年間22.8億円を上回り、久米島の経済発展を支える産業の柱の1つとなっている。2000年の海洋深層水設置コストの約25億円規模まで年間の売上高が向上した。久米島町では深層水利用産業を経済の発展基盤として地方創生総合戦略の中核に位置付けて、深層水を水産業、製造業、サービス業等総合的に利用する取り組みを進めている。

前述の通り2021年度、久米島町は、国の支援を得て、海洋深層水の取水量が既存（日量1万3千トン）の約10倍の日量10万トン以上の取水管を設置するためのフィジビリティスタディーを開始した。内閣府の試算によると、約10倍の取水管が設置されれば、久米島の海洋深層水産業は、現在の3倍近い年間売上約80億円まで発展するポテンシャルを有していると試算している。

4.2 カーボンニュートラルを目指す「久米島モデル」の挑戦

2020年3月、久米島町は、「久米島町エネルギービジョン2020～持続可能な島を次世代につなぐための再生可能エネルギー100%化に向けて～」を発表した⁵⁾。本ビジョンは、2040年までに、島内で消費されるエネルギーの100%を再生可能エネルギーによって自給することである。なお、久米島に往来するための航空機・フェリー燃料を除いている。

主なシナリオは、下記の通りである。

〈2025年頃〉太陽光発電および蓄電池の価格低下によって、離島地域の厳しい系統接続要件を満たしても採算性がとれる太陽光発電コンセプトが登場し、地域出資の発電事業会社によって普及が再び進む。海洋温度差発電は、2025年頃に海洋深層水の大規模取水開始と同時に実証設備として発電を開始。

〈2030年〉EVの普及が本格化し、新車購入の40%程度を占めるようになる。EVへの充電時間帯の制御（DR）とEVからの電力供給（V2H等）をEMSから行うことにより、日間の電力需給ギャップ調整が火力発電に頼らずに行えるようになる。

〈2035年〉蓄電池（定置型・EV）の普及拡大と制御によってほぼ一定出力での運転となった火力発電を、洋上浮体式の海洋温度差発電が代替し、火力発電はバックアップ用や季節間需給ギャップ調整用のみ使用されるようになる。

〈2040年〉電力から燃料への転換技術、バイオマスの燃料利用技術、機器の電化等のコスト低下により、現在A重油・軽油・灯油等でまかなわれているエ

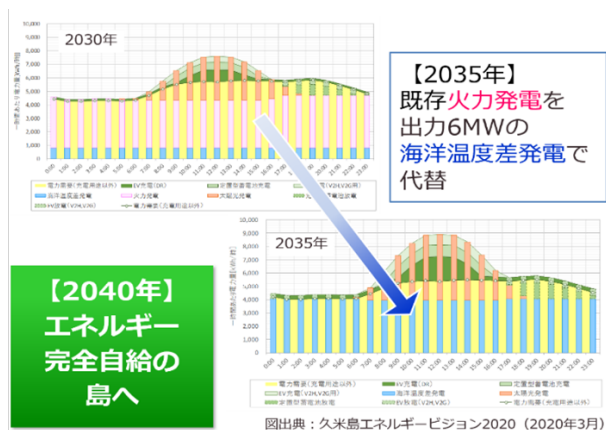


図5 久米島町が海洋温度差発電を核に目指す2040エネルギー完全自給ビジョン

エネルギー需要が再生可能エネルギー化。エネルギー自給率100%を達成。

現実的には、超えなければならない課題も多く簡単ではないが、提案書では、様々なケースへの対応とともに、具体的にベース電源として海洋温度差発電の導入計画が詳細に検討されている。

これらの実現は、単なるカーボンニュートラルの実現に留まらず、「GX」との有機的戦略的な連携によって初めて加速的に推進されるものと考えられる。

4.3 「KUMEJIMA MODEL」が実現できた条件

「久米島モデル」が評価されるたびに、「どうして久米島モデル、実現できたのか」と問われることが多くなっている。

この節では、改めて「久米島モデル」が実現できている要因について整理し、これらの経験が、日本国内に留まらず国際的に「GX」推進に繋がればと期待する。

①海洋深層水設置地域の経済活動を含めた評価

沖縄県が、海洋深層水設置のための調査および評価において、単なる海洋深層水取水管の設置コスト（海底地形、長さなど）だけで判断せず、導入予定地域の経済活動の展望を含めて評価したこと。そのため最終候補地として、久米島に決定した。

②大規模海洋深層水の取水量確保

当時、日本における海洋深層水の取水量の実績および計画は、日量4000トン以下で、そのほとんどが日量2000トンであった。しかし、久米島において当初その規模を計画していたが、最終的には、大規模利用の有効性を評価し、日量13,000トンと従来の3倍以上にしたこと。仮に、久米島が、従来の日量4000トンであれば、現在の海洋深層水利用産

業およびエネルギー利用は、実現しなかった。

設置地域の特性にもより一概に言えないが、海洋深層水のメリットを活かすには、より大規模利用により、経済的利用価値は、高まる。当然、合わせて環境評価も一層重要になる。

③地域社会の熱心な海洋深層水利用への取組

上記①および②は、施策的に出来ても、この③の事項は、その地域社会が有するポテンシャルに寄るところが大きい。

まさに、「久米島モデル」が世界的にも成功したのは、久米島の地域住民の方々の熱心な取組によるところが最も大きいと考える。現在の海洋深層水利用産業のほとんどが、地域住民の方々がゼロから立ち上げた実績である。特に、クルマ海老、海ぶどう、化粧品類などが、代表的である。これらで、久米島町全体の海洋深層水産業の8割以上を占める。

④行政の強力かつ継続的な支援

「久米島モデル」の成功には、地域住民の方々の熱意とポテンシャルが重要であるが、また、それを支える行政の支援も不可欠である。久米島町は、取水管設置当初から、「新エネルギービジョン」、「地方創生」「産業育成」など、海洋深層水を活かした企画立案から長期的なビジョン造りまで、明確に国内および海外に示し、積極的に情報発信するとともに、きめ細かい産業界の支援を熱心に受け入れられていると考える。まさに、この産業界、農水産業界、市民、行政の継続的な連携強化が、今日の「久米島モデル」に繋がったといえる。

5 普及のための課題と推進のためのモデル

海洋深層水の利用普及のための大きな課題は、前述の通り、海洋深層水取水施設の初期投資が膨大であることである。久米島では、日量1万3千トンの取水施設の設置コストを超える経済効果が毎年示されている。今後、より大規模および広い地域で海洋深層水を利用したGXの推進を島嶼地域の「日本版GXモデル」として、普及するためには、これらの課題を解決する必要がある。これらを解決するために著者が考える施策およびモデルは次の通りである。

①海洋深層水の取水設備を上下水道等と同様に公共インフラとして国が施策的に支援する（図6）

海洋深層水の利用は、発電以外に多くの事業者および公共機関が利用するために、上下水道や高速道路のように利用者負担として設置・運用するために

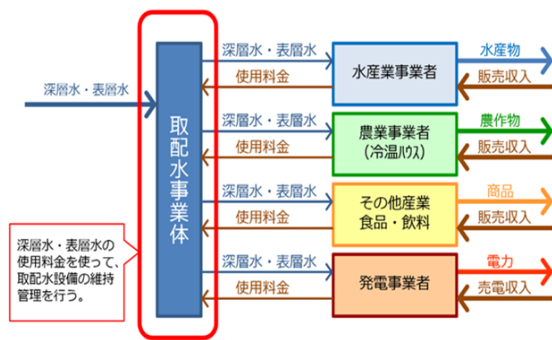


図6 「GX 社会モデル」を推進するための海洋深層水取水管の公共インフラ

公共インフラとして国が支援することが重要である。前述の内閣府の調査および評価に記述されているように、日量 10 万トン以上の海洋深層水取水管の設置に伴う B/C は、1 以上になり事業性は高いことが示されている。このことにより、我が国の海洋利用、特に海洋深層水の利用推進が加速化され、BLUE ECONOMY、地域の強靱化および SDGs 解決に向けて取組が促進されるものと期待される。

- ②他分野におよび海洋深層水取水事業を加速化させるための担当省庁の明確化
- ③ 1MWOTEC 実証事業を早期に実現するための民間を主体とする国家プロジェクトの立ち上げ。
- ④上記③の運用実績による FIT の早期設定。
- ⑤現在、海洋温度差発電の事業化を目指す民間主導のコンソーシアムが推進されている。これの活動を加速化させるための支援制度の充実
- ⑥本分野の実績および技術開発は、日本が世界を凌駕しているため、この「KUMEJIMA MODEL」と島嶼地域の「日本版 GX 社会モデル」として、南太平洋島嶼地域をはじめ、カリブ海や多くの島嶼地域の GX 推進、カーボンニュートラル実現に国際貢献として推進する。

6 おわりに

海洋深層水を核とした「GX 社会モデル」の実績および研究開発は、我が国が世界をリードする分野の一つである。その代表である「久米島モデル」を島嶼地域の「日本版 GX 社会モデル」として、さらに普及させ国際貢献を推進するために、ALL JAPAN としての一層の取組が重要である。

海洋深層水は、まさに太陽エネルギーの塊であり、この海洋深層水の新しい利用技術が、本学会を核としてさらに加速化されることを期待したい。

参考文献

- 1) 佐賀大学海洋エネルギー研究センター
https://www.ioes.saga-u.ac.jp/jp/ocean_energy/
- 2) 「平成 30 年度海洋深層水の利用高度化に向けた発電利用実証事業及び海洋温度差発電における発電後海水の高度複合利用実証事業」報告書
<https://www.pref.okinawa.jp/site/shoko/seisaku/kiban/oceanrenewableenergy/otec/houkokusyo/h30houkokusyo.html>
- 3) 東京財団政策研究所、「ブルーエコノミーの国際動向と日本の状況分析」研究プログラム<2021 年度研究報告>ブルーエコノミーの推進に向けて
～ OTEC からのレッスン～, 2022.4
- 4) 内閣府, 「平成 29 年度離島地域における海洋深層水を活用した地域活性化可能性調査報告書」
<http://www.ogb.go.jp/keisan/oshirase/016535>
- 5) 久米島町, 「久米島町エネルギービジョン 2020」
<https://www.town.kumejima.okinawa.jp/docs/2021011900033/>
- 6) United Nations Industrial Development Organization [UNIDO], Climate Technology Centre & Network : CTCN, FINAL REPORT of OCEAN ENERGY TECHNICAL PRE-FEASIBILITY STUDY, CTCN Request Reference Number : 2020000016, (2021)

著者略歴



池上 康之 (いけがみ やすゆき)

1986 年佐賀大学理工学部生産機械工学科卒業。1991 年九州大学大学院総合理工学研究科熱エネルギーシステム工学専攻 修了。佐賀大学理工学部講師、海洋エネルギー研究センター助教授を経て 2013 年より教授。1996～97 年米国 Duke 大学 訪問研究員 (文部省在外研究員)。2020 年より海洋エネルギー研究センター長。2022 年より海洋エネルギー研究所所長。博士 (工学)。