

|        |                                               |
|--------|-----------------------------------------------|
| 研究課題番号 | 2RF-1902                                      |
| 研究課題名  | 「海拔以下の砂漠での太陽光を利用して安価で恒久的に電力・水・肥料を生産するシステムの検証」 |
| 研究実施期間 | 令和元年度～令和3年度                                   |
| 研究機関名  | 京都大学                                          |
| 研究代表者名 | 小川 敬也                                         |

## 1. 研究開発目的

海拔以下の砂漠において、大量に降り注ぐ太陽光と位置エネルギーで無限に運び込まれる海水を利用し、海水淡水化・電力・アンモニア合成を同時生産する Water-Electricity-Ammonia (WEA) スキームを提案し、経済合理性があるかを検証する。同時合成することで互いの排熱を効率的に使用してかつ総プロセス数を減らし、さらに昼間の余剰電力を付加価値の高い飲料水やアンモニアに変換することで、経済性がどの程度向上するか、そして経済合理性を達成するのに重要な要因を解き明かす。検証予定のプロセスの1つを例示すると、砂漠で海水を用いた太陽熱発電で発電しつつ、蒸留水を回収し（海水淡水化）、余剰の電力と排熱持った水を電解して高効率に水素を取り出して、空気中の窒素と反応させて肥料やエネルギーキャリアとなるアンモニアを合成する例などがある。また、ヨルダンの死海周辺を適用候補地として、現地で情報収集を行って実情に合ったシミュレーションを行うことで、より現実的で社会実装に足るスキームを提案・検証することを本プロジェクトの期間内の目標とする。同時に、アンモニアをエネルギーキャリアとして輸出して世界のエネルギー供給に貢献できる可能性や、ヨルダン以外の土地でも経済合理性が成立する可能性についても調査する。これより、地球温暖化対策・飲料水確保・食料増産・砂漠の緑化に対する環境政策の軸となる、経済性が高く普及を促進できる持続的なスキームの提案を目的とする。

## 2. 研究目標

### ヨルダンの死海周辺の砂漠の特色を生かしたWEAスキームの経済合理性の検証

持続可能な再生可能エネルギーを基軸に、人類にとって不可欠である電力・飲料水・肥料を生産するWEAスキームを提案し、その経済合理性を検証する。死海再生プロジェクトで建設されるパイプラインを利用することで、太陽光発電所・淡水化プラント・アンモニア合成プラントを建設・運用し、WEAスキームによって電気・水・アンモニアを生産することによる利益がコスト以上に得られるか（ $\text{Net Profit} = \text{Benefit} - \text{Cost} > 0$ ）を検証する。現状の技術で $\text{Net Profit} > 0$ が達成できなかった場合、達成するために必要な技術課題を示す。また、ヨルダンの社会背景をヒアリングし、WEAスキーム実装のために必要な課題を抽出する。

### 1 WEAスキームのCO<sub>2</sub>排出量の評価

WEAスキームが経済合理性を有するかの検証と同時に、持続可能であるためにCO<sub>2</sub>排出量が低減されるかを評価する。また、ヨルダン以外の地域にWEAスキームが適応してCO<sub>2</sub>排出量が低減するかどうかの検証を行う。これは同時に、ヨルダンの死海周辺の特殊性（パイプラインの有無、海拔0m以下である砂漠）が、どれだけ優位に働くかの定量的な検証でもある。CO<sub>2</sub>排出が0以下になるために必要な地理的な条件を示す。

### 2 ASPENによるWEAスキームのモデルの構築とコスト評価

ASPENによってWEAスキームをモデル化し、コスト評価を行う。アドバイザー会合により、新規アンモニア合成触媒を用いたスケールメリットに対する定量的な評価がなされていないこと、また各々の触媒が持つ反応次数のプロセス全体への影響が解析されていないことが提言された。これを

受けて、モデル化にあたり自作のコードをインプリメントすることによって、近年開発された新規アンモニア合成の手法を取り入れたモデルの構築を行い、近年開発された手法のコストやエネルギー効率への影響を調べ、 $\text{Net Profit} > 0$ となるための条件を抽出する。これはヨルダン以外の土地に対しても検討を行い、5.1.1と同様にヨルダンの死海周辺の特殊性が、 $\text{Net profit}$ に優位に働くかの検証を行う。

また、同様にアドバイザー会合で出た議論より、やや発展課題ではあるものの、WEAスキームによって水と肥料が揃う点から、アグリビジネスの可能性・経済性についても定量的に検討を行い、アグリビジネスの振興によって $\text{Net Profit} > 0$ となる、もしくはそれに近づけるか検証する。

### 3 社会実装のためのヨルダンにおける人脈の形成とヒアリング

ASPENによるモデル構築と評価にあたって現地のデータをヒアリングする人脈を形成する。この人脈は、経済合理性があるスキームを構築できた際に、ヨルダンに実装できるかどうかの検証のためのヒアリングにも利用する。

## 3. 研究の進捗状況

### 1 WEAスキームのCO<sub>2</sub>排出量の評価：計画通り進展している

WEAスキームによるCO<sub>2</sub>排出量について、ヨルダンの地形以外でも評価できるように、海からの距離と海拔の関数を構築し、最も基礎的なパターンとして「太陽光発電・逆浸透膜による海水淡水化・アンモニアの熱化学合成」の組み合わせに対してCO<sub>2</sub>排出が低減されるか評価した。結果より、海拔と海からの距離に応じて、前述の生産配分をベストミックスさせて初めてCO<sub>2</sub>排出量が削減されることがわかった。逆に、どのような地形であっても、生産配分を適切に決めればCO<sub>2</sub>排出量が削減されることがわかった。すなわち、CO<sub>2</sub>排出量のみを考慮した場合は、ヨルダン以外の地形でもWEAスキームは有用であると示された。一方で、海拔からの高低差は非常に結果に大きく影響することがわかり、ヨルダンの死海周辺の地域には非常に優位性があることはわかった。

### 2 ASPENによるWEAスキームのモデルの構築とコスト評価：計画以上の大きな進展がある

WEAスキームにおける、もっとも基礎的なハーバーボッシュ法のASPENモデルは構築は完了した。そしてアドバイザーの梶川教授からの助言に基づいて、新規アンモニア合成触媒の定量的な経済性の評価を行った。これはWEAスキーム以外にも適用できる研究結果になっており、アドバイザーの助言により汎用性の広い結果となったため、当初の計画以上の結果になっていると言える。

また、同じくアドバイザーの江口教授の紹介により、名古屋大学のアンモニア合成で新規触媒を開発している永岡勝俊教授に新規触媒のデータ収集に協力してもらえ、了承を得た。ASPENのモデル構築の際に、コスト低減に有利な反応条件での触媒活性といった、必要なデータを収集することが可能となり、モデルの妥当性を上がったと言える。これもWEAスキームに限らない汎用性のある結果になるので、当初の計画以上に進展があると言える。

また、プラスチックと金属粉末の振動による、アンモニアを簡便かつ温和な条件で合成できる可能性が示すことができた。この手法について最適化を行うことにより、コストの安いアンモニア合成手法の開発を行い、かつWEAスキームに導入した場合のコストメリットについても評価する予定である。この新手法の開発は当初の計画にはなく、かつWEAスキームに限らない発展性も有しており、この点においても当初の計画以上に進展があると言える。

### 3 社会実装のためのヨルダンにおける人脈の形成：計画以上の大きな進展がある

研究協力者の福原様の人脈により、Ministry of water & irrigation of Jordanの元大臣かつヨルダン大学 Water Energy Environment Center (WEEC) の元Deanであり、現在ヨルダン大学教授のProf. Dr. Mohammad ShatanawiとAssociate Prof. Maisa' a W. Shammout、並びにMinistry of Water &

IrrigationのSecretary General（省のNo. 3にあたる）、Ali Subah氏と交流を持ち、本プロジェクトのスキームに興味を持ってもらうことができた。特にProf. Dr. Mohammad Shatanawiと Prof. Maisa' a W. Shammoutは交流を深め、COVID-19の影響で実現しなかったが、二人が京都大学を訪問する計画もあった（ビザが承認されるまでは手続きを進めていた）。そしてその訪問に伴い、当初のメンバーだけではなくヨルダンでの洪水対策を専門とする京都大学の角哲也教授との交流も得た。洪水の水を逃がすWEAスキームの防災の視点での展開もできる可能性がある（洪水を逃がす水路としての利用等）。また、Ali Subah氏は今年からJordan Valley Authorityの局長へと異動が決まっていることが判明し、WEAスキームを行う死海周辺のヨルダン溪谷の土地利用の権限を持つ政府機関の長とのつながりを得られた。この他、WEAスキームをABOZEIGHAN Desalination plantに応用できないか打診が来ており、WEAスキームの汎用性を広げる可能性も得られている。これらはいずれも当初の計画で期待していた以上の人脈・展開であり、計画以上の進展があったと言える。

#### 4. 環境政策への貢献(研究代表者による記述)

・地球温暖化対策・飲料水確保・食料増産・砂漠の緑化に対する環境政策の軸となる、経済性が高く普及を促進できる持続的な WEA スキームの実現可能性について検証した。

#### 5. 評価者の指摘及び提言概要

おおむね計画通り進捗していると評価する。若手枠としてはスケールの大きな研究課題であり、その点は評価したい。ASPEN による WEA スキームの評価や LCA 評価についても良く検討されている。

研究は壮大な計画で予定通りに進捗していると判断する。この研究の最終目的である、地球温暖化対策・飲料水確保・食料増産・砂漠の緑化に対する環境政策となり、経済性が高く普及を促進できることは評価できる。どれくらいの経済性の向上に導けるのか建設や生産技術面でもコストを明らかにしてほしい。

政策的に、電力供給・海水淡水化・アンモニア合成という複合的目標が設定されているが、計画対象の国・地域の社会経済状況の安全面・安定面から一定のリスクがあると懸念する。反面、我が国の国際貢献の面について寄与する可能性のあるプロジェクトであると評価する。また、科学的研究成果の取りまとめ・還元として研究論文の発信に努めてほしい。

今般の提案については我が国がコア技術に強みを有する海水淡水化プラントを活用する点でも意義深く、商社等関心を有する国内企業があると期待できるところ、国内向けの情報発信、関係構築にも是非取り組んで欲しい。

#### 6. 評点

評価ランク：A