

一般財団法人 油脂工業会館

第52回表彰

油脂産業優秀論文

審査委員特別賞

DX（デジタルトランスフォーメーション）と油脂産業の将来像

AFEMS（Algae Farm Energy Management System）がつなぐ

モノづくりと地方創生

ミヨシ油脂株式会社

ほりうち きみこ
堀内 貴美子

目次

はじめに.....	1
1. 電力事業の課題と変革.....	2
1.1. 人口減少と電力供給基盤の転換.....	2
1.2. 再生可能エネルギー大量導入に伴う課題.....	2
1.3. バーチャルパワープラント(VPP)の普及と産業への影響.....	4
2. 油脂産業と微細藻類からの燃料、マテリアル回収.....	5
2.1. バイオマス燃料と世界の食料需給.....	5
2.2. 藻類ビジネスへの課題と展望.....	5
2.3. DXで藻類ビジネスと電力事業をつなぐ.....	7
3. AFEMS - Algae Farm Energy Management System -とは.....	7
3.1. 機能概要.....	7
3.2. システム構成.....	8
4. 試算.....	9
4.1. 種子島におけるAFEMS実証事業.....	9
4.2. 生産コスト削減効果.....	10
5. 地方創生事業としての普及にむけて.....	11
5.1. AFEMSの汎用性.....	11
5.2. 地方創生事業を切り口とした普及展開.....	11
5.3. 地域にとっての意義.....	12
5.4. 構想実現に必要な取り組み.....	13
おわりに.....	14

はじめに

日本の総人口は減少の一途を辿っている。2065年には現在の人口の1/3が消滅し、老年人口は約40%とも推計されている [1]。人口減少と高齢化に伴う市場の縮小、労働人口減少といった社会変化は国内のあらゆる産業に大きなインパクトを与えるだろう。油脂を基盤とした食品や化成品などの‘モノづくり’を通して人々の生活を支えてきた油脂産業も例外ではない。油脂産業が今後、事業を継続する為には既存の‘モノづくり’の枠を越えた革新的ビジネスモデル創出と効率化による生産性向上が必要である。

2018年、経済産業省「デジタルトランスフォーメーション (DX) を推進するためのガイドライン」 [2]をきっかけに企業のDXに対する取り組みが広がっている。DXとは企業がデータとデジタル技術を活用して、製品やサービス、ビジネスモデルを変革し競争力を維持・強化する事である。この取り組みの中心にあるのがデータプラットフォームを介したデータ活用である。データプラットフォームとはデータを集積し、さらに AI などの解析技術によりデータ同士を連携させ、活用シーンに合わせた最適モデルを作成する基盤環境を指す。データプラットフォームは業界・分野を越えた多様なデータの連携と活用を可能にし、一つの分野だけでは達成できない規模の効率改善、高度化、そして価値の創造をもたらす点で注目されている。

筆者はこうしたデータプラットフォームの効果に着想を得て、本論文において「微細藻類によるモノづくり」と「電力事業」という異業種・異分野連携を指針としたデータプラットフォームの構築と運用を提案する。さらに、本構想を AFEMS (Algae Farm Energy Management System) と称し、AFEMSの実現により「藻類ビジネス」、「電力事業」相互の課題解決を図るとともに、AFEMSを地方創生事業として普及展開させる事により油脂産業に新たなビジネスモデルを創出する事を提案する。

1. 電力事業の課題と変革

1.1. 人口減少と電力供給基盤の転換

電力事業は今、人口減少という課題に対して大きな変革を求められている。国土交通省「国土のグランドデザイン」では、2050年に人口が半分以下になる地域が現在の居住域の6割以上を占めると推計している(図.1) [3]。大規模発電所による中央集約型電力を電力需要が減少した地方へ送電する現在のあり方は送電コストとの採算がとれず、日本中の電線がいわば赤字路線化すると言われている。

地方の自治体や電力事業者はこの課題を解決するために太陽光・風・地熱・水力発電といった再生可能エネルギー(以下：再エネ)を中心とした分散型電源の普及に向けた取り組みを進めている。分散型電源とは比較的小規模な発電装置を消費地近くに分散配置して電力の供給を行う機械そのものや、その方式のことである。一例を挙げると、宮古島市は民間企業、沖縄電力と連携し、太陽光発電と風力発電の再エネを中心に県営団地へマイクログリッド型のエネルギーを供給する試みを行っている(図.2) [4] [5]。マイクログリッドとは大規模発電所の電力供給に頼らず、地域でエネルギー供給源と消費施設を持ち、エネルギーの地産地消を目指す小規模なエネルギーネットワークのことである。プロジェクトは今も進行しており、現在は団地屋上に取り付けた太陽光発電の余剰電力を大規模蓄電池に回収することで島内の再エネ自給率の向上を目指している。

1.2. 再生可能エネルギー大量導入に伴う課題

東日本大震災に伴う原発停止を契機に、リスク分散の観点から多様な供給力を前提とした分散型の電力システムへ関心が高まり、さらに、FIT 制度が追い風となった事で、太陽光発電を中心とした再エネが急速に国内で普及した。日本政府はさらに2030年までに再エネの比率を現在の約1.5倍にあたる22~24%にまで増加させることを目標値として掲げている [6]。

しかし、その運用には課題がある。再エネの発電量は気象条件によって決まり人間がコントロールできない点である。電力には常に需要量と供給量を過不足なく一致させなければならない「同時同量」という特性がある。需給バランスの乱れは電力周波数の変動を招き大規模停電の原因となる。再エネは「自然変動電源」とも言われているようにエネルギー供給が間欠的であるため、電力需要に適合させる事が難しい。その為、再エネ利用には不足する電力を補う火力発電等の「調整電源」との併用や、過剰に供給される再エネをコントロールする仕組みの整備が前提となる。

特に、ここ 2-3 年、太陽光発電設備の導入増加に伴い昼間の電力が供給過剰になるケースが多発しており、今後の再エネ普及の課題となっている。

図. 3に2017年4月30日の九州の電力需給実績を示した [7]。この日は晴天で昼間の太陽光発電出力増に対して電力供給が過剰になると予測された為、揚水動力の活用や火力発電所の抑制・停止が行われている。そして夕方にかけての太陽光発電出力減少に伴い揚水動力から揚水発電への切り替えや火力発電増によって夜間の電力需要に対応している。揚水発電とは余剰電力を利用してダムの上に揚水を行い、電力が必要なタイミングに放水し発電する方法である [8]。

このように余剰電力の受け皿として蓄電池や揚水発電を上手く活用できれば低コストである再エネ電力を無駄にする事がない。しかし、表. 1の2018年10月13日の九州の電力需給実績が示すように [9]、この日は余剰電力の受け皿として揚水や蓄電池を活用しているが、カバーできなかった余剰電力は太陽光発電を出力抑制し対応している。

九州では、2019年度には年間74回にも及ぶ太陽光発電設備の出力抑制を行っており(表. 2)、再エネへの出力抑制によって損失した発電量の割合を4.1%と試算している [10]。1kWhあたりの原価を7円と低く見積もっても、実に32億円にのぼり決して小さい規模ではない [11]。揚水発電は発電インフラの設置費用、立地上の制約により、これ以上増やすことは難しいと言われている。

今後、さらなる再エネ普及の為には、余剰電力の受け皿としての蓄電池の整備や揚水発電に変わる仕組み作りを進める必要がある。現在、その仕組みの基盤となるバーチャルパワープラント(以下：VPP)の実証事業が各地で始まっている。

1.3. バーチャルパワープラント (VPP) の普及と産業への影響

VPPとは各地に存在する小規模の再エネ発電をデジタル技術によってまとめて制御・管理し、一つの発電所のように機能させる仕組みである。VPPではアグリゲーターと呼ばれるシステム監視・調整役が電力需給の調整や電力売買を行う (図. 4) [12] [13]。

たとえば、VPPにおいて太陽光発電から余剰電力が発生する際は、アグリゲーターが蓄電池への充電や需要家の積極的な電力消費を促す事で電力需要を増大させ太陽光発電の出力抑制を回避することが可能である。今後、VPPは再エネ普及と並行して大幅に需要が伸びていく可能性があるが、それに伴い、VPPは産業へ「電力コスト削減」「電力の環境価値」といった様々な効果をもたらすことが予想される。

VPPの電力市場である日本卸電力取引所 (JEPX) [14]には30分単位で電力を入札するスポット市場がある。企業は電力の安い時間帯と事業の電力需要ピークを連動させる事で電力コストを大幅に削減する事が可能になる。油脂産業に限らず製造業において、自社の生産設備の電力コスト削減は共通の課題である。今後、VPP普及に伴いスポット市場を活用した電力調達と生産設備運用は製造業全体の取り組みへと拡大するだろう。また、こうした企業の取り組みは再エネの余剰電力の受け皿となる事で、再エネ普及を後押しし、産業はさらに電力を安価に調達できるというプラスの循環を生み出す可能性を秘めている。

また、VPPにはブロックチェーンの利用者間台帳管理機能が活用されており、VPP利用者間で直接、金融価値、電力取引や証明書発行を容易に行うことができる。電力売買に発電源証明書が容易にタグ付け出来る様になると、これまで単純にエネルギーとして扱われていた電力に「再エネ」という環境価値が上乗せされ取引されるようになる。こうした電力の環境価値市場はESG投資を背景に今後拡大する事が予想される。

ESG投資とは企業経営のサステナビリティを評価する指標として従来の財務情報だけでなく、環境 (Environment)・社会 (Social)・ガバナンス (Governance) 要素を考慮した投資で、年金基金など大きな資産を超長期で運用する機関投資家を中心に注目されている。ESG投資への企業アピールを目的に、事業運営を100%再エネで調達することを目標に掲げる企業連合「RE100」 [15]への参加が国内外で増加している。この連

合へはアップル、P&G、ユニリーバといった欧米企業を中心に260社以上が参加しており、また、その内31社が日本企業である。再エネ調達に対する取り組みは、ESG投資家の対象となる大企業に限らず、そのサプライチェーンに関連する多くの企業にも影響が波及する。例えば、アップルは自社の電力消費だけでなくサプライヤーに対しても再エネ調達を働きかけており、応じる企業も現れた [16]。同じような事例は今後拡大していくだろう。どの企業も取引先から再エネ調達を評価されるようになる可能性がある。「再エネをいかに普及させ、使いこなすか？」という課題は電力事業だけの課題ではなく、VPP普及を皮切りに産業全体の課題となる事が予想される。

2. 油脂産業と微細藻類からの燃料、マテリアル回収

2.1. バイオマス燃料と世界の食料需給

パーム油の多くは食品原料や食用油向けだが、この10年で最も急速に拡大したのはバイオディーゼル向けの市場である [17]。地球温暖化ガス削減の観点から、化石燃料代替としてバイオディーゼルやバイオエタノールといったバイオマス燃料の市場が成長している。しかし、バイオマス燃料の主原料は農産物であり、食料と競合する点が問題視されている。農産物の燃料用途の増加に伴う食用用途の減少は、農産物価格の変動や世界的な人口増加に伴う食料需要へ影響を及ぼす為だ。

こうした背景で食料と競合しないジャトロファ [18]、稲藁 [19]、微細藻類といった非可食素材を活用したバイオマス燃料技術が近年、注目されている。

2.2. 藻類ビジネスへの課題と展望

非可食素材の中でも特に微細藻類バイオマスはその生産性の高さから世界中の研究機関、企業が事業化に向け研究を進めてきた [20] [21] [22] [23]。穀物などの植物を原料とした場合、1ha当たりの年間の潜在的燃料生産量は、トウモロコシが0.2t、パーム油が6.0tに対し [24]、国内で事業化が検討されている微細藻類 ボトリオコッ

カス、オーランチオキトリウムはそれぞれ120t、1000tと推計されており高い生産性が特徴だ [25]。筑波大 渡辺教授の試算では日本の休耕田5%で微細藻類バイオマスを生産すれば日本の年間エネルギー輸入量を賄えるという。2017年の日本の原油年間輸入額は8兆8,000億円、総輸入額の約15%を占める [26]。東日本大震災後、火力発電比率が高まり、以前にも増して発電コストの多くがその燃料費に費やされ、資本の海外流出につながっている。この需要の一部を微細藻類バイオマスの国内供給で賄う事ができれば新たな市場創出として大いに期待できるだろう。

また、一般的な微細藻類の産生する油脂がトリグリセリドであるのに対し、オーランチオキトリウム、ボトリオコッカスの産生する油脂は回収した時点でA重油に相当し [20]、既存発電設備で燃料として利用可能である。

しかし、その一方で藻類バイオマスの価格はすでに実用化の段階にあるアメリカでさえ164円/kg [27] であり、A重油価格が50-80円/Lで推移している点から見ても、微細藻類バイオマスの燃料事業はコストが大きな障壁となり未だ実現に至っていない。

図. 5、表. 3にボトリオコッカス由来バイオマス燃料の生産工程と培養条件を示した [28]。この条件でバイオマス燃料を生産した際のコスト試算では、経常運転費用の約40%が電力、約8%が培地由来であった(表. 4) [28] [29]。培養コスト削減を目的にこれまでも藻株の選定や遺伝子操作、培養条件や培養槽の検討 [20] [24] [29] [30]、排水からの栄養源供給 [31] [32] など様々な検討がなされてきたが、コストへの影響力という点では電力コスト削減も有用なアプローチと言える。

また、微細藻類から回収した油脂は燃料の他、プラスチック、合成繊維などの化学製品の原料として利用できる他、微細藻類そのものは医薬品、サプリメント、食品の原料として利用可能である為、藻類ビジネスは、油脂産業はもとより、幅広い分野での展開が期待されている。

特に、食品分野は、近年、サプライチェーンへの安定供給を確立した事により急速に市場が拡大している。例えば、オーランチオキトリウムを由来とするDHAは魚油代替素材として学校給食へ採用されている他、スピルリナはマルチ栄養素として、健康食品、一般食品への配合や飲食店での採用が急増している [33]。こうした微細藻類を活用した‘モノづくり’は市場規模や事業の多角性を背景に今後も活性化と持続的発展が期待されているが、現在は食品分野などの高付加価値マテリアル事業を通し、将来的に燃料事業へ適応可能な技術やノウハウの蓄積が図られている段階にある。

2.3. DXで藻類ビジネスと電力事業をつなぐ

近年、多くの企業が業務の効率化やビジネスモデル創出を目的にDXを推進している。そして、DX推進の中心にあるのがデータプラットフォームを介したデータ活用である。中でも、データプラットフォーム上で、分野・業界を越えた多様なデータを連携させる「異業種協創」と呼ばれる取り組みには、一つの分野だけでは達成できない規模の効率改善や高度化が期待されており、異業種と組んでお互いのデータを活用し、新規ビジネス創出につなげようとする企業において注目されている。

筆者は藻類ビジネスの大きな課題であるコスト削減においては電力事業との「異業種協創」が有効であると考えている。なぜなら、電力事業のデジタル技術VPPと微細藻類生産設備を連携させたデータプラットフォーム構築は、藻類ビジネスにとっては「電力コスト削減」、電力事業にとっては「再エネの余剰電力の受け皿」を両立する為だ。こうした着想を元に、本論文では、「電力事業のVPP」と「微細藻類を活用したモノづくり」という異業種間の「協創」を指針としたデータプラットフォーム構築と運用構想を提案するとともに、本構想をAlgae Farm Energy Management System(以下; AFEMS)と称し、次章にて具体的に説明する。

3. AFEMS - Algae Farm Energy Management System -とは

3.1. 機能概要

まず、AFEMSの機能と効果について説明する。AFEMSは太陽光発電供給電力が増加する時間帯に積極的に電力消費を行うよう微細藻類生産設備を調整し、地域内の太陽光発電出力抑制を回避するように機能する。図. 6に2020年4月4日の九州エリアの電力スポット価格を示した [34]。例えば、この日であれば太陽光発電からの電力供給が増加する7:30から16:00にかけて約8時間のkWh単価が低下していることが分かる。そこで、この電力の安い時間帯で電力購入を行い生産設備における電力消費ピークをシフトすることでバイオマスやマテリアル生産に必要な電力コストを削減し収益性を向上させる事が出来る。

一方、地域内の電力供給が逼迫する場合は、AFEMSはアグリゲーターからのDRと呼ばれる指示を元に生産設備の電力消費を抑える、もしくは生産設備に隣接する火力発電設備の出力を上げ地域内に電力供給を行うよう機能する。また、この発電設備は地域内の既存の発電設備を活用する事が出来る。その場合、燃料燃焼時に排出されるCO₂を微細藻類に供給する設備を導入することで、CO₂削減と微細藻類の光合成促進が可能だ。また、新規に発電設備を導入する場合は、電力・熱・CO₂を資源として供給可能なトリジェネレーションシステムを採用することでエネルギー効率のさらなる向上を図る事が出来る。

3.2. システム構成

AFEMSはデータプラットフォームと生産設備から構成される。以下にそれぞれの構成要素の詳細について説明する。(図.7)

① データプラットフォーム

外部データと内部データをリアルタイムで集積する「データベース」と集約された情報から最適化された生産設備運用モデルを提案する「AI」によって構成される。データベースには外部情報としてVPP内の電力需給量、電力スポット価格予測値や実績値、アグリゲーターからのDRといったデータを集約する。さらに内部情報としては微細藻類生産設備（培養装置、マテリアル回収設備・加工設備）の各生産プロセスのパラメーターや生産設備に隣接する発電設備のパラメーターなどを集約する。

日本気象協会では2018年6月からスポット市場における30分ごとの電力取引価格を、気象ビッグデータ分析とAIを使って予測するサービスを小売電気事業者や発電事業者などに提供している(図.8) [35]。こうした外部サービスを活用する事で電力スポット価格予測値は比較的容易に入手可能である。

AIによる生産設備運用計画の作成においては、生産設備毎の電力消費量に電力スポット価格予測値を掛け合わせた概算電力コストに、‘生産設備の制約要素’、‘その他要素’を組み合わせ、生産コストが最小になるプランを作成する。‘生産上の制約要素’とは生産設備には恒常的な電力供給が必要な設備と電力価格の安い時間帯に合

わせた運転調整が可能な設備があるため、こうした設備単位の自由度を意味する。さらに‘その他の要素’としては生産設備に隣接した発電設備から供給される廃熱、CO2の活用が挙げられる。また、AIの作成した生産設備運用計画のモデルは各実績値と照らし合わせ、その精度を随時向上させる。

② 生産設備

データプラットフォームにて生産設備・運用計画が作成されると生産設備毎の工程管理へ反映される。各生産設備には自動制御システムを整備する。生産設備の自動制御システムの整備には、工程管理の指標となるパラメーターの選定に加え、設備毎のパラメーターをAFEMSに送信するIoT、さらに、AFEMSから送信される生産設備運用計画を各生産設備へ反映する制御システムを導入する。

4. 試算

4.1. 種子島におけるAFEMS実証事業

AFEMSの電力コスト削減効果や事業性の検証を目的に、鹿児島県種子島にて藻類バイオマス事業を展開したケースについて試算を行った。今回、種子島を事業実施地域として選定した理由は下記の通りである。

① VPPやAFEMSに対する需要

種子島の電源は火力発電40,500kWと自然変動電源14,121kWで構成される [36]。島内の電力出力構成の約25%が再エネ由来であるが、さらにその95.4%は太陽光発電で構成されている。九州電力によると太陽光発電合計数は電力需給面の制約から設定される年間30日の出力抑制を踏まえた連系可能量を超過しており [37]、現在は島内の太陽光発電を輪番で出力抑制している状況だ。実際、島内の2019年4月から2020年3月の年間での太陽光発電の発電抑制回数は77回と少なくない [36]。離島である種子島は供給余剰電力を島外に逃がすネットワークや大型消費需要を持たない為、余剰電力の調整力としてのVPPやAFEMSに需要が見込めると考えた。

② 化石燃料代替に対する需要

島内の火力発電は重油を燃料としたディーゼル発電設備を利用しており、その燃料は島外から輸送コストを上乗せした形で運ばれてくる。種子島内の軽油小売価格は鹿児島本土の軽油小売価格に約20%が輸送費として上乗せされている [38]。2019年度産業用A重油価格が80.4円/L [39]、これに離島への輸送費を上乗せするとA重油の単価は100円/L。将来的に藻類バイオマスの価格が100円/Lをクリアできれば現設備の発電燃料を藻類バイオマスに切り替えるコストメリットがでてくる。また、燃料購入による島外への資金流出も抑えられ島内の経済循環も期待される。

4.2. 生産コスト削減効果

次に島内エネルギー自給率100%を目指した際の、AFEMSの微細藻類バイオマスの生産コスト削減効果について評価を行う。

まず、種子島の年間燃料需要量について試算する。平成26年販売電力量 [40]より種子島の平均年間電力需要を140,000,000kWhと推計すると電力構成比 [36]、年間平均日照時間[41]より再エネからは24,622,200kWh 電力供給していることになる。火力発電設備からはその差分、115,377,800kWhの電力供給が必要だ。火力発電燃料としてA重油相当の藻類バイオマスを供給し、さらに発電設備の発電エネルギー効率を一般的な40%と仮定すると微細藻類バイオマスの年間燃料需要量は26,588kLとなる(表.5)。

次にAFEMSの微細藻類バイオマスの生産コスト削減効果について試算を行う。試算にあたり、微細藻類の培養条件、設備費用、経常運用費用は「拡張産業連関表による微細藻類バイオ燃料 生産の経済・環境への波及効果分析」に掲載の19ha規模のボトリオコッカスを利用した微細藻類バイオマス生産の試算値を参考にした。

結果、AFEMSにより電力コストを30%削減した場合、オイル原価は10円/L減、燃料費削減効果は2.78億となった(表.6)。また、この時、藻類バイオマスを使用した際の発電コスト原価は18.4円/kWhであり、揚水発電のコスト 22.6円/kWh、蓄電池の発電コスト 16.5円/kWhと比較しても、AFEMSは発電コストを事業化可能なレベルにまで削減できる可能性が検証出来た。

5. 地方創生事業としての普及にむけて

5.1. AFEMSの汎用性

AFEMSの実証事業の試算においては離島での地産地消を前提とした発電燃料事業に焦点をあてたが、現状、燃料輸送コストが課題とならない離島以外のエリアでの事業展開はコスト競争力に欠け事業の継続性が難しいだろう。発電燃料事業の普及においては微細藻類培養技術のさらなる進歩やノウハウの蓄積による生産コスト削減が必要だ。

しかし、AFEMSの本質は地域内の電力需給の最適化と、微細藻類を活用したモノづくりの両立だ。AFEMSはバイオマス生産に限らず、食品、医薬品、化粧品原料といった多様なマテリアル生産へも利用可能である。AFEMSの普及展開にあたっては藻類バイオマスによる石油燃料の代替を長期的な目標としながらも、短期的にコスト競争ではなく、高付加価値マテリアルを切り口とした事業を先行実施させることで事業基盤構築や、将来的に燃料事業に応用可能な技術・ノウハウの蓄積を図ることが戦略として重要である。

また、AFEMSは用途の汎用性に加え、‘再エネ電力調達’によるESG投資への企業アピールにつながる点でも幅広い分野・業種に需要が見込めるはずだ。

油脂産業におけるAFEMSの利用は、微細藻類由来の油脂を基盤としたマテリアル事業からスタートし、そこで蓄積された培養・加工技術のノウハウをAFEMSに組み込み、その他のマテリアル事業・燃料事業への多角展開や、異分野・異業種へのAFEMSの普及・サポート事業へとつなげる事が新規事業創出という点で望まれる。

5.2. 地方創生事業を切り口とした普及展開

地方創生とは、東京一極集中を是正し、地方の人口減少に歯止めをかけ、日本全体の活力を上げることを目的とした一連の政策である。総務省が地方創生のための政策目標や具体的な施策をまとめた「まち・ひと・しごと総合戦略」は分散型エネルギー事業を地域経済の活性化の柱として位置づけている。地方経済が疲弊する中、地域

資源を生かした電力の地産地消により、地域の持続的な発展と活性化を促そうという趣旨だ。

AFEMSの‘VPPと再エネを中心とした分散型エネルギーシステムの構築’と‘微細藻類を利用したモノづくり’といった効果はこうした国のめざす地域創生のビジョンと一致する点が多い。その為、筆者はAFEMSを「地方創生事業」として普及展開させる事によりその効果をより引き出せるのではないかと考えている。

5.3. 地域にとっての意義

AFEMSを地方創生事業として普及するにあたり、自治体側の需要を掘り起こす事がまずは必要である。その為、AFEMSの地域における事業としての意義を明確にして訴求することが重要であり、システム構築の計画段階から事業の目的の一つに位置付ける必要がある。そこで本項ではAFEMSの地方創生に対する効果として①地域資源の活用と新たな地域産業の創出、②災害時のレジリエンス強化について説明する。

① 地域資源の活用と新たな地域産業の創出

種子島での実証事業を例に地域資源の活用事例とその効果について述べる。種子島は農業、漁業、畜産といった第一次産業が盛んで、サトウキビ生産が島の大きな産業となっている [42]。島内のサトウキビの加工事業所にて原料糖を生産する際、ショ糖の結晶を回収する工程で廃蜜糖と呼ばれる副産物が発生する [43]。廃蜜糖は60-70%が糖質で家畜の飼料や醸造アルコールやアミノ酸の発酵原料として利用されてきた。ただし、その取引価格は輸送量程度であり、生産地にて高付加価値なものへ加工することが望ましい。広島大の研究グループは、廃蜜糖のオーランチトキトリウムへの供給による油脂産生量の増加を報告しており [44]、廃蜜糖は地域資源として非常に有用である。また、オーランチオキトリウムは体内にスクワレンやDHA、EPAといった多価不飽和脂肪酸を蓄積するため、燃料事業とマテリアル事業との平行展開も興味深い。このように地域資源の活用は、既存の地域産業へ「新たな収入源」をもたらす事が期待される。AFEMSの多様な分野展開まで視野を広げると、地域資源と微細藻類の種類、

回収物との組み合わせの最適化を図る事も地域経済への貢献という点で重要である。また、AFEMS導入企業の地域への誘致は「微細藻類を活用したモノづくり」、「エネルギー供給事業」といった新たな収益事業の創出、雇用創出を意味し、さらなる地域経済の活性化も期待できる。

②災害時のレジリエンス強化

実証事業にて生産された藻類バイオマスは離島においては島内備蓄燃料に該当する。その為、既存の発電設備や藻類生産設備に隣接した発電設備に加え、病院、学校、商業施設、防災拠点に設置された非常用・防災用自家発電設備へも藻類バイオマスの供給網を確立する事で災害時のレジリエンスをより強化する事が可能である。さらに、AFEMS導入は企業が余剰電力の受け皿となることで地域に太陽光発電を主とした再エネ普及を促す点でも地域のレジリエンス強化として評価できるだろう。

5.4. 構想実現に必要な取り組み

AFEMSの地方創生事業としての展開は以下の4ステップで進めることを提案する。

【構想実現までのステップ】

ステップ1：AFEMSの需要の見込める企業と自治体とをマッチング

ステップ2：地域資源を生かした藻類培養技術の検討

AFEMSの電力需給システムに合わせた生産技術の検討

AFEMSのシステム精度向上を検討

ステップ3：イニシャルコスト調達、VPPインフラ導入、微細藻類生産設備導入

ステップ4：実装・運用

この構想実現に向けた取り組みを推進する為に必要な事項を以下に取り上げる。

①イニシャルコスト調達に向けた取り組み

国、自治体は地産地消型の電力供給事業を地方創生の軸として期待を寄せている事から、AFEMSに対しても各種支援制度の利用が見込めるが[45]、国・自治体からの助成金や銀行の融資以外のイニシャルコスト調達方法としては投資プラットフォームの構

築が挙げられる。投資プラットフォームの運用にあたっては「自治体」「AFEMS導入企業」、「電力事業者」が出資し新電力会社を立ち上げ、新電力会社がトークンを発行する事で世界中の投資家から資金を募る。また同トークンを保有した投資家は、同社の事業利益が一定以上計上された場合、トークン保有比率に応じた配当をスマートコントラクトに基づき受ける仕組みにする。こうした仕組みにより事業者は、必要な事業資金を世界中から迅速かつ低コストに調達することが可能である。実際にこのような取り組みはアメリカのImpact PPA社がインド政府と提携し実施しており、電力アクセスの乏しい村落開発を進める政策に必要な資金調達に活用されている [46]。

②企業・電力事業者・自治体との連携

構想実現までの各ステップで一貫して必要なのが企業・電力事業者・自治体との連携である。AFEMSは油脂産業やシステム導入企業にとっては「微細藻類を活用したモノづくり」「電力コストの削減」「再エネ調達による企業アピール」、電力事業者にとっては「電力需給システムの強化」、「再エネの普及拡大」、といった意義があると同時に、自治体においては「地方創生」という意義がある。

各ステークホルダーにとってのAFEMSの意義は相互に関連するもので、自治体や地域住民、電力事業者、企業がそれぞれ個々に取り組むのではなく、各者が連携・協力して事業を推進することで、計画段階から事業化、運用に至るまでの各段階における様々な課題の克服に繋がるとともに事業の意義を最大限に引き出す事ができる。

その為、構想実現にむけ、油脂産業自らが中心となり企業、自治体、電力事業者をつなぐコンソーシアムを設立し、各ステークホルダーのマッチングやシステムの運用援助を行う事で、連携強化に努める必要がある。

おわりに

人口減少による市場縮小、労働力人口の減少が進む日本では小さなパイを取り合う競争を軸とした企業価値創出は今後、発展が見込めない。国内企業は今、「既存のビジネスをいかに変革させていくか」を絶えず問われている。労働人口が減る日本においては、設備や人はもちろん、企業がこれまで囲い込んできた技術やノウハウといったリソースのシェアによる新たなビジネスモデルの創出が成功のカギとなると言われて

いる。また、SDGSやESG投資を背景に、企業はその存在意義を経済価値創出から社会価値創出との両立へとシフトする事が求められている。企業は社会問題の解決と、その先に新たな価値を創造する必要があるのだ。

本構想AFEMSはこうした背景に対する油脂産業の答えの1つであると筆者は考える。データプラットフォーム上で油脂産業は既存の‘油脂産業’という境目をなくし、モノづくりとインフラが融合した社会システム、そして地方創生事業として変革する事を本構想AFEMSは提案する。今後、油脂産業の新たな可能性がDXをきっかけにビジネスとして花開き、日本再興への礎になる事を切に願う。

引用文献

- [1] 厚生労働省 国立社会保障・人口問題研究所, “日本の将来推計人口,”
https://www.mhlw.go.jp/file/05-Shingikai-12601000-Seisakutoukatsukan-Sanjikanshitsu_Shakaihoshoutantou/0000161337.pdf.
- [2] 経済産業省, “デジタルトランスフォーメーションを推進するためのガイドライン,” :
<https://www.meti.go.jp/press/2018/12/20181212004/20181212004-1.pdf>.
- [3] 国土交通省, “国土のグランドデザイン 2050～対流促進型国土の形成～,” :
https://www.mlit.go.jp/kokudoseisaku/kokudoseisaku_tk3_000043.html.
- [4] 宮古島市, “宮古島市島嶼型スマートコミュニティ実証事業,” :
https://www.city.miyakojima.lg.jp/gyosei/ecoisland/modeltoshi/tousyo/files/190412_smacomsetsumei_HP.pdf.
- [5] ネクstemズ, “宮古島における 島嶼型スマートコミュニティの取り組み,” 2018. 5:
<http://www.nextems.co.jp/wp-content/uploads/2018/05/宮古島 EMS 実証事業内容説明 180516.pdf>.
- [6] 資源エネルギー庁, “エネルギー政策の現状について,” 2020. 9:
https://www.meti.go.jp/shingikai/sankoshin/sangyo_gijutsu/chikyu_kankyo/ondanka_wg/pdf/001_05_00.pdf.
- [7] エネルギー産業省, “なぜ、太陽光などの「出力制御」が必要になるのか?～再エネを大量に導入するために,” 2018. 3. 27:
https://www.enecho.meti.go.jp/about/special/johoteikyo/qa_syuturyokuseigy.html.
- [8] 電気事業連合会, “揚水式水力発電,” :
<https://www.fepec.or.jp/enterprise/hatsuden/water/yousuishiki/>.
- [9] 九州電力, “平成 30 年度 10 月 13 日(土曜日)の需給実績,” :
http://www.kyuden.co.jp/notice_181013_smt.html.
- [10] 九州電力, “過去の出力実績 九州本土,” :
https://www.kyuden.co.jp/td_power_usages/out_ctrl_history.html.

- [11] 太陽光発電の専門メディア PVeye, “再エネ抑制 九州で年 74 回 4%超の太陽光が無駄に,” 2020. 6. 1: <https://www.pveye.jp/news/view/2402>.
- [12] 資源エネルギー省, “バーチャルパワープラント・デマンドリスポンスについて,” : https://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/advanced_systems/.
- [13] 経済産業省, “METI journal 政策特集エネルギー vol.9 次世代電力システムを支える新技術,” 2018. 1. 30: <https://meti-journal.jp/p/180/>.
- [14] JEPX. : <http://jepx.org/>.
- [15] 「Re100」, “参画企業一覧,” : <https://www.there100.org/re100-members>. 2020. 9. 26
- [16] Apple, “プレスリリース 「Apple、サプライヤーの協力を得てクリーンエネルギーの目標を達成」,” 2019. 4. 11: <https://www.apple.com/jp/newsroom/2019/04/apple-tops-clean-energy-goal-with-new-supplier-commitments/>.
- [17] 農林水産省, “EU におけるバイオ燃料政策,” : https://www.maff.go.jp/j/zyukyu/jki/j_rep/monthly/201704/attach/pdf/201704-6.pdf.
- [18] 地球規模課題対応国際科学技術協力プログラム (SATREPS), “モザンビークにおけるジャトロファバイオ燃料の持続的生産 (2011 年 7 月～2016 年 6 月),” : https://www.jst.go.jp/global/hyouka/pdf/h2201_mozambique_terminal-evaluation-report.pdf.
- [19] 農林水産省, “バイオマスの活用をめぐる状況,” 2020. 8: https://www.maff.go.jp/j/shokusan/biomass/b_kihonho/PDF/saitama_sankou.pdf.
- [20] 筑波大, “藻類バイオマス利用の研究開発,” 2012. 11. 5: https://eeeforum.sec.tsukuba.ac.jp/taskforce/pdf/ws20121105_01.pdf.
- [21] デンソー, “ニュースリリース ユーグレナ社×デンソー、微細藻類を活用した事業開発で包括的提携,” 2019. 2. 20: <https://www.denso.com/jp/ja/news/news-releases/2019/20190220-01/>.
- [22] IHI, “藻類バイオ燃料の取組み 御説明資料,” 2015. 6. 22: https://www.meti.go.jp/committee/kenkyukai/energy_environment/jisedai_karyoku/pdf/02_02_04.pdf.

- [23] IHI, “プレスリリース 藻類由来バイオジェット燃料の商用化に向け, 供給体制構築の検討を開始,” 2018. 12. 3: https://www.ihl.co.jp/ihl/all_news/2018/other/2018-12-03/index.html.
- [24] 筑波大学生命環境科学研究科 渡邊信, “藻類バイオマスエネルギー技術の展望,” : https://eeeforum.sec.tsukuba.ac.jp/3ef/1st/pdf/1st3EF_watanabe.pdf.
- [25] 筑波大, “渡邊信研究室 ホームページ,” : http://www.abes.tsukuba.ac.jp/clabes/watanabe-lab/02project/index_03.html.
- [26] 経済産業省, “我が国の原油輸入と対中東貿易,” : <https://www.meti.go.jp/statistics/toppage/report/bunseki/pdf/h18/h4a0606j5.pdf>.
- [27] 国立研究開発法人科学技術振興機構 低炭素社会戦略センター, “低炭素社会の実現に向けた技術および経済・社会の定量的シナリオに基づくイノベーション政策立案のための提案書,” 2020. 3: <https://www.jst.go.jp/lcs/pdf/fy2019-pp-13.pdf>.
- [28] 文部科学省 科学技術・学術政策研究所科学技術動向研究センター, “拡張産業連関表による微細藻類バイオ燃料,” 2015. 11 <https://www.nistep.go.jp/wp/wp-content/uploads/NISTEP-DP126-FullJ.pdf>.
- [29] 中野諭, 鷲津明由, “微細藻類バイオマス燃料油利用の産業連関的評価: 2つの事業モデルを中心に,” *Journal of the Japan Institute of Energy*, 95, 123-138 (2016) .
- [30] 戦略的創造研究推進事業 CREST “オイル産生緑藻類 *Botryococcus* 高アルカリ株の高度利用技術,” https://www.jst.go.jp/kisoken/crest/research/s-houkoku/13_02.pdf.
- [31] Watanabe, “Effects of soybean curd wastewater on the growth and hydrocarbon production of *Botryococcus braunii* strain BOT-22. *Bioresource Technology*,” *Bioresource Technology*, 109, 304-307(2012).
- [32] 筑波大学, “下水処理施設での微細藻類を利用した分散型エネルギー資源の獲得に関する研究について,” : https://www.city.sendai.jp/kankyo/kurashi/machi/machizukuri/energy/documents/020_event_h29_2_siryoku3.pdf.

- [33] 健康産業新聞, “特集【注目の藻類由来素材-海藻由来から微細藻類まで- 免疫対策から抗疲労、脳機能サポートまで、機能性藻類に注目,” 2020. 4. 13: https://www.kenko-media.com/health_idst/archives/13780.
- [34] JPEX, “スポット市場取引結果,” <http://jepx.org/market/index.html>.
- [35] 日本気象協会, “ニュースリリース「システムプライス・エリアプライスの週間予測・1 カ月予測サービス」を開始 ～電力取引価格の予測（プライス予測）サービスを拡充～,” 2018. 6. 1 <https://www.jwa.or.jp/news/2018/06/4337/>.
- [36] 電力広域的運営推進機関, “九州離島の再生可能エネルギー発電設備の出力抑制における公平性の検証結果～2019 年度実施分九州電力送配電～,” :
https://www.occto.or.jp/oshirase/shutsuryokuyokusei/2020/files/200626_kenshokekka.pdf.
- [37] 九州電力, “種子島における再生可能エネルギー発電設備の連系に関する説明会,” 2014. 8. 5 :<http://www.kyuden.co.jp/library/pdf/press/2014/taxfi3gne.pdf>.
- [38] 鹿児島県, “鹿児島県のガソリン価格（2019）,” :
<https://www.pref.kagoshima.jp/ab11/kurashi-kankyo/syohi/price/oil/gasol.html>.
- [39] 経済産業省・資源エネルギー庁, “産業用価格（軽油・A 重油）2007. 1 ～,” :https://www.enecho.meti.go.jp/statistics/petroleum_and_lpgas/pl007/results.html#headline3.
- [40] 経済産業省, “離島ユニバーサルサービスについて,” 九州電力, 2015. 10. 22
https://www.emsc.meti.go.jp/activity/emsc_electricity/pdf/006_06_06.pdf.
- [41] 気象庁 種子島平年値
http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/view/nml_sfc_ym.php?prec_no=88&block_no=47837&year=&month=&day=&elm=normal&view
- [42] 農畜産業振興機構, “種子島における地域農業マネジメントの課題 ～サトウキビおよびでん粉原料用かんしょを対象に～,”
https://www.alic.go.jp/joho-s/joho07_001723.html.
- [43] 大日本製糖, “お砂糖ができるまで,”
https://www.dmsugar.co.jp/enjoy/square/process_01.html.

- [44] “Utilization of waste syrup for production of polyunsaturated fatty acids and xanthophylls by *Aurantiochytrium*,” *J. Oleo Sci.*, 62, 729-736(2013). .
- [45] 低炭素投資促進機構, “地域の特性を活かした地産地消の分散型エネルギーシステム構築ガイドブック,” 2019.3
- [46] ImpactPPA, “News Indian Government Partners with ImpactPPA to Power 50 Million Jobs,” 2018.5.15 <https://www.impactppa.com/uncategorized/indian-government-partners-with-impactppa-to-power-50-million-jobs/>.

図録

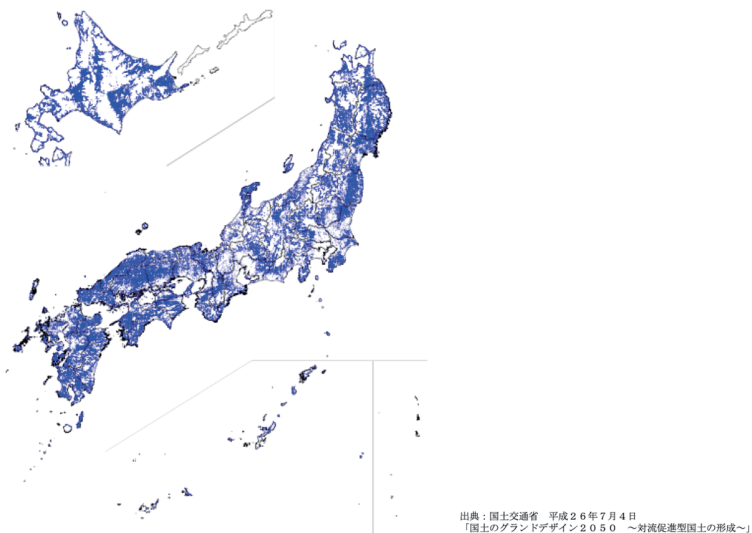


図.1 2010年を100とした2050年の人口増減状況（50%以上減少する地域）



図.2 下地上地市営住宅

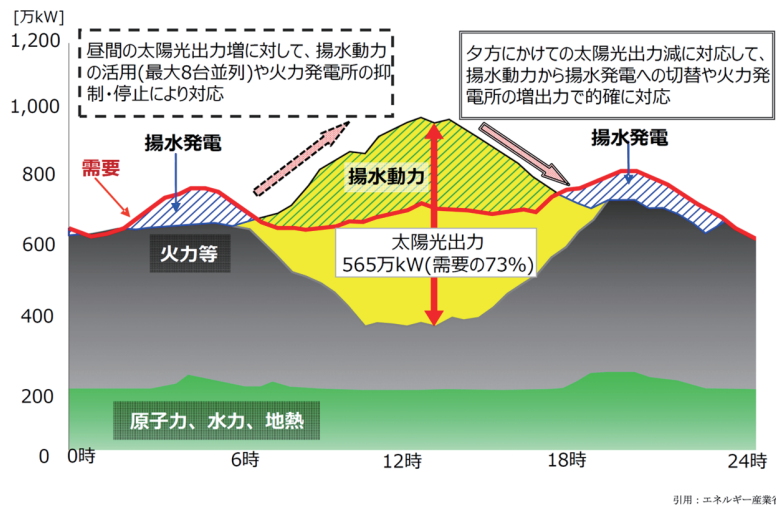


図.3 2017年4月30日の九州地方の電力実績

[万kW]			
	項目	実績	備考
出力制御内容	再エネ出力制御時間	10/13(土) 9時～16時	
	最大余剰電力発生時刻	12時30分～13時00分	
	再エネ出力制御発令量 (再エネ接続量に対する比率)	32 (5.3%)	8月末時点 太陽光:807万kW 風力50万kW
需給実績	エリア需要	851	
	大容量蓄電池の充電 揚水運転	180	
	域外送電	192	
	小計	1,223	
	供給力	1,223	
	(再掲)再エネ出力	550	太陽光:549、風力:1 (太陽光の出力制御▲32万kWを含む)

引用：九州電力

表.1 2018年10月13日の九州の電力需給実績

□ は運用見直し

		4月	5月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	合計
出力制御回数	回	20	10	2	10	1	5	11	15	74
最大制御量	万kW	257	190	38	83	36	143	289	289	—
1事業者あたりの制御回数	オフライン	8~9	14~15						23~24	
	オンライン		7~8						15~16	
太陽光最大出力(制御前)	万kW	750	730	600	610	490	550	740	800	

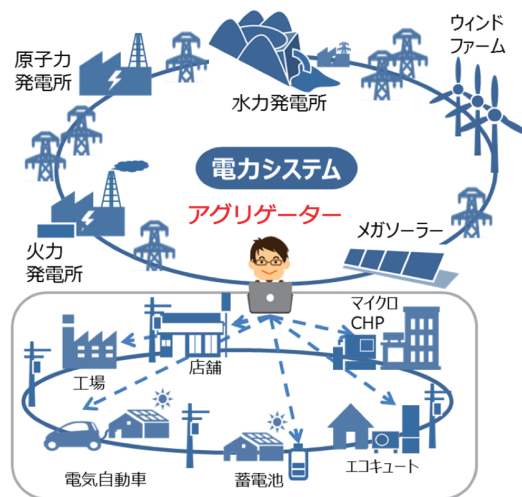
(注1) 6~9月は出力制御実績なし

(注2) 2019年度の再エネ出力制御による再エネ逸失電力量比率は4.1%

(再エネ逸失電力量比率=再エネ制御量÷(再エネ制御量+再エネ発電量)×100)

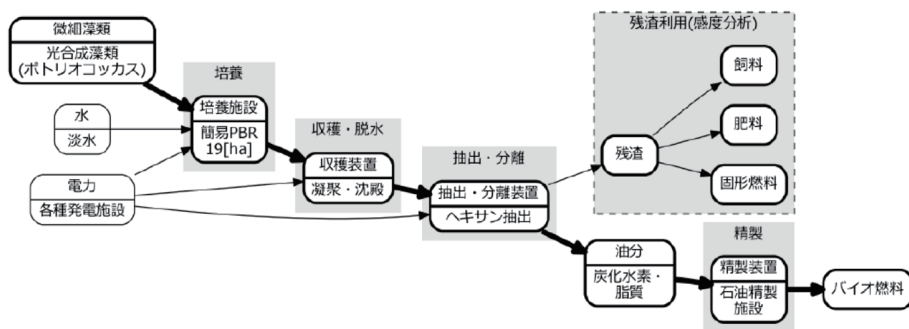
引用：九州電力

表.2 2019年度の再エネ出力制御実績（九州本土）



引用：経済産業省

図.4 VPP（バーチャルパワープラント）のイメージ



引用：2015年11月 文部科学省 科学技術・学術政策研究所 科学技術動向研究センター 拡張産業連関表による微細藻類バイオ燃料生産の経済・環境への波及効果分析

図.5 ボトリオコッカス由来バイオ燃料生産工程

簡易PBR	
成長速度 [g/m ² day]	73.5
油脂含有率 [%]	45
培養方式	簡易PBR
収穫方式	凝集沈殿・濾過
抽出・分離	ヘキサン抽出
稼働日数	365
水路の面積 [ha]	19
水路の深さ [m]	0.3
水路の体積 [m ³]	57,000

※油脂生産量 約120.7 t/ha/年の藻類を培養

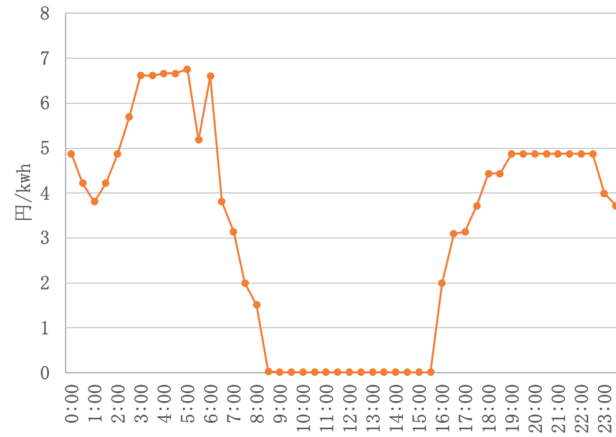
出典：2015年11月 文部科学省 科学技術・学術政策研究所 科学技術動向研究センター 拡張産業連関表による微細藻類バイオ燃料生産の経済・環境への波及効果分析

表.3 培養条件

費用項目	詳細	金額〔百万円〕
電力	混合・攪拌用電力	38.5
電力	曝気用電力	25.3
培地	その他の無機化学工業製品	0.6
培地	その他のソーダ工業製品	0.2
培地	上水道・簡易水道	14.7
電力	濾過用電力	3.3
電力	油分抽出用電力	10.6
電力	室内制御	2.3
保守	機械補修費	16.5
保守	溶媒(ヘキサン)等の補充費	5.5
一般管理費		20.5
土地賃貸費用		14.5
雇用賃金		47.5
設備投資 減価償却30年		6.7
合計		206.7

出典：2015年11月 文部科学省 科学技術・学術政策研究所 科学技術動向研究センター
 拡張産業連関表による微細高類バイオ燃料 生産の経済・環境への波及効果分析

表. 4 経常運転費用推計



引用：JPEX スポット市場取り引き結果より筆者作成

図. 6 卸電力市場（JPEX）2020年4月4日 九州エリア スポット価格

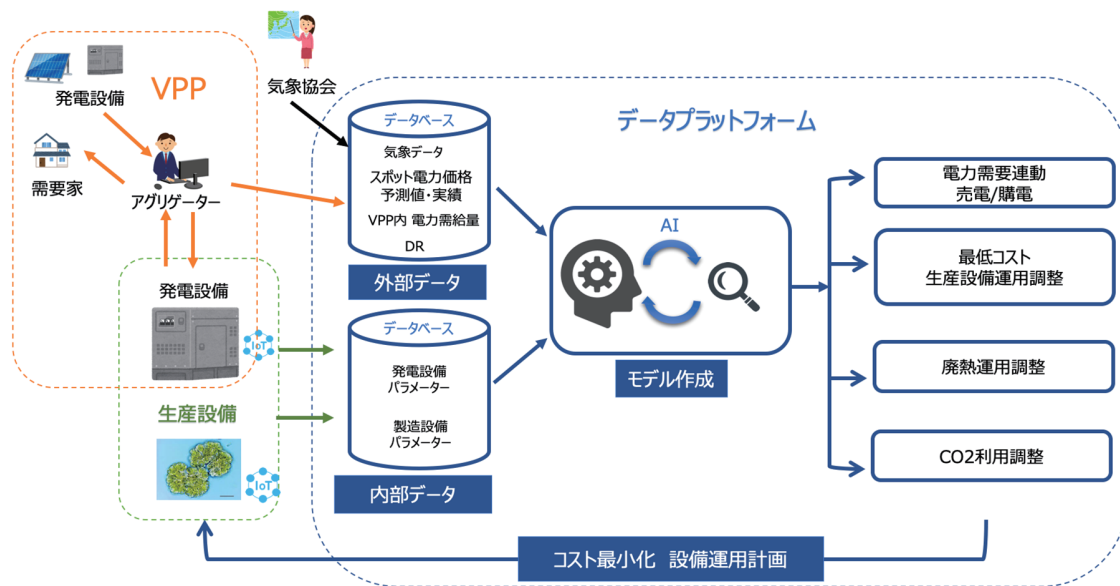
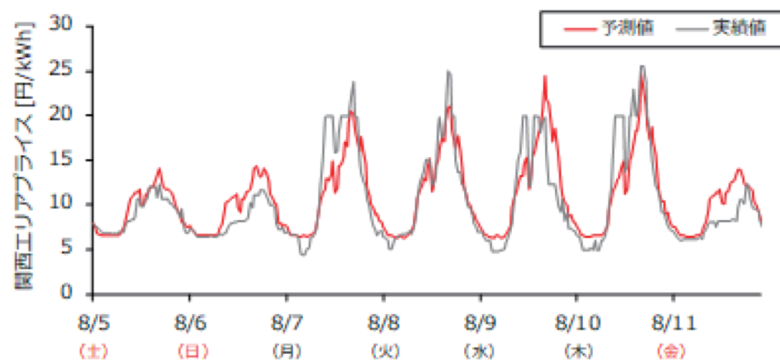


図.7 AFEMS (Algae Farm Energy Management System) 構成



出典：日本気象協会

図.8 電力取引価格の予測 (プライス予測) サービス

試算項目			参考値
年間電力需要量	140,000,000	[kwh]	※1
PV供給可能電力量	24,622,200	[kwh]	・設備容量：13,679kw ※2 ・種子島 年間日照時間：1,800時間/年 ※3 →稼働率20.5%
火力発電供給可能電力量	115,377,800	[kwh]	・設備容量：40,500kw ※2
化石燃料年間需要	26,558	[kl]	・A重油エネルギー：10861.1 kwh/kl ・発電効率：40%

引用：※1 経済産業省
引用：※2 電力広域システム推進機関
引用：※3 気象庁

表.5 種子島における年間電力・燃料需要の試算

費用項目	詳細	通常コスト	電力コスト	電力コスト	電力コスト	電力コスト	単位	
			5%削減時	10%削減時	20%削減時	30%削減時		
生産 コスト	電力	混合・攪拌用電力	38.5	36.575	34.65	30.8	26.95	[百万円]
	電力	曝気用電力	25.3	24.035	22.77	20.24	17.71	[百万円]
	培地	その他の無機化学工業製品	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	[百万円]
	培地	その他のソーダ工業製品	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	[百万円]
	培地	上水道・簡易水道	14.7	14.7	14.7	14.7	14.7	[百万円]
	電力	濾過用電力	3.3	3.135	2.97	2.64	2.31	[百万円]
	電力	油分抽出用電力	10.6	10.07	9.54	8.48	7.42	[百万円]
	電力	室内制御	2.3	2.185	2.07	1.84	1.61	[百万円]
	保守	機械補修費	16.5	16.5	16.5	16.5	16.5	[百万円]
	保守	溶媒(ヘキサン)等の補充費	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	[百万円]
	一般管理		20.5	20.5	20.5	20.5	20.5	[百万円]
	土地賃貸		14.5	14.5	14.5	14.5	14.5	[百万円]
	雇用賃金		47.5	47.5	47.5	47.5	47.5	[百万円]
	設備投資	減価償却30年	6.7	6.7	6.7	6.7	6.7	[百万円]
年間運転費用合計		206.7	202.7	198.7	190.7	182.7	[百万円]	
試算項目	オイル生産量/19ha	2,293.8	2,293.8	2,293.8	2,293.8	2,293.8	[kl]	
	オイル原価	90.1	88.4	86.6	83.1	79.6	[円/kl]	
	燃料費	26558(kl)燃料使用時	2,396	2,349	2,303	2,210	2,117	[百万円]
	燃料費削減効果	通常コストとの差額	-	▲46	▲93	▲185	▲278	[百万円]
	発電コスト	26588(kl)燃料使用 115,377,800kwh発電時	20.8	20.4	20.0	19.2	18.4	[円/kwh]

表.6 コスト試算結果

令和3年2月19日

〒103-0027 東京都中央区日本橋三丁目13番11号

一般財団法人 **油脂工業会館**

☎東京03(3271)4307 (代表)

<https://www.yushikaikan.or.jp/>