

進化型アグリソーラーの提案と地方活性化への貢献

垣本 隆司 (AnT Labs)

【要旨】

かねてより、大都市人口集中問題への対応や経済成長のための地方活性化の議論が進められてきた。加えて2020年は、新型コロナウイルスによる感染回避の手段として地方へのリソース分散が議論されている。本稿では、地方活性化の一手段である農業振興に資するものとしてスマート農業の潮流をとらえ、スマート農業を支える基盤としてのソーラーシェアリング（営農型発電）を取り上げる。従来からの普及してきたソーラーシェアリングは、日射と日影のインターバルに起因すると思われる作物収率や品質への影響があり、栽培作物が限られる。そこで、栽培作物の品目拡大を可能にすべく、従来のソーラーシェアリングに反射板を備え日射環境を改善した進化型アグリソーラーシステムを提案し、その効果について考察した。また、模擬的な栽培実験により従来型と進化型とで比較し、進化型の方が、光量が半減しても成長スピードが早いことを確認した。このことにより、栽培品目拡大の可能性が示唆された。さらには、発電する太陽電池モジュールを日射センサーとして活用し作物環境のセンシングとして活用することに加え、反射板を活用して作物への日射を制御することや農作業者を日射から守ることなど、進化型アグリソーラーシステムの応用について説明する。

【キーワード】

農業振興・アグリソーラー・スマート農業

1.はじめに

1.1.背景と目的

近年、都市への人口集中が加速し、少子高齢化の一因と分析されている[1]。少子高齢化はデフレ経済の蔓延化を招き、国力の低下につながっていく懸念があるとも言われている[2]。そのため、遷都もしくは首都機能移転などによる首都人口集中緩和策や地方への経済機能の分散化の議論がなされ、地方活性化のための政策も発表されてきた[3]。また、今般のコロナ禍を契機に、経済活動との共存を探る中、人口集中の緩和を視野に入れた様々な施策が検討されている。多くの施策が議論されるなか、地方や地域の活性化の取り組みに関する批判や問題提起もなされ[4]、今日に至っている。今後も、多くのアイデアがメディアでも取り上げられ、議論が活発化していくことが予想される。

地方活性化のために最も重要な課題は、地方での雇用の確保と思われる。しかも、人材の多様化に対応し、第1次～6次産業までのバランスの良い雇用環境を作ることが重要である。夫婦共働き世帯が増える今、夫と妻が別の遠い町で暮らさざるを得ないことがないようにすべきである。また、乳幼児から成人前まで安心して子育てできる環境も必要である。地方活性化は、地域活性化や地方創生と表現されることもあり、農業振興のみならず、町・村おこしなど観光産業観点や古民家再生など新たなサービス事業など多くの議論がなされている。昨今のコロナ禍の影響により、企業によるテレワーク化率も飛躍的に向上し、都心よりも衛星都市もしくはさらに郊外へと居住地域が広がっていくことが予想される。そのため、自然に地方などでの個人消費も増大し活性化につながると思われる。

多くの地方活性化の議論の中の一つとして「農業振興」がある。農地は日本の国土面積の12%を占め[5]、後継者不足による耕作放棄地増加懸念も深刻化している[6]。さまざまな農業振興の政策努力や企業などの挑戦もあるなか、技術視点では農業振興に寄与するスマート農業の進化に着目している。本稿では、このスマート農業のプラットフォーム（基盤）としてソーラーシェアリングが有用であると考え、その改良を進めた「進化型アグリソーラーシステム」を提案する。このことで、地方活性化の一翼を担う農業振興へ貢献していきたいと考えている。

1.2.ソーラーシェアリングとは

ソーラーシェアリングとは、農地に建設する太陽光発電所のことであるが、農林水産省の資料では営農型太陽光発電設備と明記され、営農型発電所とも呼ばれる。海外では、Agri-voltaics（Agri と Photovoltaic の voltaic との結合と思われる）、Agri-solar などが一般的のようである。本稿では、「ソーラーシェアリング」は、従来型を主に意味し、「アグリソーラー」は進化型の呼称とし主に用いている。第1図は、千葉県にある700kWのソーラーシェアリングである。栽培作物はニンニクで半陰性作物[7]である。この発電能力は年間平均日照時間を1000時間程度として、一般家庭の月間電力使用量は250kWh程度とすれば200世帯以上の電力を賄うことができる。但し、発電は日照時間内に限られるため、蓄電して時間シフトする必要があるあくまで単純な需給バランス観点での目安である。

ソーラーシェアリングは、2004年、長島彬氏によって、売電収入による農業経営への寄与と再生エネルギーの普及を目標として提唱された。2013年より導入が増え、2018年度までに累計導入件数1992件、下部農地の累計面積560.0haと報告されている[8]。ソーラーシェアリングは、太陽電池モジュールの敷設率（遮光率）をあげていくと、圃場への日射と日影のインターバルが顕著化し、作物への悪影響の懸念があると言われている。そのため敷設の条件の一つとして、作物の収率低下が20%以上にならないことと毎年の報告義務がある。作物は、収率低下懸念などにより陰性から半陰性作物[7]などの一部に現状は限られるが、売電することによる農業経営のサポートには大きな貢献がある。



第1図 ソーラーシェアリング農場の例
(出典：SOLAR JOURNAL[9])

2. 農業振興策としてのスマート農業とソーラーシェアリングの役割

政府の農業振興策は農林水産省のホームページにも掲げられているが、自治体では担い手支援なども進められている。また、JA などは過去から流通支援など様々な振興策や農家支援を実行してきている。本稿で着目するスマート農業に関して、農水省のホームページでは、「ロボット技術やICTを活用して超省力・高品質生産を実現する新たな農業を実現」と表記されており[10]、農業振興策としてスマート農業が活発に議論されていることがみとれる。スマート農業の目的は、かつて電機業界や自動車業界が成し遂げてきたように、自動化による作業の高効率化と生産品の高品質を目指すわけであるが、現在は、様々な取り組みを通じて、どう農場や栽培施設で実現できるのか試行錯誤の連続である。最近のスマート農業の進展には目を見張るものがある。ドラマ「下町ロケット」でも登場した自動走行トラクターや、ドローン活用などが代表例である。農水省のホームページ[10]では様々なスマート農業の事例が紹介されている。日常の作業性に関する対策や、センシングデータ活用による品質の安定や生産性の向上なども具体的な目的として取り上げられている。データ活用に関連しては、電気製品など機器の工場で誰が作業しても同一の品質が実現したように、「作業の継承性」が目標としてある。このことは、高齢化する農家の「後継者育成」が問題意識としてあり、スマート農業の命題のひとつである。

第2図は、中山間地型リレー出荷 100ha 経営モデルとして掲載されており、庄原商工会議所(広島県)や県立広島大学、庄原市を中心にキャベツ栽培



第2図 中山間地型リレー出荷 100ha 経営モデル
(出典：日商 Assist Biz [11])

を行う農業法人 vegeta(ベジタ)など 15 団体が構成する「広島型キャベツ 100ha 経営スマート農業実証コンソーシアム」の事業である。この図からスマート農業の全体像をつかむことができる。「スマート農業機械」、センシングなどを含む「システム化」、データ連携と集中管理による「経営管理システム」が骨格としてとらえられる。電子機器や自動車の大量生産促進過程と基本原理は同様でも、広大な土地で自然を相手にしながら、土壌や空気の状態をも検出してスマート化を進めているところに難易度がみとれる。工場のラインとは違い、取るデータが気候などに左右されることもあり、データによっては地球規模の気候変動データとも連携していく必要がある。工場での品質分析には、パレート図や特性要因図など QC7 つ道具(QC : Quality Control、品質管理)と呼ばれるものが使われ、統計解析的な手法が用いられる。農場での作物品質解析や工程管理も同様ながら、データに気象変動要因が加わり統計解析手法も高度化する。作物成長のドライバである光合成も電子技術でよく議論される光電効果に比べ、反応プロセスが複雑かつ多様であり、作物の品質管理が、形式知化しにくい要因と考えられる。スマート農業のさらなる進化を期するためには、農業機械の電化や環境センシング・制御など電力活用をどのように進めるかの議論も必要である。

太陽光発電などの再生エネルギーを、発電した現場で使用することを「自家消費」と呼ぶ。電力会社による送配電に頼らず、自家消費を目的とした太陽光発電と蓄電池活用は、エネルギーの脱炭素化への貢献となる。一方、太陽光発電の自家消費のみならず、余剰電力の売電は農業経営観点で効果的である[12]。この電力利用のみならず、スマート農業観点での効率化が図れると考えている。たとえば、太陽電池モジュールの発電量をモニタリングしながら作物への日射状況を推定し、適切な灌水制御などにつなげる可能性がある。また、次章で詳説する進化型アグリソーラーシステムで、日射状況と連携して作物の成長や品質に応じた日射の加減制御にもつなげることができる。つまり、太陽電池モジュールは一種の日射センサーとして機能させることができ、農地への適度な日影が、農作業や作物にも有利に働かせることができる。従来型ソーラーシェアリングの欠点を克服しながら、いかにソーラーシェアリングがスマート農業のプラットフォームとし

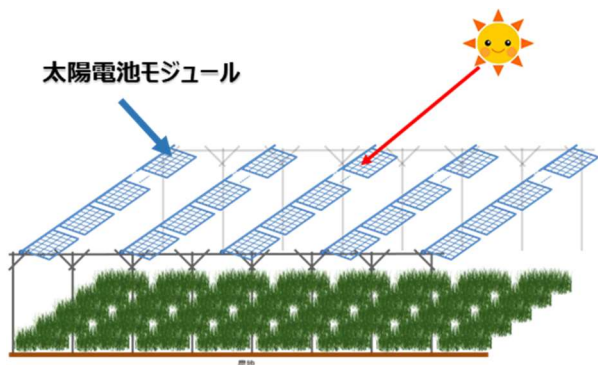
て貢献度を上げることができるかが命題となる。

スマート農業のさらなる進化で、農作業者の疲労を軽減し、就農人口を増やすきっかけになる可能性もある。もちろん、多くの政策や企業努力があるように、このことだけで就農人口を増やすことはできないが、働き方改革の一助にはなると思われる。このスマート農業の潮流の中にあって、提案する進化型アグリソーラーシステムが、従来型の欠点を補うべく、どのように機能するかについて次章以降で説明する。

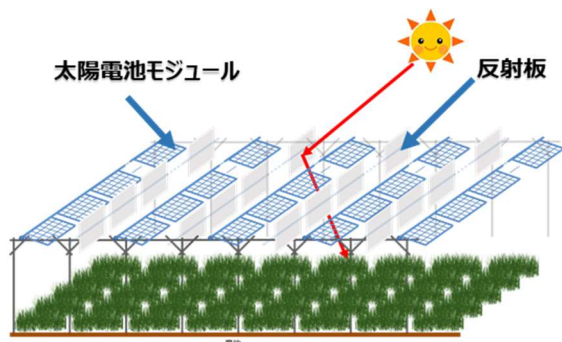
3.進化型アグリソーラーシステムの提案

3.1.従来型ソーラーシェアリングとの比較

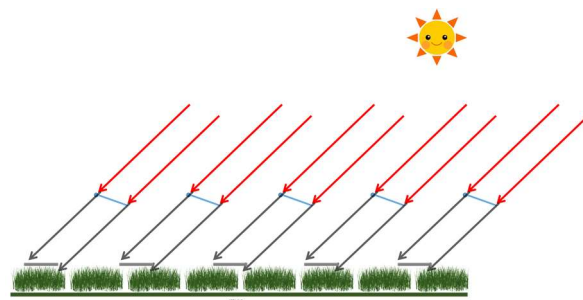
第3図は、従来型ソーラーシェアリング、第4図は、提案するソーラーシェアリング（進化型アグリソーラーシステム）のスケッチである。従来型は、第1図にもあるように、農地の上に、ある一定間隔において太陽電池モジュール列をなしていく構成である。進化型は、従来型の太陽電池モジュールの列の間に反射板をおき、反射光により農地へ光をあてる構成となる。従来型では、第5図に示すように、ある一定時間、農地に太陽電池モジュールによる日



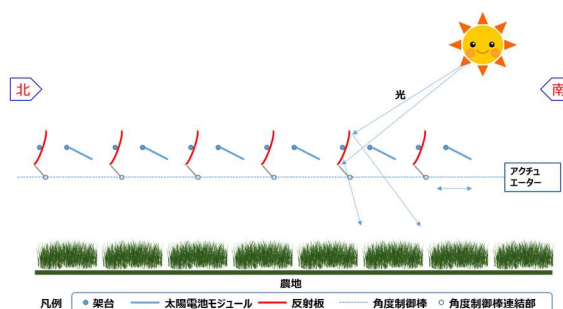
第3図 従来型ソーラーシェアリング



第4図 進化型アグリソーラーシステム

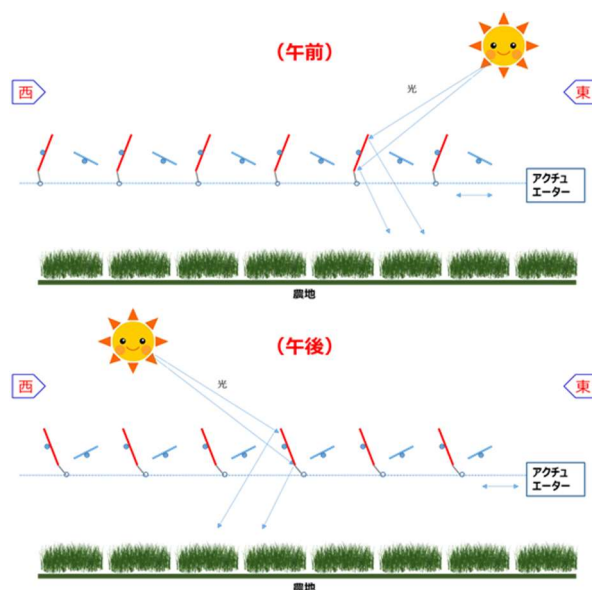


第5図 従来型ソーラーシェアリングの日影



第6図 進化型アグリソーラーシステム
（南北向き）の日射

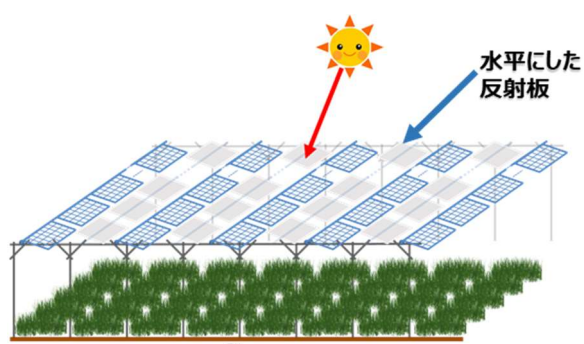
影が落ち、日の出から日没までの間で日影と日射のインターバルが発生することになる。進化型では、この従来にはあった日射と日影のインターバルを激減させることができる。第6図は、日射が反射板に反射し農地を照らすようすを示す。第7図は、反



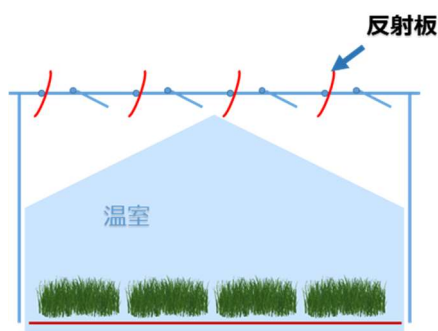
第7図 進化型アグリソーラーシステム
（東西向き）の日射 上：午前 下：午後

射板を東西に向けて農地を照らす様子である。反射板は、太陽光の仰角に応じて揺動するが、基本は凸面設計とし、どの時間帯でも日影をなくすよう太陽光を反射させることが可能である。すなわち、従来型にあった作物への悪影響を激減し、太陽光を間接的にでも常時照射にすることで、収率低下の懸念を払拭することを目標にしている。また、作物への適宜日射、適宜遮蔽により、逆に作物保護の効果があることに加え、必要に応じて強い日射を遮ることにより、農作業者の環境を守ることを目標にしている。第8図は、水平にした反射板で作物と農作業者を保護するようすである。さらには、第9図に示すように、栽培施設への設営も可能である。施設栽培では、とりわけ遮光カーテンなどを使って光量を積極的に遮るケースもあり、反射板はその代用にもなる。

進化型アグリソーラーシステムが現場課題にどのように対策できるか考察する。農家の「お困りごと」に関しては、これまで、近隣の農家や農業コンサルタント、農研機構セミナーなどからヒヤリングした結果では、以下の点が顕著であった。



第8図 進化型アグリソーラーシステムにおける
反射板水平モード



第9図 進化型アグリソーラーシステムの施設栽培への適用

- 1) 農薬散布や草刈り除草薬散布の労働を減らしたい
 - 2) 効果的な防鳥・防虫システムがほしい
 - 3) (露地栽培) 日射の強い昼間はできるだけ日影に居たい
 - 4) (施設栽培) ローコストで施設内は空調したい
 - 5) 農作業の自動化で時間を自由に使いたい
 - 6) 出荷日程調整ができ、ロスを減らしたい
- これらは、実際現場で苦勞されてきた方々の実感と思われる。そしてこの現状を打破したい意欲も感じ取られた。

これらのニーズにも呼応し、従来型と比較して進化型アグリソーラーシステムには、以下のような効果を有する。

- ① 太陽光パネルによる遮光の度合いを上げても日射ムラを緩和できるとともに、AM 前半、PM 後半の高度の低い太陽光を、作物のほぼ真上から照射できるため陽性作物の収率ダウンも抑制できる可能性がある。また、朝、夕の傾いた太陽光を反射板経由で真上から照射することで、葉面への一日のトータル日照を担保しながら柔らかい光を照射することができる。
- ② また①により、栽培作物の自由度があがるため、連作障害対策につながる可能性がある。
- ③ 日差しの厳しい日中は、反射板で積極的に遮蔽して葉焼け防止対策にすることができ、適宜遮蔽することにより農作業者を保護することができる。
- ④ 反射板により防鳥・防虫効果が期待できる。鳥や獣を検知した時には、細かく反射板を揺動させて威嚇できる可能性がある。
- ⑤ 夜間は、反射板を水平にすることで、冬季の放射冷却、霜を防止できる可能性がある。また太陽電池モジュールの面積比率が大きいため、低温時は逆バイアスをかけて発熱させ（融雪モード）、空気を温める効果も期待できる。
- ⑥ 反射板による常時照射を基本としながらも、照射時間を制御することにより出荷時期調整に活用できる可能性がある。

などである。

以上により、従来型のソーラーシェアリングにあった課題を克服しながら、太陽電池モジュールの領域を拡大し遮光率があがっても多くの作物を栽培できる可能性がある。

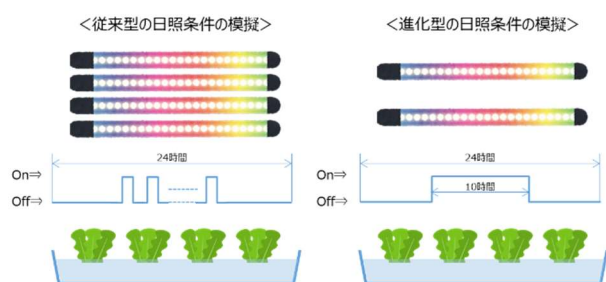
3.2.栽培実験と結果

本節では、ソーラーシェアリングにおける従来型の日射日影パターンと進化型における日射模擬実験と実験結果について説明する。

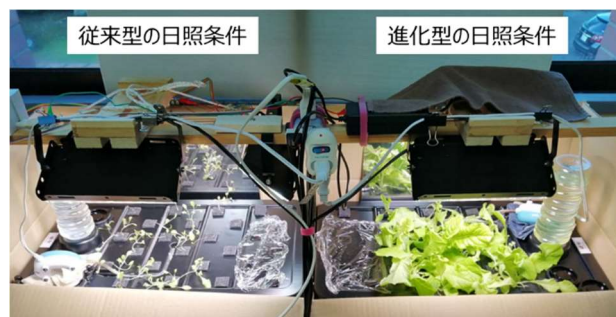
従来型では、遮光率を上げていった場合、日射と日影のインターバルに関して日影時間が長くなる。そのため、遮光率は30%未満が主流であるか、遮光率を上げていく場合、栽培は陰性作物の栽培に限られているのが実態である。遮光率を上げる、すなわち、同一面積での発電量を上げて経済性を高めることは、農業委員会で規制された「収率低下20%以内」に抵触するリスクを高めることになる。進化型アグリソーラーシステムにおける反射板搭載により、非搭載と比較してどの程度の成長の差が出るかを確認する。

第10図は、実験仕様を示す。従来型の模擬として、ある日射強度で1時間照射1時間非照射を、1日約10時間繰り返す。遮光率50%を想定しているが、場所によってはこのインターバルとは異なる。しかしながら、平均的なパターンとして1時間日射1時間日影を想定している。進化型の模擬としては、上記従来型の模擬の日射強度の約半分を1日10時間常時照射している。進化型は、反射板により常時照射するが、遮光率50%は太陽への開口率50%を意味し、この開口から凸面にした反射板でまんべんなく農地に照射するものの、凸面反射板により日射が広げられ、日射量は約半分となる。作物はサラダ菜であり水耕栽培である。この実験を5月~9月の間で計3回繰り返したが、第11図のように、進化型の日射強度とパターンのほうが圧倒的に成長スピードが早いという結果を確認した。

この結果により、進化型アグリソーラーシステムにおいては、太陽光発電量を従来型に比して60%程度増加(従来型遮光率30%、進化型遮光率50%)させて経済性を上げながら、作物の成長に打撃を与



第10図 栽培実験仕様



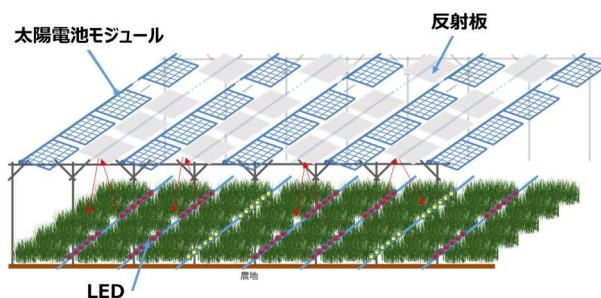
第11図 実験結果

えない、もしくはより成長しやすくなる可能性が示された。一方、海外文献でも、1931年アメリカ農務省の実験[13]で、1時間日射1時間日影のような長周期インターバルで成長スピードに大きな影響があることが報告されている。

3.3.スマート農業への進化型アグリソーラーシステムの適用

スマート農業の議論が活発化する中、さきごろ農水省は営農型発電設備と連携した、スマート農業の検討に対する助成を発表してきている[14]。営農型発電と一体化したスマート農業で、電動農業機械やセンシング機器に必要な電力供給が主目的である。このことのみにとどまることなく、ソーラーシェアリングをスマート農業と融合させるメリットがあり、進化型アグリソーラーシステムではさらにそのメリットを増大化させることができると考えている。前述した、太陽光発電を日射センサーとして活用するに加え、反射板の制御により新たな付加価値を訴求できると考えている。

第12図は、農地地面近くに配置したLEDを反射板で夜間に全体に光を行き渡せる概念を示す。近年、環境問題や作物の安全性の担保、さらには農作



第12図 LEDを配置した進化型アグリソーラーシステム

業者の保護と労働軽減のためLEDなどを活用した防虫防除の研究も進んでいる[15][16][17][18]。進化型アグリソーラーシステムとの併用でLEDの光を効率的に作物へいきわたらせ防虫性能を高め得る可能性があると思われる。

フランスのSun'Agri社[19]は、太陽光発電用地の不足への対応としてソーラーシェアリングの可能性を追求するとともに、ブドウ栽培に対してソーラーシェアリングの角度可変による日射調整を提唱し実際に運用している。また、本来の農業と発電の親和性に着目した融合という目的を超えて、世界的な気候変動への対応、も目的としている。この気候変動により日射過多の状況がフランスなどにも生じているため、日射制御の必要性が増加していることに呼応している。Sun'Agri社は反射板を搭載していないため、日射と日影のインターバルは生じるが、太陽電池モジュールの高さを4m程度にして対策していると思われる。また、太陽電池モジュールの角度制御は、作物のための日射調整である反面、発電量の低下はまぬかれない可能性が高い。進化型アグリソーラーシステムは、反射板搭載によりSun'Agri社コンセプトの課題を対策できる可能性があると思われる。

4.まとめと今後の課題

地方活性化については、国、自治体、ベンチャー含む企業などに加え、地元の人たちの多くの知恵が集積され、議論が重ねられてきている。これらの中にあって、農業振興もスマート農業や流通革新なども推進されてきた。本稿では、このスマート農業を支えるため、従来型のソーラーシェアリングに反射板を搭載して栽培環境面でも農作業環境面でも改善する可能性がある進化型アグリソーラーシステムを提案し、その効果について説明してきた。本稿で明らかにしたことは、ソーラーシェアリングそのものがスマート農業に貢献する可能性が大きいこと、進化型アグリソーラーシステムが従来型の欠点を補いながらスマート農業でのさらなる応用性があること、などである。ソーラーシェアリングそのものが農水省でも検討促進されており、提唱する進化型アグリソーラーシステムを農工連携のためのプラットフォームとして発展させていきたいと考えている。

今後の課題は、実際の農地への適用実験や、様々

な作物での実証実験などを進めるため、進化型アグリソーラーシステムの可能性をさらに業界へ広げていくことである。

(参考文献)

- [1] 岡田哲郎：「東京一極集中是正」による少子化対策の妥当性を問うー地域別出生関連指標からの示唆ー、JRI レビュー 2015 Vol.6, No.25
- [2] 公文 敬：「人口減少デフレは始まっている 21世紀に横たわる第五の景気循環」、みずほ総合研究所、東洋経済新報社(2006)
- [3] 「地域活性化政策パッケージ25 ～主な個別施策82～」、内閣官房 地域活性化統合事務局(2014)
- [4] 山下祐介、金井利之：『地方創生の正体：なぜ地域政策は失敗するのか』、ちくま新書(2015)
- [5] 国交省 国土の利用区分別面積：
https://www.mlit.go.jp/kokudoseisaku/kokudoseisaku_fr3_000033.html(2020/10/4 閲覧)
- [6] 国の農業振興策：
<https://www.maff.go.jp/j/kanbo/>(2020/10/4 閲覧)
- [7] アタリヤ農園ホームページ：
<http://www.atariya.net/index.htm> (2020/10/15 閲覧)
- [8] 営農型太陽光発電設備設置状況詳細調査（平成30年度末現在）調査結果について：
<https://www.maff.go.jp/j/nousin/noukei/totiriyo/attach/pdf/einogata-31.pdf> (2020/9/30 閲覧)
- [9] SOLAR JOURNAL：
<https://solarjournal.jp/solarpower/34701/> (2020/9/30 閲覧)
- [10] 農水省ホームページ「スマート農業」：
<https://www.maff.go.jp/j/kanbo/smart/> (2020/9/30 閲覧)
- [11] 日商 Assist Biz：<https://ab.jcci.or.jp/article/2306/> (2020/9/30 閲覧)
- [12] 馬上丈司：「農山漁村再生可能エネルギー法とソーラーシェアリング型太陽光発電事業による国内農業活性化への展望」、千葉大学人文社会科学研究所第29号 (2014)
- [13] Shiwei Song, Paul Kusuma, Sofia D.Carvalho, Yan Li, Kevin M.Folta：Manipulation of seedling traits with pulsed light in closed controlled environments, Environmental and Experimental Botany, Volume 166, October 2019, 103803
- [14] 農山漁村における再生可能エネルギーの導入促進のための予算措置等：
<https://www.maff.go.jp/j/shokusan/renewable/energy/yos>

an.html

<https://www.maff.go.jp/j/shokusan/renewable/energy/attach/pdf/yosan-50.pdf>

(2020/9/30 閲覧)

[15] 株式会社光波、大阪府立環境農林水産総合研究所、静岡県農林技術研究所、農研機構野菜花き研究部門：「赤色LEDによるアザミウマ類 防除マニュアル」、戦略的イノベーション創造プログラム(2019)

[16] 平間、関、細谷、松井：「黄色LED光源を用いた物理的害虫防除装置の試作—ヤガ類の行動観察結果—」、植物環境工学(J.SHITA)19(1)：34-40.2007

[17] 薮 哲男：「発光ダイオードを利用した害虫防除技術—黄色夜間照明がオオタバコガの行動に及ぼす影響を中心に—」、植物防疫 第53巻 第6号 (1999)

[18] 農研機構中央農業研究センター：「紫外光照射を基幹としたイチゴの病害虫防除マニュアル—技術編—」、戦略的イノベーション創造プログラム(2014～2018)

[19] SunAgri 社ホームページ：<https://sunagri.fr/en/>