

論文

ソーラーシェアリング(営農型太陽光発電)の未来像 —PPA モデルによるソーラーシェアリングの可能性と展望—

成 耆政・須澤 和広

The Possibilities and Prospects of Farming Photovoltaics (Solar-Sharing)
by the Model of Power Purchase Agreement

SUNG Kijung and SUZAWA Kazuhiro

要 旨

本稿では、ソーラーシェアリング(営農型太陽光発電)事業により、関係事業者の利益を図り、以て本事業を普及させるため、採算の取れるビジネスモデルの可能性について論じる。そのため、第一に、ソーラーシェアリングの定義や目的、着目した植物の性質などの概要を述べる。第二に、関連した制度や目的の達成度などの現状と、そこから見えてくる課題を明らかにする。第三に、先進的事例を分析するために、事業を類型化し、関連した事例を取り上げる。そして第四に、新しい制度や技術に対応したソーラーシェアリングのビジネスモデルの採算性を試算する。結論として、PPAモデルを導入することが、今後のソーラーシェアリング事業の活路の一つであると主張する。

キーワード

第4次産業革命 ソーラーシェアリング 光飽和点 PPA モデル 自家消費 SDGs

目 次

- I. はじめに
- II. ソーラーシェアリングの概要
- III. ソーラーシェアリングの現状と課題
- IV. ソーラーシェアリングの事例分析
- V. 新時代におけるソーラーシェアリングのビジネスモデルの構築
- VI. おわりに

注

文献

I. はじめに

20世紀後半のロンドンスモッグ事件^{注1}などの公害が発生して以来、半世紀以上にわたって化石燃料への依存からの脱却が叫ばれてきた。元々は大気汚染改善運動であって、その対策も効果を上げてきた。しかし、近年は解決したかに見えた大気汚染が、中国など新興国で社会問題になっている。さらに、今日では地球温暖化の原因となる温室効果ガス発生抑制やいずれ訪れる資源の枯渇に備える目的も加わっている。化石燃料からの脱却は、重大性を増しつつ、現在でも人類共通の喫緊の課題となっている。

このような課題を抱える中で、原子力発電は理想的なエネルギー源と謳われていた。正常に運転されれば、温室効果ガスも直接は排出しないうえに、ランニングコストが安く、方式によっては原子力燃料を無限に利用できる^{注2}とされたためである。しかし、2011年の東日本大震災に伴う福島第一原子力発電所の事故を受けて、世界の多くの国において、エネルギー政策が大きく転換することとなった^{注3}。実際に、ドイツやスイス、台湾など将来的には原子力発電の廃止を決めた国も現れている^{1,2)}。新聞やテレビ、インターネットなどでは、国内外の原子力発電や化石燃料の代替となる再生可能エネルギー関連の報道を頻繁に目にする。民間でも再生可能エネルギー普及の取り組みが盛んになっている。この追い風となるように、2016年に地球温暖化対策の新たな国際的枠組みであるパリ協定(Paris Agreement)が発効し、多くの国が温室効果ガス削減に取り組むようになった。

この最近のエネルギーと環境に関する国内の状況をより詳しくみていく。まず、原子力発電については、近い将来に完全廃止、もしくは、電源構成(エネルギーミックス)上の割合低減の意見の間の対立が生じている。東日本大震災直後は、旧民主党政権内で「2030年代原発稼働ゼロ」

という目標が示された。しかしその後、自由民主党政権が復活すると後退し、2015年に長期エネルギー需給見通し上の割合低減方針が決定された³⁾。自民党の方針の内容は、最適な電源構成として、2030年に原子力発電の比率を20~30%とするものである。しかし、この目標の達成には、少なくとも2030年に30基の原発を稼働する必要がある。ところが、東日本大震災後再稼働できたのは9基だけという状況である。原子力という取り扱いが難しいエネルギー源が環境や生活に及ぼす影響から、市民による反対運動が起きている中で、政府はいまだ原子力エネルギー活用の具体的な工程表は打ち出せていない。

また、太陽光発電など再生可能エネルギーの普及状況を見ると、2009年の余剰電力買取制度開始をきっかけにし、2012年の固定価格買取制度(FIT)^{注4}開始で爆発的に増加して、電源構成における再生可能エネルギーの割合(一般水力・揚水力を含まない)は、2010年に1.2%だったのに対し⁴⁾、2017年には8.1%にまで上昇した⁵⁾。そして、この水力を除く再生可能エネルギーの中で、太陽光発電の占める割合は圧倒的である^{注5}。住宅には屋根に載せるのパネル、街の中のちょっとした空き地には架台の上の小・中規模のパネルのように、太陽光発電設備をあちこちで見かけるようになったため、実感が湧きやすいであろう。このように再生可能エネルギーの主力となっている太陽光発電であるが、比較的規模の大きい発電施設では、ここにきて各地で住民とトラブルを起している。自然環境に優しいはずの太陽光発電であるにもかかわらず、山林を伐採して設置したために、土砂災害を起したり、景観を損ねたりするなどの事例が多数発生しているのである^{注6,7}。無秩序な開発に対しては、市民グループによる反対運動が起きることとなった^{注8}。

そして、農地を営農者の高齢化や後継者の不在から、太陽光発電専用施設建設のために転用

してしまう事態も起きている。農地転用は、国民の食料確保の観点から、安易にできないよう規制が厳しいが、耕作放棄地や市街地化が見込まれる、または、すでにその傾向が著しい場合には許可されてしまうのである⁶⁾。農業生産は国家の存立の基盤であるのに、食料自給率低下など農業の衰退は看過できないところまできている。

さらに、再生可能エネルギー発電事業自体も採算の面で先行きが不透明になっている。経済産業省は、固定価格買取制度において2021年度から、新設の中・大規模(50kW以上)の事業用太陽光発電とすべての規模の風力発電を買取り対象から外す案を2019年8月にまとめた⁷⁾。この背景には、すべての電力需要者が再生可能エネルギーの買取りの費用の一部を負担する仕組みである「再生可能エネルギー促進賦課金(再エネ賦課金)」の問題がある。再エネ賦課金は再生可能エネルギーの拡大に伴って大幅に増加し、2019年度は2兆4,000億円にも上っており、電力需要者の負担軽減が求められていたのである。

一方、世界に目を向けると、地球温暖化対策において、すべての国の政治方針が必ずしも一致しているわけではないが、着実に進展してきている。気候変動枠組み条約締約国会議(COP; Conference of Parties)が長年の活動の集大成として2015年12月にパリ協定を採択し、2016年11月に発効することになった。日本もこれに参加し、2030年度の温室効果ガス排出量を2013年度比で26%低減させる目標を掲げる⁸⁾。しかし、順調に進むかに見えた同協定であるが、世界第2位(2013年時点)の温室効果ガス排出国である米国⁹⁾が、2017年6月に離脱方針を決定⁹⁾した¹⁰⁾。それでも、米国内では、カリフォルニア州やIT企業のグーグルなど地方レベルや民間において、化石エネルギーから再生可能エネルギーへの移行を着実に進めている^{10,11)}。

このように、日本国内及び世界のレベルで、再

生可能エネルギー普及の機運は高まっており、実際に進んでもいるが、障害に行きあたっている。国内では、従来の太陽光発電の形態では様々な課題があるうえ、固定価格買取制度の見直しにより、発電事業としての採算性で先が見通せなくなる状況に陥っている。また世界でも、国際社会の足並みは乱れ、発効したパリ協定の意義が薄れるおそれが出ている。

このままでは、太陽光発電を主力とする再生可能エネルギー普及にブレーキがかかってしまいかねない。そこで、本稿では、従来の太陽光発電事業の環境や採算面などへの問題点を解決する方法を考察した。注目したのは、2003年に長島彬氏によって開発された「ソーラーシェアリング(営農型太陽光発電)」という技術である¹¹⁾。ソーラーシェアリングとは、その基本思想から言えば、農地の上部空間に設置した発電パネルと下部の作物とで「太陽光(ソーラー)」を「分かち合う(シェアリング)」ことである。長島氏は、「光飽和点」という植物の光合成に関する性質に着目して、営農と発電を両立させる技術を開発した。このソーラーシェアリングという技術は、従来の大規模太陽光発電設備の持つ、専用の大面積が必要という欠点を克服し、農業経営を改善するなど人類に明るい未来をもたらす可能性を秘めている¹²⁾。

ここで、農業をめぐる環境について考えると、第二次世界大戦後に起こった機械化以来の変革期に直面している。すなわち、第4次産業革命¹³⁾の波が農業分野にまで及んでいるのである。より具体的に言えば、植物工場¹⁴⁾で先鞭がつけられ、ICT(情報通信技術)、クラウドコンピューティング(Cloud Computing)、ビッグデータ(Big Data)、そしてモバイル(Mobile、携帯型通信機器)などの新技術を農業分野に応用された、「スマート農業(Smart Agriculture)」が始まっている。

これらに対応して、本稿ではソーラーシェア

リング事業により、営農者と発電事業者、太陽電池メーカーの三者の利益を図り、以て本事業を普及させるため、採算の取れるビジネスモデルを提案することを主な目的とする。そのために、まず第一に、ソーラーシェアリングの定義や目的、着目した植物の性質などの概要を述べる。第二に、関連した諸制度や国内の太陽電池市場の動向、全国のソーラーシェアリング施設の分布、目的の達成度などの現状と、そこから見えてくる課題を明らかにする。第三に、先進的事例を分析するために、事業の類型化をし、関連した三つの事例を取り上げる。そして第四に、新しい制度や技術に対応したソーラーシェアリングのビジネスモデルを、採算性を評価したうえで提案する。

II. ソーラーシェアリングの概要

1. ソーラーシェアリングの概念

長島氏によって名付けられた「ソーラーシェアリング」という言葉には、「太陽のエネルギーを分かち合う(共有する)」という意味が込められている¹²⁾。この「共有」をどのような姿勢で行うか、どのような手順で行うかなどによって、ソーラーシェアリングには様々な定義が考えられる。ここで、既存の定義を三つ取り上げ、本稿における定義を述べる。

一つ目の定義は、開発をした長島氏によるもので、「農地に降り注ぐ太陽光を作物生産に必要な量を確保して営農を継続しながら、作物生育に害になる強烈な光線や、利用できない剰余の太陽光で発電を行うこと」である¹²⁾。この定義には、ソーラーシェアリングの着眼点とともに、営農を重視しながら、同時に太陽光発電も行い、電力を副次的産物として利用しようという姿勢が表現されている。

二つ目は、農林水産省食料産業局によるもの

で、「農地に支柱を立てて、営農を継続しながら上部空間に太陽光発電設備を設置する方式」としている¹³⁾。これは、従来の営農を行っていた農家が新規にソーラーシェアリングを実施する際の手順を表現したものとなっている。

そして三つ目は、これも農林水産省によるものであるが、「太陽光パネルを使って日射量を調節し、太陽光を農業生産と発電とで共有する取組」である¹⁴⁾。ここからは、ソーラーシェアリングを実施の際、遮光のために作物からの収量が低下しないよう注意喚起する意図が感じられる。

これら三つの定義には、営農者が円滑にソーラーシェアリング事業を行えるようにするために、それぞれ定義者の意図がある。しかし、本稿では経営学の観点から改めて定義して、「農地に降り注ぐ太陽光を作物とその上部空間で運用される太陽光発電設備とで共有し、営農と発電を同時に行うことで、別々に事業を行うよりも大きな成果を上げようとする取り組み」とする。このように定義し、複数の事業を組み合わせることで「相乗効果(シナジー)」を狙った多角化戦略に当たることを表現した。農地を効率よく利用し、営農と発電を一体のものとして実施することで、営農者を中心とする関係者に大きな利益をもたらすことができるのである。

ソーラーシェアリングのイメージが湧きやすいように、〈図1〉にソーラーシェアリング施設の基本的な構造を示す。作物を栽培する農地に架台を建設し、そこに太陽電池モジュール(パネル)^{注15)}を、間隔を空けてすのこ状になるように設置する。作物はモジュールの隙間から射す太陽光で光合成を行う。また、発電した電力は直流なので、売電や自家消費などをするためには、パワーコンディショナーという箱形の機器で交流に変換する必要がある。

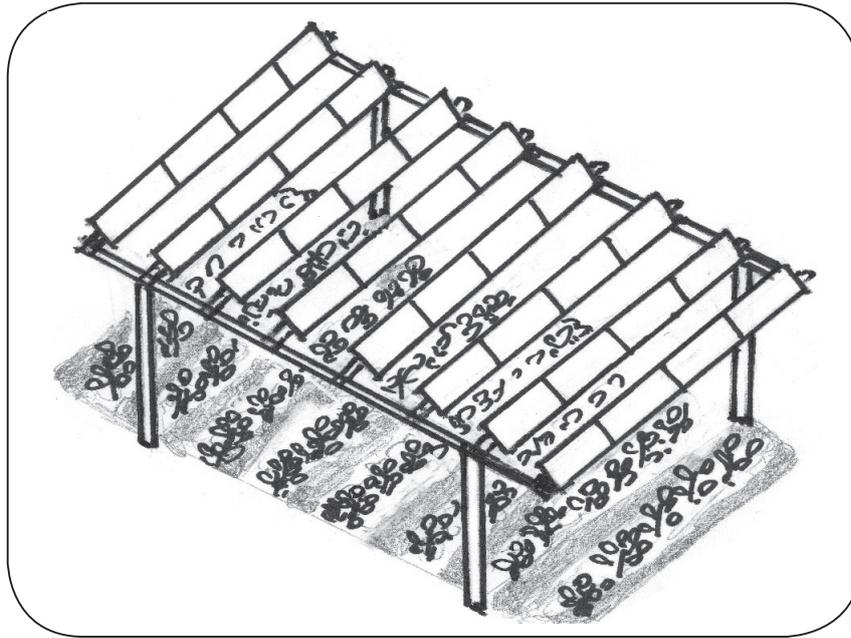


図1. ソーラーシェアリングの設備の基本構造

注:作物の上方に架台と太陽電池モジュールが設置される。ただし、ここではパワーコンディショナーは省略してある。
出所:筆者作成。

2. ソーラーシェアリングの目的

ソーラーシェアリングの当初の目的は、開発した長島氏や農地転用の制度を整えた農林水産省の考えを集約すると、第一に農業者の所得向上¹⁵⁾、第二に太陽光発電という自然エネルギーの普及¹²⁾、そして第三に農業が元来担ってきた作物栽培とエネルギー生産という兼業的使命の復活¹²⁾である。以下、この三点について述べる。

まず、農業者の所得向上については、農林水産省が特に着目した点である。2015年の国内の耕作放棄地は42.3万 ha で全耕地面積の9.4%に当たる。また、耕作放棄地は年々増加していて、1985年から2015年までの30年間で約3倍になった。増加速度は緩やかになってきてはいるものの、今後も増加が予測されている¹⁶⁾。このような状況下、ソーラーシェアリングを導入し売電収入を得ることで、従来の農業を「稼げる」農業にして、新規就農者を増やそうという意図がある。

次に、太陽光発電の普及について長島氏は、化石燃料に依存した生活は「約200年後には確実に

終わる」なかで、太陽光発電を「未来永劫の電力供給の主役」にすることを目指したと述べている。化石燃料に頼り続けることは、燃料を燃焼することで、二酸化炭素を排出し地球温暖化を助長したり、PM2.5など人体に有害な微粒子も排出したりする。さらに、いずれ資源が枯渇して利用することが不可能になることは明白である。長島氏はこの世界的課題の解決をソーラーシェアリングという新たな形での太陽光発電普及に託したのである。

そして、農業の兼業的使命の復活については、長島氏は「農業が再び人類社会の基幹産業として大きく飛躍」することを期待するとしている。この言葉からは、農業に対する熱い思い入れが感じられる。実際に、長島氏は各地のソーラーシェアリング事業を志す者に、営農が基本だと助言している。営農が発電事業によって損なわれることは、営農と発電の両立というソーラーシェアリングの基本思想から外れることなのである。

以上の目的から、ソーラーシェアリングは自

然環境を大切にしながら産業を維持することを
目指していることが分かる。

3. 相乗効果の詳細

ソーラーシェアリングの定義で述べた、営農
と太陽光発電を組み合わせることによって、よ
り大きな成果を生み出せることは、開発した長
島氏や米国の研究者^{注16}の実験により明らかにな
っている。以下、営農の側面と発電の側面にお
いて述べる。

まず、営農の側面では、作物の種類にもよるが、
太陽電池パネル下のほうが裸地よりも収量が増
加するのである^{17,18)}。この現象の原因は、植物は
共に水を利用する光合成と葉の冷却作用におい
て、競合関係にあることが考えられる。根から
吸収される水の量はほぼ一定なのに対し、太陽
の直射で葉が高温になると生命の維持を優先し、
光合成よりも水を蒸散させて温度を下げるとい
う仕組みになっている。その結果、光合成量が
減少することになる。この原理は後述する陽性
植物・半陰生植物・陰生植物によらず共通である。
実験では、トウモロコシやニンジン、トウガラシ
などで確認されている。

営農の側面では他にも、土壌の乾燥が防げて
灌漑用水が節約できることや、作業者がパネル
の下でほどよく影ができるので暑さをしのげる
こと、架台を利用して防鳥・防虫網を設置でき
ることなどが指摘されている¹⁷⁾。

次に、太陽光発電の側面では、太陽電池モジュ
ールの温度上昇が抑えられ、発電効率が維持で
きることである。太陽電池モジュールは、周囲
の気温や日光の直射により温度が上昇すると、
発電効率が低下する現象が生ずる。しかし、下
方が作物の植えられた農地であると、モジュ
ールの温度上昇が抑えられることが分かっている。
実験では、モジュールの温度が9℃低く抑えられ
たので、夏期なら3%発電量が増加する計算であ

る¹⁸⁾。

太陽光発電の側面では他にも、事業目的の太
陽光発電所で最大の懸念だった雑草の制御が自
然にできることが挙げられる。ソーラーシェ
アリングでは、架台を高くして下部で作物栽培
をしているので、通常の営農活動で草刈りをし
たりトラクターを使用したりするため、雑草が常
に取り除かれた状態を維持することになる。

このように、ソーラーシェアリングは、営農と
太陽光発電の両側面で様々な利点生まれ、相
乗効果を発揮することが分かる。

4. ソーラーシェアリングが着目した 植物の性質

1) 光飽和点

ソーラーシェアリングは作物の上に太陽光パ
ネルを設置するため、作物は太陽光が当たらず
育たないのではないかと疑問を持たれがちであ
る。この疑問に対しては、長島氏がソーラーシ
ェアリングの定義で「作物生育に害になる強烈
な光線や、利用できない剰余の太陽光」を利用す
る¹²⁾としていることが答えとなる。

生育のために有害であったり、利用できな
かったりする剰余の太陽光の存在については、光
合成の際、すなわち、植物が光エネルギーを利用
して蔗糖やでん粉などの有機物をつくるときに、
より強い光を当てれば当てるほど有機物が合成
される訳ではないことから分かる。

このことを図解した〈図2〉のグラフは、横軸に
光の強さ、縦軸に二酸化炭素の吸収速度をとっ
ている。グラフが横軸と交わる点は、見かけ上
の二酸化炭素の出入りが無いとき、すなわち、光
合成速度と呼吸速度が等しくなるときであり、
このときの光の強さを「光補償点」という。また
グラフが横ばいになり始めた瞬間は、それ以上
光を強くしても光合成速度が増加しなくなる
ときであり、このときの光の強さを「光飽和点」と

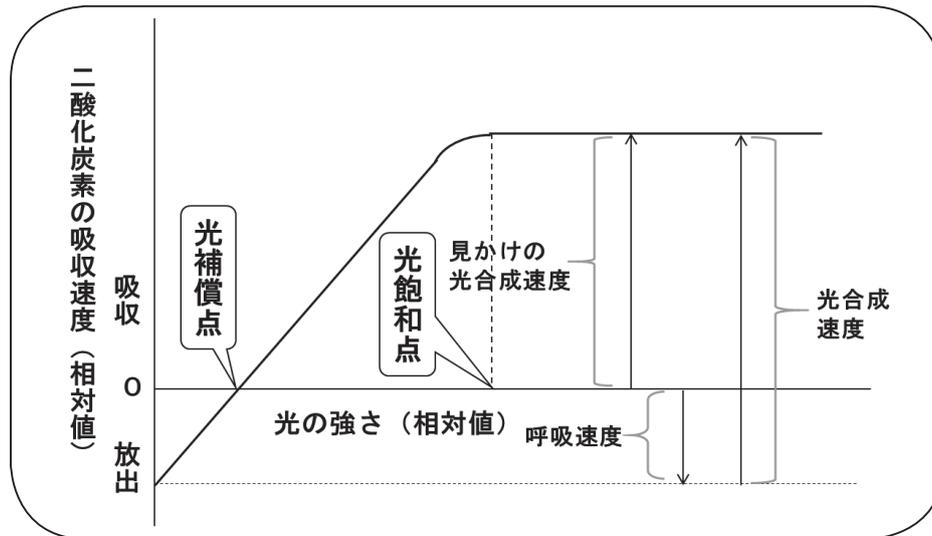


図2. 光-光合成曲線

出所:田部眞哉,『生物合格77講』東進ブックス, p.303(2017)を基に作成。

いう。なお、光飽和点を超過して光の強さが大きくなるほど、その光の過剰エネルギーによって光合成速度は却って低下する現象(光阻害)が起きる¹⁹⁾。また、呼吸速度も光の強さが大きくなるほど低下する。しかし、このグラフでは、分かりやすく単純化するために、光阻害や呼吸速度の低下は無視している。

〈図2〉のグラフから、ある一定の光の強さ(光飽和点)を過ぎると光合成によって作られる有機物の量は増加しなくなるということが分かる。この点に着目してソーラーシェアリングという技術が開発された。利用されていない太陽光があるなら、それを発電に利用すればよいという考え方である。

2) 日照量が少ない環境でも生育する植物

前項で述べた光飽和点は植物の種類により大小様々である。光飽和点と光補償点が大きく、光のよく当たる場所で生育する植物を「陽生植物」といい、光飽和点と光補償点が小さく、光の弱い場所でもよく生育する植物を「陰生植物」という。そして、その中間にあたる植物を「半陰生植物」という。ただしこれらは、植物個体の生命の当面における維持に必要な日照度である光補

償点に特に注目した分類である。以上は表1にまとめた。なお、陰生植物は、強光下では水分の蒸散量が増加するが、多くはこれによって枯死するわけではなく、ある程度の強光下でも生育できないわけではない²⁰⁾。

ここで、ソーラーシェアリングを実施する際、発電量をなるべく大きくすることを考えるならば、光飽和点及び光補償点が共に小さい作物を栽培すればよいことになる。すなわち、陽生植物よりも陰生植物のほうがソーラーシェアリングに適しているといえる。ただし、これはあくまでも原則であって、あとのIVの事例で述べるような工夫次第ではイネのような陽生植物でも十分な収量を上げることができる。

表1 光補償点による植物の分類

| 区 分 | 光合成量 | 光飽和点 | 光補償点 | 呼吸量 |
|-------|------|------|----------------|-----|
| 陽生植物 | 大 | 強光部 | 高(1000ルクス以上) | 大 |
| 半陰生植物 | 中 | 中光部 | 中(500~1000ルクス) | 中 |
| 陰生植物 | 小 | 弱光部 | 低(100~500ルクス) | 小 |

注:異なる作物間で比べたとき、光補償点と光飽和点は比例関係にあるのではなく、光補償点の大小関係は、光飽和点の大小関係と必ずしも一致しない。

出所:小林弘,『生物 I B・II』, 数研出版, p.127(1995)を修正。

Ⅲ. ソーラーシェアリングの現状と課題

1. 太陽光等再生可能エネルギーをめぐる諸制度の動向

1) 余剰電力買取制度

2009年8月施行の「エネルギー供給構造高度化法」^{注17}に基づく「余剰電力買取制度」は、太陽光で発電された電力を自家消費した後の余剰電力を電力会社買取する制度であり、同年11月に開始された。これは、アメリカで1978年から公営事業法(US Public Works Act)として、また、ドイツで1990年に電力供給法(StrEG)として導入されていた「固定価格買取制度」に倣ったものである。この海外で実施されていた制度を日本においても本格導入する前に、範囲を限定して実施された制度である。自由民主党から旧民主党に政権が交代した2ヵ月後のことで、旧民主党の環境対策重視の姿勢が色濃く反映された制度となった^{注18}。買取費用は電力会社が負担することなく全額すべての電力需要家が支払う。これを「太陽光発電促進付加金(太陽光サーチャージ)」といい、2011年4月から電気料金に上乗せされ²¹⁾、固定価格買取制度に移行後の2014年9月まで継続された²²⁾。

ここで限定版としての余剰電力買取制度の特徴を三点述べる。第一に、再生可能エネルギーのうち太陽光発電による電力のみを対象としていたことである。後にこの制度を引き継いだ固

定価格買取制度では、太陽光以外の風力・地熱・中小水力なども対象としていることを考えると、限定的であった。

第二に、買取対象は基本的に自家消費後の余剰電力のみということが挙げられる。例外はあるが、太陽光発電システムにより家庭などで作られた電力のうち自家消費分を差し引いた余剰電力が対象となっていた。基本方針としては、全量を売電する発電事業目的で設置された太陽光発電システムからの買取は対象外となっていた。発電事業を生業とする者への支援をするという意図はなかったのである^{注19}。

第三に、買取期間は10年で、買取単価はその間固定としたことである^{注19}。これにより、売電による一定期間の収益の見通しが立てられるようになった。1kWh 当たりの買取価格は当初10kW未満で48円、10kW 以上で24円であった(図3)。小規模である住宅用太陽光発電を念頭に置いた制度であったといえる。

なお、制度開始から10年後の2019年11月以降、契約期間満了で買取が順次終了するため、制度を利用していた家庭や事業所には、二つの選択肢から一つを選ぶことを迫られる「2019年問題」が生じることとなった。その選択肢とは、一つは、自家消費したうえでその余剰電力を小売電気事業者とこれまでより安い電力卸売市場などの価格で売電契約をし直すもの(自由・相対契約)、もう一つは、全量を蓄電池や電気自動車などと組み合わせることで自家消費するものである^{注20}。いずれにしても余剰電力買取制度の利用終了者は、こ

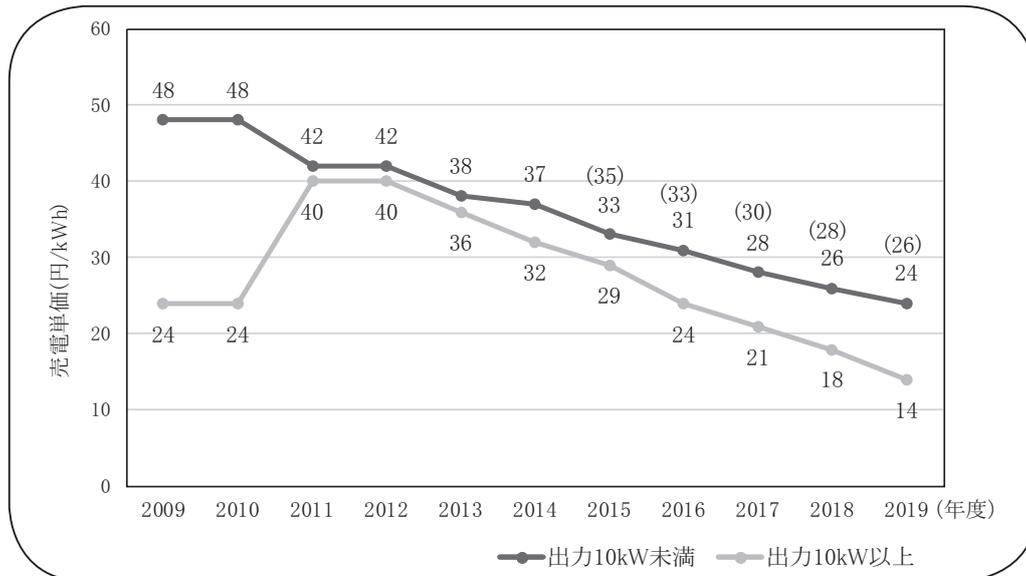


図3. 売電価格の推移

注:1)2009年度から2011年度までは、基本的に自家消費後の余剰電力を対象とした契約であった。2012年度以降は、10kW未満は従来と同様の制度を継続、10kW以上は基本的に発電した全電力を対象とした契約となった。

2) ()内の数字は「出力制御対応機器設置義務あり」の場合の単価。

3)出力10kW以上についてはグラフの価格に電力小売業者が払う消費税を加えて発電事業者が受け取ることになる。

4)2017年度から、出力2,000kW以上については入札制に移行した。さらに、2019年度から、入札制度となる基準は出力500kW以上に引き下げられた。

出所:1)経済産業省資源エネルギー庁、第1回調達価格等算定委員会(資料7)「我が国における再生可能エネルギーの現状」(平成24年3月6日付)、https://www.meti.go.jp/shingikai/santeii/pdf/001_07_01.pdf/(閲覧日2019.6.12)。

2)経済産業省資源エネルギー庁ウェブサイト、「固定価格買取制度」>「過去の買取価格・期間等」,https://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/saiene/kaitori/kakaku.html?kaitori#h29/(閲覧日2019.8.10)。

3)経済産業省資源エネルギー庁ウェブサイト、「固定価格買取制度」>「買取価格・期間等」,https://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/saiene/kaitori/fit_kakaku.html/(閲覧日2019.8.10)。

以上を基に作成。

れまでのように高額な売電単価による大きな利益は上げられなくなる。

2)東日本大震災と電力政策

2011年3月11日、マグニチュード9.0という国内観測史上最大規模の地震が東北地方及び関東地方を襲った。この地震は、大規模な津波を伴い、未曾有の大災害を引き起こした。その中でも日本のエネルギー政策に最も影響を与えたのが東京電力福島第一原子力発電所の事故であった。この事故により日本及び世界の人々は、原子力の安全性に対し不安と疑問を抱くこととなった。当時の民主党政権の菅内閣は、再生可能エネルギーで発電した電力を本格的な固定価格買取制度へ移行する法案を、震災当日に閣議決定し、その後菅首相が首相の座と引き替えに成立させ

た²³⁾。そして、野田内閣に交代した民主党政権は、「聖域なき見直し」として、エネルギー政策をゼロベースで構築し直すこととした²⁴⁾。原子力発電については、『革新的エネルギー・環境戦略』の中で、「2030年代に原発稼働ゼロ」とし、その代替となる再生可能エネルギーで発電した電力の割合を大幅に増やす^{注21)}という目標が決定された²⁵⁾。その過程で順調に余剰電力買取制度から固定価格買取制度に移行させ、買取対象となる再生可能エネルギーの範囲を拡大させた^{注22)}。

3)固定価格買取制度とその縮小

2012年7月に施行された「再生可能エネルギー特別措置法」^{注23)}に基づき、余剰電力買取制度の後継として固定価格買取制度が開始された。本制度の骨格は以下の四つである²⁶⁾。

まず第一に、再生可能エネルギー^{注24}によって発電された電力を、一定期間(10年または20年)電力会社が固定価格で買取することを義務付ける。余剰電力買取制度では売電規模によらず契約期間を一律10年としたのに対し、本制度では10kW未満は10年、10kW以上は20年と区別されるようになった。

第二に、売電対象となるのは、住宅用の発電システムでは引き続き、自家消費後の余剰電力であるが、発電事業用システムでは発電した全電力が対象である。これにより、各地に売電を専門とした大規模太陽光発電施設が建設されるようになった。

第三に、再生可能エネルギーが普及したり、発電システムの販売価格が技術革新により低減したりした場合、それに合わせて電力の買取価格が引き下げられる。これは毎年度、経済産業省の調達価格算定委員会が審議のうえ決定する。

そして第四に、再生可能エネルギーで発電した電力の買取費用の一部を、すべての電力需要者が「再生可能エネルギー発電促進賦課金」として、使用電力量に応じて負担する。これは、自然エネルギーで発電した電力を電力会社が買取する費用のうち、電力会社は自ら発電せずに済む分の燃料費などの回避可能原価のみを負担し、残りを再生可能エネルギー発電促進賦課金(再エネ賦課金、サーチャージ)として電力料金に上乗せするものである。

この制度の狙いは再生可能エネルギーの導入を加速化させ、それに伴う発電設備の量産化により同エネルギーのコストダウンを図ることであった²⁷⁾。

〈図3〉のグラフから分かるように、事業者が関わる10kW以上500kW未満の売電価格は、固定価格買取制度の始まった2012年から2019年までに40円から14円へ大幅に低下している。

経済産業省は、2017年に固定価格買取制度を改定して、出力10kW以上500kW未満の事業用

太陽光発電は住宅用太陽光発電とともに、制度を暫定的に継続することとした。ただし、その売電価格は発電コストの目標値7円/kWhに合わせて、8.5円/kWhにまで引き下げることが目標とした。なお、出力500kW以上については2019年度から入札制度に完全移行している。

今後の動向としては、低価格での固定価格買取制度が続くかに見えたが、固定価格買取制度は2020年に法改正をして、翌2021年からは出力50kW以上の太陽光と、すべての風力による発電設備の新規認定を終了する見込みとなった²⁸⁾。本稿執筆時点では経済産業省の有識者会議で審議中であり、決定はしていないが、見直し案通りに国会で可決されれば、この条件に該当する発電施設を新規に設置する事業者は、従来の固定価格での売電はできなくなる。つまり、自ら電力の販売先となる企業などを見付けたり、電力卸市場で売ったりしなければならぬ。一方、それ以外の再生可能エネルギーの発電設備、太陽光でいえば出力50kW未満の小規模の事業者や住宅に設置する家庭に対しては、固定価格買取制度が続くことになる。ただし、10kW以上50kW未満の小規模事業者については、従来の全量買取りから自家消費後の余剰分の電力のみの買取りに移行させる²⁹⁾。

こうして2009年に限定的に開始され、2012年に本格的に実施された固定価格買取制度は、大幅に縮小され、出力50kWを超える事業用に限っていえば、9年間で終了する見込みとなった。今後、該当する発電事業者が、設置費用を回収し利益を上げられるかどうかは、民間の工夫次第となるであろう。

2. 国内の太陽電池市場の動向

国内総出荷量は、2008年度まで20万kWから30万kWの辺りを推移し、頭打ちとなっていたが、2009年度に余剰電力買取制度が始まったの

を受けて、太陽電池モジュールの出荷量は伸び始める(図4)。さらに2012年7月に固定価格買取制度が施行され、売電目的の事業者が優遇されるようになったのを受けて、爆発的に出荷量が増加する(図4、5)。

2012年の固定価格買取制度施行前に導入された設備は住宅用が大部分であったが³⁰⁾、施行直後から、異業種からの太陽光発電事業への参入が相次ぎ、大規模な発電施設(メガソーラー^{注25)}が全国で乱開発される「太陽光バブル」と呼ばれる状況が現出した。以降、確実に増加していたが、2014年度を頂点に、その後、漸減している。このこと背景にあるのは、大規模な施設を建設す

るのに適した広大な土地が確保しづらくなってきたこともあるが、最も大きな要因は売電価格が低下して、採算が取れる見通しが立たなくなったことと考えられる。

しかし、この出荷量が低迷する状況には、変化の兆しが見えてきた。2018年度は4年ぶりに増加に転じ、2019年度第1四半期にも前年度同期比で19%増となった³¹⁾。出荷量増加を牽引したのは、非住宅のうち公共施設などの一般事業用^{注26)}であった。これらの自治体などは、売電からの収入を目的とするよりも、日本国内の防災意識の高まりから自家消費を主な目的とした太陽光発電システムの導入であったと考えられる。

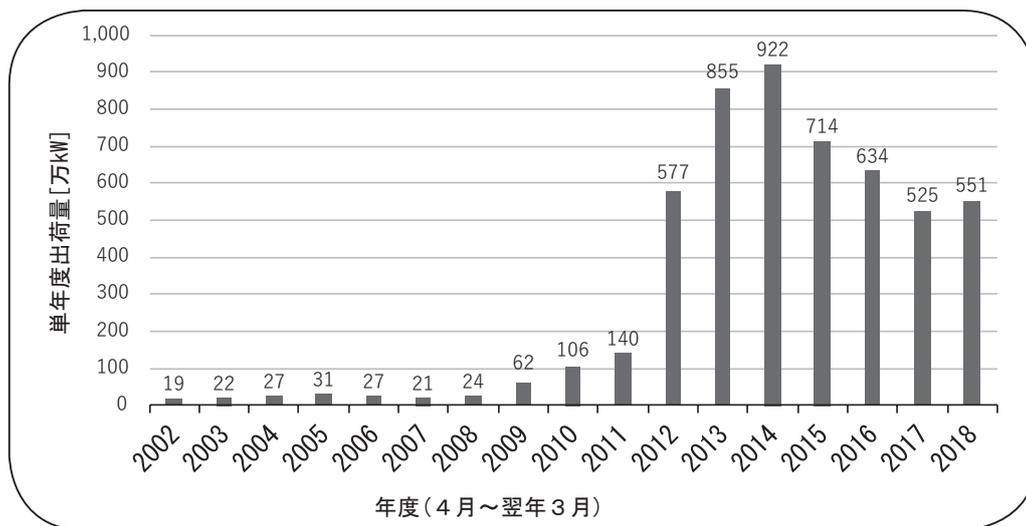


図4. 太陽電池モジュールの国内総出荷量の推移

注:1)各年度の出荷量の数値は、1万kW未満を四捨五入している。

2)国内総出荷は、国内生産と海外生産の合計である。

3)2009年の余剰電力買取制度施行後伸び始め、2012年の固定価格買取制度施行で大幅に増加している。

出所:太陽光発電協会(JPEA)データ^{注27)}より作成。

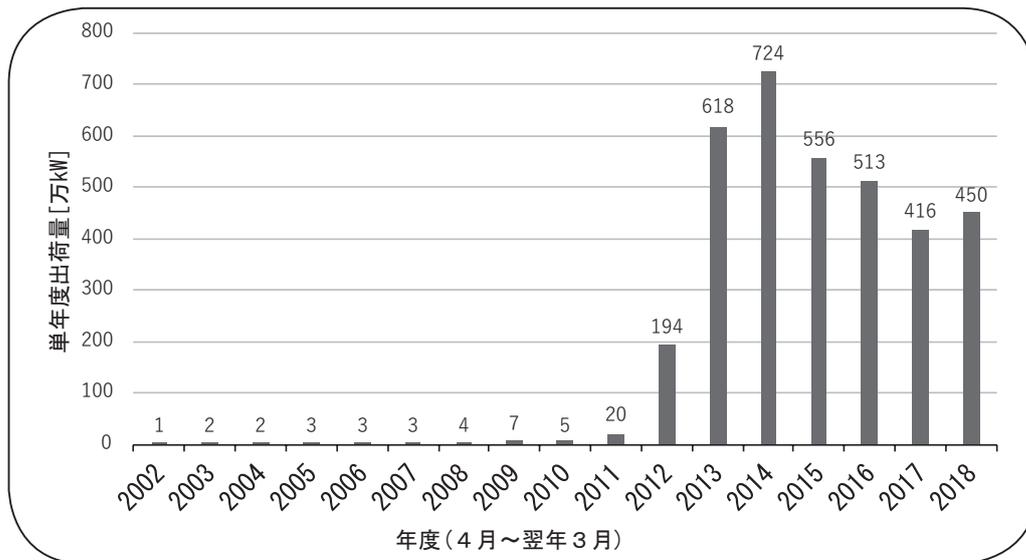


図5. 太陽電池モジュールの国内非住宅用出荷量の推移

注:1)各年度の出荷量の数値は、1万kW未滿を四捨五入している。
 2)非住宅用は、発電事業用と一般事業用の合計である。
 3)固定価格買取制度が施行された2012年から大幅に増加した。
 出所:太陽光発電協会(JPEA)データ^{注27}より作成。

3. 全国のソーラーシェアリング施設の分布

ソーラーシェアリングの都道府県別認可件数は、〈図6〉を見ると、第1位千葉県(204件)、第2位静岡県(149件)、第3位群馬県(138件)となっている。地方別にみると、北関東、東海地方、そして四国で認可件数が多いことが分かる。この状況を分析していく。

そもそも、ソーラーシェアリングを実施する好条件というのは、①一定以上の面積(10a程度以上)の農地であって、②日照時間が長いという二つの条件を満たすことと考えられる。前者を満たす可能性が大きいのは〈表2〉を見ると、北海道や北陸地方、東北地方、北関東地方である。一方、後者を満たすのは〈表3〉を見ると、日本の太平洋側の先進的工業地帯である「太平洋ベルト」にほぼ重なる。この両条件を満たすのは、北関東地方ということになる。ただし、ソーラーシェアリングは地域に1件だけ設置するということが物理的には可能である。しかし、耕地面積順位が上位ということはソーラーシェアリング

の実施可能な農地が多いということであり、ソーラーシェアリング事業斡旋会社(システム・インテグレーター、SI)が活動しやすいといえる。したがって、ソーラーシェアリングの認可件数を地域別に比較した場合に有利である。

ソーラーシェアリングの認可件数に関する現状分析に戻ると、まず北関東については、確かに好条件の揃う千葉県・群馬県・茨城県に集中していることが分かる。千葉県は長島氏が第1号の実験農場を設置した市原市があるので、そこを拠点に周辺の群馬県や茨城県にも拡大していったのであろう。

次に東海地方については、静岡県で突出していることが分かる。静岡県は、耕地面積が第20位³²⁾として中程度であるうえ、日照時間は第4位なのでソーラーシェアリングに適した地域といえる。元々、好条件であることの他の要因としては、特産の茶が半陰生植物でソーラーシェアリングとの相性が良いことと、静岡市に拠点を置くシステム・インテグレーターの活動の成果ということが考えられる。

そして四国については、徳島県が突出してい

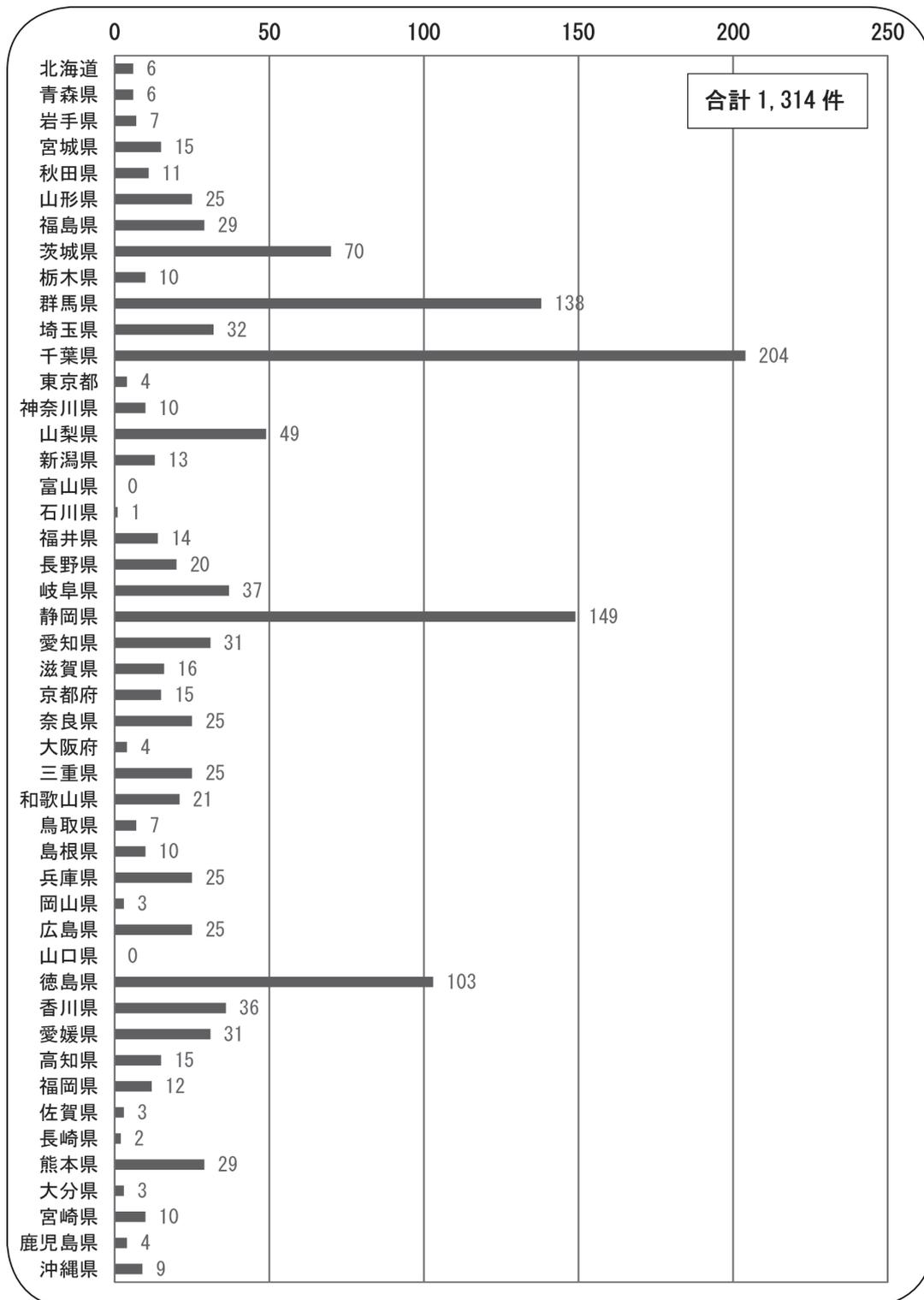


図6. ソーラーシェアリングの都道府県別認可件数

出所：全国営農型発電協会データ（2018年9月19日現在）より作成。

る。徳島県は耕地面積が第41位³²⁾で農地は限られているが、日照時間が第7位であり太陽光発電に適した地域である。これは、農地は狭いがゆえに、ソーラーシェアリングにより効率的な土

地の利用をすることで営農者の所得向上を図ったと考えられる。

ここで、その他の地域でのソーラーシェアリングの可能性を考えてみる。都道府県別耕地面

積は他地域との比較上問題になると考え、農地に降り注ぐ太陽光確保を重視することにする。そこで<表3>において、ソーラーシェアリングの中心地域である25位の千葉県までを目安に、日照時間の多い農業地域に着目すると、高知県・宮崎県・愛知県・岐阜県・三重県・和歌山県以下十数県あることが分かる。これらの地域は、ソーラーシェアリングの認可件数が比較的少数(40件未満)にとどまっている。これらはソーラーシェアリングの潜在的可能性を持つ地域といえる。

以上の分析から、好条件の北関東にはソーラーシェアリングがすでにある程度存在していて今後も拡大が期待される。また、東海地方や四国など都道府県別の耕地面積が比較的小さい地域でも、日照時間が確保できればソーラーシェアリングの実施は問題ないことが分かる。したがって、日照時間の比較的長い他の地域でもソーラーシェアリングが普及する余地は十分あるといえるであろう。

表2 都道府県別耕地面積

| 順位 | 都道府県 | 耕地面積 (km ²) |
|----|------|-------------------------|
| 1 | 北海道 | 11,480 |
| 2 | 新潟県 | 1,725 |
| 3 | 茨城県 | 1,723 |
| 4 | 青森県 | 1,548 |
| 5 | 岩手県 | 1,515 |
| 6 | 秋田県 | 1,495 |
| 7 | 福島県 | 1,445 |
| 8 | 宮城県 | 1,300 |
| 9 | 千葉県 | 1,273 |
| 10 | 栃木県 | 1,250 |

注:1)2014年の耕地面積である。

2)11位以下は省略した。

出所:都道府県格付研究所ウェブサイト,「耕地面積ランキング」, <http://grading.jp.org/C3107.html/>(閲覧日2019.11.3).

表3 都道府県別日照時間

| 順位 | 都道府県 (各庁舎所在地) | 日照時間 (時間) |
|----|------------------|--------------|
| 1 | 山梨県(甲府市) | 2,219.4 |
| 2 | 高知県(高知市) | 2,175.3 |
| 3 | 群馬県(前橋市) | 2,139.9 |
| 4 | 静岡県(静岡市) | 2,137.6 |
| 5 | 宮崎県(宮崎市) | 2,130.6 |
| 6 | 愛知県(名古屋市) | 2,128.3 |
| 7 | 徳島県(徳島市) | 2,114.7 |
| 8 | 岐阜県(岐阜市) | 2,108.2 |
| 9 | 三重県(津市) | 2,098.5 |
| 10 | 和歌山県(和歌山市) | 2,094.1 |
| 11 | 香川県(高松市) | 2,060.8 |
| 12 | 広島県(広島市) | 2,051.4 |
| 13 | 岡山県(岡山市) | 2,047.5 |
| 14 | 愛媛県(松山市) | 2,031.3 |
| 15 | 大阪県(大阪市) | 2,028.0 |
| 16 | 兵庫県(神戸市) | 2,018.1 |
| 17 | 熊本県(熊本市) | 2,014.0 |
| 18 | 大分県(大分市) | 2,013.7 |
| 19 | 神奈川県(横浜市) | 2,004.8 |
| 20 | 佐賀県(佐賀市) | 1,980.7 |
| 21 | 長野県(長野市) | 1,973.0 |
| 22 | 茨城県(水戸市) | 1,966.8 |
| 23 | 鹿児島県(鹿児島市) | 1,955.6 |
| 24 | 栃木県(宇都宮市) | 1,945.5 |
| 25 | 千葉県(千葉市) | 1,944.3 |

注:1)1984年から2013年までの日照時間の1年当たり平均値である。

2)26位以下は省略した。

出所:自作 DIY ソーラーと太陽光発電で売電・節約・エコ人生,「都道府県別、過去30年の平均日照時間ランキング」, <http://www.solar-make.com/sunlight-ranking-and-data/30year-ranking/1957/>(閲覧日2019.11.3).

4. 当初の目的の達成状況

ソーラーシェアリングの当初の目的の達成状況を見ていくと、第一の目的である農業者の所得向上は、再生可能エネルギーの固定価格買取制度(FIT)を利用して当初は実現可能であった

し、実際に20年の売電契約期間で成功することは確実といえる。ところが、〈図3〉から分かるように、買取価格が2012年度の40円/kWhから2019年度には14円/kWhまで低下し、当初の5分の2弱にまでなったため、もはや従来のように単純に売電収入に頼っている農業者の所得向上は図れなくなっている。

第二の自然エネルギー(再生可能エネルギー)の普及は、余剰電力買取制度や固定価格買取制度を通して、太陽光発電が主力となり着実に全電源の中でシェアを伸ばすことができた。電源別発電電力量推移をみると、再生可能エネルギーは2010年の1.1%から2018年度の8.3%^{注28}になり、割合で8倍強まで増加している。しかし、2030年度の水力を除く再生可能エネルギー導入水準目標である13.8%前後^{注29}は、2018年度の約1.6倍であり、本目的を実現する道のりはこれからが正念場である。

そして、第三の農業の兼業的使命の復活は着実に進んでいるといえる。固定価格買取制度実施当初は、同様の制度のあった欧米の水準から見ても、買取価格がかなり高く設定されていたため、営農よりも発電を重視する施設が見られた。しかし、その後の買取価格の低下で発電からの収入が低下してきたことと、作物栽培を重視する長島氏や地元農業委員会の指導の成果で、作物栽培に悪影響が出ないよう配慮した施設が建設・運営されるようになった。これにより長島氏の願いが実現されつつあるといえる。

5. ソーラーシェアリングの課題

前述したように、ソーラーシェアリングは太陽光を発電モジュールと作物などと共有しない通常の太陽光発電に比べ、自然に優しい利点を持つが、様々な課題もある。

まず第一に、固定価格買取制度の売電単価の低下、さらには2021年に予定される太陽光発電

事業者対象の買取制度終了への対応である。長島氏は単価20円/kWh時代の到来でも、発電設備を200,000円/kWで建設すれば10年で費用を回収でき^{注30}、その後は利益を上げられると試算していたが^{注31}、2019年時点で出力10kW以上の売電単価が14円/kWhとなり、この固定価格を契約して10年で費用を回収するには140,000円/kWで施設を建設しなければいけないこととなる。しかし、現在の建設費用は、農水省発行のガイドブック^{注34}の中で具体的に数値が判明している事例では212,766円/kWから370,000円/kW^{注31}かかっている。そこで、単純な比例計算をすると、費用を回収するだけで約15年^{注32}から約26年^{注33}かかることになる。さらに、今後固定価格買取制度は中・大規模の太陽光発電事業者向けでは新規認定が終了することになるので、個別に小売電気事業者などと有利に契約を結ぶ必要が出て、費用を回収するのも困難になりそうである。

第二に、太陽電池モジュールでの遮光の影響による農作物の収量低下の可能性である。長島氏の実験や各地の実用ソーラーシェアリングの実践からは、適切な遮光率に設定することにより大抵の作物は収量が低下する影響はほとんどないばかりか、むしろ増加する場合もあると証明されている^{注35}。毎年の日照時間が安定していれば、遮光の影響による収量の変動はない。しかし、2019年の5月から7月にかけて日照時間が不足し、作物からの収量が落ちたのと同様の事態が起こった場合、ソーラーシェアリングを実施している作物は実施していない作物よりも、さらに大きな問題となる可能性がある。角度を固定した太陽電池モジュールであると、天候不順に対応できないのである。

第三に、ソーラーシェアリングの普及状況の全国レベルでの偏りである(図6)。元々、太陽光発電の盛んな地域である北関東では、太陽光発電という点で同様の取り組みであるソーラーシェアリングに対する理解が深いのか、ソーラー

シェアリングの実践事例が突出して多くなっている。例えば、最も多い千葉県では200件を超えている。また、別の地域では、静岡県と徳島県が多くなっている。そして、そのほかの地域では10件程度の認可件数となっている。認可件数で20倍もの差がついている背景にはソーラーシェアリングへの認知率の差があると考えられる。そこには、業界誌や新聞、知人などから情報を集めてソーラーシェアリングをしようという有志が各地域に存在するかどうかという偶然性に普及のカギがあったのであろう。

第四に、ソーラーシェアリングに関する先行研究の少なさである。開発者の長島氏とその知人らによる独自の研究の他は、企業との共同研究として、わずかに千葉大学、東京大学、静岡県立大学、信州大学、愛媛大学が研究した例が判明しているだけである^{注34}。ソーラーシェアリングは2003年に開発されたものの、本格的に実践されたのが2010年から^{注35}であり、それからまだ10年も経っていないため、致し方ない面もある。しかし、研究の不十分さは、これからソーラーシェアリングを始めようという営農者にとって、事業成功の確信が持てない要因となっている。

このように、ソーラーシェアリングには、制度や技術、宣伝、学術などの面で解決すべき課題がある。

IV. ソーラーシェアリングの事例分析

1. 事業の類型化

全国のソーラーシェアリング事業は様々な主体が協働して運営している。ここでは、ソーラーシェアリング事業を通してどのような主体が利益を得るかを分析するために、馬上丈司氏の報告書³⁶⁾の分類法にしたがって類型化してみる。土地所有者である地権者、その土地において農

業を行う営農者、上空部分で太陽光発電事業を営む発電事業者の三者の関係性によって五つの類型が考えられる。以下、その五類型について述べる。

1) 第1類型: 地権者 = 営農者 = 発電事業者

地権者や営農者、発電事業者がすべて同一人物という枠組みである。ソーラーシェアリング・システム開発当初に長島氏が実践し、原点となったものである。

2) 第2類型: 地権者 ≠ 営農者 = 発電事業者

農地を賃借して、ソーラーシェアリング事業者が営農と発電を両方行うものである。後継者のいない荒廃農地を利用するという発想の枠組みである。

3) 第3類型: 地権者 = 営農者 ≠ 発電事業者

自分の土地を耕作する農業者が、発電事業者に上空部分を貸し出してソーラーシェアリングを実施する枠組みである。従来のメガソーラーで行われていた発電事業者に土地貸しをするものに近いが、太陽光パネル下方の地面で営農を実施する点のみ異なる。

4) 第4類型: 地権者 = 発電事業者 ≠ 営農者

地権者が太陽光発電事業を営むが、地面での営農は小作人に任せる枠組みである。この枠組みは可能性としてはあるが、このままでは営農者に発電事業の利益が直接還元されないため、見受けることはない。

5) 第5類型: 地権者 ≠ 営農者 ≠ 発電事業者

地権者や営農者、発電事業者がすべて異なる枠組みである。この枠組みは、ソーラーシェアリング事業のために新規に組織を立ち上げた先進的事例が多い。

この分類上の注意点は、代表者が同じでも株式会社やNPO法人などの組織が違えば別人・別組織と考える点である。いくら代表者が同じでも、事業から得られる利益はそれぞれの組織や株主で別々に配分するからである。

各類型を比較すると、馬上氏が述べるように、農業の振興という観点からは、発電事業からの利益が直接営農者に入る第1類型や第2類型が望ましいといえるが、第3類型や第5類型も営農者が代表者などの形で発電事業に関われば、結果的に農業の振興になるとも考えられる。

2. 事例分析

事例は本節で三つ取り上げる。第一例はソー

ラーシェアリングではないが、日本の次期再生可能エネルギー政策に対応した、優れた太陽光発電事業である。続く第二例は、ソーラーシェアリング事業であり、独自の太陽追尾と遮光率遠隔制御システムを導入し、営農を重視した先進的優良事例である。そして第三例は、新制度に対応して、ソーラーシェアリングにより発電した電力を作物栽培施設内で自家消費している事例である。

なお、取り上げた事例は、近藤哲郎氏のビジネスモデル図解法³⁷⁾にしたがって図で表した。この方法では、3×3のマトリックス上で上段に利用者、中段に事業の中心、下段に事業者をほめ込む。そして、それらを矢印などで繋ぎ、ポイントとなる説明を吹き出しに入れる(図7)。

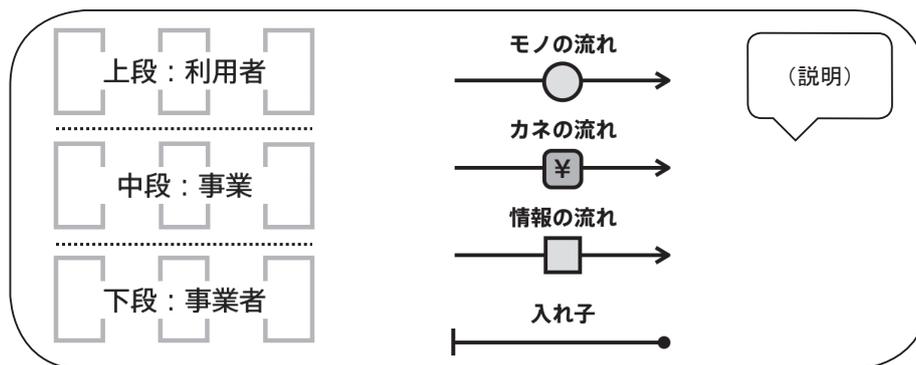


図7. ビジネスモデルの図解の見方

注:本稿の図解では「情報の流れ」の矢印は使用していない。また、「入れ子」は所属関係(包含関係)を表し、小さいほうに●がつく。
出所:ビジネスモデル図解ツールキット 配布版(一部修正)。

1) LOVE ソーラープロジェクト^{注36)}(加賀市 株式会社秀光ビルド／水戸市 株式会社 スマートテック／山陽小野田市 長州産 業株式会社)

2017年に改正された新しい固定価格買取制度の売電価格低減化方針に対応して、同年12月、太陽光発電システム販売などを手掛けるファブスコ株式会社(福岡市)が、PPA(Power Purchase Agreement、電力購入契約)モデルと呼ばれる太陽光発電導入モデルを日本国内で初めて本格導入した³⁸⁾。このPPAモデルとは、電力消費者の

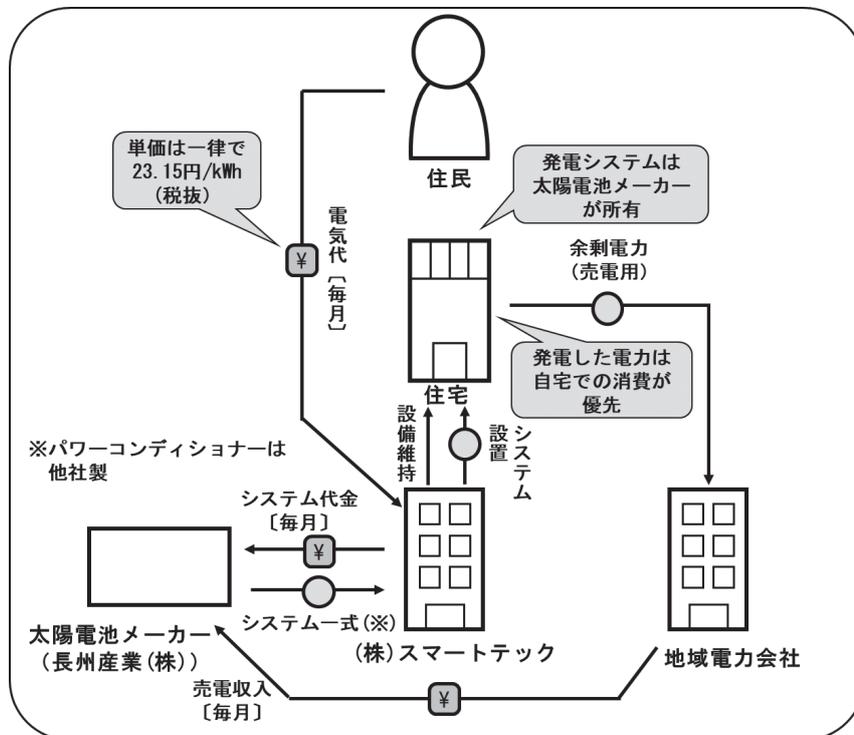
土地や建物に第三者が太陽光発電システムを設置して電力を直接供給し、消費者の初期費用や維持管理の負担をなくすビジネスモデルであり、「第三者所有モデル」ともいわれる。FITを早期に廃止・縮小した米国の太陽光発電では主流となっている。ファブスコは現在、このモデルを自治体所有の施設や大型商業施設に付属する中型から大型の車庫を対象として全国展開している。

事例分析では、住宅用PPAモデルの典型例として、建設会社の秀光ビルドなどの提供で2019

年に開始された「LOVE ソーラープロジェクト」について述べる。その特徴は、①システム設置費用ゼロ円、②現金やローンなどで投資する必要のないこと、③システムは初めの10年間はメーカーが所有するが(図8)、その後利用者に無償譲渡されること(図9)、という三点である。このモデルが実現できたのは、発電した電力は自家消費を基本として、その使用料として、比較的安く払った電気代をシステム設置費用に充てたからである。これは利用者と太陽光発電システム設置斡旋会社(システム・インテグレーター)^{注37}

双方の利益につながる。その上、従来のように買取費用を再エネ賦課金としてすべての電力需要家から集めて、当事者以外の国民にも大きな負担をかけることもない。

このような PPA モデルは、固定価格買取制度において売電単価が低下したり将来部分的に廃止されたりする状況で、導入の際の利便性や国民の再エネ賦課金負担軽減への貢献性から、今後日本でも住宅用や小規模の太陽光発電システム設置の主流となっていくと考えられる。



注:1) サービス開始から10年間の事業の仕組みである。

2) 余剰電力売電先は、2020年予定の発送電会社分離後は小売電気事業者となる。
出所: ツールキットを用いて作成。

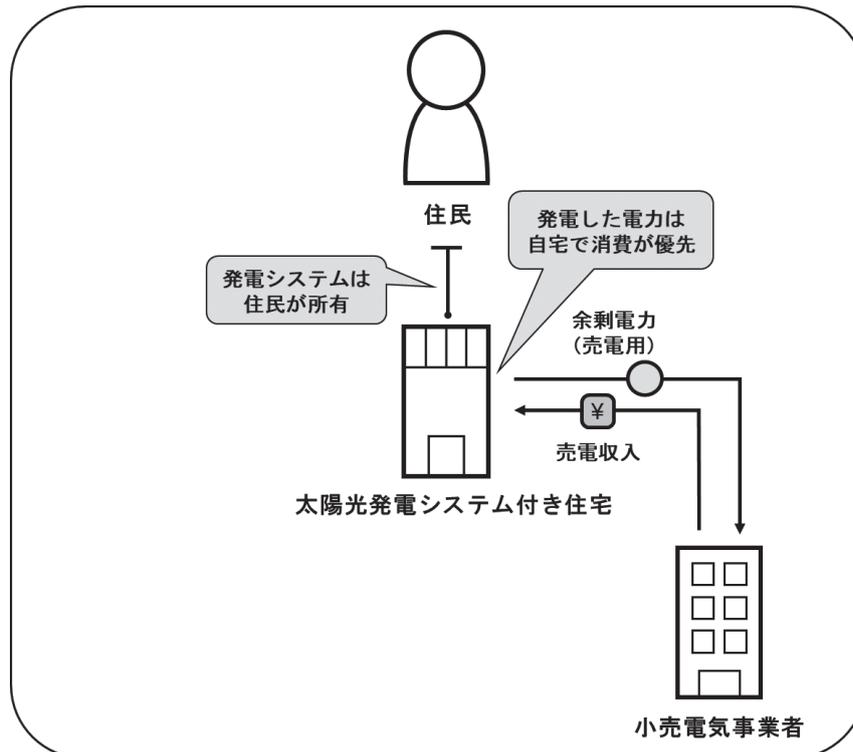


図9. LOVE ソーラープロジェクト②

注:10年後のサービス終了以降の事業の仕組みである。
出所:ツールキットを用いて作成。

2) 合原有機農園(上田市 株式会社合原有機農園／(同市)株式会社ガリレオ^{注38}／(同市)NPO 法人 上田市民エネルギー)

合原有機農園は長野県上田市で3基のソーラーシェアリング・システムを運営している。下部で営農する作物は水稲である。ここでは3基のうちの2号機「相乗りくんとっこSUN」を取り上げる。農地は、(株)合原有機農園と(株)ガリレオの代表を務める合原亮一氏が所有している。この事業のビジネスモデルとしての特徴は、地権者の合原氏を中心に、NPO 法人やIT 企業など組織が多く関わっていることである。事業類型では第5類型に当たる(図10)。

参加組織の一つである NPO 法人上田市民エネルギーは、2011年の東日本大震災後に自然エネルギー普及を目指す市民によって設立され、「相乗りくん」と呼ばれる独特の仕組みの太陽光発電事業を展開している^{注39}。

これは、市民が自宅の屋根を利用して太陽光

発電システムを設置しようとしたときに、その市民自身で設置するモジュールに、本 NPO 法人を通して出資を募った全国の参加者が「相乗り」し、追加のモジュールを設置して発電規模をより拡大しようという仕組みである。発電した電力については、最初の10年間は設置モジュールの割合により住民と出資者で按分する。その電力を、住民は自宅で使用する以上のものは地域電力会社に売電し、追加モジュール出資者は、すべて売電して収入を得ることになる。10年後から12年後にかけては、追加モジュール分の売電収入は本 NPO 法人の運営費に充てる。そして12年後以降は、屋根を貸した住民が追加モジュールも所有することになる。このように市民が自宅の屋根に全国の出資者と共同で太陽光発電システムを設置する取り組みは、太陽電池モジュールの価格や固定価格買取制度の売電単価が現在より高額であった時機に適した仕組みを構築したといえるであろう。

また(株)ガリレオは、ソーラーシェアリング事業において、システム・インテグレーターの役割を果たしている。IT 企業の同社は、設立以来、Web サイトの作成やシステム開発の受託、各種学会の事務システム化などを行ってきた。しかし、上田市民エネルギーと同じく東日本大震災を機に、自然エネルギーの普及を志し、ソーラーシェアリング・システムの開発に乗り出したのである。

開発したシステムは、モジュールの角度を調節することで、太陽を自動追尾したり、農作物の生育に合わせて遮光率を調節できたりする優れたものである。基本的な仕組みは30分に1回だけ、東西方向に設置されたモジュールの角度を太陽に向けるよう自動調整するものである。さらに、インターネット経由の遠隔制御でモジュールの角度を任意に設定することや、「測電 LITE」という同社が開発した測定・通信機器をパワーコンディショナーに取り付けることで発電量をス

マートフォンやパソコンで確認することもできる。このシステムは、通年でみると、追尾をしない通常の太陽光発電の1.3倍の発電量を確保できる^{注40}。

このような成果を生み出すモジュールの角度調整について詳述する。長島彬氏によると、ソーラーシェアリングのモジュールの向きは発電のためには南向きが基本だが、作物を植え付ける方向によって多少ずれてもよいとする³⁹⁾。しかし、同氏の開発した追尾式モジュール「スマート・ターン (smart turn)」⁴⁰⁾とガリレオ社のそれは、いずれも東西方向に向けていて、前者は東向き45度から西向き45度まで90度回転でき、後者は東向き90度から西向き90度まで180度回転できる。このように、追尾式は、東西方向に向けるように設置することが基本となっている。一方、遮光率制御については、ガリレオでは水稻生育期間中は遮光率を下げて営農重視にし、収穫が終わると遮光率を上げて発電重視に切り替えら

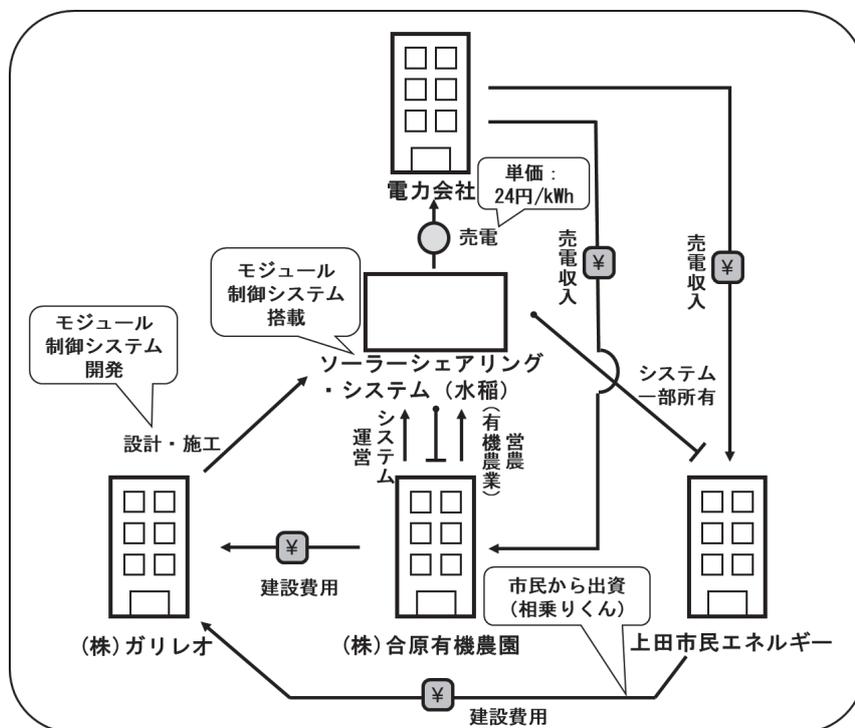


図10. 合原有機農園

注:1)自動制御で作物の受光率を向上し、営農を優先するも、太陽自動追尾により通常の1.3倍の発電量を確保している。

2)施設下部の水田から収穫した米は地元の大学の学生食堂へ販売している。

出所:ツールキットを用いて作成。

れるようにしている。

モジュールの角度を変えられることの意義は発電量を確保したり、遮光率を制御したりすることだけでなく、天候から発電システムを守ることでもある。例えば、大雪のときにはモジュールや架台の損傷を避けるため、角度を東向きまたは西向きの90度に垂直に立てることで、積雪を防ぐ。また、架台には風速計も設置しており、強風が吹くと自動的にモジュール角度を0度の水平にして、風の圧力による架台への荷重を低減させることができる。そして、モジュールがほこりなどで汚れた場合も、雨のとき90度にすることで洗い流すことができる。このように、角度調整ができることは、様々な利点がある。

3) SUN ファーム市原(市原市 APC グループ一般社団法人ソーラーシェアリング協会^{注41)})

発電した電力を自家消費しているソーラーシェアリングの実践例として、ソーラーシェアリ

ング協会が運営する SUN ファーム市原(市原市)を取り上げる。この農場では、トマトや木耳(きくらげ)、ブルーベリーなどの作物でソーラーシェアリング事業を行っている(図11)。

トマトは、屋根に太陽電池モジュールを遮光率10%になるよう設置し、自動温湿度管理をしている「電創ハウス」の中で栽培されている。液肥の溶けた水を使い「水気耕栽培」を実施し、同じ株で3年間収穫し続けられる。ハウスの中の地面には白色のシートを敷き、反射光もトマトの光合成に利用できるよう工夫している。

木耳は、何段もある棚に菌床を並べて、モジュールによる遮光率は100%にし、薄暗く涼しい環境下で栽培される。トマトが収穫されない時期に収穫する裏作を狙っている。

ブルーベリーは、耕作放棄されていた水田にパレットを敷き詰め、その上に鉢を整然と並べて栽培されている(図12)。水やりや施肥は自動的にチューブで行う「点滴灌水」を実施している。遮光率は標準的な30%にしていて売電収入も一

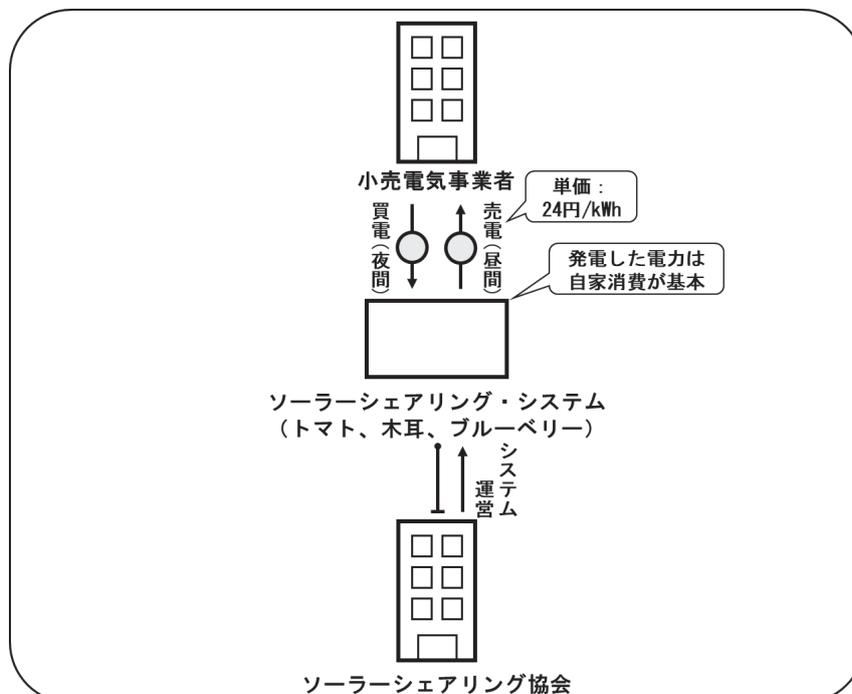


図11. SUN ファーム市原

注:売電による収入および買電の電気料金の矢印は省略している。
出所:ツールキットを用いて作成。



図12. SUN ファーム市原(市原市)

注:1)一本ずつ鉢に植えたブルーベリーでのソーラーシェアリングである。

2)灌水や施肥を自動制御でチューブを通して行う。

出所:筆者撮影。

定程度あり、果実も高値で売れるため経済性が良いという。

ソーラーシェアリングで発電した電力は、植物工場である電創ハウスで主に消費している。必要な電力を日中はソーラーシェアリングで賄い、余剰電力は売電している。夜など発電できないときは、電力会社から電力を購入して使うが、その費用は昼間の売電収入を充てている。このように、売電単価が低価格の現在において、自家消費にソーラーシェアリングの可能性を見出した先進的事例である。

V. 新時代におけるソーラーシェアリングのビジネスモデルの構築

1. ビジネスモデルの骨格

LOVE ソーラープロジェクトのビジネスモデルを基本に、合原有機農園の太陽を自動追尾し、遮光率も制御する高度なシステムを採用して、固定価格買取制度なき時代に SUN ファーム市原のように自家消費で対応したビジネスモデルを考案した(図13、14)。

このビジネスモデルは LOVE ソーラープロジェクトの特徴三点を、①システム設置費用ゼロ円、②投資ではないこと、③システムは初めのうちは営農者が所有するのではないこと、という形で引き継いでいる。この特徴により、高額な初期投資をなくして、ソーラーシェアリング・システム導入の最大の障害を克服することができる。ただし、サービス提供者側が設備設置費用を回収するための期間は、LOVE ソーラープロジェクトと違って架台設置費用が加算されるため、10年間より2年間だけ長い12年間とした。モジュールの耐用年数を約30年とすると、発電システム所有権を、前半12年間はシステム・インテグレーターが持ち、後半18年間は営農者が持つことになる。

2. 損益の試算

1) PPA モデルと可動式モジュールを導入した場合

本当にシステム・インテグレーターや農家にとって、利益のある事業になるか、始めの12年間とその後に分けて、1会計期間相当(各1年間)において試算したものを以下に示す。

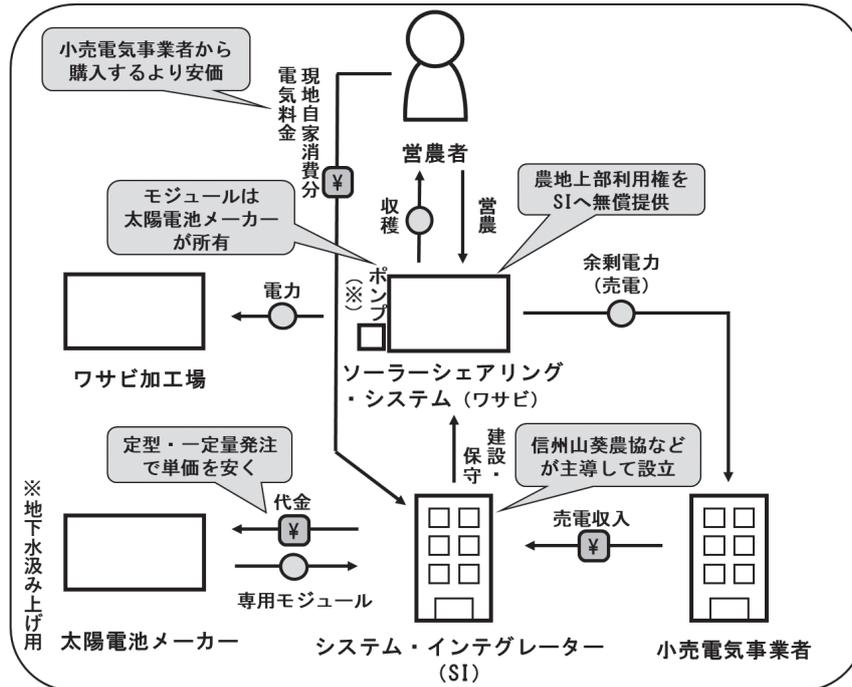


図13. (例)ワサビ農場でのソーラーシェアリング①

注:サービス開始から12年間の事業の仕組みである。
出所:ツールキットを用いて作成。

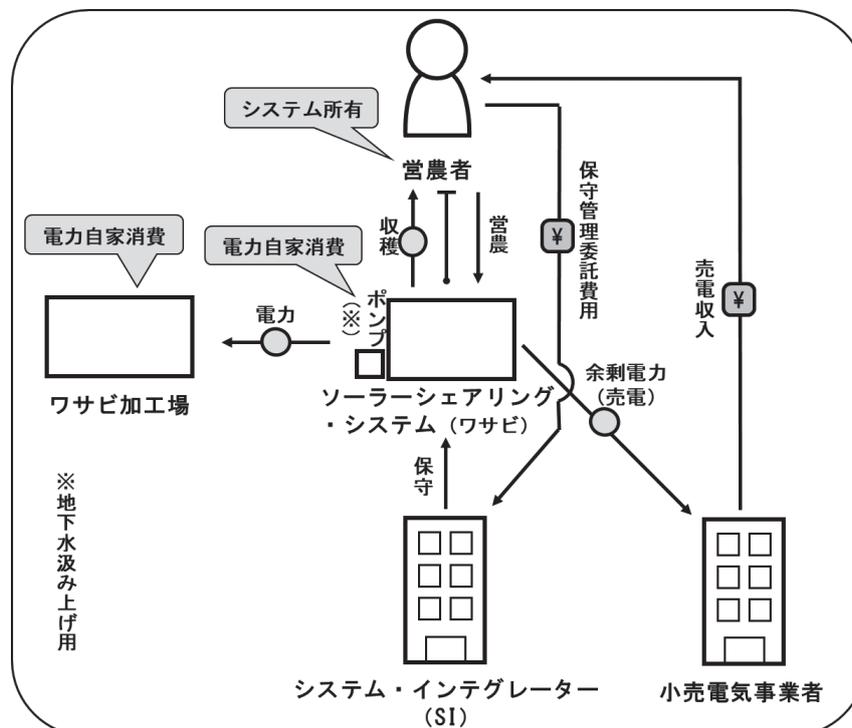


図14. (例)ワサビ農場でのソーラーシェアリング②

注:サービス開始から12年後以降の事業の仕組みであるが、以降もシステムの保守管理はシステム・インテグレーターが引き続き行う。
出所:ツールキットを用いて作成。

ここでは、SIが幹旋し、1戸で10a(1,000㎡)の農地を持つ5戸の農家でソーラーシェアリング事業を実施(1戸当たり発電出力70kW)したと仮定した。また、発電量については、安曇野市ではないが、隣接する松本市の1kW当たり年間推定発電量1,423kWhというデータ⁴¹⁾を利用し、それが太陽追尾システムを利用することで1.3倍^{註40)}の約1,850kWhになると考えた。よって、出力70kWの可動式モジュールの年間発電量は、出

力1kW当たり1,850kWhなので、 $1,850\text{kWh}/\text{kW} \times 70\text{kW} = 129,500\text{kWh}$ である。

なお、建設費用のうち主に材料費を計算対象とした。そのため実際には、SIの建設費用に労務費と経費が加算される。太陽電池メーカーの売上原価については、モジュール(単結晶シリコン)製造原価は2018年に40.6円/W、パワーコンディショナー製造原価は2018年に13.5円/Wというデータ⁴²⁾を使用して算出した。

a) 発電開始から12年後まで

農家(5戸中1戸当たり)

ここでは、発電した電力のうち4分の3を農家が自家消費、残り4分の1を売電に充てることとする。また、架台設置費用は農家とSIが半額ずつ負担する。

節約分: $(28 - 23)\text{円}/\text{kWh} \times 129,500\text{kWh}/\text{年} \times 3/4 = 485,625\text{円}/\text{年}$ ^{註42)...}①

架台(半額): $4,514\text{円}/\text{㎡} \times 1.1 \times 1,000\text{㎡} \div 2 = 2,482,700\text{円}$ ^{註43)...}②

損益^{註44)} 初めの1年間(①-②): $\triangle 1,997,075\text{円}/\text{年}$

1年後以降(①): $485,625\text{円}/\text{年}$

システム・インテグレーター(SI)

発電した電力からの収益は、SIと太陽電池メーカーで3:2の割合で按分する。なお、小売電気事業者への売電単価は10円/kWhと仮定した^{註45)}。

売上高 自家消費分: $23\text{円}/\text{kWh} \times 129,500\text{kWh}/\text{年} \times 3/4 \times 5\text{件} = 11,169,375\text{円}/\text{年}$

小売電気事業者への売電分: $10\text{円}/\text{kWh} \times 129,500\text{kWh}/\text{年} \times 1/4 \times 5\text{件} = 1,618,750\text{円}/\text{年}$

売上高合計: $11,169,375 + 1,618,750 = 12,788,125\text{円}/\text{年}$

SI取り分: $12,788,125\text{円}/\text{年} \times 3/5 = 7,672,875\text{円}/\text{年}$...③

建設費用 架台(半額): $4,514\text{円}/\text{㎡} \times 1.1 \times 1,000\text{㎡} \div 2 \times 5\text{件} = 12,413,500\text{円}$...④

パワーコンディショナー部品交換費用積み立て: $80,000\text{円} \times 35\text{台} \div 12\text{年} = 233,333\text{円}/\text{年}$...⑤^{註46)}

火災保険: $40,000\text{円}/\text{年} \times 5\text{件} = 200,000\text{円}/\text{年}$...⑥

金融機関から借入金(④): $12,413,500\text{円}$

ここで、変動金利を計算の便宜上2.425%^{註47)}で固定させて、年1回1,250,000円(⑦)ずつ返済し、12年で完了とすると、およそ表4のような返済計画となる。

表4 返済計画表(1)

| 区 分 | 1 年目 | 2 年目 | 3 年目 | 4 年目 | 5 年目 | 6 年目 |
|---------|------------|------------|------------|-----------|-----------|-----------|
| 期首残金 | 12,413,500 | 11,464,527 | 10,492,542 | 9,496,986 | 8,477,288 | 7,432,862 |
| 期末返済前残金 | 12,714,527 | 11,742,542 | 10,746,986 | 9,727,288 | 8,682,862 | 7,613,109 |
| 返済金額 | 1,250,000 | 1,250,000 | 1,250,000 | 1,250,000 | 1,250,000 | 1,250,000 |
| 期末返済後残金 | 11,464,527 | 10,492,542 | 9,496,986 | 8,477,288 | 7,432,862 | 6,363,109 |

| 7年目 | 8年目 | 9年目 | 10年目 | 11年目 | 12年目 |
|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|---------|
| 6,363,109 | 5,267,415 | 4,145,150 | 2,995,669 | 1,818,314 | 612,409 |
| 6,517,415 | 5,395,150 | 4,245,669 | 3,068,314 | 1,862,409 | 627,259 |
| 1,250,000 | 1,250,000 | 1,250,000 | 1,250,000 | 1,250,000 | 627,259 |
| 5,267,415 | 4,145,150 | 2,995,669 | 1,818,314 | 612,409 | 0 |

(単位:円)

注:1) 期末返済前残金は期首残金に利息を加算したもので、ここでは期首残金を1.02425倍して算出している。

2) 期末返済後残金は期末返済前残金から返済金額を減算したものである。

出所:筆者作成。

損益 初めの11年間(③-⑤-⑥-⑦):5,989,542円/年

12年目(③-⑤-⑥-12年目返済金額):6,612,283円/年

太陽電池メーカー

売上高 太陽電池メーカー取り分:12,788,125円 × 2/5 = 5,115,250円…⑧

売上原価 モジュール製造原価:40.6円/W × 70,000W × 5件 = 14,210,000円^{注48}

→1年当たり 14,210,000円 ÷ 12年 = 1,184,166円/年…⑨

パワーコンディショナー製造原価(1台分出力10kW):

135,000円 × 7台 × 5件 = 4,725,000円^{注49}

→1年当たり4,725,000円 ÷ 12年 = 393,750円/年…⑩

損益(⑧-⑨-⑩):3,537,334円/年

b)12年後以降

農家(5戸中1戸当たり)

節約分:28円/kWh × 129,500kWh/年 × 3/4 = 2,719,500円/年…⑪

売電分:10円/kWh × 129,500kWh/年 × 1/4 = 323,750円/年…⑫

損益^{注44}(⑪+⑫):3,043,250円/年

したがって a)、b) から、農家・SI・太陽電池メーカーとも、長期間にわたって十分な利益が出ると試算される。

2) PPA モデルを導入せず、モジュールも固定式のままにした場合

今度は、PPA モデルを使わず、従来の売電のみに頼った場合、建設費用を何年間で回収できるかの試算をする。ここでも、10a(1,000㎡)のワサビ農家で、発電出力70kWの施設を運営とする。また、モジュールは可動式でなく固定式とする。出力70kWの固定式モジュールの年

間発電量は、出力1kW当たり1,423kWhなので1,423kWh/(kW・年) × 70kW = 99,610kWh/年である。

なお、ここでも建設費用のうち、材料費のみを計算対象とする。そのため実際には、ここに労務費と経費が加算される。建設費用の試算において、モジュールの最終的な販売価格は、長州産業のBシリーズで出力304Wの製品(単結晶シリコン)の希望小売価格179,400円について、1W当たりの価格を計算し、それを70%割引^{注50}したものを基に算出^{注51}した。また、パワーコンディショナーの販売価格は、シャープの出力5.5kW

の製品の価格^{注52}が200,000円^{注53}として、1W 当たりの価格を計算し、それを出力10kW の製品にし た場合の価格を360,000円と算出^{注54}した。

農家(1戸)

売上高 小売電気事業者への売電分:10円 / kWh × 99,610kWh / 年 = 996,100円 / 年^{注45}…⑬

建設費用 モジュール:177円 / W × 70,000W=12,390,000円…⑭^{注51}

パワーコンディショナー:360,000円 × 7台 = 2,520,000円…⑮

架台:4,514円 / m² × 1,000m² = 4,514,000円…⑯^{注55}

金融機関から借入金 (⑭ + ⑮ + ⑯):19,424,000円

この借入金を返済するに当たって、ここでも、変動金利を計算の便宜上2.425%^{注47}で固定させることとする。また、借入期間の最長15年で返済を完了させるため、売上げの全額と持ち出し分を加えた金額を返済に充てて、年1回1,600,000円(⑰)ずつ返済すると、およそ表5のような返済計画になる。

表5 返済計画表(2)

| 区 分 | 1 年目 | 2 年目 | 3 年目 | 4 年目 | 5 年目 | 6 年目 | 7 年目 |
|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| 期首残金 | 19,424,000 | 18,295,032 | 17,138,687 | 15,954,300 | 14,741,191 | 13,498,665 | 12,226,008 |
| 期末返済前残金 | 19,895,032 | 18,738,687 | 17,554,300 | 16,341,191 | 15,098,665 | 13,826,008 | 12,522,489 |
| 返済金額 | 1,600,000 | 1,600,000 | 1,600,000 | 1,600,000 | 1,600,000 | 1,600,000 | 1,600,000 |
| 期末返済後残金 | 18,295,032 | 17,138,687 | 15,954,300 | 14,741,191 | 13,498,665 | 12,226,008 | 10,922,489 |
| 8 年目 | 9 年目 | 10年目 | 11年目 | 12年目 | 13年目 | 14年目 | 15年目 |
| 10,922,489 | 9,587,359 | 8,219,852 | 6,819,184 | 5,384,549 | 3,915,124 | 2,410,066 | 868,510 |
| 11,187,359 | 9,819,852 | 8,419,184 | 6,984,549 | 5,515,124 | 4,010,066 | 2,468,510 | 889,572 |
| 1,600,000 | 1,600,000 | 1,600,000 | 1,600,000 | 1,600,000 | 1,600,000 | 1,600,000 | 889,572 |
| 9,587,359 | 8,219,852 | 6,819,184 | 5,384,549 | 3,915,124 | 2,410,066 | 868,510 | 0 |

(単位:円)

注:期末返済前残金と期末返済後残金の意味については、返済計画表(1)の注を参照のこと。

出所:筆者作成。

損益 初めの14年間(⑬ - ⑰):△603,900円/年

15年目(⑬ - 15年目の返済金額):106,528円/年

16年目以降(⑬):996,100円/年

したがって、事業開始から14年間は赤字で、15年目以降から利益が出るが、大きな金額にはならないことが分かる。

3)試算のまとめ

1)、2)を比較すると、1)の場合、農家が発電事業において、初年だけ赤字になるが、それ以外では、農家やSI、太陽電池メーカーとも大きな利

益を出し続ける。しかも、農家の初年度の赤字は、元々ワサビ栽培に必要な遮光設備のための費用であり、ワサビの収穫物の販売収益により補填できると考えられる。それに対し2)の場合、設備の耐久年数を30年とすれば、そのほぼ半分の期間である14年間は費用回収のために赤字となり、それ以降は利益が出るが、あまり大きな金額ではないことが分かる。

3. 選定する作物

ソーラーシェアリング・システムの下部で育てる作物は、陽生植物の中でも光飽和点の小さいもの及び半陰生・陰生植物とする。ソーラーシェアリングは光飽和点が特に大きいトウモロコシなど以外のほぼすべての作物に対応可能だが、発電量を増やすためには光飽和点が比較的小さい作物がより適しているからである。半陰生植物などでも、モジュール制御が可能のため、生長を阻害しないように遮光率を調整すればよい。

本モデルで採用する作物の例として、長野県安曇野市の特産で、半陰生の植物である沢ワサビを例として取り上げた。安曇野市では、湧水^{注56}の減少や営農の後継者不足によりワサビ田の耕作放棄地の増加が問題になっている。そこで、ソーラーシェアリング事業を導入し、地下水

の汲み上げポンプとワサビ加工場を安い電気代でまかない、潤れたワサビ田を復活させることを構想した。沢ワサビは「七陰三陽」といわれ、夏季は遮光率70%が最適である。一般的に通年では、4～6月は40～60%、7・8月は70%、9月は40～60%、10～3月は0%（無遮光）にするのがよい⁴³⁾。ソーラーシェアリングを実施するに当たって、10～3月は無遮光にはできないので遮光率をできるだけ下げるよう調整すべきである。現在、遮光のためには寒冷紗と呼ばれる黒い幕を用いている（図15）。これを太陽電池モジュールに置き換える。わさび農場に併設される施設はワサビ加工場としたが、ワサビの育苗場で施肥や消毒を自動化したスマート農業の施設としてもよい。もちろん育苗場の上部空間でのソーラーシェアリング実施も考えられる。



図15. わさび田(安曇野市)

注:黒い幕は寒冷紗と呼ばれ、遮光の役割をしている。この幕の下方で、沢ワサビが栽培されている。
出所:筆者撮影。

このモデルは、作物の加工場が必要なければ、発電した電力は農場の温度・湿度管理や灌水、施肥(液肥)の自動化(スマート農業)のために自家消費すればよい。各地の既に特産となっている陰生・半陰生作物やこれから特産にしていこうという陰生・半陰生作物で実施することが期待される。

以下に、ソーラーシェアリングに最適な作物のうち、光飽和点が判明しているものの降順一覧を掲載しておく(表6)。ここで、光補償点でなく光飽和点に着目したのは、作物栽培で収入を得ようとしたとき、光補償点は作物の生命維持の観点であるのに対し、光飽和点は作物からの収穫量の観点であるからである。

表6 植物と光飽和点

①収穫量確保のため中程度の日照が必要な作物
(光飽和点:25~40klx)

| 植 物 名 | 光飽和点(klx) |
|-------------------|-----------|
| イチジク (榊井ドーフィン) | 40 |
| エンドウ | 40 |
| キャベツ | 40 |
| 梨(幸水) | 40 |
| ナス | 40 |
| 白菜 | 40 |
| ブドウ(巨峰) | 40 |
| モモ(白鳳) | 40 |
| 落花生 | 40 |
| ソラマメ | 30~40 |
| ピーマン | 30~40 |
| サツマイモ | 30 |
| トウガラシ | 30 |
| インゲン | 25 |
| エダマメ(ダイズ) | 25 |
| ネギ | 25 |
| ハウレン草 | 25 |
| レタス | 25 |

②収穫量確保のため日照がほとんど不要な作物
(光飽和点:5~24klx)

| 植 物 名 | 光飽和点(klx) |
|---------|-----------|
| フキ | 20 |
| ミツバ | 20 |
| ミョウガ | 20 |
| シクラメン | 15 |
| イチゴ | 10~20 |
| シンビジウム | 10 |
| プリムラ | 10 |
| セントポーリア | 8 |
| アザレア | 5 |

注:プリムラは、プリムラ・オブコニカ、プリムラ・マラコイデスの2品種についてである。

出所:1) 異稜, 堀裕, 「そ菜の光合成に関する研究(1)」『園芸試験場報告』. A, pp.127-140(1969).

2) 異稜, 堀裕, 「そ菜の光合成に関する研究(2)」『園芸試験場報告』. A, pp.181-188(1970).

3) 村木清, 鳥野至, 「落花生の単葉の光合成特性につい

て」『日本作物学会九州支部会報』37, pp.67-68(1972).

4) 農村漁村文化協会, 『最新農業技術 野菜』vol.1, p.362(2008).

5) (株)FOURHALF, 「主要作物の光飽和点」, <http://www.fourhalf.co.jp/wpcontent/uploads/2014/02/主要農産物の光飽和点.pdf>(閲覧日2019.8.25).

6) (株)秀農業経営コンサルタント, 「野菜と光環境」, <https://www.hidefmc.com/hikari/>(閲覧日2019.8.25).

以上の資料のデータから作成。ただし、各資料でデータの相違がある場合は、1)、2)の資料のデータを採用した。

VI. おわりに

以上の考察から、ソーラーシェアリングは、将来、固定価格買取制度が小規模(出力10kW)以上の太陽光発電所で縮小または廃止された場合、主に材料費の試算では、従来の売電方式によると建設費用回収が長期化し、利益を出すのは14年後以降となってしまう。一方、システム・インテグレーター(SI)が中心となり PPA モデル(第三者所有モデル)を実施した場合、事業の初期の段階から営農者・発電事業者・太陽電池メーカーの三者に大きな利益をもたらすことができると分かる。したがって、PPA モデルを導入することは、今後、ソーラーシェアリング事業の活路の一つになるといえる。

ここで、本ビジネスモデルについて、二点補足するとともに、事業実施の環境が整ってきていることに言及したい。

まず一点目は、推進のカギとなる SI は、各地の地域農業協同組合が主導して設立することを想定した。住宅や自治体施設、その他で太陽光発電事業を行っている SI と共同で設立することも考えられる。地域農協に注目したのは、その大きな組織力・資金力のためである。営農者、発電事業者(ここでは SI)、太陽電池メーカーの三者のまとめ役として、地域農協が最適と考える。

次に二点目は、本稿で提案したビジネスモデルはソーラーシェアリングで自家消費を基本と

したものであるが、自家消費をする必要がない水稲などの作物では自家消費は考えにくい。したがって、本ビジネスモデル採用が適している営農者は、半陰生や陰生の作物を営農するため、植物工場や農場付属の農産物加工場・販売所などをすでに運営している、または、これから運営する予定の者である。これらの者にはぜひ導入を検討してほしい。経費節減につながるはずである。

事業実施の環境としては、ソーラーシェアリング事業推進のインセンティブとなる「RE100 (Renewable Energy 100%、アールイー100)」という国際的な企業連合がある。英国の非政府組織(NGO)である The Climate Group が2014年に始めたものである。年間消費電力が10GWh以上の企業が対象で、遅くとも2050年までに事業活動で使うすべての電力を再生可能エネルギーで調達することを目標に掲げ、毎年進捗状況に関する報告書を提出することを条件に加盟できる⁴⁴⁾。参加費用は最大約150万円である。これに加盟すれば、市民の環境意識が高まっている中で企業の社会的評価の向上につながると考えられる。すでに、ソニー(株)やイオン(株)、城南信用金庫、積水ハウス(株)などの日本の大企業も認定を受けている。

加えて、2019年10月には、日本独自の再生可能エネルギー推進企業認定団体である「再エネ100宣言 RE Action(アールイー・アクション)」が発足した⁴⁵⁾。前述のRE100は年間消費電力量が大きい大企業向けであるため、中小企業向けの団体が必要とされていた。年間消費電力量が10GWh未満の企業などが対象である以外はRE100と同様で、2050年までに年間の使用電力をすべて再生可能エネルギーに切り替えることや毎年の進捗状況を報告することなどを条件に加盟できる。参加費用についても最大20万円となっており、RE100より安くなっている。農業法人で認定された例はまだない(2019年11月2日時

点)^{注57}が、志のある農業法人はソーラーシェアリングを採用し、発電した電力で事業活動に必要な電力をすべて賄うことを目標に掲げれば、認定される。検討に値すると考える。

そして、公的にも推進の環境は整ってきている。ソーラーシェアリングは、農林水産省が農地転用期間を条件付きで3年から10年に延長したり⁴⁶⁾、環境省が第五次環境基本計画の重点戦略として採用したり⁴⁷⁾と、政府も支援に本腰を入れてきたところである。世界でも国際連合が「持続可能な開発(SDGs)」として再生可能エネルギーへの投資を呼び掛けている⁴⁸⁾。

最後に、今後の研究課題を考えると、次世代型と呼ばれる有機系太陽電池の一つに「有機薄膜型」という太陽電池があるが、この太陽電池を使ったソーラーシェアリングについて、事業としての可能性を検討することが挙げられる。植物の光合成には光の三原色、赤・緑・青のうち、主に赤と青の光が利用される。諏訪東京理科大学の渡辺康之研究室はこの性質に注目し、有機薄膜型の半透明のフィルム状の太陽電池で、光の三原色のうち緑の光だけ発電に利用し、残りの赤と青の光は透過する技術を開発中である⁴⁹⁾。シリコン系太陽電池に比べ変換効率は劣るが、材料費が安く軽量という利点がある。したがって、有機薄膜型は、従来のパネルを用いたものより安価で導入しやすく、しかも陽生の作物においても実施できるため、ソーラーシェアリングの可能性が広がるであろう。

太陽追尾などの技術が成熟し、事業の環境も整った今、人類が持続的に発展できる未来を創るため、ソーラーシェアリングを日本と世界に普及させていかねばならない。

謝辞

本稿執筆のための調査に際し、一般社団法人ソーラーシェアリング協会様は、取材に快く応じてくださり、ソーラーシェアリングの基本を

丁寧に説明してくださいました。また、株式会社ガリレオ様は合原社長自ら長時間に亘り同社の先進的な技術を説明してくださいました。そして、松本大学基礎教育センターの丸山強先生はご自宅への太陽光発電システム導入の経験を詳細に紹介してくださいました。これらの方々に感謝の意を表します。

注

- 注1 ロンドンスモッグ事件は、1952年12月ロンドンに生じた大気汚染のこと。石炭やディーゼル油の燃焼から生じる亜硫酸ガスがロンドンに霧状の汚染物質として拡散し視界を遮り、気管支炎などにより4,000人以上の死者を出した。
参考文献：東京商工会議所、『eco 検定公式テキスト第5版』, p.138(2015)。
- 注2 原子力発電の原子炉の方式の一つである高速増殖炉は、使用された燃料より多くの新しい燃料を生み出す特徴を持つ。
- 注3 依然としてフランスやロシア、中国など原子力発電推進政策を継続する国もある。
参考文献：電気事業連合会ウェブサイト、「海外諸国の電気事業」, https://www.fepc.or.jp/library/kaigai/kaigai_jigyo/index.html/(閲覧日2019.9.21)。
- 注4 固定価格買取制度の英語名は、“Feed-in Tariff”(買取価格を入れ込んだ料金体系の意)といい、頭文字をとって FIT である。
- 注5 環境エネルギー政策研究所ウェブサイト, ISEP Energy Chart, <https://isep-energychart.com/> (閲覧日2019.10.15)。
- 注6 Global Energy Policy Research, 「太陽光発電の環境破壊を見る(上)―山梨県北杜市を例に」, <http://www.gepr.org/ja/contents/20150706-01/> (閲覧日2019.5.29)。
- 注7 南日本放送ウェブサイト, 「霧島市のメガソーラー施設 大雨で大量の土砂流出」, 2019年7月16日20:05付, https://www.mbc.co.jp/news/mbc_news.php?ibocd=2019071600037104&ap=/ (閲覧日2019.7.17)。
- 注8 北杜市太陽光発電を考える市民ネットワーク, トップページ), <https://hokutonetwork.jimdo.com/> (閲覧日2019.7.17)。
- 注9 日本エネルギー会議, 「世界のエネルギー起源CO2排出量の推移」, <http://enercon.jp/wp/wp-content/uploads/2013/10/b5db83f884130530a30e5f1aa3729736.pdf> (閲覧日2019.9.7)。
- 注10 その後、米国は2019年11月に、国連気候変動枠組み条約事務局に対し、パリ協定からの離脱を正式に通告し、離脱手続きを開始した。
- 注11 営農型太陽光発電の原型といえる仕組みが1981年にドイツで発案されていたとの報告もある。
参考文献：アイティメディアウェブサイト, 「ソーラーシェアリング入門(17)」, <https://www.itmedia.co.jp/smartjapan/articles/1908/08/news023.html> (閲覧日2019.8.9)。
- 注12 農地以外にも、ビルの屋上や湖上、海上、牧場、一般家屋そして大規模太陽光発電設備にも応用できることが分かっている。
参考文献：長島彬, 『日本を変える、世界を変える! 「ソーラーシェアリング」のすすめ』リック, pp.148-157 (2015)。
- 注13 産業革命について簡単に説明すると、第一次産業

- 革命は、18世紀後半にイギリスで始まった、石炭や蒸気機関を利用した綿工業の機械化と動力化をいう。次の第二次産業革命は、19世紀末の西ヨーロッパとアメリカで始まった、石油や電気を動力源とする大量生産の進展をいう。そして第三次産業革命は1973年の石油危機後日本や欧米で進んだ、コンピューターを利用する生産の自動化をいう。現在進行中の第四次産業革命は、ドイツや日本、米国が推進している情報通信技術(ICT)と従来の製造業を統合したサイバーフィジカルシステム(仮訳: 仮想と現実の統合システム)を構築する取り組みである。
- 注14 植物工場とは、野菜や苗を中心とした作物を施設内で光、温湿度、二酸化炭素濃度、培養液などの環境条件を人工的に制御し、季節や場所にあまり捉われずに自動的に連続生産するシステムのことである。「太陽光利用型」と「人工光型」がある。参考文献: 森康裕, 高辻正基, 石原隆司, 『トコトコやさしい植物工場の本』日刊工業新聞社, pp.11-13 (2015)。
- 注15 太陽電池モジュールとは、セルが複数集まり、発電施設設置のときに取り扱い上独立した単位となる、いわゆるパネルのことを指す。
- 注16 米国の研究者とは、アリゾナ大学 Greg A. Barron-Gafford 氏らの研究チームのことである。
- 注17 正式名称は「エネルギー供給事業者による非化石エネルギー源の利用及び化石エネルギー原料の有効な利用の促進に関する法律」で、2009年7月1日成立、同年8月28日施行である。
- 注18 ただし、導入のきっかけは自由民主党政権時代の2009年2月の二階俊博経済産業大臣による導入意向表明である。
- 注19 北海道電力(株)ウェブサイト、「太陽光発電の余剰電力買取制度について」, https://www.hepco.co.jp/energy/recyclable_energy/solar_power/surplus_purchase.html/ (閲覧日2018.6.26)。
- 注20 経済産業省資源エネルギー庁ウェブサイト、「どうする?ソーラー」>「自家消費・相対・自由契約」, https://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/saiene/solar-2019after/selection.html#self_consumption_01/ (閲覧日2019.9.4)。
- 注21 再生可能エネルギーによる発電量を2030年までに2010年比で3倍にするという目標であった。
- 注22 ただし、固定価格買取制度の導入は、東日本大震災以前から検討されていた。
- 注23 正式名称は「電気事業者による再生可能エネルギー電気の調達に関する特別措置法」で、2011年8月26日成立、2012年7月1日施行である。
- 注24 固定価格買取制度の買取り対象となる再生可能エネルギーは、太陽光・風力・中小水力・地熱・バイオマスの五つである。
- 注25 メガソーラーとは、俗称であり、発電出力1,000kW以上の大規模な太陽光発電施設のことをいう。
- 注26 一般事業用とは、オフィスや工場、学校、病院、役所、公共施設など向け(500kW 未満の地上設置を含む)のことをいう。
- 注27 太陽光発電協会(JPEA)ウェブサイト、「太陽電池の出荷統計」, <http://www.jpea.gr.jp/document/figure/index.html/> (閲覧日2019.9.23)。
- 注28 環境エネルギー政策研究所ウェブサイト, Energy Chart グラフ「電源構成」(2018年4月1日からの12ヶ月間で検索), https://isep-energychart.com/graphics/piechart/?region=all&period_year=2018&period_month=4&period_day=1&period_length=12+months&display_format=demand_percentage/ (閲覧日2019.9.8)。
- 注29 2030年度の電源構成目標は、再生可能エネルギーで23%前後であり、そのうち水力の目標最大値9.2ポイントを控除すると13.8%前後である。参考文献: 資源エネルギー庁, 『平成27年度エネルギーに関する年次報告(エネルギー白書2016)』, p.242 (2016)。
- 注30 モジュール発電量を年間1,000kWh/kWとすると、売電単価の数値を10,000倍した数値が、10年で費用を回収できる建設費用のkW単価となる。
- 注31 水耕栽培施設など特に高額な建設費用が掛かる事例以外で、kW単価を比較すると、建設費用が最小の事例は古家義高氏の212,766円/kW、最大の事例は守屋栄治氏の370,000円/kWである。
- 注32 $10年 \times 212,766 / 140,000 = 15.2年$ 。
- 注33 $10年 \times 370,000 / 140,000 = 26.4年$ 。
- 注34 一般社団法人ソーラーシェアリング協会(市原市)と東京大学大学院理学系研究科、千葉エコエネルギー株式会社(千葉市)と千葉大学、スマートブルー株式会社(静岡市)と東京大学・静岡県立大学・愛媛大学、株式会社合原有機農園(上田市)と信州大学繊維学部の共同研究が行われた。
- 注35 長島氏が千葉県市原市に初めて実証試験場を建設したのが2010年である。参考文献: 長島彬, 『日本を変える、世界を変える「ソーラーシェアリング」のすすめ』リック, p.50 (2015)。
- 注36 (株)秀光ビルドウェブサイト、「loveソーラープロジェクト」, <https://shukobuild.com/lp/lovesolar/> (閲覧日2019.10.9)。
- 注37 システム・インテグレーターとは、太陽電池モジュールや関連部材の調達、システム設計、施工管理、補助金・税額控除など助成策の申請代行、融資の斡旋、アフターサービスまで、顧客が太陽光発電システムを設置するためのサービスをワンストップで提供する企業をいう。参考文献: 一木修, (株)資源総合システム, 『知らなきゃヤバイ!太陽光発電ビジネス』, 日刊工業新聞社, pp.68-71 (2010)。
- 注38 (株)ガリレオウェブサイト、「ソーラーシェアリング(営農型太陽光発電)」<http://solar.galileo.co.jp/product/solarsharing/> (閲覧日2019.10.9)。
- 注39 太陽光パネル相乗りくんコンソーシアムウェブサイト、「上田市民エネルギーとは」, <http://www.eneshift.org/about.html/> (閲覧日2019.8.28)。
- 注40 長野県上田合同庁舎の屋根に設置された固定型モジュールの発電量は1kW当たり年間1,432.6kWhなのに対し、合原有機農園の追尾式モジュールのそれは1kW当たり年間1,852kWhで

あるので、設備1kW 当たりの発電量の比は、合同庁舎：合原有機農園=1:1.3となる。参考文献：長野県ウェブサイト、「SUN 都うえだ 上田合同庁舎ソーラー発電システム発電実績」, <https://www.pref.nagano.lg.jp/josho/josho-kankyo/kankyo/taiyoko.html/> (閲覧日2019.9.9).

- 注41 ソーラーシェアリング協会, (トップページ), <https://solar-sharing.org/> (閲覧日2019.9.9).
- 注42 電力会社からの通常の買電単価は、中部電力の電力量料金を参考に、28円/kWhと仮定した。
- 注43 わさび田の片屋根パイプハウス用の架台部材費が4,514円/m²であることから、提案ビジネスモデルのソーラーシェアリング用の架台は、モジュール可動式にして部材が増えるので、1.1倍した費用とした。参考文献：安曇野市公式ウェブサイト、「荒廃ワサビ田検証事業」, <https://www.city.azumino.nagano.jp/soshiki/29/48727.html/> (閲覧日2019.9.14).
- 注44 収益から費用を引いたものが利益であることから、PPA モデルにより、買電するはずだった消費電力の料金を節約することは費用が小さくなることであるので、利益と考える。
- 注45 固定価格買取制度縮小後の売電契約価格は、相場が8円/kWhとされている中で、少し条件の良い10円/kWhとした。
- 注46 パワーコンディショナーは発熱するため故障しやすく、10年程度で部品交換が必要になると言われている。正常に稼働する状態で農家に発電システムを引き渡して利用してもらうため、システム・インテグレーターがその費用を負担することとする。ここでは1台当たりの部品交換費用を80,000円とした。
- 注47 長野県信用農業協同組合(長野県 JA バンク)の商品である「JA アグリマイティローン」を利用した場合、2019年10月現在の変動金利は2.425%である。
- 注48 日本国内での単結晶シリコン太陽電池の製造原価は、2018年に40.6円であった。参考文献：自然エネルギー財団、「日本の太陽光発電の発電コスト現状と将来推計」, p.19(2019).
- 注49 出力10kW (10,000W)のパワーコンディショナーの1台当たりの価格は、13.5円/W×10,000W=135,000円である。
- 注50 太陽電池モジュールは、システム設置の際、メーカー希望小売価格の50~70%の割引をされるのが通常である。
- 注51 希望小売価格を1W 当たりの価格に直すと、179,400円÷304W ≈590円/W であるので、最終的な1W 当たり販売価格は590円/W ×30%=177円/W である。
- 注52 シャープ社製出力5.5kW パワーコンディショナー JH-55FC4P の元々の希望小売価格は364,800円である。参考文献：シャープ, 『住宅用エネルギーソリューションシステムズ 総合カタログ』, p.27(2019年4月版).
- 注53 パワーコンディショナーも太陽電池モジュールと同様、システム設置の際、大幅値引きされ、住宅用のものは20万円程度になる。参考文献：経済産業省資

源エネルギー庁発電コスト検証ワーキンググループ, 『長期エネルギー需給見通し小委員会に対する発電コストなどの検証に関する報告(案) 参考資料』, p.8(2015), https://www.enecho.meti.go.jp/committee/council/basic_policy_subcommittee/mitoshi/cost_wg/007/pdf/007_06.pdf/ (閲覧日2019.10.26).

- 注54 1W 当たり価格が200,000円÷5,500W=36円/Wなので、10kW では36円/W×10,000W=360,000円である。
- 注55 架台はモジュール固定式なので、ワサビ用片屋根パイプハウス用部材費4,514円/m²というデータをそのまま使った。
- 注56 沢ワサビは、通年で10℃から15℃の流水の中で育てる必要がある。この条件を満たすのに安曇野の伏流水(湧水)が最適である。参考文献：大王わさび農場(安曇野市)百年記念館展示。
- 注57 再エネ100宣言 Re Action ウェブサイト, 『最新情報』, <https://saiene.jp/#topNews/> (閲覧日2019.11.2).

文献

- 1) 「台湾が脱原発へ転換 改正法を可決」『信濃毎日新聞』, 2017年1月12日付, 朝刊 p.1.
- 2) 藤森禮一郎, 「身近な電気の話 ③4スイスに見る原子力発電所の再稼働」(2019.1.11付), <https://financial-field.com/living/2018/05/18/entry-17142#i-3/> (閲覧日2019.9.23).
- 3) 「思考停止が招く電力危機、原発『国策民営』の限界」『日本経済新聞電子版』, 2018年6月18日付.
- 4) 経済産業省資源エネルギー庁, 『平成22年度エネルギーに関する年次報告(エネルギー白書2011)』, 2011年10月28日国会報告, p.116.
- 5) 経済産業省資源エネルギー庁, 『平成30年度エネルギーに関する年次報告(エネルギー白書2019)』, 2019年6月7日国会報告, p.155.
- 6) 今泉大輔, 『再生可能エネルギーが一番わかる』技術評論社, pp.86-89(2013).
- 7) 「太陽光や風力発電、固定買取終了 経産省が整理案」『日本経済新聞電子版』, 2019年8月5日付.
- 8) 経済産業省資源エネルギー庁, 『平成27年度エネルギーに関する年次報告(エネルギー白書2016)』, 2016年5月17日国会報告, p.111.
- 9) 「米、パリ協定離脱の手続き開始 国連に通告」『日本経済新聞電子版』, 2019年11月5日6:10付.
- 10) 「再生エネ、安価だから普及 カリフォルニア州の選択」『日本経済新聞電子版』, 2019年8月28日23:00付.
- 11) 「米国で広がる再生エネ 企業、トランプ方針『無視』」『日本経済新聞電子版』, 2019年8月14日23:00付.
- 12) 長島彬, 『日本を変える、世界を変える!「ソーラーシェアリング」のすすめ』リック, p.2(2015).
- 13) 農林水産省食料産業局, 『営農型発電について』(2019年7月), p.3, <http://www.maff.go.jp/j/shokusan/renewable/energy/attach/pdf/einou-22.pdf/> (閲覧日2019.9.7).

- 14) 農林水産省, 「はじめに」『営農型太陽光発電取組支援ガイドブック(2018年度版)』(2019年2月8日付発表), <http://www.maff.go.jp/j/shokusan/renewable/energy/attach/pdf/einou-15.pdf/> (閲覧日2019.9.8).
- 15) 農林水産省, 『平成26年度食料・農業・農村白書』, 2015年5月26日公表, p.177.
- 16) 農林水産省, 『荒廃農地の現状と対策について』平成28年4月付, 『http://www.maff.go.jp/j/nousin/tikei/houkiti/pdf/2804_genjo.pdf/』(閲覧日2019.7.6).
- 17) 長島彬, 『日本を変える, 世界を変える! 「ソーラーシェアリング」のすすめ』リック, p.66(2015).
- 18) カラパイアウェブサイト, 「太陽光発電のソーラーパネルに予想外の効果が! パネルの下に日光が苦手な農作物の畑を作るとワインウインの関係に(米研究)」, <http://karapaia.com/archives/52282305.html/> (閲覧日2019.9.21).
- 19) 日本植物学会編, 「光合成の光阻害」『植物学の百科事典』丸善出版(2016).
- 20) 「陽生植物」「陰生植物」『ブリタニカ国際大百科事典』ブリタニカ・ジャパン(2011).
- 21) 経済産業省資源エネルギー庁, 『平成22年度エネルギーに関する年次報告(エネルギー白書2011)』, 2011年10月28日国会報告, p.175.
- 22) 東京電力ホールディングスウェブサイト, 「太陽光発電の余剰電力買取制度について」, <http://www.tepco.co.jp/e-rates/individual/shin-ene/taiyoukou/fukakin-j.html/> (閲覧日2019.10.15).
- 23) 飯田哲也, 白鳥敬, 『図解よくわかる自然エネルギーと発電のしくみ』日本実業出版社, p.1(2013).
- 24) 経済産業省資源エネルギー庁, 『平成23年度エネルギーに関する年次報告(エネルギー白書2012)』, 2012年11月26日国会報告, p.8.
- 25) 『30年代に原発稼働ゼロ』戦略, 政府会議で決定』『日本経済新聞電子版』2019年9月14日付.
- 26) 飯田哲也, 白鳥敬, 『図解よくわかる自然エネルギーと発電のしくみ』日本実業出版社, pp.44-45(2013).
- 27) 経済産業省資源エネルギー庁, 『平成23年度エネルギーに関する年次報告(エネルギー白書2012)』, 2012年11月26日国会報告, p.23.
- 28) 「太陽光発電の買い取り終了へ 入札制度で価格競争促す」『日本経済新聞電子版』, 2019年6月12日18:00付.
- 29) 「小規模太陽光, 余剰電力のみ買い取り 20年度から」『日本経済新聞電子版』, 2019年10月27日22:00付.
- 30) 環境エネルギー政策研究所, 「4.2太陽光発電」『自然エネルギー白書2017』, <https://www.isep.or.jp/jsr/2017report/chapter4/4-2/> (閲覧日2019.6.11).
- 31) 「太陽光パネルの国内出荷量, 4年ぶり増加 18年度」『日本経済新聞電子版』, 2019年5月28日11:50付.
- 32) 都道府県格付研究所ウェブサイト, 「耕地面積ランキング」, <http://grading.jp.org/C3107.html/> (閲覧日2019.11.3).
- 33) 長島彬, 『日本を変える世界を変える! 「ソーラーシェアリング」のすすめ』リック, pp.122-123(2015).
- 34) 農林水産省, 『営農型太陽光発電取組支援ガイドブック(2018年版)』, pp.3-17.
- 35) 長島彬, 『日本を変える, 世界を変える! 「ソーラーシェアリング」のすすめ』リック, pp.64-93(2015).
- 36) 馬上丈司, 「営農型太陽光発電(ソーラーシェアリング)の普及状況に見る事業スキームの多様化と普及に向けた課題」『千葉大学 公共研究第14巻 第1号』(2018).
- 37) 近藤哲郎, 『ビジネスモデル2.0 図鑑』KADOKAWA(2019).
- 38) 「太陽光発電装置 自治体負担なし ファブスコ, 公民館などに」『日本経済新聞電子版』, 2017年11月25日付.
- 39) 長島彬, 『日本を変える, 世界を変える! 「ソーラーシェアリング」のすすめ』リック, p.40(2015).
- 40) 長島彬, 『日本を変える, 世界を変える! 「ソーラーシェアリング」のすすめ』リック, pp.130-131(2015).
- 41) SHARP, 「全国の年間推定発電量」『住宅用エネルギーソリューションシステムズ 総合カタログ』(2019年4月版), p.25.
- 42) 自然エネルギー財団, 『日本の太陽光発電の発電コスト 現状と将来推計』, pp.19-20(2019).
- 43) 星谷佳功, 『新特産シリーズ「ワサビ」 農山漁村文化協会, p.42(1996).
- 44) 「RE100」『知恵蔵 mini』朝日新聞出版(2018).
- 45) 「中小企業向け『RE100』が発足」『日本経済新聞電子版』, 2019年10月9日19:30付.
- 46) 農林水産省, 『営農型太陽光発電取組支援ガイドブック(2018年度版)』, p.20(2019年2月8日付発表), <http://www.maff.go.jp/j/shokusan/renewable/energy/attach/pdf/einou-15.pdf/> (閲覧日2019.9.9).
- 47) 環境省, 「第五次環境基本計画の概要(2018年4月)」, p.10, <http://www.env.go.jp/press/files/jp/108981.pdf/> (閲覧日2019.9.9).
- 48) 国連開発計画(UNDP)駐日代表事務所ウェブサイト, 「SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS」目標7, <http://www.jp.undp.org/content/tokyo/ja/home/sustainable-development-goals/goal-7-affordable-and-clean-energy.html> (閲覧日2019.9.9).
- 49) 「フィルム状太陽電池, 作物生育を妨げず ビニールハウスで発電実験 諏訪東京理科大, 技術開発へ」『信濃毎日新聞』, 2014年1月5日付, 朝刊 p.1.