

ソーラーシェアリング（営農型太陽光発電）を活用した
「スマートビレッジ」構想に関する一試論¹
A Study on the Smart Village Concept
by Farming Solar Photovoltaic

成 耆政 ²	摂南大学農学部食農ビジネス学科
須澤和広	株式会社みらいさい福祉会
戴 容秦思	摂南大学農学部食農ビジネス学科
石田陽奈	長野県 JA グループ JA 大北
SUNG, Kijung	Department of Agri-Food Business, Faculty of Agriculture, Setsunan University
SUZAWA, Kazuhiro	Miraisai Welfare Company
DAI, Rongqinsi	Department of Agri-Food Business, Faculty of Agriculture, Setsunan University
ISHIDA, Haruna	JA Daihoku, JA Naganoken Group

Abstract

In the pursuit of sustainable energy by expanding the spread of renewable energy and alternative energy, efforts for farming photovoltaic, so-called solar sharing, in which solar power generation equipment is installed on farmland to enable farming activities and power generation at the same time are expanding recent years. This paper aims to clarify the current state of solar sharing (farming photovoltaic) and discuss the smart village concept of smartification of the energy system centering on solar sharing. To that end, there are four steps. An organization of the definition and outline of solar sharing is giving first. And comes the second step to introduce the current situation of solar sharing, related systems and diffusion status in order to identify the issues and challenges are facing. Third, we discuss the elements of smart village that have introduced EMS (energy management system) in rural areas by taking up the case of Tochigi prefecture. Based on the above, fourth, we propose a smart village centered on solar sharing in Omachi City, Nagano Prefecture. As the result, we were able to show a concrete plan to build an energy management system in the southern area of Omachi City, Nagano Prefecture.

¹ 【原稿受付】 2021年9月7日, 【掲載決定】 2021年12月10日

² 【主著者連絡先】 成 耆政 摂南大学, 教授 e-mail: kijung.sung@setsunan.ac.jp
〒573-0101 大阪府枚方市長尾峠町45番1号, 摂南大学農学部食農ビジネス学学科

キーワード: ソーラーシェアリング, 営農型太陽光発電, スマートビレッジ,
EMS 統合型

Keywords : solar sharing, farming photovoltaic, smart village, energy
management system(EMS) integrated type

1. はじめに

1952年12月5日から9日にかけてイギリスのロンドンで発生したロンドンスモッグ事件(London Smog Disasters)は主に、工場の排気ガスや石炭などのビルと家庭の暖房による煤煙に、高濃度のスモッグが加わった影響でその事態は一層悪化され、市民の呼吸器官などに大きなダメージを与え、1万2千人以上の犠牲者が出たともいわれている。この史上最悪規模の大気汚染といわれる公害事件が発生した以降、天然ガス、石油、石炭などの化石燃料(fossil fuel)への依存からの脱却が叫ばれてきたものの、大気汚染と環境毀損は新興国で深刻な社会問題となっている。さらに、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、炭素排出量の減縮、化石燃料からの脱却と自然エネルギー・代替エネルギーの普及拡大による持続可能なエネルギー社会への追求は、その重大性を一層増しつつある。

一方、農業経営において、農業従事者の高齢化や深刻な担い手の不足などによる耕作放棄地の大量発生から、農地を太陽光発電専用施設建設の用地のために転用する事態も起きている。この農地転用は国民の食料安全保障の観点から、安易に転用できないよう規制が厳しいものの、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るのが現状である。いままでもなく、農業生産は国家存立の基盤であるのに、食料自給率の持続的な低下や農業産出額と農業所得の減少、農業労働生産性の低下、安価な外国産農産物の輸入増加など、日本農業は危機的な状況におかれ、これ以上、看過できないところまできている。

以上を背景として、近年、農業経営の新たな姿(手法)の1つとして、農地に太陽光発電設備を設置し、営農活動と発電事業を同時(両立)に可能とする「営農型太陽光発電」、いわゆる「ソーラーシェアリング」への取り組みが拡大しつつある。

ソーラーシェアリング(営農型太陽光発電, Farming Photovoltaic)とは、農地に太陽光パネルなどの太陽光発電設備を設置することで、太陽光エネルギーを共有しながら、営農活動と発電事業を同時に可能とするシステムのことである。これは、一般的に光飽和点を超える太陽光は作物の光合成に影響を及ぼさないので、営農型太陽光発電システムではこの余分の光エネルギーを電力生産に利用する原理を活用している⁽¹⁾。農林水産省によると、営農型太陽光発電の取り組みを通して、作物の販売収入に加え、売電による収入や発電電力の自家利用などにより、農業者の所得拡大による農業経営のさらなる規模拡大や6次産業化の推進が期待できる、としている。

ソーラーシェアリングは、1982年に当時の西ドイツのブラウンホーファー太陽エネルギーシステム研究所^{註1}に所属するA.GoetzbergerとA.Zastrowが、農業と太陽光発電を並行することに対する理論を主張することで始まった⁽²⁾。しかし同研究所では、実用化までには至らなかった⁽³⁾^{註2}。そして、再び事態が動き出すのは、日本で2003年に長島彬が同様の構想を独自に再発明するのを待つことになった⁽⁴⁾。現在、日本では千葉県を中心に普及している⁽⁵⁾。世界ではアジアを中心に普及

し、その中でも太陽光発電の普及において世界第1位である中国は2013年から営農型太陽光発電の普及を始め、2016年からは中国全域に拡大している。

2019年6月に閣議決定された「成長戦略フォローアップ」において、人口減少下での地方施策の強化策の1つとして、農林水産業全体にわたる改革とスマート農林水産業の実現のために、農業改革の加速として、力強い農業構造の構築と人材の育成などを掲げている。その方策の1つとして、太陽光を農業生産と発電とで共有する営農型太陽光発電の全国的な展開を図る、としている⁶⁾。

図1から、日本におけるソーラーシェアリングはほぼ一定のペースで順調に普及していることが分かる。ソーラーシェアリングの全国認可件数は1,992件を突破し、2013年に農林水産省が営農型発電を正式に制度化^{註3)}した以来、5年という短期間で大幅に増加したことになる。

ソーラーシェアリングは、日本農業の課題である耕作放棄地や荒廃農地の増加、農業従事者の高齢化、後継者不足の問題、低い食料自給率の問題などに、ソーラーシェアリング技術を活用することでその解決に役立つ可能性があると考えられる。例えば、少子高齢化により増加傾向にある荒廃農地や耕作放棄地にソーラーシェアリングの技術を用いることで農地を復活させ、地域活性化に寄与できるといえる。

しかしながら、ソーラーシェアリングの利用においてまだ課題が存在している。農業と同様の後継者問題をはじめ、売電価格の保証、高額の初期投資コスト、火災発生リスクの増加、ソーラーパネルによる景観の毀損(妨害)、パネルのモジュール表面の反射光が地域住民に及ぼす影響、そしてパネルの盗難などがあげられる。

そこで本稿は、ソーラーシェアリング(営農型太陽光発電)の現状を明らかにし、ソーラーシェアリングを中心にエネルギーシステムをスマート化した農村のモデル設計、すなわちスマートビレッジの構築についての提案を主な目的とする。そのために、まず第1に、ソーラーシェアリングの概念と意義について述べる。第2に、関連する諸制度と普及状況について整理し、課題を抽出する。第3に、エネルギー管理システム(EMS)を農村に導入する可能性について検討する。以上を踏まえ、ソーラーシェアリングを中心としたスマートビレッジを長野県大町市において構築する具体策を提案する。

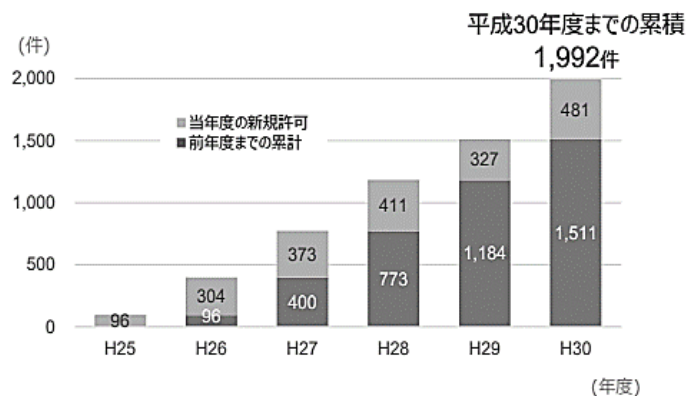


図1 ソーラーシェアリング一時転用許可累計件数

出所:農林水産省食料産業局「営農型太陽光発電について」2020年4月, p.6.

2. ソーラーシェアリング（営農型太陽光発電）の現状と展開

2-1 ソーラーシェアリングの概念

「ソーラーシェアリング」という用語には、「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⁷⁾。この「共有」をどのような形で行うか、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。ここでは既存の定義を3つ示した後、本稿におけるソーラーシェアリングの定義づけを行う。

まず第1に、ソーラーシェアリングを開発した長島によるもので、「農地に降り注ぐ太陽光を作物生産に必要な量を確保し、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」⁷⁾とする。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。

第2に、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」⁸⁾としている。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。

第3に、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」⁹⁾とする。ここからは、ソーラーシェアリングを実施する際、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含まれている。

以上をふまえ、本稿では一般経営学の観点から改めて定義し、「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、営農活動と発電事業を同時に行うことで、農業所得を上げようとする取組」とする。この定義は、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示した。農地を効率よく利用し、営農活動と発電事業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期待できる。

ソーラーシェアリング施設の基本的な構造については、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4)}を、一定の間隔を空けて、すのこ状になるように設置することになる。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ことになる。なお、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仕組みになっている。

2-2 ソーラーシェアリングの現状と課題

(1) 固定価格買取制度

「固定価格買取制度(FIT^{注5)}制度」は、2011年7月施行の「再生可能エネルギー特別措置法」^{注6)}に基づく、再生可能エネルギーで発電された電力を電力会社(2020年4月の分社化後は一般送配電事業者)が一定の期間、固定した価格で買取をすることを保証する制度のことである。

この制度は、小規模太陽光発電のみを対象として先行実施されていた「余剰電力買取制度」を前身とする。余剰電力買取制度は2009年11月に開始され、住宅や事業所の屋根などの太陽光発電設備で発電された電力を自家消費したうえで、その残りの電力(余剰電力)を10年間にわたり電力会社が買取をすることを保証する制度であった。買取費用は、全額、「太陽光発電促進付加金」

としてすべての電力需要者(電気の契約者)から徴収している。

その後継として、2012年7月に、対象となる再生可能エネルギー^{注7}の範囲を拡大した固定価格買取制度が開始された。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で「規模の経済」を促し、同エネルギーのコストダウンを図ることであった⁽¹⁰⁾。実際、国内の太陽光発電システムの価格は2012年度の47万円/kWから2018年度の34万円/kWまで順調に低下してきた⁽¹¹⁾。それに合わせて、図2のように、事業者が関わる10kW以上500kW未満の買取価格は、固定価格買取制度の始まった2012年度から2020年度までに40円から13円に大幅に引き下げられた。

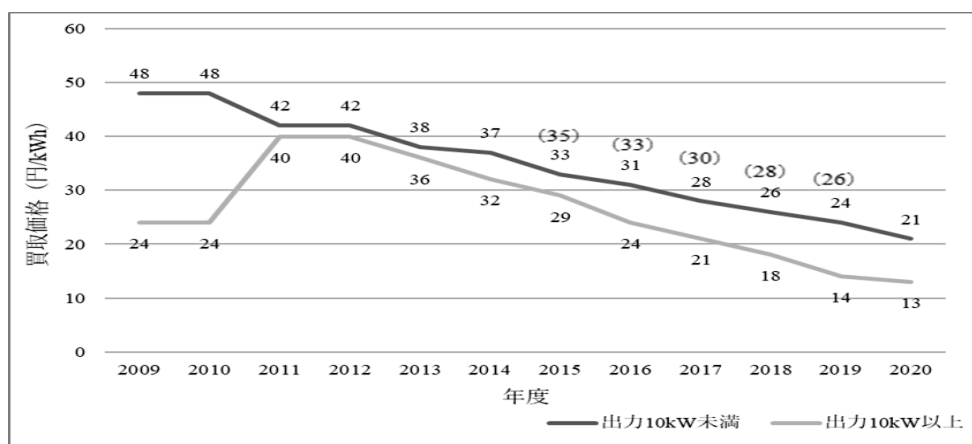


図2 太陽光で発電された電力の買取価格の推移

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」の場合の単価である。

3) 出力10kW以上についてはグラフの価格に送配電事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度に移行した。のち、その基準は、2019年度に出力500kW以上に、さらに2020年度には250kW以上に引き下げられた。

出所:経済産業省資源エネルギー庁ウェブサイト「なっとく!再生可能エネルギー」を参照して作成。

その後、経済産業省は、2017年4月に固定価格買取制度を改定し^{注8}、出力2000kW以上の太陽光発電に対しては入札制度を導入した。一方、出力10kW以上2000kW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を目標としている。なお、入札制の対象基準は2019年度からは出力500kW以上に、2020年度からは250kW以上に引き下げられた。

最新の同制度の動向としては、再生可能エネルギー特別措置法が2020年6月に抜本的に改正^{注9}されたことを受け、2022年4月から新制度に移行することとなった⁽¹²⁾。改正の大きな特徴は、電源を競争電源と地域活用電源の2つに区分し、それぞれに新たな仕組みを導入したことである⁽¹³⁾。競争電源は、固定価格買取制度(FIT制度)に加えて、一般送配電事業者の買取り義務はなくし、市場価格を踏まえて一定のプレミアムを交付する制度(FIP^{注10}制度)を創設する。一方、地域

活用電源は、一般送配電事業者の買取り義務は残すものの、自家消費や地域消費にすることが認定の条件である。

この改正により、2022 年からは出力 50kW 以上の太陽光及びすべての区分の風力による再生可能エネルギー発電設備の新規認定を終了することとなった⁽¹⁴⁾。また、出力 10kW 以上 50kW 未満の新規太陽光発電設備など^{注 11}については、地域活用要件を設定し、従来の全量買取りから自家消費後の余剰分のみの買取りに移行させる。この地域活用要件は、2020 年 4 月から先行実施されている。ただし、出力 10kW 以上 50kW 未満のソーラーシェアリングについては、自家消費を行わない案件でも、災害時の活用が可能であれば、地域活用要件を満たしているとみなし、全量買取り認定を継続している⁽¹⁵⁾。なお、出力 10kW 未満である住宅用太陽光発電設備は、余剰分の電力買取制度が継続されている。

(2) 農地転用許可制度

ソーラーシェアリングの実施のためには、太陽光発電モジュールを乗せる架台の支柱部分について、農地転用の許可を得る必要がある。ソーラーシェアリングに対する一時転用の許可制度は 2013 年度に正式に始まったが、許可期間を一律 3 年以内とし、その期間満了の都度、審査のうえ再許可する仕組みであった。しかし、農林水産省はソーラーシェアリングの実績を評価し、一定の条件を満たす場合、一時転用を 10 年以内とした⁽¹⁶⁾。これにより、固定価格買取制度を利用する 20 年間で必要な一時転用許可延長の手続きは、従来の 6 回から 1 回となり、事務作業に費やす手間が大きく軽減されることとなった。

このように利用しやすくなった一時転用許可制度の概要を見ると、まず、主な要件は次の 4 つである⁽¹⁷⁾。まず第 1 に、農作物への日照量を確保すること。第 2 に、農業機械が利用できるよう支柱の高さを 2m 以上に設計すること。第 3 に、周辺農地の効率的利用の妨げにならないこと。そして第 4 に、毎年 1 回、許可権者^{注 12}に収穫された農作物の収量等を報告することとなっている。

次に、許可期間については、10 年以内または 3 年以内とする⁽¹⁷⁾。許可期間が 10 年以内となるのは①発電事業者自らが営農活動を行うか、②荒廃農地(農用地区域内含む)を再生利用するか、③第 2 種農地、第 3 種農地(農用地区以外)を活用するか⁽¹⁷⁾のいずれかの場合である。一方、許可期間が 3 年以内となるのは上記①から③までのいずれにも当てはまらない場合である。

農林水産省が、一時転用許可期間を 3 年以内から 10 年以内に延長したのは、農業の担い手の所得向上や荒廃農地の解消につながることを期待してのことである⁽¹⁸⁾。農業の後継者不足などは少子高齢化が進む日本では大きな課題であるが、ソーラーシェアリングにより日本農業を活性化させ、国内の食料確保の基盤を強化することに一助になると考えられる。

(3) ソーラーシェアリングに対する認知度

ソーラーシェアリングの普及状況は都道府県によって大きく異なり、例えば、最も多い千葉県では 200 件を超えており、続いて 100 件を超えるのは静岡県・群馬県・徳島県などである(2018 年 9 月時点累計、全国営農型発電協会による調査)。その他の多くの地域では平均すると 15 件程度で、地域間での普及状況には、約 13 倍もの差がある。

このソーラーシェアリング施設偏在の背景には、ソーラーシェアリングに適した環境があるかどうか

かの他に、農業者のソーラーシェアリングに対する認知度の差があると考えられる。これについては、倉阪(2019)による調査⁽¹⁹⁾を用いて分析する。

倉阪(2019)は2018年10月に一定の基準を超える農地面積を持つ市町村の農業委員会を対象とし、郵送によるアンケート調査を実施した。送付数は1,465件で、同年11月末日までに1,174件の返送があった。その結果から、まず農業委員会はソーラーシェアリングについて、理解しているとの回答が80.6%を占め、農林水産省から農業委員会への関連通知の効果が表れていると推察される。一方、聞いたことがない、意味が分からないという回答も16%を占めている。一般農家のソーラーシェアリングへの認知度は、認可担当機関である農業委員会よりも低いと考えられる。

また、実際に太陽光発電設備設置のための農地転用申請を受けた農業委員会は70%に上り、多くの市町村の農地が太陽光発電の適地であるとみなされていることが分かる。その中で、ソーラーシェアリングに該当する農地転用申請を受けた農業委員会の占める割合は41.1%である。これは本アンケート調査に回答した農業委員会の28.9%に当たる。この28.9%の農業委員会が受け付けた農地転用申請の一部がソーラーシェアリングだったということである。ここから、太陽光発電のための農地転用申請案件のうち、農業生産を断念した案件がほとんどであることが分かる。

以上をまとめると、ソーラーシェアリングの認知度について、農業委員会より一般農家が低いとすれば、農業委員会の80.6%という数値は決して高いとはいえず、農地転用申請者がソーラーシェアリングを選択しない一因となっている可能性もある。したがって、農業生産をあきらめずに、ソーラーシェアリングを実施する農家を増やすため、ソーラーシェアリングの効果を周知する必要がある。それにより、ソーラーシェアリングは耕作放棄地の再生という役割を一層果たすことになる。

3. ソーラーシェアリングを活用した「スマートビレッジ」構想

3-1 スマートビレッジの概念

ここまで、ソーラーシェアリングを営農活動と発電事業の相乗効果により、効率的な農業生産活動を可能とすることを述べてきた。しかし、これは個別の農家の取組みにとどまり、地域全体が連携して再生可能エネルギーの普及や省エネルギーに取り組むものとはいえない。そこで、ソーラーシェアリングを農村コミュニティとして取り組む方策としてスマートビレッジを取り上げることとする。

「スマートビレッジ(Smart Village)」⁽²⁰⁾とは、「スマートシティ(Smart City)」と比べ、少しなじみにくい側面があるものの、EUでは2017年に「EU action for Smart Village」を発表し、2018年にはSmart Village Network が始まった。EUではスマートビレッジを「すでにもっている資産と潜在力に基づき、新しいビジネスチャンスを生み出す農村コミュニティの取組」と定義づけている。いいかえれば、デジタル技術等を活用した地域コミュニティを作ることをスマートビレッジという。

ここで、国内のスマートビレッジの定義を概観し、それらを参考に本稿におけるスマートビレッジの定義を導き、具体的なスマートビレッジ提案のためのベンチマーキングにつなげることにする。まず第1に、東日本大震災後の復興構想会議の提言中にあるスマートビレッジ(smart village)⁽²¹⁾について、農林水産省が説明をした「農山漁村におけるエネルギー自立型システム(スマートビレッジ)」⁽²²⁾をみていく^{注13}。農林水産省の定義は、「農山漁村においてスマートグリッド等の新たな技術の導入により、再生可能エネルギーを地域単位で統合的に管理するシステムを構築し、再生可能エネルギーを高度に生産・利用する取組」となっている。まず、「農山漁村において」のところで、

EMS(エネルギー管理システム)を都市に導入するスマートコミュニティ(スマートシティ)ではなく、農村地域に導入することをいう。次に、「スマートグリッド^{注14}等の新たな技術の導入により」では、電力システムにおいて、分散型である再生可能エネルギーを、需給均衡をとりつつ導入する「スマート化」を実施することを述べている。そして、「再生可能エネルギーを地域単位で統合的に管理するシステムを構築し」では、農村コミュニティに存在する再生可能エネルギーを地域で消費する「地産地消」を、情報通信技術(ICT)を利用して地域全体で需給均衡を確保しつつ行うことをねらっている。

第2に、2011年度から2017年度まで、研究事業と形成事業が実施された栃木県農政部農村振興課の「栃木版スマートビレッジモデル」⁽²³⁾を取り上げる。本事業での定義は、「栃木県の農村地域に存在する豊富な再生可能エネルギーを地域の特性に応じて電力等に変換し、地域内で有効利用を図っていくための取組」である。まず、「農村地域に存在する豊富な再生可能エネルギーを地域の特性に応じて」というところで、地域の自然や産業の特徴を活かしていくことを表現している。次に、「電力等に変換し」というところでは、再生可能エネルギーを電力源としてだけでなく、熱源としても利用することを意味する^{注15}。そして、「地域内で有効利用を図っていく」の部分では、電力や熱を農業生産に活用することをいう。

第3に、群馬県と埼玉県にまたがる神流川沿岸地区で2011年に策定された『『ひびきの』スマートビレッジ構想』⁽²⁴⁾である。ここではスマートビレッジの定義は定められていないので、その概要を述べる。まず、神流川沿岸地区の特徴は、農業用水が張り巡らされ、日照時間も2,000時間を超え、家畜排泄物等のバイオマス資源が豊富なことである。そこで、この豊富な再生可能エネルギー資源を活用し、農業・農村地域の振興を図ったのが本構想である。具体的には、小水力発電・太陽光発電・バイオマス利用を実施し、施設園芸ハウス・植物工場・農産物直売所・農産物加工施設・EV用スタンド・鳥獣害防止施設・売電などに活用するものである。

本稿では、以上の既存の定義や具体的計画の優れた部分を統合し、「農村コミュニティにおいて、地域の特性に応じた再生可能エネルギーを電力等に変換し、地域内で分散的かつ統合的にエネルギーを管理するシステムを構築し、再生可能エネルギーを農業などの産業や生活に高度に利用することで、農村コミュニティ住民の経済基盤を安定化する取組」とする。この定義をより詳しく述べる。

まず第1に、「農村において」のところで、本稿では、都市部と対比される農村・山村・漁村のうち、農村を対象に論じたことを表している。第2に、「地域の特性に応じた再生可能エネルギー」のところで、これは栃木版スマートビレッジモデルから示唆を受けて取り入れたものである。再生可能エネルギーは太陽光・風力・水力・地熱・バイオマスなどがあるが、エネルギーの地産地消をするためには、そのうち地域に存在するものを利用しなくてはならないことを表現した。第3に、「電力等に変換」は、やはり栃木版スマートビレッジモデルから示唆を受け、そのまま使用した。再生可能エネルギーは、発電だけに利用されるものではなく、バイオマスなどは熱源としても利用できる。第4に、「地域内で分散的かつ統合的にエネルギーを管理するシステムを構築し」では、農林水産省の「スマートグリッド」導入に関する部分から示唆を受け、地域のエネルギー生産・利用の拠点ごとにエネルギー管理システムを構築し、また、地域のエネルギー資源を統合的に管理し、エネルギーの最適利用を図ることを表現した。そして第5に、「再生可能エネルギーを農業などの産業や生活に高

度に利用することで、地域住民の経済基盤を安定化する取組」では、「『ひびきの』スマートビレッジ構想」のエネルギー活用法に示唆を受け、農業関連の様々な施設や住宅でエネルギーを活用し、効率的なエネルギー利用を通じて農村地域経済を活性化することを目指す取組であることを示した。

3-2 EMS（エネルギー管理システム）

EMS (Energy Management System) とは、一般的にいえば、「情報通信技術 (ICT) を駆使して、家庭、オフィス、工場あるいは地域全体の電力使用量をリアルタイムで把握し、電力需給を最適に制御・管理するシステム」⁽²⁵⁾ のことである。このシステムは、省エネルギーや二酸化炭素 (CO₂) 排出量削減、そして災害への柔軟な対応を自動的に実現することを目標とする。

ここで、EMS の上記の定義にある 4 つの構成要素を述べる。まず、「情報通信技術を駆使」に関しては、PLC (Power Line Communication) などの有線方式や Wi-Fi などの無線方式で繋がった IoT 機器を、司令塔の役割を果たすコントローラー (ゲートウェイ) で制御することを指す。なお、コントローラーは外部とインターネットで繋がり WAN (Wide Area Network) を構成している。

次に、「家庭、オフィス、工場あるいは地域全体」に関しては、EMS は様々な範囲を制御することをいう。この制御範囲を区別するために、以下のように頭に範囲名を付加する。家庭での EMS を HEMS (Home Energy Management System)、オフィスビルでは BEMS (Building Energy Management System)、工場では FEMS (Factory Energy Management System)、そして地域全体では CEMS (Community Energy Management System) と呼んでいる。

また、「電力使用量をリアルタイムで把握」は、電力使用量データをスマートメーターで一定時間ごとに収集し、それをコントローラーに送信し、「見える化」することをいう。見える化は、エネルギー使用を意識し、削減可能な箇所を見つけるための手法である。加えて、省エネルギー対策の実施前後の使用量を「見える化」することは、関係者が省エネへの意欲を継続させることにも役立つ⁽²⁶⁾。

そして、「電力需給を最適に制御・管理」は、電力の需要と供給の両方の機器を、DR (Demand Response, 需要応答) などを用いて機動的に制御し、生活の快適性を失わずに最大限の節電や二酸化炭素排出量削減を自動的に実現^{注 16} することをいう⁽²⁷⁾。具体的には、地域の電力需要ピーク時の電力削減のため、CEMS から HEMS・BEMS・FEMS に電力消費抑制の要求があったときに、空調機器の省エネルギーモードへ切り替える、照明を暗くする、工場の製造ラインを一時停止するなどの措置をとる (ネガワット取引)。HEMS・BEMS・FEMS 内では、無駄な電気機器の使用を抑えたり、太陽光発電などによる電力を自家消費、売電、蓄電池への充電などの選択肢のどれが経済的かを判断する^{注 17}。これらの対策を実施することで、電力会社は電力需要の最大量に対応した容量の発電設備を設置しなくて済み、家庭・オフィス・工場は経費削減になるばかりでなく、ネガワット取引により報酬を得ることもできる^{注 18}。

このような仕組みを持つ EMS は、再生可能エネルギーによる発電設備を制御範囲内に組み込み、その不安定な発電出力に対応し、需要者と供給者にとって最適バランスを保つ働きをするので、環境性と快適性を両立させる次世代のエネルギーシステムに不可欠であるといえる。

3-3 栃木県におけるスマートビレッジへの取組の事例分析

スマートビレッジを大町市に構築するため、先行事例として栃木県農政部農村振興課が主導して実施した「栃木版スマートビレッジモデル」を探る。ここで、同県の作成した『栃木版スマートビレッジモデル研究事業及び形成事業の概要(結果)』⁽²⁸⁾に基づき、実施状況を明らかにする。

栃木版スマートビレッジとは、「本県の農村地域に存在する豊富な再生可能エネルギーを地域の特性に応じて電力等に変換し、地域内で有効利用を図っていくための取組」と定義される。同事業が計画実施された契機となったのは、2011年3月に発生した東日本大震災の際、電力系統からの電力供給が停止し、農業用ハウスの電動による天窓の開閉ができなくなり、トマトなどの農業生産に大きな被害が出たことによる。同事業の取組み内容は、産学官連携^{注19}の「スマートビレッジモデル研究会」において、再生可能エネルギーの地産地消に向けた研究を実施した(2011年度から2015年度までの5年間)。続いて、「スマートビレッジ形成事業」として、再生可能エネルギーで発電した電気を農業や農村協働活動などに利用する「電気の地産地消の取組モデル」を普及促進した(2016年度から2017年度の2年間)。

研究会と形成事業で構成される同事業の基本実施構造として、「つくる」→「ためる」→「はこぶ」→「つかう」という一連の流れがある。第1に、「つくる」においては、小水力発電を主力に太陽光発電も実施した。小水力発電では農業用水路の落差を利用し、太陽光発電でも農業用水路を利用して、水路の上に太陽電池モジュールを設置した。第2に、「ためる」においては、蓄電池のなかでも鉛蓄電池を採用した。付属設備として、次の「はこぶ」で使用する充電設備も設置した。第3に、「はこぶ」において、発電した電気を運搬するために電気自動車や移動式蓄電池を活用し、電気自動車は内蔵の駆動用蓄電池に充電した。また、移動式蓄電池には充電のうえ、別の場所に移動して使用した。そして第4に、「つかう」においては、先に充電した電気自動車は、農作物の運搬用に使用するほか、移動して農業用施設や農業機械の電源として利用し、移動式蓄電池は、電動草刈機を充電するために使用した。この形成事業への参加者からは停電の場合に役立つうえ、通常の場合も地球温暖化防止などに貢献できるのでスマートビレッジの取組みに期待しているなどの感想が寄せられた。

現在は研究会と形成事業も一旦終了し、事業で設置した小水力発電施設は発電機メーカーからのリース期間が終了したため、撤去されている。しかし今後も、宇都宮市や小山市などでスマートビレッジモデル事業を基に、小水力発電設備を増設する計画を進めている。

3-4 長野県大町市南部地域におけるスマートビレッジ構想

本稿では長野県大町市南部地域にある豊富な農地と用水路などに着目し、同地域を環境に優しく災害に強い農村コミュニティとする「スマートビレッジ」を構想した。大町市南部地域は、JR大糸線の信濃常盤駅や安曇杵掛駅周辺の地域であり、学校や集落の周囲に水田などの農地が広がっている。また、高瀬川や乳川の近くで、中・小農業用水路も発達し、域内には紡績工場や鉄工所などの工場も散在している。

このような大町市南部地域でのスマートビレッジ構想で用いるエネルギー資源は、前述のように、発電ではソーラーシェアリングとそれ以外の再生可能エネルギーによる発電の仕組みを利用する。また、出力の不安定な再生可能エネルギーに柔軟に対応できるよう蓄電池や電力会社の仮想蓄電池サービスをも利用する。そして、エネルギー資源をシステムに自律的に管理させるためにEMS

を導入する。集落の各家庭では HEMS、工場では FEMS、農地では工場に準じた FEMS、事業所では BEMS をそれぞれ構築する。これらの各種 EMS を統合し管理するためには、CEMS を設置する。CEMS は電力や熱の生産量や使用量などのエネルギーに関する情報を一括管理し、各 EMS に指令を送る。EMS 間の双方向通信にはインターネットの光回線を利用し、電力の需給均衡を成立させるためには各 EMS に設置された蓄電池と電力会社の仮想蓄電池サービス^{注 20}を利用する。

以下、エネルギー資源を地域の実情に即して適用する案について述べることにする。まず第 1 に、山裾と集落近くの未利用地でソーラーシェアリングを実施する。山裾では、実施作物として陸ワサビ^{注 21}を採用し、半陰生植物であるワサビはソーラーシェアリングにより営農活動と発電事業の相乗効果が期待できる。一方、集落近くでは実施作物としてブルーベリーを採用する。ブルーベリーは栽培が容易で果実が高値で取引されるため、効率重視のソーラーシェアリングに適している。これらのソーラーシェアリングシステムを設置することにより、営農活動からの収入と地域の地産地消費電源を確保する。

第 2 に、他の再生可能エネルギーは、水路上の太陽光発電と小水力発電、バイオマス発電を実施する。太陽光発電では、まず、農業用水路上に太陽光発電モジュールを設置して発電する。モジュールの下に水路があることで、モジュールが冷却され発電効率の維持も期待できる^{注 22}。これは用水路上の未利用空間を利用して、土地利用効率を上げることにもなる。次に、太陽光発電設備を住宅の屋根に設置することで、できるだけ蓄電池も併設し、昼間の余剰電力を蓄電池に貯め、夜間に貯めた電力を使用する。これは災害が発生し、電力系統から電力が供給されなくなったときに非常用電源としても役立つ。

小水力発電は、地域に発達した農業用水路の落差を利用して実施する。水車形式は中低落差用であるクロスフロー水車を採用する。小規模のため 1 機の発電出力は 2.5kW ほどで小さいものの、多数設置することで地域の電源として活用できる。

バイオマス発電は、大町市が豊富な山林を抱え農業も盛んであることから、木質バイオマスと農産バイオマスを採用する。それぞれ熱と電気を両方生み出すことができるが、発生する煙のことを考えて集落から少し離れた場所に設置するものの、温水を集落に引いてくるため自然冷却が抑制できるよう離れすぎない位置にする。

第 3 に、蓄電池は住宅や学校、公民館などに設置し、住居や公共施設を防災拠点とするよう整備する。電力会社の協力のもと、卒 FIT 家庭は地域で一括して電力会社の仮想蓄電池サービスを利用し、補完する。通常時は、昼間など 1 日のうち発電量の多い時にその余剰電力を売電するのではなく、蓄電池に充電して夜間に利用する。また、日照の多い日が連続したときなど蓄電池の容量が不足した分は、仮想蓄電池サービスを利用する。この仮想蓄電池サービスでは昼間預けた分の電力を夜間に使用する一方、災害などの非常事態では停電時に活用できる蓄電池を設置することで、住宅では最低限の生活の維持ができ、学校や公民館は防災拠点の役割を果たすことができる。こうして高価な蓄電池は災害時に地域内の最低限度の電力を賄えるだけにし、導入費用を抑制する。

蓄電池単体に加えて、EV や PHEV などの電動車に搭載されたバッテリーが、蓄電池として活用できる。V2H^{注 23}と呼ばれる専用パワーコンディショナーを住宅に設置することで、電動車に搭載さ

れた蓄電池を家庭での電源として使用する。通常は、安価な深夜電力で充電し家庭用補助電源として、また、停電などの非常事態では、ほとんどの家電を賄える主力電源として機能する。

以上のようなソーラーシェアリングを基軸とする EMS 統合型スマートビレッジを構築することで、地域における農業などの産業振興と災害時のエネルギー供給の確保、省エネルギー、排出する二酸化炭素の削減が期待できる。これが次世代の「エネルギー自律農村」、すなわちスマートビレッジの効果である。

4. むすびに

以上のように本稿では、まず、ソーラーシェアリングの概要として、ソーラーシェアリングは営農活動と発電事業を組み合わせることで相乗効果をもたらすものであることを示した。次に、ソーラーシェアリングの現状と課題としては、固定価格買取制度において地域活用要件が設定されたこと、荒廃農地を再生させる取り組みを後押しするために農地一時転用許可期間が3年から10年になったこと、太陽光発電のための農地転用申請の内容から農業関係者のソーラーシェアリングに対する認知度が低いと考えられることを取り上げた。そして、ソーラーシェアリングを中心としたエネルギー自律農村「スマートビレッジ」構想の要素を検討した。最後に、エネルギー管理システムを長野県大町市南部地域に構築する具体案とその効果を示した。

長野県大町市は、2005年2月に策定した『大町市地域新エネルギービジョン』⁽²⁹⁾に沿って、市庁舎や小学校へ太陽光発電システムを導入するとともに、用水路に町川(水力)発電所を設置し発電した電力を地元で活用^{註24}してきた実績がある。ソーラーシェアリング導入のための今後の検討課題としては、ソーラーシェアリングが地元農家などへの受容性の問題がある。大町市南部地域は高瀬川右岸に広がる稲作地帯であるため、陸ワサビのソーラーシェアリング実施のためには、一部転作が必要な場合も出てくるであろう。また、近くに国営アルプスあづみの公園などもある観光産業が盛んな地域であるため、景観が変わってしまうことも懸念される。ソーラーシェアリング実施の際は、地元農家の理解と太陽光パネルによる反射光や景観に配慮する工夫が求められる。

なお、スマートビレッジで使用する再生可能エネルギー(太陽光発電、小水力発電、バイオマス発電)のライフサイクル評価(エネルギー収支比など)については重要な論点であると考えられるが、本稿では検討できなかった。この課題と、上述の反射光や景観への配慮については、今後の研究課題として取り組んでいきたい。

ソーラーシェアリングは、前述のように、旧西ドイツで発案された後、研究開発が停滞していたものを、長島彬が再発明し、日本から世界へ普及した経緯を持つ技術である。現在、中国では大規模なメガ級の大規模施設を中心に展開されている⁽³⁰⁾し、韓国でも、実証試験が進展するとともに、積極的な導入が政策的に推進されている。また、アフリカでも乾季にポンプの電源として使い、作物の収穫回数を増やせるなどとして注目されている⁽³¹⁾。今後のソーラーシェアリング普及のために世界の中で日本の果たす役割は、限られた土地を効率利用して営農活動と発電事業のより大きな相乗効果を狙うなど風土の特色を生かし、さらには世界各地で応用可能なよう多様な研究開発を進めることであろう。

注

- 注1 英語名は“Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems”(略称:Fraunhofer ISE)である。
- 注2 フラウンホーファー太陽光エネルギーシステム研究所では、2010年代に再びソーラーシェアリングに関する研究が進展し、実証試験が行われた。
- 注3 農林水産省農村振興局長通知「支柱を立てて営農を継続する太陽光発電設備等についての農地転用許可制度上の取扱いについて」(2013年3月31日付24農振第2657号)による。
- 注4 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5 FITとは“Feed-In Tariff”の略である。
- 注6 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7 対象となる再生可能エネルギーは、太陽光、風力、中小型の水力、地熱、バイオマスである。
- 注8 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等の一部を改正する法律」で、2016年5月25日成立、2017年4月1日施行である。
- 注9 正式名称は「再生可能エネルギー電気の利用の促進に関する特別措置法」で、2020年6月5日成立、2022年4月1日施行である。
- 注10 FIPとは“Feed-In Premium”の略である。
- 注11 地域活用要件設定の対象としては、小規模事業用太陽光発電の他、小水力発電・小規模地熱発電・バイオマス発電も検討されている。
- 注12 農地転用の許可権者は、都道府県知事又は農地法で指定する市町村の長である。
- 注13 提言において、スマートビレッジは日本全国の農山漁村で長期的に整備する必要があるが、東日本大震災で被害を受けた東北地方の農山漁村で先行導入するべきとしている。
- 注14 「スマートグリッド」は、「スマートコミュニティ」や「スマートビレッジ」と、厳密には意味するものが異なる。スマートグリッドは単に電力供給網をスマート化したものであり、スマートコミュニティ・スマートビレッジは電力供給側と需要側の双方のスマート化を目指すものである。
- 注15 「栃木版スマートビレッジモデル」では、当初の計画では電力源や熱源としてバイオマスエネルギーを利用する予定であったが、実施しなかった。
- 注16 EMSによるIoT家電の制御は、従来は使用者がこまめに確認して手動で行う必要があった。しかし現在では、専用装置を分電盤につないで家電や発電設備などの使用データを収集し、外部のサーバーに送信され蓄積されたデータをAIが分析・学習(深層学習)することで、使用者に合った効率的な運転に自動制御できるようになった。
- 注17 EMSの他の機能として、災害時は電気機器の使用に優先順位を付けて節電することで、停電をさせることなく復旧を待つことができる。
- 注18 ネガワット取引とは逆で、需要を創出するDRもある。例えば、太陽光発電などの再生可能エネルギーの出力抑制が必要な時に、地域内のエコキュートが一斉に湯を貯めるなどする。
- 注19 産学官連携では、産業界として(株)中川水力・(株)東光高岳・日産自動車(株)・AECS(株)が、研究機関として宇都宮大学農学部が、そして地方自治組織としては栃木県農政部農村振

興課，関係する土地改良区また市町担当者が参加した。

注20 従来，長野県のはほぼ全域を管轄してきたのは中部電力で，同社の仮想蓄電池サービスに当たるのが「再エネスマートプラン」である。

注21 大町地域では，地域の冷涼な気候を生かして，2013 年から陸ワサビを栽培している。

注22 太陽光発電モジュールは，高温になると発電効率が低下する性質がある。

注23 V2H/VtoH とは“Vehicle to Home”の略で，電動車のバッテリーに蓄えた電気を家庭で利用するシステムのことをいう。

注24 町川発電所の近くの屎尿処理施設である「クリーンプラント」へ送電し，電源の 1 つとして利用している。

参考文献

- (1) 成耆政，須澤和広，「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—」，『教育総合研究』，3(2019)，松本大学，pp.60-62.
- (2) Goetzberger & A.Zastrow, “On the Coexistence of Solar-Energy Conversion and Plant Cultivation”, *International Journal of Solar Energy*, Vol.1, Issue1(1982),pp.55-69.
- (3) スマートジャパンウェブサイト，ソーラーシェアリング入門(17)，「世界初のソーラーシェアリング国際学会，その中で見えてきた日本の課題とは」，
<https://www.itmedia.co.jp/smartjapan/articles/1908/08/news023.html> (2020 年 12 月 23 日閲覧).
- (4) 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(2015)，p.36.
- (5) 成耆政，須澤和広，「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—」，『教育総合研究』，3(2019)，松本大学，p.67.
- (6) 農林水産省食料産業局，「営農型太陽光発電について」，(2020)，p.2.
- (7) 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(2015)，p.2.
- (8) 農林水産省食料産業局，『営農型発電について』，(2019)，p.3，
<http://www.maff.go.jp/j/shokusan/renewable/energy/attach/pdf/einou-22.pdf> (2020 年 9 月 7 日閲覧).
- (9) 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)』，
<http://www.maff.go.jp/j/shokusan/renewable/energy/attach/pdf/einou-15.pdf> (2020 年 9 月 8 日閲覧).
- (10) 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.
- (11) 経済産業省資源エネルギー庁，『令和元年度エネルギーに関する年次報告(エネルギー白書 2020)』，2020 年国会報告，p.141.
- (12) 経済産業省資源エネルギー庁ウェブサイト，「なっとく！再生可能エネルギー 再エネ特措法改正関連情報」https://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/saiene/kaitori/FIP_index.html (2020 年 12 月 28 日閲覧).

- (13) 木舟辰平,『最新電力システムの基本と仕組みがよくわかる本(第2版)』, 秀和システム(2020), pp.118-119.
- (14) 「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』, 2019年6月12日号.
- (15) 経済産業省資源エネルギー庁, 第50回調達価格等算定委員会資料1「地域活用要件について」(2019年11月付), p.11, https://www.meti.go.jp/shingikai/santeii/pdf/050_01_00.pdf/(2021年1月13日閲覧).
- (16) 農林水産省, 30農振第78号農村振興局長通知「支柱を立てて営農を継続する太陽光発電設備等についての農地転用許可制度上の取扱いについて」(2018年5月15日付).
- (17) 農林水産省, プレスリリース:「営農型太陽光発電設備の設置に係る農地転用等の取扱いについて」添付資料1-1(「営農型発電設備の農地転用許可上の取扱いの変更について」)(2018年5月15日付), https://www.maff.go.jp/j/press/shokusan/r_energy/attach/pdf/180515-6.pdf/(2020年12月24日閲覧).
- (18) 農林水産省, プレスリリース:「営農型太陽光発電設備の設置に係る農地転用等の取扱いについて」(2018年5月15日付), https://www.maff.go.jp/j/press/shokusan/r_energy/180515.html(2020年12月29日閲覧).
- (19) 倉阪秀史, 「ソーラーシェアリング全国調査結果報告書から」『公共研究』15(2019), pp.280-297.
- (20) European Commission “EU action for Smart Village” (2017), pp.1-8.
- (21) 東日本大震災復興構想会議, 『復興への提言～悲惨のなかの希望～』, (2011), pp.33-34.
- (22) 農林水産省農村振興局, 「平成23年度第2回農業農村振興整備部会 資料3 農業農村整備をめぐる情勢と課題について(6)」, https://www.maff.go.jp/j/council/seisaku/nousin/bukai/h23_2/pdf/data3-6.pdf/(2021年1月8日閲覧).
- (23) 栃木県農政部農村振興課, 『栃木版スマートビレッジモデル研究事業及び形成事業の概要(結果)』, (2018), p.1.
- (24) 関東農政局ウェブサイト, 「5.再生可能エネルギーの活用【神流川沿岸農業水利事業とは?】」, <https://www.maff.go.jp/kanto/nouson/sekkei/kokuei/kanna/gaiyo/05.html/>(2021年1月8日).
- (25) 「EMS」, 『日本大百科全書(ニッポニカ)』, 小学館(2019).
- (26) 山川文子, 『トコトンやさしい省エネの本』, 日刊工業新聞社, (2011), pp.114-115.
- (27) 木舟辰平, 『最新電力システムの基本と仕組みがよくわかる本(第2版)』, 秀和システム(2020), pp.152-153.
- (28) 栃木県農政部農村振興課, 『栃木版スマートビレッジモデル研究事業及び形成事業の概要』, (2018), p.2.
- (29) 大町市役所公式ウェブサイト, 「大町市地域新エネルギービジョン報告書」, <https://www.city.omachi.nagano.jp/00038000/00038100/00038170/00038171.html/>(2021年1月15日閲覧).

- (30) マッキンエナジー ジャパンウェブサイト, 「中国のソーラーシェアリングと日本のソーラーシェアリングの違い」, <https://mackin-energy.co.jp/blog/> (2021年1月20日閲覧).
- (31) 「ソーラーシェアリングが世界に羽ばたく技術へ」, 『シティライフ市原版』, 2018年10月26日付, <https://www.cl-shop.com/citylife/ichihara/2018/10/26/26774/> (2021年1月14日閲覧).