

営農型太陽光発電の高収益農業の実証試験 報告書



令和2年3月

静岡県

はじめに

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いわゆる「営農型太陽光発電」は、平成25年3月の農地転用に係る取扱の明確化以降、一時転用許可による設置面積が増加し、静岡県では令和元年12月末時点で322件、38haとなっています。

営農型太陽光発電は、農業経営の改善、荒廃農地の解消等の効果が期待されます。その効果の発現には、営農の適切な継続と農地の上部での発電をいかに両立していくかが取組の鍵となります。

一方で、農業委員会における許可の判断材料となる、営農の適切な継続を評価するための、農作物の収量や品質についての情報が乏しい状況にあります。

そこで、県では、平成30年度から令和元年度にかけて、営農型太陽光発電に係る現地実証試験を行い、その結果についてとりまとめました。農業者、農業委員会の皆様に、営農改善や農地転用の判断に向けた参考資料として活用いただければ幸いです。

令和2年3月 静岡県経済産業部農業局農業戦略課長 遠藤 和久

表 営農型太陽光発電の静岡県内の導入状況（令和元年12月末時点 県農地利用課）

年次	許可件数	下部農地面積 a	備考
H25	6	44	〔栽培作物〕 サカキ:168件、チャ:59件、水稻:13件、ミョウガ:19件、ベリー類:13件、柑橘系9件、その他:41件、計322件 ※計は一時転用許可を継続している件数と面積であり、各年の合計とは一致しない。
H26	27	279	
H27	40	340	
H28	37	622	
H29	40	815	
H30	66	715	
R1	114	1,230	
計	322	3,771	

「営農型太陽光発電」とは

農地に支柱を立てて太陽光発電設備による発電を行いつつ、その下で作物を作り、営農を実施する仕組みのことです。

太陽光発電設備が光を全て遮らず、作物の生育に影響を与えない程度の遮光となるように配置を工夫して設置することで、農業を行いながらの発電を可能とし、土地を有効活用できます。この場合、支柱の基礎部分について農地の一時転用許可が必要となります。

平成25年3月に、一定の条件を満たす場合に、支柱の基礎部分について一時転用を許可する制度が定められました。制度開始当初は3年毎更新でしたが、平成30年10月以降は、所定の条件を満たす場合に限り、10年毎更新となりました。

一時転用許可に当たり、

- ・ 営農の適切な継続(収量や品質の確保等)が確実か
- ・ 農作物の生育に適した日照量を保つための設計となっているか
- ・ 支柱は、効率的な農業機械等の利用が可能な高さ(最低地上高2m以上)となっているか
- ・ 周辺農地の営農に支障が生じないか

等のチェックが必要であり、設置後も、年に1回、農作物生産に支障が生じていないか、農業委員会に報告する義務があります(著しい支障がある場合には、施設を撤去して復元することも義務付けられています)。



営農型太陽光発電の高収益農業の実証試験 報告書

目 次

		ページ
I	実証試験の概要	1
II	実証試験の内容、結果	
II-1	チャ（現地）	2
II-2	ブルーベリー（現地）	7
II-3	ブルーベリー、キウイフルーツ（研究所内）	11
II-4	結果の概要と総合考察	19
III	県内の営農型太陽光発電の事例	21
IV	実証試験に対する専門分野からの評価	24
V	営農型太陽光発電に係る農地法上の手続き	30
VI	導入にあたっての留意点	31

I 実証試験の概要

1 実証試験の目的

営農型太陽光発電設備の設置が進む一方で、発電設備下での農作物の収量及び品質への影響等に関する情報が少ないことから、農業委員会による一時転用許可の判断材料が乏しい状況にあります。そこで、本県特産物の中で、営農型太陽光発電に適すると想定される品目について実証試験を行い、その成果を、営農改善や、農地の一時転用許可の判断のための参考資料として活用します。

2 実証試験の概要

- 本県特産物の中で、営農型太陽光発電の高収益農業に適すると想定される3品目（チャ、キウイフルーツ、ブルーベリー）について、実証試験を行いました。品目選定の背景及び特性は下表のとおりです。

表 実証に取り組む背景、品目の特性

	チャ	キウイフルーツ	ブルーベリー
品目選定の背景	<ul style="list-style-type: none"> 需要動向を踏まえ、高付加価値の茶やドリンク原料茶等への生産転換が図られています。 抹茶原料の「てん茶」生産に必要な遮光棚として併用が可能で、改植などと併せて設備導入が進む可能性があります。 	<ul style="list-style-type: none"> 国産品と輸入品により周年供給されており、消費者に好評です。 栽培棚を設置するための初期費用が高いことが課題のため、発電設備と併用することで初期費用の早期回収の可能性がります。 	<ul style="list-style-type: none"> ハウスみかんからの転換や、荒廃農地への導入が進んでいます。 施設栽培では、早期出荷による有利販売が実現しています。 ポット（鉢植え）栽培が普及し、果樹の中では比較的導入が容易です。
特性	<ul style="list-style-type: none"> 光合成能力は、晴天時の半分程度で最高値に達するとされています。 【文献】酒井慎介（1987）：茶樹の光合成ならびに物質生産に関する研究 茶試研報 22. pp.19-273. 太陽光を遮って、てん茶や玉露などの高品質茶を生産する栽培方法があり、一部の茶園で採用されています。 【文献】谷美智代（2008）：碾茶栽培の実際 茶大百科Ⅱ 農文協. pp.318-322. 	<ul style="list-style-type: none"> 原種は山間地で生育、55%遮光でも収量や品質に影響なしとされています。 日照特性は半陰性程度と推定されます。 【文献】Snelgar ら（1990）：Effect of overhead shading on fruit size and yield potential of kiwifruit (<i>Actinidia deliciosa</i>). J.Hort. Sci. 66:261-273. Snelgar ら（1992）Influence of time of shading on flowering and yield of kiwifruits vines. J. Hort. Sci. 67:481-487. 	<ul style="list-style-type: none"> 40～50%の遮光が可能なが示唆されていることから日照特性は半陰性程度と推定されます。 【文献】Moon ら（1987）：A comparison of carbon and water vapor gas exchange characteristics between a diploid and highbush blueberry. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 112:134-138. Teramura ら（1979）：Comparative Photosynthesis and Transpiration in Excised Shoots of Rabbiteye Blueberry. Hort-science 14:723-724.
県内の件数※	59 件	なし	（ベリー類として）13 件

※県内の一時転用許可件数(令和元年12月末時点)

II 実証試験の内容、結果

II-1 チャ（現地生産者ほ場での試験）



実証ほ場の状況

- ・品種「かなやみどり」の成木園
- ・栽培管理：設備設置当初は、有機てん茶を生産していたが、うねの向きを変えるための刈り込みなどの作業を加えたこともあって、樹体の生育を整えるため、現在は普通煎茶を生産しています。

発電設備の状況

設置場所（市町名）	島田市
設置年度	平成 27 年
下部面積	462 m ²
発電出力	22 kW
遮光率	50 %
天井までの高さ	2.8 m
支柱間隔	3.0 m
施設面積	4.6 a

設計の考え方(生産者から聞き取り)

- ・園地の立地条件などから、茶の生育が遅く、茶生産の収益が少ない場所で、売電による副収入を確保するため、この場所を選定しました。また、他の生産者の園地が隣接しておらず、強風の被害などが比較的発生しにくいと思われる場所としました。
- ・可搬型摘採機での管理に支障の無い高さを確保しました。支柱がうねの間になるよう配置しました。

1 発電設備が環境に及ぼす影響

(1) 方法

- ア 試験場所と供試品種：島田市、「かなやみどり」
- イ 試験方法：上空に太陽光パネルがある茶園とない茶園において、気象環境と茶の収量・品質を調査し、両者を比較検討しました（図1）。
- ウ 試験規模：太陽光発電設備設置区 462 m²、対照区 20 m²、反復無し
- エ 調査項目とその方法：
 - ・光合成光量子束密度（PPFD）：平成 30 年 11 月 29 日、APOGEE 製 SQ300 のセンサー部分を樹冠上になるよう地上 1 m 程の高さに設置し 1 分間隔で測定しました。（2 反復、調査期間：平成 30 年 11 月 29 日～令和元年 11 月 30 日）
 - ・正味放射量：平成 30 年 12 月 19 日、クリマティック製 CPR-NR-LITE2 のセンサーを樹冠上になるよう地上 1 m 程の高さに設置し 10 分間隔で測定しました。（反復無、調査期間：平成 30 年 12 月 19 日～令和元年 6 月 30 日）
 - ・成葉の葉温：平成 31 年 1 月 29 日、ティアンドデイ製 RTR-502 のセンサー部分を成葉の裏にセロハンテープで固定し、10 分間隔で測定しました。（2 反復、調査期間：平成 30 年 12 月 19 日～令和元年 6 月 30 日）

オ 測定項目の説明

- ・茶園上空に太陽光パネルを設置すると、太陽光の遮断によって光合成による物質生産の低下が危惧されます。このため、太陽光の光量子束密度の変化に着目しました。ただ、太陽光全ての波長が光合成に関与しているわけではないので、光合成に有効な波長に限定した「PPFD」に注目しました。

- ・ チャ栽培において、気象条件のなかで最も生産量に影響するのは、放射冷却（植物温度が気温よりも大幅に低下する）による凍霜害です。茶園内の放射を因る手段として、下向きの放射と、上向きの放射の差である「正味放射量」の測定が最も有効と考えられます。

(2) 結果及び考察

- ・ 茶園内を動画カメラで撮影したところ、太陽光パネル下に影が確認されましたが、時刻の経過とともに影が動いていく現象が認められました（図2）。
- ・ 降霜があり、終日晴天であった平成 31 年2月1日の環境を調査した結果、昼間では、太陽光パネル下の影となっている時間帯にかぎって、太陽光パネル下の「PPFD」と「正味放射量」が、対照より低いことが確認されました。また、夜間では、太陽光パネル下の正味放射量と葉温が、対照より高く推移しました（図3）。これは、太陽光パネルによって、地表方向からの熱放射が発生しにくくなるためと考えられます。
- ・ この結果より、太陽光パネル下は凍霜害が発生しにくいと考えられました。

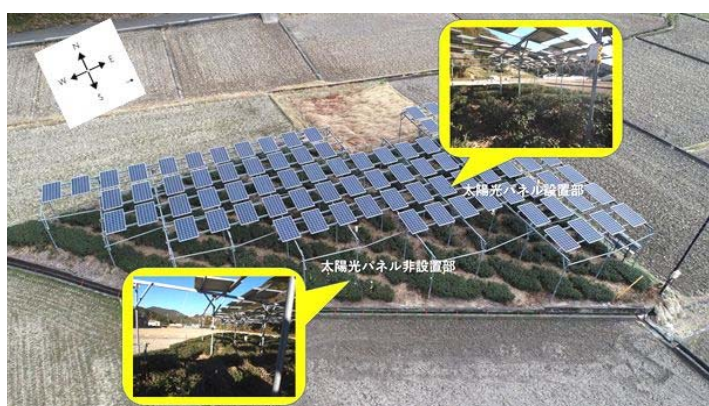


図1 太陽光発電設備と気象観測機器の設置状況



図2 太陽光発電設備の影

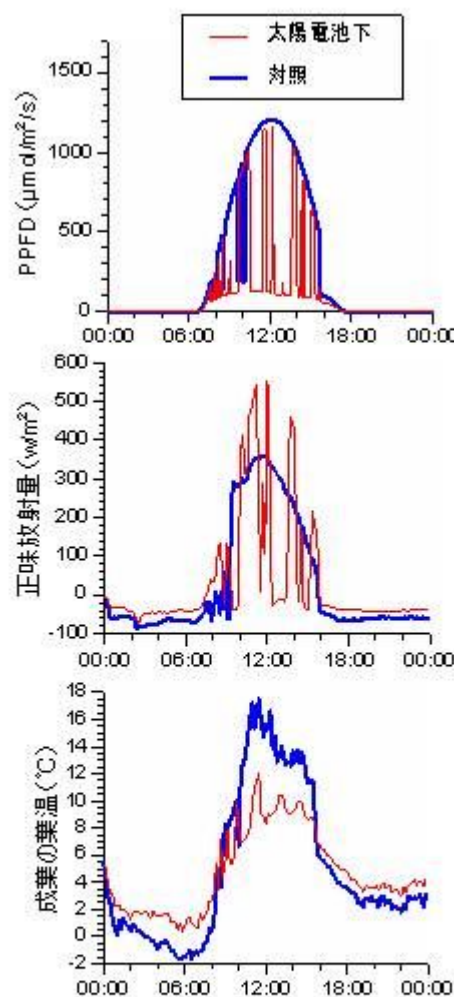


図3 太陽光発電設備の有無が2月1日のPPFD（上）、正味放射量（中）、成葉温度（下）に及ぼす影響

2 発電設備が農作物の収量・品質に及ぼす影響

(1) 方法

ア 調査項目とその方法

萌芽期の調査：平成31年4月上旬、週2～3回、各区の萌芽期を調査しました。

新芽の生育調査：一番茶では、令和元年5月2日に20cm×20cmの枠摘みを行いました（各日、1区4枠）。二番茶では、令和元年6月28日に20cm×20cmの枠摘みを行いました（1区8枠）。

(2) 結果及び考察

- ・ 今回、対照区の面積が狭く、うねの長さ5mを収穫して求める、通常の収量調査の手法はできませんでした。このため、樹冠面に20cm四方の枠をおいて、枠内の新芽を、通常の摘採と同じ高さで刈り取る手法を採用しました。枠内の新芽重、新芽数、百芽重（1新芽あたり重量×100）などを求め、乾燥後に、新芽の全窒素含有率を燃焼法で推定しました。
- ・ 太陽光発電設備下の萌芽期（一番茶芽の生育開始）は、平成31年4月9日で、対象と比較し7日間早く萌芽がありました（表1）。令和元年5月2日に実施した、20cm四方の枠摘み調査では、太陽光発電設備下の新芽の生育が早く、新芽重がわずかに大きくなることが確認されました（表1）。
- ・ チャの新芽は、生育が進むほど重量は増加しますが、その反面、品質に影響する、全窒素含有率が低下することが明らかにされています。太陽光発電設備下の新芽は、全窒素含有率が低く、生育が早まっていることが裏付けられました。一番茶は、摘採が早いほど高額で市場取引されるため、全窒素含有率が高い状態で早期摘採すれば、現状よりも増益を招くと考えられます。
- ・ 二番茶では、外見上は、試験区間でほぼ差が無いように見受けられましたが、太陽光発電設備下の新芽重は、対照よりも若干小さくなりました（図表省略）。もっとも、二番茶の価格は、一番茶よりもかなり安価なため、太陽光発電設備下での一番茶の増収・増益の影響が、経営に及ぼす効果は大きいと考えられました。

表1 営農型太陽光発電設備の有無が一番茶の枠摘み調査（20cm×20cm）に及ぼす影響

試験区	萌芽期	摘採日 (調査日)	新芽重 g	新芽数 本	百芽重 g	出開き度 %	窒素含有率 d. w. %
太陽光発電設備下	4/9	5/2	15.6	29	54.4	45	5.5
対照	4/16		12.7	34	37.7	15	6.0

d. w. : 乾燥重量

3 発電設備が作業性に及ぼす影響

- ・ 茶園上空に太陽光発電設備を設置する場合、摘採や整せん枝などの管理作業では、茶樹と支柱の接触部を避けながら作業しなければならないことが課題です。
- ・ 茶樹の新植、改植とあわせて、設備を設置する場合には、作業性への配慮が可能ですが、実証ほ場においては、成木園に発電設備を導入したことから、支柱との接触部分が多く、作業に支障が発生してしまいました（図4）。



図4 摘採作業時の支柱の影響

- そこで、茶樹と支柱が接触する部分をできるだけ減らすため、園主が茶樹を刈り込み、うねの向きを変更したことから、変更前に比べて作業性は大幅に改善されました。このような工夫を取り入れることで設備の影響を小さくすることができると考えられました（図5）。



変更前(平成30年4月)



変更後(令和元年6月)

図5 茶園のうね向き変更の状況

4 経営への効果の試算

太陽光発電設備を導入し、FIT 売電する場合の収支を試算しました。

(1) 前提条件

- 生産者からの聞き取り、及び統計資料等の数値を用いました（表2）。
- 実証区では、一番茶を早期に収穫することで増益を招く可能性があることが示唆されましたが、1回のみでの調査であることから、今回の試算では、設備の有無による生産物の増益や減益はないことを前提としました。

表2 前提条件 (品目：チャ)

項目	単位	備考	項目	単位	備考
発電設備設置面積	4.6	a	—		
設備費	8,433	千円	聞き取り	—	
うち発電設備	8,433	千円	聞き取り	農業収入	90 千円/年
光熱費	36	千円/年	聞き取り	農業経費	20 千円/年
修繕費	10	千円/年	聞き取り	発電容量	22.2 kW
支払利息	2	%	聞き取り	売電単価	32 円/kWh
設備償却年数	17	年	法定耐用年数	売電収入※	881 千円/年

※売電収入は平成30年6月～令和元年5月実績

(2) 試算の結果

- ・ 10 aあたり農業所得は、慣行の160千円に対して、営農型太陽光発電と組み合わせた実証区では700千円と、540千円の増となりました(表3)。

表3 収支試算結果(チャの現地実証 単位:千円/10a)

試験区	実証	慣行
収入	農業部門	200
	売電部門	1,910
	収入計	2,110
支出	農業部門	40
	売電部門	
	施設償却費	1,080
	光熱費	80
	修繕費	20
	支払利息	190
	支出計	1,410
収支 収入-支出	700	160

5 考察

(1) 実証技術の結果、成果等

- ・ 茶園上空に設置された太陽光発電設備の影は、環境を著しく変化させましたが、低温時の葉温が高まることで、凍霜害が発生し難くなるとともに一番茶芽の生育を早めました。

(2) 普及の見込み

- ・ 太陽光発電設備の設置により、一番茶の減益を招く危険は小さいと考えられます。

6 参考 営農型太陽光発電に取り組む農業者(実証試験協力者)のコメント

- ・ 太陽光パネル下では、霜がおりにくいことを実感しています。太陽光パネルを、防霜ファンの代わりとして考えれば、電気代も抑えられ、逆にFIT売電による収入があり、初期投資の回収が見込まれることから、発電設備の導入の価値はあったと考えています。
- ・ パワーコンディショナーが正常に運転しているか、こまめに点検しています。
- ・ 強風時に設備の破損が起こりうるため、万全の対策が必要です。
- ・ 設備を導入した時期と比較して、現状は、茶価やFIT単価が変動しているため、今後の営農型太陽光発電の導入に当たっては、慎重な判断が必要と思います。
- ・ 今後、設備を導入する場合には、FIT制度等の情勢を見ながら、設備投資の初期費用の低減や、電力の自家消費など、売電のみに頼らない方法の導入が考えられると思います。
- ・ ただし、自家消費のための蓄電池は投資コストが高く、畑での電力消費量は多くはありません。自宅近くに設置し消費するなら、導入を一考できるかもしれません。

II-2 ブルーベリー（現地生産者ほ場での試験）



実証ほ場の状況

- ・IoTを活用した環境制御を実施

発電設備の状況

設置場所（市町名）	磐田市	
設置年度	平成30年	
下部面積	79.7	m ²
発電出力	13.4	kW
遮光率	高密度区	34 %
	低密度区	22 %
天井までの高さ	3	m
支柱間隔	4	m
施設面積	7.2	a

太陽光パネル：1.67 m²/枚、設置高さ3m、角度20度

設計の考え方(生産者から聞き取り)

発電設備の支柱等を利用した無加温施設栽培

1 発電設備が環境に及ぼす影響

(1) 方法

ア 試験場所と供試品種：磐田市 ブルーベリーポット栽培‘クライマックス’8年生

イ 試験方法：施設の屋根上に太陽光パネルが設置されたビニールハウス内で、太陽光パネルの設置密度が異なる3区に調査樹を3樹ずつ配置しました。対照区は屋根上にパネルのないハウス南東部分に設定しました。

遮光率（面積から算出）	パネル高密度区：34%
	パネル低密度区：22%

ウ 調査項目とその方法

日射量：光量子計SQ300（APOGEE製）を用いて測定し、光量子束密度を算出しました。センサーは地上1mの高さに、パネル高密度区とパネル低密度区にそれぞれ1箇所、対照区に2か所設置しました。測定は平成31年1月8日から行いました。測定間隔は1分（3月18日～4月4日までは10分）としました。（調査期間：平成31年1月8日～令和元年8月2日）

(2) 結果及び考察

- ・ハウス内では、晴天日に太陽光パネルや梁、支柱の影が落ちており、ハウス内の地点によって、影のできる時刻や時間の長さが異なっていました。
- ・令和元年9月13日～9月30日の積算PPFDを比較すると、パネル高密度区では対照区の84%、パネル低密度区では88%となりました（表1）。
- ・平均気温は、パネルを設置した場所と対照区の違いはみられませんでした（表1）。

表1 パネル設置密度の異なる地点のPPFD日平均値と平均気温（9/13～30）

試験区	パネル面積比率 (%)	PPFD 日平均値	平均気温 (°C)
パネル高密度	34.2	15.6 (84) ^z	25.7 (100)
パネル低密度	21.7	16.2 (88)	25.6 (100)
対照	-	18.4	25.6

^zカッコ内は対照区に対する割合(%)

2 発電設備が農作物の収量・品質に及ぼす影響

(1) 方法

調査項目とその方法

開花・結実調査：開花は3月の状況、結実は5月14日に1樹につき4結果枝の結実数を調査し、結実数/全花数×100を開花率(%)としました。

収量調査：収穫は5～15日間隔で、完全着色した果実を手で摘み取って行いました。

品質調査：8月2日に採取した果実を供試しました。糖度(Brix)とクエン酸含量は10果まとめて搾汁して試料とし、各区糖度は5反復、クエン酸含量は3反復で調査しました。果実重と果実径は、各区20粒調査しました。

(2) 結果及び考察

- 3月18日の調査では、対照区に比べてパネル高密度区の開花率が低くなり、開花が遅れていることが分かりました(表2)。3月27日にはどの区も開花率がほぼ100%となりました。その後の果実の着色にも、数日程度の遅れが観察されましたが、収穫時期の大きなずれはありませんでした。
- 収量は、対照区と比べて、パネル高密度区、パネル低密度区で、減少は見られませんでした(表3)。また、果実品質(糖度、クエン酸含量、果実径、果実重)についても、低下はみられませんでした(表3)。

表2 現地実証ほ場の3/18時点の開花状況

試験区	小花数 (個/1結果枝)	開花率 (%)
パネル高密度	42	31 b ^y
パネル低密度	47	36 ab
対照	56	61 a
分散分析 ^z	n. s.	*

^z*は危険率5%で有意差あり、n. s. は有意差なし ^yTukeyの多重比較により異符号間で5%危険率で有意差あり

表3 現地実証ほ場のブルーベリーの収量および果実品質

試験区	収量 (g/樹)	糖度 (Brix)	クエン酸 含量 (%)	果実径 (mm)	果実重 (g)
パネル高密度	1225.5	14.0	0.28	14.0	1.5 a ^y
パネル低密度	1029.3	14.1	0.39	13.4	1.3 b
対照	738.4	13.8	0.36	13.8	1.4 ab
分散分析 ^z	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	*

^z*は危険率5%で有意差あり、n. s. は有意差なし ^yTukeyの多重比較により異符号間で5%危険率で有意差あり

3 作業性に及ぼす影響

- 通常の園芸用ハウスと同じ形態であり、支柱の間隔も確保されており、作業に支障はありませんでした。

4 経営への効果の試算

太陽光発電設備を導入し、FIT 売電する場合の収支を計算しました。

(1) 前提条件

- 生産者からの聞き取り及び統計資料等の数値を用いました (表4)。

表4 前提条件 (品目:ブルーベリー (無加温施設、ポット栽培))

項目	単位	備考	項目	単位	備考
発電設備設置面積	7.2	a	農産物単収	917 kg/10 a	聞き取り
設備費	16,800	千円	農産物単価	3,271 円/kg	聞き取り
うち発電設備	7,896	千円	農業収入	3,000 千円/年	聞き取り
うち発電設備以外	8,904	千円	農業経費	1,400 千円/年	聞き取り
光熱費	34	千円/年	発電容量	29.0 kW	聞き取り
修繕費	17	千円/年	売電単価	24 円/kWh	FIT 買取価格
支払利息	2	%	売電収入	881 千円/年	聞き取り
設備償却年数	17	年			

「設備のうち発電設備以外」は、被覆資材や環境計測機器、「売電収入」は平成30年6月～令和元年5月実績

(2) 試算の結果

- 10 a あたりの農業所得は、慣行の1,290 千円に対して、営農型太陽光発電と組み合わせた実証区では1,610 千円となり、320 千円の増となりました (表5)。

表5 収支試算結果(ブルーベリー (無加温施設、ポット栽培)単位:千円/10 a)

試験区	実証	慣行	
収入	農業部門	4,170	4,170
	売電部門	1,170	
	収入計	5,340	4,170
支出	農業部門	2,880	2,880
	売電部門		
	施設償却費	650	
	光熱費	50	
	修繕費	30	
	支払利息	120	
	支出計	3,730	2,880
収支	収入－支出	1,610	1,290

5 考察

(1) 実証技術の結果、成果等

- ・ 太陽光発電設備下でのポット栽培のブルーベリーでは、収量や果実品質が低下することは確認されませんでした。
- ・ 開花時期や収穫時期については遅れる傾向がみられましたが、経営への影響はほぼないと考えられました。

(2) 普及の見込み

- ・ 収量や品質の確保に留意し、農業収入を安定させることが重要と考えられます。普及にあたっては、既存のハウスや設備を活用して設備費を抑制したり、発電電力を自家消費したりするなど、営農の方法に合わせたモデルづくりが必要になると考えられます。

6 参考 営農型太陽光発電に取り組む農業者（実証試験協力者）のコメント

- ・ 太陽光パネルが上空にあることで、特に夏場の、ハウス内の温度上昇がある程度抑えられ、高温障害が発生しにくくなっていると感じます。
- ・ 生育や収量に関しても、今のところ問題なく、予定どおりの結果が得られており、ブルーベリー栽培と営農型太陽光発電の相性は良いと思われれます。

II-3 ブルーベリー、キウイフルーツ（県果樹研究センター内ほ場での試験）



キウイフルーツ園への発電設備の設置状況



ブルーベリー(ポット栽培)試験の状況

発電設備の状況

設置場所（市町名）	静岡市清水区	
設置年度	平成 31 年	
下部面積	79.7	m ²
発電出力	13.4	kW
発電電力	13,425	kWh/年
遮光率	36	%
天井までの高さ	3	m
支柱間隔	4	m
設置面積	2.56	a

パネル面積 79.7 m²、支柱本数 25 本

パネル設置高さ 3m、パネル傾斜角 10 度

パネル方位角 南 0 度

（備考）

- ・キウイフルーツ（品種名ヘイワード、静岡ゴールド）園地内、既存のキウイ用の支柱と棚（格子状に張った番線）の上空に、発電設備を設置しました。
- ・ブルーベリー（品種名ペンダー、ブライトウェル、バルドウィン）の鉢を発電設備下に配置し調査しました。

1 発電設備が環境に及ぼす影響

(1) 方法

太陽光発電設備の下で、パネルや架台等の影の影響がある場所を調査区、設備南側の露天の場所を対照区として調査を行いました。

ア 調査項目と方法：日射量(PPFD)、気温

測定間隔 1 分として、令和元年 6 月 20 日から測定を開始。

日射センサーは、Si フォトダイオード S1133（浜松ホトニクス）を用いて地上 1 m 程の高さに設置しました。測定電圧を、ほ場内に既設の光量子計 KDC-S11-PAR01-10（TAMAYA）の測定値をもとに、下式により PPFD に換算しました。PPFD ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$) = 測定値 (mV) × 25.79（調査期間：令和元年 6 月 20 日～9 月 24 日）

(2) 結果及び考察

- ・ 発電設備下では、晴天時に太陽光パネルや架台などの影が地上に落ちていることが確認できました（図 1）。また、影は一日の中で刻々と位置を変えているのが観察されました。
- ・ 発電設備の設置下で、真上に太陽光パネルのある場所とない場所を、調査対象とし、発電設備の外を対照区として、日射量と温度を調査しました（図 2）。
- ・ 一日を通して晴れて、代表的な晴天日となった 6 月 25 日では、PPFD は、対照区で山なりに推移したのに対し、発電設備下では大きく低下する時間帯がありました。また、パネル直下とパネル間の地点で、PPFD が低下する時間帯が異なっていました（図 3）。
- ・ PPFD の令和元年 7 月～9 月の日平均値は、発電設備下で対照区の約 40～60%に減少しました（表 1）。気温は、発電設備下と対照区間で、推移の違いや、温度差はほぼみられませんでした（図 4）。



図1 ほ場に落ちるパネルの影



図2 センサー設置地点

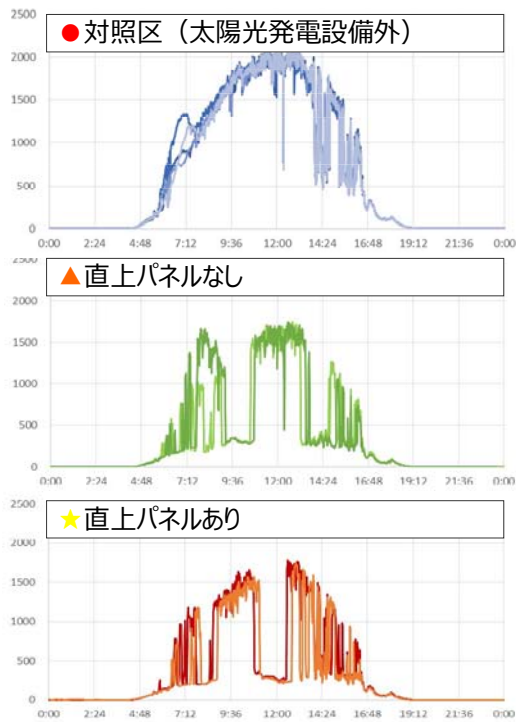


図3 営農型太陽光発電設備の有無が6月25日のPPFDに及ぼす影響

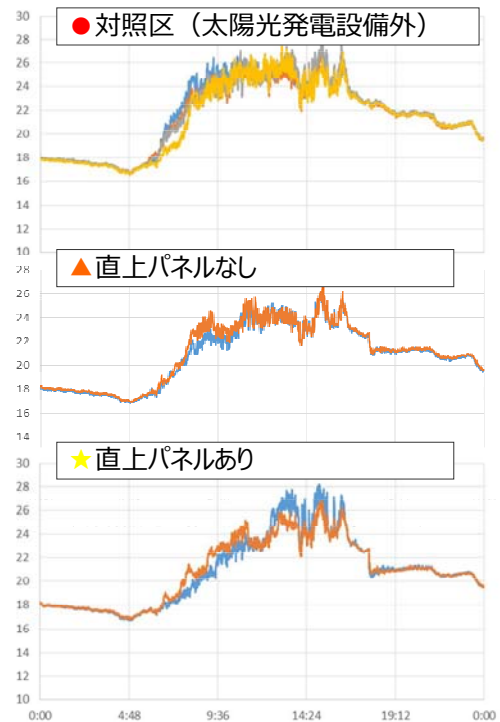


図4 営農型太陽光発電設備の有無が6月25日の気温に及ぼす影響

表1 営農型太陽光発電設備下の7～9月のPPFD日平均値(2019年)

試験区	センサー 高さ	1日あたりPPFD平均値 (mol/m ² /day)		
		7月	8月	9月
直上パネルなし	1m	13.1 (58) ²	21.6 (54)	16.0 (48)
直上パネルあり	1m	12.4 (54)	22.2 (55)	16.3 (49)
直上パネルなし	2m	11.0 (48)	16.9 (42)	17.6 (53)
直上パネルあり	2m	11.1 (49)	15.3 (38)	14.7 (45)
対照	2m	22.8	40.4	33.0

²()内は対照区に対する割合 (%)

(注) 電源不足や断線などで、令和元年7月9日～12日、25日～28日、8月15日～21日、9月25日～31日は欠測

2 発電設備が農作物の収量・品質に及ぼす影響

① ブルーベリー

(1) 方法

- ア 供試品種：‘ペンダー’、‘ブライトウェル’、‘バルドウィン’ 8年生
- イ 試験構成：果樹研究センター内ほ場の発電設備の下で、パネルや架台等の影の影響がある場所を調査区とし、設備南側の露天の場所を対照区として、平成31年4月2日にポットを配置しました。
- ウ 調査内容：着花数は4月23日～5月8日に、結実数は5月15日～28日に、1樹につき結果枝4本について調査しました。結実率(%)は、結実数/着花数×100で求めました。収穫は6月11日から、週に1～2回行いました。糖度(Brix)とクエン酸含量について、各品種の収穫時期の中盤に、10果をまとめて搾汁して試料とし、1樹につき3反復で調査しました。果実重、果実径は1樹につき20粒調査しました。

(2) 結果及び考察

- ・ 着花数、結実数、結実率に差はみられませんでした(表2)。
- ・ 収穫時期は、数日遅れる品種がみられたものの、大きな差はみられませんでした(表3)。
- ・ 収量は、対照区に比べて大きな減少はありませんでした。果実品質(糖度、酸含量、果実重、果実径)も対照区と差はみられませんでした(表3)。
- ・ 収穫期間中の、累積収量割合をみると、発電設備下では対照区より低く推移しており、収穫がやや遅れる傾向があることが分かりました(図5)。

表2 営農型太陽光発電設備の有無がブルーベリーの着花と結実に及ぼす影響

品種		着花数 (花/樹)	結実数 (果/樹)	結実率 (%)
ペンダー	太陽光発電設備下	177.5	145.8	82.1
	対照区	152.0	113.3	74.6
	分散分析 ^z	n. s.	n. s.	n. s.
ブライトウェル	太陽光発電設備下	195.3	117.2	60.0
	対照区	207.3	139.7	67.4
	分散分析 ^z	n. s.	n. s.	n. s.
バルドウィン	太陽光発電設備下	242.3	113.7	46.9
	対照区	279.5	141.0	50.4
	分散分析 ^z	n. s.	n. s.	n. s.

^zn. s. は有意差なし

表3 営農型太陽光発電設備の有無がブルーベリーの収量と品質に及ぼす影響

品種	試験区	収穫 開始 ^y	収穫 終了	収量 (g/樹)	糖度 Brix	酸含量 (%)	果実重 (g)	果実径 (mm)
ペンダー	太陽光発電設備区 ^z	6/11	7/11	1194	11.7	1.0	1.2	13.1
	対照区	6/11	7/11	638	12.0	1.0	1.2	13.2
	分散分析 ^x	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.
ブライトウェル	太陽光発電設備区 ^z	7/9	8/19	1546	10.6	0.7	1.7	15.0
	対照区	7/8	8/14	1815	10.2	0.5	1.7	15.0
	分散分析 ^x	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.
バルドウィン	太陽光発電設備区 ^z	7/19	8/25	2027	12.0	0.7	2.2	15.9
	対照区	7/16	8/22	2152	11.1	0.7	2.2	16.3
	分散分析 ^x	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.

^z 4/2 に太陽光発電設備下にポットを配置

^y 各区10粒以上採れ始めた日

^x n. s. は有意差なし

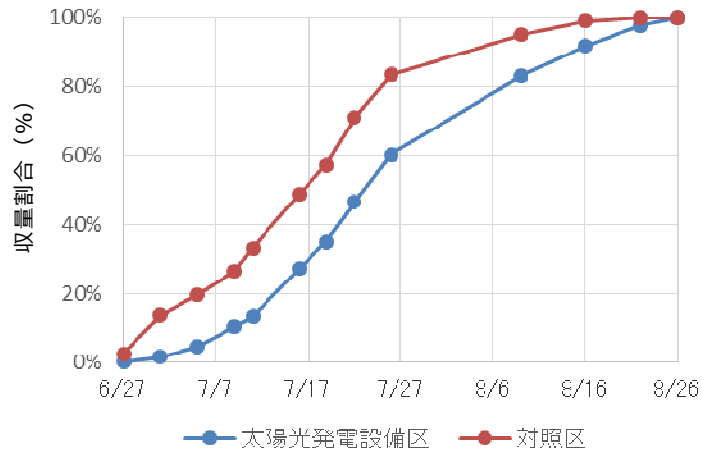


図5 ブルーベリーの累積収量割合の推移 (品種: ブライトウェル)

② キウイフルーツ

(1) 方法

- ア 調査樹：2品種‘静岡ゴールド’8年生、‘ヘイワード’3年生
- イ 調査項目：県果樹研究センター内ほ場の一部に営農型太陽光発電施設を設置し、発電施設下の樹と無被覆の樹について比較しました。
- 生育調査：発芽日、発芽率、開花日（2分咲き、5分咲き、満開日）、着花数（中心花、側花）、結実率、収量、果実重
- 品質調査：病害虫等発生割合（軟腐病、カイガラムシ、傷・汚れ、日焼け果）、果実品質（追熟前および追熟後の果肉硬度、糖度、クエン酸含量）、果皮色、果肉色
- ウ 調査規模：‘静岡ゴールド’は営農型太陽光発電下 3樹 無被覆 4樹、‘ヘイワード’は営農型太陽光発電下及び無被覆ともに7樹。果実品質及び果皮色は処理区より果実を8果または15果を抽出しました。

(2) 結果及び考察

- ・ 発電設備下では、発芽日および開花日が数日遅れることが確認されましたが、着花数、結実率、果実重で対照との差はなく、収量の減少は確認されませんでした（表4、表5）。
- ・ 発電設備下では、果実品質は、果肉硬度、糖度、クエン酸含量いずれも対照と差はありませんでした。果皮色は対照と比べて顕著な差がみられましたが、果肉色への影響は軽微であると判断されました（表6）。
- ・ 発電設備下では、果実軟腐病及び傷・汚れの発生が減少する一方で、カイガラムシが増加する傾向がみられました（図6）。風雨や強い光に当たることが少なくなったためと考えられます。

表4 営農型太陽光発電設備の有無がキウイフルーツの発芽日、発芽率、開花日、着花数及び結実率に及ぼす影響

品種	試験区	発芽日 ^z	発芽率 ^y (%) ^v	開花日			着花数 ^x		結実率(%) ^w
				2分	5分	満開	中心花	側花数	
静岡ゴールド	太陽光発電下	3/24	61.4	5/3	5/7	5/10	6.3	3.1	95.0
	対照	3/25	57.9	5/2	5/4	5/9	5.8	4.8	96.3
	分散分析 ^v	n. s.	n. s.	n. s.	**	**	n. s.	n. s.	n. s.
ヘイワード	太陽光発電下	4/7	42.3	- ^u	- ^u	- ^u	1.0	0	- ^u
	対照	4/4	41.0	- ^u	- ^u	- ^u	1.6	0	- ^u
	分散分析 ^v	*	n. s.	- ^u	- ^u	- ^u	n. s.	n. s.	- ^u

z 全体の2割で発芽が確認できた日 y 発芽率=満開時の発芽芽数/芽数×100 x 1発芽枝当たり

w 結実率=開花30日後の結実数/中心花数×100 v **は1%水準で、*は5%水準で有意差あり、n. s. は5%水準で有意差なし 発芽率及び結実率はアークサイン変換後に検定した u 前年の台風の影響により着花が少なかったため調査できず

表5 営農型太陽光発電設備の有無がキウイフルーツ‘静岡ゴールド’の収量及び果実重に及ぼす影響

試験区	収量(t/10a) ^z	果実重(g)
太陽光発電下	1.8	78
対照	1.8	73
分散分析 ^y	n. s.	n. s.

z 収量は側枝長×0.4mで樹冠占有面積を算出し、これを10a換算（樹冠占有面積80%）した

y n. s. は5%水準で有意差なし

表6 営農型太陽光発電設備の有無がキウイフルーツの果実品質に及ぼす影響

品種	試験区	果肉硬度(kg)	糖度 (Brix)	クエン酸含量 (%)
静岡ゴールド	太陽光発電下	0.45	15.5	0.57
	対照	0.47	15.6	0.63
	分散分析 ^z	n. s.	n. s.	n. s.
〜イワード	太陽光発電下	0.56	15.9	0.72
	対照	0.54	15.7	0.79
	分散分析 ^z	n. s.	n. s.	n. s.

z n. s. は5%水準で有意差なし

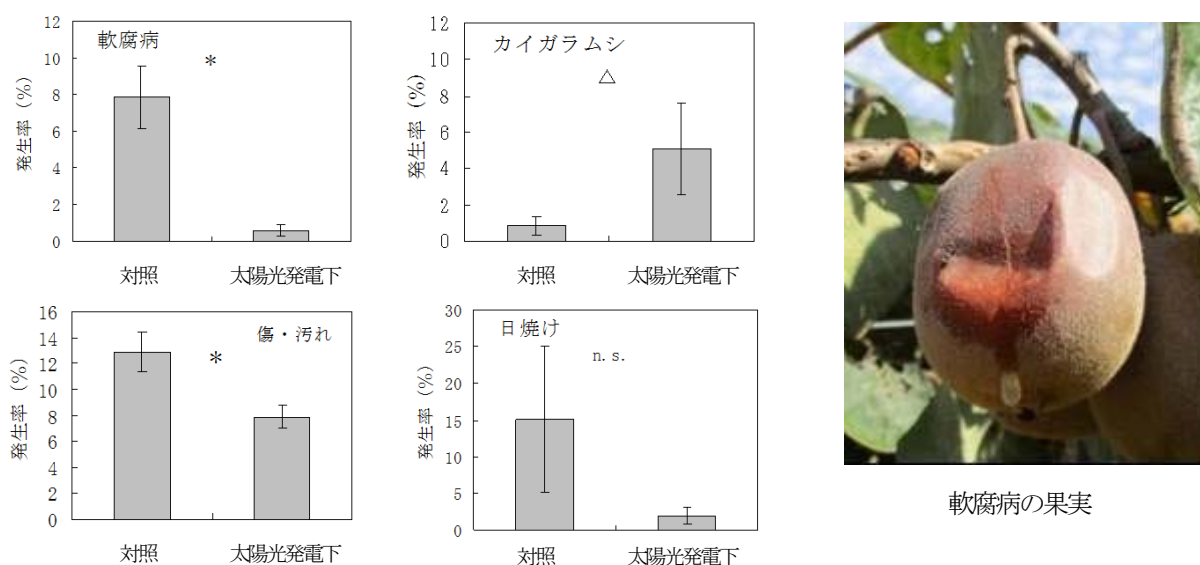


図6 営農型太陽光発電設備の有無がキウイフルーツ「静岡ゴールド」の病害虫等の発生割合に及ぼす影響
*は分散分析により5%水準で、△は10%水準で有意差あり、n. s. は10%水準で有意差なし
それぞれアークサイン変換後に検定

3 作業性に及ぼす影響

① ブルーベリー

- ・ブルーベリーの収穫時期は夏季で、特に露地栽培で真夏になります。高温下で果実を一つ一つ摘み取りをするため、作業者の負担は大きくなります。太陽光発電設備下では、パネルで直射日光が遮られるところがあり、負担が軽減されると考えられました。

② キウイフルーツ

- ・キウイフルーツの夏枝が伸びすぎて、架台や太陽光パネルに巻き付くと、発電効率の低下が危惧されるとともに、枝の除去に時間と労力がかかるため、夏枝の管理は適切に行う必要があると考えられました（図7）。
- ・トラクタの使用に関しては、太陽光発電設備下でも転回が可能で、支柱の列に沿って耕起できました。また、スピードスプレーヤの走行にも問題なく、通常のほ場と同様に農薬散布を行うことができました（図8）。

③ その他

- ・太陽光発電の自家利用方法の検討の一環で、発電した電力で充電し、自動で草刈りを行うロボット芝刈機の利用を検討しています（図8）。除草作業の軽減等が期待されます。



図7 キウイフルーツの夏枝の生育状況



図8 発電設備下での農機具の使用状況

左からトラクタ、スピードスプレーヤ(農薬散布)、ロボット芝刈機(電動：太陽光発電の電力を使用)

4 経営への効果

- ・実証ほ場の発電量について、遠隔監視システム「発電所長®Lufy」(OSTEC)によりデータを取得し、6月1日から11月29日までの発電実績を調査しました(停電等により7月10日～8月29日までは発電を停止)。
- ・合計発電量がもっとも多かったのは6月で、1332.8kWhとなり、令和元年度の固定買取単価14円/kWhで売電した場合、18,659円/月の収入となることが示唆されました(表7)。

- ・ 4か月間の発電量から、年間発電量は約 12,000kWh、売電収入はおよそ 170 千円となることが推定されました。

表7 実証ほ場における発電量実績

期間	合計発電量 (kWh)	1日あたり発電量 (kWh)			売電額 ² (円)
		平均	最高	最低	
6/1～30	1332.8	44.4	72.7	8.4	18,659
9/1～31	928.5	31.0	49.9	10.8	12,999
10/1～31	878.0	28.3	51.7	0.8	12,292
11/1～29	888.3	30.6	45.9	3.0	12,436

² 売電単価 14 円/kWh で算出

- ・ キウイフルーツでは、太陽光発電施設で使われている支柱を、果樹棚の隅柱、周囲柱、中柱と兼用することで、果樹棚の資材費を6～7割削減することが期待できます。
- ・ 太陽光発電で得た電力で、近年販売されている自走式のロボット芝刈機を使うことで、電力の自家利用とともに、除草作業の軽労化が期待できます。

5 考察

(1) 実証技術の結果、成果等

- ・ ブルーベリーのポット栽培では、発電設備下で、開花時期や収穫時期が遅れる傾向がみられましたが、収量や果実品質の低下は確認されず、経営への影響はほぼないと考えられ、慣行と同等の栽培が可能と考えられました。
- ・ キウイフルーツでは、発電設備下で、収量や果実品質の低下は確認されませんでした。発電設備下で、樹や果実が風雨にさらされにくくなったため、重要病害である、果実軟腐病や傷・汚れ果の発生が抑制されました。

(2) 普及の見込み

- ・ 果樹施設栽培における営農型太陽光発電では、自動灌水や循環扇などに発電電力を利用できます。しかし、ブルーベリーやキウイフルーツ栽培の場合、発電ほ場だけではすべての電力を有効利用しきれないと考えられ、普及にあたっては、自走式のロボット芝刈り機等の使用や、発電ほ場以外の施設や住宅での利用など、自家消費の方法の検討・提案が求められると考えられます。
- ・ 太陽光発電設備の支柱を果樹棚として兼用できるなど、資材費の削減が期待されます。

II-4 結果の概要と総合考察

1 チャ (遮光率 50 %、支柱の高さ 2.8m、支柱の間隔 3m)

(1) 太陽光パネル設置による作物への影響

収量、品質への影響はみられませんでした。収穫時期について、冬季の葉温の低下が抑えられ、一番茶の早期収穫が可能になる可能性があります。現地では、てん茶生産用の棚として活用され、付加価値向上にも寄与できると考えられます。

(2) 営農型太陽パネル下での農業機械の作業性

可搬型摘採機による収穫において、支柱部分をよけながらの作業は効率が低いため、支柱付近に通路を確保するなどの工夫が必要です。支柱の高さについては支障ありません。

(3) 経営評価

FIT 単価や設備費など、売電の収益性は変動しており、営農の適切な継続が、経営全体の健全性にとって重要です。

2 ブルーベリー (遮光率 22~36 %、支柱の高さ 3m、支柱の間隔 4m) ポット栽培

(1) 太陽光パネル設置による作物への影響

収量、品質への影響はみられませんでした。収穫時期が遅れる傾向がありますが、販売単価に影響を及ぼすほどの遅れではないと考えられました。

(2) 太陽光パネル下での農業機械の作業性

露地栽培、施設栽培ともに、大型機械を必要としないため、作業に支障はありませんでした。また、施設栽培では、支柱間隔が通常の園芸用ハウスと同程度で確保されており、作業に支障はありませんでした。

(3) 経営評価

FIT 単価や設備費など、売電の収益性は変動しており、営農の適切な継続が、経営全体の健全性にとって重要です。ブルーベリーは単位面積あたり収益性が高く、この点からも売電との両立に適していると想定されました。

3 キウイフルーツ (遮光率 36 %、支柱の高さ 3m、支柱の間隔 4m)

(1) 太陽光パネル設置による作物への影響

遮光率 36%の場合、収量、品質への影響はみられませんでした。開花や収穫時期が遅れる傾向がありますが、追熟後では収量、売上への影響はほぼないと考えられました。なお、枝が伸びすぎてパネルを覆い発電効率が低下しないよう、枝の管理に注意する必要があります。

(2) 太陽光パネル下での農業機械の作業性

トラクタやスピードスプレーヤの走行を前提として、発電設備の支柱の配置を、既存の果樹棚の支柱とそろえたことで、慣行のほ場と同様に、機器を使用することができました。

(3) 経営評価

太陽光パネルを固定する支柱等を、果樹棚として活用することにより、果樹棚の設置コストが抑えられる可能性があります。

4 総合考察

- ・ チャ、ブルーベリー、キウイフルーツでは、遮光率30%程度であれば、収量、品質への影響がみられなかったことは、農地の一時転用の判断材料としての有効な情報と考えられます。
- ・ ただし、永年性作物（樹木）に対する、一回のみの試験であるため、日照時間などの気象の変動や、遮光が生育に及ぼす長期的な影響については、継続的な観察・調査が必要です。
- ・ 営農型太陽光発電に取り組むにあたって、今回の3品目のように、適切な遮光率と、遮光の影響が小さいと想定される作物を選定することが必要です。
- ・ 経営面では、発電部門の収益性が、FIT 単価の設定や設備費などで変動することから、営農部門で、収益性の高い品目を選定し、適切な営農を継続することが重要と考えられます。
- ・ 作業性については、使用する機械を想定し、あらかじめ、支柱の配置や間隔を、作業に支障がないよう設計することで、慣行に近い作業環境が得られると考えられます。今回の3品目では、天井までの高さは3m程度あれば、支障はないと考えられます。

表 営農型太陽光発電の実証試験結果の概要

品目等	品目	チャ	キウイフルーツ	ブルーベリー	
	園地	露地	露地	露地 ポット栽培	無加温施設 ポット栽培
	品種	かなやみどり	調ゴールド・ハイワード	ベンダー・ホワイトウェル・バルドウィン	クライマックス
発電設備	遮光率	50%	36%	36%	22、34%
	支柱高さ	2.8m	3m	3m	3m
	支柱間隔	3m	4m	4m	4m
試験結果	環境変化	・PPFDの減少 ・冬の朝の気温が高く地表方向からの熱放射が少ない	・PPFDの減少 ・春～秋の平均気温の差はほぼ変わらない	・PPFDの減少 ・春～秋の平均気温の差はほぼ変わらない	・PPFDの減少 ・春～秋の平均気温の差はほぼ変わらない
	生育状況	・一番茶の収穫時期が早まる可能性	・開花や収穫時期が遅れるが、収量への影響はほぼ変わらない	・収穫時期が遅れるが、収量への影響はほぼ変わらない	・開花や収穫時期が遅れるが、収量への影響はほぼ変わらない
	収穫量	・慣行と同等	・慣行と同等	・慣行と同等	・慣行と同等
	収穫物の品質	・慣行と同等	・慣行と同等	・慣行と同等	・慣行と同等
	農機具の使用等の作業性	・支柱が収穫時の障害にならないよう、支柱付近の通路確保など工夫が必要	・太陽光パネルを覆わないよう、枝の管理を徹底 ・トラクタ等使用に支障なし	・大型の農機具を使用しないため支障なし	・設備の支柱は、通常の温室と同じ間隔であり支障なし
	設備の効果や利活用	・日陰ができて、特に夏季の作業環境が改善される			
	電力の自家利用	—	・風雨に当たりにくく、果実軟腐病、傷果、汚れ果が減少 ・カイガラムシの増加	・防鳥ネットの棚として利用の可能性あり	・発電設備と温室の構造を併用している
		・ロボット芝刈機などの機器導入を検討		・災害時の非常用電源として実績あり	

Ⅲ 県内の営農型太陽光発電の事例

県内では、様々な品目で、営農型太陽光発電の取組が行われています。ここでは、各地域の先行事例を紹介します。いずれにも共通するのは、「農業経営の安定化」、「架台など発電設備の農業経営への有効活用」など、適切な営農や工夫が実践されている点です。

(1) 水稲



【取組の経緯】地域農業の担い手が減っていく中、若い人たちも興味を持ってもらえるような、安定的な農業経営を目指し、県内初となる水稲の営農型発電設備の導入を決意しました。

【取組の特徴】地域初の事例のため発電に適した栽培方法を試行錯誤しながら確立しました。

設置場所（市町名）	藤枝市
設置年度	平成 26 年
下部面積	1,058 m ²
発電出力（パネル出力53.0kw）	49.5 kW
発電電力	62,000 kWh/年
遮光率	32 %
天井までの高さ	3 m
支柱間隔	5.5 m
面積	17 a
売電収入	223 万円/年
売電単価	36 円/kWh
自家消費の有無	無し
初期投資	2,000 万円

【取組のメリット】夏季の作物の高温障害を軽減できること、熱中症対策としても作業上のメリットがあります。

【注意すべき点】田植えや刈り取り時に、支柱に注意していますが、作業に支障をきたすほどではありません。

(2) レモン



【取組の経緯】ビニールハウスの建替えを検討していたところ、営農型太陽光発電設備の設置により、従来の農業より経営の安定化が図れると考え導入しました。

【取組の特徴】国産のレモンの需要が高く、高収益が望めることから栽培にいたりました。市内の飲食店などへ出荷しています。

設置場所（市町名）	静岡市清水区
設置年度	平成 26 年
下部面積	600 m ²
発電出力（パネル出力36.7kw）	39.6 kW
発電電力	40,000 kWh/年
遮光率	38 %
天井までの高さ	3 m
支柱間隔	5 m
面積	12 a
売電収入	144 万円/年
売電単価	36 円/kWh
自家消費の有無	無し
初期投資	1,200 万円
（うち融資）	1,200 万円
返済	90 万円/年

【取組のメリット】霜害防止に特に有効です。

【注意すべき点】雨垂れがパネルの直下のみ集中するので、樹を植える位置には注意が必要です。

(3) 畑ワサビ



【取組の経緯】

平成 25 年農水省の情報から農地でも太陽光発電ができることを知り、家に隣接する田で営農型太陽光発電を設置しようと考えました。

【取組の特徴】

パネルの角度が変わる回転型を採用しており、季節によって角度を変えることで発電量の最大化や作物に対する光量の調整、強風時の風除けが可能です。

設置場所 (市町名)	伊豆の国市	
設置年度	平成 26 年	
下部面積	2,227	m ²
発電出力	140	kW
発電電力	167,525	kWh/年
遮光率	38.8	%
天井までの高さ	3.5	m
支柱間隔	5	m
面積	28.3	a
売電収入	600 万	円/年
売電単価	36	円/kWh
自家消費の有無	不明	
初期投資	6,000	万円
(うち融資)	5,000	万円
返済	390	万円/年

【取組のメリット】農業の収益は年によって気候や病気、害虫など様々な要因に左右され非常に不安定です。同じ農地で営農をしながら売電収益を得られるというのは農業の収益を補うことができ大変メリットがあります。

(4) ブルーベリー



【取組の経緯】

以前より様々な品種のブルーベリーを育てて、生のまま販売もしくはジャムに加工するなどして販売していました。空いた土地もあることから太陽光発電の導入を試みることになりました。

【取組の特徴】

パネルの角度が変わる回転型を採用しており、季節によって角度を変えることで発電量の最大化や作物に対する光量の調整、強風時の風除けが可能です。

設置場所 (市町名)	川根本町	
設置年度	平成 29 年	
下部面積	767.7	m ²
発電出力	41.4	kW
発電電力	53,406	kWh/年
遮光率	35.8	%
天井までの高さ	3	m
支柱間隔	4.5	m
面積	8	a
売電収入	190	万円/年
売電単価	36	円/kWh
自家消費の有無	無し	
初期投資	1,100	万円

【取組のメリット】太陽光パネルの架台が防護柵の支柱に応用できるため、鳥獣害の防止に大変助かっています。

(5) チャ(県西部平坦地)



設置場所(市町名)	磐田市
設置年度	平成26年
下部面積	997 m ²
発電出力	49.5 kW
発電電力	66,578 kWh/年
遮光率	40 %
天井までの高さ	3 m
支柱間隔	2.8×3.6 m
面積	10 a
売電収入	210万 円/年
売電単価	32 円/kWh
自家消費の有無	無し
初期投資	2,010 万円
(うち融資)	2,010 万円
返済	140 万円/年

(6) チャ(県中部中山間地)



設置場所(市町名)	川根本町
設置年度	平成27年
下部面積	665 m ²
発電出力	49.5 kW
発電電力	55,985 kWh/年
遮光率	45 %
天井までの高さ	3.5 m
支柱間隔	2.8×3.6 m
面積	12 a
売電収入	179 万円/年
売電単価	32 円/kWh
自家消費の有無	無し
初期投資	1,880 万円
(うち融資)	1,880 万円
返済	140 万円/年

【取組の経緯】

リーフ茶(煎茶)の茶価低迷により、てん茶栽培に興味を持ちました。てん茶生産に必要な、遮光用の棚の代わりに、発電設備の支柱を利用するアイデアを紹介いただき、導入しました。

【取組の特徴】

煎茶から、無農薬てん茶の生産に切り替えるため、発電設備の設置と同時に、抹茶に合う品種へと改植を行いました。売電収入もあり、改植直後の、茶が収穫できない時期も、売電収入を得られ、また遮光用棚として利用できるため、一石三鳥の取り組みとなりました。

【取組のメリット】・てん茶の遮光用の棚が手に入る点、売電収入が得られ、改植時の未収益期間の収入の補填になる点。

・棚を用いた間接被覆は、直接被覆より品質が良くなる点。

【注意すべき点】・支柱の設置に対する、農作業空間の確保や作業効率性の考慮が必要となる点。

IV 実証試験に対する専門分野からの評価

静岡県立大学食品栄養科学部環境生命科学科 教授 谷 晃

1 はじめに

静岡県で設置件数が増えつつある営農型太陽光発電であるが、農地の上に並べる太陽電池パネル（以下PVパネルとする）の密度が高すぎ、下で栽培される作物が十分に生育できない場合もありうる。農林水産省では、農地の上にPVパネルを設置する場合はおおむね20%以上の収穫量の低下がないこと等を条件に支柱部分の農地の一時転用許可を行うこととしている。営農型太陽光発電の今後の普及においては、主要作物に関して、適切なパネル密度についてデータを収集し、パネル密度と栽培品目の組み合わせについてデータベースを作成・公開することが求められる。本研究はこの課題に貢献する実証事業研究として、農林水産省に採択されたものである。

本研究では、以下の3か所にて3品目の栽培に関して実証事業を実施してきた。

- ✓ 島田市内の茶園（チャ）
- ✓ 静岡県農林技術研究所果樹研究センター（キウイフルーツ、ブルーベリー）
- ✓ 磐田市内の温室（ブルーベリー）

以下に所見を述べる。

2 島田市内の茶園（チャ）

ここでは、静岡県内で導入事例が増えつつある茶園を対象に研究を実施した。茶樹の場合、多年生であるため、樹体にこれまでの成長による同化産物が蓄積している条件となる。新茶の収穫量に興味があるだけでなく、晩霜害がでる春季に、PVパネルが放射冷却を防ぐ効果があるのでないかと予測し、試験結果に期待した。その効果を明らかにするためには、夜間に地表面から宇宙に失われる長波放射量を測定し評価する必要があった。本研究では、放射収支計を用いて下向きと上向きの長波放射量を夜間に測定することで、PVパネルによる放射冷却の低減効果を調べた。結果として、予想通りPVパネルが宇宙へ向かう長波放射を遮り、その結果茶樹から失われる熱エネルギーを低減した。PVパネルには、夜間に茶葉の表面温度の低下を抑える効果があることを定量的に認めた。この効果は、新芽の萌芽時期を7日早め、かつ一番茶（新茶）の摘採量を増やすことで、農家の収益増をもたらさうる。PVパネルによるプラスの効果を実証できたユニークな結果である。

また、本試験ではないが、このコンソーシアムのメンバーで見学した茶園においては、てん茶栽培用の遮光ネットを、PVパネルの設置に用いた支柱に固定することで、遮光ネット固定用の支柱を新たに設置する必要がなくなった。農業現場で遮光ネットや遮光フィルムを用いる機会は少なくないと思われるが、PVパネル固定用の支柱は遮光ネットの固定用として併用できるメリットがある。

ところで、茶園にPVパネルを設置する場合、茶樹が若いと減少した日射量がその後の成長にどのような影響を及ぼすかは不明であり、本研究では明らかにできていない。あくまで前年に茶葉を収穫した成木の上に、PVパネルを設置した結果について、プラスの効果が得られたということである。

2章の要約

- ✓ PVパネルが冬季から春季のチャの凍霜害を軽減できる
- ✓ PVパネルの支柱はてん茶用遮光ネットの固定用に利用可能
- ✓ あくまで成木を用いた実験結果であり、本試験結果がチャ栽培の全分野でPVパネルが適用可能と保証するものではない。

3 静岡県農林技術研究所果樹研究センター（キウイフルーツ、ブルーベリー）

静岡県農林技術研究所果樹研究センターの圃場に 13.4 kW の PV パネルを設置した。計算される遮光率は 35.6%であった。実測した日積算日射量（光合成有効光量子束密度ベースの値）の低下割合から計算される遮光率は概ね 40～60%の範囲にあり、パネル面積から計算される値より高くなった。これは、太陽高度が高く日射が強い時間帯に影になる時間が長いこと、および PV パネルの支柱や元来設置されていた支柱の影によるためと推察される。このように、遮光率の実測値が計算値より高くなることは、多くの営農型発電施設で見られる。

ブルーベリーの栽培では、3 品種（ペンダー、ブライトウェルおよびバルドウィン）を用いた。着果や結実、収量、品質のパラメータには、PV パネル区と対照区の間いずれの品種でも有意差は認められなかった。パラメータの中には平均値で、4 割を超える差がある場合もあったが、同一品種内の個体間差が大きいため有意差は認められない。PV パネル区と対照区の間のパラメータの大小に 3 品種で一貫した傾向がないため、ブルーベリーの果実収量において両処理区間に明確な差はないと判断してよいと思われる。しかし、累積収量割合の経日変化を見ると、PV パネル区で対照区より値が低く推移しており、収穫時期がやや遅れる傾向が認められた。

キウイフルーツについても、収量および果実重は PV パネル区と対照区ではほぼ同じであった。糖度等の品質パラメータについても 2 区間で有意差がなかった。病害虫等の発生割合のデータは興味深く、軟腐病や傷・汚れ果は対照区で多く、カイガラムシ罹病果は PV パネル区で多かった。特に問題となるのは、商品価値がなくなる軟腐病であるため、PV パネル下で軟腐病の発症率が大きく低下したことは PV パネル導入におけるプラスの効果の一つである。また、PV パネルの固定用支柱を利用して防虫ネットあるいは防鳥ネットを設置できることも、特に果実の栽培では利点の一つである。

ブルーベリーとキウイフルーツは通常の日照条件下で栽培されている場合がほとんどであるが、半陰性植物に分類される場合がある。今回の実験結果では、チャ、ブルーベリーおよびキウイフルーツでは PV パネルの影による収穫量の低下は認められなかったが、すべての半陰性植物で同様な結果になるとは限らない。今回の結果は、半陰性植物全般において、収穫量と品質を低下させることなく営農型太陽光発電を適用できることを保証するものではない。

4 磐田市内の温室（ブルーベリー）

PV パネル区では、一部のパネルを抜いて施工することで、高密度区と低密度区を設けた。両 PV パネル区で、開花が遅れる傾向があり、その結果累積収穫割合も対照区と比べて遅れて推移した。しかし、糖度とクエン酸含有量を指標とした品質と、果実径と果実重を指標とした収量は、対照区に対して両 PV パネル区で差はなかった。県農林技術研究所果樹研究センターで行ったブルーベリーの結果と同様であると判断できる。

3章と4章の要約

- ✓ ブルーベリーおよびキウイフルーツの果実収量と品質は PV パネル区と対照区間に明確な差はない
- ✓ PV パネル下でキウイフルーツの軟腐病の発症率が低下
- ✓ PV パネルの支柱を利用して防虫ネットあるいは防鳥ネットを設置できる

5 当研究室の知見など

著者が過去に行ってきた実験として、水稻の営農型太陽光発電と太陽光パネル温室でのリーフレタス栽培試験、その他を紹介する。

(1) 水稻の営農型太陽光発電施設

2014年に水田上に遮光率（土地投影面積当たり）約30%で設置された営農型太陽光発電施設2か所にて、栽培気象環境の測定と収穫した玄米の量と質の調査を実施した。特に光強度は、PVパネルが並べられたPV区の中央、PVパネルが直上と南側になく日中直射日光が当たる対照区、およびPV区と対照区の境界（PV区の西端および東端）にて、詳細に測定した。栽培期間中の積算日射量は、PVパネル中央では対照区の60~65%となり、遮光率から計算されるPVパネル下の日射量より低くなった。先にも述べたが、これはPVパネルの支柱などによる影の影響と考えられる。PV区の境界では、日射量は約80%となり、これは半日のみPVパネルの影の影響を受けたためである。気温の日平均値は、PV区下で対照区より約1°C低かった。夏季の晴天時にサーマルカメラで測定した水稻の葉の表面温度は、PVパネル下の影部と直達光が入射する場所を比較すると、影部で2~3°C低下していた。夏季の高温はイネの受粉に悪影響を及ぼし、日最高気温が36°Cを超えると不稔が増え始め収量が低下する（松井勤、日作紀、2009）。また、高温の持続時間が長いと、不稔が増えると報告されている（Satake and Yoshida, 1978）。PVパネルによる夏季のイネ表面温度の断続的な低下は、猛暑時には高温による生育抑制を緩和する効果があると考えられる。

気になる玄米の収穫量について述べる。PV区中央付近3か所と対照区3か所でそれぞれ20株を同日に収穫し、玄米重量を比較した。その結果、玄米重量はPV区で対照区の約85%と有意に低くなった。品質としては、PV区でタンパク質含有量がやや高く、未熟米の割合が高くなった。止め葉のクロフィル含有量を示すSPAD値はPV区で高く、止め葉の緑がまだ濃いことを示した。これらのことから、コメがまだ成熟していない段階で収穫した可能性があると考えられた。以上の傾向は、実験に使用した2か所で認められた。PV区で収穫時期を遅らせることができれば、収穫量の低下をある程度抑えることができるかもしれないが、イネの収穫作業は地域で共同で行う場合が少なくない。その場合、営農型施設のみ収穫を1週間遅らせる等の対策を取りづらい場合が多い。

PVパネル下での収穫量の減少は、先に記したPVパネルによる夏季の高温抑制効果が反映されていないように思われるが、対照区においてもそこまでの持続した高温が起こっていないためであろう。しかし、夏季の高温による不稔の程度は地域や年によって異なり、このプラスの影響を無視すべきでない。

2015年は1か所で同様の測定を実施した。PVパネル下の微気象環境は2014年の傾向と変わりなかった。しかし、当研究室の収穫調査では、PV区の玄米収量は対照区の70%に留まった。前年との違いは、毎年一定でない気象条件および施肥量（2年目は減らした）であるが、原因は定かでない。

水稻の栽培実験は、その後も他大学との共同研究で、模擬パネルを用いた実験を4年間継続している。土地面積当たりの遮光率が20%および30%になるように模擬パネルを設置した。収穫時期を調整しながら収穫調査を実施した。収量の結果は毎年一定でないが、玄米収量を対照区と比べ80%以上維持するには、実測ベースでの遮光率を20~30%に留めるようPVパネルを設置すべきであるとの結論が得られている。計4か所の圃場で異なる4品種を用いた6年間に及ぶ結果であることを考えると、この指標は妥当であると考えられる。

このように、水稻ではPVパネルを設置することで明らかに収穫量は低下する。水稻の栽培

では、収穫量の低下をしのぐ発電のメリットを見出せる場合に、営農型太陽光発電を導入すべきであろう。

(2) 太陽光パネル温室でのリーフレタス栽培試験

2012年に、大学構内に設置した小型温室2基の屋根にPVパネルを設置し、リーフレタスを栽培する試験を四季に渡って行った。屋根に50%の密度でPVパネルを設置し、1基はそのまま実験に使用した(PV遮光区)。もう1基は、屋根内面に光散乱フィルム(PV光散乱区)を展開した。光散乱フィルムにより、パネルとパネルの間から直射日光が入射する際、光飽和点を上回る余分な光を散乱透過させて(光の向きを変えて散乱させる)影部へ届けることができる。PVパネルを設置していない対照区と比べ、PV遮光区ではどの季節でもリーフレタスの生育が遅れたが、PV光散乱区では夏季と秋季で対照区と差がなかった。PV遮光区では葉が縦に長くなる(徒長)傾向がみられたが、PV光散乱区ではそのような傾向はなかった。ビタミンC含有量や食味には明確な差はなかった。しかし、日射量が少ない冬季では、光散乱の効果は顕著でなかった。冬季は気温が作物の生育適温より低いため、遮光によって作物体温が下がることも生育低下の一因であると考えられる。全般的に見て、冬季の低日射量時におけるPVパネルによる遮光は、光散乱の有無にかかわらず葉菜類の生育を遅延させると思われる。これらの成果は、著者が発表した論文で詳しく報告した(Tani et al., *J Agric Meteorol.*, 2014)。

(3) その他の試験

当研究室では2012年～2014年にかけて静岡県農林技術研究所とともに、現在普及している、コストパフォーマンスが優れる平板状のPVパネル以外に、以下に示す開発段階あるいは販売段階にある様々なタイプのPVパネルの農業利用を検討してきた。

- ✓ フィルム状のアモルファスシリコンPV(静岡県立大学単独研究。利点:ビニルハウスの湾曲した屋根に設置可能)
- ✓ 横置き円筒型PV(利点:円筒全面がPVであるため太陽高度に関係なく発電可能)
- ✓ 発電・熱生成併用型(利点:発電の効率を下げる熱を除去・回収し農業利用)

いずれも利点に関しては一定の効果は認められたが、経済性の観点から普及は難しいと当時判断した。

5章の要約

- ✓ イネの玄米収量はPVパネルの設置によって低下する。
- ✓ 玄米収量を対照区と比べ80%以上に維持するには、実測ベースでの遮光率を20～30%に留めるようPVパネルを設置する。
- ✓ PVパネルの影は、猛暑時に起こるイネの高温被害を軽減する効果があると推測される。
- ✓ 光を散乱させることでPVパネルの影部へ光を届け、作物の生育量低下を緩和できる場合がある。

6 今後の営農型太陽光発電の在り方

2020年に想定される低圧電力の買い取り価格は12円/kWhであるが、自家消費後の余剰電力の買い取りに限定される可能性が高い。これは一般的な家庭用太陽光発電に適用されていた制度と類似する。その先を見据えると、FIT制度による買い取り制度に捉われない営農型太陽光発電の在り方を考える必要がある。

(1) 蓄電による利用

営農型太陽光発電施設で作った電力をためて必要な時に使用する蓄電は、蓄電池の低価格化が最大の課題である。今後低価格化がゆっくと進むと予想されるが、ここ数年間はあくまで部分的に電力を貯める程度の容量の蓄電池の普及に留まる。しかし、農作業で使用する機械や軽トラック等の運搬用自動車の電動化が進めば、発電電力を充電し活用できる。過去には国内大手メーカーからEV軽トラックが販売されていたがその後生産終了となった。時代を先行しすぎていたのかもしれないが、再販を期待したい。ただし、常にすべての発電電力を充電できないので、系統連系して余剰電力を販売することを考えるべきであろう。

(2) 日中の電力利用による高価値作物の生産

発電した電気をリアルタイムで使用することで、電気の購入コストを削減できるメリットを活かせる。日中電気を使用する農業となると、温室等の施設栽培がまず頭に浮かぶ。現在では既に、電力会社から購入する農業用低圧料金より営農型太陽光発電施設で作った電力(2019年設置の場合)が安価である。電力消費量が多い温室全部の冷房というよりはスポットエアコンのような局所冷房への利用、日中に冷熱あるいは温熱を作り夜間空調に利用する、等の空調を要する高価値作物の生産に活かせるであろう。また、近隣の農産物加工施設や地域産業への電力供給等、地域社会の中で電力活用の組み合わせを見出すことも大事である。魚介類の陸上養殖との組み合わせによる、電力自給兼ゼロエミッションを目指す物質循環などアイデア次第で用途が広がる。

(3) スケールメリットを活かした農業と発電事業の分離

発電容量が大きくなれば施設導入費のkW単価が低下するため、大規模発電が有利である。しかし、一般的な営農型太陽光発電施設では、1反(1000m²)以下の農地件数が大多数で、発電容量は1,000m²あたり50kW~100kWであろう。これが1ha(10,000m²)やそれ以上となると、kWあたりの設置コストが下がりスケールメリットが生まれる。単独の農家によるこのような規模の施設導入は難しいが、発電事業者が農業事業者との間に土地(基礎用)と上空のパネル設置について賃貸契約を結ぶことで可能になる。発電事業者が支払う賃貸料が農家の収入となる。

(4) 売電先の選択

企業が自らの事業で使用する電力を100%再生可能エネルギーで賄うことを目指す取り組みであるRE100(Renewable Energy 100%)国際ビジネスイニシアティブが2014年にスタートした。2018年以降RE100に加盟する日本企業が増加しており、販売先の大きな候補となりうる。企業は自社で再生可能エネルギーを創出するとともに、再生可能エネルギーによる電力を外部から調達する。加盟していない企業でも、CO₂排出量削減の観点から、再生可能エネルギーの活用を進めている企業数が増えている。営農型太陽光発電事業者とRE100加盟企業等をつなぐ仕組みが構築・周知されれば、最適な販売先になりうるであろう。

家庭用太陽光発電（10 kW 以下）のFIT 制度による買い取りが2019 年末から終了を迎える中で、静岡県で言えば、既定売電先の中部電力以外に、特定規模電気事業者（PPS）がより高い買い取り価格を提示している場合がある。これは現在家庭用 PV 発電を想定しているが、営農型太陽光発電による電力の販売先も PPS が候補となりうる。

7 おわりに

本実証事業は、試験機関研究者、PV パネル設置業者、大学研究者による、営農型太陽光発電の適用の可能性を探る日本で初めての産官学共同研究であった。各分野の専門家が実験を実施し、データを精査して議論した結果、一定の成果が得られたと思う。

しかし、今まで行われてきた FIT 制度が抜本的な見直しの時期を迎え、買い取り価格が年々下がる中で、今後の新規導入については慎重にならざるを得ない。PV 設備の導入費など発電コストが低下したため、国策として賦課金を上乗せし買い取り価格を上げる必要性が薄れている。電力使用者に使用電力量に応じて一定割合で付加される賦課金の金額は2兆円を超え（2019 年時）、制度の運用が限界に近づいている。発電した再生可能エネルギーを売るのでなく、自身であるいは地域で効率よく活用する方策について、知恵を絞る時期に来ている。

日本において太陽光発電の導入にブレーキがかかることは自明であるが、太陽光発電は二酸化炭素を排出しない、再生可能エネルギーの核となる技術である。世界的に見ると、今後普及は加速するであろう。パネルの価格がさらに低下し、発電コストも下がると予想されている（自然エネルギー財団資料「日本の太陽光発電の発電コスト 現状と将来推計」によると2030 年に7円/kWh まで低下と予測）。中長期的視野に立てば、FIT 制度に頼らず電力を販売し一定の利益が得られる時代が到来するであろう。

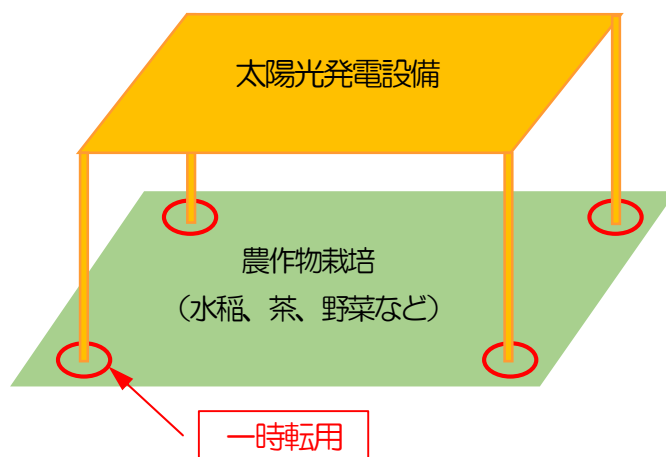
V 営農型太陽光発電に係る農地法上の手続き

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営農型太陽光発電を実施する場合には、太陽光発電設備の支柱部分について、農地法第4条又は第5条の一時転用許可が必要です。

1 農地法上の取扱い

平成25年3月31日付け農林水産省からの「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」の通知により、農用地区域内農地や第1種農地においても、下部で営農を継続すれば、太陽光発電設備の設置が可能となりました。

さらに、平成30年5月15日の通知により、一定の条件を満たせば、一時転用期間がそれまでの3年以内から10年以内へ延長されました。



2 許可条件など

主に下記の条件を満たせば、許可が可能となります。再許可（許可の更新）も可能です。

- (1) 設備が必要最小限であること
- (2) 農作物の品質が確保され、同年の地域の平均的な単収と比較しておおむね8割以上の収量が確保されていること
- (3) 農作物の生育に適した日照量が確保されていること
- (4) 支柱が効率的な農作業や農業機械の利用に支障のない高さとなっていること
(おおむね2m以上)
- (5) 周辺農地の効率的な利用、農業用排水路の機能等、農業関連政策等に支障を及ぼすおそれがないこと
- (6) 設備全般を撤去するまでの計画となっていること

3 許可期間

許可期間が10年以内となる場合は下記のとおりです。（下記以外は3年以内）

- (1) 担い手が所有する農地又は利用している農地で当該担い手が下部農地で営農する場合
- (2) 荒廃農地を再利用する場合
- (3) 農地区分第2種農地又は第3種農地を利用する場合

4 その他

- (1) 許可を受けた者は、毎年、下部の農地における農作物の生育に係る状況及び生産された農作物の収量等に係る状況を、翌年2月末日までに農地転用許可権者に報告します。
- (2) 設備設置者と営農者が異なる場合には、支柱に係る一時転用許可と同時に、下部の農地に区分地上権等を設定するための農地法第3条の許可を受けることが必要です。

VI 導入にあたっての留意点

1 太陽光パネルの設置では、営農を重視して、品目に適した遮光率などを検討すること

今回の実証試験では、遮光率を30%～50%と設定しました。農作物への過度の遮光は、農作物の収量や品質を落とすことにつながります。

今回の実証によって、チャ、ブルーベリー、キウイフルーツでは、30～50%程度の遮光による影響はないことが示されました。営農型太陽光発電の設置には、営農重視の視点に立った、適切な遮光率の設定が重要になります。

2 農作業に配慮しつつ、気象災害や電気の使い道・売り先について考慮し、経済性を十分に検討すること

農作物の収量や品質を落とさない範囲で、発電を行うことができますが、経済性についても十分に考慮する必要があります。

近年では、太陽光パネルの発電能力や施工費用、電力買取価格などの情勢が大きく変動しています。さらに、営農型太陽光発電に特有の架台や支柱などの費用も視野に入れて、経済性を検討する必要があります。

発電事業は、長期間にわたって行われるものであることから、その導入にあたっては、電力会社や施工業者等との綿密な打合せにより、農作業に十分に配慮した設計、発電した電気の使い道や売り先、保険への加入など気象災害への対応について検討して下さい。

3 営農型太陽光発電に関する文献等を参考にすること

農林水産省ホームページで、「営農型太陽光発電取組支援ガイドブック」が公表されています。参照ください。

<https://www.maff.go.jp/j/shokusan/renewable/energy/einou.html>

営農型太陽光発電事業を始めるにあたって、留意すべき点が列記されています。

取組フローで、導入までの大まかな流れを把握した上で、チェックリストを参考にし、円滑な導入を図ってください。

参考 静岡県営農型太陽光発電の高収益農業実証コンソーシアム

区分	構成員
学 識 経 験 者	静岡県立大学食品栄養科学部環境生命科学科 谷 晃 教授
発 電 設 備 事 業 者	スマートブルー株式会社 (静岡市葵区) 株式会社発電マン・ベリーズ (静岡市葵区) 株式会社 LEAF (静岡市駿河区)
農 地 転 用 担 当 者	静岡県経済産業部農地局農地利用課
研 究 担 当 者	静岡県農林技術研究所、茶業研究センター、果樹研究センター
事 務 局	静岡県経済産業部農業局農業戦略課

問合せ先

○実証試験の内容に関すること

・チャ

静岡県農林技術研究所茶業研究センター茶生産技術科

電話：0548-27-2884 メール：ES-kenkyu@pref.shizuoka.lg.jp

・ブルーベリー、キウイフルーツ

静岡県農林技術研究所果樹研究センター果樹加工技術科

電話：054-376-6155 メール：kaju-kenkyu@pref.shizuoka.lg.jp

○農地の一時転用に関すること

静岡県経済産業部農地局農地利用課農地調整班

電話：054-221-3527 メール：nouchiriyou@pref.shizuoka.lg.jp

○その他

静岡県経済産業部農業局農業戦略課農業戦略班

電話：054-221-2633 メール：nougyouesen@pref.shizuoka.lg.jp

営農型太陽光発電の高収益農業の実証試験 報告書

作成時期 令和2年3月

作成者 静岡県

連絡先 静岡県経済産業部農業局農業戦略課農業戦略班

電話番号 054-221-2633

メール nougyousen@pref.shizuoka.lg.jp

本資料は農林水産省「食料産業・6次産業化交付金（営農型太陽光発電の高収益農業の実証）」（H30～R1年度）を活用し作成したものです。

（報告書URL：<http://www.pref.shizuoka.jp/sangyou/sa-310/einou.html>）