

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 27 年 5 月 21 日現在

機関番号：56101

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24580375

研究課題名(和文) 農作物生育に影響を与えないハウス屋根用太陽光発電システムの開発

研究課題名(英文) Development of the photovoltaic power generation system for greenhouse roofs that will not affect the growth of plants.

研究代表者

吉田 晋 (YOSHIDA, SUSUMU)

阿南工業高等専門学校・その他部局等・准教授

研究者番号：10607310

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,200,000円

研究成果の概要(和文)：農業への太陽光発電の応用として、ハウス下の農作物への必要な光量を確保しながら太陽電池の発電量を最大化する農業用ハウス屋根型太陽光発電システム技術を確立する目的で研究を行った。農地に適した円筒型太陽電池パネルを用い、太陽光を分配する方法として反射率の高い寒冷紗を開閉する機構を設けて日射量と時間帯で制御可能とした。また、日射量を安価に測定するため小型太陽電池を日射量センサーとして用いて環境情報記録できる環境センサーを開発した。寒冷紗の反射による太陽電池の発電量増加を確認し、円筒型太陽電池下での作物の生育調査を行い、太陽光分配装置下で農作物の生育への影響を抑えながら発電量を増やす可能性を確認した。

研究成果の概要(英文)：Using solar power while growing the crops what is called a solar sharing, has attracted attention. In this study we want to do solar sharing more effectively while minimizing influence for the growth of the crops by distributing light to solar panels. We focused on the cheesecloth as one of the method to distribute solar light, we examined the generation increment of the solar battery by the reflection of the cheesecloth. It was confirmed that the amount of power generated by the solar cell is increased. We used a small solar battery as a substitute of a pyranometer. We manufactured the device for controlling the opening and closing of the cheesecloth with the pyranometer logger. We performed the growth investigation into crops by the difference in the transmissivity of the amount of sunlight. We confirmed the possibility of increasing the amount of power generation while minimizing the impact on the crops grown under the sunlight distribution device.

研究分野：農業工学

キーワード：太陽電池 ソーラーシェアリング

## 1. 研究開始当初の背景

温暖化防止への取り組み、我が国のエネルギー安全保障の観点からも、再生可能エネルギーとしての太陽光発電の普及促進を加速していく必要がある。太陽光発電には、太陽光を受ける面積が必要で、既に住宅やビルなどの建造物の屋根への設置が推進されている。さらに設置面積を広げる案として、耕作放棄地や休耕田を含めた農地への太陽光パネル設置の検討が始まっている。一方、日本は、エネルギーと同じように、食料を輸入に頼っている現実があり、日本にとって農地を守り農業を発展させていくこともまた重要なテーマである。休耕田や耕作放棄地が増加している理由は、農業生産をしても十分な収入が得られないことから、生産に携わる人が過疎化や高齢化の進行で減少しているためである。

農業への太陽光発電の応用に関する研究は、温室等の屋根に太陽電池パネルを設置する場合や、ビニールハウス屋根にフレキシブル太陽電池を固定的に設置するケースが提案されている。これらは、太陽電池の透過率が固定であるため、農作物への影響を考慮して、太陽電池の配置密度を高めることが難しく、面積あたりの発電量が少なくなり、投資効果が低くなる傾向にある。農作物の生育に日照が不要な時期や、栽培していない時期は、地面に届く太陽光が無駄になる。このように、農作物の生産と太陽光発電を両立し、農家の収入の安定化を図るための農地に照射する太陽光の有効活用に関する研究を行う必要がある。

## 2. 研究の目的

農業への太陽光発電の応用は、温室の屋根にパネル型・ビニールハウス屋根にフレキシブル型の太陽電池を固定して設置する場合の実証実験がほとんどであり、設置後、太陽電池の透過率は可変にできないため、農地面積あたりの発電量を高くできない。そこで、ハ

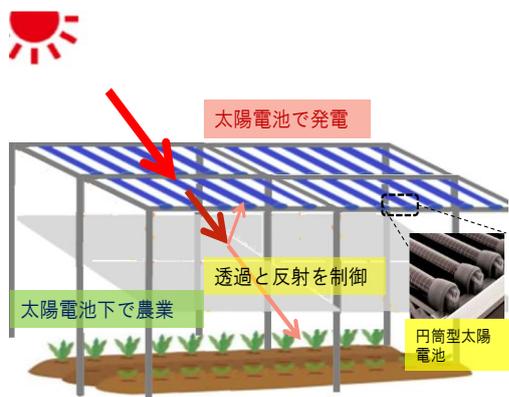


図1 円筒型太陽電池を用いた太陽光分配イメージ

ウス下の農作物への必要な光量をコントロールして確保しながら太陽電池の発電量を最大化できる農業ハウス屋根用太陽光発電システム技術を確立する。

本研究では、図1のように円筒型太陽電池の光と風が通過する構造上の利点を活かし、ハウス用資材に設置する構造を提案し、その発電効率と透過光率を検証する。円筒型太陽電池は、360度の光で発電するため、直射光だけでなく反射光を利用できる利点を活かし、円筒型太陽電池の下側に制御可能な反射板を設け、作物への必要な透過光量を制御しながら、発電量を最大化する発電システムを提案する。日中の透過光量を動的に制御可能とすることで、太陽電池下の農作物の生育に影響を与えずに通年での発電量の最大化のための最適制御を研究・開発することで、農産物生産の収入と、太陽光発電収入により農業の安定と発展、太陽光発電の普及に貢献することを目標とする。

## 3. 研究の方法

### (1) 太陽光分配可能な発電装置の開発

本研究では、透過型太陽電池として円筒型太陽電池を、透過光と反射光の制御用に反射率の高い寒冷紗を利用してシステム構築を試みた。この円筒型太陽電池は、360度のどの面に光が当たっても発電可能で、太陽光が太陽電池パネル下にも透過し、風の影響をあまり受けにくい構造となっている。図1のように、円筒型太陽電池と農作物との間に寒冷紗を設置し、寒冷紗の遮光率を変更したり、開閉を動的に制御することにより、効率よく太陽光を分配することができないかを検討する。円筒型太陽電池は、SOLYNDRA社の型式SL-001-182の円筒型太陽電池を使用した。

### ①円筒型太陽電池の性能評価

板状の太陽電池と円筒型太陽電池の性能比較を実施した。今回比較検討したCIGS円筒型太陽電池パネルとSi単結晶単板太陽電池パネルの公称値を表1に示す。円筒型太陽電池は直径21mmで1パネルあたり40本、円筒間の隙間は24mm、パネル垂直の通過率は面積比で約50%。単板太陽電池で同様に通過率を50%とするには、2倍の面積空間が必要となる。パネル面積費は3対1であるため、Si単結晶単板パネルの発電量を1.5倍して比較した。太陽電池の発電量の測定

製品名	CIGS円筒型 SL-001-182	Si単結晶単板
サイズ(mm)	1820×1080×50	1195×541×45
公称最大出力	182W	95Wp
公称最大出力動作電圧	73.9V	18V
公称最大出力動作電流	2.46A	5.0A
公称開放電圧	96.7V	22.7V
公称短絡電流	2.76A	5.80A

は、1分間隔ごとに2つの太陽電池のI-V特性を連続で測定し発電量を比較する。

## ②反射率の高い寒冷紗の選定

太陽電池の発電量を増やすために反射率が高いと思われる寒冷紗を対象に調査する。一般に寒冷紗は、作物への直射日光を弱めるために用いられるもので、様々な遮光率が存在する。しかし反射率に対しては規定されているものはない。反射率が高いと思われる寒冷紗を選定し反射率を比較した。本研究では、太陽ネット製造工場製ふあふあシリーズ遮光率50%(SL50)、ダイオ化成ダイオミラーHBタイプ(ラッセル編)シリーズ遮光率40%(40HB-6)、50%(50HB-6)、80%(80HB-6)の反射率を比較した。暗室で、光源に対して鏡の反射光の照度を基準とし、それぞれの寒冷紗の反射光の照度を測定し、その比率から簡易的に反射率を求めた。

## ③寒冷紗の反射光による発電増加量の検証

寒冷紗の反射による太陽電池の発電増加量を測定する。円筒型太陽電池パネルを南北方向に設置し、寒冷紗を図1のように円筒型太陽電池パネル下に設置して、円筒型太陽電池の発電量を測定する。円筒型太陽電池パネルを2つ用意し、一方にのみ寒冷紗を設置し、晴天の日の日中の1分毎の最大発電量を測定し、寒冷紗の有無による発電量の違いを測定する。設置する寒冷紗はダイオミラーHBタイプ(ラッセル編)シリーズ遮光率40%(40HB-6)、50%(50HB-6)、80%(80HB-6)の寒冷紗をそれぞれ設置して測定を実施した。

## ④太陽光分配装置の開発

円筒型太陽電池の発電量の増加と作物の育成の両立を目指し、農地に届く太陽光を作物と太陽光発電に分配制御可能とするために、円筒型太陽電池パネルの下側に反射率の高い寒冷紗をカーテン状に設置し、時間帯や日射量による寒冷紗の自動開閉が可能な装置の開発を行う。開発する装置イメージを図2に示す。

寒冷紗を開閉する機構は、両側にカーテンレールを設置し、カーテンレール間に寒冷紗を細い棒を用い

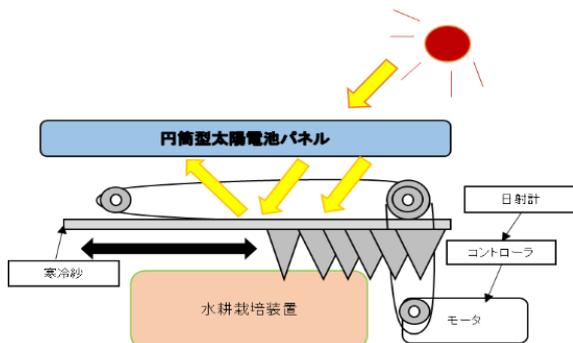


図2 太陽光分配の為の寒冷紗自動開閉装置

て渡し、タイミングベルトをDCモーターで駆動させる装置とする。

寒冷紗開閉の制御はArduino UNO R3を用いて、RTCモジュールを使っての時間管理と、Si太陽電池を日射量センサーの代用とすることで、日射量ロガーを兼ねて制御装置を安価に構成する。装置の有効性を確認するため、寒冷紗の開閉による発電増加量を測定した。

## (2) 太陽光透過率の違いによる農作物の生育調査

一般的に、ソーラーシェアリングに適している農作物はC3型植物とされているが、本研究では農地に広く普及する太陽光発電システムの開発を目指すため、C3型植物に属さないが広く栽培されている小松菜と青梗菜の2種類の野菜について生育調査を行った。

## ① 寒冷紗を用いた透過率の違いによる生育調査

太陽光透過率と農作物生育の関係を観察するため、土の水分量や養分の差が出ない水耕栽培装置を用いて実験を行った。

図3のように透過率の異なる3種類の寒冷紗を設置して遮光率50%、遮光率40%(透過率60%)、遮光率30%(透過率70%)、寒冷紗無し(透過率100%)の4パターンの太陽光透過率環境を作り2種類(小松菜、青梗菜)の野菜を各2苗ずつ生育する。定期的に生重量を測定して、各2苗の平均を求めた。生育時期は、5月~6月にかけて実施した。



図3 透過率の違いによる生育実験装置

## ② 円筒型太陽電池下での農作物の生育調査

円筒型太陽電池の下に水耕栽培装置を設置し生育実験を行う。同時に、透過率100%と寒冷紗による透過率70%と60%の環境でも、2種類(小松菜、青梗菜)の野菜を生育し、生育の比較を行った。

また、太陽光分配装置は、円筒型太陽電池下において寒冷紗を開閉制御する。装置の開発と平行して、円筒型太陽電池パネル下の寒冷紗の有無による農作物の生育調査を行った。図4のように、円筒型太陽電池パネルを2つ用意し、水耕栽培装置をそれぞれの太陽電池パネル下に設置する。一方に遮光率40%(40HB-

6) の寒冷紗を設置する。さらに、生育比較の為に、水耕栽培装置の上に何も無い透過率 100%の環境と、30%の寒冷紗だけで水耕栽培装置を覆った透過率 70%の環境を用意する。これらの環境で 6 月～7 月にかけて小松菜の生育を行い、生重量を量ることにより生育を確認した。



図 4 円筒型太陽電池下での生育調査実験の様子

#### 4. 研究成果

##### (1) 太陽光分配可能な発電装置の開発

###### ① 円筒型太陽電池の性能評価

円筒型太陽電池は筒が東西方向となるようにしてパネルは水平にセメントの上 120cm の高さに設置、Si 単結晶単板は、南向きで傾斜角 20℃に設置した。東経 134.7 度。北緯 33.9 度地点、8 月 11 日の日中における CIGS 円筒型と Si 単結晶単板の最大出力を比較した。1 日の最大発電量は、円筒型太陽電池 905Wh と Si 単結晶単板パネル出力の 1.5 倍は 791Wh と求まり、14%程度 CIGS 円筒型太陽電池パネルの方が多い発電量となった。円筒型太陽電池でも板状の太陽電池と同等以上の発電量があることが確認できた。

###### ② 反射率の高い寒冷紗の選定結果

ふあふあシリーズ遮光率 50%(SL50)の反射率とダイオミラーHB タイプ(ラッセル編)シリーズ遮光率 50%(50HB-6)の反射率を比較すると、50HB-6 の方が SL50 よりも 2 倍ほど高い反射率を示した。また、ダイオミラーHB タイプ遮光率 40%(40HB-6)では遮光率 40%に対して 33%反射する結果となり、高い効率で反射していることが分かった。本研究ではダイオミラー HB タイプの寒冷紗を用いて装置の開発を行う。

###### ③ 寒冷紗による発電増加量測定実験

円筒型太陽電池パネルを 2 つ用意し、一方にのみ寒冷紗ダイオミラー HB タイプ(ラッセル編)シリーズを円筒型太陽電池パネル下に設置して、日中の 1 分毎の最大発電量を測定した。5 月 7 日に遮光率 80%の寒冷紗(80HB-6)、5 月 10 日に遮光率 40%の寒冷紗(40HB-6)、5 月 17 日に遮光率 50%の寒冷紗(50HB-6)

の有無による発電量の違いを測定した。いずれも晴天の日に測定したものである。図 5 に 5 月 10 日寒冷紗(40HB-6)の有無による発電量を示している。図中の実線が寒冷紗有りの発電量を示し、破線が寒冷紗無しの発電量を示している。各寒冷紗を設置したときの 1 日の発電量の増加率を求め表 2 に示している。遮光率 40%の寒冷紗(40HB-6)を円筒型太陽電池下に設置すると、太陽電池の発電量は 4.5%増加する結果となった。また、遮光率 80%の寒冷紗(80HB-6)を設置すると 8.7%まで増加する結果となった。

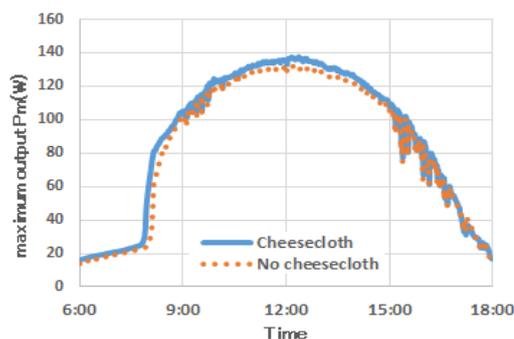


図 5 遮光率 40%設置時の発電量比較(5 月 10 日)

表 2 寒冷紗の違いによる発電量比較

	10-May	17-May	7-May
Shading rate	40%	50%	80%
Rate of increase	4.4%	4.6%	8.7%

###### ④ 太陽光分配装置の開発

円筒型太陽電池下にカーテンレールを用いタイミングベルトを DC モーターで駆動させることで、寒冷紗を開閉可能とする装置を製作した。DC モーター側軸受け、外側軸受け、DC モーター駆動部の設計及び製作を行った。タイミングベルトの張りは調整可能な構造としている。寒冷紗は反射率が高いダイオミラー HB タイプ(ラッセル編)シリーズの遮光率 40% (40HB-6)を用いた。製作した自動開閉装置を図 6 に示す。

開発した装置は、Arduino UNO R3 を用いて、Si 太陽電池を日射量センサーとして日射量の強い日中の時間帯において寒冷紗の自動開閉が可能となっている。また、Arduino の SD シールドを搭載し、Si 太陽電池



図 6 太陽光分配のための寒冷紗自動開閉装置

の出力を日射量に換算して SD カードに保存することで、安価な日射量ロガーの役割も果たしている。

開発した装置を用いて、冬季の 2 月 13 日の 13:37 ~15 分間に寒冷紗を開閉したときの発電増加量を測定したところ寒冷紗を閉めた時に太陽電池の発電量が 2.3% 増加することを確認した。

## (2) 太陽光透過率の違いによる農作物の生育調査

### ① 寒冷紗を用いた透過率の違いによる生育調査

透過率の異なる 3 種類の寒冷紗を設置して 4 パターン (透過率 100%, 70%, 60%, 50%) の太陽光透過率環境を作り 2 種類 (小松菜, 青梗菜) の野菜を各 2 苗ずつ生育した。5 月 13 日に種を蒔き, 5 月 20 日に水耕栽培装置に移し, 6 月 13 日まで栽培した。定期的に生重量を測定して, 各パターンの 2 苗の平均を求めた。

どちらの野菜も最初の約 2 週間は, 透過率の差による生育の差は見られない結果となった。小松菜は, 図 7 に示すように透過率の高い順に生育の差が現れた。青梗菜は, 図 8 に示すように透過率 100% と 70% の差がほとんど無く同じように大きく生育し, 透過率 60% と 50% との成長の差が大きくなった。5 月~6 月の時期であれば, 透過率 70% まで下げても生育に影響が出ないことがわかった。

### ② 円筒型太陽電池下での農作物の生育調査

円筒型太陽電池の下に水耕栽培装置を設置し, 円

筒型太陽電池下での生育実験を行った。同時に, 透過率 100% と寒冷紗による透過率 70% と 60% の環境でも水耕栽培装置を使用して, 2 種類 (小松菜, 青梗菜) の野菜を各 2 株, 6 月 25 日に水耕栽培装置に移し 7 月 23 日栽培した。小松菜の生重量の測定結果は図 9, 青梗菜の結果は図 10 に示している。どちらの野菜も最初の約 1 週間は, 透過率の差による生育の差は見られない結果となった。小松菜は, 円筒型太陽電池下でも透過率 100% と 70% とは, ほとんど差が無く成長する結果となった。青梗菜は, 透過率 100% が一番大きく成長し, 二番目に円筒型太陽電池下が大きく成長した。

2 つの円筒型太陽電池パネルの一方の下に遮光率 40% (40HB-6) の寒冷紗を設置した。また, 比較の為に透過率 100% と, 70% の環境も用意し, これら 4 つのパターンで水耕栽培装置を用いて小松菜の生育調査を行った。6 月 4 日に種を蒔き, 6 月 12 日~7 月 7 日の間水耕栽培装置に移して生育した。各パターンの試料数は各 2 株。図 11 に生重量の測定結果を示している。透過率 100% の環境, 透過率 70% の環境, 円筒型太陽電池下での環境では, 試料数が少なかったためばらつきがあるが, 生育に明らかな差は認められなかった。しかし, 円筒型太陽電池下に遮光率 40% の寒冷紗を設置した環境では, 太陽光の透過率が計算上 30% 以下となるため, その小松菜は他の環境と比べて明らかに小さい結果となった。このことから, 円筒型太陽電池下の寒冷紗を常時設置した状態ではなく, 日

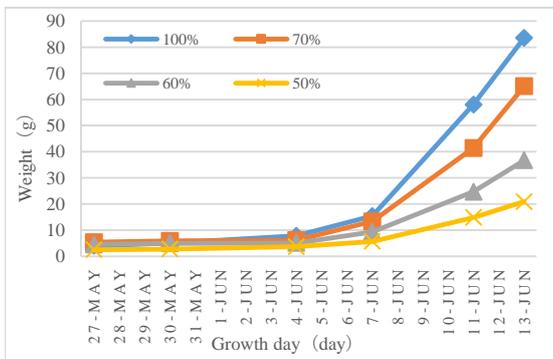


図 7 透過率の違いによる小松菜の生重量

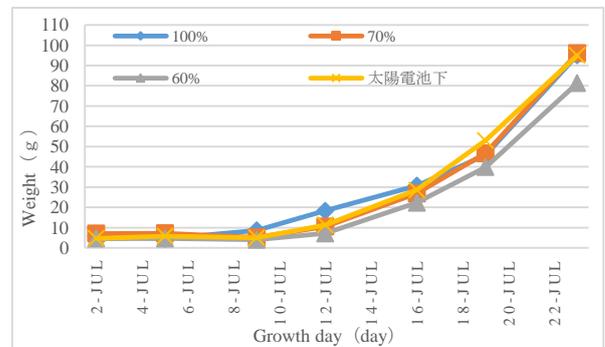


図 9 円筒型太陽電池下での小松菜の生育

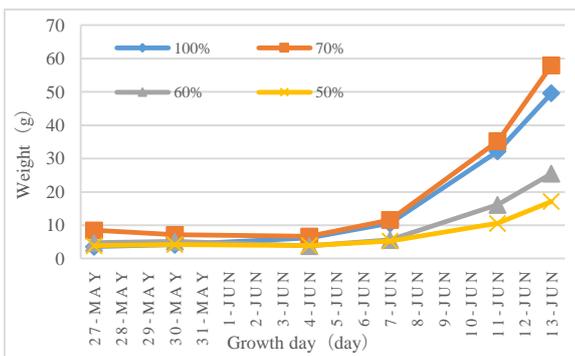


図 8 透過率の違いによる青梗菜の生重量

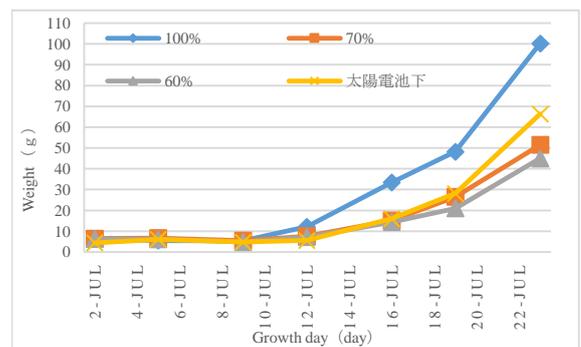


図 10 円筒型太陽電池下での青梗菜の生育

射量の強い日中の時間帯のみに設置する制御が必要であるという結果となった。

### (3) 研究成果のまとめ

円筒型太陽電池と反射率の高い寒冷紗を用いて、Arduinoにより、日射量と時間帯によって寒冷紗を自

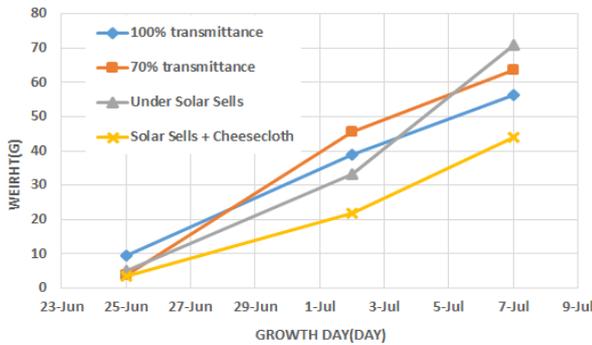


図 11 円筒型太陽電池下寒冷紗有無による生育差

動で開閉する太陽光分配装置を開発した。反射率の高い寒冷紗により発電量が増加することが確認できた。

円筒型太陽電池下の作物生育調査の結果から小松菜は成長していく過程で十分な光を必要とするが、日射量が十分にある5月～7月の時期であれば、円筒型太陽電池下であっても問題なく生育することが確認できた。また、円筒型太陽電池パネル下に遮光率40%の寒冷紗を設置した環境では成長に大きな影響が出る結果となった。生育する農作物と時期を考慮して寒冷紗を開閉して太陽光の透過と反射を制御することで、太陽光分配装置下において農作物の生育への影響を抑えながら発電量を増やす可能性が確認できた。

今後は製作した太陽光分配装置下において透過光の制御を行いながら農作物の生育検証を進めていき、農作物への生育を最小限に抑えながら発電量を増加させる最適制御の研究を行っていく予定である。

本研究に用いている円筒型太陽電池パネルを製造していた SOLYNDRA 社が倒産したため、円筒型太陽電池の今後の入手が難しくなっているため、細長い棒状の太陽電池パネルを用いる装置への変更も検討していく予定である。

#### <引用文献>

- ① YKD 横浜環境デザイン, 「光飽和点の重要性」, Web ページ, <http://ykd.co.jp/solarsharing/light-saturation-point>,
- ② 環境ビジネスオンライン, 「ソーラーシェアリング」, Web ページ, <http://www.kankyo-business.jp/dictionary/005033.php>
- ③ ソーラーシェアリングの将来性, <http://kato.html.xdomain.jp/photovoltaic/future.html>

### 5. 主な発表論文等

[学会発表] (計9件)

- ① 福山智之, 吉田晋, 福見淳二, 「作物の生育を考慮した円筒型太陽電池の発電増加装置の開発」, 2014年度計測自動制御学会四国支部学術講演会, P184-185, (2014)
- ② 新見良夫, 吉田晋, 福見淳二, 「太陽電池下の農作物に対する照度制御用照度ロガー開発」, 2014年度計測自動制御学会四国支部学術講演会, P17-18, (2014)
- ③ 野上貴弘, 吉田晋, 福見淳二, 「寒冷紗による農地太陽光発電量増加に関する検討」, 2014年度農業施設学会大会講演要旨, P103-104, (2014)
- ④ 新見良夫, 吉田晋, 福見淳二, 「作物への太陽光制御のための照度ロガーの開発」, 2014年度農業施設学会大会講演要旨, P101-102, (2014)
- ⑤ 吉田晋, 村田陽菜, 福見淳二, 「円筒型太陽電池を用いたソーラーシェアリングにおける農作物の生育調査」, 第73回農業食料工学会年次大会講演要旨, P246, (2014)
- ⑥ 前山奈美, 吉田晋, 福見淳二, 「寒冷紗による農地太陽光発電量増加に関する検討」, 2013年度計測自動制御学会四国支部学術講演会, 56-57, (2013)
- ⑦ 吉田晋, 福見淳二, 「ソーラーシェアリングに適した太陽電池の検討」, 第72回農業食料工学会年次大会講演要旨, P261, (2013)
- ⑧ 村田緑, 吉田晋, 福見淳二, 「作物への太陽光制御のための太陽電池による日射・照度ロガーの開発」, 2013年度農業施設学会大会講演要旨, P145-146, (2013)
- ⑨ 村田陽菜, 吉田晋, 福見淳二, 「ソーラーシェアリングのための太陽光透過率による農作物の生育調査」, 2013年度農業施設学会大会講演要旨, P147-148, (2013)

### 6. 研究組織

#### (1) 研究代表者

吉田 晋 (YOSHIDA, Susumu)

阿南工業高等専門学校・その他部局等・准教授

研究者番号: 10607310

#### (2) 研究分担者

福見 淳二 (FUKUMI, Jyunji)

阿南工業高等専門学校・その他部局等・准教授

研究者番号: 30300627

安野 卓 (YASUNO, Takashi)

徳島大学・ソシオテクノサイエンス研究部・教授

研究者番号: 50263869