

農業理工学研究部門

2019 年度活動サマリー・研究成果・業績リスト

農業理工学研究部門

(部門長)

渡邊康之 教授

(副部門長)

橋元伸晃 教授

(部門研究員)

内海重宜 教授

平田陽一 教授

松岡隆志 教授

王谷洋平 准教授

来須孝光 准教授

上矢恭子 講師

井上直人 客員教授

下田達也 客員教授

野末はつみ 客員教授

水野 潤 客員教授

桃崎英司 客員教授

湯田坂雅子 客員教授

工藤一浩 客員教授

農業理工学研究部門 活動サマリー

【1】活動サマリー（研究、地域貢献活動、学生活動）

1. 研究背景・目的

本部門では農業生産現場のお困り事を持ち込んでいただき、学術的な研究を基盤とし、工学×AI 情報処理で解決やビジネス化まで一緒に取り組む。具体的には「ソーラーチューニング」による農業と発電の両立による農業 IoT 技術を普及させ、農業生産性向上技術や AI（人工知能）による革新的な農業工学技術を社会に実装する。また、スマート農業に関する農理工学際研究の成果を世界に発信し、今後世界が抱える地球温暖化や人口爆発に起因するエネルギー・環境・食料問題に対して一石を投じることを目的とし研究を遂行する。

具体的には図1の構想図に示すように、ヒトの健康状態をセンシングし、健康を保つための「ビッグデータ」を収集し、それを予防医学的な見地から勘案して、「食医（機能性野菜、薬草）」へと繋げるスキームを形成する。将来的には、日常の健康状態をセンシングして、スマートフォン等にデータ通信し、健康を維持するための食事のメニューを提供するサービスへと展開するモデルをもとに事業化を狙う。これは、農地において何を栽培すればいいかという指針になるばかりでなく付加価値の高い作物を栽培することが可能になることに加え、上記のトータルなサービスへと展開できれば、エネルギー・環境分野等への巨大な市場



図1 農業理工学研究部門の研究構想図

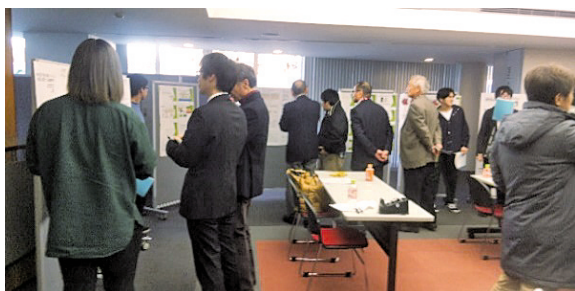
を形成することが可能である。

本年度は、農業用太陽電池（PJ-1）、農業用センサ（PJ-2）、植物生理学に基づく AI 農業（PJ-3）、光合成促進技術（PJ-4）、数理モデルによる光合成解析（PJ-5）に関する研究テーマを軸にした研究活動を遂行した。以下にそれらの成果について詳述する。

2. 地域貢献活動、学生活動

・渡邊研-橋元研合同ゼミ

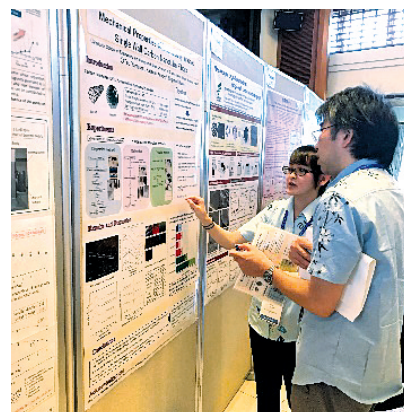
12月13日（金）から一泊2日で、共同研究を行っている企業の経営者や研究者、客員教官等14名のお客様をお迎えし、学生の研究内容での発表とディスカスが行われた。日本触媒の小川博士から二次電池の最新研究のわかりやすい発表や北大アンバサダーの茅野様からアラスカでの大自然留学へのお誘い等のお話しをしていただき、その後の懇親会でのお客様との交流等、学生にとって貴重な刺激が得られるゼミとなった。



渡邊研-橋元研合同ゼミにおけるセミナー及びポスターセッションの様子

・学会発表

内海研究室の修士課程2年の山浦多恵さんが、Mechanical Properties of Interfacially Treated Single Wall Carbon Nanotube Fibers と題して、OKINAWA COLLOIDS 2019 でポスター発表を行いました。



学会でのポスター発表の様子（内海研）

【2】研究開発成果

今年度は、昨年度の農業理工学研究部門の立ち上げ期での成果を基盤として、以下の5つのプロジェクト研究をスタートさせた。具体的には、農業用太陽電池（PJ-1）、農業用センサー（PJ-2）、植物生理学に基づくAI農業（PJ-3）、光合成促進技術（PJ-4）、数理モデルによる光合成解析（PJ-5）に関する学内連携テーマ及び地域連携テーマを設置した。

【PJ-1】農業生産と太陽光発電を両立するソーラーマッチングプロジェクト（平田、渡邊）

（1）光合成に必要な光を透過する有機薄膜太陽電池の試作

「近赤外光吸収材料を用いた光透過型有機薄膜太陽電池の試作」

【はじめに】

半透明型有機薄膜太陽電池（ST-OPV）は、上部電極として金属材料の代わりに透明導電膜を使用することで光透過性を付与した太陽電池の一つである。我々は、可視光吸収材料を用いた Glass/ZnO-nps/PPDT2FBT:PC₆₁BM/MoO₃/IZO の素子構造において、変換効率（PCE）が4%以上の素子作製に成功している。更なる変換効率の向上に向けて、タンデム型の ST-OPV の素子開発が必要である。本研究では、ボトムセル側の検討として、有機発電層に近赤外光を吸収する PTB7-Th:ITIC^[2] を用いた ST-OPV の作製を行った。

【実験方法】

作製した ST-OPV の素子構造は Glass/ITO/ZnO-nps/PTB7-Th:ITIC/MoO₃/IZO である。活性層は、窒素置換されたグローブボックス内でスピコート法により塗布成膜を行った。作製した素子の評価は、AM1.5・1SUN の光照射条件下における電流密度-電圧（ J - V ）測定と外部量子効率（E.Q.E）特性の評価を行った。

【結果及び考察】

図2に、作製した素子の J - V 特性を示す。MoO₃ の膜厚を標準的な 10 nm で作製した素子では、短絡電流密度（ J_{sc} ）の値は 4.37 mA/cm²、開放電圧（ V_{oc} ）は 0.44 V、曲線因子（FF）は 0.27、PCE は 0.52% であった。現状の素子における設計では良い特性が得られなかったため、MoO₃ の膜厚を 20 nm に厚くさせた素子作製を行った。その結果、 J_{sc} の値は 7.07 mA/cm²、 V_{oc} は 0.79 V、FF は 0.58、PCE は 3.26% となった。MoO₃ の膜厚を厚くしたことにより各太陽電池素子性能パラメーターが向上し、PTB7-Th:ITIC を用いた素子の発電特性が改善されたことを確認した。図3には、作製した素子の外部量子効率を示す。MoO₃ の厚さを 20 nm にした素子は、厚さ 10 nm の素子と比

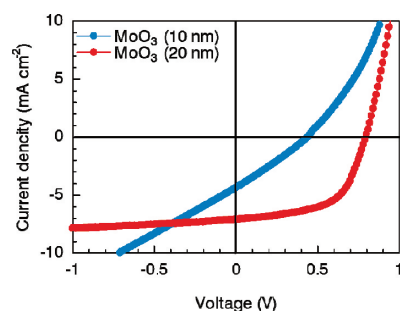


図2 作製した太陽電池の J - V 特性

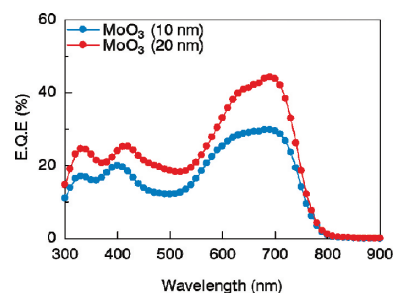


図3 作製した太陽電池の外部量子効率

較すると J_{sc} の値が向上しているが、EQE では 300~750 nm の波長における値が 10% 近く向上していた。以上のことから、近赤外光吸収材料を用いた ST-OPV をタンデム型のボトムセルへ適応させるためには、更なる素子構造の最適化を検討する必要がある。

(2) 農業ハウスを勘案した曲面形状での光透過型有機薄膜太陽電池の特性評価

「透過型有機薄膜太陽電池の曲面における方位別出力積算量評価」

【はじめに】

我々は光合成に必要な光を透過するタイプの透過型有機薄膜太陽電池を農業と複合利用することの有効性を提唱している。透過型有機薄膜太陽電池の発電特性、透過光特性は平面で確認済みであり、その有効性を確認している [3]。農業と複合利用する場合は、ビニールハウスの表面に透過型有機薄膜太陽電池を張り付けて使用することが考えられ、そのために曲面での発電特性、透過光特性を確認する必要がある。

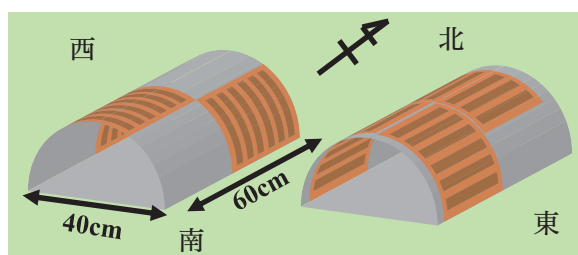
そこで、実際に曲面での発電特性を測定、評価した。その結果、曲面での透過型有機薄膜太陽の有効な使用方法を確認した。

【測定方法】

実際に図 4 に示すような小型のビニールハウスに透過型有機薄膜太陽電池を張り付けて測定を行った。測定は 4 時から 20 時まで 2 分間隔で行っており、I-V カーブの測定には電子負荷方式の I-V メータ、ADCMT(株) 4601 を使用した。日射計は水平面に設置しており、水平面の日射強度を変換効率の基準とした。

透過型有機薄膜太陽電池は長方形のセルが何本か直列接続された構造となっており、1 シートは 30 cm×21 cm のサイズである。セルの配列方向による発電特性の違いを見るために図 4 (a)、(b) に示すようにセルの配列を変えて測定を行った。ビニールハウスの両端は南北に設置しており、セルの長辺を縦として、東西方向に縦にしたものを、セル長辺を東西に配列、南北方向に縦にしたものを、セル長辺を南北に配列とした。また、透過型有機薄膜太陽電池は両面発電構造のため、裏面の反射光による影響を無くすことを考えた。そこで、黒色のビニールシートで裏面側を覆った。水平面にも透過型有機薄膜太陽電池を設置し、裏面に黒ビニールを敷いてこれを太陽電池シート出力評価の基準として測定を行った。

さらに、黒色のビニールシートを外して小型ビニールハウスを固定している板を黒く塗り、反射光の影響を無くして同様の実験も行った。この場合は、一度透過型有機薄膜太陽電池を透過した光が反対側に設置してある透過型有機薄膜太陽電池に入射して発電するという事が考えられる。



(a) セル長辺を東西に配列 (b) セル長辺を南北に配列

図 4 小型ビニールハウスの概要図

【測定結果】

1) 時刻別比較

時間と、水平面、東、中央、西に設置した透過型有機薄膜太陽電池の出力変換効率の関係を図5に示す。

セルを東西に配列し、中央に設置した透過型有機薄膜太陽電池の変換効率は基準とした水平面に設置した透過型有機薄膜太陽電池の変換効率とほぼ変わらなかった。これは、各セルに入射する日射強度が等しいためと推測される。セル長辺を南北に配列し、中央に設置した透過型有機薄膜太陽電池の変換効率は朝型と夕方、基準とした水平面に設置した透過型有機薄膜太陽電池の変換効率より下回っている。これは太陽と反对方位のセル長辺が影になり、シート全体のI-Vカーブに影響しているためと考えられる。

黒色のビニールシートを外して、底板を黒塗りにした場合もほぼ同様の結果が得られた。黒塗りにすることで反射の影響を抑えることができたと思われる。

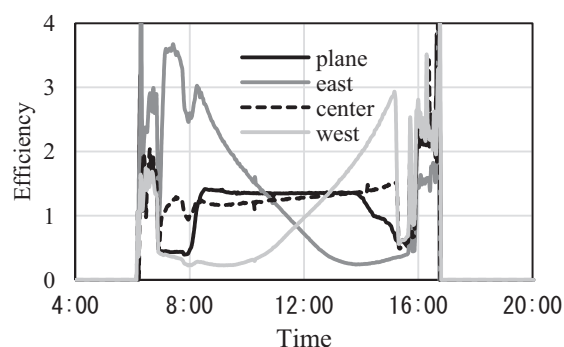
2) 出力積算量比較

水平面に設置した透過型有機薄膜太陽電池を基準に、曲面に設置してセル長辺を東西に配列したもの、セル長辺を南北に配列したものの各方位別出力積算量を比較したものを表1に示す。数値は水平面の透過型有機薄膜太陽の出力積算量を基準とした比率となっている。セル長辺を東西に配列したものと、セル長辺を南北に配列したものの測定日が異なる。

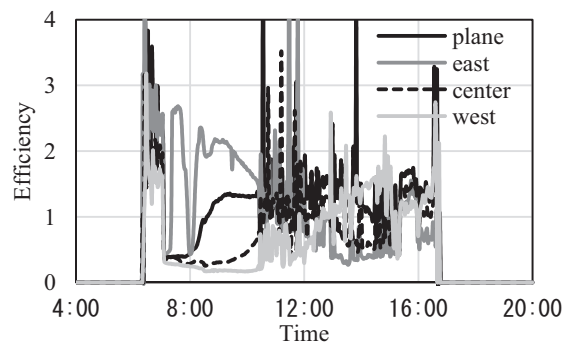
図5に示した値からは、透過型有機薄膜太陽シートを小型ビニールハウスの東西に設置した変換効率は、セル長辺を東西に配列したものとセル長辺を南北に設置したものであまり変わらなく見える。しかし、表1より東に設置した透過型有機薄膜太陽の出力積算量を比較してみると、セル長辺を東西に

表1 水平面に設置した透過型有機薄膜太陽電池を基準とした曲面に設置した太陽電池の出力積算量の比率

	積算日射量 [kWh/m ²]	東	中央	西
セル長辺を 東西に配列	3.84	0.97	1.01	0.75
	2.51	1.07	1.04	0.49
	0.83	0.82	0.91	0.63
平均		0.95	0.99	0.62
セル長辺を 南北に配列	3.77	0.95	0.60	0.54
	1.54	0.65	0.80	0.68
	0.42	0.64	0.80	0.55
平均		0.75	0.73	0.59



(a) セル長辺を東西に配列



(b) セル長辺を南北に配列

図5 時刻に対する各方位設置の変換効率

配列した方が、各値及び平均値が大きくなった。これは、3-1の中央に設置した太陽電池と同様で、セル長辺を東西にした場合は各セルに入射する日射強度がほぼ等しく、セル長辺を南北にした場合は各セルに入射する日射強度が異なるため、一番弱い出力のセルに全体の出力が影響を受けるためと推測される。西側に設置してある透過型有機薄膜太陽電池は設置環境の都合上夕方から建造物の日陰がかかる位置になってしまっており、セル長辺の方向を変えても各値にあまり違いが見られず、平均値はほぼ同じになった。

黒色のビニールシートを取り除き、底板を黒塗りにして同じく出力積算量の比較をしたがほぼ同様の結果となった。

【結論】

透過型有機薄膜太陽電池を農業と複合利用することを意図して、小型のビニールハウスを作成し、ビニールハウスの両端は南北に設置し、太陽電池の裏面からの反射光の影響を無くした。また、各方位に太陽電池を設置し、セルの長辺を東西、南北に変えて発電特性の測定を行った。その結果、

- (1) セルの長辺を東西に配列する方が各セルに入射する日射強度が等しくなるため、セルの長辺を南北に配列したものより多くの出力が見込めることが分かった。水平面を基準とした比率でセル長辺を東西配列が0.99、セル長辺を南北配列が0.73となった。
- (2) 水平面に設置した透過型有機薄膜太陽電池の出力積算量を基準とした各方位の曲面に設置した透過型有機薄膜太陽電池の出力積算量の比率を比較した。その結果、セルの長辺を東西に配列した場合は、東側と中央に設置した透過型有機薄膜太陽電池の出力積算量の比率は0.95、0.99となり、ほぼ1に近い値となった。東側は地面からの反射光の影響が考えられる。曲面設置は設置環境次第では水平面に設置した透過型有機薄膜太陽電池とほぼ変わらない出力が見込める。
- (3) セルの長辺を南北に配列した場合は、東側と中央に設置した透過型有機薄膜太陽電池の出力積算量の平均比率は水平面に設置した透過型有機薄膜太陽電池の出力積算量の0.75、0.73倍の出力積算量となった。セル長辺を東西にした場合は各セルに入射する日射強度がほぼ等しく、セル長辺を南北にした場合は各セルに入射する日射強度が異なるため、一番弱い出力のセルに全体の出力が影響を受けるためと推測される。

裏面の影響を受ける場合も底板を黒くした場合は、ほぼ同様の結果となった。

(3) パルス変調クロロフィル蛍光測定による有機薄膜太陽電池で栽培した農作物の評価

図6に示すように葉に吸収された光エネルギーは、(1) 化学エネルギーに変換され、正常な光合成に利用される (P) 以外にも (2) 熱エネルギー (D・N) や (3) 蛍光エネルギー (F) へと変換される。つまり、クロロフィル蛍光を測ることで、光合成と熱放散の効率の変化に関する情報を得ることができる。本研究で

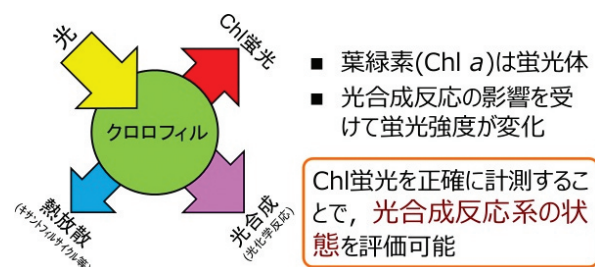


図6 パルス変調クロロフィル蛍光測定による光合成評価

はこの原理を利用しシースルー有機薄膜太陽電池の透過光で栽培した農作物の光合成効率の評価を定量的に行う。

なお、本実験については現在、屋外のハウス内で栽培しているトマト及び屋内の疑似太陽光 LED 下で栽培しているトマトの光合成について評価を行う予定である。

〈まとめ〉

図 7 に示すように上記で述べてきた各実験項目①～③について成果の見込みについて以下にまとめる。

(1) 光合成に必要な光を透過する有機薄膜太陽電池の試作

光透過型有機薄膜太陽電池の更なる変換効率の向上に向けて、タンデム型の ST-OPV の素子開発が必要である。本研究では、ボトムセル側の検討として、有機発電層に近赤外光を吸収する PTB7-Th:ITIC を用いた ST-OPV の作製を行った。MoO₃ の膜厚を厚くしたことにより各太陽電池素子性能パラメーターが向上し、PTB7-Th:ITIC を用いた素子の発電特性が改善されたことを確認した。

(2) 農業ハウスを勘案した曲面形状での光透過型有機薄膜太陽電池の特性評価

光透過型有機薄膜太陽電池を農業と複合利用することを意図して、小型のビニールハウスを作成し、ビニールハウスの両端は南北に設置し、太陽電池の裏面からの反射光の影響を無くした。また、各方位に太陽電池を設置し、セルの長辺を東西、南北に変えて発電特性の測定を行った。

(3) パルス変調クロロフィル蛍光測定有機薄膜太陽電池で栽培した農作物の評価

図 7 ③に示すような光透過型太陽電池を搭載した水耕栽培機によるトマト栽培について、屋内では疑似太陽光 LED 下び屋外では太陽光下にて栽培し、パルス変調クロロフィル蛍光測定による光合成評価を行った上で栽培速度、収穫量、成分等の分析を定量的に行う。

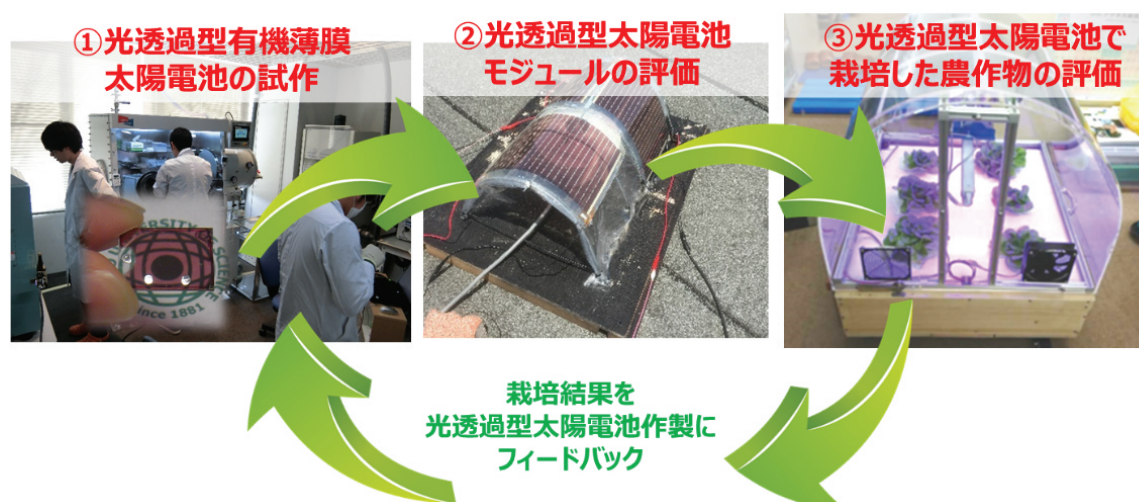


図 7 実験項目と実験方法

【PJ-2】五感を超える農業用センサー開発プロジェクト（橋元、上矢、桃崎、水野）

（1）可食性、水溶性センサ、エレクトロニクスの研究（橋元）

①【活動サマリー】

新規可食性エレクトロニクスに関し、土壌活性の敏速検出を目的とする、フレキシブル基板上に、可食導電ペースト印刷インクで土壌活性度検出センサを試作し、当該センサによるインピーダンスアナライザによる土壌中への設置実験で活性度計測を実施した。一般の黒ボク土よりも土壌活性度の高いと推測される市販生ごみ処理用基材でインピーダンスの上昇が顕著となる結果を得た。土壌活性度について ATP 計測ではリファレンス計測とすることができず、課題になることが明確となった。修士 1 年生が担当。

②【本年度研究業績リスト】

特願 2019-226954（特許公開まで発明名称・内容は未公表）

③ 共同研究先/契約形態 県内食品メーカー NDA 契約

（2）瞬時土壌センサの研究（橋元）

①【活動サマリー】

（A：土壌センサ研究）

井上、桃崎の両客員教授を招聘し、本格的に研究を開始。まずは、本学における研究環境整備を実施し、活動を開始。

- ・瞬時土壌センサデータと比較する基準データを得るための標準測定機器の仕様検討と発注。
- ・瞬時土壌センサデータから実際の土壌データを推定するアルゴリズムの研究開発を実施。
- ・信大で開発した土壌の生物系特性測定法の工業化に関する検討を実施。

（詳細は桃崎客員教授からの報告による）

（B：検出原理の探索活動）

検出原理構築に向けた研究を開始。本年度は、まず強磁性材料である鉄について 3D 電磁界解析環境の構築を行い、バルクハウゼンノイズを検出する先行文献のセンサについてモデル化、研究内容のトレースを実施し、シミュレーションで実験結果がほぼ再現できた。4 年生が担当。

②【本年度研究業績リスト】 無し

③共同研究先/契約形態 県内製造メーカーと共同研究並びに NDA 契約

（3）極微量物質分析装置 API-MASS を用いた、ブランド価値拡大による地域振興適用の研究（橋元）

1) 水野客員教授、上矢講師と、原村農家の方と、原村産ニンニクについてのブランド構築

研究を開始。原村産と青森産、中国産のニンニクに関し、API-MASS とにおい分析装置での比較味見分析を実施。今後、ブランド化のストーリーを明確にし、におい分析装置を中心とした分析技術によるブランド構築の検討を実施する予定。

2) 県内産りんご（ふじ）の香り成分分析（水野客員教授）

長野県果樹試験場、評価装置メーカーとの共同研究の検討を開始

3) 県内産日本酒の揮発性成分分析（水野客員教授）

岡谷市の酒造会社、評価装置メーカーとの共同研究を開始。

4) 成分 & 香り数値化から生まれる SUWA コーヒープロジェクト（水野客員教授）

諏訪市、製造メーカー、販売会社、コーヒー焙煎会社と、諏訪の水を用い、コーヒー豆特殊焙煎方法の検討を開始。

（4）土壌成分推定アルゴリズムの開発（桃崎、共同研究開発テーマ 1）

電磁的方法による土壌成分測定技術に関し、課題はあるものの、測定方法、推定アルゴリズムに関して全容が見えるようになった。以下の課題と方向性を明らかにした。

- (1) インピーダンス測定
- (2) 推定アルゴリズム
- (3) Deep Neural Network への取り組み
- (4) 工業化に当たってのシステム

（5）標準化事業戦略調査（桃崎、共同研究開発テーマ 2）

- ・標準化事業戦略（JIS 化、ISO 化など）に関しては、方向が見えてきた。
- ・本開発デバイスや測定器等の標準化による製品規格では、事業戦略として有効ではない。
（例：特許開放など重要技術の公開が前提となる）
- ・測定方法の標準化による試験方法規格でも事業戦略としては難しい。
- ・インタフェース規格やサービス規格による標準化事業戦略の検討要。

（6）Agri-inforamatics（桃崎）

農学分野に於ける情報工学の活用は新しく Agri-informatics として拡大しており新技術の調査・研究を継続して行う。

その他、地域貢献活動 & 地域との交流（桃崎）

〈地域貢献活動〉

- ・標準土壌の譲渡により企業が活用できるように指導（岡谷市）
（長野県岡谷創業支援センター内）
- ・ワイン農場に於いて土壌技術の現地指導（飯綱町）
- ・信大で指導を行ってきた温泉熱発電事業が実証実験ステージに（諏訪市）
（低温発電技術及び二次冷却水の農業的利用）
- ・地元農家が立ち上げた Hot-Stay 事業へのアドバイス（茅野市）

〈地域との交流〉

- ・定例巡回技術相談会（信大と合同）に於いて活動（六市町村）
- ・環境カウンセラー（環境省）として地元農業関係者との交流

- ・諏訪市新技術・新製品開発事業審査委員会委員長として活動
- ・茅野市中小企業振興審議会委員として活動

【PJ-3】植物生理学を基盤とした AI 作物栽培システム開発プロジェクト（来須）

（1）八ヶ岳中央農業実践大学校との共同研究（来須）

八ヶ岳中央農業実践大学校と共同でウルトラファインバブル水の農作物における生育への影響評価を実施した。商用作物としてハウレン草および小松菜の生育評価を、冬季の農業大学校のガラス温室において検討した結果、地下水と比較して、生育速度、生重量において明確な差異は見出されなかった。今後は、食味、病虫害抵抗性への影響を調べる予定である。一方、温室内に簡易自動型の作物撮影システムを構築した（図8）。既に設置されている LPWA による、温度、湿度と併用することにより、作物の正確な状態把握が可能になった。

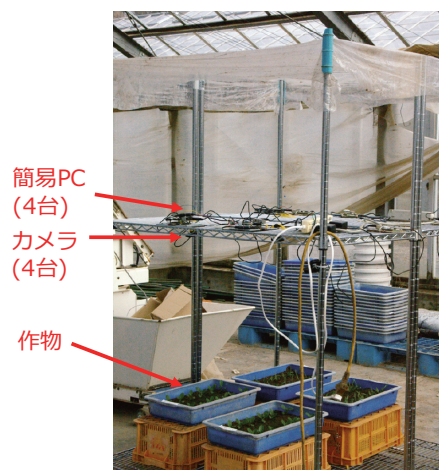


図8 簡易自動型の作物撮影システム

（2）活性酸素（ROS）による酸化ダメージを指標にした、稲苗1枚でのストレス耐性の迅速診断システムの開発（来須）

次年度は、多サンプル評価に適応するためのシステム改良を進めるとともに、多様なブランド米品種の評価により、育種に必須な最適な交配系統の選抜を実施する予定である。

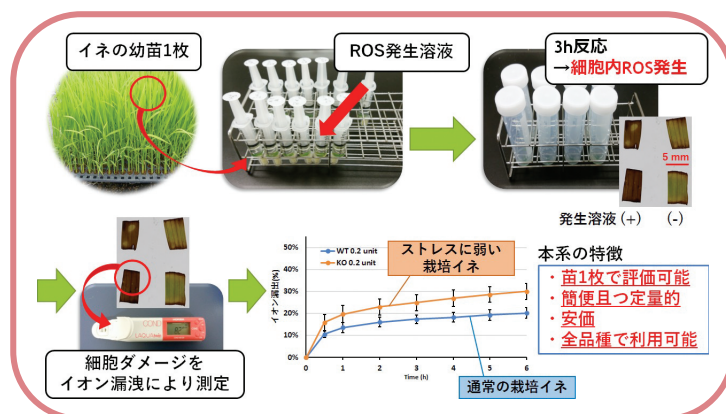


図9 活性酸素（ROS）による酸化ダメージを指標にした迅速診断システム

【PJ-4】光合成促進技術開発&光合成測定評価技術開発プロジェクト（平田、内海、渡邊）

（1）波長変換シートの直達光に対する透過光スペクトル分析（平田）

近年では植物の光合成を促進させる波長変換シート（ピンクシート）を使用し収穫量を増

やす取り組みがなされている。これは、波長変換シートにより植物の光合成に必要な緑色の波長を光合成に必要な赤色の波長に変換しているため光合成が促進されているからである。また、太陽光を波長変換することで太陽電池の発電効率の向上も期待されている。そこで、波長変換シートがどのような特性を持ち、どのような条件下において赤色の波長域を蛍光するのか研究し、活用法を探る。

• 測定方法

はじめに波長変換シートの特性を調べた。波長変換シートを使用した状態と暴露状態で測定し比較した。これにより波長変換シートの特性を得ることができる。本実験では波長変換シートを平面で使用した。次に得られた分光分布から吸光した波長と蛍光された波長の積分範囲を決め、比較した。最後に吸光・蛍光特性にその時間の直達光比率を加えて透過光スペクトル分析を行った。

• 測定結果

波長変換シートを使用した状態と暴露状態で比較したものを図 10 (2019/11/29) に示す。次に吸光と蛍光の特性グラフを図 11、直達光比率による吸光と蛍光の特性グラフを図 12 (2019/11/30) に示す。図 2 と図 12 は晴天日の測定データを図 1 から吸光と蛍光の積分範囲を決め積分し、特性を表したものである。図 1 から青色や緑色の波長域が吸光し赤色の波長域が蛍光していることが分かる。

図 11 から吸光量が増加するほど蛍光量が低下していく傾向がみられる。この図から直達光比率において吸光量と蛍光量は線対称に近い関係性があると考えられる。また、直達光比率が高くなるにつれて吸光量が増加する傾向がみられる。

以上より晴天日および直達光比率が高いときは吸光量が増え、吸光量が多いときは蛍光量が少ないと推測できる。今回は平面のみの分析となったが、波長変換シートは曲面で使われることが多いので今後は曲面時の分析も行う必要がある。

• まとめ

波長変換シートの蛍光の度合いが強まる環境条件を調べた。直達光や日射強度が強くなればなるほど、蛍光の割合は減少した。その結果、直達光が弱く日射強度が低い時、例えば季節で

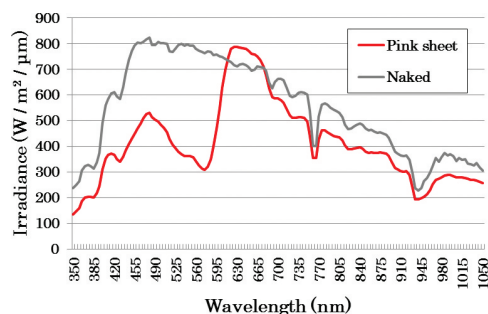


図 10 波長変換シート分光特性

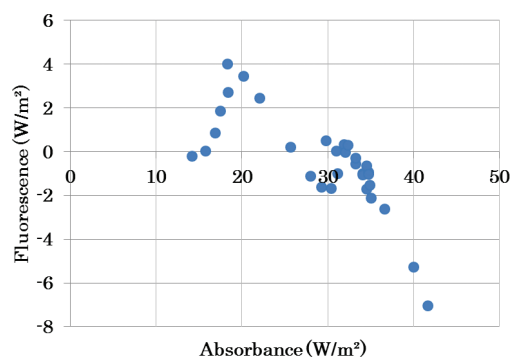


図 11 吸光に対する蛍光特性

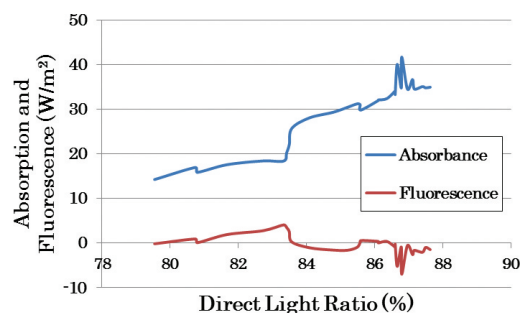


図 12 直達光比率に対する吸光と蛍光

は冬などが吸光に対する蛍光の比率が高くなることが推定された。

(2) クロロフィル蛍光測定素子用フレキシブル有機 EL の作製 (内海、渡邊)

・目的

現在、食料不足問題の解決策として、農作物の収穫量を向上させる際に用いるクロロフィル蛍光測定が注目されている。しかし、クロロフィル蛍光測定装置は高額であり、一般農家への普及は進んでいない。そこでクロロフィル蛍光測定の照射光に使用されている青色 LED 代替光源として、青色有機 EL を使用することでコストダウンや様々な場面での展開が期待できると考えた。本実験では透明電極として従来の酸化物系材料よりも柔軟性の高い CNT (Carbon Nano Tube) 上への有機 EL 作製を試みた。

・実験方法

本研究で作製した有機 EL の構造を図 1 に示す。実験手順は IPA で基板洗浄を行い、UV/O₃ 処理した基板上に、有機層 (TPD、DPVBi、Alq₃) と電極 (Al) の蒸着を行い、有機 EL の評価として電圧・輝度の測定を順に行った。

・結果と考察

作製した有機 EL の輝度・電圧特性測定結果を図 2 に示す。最も高効率であった条件において電圧 20 V で輝度 67 cd/m² となった。また、図 3 のように基板を折り曲げた状態での青色での発光を確認し、フレキシブル性においては高い性能を示した。

・まとめ

本研究ではフレキシブルな青色有機 EL の作製に成功した。今後は更なる高効率化、小型化について検討していく。また、作製した有機 EL での折り曲げ耐久試験を行い、フレキシブル特性についても詳細に検討していきたい。

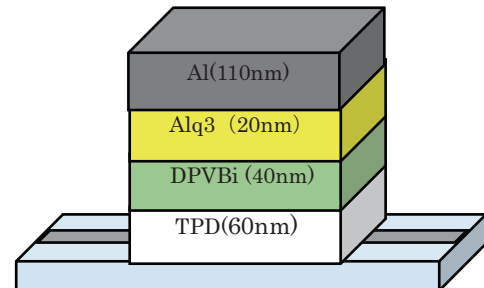


図 13 作製した有機 EL の構造図

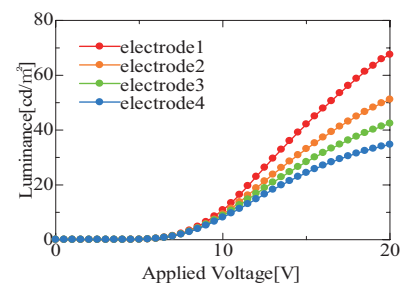


図 14 電圧に対する輝度の変化



図 15 作製した有機 EL

【PJ-5】量子系の数値モデルを用いた光合成・農業関連データ解析プロジェクト (松岡、渡邊)

下記のワークショップを開催を予定していたがコロナ感染拡大の影響により中止となった。時期をみて開催予定である。

(1) 農業理工学研究部門・ワークショップ 2020

ワークショップ開催の主旨：

本研究部門の研究目的の1つに、農業生産現場から得られる様々なデータを分析、加工して、農業の生産効率上げる生産工程の構築に寄与することがあります。このとき、そうしたデータを、適切な統計的手法を用いて評価することは、重要な分析視点の一つといえます。今回、確率論の第一人者であるローマ大学の Luigi Accardi 教授を本研究部門で召喚する機会を得ました。そこで、Accardi 教授の基調講演をベースに、確率論の基本的な視点から、本研究部門で扱うデータの統計的な性質等について議論するワークショップを開催することにした次第です。

また、当日は、量子科学技術研究開発機構の田中芳治氏にも、関連する研究内容についてご講演をいただく予定です。

本研究部門に関連される先生方のご参加を賜り、有意義なワークショップの開催に努めたいと考えております。ご参加ご検討のほど、よろしくお願いいたします。

記

日 時：2020 年 3 月 6 日（金） 13：00～17：00

場 所：公立諏訪東京理科大学

プログラム：13：00～13：10 開会のあいさつ（部門長：渡邊康之）

第一部（司会：松岡隆志）（講演は質疑応答の時間を含む。）

13：10～14：40 Luigi Accardi（ローマ大学）“非可換確率論の基礎（仮タイトル）”

15：00～15：50 田中芳治（量子科学技術研究開発機構）“タイトル未定”

第二部 16：00～17：00

パネルディスカッション、あるいは、ポスターセッションを予定。

17：00～17：10 閉会のあいさつ（部門長：渡邊康之）

懇親会：17：30～19：00

Accardi 教授の基調講演の概要：

Accardi 教授が専門とされる確率論は、「非可換確率論」と呼ばれる分野です。非可換確率論とは、20 世紀初頭の量子力学の誕生とその進展に伴い、量子系（微視的な系）から得られる実験データの整合的な記述に必要な数学的枠組みとして構築されてきた理論です。

サイコロを複数回投げた時に得られるその目の結果など、巨視的な現象から得られる統計と、量子力学で扱う微視的対象から実験による測定を介して得られる統計の間には、質的に異なる性質が見て取れます。その質的な違いは、不確定性原理に帰着する同時測定困難な物理量（観測量）の組（例えば、ある時刻における電子の運動量と位置）の存在に由来するものです。言葉を換えれば、微視的対象から得られるデータは、巨視的な対象よりも、その実

験的状況に強く依存し、すなわち環境の影響を強く受けるということが出来ます。それに対し、サイコロを振ることを考えれば、だれがサイコロを振ろうが、どんな場所で振ろうが、得られる統計に大きな違いは生じないというわけです。

ここで、植物は環境に強く依存することを考えると、植物の生育に伴うデータ等を分析する際に、果たして従来の統計的手法は、常に適切な手法と言えるのか？という疑問が生じてきます。

基調講演においては、確率論の専門家ではない聴衆を前提に、従来の確率論の基本的なアイデアを振り返るところから始めて、環境に強く依存する統計とそうでない統計の質の違いが、従来の確率論と非可換確率論の数理構造の違いによって、どのように特徴づけられ、そうした統計を区別する指標がどのように設定できるのか、数学のディテールには固執せずに、その基本的な考え方を中心に講演いただく予定です。

田中芳治氏の招待講演の概要：

田中氏の専門は、量子認知科学と最近呼ばれるようになった分野で、人間の認知機能を量子力学の視点から解明しようというものです。従来の認知科学や社会心理学の実験などから得られる、人間の意思決定に関連するデータの統計的性質を、非可換確率論の手法を用いて解析を試みられています。

また、田中氏は生物学の分野において、大腸菌の2段階成長（diauxie in *Escherichia coli*）過程を量子系の数理モデルを用いて説明するといった研究にも着手されています。今回は、実際に実験で得られた、ラクトース培養液の中で増殖する大腸菌の数に関する統計データをその数理モデルで解析し、その統計の環境依存の特性等について、お話しいただく予定です。

【3】研究業績リスト（論文、学会発表、講演、学会解説記事、著書、特許、共同研究成果物等）

査読付き論文

- [1] Sera Y., Hanamata S., Sakamoto S., Ono S., Kaneko K., Mitsui Y., Koyano T., Fujita N., Sasou A., Masumura T., Saji H., Nonomura K.I., Mitsuda N., Mitsui T., *Kurusu T., Kuchitsu K. Essential roles of autophagy in metabolic regulation in endosperm development during rice seed maturation. *Scientific Reports* (9 巻) (1 号) (e 頁 18544) (2019) Impact Factor: 4.011 (*責任著者)
- [2] Hanamata S., Sawada J., Ono S., Ogawa K., Fukunaga T., Nonomura K.I., Kimura S., *Kurusu T., Kuchitsu K. Impact of autophagy on gene expression and tapetal programmed cell death during pollen development in rice. *Frontiers in Plant Science* (11 巻) (e 頁 172) (2020) Impact Factor: 4.106 (*責任著者)
- [3] Yuito Kamijyou, Dragana Stevic, Radovan Kukobat, Koki Urita, Nurul Chotimah, Yoshiyuki Hattori, Ryusuke Futamura, Fernando Vallejos-Burgos, Isamu Moriguchi, Shigenori Utsumi, Toshio Sakai, Katsumi Kaneko “Mesoscopic cage-like structured single-wall carbon nanotube cryogels” *Microporous Mesoporous Mater.*, 293, 2020, 109814.
- [4] 渡邊康之, “有機薄膜太陽電池を用いた発電するビニールハウス”, 太陽エネルギー, Vol.45 No.4, pp.16-22, 2019
- [5] 渡邊康之, “農業生産と両立可能な光透過型有機太陽電池”, 太陽エネルギー, Vol.45 No.6, pp.26-31, 2019
- [6] Kohei Kuwano, Hiroyuki Ogo, Masayuki Chikamatsu, Yuji Yoshida, Yasuyuki Watanabe and Eiichi Nishikawa, “Effects on p-type buffer layers for semitransparent organic photovoltaics using indium zinc oxide transparent electrode”, *Japanese Journal of Applied Physics*, Volume 59, , SDDD04 (2020)

学会発表

- [1] T. Yamaura, K. Kaneko, and S. Utsumi, “Mechanical Properties of Interfacially Treated Single Wall Carbon Nanotube Fibers”, OKINAWA COLLOIDS 2019, 3rd Nov. 2019, Bankoku Shinryokan.
- [2] 丸山健一, 田中誠也, 桃澤信幸, 内海重宜, “中性子回折および磁化測定による六方晶フェライト $\text{Ba}(\text{Fe}_{1-x}\text{Sc}_x)_{12}\text{O}_{19}$ のヘリカル磁性の研究”, 2019 年材料技術研究協会討論会, 2019 年 12 月 5 日, 日本大学駿河台キャンパス.
- [3] 田中誠也, 丸山健一, 内海重宜, “六方晶フェライト $\text{Ba}(\text{Fe}_{1-x}\text{Sc}_x)_{12}\text{O}_{19}$ の単結晶育成と磁氣的性質”, 第 43 回日本磁気学会学術講演会, 2019 年 9 月 27 日, 京都大学吉田キャンパス.
- [4] K. Maruyama, S. Tanaka, R. Kiyanagi, A. Nakao, K. Moriyama, Y. Ishikawa, S. Utsumi, “Helimagnetism of $\text{Ba}(\text{Fe}_{1-x}\text{Sc}_x)_{12}\text{O}_{19}$ studied by magnetization measurement and neutron diffraction”, The 3rd J-PARC Symposium, Sep. 24th, 2019, Tsukuba International

Congress Center,

- [5] 直散光を用いた農業用ビニールハウスにおける太陽電池の発電量の算出
汲田, 山本, 平田, 渡邊, 日本太陽エネルギー学会 2019 年 10 月 18 日
- [6] 農業用波長変換シートを用いた透過太陽光スペクトルの変化
山本, 汲田, 平田, 渡邊, 日本太陽エネルギー学会 2019 年 10 月 17 日
- [7] 災害による停電を想定した再生可能エネルギー復旧システム
新井, 平田, 石井, 山本, 日本太陽エネルギー学会 2019 年 10 月 17 日
- [8] 波長変換シートの直達光に対する透過光スペクトル分析
平田陽一, 山本浩平, 渡邊康之, 令和 2 年 電気学会全国大会 2019 年 3 月 13 日
- [9] 桑野航平 1,2, 小江宏幸 2, 近松真之 2, 吉田郵司 2, 渡邊康之 3, 西川英一 1, 近赤外光吸収材料を用いた半透明型有機薄膜太陽電池の開発, 2019 年 第 80 回 応用物理学会秋季学術講演会, 2019 年 9 月 20 日
- [10] 渡辺康之 1, 小林 心 1, 工藤一浩 2, 有機静電誘導トランジスタの動作メカニズムについての検討, 2019 年 第 80 回 応用物理学会秋季学術講演会, 2019 年 9 月 19 日

〈以下, 研究会, シンポジウム〉

- [9] 新井雅大, 平田陽一, 災害による停電を想定した再生可能エネルギーによる復旧システム, 東京理科大学 総合研究院 太陽光発電技術研究部門 第 10 回シンポジウム, 2020 年 1 月 27 日
- [10] 井出 裕, 平田陽一, パラメータフィッティングを用いた太陽電池の劣化診断, 東京理科大学 総合研究院 太陽光発電技術研究部門 第 10 回シンポジウム, 2020 年 1 月 27 日
- [11] 山本浩平, 平田陽一, 農業用波長変換シートの直達光に対する透過光スペクトル分析, 東京理科大学 総合研究院 太陽光発電技術研究部門 第 10 回シンポジウム, 2020 年 1 月 27 日
- [12] 岡村 晶, 平田陽一, 温度差に対する流速を制御した光・熱ハイブリッドパネルの基礎特性, 東京理科大学 総合研究院 太陽光発電技術研究部門 第 10 回シンポジウム, 2020 年 1 月 27 日
- [13] 遠藤勇人, 渡邊康之, 波長変換シートを用いた植物栽培の光合成促進効果の検証, 東京理科大学 総合研究院 太陽光発電技術研究部門 第 10 回シンポジウム, 2020 年 1 月 27 日
- [14] 宮森蒼太, 渡辺康之, オイル産生藻類において光強度が培養効率に与える影響, 東京理科大学 総合研究院 太陽光発電技術研究部門 第 10 回シンポジウム, 2020 年 1 月 27 日
- [15] 村田泰樹, 渡邊康之, オイル産生藻類において光波長が培養効率に与える影響, 東京理科大学 総合研究院 太陽光発電技術研究部門 第 10 回シンポジウム, 2020 年 1 月 27 日
- [16] 白勢健登, 渡邊康之, フレキシブル有機 EL を用いたクロロフィル蛍光素子作製への

検討, 東京理科大学 総合研究院 太陽光発電技術研究部門 第 10 回シンポジウム, 2020 年 1 月 27 日

- [17] 莊司優太, 渡邊康之, 波長変換素子を用いた有機薄膜太陽電池の変換効率向上, 東京理科大学 総合研究院 太陽光発電技術研究部門 第 10 回シンポジウム, 2020 年 1 月 27 日
- [18] 森山 純, 渡邊康之, 高配向材料を用いたフレキシブル有機薄膜太陽電池の検討, 東京理科大学 総合研究院 太陽光発電技術研究部門 第 10 回シンポジウム, 2020 年 1 月 27 日
- [19] 桑野航平, 近松真之, 吉田郵司, 西川英一, 渡邊康之, 正孔注入層材料を用いた半透明型有機薄膜太陽電池の検討, 東京理科大学 総合研究院 太陽光発電技術研究部門 第 10 回シンポジウム, 2020 年 1 月 27 日

[特別講演]

- [1] (来須) 農作物におけるオートファジー・活性酸素の重要性と次世代農業への活用 (2019 年度次世代アグリテクノ産業化コミュニティ第 2 回交流会) (信州大学繊維学部, 令和元年 11 月)
- [2] (桃崎) 「土壌成分測定に於ける多変量解析と AI」 (信大として於長野県庁)

特許

- [1] 特願 2019-226954 (特許公開まで発明名称・内容は未公表)
- [2] マイクログリッド電力システム, 制御装置及びマイクログリッド電力制御方法, 特願 2020-011650, 2002/01/28, 平田陽一・石井美久, 出願完了