

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 6 月 21 日現在

機関番号：51501

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2017

課題番号：26450368

研究課題名(和文) 農業支援システム構築に向けた同期走査式葉色センサによる生体情報取得

研究課題名(英文) Basic research of the acquisition of biological information towards the construction of agricultural support system

研究代表者

神田 和也 (KANDA, KAZUYA)

鶴岡工業高等専門学校・創造工学科・教授

研究者番号：00390401

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、作物の生育状況を定量化するため、重要な要素の一つである葉色センサの開発とシステムへの組み込みを目指してきた。(1)試験用ビニールハウス設置と近赤外分光法による葉色の特徴点抽出と特徴波長LED・PDによる反射・透過データに基づく葉色センサの開発(2)葉色センサで得られたデータと生育作物生体情報の相関検証とフィールド実験(3)複数葉色センサを圃場に設置し、取得データと農業作業員ヒアリング情報との照合(4)葉色センサによるデータと生育環境情報データとの分析。現在、基礎実験を終了し、開発可能性を確認し、プロトタイプ的设计製作を実施している。

研究成果の概要(英文)：In this research, in order to quantify the growth situation of crops, we aimed to develop a leaf color sensor which is one of important elements and incorporate it into the system. (1) Extraction of leaf color feature points and installation of leaf color sensor based on reflectance / transmission data by characteristic wavelength LED · PD by installing a test vinyl house and near infrared spectroscopy (2) Correlation verification and field experiments on data obtained with leaf color sensor and growth crop biological information (3) Collaboration of acquired data with field information of agricultural workers by installing multiple leaf color sensors in the field (4) Analysis of data by leaf color sensor and growth environment information data. At present, we finish the basic experiment, confirmed development possibility, we are designing and producing prototype.

研究分野：センサ工学

キーワード：農業情報

1. 研究開始当初の背景

(1) 21世紀農業には1)食糧安全保障への持続可能性、2)気候変動への適応、3)生態調和型・環境保全型、4)省エネルギー型、等が求められている。農業現場での情報通信技術 (ICT) の活用は、この実践のための切り札とも考えられ、高度なセンシング技術、多種多様なクラウドサービス、解析技術等を駆使し、ICTを用いて栽培者と農作物を繋ぎ、収穫農作物と消費者を結びつけるという重要な役割が与えられている。さらに、今後急速に失われていく可能性のある篤農家の有する「匠の技」(暗黙知)を可視化し、他の農業者や新規参入者等に継承する仕組みを確立する必要も指摘されている。

(2) 計測技術・センサ開発とICT活用により、農業従事者の農作業情報、圃場の生育環境情報や近隣のアメダス気象情報と生育作物の生体情報をデータベース化し、データ蓄積・解析を行い、各種情報の統合化・可視化により、栽培の現状認識、近未来予測により農作物の生産見通しを立てることに成功しはじめている。さらに、「蓄積された様々なデータ」の解析で得た「形式知」と熟練就農者の「経験と勘」が結びつけば、熟練作業者のスキルを継承するシステムが確立され、新規就農者への適時的確なアドバイスが可能になり、その効果は絶大で、安定した農業経営も期待できることになる。そのためにも、農家の作業技術の数値化及びデータマイニング手法の開発も盛んである。

(3) 我が国では、2001年のフィールドサーバの開発に端を発する農業向けの計測機器やセンサ開発、圃場センサネットワーク研究が過去10年間で飛躍的に進展し実用的利用が進んだおかげで、生育環境のモニタリングとデータ蓄積が容易になると共に二次情報としての有効積算温度と積算日射量などが簡単に計算・出力できるようになった。現在、環境情報の取得は可能になったものの、取得・蓄積データの農業従事者における利活用が不十分で、新規就農者、若手就農者への支援システム構築には、データと農業従事者を繋げるインターフェースの開発が必要である。すなわち、農作業情報や蓄積されたデータの解析結果と生育状況の把握結果を統合し農業従事者に有効にフィードバックするソフトウェアの開発が急がれる。

(4) これまで、生育環境を把握するため、環境情報収集装置を開発し、圃場に設置し、フィールド試験を実施し、装置の問題点、農業者へのヒアリングなど研究を進めてきた。しかし、これまで、ハード面ばかりに着目しており、科学的見地から農家にセカンドオピニオンを提供するソフトウェア(意志決定支援システム)開発こそが最重要課題であると実感している。需要期に高品質な農産物を生

産するための栽培管理システムを考えると、計測が可能な生育環境計測に加え、植物生理学に基づく新たなセンシング技術が不可欠であり、農作物の状態を計測し栽培管理に反映させることが必須である。すなわち、圃場作物においては、土壌・植物・大気連続系での水・ミネラルの流れ、群落光合成を起点とする植物体内のエネルギー物質の流れ、および対象農作物あるいは果実の非破壊・非接触での生長計測と品質計測などが必要となる。このような中、最近、生長計測としてLAI(Leaf Area Index)測定、葉色センサ、SPAD測定器など研究が盛んで野外でも利用できる比較的 low コストの植物計測用センサや次世代センサにつながる基盤技術が提案されはじめ、近い将来センサネットワークに統合された効率的なリアルタイム高速センシングへの期待が高まっている。

(5) 本研究では、生体情報を判断する指標である葉色、葉緑素濃度、生長計測(色彩・茎・葉の大きさ)の中で、葉色に着目しセンシングする。葉色は従来、葉色カラスケールを用いて目視により計測・判断されてきた。新規提案手法として、近赤外分光法により特徴波長を特定、特定波長を有するLED・PDの組合せを2次元配置、同期スキャンし透過・反射光の検出強度を取得、予め得ている葉色カラスケールとの相関と照合、する新手法のセンサを開発する。

2. 研究の目的

(1) 本研究では、生体情報を判断する指標である葉色、葉緑素濃度、生長計測(色彩・茎・葉の大きさ)の中で、葉色に着目しセンシングする。葉色は従来、葉色カラスケールを用いて目視により計測・判断されてきた。新規提案手法として、近赤外分光法により特徴波長を特定、特定波長を有するLED・PDの組合せを2次元配置、同期スキャンし透過・反射光の検出強度を取得、予め得ている葉色カラスケールとの相関と照合、する新手法のセンサを開発する。

(2) 従来手法とは異なる葉色センサを開発するため、葉の可視域から近赤外域までの分光スペクトルを取得し、特徴点を見つけ出し、特徴点の波長を使用することにより、葉色を判別できる新規手法を提案する。さらに、リアルタイムセンシング可能な葉色センサ装置の開発へと結びつけ、フィールド実験を通じた実証試験によるセンサデータの正確性とデータ取得率の評価、新規開発葉色センサによるデータ収集、により生育情報を照合し、さらに、農作業情報のヒアリング結果を統合し、農業意志決定支援システムの葉色判別のモデル化を明らかにする。

3. 研究の方法

(1) 本研究は4カ年の計画で、現場でリアル

タイム計測可能な葉色センサの開発により農業支援システムに構築に寄与し、農業 ICT の利活用の実現を図る。研究代表者らの“環境情報収集装置開発並びにフィールドスタディによるデータ取得・蓄積・分析”の研究成果と葉色センサによる生育状況データを分析し、農業 ICT の利活用を部分的なモデルを構築し確かなものにする。

試験用ビニールハウスの設置と近赤外分光法による葉色の特徴点抽出と特徴波長 LED・PD による反射・透過データに基づく葉色センサの開発

葉色センサで得られたデータと生育作物生体情報の相関検証とフィールド実験を実施

複数葉色センサを圃場に設置し、取得データと農業作業ヒアリング情報との照合

葉色センサによるデータと生育環境情報データとの分析

(2) 近赤外分光法による葉色の特徴点抽出と特徴波長 LED・PD による反射・透過データに基づく葉色センサの開発。従来使用されてきた SPAD や市販計測機器により生育作物生体情報を取得し、本研究で開発する葉色センサと計測値を比較し、精度を評価する。近年開発された葉色センサである「室素センサ」(CropSpec, 株式会社トプコン製)、「携帯式作物生育情報測定装置」(クロップアイ, 生研機構・生研センターと参画企業により開発)や Crop Sensors (OptRx 社製)は、高価かつ入手が困難で、フィールドでの実用化に向けた実験データを得るには難しい状況である。生育環境情報と生育状況情報を照合させ分析するためには、より多くのデータが必要であり、そのためには、試験的にも普及できる装置の研究開発が必要である。

(3) 本研究で提案する原理を説明する。原理的には図 1 に示す通り、葉に光を入射させたとき、葉の内部で散乱吸収を繰り返し、裏面へと出射するが、葉緑素の影響を大きく受け、中でも赤色、青色、緑色の波長域について特

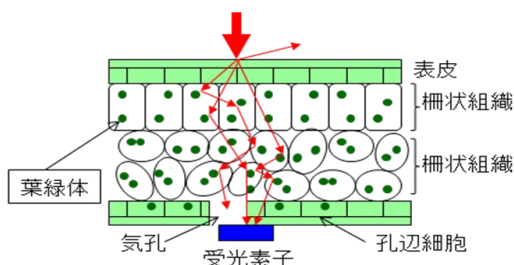


図 1 葉断面光透過模式図

徴点が指摘されているが、その特徴点を分光スペクトルにより予め見つけ出し、出射光量(透過強度)あるいは反射強度と葉緑素計との相関関係を明らかにする。提案する新規計測方法は、透過強度および反射強度を得るために、LED と PD の組み合わせにより検出部を

構成し、2次元にスキャンしながら、多点でデータを得、平均化するものである。

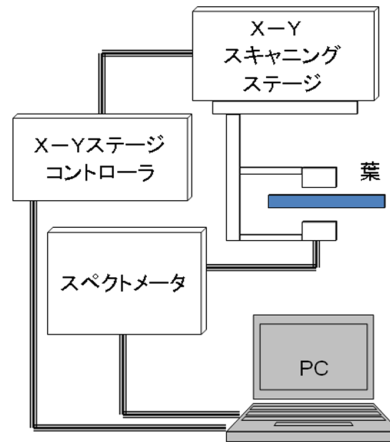


図 2 走査式分光光度計

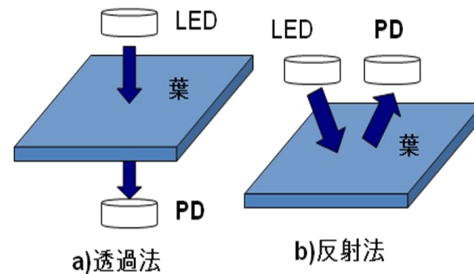


図 3 透過・反射原理

具体的には、図 2 に示す研究代表者により構築された「2次元近赤外分光スペクトル計測装置」を用いて、葉を対象に2次元(50[mm]×50[mm],1[mm]間隔)で、近赤外分光法により可視域 380[nm]～近赤外域 1,700[nm]で分光スペクトルを取得しデータ化する。取得データと葉色カラースケールおよび SPAD 装置と照合しながら、葉の生育状況を判断できる特徴波長点を抽出する。特定された波長に該当する LED と PD の組み合わせにより、図 3 に示すように反射光、透過光を測定できるシステムを構築する。反射・透過データと葉色カラースケールおよび SPAD 装置の相関を確認し、反射・透過データから葉色を推察できる新規方法の計測原理を提案する。提案した計測原理に基づき、現場にて使用可能な装置化を検討する。なお、温度・土壌水分・日射量制御可能な試験用ビニールハウスを設置し、研究代表者らが熟練就農者の指導を受けながら新規就農者と同様の条件で農産物の生育にあたる。農作業を経験しながら、農産物を育成し、実験材料である葉を提供する。なお、ミニビニールハウスは、生育を左右するパラメータを制御でき、環境情報収集装置を設置し生育環境情報の取得も可能である。反射・透過光強度と葉色との相関を導出する過程において、多くのデータ、計測条件を考慮する必要があり、研究のポイントとなる。

4. 研究成果

(1) 本研究で対象とする作物は条件を満たすもの(認知度が高く家庭で食されている、種まきから収穫までの期間が短い、葉が大きく測定しやすい、栽培が簡単)として小松菜(照彩, トーホク交配)を使用した。栽培方法は条件を満たすもの(管理が容易, 測定が容易, 栽培が容易)として水耕栽培を選択した。また、使用する液肥は水耕栽培で多く使われているハイポニカ液肥を使用した。各成分を表1に示す。ビニール温室の中で栽培を行い、ヒーター及び温度コントローラで温室内を25~30℃に保つよう設定した。また、作物の光合成を行うための光源として8波長LEDライトを設置し、タイマーコンセントにより日照時間を6時~18時に設定した。生育環境を図4に示す。測定環境について述べる。葉の分光スペクトルを入手するため、測定を行う光学系とサンプルを載せる駆動系から測定環境を構築した。光学系はスペクトロメーター、タンゲステンハロゲンランプ、光エネルギー伝達用ファイバ、コリメータ等から構成されている。これらは350~1000nmの可視光から近赤外領域の波長をカバーしている。光学系を構成する器具について、駆動系は自動X-Yステージ及びステージ用コントローラから構成されている。測定時にはこれを動かすことによりサンプルを移動させる。測定環境を図5に示す。コリメータを配置し、ステージに載せた葉がその間になるようにサンプル用ステージを配置する。ハロゲンランプの光を光エネルギー伝達用ファイバを通して上部のコリメータから射出して葉に透過させる。葉を透過した光を下部コリメータに入射させてファイバを通してスペクトロメーターに伝達させる。この葉を透過した光をスペクトロメーターによって測定・解析する。自動X-Yステージ上の葉を移動させて測定位置を移動させる。一枚の葉に対し約9か所の位置の測定を行う。一つの苗につき、最も成長している2~3枚の葉を測定対象にする。測定期間は葉の大きさが全長2cmから30cmまで成長する期間とした。また、葉中の実際の葉緑素量を把握するために葉緑素計測器(KONICA MINOLTA SPAD-502Plus)による測定を同時に行った。この機器により示される葉緑素量(SPAD値)と作物の生育日数と取得されたスペクトルを比較し、作物の生育過程における葉緑素が影響を与える特徴波長の傾向を掴む作物への窒素施肥量を変え、作物中の窒素含有量を変化させた個体の葉を分光し測定結果に差異が生まれるかを検証する。作物の生育に伴う葉緑素量の変化を図6に示す。横軸は作物が成長して収穫されるまでの日数を、縦軸は葉緑素計測器による測定値を示している。測定値は2~3枚の葉の複数点を計測器で測定した数値を平均したものとした。図より日が経つに連れて葉緑素の測定値が増加していることが読み取れる。つまり、作物が収穫されるまでの期間中、成長にともなって葉緑素量が増加していることが確認された。このことから、葉中の葉緑素量を把握することで作物の大まかな生育状況を推定できると考えられる。次に葉緑素が入射光に対し影響を与える特徴波長について述べる。図7にス

ペクトロメータで測定した収穫時の小松菜の吸収スペクトルを示す。横軸は波長、縦軸は吸収スペクトルの大きさを示している。葉緑素の吸収帯は青色及び赤色域の400~500nmと600~700nmであると言われている。図より吸収スペクトルのピークが2点存在しており、どちらもその2つの領域に存在している。しかし、400~500nmの範囲は葉緑素以外の色素であるカロチノイド類などの影響を強く受けるため、葉緑素のみによる吸収であるとは断定できない。そのため、600~700nmの範囲にあるピークを葉緑素が入射光に影響を与える波長であると考えた。この範囲で最も吸収スペクトルが高い676.791nmを葉緑素の特徴波長と設定した。

(2) 葉中の葉緑素量と特徴波長の関係性について述べる。前述した測定で、入射光に対して葉緑素が最も影響を与えると考えられる波長が得られたが、実際に葉緑素量が変化した際この波長の吸収スペクトルも変化するかの確認が必要がある。葉緑素計測器による測定値と特徴波長:676.791nmの相関を図8に示す。縦軸は676.791nmの吸収スペクトルの大きさを示している。図より葉緑素量の変化にともなって特徴波長の吸収スペクトルが変化していることが読み取れる。また、この2値の関係をピアソンの積率相関係数により求める。相関係数を求めた結果、 $r=0.834$ という数値が得られた。数値が1に近いほど2つの相関は高いため、特徴波長の吸収スペクトルと葉緑素量は高い相関性を持つことが確認された。この結果から、間接的に葉緑素量を測定し、作物の生育状況を把握できる可能性が示唆された。

(3) 窒素含有量の異なる作物の葉の測定結果について述べる。発芽後2種類の液肥で4週間栽培した小松菜の葉のSPAD値と特徴波長の吸収スペクトルを表1に示す。大きさの等しい葉各3枚のSPAD値を測定した結果、窒素量成分量4倍の葉はより大きい値をとっている。このことから窒素の施肥により窒素含有量が増加すると葉緑素量も増加することが確認された。更に吸収スペクトルの測定結果から窒素成分量4倍の方が大きい値をとっていることから、作物の窒素含有量に伴って特徴波長の吸収スペクトルが変化することが確認された。このことから、作物への追肥時に追肥量を決定する際、吸収スペクトルの測定により現在の作物の窒素栄養状態の把握に利用できると考えた。

(4) 新しい植物計測手段として光学測定による作物の生育状況の取得が可能な新規センサの開発にむけた基礎研究を行った。葉中の葉緑素の影響を最も受ける波長の取得に加え、その特徴波長の吸収スペクトルと成長過程の葉緑素量の変化の関係や窒素施肥量による影響を求めた。その結果、特徴波長の光学測定によって葉中の葉緑素量が推定できる可能性が示唆された。それにより、この測定を作物の生育状況や窒素栄養状態の把握に役立てることができると考えた。現在、得ら

れた特徴波長に適応したセンサユニットの試作が行われており、既存の葉緑素計測器による測定値と高い相関を持つという結果が得られている。しかし、1波長のみを用いた吸光度センサは葉の厚みにより測定光の減衰が発生し、測定値の減少に伴う測定精度の低下が予想されるため補正する機能が必要となると考えられる。そのためには葉中の色素の影響を受けにくい波長域(近赤外など)での吸収率の測定を同時に行い、特徴波長での測定値と比較し、厚さ成分の除去を行うなどの処理が必要になる。また、開発したセンサの実際の使用を想定する上で、厚さの補正に加え、センサ出力を農業で用いられている作物の状況を示す数値 (SPAD 値, カラースケール値等) で表すための数値換算等を考える必要がある。

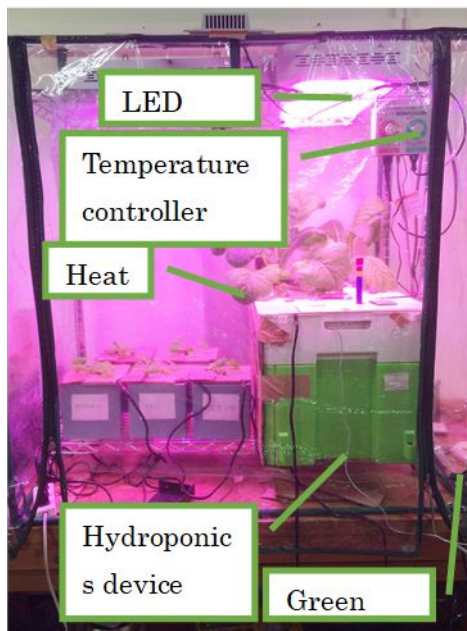


図4 生育環境

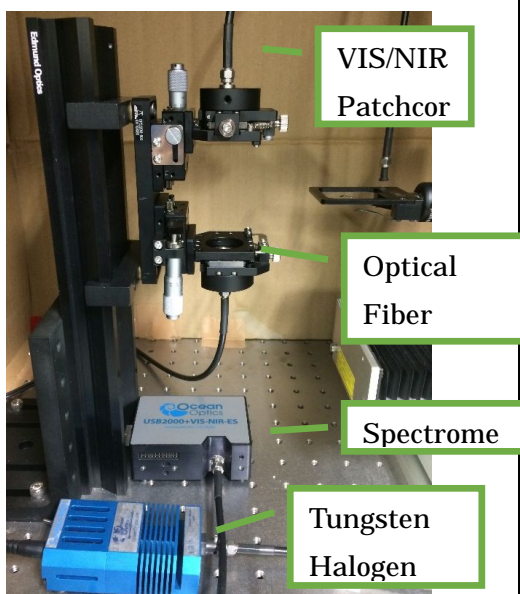


図5 測定環境

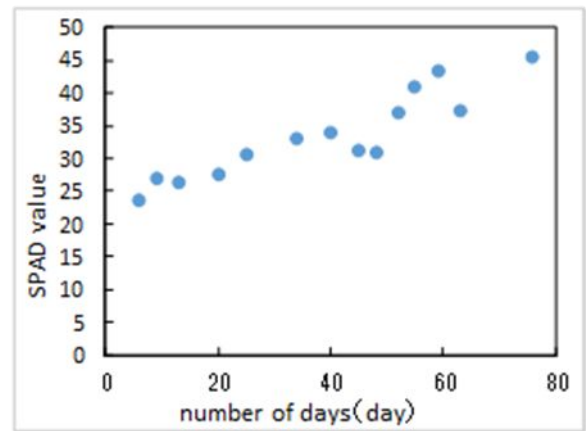


図6 SPAD 値

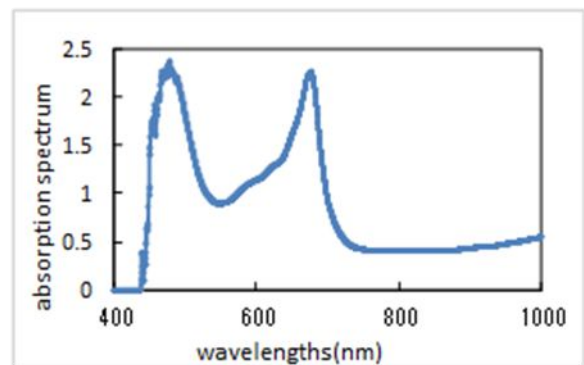


図7 吸収スペクトル

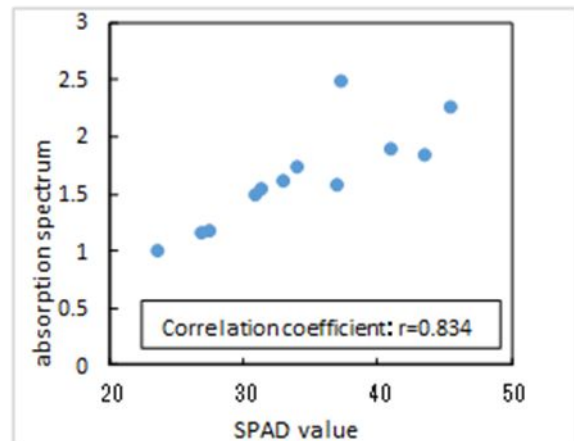


図8 SPAD 値と吸収率の相関

表1 SPAD 値と特徴波長の吸収スペクトル

	Otsuka B prescription			Amount of nitrogen 4 times		
Absorption spectrum (676.791nm)	0.78	0.8	1.02	1.34	1.1	1.05
SPAD-value	30.9	29.6	33.2	35.8	35.6	34.3

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計3件)

Yuta Kobayashi, Kazuya kanda, Basic research of the acquisition of biological information towards the construction of agricultural support system, 査読有, IGNITE 2016, AIP Conference Proceedings 1865,090007 (http://doi.org/10.1063/1.4993408)

金 帝演, 折笠 佳樹, 神田和也、無人航空機の自律飛行による環境情報モニタリングおよびセンサモジュールの開発、査読有、農業情報学会農業情報研究、Vol. 26 (2017) No. 2, p.34-43

千蒲慎二, 白石和章, 村上幸一, 吉田晋, 石井忠司, 神田和也, 亀岡孝治、Development and Nationwide Spread of a Low Cost ICT System, in Agriculture by KOSEN Network、査読無、Transactions on GIGAKU 3(2) 03005/1-8

[学会発表](計4件)

小林侑太, 神田和也、農業支援システム構築に向けた生体情報取得の基礎研究、公益計測自動制御学会 アンビエント・センシング応用部会 農業×計測×情報通信ワークショップ、2015年11月・東京

Yuota Kobayashi, Kazuya Kanda, Basic research of the acquisition of biological information towards the construction of agricultural support system Proceedings of FRUTIC2017 Qulatiy and Safety of Fresh Horticulture Commodities, p.54

Yuota Kobayashi, Kazuya Kanda, Basic research of the acquisition of biological information towards the construction of agricultural support system、Proceedings of IGNITE2016, Penang, Malaysia, Poster ID 45 PCV01

Kazuya kanda, Basic research of the acquisition of biological information towards the construction of agricultural support system, 2nd、STI-Gigaku 2017 Pro., p.131, 長岡技術科学大学, 2017年10月

[図書](計0件)

[産業財産権]

出願状況(計 0件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
出願年月日:
国内外の別:

取得状況(計 0件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
取得年月日:
国内外の別:

[その他]
ホームページ等

6. 研究組織

(1)研究代表者

神田和也 (KANDA, Kazuya)
鶴岡工業高等専門学校・創造工学科・教授
研究者番号: 00390401

(2)研究分担者

()

研究者番号:

(3)連携研究者

()

研究者番号:

(4)研究協力者

()