

令和 2 年 7 月 2 日現在

機関番号：18001

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2019

課題番号：16K07961

研究課題名(和文) 分散圃場の多様な条件(生育, 肥培管理など)に対応した農作業最適化システムの開発

研究課題名(英文) Development of agricultural work optimization system corresponding to various conditions such as growth condition for dispersed fields

研究代表者

鹿内 健志 (Shikanai, Takeshi)

琉球大学・農学部・教授

研究者番号：20264476

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：沖縄県本島の生産法人等では、小規模なほ場を集積し、機械により大規模な作業管理を行う必要がある。その場合、ほ場が分散しているため、分散ほ場での最適な農作業計画立案を支援する農作業最適化システムが必要である。本研究では正確な作業時間・効率の計測が可能なシステムを開発し、ほ場の多様な条件(面積, ほ場形状, 生育状況など)で作業機の調査を行った。結果、小型サトウキビ収穫機と搬出機の連携作業モデルおよび複数ほ場での農作業スケジュールを可能とする数理モデルを完成した。これらにより、小型機械によるダウンサイズ化機械体系の実現性について正確な収穫作業シミュレーションを可能とした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

同時に作業する複数の作業機のほ場内での相対的位置に着目し、連携作業をモデル化しており、サトウキビ収穫作業だけでなく、自動化による複数作業機の協調作業の効率性を検討する際の基礎モデルとして活用できる。ほ場分散を考慮した農作業モデルにより、生産法人等での作業受委託での精密な作業計画が可能になり全国の農地の集積や農作業の受委託により効率的で安定した生産を進める地域への貢献が可能となる。

研究成果の概要(英文)：Sugarcane-farming corporations in the main island of Okinawa need to accumulate small fields and manage large-scale farmlands, labor, and machinery. In this case, since the fields are dispersed, it is necessary to have an agricultural work optimization system that supports optimal agricultural work planning to reduce inefficiency from fields dispersion. In this research, we developed a system that can measure working efficiency accurately and investigated performance of working machines under various field conditions (area, field shape, growth condition, etc.). As a result, we have completed a work model of cooperation between a small sugar cane harvester and a carry-out machine, and a mathematical model that enables a farm work schedule on multiple fields. These enable accurate harvesting work simulations for the feasibility of downsized machine system using small machines.

研究分野：農業情報学・農業システム工学

キーワード：サトウキビ 農作業情報 GNSS GIS スケジューリング問題

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

沖縄県本島の生産法人等では、小規模なほ場を集積し、機械により大規模な作業管理を行う必要がある。農地の集積や農作業の受委託を進めている地域のためほ場分散化でのサトウキビ作業支援システムの開発・研究を進め、沖縄県内の様々な地域で農作業情報を記録し、農作業データベースを構築し、また、農作業数値モデルを開発し、収穫作業のシミュレーションや農作業スケジュールの最適化を行う必要がある。

作業シミュレーションでは、作業機の性能値が重要なパラメータとなるが、ほ場で作業能率を実測すると、同じ機械を用いても、ほ場形状、生育状況、畝幅などによって収穫作業能率がほ場毎に異なる。ほ場形状や畝幅が機械作業に適していない場合やほ場管理が十分なされていない雑草が多い畑などは、刈取作業に手間がかかり作業時間を要す。そのため一日の収穫量や作業時間を精度高く予測した作業計画や最適化を行うことが困難である。

サトウキビ収穫作業の場合、収穫作業と収穫物を搬出する作業との連携作業が必須となる。収穫作業シミュレーションに際しては、単に収穫機の作業性能だけでは正確な予測ができず、正確な予測のためには収穫機と搬出機のほ場内の動きを連携して考慮したモデルを構築する必要がある。

2. 研究の目的

(1) ほ場の多様な条件(面積、ほ場形状、生育状況など)で作業機の正確な作業時間・効率を計測し、多様な条件での農作業情報をデータベース化するため、正確で簡単に農作業情報を収集できるシステムの開発を行う。

(2) 収集したデータを用いて小型サトウキビ収穫機と搬出機の連携作業モデルおよび複数ほ場での農作業スケジュールを可能とする数値モデルを構築する。

3. 研究の方法

(1) 小型収穫機に GNSS (Global Navigation Satellite System, 全地球航法衛星システム) ロガーと車載カメラから構成される農作業記録システムを構築し、収穫機の作業実態を調査する。土地改良区とその他のほ場で調査を行いほ場条件の違いによる比較を行う。

(2) サトウキビ機械収穫作業において収穫機と搬出機の両方に GNSS を取り付け、両者の軌跡を分析することで、収穫機と搬出機の作業実態を分析し、収穫機と搬出機のほ場内の動きを連携して考慮する連携作業モデルを構築する。また、複数のほ場を管理する生産法人の農作業スケジュールリング問題解決のため、数値モデルを構築し、混合整数計画問題 (MIP) ソルバーを用いて最適化を行う。

4. 研究成果

(1) 農作業を記録する方式として GNSS による位置情報を用いる方法があり、各ほ場での作業時間を記録することは可能である。しかし、農作業の内容の詳細まで計測、データ化することは困難で、GNSS とドライブレコーダや web カメラなどを併用することでほ場毎の作業状況をより詳細にデータ化・分類し、分析することが可能となる。本研究ではサトウキビ収穫作業で、収穫機に GNSS やドライブレコーダなどを装着した農作業データの収集システムを開発した。

自動車の交通事故の瞬間を記録する装置として、小型の映像記録型ドライブレコーダが普及し、簡単に入手できるようになっている。これを作業機に取り付け連続的に画像情報を撮影し、作業情報収集・分析に利用することも可能である。図 1 にドライブレコーダをサトウキビ収穫機に設置した様子を示す。自家用車のドライブレコーダとして一般的に使用されているカメラ(アサヒリサーチ製 Driveman GP-1)を用いた。ドライブレコーダの電源は通常、自動車のアクセサリ電源と連動する設定になっているが、ここで利用した小型収穫機では、収穫機のバッテリーから直接に電源を確保するしかなく、タイマーを設置することでバッテリーの消耗を避けた。また、ドライブレコーダには GNSS 機能を有し位置情報を記録でき、事故発生の瞬間の位置および画像情報を取り出し検証することができるが、農作業分析という観点からは、作業中の位置および画像情報は連続的に取り出し分析する必要がある。一般に市販されているドライブレコーダは動画と GNSS の位置情報を一定時間間隔で分割して記録する方法で、1 日の作業で記録されるデータファイル数は膨大なものになる。そこで GNSS の位置情報は小型の GNSS を利用して別に 1 つのファイルとして収集した。

市販のドライブレコーダでは動画記録が一般的なため、web カメラ (BUFFALO 製 BSW200MBK) とシングルボードコンピュータ (Raspberry Pi 3 Model B V1.2; Raspberry Pi は Raspberry Pi 財団の登録商標) を用いて一定間隔毎に静止画像を撮影・記録するシステムをさらに開発した。Raspberry Pi では複数カメラを制御できるので、複数方向の画像の撮影も可能である。図 2 に Raspberry Pi を用いてカメラの設置した状況を示す。この場合も、位置情報は小型 GNSS などを利用し別に記録し、記録時刻を用いて位置情報と画像を照合する。データは 1 秒ごとの収穫機の軌跡(日付、時間、緯度、経度)を記録し、また、web カメラを作業機の前後に設置し、前方は刈り取り作業状況、後方は収納袋の画像を Raspberry Pi の SD カードに記録した。作業解析の方法は作業機の軌跡を時間の経過ごとに GIS 上に表示する。各ほ場内での軌跡の動きと web カメラ

の画像から収穫機の作業状況を判定し、実作業時間（刈り取りを行っている時間）と補助作業時間（後退、畝間移動、停止、移動、収納袋の交換、休憩）に作業の分類を行った。収穫機の軌跡が1時間以上停止していると判断できる場合には、降雨、機械トラブルなどの原因による作業中止と考え、作業時間に含まないとした。このような解析を通してほ場毎の有効作業効率を求めることができた。

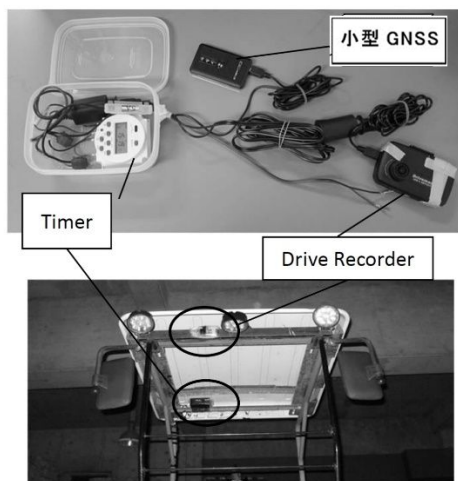


図1 ドライブレコーダを使用した装置



図2 Raspberry Pi を用いたカメラの設置

（2）機械による効率的な農作業を進めるためには、ほ場毎の作業実態に応じて作業機を最適な方法で利用する計画を策定する必要がある。最適な作業計画のためには、作業機の作業面積、作業内容および作業時間などの作業履歴を記録し、データを詳細に分析し、その結果から最適な作業方法を明らかにする必要がある。サトウキビ機械収穫作業において収穫機と搬出機の両方に市販の安価なGNSSを取り付け、両者の軌跡を分析することで、数パーセントの誤差で、収穫機と搬出機の作業実態を分析することができた。

調査した収穫作業方法では収穫機と搬出機がペアで作業を行う（図3）。中型収穫機の場合、搬出機が伴走するので、収穫機と搬出機の軌跡が並走するよう表示されるところは収穫作業を行っている判断できる。小型収穫機の場合、収納袋が満杯になるまで連続して収穫を行うので、畝に沿って低速で移動する軌跡は収穫作業であることがわかる。また、畝上で収穫機が停止し、搬出機が収穫機に近づき両者が同じ場所に停止している軌跡は、収納袋が満杯になり、搬出機から新たな収納袋の供給を受けているところと判断できる。このように収穫機と搬出機の軌跡を関連づけて連携作業を解析することで、収穫機と搬出機の作業内容の分析を行った。



図3 収穫機と搬出機の連携による収穫作業

有効作業効率は小型収穫機は0.29(一方向刈)および0.37(往復刈)、中型収穫機では0.27(一方向刈)および0.38(往復刈)であった。ほ場作業量および有効作業量は中型収穫機は小型収穫機のほぼ二倍であった。収穫機と搬出機の相互の挙動を解析することで、作業の非効率な部分を明らかにし、効率の改善の可能性を示すことができた。そのことにより、小型収穫機については搬出機との連携作業を最適化することで、現在より能率向上できる可能性があることがわかった。また、降雨量と機械稼働の関係から小型収穫機は中型収穫機より稼働率が6%程度高い可能性があることがわかった。

(3) 小規模経営が多い沖縄本島南部地域で収穫機械化を進めるには、現在使われているサトウキビ収穫機より小型かつ高性能な収穫機が必要と考えられる。本研究では、沖縄県で稼働している最も小型の36 kW 収穫機にGNSSを用いた作業記録システムを取り付け、1秒ごとの収穫機の軌跡を記録し、GISを用いて収穫機の作業実態の解析を行った。その結果、2017/2018 年期中はほ場作業量は0.013(ha/h)、有効作業量は0.030(ha/h)であり、有効作業効率は0.45であった。現在普及している小型収穫機(73.5 kW)と比較すると、ほ場作業量および有効作業量は約3割の値を示した。車載カメラの映像から、サトウキビの倒伏により、茎の切断が困難で、サトウキビを収穫機内に取り込めず、刈り取り作業が停止し、作業能率が低下していることが確認できた。また、有効作業効率を土地改良区とその他のほ場で比較を行った。土地改良区内のほ場における有効作業効率は0.42、改良区外のほ場の有効作業効率は0.28であり土地改良区の方が大きい値を示した(図4)。

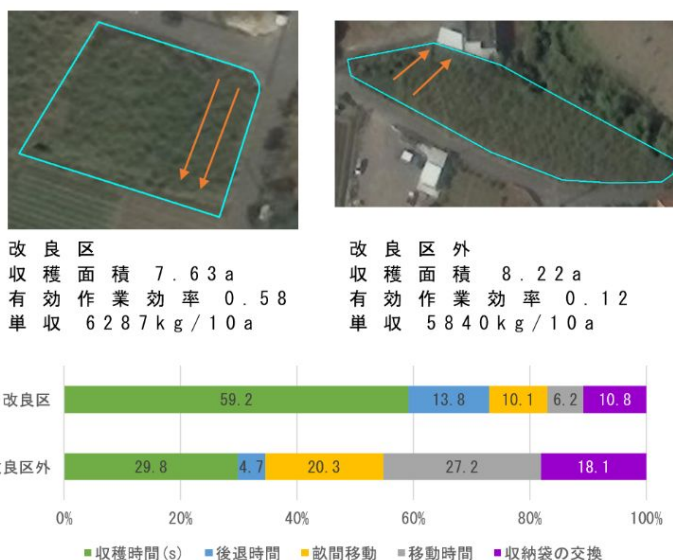


図4 土地改良区と改良区以外のほ場の例

(4) サトウキビ収穫作業の場合、収穫作業と収穫物を搬出する作業との連携作業が必須となる。小型サトウキビ収穫機では機体後部に搭載した収納袋(網袋)に収穫茎を積み込み収納袋が満杯になれば、ほ場内に収納袋を置いて新しい収納袋を受け取る収穫作業方式で、収納袋を回収しほ場外へ運び出すクレーン付搬出機から新しい収納袋の補給が遅れると作業が中断し、待ち時間が発生する。すなわち、収穫作業の最適化に際しては、単に収穫機の作業性能だけでは正確な予測ができず、正確な予測のためには収穫機と搬出機のほ場内の動きを連携して考慮する必要がある。本研究では、収穫機と搬出機のほ場内の動きを連携作業としてモデル化し収穫作業時間を予測するモデルを構築した(図5)。予測モデルと実測値の比較を表1に示す。小型収穫機が搬出機を待っている時間は比較的大きな差はなかったが、作業時間は実測値に機械的トラブルが記録されるため差が生じた。

予測式

往復刈

$T' \geq t$ の場合
 $T = f_{(h)} + f_{(s)} + f_{(e)} + f_{(s)}$
 $T = \frac{S + (I_1 - H)T_1V_h}{HV_hV_c} + \frac{aS(T_1+nT_2)}{1000w}$

$T' < t$ の場合
 $T = f_{(h)} + f_{(s)} + f_{(e)} + f_{(s)} + f_{(w)}$
 $T = \frac{S + (I_1 - H)T_1V_h}{HV_hV_c} + \frac{aS(T_1+nT_2)}{1000w} + (t - T')$

一方向刈

$T' \geq t$ の場合
 $T = f_{(h)} + f_{(s)} + f_{(e)} + f_{(s)} + f_{(c)}$
 $T = \frac{S(V_h + V_c) + (I_1 - H)T_1V_hV_c}{HV_hV_c} + \frac{aS(T_1+nT_2)}{1000w}$

$T' < t$ の場合
 $T = f_{(h)} + f_{(s)} + f_{(e)} + f_{(s)} + f_{(c)} + f_{(w)}$
 $T = \frac{S(V_h + V_c) + (I_1 - H)T_1V_hV_c}{HV_hV_c} + \frac{aS(T_1+nT_2)}{1000w} + (t - T')$

小型収穫機の収納袋が満杯になるまでの時間 ≧ 搬出機が小型収穫機に戻るまでの時間 となればスムーズに作業を行うことができる。

表1 予測時間と実測値

	予測値	実測値
作業時間	684.3 (分) (約11.4時間)	752.7 (分) (約12.5時間)
待ち時間	19.8 (分)	22.5 (分)
総作業時間	704.1 (分) (約11.7時間)	775.2 (分) (約12.9時間)

- ・待ち時間に大きな差はない
- ・収穫時間の予測値と実測値に1時間の差が出た
 → 今回はトラブルを加味していない。
 → 袋交換をスムーズに行うことができなかった。

図5 収穫作業時間の予測モデル

(5) サトウキビ生産法人は、大規模な農地、労働力、機械を管理している。日常業務を効率的に管理するには、体系的で詳細なスケジューリングシステムが必要である。一般的なスケジューリングの問題と比較して、サトウキビ農場のスケジューリング問題は、協調作業や不確実性など、いくつかの特性を示す。実用的な制約を分析することにより、サトウキビ生産法人のスケジューリング問題を解決するための新しい数学モデルを提案した(図6)。メタヒューリスティック法であるシミュレーテッドアニーリング(SA)と混合整数プログラミング(MIP)ソルバーで構成し、SAアルゴリズムはリソース割り当てに使用され、MIPソルバーはリソース割り当ての最適解を取得するために使用した。開発したモデルはサトウキビ生産法人のための長期的な詳細な農作業スケジューリングの構築に適用できる。

図7は、計算されたスケジューリング結果を示す。縦軸は、リソース(機械) R_i による農地 F_j での作業 O_k を表す。作業 O_1, O_2 および O_3 は、それぞれ収穫、耕うん、植付の一連の作業を表す。図のバーはスケジュールされたタスク(作業)を示し、その長さは割り当てられたリソースを使用して実行されたタスクの期間に対応する。これらのバーの色は個々のリソースを表す。バーのラベルは、タスクの開始時間を示す。図では、2つの協調作業を示している。たとえば、2つのハーベスタ(リソース R_1 と R_2)は、同じ農地 F_3 で収穫作業 O_1 を実施する。作業の間のセットアップ、移動および待機時間はオプションとして割り当てられる。

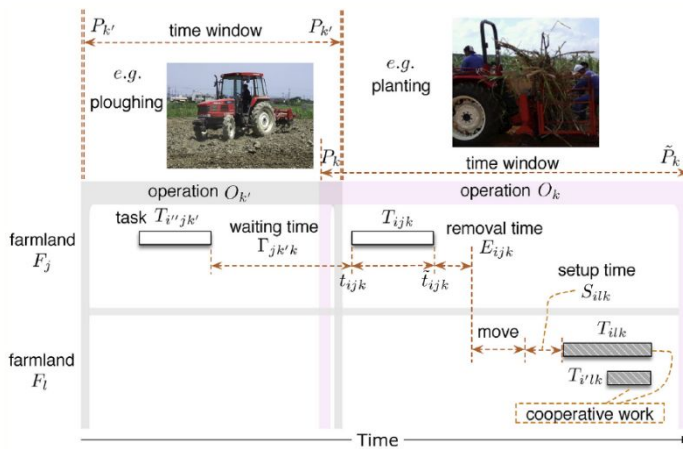


図6 農作業のモデル化

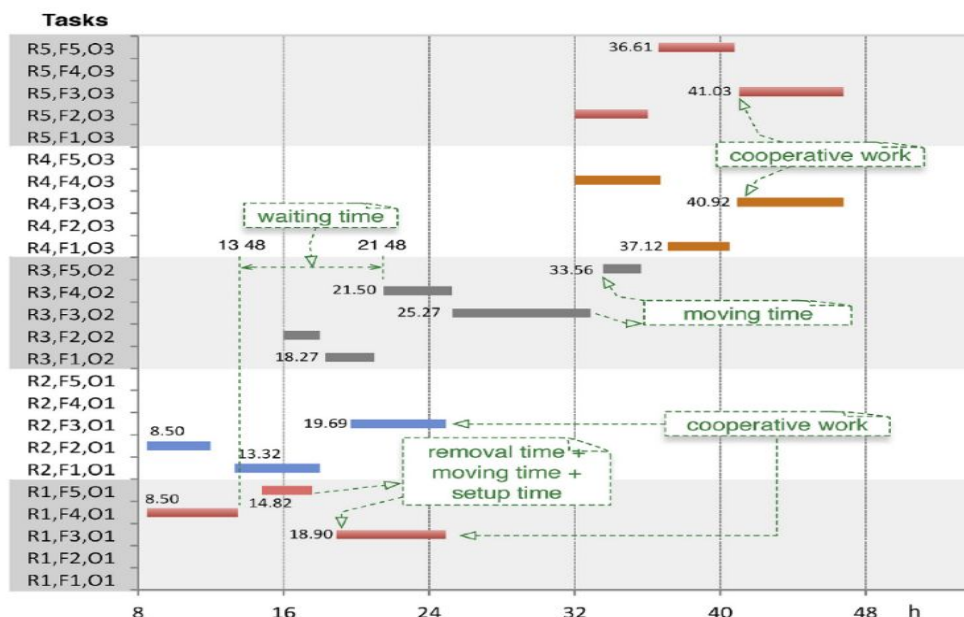


図7 計算されたスケジューリング結果

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 4件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Guan Senlin, Shikanai Takeshi, Nakamura Morikazu, Fukami Koichiro, Takahashi Kimiyasu	4. 巻 11
2. 論文標題 Practical scheduling problem for sugarcane-farming corporations and its solution	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Engineering in Agriculture, Environment and Food	6. 最初と最後の頁 211 ~ 219
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1016/j.eaef.2018.07.002	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 鹿内 健志、大城 梨実、官 森林、赤地 徹	4. 巻 26
2. 論文標題 沖縄県北大東島のサトウキビの中・小型収穫機と搬出機の連携作業に着目した作業能率分析	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 農業情報研究	6. 最初と最後の頁 142 ~ 154
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.3173/air.26.142	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Hirai Y., Tanaka K., Nakanishi T., Shikanai T., Inoue E., Okayasu T., Mitsuoka M.	4. 巻 10
2. 論文標題 Measurement accuracy of the area of combine-harvested field sections corresponding to a truckload of grain received at a grain elevator	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Engineering in Agriculture, Environment and Food	6. 最初と最後の頁 272 ~ 281
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1016/j.eaef.2017.05.001	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Guan Senlin, Shikanai Takeshi, Nakamura Morikazu, Fukami Koichiro	4. 巻 -
2. 論文標題 Mathematical Model and Solution for Land-Use Crop Planning with Cooperative Work	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 2017 6th IIAI International Congress on Advanced Applied Informatics (IIAI-AAI)	6. 最初と最後の頁 903-908
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) doi:10.1109/IIAI-AAI.2017.110	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 鹿内健志, 世嘉良康太, 官森林	4. 巻 54
2. 論文標題 沖縄本島南部地域におけるGPSと車載カメラを用いた小型サトウキビ収穫機の作業分析とその利用可能性	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 農作業研究	6. 最初と最後の頁 85 ~ 92
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.4035/jsfwr.54.85	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

[学会発表] 計7件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件)

1. 発表者名 Kouta Yokaryo, Senlin Guan, and Takeshi Shikanai
2. 発表標題 Work Analysis of Small Size Sugarcane Harvester using Gps and On-Board Camera in Okinawa Island
3. 学会等名 International Symposium on Machinery and Mechatronics for Agriculture and Biosystems Engineering (ISMAB) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 世嘉良康太・鹿内健志
2. 発表標題 GPSと車載カメラを用いた小型(35kW)サトウキビ収穫機の作業分析
3. 学会等名 第71回(平成29年度)農業食料工学会九州支部例会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 赤嶺沙紀・鹿内健志
2. 発表標題 小型サトウキビ収穫機と搬出機の連携作業モデルの構築と作業効率の最適化
3. 学会等名 第71回(平成29年度)農業食料工学会九州支部例会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Kouta Yokaryo and Takeshi Shikanai
2. 発表標題 Work Analysis of the Small-sized Sugarcane Harvester (36kW) Using GPS and Drive Recorder
3. 学会等名 International Symposium 2017 for Young Researchers by The United Graduate School of Agriculture, Kagoshima University, "Current Status of Sugarcane Research and its Innovation in Okinawa and Thailand"
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 赤嶺沙紀・大城梨実・鹿内健志
2. 発表標題 小型サトウキビ収穫機による収穫作業時間の予測と待ち時間の最小化
3. 学会等名 日本オペレーションズ・リサーチ学会2017年春季研究発表会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 官森林・鹿内健志・名嘉村盛和
2. 発表標題 サトウキビ生産法人向けの作業スケジューリング
3. 学会等名 農作業学会2017年度春季大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 上地涼子, 鹿内健志, 官森林
2. 発表標題 空中写真から作成したサトウキビ圃場の三次元モデルによる生育解析
3. 学会等名 2019年電気学会電子・情報・システム部門大会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担者	平井 康丸 (Hirai Yasumaru) (10432949)	九州大学・農学研究院・准教授 (17102)	
連携 研究者	官 森林 (Guan Senlin) (30554092)	国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構・九州沖縄農業研究センター・研究員 (82111)	
連携 研究者	平良 英三 (Taira Eizo) (20433097)	琉球大学・農学部・教授 (18001)	