

# さとうきびの生育情報に基づく精密管理によるスマート農業体系の実証 アグリサポート南大東(株) (沖縄県南大東村)

## 背景及び取組概要

＜経営概況:さとうきび80ha 実証面積:80ha うちコア(集中実証)13ha＞

- 南大東島の深刻な労力不足、熟練オペレータの不足などを解消するとともに、限られた水資源や農地資源を有効活用して経営の安定化を図るために、スマート農業を導入し、次の内容の技術開発・実証に取り組む。
  - ① 3作型(春植・夏植・株出)の全作業のGNSS自動操舵による高精度・超省力栽培体系の確立。そのベースとしてGNSSインフラの安定性と低コスト化に関する実証。
  - ② 微気象観測ポスト、モバイルNIR、ドローン等で取得した生育データ・生育環境データ・経営情報のGISベース営農支援情報システムへの統合と高度活用。
  - ③ 生育データ・生育環境データに基づく精密自動灌水システムの確立。

## 導入技術

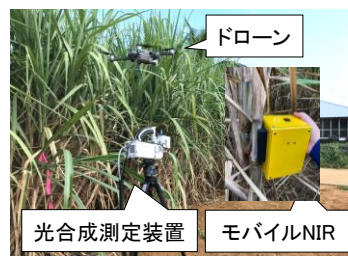
①GNSS自動操舵農機・同インフラ  
・自動操舵機械化一貫作業体系の確立

②微気象観測ポストネットワーク  
・栽培改善および機械作業計画への活用

③生育モニタリング  
・ドローン等による生育状態の把握

④遠隔節水灌水システム  
・土壌水分情報等に基づいたポンプの遠隔オン・オフ

⑤GISベース営農支援システム  
・全圃場・経営等の見える化・意思決定



高精度・  
適期栽培管理

生育環境  
情報

生理・生育・  
群落情報

節水・  
精密灌水

増収・  
経営安定化

# 目標に対する達成状況等

## 実証課題の達成目標

- 3作型(春植・夏植・株出)の省力化率:春植20%、夏植15%、株出10%、および、南大東島全域の自動操舵化(インフラの整備)。
- 各種データのGISベース営農支援システムへの統合および高度活用。
- 生育データ・生育環境データに基づく精密自動灌水による収量確保・品質向上。  
(産糖量(収量×甘蔗糖度)の向上(対平年比5%, 対非灌水区10%))

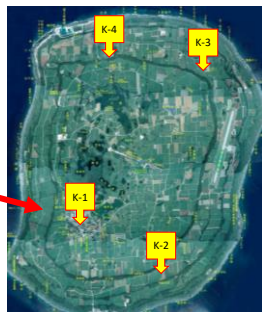
## 各研究項目の現在の達成状況

- ① 3作型の主要作業のGNSS自動操舵データを収集。それらを組合せたGNSS自動操舵機械化一貫作業体系のシミュレーションを実施し、手動(慣行)と自動を比較。  
これらの省力化率は春植8.0%、夏植7.8%、株出5.3%であった。
- ② 生育情報、微気象情報、作業情報等の各種データをGISベース営農支援システムに統合し高度活用に向けた仕組みはほぼできあがった。これによって、「作業の見える化」、「圃場の見える化」、「オペレータの見える化」、「経営の見える化」が実現しつつある。それらのデータの高度活用はこれから本格化する予定。
- ③ 微気象・生育情報を用いた遠隔灌水システム(エンジンポンプ使用)を開発し、実証2年目の7月に土壤水分データなどに基づく遠隔灌水試験を実施した。この年度は、前年度に比べて単位産糖量が増加した。例年に比べて夏場の降雨分布が良く、歴代でも稀にみる豊作年となったため、精密自動灌水の効果は不明瞭であった(R3年度の継続試験で効果確認)。

# (成果①) GNSS自動操舵作業による3作型栽培管理の精密化・効率化

## 取組概要

- GNSS自動操舵システム(RTK-GNSS)のインフラ整備:  
南大東島全域をカバーする固定基地局4局を設置。
- GNSS自動操舵農機による3作型の機械化一貫体系の確立。



可搬式基地局を固定基地局として設置・利用

島内4か所に固定基地局設置

### 春植・夏植(新植)体系



②線引作業

①耕起(プラウ)作業

### GNSS自動操舵機械化作業体系



株出体系



⑥収穫および⑤株出管理作業



③植付作業

④中耕作業

### 自動操舵トラクタ+作業機

- ① 2連プラウ
- ② 線引き器(自作)
- ③ ピレットプランタ
- ④ カセットロータリ
- ⑤ 株出総合管理機
- ⑥ ハーベスタ

## 実証結果

オペレータコスト:  
熟練者と未熟者の賃金差より算出。  
■ 作業時間 ■ オペレータコスト

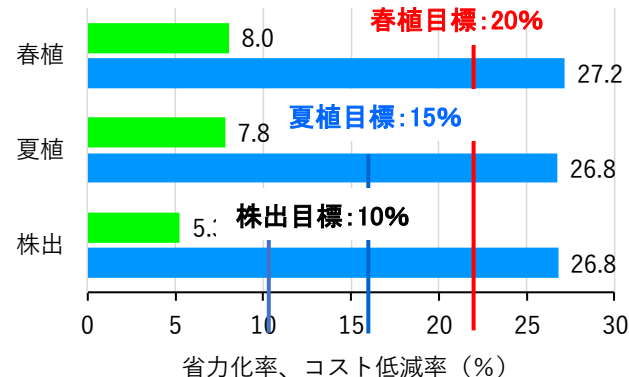


図1. 3作型のGNSS自動操舵一貫作業体系の省力効果  
機械化体系が確立しているため、熟練オペレータでは、作業能力・作業時間に顕著な差はでなかった。

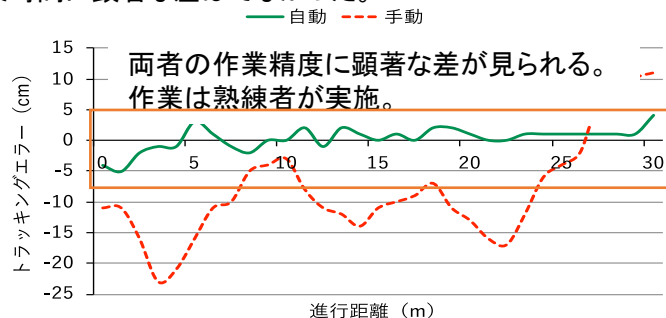


図2. 手動/自動操舵の作業精度の比較(株出管理)

3作型のGNSS自動操舵作業体系に関するデータをひと通り取得し、体系としての省力効果を評価できた(図1)。直進走行精度は熟練者より優れていた(図2)。

## 今後の課題

- ・取得したデータ数が少ないので、今後、データの数を揃えることによって、省力効果の評価精度を高める。
- ・広範な普及に向けて低コスト化と、衛星信号受信システムの安定化と評価を図る。

# (成果②) 大型ドローンによるハリガネムシ・フェロモンチューブ等の散布

## 取組概要

### 1. フェロモンチューブ散布

- ハリガネムシは南大東島における重大害虫であるが、性フェロモンを利用した交信攪乱技術によって頭数の激減に成功している。
- しかし、性フェロモンの入ったチューブ(フェロモンチューブ)を毎年(2月を中心に)島中に敷設する必要がある。
- その作業(人力)には多大な労力が必要。
- 海岸や幕の自然林には有人ヘリを使用してフェロモンチューブを散布(人力では困難、経費大)。

⇒ 代わりにドローンで散布できないか？  
(有人ヘリ散布は令和2年度で終了)

#### ○散布装置の開発

- (1)チューブ繰出し方式(トイレットペーパー方式)  
80mロールを空中で繰出してそのまま散布。  
(成功したが、方式変更の要望有り)
- (2)チューブ空中切断散布方式  
空中で1m程度に空中でカットして散布。  
(令和3年3月18日の試験では空中でのカットと散布は問題なく実施できた。)
- (3)適用ドローン  
農業散布に使用されるドローンであれば機種は問わない。(取付部は機種に応じて変更)

### 2. 尿素的葉面散布

- 台風後の葉の回復時期等に葉面散布を試験的に実施。  
機械や人力作業が困難な状態での使用に有効。  
(散布試験のみ実施)

## 実証結果



図3. チューブ繰出し方式による散布



図4. 空中切断散布方式による散布(切断装置、現地試験)

試行錯誤の後に、フェロモンチューブの空中切断装置を開発。プロジェクト終了間際に空中切断散布の試験飛行に成功。



図5. 尿素的葉面散布試験

#### R3年度の継続試験

R4年3月10日～12日に試験。  
散布面積: 13.9 ha  
散布チューブ: 140巻(30m/巻)  
作業時間: 245分  
うち、散布時間: 105分  
残りはチューブ・バッテリー交換

## 今後の課題

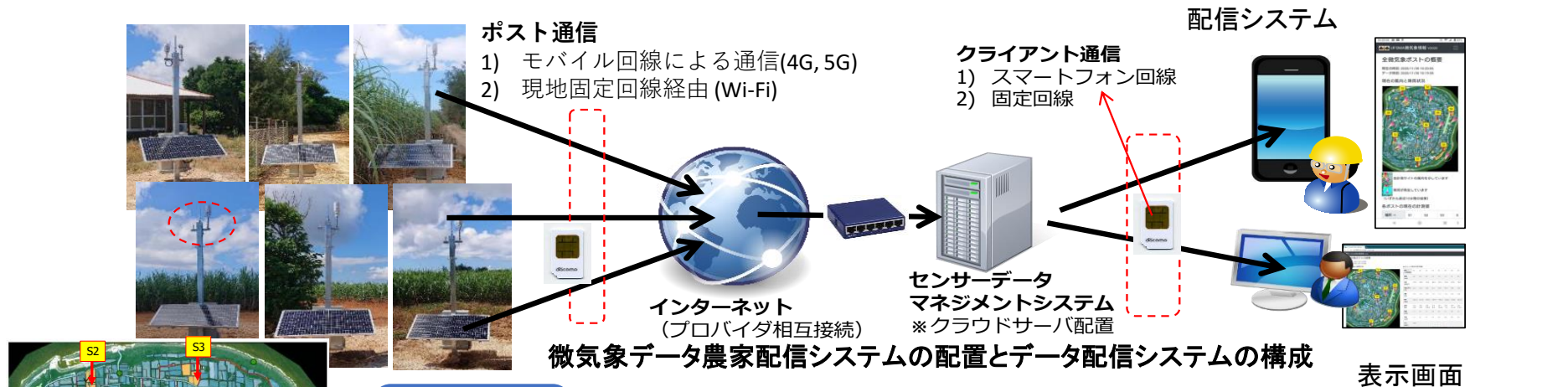
フェロモン中部の空中切断時に薬液漏れが発生するが、この状態ではドローン散布が認められないという大きな課題が発生している。この課題解決は困難であるが、できるだけ早くクリアして実用化を図る。

# (成果③) 微気象観測ネットによる生育環境(微気象・土壌)情報の収集と活用

## 取組概要

○ 島内に設置した微気象ポスト(S1-S6, S7-S9)を用いて微気象データ(温度、湿度、風速、風向、気圧、雨量、日射量、S1はCO<sub>2</sub>)および土壌水分・地温データ、画像データを継続的に計測・収録・分析。

○ これらの情報を農家向けに配信。最新版は、時間毎の集計表や視覚的なグラフを追加し、利用しやすいシステムに改良。



## 実証結果

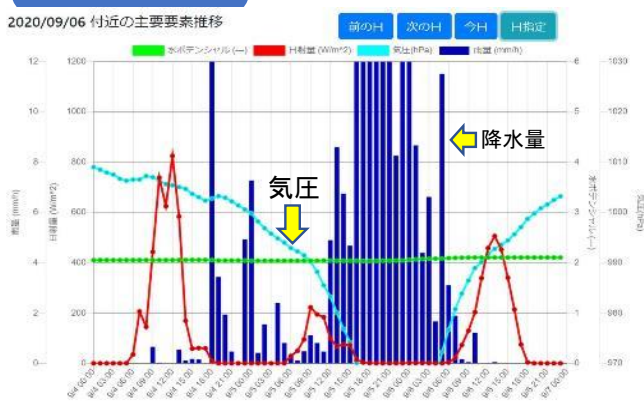


図6. 令和2年9月に襲来した大型台風10号時の稼働状況

この中でもシステムは正常に稼働。

表1. 農家等の配信システム利用状況

集計年月	使用回数	人数(月累計)
2020/01	1033	535
2020/02	1114	557
2020/03	2202	942
2020/04	1527	659
2020/05	1484	702
2020/06	1205	588
2020/07	1257	632
2020/08	2207	875
2020/09	2107	706
2020/10	1770	726
2020/11	1346	726
2020/12	1361	709
2021/01	1559	724

製糖期(R1) 天候不順

製糖期(R2) 台風接近 天候不順

微気象データの配信はR1年10月末より開始。表1のように多数の農家や関係者が閲覧。降雨データより機械作業の可否もしくは可能な場所の判断などに利用。プロジェクトでは灌水のスイッチング、生育データの解析などに利用。

## 今後の課題

- ・システムのメンテナンス体制の確立。データの信頼性の向上。長期間のデータ取得。
- ・蒸発散量などの利用による生育への影響解析および灌水のスイッチング情報としての利用方法の確立。

# (成果④) 節水型遠隔灌水システムによるさとうきびの増収(灌水試験)

## 取組概要

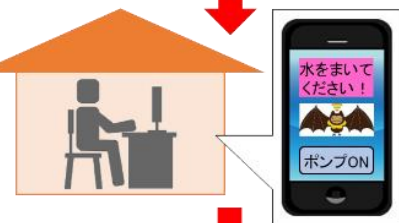


① 微気象ポスト・サブポストから得られた微気象データ・土壌水分データを基に蒸発散量や不足水量を求め、

② 自宅や出張先から圃場状態を把握し、いつでも遠隔操作で灌水ポンプのスイッチをスマホ等でオン/オフ。pF3.5で判断。稼働状況はエンジン音で確認。

③ 節水型の点滴灌水システムによって限られた水資源を効率よく利用して増収を図る。

④ 島内の水源の塩濃度の季節変化を把握し、利用可能性をチェック。



## 実証結果

城間南畑の試験区

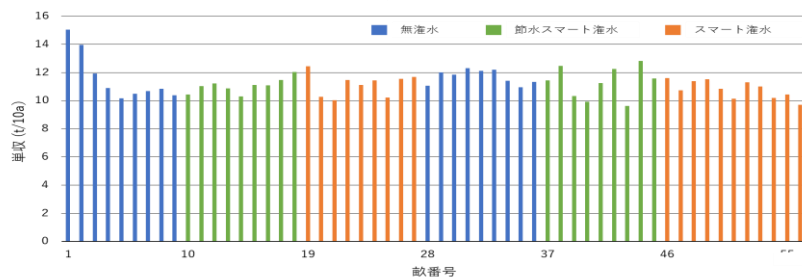
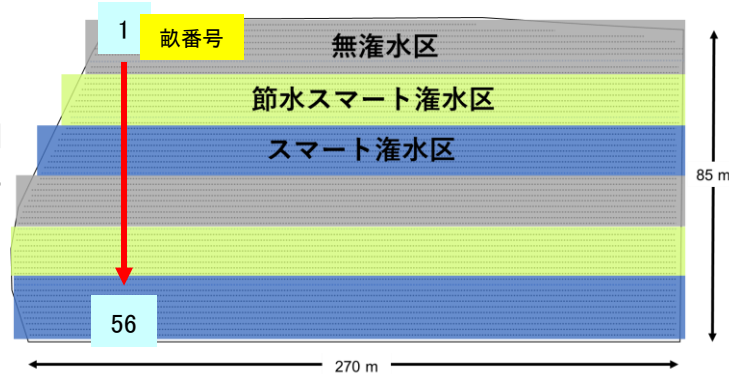


図7. 灌水試験圃場(城間南畑)の試験区と畝別単収  
単収はハーベスタのGNSS自動操舵データと運搬トラックから求めた。

表2. 灌水試験結果(R2年度)

	茎長 cm	茎径 mm	一茎重 g	単収 t/10a	糖度 %
無灌水	296	22.58	1281	11.56	12.23
節水スマート灌水	295	22.55	1327	11.32	11.93
スマート灌水	289	22.10	1280	11.32	11.66

この年度(R2)は降雨に恵まれたため全域で高収量となり、明瞭な灌水効果は確認できなかった。pF値に基づく遠隔灌水システムは順調に稼働。

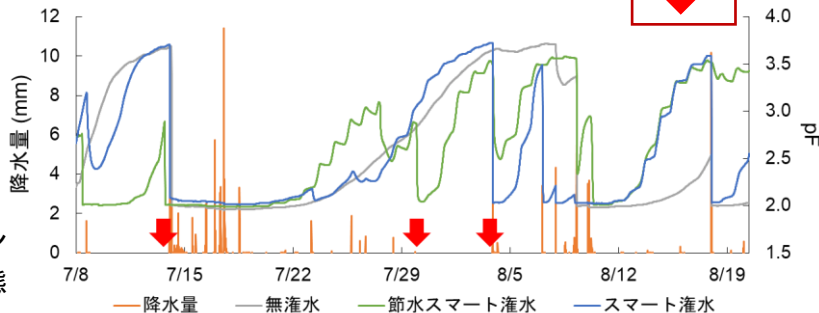


図8. 灌水試験期間における降水量と土壌水分(pF)の変化

## 今後の課題

・灌水試験の継続による灌水効果、作業効率などの評価精度の向上。省力・節水型灌水システムの確立。

# (成果⑤) 干ばつおよび塩ストレス(塩害)がさとうきびの収量・品質に及ぼす影響

## 取組概要

### 圃場試験を補う試み

#### (1) ポット栽培による灌水効果試験

琉球大学で現地の主要品種(Ni26, Ni27, Ni28, RK97-14)を用いて水ストレス・塩ストレス処理したポット栽培試験を実施。灌水効果と灌水水質の関係を評価。



## 実証結果

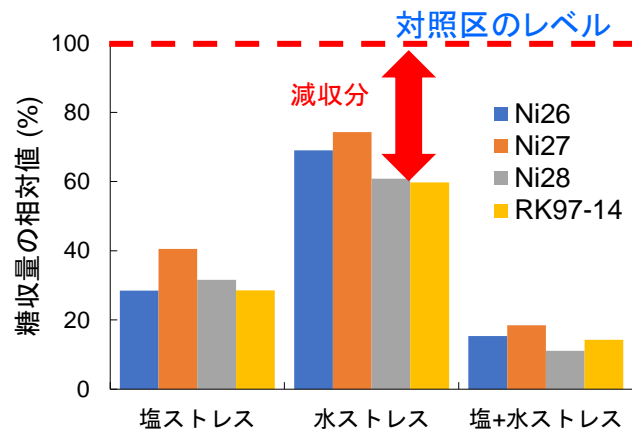


図9. ポット試験による灌水効果の評価(対照区を100)

水ストレス(干ばつ)による糖収量の減収は甚大。塩ストレスが加わる(台風後の干ばつ)と被害はさらに増大。

#### (2) 過去の生育データによる灌水効果の分析

##### 解析条件:

- ・1994~2018年度の最大風速 <math>25 \text{ m s}^{-1}</math>の非台風年度
- ・単収、甘蔗糖度は全作型込みの値

##### 回帰モデルに利用したパラメータ:

- ・単収: 6~10月不足水量
- ・甘蔗糖度: 11~3月不足水量
- ・産糖量: 予測した単収、甘蔗糖度、歩留より算出

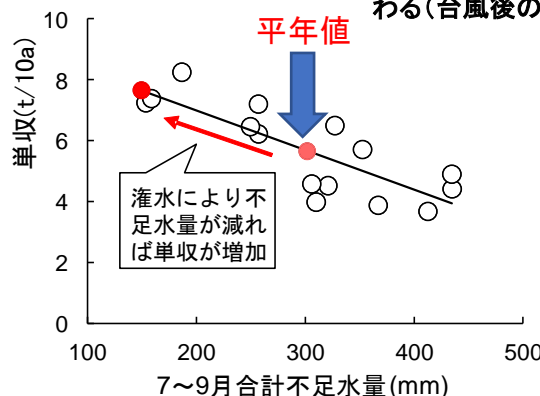


図10. 不足水量と単収の相関関係

過去のデータ解析によると、灌水によって夏季(7~9月)の不足水量(=降水量-蒸発散量)を平年値の300mmから150mmまで減らせば、**2t/10a**の増収可能。

=> **灌水効果は絶大!**

表3. 灌水試験結果と経済収支(R3年度)

	灌水量(mm)	単収(t/10a)	甘蔗糖度(%)	必要経費(円/10a)	売上(円/10a)	粗収益(円/10a)
無灌水區	0	4.36	14.2	41,800	100,000	58,200
節水灌水區	153	4.95	14.2	52,000	113,500	61,500
灌水區	306	6.37	14.0	58,500	145,400	86,900

#### (3) R3年度の灌水試験結果

8月上旬の300mm近い降雨以降、約3ヶ月間にわたって干ばつ傾向が続いた。この間、図7の圃場において、無灌水區、灌水區(306mm)、節水灌水區(153mm)を設置して9回の灌水を行った。微気象観測データより基準蒸発散量と実蒸発散量を求め、その差(不足水量)を埋めるように遠隔灌水を実施し、表3に示す灌水効果を確認。

## 今後の課題

・長期の灌水試験の実施およびそれを可能とするデータ収集・解析システムの開発。統計モデルによる増収・収益性評価技術の確立。

# (成果⑥) さとうきびの生理・生育情報・群落情報の効率的収集と高度活用

## 取組概要

○光合成分析装置、モバイルNIR、ドローンモニタリング等を用いて、さとうきびの生育状態を正確に把握し、それに基づいた確かな栽培管理を行い、増収・高品質化を図る。

○そのためには、生育情報として、さとうきびの生理、個体、群落の各データを取得し、微気象データ等も合わせて総合的に分析する必要がある。

○ドローンによるさとうきび圃場の空撮を継続的に実施し、画像解析による生育・群落情報取得可能性を検討。

○生理情報取得の効率化：光合成等の生理学的パラメータと生育情報・群落情報の関係をドローンで省力的に把握する手法の検討。

○発芽・萌芽・雑草繁茂状況および台風10号前後の画像比較による被害の可視化。

## 実証結果

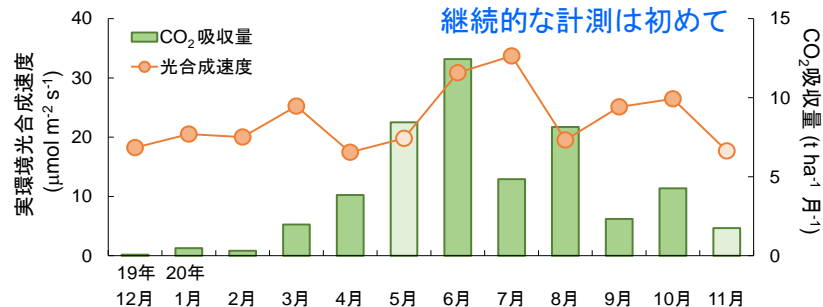


図11 実証圃場における月毎の光合成速度と推定CO2吸収量。

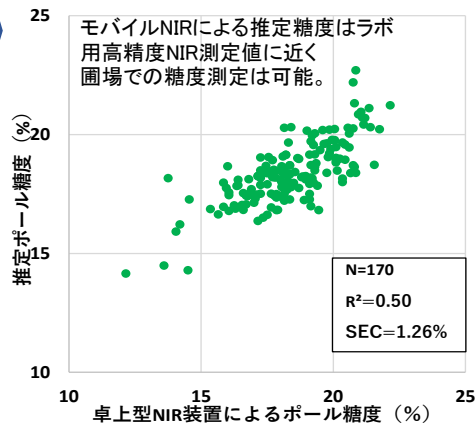


図12. モバイルNIRによる推定糖度の検証

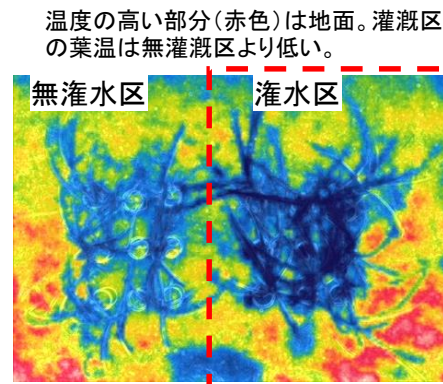


図13. ドローンによる葉温測定 (青～黒：低音部、赤：高温部)

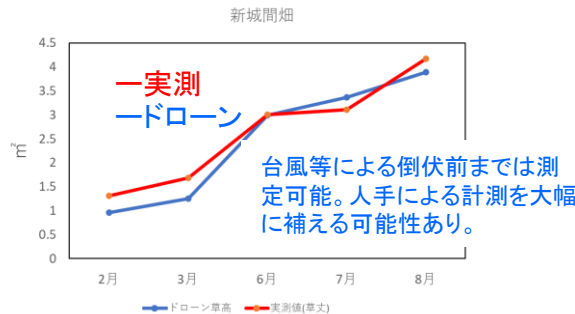


図14. ドローン画像による草高の推定

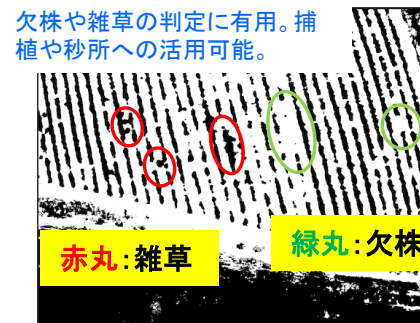


図15. ドローンによる雑草検出の可能性

## +生育調査



## 今後の課題

・各センサーによるデータ取得と分析を進め、増収や高品質化に必要な総合的な解析。ドローンによる生育情報の取得・モニタリングの実用化。



# (成果⑦) GISベース営農支援システムによる各種データの統合と高度活用

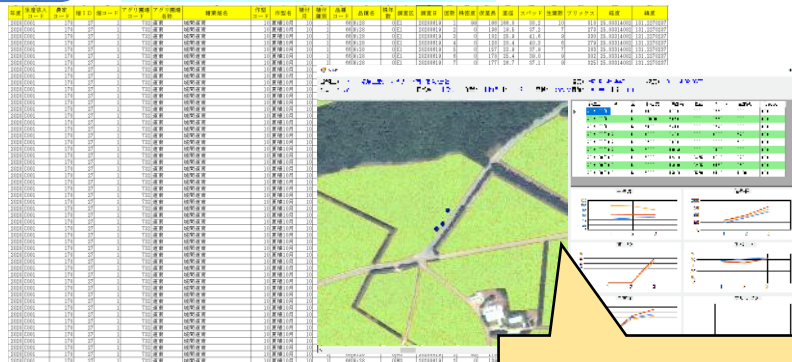
## 取組概要

- ① モバイル端末による圃場調査データの入力機能を開発し、圃場で生育情報の入力とデータベースへの保存・活用法を実証。
- ② 自動操舵農機の初期ABライン(走行基準線)データや運行軌跡を自動操舵システムから取得・保存し、圃場地図との連携・活用に関する実証を行った(本プロのハイライトのひとつ)。ABラインデータの後続作業への利用可能性を検討。
- ③ 圃場で実施する作業データをGISベース営農支援システム入力・保存して見える化し、圃場・経営管理に活用。

## 実証結果

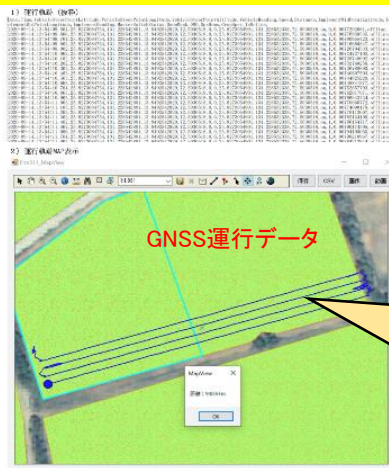
### ① 生育情報の見える化

圃場調査結果データ



・調査データの速やかな保存と取出しが可能となり、圃場地図との連携を実現。

### ② 自動操舵運行軌跡の見える化



・新植前の初期設定データを次期更新まで使用可能。  
・GNSS自動操舵農機の運行軌跡データの保存と活用が容易にできる。  
・GNSS自動操舵農機の運行軌跡を圃場地図に連携し、作業状況の把握や作業面積算出が可能。

圃場作業データ

### ③ 作業内容の見える化

・圃場の営農作業履歴や作業者の勤務状況の把握が可能になった。

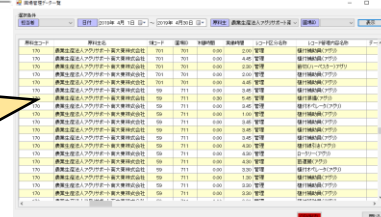


図17.「見える化」効果

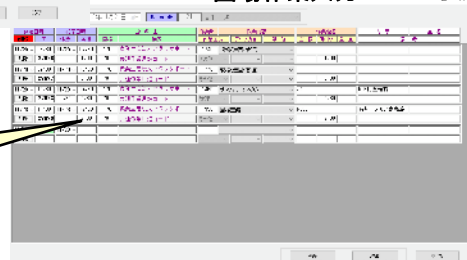
② PCより外部媒体を介し後続作業GNSS農機に初期設定データを移植。

モバイル圃場調査入力



① 圃場現場で調査データを入力。

圃場作業入力



GNSS自動操舵農機



GNSS運行データ連携機能

② GNSS農機より外部媒体を介しPCにデータを保存。特に初期設定データが重要。

③ 日々の圃場作業を入力・蓄積。

## 今後の課題

・営農支援システムの活用技術の確立。一般農家の利用できるシステムへの改修と利用事例の蓄積。

# 実証を通じて生じた課題

## 1. 今回の実証で導入したスマート農業機械・技術に関する課題

実証内容	機械・技術名	技術的な課題
3作型の自動操舵作業体系	各種農業機械・自動操舵システム	実証期間内に同一圃場において全作業の自動操舵データ取得は困難であったため、複数圃場で取得したデータを組み合わせることで機械化体系のデータとしたが、継続的なデータ収集が必要。地形・防風林などによる捕捉衛星数不足あるいは原因不明の自動操舵モード解除によって走行精度が不安定になる場合がある。
GNSS自動操舵インフラ	RTK固定基地局	固定基地局と移動局(使用農機)との位置関係、地形などによる補正信号の受信不良。高所に設置した固定基地局のメンテナンスが難しい。
生育環境データ取得・配信	微気象観測システム	長期の曇天・雨天時に太陽光電源枯渇による計測データ欠損が発生。鳥の糞やゴミの詰まり、飛塩の付着による降雨データの異常値の発生。アリ、ヤモリなどの虫類によるシステム障害の発生。=>こまめなメンテナンスが必要。
データ利用遠隔灌水	微気象観測システム+遠隔灌水システム	使用する土壤水分センサーなどを農作業によって破損することもあり、注意が必要。
生理データ(光合成など)の取得	光合成分析装置	屋外で月単位の光合成データを取得でき、成長解析などの基本データを得たが、農家にその有用性を伝えきれていない。
生育データ取得	モニタ用ドローン	対象圃場の空撮画像の合成および解析に膨大な時間が必要。データ利用技術の開発が不十分。
圃場糖度データ取得	モバイルNIR	茎の表面状態(汚れやワックスなど)や周囲の光環境による計測精度の不安定さ。さらなる軽量化とバッテリーの持続時間延長が必要。
作業データ取得	営農支援情報システム	作業員の作業名・用語の統一が不十分で紙ベースの作業日誌からシステムへの入力や集計が難航。=>かなり改善されたが、短時間に複数の作業を行う場合の記録の取り方が難しいなどの問題が残っている。機械作業については、農機の走行データの取得法などを検討中。
各種データの統合	営農支援情報システム	各種のデータを営農支援システムに統合し、必要に応じて活用できるようになったが、複数データの組み合わせ解析技術の開発が不十分。このような解析や利用は農家には難しい。
ハリガネムシ・フェロモンチューブの空中散布	大型ドローン+空中切断・散布装置	フェロモンチューブの切断位置によって薬液の飛散ロスが発生。

## 2. その他の課題

- ①スマート農業で使用する機器類のメンテナンス。
- ②多くの農家が利用するIoT微気象センサネットなどの管理を誰があるいはどの組織で担当するか。
- ③微気象データ、生理・生育データの利用は農家だけでは使用困難。わかりやすく、営農に反映できる情報を提供するサービスもしくはシステムの整備が必要。

## ○ 問い合わせ先

琉球大学農学部 川満芳信 (Tel: 098-895-8754、Email: kawamitu@agr.u-ryukyu.ac.jp)

本実証課題は、農林水産省「スマート農業実証プロジェクト」（事業主体：国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構）の支援により実施されました。

農研機構スマート農業実証プロジェクトホームページ  
<https://www.naro.go.jp/smart-nogyo/>