

日本産イチゴの輸出拡大を強力に後押しするスマート高品質生産・出荷体系の構築

JA阿蘇いちご部会 委託部（熊本県阿蘇市）

◎輸出、○リモート

背景及び取組概要

＜実証面積:37.32a＞ ＜実証品目:イチゴ＞

- 日本産イチゴの輸出拡大を加速させ、2025年度輸出目標額86億円の実現に向けたスマート生産基盤技術を実証
 - ① 輸出需要に対応した省エネ型CO₂施用、環境測定・制御システム、収量予測を導入した生産技術のICT化による定時・高品質・増収を可能とする低コスト生産基盤を構築。
 - ② 非破壊品質評価装置を導入した自動選果・パック詰めロボットにより出荷調製作業の省力、高品質、高精度化と輸送品質の見える化を進め、高付加価値商品を安定供給する輸出対応型省力一貫作業出荷体系を構築。
 - ③ 種々のスマート農業技術の費用対効果を明らかにし、輸出による販路拡大が経営に及ぼす影響を解析。

導入技術

多収安定生産技術

・ 圃場内環境・生育情報活用したCO₂局所適時環境調節技術により、省エネ多収安定生産を実現

生育モニタリング・収量予測

・ 環境・生育量のモニタリングと収量予測により、栽培管理の最適化・効率化

営農支援

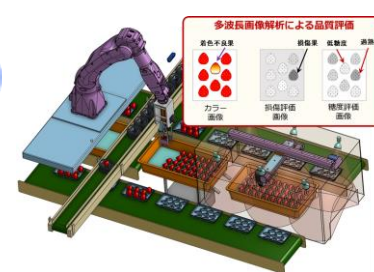
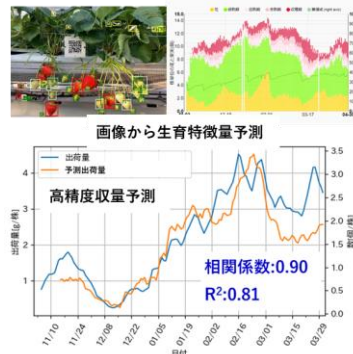
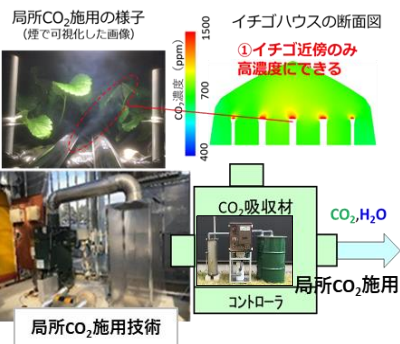
・ 遠隔業務支援システムにより栽培管理の精度向上、労務管理、GAP取得の効率化

選別パック詰めロボット

・ 調整作業の省力化と非破壊品質評価装置にて輸出適した果実を選別

長期鮮度輸送技術

・ 電場コンテナ船便輸送と損傷軽減資材等の活用で、長期鮮度保持と低輸送コスト化



栽培管理

出荷調製

輸送

目標に対する達成状況等

実証課題の達成目標

1) 実証テーマに沿った目標

- ・非破壊選果技術と長期間鮮度保持技術を活用し、着荷時減損率を20%軽減、品質保持期間を4日程度に延長
- ・中価格帯の日本産イチゴ売価を韓国産の1.5倍以内に抑制
- ・多収省エネ技術の導入により、5%増収、燃料コスト25%削減
- ・販売戦略を策定し、総出荷量の5%を輸出向けに充当できる出荷体系を構築するためのサポート
- ・省エネ・省力化等の実証技術の導入及び輸出による販路拡大により、生産者の農業所得20%向上

2) 生産者のコスト低減、収量・品質向上等についての目標

- ・稼働率と計測精度の高い圃場内環境情報提供システムを導入し、果実熟度計測精度90%以上、収量予測精度85%以上を達成
- ・多収省エネ技術の導入により、慣行区比5%増収と25%省エネ(省資源)化、20%以上の着色向上により商品性向上
- ・共同選果施設で自動選別ロボットを活用し、低品質果実を80%除去、パック詰め作業効率30%向上
- ・収穫箱の最適化により、慣行区よりも15%傷み軽減

3) 生産者の経営全体の改善についての目標

- ・遠隔業務支援サービスを活用し、現場コンサルティングの旅費を50%削減し、実証現地指導やグローバルGAP認証取得の効率化を支援するシステムを検証
- ・省エネ・省力化等の実証技術の導入及び輸出による販路拡大により、生産者の農業所得20%向上

目標に対する達成状況等（つづき）

目標に対する達成状況

1) 実証テーマに沿った目標に対する達成状況

○ 慣行の船便輸送(5℃平トレ仕様)と比較して、「宙吊り容器」包装かつ2℃船便輸送と見なし陳列後の品質保持において、果皮の損傷面積率を慣行比で1/4に軽減、航空便に近い状態での品質保持を確認できた。輸出後の減損率の20%軽減および品質保持期間4日程度へ延長を実現させる手法として有効であり、目標は達成された。

○ 香港での国産イチゴの嗜好性(果実品質、パッケージ等)を聞き取り調査し、嗜好にあわせた販売戦略を策定した結果、相場が高いほど小分け規格が売れることから、12～2月の期間、小分け規格(150～180g/パック)の商品を展開することが有効と考えられた。

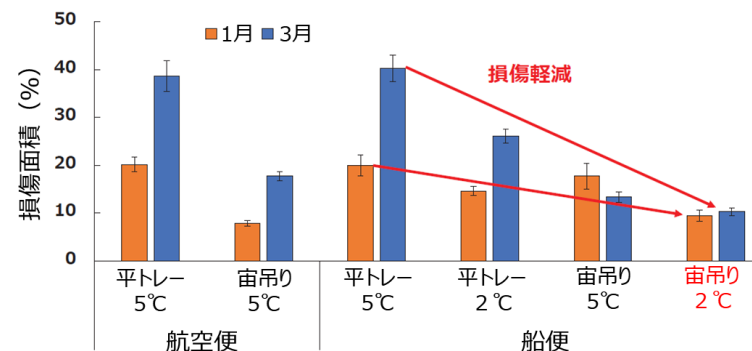
○ 輸出用仕様として選定した150～180g規格は1,000パック以上の発注があれば、想定販売価格を韓国産の1.3倍以下に抑え、十分な価格競争力があることが明らかになった。R5年作よりイオングループから香港での商品提供が始まった。

	航空便	船便
ルート	JA阿蘇→熊本空港→羽田空港→つくば	JA阿蘇→博多港→那覇港→博多港→東京港→つくば
輸送日数	1月試験：7日間 3月試験：8日間	1月試験：14日間 3月試験：15日間

※品種は「恋みのり」。輸送日数には保冷陳列4日間含む。
船便の3月試験は博多港で貯留ののち東京港に輸送、那覇港の経由なし。



宙吊り包装



香港輸出代替試験でのみなし陳列終了時の果皮の損傷面積率

輸送試験結果を受けて輸送形態の違いによる想定販売価格の差異

1回当たり 出荷量	航空便 慣行270g	評価	船便 慣行270g	評価	船便 最適化150g	評価
1000P	112(HK\$)	×	117	×	72	○
2000P	112	×	94	○	59	◎

評価：韓国産比目標価格1.5倍以内達成○、韓国産比同等67HK\$/P以下◎



出荷容器の最適化

+



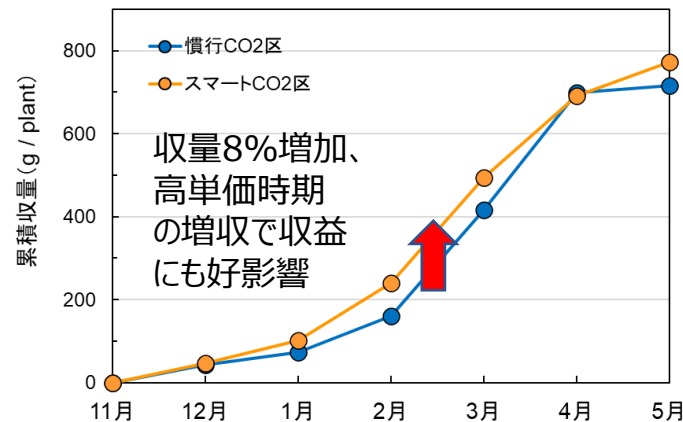
船便による高鮮度コンテナ活用した輸送



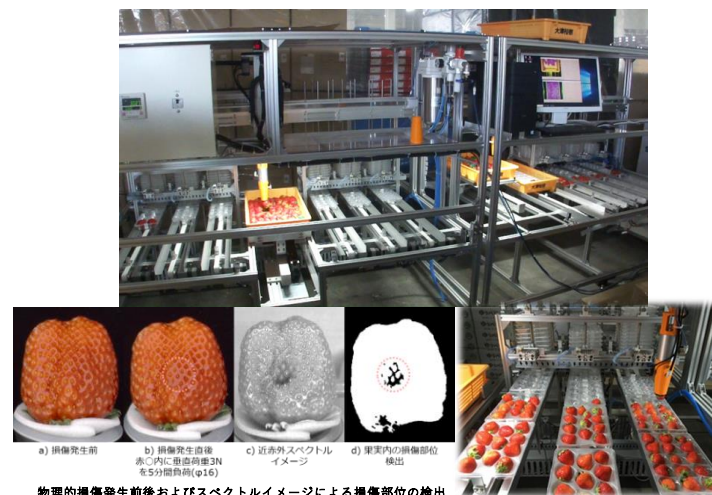
目標に対する達成状況等（つづき）

2) 生産者のコスト低減、収量・品質向上等についての目標に対する達成状況

- スマートCO₂施用技術(局所適時CO₂施用と窓開閉検知装置)の導入により、5月末までの果実収量は8%増加、灯油使用量は72%削減できたことから、目標は達成した。
局所CO₂施用は、従来施用(全体施用)と比較して、4倍のハウス面積までCO₂濃度を高濃度で維持可能。局所CO₂施用区では、慣行施用区より生育ムラが小さくなった。
- 簡易型ロボットは6種類の重量選別を行い、重量選別精度はRMS誤差0.75g、処理時間は5.5s/果であり、平均果量を20gとするとパッケージセンターの全出荷量の5%を処理可能と試算された。作業効率30%削減については検証中。
- 輸出適性が高い果実を選別することについては、非破壊品質検査装置を試作し、損傷検出アルゴリズムおよび低糖度検出アルゴリズムを開発してそれぞれの検出精度を検証した結果、損傷検知率は100%であり、当初目標80%を達成。
- 環境モニタリング装置に関しては、収穫作業台車搭載式環境モニタリング装置を開発し、収穫作業エリアの100%の環境データと収穫量データの収集と90%以上の画像データの収集を実現した。得られたデータを活用して得られた生育特徴量計測の精度は0.81以上を示し、収量予測精度もMAPE0.11~0.21と概ね当初目標値を達成した。引き続き、データを収集し、収穫期間を通じた予測精度を検証中。



各CO₂施用区における累積果実収量



- 重量推定精度: RMS誤差1g未満
- 処理コンテナ数(粗選別): 12コンテナ/h
- R5年度より市販化予定、1000万円程度(選別バック詰め機能)
- 果実品質評価機能付与(糖度、損傷評価等)を画像処理、選別連携予定(R7年度)

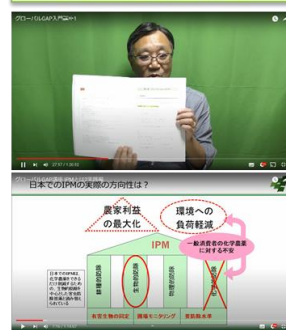
自動選別バック詰めロボットの概要

目標に対する達成状況等（つづき）

3) 生産者の経営全体の改善についての目標に対する達成状況

- 遠隔指導等の機能を活用し、実証現地指導やグローバルGAP認証取得の効率化を支援するシステムを構築したことで、現場コンサルティングの旅費50%削減を達成し、コンサルティング実施のハードルを下げることができた。GAP取得過程における産地自らの改善活動の取り組みによって経営品質の向上、輸出競争力の向上に貢献することが可能となった。
- 一方で、収量予測や環境モニタリングシステムは、スマートCO₂施用技術のように直接単収の向上にはつながらないことから、生産者の経営において収量予測や環境モニタリングシステムの活用方策、コスト負担等について検討が必要である。
- JA阿蘇の総出荷量の5%を輸出向けに充当できる出荷体系を構築するためのサポートについては、1) スマートCO₂施用技術の導入により増収と燃油削減が可能になること、2) 輸出相手国での消費者・バイヤーへのヒアリング、実輸送試験の検証結果を受けて、新たに輸出用仕様として150～180g規格を選定し、同商品が十分な価格競争力を有すること、3) パッケージセンターを核とした柔軟な製品構成と小ロットに対応できる仕組みとして、選果ロボットの活用が今後の鍵となることを明らかにし、目標を達成した。

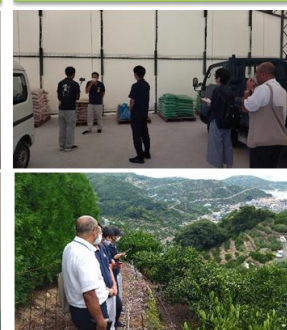
(1) WEB自己学習



(2) ワークショップ



(3) 模擬審査



実証結果：技術面・運用面で課題残る

実証結果：旅費50%削減、WEB自己学習の実用化を進める

【実用化研修コンテンツ例】



- グローバルGAP入門講座1 ●グローバルGAP入門講座2 ●事例学習
- リスク評価とは ●施肥とは1法律編 ●施肥とは2実践編
- 農薬とは1法律編 ●農薬とは2実践編
- IPMとは1法律編 ●IPMとは2実践編 ●一般衛生管理とは

遠隔指導支援システムを活用したGAP認証取得の効率化

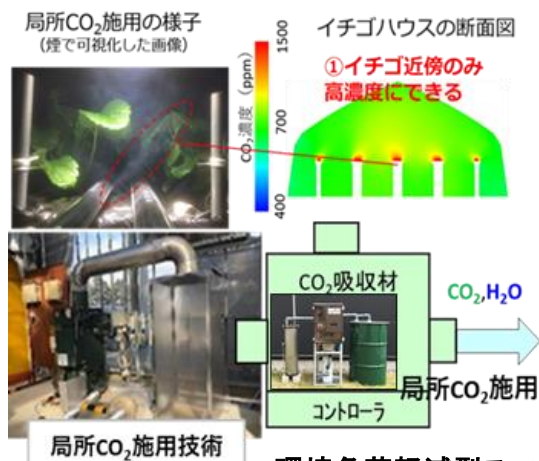
(実証項目別成果①) 栽培管理のスマート化 (CO₂施用技術のスマート化)

取組概要

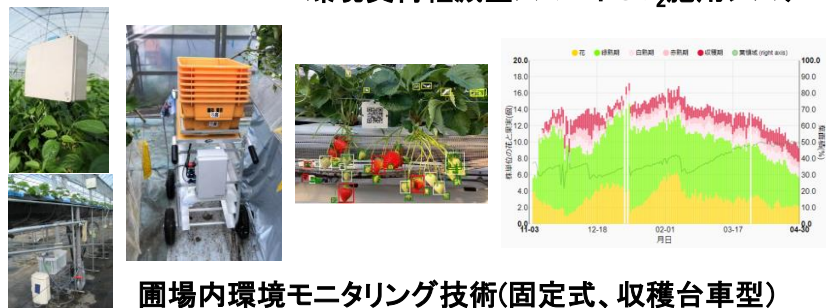
- 圃場内環境・生育情報を活用したCO₂局所適時環境調節技術等により、環境負荷軽減型多収安定生産を実現

(使用機器) ・局所適時CO₂施用+ CO₂貯留装置(アグリーフ)
 ・ハウス内環境モニタリング(固定式、収穫台車)
 ・排水量、ECモニタリング装置
 ・UV-B照射装置(タフナレイ)
 ・イチゴ生育画像解析システム(AGRI-VISION)

(実証面積)慣行区:17.42a 実証区: 19.9a

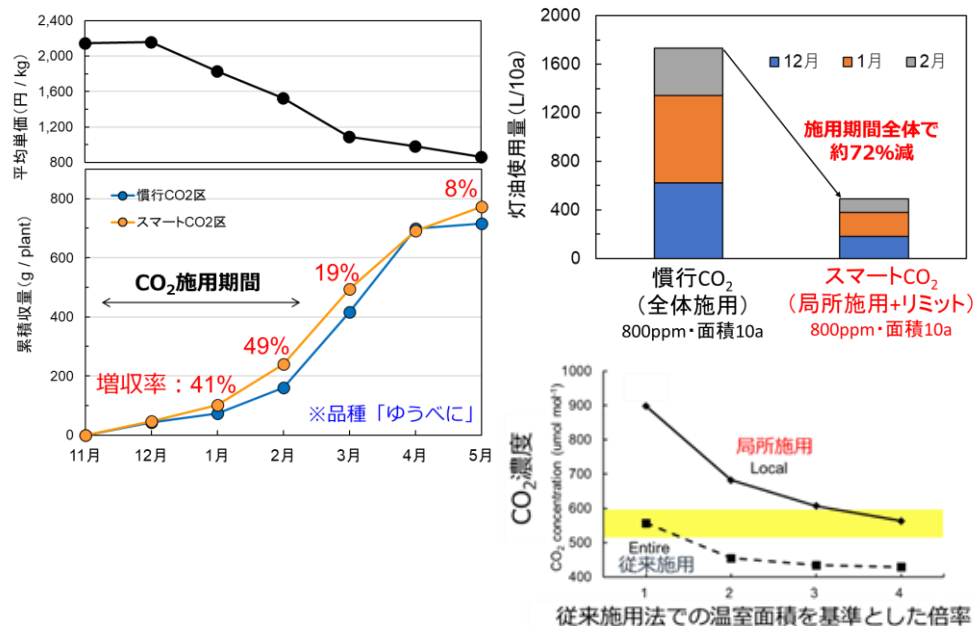


環境負荷軽減型スマートCO₂施用システム



実証結果

- 圃場内環境・生育情報を活用したCO₂局所適時環境調節技術、排水量、EC管理による灌水量・肥効の最適化により、慣行CO₂施用比8%の増収、72%の省エネ(省資源)化の実現。局所CO₂施用は、従来施用(全体施用)と比較して4倍のハウス面積までCO₂濃度を高濃度で維持することが可能。
- UV-B照射による着色向上、ハダニ抑制効果は確認できず。



今後の課題 (と対応)

現地実証において、効率的なCO₂貯留と局所適時CO₂施用技術の最適化の検討が必要。→環境モニタリングデータ、燃料消費量等を活用し、運用方法の最適化を図る予定。

(実証項目別成果②) 遠隔業務支援システムを活用した栽培・出荷管理のスマート化

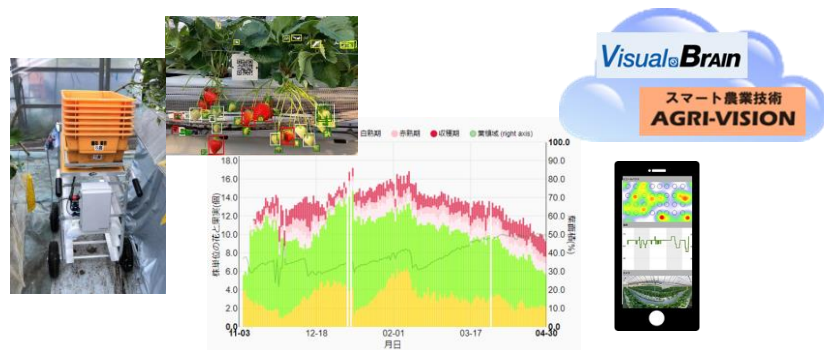
取組概要

- 高精細カメラとAIによるイチゴの生育画像解析システム(AGRI-VISION)を用いて、花数、果実数、熟度、葉面積等の収量関連形質を計測・収集し、得られた情報から収穫期・収量予測を実証。
- 栽培管理支援のための各種情報と遠隔業務支援サービス「VisualBrain」に実装されている遠隔指導等の機能を活用し、生産者、JA営農指導員等が遠隔指導に活用することで、栽培管理の精度向上、安定生産、労務管理、GLOBALG.A.P.取得の効率化に活用。

(使用機器) ・ハウス内環境モニタリング(固定式、収穫台車)

- ・排水量、ECモニタリング装置
- ・イチゴ生育画像解析システム(AGRI-VISION)
- ・遠隔業務支援システム(VisualBrain)
- ・GAP支援システム(作業日誌等)

(実証面積) 慣行区:17.42a 実証区: 19.9a



園場内環境モニタリング・収量予測、遠隔業務支援システムの構築

実証結果

- 計測システム稼働率95%以上を維持しつつ、解析情報を全協力農家にスマホアプリ等で情報提供。
- 花数、果実数、熟度、葉面積等の収量関連形質の計測精度80.8～90.4%、収穫10日前において収量予測精度は 50.5～83.8%であった。得られたデータを労務管理や販売戦略の策定に活用。
- 遠隔支援システム(「VisualBrain」)の検証環境を構築し、学習会兼デモ体験を通して、システムの映像品質や音声品質の検証を実施。園地における通信ネットワークの不調、画面共有等の課題も明らかに。
- GLOBALG.A.P.取得支援に際し、遠隔業務支援システムおよび GAP 支援システムを活用し、GAPリモートコンサルティング体系を構築し、リモート審査への適合性を検証。現場コンサルティングの旅費を50%削減し、認証取得の効率化を実現、オンライン研修の実用化に目途。

異なる3品種における果実熟度および収量予測精度

成熟ステージ	恋みのり	さがほのか	ゆうべに
花	0.92 ^z	0.87	0.92
緑熟期	0.92	0.97	0.89
白熟期	0.84	0.84	0.68
赤熟期	0.86	0.88	0.60
収穫期	0.98	0.93	0.95
macro平均 ^y	0.90	0.90	0.81
収量予測(R2値)	84	69	51

^zF値:再現率と適合率の調和平均値。

^y各ステージ(花、緑熟期など)の評価指標をもとにしたマクロ平均値。

今後の課題(と対応)

画像による収量関連形質及び収量予測精度向上のため、詳細な実収量データの収集とスマホ画像等とのデータ連係を進める。遠隔業務支援システムの有効活用とGAP取得の効率化のため、実証事例を増やして課題の洗い出しを進める。

(実証項目別成果③) 自動選別ロボットによる選別作業の省力化・高品質化

取組概要

○ パッケージセンターに非破壊品質評価機能付き自動選別パック詰めロボットを導入し、調製作業の省力化と高品質化を検証する。

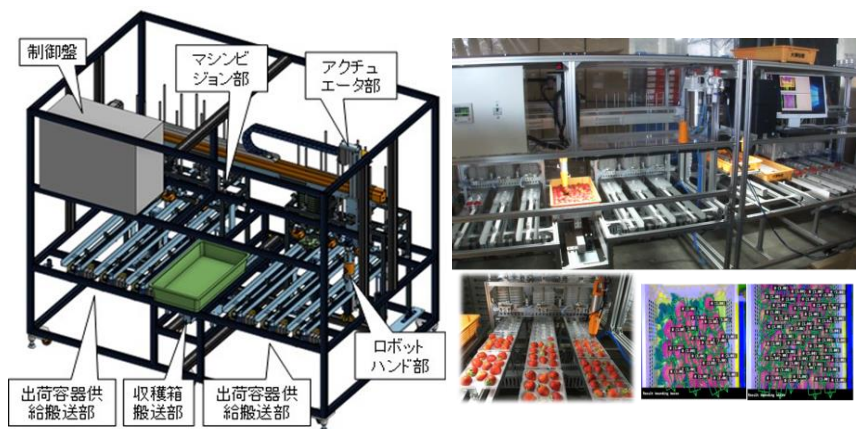
(使用機器) ・自動選別パック詰めロボット

・ゆりかご自動供給装置

・非破壊品質評価装置

・遠隔業務支援システム (VisualBrain)

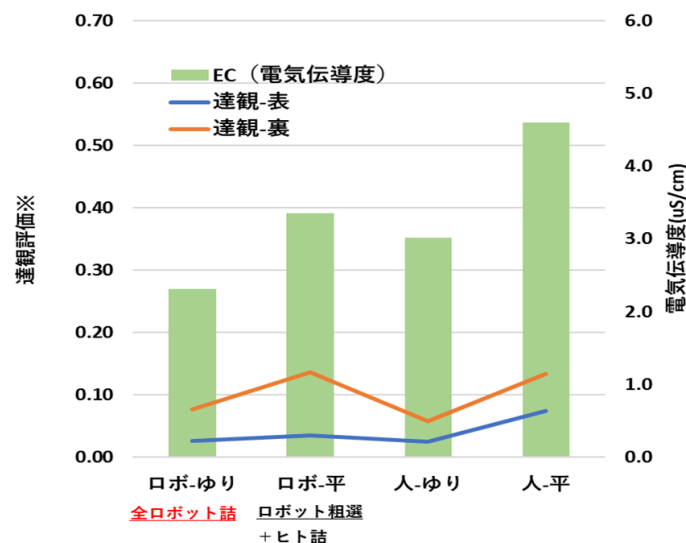
(実証面積) 実証区: 37.32a



低コスト型自動選別パック詰めロボットの概要

実証結果

○ 完全ロボット選果、ロボットによる粗選別+ヒトでのパック詰めは、手詰め選果と損傷程度に有意差なし。



※達観評価法・・・カビ: 3, オセ: 2, スレ: 1, 接触痕: 0.1, 損傷なし: 0とし, 損傷程度 = $\{ 3 \times \text{カビの発生面積割合}(\%) + 2 \times \text{オセの発生面積割合}(\%) + 1 \times \text{スレの発生面積割合}(\%) + 0.1 \times \text{接触痕の発生面積割合}(\%) \} / 100$

ロボット選果とヒトによる調製作業が果実損傷に与える影響

今後の課題 (と対応)

- 1) 低コストの自動選別ロボットの商品化と有効活用するための人材育成、遠隔業務支援システムの活用によるサービス効率化、ヒトとの協働作業体系の構築が必要。
- 2) 非破壊品質評価については、果実損傷評価等の一部については研究要素も含まれるため、基礎的データの収集もあわせて実施し、精度向上とパック詰めロボットとの連携を進める。

(実証項目別成果④) 船便を活用した低コスト高品質輸送技術による輸出競争力向上

取組概要

- 非破壊品質評価装置による輸出適性果実の選別と「ゆりかご」等の果実損傷軽減資材の活用および長期鮮度保持効果が高い電場リーファーコンテナ等を活用した船便による輸送技術の最適化を行うことで、高品質化と輸送コストの低コスト化を進める。さらに、輸出相手国の嗜好にあわせた販売戦略を策定を進める。

(使用機器)

- ・電場リーファーコンテナによる長期間鮮度保持輸送(fresh bank)
- ・果実損傷軽減型資材(収穫箱、出荷容器)
- ・非破壊品質評価装置
- ・輸送品質モニタリング(センサータグ)
- ・遠隔業務支援システム(VisualBrain)

(実証面積) 実証区:37.32a



電場リーファーコンテナ



収穫箱の改良

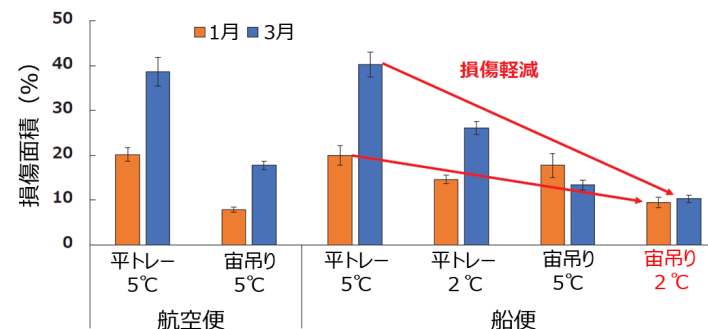


出荷容器の最適化

低コスト高品質輸送の鍵となる
電場リーファーコンテナと果実損傷軽減容器

実証結果

- 自動選別パック詰め装置との相性が良く、輸送時の品質保持効果が高い容器の選定と香港での消費者調査に基づき容器の最適化(少量パック(150~200g))を進めた。パイヤー戦略とも合致し、有効性を確認。
- 国内代替船便輸送試験の実施と輸送方法の最適化(「ゆりかご」包装・2℃での輸送-陳列)により、船便輸送において慣行平トレー比、50%損傷軽減、航空輸送と同程度の品質保持効果を確認。



輸送方法、貯蔵温度、容器形状が果実損傷に与える影響

輸送試験結果を受けて輸送形態の違いによる想定販売価格の差異

1回当たり 出荷量	航空便 慣行270g	評価	船便 慣行270g	評価	船便 最適化150g	評価
1000P	112(HK\$)	×	117	×	72	○
2000P	112	×	94	○	59	◎

輸送試験結果を受けて船便イチゴのロス率 航空便とほぼ同等 2%

概算条件 船便200千円/コンテナ、飛行機便300千円/1パレット

評価: 韓国産比目標価格1.5倍以内達成○、韓国産比同等67HK\$/P以下◎

今後の課題 (と対応)

船便での輸送に際して、検疫で留め置き事例があり。遅延時のスムーズな荷受けも課題。市場の仲買が主体となり、輸出に取り組んでいる状況で生産者にとってメリットが小さい。

(終了時成果(全体)) 実証を通じて生じた課題

実証を通じて生じた課題

技術的な課題

(1) 今回の実証で導入したスマート農業機械・技術

作業内容	機械・技術名	技術的な課題
1 光合成促進(局所CO ₂ 施用)	CO ₂ 分離・貯留・施用装置 (アグリーフ)	・暖房機からの排ガス中のCO ₂ を分離・貯留し利用するため、稼働期間が限定。
2 イチゴの選別パック詰め作業	イチゴ選別パック詰め ロボット	・予冷库内での完全自動化が求められているが、収穫コンテナの自動供給排出の仕組みが必要。 ・ロボットの操作を効率的かつ安全に習熟するため、仮想空間でのシミュレータの活用が有効。 ・ロボットと相性が良く、かつ果実損傷が少なく、安価な出荷容器の開発。
3 果実の非破壊選別	品質評価システム	・実証現地での具体的な品質基準や選別基準が未整備であるため、選別基準や品質評価基準の設定が必要。
4 圃場環境情報等のモニタリングと可視化	収穫・管理作業台車搭載式 モニタリング装置	・モニタリング装置を構成する各種電子部品が半導体不足の影響で入手困難、製造中止等で装置の継続的な開発・製造の障害。

(2) その他

安価で定額で導入可能な情報通信ネットワークの構築が望まれる。

＜実証全体について＞

農研機構九州沖縄農業研究センター <https://www.naro.go.jp/inquiry/index.htm>
TEL: 096-242-7529

＜局所適時CO₂施用技術について＞

農研機構九州沖縄農業研究センター E-mail: smart-karc@naro.affrc.go.jp
TEL: 096-242-7529

＜イチゴ生育画像解析システムについて＞

キヤノンITソリューションズ(株) E-mail: masai.takayuki@canon-its.co.jp
TEL: 03-6636-5470

＜自動選別パック詰めロボットについて＞

秋田県立大学 E-mail: syamamot@akita-pu.ac.jp TEL: 0185-45-3945

＜イチゴ輸出に適した高品質輸送技術について＞

農研機構食品研究部門 E-mail: twtnb@affrc.go.jp TEL: 029-838-7191

＜GLOBALG.A.P.取得オンライン研修について＞

一般社団法人GAP普及推進機構 E-mail: info@ggap.jp TEL: 03-5532-7329

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/>