イチゴパック詰めロボットの概要について

独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構
生物系特定産業技術研究支援センター
特別研究チーム（ロボット）　山本聡史

はじめに

イチゴは非常に傷つきやすいため、選別パック詰め作業の自動化は長年の課題であった。慣行作業では、パック詰めした際の見映えが重視されるため、ジグソーパズルのように果実の形状を考慮し、既にパック詰めした果実の隙間に当てはめながらパック詰めする。このように作業者が果実の大きさ、形状、着色度合を判別し、容器にパック詰めする時間は１果当たり概ね５～８ｓである。この選別パック詰め作業が、ピーク時には夜中までかかり、多大な労力を要する。また、果実硬度の低下を防ぐため、作業空間での暖房の使用が制限され、低温下での長時間作業を強いられている。こうしたイチゴ生産者の作業負担を軽減するため、選別パック詰め作業の自動化について、これまで多くの研究開発が行われてきた。自動選別では、画像処理を用いた選別システム[1)～4)]が研究され、ヤンマーグリーンシステム(株)により、果実質量及び糖酸度を計測して選果するイチゴ非破壊品質測定装置が実用化された[5)]。自動パック詰めでは、軟弱なイチゴ果実を損傷なく搬送するソフトハンドリング技術に関する研究開発[6)～11)]が行われた。ソフトハンドリングの手法は、果実に触れることなく果柄をハンドリングする方法、微弱な力で果実をハンドリングする方法、比較的損傷しにくい果底部から果実を吸着保持する方法の大きく３つに分類できる。このうち、果底部から果実を吸着する方法は、吸着時の負圧をできるだけ低く設定し、さらに果実と接触する部分に十分軟らかい緩衝材を取り付けることにより、損傷なく保持できると考えられた。

一方、イチゴの出荷容器は、消費者、流通業者、加工業者のニーズの多様化を受け、慣行の２段詰めパックだけではなく、主に業務用に、平詰めソフトパックの普及が進んでいる。この平詰めソフトパックは慣行の２段詰めパックと比較し、流通時の果実損傷が軽減可能と報告されている[12)]。

こうした状況の下、生研センターでは、2007 年から選別パック詰め作業の自動化に取り組み、平詰めソフトパックを対象とした自動選別パック詰め技術を開発した[13)～15)]。収穫箱から果実を取り出し、画像処理により大きさ別に階級判別し、吸着ハンドにより平詰めソフトパック等の出荷容器に向きを揃えて並べるものであり、果重の推定誤差は±２ｇ以内、果実を収穫箱から取り出して出荷容器に並べるハンドリング成功率は 97%であった。果実１果当たりに要する作業時間は７ｓと慣行の手作業とほぼ同等の能率であったが、視察した生産者から一層の能率向上を要望された。このように蓄積した技術をベースにして、2011 年度から農林水産省の農業機械等緊急開発事業により、イチゴの選果施設を開発したヤンマーグリーンシステム(株)との共同研究を実施し、イチゴパック詰めロボットの開発を進めてきたので、その概要を報告する。

１．開発目標

イチゴ生産の労働時間の約３割を占める出荷労働の省力化を図るため、自動で等階級を選別する選果施設の導入が進んでいる。この自動選果施設は、果実質量及び糖酸度を計測して選果するイチゴ非破壊品質測定装置を備え、果実を損傷なく搬送するため、柔軟な素材を用いた搬送容器が使用される。作業者は、主に果実投入部にて果実を選果ラインの搬送容器に載せる作業と、果実集積コンベアにて選別後に各等階級に振り分けられた果実を出荷容器にパック詰めする作業を行う（図１）。選果装置の処理速度は３果/s であり、パック詰め能率が慣行の能率 16～19 パック/h・人から 26.2 パック/h・人まで向上したと報告されている。しかし、パック詰め作業は依然として手作業であるため、人件費

の削減が課題になっている。そこで、選果ラインにおいて等階級に選別された果実を搬送容器から拾い上げ、出荷容器に向きを揃えて並べるパック詰めロボットを想定し、開発目標・コンセプトを設定した。まず、果実を損傷なくハンドリングするため、搬送容器上に水平に置かれた果実の果底部を吸着するロボットを基本コンセプトとした。対象果実は、パック詰め作業の自動化が比較的容易で、年々増加傾向にある平詰めソフトパックで出荷されるものとし、目標処理時間は果実１果当たり３s、１時間で 40 パック以上とした。また、選果ラインの作業体系を考慮し、画像処理を用いずに果実の方向を揃えてロボットに供給するシステムをコンセプトに開発を進めた。

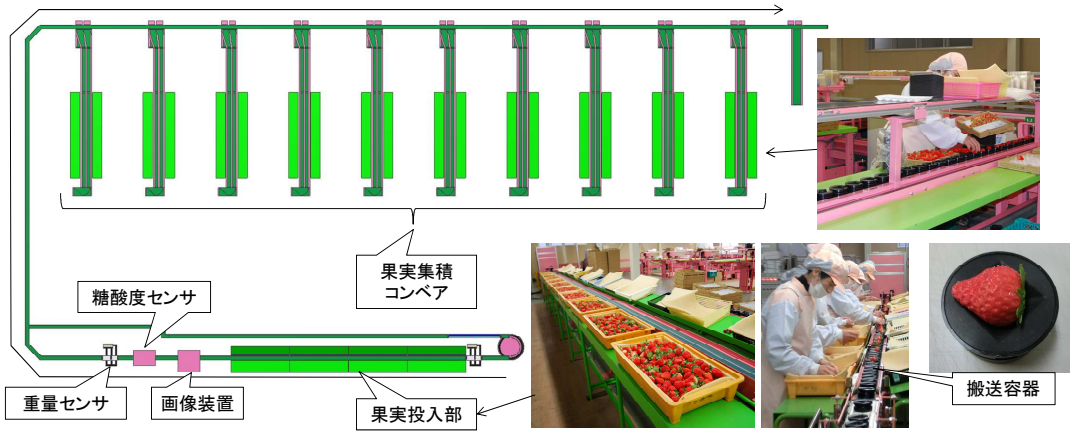


図１　イチゴの選果ライン

２．開発機の構造と作用

１）ロボット本体

ロボット本体は、パック詰めユニット、搬送容器ユニット、出荷容器ユニットから構成される（図２、表１）。以下、各ユニットについて説明する。

図２　本体の構成

(1)パック詰めユニット

パック詰めユニットは、果底部を吸着するハンドを６台備え、搬送容器上の果実６果を同時に平詰めソフトパックにパック詰めする（図３）。各吸着ハンドは上下・前後進動作を独立して行うアクチュエータと吸着を検知する圧力センサを備え、吸着を確認した瞬間に果実への接近動作を停止し、吸着ハンドを個別に上昇させる。マニピュレータにより吸着ハンドの間隔を搬送容器の径 80㎜ から平詰めソフトパックの果実間隔 38㎜ の範囲で調整し、６台の吸着ハンドをまとめて水平移動する。果実が大きい場合、吸着ハンド間に厚さ９㎜ のスペーサを設置し、５台の吸着ハン

表１　ロボット本体の主要諸元

ロボット本体	寸法：L1830×W900×H1600mm、電源：AC100V、所要電力：0.6kW（本体）、1.5kW（エアコンプレッサ）
パック詰めユニット	マニピュレータ：１台、吸着ハンド：６台
搬送容器ユニット	方向制御部、搬送部、切欠き付き搬送容器
出荷容器ユニット	自動供給部、搬送部、平詰めソフトパック：L240×W160×H20mm

ドによりパック詰めを行うモードを選択する。6個の搬送容器が定位置に搬送されてから果実を吸着、搬送して平詰めソフトパックに置き、マニピュレータが初期姿勢に復帰するまでの1サイクルの動作時間を9～10sとした。対象果実は、Mサイズ用30果入、Lサイズ用24果入、2Lサイズ用20果入の平詰めソフトパック（総果実質量300g以上）で出荷される。

吸着方式として、圧縮空気を高速で吐出することにより周囲の空気を引き寄せ、負圧を発生させるエジェクタ方式と、ファンにより吸引するブロワ方式(風量小：0.9m³/min、風量大3.2m³/min)の2方式を検討した（図4）。試作1号機において、10～16gの「さがほのか」を供試し、吸着方式、吸着管径、エジェクタの元圧、排気カバーの有無といった条件を変えて作業精度を調査した。搬送容器から果実を拾い上げ、途中で果実を落とすことなく平詰めソフトパックの所定の位置に置いた割合を吸着割合とした。また、パック詰めされた果実の姿勢のずれを目視評価した。すなわち、①果実方向がソフトパックの凹み形状に対して±45°以上ずれている場合、②果底部がほとんど見えなくなる程度に果頂部が上を向いている場合、③果底部全体がほぼ見える程度に果頂部が下を向いている場合を重度のずれと判断し、果実が平詰めソフトパックの形状に沿って収まっていない場合を軽度のずれとした。さらに、目視により果実損傷を観察した。表2に結果を比較する。風量が大きなブロワでは果実を円滑にリリースできず、パック詰めした果実の姿勢がずれる割合が高くなった。風量が小さなブロワでは、吸着力が弱く、エジェクタの排気カバーなしの試験区と比較して、パック詰め成功率が低くなった。エジェクタの元圧を比較すると、0.5MPaでは果実を引き寄せるような吸引を行うことができず、吸着管を果実に押しつけ、5.2%の割合で損傷が発生した。エジェクタの排気によるソフトパックの位置ずれを予防するため、エジェクタにカバーを設置した結果、平均吸引風量が102L/minから76L/minまで減少し、パック詰め成功率が低下し、損傷率が高くなった。吸着管径を20mmから25mmに変えると、果実を円滑にリリースできず、重度の果実姿勢のずれが増加し、さらに、吸着管同士の間隔を狭めた際、吸着管側面と果実が干渉することがあった。この他、吸着して搬送中にマニピュレータの振動により果実を落とすことがあった。また、吸着管本体の取付精度および吸着管先端に貼付した緩衝材の形状の違いにより、特定の吸着管でパック詰め成功率が低下する現象が観察された。これらの結果

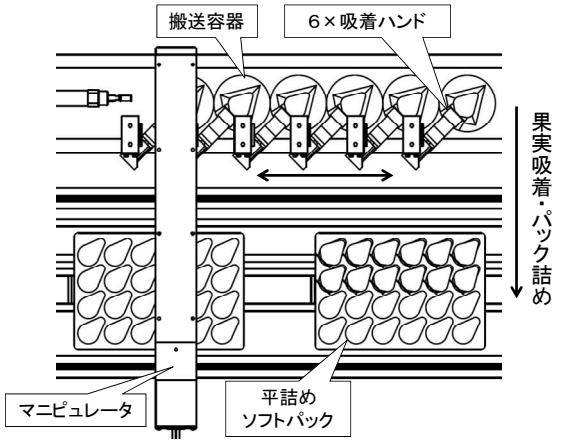
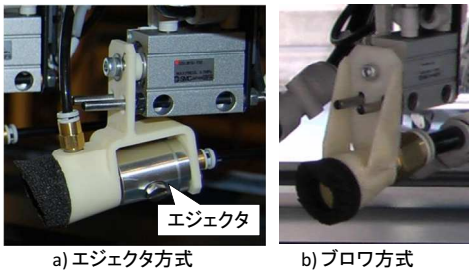


図3　パック詰めユニット



a) エジェクタ方式　b) ブロワ方式

図4　試作1号機の吸着方式

表2　吸着方式による作業精度の比較

吸着方式	吸着管径 (mm)	元圧 (MPa)	エジェクタの排気風よけ	供試果数 (果)	平均質量 (g)	吸着割合 (%)	軽度の手直し率 (%)	重度の手直し率 (%)	損傷率 (%)
エジェクタ	20	0.5	なし	96	12.9	100.0	6.3	2.1	5.2
		0.6	なし	84	10.8	98.8	11.9	0.0	0.0
			あり	246	10.9	93.1	14.6	4.9	–
	22		あり	108	11.4	88.9	7.4	5.6	7.4
	25		なし	108	11.2	100.0	5.6	9.3	–
ブロワ小	20	–	–	150	12.3	94.0	7.3	3.3	2.7
ブロワ大				24	13.1	100.0	16.7	12.5	0.0

から、エジェクタを用いて、吸着管径 20mm、元圧 0.6MPa、排気カバーを付けない場合、吸着割合が 98.8%で、比較的姿勢良くパック詰め可能な見込みが得られた。

試作１号機の試験結果を踏まえつつ、果底部の形状のばらつきを考慮し、吸着管径 22mm でエジェクタ方式の吸着ハンドを備えた試作２号機を選果ラインに組み込み、性能試験を行った。ロボット単体の試験では、M サイズ 150 果で吸着割合 96.0%、L サイズ 72 果で 100%であった。選果ラインでの作業精度は､M サイズ 2,154 果に対して吸着割合 92.9%､L サイズ 1,044 果に対して 93.7%であった。精度が低下した原因として、搬送中に作用する加速度及び作業者が果実を搬送容器に載せる際の果実姿勢の乱れにより、吸着できない状況が増加したと推察された。エジェクタの吸引力だけでは実際の選果ラインにおける多様な果実姿勢に対応できなかったため、吸着管の先端部と本体の間に半連続気泡の筒状の緩衝材（中間リング）を取り付け、さらに、通気を確保するための剛体の接続部材を挟んだ。これにより、果実との接触時に、一般に用いられるベローズ構造の部材では実現が難しいような変形を柔軟に行い、負圧が発生しやすい構造にした（図５）。この中間リングの構造により、出荷容器にパック詰めする際、吸着ハンドの間隔が狭まって果実同士が接触する際にも、中間リングが変形して果実が逃げ、大きな力が果実に作用しないと考えられた。

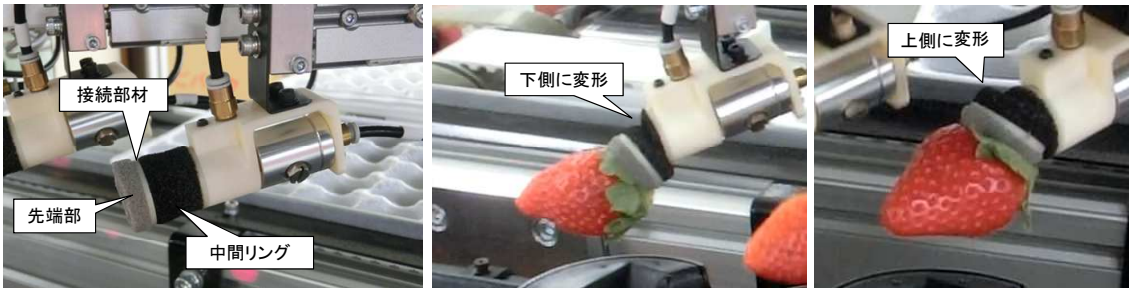


図５　吸着管先端部の構成と中間リングの変形

(2) 搬送容器ユニット

搬送容器ユニットでは、ロボットに対して果実を一定の方向に揃えて供給する。このため、搬送容器の側面に溝を設け、ロボットの手前で搬送容器を回転させ、一定の方向になるとガイドと溝が一致し、通過可能になる（図６）。これにより、搬送容器に対し果実が一定の方向に載せられた場合、画像処理を用いることなく果底部が吸着管の方向に揃えることができる。また、所定の個数の搬送容器が供給されると光電センサにより検知し、パック詰め動作が開始され、動作終了後、空の搬送容器が排出される。吸着に失敗した果実を載せた搬送容器は他の搬送容器と仕分けられ、別の場所にストックされる。

(3) 出荷容器ユニット

出荷容器ユニットでは、平詰めソフトパックを自動で供給する。M、L、2L サイズでソフトパックの形状が異なるが、各ソフトパックに共通する凹凸を考慮し、ブロワにより吸着する（図７）。上方に最大 50 枚ストックしたソ

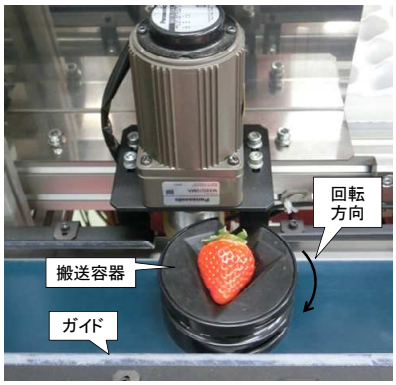


図６　搬送容器の方向制御

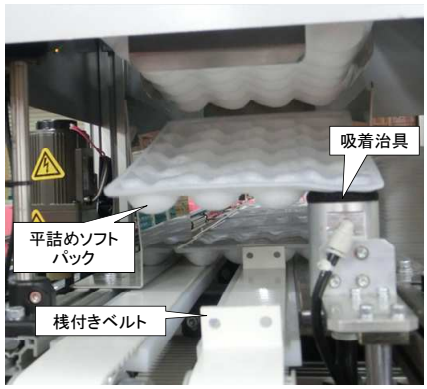
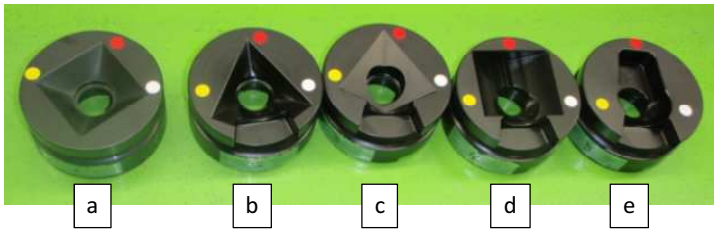


図７　搬送容器の方向制御

フトパックを下方から吸着し、１枚ずつ引っ張り出す。引き離されたソフトパックは固定ガイドにより進行方向左右の位置決めを行い、桟付ベルトにより前方に運ばれながら前後の位置決めを行う。500回の動作試験で供給に失敗した回数は２回であった。

２）搬送容器

イチゴの選果ラインでは、作業者が搬送容器に果実を載せた後、搬送容器をベルトコンベアにより搬送し、選果装置により各等階級に選別して自動で振り分ける。パック詰めロボットを使用する場合、搬送容器に対し、作業者が果実の方向を揃えて載せ、選別、振り分け後、搬送容器は一定方向に向いた状態でロボットに供給される。このため、搬送中に果実ができるだけ動かないような形状の搬送容器を工夫する必要がある。また、ロボットが果底部を吸着するため、搬送容器上で果底部が露出していなければならない。そこで、果底部の方向に切欠きを有する様々な形状の樹脂製の搬送容器を試作した（図８）。10.9～37.4g の「おぜあかりん」20 果を供試して、選果ラインの果実投入部から果実集積コンベアまで搬送した。搬送前後における果実を撮影し、画像処理により果実の姿勢変化（重心位置の移動距離、水平方向の変化、真上から見た果底部の面積割合の変化）を評価した。その結果、搬送容器 b で果実の移動距離と水平方向の変化が少なかった（表３）。この形状の搬送容器を 1,800 個試作し、83,715 果の「さがほのか」で選果ラインにおける搬送性能を調査した結果、搬送中に果実が落下した割合は 0.16%であり、コンベアの急激な加速や分岐点での衝撃により姿勢が変化し、搬送容器の切欠き部分から落下する傾向があった。そこで、切欠きをできるだけ小さくし、コンベアの進行方向に対する切欠きの方向を変更することにより、搬送中の果実姿勢の安定化を図った。改良した搬送容器の性能を選果ラインにて調査した結果、99,563 果中落下した果実は 13 果で 0.01%に留まり、切欠きのない慣行の搬送容器とほぼ同等の性能が確認された。



*搬送容器aは慣行の形状。

図８　試作した樹脂製の搬送容器

表３　搬送前後の果実姿勢変化の比較

種類	重心位置の移動距離 (mm)			水平方向の変化 (°)			真上からみた果底部の面積割合の変化 (%)		
	平均	標準偏差	最大	平均	標準偏差	最大	平均	標準偏差	最大
a	3.1	1.6	5.8	15.7	21.0	83.6	3.8	3.1	11.5
b	2.2	1.1	5.0	11.3	9.8	34.6	6.6	5.9	27.8
c	3.8	2.2	7.9	19.8	20.9	83.9	5.5	3.6	12.3
d	3.6	2.5	9.0	13.0	15.1	60.6	4.4	2.8	11.4
e	2.5	1.7	5.9	13.1	7.1	28.5	9.6	7.5	26.6

３）選果ラインとのシステム化

図９にロボットを選果ラインに組み込んだ様子を示す。選果ラインの果実集積コンベアには搬送容器を振り分ける支流が 20 本あるが、その１本からロボットへ搬送容器に載った果実が供給される。ロボットに一定方向に並んだ果実を供給するため、作業者が搬送容器に対して果実を一定方向で載せる必要がある。選果ラインの果実投入部で搬送容器を一定方向で供給した方が作業しやすいため、搬送容器の底面に切欠きを設け、速度差と段差があるベルトコンベアにより切欠きと段差が一致するまで搬送容器を回転させる搬送容器整列部を果実投入部の上流に設けた。慣行作業では作業者は果実の方向を気にすることなく搬送容器に載せることができたため、新システムにおける作業能率の低下が危惧されたが、時間当たりの処理量に明確な差は生じないことが確認された。

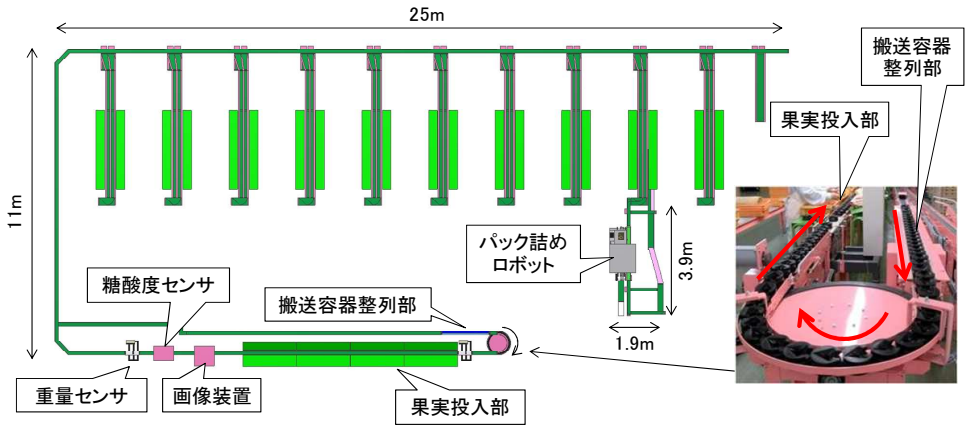


図９　選果ラインへの組み込み

３．開発機の性能

2013 年４月に、佐賀県内のイチゴ選果施設にて、最初にロボット単体の基本性能を調査した。搬送容器上の果実姿勢が水平で果底部が搬送容器の切欠きと同じ方向である場合、吸着割合は 100%であり、ロボットがパック詰めした果実の姿勢を人手で手直しする必要があると判断される割合は、M サイズ（平均質量 9.8g）で 11.1%、L サイズ（平均質量 12.1g）で 6.9%であった。また、2L サイズ（平均質量 17.2g）を 24 果入パックにパック詰めした場合は 2.5%であった。

次に、実際の選果ラインの稼働時に自動作業を行った場合、果実は平均 486 果/h で供給され、搬送容器から果実を吸着して出荷容器に搬送する吸着割合は、M サイズ（30 果入パック）で 99.0%、L サイズ（24 果入パック）で 99.6%であった（表４）。ハンドリング中の果実の落下割合は M サイズ 0.1%、L サイズ 0.2%であり、果底部の葉が果実から離れて浮いたり逆立ったりしている果実で発生する傾向があった。パック詰め動作１回の所要時間が約９s だったので、６果を同時にパック詰めした場合、最大 1.5s/果の能率で自動作業を行えることが見込まれた。自動でパック詰めした果実は、作業者により姿勢を手直しされ、出荷された。パック詰めを行う作業者から、慣行では一度に大量の果実が供給されると、とりあえず搬送容器から果実を拾い上げ、供給量が落ち着いてからパック詰め作業を行うが、ロボットの使用により、作業者よりも速くソフトパックに置くので、大量の果実が集中しても選果ラインが停止することなく、作業量のフラット化が実現できそうだとのコメントがあった。このように、ロボットが選果ライン全体のシステムに対して良い影響を与える可能性も示唆された。

表４　自動作業における吸着割合

出荷容器	設定果実質量 (g)	供試果数 (果)	作業時間 (h)	吸着割合 (%)
24果入	13.7～16.2	5,148	12.7	99.6
30果入	9.5～10.7	5,784	9.8	99.0

おわりに

イチゴの選別パック詰め作業では､厳しい作業条件が大きく改善されることなく現在に至っている。その結果、イチゴの新品種が次々に登場し、市場ニーズが高まっているにもかかわらず、栽培面積は全国的に微減傾向にある。正にイチゴ生産のボトルネックといえるこの選別パック詰め作業の自動化が喫緊の課題であり、我が国のイチゴ生産の将来を左右すると考えられる。今後、開発したイチゴパック詰めロボットを組み込んだ選果ラインが全国の主産地に普及し、イチゴ生産の V 字回復、さらに農林水産省が提唱する攻めの農業の一助になることを期待したい。

なお、開発機の実用化に必要不可欠な現地試験の実施に当たっては、JA さが白石地区中央支所から多大なご協力とご助言を賜った。ここに記して感謝の意を表する。

参考文献

１）曹其新・他(1996) 植物工場学会誌, 8(4): 228-236.
２）永田雅輝・他(1996)植物工場学会誌, 8(4): 219-227.
３）永田雅輝・他(1997)農業機械学会誌, 59(1): 43-48.
４）Bato, P.M., et.al. (2000)Journal of JSAM, 62(2): 101-110.
５）山田久也・他(2009)照明学会誌, 93(5): 273-277.
６）宮田和男(2002)農耕と園芸. 2002 年 8 月号, 109-112.
７）紺屋朋子・他(2010)農業機械学会誌, 72(1): 80-85.
８）日吉健二・他(2002)第 61 回農業機械学会年次大会講演要旨, 287-288.
９）永田雅輝・(2000)第 59 回農業機械学会年次大会講演要旨, 103-104.
10) Hayashi, S., et.al.(2011)Biosystems engineering, 109: 348-356.
11) 加藤木保男(2002)特開 2002-52487.
12) 中村宣貴・他(2008)農業施設, 39(1): 1-8.
13) Yamamoto, S., et.al.(2012)Applied Engineering in Agriculture 28(4): 593-601.
14) 山本聡史・他(2011)農研機構生研センター2011 年研究成果情報
15) 山本聡史・他(2012)農研機構生研センター2012 年普及成果情報