

トマト選別ロボット用吸引式ハンドの研究

曹 其新*・永田雅輝**・石野文俊**
ウォング チェン ズング**・シュレスタ ビン プラサド**

Study on Adsorption-type Hand for Tomato Sorting Robot

Qixin CAO*, Masateru NAGATA**, Fumitoshi ISHINO**, Vuong T. DUNG**
and Bim P. SHRESTHA**

(Accepted September 2, 1999)

Abstract

A new adsorption-type hand has been developed for a tomato-sorting robot. In this research, the physical and mechanical characteristics of tomato were investigated to determine the specification of adsorption-type hand. An adsorption-type hand was developed that has three silicon rubber pads to adsorb the tomato. The suction, position deviation and touch force were measured in laboratory to appraise performances of the developed hand. The results show that the developed hand has higher performance than conventional hand, and proves the hand has ability to hold any irregular shaped tomato.

Key word : Tomato, Sorting robot, Adsorption-type hand

I 緒 言

トマトの選別は、集荷場あるいは選果場において1個づつ標準規格表に基づき、人手によって判定され、各等級ごとに箱詰めされている。この行程は極めて重労働である¹⁾⁻²⁾。現在、一般的な選別装置としては、重量で分けるパン式と大ききで分けるドラム式があるが、箱詰め行程は人手に頼っているのが現状である³⁾⁻⁴⁾。しかし、トマト生産農家は品質判定(形状と大きき)の選別だけではなく、箱詰めまで含めた行程の選別装置を望んでいる。このような中で、宮崎県

田野町のトマト生産農家の選果場では、重量選別から箱詰め行程を行うトマト自動選別ロボットが導入されたが⁵⁾、重量判定以外の品質判定機能を有しないことやロボットハンドに改良点が認められる等の理由で、現在、使用を停止している。

本研究室では、農家の協力を得て、これらの問題を解決するために、トマトの等級判定および吸引式ハンドについて研究を行い、前報⁶⁾で報告した等級判定に続いて、本報では、吸引式ハンドについて報告する。

本論文は、従来ハンドを改良するために、トマトの形状とダメージ特性の計測を行い、その結果に基づき、

* Foreign Researcher of JSPS (1-1 Gakuen Kibanadai Nishi, Miyazaki 889-2192, Japan)
Research Institute of Robotics, Shanghai Jiao Tong University (1954 Hua Shan Road, Shanghai 200030, P. R. China)

日本学術振興会外国人特別研究員(〒889-2192 宮崎市学園木花台西1-1)
上海交通大学機器人研究所(〒200030 中国上海市華山路1954号)

**Faculty of Agriculture, Miyazaki University (1-1 Gakuen Kibanadai Nishi, Miyazaki 8892192, Japan)
宮崎大学農学部(〒889-2192 宮崎市学園木花台西1-1)

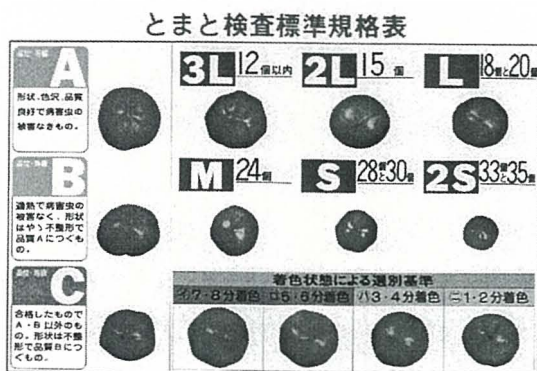
3本のシリコンゴム製の吸着パッドによる吸引式ハンドを試作し、試作ハンドの性能評価として吸着把持実験を行ったものである。

II 吸引式ハンドの試作

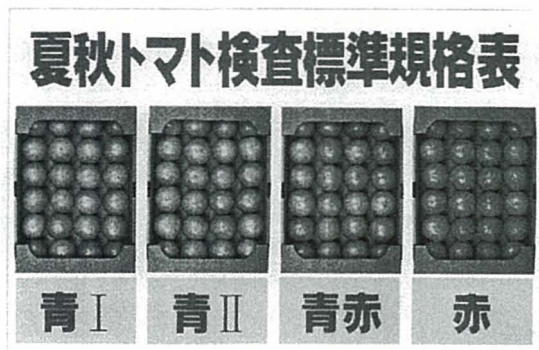
1. トマト果実の物理的特性

(1) 形状

吸引式ハンドを試作する基礎資料として、トマト果実の物理性について調査した。図1(a), (b)は宮崎県農協青果物検査協会のトマト検査標準と箱詰め方法である。本研究におけるトマト果実の形状測定は、宮崎県田野町のトマト生産農家安井奈良氏のハウスで栽培されたトマト（品種：桃太郎）について行った。安井氏は、収穫したトマトを8階級で選別・箱詰めをしている。その選別基準を表1に示す。ここでのトマト果実の形状の良否は、箱詰め状態にして真上から見た形が揃っていることである。形状が円形に近いとA等級トマト、円形から離れるとB級となる。取り扱うトマトは重量で最大400gまで、直径60~120mmであっ



(a) 判定基準



(b) 箱詰め

図1. 宮崎のトマト標準出荷規格

た。よって、吸引式ハンドはこの条件のトマトを吸着して把持できるものとした。

(2) 力学特性

トマトの力学特性を調べるために、卓上型材料試験機（オリエンテック STA-1150⁵⁾を用いて、トマトの圧縮試験を行った。供試トマトは、図2のような半熟トマト（重さ233.5g・長径83.5mm・高さ58.5mmの3分着色）、成熟トマト（重さ186.3g・長径80.8mm・高さ58.3mmの6分着色）および完熟トマト（重さ138.4g・長径69.8mm・高さ56.1mmの10分着色）の成熟度が異なるトマトを用いた。実験は、図3

表1. トマトの箱詰め基準

階級	1箱(4kg) 個数	1個重量 (平均値g)	トマトの長径 cm
3L	12	350	10.0
2L	14	280	9.0
2L	16	250	8.5
L	18	220	8.0
L	20	200	7.5
M	24	160	7.0
S	28	140	6.5
2S	32	125	6.0

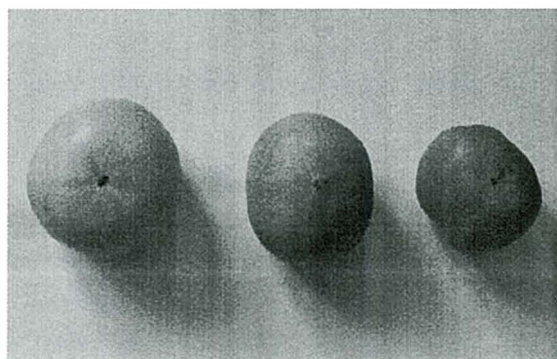


図2. 供試トマト（力学特性試験）

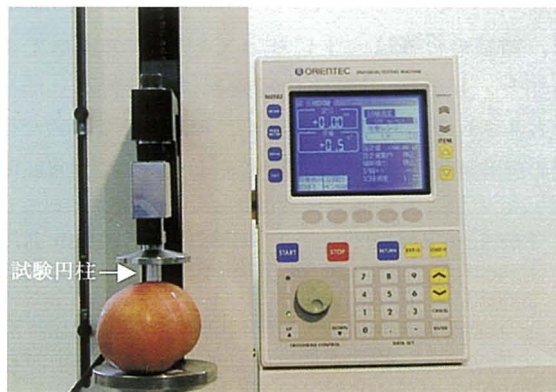


図3. 力学特性試験装置

のようにトマトを卓上型材料試験機の測定台に置き、円柱（直径12 mm、高さ15 mm、加圧部面積113 mm²）でトマトの真上から速度500 mm/minで加圧し、荷重に対するトマトの損傷度を測定した。測定データを図4に示す。図から、トマトの損傷点は半熟では47.1 N、成熟で35.3 N、完熟で29.4 Nの近隣であった。したがって、試作ハンドの3個の吸着パッドがトマトに

与える加圧力は9.81 N以下とした。これは実験に用いた円柱はアルミ製であるのに対し、試作ハンドの吸着パッドはシリコンゴムであるため柔軟性があるので9.81 N程度の加圧力でも密着可能であること、また、この圧力は、各成熟度の損傷点を大幅に下回っていることなどからトマトを無傷で把持搬送が可能と判断したからである。

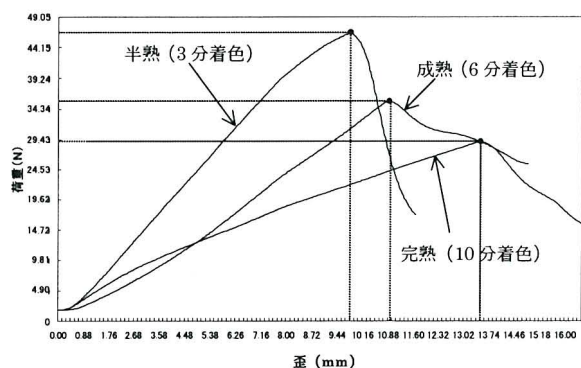
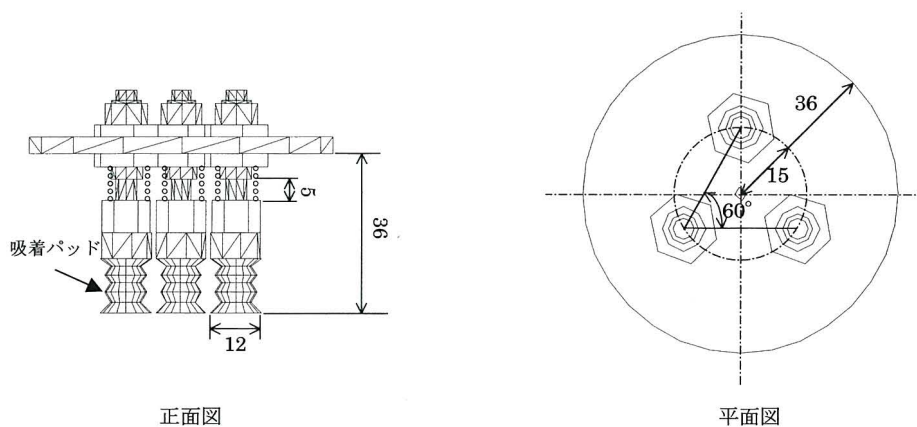


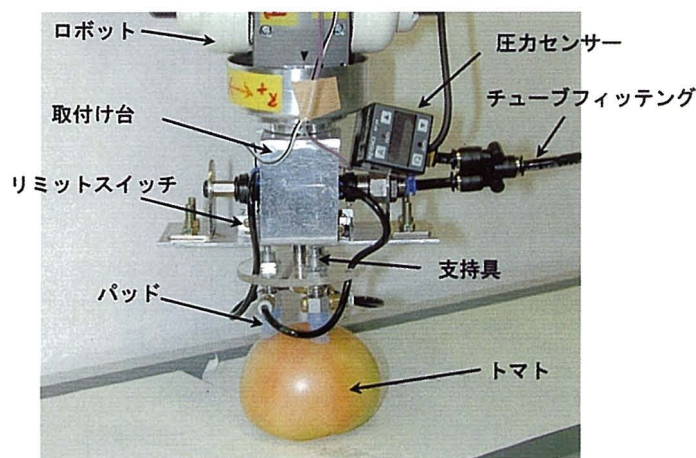
図4. トマトの力学特性

2. 吸引式ハンドの試作

図5に試作したトマト選別ロボット用吸引式ハンドを示す。本ハンドの特長は、独立した3個の吸着パッドを持つこと、また、吸着パッド軸がバネの作用により接触時の衝撃力を吸収できることから、トマト表層の形状に添って各パッドの高さが自動的に調整できることである。ハンドの主要部はアルミ製支持具、リミットスイッチ、圧力センサー、チューブフィッティング、吸着パッドおよび取付け台から構成され、リミットスイッチは、吸着パッドがトマト表層に与える負荷を設



(a) 吸着部の寸法（単位：mm）



(b) 全体の構造

図5. 試作吸引式バンド

定値9.81 N以上とならないようにするものである。ロボットがハンドをトマト表面に接触・加圧する時、吸着パッド先端部の加圧力が9.81 Nになるとリミットスイッチが作動し、ロボットはハンドをその位置で停止する。これにより、トマトを傷付けずに把持および選別することが可能である。全てのパッドがトマト表層に密着した時に、圧力センサーが作動し、吸着把持する。その後、ロボットアームが移動して箱詰めをする。

Ⅲ 実験装置および方法

1. 供試材料および実験装置

図6のような宮崎産のトマト（品種：桃太郎）を5個用いて図7のように、試作ハンドと従来のハンドとを用いて吸着把持実験を行った。従来のハンドは、図7(b)のような直径42.5 mmのスポンジ製の大型吸引

パッドでトマトを吸着する方式である。よって、両ハンドとも吸引式といえる。実験装置は、図8に示すように、供試ハンド、卓上型材料試験機（株式会社オリエンテック STA-1150）、コンプレッサ（HITACHI 1.5U-7VA6 60 Hz）、レギュレーター（CKD B2019-1C）、電磁弁（SMC VT301）、真空発生器（CKD VHH07-601）およびホース（ $\phi 8$ ）から構成した。本装置は吸引式ハンドを卓上型材料試験機の上部治具にセットすると、トマトを吸着する時の圧力と加圧速度を自動的に設定することができる。ハンドの吸引力の強さは、レギュレーターで調整した。電磁弁はハンドの吸引力をコントロールする装置である。

2. 実験方法

(1) 試作ハンドの吸着試験

試作ハンドがトマトを吸着する動作は、ハンドのパッ




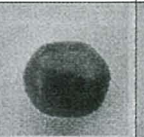

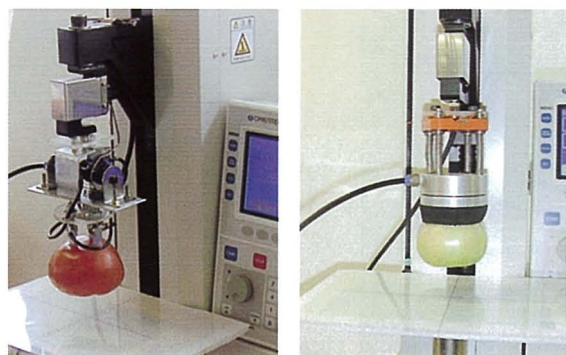
No.	1	2	3	4	5
形状					
重量 (g)	361	285	188	141	135
高さ (mm)	63	62	51	49	59
長径 (mm)	105	96	79	72	71
短径 (mm)	90	85	74	64	65

図6. 供試トマトの形状



(a) 試作ハンド

(b) 従来のハンド

図7. ハンドによるトマトの吸着

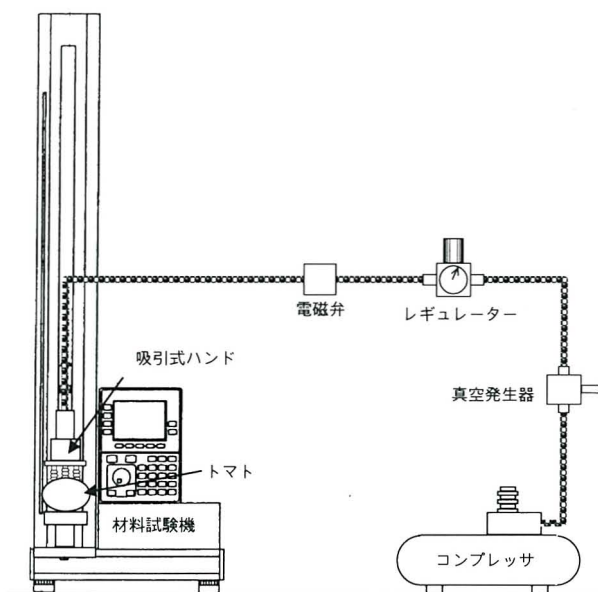


図8. 実験装置

ド部がトマト表層を一定の力で加圧した後に吸着することから、パッドの吸着を良好にするには適切な加圧速度と加圧力を与える必要がある。この最適条件を得るために、ハンドの供給真空圧力を0.17 Mpaに設定し、試作ハンドの加圧速度を100, 200, 300, 500 mm/min, 加圧力を0.98 Nごとに0.98~9.81 Nの条件で、吸着試験を3回反復し、吸着の成功状況を調査した。

(2) 最小吸引力の測定

吸引式ハンドがトマトを吸着して持ち上げる際には、トマトを損傷しないための最適な吸引力が必要である。最小吸引力はハンドがトマトを吸い上げる時に最低限必要な吸引力のことである。実験は、5個の供試トマトを用いて、ハンドの移動速度500 mm/min, 加圧力9.81 Nの条件下で、レギュレーターにより吸引力を変化させて、試作ハンドと従来ハンドとの最小吸引力を比較した。

(3) ハンドの許容値

ロボットを用いた選別行程では、ハンドとトマトとの位置関係が重要な要素となる。トマトの大きさや形の原因による両者の位置ズレに対してなるべく許容範囲が広くとれることが望ましい。そこで、どのくらいまでのズレに対して吸着把持が可能であるかを実験した。実験では、ハンドとトマトの中心を原点としてトマトを1 mm方眼紙上で上下、左右の方向に5 mm単位で動かして、ハンドとトマトにズレを与え、トマトに対する最大許容値を測定した。測定には5個のトマトを供試した。トマトは卓上型材料試験機の治具台に

置く時にへた部を下側にして、長径が実験者に対して横向きとなるようにセットし、ハンドの移動速度を500 mm/min, 加圧力を9.81 Nに設定して試験した。吸引力は、試作ハンドでは0.3 Mpa, 従来ハンドでは0.1 Mpaとした。両者の吸引力が異なるのは、従来のハンドの場合、吸引力を0.1 Mpa以上とするとトマトを傷つけてしまうからである。

IV 実験結果および考察

1. 試作ハンドの吸着力と加圧力

吸着試験を3回反復した時の結果を表2に示す。表中の◎印は3回とも吸着に成功した場合、○印は2回の吸着に成功した場合、△印は1回の吸着に成功した場合、×印は不成功を示している。試作ハンドに用いた3個の吸着パッドは、形の良い、大きいトマトほど微小な加圧力でも完全に密着して、容易に吸着把持できた。一方、奇形の場合や果実が小さい場合には、ある程度大きな加圧力を与えないと完全に密着しなかった。しかし、今回の試験での最大加圧力9.81 Nは、力学特性試験により得られた損傷点の加圧29.4 N~47.1 Nを下回っており問題ないといえる。加圧力は7.84 N以上、移動速度は200 mm/min以上が吸着の成功率が最も良好であった。そこで、選別の能率を考慮すると、移動速度が速い方がよいので、適切な条件は加圧力7.84 Nで速度500 mm/minといえる。

表2. 移動速度と加圧力による吸着状況

加圧力(N)	移動速度 (mm/min)																			
	100					200					300					500				
	供試トマトNo.					供試トマトNo.					供試トマトNo.					供試トマトNo.				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
0.98	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	△	×	×	×	×
1.98	△	×	×	×	×	△	×	×	×	×	×	×	×	×	×	△	×	×	×	×
2.94	△	×	×	×	×	△	△	×	×	×	◎	×	×	×	×	○	△	×	×	×
3.92	◎	×	×	×	×	○	△	×	×	×	○	△	×	×	×	○	○	×	×	×
4.90	◎	△	×	△	×	◎	△	×	△	×	◎	△	△	×	×	◎	◎	○	△	×
5.88	◎	△	○	×	×	◎	○	○	△	×	◎	◎	◎	△	×	◎	◎	○	△	○
6.86	◎	◎	◎	△	×	◎	◎	◎	△	△	◎	◎	○	◎	△	◎	◎	◎	◎	○
7.84	◎	◎	◎	△	○	◎	◎	◎	◎	○	◎	◎	◎	◎	○	◎	◎	◎	◎	○
8.82	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	○	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎
9.81	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎

◎ : 3回の吸着に成功, ○ : 2回の吸着に成功, △ : 1回の吸着に成功, × : 不成功

2. トマトを把持し得る最小吸引力

測定結果を図9に示す。横軸はトマトの重量、縦軸は吸引力（真空圧力）の強さである。図中の点（・、△）は、測定結果の平均値を表し、縦線は偏差値を示す。結果から最小吸引力にはトマトの重量よりトマトの大小、表面の凹凸すなわち形状の影響が大きかった。試

作ハンドは従来のハンドより最小吸引力が安定していた。これは、従来のハンドは円筒形のスポンジ製吸引パッドを採用しているため、パッド先端の直径42.5 mmの穴を完全に塞ぐような大きさの丸みを持つトマト以外は吸引できない（図中の141 gに従来のハンドの測定結果がないのはこのためである）のに対し、試作ハンドは

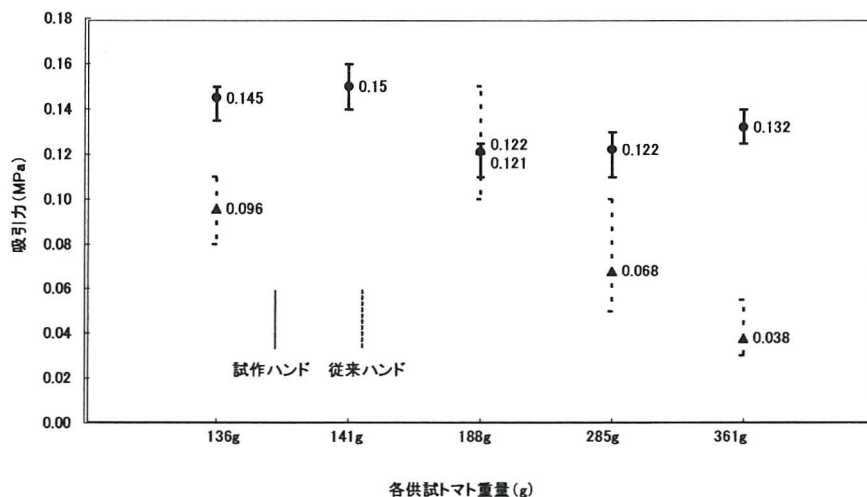


図9. 供試トマトに対して必要な最低吸引力

表3. トマトに対する試作ハンドと従来のハンドの許容値

供試 トマト No.	方向	偏差距離 (mm)											
		0		5		10		15		20		25	
		Ht	Hm	Ht	Hm	Ht	Hm	Ht	Hm	Ht	Hm	Ht	Hm
1	左	○	○	○	×	○	×	○	×	×	×	×	×
	右	○	○	○	○	○	×	×	×	×	×	×	×
	上	○	○	○	×	×	×	×	×	×	×	×	×
	下	○	○	○	×	×	×	×	×	×	×	×	×
2	左	○	○	○	×	○	×	○	×	×	×	×	×
	右	○	○	○	×	○	×	×	×	×	×	×	×
	上	○	○	○	×	○	×	×	×	×	×	×	×
	下	○	○	○	×	×	×	×	×	×	×	×	×
3	左	○	○	○	×	○	×	×	×	×	×	×	×
	右	○	○	○	○	○	○	×	×	×	×	×	×
	上	○	○	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
	下	○	○	○	○	×	×	×	×	×	×	×	×
4	左	○	×	○	×	○	×	×	×	×	×	×	×
	右	○	×	○	×	○	×	×	×	×	×	×	×
	上	○	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
	下	○	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
5	左	○	○	○	×	×	×	×	×	×	×	×	×
	右	○	○	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
	上	○	○	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
	下	○	○	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×

○：吸着成功、×：吸着失敗；Ht：試作ハンド、Hm：従来のハンド

バネの作用により、3点で吸引するために形、大きさを問わず吸引でき、試作ハンドは吸引力を0.3 Mpaとすれば、400 gのトマトでも十分に吸着して持ち上げることが可能であることが判明した。

3. ハンドの許容値

両ハンドの供試トマトに対する許容値の測定結果を表3に示す。実験の結果、最小吸引力測定の場合と同様に、ハンド吸着部の構造上の理由から、試作ハンドの許容値は従来のハンドより大きく取れた。この結果から、試作ハンドでは、ハンドとトマトの中心位置のズレ（許容範囲値）は5 mmであることが分かった。

V 摘 要

本論文は、トマトの選別行程を自動化するための選別ロボットの開発を目的に、主要部となる吸引式ハンドを研究した。本報では、まず吸引式ハンドを試作する基礎資料として、トマト果実の物理的特性を測定し、吸引式ハンドを試作した。次に、試作したハンドの性能を従来のハンドと比較するために、吸着試験、最小吸引力の測定、ハンドの許容値の測定を行った。その結果、次のことが明らかになった。

- (1) 試作したハンドは3本のシリコンゴム吸着パッドを採用し、長径60~120 mm、400 gまでのトマトを吸着把持できる設計とした。
- (2) 試作ハンドのトマト果実に対する加圧力と移動速度は、7.84 N以上、200 mm/min以上で、吸着の成功率が良好であった。ゆえに、選別の能率を考慮すると試作ハンドは、7.84 Nで500 mm/minの使用条件が最適である。
- (3) ハンドの最小吸引力にはトマトの重量よりトマトの大小、表面の凹凸すなわち形状の影響が大きいことが分かった。試作ハンドは従来ハンドより最小吸引力が安定した。

- (4) 試作ハンドの許容値は従来のハンドより大きく取れ、ハンドとトマトの中心位置のズレは5 mmまで許容できることが分かった。

以上のことから、試作したハンドは、A級はもちろんB級のトマトに対しても、適用性が認められ、損傷なく選別することが可能であり、従来のハンドより選別精度を向上できるものと思われた。

謝 辞

本研究の遂行にあたって、実験材料提供を頂いた宮崎県田野町トマト生産農家の安井奈良氏およびハンドの試作および実験に協力を頂いた宮崎大学農学部農学生産機械学講座の山口 亮君、根本 茂君に感謝いたします。

参考文献

- 1) 農文協：野菜全書，一トマト基礎生理と応用技術一，社団法人農山漁村文化協会（1983）
- 2) 宮崎県農協青果物検査協会：宮崎県農協青果物自主検査標準規格表（1985）
- 3) 近江度量衡株式会社：OMIトマト選別プラント，<http://www.omiscale.co.jp/toma.htm>（1999）
- 4) 中村撰果機株式会社：ミニトマト選別機，カタログ（1996）
- 5) 株式会社ハマ製作所：トマト自動選別機，取扱説明書（1997）
- 6) 曹 其新ほか：トマトの等階級判定に関する研究第1報，一カラー画像処理による品質特徴抽出一，宮崎大学農学部研究報告，45（1,2），127-133，（1998）
- 7) 株式会社オリエンテック：卓上型材料試験機取扱説明書，（1998）