

機関番号：14101

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2008～2010

課題番号：20580286

研究課題名（和文） 香気成分による熟度判定機能を有した桃収穫ロボットの基礎研究

研究課題名（英文） FUNDAMENTAL STUDY FOR PEACH HARVESTING ROBOT WITH FUNCTION OF JUDGEMENT OF RIPENESS USING ODOR OF PEACH

研究代表者

鬼頭 孝治 (KITO KOJI)

三重大学・大学院生物資源学研究科・准教授

研究者番号：10192014

研究成果の概要（和文）：本研究は、桃収穫作業における省力化および選択収穫による高付加価値化を目指して、熟度判定機能を有するエンドエフェクタの開発を目的としている。機械による選択収穫を可能とするために、表面色、大きさおよび香気成分の要素に着目し、熟度との関係を調査して、それに基づき、各要素を検出する装置を試作し、その有効性を検討した。また桃を傷付けることなく収穫するために、カメラの絞り機構を応用したエンドエフェクタを試作して、基本的な動作を確認した。

研究成果の概要（英文）：The objective of this research is to develop a peach harvesting robot with a function for estimation of the degree of ripeness. For harvesting fruits using machines or robots, we attempted to investigate the relationship of the ripeness of peaches with their color, size, and odor by using cultivating peaches. Based on this investigation, we developed each device for sensing each component, and tested their performance. Further, we built a prototype of an end-effector by using a harvesting mechanism that is based on the principle of the iris diaphragm of a camera. We confirmed the basic performance of that mechanism.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,700,000	510,000	2,210,000
2009年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2010年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：農業機械学，エネルギー利用工学

科研費の分科・細目：農業工学・農業情報工学

キーワード：桃，香気，熟度判定，表面色，無傷，エンドエフェクタ，絞り機構

1. 研究開始当初の背景

果実生産における労働負担は大きく機械化が望まれているが、現実には大部分の作業を人手に頼っている。このような問題に対処するために、高効率な生産を実現するロボットは有用であるが、安価で、品質のよい生産物が簡単に輸入できる現在では、なかなか対応が難しい。その中でも、生食価値が高く、輸入品に対抗できるといわれている桃は、ロ

ボット化するのに適していると考えられる。そこで、ロボット化に必須となる選択収穫機能を実現するために、熟度判定を機械化することが課題となる。熟度の判定要素は糖度、酸度、果肉の硬さ、水分量、大きさ、形等多くあり、これらを非破壊で測定する必要があるが、現場レベルでは対応が困難である。したがって、現場レベルで熟度を判定可能にする方法の確立が求められる。これをロボットに装着す

ることによって、高品質な桃を選択収穫することができる。また一方で、桃のような軟質で傷付きやすい果実を、傷付けることなく収穫するエンドエフェクタの開発も同時に必要となる。

2. 研究の目的

本研究は、桃を対象としたロボットによる選択収穫に必要な熟度判定機能を実現するために、桃の表面色、大きさに加えて、熟するにつれて増加すると思われる香り成分を、指標の一つとして加え、高確度な判定装置の開発を最終目的としている。ここでは、実際に生育している桃の香り成分を経日的に測定し、その変化および絶対量を知ることで、熟度との関係を把握し、指標として適用可能かどうかを検討することを目的としている。さらに熟度の指標となる要素を検出するエンドエフェクタに組込可能な装置を開発し、その性能を検討する。

また、桃を傷付せずに収穫するエンドエフェクタは、複雑な力制御や精密な位置決めを必要とする果実本体を直接把持方法ではなく、これらを不要とする新たな概念で考案したエンドエフェクタを開発して、その可能性を検討する。

3. 研究の方法

(1)各要素の経日変化

熟度と表面色、大きさおよび香り成分との関係を調べるために、実際に栽培されている桃の経日変化を測定した。

実験は実際に栽培を行っている農家の協力の下に、桃（品種：白鳳）の樹一本の中から、15個のサンプルを選定して、育成中の桃の表面色、大きさ、香りレベル、糖度の経日変化を測定した。表面色は果梗付近の地色部分を $L^*a^*b^*$ 色彩計で、大きさは果実の最大直径をノギスで、香りレベルはポータブルニオイセンサで、果実全体を袋で覆い、測定パイプを差し込んでそのレベルを測定した。また糖度は破壊測定となるため、別途サンプルを選定して、糖度計で2個ずつ破壊して頭頂部、赤道部、果梗部の3ヶ所をそれぞれ測定した。これらも育成中の桃同様に表面色、最大直径、



図1 色彩計による表面色測定

香りレベルを測定した。なお香りレベルはビンの中に入れて測定した。測定期間は平成20年7月4日から7月22日のうち11日間である。ニオイセンサは新コスモス電機製 XP-329III_Rを使用した。このセンサはニオイ成分の特定はできないが、そのニオイの強度を0~2000の数値で表示するセンサである。図1に一例として色彩計による測定の様子を示す。

(2)各要素の測定装置

①香り成分測定装置

実際のエンドエフェクタに組み込むためには、装置の小型化が必須であるが、香り成分の測定には専用の装置はないため、ガスセンサとして市販されているフィガロ技研の TGS2450 を利用して桃の香り成分強度測定装置を製作した。本センサは硫化硫黄系のガスセンサであるため、桃の香り成分に対して大きな感度はないが、反応を確認したので適用した。このセンサは PIC と呼ばれるワンチップマイコンで駆動、制御され、測定結果を LCD に表示する。なお、測定時は吸引ポンプを用いてガスセンサに導入するようにした。製作した香り成分測定装置を図2に示す。



図2 香り成分測定装置

②色彩測定装置

色彩測定装置は浜松ホトニクス製 S9706 カラーセンサを使用し、香り成分測定装置と同様に PIC で処理して、LCD に表示する。本カラーセンサは、RGB 値を各 12bit デジタル値で出力するセンサである。本センサを白色

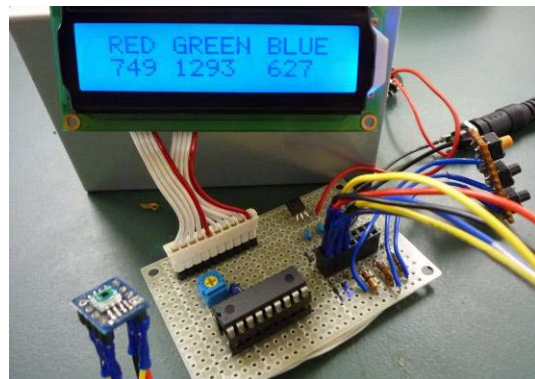


図3 色彩測定装置

LEDと共にプローブに組み込み、実際の測定に使用可能とした。プローブは、直径30mmの塩ビ管を加工し、外光の影響を出ないようにした。本装置は光源にLEDを用いた簡易的な装置であるため、本来の絶対的な色彩指標である L^* , a^* , b^* に合わせるためのキャリブレーションが必要となるため、色彩計による測定と比較しながら、LEDの輝度調節を行いつつ補正值を決定した。本装置を図3に示す。

③最大直径測定装置

桃の大きさの測定は、エンドエフェクタが挿入される間に非接触で測定する必要があり、かつ挿入位置によらず最大直径を測定することも求められる。これを実現するために、3つの光学式測距センサをエンドエフェクタの同心円状に配置し、各センサから桃本体までの距離を測定することで桃の挿入位置によらず、最大直径を測定することが可能となる。センサの配置を図4に示す。測距センサは赤外線LEDとPSDからなり三角測量の原理により、対象物までの距離に応じた電圧を出力する。この電圧をPICで読み取り、キャリブレーションを行った計算式で距離を求め、各センサからの距離情報から、直径を計算する。

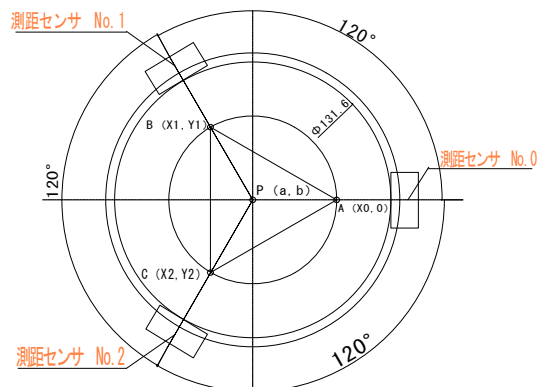


図4 距離センサの配置

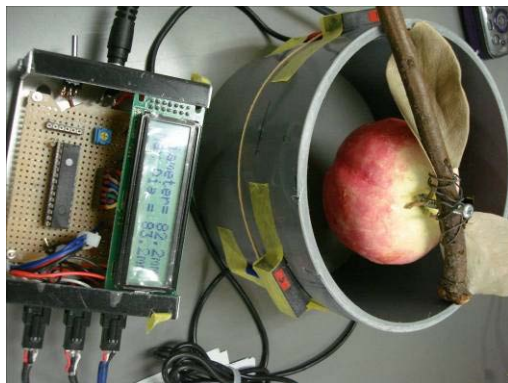


図5 最大直径測定装置

計算の概略は、各センサからの距離情報により得られた座標からこの三点を通る円の直径を計算できることである。この計算をPICで行い、エンドエフェクタ挿入中の最大値を

記憶することで桃の最大直径を測定できる。製作した装置を図5に示す。

(3)桃収穫用エンドエフェクタ

桃は果梗が短く、果実本体に枝が食い込むように結実するため、捻ってとることができない。また果実本体を強く把持することも傷を付ける可能性があるため避けなければならない。したがって、枝を固定し、果実本体を真下に引く機構が必要となる。このような機構を実現するために、カメラの絞り機構のような環状の大きさを自由に変えることができる機構を2つ採用した。上側の絞り機構で枝を抑え、下側の機構で果実本体の引き離しに使うようにした。これにより、位置決めが不要かつ絞り羽根全体で果実にあたるため、面圧を下げて傷つきにくくする特長を持たせることが可能となった。図6に試作した絞り機構を示す。また図7にこの絞り機構を2つ使用して収穫機能を実現したエンドエフェクタを図7に示す。

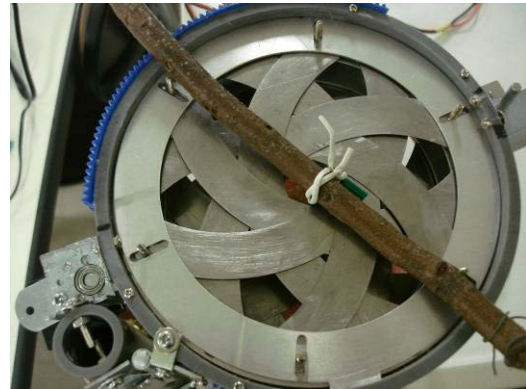


図6 閉じた状態の絞り機構



図7 エンドエフェクタの全体

このようにして試作した桃収穫用のエンドエフェクタを使用した収穫システムの概略を図8、図9に示す。

エンドエフェクタは重ねられた二枚の絞り羽根を「開」の状態に、枝に当たるまで下

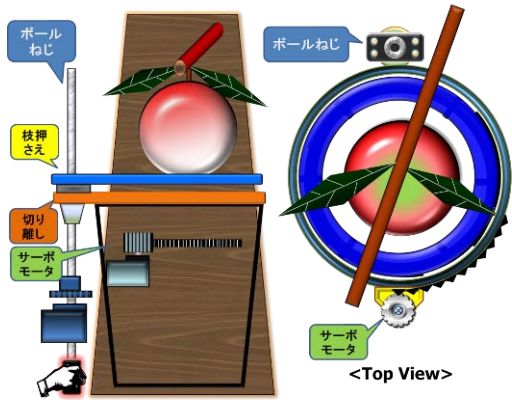


図8 収穫システム (収穫前)

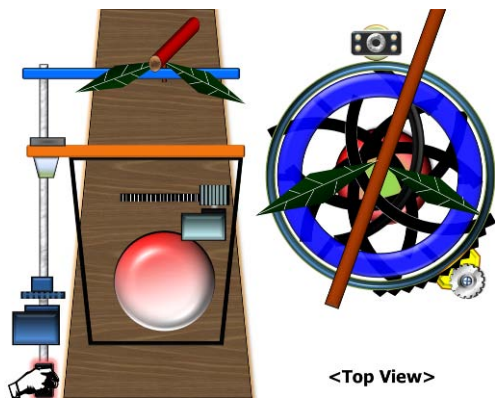


図9 収穫システム (収穫後)

からモモに挿入し、その後、両絞り羽根を「閉」にすることで、枝と果実の隙間に絞り羽根を潜り込ませ、その後、二つの絞りを引き離すことで、果実を枝から離脱させ収穫する構造である。

4. 研究成果

(1) 各要素の測定項目の経日変化

図10に被害にあった4個を除いた11個の各測定項目の平均値を日付ごとにプロットした図を、また図11に糖度測定用サンプルの結果を示す。なお、糖度は3ヶ所の部位の平均値であり、また、色はL*a*b*の中で変化が顕著なa*を示した。a*は当初-12前後で緑色をしており、成長と共に黄色に変化して

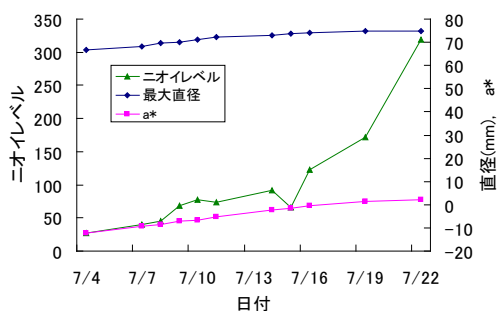


図10 各測定項目の経日変化

いった。また直径の変化も日ごとに大きくなっていくが16日以降ほとんど変化がなくなり、成長が止まっているのがわかる。一方、ニオイレベルの増加量は当初少ないが、成長につれて徐々に増加していくことは明確であり、成長が止まった後、急激に増加することがわかる。なお、7/15には減少が見られるが、雨の影響が出たものと考えられる。糖度の経日変化については、成長と共に増加していくことは認められるが、そのばらつきが大きい。これは破壊検査であるため、個体差による影響が避けられないからである。

以上より、少ないサンプル数であるが、桃の香気成分が成長と共に増加し、熟度判定の指標としての可能性を有することがわかった。

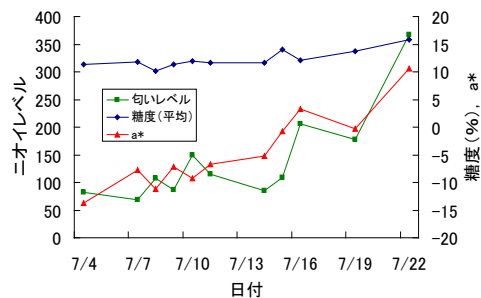


図11 糖度測定用サンプルの経日変化

(2) 各要素の測定装置の性能評価

① 香気成分測定装置

表1に市販されている桃に対する測定結果(単位 ppm)を示す。測定は桃の頭頂部、赤道部、果梗部の3箇所で行った。反応はしているものの全体的に顕著な反応は無く、特に果梗部では、ほとんど反応がなかった。市販されている桃では、未熟果のときに収穫す

表1 市販桃測定結果

モモ	果梗部	赤道部	頭頂部
1回目	2	5.7	5.1
2回目	1.7	3.8	4.2
3回目	2.7	3.5	2.8
4回目	1.4	4	4
5回目	0.5	2.6	4.5
平均	1.66	3.92	4.12

るため、ほとんどニオイが無くセンサに反応は見られなかった。ここで使用したニオイセンサは、やはり桃の香気成分に対する感度が低く、実用的には課題がある。香気成分と熟度との関係は認められるので、センサの開発が待たれる。

② 色彩測定装置

製作した色彩測定装置の性能を確認するために、10色の色紙を用いて、同一箇所の色を色彩計(CR-200b)と製作した色彩測定装

置で測定した。ただし、色彩測定装置は12ビットデジタルカラーセンサを用いているため、測定結果はRGB値の12ビットデジタルデータである。そこで、L*a*b*表色系に変換する必要がある。色彩計では、L*a*b*表色系で表示されるため色彩測定装置のRGB値を変換式に代入した。今回はその中でも桃の熟度判定に有効な緑色～赤色系統のa*に着目して測定した。図12に色彩計で測定した結果と補正を行った結果を示す。

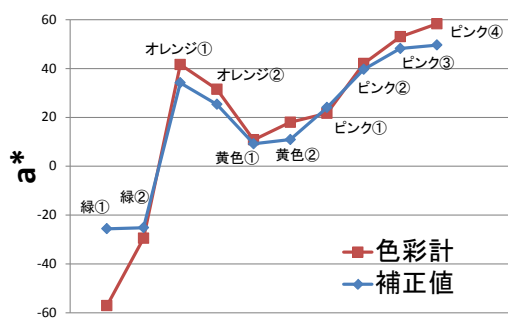


図12 色彩計との比較

色彩計からの実測値とカラーセンサからのデータでは比較的同じ傾向を示した。データ値に補正係数を掛けることでさらに精度が向上した。若干のばらつきは生じるが実測値と比較してもほぼ一致していることが分かった。緑系統の色では一致していないのですべての色に対して有効ではないが、熟度判定に必要な黄色から赤系統では識別出来る可能性があることが分かった。

③最大直径測定装置

製作した装置の性能を検証するために、直径65mmの円筒缶を、位置をずらして15回実際に測定し、その誤差を検討した。その結果を表2に示す。最大値66.2mm、最小値63.9mm、平均値65.0mm、標準偏差0.87mmであった。比較的精度よく測定可能であった。直径75mmの球体を用いた最大直径の測定も同様に15回実験を行った結果、平均値76.1mm、標準偏

表2 直径測定結果

回数	実測値(mm)	計測値(mm)	誤差(mm)	誤差範囲(%)
1	65	64.2	-0.8	-1.2
2	65	64.9	-0.1	-0.2
3	65	64.3	-0.7	-1.1
4	65	65.6	0.6	0.9
5	65	66.1	1.1	1.7
6	65	64.7	-0.3	-0.5
7	65	64.8	-0.2	-0.3
8	65	63.9	-1.1	-1.7
9	65	65.2	0.2	0.3
10	65	64.6	-0.4	-0.6
11	65	64.4	-0.6	-0.9
12	65	66.2	1.2	1.8
13	65	64.8	-0.2	-0.3
14	65	63.9	-1.1	-1.7
15	65	67	2	3.1
	平均値	65.0	標準偏差	0.87

回実験を行った結果、平均値76.1mm、標準偏差0.87mmであった。少し大きめに測定される傾向が見られたが、補正可能である。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計2件)

- ① 鬼頭孝治, 王秀崙, 後藤一, 古田隆広, 秋野光徳, 熟度判定機能を有する桃収穫用エンドエフェクタの開発, 農機学会関西支部報 108, 査読無, 2011, (掲載確定)
- ② 鬼頭孝治, 王秀崙, 後藤一, 桃の香り成分による収穫用ロボットの基礎研究, 農機学会関西支部報 106, 査読無, 2009, 48

〔学会発表〕(計3件)

- ① 後藤一, 鬼頭孝治, 王秀崙, 非破壊による桃の熟度判定と収穫用エンドエフェクタの基礎開発研究, 第69回農業機械学会年次大会, 2010/9/15, 松山市(ベストポスター賞受賞)
- ② K.Kito, W.X.Lun, H.Goto, Development of peach harvesting end-effector with function for estimation of degree of ripeness, 12th World Congress of the International Commission of Agricultural and Biosystems Engineering, 2010/6/15, Quebec city, Canada
- ③ 鬼頭孝治, 王秀崙, 後藤一, 香り成分による桃の熟度判定と収穫用エンドエフェクタの基礎研究, 農業環境工学関連学会2009年合同大会, 2009/9/16, 東京

〔図書〕(計1件)

- ① 鬼頭孝治, 日本園芸農業協同組合連合会, 果実日本(掲載確定), 2011

6. 研究組織

(1) 研究代表者

鬼頭 孝治 (KITO KOJI)

三重大学・大学院生物資源学研究科・准教授

研究者番号: 10192014