

イチゴ生産における収穫・選別のシステム化に
関する基礎研究

さい えいけつ
崔 永杰

2007

イチゴ生産における収穫・選別のシステム化に関する基礎研究

要 旨

イチゴの収穫と選別作業時間は総作業時間の約 60%を占める。特に収穫作業は、連日、長時間にわたって腰を曲げた姿勢であるため、作業負担は特段に大きく、早急な機械化が望まれている。イチゴは小粒で傷つき易く、熟したイチゴを選別しながら収穫することから、高度な機能を備えた機械化が要求される。そこで、本論文はイチゴ生産における収穫と選別のシステム化に関する基礎研究に取組み、果柄付きイチゴ（品種：章姫）を供試して、画像処理による果実および果柄の認識、選別の判定並びに収穫のロボット化のための採果ハンドの開発について検討した。その結果、以下のような知見を得た。

1. 開発したイチゴ収穫・選別システムは、2台のカラーCCDカメラ（位置決め用と採果用）を用いて果実の位置と熟度を判断し、着色した果実のみを選別し、傷つけないように果柄を把持・切断して採果する直交座標型の内成り栽培用システムである。

2. 果実の赤色部位の認識は、 $L^*a^*b^*$ 表色系がRGB表色系より高精度な抽出が得られることを明らかにした。採果目標果実と未熟の果実を区別する境界画素数は300画素が最適であることを明らかにした。モデル配置した果実の認識実験から、採果目標果実の個数、位置および採果順序の認識はほぼ完璧であったこと、また、採果用カメラは画面中央に採果目標果実の拡大画像を撮影し、果柄の認識および果実の判別用画像を提供できることを明らかにした。

3. 果柄の認識は採果用カメラの拡大画像を用いて、始めに果頂部とヘタ部を選定し、次にヘタ部と果柄との境界部を抽出し、最後に果柄表示線を抽出する処理法を提案した。この方法により果柄の切断位置および方向角は果柄表示線から容易に決定でき、各値は良好な精度が得られることを明らかにした。モデル配置した果柄の認識実験から、果柄の認識率は垂直付近では100%となったが、水平付近では低下し、平均で約80%となった。

4. 果実の選別は画素数と着色率から大きさと熟度を判定する処理法を採用した結果、55%の着色率が目標とした5・6分着色以上の収穫適期果実を100%の確率で判定できることを明らかにした。

5. 採果ハンドは光ファイバセンサで果柄を検出し、フィンガで把持すると同時にハサミで切断する独創的な機構を提案した。フィンガの把持力は80gの果実にも対応でき、ハサミによる切断は圧縮空気圧0.1Mpaで直径3.0mm以下の果柄を切断できることを明らかにした。

6. 現場の状況を再現した複雑な配置における実験では、収穫率は約 54.1~64.9%, 収穫処理時間は約 14.4~19.8s/果であった。これはモデル配置した基礎実験と比べると約 20%低下した。果柄が混在する状況下では画像処理法による果柄の認識は限界があることが明らかになった。収穫した果実の熟度判定は全て 5・6 分着色以上となり、また、果柄の長さは平均 17.2mm となり、満足できる結果であった。

以上のように、本論文は果実、果柄、熟度を自動認識する画像処理法の提案、果柄を把持・切断する独創的機構の採果ハンドの開発を究明し、イチゴの収穫・選別システムの知見を提供したものである。

Study on systematization of harvesting and sorting for strawberry production

Summary

Harvesting and sorting working hour of strawberry account for about 60% of a total working hour. Especially the harvesting of strawberry is hard because the operation is done with a bended waist on long hour everyday, therefore early mechanization is constantly being pursued. Because the strawberries are small and prone to damage, and the ripe strawberries are sorted for harvesting, the mechanization requires advanced functionality necessary. Study on systematization of harvesting and sorting for strawberry production was carried out, using strawberry with peduncles (a kind: AKIHIME) for experiments, and examined about the recognition and sorting judgment of fruits and peduncles by image processing, development of picking hand for the realization of harvesting robot. As a result, the following findings were obtained.

1.The system of harvesting and sorting the strawberry developed for this study, judges the location and the ripeness of fruits with two color-CCD cameras (for positioning and picking respectively) fixed on the Cartesian-type prototype and harvests the fruit without damage through cutting and holding the peduncles of strawberries grown on annual hill tops.

2.Experiments of strawberry recognition in which each is arranged as a model showed that the quantity and the location of actual fruits for picking as well as the order for picking were near to perfection and that the camera for picking by capturing an enlarged image of actual fruits in the middle of screen can offer image for recognition of peduncles and fruits.

3.Peduncles recognition processing method was developed in which, top of a fruit and stem was selected firstly, then boundary standard between stem and peduncle was extracted, and lastly the display line of peduncles were extracted. Authors demonstrated that it is easy to decide cutting position of peduncle and direction angle using that method, and with accuracy in each value. In the experiments in which each strawberry is arranged as a model, the result showed that though the rate of peduncles recognition is 100% in vertical direction, the rate of peduncles recognition falls in horizontal direction, about 80% in average.

4.For sorting of fruits, as a result of adopting the method to judge the size and the ripeness based on pixels and rate of coloring, with 100% accuracy in judgment of actual fruits for picking, or the fruits with the 50-60% coloring or above by using rate of coloring (55% standard for harvest).

5.Authors proposed picking hand with original mechanism with optical fiber sensor for the reorganization of the peduncles, which holds them with the finger and cuts them with scissors at the same time. Authors demonstrated that the finger is capable of holding up to 80g in weight, with scissors are able to cut peduncles below 3.0mm with compressed air pressure 0.1Mpa.

6.To compare the result of the basic experiments in which each strawberry is arranged as a model,

experiments were carried out for which strawberries were laid out in a complicated manner, close to the field. As a result, the rate of harvest was about 54.1~64.9% and the harvest processing time for each strawberry is 14.4~19.8s. The rate fell in approximate. 20% compared to that of the basic experiments. The degree of ripeness of all the harvest fruits is above 50-60%, the length of the peduncle is 17.2mm on average, and the capability was satisfactory.

As described above, this study presented the method to recognize fruits, peduncles and ripeness automatically by image processing, developed picking hand with original mechanism that is capable of cutting and holding the peduncles for strawberries and proposed the possibility of the strawberry systematization for harvesting and sorting.

イチゴ生産における収穫・選別のシステム化に関する基礎研究

【目 次】

第1章 緒 論	1
第1節 研究背景	1
第2節 研究目的	2
第3節 構成と概要	2
引用文献	4
第2章 イチゴの生産現状	5
第1節 栽培状況	5
1. 品種	5
2. 生産地および生産量	7
3. 栽培方式	9
第2節 収穫、選別および流通	13
1. 収穫	13
2. 選別	14
3. 流通	15
引用文献	18
第3章 収穫・選別のシステム化の現状	20
第1節 農業ロボット	20
1. 概念	20
2. 発展経緯	21
3. 基本構造	21
第2節 研究動向	23
1. 穀物類	23
2. 果実類	25
3. 野菜類	27
4. イチゴ	29
第3節 システム化のニーズ	32
1. 収穫、選別の作業時間	32
2. 収穫におけるニーズ	32
3. 選別におけるニーズ	33
引用文献	34

第4章 内成り栽培における収穫・選別のシステム化の開発	38
第1節 開発概念	38
第2節 開発機	40
1. 基本構造	40
2. 動作	47
第3節 座標変換	49
1. 位置決め用カメラの場合	50
2. 採果用カメラの場合	51
3. マニピュレータの制御	51
第4節 摘要	53
引用文献	53
第5章 位置決め用カメラによる果実の認識に関する実験	55
第1節 緒言	55
第2節 果実認識の画像処理法	55
第3節 実験装置および方法	58
1. 供試イチゴ	58
2. 測定装置	58
3. 測定項目および方法	61
第4節 結果および考察	63
1. L*a*b*の範囲の決定	63
2. 境界画素数	65
3. 果実の認識	66
4. 採果用カメラの誘導	68
第5節 摘要	69
引用文献	70
第6章 採果用カメラによる果柄の認識に関する実験	71
第1節 緒言	71
第2節 果柄認識の画像処理法	71
第3節 実験装置および方法	77
1. 供試イチゴ	77
2. 測定装置	77
3. 測定項目および方法	79
第4節 結果および考察	80
1. 前処理における閾値の決定	80
2. 果柄表示線の抽出による果柄の認識	85
3. 果柄認識の検証実験	87

第5節 摘要	88
引用文献	89
第7章 果実の選別に関する実験	90
第1節 緒言	90
第2節 果実の選別の画像処理法	91
第3節 実験装置および方法	94
1. 供試イチゴ	94
2. 測定装置	95
3. 測定項目および方法	96
第4節 結果および考察	97
1. 位置決め用カメラによる採果目標果実の判定	97
2. 採果用カメラによる果実の選別	98
第5節 摘要	103
引用文献	104
第8章 採果ハンドに関する実験	105
第1節 緒言	105
第2節 採果ハンドの設計	105
第3節 実験装置および方法	111
1. 供試イチゴ	111
2. 測定装置	112
3. 測定項目および方法	112
第4節 結果および考察	114
1. 果柄の検出	114
2. 果柄の把持および切断	116
3. 適切な採果ハンドによる採果実験	117
第5節 摘要	119
引用文献	119
第9章 試作機による収穫・選別の室内実験	121
第1節 緒言	121
第2節 実験装置および方法	121
1. 供試イチゴおよびモデル畝	121
2. 試作機	123
3. 測定項目および方法	124
第3節 結果および考察	126
1. 収穫率	126
2. 収穫処理速度	127

目 次

3. 熟度判定	127
第4節 摘要	129
引用文献	130
第10章 総 括	131
謝 辞	133

「イチゴ生産における収穫・選別のシステム化に関する基礎研究」

における論文の構成および流れ

