

# 先端技術を活用した農林水産研究高度化事業 野菜栽培ベッドの可動・立体配置による省力・省エネ生産システム 14 作業特性と体格差を考慮したユーザビリティ設計要件の指標化

横山詔常, 岡野仁, 中村幸司, 伊藤栄治\*, 坂本隆行\*, 今井俊治\*, 内海茂範\*\*, 環野敬志\*\*

Guidelines for usability design to adapt to work property and body dimension differences

YOKOYAMA Noritsune, OKANO Hitoshi, NAKAMURA Koji,  
ITOH Eiji\*, SAKAMOTO Takayuki\*, IMAI Shunji\*, UTSUMI Shigenori\*\* and KANNO Takashi\*\*

We established the ergonomic and usability design guidelines of the proper work surface height corresponding to work property and body dimensions through the development of the movable and configurational beds cultivation system of strawberry. The main results are as follows;

(1) Design guidelines were established that corresponding to body dimension differences between 5 percentile of female elderly adults and 95 percentile of male young adults.

(2) Evidence-based guidelines were able to be established by the following process that the field surveys, the organoleptic evaluation, using the body dimensions database and the physiological and posture measurement.

キーワード：体格差，人間中心設計，ユーザビリティ，指標化

## 1 緒 言

現代の社会構造を背景に、製造現場では、女性、高齢者、未経験者が増加し、体格など身体特性や熟練度のばらつきが問題となっている。生産性や作業性の向上のためには、多様性やばらつきに対応するユーザビリティ設計の取り組みが求められている<sup>1)</sup>。ユーザビリティは、ISO92411-11にて、作業の有効性、作業効率、作業の満足度と定義されており、本研究では、これらを向上させる製品やシステム設計をユーザビリティ設計と位置づける。生産性や作業性などのユーザビリティを向上させるためには、多人数の人間工学実験やユーザテストなどが、学際レベルでは行われるが、メカなどの設計部門では、設計、試作後の最終段階で行い、設計にフィードバックすることは少ない<sup>2)</sup>。そこで、開発上流でユーザビリティを取り入れた設計を行うためには、簡略化する方法が必要である。さらに、使い勝手などの使用感に関する設計においては、主観的な課題も多いため、客観的なデータによる科学的根拠に基づいた設計値や設計要件の指標化が求められる。

本報告では、ユーザビリティ設計要件の指標化事例として、作業者の体格差や複数の作業特性に対応したイチゴ可動式栽培「2段吊り上げシーソーシステム」（以下、可動式システム）の設計・開発における適用について報告する。可動式システムは、回転や昇降機構により、

ワイヤーで吊り上げた栽培ベッドを立体的に配置することができる<sup>3)</sup>（図1）。この機能の効果的な運用により、イチゴの光合成能向上や省エネルギー化とともに、作業者の省力化を目指している。作業者の省力化は、栽培ベッドの昇降範囲やハウス自体の天井高、ベッド間距離などが設計面での課題である。

そこで、これらの設計課題を解決するために、高齢女性から青年男性までの作業者の体格差（図2）および異なる作業（定植、葉かき、収穫）特性に対応した作業高さの指標化を少数人の被験者実験を通じて実施する。結果を設計に活用し、生産性、作業性の向上を目指す。



図1 可動式システム

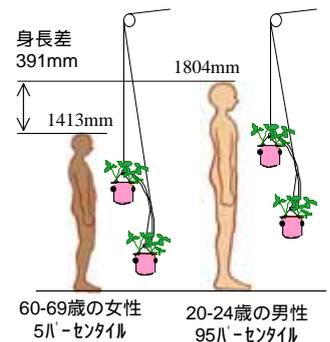


図2 体格差への対応

## 2 設計プロセス

人間中心設計プロセス、人間特性データを活用した設計値の算出方法、設計に人間工学実験・ユーザビリティテストなどを取り入れた事例<sup>4-6)</sup>の開発プロセス参考に、

\*広島県立総合技術研究所農業技術センター

\*\* (株) ダイコーテクノ

本開発事例では、次のようなユーザビリティ設計要件の指標化のプロセスを組み立てた（図3）。

複合的な作業環境の関係性を把握することで、設計に対する課題点を明確にするため、まず、現地での働態観察調査を行う。そこで、抽出した課題を掘り下げ設計指標項目を選択し、指標化のための実験条件を設定する。その後、主観評価実験を行い、得られたデータを基に、人体データベースを活用し、設計値に置き換え指標化する。ここまでは、主観データを基にした設計値又は指標であるため、客観的な裏づけとなる生理計測も併せて実施し、妥当性を確認する。必要に応じて、その他の設計要件とのトレードオフを行い、詳細設計、試作、現地検証へ移行し、現状の製品やシステムの課題がクリアされたか、その比較検証を行い、ユーザビリティ設計が完了する。

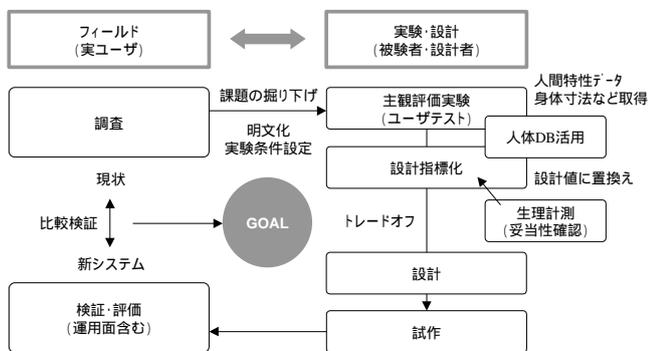


図3 設計プロセス

### 3 現地働態観察調査

#### 3.1 方法

イチゴ栽培は、育苗管理、定植、葉かきなどの株管理、収穫、出荷作業に分類できる。その内、可動式栽培ベッドでの作業は定植、葉かき、収穫である。この3作業の作業特性の把握と栽培ベッド高さ設計への課題抽出のため、次の2ヶ所にて調査を実施した。

- ・慣行式イチゴ高設栽培（イチゴ生産農家，広島県江田田市）
- ・可動式システム試作装置（農業技術センター実験圃場，広島県東広島市）

調査方法は、直接観察、ビデオ観察、インタビュー、身体寸法計測、作業属性調査である。

#### 3.2 結果

定植作業は、培地充填、マルチ張り、マルチ切り込み、穴あけ、植え穴への農薬投入、株植えの作業がある。作業特性としては、培地充填で培地を運搬用台車から栽培ベッドへ移動する作業に上下運動が多いことと、培地に

穴あけをする際の押し込み力が必要なこととである。葉かき作業は、株元や葉表面の枯れ、病害虫の発生状況確認のため、栽培ベッドの奥から手前までの視認性を要する。収穫作業は、栽培ベッドから平均約20cm下の位置に実が付くため、作業面が他の作業と異なることと、葉の繁り具合で、視認性が悪くなることを把握した。

また、調査地に限らず多くの農業現場では、高齢者や女性の雇用が非常に多く、複数人での共同作業である。作業性や生産効率の向上を目指すユーザビリティ設計のためには、作業者個人の体格への対応と共同作業のための体格構成に対応する必要があることが分かった。

よって、栽培ベッド高さの設計指標化のためには、各種作業条件（定植、葉かき、収穫）、体格差への対応（背の低い60歳代までの高齢女性から背の高い青年男性まで）、視認性、身体負担（筋活動など）、作業効率（作業スピード、作業量など）、作業性（主観的な作業のしやすさなど）が条件項目として挙げられる。

## 4 主観評価実験

### 4.1 方法

定植、葉かき、収穫の各作業における適正および許容できる作業高さを推定するため、主観評価実験を実施した（図4）。可動式システム試作装置を用い、栽培ベッド高さを10cm単位にて100~140cmの5水準に変化させて、定植、葉かき、収穫作業を行った。「見やすさ」、「身体負担のなさ」、「総合的な作業しやすさ」の項目にて、呈示された高さの印象を、「低い~低いが許容~ちょうど良い~高いが許容~高い」まで、-2~2点で評価し点数化した。被験者は、現状の可動式システムにて栽培作業に従事する健康な男性3名である。

作業者中心の設計値を決定するためには、人間特性データの相対値で表現する必要があるため、作業高さの設定には肘の高さを基準とすることが推奨されている<sup>7)</sup>。そこで、被験者の肘頭下縁高（立位での床面から肘までの高さ）にて正規化した栽培ベッド高さの主観評価の評点との関係を分析した。



図4 主観評価実験

### 4.2 結果

図5に、一例として各作業における「総合的な作業しやすさ」の評点と栽培ベッド高さの関係を示す。栽培ベッド高さは身体データで正規化し、肘頭下縁高を100とした相対値で表す。

得られた回帰式より、栽培ベッドの適正值（ちょうど

良い), 許容値(低いが許容, 高いが許容)を求めた。栽培ベッド高さの適正值は, 定植 97.5%, 葉かき 116.8%, 収穫 120.0% であり, 許容範囲は, 定植 77.9~117.2%, 葉かき 106.2~127.4%, 収穫 105.8~134.2% である。葉かきと収穫作業では, 株元や果実の視認性が必要であり, また葉をかく作業や果実を収穫する作業は力を必要とせず巧緻性が求められる作業であるため, 肘の高さより相対的に高い位置への栽培ベッドの設置が求められる。定植は, 押し込み力が必要な作業であるため, 栽培ベッド高さは, 肘高さより低い位置での設置が求められる。

適正高さや許容範囲は, 葉かきと収穫作業において, 同じ傾向を示したが, 定植作業は他の作業とは異なる結果であった。設計指標や実際の栽培ベッド高さの運用方法では, 葉かきと収穫作業は共通化できるが, 定植作業は個別対応が必要であることがわかった。

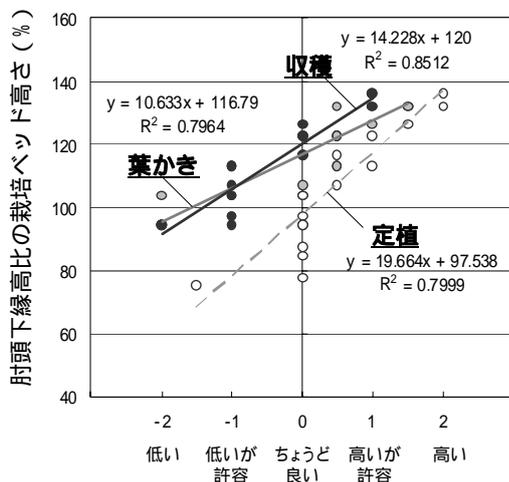


図5 各作業の評点と栽培ベッド高さの関係

## 5 体格差に対応した作業高さの推定

本可動式システムは, 高齢女性から青年男性までの体格差に対応することを目的としている。そのため, 主観評価実験での肘頭下縁高で正規化した適正および許容作業高さに対して「日本人の人体計測データ」<sup>8)</sup>を適用し, 20~24 歳男性および 60~69 歳女性の肘頭下縁高の 1~99 パーセンタイル値と栽培ベッドの許容高さ, 適正高さの関係性を分析した。

手順としては, 「日本人の人体計測データ」より 60~69 歳女性と 20~24 歳男性の肘頭下縁高の平均値, 標準偏差を用い, 確率分布関数を求め, 主観評価で得られた適正值, 許容値にて補正した。図 6 に収穫作業における身体寸法のパーセンタイルと適正および許容する栽培ベッドの作業高さの関係を示す。

得られた適正值の曲線モデルを用い, 60~69 歳女性の 5 パーセンタイル値と 20~24 歳男性の 95 パーセンタイル値の栽培ベッド高さを求めた。これより, 労働人口の大多数の人が満足する栽培ベッド高さ範囲は, 定植作業 834~1097mm, 葉かき作業 998~1314mm, 収穫作業 1025~1350mm と推定できる。

以上より, イチゴ栽培の作業特性と体格差に対応するためには, 栽培ベッドは 834~1350mm の高さ範囲で昇降する必要があることが分った。

ただし, 実際には, 複数人での共同作業であるため, 体格の異なる多くの作業者が満足できる栽培ベッド高さを設定する必要がある。このような実用的課題に対し, 運用面のサポートとして栽培ベッド高さを決定する簡易な表計算シートも併せて作成した。

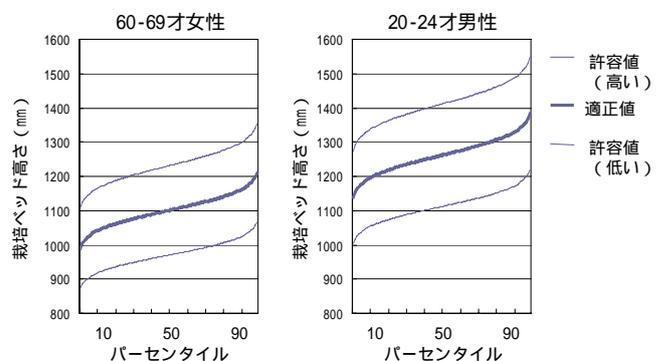


図6 収穫作業における栽培ベッド高さとパーセンタイルとの関係

## 6 生理・姿勢計測による指標評価

### 6.1 方法

適正高さ, 許容高さ指標の評価のため, 「低い~低い」が許容~ちょうど良い~高いが許容~高い」の各栽培ベッド高さにおける定植, 葉かき, 収穫動作時の生理計測(平均筋電位)と姿勢計測(傾斜角度)を行い検証した(図7)。試行動作は, 定植では, 育苗ポットによる押込動作を 6 回, 葉かきでは, 株元に印をつけた葉茎を 6 つ摘み取る擬似作業, 収穫では, イチゴを模擬した洗濯ばさみを 12 個摘み取る作業とした。それぞれ 3 試行ずつ行い被験者ごとに平均値を求めた。被験者は, 健康な男性 3 名である。

筋電位は, サンプリング周波数 1kHz にて AD 変換し, 全波整流後, 平均値(mEMG)を求めた。「ちょうど良い」高さで



図7 定植作業実験

の mEMG を基準とし、正規化した値 (%mEMG) を算出した。被検筋は、三角筋、腰部脊柱起立筋で、それぞれ右半身より導出した。

傾斜角度計測は、傾斜計 (NA4 - 70, ザイカ社製) を頭部側面, 胸部 (胸骨), 腰部 (仙骨) 上に固定し, 10Hz のサンプリング周波数にてデータロガ (NR - TH08, NR - 600 : キーエンス製) に記録した。

## 6.2 結果

図 8 に収穫作業での栽培ベッド高さと同平均傾斜角度, 傾斜角度の標準偏差, 平均筋電位 (%mEMG) を示す。

頭部や上肢, 体幹の傾斜角度は, 前後方向で 20 度以上になると作業性が悪くなったり, 障害発生の危険性が高くなる「不良姿勢」とされ, 作業改善が推奨されている<sup>9)</sup>。頭部は, 栽培ベッドが「高い」条件以外は平均傾斜角度が 20 度以上である。頭部傾斜角度の標準偏差は, 「適正」で最も値が小さく, 栽培ベッド高さが低くても高くても標準偏差が大きくなり, 頭部の動き (前屈, 後屈) が多くなることがわかる。体幹の傾斜角度も栽培ベッドが高くなるほど小さくなるが, 「適正」高さを超えると減少度合いが小さくなる。筋電位は, 栽培ベッド高さが高くなるにつれ, 上肢挙上により三角筋の活動が大きくなる。腰部の脊柱起立筋は, 体幹の傾斜により「低い」作業高さで大きい値になる。

以上より, 「適正」高さにて, 筋負担や傾斜角度が減少, 「許容」範囲を超えるとデータの増減が大きくなり筋負担量や不良姿勢が多くなる傾向が示された。よって, 主観評価で得られた適正・許容高さの設計指標の妥当性は示され, 作業特性と体格差に対応する本設計指標は有効であると考えられる。

## 7. 結 言

作業特性や体格差に対応するユーザビリティ設計プロセスにて設計指標化を行い, 次の成果を得た。

- (1) 体格の異なる多人数の被験者を用いなくても, 高齢女性の 5 パーセンタイルから青年男性の 95 パーセンタイルまでの体格差に対応する設計指標を作成できた。
- (2) 現地動態調査, 主観評価実験, 身体寸法データベースの活用, 生理・姿勢実験というプロセスにより, 科学的根拠に基づいたユーザビリティ設計要件の指標化が可能となった。
- (3) 本プロセスは, イチゴ栽培だけでなく, 高齢者配慮製品, ユニバーサルデザイン開発, 生産性や作業性の向上を目的とした多くの作業機器やシステムの設計に対しても有効な手法である。

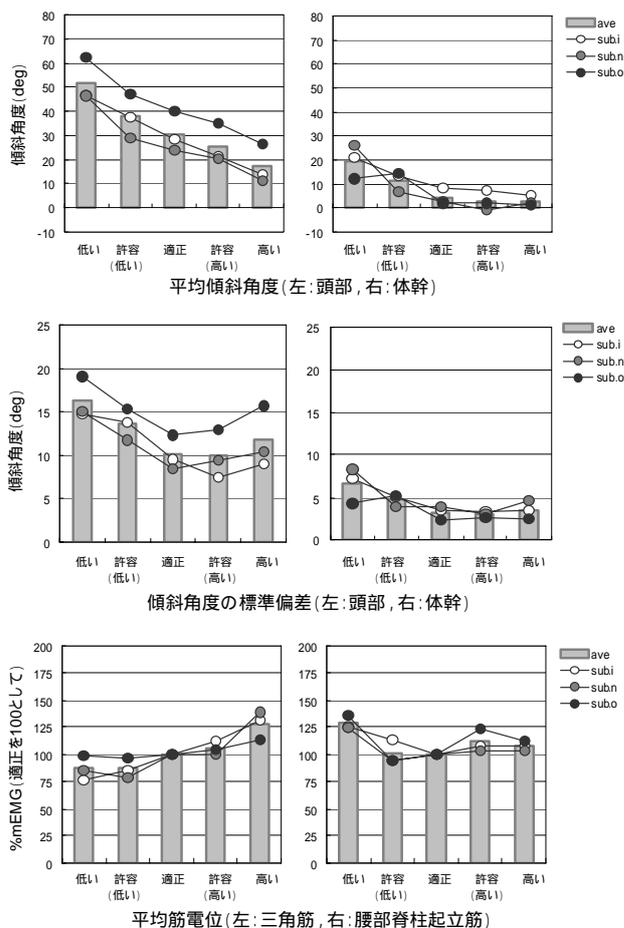


図 8 筋電位・傾斜角度と高さの関係

〔それぞれの は各被験者の 3 試行の平均値, 棒グラフは 3 名の被験者の平均値を表す〕

## 文 献

- 1) (社)人間生活工学研究センター：ワークショップ 人間生活工学第 4 巻 (2004), 203
- 2) 仲谷：デザイン学研究, 11(2) (2003), 8 - 15
- 3) 伊藤他：中四国農業気象 17 (2004), 10 - 11
- 4) ISO13407 : Human-centred design process for interactive systems, (1999)
- 5) 岡田：デザイン学研究 13(4) (2006), 10 - 13
- 6) 横山他：広島東部工技研究報告 20 (2007), 6 - 10
- 7) 茂木他：人間工学 42 特別号 (2006), 136 - 137
- 8) (社)人間生活工学研究センター：日本人の人体計測データ 1992 - 1994 (2003)
- 9) 宇土他：福祉工学入門, 労働調査会, (2005), 113 - 115