

## 先端技術を活用した農林水産研究高度化事業

### 低棟ハウスと全面水耕ベッドによる葉菜類の超低コスト・高収益施設（第1報）

## 13 デジタルヒューマン活用による最適な作業位置の検証

橋本晃司，横山詔常，越智資泰\*，坂本隆行\*

The low building house, and the super low cost and high earnings facilities of leafy vegetables with the overall solution culture bed. (1st Report)  
Verification of the best work position by digital human

HASHIMOTO Koji, YOKOYAMA Noritsune, OCHI Tomoyasu\* and SAKAMOTO Takayuki\*

We have developed new hydro culture system for Welsh Onion. This system has the short height house which makes building cost low, and the fully laid out beds without aisles makes harvest much. Another feature is that the workers can work without moving in the house. We tried to improve the work load and efficiency in this system using Ergonomics and Design technology. This report shows the process to decide the dimensions to design the most suitable work space for the workers. The examination of static load and reach could be done efficiently by digital human simulation.

キーワード：水耕ネギ栽培，低棟施設，デジタルヒューマン，静的負荷評価

### 1 緒 言

水耕ネギ栽培は，培養液の張られた栽培ベッド上に，苗を挿し込む複数の穴が開いた発泡スチロールパネルを並べ，この穴に苗を植えてネギを育て，収穫する。苗の育成を「育苗」，苗をパネルに植付けることを「定植」と呼ぶ。

筆者らは，トレイと培地を用いて播種，育苗し，ト

レイごと定植と収穫を行う方式に変更することにより作業手数を減少させ，また，パネルを水面移動させることにより定植と収穫作業を栽培ベッドの端のみで行えるトレイ栽培方式を開発した<sup>1)</sup>。開発中のシステムは，これを低棟化することにより施設費の大幅な低減と増収を目標とする。トレイ栽培方式の特性を活かし，ベッド間の通路を無くし全面を栽培ベッドとした（図1）。また，栽培ベッドの高さが，ほぼ地面の高さとなり，作業者は低棟施設の端に掘った長穴状の空間を作業場とする（図2）。

この新低棟栽培施設の開発において，人間工学及び

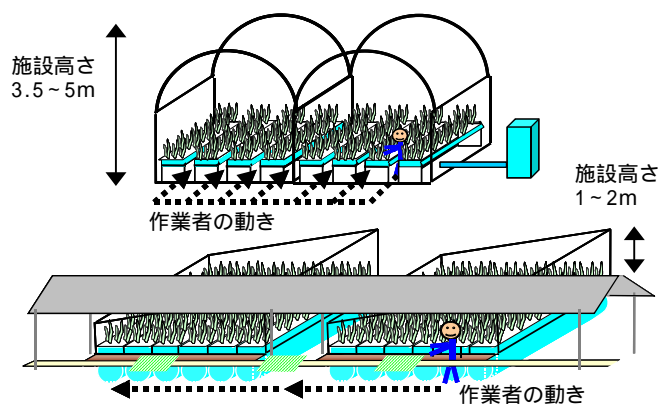


図1 既存水耕栽培施設(上)と低棟施設(下)

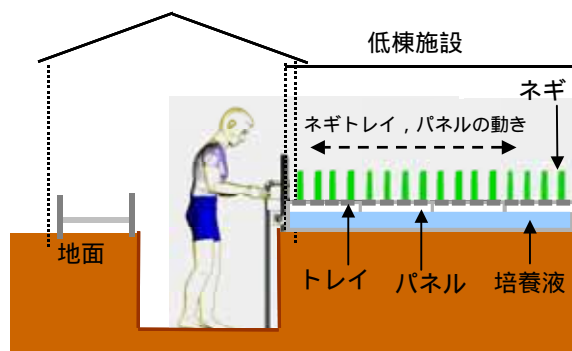


図2 作業場と周辺の断面図

\*広島県立総合技術研究所農業技術センター

製品デザイン技術の導入により、作業者への負荷が小さい作業環境を創出することを目的とする。

本報では、体格を自由に設定でき、各部の負荷や手の到達域が算出できるデジタルヒューマンシミュレーションを活用し、栽培ベッドの作業面と倒伏防止ネット収納場所の高さを検討する。

## 2 シミュレーション条件

### 2.1 対象作業

収穫作業を対象とする。図3に器具の配置を示す。

栽培ベッドに浮かんだパネル平面から約35cmの高さに、ネギの倒伏を防止するネットが張られ、ネットには約40cmピッチで支持棒が留めてある。図4は開発中のシステムで行った模擬収穫作業の様子である。以下に手順を説明する。

栽培ベッドの両側に張られた鉄線の上で、支持棒の端を滑らしてネットとパネルを同時に引き寄せる(図

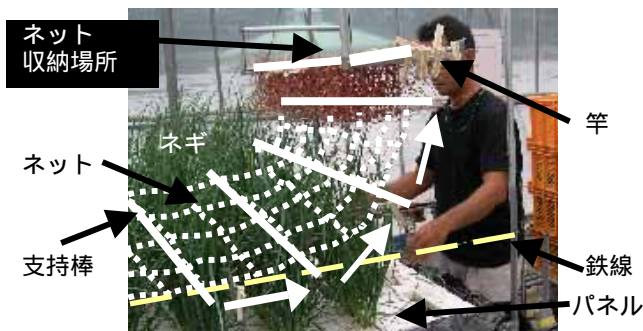


図3 収穫作業時の器具の配置

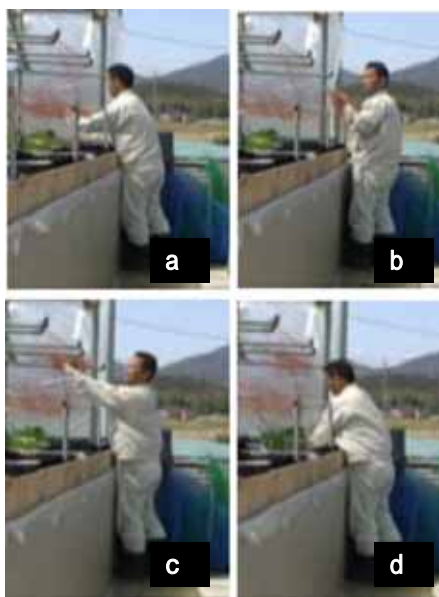


図4 作業対象の連続写真

- a: ネット等を引き寄せる
- b: 葉先を外し支持棒を持つ
- c: ネット収納場所に送り込む
- d: ネギとトレイを回収する

4-a)。作業者はネギの葉先をネットから外した後に支持棒を持ち(図4-b)、目線付近の高さにある倒伏防止ネット収納場所の竿に掛け、前方に送り込んで回収していく(図4-c)。その後、ネギをトレイごとパネルから収穫する(図4-d)。

この作業環境を三次元CAD(Solid Works社製Solid Works2007)で3Dモデル化し、シミュレーションソフト上に読み込んで配置した。

### 2.2 デジタルヒューマンモデルの設定

当県の水耕ネギ栽培は高齢者が主体であるために、高齢者男女の50%tile値(高齢男女の体格分布における中央値で、身長が153.5cm程度の人体)を入力したデジタルヒューマンを作成して評価に用いた。

デジタルヒューマンの作成及びシミュレーションには、Jack(UGS PLM Solutions製)を使用し、人体寸法値は工業技術院(現:(独)産業技術総合技術研究所)が保有するデータ<sup>2)</sup>を活用した。

### 2.3 作業面と倒伏防止ネット収納場所の設定

作業面高さは、高齢者男女50%tileの肘頭高平均値92cm(a)に靴高さ1cm(b)を加えた93cmとし、これを初期案とした(図5)。

倒伏防止ネット収納場所の高さは、パネル上のネギ全高との関係から、作業面高さが可変(c)しても一定に作業台上面から上方へ77cm(d)に設定した。

これについて高齢者の作業時に、倒伏防止ネット収納場所に手が届き難いといった可能性が考えられた。

そこで、作業改善のチェックポイント<sup>3)</sup>の「体幹角度を20度以下とした際に上肢挙上角度は45度以内とし、肘屈曲角度が60度以下となるような作業位置が低い姿勢は改善」に沿って、関節角度から作業面高さの下限を検討した(図6)。体幹角度を20度、掌をパネルの中心に固定した条件で、作業面高さを段階的に下

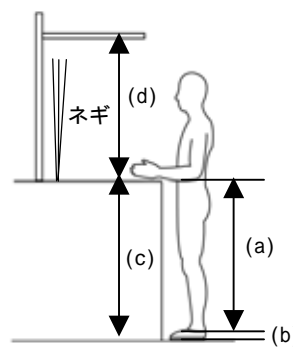


図5 各高さの基準値

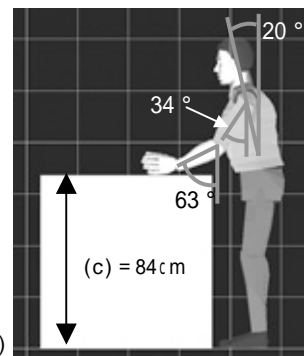


図6 下限と関節角度

げて各関節角度を測った。

この結果、84cmでは上肢挙上角度が34度、肘屈曲角度が63度となり、以下83cmでは肘屈曲角度が56度となり条件を満たさないことが検証された。これにより作業面高さ84cm（倒伏防止ネット収納場所161cm）を追加案とした。

初期案と追加案での作業面上の作業と、ネット及び支持棒の収納動作について比較評価を行った。

### 3 静的負荷評価

#### 3.1 評価法

評価は、静的負荷、動作域の順に行った。

Jackでは作成したデジタルヒューマンの作業姿勢に対し、各関節の角度やトルク、最大許容負荷が示され、作業時の関節トルクが最大許容負荷の何%であるかという見方で検証できる。その作業を許容できる人口の割合も示される<sup>4)</sup>。これらはミシガン大学エルゴノミクスセンターでの実験データがベースであり、日本人での適合にはやや広い許容値と考えるが、初期案と追加案を相対的に比較する上では有用と考えて活用した。

腰痛解析では第4と第5腰椎間(L4/L5)の椎間板(図7)に働く圧縮力が求められ、NIOSH(米国国立労働安全衛生研究所)の荷物取扱基準の腰部椎間板の許容荷重限界値3400Nに対して、当該作業が何%に達しているかという見方で検証した<sup>5)</sup>。

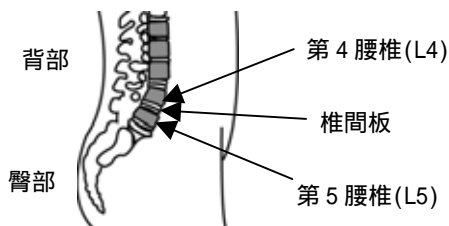


図7 第4,5腰椎間の椎間板

#### 3.2 作業台高さの評価

初期案と追加案での評価を行い(図8)、関節トルクが大きかった身体部位について分析した。

初期案は腰部トルクが46Nmで最大許容負荷231Nmの20%であった。股関節は最大22.5Nmで最大許容負荷196Nmの11%であった。腰痛解析での圧縮力は725.7Nと許容値3400Nの21%で問題なかった。

追加案は、腰部トルクが7Nmで最大許容負荷231N

mの約3%で、股関節は左右平均で3Nm、腰痛解析の圧縮力は127.5Nと許容値3400Nの3.7%であった。

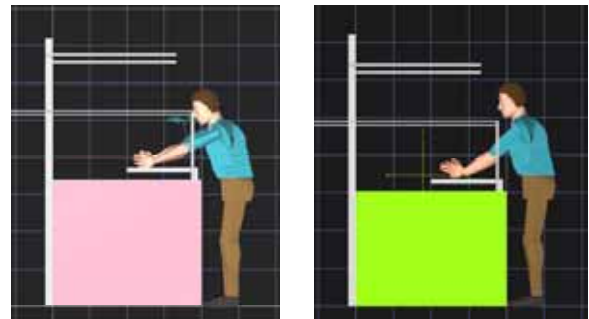


図8 初期案(左)と追加案(右)の作業面高さ

#### 3.3 倒伏防止ネット収納場所高さの評価

初期案収納場所(170cm)と追加案収納場所(161cm)の高さについて評価を行った(図9)。

初期案は腰部トルクが40Nmで最大許容負荷231Nmの7%であったが、その他の関節では大きな負荷は見られなかった。腰痛解析の圧縮力も283.6Nと許容値3400Nの8%であった。

追加案は腰部トルクが7Nmで最大許容負荷231Nmの3%であったが、その他の関節では大きな負荷は見られなかった。腰痛解析の圧縮力も127.5Nと許容値3400Nの3.7%であった。

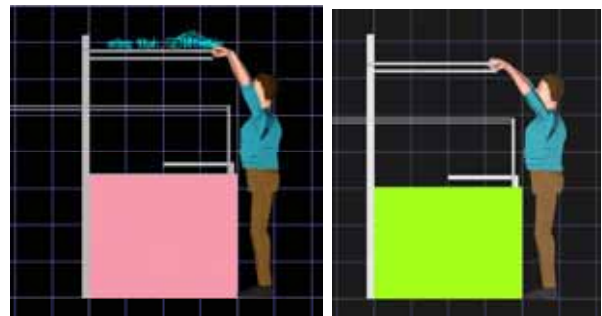


図9 初期案(左)と追加案(右)の収納場所高さ

#### 3.4 分析

この結果、初期案に比べて、追加案が各関節負荷や腰痛解析から作業負荷が少ない結果になったが、各条件共に許容人口割合でも99%の人が耐えうる作業であり、基準とした高齢者の50%tileでは両高さ共に問題がないことを確認した。



## 4 上肢動作域の検証

初期案，追加案のデジタルヒューマンの姿勢を，肩180度屈曲，肘90度の上肢挙上とした。次に収納場所に対してネット支持棒を置ける動作域を見るために，上指先端高ではなくネット支持棒を握った掌を上肢動作域の軌跡点とし，この軌跡をワイヤーフレーム化した(図10)。

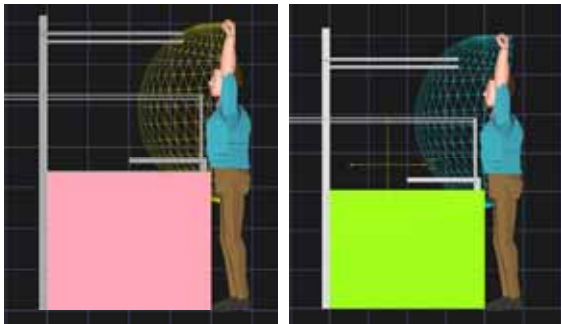


図10 上肢動作域(初期案(左)追加案(右))

さらに，上肢動作域の軌跡をシェーディングし，倒伏防止ネットの支持棒を掛ける竿端が，どの程度，作業者の上肢可動域内に含まれるか比較した。

この結果，初期案では竿端が上肢動作域に干渉する程度であった(図11)。これに対して，追加案は竿端が上肢動作域内側に15.2cm程度含まれ，つま先立ちによる体幹伸展姿勢をとらなくても，前方へネット及び支持棒を送り込めることが分かった。(図12)。

## 6 結 言

本報では，体格を自由に設定でき，各部の負荷や手の到達域が算出できるデジタルヒューマンシミュレーションを活用し，栽培ベッドの作業面と倒伏防止ネット収納場所の高さの検討を行った。本研究の成果は以下のとおりである。

(1) 当県の水耕ネギ栽培を行う主体である，高齢者男女の50%tile値を基準としたデジタルヒューマンを作成して評価を行った。

(2) 作業面と倒伏防止ネット収納場所の高さについて，肘頭高を基準とした初期案に対し，関節角度の検証から作業面高さの下限を検討し，作業面高さ84cm(倒伏防止ネット収納場所161cm)を追加案として比較した。

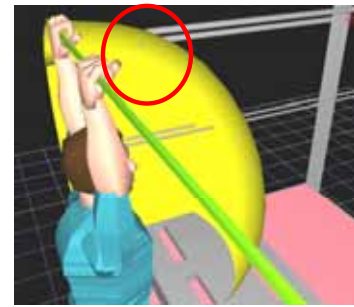


図11 シェーディング検証(初期案)

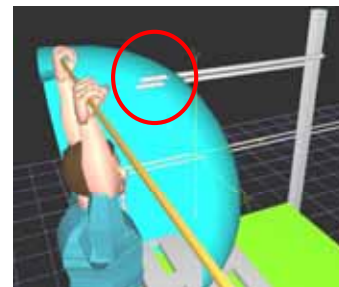


図12 シェーディング検証(追加案)

(3) 初期案と追加案での静的負荷評価を行い，初期案，追加案共に基準とした高齢者の50%tileでは両高さ共に問題がないことを確認した。

(4) 上肢動作域の検証から，追加案は余裕を持って前方へネット及び支持棒を送り込めることが分かった。この結果，作業面の高さを84cm，倒伏防止ネット収納場所を161cmと決めることができた。

## 謝 辞

本研究を行うにあたり，御協力頂きました近畿大学工学部の奥本泰久教授に深く感謝申し上げます。

## 文 献

- 1) 橋本他：広島県立総合技術研究所東部工業技術センター研究報告，20(2007)，11-15
- 2) 工業技術院生命工学工業研究所編：設計のための人体寸法データ集，(1994)，vol.2，No.1
- 3) 宇土博：福祉工学入門，(2002)，6章4節，3-4
- 4) 奥本泰久他：バーチャルヒューマンによる作業性，安全性の研究-第1報 溶接作業時の人体負荷について-，(2000)，383
- 5) 奥本泰久他：日本造船学会論文集，第187号(2000)，386

