

水耕ネギ栽培システムのデザイン開発における作業分析の導入

橋本晃司, 横山詔常, 中村幸司, 岡野 仁, 古川 昇, 越智資泰^{*1}

Introduction of Work Analysis in Design Development of Welsh Onion in Hydroponic Culture System

HASHIMOTO Koji, YOKOYAMA Noritsune, NAKAMURA Koji, OKANO Hitoshi, FURUKAWA Noboru and OCHI Tomoyasu^{*1}

Welsh onion in hydroponic culture is transplanted and harvested by one stock while moving, the work efficiency is bad. Then, in order for a worker not to move but to perform constant transplanted and development of a cultivation managed instrument which can gather a harvest, it worked on the measure against human engineering-aiming at verification of a video memo-tion or the work line of flow, the simulation by the computer mannequin, and an optimal work stand design about the present work.

水耕ネギ栽培は、移動しながら1株ずつ定植や収穫を行うため、作業効率が悪い。そこで、作業者が移動せず定植・収穫できる栽培管理器具の開発を行うために、現状の作業について、ビデオメーションや作業動線の検証、コンピュータマネキンによるシミュレーション、また最適作業台設計を目的とした人間工学的対策の検討を行った。

キーワード：水耕ネギ栽培, 栽培管理器具, ビデオメーション, 作業動線, コンピュータマネキン, 人間工学

1. 緒 言

野菜の養液栽培は全国的に増加傾向にあり、広島県では、企業の生産者を中心に水耕ネギの増加が著しく、1ha規模の生産者も現れている。水耕ネギは土耕を含めたネギの作付面積の約5割を占め、今後も産地の拡大が計画されている。

水耕ネギの栽培は、調製機械の開発により収穫後の作業効率化は進んでいる。しかし、定植は通路を移動しながら、栽培ベッド上に配置された定植パネルに1株ずつ行われ、収穫も同様に移動しながら1株ずつ行われるため、長時間を要し、効率も悪い。

そこで本研究では、作業者が移動をせずに定植や収穫が可能な栽培管理器具の開発を目指す。

水耕ネギの定植・収穫作業の省力化では、個々の器具の改善だけでなく、作業全体を無駄なく、効率よく設計することが重要といえる。水耕ネギの現状の定植・収穫作業について問題点の抽出や、作業改善の定量評価方法を設定することを目的に現状の作業について、ビデオメーションや作業動線の検証、コンピュータマネキンによるシミュレーション、また人間工学的対策の検討を行った。

2. 水耕ネギ栽培の現状

調査した農家では、水耕ネギ栽培は写真1のように、ビニールハウス内に設置された、幅が約120cmで奥行きが約21m、高さが約80cmのベッドの上に栽培されている。

このベッドでの定植の前段階として、ウレタン培地に種を播いて発芽させる。その後、ネギが発芽したウレタン培地を2~3cm角のブロックに割り、写真2のようにベッドの水面上に浮かぶ発泡スチロールパネルに開けられた穴に押し込んで定植していく。定植したネギは高さ70cmまで成長し、引き抜き作業、根切り作業の後に皮むき等の調整作業を経て出荷される。

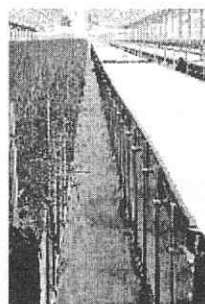


写真1 栽培ベッド



写真2 定植作業

平成16年度農林水産省

先端技術を活用した農林水産研究高度化事業委託事業

2005.6.30 受理 産業デザイン部

*1 広島県立農業技術センター野菜栽培研究部

3. ビデオメモーションによる検証

ビデオ記録のために作業を行った被験者の年齢は 53 歳で、身長 163.8cm、体重は 64.3kg、作業経験半年の男性 1 名である。

ビデオ記録の検証方法は、手順のカウントや注意動作の抽出のため秒間フレームによる分析ではなく、ビデオから動作の発生ごとに手入力する方法をとった。

まず、動作の発生があると表 1 にあるように、つらさ指数¹⁾のスティックモデルを参考に「姿勢」欄の動作に対応する指数項に「1」とチェックする。「1」は後で総回数を計算するためである。入力データは「各作業が占める割合」「手順の回数」「作業時間の構成」「つらさ指数による作業姿勢の構成」を分析し、定植作業については「作業姿勢の時間的な変位経過」を分析した。

その結果、定植作業の「手数と作業構成の比率」では、「苗を穴に押し込む」が 95% を占め、手数でも 1799 回を数えた。人間工学の観点から「負担の大きい反復作業」とされる「1 時間で 1000 回以上の手首の反復作業」を大きく上回り、改善の要点であることが分かった。また「つらさ指数による作業姿勢の構成」では、指数 5 の「膝を伸ばし上体を軽く前屈」が 106 動作、指数 1 の「立ち姿勢」が 73 動作と 2 項目を合わせると、全体の 97% を占めることが分かった。このことから指数 6~10 が多い中腰姿勢中心の身体負担とは異なり、つらさ指数では低い長時間に亘る静的な筋作業を改善することが、定量評

価の要点になることを抽出した

さらに図 1 に示した「作業姿勢の時間的な変位経過」では、作業開始から 28 分までは「苗を穴に押し込む」動作が適度な間隔で行われたことに対し、以降において作業中を示す指数 5 と、「不良ブロックを投げる」など余剰作業を示す指数 1 との間隔が短くなっている。被験者から「不良ブロックを投げる」動作が適度な息抜きにつながることを聴取している。被験者から「定植による疲労は少ない」と聴取していたが、後半部分において無意識の内に、疲労軽減の動作を取り入れていることになり、作業効率の低下や身体への負荷が大きくなっていると考察した。

収穫作業では引抜き動作の軽減を要点としていたが、「根切り」が 899 回と「両手でネギを抜く」の 411 回の倍を占め、握力への負担も大きいことが分かった。また「両手でネギを抜く」動作の後に 92 回の「ネギを揃え作業面に置く」動作が入る。この動作は「両手でネギを抜く」の 411 回の 4 分の 1 であるが、「両手でネギを抜く」と同時間を費やすものであり、引き抜きと同時にネギを痛めないことや、次の作業にスムーズに移行することに気を配っていることが分かった。さらにこの動作は重量物の捻り動作を 92 回行うものであり、手首に負担をかけているものと考察した。収穫作業の「つらさ指数による作業姿勢の構成」は、「膝を軽く曲げ上体を軽く前屈（指数 4）」が 36%、「膝を軽く曲げ上体を軽く前屈（指数 4）」が 36%、「膝を伸ばし上体を軽く前屈（指数 5）」

表 1 ビデオメモーションの記録方法

つらさ指数	姿勢										観測項目															
	10	6	5	4	3	1					A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N		
	中腰で深く曲げた	上体を深く前屈した	上体を軽く前屈した	膝を伸ばし上体を軽く前屈した	膝を伸ばし上体を軽く前屈した	立ち姿勢	座った姿勢				苗を穴に押し込む	苗ブロックを割る	苗トレイを移動	苗ブロックを並べる	不良ブロックを投げる	苗トレイを運ぶ	苗ブロック棚で準備	苗トレイを置く	移動する	深く入った苗戻す	残ブロック次列へ	苗ブロック拾う	確認で見まわす	苗トレイ床に置く		
観測時点	動作記録																									
0:00	苗ブロック棚で準備																1									

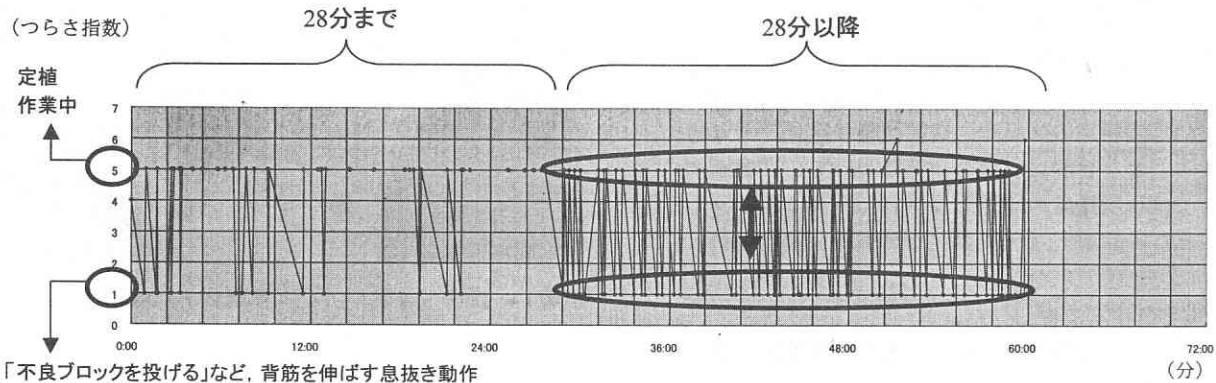


図 1 定植における作業姿勢の時間的な変位経過

が31%、「立ち姿勢（指数1）」が21%、「膝を伸ばした中腰で上体を前屈（指数5）」が10%と定植作業に比べて動きが多く、同一姿勢から生じる疲労感は少ないことが分かった。

4. 作業動線による移動距離の検証

慣行法を観察調査した結果、栽培ベッドの周りを移動する作業に加えて、収穫物を置き場まで何度も運搬するなど栽培ベッドから離れる作業も多いことがわかった。それにより定植作業・収穫作業とも動線は複雑で長いものの、次の作業を考えて予め物を置いておくなど、手順がよく考えられており無駄がなかった。この過程において作業姿勢の評価などの他に、動線全体に無駄が無いように総合的に考えていく必要があると思われる。

まず、ビデオ記録から動線図を作成した（図2、図3）。動線の内、次の作業のために移動する部分、何かを手で運んだり、台車で運搬したりする部分、作業しながら移動する部分に分け、作業の最初から最後までを一筆書きで図示した。

この動線図の作成作業により観察だけでは系統的に捉えきれない、複雑な慣行法の手順が把握できた。次に動線の長さの概算値も算出した。栽培ベッドからパネル洗浄場までの距離、育苗棚までの距離、収穫物置き場までの距離はビニールハウス内での位置関係によって変わる。この部分は主にパネルや収穫物などの運搬作業である。それを別にすれば慣行法の定植作業では254メートルとなった。また、慣行法の収穫作業では306メートルを要していることが分かった。

5. コンピュータマネキンの活用

続いて、作業性や身体負荷について、コンピュータマネキンを使ったCGによるイメージを作成した。

まず、ビデオ記録や現地農園で採寸した器具の寸法を基に、三次元CAD(SolidWorks)で作業台や定植パネル、育苗トレイをモデリングした。これに人体データベース(HumanWorks)から「日本人男性5%タイルデータ」（作業者と同等の身長156cmモデル）のコンピュータマネキンを読み込み、ビデオ記録の作業姿勢のシミュレーションが可能であるか検証した。

また開発を行う新方式作業台についても、図4のようにアイデア段階の作業台をモデリングして検討を行った。

想定する、移動することなく作業台端で行う定植及び収穫作業について、作業台上のネギを掴む際に人とネギの距離を遠ざけるような器具を作業台の手前に設置すると、上腕と体幹の角度が45度を越えて肩や腕への負担が大きくなることや、ネギを生育するパネルを取り扱い易く小型化する必要性を把握した。

6. 最適作業台設計の人間工学的対策

さらに最適作業台設計のための人間工学的対策を検討

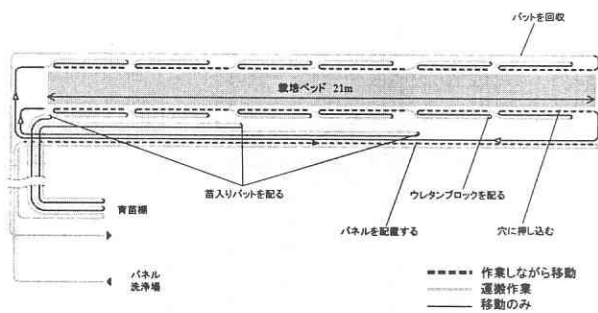


図2 慣行法の定植作業動線

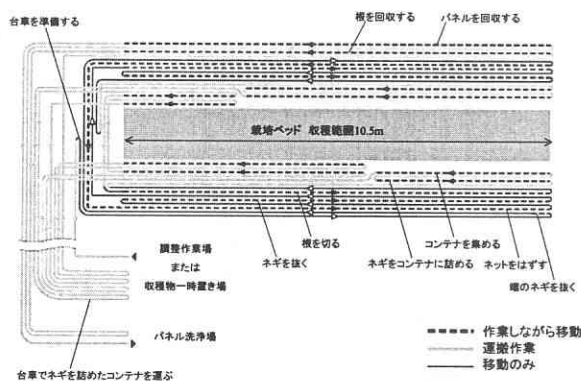


図3 慣行法の収穫作業動線

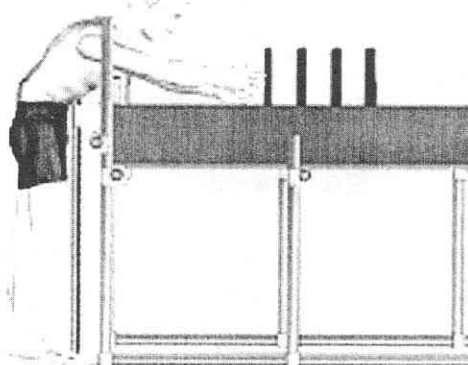


図4 新方式作業台のシミュレーション

した。長時間かつ単純反復作業を強いられているネギの定植や収穫作業において、身体負荷が少なく作業効率のよい作業台の形状を特定する必要がある。その形状を模擬した実験用の作業台を用い、人間工学的計測を行い、現状と改良作業台での身体負荷の違いを検証した。

現状での作業台の形状や寸法、作業姿勢を調査・記録し、産業界へのヒアリングと過去の知見²⁾を参考に最適となる作業台の改良案（奥行き方向に作業台高さを2段階に設定）を作成した（図5）。現状と改良案の作業性を比較検証するため、姿勢変化、筋電図、重心動揺の測定を行った。今回の検証実験では、現状の定植作業を模擬するために、図6に示すような作業平面を作成し、それぞれの標的となる箇所に市販の事務用マグネットを一

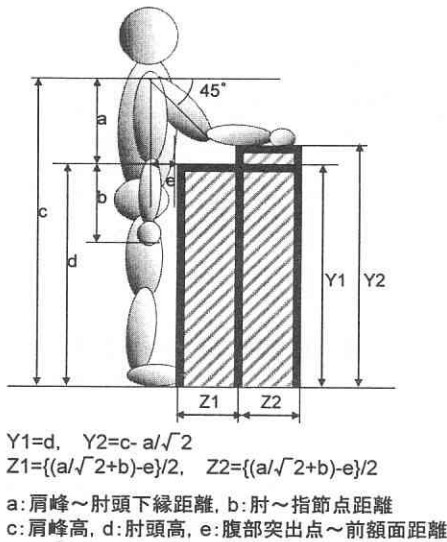


図5 改良案作業寸法

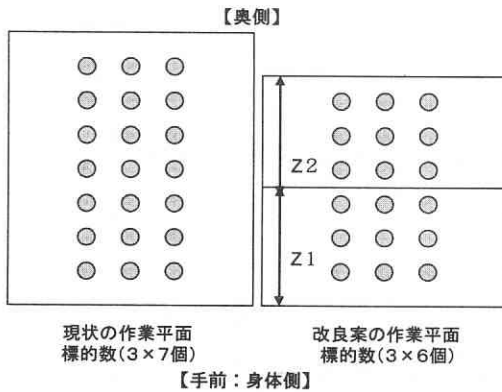


図6 作業平面

個ずつ配置するという反復作業を行った。作業スピードは1Hz(1手数/1秒), 作業時間は15分とした。被験者は健康な男性1名である。

重心動揺のデータは, 重心動揺計(共和電業製, M04-3360-1)を用い, サンプリング周波数100Hzにて, 筋電図のデータは, 多用途テレメータ(NEC製, サイアックMT11)を用い, 時定数0.03sec., High-Cut OFF, サンプリング周波数を1000Hzにて記録した。

作業姿勢の結果を写真3に, 筋電位の結果を図7に, 重心動揺の軌跡を図8, 重心動揺の結果を図9に示す。

作業姿勢は写真3で見ると, 現状の作業台において一番奥の行の定植作業では, 立位でのリーチが届かないため, 前傾姿勢が必要となっている。改良作業台では, 体幹の前傾がなく, 立位保持のまま一番奥の行の定植作業が可能となっていることが分かる。

筋電図では図7に示すように, 最大随意筋力に対する各課題作業時の筋活動レベル(%MVC)を表している。体幹の前傾によって脊柱起立筋の活動レベルが高くなるこ

とが分かる。僧帽筋は, 上腕の挙上に係る筋であるが, 現状と改良では差は少ない。

また, 重心動揺では重心の動揺は図8(左)のような軌跡を描く。その振幅や動揺距離, 動揺面積等をパラメータとして分析を行った。図9は重心動揺の振幅の結果であるが, 作業開始直後は, 作業の慣れが生じないため,

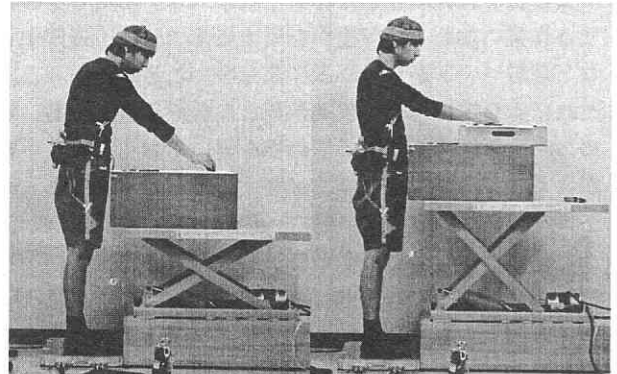


写真3 作業姿勢の結果(左:現状 右:改良)

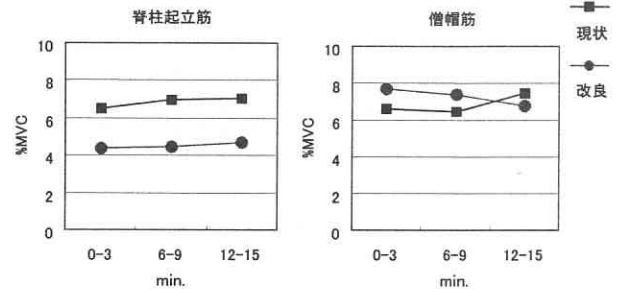


図7 筋電位の結果

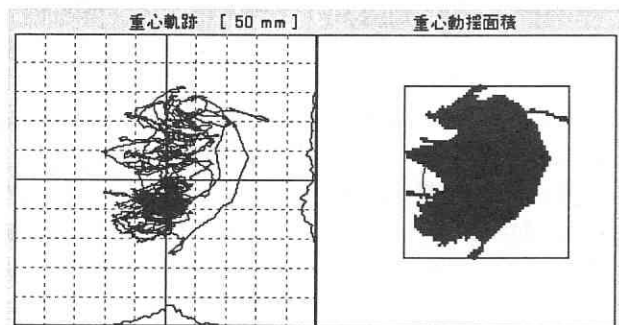


図8 重心動揺の軌跡例

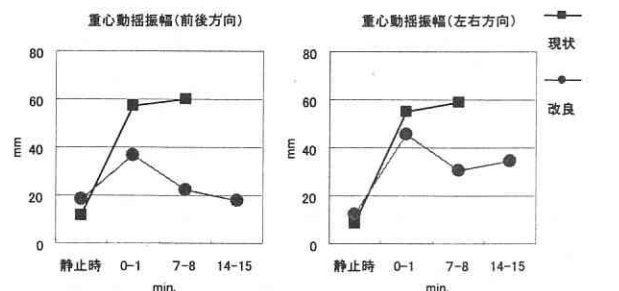


図9 重心動揺の結果

差が少ないが、経時的に作業台による影響の差が出てくる。前後方向だけでなく左右方向にも差があり、前傾することによって前後左右への重心の移動も大きくなることが把握できた。

主観評価では15分間の作業時間が短いため主観的な「きつさ」の差はない結果となった。上肢挙上の負担よりも下肢の負担を訴えたため、下肢のバランス筋である前頸骨筋等の計測の必要性がある。

7. 結 言

- 1) ビデオメーションから定植作業では長時間に亘る静的な筋作業を改善することが、定量評価の要点になること等を抽出した。また収穫作業は動きが多く、同一姿勢から生じる疲労感は少ないが、下葉切りやカゴの積み降ろし等、手数や工程数を減少すべき作業を抽出することができた。
- 2) 作業動線の検証では、観察だけでは捉えきれない複雑な慣行法の手順が把握できた。また動線の長さの概算値も算出し、慣行法の定植作業では254メートルとなり、収穫作業では306メートルを要していることが分かった。
- 3) コンピュータマネキンをを用いたシミュレーションによって、人間工学の観点から作業性を検討することができた。また、アイデア段階のモデルを三次元設計して検討を行い、想定する移動することなく作業台端で行う定植及び収穫作業について、作業台に対する定植及び収穫器具の設置位置によって、ネギの把持動作において腕協の角度が90度を越えて腕肩への負担が大きくなることなどが分かった。

- 4) 人間工学的対策の実験から、改良作業台は現状の作業台より、筋負担や重心動揺等の軽減が見られた。また、設計前段での実験により、本設計の際にデータの有効な活用が可能となることを確認した。
- 5) 今後の研究では、効率良く定植・収穫するための器具開発を進める。その中で、本年度蓄積したビデオメーション、作業動線検証、コンピュータマネキン検証、人間工学的検証データを活用する。また、器具開発のための試作品を用いて重心動揺や筋電位など、現地圃場での被験者による検証も進める計画である。

謝 辞

本研究の推進にあたり御協力頂きました、沖広農園の沖広修氏、共同研究を行った株式会社あべダンプの阿部亨専務取締役、高知大学農学部の北野雅治教授に深く感謝の意を表します。また、作業分析・人間工学検証に助言を賜りました広島文教女子大学の宇土博教授、ラピッドプロトタイプ試作に協力頂いた広島県立西部工業技術センター生産技術アカデミー河野洋輔研究員に深く感謝の意を表します。

文 献

- 1) 小林 恭：作業姿勢・動作の計測と評価，産業機械学会誌，60(4)，92 (1998)。
- 2) 宇土 博：福祉工学入門，ウド・エルゴ研究所，2003，第6章第4節 p.3-4。