

7 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2報) デザイン開発手法とデジタルヒューマンによる作業システムの開発

橋本晃司, 横山詔常, 越智資泰*, 坂本隆行*

The super low cost and high earnings facilities of
leafy vegetables with the low building house and the overall solution culture bed. (2nd Report)
Development of work system by design development method and digital human

HASHIMOTO Koji, YOKOYAMA Noritsune, Ochi Tomoyasu* and SAKAMOTO Takayuki*

In order to reduce the physical work load by the work system, we examined the carry method and work process by design development method, so that we developed the carry method with two lanes type waterway. Moreover, we simulated metabolic energy expenditure with digital human. As a result, the energy expenditure rate by one cycle of the harvest operation became 7.74kcal/min. This result was in the range of "heavy work" in the work strength index. For this reason, We examined the stock system that decreased the working flow lines of the cutting roots and the turning operation. As a result, working hours was almost the same in the stock system and a current method. However, it has been understood that the tiredness of the stock system is a little.

キーワード: デジタルヒューマン, エネルギー消費率シミュレーション, ストック方式

1 結 言

本研究は、ハウスの棟を低くすることによる施設費の40%削減や、施設の端のみで作業可能なことを活かしてハウス内の作業通路をなくして、全面を栽培ベッドにすることで、1.5倍の増収を目標とするものである¹⁾。

水耕ネギ栽培は、作業姿勢の問題や手数の多さから軽労化が望まれてきた。著者らは、トレイ栽培方式により作業手数の減少と、パネルを水面移動させて栽培ベッドの端で楽な姿勢で作業が行えるシステムを開発した。²⁾

このシステムを発展し、施設コスト低減と増収、軽労化を目指すのが本開発である。この研究において人間工学及びデザイン技術を導入し、作業の効率化と身体負担の軽減を目指す。本報では、デザイン開発手法とデジタルヒューマンのエネルギー消費率シミュレーションによって検討した、作業システムの開発について報告する。

2 運搬水路のデザイン開発

2.1 現況

前報では、模擬作業場を用いて作業台や倒伏防止ネットの高さといった定植・収穫環境に関する最適寸法を決

めた。本報では定植・収穫から運搬まで作業システム全体の検討を行った。

2.2 運搬方法案

現状の実験ハウスでは、栽培ベッドからネギの載ったトレイを引上げ(図1-(a)), 根切りを行い(図1-(b)), 右端地上面の回収カゴにネギを置いていく(図1-(c))。この右端地上面に水路を設置し、ネギを置いたカゴを浮かべ、集荷場所のある方向(図1-(d))へ順次流して運搬作業の効率化を図る。定植は逆の手順で水路に苗トレイの載った育苗箱を流し、これを受取って栽培ベッドに



図1 運搬方法案

*広島県立総合技術研究所農業技術センター

トレイを移していく。

2.3 デザイン開発手法

デザイン開発手法は調査、概念設計、案の視覚化によって設計上の課題を計画的に解決していく手法である。水路による運搬方法について、単水路式や2連水路式、2段棚式等の5案をデザイン開発手法により検討した。

この結果、パネルや育苗箱、空き箱等、水路上に多種の運搬物が混在することが分かった。これを解決するため2連水路式で、各々を分別して流せるよう設計した図2-(a)。また収穫後に生じる空きトレイや再利用地について移動式コンベアで回収する方法を提案した図2-(b)。

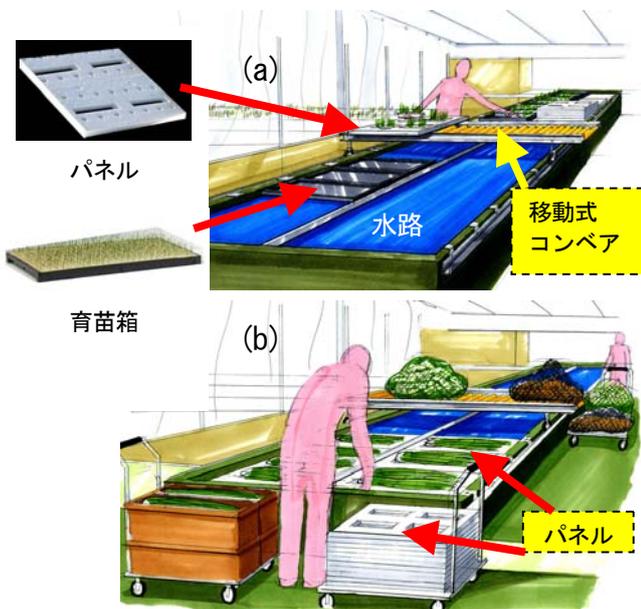


図2 デザイン開発手法による運搬水路の検討

3 エネルギー消費率シミュレーション

3.1 評価法

定植から収穫、運搬の連続動作において特に300回を超える振返り動作を課題と考え、栽培ベッドから運搬水路までの動作を、定植、収穫に分けてエネルギー消費率シミュレーションを行った。シミュレーションはデジタルヒューマン生成ソフトのJack(UGS PLM Solutions 製)を使用した。栽培ベッドや根切り器等を三次元CADのSolid works(Solid works 社製)で3Dモデル化してJack上に読み込み、仮想作業空間を構築した。

Jackではデジタルヒューマンモデルに、連続動作を模擬させ、この動作の1サイクルを構成する主な動作を「持ち上げ」、「荷下ろし」、「姿勢変化の少ない手先作業」等の10項目のカテゴリーに設定し、それぞれの動作継続時

間や作用力等を入力することで、エネルギー消費率(kcal/min)の算出が可能となっている。

このエネルギー消費率を、奥本らの手法³⁾を参考に表1に示す作業強度評価指標と照らし合わせることで、動作がどの程度の作業強度であるか評価した。

表1 作業強度評価指標(抜粋)

作業強度	エネルギー消費率(kcal/min)
作業強度が軽い作業	2.5~5.0
作業強度が並みの作業	5.0~7.5
作業強度が重い作業	7.5~10.0

3.2 シミュレーションのための動作分類

ビデオ記録した動作を作業種類別に分類し、Jackのシミュレーションに必要なカテゴリー、ディテール、回数、連続時間を入力した。このシミュレーションでは、栽培ベッドから運搬水路への振返りを含むパネル2枚分(トレイ8個分)の動作を対象の1サイクルとし、定植、収穫のそれぞれについて動作を分類した。定植動作の分類例を表2に示す。

表2 定植動作の分類例

作業写真	Jack	作業種類	カテゴリー	ディテール	回数	時間
		トレイを置く	姿勢変化の少ない上半身作業	片手軽作業	8回	26秒
		トレイの載ったパネルを運ぶ	上半身を主に用いる回転移動	180度回転する両手作業	2回	4秒
		トレイの載ったパネルをベッドに置く	姿勢変化の少ない上半身作業	比較的力のかかる両手作業	2回	2秒
		倒伏防止ネットを外す	姿勢変化の少ない上半身作業	両手軽作業	1回	2秒
		倒伏防止ネットを掛ける	姿勢変化の少ない上半身作業	両手軽作業	1回	1秒
		パネルを送出す	押し、引き動作	手先位置が腰付近の場合	1回	1秒
		反転して次の作業へ	荷物移動を伴わない歩行	なし	2回	4秒

3.3 定植動作のシミュレーション結果と考察

図3は1サイクルで行われる作業種類を連続的に示したもので、矢印線は作業の方向を示す。定植作業の平均

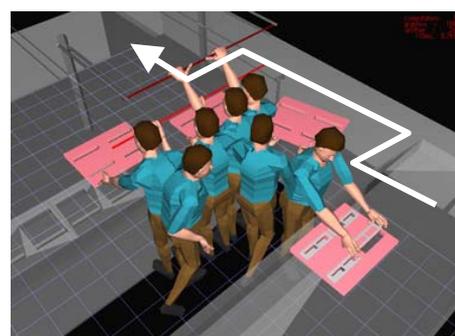


図3 定植動作のシミュレーション

エネルギー消費率は4.96kcal/minであり、作業強度指標によると「作業強度が軽い作業」の範囲であり、問題とされる程の作業負荷はないものと推定された。

3.4 収穫動作のシミュレーションと考察

図4は1サイクルで行われる作業種類を連続的に示したもので、矢印線は作業の方向を示す。収穫作業の平均エネルギー消費率は7.74kcal/minとなり、作業強度指標によると「作業強度が重い作業」の範囲であり、作業負荷が生じる可能性があるものと推定された。

特に合計8回に及ぶ根切り動作とこれに伴う振返り動作が高いエネルギー消費を示した。この動作の回数と時間を縮減することで、シミュレーション上の評価結果が「作業強度の軽い作業」になることが分かった。この結果から、根切り動作及び振返り動作の回数と時間を縮減する方法を検討した。

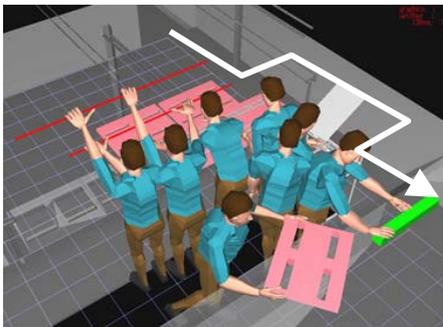


図4 収穫動作のシミュレーション

4 スtock方式の考案

現状の収穫作業は、図5に示すように栽培ベッドでネギの載ったトレイを引上げ、根切り器で根切りし、運搬水路にネギを置き、栽培ベッドへ戻る、という工程をトレイ1個ごとに行っている。この方法は作業動線が長く、振返り回数も多いために作業負荷を大きくしている。

これについての改善案を図6に示す。栽培ベッド上のネギの載ったトレイを連続して4個まで、根切り器の横に設けたストック場所に動線の短い動きで移し、その後、連続して根切りし、運搬水路に置いていく。この方法では運搬水路から栽培ベッドへ戻る大きな振返り動作は1回しか生じない。またトレイの個数に応じた大きな動作が減少し、動線の短い連続動作により時間と作業負荷が縮減される。この改善案を導入したストック方式について、実際の実験ハウスで試行評価した。

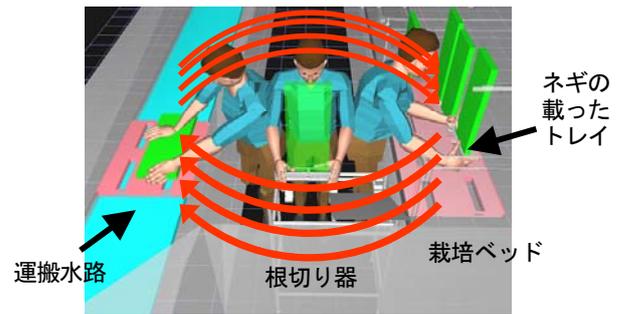


図5 現状の収穫動作

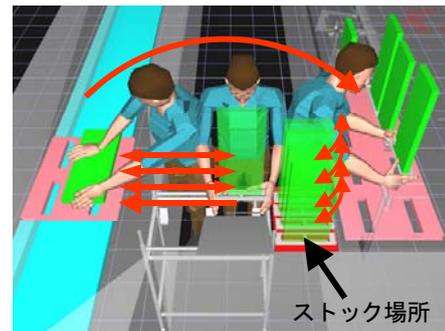


図6 改善案 (ストック方式)

5 スtock方式の試行と考察

5.1 調査内容

実験ハウスにてストック方式の試行評価を行った。作業者は栽培経験5年程度の男性研究員(42歳)とし、ストック方式から現状方式の順で、パネル50枚分の収穫作業を行い、作業時間とボルグスケールによる疲労感を調査した。図7のように、ストック方式では根切り器の側面に、ネギの載ったトレイをストックする場所を設けて作業した。



図7 スtock場所を設けた根切り器での作業

5.2 調査結果及び考察

作業全体の時間は、現状方式では1時間5秒、ストック方式では1時間1分35秒となり、ストック方式による改善効果は見られなかった。これは、ストック場所へネギの葉先を傷つけずに置こうとするといった、作業に慣

れていない点も原因として挙げられる。この点について、次の現地評価の際にはストック場所の改善と、被験者が十分に作業に慣れてから評価を行うようにする。

また、表3のようにトレイ4個分の作業時間について、両方式で処理時間の早い上位5回を抽出したところ、現状方式で平均35秒、ストック方式で34.4秒となった。ビデオ分析ではストック場所に一度トレイを置いた後、根切りの際に再度トレイを持ち直す動作が時間を要しており、この改善が必要である。

ボルグスケールによる調査では、現状方式について疲労の訴えが作業開始から15分で発生し、最大で2点の訴えがあった。ストック方式では40分まで訴えが発生せず、作業を通じて0.5点の訴えであった(表4)。

指標上の0.5点は「わずかに感じる程度」で、2点は「楽である」といった位置付けであるが、作業には0点は疲労を全く何も感じない状態として、最大を10点とし、疲労を感じるごとに加点するよう説明して調査を行った。このため、0.5~2点であっても身体に生じた明らかな疲労感として定義し、現状方式とストック方式での疲労の発生と推移を相対的に比較できるものとした。

この点について、作業への試行終了直後の聞き取り調査でも、ストック式の負担が少ないとの訴えがあり、得点の相対的な比較と作業者の疲労感は一貫していた。

表3 トレイ4個分での作業時間の比較

方法 \ 試行回	1回目	2回目	3回目	4回目	5回目	平均
現状方式	37秒	34秒	35秒	34秒	35秒	35秒
ストック方式	34秒	32秒	36秒	37秒	33秒	34.4秒

表4 ボルグスケールによる疲労感調査

【現状方式】							【ストック方式】						
分	部位	腕	腰	大腿	脛脛	全体	分	部位	腕	腰	大腿	脛脛	全体
0		0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0
5		0	0	0	0	0	5		0	0	0	0	0
10		0	0	0	0	0	10		0	0	0	0	0
15		0	0	0	0	0.5	15		0	0	0	0	0
20		0	0	0	0.5	0.5	20		0	0	0	0	0
25		0	0.2	0	0.5	0.5	25		0	0	0	0	0
30		0	1	0	0	1	30		0	0	0	0	0
35		0	1	0.5	0	1	35		0	0	0	0	0
40		0	1	0	0.5	1	40		0	0.5	0	0	0.5
45		0.5	1	0	0.5	1	45		0	0.5	0	0	0.5
50		0.5	2	0	0.5	1	50		0	0	0.5	0	0.5
55		0	1	1	0.5	1	55		0	0	0	0	0.5
60		0.5	1	0	0.5	1	60		0	0.5	0.5	0	0.5

得点と疲労感の指標

0: 全く何も感じない, 0.5: わずかに感じる程度, 1: かなり楽である
 2~3: 楽である, 4: ややきつい, 5~6: きつい, 7~8: かなりきつい
 9: 非常にきつい, 10: これ以上耐えられない

6 結 言

本報では、デザイン開発手法とデジタルヒューマンによるエネルギー消費率シミュレーションから検討し、作業システムの開発を行った。本研究の成果は以下のとおりである。

(1) 運搬水路の設計や作業手順について検討し、2連水路にすることで、育苗箱やパネル等を分別して流せるよう設計した。デザイン開発手法による案の視覚化によって、複雑な作業工程での問題点を目に見える形で抽出し、具体的に検討することができた。

(2) エネルギー消費率シミュレーションで、収穫作業は「作業強度が重い作業」の範囲となった。この結果から根切り動作とこれに伴う振返り動作の削減を検討し、ストック方式を提案した。デジタルヒューマンの活用により、運搬水路が現存しない段階においても作業工程や作業負荷、動線を具体的に検討することができた。

(3) スtock方式を試行し、現状方式と同等の作業時間であるが、疲労感が少ないことが分かった。

今後は時間に表われなかった、大きな振向き動作の回数減による作業動線の違いについて、モーショングラフにより定量評価する。またその削減による負荷軽減効果について、複数人の被験者による実験や、筋電位との相関から明らかにしていきたい。

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西部工業技術センター研究報告, 51 (2008), 45
- 2) 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
- 3) 奥本泰久他：バーチャルモデルと感性工学による溶接の作業性評価, 溶接学会論文集, 第21巻, 第2号 (2003), 236