

果樹栽培における除草・着果管理・防除作業の
労働負担軽減に資する機械・器具の開発

2023. 3

大西正洋

目次

第1章 序論	1
1.1 研究の背景	1
1.2 研究の目的	3
1.3 論文の構成	4
第2章 果樹栽培用機械および労働負担軽減技術の現状分析	6
2.1 緒言	6
2.2 果樹栽培における機械技術	6
2.2.1 果樹栽培における除草技術	
2.2.2 果樹栽培における着果管理技術	
2.2.3 果樹栽培における防除技術	
2.3 農作業における労働負担軽減技術と評価方法	14
2.3.1 機械導入による労働負担軽減	
2.3.2 作業姿勢改善による労働負担軽減	
2.3.3 農業機械の騒音低減	
2.4 課題	22
第3章 歩行型幹周草刈機の研究開発	24
3.1 緒言	24

3.2	試作歩行型草刈機の概要	25
3.2.1	試作歩行型草刈機の構造	
3.2.2	試作歩行型草刈機を用いた草刈作業方法	
3.3	試験方法	33
3.3.1	キャスト接地による転向操作力の低減効果	
3.3.2	オフセット式の適応可能条件の把握	
3.3.3	樹冠下草刈作業における作業時間および労働負担評価	
3.4	試験結果および考察	37
3.4.1	キャスト接地による転向操作力の低減効果	
3.4.2	オフセット式の適応可能条件の把握	
3.4.3	樹冠下草刈作業における作業時間および労働負担評価	
3.4.4	考察	
第4章	腕上げ作業補助器具の研究開発	52
4.1	緒言	52
4.2	腕上げ作業補助器具の概要	54
4.2.1	腕上げ作業補助器具の構造	
4.2.2	腕上げ作業補助器具の使用方法	
4.3	試験方法	57

4.3.1	腕上げ作業時の労働負担評価方法	
4.3.2	腕上げ負荷模擬試験	
4.3.3	補助器具使用効果評価試験	
4.4	試験結果および考察	63
4.4.1	腕上げ負荷模擬試験	
4.4.2	補助器具使用効果評価試験	
4.4.3	考察	
第5章	平棚栽培用防除機の研究開発	78
5.1	緒言	78
5.2	平棚栽培用防除機の概要	79
5.3	試験方法	81
5.3.1	付着性能評価試験方法	
5.3.2	騒音評価試験方法	
5.4	試験結果および考察	87
5.4.1	付着性能評価試験結果	
5.4.2	騒音評価試験結果	
5.4.3	考察	
第6章	結論	101

6.1 総括	101
--------	-----

6.2 今後の展望	112
-----------	-----

引用文献一覧	
--------	--

謝辞	
----	--

学 位 論 文 要 旨

果樹栽培における除草・着果管理・防除作業の労働負担軽減に資する
機械・器具の開発

Development of machineries and instruments to reduce labor burden
for mowing, management, pest control in fruit tree cultivation

大西 正洋

OHNISHI Masahiro

果樹栽培は、栽培管理や収穫の対象となる果実が平面ではなく三次元的に分布していること等から、他の農作物と比較して機械化が進んでいない。人手による果樹栽培の作業は能率が低いだけでなく、不自由な姿勢での長時間労働を強いられることもあり、労働負担が大きい。また、草生管理や防除のように機械が用いられる作業においても、作業姿勢や騒音等の労働負担が問題となっている。そこで、果樹栽培における機械技術の既往の研究開発事例と、農作業における労働負担軽減技術とその評価手法を概観し、労働負担軽減のために開発すべき果樹栽培用機械の課題を検討した。その結果、除草作業において、樹冠下幹周部分では、除草剤散布か刈払機による除草作業が一般的に行われており、楽な作業姿勢で草刈りができる草刈機の実現が望まれることを明らかにした。また、ブドウ栽培等の平棚果樹栽培での着果管理作業において、姿勢保持を支援する新しい農業機械の労働負担軽減効果を評価した研究は少ないため、上肢挙上を補助する器具の実現と、それを用いた場合の労働負担軽減効果の検証が必要であることを明らかにした。さらに、スピードスプレーヤは騒音が非常に大きいですが、キャビンの設置以外にスピードスプレーヤの基本構造を改造して、騒音低減を試みる研究は行われておらず、騒音を低減するスピードスプレーヤの実現が求められていることを明らかにした。これらの既往の研究事例調査から、果樹園での草刈作業、着果管理作業、防除作業に用いられる新たな機械を考案し、それらの労働負担軽減効果を評価することとした。

樹冠下幹周部分の草刈作業に適した歩行型草刈機の考案・試作と、その労働負担軽減効果の検証においては、歩行型の法面用草刈機をベース機として、樹

冠下幹周部分の草刈作業に適した構造の歩行型草刈機を2方式考案・試作し、リンゴ栽培ほ場の草刈作業において、刈払機との比較で省力化および労働負担軽減効果の検証を行った。その結果、作業能率が、法面用歩行型草刈機にキャストを付設したキャスト式草刈機は約4割向上、車体左右方向に揺動可能なオフセット草刈部を付設したオフセット式草刈機は約2倍に向上することを示した。また、心拍数増加率の測定により、刈払機による草刈作業では重作業に分類される事例も見られた一方、試作した草刈機による草刈作業はそれぞれ軽～中作業に分類されることを示し、樹冠下幹周部分の草刈作業において、労働負担軽減が図れることを明らかにした。

ブドウ等の平棚栽培果樹の着果管理作業に用いる腕上げ作業補助器具の考案・試作とその労働負担軽減効果の検証においては、作業者が肘を体の内側に寄せることで動力を使わずに任意の高さで腕を支えることができる腕上げ作業補助器具を考案・試作した。また、腕上げ作業における労働負担の評価手法の検討と、ブドウの着果管理作業における筋活動量の測定と作業者からの聞き取り調査を実施した。その結果、労働負担軽減の要望の高い摘粒作業においては、補助器具を装着することにより、三角筋や僧帽筋の%MVC値が補助器具を使用していない慣行作業の約30%から約80%低減し、聞き取り調査においても8人中7人の作業者から「楽になった」または「大変楽になった」との回答が得られ、袋掛け作業においても、補助器具を装着することにより、三角筋や僧帽筋の%MVC値が補助器具を使用していない慣行作業の約20%から約70%低減し、上肢挙上作業時の労働負担軽減が図れることを明らかにした。

平棚栽培果樹用のスピードスプレーヤの考案・試作とその騒音低減効果の検証においては、市販されているスピードスプレーヤの送風機吹き出し部上部に近接散布機構を搭載したスピードスプレーヤを試作し、付着性能と騒音低減効果の評価した。付着性能評価の結果、慣行のスピードスプレーヤより送風量を減らしても、ナシ園での散布における付着性能は同等であることを示した。スピードスプレーヤの騒音レベル測定試験では、騒音レベルに影響を及ぼす要因を把握するとともに、試作した平棚栽培用スピードスプレーヤは、常用機関回転速度が慣行のスピードスプレーヤと比較して低いことから、騒音レベルが慣行機と比較して4～9 dB(A)低いことと、85 dB(A)以上の面積は慣行スピードスプレーヤが53～211 m²であったのに対して試作機では0 m²であり、騒音レベルの高い面積が小さく、騒音低減効果が認められることを明らかにした。

以上のように、おい化栽培のリンゴ等の樹冠下幹周部分の草刈作業を効率的に行うための歩行型草刈機、平棚栽培のブドウ等の着果管理作業における上肢挙上を継続する姿勢を補助する腕上げ作業補助器具、平棚栽培の日本ナシ、ブドウ等において機関回転速度および送風量を減らしても慣行のスピードスプレーヤと同等の付着性能を有するスピードスプレーヤをそれぞれ考案・試作するとともに、草刈作業時と腕上げ作業時の労働負担評価手法、スピードスプレーヤの騒音レベルに影響を及ぼす要因を示し、考案したそれぞれの機構が果樹栽培の労働負担軽減に寄与することを明らかにした。

第1章

1.1 研究の背景

果樹栽培は、水稻や野菜等の農作物と異なり、収穫物が樹上にあるため、栽培管理や収穫の対象が平面ではなく、三次元的に分布している。また、樹種や品種、地域特性、栽培管理方法によって、栽植密度や枝管理の方法等が細かく異なっている。そのため、他の農作物と比較して機械化が進んでおらず、草生管理、防除、運搬等には機械が用いられることがあるものの、整枝・せん定、着果管理、収穫といった作業は、主に手作業で行われている。

機械を用いない人手による果樹栽培の作業は能率が低いだけでなく、不自由な姿勢での長時間労働を強いられることもあり、労働負担が大きい。また、草生管理や防除のように機械が用いられる作業においても、枝を避ける姿勢を強いられることや、大きな騒音にさらされること等、労働負担の大きい作業を行うことが必要となっている。

我が国の農業では、生産者の高齢化や労働力不足が深刻化しており、農業従事者の維持、新規就農者の増加を図るためには、労働生産性の向上を図るとともに、労働負担を軽減することが重要となっている。

水稻作等は、植付け、栽培管理、収穫といった主要な作業に乗用型の機械が導入されるようになって、主に人手で作業をしていた頃と比較して、単位面積

当たりの作業時間が低減するとともに、大幅に労働負担も低減している。果樹栽培においても、機械技術を用いた果樹栽培作業の労働負担軽減が求められている。

果樹栽培の各作業の中でも、草刈作業は必須の作業であるにもかかわらず、夏場の暑い時期に複数回行わなければならないこと、収穫物に直接関係のある作業ではないこと等から、労働負担軽減への要望が高い作業となっている。また、着果管理作業も果樹栽培全体の作業時間に占める割合が高く（農林水産省，2010）、作業適期が短いために、労働負担軽減の要望が高い。さらに、防除作業については、スピードスプレーヤが一般的に用いられる等、比較的機械化が進んでおり、省力的な作業が可能であるものの、年間の作業回数が多く、機械作業による騒音が問題となっている。

樹種については、日本の樹園地面積約 270,000 ha のうち、リンゴは 37,100 ha、ブドウは 17,800 ha、日本ナシは 11,000 ha を占め、それぞれ主要な農作物である（農林水産省，2020b）。草刈作業については、平棚栽培果樹や、樹列間等の開けている場所においては、大型の乗用草刈機や歩行型草刈機を使用することができるため比較的楽に作業ができるが、リンゴのわい化栽培等の列状に栽植する立木栽培果樹の樹冠下幹周部分は、大型の草刈機を使用することができない。また、着果管理作業について、リンゴ等の立木栽培果樹においては、

脚立や高所作業台車を用いて、作業者が無理なく作業できる姿勢で作業をすることができ、ブドウ等の平棚栽培果樹では、長時間腕を上げ続けた姿勢で作業することが必要となっている。さらに、防除作業について、早朝の風が少ない時間帯に作業を行うことが多いが、ナシやブドウ等では都市近郊での栽培も多く、住宅地における果樹栽培では、騒音が問題となっている。作業中の騒音については、機械を運転する作業者自身にも大きな労働負担となっている。

そのため、本研究においては、リンゴのわい化栽培における草刈作業、ブドウの着果管理作業、ナシおよびブドウの防除作業を対象とすることとした。

1.2 研究の目的

果樹園での草刈作業、着果管理作業、防除作業に用いられる新たな機械を開発するために、果樹栽培用機械の新たな機構を考案し、それらの労働負担軽減効果を明らかにする。具体的には、下記の機構の考案と労働負担軽減効果の検証を行い、労働負担軽減による果樹栽培への影響を考察する。

1) 果樹栽培における草刈作業の労働負担軽減を図るために、法面用の歩行型草刈機を改造して、樹冠下幹周部分の草刈作業を効率的に行うことができる草刈機を考案・試作する。試作した歩行型草刈機と、慣行で用いられている刈払機との労働負担比較を行い、新機構の作業特性を明らかにする。

2) 平棚栽培果樹における着果管理作業の労働負担軽減を図るために、作業中に安定して腕を支持できる腕上げ作業補助器具を考案・試作する。試作した腕上げ作業補助器具を用いて、栽培管理作業の模擬動作および実際のブドウ栽培において評価試験を行い、腕上げ作業補助器具の装着による労働負担軽減効果を明らかにする。

3) 平棚栽培におけるスピードスプレーヤを用いた防除作業において、ノズル管を棚面に近づけることによって、機関回転速度および送風量を減らしても慣行機と同等の付着性能を有する新機構のスピードスプレーヤの騒音特性を測定し、騒音低減効果を定量的に明らかにする。

1.3 論文の構成

本論文の構成を以下に示す。

第2章では、果樹栽培における機械技術の研究開発と、農作業における労働負担軽減技術と評価手法を概観し、労働負担軽減のために開発すべき果樹栽培用機械の課題を明らかにする。

第3章では、樹冠下幹周部分の草刈作業を容易にする新しい機構の歩行型草刈機の概要を示すとともに、作業時間、心拍数増加率、作業姿勢の評価を行い、考案した歩行型草刈機の有効性を論ずる。

第4章では、簡易な構造で安定して腕を支持できる新しい機構の腕上げ作業補助器具の概要を示す。また、腕上げ時の労働負担評価方法を提案するとともに、腕上げ作業の模擬動作および実際のブドウ栽培における腕、首の筋活動量を評価し、考案した腕上げ作業補助器具の有効性を論ずる。

第5章では、ノズル管を棚面に近づける新しい機構のスピードスプレーヤの概要を示すとともに、機関回転速度、運転状態ごとの騒音特性を示す。また、慣行のスピードスプレーヤとの比較で騒音低減効果を定量的に評価し、考案した平棚栽培用スピードスプレーヤの有効性を論ずる。

第6章では、果樹栽培用機械として本論文で提案した新機構による効果を総括し、本論文での提案技術の果樹栽培全体における影響について考察するとともに、今後の展望を示す。

第2章 果樹栽培用機械および労働負担軽減技術の現状分析

2.1 緒言

果樹栽培に用いられる農業機械としては、草刈機、防除機、運搬車等があり、一部の果樹生産者では、トラクタや高所作業台車も用いられている。機械化による果樹栽培作業の省力化、労働負担軽減は古くから求められており、一般的に果樹栽培に用いられている機械以外にも様々な機械開発が行われてきている。また、果樹栽培以外においても、農作業の労働負担評価や、労働負担を軽減する目的で機械の導入が図られ、それらの効果を把握するための研究も行われている。

本章では、果樹栽培における各作業の現状を整理するとともに、果樹栽培用として研究された機械技術を概観する。さらに、労働負担軽減のための技術とその評価方法を概観し、果樹栽培における労働負担軽減のために必要な技術的課題を明らかにする。

2.2 果樹栽培における機械技術

2.2.1 果樹栽培における除草技術

果樹栽培における地表面管理には、雑草等の下草を生やす「草生栽培」、地表を浅く耕す等して下草を生やさない「清耕栽培」、稲わらやフィルム等を敷き詰

めて地表面を被覆する「マルチ栽培」がある。我が国の果樹栽培においては、土壌侵食の防止や有機物の供給等の利点から草生栽培が主流であるが、果樹園内の草刈りを年間複数回行う等の除草作業が必要となっている。平坦地や緩傾斜地の果樹園では、樹列間等の比較的開けた場所は、乗用型や歩行型の草刈機を用いて除草作業が行われる。急傾斜地や樹冠下、樹や支柱の周囲等は、大型の草刈機を利用することができないため、除草剤の散布や、刈払機による草刈作業が行われており、多くの労力を要している。

果樹園での草刈作業に刈払機が導入され始めた 1960 年代には、鎌による人力での草刈作業と刈払機による草刈作業の作業能率や労働負担の評価が行われ、作業能率も労働負担も刈払機は人力作業より優れるが、労働強度の基準では刈払機による草刈作業は重労働に分類される（田中ら，1967）。

果樹園での草刈作業の更なる省力化を目的として、果樹園で使いやすい草刈機の研究も行われている。例えば傾斜地カンキツ園用の草刈機として、乗用型トラクタに直装して、耕作道から上方斜面および下方斜面の草刈りが可能な斜面畑用草刈機の開発も行われている（田中ら，1979）。また、乗用型トラクタにオフセットして前装する 2 軸ロータリカッタの幹周草刈機が提案されている（長木ら，1981）。さらに、肩掛式刈払機の作業姿勢や携帯重量を改善することにより労働負担を軽減する目的で、エンジン部に車輪の付いた架台を取り付け

た車輪式草刈機も開発されている。この車輪式草刈機の労働負担の評価は、階層分析法を適用して行われており、各評価項目の重要度を考慮した総合評価では、12 名中 11 名が肩掛式刈払機と比較して車輪式草刈機を作業感覚的に高く評価したとされている（宮崎ら，1999a；石束ら，2003）。

近年では、草刈作業の無人化のために、醸造用ブドウ園を対象として、樹の根元位置を検出するセンサ、樹を傷つけないために退避機能を備えた除草機構、GNSS による自動走行機能による除草支援ロボットの開発も行われている（鈴木ら，2014）。また、電線で囲われた区間内を自律走行するロボット芝刈機を果樹園に導入することも試みられている（Hossain et al., 2020；Hossain et al., 2021）。

これらのように果樹園の樹冠下幹周部分の草刈りにおいては、様々なアプローチでの研究が行われているが、樹種や地域によって栽植様式が異なる様々な条件の果樹園で汎用的に用いられる樹園地用草刈機はいまだになく、除草剤散布か刈払機による除草作業が一般的に行われている。

2.2.2 果樹栽培における着果管理技術

果樹栽培における着果管理作業には、授粉、摘蕾、摘花、摘果、袋掛け、摘葉等、様々な種類の作業がある。我が国の果樹栽培は生食用として生産してい

るものが主で、外観品質も重要視されていることから、収穫作業も含めて、果実を対象とする作業は、ほとんどが手作業で行われている。また、リンゴ、モモ等の立木栽培果樹では、高所での作業も必要となるため、脚立を用いて作業を行うことが一般的である。脚立を用いた作業は、脚立そのものの運搬や、脚立の上り下りによる労働負担も大きく、作業能率も低下する。一部の生産者は、脚立の代替として、高所作業台車を利用して作業を行っている。高所作業台車には、ブームの先端に設けられたゴンドラ状の作業台が昇降・回転できる「ブーム式」や、比較的大きな作業台が垂直に昇降する「デッキ式」があり、最大の床面高さが0.9 m～3.5 m程度のものがある。リンゴ栽培において、高所作業台車の利用と、高所作業台車利用のための樹形改造により、慣行作業と比較して摘果、葉摘み、収穫の作業能率が向上するとされている（菅原ら，2009）。また、カキ栽培においても、高所作業台車と樹形改造により、摘蕾、収穫の作業能率が、脚立を利用した慣行作業より向上するとされている（三輪ら，2013）。

各作業の省力化としては、棚栽培されているブドウの管理・収穫用ロボットの開発のために、マニピュレータ、収穫用ハンド部、視覚センサ、整房・摘粒ハンド、袋掛けエンドエフェクタ、スプレーエンドエフェクタを試作し、基礎実験によりロボットによる摘粒、袋掛け、収穫作業等の可否を検討する研究（近藤ら，1993；近藤ら，1994；門田ら，1994；Monta et al., 1995）や、リンゴ

の摘果用の3枚刃構造のハサミや、ナシの摘果ロボットの研究（太田，2014）が行われている。また，ブドウ栽培におけるジベレリン処理の労働負担軽減を目的とし，乾電池式噴霧機を使用したジベレリン処理機の試作とその効果を把握する研究も行われている（小椋ら，2015）。さらに，栽培管理や出荷計画策定等のために，自動走行車両とカメラ画像による果実検出により着果数や果実の状態を把握する研究も行われている（石山ら，2013）。

欧米でも果樹栽培における省力化のための機械化技術の研究開発の注目が高まっており，整枝せん定，摘果，収穫のための単純な機械による補助から完全自動まで，様々な段階での研究開発が行われている。ヨーロッパは，作業台車や機械によるせん定，摘果も生産者に導入される等，果樹栽培の機械化を先導しており，米国でも機械化に向けて樹形を単純化することが進められている（Zhang et al., 2016）。せん定作業の自動化のために，単純化した樹形のリンゴの樹を三次元的に認識する研究も行われている（Karkee et al., 2015）。欧米での醸造用ブドウ栽培においては，乗用型の収穫機が用いられることもあり，収穫物の品質や作業能率を向上させるための研究も行われている（Caprara et al., 2014）。また，リンゴの収穫作業の省力化のために振動収穫機や，収穫物の搬送機構を有する収穫支援作業台車，収穫ロボットの研究が行われており（Zhang et al., 2016），振動収穫機は一部の加工用リンゴの収穫に，また，収

穫支援作業台車は一部の生食用のリンゴ収穫に実用化されている。一方、欧米で加工用リンゴの収穫に用いられている振動式収穫機や、大型収穫箱とフォークリフトによる収穫物の搬送を我が国のリンゴ生産に適用した場合、障害果の発生が多いため実用的ではないとされ（福田ら，1975），我が国のリンゴ栽培では加工用途専用で栽培している生産者がほとんどいないこともあり，収穫機はほとんど導入されていない。また，収穫支援作業台車は機体サイズが大きいため，我が国の果樹生産への導入は困難となっている。

これらのように，着果管理作業においても機械化を図るための研究開発が行われているが，海外の加工用果実生産を除くと，作業対象が三次元的にばらつくということと，枝葉や支柱，ワイヤ等の障害物が存在することから，作業を補助する機械が一部の樹種の一部の作業で普及している状況にとどまっている。

2.2.3 果樹栽培における防除技術

果樹栽培における病虫害防除は，ほとんどが液剤の農薬の散布により行われている。果樹の種類によっては，年間十数回も薬剤散布作業を行うこともあり，大変な労力を要している。果樹栽培で用いられている防除機には，スプリンクラ，動力噴霧機，スピードスプレーヤ等がある。スプリンクラは散水器，園内

配管，送液ポンプとエンジンから構成され，比較的短時間で散布できるという特徴があるが，散布量が多くなることや散布ムラを生じやすいという課題もある。動力噴霧機は背負形，可搬形，定置形があり，それぞれ，作業者が手持ちノズルを用いて薬液の散布を行う。動力噴霧機は作業者がノズルを持って作業することから，非常に労働負担が大きい。スピードスプレーヤは噴霧ポンプとノズルで薬液を噴霧し，送風機によって薬液を高い枝葉まで飛ばすことで広範囲に薬液を散布することができる機械で，作業能率も高いことから，乗用型機械が走行できる園地であることが前提であるが，リンゴ，モモ，カキ，オウトウ，ナシ，ブドウ等の栽培において広く普及している。トラクタけん引式と自走式があるが，我が国では比較的小規模の果樹園や傾斜地果樹園が多いことから，自走式が用いられている。一般的なスピードスプレーヤは横に寝かせたおむね円筒形の機体の周囲に沿うようにノズルが配置されるが，欧米では我が国と比較して高濃度少量散布が一般的になっていることもあり，ノズルを垂直タワー型に配置したスプレーヤや，トンネル形状にしたスプレーヤも用いられている (Fox et al., 2008)。

スピードスプレーヤが我が国に普及し始めた 1950～60 年代には，各樹種での散布性能や，作業時間削減効果の調査が行われ，例えばリンゴの薬剤散布において，動力噴霧機では 88 h/10a であるのに対して，スピードスプレーヤを用

いると 18 h/10a となり，能率的に利用することで更なる省力化が可能とされている（日向，1965）。

スピードスプレーヤにおける農薬被ばく，騒音による健康障害防止のために，自走式スピードスプレーヤ用のキャビンを試作し，その作業環境を検討する研究も行われている（石川ら，1979）。また，スピードスプレーヤの散布性能を向上させるための研究も行われており，ノズルに環状誘導帯電電極を取り付けて静電散布の可能性を検討したが，印加電圧の有無にかかわらず貫通性が悪く，静電散布の特徴である裏面への回り込み付着も顕著でなかったとされている（松尾ら，1991）。送風機による薬剤の飛散や騒音の問題を解決するため，ノズルに回動機構を持たせた防除機（門田，1997）も開発されているが，普及していない。海外では，センサで散布対象の樹の大きさや枝葉の密度を測定し，各ノズルの開閉や送風量を制御することで均一な散布を行う防除機も研究されている（Stover, 2002 ; Solanelles et al., 2006 ; Pai et al., 2009）。

さらに，安全性の向上，作業環境の改善，省力化を図るため，誘導ケーブル式の無人防除機の開発も行われている（戸崎ら，1996 ; 戸崎ら，1997 ; 戸崎ら，1998）。一般的にスピードスプレーヤはガソリンまたはディーゼルエンジンを動力源としているが，低騒音かつ排気ガスを排出しない電動のスピードスプレーヤも開発され，市販化されている（秋山，2016）。しかし，無人防除機，電動

スピードスプレーヤも一般的な普及に至っていない。

このように、果樹栽培の防除作業においては、1960年代に自走式のスピードスプレーヤが開発され、性能を向上させるための研究が実施されているが、基本的な構造は大きく変わっていない。

2.3 農作業における労働負担軽減技術と評価方法

2.3.1 機械導入による労働負担軽減

農作業の労働負担軽減は常に大きな課題であり、以前から、フリッカー値やタッピング値（森泉ら，1973），自覚症状の聞き取り調査（塩谷ら，1980），エネルギー代謝率（R.M.R）（二塚ら，1983），加速度計（山岸ら，2002）等による農作業の労働負担評価が行われている。また，水田作業における心拍数の測定事例から，心拍数による労働負担の推定の有効性と問題点を検討する研究や（Herodian et al., 1995），農作業の機械化による労働負担軽減効果の評価を容易にするため，エネルギー代謝率と心拍数の関係から，心拍数による労働負担の評価検討が行われ，心拍数から農作業時の作業強度やエネルギー消費量が推定可能と判断されている（御手洗ら，1997）。さらに，比較的軽作業の精神的負荷の評価として，コマツナ収穫・結束作業中の作業者の唾液から生化学物質を定量分析し， α -アミラーゼ活性が作業に伴って有意に増加し，有効な指標となる

可能性が示唆されている（小泉ら，2013）。

果樹栽培における農業機械導入については，機械導入期における，人力噴霧機，動力噴霧機，定置式配管，スピードスプレーヤーでの防除作業時間，歩行型トラクタ，乗用トラクタでの中耕，草刈作業時間を調査し，防除および土壌管理作業の機械導入による労働時間削減効果が明らかにされている（佐藤，1968）。また，果樹栽培における栽培管理作業の労働負担軽減のために，モモの収穫作業において，機械作業に便利な樹形および作業台による作業と，従来の脚立による作業との作業能率の比較を行い，脚立よりも作業台の方が作業能率は高くなるという研究も行われている（佐藤ら，1974）。さらに，ナシの収穫作業において，コンテナを積める台車を試作し，肩掛けカゴとの作業能率および身体の疲労の比較（石田ら，1983）や，ブドウの摘粒作業において，三輪自転車，電動三輪車を農作業用に改造した車両を用いた作業と，慣行の立位による作業との疲労度の比較（中田，1992）が行われている。

傾斜地果樹園においても，簡易作業道を整備したカンキツ園を対象とした歩行型の風筒式防除機と肥料側方散布機を試作し，安静時および作業時の心拍数の分析と，作業姿勢の分析により手散布と機械散布の労働負担を評価し，機械導入による労働負担軽減効果を明らかにしている（宮崎ら，1999b）。また，急傾斜地カンキツ園において，簡易作業道を整備し，風筒式防除機，肥料側方散

布機，刈払機，背負式噴霧機，歩行型運搬車を用いた小型機械化体系を開発し，心拍数分析による慣行作業体系との労働負担の比較から，摘果およびせん定作業は両作業体系の間で同等で，園地改良による影響が少ないこと，施肥作業，草刈作業，除草剤散布作業，収穫作業においては，小型機械化体系の導入により労働負担軽減が図られることを明らかにしている（宮崎ら，1999c；宮崎ら，1999d）。さらに，樹幅の狭い主幹形のミカン栽培において，小型のクローラ型防除機，小型運搬車を試作し，心拍数により労働負担軽減効果を検証する研究も行われている（川崎ら，2017a；川崎ら，2017b）。

また近年では，作業者が装着するタイプのアシストスーツとよばれる作業補助器具の開発も行われている。農作業の持ち上げ動作支援のためのパワーアシストシステムの開発が行われ，筋活動量，酸素消費率とエネルギー消費量から労働負担軽減効果が検証されている（八木ら，2009；Sano et al.，2013；八木ら，2015；Hsu et al.，2019）。また，中腰や長時間腕を伸ばした作業，大根抜き等の腰と膝に力のいる作業の負担軽減を図る農業用パワーアシストスーツの開発も行われている（遠山，2010）。

労働負担を軽減することによる経済効果の試算も試みられている。傾斜地カンキツ園において各種管理用小型機械等を導入した場合の経済効果を，労働強度別の労賃水準を設定し，作業ごとの労賃により評価する研究も行われている

(関野ら, 1998)。労働強度別の労賃水準の設定は何らかの根拠に基づいた数値ではないため恣意性が残るとの指摘から、主観的評価値の時間当たり疲労度により作業時間を補正した質調整作業時間を用いて作業体系の評価を行うことも提案され、ネギの機械化作業体系の評価が試みられている(林ら, 2004)。しかし、これらの方法は、作業者の生理情報や主観的評価値としての労働負担を定量的な差として把握することが必要であり、作業者ごと、作業環境ごとにばらつきのある大きい農作業においては、新技術と慣行作業の労働負担の差の有無を評価することはできても、差の量を明確に特定することは困難であるため、合理的な経済効果の評価は困難となっている。

これらのように、農作業への機械導入の効果として様々な方法で労働負担の評価が行われ、機械の導入促進が図られている。

2.3.2 作業姿勢改善による労働負担軽減

農作業における労働負担は、作業を行うことによる体力的な疲労とともに、同じ姿勢での作業を続けることや、無理な姿勢での作業を強いられること等、作業姿勢による疲労も考慮することが必要である。これまでに、農作業の作業姿勢を評価した研究や、作業姿勢を改善するための技術開発のための研究が行われている。

例えば調査研究としては、農作業における前屈姿勢と腰痛の関係を調査した研究が行われている (Fathallah et al., 2008)。具体的な作業姿勢改善器具の研究としては、ハウレンソウセル成形苗を利用した電動型半自動移植機を試作し、OWAS 法を用いた作業姿勢分析により手植移植と機械移植の労働負担が評価されている (藤原ら, 2006)。また、立ち姿勢でアスパラガスを採取できる柄の長い電動式収穫ハサミを開発し、作業能率と作業姿勢を評価した研究が行われている (坂本ら, 2015)。さらに、乗用型トラクタのブレーキペダル位置によって運転者に与える負担が、筋電位計測、関節のトルク推定、主観的負担評価により定量的に評価されている (瀬尾ら, 2009)。

機械開発に限らず、栽培様式の改善による作業姿勢の評価も行われており、ナスの整枝法の違いによる作業姿勢および身体負担について調査し、慣行法よりも、防除効率を改善した音叉型整枝法では前傾姿勢が少なく、作業性にも優れていることが明らかにされている (前川ら, 2004)。また、イチゴ栽培における栽培面の高さによる作業姿勢の評価から、高設化による作業の負担軽減効果を把握する研究 (前川ら, 2000 ; 宮寄ら, 2004) や、トマトのハイワイヤー誘引栽培における作業者と誘引線の位置関係によって生じる筋力負担の差を、表面筋電位の測定によって検証し、適正作業位置の評価も行われている (黒崎ら, 2010)。

果樹栽培においては、ナシとリンゴの栽培従事者の健康状態と作業姿勢との関連について調査し、リンゴの作業時と比較して、ナシの作業時には上肢挙上、頸部後屈の作業姿勢の影響から、首、肩等の負担が大きく、作業姿勢の改善の必要性が示されている（榊原ら，1993）。また、モモ栽培において、側枝の高さ別に模擬摘果作業を実施し、心拍数や筋電位の変化を調査し、側枝の高さと作業負担の関係について検討し、筋電位や心拍数は作業負担の主観的評価と関係が認められることが明らかとなっている（志村ら，2006）。さらに、ブドウの着果管理作業において、作業姿勢分析と疲労度の聞き取り調査により、労働負担の程度と要因を分析する研究が行われ、頸部後屈と上肢挙上保持が大きな負荷となり、全身的な疲労や頸肩部の筋疲労を生じさせていることが明らかにされ（辻村ら，2011）、摘粒作業は常に腕を上げて同じ姿勢を続けていることから、様々な動きがあるせん定作業よりも疲労を感じていることが明らかにされている（Nwe et al., 2012）。

海外においても、リンゴの収穫作業における各動作を評価し、職業病につながる有害な姿勢となる動作とその割合を把握する研究（Earle-Richardson et al., 2004 ; Zhang et al., 2019a）や、収穫作業台車の試作を行い、慣行の脚立と収穫カゴを用いた作業、収穫作業台車のみを使用した作業、高所は収穫作業台車で低所は慣行作業を組み合わせた作業で作業姿勢を比較した研究（Zhang

et al., 2019b), 加工用ブドウの仕立て方法によるせん定作業中の作業姿勢を評価する研究 (Kato et al., 2006) が行われている。

これらのように、農業に特有の無理な姿勢を長時間強いられる作業の労働負担を軽減する目的で、様々な現状の調査研究や技術開発が行われているが、果樹栽培において、姿勢保持を支援する新しい農業機械を開発し、その労働負担軽減効果を評価した研究は少ない。

2.3.3 農業機械の騒音低減

農作業の労働負担軽減においては、作業環境の改善も重要である。農業機械を利用すると、それらの多くは騒音を発生させ、作業者に健康障害を及ぼす危険性がある。農業機械の代表的な例として、数種類の農業機械の騒音を測定するとともに、聴力が一時的に低下することを確認し、スピードスプレーヤ、コンバイン、フォレージハーベスタおよびエンシレイジカッタを用いる作業では、オペレータを保護する必要性が大きいと指摘されている (酒井ら, 1972)。また、乗用型トラクタ、歩行型トラクタ、コンバイン、スピードスプレーヤ、バインダ、ハーベスタ、歩行型動力モア、背負式刈払機の騒音分布とオペレータ耳元騒音を測定するとともに、機械作業後の一時的聴力損失の調査分析を行い、短時間の農業機械作業でも聴力レベル低下が認められることが明らかにされてい

る（御手洗ら，1998）。さらに，異なる機関出力のトラクタの振動と騒音レベルを比較評価した研究も行われている（Baesso et al., 2015）。

農業機械の騒音を低減するための研究も行われており，刈払機の騒音伝播指向性を調査し，騒音源の合理的な配置について考察されるとともに，聴力保護上の評価を行い，時間規制および聴力保護具の選定についても考察されている（李ら，1988）。また，乗用型トラクタにアクティブノイズコントロール技術を適用して，オペレータ耳元騒音を低減する研究が行われている（彭ら，1995；彭ら，1996）。さらに，自脱型コンバインにおいては，三次元音響インテンシティ計測システムを用いて騒音源探査および音の発生，伝播の状況をマップ表示により可視化し，遮音板により特定の部位における騒音を効果的に低減するという研究や（金ら，2004），実作業中の周囲騒音レベルを把握するとともに，音響パワーレベルのシミュレーション手法を適用して，外装カバー面積の増加やウレタンの貼付けによる遮音・吸音効果を予測する研究も行われている（岩寄ら，2005）。

果樹栽培用機械で代表的なスピードスプレーヤにおいては，送風機の改良を行い，付着性能が変わらず，騒音低減効果が得られたと報告されているが，今後，更に騒音を低減させるにはスピードスプレーヤ自体の基本設計に戻る必要があると指摘されている（大黒ら，1988）。しかし，キャビンを用いて作業者の

騒音被害を低減すること以外に、スピードスプレーヤの基本構造を改造して、騒音低減を試みる研究は行われていない。

2.4 課題

果樹栽培での草生管理作業においては、樹冠下幹周部分の除草の労働負担軽減が重要となっている。除草剤散布により樹冠下幹周部分の除草を行うことも一般的に行われているが、除草剤散布もノズルを持って腰をかがめる姿勢が必要であることや、農薬被ばくの問題もある。また、環境負荷低減のために全体的な農薬使用量を削減することも求められており、楽な作業姿勢で樹冠下幹周部分の草刈作業ができる草刈機の実現が望まれる。

一方、果樹栽培の着果管理作業においては、各作業の機械化が望まれるが、作業対象の配置と障害物の存在から、実用的な機械開発には、まだ長期間の技術開発が必要と考えられる。そのため、当面の労働負担軽減のために、作業者の作業姿勢を補助する器具の開発が望まれる。特に、ブドウ栽培等の平棚果樹栽培において、上肢挙上保持姿勢の労働負担は非常に大きいため、上肢挙上を補助する器具の実現と、それを用いた場合の労働負担軽減効果の検証が必要である。

また、果樹栽培の防除作業においては、平坦地や緩傾斜地ではスピードスプ

レーヤが普及しており、スピードスプレーヤを用いた防除作業は、乗用型機械であるため、体力的や作業姿勢的な労働負担は大きくない。しかし、大風量で薬液を遠くまで散布することが必要な機械であるため、騒音が非常に大きく、農業機械の中でも対策が必要な機械の一つであると考えられる。運転席にキャビン設けることで騒音から作業者を守ることもできるが、キャビン付きのスピードスプレーヤは一般的に非常に高価であることや、サイズや視野範囲から導入がはばかれることもある。そのため、慣行のスピードスプレーヤと同等の作業性で、慣行機より騒音を低減できるスピードスプレーヤの開発も必要と考えられる。

以上のことから、本研究では果樹栽培用機械として樹冠下幹周部分の草刈作業ができる草刈機、ブドウ栽培等の平棚果樹栽培における上肢挙上保持姿勢を補助する器具、騒音を低減できるスピードスプレーヤのための新たな機構を考案し、それらの労働負担軽減効果の評価を行うこととした。また、各樹種の栽培面積や、果樹栽培における各作業の所要時間と、本論文での提案技術の対象作業の所要時間から、本研究での提案技術の果樹栽培全体における影響を考察することとした。

第3章 歩行型幹周草刈機の研究開発

3.1 緒言

草刈作業は大きな労力が必要な作業であり，省力化，労働負担軽減が求められている。草刈機も用途ごとに，刈払機，手押し式草刈機，歩行型草刈機，トラクタ用草刈機，乗用型草刈機等様々な構造や性能の草刈機がある（小川，1996）。樹園地でも草生栽培が主流であるため（鈴木，1992；福田，2000），春季から夏季にかけては草刈作業が必要となる。樹園地においては，樹列間等の通路部分は比較的草刈作業を行いやすいが，樹冠下幹周部分は樹木の枝が障害となり作業空間が狭いため，大型の草刈機を利用した効率的な草刈作業は困難である。そのため，樹冠下幹周部分の草生管理は，除草剤を使用することが多いが，除草剤は草生の生育量を著しく減らすため，地力維持のため堆肥を余分に施さなければならず，農家によっては刈払機を使って樹冠下幹周部分の草刈作業を行っている（福田，2000）。刈払機による草刈作業は，能率が低いことや腰を曲げる等の姿勢を強いられることから，省力化および労働負担の軽減が求められている。

樹冠下幹周部分の草刈作業の高能率化を目的に，トラクタ用の幹周草刈機も開発されているが（長木ら，1981），リンゴ栽培等ではトラクタを使わないところも多く（福田，2000），普及していない。レバー操作で刈刃部を横にスライド

できる歩行型草刈機や、車体から側方にオフセットした位置にも草刈部を備えるオフセット式の乗用型草刈機も市販されているが(金光, 2004; 中村, 2017), 特にリンゴのわい化栽培等の列状に栽植する立木栽培果樹では、側枝が比較的低い位置に張り出していることが多く、草刈部を幹際まで近づけようとすると枝に作業者が干渉し、幹周部分までの草刈作業は困難である。

近年、法面用の草刈機として、草刈機本体から離れた位置で操作できるように、左右上下に回動させることができる 1.5~2.0 m 程度の長さのハンドルを備える歩行型の草刈機が普及している。本機は 4 輪駆動で、ステアリング機構のような車体を左右に転向させる機能がないため、方向転換はハンドルを力で押したり引いたりして車体そのものの向きを変える必要がある(林ら, 2008)。

そこで、樹冠下幹周部分の草刈作業の省力化および労働負担軽減を目的として、法面用の草刈機を改造した樹園地用の歩行型草刈機を考案・試作するとともに、リンゴ栽培園において樹冠下幹周部分の草刈作業を行い、作業能率、草刈精度と労働負担を、慣行作業で用いられている刈払機と比較評価し、新機構の作業特性を明らかにした。

3.2 試作歩行型草刈機の概要

3.2.1 試作歩行型草刈機の構造

歩行型の法面用草刈機に幹周部分の草刈作業が容易にできる機構を付加することで、張り出した枝の外側からでも容易に樹冠下幹周部分の草刈作業ができるようになると考えられる。幹周部分の草刈作業が容易にできる機構を開発するため、市販の歩行型法面用草刈機を改造して、転向操作を容易に行えるようにしたキャスタ式、樹列に沿ってほぼ直線状に自走させるだけで樹と樹の間の部分も草刈りできるようにしたオフセット式の2方式の樹園地用歩行型草刈機を試作し、性能評価を行った。

両方式のベースとした歩行型法面用草刈機（クボタ製 GC-K300D、以下ベース機）は、草刈機本体から離れた位置で操作ができるように、上下左右に動かすことができる長さ 1.5 m の操作ハンドルを備えているロータリ式の草刈機である（表 3-1）。切断刃は、円板状基部の外周 2 か所に回転自在に支持された同方向に回転する上下一対の刈刃が水平方向に高速回転する。刈幅は 300 mm である。走行部と草刈部の動力はエンジンからミッション部を介して伝えられている。走行部は 4 輪駆動で、変速段数は前・後進各 1 段、走行速度 0.38 m/s、操作ハンドルで前・後進と停止の切替が可能である。車体に対する車輪の角度は全ての車輪ともに固定されている。

(1) キャスタ式の構造

キャスタ式はベース機の進行方向一方の車体端部の左右方向中心に直径 200

mm の 360 度自在旋回キャスタ 1 輪を付加した歩行型草刈機である（図 3-1，表 3-1）。キャスタは，ロックレバーを引いてロックを解除した状態でキャスタユニットを車軸と平行な軸芯周りに回転させることで接地・非接地の切替が可能である。キャスタを支持しているボルトに取り付けたナットを回すことで，車体の駆動輪 4 輪の下端からなる接地平面に対してキャスタ下端部が-10 mm～-63 mm となる範囲で接地時の高さも調整できる。キャスタを接地させると，キャスタ 1 輪とキャスタを付加した車体端部の進行方向他方側の駆動輪 2 輪の合計 3 輪が接地する状態となり，軽い力で車体の方向を変更できる。また，ベース機から作業速度を向上させるとともに，幹周部分の細かい転向操作が必要な場所の作業時や，操作に不慣れな作業者の作業時には低速で作業することを目的にミッション部も改造し，変速段数は前・後進各 2 段，走行速度 0.44 m/s，0.33 m/s としている。操作ハンドルはベース機と同様の長さ 1.5 m，関節 1 か所のものと，長さを 2.0 m，関節 2 か所のものを試作し，試験場所によって使い分けた。

(2) オフセット式の構造

オフセット式はベース機に，進行方向と交差する横方向に車輪の外側まで延出したオフセット草刈部を付加した歩行型草刈機である（図 3-2，表 3-1）。オフセット草刈部は，車体から上下方向の縦軸芯周りに揺動できるように支持さ

れたフレームに固定されており，車体の横外側方向にバネで付勢されている。

オフセット草刈部が樹の幹等の障害物にぶつかると，ガイドバーに沿ってオフセット草刈部が車体側に避けて，通り過ぎるとバネによって自動で定位置の状態に戻る機能を有している（図 3-3）。

幹等の障害物の抵抗で揺動し，刈るべき草の抵抗だけで容易に揺動しないようにする必要があるため，オフセット草刈部の揺動に要する荷重は 75 N としたところ，作業対象としたリンゴの幹にガイドバーが接触しても，視認できる損傷は与えず，オフセット草刈部が揺動することを確認した。障害物のない場所で草刈作業を行う場合，密集した草の抵抗でオフセット草刈部が揺動して刈幅が狭くなることを防ぐために，操作ハンドルに設けたレバーでオフセット草刈部の揺動をロックすることもできる。

オフセット草刈部はベース機の草刈部と同様に，円板状基部の外周 2 か所に回転自在に支持された上下一対の刈刃が水平方向に高速回転するロータリ式である。オフセット草刈部の刈幅は 210 mm であり，両草刈部間にオーバーラップがないと，少しでも斜め方向に走行するだけで刈残しが発生するため，車両中央の草刈部とオフセット草刈部は刈幅方向に 50 mm のオーバーラップを設けており，総刈幅としては 460 mm である。

オフセット式もキャスタ式と同様にミッション部を改造し，変速段数は前・

後進各 2 段，走行速度 0.41 m/s，0.31 m/s としている。また，操作ハンドルもキャスト式と同様に 2 タイプ試作した。

初期の試作機では，オフセット草刈部の開口部において，危険源である回転刃から外側のガードまでの距離が確保できていないといった，安全性の課題があったため，カバーやガイドバーの形状を改良して試験を実施した。

表 3-1 ベース機および試作歩行型草刈機の主要諸元

		ベース機	キャスト式	オフセット式
機体質量		26kg	27kg	45kg
操作ハンドルを 除く機体寸法	幅	430mm	430mm	560mm
	長さ	700mm	880mm	1140mm
	高さ	410mm	410mm	450mm
操作ハンドル	機体中心 からの長さ	約 1.5m	約 1.5m or 約 2.0m	
	可動範囲	上下 45° 左右 202°		
	関節数	1	1 or 2	
エンジン	種類	2 サイクルガソリンエンジン		
	燃料	オイル混合ガソリン		
	出力	1.0kW	1.7kW	
	排気量	25.4ml	47.1ml	
刈幅		300mm	300mm + 210mm 総刈幅約 460mm	
作業速度		0.38m/s (前・後進 1 段変速)	0.44m/s, 0.33m/s (前・後進 2 段変速)	0.41m/s, 0.31m/s (前・後進 2 段変速)

*キャスト式及びオフセット式はリンゴわい化栽培園（成木園・若木園）では 2.0m・2 関節の操作ハンドル，リンゴ新しい化栽培園では 1.5m・1 関節の操作ハンドルを使用した

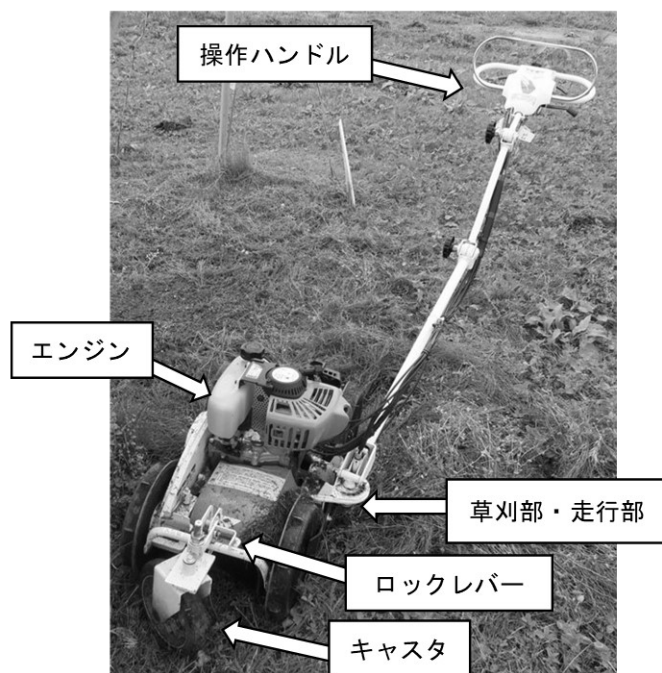


図 3-1 キャスタ式の外観

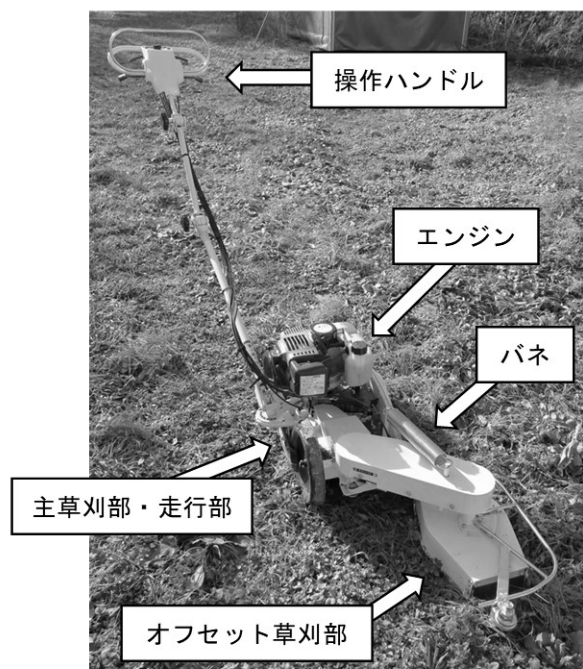


図 3-2 オフセット式の外観

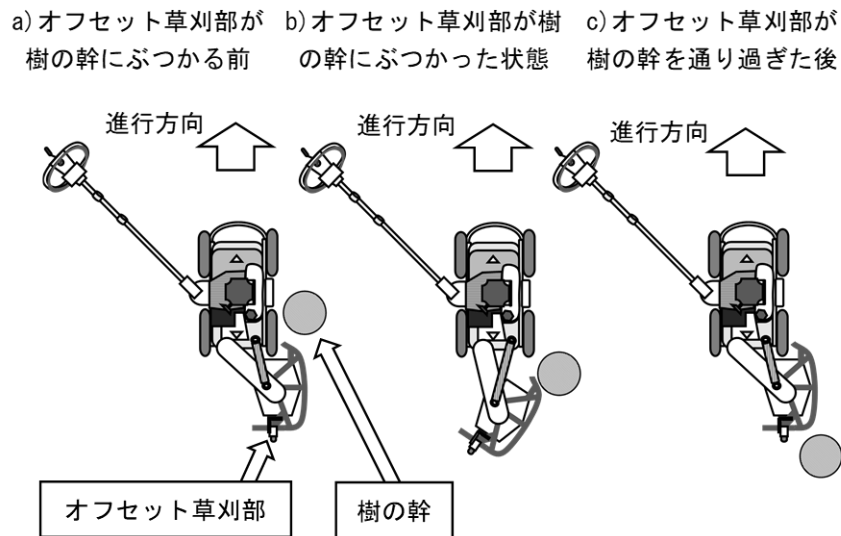


図 3-3 オフセット草刈部の動作

3.2.2 試作歩行型草刈機を用いた草刈作業方法

キャスタ式，オフセット式ともに操作ハンドルのスロットルレバーを握り，前後進切替レバーを操作することで任意の方向に自走させることができる。操作ハンドル位置は作業中でも上下左右に角度を変更することができ，上下位置は作業者の腰の高さを基本として，枝が干渉する場合に下方向に下げる。キャスタ式における操作ハンドルの左右位置は，車体進行方向に対して斜めの位置では樹体の周囲を迂回するときにハンドル部分が樹に近づき過ぎるため，進行方向に対して直交する位置を基本とする。一方，オフセット式における操作ハンドルの左右位置は，直交する位置から 30 度程度進行方向前側へ動かした位置を基本とすると重心バランスが良くなり，走行が安定する。

キャスト式，オフセット式ともに，直線経路上に障害物がない場合は直進により草刈作業を行う。樹列近傍のエリアの草刈作業を行う場合は，キャスト式は樹列に沿ってスラロームを描くように転向させながら草刈作業を行い，必要に応じて前後進切替を行いながら幹周部分の草刈作業を行う。オフセット式は主幹の外周直近をオフセット草刈部側車輪の外側が通るように樹列に沿って直進し，ほ場端まで作業が終わると反対側を同様に直進で草刈作業を行う（図 3-4）。



図 3-4 オフセット式を利用した幹周部分の草刈作業

3.3 試験方法

3.3.1 キャスタ接地による転向操作力の低減効果

ベース機は前述のとおり、車体に対する車輪の角度は全ての車輪ともに固定されており、また、進行方向と交差する横方向に操作ハンドルを位置させて作業を行うため、車輪の操舵や、前輪または後輪を浮かせて転向操作を行うことができず、操作ハンドルに左右方向の荷重をかけることで車体の転向を行う。

歩行型草刈機におけるハンドル長さとキャスタ接地有無による転向に要する操作力を比較するため、リンゴ栽培園の枕地部分の土壌表面に設置した模擬主幹（カラーコーン）の周囲を図 3-5 のように転向しながら走行させ、操作ハンドルのグリップ部分に取り付けたひずみゲージにより、操作ハンドルにかかる左右方向の荷重を測定した。走行開始位置から走行終了位置までの間に測定した左右両手の荷重の合力の平均値を転向に要する操作力として比較した。

供試機はベース機、操作ハンドル長さ 2.0 m のキャスタ式とし、キャスタ式はキャスタの非接地状態および接地状態で試験を行った。試験は各供試機 9 反復、キャスタ接地状態のみキャスタを前側にした状態で 9 反復、後側にした状態で 9 反復の合計 18 反復行った。

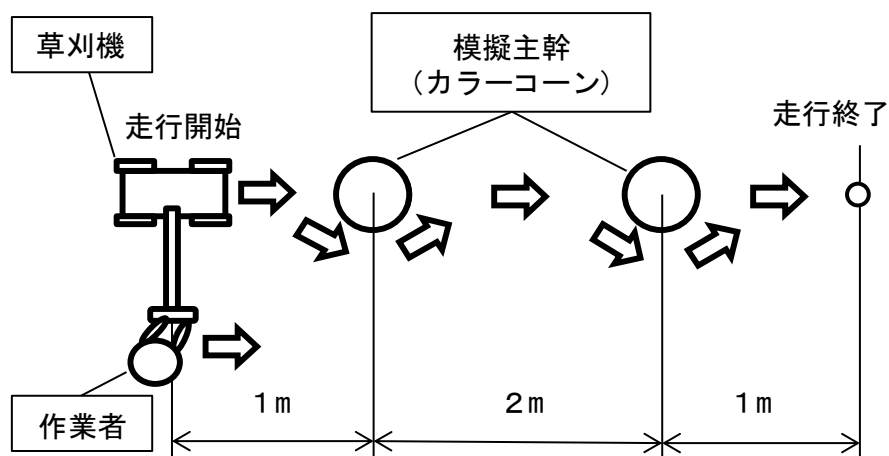


図 3-5 転向操作力測定方法

3.3.2 オフセット式の適応可能条件の把握

オフセット式はバネで付勢したオフセット草刈部を樹幹に押し当てながら草刈作業を行うことを基本としており、ある程度以上に生長した樹体でないと、オフセット部分を押し当てることで樹体に損傷を与える懸念がある。そこで、オフセット式の適応可能条件を把握するため、無負荷時と、75 N（オフセット部揺動時の最大荷重）でリンゴ樹の地上 160 mm（オフセット草刈部のガイドバー地上高）の部位を引っ張った時の、引っ張った高さ位置での幹の水平方向変位を、基準位置からの距離の差から測定した。測定対象樹は長野県果樹試験場内の定植 2 年目、3 年目、4 年目のリンゴ樹（シナノホッペ、秋映）とした。

3.3.3 樹冠下草刈作業における作業時間および労働負担評価

岩手県農業研究センター内リンゴわい化栽培園（若木園および成木園）、長野県果樹試験場内リンゴ新わい化栽培園（表 3-2）において、樹冠下幹周部分の草刈作業を行い、作業能率、草刈精度、労働負担を評価した。リンゴのわい化栽培は、樹高が低くコンパクトな樹を密植し早期高収入を得ることを目的とした栽培方法である（小原，2000）。しかし、樹齢が進むことで目標樹高を上回る大きさとなり、品質低下や省力化に反する園地が見られるようになったことから、主幹を切り下げて横方向に枝を伸ばす低樹高化の取組が進んでおり（小原，2000）、試験を行ったわい化栽培園も下部側枝を長大化させた低樹高仕立てである。一方、新わい化栽培は、従来のわい化栽培より更に樹体を小型にすることで栽植密度を高くする栽培方法であり、樹幅は 2m 程度を目標としている（玉井，2015）。

草刈作業試験の対象範囲は、樹列間通路部分を乗用草刈機で作業者に枝が干渉せずに作業できる範囲内で刈り取った後に刈り残された樹冠下幹周部分とし、作業能率、草刈精度、労働負担の評価を行った（以下、作業幅不定試験とする）。

表 3-2 評価試験の供試樹条件

対象樹園	リンゴわい化 栽培成木園	リンゴわい化 栽培若木園	リンゴ新わい化 栽培成木園
場所	岩手農研セ内	岩手農研セ内	長野果樹試内
作業幅不定試験の 試験対象範囲 (1試験区当たり)	幅平均 1.5m × 距離 34～38m	幅平均 1.7m × 距離 20～41m	幅平均 2.1m × 距離 12～26m
作業幅一定試験の 試験対象範囲 (1試験区当たり)	—	幅平均 1.7m × 距離 41m	幅平均 1.7m × 距離 24m
樹齢(定植後)	10～12 年程度	4～5 年程度	7～15 年程度
樹列間	5m	5m	4m
栽植距離	5m	5m	1.5～2m
下枝通路方向 長さ平均値	1.6m	1.1m	1.0m
雑草草丈平均値	18cm	25cm	14cm
備考	各樹の直近および 樹と樹の中心に支柱あり		支柱は樹列端と 20m 間隔に中 柱あり

草刈作業には刈払機（機関総排気量 25.4 ml，刈刃径 255 mm），ベース機と，試作歩行型草刈機のキャスト式，オフセット式を供試した。1 樹列の樹冠下幹周部分を 1 試験区として，各栽培園において，刈払機は 12～16 反復，ベース機は 8～12 反復，キャスト式およびオフセット式は 8～10 反復行った。

また，あらかじめ決めた幅の樹冠下幹周部分（作業幅約 1.7 m：キャスト式の刈幅のおおむね 6 倍，オフセット式の刈幅のおおむね 4 倍）においても作業能率の評価を行った（以下，作業幅一定試験とする）。作業幅一定試験は，わい化栽培成木園および新わい化栽培成木園で刈払機，キャスト式，オフセット式を供試して各 6 反復行った。

作業能率は1試験当たりの作業時間と平均作業幅、作業距離から草刈作業面積当たりの作業時間を算出して評価した。草刈精度は刈り高さの測定と、樹の周囲4方向の刈り残し距離から楕円近似して求めた刈り残し面積により評価した。また、労働負担は、果樹園での刈払機による草刈作業は重労働に分類される(田中ら, 1967)という過去の研究結果から、安静時心拍数と作業時心拍数を心拍計(ポラール製 RS800CX)で測定し、心拍数増加率を算出するとともに(石川ら, 2002)、刈払機による草刈作業は、枝をよける無理な姿勢を強いられることから、各作業をビデオカメラで撮影し、撮影動画から5秒ごとに抽出した静止画から作業姿勢をOWAS法により評価した(石川ら, 2002)。OWAS法の評価には、農研機構が開発したOWAS法解析サポートソフトウェア(建石ら, 2007)を用いた。また、作業者に主観的な労働負担について聞き取りを行った。各評価指標のデータ解析には、農林水産研究情報総合センター科学技術計算システムのSAS Add-In for Microsoft Officeを用いた。

3.4 試験結果および考察

3.4.1 キャスタ接地による転向操作力の低減効果

ベース機および操作ハンドル長さ2.0 mのキャスタ非接地状態では、転向動作中に力をかけ続ける必要があったが、操作ハンドル長さ2.0 mのキャスタ接

地状態では、自在旋回キャストにより比較的小さい力で機体が転向を始めるため、力をかけ続ける時間がキャスト非接地状態と比較して短い傾向が見られた（図 3-6）。転向動作に要する操作力はベース機で平均 20 N、操作ハンドル長さ 2.0 m のキャスト非接地状態で 18 N、操作ハンドル長さ 2.0 m のキャスト接地状態で 12 N であり、キャストを接地させることによって転向動作中の平均操作力を約 3 割低減できた（図 3-7）。

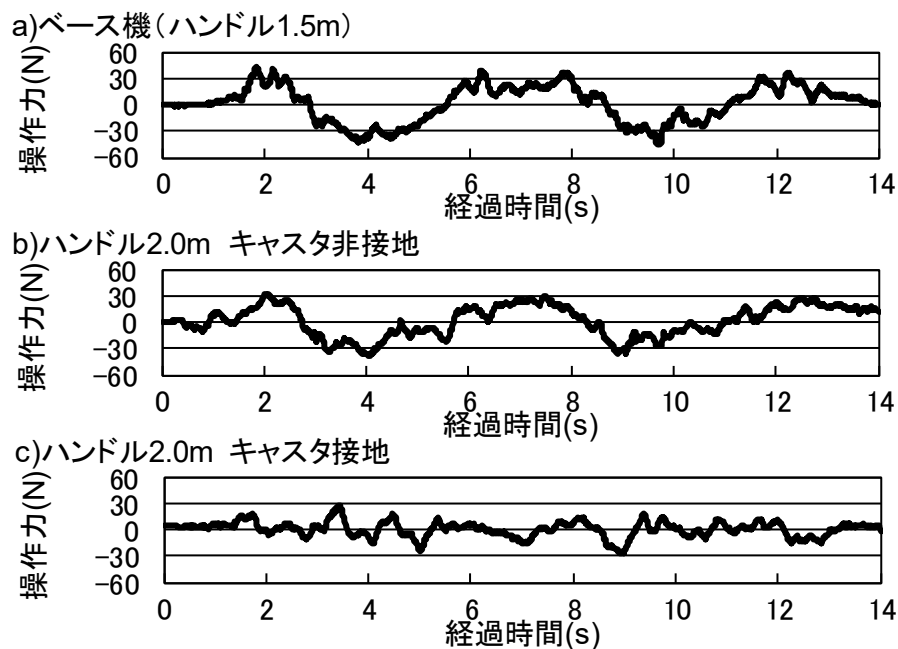
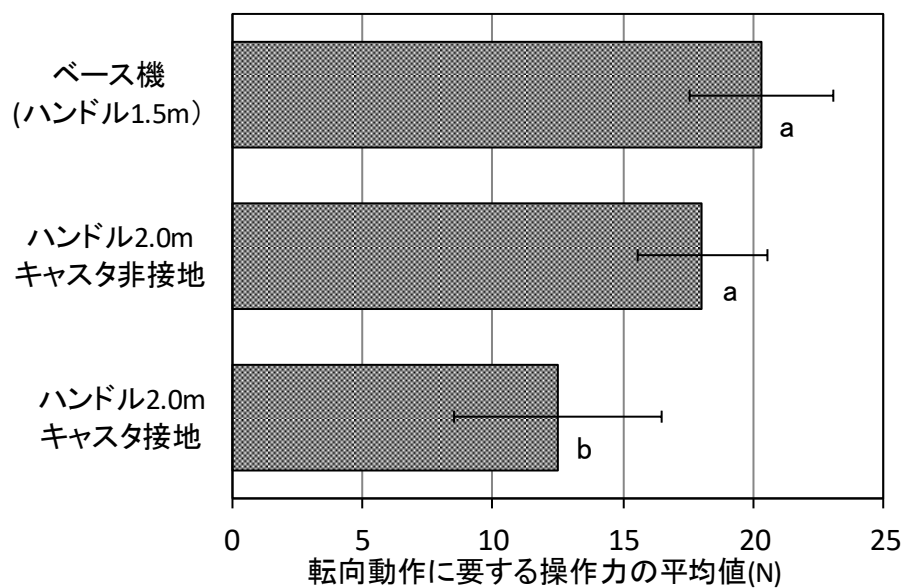


図 3-6 転向操作力測定結果例



注) エラーバーは標準偏差を示す。異なる文字間には Tukey-Kramer の多重検定により危険率 5%で有意差あり

図 3-7 転向操作力の比較

3.4.2 オフセット式の適応可能条件の把握

リンゴ樹の幹直径（接ぎ木部の上方 20 cm 位置での直径）は定植 2 年目のリンゴ樹で 17～20 mm，定植 3 年目のリンゴ樹で 24～32 mm，定植 4 年目のリンゴ樹で 26～34 mm であった。75 N でリンゴ樹の地上 160 mm の部位を引っ張った時の幹の変位は，定植 2 年目のリンゴ樹で 18 mm に達し，樹体への障害が懸念される事例があったのに対して，定植 3 年目，4 年目のリンゴ樹ではほぼ 5 mm 未満であり，荷重を解放すると元の位置にすぐに戻ったことから，定植 3 年目以降で幹直径がおおむね 25 mm 以上の樹であれば，オフセット部を押し当て

でも樹体へ影響を及ぼすような障害を与えないと考えられた（図 3-8）。定植 1 年目の更に細い樹においては，ガイドバー接触荷重による樹体への障害が定植 2 年目のリンゴ樹より懸念され，定植 5 年目以降の更に太い樹においては，ガイドバー接触荷重に対する影響が定植 3 年目，4 年目のリンゴ樹より小さいと考えられるため幹の変位測定を行わなかった。

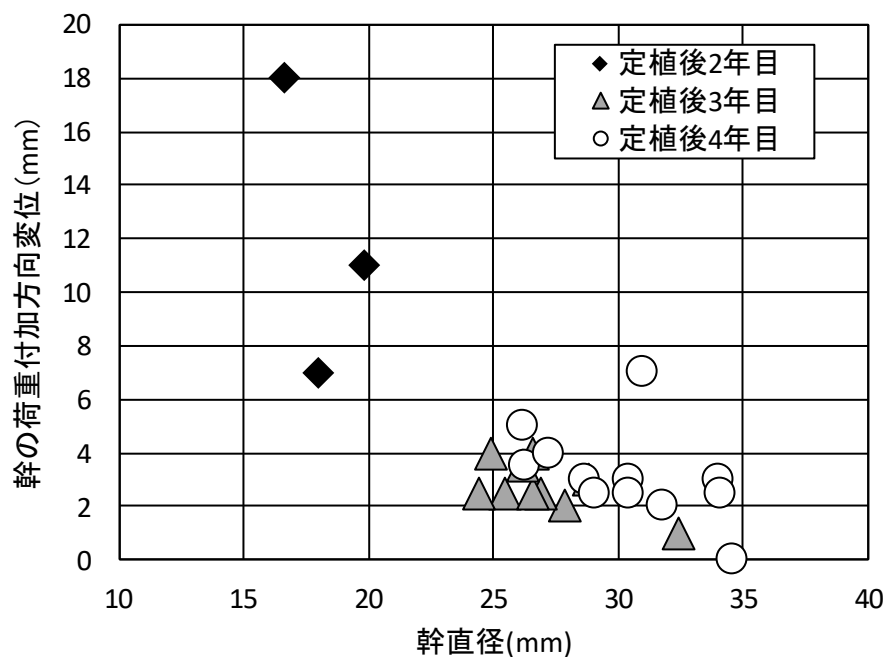


図 3-8 リンゴ樹主幹の荷重負荷時の変位

3.4.3 樹冠下草刈作業における作業時間および労働負担評価

(1) 作業能率

図 3-9 に作業幅不定試験における草刈面積当たりの作業時間（以下，作業時

間とする)を、図 3-10 に作業幅一定試験における作業時間を示す。作業幅不定試験における作業時間は、対象樹園間では有意な差が見られなかったが、供試機間で有意な差が見られた(二元配置分散分析：対象樹園 $p=0.70$ ，供試機 $p=0.00$)。各対象樹園内の作業時間の平均値は刈払機が $15.0\sim18.4\text{ s/m}^2$ ，ベース機が $15.4\sim17.6\text{ s/m}^2$ ，キャスト式が $11.5\sim14.9\text{ s/m}^2$ ，オフセット式が $8.5\sim10.6\text{ s/m}^2$ であった。刈払機とベース機の作業時間は新わい化栽培成木園以外で同等であった。ベース機と比較してオフセット式は、各対象樹園ともに作業時間が短くなった。これは、転向操作や前後進の繰り返し回数が少なくなったことと、総刈幅が大きくなったこと、作業速度が速くなったことによるものである。

また、作業幅一定試験における作業時間も、作業幅不定試験と同様に対象樹園間では有意な差が見られなかったが、供試機間で有意な差が見られた(二元配置分散分析：対象樹園 $p=0.43$ ，供試機 $p=0.00$)。各対象樹園内の作業時間の平均値は刈払機が $13.5\sim14.0\text{ s/m}^2$ ，キャスト式が $9.4\sim9.9\text{ s/m}^2$ ，オフセット式が $6.5\sim7.0\text{ s/m}^2$ であった。作業幅一定試験においては、わい化栽培成木園，新わい化栽培成木園ともに、刈払機よりキャスト式，キャスト式よりオフセット式の作業時間が短く，刈払機との比較でキャスト式は約 4 割，オフセット式は約 2 倍作業能率が向上した。作業幅不定試験においては，通路部分の草刈作

業後に残された幹周部分の作業幅によって、草刈作業に要する往復回数が異なり、歩行型草刈機の草刈幅の整数倍でなければ、草刈りを行わずに走行する部分が含まれ、作業能率の低減につながる。一方、作業幅一定試験では、キャスタ式、オフセット式の刈幅のほぼ整数倍の範囲で草刈作業を行ったため、効率的に作業が行えたと考えられ、作業時間の標準偏差も作業幅不定試験と比較して小さかった。

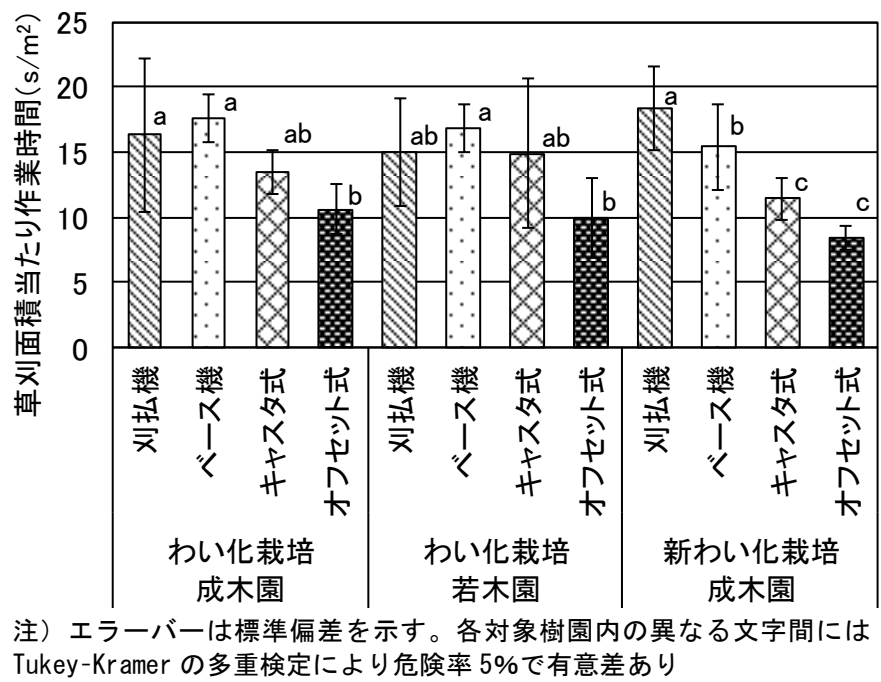


図 3-9 作業幅不定試験における作業時間

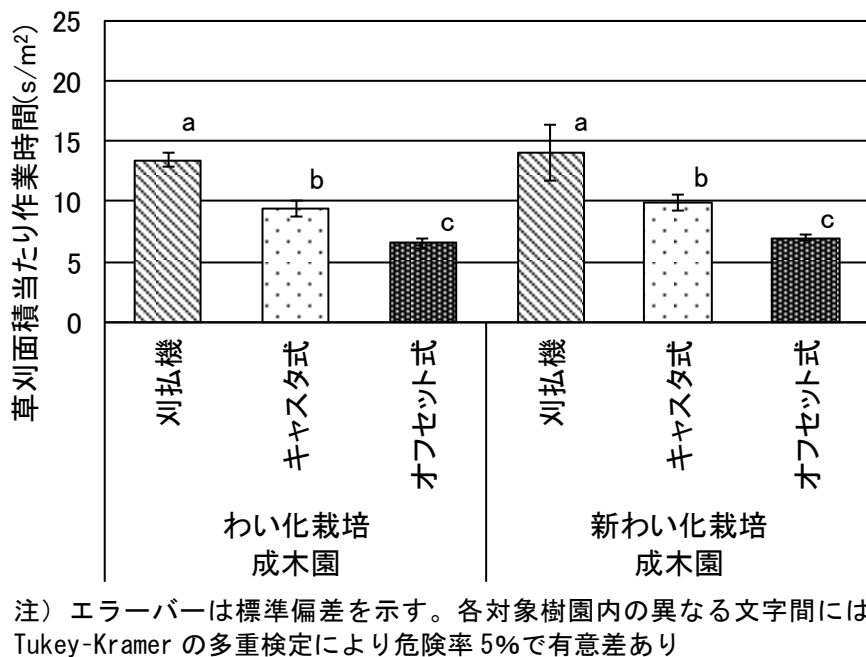


図 3-10 作業幅一定試験における作業時間

(2) 草刈精度

刈り高さは、普段刈払機を使用して草刈作業を行う場合と同様の刈り高さを基準として、ベース機、キャスタ式、オフセット式の刈刃高さを設定し、どの対象樹園、供試機でも平均で 2～3 cm であった。

樹の周囲の刈り残し面積は、対象樹園間で有意な差が見られたが、供試機間では有意な差は見られず(二元配置分散分析:対象樹園 $p=0.00$, 供試機 $p=0.44$)、各供試機ともに $0.05 \sim 0.15 \text{ m}^2/\text{樹}$ であった(図 3-11)。刈払機でも、刈刃を直接樹体に接触させると樹体の損傷を招くことから、ある程度刈り残しが発生する。ベース機、キャスタ式、オフセット式は、草刈機の構造上、刈刃先端と車

体最外部に隙間があることから刈り残しが発生する。どちらにおいても、刈り残し面積は樹園地面積の 2%未満であり、栽培管理作業や収穫作業に支障を来す範囲ではないことから、リンゴ栽培において問題になる刈り残し面積ではないと判断された。

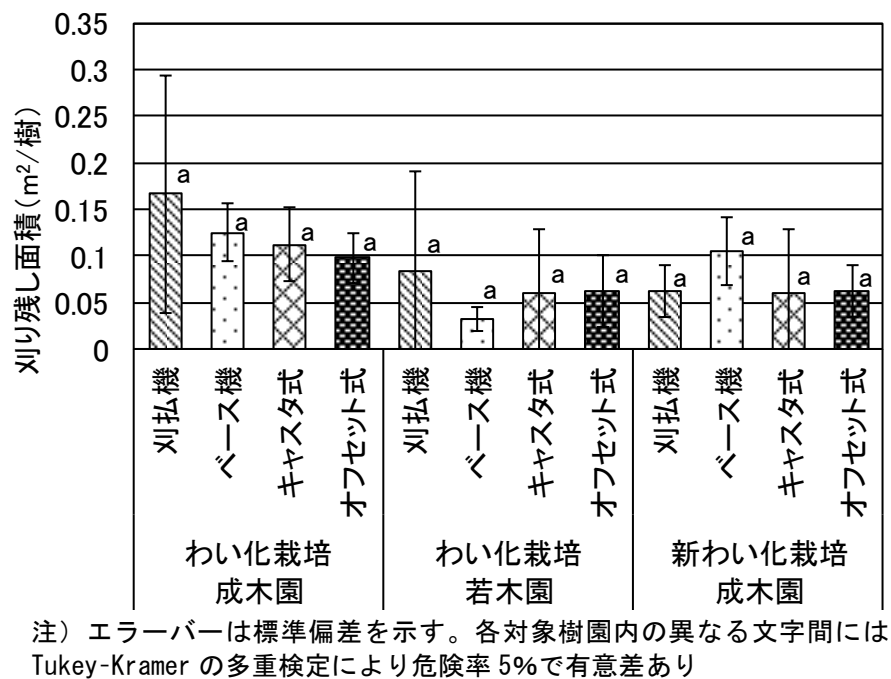


図 3-11 刈り残し面積

(3) 労働負担

心拍数増加率は対象樹園間、供試機間ともに有意な差が見られ（二元配置分散分析：対象樹園 $p=0.01$ ，供試機 $p=0.00$ ），各対象樹園内の心拍数増加率の平均値は刈払機が 37～50 %，ベース機が 24～34 %，キャスタ式が 34～38 %，

オフセット式が 27～31 %であった（図 3-12）。心拍数増加率による作業負荷の目安としては、0～30 %，30～60 %，60 %以上で軽作業，中作業，重作業（石川ら，2002）であることから，各供試機ともに平均では軽～中作業に分類された。刈払機，ベース機の心拍数増加率の最大値は 67 %，75 %であり，試験によっては重作業に分類される作業負担も見られたが，キャスタ式，オフセット式の心拍数増加率の最大値は 56 %，45 %であり，どの試験でも中作業以下の作業負担であった。

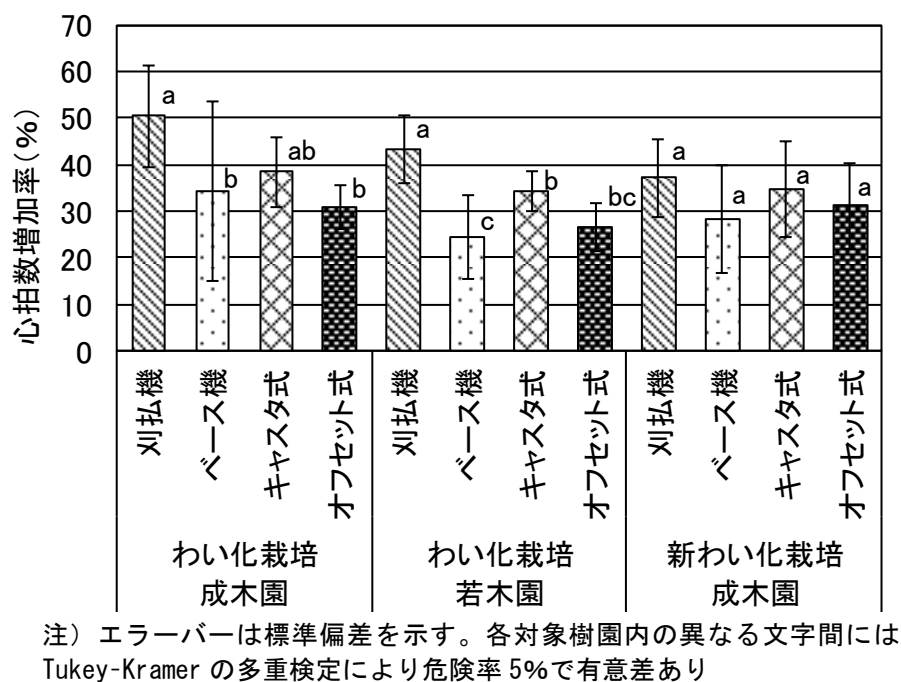


図 3-12 心拍数増加率

作業姿勢は、枝の外側から作業できる範囲では、刈払機は直立の姿勢で作業が可能であり、ベース機、キャスタ式、オフセット式もハンドルに手を添えた状態で自然に歩行する姿勢で作業が可能であった。幹の周囲等、枝を避けながら作業が必要な範囲では、刈払機は膝を曲げる姿勢や腰を曲げる姿勢、膝を曲げながら腰を曲げる姿勢等が見られた。ベース機、キャスタ式、オフセット式はハンドルに枝が干渉するときにハンドルの角度を下げる場合や、樹の枝が支障となって草刈機本体が視認しにくい場合に腰を曲げる姿勢が見られた。

OWAS 法のアクションカテゴリーの割合では、筋骨格系に有害である作業姿勢（AC2 以上）の割合が、わい化栽培成木園、わい化栽培若木園、新わい化栽培成木園の順で大きく、下枝の張り出しが長い栽培様式ほど、有害な作業姿勢の割合が大きいことが確認された（表 3-3）。わい化栽培成木園の中では、刈払機よりベース機、ベース機よりキャスタ式とオフセット式の方が有害な作業姿勢の割合が小さかった。ベース機の有害な作業姿勢の割合がキャスタ式、オフセット式より大きいのは、ベース機のハンドル長さが 1.5 m に対して、キャスタ式、オフセット式は 2.0 m であり、ハンドルの長さが下枝の張り出し長さに対して短いことが原因と考えられた。わい化栽培若木園の中では、刈払機よりベース機とキャスタ式、ベース機とキャスタ式よりオフセット式の方が有害な作業姿勢の割合が小さかった。ベース機とキャスタ式は幹周部分の草刈時に、草

刈機本体を転向させる必要があり、そのときにハンドルに枝が干渉することを避けるため、有害な作業姿勢となったのに対して、オフセット式はほぼハンドルを持って歩くだけで幹周部分の草刈作業が可能であったためであると考えられた。新わい化栽培成木園では、刈払機、ベース機、オフセット式の有害な作業姿勢の割合がほぼ同等で、刈払機とベース機と比べてキャスタ式の有害な作業姿勢の割合が小さかった。新わい化栽培では枝の張り出しが短いことから、刈払機でもほぼ直立の姿勢で草刈作業が可能であった。

表 3-3 作業姿勢評価結果

対象樹園	供試機	OWAS 法アクションカテゴリー割合(%)			
		AC1	AC2	AC3	AC4
わい化栽培 成木園	刈払機 ^a	79.1	19.8	1.1	0.0
	ベース機 ^b	82.1	17.7	0.2	0.0
	キャスタ式 ^c	87.9	12.1	0.1	0.0
	オフセット式 ^c	89.9	10.1	0.0	0.0
わい化栽培 若木園	刈払機 ^a	83.1	16.4	0.5	0.0
	ベース機 ^b	91.7	8.3	0.0	0.0
	キャスタ式 ^b	92.3	7.7	0.0	0.0
	オフセット式 ^c	96.5	3.5	0.0	0.0
新わい化栽培 成木園	刈払機 ^a	90.7	9.3	0.0	0.0
	ベース機 ^a	89.0	11.0	0.0	0.0
	キャスタ式 ^b	96.1	3.9	0.0	0.0
	オフセット式 ^{ab}	92.7	7.3	0.0	0.0

注) 供試機名の右上の文字は、比率の差の検定 (Fisher の正確検定, Bonferroni 法によって有意水準を調整) により、同一対象樹園内の異なる文字間に危険率 5% で有意差があることを示す

作業者の主観的な労働負担についての意見では、キャスト式とオフセット式はどちらも刈払機と比べて、ついて歩くだけで草刈りできるのは本当に楽である、騒音はうるさいが刈払機も同様なのであまり気にならない、ハンドルが長いと支えるのに力がある、キャスト式はベース機と比較すると転向させやすく蛇行運転がやりやすい、キャスト式よりオフセット式の方が動かす量が少なくて済むので楽、といった意見が挙げられた。

3.4.4 考察

わい化リンゴ園における樹冠下幹周部分の草刈作業において、一般的に行われている刈払機による草刈作業と比較して、ベース機での草刈作業は作業能率がほぼ同等で、有害な作業姿勢の割合も一部の対象樹園において低減しているのみであった。これは、ベース機による幹周部分の草刈作業時は草刈機を転向させる必要があるが、ベース機は法面用草刈機で、容易に転向できない構造のため、前後進の切り返しも多用せざるを得ず、重複作業となっている部分があること、ハンドルの長さが 1.5 m であり、わい化栽培成木園のように枝の張り出しが長い場合は、刈払機と同様に枝を避けながら作業をする必要があることが原因であると考えられた。

キャスト式はベース機の幹周部分での作業の課題を解決する目的で、車体片

側にキャストを付設、作業速度を向上、ハンドル長さを延長したものであるが、作業幅不定試験においては、わい化栽培成木園および若木園では、作業能率が刈払機と同程度であった。キャストの付設によって転向に要する力はベース機より約4割小さくなっているが、主幹の近傍部分の草刈作業では前後進の切り返しが必要であり、ベース機と同様に重複作業となっている部分があるためと考えられた。作業幅一定試験においては、わい化栽培成木園および新わい化栽培成木園において、刈払機より約4割作業能率が向上したことから、すでに草刈りがされている場所を走行する割合を減らすことで省力化が図られることが明らかとなった。また、労働負担は、わい化栽培若木園においてはベース機とキャスト式の有害な作業姿勢の割合が同等で、心拍数増加率はベース機より平均で約10%高かった。一方、わい化栽培成木園においてはベース機よりキャスト式の有害な作業姿勢の割合が約5%低く、心拍数増加率は同等であった。わい化栽培若木園においては、下枝の張り出しが比較的短いためベース機もキャスト式も枝を避ける有害な作業姿勢の割合が小さかったものの、キャスト式はハンドル長さ2.0 mで作業を行ったため、ベース機より転向時に作業者の移動距離が長くなることで心拍数増加率が高くなったと考えられた。わい化栽培成木園においては、ベース機よりキャスト式は枝の外側から作業ができるようになったため、有害な作業姿勢の割合がベース機より低くなり、転向時の移動

距離が長くなっても作業姿勢による労働負担が軽減されることで心拍数増加率が同等となったと考えられる。刈払機との比較では、有害な作業姿勢の割合が5～9 %小さくなり、ハンドルが長く、転向が容易な歩行型草刈機を利用することで、樹冠下で腰を曲げる等の労働負担が軽減されることが明らかとなった。

オフセット式は、ベース機より総刈幅が広く、幹周部分もほぼ直進のみで草刈作業が可能であるため、各対象樹園ともに刈払機と比較して作業能率が向上し、作業幅一定試験においては、刈払機の約2倍の作業能率となった。オフセット式もキャスト式と同様に、わい化栽培園においてはハンドル長さを2.0 mとしたため、有害な作業姿勢の割合が刈払機より10～13 %小さくなり、枝の外側から幹周の草刈りができることによる労働負担軽減効果が確認された。作業幅不定試験において刈払機からの作業能率向上割合が約3割であったのが、作業幅一定試験では約2倍の作業能率となっていることから、オフセット式もキャスト式と同様に、草刈機の作業幅を効率的に利用して、草刈りを行っていない部分を減らすことにより、刈払機より省力化が図られることが確認できた。

これらのことから、市販されている法面用歩行型草刈機にキャストや、車体左右方向に揺動可能なオフセット草刈部を付設し、ハンドル長さを樹の側枝長に合わせて延長した草刈機を使用することで、樹冠下幹周部分の草刈作業において、刈払機より省力化と労働負担軽減を図れることを明らかにした。また、

通路部分を乗用草刈機で、樹冠下幹周部分を歩行型草刈機で草刈作業する場合は、樹列近傍から歩行型草刈機で草刈作業をしてから、通路部分の草刈作業を行うことで、歩行型草刈機の作業幅を有効に活用でき、効率良く作業できると考えられた。

第4章 腕上げ作業補助器具の研究開発

4.1 緒言

果樹栽培は整枝せん定や着果管理、収穫といった主要な作業が機械化されておらず、長時間労働を要している。果樹の中でもミカンやリンゴは一般的に立木仕立てで栽培されており、ブドウやナシ、キウイフルーツは一般的に平棚仕立てで栽培されている。ブドウ栽培は農業産出額が約 1700 億円であり、果樹全体の中でも産出額が最も大きい主要な農産物である（農林水産省，2020a）が、ブドウ栽培は 10 a 当たりの労働時間が約 450 h となっており、ミカンやリンゴ等の他の果樹栽培と比較しても約 2 倍と長い（農林水産省，2010）。これは授粉、摘果、管理、袋掛けといった作業が作業時間全体の約 4 割を占めており、栽培管理に手間暇をかけて高品質なものを生産していることを示している。

ブドウの着果管理作業である花穂整形、ジベレリン処理、摘粒、袋掛け作業は 5 月下旬から 7 月上旬の限られた期間に行われる。それぞれの作業は作業適期が短い上に、雨が多く、気温が急に上昇する時期での作業となる。また、我が国でのブドウ栽培は一般的に平棚栽培のため、着果位置が作業者の頭上に位置する。そのため、手作業で行われる着果管理作業は、長時間腕を上げ続けた姿勢で行わなければならない、作業者の頸肩部に大きな負荷がかかり、筋疲労が蓄積する非常に負担の大きい作業となっている（小嶋ら，2008；辻村ら，2011）。

一方、近年、機械化が困難な作業の労働負担を軽減する目的で、アシストスーツと呼ばれる作業着装型の補助器具の開発が盛んに行われており、農業分野でも一部は実用化しているものもある。作業着装型の補助器具は大別すると、モータ等の動力を用いて重量物の持ち上げ等の作業を補助する動力補助型と、負担の大きい姿勢を長時間続けることを補助する姿勢維持型がある(牧野, 2010)。ブドウ栽培の着果管理作業では、腕を上げた状態の姿勢が多いため、姿勢維持型の補助器具の利用が有効であると考えられる。

姿勢維持型の腕上げ状態を補助する器具としては、バネ等の弾性力で腕を支える弾性体支持式、固定された台で腕を支える腕載せ台式、スイッチで腕載せ台の固定と解除切替えを行う支持可動切り替え式が開発され、市販化されている。しかし、これらの市販されている器具は、作業中に腕を支持する高さを変えることができない弾性部材を用いているため、腕の高さによって支持力が変わり、腕を下げるためには力を加える必要がある等、課題が残されている。

そこで、腕を支持する高さを容易に変えられ、かつ、腕を安定して支持できる簡易な機構の腕上げ作業補助器具を試作するとともに、ブドウ栽培ほ場において労働負担軽減効果の検証を行い、試作した補助器具の労働負担軽減効果に関する知見を得たので報告する。

4.2 腕上げ作業補助器具の概要

4.2.1 腕上げ作業補助器具の構造

試作した腕上げ作業補助器具（以下、補助器具とする）は、作業者の腰に装着する作業ベルト、腕受け部と、それらを接続するフレームおよび連結機構から構成される非常に簡易な構造の器具である（図 4-1, 4-2）。作業ベルトはベルト部分と腰パッド部分からなる。ベルト部分はポリプロピレン、腰パッド部分はポリエステル、腕受け部は鋼板とゴムスポンジ、連結機構は炭素鋼、フレーム部分はステンレス鋼を用いており、補助器具の質量は 1.8 kg である。また、ベルト下端から連結機構までの長さや、腕受け部の長さは作業者の体格に合わせて調整できるようになっている（表 4-1）。また、フレーム部分の姿勢を安定させるために、ベルト部分と腰パッド部分をフレーム取付位置でバンドを用いて固定している。

連結機構は、腕受け部が上下にも左右にも回動できるように 2 自由度のヒンジを設けるとともに、作業ベルト側に溝部材、腕受け部側に爪部材を設けている。作業者が肘を体の内側に寄せることで溝部材と爪部材がかみ合い、下方向に動かなくなるため、腕の重さを腰の作業ベルトで支えることができる。作業者が肘を体の外側に開くと溝部材と爪部材が離れるため、自由に上げ下げすることができる。溝部材は腕受け部の回転中心から放射状に上下それぞれ 45 °の

範囲で 4.5 °毎に溝を設けており，溝部材と爪部材がかみ合う任意の角度で腕を支えることができる。また，爪部材は上側が斜め，下側が水平の三角柱型をしているため，肘を内側に寄せて溝部材と爪部材がかみ合った状態でも上方向に動かすことができる。

初期の試作機においては，作業ベルトの剛性が低かったため，すぐにフレーム部分の角度が傾いて，うまく腕の重さを支えられなかったため，作業ベルトの種類や取り付け部分を改良した。また，溝部分の範囲も狭く，角度によっては支えられないことがあったため，上下それぞれ 45 °の範囲とする改良をして試験を行った。



図 4-1 腕上げ作業補助器具の外観

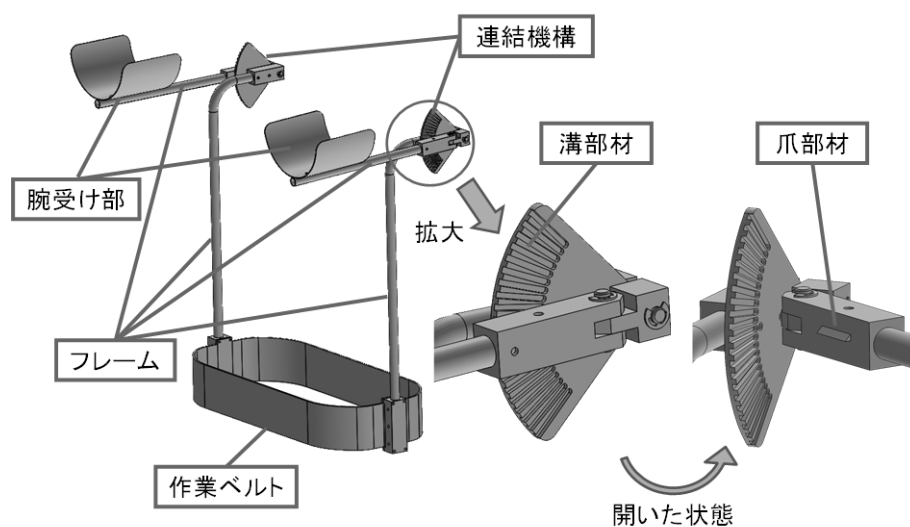


図 4-2 腕上げ作業補助器具の概要図

表 4-1 腕上げ作業補助器具の主要諸元

質量(kg)	1.8
ベルト下端から連結機構までの長さ(mm)	320～400
腕受け部長さ(mm)	220～280
作業ベルト腹囲(mm)	650～950
垂直方向支持角度範囲(°)	-45～45

4.2.2 腕上げ作業補助器具の使用方法

補助器具は作業着の上から装着することができる。補助器具の装着方法は、腰に作業ベルトを締め、腕受け部を面ファスナで腕に固定するだけであり、慣

れると一人で 30 秒程度で装着することができる。任意の高さに腕を上げてから肘を体の内側に寄せるか、肘を体の内側に寄せた状態で任意の高さまで上げると腕受け部は下方方向に動かなくなるため、腕が支持された状態で作業を行うことができる。腕の高さを上げたいときはそのまま上げることができ、下げるときは肘を若干持ち上げて体の外側に開くことで溝部材と爪部材が外れるため腕を下げることができる。

4.3 試験方法

4.3.1 腕上げ作業時の労働負担評価方法

腕上げ状態での着果管理作業は比較的軽作業であり、心拍数増加率やエネルギー代謝率による労働負担評価は困難であると考えられ、また、補助器具を用いても作業姿勢自体は変わらないため、作業姿勢による評価はできないと考えられた。腕上げによる作業負担は筋活動に関係すると考えられたため、本研究においては、労働負担の評価方法として、筋活動量の測定と作業者からの聞き取り調査を実施した。

筋活動量の評価方法として、テレメトリー式表面筋電位測定器（キッセイコムテック社製 MQ8）を用いて、作業者の表面筋電位を測定した。サンプリング周波数は 1 kHz とし、測定した表面筋電位は全波整流後、最大随意収縮時（最

も力を入れた状態)の筋電位に対する作業中筋電位の比(%MVC(Maximal Voluntary Contraction))に変換して筋活動量を評価した(石川ら, 2003)。測定部位は腕の曲げ伸ばしおよび腕の上げ下ろしを行う筋肉である左右の上腕二頭筋, 上腕三頭筋長頭(以下, 上腕三頭筋), 三角筋前部(以下, 三角筋), 僧帽筋上部(以下, 僧帽筋)の計8か所とし(図4-3), 各測定部位の左右の平均値で評価した。なお, 本研究における試験では被験者に事前に試験内容を説明して同意を得た上で試験を行った。



図 4-3 筋活動量測定部位

4.3.2 腕上げ負荷模擬試験

腕上げ時の負荷による各部位の筋活動量の変化を把握するため, 負荷荷重と

して「何ものなし」「0.5 kg」「1.0 kg」「1.5 kg」「2.5 kg」のおもりを左右両手それぞれに持って、腕を指先の高さで身長+10 cmの高さ、水平方向は作業者の前側に額部分から約 25 cmの位置に上げた状態を 1 分間保持し、その間の筋電位を測定した。

また、腕上げ高さによる各部位の筋活動量の変化を把握するため、何も持たない状態で腕を指先の高さで身長「-20 cm」「-10 cm」「±0 cm」「+10 cm」「+20 cm」の高さ、水平方向は作業者の前側に額部分から約 25 cmの位置にそれぞれ 1 分間保持し、その間の筋電位を測定した。

両試験とも各区 5 反復測定を行った。被験者は 30 歳代男性、身長 170 cmであった。

4.3.3 補助器具使用効果評価試験

(1) 室内模擬試験

補助器具の装着による腕上げ時筋活動量の変化を把握するため「補助器具なし」「補助器具装着」の 2 試験区で、腕の上げ下げを 10 秒毎に繰り返す動作を 10 分間継続したときの筋活動量を測定した。腕の上げ下げ動作は、腕を下げた状態（10 秒）、腕を比較的低い位置（身長-10 cm）に上げた状態（10 秒）、腕を下げた状態（10 秒）、腕を身長と同じ位置に上げた状態（10 秒）、腕を下げた状

態（10 秒），腕を比較的高い位置（身長+10 cm）に上げた状態（10 秒）を 1 サイクルとして繰り返した。いずれの高さも指先の水平位置は作業者の前側に額部分から約 25 cm の位置とした。被験者は 30 歳代男性，身長 170 cm であった。

(2) ブドウ栽培ほ場における実証試験

補助器具の使用がブドウ栽培管理作業中の疲労や作業能率に及ぼす影響を把握するため，農研機構果樹研究所ブドウ・カキ研究拠点（現 農研機構果樹茶業研究部門安芸津ブドウ・カキ研究拠点），群馬県農業技術センター，埼玉県農林総合研究センター（現 埼玉県農業技術研究センター），長野県果樹試験場，徳島県立農林水産総合技術支援センター内のブドウ栽培ほ場において，花穂整形，ジベレリン処理，摘粒，袋掛けの各作業を行い（図 4-4），補助器具を使用していない慣行作業と補助器具を装着した作業の比較試験で，作業能率および筋活動量の測定，疲労度および取扱性の聞き取り調査を行った。



図 4-4 腕上げ作業補助器具を装着した作業

作業時間はジベレリン処理のみ 10～30 分，それ以外の作業は 1 時間とし，時間内に処理した作業房数の測定により作業能率の比較を行った。

また，花穂整形，摘粒，袋掛けの作業で表面筋電位の測定を同時に行い，作業中筋活動量を評価した。ジベレリン処理については薬液が飛散するため，筋電位の測定機器が防水仕様ではなかったことから筋電位の測定を行わなかった。

疲労度の聞き取り調査については，公益社団法人日本産業衛生学会産業疲労研究会選定の「疲労部位しらべ」（産業疲労研究会，2004）を用いて体の各部位の疲労度を，0 全く感じない，1 やや感じる，2 感じる，3 大変感じる，の 4 段階評価で作業前後に聞き取り調査を行い，作業前後の調査結果の差を作業によ

る疲労度として評価した。

取扱性については、補助器具装着作業の後に、労働負担軽減効果、体格に合わせた調整のしやすさ、装着のしやすさ、器具の重さ、支持・解除のしやすさ、作業性、支持できる範囲等について、大変良い-良い-悪い-大変悪い、の4段階評価で聞き取り調査を行った。

被験者は各作業で6～9名（20歳代～50歳代、男性・女性、身長164 cm～180 cm）であり、供試樹は表4-2に示すとおりであった。

表4-2 使用効果評価試験の供試樹条件

作業内容	試験地	樹形	品種	果実上端高さ	
				平均値 (cm)	標準偏差 (cm)
花穂整形	果樹研究所ブドウ・カキ研究拠点	長梢剪定	ピオーネ、クイーンニーナ、ブラックビート	171.1	5.9
	群馬県農業技術センター	長梢剪定	巨峰	168.9	7.4
	埼玉県農林総合研究センター	短梢剪定	シャインマスカット	185.8	8.7
	長野県果樹試験場	短梢剪定	ナガノパープル	164.2	7.8
ジベレリン処理	果樹研究所ブドウ・カキ研究拠点	長梢剪定	シャインマスカット	166.2	5.8
	埼玉県農林総合研究センター	短梢剪定	巨峰、ピオーネ	183.1	6.4
	長野県果樹試験場	短梢剪定	ナガノパープル	168.0	7.0
摘粒	果樹研究所ブドウ・カキ研究拠点	長梢剪定	シャインマスカット	163.9	5.6
	群馬県農業技術センター	短梢剪定	ピオーネ	157.3	6.1
	埼玉県農林総合研究センター	短梢剪定	巨峰、ピオーネ	179.4	4.7
	長野県果樹試験場	短梢剪定	ナガノパープル	158.9	7.2
袋掛け	果樹研究所ブドウ・カキ研究拠点	長梢剪定	シャインマスカット	161.7	6.1
	群馬県農業技術センター	長梢剪定	巨峰	162.1	5.3
	埼玉県農林総合研究センター	短梢剪定	藤稔、クイーンニーナ	163.7	8.3
	長野県果樹試験場	長梢剪定	シナノスマイル	169.0	6.2
	徳島県立農林水産総合技術支援センター	長梢剪定	巨峰、ピオーネ等大粒系品種	-	-

4.4 試験結果および考察

4.4.1 腕上げ負荷模擬試験

(1) 腕上げ負荷と筋活動量

無負荷で身長と同程度に腕を上げた状態での筋活動量は、上腕二頭筋の%MVC 値が 1 %，上腕三頭筋の%MVC 値が 2 %，三角筋の%MVC 値が 16 %，僧帽筋の%MVC 値が 9 %程度であり，負荷荷重が大きくなるに従って上腕二頭筋，上腕三頭筋，三角筋の筋活動量が増加する傾向が見られた。三角筋の筋活動量は負荷荷重の増加によって負荷 1 kg 増加当たり%MVC 値が約 8 %増加した。一方，僧帽筋は負荷荷重による差より試験反復間の差の方が大きく，負荷荷重と筋活動量の明確な関係は認められなかった（図 4-5）。

上腕二頭筋や上腕三頭筋の%MVC 値と比較して三角筋や僧帽筋の%MVC 値が大きかったことは，上腕二頭筋と上腕三頭筋は肘の曲げ伸ばし時に活動する筋肉であるが，三角筋や僧帽筋は腕を上げる動作時に活動する筋肉であるとともに，腕上げ姿勢維持状態でも等尺性筋収縮（谷井，1995）によって活動しているためだと考えられた。また，負荷荷重が増加することにより三角筋の筋活動量が増加したのは，腕上げ姿勢維持状態における腕の重さを三角筋で支持しているためだと考えられた。

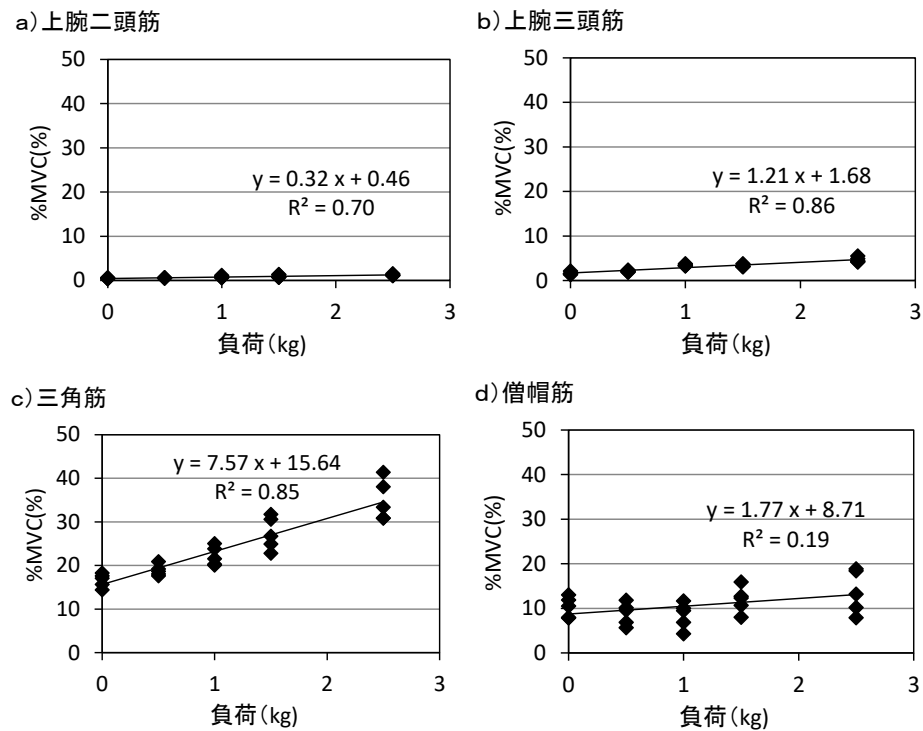


図 4-5 腕上げ時の負荷荷重と筋活動量の関係

(2) 腕上げ高さと筋活動量

腕上げ高さが高くなるに従って上腕三頭筋，三角筋，僧帽筋の筋活動量が増加する傾向が見られたが，上腕二頭筋は腕上げ高さによる筋活動量の増加は認められなかった。腕上げ高さの増加によって，高さ 10 cm 当たり，僧帽筋の %MVC 値が約 4 %，三角筋の %MVC 値が約 2 % 増加した（図 4-6）。

腕の重さが同じであっても腕上げ高さが増加することにより僧帽筋や三角筋の筋活動量が増加したのは，肩関節角度により関連する筋肉の活動量が異なる（肥田ら，2011）ためと考えられた。

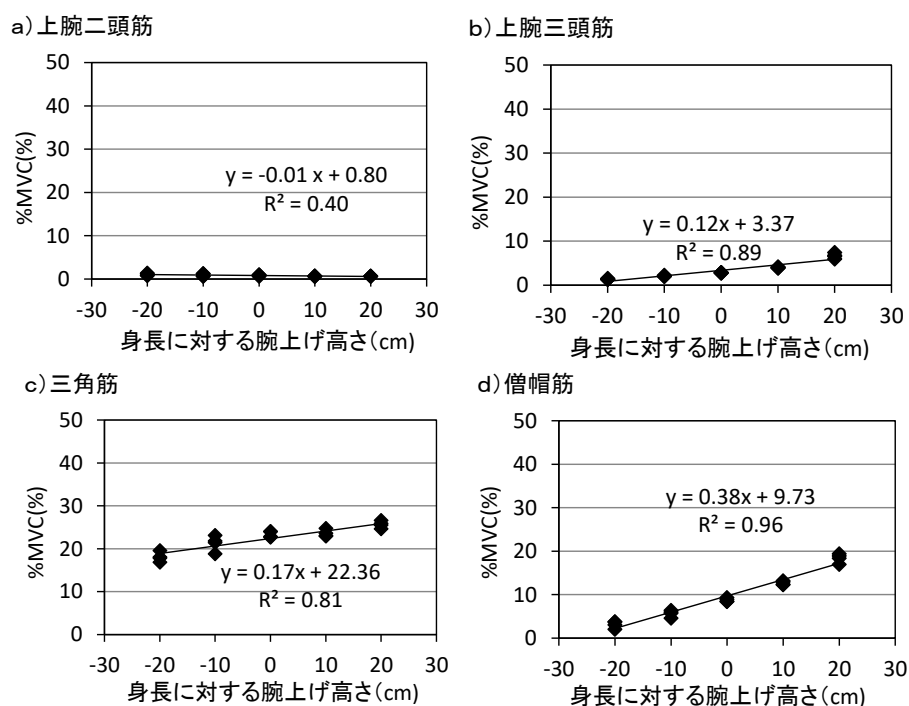


図 4-6 腕上げ高さと筋活動量の関係

4. 4. 2 補助器具使用効果評価試験

(1) 室内模擬試験

図 4-7 に補助器具使用効果模擬試験における筋活動量（各サイクルの全波整流後の波形 10 サイクル分を平均した波形）を示す。筋活動量は補助器具の装着有無によって、腕を上げた状態での %MVC 値が大きく異なった。

「補助器具なし」「補助器具装着」ともに腕を下げた状態の間は、上腕二頭筋、上腕三頭筋の %MVC 値はほぼ 0 %，三角筋の %MVC 値は 2～4 %，僧帽筋の %

MVC 値は 4～5 %であった。腕を上げた状態の間は「補助器具なし」では上腕二頭筋の%MVC 値が 2～3 %，上腕三頭筋の%MVC 値が 1 %，三角筋の%MVC 値が低い位置（身長-10 cm）と身長と同じ位置では 15 %程度，高い位置（身長+10 cm）では 20 %，僧帽筋の%MVC 値が 8～10 %であったのに対して「補助器具装着」では，上腕二頭筋の%MVC 値が 2～4 %，上腕三頭筋の%MVC 値が 1 %，三角筋の%MVC 値が低い位置（身長-10 cm）と身長と同じ位置では 2～3 %，高い位置（身長+10 cm）でも 10 %，僧帽筋の%MVC 値が 2～3 %となり，補助器具装着によって三角筋と僧帽筋の筋活動量が低減した。

補助器具によって腕の重さを支えることができるため，三角筋や僧帽筋が等尺性筋収縮を行っていないなくても腕上げ状態を維持することができていると考えられた。また，「補助器具装着」では，腕の上げ下ろしに伴う支持・解除動作の時に，一時的に高い筋電位が見られるが，動的な動作では発揮力よりも高めの電位が出る（瀬尾，2005）ことによるものであると考えられ，動作上特に負担は感じられなかった。

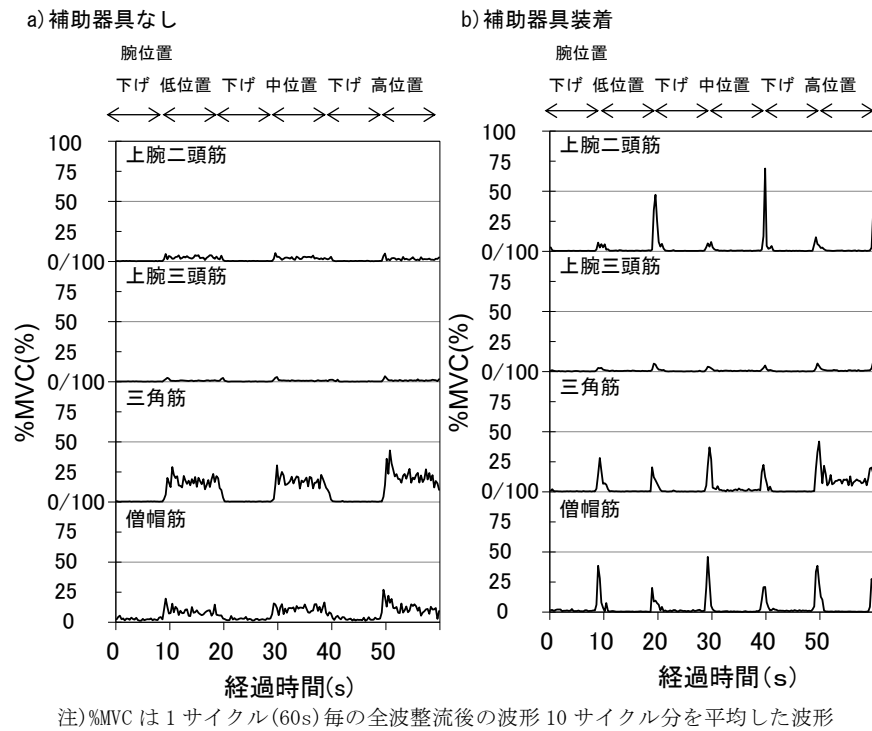


図 4-7 腕上げ模擬動作時の筋活動量

(2) ブドウ栽培ほ場における実証試験

a. 作業能率 図 4-8 に補助器具を使用していない慣行作業および補助器具装着作業の作業能率を示す。花穂整形と袋掛けの作業能率は補助器具を使用していない慣行作業，補助器具装着作業ともに 20 s/房程度であり，有意な差は見られなかった（対応のある t 検定：花穂整形 $p=0.12$ ，袋掛け $p=0.98$ ）。また，花穂を溶液に浸漬するジベレリン処理ではそれぞれ 6 s/房と比較的早くできる作業，小さい果粒や不良果粒をハサミで除去する摘粒ではそれぞれ 80 s/房

程度と比較的時間のかかる作業であり、作業間の作業能率は大きく異なったが、どちらも補助器具を使用していない慣行作業と補助器具装着作業の間に有意な差は見られなかった（対応のある t 検定：ジベレリン処理 $p=0.47$ 、摘粒 $p=0.48$ ）。

開発した補助器具は腕の支持状態と自由に動かせる状態の切り替えが容易であるため、装着しても従来同様の作業が可能であった。

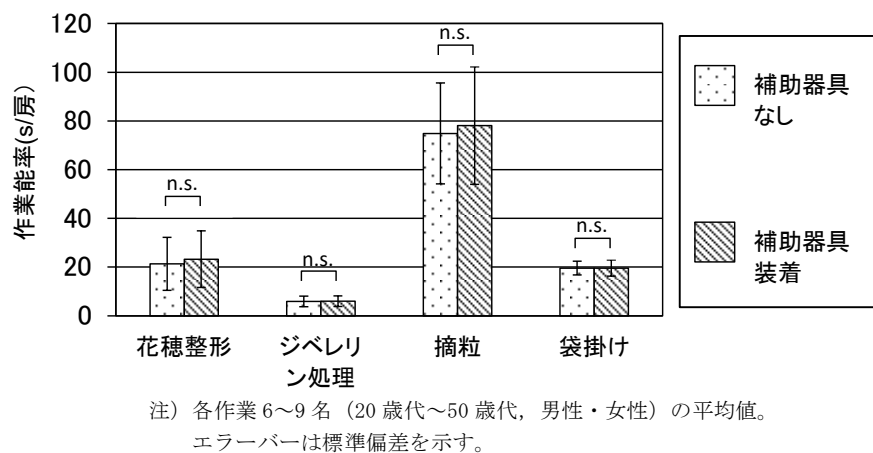


図 4-8 補助器具装着の有無による作業能率の比較

b. 筋活動量 作業中の筋活動量と、器具の効果として補助器具を使用していない慣行作業に対する補助器具装着作業の筋活動量低減割合を表 4-3 に示す。各作業ともに補助器具を使用していない慣行作業における上腕二頭筋と上腕三頭筋の%MVC 値は 5 %程度、三角筋と僧帽筋の%MVC 値は 10 %~30 %であり、三角筋と僧帽筋の筋活動量が比較的大きかった。

花穂整形作業においては、補助器具を装着することにより、三角筋の%MVC 値が補助器具を使用していない慣行作業の約 50 %、僧帽筋の%MVC 値が補助器具を使用していない慣行作業の約 70 %低減している作業者と、三角筋の%MVC 値が約 10 %、僧帽筋の%MVC 値が約 30 %増加している作業者があり、明確な傾向は見られなかった。

摘粒作業においては、補助器具を装着することにより、三角筋の%MVC 値が 4 名中 4 名ともに補助器具を使用していない慣行作業の約 30 %から約 80 %低減し、僧帽筋の%MVC 値が 4 名中 3 名で補助器具を使用していない慣行作業の約 30 %から約 70 %低減した。

袋掛け作業においても、補助器具を装着することにより、三角筋の%MVC 値が 4 名中 3 名で補助器具を使用していない慣行作業の約 20 %から約 30 %低減し、僧帽筋の%MVC 値が 4 名中 4 名ともに補助器具を使用していない慣行作業の約 40 %から約 70 %低減した。

表 4-3 補助器具装着の有無による筋活動量の比較

対象作業	作業者	腕上げ作業	作業中筋活動量 (%MVC(%))			
		補助器具	上腕二頭筋	上腕三頭筋	三角筋	僧帽筋
花穂整形	作業者 A	なし	3.6	5.3	13.6	15.9
		装着	1.8	2.1	7.2	4.6
		器具の効果	▲ 51.6	▲ 60.2	▲ 47.5	▲ 71.3
	作業者 B	なし	5.9	6.9	33.9	19.7
		装着	10.4	6.9	37.4	25.3
		器具の効果	75.4	0.4	10.1	28.2
摘粒	作業者 B	なし	3.3	2.9	21.3	12.7
		装着	1.9	1.7	12.5	12.6
		器具の効果	▲ 43.1	▲ 41.9	▲ 41.4	▲ 0.7
	作業者 C	なし	4.0	3.5	15.2	16.1
		装着	2.7	2.4	6.5	6.1
		器具の効果	▲ 31.7	▲ 32.3	▲ 57.1	▲ 62.2
	作業者 D	なし	8.2	2.1	17.6	19.2
		装着	6.5	1.3	2.8	5.0
		器具の効果	▲ 20.9	▲ 34.7	▲ 84.2	▲ 73.8
	作業者 E	なし	5.2	4.3	20.2	27.7
		装着	4.1	3.8	14.3	18.1
		器具の効果	▲ 20.7	▲ 12.5	▲ 29.3	▲ 34.8
袋掛け	作業者 A	なし	3.9	3.1	20.5	15.6
		装着	1.9	2.4	15.9	4.2
		器具の効果	▲ 51.4	▲ 22.9	▲ 22.1	▲ 72.9
	作業者 B	なし	4.1	2.2	18.2	10.9
		装着	2.7	1.6	11.8	4.8
		器具の効果	▲ 34.0	▲ 27.5	▲ 35.5	▲ 56.4
	作業者 C	なし	18.5	8.0	24.5	16.6
		装着	12.7	5.6	26.2	9.1
		器具の効果	▲ 31.0	▲ 30.3	7.3	▲ 44.9
	作業者 E	なし	6.3	2.6	23.4	36.6
		装着	5.5	2.7	17.1	17.8
		器具の効果	▲ 13.1	4.2	▲ 26.9	▲ 51.3

注：表中の数値は作業中筋活動量の平均値を示す。

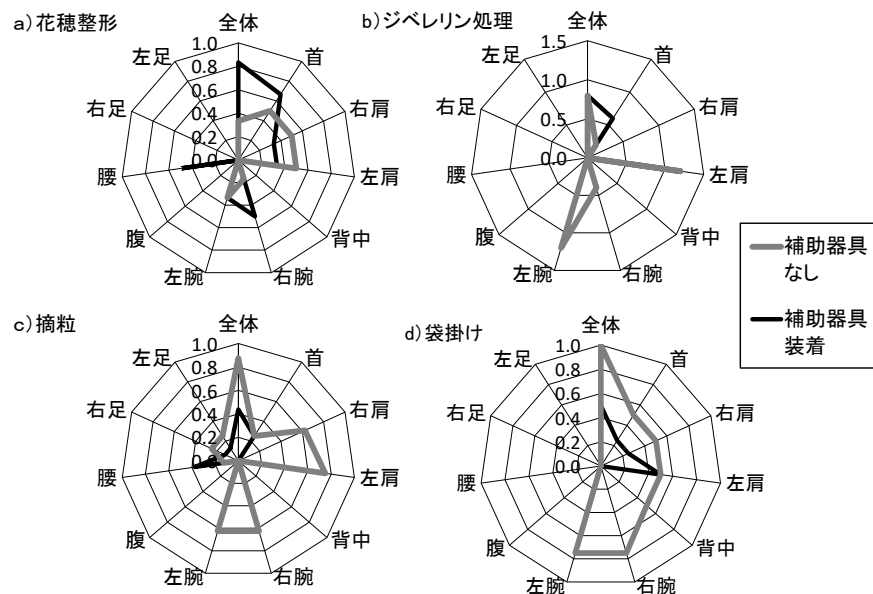
「器具の効果」は補助器具なしに対する補助器具装着の筋活動量の増減割合を示す。

((「装着」 - 「なし」) / 「なし」 × 100)

▲は器具を着けることで筋活動量が下がった割合を、無印は上がった割合を示す（単位 (%)）。

c. 疲労度聞き取り調査 作業前後の疲労度調査結果の差を図 4-9 に示す。

グラフ上の数値が大きい方が作業による疲労が大きいことを示している。花穂整形作業では、各部位の疲労度は補助器具を使用していない慣行作業と補助器具を装着した作業で大小様々であり明確な傾向は見られなかった。ジベレリン処理作業では、試験時の作業時間が短かったが、カップを持っている左腕や左肩の疲労感が補助器具を使用していない慣行作業と比較して補助器具装着作業が小さかった。摘粒作業においては、肩や腕の疲労度が補助器具を使用していない慣行作業と比較して補助器具装着作業が小さく、体全体の疲労度も補助器具装着作業の方が小さかった。袋掛け作業においては、肩や腕、首、背中の疲労度が補助器具を使用していない慣行作業と比較して補助器具装着作業が小さく、体全体の疲労度も補助器具装着作業の方が小さかった。



注) 数値は作業後の疲労感から作業前の疲労感を減じた値である。
 (主観的評価: 0 疲れを全く感じない 1 やや感じる 2 感じる 3 大変感じる)
 作業種別それぞれ 6~8 名の平均値。

図 4-9 補助器具装着の有無による作業前後疲労感の比較

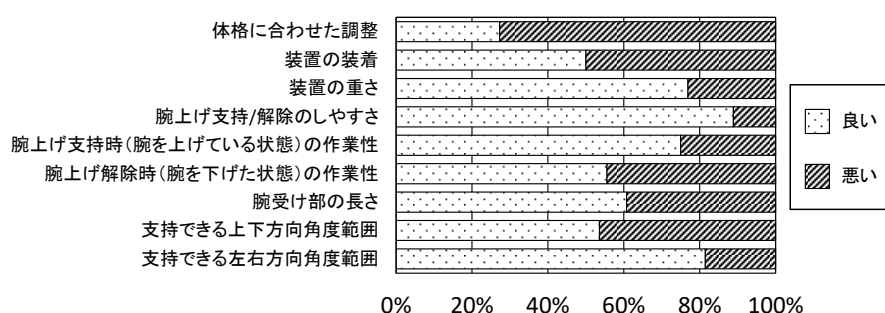
d. 取扱性聞き取り調査 作業者への労働負担軽減効果の聞き取り調査においては、各作業ともに複数の作業者から「楽になった」との回答が得られ、特に摘粒作業について、8 人中 7 人の作業者から「楽になった」もしくは「大変楽になった」との回答を、袋掛け作業においては 8 人中 5 人の作業者から「楽になった」との回答を得たが、各作業ともに一部の作業者から「つらくなった」との回答があった (表 4-4)。

表 4-4 補助器具の使用による労働負担軽減効果の聞き取り調査結果

	大変 楽になった	楽になった	変わらない	つらくなった	大変 つらくなった
花穂整形	1	1	2	1	0
ジベレリン処理	0	3	1	2	0
摘粒	1	6	0	1	0
袋掛け	0	5	1	2	0

注) 各作業 5～8 名 (20 歳代～50 歳代、男性・女性) の評価結果

補助器具の取扱性については、腕上げ支持と解除のしやすさや、重さ、腕上げ時の作業性等は良い評価が多かったが、体格に合わせた調整のしやすさについては悪い評価が多かった (図 4-10)。一度作業者の体格に合わせてしまえば頻繁にサイズ調整するものではないが、作業ベルト上の取付位置や連結機構の高さ、腕受けの長さ等が変わると使い勝手も変わってくるため、調節のしやすい器具に改良することが必要であると考えられた。



注) 花穂整形, ジベレリン処理, 摘粒, 袋掛けにおける, のべ 29 名の評価結果

図 4-10 取扱性の聞き取り調査結果

4.4.3 考察

本研究においては、労働負担の評価方法として、筋活動量の測定と聞き取り調査を行った。農作業の労働負担を評価する方法として、従来から心拍数や作業姿勢、呼気によるエネルギー代謝率測定、作業者からの聞き取り調査等が行われている。ブドウ栽培における腕上げ姿勢での着果管理作業の労働負担評価としても、自覚疲労感調査(中田, 1992; 辻村ら, 2011), 作業姿勢(辻村ら, 2011), 心拍数(加藤ら, 2000)の計測が行われている。

心拍数計測については、仕立て方法を改良することによる労働負担の軽減効果が聞き取り調査で確認されたが、心拍数増加率の差はみられなかった(加藤ら, 2000)との報告がある。また、補助器具の装着有無による比較では作業姿勢が変わらないため、作業姿勢による方法で労働負担の差異を評価することも困難であると考えられた。

一方、労働負担の評価として表面筋電位により筋活動量を測定する方法があり(瀬尾, 2005)、腕上げ姿勢を補助する器具の評価として、補助器具装着により腕上げ姿勢での筋負担が軽減したとの報告もある(田中ら, 2010)。腕上げ姿勢の維持といった静的筋作業は動的筋作業と比べて筋疲労を起こしやすく、見かけによらず労働負担の大きい作業である(谷井, 1995)ため、筋活動量の軽減は労働負担軽減に大きく寄与すると考えられた。

本研究でも、腕上げ負荷模擬試験より、腕上げ姿勢維持状態では三角筋の筋活動量が%MVC 値で 20 %～40 %,僧帽筋の筋活動量が%MVC 値で 5 %～20 %と比較的高かったことと、負荷荷重が大きいほど、また、腕上げ高さが高いほど三角筋や僧帽筋の筋活動量が増加した。負荷荷重や腕上げ高さの増加は主観的な負担の増加も伴うことから、三角筋や僧帽筋の筋活動量は腕上げ姿勢維持状態での主観的な負担の大きさに関与するものと考えられた。等尺性筋収縮において筋電位は筋肉が発揮する筋力とかなり直線的な関係をもっており、筋電位が高い作業はそれだけ発揮する筋力も高く、負荷量が高いと予想できる（瀬尾, 2005）ため、筋活動量を低減することにより労働負担軽減が図られると考えられた。

ブドウ栽培ほ場での実証試験において、花穂整形作業は比較的早い時期に行うため、果房が自重で下を向いていない房も多いことから、腕の上下が比較的頻繁であった。そのため、補助器具装着による筋活動量の増減に明確な傾向が見られなかったと考えられた。花穂整形では補助器具により腕を支持する筋活動量低減効果が平均的に見ると小さかったことにより、作業前後の疲労度調査結果においても補助器具装着の効果は見られず、労働負担軽減効果の聞き取り調査でも「楽になった」と回答した作業者の割合が他の作業と比較して低い結果となったと考えられた。

ジベレリン処理は他の作業と比較して作業能率の高い、すなわち一房当たりの作業時間が短い作業であるが、溶液の入ったカップを持ち上げ続ける必要がある。補助器具を使用することにより、腕を上げた状態でも腕を休ませることができ、カップを持った状態での腕の上げ下ろし動作の距離を短くすることができた。このことにより、腕や肩の疲労度が補助器具を使用していない慣行作業と比較して補助器具装着作業では低くなったと考えられた。一方、労働負担軽減効果の聞き取り調査で、「楽になった」との回答と「変わらない」「つらくなった」との回答が同数であったのは、溶液を房に漬けている間は腕を上下させる必要があるため、補助器具が腕を支持していないことにより、補助器具による腕支持の効果が感じられず、器具装着の煩わしさが感じられた作業者もいたためと考えられた。

摘粒作業はブドウの栽培管理作業の中でも作業能率が最も低く、労働負担軽減の要望の高い作業である。摘粒作業は一房当たりの作業時間が長いことにより、同じ高さに腕を上げ続けている時間が長いため、補助器具によって腕を支持することによる三角筋や僧帽筋の筋活動量低減効果が特に大きく発揮され、それによって腕や肩の疲労度も補助器具装着により低くなったと考えられた。そのため、労働負担軽減効果の聞き取り調査においても補助器具により労働負担が軽減したと回答した作業者が多かったと考えられた。

袋掛け作業は補助器具を使用していない慣行作業では袋束を腰の位置につけて、そこから袋を取り出し、頭上の高さの果実に袋をかける作業を繰り返すが、補助器具を用いると、腕を支えられた状態で作業することができるため、腕の高さに袋束を装着して、腕を上げた状態のままで袋を取り出し、果実に袋をかける作業ができた。このことにより、腕の上げ下げを頻繁に行う必要がなくなり、また、袋の口を締めて留めている作業中は補助器具で腕を支えることができるため、三角筋や僧帽筋の筋活動量および首、肩、腕等の疲労度も低減でき、聞き取り調査においても補助器具により労働負担が軽減したと回答した作業者が多かったと考えられた。

これらのことから、試作した腕上げ作業補助器具は、腕上げ姿勢維持を補助することによりブドウ栽培の管理作業における労働負担軽減に寄与し、一房当たりの作業時間が 80 s 程度と長い摘粒作業において労働負担軽減効果が特に高く、また、袋掛け作業においては、腕の上下動作の回数を低減できると考えられた。ただし、果粒がある程度重くなり果房が下を向くまでの時期等、作業時の腕の高さが頻繁に上下する場合は補助器具を装着すると煩わしくなることがあることに留意する必要がある。なお、本器具は平成 27 年度に市販化され、ブドウ生産者等に普及するとともに、造船やトンネルの点検作業等の他産業における上向き作業を補助する器具としても活用されている。

第5章 平棚栽培用防除機の研究開発

5.1 緒言

果樹園における薬液散布作業は主にスピードスプレーヤを用いて行われているが、大風量の送風を伴って機体側方や上方に薬剤を散布するため、薬剤のドリフトが問題となっている。また、ナシ、ブドウ等の平棚栽培果樹は、都市近郊で住宅地と隣接したほ場で栽培されている例も多く、作業が早朝に行われることが多いため、スピードスプレーヤのエンジンやファンから発生する騒音も問題となっている。

農業機械の作業騒音については、古くから計測や評価方法が検討されており（梅田，1978；石川ら，1985），多くの機種，型式で評価が実施されている。スピードスプレーヤの騒音については，騒音の大きさや周波数分布を他の農業機械の機種と比較した研究（酒井ら，1972；御手洗ら，1998）や，騒音レベル低減を目的として送風機の形状を改良した研究（大黒ら，1988）がある。送風機の形状変更によって，一定の騒音低減効果が認められているが，更に騒音を低下させるにはスピードスプレーヤ自体の基本設計に戻る必要がある（大黒ら，1988）と指摘されている。

そこで，平棚栽培果樹を対象として，棚面にノズルを近づけて近接散布可能なスピードスプレーヤを考案，試作し，機関回転速度および送風量を減らした

状態での付着性能と騒音レベルを定量的に把握するとともに、開発機の騒音低減効果を明らかにした。

5.2 平棚栽培用防除機の概要

考案した平棚栽培用防除機（以下、開発機とする）は、市販されているスピードスプレーヤの送風機吹き出し部上部に近接散布機構を搭載し、ノズルを独自の扇形二頭口ノズルとしたスピードスプレーヤである（図 5-1, 5-2）。

近接散布機構は、電動シリンダを用いて機体左右中央部分で回転することにより折りたたみできるノズル管を備えており、ノズルの最高位置を地上高 1,300～1,400 mm に調整可能であり、慣行のスピードスプレーヤよりノズルを棚面に近づけた状態で散布できる。ノズルは左右のノズル管に 150 mm 間隔で 12 個装着できる。近接散布機構の電動シリンダは、運転席にあるスイッチ操作で伸縮させることができる。また、ノズル管は先端から 450 mm の位置で角度を変えることができ、棚面主枝の形状に合わせて、ノズル管の先端を下げて散布することもできる。さらに、ノズル管が枝や支柱に衝突した場合に破損することを防ぐために、ノズル管の先端が前後方向に回転可能で、バネの張力により進行方向の垂直位置に戻る衝突緩衝機構も備えている。

扇形二頭口ノズルは、真上方向の噴霧の勢いを抑えるとともに、枝等の後ろ

の部分への到達性を確保するため、前後に傾斜角をつけた両方の噴霧部が扇形噴霧を行うノズルである。前後の噴霧部は、それぞれ垂直上向きから進行方向前後に 22.5° ずつ傾けている。また、前方の噴霧部は、低送風量でも棚面上部までの到達力を維持しつつ風による飛散を抑えるために、左右の噴霧角度を 38° と狭くし、噴霧部の平均粒径を、慣行のスピードスプレーヤで用いられるノズルの平均粒径である約 $100\ \mu\text{m}$ よりも大きい $192\ \mu\text{m}$ としている。後方の噴霧部は、棚面付近の枝葉への付着性を高めるため、左右の噴霧角度を 78° と広くし、噴霧部の平均粒径を慣行のスピードスプレーヤで用いられるノズルの平均粒径とほぼ同様の $103\ \mu\text{m}$ としている。扇形二頭口ノズルの吐出量は前方と後方で等しくしている。



図 5-1 平棚栽培用防除機の外観

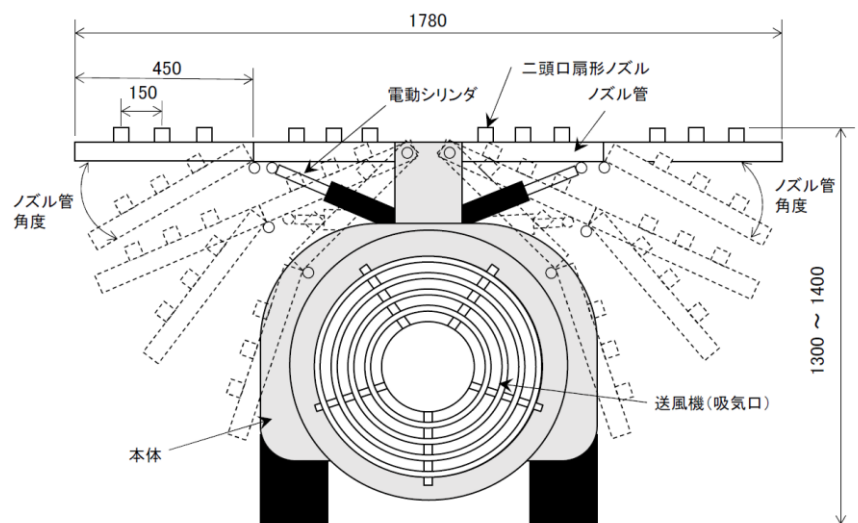


図 5-2 平棚栽培用防除機の構造改略図（後方から見た図）

5.3 試験方法

5.3.1 付着性能評価試験方法

茨城県農業総合センター園芸研究所内ナシ園において、清水散布試験を行い、感水紙を用いた付着性能評価を行った。試験ほ場は、主枝三本仕立ての‘豊水’と‘幸水’の混植の平棚栽培ナシ園であり、ナシの樹の新梢伸長と新葉展開の停止後、落葉前で、枝葉の生育が最大となる9月上旬に実施した。

清水散布試験には開発機と、慣行の防除に用いられているスピードスプレーヤ（薬剤タンク容量：500 L，機関定格出力：17.5 kW，機関定格回転速度：3000 rpm，送風量：7.8 m³/s，以下、慣行機 A とする）を供試し、開発機でノズル管を棚面に近づけるため水平にした状態と、開発機で慣行のスピードスプレーヤ

のノズル位置とほぼ同じ位置で散布するためノズル管を最低まで下げた状態と、慣行機 A で通常の状態で行った。慣行機 A には、平均粒径 $90\ \mu\text{m}$ 、噴霧角度 60° の中空円すいノズルを 20 個装着した。開発機の機関定格回転速度は 2,300 rpm であるが、近接散布で送風量を低減させるために、開発機は機関回転速度 1,800 rpm、送風量 $3.8\ \text{m}^3/\text{s}$ で散布作業を行った。開発機、慣行機 A とともに散布圧は 1.5 MPa、散布量は 250 L/10a となるように各ノズル流量と走行段数を調整した。

付着性能評価は測定対象樹を含む樹列の横を往復で散布作業を行い、測定対象樹の周囲 10 か所にそれぞれ上下左右の向きに取り付けた感水紙への液滴の付着度を測定することで行った。取付け位置は、主幹付近の 1 点と、主幹から樹列方向および樹列と直角方向に 1.8 m 離れた地点 4 点の、それぞれ地上高 1.9 m、3.4 m とした（図 5-3）。

感水紙の付着度は付着度 0～10 の 11 段階に設定した基準により、付着度 5 以上の感水紙の枚数割合と平均付着度で評価した。なお、付着度 5 は感水紙全体に均一に、感水紙面積の半分程度液滴が付着し、表面上から液滴がしたり落ちない程度の付着であり、スピードスプレーヤの性能評価基準や過去の研究で、散布の効果が有効であると判断されている基準である（戸崎ら，1998；金光ら，2008）。

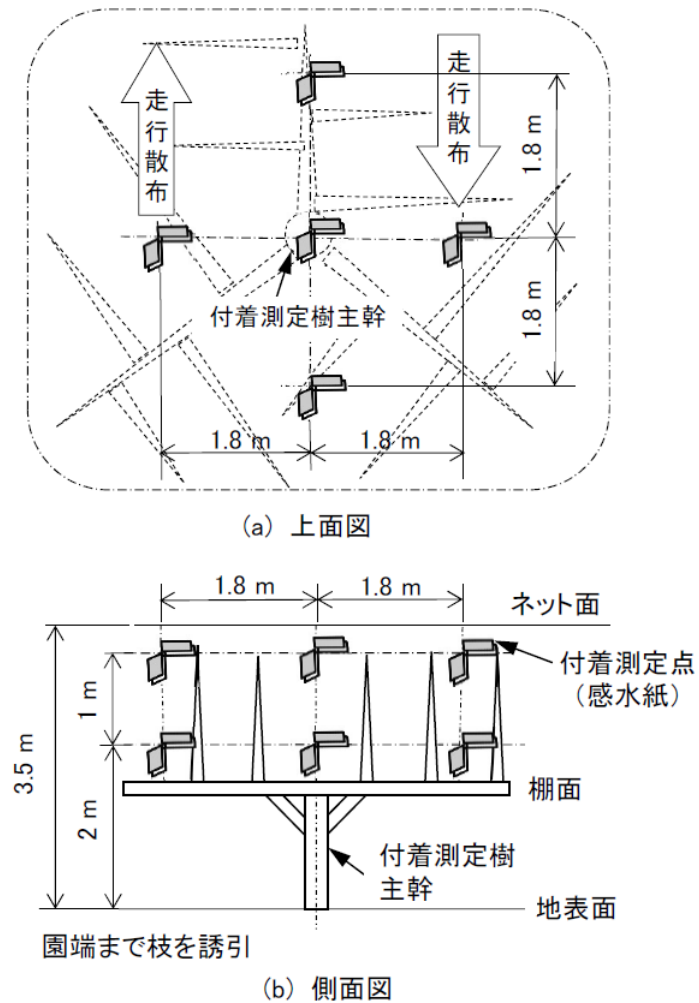


図 5-3 付着性能測定箇所の概略図

5.3.2 騒音評価試験方法

(1) 騒音評価試験の供試機および測定項目

開発機および慣行のスピードスプレーヤ（以下、慣行機とする）として薬液タンク容量が 500～600 L の 3 型式を供試した（表 5-1）。供試した慣行機のうち

ち、慣行機 A は、付着性能評価試験に供試した慣行のスピードスプレーヤーであり、薬液タンク容量が 500 L の中では比較的エンジン出力、送風量が大きな型式である。慣行機 B は、薬液タンク容量が 600 L の中で標準的なエンジン出力の型式であり、送風量が可変であるので、一般的に平棚栽培で使用される低風量に設定して試験した。また、慣行機 C は、開発機のベース機とした型式であり、エンジン型式や送風機は開発機と同様のものである。散布量は各試験区とも 250 L/10a となるように各ノズル流量と走行段数を調整した。

騒音の評価は、精密騒音計（リオン株式会社，NL-32）により A 特性の等価騒音レベルを測定することにより行った。A 特性の等価騒音レベルとは、一般環境騒音の評価に用いられる周波数重み付け特性 A を掛けて測定した、ある時間内の変動する騒音の騒音レベルをエネルギー的な平均値として表した量（JIS Z 8731:2019）である。測定時間は、供試機を静止させた試験区においては 15 s、走行させた試験区においては 20 m 区間の通過所要時間とした。各評価指標のデータ解析には、農林水産研究情報総合センター科学技術計算システムの SAS Add-In for Microsoft Office を用いた。

表 5-1 騒音評価試験供試機的主要仕様

供試機	薬剤 タンク 容量 (l)	機関 定格 出力 (kW)	機関 型式	機関常用 回転速度 (rpm)	送風機 風量 (m ³ /s)
開発機	500	9	D722	1800	3.8
慣行機 A	500	17.5	D1005	3000	7.8
慣行機 B	600	25	V1505	3000	4.9
慣行機 C	500	9	D722	2300	4.9

(2) 機関回転速度が騒音レベルに及ぼす影響

機関回転速度を下げることによる騒音レベルへの影響を把握するため、開発機を供試して、機関回転速度を変えた条件でコンクリート路面上を走行しながら散布作業を行い、騒音レベルの測定を行った。

機関回転速度は 1,600, 1,800, 2,000, 2,300, 2,600 rpm の 5 水準とした。

測定は 1 試験区につき 3 反復行った。測定位置は、運転者に対する騒音と周囲に対する騒音を評価するため、運転者の頭部横 10 cm 付近および供試機の走行軌跡横 10 m 付近（図 5-4 の b）の 2 か所とした。

(3) 運転状態による騒音レベルの比較

開発機および慣行機の各供試機において、「エンジンのみ作動」「エンジン+ファン作動」「エンジン+ポンプ作動」「エンジン+ファン作動+ポンプ作動+走行」

の各運転状態で騒音レベルの測定を行った。測定はコンクリート路面上で行った。測定は1試験区につき3反復行った。測定位置は運転者の頭部横10 cm付近および供試機の横10 m付近（図5-4のa, b）とした。また、FFTによる周波数分析により周波数ごとの騒音レベルを求めた。

（4）開発機と慣行機のほ場散布中の騒音レベルの比較

開発機および慣行機の各供試機を供試し、埼玉県農林総合研究センター内ナシ園およびブドウ園、茨城県農業総合センター園芸研究所内ナシ園において散布作業中（「エンジン+ファン作動+ポンプ作動+走行」の運転状態）の騒音レベルの測定を行った。測定は1試験区につき3反復行った。測定位置は供試機の走行軌跡横10 m付近（図5-4のb）とした。

（5）開発機と慣行機の騒音レベル分布の比較

開発機および慣行機の各供試機において、騒音レベルの分布を比較するため、コンクリート路面上に静置した状態で散布を行い、図5-4のcに示す各測定点における騒音レベルを測定した。また、測定結果からSAS Add-In for Microsoft Officeの等高線プロットにより等騒音線図を示し、各騒音レベル以上の面積を推定した。騒音レベルの測定時間は各測定点において15 sとした。

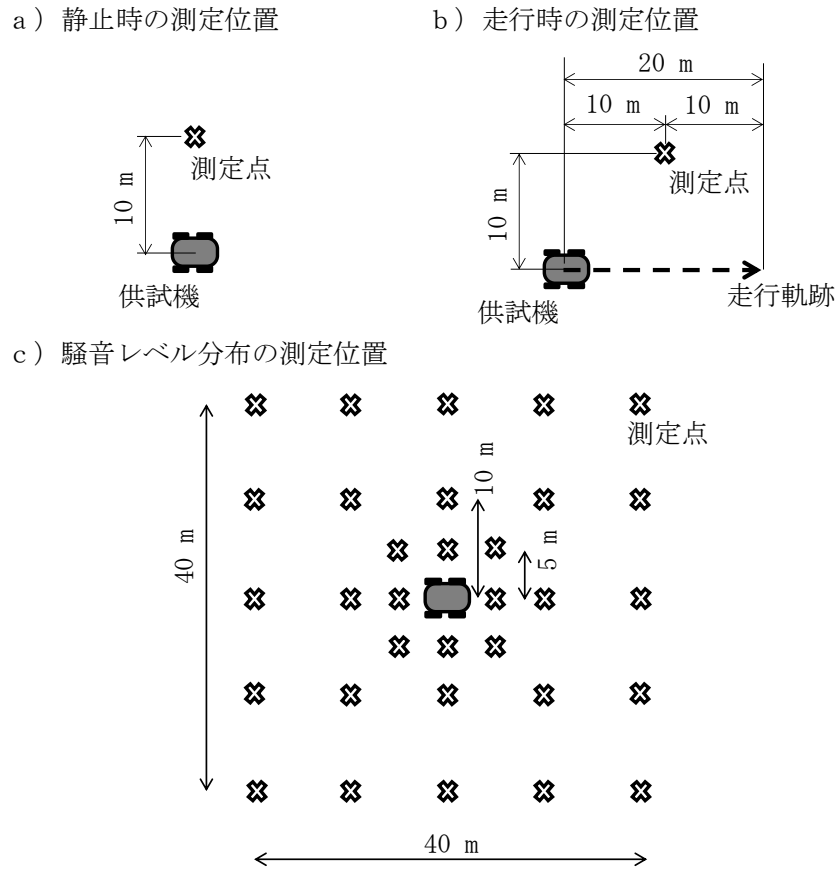


図 5-4 騒音レベル測定位置

5.4 試験結果および考察

5.4.1 付着性能評価試験結果

平棚栽培ナシ園における付着性能評価試験の結果を表 5-2 に示す。慣行機 A の付着度 5 以上の枚数割合は 78 %，平均付着度は 7.3 であったのに対して，開発機でノズル位置を慣行のスピードスプレーヤのノズル位置とほぼ同じ位置とした場合の付着度 5 以上の枚数割合は 45 %，平均付着度は 4.5，開発機でノズル位置を棚面に近づけた場合の付着度 5 以上の枚数割合は 78 %，平均付

着度は 6.8 であった。このことから、慣行のスピードスプレーヤのノズル位置で送風量を下げると付着性能が低下するものの、近接散布を行うことで、送風量を 3.8 m³/s と下げても送風量 7.8 m³/s の慣行のスピードスプレーヤと同等の付着性能が得られることが明らかとなった。

また、開発機でノズル位置を棚面に近づけた場合の下部（棚面の上付近）における付着度 5 以上の枚数割合は 80 %、上部（ネット面の下付近）では 75 %、下部における平均付着度は 7.5、上部では 6.1 であることから、送風量を下げても、上部の新梢先端付近においても付着を確保できることが明らかとなった。

表 5-2 付着性能評価試験の結果

供試機	ノズル 管位置	ノズル 種類	送風 量 (m ³ /s)	付着度 5 以上の枚数 割合 (%)			平均付着度		
				全体	下部	上部	全体	下部	上部
開発機	水平	扇型二 頭口	3.8	78	80	75	6.8	7.5	6.1
開発機	最低	中空円 すい	3.8	45	50	40	4.5	4.6	4.4
慣行機 A	—	中空円 すい	7.8	78	75	80	7.3	6.7	7.8

5.4.2 騒音評価試験結果

(1) 機関回転速度が騒音レベルに及ぼす影響

開発機における各機関回転速度の運転者の頭部横 10 cm 付近の騒音レベル（以下，耳元騒音レベルとする）を図 5-5 に示す。耳元騒音レベルは 82～89 dB(A) であり，機関回転速度が増加するに従って大きくなった。線形近似した場合の回帰係数から，同じエンジンのスピードスプレーヤでも機関回転速度を下げることによって，耳元騒音レベルが機関回転速度 100 rpm 当たり 0.8 dB(A) 程度下がることが明らかとなった。

また，開発機の走行軌跡横 10 m 付近における騒音レベル（以下，10 m 側方騒音レベルとする）を図 5-6 に示す。10 m 側方騒音レベルは 71～78 dB(A) であり，耳元騒音レベルと同様に，機関回転速度が増加するに従って大きくなった。線形近似した場合の回帰係数から，10 m 側方騒音レベルが機関回転速度 100 rpm 当たり 0.7 dB(A) 程度下がることが明らかとなった。

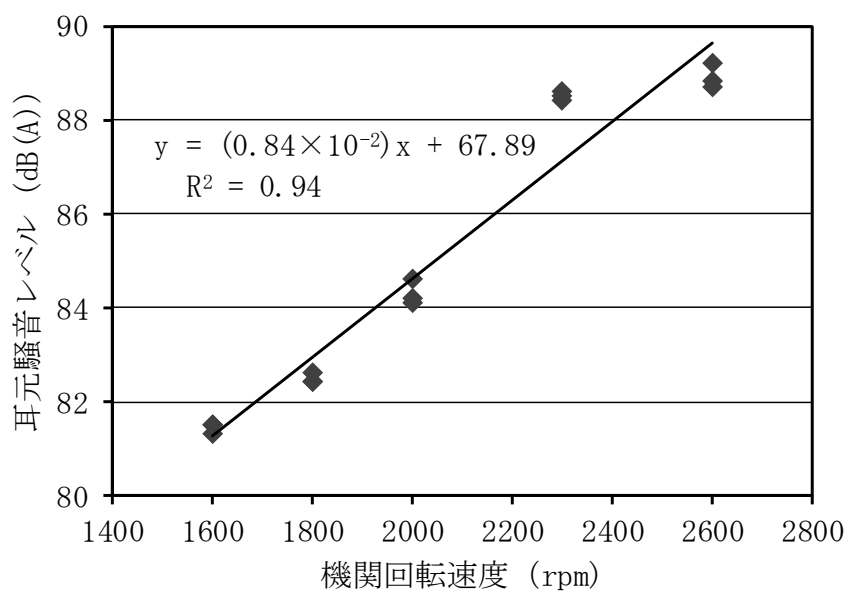


図 5-5 機関回転速度と耳元騒音レベルの関係

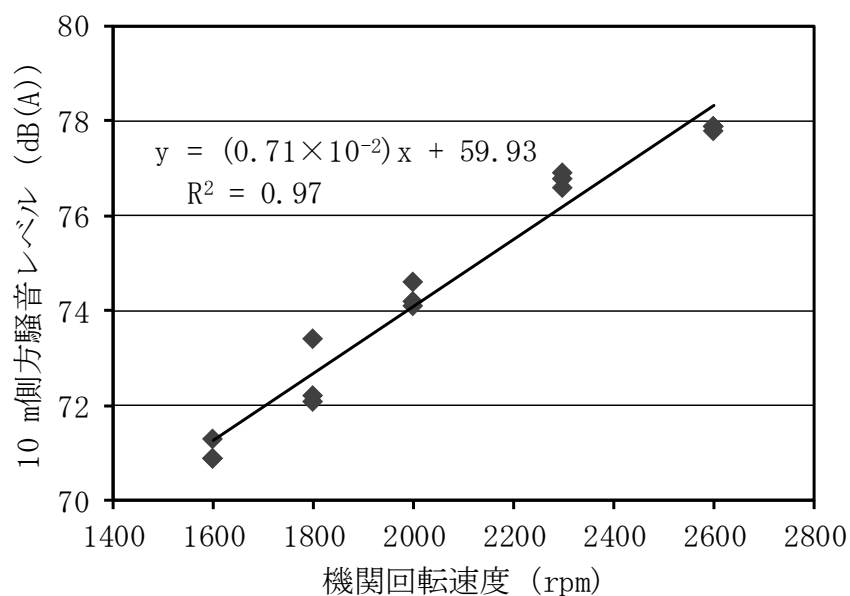


図 5-6 機関回転速度と 10 m 側方騒音レベルの関係

(2) 運転状態による騒音レベルの比較

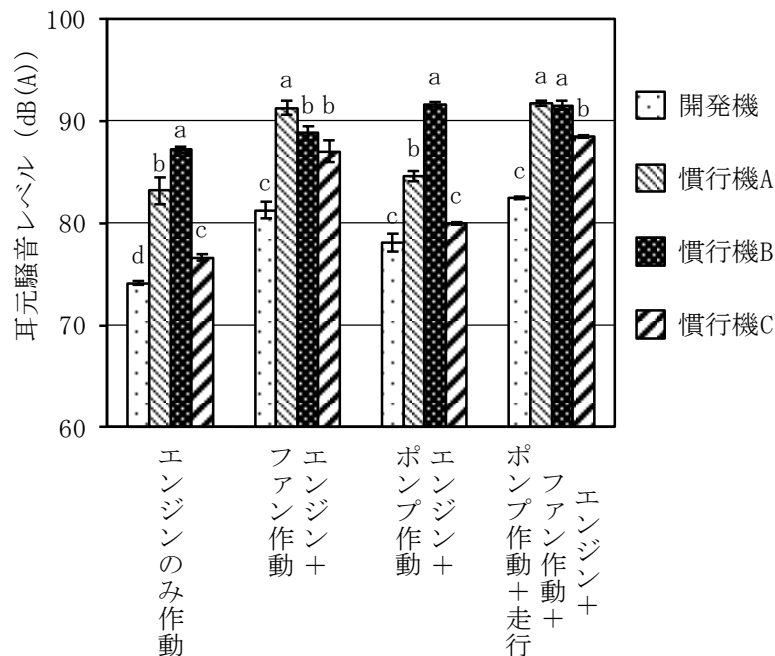
開発機および慣行機の運転状態ごとの耳元騒音レベルを図 5-7 に、また、10 m 側方騒音レベルを図 5-8 に示す。開発機の耳元騒音レベルおよび 10 m 側方騒音レベルは各運転状態ともに 3 型式の慣行機と比較して低かった。

「エンジンのみ作動」における開発機の耳元騒音レベルおよび 10 m 側方騒音レベルはそれぞれ、74 dB(A)、66 dB(A)であり、開発機と機関出力の異なる慣行機 A および慣行機 B では、83～87 dB(A)、75～78 dB(A)であった。一方、

「エンジン+ファン作動+ポンプ作動+走行」における開発機の耳元騒音レベルおよび 10 m 側方騒音レベルはそれぞれ、82 dB(A)、73 dB(A)であり、慣行機 A および慣行機 B では、92 dB(A)、79～81 dB(A)であった。開発機と慣行機 A および慣行機 B の比較では、耳元騒音レベルおよび 10 m 側方騒音レベルが、「エンジンのみ作動」において 9～13 dB(A)の差であり、「エンジン+ファン作動+ポンプ作動+走行」において 7～9 dB(A)の差であり、「エンジンのみ作動」における騒音レベルの差が最も大きいことから、ファンやポンプの動作音ではなく、エンジンの動作音による騒音レベルの違いが開発機の騒音低減効果に及ぼす影響が大きいと考えられた。

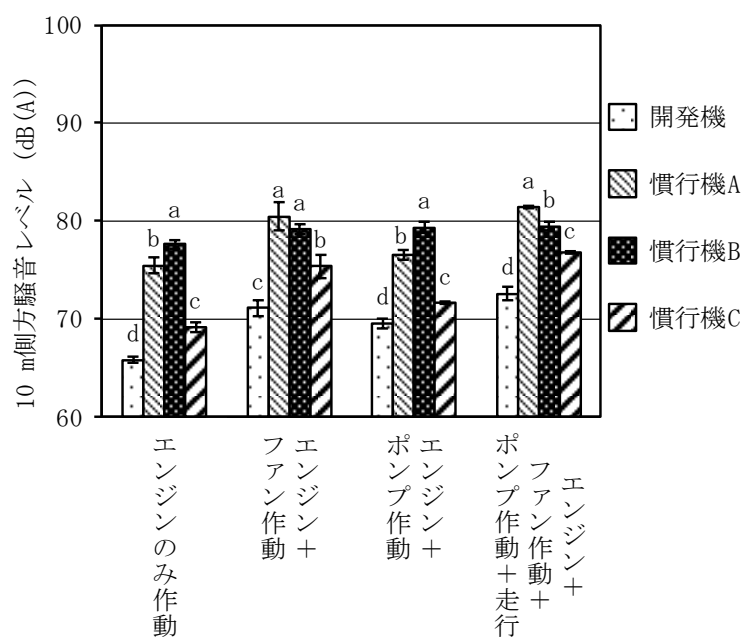
一方、開発機と同じエンジンを用いている慣行機 C では、「エンジンのみ作動」における耳元騒音レベルおよび 10 m 側方騒音レベルはそれぞれ、77 dB(A)、

69 dB(A) , 「エンジン+ファン作動」では, 87 dB(A), 75 dB(A), 「エンジン+ポンプ作動」では, 80 dB(A), 72 dB(A), 「エンジン+ファン作動+ポンプ作動+走行」では, 89 dB(A), 77 dB(A)であった。開発機と慣行機Cの比較では, 耳元騒音レベルおよび10 m 側方騒音レベルが「エンジンのみ作動」において3 dB(A)の差であり, 「エンジン+ファン作動」において4~6 dB(A)の差, 「エンジン+ポンプ作動」において2 dB(A)の差, 「エンジン+ファン作動+ポンプ作動+走行」において, 4~6 dB(A)の差であった。このことから, エンジンの動作音とともに, ファンの作動による騒音レベルの違いが開発機の騒音低減効果に及ぼす影響が大きいと考えられた。



図中のエラーバーは標準偏差を示す
同一運転状態内において異なる英文字間に危険率5%で有意差有り (Tukeyの方法による)

図 5-7 運転状態ごとの耳元騒音レベル



図中のエラーバーは標準偏差を示す
同一運転状態内において異なる英文字間に危険率 5% で有意差有り (Tukey の方法による)

図 5-8 運転状態ごとの 10 m 側方騒音レベル

開発機における各運転状態の周波数ごとの耳元騒音レベルを図 5-9 に、10 m 側方騒音レベルを図 5-10 に示す。耳元騒音レベル、10 m 側方騒音レベルともに「エンジンのみ作動」と比較して「エンジン+ファン作動」では 200 から 2,000 Hz の低・中音域において高い騒音レベルを示した。また、「エンジンのみ作動」と比較して「エンジン+ポンプ作動」では 2,000 から 20,000 Hz の高音域において高い騒音レベルを示した。「エンジン+ファン作動+ポンプ作動+走行」では「エンジンのみ作動」と比較して 100 から 20,000 Hz の幅広い範囲で全体的に高い騒音レベルを示した。これらのことから、ファンの作動音は低・中音域の騒音

レベルが高く，ポンプ作動による噴霧の作動音は高音域の騒音レベルが高いと考えられた。また，各部の作動を組み合わせることによって，ポンプ作動による高音域の騒音レベル増加と，ファン作動による低・中音域の騒音レベル増加が複合して，幅広い範囲の周波数域全体的に，エンジンの作動のみの状態より騒音レベルが増加していると考えられた。

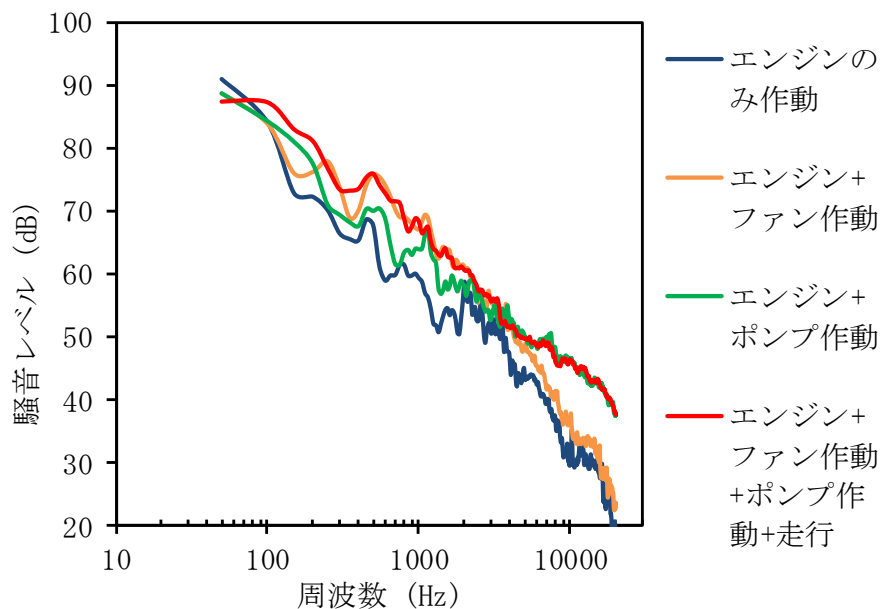


図 5-9 開発機における各運転状態の周波数ごとの耳元騒音レベル

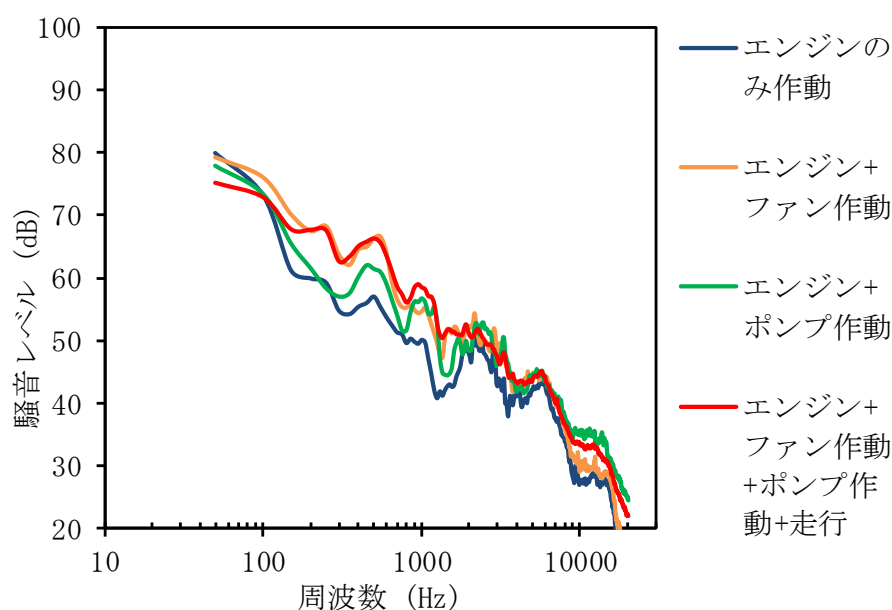


図 5-10 開発機における各運転状態の周波数ごとの 10 m 側方騒音レベル

次に「エンジン+ファン作動+ポンプ作動+走行」における各供試機の周波数ごとの耳元騒音レベルを図 5-11 に，10 m 側方騒音レベルを図 5-12 に示す。

耳元騒音レベル，10 m 側方騒音レベルともに，慣行機 A と比較して開発機は 20～20,000 Hz の幅広い範囲で全体的に低い騒音レベルを示した。また，慣行機 B と比較して開発機は 20～2,000 Hz の低・中音域において低い騒音レベルを示したが，2,000～20,000 Hz の高音域においては同等か高い騒音レベルを示した。慣行機 C と比較して開発機は 200～2,000 Hz の中音域において低い騒音レベルを示したが，20～200 Hz の低音域および 2,000～20,000 Hz の高音域においては同等の騒音レベルを示した。

これらのことから開発機ではそれぞれの慣行機と比較して、エンジンやファンの作動音の低減によって、人間の耳で聞こえやすいとされる中音域の騒音レベルが低い値を示し、大きな騒音レベル低減効果が得られていると考えられた。

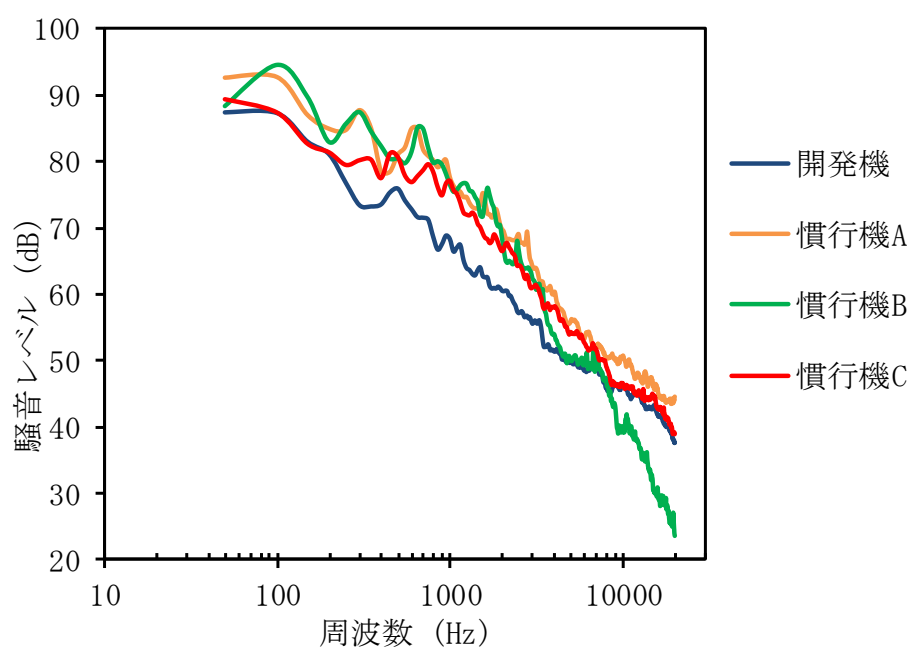


図 5-11 各供試機の周波数ごとの耳元騒音レベル

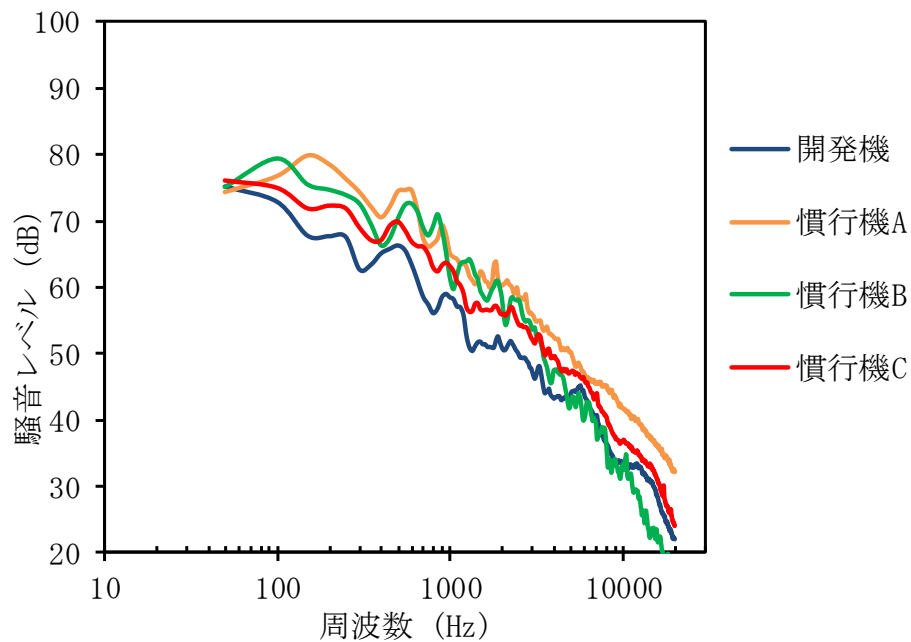
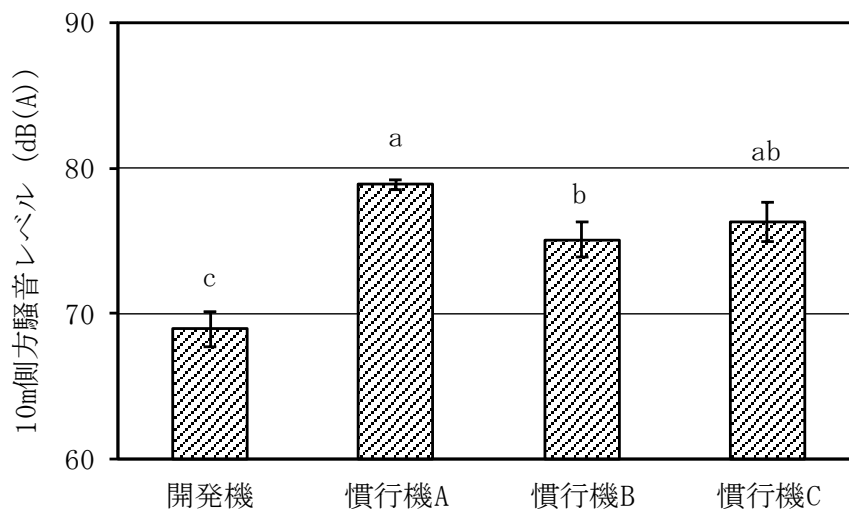


図 5-12 各供試機の周波数ごとの 10 m 側方騒音レベル

(3) 開発機と慣行機のは場散布中の騒音レベルの比較

は場散布中の 10 m 側方騒音レベルの平均値を図 5-13 に示す。開発機のは場散布中の 10 m 側方騒音レベルは 69 dB(A), 各慣行機では 75～79 dB(A) であり, 開発機は各慣行機と比較して 6～10 dB(A) 程度低い騒音レベルを示したことから, コンクリート路面上の騒音レベルと同様に, 開発機の騒音低減効果が認められた。は場散布中の 10 m 側方騒音レベルは各供試機とも, コンクリート路面上より 3 dB(A) 程度低い値を示した。これは樹体の騒音吸収による影響であると考えられた。



図中のエラーバーは標準偏差を示す
 同一運転状態内において異なる英文字間に危険率 5%で有意差有り
 (Tukey の方法による)

図 5-13 ほ場内での散布作業中の 10 m 側方騒音レベル

(4) 開発機と慣行機の騒音レベル分布の比較

各供試機の等騒音線図を図 5-14 に示す。各供試機とも機体の後方方向を中心に高い騒音レベルを示し、供試機からの距離が離れるに従って騒音レベルが低下した。騒音の分布傾向としては各供試機とも、機体後方側に伸びた楕円状を示し、ほぼ同様であったが、全体的な騒音レベルは各慣行機と比較して開発機が低かった。80 dB(A)以上の面積は開発機が 46 m²、慣行機 A が 790 m²以上、慣行機 B が 690 m²以上、慣行機 C が 296 m²であり、また、85 dB(A)以上の面積は開発機が 0 m²、慣行機 A が 211 m²、慣行機 B が 182 m²以上、慣行機 C が 53 m²であった。このことから開発機は各慣行機と比較して騒音レベルの高い面

積が小さく，騒音低減効果が認められた。

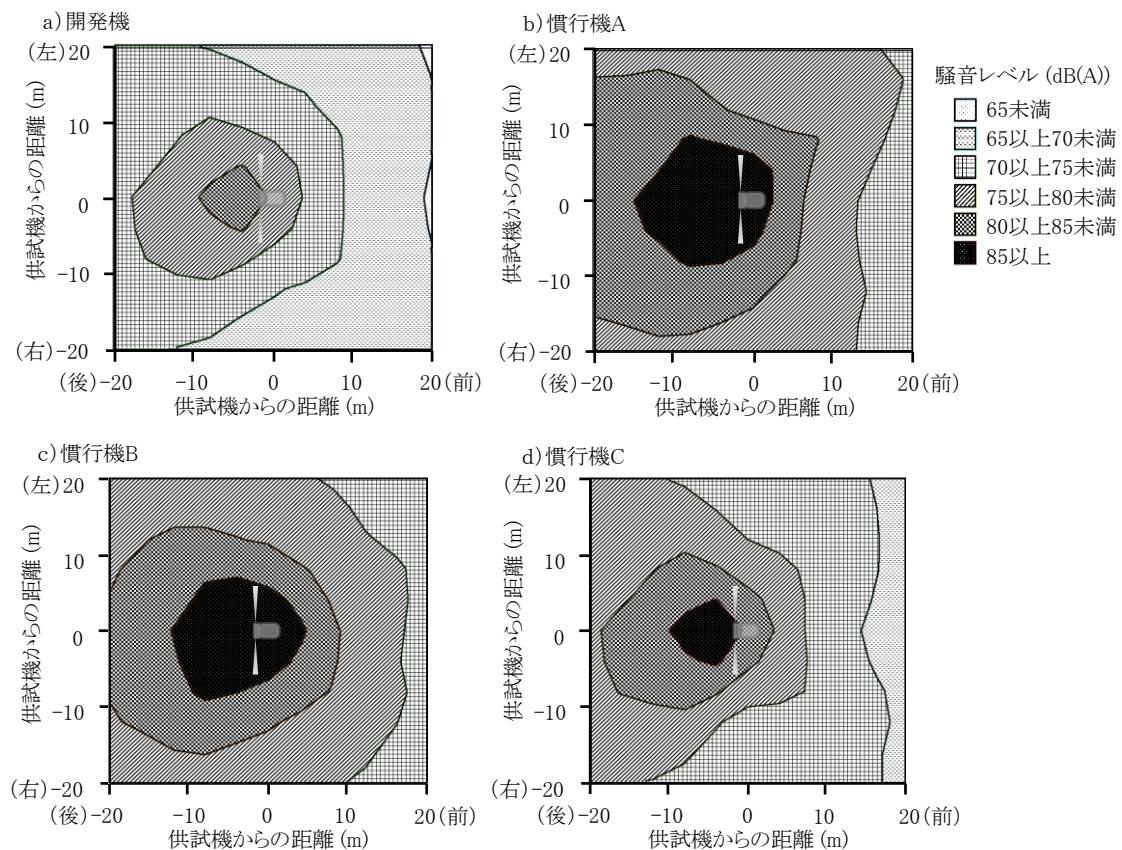


図 5-14 各供試機の等騒音線図

5.4.3 考察

ノズル管を棚面に近づけることによって，機関回転速度および送風量を減らしても，慣行機と同等の付着性能を有することが明らかとなった。また，散布作業状態の運転者の耳元騒音レベルは，慣行機では 89～92 dB(A) であったのに対して，開発機では 82 dB(A) であり，6～9 dB(A) 低かった。また，それに伴い，車両周囲での騒音も同様に低かった。

農研機構の農業機械の安全性検査では、運転席および作業場所における騒音が 100 dB(A) 以上でないこと（農研機構，2021）とされており，慣行機でも基準を満たしている。しかし，日本産業衛生学会の A 特性で測定した騒音レベルによる許容基準は，暴露時間が 30 分までは 97 dB(A)，60 分までは 94 dB(A)，120 分までは 91 dB(A)，240 分までは 88 dB(A)，480 分までは 85 dB(A)（山本ら，1981；日本産業衛生学会，2020）とされており，また，厚生労働省の騒音障害防止のためのガイドライン（厚生労働省，2020）では，多くの農作業と同様にスピードスプレーヤによる防除作業は対象とされていないが，チェーンソーを用いた伐採作業等では 85 dB(A) 以上の場合には聴覚保護具を使用し，90 dB(A) 以上の場合には聴覚保護具を使用するとともに，作業の見直しも検討する，とされている。

スピードスプレーヤによる防除作業は，薬液の積載量の関係で，連続で長時間の作業となるわけではないが，90 dB(A) 程度の運転者耳元騒音を 82 dB(A) まで低減できることは，許容基準を守って作業できる時間を伸ばせるとともに，聴覚保護具を使用することが推奨されるような騒音のストレスから解放されることが考えられる。実際の作業者の感想としても，機械のそばで人と話をできないかというくらい違うとの意見も得られており，開発機による騒音低減は有効であると考えられた。

第6章 結論

6.1 総括

本研究では、機械技術を用いた果樹栽培作業の労働負担軽減のために、草刈作業、着果管理作業、防除作業に用いられる新たな機構の果樹栽培用機械の考案および試作とそれらの労働負担軽減効果の検証に取り組んだ。具体的には、樹冠下幹周部分の草刈作業を効率的に行うための歩行型草刈機、平棚栽培のブドウ等の着果管理作業における上肢挙上を継続する姿勢を補助する腕上げ作業補助器具、機関回転速度および送風量を減らしても慣行のスピードスプレーヤと同等の付着性能を有する平棚栽培用のスピードスプレーヤをそれぞれ考案および試作し、それぞれの果樹栽培用機械の特性に応じた評価方法により労働負担軽減効果を明らかにした。

以下に各章の概要を示す。

第1章では、研究の背景として、果樹栽培の現状について、他の農作物と比較して機械化が進んでおらず、草生管理、防除、運搬等には機械が用いられることがあるものの、整枝せん定、着果管理、収穫といった作業は、ほとんどが主に手作業で行われていることを述べた。また、人手による果樹栽培の作業は

不自由な姿勢での長時間労働を強いられることもあり、労働負担が大きく、草生管理や防除のように機械が用いられる作業においても、枝を避ける姿勢を強いられることや、大きな騒音にさらされること等の労働負担があることを述べた。さらに、水稻等では、植付け、栽培管理、収穫といった主要な作業に乗用型の機械が導入されるようになって、大幅に労働負担も低減しており、果樹栽培においても機械技術を用いた果樹栽培作業の労働負担軽減が求められていることを述べた。そして、機械技術を用いた果樹栽培作業の労働負担軽減のために、草刈作業、着果管理作業、防除作業に用いられる新たな機構の果樹栽培用機械の考案とそれらの労働負担軽減効果の検証を行うという本研究の目的を示した。

第2章では、これまでに行われている果樹栽培における機械技術の研究事例と、農作業における労働負担軽減技術やその評価手法の研究を調査し、労働負担軽減に資する果樹栽培用機械研究の課題を整理した。

その結果、果樹園の樹冠下幹周部分の草刈りにおいては、様々なアプローチでの研究が行われているものの、いまだに除草剤散布か刈払機による除草作業が一般的に行われていること、楽な作業姿勢で樹冠下幹周部分の草刈作業ができる草刈機の実現が望まれることを明らかにした。

また、農業に特有の無理な姿勢を長時間強いられる作業の労働負担を軽減する目的で、様々な現状の調査研究や技術開発が行われているが、果樹栽培において、姿勢保持を支援する新しい農業機械を開発し、その労働負担軽減効果を評価した研究は少ないこと、ブドウ栽培等の平棚果樹栽培において、上肢挙上保持姿勢の労働負担は非常に大きいため、上肢挙上を補助する器具の実現と、それを用いた場合の労働負担軽減効果の検証が必要であることを明らかにした。

さらに、果樹栽培の防除作業においては、スピードスプレーヤが広く普及しているものの、1960年代に自走式のスピードスプレーヤが開発されてから、基本的な構造は大きく変わっていないこと、スピードスプレーヤは騒音が非常に大きく、農業機械の中でも対策が必要な機械の一つであるが、キャビンの設置以外にスピードスプレーヤの基本構造を改造して、騒音低減を試みる研究は行われていないことから、慣行のスピードスプレーヤと同等の作業性で騒音を低減するスピードスプレーヤの実現が求められていることを明らかにした。

第3章では、樹冠下幹周部分の草刈作業に適した歩行型草刈機の考案・試作と、その労働負担軽減効果の検証結果について示した。歩行型の法面用草刈機をベース機として、樹冠下幹周部分の草刈作業に適した構造の歩行型草刈機を2方式考案・試作し、リンゴ栽培ほ場の草刈作業において、一般的に使用され

ている刈払機との比較で省力化および労働負担軽減効果の検証を行った。その結果、一定の幅の樹冠下幹周部分における草刈作業では、作業能率が、刈払機と比較して法面用歩行型草刈機にキャストを付設したキャスト式草刈機は約 4 割向上、車体左右方向に揺動可能なオフセット草刈部を付設したオフセット式草刈機は約 2 倍に向上することを示した。また、心拍数増加率の平均値は刈払機が 37～50 %、ベース機が 24～34 %、キャスト式が 34～38 %、オフセット式が 27～31 %であり、それぞれ軽～中作業に分類されることを示した。さらに、キャスト式、オフセット式ともに、腰曲げ姿勢等の有害な作業姿勢の割合が刈払機より 5～13 %小さいことを示した。これらのことから、市販されている法面用歩行型草刈機にキャストや、車体左右方向に揺動可能なオフセット草刈部を付設し、ハンドル長さを樹の側枝長に合わせて延長した草刈機を使用することで、樹冠下幹周部分の草刈作業において、刈払機より労働負担軽減が図れることを明らかにした。

第 4 章では、ブドウ等の平棚栽培果樹の着果管理作業に用いる腕上げ作業補助器具の考案・試作とその労働負担軽減効果の検証結果について示した。腰に装着する作業ベルト、腕受け部と、それらを接続する連結機構から構成され、作業者が肘を体の内側に寄せることで動力を使わずに任意の高さで腕を支える

ことができる腕上げ作業補助器具を考案・試作し、腕上げ作業における労働負担の評価手法の検討、ブドウの着果管理作業における筋活動量の測定と作業からの聞き取り調査を実施した。その結果、補助器具を使用しない腕上げ負荷模擬試験により、負荷荷重が大きいほど、また、腕上げ高さが高いほど三角筋や僧帽筋の筋活動量が増加することを示し、負荷荷重や腕上げ高さの増加は主観的な負担の増加も伴うことから、筋活動量の増減により労働負担を評価できるという考えを示した。ブドウ栽培ほ場での実証試験においては、花穂整形作業は比較的早い時期に行うため、果房が自重で下を向いていない房も多いことから、腕の上下が比較的頻繁であり、補助器具により腕を支持する筋活動量低減効果が小さいことを示した。また、ジベレリン処理においては、補助器具を使用することにより、腕を上げた状態でも腕を休ませることができ、補助器具を使用していない慣行作業と比較して補助器具装着作業では腕や肩の疲労度が低くなることを示した。ブドウの栽培管理作業の中でも作業能率が最も低く、労働負担軽減の要望の高い摘粒作業においては、補助器具を装着することにより、三角筋の%MVC 値が4名中4名ともに補助器具を使用していない慣行作業の約30%から約80%低減し、僧帽筋の%MVC 値が4名中3名で補助器具を使用していない慣行作業の約30%から約70%低減することと、聞き取り調査においても8人中7人の作業員から「楽になった」または「大変楽になった」

との回答が得られたことを示した。さらに、袋掛け作業においても、補助器具を装着することにより、腕の上下動作の回数を低減でき、三角筋の%MVC 値が4名中3名で補助器具を使用していない慣行作業の約20 %から約30 %低減し、僧帽筋の%MVC 値が4名中4名ともに補助器具を使用していない慣行作業の約40 %から約70 %低減することを示した。これらのことから、考案・試作した腕上げ作業補助器具は、腕上げ姿勢維持を補助することによりブドウ栽培の管理作業における労働負担軽減に寄与することを明らかにした。

第5章では、平棚栽培果樹用のスピードスプレーヤの考案・試作とその騒音低減効果の検証結果について示した。市販されているスピードスプレーヤの送風機吹き出し部上部に近接散布機構を搭載し、ノズルを独自の扇形二頭口ノズルとしたスピードスプレーヤを試作し、付着性能と騒音低減効果を評価した。近接散布機構は、電動シリンダを用いて機体左右中央部分で回転することにより折りたたみできるノズル管を備えており、ノズルの最高位置を地上高 1,300 ~1,400 mm に調整可能であり、慣行のスピードスプレーヤよりノズルを棚面に近づけた状態で散布できる。扇形二頭口ノズルは、真上方向の噴霧の勢いを抑えるとともに、枝等の後ろの部分への到達性を確保するため、前後に傾斜角をつけた両方の噴霧部が扇形噴霧を行うノズルである。付着性能評価の結果、慣

行のスピードスプレーヤより、機関回転速度および送風量を減らしても、ナシ園での散布における付着性能は同等であることを示した。スピードスプレーヤの騒音レベル測定試験では、機関定格出力 9 kW のスピードスプレーヤを用いた場合、機関回転速度を下げることによって、耳元騒音レベルが機関回転速度 100 rpm 当たり 0.8 dB(A) 程度、10 m 側方騒音レベルが機関回転速度 100 rpm 当たり 0.7 dB(A) 程度下がることを示した。また、試作した平棚栽培用スピードスプレーヤは常用機関回転速度が慣行のスピードスプレーヤと比較して低いことから、耳元騒音レベルおよび 10 m 側方騒音レベルが慣行機と比較して 4～9 dB(A) 低いことと、機関出力の異なる慣行機との比較においては、エンジンの動作音による騒音レベルの違いが開発機の騒音低減効果に及ぼす影響が大きいことを示した。さらに、騒音の分布傾向としては試作した平棚栽培用スピードスプレーヤ、各慣行スピードスプレーヤともに機体後方側に伸びた楕円状を示し、ほぼ同様であるが、85 dB(A) 以上の面積は慣行スピードスプレーヤが 53～211 m²であったのに対して試作機では 0 m²であり、騒音レベルの高い面積が小さく、騒音低減効果が認められることを示した。これらのことから、考案・試作した平棚栽培用スピードスプレーヤは、聴覚保護具を使用することが推奨されるような騒音のストレスから解放されると考えられ、防除作業の労働負担軽減に寄与することを明らかにした。

以上のように、本研究では、わい化栽培のリンゴ等の樹冠下幹周部分の草刈作業を効率的に行うための歩行型草刈機、平棚栽培のブドウ等の着果管理作業における上肢挙上を継続する姿勢を補助する腕上げ作業補助器具、平棚栽培の日本ナシ、ブドウ等において機関回転速度および送風量を減らしても慣行のスピードスプレーヤと同等の付着性能を有するスピードスプレーヤをそれぞれ考案・試作するとともに、草刈作業時と腕上げ作業時の労働負担評価手法、スピードスプレーヤの騒音レベルに影響を及ぼす要因を示し、考案したそれぞれの機構の労働負担軽減効果を明らかにした。

果樹栽培全体の作業ということでは、樹種も本研究で取り上げたリンゴ、ブドウ、ナシといった樹種以外にも様々な樹種があり、作業内容も整枝・せん定から収穫・調製・出荷まで多岐にわたる。そのうえ、同じ樹種においても栽培地域や品種によって最適な樹形が異なる等、特定の対象作業用の機械開発が行えれば、果樹栽培の多くの部分をカバーできるというものではない。将来的には果樹栽培においても、水稻作のように機械化一貫体系が確立し、手作業による労働負担がなくなるとともに、各機械作業においても、劣悪な騒音や振動といった環境ではない状態で作業ができるようになることが求められる。そのような技術が開発されるには、着果位置と機械の作動範囲、費用対効果に見合

った低コストの機械技術の開発等，まだ多くの課題が残されている。しかし，本研究において，リンゴのわい化栽培における草刈作業，ブドウの着果管理作業，ナシおよびブドウの防除作業といった，果樹栽培の中でも特徴的に労働負担軽減の要望の高い作業を対象として，その労働負担軽減効果を図ることができた。実際に，本研究で試作した機械・器具を使用した生産者からも，楽に作業ができるようになったという評価をいただいている。

前述の通り，日本の樹園地面積約 270,000 ha のうち，リンゴは 37,100 ha，ブドウは 17,800 ha，日本ナシは 11,000 ha を占め，それぞれ主要な農作物である（農林水産省，2020b）。本研究で提案した草刈機は，わい化栽培のリンゴを主な対象作物としているため，リンゴのわい化率は 31 %（農林水産省，2015）であり，11,500 ha が主な対象面積で，樹園地面積の 4.3 %にあたる。また，腕上げ作業補助器具はブドウを主な対象作物としているため 17,800 ha（樹園地面積の 6.6 %）が，平棚栽培用スピードスプレーヤは日本ナシ，ブドウを主な対象作物としているため，28,800 ha（樹園地面積の 10.7 %）がそれぞれ対象面積となっている。

リンゴの面積当たりの労働時間は 273 h/10a であり，そのうち 17 h/10a が除草・防除の時間とされている（農林水産省，2010）。本研究の結果から，刈払機による草刈作業時間である約 4.2 h/10a から，開発した歩行型草刈機（オフ

セット式)を利用すると約 2.4 h/10a に省力化が図れるとし、ほ場作業効率を 0.7、リンゴ栽培面積における開発機の草刈対象面積(樹幹下幹周部分の面積)の割合を 30 %、リンゴ栽培 1 経営体当たりの栽培面積 72 a、年間草刈作業回数を 5 回と仮定すると、1 経営体当たり年間約 28 h の作業時間削減が可能となる。リンゴの労働時間における除草作業の時間の占める割合は低いが、除草作業は収穫に直結しない作業にもかかわらず、リンゴ栽培を行うには必須の作業であり、生産者から省力化が強く望まれている作業である。また、作業時間削減効果に加えて、楽に草刈作業を行うことができるようになるという効果は大きいと考えられる。

また、ブドウの面積当たりの労働時間は 455 h/10a であり、そのうち授粉・摘果作業が 114 h/10a、管理作業が 56 h/10a、袋掛け・除袋作業が 23 h/10a とされており(農林水産省, 2010)、これらの着果管理作業はブドウ栽培の総労働時間の 42 %を占めている。本研究で提案した腕上げ作業補助器具の作業対象である、花穂整形、ジベレリン処理、摘粒、袋掛けの各作業は、ブドウ栽培における主要な管理作業であるため、ブドウ栽培の総労働時間から見ても、ブドウ栽培の労働負担軽減に及ぼす影響は大きいと考えられる。

日本ナシの面積当たりの労働時間は 367 h/10a であり、そのうち除草・防除作業は 26 h/10a で、全体の 7 %である。手作業が基本となっている果樹栽培

の中で、防除は機械化が進んでいるため、本研究で提案した平棚栽培用スピードスプレーヤの利用対象となる作業時間の割合は低い。しかし、日本ナシでは一般的に年間 20 回程度の農薬散布が行われており、スピードスプレーヤは、他の作目の農業機械を含めても比較的使用回数の多い農業機械である。そのため、スピードスプレーヤでの騒音による労働負担を軽減できる効果は大きいと考えられる。

また、それぞれの対象作業において、草刈作業では OWAS 法による作業姿勢による評価、着果管理作業では表面筋電位測定器を用いた筋活動量による評価、防除作業では騒音の要因の解明と騒音低減効果による評価を行い、使用者である生産者の主観的評価と同一の結果を得られることを明らかにした。このことは、主観的評価として労働負担軽減効果があるとする要因を定量的に裏付けることができたとも言える。労働負担評価の方法は、画一的な方法があるわけではなく、各作業内容に応じて適切に選択する必要があるが、本研究の成果を得るための考え方や評価手法は、他の多くの農作業の労働負担軽減のための機械技術開発にも資することが期待される。

また、研究を行った機械技術は、対象作業の労働負担軽減に資するだけでなく、労働負担を軽減することにより、生産者の就農意欲にも影響を与えると考えられる。高齢化で肉体的に作業がつらくなったため離農を決断することが

あるが、労働負担軽減によりその時期を先延ばしにすることで、果樹生産における熟練した農業従事者を維持する効果や、就農への心理的な負担を軽減して新規就農者を増加させる効果も期待される。熟練した農業従事者の就農期間を延長することや、新規就農者を増加させることは、果樹生産の労働力確保につながり、果樹生産量の維持・向上に寄与することも期待される。

これらの新しい機能を備える果樹栽培用機械・器具は市販化という形で社会実装されることで果樹生産者に利用され、労働負担軽減が図られる。実際に、腕上げ作業補助器具と平棚栽培用スピードスプレーヤーは、既に民間企業に技術移転され、市販化されている。

6.2 今後の展望

今後、更に果樹栽培における労働負担を軽減するためには、まだ機械化されていない整枝・せん定、着果管理、収穫作業等を中心に、それぞれの作業の機械化のための研究や、既に機械化されている作業でも、操作環境の改善、乗用化や自動化等、より作業者の負担を軽減するための機械技術の研究とともに、機械の適用範囲を広げるために、機械を利用しやすい栽培方法の確立が必要であると考えられる。機械化を進めるためには、同一の機械技術で、より多くの場所で利用できるようになる必要がある。

現在の主な果樹栽培は、着果管理を手作業で行うことが前提となっており、果実が三次元的に分布していることと、枝葉や支柱といった障害物により、機械による果実へのアプローチが困難である。また、栽培様式が様々であるため、適する機械技術を研究したとしても、需要が少ないため製品化できず、社会実装に至らない例も多い。多くの樹種や作業内容に用いることができる機械技術を開発するためには、ある程度栽培様式を統一し、類似の環境で作業できるようにするとともに、それに合わせた機械技術の研究が重要となる。果実が三次元的に分布している樹形から、なるべく平面的な分布となるように壁面樹形として果樹栽培の省力化を図る研究も行われているので、そのような栽培技術と機械技術を組み合わせることが必要である。

そのようにして開発された機械技術が、多くの果樹生産者に利用されるようになり、さらなる労働負担軽減によって果樹生産量の維持・向上が図られることが望まれる。

引用文献一覧

秋山徳毅, 2016. 乗用型電動スピードスプレーヤの開発. 農業食料工学会誌, 78(3), 201-203.

Baesso, M.M., Martins, G.A., Fischer, C., Modolo, A.J., Koja, F., 2015. Ergonomic evaluation of vibration and noise emissions of agricultural tractors based on power and working time. Transactions of the ASABE, 58(5), 1177-1184.

Caprara, C., Pezzi, F., 2014. Evaluation of quality of harvest and mechanical aspects related to beater adjustments in mechanical grape harvesting. Transactions of the ASABE, 57(4), 991-997.

大黒正道, 石川文武, 戸崎紘一, 落合良治, 橋本佳文, 小林恭, 1988. スピードスプレーヤ用送風機の騒音低減について. 農業機械学会誌, 50(3), 123-128.

Earle-Richardson, G., Fulmer, S., Jenkins, P., Mason, C., Bresee, C., May, J., 2004. Ergonomic Analysis of New York Apple Harvest Work Using a Posture-Activities-Tools-Handling (PATH) Work Sampling Approach. Journal of Agricultural Safety and Health, 10(3), 163-176.

Fathallah, F.A., Miller, B.J., Miles, J.A., 2008. Low Back Disorders in Agriculture and the Role of Stooped Work: Scope, Potential Interventions, and Research Needs. *Journal of Agricultural Safety and Health*. 14(2), 221-245.

Fox, R.D., Derksen, R.C., Zhu, H., Brazee, R.D., Svensson, S.A., 2008. A history of air-blast sprayer development and future prospects. *Transactions of the ASABE*, 51(2), 405-410.

藤原隆広, 亀井雅浩, 内藤和男, 熊倉裕史, 高田健一郎, 吉田祐子, 窪田潤, 2006. ホウレンソウセル成型苗を利用した移植栽培への電動型半自動多条移植機導入による労働負担軽減効果. *農作業研究*. 41(1), 12-20.

福田博之, 2000. リンゴ栽培における作業機械の利用. *農業機械学会誌*, 62(3), 14-17.

福田博之, 千葉和彦, 久保田貞三, 川村英五郎, 山根弘康, 1975. リンゴの収穫, せん定における大型作業機械利用に関する研究. *果樹試験場報告*. C, 2, 43-72.

二塚信, 上田厚, 上田忠子, 有松徳樹, 永野恵, 上野達郎, 大山繁, 野村茂, 1983. 各種農作業における労働負担の実態と婦人労働の役割に関する労働衛生学的研究. *日本農村医学会雑誌*, 32(2), 112-126.

林清忠, 菊池昌彦, 高橋徹, 2004. 軽労化農作業体系の簡易評価法. 農業経営研究, 120, 31-34.

林正彦, 斎藤成徳, 2008. 株式会社クボタ. 歩行型草刈機. 特許第 4166159 号. 2008-10-15.

Herodian, S., 林尚孝, 森泉昭治, 大金良彦, 矢野学, 1995. 心拍数による労働負担の推定に関する研究. 総合農学, 42(1), 20-24.

肥田拓哉, 茅原崇徳, 瀬尾明彦, 2011. 把持対象物の形状と作業面の高さが上肢負担に与える影響. 日本経営工学会論文誌, 62(5), 222-229.

Hossain, M.Z., Komatsuzaki, M., 2021. Weed Management and Economic Analysis of a Robotic Lawnmower. Agriculture 2021, 11(2), 113.

Hossain, M.Z., Takahashi, K., Komatsuzaki, M., 2020. Robotic Lawnmower Saves Labor and Operation Costs in a Pear (*Pyrus pyrifolia*) Orchard. Japanese Journal of Farm Work Research, 55(3), 143-153.

Hsu, C., Lin, T., 2019. Development of an Ergonomic Evaluation System Based on Inertial Measurement Unit and Its Application for Exoskeleton Load Reduction. 2019 ASABE Annual International Meeting, Paper Number: 1901464.

日向達男, 1965. 果樹作における農家集団による大規模生産方式の問題点. 東

北農業研究, 7, 6-10.

石田時昭, 吉岡四郎, 小林芳郎, 亀田進也, 1983. ナシ収穫台車の作成. 千葉県農業試験場研究報告, 49-57.

石川文武, 菊池豊, 2002. 農業労働の計測・評価ガイドー 1. 生物系特定産業技術研究推進機構, 埼玉, 26-52.

石川文武, 菊池豊, 2003. 農業労働の計測・評価ガイドー 2. 生物系特定産業技術研究推進機構, 埼玉, 14-22.

石川文武, 小林恭, 1985. 騒音の測定・評価と農業機械作業騒音. 農業機械学会誌, 46(4), 558-562.

石川文武, 三浦恭志郎, 小林恭, 1979. スピードスプレーヤを例にした作業環境の改善. 農作業研究, 1979(36), 51-57.

石山健二, 吉田睦, 深尾隆則, 村上則幸, 2013. 画像による無人車の不整地自律走行技術と果樹農業への活用提案. ヤマハ発動機技報, 49, 88-97.

石束宣明, 宮崎昌宏, 高辻豊二, 猪之奥康治, 深山大介, 荒木琢也, 大西久雄, 2003. 作業感覚による草刈機の評価. 農作業研究, 38(1), 25-31.

岩寄幹雄; 笹尾彰; 酒井憲司, 2005. 圃場作業者の音響パワーレベル予測手法の開発. 農業機械学会誌, 67(3), 72-79.

JIS Z 8731: 2019. 環境騒音の表示・測定方法.

金光幹雄, 2004. 果樹関連機械・施設. 社団法人日本農業機械化協会編. 果樹用機械と安全利用. 社団法人日本農業機械化協会, 東京, 24-29.

金光幹雄, 山本聡史, 安食恵治, 久保田興太郎, 長木司, 小川幹雄, 久保田太郎, 藤原恵, 池田彰美, 田中健治, 米山徹朗, 藤井初郎, 大塚豊史, 2008. 傾斜地果樹用多目的モノレールの開発 (第 2 報). 農業機械学会誌, 70(3), 115-123.

Karkee, M., Adhikari, B., 2015. A method for three-dimensional reconstruction of apple trees for automated pruning. Transactions of the ASABE, 58(3), 565-574.

Kato, A.E., Fathallah, F.A., Miles, J.A., Meyers, J.M., Faucett, J., Janowitz, I., Garcia, E.G., 2006. Ergonomic Evaluation of Winegrape Trellis Systems Pruning Operation. Journal of Agricultural Safety and Health, 12(1), 17-28.

加藤淳子, 今井俊治, 2000. ブドウの栽培管理作業の軽減をはかる改良棚. 日本ブドウ・ワイン学会誌, 11(1), 15-21.

川崎陽一郎, 竹岡賢二, 塩田俊, 2017a. 主幹形ミカン樹に適するクローラ型防除機の試作開発と防除性能および作業性の評価. 農業食料工学会誌, 79(3), 291-298.

川崎陽一郎，竹岡賢二，塩田俊，2017b. 主幹形ミカン樹に適する小型クローラ型運搬車試作機の開発と作業性の評価. 農業食料工学会誌，79(4)，374-379.

金学先，笹尾彰，酒井憲司，2004. 農業機械騒音の可視化による低減化に関する研究. 農業機械学会誌，66(3)，69-76.

小泉明嗣，深山陽子，2013. コマツナの収穫・結束作業を例とした農作業における唾液中生化学物質を用いた精神的負荷評価. 農作業研究，48(4)，143-148.

小嶋俊英，徳田寿，2008. ブドウ生産者における疲労度の高い管理作業の検討. 平成19年度滋賀県農業技術振興センター主要研究成果，1-2.

近藤直，芝野保徳，毛利建太郎，門田充司，岡村誠一，1993. ブドウ管理・収穫用ロボットの基礎的研究（第1報）. 農業機械学会誌，55(6)，85-94.

近藤直，芝野保徳，毛利建太郎，門田充司，1994. ブドウ管理・収穫用ロボットの基礎的研究（第2報）. 農業機械学会誌，56(1)，45-53.

厚生労働省，2020. 「騒音障害防止のためのガイドライン」解説パンフレット. <https://www.mhlw.go.jp/content/000628106.pdf>. Accessed May. 6, 2022.

黒崎秀仁，大森弘美，高市益行，佐々木英和，2010. 表面筋電位から見たトマ

トのハイワイヤー誘引栽培におけるつる下ろし作業の適正位置の解析.

農作業研究, 45(4), 203-211.

李文彬, 伏見知道, 1988. 刈払機の騒音に関する実験的研究. 愛媛大学農学部
紀要, 32(2), 63-72.

前川寛之, 桐山晴美, 黒住徹, 2000. 農作業の軽作業化に関する人間工学的研
究. 奈良県農業試験場研究報告, 31, 1-8.

前川寛之, 谷川元一, 2004. 夏秋ナス栽培作業の軽作業化に関する研究. 農作
業研究, 39(1), 17-22.

牧野英二, 2010. 農作業アシスト装置の現状と今後. 農業機械学会誌, 72(2),
104-108.

松尾昌樹, 内野敏剛, 1991. 静電式スピードスプレーヤの研究. 千葉大学園芸
学部学術報告, 44, 99-104.

御手洗正文, シキヤット ジュリウス セザール ビリラコルタ, 永田雅輝, 岡
田芳一, 1997. 心拍数による労働負担の推定について. 宮崎大学農学部
研究報告. 44(1・2), 73-80.

御手洗正文, Sicut Julius Caesar Villacorta, 1998. 農業機械の騒音特性と
一時的聴力損失. 農作業研究, 33(2), 81-89.

三輪直邦, 坂川和也, 2013. 機械化作業に適したカキ軽労化栽培技術. 福井県

農業試験場研究報告, 50, 1-7.

宮崎昌宏, 高辻豊二, 中田昭, 1999a. 車輪走行式. 特許公報, 第 2917132 号.

宮崎昌宏, 高辻豊二, 猪之奥康治, 山本博, 長崎裕司, 岡崎紘一郎, 1999b.

急傾斜地カンキツ園における防除・施肥作業の省力・軽作業化技術の開発.

農作業研究, 34(2), 85-94.

宮崎昌宏, 石束宣明, 1999c. 意思決定支援システムの開発とその適用による

カンキツ生産作業体系選択過程の分析. 農作業研究, 34(3), 191-201.

宮崎昌宏, 高辻豊二, 山本博, 猪之奥康治, 関野幸二, 石束宣明, 田中宏明,

1999d. 園地改良と小型機械化体系導入による急傾斜地カンキツ園の軽作

業化及び省力化. 農作業研究, 34(3), 203-210.

宮寄朋浩, 片岡正登, 2004. イチゴ栽培システムにおける作業姿勢に基づく農

作業の労働負荷測定および評価法の確立. 長崎県総合農林試験場研究報

告 農業部門, 30, 29-39.

門田千昭, 1997. 新散布方式の果樹用防除機. 農業機械学会誌, 59(2), 115-

116.

門田充司, 近藤直, 芝野保徳, 毛利建太郎, 1994. ブドウ管理・収穫用ロボッ

トの基礎的研究 (第 3 報). 農業機械学会誌, 56(2), 93-100.

Monta, M., Kondo, N., Shibano, Y., Mohri, K., 1995. End-effectors for

Agricultural Robot to Work in Vineyard. *Acta Horticulturae*, 399, 247-254.

森泉昭治, 吉川昭雄, 月橋輝男, 大崎和二, 1973. 農業従事者の労働負担に関する研究. *農作業研究*, 1973(18), 61-69.

長木司, 平田孝三, 小川幹雄, 1981. トラクタ用幹周草刈機の開発研究. *農業機械化研究所報告*, 15, 85-95.

中村武志, 2017. 果樹栽培における乗用草刈機の課題と展望. *機械化農業*, 3197, 18-21.

中田実, 1992. ブドウ摘粒作業の労働負担軽減のための人間工学的改善の試み, *日本農村医学会雑誌*, 41(1), 14-20.

日本産業衛生学会, 2020. 許容濃度等の勧告(2020年度). *産業衛生学雑誌*, 62(5), 198-230.

農研機構, 2021. 農業機械安全装備検査-2019年基準_Ver2.1(令和3年4月改訂版).

https://www.naro.go.jp/laboratory/iam/contents/test/pdf/kensa_002_008_4.pdf. Accessed Jul. 16. 2022.

農林水産省, 2010. 平成19年産品目別経営統計. <https://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/noukei/hinmoku/>. Accessed

Jul. 16. 2022.

農林水産省, 2015. 特産果樹生産動態等調査. <https://www.e-stat.go.jp/dbview?sid=0003408352>. Accessed Jul. 16. 2022.

農林水産省, 2020a. 令和2年生産農業所得統計.
http://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/nougyou_sansyutu/index.html#r. Accessed Jul. 16. 2022.

農林水産省, 2020b. 令和2年耕地面積.
<https://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/sakumotu/menseki/#r>.
Accessed Jul. 16. 2022.

Nwe, Y., Toyama, S., Akagawa, M., Yamada, M., Sotta, K., Tanzawa, T., Kikuchi, C., Ogiwara, I., 2012. Workload Assessment with Ovako Working Posture Analysis System (OWAS) in Japanese Vineyards with Focus on Pruning and Berry Thinning Operations. Journal of the Japanese Society for Horticultural Science, 81 (4), 320–326.

小原繁, 2000. 低樹高化と機械化. 農業機械学会誌, 62(3), 11–13.

小川幹雄, 1996. 土壌管理用機械. 農業機械学会編, 生物生産機械ハンドブック. コロナ社, 東京, 726–729.

小椋正大, 野波和好, 中田昇, 山口武視, 近藤謙介, 2015. ブドウジベレリン

処理作業の軽労化に関する研究. 農業食料工学会関西支部報, 117, 56-57.

太田智彦, 2014. 3枚刃構造の果樹用摘果ハサミと摘果ロボット. 農業食料工学会誌, 76(3), 229-231.

Pai, N., Salyani, M., Sweeb, R. D., 2009. Regulating airflow of orchard airblast sprayer based on tree foliage density. Transactions of the ASABE, 52(5), 1423-1428.

彭彦昆, 笹尾彰, 澁澤栄, 吉田智一, 1995. 農業機械作業者耳元騒音の能動制御 (第1報). 農業機械学会誌, 57(2), 21-28.

彭彦昆, 笹尾彰, 澁澤栄, 澤村篤, 吉田智一, 1996. 農業機械作業者耳元騒音の能動制御 (第2報). 農業機械学会誌, 58(1), 57-63.

酒井学, 岡田祐四, 倉田和彦, 1972. 農業機械の騒音とそのパフォーマンスに及ぼす影響. 農作業研究, 16, 18-22.

榊原久孝, 宮尾克, 近藤高明, 山田信也, 1993. 梨, りんご栽培従事者の筋骨格系症状と作業姿勢. 産業医学, 35(6), 530-536.

坂本隆行, 越智資泰, 菊池豊, 小林恭, 田中亨, 尾崎行生, 2015. アスパラガス全期立茎栽培における側枝誘引法が収量および長柄収穫ハサミを利用した収穫の作業性に及ぼす影響. 園芸学研究, 14(1), 43-50.

産業疲労研究会, 2004. 疲労部位しらべ. 日本産業衛生学会産業疲労研究会会報, 13, 20.

Sano, M., Yagi, E., Sato, M., 2013. Development of a Wearable Assist Suit for Walking and Lifting-Up Motion Using Electric Motors. Journal of Robotics and Mechatronics, 25(6), 923-930.

佐藤幹夫, 1968. 果樹の収穫作業に関する研究. 農作業研究, 1968(6), 74-79.

佐藤幹夫, 林光夫, 浅野生三郎, 1974. 果樹の収穫作業に関する研究. 農作業研究, 1974(21), 66-70.

関野幸二, 猪之奥康治, 高辻豊二, 1998. カンキツ作経営における園内作業道・小型機械化技術導入の経済効果. 農業経営研究, 36(2), 89-94.

瀬尾明彦, 2005. 作業関連性筋骨格系障害に関わる計測と評価の手法. 労働科学, 81(1), 6-15.

瀬尾明彦, 坂本多佳子, 土井幸輝, 菊池豊, 中野丹, 岡田俊輔, 2009. 乗用トラクタのブレーキペダルの位置が右下肢負担に及ぼす影響. 農業機械学会誌, 71(2). 53-59.

志村浩雄, 木幡栄子, 小林恭, 2006. モモ栽培における側枝の高さと作業負担. 東北農業研究, 59, 175-176.

塩谷哲夫, 桐原三好, 池田弘, 1980. 畑作労働に関する作業研究. 農作業研

究, 1980(38), 33-42.

Solanelles, F., Escolàl, A., Planas, S., Rosell, J. R., Camp, F., Gràcia, F., 2006. An electronic control system for pesticide application proportional to the canopy width of tree crops. Biosystems Eng., 95(4), 473 - 481.

Stover, E., 2002. Sensor-Controlled Spray Systems for Florida Citrus. EDIS HS - 140. Gainesville, Fla.: University of Florida, IFAS Extension.

菅原彰, 野田智明, 稲川裕, 村松裕司, 2009. 高所作業台車および低樹高化によるわい性台木 M26 を用いたリンゴ栽培の省力化と軽労化. 北海道立農業試験場集報, 93, 47-51.

鈴木邦彦, 1992. 栽培技術の変遷に伴う雑草群落の変化. 雑草研究, 37(3), 195-203.

鈴木慎一, 多田達実, 三田村智行, 浦池隆文, 木村功, 白旗雅樹, 内田哲嗣, 金子俊一, 田中孝之, 桑原純一, 高松正志, 2014. 醸造用ぶどう園向け除草作業支援ロボットの開発. 北海道立総合研究機械工業試験場報告, 313, 1-11.

玉井浩, 2015. リンゴのトールスピンドルシステムにおける省力・軽労型生産

技術. 農業食料工学会誌, 77(6), 407-410.

田中栄三郎, 藤木徳実, 坂本五十夫, 雪竹照信, 1967. 動力草刈機によるミカン園の草刈作業について. 佐賀大學農學彙報. 24, 49-59.

田中孝一, 小園照雄, 1979. 果樹園用草刈機に関する研究. 農業機械学会誌, 41(1), 69-76.

田中孝之, 吉成哲, 前田大輔, 堀田大介, 2010. 農作業用スマートスーツのためのセミアクティブ S-FRP アクチュエータの開発. 北海道科学技術総合振興センター平成 22 年研究開発助成事業研究成果報告書, 43-45.

谷井克則, 1995. 筋電図による骨格筋および作業姿勢の負担分析と職場の人間工学的改善. 日本ロボット学会誌, 13(5), 631-634.

建石邦夫, 小林恭, 宮崎昌宏, 齋藤秀文, 関正裕, 長坂善禎, 2007. 農作業解析サポートソフトの開発(第 1 報). 農作業研究, 42(2), 148.

戸崎紘一, 宮原佳彦, 市川友彦, 水倉泰治, 1996. 誘導ケーブル式果樹無人防除機の開発(第 1 報). 農業機械学会誌, 58(6), 101-110.

戸崎紘一, 宮原佳彦, 市川友彦, 水倉泰治, 1997. 誘導ケーブル式果樹無人防除機の開発(第 2 報). 農業機械学会誌, 59(4), 87-96.

戸崎紘一, 宮原佳彦, 市川友彦, 水倉泰治, 木下雄史, 1998. 誘導ケーブル式果樹無人防除機の開発(第 3 報). 農業機械学会誌, 60(3), 97-106.

遠山茂樹, 2010. 農業用パワーアシストスーツの開発. 農業機械学会誌, 72(2), 109-113.

辻村裕次, 埴田和史, 北原照代, 2011. ブドウ果房管理作業における負担の実態. 日本農村医学雑誌, 60(1), 1-17.

梅田重夫, 1978. 騒音の評価と計測法. 農業機械学会誌, 40(2), 235-240.

八木栄一, 原田大輔, 小林雅章, 2009. 稲作オペレータの作業労働に関する人間工学的評価の一事例. 日本機械学会論文集, C 編 75(755), 2036-2043.

八木栄一, 佐藤元伸, 佐野和男, 三井利仁, 馬淵博行, 2015. 歩行と持ち上げ動作を支援するための電動アシストスーツの検証実験. 日本機械学会論文集, 81(830), 1-9.

山岸主門, 伊藤憲弘, 小数賀仁也, 安田登, 磯上健一, 小角奈美, 2002. 加速度計を用いた農作業強度の簡易計測. 農業生産技術管理学会誌, 9(2), 127-132.

山本剛夫, 平松幸三, 高木興一, 1981. 聴力保護のための騒音の許容基準(日本産業衛生学会勧告)の簡便化の検討. 産業医学, 23(3), 233-253.

Zhang, Z., Heinemann, P.H., Liu, J., Baugher, T.A., Schupp, J.R., 2016. The development of mechanical apple harvesting technology: A review. Transactions of the ASABE, 59(5), 1165-1180.

Zhang, Z., Wang, Y., Zhang, Z., Li, D., Wu, Z., Bai, R., Meng, G.,
2019a. Ergonomic and efficiency analysis of conventional apple
harvest process. *Int J Agric & Biol Eng.*, 12(2), 210-217.

Zhang, Z., Zhang, Z., Wang, W., Liu, H., Sun, Z., 2019b. The Role of a
New Harvest Platform in Alleviation of Apple Workers' Occupational
Injuries During Harvest. *Journal of Agricultural Safety and Health*,
25(1), 11-24.

謝辞

本論文をとりまとめるに当たり、宇都宮大学農学部農業環境工学科の松井正実教授には本当に丁寧なご指導を賜りました。心より御礼申し上げます。また、宇都宮大学農学部農業環境工学科の齋藤高弘教授には本研究での新規性や創意工夫の示し方についての多くのご助言をいただきました。茨城大学農学部附属国際フィールド農学センターの小松崎将一教授には評価手法や今後の展望について多くのご助言をいただきました。茨城大学農学部地域総合農学科の岡山毅教授には論文構成や伝わりやすい表現等の論文作成に当たっての多くのご助言をいただきました。東京農工大学農学部地域生態システム学科の帖佐直准教授には本研究の背景、意義、考察についての多くのご助言をいただきました。深く感謝申し上げます。

本研究は筆者が国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構（農研機構）において行った研究内容を取りまとめたものであり、研究の一部は、農林水産省の農業機械等緊急開発事業で実施いたしました。

農研機構の元生物系特定産業技術研究支援センター園芸工学研究部長（現東京都農林総合研究センター）の宮崎昌宏氏、同機構の元農業技術革新工学研究センター総合機械化研究領域長（現農業機械研究部門）の天羽弘一氏には、研究を推進する上での多大なご指導、ご助言を賜り、深く感謝申し上げます。同

機構の太田智彦氏には、研究実施の企画検討から、関係機関との連絡調整、機器の考案、試作、試験設計、試験実施、成果とりまとめ等をともに行っていた上、ご指導、ご助言を賜りまして、深く感謝申し上げます。また、同機構の深井智子氏、吉田隆延氏、水上智道氏、井上利明氏、塙圭二氏、山下貴史氏、同機構の元職員の落合良治氏、高橋正光氏、宮原佳彦氏には、開発機器や研究推進に関する貴重なご助言をいただくとともに、試作や試験をともに行っていただき、深く感謝申し上げます。

株式会社クボタの吉井秀夫氏、木村重則氏、若林宗平氏、株式会社斎藤農機製作所の金子真之氏と同社の皆様には、歩行型幹周草刈機の設計、試作、試験実施に多大なご協力をいただきました。元株式会社ニッカリの大西久雄氏と同社の皆様には、腕上げ作業補助器具の設計、試作、試験実施に多大なご協力をいただきました。株式会社丸山製作所の湯浅一康氏、元ヤマホ工業株式会社の東恵一氏と同社の皆様には平棚栽培用防除機の設計、試作、試験実施に多大なご協力をいただきました。深く感謝申し上げます。

また、岩手県農業研究センター、長野県果樹試験場の皆様には、歩行型幹周草刈機の試験実施に多大な協力をいただきました。農研機構果樹研究所（現果樹茶業研究部門）、群馬県農業技術センター、埼玉県農林総合研究センター（現埼玉県農業技術研究センター）、長野県果樹試験場、徳島県立農林水産総合技術

支援センターの皆様には，腕上げ作業補助器具の試験実施に多大なご協力をいただきました。埼玉県農林総合研究センター(現埼玉県農業技術研究センター)，茨城県農業総合センターの皆様には，平棚栽培用防除機の試験実施に多大なご協力をいただきました。深く感謝申し上げます。各試作機の現地試験にご協力いただきました生産者の皆様にも深く感謝申し上げます。

最後に，本研究に取り組むことに当たって，温かく見守り，支えてくれた家族に深く感謝申し上げます。