

博士（農学） 糸川信弘

学位論文題名

急傾斜地ミカン園における運搬作業の機械化に関する研究

学位論文内容の要旨

わが国の柑橘類は過剰基調にあるとともに輸入自由化の余波を受け、生産コストの低減を要請されている。ミカンを中心とした柑橘の生産基盤の多くは傾斜地に位置している。

一般に、傾斜地での農業は生産効率が低く、平坦地の大規模圃場のようにスケールメリットが見いだしにくく、農業の国際化のなかで社会的、経済的インパクトを受やすい。しかし、傾斜地適応性の高い農用機械についての開発研究は少なく、就農者の高齢化の進展とともに急傾斜地作業の省力化、快適化が緊急の課題となっている。

一口に傾斜地といっても、傾斜度によって作業技術上の問題点は大きく異なる。傾斜度が大きくなるにしたがって、作業速度が低下し、転倒・暴走などの危険性が増大する。一方、生産基盤としての山間傾斜地の地形的特徴は、傾斜が険しくなるにつれ、農道の路線密度が疎となり、圃場が小区画、不整形となることである。つまり、傾斜度が大きくなるにつれて作業能率の低下や労働強度が大きくなり、安全対策の必要性や運搬作業の比重が増す。とくに、生産物質量の大きい柑橘類の収穫作業は、運搬作業の改善が大きな課題となっている。とくに急傾斜地ミカン園における運搬技術の改善は、大幅な省力化と労働負荷の軽減につながる。

急傾斜地での機械作業は、運搬車両の走行が比較的容易な 20° 以下の傾斜度、運搬車両の走行が困難な 30° 以上の傾斜度およびその中間傾斜度に区分できる。本論文では、急傾斜地で広く利用されている車両系運搬機械および施設型運搬機械を対象に、傾斜地ミカン園の各傾斜区分において直面する安全かつ効率的な機械化技術に関わる諸問題の改善対策を論じた。

傾斜度 20° 以下の比較的緩傾斜の山成畑・斜面畑においては、広範に利用されている農用運搬車のうち、傾斜地性能の解明されていない車体屈折操舵車両の転倒安定性および操舵性能を解析した。傾斜度 $20\sim30^{\circ}$ の車両系運搬機械の走行限界傾斜度付近においては、階段畑ミカン園の園内作業道（テラス）、上下方向の耕作道および支線農道をミカンコンテナの積替えなしで運搬走行できる省力運搬法を確立するため、6輪運搬車の前後に装着した機械式誘導ガイドを用いて排水溝兼用の誘導路を追従させる無人走行技術を検討した。さらに、傾斜度 30° 以上では、車両走行の困難な急傾斜地で乗車利用されている単軌条運搬機の安全対策および多機能化の可能性を検討した。さらに、単軌条運搬機を活用した軌条自動病害虫防除装置を開発した。

1. 車体屈折操舵車両の性能

- (1) 傾斜面上に静止した機体に作用する外力の平衡条件から静的転倒角を求める近似式を誘導

し、市販されている車体屈折運搬車の機体方向角別の静的転倒角を実測してその妥当性を明らかにした。傾斜面の任意の機体姿勢における静的転倒角を予測することが可能となった。

(2) 車体屈折操舵車両は、機体姿勢による静的転倒角の変動が大きい。機体前部および機体後部の重心がそれぞれ車軸の中心に位置し、その質量差が小さい状態において転倒安定性が最も高まる。

(3) 傾斜地における操舵性能は、前輪と後輪のすべり率差に起因する操舵トルクに加えて、機体前部および機体後部重心の車軸からの前後変位が操舵トルクに大きく影響する。

(4) 傾斜 12° の草生面における旋回半径3mの定常円旋回では、保舵トルクが正負に大きく変動し、保舵力180Nに相当する35N・mに達した。傾斜面での旋回方向や積載条件次第では操舵不能に陥る可能性があった。

(5) 障害物乗越え時の瞬間的な保舵トルクは、車輪荷重、障害物の高さに比例して増大し、障害物の高さ10cmで保舵力206Nに相当する40N・mに達した。

最大許容操舵トルクを40N・mと考えると、機体の前部軸距と後部軸距の比を0.4～0.5の範囲に設定するとともに、最大積載量を350kg以下に制限するのが望ましい。

2. 誘導路を利用した無人運搬車両

(1) 平坦路面では、誘導ガイドに作用する車両進行方向の誘導路反力および機体を旋回させるガイド軸と直角方向の誘導路反力は、機体総質量に比例して増大した。旋回部の曲率半径が小さくなると進行方向の反力は著しく増大するが、それと直角方向の反力はほとんど変化がみられず一定の値を示した。ガイド軸長の影響は少なかった。

(2) 誘導路反力および旋回時の所要農道幅を考慮すると、誘導ガイドのガイド軸長は130cm、旋回部の誘導路曲率半径は約2.5mが適当と判断された。

(3) 階段畠の前進登坂では、積載量を増すと、誘導路反力は減少する。機体前部の浮上とともにガイド軸傾斜角が増大し、ガイド輪の機能が低下するので、適切な前部ウエイトが必要であった。一方、前進降坂では、ガイド軸傾斜角は積載量や後部ウエイトに影響されず小さかった。また、誘導路反力は積載量の増加にともなって僅かに増大した。

(4) 傾斜地では、積載時の旋回抵抗（進行方向および直角方向の誘導路反力の合力）は平坦地の約1/2程度であり、機械式誘導ガイドによる無人走行は十分可能である。

(5) 最大路面こう配 30° 前後の階段畠においても、前方および後方転倒を回避するため適宜カウンタウエイトを装着すれば、ミカンコンテナの積替え無しで積載量400kg前後を確保できる見通しを得た。

3. 単軌条運搬機の安全対策および多機能化

(1) 直線暴走時の台車の摩擦抵抗は、機体総質量が大きいほど増加するが、300～400N程度であった。さらに、空気抵抗を受ける台車の前面投影面積を拡大しても減速効果はあまり期待できない。また、速度20m/sの谷部通過では、動荷重によるレールのたわみなどによって、台車や人体模型に 500m/s^2 以上の衝撃加速度が作用した。

(2) 曲率半径4mのレール曲線部では、速度5.5～7.5m/sで700～1,500Nの摩擦抵抗が作用し減速

効果が認められた。しかし、走行速度10m/s以下でも台車の遠心力やローリングに起因する脱線急停止が発生した。

(3) 暴走した台車を捕捉する可搬制動装置を開発した。台車のガイドローラとレールの間にくさび状の鋼板を差し込む形式は小型軽量で緩衝制動効果も高く、約20,000Nの制動力を発生させることが可能である。

(4) 緩衝制動時に台車や人体模型の受ける加速度は、制動力にほぼ比例し、台車総質量に反比例して増大した。台車に作用する加速度の最大値が $2,000\text{m/s}^2$ 以上では、人体模型の胸部衝撃加速度の最大値が、人体の許容加速度範囲を越える危険性があった。

(5) 走行台車の緩衝制動は十分可能であるが、現場での曲折したレール敷設状況を勘案すると、走行途中での脱線や制動時に搭乗した作業者が転落して二次災害を誘発する危険性が高い。

(6) 動力車に乗用台車を連結した乗用単軌条運搬機を開発した。乗車利用時の安全性が著しく向上するとともに運搬作業における労働負担が大幅に軽減された。前進速度を2段変速とし、降坂時は乗用台車の定速ブレーキを活用することで、乗用台車を付加しても従来と同程度の積載量を確保できる見通しを得た。さらに乗用化で、単軌条運搬機を管理作業へ汎用利用する道が拓かれた。

(7) 誘引柵仕立てのミカン樹の樹冠上を走行する、単軌条運搬機搭載型の自動病害虫防除装置を開発した。空気吹き出し管を有する門型ブームで側面から薬液を散布する。10a当たりの薬液散布量が145Lで慣行の約1/3にもかかわらず、樹体内部の葉の表裏への薬液の付着精度は高かった。散布作業能率は5.8分/10aと高能率であった。

以上

学位論文審査の要旨

主査 教授 寺尾 日出男
副査 教授 高井 宗宏
副査 教授 伊藤 和彦
副査 助教授 近江谷 和彦

学位論文題名

急傾斜地ミカン園における運搬作業の機械化に関する研究

本論文は、総頁数180の論文で、図76・表12・引用文献81を含む5章からなり、他に参考論文15編が添えられている。

温州ミカンを中心とした柑橘の生産基盤の多くは高品質柑橘の生産に適した傾斜地に位置している。一般に傾斜地での農業は生産効率が低く、平坦地の大規模圃場のようにスケールメリットが見いだしにくく、農業の国際化のなかで社会的、経済的インパクトを受やすい。しかも、傾斜地適応性の高い農業機械についての開発研究は少なく、就農者の高齢化の進展とともに急傾斜地作業の省力化、快適化が緊急の課題となっている。とくに、生産物質量の大きい柑橘類の収穫作業は運搬作業の改善が大きな課題となっている。

本論文では、傾斜20°以下の緩傾斜地において広く利用されている車両系運搬機械の中から車体屈折操舵運搬車の転倒安定性および操舵性能、傾斜度20~30°の利用限界付近では、誘導路を利用した6輪運搬車の無人誘導技術、さらに30°以上の急傾斜地では、施設型運搬機械として単軌条運搬機の安全性向上を取り上げ、急傾斜地ミカン園における運搬作業の機械化に関する問題改善の対策を検討したものである。

第1章は序論で、急傾斜地ミカン園における機械化研究の背景および意義を整理した。

第2章は、傾斜地適応性が高く急速な利用・普及が予想されていた車体屈折操舵運搬車の傾斜地における転倒現象および操舵性能の変動メカニズムを解明した。はじめに、車体屈

折操舵車両の傾斜面における静的転倒角に関する理論を導き、市販機の静的転倒角の実測値からその妥当性を検証するとともに、転倒安定性の向上対策を検討した。また、種々の走行条件や機体条件における操舵特性を測定し、車体屈折操舵車両の操舵性能の改善方策を究明した。

静的転倒角の実測値と理論式による計算値を総合すると、機体前部および機体後部の重心がそれぞれ車軸の中心に位置し、その荷重差が少なくなるほど転倒安定性が最大になる。操舵性能を高めるためには、最大許容操舵トルクを40N·mとすると、機体屈折点の位置を前後軸距比0.4~0.5に設定し、乗車積載時の重心位置が転倒安定性の場合と同様に車軸上に位置するように配慮することが重要であることを指摘した。

第3章は、階段畠ミカン園の運搬作業における無人運搬技術の検討である。等高線方向のテラス（作業道）と直角の上下方向に園内耕作道を敷設して、テラス上の運搬、階段状の園内耕作道および支線農道の運搬を1台の運搬車で積替え無しで行うことは、荷の取扱い労働の大幅な軽減と運搬能率の向上が期待できる。この場合、運搬車両の転倒の危険性があるのり面部分の走行限界傾斜付近における運搬は無人で行う。排水溝を誘導路とした機械式誘導ガイドによる運搬技術の実用性を検討するため、6輪運搬車を供試して平坦地で旋回性能を解析するとともに、階段畠での適応性試験を実施した。ガイド輪に作用する排水溝の側壁反力の測定から、車両に装着す

る誘導ガイドの軸長は130cm、排水溝の旋回半径は2.5mが適当であった。また、自然傾斜度25°の階段畠（最大路面勾配30°）では、転倒防止用の釣合おもりを付加することにより積載量400kg前後を確保することができることを明らかにした。

第4章は、単軌条運搬機の安全対策および多機能化の検討である。まず急傾斜圃場内に様々な状態を想定した暴走試験コースを設置して、暴走時の運搬台車および搭乗者の挙動を把握し、安全な制動方法を考察した。

レール勾配の異なる試験コースで、暴走速度、暴走台車の緩衝制動時における実効衝突速度および台車に搭載した人体模型が急制動時に受ける衝撃力を理論的に解析し、暴走時の作業者の安全限界を策定した。また、制動効率の高い可搬型緩衝制動装置を開発した。次に、一連の暴走試験結果から、運搬機に乗車しながらの作業は極めて危険性が高いことが明かとなったので、2系統の制動機構を有する乗用装置を装着した乗用単軌条運搬機を開発した。本機は座席傾斜度を自動制御し、安全性とともに居住性を向上させている。

さらに、単軌条運搬機の多目的利用を図る

ため、単軌条運搬機を利用したミカン園の自動病害虫の防除技術を開発し、誘引柵仕立て法に樹形改造したミカン樹の樹冠上に設置した軌条を走行する自動防除装置は、薬液の散布量が慣行の1/3と少ないにもかかわらず、空気流吹き出し噴霧方式であるので、樹体内部の葉の表裏に高精度に散布することができる。本方式は、従来のブームノズルの手散布方式に比べ、農薬の被爆による健康障害が回避できるとともに、散布作業能率を約6分/10aと大幅に向上させ得ることを確認した。

第5章は総括と今後の方向を展望を述べている。

以上のように、緩傾斜地から急傾斜地に至る傾斜地ミカン園において生産現場で直面する運搬作業に関わる諸問題を幅広く取上げ、理論的に解析するとともに実機を用いてその妥当性を検証し、さらに具体的な改善対策を論じた本研究成果は、学術的に高く評価できる。

よって審査員一同は、学力確認試験の結果と合わせて、本論文の提出者、糸川信弘は、博士(農学)の学位を受けるのに十分な資格があるものと認定した。