農研機構
NARO 国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構

Research on the Development of Mechanized Production System for Steep Sloping Citrus Orchards

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2019-03-22 キーワード (Ja): キーワード (En): mechanization, steep slopeland, citrus orchard 作成者: 宮崎, 昌宏, 岡崎, 紘一郎, 石東, 宣明, 高辻, 豊二, 猪之奥, 康治, 関野 , 幸二, 山本, 博, 長﨑, 裕司, 田中, 宏明, 角川, 修 メールアドレス: 所属:
URL	https://doi.org/10.24514/00001456

近中四農研報 1
1－48，(2002)

急傾斜地カンキツ園の機械化体系に関する研究

宮崎昌宏*・岡﨑紘一郎・石東宣明**・高辻豊二***
猪之奥康治・関野幸二・山本　博****・長﨑裕司*****・田中宏明・角川　修

Keywords：mechanization, steep slopeland, citrus orchard

目　次

Ⅰ　緒　言 …… 1
Ⅱ　カンキツ生産の現状と取り上げる機械化体系の概要 …… 2
　1　カンキツ生産の現状 …… 2
　2　急傾斜地カンキツ園の機械化体系に関する既往の研究 …… 4
　3　本研究の目的と取り上げる機械化体系 … 5
Ⅲ　歩行形機械化体系における要素技術の開発 …… 6
　1　序　言 …… 6
　2　園内作業道の簡易舗装法の開発 …… 7
　3　病害虫防除機の開発 …… 9
　4　肥料散布機の開発 …… 13
　5　収穫作業のシステム分析 …… 15
　6　摘　要 …… 21
Ⅳ　歩行形機械化体系の現地実証 …… 22
　1　序　言 …… 22
　2　対象とした急傾斜地カンキツ園の概況と園地改良 …… 22
　3　導入した作業体系 …… 23
　4　導入技術の作業特性と評価 …… 24
　5　摘　要 …… 27
Ⅴ　カンキツ生産作業体系選択過程の分析 … 27
　1　序　言 …… 27
　2　階層分析法と意思決定支援システムの開発 …… 27
　3　意思決定過程の構造 …… 28
　4　選択過程の調査と分析 …… 30
　5　摘　要 …… 34
Ⅵ　結　論 …… 34
　1　カンキツ生産の現状と取り上げる機械化体系 …… 35
　2　歩行形機械化体系のための要素技術の開発 …… 35
　3　歩行形機械化体系の現地実証 …… 36
　4　カンキツ生産作業体系選択過程の分析 … 36
　5　摘　要 …… 36
謝　辞 …… 37
引用文献 …… 37
Summary …… 40

Ⅰ　緒　　言

我が国のカンキツのおよそ半分は，傾斜15度以上の急傾斜地で栽培されている．急傾斜地でカンキツが多く栽培されるのは,排水・風通し・日照が良く,寒気だまりが少ないなど，高品質な果実生産ができることが主な理由である．

傾斜地カンキツ園の多くは，第二次世界大戦後に手開墾で開園された．特にカンキツ類の中で最も生

（平成13年12月６日受理）

傾斜地基盤部
*　現野菜茶業研究所　　**　現島根大学
***　現果樹研究所　　****　現畜産草地研究所
*****　現中央農業総合研究センター

産量の多いウンシュウミカン園は1960年代に急激に増加し，1969年の栽培面積は1960年の約2.6倍と驚異的な増加を示した．ところが，1970年代にはいるとカンキツは供給過剰に陥り，果実価格の暴落を招いて栽培面積は年々減少し，現在では1960年当初の栽培面積まで落ち込んでいる[1]．しかし，ミカン生産は栽培面積および生産量とも我が国の果樹生産の第1位を占め，国民の豊かな食生活に貢献するとともに，傾斜地農業の中心的な役割を担い，地域農業の大きな柱になっている．

しかし，現状のカンキツ生産は，厳しい社会的・経済的な下で生産構造の変革が求められている．1991年の生鮮オレンジ，1992年のオレンジ果汁を最後に全ての生鮮果実，果実加工品が完全輸入自由化となり，国際競争の中で生産を維持発展させなければならない．また，消費需要においても若年層を中心とした果実離れが進み，個人の果実購入量が減少するとともに，消費ニーズの高級化・多様化が進行し[2]，外観や食味が劣る果実はたとえ単価が安くても消費者は見向きもしなくなっている．すなわち，消費者嗜好に適した高品質果実を生産・供給しなければならない．しかも，果実があまりにも高価では消費の拡大は望めず，高品質果実をできるだけ安価に消費者へ供給できる低コスト生産が併せて求められている．

このような状況下，急傾斜地カンキツ園は高品質な果実生産には適しているが，その大部分が手開墾で広がった園地であることから，区画が狭いうえに密植されており，作業者が通る程度の空間が確保されているにすぎない．このため，基盤整備や機械化が立ち後れ，作業はほとんどが手作業であり，生産者に長時間の重労働を強いている．しかも，カンキツ栽培においても生産者の高齢化や女性化が進行し,後継者が不足するという労働力の脆弱化が進み，生産の単一世代化による産地の崩壊が危惧される状況に至っている[3]．このため，産地では急傾斜地カンキツ園において，高齢者や女性でも楽に作業ができ，しかも後継者に魅力ある果樹園経営を提供できる機械化生産システムを強く求めている．

このような背景のもと，本研究は大部分の作業を手作業に頼らざるを得なかった傾斜15度以上25度未満の急傾斜地カンキツ園を対象として，作業の省力化と軽作業化を目的とした機械化体系の開発に主眼をおいたものである．また，これに関して生産者がカンキツ生産体系を選択する過程を分析し，開発した作業体系の導入条件を考察したものである．

本論文の内容は次のとおりである．

Ⅰでは，カンキツ生産の現状および既往の研究成果から，本研究の目的と取り上げる機械化体系の概要を述べる．

Ⅱでは，開発を目指した歩行形機械化体系のための要素技術として開発した園内作業道の簡易舗装技術，病害虫防除機，施肥機の概要と作業特性を述べる．また，収穫作業についてシステム分析を行い，本体系に適合する収穫物の運搬方式について検討する．

Ⅲでは，開発した歩行形機械化体系を愛媛県北宇和郡吉田町のカンキツ栽培農家に導入し,労働強度，作業時間，並びに果実生産量について慣行の作業体系と比較調査し，本体系の省力化および軽作業効果を明らかにする．

Ⅳでは，階層分析法に基づく意思決定支援システムを開発し，それを用いて生産農家がカンキツ生産作業体系を選択する意思決定過程を明らかにするとともに，開発した歩行形機械化体系の適用条件を明らかにする．

なお，本研究で示した機械化体系は，農林水産技術会議が公表した「農林水産試験研究成果10大トピックス1996」[4]に選ばれるとともに，農林水産省が策定した「農業キーテクノロジーの確立普及のための行動計画（AGROKEY21）」の「果樹低樹高省力化技術体系」[5),6)]に取り上げられた．また，本研究で開発した風筒式防除機は実用性が認められ[7)−10)]，商品化された．

Ⅱ カンキツ生産の現状と取り上げる機械化体系の概要

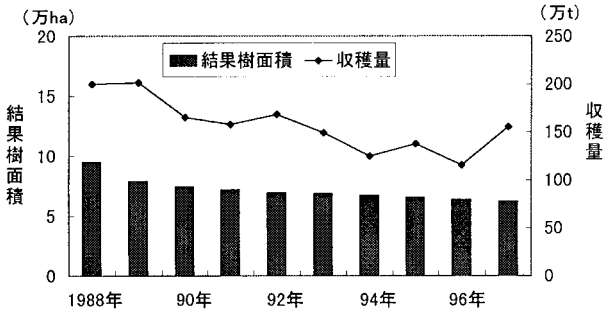
1　カンキツ生産の現状

1）　収穫量と農家数の推移

我が国で栽培されているカンキツは，ウンシュウミカン，ナツミカン，ハッサク，イヨカン，ネーブルオレンジなどがあり，1997年の収穫量をみると，ウンシュウミカンが155.5万トンとカンキツ全体の79％を占め，これに次いでイヨカンの20.2万トン

(10%)，ナツミカンの11万トン（5.6%）である[11]．

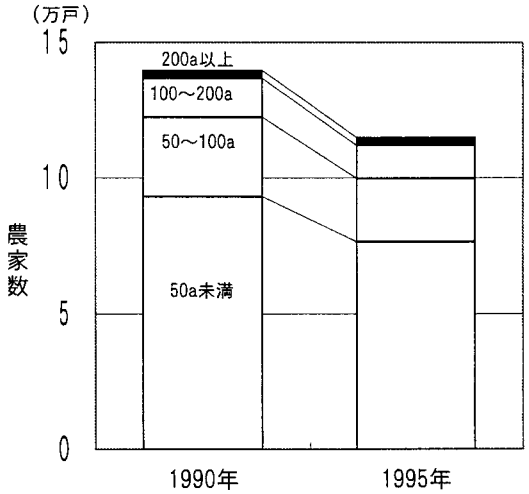
カンキツ栽培で最も収穫量の多いウンシュウミカン（以下，ミカンと記述）の1988～1997年にかけての結果樹面積と収穫量の推移[11]を第１図に示す．結



第１図　ミカン生産の結果樹面積及び収穫量の推移

果樹面積は年々減少しているが，国産果樹の中では最も大きく1997年では6.2万haである．収穫量は結果樹面積と同様に全体的には減少傾向にはあるが，隔年結果性が強いため年次変動が大きく，1997年は前年産に比べて35%増加している．

1990年と1995年のミカン販売農家数[6]を規模別に見たのが第２図である．1995年の農家数は11万5千戸であり，一戸当たりの平均栽培面積は約60aである．規模別に見ると，50a未満の農家数は7万7千戸（67%），50～100ａは2万3千戸（20%），100ａ～200aは1万2千戸（11%），200a以上は3千戸であり全体の3%にすぎない．これを1990年の農家数と比較すると，全体で2万5千戸，割合では18%減少している．規模別の減少率をみると，50a未満が18%，50～100aが21%，100～200aが8%，200a以上が1%と中規模層の農家を中心に減少が進み，大規模層の減少率は小さくなっている．



第２図　ミカン生産規模別農家数の推移

農家数の減少は農地の流動化を促すが，現実には労働力が不安定であり，農家数の減少が栽培面積の減少に連動している．この原因としては，省力化が立ち遅れていること，永年生作物であることから売買・賃貸借の契約に際して園地の評価が難しいこと，園地整備がなされていない園地では借り手のメリットが少ないこと等があげられる[6]．すなわち，急傾斜地カンキツ園の維持発展のためには，中・小規模農家を対象とした省力化および軽作業化技術の開発が必要であると考えられる．

2）生産基盤

ミカン園の主産県別の傾斜度別面積割合[12]を第１表に示す．ミカンは，傾斜5度以上の傾斜地で全体の77%が栽培されており，代表的な傾斜地果樹である．しかも，傾斜15度以上の急傾斜地が全体の42%を占め，その中でも栽培面積が全国1，2位の愛媛・和歌山両県では傾斜15度以上の急傾斜地園が各々67%，61%と高い比率を示す．ちなみに，生産量がミカンに次いで大きいリンゴでは，傾斜5度未満の園地が全栽培面積の65%を占め，傾斜15度以上の急傾斜地で栽培されている面積は7%にすぎない[12]．

第１表　温州ミカン園の栽培面積と傾斜度別面積割合（主産県）

	結果樹面積 (ha)	傾斜度別面積割合（%）		
		5度未満	5～15度	15度以上
全　国	69,300	23	35	42
愛　媛	9,570	13	20	67
和歌山	8,380	16	23	61
静　岡	7,430	24	39	37
熊　本	6,170	18	45	37
佐　賀	5,460	24	45	31

資料：農林水産省果樹花き課調べ（平成４年）

この生産基盤の差が作業機の導入に大きく影響している．例えば，病害虫防除用のスピードスプレーヤの利用状況でみると，リンゴ園では全面積の約80%で利用されているが，ミカン園では1.7%にすぎず[13]，ミカン園における機械化の立ち後れが顕著に現れている．しかも，園地は小規模で分散しており，経営の効率化・規模拡大が進まない原因の一つ

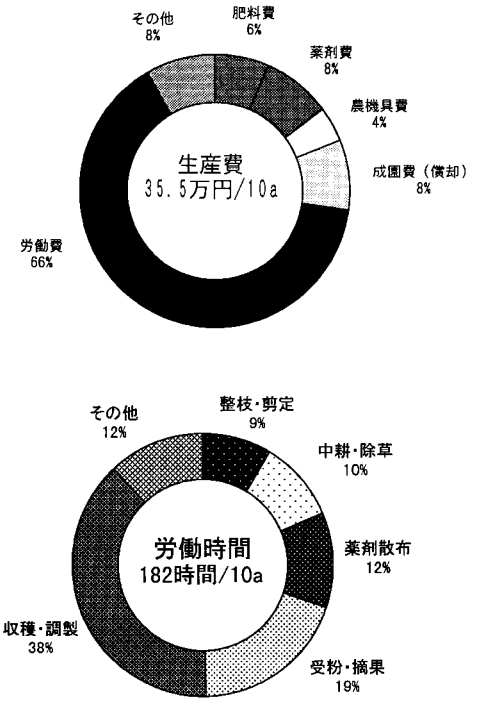
になっている．

なお，本稿では傾斜地区分の名称として，傾斜勾配が5度未満を平坦地，傾斜5度以上15度未満を緩傾斜地，傾斜15度以上25度未満を急傾斜地，傾斜25度以上を急峻傾斜地と呼ぶ．

3）　労働時間と生産費

第３図に，ミカンの10a当たりの労働時間と生産費[14]を1990年から1994年にわたる5年間の平均値で示す．10a当たりの労働時間はおよそ180時間であり，機械化の進展している稲作の約4.5倍である．労働時間の内訳をみると，収穫・調製作業が最も大きく全体の38%を占め，次いで摘果作業の19%，薬剤散布作業は12%である．また，量的な労働時間の長さのみならず，足場の悪い傾斜地での上をむいての作業が多いことから，質的な面での労働の過重感も強い．

10a当たりの生産費は35.5万円であり，そのうち労働費が66%と全体の約2/3を占める．肥料費は6%，薬剤費は8%である．機械化の進展に関わっている農機具費は4%と少ない．すなわち，現状のカンキツ生産では，主に手作業に依存しているため，長時間労働が強いられており，低コスト生産を図るためには，生産費の多くを占める労働時間の削減が必要である．



第３図　ミカン生産の10a当たり労働時間と生産費
（1990～1994年の平均値）

2　急傾斜地カンキツ園の機械化体系に関する既往の研究

急傾斜地カンキツ園の機械化作業体系の研究は，1960年代後半から70年代前半にかけて精力的に行われた[15-19]．これは，国内産ミカンに国際競争力を付与することと，加工品の生産による消費の拡大を図ることを目的とし，全労働時間の約4割を占める収穫運搬の機械化体系を開発することであった．

これらの研究から，四国農業試験場では作業道つき斜面畑あるいは耕作道型斜面畑が考案され[20]，幅約2mの作業道を等高線方向のテラスに配置し，作業道の法面に相当する斜面に樹木を列状に植栽する方式を開発し，乗用形車両の導入による運搬作業の省力化が実証された．しかし，1972年以降の過剰生産による価格の下落によってミカン産業は量産から高品質への技術変革を余儀なくされるとともに，大半を占める既成園に対しては大幅な改造や改植が必要とする場合が多く，生産者の経済的負担が大きくなるために広く採用されなかった．

一方，急傾斜地カンキツ園では，農道の役割を代替し得るものとして，単軌条運搬機（通称モノレール）が開発され，現状の既成園に適合しやすい特徴を有していることから広く普及した[21,22]．これは設置のための樹木の伐採が少なく，傾斜度，造園形態および栽植密度などの変化に対して，作業性能が安定していることが主な理由である．鶴崎[23]は，カンキツの収穫作業におけるモノレール利用法を労働科学的分析手法を用いて明らかにし，傾斜が急で運搬距離が長いほどモノレール運搬の省力効果が大きいと述べている．また，糸川ら[24]は，荷物専用で人の乗車が禁止されていた単軌条運搬機に対して，乗車可能な乗用単軌条運搬機を開発し，運搬作業の軽作業化が図れる乗用単軌条運搬機の商品化に大きく貢献した．さらに，モノレールを樹上に設置し，防除・収穫作業の自動化を狙った研究[25,26]も進められている．しかし，施設費の高いモノレールは傾斜上下方向の運搬に限られ，急傾斜地カンキツ園の全面的な作業改善には至っていない．

急傾斜地園の管理作業の中で運搬に次いで省力化・軽作業化が要望されている薬剤散布作業については，灌水用のスプリンクラの散水機能を利用した薬剤散布方法が研究され[27,28]，実用化されている．

山下らは[29]，スプリンクラによる薬液の散布性能を明らかにするとともに，その省力効果や実用性を明らかにしている．しかし，葉裏への薬液付着が劣るためハダニ等の駆除に問題があること，散布量が多く環境汚染が問題になること，施設費と薬剤費が大きい等から，その利用面積は全体の7%[13]にとどまっている．現状では，ほとんどがホースとノズルを両手で持って斜面を歩く労働強度の大きい手散布である．

3　本研究の目的と取り上げる機械化体系

1）本研究の目的

本研究の主目的は，急傾斜地カンキツ園において作業の省力化および軽作業化を実現する機械化体系を開発することである．具体的な目的を示すと以下のようになる．

①低コストな園内作業道の造成方法を開発すること．

②作業道から薬剤散布作業が可能な病害虫防除機を開発すること．

③作業道から肥料散布作業が可能な肥料散布機を開発すること．

④作業道を利用した効率的な収穫作業を明らかにすること．

⑤開発した園内作業道の造成方法を生産現場で実証すること．

⑥開発した機械化体系を生産現場に導入して評価すること．

⑦生産者の作業体系選択過程を明らかにすること．

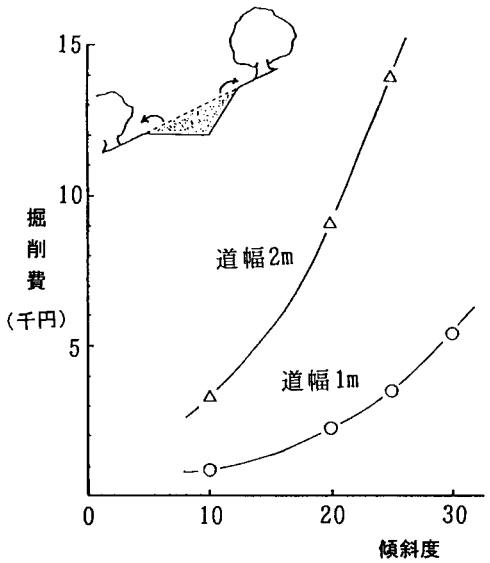
⑧開発した機械化体系の導入条件を明らかにすること．

2）機械化体系導入に伴う園地改良方式

急傾斜地カンキツ園に機械化体系を導入するためには,作業機が走行できる作業空間が不可欠である．しかも,間伐や縮伐により作業空間が確保されても，斜面での走行では，暴走，転倒，転落等の危険が介在する．このため，作業機が安定して走行できる園地改良が前提条件になる．

急傾斜地カンキツ園の園地改良には，大規模な切り盛り土によって傾斜地を緩傾斜に整備する方法と,作業機が走行する作業道を整備する方法がある[30]．前者については，着工から営農を開始するまでに多くの年数と費用を要することから，受益者の負担が大きい．さらに，生産者の高齢化・後継者不足の進行や経営意識の多様化等から園地改良を行うための地権者の合意を得ること自体が困難になっている[6]．

後者については，作業機が走行できる園内作業道を設置するいわば線工事であることから工事費が前者に比べて大幅に低減される．しかし，園内作業道の造成費は，第４図に示すように園地の傾斜度と道幅によって異なり，当然急傾斜地に乗用形作業機のための幅の広い園内作業道を造成するには，多額の費用[31]がかかる．しかも，掘削法面の段差が高くなり，摘果・採取などの作業がしづらくなることや降雨による法面崩壊の問題も生じてくる．さらに，急傾斜地帯では経営規模の小さい農家が多く，高価な乗用形作業機の導入は過剰投資をまねく恐れがある．



第４図　傾斜度別の作業道掘削費（10m当たり）
注）法面角度45度、掘削単価800円/m³

そこで，本研究の対象である傾斜15度以上25度未満の急傾斜地カンキツ園の機械化体系として，土木経費，土壌浸食，機械施設費の面から歩行形の作業機を基幹とする歩行形機械化体系を取り上げる[32]．

3）本研究で取り上げる機械化体系と園地改良法

開発する歩行形機械化体系は，傾斜地での作業であることから安全性を最優先する必要がある．また，園内作業道の整備費との調和に配慮しなければなら

ないことと，果実の消費動向から高品質生産が実現できる作業体系でなければならないことから，作業機の基本仕様は以下のように設定した．

①作業機の機体幅は1m以下とする．

②走行部は登降坂性能が高く，しかも旋回機動性が高いクローラ式とする．

③樹体の高さが作業道の両側で異なるため，防除機および施肥機は片側散布方式とする．

④作業は前進走行時のみとする．

次に，以上の歩行形作業機の基本仕様から，第５図に示すような園内改良を行うこととした．園地改良の概要を以下に示す．なお，道幅が1.8m以上で軽トラックが走行できる作業道を園内道と呼ぶ．

①園内作業道の配置は，園内の上下方向の連絡道で等高線方向の作業道と園内道および支線農道を結ぶ肋骨形配置[8]とする．

②連絡道は，縦断勾配を15度以下とし，道幅を1.3m以上とする．

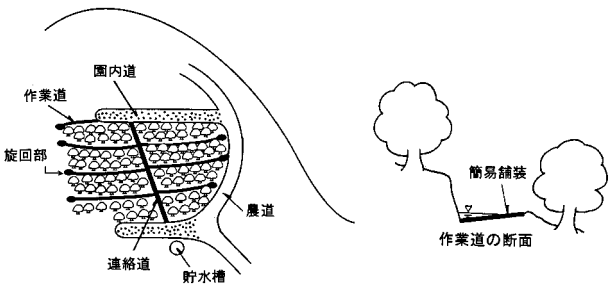
③等高線方向に設ける作業道はできる限り直線状に配置し，道幅を1.0～1.2mとする．また，作業道の両端には作業機が旋回できる直径2～2.5mの旋回部を設ける．

④作業道の山側は谷側よりも低くして，排水路の機能を持たせるとともに，路面上を流れる排水が連絡道に集中しないように，作業道の縦断勾配を決定する．

⑤降雨の流れによる路面侵食を防止して，作業機の安定走行を確保するため，園内作業道は舗装処理を施す．

⑥園内に薬剤散布用の貯水槽等の給水施設を設ける．

作業道の密度については園地の条件によって異なるが，路線密度が高いほど，防除薬液の付着および収穫果実の搬出，草刈り作業などにおいて有効であり省力効果は大きいが，造成経費の上昇，樹冠占有率の低下および単位収量の減少といったデメリットがある．園地条件に左右されるので一概にはいえないが，樹列間の空間が小さく，作業道造成に過大な縮伐を伴う場合は2樹列ごとに作業道を設け，樹列間の空間が大きい場合や列間伐が可能な状態の園地では１樹列ごとに作業道を設けることを基本とした．



第５図　園内作業道の肋骨形配置法

Ⅲ　歩行形機械化体系における要素技術の開発

１　序　言

開発を目指した作業体系は，急傾斜地カンキツ園に道幅1～1.3mの園内作業道を設置し，歩行形の作業機を開発して重労働の薬剤散布，肥料散布，収穫物の運搬などの作業を機械化することである．

歩行形作業機のために急傾斜地園に設置した園内作業道は，雨水の流れによって路面が侵食されるので，安定走行が阻害され，運転者の安全性を損ねたり疲労度を増大させるばかりでなく，荷傷みの原因にもなる．したがって，園内作業道の表面は舗装処理を施さなければならないが，交通量の少ない園内作業道の舗装に従来のコンクリート舗装やアスファルト舗装を用いると資材費が過大となり経済的に不利で実用的でない．そこで，従来の舗装よりも下級であっても低コストで，現場施工できる舗装技術の開発が必要になる．

作業機については，狭幅な園内作業道に適合する小形化が必要である．また，薬剤散布では，園内作業道の両側の高低差の大きい樹木に対して散布方向が調節できる機構が求められ，肥料散布では，園内作業道から樹冠下に散布できる機構の開発が必要である．

人力作業の採果と運搬からなる収穫作業では，採果作業の労働力，運搬車の大きさ，運搬距離などの園地条件によって収穫作業時間が大きく異なるため，それらの関係を把握する必要がある．

このように歩行形機械化体系を開発するためには，新たな技術を開発しなければならない．本章では園内作業道の簡易舗装法，病害虫防除機，肥料散布機の開発とその試験結果，収穫作業のシステム分

析結果について検討と考察を行う．

2　園内作業道の簡易舗装法の開発

交通量の少ない支線農道や圃場内道等の低コストな舗装法として，道路の路盤強化あるいは路床の強度補強に用いられている土質安定処理を直接表面舗装に用いる方法がある[33),34)]．永石ら[35)]は，トラクタなどの営農機械を用いて土質安定処理法で舗装する技術を開発しているが，転圧作業が必要であり，狭幅な園内作業道ではこの行程に中・大形機械が導入できず，施工が困難である．

そこで，労力がかかる転圧行程を省くため，土質安定処理の使用資材として，普通ポルトランドセメント（以下，普通セメントと記述）の他に遊歩道等に使用されている土壌凝固剤Ｓ剤（メチルセルロース系高分子化合物）を現場で原土と混合して水練りする簡易舗装法の検討を行った[36),37)]．

1）簡易舗装法の概略と試験方法

本工法の作業工程を写真１に示す．まず，掘削整形した園内作業道の路面に，普通セメントと土壌凝固剤を散布する．次に，小型トラクタあるいは中耕管理機で原土に混和し，散水する．散水後，中耕管理機あるいは小型トラクタで再び撹拌混合して水練りを行う．最後に，くわ等で表面をなめらかに仕上げる．

簡易舗装法を評価するにあたって，下記の項目を調査した．

(1)　圧縮強度

土壌凝固剤の添加の効果をみるため，原土に対して普通セメント及び土壌凝固剤の配合割合を変えたテストピースを作り,その一軸圧縮強度を測定した．供試した土壌は兵庫県，広島県，香川県，愛媛県，高知県，大分県のカンキツ園の表層10cmの厚さの土壌11点であり，粒度分析（JIS-A-1204）を行った．テストピースは直径５㎝，高さ10㎝の鉄製円筒に入れて作成し，養生７日後に圧縮試験機（アムスラー型100ｔ）で一軸圧縮強度を測定した．反復数は３回とした．

(2)　路面強度と施工能率

四国農業試験場のカンキツ園に，舗装厚さおよび土質安定資材の配合割合を変えた各種の簡易舗装区を設け，路床土支持力比（現場CBR値），路面の硬化状況，耐機械走行性，施工能率を調査した．

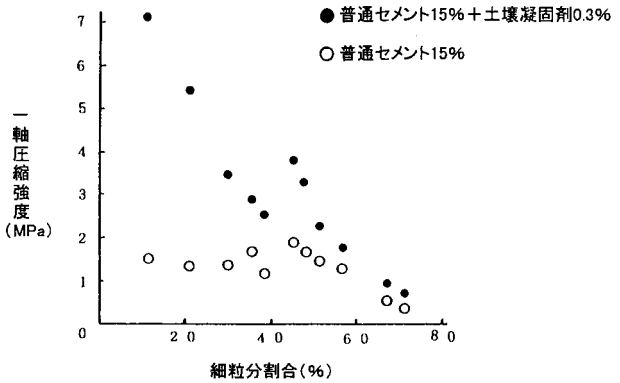
造成に使用した機械は，斜面の掘削に小形バックホー（Ｆ型FM-7型，乗用クローラ式，エンジン出力９kW，質量1.2ｔ，車体幅900㎜，最大掘削力６kN），土壌と安定剤の混合に歩行形管理機（M式MMR60型，歩行車輪式，エンジン出力2.5kW，正逆転爪，作用幅600㎜），散布に歩行形散布機（Ｔ式BS-500S型，歩行クローラ式，エンジン出力4.3kW，ホッパー容量450Ｌ，回転底散布式）であった．

路床土支持力比は球体落下式 CBR試験機（球体直径10.4㎝，質量4.175㎏，落下高さ60㎝）を用い，換算曲線を用いて算出した[38)]．路面の硬化状況は山中式硬度計で測定した．耐機械走行性は，質量3,700㎏の大型トラクタ（接地圧0.1MPa）走行後の路面の沈下量を測定した．

2）試験結果および考察

(1)　圧縮強度

供試したカンキツ園の土壌は有機物の混合がほとんどなく，2㎜以上の礫が40％を占めるシルト質礫から，0.074㎜以下の細粒分割合が70％の粘土まで広範囲であった．これらの土壌を骨材として普通セメントを15％混合したテストピースの圧縮強度は第６図に示したように0.4～3.0MPaの範囲となり，細粒分割合が60％以上の土壌を骨材とした時の圧縮強度は小さくなった．これに対して，普通セメント15％の他に，土壌凝固剤を0.3％（セメントに対して2.5％）加えて作ったテストピースの圧縮強度は0.7～7MPaとなり，普通セメントのみの混合に対して，土壌凝固剤を加えることにより圧縮強度は1.4



第６図　西日本地域カンキツ園土壌の土粒子割合とテストピースの一軸圧縮強度
注）細粒分割合は土粒子径が74μm以下の割合

第２表　簡易舗装処理法の違いによる路床土支持力比（現場CBR値）

舗装厚さ	土質安定資材の配合割合		現場CBR値	備考
(cm)	普通セメント(%)	土壌凝固剤(%)	(%)	
10	14.0	0.0	＞100	ヒビ発生
10	6.7	0.0	＞100	ヒビ発生
10	13.0	0.3	＞100	
10	6.5	0.15	95	
7	11.0	0.3	82	
5	13.0	0.3	58	
5	6.5	0.15	40	

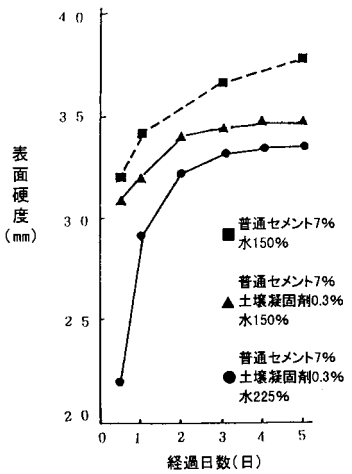
注）四国農試鶴が峰カンキツ園（マサ土）、現場CBR値は施工１か月後の測定値

～4.7倍に増加した．

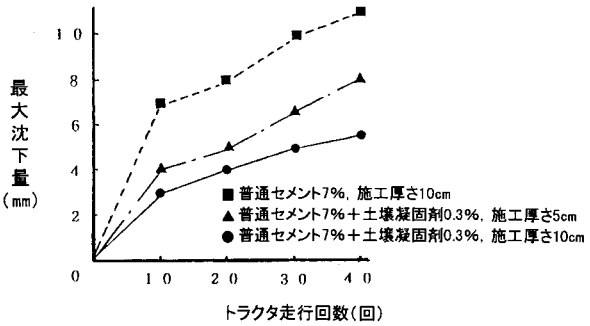
(2)　路面強度と施工能率

四国農業試験場内のカンキツ園に設置した園内作業道の簡易舗装処理法の違いによる路床土支持力比（現場CBR値）を第２表に示す．普通セメントのみの混合で仕上げにバイブレータによる転圧処理を施した区は現場CBR値が100％以上の値を示し，硬い路床を得られたが，表面にヒビが生じ路面の剥離を起こすなど仕上がり面および耐久性に難点があった．これに対して，転圧処理をしない土壌凝固剤を混和した区では，仕上がり面は滑らかであった．原土は細粒分割合の少ないマサ土のため簡易舗装の骨材として適しており，普通セメント11％，土壌凝固剤0.3％の混和で舗装厚さが7㎝以上であれば，現場CBR値が82%以上を示し，路盤支持力に換算すると0.45MPa以上となり，接地圧が0.05MPaの歩行クローラ式作業機が走行する園内作業道として十分な路盤を得ることができると判断された．

土質安定処理を施してから表面が硬化するまでの経過は第７図に示したように，普通セメントのみの混合区の硬化が速く，水を多めに使用する土壌凝固剤混合区が硬化に時間を要したが，夏季では2～3日間後に硬化した．このことから，土壌凝固剤を用いた簡易舗装は夏季では3日以上経過すれば表面が硬化するとみられた．



第７図　土質安定処理施工後の表面硬度の変化
注）表面硬度は山中式硬度計の読み、水は対セメント重量比



第８図　トラクタ走行後の路面最大沈下量（施工60日目）

耐機械走行性における走行回数の違いによる最大沈下量は第８図に示したように，普通セメントのみの混合区の沈下量が大きく，土壌凝固剤を混合すると沈下量は約半分に小さくなり，土壌凝固剤を混和することにより強度が大きくなったと判断できた．施工厚さ５㎝でも路盤が強固であれば沈下量はそれほど大きくなく十分な強度が得られた．以上は大型トラクタが40回までの走行値であり，幹線農道では重量の大きい車両が頻繁に走行するため十分な強度が必要となるが，園内作業道では小型機械（接地圧0.02～0.05MPa）が数少なく走行するに留まるため，農道ほどの強度は必要としないのでこの程度で十分であると考えられる．

簡易舗装の各作業の施工時間を第３表に示す．普通セメントの散布は人力でも行えたが，大量であるため運搬と散布が同時に行える歩行形散布機の使用が効果的であった．土壌凝固剤は散布量が少ないため手散布した．普通セメント，土壌凝固剤と土の撹拌・混合は，歩行型管理機を用いてロータリの2回掛けで行った．散水では動力噴霧機と口径8.5mmの

第３表　簡易舗装の所要時間（施工面積100m²、５人組作業）

作業工程	使用機械・方法	所要時間(分)	備　考
普通セメント散布	歩行形散布機	26	散布量1,680kg（42袋）
土壌凝固剤散布	手散布	13	散布量　42kg（1.7袋）
撹拌混合	歩行形管理機	42	2回掛け
散水	動力噴霧機	75	散布量2,200kg
水練り	歩行形管理機	65	2回掛け
表面処理	くわ・均平板	25	
総作業時間	―	246(4.1時間)	20.5人時

注）施工幅1m、道長100m、施工厚さ7cm

ホースを用いて，水が原土と舗装資材に均一に行き渡るようにした．特に斜面では，散水した水が傾斜下方に流れるため，1回に多くの散水が出来ず，作業工程の中では最も多くの時間がかかった．散水後の水練りにもロータリの2回掛けが必要であった．水練り後の表面は，くわや均平板などで平らにならした．散水量は土壌の乾燥程度によっても異なるが，100m²当たり2t程度が標準であり，多めの方が作業がしやすく仕上がりも良好であった．

これらの作業に要する作業時間は，施工面積100m²当たり5人組作業で4.1時間であった．

なお，資材費については，園内作業道100m²（舗装厚さ7㎝）当たり普通セメント1,680㎏，土壌凝固剤42㎏であり，これらの購入経費はそれぞれ29,400円，33,600円であり，合計が63,000円となった．これは同面積の生コン購入経費に比べて約70%であった．

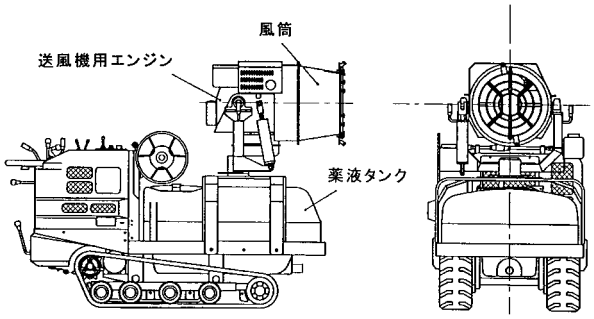
以上の結果から，各地のカンキツ園に一般的に適応できる簡易舗装のための土質安定処理は，原土に対して普通セメントを13%，土壌凝固剤を0.3%（普通セメントに対して2.5%）を混和し，施工厚さを7㎝以上とすれば，現場CBR値100%が予想され，安定した路盤強度が得られると判断できた．

3　病害虫防除機の開発

病害虫防除（以下，防除と記述）の機械化を図るため，道幅1～1.3mの園内作業道に適合する風筒式防除機を試作して，その作業特性と省力・軽作業効果を検討した．

1）　風筒式防除機の構造と特徴

試作した歩行形の風筒式防除機を第９図に，主要諸元を第４表に示した．本機は，機体幅が880mm，



第９図　風筒式防除機

第４表　風筒式防除機の主要諸元

全　　長	1980 mm
全　　幅	880 mm
全　　高	1530 mm
機体質量	510 kg
走行・動噴用エンジン	4サイクル・4.9 kW
送風機用エンジン	2サイクル・3.3 kW
走行部	ゴムクローラ
動力伝達装置	静油圧変速機
操向方式	信地・超信地旋回
動力噴霧機	往復式・吸水量 30 l/min
送風機	軸流式・風量 180 m³/min
風筒	吐出口径460 mm、ノズル8個
ノズル噴霧量	15～23 l/min
薬液タンク	FRP製・300 l
走行速度	低0～1.1、高0～3.4km/h

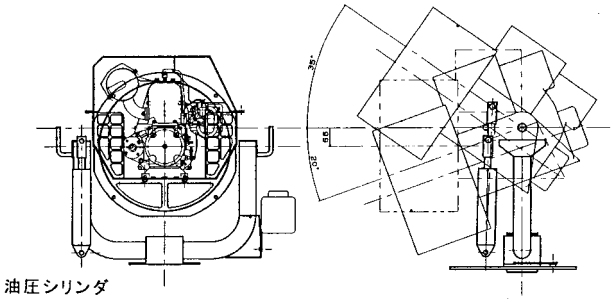
機体質量が510㎏の小型クローラ式で，4.9kWの4サイクルガソリンエンジンによって車両走行部と動力噴霧機（吸水量30Ｌ/min）を駆動する．変速装置は，高低2段の速度段を持つＨＳＴ（静油圧変速機）であり，走行速度を無段階に調整できる．

旋回半径を小さくするため，操向装置には，差動装置を利用した機械式の「その場旋回機構」[39),40)]を採用した．左右それぞれに旋回レバーがあり，旋回方向のレバーを引くと，その内側のクローラが停止して外側のクローラのみが駆動して機首を曲げる（信地旋回）．さらに，レバーを引くと止まっていたクローラが逆回転することによって，その場で旋回（超信地旋回）する．

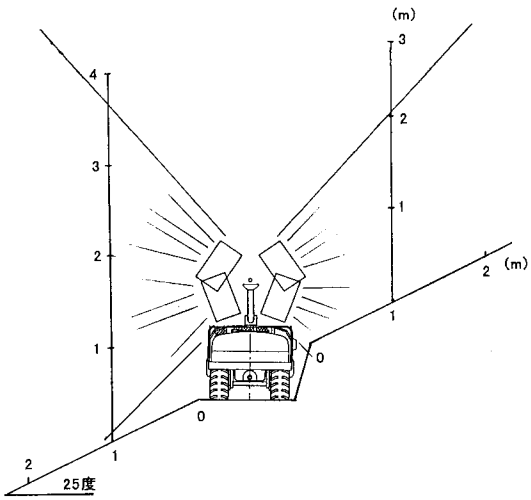
果樹は立体的で，しかも葉層が密であることから，薬液の散布は，送風機の風力を利用した．円筒状の風筒に送風機とノズルを取り付け，動力噴霧機で加圧された薬液を送風散布する．送風機は，軽量なグラス強化ナイロン製で風量が180m³/min（送風機回転数2,900rpm）の軸流式であり，3.3kWの2サイクルガソリンエンジンで駆動する．

散布方向は，風筒全体の向きを変えることによって調節する．左右方向は手動で行い，上下方向は，第10図に示すように油圧シリンダを用いて最大で上向きに35度，下向きに20度まで振ることができる．また，油圧シリンダの動きをリミットスイッチで制御し，自動の振り散布ができる．散布液の外側境界線のなす角（散布角）は100度であり，傾斜25度での散布域を第11図に例示した．自動振り散布の振り回数は22回/minであり，散布むらを避けるため，防除機の作業速度を0.31m/s（1.1㎞/h）までとした．

薬液タンクは容量300Ｌの強化プラスチック製で



第10図　風筒の揺動機構



第11図　傾斜25度における散布域

あり，薬液タンクの一部を左右クローラ走行部の間に入れて低重心化を図った．薬液タンク内には，散布液の濃度を均一にするため，余水吐を利用した噴流攪拌装置を取り付けた．

2）試験方法

(1)　静止転倒角および旋回半径

傾斜地用車両は，機体の安定性と機動性が重視されることから，薬液量を変えて静止転倒角，旋回半径を測定した．静止転倒角については，鋼板上の転倒試験台上に機体を載せ，台面を徐々に傾斜し，傾斜上側のクローラが浮上した瞬間の台面角度を測定した．測定は，風筒を傾斜下方に向け，静止横転倒角と静止前後転倒角について行った．旋回半径については，コンクリート面上で測定した．

(2)　風筒の風速分布と水平距離別の付着度

送風機の風力による薬液の散布状態を把握するため，ここでは，送風機で発生する空気流の風速平面分布と距離別の散布量を無気散布（送風機を停止し，動力噴霧機の圧力のみで散布）と比較調査した．実験は自然風速の影響を避けるため，室内で行った．

空気流の速度については，熱線風速計を用いて地上高さ1.25m（風筒の中心高さ）の平面上を50㎝ごとの格子状に測定した．距離と散布量の関係については，機体を0.31m/sで走行させながら，散布方向に1m間隔で感水試験紙を置き，試験紙に付着した液量の程度を標準付着度表と対比して求めた．標準付着度表は，まったく噴霧液が付着していない状態を付着度0とし，付着した噴霧液が流れだしている状態を付着度10として，その間を11段階に分類したもので，付着度の数値が大きいほどその地点の散布量が多いことを示している[41]．機械条件は，走行速度0.31m/s，噴霧圧力1.0MPa，ノズル噴霧量16l/min，振り散布，有気噴霧の送風機回転数2,900rpmとした．

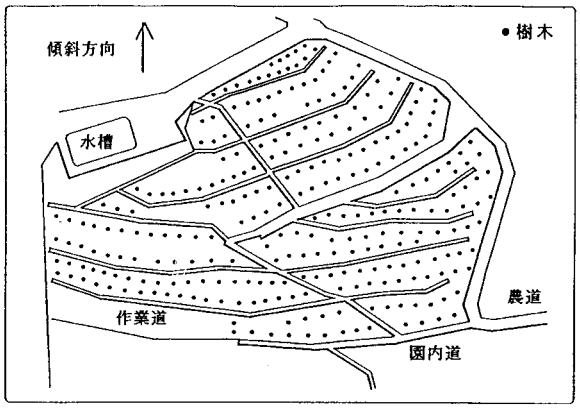
(3)　振り散布の効果と付着性能

振り散布の効果を知るため，風筒の固定散布（風筒を水平状態に保持）と対比して，散布液の付着状態を測定した．測定は室内で行った．測定位置は風筒先3mの地点とし，高さ50㎝ごとにミカンの枝を取り付け,その葉の両面に感水試験紙を取り付けた．機械条件は，送風機回転数2,900rpm，走行速度0.31m/s，噴霧圧力1.0MPa，ノズル噴霧量16L/minとした．

本機の有効な散布方法を知るため，①1樹列両面散布，②千鳥2樹列両面散布，③並列2樹列両面散布，④1樹列片面散布での散布量と有効付着率を測定した．供試したミカン樹は，樹高2.0～2.3m，樹幅2.8～3.0mであった．試験区①～③は，傾斜17～22度の斜面畑であり，試験区④は階段畑であった．付着度測定点は，ミカン樹1本当たり15カ所（樹冠の東西南北と樹心の5カ所の上中下の3カ所）とし，ミカン樹2本を供試した．各測定点に感水試験紙を葉表と葉裏に配置し，付着度0～2までを無効，付着度3～4を半有効，付着度5～10を有効とし，半有効2枚で有効1枚に換算し調査枚数に占める有効枚数の割合を有効付着率とした[41]．

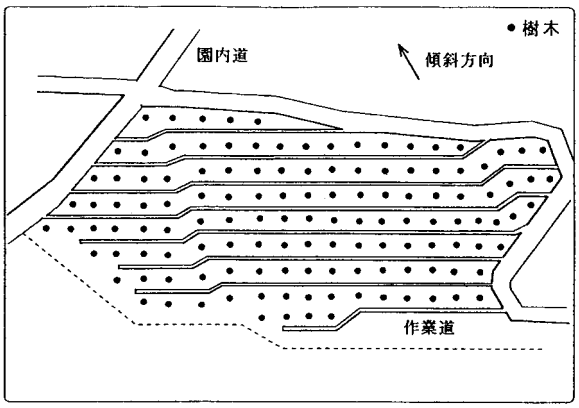
(4)　作業能率と労働強度

簡易舗装の園内作業道が設置されているＩ園（第12図）およびＨ園（第13図）において作業能率と労働強度について試験した．これら園地において，風筒式防除機による散布と従来の可搬型動力噴霧機に



平均傾斜度 25度、樹列間距離 3.5m、栽植本数 87本/10a

第12図　I園の概況



平均傾斜度 17度、樹列間距離 2.5m、栽植本数 93本/10a

第13図　H園の概況

よる手散布を比較調査した．測定項目は，噴霧量，有効付着率，作業時間，心拍数である．付着度の測定点は，3）付着性能と同様であり，5本のミカン樹を供試した．心拍数は，携帯用心拍記憶装置（測定器：V社製VHM1-016）を用いて，安静時および作業時の心拍数を連続測定して分析した．作業の労働強度については，安静時と作業時心拍数の比率である心拍数増加率で分類した．労働強度の区分と心拍数増加率の関係は，軽労働が0～30%，中労働が30～50%，強労働が50～90%である[42]．被験者は，I園においてはA氏（園主，43才），H園においてはB氏（四国農業試験場職員，35才）であり，風筒式防除機および防除作業に精通していた．

3）試験結果および考察

(1)　静止転倒角と旋回半径

第5表に風筒式防除機の静止転倒角と旋回半径を示した．左右横方向の静止転倒角は，薬液量の多少にかかわらず28～29度であった．一方，前後方向の

第5表　風筒式防除機の静止転倒角と旋回半径

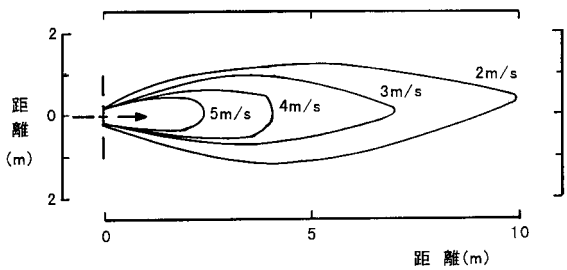
薬　液　量(l)	0	300
前方転倒角(度)	35	30
後方転倒角(度)	26	35
左方横転倒角(度)	29	28
右方横転倒角(度)	29	28
左旋回半径(m)	1.0	1.0
右旋回半径(m)	0.9	0.9

静止転倒角は,薬液タンク内の液量の影響が大きく，空車時の後方転倒角は26度と低かった．これは，薬液タンクが前後に長いため，薬液量による重心位置の前後方向の移動が大きく，空車時では重心位置が機体後方に大きく移動したためと考えられる．動的転倒角は，一般に静止転倒角より約10度低い値と推定されるので[43]，縦断勾配が15度以下の園内作業道では十分安定して走行できると考えられる．なお，後方の静止転倒角が低いことから，橋板でのトラックへの積み込みは,後退走行を選択する必要がある．

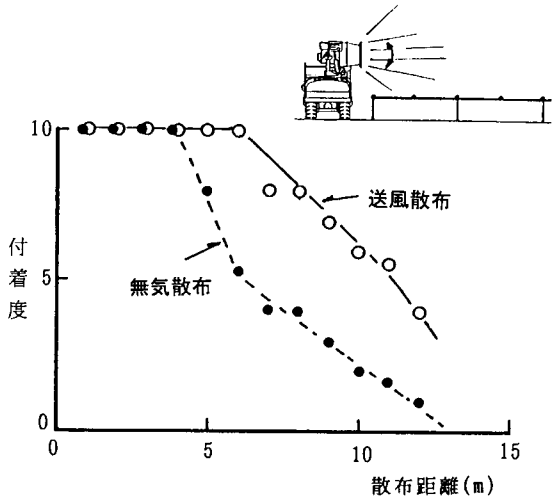
旋回半径については薬液量の影響がなく，乗用形のスピードスプレーヤの約1/3の0.9～1.0mと小さく[44),45)]，園内作業道端部の直径2mの旋回部においてUターンができる．なお，本機の超信地旋回機構は旋回時の所要動力が大きいため[40)]，低速側で旋回する必要がある．

(2)　風筒の風速分布と水平距離別の付着度

第14図に送風機で発生した空気流の風筒先の風速分布を示した．風筒の出口付近の風速は，風筒外周部が中心部より強く平均では18m/sであった．風筒から吐き出される空気流の風速分布は円錐状を示し，風筒により空気流の左右方向の広がりが押さえられて高い直進性を示した．風筒からの水平距離10m地点では風速2m/s，4m地点では4m/sであった．



第14図　風筒先の風速分布

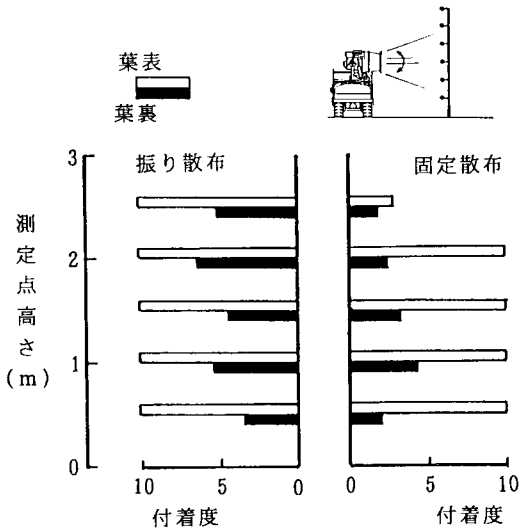


第15図　送風散布の効果
注）室内、振り散布、走行速度0.31m/s

第15図には送風散布の効果として，送風散布と無気散布の水平距離別の付着度を示した．散布距離4m地点まで，送風散布および無気散布とも付着度は10を示したが，5m地点以上では送風散布の方が付着度は高かった．防除に有効な付着度5以上を示す散布距離は，無気散布では6mであったのに対して，送風散布では11mに達した．これは第14図で示したように直進性の高い空気流によって噴霧液の到達性が高められたためであり，本機は薬液を遠方に散布できると判断された．

(3)　振り散布の効果と付着性能

第16図に振り散布の効果を示した．葉表の付着度は測定高さ2mまで振り散布および固定散布とも付着度が10であった．測定高さ2.5mでは，固定散布の付着度が2.5と低かったのに対して，振り散布では10を示した．葉裏では，全ての測定点で振り散布の方が固定散布より高い付着度を示した．これは振り散布の方が固定散布より散布域が広く，しかも空気流の変動によって葉の動揺が大きくなり，葉裏への噴霧液の付着が向上したものと推察される．



第16図　振り散布の効果
注）室内、測定位置：風筒先３m、走行速度0.31m/s

栽植方式別の散布性能を第17図に示した．1樹列両面散布および千鳥2樹列両面散布の有効付着率は，それれぞれ91%，87%と高かった．一方，並列2樹列両面散布や1樹列片面散布では，散布量が1樹列両面散布や千鳥2樹列両面散布より多いのにもかかわらず，散布方向に対して樹体裏側での付着度が悪く，有効付着率は70%以下の低い値であった．すなわち，本機の散布能力では樹体に対して両面からの散布が必要であり，1樹列あるいは千鳥2樹列おきに園内作業道が設置されている園地に導入できると判断された．

栽植方式	1樹列両面	千鳥2樹列両面	並列2樹列両面	1樹列片面
	3m	6m	6m	3m
散布量（l/10a）	485	510	555	651
有効付着率(%)	91.3	86.7	68.3	70.1

第17図　栽植方式別の散布性能

(4)　作業能率と労働負担

手散布と風筒式防除機の作業状況を写真２に示し，作業能率および労働強度を第６表に示した．散布量は各試験区とも500Ｌ/10aを基準とした．なお，風筒式防除機の散布では，作業道下方散布の場合には水平から下向きに，作業道上方の場合には水平から上向きに振り散布を行った．

手散布および風筒式防除機による散布とも有効付着率は90%前後で，良好な散布状態であった．風筒式防除機による散布では作業幅が両園で異なるため，走行速度およびノズル噴霧量を変更して作業を行った．すなわち，2樹列両面散布のＩ園ではノズル噴霧量を21.3Ｌ/minと多くして走行速度を0.22m/sと遅くし，1樹列両面散布のＨ園ではノズル噴霧量

第６表　防除作業の作業能率と労働負担

園　地	Ｉ園		Ｈ園	
散布方法	風筒式	手散布	風筒式	手散布
散布量　(l/10a)	505	439	495	506
有効付着率　(%)	86.7	91.3	91.2	90.8
走行速度　(m/s)	0.22	-	0.31	-
作業幅　(m)	3.2	-	2.0	-
作業時間　(min/10a)	36	54	41	63
圃場作業効率　(%)	66	-	65	-
作業能率　(a/h)	17	11	15	10
作業時心拍数　(b/min)	109	135	88	123
安静時心拍数　(b/min)	76	76	66	66
心拍数増加率　(%)	43	78	33	86
労働強度	中	強	中	強

注）風筒式防除機の散布方式：Ｉ園は千鳥2樹列両面、Ｈ園は1樹列両面

を18.4Ｌ/minと少なくして走行速度を0.31m/sと速めた．この結果，両園とも10a当たりの散布量が約500Ｌで作業時間は約40分であった．手散布の10a当たりの作業時間は両園とも約60分でり，風筒式防除機の利用によって作業時間が33%短縮されたことになる．

風筒式防除機の作業能率は15a/h，圃場作業効率は約65%と高い値を示した．薬液タンク容量が300Ｌと少ないにもかかわらず,圃場作業効率が高いのは，Ｉ園では園内に4ｔの貯水槽があり，Ｈ園では園内に給水管が配管されており，両園とも給水時間とそのための移動時間が短かったためである．

心拍数増加率については，手散布が78～86%と大きく，労働強度は強労働の区分であった．一方，風筒式防除機による散布作業の心拍数増加率は33～43%と慣行区より明らかに小さく，労働強度の区分は中労働となり，労働強度が軽減されることが確認できた．

(5)　負担可能面積および使用上の注意事項等

以上より，風筒式防除機は，道幅が1m以上で縦断勾配が15度以下の園内作業道が1樹列おきにあるいは千鳥2樹列おきに設置されている園地に適用できることが分かった．本機の負担面積は，1日の作業時間を8時間，防除適期を2日とすると2.4haであり，安全率を考慮して適正な導入規模は2haと考える．

本機の使用上の注意事項としては，①噴霧液のドリフトや蒸発を避けるため，湿度が比較的高く，風が少ない早朝や夕方に散布する．②散布角が制限されていることから，樹高は2.5m以下になるように剪定・整枝で整える．③園内に貯水槽などの給水施設を設けて作業効率を上げることなどである．

なお，試作した風筒式防除機は，写真３に示すように1996年から市販化されて，風筒が上下だけでなく油圧で左右に回転する機種も販売されている．

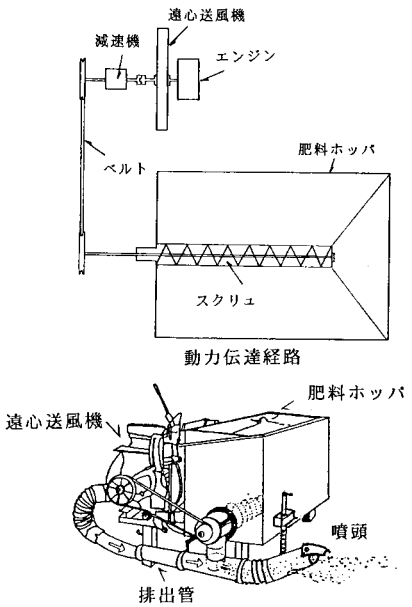
4　肥料散布機の開発

肥料散布作業の機械化として，急傾斜地カンキツ園に設置した道幅1.0～1.3mの園内作業道に適合する肥料側方散布機[46),47)]を試作し，その作業特性と省力・軽作業効果について検討した．

1）　肥料側方散布機の構造と特徴

施肥作業がカンキツ生産の総労働時間に占める割合は4～5%の範囲にあって必ずしも大きくない[14)]．このため，試作した肥料側方散布機は歩行形のクローラ式運搬車（C社製BFC601LD，全幅675mm，積載量500kg，リフト装置付き）を汎用利用する方式とし，低コスト化を狙った．

試作した散布装置を第18図に，主要諸元を第７表に示した．散布装置は，2サイクルガソリンエンジン，遠心送風機，肥料繰り出しスクリュおよび肥料ホッパから構成される．肥料ホッパ内の肥料は，スクリュによって排出管へ繰り出された後，遠心送風機により噴頭から送風散布される．噴頭はデフレクタを取り付けた2頭口であり，散布口を機体の斜前45度方向に向けて配置した．斜面への肥料散布に対



第18図　肥料側方散布装置

第７表　肥料側方散布装置の主要諸元

全　　長	1650 mm(1930 mm)
全　　幅	900 mm(900 mm)
全　　高	900 mm(1420 mm)
機体質量	85 kg(485 kg)
エンジン	2サイクル・1.5 kW
送風機	遠心式・風量11 m^3/min
繰り出し装置	スクリュ・径100 mm
減速装置	機械式・減速比 1/80
肥料ホッパ容量	100 l
肥料最大吐出量	25 kg/min

注）( )内の数字は、歩行形運搬車搭載時

応するため，噴頭は手動で上下方向に調節できるようにした．肥料はペレット状および粒状とし，ホッパ容量を100lとした．吐出量が最大で25kg/minとなるようにスクリュの口径と回転数を設計した．

散布装置の脱着方法は，写真４に示すように格納時はフレーム状の架台で支持し，装着時には架台の開口部から歩行形運搬車を挿入し，運搬車の荷台を上昇させることによって架台から切り離して搭載する．荷台への固定にはあおり止めフックを用いた．

２）試験方法

(1)　静止転倒角および旋回半径

２）の (1) と同様に測定した．

(2)　散布性能

散布パターンを知るため，本機の進行方向と直角方向へ受皿を一列に並べ，各受皿に入った散布材料を採取して，その分布状態および散布距離を調査した．ペレット状の有機肥料（直径3mm，長さ5mm，粒重50mg）と粒状の化成肥料（粒径3mm，粒重35～80mg）を供試し，送風機のエンジン回転数7,200rpm，デフレクタは水平にして試験した．

(3)　作業能率と労働負担

Ｉ園において，肥料側方散布機と従来の手散布による肥料散布作業の作業時間，心拍数，作業姿勢の比較試験を行った．心拍数と作業姿勢については，被験者に携帯用心拍記憶装置と携帯用作業姿勢測定装置（VINE社製）とを装着して，連続測定して分析した．労働強度の表示は，Ⅲ３２）の(4)と同様である．被験者はＡ氏であり，肥料側方散布機および施肥作業に精通していた．

３）試験結果および考察

(1)　静止転倒角と旋回半径

第８表に，肥料側方散布機の静止転倒角と旋回半径を示した．前方および後方の静止転倒角は肥料ホッパ内の肥料が多いほど空車時よりも小さい値を示し，最小値は積載量100kgのときの27度であった．横方向の静止転倒角も同様に積載量が多いほど転倒角は小さくなり，とくに右方横転倒角は積載量100kgのとき21度と低かった．これは，本機が歩行形運搬車を汎用利用としたため，肥料タンクの位置が高く，しかも動力伝達の関係で肥料ホッパを機体右側に置いたためである．しかし，これらの静止転倒角では，縦断勾配が15度以下で，横断勾配が5度以下の園内作業道では，安定した走行が可能であると判断される．

旋回半径は肥料の積載量の影響が少なく，風筒式防除機よりやや大きい1.3mであった．

(2)　散布性能

第19図に，粒状およびペレット状肥料の落下量分布を例示した．噴頭が2頭口であるため，散布距離0.5mと3m前後で散布量が大きくなった．散布量比率の95%累積値までを有効な散布距離[48]と見なすと，ペレット状肥料は5mであり，粒状肥料は4.6mに達した．斜面では，斜面下方への肥料成分の移動による施肥効果が期待できることから，有効散布幅は5mと判断される．

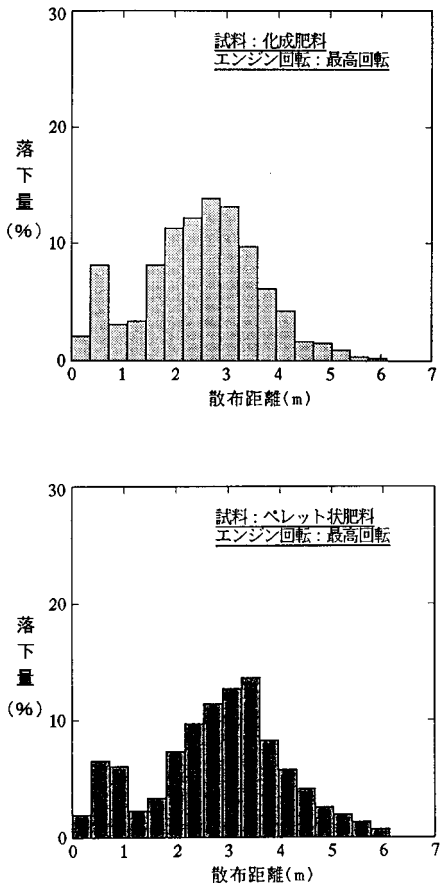
なお，噴頭先のデフレクタの向きを下向きに調整することにより，散布距離を短くできる．このため，1樹列おきに園内作業道が設置されている作業幅が狭い園地においても十分適用できる．

(3)　作業能率と労働負担

肥料散布装置の歩行形運搬車への脱着は，工具なしで1人で行え，所要時間は1.5分と短時間であった．また，肥料の投入口も大きく，肥料の補給も容易に

第８表　肥料側方散布機の静止転倒角と旋回半径

積載量(kg)	0	100
前方転倒角(度)	37	27
後方転倒角(度)	32	28
左方横転倒角(度)	29	30
右方横転倒角(度)	30	21
左旋回半径(m)	1.3	1.3
右旋回半径(m)	1.3	1.2



第19図　肥料の落下量分布

行うことができた．

Ｉ園における手散布と肥料側方散布機の作業状況を写真５に示し，作業能率と労働負担を第９表に示した．肥料側方散布機の10a当たりの作業時間は肥料の補給時間を含めて13minであり，作業能率は45a/h，圃場作業効率は45%であった．一方，手散布による10a当たりの作業時間も13minであり，肥料側方散布機による肥料散布の作業時間の短縮効果は認められなかった．これは，本機が片側散布であることから，散布行程までの移動時間が多くかかったためである．圃場作業効率の向上として，走行速度の増大による移動時間の短縮が考えられるが，安全面から避けるべきである．

作業者の心拍数と作業姿勢では，両者には大きな差が表れた．手散布の心拍数増加率は78%と大きく，労働強度は強労働の区分であった．一方，肥料側方散布機による散布作業の心拍数増加率は手散布より明らかに小さい36%であり，労働強度は中労働の区分であった．作業姿勢においても手散布では，写真５に示すような中腰姿勢が多く，立ち姿勢が全作業時間の59%にすぎなかった．しかし，散布機の利用では，立ち姿勢割合が89%にも達し，労働負担の大きい中腰姿勢の割合が小さかった．

第９表　施肥作業の作業能率と労働負担（Ｉ園）

散布方法	散布機	手散布
走行速度　(m/s)	0.44	-
作業幅　(m)	6.4	-
作業時間　(min/10a)	13.3	12.9
圃場作業効率　(%)	44	-
作業能率　(a/h)	45	47
作業時心拍数(b/min)	109	142
安静時心拍数(b/min)	80	80
心拍数増加率　(%)	36	78
労働強度	中	強
立ち姿勢作業割合(%)	89	59

以上，本機は風筒式防除機と同様に道幅が1m以上，縦断勾配が15度以下の園内作業道が1樹列あるいは2樹列おきに設置されている園地に適合し，施肥作業の軽作業化を図ることができる見通しを得た．なお，使用できる肥料はペレット状および粒状肥料である．

5　収穫作業のシステム分析

カンキツ収穫作業は，採果する作業員の人数，運搬車のコンテナ積載量，待機する軽トラックまでの運搬距離により作業全体の効率が影響を受ける．そこで，システム分析手法により，園内作業道とクローラ式運搬車の組合わせによるカンキツ収穫作業に関わる要因の影響程度を検討した．そのため，まず，カンキツ収穫作業のモデル化を図り，モデルをオブジェクト指向でプログラム記述し，それを用いてシミュレーションを実施し，カンキツ収穫作業システムの動態を分析した．

1）収穫作業の概要

一般に，園内作業道を移動するクローラ式歩行形運搬車を使ったカンキツの収穫作業は，複数の作業者の組作業で行われる．運搬車の積載量まで採果が進むと，作業者の一人（オペレータ）が運搬車を操作して待機する軽トラックまで移動し，コンテナの

積替えを行った後，採果位置まで戻る．この間，他の作業者（補助作業員）は採果を継続し，コンテナに果実を入れ続ける．このようにして行われる収穫作業を対象に，システム分析を実施するが，各作業方法の詳細と作業関連数値の調査結果等を以下に示す．

なお，急傾斜カンキツ園における収穫作業や運搬作業について鶴崎ら[49)-51)]が詳細な検討をしており，分析にはその結果をも用いている．

(1)　採果作業

採果ははさみを使った手作業であり，作業者の熟練度や樹木になる果実数によって作業能率が異なる．さらに，１樹当たりの果実数は年による変動とともに，樹間変動も大きい．

そこで，年齢30歳から50歳の比較的熟練度の高い作業者が，2.0mから2.5mの高さの樹で1個当たり100gから120gの果実を採果する場合の作業能率を調査したところ，平均14.5個/min，標準偏差2.7個/minの正規分布となった．ただし，特に注意深く採果される極早生ミカンのデータは除いた．

(2)　樹当たり果実数

１樹当たり収穫果実数は品種，栽植密度，年次，樹齢，根域環境等により大きく変動する．そこで，変動幅を求めるため，中生温州である南柑20号を10ａ当たり80本から90本栽植された園での数年間の調査結果[52)]を整理したところ，収穫果実数は樹当たり平均収穫個数320.9個，標準偏差79.8個の正規分布に従う結果を得た．さらに，収穫果実の1個当たり果重を調査したところ，平均108gで標準偏差15.5gの正規分布に従う結果となった．

(3)　運搬作業

採果された果実は，長さ523mm，幅364mm，深さ307mmのコンテナに順に並べて積込まれる．１コンテナに積込める果実個数を調査したところ，ほぼ180個であった．果実で一杯になったコンテナは，側にある運搬車へ積載可能個数になるまで積込まれる．

運搬には，道幅1mから1.3mの園内作業道を走行できるクローラ式運搬車が使用される．検討対象のクローラ式運搬車は，写真６，第10表に示す歩行形であり，積載容量が６コンテナと10コンテナの2種類とする．なお，６コンテナ積載用は市販機であり市販価格約45万円，10コンテナ積載用は園内作業道で使用できるよう大形の運搬車として試作したもので，推定価格約60万円である．

第10表　クローラ式小型運搬車の諸元

項　目		市販機	試作機
車体寸法（mm）	全長	1030	2100
	全幅	675	1030
	全高	1110	1100
荷台寸法（mm）	長さ	1105	1100
	幅	530	950
車体質量（kg）		265～270	510
エンジン出力（kW）		4.5	7
コンテナ積載容量（個）		6	10

これらの運搬車が最大勾配15度以下の園内作業道を移動する速度を調査したところ，軽トラックへのコンテナ積替え時間をも含めると28.8m/minであった．

(4)　運搬距離

歩行形運搬車がコンテナを運搬する距離は，果樹園の区画形状や園内作業道の配置，軽トラックが走行可能な道路の果樹園区画への取付け位置によって異なる．

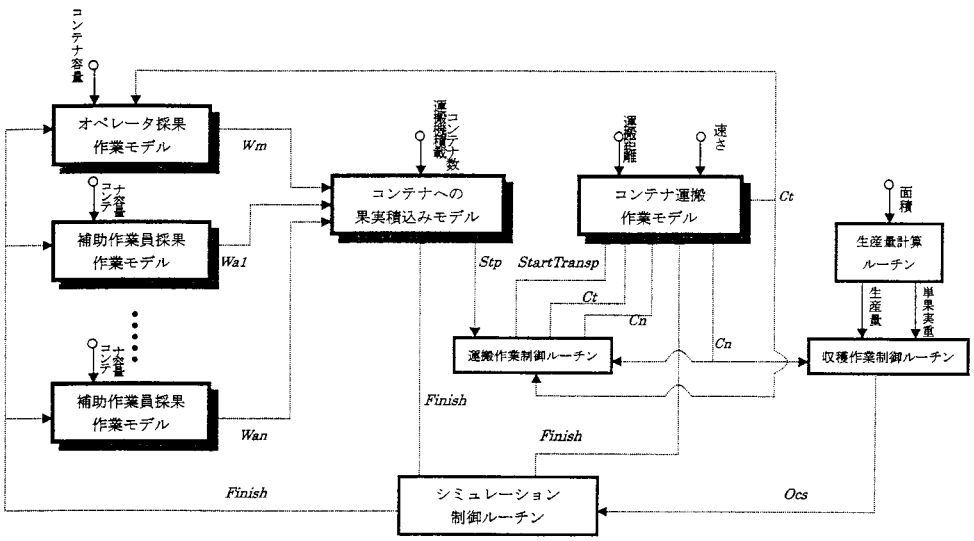
そこで，果樹園区画を20aとし，園中央に配置した連絡道から左右に，２樹列に１本の作業道を肋骨形に配置した果樹園を対象とし，採果中作業道両側３樹毎にクローラ式運搬車が待機するものとして，果樹園区画入口の連絡道までの平均往復距離を計算したところ，65mであった．

これは果樹園区画内の平均往復距離であり，軽トラックが区画入口まで進入できる場合を想定した値である．しかし，果樹園地の地形や取付け道路事情によっては，園区画から離れた位置までしか軽トラックが進入できず，運搬車が園区画を離れて軽トラック位置まで運搬しなければならない場合もあるので，ここでは，65mを最短の平均運搬距離とし，100m，150m，200mの運搬距離について検討する．

２）　収穫作業のモデル化

(1)　モデルの構成と機能

策定したカンキツ収穫作業分析用システムモデルは，第20図に示すように，オペレータと補助作業員の採果作業モデル，コンテナへの果実積込みモデル，コンテナ運搬作業モデル，運搬作業制御ルーチン，生産量計算ルーチン，収穫作業制御ルーチン，シミ



第20図　カンキツ収穫作業の全体モデル

ュレーション制御ルーチンで構成される．

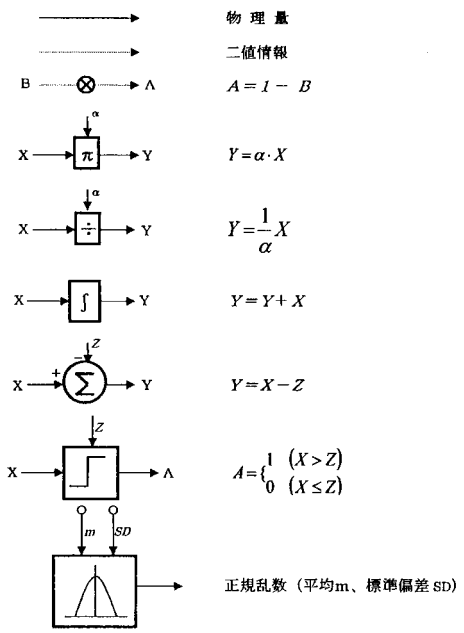
以下に，第20図に示す各サブモデルや各制御ルーチンの機能の概略を説明する．オペレータと数名の補助作業員ごとの採果作業モデルには，シミュレーション制御ルーチンから終了信号が与えられるまで採果作業を続け，コンテナが一杯になるごとにそれぞれの採果作業モデルからコンテナへの果実積込みモデルへ信号を送る機能を与える．しかも，オペレータ採果作業モデルでは，運搬車が運搬作業を開始できる状態になれば，オペレータは採果作業を中断し運搬作業に従事するように，コンテナ運搬作業モデルからの信号を受け取る機能を付加する．

コンテナへの果実積込みモデルは，シミュレーション開始後シミュレーション制御ルーチンからの終了信号が与えられるまでの間，各採果作業モデルから受け取るコンテナ数を計数し，運搬車のコンテナ積載容量になると，運搬作業制御ルーチンへ信号を出す．

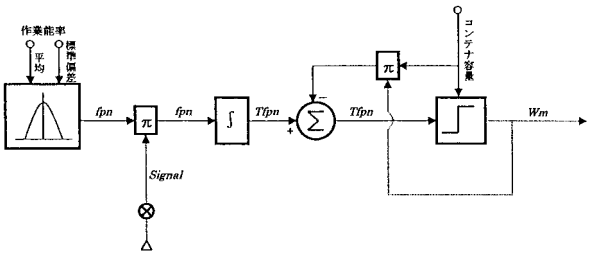
コンテナ運搬作業モデルは，シミュレーション制御ルーチンからの終了信号が出ない限り，運搬作業制御ルーチンとの間で信号のやり取りをしながら，軽トラック待機場所まで運搬車でコンテナを運搬する状況をシミュレートし，その結果を集計のための信号として収穫作業制御ルーチンへ送る．

生産量計算ルーチンは，与えられた区画の果樹園から期待できる生産量を算出して収穫作業制御ルーチンに与える働きをし，収穫作業制御ルーチンは，収穫済みの果実量と生産量を比較して，収穫量が生産量に達した時点で信号をシミュレーション制御ルーチンへ送る．さらに，運搬作業制御ルーチンは，運搬車の空状態や運搬作業状態を判断して，コンテナ運搬作業モデルの動作を制御する信号を出す働きをする．シミュレーション制御ルーチンは，各モデルやルーチンの開始や終了，さらには作動順序を管理する．

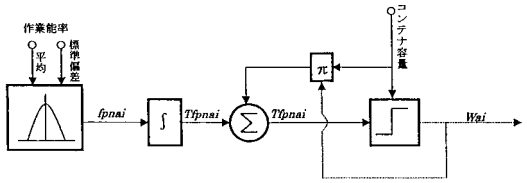
なお，各作業モデルの機能を記述するために用いた記号を第21図に示す．



第21図　記号の説明



第22図　オペレータ採果作業モデル



第23図　補助作業員採果作業モデル

(2)　採果作業モデル

クローラ式運搬車による運搬作業と採果作業の両方を担当するオペレータと，採果作業にのみ専念する補助作業者それぞれの採果作業モデルを第22図，第23図に示す．

第22図のオペレータ採果作業モデルでは，与えられた採果作業能率の平均値と標準偏差に従う正規乱数を発生し，オペレータが運搬作業中でなければSignalが１となるので，それを単位時間に採果できる果実数fpnとする．fpnはコンテナに積込める果実数に至るまでTfpnとして積算される．Tfpnがコンテナ容量に達するとWm信号を１として，運搬可能なコンテナが存在することを発信し，コンテナ１個分のTfpnを引いて，新たな積算果実数に書き換える．

第23図に示す補助作業員の採果作業モデルでは，運搬作業に従事する必要がないので，モデル内でSignal信号を扱っていない．それ以外は，オペレータ採果作業モデルと同じ機能を持ち，運搬可能なコンテナの存在を伝える信号Wai（iは補助作業員識別番号：i=1,2,･･）を発信する．

なお，オペレータ採果作業モデルをオブジェクト指向環境Visual Smalltalkでプログラム化したものを第24図に示す．

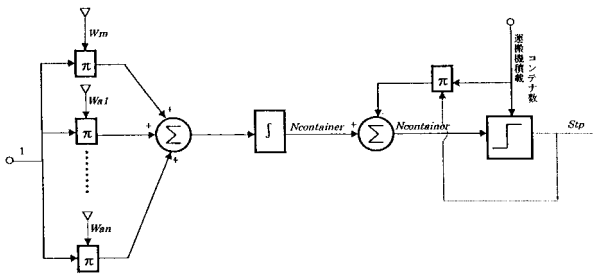
(3)　果実積込みモデル

コンテナへの果実積込みモデルは第25図に示すように，オペレータと補助作業員の採果作業モデルから，容量一杯まで果実が積込まれたコンテナの存在

```
operaterPick

    | m s fpn signal1 signal2 |
    m := 14.5.
    s := 2.7.
    fpn := NormalRandom mean:m sd:s.
    signal1 := ChangeSignal cgSign:Ct.
    fpn := fpn * signal1.
    TtimeOpp := TtimeOpp + ( DT * signal1 ).
    Tfpn := Tfpn + fpn.
    ( Tfpn >= CCF )
        ifTrue:[ Wm := 1.
                 Tfpn := Tfpn – CCF ]
        ifFalse:[ Wm := 0].
```

第24図　オペレータ採果作業モデルのプログラム



第25図　果実積込みモデル

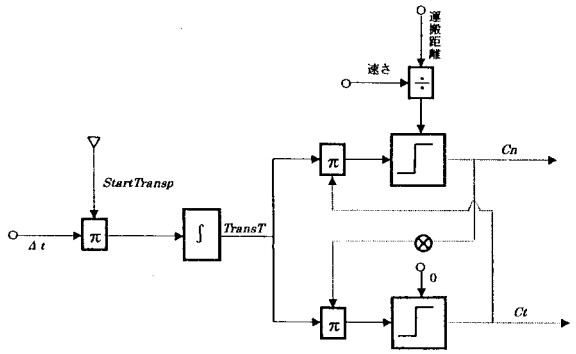
を示す信号が出るので，それらを受けて，運搬可能なコンテナの総数をNcontainerとして積算する．運搬車に積載できるコンテナ数は，運搬車の大きさにより決まっているので，Ncontainerが積載コンテナ数に達すると，運搬作業を開始可能とする信号Stpを１にすると同時に，運搬可能コンテナ総数から運搬コンテナ数を減じて，新たなNcontainerに書き換える．

なお，Stp信号は第20図に示すように，運搬作業制御ルーチンに送られ，コンテナ運搬作業モデルの動作を制御する信号の生成に使われる．

(4)コンテナ運搬作業モデル

コンテナ運搬作業モデルを第26図に示す．運搬作業状況を示す信号StartTranspが１である間，単位時間がTransTに積算され，運搬時間を計算する．運搬作業に入り運搬時間の積算が開始されると，運搬作業中であることを示すため，Ctを１にする．さらに運搬作業が進み，運搬距離と運搬車の平均速度から求めた運搬所要時間に至ると，運搬完了信号の一つであるCnを１にすると同時に，運搬作業中であることを示す信号の一つであるCtを０にする．

しかし，Ctが０になると，同時に運搬時間も０になるので，Cnも０となり，TransTの値は０より大きいため，再びCtが１に戻ってしまう．この現象を



第26図　コンテナ運搬作業モデル

防ぐため，第20図に示すように運搬作業制御ルーチンを設け，Stp信号とCt,Cn信号を比較検討して，運搬作業が完了したことが確認できると，StartTrans信号を０にして,コンテナ運搬作業モデルに与える．

なお，コンテナ運搬作業モデルと運搬作業制御ルーチンの機能をプログラム化したものを第27図に示す．

他のモデルやルーチンについても同じようにまとまりを持ったmethodとしてプログラム化しており，各methodを並列して処理させることによりシミュレーションできる．

3）　シミュレーション

１分を単位時間としてシミュレーションを実施し，果樹園区画内の全果実が収穫されるまで継続することにより，所要作業時間を算出する．なお，モデルで用いている正規乱数は，現実には有り得ない極端な数値の発生を避けるため，平均値±（標準偏差×２）を最大値または最小値とし，この範囲外の値は最大値，最小値に置き換えた．

```
transport
    | sigT sigT1 needT |
    sigT := ChangeSignal new checkTransport:StartTransp.
    needT := DTPT / AVV.
    TransT := TransT + (DT * sigT).
    TtimeOpt := TtimeOpt + ( DT * sigT ).
    StartTransp := sigT.
    ( TransT > 0 )
        ifTrue:[ Ct := 1 ]
        ifFalse:[ Ct := 0 ].
    (TransT >= needT)
        ifTrue:[ Cn := 1.
                 Ct := 0.
                 TransT := 0]
        IfFalse:[ Cn := 0].


checkTransport: signal
    | sign |
    sign := signal.
    (signal = 0)
        ifTrue:[ (Ct = 0 and:[Stp = 1]) ifTrue:[ sign := 1]]
        ifFalse:[ (Cn = 1) ifTrue:[ sign := 0. Ct := 0]].
    ^sign.
```

第27図　コンテナ運搬作業モデルと運搬作業制御ルーチンのプログラム

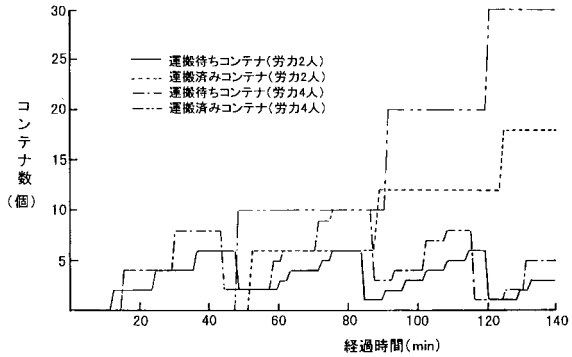
投入される労働力，運搬車のコンテナ運搬能力，運搬距離を組合わせた試験区を第11表のように設定し，各試験区ごとに30回のシミュレーションを繰返した．

得られたシミュレーション結果から，試験区Ⅰ-1-①とⅢ-2-①を選んで，果実で一杯になり運搬を待っているコンテナの数と運搬車で運搬済みになったコンテナの数の動きを描くと第28図のようになる．これより，カンキツ収穫作業モデルが所定の機能を備えていることを確認できる．

4）　分析結果および考察

第11表　試験区

番号	労力（人）	運搬コンテナ数	運搬距離（ｍ）
Ⅰ－1－①	2	6	65
Ⅰ－1－②	2	6	100
Ⅰ－1－③	2	6	150
Ⅰ－1－④	2	6	200
Ⅰ－2－①	2	10	65
Ⅰ－2－②	2	10	100
Ⅰ－2－③	2	10	150
Ⅰ－2－④	2	10	200
Ⅱ－1－①	3	6	65
Ⅱ－1－②	3	6	100
Ⅱ－1－③	3	6	150
Ⅱ－1－④	3	6	200
Ⅱ－2－①	3	10	65
Ⅱ－2－②	3	10	100
Ⅱ－2－③	3	10	150
Ⅱ－2－④	3	10	200
Ⅲ－1－①	4	6	65
Ⅲ－1－②	4	6	100
Ⅲ－1－③	4	6	150
Ⅲ－1－④	4	6	200
Ⅲ－2－①	4	10	65
Ⅲ－2－②	4	10	100
Ⅲ－2－③	4	10	150
Ⅲ－2－④	4	10	200



第28図　シミュレーション結果の例

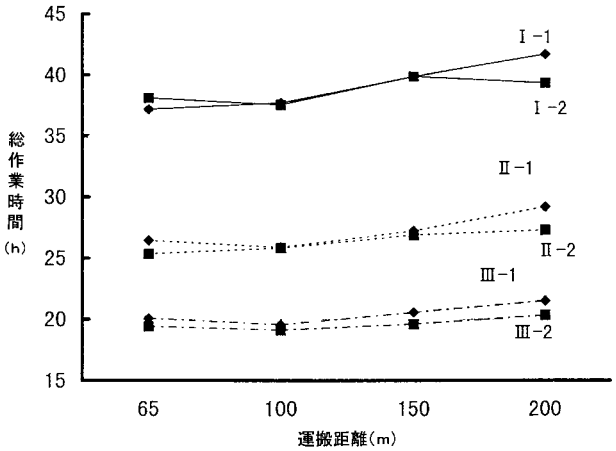
(1)　運搬距離と総収穫作業時間

シミュレーション結果から各試験区ごとの作業時間の平均値，最小値，最大値，標準偏差を求めて第12表に示し，運搬距離により影響される総作業時間の平均値を第29図に示す．図中のⅠがオペレータと補助作業者の２人作業，Ⅱが補助作業者を１人加えた３人作業，Ⅲが４人作業の場合である．

第29図により，運搬距離が65mから100mになっても，労働力や積載量に関わりなく総作業時間は変わらないことが分かる．また，運搬距離が100mを越えるとにより，わずかに総作業時間が増す傾向が見えるものの，積載コンテナ数が10個では，運搬距離が150mや200mと長くなっても目立った増加はきたさないことがうかがえる．さらに，積載量が6個の運搬車を使用すると，200mの長い距離を運搬する場合，作業時間への影響が出ると考えられる．

第12表　シミュレーション結果（総作業時間）

試験区	平均値（h）	最小値（h）	最大値（h）	標準偏差（h）
Ⅰ－１－①	37.18	32.54	52.58	3.87
Ⅰ－１－②	37.71	33.50	52.07	4.54
Ⅰ－１－③	39.85	34.90	55.07	5.53
Ⅰ－１－④	41.71	36.22	58.57	6.25
Ⅰ－２－①	38.11	32.82	47.25	4.33
Ⅰ－２－②	37.56	32.83	59.21	5.35
Ⅰ－２－③	39.85	33.13	52.15	6.18
Ⅰ－２－④	39.36	34.95	51.30	4.99
Ⅱ－１－①	26.45	23.48	29.60	1.82
Ⅱ－１－②	25.87	21.45	31.12	2.70
Ⅱ－１－③	27.22	23.70	34.88	2.83
Ⅱ－１－④	29.21	25.77	33.78	2.70
Ⅱ－２－①	25.34	20.57	31.25	2.45
Ⅱ－２－②	25.81	22.02	32.93	3.17
Ⅱ－２－③	26.89	24.17	30.67	1.94
Ⅱ－２－④	27.31	21.73	33.25	3.30
Ⅲ－１－①	20.06	16.15	23.92	2.17
Ⅲ－１－②	19.55	16.42	23.85	1.88
Ⅲ－１－③	20.56	16.62	24.85	2.33
Ⅲ－１－④	21.52	17.65	26.93	2.54
Ⅲ－２－①	19.40	15.73	23.27	2.22
Ⅲ－２－②	19.14	17.67	23.10	1.82
Ⅲ－２－③	19.59	16.62	23.15	1.66
Ⅲ－２－④	20.33	16.68	24.95	2.16



第29図　総作業時間

(2)　運搬車積載量と総収穫作業時間

運搬車の大きさによりカンキツ収穫作業の能率が受ける影響を分析するため，積載コンテナ数6個の運搬車（市販機）と10個の運搬車（試作機）の総作業時間の差と偏差率を求め，第13表に示す．これより，労働力が２および３人の場合，運搬距離が150mまでは，積載コンテナ数が6個と10個で差がないことがうかがえる．運搬距離が200mと長く，労働力が４人と多くなると，積載量の違いで総作業時間の差が大きくなり，積載コンテナ数が10個の運搬車が有利になると考えられる．

(3)　労働力と総収穫作業時間

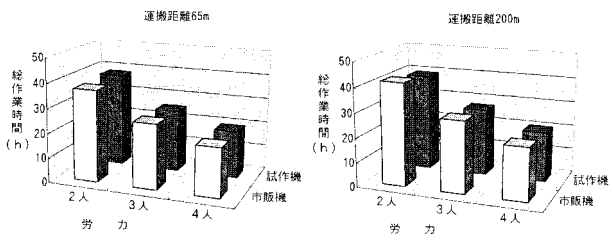
第30図に，運搬距離が65mと200mの場合の労力と総作業時間の関係を示す.図から明らかなように，労力の増加に伴って総作業時間は大幅に減少する．

以上から明らかなように，運搬距離，運搬車の大きさ，労働力からカンキツ収穫作業を分析すると，一般的な運搬距離の園地であれば，推定価格で15万円の差がある大形の運搬車を導入することの利点はほとんど見られず，むしろ労働力を雇用できる条件があれば，雇用することで大幅な収穫作業時間の短縮が図れる．

第13表　運搬距離による総作業時間差の検定結果

労　力（人）	コンテナ数（個）	運搬距離（m）	運搬距離（m） １００	１５０	２００
2	6	６５	*		
2	１０	６５	*	*	*
3	6	６５	*	*	
3	１０	６５	*		
4	6	６５	*	*	
4	１０	６５	*	*	*

注）＊印は信頼度 95 %で母平均に差がないことを示す。



第30図　労力と総作業時間

6　摘　要

急傾斜地カンキツ園の歩行形機械化体系を開発するために必要な要素技術として，園内作業道の簡易舗装法，病害虫防除機，並びに肥料散布機の開発と，収穫作業のシステム分析を実施した．

(1)　園内作業道の簡易舗装法の開発

交通量の少ない園内作業道について，雨水の流れによる路面浸食を防止して，歩行形作業機の安定走行を確保するため，低コストな簡易舗装法を開発した．開発した簡易舗装法は，砂利や砂等の骨材を使用しないで，原土に普通セメント及び土壌凝固剤を混和して水練りを行う工法である．

a　西日本地域の園地土壌は，2mm以上の礫が40％を占めるシルト質礫から0.074mm以下の細粒分割合が70％の粘土まで広範囲であった．この土壌を骨材として普通セメントを15％と土壌凝固剤を0.3％混和したテストピースの一軸圧縮強度は，普通セメントを15％混合した場合よりも1.4～4.7倍増加した．

b　普通セメント13％，土壌凝固剤0.3％を原土に混合して水練りを行うことによって，歩行形作業機の走行に安定な現場CBR値 100％以上の強度を有する路面が施工できた．表面が硬化するまでの日数は，夏季では施工後3日以上を要した．路盤が強固であれば機械走行に伴う路面沈下量は小さかった．

c　本工法は転圧作業が要らず，歩行形管理機等の営農機械を利用して施工できる．作業手順は，歩行形散布機によるセメント散布，手散布による土壌凝固剤散布，歩行形管理機等による原土と舗装資材の攪拌・混合および動力噴霧機による散水後の水練り，くわ等による均平作業である．100m^{2}当たりの施工に要した時間は5人組作業で4.1時間であり，舗装資材費はコンクリート舗装の約70％であった．

(2)　病害虫防除機の開発

風筒式防除機を試作して，その作業特性と省力・軽作業効果を調査した．

a　試作した風筒式防除機は，機体幅が880mmのその場旋回ができるクローラ式車両であり，薬液タンク容量は300Ｌである．円筒状の風筒に送風機とノズルを取り付け，動力噴霧機で加圧された薬液を送風散布する．風筒は油圧シリンダで支持され，最大で上向きに35度，下向きに20度まで調節でき，この範囲で自動の振り散布も可能である．

b　静止転倒角の最小値は，空車時の後方転倒角27度であった．旋回半径は薬液量の影響がなく1.0mであった．

c　散布液は直進性が高く，到達距離も長かった．振り散布により葉裏への薬液の付着も良好であった．10a当たり500Ｌの散布量において，1樹列両面散布あるいは千鳥2樹列両面散布の有効付着率は87～91％と高かった．

d　本機の作業能率は15a/hであり，ホースを用いた手散布と対比すると作業時間が33％削減されるとともに,労働強度が強労働から中労働に改善された．

e　本機は，1樹列あるいは千鳥2樹列おきに幅1.0m，縦断勾配 15度以下の園内作業道が設置されている急傾斜地カンキツ園において，高い散布精度で作業の省力化と軽作業化を図ることができる見通しを得た．

(3)　肥料散布機の開発

肥料側方散布機を試作して，その作業特性と省力・軽作業効果を調査した．

a　肥料側方散布機は，歩行形のクローラ式運搬車に散布装置を装着する搭載型であり，装置の脱着には運搬車の荷台のリフト機能を利用した．肥料ホッパ容量は100Ｌで，ホッパ内の肥料をスクリューで繰り出し，遠心送風機の風によって機体側方へ送風散布する．

b　静止転倒角の最小値は，肥料満載時の右方転倒角21度であった．旋回半径は積載量の影響がなく1.3mであった．

c　ペレット状の有機肥料および粒状の化成肥料を散布でき，最大吐出量は25kg/minであった．散布量比率の95％累積値までの散布距離は，ペレット状肥料で4.6m，粒状の化成肥料で5mであった．

d　本機の作業能率は45a/hであり，手散布と比較すると作業時間の削減効果は認められなかったが，労働強度は強労働から中労働へ改善され，しかも中腰姿勢割合が減少した．

e　本機は，1樹列あるいは千鳥2樹列おきに幅1.0m，縦断勾配15度以下の園内作業道が設置されている急傾斜地カンキツ園において，肥料散布作業の軽作業化を図ることができる見通しを得た．

(4)　収穫作業のシステム分析

園内作業道の肋骨形配置と歩行形のクローラ式運搬車の組み合わせによる収穫作業において,労働力,運搬車の大きさ，並びに運搬距離が収穫作業時間に与える影響をシミュレーションより求めた．運搬車は，果実コンテナが6ケース積みの市販機と10ケース積みの試作機を対象とした．

ａ　システム分析に当たって，採果作業能率，1樹当たりの果実数，歩行形運搬車の軽トラックへの積替え時間を含めた走行速度，20a区画の果樹園入口までの平均往復距離を調査し，収穫作業分析用モデルを構築した．収穫作業分析用モデルは，オペレータ採果作業モデル，補助者採果作業モデル，果実積込みモデル，コンテナ運搬作業モデル，運搬作業制御ルーチン，生産量計算ルーチン，収穫作業制御ルーチン，シミュレーションルーチンで構成される．

ｂ　運搬距離が100m前後では，運搬車の積載量の違いや運搬距離の長短が収穫作業能率へ及ぼす影響は小さい．

ｃ　労働力が4人と多く，運搬距離が200mと長い場合には積載量の大きい運搬車が有利になるが，収穫作業時間への影響はわずかである．

ｄ　労働力を増すことで大幅な収穫作業時間の短縮が図れる．

Ⅳ　歩行形機械化体系の現地実証

１　序　言

Ⅱで検討した要素技術の開発によって，急傾斜地カンキツ園における歩行形機械化体系を実証できる見通しを得た．そこで，本体系を愛媛県北宇和郡吉田町の急傾斜地カンキツ園に導入し，労働強度，作業時間，並びに果実生産量を従来の作業体系と比較調査することによって，本体系の軽作業化および省力化効果を明らかにし本技術普及のための指針を示す[53)-57)]．

２　対象とした急傾斜地カンキツ園の概況と園地改良

１）　導入対象園の概況

導入対象園のある愛媛県吉田町は，愛媛県の西南部に位置し，わが国を代表するカンキツ生産地である．開発技術を導入する園は吉田町のＩ農家が所有する温州ミカン園（Ｉ園とする）であり，尾根筋に位置する100aの斜面畑である．園内の傾斜程度は，傾斜15度以上25度未満が約80%，傾斜25度以上が約20%の傾斜地園である．園内作業道施工以前には園地の外周に農道が設置され，比較的傾斜の緩い園内にはトラックが進入できる幅約2mの園内道が約30m間隔に造成されていた．さらに傾斜度が30度以上の区画にはモノレールが敷設されていた．

栽培品種は極早生温州から伊予柑まで多様であるが，主力は中生温州の‘南柑20号’である．樹齢は25年生であり，平均樹高2.5ｍ，平均樹幅2.8m，樹列間の距離3.5mである．

経営規模は，導入園やハウスミカン40aを含む300aであり，労働力は基幹的労働力2名（経営主と妻），補助労働力2名（母と父）の計4名である．収穫時には雇用労働力が若干加わる．

２）　園地改良

対象園の改良は次のようにして実施した．

(1)　施工内容

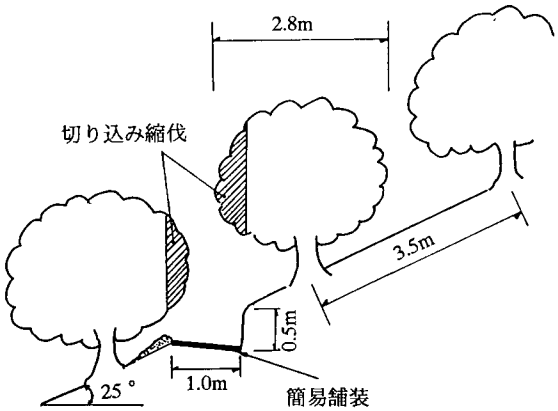
園内作業道は肋骨形に配置した．園内作業道のための斜面の掘削・整形は，写真７に示すように機体質量1.5tの小型バックホーを用いた．また，園内作業道設置のための縮伐・伐採は，ノコとチェンソー（エンジン排気量30.1ｍＬ）を用いた．連絡道は道幅1.3m，縦断勾配15度以下となるようにし，作業道は道幅1.0～1.2mで2樹列おきに設置した．さらに作業道の末端には，作業機がＵターンできる直径2.0～2.5mの旋回部を設け，作業道に排水路の機能を持たせるため,作業道の山側を谷側より低くした．

連絡道の舗装には斜面での施工がしやすいコンクリート舗装を適用した．長い作業道には資材費を抑えるため，原土にセメントと土壌凝固剤を混合して現場で水練りを行う簡易舗装を施した．コンクリート舗装には，歩行形運搬車（積載量500kg）でコンクリートを運搬した．簡易舗装時には，舗装資材の運搬に歩行形運搬車（積載量500kg），舗装資材と原土の混合・水練りに中耕管理機（2.5kW）あるいは小形トラクタ（エンジン9.5kW，ロータリ幅1.0m），散水には動力噴霧機（所要動力3.2kW）を用いた．

(2)　施工状況

園内作業道の施工は1994年から3年間，4期に分けて，四国農業試験場の職員，園主，ＪＡ宇和青果の

第31図　園内作業道の配置状況



第32図　作業道の開設状況

職員で行った．園内作業道の配置を第31図に，改良園の概況を写真８に示す．第3期工事区は区画幅が30mと狭いため，連絡道を設けず作業道を直接農道に接続した．第4期工事区では，老木樹を伐採して園内作業道を開設した．

施工状況を第14表に示す．園地は樹列間の距離が3.5m，樹幅が2.8mであるため，第32図に示すように，樹木の切り込み縮伐のみで作業道を開設することができた．連絡道と旋回部の開設には間伐が必要となったが，間伐本数は全体の6.5～11.3%と少なかった．

第14表　園内作業道の施工状況

栽培状況	栽植距離3.5m、樹高2.5m、樹幅2.8m			
施工内容				
園内作業道	肋骨形配置、作業道は2樹列おきに設置			
連絡道	道幅1.3m、縦断勾配15度以下、コンクリート舗装			
作業道	道幅1.0～1.2m、排水路兼用型、簡易舗装			
給水施設	4ｔ貯水槽			
工事区	第１期	第２期	第３期	第４期
施工年月	1994.1	1995.1	1995.5	1996.3.6
施工日数（日）	2	3	1	5
枝切り・掘削（日）	1	1	0.5	2
舗装処理　（日）	1	2	0.5	3
傾斜度(度)	20～25	18～25	15～20	20～40
受益面積(a)	20	40	10	30
間伐本数／栽植本数	16／142	24／372	0／63	―
間伐率(%)	11.3	6.5	0	―
園内作業道総延長（m）	240	461	109	444
連絡道　(m)	40	69	0	167
作業道　(m)	200	392	109	277
路線密度　(m/10a)	120	115	109	148
占有面積率　(%)	12	12	11	18

注）1.工事は5人の組作業
　　2.第2期と第3期工事区の掘削には小形バックホーを2台使用

傾斜25度未満の区画では，小形バックホーによる園内作業道の掘削・整形が平均20m/hの能率で円滑に行えた．しかし，傾斜度が25度以上の第4期工事区では掘削量が増大し，しかも写真９に示すように連絡道の屈曲点が多くなるため能率は13m/h程度に低下した．さらに掘削工事の安全性からみて，本施工内容が適用できるのは，傾斜25度未満の園地と判断された．

簡易舗装に要する労力は5人の組作業で100m^{2}当たり4～6時間であった．コンクリートによる舗装工事は簡易舗装工事より楽であるが，コンクリートの運搬に多くの時間を要し，全体の所要労力は簡易舗装と同じであった．

園内作業道の路線密度及び占有率は，傾斜度が急になるほど連絡道の路線長が長くなるため増加する．傾斜度が20度以上25度未満の区画では，路線密度が120m/10a，占有率が12%となり，傾斜度が20度以上40度未満の区画ではそれぞれ148m/10a，18%となった．

3　導入した作業体系

導入した歩行形機械化体系の作業機の諸元を第15表に示す．第15表の肩掛式刈払機と背負式微量噴霧機を除く走行車両は，機体幅が1m以下で登坂性能に優れ小回りの効く歩行形クローラ車である．導入した作業体系のうち，摘果，採果，剪定作業は手作

第15表　導入した小形作業機の諸元

作業名	作業機	機体寸法(mm) 全長	全幅	全高	機体質量 (kg)	積載量	能率 (a/h)
施　肥	肥料側方散布機	1930	900	1420	485	100 l	45
草刈り	肩掛式刈払機	1830	520	375	5.7	―	6
除草剤散布	背負式微量噴霧機	269	176	394	3.2	3 l	17
病害虫防除	風筒式防除機	1980	880	1530	510	300 l	15
収　穫	歩行形運搬車	1930	675	1110	260	500 kg	―

注1)肥料側方散布装置は歩行形運搬車搭載型。
2)歩行形運搬車は荷台昇降装置付き：荷揚げ高さ1130mm。
3)背負微量噴霧機はバッテリ駆動

業である．

除草作業のうち草刈り作業については，当初歩行自走式草刈機（エンジン1.8kW，ロータリ刃，刈幅30㎝）を検討したが，樹冠下での小回りが効かない，斜面で横滑りするため操作が難しい，地表面の凹凸への追従性が劣り刈取り後の草丈が不揃いになるなどの欠点が明らかになったため，刈払機を用いることとした．除草剤散布には，薬剤が調合済みで散布量が3l/10aと少ない軽量な背負式微量噴霧機[58]を採用した．

施肥作業には，粒状及びペレット状肥料を樹冠下へ送風散布できるように開発した肥料側方散布機を用いた．肥料ホッパ容量は100Ｌで，吐出量は最大25㎏/min，最大散布幅4.6m，作業能率45a/hであった．なお，本機は散布装置を歩行形運搬車の荷台に装着する搭載型であり，歩行形運搬車のリフト機能で散布装置を取り外し，収穫時における果実の運搬車として利用する．

病害虫防除（以下，防除と記述）作業については，薬液の散布方向が調節でき，しかも自動振り散布ができるように開発した風筒式防除機を用いた．薬液タンク容量は300Ｌ，噴霧量16Ｌ/min，作業能率15a/hであった．

収穫作業は採果と運搬作業とからなり，果実採取の容器は収穫かごを，運搬時にはコンテナを用いた．収穫かごが一杯（約10㎏）になると，樹木に隣接させた歩行形運搬車の荷台に置いたコンテナへ果実を移し，運搬車の積載量が120㎏（約6コンテナ分）になると待機しているトラックへ移動運搬した．トラックへの積み込みは写真10に示すように，トラックの荷台高さまで歩行形運搬車の荷台をリフトさせ，コンテナを滑らせて積み込む方法で行った．

4　導入技術の作業特性と評価

歩行形機械化体系（以下，歩行形体系と記述）の作業特性を明らかにするため，労働強度と作業時間について，Ｉ園で行われている慣行の作業体系（以下，慣行体系と記述）と比較検討した．なお，歩行形体系はＩ園の園地改良が終了した区画（100a），慣行体系はＩ園に残る未改良区画（25a）に対して適用した．

1）　作業体系の比較

慣行体系の作業方法で歩行形体系と異なるのは，施肥，除草剤散布，防除，収穫運搬作業である．慣行作業の施肥は肥料袋を抱え運搬しながらの手散布であった．除草剤散布は背負式噴霧機（タンク容量15Ｌ）を用いた．防除作業は，トラックの荷台に積んだ動力噴霧機と1,000Ｌの薬液タンク及びホースを利用した手散布で行った．収穫運搬では，収穫した果実をコンテナに入れ，写真11に示すように人力で園内道に待機しているトラックあるいはモノレール上の単軌条運搬機まで運搬して園外に搬出した．人力による運搬距離は最大で30mであった．

2）　労働強度

歩行形体系と慣行体系の作業別の労働強度を第16表に示した．なお労働強度の表示は，Ⅲ32) の(4)と同様である．作業時心拍数の測定時間は1時間以上とし，測定時間中の平均値と最大値を求めた．作業者は各作業機の操作に熟練しているＩ園主（44才，身長168㎝，体重63㎏）であり，心拍数の測定には携帯用心拍記憶装置（測定器：ヴァイン社製VHM1-016）を用いた．

歩行形体系の摘果及び剪定作業におけるオペレータの心拍数は，慣行作業と同様な値を示し，労働強度は剪定作業が中労働，摘果作業が軽労働の区分であった．これは両作業体系とも，摘果及び剪定作業

第16表　歩行形体系と慣行体系の労働強度

作業名	測定日	歩行形体系 心拍数(拍／分) 平均	最大	心拍数増加率(%)	労働強度	慣行体系 心拍数(拍／分) 平均	最大	心拍数増加率(%)	労働強度
剪定	'96. 2.23	101	114	33	中	102	118	34	中
施肥	'95. 6.13	109	126	36	中	142	162	77	強
草刈り	'96. 7.16	113	128	49	中	121	138	59	強
除草剤散布	'96. 7.25	94	107	24	軽	104	126	37	中
摘果	'95. 7.26	96	111	27	軽	96	115	27	軽
病害虫防除	'95.10.20	106	122	39	中	135	141	69	強
収穫	'95.11.21	92	114	28	軽	105	132	48	中

注 1) 散布量：施肥120kg/10a、機械化区の除草剤散布 3 l/10a、慣行区の除草剤散布 15 l/10a、防除 500 l/10a
2) 心拍数増加率(%)＝｛(作業時心拍数－安静時心拍数)／(安静時心拍数)｝×100

の大部分が樹冠下の斜面で行われており，園地改良による労働強度への影響が少なかったためと考えられる．

施肥作業において，慣行では肥料袋の抱え運搬と中腰姿勢による手散布の動作が作業者の心拍数を高め，労働強度は強労働の区分であったが，歩行形体系の施肥作業は，肥料側方散布機による機械散布であり，オペレータの心拍数増加率は36%の中労働になった．

歩行形体系と慣行体系の草刈り作業状況を写真12に示す．歩行形体系区では，足場が確保される園内作業道周辺の作業者の心拍数が低く，これが影響して慣行体系の強労働に対して本体系の労働強度は中労働に改善された．

除草剤散布作業状況を写真13に示す．歩行形体系では，作業時心拍数の平均，最大値とも慣行作業より小さく，労働強度は軽労働に区分された．これは園内作業道周辺での作業姿勢の改善と，使用した背負式微量噴霧機の機体重量が薬剤を含めても6kgと軽いことによった．

慣行の防除作業は，ホースを保持して斜面を歩く過酷な作業であり，心拍数増加率は69%と高く，労働強度は強労働であったが，風筒式防除機による作業では，オペレータの心拍数増加率は39%であり中労働になった．

収穫作業は，採果と運搬を行うオペレータと採果のみを行う補助者の組作業で行われるが，労働強度はオペレータの方が大きいとみなされるので，オペレータのみについて測定した．歩行形体系区と慣行体系区におけるオペレータの心拍数を第33図に例示する．両区とも二人組作業であり，作業時間は1.5時間であった．収穫量は，歩行形体系が200kgで，慣行体系は140kgに止まった．しかも第33図で示すように，慣行体系ではコンテナの抱え運搬とトラックへの積み込み動作が心拍数を高め，労働強度は中労働の区分であったのに対して，収穫量の多かった歩行形体系のオペレータの心拍数増加率は28%と低く，労働強度の区分は軽労働になった．

以上のように，歩行形体系の導入により，慣行体系では強労働である防除，施肥，除草作業を中労働へ，また中労働の収穫作業と除草剤散布作業を軽労働へ軽減させ得ることが明らかになった．

3）作業時間

歩行形体系と慣行体系の作業別年間作業時間を第17表に示す．なお作業時間は，園主に記帳依頼した作業日誌から集計し，1995年9月1日から1997年8月31日までの2年間の平均値を用いた．

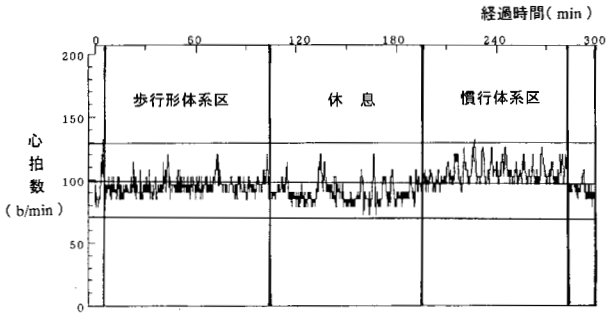
歩行形体系の整枝・剪定作業では，園内作業道の開設時に縮間伐を行うことで剪定作業量が減少するとともに，剪定枝の搬出などの処理がしやすく，慣行作業に比べて作業時間が42%減少した．また，摘果量も減少し，摘果作業の作業時間は慣行作業に比べて29%減少した．

施肥作業では，肥料側方散布機の散布方向が一方向であるため移動時間が多く，慣行作業より作業時間が10%増加した．

除草作業では，園内作業道の舗装により除草面積が減少するとともに，作業姿勢の改善によって作業能率が向上し，作業時間は慣行作業に比べ28%減少した．

さらに防除作業では，風筒式防除機の作業能率が手散布よりも高いことに加え，一人作業が可能となるため，作業時間は慣行作業に比べて47%減少した．

歩行形運搬車を用いた収穫作業では，収穫果実の



第33図　収穫作業時のオペレータ心拍数

第17表　歩行形体系と慣行体系の作業別年間作業時間

作業名	歩行形体系 A (h/10a)	慣行体系 B (h/10a)	体系間の差 A－B (h/10a)
整枝・剪定	8.1	14.0	－ 5.9　(－42.1%)
施肥	2.2	2.0	＋ 0.2　(＋10.0%)
除草	8.3	11.5	－ 3.2　(－27.8%)
防除	8.4	15.9	－ 7.5　(－47.2%)
摘果	31.3	44.2	－12.9　(－29.2%)
収穫	25.8	41.4	－15.6　(－37.7%)
計	84.1	129.0	－44.9　(－34.8%)

注 1）作業時間は1995年9月～1997年8月までの2年間の平均値
2）（　）内は慣行体系に対する歩行形体系の増減率

園外への搬出が省力化され，その分採果作業能率が向上し，慣行作業に比べて実時間で10a当たり16時間，割合では38%減少した．

以上より，歩行形体系の年間作業時間は慣行体系と比較して，10a当たり45時間，割合では35%減少することが明らかになった．

4）果実生産への影響

歩行形体系の導入にあたって問題になるのは，園地改良に伴う縮間伐であるので，Ｉ園の第1期および2期工事区における4年間の年次別出荷量と果実単価を調査し，その結果を第18表に示す．なお，本体系の導入による出荷量への影響を見るため，Ｉ園の位置する地区の平均と比較し，対地区比で示した．

園内作業道の開設のためにミカン樹の縮間伐を行った94年と95年の対地区比は，それぞれ105%，135%とやや多い出荷量に止まっていたが，96年と97年は2年続けて150%台と大幅な出荷量の増加をみた．また，97年の出荷量は10a当たり4.6tと明らかに標準的な値より高いことから，生産量は縮間伐をする前のレベルに回復したと判断することができる．このように早く回復できたのは，狭幅な園内作業道を2樹列おきに設置したため，縮間伐量が少なかったことによると考えられる．なお，カンキツは隔年結果性が強いため，園地改良を果実の成り年に行うなどで，縮間伐に伴う生産量の減少を抑える工夫が必要である．

果実単価についても年次変動が大きいが，Ｉ園の単価はいずれの年も地区平均より高い値であった．本地区の果実単価は全国的に上位であるが，それを上回る単価であることから，歩行形体系の導入による品質低下はなく，従来の高品質な果実生産を維持し得るものと判断できる．さらに園主の観察では，園内作業道の舗装による排水促進や，作業道設置に伴う縮間伐による樹木への直達光の増加などによって，果実糖度および果皮色の向上が認められている．

第18表　出荷量と果実単価の推移

年　次	1994	'95	'96	'97
出荷量　(kg/10a)	2,055	3,011	2,627	4,570
対地区比　(%)	105	135	152	158
果実単価　(円/kg)	233	153	272	70
対地区比　(%)	113	101	113	140

注）'94年1月および'95年1月に園内作業道開設
品種：'南柑20号'

なお，本体系導入による生産コストへの影響については関野ら[56]が試算しており，それによると10a当たり360～3,500円程度のコスト削減がもたらされると評価している．

5）結　論

以上述べたように，歩行形機械化体系のための園内作業道は道幅が狭いため縮間伐量が少なく，体系導入に伴う生産量の減少が問題にならない．しかも，園内作業道の設置工事は実証したように，生産者自身が行え，低コストで園地改良が行える．さらに，改良園地へ歩行形機械化体系を導入することにより，従来の品質を維持しつつ，労働強度の軽減と35%もの作業時間の削減を図ることが可能になった．

特に年間10回程度必要とし，酷暑の中で噴霧用ホースとノズルを持って斜面を歩く防除作業が，作業道からの機械散布に改善され，しかも作業時間が削減されたことは，作業者の労働負担を大きく軽減した[59),60)]．また，収穫した果実の運搬効率の向上は，人力作業に依存している収穫作業時間を大幅に削減し，現状の労力であっても適期を逃さず収穫できる面積を拡大させた．このことは，収穫作業労力の面から規模拡大が困難と判断していたＩ園主が，本体系導入後に約10a分の園地を購入したことからもうかがえる．さらに，香川県ではここで述べた園地改良を県の補助対象事業とし，既に約90haを施工している．

国内産果実は消費ニーズの多様化，輸入果実の増加などから，より一層の高品質化が求められている．歩行形体系は，高品質果実の生産適地である急傾斜地園の軽作業化と省力化を実現でき，産地の維持・発展に寄与しうる体系であると判断される．

なお歩行形体系の適用園地は，園内作業道の施工面から傾斜度25度未満の範囲に限られる．しかし生産地には傾斜度が25度以上の園地も多く，法面を石垣にした階段園もある．これらの園地では，モノレールと極狭幅な作業道との組み合わせによる機械化体系が適切と考えられ，今後検討されるべき課題と考えられる．

5　摘　要

園内作業道の肋骨形配置法,作業道の簡易舗装法,風筒式防除機，肥料側方散布機，クローラ式運搬車を核とする歩行形機械化体系を愛媛県北宇和郡吉田町の急傾斜地カンキツ園に導入し，本体系による労働強度，作業時間，果実生産量について，慣行体系と比較検討した．なお，歩行形機械化体系を適用した面積は100aであった．

1）本体系を導入した園地の傾斜度は，傾斜15度以上25度未満が園地の80%，傾斜25度以上が20%を占める尾根筋に位置する斜面畑である．樹列間の距離が3.5m，樹幅が2.8mで栽植本数は10a当たり90～100本であった．この園地に2樹列おきに作業道を設置する肋骨形の園内作業道を開設した．園内作業道は道幅1.0～1.3m，縦断勾配15度以下とし，連絡道はコンクリート舗装,作業道は簡易舗装を施した．

2）園内作業道の設置のために伐採した樹木の間伐数は，全体の6.5～11.3%であった．

3）小形バックホーによる園内作業道の掘削・整形の作業能率は，傾斜度が25度以下では平均20m/hであり，傾斜度が25度以上の区画では13m/hであった．簡易舗装に要する労力は5人の組作業で100m^{2}当たり4～6時間であった．

4）園内作業道の路線密度は，傾斜15度以上25度未満の区画では120m/10aであり，傾斜20度以上40度未満の区画では148m/10aであった．

5）歩行形機械化体系の導入により，慣行体系では強労働である防除，施肥，草刈り作業を中労働へ，また中労働の収穫作業と除草剤散布作業を軽労働へ軽減させることができた．

6）歩行形機械化体系による作業別の作業時間は，慣行体系と比較して，整枝・剪定作業で42%，摘果作業で29%，除草作業で28%，防除作業で47%，収穫作業で38%削減することができた．年間の作業時間では10a当たり45時間，割合では35%削減することができた．

7）歩行形機械化体系導入後2年で生産量が回復し，本体系導入による果実単価への影響は認められなかった．

8）以上，歩行形機械化体系は，生産量を低下させないでしかも高品質果実生産を維持しつつ，労働強度の軽減と作業時間の35%削減を実現できることを実証した．

Ⅴ　カンキツ生産作業体系選択過程の分析

1　序　言

Ⅳでは，急傾斜地カンキツ園において歩行形機械化体系は,生産量および高品質果実生産を維持して，労働強度の軽減と作業時間の削減を図ることができることを実証した．しかし，開発した歩行形機械化体系が全ての傾斜地カンキツ園への導入に適しているとは限らず，カンキツ園の規模や傾斜度，労働力等の条件により選択すべき作業体系は異なったものとなる．いかなる作業体系を導入すべきかは，生産者自身が決定すべき事項であるが，多くの関連する項目について整理し，適切な判断を下さなければならず，複雑で困難な意思決定過程となる．

そこで本章では，不確定な状況や多様な評価基準の下で意思決定を行う際に有効な手法である階層分析法に基づく意思決定支援システムを開発し，それを用いてカンキツ生産農家を対象とする調査を実施し，その結果からカンキツ生産作業体系選択の意思決定過程を分析するとともに，開発した歩行形機械化体系の導入条件を明らかにする．

2　階層分析法と意思決定支援システムの開発

1）階層分析法の概説

Thomas Saatyら[61)-63)]により開発された階層分析法（Analytic Hierarchy Process（AHP））は，いくつかの選択肢の中から最も目標に合致するものを選び出したり，目標に合致する程度に従って順位付けをするために用いられる手法である．

一般には，意思決定しなければならない事項（目標）と最終選択項目との間には，判断しなければならない多くの事項が介在し，それらは目標および選択項目と複雑な関わりかたをしている．

そのため階層分析法では，中間に介在する判断すべき事項を階層構造に整理し，上位階層の事項に下位階層の事項が関わる程度を逐一判断しながら数値化して，それに数学的処理を施すことにより，最上位階層に位置する意思決定の目標と最下位階層の選択項目との関わり方の程度に凝縮することで，意思決定を行いやすくする．

しかし階層分析法は，上位階層の事項に関係する下位階層の事項の構成項目の中から２項目を取り上げ，その２項目が上位階層の事項に関係する程度を一対比較し，階層構造の上位から最下位層までに含まれる項目について一対比較を繰り返すことにより,階層構造全体の項目間関係を求める方法であり，膨大な一対比較と行列計算が必要になる．

２）開発した意思決定支援システムの構成

概説で述べたように階層分析法をカンキツ生産作業体系の選択問題のような実用的な規模での意思決定支援に用いるには，分析作業が煩雑で多くの時間を必要とする．

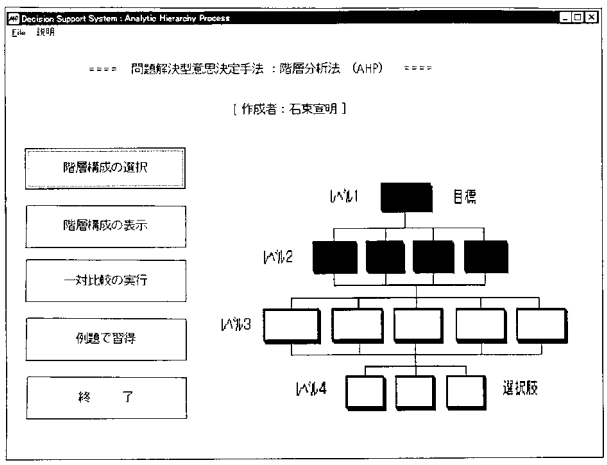
そこで，階層構造の構築や一対比較を対話型で容易に行え，自動的に行列計算を実施して，結果を分かりやすく表示できるソフトウエアとして意思決定支援システムを開発した．開発にはオブジェクト指向言語であるVisual Smalltalk[64]を用いている．

第34図が開発した意思決定支援システムの主画面[65]である．主画面に示されているボタンを選択することにより，必要な処理に進むことができる．当システムを使う際に必要な事項については，画面上部のツールバーにある説明メニューを開くことで表示される．さらには，簡単な例題を［例題で習得］に組み込んであるため，意思決定支援システムの仕組みや使い方等必要事項を理解し，習得することができる．

３　意思決定過程の構造

１）比較するカンキツ生産作業体系

カンキツ生産者や産地で技術導入の指導的立場にある農協技術指導員や普及員が，新しい技術の導入を検討するに当たっては，個別果樹園や地域の園地の特徴に合致した適切な技術を選択することが求められる．この場合，技術の経済的な側面からの検討に加え，地形的特徴，労働力事情等多方面からの検討が必要であり，それら考慮すべき項目の内容や位置付けは選択する者の立場や背景，条件により異なり，経験や直感にも影響される．



第34図　意志決定支援システムの主画面

ここでは，比較選択の対象とするカンキツ生産作業体系を，①スプリンクラとモノレール（単軌条運搬機）の組み合せで代表される施設形体系，②スピードスプレーヤ（以下，ＳＳ）と軽トラックの組み合せによる乗用形体系，③本研究で開発した風筒式防除機とクローラ式運搬車による歩行形体系の3体系とした．

施設形体系は，園内作業道を造成することなしに導入でき，導入にあたって潰れ地が少ない特徴がある．スプリンクラによる薬剤散布は，遠隔操作であるため散布者の農薬被爆がなく，散布時間は10a当たり5分程度と能率的であるが，散布量は10a当たり600～800Ｌと多く，葉裏への薬液付着が劣る．施設費が高額であるため，国の補助事業で導入される共同利用の場合が多いが，個人利用の簡易スプリンクラもある．モノレールは200kgの荷を搭載して，勾配45度の斜面を2～3km/hの速度で運搬できるが，モノレール敷設は工事費を含めて6,000円/mと高額であるため園の上下方向に限られ，モノレールまでの横運搬は人力運搬に依存している．

乗用形体系は,走行速度が速く運搬量も大きいが，作業機が安全に走行できる園内作業道の設置が不可欠である．幅の広い園内作業道が必要となるため，その園地に占める割合が40～50%と大きくなり，樹木の縮間伐により生産量が減少する[66),67)]こと，さらには，急傾斜地での造成に多額の費用を必要とするなどの短所がある．しかし，ＳＳによる薬剤散布時間は10a当たり20分程度と能率的であり，散布精度も高く散布量も10a当たり500Ｌと少ない．さらに，園内の運搬作業には園外運搬用の軽トラックを利用できるため，園内での資材や収穫物の積み換え回数が少ない利点がある．

歩行形体系は，機体幅が1m以下のクローラ式車両を基幹とする作業体系である．乗用型体系と同様

に園内作業道の設置が不可欠であるが，幅の狭い園内作業道でよく，その占める割合は園地の12～25%と小さい．そのため，作業体系導入後の生産量の減少が少なく，造成費も少ない．風筒式防除機による薬剤散布時間は10a当たり40分とスプリンクラやＳＳに比べて多くの時間を要するが,散布精度が高く，散布量もＳＳと同様である．歩行クローラ式運搬車は120kg（果実コンテナ6ケース）の荷を搭載して，勾配15度以下の園内作業道を2km/hの速度で運搬できる．

2） 評価項目とその構造

設定した３体系は，上記のようにそれぞれ異なる特徴を備えているため，適切と判断される体系を選択するには，多方面からの検討が必要である．

そこで，作業体系の選択に当たって考慮すべき項目をカンキツ生産の専門家による検討を経て，「規模適性」,「作業強度」,「作業能率」,「作業の質」,「園地状態」,「必要経費」,「資金援助」の７項目を設定した．

「規模適性」は，経営規模に合った体系を選択することの重要性を評価するための項目である．つまり，作業体系を選択する場合，対象としているカンキツ園あるいは地域の特徴に合致した規模の体系を選ぶことの重要さを示している．

「作業強度」は，対象とするカンキツ園や地域の地形，担い手の状況等により作業強度に対する重点の置き方が違ったものとなるとともに，選択対象の３作業体系間に作業強度差があるので，それらを評価する項目として設定している．例えば，カンキツ園は急傾斜地に位置することが多いため，厳しい作業を強いられるが，生産者が高齢者であるほど他の項目以上に作業の辛さを重要視するものの，果樹園が比較的傾斜の緩い地形に位置する地域では，作業強度にあまり重点を置かないと考えられる．

「作業強度」をさらに具体的な作業内容に分けて検討するため，「薬剤散布作業強度」,「除草作業強度」,「運搬作業強度」,「採果作業強度」,「摘果・剪定作業強度」を下位項目として設定する．

生産規模に応じて重要度が異なると考えられるとともに，３作業体系の作業能率に違いがあるので，「作業能率」を評価検討項目に加える．さらに，具体的に，主要な作業である「薬剤散布作業能率」,「運搬作業能率」,「採果作業能率」,「摘果・剪定作業能率」を下位項目として設定する．

「作業の質」は，生産規模や経営方針と関連する主観性の強い評価基準であるが，選択対象の作業体系間で作業の質に違いがあると考えられるので，選択に当たっての検討項目とする．なお,「作業の質」の具体的な内容として,「薬剤散布の質」と「運搬のていねいさ」を下位項目に設定する．

「園地状態」は「傾斜程度」,「区画の大きさ」,「取付け道路等の整備状態」から成る項目であり，各作業体系の特性と深く関わるため，選択に当たって評価すべき事項として設定する．

一般に「必要経費」は直接経営に関係するため，重要視される評価基準と考えられるが，対象とするカンキツ園や地域の地形，労力事情によっては，必ずしも最重要視されるとは限らない．「必要経費」には「初期投資」と「稼動経費」の下位項目を設定する．園地の基盤整備費まで含めた各作業体系の初期投資額は，園地の地形により幅があるが，おおよ

第19表　各作業体系の初期投資額

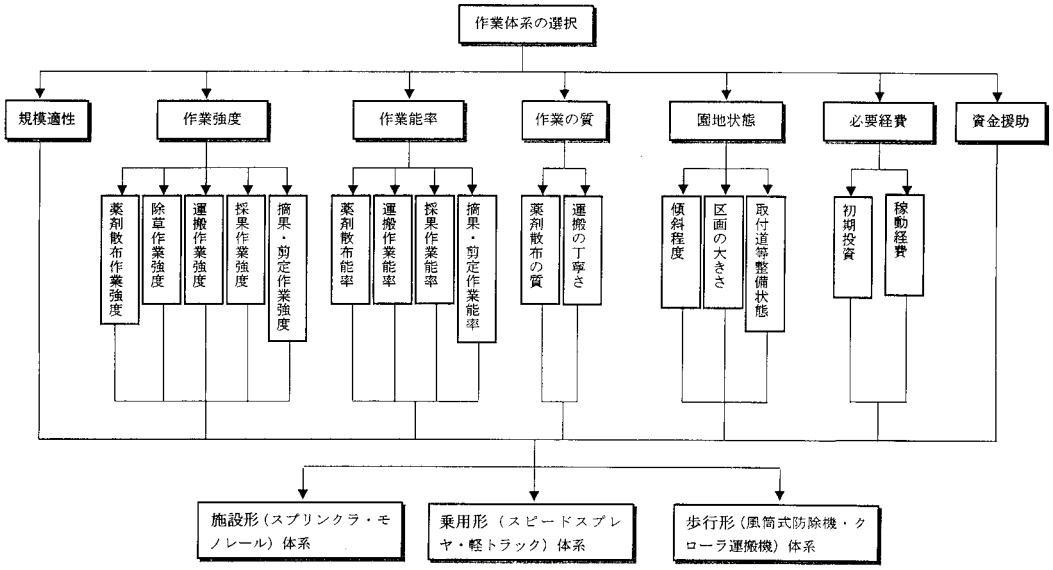
作業体系	園内作業道造成費	機械・施設費
施設形	0円	スプリンクラ 180万円/10a（簡易スプリンクラ 60万円/10a） モノレール（単軌条運搬機含む）70万円/10a
乗用形	61万円／10a	スピードスプレーヤ（600*l*、傾斜散布装置付）460万円
歩行形	49万円／10a	風筒式防除機（300*l*）190万円・歩行型運搬車 45万円

注）園内作業道造成費は、果樹経営問題研究会報告書より引用

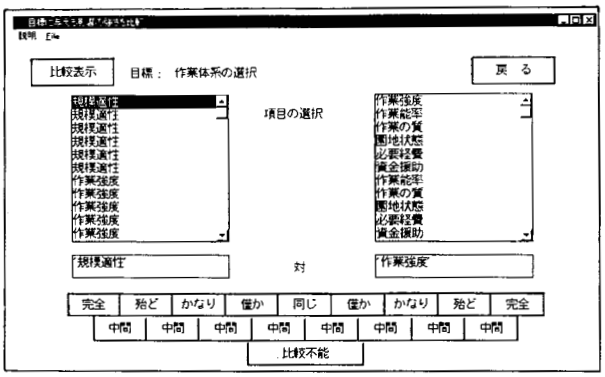
第20表　省力・機械化栽培体系確立のための補助事業

事業名	事業の概要
果樹産地生産システム確立事業	小規模土地基盤整備（改植・高接、園地改良等－受益1ha以上） 共同利用施設（防除・かん水施設、有機物供給施設等） 集団営農用機械（多目的管理機、風筒式防除機等）補助率50％
りんごわい化栽培等緊急推進対策事業	小規模土地基盤整備（改植・高接、園地改良等－受益1ha以上） 共同利用施設（防除・かん水施設、防風施設等）補助率50％
農業キーテクノロジー等確立実証モデル事業	大規模基盤整備と連携した機械化・省力化技術体系の実証普及 小規模土地基盤整備（改植・高接、園地改良等－受益1ha以上） 共同利用施設（防除・かん水施設、有機物供給施設等） 集団営農用機械（多目的管理機、風筒式防除機等）補助率50％
融資事業を通じた支援措置	農業近代化資金（機械施設、植栽等）貸付利率2.6％ 農業改良資金（果樹栽培合理化資金）無利子

注）果樹経営問題研究会報告書より抜粋



第35図　カンキツ生産作業体系選択の階層構造図



第36図　意志決定支援システムの選択画面

その額を第19表[6]に示す．なお，この値は調査対象者に参考事項として提示される．

「資金援助」は，カンキツ園の機械化を計る際に利用可能な資金援助制度として第20表[6]に示すものがあり，作業体系の選択に当たって考慮されるものと考えられるので，評価項目として設定する．

上述した７評価項目とその下位項目，さらには選択対象となる３作業体系を，意思決定過程として階層構造化し第35図に示す．

使用者は，まず第36図に例示するように，最上位階層に位置する項目（目標）である「作業体系の選択」に対し，「規模適性」と「作業強度」のどちらがどの程度，つまり｛同じ，わずか，かなり，ほとんど，完全に｝重要と判断するかを各判断基準の中間的判断まで含めて9段階から選定して与える．同様の判断を第２階層に位置する７項目全ての組合わせについて順次実施する．なお，比較不能の判断も可能である．

次に，第2階層の項目を目標とし，第3階層に位置する項目から2項目を選び，目標に対する2項目間の関係の強さについての判断結果を与えていく．第2階層の項目で第3階層に下位項目を有する5項目について順次同様の一対比較を実施する．

最後に，選択対象である3作業体系についての一対比較を実施するが，目標項目は第35図の第2階層両端に位置する「規模適性」と「資金援助」の2項目と第3階層の全項目である．

これらの手続きは，意思決定支援システムから設定された階層構造に従った選択指示が出るので，使用者は，システムの指示に従って，一対比較の判断に集中することができる．

4　選択過程の調査と分析

1）調査対象者

第21表に示す17名について調査を実施した．いずれもカンキツ生産に意欲を持って取り組んでいる生産者であり，対象者Ｂ，Ｄ，Ｆは兼業農家，他の14名はカンキツ専業農家である．対象者の年齢は36～57才の範囲であり，平均年齢は45才である．対象者2名が平坦地を含む傾斜15度未満の緩傾斜地でカンキツを栽培しており，他は傾斜度15度以上の急傾斜園を所有している．傾斜25度以上の急峻傾斜地園を所有している対象者は6名である．経営面積が2.0ha

以下の対象者が5名，2.1～3.0haが7名，3.1ha以上が5名である．圃場の区画数が3カ所以下の対象者が4名であり，13名は5カ所以上に分散している．対象者の1ha当たり平均生産量は23tであり，生産量が100tに達している対象者が2名いる．労力は2～4名であり，すべてが家族内労働力であるが，収穫時においては2～3名の雇用が加わる．対象者の約半数に後継者がいる．

対象者L，P，Qは施設形体系を，対象者A，Bは乗用形体系を，対象者E，Mは歩行形体系を既に導入している．他の10名は，防除作業に動力噴霧機，園内の運搬作業にモノレールあるいは歩行形運搬車を使用している．

このような生産者を対象として，あらかじめ設定した評価項目の階層構造に従い意思決定支援システムにより項目間の比較検討と重要度の算定を行った．重要度の計算結果の表示例を第37図に示す．

2）　分析結果と考察

(1)　各項目の分析結果

最上位階層に位置する7項目間の比較結果から，各調査対象者が作業体系選択に当たって最も重要と判断した項目について，その割合を求め第38図に示す．これにより，約半数が作業体系を選択する際に「園地状態」を最も重視すると回答しており，園地状態に合わせて導入すべき作業体系を決めなければならないと判断している生産者が多いことが分かる．一方，「必要経費」，「資金援助」等の作業体系導入に関わる経済性の側面や規模との適合性については，「作業能率」や「作業の質」より重視する対象者が少なく，このことは，作業体系導入の際の必要経費のすべてを自らの経営で負担する必要がないことや，経営状態を考慮する以前に，生産のための作業改善を進めたいとの生産者の願いが表れているためと思われる．

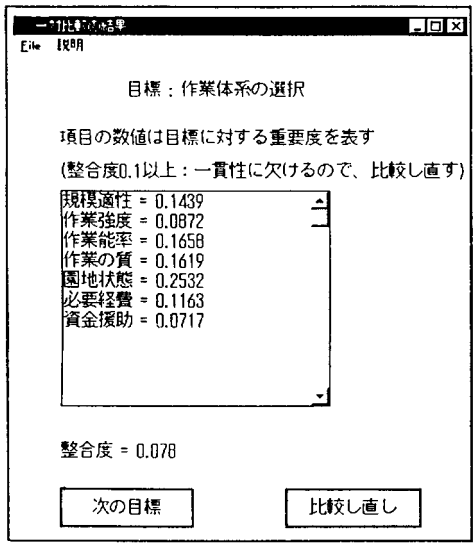
また，「作業能率」の項目を最重要視した対象者は，経営面積が3ha以上の規模の大きい農家であり，「作業の質」を重視した対象者は，経営面積が2.5ha 以下の比較的規模の小さい農家であった．このことは，「作業の質」は出荷される生産物の外観品質に影響するので，出荷量の少ない生産者は少しでも良品を出したいと思っていることを反映しているとも考えられる．

なお，「作業強度」については，当初，カンキツ生産が傾斜地での作業になるた

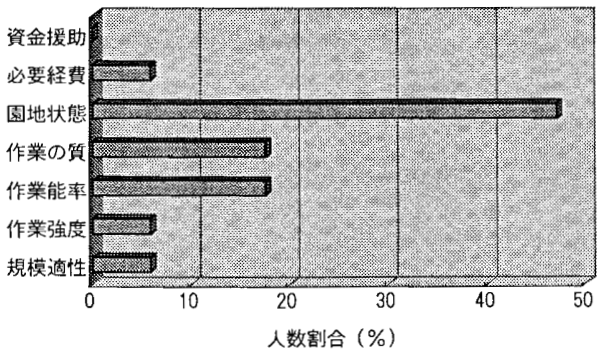
第21表　調査対象者一覧

対象者	年齢	住所	園地の傾斜程度(度) <15	<25	≧25	経営面積(ha)	区画数	生産量(t)	労力(人)	後継者有・無	所有作業機・施設 スプリンクラー	SS	風筒式防除機	モノレール
A	40	熊本県		○		4.0	8	100	3	無		○		
B	45	広島県	○	○	○	1.7	8	30	2	不明		○		
C	47	香川県	○	○	○	3.2	12	60	3	無	○			
D	38	香川県	○			2.5	6	70	2	有				
E	57	香川県		○		2.0	2	40	2	有			○	
F	43	香川県		○		1.4	2	30	2	有				
G	55	愛媛県	○			3.0	2	80	2	有				
H	36	愛媛県	○	○		2.0	3	60	4	不明				
I	41	愛媛県		○		2.0	7	40	3	無				
J	46	愛媛県	○	○		3.0	6	70	4	有				
K	50	愛媛県			○	3.5	7	80	3	無				○
L	49	愛媛県			○	4.0	10	100	2	無	○			○
M	46	愛媛県		○	○	3.0	5	70	4	有	○		○	
N	39	愛媛県			○	2.5	15	50	3	有				○
O	41	愛媛県		○		3.5	10	70	2	無				○
P	43	愛媛県		○		2.5	15	60	3	有	○			○
Q	48	愛媛県		○		3.0	8	85	4	無	○			○

注）1.対象者B，D，Fは兼業，他はカンキツ専業．
2.軽トラック，動力噴霧機は対象者全員所有．
3.1998年調査．



第37図　重要度の計算結果の表示例



第38図　作業体系選択の最重要項目

第22表　上位項目に対する下位項目の重要度

上位項目	下位項目（最重要と判断した者の割合%）
園地状態	取付道等整備状態 ＞ 傾斜程度 ＞ 区画の大きさ 53　40　7
作業能率	運搬作業 ＞ 薬剤散布作業 ＞ 採果作業 ＝ 摘果・剪定作業 50　39　6　6
作業の質	薬剤散布の質 ＞ 運搬のていねいさ 88　13
作業強度	薬剤散布作業 ＞ 運搬作業 ＞ 除草作業 ＝ 採果作業 ＝ 摘果・剪定作業 44　22　11　11　11
必要経費	稼働経費 ＞ 初期投資 53　47

め重要視されると想定したが，調査対象者が30～50才台の壮年層であることが影響したためか作業体系の選択に当たって最重要項目との判断は少ない．

次に，各項目に対する下位項目の重要度について検討する．第22表に，重要度の高かった5項目を選び，その内容について調査対象者がどのような判断をしたか示す．

最も重要視するものが多かった「園地状態」については,園地までの取付道路の有無が最重要視され，次いで園地の傾斜度を重要と位置付けている．このことは，いずれの作業体系であっても園地までの運搬にトラック等が進入できる条件が無ければ受け入れられないことを意味し，続いて傾斜の程度によって選択すべき体系が異なると判断していることがうかがえる．区画の大きさが重要視されないのは，区画を拡大するには多くの困難を伴うため，むしろ与件としてとらえられているためと思われる．

「作業能率」については，運搬作業が最も重要と判断している対象者が全体の半数を占め，次いで薬剤散布作業であり，採果作業や摘果・剪定作業を重視する者は少ない．このことは，作業強度の大きい運搬作業や薬剤散布作業を素早く終わりたいとの思いや，手作業の採果・摘果・剪定作業に高能率な手段がないと判断しているためと考えられる．

「作業の質」では薬剤散布作業の質と運搬のていねいさの項目を設けたが，ほとんどの対象者が薬剤散布作業の質の方を重視している．このことより，生産者の多くは，生産物の外観品質が病虫害に大きく影響されると判断していることがうかがえる．

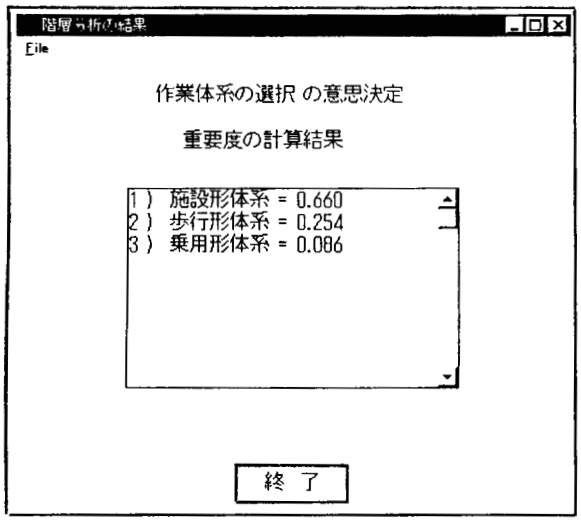
「作業強度」については，薬剤散布作業や運搬作業を重視する対象者が多く，作業体系の導入に当たっては，防除・運搬作業の軽作業化を進めたいと願っている生産者が多いことが分かる．

「必要経費」の下位項目である稼働経費と初期投資ではその差が少ないが，調査対象者の背景にさかのぼって検討すると，稼働経費を重視している対象者は，既に施設型あるいは乗用型体系を導入している者を含めた比較的規模の大きい農家であり，初期投資を重要視した者は，経営面積が2.5ha以下で後継者のいる農家である．このことは，経営規模の小さい農家は，少ない初期投資で作業体系の改善をはかりたいと願っていることを表していると思われる．

(2)　カンキツ生産作業体系の選択

階層構造に従う一対比較により導かれた各評価項目の重みベクトル（重要度）を全階層にわたって統合した重みベクトルが，3作業体系間の重要度（最終重要度）として第39図に例示するように求められる．この結果から，各調査対象者が重要とした主な評価項目別に最も最終重要度が高いと判断した作業体系を求め，その割合を第23表に示す．例えば，「取付道等の整備状態」の項目の重要度が最も高かった者の内，施設型体系の重要度が最高であった者の割合は26%であり，乗用形体系と歩行形体系は37%である．

第23表より，取付道等の整備状態を重要視する場合，選択される作業体系は乗用形体系と歩行形体系が多くなり，園地の傾斜程度では施設形体系や歩行形体系を選択する者が多い．このことより，園地までの取付道の整備が進んでいることが，乗用形体系や歩行形体系の導入にはより重要であることがうか



第39図　３作業体系間の重要度の表示例

第23表　主な項目別の作業体系選択人数割合（%）

選択体系	取付道等の整備状態	園地の傾斜程度	薬剤散布作業			運搬作業		規模適性	稼働経費	初期投資	資金援助
			作業能率	作業の質	作業強度	作業能率	作業強度				
施設形体系	26	47←	53←	19	53←	23	26	35←	35←	24	48←
乗用形体系	37←	18	47←	57←	47←	71←	58←	45←	30	0	38←
歩行形体系	37←	35←	0	24	0	6	16	20	35←	76←	14

注）←は注目値を示す

がえる．また，施設形体系や歩行形体系の導入には，園地の傾斜度がその判断の重要な要因になることを示している．

具体的な作業で重要度の高かった薬剤散布作業では，作業能率および作業強度から施設形体系や乗用形体系が選択され，歩行形体系を選択する者はいない．一方，作業の質では，乗用形体系を選択する者が最も多く，次ぎに歩行形体系である．このことより，薬剤散布作業には乗用形体系のＳＳが最も有効な作業機であり，施設形体系のスプリンクラは作業精度に問題があると判断している生産者が多いことが分かる．また，風筒式防除機については，ＳＳが導入できない園地で，散布精度を重視する場合に選択する作業機であると判断しているといえる．

次に，運搬作業については，作業能率および作業強度の項目とも乗用形体系を選択する対象者が明らかに多く，このことより，園内に軽トラックを導入することが，最も運搬作業の改善に効果的であると判断している者が多いことが分かる．

規模適性の項目に対しては，施設形体系と乗用形体系を選択した対象者が多い．このことは，施設形体系あるいは乗用形体系を導入する際には，経営規模が大きくなくてはならないと判断しているためと思われる．なお，乗用形体系を選択した対象者の平均経営面積は3.0haと大きく，施設形体系の場合は2.8ha，歩行形体系では2.4haである．

作業体系と資金運用面との関係をみると，稼働経費では歩行形体系や施設形体系を，初期投資では歩行形体系を，資金援助では施設形体系や乗用形体系を選択する者が多い．このことから，施設形体系や乗用形体系は，初期投資額が大きく，資金援助が得られなければ受け入れられない体系であると判断しており，歩行形体系については，自らの資金力で導入できる作業体系であると判断している者が多いことがうかがえる．

次に，3作業体系別に各作業体系の重要度が最も高く算出された者から代表的なＧ，Ｑ，Ｃの3者を選び，第2階層で重要度の高かった3項目でかつ第3階層で最も重視した項目を抽出し，その項目と選択した作業体系の結果を第24表に示す．

対象者Ｇは，作業体系を選択するに当たって，園地の傾斜程度を最も重視し，作業能率では運搬作業，作業の質では薬剤散布作業を重視している．作業体系との関わりでは，園地が傾斜15度未満の緩傾斜地であることを反映してか，いずれの項目に対しても乗用形体系であり，最終の選択体系も乗用形体系の

第24表　対象者別の重要項目と選択作業体系

対象者	作業体系	上位３重要項目（最重要下位項目）と選択作業体系			最終重要度
G	施設形	園地状態（傾斜程度）	＞ 作業能率（運搬作業）	＞ 作業の質（薬剤散布作業）	0.07
	乗用形	○	○	○	0.69 ←
	歩行形				0.24
Q	施設形	園地状態（傾斜程度）	＞ 作業能率（運搬作業）	＞ 作業の質（薬剤散布作業）	0.52 ←
	乗用形	○	○	○	0.27
	歩行形				0.21
C	施設形	規模適性	＞ 作業強度（薬剤散布作業）	＞ 作業能率（薬剤散布作業）	0.24
	乗用形		○	○	0.35
	歩行形	○			0.41 ←

注）1．最終重要度の数値は、1に近いほど重要度が高い
2．←は注目値を示す

重要度が他の体系よりも明らかに高い．

対象者Ｑについては，重要視した項目の順位は対象者Ｇと同様であるが，園地が傾斜15度以上25度未満の急傾斜地に位置することから，作業の質では乗用形を選択しているものの，園地の傾斜程度および運搬作業能率から施設形体系を選択している．

対象者Ｃは，規模適性を最も重視しており，その項目に歩行形体系を選択し，次いで薬剤散布作業の作業強度，作業能率を重視し，これらの項目に対しては施設形体系を選択している．最終比較結果では，規模適性の重要度が高いことを反映し歩行形体系の重要度が高い．規模適性の項目で歩行形体系を選択したのは，所有している園地が緩傾斜地から急峻傾斜地まで多様であり，しかも区画数が12と多く，小区画で複雑な園地では歩行形体系が最も適していると判断したためと考えられる．

以上をまとめると,園地までの取付道が整備され，しかも園地の傾斜度が比較的緩く，経営規模の大きい生産者は，資金援助制度を利用して乗用形体系を選択すると思われる．園地の傾斜が急な場合は，施設形体系あるいは歩行形体系が選択され，資金援助が得やすいカンキツ専作地域に位置する生産者は施設形体系を選択すると考えられる．開発した歩行形体系は，園地の傾斜が急で乗用形体系の導入が困難な園地において，経営規模や区画の小さい生産者に選択される作業体系であると判断できる．

以上のように，種々の条件に置かれたカンキツ生産者が作業体系を選択する過程を明らかにすることが示せた．さらに，ここで開発した意思決定支援システムにより，新たに作業体系の導入を検討する生産者が意思決定をする際に，自らの価値判断を整理し，明らかにすることが可能となる．

5　摘　要

傾斜地カンキツ生産の条件に適合した体系を選択する際の指針を得るため，階層分析法に基づく対話型の意思決定支援システムを開発するとともに，それを用いてカンキツ生産農家を対象とする調査を実施し，その結果から，カンキツ生産作業体系選択の意思決定過程を明らかにした．

1）階層分析法における階層構造の構築や一対比較を対話型で行え，自動的に行列計算をして，結果を分かりやすく表示できる意思決定支援システムを開発した．

2）比較するカンキツ生産作業体系を施設形体系，乗用形体系，歩行形体系の３体系に設定し，評価項目として「規模適性」,「作業強度」,「作業能率」,「作業の質」,「園地状態」,「必要経費」,「資金援助」の７項目と，各項目について具体的な下位項目からなる3階層のカンキツ生産体系選択の階層構造を構築した．

3）カンキツ専業農家14名と兼業農家３名の合計17名に対して，意思決定支援システムを用いた調査を実施し，以下の分析結果を得た．

ａ　作業体系の選択に当たって，最も重要視される項目は「園地状態」であり，作業体系導入に関わる経済性を重視する対象者は少ない．「園地状態」の項目では,園地までの取付道の有無が最重要視され，次に園地の傾斜度であり，区画の大きさについては与件としてとらえられている．

ｂ　「作業能率」や「作業強度」の面において最も改善が求められている作業は，運搬作業と薬剤散布作業である．

ｃ　薬剤散布作業では，スピードスプレーヤが最も有効な作業機と判断されており，開発した風筒式防除機については，スピードスプレーヤが導入できない園地で散布精度を重視される場合に選択される作業機である．運搬作業では，園内に軽トラックを導入することが最も効果的であると判断されている．

ｄ　園地の傾斜が緩く経営面積の大きい生産者は，乗用形体系を選択し，経営面積が広いが園地の傾斜が急で，資金援助を期待する生産者は施設形体系を選択すると判断できる．さらに，歩行形体系は，園地の傾斜が急であり経営規模が比較的小さい生産者に選択される作業体系であると判断される．

Ⅵ　結　　論

本研究の主目的は，傾斜15度以上25度未満の急傾斜地カンキツ園を対象として，作業の省力化および軽作業化を実現する機械化体系を開発することである．

この目的を達成するために，カンキツ生産の現状調査と急傾斜地園に適合する機械化体系の選択，歩

行形機械化体系における要素技術の開発，歩行形機械化体系の現地実証，カンキツ生産作業体系選択過程の分析を展開した．

本研究の成果は，農林水産省が策定している「ＡＧＲＯＫＥＹ21」の「果樹低樹高省力化技術体系」で取り上げられ普及段階に移行するとともに，開発した風筒式防除機は1996年に商品化され，普及させることができた．

以下，本研究の内容を総括して述べる．

1　カンキツ生産の現状と取り上げる機械化体系

1）我が国のカンキツのおよそ半数は，傾斜15度以上の急傾斜地で栽培されている．急傾斜地園は，排水・風通し・日照が良く，寒気だまりが少ないなど，高品質な果実生産ができる．しかし，急傾斜地カンキツ園は基盤整備がほとんど行われておらず，機械化が立ち後れ，生産者は長時間の重労働をm強いられている．しかも，生産者の高齢化や女性化が進行して労働力の脆弱化が進み，産地の崩壊が危惧される状況に至っている．このため，産地では作業の省力化および軽作業化が達成できる機械化体系の開発を強く求めている．

2）急傾斜地カンキツ園において機械化を図るためには，作業機が走行できる園内作業道が不可欠である．しかし，急傾斜地園において乗用形作業機のための道幅の広い園内作業道の設置は，多額の費用がかかり，掘削法面の崩れや縮間伐による生産量の低下が問題になり，生産者が受け入り難い．そこで，園内作業道の道幅を狭くできる歩行形作業機を基幹とする機械化体系を取り上げ，本体系の基本を以下のように設定した．

(1)　作業機は機体幅を1m以下の歩行形とし，走行部はクローラ式とする．

(2)　園内作業道は道幅1.0～1.3m，縦断勾配15度以下とし，肋骨状に配置する．

2　歩行形機械化体系のための要素技術の開発

1）園内作業道の簡易舗装法の開発

歩行形作業機の安定走行を確保するため，低コストな園内作業道の簡易舗装法を検討した．開発した簡易舗装法は，砂利や砂等の骨材を使用しないで，原土に普通セメントと土壌凝固剤を混和して水練りする工法である．

(1)　土壌に対してセメントを13％，土壌凝固剤を0.3％混和して水練りを行えば，歩行形作業機の走行に支障がない路面が施工できる．

(2)　本工法は歩行形管理機などの営農機械を利用して施工でき，100m²当たりに要する作業時間は５人の組作業で４時間である．舗装資材費は，コンクリート舗装よりも安い．

2）病害虫防除機の開発

病害虫防除作業の機械化を図るため，風筒式防除機を試作し，その作業特性と省力・軽作業効果を調査した．風筒式防除機はタンク容量が300Ｌの歩行クローラ式で，その場旋回ができる．薬液の散布方式は，送風機の風を利用した送風散布であり，上下方向の散布角度が調節できるとともに，自動振り散布ができる．

(1)　道幅1m，縦断勾配15度以下の園内作業道が1樹列あるいは千鳥2樹列おきに設置されている園に適合する．散布液の到達性や方向性が高く，振り散布によって葉裏への薬液付着が良い．

(2)　10a当たり500Ｌの散布量において，有効付着率は約90％と散布精度が高い．作業能率は15a/hである．本機の利用により，慣行の手散布と比較して33%の作業時間の削減と軽作業化を図ることができる．

3）肥料散布機の開発

肥料散布作業の機械化を図るため，肥料側方散布機を試作し，その作業特性と省力・軽作業効果を調査した．肥料側方散布機は，歩行形クローラ式運搬車に散布装置を装着する搭載型であり，装置のの脱着は歩行形運搬車のリフト装置を利用する．肥料ホッパ容量は100Ｌであり，肥料を機体側方に送風散布できる．

(1)　道幅１m，縦断勾配15度以下の園内作業道が1樹列あるいは2樹列おきに設置されている園に適合する．ペレット状あるいは粒状肥料を散布でき，散布幅は4.6～5mである．

(2)　作業能率は45a/hである．慣行の手散布と比較すると作業時間の短縮は認められないが，労働強度の改善効果は大きい．

4）収穫作業のシステム分析

園内作業道と歩行クローラ式運搬車の組合せによ

るカンキツ収穫作業のシステム分析を実施し，労働力，運搬車の大きさ，運搬距離が収穫作業時間に与える影響を検討した．対象とした運搬車は，積載コンテナ数が６個の市販機と10個の試作機である．

(1)　１区画20a程度の傾斜果樹園の入口まで軽トラックを入れることができる一般的な果樹園であれば，多くのコンテナを運搬できる運搬車を導入することによる収穫作業時間の短縮効果はほとんど認められない．

(2)　果樹園への取付け道路事情から，運搬車による運搬距離が長くなる場合は，積載量の大きい運搬車を導入することによりわずかではあるが収穫作業時間の短縮効果が発揮される．

(3)　労働力を増すことで大幅な収穫作業時間の短縮が図れる．

３　歩行形機械化体系の現地実証

歩行形機械化体系を愛媛県吉田町の生産現場に導入し，労働強度，作業時間，果実生産量を従来の作業体系と比較調査し，本体系の省力・軽作業効果を明らかにした．

１）　急傾斜地園に舗装した道幅1.0～1.3m，縦断勾配15度以下の園内作業道を肋骨形に設置する園地改良法を示すとともに，本園地改良は生産量を低下させないで施工できることを確認した．

２）　開発した歩行クローラ式の風筒式防除機，リフト付き運搬車・肥料側方散布機を核とする歩行形機械化体系を改良園地へ導入することにより，高品質果実生産を維持しつつ，労働強度の軽減と作業時間の35%削減を実現することができた．

４　カンキツ生産作業体系選択過程の分析

傾斜地カンキツ生産の条件に適合した体系を選択する際の指針を得るため，階層分析法に基づく対話型の意思決定支援システムを開発するとともに，それを用いてカンキツ生産農家を対象とする調査を実施し，その結果から，カンキツ生産作業体系選択の意思決定過程を明らかにした．

分析に当たっては，比較するカンキツ生産作業体系を施設形体系，乗用形体系，歩行形体系の3体系に設定し，考慮すべき項目と3作業体系を意思決定過程として階層構造化した．調査対象者は，ほとんどがカンキツ専作農家であり，意思決定支援システムを用いた階層分析により，次の点が明らかになった．

１）　作業体系の選択に当たっては，園地までの取付道の有無および園地の傾斜度から導入すべき作業体系を決めなければならない．

２）　改善を強く求めている作業は，運搬作業と薬剤散布作業である．

３）　園地の傾斜が緩く経営面積の大きい生産者は，乗用形体系を選択し，経営面積が広いが園地の傾斜が急で，資金援助を期待する生産者は施設形体系を選択すると判断できる．さらに，歩行形体系は，園地の傾斜が急であり，経営規模が比較的小さい生産者に選択される作業体系であると判断される．

５　摘　要

傾斜15度以上25度未満の急傾斜地カンキツ園を対象として，作業の省力化および軽作業化を実現する機械化体系を開発するため，カンキツ生産の現状調査と急傾斜地園に適合する機械化体系の選択，歩行型機械化体系における要素技術の開発，歩行型機械化体系の現地実証，カンキツ生産作業体系選択過程の分析を行った．

１）　我が国のカンキツのおよそ半数は，傾斜15度以上の急傾斜地で栽培されているが，急傾斜地カンキツ園は基盤整備がほとんど行われておらず，機械化が立ち後れ,生産者は重労働を強いられており，生産者の高齢化や女性化が進行して労働力の脆弱化が進み，産地の崩壊が危惧されている．道幅の狭い園内作業道の導入と歩行型作業機による機械化体系の確立が必要とされている．

２）　歩行型機械化体系のための要素技術として，砂利や砂等の骨材を使用しないで，原土に普通セメントと土壌凝固剤を混和して水練りする低コストな園内作業道の簡易舗装法を開発した．病害虫防除作業の機械化を図るため，タンク容量が300Ｌの歩行クローラ式で，その場旋回ができ，送風機の風を利用し，上下方向の散布角度が調節できる風筒式防除機を開発し，その作業特性と省力・軽作業効果を確認した．さらに，肥料散布作業の機械化を図るため，肥料ホッパ容量は100Ｌで，肥料を機体側方に送風散布できる肥料側方散布機を開発し，その作業特性

と省力・軽作業効果を確認した．園内作業道と歩行クローラ式運搬車の組合せによるカンキツ収穫作業のシステム分析を実施し，労働力，運搬車の大きさ，運搬距離が収穫作業時間に与える影響を検討した．

3）　歩行型機械化体系を愛媛県吉田町の生産現場に導入し，労働強度，作業時間，果実生産量を従来の作業体系と比較調査し，本体系の省力・軽作業効果を明らかにした．急傾斜地園に舗装した道幅1.0～1.3m，縦断勾配15度以下の園内作業道を肋骨形に設置する園地改良法を示すとともに，本園地改良は生産量を低下させないで施工できることを確認した．開発した歩行クローラ式の風筒式防除機，リフト付き運搬車・肥料側方散布機を核とする歩行型機械化体系を改良園に導入することにより，高品質果実生産を維持しつつ，労働強度の軽減と作業時間の35％削減を実現することができた．

4）　傾斜地カンキツ生産の条件に適合した体系を選択する際の指針を得るため，階層分析法に基づく対話型の意思決定支援システムを開発するとともに，それを用いてカンキツ生産農家を対象とする調査を実施し，その結果から，カンキツ生産作業体系選択の意思決定過程を明らかにした．

5）　以上の一連の研究から急傾斜地カンキツ園に適する歩行型機械化体系が明らかになるとともに，現地での導入効果が高く評価された．

謝　　辞

本研究は平成５年から平成９年までの５年間に四国農業試験場で実施した地域先導技術総合研究「傾斜地大規模カンキツ作における快適省力・高品質生産システムの確立」の「小型高性能機械化技術体系の実証」に関わる試験研究の成果を取りまとめたものである．

本論文の作成に当たり，ご指導とご校閲を賜った東京農工大学笹尾　彰教授に謹んで感謝申しあげます．

茨城大学農学部森泉昭治教授，宇都宮大学農学部竹永　博教授，東京農工大学農学部塩谷哲夫教授，同酒井憲司助教授には貴重なご助言とご校閲を賜った．深く御礼申し上げます．

本研究の遂行にあたり，多くの方々にお世話になった．当時の川崎　健場長，小野良孝場長からご助言と励ましを頂いた．深甚なる感謝の意を表します．

作業機の試作，現地での園地改良に当たっては，藤川益弘技官，香川将志技官，関　浩二技官，香川信次技官の高度な技術に負うところが極めて大であった．心よりお礼申しあげます．

現地実証試験では，圃場の提供ならびに試作機のオペレータをしていただいたカンキツ栽培農家の愛媛県北宇和郡吉田町の石崎英雄氏，香川県三豊郡大野原町五郷の堀口隆嗣氏に厚く感謝の意を表します．また，試験の遂行に当たって，当時の幸渕文雄組合長，松田六雄生産部長をはじめとする宇和青果農業協同組合，香川豊南農業協同組合の方々の多大なご協力を得た．さらに，簡易舗装技術については日本ソイルテクノ株式会社，風筒式防除機の試作に当たっては株式会社福本ボデーおよび株式会社丸山製作所，肥料側方散布機の試作に当たっては株式会社日進機械の協力を賜った．ここに記し，厚く感謝の意を表します．

引用文献

1）農林水産省統計情報部：平成９年産果樹生産出荷統計，農林水産統計報告11-24（生産-3），212-213，1999

2）農林水産技術会議事務局：果樹栽培の低コスト・省力化技術農林水産研究文献解題No.22，2-21，1999

3）岡部守：兼業化・高齢化に伴う柑橘作労働過程の手抜き化，農村研究，67，109-118，1988

4）高辻豊二：急傾斜地でもらくらくミカン生産，農林水産研究ジャーナル，20(3)，10-13，1997

5）宮崎昌宏：立地条件に応じた園地整備と軽労化の推進のための研究開発の現状と将来展望，全国果樹低樹高省力化技術体系普及推進協議会講演資料集，65-76，1997

6）果樹経営問題研究会：今後の果樹経営の発展に向けて－果樹経営問題研究会報告書－，農林水産省農蚕園芸局果樹花き課編集，1-59，1997

7）宮崎昌宏：急傾斜ミカン園用防除機，現代農業，73(5)，302-305，1994

8）宮崎昌宏：超小型風筒式防除機，平成５年度総

合農業の新技術122-126，1995
９）宮崎昌宏：テクノトピックス　歩行型風筒式防除機，農業機械学会誌，59(1)，137-138，1997
10）宮崎昌宏：風筒式防除機，農薬散布技術，社団法人日本植物防疫協会，278，1998
11）前掲1)，24-25
12）農林水産省農産園芸局果樹花き課：果樹農業に関する資料，30，1995
13）農林水産省農産園芸局果樹花き課：果樹農業振興基本方針関連資料集，219，1992
14）農林水産省統計情報部：平成6年産農産物生産費調査報告果実生産費，農林水産統計報告8-33（経営-11)，40-41，1996
15）薬師寺清司：みかん園の現状と問題点，農作業研究，18，11-16，1973
16）竹内　学，伊藤茂昭，古川嗣彦：傾斜地みかん園における運搬作業の機械化　第1報運搬車の傾斜地走行性能，農作業研究，25，23-28，1976
17）竹内　学，伊藤茂昭，古川嗣彦：傾斜地みかん園における運搬作業の機械化　第2報排水路兼用路による無人運搬，農作業研究，25，29-33，1976
18）農林水産技術会議事務局：みかん栽培における収穫運搬の省力化に関する研究，研究成果103，2-21，1978
19）竹内　学：傾斜地みかん園の基盤整備と機械化技術の確立，農業技術，40(2)，63-68，1985
20）福岡喜弘，村松久雄，尾崎元扶，十河　稔：傾斜地かんきつ園の造成に関する研究　Ⅲ耕作道型（かめの甲配置）斜面畑の造成実証，農土論集，26，36-48，1968
21）鶴崎　孝，疋田慶夫：急傾斜柑きつ園における栽培管理の機械・施設化について，愛媛大学総合農学研究彙報，24，43-58，1982
22）モノレール工業協会編：モノレールハンドブックー単軌条運搬機（モノレール）の構造とその利用法，日本農業機械化協会，1995
23）鶴崎　孝：急傾斜カンキツ園における運搬労働特にモノレール車運搬に関する研究，愛媛大農学部紀要28(1)，54-126，1983
24）糸川信弘，岡崎紘一郎，宮崎昌宏，長崎裕司，千種英男：乗用型単軌条運搬機の開発，農業機械学会誌，52(1)，85-92，1990
25）池田富喜夫，永田賢嗣：カンキツ園の樹上走行モノレールによる管理方式　1.カンキツ園モノレールへの樹体結束効果とスピードスプレイヤによる薬液散布，四国農業試験場報告，53，112-121，1990
26）岡崎紘一郎，宮崎昌宏，長崎裕司，糸川信弘：樹上走行モノレールによるカンキツ園の農作業自動化，農業機械学会誌，58(3)，103-109，1996
27）山下重良：カンキツ園におけるスプリンクラーの散液特性ならびに装置化に関する研究，和歌山果園試研報，4，28-54，1976
28）相原和夫：傾斜地柑橘作農業における基盤整備の意義と課題ーとくに多目的スプリンクラーの導入・利用に関してー，愛媛大学経営農学研究32，99-114，1989
29）山下重良：カンキツ園におけるスプリンクラー防除と潅漑法に関する実証的研究，和歌山果園試特研報，2，1-74，1991
30）農業土木学会編：14.3農用地造成計画，改訂5版農業土木ハンドブック，534-537，1989
31）財団法人経済調査会：土工事，積算資料，732，1995
32）宮崎昌宏：傾斜地用作業機械導入の現状と対策，果実日本，53(1)，50-53，1998
33）行方文吾，坂上成水，佐藤祥一，栗原績：既設砂利道の路面安定について，農業土木学会誌，35(10)，11-14，1968
34）河野恭一：砂利道の表面処理とその効果，圃場と土壌，47，33-43，1970
35）永石義隆，宮崎　毅，原口暢朗，井上久義：土質安定処理を応用した簡易農道舗装について，四国農業試験場報告，45，183-200，1985
36）岡崎紘一郎，宮崎昌宏，長崎裕司：傾斜地カンキツ園における園内作業道の簡易造成法，農作業研究，33(4)，213-219，1998
37）宮崎昌宏：柑橘園における機械導入と園内作業道の簡易造成法，果実日本，50(2)，30-33，1995
38）村山朔郎，植下　協，斎藤　実：路床土支持力比（CBR値）の簡易測定法としての球体落下試

験について，土木学会誌，44(1)，9-13，1959
39）川崎　健，古川嗣彦：傾斜地における超信地操向車両の旋回方式，四国農業試験場報告，35，97-108，1980
40）宮崎昌宏，岡崎紘一郎，長崎裕司，福本　一，福本好博：傾斜地カンキツ園用トラクタの開発，農業機械学会関西支部報，73，21-24，1997
41）官報：スピードスプレーヤの型式検査の主要な実施方法及び基準，1-16，1977
42）前掲23)，48-49
43）伊藤茂昭，竹内　学，川崎　健：傾斜地における特殊運搬車の走行性能と適応性　第1報歩行型クローラ運搬車について，四国農業試験場報告，31，45－56，1978
44）宮崎昌宏，川崎　健，大黒正道：傾斜地における6輪駆動車両の走行性と適応性　とくに旋回性能と不整地対応性の解析を中心にして，四国農業試験場報告，47，54-77，1986
45）宮崎昌宏，川崎　健：傾斜地における４輪駆動車の走行性と適応性　ー旋回・操舵性能を中心にしてー，四国農業試験場報告，51，12-30，1988
46）宮崎昌宏，猪之奥康治，長崎裕司：肥料散布装置，実用新案，登録3019714号，1995
47）宮崎昌宏：傾斜地カンキツ園用搭載型肥料散布装置，平成7年度総合農業の新技術，9，184-189，1996
48）佐藤純一，増田自策：広幅施肥機の開発，草地試験場研究報告25，75-87，1983
49）前掲23)，54-57
50）鶴崎　孝，垂井不二男：柑橘の低樹高化と収穫作業の省力化，愛媛大学経営農学研究，34，1-18，1991
51）鶴崎 孝：果樹園における作業道の設置と省力的効果に関する研究，SDERD，土地改良測量設計技術協会編，41，15-21，1995
52）農林水産技術会議事務局：傾斜地大規模カンキツ作における快適省力・高品質生産システムの確立，研究成果，346，26-37，1999
53）高辻豊二：傾斜地カンキツ作の軽労型高品質生産システム，農業技術，52(2)，152-157，1997
54）宮崎昌宏：傾斜地柑橘園機械化の進展と今後の方向，農業技術，52(5)，206-210，1997
55）宮崎昌宏：傾斜地かんきつ園における小型機械化体系，平成9年度総合農業の新技術，11，314-318，1998
56）関野幸二，猪之奥康治，高辻豊二：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)，89-94，1998
57）Masahiro MIYAZAKI：Mechanized Farming for Slopeland Orchards 1.Japan，Food and Fertilizer Technology Center Extension ，452，1-8，1998
58）小林　恭，窪田哲夫，竹下孝史，菊岡俊彦：新剤形除草剤散布作業の労働負担，農作業研究，30（別1)，71-72，1995
59）石崎英雄：急傾斜地みかん産地機械化栽培経営の展望，うわみかん，31(3)，14－17，1996
60）農林水産省四国農業試験場：楽しくておいしいみかん作り，技術紹介ビデオ（13分)，1997
61）Yoram Wind，Thomas L.Saaty ：Marketing Applications of The Analytic Hierarchy Process，Management Science，26(7)，641-658，1980
62）Thomas L. Saaty，Masahiro Takizawa ：Dependence and Independence: From Linear Hierarchies to Nonlinear Networks，European Journal of Operational Research　26，229-237，1986
63）真鍋龍太郎：階層化意思決定法AHP（Analytic Hierarchy Process)，オペレーションズ・リサーチ，1986年8月号，474-478，1986
64）DIGITALK ：Smalltalk V Programming Reference，Digitalk Inc.1994
65）宮崎昌宏，石東宣明：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)，191-201，1999
66）岸本　功：長崎県における柑橘園の省力化の方向と問題点，果実日本，53(1)，46-49，1998
67）松下秀介：温州みかん作における省力化技術導入の効果，中国農試農業研究，120，92-99，1997

Research on the Development of Mechanized Production System for Steep Sloping Citrus Orchards

Masahiro MIYAZAKI*, Koichiro OKAZAKI, Noriaki ISHIZUKA**,
Toyoji TAKATSUJI***,Koji INOOKU, Koji SEKINO,
Hiroshi YAMAMOTO****, Yuji NAGASAKI*****, Hiroaki TANAKA and Osamu SUMIKAWA

Summary

The objective of this research is to develop a mechanized production system which enables to reduce hours as well as improve the working conditions for steep sloping citrus orchards that are located on the slope steepness 15 to 25°. During the research the following activities were performed:

(1) Investigation on the present situation of citrus production and a mechanized production system for steep sloping orchards.

(2) Development of fundamental techniques required for a mechanized production system.

(3) Evaluation on reducing hours and hardness of work by a mechanized production system.

(4) Analyzing the process of selecting operation systems for citrus production.

1. Present situation of citrus production and a mechanized production system.

Citrus orchards with the largest quantities among in Japanese fruit industries, are remarkably spread in steep sloping land. Since steep sloping orchards are well-drained, exposed to sunshine, and well ventilated, farmers can grow sweet citrus fruits that fetch a high price. However, the mechanization of such orchards has been lagging behind because the use of machinery is difficult and sometimes even dangerous due to the steep gradients and high-density planting. As a result, farmers had to tend their orchards by hand, spending long hours stooped over their trees. Moreover, farming is facing growing problems due to the shortage of efficient farmers associated with increase of farmer's average age and decrease of the number of young people. Therefore the abandoned orchards are increasing. To cope with these problem, a new mechanized production system is in great demand for farmers.

To mechanize steep sloping orchards, it is primarily necessary to construct passages for agricultural machines. The construction of wide farm roads or paths to allow the passage of large sized machines is not suitable on steep sloping orchards because the construction costs are high and there is a risk of landslide. Furthermore, the total

Department of Hilly land Agriculture
*National Institute of Vegetable and Tea Science
**Shimane University
***National Institute of Fruit Tree Science
****National Institute of Livestock and Grassland Science
*****National Agricultural Research Center

yield from the orchards decreases because many trees have been cut to make space for machinery. Therefore, a walking-type machinery production system (WMPS) which needs narrow farm paths will be adopted for steep sloping orchards. The fundamental designs of the WMPS are as following;

1) The basic specification of machines ;(a) The operator does not ride on the machine, but walk behind it. (b) Use of crawler treads, rather than wheel.(c) The machine has a very small turning circle.(d) Overall width of machine is less than 1.0 m.

2) The design of construction farm path ;(a) Width of path is 1.0 to 1.3 m.(b) Gradient of path is less than 15°.(c) Layout is rib pattern which the connection path acts as a backbone, while working paths are located laterally to connection path.

2. Development of fundamental techniques for WMPS.

1) Low cost pavement of farm path

To allow machines to travel smoothly, a low-cost cement aggregate pavement using soil from the orchards itself instead of gravel and sand brought in from outside was developed. The cement is mixed with a coagulant powder, water, and soil, and smooth down the surface.

(1) The optimum mixing ratio of soil, cement, and coagulant in pavement materials is 100 : 13 : 0.3, respectively. Pavement depth is 7 - 10 cm. This pavement is considered to be enough for machines of WMPS.

(2) This pavement can be carried out using such as rotary tiller and power sprayer. The farm path is constructed at a rate of 25 m2/h with a team of five workers.

2) Mechanization of pest and disease control

In order to reduce the works of pest and disease control, an air-blast sprayer was developed. The sprayer has crawler treads with a pivot turning mission. It is equipped with a power sprayer and an axial fan, and emits a fine and dense chemical mist. The operator can direct the spray precisely onto the target by controlling the direction of a fan drum, that can be adjusted freely between 35° upward 20° downward. This sprayer has a liquid chemical tank with the capacity of 300 l.

(1) This sprayer can be adapted to the farm paths for WMPS. Air turbulence associated with the fan drum swinging automatically shakes the leaves of trees, so that chemical spray adheres to both sides of leaves.

(2) The deposit ratio was about 90% on both side application in one row of trees or two row of zig-zag trees. The working efficiency was 15 a/h, which showed about 33% reduction of working hours. The use of the sprayer enabled to improve the labor intensity required for pesticide application by comparison with the power sprayers with long hoses.

3) Mechanized fertilizer application

In order to improve the work of fertilizer application, a fertilizer spreader for side dressing which was a mounted type fertilizer unit attached on the bed of the transporter was developed. The capacity of the hopper of the fertilizer is 100 l. Granular or pellet type fertilizer metered through an auger attached the bottom of the hopper is led to a discharge pipe and blown out with air from a centrifugal fan. Mounting and unmounting the unit on the bed of transporter are easy operation, because of the transporter's hydraulic lift system.

(1) This machine can be adapted to the farm paths for WMPS. The maximum discharged capacity is 25 kg/min and the width of application is 4.6 -5.0 m.

(2) Fertilizer can be applied at a rate of 100 to 150 kg/10a with a working efficiency of 45 a/h. The labor intensity required for fertilizer application was obviously reduced by the use of this spreader.

4) System analysis on harvesting operation

This verse shows the comparison between two types of transporters carrying different numbers of containers, 6 and 10, for harvesting. They are used on a narrow path on a steep sloping orchard in order to improve the harvesting operation.

Since the harvesting operation of fruits is a complex system influenced by a capacity of the transporter, the transporting distance, and the number of workers, we applied a systems analysis method of building a computer model and simulating the operation. The model was programmed by Visual Smalltalk, which is known as an object-oriented programming environment.

The results of the computer simulation were summarized as follows.

(1) Not all the bigger type transporter with 10 containers had higher efficiency than the one with 6, in case of a 20a field lot with a wide road enough for a light track in a common sloping orchard.

(2) In the cases, which require long transportation over 100 m to a light track, the bigger type transporter gives a slightly higher efficiency.

(3) Introduction of additional labors brings a drastic reduction in harvesting time.

3. Evaluation on reducing hours and hardness of works by WMPS

To confirm the advantages of WMPS, we set up a model orchard in an actual farmer's orchard with a mean slope gradient of 25° at Yoshida town, Ehime prefecture. The model orchard of 1.0 ha was improved by adopting the developed farm path system. The working path was placed at an interval of every two rows, with a path density of 1.2 km/ha.

Field experiments were conducted to determine the labor intensity of each operation and the yearly working hours by comparison with a conventional production system for four years. Investigations of yield and selling price for the model orchard were also performed to evaluate the productivity compared with the area average. The results of investigation were summarized as follows.

1) The process for improving by the construction of paved farm path with 1.0 to 1.3m width and under 15° of gradient was shown. The rate of removed trees for the construction of the path was only 6.5-11.3 % . The improvement of citrus steep sloping orchards for the WMPS didn't cause yield reduction in spite of some thinning of citrus trees.

2) The WMPS using an air-blast sprayer, a lift transporter and a side distributor were proposed for steep sloping orchards. The tests showed that WMPS enabled to reduce yearly working hours by 35% as well as improve the working conditions without a decline the quality of fruits and yield. These results indicate that the introduction of this system enabled to avoid hard manual labor required for the maintenance of orchards on steep sloping orchards and extended the scale of farm operation.

4. Analyzing the process of selecting an operation system for citrus production

In order to make a guideline for selecting an appropriate operation system for citrus production in sloping orchards, the decision support system, which was based on the Analytic Hierarchy Process method, was developed by using the Visual Smalltalk. The process of decision making by using the support system was shown.

The three types of production systems, which are a facility type, a riding machinery type and the WMPS were

analyzed. The facility type is composed mostly of sprinkler pipelines and monorail transport lines. The riding machinery type is constituted mainly of a speed sprayer and a light truck. The WMPS is composed of an air-blast sprayer and a crawler type transporter in the main. The hierarchical structure concerned with decision making process was constructed, and then the following results were obtained through the survey on orchard managers by using the decision support system.

1) To select the appropriate one from the three production systems, the connection roads to orchards and the gradients of fields should be considered.

2) The works of chemical application and transportation are especially demanded to rationalize.

3) Managers having comparatively a large household scale in gentle sloping areas select the riding machinery type. The facility type is selected by managers having comparatively a large household scale in steep sloping areas and having the demand financial supports. Managers having a smaller household scale in steep sloping areas select the WMPS.

①普通セメント散布

②土壌凝固剤散布

③攪拌・混合

④散　水

⑤水練り

⑥均　平

写真１　簡易舗装の作業工程

手散布

風筒式防除機

写真２　薬剤散布の作業状況（Ｉ園）

写真３　風筒式防除機（市販機）

写真４　散布装置の脱着方法

手散布

肥料側方散布機

写真５　肥料散布の作業状況（Ｉ園）

市販機

試作機

写真６　クローラ式小形運搬車の外観

写真７　小形バックホーによる掘削・整形

写真8　改良園地の概況

写真９　第４期工事区の園内作業道

写真10　歩行形体系のコンテナ積み替え作業

写真11　慣行体系のコンテナ積み替え作業

慣行体系区

歩行形体系区

写真12　草刈り作業状況

慣行体系区

歩行形体系区

写真13　除草剤散布作業状況