

Studies on The Development of A Sloping Greenhouse Using Scaffold Materials and A New Horticultural Production System on Sloping Lands with It

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): 作成者: 川嶋, 浩樹 メールアドレス: 所属:
URL	https://doi.org/10.24514/00001796

建設足場資材利用園芸ハウスの新規開発と その導入による野菜・花き生産システムの構築

川嶋浩樹

Key words : 換気, 加温, 傾斜地農業, 傾斜ハウス, 温度分布, 施設園芸

目 次

I 緒 論	78	III 傾斜畑での野菜・花き生産のための新たな傾斜ハウスの開発	90
1 わが国における傾斜地農業と傾斜地園芸施設の現状	78	1 はじめに	90
2 傾斜地における施設園芸研究の現状と課題	80	2 傾斜畑での野菜・花き生産における簡易雨よけ施設の現状	91
3 本研究の目的および本論文の構成	81	1) 試験地の現状	91
II 野菜・花き生産用傾斜ハウスにおける温度分布特性	83	2) 簡易雨よけ施設の概要	91
1 はじめに	83	3 新たな野菜・花き生産用傾斜ハウスの開発	91
2 実験方法	83	1) 新たな野菜・花き生産用傾斜ハウスの開発に向けた要件	91
1) アーチ型傾斜ハウスにおける換気時の温度分布の解析	83	2) 新たに開発した建設足場資材利用園芸ハウスの構造	95
2) アーチ型傾斜ハウスにおける換気位置が温度分布に及ぼす影響解析	84	3) 建設足場資材利用園芸ハウスの導入メリット	97
3) アーチ型傾斜ハウスにおける加温時の温度分布の解析	84	4 結論	98
4) 循環扇による送風が加温時のアーチ型傾斜ハウスの温度分布に及ぼす影響解析	84	IV 高温期における建設足場資材利用園芸ハウスの換気にもなう温度分布特性	99
3 結果と考察	84	1 はじめに	99
1) アーチ型傾斜ハウスにおける換気時の温度分布特性	84	2 実験方法	99
2) アーチ型傾斜ハウスにおける換気位置が温度分布に及ぼす影響	85	1) 建設足場資材利用園芸ハウスとアーチ型傾斜ハウスにおける側窓の開放による換気時の温度分布の解析	99
3) アーチ型傾斜ハウスにおける加温時の温度分布特性	86	2) 傾斜段畑に設置した建設足場資材利用園芸ハウスにおける中央換気窓と側窓の開閉にもなう温度分布と風速分布の解析	100
4) 循環扇による送風が加温時のアーチ型傾斜ハウスの温度分布に及ぼす影響	88	3 結果と考察	101
4 結論	89	1) 建設足場資材利用園芸ハウスとアーチ	

(平成26年7月18日受付, 平成27年3月13日)

農研機構近畿中国四国農業研究センター
傾斜地園芸研究領域

型傾斜ハウスにおける側窓の開放による換気時の温度分布の比較 ……101

2) 傾斜段畑に設置した建設足場資材利用園芸ハウスの換気における中央換気窓の効果 ……102

4 結論 ……104

V 低温期における建設足場資材利用園芸ハウスの加温・送風にともなう温度分布特性 ……105

1 はじめに ……105

2 実験方法 ……105

1) 傾斜方向に長い建設足場資材利用園芸ハウスにおける温風ダクトの配置と循環扇による送風方法および温度分布の解析 ……105

2) 等高線方向に長い建設足場資材利用園芸ハウスにおける温風ダクトの配置と温度分布の解析 ……106

3) 傾斜段畑に設置した建設足場資材利用園芸ハウスにおける温風ダクトの配置と温度分布の解析 ……107

3 結果と考察 ……108

1) 温風ダクトの配置と循環扇の有無が傾斜方向に長い建設足場資材利用園芸ハウスの温度分布に及ぼす影響 ……108

2) 温風ダクトの配置が等高線方向に長い

建設足場資材利用園芸ハウスの温度分布に及ぼす影響 ……110

3) 温風ダクトの配置が傾斜段畑に設置した建設足場資材利用園芸ハウスの温度分布に及ぼす影響 ……111

4 結論 ……112

VI 建設足場資材利用園芸ハウスの導入による傾斜畑における新たな野菜・花き生産システムの構築 ……113

1 はじめに ……113

2 実験方法 ……113

1) 建設足場資材利用園芸ハウスの導入にともなう新たな作付体系による導入効果の解析 ……113

3 結果と考察 ……114

1) 建設足場資材利用園芸ハウスの導入による新たな作付体系の構築 ……114

2) 建設足場資材利用園芸ハウスを導入した新たな野菜・花き生産システムの普及可能性 ……116

4 結論 ……118

VII 総合考察 ……119

謝辞 ……121

引用文献 ……122

Summary ……127

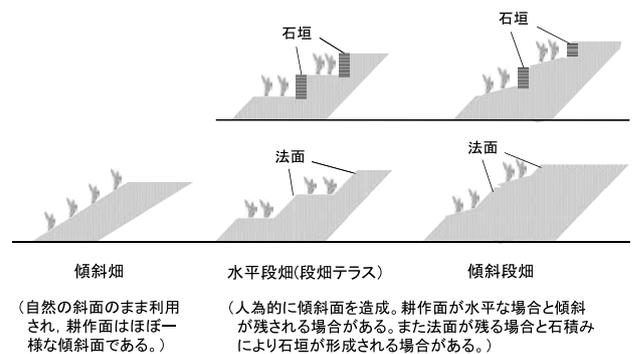
I 緒 論

1 わが国における傾斜地農業と傾斜地園芸施設の現状

わが国は、山地や丘陵地などの傾斜地が国土の7割を占め、古くから傾斜地を農耕利用する傾斜地農業が営まれてきた。傾斜地でも開墾可能な地形は棚田として造成され棚田地域となったが¹⁸⁾、水田化が困難な傾斜地では地形に応じて、畑面が水平なテラス状の水平段畑、畑面が傾斜する畑の間を階段状に区切る傾斜段畑、人為的な手を加えずに利用可能な傾斜地は傾斜畑、造成不能なところは焼畑として利用されてきた(第1図)。

わが国における全耕地面積の約40%は中山間地域に分布しているが、西日本ではその割合が大き

なっている^{18, 88)}。中山間地域を中心に展開される傾斜地農業は、不利な耕地条件のもとで規模の零細性や土地基盤条件の劣悪性を回避し、一定の農業所得を確保するために、集約的な品目での産地形成に努力が傾注されてきた^{26, 43, 68)}。このため、例えば



第1図 傾斜地における農耕利用の形態

高知県の中山間地域の生産者が拡大意向を持つ部門の上位は、野菜（露地、施設）、雑柑などの果樹となっている^{67, 83}。また、十和村（高知県）の例では、基幹品目が次々と衰退する中で唯一生産額を伸ばしているのは野菜だけである^{42, 85}。中山間地域の活性化に向けた戦略作物として野菜や花きをあげる市町村も多く、集約的な園芸作物が地域の持続的発展の要となっている⁴²。このため、中山間地域の市町村や農協などの機関は、野菜・花きによる集約的施設園芸を中心にさまざまな農家経営支援・育成方策を講じているなど⁷⁸、中山間地域においては新たに野菜・花きを導入した集約的施設園芸による産地形成の成否が、地域農業盛衰の大きな分かれ目となっているといえる^{42, 66}。

園芸施設は、植物工場のように高度に環境制御を発達させた施設から露地において地面や植物体を覆うだけのマルチやべたがけもその範疇に含まれるが¹⁹、施設園芸の中心的な施設は温室である。温室は、被覆資材によってガラス温室とプラスチックハウス（単にハウスとも呼ばれる）とに大別される。中でもハウスは、1955年頃に農業用プラスチックフィルムが実用化されたのを契機に急速に普及した。ハウスは、概して安価であり自家施工も可能なことから面積も増え、設置面積は48,451ha（全体の96%）⁵⁷と温室の中心的な施設となっている。その範囲も暖房装置、換気装置や灌水装置を備えて自動管理を行うものから無加温で巻き上げを開放して換気を行う簡易施設まで幅が広い^{59, 76}。

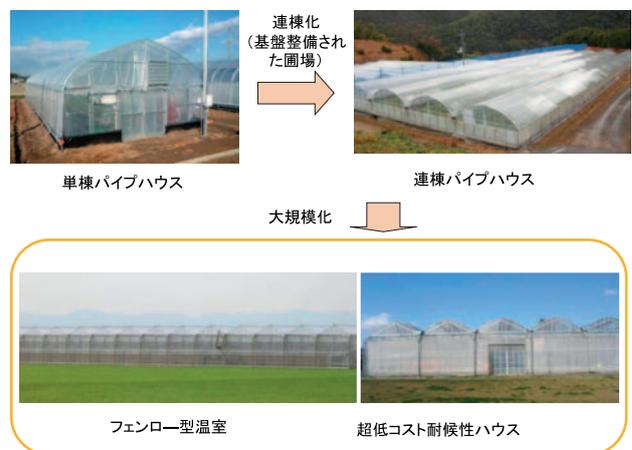
ハウスは、曲げパイプ（アーチパイプ）を用いた丸屋根（アーチ）型が主流であり、鉄骨と組み合わせた鉄骨補強型パイプハウスや基礎のない簡易な地中押し込み式パイプハウスがある⁷²。近年の傾向として、鉄骨補強型パイプハウスではガラス温室と同様に多連棟化・高軒高化とともに大規模化が進められ、ガラス温室を代替する施設として平坦地での導入が進みつつある^{72, 86, 92}。

一方、安価な農業用プラスチックフィルムが普及したことで、露地栽培における安定生産や品質向上などを目的とするマルチやトンネルが行われるようになった。中山間地域においてもダイコンやタマネギなどのマルチ栽培、適品目の選定、地域に応じた栽培体系が開発され、比較的涼やかな気候を活かして

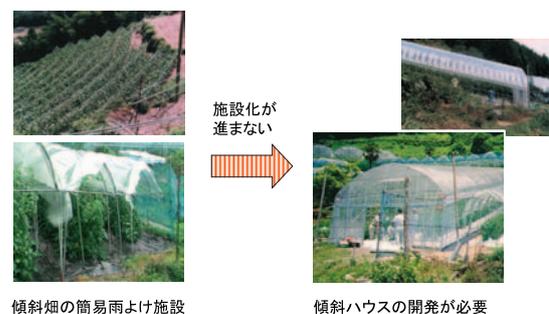
平坦地では栽培できない夏秋野菜の産地形成に取り組まれた¹⁸。1970年代には、人が入って作業ができる簡易な雨よけ施設が開発され、中山間地域における高温期のトマト生産（夏秋栽培）の安定化を目的に急速に普及した^{16, 59, 93}。雨よけ栽培は、露地栽培に比べて収穫期間の拡大や収量の増加が図られ、品質低下を軽減する効果があることから全国に広がり、その多くは中山間地域の傾斜畑で利用されている。

しかし、迫田⁶⁹が指摘するように、簡易な施設であるため風雨の遮断や病害虫対策が不十分で薬剤散布の効果も上がらない、品質向上にも改善の余地がある、台風などの強風時に作物と施設が壊滅的な被害を受けるなどの問題があるのに加えて、近年は農産物に対する消費者の安全志向の高まりから減農薬栽培への取り組みが進み、簡易雨よけ施設からの転換が迫られている。

中山間地域においても基盤整備が行われたような条件の良い圃場では大型パイプハウスの導入が図ら



(1)大規模化が進む平坦地の園芸施設



(2)傾斜地における園芸施設の現状

第2図 平坦地と傾斜地における園芸施設の現状

れている。例えば、高知県では県の通称「レンタルハウス整備事業」により施設園芸の振興が図られており、鉄骨補強パイプハウスの導入が進められている⁸³⁾。約40千haのパイプハウスのうち56%は加温設備がなく⁵⁷⁾、雨よけとして利用されていると推定されるが、このタイプのハウスは天井部だけを被覆して側面はフィルムを展張しないか常時巻き上げておく構造であり、押し込み式パイプハウスが最も多く中山間地域の施設園芸の中心的な施設である。その一方で、傾斜畑ではコスト面から基盤整備が進まず^{43, 53)}、狭小で不定形な圃場条件に対応できるパイプハウスがないことから、簡易雨よけ施設を用いた栽培から転換することが難しいのが現状である(第2図)。このため、傾斜畑において簡易雨よけ施設に替わる新たな施設の開発が産地における生産力の維持・強化のために必要となっている。

2 傾斜地における施設園芸研究の現状と課題

オランダ式の先端的な施設園芸では、野菜・花きを対象に温度制御や換気・気流制御を行う高度な環境制御が行われており⁶⁵⁾、わが国の平坦地に展開する大規模施設園芸のモデルとして研究・開発の目標となっている^{86, 92)}。その一方で、中山間地域の傾斜地では平坦地を補完する役割が期待されているにもかかわらず⁶⁶⁾、対応した施設園芸研究はほとんど行われていないのが現状である。

中山間地域の傾斜畑における野菜・花き生産は、現在のところ高温期が中心であり換気の確保が必要になる。傾斜畑に立地するハウスの利点として、ハウス内に高低差があること、地形条件によっては斜面風が存在することにより平坦地と比べて高温期における換気能力に優れる可能性^{75, 77)}などが指摘されている。このため、平坦地のハウスとは換気能力が異なると考えられるが、傾斜地と平坦地に立地するハウス内環境の違いを比較した既往の研究事例はない。

傾斜畑で栽培される場合が多い果樹では、樹高が高いことなどから傾斜面の地形をそのまま利用した大型施設が多くみられる²⁹⁾。原菌¹⁰⁾は、こうした大型傾斜ハウスの形状として、アーチ型傾斜ハウス、籬壇型パイプハウス、亀甲型傾斜ハウス、波状型ハウスおよび平張型傾斜ハウスをあげている。比較的

収益性の高いハウスミカンでは、鉄骨補強パイプハウスにより施設化が図られている事例もあるが、ブドウやオウトウでは、簡易な部材による雨よけを主とした簡易な構造の施設も多くみられる^{1, 59, 91)}。しかし、これらの施設では、高温期には被覆資材をはずして露地状態にすることが多く、換気には換気扇を用いた強制換気が用いられる場合もあるが、そのほとんどは被覆資材をずらす(隙間をあける)といった程度であり^{10, 28)}、環境調節機能が不十分である。

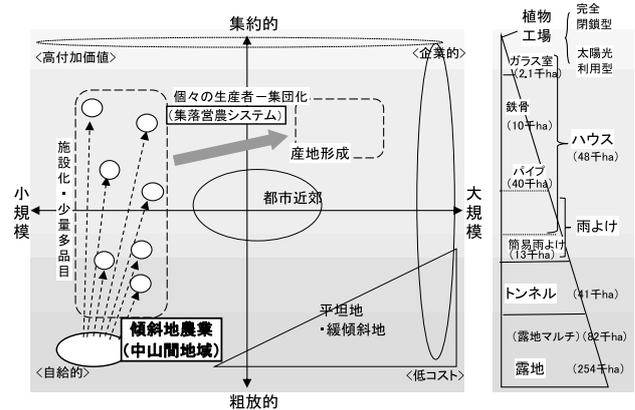
傾斜ハウスにおける野菜・花き生産において、温度制御は重要な技術であり、ハウス内の温度分布特性を把握する必要があるが、傾斜ハウスの内部環境に関する既往の研究事例は少ない。Zamirら⁹⁴⁾は、加温時における傾斜ハウスの放熱係数が平坦地ハウスと同様にハウス外の風速などの環境要因に影響されることを指摘しているものの、傾斜ハウス内の温度分布については言及していない。一方、原菌ら⁹⁾は、傾斜地における大規模ブドウハウスを対象にハウス内の温度分布特性を検討し、普及が進んでいる波状型傾斜ハウスは簡易で低コストであるが換気窓の設置が難しく、日中の気温変動が大きくなるため、換気窓の自動化が可能なアーチ型ハウスの方が環境調節の立場からは望ましいなどの改善点を述べている。さらに、傾斜地に立地するため換気窓の自動化が図られれば換気扇がなくても気温の調節が可能になると述べているが実証例はない。また、野菜・花き生産を目的とした傾斜ハウスにおける温度分布特性に関する研究事例があるものの、無植栽状態のアーチ型傾斜ハウスにおいて密閉時の温度分布を実測した例^{80, 81)}およびシミュレーションによって解析した例⁷⁴⁾がみられる程度である。

野菜・花き生産において傾斜ハウスが導入されると、高温期のみならず周年生産が可能になることから、換気や加温による温度制御が必要である。傾斜ハウス内では、例えば冬期において密閉された状態になると、斜面下方から上方へ向かって温度が高くなる温度勾配が生じるなど^{9, 80)}、平坦地に立地するハウス内とは内部環境が異なるものと予想される。関ら⁷⁴⁾は、無植栽状態でのアーチ型傾斜ハウスにおけるシミュレーションの結果、換気されず密閉された状態のハウス内では傾斜方向に沿って温度勾配

が生じることを報告している。このような特性の傾斜ハウスの利用法として、温度勾配チャンバー⁶¹⁾のように、定植時期を同一としても温度の違いで生育に遅速が生じることを利用して収穫期をずらしながら栽培する方法などが提案されている⁷⁹⁾。しかし、実際には日中は必要に応じて換気することなどによって温度上昇を抑える管理が必要であり、ハウス利用の効率化を考えると、ハウス内の温度差を小さくして温度の均一化を図りながら斉一に生育するように管理の方が現実的である。

一方、低温期において暖房を行う場合、平坦地に立地する一般のハウスでは暖房機の温風ダクトを適切に配置することによって温度分布を均一化している⁶²⁾。また、温度分布を均一化し加温時の省エネルギー化を図るために循環扇が利用される場合もある^{2, 44, 56)}。しかし、傾斜ハウスでは、密閉状態になると温度勾配の発生がみられるなど、平坦地ハウスとは異なる温度制御が必要になると考えられる。原菌ら⁹⁾は、ブドウ用大型傾斜ハウスにおいて加温時のハウス内温度を均一化する方法として、斜面の途中に仕切りカーテンを設置することが有効と指摘している。しかし、野菜・花き栽培では果樹栽培と異なり、特に果菜類では栽培期間中は収穫作業や管理作業が毎日、長時間行われるため^{51, 58, 63)}、仕切りカーテンが作業の障害になると考えられる。

中山間地域では、生産力の低下が進む一方で農業を軸とした地域の活性化が図られようとしており、水稲などの基幹品目に替わる収益性の高い部門として野菜・花きによる集約的な施設園芸が重要であることは前述したとおりであるが、中山間地域の狭い土地条件では、収益性の追求や大規模な農業経営展開を考えた場合には平坦地に比べて不利である⁶⁸⁾。しかしその一方で、立地する自然条件や地域資源の有効活用が他の地域にない経営的アドバンテージとなりうる^{43, 53, 85)}。中山間地域では、集約的施設園芸により付加価値の高い農産物を生産することで農家所得を向上させることが地域発展のひとつの方向であり⁸³⁾、施設化を進めることにより個々の生産者における生産性向上を図るとともに、集団化して競争力を高めることが地域の発展に貢献するものと考えられる(第3図)。中山間地域においても基盤整備が行われた条件の良い圃場では、補助事業による



第3図 施設園芸の技術発展と傾斜地農業における成長戦略

大型パイプハウスの導入が進むなど、施設園芸の振興が図られている。しかし、中山間地域の多くを占める傾斜畑では基盤整備が遅れており、簡易雨よけ施設を用いた野菜・花き生産が行われるようになったものの、こうした簡易施設は病虫害、強風被害などに対する対策が不十分である。このため、簡易雨よけ施設に替わる新たな園芸施設として、傾斜畑における野菜・花き生産に対応した傾斜ハウスの開発とともに、傾斜ハウスの導入による新たな野菜・花き生産システムの構築が求められている。

3 本研究の目的および本論文の構成

前節で述べたように、中山間地域では野菜・花きによる集約的施設園芸が地域活性化の中核を担う部門として期待されており、傾斜畑において広く利用されている簡易雨よけ施設に替わる施設として、生産力の向上や強風による施設への被害軽減が可能な野菜・花き生産用傾斜ハウスの開発が求められている。さらに、中山間地域における野菜・花き生産は高温期における夏秋栽培が中心であることから、雨よけ機能を維持しながら十分な換気を行うとともに、狭小で不定形な傾斜畑に対応できる施設であることなどの要件に対応する野菜・花き生産用傾斜ハウスの開発と同ハウスの導入による新たな生産システムの構築が急務となっている。また、施設化にとりも従来からの作付体系に加え、低温期において新たに野菜・花き生産を行う周年利用の可能性も考えられることから、傾斜ハウスの高温期における換気時および低温期における加温時の温度制御技術の確立

が必須である。しかし、温度制御の基礎となる傾斜ハウスにおける温度分布特性は不明な点が多く、その解明が不可欠である。

そこで本研究では、傾斜畑における野菜・花き生産に対応した傾斜ハウスの開発と傾斜ハウスにおける野菜・花き生産システムを構築するために、平坦地で一般的に利用されているアーチ型パイプハウスの傾斜畑への試験導入を端緒として、以下の検討を行った。すなわち、①傾斜ハウスにおける温度分布特性とその利用可能性、②傾斜畑における野菜・花き生産に対応した新たな傾斜ハウスの開発、③高温期における傾斜ハウスの換気にとまなう温度分布特性、④低温期における傾斜ハウスの加温・送風にとまなう温度分布特性、⑤傾斜ハウスの導入による新たな野菜・花き生産システム構築の可能性である。

本論文は7章で構成される。第I章では、傾斜地における園芸施設の現状ならびに施設園芸研究の現状と課題を総括して述べるとともに、本研究の目的について述べた。

第II章では、傾斜畑における野菜・花き生産に対応した新たな傾斜ハウスの開発に向け、これまで不明な点が多かった傾斜ハウスにおける温度分布の特徴と傾斜畑における野菜・花き生産用施設としての利用可能性を検討するために、その端緒として、平坦地で最も多く利用されているアーチ型パイプハウスを傾斜畑へ設置した傾斜ハウス（以下、アーチ型傾斜ハウス）において、①換気時の温度分布特性、②換気位置が温度分布に及ぼす影響、③加温時の温度分布特性、④循環扇による送風が加温時の温度分布に及ぼす影響を、平坦地に設置したアーチ型パイプハウス（以下、平坦地ハウス）と比較しながら解析し、傾斜ハウスにおける換気能力や温度分布特性を明らかにするとともに、傾斜畑における野菜・花き生産に対する傾斜ハウスの環境面からの利用可能性を検討した。

第III章では、傾斜畑における野菜・花き生産用施設として従来から利用されていた簡易雨よけ施設から傾斜ハウスへの転換を図るために必要な要件を抽出した。野菜・花き生産用傾斜ハウスはこれまで存在しなかったことから、まず平坦地で用いられているアーチ型パイプハウスを流用したアーチ型傾斜ハウスをトマト生産者の傾斜畑に試験導入することに

よって構造上の問題点を抽出するとともに、従来の簡易雨よけ施設に替わる野菜・花き生産用傾斜ハウスの構造要件を検討した。さらに同要件に基づいて建設足場資材利用園芸ハウスを新たに開発するとともに、同ハウスの不定形な傾斜畑への対応、低コスト化や強度などの構造上の特徴と導入メリットについて検討した。

第IV章では、新たに開発した建設足場資材利用園芸ハウスの高温期における適用性を明らかにするために、中山間地域における野菜・花き生産の中心である夏秋栽培において、①アーチ型傾斜ハウスと比較した場合の開発した建設足場資材利用園芸ハウスにおける換気時の温度分布特性、②傾斜段畑に設置した建設足場資材利用園芸ハウスにおける換気窓の設置位置が温度分布に及ぼす影響を解析し、開発した建設足場資材利用園芸ハウスが高温期における野菜・花き生産に必要な換気能力の有無などを実証的研究により検討した。

第V章では、同じく建設足場資材利用園芸ハウスの低温期における適用性を明らかにするために、加温による建設足場資材利用園芸ハウスの温度分布特性を解析した。中山間地域の傾斜畑は、圃場形状がさまざまであることから、傾斜畑の条件に応じて設置した形状が異なる3つの建設足場資材利用園芸ハウス、すなわち①傾斜方向に長い形状の場合、②等高線方向に長い形状の場合、③傾斜段畑に設置した場合を対象に、温風ダクトの配置や循環扇による送風の有無がハウス内温度分布に及ぼす影響を解析し、低温期における野菜・花き生産に必要な加温時の温度制御技術について実証的研究により検討した。

第VI章では、トマトの夏秋栽培を行う生産者圃場において、開発した建設足場資材利用園芸ハウスを設置して実証試験を行い、①トマトの夏秋栽培における生産性からみた建設足場資材利用園芸ハウスの適用性、②建設足場資材利用園芸ハウスにおいてトマト後作としてスイートピーを導入した新たな作付体系による導入効果を検討した。さらに、③建設足場資材利用園芸ハウスの導入による新たな野菜・花き生産システムの中山間地域における普及可能性を考察した。

第VII章では、本研究で得られた知見を総括しながら

ら、中山間地域の傾斜畑における集約的園芸生産を行うために開発した建設足場資材利用園芸ハウスと同ハウスの導入による新たな野菜・花き生産システムの有効性と今後の課題について考察した。

II 野菜・花き生産用傾斜ハウスにおける温度分布特性

1 はじめに

前章で述べたように、中山間地域では野菜・花きの集約的施設園芸が地域の農業の持続的発展の要となっている^{57, 66)}。このため、中山間地域の傾斜畑においては、簡易雨よけ施設から傾斜ハウスへの転換を図り、野菜・花きを安定生産するシステムの開発が求められている。環境調節が可能なハウスを用いた野菜・花き生産では、1日のうちで温度を変化させる変温管理が行われる場合もあるなど、温度制御は特に重要な技術である。傾斜ハウスの内部環境についての既往の研究はほとんどなく不明な点が多いが、無植栽の密閉された傾斜ハウス内では斜面下方から上方へ向かって温度が高くなる温度勾配が生じる⁸⁰⁾との報告がある。このため、傾斜ハウスでは平地ハウスと温度分布特性が異なり、温度制御についても異なる技術が必要になるなど、傾斜ハウスの普及には平地ハウスと異なる要件をクリアしなければならない。

中山間地域の傾斜畑において傾斜ハウスの導入を図るにあたっては、同傾斜畑における野菜・花き生産に対する傾斜ハウスの利用可能性の検討が求められる。この傾斜ハウスの利用可能性の見極めには、①高温期や低温期におけるハウス内温度制御の可否および②構造要件を明らかにする必要がある。

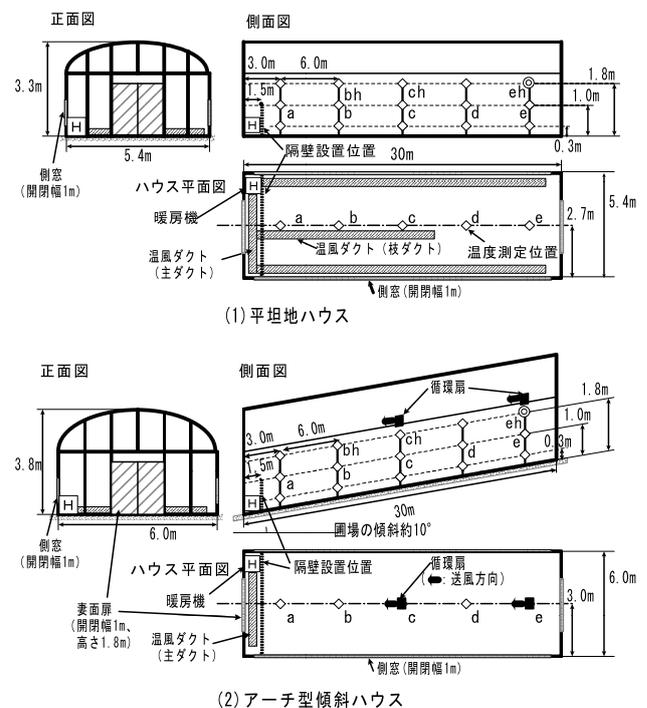
以上のような認識のもと、本章においては平地地で最も多く利用されているアーチ型パイプハウスを傾斜畑へ試験導入したアーチ型傾斜ハウスと平地地に設置した同型の平地ハウスにおける換気または加温にともなう温度分布を比較しながら解析し、傾斜ハウスにおける換気能力や温度分布特性を明らかにするとともに、傾斜畑における野菜・花き生産に対する傾斜ハウスの環境面からの利用可能性を検討した。

2 実験方法

1) アーチ型傾斜ハウスにおける換気時の温度分布の解析

供試ハウスの概要を第4図に示す。実験は、近畿中国四国農業研究センター（以下、近中四農研）（仙遊地区、北緯34°12′，東経133°46′，標高28m）内の平坦地に設置した平地地ハウス（長さ30m，間口5.4m，軒高3.3m，南北棟）および近中四農研（生野地区、北緯34°13′，東経133°47′，標高106m）内の北面する傾斜畑（傾斜度約10°）に設置したアーチ型傾斜ハウス（傾斜方向へ長さ30m，間口6.0m，軒高3.8m，南北棟）を用いた。温度測定には、平地地ハウスではサーモレコーダミニ（エスペックミック社製，RT-30S）を，アーチ型傾斜ハウスではT型熱電対およびデータロガー（ESD社製，GK101）をそれぞれ用いた。

上述の平地地ハウスとアーチ型傾斜ハウスにおいて、冬季夜間の無風時を選んで実施した。外気温より5℃程度高くなるように温度設定した温風式暖房機（ネポン社製，KA-203）を約2時間自動運転した後、暖房機の燃焼と送風を停止すると同時にハウスの側窓（長さ28m）を1m幅で巻き上げて換気



第4図 供試した平地地ハウスとアーチ型傾斜ハウスの概要

した時の、ハウス内温度および外気温の変化を1分間隔で記録した。平坦地ハウスでは慣行にしたがって温風ダクト(枝ダクト)を3本配置し、アーチ型傾斜ハウスでは温風ダクトを設置せず加温した。温度の測定位置は、両側妻面を結ぶ中央線上とし、暖房機を設置した側の妻面からハウス長辺方向へ、3 m、9 m、21 mおよび27 m、地面から高さ1.0 mとした。なお、平坦地ハウスではナスを、アーチ型傾斜ハウスではスイートピーをそれぞれ栽培中であった。

2) アーチ型傾斜ハウスにおける換気位置が温度分布に及ぼす影響解析

実験は、上述のアーチ型傾斜ハウスを用いて日中の無風時を選んで実施した(第4図)。アーチ型傾斜ハウスの側窓の巻き上げならびに山側と谷側の妻面扉を閉め切り、山側の妻面から3 m、地面から高さ1.8 m(測定位置eh)における温度が40℃に達した後、①側窓(長さ28 m)を1 mの幅で巻き上げた場合、②両端の妻面扉(幅2.0 m、高さ1.8 m)を開放した場合、③②の状態を7分保持した後に側窓を開放した場合、について、上述の機材を用いてハウス内温度と外気温の変化を測定した。測定位置は、両方の妻面を結ぶ中央線上、谷側の妻面から傾斜方向へ3 m、9 m、15 m、21 mおよび27 m、地面から高さ0.3 m、1.0 mおよび1.8 mとした。なお、ハウス内ではトマトを栽培中であった。

換気によるアーチ型傾斜ハウス内の温度分布の変化を調査するために、まず地面から同じ高さで隣り合う測定点間の距離と温度から、距離との1次関数として任意の点の温度を計算し、さらに垂直方向についても同様に計算後、測定点間の温度を補完して温度分布図を作成した。

3) アーチ型傾斜ハウスにおける加温時の温度分布の解析

実験は、上述の平坦地ハウスとアーチ型傾斜ハウスを用い、設定温度6℃で加温して実施した(第4図)。加温には温風式の暖房機(ネボン社製、KA-203)を用いた。暖房機の温度センサは暖房機を設置した側の妻面から9 m、地面から高さ1.0 m(測定位置b)に設置した。両ハウスともに温風式暖房

機を設置した側の妻面に沿って設置した温風ダクト(主ダクト)に0.5 m間隔で開けた孔から、同じ妻面から1.5 mの位置に設置した高さ1 mの隔壁フィルムに向かって温風を吹き出した。測定位置は、両側妻面を結ぶ中央線上とし、暖房機を設置した側の妻面から長辺方向へ3 m、9 m、15 m、21 mおよび27 m地面から高さ1.0 mとした。また妻面から9 mおよび15 mの位置では地面から高さ1.8 mの位置でも測定した。ハウス内温度および外気温は上述の機材を用いて測定し1分間隔で記録した。なお、平坦地ハウスではナスを、アーチ型傾斜ハウスではスイートピーをそれぞれ栽培中であった。

4) 循環扇による送風が加温時のアーチ型傾斜ハウスの温度分布に及ぼす影響解析

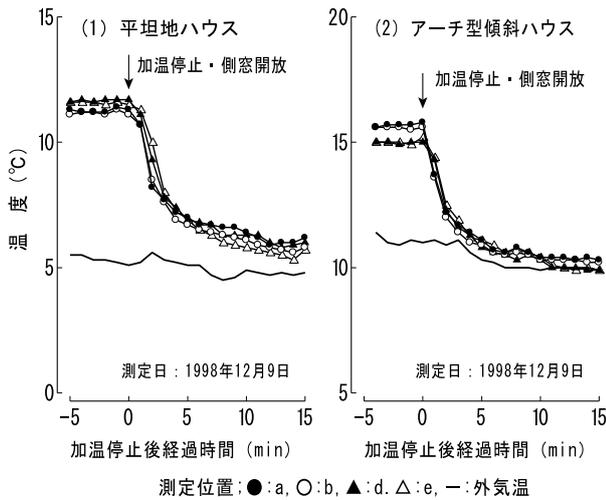
実験は、上述のアーチ型傾斜ハウスを用い、隔壁フィルムを除去した他は前項と同じ条件で行った(第4図)。斜面上方の妻面側から3 m(斜面上方)または15 m(斜面中央)地点の、地面から高さ2 mの位置に循環扇(VORNADO社製、280B、風量 $81 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$)を設置し、斜面と平行に斜面下方へ向かって送風するように調整した。

3 結果と考察

1) アーチ型傾斜ハウスにおける換気時の温度分布特性

平坦地ハウスとアーチ型傾斜ハウスにおける換気時の温度変化を第5図に示す。平坦地ハウスでは、側窓が開放されて換気が始まるとハウス内の温度は緩やかに低下し、外気温近くで安定するまでに換気開始から10分以上を要した。また、換気されてハウス内温度が安定した後でもハウス内温度は外気温より1℃以上高かった。これに対してアーチ型傾斜ハウスでは、側窓が巻き上げられて換気が始まるとハウス内の温度は速やかに低下し、換気開始から5分程度でほぼ外気温まで低下した。

このように、ハウス内の温度は平坦地ハウスよりアーチ型傾斜ハウスの方が速やかに低下した。また、ハウス内温度と外気温との差は平坦地ハウスよりアーチ型傾斜ハウスの方が小さかった。このことから、平坦地ハウスよりアーチ型傾斜ハウスの方が換気能力に優れるものと考えられた。自然換気においては、



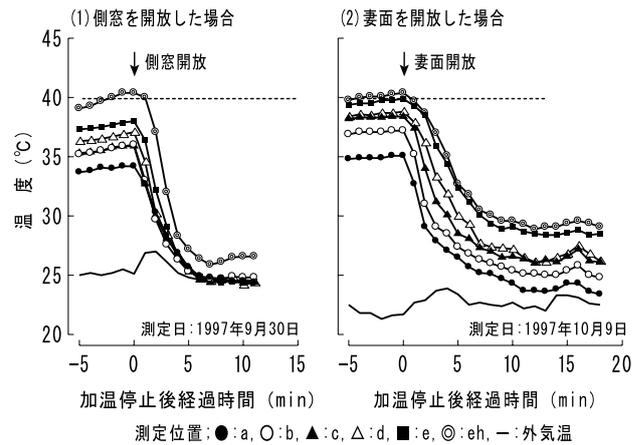
第5図 側窓の開放による換気時のハウス内の温度変化
ハウスを密閉し、外気温より5℃程度高い温度に設定した暖房機を約2時間運転した後、側窓を1m巻き上げて換気した時の温度変化を測定。加温機の温度センサーは測定位置bに設置した。測定位置は第4図を参照。

換気位置に高低差のある方が優位である^{35, 64, 71}との研究報告もあり、本研究結果はこれを追認している。

実験に用いたアーチ型傾斜ハウスでは、傾斜方向両端の高低差は約5.2m ($30\text{m} \times \sin(10/180\pi)$)となる。すなわち、本実験で用いた平坦地ハウスの開口部における高低差は、側窓の巻き上げ幅である1mが最大であるのに対して、アーチ型傾斜ハウスにおける側窓の両端では巻き上げ幅に加えて5.2mの高低差があることになる。自然換気のうち微風条件で卓越する温度差換気では、換気量は高さの異なる開口部間の垂直距離の平方根に比例するため空気が出入りする開口部に高低差があるほど換気量は多くなる^{3, 64}。本研究結果において、側窓の開放による換気によって平坦地ハウスよりアーチ型傾斜ハウスの温度が速やかに低下したのは、アーチ型傾斜ハウスの方が平坦地ハウスより換気位置の高低差が大きいことから換気量も多く、換気能力が優れるためと考えられた。これらのことから、傾斜地に設置される傾斜ハウスは高温期における野菜・花き生産に利用可能な換気能力を有していると推察された。

2) アーチ型傾斜ハウスにおける換気位置が温度分布に及ぼす影響

アーチ型傾斜ハウスを密閉してハウス内の温度を

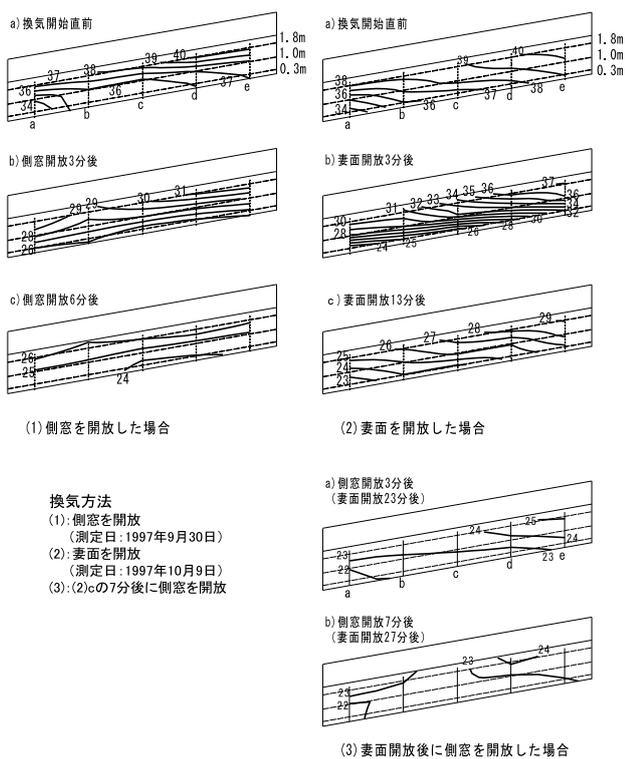


第6図 側窓または妻面の開放による換気時のアーチ型傾斜ハウス内の温度変化

地面から高さ1.0mにおける測定値。測定位置eh(地面から高さ1.8m)の温度が約40℃に達するまで密閉後、(1)は側窓(①)を、(2)では妻面(②)を開放した。測定位置は第4図を参照。

一定温度まで上昇させた後に、換気を行った時の地面から高さ1.0mにおけるハウス内の温度変化を第6図に示す。換気開始直前のアーチ型傾斜ハウス内の温度は斜面下方(測定位置a)より斜面上方(測定位置e)の方が高く、傾斜方向に温度勾配が生じていた。側窓を開放した場合(第6(1)図)には、側窓が巻き上げられて換気が始まると、ハウス内の温度は約6分で外気温近くまで低下するとともに傾斜方向に生じていた温度勾配はほぼ解消された。これに対して、ハウス両端の妻面扉を開放して換気した場合(第6(2)図)には、ハウス内の温度が低下してほぼ一定になるまでに約13分を要した。換気により温度が一定になった後もハウス内温度は外気温より1.6から7.0℃高く、傾斜方向の温度勾配は解消されなかった。

アーチ型傾斜ハウス内を側窓側からみた場合の温度分布の変化を第7図に示す。密閉時には傾斜方向に沿って温度勾配が生じていたが、その後側窓の巻き上げにより換気した場合(第7(1)図)、垂直方向の温度差はあるものの、換気開始から3分後には傾斜方向の温度勾配は認められなくなった。さらに換気開始から6分後にはハウス内の温度はほぼ均一になった。一方、妻面を開放して換気した場合(第7(2)図)、換気開始から3分後には換気開始前より傾斜方向の温度差が増大するとともに等温線の間隔は狭くなり、特に地表面近くで著しかった。



第7図 換気方法の違いがアーチ型傾斜ハウス内の温度分布に及ぼす影響

図中の数字は温度を表す。縦棒(点線)は測定位置(a~e)を、波線は地面からの高さ(m)を示す。ハウスを密閉後、測定位置ehが40℃に達した後、側窓または妻面を開放して換気を行った。測定位置は第4図を参照。

換気開始から13分後には温度はほぼ安定したものの、傾斜方向の温度勾配は解消されなかった。その後、さらに側窓を巻き上げて換気すると温度勾配は速やかに解消された(第7(3)図)。

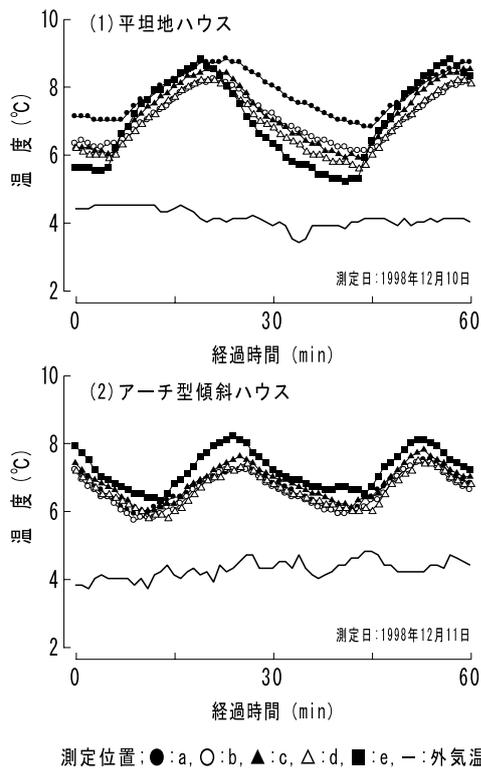
このように、側窓を巻き上げて換気した場合には、アーチ型傾斜ハウス内の温度は速やかに低下し、傾斜方向の温度勾配はほとんど認められなかった。これに対して、妻面を開放して換気した場合には、アーチ型傾斜ハウス内の温度は側窓の巻き上げにより換気した場合と比較して低下の程度は緩やかであり傾斜方向へ約5.4℃の温度勾配が生じていた。

傾斜ハウスの密閉時に発生する温度勾配の利用技術が検討されているものの⁷⁹⁾、通常の野菜・花きの栽培においては温度勾配による生育差の発生は栽培管理上の問題になる。また、日中に温度が上昇する場合には換気が行われることから、密閉時に発生する温度勾配を恒常的に保つことは難しい。高温期における換気を考えると、空気が出入りする開口部の

高低差が大きいほど換気量が多く^{3, 64)}、傾斜ハウスでは斜面上方と下方の妻面間の高低差にともなう煙突効果(温度差換気)によって高い換気能力を発揮することが期待される⁷⁹⁾。また、傾斜地では斜面上昇風が存在すること⁷⁷⁾など平坦地と異なる特性がある。こうしたことから、関ら⁷⁵⁾が推測するように、傾斜ハウスの妻面を開放するだけでも斜面上昇風の影響により換気が促進されると予想された。しかし、本実験の結果によると、妻面の開放だけではハウス内外温度差とハウス内の傾斜方向の温度勾配は解消されず、側窓を巻き上げて換気した方が換気能力は良好であった。換気のための開口面積が異なるため単純に比較することはできないものの、傾斜ハウスの温度特性を考えると、傾斜ハウス内における換気を促進するためには、傾斜方向の高低差による換気のみならず、側窓を巻き上げて換気を図ることも必要と推察された。また、傾斜ハウスのうち、アーチ型傾斜ハウスの場合には、側窓より上部のアーチ部分に換気窓がなく、斜面上方へ移動する暖気が滞留して換気能力を低下させている可能性がある。このため、傾斜方向への気流を妨げず、側窓も含めた換気の開口面積をできるだけ増やして換気を促進する構造になれば、さらに換気能力を向上させることができると考えられた。

3) アーチ型傾斜ハウスにおける加温時の温度分布特性

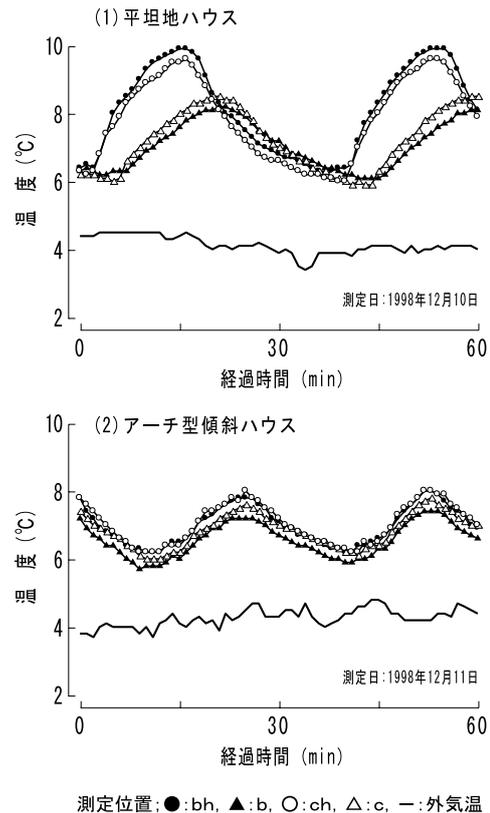
ハウスの一方の妻面(傾斜ハウスでは斜面下方)に暖房機を設置し、高さ1mの隔壁を設置した条件で温風を送った場合の温度変化を第8図に示す。平坦地ハウスでは暖房機付近(測定位置a)の温度が常に高く推移した。暖房機と反対側の妻面付近(測定位置e)では、暖房機の燃焼が始まると測定位置aの温度近くまで上昇するが、暖房機の燃焼が停止すると急激に低下して最も低くなり、暖房機から離れた位置ほど温度変化が大きくなった。一方、アーチ型傾斜ハウスでは暖房機と反対側の妻面付近、すなわち斜面上方(測定位置e)の温度が他の測定位置より高く推移したものの、各測定位置における温度の変動幅と測定位置間の温度差はそれぞれ最大で1.9℃と1.0℃であり、平坦地ハウス(それぞれ3.6℃と1.9℃)と比較して小さかった。



第8図 平地地ハウスとアーチ型傾斜ハウスの加温時における温度変化の比較
測定位置は第4図を参照。

次に、地面からの高さが違う位置での温度変化を第9図に示す。平地地ハウスでは、暖房機の燃焼開始と同時に測定位置bhおよびchの温度が順に上昇し、その後測定位置bおよびcの温度が順に上昇した。またbhおよびchではbおよびcより温度変化が大きかった。一方、アーチ型傾斜ハウスでは、地面から高い位置ほど温度は高くなる傾向があった。しかし、各測定位置における温度の変動幅と測定位置間の温度差はそれぞれ最大で1.8℃と4.0℃であり、平地地ハウス（それぞれ2.6℃と5.9℃）と比較して温度変化が小さく、測定位置間の温度差も小さかった。

平地地ハウスでは、温度上昇中すなわち暖房機の燃焼中はハウスの妻面方向の温度差は小さく、地面からの高さが高い位置の温度が急激に上昇したのに続いて低い位置の温度が上昇した。このように、暖房機の燃焼中は暖房機で発生させた暖気が屋根面を伝って暖房機の反対側妻面へ到達する暖気の動きが示唆された。その後、暖房機の燃焼が停止し暖気の供給がなくなると、暖房機から遠い側で温度低下が



第9図 平地地ハウスとアーチ型傾斜ハウスの加温時における温度の垂直分布の比較
測定位置は第4図を参照。

早く始まるが、暖房機側の温度は高いため暖房機に向かって温度差が大きくなった。横木⁸⁹⁾は、ハウス外の冷風を受けると天井付近で放熱し冷却された空気が地面へ降下する気流が発生し温度が不均一になると述べている。本実験においても同様に、暖房機で発生した暖気は屋根面へ向かって上昇し、その暖気が屋根面に沿って反対側へ移動する間に放熱して温度が低下するため、暖房機から遠いほど温度が低くなるなどの温度差や空気の流動が観察されたものと考えられる。一方、Teitelら⁸⁷⁾は、加温時において暖房機が停止するとハウス内の温度差が小さくなったことを報告しているが、これは一般的に行われているように、温風ダクトを暖房機と反対の妻面方向へ伸ばして加温しており本実験の条件と異なる。本実験において妻面方向の温度差が大きくなったのは、暖房機付近からダクトで配風せずに対流させたためである。すなわち、平地地ハウスでは温風ダクトを延長して配風しなければ温度差が大きくなることを示している。

これに対して、アーチ型傾斜ハウスでは斜面上方ほど温度がやや高くなる温度勾配が認められたものの傾斜方向の温度差は小さく、平坦地ハウスと比較してハウス内の温度分布は均一であった。アーチ型傾斜ハウスにおいても平坦地ハウスと同様に、暖房機の燃焼中は暖房機側（斜面下方）から斜面上方へ向かって暖気が移動していると考えられた。しかし、暖房機の燃焼が停止した時の温度分布は平坦地ハウスと大きく異なった。これは斜面上方へ向かう暖気の移動が多少でも継続されているためと考えられる。関ら⁷⁴⁾は、無加温状態における密閉されたアーチ型傾斜ハウス内の温度および風速を予測するシミュレーションの結果、傾斜角が増すとアーチ型傾斜ハウス内の風速が増加することから浮力効果が増し、対流混合により温度差が緩和されると推定している。これらのことから、傾斜ハウスの温度特性を考えると、温風ダクトを設置した斜面下方の妻面側から温風を送風することにより、斜面上方へ暖気が移動するとともに対流混合によりハウス内に生じる温度差を緩和できると推察された。

平坦地ハウスでは通常、長短のダクトを適当に配置することにより温度分布の均一化が図られている^{11, 62)}。一方、傾斜地では、平坦地のように温風ダクトを設置すると、作業者がハウス内の傾斜畑を移動する際に温風ダクト上を歩行することになり、転倒事故を誘発する危険がある。しかし、本実験で得られた結果のように、傾斜ハウス内において斜面下方の妻面側のみに温風ダクトを設置する方法は、温度分布を均一化できるならば、転倒の危険回避のためにも有効であり、適切な温風ダクトの配置方法といえる。

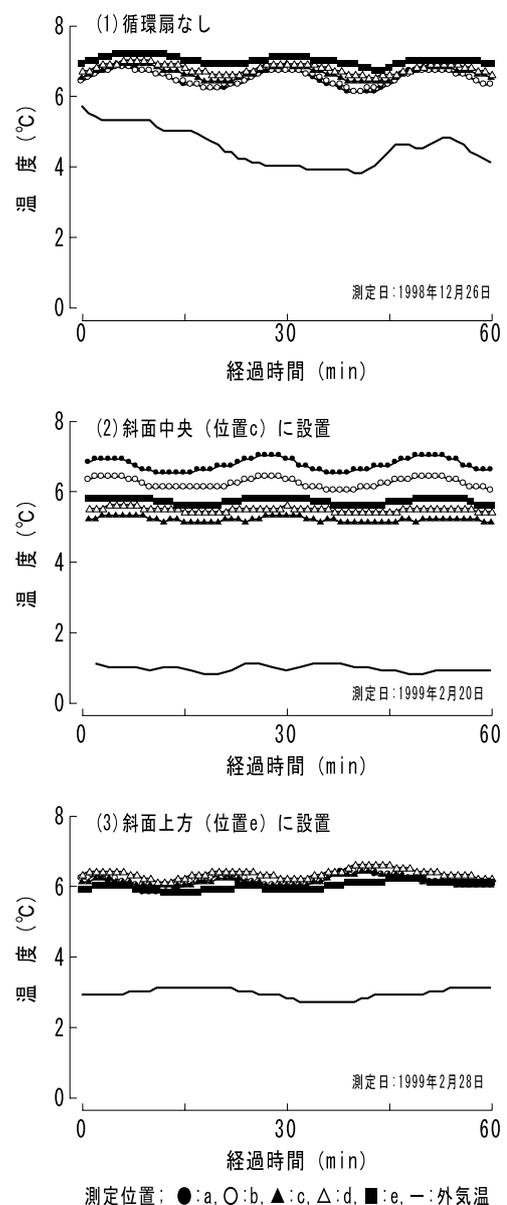
4) 循環扇による送風が加温時のアーチ型傾斜ハウスの温度分布に及ぼす影響

循環扇による送風が加温時のアーチ型傾斜ハウスの温度変化に及ぼす影響と傾斜方向の温度分布（温度差）に及ぼす影響をそれぞれ第10図と第11図に示す。

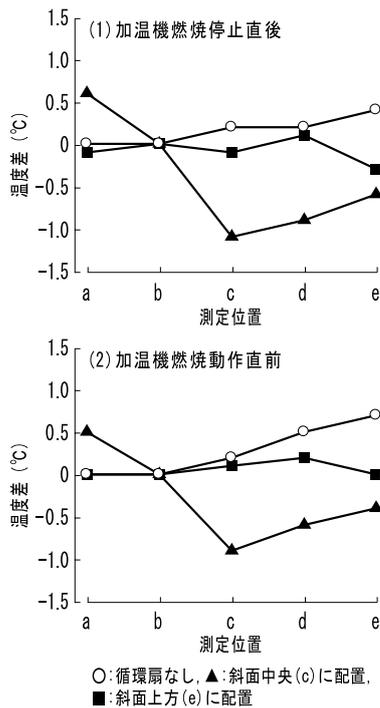
アーチ型傾斜ハウスにおいて温風ダクトを暖房機側（斜面下方）の妻面に沿って配置して加温すると、循環扇を使用しない場合の傾斜方向の温度差は約0.5℃であったが、斜面上方が最も高く斜面下方へ

向かって低くなる傾向が認められた。本項の3)で推察したように、暖房機で発生させた暖気は斜面下方から上方へ移動していると考えられた。

循環扇を設置して斜面上方から下方へ向かって送風するとアーチ型傾斜ハウス内の温度分布が変化し、また循環扇の設置位置によっても温度分布は異なった。すなわち、斜面中央に循環扇を設置すると、循環扇付近より斜面上方（測定位置c, dおよびe）では循環扇がない場合と比較して最大で約1℃低下した。循環扇より斜面下方（測定位置aおよびb）



第10図 循環扇の配置がアーチ型傾斜ハウスの加温時における温度変化に及ぼす影響
測定位置と循環扇の設置位置は第4図を参照。



第11図 循環扇の配置がアーチ型傾斜ハウスの加温時における傾斜方向の温度分布に及ぼす影響

a～eは測定位置。温度差は、センサー設置位置（測定位置b）と各測定位置における温度との差である。測定位置と循環扇の設置位置は第4図を参照。

の温度は循環扇がない場合より約0.5℃高くなった。

一方、斜面上方に循環扇を設置した場合、循環扇付近（測定位置e）の温度は低下し、循環扇がない場合と比較して傾斜方向の温度差は小さくなった。循環扇による気流は循環扇から遠ざかるに従い指数関数的に小さくなり、送風軸から離れ群落内に入るとさらに減衰する^{25, 41)}。また、循環扇の送風による気流の到達距離は20m程度とされるが、気流の直進性は5m程度で失われる⁴⁰⁾。本実験でも、温度分布に及ぼす影響がみられたのは循環扇から送風方向へ測定位置の間隔である6m未満の範囲とみられた。循環扇の位置によって温度分布に与える影響が異なったのは、斜面上方へ向かう暖気の移動が妨げられたことで循環扇より斜面上方の温度上昇が抑制されるため、斜面上方より中央に設置した場合に循環扇による送風の影響が大きく現れたと考えられる。

循環扇は、温度分布の均一化などハウス内環境の改善を目的に用いられ^{8, 73)}、隣り合う循環扇同士で気流方向を交互に変え、ハウス上面から俯瞰して循

環流ができるように配置されるのが一般的である²⁾。実験のように、傾斜ハウス内では、暖気が斜面上方へ向かう気流と循環扇による斜面下方への送風によって、平坦地における循環扇の交互配置と同様の効果が得られると考えられた。関ら⁷⁴⁾は、密閉したアーチ型傾斜ハウス内の気流を無加温、無植栽条件でシミュレーションした結果、対流に淀みのみられる傾斜度10°の場合よりも、風速が大きく傾斜ハウス内全体での対流がみられる傾斜度30°の方が温度差の発生が少なかったと述べている。すなわち、傾斜度が変わると傾斜ハウス内の対流に変化が生じ、温度分布へも影響することが予想される。いずれにしても、アーチ型傾斜ハウスにおいて斜面下方に暖房機を設置して加温した場合、斜面下方から上方へ向かう気流が発生することから、循環扇を斜面下方に向かって一方向へ送風するように設置すればよいと考えられた。このように、気流を考慮して温風ダクトあるいは循環扇を適切に配置することによって加温時における温度制御が可能であると考えられた。

4 結論

1. ハウスを密閉して温度を上昇させた後に側窓を開放して換気を行うと、ハウス内の温度が外気温近くに低下して安定するまでに、平坦地ハウスでは10分以上を要した上、外気温より1℃以上高かったのに対して、アーチ型傾斜ハウスでは5分程度で速やかにほぼ外気温まで低下した。すなわち、傾斜ハウスは平坦地ハウスと比べて換気能力に優れ、高温期における野菜・花き生産が可能であることを明らかにした。
2. アーチ型傾斜ハウスにおいて、密閉して温度を上昇させた後に換気を行った場合、換気口の高低差が大きい斜面上方と下方の妻面扉による換気だけでは十分に温度が低下せず温度勾配も解消されなかった。側窓を開放すると、妻面を開放した場合より速やかに換気が行われ、密閉時に生じていた温度勾配は換気開始から3分後に解消され、6分後にはほぼ均一になった。すなわち、傾斜ハウスにおいて換気能力を向上させるためには開口部に高低差を設けるだけでは不十分であり、側窓換気を併用して開口面積を大

大きくする必要があると考えられた。また、気流が滞留しにくく開口面積をできるだけ大きくして換気を促進する構造になれば、さらに換気能力が向上すると考えられた。

3. アーチ型傾斜ハウスと平坦地ハウスにおいて、それぞれのハウスの一方の妻面から温風を発生させた場合の温度変化を比較したところ、平坦地ハウスでは、暖房機の燃焼中は温度分布の差が小さいものの、燃焼が停止するとハウス内温度は暖房機側で高くその反対側で低くなる温度勾配が生じ、測定位置における温度の変動幅は最大3.6℃と大きかった。これに対して、斜面下方に暖房機を設置して加温したアーチ型傾斜ハウスでは、傾斜方向の温度差は小さく、測定位置における温度の変動幅は最大1.9℃と平坦地ハウスより小さかった。すなわち、平坦地ハウスと傾斜ハウスでは加温時の温度分布特性が異なり、傾斜ハウスにおける加温時の温風ダクトの配置は、斜面下方の妻面側にのみ配置することで温度分布を均一化できると考えられた。
4. アーチ型傾斜ハウスにおいて、加温時に循環扇を設置して斜面下方向きへ送風した場合の温度分布を解析した結果、循環扇より斜面上方では温度が0.5～1.0℃低下した。循環扇の影響はその設置位置により異なり、斜面上方より斜面中央に設置した場合の方が、温度変化が大きく気流に与える影響も大きかった。傾斜ハウス内では暖気が斜面上方へ向かって移動することから、循環扇の配置は平坦地ハウスの場合と異なり、斜面下方へ向かって一方向へ送風することで温度を均一化する効果が得られるものと考えられた。しかし、傾斜ハウスにおける温風ダクトあるいは循環扇の適切な配置方法についてはさらに検討を要する。

Ⅲ 傾斜畑での野菜・花き生産のための新たな傾斜ハウスの開発

1 はじめに

前章では、中山間地域の傾斜畑への傾斜ハウスの導入に際して前提となる温度分布特性と温度制御の可能性を明らかにするために、平坦地で一般的に利

用されているアーチ型パイプハウスを傾斜地に設置し、平坦地に設置した同型ハウスとの比較により換気にもなう傾斜ハウスの温度分布特性を解析した。その結果、傾斜ハウスでは地形の傾斜にとまな換気のための開口部の高低差が大きいことから平坦地ハウスより換気能力に優れること、換気を行う場合には側窓を巻き上げるなど換気のための開口面積を大きくすることで傾斜ハウス内の温度分布が均一化されるといった環境特性を明らかにした。すなわち、高温期における傾斜ハウスによる野菜・花き生産の可能性が認められたことから、傾斜畑における野菜・花き生産用施設として従来から利用されていた簡易雨よけ施設から傾斜ハウスへの転換が可能であることを明らかにした。

傾斜畑で栽培される場合が多いブドウやオウトウなどの果樹では、大型傾斜ハウスが利用されているものの、雨よけを主としているため簡易な構造の施設がほとんどである^{1, 59, 91)}。また、これらの施設では高温期には被覆資材をはずして露地状態にする場合が多く、換気が必要な場合にも被覆資材をずらす(隙間をあける)といった程度であり^{10, 28)}、環境調節機能が不十分であることなど、野菜・花き生産において果樹用の大型傾斜ハウスをそのまま利用することはできない。さらに、野菜・花きでは果樹のような大規模圃場は少なく、小規模でさまざまな形状の圃場が多くみられる。入口ら²⁴⁾は、南斜面に立地する水平段畑を利用した雛壇型パイプハウス(多日照・耐風ハウス)において、冬期の日射量が平地より1～2割多く切り花収量が増加したと報告している。しかし、傾斜畑を水平段畑に整備するには多大なコストを要するため傾斜畑に適用するのは現実的ではない。すなわち、狭小な傾斜畑を有効に利用できるような園芸施設が必要と考えられる。さらに、基盤整備された平坦地の矩形圃場で利用されている一般的なアーチ型パイプハウスを設置する場合にはその構造などにおいて不具合を生じることも予想される。

本章では、中山間地域の傾斜畑における野菜・花き生産用施設として従来から利用されていた簡易雨よけ施設から傾斜ハウスへの転換を図るため、傾斜畑でトマトの夏秋栽培を行う生産者の圃場と簡易雨よけ施設の現状を分析して野菜・花き生産用傾斜ハ

ウスの導入に必要な要件を抽出するとともに、アーチ型傾斜ハウスを生産者の傾斜畑へ試験導入して構造上の問題を検討し、野菜・花き生産用傾斜ハウスの構造要件を抽出した。さらに、抽出した要件に基づいて建設足場資材利用園芸ハウスを新規開発するとともに同ハウスの特徴を明らかにした。

2 傾斜畑での野菜・花き生産における簡易雨よけ施設の現状

1) 試験地の現状

実証試験で対象としたトマト生産者圃場では、地域の生産者と同様に簡易雨よけ施設によりトマトの夏秋栽培が行われていた。生産者圃場のある高知県土佐町は、吉野川上流域に位置し北、西および南の三方を1,000 m級の山に囲まれており、台風とともに豪雨や強風害が多い地域である。生産者圃場は、標高600～650 mの南斜面に位置する（第12図）。畑面が水平なテラス状の水平段畑では暖房機を備えたパイプハウスも設置されているが、その他を占める傾斜畑と傾斜段畑では簡易雨よけ施設が用いられていた。このように、中山間地域の傾斜畑における野菜・花き生産は、多くの場合、大きさや形状、方位、傾斜度がさまざまな傾斜畑が散在する中で生産が行われている⁵⁵⁾。

2) 簡易雨よけ施設の概要

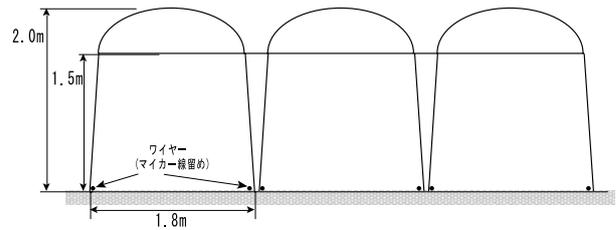
簡易雨よけ施設は、外径19.1mmの直管パイプを曲げたアーチパイプで、間口1.8m、高さ2.0m、軒高1.5mの骨組みを形成し、そのアーチパイプを直管パイプやワイヤーなどで補強して、屋根部分のみに



第12図 試験を実施したトマト生産者圃場の遠景



(1)簡易雨よけ施設での栽培の状況



(2)簡易雨よけ施設の概要



(3)アーチ型傾斜ハウス(左)と簡易雨よけ施設

第13図 生産者圃場の傾斜畑に設置されたアーチ型傾斜ハウスと慣行の簡易雨よけ施設

(3)のアーチ型傾斜ハウスは、簡易雨よけ施設3畝分を除去した場所に設置。

フィルムが張られた構造である（第13図）。栽培終了時には耕うんなどの作業のために撤去し、栽培開始前には再び設置する作業が生産者の手で行われる。畝ごとにアーチパイプの足の部分が通路に差し込まれ、フィルムの押さえひもを留めるワイヤーがパイプ沿いにひざ下の高さに張られている。このため、防除や管理作業時の空間が著しく狭い、雨天時には作業や収穫物がぬれる、雨後の作業では足元が滑るといった作業面の問題⁴⁸⁾のほか、病害発生の原因となる植物体の「ぬれ」を助長するような状況であった。

3 新たな野菜・花き生産用傾斜ハウスの開発

1) 新たな野菜・花き生産用傾斜ハウスの開発に向けた要件

前項で述べたように、簡易雨よけ施設が用いられている傾斜畑は、小区画で不定形である場合が多い

ことから、簡易雨よけ施設に替わる野菜・花き生産用傾斜ハウスの要件として、小区画で不定形な傾斜畑に対応できることが必要である。一方、基盤整備が行われた条件の良い圃場では、一般的なアーチ型パイプハウスを利用できることからハウス建設業者による施工が可能であり、補助事業を活用してパイプハウスの導入が可能であるのに対して、条件の悪い傾斜畑では小規模であるため補助事業の対象となることはなく、経営基盤も脆弱なことから傾斜ハウスの導入は資材コストの低減のほか、従来の簡易雨よけ施設のように自家施工できることなどが前提となる。また、簡易雨よけ施設は高温期を中心とする生産施設であるため、傾斜ハウスは高温期においても十分に換気できることが必要となる。さらに、簡易雨よけ施設は台風などの強風により壊滅的被害を受けることから^{14, 69)}、耐風強度についても考慮する必要がある。

すなわち、野菜・花き生産用傾斜ハウスに必要な基本要件は、①小区画で不定形な傾斜畑に対応して設置できること、②高温期において十分に換気ができること、③低コストで耐風強度のあること、④生産者自身の手で設置可能なことなどが考えられる。

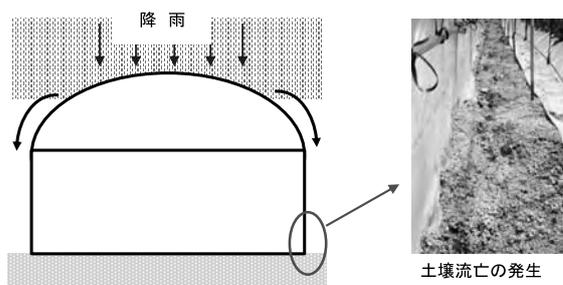
そこで、簡易雨よけ施設に替わる野菜・花き生産用傾斜ハウス導入の端緒として、平坦地において野菜・花き生産用に広く使用されているアーチ型パイプハウスを、傾斜地用の接合部材を使用して建設するアーチ型傾斜ハウスとして試験導入し、野菜・花き生産用傾斜ハウスの基本要件に対する適用性を検討した(第1表)。

第1表 基本要件に対するアーチ型傾斜ハウスの対応状況

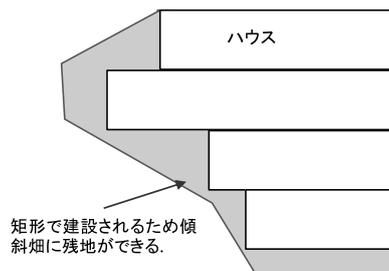
野菜・花き生産用傾斜ハウスの要件	アーチ型傾斜ハウスの対応状況
小区画で不定形な傾斜畑に対応して設置できる。	床面形状は矩形であり間口には規格があるため、小区画で不定形な傾斜畑に設置すると栽培できない面積(残地)が多く発生し、狭い圃場を有効に利用できない。
高温期において十分に換気ができる。	軒高は2m程度であり、ハウス両側の側面に巻き上げ幅約1mの側窓がある。アーチ部分が高温になりやすい(換気されにくい)構造。
耐風強度がある。	耐風速は $40\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 以下。
低コストである。 生産者自身による自家施工が可能。	傾斜地に対応した接合部材を用いることで、平坦地に設置した場合と比較して資材費が10~20%増加し、 3.3m^2 あたり約1.3万円 ⁴⁸⁾ 。 傾斜地に対応した接合部材を用いるが、自家施工は可能。
その他	降雨時には、雨水がハウスの両側面に流下して排水が斜面に集中するため土壌流出が発生。 作業空間が広がり雨に濡れない等、簡易雨よけ施設の場合と比較して作業環境が改善される効果 ⁴⁷⁾ 。

試験導入したアーチ型傾斜ハウスは、従来の簡易雨よけ施設による栽培では3畝だった傾斜畑(圃場の傾斜度約 17°)において、間口5.4mのアーチ型パイプハウスで覆うように設置した(第13(3)図)。なお、導入したアーチ型傾斜ハウスは、外径25.4mmのアーチパイプが0.5m間隔で設置され50mm角の角型鋼管による基礎付き柱と水平ばりが3m間隔で入れられた鉄骨補強パイプハウス⁷²⁾に相当する構造である。アーチ型傾斜ハウスの設置により、簡易雨よけ施設のパイプの差し込みや足元に張られていた補強用のワイヤーが不要なことから、作業空間が広がり作業環境を改善させる効果⁴⁷⁾が認められた。

しかし、アーチ型傾斜ハウスを導入する場合の問題点も明らかになった。一般的なアーチ型パイプハウスの床面形状は矩形が基本であり、傾斜畑に多くみられる不定形な小区画圃場では、残地が多く発生するため狭い圃場を有効に利用できなかった(第14図)。さらに、傾斜地に対応した接合部材を使用するため、同規模のアーチ型パイプハウスを平坦地に設置した場合と比較して、資材費は10~20%増加する⁴⁸⁾。また、降雨時にはハウスで覆った3畝分の雨水が屋根面を伝ってハウスの両側へ振り分けられ



(1)雨水の集中による土壌流出の発生



(2)不定形傾斜畑へのアーチ型傾斜ハウス設置

第14図 アーチ型傾斜ハウスを導入した場合の課題

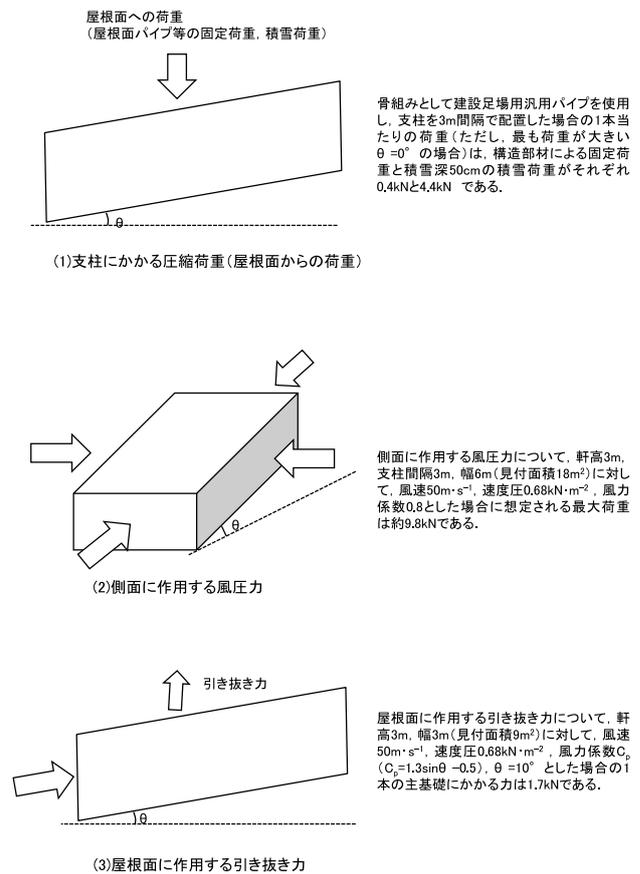
第2表 野菜・花き生産用傾斜ハウスの新規開発に向けた基本要件ならびに構造要件（設計指標）

基本要件	解決する手段	構造要件(設計指標)
小区画で不定形な傾斜畑に設置可能であること	<ul style="list-style-type: none"> 主基礎と支柱を格子状に配置する 圃場形状に合わせてハウス外周部に主基礎・支柱を配置 	<ul style="list-style-type: none"> 主基礎・支柱の間隔は3mを基本とし、最大5.4mとする 圃場の傾斜度20°までの傾斜に対応すること
耐風強度があること	<ul style="list-style-type: none"> 主基礎は引き抜き力に対抗するための基礎を用いる 	<ul style="list-style-type: none"> 台風等の強風($40\sim 50\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)に耐えること 固定荷重、積雪荷重(50cm)に耐えられること ベース付きコンクリート基礎(立ち上がり外径125mmとベース外径250mmで構成)を使用
低コストであること 自家施工が可能であること	<ul style="list-style-type: none"> 入手が容易で強度の高い一般的な汎用鋼管(パイプ)と接合部材(クランプ)を用いる 	<ul style="list-style-type: none"> 資材費は3.3m^2あたり1.3万円以下とする 建設足場用汎用パイプ(外径48.6mmおよび42.7mm)を利用 建設足場用汎用クランプ(直交・自在)を利用
高温期において十分換気が可能であること	<ul style="list-style-type: none"> 軒高を高くする 換気のための開口面積を増やす 	<ul style="list-style-type: none"> 軒高3mを基本とし最大4mとする 側窓の巻き上げ幅を2m以上を確保し、4面に設置
その他 施工やフィルム展張等の作業がしやすいこと ハウス内の作業環境が改善されること 屋根面に降った雨水を適切に処理すること	<ul style="list-style-type: none"> 屋根面はシンプルな形状とする 	<ul style="list-style-type: none"> 屋根面は平屋根構造の平張型とする 止水シート等を敷設して雨水を集・排水する

て落下するため、ハウス両側面の斜面に排水が集中して土壌流亡を生じさせた。

このように、一般的なアーチ型パイプハウスを傾斜畑へ単に導入するだけでは解決が難しい構造上の問題のあることが、本実証試験の結果明らかとなり、傾斜畑における野菜・花き生産に対応するための傾斜ハウスを新たに開発する必要性が認められた。そこで、前述の基本要件を満たすとともに、新たに開発する野菜・花き生産用傾斜ハウスに必要な構造要件について検討した。

野菜・花き生産用傾斜ハウスとしての基本要件とその解決手段ならびに構造要件（設計指標）を第2表に示す。まず、小区画で傾斜畑を有効に利用するためには、栽培できない面積を少しでも減らすため、傾斜畑の形状に応じて基礎や柱を設置し、自由に設計できる構造であることに加え、生産者自身で施工することを考慮して、入手しやすく安価な汎用資材の利用を図ることが必要と考えられる。一方、果樹用大型傾斜ハウスの中で、亀甲型傾斜ハウスや波状型傾斜ハウスは屋根形状が複雑であり自家施工が難しいのに対して、平張型傾斜ハウスは屋根形状もシンプルであり施工も比較的容易なものと予想され要件に合致すると考えられる。さらに、ハウスの構造はできるだけ軒高の高い方が換気能力の面で有利になるが、屋根面フィルムの展張作業における安全性を考慮すると最大でも4m以内とすることが妥当で



第15図 建設足場資材利用園芸ハウスに作用する荷重長崎ら^{46, 50)}をもとに作成。

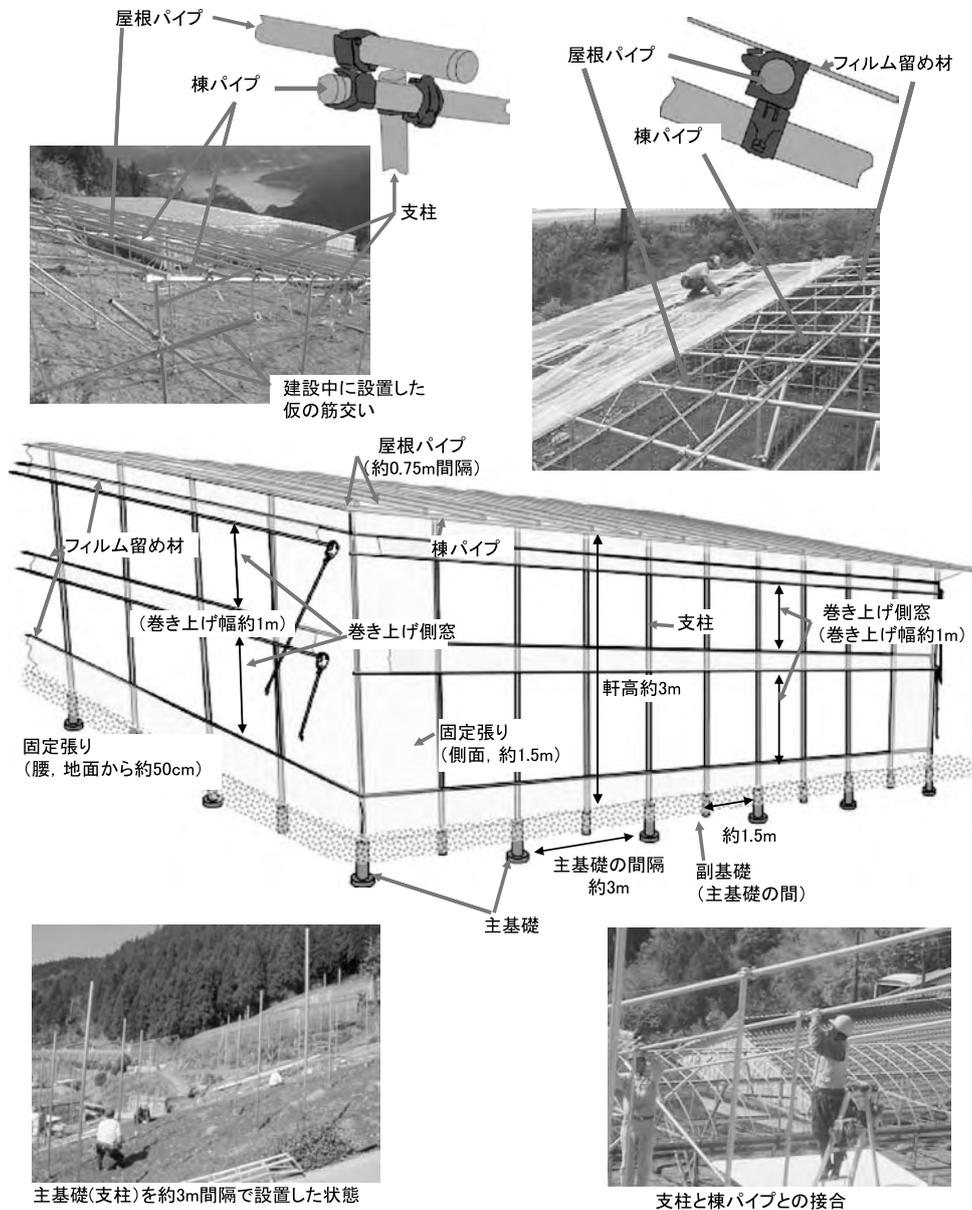
ある⁵⁰⁾。また、圃場の傾斜度への対応については、傾斜畑での野菜・花き栽培における作畦作業や誘引などの管理作業は傾斜度 20° 程度までが限界であ

り⁴⁹⁾、傾斜度20°程度までに対応できれば実用上問題ないと考えられる。

次に、低コスト化について考えるとアーチ型傾斜ハウスに要する資材費(3.3㎡あたり1.3万円)より抑えることが目標となる。低コスト化と強度を考慮すると、大量に流通しホームセンターなどでも簡単に購入できる建設足場用汎用パイプおよびクランプ類はこの条件を満たすとともに自家施工にも対応しやすいと考えられる。さらに、建設足場用汎用パイプの長さは6mで取り扱われていることが多いことから、棟パイプなどの骨組みや支柱の長さは6mま

たは3mを基本に構成することで材料の無駄も少なくできる。主基礎・支柱の間隔は3m以上にも設定できるが、建設足場用汎用パイプの長さが最大6mでありそれ以上は継ぎ足して使用することから、棟パイプに使用するにはパイプの変形(曲がり)を防止するため主基礎・支柱の間隔は5.4m以内にする必要がある⁵²⁾。

これらのことから新たに開発する野菜・花き生産用傾斜ハウスの構造要件をあげると、主な骨組みとして外径48.6mmと外径42.7mmの建設足場用汎用パイプと汎用クランプを用いる、主基礎と支柱は約3m



第16図 新たに開発した建設足場資材利用園芸ハウスの構造と主な部材の配置

間隔を基本に配置する，ハウスの外周部の基礎と支柱は圃場の形状に合わせて設置する，屋根形状は平屋根構造の平張型とする，軒高すなわち支柱の長さは約3mを基本とすることなどである．以上に述べた要件に基づいて建設足場資材利用園芸ハウスを新規開発した．

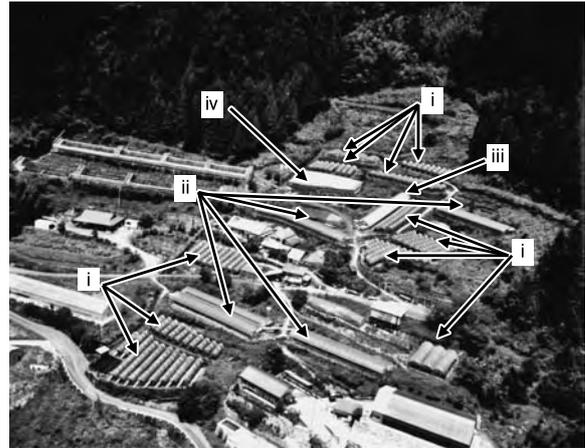
一方，傾斜ハウスの強度としては，台風などの強風（ $40\sim 50\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ）に耐えるためには鉄骨補強パイプハウス相当（耐風速 $40\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ）の強度が目安となる．ハウスの強度を考える場合，第15図に示すように，ハウス側面に作用する風圧力と屋根面に作用する引き抜き力および屋根面に対して下向きに作用する骨組みなどの固定荷重や積雪による積雪荷重などを考慮する必要がある．新たに開発した建設足場資材利用園芸ハウスの構造の特徴と強度については次項で検証する．

2) 新たに開発した建設足場資材利用園芸ハウスの構造

前項で述べた構造要件に基づいて新たに開発した建設足場資材利用園芸ハウスの構造と主な部材の配置を第16図に，同ハウスの実施工例を第17図と第18図に示す．実際に建設足場資材利用園芸ハウスを施工する際の標準的な構造について述べる．主な骨組みに外径48.6mmの建設足場用汎用パイプを用いて汎用クランプ類を中心にパイプを接合して構造を形成する．主基礎はベース付きコンクリート基礎で，外径42.7mmの差し込みパイプにコンクリートの立ち上がり（外径125mm，高さ570mm）とベース（外径250mm，厚さ80mm）を巻き付けたものであり自作できる．副基礎は主基礎のベース部分がなく立ち上がりの高さを400mm程度としたものである．差し込みパイプは，立ち上がりの上部から400～450mmが出るように固定し，基礎を埋設した後に支柱（外径48.6mmの建設足場用汎用パイプ）を差し込んでビスで固定する．主基礎は，約3m間隔の格子状を基本に配置するが，支柱と棟パイプを接合するため，主基礎が傾斜方向へ直線に並ぶように設置する．主基礎に設置される支柱頭部に平キャップを被せ，その直下に自在クランプを固定して支柱を傾斜方向につなぐように棟パイプを接合する⁴⁸⁾．ハウスの外周部は，圃場の形状に合わせて主基礎を設置することに



(1)建設足場資材利用園芸ハウスの実施工例



(2)傾斜畑に散在する生産者圃場における施設の配置

第17図 開発した建設足場資材利用園芸ハウスの実施工例と試験を実施したトマト生産者の圃場

試験開始2年目における試験地の状況。

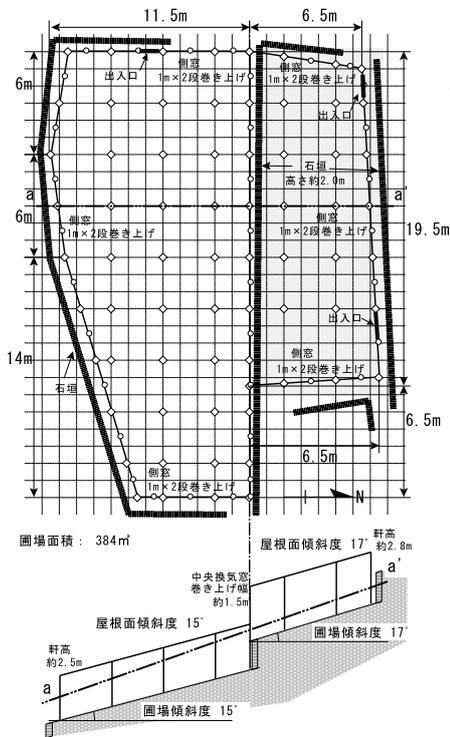
(2)において，i)は簡易雨よけ施設，ii)は水平棚田のハウス，iii)はアーチ型傾斜ハウス，iv)は建設足場資材利用園芸ハウス．第12図の遠景写真の四角内。

より，さまざまな形状の傾斜畑に対応して設置できる．ハウス外周部にはフィルム留め材などを取り付けるため，主基礎と主基礎の間に副基礎と支柱を設置する．屋根面は，直交クランプを用いて棟パイプ上に建設足場用汎用パイプを約0.75m間隔で等高線方向に固定して屋根パイプで形成する．さらにその上に屋根パイプと直交するように約0.5m間隔で傾斜方向にフィルム留め材をビスで固定する．ハウスの構造はできるだけ軒高の高い方が換気性能の面で有利になるものの，設置する支柱の長さは約3mを基本として4m以内とする．

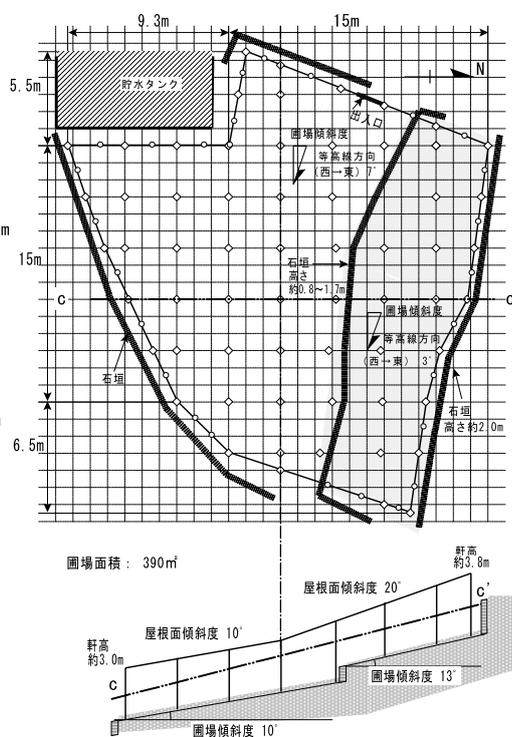
一方，コストについては，建設足場資材利用園芸ハウスの資材費は3.3㎡あたり0.8万円でありパイプハウスにおける資材費（3.3㎡あたり1.3万円）に対して0.5万円安く⁴⁸⁾，低コストなハウスといえる．なお，資材費については2000年当時の数値である．

次に，開発した建設足場資材利用園芸ハウスの強

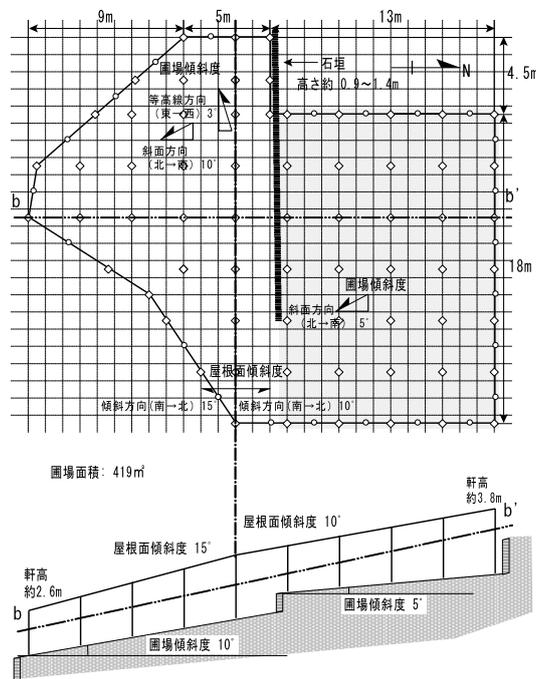
設置例(1)



設置例(2)



設置例(3)



第18図 生産者圃場において隣接する2区画の傾斜段畑を一体的に覆うように設置された建設足場資材利用園芸ハウスの設置例

2区画の傾斜段畑を、背景色を変えて表示している。平面図の長さとの高さの長さ比を1:2として表示している。

度について検証する（第15図）。まず屋根面からの荷重を想定すると、支柱の長さを4 mとした場合の外径48.6 mmの建設足場用汎用パイプの圧縮に対する許容荷重は11.2 kNである⁵⁰⁾。建設足場用汎用パイプを骨組みとして軒高3 m、支柱間隔3 mで構成した場合の強度を考えると、1本の支柱（中柱）で負担する屋根パイプなどの固定荷重と設計積雪深50 cmの積雪荷重はそれぞれ0.4 kNと4.4 kNであり⁵⁰⁾、支柱の長さを4 mとしても許容荷重以下であることから十分な強度を有するといえる。また、骨組みを支える主基礎（支柱）の設置間隔を骨組みとなる建設足場用汎用パイプの基本長（6 m）の半分の3 m程度とすることで強度を確保し、固定荷重に対しても変形制限以内に抑えられる強度が得られる。しかし、屋根面に使用する直交クランプのせん断力に対する許容荷重とねじりモーメントに対する許容モーメントはそれぞれ4.9 kNと0.6 kNであり、風圧などによって過大なねじり荷重が作用すると直交クランプが破断する恐れのあることから、その防止策として方づえによる補強が有効である⁴⁶⁾。

さらに、建設足場資材利用園芸ハウスに作用する側面からの風圧力について考えると、軒高3 m、支柱間隔3 m、幅6 m（見付面積18 m²）、風速50 m・s⁻¹、速度圧0.68 kN・m⁻²、風力係数0.8、とした場合の想定最大荷重は約9.8 kNである⁵⁰⁾。実大模型ハウスに対して当該荷重でけん引する加力試験の結果、斜面上方または下方からの加力に対して、支柱頭部位置での変位量が変形制限である30 mm（支柱長さ3 mの1/10）を下回ること⁵⁰⁾などから、十分な強度を有する構造であることが確認されている。一方、等高線方向からの加力に対しては変位量が許容変形制限を超える場合も認められたが、この場合でも部材の破損や回復不能な変形は生じない⁴⁶⁾。等高線方向からの風に対しては、側面の支柱に対して2本に1本の割合で筋交い補強を行うことで鉄骨補強パイプハウス（耐風速40 m・s⁻¹）以上の強度を確保できる⁵⁰⁾。さらに、屋根面に作用する引き抜き力（風圧力）は、軒高3 m、幅3 m（見付面積9 m²）、風速50 m・s⁻¹、速度圧0.68 kN・m⁻²、風力係数 C_p （ $C_p = 1.3 \sin \theta - 0.5$ ）、 $\theta = 10^\circ$ とした場合の1本の基礎に作用する想定最大荷重は1.7 kNとなるが、ベース付きコンクリート基礎はその3倍程度の耐力がある上、自作す

ることで市販の束石型コンクリート基礎に対して資材コストを約1/3に抑えられる⁵⁰⁾。これらのことから、長崎ら⁵⁰⁾は、建設足場資材利用園芸ハウスが40～50 m・s⁻¹の耐風強度を有すると結論している。

実証試験を行った高知県は台風の常襲地域であるが、建設足場資材利用園芸ハウスは設置から10年以上経過した現在でも台風などの強風による損壊被害は認められていない。また、徳島県における事例では、2004年に上陸した台風16号および18号の強風（最大瞬間風速はそれぞれ41.0 m・s⁻¹と36.4 m・s⁻¹）により周辺の簡易雨よけ施設が壊滅的な被害を受けたのに対して、建設足場資材利用園芸ハウスは被害を受けなかったこと¹⁴⁾が報告されている。伊吹²⁰⁾は、こうした実証試験結果およびシミュレーションによる解析結果から建設足場資材利用園芸ハウスの構造が40 m・s⁻¹前後の風圧力に耐えられる構造であると述べている。このように、開発した建設足場資材利用園芸ハウスは、少なくとも西日本以北の地域において実用上問題のない十分な強度を有しているといえる。

開発した建設足場資材利用園芸ハウスの軒高は約3 mを基本として、ハウス四方には巻き上げ幅約1 mの側窓を2段設置できることから、換気のための巻き上げ幅は約2 mと大きくなる。一般的なアーチ型パイプハウスは、軒高が2 m未満のものが大半であり、巻き上げ幅はその半分程度と小さい。前章で考察したように、換気のための開口面積は大きいほど換気能力が向上する。このことから、開発した建設足場資材利用園芸ハウスは、アーチ型傾斜ハウスと比較して換気能力に優れると考えられる。建設足場資材利用園芸ハウスにおける換気時の温度特性については次章において検証する。

3) 建設足場資材利用園芸ハウスの導入メリット

開発した建設足場資材利用園芸ハウスは、基礎と支柱を圃場形状に合わせて設置して屋根形状を自由に決められるのが特徴のひとつである。実証試験を行った生産者圃場は、第12図でみられるような傾斜や形状がさまざまで条件が異なる傾斜畑や傾斜段畑が混在している⁵⁵⁾。傾斜段畑では、隣接する圃場を建設足場資材利用園芸ハウスで一体的に覆うよう

に設置することにより、例えば暖房機の設置台数を減じられる、雨天時にもぬれることなく圃場間の移動が可能になる、換気窓の開閉作業を少なくできる、といった多くの利点が認められた。また、第18図に示した例では、傾斜度が $5^{\circ} \sim 17^{\circ}$ の傾斜畑に設置したものであり、傾斜度に応じて設置できることも明らかにした。傾斜度 20° の傾斜畑において施工した例²⁰⁾も報告されており、傾斜度が 20° 程度までは適用可能である。

さらに、アーチ型傾斜ハウスであれば作付できない部分となる圃場の残地が減り、耕作可能な面積が増えることで圃場を有効に利用できるメリットがある。傾斜段畑において、隣接する傾斜畑へ建設足場資材利用園芸ハウスを導入した前後における施設面積を第3表に示す。同じ圃場で簡易雨よけ施設が設置されている場合と比べて、施設面積は3.4～12.6%増加した。長崎ら⁴⁸⁾は、栽培可能面積についても25～35%増加したと推定している。さらに、空間が広がったことにより作業性が改善された。また、軒高が高いことからつり下げ式レールも設置でき懸架式自動薬剤散布装置による薬剤散布の省力化技術⁴⁹⁾も開発されており、簡易雨よけ施設では難しい管理作業のさらなる省力化が可能である。

開発した建設足場資材利用園芸ハウスの屋根面は平屋根構造であることから、降雨時には大半の雨水は屋根面の傾斜にしたがって下端部へ集まり流下する。このため、斜面の下方をコンクリート舗装したり止水シートを敷設したりして適切に集・排水することで土壌流亡に対処するとともに、作業道舗装と集排水溝を組み合わせる²³⁾などの簡単な方法で排

水対策が可能な構造である。

4 結論

- 傾斜畑において、アーチ型傾斜ハウスを導入したところ、簡易雨よけ施設と比べて作業環境は改善されたものの、傾斜畑特有の問題が明らかとなった。すなわち、矩形な床面形状が基本のアーチ型パイプハウスを流用したアーチ型傾斜ハウスでは、不定形な傾斜圃場に設置した場合に多くの残地が生じること、平坦地と比べて10～20%のコスト高であること、降雨時には雨水がハウス両側面の斜面に集中するため土壌流亡が生じることなどである。
- 開発した建設足場資材利用園芸ハウスは、外径48.6mmの建設足場用の汎用パイプと汎用クランプ類を中心に骨組みを形成する。3m間隔で格子状に設置した外径250mmのベース付きコンクリート基礎と支柱を、自在クランプを介して傾斜方向に棟パイプで接続し、その上に直交クランプを介して屋根パイプを0.75m間隔で固定して平屋根構造の屋根面を形成する。建設足場資材利用園芸ハウスは、圃場の傾斜が少なくとも 20° までの傾斜畑に対応可能であるとともに、建設足場資材利用園芸ハウスの外周部には圃場の形状に合わせて基礎と支柱を配置することで、不定形な傾斜畑の形状に応じて設置できる構造である。
- 大量生産され低コストな建設足場用の汎用パイプと汎用クランプ類を主な構造に用いることで、建設足場資材利用園芸ハウスの資材費は、アーチ型傾斜ハウス(3.3㎡あたりの資材費1.3万円)に対して、3.3㎡あたり0.5万円安価な0.8万円であり低コスト化できる。また、生産者自身で施工できることから、施工業者に依頼する場合と比べて設置コストの低減においても利点が認められる。
- 開発した建設足場資材利用園芸ハウスは、軒高が3mと高く、四方に2段の巻き上げ換気窓(側窓)を設置することによって、アーチ型傾斜ハウスと比べて換気のための開口面積が大きく、加えて屋根面が平屋根構造であることから気流の滞留も少なく、高温期における換気能力

第3表 簡易雨よけ施設設置時と建設足場資材利用園芸ハウスの導入後の施設面積の比較

設置例 ¹⁾	(A)簡易雨よけ施設設置時の面積(m ²) ²⁾	(B)建設足場資材利用園芸ハウス転換後の面積(m ²)	(C)増加率(%) ³⁾
(1)	351	370	5.1
(2)	389	438	12.6
(3)	377	390	3.4

1) 設置例は第18図に対応している。

2) 簡易雨よけ施設的面積(A)は2区画の圃場の合計面積。

3) 増加率: $C = (A - B) / B \times 100$ で算出。

においても優位性があると考えられた。また、屋根面が平屋根構造とすることにより、降雨時にも斜面下方へ雨水を集水できることから、土壌流亡対策が容易となる。

5. 実大模型を使った加力試験の結果から、建設足場資材利用園芸ハウスは耐風速 $40\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 以上の強度を有することが示された。建設足場資材利用園芸ハウスは、台風の常襲地域に設置した建設足場資材利用園芸ハウスにおいて台風などの強風による損壊被害は認められておらず、少なくとも西日本以北の地域において実用上問題のない十分な強度を有すると判断された。
6. 建設足場資材利用園芸ハウスは、圃場の形状に合わせて設置できるため、隣接する傾斜畑を一体的に覆うように設置することにより、暖房機設置台数の削減による設備費の低減、換気窓開閉作業や雨天において作業や収穫物がぬれることなく圃場間を移動できることなどの作業性向上や省力化が可能である。また、同じ圃場で簡易雨よけ施設が設置されている場合と比べて、残地が減り施設面積が3.4～12.6%増加することから、狭小な傾斜畑を有効利用できる効果がある。

IV 高温期における建設足場資材利用園芸ハウスの換気にもなう温度分布特性

1 はじめに

前章では、中山間地域の傾斜畑における野菜・花き生産用施設として従来から利用されていた簡易雨よけ施設から傾斜ハウスへの転換を図るため、野菜・花き生産用傾斜ハウスとして必要な構造などの要件を抽出するとともに、同要件に基づいて新規開発した建設足場資材利用園芸ハウスの特徴と導入メリットなどを明らかにした。開発した建設足場資材利用園芸ハウスは、軒高が約3mと高く、その四方には2段の巻き上げ換気窓（側窓）を備えることから開口面積が大きいとともに屋根面が平屋根構造であることから、優れた換気能力を有すると考えられ、高温期における野菜・花き生産に適するものと期待される。

本章では、トマトの夏秋栽培を行う生産者圃場に

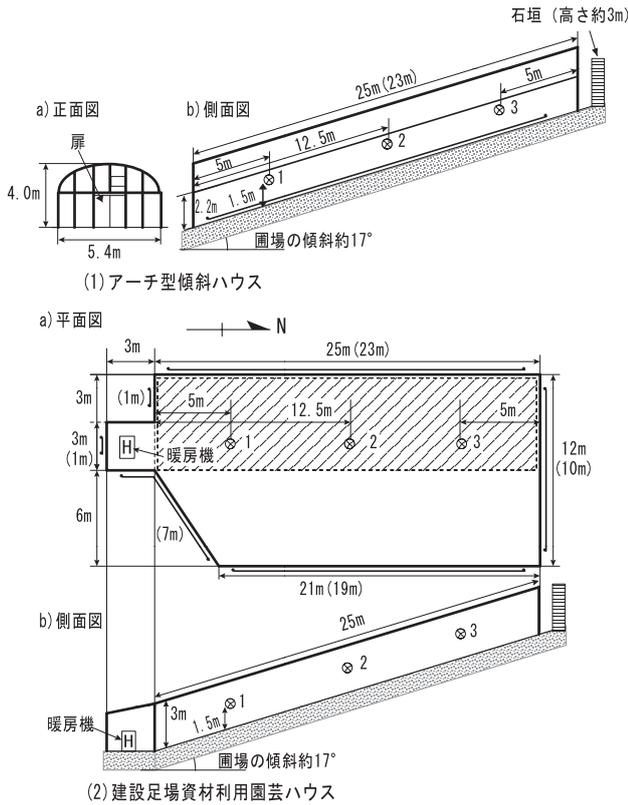
設置した建設足場資材利用園芸ハウスにおいて、アーチ型傾斜ハウスと比較した場合の側窓の開放による換気時の温度分布特性、傾斜段畑に設置した建設足場資材利用園芸ハウスにおける換気窓の設置位置が温度分布に及ぼす影響を解析することにより、開発した建設足場資材利用園芸ハウスの高温期における野菜・花き生産に対する適用性を明らかにする実証的研究を行った。

2 実験方法

1) 建設足場資材利用園芸ハウスとアーチ型傾斜ハウスにおける側窓の開放による換気時の温度分布の解析

トマトの夏秋栽培を行う生産者圃場（高知県土佐町、標高約600m）の傾斜度約 17° の傾斜畑に設置したアーチ型傾斜ハウスと建設足場資材利用園芸ハウスを用いて、それぞれ1997年と2000年に試験を実施した。供試ハウスの概要を第19図と第4表に示す。アーチ型傾斜ハウスは、長さ25m、間口5.4m、棟高4.0m（軒高2.2m）の単棟パイプハウスとし、巻き上げ幅約1.5m、長さ23mの側窓を設置した。一方、建設足場資材利用園芸ハウスは、前述のアーチ型傾斜ハウスを撤去した傾斜畑とその傾斜畑に隣接する傾斜畑とを1区画化して建設され、長さ25m、幅12m、軒高3mであった。建設足場資材利用園芸ハウスの四方には巻き上げ幅約1mの側窓を2段で取り付けた。ハウス内では傾斜方向畝でトマトを栽培中であった。

アーチ型傾斜ハウスと建設足場資材利用園芸ハウスとにおいて、すべての側窓を巻き上げて換気を行っている状態で、ハウス中央の谷側から斜面上方へ向かって5m、12.5mおよび20m、高さ1.5mの位置に設置したサーモレコーダミニ（エスベックミック社製、RT-30S）を用いて10分間隔で記録し1時間ごとの平均温度を計算した。測定年次の異なる両ハウスの温度を比較するために、同じ時期で外気温の変動が同じような晴天日（建設足場資材利用園芸ハウスは2000年8月5～6日、アーチ型パイプハウスは1997年7月30～31日）を抽出して両者を比較した。



第19図 アーチ型傾斜ハウスと建設足場資材利用園芸ハウスの概要

⊗は温度測定位置，—は巻き上げの位置，()の数字は巻き上げの長さを示す。アーチ型傾斜ハウスは建設足場資材利用園芸ハウスの西側（斜線部）に設置されていた（建設足場資材利用園芸ハウスの平面図参照）。

第4表 供試ハウスの概要と使用機器

項目	アーチ型傾斜ハウス	建設足場資材利用園芸ハウス	傾斜段畑に設置された建設足場資材利用園芸ハウス	
			下段ハウス	上段ハウス
奥行（傾斜方向への長さ・m）	25	25	6.5～11.5	6.5～8.5
間口（等高線方向への長さ・m）	5.4	12	26	19.5
棟高(m)	4.0	-	-	-
軒高(m)	2.2	3.0	3.0	3.0
巻き上げ(側窓)の大きさ 巻き上げ幅×長さ(m)	1.5m×23m	1.0m×23m (2段)	1.0m×24m (2段)	1.0m×17m (2段)
中央換気窓の大きさ 巻き上げ幅×長さ(m)	-	-	1.5m×17.5m	-
圃場の傾斜度(°)	17	17	15	17
その他	-	アーチ型傾斜ハウスが設置されていた傾斜畑と隣接する傾斜畑とを1区画化して設置した。	高さ約2mの石垣がある傾斜畑に上段ハウスと下段ハウスを設置。両ハウスの間には段差を設け、中央換気窓を設置した。	-

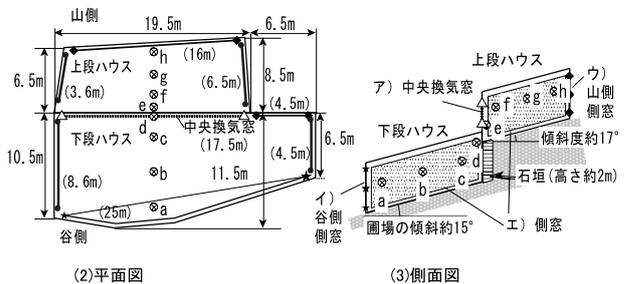
2) 傾斜段畑に設置した建設足場資材利用園芸ハウスにおける中央換気窓と側窓の開閉にともなう温度分布と風速分布の解析

(1) 中央換気窓と側窓の開閉による換気にともなう温度分布の解析

トマト生産者の傾斜段畑において、2区画の傾斜畑からなる傾斜段畑を1区画化するように設けた建設足場資材利用園芸ハウスで試験を実施した（第20図）。隣接する2区画の傾斜段畑のうち下段に設置した建設足場資材利用園芸ハウス（以下、下段ハウス）は奥行き6.5～11.5m、幅26m、軒高3.0m、圃場の傾斜度約15°、上段に設置した建設足場資材利用園芸ハウス（以下、上段ハウス）は奥行き6.5m～8.5m、幅19m、軒高3.0m、圃場の傾斜度約17°であり、下段ハウスと一体化して設置した。両圃場が隣接する位置には高さ約2mの石垣があったため、ハウス屋根面に段差を設けるとともに両ハウ



(1)傾斜段畑に設置された建設足場資材利用園芸ハウス



第20図 傾斜段畑に設置された建設足場資材利用園芸ハウス

⊗は測定位置。a～c、f～hは高さ1.5mで測定。dは下段ハウスと上段ハウスとの連結部分（高さ2.2m）eは中央換気窓の内側（高さ1.0m）。△▽△は中央換気窓（ア）、★は谷側側窓（イ）、◆◆は山側側窓（ウ）、■と●●は側窓（エ）を示す。()の数字は巻き上げの長さを示す。

スが幅0.5m～1m程度の空間でつながるようにし、段差部分には巻き上げ幅約1.5m、長さ17.5mの巻き上げ式の中央換気窓を設置した。なお、この建設足場資材利用園芸ハウスには2段の巻き上げを四方に設置しており、ここでは斜面上方の巻き上げを山側側窓、下方の巻き上げを谷側側窓、その他の面（東側および西側の側面）の巻き上げを単に側窓と呼ぶことにする。ハウス内では等高線畝でトマトを栽培中であった。

四方の側窓ならびに中央換気窓の開閉が傾斜段畑に設置した建設足場資材利用園芸ハウス内の温度分布に及ぼす影響を明らかにするため、①四方の側窓を閉鎖→中央換気窓を閉鎖してハウス内温度を上昇させた後山側と谷側の側窓を開放→中央換気窓を開放した場合、②側窓を閉鎖した状態から→中央換気窓を閉鎖→中央換気窓を再び開放した場合、③すべての側窓を開放した状態から→中央換気窓を閉鎖→中央換気窓を再び開放した場合、について温度分布を測定した。

測定は、1999年8月13日に行い、第20図に示すように、傾斜段畑に設置した建設足場資材利用園芸ハウスの等高線方向における中央付近を谷側から山側へ向かってサーモレコーダミニ（エスベックミック社製、RT-30S）を地面から高さ1.5mに設置して、1分間隔で温度変化を記録した。

(2) 中央換気窓の開閉による換気にもなう温度分布と風速分布の解析

前項で述べた傾斜段畑に設置した建設足場資材利用園芸ハウスの四方の側窓および中央換気窓を開放した状態で、ハウス内の斜面下方から上方へ向かう風速および等高線方向（西から東）へ向かう風速を、地面から高さ0.5mの位置で熱式風速計（KANOMAX社製、Model6151）により、各測定位置を移動しながら測定した。各測定位置では10秒間隔で1分間測定した風速を記録した。

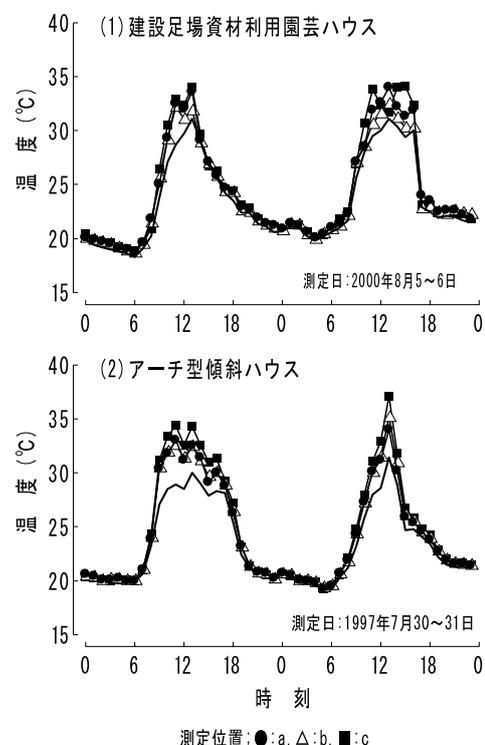
また、四方の側窓を開放した状態で中央換気窓を開放または閉鎖した時に、斜面下方から上方へ向かう風速を地面から高さ1.5mの位置で熱式風速計（KANOMAX社製、Model6151）により、各測定位置を移動しながら測定した。各測定位置では10秒間隔で1分間測定した風速を記録した。風速の測定中には、サーモレコーダミニ（EM製、RT-30S）を

高さ1.5mに設置して各測定点における温度変化を1分間隔で記録した。測定日は、1999年8月13日であった。

3 結果と考察

1) 建設足場資材利用園芸ハウスとアーチ型傾斜ハウスにおける側窓の開放による換気時の温度分布の比較

アーチ型傾斜ハウスと建設足場資材利用園芸ハウスにおける日中の温度変化を第21図に、日中（11:00～15:00）のそれぞれのハウスにおける内外温度差を第5表に示す。両ハウスともハウス内の温度は斜面下方より上方の方が高い傾向が認められたが、建設足場資材利用園芸ハウスでは中央付近の温度が低かった。日中の温度をみると、アーチ型傾斜ハウス内の温度は外気温より最大で3.9℃、平均で2.9℃高かった。これに対して、建設足場資材利用園芸ハウスでは最大で2.6℃、平均で1.9℃であり、アーチ型傾斜ハウスと比較して内外温度差は小さかった。



第21図 建設足場資材利用園芸ハウスとアーチ型傾斜ハウスにおける高温期のハウス内温度測定位置は第19図を参照。-は外気温。

開発した建設足場資材利用園芸ハウスは、屋根面が平板であるとともに軒高が高く開口面積が大きいのが特徴である。実験で用いた両ハウスを同面積（間口5.4m×25m）で建設したとして窓比率（ハウス表面積に対する開口面積の比）¹⁵⁾を算出すると、アーチ型傾斜ハウスでは0.24（=76.8㎡/324.0㎡、両妻面の扉も開口面積に含む）、建設足場資材利用園芸ハウスでは0.33（=105.6㎡/317.4㎡）であり、建設足場資材利用園芸ハウスはアーチ型傾斜ハウスより約38%大きくなった。すなわち、アーチ型傾斜ハウスでは側窓の巻き上げ幅が小さい上、アーチ部分に空気が滞留するなどにより換気が制限されるのに対して、開発した建設足場資材利用園芸ハウスでは、屋根面が平板であり空気の滞留が少なく軒高が高い構造であるとともに、同ハウスの四方には2

段の巻き上げ式の側窓が設置され換気のための開口面積を大きくできることから、同面積のアーチ型傾斜ハウスと比べて換気量を増大させる効果のあることが確認された。

2) 傾斜段畑に設置した建設足場資材利用園芸ハウスの換気における中央換気窓の効果

(1) 中央換気窓と側窓の開閉が傾斜段畑に設置した建設足場資材利用園芸ハウスの温度分布に及ぼす影響

傾斜段畑に設置した建設足場資材利用園芸ハウスでは、すべての側窓（ア～エ）が閉鎖されると、中央換気窓付近の温度を除いてハウス内の温度は徐々に上昇した（第22（1）図）。上段ハウスの温度は内外温度差約2℃で上昇しなくなった。その後、中央換気窓を閉鎖するとハウス内の温度は上昇した。この状態から山側と谷側側窓を開放すると、下段ハウスの温度は低下したが上段ハウスの温度は上昇を続けた。その後、中央換気窓を開放すると上段ハウスの温度は下段ハウスと同程度まで低下した。

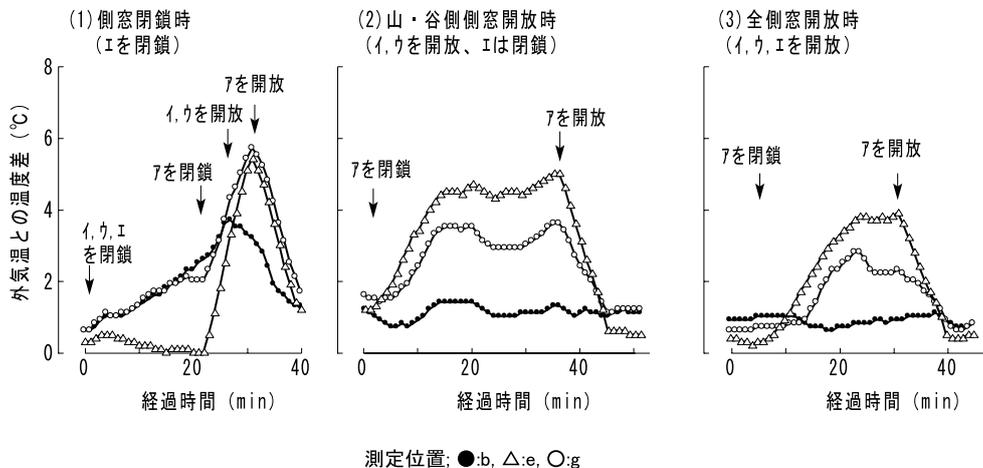
次に、側窓を閉鎖し、山側と谷側側窓を開放した状態から中央換気窓を閉鎖すると、下段ハウスの温度はほとんど変化しなかったのに対して、上段ハウスの温度は上昇した（第22（2）図）。この状態から中央換気窓を開放すると上段ハウスの温度は下段ハウスの温度と同程度まで低下した。一方、四方の側窓を開放した状態から中央換気窓を閉鎖・開放し

第5表 建設足場資材利用園芸ハウスとアーチ型傾斜ハウスにおける夏期高温時のハウス内外温度差¹⁾の比較(℃)

対象ハウス ²⁾	測定位置			ハウス内平均	外気温
	上方	中央	下方		
建設足場資材利用園芸ハウス	2.6	1.2	2.1	1.9	29.6
アーチ型傾斜ハウス	3.9	2.5	2.3	2.9	28.6
簡易雨よけ		3.6		3.6	28.6

1) 11～15時における平均値（第21図参照）。測定位置は第19図を参照。

2) 建設足場資材利用園芸ハウスは2000年8月5～6日、アーチ型傾斜ハウスと簡易雨よけは1997年7月30～31日の測定値。



第22図 中央換気窓の開閉が傾斜段畑に設置された建設足場資材利用園芸ハウスにおける温度変化に及ぼす影響

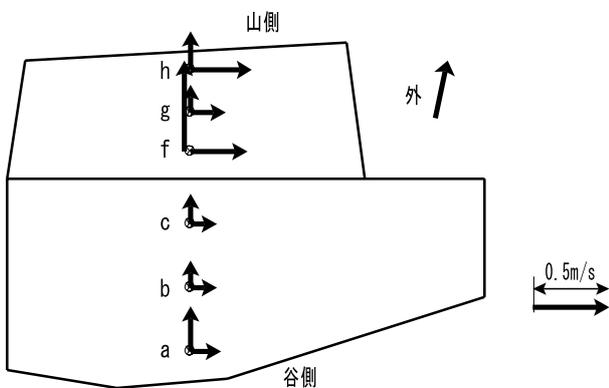
測定位置は第20図を参照。

た場合も同様に温度は変化したが、上段ハウスでは山側および谷側側窓のみを開放した場合（第22（2）図）よりハウス内温度は約1℃低かった（第22（3）図）。下段ハウスについては影響がみられなかった。

このように、中央換気窓の開閉は下段ハウスでは山側と谷側側窓が閉鎖されていなければ影響はみられなかったが、上段ハウスでは中央換気窓の開鎖によりハウス内温度が上昇した。これは、傾斜段畑の段差部分の下段と上段ハウスとの連結部分のすき間が1m未満であったこと、山側にも軒高程度の高さの石垣があったことから、上段ハウスを流出入する空気の流れが妨げられ、上段ハウスで温度が上昇したと推察された。これらのことから、等高線方向に長い建設足場資材利用園芸ハウスでは山側と谷側側窓が重要であるといえる。一方、中央換気窓を開放すると、上段ハウス内の温度は閉鎖時と比較して4℃以上低下させることができ、上段と下段ハウスとの温度差もなくなった。このように、段畑に設置された建設足場資材利用園芸ハウスにおいて換気能力を向上させるためには、圃場の段差にしたがって屋根面にも段差を設け、その段差部分への中央換気窓を設置する構造とすることが有効であると考えられた。

（2）傾斜段畑に設置した建設足場資材利用園芸ハウスにおける中央換気窓の開閉にともなう温度分布と風速分布の比較

傾斜段畑に設置した建設足場資材利用園芸ハウスにおいて、高さ0.5mにおける風速分布を第23図に



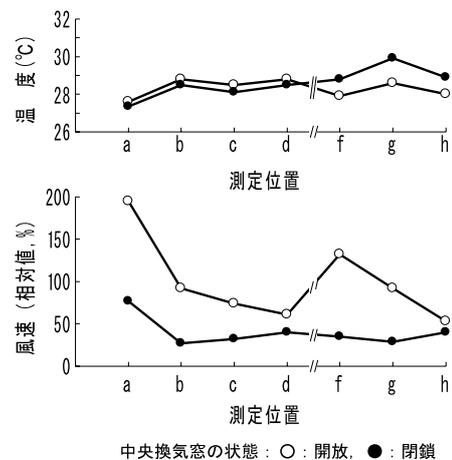
第23図 傾斜段畑に設置された建設足場資材利用園芸ハウスにおける風速分布

等高線畝の通路に対して直角および水平方向の風速を高さ0.5mで測定。図中のアルファベットは測定位置（第20図参照）。

示す。すべての側窓と中央換気窓を開放した場合、ハウス内では傾斜方向と等高線方向にそれぞれ0.1～0.6m・s⁻¹の風速が観測された。上段ハウスの風速は傾斜方向および等高線方向ともに下段ハウスと比較して大きかった。

傾斜段畑に設置した建設足場資材利用園芸ハウスにおける中央換気窓の開閉にともなうハウス内温度と風速の分布を第24図に示す。中央換気窓を閉鎖した場合、高さ1.5mにおける建設足場資材利用園芸ハウス内の風速分布は、下段ハウスの斜面最下方が最も大きく、ハウスの中ほどではその約半分の風速であった。また、建設足場資材利用園芸ハウス内の風速は、開放した場合と比較して全体に小さかった。一方、中央換気窓を開放した場合には、上段ハウスおよび下段ハウス内の風速は、それぞれ斜面下方の風の取り込み口で最も大きく、ハウス内部へ行くに従い小さくなった。中央換気窓を閉鎖した場合には、ハウス内の温度は下段ハウスより上段ハウスの方が高くなったのに対して、開放した場合には下段および上段ハウス内の温度はほぼ均一になった。

建設足場資材利用園芸ハウス内では、等高線畝でトマトを栽培中であったが、0.1～0.6m・s⁻¹の空気の流動が認められた。ハウス内における空気の流動は、光合成に伴う二酸化炭素濃度の低下を防止する効果によって植物体近傍の環境改善に寄与し、生育や収量に影響を及ぼす^{4, 27, 90)}。一般に、植物体近傍で



第24図 傾斜段畑に設置された建設足場資材利用園芸ハウスにおける温度分布と風速分布

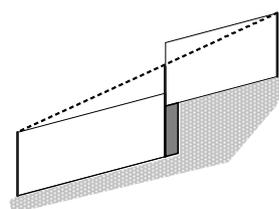
全側窓はすべて開放された状態。風速は屋外風速を100とした時の相対値。測定位置は第20図を参照。

は、 $0.5\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 程度の気流が好適と考えられているが通常の換気だけでその気流を維持することが難しい³⁷⁾。このため、空気を強制的に流動させるために循環扇が利用される場合がある^{2, 73)}。これに対して、建設足場資材利用園芸ハウスでは、通常の換気状態において光合成に適した空気の流動が得られることから、生育、収量の向上に寄与することも期待される。生育、収量に関する検討は第Ⅵ章において述べる。

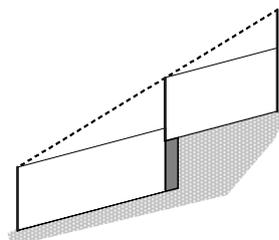
このように、開発した建設足場資材利用園芸ハウスは、屋根面を平面構造にすることで空気の滞留がほとんどなく、2段の巻き上げ式の側窓を四方に配置することによって同床面積のアーチ型傾斜ハウスと比して約38%大きい開口面積を確保できることから、高温期において効率の良い換気を実現し得ることが確認された。また、段差のある2区画の傾斜畑からなる傾斜段畑に建設足場資材利用園芸ハウスを設置する場合、中央換気窓を設置することによって十分な換気能力を付与することが可能である。

(3) 傾斜段畑に建設足場資材利用園芸ハウスを設置する場合の屋根面構造と換気における中央換気窓の効果

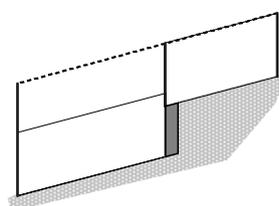
実験を行った建設足場資材利用園芸ハウスは、隣接する2区画の傾斜畑を一体化するように設置したが、設置前の計画段階においていくつかの問題を抱えていた。設置の前年には下段ハウスが既に設置されており、暖房機の設置コストや温度制御などの作業性を考慮すると、暖房機1台で2区画の傾斜畑を加温の対象として、傾斜段畑の下段に設置した既設の建設足場資材利用園芸ハウス（以下、下段ハウス）と連結する形で傾斜段畑の上段に建設足場資材利用園芸ハウス（以下、上段ハウス）を増築することとした。設置の際に検討した建設足場資材利用園芸ハウスの屋根面構造の比較を第25図に示す。対象となった傾斜段畑に対して、段差のない平面の屋根で覆うとすると、斜面上方と下方の軒高（柱長）をほぼ一定に保つ構造とする場合には、段差部分では地面と屋根面との間が小さくなる（第25（1）図）。このため、実験における中央換気窓を閉鎖した場合と同様に換気能力が劣るものと予想される。そこで、段差部分の軒高を確保しようとする場合と段差の分だけ上段ハウス部分が高くなる（第25（2）図）。これ



(1)斜面上下の軒高を同じにして平面とする場合



(2)段差部分と斜面下方の高さを同じにする場合



(3)段差部分と斜面上方の高さを同じにする場合

第25図 段差のある2区画から成る傾斜段畑で建設足場資材利用園芸ハウスを施工する時の問題点

—は供試した段畑用建設足場資材利用園芸ハウス、--はそれぞれの場合における屋根面、—は基準とする軒高（柱長）を示す。

にともない屋根面の傾斜も急になりフィルム交換作業が困難になる⁴⁸⁾。逆に、上段ハウスの軒高を抑えると下段ハウスの軒高が高くなり過ぎる（第25（3）図）。このため、傾斜段畑に建設足場資材利用園芸ハウスを設置する場合には、ハウスの維持管理の面からも屋根面に段差を設け中央換気窓を設置することが最も良いと考えられた。

4 結論

1. 開発した建設足場資材利用園芸ハウスにおける温度分布をアーチ型傾斜ハウスと比較しながら解析した結果、建設足場資材利用園芸ハウスでは、高温期のハウス内外の温度差がアーチ型傾斜ハウスより 1.0°C 以上小さいことから換気能力が高く、高温期の生産にも適していると考えられた。この理由として、建設足場資材利用園芸ハウスは軒高が高く幅の広い巻き上げ式の側窓が四方に配置されており、窓比率は同じ床面

積で設置した場合のアーチ型傾斜ハウスと比較して約38%大きいこと、屋根面が平板であるため気流が滞留することなく換気されていることなどが考えられた。

2. 隣接する傾斜畑間に段差のある2区画の傾斜段畑を一体化するように設置した建設足場資材利用園芸ハウスの場合、屋根面に段差を設けるとともに段差部分に中央換気窓を設置して換気を行うことにより、中央換気窓がない場合と比べてハウス内温度を4℃以上低下させる効果が認められた。すなわち、中央換気窓の設置により効率的に換気できると考えられた。
3. 傾斜段畑に設置した建設足場資材利用園芸ハウスにおいて、屋根面の段差部分に設けた中央換気窓の開閉は、中央換気窓より上段のハウス内温度分布への影響が大きく、上段ハウスでは中央換気窓の閉鎖時より開放時の方が温度は低く風速は大きくなった。一方、下段ハウスでは中央換気窓の影響は認められず、谷側と山側の側窓の影響が大きいことが明らかとなった。建設足場資材利用園芸ハウス内では $0.1 \sim 0.6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ の風速が観測され換気にもなう空気の流動があったことから、生育、収量の向上効果が期待された。
4. 隣接する2区画の傾斜段畑を一体化するように建設足場資材利用園芸ハウスを設置する場合、十分な換気を確保することに加えてハウスの維持管理の面から軒高を一定高さ以下になるようにするため、屋根面に段差を設けるとともに中央換気窓を設置する構造とすることが最も良いと考えられた。

V 低温期における建設足場資材利用園芸ハウスの加温・送風にもなう温度分布特性

1 はじめに

前章では、新たに開発した建設足場資材利用園芸ハウスが、アーチ型傾斜ハウスと比較して換気が良好であり、高温期の夏秋栽培において簡易雨よけ施設に替わる傾斜ハウスとして適していることなどを明らかにした。また、中山間地域では、さまざまな形状の傾斜畑において野菜・花きの生産が行われて

いる⁵⁵⁾が、傾斜方向に長い形状の建設足場資材利用園芸ハウスに加え、段差のある2区画の傾斜畑からなる傾斜段畑に設置した建設足場資材利用園芸ハウスにおいても十分な換気能力を付与できることなどを明らかにした。

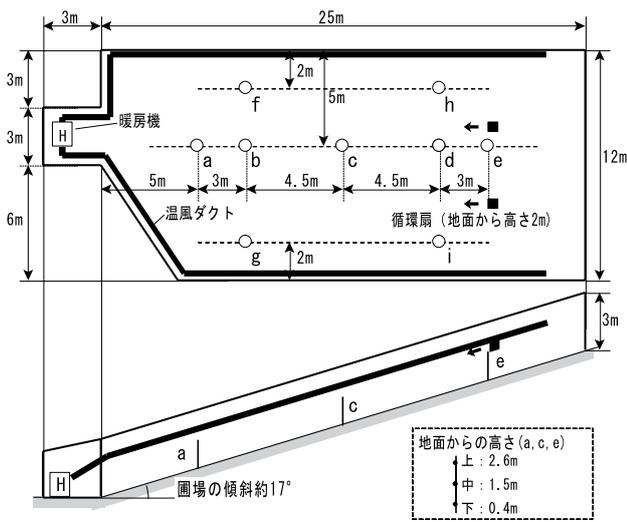
従来の簡易雨よけ施設から建設足場資材利用園芸ハウスへ転換が図られることで、従来行われていた高温期における生産だけではなく、低温期においても生産が期待できることから、生産者にとっては収益性の向上や経営の選択肢が広がることなどのメリットが期待される。一方、野菜・花き生産では温度分布をできるだけ均一に管理することが必要であるが、傾斜畑は、傾斜方向に長い形状や等高線方向に長い形状など、傾斜畑の形状はさまざまであり、加温時の温度分布についても傾斜畑の形状によって異なることが考えられる。

本章では、傾斜方向または等高線方向に長い傾斜畑および傾斜段畑に設置した3つの建設足場資材利用園芸ハウスを用いて、温風ダクトと循環扇の有無や温風ダクトの配置が加温時の温度分布に及ぼす影響を解析し、建設足場資材利用園芸ハウスの低温期における適用性を明らかにする実証的研究を行った。

2 実験方法

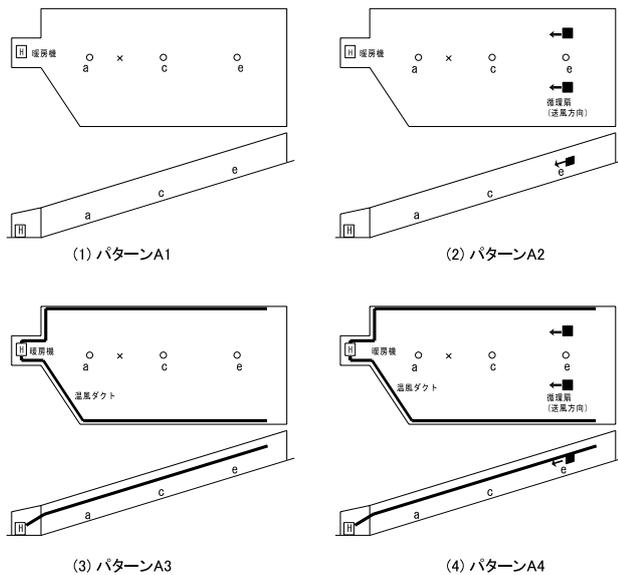
1) 傾斜方向に長い建設足場資材利用園芸ハウスにおける温風ダクトの配置と循環扇による送風方法および温度分布の解析

トマト生産者圃場の傾斜度約17°で傾斜方向に長い傾斜畑に設置した傾斜方向に長さ25m、最大幅12m、軒高3mの建設足場資材利用園芸ハウス(本章では、開発ハウスA)を供試した(第26図)。加温には、ハウス下端の張り出し部分に設置した温風式の暖房機(ネボン社製HK1520、出力44.2kW)を用いた。加温中は、屋根面から約30cm(地面から高さ約2.6m)とハウス側面の内側(それぞれ手動開閉式)にPO系フィルム(0.075mm厚)のカーテンと内張りを設置した。温風ダクトは折径65cmのポリダクトを用い、地面から高さ2mで暖房機から斜面上方の側面(山側面)から2mまで延長し、東側面と西側面に沿って配置した。温風ダクトには1.5m間隔で吹き出し穴を開け、ハウスの内側へ向



第26図 開発ハウスAの概略

アルファベットは測定位置。地面から高さ1.5mの位置で測定。測定位置a, cおよびeでの測定高さは右下点線線を参照。暖房機のセンサーは測定位置bに設置した。■は循環扇を、←は送風方向、太線は温風ダクトを示す。



第27図 開発ハウスAにおける温風ダクトの配置パターンの概略

■は循環扇, ←は送風方向, ×は暖房機のセンサー位置, 太線は温風ダクトを示す。

けて等高線方向へ温風を吹き出すようにした。循環扇はVORNADO社製280B(100V, 風量 $81\text{m}^3\cdot\text{min}^{-1}$)を用い、地面から高さ約2m, 山側面から5m, 東側面と西側面からそれぞれ4mの位置に設置し、斜面と平行に斜面下方へ向かって送風した。

開発ハウスAにおける温風ダクトの配置パターン

を第27図に示す。①温風ダクトと循環扇を使用しない(パターンA1), ②温風ダクトを使用せず循環扇で常時送風する(パターンA2), ③温風ダクトを使用して循環扇を使用しない(パターンA3)および④温風ダクトを使用して循環扇で常時送風する(パターンA4), の4処理で、それぞれ暖房機の設定温度を 6°C として実施した。パターンA1についてはあらかじめ予備測定を行った。測定対象は地面から高さ1.5mについてのみとし、第26図のa~iで、そのうちbとdは斜面下方からそれぞれ8mと17m, またハウスの西および東の側面から2m, bおよびdと同じ等高線上にそれぞれfとgおよびhとiを設置した。

開発ハウスAにおける温度の測定は、第26図に示したようにハウスの斜面下方から5m(測定位置a), 12.5m(同c)および20m(同e), 西側面から5mでそれぞれ地面から高さ2.6m, 1.5mおよび0.4mの位置に自記温度計(エスペックミック社製, RT-30S)を設置して行い1分間隔で記録した。なお、ハウス内では等高線畝でスイートピーを栽培中であった。

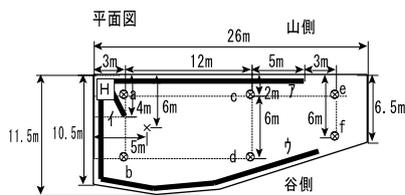
解析には、ハウス内の温度分布が明瞭に比較できるように、外気温がほぼ一定で測定日間で外気温の差ができるだけ小さい測定日と時間帯を任意に抽出して用いた。まず、地面から同じ高さで隣り合う測定点間の距離と温度から、距離との1次関数として任意の点の温度を計算後、さらに垂直方向についても同様に計算することで測定点間の温度を補完して温度分布図を作成した。

2) 等高線方向に長い建設足場資材利用園芸ハウスにおける温風ダクトの配置と温度分布の解析

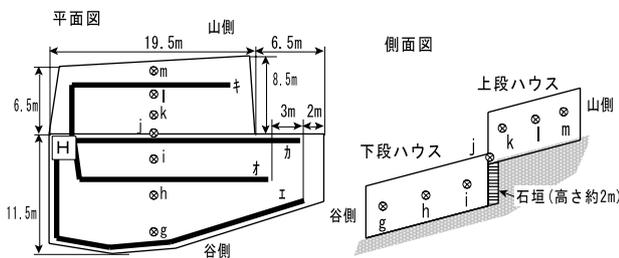
トマト生産者圃場の傾斜度約 15° で南面する等高線方向に長い傾斜畑に設置した奥行き6.5~11.5m, 幅26m, 軒高3.0mの建設足場資材利用園芸ハウス(本章では、開発ハウスB)を供試した(第28(1)図, 第6表)。加温には、ハウス西側の斜面上方に設置した温風式の暖房機(ネポン社製, HK1520)を用い、暖房機の設定温度を 6°C として加温した。加温中はPO系フィルム(0.075mm厚)の内張りを設置した。なお、ハウス内では等高線畝でスイートピーを栽培中であった。

開発ハウスBにおける温風ダクトの配置パターンを第29(1)図に示す。温風ダクトは折径65cmのポリダクトを、①斜面上方の側面(山側面)沿いおよび西側面から3m、山側面から2m、地上から高さ2mの頭上(パターンB1)、②斜面下方の側面(谷側面)沿い(パターンB2)、の2通りに配置して温度分布を測定した。パターンB1では山側の温風ダクトに、パターンB2では谷側の温風ダクトにそれぞれ2m間隔で吹き出し穴を設け、パターンB1では屋根面と平行に斜面下方へ向けて、パターンB2では地面へ向けて鉛直下向きに吹き出すようにした。なお、パターンB1は生産者の意向による配置法であった。

開発ハウスBにおける温度の測定は、第28(1)



(1)開発ハウスB



(2)開発ハウスC

第28図 開発ハウスBと開発ハウスCの概略

アルファベットは測定位置。a~iとk~mは地面から高さ1.0mで測定。jは下段ハウスと上段ハウスとの連結部分(下段ハウスの地面から高さ2.2m)。xは暖房機のセンサー位置、Hは暖房機、太線は温風ダクトを示す(A~K)。開発ハウスCの下段ハウスは開発ハウスBに相当し、上段ハウスは後から増設されたものである。

図に示すように、地面から高さ1.0mで6ヶ所に自記温度計(エスベックミック社製、RT-30S)を設置して行い1分間隔で記録した。ハウス内の温度分布を調査するため、前項と同様に任意に抽出したデータを解析に用い、まず等高線方向で隣り合う測定点間の距離と温度から、距離との1次関数として任意の点の温度を計算後、さらに傾斜方向についても同様に計算することで測定点間の温度を補完して温度分布図を作成した。

3) 傾斜段畑に設置した建設足場資材利用園芸ハウスにおける温風ダクトの配置と温度分布の解析

隣接する2区画の傾斜畑からなる傾斜段畑を一体化するように設置した建設足場資材利用園芸ハウス(本章では、開発ハウスC)を供試した(第28(2)図)。なお、開発ハウスCにおいて、傾斜段畑の下段に設置された建設足場資材利用園芸ハウス(以下、下段ハウス)は開発ハウスBである。傾斜畑の上段に設置した建設足場資材利用園芸ハウス(以下、上段ハウス)は、奥行き6.5m~8.5m、幅19.5m、軒高3.0m、圃場の傾斜度約17°であった。両圃場の隣接部分には高さ約2mの石垣があったため、ハウス屋根面に段差を設けるとともに、その段差部分には巻き上げ式の中央換気窓を設置した。温風式の暖房機(ネボン社製、HK1520、出力44.2kW)を下段ハウスに設置した。なお、下段ハウスにおける暖房機の設置位置は、上述の開発ハウスBにおける実験と同じ位置とした。暖房機から折径65cmのポリダクトを中央換気窓直下の高さ約2mの位置に配置し、暖房機の設定温度を6℃として加温した。加温中はPO系フィルム(0.075mm厚)の内張りを設置した。なお、ハウス内では等高線畝でスイートピーを栽培中であった。

開発ハウスCにおける温度の測定は、第28(2)図に示すように、地面から高さ1.0mで設置した自

第6表 開発ハウスAの加温時における温度の比較(℃)

	測定位置cとの比較位置									測定位置bとの比較位置		測定位置dとの比較位置	
	a	b	c	d	e	f	g	h	i	f	g	h	i
温度差	0.5	0.0	0.0	-0.6	-0.6	0.1	0.1	-0.4	-0.3	0.2	0.2	0.2	0.3

温風ダクトなし、循環扇なし(パターンA1)の場合。任意の1時間における平均値。測定日は2000年11月25日。測定位置(アルファベット)は第26図を参照。

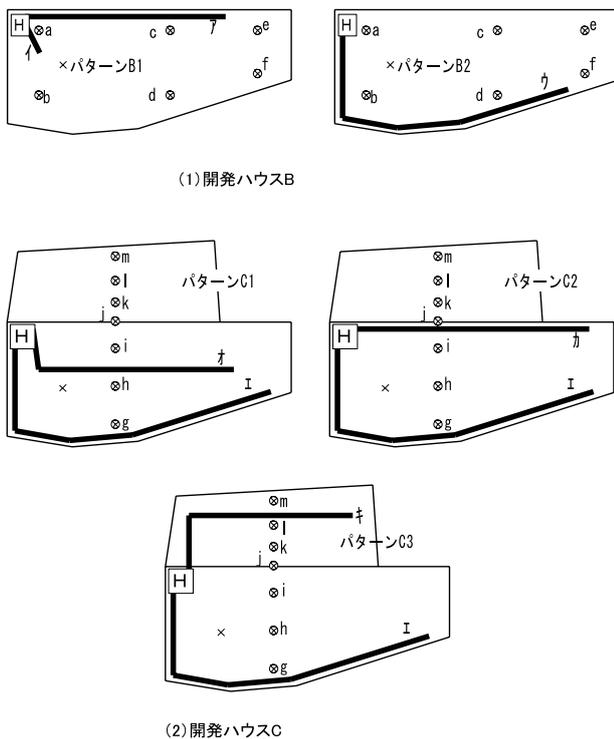
記温度計 (エスベックミック社製, RT-30S) を配置して行い1分間隔で記録した。

温風ダクトの配置は第29 (2) 図に示すように、①下段ハウスの谷側面と下段ハウスの中央部 (エとオ, パターンC 1), ②下段ハウスの谷側面と下段ハウスの山側面 (エとカ, パターンC 2), ③下段ハウスの谷側面と上段ハウスの山側面 (エとキ, パターンC 3), とした。温風ダクト (エ) は地面へ向けて鉛直下向きに、温風ダクト (オ), (カ) および (キ) はそれぞれ屋根面と平行に斜面下方へ向けて吹き出すように吹き出し穴を配置した。

3 結果と考察

1) 温風ダクトの配置と循環扇の有無が傾斜方向に長い建設足場資材利用園芸ハウスの温度分布に及ぼす影響

温風ダクトと循環扇を使用しない場合 (パターン



第29図 開発ハウスBと開発ハウスCにおける温風ダクトの配置パターンの概略

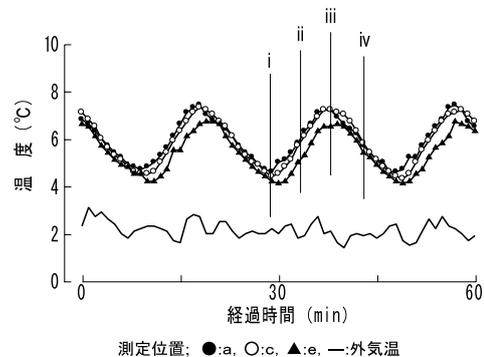
アルファベットは温度測定位置 (第28図参照)。温風ダクトの配置と組み合わせは、(1) では、パターンB 1がダクト (ア) と (イ), パターンB 2がダクト (ウ) である。(2) では、パターンC 1がダクト (エ) と (オ), パターンC 2がダクト (エ) と (カ), パターンC 3がダクト (エ) と (キ) である。×は暖房機のセンサー位置, Hは暖房機, 太線は温風ダクトを示す。

A 1) の開発ハウスA内の温度変化を第30図に示す。暖房機の燃焼が始まると、ハウス内の温度は斜面下方が高く上方へ向かって低くなる傾向が認められたものの、ハウス内温度が下降を始めると温度勾配はほぼ解消された。なお、傾斜ハウス内の温度に等高線 (東西) 方向の温度差はほとんど認められなかった (第6表)。

開発ハウスAにおける斜面上下方向の温度分布を第31図に示す。温風ダクトを使用しないパターンA 1 (第31 (1) 図) では、斜面下方における暖房機近くの温度が低く、屋根面へ向かって (鉛直方向に) 温度が高くなる温度分布を示し、等温線は斜面下方から中央付近にかけて密であった。また、屋根面付近では斜面下方から上方へ行くに従い温度が低下した。

一方、循環扇を使用したパターンA 2 (第31 (2) 図) の温度分布もパターンA 1 とほぼ同様であったが、温度上昇中は循環扇より斜面下方でパターンA 1 より温度が高かった。温風ダクトを使用したパターンA 3 (第31 (3) 図) とA 4 (第31 (4) 図) では循環扇の有無にかかわらず温風ダクトを使用しない場合に比べて斜面下方でみられたような鉛直方向の温度差はほとんどなかった。しかし、パターンA 4ではパターンA 3と比較して循環扇より斜面上方の温度が低かった。

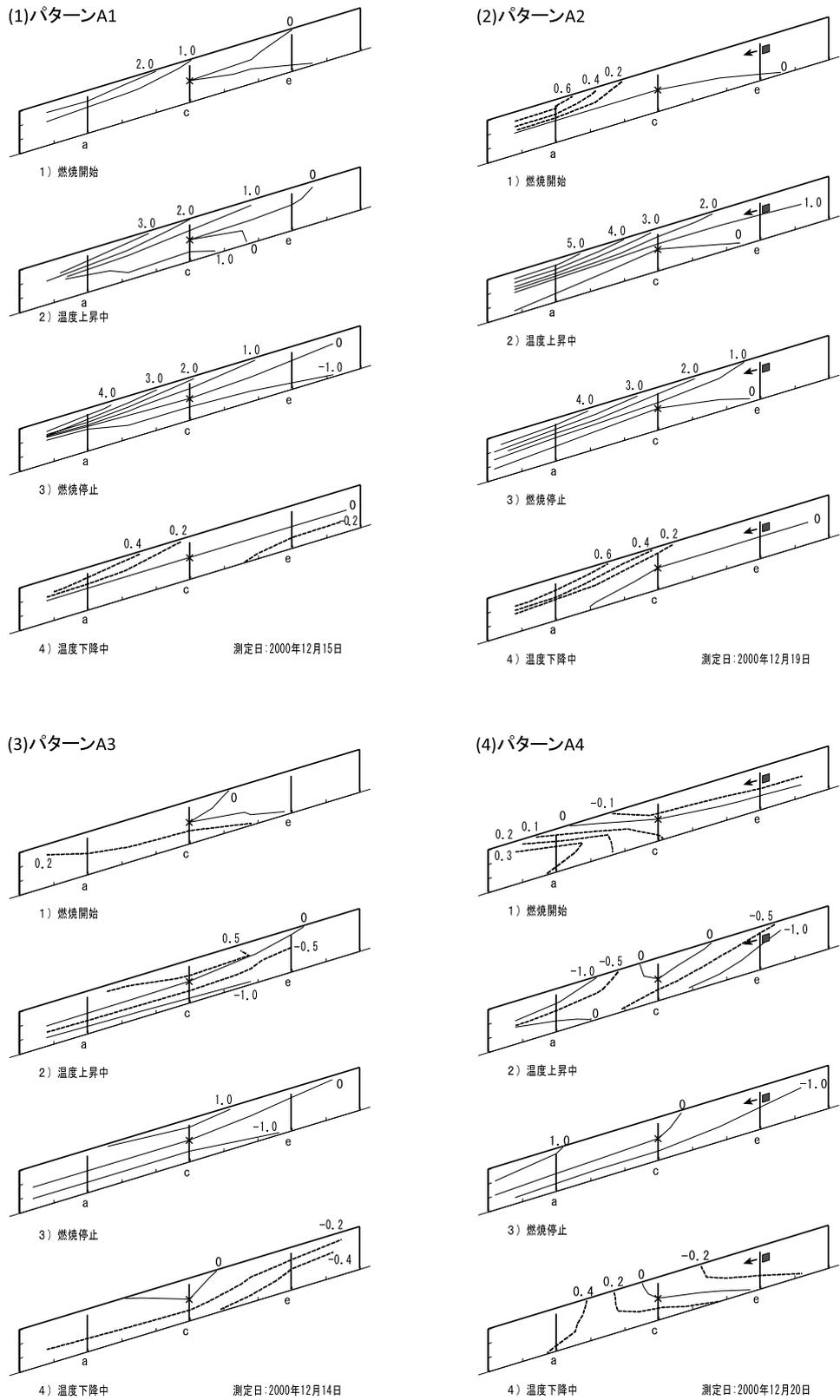
供試した開発ハウスAは、第26図に示したように傾斜方向に長く、斜面下方から上方へ向かって高くなる温度勾配が生じ易い形状⁹⁾であった。関ら⁷⁴⁾は傾斜方向に長いアーチ型傾斜ハウスにおいて、無



第30図 開発ハウスAにおける加温時の温度変化

測定位置は第26図を参照。

i) 燃焼開始, ii) 温度上昇中, iii) 燃焼停止, iv) 温度下降中。パターンA 1での測定例 (第27図を参照)。



第31図 温風ダクトと循環扇の有無が開発ハウスA内の温度分布に及ぼす影響

パターンA1：温風ダクトなし，循環扇なし，パターンA2：温風ダクトなし，循環扇あり，パターンA3：温風ダクトあり，循環扇なし，パターンA4：温風ダクトあり，循環扇あり。

図中の数字は測定位置cの地面から高さ1.5mの位置(×)との温度差を示す。測定位置は第26図を，温風ダクトの配置パターンは第27図を参照，■は循環扇を，←は循環扇による送風方向を示す。

加温で夜間に密閉された状態を対象とするモデルを作成し、温・湿度、風速をシミュレーションしている。その結果を第31図に対応させて傾斜方向の横断面での分布をみると、床面温度がピーク値を示した地点（測定位置d付近に相当）を境に、斜面下方では反時計回り、斜面上方では時計回りの大きな渦（対流）が生じていることになる。

しかし、本実験におけるパターンA1ではこの結果と異なり、斜面下方の妻面付近において床面から屋根面へ向かって（鉛直方向に）高くなる温度勾配が観測され、傾斜方向の横断面でみるとハウス全体に大きな時計回りの対流が生じていると推察された。この対流は、斜面下方に設置された暖房機の温度が周囲より高くなるために生じたと考えられた。また、対流により屋根面に沿って斜面下方から上方へ移動する空気が屋根面で冷やされるために斜面上方の温度がそれほど上昇しなかったものと推察された。横木⁸⁹⁾は、ハウスが外の冷風を受けると天井で冷却された空気が地面に向かって降下し温度分布が不均一になる、と述べている。本実験においても同様の現象により対流が生じているものと推察された。このため、ハウス内では斜面下方と比べて斜面上方では遅れて温度が上昇するものと考えられる。

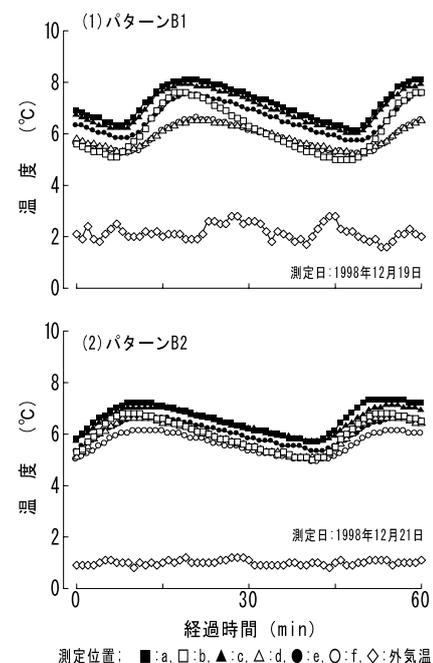
一方、温風ダクトを斜面上方まで延長したパターンA3では、パターンA1の温度分布と異なり、斜面下方における鉛直方向の温度勾配は発生しなかった。温風ダクトを使用しない場合、暖房機で発生させた暖気が斜面下方で鉛直方向（地面から屋根面方向）へ向かわず、温風ダクトによって適当に分配されたと考えられる。

パターンA1に循環扇を加えたパターンA2の温度分布はパターンA1とほぼ同様であったが、暖房機が燃焼運転中にはパターンA1と比べて循環扇より斜面下方でやや温度が高く、パターンA3に循環扇を加えたパターンA4では温度分布がパターンA3と比べて循環扇より斜面上方の温度が低い傾向が認められた。これらのことから、暖気が斜面上方へ向かって移動している状況で循環扇によって斜面下方へ送風すると、斜面上方へ移動する暖気が循環扇によって斜面下方へ向かって押し戻されるような気流の変化が生じ、循環扇より斜面上方における温度上昇を抑制する効果が得られると考えられた。平坦

地に立地するハウスで循環扇により温度分布の均一化を図る場合、ハウス上面から俯瞰して一定方向に渦を巻く対流が生じるように、隣り合う循環扇の気流方向が交互になるように配置するのが一般的である²⁾。これに対して、傾斜ハウスでは斜面上方へ向かう気流が卓越するため、平坦地のように送風方向が双方向になるように循環扇を配置すると温度分布の不均一化を助長すると考えられる。このため、本実験のように斜面下方へ向けて送風するように循環扇を配置することによって、平坦地ハウスにおける循環扇配置と同様の効果が得られると考えられた。

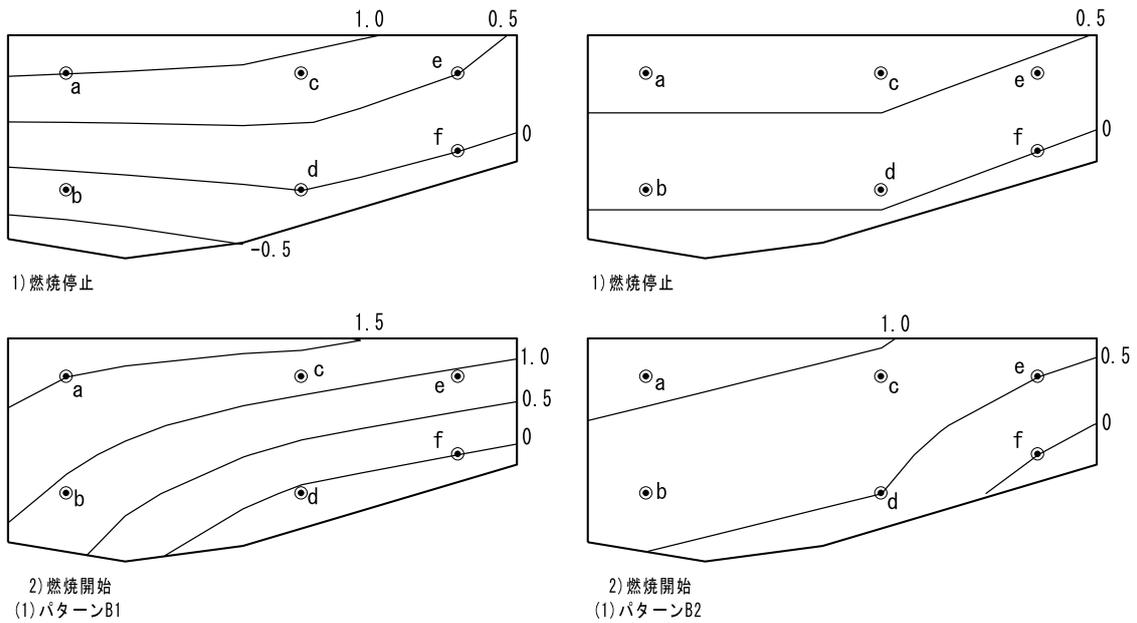
2) 温風ダクトの配置が等高線方向に長い建設足場 資材利用園芸ハウスの温度分布に及ぼす影響

開発ハウスBにおける温度変化を第32図に示す。パターンB1とB2ではともに斜面上方と比較して下方の温度が低い傾向が認められた。パターンB1において、頭上に配置した温風ダクトの吹き出し口付近（測定位置b）では、暖房機動作中は温度が上昇するものの、暖房機が停止すると急激に低下した。一方、変動幅はパターンB1とB2でそれぞれ2.6℃と1.9℃であり、パターンB2ではパターンB



第32図 開発ハウスBにおける温風ダクトの配置が温度変化に及ぼす影響

測定位置と温風ダクトの配置パターンは第29図を参照。



第33図 温風ダクトの配置が開発ハウスB内の温度分布に及ぼす影響

図中の数字は測定位置 f を基準とする温度差を示す。測定位置と温風ダクトの配置パターンは第29図を参照。

1 より変動幅が小さかった。このときの開発ハウス B 内の温度分布を第33図に示す。パターン B 1 では暖房機から離れるほど、また斜面下方ほど低かった。測定位置間の温度較差はパターン B 1 と B 2 でそれぞれ 1.8°C と 1.4°C であり、パターン B 2 の方が小さかった。

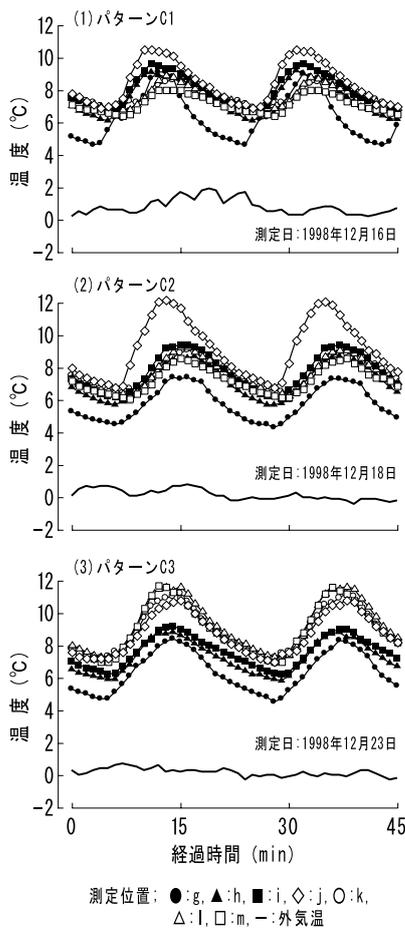
開発ハウス B は、傾斜方向に対して等高線方向に長い形状である。暖房機の設置位置は、圃場が狭く位置が限定される上、暖房機本体が作物の受光を妨げないように斜面の上方とした。パターン B 1 で加温したところ、暖房機から離れた斜面下方の部分が最も温度が低くなった。しかし、パターン B 2 のように、開発ハウス B の谷側の側面に沿って温風ダクトを配置することで温度分布のばらつきが改善された。

本研究で明らかにしたように、傾斜方向に長い建設足場資材利用園芸ハウスにおいても同様の温度勾配が観測されたが、等高線方向に長い場合においても同様に斜面下方ほど温度が低い温度分布であった。すなわち、最も温度が低くなる斜面下方付近の温度低下に留意して温風ダクトを配置する必要があると考えられた。

3) 温風ダクトの配置が傾斜段畑に設置した建設足場資材利用園芸ハウスの温度分布に及ぼす影響

開発ハウス C における温度変化を第34図に示す。パターン C 1 では下段ハウスの斜面下方で温度の変動幅が大きかったものの上段と下段ハウス間の温度較差は比較的小さく地点間の温度較差は 2.7°C であった。パターン C 2 では上段と下段ハウスの連結部分で温度の変動幅が 5.8°C と大きかったものの地点間の温度較差は 2.5°C であった。パターン C 3 では上段と下段ハウスのそれぞれにおけるハウス内の温度差が小さかったが、地点間の温度較差は 4.3°C と最も大きかった。

開発ハウス C における傾斜方向の温度分布を第35図に示す。開発ハウス C 内の温度は、どのパターンも下段ハウスの斜面最下方が最も低かった。パターン C 1 では斜面最下方を除けば下段ハウスより上段ハウスの方が低くなった。パターン C 2 では、パターン C 1 と同じような分布を示したが、斜面最下方の温度はパターン C 1 より $0.5\sim 1.4^{\circ}\text{C}$ 低く推移した。パターン C 3 では、分布が C 1 と C 2 と異なり、下段ハウスより上段ハウスの方が高かった。下段ハウスはパターン間の差は小さかったが、上段ハウスではパターン C 1, C 2 よりパターン C 3 が高かった。

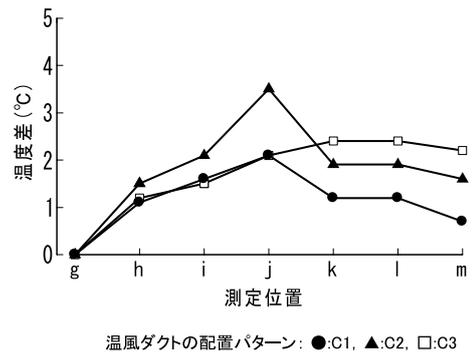


第34図 温風ダクトの配置が開発ハウスCの温度変化に及ぼす影響

測定位置と温風ダクトの配置パターンは第29図を参照。

開発ハウスCは、段差のある2区画の傾斜畑からなる傾斜段畑に設置されており、第IV章で述べたように、屋根面に設けた段差部分に中央換気窓を設置して換気を図る構造であり、高温期における夏秋栽培を行う上で十分な換気能力を有することが確認されている。一方、低温期において野菜・花き生産を行う上で、加温時においてハウス内の温度分布を均一化する温度制御技術が必要であり、傾斜畑に設置した建設足場資材利用園芸ハウスにおける加温時の温度分布特性についても確認しておく必要がある。

本実験において、パターンC3のように温風ダクトを上段ハウスへ配置すると上段ハウスの温度が高くなるため、上段ハウスへの温風ダクトの配置は不要であると考えられた。下段ハウスは等高線方向に長い形状であることから、等高線方向に長い建設足場資材利用園芸ハウスにおける上述の結果に準じて



第35図 温風ダクトの配置が開発ハウスC内の傾斜方向の温度分布に及ぼす影響

測定位置gを基準とした時の各測定位置との温度差。加温時の任意の2時間の平均値から算出。測定位置と温風ダクトの配置パターンは第29図を参照。

温風ダクトを設置して加温することにより、上段ハウスにおいても温度分布が均一になった。供試した上段ハウスと下段ハウスはそれぞれ大きさが違うものの、いずれも等高線方向に長い形状であり、下段ハウスでの温風ダクトの配置を前項に準じて行えば下段ハウスの温度分布も均一化されるとともに、連結部分を通して暖気がほぼ均一に移動することにより上段ハウスの温度分布も均一化されると考えられた。このように、暖房機を下段ハウスに設置した上で斜面下方の側窓に沿って温風ダクトを配置して加温することで下段ハウスと上段ハウスにおける温度分布の均一化が可能である。

4 結論

1. 傾斜方向に長い建設足場資材利用園芸ハウスにおいて、鉛直方向と傾斜方向の温度分布を解析することにより加温時の気流を推定した。温風ダクトを使用しない場合には斜面下方の暖房機付近から屋根面へ向かい、屋根面付近では斜面上方へ向かう対流が生じているが、温風ダクトを使用することによって気流を変化させることが可能であり、斜面下方の暖房機付近における鉛直方向の温度勾配が解消されるなど、加温時における温度制御が可能であると考えられた。
2. 傾斜方向に長い建設足場資材利用園芸ハウスにおいて、暖気が斜面下方から上方へ移動している条件で循環扇を設置して斜面上方から下方へ向かって送風することにより、斜面上方へ向か

う暖気の上昇を妨げる効果があることから、循環扇の設置位置より斜面上方の温度上昇を抑制することが可能である。

3. 等高線方向に長い建設足場資材利用園芸ハウスの加温時における温度分布は、傾斜方向に長い建設足場資材利用園芸ハウスと同様に斜面上方より斜面下方の温度が低く、斜面下方の側面付近の温度が最も低くなることから、斜面下方の側面沿いに温風ダクトを設置して暖気を配風することで温度分布をほぼ均一にできることを明らかにした。
4. 隣接する2区画の段差のある傾斜畑からなる傾斜段畑を一体化するように設置した建設足場資材利用園芸ハウスにおいて温風ダクトの配置を検討した。傾斜段畑の上段と下段におけるそれぞれのハウス形状は、いずれも等高線方向に長い形状であり、斜面下方の側面沿いに温風ダクトを設置して下段ハウス内の温度を均一化すれば、上段ハウス内の温度もほぼ均一にできることを示した。

VI 建設足場資材利用園芸ハウスの導入による傾斜畑における新たな野菜・花き生産システムの構築

1 はじめに

前章までに、開発した建設足場資材利用園芸ハウスが中山間地域の傾斜畑において優れた換気能力を有し、高温期における野菜・花き生産において利用されている簡易雨よけ施設に替わる施設として適用できること、さらに低温期において加温する場合には温風ダクトと循環扇を適切に配置することによって建設足場資材利用園芸ハウスの温度制御が可能なことなどを明らかにした。

簡易雨よけ施設から建設足場資材利用園芸ハウスへ転換されると、施設の周年利用が可能になることから、生産者にとっては経営の選択肢が広がることなどのメリットが期待できる。

本章では、建設足場資材利用園芸ハウスにおける新たな生産システムの構築を目的に、生産者圃場に設置した建設足場資材利用園芸ハウスを用いて、新規作物の導入による作付体系を構築するとともに、

トマトの夏秋栽培を中核とする生産者をモデルとしてその導入効果を検討した。さらに、建設足場資材利用園芸ハウスを導入した新たな野菜・花き生産システムの中山間地域における普及可能性について考察した。

2 実験方法

1) 建設足場資材利用園芸ハウスの導入にともなう新たな作付体系による導入効果の解析

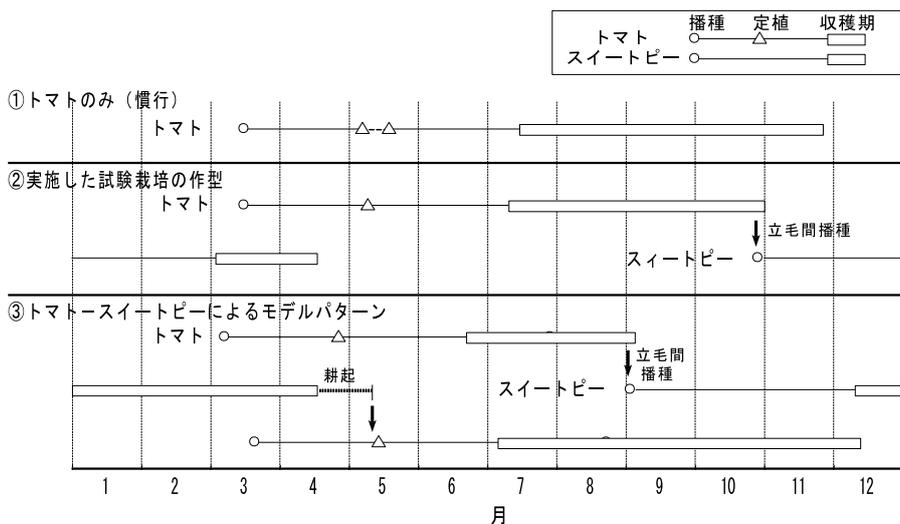
(1) 栽培概要

高知県土佐町の傾斜畑でトマトの夏秋栽培を行う生産者圃場において、傾斜畑に設置した簡易雨よけ施設、アーチ型傾斜ハウスおよび建設足場資材利用園芸ハウスを用いて実験を行った。簡易雨よけ施設とアーチ型傾斜ハウスでは1997年5月9日、建設足場資材利用園芸ハウスでは1999年5月8日に畦幅140cm、株間30cm（2条振り分け、2,381株・m⁻²）でそれぞれ定植し、生産者の慣行法により栽培したトマトを対象に収量と生育を調査した。試験地における作付体系を第36図に示す。

建設足場資材利用園芸ハウスにおいて、トマトの後作としてスイートピーの導入を検討した。4週間種子冷蔵したスイートピーを1999年10月30日に、トマト栽培中の株元に播種した。スイートピーは、畦幅140cm、株間13cmで2条植え（約11,000株・m⁻²）、側枝1本仕立てとした。なお、トマトは10月30日に収穫を終了し、スイートピーが出芽するまでに株元から切除し地上部を片付けた。スイートピーの収量は、生産者が市場へ出荷した箱数（100本・箱⁻¹）を出荷伝票から算出した。

(2) 新たな作付体系による導入効果の検討

スイートピーの導入効果を検討するために、作型のモデルパターンを設定して販売額を試算した。市場へのお荷価格として、データが公表されている東京都中央卸売市場における2009～2011年の平均単価を用い、トマトとスイートピーでそれぞれ348円・kg⁻¹と30円・本⁻¹とした。生産規模を30aとし、そのうち8aにスイートピーを導入したと仮定した。出荷量は、生産者の出荷調査と試験実績からトマトとスイートピーでそれぞれ全収量の60%と40%、また、それぞれ全収量の20%と40%を産直



第36図 試験地における慣行のトマト夏秋栽培とスイートピーを新規導入した場合の作付体系の比較

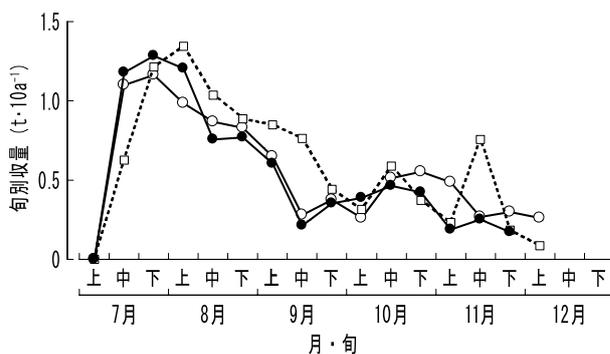
市で直売したと仮定した。直売価格はそれぞれ500円・kg⁻¹（トマト1個200gを100円）と20円・本⁻¹（スイートピー5本1束で100円）とした。なお、それぞれの品目で全収量の20%はロスとした。試算したパターンは第36図に示すように、①トマトのみ（慣行）、②トマトの後作にスイートピーを導入（実施した実験に準じたパターン）および③トマトの収穫を早めに完了し後作に導入したスイートピーを年内に収穫を始めるモデルパターン、の3通りとした。③のモデルパターンは、トマト収穫を8月下旬に完了し、8月中～下旬にトマト株元にスイートピーを立毛間播種し、12月上旬から収穫を開始すると仮定した。

3 結果と考察

1) 建設足場資材利用園芸ハウスの導入による新たな作付体系の構築

(1) トマトの夏秋栽培における建設足場資材利用園芸ハウスの適用性

簡易雨よけ施設、アーチ型傾斜ハウスおよび建設足場資材利用園芸ハウスにおける夏秋トマトの旬別収量を第37図に示す。傾斜ハウスの導入により、簡易雨よけ施設と比較して収穫期間が2週間程度延長された。収量は、簡易雨よけ施設、アーチ型傾斜ハウスおよび建設足場資材利用園芸ハウスで、それぞれ8.2、8.9および9.7 t・10 a⁻¹、株あたり収量は



●:簡易雨よけ施設, ○:アーチ型傾斜ハウス, □:建設足場資材利用園芸ハウス

第37図 簡易雨よけ施設、アーチ型傾斜ハウスおよび建設足場資材利用園芸ハウスにおける夏秋トマトの旬別収量の推移

簡易雨よけ施設とアーチ型傾斜ハウスは1997年、建設足場資材利用園芸ハウスは1999年における結果である。

それぞれ3.46、3.73および4.07 kg・株⁻¹であった。建設足場資材利用園芸ハウスでは、8～9月の収量が多い傾向が認められた。第IV章で示したように、日中の内外温度差は建設足場資材利用園芸ハウスが最も小さく、建設足場資材利用園芸ハウスは高温期の栽培にも十分に対応できることが示された。また、換気時において建設足場資材利用園芸ハウス内では0.1～0.6 m・s⁻¹の風速が観測されていたことから、植物体近傍の二酸化炭素濃度の低下防止など植物体の周辺環境改善に寄与している^{4, 27, 90)}と考えられ、トマトの生育、収量向上にも貢献した可能性がある。

その結果、実証試験の対象とした生産者圃場では、従来使用していた簡易雨よけ施設は、自家施工により建設足場資材利用園芸ハウスへと順次更新され、現在ではすべての簡易雨よけ施設が建設足場資材利用園芸ハウスへ転換された（第38図）。さらに、新たに遊休地を開墾して建設足場資材利用園芸ハウスを新設するなど、トマトの夏秋栽培の主要施設となっている。また、開発した建設足場資材利用園芸ハウスは換気能力に優れた施設であることから他の中山間地域の傾斜畑においても導入が進められている^{20, 21, 51, 60, 69}。さらに、傾斜畑のみならず中山間地域の平坦な圃場においても適用されている⁵²。

（2）後作としてスイートピーを導入した新たな作付体系による導入効果

建設足場資材利用園芸ハウスにおいて、トマトの後作としてスイートピーの導入を検討した。トマトの栽培を9月末で打ち切ったため、栽培期間中のトマトの収量は $7.2 \text{ t} \cdot 10 \text{ a}^{-1}$ であり慣行の作型より収量が少なかった。スイートピーは、収穫開始が遅く、またトマト作付けへの影響を考慮して栽培を打ち切ったことから、収穫期間は3月下旬から4月上旬と短くなった（第39図）。なお、株あたりの採花本数は約8本、栽培終了時における着花段数は約17段であった。既存産地の春咲き系品種の作型は、8月下旬に播種し11月上旬ごろから収穫となる促成栽培である⁵¹が、実験ではこれと比べて約3ヶ月短かった。杉田ら⁸²は、作業の簡略化のためスイートピーの不作畦栽培を検討し、生育、収量に影響は

なかったと報告している。このため、減収要因としては、作型の影響が大きいと考えられた。なお、翌年のトマト栽培への影響は認められなかった。

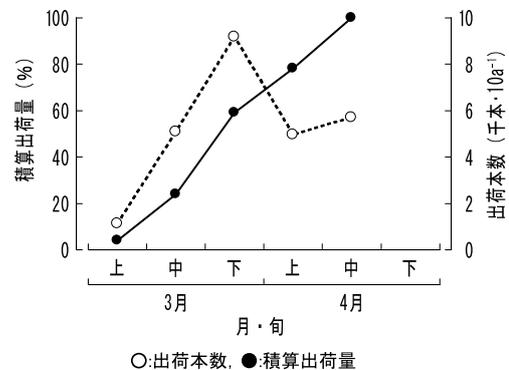
対象とした生産者のトマト栽培は、慣行では3月中旬にトマトを播種、5月上～中旬に定植し、7月中旬から収穫が始まる夏秋栽培である。スイートピーを本格的に導入する場合には、新規作型を合わせて導入する必要があると考えられる。すなわち、スイートピーを栽培予定のハウスでは、3月上旬にトマトを播種、4月下旬までに定植し、9月上旬までに6段程度の果房を収穫する比較的短期間の栽培とし、トマトの収穫終了間際の8月中～下旬にトマトの株元にスイートピーを立毛間播種する（第36図）。この方法により、12月上旬から慣行の促成栽培に近い作型でスイートピーの収穫を開始できると考えられる。前作でスイートピーを栽培した圃場では、スイートピー収穫終了後に圃場の準備をし、トマトの定植は5月中旬、収穫開始が7月上旬からとなる慣行の作型となるため、翌年は別の傾斜ハウスを利用する必要があるため圃場をローテーションすることになる。

トマトとスイートピーの作型の組み合わせによる販売額の違いを第40図に示す。スイートピーの導入により販売額は約30%増加すると予想された。作業者が夫婦2人とすると、スイートピーの栽培規模は10 aまでが限度とされている。今回の試験では、約8 aのハウスで試験栽培し、スイートピーの栽植密度は慣行の栽培の約2/3であり作業的には



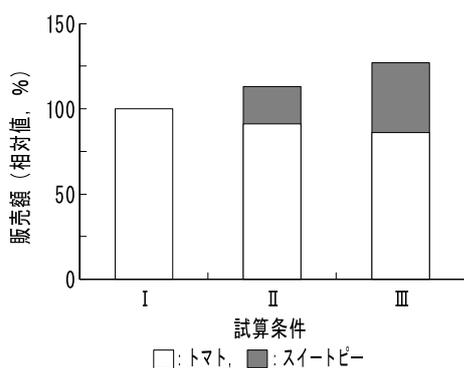
第38図 建設足場資材利用園芸ハウスを導入して整備された生産者圃場の現状

—で囲んだ部分は簡易雨よけ施設から建設足場資材利用園芸ハウスへ更新または新設された区画であることを示す。



第39図 建設足場資材利用園芸ハウスにおけるスイートピーの出荷量

出荷本数は、市場出荷用に箱詰めされた箱数（1箱あたり100本入り）から換算した。



第40図 スイートピー栽培の導入が販売額に及ぼす影響

I：トマトのみ（慣行，夏秋栽培）

II：スイートピー導入（試験実績の収量から試算）

III：スイートピー導入（モデルパターン）

販売額はIの場合を100として計算。

本業であるトマト栽培への影響もなかった。本研究では経営分析が十分ではないものの、スイートピー導入のメリットはあると考えられた。スイートピーは低温での管理が可能であるものの⁵⁾、4～6℃程度で加温しながら栽培していることから燃料費の変動の影響も受ける。このため、導入にあたってはより詳細な経営分析が必要である。新規に導入する作物の選択においては、作業量、収益性や経営状態などのほかに、対象作物や栽培技術に対する生産者の嗜好性も関係する。こうした要因もあり、実証試験地においてスイートピーを本格的に導入するには至らなかったものの、その後も生産者において検討が重ねられた結果、スイートピーと同様にマメ科で低温性の作物であるスナップエンドウがトマトの後作に導入され、スイートピーの場合と同じ作付体系で生産が行われている。また、当該地域ではトマトの後作としてスナップエンドウの導入が始まったことから、スナップエンドウを選択することで組織的な販売が可能になるなどのメリットが得られる。

2) 建設足場資材利用園芸ハウスを導入した新たな野菜・花き生産システムの普及可能性

建設足場資材利用園芸ハウスを導入して行ったトマトの夏秋栽培による実験において、同ハウスが高温期における換気能力に優れることにより従来の栽培と比較して増収することを本項の1)で示した。さらに、建設足場資材利用園芸ハウスの導入により高温期に加えて保温ないしは加温によって作期延長

が図られ、増収に寄与することも可能である。また、建設足場資材利用園芸ハウスの導入によって、これまで栽培を行っていなかった低温期において新たな作物の導入が可能になる。本研究では、低温で管理できる作物であるスイートピーを選定し、トマトの後作として導入する実証試験を実施した結果、トマトとスイートピーの組み合わせによって、年間の販売額が約30%増加すると試算され経営的メリットが認められた。一方、スイートピーと同様の管理ができるマメ科の作物にスナップエンドウがある。スナップエンドウは、保温可能な施設におけるトマトなどの夏秋栽培の後作として当該地域において導入が進められている。地域的な取り組みが始まると共販ができるなどのメリットがあることなどを考慮して、実証試験で対象とした生産者は、現在、トマト・スナップエンドウによる作付体系を選択して生産を行っている。さらに、この生産者圃場では、従来使用していた簡易雨よけ施設から建設足場資材利用園芸ハウスへと自家施工によって順次更新し、現在ではすべての簡易雨よけ施設が建設足場資材利用園芸ハウスへ転換された上、新たに遊休地を開墾して建設足場資材利用園芸ハウスを新設して生産が行われている（第38図）。

また、建設足場資材利用園芸ハウスは、換気能力に優れた施設であることから他の中山間地域の傾斜畑においても導入が進められている^{20, 21, 51, 60, 69)}。さらに、傾斜畑のみならず中山間地域の平坦な圃場においても適用が進められている^{20, 52)}。第41図に示すように、2013年現在、西日本の中山間地域を中心に建設足場資材利用園芸ハウスの導入が進んでおり、トマトのほか、ナス、イチゴ、花き類などが生産されている事例がある。このうち、設置面積の約4割が従来の簡易雨よけ施設から建設足場資材利用園芸ハウスへ転換した事例であり、残りは建設足場資材利用園芸ハウスを新設して野菜・花き生産を開始した事例である。新たに開発した建設足場資材利用園芸ハウスは、施設化が困難であった傾斜畑において施設園芸を行うための重要なツールとなる。第41図に示すように、同ハウスの導入により、従来にない新たな作型や作付体系を構築することが可能になり、生産者にとっても収益性の向上とともに地域の活性化にも貢献するものと期待される。



第41図 建設足場資材利用園芸ハウスの都道府県別設置面積と分布

近畿中国四国農業研究センターが施工または技術指導または設計などで直接かかわった物件に限る。

徳島県において導入された事例では、簡易雨よけ施設から建設足場資材利用園芸ハウスへ転換した事例に関する調査結果が報告されている。生産者に対して行われた簡易雨よけ施設によるトマトの夏秋栽培が行われている現状の課題と建設足場資材利用園芸ハウスの導入で期待できる効果に関する聞き取り調査の結果によると⁶⁷⁾、簡易雨よけ施設によるトマト栽培における課題として、障害果の発生、病害虫の被害、出荷期間の制限、台風の強風による壊滅的な被害などが挙げられる一方、建設足場資材利用園芸ハウスの導入に期待する効果として、品質の向上、病虫害の軽減に伴う減農薬栽培の実施、収穫期間の延長、台風被害の軽減などがあげられている。東出ら¹⁴⁾は、建設足場資材利用園芸ハウスを核とした技術導入によるこれらの効果を検証し、収穫期間の延長や台風などによる壊滅的な被害を回避できたことなどにより収量が現状の10 aあたり8 tから14 tに増加し農家収入は180万円増加すると試算されること、従来の簡易雨よけ施設では設置が困難であった防虫ネットを設置できることにより虫害を抑制するとともに減農薬栽培に取り組めることなどの効果を報告している。

本研究で開発した建設足場資材利用園芸ハウスは、中山間地域において取り組まれている野菜・花き生産において、これまで不可能であった新たな生産システムの構築にも寄与している(第42図)。例えば、実証試験を実施した高知県土佐町では、建設足場資材利用園芸ハウス内に地域資源である豊富な湧水を引き込み山野草や花き類の共同生産用施設としての利用^{45, 66)}、遊休棚田を利用してレタスを栽培することで、収益の確保と遊休地管理を両立させる技術³⁰⁾での育苗用ハウスなどに活用されている。このうち、共同育苗施設については、狭小で日陰であることなどにより放棄された水田に建設足場用汎用パイプで共同の冷房育苗施設を設置し、これまで出荷できなかった11月にトルコギキョウを出荷できるようになり有利販売が可能になっている^{45, 54, 66)}。また、レタスについてはトマトの夏秋栽培の後作として地域において取り組まれ、遊休棚田において夏から秋に定植する作型と合わせて、地域としてみればほぼ周年出荷が可能となるなど³¹⁾、新たな生産システムが構築されるに至っており、地域において取り組まれている野菜・花きの生産振興に寄与している。

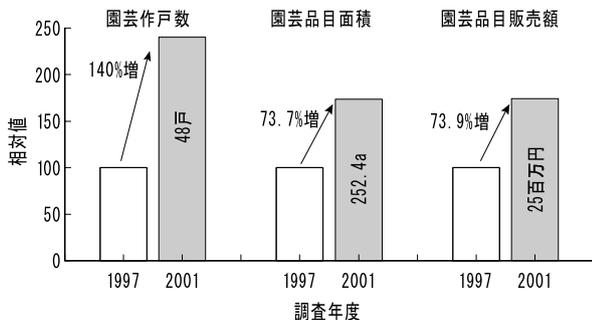
さらに、当該地域で積極的に行われている野菜・花き生産の振興は、生産者における農業収入を底上げする有効な手段であり⁶⁶⁾、建設足場資材利用園芸ハウスの導入は地域におけるこうした取り組みに貢献するものと考えられる。迫田ら⁶⁶⁾は、本研究を実施した対象地域において、研究を開始した1997年と開発技術の導入後(2001年)における地域の変化を解析し、対象地域では、建設足場資材利用園芸ハウスが開発されたことにより、上述のような花きの共同育苗や新たな園芸品目の共同生産組織(山野草研究会)が活動を始めるなどの波及効果を確認している。その概要を第43図に示す。迫田ら⁶⁶⁾の解析では、新たに園芸作物を取り入れた農家数、園芸生産面積および販売額は、それぞれ28戸(140%増)、107 a(73.7%増)および10,905千円(73.9%増)、販売額については1戸あたり530千円の増加であり、対象地域のある町域平均農業所得561千円(2000年)からみても軽視できない効果があったと指摘している。このように、開発した技術は対象地域において面的に広がり、都市のアンテナショップ

場所	品目(作型・体系)	月												備考
		3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	
高知県 土佐町	トマト(慣行)	○-----△-----												簡易雨よけ施設での夏秋栽培
	トマト	○-----△-----												基幹品目
	→ スweetピー トマト	○-----△-----												圃場をローテーションする
		○-----△-----												
	→ スナップ エンドウ トマト	○-----△-----												圃場をローテーションする
		○-----△-----												
→ トマト(慣行・ハウス)	○-----△-----												保温できるハウスでの慣行のトマトと冬・春どりレタスの組み合わせ	
レタス	-----○-----△-----													
徳島県 A町	トマト(慣行)	○-----△-----												簡易雨よけ施設での夏秋栽培
	トマト	○-----△-----												基幹品目
	→ チコリー	○-----△-----												チコリー(コンテナ・伏せ込み)との組み合わせ
	→ セルリー	○-----△-----												セルリーとの組み合わせ
	→ ブルーベリー	○-----△-----												ブルーベリー(促成)との組み合わせ
広島県 B町	トマト(慣行)	○-----△-----												簡易雨よけ施設での夏秋栽培
	→ トマト (1作目) (2作目) (3作目)	○-----△-----												インタークロッピング(株間定植)による3作連続4段密植栽培
		○-----△-----												
○-----△-----														
高知県 土佐町	トルコギキョウ 慣行	○-----△-----												普通(無加温)冬出し
	11月出し	○-----△-----												湧水利用冷房育苗による端境期の生産

第42図 建設足場資材利用園芸ハウスの導入による新たな作付体系の例

○：播種，△：定植，□：収穫，◇：その他管理。

高知県土佐町における事例は野中ら^{54, 55)}，川嶋ら³¹⁾，迫田ら⁶⁶⁾，徳島県A町における事例は東出ら^{19, 20)}，藤野ら⁶⁾，広島県B町における事例は岡田ら⁶⁰⁾をもとに作成。



第43図 対象地域に対する本研究の波及効果

対象地域における園芸作戸数，園芸品目面積および園芸品目販売額を，研究を開始した1997年を100として，2001年における増加率を示す。迫田ら⁶⁶⁾をもとに作成。

や道の駅での販売を通じて人との交流が図られるなど地域の活性化にも貢献した^{21, 66)}と評価されていることなどから，新たに開発した建設足場資材利用園芸ハウスを核とする生産システムは，中山間地域において普及性が高い技術であると考えられた。

4 結論

1. 開発した建設足場資材利用園芸ハウスをトマトの夏秋栽培に適用したところ，高温期における換気能力に優れること，収穫期間が延長されたことなどの効果により，従来の簡易雨よけ施設における収量(8.2 t・10 a⁻¹)と比較して9.7 t・10 a⁻¹であり約20%増収することを明らかにした。
2. 開発した建設足場資材利用園芸ハウスの周年利用を図るため，一例としてトマトの後作にスイートピーの導入を試みた。スイートピーを導入してトマトの夏秋栽培と組み合わせた新たな作付体系によって，販売額は約30%増加すると試算され，導入メリットが認められた。
3. 中山間地域の野菜・花き生産における建設足場資材利用園芸ハウスの普及可能性を検討した。建設足場資材利用園芸ハウスの導入によって新たに園芸作物を取り入れた農家数，園芸生産面積および販売額は，それぞれ140%，73.7%お

よび73.9%増加し、販売額については1戸あたり530千円の増加であった。中山間地域において建設足場資材利用園芸ハウスの利用が広がっていることから、普及性が高いものと考えられた。

Ⅶ 総合考察

中山間地域では、生産力の低下が進む一方で農業を軸とした地域の活性化が図られようとしており、野菜・花きによる集約的施設園芸が地域の活性化と持続的発展の要となっている^{42, 83)}。このため、簡易な雨よけ施設による生産が行われるようになり普及してきた^{16, 59, 93)}。しかし、さらなる増収や品質向上あるいは病虫害対策を目的に、中山間地域においても基盤整備が行われたような条件の良い圃場では、補助事業による大型パイプハウスの導入が進められている^{43, 83)}。これに対して、中山間地域の多くを占める傾斜畑では基盤整備が進まず^{43, 53)}、施設化も進んでいないのが現状である。

一方、平坦地における施設園芸は、大規模化が進みつつあり、環境制御の高度化が進みオランダ式の施設園芸を指向した研究開発が進められている^{86, 92)}。これに対して、中山間地域の傾斜地では平坦地を補完する役割が期待されている⁶⁶⁾にもかかわらず、傾斜地における野菜・花き生産に対応した施設園芸研究はほとんどなされていなかった。傾斜畑で栽培される場合が多い果樹では、傾斜面の地形をそのまま利用した大型傾斜ハウスもあり、その温度分布を測定した例⁹⁾がある。しかし、果樹の場合、高温期には被覆資材をはずして露地状態にするといった程度であり^{10, 28)}、野菜・花き生産と比べてそれほど精密な温度制御を必要とせず、環境制御の手法も野菜・花き生産とは異なる。このため、傾斜畑における野菜・花き生産に対応した施設の開発とともに、温度制御に関する技術開発も必要となっていた。しかし、傾斜ハウスにおける温度分布特性に関する研究は、無植栽で無制御状態での研究例^{74, 80, 81)}はあるものの、植栽状態での温度制御を前提とする研究はほとんど行われていなかった。

本研究において、第Ⅰ章ではこうしたわが国における傾斜地農業と傾斜地施設園芸ならびに傾斜地に

おける施設園芸研究の現状と課題を概説した。その上で、以下に掲げた課題、すなわち、①傾斜ハウスにおける温度分布特性とその利用可能性、②傾斜畑における野菜・花き生産に対応した新たな傾斜ハウスすなわち建設足場資材利用園芸ハウスの開発、③開発した同ハウスの高温期における換気にともなう温度分布特性、④開発した同ハウスの低温期におけるの加温・送風にともなう温度分布特性および⑤建設足場資材利用園芸ハウスの導入による新たな野菜・花き生産システム構築の可能性について、それぞれ第Ⅱ章、第Ⅲ章、第Ⅳ章、第Ⅴ章および第Ⅵ章で検討した。

第Ⅱ章では、平坦地における一般的な園芸施設であるアーチ型パイプハウスを傾斜畑へ試験導入し、平坦地に設置した同型ハウスとの比較により傾斜ハウスの温度分布特性を解析し、傾斜ハウスは、地形の傾斜にともない換気のための開口部の高低差が大きいことから平坦地ハウスより換気能力に優れること、換気を行う場合には側窓を巻き上げるなど換気のための開口面積を大きくすることで傾斜ハウス内の温度分布が均一化されるなどの環境特性を明らかにした。すなわち、高温期における傾斜ハウスによる野菜・花き生産が可能なることから、従来から利用されていた簡易雨よけ施設から傾斜ハウスへの転換が可能なることを明らかにした。一方、低温期において傾斜ハウス内を加温する場合にはハウスが密閉されるため、ハウス内は斜面下方ほど温度が低い温度勾配が生じるが^{9, 32, 33, 80)}、温風ダクトを斜面下方の妻面に配置することで温度分布を均一化できることなどを示し、傾斜ハウスの周年利用が可能であることを明らかにした。

第Ⅲ章では、簡易雨よけ施設に替わる野菜・花き生産用傾斜ハウスに必要な構造などの要件を抽出するとともに、同要件に基づいて新たに開発した建設足場資材利用園芸ハウスの構造的特徴などを述べた。開発した建設足場資材利用園芸ハウスは、平坦地で一般的に利用されているアーチ型パイプハウスを流用したアーチ型傾斜ハウスと比較して低コストであるとともに耐風速 $40\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 以上の強度を有する構造であること、小区画で不定形な傾斜畑に対応できることなど、野菜・花き生産用傾斜ハウスに必要な要件を満たすことを明らかにした。コストについ

ては2000年当時の数値であるが、その相対的優位性は現在も保たれている⁵²⁾。さらに、開発した建設足場資材利用園芸ハウスは、軒高が約3 mと高く、その四方には2段の巻き上げ換気窓を設置することによってアーチ型傾斜ハウスより開口面積を大きくできることなどの特徴を述べるとともにその仕様にしたい生産者が自家施工できることを示した。

第IV章では、開発した建設足場資材利用園芸ハウスについて、高温期における換気にもなう温度分布特性を解析した。新たに開発した建設足場資材利用園芸ハウスは高軒高であり換気のための開口面積が大きく、アーチ型傾斜ハウスと比較して換気が良好であること、高温期の夏秋栽培において簡易雨よけ施設に替わる傾斜ハウスとして適していることなどを明らかにした。また、中山間地域では、さまざまな形状の傾斜畑において野菜・花きの生産が行われているが⁵⁴⁾、傾斜方向に長い形状の建設足場資材利用園芸ハウスに加え、段差のある2区画の傾斜畑からなる傾斜段畑に設置した建設足場資材利用園芸ハウスにおいても十分な換気能力を付与できること等を明らかにした。

さらに第V章では、開発した建設足場資材利用園芸ハウスの低温期における利用の可能性を検討した。従来の簡易雨よけ施設から建設足場資材利用園芸ハウスへの転換が図られると、高温期のみならず低温期における生産も可能になると期待され、生産者にとっては収益性の向上や経営の選択肢が広がること等のメリットが期待される。傾斜畑に設置される傾斜ハウスは、密閉されると斜面下方から上方へ向かって温度が高くなる温度勾配が生じるが^{9, 32, 33, 80)}、この特性は足場資材利用園芸ハウスにおいても同じであった。野菜・花き生産ではハウス内の温度分布をできるだけ均一に管理することが必要であるが、傾斜畑の形状はさまざまであり、加温時の温度分布についてもその形状によって異なることが考えられる。そこで、傾斜方向または等高線方向に長い傾斜畑および傾斜段畑に設置した3つの建設足場資材利用園芸ハウスを用いて実証的研究を行い、温風ダクトと循環扇の有無や温風ダクトの配置が加温時の温度分布に及ぼす影響を解析した結果、温風ダクトや循環扇を適切に配置することにより加温時の温度制御が可能であることなどを示した。

このように、開発した建設足場資材利用園芸ハウスは、加温時の温度制御が可能であり、低温期における野菜・花き生産に対応できることを明らかにした。しかし、生産者の圃場において実施した実験であり、生産物への影響が懸念されるような実験は難しく、生産者の意向を踏まえた限られたパターンでしか実験できていない。近年、ハウス内の温度環境を再現する手法として数値流体力学(CFD, Computational Fluid Dynamics)シミュレーションの開発が進められ、傾斜ハウスの自然換気設計への応用例³⁹⁾も報告されている。CFDシミュレーションは発展途上であるものの、施設園芸における利用が期待されている。こうしたシミュレーションによってあらかじめ温風ダクトや循環扇の配置による温度環境を予測し提示できれば、生産者が納得して利用できる技術になり得る。本研究は事例的な測定結果を解析したに過ぎず、多様な条件に対応する加温技術として一般化するには至っていない。しかし、本研究は傾斜ハウスにおける換気または加温時における温度分布特性の基礎的知見を提供するものであり、シミュレーションの構築など今後の傾斜ハウスにおける温度制御技術の開発に寄与すると考えられる。

第VI章では、新たに開発した建設足場資材利用園芸ハウスの導入による新たな作付体系とその導入効果を検討した。建設足場資材利用園芸ハウスをトマト生産者圃場に導入して行った実証試験の結果、トマトの収量は簡易雨よけ施設(8.2 t・10 a⁻¹)と比べて建設足場資材利用園芸ハウス(9.7 t・10 a⁻¹)の方が多く、開発した建設足場資材利用園芸ハウスは、高温期の生産となる夏秋栽培において適用できると判断された。さらに、従来の夏秋トマト栽培に加えて低温期における新規作物としてスイートピーを導入した新たな作付体系で生産を行うことを想定し、実証試験の結果をもとに販売額を試算したところ、販売額が約30%増加する結果となった。本研究では経営分析が不十分ではあるものの、トマトの後作としてスイートピーを導入するメリットがあることを示した。

本研究では、新規導入作物としてスイートピーを選択したが、比較的低温性の作物であればトマトの後作として導入可能と考えられる。例えば、スイー

トピーと同様にマメ科で低温性作物であるスナップエンドウなども候補である。実証試験の対象とした生産者では、スイートピーの導入を一気に進めることはできず試験導入に終わった。しかし、実証試験の後、生産者においてさらに検討が重ねられ、現在はトマト・スナップエンドウの作付体系で生産が行われている。当該地域においては、トマトの後作としてスナップエンドウの導入が勧められ地域的な取り組みが始まっており、共販ができるなどのメリットがあることも導入作物を選定する場合には考慮する必要がある。

中山間地域では、斜面の方位により日照時間などの日射条件や温度条件など気象環境はさまざまである^{22, 36, 38)}ことから、適品目の選定も重要である。本研究では適品目の検討は十分ではなかったが、建設足場資材利用園芸ハウスが導入された徳島県の中山間地域における事例では、トマトの夏秋栽培の後作としてセロリー、チコリーおよびロメインレタスなどの低温性野菜⁶⁾、クサソテツ、タラノメおよび山ふきのふかし栽培⁸⁴⁾、ブルーベリー栽培¹³⁾の導入が検討された。対象とする地域、圃場の気象条件を把握し適品目をスクリーニングするシステム^{7, 70)}も検討されており実用化が待たれる。

本研究は、中山間地域における集約的施設園芸技術開発の一端を述べたにすぎない。しかし、建設足場資材利用園芸ハウスを核として開発した本研究の成果を含む技術は、本研究において実証試験を実施したトマト生産者ととどまらず、同周辺地域においても新たな農業生産技術として活用されるに至った。例えば、建設足場資材利用園芸ハウス内に地域資源である豊富な湧水を引き込み山野草の共同生産用施設としての利用⁶⁶⁾、同様の仕組みで夏期高温期にトルコギキョウを共同で湧水を利用した冷房育苗技術による端境期出荷^{45, 54, 66)}などに活用された。遊休棚田を利用してレタスを栽培することで収益の確保と遊休地管理を両立させる技術では育苗用ハウスに活用され、地域としてみればほぼ周年出荷が可能となった^{30, 31)}。さらに、傾斜畑においても均一な灌水・施肥が可能な養液土耕システム³⁴⁾や養液栽培システム¹⁴⁾が開発されるなど、中山間地域における施設園芸の生産力向上に向けた技術開発が進められている。このように、建設足場資材利用園芸

ハウスはさまざまな野菜・花き生産に対応してさまざまな応用が図られていることから、普及性の高い技術であると考えられる。

本研究を実施した対象地域において、研究を開始した1997年と開発技術の導入後(2001年)における地域の変化が迫田ら⁶⁶⁾により示されている。対象地域では、新たに野菜・花きを取り入れた農家数、生産面積および販売額は、それぞれ28戸(140%増)、107 a(73.7%増)および10,905千円(73.9%増)、販売額については1戸あたり530千円増加した。迫田ら⁶⁶⁾は、対象地域のある町域平均農業所得561千円(2000年)からみても軽視できない効果があったと指摘している。さらに、開発した技術は対象地域において面的に広がり、都市のアンテナショップや道の駅での販売を通じて人との交流が図られるなど、地域の活性化にも貢献した^{21, 66)}と評価されている。また、開発した建設足場資材利用園芸ハウスは、当該研究で対象とした地域のみならず他の中山間地域においても導入が進んだ^{20, 21, 51, 60, 69)}。このように、建設足場資材利用園芸ハウスを核として進めた本研究は、中山間地域における農家所得の向上とそれにとまなう地域の活性化ならびに維持・発展を支える技術として意義があるものと考えられた。

謝 辞

本論文は、筑波大学学位審査論文(平成26年3月、博乙第2684号)である「平張型傾斜ハウスの新規開発とその導入による野菜・花き生産システムの構築」を基に編集、加筆したものである。

本研究にご理解いただき、論文として取りまとめるにあたり、懇切にご指導をいただきました筑波大学大学院生命環境科学研究科佐竹隆顕教授に深く感謝申し上げます。また、博士論文の審査に際し、ご校閲およびご指導いただいた筑波大学大学院生命環境科学研究科北村豊教授、同吉田滋樹准教授、同瀧川具弘教授、(独)農研機構畜産草地研究所畜産環境研究領域長澤村篤博士に心から感謝申し上げます。

本研究は、(独)農研機構近畿中国四国研究センター総合研究第3チーム(当時)が中心となって取り組んだ農林水産省のプロジェクト、地域先端技術総合研究「四国傾斜地に対応した野菜・花き等の集

約的生産技術の確立 (1997～2001)」における研究成果の一部を取りまとめたものである。本プロジェクトの推進責任者であった同研究チームの野中瑞生チーム長 (当時、元・同研究センター四国研究監、現・ちっご野菜クラブ代表) には、研究の推進をはじめ公私にわたり格別のご指導を賜った。また、長崎裕司博士 (現・同研究センター)、的場和弘主任研究員 (現・ (独) 農研機構畜産草地研究所) には同じ研究チームの上司として数々のご指導をいただいた。さらに、現地実証試験の実施にあたり、建設足場資材利用園芸ハウスの開発・施工をはじめとする数々の困難の克服にご尽力いただいた上枝博樹氏、宮武正広氏、樋笠啓智氏をはじめ、技術専門職員各位の協力が不可欠であった。ここに記して感謝の意を表する。

また、本研究は、トマト生産者の川村彰氏とご家族のご協力とご助言なしには成り立ちませんでした。ここに記して改めて感謝申し上げます。

引用文献

- 1) 朝倉利員 2007. 施設果樹に対する期待と目指すもの. 施設と園芸. 39: 10 - 15.
- 2) 馬場 勝 2010. 循環扇. 農文協編, 最新農業技術花卉 vol. 2. 農山漁村文化協会, 東京. 288 - 291.
- 3) Boulard, T., Feuilloley, P. and Kittas, C. 1997. Natural ventilation performance of six greenhouse and tunnel types. J. Agric. Engng. Res. 67: 249 - 266.
- 4) Cotter, D. J., and R. T. Seay. 1960. The effect of circulating air on the environment and tomato growth response in a plastic greenhouse. Amer. Soc. Hort. Sci., 77: 643 - 646.
- 5) 土井典秀 1995. スイートピー. 開花調節マニュアル編集委員会編著, 1～2年草の開花調節マニュアル. いしずえ, 東京. 47 - 50.
- 6) 藤野雅丈・木下貴文 2009. 低温性作物の冬春期への導入. 伊吹俊彦・家常高共著, 傾斜地特有の資源を活用した低コスト施設栽培. 農林統計出版, 東京. 161 - 181.
- 7) 藤田晴啓・畑中健一郎・西原勝雄 1997. 農村地域の空間データ基盤整備と資源情報解析の事例研究. 地理情報システム学会講演論文集. 6: 233 - 237.
- 8) 福井淑子・玖波井邦昭・中村正男 2009. 施設園芸農家の新・省エネルギーシステムに対する意識と導入条件の検討. 高知農技セ研報. 76: 49 - 58.
- 9) 原藺芳信・矢吹万寿 1986. 傾斜地におけるブドウの大規模施設の内部微気象環境と施設が周辺環境に及ぼす影響に関する研究. 日本生命財団助成研究報告論文. 1 - 162.
- 10) ——— 1990. 傾斜地大型ハウス. 農業施設学会編, 農業施設ハンドブック, 東洋書店, 東京. 251 - 255.
- 11) 林真紀夫 1990. 暖・冷房設備. 農業施設学会編, 農業施設ハンドブック, 東洋書店, 東京. 194 - 201.
- 12) 東出忠桐・笠原賢明・伊吹俊彦・角川 修 2005. 傾斜地トマト栽培のための低コスト・閉鎖系養液栽培システムの開発. 園学研. 4 (1): 33 - 40.
- 13) ———・青木宣明・木下貴文・伊吹俊彦・笠原賢明 2006. 中山間傾斜地におけるブルーベリーのコンテナ養液栽培の実用化. 園学研. 5 (3): 303 - 308.
- 14) ———・伊吹俊彦・笠原賢明・角川 修・迫田登稔・木下貴文 2007. 傾斜ハウスおよび傾斜地対応型養液供給システムを用いた夏秋トマトの実証栽培. 園学研. 6 (1): 91 - 95.
- 15) 久富時雄・藤本幸平 1977. 換気による環境制御と複合環境制御. 位田藤久太郎編著, 施設園芸の環境と栽培. 誠文堂新光社, 東京. 109 - 140.
- 16) ニツ寺勉・小池法雄・羽賀 豊 1976. 冷涼地夏秋トマトの新作型設定に関する研究. 岐阜高冷地農試研報. 1: 1 - 63.
- 17) Hochmuth, G. J., E. E. Albregts, C. C. Chandler, J. Cornell, and J. Harrison 1996. Nitrogen fertigation requirements of drip-irrigated strawberries. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 121: 660 - 665.

- 18) 堀江正樹 1988. わが国の傾斜地農業の実態と課題. 研究ジャーナル. 11 (11): 16 - 23.
- 19) 兵藤宗郎 2003. 施設園芸の現状と展望. (社)日本施設園芸協会編, 五訂版施設園芸ハンドブック. 園芸情報センター, 東京. 6 - 9.
- 20) 伊吹俊彦 2009. 平張型傾斜ハウスの構造および性能向上技術. 伊吹俊彦・家常高編著, 傾斜地特有の資源を活用した低コスト施設栽培. 農林統計出版, 東京. 32 - 46.
- 21) 家常 高 2009. 傾斜地農業の新たな展開に向けた研究. 伊吹俊彦・家常高共著, 傾斜地特有の資源を活用した低コスト施設栽培. 農林統計出版, 東京. 1 - 9.
- 22) 猪熊絵里奈・弓削こずえ・中野芳輔・舟越 保 2004. 傾斜地における圃場整備が生産因子に及ぼす影響. 九大農学芸誌. 59 (1): 43 - 48.
- 23) 井上久義 2009. 貯水型水路による雨水の安全な排水方法. 伊吹俊彦・家常高編著, 傾斜地特有の資源を活用した低コスト施設栽培. 農林統計出版, 東京. 47 - 77.
- 24) 入口義春・原 英雄・西野敏勝・小島勝次郎 1995. 中山間傾斜地を活用した多日照・耐風構造ハウスの開発とガーベラの多収栽培. 長崎農林試研報 (農業部門). 22: 23 - 33.
- 25) 石井雅久・奥島里美・森山英樹・降幡泰永 2012. 循環扇が温室内の気流・温度分布に及ぼす影響. 植物環境工学. 24 (3): 193 - 200.
- 26) 伊藤健次 1958. 傾斜地農業. 地球出版社, 東京. 252.
- 27) 伊東 正 1972. そ菜の光合成特性とその栽培的意義 (第6報) 換気扇を利用した大型ビニールハウス内のトマトの生育, 収量, 品質. 園学雑. 41: 51 - 60.
- 28) 鴨田福也 1990. 施設設計・利用技術・果樹用施設. 農林水産研究文献解題16施設園芸編, 農林水産技術会議事務局編, 農林統計協会, 東京. 35 - 38.
- 29) ——— 1990. 施設栽培果樹の歩みと現状. 鴨田福也・岡野邦夫・荒木陽一編著, すぐに役立つハウス栽培新技術—高収益性と環境保全をめざして—. (社)農業電化協会, 東京. 4 - 10.
- 30) 川嶋浩樹・野中瑞生・長崎裕司 2001. 休耕棚田を利用した夏秋レタストンネル栽培技術の確立. 農業生産技術管理学会誌. 9 (別1): 13 - 14.
- 31) ———・——— 2003. 四国傾斜棚田地域における夏秋レタス栽培の導入. 近畿中国四国地域における新技術. 1: 154 - 156.
- 32) ———・———・長崎裕司 2007 a. 換気または加温による傾斜ハウス内の温度変化と温度分布の特徴. 農業生産技術管理学会誌. 14 (1): 55 - 60.
- 33) ———・———・——— 2011. 平張型傾斜ハウスにおける温風の送風条件が加温時の温度分布に及ぼす影響. 農業生産技術管理学会誌. 17 (4): 117 - 123.
- 34) Kawashima H. 2013. Development of a drip fertigation system for protected horticulture on sloping land. JARQ. 47 (2): 171 - 174.
- 35) Kittas, C., Boulard, T. and Papadokis, G. 1997. Natural ventilation of a greenhouse with ridge and side openings: Sensitivity to temperature and wind effects. Transaction of the ASAE. 40 (2): 415 - 425.
- 36) 北村信弘・諸岡淳司・立石 博 1995. 中山間地の斜面方位と花き類の生育, 開花. 長崎農林試研報 (農業部門). 22: 9 - 22.
- 37) 北宅善昭 1992. 空気の流動. 古在豊樹 (代表著者), 新施設園芸学. 朝倉書店, 東京. 79 - 86.
- 38) 金野隆光 1990. 傾斜地 (中山間地) 利用農業. 研究ジャーナル. 13 (6): 21 - 31.
- 39) 畔柳武司 2009 a. シミュレーションによる自然換気設計. 伊吹俊彦・家常高共著, 傾斜地特有の資源を活用した低コスト施設栽培. 農林統計出版, 東京. 102 - 112.
- 40) ——— 2009 b. 循環扇による空気攪拌範囲の機種間差の比較. 園学雑. 8 (1): 116.
- 41) ——— 2010. 作物群落の配置が循環扇の空気攪拌範囲に及ぼす影響. 園学雑. 9 (1): 145.
- 42) 増淵隆一 1996. 中山間地域における農業経営発展の可能性と経営政策. 農業経営研究. 33 (4): 17 - 24.
- 43) ——— 1997. 傾斜地農業の地域特性と再編課

- 題, 四国農試報, 61 : 135 - 147.
- 44) 松浦昇平・星野 滋・川口岳芳 2004. 循環扇を用いた送風処理が促成トマトの病害発生と生育・収量に及ぼす影響. 広島農技セ研報, 76 : 11 - 17.
- 45) Nagasaki, Y., M. Nonaka and H. Kawashima 2000. Development of shallow pool nursery system. Proc. Intl. Agric. Eng. Conf. 2000. 459 - 465.
- 46) 長崎裕司・川嶋浩樹・野中瑞生・的場和弘・田中宏明・猪之奥康治・角川 修・岡戸敦史 2001. 平張型傾斜ハウス構造の力学特性. 農業施設学会講要, 92 - 93.
- 47) ——— 2002. 中山間傾斜地農業における作業技術研究に関する一考察. 農業機械学会誌, 64 (5) : 14 - 18.
- 48) ———・野中瑞生・川嶋浩樹・的場和弘 2004. 傾斜畑簡易雨よけ栽培の現状と平張型傾斜ハウスによる栽培環境改善. 農作業研究, 39 (1) : 27 - 32.
- 49) ———・—————・—————・鶴崎 孝・的場和弘 2004. 平張型傾斜ハウス内管理作業の軽作業化—等高線畝栽培とレール式薬剤散布機の適用を中心として—. 農作業研究, 39 (1) : 1 - 7.
- 50) ———・—————・—————・岡崎紘一郎・宮崎昌宏・的場和弘・田中宏明・角川 修 2005. 野菜生産における地域特性を考慮した農業機械・施設の開発・利用に関する研究—稲跡野菜作と平張型傾斜ハウス生産を中心に—. 近中四農研報, 4 : 129 - 171.
- 51) ——— 2009. 中山間地における野菜作の施設・機械化技術. 農機学会誌, 71 (2) : 8 - 11.
- 52) ———・川嶋浩樹・畔柳武司・田中宏明・中元陽一 2010. 中山間棚田における建設足場資材利用園芸ハウスの施工技術の実証と改善方向. 近中四農研資料, 7 : 33 - 43.
- 53) Nakagawa, S. 1997. The current situation and future tasks in slopeland agriculture in Japan and Asia. Study Meeting on Sustainable Farming Systems in Upland Areas — Resource Papers Session in Takamatsu —, SRC, Zentsuji, 1 - 17.
- 54) 野中瑞生・川嶋浩樹・長崎裕司・遅澤省子 1998. 傾斜地ハウスにおける野菜・花き栽培技術の開発—第2報 営農試験地における花き栽培の現状と問題点—. 農作業研究, 33 (別1) : 93 - 94.
- 55) ———・—————・————— 1999. 四国傾斜地に対応した野菜・花き等の集約的生産技術の確立—営農試験地の現状と傾斜地ハウスの開発—. 農業生産技術管理学会誌, 6 (別1) : 47 - 48.
- 56) 野々下知 2007. 省エネと収量アップにつながる循環扇の多目的利用技術—温度ムラ改善・多湿病害抑制・光合成促進—. 施設と園芸, 138 : 31 - 33.
- 57) ——— 2009. 園芸用ガラス室・ハウス等の設置状況. (社) 日本施設園芸協会, 東京, 197.
- 58) 農林水産省農業研究センター 2000. 県別・作目別収支データ・利益係数・技術係数データファイル, 1 - 371.
- 59) 小倉祐幸・岡 昌二 1990. 園芸施設. 農業施設, 20 (特別号) : 45 - 58.
- 60) 岡田牧恵・房尾一宏・川口岳芳・山本真之 2013. 夏秋トマト低段密植栽培における栽植密度, 作型, 収穫花房数および培地量が生育および収量に及ぼす影響. 広島総研農技セ研報, 89 : 9 - 17.
- 61) Okada, M., T. Hamasaki and T. Hayashi 1995. Temperature gradient chambers for research on global environment change (1) Thermal environment in a large chamber. Biotronics, 24: 85 - 97.
- 62) 岡田益己 1980. 暖房. 三原義秋編著, 温室設計の基礎と実際. 養賢堂, 東京, 182 - 204.
- 63) 大森弘美 2008. 日本型トマト多収生産に向けた研究開発のマイルストーン (8) 施設生産における省力化技術の開発展望. 農業及び園芸, 83 (8) : 924 - 928.
- 64) 小澤行雄・内藤文男 1993. 園芸施設学入門 (改訂増補版). 川島書店, 東京, 1 - 200.
- 65) 斉藤 章 2012. オランダの最新のトマトとその産業. エベ・フューヴェリンク編著 (中野明正他監訳), トマト—オランダの多収技術とそ

- の理論. 農文協, 東京. 3 - 20.
- 66) 迫田登稔・野中瑞生・関野幸二 2004. 四国傾斜棚田地域における営農面の技術的支援とその成果. 持田紀治編, 国際競争に打ち勝つ農業経営自立化戦略—新しい農業経営者能力の開発と活用—. 農林統計協会, 東京. 105 - 137.
- 67) ———・室岡順一・島 義史 2005. 四国傾斜畑地域における営農に対する新技術導入の効果と課題—徳島県M町K集落を事例に—. 農林業問題研究. 158 : 135 - 140.
- 68) ———・————— 2006. 四国傾斜畑地域における営農の現状と課題—徳島県山間地域の夏秋トマト産地を事例に—. 農業および園芸. 81 (8) : 863 - 876.
- 69) ——— 2009. 傾斜畑地域における園芸生産への新技術導入の意義. 伊吹俊彦・家常高共著, 傾斜地特有の資源を活用した低コスト施設栽培. 農林統計出版, 東京. 10 - 31.
- 70) Sato, K., K. Hatanaka, K. Nishihara and H. Fujita 2000. Extraction of shaded farm lands by GIS and their climatic resource analyses. Proc. XIV CIGR World Cong. 2000: 1739 - 1743.
- 71) 佐瀬勘紀 1998. 園芸施設の高湿抑制と快適化のための環境制御. 農業工学研究所編, 環境時代に向けた次世代農業施設の課題と展望. 53 - 62.
- 72) ——— 2003 a. 施設の種類と形式. (社)日本施設園芸協会編, 五訂版施設園芸ハンドブック. 園芸情報センター, 東京. 26 - 37.
- 73) ——— 2003 b. 換気・気流制御. (社)日本施設園芸協会編, 五訂版施設園芸ハンドブック. 園芸情報センター, 東京. 182 - 195.
- 74) 関 平和・木村達郎・宮本暁人・菅谷 博・佐々木華織・猪之奥康治 2001. 閉鎖型傾斜ハウス内の温度および速度場のモデル化. 農業気象. 57 (1) : 29 - 40.
- 75) ———・和田健一郎・菅谷 博 2002. 中山間地域における温室環境とその有効利用の可能性. 農業環境工学関連4学会合同大会講演要. 251.
- 76) 関山哲雄 1997. 植物工場. (社)日本施設園芸協会編, 最新施設園芸の環境制御技術. 誠文堂新光社, 東京. 208 - 216.
- 77) 柴田昇平・菅谷 博 2002. 高知早明浦ダム周囲における斜面上昇風の成因. 農業環境工学関連4学会2002合同大会講演要旨 : 62.
- 78) 島 義史 2008. 新規参入者の支援—施設園芸作の創業を中心に—. 近中四農業経営研究. 12 : 1 - 12.
- 79) 菅谷 博 1998. 傾斜地におけるハウス研究. 中国・四国の農業気象. 11 : 108 - 111.
- 80) ———・佐々木華織・竹崎あかね 1997. 傾斜ハウス内の環境について (2) 傾斜ハウスの温度環境. 農業気象中四国支部会誌. 10 : 56 - 58.
- 81) ———・—————・猪之奥康治 1998. 傾斜ハウス内の温・湿度環境. 農業気象1998年度大会講演要旨. 446 - 447.
- 82) 杉田浩一・黒木正晶・三浦猛夫 2000. スイートピー栽培の作畦栽培と不作畦栽培の比較. 九州農業研究. 62 : 60.
- 83) 高橋弘江・関野幸二 1999. 中山間棚田地域における地域農業の現状と展開方向—高知県土佐町の事例—. 農業経営研究. 37 (2) : 85 - 90.
- 84) 武内徹郎・小角順一・高木一文 2009. 山菜のふかし栽培技術. 伊吹俊彦・家常高共著, 傾斜地特有の資源を活用した低コスト施設栽培. 農林統計出版, 東京. 182 - 195.
- 85) 立石 一 1989. 市場動向からみた中山間傾斜地における野菜の産地形成. 中山間傾斜地農業の活性化を目指して. 四国農業試験場, 33 - 58.
- 86) 寺島一男・中野明正・井原史雄 2005. 進化する施設栽培—大規模施設から植物工場まで—. 農林水産研究開発レポートNo.14. 農林水産技術会議事務局, 1 - 20.
- 87) Teitel, M., A. Shklyar, I. Segal and M. Barak 1997. The effect of the heating method on greenhouse microclimate. Acta Hort. 443: 11 - 21.
- 88) 上野福男 1953. 傾斜地利用の課題. 農技研報 (H経営土地利用). 8 : 1 - 17.
- 89) 横木清太郎 1970. ビニールハウスにおける換

- 気扇の適正利用法. 農業および園芸. 45 (2): 363 - 368.
- 90) 矢吹万寿・宮川秀夫 1970. 風速と光合成に関する研究 (第2報) 風速と光合成の関係. 農業気象. 26: 137 - 141.
- 91) 横田真一郎 2007. 果樹産業における施設栽培の役割と今後への期待. 施設と園芸. 139: 4 - 9.
- 92) 吉田建実 2008. 日本型トマト多収生産に向けた研究開発のマイルストーン (1) トマトの多収に向けた技術開発の展望. 農業及び園芸. 83 (1): 64 - 70.
- 93) 雪竹照信 1982. 中山間地域における夏秋トマトの簡易栽培法に関する研究. 佐賀農試研報. 22: 39 - 63.
- 94) Zamir, N., G. Medan, A. Arbel and N. Levav. 1984. The influence of climatic conditions on the heat losses from conventional and sloping greenhouses. *Acta Hort.* 148: 319 - 328.

Studies on The Development of A Sloping Greenhouse Using Scaffold Materials and A New Horticultural Production System on Sloping Lands with It

Hiroki KAWASHIMA

Summary

Sloping-land agriculture comprises about 40% of the total farming area in Japan. Japanese agriculture faces a number of serious problems, including depopulation, aging farmers, and increasing abandonment of farmland. These problems are rapidly intensifying, particularly in sloping-land agriculture, most of which occurs in hilly or mountainous areas. In contrast, sloping-land agriculture offers potential due to its more versatile characteristics compared with those of flatland agriculture. Intensive horticulture is expected to play an important role in the development of hilly and mountainous areas. It is necessary to improve the low productivity of conventional vegetable and flower cultivation with rain shelters. To promote the development of mountainous areas, a new horticulture production system for sloping-land agriculture is needed. Accordingly, to establish a new horticultural production system on sloping land, a sloping greenhouse has been developed to replace the simple covered rain shelter.

The objective of this thesis is to establish a new horticultural production system for the sustainable development of mountainous areas. Therefore, a sloping greenhouse, which is a greenhouse that can be constructed on a sloping field, was developed. The characteristics of the thermal environment in a sloping greenhouse were elucidated to establish techniques for its control. The adaptability of a sloping greenhouse for the horticultural production of vegetables and flowers was investigated and a production technique was developed.

This thesis consists of 7 chapters. Chapter I is the introduction, and chapter VII consists of an all-inclusive discussion. In the introductory chapter, the outline and the background of the problems of sloping land agriculture in a mountainous area and the objectives of the studies are described as mentioned above.

Chapter II describes the characteristics of the thermal environment in a sloping greenhouse, which was constructed as a high pipe tunnel on sloping land, in order to develop techniques for its control. The thermal environment in a sloping greenhouse was elucidated and internal temperature changes were investigated. The adaptability of a sloping greenhouse to vegetable and flower production in a sloping field was also investigated. At first, the changes in internal temperature were compared in high pipe tunnels on flat and sloping land. The ventilation of the sloping greenhouse was superior to that of a standard greenhouse constructed on flat land. When the sloping greenhouse was ventilated by opening both end walls, the internal temperature gradient along the slope was maintained. However, the internal temperature gradient was reasonably uniform in a sloping greenhouse ventilated with side openings. The

changes in internal temperatures were compared by sending hot air from one end to the other. Temperature gradients were observed in a standard greenhouse. However, the temperature distribution in the sloping greenhouse was uniform, that is, the temperature difference along the slope was below 1.0 degrees. It was also affected by the attached circulation fan. These studies showed that the thermal environment in a sloping greenhouse, constructed as a high pipe tunnel, could be controlled and that a sloping greenhouse was proper for vegetable and flower production in sloping fields.

However, some problems were found when the sloping greenhouse, constructed as a high pipe tunnel, was adapted to an actual sloping field where tomatoes were cultivated with a rain shelter. For example, unavailable space remained around the sloping greenhouse because its configuration was not fitted to the non-rectangular shape of the sloping field. Further, the surface of the field by the side of the sloping greenhouse was affected by rain shed from the roof. To solve these problems, a sloping greenhouse using scaffold materials was developed. Chapter III describes the characteristics of the developed sloping greenhouse. The developed sloping greenhouse was adaptable to various configurations of the sloping field because of its free construction. It could also be constructed at a low cost with mass-produced scaffold materials, which made a strong structure. The 3-m high eaves of the developed sloping greenhouse allowed ventilators to be placed on all sides for smooth ventilation. Its construction also increased the internal space for working and cultivation. The area usable for cultivation in the developed sloping greenhouse was about 30% greater than that in a conventional rain shelter. Rain drops on the roof were drained along the slope of the roof; therefore, surface erosion disappeared.

Chapter IV describes the thermal environment in a developed sloping greenhouse and the development of control techniques to establish a new horticultural production system on sloping land. The investigations were conducted in a farmer's sloping field, in which tomatoes had been cultivated with a conventional covered rain shelter. The differences between the internal and external temperatures of a developed sloping greenhouse were smaller than those of the sloping greenhouse constructed as a high pipe tunnel. This was because the eaves of the developed sloping greenhouse were higher than those of the high pipe tunnel, creating a larger ventilation area. A ventilator was attached between the roofs of 2 developed sloping greenhouses constructed on a terraced field; this connected the roofs like a step. When the ventilator between the roofs was closed, the internal temperature increased in the upper part of the developed sloping greenhouse, and a temperature gradient was observed. On the other hand, when the ventilator between the roofs was opened, the internal temperature decreased and became equivalent to the external temperature, even in summer. In other words, the temperature distribution was uniform.

Chapter V describes the development of heating techniques in a developed sloping greenhouse and the characteristics of the thermal environment of a few configuration patterns. At first, the internal temperature distribution in the developed sloping greenhouse whose length along the upward slope was greater than that along the contour was investigated. Hot air was generated by an air heater, with or without polyethylene tubes and circulation fans. When neither polyethylene tubes nor circulation fans were used, the hot air around the air heater at the lower part of the slope seemed to be moving in a vertical direction, and then upward along the roof. The directional pattern of hot airflow was changed by means of polyethylene tubes, and the downward airflow was made parallel to the slope using circulation fans. In the case of a developed sloping greenhouse whose length along the contour was greater than that along the upward slope, the internal temperature distribution was made reasonably uniform by using air heaters with polyethylene tubes set at the lower end of the slope.

Chapter VI reports on the availability and utility of a developed sloping greenhouse in sloping land horticulture. Farmers benefited by producing vegetables and/or flowers year-round with a developed sloping greenhouse, which was developed as an alternative to a simple rain shelter. An economic analysis was conducted using simple calculations of data from when the farmer cultivated tomatoes and a newly introduced crop, sweet peas, in a developed sloping greenhouse. An economic advantage was found with the new cropping system, which increased the total turnover by 30% compared to a conventional cropping system.

These studies were conducted based on regional production needs and undertaken in a project entitled 'Developing an intensive vegetable and flower production system using sloping-land resources in Shikoku'. In the region where these studies were conducted, the horticultural turnover and production area increased by 73.9% and 73.7%, respectively. The new production system with a developed sloping greenhouse, developed in these studies, has been extended to other mountainous areas. These studies contribute to the sustainable development of mountainous areas based on a new intensive horticultural production system.