

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

2014年 1月

川 嶋 浩 樹

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

筑波大学大学院

生命環境科学研究科

博士（農学）学位論文

川 嶋 浩 樹



## 目 次

第1章 緒論	5
1-1 わが国における傾斜地農業と傾斜地園芸施設の現状	5
1-2 傾斜地における施設園芸研究の現状と課題	10
1-3 本研究の目的および本論文の構成	14
第2章 野菜・花き生産用傾斜ハウスにおける温度分布特性	19
2-1 はじめに	19
2-2 供試ハウスと実験方法	19
2-2-1 供試ハウスの概要	19
2-2-2 測定装置	21
2-2-3 実験方法	21
(1)傾斜ハウス（アーチ型）における換気時の温度分布の 解析	21
(2)傾斜ハウス（アーチ型）における換気位置が温度分布に 及ぼす影響解析	21
(3)傾斜ハウス（アーチ型）における加温時の温度分布の 解析	21
(4)循環扇による送風が加温時の傾斜ハウス（アーチ型）の 温度分布に及ぼす影響解析	23
2-3 結果と考察	23
2-3-1 傾斜ハウス（アーチ型）における換気時の温度分布特性	23
2-3-2 傾斜ハウス（アーチ型）における換気位置が温度分布に 及ぼす影響	25
2-3-3 傾斜ハウス（アーチ型）における加温時の温度分布特性	28
2-3-4 循環扇による送風が加温時の傾斜ハウス（アーチ型）の 温度分布に及ぼす影響	32
2-4 結論	35

第3章 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	37
3-1 はじめに	37
3-2 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	37
3-2-1 試験地の現状	37
3-2-2 簡易雨よけ施設の概要	38
3-3 新たな野菜・花き生産用傾斜ハウスの開発	38
3-3-1 新たな野菜・花き生産用傾斜ハウスの開発に向けた要件	38
3-3-2 新たに開発した平張型傾斜ハウスの構造	45
3-3-3 平張型傾斜ハウスの導入メリット	53
3-4 結論	54
第4章 高温期における平張型傾斜ハウスの換気にともなう温度分布	
特性	58
4-1 はじめに	58
4-2 供試ハウスと換気および実験方法	58
4-2-1 供試ハウスの概要	58
(1) 平張型傾斜ハウスとアーチ型傾斜ハウス	58
(2) 傾斜段畑に設置した平張型傾斜ハウス	58
4-2-2 換気および実験方法	61
(1) 平張型傾斜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	61
(2) 傾斜段畑に設置した平張型傾斜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	61
4-3 結果と考察	63
4-3-1 平張型傾斜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	63
4-3-2 傾斜段畑に設置した平張型傾斜ハウスの換気における中央換気窓の効果	65
(1) 中央換気窓と側窓の開閉が傾斜段畑に設置した平張型	

傾斜ハウスの温度分布に及ぼす影響	65
(2) 傾斜段畑に設置した平張型傾斜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	65
(3) 傾斜段畑に平張型傾斜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	68
4-4 結論	70
第5章 低温期における平張型傾斜ハウスの加温・送風にともなう 温度分布特性	73
5-1 はじめに	73
5-2 供試ハウスと加温・送風および実験方法	73
5-2-1 供試ハウスの概要	73
(1) 傾斜方向に長い平張型傾斜ハウス	73
(2) 等高線方向に長い平張型傾斜ハウス	76
(3) 傾斜段畑に設置した平張型傾斜ハウス	76
5-2-2 加温・送風および実験方法	76
(1) 傾斜方向に長い平張型傾斜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	76
(2) 等高線方向に長い平張型傾斜ハウスにおける温風ダクト の配置と温度分布の解析	78
(3) 傾斜段畑に設置した平張型傾斜ハウスにおける温風ダクト の配置と温度分布の解析	78
5-3 結果と考察	81
5-3-1 温風ダクトの配置と循環扇の有無が傾斜方向に長い 平張型傾斜ハウスの温度分布に及ぼす影響	81
5-3-2 温風ダクトの配置が等高線方向に長い平張型傾斜ハウス の温度分布に及ぼす影響	88
5-3-3 温風ダクトの配置が傾斜段畑に設置した平張型傾斜ハウス の温度分布に及ぼす影響	90
5-4 結論	94

第6章	平張型傾斜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	96
6-1	はじめに	96
6-2	実験方法	96
6-2-1	平張型傾斜ハウスの導入にともなう新たな作付体系に よる経営効果の解析	96
	(1)栽培概要	96
	(2)新たな作付体系による経営効果の検討	97
6-2-2	傾斜畑における養液土耕システムの特性評価	97
6-3	結果と考察	99
6-3-1	平張型傾斜ハウスの導入による新たな作付体系の構築	99
	(1)トマトの夏秋栽培における平張型傾斜ハウスの適用性	99
	(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 経営効果	102
6-3-2	傾斜畑における養液土耕システムの特性	104
	(1)養液土耕システムの制御方法の改良	104
	(2)改良した養液土耕システムの傾斜畑への適用性	104
6-3-3	平張型傾斜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	110
6-4	結論	116
第7章	総合考察	118
	謝辞	130
	引用文献	131
	Summary	139

## 第 1 章 緒論

### 1-1 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。わが国の農業は稲作中心であったことから、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（堀江，1988）。しかし、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（図 1-1）。

傾斜地農業は、中間農業地域と山間農業地域を合わせた中山間地域が中心である。図 1-2 に示すように、全耕地面積の約 40%が中山間地域に分布し、西日本でその割合が大きい（堀江，1988；上野，1953）。また傾斜畑のある集落は全国では約 65%，沖縄を除く都府県では 72%となっている（迫田ら，2009），中でも、四国地域ではその割合は 89%，傾斜度 15°以上の傾斜畑率は 50%以上であり典型的な傾斜地農業が行われている。

中山間地域で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（伊藤，1958；増淵，1997；迫田，2006）。このため、例えば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），その他果樹となっている（迫田ら，2005；高橋ら，1999）。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（増淵，1996；立石，1989）。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挙げる市町村も多く、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（増淵，1996）。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様々な農家経営支援・育成方策を講じている（島，2008）等、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（増淵，1996；迫田ら，2004）といえる。

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ベタがけもその範疇に含まれる（兵藤，2003）が、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 年ごろ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（図 1-3）。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%）と温室の中心的な施設

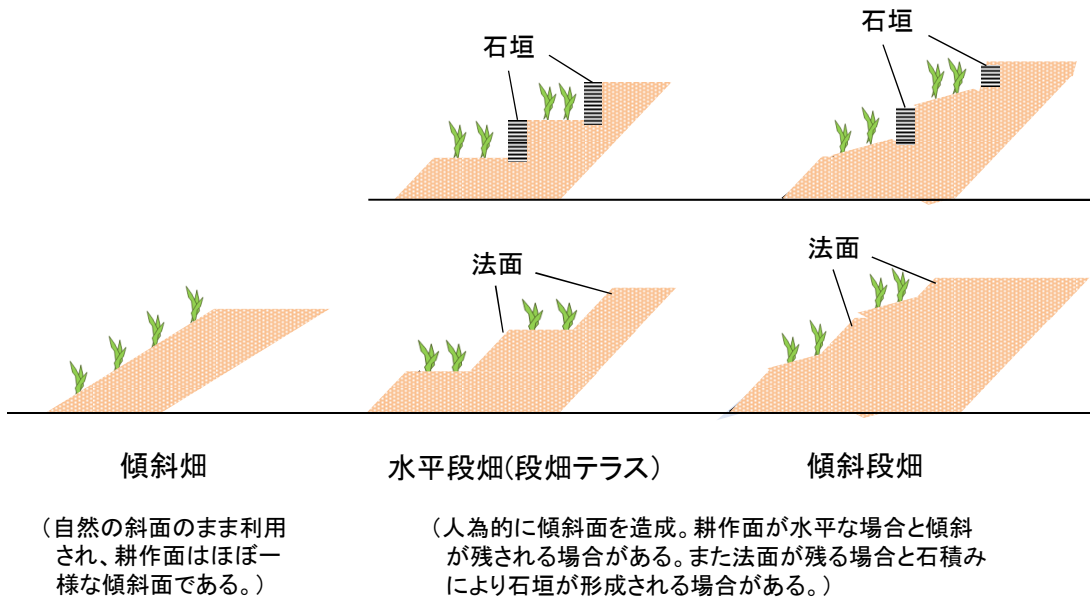


図1-1 傾斜畑の形態

伊藤(1958)を改編

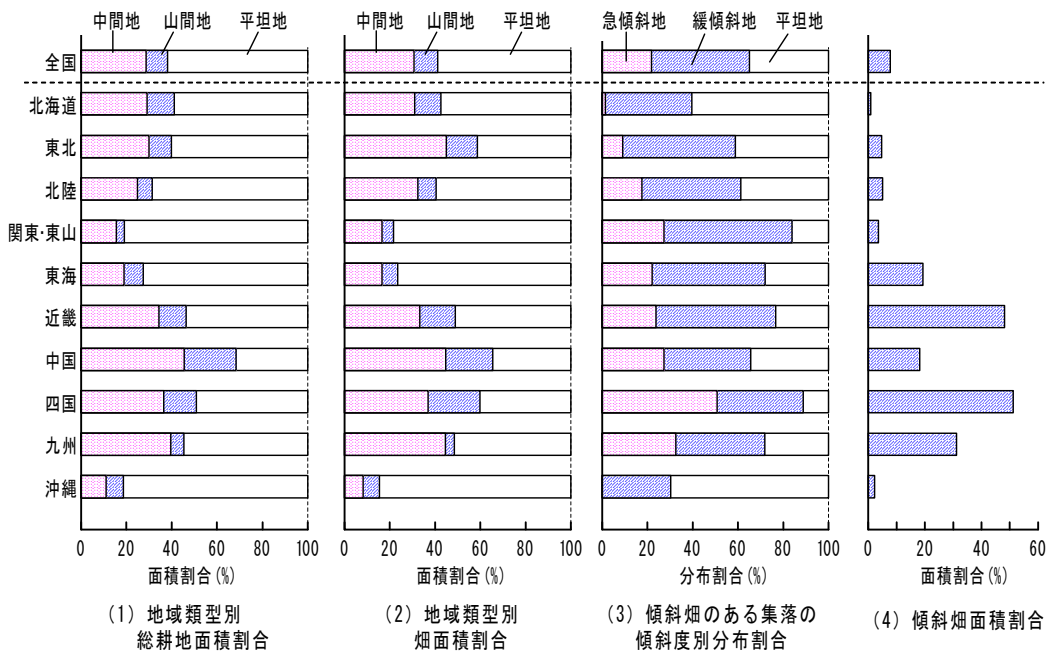


図1-2 中山間地域における耕地面積と畑面積の分布割合、地域別傾斜畑面積割合の地域間比較

(1)と(2)は農林水産省(2002)から作成。地域類型は同報告書に基づく区分。  
 (3)は迫田(2009)から作成。急傾斜地:傾斜15度以上,緩傾斜地:同8度以上15度未満,平坦地:同8度未満。  
 (4)は増淵(1997)から作成。傾斜15度以上の畑面積の割合。



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おくような換気を行う簡易施設まで幅が広い（小倉，1990；関山，1997）。

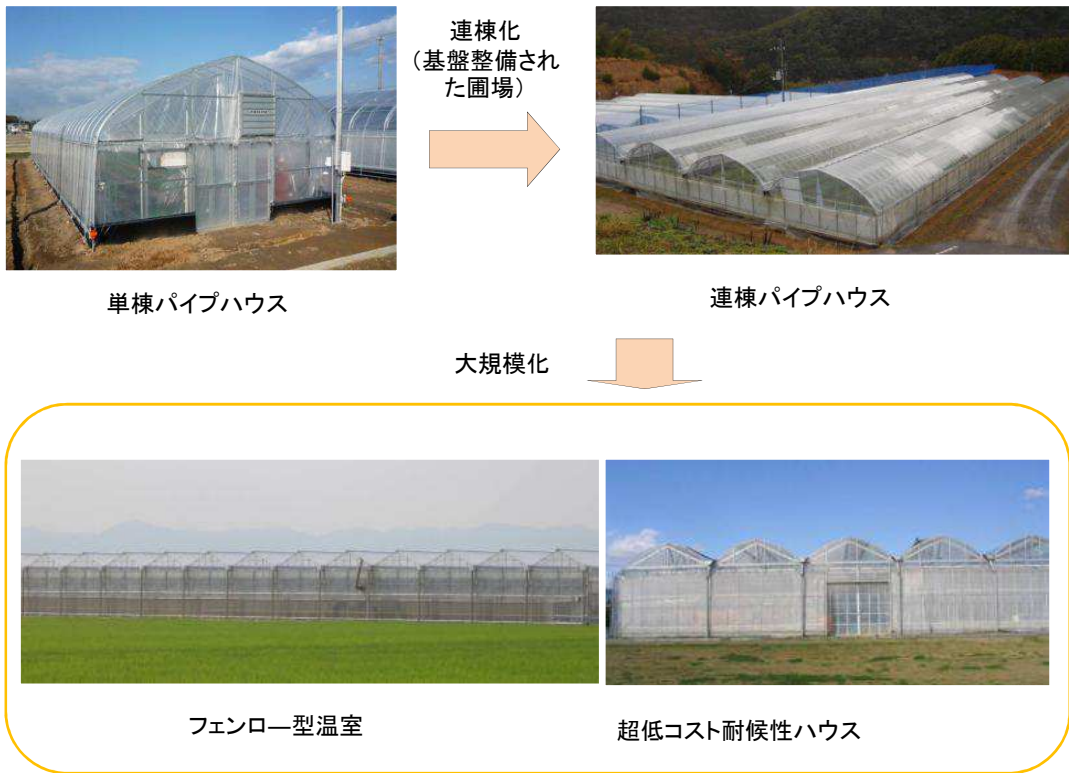
ハウスは、曲げパイプ（アーチパイプ）を用いた丸屋根（アーチ）型が主流であり、鉄骨と組み合わせた鉄骨補強型パイプハウスや基礎のない簡易な地中押し込み式パイプハウスがある（佐瀬，2003a）。近年の傾向として、鉄骨補強型パイプハウスではガラス温室と同様に多連棟化・高軒高化とともに大規模化が進められ、ガラス温室を代替する施設として平坦地での導入が進みつつある（佐瀬，2003a；寺島ら，2005；吉田，2008）。

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、比較的冷涼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みられた（堀江，1988）。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（小倉ら，1990；二ツ寺ら，1976；雪竹，1982）。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ったが、簡易雨よけ施設の多くは中山間地域の傾斜畑で利用されている。

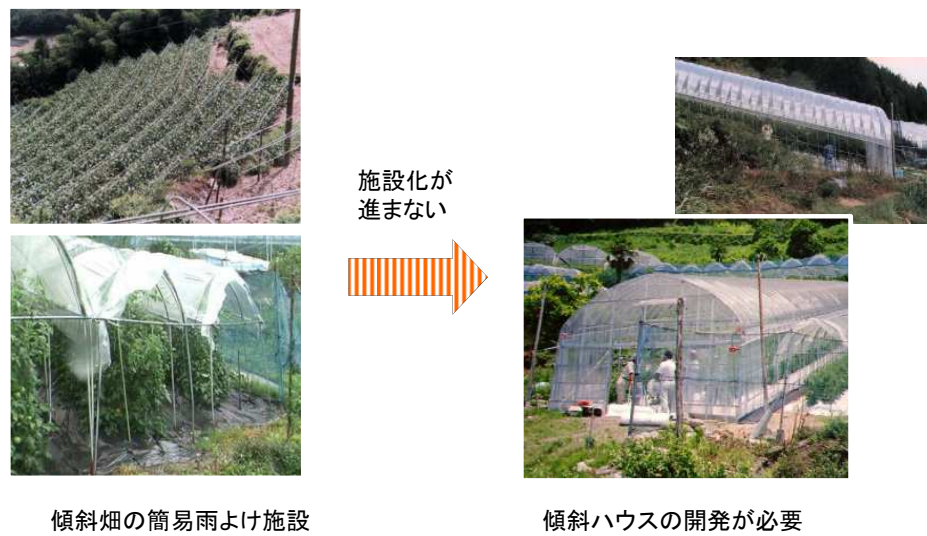
しかし、迫田ら（2009）が指摘するように、簡易施設のため風雨の遮断や病害虫対策が不十分で薬剤散布の効果も上がらない、品質向上にも改善の余地がある、台風等の強風時に作物と施設が壊滅的な被害を受ける等の問題があるのに加えて、近年は農産物に対する消費者の安全志向の高まりから減農薬栽培への取り組みが進み、簡易雨よけ施設からの転換が迫られている。

このため、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れている。例えば、高知県では県の通称「レンタルハウス事業」により施設園芸の振興が図られており、中山間地域においても基盤整備が行われた圃場では鉄骨補強パイプハウスの導入が進められている（高橋ら，1999）。一方、約40千haのパイプハウスのうち56%は加温設備がなく（農林水産省，2009）、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（Nakagawa，1997；増淵，1997）、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（図1-4）。このため、傾斜畑において簡易雨よけ施設に替わる新





(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

図1-4 平坦地と傾斜地における園芸施設の現状

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。

## 1-2 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（斉藤，2012），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（寺島ら，2005；吉田，2008）。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（迫田ら，2004）にもかかわらず，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。

傾斜畑で栽培される場合が多い果樹では，樹高が高いこと等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。原菌（1990）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，雛壇型パイプハウス，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（図 1-5）。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。一方，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（朝倉，2007；横田，2007；小倉ら，1990）。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被覆資材をずらす（隙間をあける）といった程度である（原菌，1990；鴨田，1990）。

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ほとんどない。Zamir ら（1984）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等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（1986）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等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（菅谷ら，1997；菅谷ら，1998）およびシミュレーションによって解析した例（関ら，2001）がみられる程度である。

傾斜ハウスの利用技術に関しては長崎県で取り組まれた事例がある。入口ら（1995）は，南斜面に立地する水平段畑を利用した多日射・耐風ハウスを開発し，

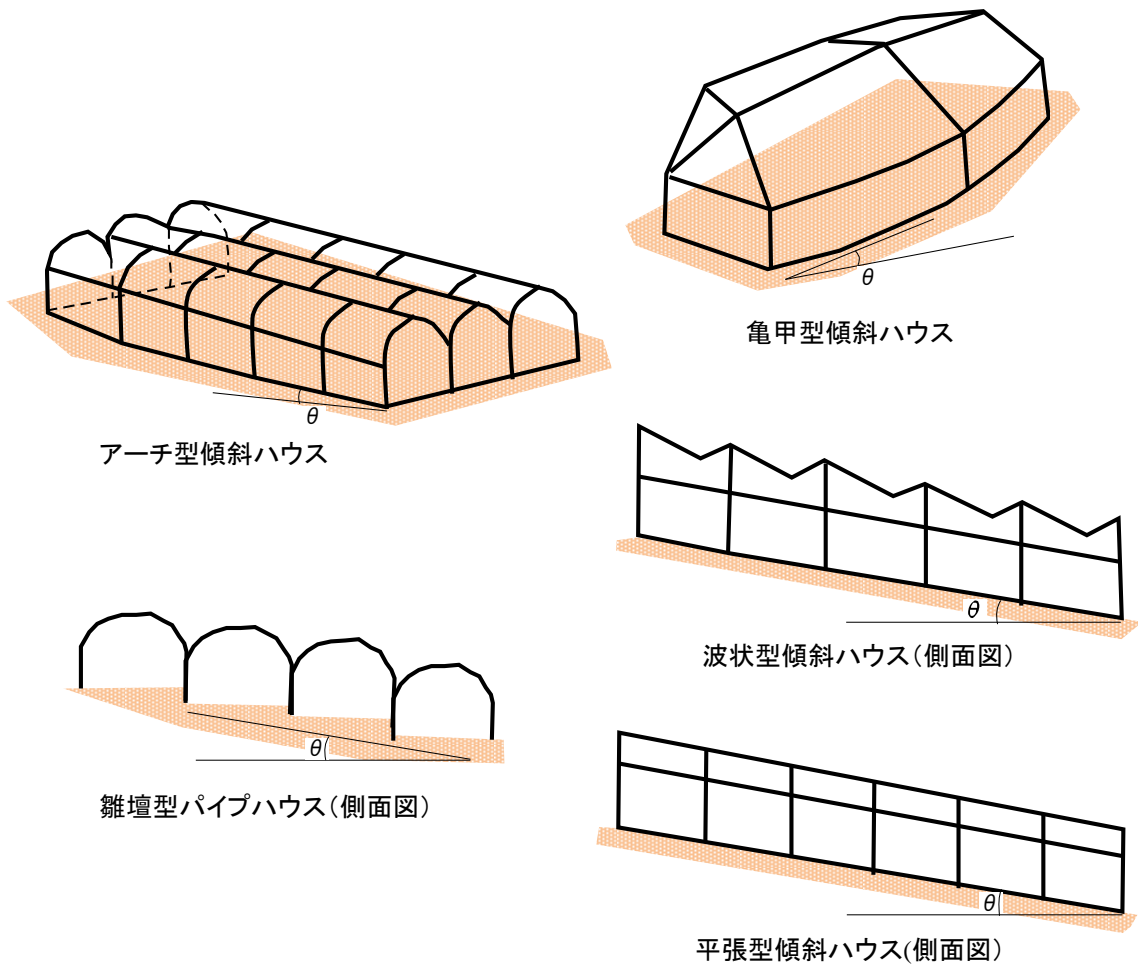


図1-5 果樹用大型傾斜ハウスの形状

原藺(1990)から作成.

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。さらに、野菜・花きでは果樹のような大規模圃場は少なく、小規模で様々な形状の圃場が多く見られることから、狭小な圃場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。

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（関ら，2002；柴田ら，2002）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。

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（原菌ら，1986；菅谷ら，1997）等、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（2001）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（Okada ら，1995）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（菅谷，1998）。しかし、実際には日中は必要に応じて換気すること等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する方が現実的である。

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（岡田，1980）。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（馬場，2010；松浦ら，2004；野々下，2007）。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等、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（1986）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（長崎，2009；農林水産省農業研究センター，2000；

大森, 2008) ため, 仕切りカーテンが作業の障害になると考えられる。

また, 傾斜ハウスの利用が可能になり, 従来の簡易雨よけ施設から傾斜ハウスへ転換されると, 雨水の影響がさらに小さくなるため効率的に灌水を行うことが必要になる。水源に近い中山間地域においては肥料分の流亡が少ない環境保全的な技術導入は必須であると考えられる。施設園芸では, 灌水と同時に希釈した液肥を施用する養液土耕の普及が進みつつある。養液土耕は, 灌水同時施肥とも呼ばれるように, 必要な時に必要な量を灌水・施肥することで, 肥料コストの削減や肥料分の流亡をなくす環境保全的な灌水・施肥方法として開発され (青木ら, 2001; Bar-Yosef, 1999; Scanders, 1996), 種々の園芸作物において利用されている (青木ら, 2001; 浅見ら, 2003; Hochmuth ら, 1996; Locacui ら, 1997; 新田ら, 2009)。また, 養液土耕は, 省力的な栽培方法 (青木ら, 2001; 浅見ら, 2003) としても認知され, 平坦地の施設園芸で導入が進んでいる。この様に, 養液土耕は多くの利点があり, 傾斜ハウスにおける灌水・施肥方法としても有効と考えられる。しかし, 平坦地用のシステムをそのまま使って傾斜畑で養液土耕を行うと, 斜面の上下で灌水・施肥量が不均一になることが懸念される。

養液土耕は, 畝間灌水やスプリンクラー灌水より効率的に灌水・施肥を行い作物の生育や収量, 品質を制御する方法として, イスラエルを中心とする地中海地域やアメリカにおいて, ワタやトウモロコシなどの畑作物や露地野菜, 果樹で研究が進み利用されている (Bar-Yosef, 1999)。近年は極東地域 (日本, 中国, インド) とオーストラリアで面積が増えているが世界的に見れば比較的粗放的な畑作で利用が多い (Bar-Yosef, 1999)。

わが国の中山間地域での傾斜地利用は, 穀類やイモ類等を栽培する焼畑農業が行われてきたが, その後固定的な農地で雨水に依存する露地栽培に移行した (伊藤, 1958; 上野, 1953)。このため, 傾斜畑における灌水技術は, 雨水による土壌浸食や流亡を防ぐ土壌保全的な技術が多く論じられている (伊田, 1989; 永石, 1989; Partap, 1997)。傾斜地における点滴灌水あるいは養液土耕の利用技術として, 例えば, ウンシュウミカンのマルチ点滴灌水同時施肥法の開発において, 水平段畑における点滴チューブの敷設方法などを検討した例 (森永ら, 2004) がある。一方, 施設園芸では, 特に野菜や花きは果樹や他の作物と比して集約的な生産が行われており, より均一な灌水施肥管理が要求される。田辺 (1987) は, 中山間地域は用水が限られることから, 点滴灌水は傾斜畑での野菜栽培における節水灌水法としてメリットがあると指摘しているものの, 具体的な対応技術の検討はなされていない。養液土耕を傾斜地形の中で利用する場合の技術については, 畑面が平坦な水平段畑において畑面が低い位置にあるハウスほど灌水量が多くなる現象が認められている。その防止策として, 段畑間の配管にチャッキ弁・電磁弁を設置する方法やサイフォン現象による水の漏出を防ぐサイフォンブレ

ーカーを設置する方法（青木ら，2001）があるものの，畑面が傾斜している傾斜畑において対策技術を検討した例はない。

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，水稻等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（迫田，2006）．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（増淵，1997；Nakagawa，1997；立石，1989）．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（高橋ら，1999）であり，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（図 1-6）．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，補助事業による大型パイプハウスの導入が進む等，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，強風被害等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．

### 1-3 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等が可能な野菜・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等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，施設化にともない従来の作付体系に加え，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

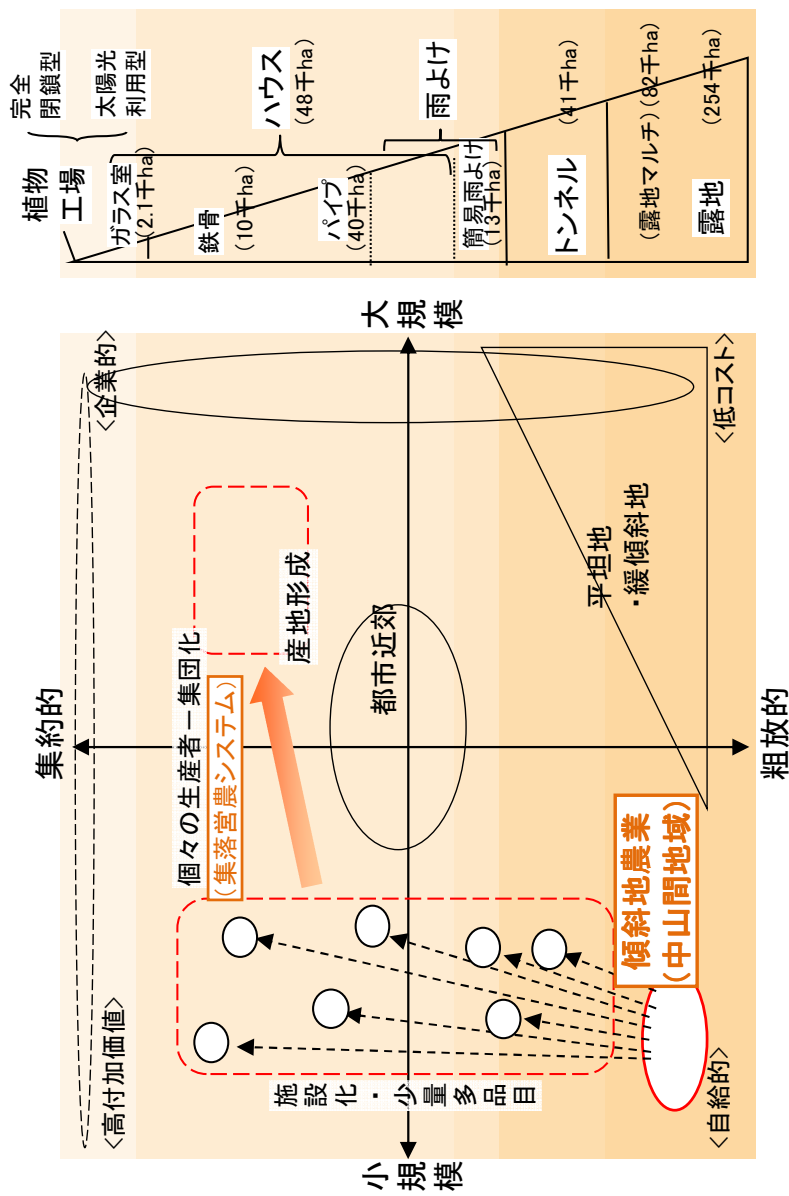


図1-6 施設園芸の技術発展と傾斜地農業における成長戦略

農林水産省(2009), 関山(1997)をもとに作成。

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) 高温期における平張型傾斜ハウスの換気にともなう温度分布特性
- 4) 低温期における平張型傾斜ハウスの加温・送風にともなう温度分布特性
- 5) 平張型傾斜ハウスの導入による新たな作付体系や灌水制御を適用した傾斜畑における新たな野菜・花き生産システム構築の可能性

等である。

本論文は7章で構成される(図1-7)。第1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2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(アーチ型傾斜ハウスという)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等を、平坦地に設置したアーチ型パイプハウス(平坦地ハウスという)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3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野菜・花き生産用平張型傾斜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、低コスト化や強度等の構造上の特徴と導入メリット等について検討した。

第4章では、開発した平張型傾斜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平張型傾斜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平張型傾斜ハウスにおける換気窓の



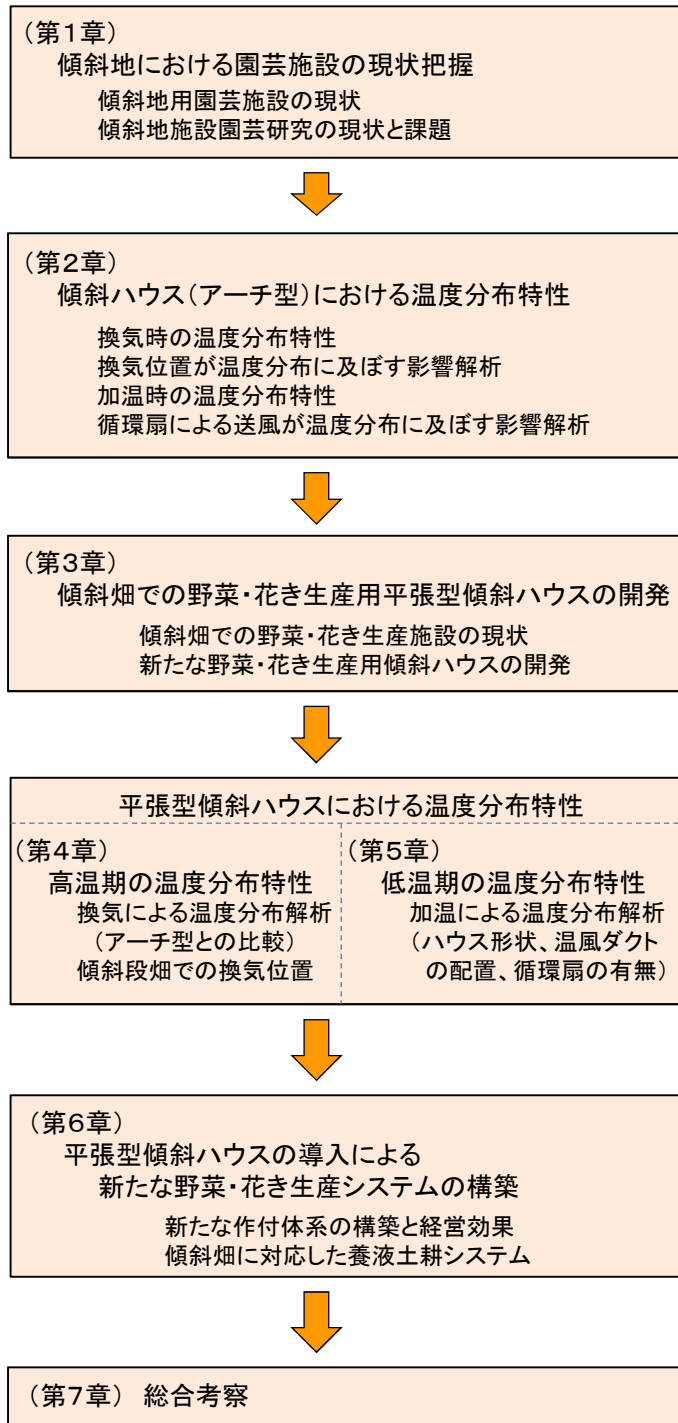


図1-7 本研究の課題構成

設置位置が温度分布に及ぼす影響等を解析し、開発した平張型傾斜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等を実証的研究により検討した。

第5章では、同じく平張型傾斜ハウスの低温期における適用性を明らかにするために、加温による平張型傾斜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、圃場形状が様々であることから、傾斜畑の条件に応じて設置した形状が異なる3つの平張型傾斜ハウス、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等を解析し、低温期における野菜・花き生産に必要な平張型傾斜ハウスにおける加温時の温度制御技術等について実証的研究により検討した。

第6章では、トマトの夏秋栽培を行う生産者圃場に平張型傾斜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平張型傾斜ハウスの適用性、②平張型傾斜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経営効果等を検証した。また、平張型傾斜ハウスの導入によって、従来の簡易雨よけ施設の場合と比べて雨水の影響がさらに小さくなることから、平坦地において精密な灌水・施肥方法として普及している養液土耕システムをベースに、③傾斜畑において効率的かつ適切に灌水・施肥を行うための養液土耕システムの制御方法を開発・検討した。さらに、④平張型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中山間地域における普及可能性等について考察した。

第7章では、本研究で得られた知見を総括しながら、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平張型傾斜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。

中山間地域では施設園芸が地域発展の要となっており、従来の簡易雨よけ施設による生産から新たな傾斜地用園芸施設への転換を図り、個々の生産者の生産性を向上させることが、地域の活性化と持続的発展にとって重要である。本研究は、このような中山間地域の活性化と持続的発展への寄与を念頭に行われた。

## 第2章 野菜・花き生産用傾斜ハウスにおける温度分布特性

### 2-1 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（増淵，1996；迫田，2004）となっている。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等、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（菅谷ら，1997）との報告がある。このため、傾斜ハウスでは平坦地のハウスとは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等、傾斜ハウスの普及には平坦地ハウスと異なる要件をクリアしなければならない。

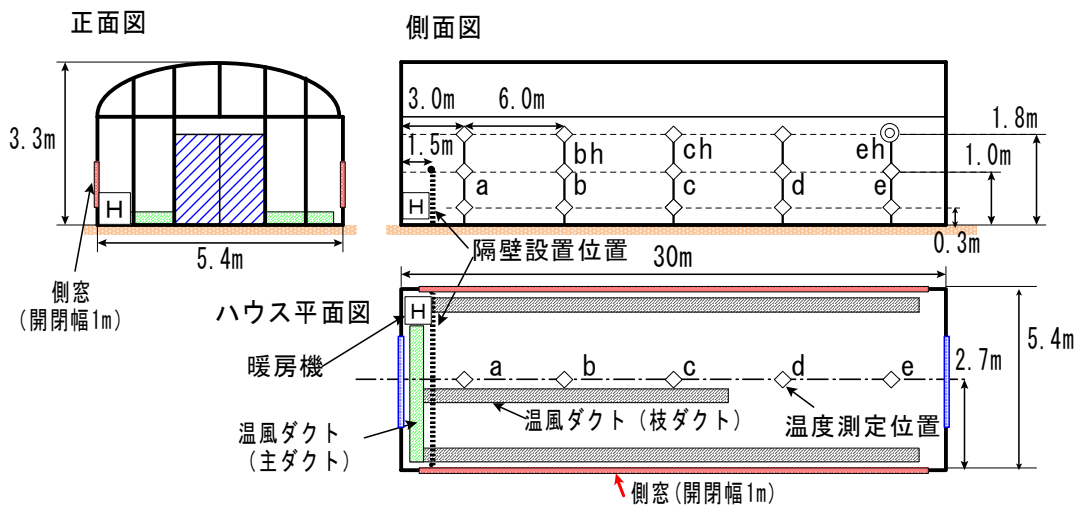
中山間地域の傾斜畑において傾斜ハウスの導入を図るに当たっては、同傾斜畑における野菜・花き生産に対する傾斜ハウスの利用可能性の検討が求められる。この傾斜ハウスの利用可能性の見極めには、①高温期や低温期におけるハウス内温度制御の可否、および②構造要件等を明らかにする必要がある。

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試験導入した傾斜ハウス（アーチ型）と平坦地に設置した同型のハウス（平坦地ハウスという）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等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。

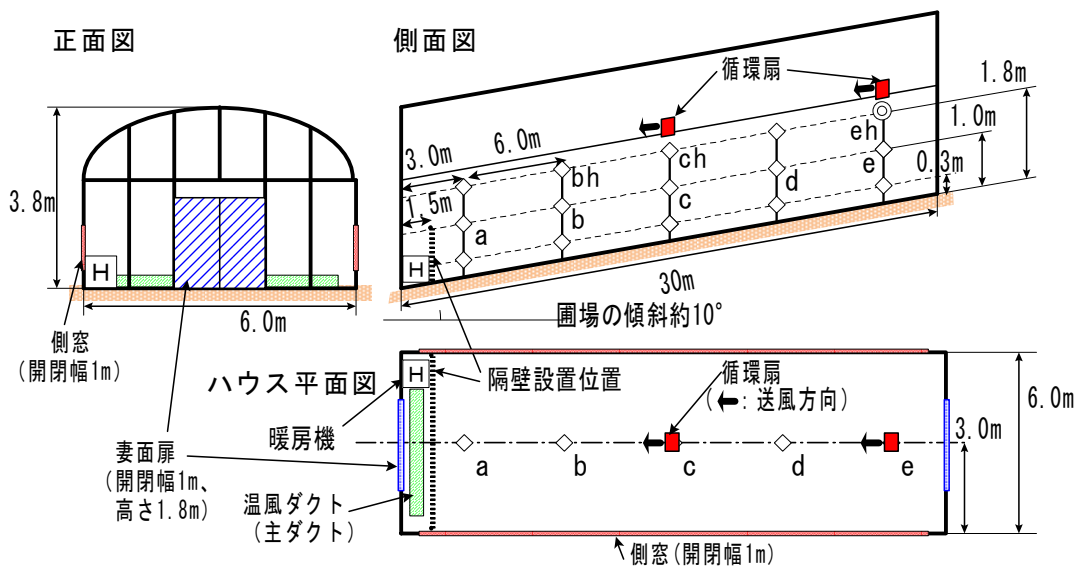
### 2-2 供試ハウスと実験方法

#### 2-2-1 供試ハウスの概要

供試ハウスの概要を図2-1に示す。実験は、近畿中国四国農業研究センター（生野地区、香川県善通寺市）内の傾斜畑（傾斜度約 $10^{\circ}$ ）に設置した傾斜ハウス（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）および同研究センター（仙遊地区）内の平坦地に設置した平坦地ハウス（長さ30m、間口5.4m、軒高3.3m、南北棟）を用いた。加温時には温風式暖房機（N社製、KA-203）を用いた（表2-1）。暖房機の温度センサは暖房機を設置した側の妻面から9m、地面から高さ1.0m（測定位置b）に設置した。



(1) 平坦地ハウス



(2) 傾斜ハウス (アーチ型)

図2-1 供試した平坦地ハウスと傾斜ハウス(アーチ型)の概要

## 2-2-2 測定装置

温度測定には、傾斜ハウス（アーチ型）ではT型熱電対およびデータロガー（ES社製，GK101）を，平坦地ハウスではサーモレコーダミニ（EM社製，RT-30S）を用いた（表2-1）。

## 2-2-3 実験方法

### (1) 傾斜ハウス（アーチ型）における換気時の温度分布の解析

実験は，上述の傾斜ハウス（アーチ型）と平坦地ハウスにおいて，冬季夜間の無風時を選んで実施した（図2-1）。傾斜ハウス（アーチ型）と平坦地ハウスではそれぞれスイートピーとナスを栽培した。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（N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従って温風ダクト（枝ダクト）を3本配置し，傾斜ハウス（アーチ型）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，3m，9m，21m および27m，地面から高さ1.0mとした。

### (2) 傾斜ハウス（アーチ型）における換気位置が温度分布に及ぼす影響解析

実験は，上述の傾斜ハウス（アーチ型）を用いて日中の無風時を選んで実施した（図2-1）。ハウス内では傾斜方向畝でトマトを栽培した。傾斜ハウス（アーチ型）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3m，地面から高さ1.8m（測定位置eh）における温度が40℃に達した後，①側窓（長さ28m）を1mの幅で巻き上げた場合，②両端の妻面扉（幅2.0m，高さ1.8m）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，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3m，9m，15m，21m および27m，地面から高さ0.3m，1.0m および1.8mとした。

換気による斜ハウス（アーチ型）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後，さらに垂直方向についても同様に計算して測定点間の温度を補完して温度分布図を作成した。

### (3) 傾斜ハウス（アーチ型）における加温時の温度分布の解析

実験は，上述の傾斜ハウス（アーチ型）および平坦地ハウスを用い，設定温度6℃で加温して実施した（図2-1）。傾斜ハウス（アーチ型）と平坦地ハウスではそれぞれスイートピーとナスを栽培した。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0.5m間隔で開けた孔か

表2-1 供試ハウスの概要と使用機器

項 目	平坦地ハウス	傾斜ハウス(アーチ型)
間 口(m)	5.4	6.0
奥行(長さ・m)	30	30
棟 高(m)	3.3	3.8
軒 高(m)	1.9	2.1
圃場の傾斜度(°)	0	10
温度計測機	自記温度計 (EM社・RT-30S)	T型熱電対 (φ0.32mm) +データロガー (ES社・GK101)
暖房機	灯油炊き温風暖房機 (N社・KA-203) 出力23.3kW	灯油炊き温風暖房機 (N社・KA-203) 出力23.3kW

ら、同じ妻面から 1.5m の位置に設置した高さ 1m 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 3m, 9m, 15m, 21m および 27m, 地面から高さ 1.0m とした。また妻面から 9m および 15m の位置では地面から高さ 1.8m の位置でも測定した。ハウス内温度および外気温は実験(1)で使用した機材を用いて 1 分間隔で記録した。

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

実験は、上述の傾斜ハウス(アーチ型)を用い、隔壁フィルムを除去した他は上述の(3)と同じ条件で行った(図 2-1)。斜面上方の妻面側から 3m(斜面上方)または 15m(斜面中央)地点の、地面から高さ 2m の位置に循環扇(V 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。

### **2-3 結果と考察**

#### **2-3-1 傾斜ハウス(アーチ型)における換気時の温度分布特性**

平坦地ハウスと傾斜ハウス(アーチ型)における換気時の温度変化を図 2-2 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  $1^\circ\text{C}$  以上高かった。これに対して傾斜ハウス(アーチ型)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。

この様に、ハウス内の温度は平坦地ハウスより傾斜ハウス(アーチ型)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傾斜ハウス(アーチ型)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、換気位置に高低差のある方が優位である(Kittas ら, 1997; 小澤ら, 1993; 佐瀬, 1998)との研究報告もあり、本研究結果はこれを追認している。

実験に用いた傾斜ハウス(アーチ型)では、傾斜方向両端の高低差は約  $5.2\text{m}$  ( $30\text{m} \times \sin(10/180\pi)$ )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  $1\text{m}$  が最大であるのに対して、傾斜ハウス(アーチ型)における側窓の両端では巻き上げ幅に加えて  $5.2\text{m}$  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(Boulard ら, 1997; 小澤ら, 1993)。

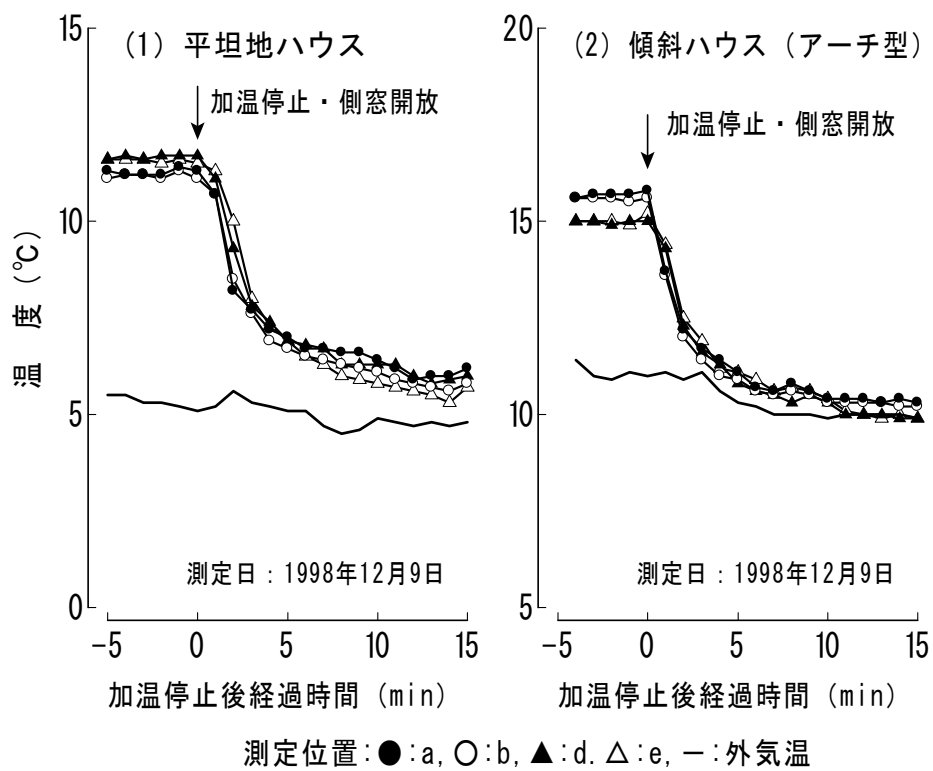


図2-2 側窓の開放による換気時のハウス内の温度変化

ハウスを密閉し、外気温より5°C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。測定位置は図2-1を参照。



このことから推察すると、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傾斜ハウスの方で温度が速やかに低下したのは、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であり、傾斜ハウスが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考えられる。

### 2-3-2 傾斜ハウス（アーチ型）における換気位置が温度分布に及ぼす影響

傾斜ハウス（アーチ型）を密閉してハウス内の温度を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図 2-3 に示す。換気開始直前の傾斜ハウス（アーチ型）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（図 2-3(1)）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（図 2-3(2)）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。

傾斜ハウス（アーチ型）内を側窓側からみた場合の温度分布の変化を図 2-4 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（図 2-4(1)）、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（図 2-4(2)）、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。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（図 2-4(3)）。

この様に、側窓を巻き上げて換気した場合には、傾斜ハウス（アーチ型）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、傾斜ハウス（アーチ型）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（菅谷，1998）ものの、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

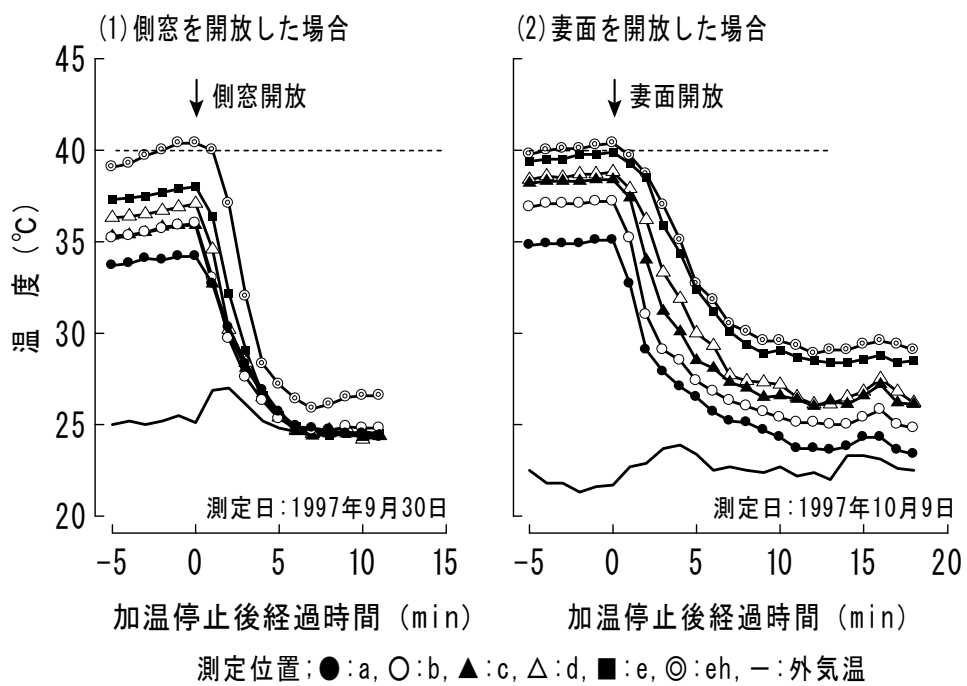
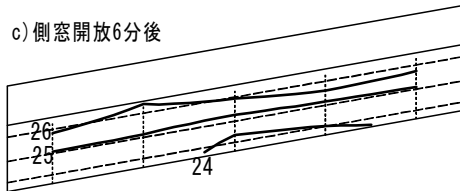
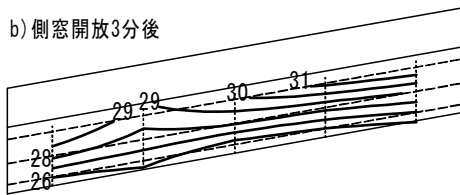
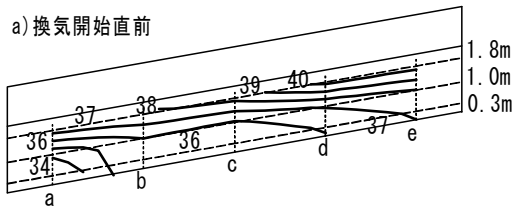
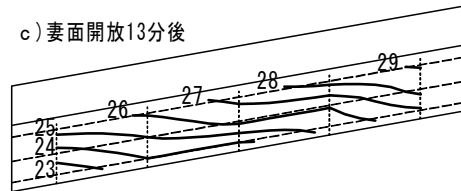
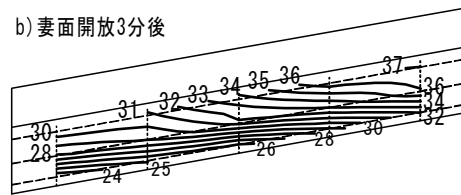
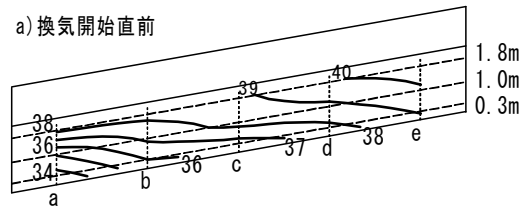


図2-3 側窓または妻面の開放による換気時の傾斜ハウス(アーチ型)内の温度変化

測定位置は上図参照。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°C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。測定位置は図2-1を参照。



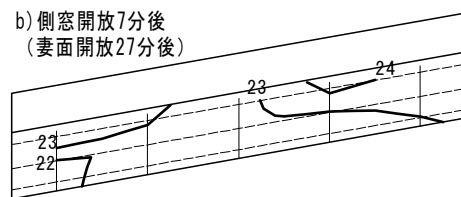
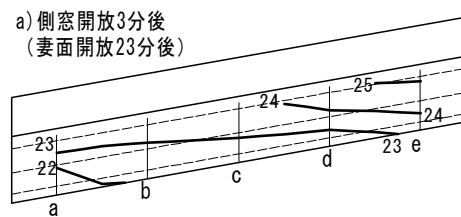
(1) 側窓を開放した場合



(2) 妻面を開放した場合

### 換気方法

- (1): 側窓を開放
- (2): 妻面を開放
- (3): (2)cの7分後に側窓を開放



(3) 妻面開放後に側窓を開放した場合

図2-4 換気方法の違いが傾斜ハウス(アーチ型)内の温度分布に及ぼす影響

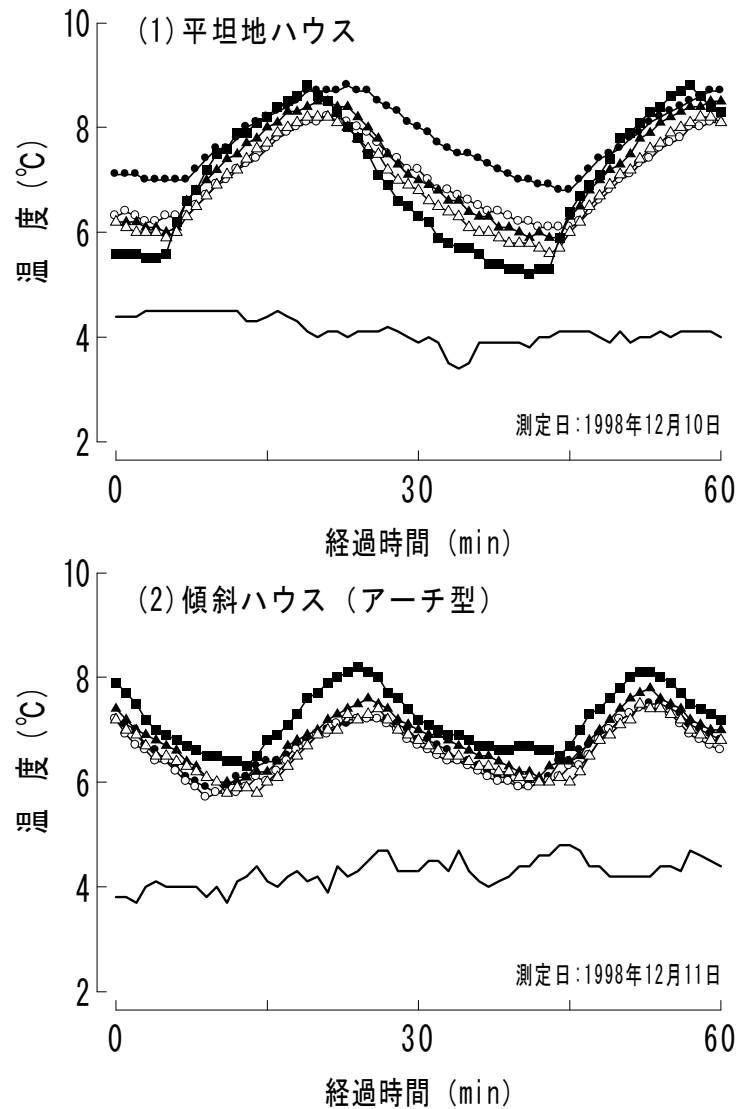
図中の数字は温度を表す。縦棒(点線)は測定位置(a~e)を、波線は地面からの高さ(m)を示す。ハウスを密閉後、測定位置ehが40°Cに達した後、側窓または妻面を開放して換気を行った。測定位置は図2-1を参照。

おける換気を考えると、空気が入り出る開口部の高低差が大きいほど換気量が多く (Boulard ら, 1997 ; 小澤ら, 1993) , 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 (菅谷, 1998) . また, 傾斜地では斜面上昇風が存在すること (柴田ら, 2002) など平坦地と異なる特性がある. こうしたことから, 関ら (2002) 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考えられた. また, アーチ型傾斜ハウスの場合, 側窓より上部のアーチ部分には換気窓がなく, 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考えられた.

### 2-3-3 傾斜ハウス (アーチ型) 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図 2-5 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, 傾斜ハウス (アーチ型) 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  $1.9^{\circ}\text{C}$  と  $1.0^{\circ}\text{C}$  であり, 平坦地ハウス (それぞれ  $3.6^{\circ}\text{C}$  と  $1.9^{\circ}\text{C}$ ) と比較して小さかった.

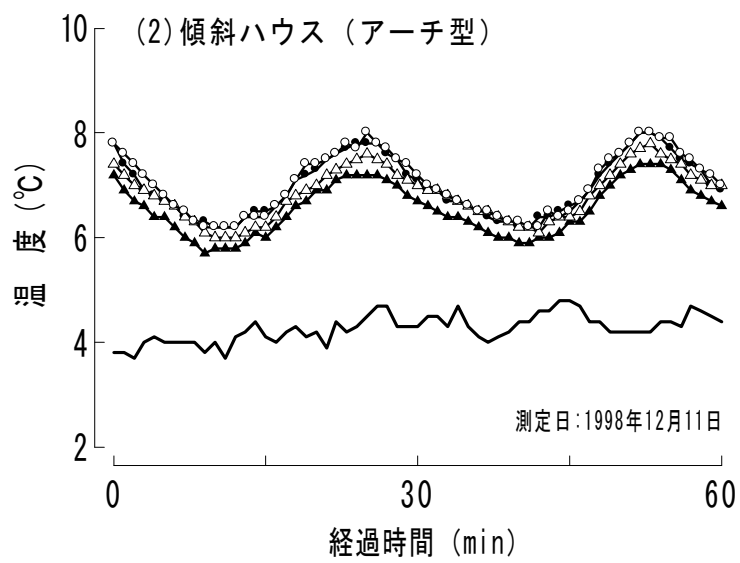
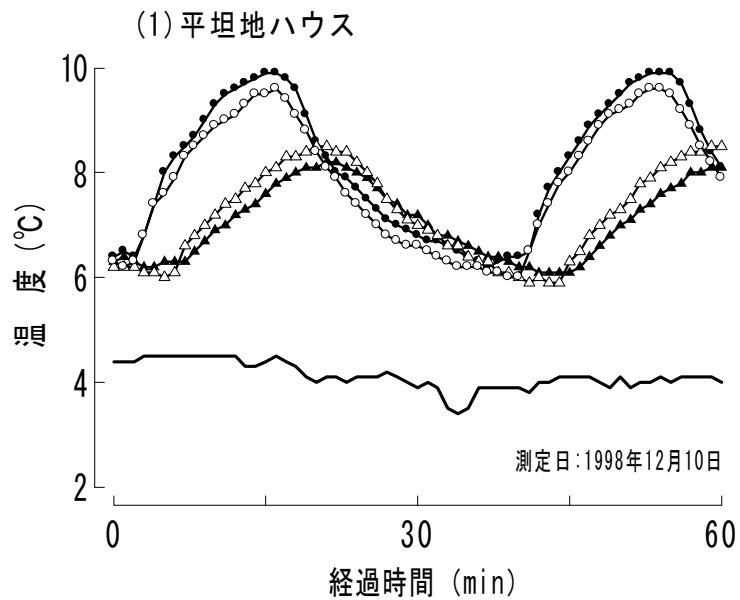
次に, 地面からの高さが違う位置での温度変化を図 2-6 に示す. 平坦地ハウスでは, 暖房機の燃焼開始と同時に測定位置 bh および ch の温度が順に上昇し, その後測定位置 b および c の温度が順に上昇した. また bh および ch では b および c より温度変化が大きかった. 一方, 傾斜ハウス (アーチ型) では, 地面から高い位置ほど温度は高くなる傾向があった. しかし, 各測定位置における温度の変動幅と測定位置間の温度差はそれぞれ最大で  $1.8^{\circ}\text{C}$  と  $4.0^{\circ}\text{C}$  であり, 平坦地ハウス (それぞれ  $2.6^{\circ}\text{C}$  と  $5.9^{\circ}\text{C}$ ) 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.



測定位置: ●: a, ○: b, ▲: c, △: d, ■: e, -: 外気温

図2-5 平坦地ハウスと傾斜ハウス(アーチ型)の加温時における温度変化の比較

測定位置は図2-1を参照.



測定位置: ●bh, ▲:b, ○:ch, △:c, -:外気温

図2-6 平坦地ハウスと傾斜ハウス(アーチ型)の加温時における温度の垂直分布の比較  
測定位置は図2-1を参照.

平坦地ハウスでは、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。この様に、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（1970）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停低下するため、暖房機から遠いほど温度が低くなる等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、Titelら（1997）は、加温時において暖房機が停止すると温度差が小さくなったと報告しているが、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、平坦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。

これに対して、傾斜ハウス（アーチ型）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。傾斜ハウス（アーチ型）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（2001）は、無加温状態における閉鎖型傾斜ハウス（アーチ型）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、傾斜角が増すと傾斜ハウス（アーチ型）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。このため、傾斜ハウスにおいては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考えられた。これに対して、傾斜畑では平坦地と異なる温度分布特性を有することが明らかとなった。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を図っている（林，1990；岡田，1980）。一方、傾斜ハウスでは、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、温風ダクトの設置が斜面下方の妻面側のみに温風ダクトを設置して温度分布

の均一化が図れるならば、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。

#### 2-3-4 循環扇による送風が加温時の傾斜ハウス(アーチ型)の温度分布に及ぼす影響

循環扇による送風が加温時の傾斜ハウス(アーチ型)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図 2-7 と図 2-8 に示す。

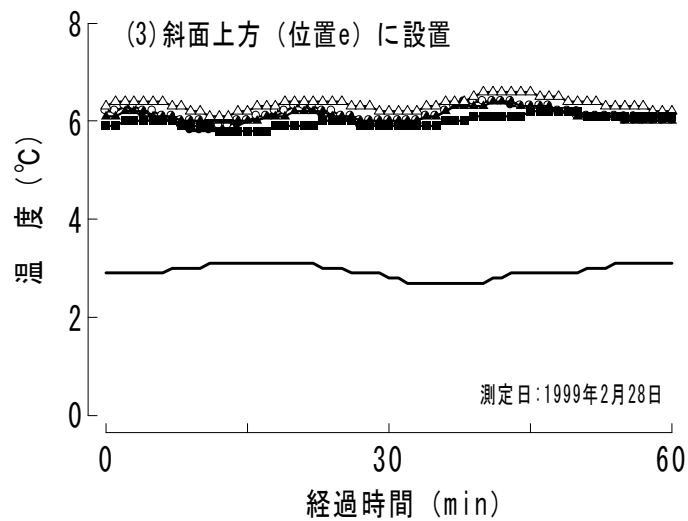
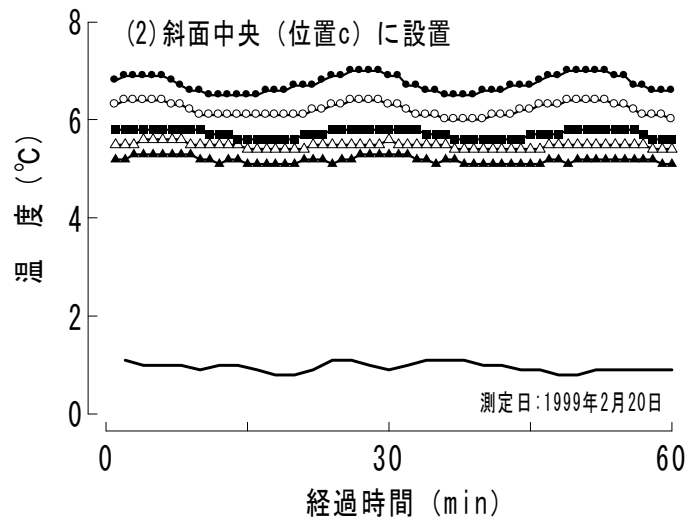
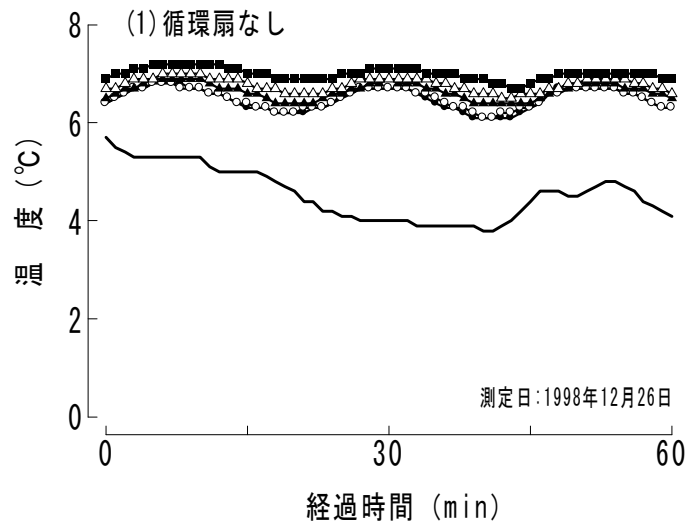
傾斜ハウス(アーチ型)において温風ダクトを暖房機側(斜面下方)の妻面に沿って配置して加温すると、循環扇を使用しない場合の傾斜方向の温度差は約 0.5℃であったが、斜面上方が最も高く斜面下方へ向かって低くなる傾向が認められた。2-3-3 の結果から推察したように、暖房機で発生させた暖気は斜面下方から上方へ移動していると考えられた。

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傾斜ハウス(アーチ型)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)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(石井ら, 2012; 畔柳, 2010; Fernandez ら, 1994)。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(畔柳, 2009b)。本実験でも、温度分布に及ぼす影響が見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(福井ら, 2009; 佐瀬, 2003b)、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(馬場, 2010)。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(2001)は、密閉した傾斜ハウス(アーチ型)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





測定位置; ●:a, ○:b, ▲:c, △:d, ■:e, —:外気温

図2-7 循環扇の配置が傾斜ハウス(アーチ型)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図2-1を参照.

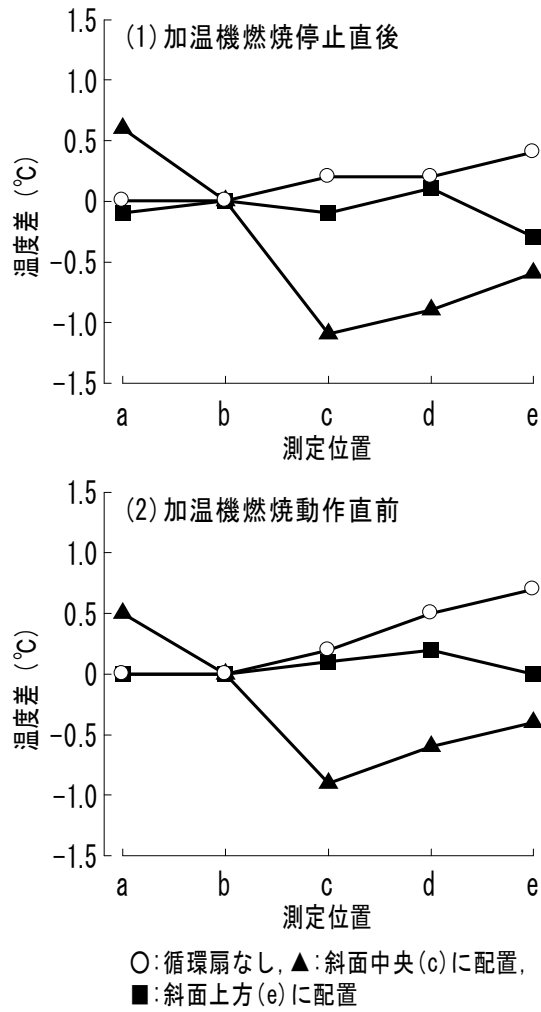


図2-8 循環扇の配置が傾斜ハウス(アーチ型)の加温時における傾斜方向の温度分布に及ぼす影響

a~eは測定位置. 温度差は, センサー設置位置(測定位置b)との各測定位置との温度差を示す. 測定位置と循環扇の設置位置は図2-1を参照.

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° の場合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、傾斜ハウス（アーチ型）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。

## 2-4 結論

中山間地域の傾斜畑においては、施設化による野菜・花きの安定生産ならびに周年生産システムの開発が求められている。傾斜畑において野菜・花きの施設生産を行うためには、傾斜ハウス導入の可否や温度制御技術についての検討が必要であるが、傾斜ハウスの内部環境に関する既往の研究はほとんどなく、傾斜ハウスの温度分布特性は不明な点が多い。そこで本章では、傾斜畑への傾斜ハウスの導入に際しての前提となる基本的な温度分布特性を明らかにするために、従来から平坦地において最も多く利用されているアーチ型パイプハウスを傾斜のある畑面に設置した傾斜ハウス（アーチ型）において、換気または加温にともなう傾斜ハウス（アーチ型）内の温度変化を平坦地に設置した平坦地ハウスと比較・解析することにより、傾斜畑における傾斜ハウスの適用の可能性と温度分布特性に関する以下の特徴を明らかにした。

- 1) 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°C 以上高かったのに対して、傾斜ハウス（アーチ型）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) 傾斜ハウス（アーチ型）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) 平坦地ハウスと傾斜ハウス（アーチ型）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傾斜ハウス（アーチ型）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、斜面下方の妻面側のみに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) 傾斜ハウス（アーチ型）において、加温時に循環扇を設置して斜面下方向きに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。

以上のように、本章では傾斜ハウスは平坦地ハウスより換気能力に優れること、加温時においても懸念されていた温度勾配の発生を解消できること等の温度分布特性を明らかにするとともに、中山間地域の傾斜畑における野菜・花き生産に対して傾斜ハウスが利用可能であることを示した。一方、中山間地域の傾斜畑において利用されている従来の簡易雨よけ施設から傾斜ハウスへの転換を図るためには、中山間地域に多く存在する不定形で狭小な傾斜畑に対応することが求められる。しかし、平坦で基盤整備された矩形の圃場で利用されているアーチ型パイプハウスを、不定形な傾斜畑へ単に導入するだけでは適用できない構造上の問題を生じることとも予想される。そこで次章では、従来の簡易雨よけ施設に替わる施設として、中山間地域の傾斜畑における野菜・花き生産において傾斜ハウスを導入する際の構造上の問題点とその問題点を解決するための構造要件を明らかにするとともに、同要件に基づいて開発した野菜・花き生産用傾斜ハウスの実施工例と導入メリットを明らかにする。

## 第3章 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

### 3-1 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等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等の果樹では、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（朝倉，2007；横田，2007；小倉ら，1990）。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（原菌，1990；鴨田，1990）であり、環境調節機能が不十分であること等、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、傾斜畑における野菜・花き生産は小区画で不定形な圃場で行われているのが実態であり、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等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等を抽出した。さらに、抽出した要件に基づいて野菜・花き生産用平張型傾斜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。

### 3-2 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

#### 3-2-1 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（図 3-1）．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 1,000m 級の山に囲まれており、台風にもなう豪雨や強風害が多い地域である．生産者圃場は、標高 600～650m の南斜面に位置する．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、傾斜度が様々な傾斜畑が散在する中で生産が行われている（野中・川嶋ら，1999）．

### 3-2-2 簡易雨よけ施設の概要

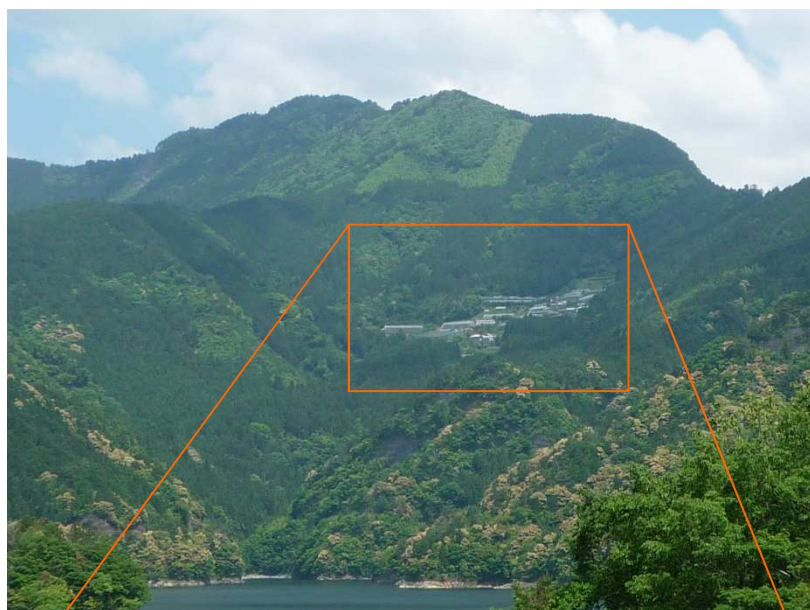
簡易雨よけ施設は、外径 19.1mm の直管パイプを曲げたアーチパイプで、間口 1.8m、高さ 2.0m、軒高 1.5m の骨組みを形成し、そのアーチパイプを直管パイプやワイヤー等で補強して、屋根部分のみにフィルムが張られた構造である（図 3-2）．栽培終了時には耕うん等の作業のため撤去し、栽培開始前には再び設置する作業が生産者の手で行われる．畝ごとにアーチパイプの足の部分が通路に差し込まれ、フィルムの押さえひもを留めるワイヤーがパイプ沿いにひざ下の高さに張られている．このため、防除や管理作業時の空間が著しく狭い、雨天時には作業や収穫物等がぬれる、雨後の作業では足元が滑るといった作業面の問題（長崎・川嶋ら，2004a）の他、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．

## 3-3 新たな野菜・花き生産用傾斜ハウスの開発

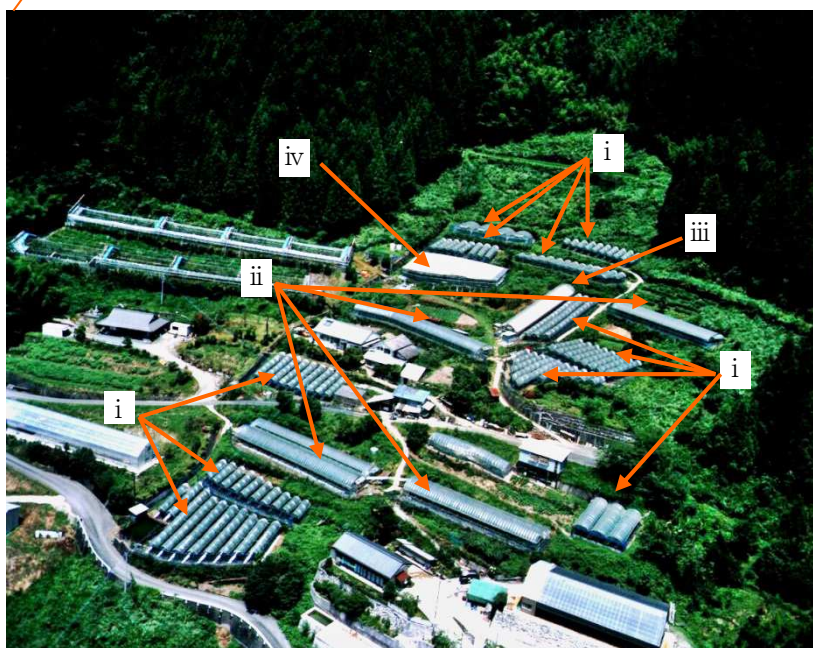
### 3-3-1 新たな野菜・花き生産用傾斜ハウスの開発に向けた要件

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他、従来の簡易雨よけ施設のように自家施工できること等が前提となる．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等の強風により壊滅的被害を受ける（東出ら，2007；迫田ら，2009）ことから、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



(1)生産者圃場の遠景



(2)傾斜畑に散在する生産者圃場における施設の配置

### 図3-1 試験を実施したトマト生産者の圃場

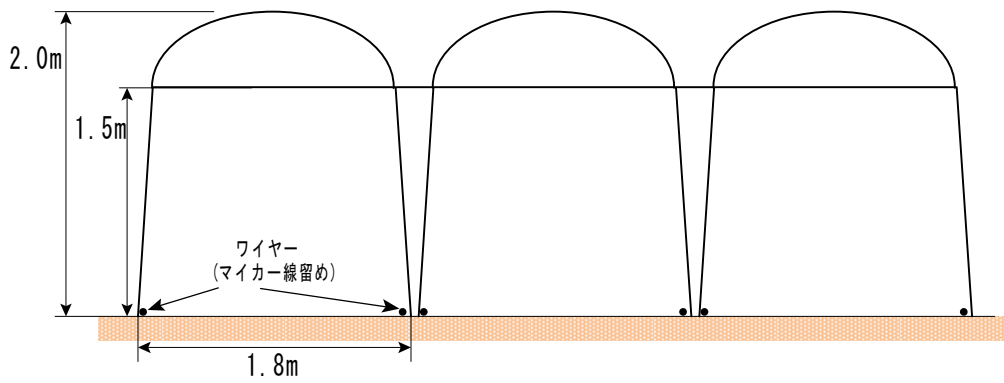
試験開始2年目における試験地の状況。

(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)は平張型傾斜ハウス。





(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

図3-2 生産者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。



形な傾斜畑に対応できること、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等であると考えられる。

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を試験導入し、野菜・花き生産用傾斜ハウスとしての基本要件に対する適用性を検討した（表 3-1）。

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  $17^{\circ}$ ）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（図 3-2(3)）。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（佐瀬, 2003a）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となことから、作業空間が広がり作業環境を改善させる効果（長崎・川嶋ら, 2002）が認められた。

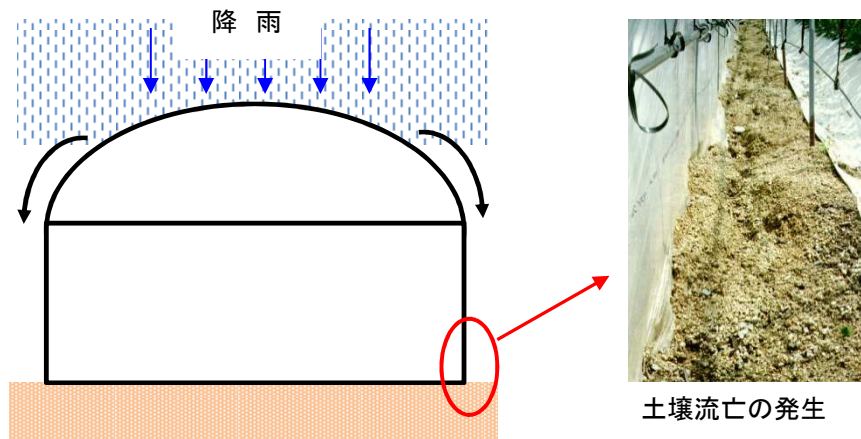
しかし、アーチ型傾斜ハウスを導入する場合の問題点も明らかになった。一般的なアーチ型パイプハウスの床面形状は矩形が基本であり、傾斜畑に多くみられる不定形な小区画圃場では、残地が多く発生するため狭い圃場を有効に利用できなかった（図 3-3）。さらに、傾斜地に対応した接合部材を使用するため、同規模のアーチ型パイプハウスを平坦地に設置した場合と比較して、資材費は 10~20% 増加する（長崎・川嶋ら, 2004a）。また、降雨時にはハウスで覆った 3 畝分の雨水が屋根面を伝ってハウスの両側へ振り分けられて落下するため、ハウス両側面の斜面に排水が集中して土壌流亡を生じさせた。

この様に、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開発に必要な構造要件について検討した。

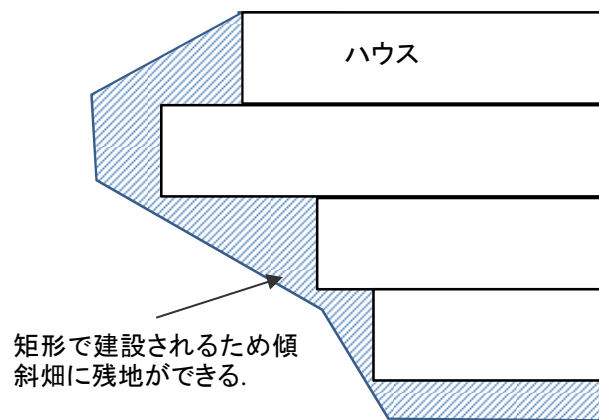
野菜・花き生産用傾斜ハウスとしての基本要件とその解決手段ならびに構造要件（設計指標）を表 3-2 に示す。まず、小区画で傾斜畑を有効に利用するためには、栽培できない面積を少しでも減らすため、傾斜畑の形状に応じて基礎や柱を設置し、自由に設計できる構造であることに加え、生産者自身で施工することを考慮して、入手しやすく安価な汎用資材の利用を図ることが必要と考えられる。一方、果樹用大型傾斜ハウスの中で、亀甲型傾斜ハウスや波状型傾斜ハウスは屋根形状が複雑であり自家施工が難しいのに対して、平張型傾斜ハウスは屋根形状

表3-1 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40m・s <sup>-1</sup> 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 <sup>2</sup> 当たり約1.3万円(長崎・川嶋ら、2004a)。 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亡が発生。 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(長崎・川嶋ら、2002).



(1)雨水の集中による土壌流亡の発生



(2)不定形傾斜畑へのアーチ型傾斜ハウス設置

図3-3 アーチ型傾斜ハウスを導入した場合の課題

表3-2 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"> <li>・主基礎と支柱を格子状に配置する</li> <li>・圃場形状に合わせてハウス外周部に主基礎・支柱を配置</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・主基礎・支柱の間隔は3mを基本とし、最大5.4mとする</li> <li>・圃場の傾斜度20°までの傾斜に対応すること</li> </ul>
耐風強度があること	<ul style="list-style-type: none"> <li>・主基礎は引き抜き力に対抗するための基礎を用いている</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・台風等の強風(40~50m・s<sup>-1</sup>)に耐えること</li> <li>・固定荷重、積雪荷重(50cm)に耐えられること</li> <li>・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</li> </ul>
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"> <li>・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</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・資材費は3.3㎡当たり1.3万円以下とする</li> <li>・建設足場用汎用パイプ(外径48.6mmおよび42.7mm)を利用</li> <li>・建設足場用汎用クランプ(直交・自在)を利用</li> </ul>
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"> <li>・軒高を高くする</li> <li>・換気のための開口面積を増やす</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・軒高3mを基本とし最大4mとする</li> <li>・側窓の巻き上げ幅を2m以上を確保し、4面に設置</li> </ul>
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"> <li>・屋根面はシンプルな形状とする</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・屋根面は平屋根構造の平張型とする</li> <li>・止水シート等を敷設して雨水を集・排水する</li> </ul>

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（長崎・川嶋ら，2005）である。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等の管理作業は傾斜度 20° 程度までが限界（長崎・川嶋ら，2004b）であり、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。

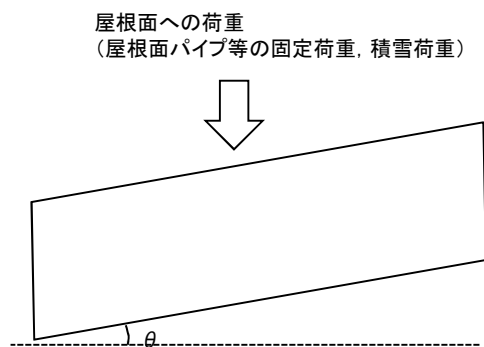
次に、低コスト化について考えるとアーチ型傾斜ハウスに要する資材費（3.3 m<sup>2</sup> 当たり 1.3 万円）より抑えることが目標となる。低コスト化と強度を考慮すると、大量に流通しホームセンター等でも簡単に購入できる建設足場用汎用パイプおよびクランプ類はこの条件を満たすとともに自家施工にも対応しやすいと考えられる。さらに、建設足場用汎用パイプの長さは 6m で取り扱われている場合が多いことから、棟パイプ等の骨組みや支柱の長さは 6m または 3m を基本に構成することで材料の無駄も少なくできる。主基礎・支柱の間隔は 3m 以上にも設定できるが、建設足場用汎用パイプの長さが最大 6m 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場合にはパイプの変形（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（長崎・川嶋ら，2010）。

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挙げると、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 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 を基本とすること等である。以上に述べた要件に基づいて野菜・花き生産用平張型傾斜ハウスを新規開発した。

一方、傾斜ハウスの強度としては、台風等の強風（40～50 m・s<sup>-1</sup>）に耐えるためには鉄骨補強パイプハウス相当（耐風速 40m・s<sup>-1</sup>）の強度が目安となる。ハウスの強度を考える場合、図 3-4 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等の固定荷重や積雪による積雪荷重等を考慮する必要がある。開発した野菜・花き生産用平張型傾斜ハウスの構造の特徴と強度については次項で検証する。

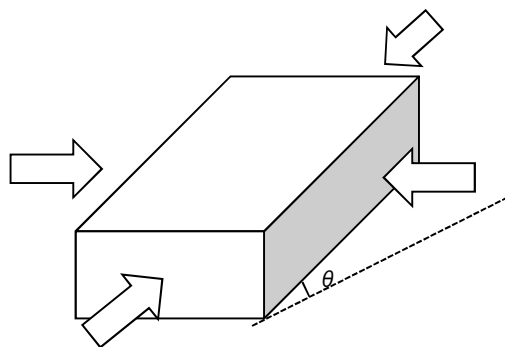
### 3-3-2 新たに開発した平張型傾斜ハウスの構造

前項で述べた構造要件に基づいて新たに開発した野菜・花き生産用平張型傾斜ハウスの構造と主な部材の配置を図 3-5 に、同ハウスの実施工例を図 3-6 と図 3-7 に示す。実際に平張型傾斜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



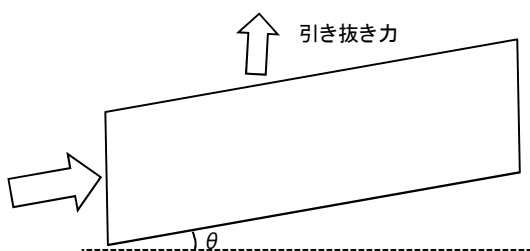
骨組みとして建設足場用汎用パイプを使用し、支柱を3m間隔で配置した場合の1本当たりの荷重(ただし、最も荷重が大きい $\theta=0^\circ$ の場合)は、構造部材による固定荷重と積雪深50cmの積雪荷重がそれぞれ0.4kNと4.4kNである。

(1)支柱にかかる圧縮荷重(屋根面からの荷重)



側面に作用する風圧力について、軒高3m、支柱間隔3m、幅6m(見つけ面積 $18\text{m}^2$ )に対して、風速 $50\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 、速度圧69.3、風力係数0.8とした場合に想定される最大荷重は約9.8kNである。

(2)側面に作用する風圧力



屋根面に作用する引き抜き力について、軒高3m、幅3m(見つけ面積 $9\text{m}^2$ )に対して、風速 $50\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 、速度圧69.3、風力係数 $C_p$ ( $C_p=1.3\sin\theta-0.5$ )、 $\theta=10^\circ$ とした場合の1本の主基礎にかかる力は1.7kNである。

(3)屋根面に作用する引き抜き力

### 図3-4 平張型傾斜ハウスに作用する荷重

(長崎・川嶋ら, 2001; 2005)をもとに作成。

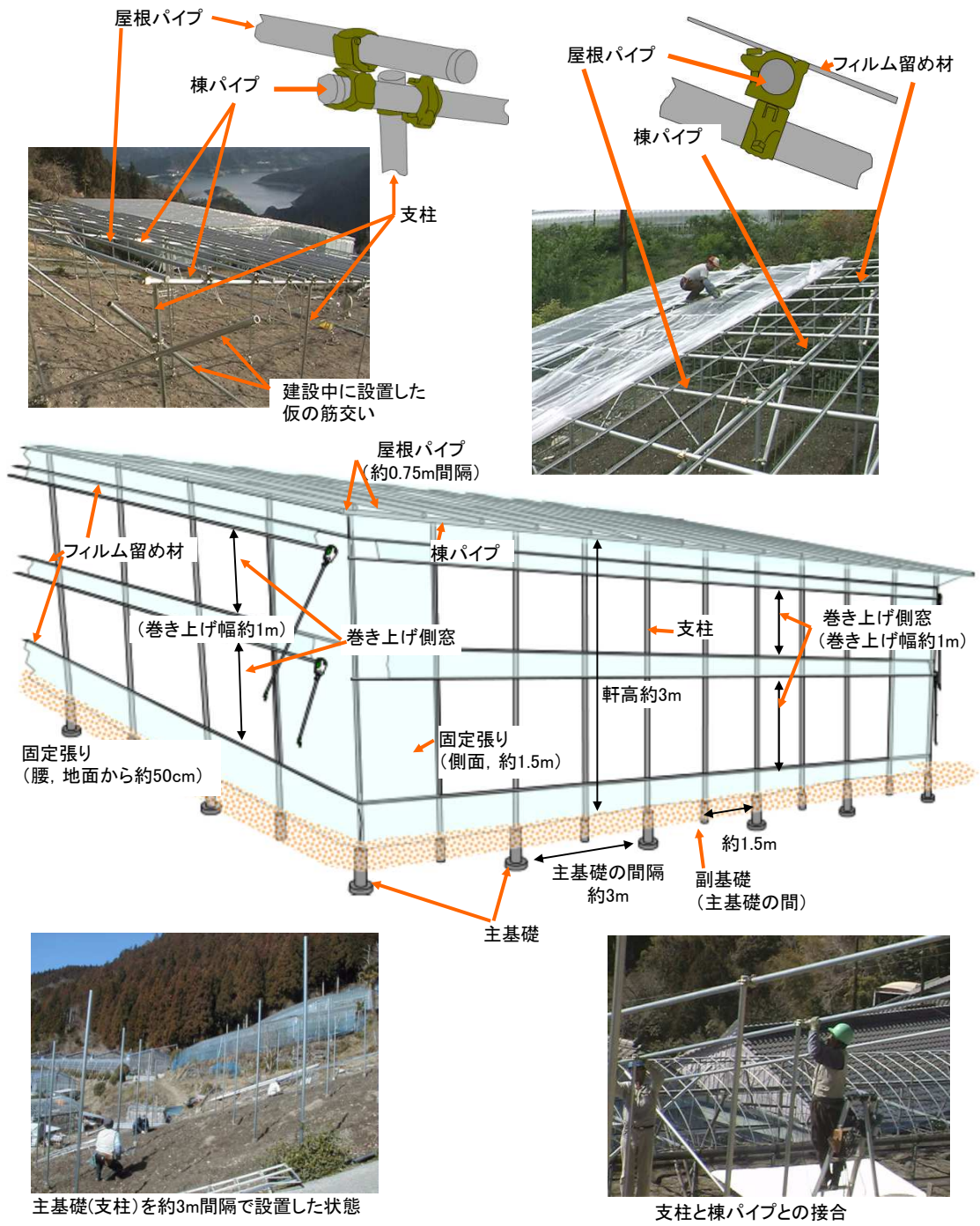
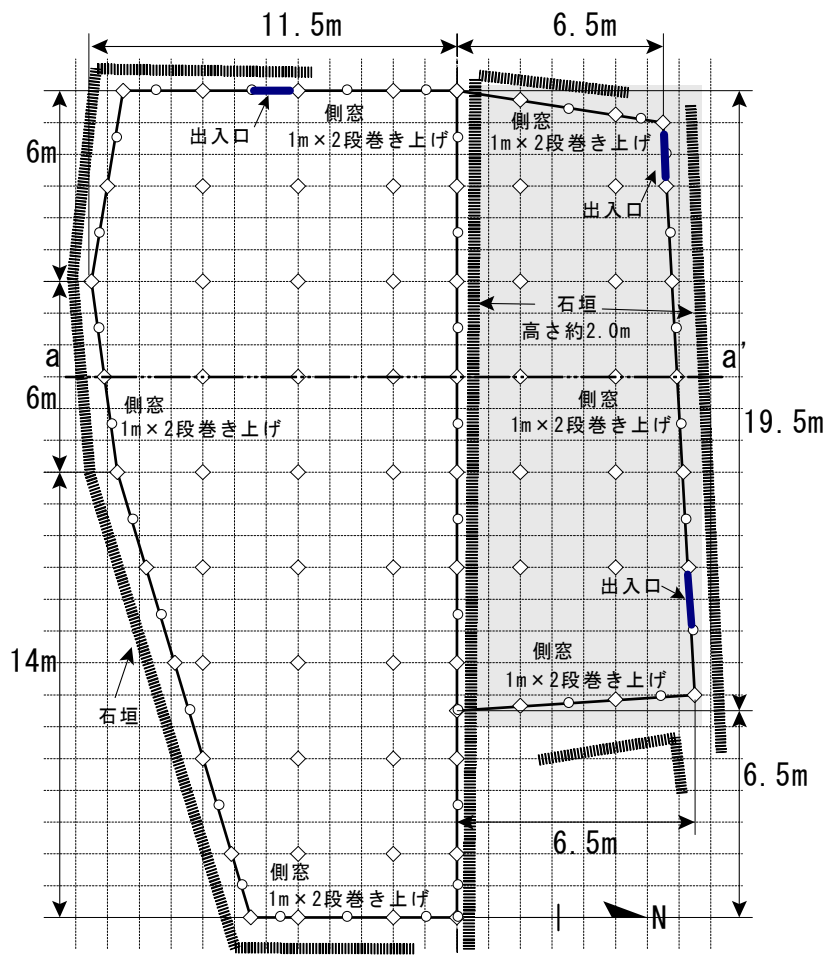


図3-5 新たに開発した平張型傾斜ハウスの構造と主な部材の配置



図3-6 開発した平張型傾斜ハウスの実施工例





圃場面積 : 384 $\text{m}^2$

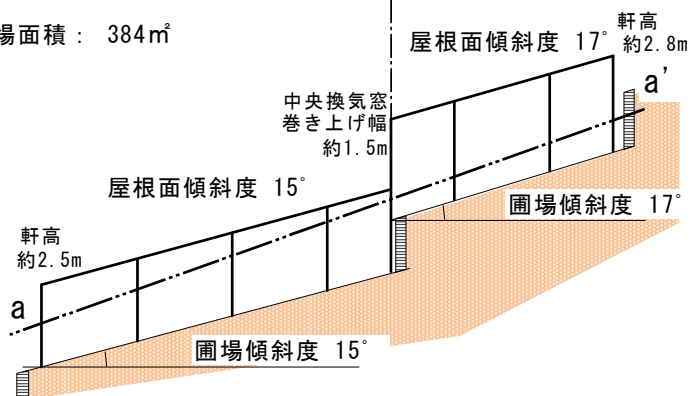


図3-7(1) 生産者圃場において隣接する2区画の傾斜畑(傾斜段畑)を一体的に覆うように設置された平張型傾斜ハウスの設置例(1)

2区画の傾斜畑を、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。

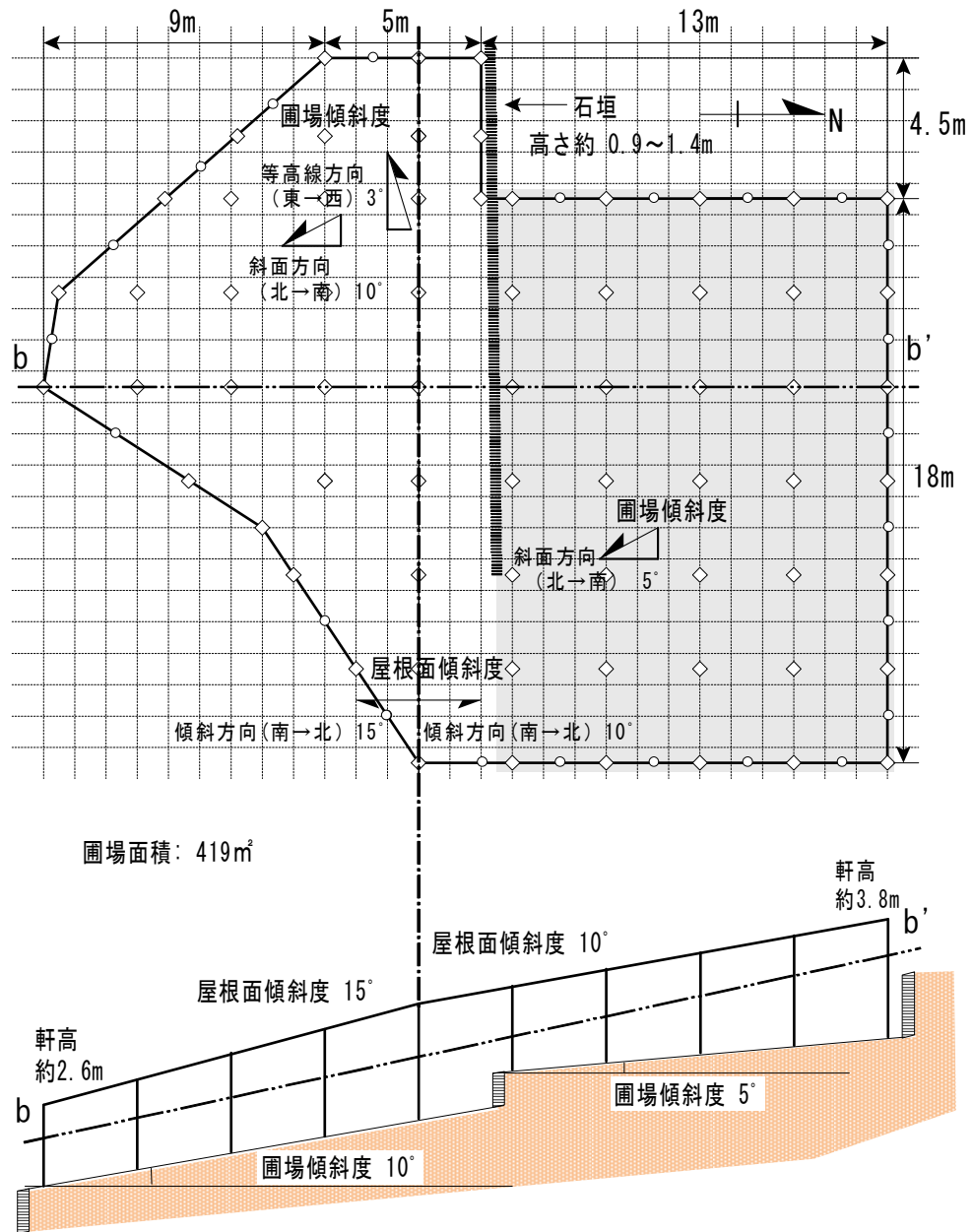


図3-7(2) 生産者圃場において隣接する2区画の傾斜畑(傾斜段畑)を一体的に覆うように設置された平張型傾斜ハウスの設置例(2)

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

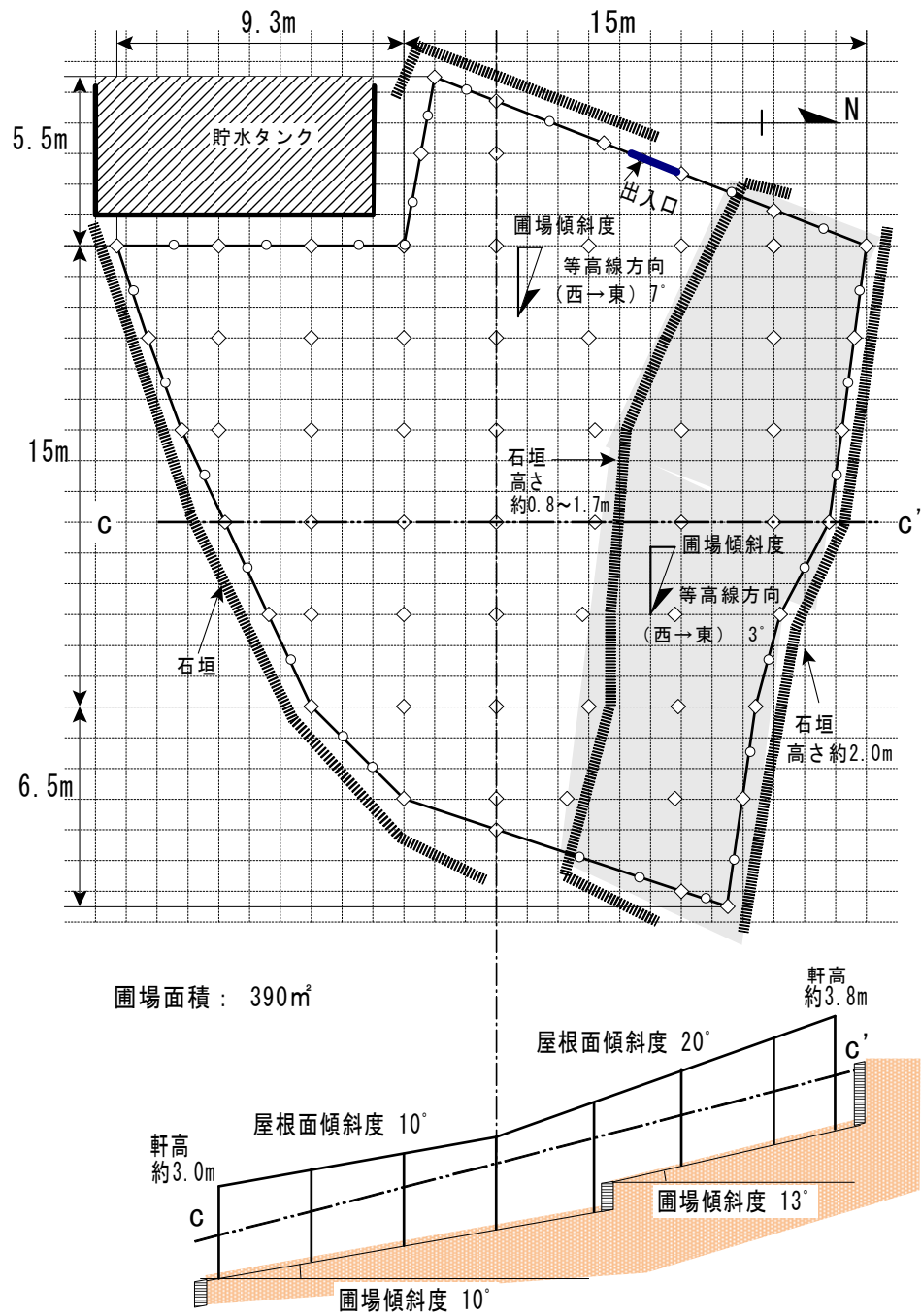


図3-7(3) 生産者圃場において隣接する2区画の傾斜畑(傾斜段畑)を一体的に覆うように設置された平張型傾斜ハウスの設置例(3)

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

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（長崎・川嶋ら、2004a）。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より、様々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等を取り付けるため、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、平張型傾斜ハウスの資材費は 3.3 m<sup>2</sup>当たり 0.8 万円でありパイプハウスにおける資材費（3.3 m<sup>2</sup>当たり 1.3 万円）に対して 0.5 万円安く（長崎・川嶋ら、2004a）、低コストなハウスといえる。

次に、開発した平張型傾斜ハウスの強度について検証する（図 3-4）。まず屋根面からの荷重を想定すると、支柱の長さを 4m とした場合の外径 48.6mm の建設足場用汎用パイプの圧縮に対する許容荷重は 11.2kN である（長崎・川嶋ら、2005）。建設足場用汎用パイプを骨組みとして軒高 3m、支柱間隔 3m 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等の固定荷重と設計積雪深 50cm の積雪荷重はそれぞれ 0.4kN と 4.4kN であり（長崎・川嶋ら、2005）、支柱の長さを 4m 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（6m）の半分の 3m 程度とすることで強度を確保し、固定荷重等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 4.9kN と 0.6kN であり、風圧等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（長崎・川嶋ら、2001）。

さらに、平張型傾斜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 3m、支柱間隔 3m、幅 6m（見つけ面積 18m<sup>2</sup>）、風速 50m・s<sup>-1</sup>、速度圧 69.3、風力

係数 0.8, とした場合の想定最大荷重は約 9.8kN である (長崎・川嶋ら, 2005) . 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 30mm (支柱長さ 3m の 1/10) を下回ること (長崎・川嶋ら, 2005) 等から, 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 (長崎・川嶋ら, 2001) . 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  $40\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ) 以上の強度を確保できる (長崎・川嶋ら, 2005) . さらに, 屋根面に作用する引き抜き力 (風圧力) は, 軒高 3m, 幅 3m (見つけ面積  $9\text{m}^2$ ) , 風速  $50\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$  , 速度圧 69.3, 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 1.7kN 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 (長崎・川嶋ら, 2005) . これらのことから, 長崎・川嶋ら (2005) は, 開発した平張型傾斜ハウスが  $40\sim 50\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$  の台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, 平張型傾斜ハウスは設置から 10 年以上経過した現在でも台風等の強風による損壊被害等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  $41.0\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$  と  $36.4\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ) 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, 平張型傾斜ハウスは被害を受けなかったことが報告されている (東出ら, 2007) . 伊吹 (2009) 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平張型傾斜ハウスの構造が  $40\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$  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, 開発した平張型傾斜ハウスは, 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.

開発した平張型傾斜ハウスの軒高は約 3m を基本として, ハウス四方には巻き上げ幅約 1m 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 2m と大きくなる. 一般的なアーチ型パイプハウスは, 軒高が 2m 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, 開発した平張型傾斜ハウスは, 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. 平張型傾斜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.

### 3-3-3 平張型傾斜ハウスの導入メリット

開発した平張型傾斜ハウスは, 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、図 3-1 で見られるような傾斜や形状が様々で条件が異なる傾斜畑や傾斜段畑が混在している（野中ら，1999）。傾斜段畑では、隣接する圃場を平張型傾斜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、図 3-7 に示した例では、傾斜度が  $5^{\circ}$  ～ $17^{\circ}$  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  $20^{\circ}$  の傾斜畑において施工した例（伊吹ら，2009）も報告されており、傾斜度が  $20^{\circ}$  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、隣接する傾斜畑へ平張型傾斜ハウスを導入した前後における施設面積を表 3-4 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・川嶋ら（2004a）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（長崎ら，2004b）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。

開発した平張型傾斜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従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等の簡単な方法（井上，2009）で排水対策が可能な構造である。

### 3-4 結論

小区画で不定形な中山間地域の傾斜畑において、従来の主要な生産施設である簡易雨よけ施設から傾斜ハウスへの転換を図るため、傾斜畑に対応した野菜・花き生産用傾斜ハウスの導入が求められている。そこで本章では、野菜・花き生産用傾斜ハウスに必要な基本要件ならびに傾斜ハウス導入の際の構造上の問題点およびその問題点を解決する構造要件を、生産者の傾斜畑における現状分析とアーチ型傾斜ハウスを試験導入することにより検討した。さらに、抽出した要件に基づき野菜・花き生産用平張型傾斜ハウスを新規開発するとともにその実施工例と導入メリットを示した。

- 1) 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、傾斜畑特有の問題を明らかにした。

表3-4 簡易雨よけ設置時と平張型傾斜ハウスの導入後の施設面積の比較

設置例 <sup>1)</sup>	(A)簡易雨よけ施設時の面積(m <sup>2</sup> ) <sup>2)</sup>	(B)平張型傾斜ハウス転換後の面積(m <sup>2</sup> )	(C)増加率(%) <sup>3)</sup>
(1)	351	370	5.1
(2)	389	438	12.6
(3)	377	390	3.4

1)設置例は図3-5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.

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等である。

- 2) 開発した平張型傾斜ハウスは、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。平張型傾斜ハウスは、圃場の傾斜が少なくとも  $20^{\circ}$  までの傾斜畑に対応可能であるとともに、平張型傾斜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。
- 3) 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、平張型傾斜ハウスの資材費は、アーチ型傾斜ハウス (3.3  $\text{m}^2$  当たりの資材費 1.3 万円) に対して、3.3  $\text{m}^2$  当たり 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。
- 4) 開発した平張型傾斜ハウスは、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等から、平張型傾斜ハウスは耐風速  $40\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$  以上の強度を有することが示された。平張型傾斜ハウスは、台風の常襲地域に設置した平張型傾斜ハウスにおいて台風等の強風による損壊被害等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) 平張型傾斜ハウスは、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等の作業性向上や省力化等が可能である。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、施設面積は 3.4~12.6% 増加し、残地が減り狭小な傾斜畑を有効利用できる効果がある。



以上のように，開発した平張型傾斜ハウスは，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等，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．さらに，開発した平張型傾斜ハウスは，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から，アーチ型傾斜ハウスと比べて優れた換気能力を有し，高温期における野菜・花き生産に適するものと考えられる．そこで次章では，高温期における平張型傾斜ハウス内の温度分布の特徴を実証的研究により明らかにし，夏秋栽培に対する同ハウスの適用性について検討する．

## 第4章 高温期における平張型傾斜ハウスの換気にもなる 温度分布特性

### 4-1 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等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野菜・花き生産用平張型傾斜ハウスの特徴と導入メリット等を明らかにした。開発した平張型傾斜ハウスは、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、開発した平張型傾斜ハウスの高温期における利用可能性を検証するために、トマトの夏秋栽培を行う生産者圃場に設置した平張型傾斜ハウスにおいて、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平張型傾斜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等を解析することにより、開発した平張型傾斜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。

### 4-2 供試ハウスと換気および実験方法

#### 4-2-1 供試ハウスの概要

##### (1) 平張型傾斜ハウスとアーチ型傾斜ハウス

トマトの夏秋栽培を行う生産者圃場の傾斜度約 17° の傾斜畑に設置したアーチ型傾斜ハウスおよび平張型傾斜ハウスを用いて、それぞれ 1997 年および 2000 年に試験を実施した。供試ハウスの概要を図 4-1 と表 4-1 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、平張型傾斜ハウスは、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。平張型傾斜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した。水源に設置した給水ポンプを手動で切り替えながら、畝方向に敷設した点滴チューブを用いて灌水し、生産者の慣行の栽培管理に従って栽培した。

##### (2) 傾斜段畑に設置した平張型傾斜ハウス

トマト生産者の傾斜段畑において、2 区画の傾斜畑から成る傾斜段畑を 1 区画



表4-1 供試ハウスの概要と使用機器

項目	平張型傾斜ハウス	傾斜段畑に設置された平張型傾斜ハウス		アーチ型傾斜ハウス
		下段ハウス	上段ハウス	
間口 (等高線方向への長さ・m)	12	26	19	5.4
奥行 (傾斜方向への長さ・m)	25	6.5~11.5	6.5~8.5	25
棟高(m)	-	-	-	4.0
軒高(m)	3.0	3.0	3.0	2.2
巻き上げ(側窓)の大きさ 巻き上げ幅×長さ(m)	1.0m×23m (2段)	1.0m×24m (2段)	1.0m×17m (2段)	1.5m×23m
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	15	17	17
温度計測機				
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の石垣がある傾斜段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。		-

化するように設けた平張型傾斜ハウスで試験を実施した(図 4-2)。隣接する 2 区画の傾斜段畑のうち下段に設置した平張型傾斜ハウス(下段ハウスという)は奥行き 6.5~11.5m, 幅 26m, 軒高 3.0m, 圃場の傾斜度約 15°, 上段に設置した平張型傾斜ハウス(上段ハウスという)は奥行き 6.5~8.5m, 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, この平張型傾斜ハウスには 2 段の巻き上げを四方に設置しており, 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り, 水源に設置した給水ポンプを手動で切り替えながら, 畝方向に敷設した点滴チューブを用いて灌水し, 生産者の慣行の栽培管理に従って栽培した。

#### 4-2-2 換気および実験方法

##### (1) 平張型傾斜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

平張型傾斜ハウスとアーチ型傾斜ハウスにおいて, 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(EM 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を選んで両者を比較した。

##### (2) 傾斜段畑に設置した平張型傾斜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

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平張型傾斜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, 図 4-2 に示すように, 傾斜段畑に設置した平張型傾斜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(EM 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。



(1)傾斜段畑に設置された平張型傾斜ハウス

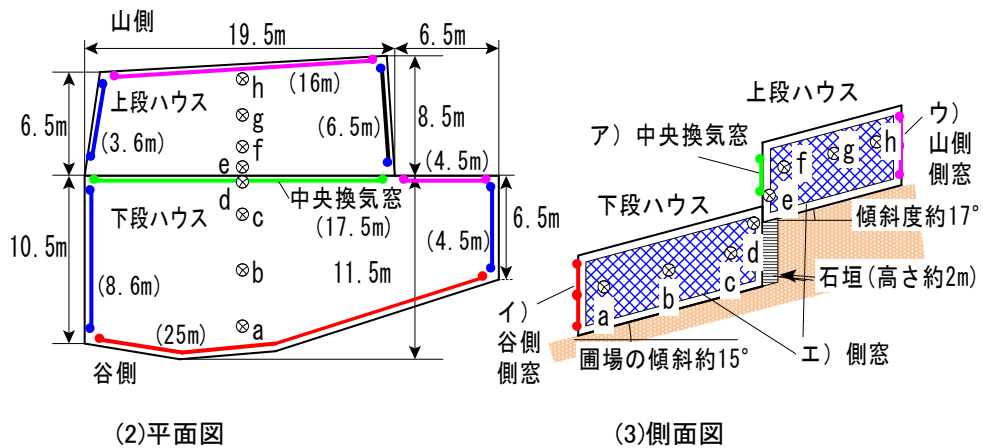


図4-2 傾斜段畑に設置された平張型傾斜ハウス

- ⊗は測定位置. 1~3, 6~8は高さ1.5mで測定.
- 4は下段ハウスと上段ハウスとの連結部分(高さ2.2m)
- 5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.

## 2) 中央換気窓の開閉による換気にもなる温度分布と風速分布の解析

傾斜段畑に設置した平張型傾斜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(K社製, Mode16151)により測定した。各測定点では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の位置で測定した。各測定点では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。

### 4-3 結果と考察

#### 4-3-1 平張型傾斜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平張型傾斜ハウスにおける日中の温度変化を図4-3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表4-2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、平張型傾斜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、平張型傾斜ハウスでは最大で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。

開発した平張型傾斜ハウスは、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)(久富ら, 1977)を算出すると、アーチ型傾斜ハウスでは0.24(=76.8m<sup>2</sup>/324.0m<sup>2</sup>, 両妻面の扉も開口面積に含む)、平張型傾斜ハウスでは0.33(=105.6m<sup>2</sup>/317.4m<sup>2</sup>)であり、平張型傾斜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、開発した平張型傾斜ハウスでは、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効率の良い換気を実現し得ることが確認された。

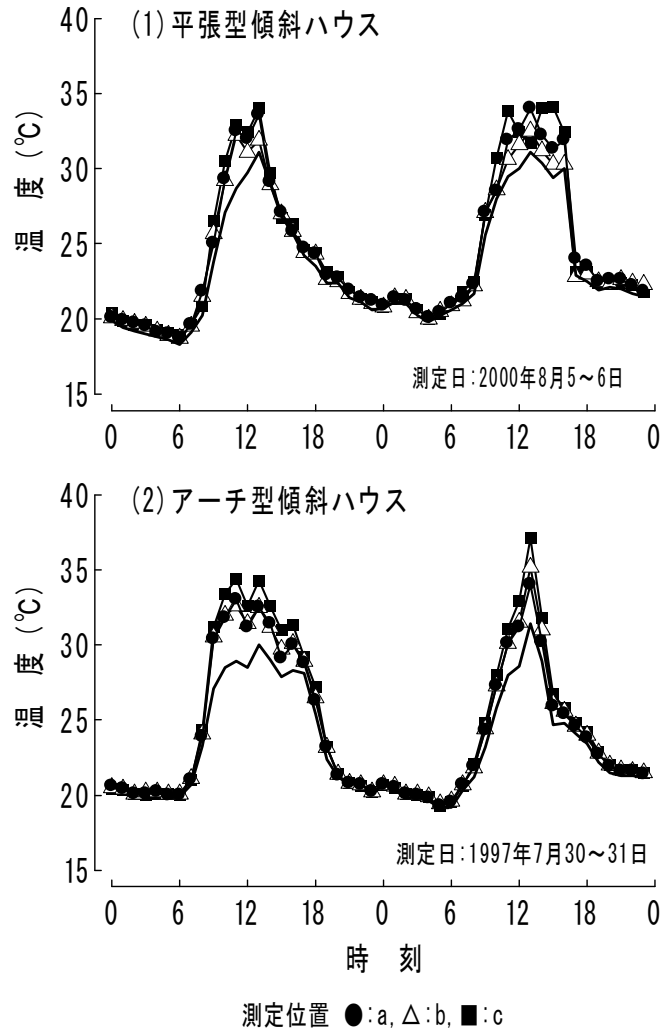


図4-3 平張型傾斜ハウスとアーチ型傾斜ハウスにおける高温期のハウス内温度  
測定位置は図4-1を参照.

表4-2 平張型傾斜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<sup>1)</sup>の比較(°C)

対象ハウス <sup>2)</sup>	測定位置			ハウス内平均	外気温
	上方	中央	下方		
平張型傾斜ハウス	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(図3-2参照). 測定位置は図4-1を参照.

2) 平張型傾斜ハウスは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.



#### 4-3-2 傾斜段畑に設置した平張型傾斜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平張型傾斜ハウスの温度分布に及ぼす影響

傾斜段畑に設置した平張型傾斜ハウスでは、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（図 4-4(1)）。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（図 4-4(2)）。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（図 4-4(2)）よりハウス内温度は約 1℃低かった（図 4-4(3)）。下段ハウスについては影響がみられなかった。

この様に、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閉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、等高線方向に長い平張型傾斜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。この様に、段畑に設置された平張型傾斜ハウスにおいて換気能力を向上させるためには、圃場の段差に従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平張型傾斜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平張型傾斜ハウスにおいて、高さ 0.5m における風速分布を図 4-5 に示す。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  $0.1 \sim 0.6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  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。

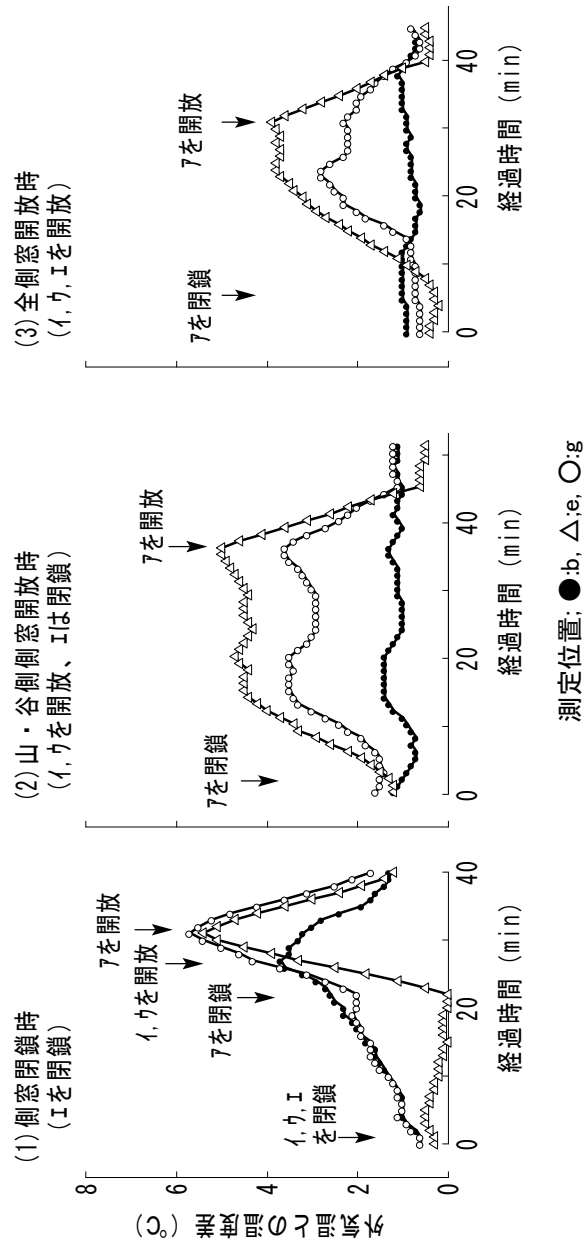


図4-4 中央換気窓の開閉が傾斜段畑に設置された平張型傾斜ハウスにおける温度変化に及ぼす影響

測定位置は図4-2を参照.

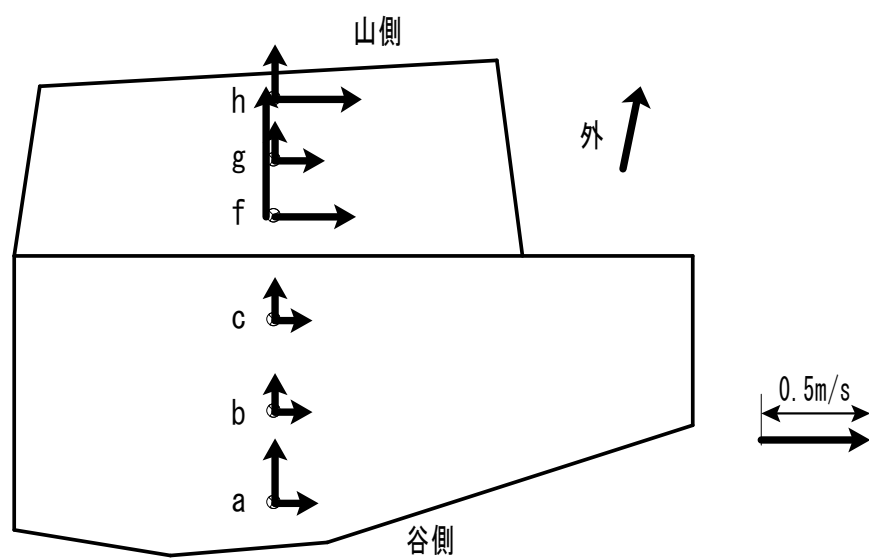


図4-5 傾斜段畑に設置された平張型傾斜ハウスにおける風速分布

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。図中の数字は測定位置(図4-2参照)。

傾斜段畑に設置した平張型傾斜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図4-6に示す。中央換気窓を閉鎖した場合、高さ1.5mにおける平張型傾斜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。また平張型傾斜ハウス内の風速は、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。

平張型傾斜ハウス内では、等高線畝でトマトを栽培中であったが、 $0.1\sim 0.6\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 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(Cotterら, 1960; 伊東, 1972; 矢吹ら, 1970)。一般に、植物体近傍では、 $0.5\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 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(北宅, 1992)。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(馬場, 2010; 佐瀬, 2003b)。これに対して、平張型傾斜ハウスでは、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6章において述べる。

この様に、開発した平張型傾斜ハウスは、屋根面を平面構造と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区画の傾斜畑から成る傾斜段畑に平張型傾斜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) 傾斜段畑に平張型傾斜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**

実験を行った平張型傾斜ハウスは、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等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平張型傾斜ハウス(下段ハウス)と連結する形で傾斜段畑の上段に平張型傾斜ハウス(上段ハウス)を増築することとした。設置の際

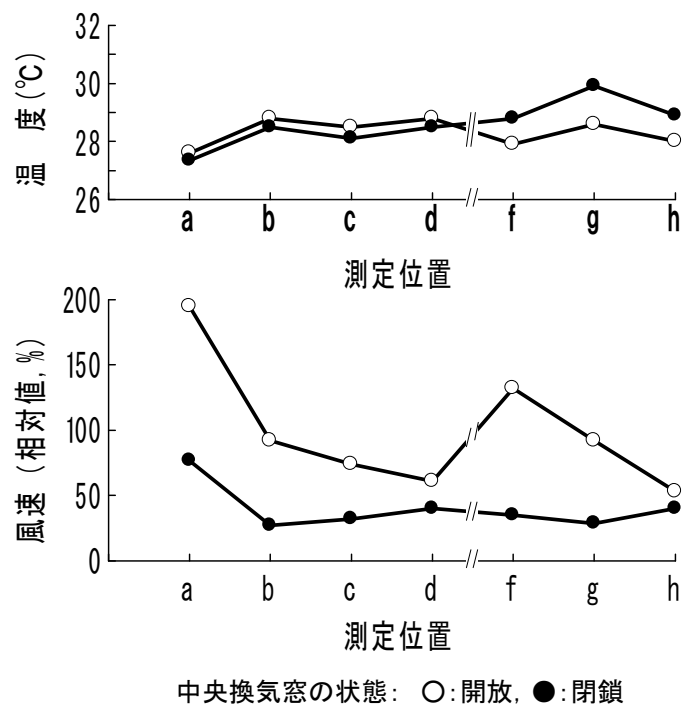


図4-6 傾斜段畑に設置された平張型傾斜ハウスにおける温度分布と風速分布

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。測定位置は図4-2を参照。

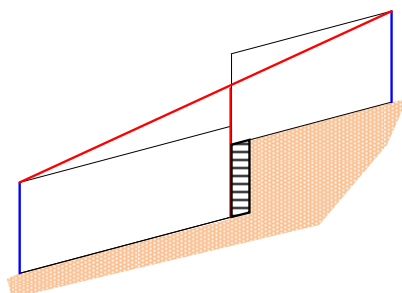
に検討した平張型傾斜ハウスの屋根面構造の比較を図 4-7 に示す。対象となった傾斜段畑に対して、段差のない平面の屋根で覆うとすると、斜面上方と下方の軒高（柱長）をほぼ一定に保つ構造とする場合には、段差部分では地面と屋根面との間が小さくなる（図 4-7(1)）。このため、実験における中央換気窓を閉鎖した場合と同様に換気能力が劣るものと予想される。そこで、段差部分の軒高を確保しようとするすると段差の分だけ上段ハウス部分が高くなる（図 4-7(2)）。これにともない屋根面の傾斜も急になりフィルム交換作業が困難になる（長崎ら, 2004a）。逆に、上段ハウスの軒高を抑えると下段ハウスの軒高が高くなり過ぎる（図 4-7(3)）。このため、傾斜段畑に平張型傾斜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。

#### 4-4 結論

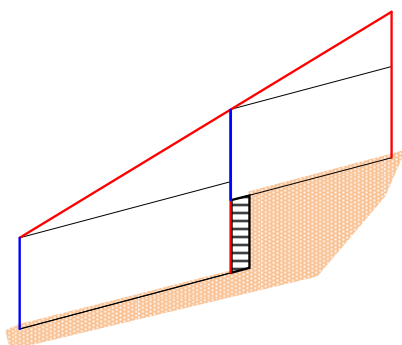
本研究で新たに開発した野菜・花き生産用平張型傾斜ハウスは、軒高が 3m で四方に 2 段の巻き上げ式の側窓を備える構造であり開口面積が大きく、また屋根面が平屋根構造であることから換気の面でもアーチ型傾斜ハウスより優れ、中山間地域の傾斜畑での高温期における野菜・花き生産に適用できると考えられる。

本章では、アーチ型傾斜ハウスと比較しながら、開発した平張型傾斜ハウスの高温期における温度分布特性を解析し、以下のような知見を得た。

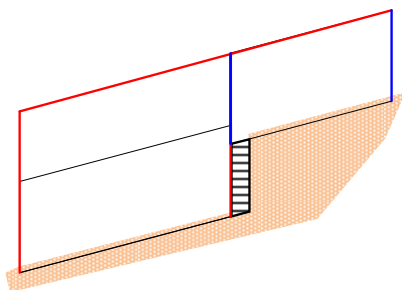
- 1) 開発した平張型傾斜ハウスにおける温度分布をアーチ型傾斜ハウスと比較しながら解析した結果、平張型傾斜ハウスでは、高温期のハウス内外の温度差がアーチ型傾斜ハウスより  $1.0^{\circ}\text{C}$  以上小さいことから換気能力が高く、高温期の生産にも適していると考えられた。この理由として、平張型傾斜ハウスは軒高も高く幅の広い巻き上げ式の側窓が四方に配置されており、窓比率は同じ床面積で設置した場合のアーチ型傾斜ハウスと比較して約 38%大きいこと、軒高が高く屋根面が平板であるため気流が滞留することなく換気されていること等が考えられた。
- 2) 隣接する傾斜畑間に段差のある 2 区画の傾斜段畑を一体化するように設置した平張型傾斜ハウスの場合、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  $4^{\circ}\text{C}$  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平張型傾斜ハウスにおいて、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



(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

**図4-7 段差のある2区画から成る傾斜段畑で平張型傾斜ハウスを施工する時の問題点**

—は供試した段畑用平張型傾斜ハウス、-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。

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。平張型傾斜ハウス内では $0.1\sim 0.6\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 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平張型傾斜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。

以上のように、開発した平張型傾斜ハウスは、軒高が高く換気のための開口面積が大きい構造であることから換気能力が高く、中山間地域の傾斜畑における高温期の夏秋栽培に適していることが明らかとなった。これは、高温期において平張型傾斜ハウスで夏秋栽培したトマトの収量が向上したこと等からも裏付けられるものである。なお、生育、収量に関する結果については第6章で詳述する。さらに、従来の簡易雨よけ施設から平張型傾斜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る。このため、低温期における加温時の温度分布特性を把握して温度制御技術を確立する等、平張型傾斜ハウスを周年的に利用するための技術開発が必要となる。そこで次章では、異なる形状の傾斜畑に設置した平張型傾斜ハウスを用いて温風ダクトと循環扇の有無等が加温時の温度分布に与える影響等を解析し、開発した平張型傾斜ハウスの低温期における野菜・花き生産への適用性について検討する。



## 第5章 低温期における平張型傾斜ハウスの加温・送風にともなう温度分布特性

### 5-1 はじめに

前章では、新たに開発した野菜・花き生産用平張型傾斜ハウスが、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等を明らかにした。また、中山間地域では、様々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（野中ら，1999）が、傾斜方向に長い形状の平張型傾斜ハウスに加え、段差のある2区画の傾斜畑から成る傾斜段畑に設置した平張型傾斜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。

従来簡易雨よけ施設から平張型傾斜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等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等、傾斜畑の形状は様々であり、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、開発した平張型傾斜ハウスの低温期における利用の可能性を明らかにするために、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つの平張型傾斜ハウスを用いて、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、平張型傾斜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。

### 5-2 供試ハウスと加温・送風および実験方法

#### 5-2-1 供試ハウスの概要

##### (1) 傾斜方向に長い平張型傾斜ハウス

トマト生産者圃場の傾斜度約  $17^\circ$  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 の平張型傾斜ハウス（本章では、平張型傾斜ハウス A という）を供試した（図 5-1、表 5-1）。加温には、ハウス下端の張り出し部分に設置した温風式暖房機（N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 P0 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、ハウスの内側へ向けて等高線方向

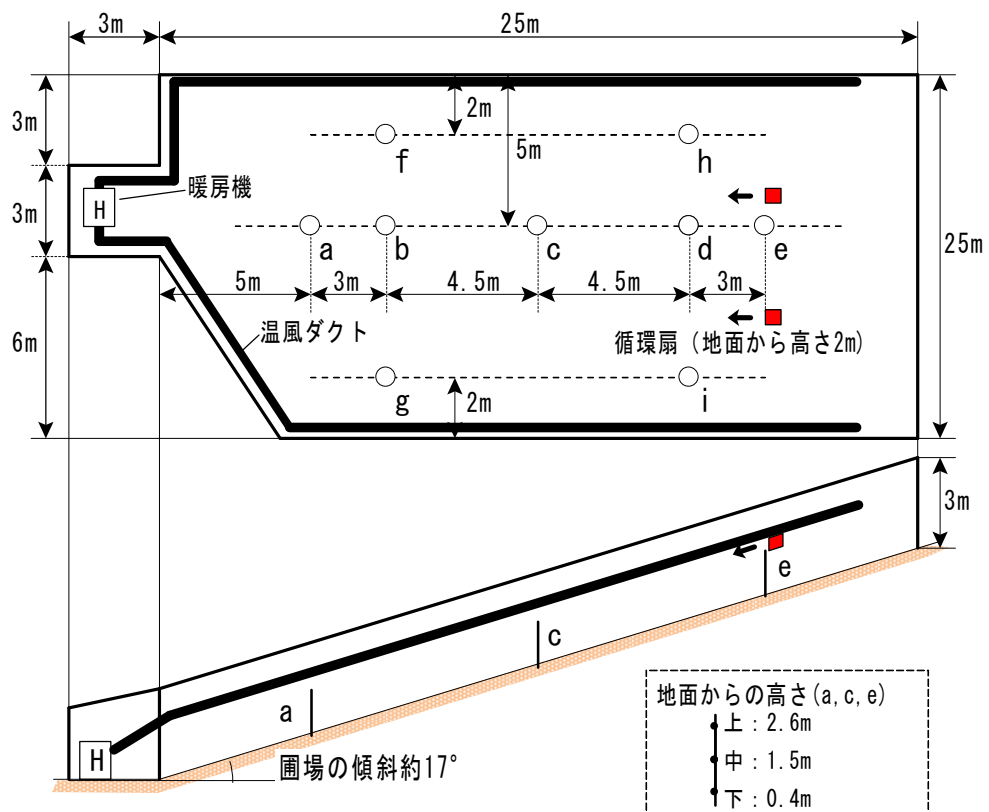


図5-1 平張型傾斜ハウスAの概略

丸数字は測定位置. 地面から高さ1.5mの位置で測定. 測定位置a, bおよびeでの測定高さは右下点線図を参照. ■は循環扇を, ←は送風方向を, 太線は温風ダクトを示す.

表5-1 供試ハウスの概要と使用機器

項目	平張型傾斜 ハウスA	平張型傾斜 ハウスB	平張型傾斜ハウスC	
			下段ハウス	上段ハウス
間口(等高線方向 への長さ・m)	12	26	26	19
奥行(傾斜方向へ の長さ・m)	25	6.5~11.5	6.5~11.5	6.5~8.5
軒高(m)	3.0	3.0	3.0	3.0
圃場の傾斜度(°)	17	15	15	17
温度計測機	自記温度計(EM社・RT-30S)			
暖房機	重油炊き温風暖房機(N社・HK1520), 出力44.2kW			
その他	-	高さ約2mの石垣がある傾斜段畑に上段ハウスと下段ハウスを設置。 下段ハウスは平張型傾斜ハウスBであり, 上段ハウスを増設して一体化したハウスが平張型傾斜ハウスCである。		

へ温風を吹き出すようにした。循環扇はV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。なお、ハウス内ではトマトの後作として等高線畝でスイートピーを栽培した。

## (2) 等高線方向に長い平張型傾斜ハウス

トマト生産者圃場の傾斜度約 $15^\circ$ 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の平張型傾斜ハウス(本章では, 平張型傾斜ハウスBという)を供試した(図5-2(1), 表5-1)。加温には, ハウス西側の斜面上方に設置した温風式暖房機(N製, HK1520, 出力44.2kW)を用い, 暖房機の設定温度を $6^\circ\text{C}$ として加温した。加温中はP0系フィルム(0.075mm厚)の内張りを設置した。なお, ハウス内ではトマトの後作として等高線畝でスイートピーを栽培した。

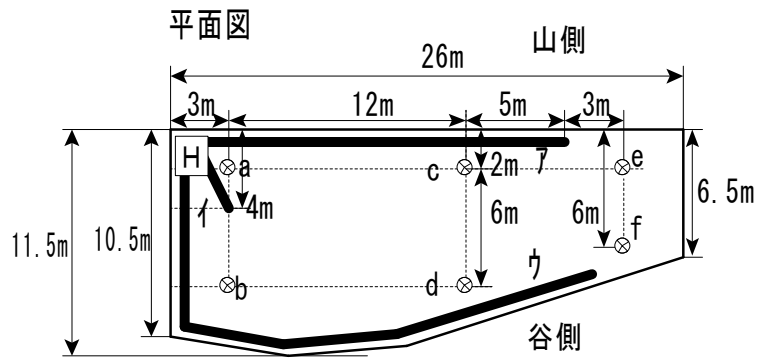
## (3) 傾斜段畑に設置した平張型傾斜ハウス

隣接する2区画の傾斜畑から成る傾斜段畑を一体化するように設置した平張型傾斜ハウス(本章では, 平張型傾斜ハウスCという)を供試した(図5-2(2), 表5-1)。なお, 平張型傾斜ハウスCにおいて, 傾斜段畑の下段に設置された平張型傾斜ハウス(下段ハウス)は平張型傾斜ハウスBである。傾斜畑の上段に設置した平張型傾斜ハウス(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 $17^\circ$ 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。温風式暖房機(N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, (2)で述べた平張型傾斜ハウス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 $6^\circ\text{C}$ として加温した。加温中はP0系フィルム(0.075mm厚)の内張りを設置した。なお, ハウス内ではトマトの後作として等高線畝でスイートピーを栽培した。

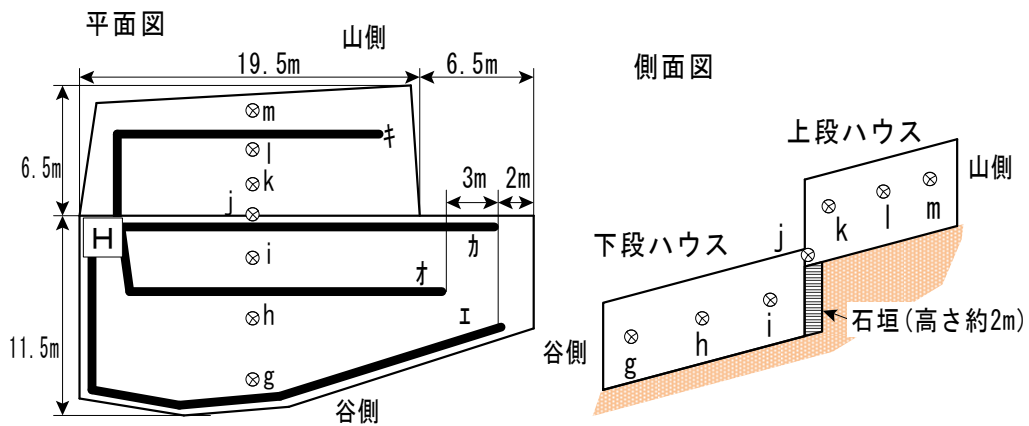
### 5-2-2 加温・送風および実験方法

#### (1) 傾斜方向に長い平張型傾斜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

平張型傾斜ハウスAにおける温度の測定は, 自記温度計(EM社製, RT-30S)を用い, 図5-1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の位置において1分間隔で記録した。解析には, ハウス内の温度分布が



(1) 平張型傾斜ハウスB



(2) 平張型傾斜ハウスC

図5-2 平張型傾斜ハウスBと平張型傾斜ハウスCの概略

丸数字は測定位置. 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). Hは暖房機. 太線は温風ダクトを示す(ア～キ). 平張型傾斜ハウスCの下段ハウスは平張型傾斜ハウスBに相当し, 上段ハウスは後から増設されたものである

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。

平張型傾斜ハウス A における温風ダクトの配置パターンを図 5-3 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、図 5-1 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。

## **(2) 等高線方向に長い平張型傾斜ハウスにおける温風ダクトの配置と温度分布の解析**

平張型傾斜ハウス B における温度の測定は、図 5-2(1) に示すように、地面から高さ 1.0m で 6ヶ所に設置した自記温度計 (EM 社製, RT-30S) を用いて 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(1)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。

平張型傾斜ハウス B における温風ダクトの配置パターンを図 5-4(1) 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 とする) , ②斜面下方の側面 (谷側面) 沿い (パターン B2 とする) , 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。

## **(3) 傾斜段畑に設置した平張型傾斜ハウスにおける温風ダクトの配置と温度分布の解析**

平張型傾斜ハウス C における温度の測定は、図 5-2(2) に示すように、地面から高さ 1.0m で設置した自記温度計 (EM 社製, RT-30S) を配置して行い 1 分間隔で

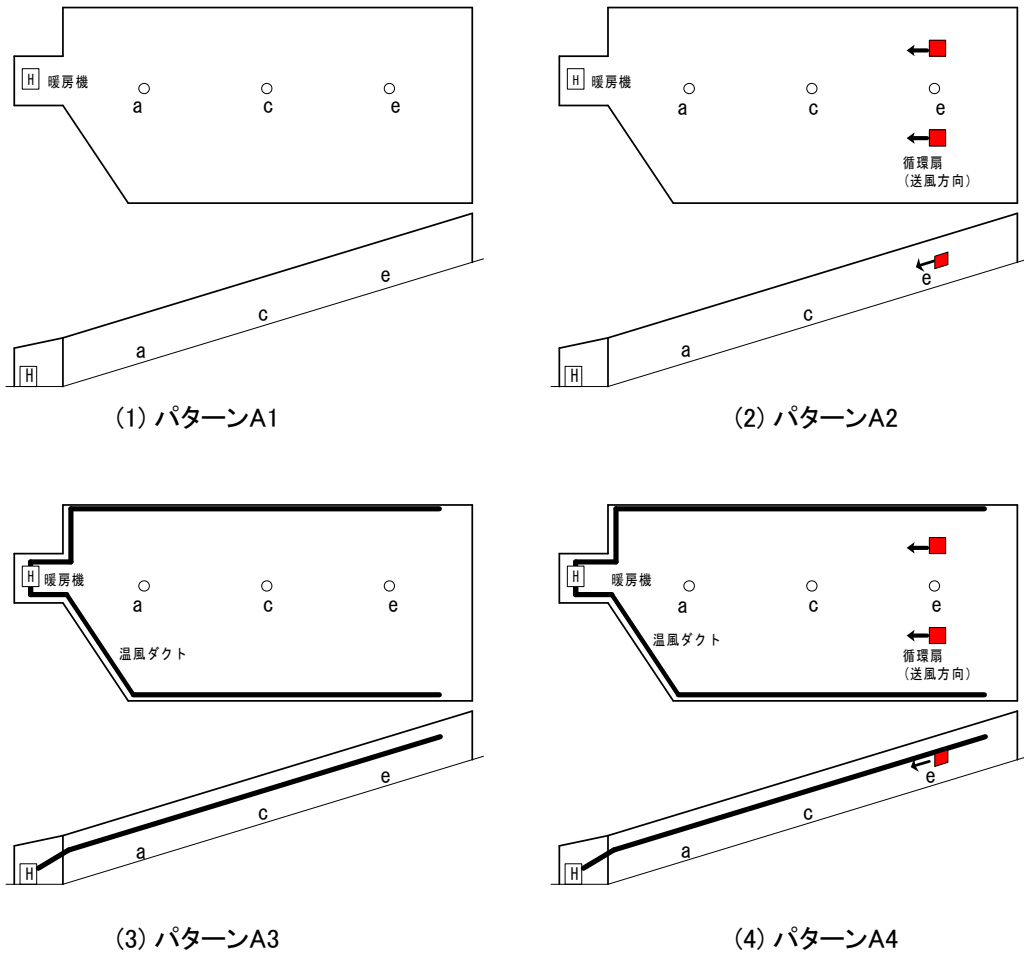
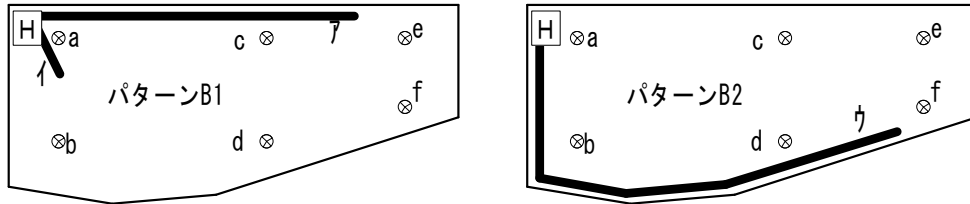
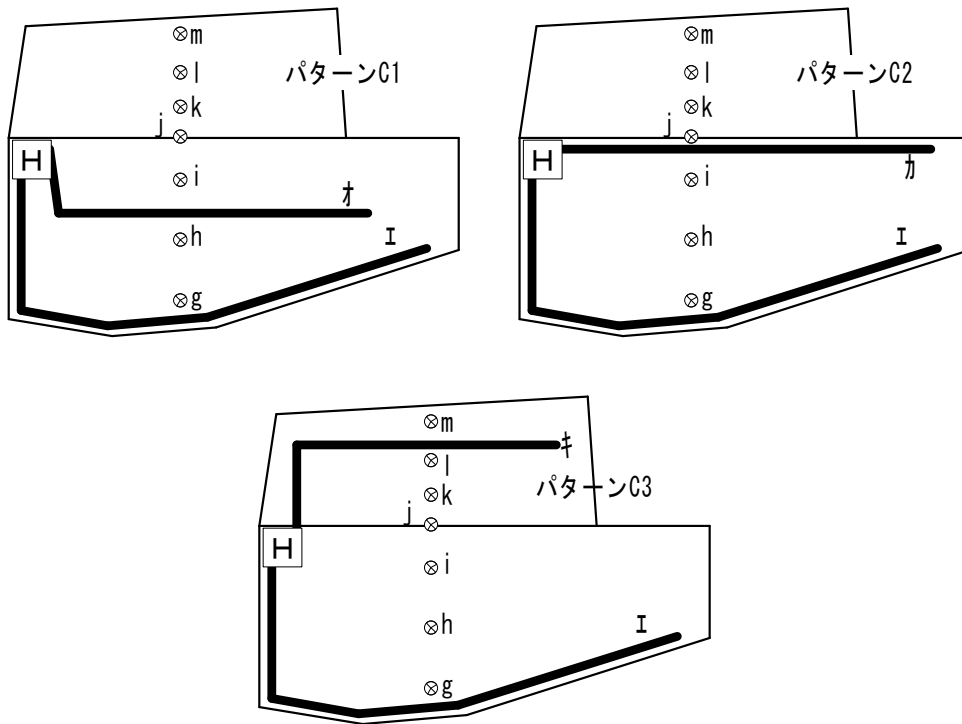


図5-3 平張型傾斜ハウスAにおける温風ダクトの配置パターンの概略

■は循環扇を, ←は送風方向を, 太線は温風ダクトを示す.



(1) 平張型傾斜ハウスB



(2) 平張型傾斜ハウスC

図5-4 平張型傾斜ハウスBと平張型傾斜ハウスCにおける温風ダクトの配置パターンの概略

丸数字は温度測定位置(図5-2参照)。温風ダクトの配置と組み合わせは、(1)では、パターンB1がダクト(ア)と(イ)、パターンB2がダクト(ウ)である。(2)では、パターンC1がダクト(エ)と(オ)、パターンC2がダクト(エ)と(カ)、パターンC3がダクト(エ)と(キ)である。



記録した。

温風ダクトの配置は図 5-4(2)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 C1），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 C2），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 C3），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。

### 5-3 結果と考察

#### 5-3-1 温風ダクトの配置と循環扇の有無が傾斜方向に長い平張型傾斜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 A1）の平張型傾斜ハウス A 内の温度変化を図 5-5 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，その温度差は最大で約 0.7℃であった。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（表 5-2）。

平張型傾斜ハウス A における斜面上下方向の温度分布を図 5-6 に示す。温風ダクトを使用しないパターン A1（図 5-6（1））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 A2（図 5-6（2））の温度分布もパターン A1 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 A1 より温度が高かった。温風ダクトを使用したパターン A3（図 5-6（3））と A4（図 5-6（4））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見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 A4 ではパターン A3 と比較して循環扇より斜面上方の温度が低かった。

供試した平張型傾斜ハウス A は，図 5-1 に示したように傾斜方向に長い形状であり，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（原菌ら，1986）であった。関ら（2001）は傾斜方向に長いアーチ型傾斜ハウスにおいて，無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。その結果を図 5-6 に対応させると，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

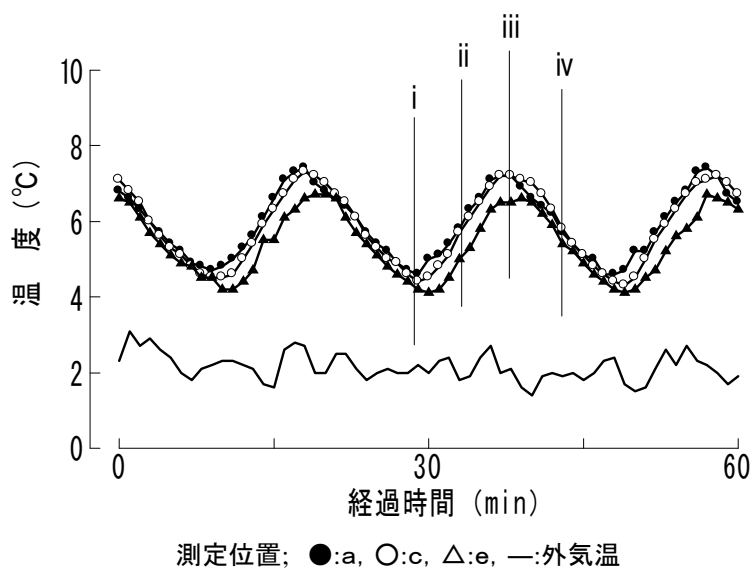


図5-5 平張型傾斜ハウスAにおける加温時の温度変化

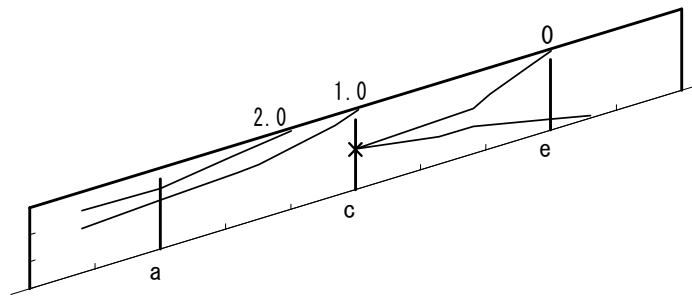
測定位置は図5-1を参照.

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A1での測定例(図5-3を参照).

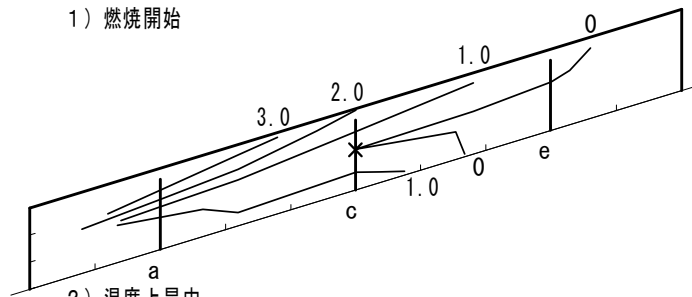
表5-2 平張型傾斜ハウスAの加温時における温度の比較(°C)

	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	h	i
温度差	0.5	0.0	0.0	-0.6	-0.6	0.1	0.1	0.1	-0.4	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3

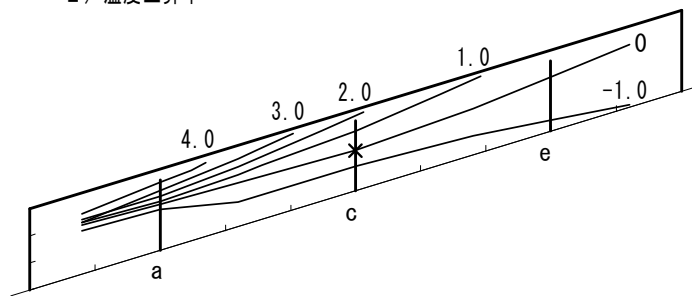
温風ダクトなし, 循環扇なし(パターンA1)の場合. 任意の1時間における平均値.  
 測定日は2000年11月25日. 測定位置(丸数字)は図5-1を参照.



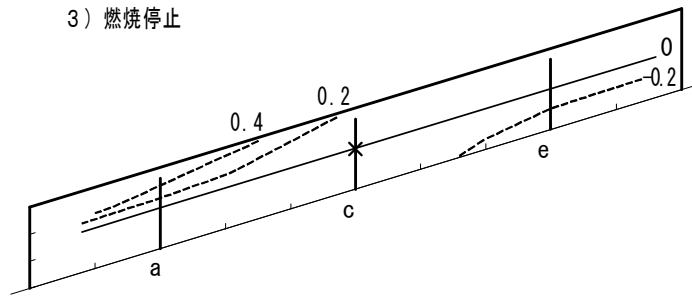
1) 燃焼開始



2) 温度上昇中



3) 燃焼停止



4) 温度下降中

測定日: 2000年12月15日

図5-6(1) 温風ダクトと循環扇の有無が平張型傾斜ハウス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

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. 測定位置は図5-1を参照.

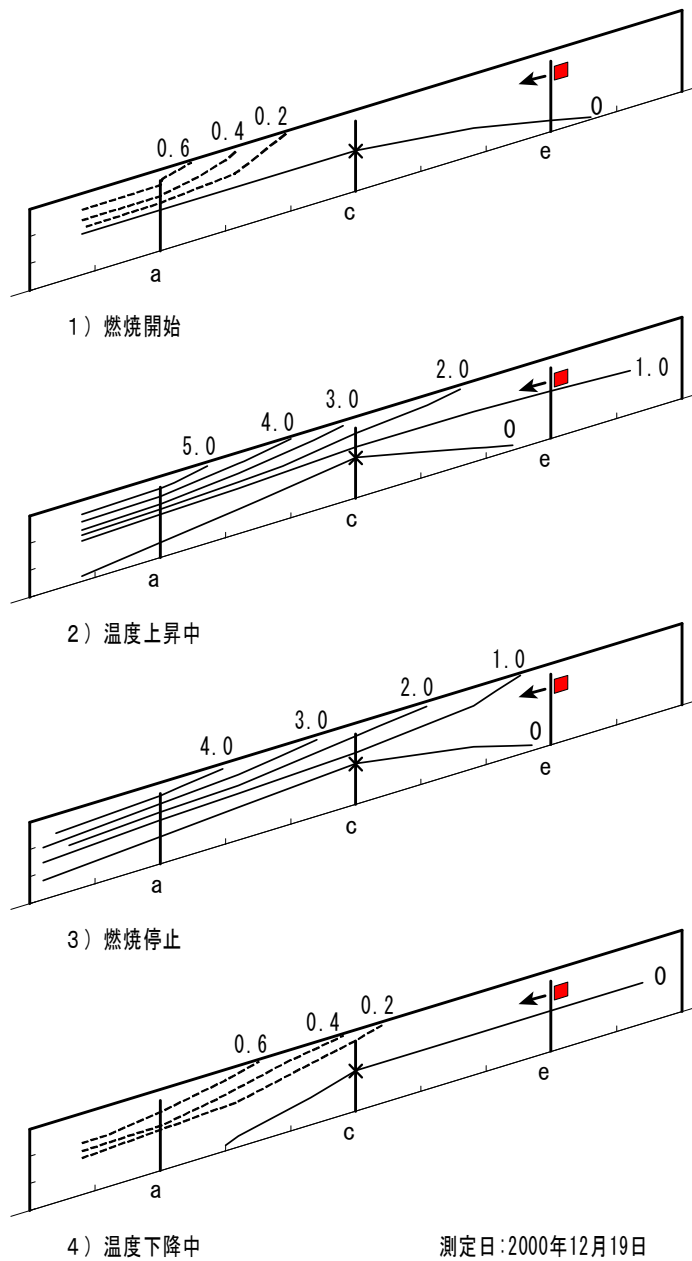


図5-6(2) 温風ダクトと循環扇の有無が平張型傾斜ハウスA内の温度分布に及ぼす影響

パターンA2: 温風ダクトなし, 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。測定位置は図5-1を参照。  
 ■ は循環扇を, ←は循環扇による送風方向を示す。

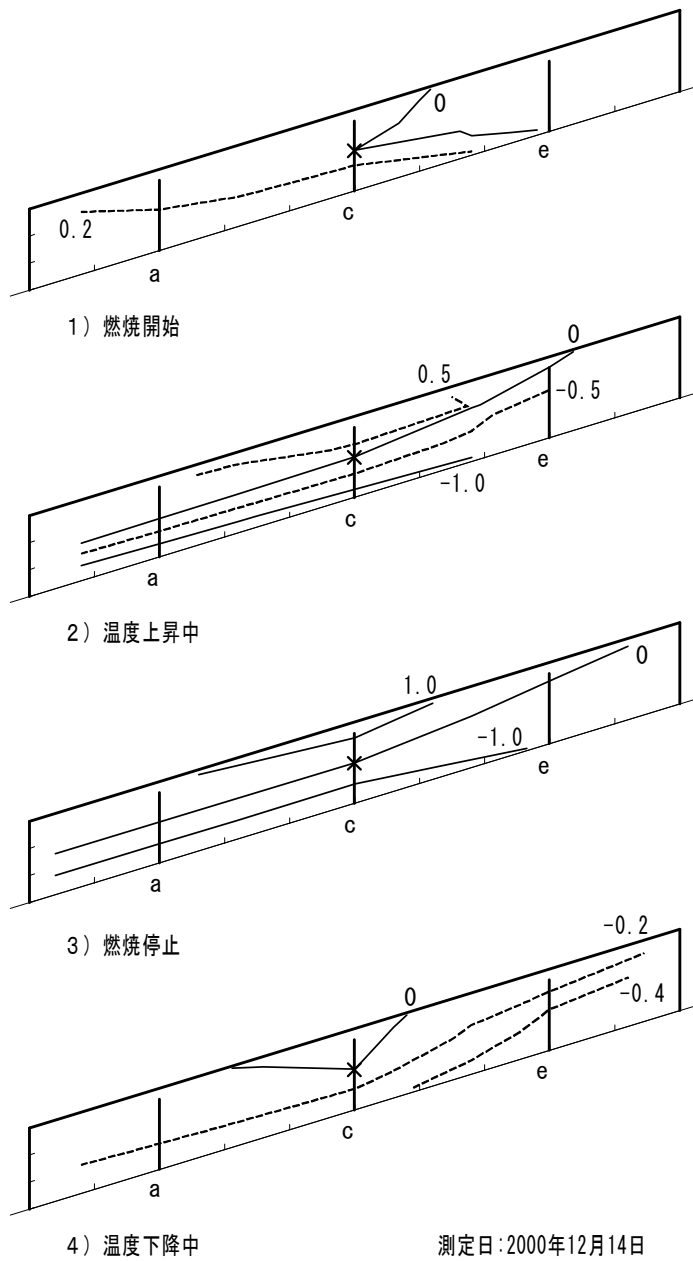


図5-6(3) 温風ダクトと循環扇の有無が平張型傾斜ハウスA内の温度分布に及ぼす影響

パターンA3: 温風ダクトあり, 循環扇なし  
 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. 測定位置は図5-1を参照.

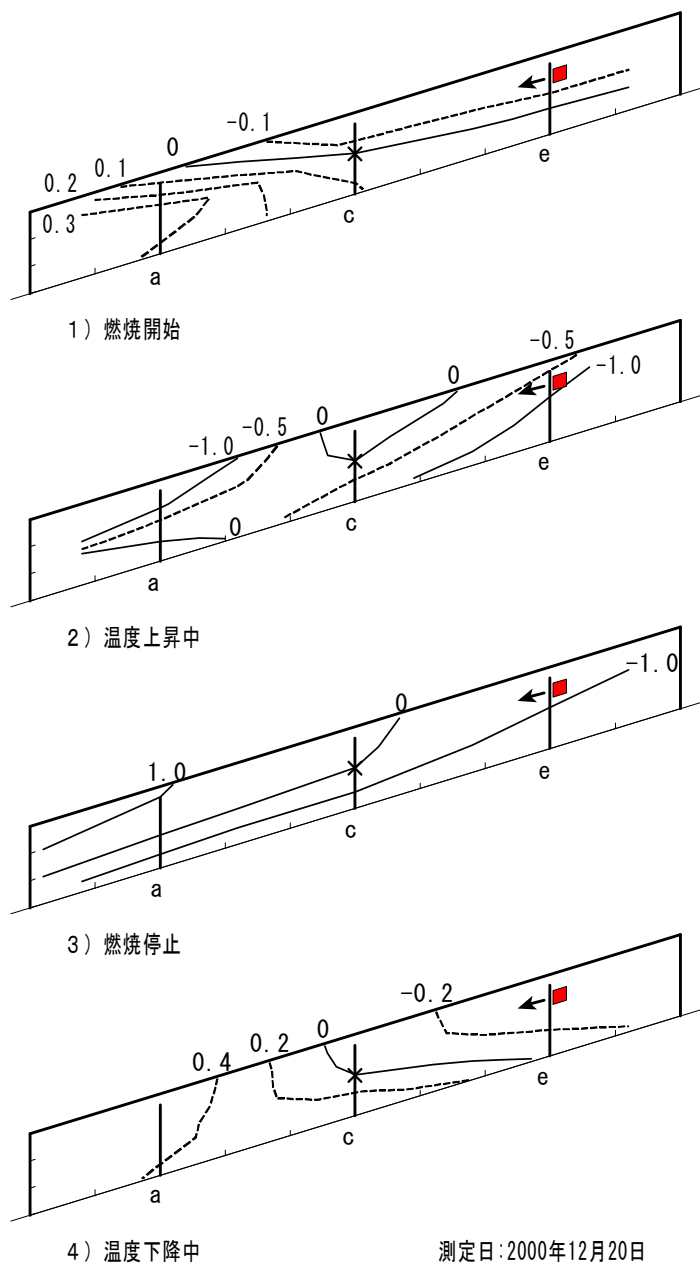


図5-6(4) 温風ダクトと循環扇の有無が平張型傾斜ハウスA内の温度分布に及ぼす影響

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。測定位置は図5-1を参照。  
 ■ は循環扇を, ←は循環扇による送風方向を示す。

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、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（1970）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温度上昇が遅れたと考えられる。

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（馬場，2010）。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。

### 5-3-2 温風ダクトの配置が等高線方向に長い平張型傾斜ハウスの温度分布に及ぼす影響

平張型傾斜ハウス B における温度変化を図 5-7 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、



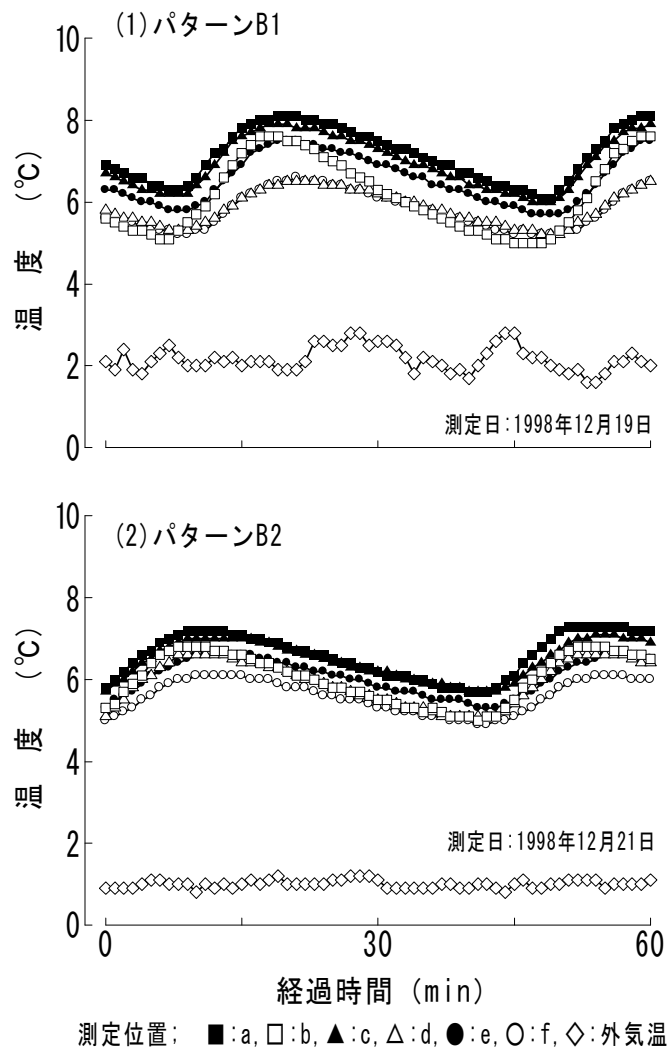


図5-7 平張型傾斜ハウスBにおける温風ダクトの配置が温度変化に及ぼす影響

測定位置と温風ダクトの配置パターンは図5-4を参照.

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 B1 より変動幅が小さかった。このときの平張型傾斜ハウス B 内の温度分布を図 5-8 に示す。パターン B1 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 B1 と B2 でそれぞれ 1.8℃と 1.4℃であり、パターン B2 の方が小さかった。

平張型傾斜ハウス 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 B1 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 B2 のように、平張型傾斜ハウス 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。傾斜畑に設置した密閉状態のハウスでは、斜面下方ほど温度が低い温度勾配が生じている（原菌ら，1986；川嶋ら，2007a；川嶋ら，2011；菅谷ら，1997）と考えてよい。本研究で明らかにしたように、傾斜方向に長い平張型傾斜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。

### 5-3-3 温風ダクトの配置が傾斜段畑に設置した平張型傾斜ハウスの温度分布に及ぼす影響

平張型傾斜ハウス C における温度変化を図 5-9 に示す。パターン C1 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℃であった。パターン C2 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℃と大きかったものの地点間の温度較差は 2.5℃であった。パターン C3 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℃と最も大きかった。

平張型傾斜ハウス C における傾斜方向の温度分布を図 5-10 に示す。平張型傾斜ハウス 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 C1 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 C2 では、パターン C1 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 C1 より 0.5～1.4℃低く推移した。パターン C3 では、分布が C1 と C2 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 C1，C2 よりパターン C3 が高かった。

平張型傾斜ハウス C は、段差のある 2 区画の傾斜畑から成る傾斜段畑に設置されており、第 4 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

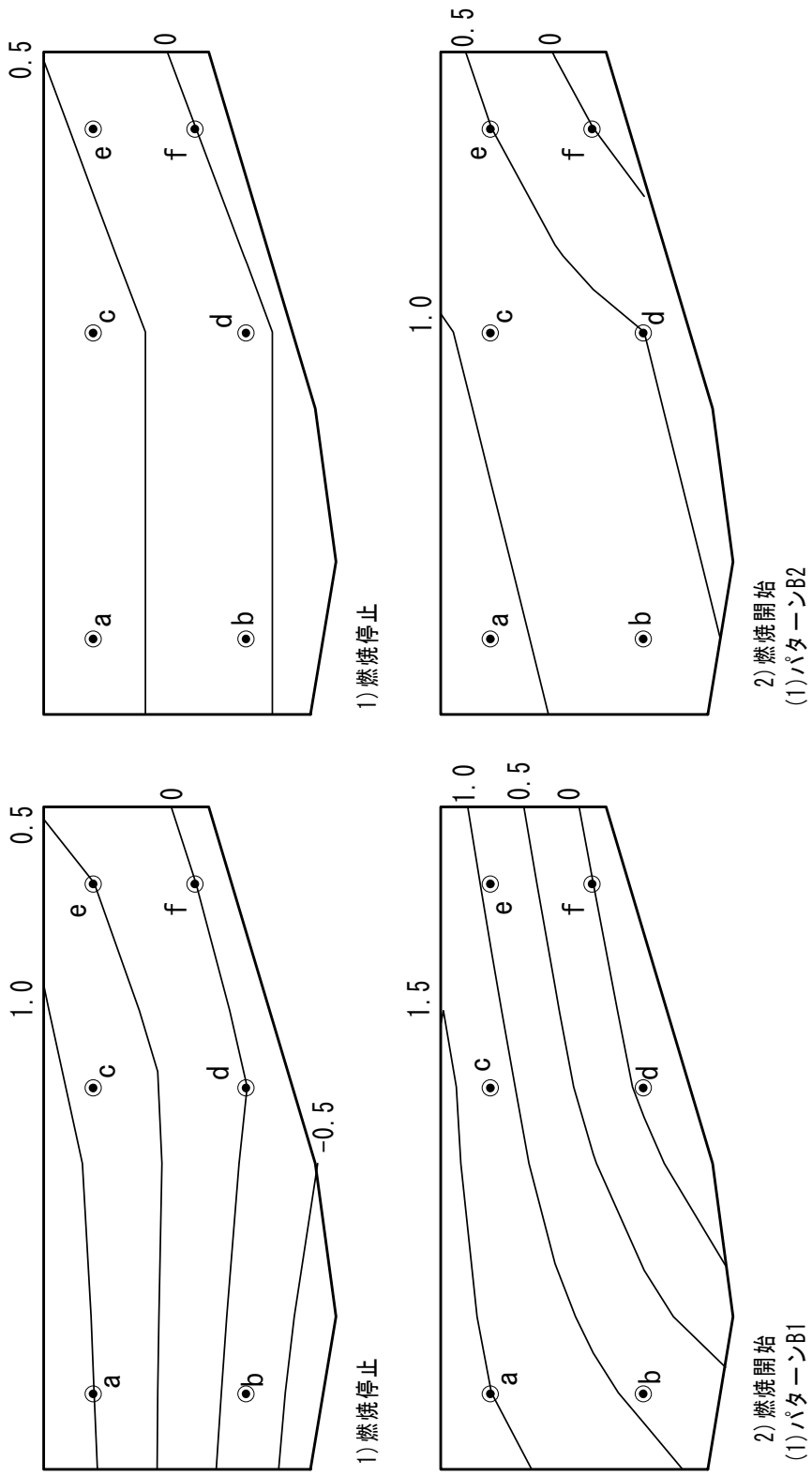


図5-8 温風ダクトの配置が平張型傾斜ハウスB内の温度分布に及ぼす影響

図中の数字は径基準とする温度差を示す。測定位置(丸数字)は図5-4を参照。

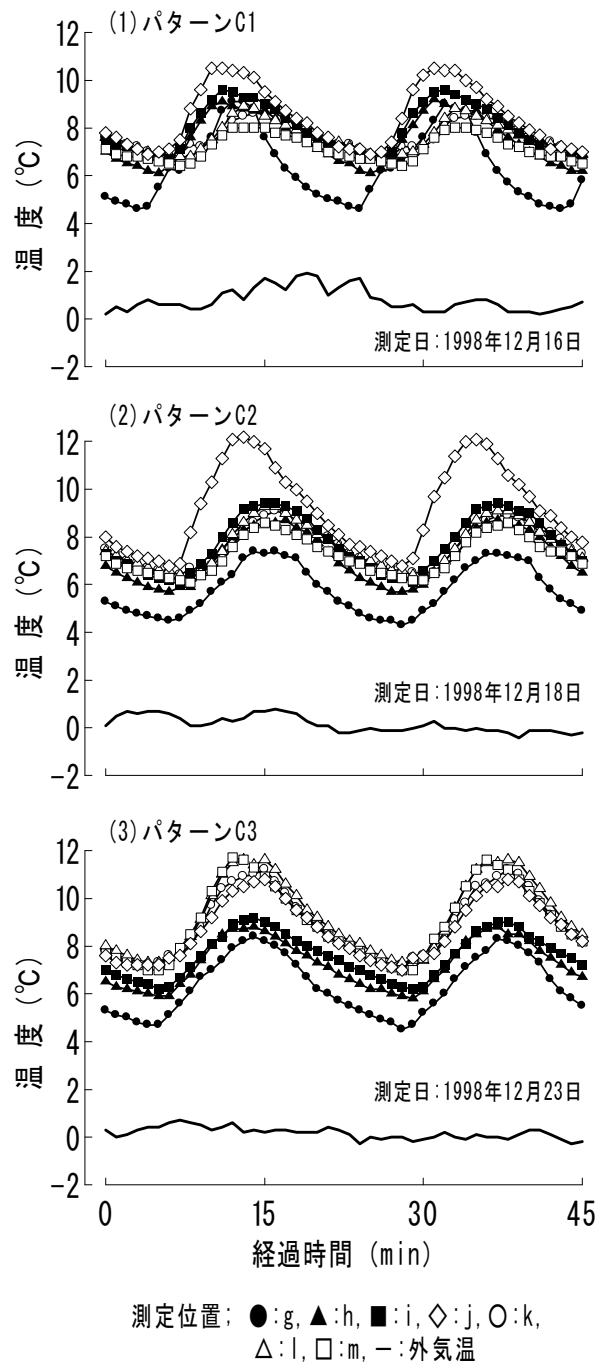
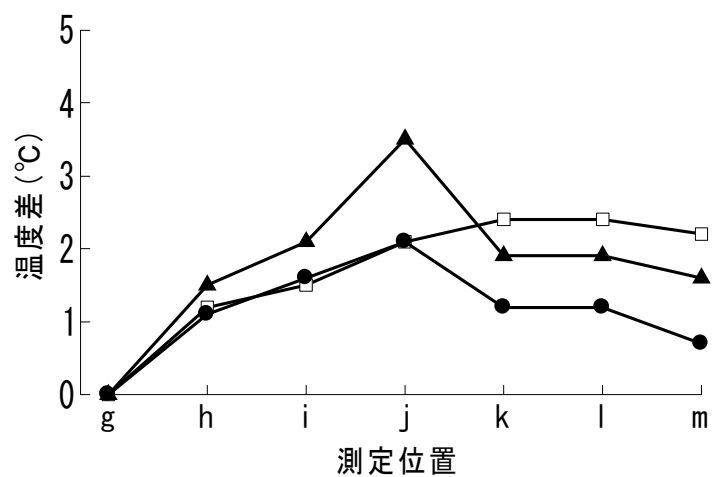


図5-9 温風ダクトの配置が平張型傾斜ハウスCの温度変化に及ぼす

ダクトの配置と測定位置は図5-4を参照。



温風ダクトの配置パターン：●:C1, ▲:C2, □:C3

図5-10 温風ダクトの配置が平張型傾斜ハウスC内の傾斜方向の温度分布に及ぼす影響

測定位置は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。温風ダクト配置と測定位置は図5-4を参照。

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、傾斜畑に設置した平張型傾斜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、等高線方向に長い平張型傾斜ハウスにおける実験 2 の結果に準じて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実験 2 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。この様に、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。

#### 5-4 結論

中山間地域の傾斜畑において利用されている従来の簡易雨よけ施設から開発した平張型傾斜ハウスへの転換が図られることで、従来の高温期における夏秋栽培に加え、低温期においても栽培が可能になる。そこで本章では、開発した平張型傾斜ハウスの低温期における適用性を明らかにするために、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平張型傾斜ハウスを用いて、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与える影響を解析し、以下のような知見を得た。

- 1) 傾斜方向に長い平張型傾斜ハウスにおいて、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。平張型傾斜ハウスにおいて、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等、加温時における温度制御が可能であると考えられた。
- 2) 傾斜方向に長い平張型傾斜ハウスにおいて、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) 等高線方向に長い平張型傾斜ハウスの加温時における温度分布は、傾斜方向に長い平張型傾斜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成る傾斜段畑を一体化するように設置した平張型傾斜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。

以上のように、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平張型傾斜ハウスにおける実証的研究により加温時の温度分布特性を解析した結果、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を明らかにした。中山間地域の傾斜畑で利用されている従来の簡易雨よけ施設に替わる園芸施設として、新たに開発した平張型傾斜ハウスを導入することにより、高温期における生産性の向上が期待されるとともに低温期における加温による温度制御が可能になることから、従来の作型に加えて、作期延長や他の作物との組み合わせ等による野菜・花きの周年生産が可能となる。一方、簡易雨よけ施設から平張型傾斜ハウスに転換されると雨水の影響がさらに小さくなることから、効率的かつ適切に灌水・施肥を行う技術が必要となる。そこで次章では、平張型傾斜ハウスの導入にともなう新規作物や傾斜畑に適応した灌水・施肥技術等の導入による新たな野菜・花き生産システムについて検討する。

## 第6章 平張型傾斜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

### 6-1 はじめに

前章までに、開発した野菜・花き生産用平張型傾斜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平張型傾斜ハウスの温度制御が可能なこと等を明らかにした。

簡易雨よけ施設から平張型傾斜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等のメリットが期待できる。しかし一方で、平張型傾斜ハウスが導入されると、従来の簡易雨よけ施設と比べて雨水の影響がさらに小さくなることから、効率的かつ適切に灌水・施肥を行い、地下部環境を制御する必要が出てくる。加えて水源に近い中山間地域であることから、肥料分の流亡が少ない環境保全的な技術導入が必要である。平坦地の施設園芸において普及している養液土耕は、必要な時に必要な量を灌水・施肥することで、肥料コストの削減や肥料分の流亡をなくす環境保全的な灌水・施肥方法として開発され（青木ら，2001；Bar-Yosef, 1999；Scanders, 1996）、かつ省力的な栽培方法である（青木ら，2001；浅見ら，2003）ことから、傾斜ハウスにおける灌水・施肥方法としても適していると考えられる。

本章では、平張型傾斜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平張型傾斜ハウスを用いて、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。また、傾斜地で施設園芸を展開する上で必須となる環境保全型で省力的な灌水・施肥技術を開発するために、平坦地で普及している一般的な養液土耕システムをベースに、傾斜畑に対応するための制御機構を備えた養液土耕システムを改良・開発した。さらに、平張型傾斜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。

### 6-2 実験方法

#### 6-2-1 平張型傾斜ハウスの導入にともなう新たな作付体系による経営効果の解析

##### (1) 栽培概要

トマト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平張型傾斜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、平張型傾斜ハウスでは1999年5月8日に畦



幅 140cm, 株間 30cm (2 条振り分け, 2381 株・m<sup>2</sup>) 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図 6-1 に示す.

平張型傾斜ハウスにおいて, 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<sup>2</sup>), 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<sup>-1</sup>) を出荷伝票から算出した.

## (2) 新たな作付体系による経営効果の検討

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<sup>-1</sup>と 30 円・本<sup>-1</sup>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%を産直市で直売したと仮定した. 直売価格はそれぞれ 500 円・kg<sup>-1</sup> (トマト 1 個 200g を 100 円) と 20 円・本<sup>-1</sup> (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図 6-1 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播種し, 12 月上旬から収穫を開始すると仮定した.

### 6-2-2 傾斜畑における養液土耕システムの特性評価

近畿中国四国農業研究センター (生野地区) 内にある傾斜度約 10° のアーチ型傾斜ハウス内 (間口 6.0m, 傾斜方向へ長さ 30m) に, 市販のシステムをベースに改良した養液土耕システムを設置した. 改良したシステムと給液方法の詳細は後述する. 点滴孔の間隔が 30cm, 長さ 27m の点滴チューブ (RAM17, NE 社) を 3 畝に対してそれぞれ 2 本ずつ設置した. 灌水方法は, 市販の養液土耕システムをそのまま利用した従来法, 傾斜畑に適用させるために市販のシステムに排水電磁弁を付加するとともに給液の制御方法を改良した改良法について, それぞれ 150L の定量を給液し, 点滴孔から滴下した水量 (以下, 吐出総量という) を測定した. なお, 改良したシステムと制御方法については後述する. 測定位置は, 斜面の上

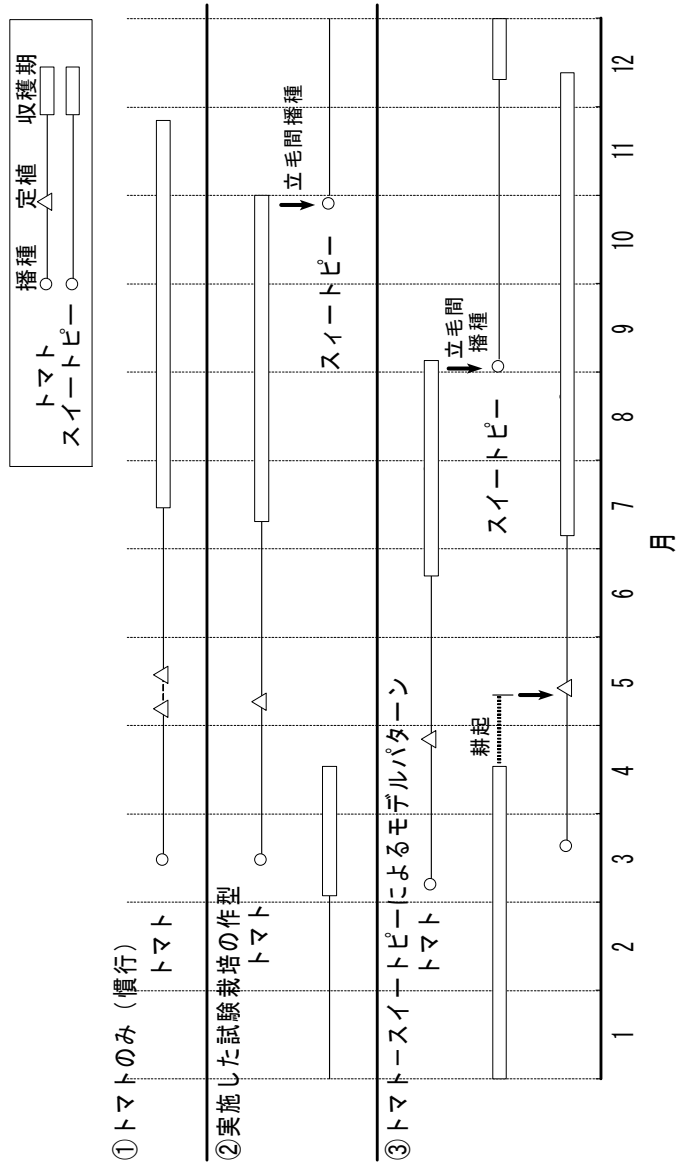


図6-1 試験地における慣行のトマト夏秋栽培とスイトピーを新規導入した場合の作付体系の比較

方，中央部および下方の3か所とした．改良法について，1畝に2本設置した灌水チューブに対して20L，30L，40Lおよび50Lを給液した時の吐出総量を5孔間隔で測定した．

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および近畿中国四国農業研究センター（生野地区，香川県善通寺市）内の傾斜畑において，アーチ型傾斜ハウスを導入してトマトを栽培し，傾斜畑の斜面上方と下方におけるトマトの茎長と茎径を調査した．生産者圃場では生産者の慣行法によって灌水・施肥を行った．すなわち，生産者が所有するすべての圃場に対して1箇所の給水ポンプから手動によってラインを切り替えながら点滴チューブを利用して灌水・施肥を行った．一方，近畿中国四国農業研究センター内では，後述する改良法により灌水・施肥を行った．また，近畿中国四国農業研究センター内では改良法を用いてハウレンソウで栽培試験を実施した．定植直前と栽培終了時にコアサンプラーで採取した土壌の含水比を測定した．ハウス内の傾斜方向に，斜面の上方，中央および下方の3区（傾斜方向に6mの区画）に分けて，土壌表面から5cmと10cmの深さで土壌を採取した．

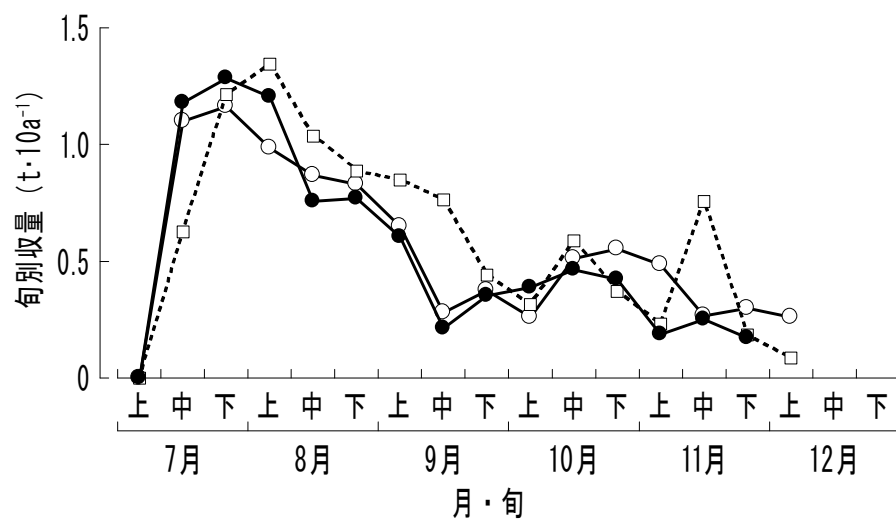
### 6-3 結果と考察

#### 6-3-1 平張型傾斜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平張型傾斜ハウスの適用性

簡易雨よけ施設，アーチ型傾斜ハウスおよび平張型傾斜ハウスにおける夏秋トマトの旬別収量を図6-2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平張型傾斜ハウスで，それぞれ8.2，8.9および9.7t・10a<sup>-1</sup>，株当たり収量はそれぞれ3.46，3.73および4.07kg・株<sup>-1</sup>であった．平張型傾斜ハウスでは，8～9月の収量が多い傾向が認められた．第4章で示したように，日中の内外温度差は平張型傾斜ハウスが最も小さく，平張型傾斜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，換気時において平張型傾斜ハウス内では0.1～0.6 m・s<sup>-1</sup>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（Cotterら，1960；伊藤，1972；矢吹ら，1970）と考えられ，トマトの生育，収量を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，自家施工により平張型傾斜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平張型傾斜ハウスへ転換された（図6-3）．さらに，新たに遊休地を開墾して平張型傾斜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，開発した平張型傾斜ハウスは換気能力に優れた施設であ



●:簡易雨よけ施設, ○:アーチ型傾斜ハウス, □:平張型傾斜ハウス

図6-2 簡易雨よけ施設, アーチ型傾斜ハウスおよび平張型傾斜ハウスにおける夏秋トマトの旬別収量の推移



図6-3 平張型傾斜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平張型傾斜ハウスへ更新または新設された区画であることを示す。

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（家常，2009；伊吹，2009；長崎，2009；岡田ら，2013；迫田，2009）。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（長崎ら，2010）。

## (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経営効果

平張型傾斜ハウスにおいて，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 $7.2t \cdot 10a^{-1}$ 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（図6-4）。なお，株当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（土井，1995）が，実験ではこれと比べて約3ヶ月短かった。杉田ら（2000）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（図6-1）。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図6-5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10aまでが限度とされている。今回の試験では，約8a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（土井，1995）ものの，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

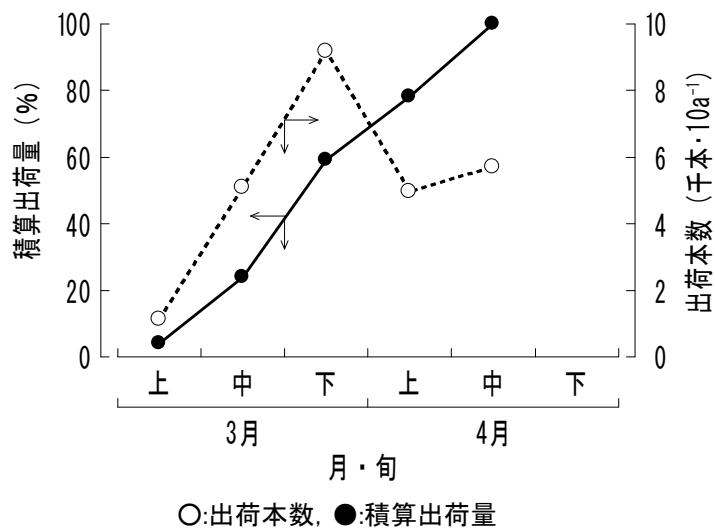


図6-4 平張型傾斜ハウスにおけるスイートピーの出荷量

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

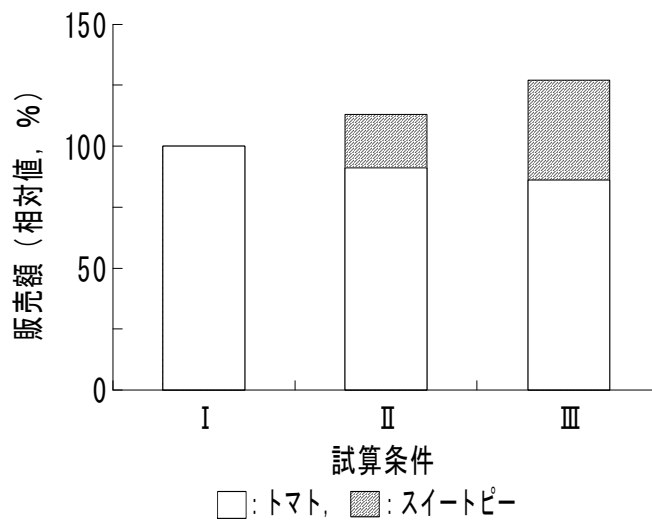


図6-5 スイートピー栽培の導入が販売額に及ぼす影響

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。

選択においては作業量、収益性や経営状態などの他に、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等のメリットが得られる。

## 6-3-2 傾斜畑における養液土耕システムの特性

### (1) 養液土耕システムの制御方法の改良

トマトの夏秋栽を行っている生産者の傾斜畑において、生産者慣行の灌水・施肥で栽培したところ、図 6-6 に示すようにトマトの茎長は斜面上方より下方の方がやや大きく、茎径は斜面下方の方が顕著に大きかった。茎径は、トマトの生育指標のひとつであり施肥調節の判断材料となる（青木，2005；深澤，2005）。このため、傾斜畑では少なくとも灌水にともなう施肥量が斜面上方より下方で多くなっていると考えられた。

そこで、傾斜畑において養液土耕を適用するために、市販の養液土耕システムをベースに改良を加えた。システムの概略を図 6-7 に示す。原水タンク、原水ポンプ、原液タンク、液肥混入機等の既存のシステム（青木ら，2001）を斜面上方に配置し、加えて集水管、排水電磁弁および排水タンクを斜面下方に配置してシステムを構成した。各畦に設置した点滴チューブ末端を集水管に接続し、集水管の排水タンク側末端には排水電磁弁を取り付けた。

改良した給液方法は、まず通常の方法に従って原水と原液を液肥混入機で任意の濃度に希釈して給液した。所定量の給液を終了すると同時に、点滴チューブを接続した集水管末端の排水電磁弁を開放することで点滴チューブ内の残液が速やかに排出するように制御を行った。さらに、液肥給液後の排水前に原水のみを給液に切り替え、原水でチューブ内に残った液肥をすべて圃場へ押し出す操作（リンス）を加えることで、排水は原水のみとなるため原水タンクへ戻して再利用することも可能である（Kawashima ら，2000）。

### (2) 改良した養液土耕システムの傾斜畑への適用性

従来法と改良法による点滴孔からの吐出総量を図 6-8 に、斜面の上下における点滴孔の位置と点滴孔からの吐出総量との関係を図 6-9 にそれぞれ示す。なお、本実験における従来法による測定は、改良したシステムにおいて排水電磁弁を終始閉じたままにした状態で給液を行ったものである。従来法では、斜面の下方は



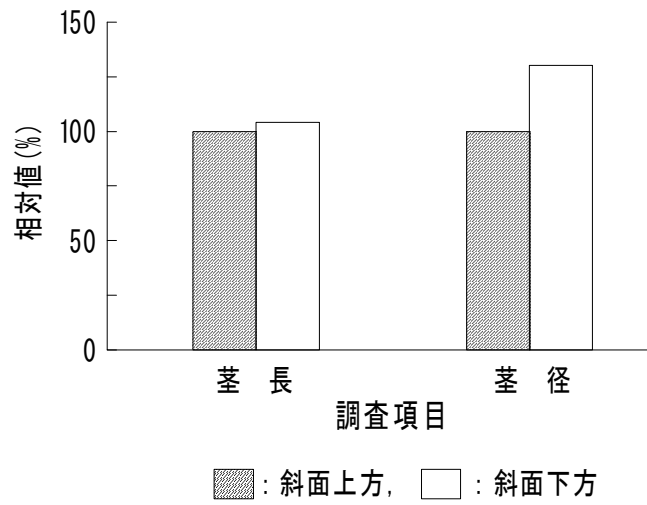


図6-6 従来法により傾斜畑で栽培したトマトの生育  
傾斜畑でトマトの夏秋栽培を行う生産者の慣行法による栽培.

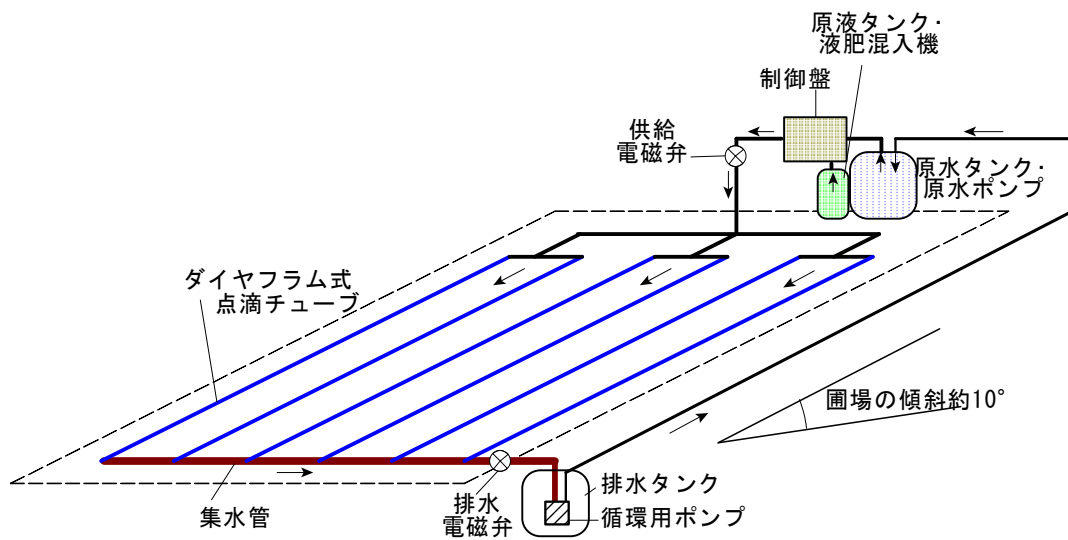


図6-7 傾斜畑に設置した養液土耕システムの概略  
→は水・養液の流れる方向を示す.

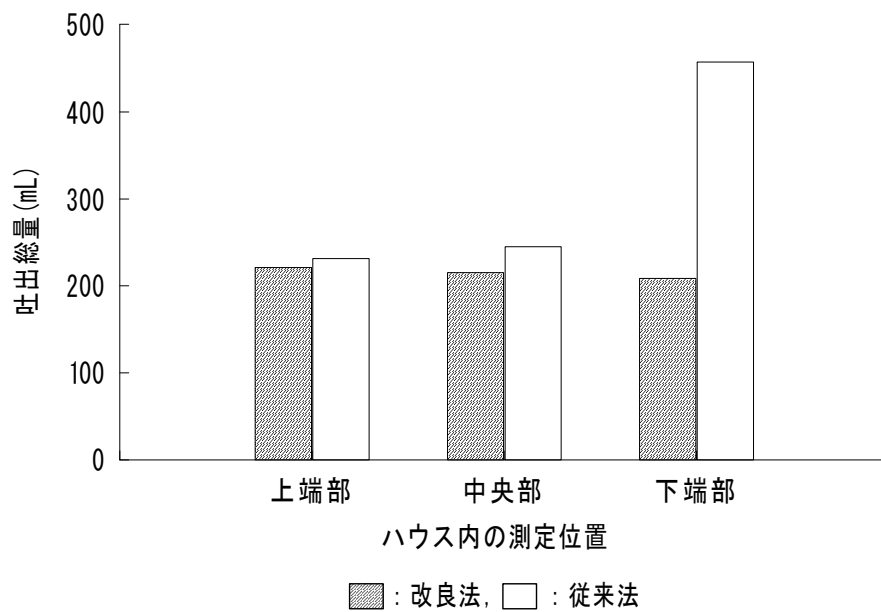


図6-8 給液方法が点滴チューブからの吐出総量に及ぼす影響

点滴穴間隔30cm, 長さ27mの点滴チューブ6本を設置し, 1穴からの吐出総量. 給水量を150Lとし, 点滴穴からの吐出がなくなるまでの量を測定した.

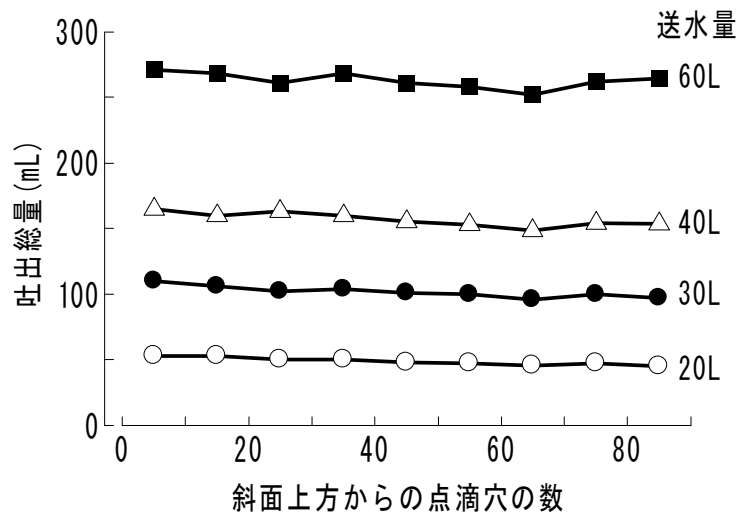


図6-9 傾斜畑における点滴孔の位置と点滴孔からの吐出総量との関係

点滴孔間隔30cm, 長さ27mの点滴チューブ2本を配列して灌水した時の1孔からの吐出総量を測定.

ど吐出総量が多くなったのに対して、改良法では傾斜方向の位置による違いは認められなかった。また、傾斜方向に設置された点滴チューブからの吐出総量は、点滴孔の位置による違いはほとんど認められなかった。

給液終了後に点滴チューブ内に残存する水が点滴孔から排出されるのに要した時間を表 6-1 に示す。従来法では給液終了後も残存水が排出され斜面下方ほど排出が長時間継続したのに対して、改良法では給液終了と同時に点滴チューブ末端の排水電磁弁が開放されることにより、残存水が点滴孔から排出されることはなかった。図 6-10 に示すように、改良法で栽培したトマトの茎長と茎径は、斜面の上方と下方における差はなく、傾斜畑においても適切に灌水・施肥できることが示された。

本研究で用いたチューブをはじめとする圧力補正機構付きの点滴チューブ (Karmeli, 1977) は、その動作範囲内であれば給液中の点滴孔からの吐出総量は傾斜度にかかわらず高低差があってもほぼ均一になる (東出ら 2005, 森永ら 2004)。このため、吐出総量の差は他の要因と考えられた。従来法と改良法で吐出総量に違いが出る原因を模式化して図 6-11 に示す。従来法において、斜面下方で吐出総量が多かったのは、給液中の吐出総量に差が生じていたのではなく、給液終了後に点滴チューブ内に滞留する水が重力にともない徐々に点滴孔から排出されることにより生じたといえる。一方、改良法では斜面下方の点滴チューブ末端に取り付けられた排水電磁弁の働きにより、給液終了と同時に点滴チューブ内の水が排出されるため、給液終了後の点滴孔からの漏水がなくなり、灌水ムラが解消されたと考えられる。

給液終了後に発生する点滴孔からの漏水により生じる灌水ムラについて、東出ら (2005) は傾斜地における等高線畝における実験で、後藤ら (2002) は平坦地における実験で、それぞれ同様の現象を報告している。東出ら (2005) が開発した傾斜地用養液栽培システムでは、等高線方向に配置した点滴チューブが接続された親管に逆止弁を設置することにより給液後の漏水を止め灌水の均一化を図っている。本研究における改良法は、傾斜畑において等高線畝で設置された場合においても機能することが確認されている (Kawashima ; 2013)。

改良法によりハウレンソウを栽培した時の収穫時の新鮮重は、斜面の上方、中央部および下方でそれぞれ 38.4, 37.6 および 36.7g・株<sup>-1</sup>でありほぼ均一であった。表 6-2 に示すように、定植前と収穫時における土壌の含水比は定植前の斜面中央部でやや低かったものの、栽培終了時において大きな差は認められなかった。播種の 3 日前に、土壌へ水分を含ませるため手灌水により灌水を行ったことから不均一が生じていた可能性も考えられるものの、播種後は改良法による点滴灌水を続け、大きな灌水ムラは生じなかった。また、傾斜方向畝を斜面上方と下方に 2 分割して数種の作物を栽培したところ生育の不均一は生じなかった。

表6-1 給液終了直後から吐出終了までの所要時間(sec)

	上端部	中央部	下端部
従来法	15	85	1,200
改良法	0	0	0

給液動作が終了後、灌水チューブの点滴孔からの吐出がなくなるまでの時間を測定。

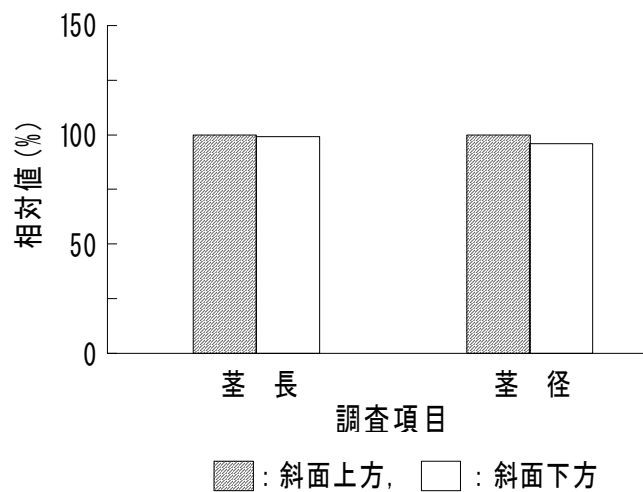


図6-10 改良法により傾斜畑で栽培したトマトの生育  
傾斜畑において養液土耕システムを導入し改良法でトマトを栽培。

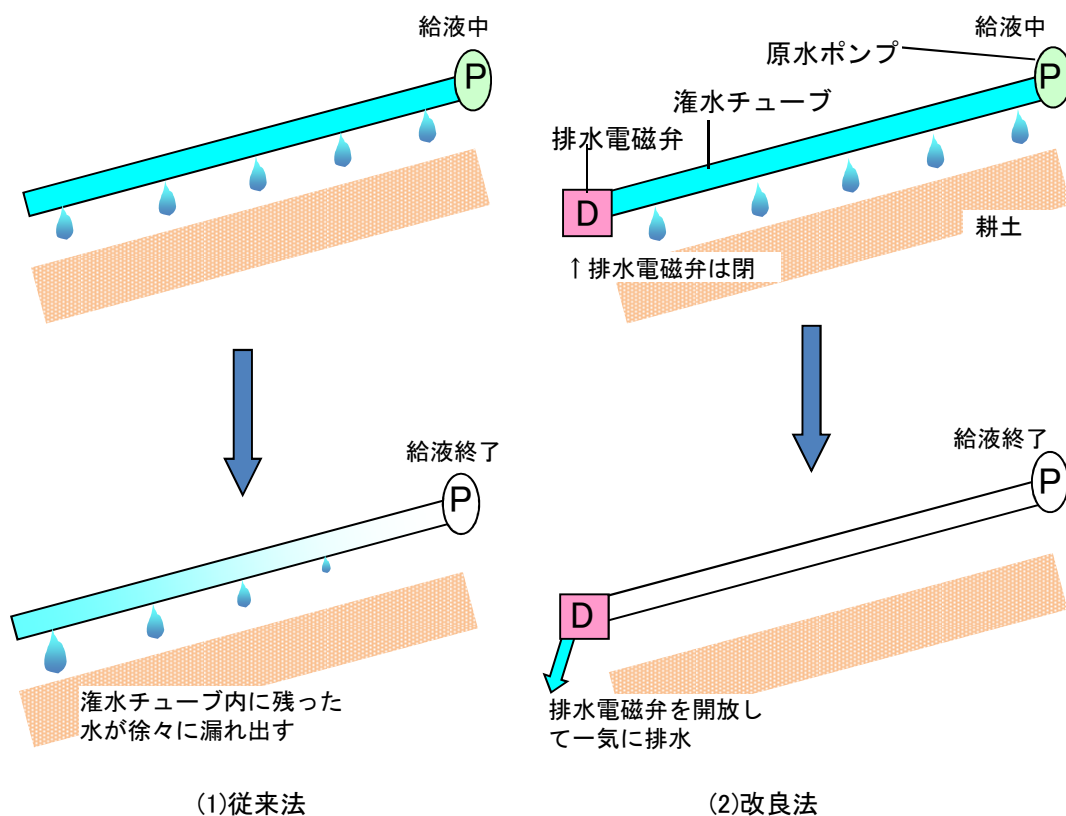


図6-11 給液方法で吐出総量の違いが出る原因

表6-2 点滴灌水による土壌含水比の分布(%)

時 期	測定位置	点滴チューブ外側		点滴チューブ内側		点滴孔間	
		5cm	10cm	5cm	10cm	5cm	10cm
播種前	斜面上方	13.6	10.9	20.7	19.0	16.5	12.7
	斜面中央	12.4	13.6	18.9	15.6	13.2	12.2
	斜面下方	18.8	19.6	24.1	22.0	18.0	20.6
収穫時	斜面上方	18.6	21.1	19.4	22.1	-	-
	斜面中央	22.1	23.1	20.9	22.9	-	-
	斜面下方	22.9	24.8	24.3	22.9	-	-

5cm, 10cmは採取した土壌の地表面からの深さを示す。  
 点滴チューブ外側と内側は、土壌を採取した位置を示し、それぞれ点滴孔を中心  
 に10cm離れた畝の外側と内側である。点滴孔間は、点滴孔の間の点滴  
 チューブ直下で採取した。-は欠測。

(Kawashima ら, 2000) . このことから, 改良法が傾斜畑における灌水・施肥方法, すなわち傾斜畑に対応した養液土耕システムとして適用可能であると考えられた.

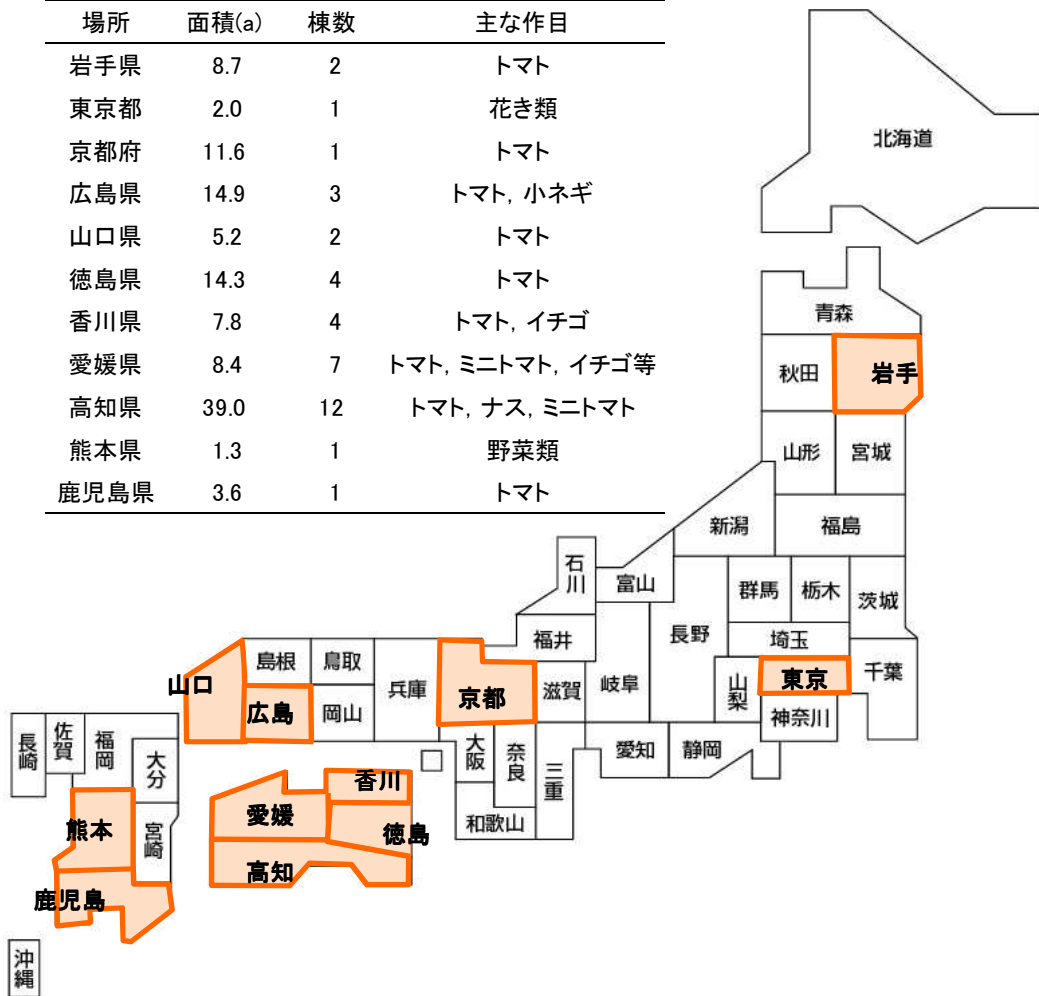
### 6-3-3 平張型傾斜ハウスを導入した新たな野菜・花き生産システムの普及可能性

平張型傾斜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, 6-3-1 で示したように, 従来の栽培と比べても高温期における換気能力に優れることにより増収したが, 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, 平張型傾斜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, 平坦地ハウス等の保温可能な施設におけるトマト等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等のメリットがあること等を考慮して, 実証試験で対象とした生産者は, 現在, トマトー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平張型傾斜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平張型傾斜ハウスへ転換された上, 新たに遊休地を開墾して平張型傾斜ハウスを新設して生産が行われている (図 6-3) .

また, 平張型傾斜ハウスは, 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 (家常, 2009 ; 伊吹, 2009 ; 長崎, 2009 ; 岡田ら, 2013 ; 迫田, 2009) . 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 (伊吹, 2009 ; 長崎ら, 2010) . 図 6-12 に示すように, 現在, 西日本の中山間地域を中心に平張型傾斜ハウスの導入が進んでおり, トマトの他, ナス, イチゴ, 花き類等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平張型傾斜ハウスへ転換した事例であり, 残りは平張型傾斜ハウスを新設して野菜・花き生産を開始した事例である. 新たに開発した野菜・花き生産用平張型傾斜ハウスは, 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. 図 6-13 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.

(1)都道府県別設置面積と主な作目

場所	面積(a)	棟数	主な作目
岩手県	8.7	2	トマト
東京都	2.0	1	花き類
京都府	11.6	1	トマト
広島県	14.9	3	トマト, 小ネギ
山口県	5.2	2	トマト
徳島県	14.3	4	トマト
香川県	7.8	4	トマト, イチゴ
愛媛県	8.4	7	トマト, ミニトマト, イチゴ等
高知県	39.0	12	トマト, ナス, ミニトマト
熊本県	1.3	1	野菜類
鹿児島県	3.6	1	トマト



(2)設置場所の都道府県別の分布

図6-12 平張型傾斜ハウスの都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等で直接関わった物件に限る。

図6-13 平張型傾斜ハウスの導入による新たな作付体系の例

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	○——△——												基礎品目
	→ スイートピー トマト	○——△—— 耕起等 圃場準備												圃場をローテーション する
	→ スナック エンドウ トマト	○——△—— 耕起等 圃場準備												圃場をローテーション する
高知県 土佐町	トマト(慣行・ハウス)	○——△—— ○——△—— ○——△——												保溫できるハウスでの 慣行のトマトと冬・春と 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	○——△——												基礎品目
	→ チコリー	○——△—— 根株養成(露地)												チコリー (コンテナ・伏せ込み) との組み合わせ
	→ セルリー	○——△—— 伏せ込み-収穫(約3週間)の繰り返し												セルリー との組み合わせ
	→ ブルーベリー	○——△—— 収穫終了後露地へ搬入												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)	○——△—— インター cropping												インター cropping (株間定植)による 3作連続4段密植栽培
	→ トマト (2作目)	○——△—— インター cropping												
→ トマト (3作目)	○——△—— インター cropping													
高知県 土佐町	トルコギキョウ	○——△——												普通(無加温) 冬出し
	慣行	○——△——												浄水利用冷房育苗に よる萌芽期の生産

○: 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(1998;1999), 川崎ら(2003), 追田ら(2004), 徳島県A町における事例は東  
 出ら(2006;2007), 藤野ら(2009), 事例3は広島県B町における事例は岡田ら(2013)をもとに作成.



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平張型傾斜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平張型傾斜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（迫田ら，2005）によると、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等が挙げられる一方，平張型傾斜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，台風被害の軽減等が挙げられている。東出ら（2007）は，平張型傾斜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等による壊滅的被害を回避できたこと等により収量が現状の10a当たり8tから14t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等の効果を報告している。

中山間地域における園芸生産では，平張型傾斜ハウスの導入による生産の安定化とともに高付加価値化についても期待されている。平張型傾斜ハウスの導入による害虫被害の減少にともない，減農薬栽培への取り組みも拡大することから，消費者のニーズに合う生産ができるものと考えられる。減農薬栽培とともに減・無化学肥料栽培を望む消費者のニーズもある。中山間地域は水源に近いことから系外への余剰肥料を排出しない環境保全的な技術が必要である。養液土耕システムは，余剰肥料の流亡が少ない環境保全的かつ省力的な灌水・施肥方法として平坦地における施設園芸で導入が進んでいる（青木ら，2001；Hochmuthら，1996；Loccaciら，1997）ことから，傾斜畑における灌水・施肥方法として適している。こうした特性を活かして，本研究では一般的な養液土耕システムをベースに，傾斜畑における傾斜方向畝で均一な灌水が可能なシステムを開発・改良した。本研究における改良法は，傾斜畑における等高線方向畝に対しても同様の方法で対応できる（Kawashima，2013）ことが明らかにされており，傾斜畑において適切に灌水・施肥する方法として汎用性が高い技術と認められる。しかし，一般的な養液土耕システムは無機化学肥料が使用されることが多いため，消費者の減・無化学肥料栽培への志向とマッチしないことを懸念する生産者の意見もある（浅見，2003）。こうしたニーズに対して，有機質液肥を用いて有機栽培と養液土耕とを融合させた有機養液土耕が中野（2002）により提案され実用化されている。また，川嶋ら（2006）は，有機養液土耕がトマトの促成長期栽培において適用できることを明らかにしている。中山間地域において，平張型傾斜ハウスを導入するとともに傾斜畑に対応した養液土耕システムと有機養液土耕の技術を利用することで，より付加価値の高い野菜・花き生産が可能になると考えられる。しかし，養

液土耕システムの普及を図るためには、平坦地における問題と同様に、システムの低コスト化が大きな課題となっている（浅見，2003；河合ら，2003）。また、中山間地域では、小規模な傾斜畑が散在する場合や圃場に電源のない場合もあり、導入コストがかさむことやシステムの使用が困難なことで導入が制限される場合もある。電源のない場合の多い中山間地域の露地圃場に対応する灌水・施肥システムとして、太陽電池パネルにより無電源で駆動する給液システム（吉川ら，2010）が開発されている。無電源の圃場においてはこうしたシステムを援用するなど今後の改善が必要である。また、吉川ら（2010）が開発したシステムは施肥量の制御に問題があるものの一般的な養液土耕システムと比べておおよそ 1/5（10a 当たり約 20 万円）と低コストであり、小規模で分散した圃場への対応も容易と考えられる。中山間地域の傾斜畑において養液土耕システムの普及を進めるためには、こうした低コストなシステムと本研究で開発・改良した養液土耕システムの制御法を組み合わせる等、さらなる改良について検討する余地がある。

本研究で開発した平張型傾斜ハウスは、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（図 6-13）。例えば、実証試験を実施した高知県土佐町では、平張型傾斜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（Nagasaki ら，2000；迫田ら，2004）、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（川嶋ら，2001）での育苗用ハウス等に活用されている。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等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（Nagasaki ら，2000；野中ら，1998；迫田ら，2004）。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み、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（川嶋ら，2003）等、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（迫田ら，2004）であり、平張型傾斜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（2004）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、平張型傾斜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）が活動を始める等の波及効果を確認している。その概要を図 6-14 に示す。迫田ら（2004）の解析では、新たに園芸作物

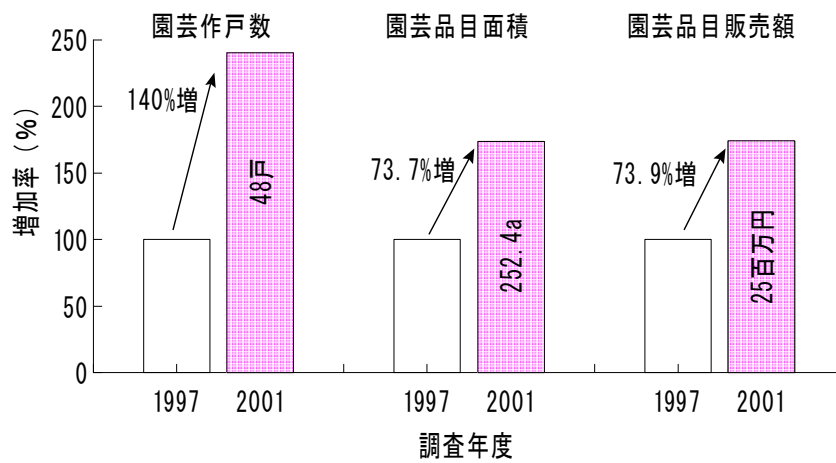


図6-14 対象地域に対する本研究の波及効果

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(2004)をもとに作成。

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），107a（73.7%増）および 10,905 千円（73.9%増），販売額については 1 戸当たり 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．この様に，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（家常，2009；迫田ら，2004）と評価されていること等から，新たに開発した野菜・花き生産用平張型傾斜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．

#### 6-4 結論

開発した野菜・花き生産用平張型傾斜ハウスを導入し，従来の作物に加えて新規作物を取り入れた新たな作付体系を構築するとともに，傾斜畑に対応した養液土耕システムの制御方法および平張型傾斜ハウスを利用した中山間地域における新たな野菜・花き生産システムの普及可能性について検討し，以下のような知見を得た．

- 1) 開発した平張型傾斜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等の効果により，従来の簡易雨よけ施設における収量（ $8.2\text{t}\cdot 10\text{a}^{-1}$ ）と比較して  $9.7\text{t}\cdot 10\text{a}^{-1}$  であり約 20%増収することを明らかにした．
- 2) 開発した平張型傾斜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) 省力的で環境保全的な灌水・施肥方法として有効な養液土耕システムを傾斜畑に適用し，平坦地で実施されている従来の灌水方法によって灌水・施肥したところ，斜面下方で吐出総量が多くなる現象が観察された．これは，給液動作中に生じるのではなく，給液終了後に点滴チューブ内に滞留する水が重力にともない徐々に斜面下方の点滴孔から排出されることにより生じることを実験的に明らかにした．
- 4) 平坦地で普及している一般的な養液土耕システムをベースに，傾斜畑においても均一に灌水・施肥するための制御方法を検討し，給液動作を改良した．養液土耕システムの給液動作において従来法と改良法で異なる点は，斜面下方の点滴チューブ末端に排水電磁弁を取り付け，給液中は排水電磁弁を閉じておき，給液終了と同時に開放して点滴チューブ内の残液を速や

かに排出させる制御としたことである。改良法では、給液終了後の点滴孔からの漏水がなくなったことで灌水の不均一が解消され、傾斜畑においても均一に作物を生育させることが可能である。

- 5) 中山間地域の野菜・花き生産における平張型傾斜ハウスの普及可能性を検討した。平張型傾斜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戸当たり530千円の増加であった。中山間地域において平張型傾斜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。

以上のように、開発した平張型傾斜ハウスは中山間地域の傾斜畑において、従来の簡易雨よけ施設に替わる施設として適用できるのみならず、低温期においても生産が可能になることから経済的な導入メリットも認められる。さらに、傾斜畑における均一な灌水・施肥方法が改良・開発されたことから、平張型傾斜ハウスは傾斜畑における集約的な野菜・花き生産の発展、さらには中山間地域の活性化や維持発展につながるものと大きく期待される。そこで次章では、本研究を総括するとともに傾斜畑における野菜・花き生産に対応して開発した平張型傾斜ハウスの導入による新たな生産システム構築の可能性と今後の課題等について考察する。

## 第7章 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（増淵，1996；高橋ら，1999）。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（二ツ寺，1976；小倉ら，1990；雪竹，1982）。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（増淵，1997；高橋ら，1999）。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（Nakagawa，1997；増淵，1997），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、環境制御の高度化を進めるなど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（寺島ら，2005；吉田，2008）。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（迫田，2004）にも関わらず、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（原菌ら，1986）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（原菌，1990；鴨田，1990）であり、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（関ら，2001；菅谷ら，1997；菅谷ら，1998）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1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、以下に掲げた課題を中心に検討を進めた。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) 高温期における平張型傾斜ハウスの換気にともなう温度分布特性
- 4) 低温期における平張型傾斜ハウスの加温・送風にともなう温度分布特性
- 5) 平張型傾斜ハウスの導入による新たな作付体系や灌水制御を適用した傾斜畑における新たな野菜・花き生産システム構築の可能性

等である。

1) に対しては、第2章において、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、傾斜ハウスの換気能力が平坦地ハウスより優れること等の温度分布特性を明らかにし、傾斜ハウスが中山間地域の傾斜畑における野菜・花き生産に対して利用可能であることを示した。2) に対しては、第3章において、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等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野菜・花き生産用平張型傾斜ハウスの構造的特徴等を述べた。さらに、開発した平張型傾斜ハウスで野菜・花き生産を行うために必要な温度制御に関する課題として挙げた3) に対しては、第4章において、換気による温度分布を解析することにより、開発した平張型傾斜ハウスが換気能力に優れ、夏秋栽培に適していること等を明らかにした。また4) に対しては、第5章において、温風ダクトの配置や循環扇による送風によって平張型傾斜ハウスにおける加温時の温度制御が可能なこと等を明らかにした。地上部環境である温度制御に加えて傾斜畑において問題となる地下部環境に対する課題である5) に対して、第6章において傾斜畑に対応した灌水・施肥方法を検討し、養液土耕の制御方法を改良することによって解決を図った。さらに、開発した野菜・花き生産用平張型傾斜ハウスの導入による新たな作付体系とその経営効果を検討し、平張型傾斜ハウスを中心とする技術が中山間傾斜地域において普及可能な技術であることを明らかにした。本章では、以上で得られた知見を総括するとともに、平張型傾斜ハウスを中心として開発した新たな野菜・花き生産システムの有効性と今後の課題等について考察する。

第2章では、傾斜ハウスにおける温度分布特性を明らかにするために、平坦地において一般的なアーチ型パイプハウスを傾斜畑へ試験導入し、同形状の平坦地ハウスと比較することにより、傾斜ハウスの温度分布特性を解析した。傾斜ハウスにおける温度分布については、無植栽、密閉状態のアーチ型傾斜ハウスにおける測定(菅谷ら, 1997; 菅谷ら, 1998) やシミュレーション(関ら; 2001) により検討された例があるものの、野菜・花きを実際に生産しながら温度分布を検討した既往の研究事例は見当たらない。一方、傾斜地においては斜面風の存在(関ら, 2002; 柴田ら, 2002) や、傾斜畑の高低差にともなう煙突効果(温度差換気)があること(菅谷ら, 1998) から、傾斜ハウスは平坦地ハウスより換気能力に優れ高温期の野菜・花き生産に適していることが指摘されているものの、実際に比較検討した既往の研究事例は見当たらない。そこで本研究では、まず実際の栽培条件において、密閉状態で一定温度まで昇温させた後、側窓の巻き上げを開放して換気した場合の温度変化を解析し、傾斜ハウス内の温度が平坦地ハウスより速やかに外気温近くまで低下することから、これまでに指摘されていたように、傾斜ハウスは平坦地ハウスより換気能力に優れることを明らかにした。本実験で用いた平坦地ハウスの開口部の高低差は、幅1mが最大(側窓の巻き上げ幅)であ

るのに対して、傾斜ハウスでは側窓両端で 5.2m の高低差があった。温度差換気が優位な条件下では、換気量は高さの異なる開口部の高低差があるほど多くなる (Boulard ら, 1997 ; 小澤ら, 1993) ことから、傾斜にともなう開口部の高低差のある傾斜ハウスの方が平坦地ハウスより換気能力に優れる要因と考えられた。

次に、換気位置が傾斜ハウスの温度分布に及ぼす影響を明らかにするために、アーチ型傾斜ハウスを用いて、妻面の開放または側窓の巻き上げにより換気した場合の温度分布の変化を解析した。温度差換気が優位な条件下では、換気量は高さの異なる開口部の高低差があるほど多くなる (Boulard ら, 1997 ; 小澤ら, 1993) . このため、斜面の上下にある妻面を開放して換気した場合、傾斜方向の高低差にともなう温度差換気によって高い換気能力がある (関ら, 2002 ; 菅谷, 1998) と予想された。しかし実際には、斜面上方と下方にある妻面だけを開放して換気した場合より、側窓の巻き上げまたは妻面の開放と側窓の巻き上げにより換気した場合の方が速やかに温度は低下し均一化される (Kawashima ら, 2001) . すなわち、高低差にともなう換気は平坦地ハウスより換気能力に優れる要因であるものの、傾斜ハウスにおいてさらに換気能力を向上させるためには、換気位置の高低差の利用に加えて、側窓の巻き上げによる換気を併用して開口面積を増やすことも必要 (川嶋ら, 2007a) といえる。

一方、低温期における加温時にはハウスは密閉された状態となるが、密閉状態の傾斜ハウス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。これは、無植栽・無加温状態のアーチ型傾斜ハウスにおけるシミュレーション (関ら ; 2001) や観測 (菅谷ら, 1997) およびハウスブドウを対象にした植栽状態での観測 (原菌ら, 1986) の結果を追認しており、傾斜ハウスにおける温度分布の特徴を表しているといえる。このような傾斜ハウスに発生する温度勾配を利用した栽培が検討されている (菅谷, 1998) . 温度勾配を利用して生育に遅速を生じさせる実験施設 (Okada ら, 1995) の応用ともいえるが、通常野菜・花き栽培では、温度勾配による生育差の発生は栽培管理の上で問題になる。また、実際には低温期においても日中には温度が上がり過ぎるのを防ぐために換気が行われることから、密閉状態を維持して栽培することはない。このため、密閉状態となる加温時における温度の均一化を図る必要がある。

そこで、平坦地で一般的に用いられているアーチ型パイプハウスを傾斜ハウスとして傾斜畑に設置し、同型の平坦地ハウスとを比較することにより、加温時における傾斜ハウスの温度分布特性を解析した。平坦地ハウスにおける通常の栽培では、加温時には長短の温風ダクトを適切に配置することで温度分布の均一化が図られている (林, 1990 ; 岡田, 1980) が、ここでは温風ダクトを配置しない条件で比較することによって、傾斜ハウスと平坦地ハウスの温度分布に特徴的な違いが生じることを示した。すなわち、暖房機の燃焼が停止した時、平坦地ハウス



では暖房機側で高く、その反対側で低くなる温度勾配が生じるのに対して、傾斜ハウスでは傾斜方向における温度差は小さかった。加温時において、屋根面付近では暖気が移動中に放熱される（横木，1970）が、平坦地ハウスでは暖気が屋根面へ向かった後、温度の低い反対側の妻面へ向かって動く対流が生じていたと推定されることから、熱源から離れるに従って放熱による温度低下が起こり、温度勾配が生じていると考えられる。一方、アーチ型傾斜ハウスにおける無加温状態でのシミュレーション（関ら，2001）の結果から推測すると、傾斜ハウスでは暖房機を設置した斜面下方が温度のピークとなるため、斜面下方を起点とする対流が生じ、斜面下方から上方へ暖気が移動することによって、暖房機と反対側の妻面付近との温度差が小さくなると推定される（川嶋ら，2007a）。このことは、傾斜ハウスでは温風ダクトを配置しなくても温度分布を均一化できることを示唆している。また、斜面下方から斜面上方へ向かう気流があることによって、平坦地において循環扇で送風、攪拌するのと同様の効果が得られている可能性がある。

平坦地ハウスでは、温風ダクトの配置（林，1990；岡田，1980），循環扇による空気の攪拌（馬場，2010；野々下，2007；佐瀬，2003b）等によって温度の均一化が図られている。平坦地ハウスにおいて循環扇を設置する場合、ハウス上面から俯瞰して循環流ができるように、隣り合う循環扇同士で気流方向を交互に変えて配置されるのが一般的である（馬場，2010）。傾斜ハウスでは、斜面下方から斜面上方へ向かう気流があることから、循環扇を用いる場合には斜面下方の一方方向へ送風するように設置した方が良いと考えられた。また、傾斜ハウスにおいて、循環扇を設置して斜面下方向きに送風することにより、循環扇より斜面上方におけるハウス内の温度を0.5～1.0℃低下させることができる。循環扇の設置位置を斜面上方とした場合より斜面中央とした場合の方が温度の低下する範囲が広がるが、これは、斜面上方へ向かう暖気の移動が循環扇による送風によって妨げられるためと考えられる。

このように、暖気が斜面下方からは斜面上方へ移動することを考慮して、温風ダクトあるいは循環扇を適切に配置することで温度分布を均一化できると考えられた。ここで述べた結果は、傾斜度が約10°の傾斜畑で実施した実験結果である。圃場の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も変化する（関ら，2001）と考えられることから、温風ダクトや循環扇の配置方法を一般化するにはさらにデータを蓄積して検討する必要がある。

第3章では、トマトを簡易雨よけ施設で夏秋栽培する生産者の傾斜畑において現状を分析するとともに、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試験導入して構造等の傾斜ハウスに必要な要件を抽出した。従来の簡易雨よけ施設は、畝ごとに設置された小型のアーチパイプの屋根部分のみにフィルムが

張られた簡易な施設であり作業性が悪く（長崎ら，2004a），病害の発生原因となる植物体の「ぬれ」を助長するような構造であった．簡易雨よけ施設に替わる施設として必要な野菜・花き生産用傾斜ハウスの基本要件として，①小区画で不定形な傾斜畑に対応できること，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等を挙げた．しかし，野菜・花き生産用傾斜ハウスはこれまでなかったことから，まず平坦地において一般的に用いられるアーチ型パイプハウスを傾斜畑へ導入したところ，作業空間が広がり作業環境が改善される等の効果が認められる一方で，不定形な傾斜畑では残地が多く生じる等の問題点が生じ，野菜・花き生産用傾斜ハウスを新たに開発する必要が認められた．

そこで，野菜・花き生産用傾斜ハウスに必要な構造要件等を抽出するとともに，同要件に基づき傾斜ハウスを新規に開発した．開発した傾斜ハウスは，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した平屋根構造の平張型傾斜ハウスである．流通量が多い汎用資材を利用することによって，資材コストはアーチ型傾斜ハウス（3.3 m<sup>2</sup>当たりの資材費 1.3 万円）に対して 3.3 m<sup>2</sup>当たり 0.8 万円（長崎・川嶋ら，2004a）であり低コスト化を達成した．また，開発した平張型傾斜ハウスは，自家施工が可能であ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を低減することができる利点がある．加えて，開発した平張型傾斜ハウスの強度は耐風速 40m・s<sup>-1</sup> 以上（長崎・川嶋ら，2004a）であり，低コストと高強度を備えたハウスといえる．開発した平張型傾斜ハウスは，西日本地域を中心に普及が進んでいるが，例えば台風の常襲地域である高知県に設置して 10 年以上経過した平張型傾斜ハウスにおいても台風による被害は出ていない．また徳島県においては，台風の強風（最大瞬間風速 41.0m・s<sup>-1</sup>）によって簡易雨よけ施設が壊滅的な被害を受けたのに対して，同ハウスは全く被害を受けなかったことが報告されている（東出ら，2007）．

開発した平張型傾斜ハウスは，その外周に設置する主基礎と支柱を圃場の形状に合わせて配置することで，不定形な傾斜畑でもその形状に応じて設置できる特徴があり，簡易雨よけ施設が設置されていた場合と比較して，施設面積と栽培可能面積はそれぞれ 3.4～12.6%と 25～35%増加していることから，小区画な傾斜畑を有効に利用することが可能である．また，傾斜畑の傾斜度への対応については，17° 程度までの設置事例を示したが，傾斜度 20° において施工した例（伊吹ら，2009）も報告されており，開発した平張型傾斜ハウスは傾斜度が 20° までの傾斜畑に対応できると判断された．傾斜畑の野菜・花き栽培において，作畦作業や誘引等の管理作業の作業性から考えると傾斜度が 20° 程度までが限界である（長崎ら，2004b）ことから，圃場の傾斜度に対しては 20° 程度に対応できれば実用上問題ないといえる．

開発した平張型傾斜ハウスは、中山間地域に多い野菜・花きの夏秋栽培に必要な高温期における換気を促すために、軒高が 3m で四方に 2 段の巻き上げ換気用の側窓を備えた構造である。果樹において利用されている大型の傾斜ハウスは、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、換気時には強制換気が用いられる場合もあるものの被覆資材をずらして隙間を開けることで換気が行われる場合が多い（原菌，1990；鴨田，1990；佐瀬，2003a）。これに対して、開発した平張型傾斜ハウスは、高温期においても被覆資材を展張したまま雨よけの機能を保持することを前提としており、軒高が高く四方に設置した側窓を巻き上げて換気できる構造である。さらに、その巻き上げは、一般的な平坦地ハウスのように温度に応じて自動開閉させることもできる（長崎・川嶋ら，2004a）。このように、開発した平張型傾斜ハウスは、傾斜畑における野菜・花き生産に対応した実用的な構造を有している。

第 4 章では、開発した平張型傾斜ハウスをトマト生産者の傾斜畑へ導入し、高温期における適用性について検討した。高温期における日中のハウス内外温度差は、平張型傾斜ハウスの方がアーチ型傾斜ハウスより 1℃以上小さかった。平張型傾斜ハウスは、第 3 章で述べたように、屋根面が平板でありアーチ型傾斜ハウスと比較して空気の滞留が少ない構造になっている。平張型傾斜ハウスの窓比率（ハウス表面積に対する開口面積の比）は、同床面積のアーチ型傾斜ハウスと比べて約 38%大きくなる（川嶋ら，2007b）。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く換気のための開口面積が小さい上、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、平張型傾斜ハウスでは四方に設置された巻き上げ幅の大きい側窓によって換気のための開口面積が大きい上、屋根面が平板で軒高が高く空気が滞留しない構造であることから、効率良く換気できていると考えられた。

一方、狭小で不定形な傾斜畑が混在する圃場では、個々の傾斜畑ごとに平張型傾斜ハウスを設置するより、隣接する傾斜畑を一体的に覆うように設置する方が栽培面積を広くできること、暖房機 1 台で 2 区画の傾斜畑を加温対象とすること等により、効率的な利用が可能になるメリットがある。開発した平張型傾斜ハウスは、傾斜畑間に 1m 以上の大きい段差のある傾斜段畑に設置することも可能である。この場合、傾斜畑間の段差部分で屋根面にも段差を設けて中央換気窓を設置して換気を促す構造とすることで、中央換気窓がない場合よりハウス内温度を 4℃以上低下させることができ、高温期においても十分な換気能力を付与することが可能である（川嶋ら，2007b）。

高温期における平張型傾斜ハウスの適用性は、生産性の面からも実証された。すなわち、第 6 章で示したように、生産者圃場において夏秋栽培したトマトの収量を比較したところ、簡易雨よけ施設、アーチ型傾斜ハウスおよび平張型傾斜ハ

ウスでそれぞれ 8.2, 8.9 および  $9.7\text{t}\cdot 10\text{a}^{-1}$  であり, 平張型傾斜ハウスにおいて最も多かった. これは, 簡易雨よけ施設の場合と比較して収穫期間が 2 週間程度延長される効果が増収の一因と考えられる. ハウス内における空気の流動は二酸化炭素濃度の低下防止など植物体の周辺環境の改善に寄与し, キュウリ (伊東, 1972) やトマト (Cotter ら, 1960) ;伊東, 1972) で光合成の促進や増収効果が認められている. 一般に, 植物体近傍では,  $0.5\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$  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 (北宅, 1992) . このため, 空気を強制的に流動させることで循環扇が利用される場合がある (馬場, 2010 ; 佐瀬, 2003b) . これに対して, 平張型傾斜ハウスでは強制的に空気を攪拌しなくても, 側窓を巻き上げた通常 of 自然換気状態の群落内において  $0.1\sim 0.6\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$  程度の空気の流動が観測された. すなわち, 換気能力の高さにとまなう空気の流動によって光合成が促進されたことも増収の要因かもしれない.

このように, 開発した平張型傾斜ハウスは, 換気能力に優れることから高温期の生産となる夏秋栽培に適用できるといえる. 平張型傾斜ハウスの優れた換気能力を活かし, 平坦地においても応用が図られ適用範囲が広がっている (橋本ら, 2010 ; 長崎ら, 2010) . すなわち, 平張型傾斜ハウスは中山間地域における野菜・花きの生産に適した普及性の高い技術であると考えられる.

高温期における主要な施設である従来の簡易雨よけ施設から, 開発した平張型傾斜ハウスへ転換されると, 従来と比べて作期の延長や周年生産が可能になる等, 低温期においても新たな作型や作付体系の導入が可能になり, 生産者は経営の選択肢を広げることができる. そこで第 5 章では, トマト生産者の傾斜畑に設置した形状の異なる平張型傾斜ハウスを用いて, 温風ダクトの配置が低温期の加温時における温度分布に及ぼす影響を検討した. 傾斜方向に長い平張型傾斜ハウスにおいて, 温風ダクトを使用しない場合, 斜面下方では地面から屋根面へ向かって (鉛直方向に) 温度が高く, 屋根面では斜面下方から上方へ向かって低くなる温度分布を示した. このような温度分布は, 第 2 章で示したアーチ型傾斜ハウスと同様であった. 平張型傾斜ハウスにおいても, 斜面下方に設置した暖房機から発生して鉛直方向へ (地面から屋根面へ) 向かう暖気は, 屋根面に沿って斜面上方へ移動するに従って放熱するため, 屋根面付近で温度勾配を生じる (川嶋ら, 2011) . 関ら (2001) は, 無加温のアーチ型傾斜ハウスにおけるシミュレーションにおいて, 圃場の傾斜度に比例して気流速が増加し, 対流混合により温度差が緩和されることを示唆している. 圃場の傾斜度が  $17^\circ$  であった本実験の平張型傾斜ハウスにおいて, 屋根面から離れた栽培空間で温度差が小さかったのは, こうした気流の動きに起因しているものと考えられる.

傾斜方向に長い平張型傾斜ハウスにおいて, 温風ダクトを延長した場合には鉛直方向の温度差が解消された. これは, 温風ダクトのない場合と比べて屋根面へ

向かう温風が少なくなり、栽培空間へ適当に配風されるためである（川嶋ら，2011）．一方，温風ダクトの有無に関わらず，循環扇を設置して斜面上方から下方へ向かって送風した場合には，循環扇からの送風で暖気が押し戻されることによって対流に変化が生じ，循環扇より斜面上方の温度を低下させることができる．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（石井ら，2012；畔柳，2010；Fernandezら，1994）．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（畔柳，2009b）．本実験においても，循環扇の送風によって温度分布に影響が見られたのは，循環扇から送風方向へ測定位置の間隔である数m程度の範囲であり，循環扇からの気流の直進性が失われる範囲であったとみられる．また，循環扇の設置位置によっても温度分布に与える影響が異なり，斜面上方より中央に循環扇を設置した場合の方が広い範囲で温度上昇を抑えられることができる．これらの結果は，傾斜ハウスに特有の温度分布特性といえる．すなわち，平張型傾斜ハウスにおいても，温風ダクトと循環扇を組み合わせることによって温度制御が可能と考えられる．

形状の異なる平張型傾斜ハウスとしてさらに2事例を対象に検討した．まず，等高線方向に長い平張型傾斜ハウスでは，温風ダクトを斜面下方の側面沿いに設置することで温度分布は均一になった．実験に供試した等高線方向に長い平張型傾斜ハウスにおける暖房機の設置位置は，暖房機本体が作物の受光を妨げないように斜面上方とした．傾斜方向に長い平張型傾斜ハウスにおける実験と異なり，暖房機が斜面上方に位置したことから，暖気が斜面上方へ滞留しやすい条件となるため斜面下方の温度が低くなる温度勾配が生じる（川嶋ら，2011）．このため，温風ダクトを斜面下方へ配置することにより斜面下方の温度上昇を促すことで温度分布を均一化できると考えられる．

一方，2区画の傾斜畑が隣接する傾斜段畑を一体的に覆うように設置した平張型傾斜ハウスについても温風ダクトの配置について検討した．狭小で不定形な傾斜畑が混在する圃場では，個々の傾斜畑ごとに平張型傾斜ハウスを設置するより，隣接する傾斜畑を一体的に覆うように設置する方が栽培面積を広くでき，暖房機1台で2区画の傾斜畑を加温対象とすること等により効率的に管理することができる．傾斜段畑の上段と下段に設置した平張型傾斜ハウスは，それぞれ等高線方向に長い形状であり，段差部分で栽培空間が連結されている．上段ハウスに温風ダクトを配置した場合には下段ハウスより上段ハウスの温度が高く推移した．これは，等高線方向に長い場合と同様に，斜面上方へ暖気が移動することによって温度差が生じたためである（川嶋ら，2011）．等高線方向に長い平張型傾斜ハウスの事例で示したように，斜面下方に温風ダクトを配置して下段ハウスの温度を均一にすることで，上段ハウスの温度分布の均一化が可能と考えられる．

このように、開発した平張型傾斜ハウスは、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（畔柳, 2009a）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6章では、傾斜畑に対応した平張型傾斜ハウスを利用した新たな野菜・花き生産システムを構築するために、開発した平張型傾斜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を述べた。平張型傾斜ハウスをトマト生産者圃場に設置して実施した夏秋栽培の実証試験の結果、トマトの収量は簡易雨よけ施設 ( $8.2 \text{ t} \cdot 10\text{a}^{-1}$ ) と比べて平張型傾斜ハウス ( $9.7 \text{ t} \cdot 10\text{a}^{-1}$ ) の方が多かった。この理由として、平張型傾斜ハウスでは、換気能力に優れることから高温期における温度上昇を抑制できるとともに、第4章で述べたように、強制的に空気を攪拌しなくても通常の換気状態において  $0.1 \sim 0.6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  程度の空気の流動にともない光合成が促進されたこと等が考えられる。このように、開発した平張型傾斜ハウスは、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。

開発した平張型傾斜ハウスの周年利用を図るため、トマトの夏秋栽培を行う生産者圃場においてトマトの後作としてスイートピーの導入を試みた。スイートピーは秋から春にかけて栽培され、低温での管理が可能である（土井, 1995）。またトマト栽培で使用した支柱やピンチ等の資材や道具を利用できる利点もある。慣行のトマトの夏秋栽培は、3月中旬に播種、5月上～中旬に定植し、7月中旬から収穫が始まる簡易雨よけ施設による栽培であった。トマトの夏秋栽培の後作としてスイートピーを本格的に導入する場合には、トマトについても一部作型を変更して新たな作付体系を導入する必要がある。すなわち、スイートピーを栽培する予定のハウスでは、3月上旬にトマトを4月下旬までに定植して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。さらに、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り、翌年は圃場をローテーションして栽培することになる。スイートピーを導入して、トマトスイートピーによる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はあると考えられる。

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等も候補である。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、共販ができる等のメリットがあること等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様々である（猪熊ら，2004；北村ら，1995；金野，1990）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、平張型傾斜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（藤野ら，2009）、クサソテツ、タラノメおよび山ふきのふかし栽培（武内ら，2009）、ブルーベリー栽培（東出ら，2006）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（藤田ら，1997；Satoら，2000）も検討されており実用化が待たれる。

中山間地域の傾斜畑において普及している簡易雨よけ施設から、新たに開発した平張型傾斜ハウスへ転換するにあたり、地上部環境である温度制御を行うための検討を第4章と第5章で行った。しかし、野菜・花き生産においては、地上部に加えて地下部の環境、すなわち灌水・施肥についても適切に管理する必要がある。中山間地域は水源に近く肥料分の流亡が少ない施肥技術も要求されるとともに省力化も必要である。灌水と同時に希釈した液肥を施用する養液土耕は、必要な時に必要な量だけ点滴チューブを通して少量・多頻度で灌水・施肥する技術である。また、自動化されるため省力的であるとともに肥料コストの削減や肥料分の流亡をなくす環境保全的な方法（青木ら，2001；Bar-Yosef，1999；Scanders，1996）である。これらのことから、養液土耕は傾斜畑における灌水・施肥技術と

して適していると考えられた。

点滴チューブによる灌水は傾斜畑での野菜栽培においてメリットのあることは指摘されていた（田辺，1987）が，これまで傾斜畑での具体的な対応技術は検討されていなかった．現在の点滴チューブは圧力補正機構付であれば精度の高い灌水が可能になっている（後藤ら，2002；森永ら，2004）が，市販の養液土耕システムを用いて傾斜方向畝で灌水を行ったところ，傾斜上方より傾斜下方で灌水量が多くなる不均一が生じた．解析の結果，給液中の点滴チューブからの吐出量が不均一なのではなく，給液終了後にチューブ内に残存した水が傾斜下方の点滴穴から漏出することが原因であることを明らかにした．本結果は，平坦地や等高線方向畝等の水平な畝で発生する灌水の不均一の原因が給液終了後の点滴穴からの漏水であるとした報告（東出，2007；後藤ら，2002）と同様の現象といえる．

こうした不均一の発生を解消するため，本研究では市販の養液土耕システムをベースに給液の制御方法を改良した．改良法では，点滴チューブ末端を接続した集水管に排水電磁弁を設置し，給液中は排水電磁弁を閉じておき，給液終了と同時に排水電磁弁を開放することによって点滴チューブ内の残存水を排出するように制御した．本法は，給液終了後に点滴チューブ内に残存した水が，点滴穴から漏出するのを防止できるため，傾斜畑における均一な灌水・施肥が可能になる．等高線方向畝での灌水において，配置した点滴チューブが接続された親管に逆止弁を設置することで給液後の漏水防止を図った報告（東出，2007）がある．本研究における改良法は，傾斜方向畝において利用できることを示したが，等高線方向畝に対しても同様の方法で対応できる（Kawashima，2013）ことが明らかにされている．すなわち，本研究で示した改良法は，傾斜畑における灌水・施肥方法として汎用性があると認められる．しかし，中山間地域には電源のない場合も多く見られることから，開発したシステムが適用できない場合もあると考えられる．電源のない中山間地域の露地圃場に対応する灌水・施肥システムとして，太陽電池パネルにより無電源で駆動する給液システム（吉川ら，2010）が開発されており，無電源の圃場においてはこうしたシステムを援用するなど今後の改善が必要である．加えて，養液土耕の普及を進めるには平坦地において導入する場合の問題点と同様に，システムの低コスト化も大きな課題（浅見，2003；河合ら，2003）である．

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，平張型傾斜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にとどまらず，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，平張型傾斜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（迫田ら，2004），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 (Nagasaki ら, 2000 ; 迫田ら, 2004) 等に活用された。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 (川嶋ら, 2001) 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 (川嶋ら, 2003) 。この様に、平張型傾斜ハウスは様々な野菜・花き生産に対応して様々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 (2004) 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) , 107a (73.7%増) および 10,905 千円 (73.9%増) , 販売額については 1 戸当たり 530 千円の増加した。迫田ら (2004) 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等、地域の活性化にも貢献した (家常, 2009 ; 迫田ら, 2004) と評価されている。また、開発した平張型傾斜ハウスは、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 (家常, 2009 ; 伊吹, 2009 ; 長崎, 2009 ; 岡田, 2011 ; 迫田, 2009) 。この様に、平張型傾斜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も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

本研究にご理解いただき、論文としてと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（農業施設学会会長）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（日本農作業学会会長）、（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、地域先導技術総合研究「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りました。ここに記して深くお礼申し上げます。また、長崎裕司博士（現・同研究センター傾斜地園芸研究領域上席研究員）、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頂いた。ここに記して謝意を表す。その他、ご助言いただいた多くの先輩・同僚に感謝申し上げます。

さらに、本論文のとりまとめは、（独）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長であった澤村篤博士（現・同機構畜産草地研究所）のご助言とご助力によるものである。ここに記して感謝の意を表します。

研究を進める上で、（独）農研機構近畿中国四国農業研究センターの技術専門職員各位のご協力が不可欠であった。特に、現地実証試験の実施にあたり、平張型傾斜ハウスの開発・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、その他ご協力いただいた関係者にお礼申し上げます。

また、本研究は、トマト生産者の川村彰氏とその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。

最後に、著者の最大の理解者であり常に支えてくれた妻真紀子と3人の息子達に感謝の意を表します。

## 引用文献

1. 青木宏史, 梅津憲治, 小野信一 (2001) : 養液土耕栽培の理論と実際, 誠文堂新光社, 東京, 254.
2. 青木宏史 (2005) : 茎による生育診断, 野菜大百科 (第2版) トマト, 農文協編, (社) 農山漁村文化協会, 東京, 389-390.
3. 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, 139, 10-15.
4. 浅見逸夫・辻井修 (2003) : 養液土耕システムを導入した施設野菜農家の満足度と導入成果, 愛知農総試研報, 35, 115-122.
5. 馬場勝 (2010) : 循環扇, 最新農業技術花卉 vol.2, 農文協編, 農山漁村文化協会, 東京, 288-291.
6. Bar-Yosef, B. (1999) : Advances in fertigation, *Advances in agronomy*, 65, 1-77.
7. Boulard, T., Feuilloley, P. and Kittas, C (1997) : Natural ventilation performance of six greenhouse and tunnel types, *J. Agric. Engng. Res.*, 67, 249-266.
8. 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.
9. 土井典秀 (1995) : スイートピー, 1~2年草の開花調節マニュアル, 開花調節マニュアル編集委員会編著, いしずえ, 東京, 47-50.
10. 藤野雅丈・木下貴文 (2009) : 低温性作物の冬春期への導入, 傾斜地特有の資源を活用した低コスト施設栽培, 伊吹俊彦・家常高共著, 農林統計出版, 東京, 161-181.
11. 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.
12. 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.
13. 後藤ひさめ・川嶋和子・今川正弘・菅原眞治 (2002) : 養液土耕に用いる点滴チューブの水理学的特性並びに点滴チューブの吐出口間隔とトマトの生育・収量, 愛知農総試研報, 34, 67-72.
14. 原菌芳信・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.

15. 原菌芳信(1990)：傾斜地大型ハウス，農業施設ハンドブック，農業施設学会編，東洋書店，東京，251-255.
16. 橋本晃司・横山詔常・越智資泰・坂本隆行(2010)：低棟ハウスと全面水耕ベッドによる葉菜類の超低コスト・高収益施設(第3報)動作解析と現地試験による作業システムの評価，広島総研西部工技セ研報，53，41-44.
17. 林真紀夫(1990)：暖・冷房設備，農業施設ハンドブック，農業施設学会編，東洋書店，東京，194-201.
18. 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.
19. 東出忠桐・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.
20. 東出忠桐・伊吹俊彦・笠原賢明・角川修・迫田稔登・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.
21. 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.
22. 深澤郁男(2005)：苗の診断と追肥・灌水の判断，野菜大百科(第2版)トマト，農文協編，(社)農山漁村文化協会，東京，269-274.
23. 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.
24. Hochmuth, G. J., E. E. Albrechts, C. C. Chandler, J. Cornell, and J. Harrison(1996)：Nitrogen fertigation requirements of drip-irrigated strawberries, J. Amer. Soc. Hort. Sci., 121, 660-665.
25. 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.
26. 兵藤宗郎(2003)：施設園芸の現状と展望，五訂版施設園芸ハンドブック，(社)日本施設園芸協会編，園芸情報センター，東京，6-9.
27. 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. 傾斜地特有の資源を活用した低コスト施設栽培，伊吹俊彦・家常高編著，農林統計出版，東京，32-46.
28. 伊田明：土壌保全・地力増強のための作付体系と土壌管理技術，四国地域傾斜地帯への野菜の導入定着技術の確立，農林水産技術会議事務局，27-29.
29. 家常高(2009)：傾斜地農業の新たな展開に向けた研究，傾斜地特有の資源を活用した低コスト施設栽培，伊吹俊彦・家常高共著，農林統計出版，東京，1-9.

30. 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.
31. 井上久義(2009)：貯水型水路による雨水の安全な排水方法，傾斜地特有の資源を活用した低コスト施設栽培，伊吹俊彦・家常高編著，農林統計出版，東京，47-77.
32. 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.
33. 伊藤健次(1958)：傾斜地農業，地球出版社，東京，252.
34. 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.
35. 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.
36. 鴨田福也(1990)：施設栽培果樹の歩みと現状，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－，鴨田福也・岡野邦夫・荒木陽一編著，(社)農業電化協会，東京，4-10.
37. Karmeli, D. (1977)：Classification and flow regime analysis of drippers, J. agric. Engng. Res., 22, 165-173.
38. 河合仁・菅沼健二(2003)：パルス式流量計を組み込んだ流量制御点滴灌水施肥装置の開発，愛知農総試研報，35，109-114.
39. Kawashima, H., M, Nonaka and Y, Nagasaki (2000)：The drip fertigation system for vegetable cultivation in sloping greenhouses, Proc. Intl. Agric. Eng. Conf. 2000, 272-276.
40. Kawashima, H. and M, Nonaka (2001)：Characteristics of the thermal environment in sloping greenhouses, Acta Horticulturae, 519, 181-190.
41. 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.
42. 川嶋浩樹・野中瑞生(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.
43. 川嶋浩樹・古谷茂貴・高市益行・上原洋一・大森弘美(2006)：有機養液土耕のトマト促成長期栽培への適用と現地農家への導入，野菜茶研研報，5，55-62.
44. 川嶋浩樹・野中瑞生・長崎裕司(2007a)：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.

45. 川嶋浩樹・野中瑞生・長崎裕司(2007b) : 張型傾斜ハウスにおける換気時の温度特性, 農業生産技術管理学会誌, 14(1), 61-66.
46. 川嶋浩樹・野中瑞生・長崎裕司(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.
47. Kawashima, H. (2013) : Development of a drip fertigation system for protected horticulture on sloping land, JARQ, 47(2), 171-174.
48. 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.
49. 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.
50. 北宅善昭(1992) : 空気の流動, 新施設園芸学, 古在豊樹 (代表著者) , 朝倉書店, 東京, 79-86.
51. 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.
52. 畔柳武司(2009a) : シミュレーションによる自然換気設計, 傾斜地特有の資源を活用した低コスト施設栽培, 伊吹俊彦・家常高共著, 農林統計出版, 東京, 102-112.
53. 畔柳武司 (2009b) : 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.
54. 畔柳武司(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.
55. Locacui, S. J., G. J. Hochmuth, F. M. Rhoads, S. M. Olson, A. G. Smajstrla and E. A. Hanlon(1997) : Nitrogen and potassium application scheduling effects on drip-irrigated tomato yield and leaf tissue analysis, HortScience, 32, 230-235.
56. 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.
57. 増淵隆一(1997) : 傾斜地農業の地域特性と再編課題, 四国農試報, 61, 135-147.
58. 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.
59. 森永邦久・吉川弘恭・中尾誠司・村松昇・長谷川美典(2004) : 露地ウンシユウミカンにおける周年マルチ点滴かん水同時施肥法の開発, 園学研, 3(1), 45-49.

60. 永石義隆 (1989) :野菜策導入のための土地基盤整備指標の策定, 四国地域傾斜地帯への野菜の導入定着技術の確立, 農林水産技術会議事務局, 20-26.
61. Nagasaki, Y., M. Nonaka and H. Kawashima (2000) : Development of shallow pool nursery system, Proc. Intl. Agric. Eng. Conf. 2000, 459-465.
62. 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.
63. 長崎裕司 (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.
64. 長崎裕司・野中瑞生・川嶋浩樹・的場和弘 (2004a) : 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.
65. 長崎裕司・野中瑞生・川嶋浩樹・鶴崎孝・的場和弘 (2004b) : 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.
66. 長崎裕司・野中瑞生・川嶋浩樹・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として—, 近中四農研報, 4, 129-171.
67. 長崎裕司 (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.
68. 長崎裕司・川嶋浩樹・畔柳武・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.
69. 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.
70. 中野明正 (2002) : 野菜の施設生産における土壌ストレス緩和技術に関する研究, 野菜茶研報, 1, 181-240.
71. 新田益男・澁谷和子・玖波井邦昭・小松秀雄・細川卓也・中村和洋 (2009) : 日射比例かん水制御装置の開発および高糖度トマトの根域制限栽培への適合性, 高知農技セ研報, 18, 31-38.
72. 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

73. 野中瑞生・川嶋浩樹・長崎裕司(1999) : 四国傾斜地に対応した野菜・花きの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.
74. 野々下知泰(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.
75. 農林水産省(2002) : 2000年世界農林業センサス(第11巻) 農業総合統計報告書(第2集) 地域類型別統計, 農林統計協会, 東京, 1-577.
76. 農林水産省(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.
77. 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.
78. 小倉祐幸・岡昌二(1990) : 園芸施設, 農業施設, 20(特別号), 45-58.
79. 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.
80. 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.
81. 岡田益己(1980) : 暖房, 温室設計の基礎と実際, 三原義秋編著, 養賢堂, 東京, 182-204.
82. 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.
83. 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, 1-200.
84. Partap, T. (1997) : Suitable farmland in the upland areas of semi-arid and humid Asia - Land resource management in slope land agriculture, Study Meeting on Sustainable Farming Systems in Upland Areas - Resource Papers Session in Takamatsu -, SRC, Zentsuji, 41-104.
85. 齊藤章(2012) : オランダの最新のトマトとその産業, トマト—オランダの多収技術とその理論, エペ・フューヴェリンク編著(中野明正他監訳), 農文協, 東京, 3-20.
86. 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, 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—, 持田紀治編, 農林統計協会, 東京, 105-137.



87. 迫田登稔・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.
88. 迫田登稔・室岡順一・島義史(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.
89. 迫田登稔 (2009)：傾斜畑地域における園芸生産への新技術導入の意義，傾斜地特有の資源を活用した低コスト施設栽培，伊吹俊彦・家常高共著，農林統計出版，東京，10-31.
90. 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.
91. 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，環境時代に向けた次世代農業施設の課題と展望，農業工学研究所編，53-62.
92. 佐瀬勘紀(2003a)：施設の種類と形式，五訂版施設園芸ハンドブック，(社)日本施設園芸協会編，園芸情報センター，東京，26-37.
93. 佐瀬勘紀(2003b)：換気・気流制御，五訂版施設園芸ハンドブック，(社)日本施設園芸協会編，園芸情報センター，東京，182-195
94. Scanders, D. C. (1996)：Drip fertigation systems, Far East Agriculture, November/December, 17-20.
95. 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.
96. 関平和・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旨，251.
97. 関山哲雄 (1997)：植物工場，最新施設園芸の環境制御技術，(社)日本施設園芸協会編，誠文堂新光社，東京，208-216.
98. 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.
99. 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.
100. 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.
101. 菅谷博・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.

102. 菅谷博・佐々木華織・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.
103. 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柞畦栽培の比較，九州農業研究，62，60.
104. 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.
105. 武内徹郎・小角順一・高木一文(2009)：山菜のふかし栽培技術，傾斜地特有の資源を活用した低コスト施設栽培，伊吹俊彦・家常高共著，農林統計出版，東京，182-195.
106. 田辺和司(1987)：節水かんがい，四国地域傾斜地帯への野菜作導入のための技術指導指針，農林水産省四国農業試験場，175-176.
107. 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.
108. 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.
109. Titel, M., A. Shklyar, I. Segal and M. Barak(1997)：The effect of the heating method on greenhouse microclimate, Acta Hort., 443, 11-21.
110. 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.
111. 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.
112. 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.
113. 吉川(山西)弘恭・中尾誠司(2010)：ソーラーポンプを利用した拍動自動灌水装置の組み立て方法，近中四農研資，7，21-31.
114. 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.
115. 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.
116. 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.
117. 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 flat-roof sloping greenhouse and a new horticultural production system on sloping land with it**

## **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. Small-scale sloping fields result in inefficient farming and hinder mechanization. Such fields also delay the building of farm roads, hindering access to the field for machinery and farm workers. In contrast, sloping-land agriculture offers potential due to its more versatile characteristics compared with those of flatland agriculture. Namely, the local resources and natural variation in the conditions of sloping land, including intricate topography and differing temperatures in the same region due to altitude, could enable the production of high-quality or high-value-added crops. Further, new trends are found in these areas, such as the establishment of horticultural centers and opening of new markets. 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 objectives of this thesis are 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 1 is the introduction, and chapter 7 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 2 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 flat-roof sloping greenhouse was developed. Chapter 3 describes the characteristics of the flat-roof sloping greenhouse. The flat-roof 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 flat-roof 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 flat-roof 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 4 describes the thermal environment in a flat-roof 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 in the internal and external temperatures of a flat-roof sloping greenhouse were smaller than those of the sloping greenhouse constructed as a high pipe tunnel. This was because the eaves of the flat-roof 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 flat-roof 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 flat-roof 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 5 describes the development of heating techniques in a flat-roof sloping greenhouse and the characteristics of the thermal environment of a few configuration patterns. At first, the internal temperature distribution in the flat-roof 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 flat-roof 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 6 reports on the availability and utility of a flat-roof sloping greenhouse in sloping land horticulture. Farmers benefited by producing vegetables and/or flowers year-round with a flat-roof 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 flat-roof 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. A drip fertigation system was developed to improve vegetable production in the sloping greenhouse. The system was composed of a control unit, fertilizer injection unit, feed tank, feed pump, feed valves, and nutrient reservoir, which are also used in flatland drip fertigation systems. These components were placed in the

upper part of a sloping greenhouse, and dripper lines with diaphragms were installed on longitudinal ridges. However, this created unbalanced irrigation along the slope because, when the irrigation was complete, the nutrient solution and water remaining in the dripper lines flowed out of drippers in the lower part of the dripper lines due to gravity. This was solved using a newly developed system featuring a drainpipe and drain valve installed at the lower end of the dripper lines. On completing fertigation, the drain valve, which had been closed during the irrigation, was opened. The nutrient solution and remaining water in the dripper lines then immediately flowed into the drainage reservoir via gravity and not onto the field.

A new horticultural production system in mountainous areas using a flat-roof sloping greenhouse was developed. 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 flat-roof 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.