

夏ホウレンソウ栽培における内張クロス 自動遮光技術の開発

岩腰翔太*・石橋裕也^a

岐阜県中山間農業研究所 509-4244 飛騨市古川町是重

Development of Automatically Control of Shading on Spinach

Shota Iwakoshi Yuya Ishibashi

*Gifu prefectural Research Institute for Agricultural Technology in Hilly and Mountainous Areas ,
Hida Gifu 509-4244*

摘 要

岐阜県飛騨地方のホウレンソウ産地では、地球温暖化の進行に伴い夏季高温期における生育停滞と高温障害による減収が課題となっている。この対策のため当所において開発した外張自動遮光（天候に応じた遮光資材の自動開閉システム）を天井フィルム下のクロス補強上へ移設し、降雪地域に適した内張クロス自動遮光を開発した。その結果、簡易な養生作業で冬期も常設することが可能となり、設置と撤去の労力が軽減され、外張自動遮光と同等の増収効果が得られ、現地試験でもこれらの効果を実証した。載荷試験により、クロス補強は無補強と比較し一定の強度の増加傾向が認められた。また、所内および現地における慣行栽培との比較試験において、増収効果と導入2年目以降の遮光に係る作業時間の軽減が可能となった。

キーワード：地球温暖化、遮光資材、自動開閉、黒球

緒 言

岐阜県飛騨地方では、春から秋にかけて盛んに「夏ほうれんそう」栽培が行われており販売金額にして年間40億円を超えるホウレンソウを消費地に出荷している（飛騨野菜出荷組合ほうれんそう部会、2021）。近年地球温暖化が進行する中、冷涼な高冷地の当産地においても、ホウレンソウが高温に遭遇したことを原因とする発芽不良や葉先焼けの発生が問題となっている。ホウレンソウは夏の高温期に高値がつく一方、高温により収量は落ち込み、品質も低下する傾向にある。由比（2003）は、ホウレンソウは本来、低温発芽性であり、発芽や生育の適温は15~20℃で、25℃以上では発芽率が低下すると報告している。近年においても2010年度では猛暑により収量・品質が大きく

低下し問題となった（飛騨農業協同組合、2010）。

高温期のホウレンソウ栽培における地温の昇温抑制を図るため、当産地では遮光資材の導入を進めている。播種時に遮光率50%程度の遮光下で発芽させ、子葉展開後は遮光率30%程度の遮光とし、本葉4枚を目安に6枚までに撤去する方法を普及推進しているが（飛騨農業振興会、2016）、これらの作業は夏季の炎天下に全て人力で行われており、労力を要して煩雑である。このような高温条件により生じる課題への対策として、当所のトマト研究では天候に応じて昇温抑制を行うための研究を行っている。二村ら（2016）は、夏秋トマトの夏季高温対策としてミスト噴霧を検討し、温度センサー付電磁弁に黒球を組み合わせ天候に応じたミスト噴霧を制御させている。黒球とは、表面が黒色塗装されている薄い銅製の球体であり、本来はその内部温度により人体への影響を測る暑さ指数（WBGT）を算出するための器具で、内部温度は弱風時の日なたにおける体感温度と相関が高い。

* Corresponding author: E-mail, iwakoshi-shota@pref.gifu.lg.jp

^a 現在：岐阜県健康福祉部感染症対策推進課

これは周囲からの輻射熱による影響を観測するために用いられ、本研究においては直射日光により黒球内の温度が急上昇する性質を利用し、内部温度によって晴天と曇雨天との簡易な判別器具として自動遮光システム内に組み込んだ。黒球内温度を利用することで、温度センサーで稼働する安価な機器を駆動させることができ、従来高価であった温度センサーや日射センサーと比較してコスト低減が可能である。一方、ハウレンソウ研究において、中西 (2019) はこの黒球をハウレンソウに利用することで外張自動遮光システムを開発した。外張自動遮光は、雨除けパイプハウスの天井フィルム上に遮光資材を設置し、高温期に黒球内温度制御により遮光資材の自動開閉を行うシステムである (図1)。人力による遮光よりも、きめ細かな遮光を行うことにより増収効果が得られ、経営的メリットは大きいとしている。しかし、冬季の雪害対策として天井フィルムを毎年撤去する当産地では、このシステムに用いられる遮光資材、直管及び駆動機の脱着作業が都度必要であり労力を要する。すなわち、毎春の作付け前の作業において天井フィルムを被覆した後にその上部を覆うように遮光資材を設置し、毎秋の作付け終了後には天井フィルムを撤去するために、その上部の当システムの資材を撤去する労力がかかる。

そこで、パイプハウスの耐雪や耐風対策として補強効果の高いとされるクロス補強 (鳥取県農業気象協議会、2021) ハウス内部にて遮光資材の自動開閉を行うことで、一度設置すると大掛かりな撤去作業を要しない仕組み (内張クロス自動遮光技術) を開発し、その有効性を明らかにしたので報告する。

材料および方法

試験1 内張クロス自動遮光と外張自動遮光の比較

天井フィルム下部のクロス補強パイプ上で遮光資材の自動開閉管理を行う内張区、天井フィルム上で遮光資材の自動開閉管理を行う外張区および無遮光区 (温度測定のみ) を設け (図1、2)、2019年6月27日 (6月播種) および8月7日 (8月播種) に所内4号ハウス (間口6m、奥行22m) にて試験を行った。両区ともK社製4条真空播種機を用い条間15cmで、「サンホープセブン」 (カネコ種苗㈱) を播種し、遮光資材は「ワリフ明涼40 (遮光率40%) 日新商事㈱」を使用した。遮光資材巻上げには市販のハウスサイドビニール巻上げ機材「ロールアップマスター (WSTC2008-

2) 」 (兼弥産業㈱) および「電動カンキット駆動機」 (東都興業㈱) を設置し、黒球「CK-75 (75Φ)」 (㈱安藤計器製工所) の内部温度38℃を閾値として、遮光資材の自動開閉管理を行った。

ハウス内の温度を、おんどとり Jr (㈱ティアンドデイ) を用い地表上30cmの気温と地表下 (5cm) の地温を1時間ごとに測定した。黒球内温度の計測を行い、閾値の38℃を1日に1回以上超えた日数を作動日数として栽培日数に占める割合を作動率として算出した。6月播種作は7月25日、8月播種作は9月11日に草丈30cmを目安に各区1㎡2カ所を収穫し、JAひだ共同出荷規格に準じて1㎡当たりの階級別株数および重量を調査した。株間設定を7.5cm、1㎡ (1m×6条) あたりの播種数を80粒と設定し、そのうち株数が占める割合を発芽率として算出した。

内張区と外張区の売上金額を試算し比較を行った。10a 当たりにかかる導入費用及び減価償却費の試算を行った。6m 間口×22m ハウス長 (1.32a) における作業人数1人での設置時間の計測を行った。

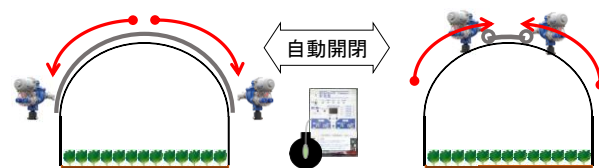


図1 外張自動遮光の自動開閉機構

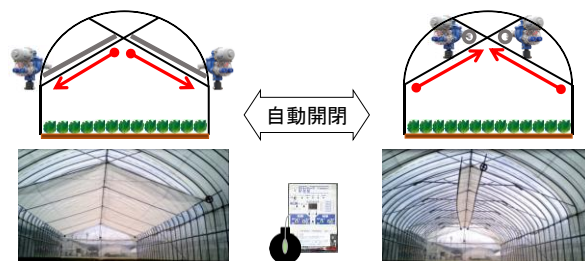


図2 内張クロス自動遮光の自動開閉機構

試験2 内張クロス自動遮光と地域慣行遮光方法の比較

2020年、2021年に所内4号ハウス (間口6m、奥行22m) 内において内張クロス自動遮光を稼働する自動区と地域慣行の遮光を実施する慣行区を設け試験を実施した。自動区は、市販のハウスサイドビニール巻上げ機材を用い、黒球「CK-150 (150Φ)」 (㈱安藤計器製工所) の内部温度38℃を閾値として、遮光資材「ワリフ明涼40 (遮光率40%)」の自動開閉管理をクロス補強パイプ上で行う仕組みを用いた (図2)。慣行区は、高温期の2・3作は播種～発芽期に50%遮光、発芽～6葉期に30%遮光、6葉期～収穫前は無遮光の処

理を行い、1・4作は無遮光とした(表1)。

1作目4月16日、2作目6月25日、3作目8月3日および4作目9月16日にK社製4条真空播種機を用い条間15cmで播種した。品種は、地域慣行品種とし1・3作目は「晩抽サンホープ」(カネコ種苗株)、2作目は「サンホープセブン」(カネコ種苗株)および4作目は「ハンター」(カネコ種苗株)を供試した。慣行区の遮光は、2作目は6月25日から7月3日まで50%の遮光を行い、7月3日から7月27日まで30%の遮光を行った。3作目は8月3日から8月17日まで50%の遮光を行い、8月17日から9月4日まで30%の遮光を行った。

ハウス内の温度を、おんどとり Jr (株)ティアンドデイ)を用い地表上30cmの気温と地表下(5cm)の地温を1時間ごとに測定した。1作目は5月28日、2作目は7月27日、3作目は9月4日、4作目は10月26日に、草丈30cmを目安に各区1㎡2カ所を収穫し、JAひだ共同出荷規格に準じて1㎡当たりの階級別株数および重量を調査した。調製段階で除去した下葉の重量と、調製後重量を合計したものを粗収量として算出した。

2021年は、慣行区の遮光条件を播種から収穫まで常時40%遮光(ワリフ明涼40)に簡素化する追加試験を行った。1作目は4月20日に「福兵衛」(タキイ種苗株)を播種し5月25日に収穫、2作目は7月2日に「晩抽サンホープ」(カネコ種苗株)を播種し7月30日に収穫、3作目は8月6日に「晩抽サンホープ」(カネコ種苗株)を播種し9月3日に収穫、9月11日に「ドンキー」(株)サカタのタネ)を播種し10月12日に収穫した。2、3作目について、自動区は自動遮光を稼働し、慣行区は常時遮光を行い、2020年度同様の収量調査および温度調査を実施した。

表1 試験区の構成(試験2)(2020年)

試験区	遮光方法	遮光率
自動	内張クロス遮光 自動開閉管理	40%
慣行		発芽前：50%
	高温期：外張手動	発芽-6葉期：30%
		6葉期-収穫：無遮光
	高温期以外：無遮光	

試験3 ハウスクロス補強の荷重試験

川上ら(2010)の方法により、2020年12月8日に所内でハウスクロス補強の荷重試験を行った。間口5.4m、6.0のパイプアーチを供試し、無補強区、陸張補強区(5.4m間口の場合3.0m陸張棒を地上から約2.2mの位置に設置)、クロス補強区

(5.4間口の場合2.5mのパイプをアーチパイプジョイントの両端に隣接して設置して交差させ、交差箇所をアングルバンドで固定)の3区試験区を設けて各区の限界荷重を調査した(表2)。

所内の地面の約40cmの深さに各試験区のパイプアーチ両端部を埋設し、両端部間で均等に荷重点を12点設けた。荷重点から吊るしたバケツに、重さを1~10kgに調製した砂利入り土嚢袋を荷重袋として入れ、荷重により完全に座屈する直前の総荷重を限界荷重として測定した(図3)。



図3 荷重試験方法(2020.12.8)

表2 試験区の構成(試験3)(2020年)

試験区	部材構成	数量
無補強	パイプアーチΦ25 3間(セット)	1
	パイプアーチΦ25 3間(セット)	1
	直管Φ25 3.0m 3間用	1
陸張補強	ユニバーサルジョイントΦ25	2
	M6*25 ボルト&ナット	2
	ユニバーサルキャップΦ25	2
クロス補強	パイプアーチΦ25 3間(セット)	1
	直管Φ22 5.5m 2.5m 3間用	2
	ユニバーサルジョイントΦ25	4
	M5*25 ボルト&ナット	6
	ユニバーサルキャップΦ22	4
	アングルバンドΦ22	2

※6m間口はアーチ・補強パイプの寸法が異なる

試験4 実用性試験

2020年6月~11月、2021年3月~11月に高山市下林町(標高573m)の生産者圃場において、慣行区と自動区を設けて実用性を評価した(表3)。圃場は間口5.4m、長さ50m、面積2.7aの雨よけパイプハウス2棟を用いた。遮光資材は両区とも「ワリフ明涼40(遮光率40%)」を使用した。自動区は、市販のハウスサイドビニール巻上げ機材「電動カンキットN制御盤」、「電動カンキットNトランス盤2台用」および「電動カンキット駆動機」(東都興業株)を設置し、慣行区は手動で、自動区は黒球「CK-150(150Φ)」(株)安藤計器製工所の内部温度38℃以上で遮光資材を展開し、

38℃未満では巻上を行う自動開閉管理を行った。

2020年は年4作のうち2～4作について調査を実施し、調査項目は収量と各区の初回の遮光作業時間とした。調製段階で除去した下葉の重量と、調製後重量を合計したものを粗収量として算出した。慣行区では圃場における遮光資材の展開、被覆、固定作業の合計時間（脱着時間）を、自動区ではクロス補強パイプの設置、遮光資材および駆動機の取付け、機械の設定調整までの時間を作業時間として計測した。

2021年は年5作すべての作で調査を実施し、調査項目は出荷箱数と各区の遮光作業時間とした。

慣行区では作業場圃場間の移動時間と脱着作業時間の合計を作業時間とした。自動区ではバンドで結束した状態の既設の自動遮光装置の結束解除、駆動機取付け、駆動機のリミットスイッチと制御盤の設定確認にかかる時間を自動遮光稼働前の作業時間とし、最終作の後に駆動機の撤去と遮光資材の結束にかかる時間を自動遮光稼働後の作業時間とした。

ハウス内の温度を、おんどとり Jr（耕ティアンドデイ）を用い地表上30cmの気温と地表下（5cm）の地温を1時間ごとに測定した。

表3 試験区の構成（2020-2021年）

年度	試験区	作	播種日	収穫日	遮光	品種
2020	慣行	2	7月22日	8月21日	有	晩抽サンホープ
		3	8月30日	10月1日	有	晩抽サンホープ
		4	10月6日	11月21日	無	福兵衛
	自動	2	7月19日	8月20日	有	晩抽サンホープ
		3	8月26日	9月29日	有	晩抽サンホープ
		4	10月4日	11月19日	有	福兵衛
2021	慣行	1	3月28日	5月7日	無	福兵衛
		2	5月24日	6月22日	無	晩抽サマースカイ
		3	7月20日	8月17日	有	晩抽サマースカイ
		4	8月25日	9月24日	有	タフスカイ
		5	9月29日	11月6日	無	ドンキー
	自動	1	3月24日	4月30日	無	福兵衛
		2	5月15日	6月13日	有	晩抽サマースカイ
		3	7月19日	8月20日	有	晩抽サマースカイ
		4	8月27日	9月25日	有	タフスカイ
		5	10月1日	11月9日	無	ドンキー

結果および考察

試験1 内張クロス自動遮光と外張自動遮光の比較

6月播種の収量は外張区が多く、8月播種では内張区が多くなった（表4、5）。2作合計では内張区が多くなり10aあたり約150千円の増収となった（表6）。発芽率は6月播種、8月播種ともに両試験区でほぼ同等であり、8月播種では全体的に発芽率が低下した（表4、5）。黒球温度（閾値38℃）からみた自動遮光の作動日数は、6月播種で栽培日数28日中22日、8月播種では35日中28日であった（表7）。8月31日の温度調査において、内張遮光と外張遮光の間に気温差、地温差は見られなかったが、無遮光と比較し地温最大5.5℃、気温最大1.8℃の抑制効果が見られた（図4、5、表8、9）。

10aあたりの導入経費は約1,148千円で、減価償却費は180千円と試算された（表10）。中西（2019）の試算した外張自動遮光の減価償却費は10aあたり125千円であり、内張遮光は外張遮光より55千円多く経費を要したが、約150千円の増収（表6）によりその差額を相殺し内張遮光の経営的有効性を示した。

内張遮光の設置時間は3時間19分であったが、クロス直管及び遮光資材を固定する直管の設置に2時間46分かかるため、2年目以降は遮光資材設置の31分で済む。外張遮光の設置時間が51分であったため、2年目以降の設置時間は内張遮光では外張遮光と比較し、40%削減できる（表11、12）。外張遮光と比較し、内張遮光では2年目以降の設置労力が削減できることが示された。無遮光と比較しハウス内温度の昇温抑制効果があることが示された。

表4 6月播種作の1㎡あたり階級別収量 (2019年)

試験区		3L	2L	L	M	S	計	2L・L	発芽率
内張	株数	0	20	41	6	1	67	61	72.6
	重量(g)	0	652	862	41	0	1,555	1,514	
外張	株数	1	27	35	6	1	69	61	74.2
	重量(g)	35	830	709	46	0	1,620	1,539	

表5 8月播種作の1㎡あたり階級別収量 (2019年)

試験区		3L	2L	L	M	S	計	2L・L	発芽率
内張	株数	0	7	28	1	2	38	35	40.6
	重量(g)	0	372	1,111	10	0	1,493	1,483	
外張	株数	0	7	25	2	2	35	32	37.4
	重量(g)	0	363	822	5	0	1,191	1,185	

表6 10aあたり収量比較及び売上試算 (2019年)

試験区	6月播種	8月播種	合計	増減	
	(kg)			(kg) ^{※1}	(千円) ^{※2}
内張	1,555	1,493	3,048	237	152
外張	1,620	1,191	2,811	-	-

※1 外張遮光と比較し内張遮光が増減した数量を示す

※2 過去5年の平均単価643円/kgで試算

表7 黒球温度からみた自動遮光の作動状況 (2019年)

	播種	収穫	栽培日数	黒球内温度38℃超		作動率
				日数	最終日	
6月播種	6月27日	7月25日	28日	22日	7月25日	78.6%
8月播種	8月7日	9月11日	35日	28日	9月11日	80.0%

作動率は栽培日数のうち黒球内温度が38℃を超えた日数の割合を示す

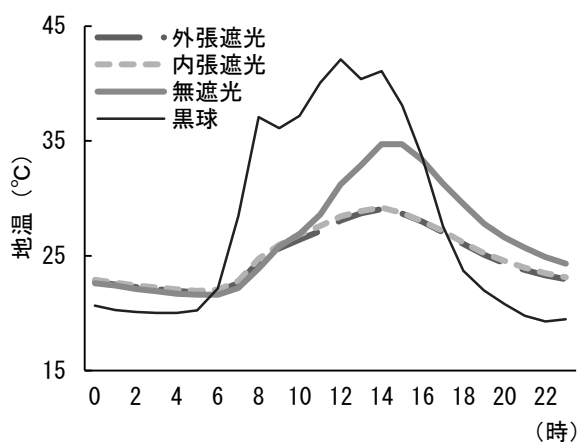


図4 各試験区の1日の地温推移 (2019.8.31)

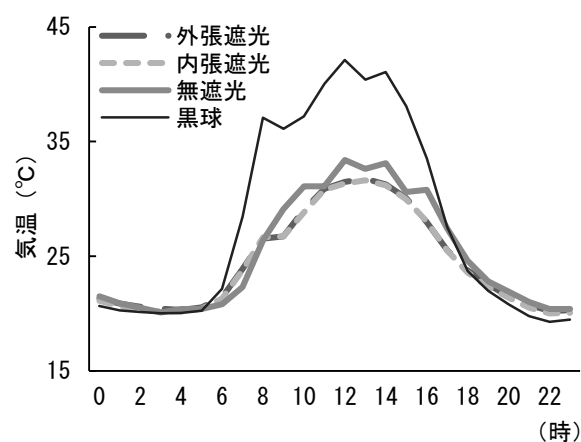


図5 各試験区の1日の気温推移 (2019.8.31)

表8 各試験区の地温変化 (2019.8.31)

試験区	地温 (°C)		
	最低	最高	平均
内張	22.0	29.2	25.0
外張	21.8	29.1	24.9
無遮光	21.6	34.7	26.6

表9 各試験区の気温変化 (2019.8.31)

試験区	ハウス内気温 (°C)		
	最低	最高	平均
内張	20.0	31.6	24.4
外張	21.8	31.8	24.6
無遮光	20.1	33.4	25.2

表10 10a当たりの導入経費 (2019年)

資材名	単価 (円)	必要数	経費 (千円)	耐用年数 (年)	減価償却費 (千円/年)
ロールアップマスターWSTC2008-2	140,000	1 台	140	10	14
電動カンキッド駆動機	24,025	8 台	193	5	39
カーテン用パーツセット	5,475	8 個	44	5	9
黒球温度計CK-75	14,000	1 個	14	5	3
ワリフ明涼40	180	1104 m ²	199	5	40
ワンタッチパッカー22mm用	50	368 個	19	5	4
ワンタッチパッカー19mm用	50	200 個	10	5	2
直管パイプSW22mm	1,340	264 本	354	8	45
直管パイプSW19mm	1,200	36 本	44	8	6
アングルバンドセット規格22	144	192 組	28	8	4
ユニバーサルジョイント規格25	67	384 個	26	8	4
ユニバーサルキャップ規格22	200	384 個	77	8	10
合計			1,148		180

※間口5.4m、長さ47mハウス4棟、2mピッチでクロス補強を設置の条件を基に試算し経費及び減価償却費の小数点以下第1位は切り上げて算出

表11 内張遮光の設置時間

作業内容	設置時間 (時間：分)
クロスパイプ設置	2:28
遮光用直管設置	0:18
遮光資材設置	0:31
合計	3:19

※22mハウス1棟に1人で設置

表12 外張遮光の設置時間

作業内容	設置時間 (時間：分)
遮光資材固定(天井直管)	0:07
天井直管固定	0:21
遮光固定(サイド直管)	0:23
合計	0:51

※22mハウス1棟に1人で設置

試験2 内張クロス自動遮光と地域慣行遮光方法の比較

自動区において高温期の日中の地温の昇温抑制効果が認められた(図6)。2か年とも4作を通して、慣行区と自動区で発芽率に大きな差は認められなかった。2020年の4作合計粗収量は、両試験区においてほぼ同等となった(表13)。2021年の4作合計の収量においても同様の傾向が見られたが、旬別の販売単価を掛けて販売金額を算出すると内張クロス遮光区の販売金額は慣行区より約3%増収した(表14)。内張遮光区では、高温期の前後の作においても一定の頻度で自動開閉の作動があった(表15)。低い全天日射量と外気温で推移した2作目では、慣行区よりも粗収量が減少し、2作目よりも高い全天日射量と外気温で推移した3作目では慣行区よりも粗収量が増加した(図7、8)。2作目の黒球内温度から推定すると、33日間の生育期間において16日間は自動遮光が作動した(図9)。生育期間中の全天日射量が高い作で収量の増加が認められた。内張遮光区では、日中の地温の昇温抑制効果が認められた。

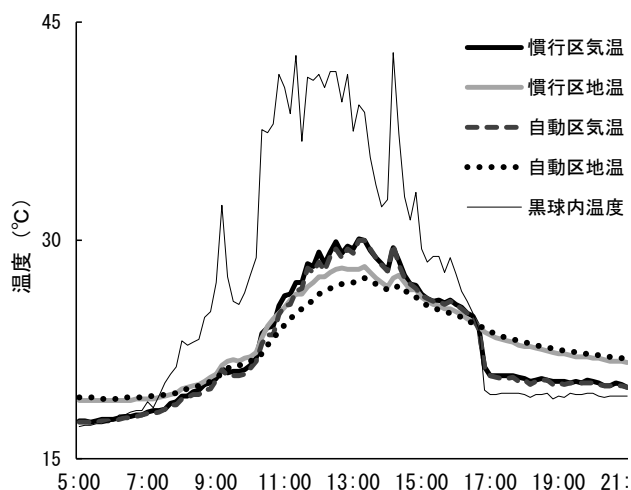


図6 各試験区の1日の温度推移 (2020.9.24)

表13 作ごとの10aあたりの粗収量比較 (kg) (2020年)

試験区	1作	2作	3作	4作	合計
自動	2,805	1,393	1,526	1,247	6,971
慣行	2,945	1,479	1,398	1,157	6,978

表14 10aあたりの調製重 (kg：上段) 比較および販売金額 (千円：下段) 試算 (2021年)

試験区		1作	2作	3作	4作	合計
自動	調製重	1,637	2,319	1,285	2,429	7,670
	販売金額	876	1,566	1,070	1,714	5,226
慣行	調製重	2,110	2,050	887	2,587	7,634
	販売金額	1,129	1,384	739	1,825	5,077

※販売金額は令和3年度販売実績 (J A ひだ提供) 旬別販売単価より試算

表15 内張遮光区の自動開閉作動日の推移 (2020年)

項目	1作	2作	3作	4作
作動日数	17	16	29	12
生育日数	42	32	32	40
作動率 (作動日数/生育日数)	40%	50%	91%	30%

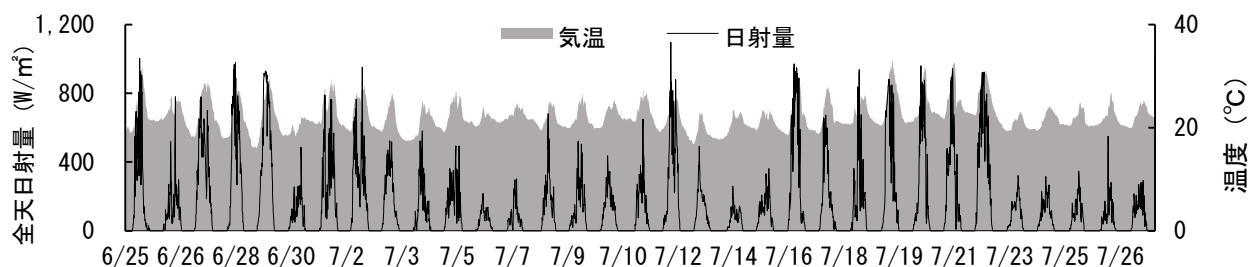


図7 2作目における全日射量と気温との関係

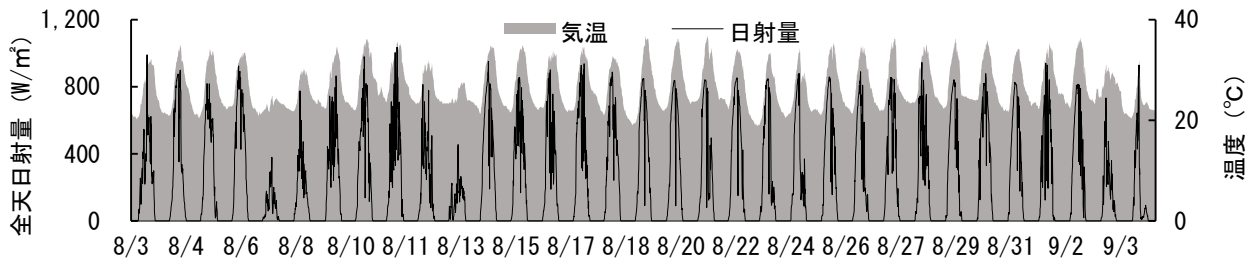


図8 3作物における全日射量と気温との関係

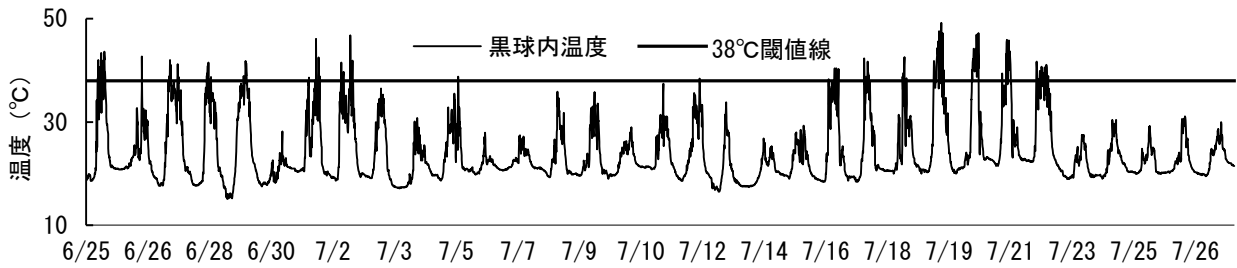


図9 2作物における黒球内温度の推移 (2020. 6. 25-7/26)

試験3 ハウスクロス補強の载荷試験

5. 4m間口パイプアーチの平均限界荷重は、無補強区は131kg、クロス補強区は153kg、陸張補強区は182kgとなった(表16)。6m間口パイプアーチの平均限界荷重は、無補強区は100kg、クロス補強区は128kg、陸張補強区は168kgとなった(表17)。このことから今回の試験で実施したクロス補強は、飛騨地域で広く採用されている陸張補強よりも耐荷重が劣ると考えられた。クロス補強は、適切な角度で設置すれば、通常陸張補強よりも強度が増すとされているが(鳥取県農業気象協議会, 2021)、供試したクロス補強は駆動機の

駆動に適した角度に調整しているため、陸張補強よりも強度が劣ったと考えられた。

所内および現地の内張クロス遮光を設置したパイプハウスには遮光資材の上に積雪が見られた(図10)。2年間の運用期間において、ハウスの損壊には至らなかった。通常の慣行パイプハウスの管理においても、冬期の積雪が多いときの保守に関しては雪落としや除雪が必要であり、管理を怠ると損壊につながる。そのため、内張クロス自動遮光を導入したハウスについても、慣行のハウスと同様の積雪管理を行うことで損壊を回避できると考えられた。

表16 間口5.4mハウスにおける限界荷重(2020年)

試験区	反復	桶重量 (kg)	土嚢重量 (kg)	総重量 (kg)	比率 (%)
無補強	1	14	118	132	
	2	14	118	132	
	3	14	116	130	
	平均	14	117 a※	131	100
クロス補強	1	14	142	156	
	2	14	130	144	
	3	14	146	160	
	平均	14	139 a	153	117
陸張補強	1	14	164	178	
	2	14	156	170	
	3	14	184	198	
	平均	14	168 b	182	139

※同じ文字間にはTukeyの多重検定により5%水準で有意差がないことを示す

表17 間口6mハウスにおける限界荷重(2020年)

試験区	反復	桶重量 (kg)	土嚢重量 (kg)	総重量 (kg)	比率 (%)
無補強	1	14	86	100	
	2	14	86	100	
	3	14	86	100	
	平均	14	86 a※	100	100
クロス補強	1	14	108	122	
	2	14	110	124	
	3	14	124	138	
	平均	14	114 c	128	128
陸張補強	1	14	150	164	
	2	14	152	166	
	3	14	160	174	
	平均	14	154 b	168	168

※同じ文字間にはTukeyの多重検定により5%水準で有意差がないことを示す



図10 内張クロス遮光越冬時積雪状況(2022. 2. 18)

試験4 実用性試験

ハウス内の日中の気温・地温は、自動区は慣行区より概ね低く推移し、一定の昇温抑制効果が認められた(図11、表18)。

2020年の高温期(7月播種以降)の2作目、3作目では、自動区の粗収量が慣行区より多く、冷涼であった4作目では自動区の粗収量が少なかった(図12)。また、自動区の3作合計の粗収量は、慣行区の5.8t/10aより約10%増の6.4t/10aとなった。2021年の2～4作目の合計出荷箱数は自動区が慣行区の約14%増加した(図13)。

2020年の遮光資材脱着時間は、5.4m間口×50m(2.7a)ハウス1棟当たり慣行区では作ごとに設置15分と撤去5分の合計20分でこれを2作について実施し年合計は40分であった。自動区では導入時の器機と資材の設置調整で90分かかり、片付け20分の合計110分であった(表19)。2021年は、慣行区で3作と4作の2作について手作業による脱着を行い、曇雨天継続時に1回の開閉を行った。これらの作業について、作業場から圃場への往復520mの移動時間の実測を行い作業時間の一部として算入し、年合計は48.1時間であった。自動区の作業時間は稼働前に20.1分、作付け終了後に19.9分であり年合計は40分であった。1ハウスあたり作業時間は、導入初年度は自動区でより時間がかかり、次年度以降は自動区の作業時間の方が概ね少なくなることが実証された(図14)。

2020年自動遮光の作動があった日数は、2作目は25日、3作目は29日、4作目は1日であり(図15)、黒球内温度は生育期間の日中に38℃の設定温度以上まで上昇した(図16)。

自動区において、高温や強光により黒球内温度が38℃以上となり自動遮光が作動した。これにより、増収効果が得られ導入次年度以降からは省力化できることが推察され、現地実用性試験においても自動遮光の有効性が認められた。

表18 地温の比較(2020. 8. 11)

試験区	地温(°C)		
	最低	最高	平均
慣行	24.0	30.3	27.4
自動	23.9	31.5	26.9

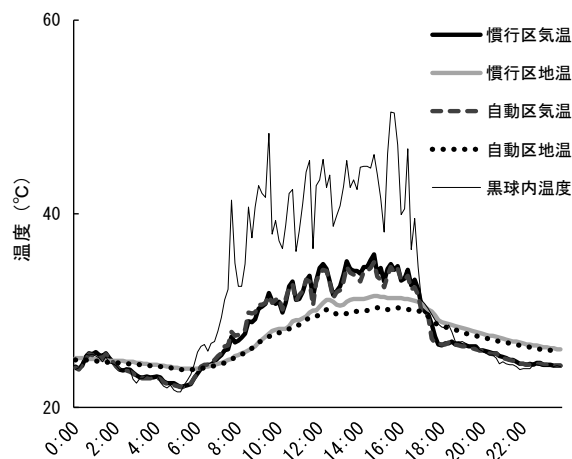


図11 各試験区の1日の温度推移(2020. 8. 11)

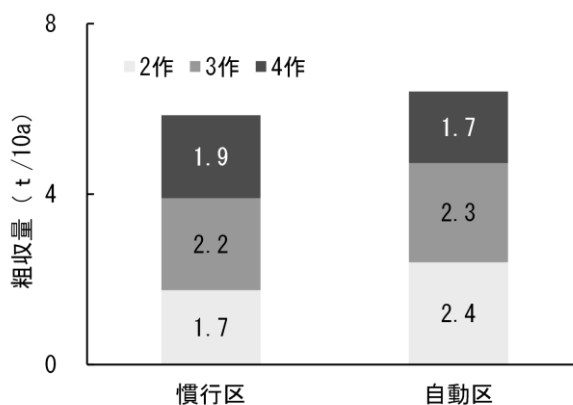


図12 各区の粗収量比較

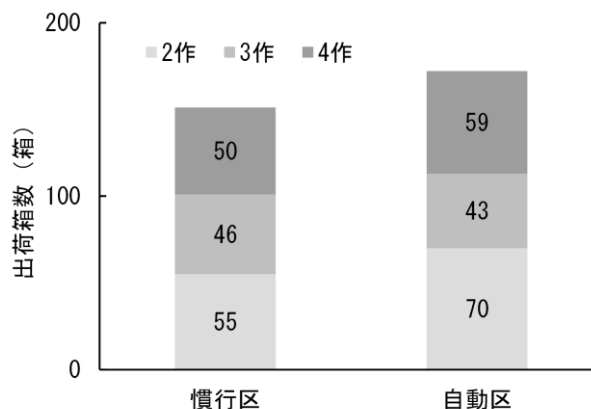


図13 1棟(2.7a)あたり出荷箱数の比較

表19 遮光資材設置時間の比較 (2020、2021年)

(分/2.7a)

試験区	作業内容	2020年				2021年				合計
		2作	3作	4作	1作	2作	3作	4作	5作	
慣行	設置時間	15	15			18.5	10.4			58.8
	開閉時間(展張/巻上)					7.1				7.1
	撤去時間	5	5					7.0		17.0
	移動時間					2.6	2.7			5.3
	合計	20	20	0	0	0	28.2	20.0	0	88.1
自動	初年度設置作業	90								90.0
	駆動機設置、結束解除、調製				20.1					20.1
	駆動機撤去、結束							19.9		19.9
	合計	90		20	20.1				19.9	150.0

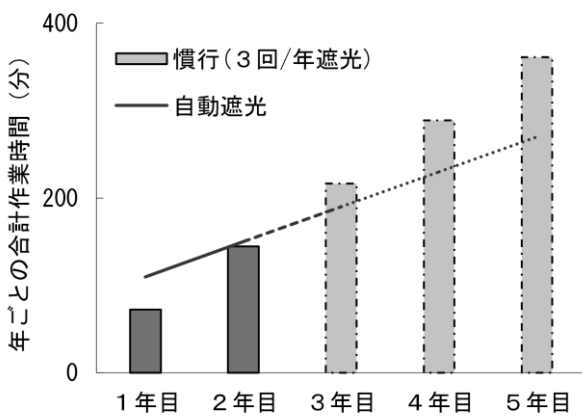


図14 5年使用時の推定作業時間の推移

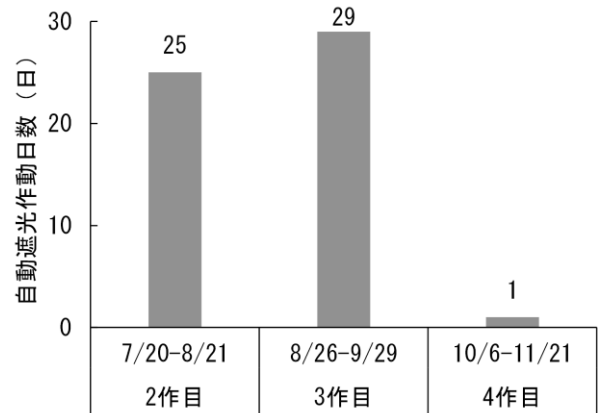


図15 自動遮光作動日数の推定

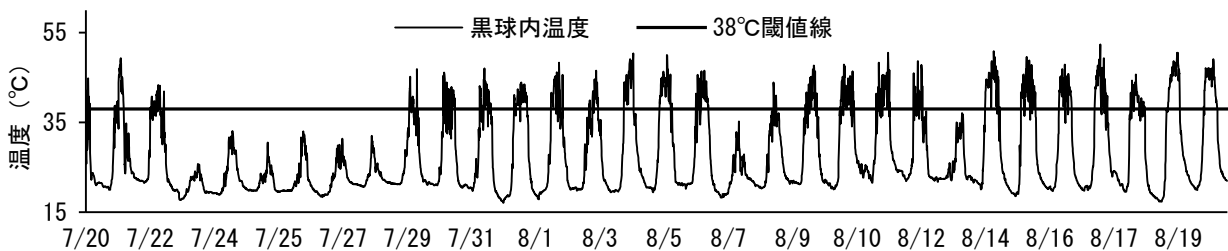


図16 2作目における黒球内温度の推移 (2020.7.19-8.20)

総合考察

中西 (2019) の結果より、飛騨地域において積雪対策のために慣行的に行われる天井フィルムの撤去作業に自動遮光システムを対応させる必要性が生じ、新たに内張クロス遮光を検討した。内張クロス遮光と、その前身の外張自動遮光の地温は無遮光と比較し概ね同様の推移を示し、粗取量については内張自動遮光と外張自動遮光は同様の傾向を示した。内張クロス遮光は冬期前の大掛かりな撤去作業が不要となり、長期的に見れば外張自動遮光よりも設置労力が軽減されるため有効であ

ると考えられた。しかし、遮光資材を撤去しないと積雪による倒壊のリスクが避けられない。そこで、冬期の積雪を前提としたクロス補強の載荷試験による補強度を確認したところ、クロス補強は、現在普及している陸張補強よりは強度が劣る結果となったが無補強に比べると一定の強度の増加は認められた。農業用パイプハウス強化マニュアル (2020) によれば、各部材を適正な位置に取り付けければ無補強のパイプアーチと比較し雪への耐力が 65%程度向上するとしている。自動遮光システムの稼働角度と適正な取付け位置の最適化を行えば、同マニュアルで無補強比較 45%耐力向上が見

られるとされる陸張補強と同等以上の耐力にすることも可能であると考えられた。載荷試験結果および所内内張クロス遮光導入ハウスの冬期の耐雪実績により一定の耐雪強度が確認できたため、現地生産者圃場における実用性試験を検討した。

実用性試験においても、所内試験と同様に導入2年目以降の作業時間の削減効果ならびに1年目の粗収量調査と2年目の出荷箱数調査においていずれも10%以上の増収効果を確認した。この結果により、現地においても内張クロス遮光の有用性が実証された。

内張クロス遮光の所内および現地試験において、日射量の多い時期ほど自動遮光の増収効果が高い傾向が見られた。一方で、冷涼な気候や曇雨天が続く時期においても、条件により黒球内温度が38℃に達する結果が見られた。本来遮光が不要であると考えられる条件下で自動開閉が作動して過剰に遮光を行った結果、粗収量が慣行より減少する傾向が見られた。中西(2019)は遮光資材の外張被覆によりハウス内の気温と地温を抑制することができるが、遮光資材の被覆期間が長くなるほどハウレンソウの草丈が伸び1株重が減少し徒長傾向となったと報告しており、過剰な遮光はハウレンソウ生育にとって悪影響を及ぼす場合があると考えられる。内張クロス遮光は慣行の手作業による遮光よりも細かく遮光をするが、これは黒球内温度による一元的な管理であり、さらにハウレンソウの生育に適した日射の管理を行うには、日射、温度、風速等についてより高度なセンシングと新たな駆動基準の採用と検討の余地があると考えられる。

謝 辞

本研究に際し、調査にご協力いただいた高山市ハウレンソウ生産者中田聡司様、関係機関の皆様に深く感謝申し上げます。

また、本研究の試験4は、農林水産省の「スマート農業技術の開発・実証プロジェクト」および「スマート農業加速化実証プロジェクト」(令和2年度～令和3年度実施)(事業主体：国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構)の支援により、「夏ほうれんそう産地まるごとスマート農業化実証コンソーシアム」が取り組んだ「中山間地域の夏ほうれんそうにおける産地全体で取り組むシェアリング・新たな通信サービスモデルの実証」の一分担として実施した。

引用文献

- 二村章雄・熊崎 晃. 2016. 超腰高雨よけハウス及びミスト等による夏秋トマトの夏季高温対策. 岐阜中山間農研報. 11:17-22
- 飛騨農業協同組合. 2010. 平成22年度JAひだ園芸販売実績資料:11-16
- 飛騨農業振興会. 2016. 飛騨のやさい. ほうれんそう栽培指針:34
- 飛騨野菜出荷組合ほうれんそう部会. 2021. 飛騨ほうれんそう全体勉強会資料:2
- 川上暢喜・鍵谷俊樹・徳原 功. 載荷実験による農業用パイプハウスの鉛直雪荷重に対する耐力評価. 岐阜中山間農研報. 6:18-25
- 中西文信. 2019. 夏ハウレンソウ栽培における外張り遮光資材の自動開閉システムの開発
- 鳥取県農業気象協議会. 2021. 農業用パイプハウス強化マニュアルー防災・減災の手引きー. <https://www.pref.tottori.lg.jp/secure/248884/hausukyuka.pdf>:4-5
- 由比 進. 2003. ハウレンソウ. 西貞夫監修 新編園芸ハンドブック. 養賢堂. 936-952