

令和5年度みどりの食料システム戦略実現技術開発

・実証事業費補助金等のうち

スマート農業の総合推進対策のうち

データ駆動型農業の実践・展開支援事業

(スマートグリーンハウス展開推進)

事業報告書

(別冊3)

最近の生産コストを反映した
施設園芸経営収支のモデル分析事例集
および農業用ハウス設置コスト低減事例集

令和6年3月

一般社団法人日本施設園芸協会

目次

はじめに	3
1章 最近の生産コストを反映した施設園芸経営収支のモデル分析事例	4
1-1. 目的	
1-2. 対象と方法	
1-3. 事例1（遠隔産地型：分ち合ふ農園、せんとうふあーむ）	
1-4. 事例2（地方都市近郊型：A農園）	
2章 農業用ハウス設置コスト低減事例	11
2-1. 目的	
2-2. 【事例1】県単事業によるリノベーションと養液土耕栽培および統合環境制御の導入	
2-3. 【事例2】国庫事業によるリノベーションと強制換気とミスト装置および低段密植栽培装置の導入	
2-4. 【事例3】県単事業による大規模施設リノベーション	
3章 施設園芸におけるヒートポンプ利用の現状と課題	18
3-1. はじめに	
3-2. 施設園芸における再生可能エネルギー利用技術	
3-3. ヒートポンプの仕組み	
3-4. ヒートポンプによる省エネルギー効果とCO ₂ 排出量削減効果	
3-5. 施設園芸にヒートポンプを適用するための課題	
3-6. 施設園芸へのヒートポンプの普及を目指した新たな技術開発	
3-7. おわりに	

はじめに

施設園芸における農業用ハウスの設置コストは近年上昇をしており、特に各種原材料費の上昇や、人手不足に伴う施工費の上昇により、設置コストは高騰している。さらに経営の大型化が望まれているが、雇用労力を活用する必要がある、人員や人件費等の確保が規模拡大の制限要因となることも少なくない。一方で、施設野菜等の農産物の価格はデフレ下で上昇傾向には無く、施設栽培生産者の設備投資に対し収益性の確保や、持続的生産や拡大再生産の可能性について、改めて検討が必要と考えられる。

本報告書では、低コスト設置事例を収集するほか、スマートグリーンハウスならではのデータ活用による経営費の低コスト化について分析を進め、事例集として取りまとめた。

本報告書の取りまとめにあたっては、実際に発注者として施設設備の仕様策定や発注に携わり、ユーザーとしても利用をしているほか、データ活用による取り組みを進めている生産者の方々のご協力のもと、調査・分析を実施し、調査結果の検討を低コスト化検討専門委員会により行ったものである。

低コスト化検討専門委員会 委員（敬称略）

委員長	（公財）園芸植物育種研究所 理事長	丸尾	達
委員	明治大学農学部 黒川農場 教授	岩崎	泰永
委員	静岡大学 農学部 生物資源科学科 教授	鈴木	克己
委員	（株）にいみ農園 代表取締役	新美	康弘
委員	（株）東馬場農園 代表取締役	東馬場	怜司
委員	名古屋大学名誉教授	竹谷	裕之

1章 最近の生産コストを反映した施設園芸経営収支分析と経営コスト低減事例

1-1. 目的

原油価格高騰、資材費高騰の一方で青果物販売単価は低迷傾向にあり、施設園芸経営は厳しい状況にあると考えられる。今後の施設新設や規模拡大において必要な設備投資額も急激な上昇傾向にあり、今後はより生産コストを見直し、適切な配分のもとで収益を確保する必要がある。そこで最近の生産コストを反映した施設園芸経営収支について、実際の事例から抽出して収益性を検討する。

1-2. 対象と方法

昨年度に続き、中規模（40～60a程度）個人経営体、品目：果菜類（トマト、キュウリ、ナスなど）、出荷形態：都市近郊型（直売と契約販売など）、遠隔産地型（系統出荷と契約販売など）、左記の組み合わせの中から、数例モデル化を行う。

対象となる経営体より具体的なデータを提供いただき、現状の売上高や経費を整理し、損益分岐点や収益性について明らかにする。

1-3. 事例1（遠隔産地型：分ち合ふ農園、せんとうふぁーむ）

1. 経営概要

- ・分ち合ふ農園（宮崎武士氏、高知県安芸市、ナス養液土耕栽培、71a、系統出荷+契約販売、以下W）：従来の施設59aに加え、中古ハウスリノベーション（2章 低コストハウス設置事例調査【事例1】を参照）による規模拡大（12a）を2023年8月に行い、計71aの施設面積となった。リノベーション分12aでの栽培も8月より開始している。今後も近隣の空きハウスなどで規模拡大をはかりながら、2024年8月の法人化を計画中。
- ・せんとうふぁーむ（仙頭昭伸氏、高知県安芸市、ナス養液土耕栽培、45a、全量系統外出荷、以下S）：Wと同様に2024年8月の法人化を計画中。栽培施設を低コストで建設（本事業報告書（別冊2）8.低コスト施設の建設と作業の簡易化や情報共有体制による生産性向上を参照）し、減価償却費を低減している。

2. 経営収支と損益分岐点分析

- ・2022年（令和4年）と2023年（令和5年）の青色申告決算書より収入金額、経費を抽出し経営収支を一覧化した。また各経費の売上高に対する比率を求め、支出の大きい科目を明らかにした。
- ・経費について、固定費と変動費に分け、変動費率より損益分岐点売上高（固定費÷（1-変動費率））を求めた。なおW、Sとも経費には専従者給与は含まれていない（以上、表1、2）。

表1 2022年と2023年の青色申告書からの収支一覧と損益分岐点（分ち合ふ農園）

no.	費目	2022年			2023年		
		発生額	うち変動費	対収入金額比率	金額	うち変動費	対収入金額比率
1	租税公課	833,211	725,000	1.64%	884,013	725,000	1.59%
2	種苗費	763,679	763,679	1.50%	1,595,974	1,595,974	2.88%
3	肥料費	2,251,332	0	4.43%	2,097,670		3.78%
4	農具費	14,378	0	0.03%	0		0.00%
5	農薬衛生費	1,373,430	0	2.70%	1,043,312		1.88%
6	繕材料費	1,449,075	0	2.85%	1,961,626		3.54%
7	修繕費	436,380	0	0.86%	1,563,302		2.82%
8	動力光熱費	7,265,280	0	14.30%	6,541,366		11.80%
9	作業用衣料費	151,315	0	0.30%	91,921		0.17%
10	農業共済掛金	938,818	0	1.85%	1,081,534		1.95%
11	減価償却費	3,586,775	0	7.06%	4,878,912		8.80%
12	荷造運賃手数料	9,363,623	9,363,623	18.43%	8,955,304	8,955,304	16.15%
13	雇人費	9,452,991	0	18.61%	10,877,597		19.61%
14	利子割引料	34,782	0	0.07%	108,468		0.20%
15	地代・賃借料	403,878	0	0.79%	543,116		0.98%
16	土地改良費	0	0	0.00%			0.00%
17	福利厚生費	1,749,903	0	3.44%	1,203,201		2.17%
18	事務通信費	525,570	0	1.03%	294,219		0.53%
19	委託料	512,006	0	1.01%	143,000		0.26%
20	交際費	663,380	0	1.31%	1,372,459		2.47%
21	雑費	3,400,275	0	6.69%	5,236,400		9.44%
22	経費合計額	45,170,081	10,852,302	88.91%	50,473,394	11,276,278	91.01%
23	固定費合計額	34,317,779		67.55%	39,197,116		70.68%
24	変動費率	24.03%			22.34%		
25	損益分岐点売上高	45,170,081			50,473,394		
26	収入金額	50,803,532			55,458,059		
27	収入金額-経費合計額	5,633,451			4,984,665		
28	利益率(27÷26)	11.09%			8.99%		

表2 2022年と2023年の青色申告書からの収支一覧と損益分岐点（せんとうふぁーむ）

no.	費目	2022年			2023年		
		発生額	うち変動費	対収入金額比率	金額	うち変動費	対収入金額比率
1	租税公課	829,671	644,000	2.06%	580,100	567,100	1.39%
2	種苗費	618,595	0	1.54%	1,164,573		2.80%
3	肥料費	1,502,441	0	3.74%	2,269,833		5.46%
4	農具費	439,693	0	1.09%	587,030		1.41%
5	農薬衛生費	805,130	0	2.00%	898,371		2.16%
6	繕材料費	2,486,243	1,000,000	6.18%	2,233,359	1,150,370	5.37%
7	修繕費	248,151	0	0.62%	288,466		0.69%
8	動力光熱費	5,794,946	0	14.42%	6,146,438		14.77%
9	作業用衣料費	121,451	0	0.30%	94,933		0.23%
10	農業共済掛金	429,931	0	1.07%	447,980		1.08%
11	減価償却費	2,804,168	0	6.98%	2,456,674		5.90%
12	荷造運賃手数料	4,938,093	4,938,093	12.28%	5,380,238	5,380,238	12.93%
13	雇人費	8,226,141	0	20.46%	9,025,800		21.69%
14	利子割引料	90,328	0	0.22%	109,276		0.26%
15	地代・賃借料	415,696	0	1.03%	428,296		1.03%
16	土地改良費	121,582	0	0.30%	121,670		0.29%
17	福利厚生費	110,845	0	0.28%	48,718		0.12%
18	事務通信費	676,704	0	1.68%	221,955		0.53%
19	委託料	78,812	0	0.20%	248,625		0.60%
20	交際費	1,562,839	0	3.89%	1,266,327		3.04%
21	雑費	159,827	0	0.40%	386,965		0.93%
22	経費合計額	32,461,287	6,582,093	80.75%	34,405,627	7,097,708	82.69%
23	固定費合計額	25,879,194		64.38%	27,307,919		65.64%
24	変動費率	20.28%			20.63%		
25	損益分岐点売上高	32,461,287			34,405,627		
26	収入金額	40,198,987			41,605,681		
27	収入金額-経費合計額	7,737,700			7,200,054		
28	利益率(27÷26)	19.25%			17.31%		

・WとSでの経費ごとの売上高に対する比率や、損益分岐点売上高の違い、収益性について考察した。

・経費ごとの売上高に対する比率：W、Sとも収入金額に対する比率の高い経費科目は、雇人費、荷造運賃手数料、動力光熱費、減価償却費等である。2023年（2022年）の各費目の対収入金額比率は、雇人費がW:19.61%（18.61%）、S:21.69%（20.46%）、荷造運賃手数料がW:16.15%（18.43%）、S:12.93%（12.28%）、動力光熱費がW:11.80%（14.30%）、S:14.77%（14.42%）、減価償却費がW:8.8%（7.06%）、S:5.90%（6.98%）であった。雇人費ではW、Sとも20%前後である。荷造運賃手数料では、系統出荷も行うWが約16%で、行わないSの約13%より高い。動力光熱費はW、Sとも2022年は約14%であったが、Wのみ2023年は約12%に低下しているが暖冬の影響が考えられる。減価償却費は2023年にハウス増設を行ったWが2022年の約7%から約9%に増加し、Sは2022

年の約7%から約6%に償却が進み低下している。その他、Wは2023年にハウス増設の他、一部ハウスの被覆資材張り替え等の工事があり、修繕費や雑費が前年より増加している。

・損益分岐点分析：本分析は、個々の経営体が考える変動費の範囲によって結果が左右される。Wでは、売上高に影響を受ける荷造運賃手数料の全額と租税公課の過半に加え、作付け方法により種苗本数が変動することより、種苗費の全額を変動費としている。Sでは同様に荷造運賃手数料の全額と租税公課の過半に加え、諸材料費の過半を変動費としている。その結果、経費に占める変動費が占める割合を表す変動費率は2023年（2022年）には、Wが約22%（約24%）、Sが約21%（約20%）となった。また損益分岐点売上高（固定費－（1／変動費比率））は、Wが約5,047万円（約4,517万円）、Sが約3,441万円（約3,246万円）となった。W、Sとも実際の収入金額はこれらの値を越え利益を得ている。実際にWは2023年（2022年）に利益（収入金額－経費合計額）を約499万円（563万円）、Sは約720万円（約434万円）をあげている。

・収益性：利益率（利益／収入金額）について2023年（2022年）ではWが約9%（約11%）、Sが約17%（約19%）であった。

3. 今後の展開

・W、Sとも法人化に向け収益性の一層の向上をはかるよう、経営体制の整備等を進めている。Wでは、固定費上昇につながるハウス増設は一旦休止し、借り上げハウス等の利用による販売額の向上を検討し、あわせて経費見直しによる収益向上を検討している。またSでは、周囲の空ハウスの取得を計画し、なるべく固定費をかけずに販売額を増加し収益向上につなげるよう検討している。また地域の青果物を取りまとめて販売する組織の展開も検討しており、施設規模とあわせ販売規模の拡大も検討している。

1－4. 事例2（地方都市近郊型：A農園）

1. 経営概要

・地方都市近郊（関東地方）、トマト養液栽培、50a、系統出荷＋直売

2. 経営収支分析

・令和元年（R1）～令和4年（R4）の青色申告決算書データをもとに、主要経費の売上高に対する比率の推移より、生産コスト上昇の程度を分析した。また出荷単価、出荷数量の記録を合わせ、収益性の推移について分析した。

・結果：経年の収支一覧、月別売上（販売先別、単価、数量）推移、月別重油購入金額使用量を別紙に整理した。個別の分析内容はコメント欄に記した。経営主からは、青色申告決算書の数値をあらためて整理・分析することで、燃油価格・資材費等の上昇下での経営課題が見えてきたとの意見があった。また修繕費などで大口の出費があり、今後の施設新設予定はないものの定期的な修繕費の支出が見込まれるため、キャッシュフロー管理の重要性について認識がされた。

表3 青色申告書からの収支一覧および分析コメント

【青色申告決算書からの収支一覧】

※青字%は、主要経費のもの。

科目	R4		R3		R2		R1		
	金額	対収入比	金額	対収入比	金額	対収入比	金額	対収入比	
収入	1 販売金額	43,952,245		41,004,637		45,713,532		49,553,198	
	2 家事消費事業消費金額	217,500		195,000		261,000		261,000	
	3 雑収入	1,368,188		861,231		938,592		2,201,369	
	4 小計	45,537,933		42,060,868		46,913,124		52,015,567	
	5 農産物産額高(期首)	45,000		86,800		134,000		187,600	
	6 (期末)	136,500		45,000		86,800		134,000	
	7 計	45,629,433	100.0%	42,019,068	100.0%	46,865,924	100.0%	51,961,967	100.0%
経費	8 租税公課	745,900	1.6%	939,017	2.2%	1,050,657	2.2%	987,680	1.9%
	9 種苗費	1,721,910	3.8%	1,684,490	4.0%	1,666,134	3.6%	1,680,708	3.2%
	10 肥料費	2,183,353	4.8%	1,412,467	3.4%	1,876,323	4.0%	1,702,846	3.3%
	11 農具費	47,894	0.1%	33,855	0.1%	433,979	0.9%	142,824	0.3%
	12 農薬衛生費	879,484	1.9%	573,862	1.4%	533,636	1.1%	477,744	0.9%
	13 諸材料費	1,632,403	3.6%	878,346	2.1%	1,274,236	2.7%	834,785	1.6%
	14 修繕費	1,939,850	4.3%	1,110,700	2.6%	1,476,205	3.1%	1,349,122	2.6%
	15 動力光熱費	8,366,272	18.3%	6,769,512	16.1%	7,146,232	15.2%	7,708,370	14.8%
	16 作業用衣料費	79,857	0.2%	87,637	0.2%	120,330	0.3%	110,827	0.2%
	17 農業共済掛金	581,914	1.3%	595,876	1.4%	582,497	1.2%	443,978	0.9%
	18 減価償却費	5,205,943	11.4%	5,564,669	13.2%	5,351,971	11.4%	6,292,351	12.1%
	19 荷造運賃手数料	11,235,932	24.6%	11,016,857	26.2%	11,950,948	25.5%	13,753,249	26.5%
	20 雇人費	6,014,500	13.2%	5,737,500	13.7%	6,329,500	13.5%	6,471,500	12.5%
	21 利子割引料	140,420	0.3%	280,445	0.7%	141,224	0.3%	178,260	0.3%
	22 地代・賃借料	345,652	0.8%	426,592	1.0%	1,267,617	2.7%	1,536,619	3.0%
	23 土地改良費	75,530	0.2%	75,530	0.2%	75,530	0.2%	72,700	0.1%
	24 事務通信費	123,464	0.3%	220,000	0.5%	274,522	0.6%	256,000	0.5%
	25 研修費	0	0.0%	7,500	0.0%	11,000	0.0%	77,091	0.1%
	26 償却資産廃棄	0	0.0%	119,921	0.3%	0	0.0%	0	0.0%
	27 雑費	284,589	0.6%	298,427	0.7%	253,359	0.5%	255,025	0.5%
	28 小計	41,604,867	91.2%	37,833,203	90.0%	41,815,900	89.2%	44,331,679	85.3%
	29 農畜産物以外の棚卸高(期首)	874,300	1.9%	833,160	2.0%	633,000	1.4%	822,000	1.6%
	30 (期末)	1,079,210	2.4%	874,300	2.1%	833,160	1.8%	633,000	1.2%
	31 計	41,399,957	90.7%	37,792,063	89.9%	41,615,740	88.8%	44,520,679	85.7%
	32 差引金額	4,229,476	9.3%	4,227,005	10.1%	5,250,184	11.2%	7,441,288	14.3%
	33 専従者給与	4,860,000	10.7%	4,980,000	11.9%	4,980,000	10.6%	4,980,000	9.6%
	34 所得金額	-630,524	-1.4%	-752,995	-1.8%	270,184	0.6%	2,461,288	4.7%

※コメント

- ・ 32差引金額(実質的な利益)は、R1比で金額も対収入比も低下傾向。
- ・ 対収入比低下は経費比率上昇によるもの。15動力光熱費の対収入比の上昇が主要因とみられる。
- ・ R3~R4にかけ、10肥料費、12農薬衛生費、13修繕費、15動力光熱費の上昇がみられる。

表4 栽培年別月別のJA売上高と直売の売上高および分析コメント

【JA売上】														
	10月	11月	12月	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	合計	対2018/19比		
2018/19年		364,269	4,037,828	3,107,106	4,548,755	6,820,357	7,860,371	6,505,192	4,801,453	1,200,314	39,245,645	100.0%		
2019/20年		4,140,578	3,570,960	2,651,383	4,350,841	7,130,244	7,750,877	6,352,079	4,477,869	913,847	41,338,678	105.3%		
2020/21年	44,978	2,538,164	3,109,125	2,391,544	3,776,605	4,547,681	7,036,017	4,778,044	4,499,434	1,122,618	33,799,232	86.1%		
2021/22年		2,342,542	4,700,339	2,524,962	4,256,808	5,433,009	7,275,101	6,228,358	5,027,390	1,474,875	39,263,384	100.0%		
2022/23年		1,148,656	3,838,669	2,333,143	4,255,288	5,666,771	7,840,226	6,163,098	4,344,036	1,639,019	37,228,906	97.3%		
系統外			596,385	115,290		240,000					951,675			
【直売売上】														
	10月	11月	12月	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	合計	対2018/19比	JA+直売売上	対2018/19比
2018/19年 計	0	65,280	301,440	337,920	456,960	581,760	756,480	940,800	848,640	230,400	4,519,680	100.0%	43,765,325	100.0%
2019/20年 計	0	322,560	318,720	320,640	489,600	458,880	614,400	624,000	664,320	172,800	3,985,920	88.2%	45,324,598	103.6%
2020/21年 計	7,680	441,600	393,600	487,680	543,360	656,640	714,240	645,120	541,440	220,800	4,652,160	102.9%	38,451,392	87.9%
2021/22年 計	0	326,400	562,560	514,560	460,800	606,720	704,640	683,520	746,880	915,840	5,521,920	122.2%	44,785,304	102.3%
2022/23年 計	0	233,280	511,680	495,360	508,800	520,320	667,200	744,960	697,920	341,760	4,721,280	104.5%	42,901,861	98.0%

※コメント
 ・JA+直売売上は対2018/19年比で、2020/21年が-12%と落ち込み、2021/22年では+2%に持ち直した。これには直売売上が貢献。
 ・2022/23年は前年比売上が-4%に低下し、JA売上、直売売上とも低下している。

表5 暦年別月別のJA売上高と直売の売上高合計および分析コメント

【暦年別合計売上】													
	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	10月	11月	12月	合計	R1年比	その他
R1年	3,445,026	5,005,715	7,402,117	8,616,851	7,445,992	5,650,093	1,430,714	0	4,463,138	3,889,680	47,349,326	100.0%	申告販売金額 49,553,198
うちJA	3,107,106	4,548,755	6,820,357	7,860,371	6,505,192	4,801,453	1,200,314	0	4,140,578	3,570,960	42,555,086	100.0%	同上差異 -2,203,872
うち直売	337,920	456,960	581,760	756,480	940,800	848,640	230,400	0	322,560	318,720	4,794,240	100.0%	直売比率 10.1%
R2年	2,972,023	4,840,441	7,589,124	8,365,277	6,976,079	5,142,189	1,086,647	52,658	2,979,764	3,502,725	43,506,927	91.9%	申告販売金額 45,713,532
うちJA	2,651,383	4,350,841	7,130,244	7,750,877	6,352,079	4,477,869	913,847	44,978	2,538,164	3,109,125	39,319,407	92.4%	同上差異 -2,206,605
うち直売	320,640	489,600	458,880	614,400	624,000	664,320	172,800	7,680	441,600	393,600	4,187,520	87.3%	直売比率 9.6%
R3年	2,879,224	4,319,965	5,204,321	7,750,257	5,423,164	5,040,874	1,343,418	0	2,668,942	5,262,899	39,893,064	84.3%	申告販売金額 41,004,637
うちJA	2,391,544	3,776,605	4,547,681	7,036,017	4,778,044	4,499,434	1,122,618	0	2,342,542	4,700,339	35,194,824	82.7%	同上差異 -1,111,573
うち直売	487,680	543,360	656,640	714,240	645,120	541,440	220,800	0	326,400	562,560	4,698,240	98.0%	直売比率 11.8%
R4年	3,039,522	4,717,608	6,039,729	7,979,741	6,911,878	5,774,270	2,390,715	0	1,381,936	4,946,734	43,182,133	91.2%	申告販売金額 43,952,245
うちJA	2,524,962	4,256,808	5,433,009	7,275,101	6,228,358	5,027,390	1,474,875	0	1,148,656	4,435,054	37,804,213	88.8%	同上差異 -770,112
うち直売	514,560	460,800	606,720	704,640	683,520	746,880	915,840	0	233,280	511,680	5,377,920	112.2%	直売比率 12.5%
R5年	2,943,793	4,764,088	6,427,091	8,507,426	6,908,058	5,041,956	1,980,779				36,573,191	77.2%	申告販売金額
うちJA	2,448,433	4,255,288	5,906,771	7,840,226	6,163,098	4,344,036	1,639,019				32,596,871	76.6%	同上差異
うち直売	495,360	508,800	520,320	667,200	744,960	697,920	341,760				3,976,320	82.9%	直売比率 10.9%

※コメント
 ・売上はR3年に落ち込み(対R1年比84.3%)。R4年は対91.2%に回復、R5年の3/4期進捗は前年同月比99.2%でほぼ同様。
 ・直売売上はR4年まで金額、比率とも上昇傾向にあり、売上への貢献がみられる。R5年1月-7月の直売売上は前年同月比減(-14%)。

表6 暦年別月別のJA売上高と直売売上高および分析コメント

【暦年別JA売上・単価(¥/kg)・販売量(kg)】													※単価額 = 合計売上 ÷ 合計販売量(年間平均単価として)	
	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	10月	11月	12月	合計※	R1年比		
R1年 売上	3,107,106	4,548,755	6,820,357	7,860,371	6,505,192	4,801,453	1,200,314	0	4,140,578	3,570,960	42,555,086	100.0%		
単価	256	297	330	277	193	194	213		538	344	268	100.0%		
販売量	12,137	15,316	20,668	28,377	33,706	24,750	5,635		7,696	10,381	158,665	100.0%		
R2年 売上	2,651,383	4,350,841	7,130,244	7,750,877	6,352,079	4,477,869	913,847	44,978	2,538,164	3,109,125	39,319,407	92.4%		
単価	278	333	366	330	203	197	300	472	382	293	281	104.8%		
販売量	9,537	13,066	19,482	23,488	31,291	22,730	3,046		6,644	10,611	139,895	88.2%		
R3年 売上	2,391,544	3,776,605	4,547,681	7,036,017	4,778,044	4,499,434	1,122,618	0	2,342,542	4,700,339	35,194,824	82.7%		
単価	238	229	259	260	205	219	250		493	380	258	96.0%		
販売量	10,049	16,492	17,559	27,062	23,308	20,545	4,490		4,752	12,369	136,625	86.1%		
R4年 売上	3,039,522	4,717,608	6,039,729	7,979,741	6,911,878	5,774,270	2,390,715	0	1,381,936	4,946,734	43,182,133	101.5%		
単価	254	262	270	280	233	247	182		370	337	261	97.3%		
販売量	11,967	18,006	22,369	28,499	29,665	23,378	13,136		3,735	14,679	165,433	104.3%		
R5年 売上	2,448,433	4,255,288	5,906,771	7,840,226	6,163,098	4,344,036	1,639,019				32,596,871	76.6%		
単価	265	284	314	302	250	215	256				271	101.1%		
販売量	9,239	14,983	18,811	25,961	24,652	20,205	6,402				120,255	75.8%		

※コメント
 ・JA平均単価はR2年がピーク(@281)、R3年がボトム(@258)でR4,5年は回復傾向。
 ・JA販売量はR4年がピーク、R5年1-7月は対前年同月比減(-18%)。

表7 暦年別月別の重油単価・購入金額・使用量および分析コメント

【重油単価・購入金額・使用量】

		10月	11月	12月	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	合計
2019/20年	単価(¥/l)							40.5	40.5			40.5
	購入金額							109,350	230,040			339,390
	使用量(l)							2,700	5,680			8,380
2020/21年	単価(¥/l)				58.5	62.5	67.5	65.5				61.9
	購入金額				983,385	804,375	510,975	110,432				2,409,167
	使用量(l)				16,810	12,870	7,570	1,686				38,936
2021/22年	単価(¥/l)		83.5	83.5	83.5	86.5	87.5	85.5		85.5		84.7
	購入金額		825,000	1,358,545	1,277,550	1,236,950	507,500	444,600		342,000		5,992,145
	使用量(l)		9,880	16,270	15,300	14,300	5,800	5,200		4,000		70,750
2022/23年	単価(¥/l)			82.5	82.5	82.5	82.5	82.5				82.5
	購入金額			1,384,350	1,196,250	988,350	387,750	486,750				4,443,450
	使用量(l)			16,780	14,500	11,980	4,700	5,900				53,860

※単価未記載のため推定値

※コメント

- ・2022/2023年の重油使用量は、前年比-24%（前年残存量は考慮せず）。
- ・2021年11月-2022年4月販売量：97,962kg、2022年11月-2023年4月販売量：87,409kgで、前年同月比-11%。この減少量と重油使用量との関係は要検討と思われる。

3. まとめと今後の展開

- ・青色申告決算書のデータ、および経営者が個別に記録した売上や重油購入使用量等のデータを経年で整理した。
- ・費用について科目により上昇傾向がみられ収益性に影響を及ぼしていた。特に肥料費、農薬衛生費、修繕費、動力光熱費の上昇がみられ、それらにより所得金額の低下（マイナス）につながっている。
- ・売上については年別の変動がみられたが、直売での売上が一定割合（総額の10%前後）あり、荷造運賃手数料等の負担も少ないことから収益に貢献したものと思われる。地方都市の近郊での経営では、契約販売等に移行することなく、農場近隣での直売を行うことで、収益確保につながると考えられる。
- ・施設修繕に関する費用が今後も発生することが見込まれており、そのための収益性の向上とキャッシュの確保が経営継続のために不可欠となる。経営主より、今後は必要不可欠な経費とそうでは無い経費について、より厳しく選別する必要があるとの意見があった。今後は、利益を生む経費か否かという判断も必要になると考えられる。
- ・青色申告決算書のデータより経営状況全体を理解した上で、キャッシュフローについても月次単位などで把握し、今後の支払に対するキャッシュの準備を計画的に行う必要があると考えられる。
- ・なお、多くの個人経営では青色申告が行われているが、その結果である青色申告決算書を利用した経営分析はあまり行われていないものと思われる。自己の経営状況を把握し、問題点の抽出や改善策の検討のためにも、本事例で行ったような青色申告決算書等の活用が求められよう。

2章 低コストハウス設置事例調査

2-1. 目的

施設建設コストや付帯設備コストが上昇する中で、実際に施工された事例について仕様や設計について調査を行い、適切な施設設備の検討のための参考とする。本年度はリノベーションの事例調査を中心に行う。

2-2. 【事例1】県単事業によるリノベーションと養液土耕栽培および統合環境制御の導入

○概要

- ・分ち合ふ農園（高知県安芸市、ナス）
- ・12a 鉄骨中古ハウス、アーチ型連棟
- ・ナス養液土耕栽培
- ・高知県園芸用ハウス等リノベーション事業の利用
- ・UECS 統合環境制御導入

○施設・経営の概要

- ・既存施設面積：59a（ナス養液土耕栽培）、露地圃場：10a（オクラ、スティックブロッコリー）
- ・販売先：JA、地方卸売市場、契約販売
- ・リノベーション施設：変形地に建設された12aの鉄骨アーチ屋根ハウス（低軒高の遊休ハウス）
- ・リノベーションにより全71a（ハウス5棟）となる。

○リノベーション内容

- ・2023年9月上旬に工事完了し、定植を行った。
- ・外張りりと内張り（1層、手動（電動ドリル）巻き上げ）の張替え、谷換気装置の設置。
- ・重油暖房機（ネポン製：HK-6022）はオークションで購入、ユニック車で引き取って設置、耐震重油タンクの設置。
- ・養液土耕装置と日射比例給液制御装置の設置。
- ・UECS 環境制御盤の設置による統合環境制御、環境・光合成モニタリング装置（Thinking Farm）の設置によるナスの光合成速度等のモニタリングを行う。スイッチボックス類は極力少なくし、UECS 環境制御盤での操作に置き換えている。
- ・CO₂発生装置は今後設置予定。

○リノベーション費用

- ・リノベーション事業費：約1,100万円（うち500万円を県単事業による補助金）
- ・追加の工事、資材費等：200万円（急ぎの工事のため、現場での追加のものが多く発生したとのこと）
- ・借入金：約600万円、10年返済予定

○今後の検討課題

- ・追加費用が発生し、リノベーション工事としては費用が多目にかかっている。
- ・今後は2024年8月の法人化とさらに規模拡大を予定しているが、空きハウスの居抜き利用による夏秋ナス栽培等を検討中とのこと。



図1 現地画像 (Google Map より)



図2 リノベーション前の状況 (2023年8月)



図3 リノベーション後の状況 (2023年12月)



図4 外張りフィルムと内張りフィルムの張替え、およびナスの誘引状況



図5 盤・計測制御機器類（上段中：日射比例給液制御装置、上段右：環境・光合成モニタリング装置（Thinking Farm）、下段右：UECS 環境制御装置）



図6 左：養液土耕装置、右：重油温風暖房機

2-3. 【事例2】国庫事業によるリノベーションと強制換気とミスト装置および低段密植栽培装置の導入

○概要

- ・B 農園（トマト低段密植栽培）
- ・30a ハウス鉄骨ハウスのリノベーション
- ・冷却機能付き強制換気装置の追加による周年栽培化

○施設・経営の概要

- ・施設面積:30a（近隣に既設ハウス（リノベーション済）あり）
- ・ハウス:間口 10m×10 連棟、奥行 30m、軒高 2.3m、鉄骨屋根型（H 鋼）、外張被覆資材：フッ素樹脂フィルム、内張カーテン 1 層。
- ・栽培品目:トマト（大玉、中玉、ミニ）
- ・栽培方式:低段密植による周年栽培（少量固形培地耕、点滴かけ流し式、全 10 ブロック）
- ・本ハウスでの栽培開始時期:2022 年 10 月
- ・全量直販（直売所、量販店等）

○リノベーション内容

- ・規模拡大に伴い中古ハウスを入手しリノベーションを行った。骨材にサビはみられるものの、構造的な問題はなく、外張被覆資材を含めそのまま利用している。

- ・高温期の栽培が可能となるよう、強制換気装置（700W 吹き出しタイプ換気扇×20 台）およびミスト噴霧装置（吸気側サイドに防虫ネット（0.7mm 目合い）を二重に張ったエアチャンバーエリアを設け、ミストノズル配管を行う）、天窓自動換気装置（片天窓、リノベーション前は手動換気）の設置工事を行った。また内張カーテンの張り替えを行った。

- ・強制換気装置、ミスト噴霧装置、天窓自動換気装置、および温風暖房機、CO₂発生器等の統合環境制御をDM-ONE（ダブルエム製）により行った。特に強制換気装置は台数制御を行い、必要な換気量に応じて稼働台数を制御する仕様で、消費電力の最適化をはかっている。また強制換気による排気と吸気側でのミスト噴霧により気化冷却を促進する制御を行っている。なお、DM-ONE による環境制御の特徴として、光合成モデルによる純光合成速度の最大化などがある。

- ・他に低段密植栽培用のベンチ、配管等の工事を自家施工で行った。

○リノベーション費用と効果

- ・リノベーション費用は全体で約4,500万円。うち1,500万円を国庫事業（担い手確保・経営強化支援事業（令和4年度補正予算））より補助を受ける。同事業の優先枠（ロボット、AI、IoT等の技術を活用したスマート農業機械等の現場への導入）を活用した。

- ・強制換気とミスト噴霧による高温対策により猛暑時期の栽培と出荷を継続的に行っている。また強制換気によりハウス内の通路や空間に微風を発生させ、作業環境が向上している。エアコンを用いずに日中ハウス内での選果袋詰め作業が行われ、専用の屋内選果場は無い。

○今後の課題

- ・リノベーション工事後に工事費用がさらに高騰し、振り返ると時期的にぎりぎりの工事であった。補助金による負担軽減があったものの、10a 当たり1,000万円程度の設備投資（ハウス本体関連は15年償却、機器設備関連は7年償却、資材関連は5年償却）となり、その費用回収が課題となり、人件費、動力光熱費、運賃等の負担も大きい。現在（2023年10月）、トマトは極端な価格高騰となっているが、その状況が落ち着きつつ、今後は価格転嫁が進めば収益の向上が期待される。

- ・強制換気装置の吸気側防虫ネットからのコナジラミ侵入があり、近隣トマトハウスからの栽培終了後でのコナジラミ移動がみられる。トマト黄化葉巻病抵抗性品種の導入を行っているが、抵抗性打破による被害もあるため、最新のレースに対応した抵抗性品種導入が必要となっている。高温期の栽培そのものは安定的に行える環境であり、栽培技術のレベルも高まっている。今後は抵抗性品種導入、天敵導入（タバコカスミカメ）等の対策により安定出荷を実現する方向にある。



図7 追加施工した天窓枠と自動開閉装置。ハウス骨材、外張被覆資材は既設のもの。



図8 吹き出し式の大型換気扇。1間口（10m）に2台、全20台を設置。



図9 吸気側サイドの内側にパイプによる張り出し構造を追加工事し、防虫ネットを2重展張したエアチャンバーエリア。内部にミストノズル配管を設置。



図10 統合環境制御装置（DM-ONE）。タッチパネル画面は強制換気装置とミスト噴霧装置の動作画面（A農園向け仕様）。スマートフォンからのリアルタイム操作とモニタリングも可能。



図 11 少量固形培地耕によるトマト低段密植栽培とセンサーボックス

2-4. 【事例3】県単事業による大規模施設リノベーション

○概要

- ・次世代施設園芸宮城県拠点（株）デ・リーフデ北上：トマト、パプリカ 2.4ha、宮城県石巻市）と（株）デ・リーフデ大川（同 2.2ha）のグループ農場である（株）デ・リーフデ美里（宮城県美里町）。
- ・1996年完成のバラ養液栽培用の大屋根型連棟温室 2ha（4年前に操業停止）。トマト栽培用にリノベーションを検討し、2023年夏より工事開始。2024年2月に竣工し3月より栽培開始予定。
- ・デ・リーフデグループの第三農場として夏越栽培を行い、グループ全体での周年出荷体制をめざす。

○リノベーション内容

- ・鉄骨ハウスには最低限の補修を行い、周年栽培に耐えられるよう、温度管理と灌水管理の関係を重点的に行った。
- ・ハウス被覆資材はフッ素樹脂フィルムの天井部張り替え、側面全面張り替え、内張りカーテン2層張り替え。側窓開口部が大きく、天井部にも窓も多いので、換気に期待している。
- ・軒高が低いためベンチ位置を低くし、誘引高さ 3m を確保した。12m 間口に 7 レーン、全 220 レーン。左右振り分けで各 50m の栽培ベッド。
- ・温風ダクト暖房。最低気温 -5°C 程度で、二層カーテンで保温する。
- ・灌水装置はトマト用に Netaflex（ネタフィム製）。栽植密度は 2.5 本/m²、マキシフォート台
- ・地下水利用で、水質をみながら水道水と併用し、割合を減らしていく。
- ・今までの設備も利用して、35-40t/10a を目指す。斜め誘引を回避し栽培を予定している。
- ・地震の影響で柱の高さや樋がでこぼこの状態で、排水がすべて流れ切らない問題はあるが、何とかできると考えている。柱の調整は費用がかかるのでやらない。柱付近を密植せず結露やカビを回避するよう、栽培をしながら対策をしたい。

○リノベーション費用

- ・工事費 2 億 5 千万円と、増額工事費 2~3 千万程度（税込み 3 億円弱程度の見込み、増額分は工事中に追加発生したもの）
- ・宮城県の令和 5 年度大規模園芸経営体育成事業で 6 千万円の補助を受ける。

○今後の課題

・ 来年より5月定植の夏越栽培を計画し、9-10月からの収穫をめざす。県下で黄化葉巻病が広がっているが、防虫ネットは側窓に1mm目合いのものだけとし、高温対策を遮熱材などにより行う。



図1 リノベーション前のハウス外観



図2 リノベーション後のハウス外観



図3 リノベーション後のハウス内部



図4 左：リノベーション後の重油タンク、右：事業内容

3章 施設園芸でのヒートポンプ利用の現状と課題

石井 雅久 専門委員

(国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構 (農研機構)
農村工学研究部門資源利用研究領域地域資源利用・管理グループ長)

3-1. はじめに

気候変動問題の解決に向けて温室効果ガス (GHG: Green House Gas) の削減は世界共通の課題である。2021年10月22日に「パリ協定に基づく成長戦略としての長期戦略」を閣議決定され、国連へ提出された。この中では、我が国はCO₂排出量を2030年までに46%減 (2013年度比) とする目標が掲げられおり、農林水産業においてもGHG削減の取り組みは必須である。国内事業部門のエネルギー消費約7,483PJの内、農林水産業は全体の約3.4%を占める¹⁾。農林水産業で消費される主なエネルギーは、重油、灯油、軽油、ガソリン、電力であるが、その中で漁船の内燃機関と施設園芸の暖房で燃焼されるA重油が最も多い²⁾。すなわち、農林水産業の中で化石燃料を多く使用しているのは、漁業と施設園芸である。国内には約40,615haの園芸用施設があり、16,936haの施設に加温設備が設置されているが、この内、約90%はA重油や灯油などを燃料とする燃焼式暖房機である³⁾。農林水産省が策定した「みどりの食料システム戦略」^{4), 5)}では、施設園芸から排出されるCO₂の削減目標を、2030年度には年間155万トンとし、2050年までに化石燃料を使用しない施設園芸への完全移行を目指す、とされており、暖房由来のCO₂排出量を削減することは、施設園芸を持続する上で喫緊の課題となっている。

3-2. 施設園芸における再生可能エネルギー利用技術

石油を燃料とする燃焼式暖房機を代替する技術として、バイオマス資源を燃料とする暖房やヒートポンプによる暖房がある。バイオマス資源は燃焼させたとしても、その元は植物が光合成により大気中から固定したCO₂を燃焼させることになるので、大気中に放出されるCO₂は差し引きゼロ (カーボンニュートラル) ということになる。しかし、バイオマス燃料は単位熱量当たりの価格がA重油よりも高い場合があること、供給地と需要地が離れている場合があること、適正な価格で安定供給されるサプライチェーンが未成熟なことなどがあり、その普及はなかなか進まないのが現状である。一方、ヒートポンプの熱源は、大気、水、地中などの熱エネルギーであり、農地にはこれらの再生可能エネルギーが大量にある。したがって、施設園芸の脱炭素化を進める上で、燃油燃焼方式の暖房機からヒートポンプへ代替することが最も有望な技術である。

3-3. ヒートポンプの仕組み

ここでヒートポンプによる暖房の仕組みを概説する。ヒートポンプは図1に示すように、左側の低温の熱をポンプアップして右側に高温の熱を供給する装置である。主要な構成機器は、凝縮器 (コンデンサー)、蒸発器 (エバポレーター)、圧縮機 (コンプレッサー)、膨張弁、である。

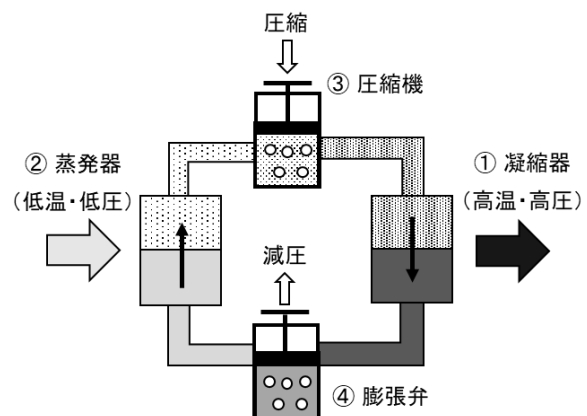


図1 ヒートポンプの原理

ヒートポンプの主要機器の間の熱運搬（図中では黒線の矢印は冷媒の流れの方向）は、冷媒の循環により行われる。冷媒は圧縮すると液化、膨張させると気化する特性があり、フロン類が多く使われている。圧縮機によって冷媒が圧縮されると、凝縮器は高温になる。凝縮器の中では冷媒が更に圧縮され、気体から液体へと相変化が起こるが、気体が液体になると凝縮熱が生じるので、気体を圧縮したときよりも、更に高温の熱が生じる。その後、液化された冷媒は膨張弁で減圧され、蒸発器の中で冷媒が気化（蒸発）して低温となり、蒸発器はその周辺から吸熱することになる。この一連の流れを整理すると、低温側に置かれた蒸発器で吸熱された低温の熱は、冷媒を介してコンプレッサーで圧縮されながら凝縮器へ送られ、凝縮器で高温の熱として放熱される。すなわち、低温側から高温側に熱を組み上げる装置であることから、ヒートポンプ（熱ポンプ）と呼ばれている。また、冷媒の経路に四方弁を取り付けることにより、冷媒の流れを逆にすることができるので、温室内に取り付けられた凝縮器は蒸発器に、その反対に取り付けられている蒸発器は凝縮器に切り替えることができ、この時、室内では冷房の状態となる。つまり、四方弁が付いたヒートポンプは暖房と冷房を兼用できる。一方、室内の蒸発器が空気の露点温度以下になると、空気中の水蒸気は結露するので、除湿にも利用できる。

ヒートポンプを稼働させるには、コンプレッサーを駆動させる動力源が必要であるが、その駆動方式として、エンジン駆動のエンジン方式とモーター駆動の電気方式がある。エンジン方式は、エンジンからの廃熱も熱源の一部となるため、燃焼式暖房機よりも省エネルギー性能は高くなる。また、排気ガスの中からCO₂を回収し、温室の中で放出されてCO₂施用に使われている事例もある。しかし、エンジン駆動方式のヒートポンプは、ガスや軽油などの化石燃料をバイオ燃料や水素など非化石燃料に代替しなければ、施設園芸の脱炭素化への貢献は少ない。一方、電気駆動方式のヒートポンプには電力が必要であるが、その発電元では現在、石炭、石油、天然ガスなどの化石燃料も用いられている。2021年の電力構成比に占める再エネ電力の割合は約21%であるが、日本のエネルギー施策では2030年までに再エネ電力の割合を36~38%まで増やし、2050年までにカーボンニュートラルにすることが目標となっている⁶⁾。電力事業者側においても、太陽光、風力、水力、原子力、水素、CCS（Carbon dioxide Capture and Storage：CO₂回収・貯留）等のカーボンニュートラルの取り組みが進められており、エネルギー施策とともに農業分野においても一体的に電化を進めることが、施設園芸のCO₂削減にとって有効である。

3-4. ヒートポンプによる省エネルギー効果とCO₂排出量削減効果

A 重油を燃油とする燃焼式暖房機、電熱ヒーター、ヒートポンプのエネルギー消費の違いを図2（左）に示す⁷⁾。燃焼式暖房機の効率を0.90、電気ヒーターの効率を1.0（消費電力と暖房能力が等倍）、電気駆動方式のヒートポンプの成績係数（Coefficient Of Performance、投入する電気から何倍の熱を利用できるか示す値。例えば、COPが3.0であれば、1.0kWの電力エネルギーから3.0kWの熱エネルギーを得ることができる。以下、COP）を4.0、電気の需要端効率（発電設備に投入する燃料（一次エネルギー換算）から機器に投入する電気に至るまでのエネルギー変換効率）を0.37と仮定すると、100の熱を作り出すのに必要な燃料は、燃焼式暖房機が111に対して、ヒートポンプは68であり、約39%の一次エネルギーを削減できる。一方、電気ヒーターで100の熱を作り出すのに必要な燃料は272になるので、燃焼式暖房機よりも約2.7倍、ヒートポンプよりも4倍の一次エネルギーを消費する。

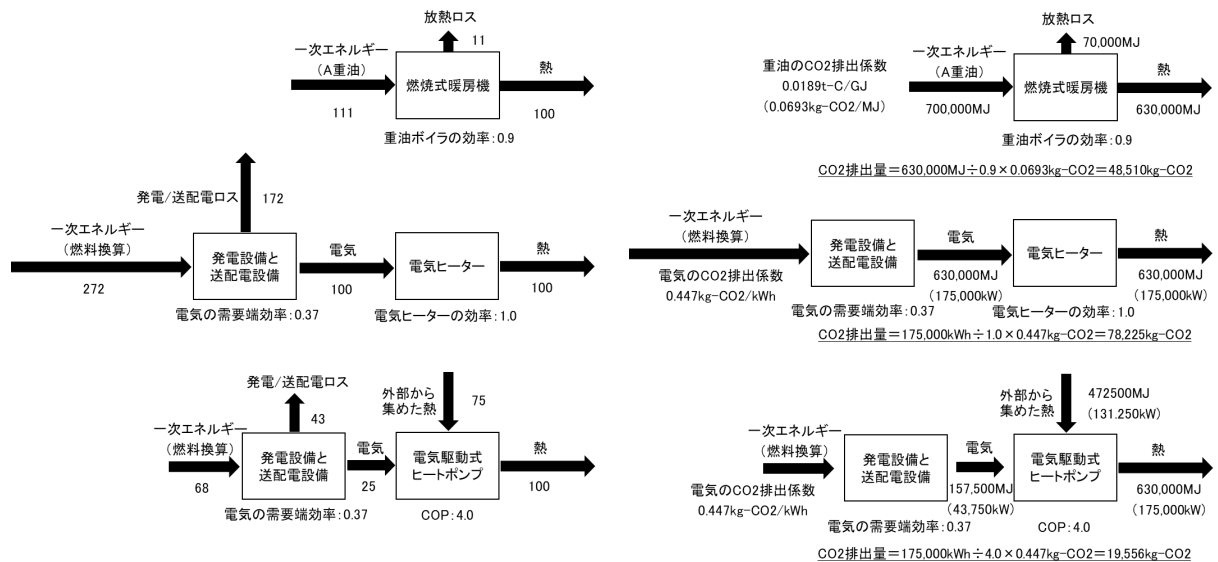


図2 ヒートポンプの一次エネルギーとCO₂排出量の試算例(長谷川, 2009年に加筆)

次に、A重油を燃料とする燃焼式暖房機とヒートポンプのCO₂排出量の違いを図2(右)に示す。燃焼式暖房機の効率を0.90、電気ヒーターの効率を1.0、ヒートポンプのCOPを4.0、A重油のCO₂排出係数を0.0189t-C/GJ⁸⁾(0.0693kg-CO₂/MJ)、受電する電力会社のCO₂排出係数を0.447kg-CO₂/kWh⁹⁾と仮定する。暖房に必要な熱量が630,000MJ(1,750,000kWh)であることを想定すると、燃焼式暖房機のCO₂排出量は48,510kg-CO₂となるのに対して、ヒートポンプは19,556kg-CO₂であり、約60%ものCO₂を削減できることになる。一方、電気ヒーターのCO₂排出量は78,225kg-CO₂となり、燃焼式暖房機よりも約1.6倍、ヒートポンプの4倍のCO₂が排出される。

以上より、電気駆動方式のヒートポンプは他の暖房機器よりも一次エネルギーの消費とCO₂排出量が少なく、施設園芸の省エネと脱炭素化を進める上で最も有力な技術である。

3-5. 施設園芸にヒートポンプを適用するための課題

ヒートポンプの熱源には、空気熱源と水熱源がある。わが国で普及している空気熱源方式のヒートポンプは、大気から採熱できるという利点があるもが、外気温が低下すると大気中に含まれる水蒸気が室外の熱交換器に霜として付着するという問題がある。熱交換器に霜が付着すると、熱交換器の空気の流れが阻害されるため、熱交換器を温めて霜を融かさなければならない。この除霜運転(デフロスト)を行っている間は室内の暖房機能が停止するだけでなく、電力のみが消費される。特に、施設園芸では暖房負荷が深夜から明け方にかけて最大となるため、空気熱源方式では除霜運転が頻発し、設計通りの暖房性能が得られにくく、機器の導入費用も高いことから、ヒートポンプの普及率は全体の4%程度に止まっている³⁾。


一方、水熱源方式のヒートポンプは、地下水、農業用水、河川水、雑排水等が熱源となる。地中に採熱管を埋設して採熱する地中熱ヒートポンプもこの方式である。特に、地中の温度は年間を通して一定で、冬季は外気温よりも高く、夏季は外気温よりも低いいため、地中や地下水は良質な熱源である。また、地中熱ヒートポンプの最大の特徴として、厳寒条件でも地中や地下水から安定して採熱できることがある。地中熱ヒートポンプには、地中に埋設した熱交換器を介して採熱するクローズドループ方式と、貯水タンクに設置した熱交換器を介して採熱するオープンループ方式がある。農研機構は、農村地域の地中熱を利用する技術として、クローズドループ方式の地中熱源ヒートポンプ(以下、GSHP)と、オープンループ方式の地下水熱源ヒートポンプ(以下、WSHP)の研究を進めてきた。両者とも温度変化が少ない農地の地中や地下水が熱源となるため、空気熱源ヒート

ポンプのように熱交換器でデフロストを行う必要はなく、夜間の最低気温が -3.2°C の条件での COP は、空気熱源ヒートポンプ（以下、ASHP）は 3.0 であったのに対し、GSHP は 3.8、WSHP は 4.0 あることを示した¹⁰⁾

（表 1）。

しかし、GSHP と WSHP は農地の地中や地下水の中から年間を通して安定的かつ効率的に採熱できるという長所があるものの、熱交換器を埋設・設置するための工事費用が高く、その費用は導入する地域の土質や地下水位などの状況によって異なるという短所がある¹¹⁾。そのため、投資回収期間を算定しにくく、普及していないのが実状である。

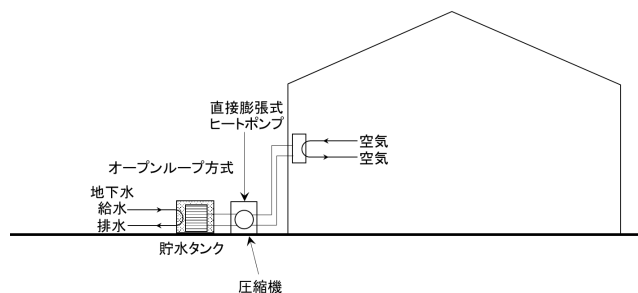
表 1 熱源の異なるヒートポンプの暖房特性(石井ら, 2016)

暖房方式	システム構成	構成概要	成績係数 (COP)	現地適用性
実証温室(既設)温風暖房機	 LPガス燃焼式暖房機	宮城県岩沼市 作目:キュウリ 面積:2160 m ² LPガス燃焼式暖房機 116 kW × 1 台 174 kW × 1 台	—	既設の燃焼式暖房機は補助暖房として使用。
空気熱源ヒートポンプ (ASHP)	 室外機 室内機	ヒートポンプ 暖房能力 28 kW × 2 台	3.0	夜間の気温が氷点下になると、デフロストが多発し、運転が不安定になる恐れあり。
地中熱源ヒートポンプ (GSHP)	 ポアホール シート型 室外機 室内機	ヒートポンプ 室外機 31.5 kW × 1 台 室内機 18 kW × 2 台 地中熱交換器 ポアホール 40 m深 シート型 1 m深	3.8	夜間の気温が氷点下でも安定運転が可能。設備の導入費用がこれの中で最も高い。
地下水熱源ヒートポンプ (WSHP)	 貯水タンク 室外機 室内機	ヒートポンプ 室外機 31.5 kW × 1 台 室内機 18 kW × 2 台 地下水熱交換器 シート型 貯水量: 340 L	4.5	夜間の気温が氷点下でも安定運転が可能。地下水が豊富な地域への適用性大。

実証地点(宮城県岩沼市), 実証時の最低気温(-3.2°C)

3-6. 施設園芸へのヒートポンプの普及を目指した新たな技術開発

農研機構では、COP が高いものの、工事費用が高いという地下水熱源ヒートポンプの弱点を克服するため、施設園芸用の新たな直接膨張式ヒートポンプを開発している¹²⁾。前述の地下水熱源ヒートポンプと類似するが、①室内機、②ヒートポンプ本体、③貯水タンク内に設置した熱交換器で構成される（図 3）。貯水タンクでは地下水と冷媒が循環する熱交換器の間で直接、熱交換が行われるため、これまでの地下水熱源ヒートポンプよりも装置が簡略化され、熱交換の効率も高くなっている。また、貯水タンクの地下水温は、ヒートポンプが採熱して水温が設定値よりも低くなると、地下水揚水ポンプを稼働させて給水し、水温が設定値になるとポンプを停止させる（図 11）。これにより、有限である地下水を過剰に汲み上げることなく、貯水タンクの水温を最適に制御している。冬季に実施した暖房試験では、外気温が -2°C の条件でも、新開発のヒートポンプは COP5.0 を上回る性能が得られている。



直接膨張式ヒートポンプの熱交換器

図 3 新たに開発したオープンループ方式の直接膨張式ヒートポンプの概要

3-7. おわりに

本稿では、施設園芸でのヒートポンプ利用の現状と課題として、燃焼式暖房機から電気駆動方式のヒートポンプへ代替が重要であることを述べた。また、施設園芸でヒートポンプの普及が進まない要因として、国内で普及する空気熱源方式のヒートポンプは外気温の低下とともにエネルギー消費効率が低下することや、除霜運転時には暖房機能が停止すること、地中熱源/地下水熱源方式は空気熱源方式よりもCOPは高いものの、工事費用が高いことなどの課題があることを、著者の観点や研究事例とともに述べた。これらの課題を解決するため、農研機構では施設園芸用の新たなヒートポンプの研究開発を進めていることを紹介した。紙面の関係から省略した点も少なくない。ご意見やご批判をいただければ幸いである。

謝辞

本研究の一部は、農林水産省委託プロジェクト研究「脱炭素型農業実現のためのパイロット研究プロジェクト (JPJ009819)」, 農林水産省スマート実証プロジェクト「JA 西三河いちご部会における生産から販売のデータ駆動一貫体系の実証」, 環境省地域共創・セクター横断型カーボンニュートラル技術開発・実証事業「施設園芸の脱炭素化に資するゼロエネルギーグリーンハウス (ZEG) の開発・実証」の補助を受けた。関係者各位に謝意を表す。

参考文献

- 1) 経済産業省資源エネルギー庁 (2022), 「令和3年度エネルギーに関する年次報告」(エネルギー白書2022), <https://www.enecho.meti.go.jp/about/whitepaper/2022/> (取得日: 2024年3月22日確認)
- 2) 経済産業省資源エネルギー庁 (2022), 2020年度総合エネルギー統計, https://www.enecho.meti.go.jp/statistics/total_energy/results.html#headline2 (取得日: 2024年3月22日確認)
- 3) 農林水産省 (2022), 園芸用施設の設置等の状況 (R2), https://www.maff.go.jp/j/seisan/ryutu/engei/sisetsu/haipura/setti_2.html (取得日: 2024年3月22日確認)
- 4) 農林水産省 (2021), みどりの食料システム戦略, <https://www.maff.go.jp/j/kanbo/kankyo/seisaku/midori/> (取得日: 2024年3月22日確認)
- 5) 農林水産省 (2022), 「みどりの食料システム戦略」KPI2030年目標の設定について(案), <https://www.maff.go.jp/j/council/seisaku/kikaku/goudou/attach/pdf/32-2.pdf> (取得日: 2024年3月22日確認)
- 6) 経済産業省資源エネルギー庁 (2024), 日本のエネルギー, https://www.enecho.meti.go.jp/about/pamphlet/pdf/energy_in_japan2023.pdf (取得日: 2024年3月22日確認)
- 7) 長谷川浩巳 (2009), 第2章 ヒートポンプによる地球温暖化防止 (施設園芸におけるヒートポンプの有効利用: 林真紀夫ら編著), 社団法人農業電化協会, 9-11.
- 8) 経済産業省・環境省 (2018), 特定排出者の事業活動に伴う温室効果ガスの排出量の算定に関する省令, <https://elaws.e-gov.go.jp/document?lawid=418M60001400003> (取得日: 2024年3月22日確認)
- 9) 環境省・経済産業省 (2022), 電気事業者別排出係数,

https://ghg-santeikohyo.env.go.jp/files/calc/r04_coefficient_rev.pdf（取得日：2024年3月22日確認）

- 10) 石井雅久・小池修・高橋正明・森山英樹・奥島里美・林真紀夫（2016），宮城県仙台県域での熱源の異なるヒートポンプの暖房特性，2016年度農業施設学会大会講演要旨，43-44.
- 11) 国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構農村工学研究部門，ハウス暖冷房に地中熱ヒートポンプの導入をお考えの皆様へ，
https://www.naro.go.jp/laboratory/nire/introduction/files/hp_guideline20170509.pdf（取得日：2024年3月22日確認）
- 12) 石井雅久・森山英樹・土屋遼太・奥島里美，オープンループ型直接膨張式ヒートポンプの暖房特性，2021年度農業施設学会大会講演要旨，オンライン.

令和5年度みどりの食料システム戦略実現技術開発・実証事業費補助金等のうち
スマート農業の総合推進対策のうちデータ駆動型農業の実践・展開支援事業
(スマートグリーンハウス展開推進)
事業報告書(別冊3)
最近の生産コストを反映し施設園芸経営収支のモデル分析事例集
および農業用ハウス設置コスト低減事例集

令和6年3月
一般社団法人日本施設園芸協会

〒103-0004 東京都中央区東日本橋3-6-17 山一ビル4階