

ISSN 2185-0437

# 山口県農林総合技術センター研究報告

第 17 号

令和 8 年（2026 年）3 月

BULLETIN OF THE YAMAGUCHI PREFECTURAL  
AGRICULTURE & FORESTRY GENERAL TECHNOLOGY CENTER

No.17

March 2026

Yamaguchi Prefectural Agriculture & Forestry General Technology Center

Mure, Hofu City, Yamaguchi Prefecture, Japan

山口県農林総合技術センター

山口県防府市牟礼 10318

山口農林総技セ研報

Bull. Yamaguchi Agri.

& For. Gen. Tech. Ctr.

# 山口県農林総合技術センター研究報告 第17号（令和8年3月）

## 目 次

1701	ワサビクダアザミウマの侵入経路の探索と防除対策 岩本 哲弥	1
1702	クリシギゾウムシの蒸熱処理による防除技術の開発 岩本 哲弥	10
1703	早期落葉を引き起こすダイズ褐色輪紋病に対する防除方法 小田 裕太	20
1704	傾斜地用簡易ドローンポートの開発およびこれを用いた架設器具の 撤収に係る工程調査結果 川元 裕・田戸 裕之・有國 秀頼・福本 太一	29
1705	ラジコン式伐倒作業車を使用した伐出作業の実証 川元 裕	41
1706	植栽デザインと多目的造林機械を用いた地拵え・植栽・下刈りの機械化 川元 裕・田戸 裕之・板屋 真一郎・河田 朋巳・高倉 知温	50
1707	地域資源飼料の給与が黒毛和種肥育牛の生産性及び収益性に及ぼす影響 大賀 友英・吉村 謙一・藤田 航平	64

山口県農林総合技術センター投稿規程

## ワサビクダアザミウマの侵入経路の探索と防除対策

岩本 哲弥

### *Liothrips wasabiae* Haga and Okajima Intrusion Routes and Pest Control Measures

IWAMOTO Tetsuhiro

Abstract: We investigated the occurrence of *Liothrips wasabiae* Haga and Okajima, field entry routes, invasion control methods, and the effects of insecticides on this species. In fields treated with dimethoate or ethyl thiomethone diazinon granules during the fall of 2014, no *L. wasabiae* was seen the following spring. In contrast, *L. wasabiae* was observed in the fields that were not treated with these insecticides. Invasion of overwintering adults from outside is low, therefore, it is highly probable that the source was overwintering larvae living in the soil within the field. The number of these parasites on wasabi was suppressed to approximately 30% when wasabi was covered with a red net. Blue- and yellow-sticky trap board attract low number of parasitic insects. Cyantraniprole and diazinon granules showed similar effect as dimethoate granules. Among the insecticides that can be used for field wasabi, nitenpyram aqueous solution has the highest insecticidal potency. Imidacloprid wettable powder suppressed feeding damage for a certain period, and etofenprox emulsion repelled *L. wasabiae*.

Keywords: red net to control pest invasion, invasion route, wasabi grown in the field, field in the forest, susceptibility to pesticides

キーワード： 赤色防虫ネット、侵入経路、畑わさび、林間畑、薬剤感受性

### 緒 言

ワサビクダアザミウマ *Liothrips wasabiae* Haga et Okajima (以下、ワサビクダと略)はクダアザミウマ科 *Phlaeothripidae*. に属するアザミウマ類で、わさび *Eutrema japonicum* (Miq.) Koidz. の重要害虫である。ワサビクダは日本のみに分布し、1967年に島根県で初めて発生が確認され(尾添、1971)、1972年には山口県、1973年には広島県で発生が確認された後(児玉ら、1978)、発生の拡大は確認されていなかった

が、2017年に静岡県沢わさびにおいて発生が確認された(松田ら、2018)。成虫は体長約3mm、体全体が黒色だが脚部先端のみ白色で、幼虫は体の大部分が鮮やかなオレンジ色だが、頭部と尾部先端、脚部の大部分が黒色である(第1図)。ワサビクダは年3回発生し、成虫、幼虫ともわさびの葉や根茎を食害する(石井・北村、1975、児玉ら、1978)。ワサビクダが食害したわさびの葉、茎、根はいずれも黒変してしまう(第2図)ため、わさびとしての商品価値を大幅に下げ、さらに1株当たりの加害虫数が多いとわさび株が枯死してし

まい、経済的な損失がさらに大きくなる。ワサビクダは28℃以上の高温では卵が孵化しない等、わさびの生育適温に近い温度帯に適応している(石井・北村, 1975、村井, 1982)。水生昆虫ではないため畑わさびでの発生が多いが、沢わさびでも水不足等で水深が浅くなると被害が発生する(松田ら、2018)。このような生態のため、山口県内では標高 400 m以上の山地の木陰等に設けられる林間畑での発生が多く、育苗や促成栽培が行われている低標高地のビニールハウス等ではほとんど発生は見られない。県内の林間畑は周辺に殺虫剤の希釈に用いる水源がないことが多く、加えて狭隘かつ傾斜が著しい林道や山道を通して林間畑まで水を運搬することも困難であるため、ワサビクダの防除には水を用いずに散布できるジメトエート粒剤(商品名:ジメトエート粒剤)及びエチルチオオメトン・ダイアジノン粒剤(商品名:エチメトン粒剤 6)が用いられていた。しかし、前者は2015年2月に適用作物からわさびが削除され、後者は製造中止になった。産地からはこれら薬剤の代替となる粒剤のわさびへの新規登録や既存登録薬剤のワサビクダに対する効果の知見についての研究要望が寄せられた。2019年になばな類に登録のある薬剤がわさびに使用できるようになったが、ワサビクダに登録のある薬剤はない。また、ワサビクダは分布域が非常に限られている上に、わさび以外の作物を加害しないため、生態に関する研究事例が少なく、ほ場への侵入経路等、生態について不明な点も多い。

そこで、ワサビクダの発生実態やほ場侵入経路等の生態について調査し、わさびに登録のなかった系統の薬剤を主体にワサビクダに対する効果を確認したので報告する。

試験の一部は農林水産省:革新的技術開発・緊急展開事業(地域戦略プロジェクト)の支援を受けて実施した。また、本試験を実施するにあたり、試験ほ場の提供等にご協力をいただいた山口県わさび生産者団体連絡協議会の皆様及び薬剤効果試験、倍量薬害試験、作物残留試験にご協力いただいた島根県農業技術センターの澤村信生専門研究員に謝辞を申し上げる。

## 材料及び方法

### 1 発生実態の確認

試験は、2015年6月に岩国市錦町及び南市鹿野の林間畑において行った。県内2産地から林間畑を所有する生産者を各4名選定し、林間畑及びその周辺におけるワサビクダの発生状況を調査した。また、生産者から各ほ場の防除状況を聞き取り調査した。

### 2 ほ場侵入経路の探索

試験は、2015年11月から2016年4月に岩国市錦町の林間畑(2015年11月定植)において行った。試験区は、定植直後の林間畑において、わさび株にワサビクダが寄生していないことを確認した後に、①防虫網(目合い95 μm)で被覆した区(以下、防虫網被覆区)、②何も被覆しなかった区(以下、無被覆区)を設けた(第3図)。1区の面積は防虫網被覆区が6.48 m<sup>2</sup>(5.4 m×1.2 m、株数34)、無被覆区が12.42 m<sup>2</sup>(10.35 m×1.2 m、株数69)とし、反復は設けなかった。調査は2016年4月5日に各区の全株についてワサビクダ越冬成虫数を、ヘッドルーペを用いて見取り調査した。



第1図 ワサビクダアザミウマの成虫及び幼虫(右上)



第2図 ワサビクダアザミウマの加害により黒変したわさび葉(左)と根茎部(右)



第3図 設置直後の無処理区(手前)と防虫網被覆区(奥)



第4図 赤色防虫ネットで被覆した水挿しわさび葉(左)と無処理の水挿しわさび葉(右)及びケージ(奥)

### 3 防虫ネットの侵入抑制効果(室内試験)

試験は、2017年2月に農林総合技術センター(山口市大内)の害虫実験室において行った。試験区は、水挿ししたわさび葉を①赤色防虫ネット(目合い0.8mm、商品名:サンサンネット e-レッド)で被覆した区(以下、赤色防虫ネット被覆区)、②被覆しなかった区(以下、無被覆区)を設け、それぞれ3反復とした(第4図)。両区ともそれぞれ別のケージに入れた後、ワサビクダ成虫を5頭ずつケージ内に放飼し、18°C・明期14時間・暗期10時間の恒温器内に静置した。24時間後に恒温器からケージを取り出し、各区のワサビ葉におけるワサビクダ成虫の寄生虫数を計数した。

### 4 青色及び黄色粘着板による誘引効果の確認

試験は、2015年10月7日から28日に岩国市錦町の林間畑(2014年秋定植、ワサビクダ発生確認済み)において行った。ほ場に青色粘着板3枚、黄色粘着板1枚(いずれも商品名:ホリバー)を地上高30cmに設置し、10月7日~28日に概ね7日間隔でワサビクダの誘殺数を調査した。

### 5 薬剤効果試験

#### 1) 2015年

試験は、2015年9月4日から10月9日に岩国市錦町の現地農家林間畑(2014年秋定植)において行った。試験区は、①シアントラニプロール粒剤(商品名:プリロッソ粒剤)9kg/10a区、②シアントラニプロール粒剤6kg/10a区、③ダイアジノン粒剤3kg/10a区、④アセタミプリト粒剤(商品名:モスピラン粒

剤)6kg/10a区、⑤ジメトエート粒剤6kg/10a区(参考)、⑥無処理区を設けた。1区は10株として3反復し、⑥を除く区の薬剤は9月4日に全面土壌散布した。調査は処理前(9月4日)、処理7日後(9月11日)、14日後(9月18日)、21日後(9月25日)、28日後(10月2日)、35日後(10月9日)にヘッドルーペを用いて各株の地上部に寄生しているワサビクダ成虫・幼虫数を調査し、日本植物防疫協会新農薬実用化試験の判定基準を用いて効果を判定した。

#### 2) 2016年

試験は、2016年5月12日から6月8日に岩国市錦町の林間畑(2015年11月定植)において行った。試験区は、①シアントラニプロール粒剤6kg/10a区、②ダイアジノン粒剤3kg/10a区、③アセタミプリト粒剤6kg/10a区、④ジメトエート粒剤6kg/10a区(参考)、⑤無処理区を設けた。1区は24株として3反復し、無処理区を除く区の薬剤は5月12日に全面土壌散布した。また、4月5日に約5頭/区、4月20日に約20頭/区のワサビクダ成虫を放飼した。調査は処理前(5月12日)、処理8日後(5月20日)、15日後(5月27日)、21日後(6月2日)、27日後(6月8日)にヘッドルーペを用いて各株の地上部に寄生しているワサビクダ成虫・幼虫数を調査し、2015年の試験と同様の方法で効果を判定した。

### 6 薬剤感受性検定(成虫)

試験は、2017年2月に農林総合技術センターの害虫実験室において行った。試験区は、①イミダクロブ



第5 図 透明プラスチックケース  
に入れた水挿しわさび葉

リド水和剤(商品名:アドマイヤー水和剤)4,000倍区、②ジノテフラン水溶剤(商品名:スタークル/アルバリン顆粒水溶剤)2,000倍区、③ニテンピラム水溶剤(商品名:ベストガード水溶剤)2,000倍区、④エトフェンプロックス乳剤(商品名:トレボン乳剤)2,000倍区、⑤無処理区を設け、各区とも3反復とした。薬剤はいずれも試験当時わさびに登録のある殺虫剤を選定したが、エトフェンプロックス粒剤はわさびに登録があることから、検定には代替として乳剤を用いて効果を調べた。所定の希釈液にわさび葉を15秒間浸漬し、乾燥させた後に水挿しにして16cm×8.5cm×3.5cmの透明プラスチックケースに入れた(第5図)。その後、ワサビクダ成虫5頭を放飼し、15℃・明期12時間・暗期12時間の恒温器内に静置した。翌日から放飼したワサビクダ成虫の生死を確認し、苦悶虫及び不明虫は死亡虫に含めた。わさび葉から離脱してプラスチックケースに移動したワサビクダ成虫は、調査時に面相筆を用いてわさび葉に戻した。

## 結 果

### 1 発生実態の確認

岩国市錦町、周南市鹿野のどちらにおいても、2014年秋にジメトエート粒剤やエチルチオメトン・ダイア

第1 表 現地ほ場におけるワサビクダアザミウマ  
の発生実態(2015年6月)

場 所	生産者	ほ場	防除	ワサビクダ発生		備 考	
				ほ場内	ほ場外		
岩国市錦町	A	①	×	◎	○		
		②	×	○	○		
		③	○	×	○		
	B	①	○	×	×		
	C	①	○	×	○		
		②	×	○	×		
		③	○	×	×		
	D	①	○	×	×		
	周南鹿野	W	①	×	○	×	無農薬栽培
		X	①	○	×	×	
		Y	①	△	△	×	春イミダクワドリ散布
			②	△	△	×	春イミダクワドリ散布
Z		①	○	×	○		
		②	○	△	×		

#### 防除状況の凡例

○:前年秋にジメトエート粒剤またはエチルチオメトン・ダイアジノン粒剤を散布

△:春にジメトエート粒剤、エチルチオメトン・ダイアジノン粒剤以外の殺虫剤を散布

×:無防除

#### 発生状況の凡例

◎:多発生、○:発生あり、△:被害痕のみ ×:発生無し

ジノン粒剤を用いてワサビクダの防除を行ったほ場においては、ワサビクダの発生は認められなかった。一方、前年秋にワサビクダの防除を実施していないほ場では、いずれもワサビクダの発生が認められた。また、ワサビクダに登録はないが、アブラムシに登録のあるイミダクワドリ水和剤を春に散布したほ場では、ワサビクダによる被害痕が葉茎に認められたものの、ワサビクダは認められなかった。ほ場内のワサビクダの防除状況に関わらず、ほ場周辺に自生しているわさび株でワサビクダの発生を確認した事例も認められた(第1表)。

### 2 ほ場侵入経路の探索

ワサビクダ越冬成虫の寄生株率及び当たり寄生虫数において、侵入を防止した防虫網被覆区と無被覆区に差は見られなかった(第2表)。

### 3 防虫ネットの侵入抑制効果(室内試験)

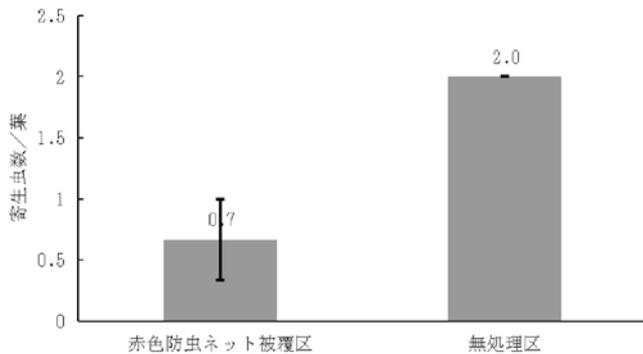
赤色防虫ネット被覆により、放飼24時間後のワサビ葉1枚当たりの寄生虫数が、無被覆と比較して約30%に抑制された(第6図)。

### 4 青色及び黄色粘着板による誘引効果の確認

青色粘着板、黄色粘着板ともワサビクダの誘殺は確

第2表 防虫網の有無による越冬成虫数の差(2016年4月)

区名	調査株数	寄生株数	株当たり虫数
		%	頭/株
防虫網被覆	34	2.94	0.0294
無被覆	69	2.90	0.0290



第6図 赤色防虫ネット被覆による侵入抑制効果

注：バーは標準誤差

認められなかった。

## 5 薬剤効果試験

### 1) 2015年

薬剤処理前におけるワサビクダ寄生虫数の区間差がやや大きく、全体的に多発生だったが、薬剤処理後、徐々に密度が低下する傾向が見られた。シアントラニプロール粒剤については、6 kg/10 a と 9 kg/10 a

どちらの区とも防除効果は認められなかった。ダイアジノン粒剤3 kg/10 a 区は参考薬剤のジメトエート粒剤区と同様に速効性が見られた。また、密度が大きく低下し、無処理区の虫数が最低発生虫数(成幼虫合計50頭)を超えた処理7日後(9月11日)の数値を用いて判定を行うと、無処理区と比較して防除効果が認められ、参考薬剤のジメトエート粒剤6 kg/10 a 区と比べて高い防除効果が認められた。アセタミプリド粒剤6 kg/10 a 区は処理21日後(9月25日)に最も密度が低下し、無処理区の虫数が最低発生虫数を超えていることから、この数値を用いて判定を行うと、無処理区と比較して防除効果が認められ、参考薬剤のジメトエート粒剤6 kg/10 a 区と比べて高い防除効果が認められた。しかし、処理35日後にはシアントラニプロール粒剤9 kg/10 a 区を除くすべての処理区において、補正密度が100以上になった(第3表)。

### 2) 2016年

無処理区の発生虫数が最も多く、無処理区の虫数が最低発生虫数を超えた処理21日後(6月2日)の数値を用いて判定を行った。シアントラニプロール粒剤6 kg/10 a 区は、無処理区と比較して防除効果が認められ、参考薬剤のジメトエート粒剤6 kg/10 a 区とほぼ同等の防除効果が認められた。ダイアジノン粒剤3 kg/10 a 区は、無処理区と比較して防除効果は認められるもののその程度は低く、ジメトエート粒剤6 kg/10 a 区と比較するとやや劣るものの防除効果が認められた。アセタミプリド粒剤6 kg/10 a 区は、無

第3表 現地ほ場における薬剤効果試験の結果(2015年)

供試薬剤	処理量 方法	虫数	処理前 (9/4)	処理7日後 (9/11)	処理14日後 (9/18)	処理21日後 (9/25)	処理28日後 (10/2)	処理35日後 (10/9)	葉害
シアントラニ プロール粒剤	9kg/10a ・散布	成虫	3	4	2	13	18	34	-
		幼虫	271	93	88	65	17	15	
		合計 (CR)	274 (-)	97 (83.7)	90 (185.4)	78 (75.5)	35 (64.5)	49 (61.4)	
シアントラニ プロール粒剤	6kg/10a ・散布	成虫	0	0	4	7	10	52	-
		幼虫	156	59	33	43	13	11	
		合計 (CR)	156 (-)	59 (89.4)	37 (133.9)	50 (85.0)	23 (62.9)	63 (138.6)	
ダイアジノン 粒剤	3kg/10a ・散布	成虫	1	0	0	10	9	38	-
		幼虫	96	6	4	5	3	2	
		合計 (CR)	97 (-)	6 (14.6)	4 (23.3)	15 (41.0)	12 (52.8)	40 (141.5)	
アセタミプリ ド粒剤	6kg/10a ・散布	成虫	4	4	3	10	18	62	-
		幼虫	197	69	29	11	3	6	
		合計 (CR)	201 (-)	73 (85.9)	32 (89.9)	21 (27.7)	21 (44.6)	68 (116.1)	
参)ジメト エート粒剤	6kg/10a ・散布	成虫	1	0	0	23	33	97	-
		幼虫	314	29	16	85	46	24	
		合計 (CR)	315 (-)	29 (21.8)	16 (28.7)	108 (90.9)	79 (107.0)	121 (131.8)	
無処理	-	成虫	1	3	2	20	32	46	-
		幼虫	174	71	29	46	9	5	
		合計 (CR)	175 (-)	74 (100)	31 (100)	66 (100)	41 (100)	51 (100)	

※ 30株当たり合計虫数。(CR)は補正密度指数。

処理区、ジメトエート粒剤 6 kg/10 a 区と比較して防除効果は認められなかった。いずれの区も薬害は認められなかった(第4表)。

### 6 薬剤感受性検定(成虫)

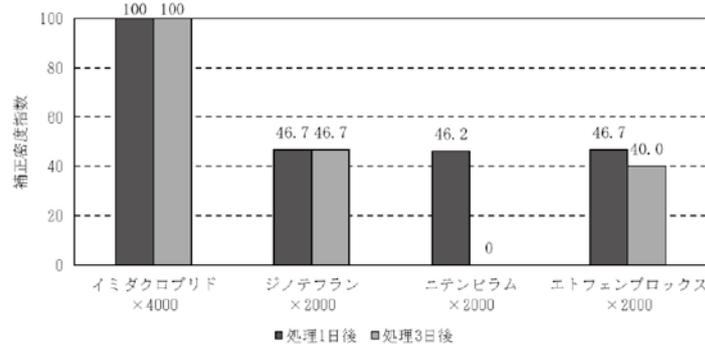
ニテンピラム水溶剤 2,000 倍区は処理 3 日後には供試虫が全て死亡した(第7図)。ジノテフラン水溶剤 2,000 倍区とエトフェンプロックス乳剤 2,000 倍区はどちらも処理 3 日後の補正密度指数が 40 前後で

あったが、後者の区では処理 7 日後まで生存虫が薬剤処理したわさび葉を忌避する傾向が見られた(第8図)。イミダクロプリド水和剤 4,000 倍区では死亡虫は見られなかったが、一定期間食害痕(黒変)の拡大が見られず、エトフェンプロックス乳剤ほどではないが処理葉を忌避する傾向も見られた(第9図)。

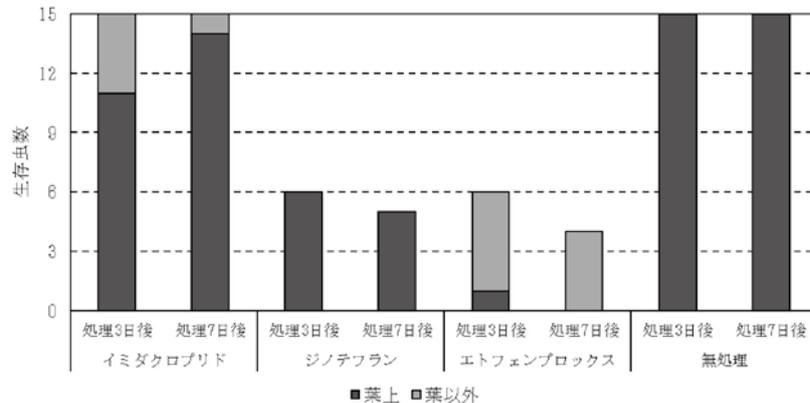
第4表 現地ほ場における薬剤効果試験の結果(2016年)

供試薬剤	処理量 方法	虫数	処理前 (5/12)	処理8日後 (5/20)	処理15日後 (5/27)	処理21日後 (6/2)	処理27日後 (6/8)	薬害
シアントラニ プロール粒剤	6kg/10a ・散布	成虫	38	27	15	3	6	-
		幼虫	0	3	5	23	34	
		<b>合計</b> <i>(CR)</i>	<b>38</b> <i>(-)</i>	<b>30</b> <i>(165.8)</i>	<b>20</b> <i>(50.2)</i>	<b>26</b> <i>(21.8)</i>	<b>40</b> <i>(40.2)</i>	
ダイアジノン 粒剤	3kg/10a ・散布	成虫	29	13	11	6	2	-
		幼虫	0	0	13	29	75	
		<b>合計</b> <i>(CR)</i>	<b>29</b> <i>(-)</i>	<b>13</b> <i>(94.1)</i>	<b>24</b> <i>(79.0)</i>	<b>35</b> <i>(38.4)</i>	<b>77</b> <i>(101.4)</i>	
アセタミプリ ド粒剤	6kg/10a ・散布	成虫	33	11	2	11	2	-
		幼虫	0	0	14	63	85	
		<b>合計</b> <i>(CR)</i>	<b>33</b> <i>(-)</i>	<b>11</b> <i>(70.0)</i>	<b>16</b> <i>(46.3)</i>	<b>74</b> <i>(71.3)</i>	<b>87</b> <i>(100.7)</i>	
参)ジメト エート粒剤	6kg/10a ・散布	成虫	21	7	6	2	3	-
		幼虫	0	0	5	16	25	
		<b>合計</b> <i>(CR)</i>	<b>21</b> <i>(-)</i>	<b>7</b> <i>(70.0)</i>	<b>11</b> <i>(50.0)</i>	<b>18</b> <i>(27.3)</i>	<b>28</b> <i>(50.9)</i>	
無処理	-	成虫	21	10	12	10	0	-
		幼虫	0	0	10	56	55	
		<b>合計</b> <i>(CR)</i>	<b>21</b> <i>(-)</i>	<b>10</b> <i>(100)</i>	<b>22</b> <i>(100)</i>	<b>66</b> <i>(100)</i>	<b>55</b> <i>(100)</i>	

※ 30株当たり合計虫数。(CR)は補正密度指数。



第7図 薬剤感受性検定(成虫)における補正密度指数



第8図 薬剤感受性検定(成虫)における葉上残存虫数

## 考 察

### 1 発生実態の確認

調査の結果から、ワサビクダの被害はジメトエート粒剤またはエチルチオメトン・ダイアジノン粒剤での防除により抑制されていたと考えられた。しかし、わさびほ場、特に林間畑及びその周辺でワサビクダの生息が確認されたことから、両薬剤が使用できなくなると被害が徐々に拡大する可能性がある。

### 2 ほ場侵入経路の探索

防虫ネット被覆試験の結果から、ほ場外からの越冬成虫の侵入は少なく、ほ場内の土壌中に生息する越冬成虫が発生源である可能性が高いと考えられる。このため、ワサビクダの防除には、ほ場内の土壌中に生息する越冬成虫の密度抑制、もしくはわさび株への寄生防止が効果的であると考えられる。

### 3 防虫ネットの侵入抑制効果(室内試験)

赤色防虫ネット被覆区におけるわさび葉 1 枚当たりの寄生虫数は、無処理区の約 30 %に留まった原因は以下のように考えられた。赤色防虫ネット被覆区において、ワサビクダ成虫がわさび葉に寄生が確認された区ではネットの継ぎ目部分に隙間が確認でき、わさび葉にワサビクダ成虫の寄生が確認できなかった区では、ネットの継ぎ目部分に隙間が確認できなかった

ことから、ネットの継ぎ目の隙間から侵入した可能性が高いと考えられた。以上から、0.8 mm目合いの防虫ネットはワサビクダ成虫に対して高い侵入抑制効果があると考えられる。注意点として、設置に際して防虫ネットを隙間なく設置することで、より効果を高められると考えられる。

### 4 青色および黄色粘着板による誘因効果の確認

ワサビクダの青色及び黄色粘着板への誘引性は低いと考えられる。このため、青色または黄色粘着板を発生予察や大量誘殺に利用することは困難と考えられる。

### 5 薬剤効果試験

#### 1) 2015 年

シアントラニプロール粒剤の効果は遅効的で、どちらの区も処理 28 日後に補正密度が最も低下したが 50 以下にはならなかった。散布前の寄生虫数が多かったシアントラニプロール粒剤区では根部を食害された株が多かったと考えられる。これらの区にはワサビクダの食害により萎縮状態になった株が複数含まれており、この被害が大きかった株では根部の被害のため植物体による有効成分吸収が不十分になり、シアントラニプロール粒剤の防除効果が十分に得られなかったと考えられる。一方、アセタミプリド粒剤の効果はシアントラニプロール粒剤と比較するとやや効果の発現



第9図 処理薬剤による食害痕の広がり方の差異

上段：処理4日後、下段：処理12日後

イミダクロプリド(左)、エトフェンプロックス(中央)、無処理(右)

が早く、処理 21 日後に補正密度が最も低下し、50 以下になった。有機リン系のダイアジノン粒剤とジメトエート粒剤は防除効果の発揮に植物体への吸収が必要ないため、被害が大きい株においても高い防除効果が得られたと考えられる。

## 2) 2016 年

シアントラニプロール粒剤についてはジメトエート粒剤と同等、ダイアジノン粒剤についてはジメトエート粒剤にはやや劣るが防除効果は認められた。この結果は 2015 年の試験とは異なるが、これは 2016 年の試験ほ場のワサビクダの発生虫数が前年と比べて少なく、わさび株の被害も少なかったため、有効成分が十分に吸収されたと考えられる。試験の結果から 2 剤とも効果は十分実用的であり、農薬登録が可能と考えられる。また、2 剤とも別途実施した倍量薬害試験および作物残留試験(シアントラニプロール粒剤のみ実施)においても、薬害や基準値を上回る残留値は確認されなかった(データ省略)。更に島根県において実施された薬剤効果試験、倍量薬害試験、作物残留試験においても問題は確認されなかった(データ省略)ことから、農薬適用拡大申請が行われ、2 剤とも 2019 年秋に畑わさびのワサビクダに登録拡大されている。シアントラニプロール粒剤については、その後「プリロソ粒剤」から有効成分に変更を加えずに防除効果を高める様に改良された「プリロソ粒剤オメガ」に販売が移行しており、2020 年 8 月に畑わさびのワサビクダに登録拡大されている。

## 6 薬剤感受性検定(成虫)

わさびに登録のある殺虫剤 4 剤の中で、ワサビクダ成虫に対して高い殺虫効果を示したのは、ニテンピラム水溶剤だった。一方、イミダクロプリド水和剤 4,000 倍区において食害痕が広がらなかったのは、イミダクロプリド水和剤に一定期間ワサビクダの摂食行動を抑制する効果があるためと推定される。2015 年秋の発生実態確認調査において、春にイミダクロプリド水和剤を散布したほ場で、ワサビクダによる食害痕が葉茎に認められたものの、ワサビクダは認められなかったのは、イミダクロプリド水和剤の忌避効果と食害抑制効果によると考えられる。イミダクロプリド水和剤に殺虫効果は認められなかったものの、この摂食抑制効果を利用することで被害の抑制も可能と考えられる。また、エトフェンプロックス乳剤については、生存虫

が薬剤処理したわさび葉を忌避する行動をとっていることから、ワサビクダを忌避させる効果があると考えられる。今後確認が必要だが、わさびに登録があるエトフェンプロックス粒剤でも同様の効果が得られる可能性もある。

2015 年の薬剤効果試験でも見られた様に、ワサビクダが多発生したわさび株では、粒剤では十分な防除効果が得られず、ワサビクダの密度が低下しない可能性がある。その場合は、薬剤感受性検定で効果が確認された薬剤を用いた他の害虫との同時防除を行うことで、被害を抑制できると考えられる。

## 摘 要

ワサビクダアザミウマの発生状況とほ場侵入経路、侵入抑制法、殺虫剤の効果について調査した。2014 年秋にジメトエート粒剤やエチルチオメトン・ダイアジノン粒剤を散布したほ場では、2015 年春にワサビクダの発生が認められなかったが、未散布ほ場では発生が認められた。ほ場外からの越冬成虫の侵入は少なく、ほ場内の土壌中に生息する越冬成幼虫が発生源である可能性が高い。赤色防虫ネット被覆により、わさびへの寄生虫数を無被覆の約 30%に抑制できた。青色及び黄色粘着板の誘引性は低いと考えられる。シアントラニプロール粒剤とダイアジノン粒剤には、ジメトエート粒剤と同等～やや劣る程度の防除効果が認められた。わさびに使用可能な殺虫剤の中ではニテンピラム水溶剤が最も殺虫効果が高く、イミダクロプリド水和剤には一定期間食害を抑制する効果があり、エトフェンプロックス乳剤にはワサビクダアザミウマを忌避させる効果があると考えられる。

## 引用文献

- 一般社団法人日本植物防疫協会 ホームページ 受託試験 試験方法  
[https://www.jpfa.or.jp/test/test\\_method](https://www.jpfa.or.jp/test/test_method) (2025 年 10 月 21 日現在)
- 石井卓爾・北村憲二 .1975 .ワサビクダアザミウマ *Liothrips sp.(Thysanoptera)* の生態と防除に関する研究-1-生活環と行動並びに防除法 .島根農試研報(13) : 12-29
- 児玉行・平松禮治・古谷扶美枝. 1978. ワサビクダアザミウマの防除と使用薬剤の残留および流出. 山口

農試研報(30) : 25-30

- 松田健太郎・西島卓也・杉山泰昭・古木孝典・佐々木  
大介・西東力. 2018. ワサビクダアザミウマ  
*Liothrips wasabiae* Haga & Okajima の中部地  
方からの新分布記録. 昆虫ニューシリーズ, 21:  
103-105
- 村井保. 1982. アザミウマ類の簡易飼育法. 植物防疫.  
36 : 82-85
- 尾添茂. 1971. ワサビ茎葉のスリップスによる黒斑被害  
と生育異常対策. 農業及園芸. 46 : 69 - 72

## クリシギゾウムシの蒸熱処理による防除技術の開発

岩本 哲弥

Controlling *Curculio sikkimensis* (Heller) Using High Moisture Hot Air

IWAMOTO Tetsuhiro

**Abstract:** We developed a technique for controlling *Curculio sikkimensis* (Heller) (chestnut weevils) and other chestnut pests using heat treatment with high moisture hot air. This treatment does not require the use of chemicals but uses hot air at 47°C for 40 min or at 48°C for 30 min to control chestnut weevils and *Cydia kurokoi* (Amsel). Under these conditions, the effect is equivalent to that of fumigation using methyl iodide. Additionally, no effect on the fruit luster was observed. Since the heating capacity of the hot air machine was improved, this method requires shorter treatment time compared with that of the previous heat treatment method. Moreover, this method possesses a treatment capacity almost equivalent to that of methyl iodide fumigation.

**Keywords:** Chestnut, *Cydia kurokoi* (Amsel), Methyl iodide fumigation

**キーワード:** クリ、クリミガ、ヨウ化メチルくん蒸

### 緒言

クリシギゾウムシ *Curculio sikkimensis* (Heller) (以下、クリシギと略)はクリミガ *Cydia kurokoi* (Amsel) と並び、クリ *Castanea crenata* Siebold et Zucc に大きな被害を与える果実害虫である。成虫は口吻を除いて体長約 8 mm、口吻は雄が約 5 mmに過ぎないのに対し、雌は約 8 mmと体長とほぼ同じ長さであることから、容易に雌雄を判別できる。体色はどちらも全体が光沢のある黒褐色で、口吻を除く全身が淡黄白色の体毛で覆われている(第1図)。クリシギは蛹で越冬し、8月上旬から10月上旬にかけて大半が成虫に羽化する。羽化から産卵までの約1か月間の行動については不明な点が多い。雌成虫は口吻を用いて穂を貫通して果実表面の鬼皮まで穿孔し、開けた穴の中に

産卵管を差し込んで産卵する。孵化した幼虫は表皮から果肉に食入して成長、産卵から約1か月で4齢まで成長する。この老熟幼虫は体長約12 mm、体色は全体が淡黄色で口器部は暗褐色である(第2図)。老熟幼虫は鬼皮に直径2~3 mmの円形の脱出孔を開けて果実外に脱出、土中に潜った後に土繭を形成して越冬、翌年春に蛹化する。雌成虫による産卵の開始は9月上旬以降であるため、9月後半頃に収穫する早生品種では産卵されても幼虫が成長する前に消費されることから問題になりにくい。一方、「岸根」に代表される晩生品種では消費者の手にクリ果実が渡った頃に老熟幼虫が脱出してくるため、クリシギの幼虫が残存している果実が消費者に届くとクレームに繋がる。このため、クリシギ等の果実害虫に対してはほぼ100%の防除価が求められる、しかし、立ち木での薬剤散布の防除効



第1 図 クリシギゾウムシの雌成虫



第2 図 クリシギゾウムシの幼虫(上)と被害果(下)

果は最大でも 90%程度である(黒木ら、1987)ことから、より効果の高い収穫後の臭化メチルくん蒸処理が行われていた。

山口県の代表的なクリ産地である岩国市美和町と美祿市西厚保においては、この果実害虫の防除に従来用いられてきた臭化メチルくん蒸処理に替わり、2014 年にヨウ化メチルくん蒸処理を新たに導入した。しかし、2016 年に使用していたヨウ化メチルボトル剤の国内唯一のメーカーが当剤の製造・販売を 2017 年で中止すると発表した。全国のクリ産地からの要望もあり、翌 2018 年に追加生産されたものの 2019 年には生産中止となった。ヨウ化メチル剤の有効期限は 3 年であり、2022 年以降くん蒸処理薬剤がなくなるため、早急に代替防除技術の探索等の対応が必要になった。

ヨウ化メチルくん蒸処理以外の防除方法としては、炭酸ガスくん蒸処理、温湯処理、氷蔵処理、蒸熱処理が開発されている。しかし、炭酸ガスくん蒸処理はクリ果実への影響を少なくするための処理庫が非常に高価なものになり、炭酸ガスは無味無臭であるため作業員が危険性を察知しづらい等の問題点がある(宮ノ下ら、2009)。温湯処理の処理施設は安価だが、果実表面のワックス層が温湯によって流失するため果実からつやが無くなり、常温ではカビが発生しやすくなることから、処理後直ちに通風乾燥を行った後に冷蔵保存する必要がある(二井ら、2014)。氷蔵処理はクリ果実への影響はないものの、他の処理方法と比較して殺虫効果がやや劣る上に、 $-2^{\circ}\text{C}$ で 3 ~4 週間という長期間処理しなければならないため、晩生品種では出荷が 11 月下旬以降までずれ込むという問題点がある(小林、

2014)。蒸熱処理については、 $49^{\circ}\text{C} \cdot 10$  分の蒸熱処理でクリシギに対する殺虫効果を得たと(一社)日本くん蒸技術協会は報告しているが、当時使用できる蒸熱処理機は大型かつ高価であったため実用化には至らず、現在協会にも具体的な記録は残っていない。その後、(国研)農研機構九州沖縄農業研究センターによってイチゴ苗のハダニ防除用に開発された小型かつ安価な簡易型蒸熱処理機が株FTH から販売されたが、これをクリの果実害虫防除に転用した場合の効果や処理に適した温度、加熱時間については不明な点が多かった。

そこで、簡易型蒸熱処理機を既存のヨウ化メチルくん蒸庫処理施設を利活用した防除技術の開発に 2020 年より取り組み、本試験の成果を取り入れて開発されたクリ用の改良型蒸熱処理機が 2024 年度に岩国市美和町の JA 選果場に導入され、その性能も確認することができたので併せて報告する。

本試験を実施するにあたり、ヨウ化メチルくん蒸処理施設の貸与および試験用果実の提供等にご協力をいただいた山口県農業協同組合岩国統括本部の皆様、簡易型蒸熱処理機の貸与と設置、クリ用の改良型蒸熱処理機の開発にご協力をいただいた株FTH の皆様に謝辞を申し上げる。

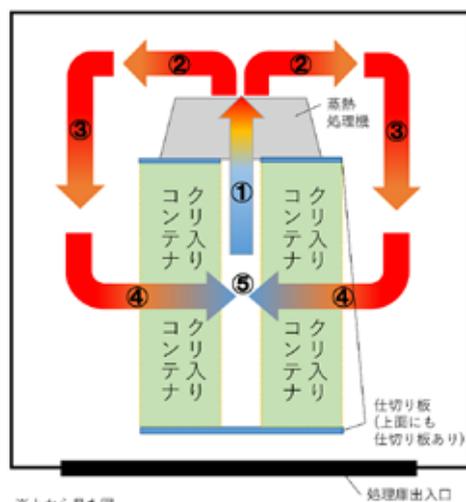
## 材料及び方法

蒸熱処理は電気ヒーターで加熱した空気に霧状の水を吹き付けて生成した熱気を吸気ファンにより断熱構造の室内に循環させ、熱気との接触時に起こる熱交換により対象物を加熱する技術である(第3 図)。本試

## クリシゴゾウムシの蒸熱処理による防除技術の開発

験では、(株)FTH製の簡易型蒸熱処理機(第4図)と岩国市美和町のヨウ化メチルくん蒸処理施設(第5図)を使用した。クリ果実は岩国市産の「岸根」を用い、ヨウ化メチルくん蒸と同様にコンテナに入れた状態で処理を行った。縦に4～5個積み上げたコンテナ段を蒸熱処理機の前に吸気口と同じ幅を開け、短辺側を蒸熱処理機に平行にして2つ並べた。このコンテナの積み上げを1セットとして、処理果実量によって2～3

セットのコンテナを並べた後に、コンテナの側面(長辺側)以外は仕切り板で塞いだ(第6図)。蒸熱処理機の果実表面温度測定用センサ(熱電対)は、結束バンドを用いてクリ果実に固定した後にコンテナの中央部に入れ、センサ付きの果実を入れたコンテナ段の中心付近に配置した。



- ①ファンでコンテナ間の空気を吸気し、電気ヒーターで加熱
- ②加熱した吸気に水を噴霧して熱気にする
- ③熱気が処理庫内を循環
- ④熱気がコンテナを通過する際に果実と熱交換を起こし、果実の温度が上がる
- ⑤熱交換によって低温になった空気がコンテナ間に戻る

第3図 蒸熱処理の仕組み



第4図 簡易型蒸熱処理機(左から本体前面、同裏面、制御盤、電動ポンプ)



第5図 ヨウ化メチルくん蒸処理施設(岩国市美和町)

## 1 クリにおける蒸熱処理技術の確立

### 1) 防除に適した規定温度と処理時間の解明

#### (1) 2020 年度

日本くん蒸技術協会の「49℃・10 分間の蒸熱処理でクリシギを防除できる」という報告から、2020 年度に 49℃(果実表面温度。以下同じ)・10 分処理を対照に、48℃・0 分(48℃に到達した時点で処理終了)、47℃・10 分、45℃・10 分、45℃・20 分の各処理について、クリシギ及びクリミガに対する防除効果を確認した。各温度の設定は、クリ果実のタンパク質が変性を起こす 50℃以下から、温湯処理において防除効果が得られていない 45℃の間にとした。いずれの処理とも 3 つのコンテナからそれぞれ 10 kgずつ計 30 kg抽出したクリ果実をガラス温室に約 1 か月半静置し、果実から脱出してくるクリシギ及びクリミガの幼虫数を計数して判定した。

#### (2) 2021 年度

2021 年度は前年度の結果を踏まえ、47℃・40 分、48℃・20 分、48℃・30 分の各処理について、前年度と同様の方法で防除効果を確認した。

### 2) 処理果実量と処理時間の関係

#### (1) 2020 年度

2020 年度は処理果実量を 200 kg とし、果実表面温度が 49℃に到達するまでの時間を計測した。温度の計測には、蒸熱処理機に付属している加温対象物表面温度測定用センサを用いた。コンテナにはクリ果実を 10 kgずつ入れ、熱気を確実に果実に当てるために果実のない上半分の側面部を養生テープで目張りを行った。処理に使用したコンテナ数は 20 個(5 段積み 2 列を 2 セット)だった(第 7 図)。

#### (2) 2021 年度

2021 年度は処理果実量を 320~480 kg に増やし、果実表面温度が 45~48℃に到達するまでの時間を計測した。コンテナには満載になるクリ果実 20 kg を入れ、上面にベニヤ板を敷いた輸送パレットの上にコンテナを積み上げた。このため、コンテナ段の積み上げは前年の 5 段から 4 段に減少した。使用したコンテナ数は 320 kg 処理時が 16 個(4 段積み 2 列を 2 セット)、480 kg 処理時が 24 個(4 段積み 2 列を 3 セット)だった(第 8 図)。

この 2 年分の試験データを用いて、47℃・40 分処理と 48℃・30 分処理における推定処理時間を処理果実量別に算出した。条件を揃えるため、加熱開始時の果実温度を 10℃に固定し、同じ処理果実量のデータの

みを用いて算出した。

### 3) 蒸熱処理によるクリ果実品質への影響

#### (1) 官能評価試験

2021 年度に、加熱に熱気を用いる関係上、温湯処理と同様に果実表面のつやの喪失やクリ果実への水分浸透による食味変化等が懸念されることから、果実の外観品質(つや)、粉質(しっとり~ホクホク)について官能評価を行った。無処理の果実を対照として、クリシギとクリミガに対する防除効果が高かった 47℃・40 分と 48℃・30 分処理した果実を供試した。ただし、粉質の評価には区別に塩ゆでした果実を用いた。調査対象者は農林総合技術センター関係者(23 名)とした。評価は中央値を 0 とした 5 段階とし、前者は「つやがある」を+2、「つやがない」を-2、後者は「しっとり」を+2、「ホクホク」を-2 として集計、Tukey 検定を用いて有意差を確認した。

#### (2) 保管試験・発芽試験

試験はどちらも(1)と同じ区の果実を用いて行った。保管試験は JA 選果場に併設されているクリ保管用冷蔵庫で行った。蒸熱処理の完了直後のコンテナ入りクリ果実 20 kg を 7 日間程度保管し、カビ等の発生の有無を確認した(反復なし)。

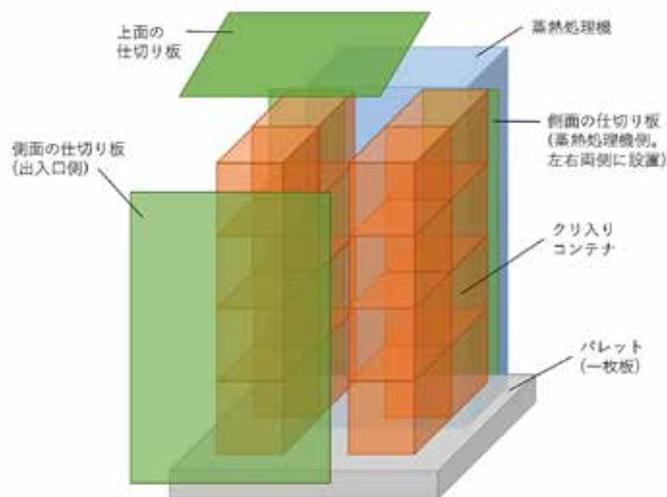
蒸熱処理によるクリ果実の発芽能力への影響を確認するため発芽試験を行った。2021 年 12 月 7 日に各区の果実 12 個をそれぞれ別のプランターに植えた後、プランターを網室に静置し、翌年 3 月 11 日に発芽状況を確認した(反復なし)。

## 2 効果的かつ効率的な蒸熱処理手順の確立

2022 年度に県農林水産事務所及び JA のクリ担当者と実際に蒸熱処理の作業を行いつつ蒸熱処理によるクリシギ防除の問題点を洗い出し、改善策を考案した。

## 3 改良型蒸熱処理機の性能確認

前述した改善策を盛り込んだ改良型蒸熱処理機の開発・製造を(株)FTH に依頼した。また、並行して岩国市美和町のヨウ化メチルくん蒸処理施設を蒸熱処理施設とするための改修も行われた。2024 年 9 月末に納入された改良型蒸熱処理機と蒸熱処理施設の性能を確認するため、10 月に 47℃・40 分処理を行った場合の果実表面温度の推移と処理時間の計測を行い、そのデータから推定処理時間を処理果実量別に算出した。1 の 2) と同様に、算出にあたっては条件を揃えるため、加



第6図 蒸熱処理におけるコンテナの配置



第7図 2020年度の蒸熱処理の様子(左：仕切り板設置前)と養生テープで目張りした側面(右)



第8図 2021年度の蒸熱処理の様子(仕切り板設置前)

熱開始時の果実温度を10℃に固定した。

## 結果及び考察

### 1 クリにおける蒸熱処理技術の確立

#### 1) 防除に適した規定温度と処理時間の解明

##### (1) 2020年度

2020年度の試験の結果、クリシギに対しては45℃・10分処理を除いて高い防除効果が得られたが、クリミガに対しては全ての処理区で十分な防除効果が得られなかった(第9図)。45℃・10分処理においてクリシギとクリミガともに無処理区と脱出幼虫数に差が見られなかったことから、蒸熱処理による45℃前後まで到達する程度の加熱では、これらの果実害虫に対して防除効果がほとんど得られないと考えられる。

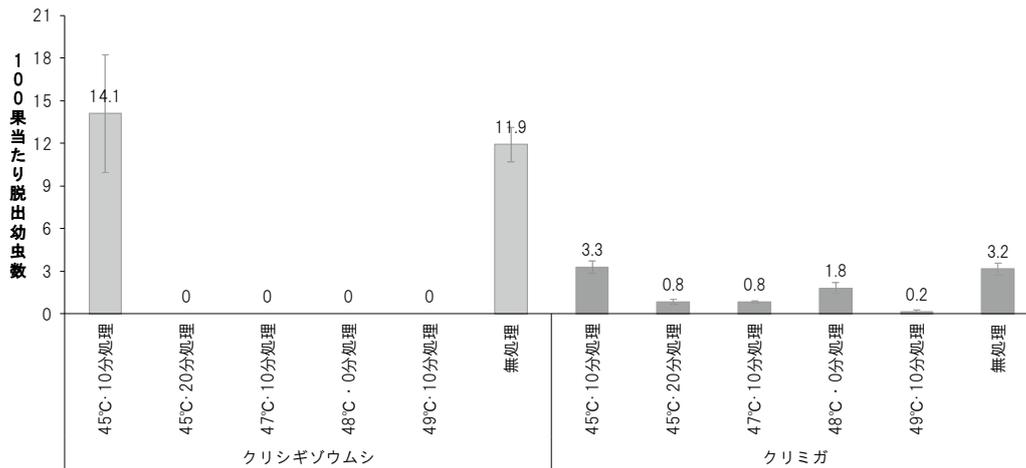
##### (2) 2021年度

2021年度の試験の結果、クリシギでは全ての処理区において脱出幼虫が認められず、クリミガでは48℃・20分処理区を除いて脱出幼虫が認められなかった(第10図)。

(1)、(2)の結果から、クリシギやクリミガ等を蒸熱処理で防除するには、高い防除効果が確認された47℃・40分処理または48℃・30分処理が適していると考えられる。

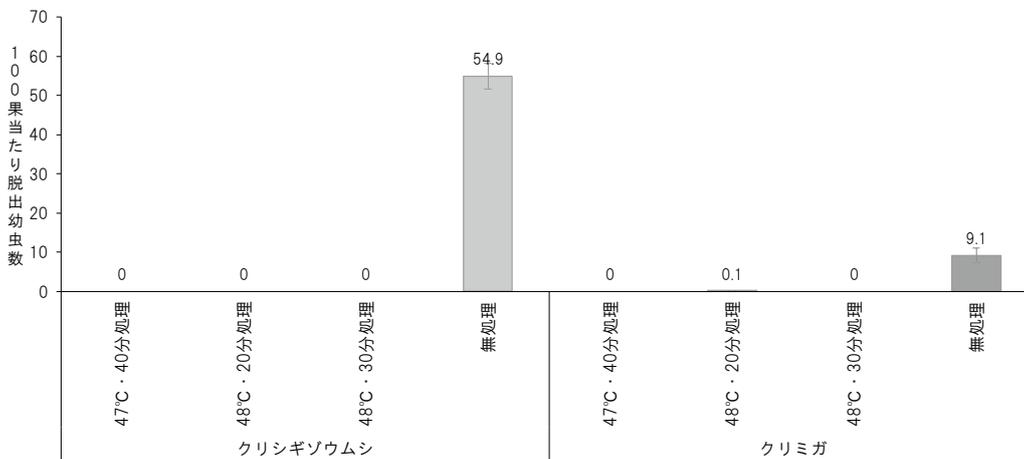
#### 2) 処理果実量と処理時間の関係

2年分の試験データから、処理果実量の増加に比例して果実表面温度の上昇に必要な時間が長くなることが明らかになった(第11図)。処理果実量別の47℃及び48℃までの到達時間の試算値にはどちらにも高い相関が見られ、相関係数は47℃が0.9998、48℃が



第9 図 蒸熱処理の果実害虫に対する防除効果(2020 年)

注) バーは標準誤差



第10 図 蒸熱処理の果実害虫に対する防除効果(2021 年)

注) バーは標準誤差

0.9968 だった。

この試験データから算出した47℃・40分処理と48℃・30分処理の推定処理時間から、処理果実量に関わらず総処理時間の短い47℃・40分処理の方が作業効率の点から見て適していると考えられる。

### 3) 蒸熱処理によるクリ果実品質への影響

#### (1) 官能評価試験

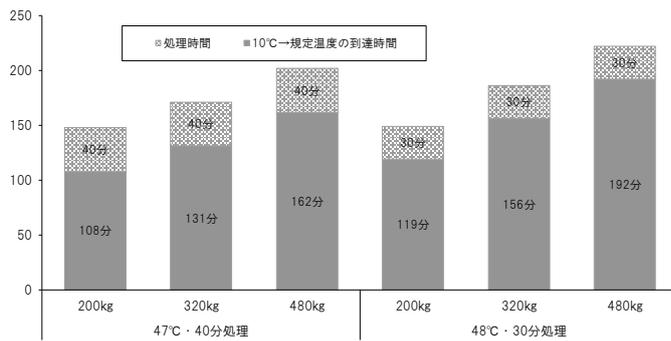
官能評価の結果、蒸熱処理を行った2つの区および無処理区の外観品質(つや)、粉質(しっとり～ホクホク)の両方について、有意差は認められなかった(第12図)。

この結果から、蒸熱処理による外観品質(つや)や粉質(しっとり～ホクホク)といったクリの果実品質に与える影響は小さいと考えられる。

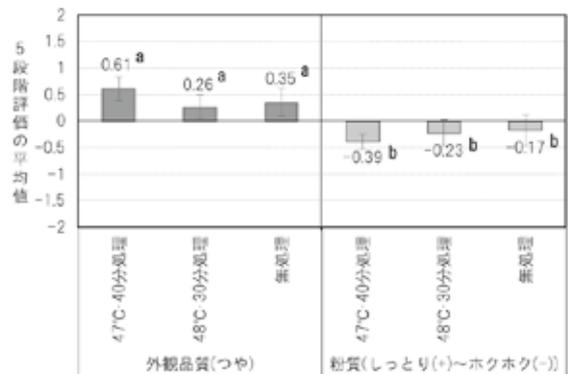
#### (2) 保管試験・発芽試験

冷蔵保管試験を行ったいずれの区においても、保管開始から約7日後の調査ではカビ等の発生は認められなかった。このことから、蒸熱処理終了直後から7日間程度の冷蔵保管では、カビの発生等による果実品質低下の可能性は低いと考えられる。

発芽数は47℃・40分処理区と48℃・30分処理区は共に12個中8個、無処理区は12個中6個だった。無処理区と比べて蒸熱処理を行った区の発芽数が多かったことから、蒸熱処理による種子組織の熱破壊はなく、発芽能力への影響はないと考えられる。ただし、無処理区の発芽開始が他の区より遅かったことから、蒸熱処理がクリ果実の休眠覚醒に影響を与えている可能性が考えられる。



第 11 図 処理果実量別の推定処理時間 (分)



第 12 図 蒸熱処理によるクリ果実品質への影響(官能評価)

注) ナーは標準誤差。同一文字間には Tukey 検定により  $P > 0.05$  水準で有意差がないことを示す

## 2 効果的かつ効率的な蒸熱処理手順の確立

効率的な処理方法の改善では、蒸熱処理機の吸気口と同じ幅のスペーサーをコンテナ間に挿入した上で、コンテナ上部をゴムバンドで固定するとフォークリフト運搬が安定すること、果実表面温度測定用センサの果実への固定には大型クリップを用いると容易に安定できること等を明らかにした(第 13 図)。

また、現状の蒸熱処理機に付属する噴霧ポンプはタンク式であるため、処理中にタンクへの給水作業が必要になることから、作業効率改善には噴霧ポンプを水道直結型にする必要があること、ヨウ化メチルくん蒸庫の改修については、排水及び防錆対策等が施設維持のために必要であることも明らかにした。現状の蒸熱処理機はヨウ化メチルくん蒸処理と比較して処理時間は同程度だが、最大処理果実量は 2 分の 1 の 24 コンテナ(=480 kg)と少なく、作業効率が劣るといった問題があった。作業効率の改善には最大処理果実量の増加と処理時間短縮が必須と考えられたことから、電気ヒーターと吸気ファンを強化した改良型蒸熱処理機が必要という結論に至った。メーカーに依頼した改良型蒸熱処理機は、ヨウ化メチルくん蒸処理と比較して最大処理果実量が 3 分の 2 (32 コンテナ=640 kg)にまで改善され、処理時間の短縮による作業効率の向上が見込まれた。

試験終了後に JA、農林水産事務所それぞれの担当者とは意見交換を行い、効率的な作業や防除効果の安定に必要な注意点等をまとめた蒸熱処理導入マニュアルを作成し、山口県農林総合技術センターのホームページにおいて公開した。

<https://www.pref.yamaguchi.lg.jp/uploaded/attachm ent/206258.pdf>

## 3 改良型蒸熱処理機の性能確認

改良型蒸熱処理機では電気ヒーターと吸気ファンがそれぞれ 2 連装に増設された(第 14 図)他、コンテナ設置面積増加のため噴霧ノズルの蒸熱処理施設壁面への移設、電動ポンプの大型化と水道直結、制御盤の集中化、処理状況表示灯の追加等、2 で指摘のあった点も含めた改修が施された(第 15 図)。

岩国市美和町のヨウ化メチルくん蒸処理施設の改修としては、不要になったヨウ化メチルくん蒸処理用装備(検知管挿入用及びガス排気用の配管、ヨウ化メチル気化用の加熱プレート、循環扇等)を撤去して排水設備を追加、ローラー等の金属部分の防錆処理等、こちらも 2 で指摘のあった点も含めた改修が行われた(第 16 図)。また、作業を容易にするため、設置したまま蒸熱処理が行える格子型スペーサー(第 17 図)、仕切り板に代わる固定用フック付きシート(第 18 図)、空コンテナや果実量が少ないコンテナ用のスチロール製詰め物(第 19 図)、果実をより固定しやすい幅広のクリ果実固定用大型クリップ(第 20 図)等が JA 選果場担当者らによって製作された。

算出された推定処理時間は、処理前の果実表面温度 10 °C、処理果実量 240 kg の条件では果実表面温度 47 °C 到達まで約 53 分、総処理時間 93 分であった。

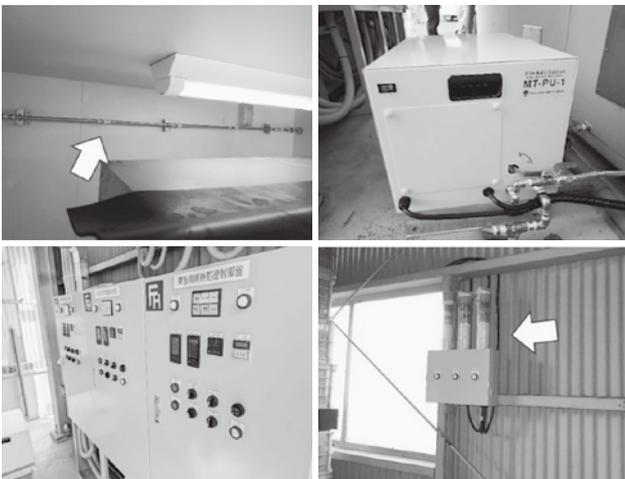
最大果実処理量の 640 kg に増やした場合、果実表面温度 47 °C 到達まで約 102 分、総処理時間 142 分となり、簡易型に比べ大幅な性能向上が確認された(第 21



第13 図 スペーサー(衣装ケースを使用)とゴムバンドにより固定したコンテナのフォークリフト輸送の様子(左)と果実固定用のクリップ(右:電線は果実表面温度測定用センサ)



第14 図 正面から見たクリ用の改良型蒸熱処理機(左:2連装吸気ファンが見える)と同機の裏面にある2連装電気ヒーター(右)



第15 図 壁面に移動した噴霧ノズル(左上)、水道直結した電動ポンプ(右上)、集中化した制御盤(左下)、新設された処理状況表示灯(右下)



第16 図 処理施設内に追加された排水溝と防錆処理済のローラー(左:撮影のため排水溝の蓋を壁に立掛け 壁面の金属板はヨウ化メチルくん蒸処理用装備の撤去跡)、処理施設外部に追加された排水管(右)



第17 図 パレット上にコンテナと並べた格子型スペーサー



第18 図 フック付きシートで被覆されたコンテナ(左:正面、右:側面)



図)。今回算出した改良型蒸熱処理機での推定処理時間と1の2)の結果で試算した蒸熱処理機での推定処理時間は同じ果実処理量ではないため直接比較することはできないが、蒸熱処理機を用いた場合の処理果実量と果実表面温度47℃までの到達時間には相関関係があり、近似式を用いることで処理果実量640kg時の果実表面温度47℃までの到達時間が試算できる。この試算値と比較すると改良型蒸熱処理機による果実表面温度47℃までの到達時間は概ね半分程度に短縮されると推定でき、改良型蒸熱処理機の高熱能力の向上が確認できた。また、処理果実量が640kgまで処理可能になったことに、加熱能力の向上と合わせることで、ヨウ化メチルくん蒸処理と作業効率が同等になったことが確認できた。

本研究によってクリの蒸熱処理技術が確立されたが、クリ用蒸熱処理機の導入費はかつての大型蒸熱処理機と比べれば安価ではあるものの、遮熱構造かつ排

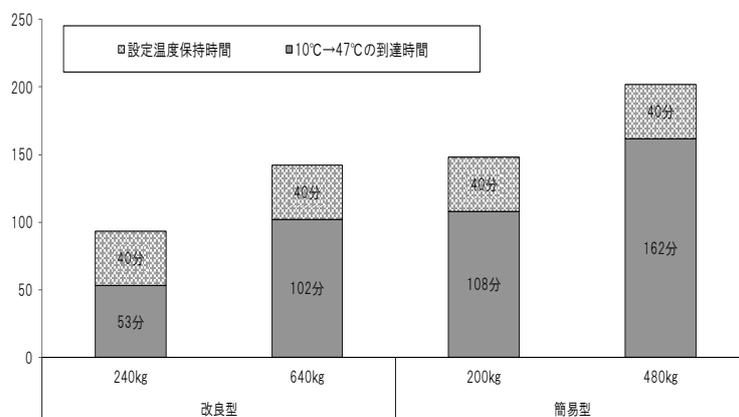
水設備を備えた処理施設が必要のため導入は容易ではない。一方、薬剤やガス検知管、ガスマスク等が不要なため、ランニングコストは機器や設備のメンテナンス費を除けば電気代と水道代程度で安価である。熱気の温度が50℃以下であることから作業員の安全性も高く、実際に運用するJA関係者から高く評価されている。2025年現在、岩国市美和町以外での導入は進んでいないが、ヨウ化メチルくん蒸処理施設、特にボトル剤に代わって実用化されたヨウ化メチルボンベ剤に対応したくん蒸施設であれば、岩国市美和町の事例のように蒸熱処理施設への改修は十分可能である。筆者としては、蒸熱処理の利点が広く認知され、既存のくん蒸施設に大規模な修繕が必要になった時などに、蒸熱処理を導入する産地が現れることを期待する次第である。



第19図 空コンテナ用の大型詰め物(左)とクリ果実不足コンテナ用の小型詰め物(右)



第20図 クリ果実固定用の大型クリップ (電線は果実表面温度測定センサ)



第21図 改良型蒸熱処理機の処理果実量別推定処理時間(分)

## 摘 要

蒸熱処理によるクリのクリシギゾウムシ等の防除技術を開発した。蒸熱処理は熱を利用した技術であるため、薬剤を必要としない。47°Cで40分間または48°Cで30分間蒸熱処理することで、クリシギゾウムシやクリミガを防除することができる。この条件での防除効果はヨウ化メチルくん蒸と同等であり、果実のつや等にも影響しない。47°Cで40分間処理した方が処理時間は短い。クリ用の改良型蒸熱処理機は加熱能力が向上しており、簡易型と比較して処理時間を短縮できる。従前のヨウ化メチルくん蒸処理とほぼ同等の処理能力を有する。

## 引用文献

- 二井清友・廣瀬敏晴・西口真嗣・川島誠蔵. 2014. 温湯処理技術の現状と問題点. 植物防疫. 68:226-230  
一般社団法人日本くん蒸技術協会 HP. 蒸熱消毒研究会  
[http://www.nikkunkyo.or.jp/development/steam\\_disinfection/](http://www.nikkunkyo.or.jp/development/steam_disinfection/) (令和7年9月30日現在)
- 小林正秀. 2014. 氷蔵によるクリシギゾウムシ駆除技術. 植物防疫. 68:231-236
- 黒木功令・児玉行. 1987. クリシギゾウムシの生態と立ち木防除. 山口農試研報. 39:67-75
- 宮ノ下明大・今村太郎. 2009. 高圧炭酸ガスを用いたクリシギゾウムシ殺虫技術. 植物防疫. 63:302-306
- 農研機構果樹茶業研究部門. 2017. 臭化メチル剤の全廃に伴うクリシギゾウムの代替防除技術について  
[https://www.naro.go.jp/publicity\\_report/publication/pamphlet/tech-pamph/074089.html](https://www.naro.go.jp/publicity_report/publication/pamphlet/tech-pamph/074089.html) (令和7年9月30日現在)

## 早期落葉を引き起こすダイズ褐色輪紋病に対する防除方法

小田 裕太

Control Methods for Target Spot of Soybean Causing Premature Defoliation

ODA Yuta

**Abstract:** To establish a disease management program for target spots of soybean, we analyzed the relationship between seed transmission and disease occurrence and examined seed treatment, cultural practices, and foliar fungicide sprays. The results showed that most brown discoloration observed on the cotyledons of seedlings grown from naturally infested seed lots was not the disease symptom, and actual disease incidence was low. Six fungicidal seed disinfectants registered to control soybean purple seed stains were highly effective to eradicate the disease when disease incidence was increased by seed inoculation. Additionally, intertillage with soil hilling to bury the symptomatic cotyledons suppressed disease development. Spray trials indicated that foliar applications reduced disease development and premature defoliation, improving yield and quality. It also showed that the optimal timing for spraying is approximately 22 days after flowering.

**Keywords:** seed transmission, seed treatment, foliar fungicide sprays, intertillage with soil hilling, premature defoliation

**キーワード:** 種子伝染、種子消毒法、薬剤防除法、中耕培土、早期落葉

### 緒 言

2017年に山口県内のダイズ産地で、例年よりも1か月以上早く、9月下旬ごろから落葉する現象(早期落葉)が各地で発生し、収量や品質の低下が問題となった。この早期落葉は糸状菌 *Corynespora cassiicola* (Berkeley & M. A. Curtis) C. T. Wei によるダイズ褐色輪紋病(以下、褐色輪紋病と称す)の多発生が原因であることが判明し、病原菌の基本的な生態も明らかとなった(角田ら, 2020)。本研究では本病の基本的な生態を踏まえた防除体系の確立のため、3種類の防除法(①種子消毒法、②耕種防除法、③薬剤防除法)について検討した。

ダイズ褐色輪紋病の病原菌は300種以上の植物に寄生する多犯性であり、キュウリ褐斑病やナス黒枯病などの原因菌と同種であることが報告されている(下元, 2013)。ダイズでは、初めに葉に赤褐色の小斑点が現れ(第1図)、これが拡大して大型の輪紋状病斑となるのが特徴である(Rondon and Lawrence, 2021、第2図)。病斑の周囲には黄色のハローを伴うことが多い。また、茎や葉柄にも感染して小斑点や紡錘形から筋状の病斑を生じ、莢では小斑点を生じる(第3図)。症状が進行すると通常の生理落葉を待たず早期落葉するため、収量に大きな影響を与える(Ribeiroら, 2017、角田ら, 2020、第4図)。また、本病は種子にも伝染し、発芽後の子葉にも病斑および孢子形成が認

められるため、保菌種子の持ち込みが第一次伝染源として重要と考えられる (Goulart and Utiamada, 2020, 角田ら, 2020)。

本病に対する防除法として、まず種子消毒法について、角田らは発病ほ場から採種した見かけ健全種子を用いて種子消毒剤の効果を検討しており、発芽後に子葉の褐変が確認された場合を本病の発病と判断し、薬剤の効果を判定したが、褐変部からは複数の糸状菌が検出され、褐変は他の病原菌等によるものもあること

から、再検討の必要性を提案している。そこで、新たに種子消毒剤の評価法を考案し、薬剤の効果を調査した (小田ら, 2023)。

次に、本病の耕種的防除については、本病の子葉における発病および胞子形成が認められることから、発病子葉が上位葉の伝染源となることが想定される。そこで、中耕培土によって子葉を土中に埋没させ、物理的に伝染源を封じ込めることによる防除効果を検討した (第5図)。



第1図 ダイズ褐色輪紋病の初期病斑



第2図 ダイズ褐色輪紋病の大型病斑



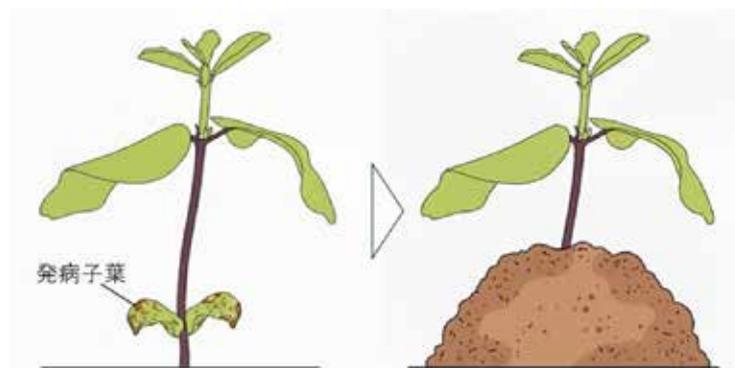
第3図 茎、葉柄および莢の病斑



第4図 早期落葉したダイズ株

(2025年10月15日)

左：早期落葉した重症株、右：健全株



第5図 中耕培土による子葉封じ込めの模式図

また、薬剤防除法について、角田ら（2020）はベンゾイミダゾール系剤、ストロビルリン系剤およびSDHI 剤についてポット試験を行い、効果を報告している。この成果を踏まえ、既報では栽培ほ場での効果的な散布の時期や回数について検討を行った（小田ら、2023）。

なお、著者らは本報の一部について学会で発表している。本報では、種子伝染についての新たな知見と耕種的防除法として中耕培土の有効性を確認したので既報の薬剤防除試験を加え、一連の防除体系として取りまとめた。

## 材料および方法

### 1 種子消毒法の検討

#### 1) 子葉の褐変と種子の *C. cassiicola* の保菌の関係解析

山口市大内の旧山口県農林総合技術センター（以下、旧センター）の褐色輪紋病多発ほ場から採種した見かけ健全種子（品種：「サチユタカ」）を用いて、2021年5月18日および6月2日に128穴セルトレイに個別に播種を行い、7日後に子葉の褐変を観察した（第6図）。培養土はヤンマー野菜養土（標準タイプ）を用い、温室内で育成した。褐変の認められた子葉はチャック付きポリ袋内の湿潤条件下に置き、褐変部の胞子を顕微鏡観察し、*C. cassiicola* が確認されたものを発病と判断した。

#### 2) 種子消毒剤の効果検討

種子は、旧センターのハウス内で栽培し、褐色輪紋病の発病が無い「サチユタカ」から採種したものを

いた。種子への接種は Ciampi-Guillard ら（2020）の方法に従った。具体的には、センター保存の D1-1 菌株を PDA 平板培地に移植し、菌叢がシャーレ全面を覆うまで 25℃で培養した。その菌叢上にダイズ種子を互いに重ならないように置き、25℃で24時間培養して菌を種子に感染させた（第7図）。薬剤はダイズの重要病害であるダイズ紫斑病との同時防除を想定し、ダイズ紫斑病に登録のあるチオファネートメチル水和剤（トップジンM水和剤）、ジエトフェンカルブ・チオファネートメチル水和剤（ゲッター水和剤）、チウラム・ベノミル水和剤（ベンレートT水和剤）、チウラム・チオファネートメチル水和剤（ホーマイ水和剤）、チアメトキサム・フルジオキサニル・メタラキシルM水和剤（クルーザーMAXX）、チウラム水和剤（キヒゲンR-2フロアブル）を供試した。接種種子をビニール袋に入れ、各薬剤を第1表に示す方法で均一に処理し、1-1)と同様の方法によって播種および子葉の観察を行った。褐変が認められた子葉を PDA 培地に置床し、褐色輪紋病菌が分離されたものを発病と判定した。



第6図 ダイズ子葉に認められた褐変



第7図 接種により保菌したダイズ種子

第1表 種子消毒剤の処理方法

薬剤名	処理方法	処理量
チオファネートメチル水和剤	粉衣	種子重量の0.5%
ジエトフェンカルブ・チオファネートメチル水和剤	粉衣	種子重量の0.5%
チウラム・ベノミル水和剤	粉衣	種子重量の0.4%
チウラム・チオファネートメチル水和剤	粉衣	種子重量の0.5%
チアメトキサム・フルジオキサニル・メタラキシルM水和剤	塗沫	種子1kgあたり8mL
チウラム水和剤	塗沫	種子1kgあたり20mL

## 2 耕種的防除法の検討

### 1) 中耕培土による発病抑制効果の検討 (2021 年)

種子は1-1)と同じものを用いた。2021年6月10日に旧センター内露地ほ場へ株間9cm、条間75cmで播種した。12m×15条の区を3区設定し、それぞれ中耕培土は1回とし、播種後15日、34日に実施する区および中耕培土を行わない無処理区とした。培土は子葉が完全に隠れる程度まで行った。発病調査は8月27日に1区あたり3か所実施した。1か所あたり10株の全複葉について、以下の基準によって発病葉率および発病度を算出した。0:発病なし、1:病斑面積率が0.9%以下、2:1~4%、3:5~24%、4:25~49%、5:50%以上。発病度=100×Σ(程度別発病葉数×指数) / (5×調査葉数)。

### 2) 中耕培土による発病抑制効果の検討 (2022 年)

種子は、旧センター内の褐色輪紋病多発生ほ場から採種した2021年産「サチユタカA1号」を用いた。2022年6月10日に、2-1)と同様の方法で播種した。試験区は中耕培土時期の異なる12m×15条の区を3区設定した。各区とも中耕培土は1回で、実施時期は播種後14日、播種後21日、播種後32日とした。同様に中耕培土をしない無処理区を設定した。発病調査は8月1日および16日に1区あたり3か所実施した。1か所あたり任意の30株について、株の上位、中位、下位から任意の葉1枚を選び、その先端小葉の発病を調査し、発病葉率および病斑面積率を算出した。病斑面積率はSoaresら(2009)の基準に従い、

小葉面積に占める病斑の面積を0、1、2、5、10、20、30、50(%)の8段階で調査し、全調査小葉の平均を算出した。

## 3 薬剤防除試験

2021年に原種として生産された「サチユタカA1号」を使用し、2022年6月10日に2-1)と同様の方法で播種した。供試薬剤としてピリベンカルブ水和剤(ファンタジスタフロアブル)、ジエトフェンカルブ・ベノミル水和剤(ニマイバー水和剤)を用い、これらの組み合わせによる体系防除を想定した試験区を作成した。ほ場での発病を促すため、*C. cassicola*の孢子懸濁液を $1.0 \times 10^4$ 個/mLに調製し、ポット栽培した実生ダイズに噴霧接種し、発病したものを7月22日にほ場へ約12m<sup>2</sup>あたり1株移植した。散布は開花期(7月27日)、開花後22日(8月18日)、開花後42日(9月7日)の3回の防除時期を設け、第2表に示すとおり試験区ごとに散布日、散布回数を変えて実施した。F0区:開花期、F22区:開花後22日、F0+F22区:開花期および開花後22日、F0+F22+F42区:開花期、開花後22日および開花後42日、無処理区:散布なしの5処理区を設けた。試験は1区50m<sup>2</sup>の3連刺とした。薬剤散布は肩掛け式の動力噴霧器を用いた。発病調査は8月3日、8月25日、9月16日に実施し、1区あたり任意の30株について2-2)と同様の方法により行った。落葉率は9月26日に各区任意の10株について、主茎の上位10節の生葉数および上位

第2表 薬剤散布試験の散布時期と薬剤 (2022年)

試験区	開花期 7/27	開花後22日 8/18	開花後42日 9/7
F0区	ピリベンカルブ水和剤	—	—
F22区	—	ジエトフェンカルブ・ ベノミル水和剤	—
F0+F22区	ピリベンカルブ水和剤	ジエトフェンカルブ・ ベノミル水和剤	—
F0+F22+F42区	ピリベンカルブ水和剤	ジエトフェンカルブ・ ベノミル水和剤	ピリベンカルブ水和剤
無処理区	—	—	—

注) 表は各試験区の薬剤散布日および使用した薬剤を示す

F0区は開花期、F22区は開花後22日、F0+F22区は開花期および開花後22日、F0+F22+F42区は開花期、開花後22日および開花後42日に散布を実施し、無処理区は散布を実施しなかった

—は薬剤散布が無いことを示す

10 節から伸びた分枝の生葉数を数え、節数 (10+全調査分枝の節数) で割った数を 100 から引いて算出した。10 月 19 日に 1 区あたり 60 株の地際を切り取り、株ごと収穫した。収穫したダイズはハウス内での乾燥後に脱穀し、ダイズの粒径別に 6.7 mm 径、7.3 mm 径および 7.9 mm 径のふるいにかかけ、粒径別の収量を調査した。

## 結 果

### 1 種子消毒法の検討

#### 1) 子葉の褐変と種子の *C. cassiicola* の保菌の関係解析

いずれの播種期とも子葉に褐変の認められた株の割合は 40 %程度と高かった (第 3 表)。褐変部からは褐色輪紋病菌のほか、*Alternaria* 属菌や *Fusarium* 属菌なども確認され、菌が確認されない場合もあった (データ省略)。褐色輪紋病菌が確認されたのは全調査株の 1.0~2.4%であり、褐変率と比べて著しく低かった。

#### 2) 種子消毒剤の効果検討

無処理区 (接種種子) の発病株率は 86.9%となった一方、供試した各薬剤での発病株率は 0~2.2%と低く、発病が抑制された (第 8 図)。

### 2 耕種的防除法の検討

#### 1) 中耕培土による発病抑制効果の検討 (2021 年)

無処理区では発病葉率が 60%を超え、発病度が最も高くなった。一方で、中耕培土を実施した区は播種後 15 日、播種後 34 日とも発病葉率、発病度ともに低くなった (第 4 表)。

#### 2) 中耕培土による発病抑制効果の検討 (2022 年)

8 月 1 日に発病が認められたのは主に下位葉で、病斑面積率は 0.2~0.5%であった (第 5 表)。中位葉で

もわずかに発病が認められ、上位葉には発病が見られなかった。無処理区の発病が最も多く、播種後 14 日または 21 日に中耕培土を行った区では、発病葉率は無処理区と比べて低くなった。

8 月 16 日には下位葉および中位葉で病斑が拡大したが、上位葉はほとんど発病していなかった (第 6 表)。下位葉では各区とも 90%以上が発病していたが、中位葉では中耕培土を行ったいずれの区も、発病葉率は無処理区より低くなった。

### 3 薬剤散布試験

8 月 3 日の調査時にはどの区もわずかな発病が認められ、9 月 16 日の最終調査時には無処理区の発病葉率が 100%となった (データ省略)。試験区の中では F22 区、F0+F22 区および F0+F22+F42 区の効果が高かった。F0 区は無処理区よりも発病が少なくなったが、他の散布区よりは発病が多かった (第 9 図)。9 月 26 日時点での落葉率を調査した結果、無処理区では落葉率が 74%であり、薬剤散布区は落葉率が 60%以下となった (第 10 図)。また、収穫物を調査したところ、薬剤散布を行った区は無処理区に比べ粒径が大きくなり、収量が向上した (第 11 図)。

## 考 察

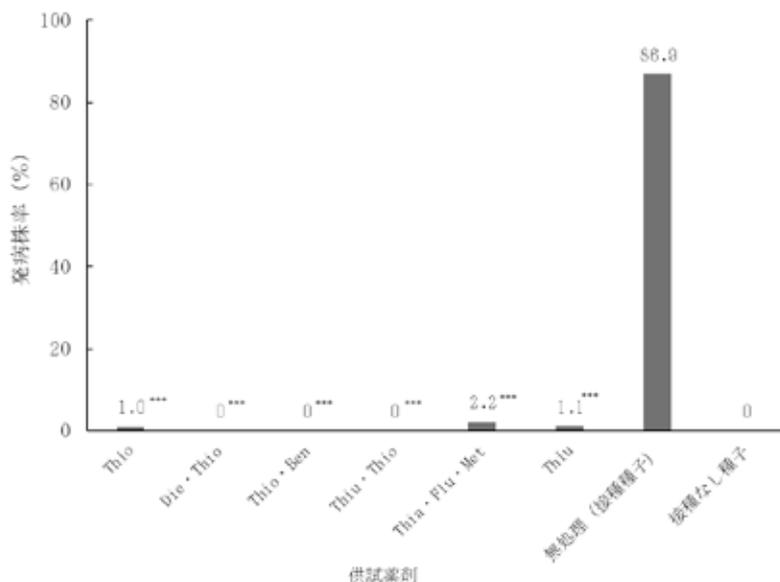
種子消毒法について、角田ら (2020) は褐色輪紋病を接種し発病させたほ場から採種した見かけ健全種子を用いて種子消毒剤の効果を評価した。保菌率については、種子を素寒天平板培地へ置床する方法によって褐色輪紋病菌を分離し、その保菌率が 2.0~4.0%であったと報告した。一方、見かけ健全種子の発芽後、子葉に褐変が見られた株の割合は 51~89%であり、子葉の褐変が褐色輪紋病によるものと言い切れないとも報告している。本研究で、褐色輪紋病の多発ほ場から採

第 3 表 褐色輪紋病の発病ほ場から採種したダイズの子葉の発病と保菌率

播種日	調査日	播種数	発芽数	褐変が認められた株数 (割合 (%) <sup>1)</sup>	褐色輪紋病菌の検出株数 <sup>2</sup> (割合 (%) <sup>1)</sup>
5月18日	5月25日	640	627	252 (40.2)	15 (2.4)
6月2日	6月9日	512	508	215 (42.3)	5 (1.0)

<sup>1)</sup> 発芽数に対する割合

<sup>2)</sup> 褐変部に *C. cassiicola* の胞子が確認されたもの



第8 図 接種種子における種子消毒剤の効果

子葉の褐変部から *C. cassiicola* が分離されたものを発病と判定した

\*\*\*は無処理との比較において有意差 (p<0.001, Bonferroni 補正済み, fisher の正確検定) があることを示す (接種なし種子は統計解析対象外)

Thio : チオファネートメチル水和剤

Die-Thio : ジエトフェンカルブ・チオファネートメチル水和剤

Thio-Ben : チオファネートメチル・ベノミル水和剤

Thiu-Thio : チウラム・チオファネートメチル水和剤

Thia-Flu-Met : チアメトキサム・フルジオキシニル・メタラキシルM水和剤、Thiu : チウラム水和剤

第4 表 中耕培土の時期と褐色輪紋病の発病の関係 (2021 年)

中耕培土時期	発病葉率 (%)	発病度
播種後15日	37.8***	9.2***
播種後34日	39.8***	11.3***
無処理	62.6	16.5

播種 : 6 月 10 日、調査 : 8 月 27 日

調査基準 : 0 : 発病なし、1 : 病斑面積率が 0.9 %以下、2 : // 1~4 %、3 : // 5~24 %、4 : // 25~49 %、5 : // 50 %以上  
 発病葉率=100×発病葉数/調査葉数

発病度=100×Σ (程度別発病葉数×指数) / (5×調査葉数)

\*\*\*は無処理との比較において有意差 (p<0.001, Bonferroni 補正済み, Wilcoxon 検定) があることを示す

第5 表 中耕時期と褐色輪紋病の発病位置の関係(2022 年 8 月 1 日調査)

中耕時期	下位葉		中位葉		上位葉	
	発病葉率 (%)	病斑面積率 (%)	発病葉率 (%)	病斑面積率 (%)	発病葉率 (%)	病斑面積率 (%)
播種後14日	23.3**	0.3	3.3 <sup>n. s.</sup>	0.0	0	0
播種後21日	22.2**	0.2	3.3 <sup>n. s.</sup>	0.0	0	0
播種後32日	28.9 <sup>n. s.</sup>	0.3	2.2 <sup>n. s.</sup>	0.0	0	0
無処理	44.4	0.5	8.9	0.1	0	0

播種 : 6 月 10 日、発病葉率=100×発病葉数/調査葉数

病斑面積率 : 0、1、2、5、10、20、30、50 (%) の 8 段階の基準で調査し平均を算出

\*は無処理との比較において有意差 (Bonferroni 補正済み, カイ二乗検定による比率の差の検定) があることを示す

\*:p<0.05, \*\*:p<0.01, \*\*\*:p<0.001, n. s. :p>0.05

第6表 中耕時期と褐色輪紋病の発病位置の関係(2022年8月16日調査)

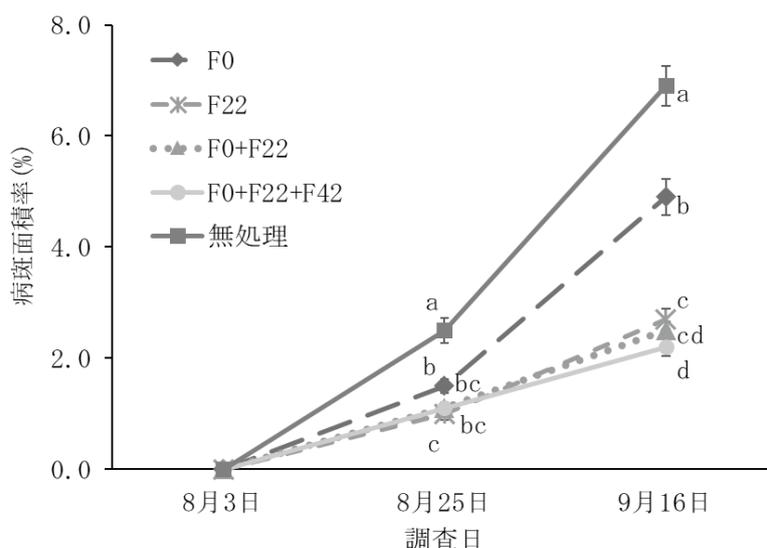
中耕時期	下位葉		中位葉		上位葉	
	発病葉率(%)	病斑面積率(%)	発病葉率(%)	病斑面積率(%)	発病葉率(%)	病斑面積率(%)
播種後14日	91.1 <sup>n.s.</sup>	1.8	23.3 <sup>***</sup>	0.3	2.6 <sup>n.s.</sup>	0
播種後21日	90.0 <sup>n.s.</sup>	1.5	38.9 <sup>*</sup>	0.4	2.6 <sup>n.s.</sup>	0.1
播種後32日	96.7 <sup>n.s.</sup>	2.0	31.1 <sup>***</sup>	0.4	0.7 <sup>n.s.</sup>	0
無処理	95.6	1.7	58.9	0.8	3.7	0.1

播種：6月10日、発病葉率=100×発病葉数/調査葉数

病斑面積率：0、1、2、5、10、20、30、50(%)の8段階の基準で調査し平均を算出

\*は無処理との比較において有意差(Bonferroni補正済み, カイ二乗検定による比率の差の検定)があることを示す

\*:p<0.05, \*\*:p<0.01, \*\*\*:p<0.001, n.s.:p>0.05

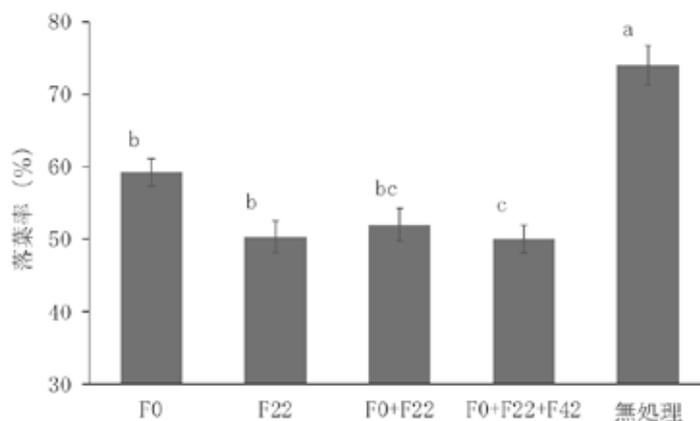


第9図 異なる薬剤散布時期・回数におけるダイズ褐色輪紋病の発病の推移(2022年)

播種：6月10日、開花期：7月27日、噴霧接種により発病したポット栽培ダイズを7月22日にほ場へ移植し、発病を促した  
病斑面積率：0、1、2、5、10、20、30、50(%)の8段階の基準で調査し平均を算出

異なるアルファベットは有意差(p<0.05, Bonferroni補正済み, Kruskal-Wallis検定後のDunn多重比較検定)があることを示す

F0:開花期散布, F22:開花後22日散布, F0+F22:開花期+開花後22日散布, F0+F22+F42:開花期+開花後22日+開花後42日



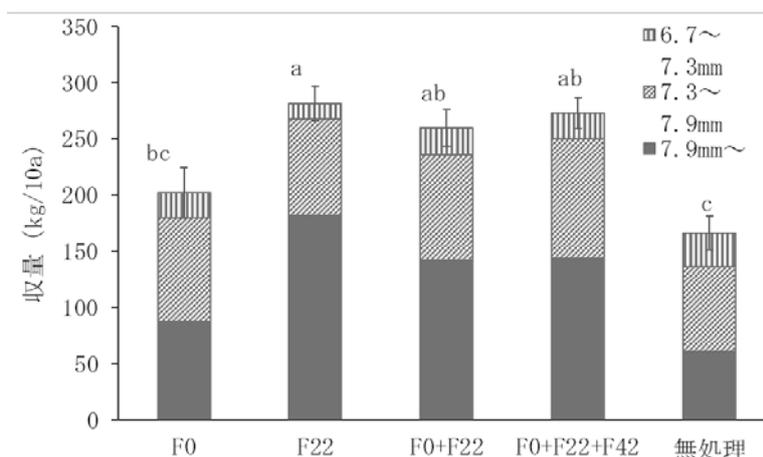
第10図 異なる薬剤散布時期・回数におけるダイズの落葉率(2022年)

播種：6月10日、開花期：7月27日、調査日：9月26日

落葉率=100 - 100×生葉数/調査節数、エラーバーは標準誤差を表す

異なるアルファベットは有意差(p<0.05, Bonferroni補正済み, Kruskal-Wallis検定後のDunn多重比較検定)があることを示す

F0:開花期散布, F22:開花後22日散布, F0+F22:開花期+開花後22日散布, F0+F22+F42:開花期+開花後22日+開花後42日散布



第11 図 異なる薬剤散布時期・回数におけるダイズ収量 (2022年)

播種: 6月10日、開花期: 7月27日、収穫日: 10月19日

エラーバーは標準誤差を表す

異なるアルファベットは有意差 ( $p < 0.05$ , 一元配置分散分析後の Tukey's HSD 多重比較検定) があることを示す

F0: 開花期散布、F22: 開花期後22日散布、F0+F22: 開花期+開花期後22日散布、F0+F22+F42: 開花期+開花期後22日+開花期後42日散布

種した種子を発芽させて調査した結果、約40%の株に子葉の褐変が認められたが、そのほとんどからは褐色輪紋病菌が確認されず、実際の保菌率は1.0~2.4%で既報と同程度であった。このことから、褐変の多くは褐色輪紋病の病徴とはいえないという結果が得られたため、*C. cassiicola* の保菌種子の発病を判定する際に子葉の褐変を指標とするのは不適當である。よって、種子消毒剤の効果を評価するには、標徴と病原菌の確認が必要と考えられる。これまでの調査から、多発ほ場での種子伝染率が数%であるため、自然に保菌した種子を用いる場合、種子消毒剤の防除効果の評価には大量の種子が必要となる。そこで、本研究では効率的な薬剤効果の評価方法を検討した。接種によって保菌種子を作成したところ、そのほとんどが発芽し、*C. cassiicola* による発病率は約87%と高く、薬剤の防除効果を評価するには十分と考えられた。紫斑病に登録がある種子消毒剤を処理した場合、供試した6剤すべてが有意に高い防除効果を示し、初期発病の対策として有効であると考えられる。

中耕培土による防除効果を検討したところ、2021年の試験では中耕培土の時期が播種後15日、34日のいずれであっても発病が有意に少なくなり、中耕培土による発病抑制効果が示唆された。また、2022年の試験において、下位葉を中心に発病し始めた時期(8月1日)では、中耕培土の実施が播種後14日および播種後21日の区で、無処理と比べて発病が有意に少なく

なった。播種後32日に中耕培土を実施した区は無処理より発病は少なかったが、有意差は認められなかった。2回目の調査時(8月16日)には下位葉のほとんどが発病し、どの区も無処理との差は認められなかったが、中位葉では、中耕培土を実施した区はいずれも無処理と比べて発病が有意に少なくなった。はじめ下位葉での発病が抑制されたため、中位葉への進展も抑えられたと考えられる。以上の結果から、播種後1か月程度までの中耕培土の実施が発病の抑制に有効であると考えられる。

効果的な薬剤散布の時期・回数を検討したところ、いずれの散布時期でも葉の発病に対する防除効果を示した。特に、開花期後22日のジエトフェンカルブ・ベノミル水和剤散布を含む3試験区(F22区、F0+F22区、F0+F22+F42区)で防除効果は顕著であった。これらの試験区は、散布1週間後である8月25日の時点で無処理区と比べて発病が有意に少なくなっており、この時期の散布が有効であったと推察される。開花期にピリベンカルブ水和剤を1回散布したF0区は、8月25日には他の試験区と同様に防除効果が認められたが、そこから9月16日にかけては無処理区と同様に発病が増加していることから、残効は散布から1か月程度と考えられる。また、薬剤散布を行ったいずれの区においても無処理区と比べて落葉率が低下しており、薬剤散布によって早期落葉が抑制できると考えられる。さらに、上記の開花期後22日散布を含む3試験区は収

穫物の粒径が大きくなり、収量の大幅な向上が認められた。現在、ダイズ褐色輪紋病に登録のある薬剤はダイズ紫斑病にも登録があるため、同時防除が可能である。したがって、本病の防除においては開花後 22 日頃（若莢期）の紫斑病との同時防除が効果的であり、早期落葉の防止と収量の向上が期待できる。

以上のように、本病の防除は健全種子の確保から生育期の防除が重要である。発病は場からの採種は控え、保菌が疑われる場合はダイズ紫斑病防除を兼ねて種子消毒剤によって種子伝染の対策を行う。中耕培土を確実に実施し、生育期の防除としては、開花後 22 日頃に紫斑病と同時防除を行うと効果的である。

## 摘 要

ダイズ褐色輪紋病に対する防除体系確立のため、本病の種子伝染と発病の関係を解析し、種子消毒法、耕種的防除法、薬剤防除法について検討した。その結果、ほ場で保菌した種子の子葉に生じる褐変の多くは本病の病徴ではないことや、実際の発病率は見かけの病徴の発生率より低いことが判明した。種子へ接種することにより発病率を高めて種子消毒剤の効果を評価した結果、ダイズ紫斑病に登録のある 6 剤の防除効果が高かった。また、中耕培土によって発病子葉を封じ込めることで発病抑制効果が認められた。薬剤散布試験の結果、散布により発病および早期落葉が軽減し、収量・品質の向上効果が認められ、散布適期は開花後 22 日頃と考えられる。

## 引用文献

Ciampi-Guillard, M., Ramiro, J., Moraes, M. H. D. D., Barbieri, M. C. G., and Massola Jr, N. S. 2020. Multiplex qPCR assay for direct detection and quantification of *Colletotrichum truncatum*, *Corynespora cassiicola*, and *Sclerotinia sclerotiorum* in soybean seeds. *Plant Disease*. 104(11): 3002-3009.

Francisco de Carvalho Ribeiro, Gustavo André Colombo, Edmar Vinícius de Carvalho, Joenes Mucci Pelúzio and e Eduardo Andrea Lemus Erasmo. 2017. Chemical control of the soybean target spot (*Corynespora cassiicola*) in the cerrado of tocanins – Brazil. *J. Bioen. Food Sci.*

4(1): 26-36.

Goulart, P. and Carlos Mitinori Utiamada. 2020. *Corynespora cassiicola* in soybean seeds- incidence and transmission. *J. Biosci.* 36: 259-265.

小田裕太・西見勝臣・角田佳則. 2023. ダイズ褐色輪紋病に対する種子消毒および薬剤散布の防除効果. *日植病報*. 89(3): 199

Rondon M, N. and Kathy Lawrence. 2021 The fungal pathogen *Corynespora cassiicola*: A review and insights for target spot management on cotton and Soya bean. *Journal of phytopathology*. 169(6): 329-338.

下元祥史. 2013. *Corynespora cassiicola*. 微生物遺伝資源利用マニュアル (33)

Soares, Rafael M., Cláudia V. Godoy, and Maria Cristina N. de Oliveira. 2009. Diagrammatic scale for severity evaluation of soybean target spot. *Tropical Plant Pathology* 34: 333-338.

角田佳則・西見勝臣. 2020. 早期落葉の原因となるダイズ褐色輪紋病の発生生態と防除対策. *植物防疫*. 74(12): 692-699

## 傾斜地用簡易ドローンポートの開発および

### これを用いた架設器具の撤収に係る工程調査結果

川元 裕\*・田戸 裕之\*\*・有國 秀頼\*\*\*・福本 太一\*\*\*\*

Removal of Scaffolding Equipment on Sloping Terrain Using Simple Drone Port

KAWAMOTO Yutaka, TADO Hiroyuki, ARIKUNI Hideyori and FUKUMOTO Taichi

Abstract: This study investigated the use of drones for transporting installation equipment used in cable yarding. To create a temporary flat area in the forest where a drone can take off and land when installation equipment is removed, a drone port with a simple, sturdy structure, lightweight, and easy to handle was developed. We showed that the drone could replace and transport almost all installation equipment. Therefore, this study demonstrated that the drone can be used to effectively transport installation equipment, thereby significantly improving work efficiency and reducing workload.

Keywords: drone, transportation, cable yarding, workload

キーワード: ドローン、運搬、架線集材、作業負荷

## 緒言

架線集材は、林業における木材の搬出方法の一つで、山中にワイヤロープを張り、そのロープを使って伐採した木材を運び出す技術である。林道等の開設が困難で重機が入れないような急斜面や複雑な地形でも効率的に搬出できるため、森林への影響を最小限に抑えることができる。

しかし、架設作業は、土場付近を除き基本的に人力に依存し、急峻な地形での作業、重量物の取り扱い、高所作業など作業者にとって危険な重労働であることから、山口県農林総合技術センターは架設器具の運搬の人力依存度を低減することを目的として、2024年～2025年にドローン運搬へ転換する方法をドローンによる測量、運搬等を事業展開している株式会社キン

シュウおよび架線集材主体の林業事業体であるスオウ架線株式会社と共同研究した<sup>注1)</sup>。

ドローンを用いた荷揚げは2020年あたりから実証研究の成果を目にするようになったが、これは主な運搬物資が苗木やシカ柵といった「森林に設置する資材」であるため、ドローン運搬が平地（土場、作業道等）から傾斜地への言わば「一方通行」であった（林野庁, 2023、新井・立崎, 2021）。一方、本研究で取り上げる架線集材は、使用した資器材を撤収して再利用するため、「ドローンで持ち帰る」という新たな発想が生まれた。そのようなドローンの活用事例は見当たらないが、その理由として、「ドローンは平坦地（離着陸場所）がないと使えない」という弱点を抱えていることと考へ、本研究では「傾斜地に平坦地をつくる」を核心課題として取り組んだ。

\*現 下関農林事務所 \*\*現 森林企画課 \*\*\*株式会社キンシュウ  
\*\*\*\*スオウ架線株式会社

その結果、簡易な傾斜地用ドローンポート（以下、「ドローンポート」とする。）を開発<sup>注2)</sup>するとともに、工程調査を実施し、その効果を明らかにしたので報告する。

本研究の動機と実行に多くの示唆を与えてくれた架線系集材事業者およびドローン事業者の方々にお礼申し上げます。

注1) ドローンによる運搬については、「国土交通省 ドローンを活用した荷物等配送に関するガイドライン ver. 4.0」を参考にした。

注2) 特許登録「可搬式ドローンポート及び可搬式連結ドローンポートの運搬方法」、登録日；2025年9月10日、特許番号 第7742065号

## 材料および方法

### 1 ドローンポートの開発

#### 1) 本体の規格・構造

ドローンはペイロード<sup>注3)</sup> 25 kgを使用した（第1図）。

ドローンポートは、天板1枚の大きさを1,800 mm×900 mm×50 mmとし、展開時はこれを蝶番で2枚をつないで、1,800 mm×1,800 mm×50 mmの広さの離着陸場所を想定した。各天板は4本（計8本）の直径30 mmの支柱で支える簡易な構造とし、天板は軽量かつ強固であること、さらに、総重量は25 kg以内であることとした（第2図）。

注3) ドローンが安全に運ぶことができる荷物や機材の最大重量

#### 2) 対応傾斜度



第1図 使用ドローン（mazex 森飛 morito25）

おおむね30度以下を想定した。その理由は結果および考察の項で述べる。

### 3) 組立難易度

現場で容易に組み立てられるように、天板に支柱を通し、簡易な工具で支柱を固定する単純な構造とした（第3図）。

### 4) 荷掛け方法

元柱・先柱（後述）にはドローンポートを設置し、運搬物資の荷掛けの際にはドローンを着陸させた上で行った（第4図）。

これは飛行中のドローン直下での作業が原則禁止されていることに加え、ドローンの不意の墜落等から作業者の安全を確保した上で荷掛け作業をするためであり、傾斜地用ドローンポート開発の重要なポイントであった。

### 2 ドローンポートの実証試験

#### 1) 林地条件（第5、6、7図）

山口市の皆伐跡地で実施した。当該エリアの斜面傾斜は平均で30～40度程度である。ここでは架線集材時に元柱・先柱とした立木付近をそれぞれ元柱（第5図のA、第6図）・先柱（同B、第7図）、原木の集積をした付近を土場（同C、第8図）と記す。

第5図において、実線はドローンの飛行コース、破線はドローンの迂回コース、点線および長二点鎖線は人の歩行コースである。また、実線で囲んだエリアは伐採跡地である。

土場（C）は、谷底付近に開設された林道の起点に当たり、一帯では唯一の平坦地であるため、山土場と



第2図 簡易ドローンポート\*外観

注) 支柱で天板が平坦になるよう調整  
画像は実証試験と別箇所撮影



第3図 容易な組み立て

注) 天板に挿した支柱を金具で締める



第4図 安全な荷掛け

注) ドローンを着陸させて荷掛けする



【実証型】					
場所	経由	水平距離 m	高低差 m	平均傾斜 度	備考
C - A	直線	65	45	35	伐跡
C - B	直線	225	60	15	尾根越え
C - B	沢迂回	245	60	14	沢筋沿い

【従来型】					
場所	経由	水平距離 m	高低差 m	平均傾斜 度	備考
C - A	直線	65	45	35	急傾斜・残渣
	尾根迂回	110		22	造林地境界
C - B	直線	225	60	15	急傾斜・残渣
	作業道迂回	830	90	6	橋流失

第5図 位置図

注) 元柱 (A)、先柱 (B) に残置した架設器具を土場 (C) に運搬 実証型の場合は直線的なルートだが、C-B (直線) の中間に尾根があるため、風速等を考慮し沢筋を迂回したこともあった (破線) 従来型は、C-A間は被験者の歩行のし易さを考慮し、尾根沿いの歩道を、C-B間は尾根の東端が急傾斜の岩石地で重量物を背負った下り歩行は危険と判断し、安全な迂回ルートである森林作業道 (長二点鎖線) と歩道 (点線) を使用 なお、森林作業道はC付近の橋が流失し、車両は通行できない

して使用された。ここを起点として北方に林道、西方に森林作業道が伸びている。

元柱(A)・先柱(B)は皆伐実施後約1年が経過して0.5 m程度のかん木が立ち、直径数十cmの切株が散在し、先柱付近では隣接地からモウソウチクが侵入していた。かん木はドローンポートの設置にはほとんど影響はないが、スムーズな荷掛け作業の支障となるため、あらかじめ鉋で大まかに刈り払った。竹はドローン飛行の支障となるため、ドローンポート設置予定地およびドローン進路上のものは全て手鋸で除去した。これらのエリアの中から、局地的に比較的傾斜が緩い20~25度程度の場所にドローンポートを設置した。

## 2) 気象条件

工程調査を実施した2025年2月13日の現地の天候は曇り時々雪。林地には5 cm程度の積雪があり、気温は2℃前後、地上の風速は2~3 m/s程度だが、ドローンが飛行した上空100 mは5~6 m/s程度あった

と推測された(第9図)。

## 3) 運搬コース

試験では主索等の撤収時に元柱(A)・先柱(B)に残置した滑車及びワイヤを土場(C)まで運搬した(第5図)。

運搬コースは元柱・土場(A・C)間と先柱・土場(B・C)間の2コースとし、ドローンで物資を吊って運搬する実証型試験と人が物資を担いで運搬する従来型試験を実施した(第5, 10, 11図)。

A・C間は、水平距離65 m、高低差45 m、平均傾斜35度の起伏が少なく見通しのよい伐採跡地である。ドローンは直線状に飛行(第5図:実線)できるが、人は隣接する植栽地との境界線を辿った(同:点線)。

B・C間は水平距離225 m、高低差60 m、平均傾斜15度で、その中間に西から尾根が張り出しているなど、岩石地で地形が複雑である。ドローンの飛行コースは尾根を飛び越えて直線状(同:実線)とするか、



第6図 ドローンポート設置場所(元柱)  
注) 元柱から先柱(画像中央)と土場(同右下)を望む



第7図 ドローンポート設置場所(先柱)  
注) 先柱から元柱(画像中央)を望む(土場は尾根の陰となって望めない)



第8図 土場  
注) 平地にコンパネを敷いて離着陸場所とした



第9図 実証当日の現場状況(風・雪)  
注) 風が強く、断続的に降雪あり

谷筋に沿って迂回（同：破線）する二つのコースの選択を、風の影響を考慮して、その局面におけるオペレータの判断に委ねた。一方、人の歩行は、重量物の運搬のため安全を考慮して、Cから西へ延びる森林作業道を使い、大きく迂回するコース（同：点線および長二点鎖線）とした。なお、このコースの距離の3割程度は、踏み跡による道又は獣道である。

#### 4) 被験者・実施体制

実証型試験（以下「実証型」とする。）では、土場と元柱・先柱にそれぞれドローン操縦者を配置し、2人のオペレータによるドローン操作とともに補助者が付き、計4人体制で実施した（第1表）。なお、オペレータおよび補助者は、実証試験に使用したドローンを保有、共同研究を行った企業のドローン操縦や一連の運搬作業に精通した職員が担当した。

従来型試験（以下「従来型」とする。）では、元柱・先柱で操縦を担当したオペレータが荷物を入れた籠を担いで土場まで下山した。

試験は、①A⇒C（実証型）、②A⇒C（従来型）、③B⇒C（実証型）、④B⇒C（従来型）の順に実施した。

#### 5) 使用機材の諸元

試験に使用した主な機材は第2表のとおり。

ドローンは、住友林業株式会社と株式会社 mazex が共同開発した「森飛 morito25」（第1図）を使用した。本機は植栽地での苗木運搬を目的として開発された林業用運搬ドローンである。両社のホームページによると、ペイロードは25 kgで、2オペレーション機構や着陸不要の自動切り離しフック、特許取得の共振防

止装置を搭載したことで作業を効率よく進めることができる。主な運搬物資である滑車が1個当たり20 kg以下であることから、共同研究者が運搬用に購入したものである。

#### 6) 運搬物資

実証型（ドローン運搬）では4種類の滑車計8個とワイヤロープ2巻で合計162.5 kgを9回で、従来型（人肩運搬）では滑車2個とワイヤロープ1巻で合計33 kgを2回で元柱・先柱から荷下げした（第12図）。1回分の重量は使用するドローンのペイロードと先行研究の結果から20 kg前後以下とした（第3表）。

#### 7) 試験の内容

実証型と従来型について、それぞれに要した時間と運搬重量を計測した。なお、土場と元柱・先柱にビデオカメラを設置して作業状況を録画し、要素作業ごとの作業時間を求めた。

実証型は、土場へ25 kg以内に小分けした運搬物資を9往復で合計162.5 kg運搬した。これに先立ってドローンポートをドローンで元柱または先柱へ運搬して設置するとともに、物資運搬終了後はドローンでドローンポートをそのまま吊り上げて撤収し土場へ運搬した。土場と元柱・先柱の間の双方から見通しの良い中間点でドローンの操縦権を相手に渡すため、その間ドローンは滞空した。

なお、ドローンによる運搬時間は、運搬物資の有無にかかわらず土場と元柱・先柱の間の飛行時間を含めた。以降、物資を運搬しない飛行を「空荷」と称する。一方、従来型は、元柱・先柱からそれぞれ1回分（20 kg以内を目安）の物資を背負い、土場までの所要時間



第10図 実証型運搬（ドローン）

注) 荷を吊るワイヤの長さは5m



第11図 従来型運搬（人力）の様子

注) 籠に荷を入れて運ぶ（画像奥）  
画像手前は記録者

第1表 実証型試験の被験者・実施体制および内容

ドローン所在	工程・作業	土場オペ(1) 補助者(1)	元柱・先柱オペ(1) 補助者(1)
		土場 (C)	荷掛け、バッテリー セット、離陸
元柱 (A)・先柱 (B)	D P 荷揚げ ・設営	実飛行 (D P 運搬 : 2回)	
		運搬準備	荷外し (自動フック)
土場 (C)	荷下げ (繰り返し)	空飛行 (空荷)	
元柱 (A)・先柱 (B)		着陸	D P 設営、荷掛け準備
土場 (C)	D P 撤収	バッテリー交換、離陸 ※1	撤収準備
元柱 (A)・先柱 (B)		空飛行 (空荷)	
土場 (C)	D P 撤収	バッテリー充電	着陸、荷掛け、離陸
元柱 (A)・先柱 (B)		実飛行 (物資運搬)	
土場 (C)	D P 撤収	着陸※1	撤収準備
元柱 (A)・先柱 (B)		バッテリー交換、離陸	
土場 (C)	D P 撤収	空飛行 (空荷)	
元柱 (A)・先柱 (B)		バッテリー充電	着陸、D P 荷掛け、離陸
土場 (C)	D P 撤収	実飛行 (D P 運搬)	
元柱 (A)・先柱 (B)		着陸※	片付け、下山

※1) D P (ドローンポート)

※2) バッテリー残量によっては着陸、バッテリー交換、離陸を省略

※3) 実飛行・空飛行中にオペの操縦権を授受する。

第2表 使用機材の諸元

名称	重量 (kg)	規格 (mm)	備考
傾斜地用簡易ドローンポート	25	1,800×1,800 ×50	規格は展開時、重量は支柱等付属品込み
林業用運搬ドローン森飛morito25	18	1,985×1,985 ×650	付属装置含む <a href="https://sfc.jp/treecycle/value/drone.html">https://sfc.jp/treecycle/value/drone.html</a> <a href="https://mazex.jp/product/2030">https://mazex.jp/product/2030</a>



第12図 運搬物資 (荷下げ後)

注) 人肩運搬は除く

第3表 運搬物資と運搬回数

名称	名称	個数	回数	1回当たり重量		備考
				計	kg	
ドローン運搬 (実証型)	滑車	3	3	17.5	52.5	
		1	1	15.5	15.5	
		2	2	18.0	36.0	
		2	1	20.5	20.5	2個一纏め・個別重量不明
	ワイヤ	2	2	19.0	38.0	
	計	10	9		162.5	
人肩運搬 (従来型)	滑車	1	1	13.0	13.0	
	滑車+ワイヤ	2	1	20.0	20.0	2個一纏め・個別重量不明
	計	3	2		33.0	

※ ドローンポートは含まない。

を計測した。

## 結果および考察

### 1 ドローンポートの開発

#### 1) 本体の規格・構造等

ドローンポートの総重量は、想定するドローンのペイロード未満で、かつ、傾斜・凹凸・切株など、条件の異なる森林での使用を考え、次の条件を満たす仕様とした。

天板は、軽量で丈夫なハニカム構造の特殊素材をアルミ板で挟み、これを2枚蝶番で繋ぎ、カーボン樹脂製補強器具で固定することで、総重量は21 kgとなった。

支柱は長さが1,310 mm・1,000 mm・310 mmの3種類各4本を用意し、カーボン樹脂製とすることで、総重量は4 kgとなった。したがって、ドローンポートの

総重量はペイロード以内の25 kgとなった。

これらの根拠は、ドローンの離着陸のほかに、ドローンが故障等した場合に点検できるように一人が乗って安全に作業できる強度を有し、かつ、作業の最終段階でドローンポートをドローンで直接吊って荷下げすることを想定したためである。

#### 2) 対応傾斜度

想定した傾斜度の根拠は著者の経験則であるが、林地の傾斜は一定でなく、凹凸や緩急があり、局地的にたいてい30度以下の場所が見つかるとともに、それ以上は支柱が長くなり設置時の不安定さが増すと考えたからである。実際、人工林は急傾斜地（地域森林計画でいう30度以上）に造成されることは少なく、山口県の地域森林計画樹立データを集計したところ、平均傾斜度30度を超える人工林は8%しかない（第4表）。

#### 3) 組立・収納

天板2枚を蝶番でつなぎ、使用時は展開して支柱を

第4表 山口県の地域別平均傾斜度別人工林面積とその割合 (ha、%)

地域	0 - 15度		15 - 30度		30度以上		総計	
	面積	割合	面積	割合	面積	割合	面積	割合
岩国	200	1	7,331	35	13,146	64	20,676	100
柳井	1,184	10	10,331	86	452	4	11,967	100
周南	7,948	29	19,314	71	0	0	27,262	100
山口	4,781	14	30,552	86	37	0	35,370	100
美祢	4,947	23	16,585	77	0	0	21,532	100
下関	8,529	50	8,484	50	0	0	17,013	100
長門	5,491	43	7,172	57	0	0	12,663	100
萩	2,757	12	20,511	86	686	3	23,953	100
全県	35,836	21	120,278	71	14,321	8	170,435	100

注) 地域森林計画樹立データの“林種1～6”“人工林”の面積を平均傾斜度別に集計

通し、収納時は折りたたむつくりとした。支柱を通して固定する際に使用する工具はドライバ 1 本とした。意図は、なるべく工具の持ち運びを避けることと足場が悪い場所でも組み立てを容易にするためである。加えて、現場まで軽トラックや軽バンでも輸送可能なサイズであることも重要な規格として考慮した(第 13 図)。

## 2 ドローンポートの実証試験

### 1) 総作業時間

実証型の運搬物質と運搬回数は第 3 表のとおり、9 回の空輸を行った。その状況を土場において撮影したビデオカメラ動画から作業工程ごとの時間を計測し、総観測時間のうちタイムロスを除く 112.2 分を対象



第 13 図 簡易ドローンポート (折り畳み時)

注) 現場まではこの状態で運搬する  
画像は実証試験とは別箇所のもの

(=総作業時間) として以下の分析を行った(第 14 図)。

### 2) 要素作業別の時間

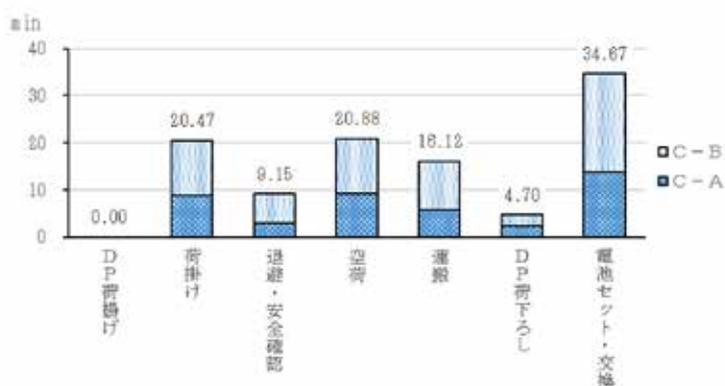
#### (1) ドローン運搬

通常の飛行(運搬+空荷、ドローンポート運搬を含まない。)に要する時間が最も多く、全体の 33%を占めた。次に、バッテリーのセット・交換に要する時間が 31%と飛行時間と同等に多く、ドローンポートの荷揚げ・荷下げは 10%であった(第 15 図)。なお、ドローンポートの設置や荷掛け準備は元柱・先柱の作業者 2 名が待機時間に行うためこの中に含まない。

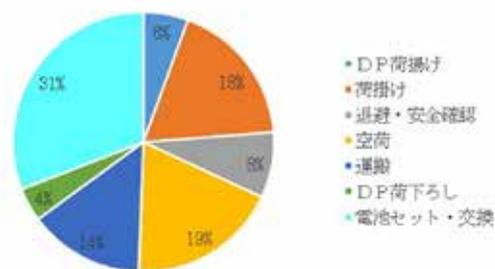
本研究は労働安全や負荷軽減を主眼とするため、作業効率の向上への取組は今後の研究に委ねる。しかし、それ故にあえて言及すると、今後、飛行や荷掛けの時間は修練によりさらに短縮する余地があるが、飛行回数は多くないため、作業全体に大きな影響は及ぼさないと考えられることから、安全面を重視して安易な作業省略は避けるべきである。

#### (2) 元柱・先柱作業員の状況

元柱・先柱のオペレータおよび補助者は、ドローンの操縦権を受けてから着陸・荷掛・退避・離陸を経て操縦権を譲るまでが主な作業で、次の作業までの待機時間が 50%を占めた(第 16 図)。彼らはこの間をじっと待つのではなく、次の荷掛の準備(物資の小運搬、重量計測等)を行った。なお、本パートのみ、元柱・先柱における総作業時間数で分析しており、土場での観測値とは総作業時間が異なる(第 17 図)。



第 14 図 土場におけるオペレータおよび補助員の作業内容と時間  
注) DP: ドローンポート



第 15 図 運搬作業時間の要素作業別の割合

### 3) ドローンポート組立時間

元柱・先柱へドローンポートを運搬後、オペレータと補助者による組立時間を計測した結果、平均で 8.7 分であった (第 5 表)。天板を足場の良い平坦地 (土場) であらかじめ展開して荷揚げしたため、想定より早かった。また、2 回目 (B) は 1 回目 (A) と比較して 2 分以上短縮しており、慣れによって作業時間はさらに短縮されると考えられる。

### 4) 実証型と従来型の運搬効率の比較

計測結果を基に、運搬速度のほか 1 往復当たりの平均運搬重量、同平均運搬時間、1 日当たりの運搬重量、1 人日当たりの運搬重量、単位重量当たりの運搬時間について試算した (第 6 表)。

実証型では、第 3 表に挙げた物資およびドローンポートの併せて 262.5 kg を運搬した。運搬にかかった総距離 (往復) は 4,830m (1 回当たり加重平均で 322 m) であり、15 回飛行した。その内訳は、物資運搬 9 回のほか、空荷 (荷揚げ後に土場に戻る、荷下げ後に元柱・先柱へ戻る) やドローンポートの荷揚げ 2 回およびその荷下げ 1 回の飛行を含む。荷掛けを含む運搬時間は 112.2 分であった。なお、ドローンポートの

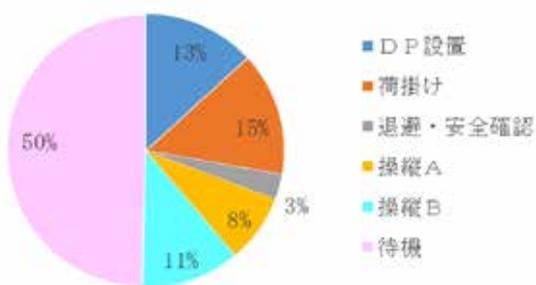
荷揚げに 2 回を要する理由は、元柱・先柱で荷外ししやすいように、天板と支柱等を別々に運搬したためである。

従来型では、第 3 表に挙げた物資およびドローンポートを併せて 33.0 kg を運搬した。運搬にかかった総距離 (往復) は 1,880 m (1 回当たり加重平均で 940 m) を一人で運搬した。運搬時間は土場から元柱・先柱へ向かう際の空荷の歩行時間を含め 58.9 分であった。荷物を背負っても下りのほうが短時間で移動できた (第 6、7 表)。

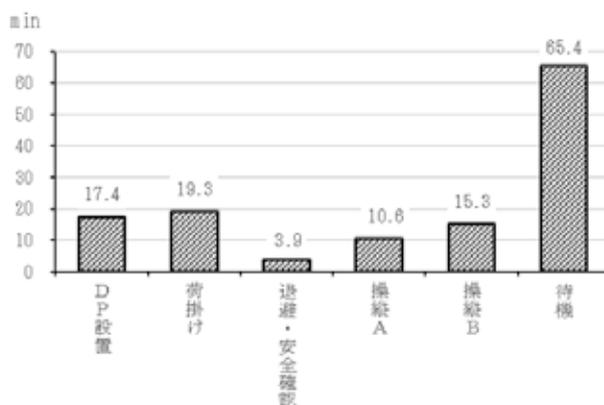
試算の結果、ドローンの能力の観点で見ると、運搬速度 (m/分) は人力の 1.4 倍、1 往復当たり運搬重量 (kg/回) は従来型 (人肩) とほぼ同等であった。

しかし、1 往復当たり運搬時間 (分/回) および単位重量当たり運搬時間 (分/kg) では従来型 (人肩) の 1/4 倍と作業効率は格段に向上した。

ドローンの運搬速度は飛行時間だけでなく、その準備作業等も含むため、飛行速度の割に時間を必要とするが、それでも格段に早く作業を済ませることが明らかとなった。このことは、荷揚げを実証した先行研究の結果 (石川・糸魚川, 2021, 山口県森林組合連合会、



第 16 図 元柱・先柱作業時間の要素作業別の割合



第 17 図 元柱・先柱作業時間の要素作業別の時間

注) 元柱・先柱におけるオペレータおよび補助員の作業内容と合計時間 DP: ドローンポート

第 5 表 ドローンポート組立時間 (二人体制)

区分		元柱	先柱	平均	差引 (A-B)	備考
		A (時:分:秒)	B (時:分:秒)	(時:分:秒)	(時:分:秒)	
組立開始時刻	a	10:50:21	12:30:41			天板は展開済みから組立開始
組立完了時刻	b	11:00:13	12:38:10			〃
差引	b-a	0:09:52	0:07:29	0:08:40	0:02:23	

注) 元柱・先柱の 2 地点において、オペレータと補助者の二人一組でドローンポートを組み立てた

第6表 実証型と従来型の運搬効率の比較

計測・算出項目	単位	運搬方式		比 ①/②	
		実証型 (ドローン)	従来型 (人肩)		
平均運搬距離 (往復・加重平均)	a	m	322.0	940.0	0.34
総重量 (DP・支柱込み)	b	kg	262.5	33.0	7.95
回数	c	回	15.0	2.0	7.50
(うちDP除く)		回	9.0	2.0	4.50
運搬 (移動) 時間 (荷掛け等を含む：往復)	d	分	112.2	58.9	1.91
時間 (飛行のみ：往復)	e	分	47.9	58.9	0.81
総距離 (往復)	f	m	4,830.0	1,880.0	2.57
作業人員数	g	人	4.0	1.0	4.00
速度 運搬速度	$h=f/d$	m/分	43.0	31.9	1.35
飛行速度 (上昇・下降・滞空時間を含む)	$i=f/e$	m/分	100.8	31.9	3.16
1往復当たりの平均運搬重量	$j=b/c$	kg/回	17.5	16.5	1.06
1往復当たりの平均運搬時間	$k=d/c$	分/回	7.5	29.4	0.25
1日当たりの運搬重量	$l=8*60*b/g$	kg/日	1,122.8	269.1	4.17
1人日当たりの運搬重量	$m=l/g$	kg/人日	280.7	269.1	1.04
単位重量当たりの運搬時間	$n=d/b$	分/kg	0.4	1.8	0.24

第7表 従来型運搬時間の計測結果

移動	出発時刻	到着時刻	時間	運搬物資	運搬重量 (kg)
C⇒A	10:25:05	10:34:13	0:09:08		
A⇒C	11:37:31	11:44:34	0:07:03	滑車	13.0
C⇒B	11:51:14	12:16:45	0:25:31		
B⇒C	13:38:38	13:55:48	0:17:10	滑車+ワイヤ	20.0
計			0:58:52	滑車+ワイヤ	

注) 移動行程は第5図を参照

2022)とも符合し、荷下げも同等の結果を得ることができた。

また、1日当たりの運搬重量は従来型(人肩)の4.2倍となった。従来型(人肩)では荷を背負っても山を上るよりも下るほうが短時間で済んだが、これは試験が1回だけであったからである。歩行、特に下りは回数を重ねるごとに疲労による作業能率の低下や転倒等による負傷リスクが高まるため、1日の運搬回数・重量は限られることから、作業負荷の観点からもドローン運搬のメリットは大きいと考える。

##### 5) 実証型と従来型の作業コストの比較

使用したドローンおよび関連費用等から単位時間当たりのコストシミュレーションを行い、実証型と従来型のコストを比較した(第8表)。

実証型の場合、費用の因子は、機械経費、人件費とした。ドローン運搬の日数は、共同研究事業者における年間使用想定日数とした。これには架線集材のほか、苗木運搬等架線集材以外での使用も含めた。運搬は実際の作業時間が丸1日を要するか否かにかかわらず、1現場1日とした。機械経費は、本機購入費、ドローン講習費用(2人分)および保険料(機体+賠償責任)とし、1年当たりの減価償却費を算出した。本機購入費は試験実施時の定価(メーカーホームページ掲載)とし、保険料は共同研究者からの提供値(概算)を採用した。ドローン講習費用は導入初期にのみ必要な経費であるため、ここでは本機と同様の扱いとした。本ドローンポート導入費、バッテリー(買替え)および電気代(発電機+燃料)、オペレータ・補助員の移動

費等も想定されるが、ここでは考慮しなかった。人件費は実施体制（2 オペレータ+2 補助員）4 人分の日当を計上した。

従来型の場合、1 回当たりの運搬重量がドローンと同等であったことから、実証型と従来型の合計運搬回数に要する人員数を計上した。これには1 人1 日4 往復を想定したが、その理由は重量物を背負っての歩行は身体への負荷が大きく、疲労の蓄積が転倒等のリスクを増大させていくことから、著者の経験<sup>注4)</sup>上の想定値とした。

以上の条件でシミュレーションした結果、1 日（1 回）当たり費用は実証型 151 千円に対し、従来型は 36

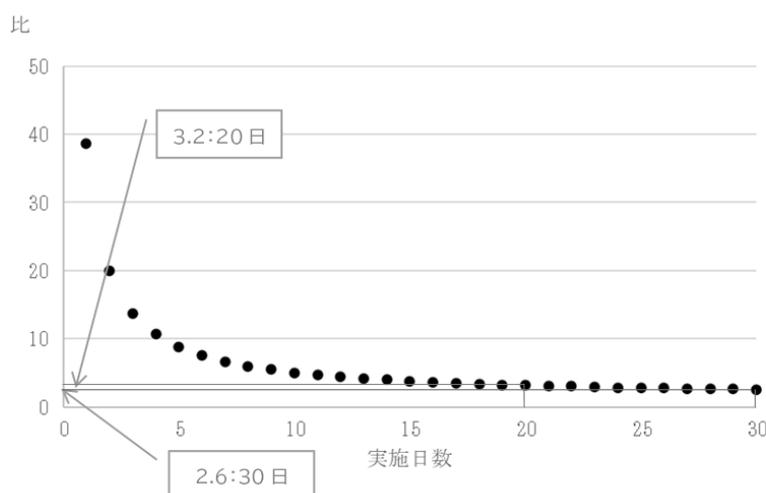
千円と、4.2 倍の差がついた。最大の要因はドローンの導入費用が大きいためである。なお、実証型と同様の運搬作業を他事業者に業務委託する場合、これに諸経費やオペレータ等の移動費も発生するため、少なくとも 300 千円以上が見込まれ、ドローン運搬の実用化に向けた最初の壁となる。

これは実施日数（回数）を増やすことで軽減することが理論上可能であるが、仮に実施日数（回数）が 20 日で 3.2 倍、30 日で 2.6 倍と、むやみに実施日数（回数）を増やしても効果はすぐに頭打ちになることがわかる（第 18 図）。また、本業の事業量を急激に伸ばすことは人的資源の観点から現実には困難である。ま

第 8 表 運搬作業コストシミュレーション

事項	単位	運搬方式		比	
		実証型（ドローン）	従来型（人肩）		
		①	②	①/②	
1 日当たり費用	$o=v/(y+z)+w*x$	円/日	151,333	36,000	4.20
単位時間当たり費用	$p=o/8/60$	円/分	315	75	
シミュレーション因子					
ドローン 本機購入費（税抜）	q	円/台	2,630,000	-	非開示
初期 初期費用	r	円/人	-	-	
費用 計	$s=q+r$	円/日	-	-	
ドローン 1年あたり減価償却費（3年）	$t=s/3$	円/年	-	-	非開示
年間 保険料（税込：機体+賠償責任）	u	円/年	-	-	
費用 計	$v=t+u$	円/日	-	-	
オペレータ日当	w	円/人日	非開示		
作業員数（ドローン：2機 <sup>^</sup> +補助員、人力：4往復/日）	x	人/日	4	3	
年間ドローン運搬実施日数（架線集材での使用日数）	y	日/年	10	-	
年間ドローン運搬実施日数（架線集材以外での使用日数）	z	日/年	3	-	

注) 企業秘密の部分は非開示としている



第 18 図 実証型／従来型の実施日数ごとのコスト比

注) 1 日（回）当たり費用の実証型／従来型の比を日数ごとに計算した

ずは、他の林業事業者の苗木運搬や土木建設事業者の資器材運搬等を受注して別途事業収入を得ることで、ある程度収支の改善を図ることができる。

なお、共同研究者の一人が運搬用ドローンを導入した目的は、将来に向けた投資として、過酷な架線集材作業員の負荷軽減や新規就業希望者の関心を引くことを主眼としており、直近のコスト・パフォーマンスの重要度はあまり高くない。ドローンに限らず林業の機械化推進のネックは高額な機械経費の償却であるが、筆者は、このようにコストだけにとらわれず、作業負荷の軽減効果を重視し、コストは別の方策で賄うという考え方が、就業者確保の観点から今後は必要だと考える。

注4) 一日中重労働をするのではなく、合間に軽作業を混ぜ、単位時間当たりの負荷を抑えながら全体の作業を進める方法

## 6) 作業負荷について

20 kg/回もの器具を背負って急勾配の山道を何往復も運搬することは、屈強な架線集材作業員であっても、その身体に大きな負担をかけている。これをドローン運搬に置き換えることにより身体的負荷が軽減されることは自明であるため、このたびの実証では心拍数等のデータは取らなかった。

しかし、従来の作業効率とコストによる比較だけでは、コストを重視した場合に作業負荷が相対的に軽減され、結果として機械化が進まず、労働生産性の向上を妨げる結果を招くこととなる。実際、コスト面だけで見るとドローンよりも人力がはるかに優位であることから、作業負荷にかかる定量的評価が今後の課題である

## 摘 要

筆者らは、架線集材に使用する架設器具の運搬方法としてドローンの採用を検討した。架設器具の撤収の際には山林内にドローンが離着陸する平坦地を仮設する必要があることから、簡易で丈夫な構造で、軽量かつ取り扱いが容易なドローンポートを開発するとともに、架設器具の運搬のほぼすべてをドローンに置き換えることができるドローン運搬システムを考案し、実証した。その結果、ドローンによる架設器具の運搬は、作業効率の大幅な向上と作業負荷の軽減に向けて大きな効果を発揮することが明らかとなった。

## 引用文献

- 新井一司・立崎祥子. 2021. 東京都森林組合における運搬用ドローンの活用 : 東京都多摩地域の急傾斜地におけるドローンによるシカ柵資材の運搬. 森林技術. 945 : p24-27.
- 石川智代・糸魚川学. 2021. ドローンによる単木獣害防護柵用資材の運搬の試み. 森利誌. 36 : p27-30.
- 国土交通省. 2023. ドローンを活用した荷物等配送に関するガイドライン ver.4.0.  
<https://www.mlit.go.jp/seisakutokatsu/freight/content/001601194.pdf> (2025年8月14日現在)
- 林野庁. 2023. ドローンを活用した苗木等運搬マニュアル. pp105.  
<https://www.rinya.maff.go.jp/j/kanbatu/houkokusho/attach/pdf/doron-10.pdf> (2025年8月14日現在)
- 山口県. 2022. やまぐち森林情報公開システム.  
[https://forestgis.pref.yamaguchi.lg.jp/shinrintop/index\\_public.html](https://forestgis.pref.yamaguchi.lg.jp/shinrintop/index_public.html) (2025年10月10日現在)
- 山口県森林組合連合会. 2022. 「魅力ある林業経営体」育成対策業務成果報告書. 令和3年度魅力ある林業経営体育成対策事業成果報告書. p28.

## ラジコン式伐倒作業車を使用した伐出作業の実証

川元 裕\*

Demonstration of a Logging System Using a Remote-Controlled Felling Machine

KAWAMOTO Yutaka

**Abstract:** The Forestry Agency has set a target for forestry management entities to increase the productivity of final harvesting to 11 m<sup>3</sup>/person-day by fiscal year 2030. In anticipation of improving both productivity and safety in felling operations, a logging system incorporating a remote-controlled felling machine was demonstrated in Mine City, one of the representative forestry regions in this prefecture. The results showed that the daily labor productivity of the system did not reach the national target. However, since the challenges for each process of the system used in this demonstration were identified, productivity may be improved by implementing appropriate countermeasures. Continuing testing potential systems and collecting further data is essential for proposing practical working systems adapted to specific site conditions.

**Keywords:** productivity, safety in felling operations, Grapple bucket with fork storage and felling head, harvester

**キーワード:** 生産性、伐倒作業の安全性、フェリングヘッド付きフォーク収納型グラップルバケット、ハーベスタ

### 緒言

林業は全産業中で最も死亡災害の発生率が高い業種とされ、とくに伐倒作業時の事故が最多を占める（林野庁）。また、林野庁は令和 12（2030）年度までに、林業経営体における主伐の生産性を 11 m<sup>3</sup>/人・日とする目標を設定している。したがって、林業の安全性の確保、労働生産性の向上、労働強度の負担軽減、さらに担い手不足対策を考える上で、機械化・無人化は重要な課題と考える。

2024 年にラジコン式伐倒作業車（以下、「伐倒作業車」とする。）が開発、販売が開始され、伐倒工程の機械化に向けて一歩前進した。その一般普及を推進す

るためには、本県の多様な自然・社会条件を考慮し、考え得る複数の作業システムを試験してデータを蓄積していく必要がある。

そこで、本機を導入した作業システムの実証試験を実施したので報告する。

試験地を提供いただいた山口県美祢市ならびに試験の実施にご協力いただいたカルスト森林組合（山口県美祢市）および松本システムエンジニアリング株式会社（福岡県粕屋郡篠栗町：以下、「MSE 社」とする。）に厚くお礼申し上げる。

### 材料および方法

\* 現 下関農林事務所

### 1 試験地の選定

実証試験の実施年度中に主伐を計画している事業地の中から、当該機械の運送や上り伐倒・下り伐倒（後述）をとともに試験できる既設路網の存在から候補地を絞り、主伐事業実施と実証試験のスケジュールが合致した美祢市有林において実施した。

試験地の概要は第1表のとおり。

### 2 使用機械

試験は第1図に示す作業システムで実施した。

このうち伐倒作業車（第2図）は、MSE社が2024年4月に販売を開始した「シン・ラプトルII」を使用した。本機は、遠隔操作で立木を伐倒・木寄せする無人作業車で、45度までの傾斜地を登坂して最大径600mmまで伐倒可能である。オプションの立体映像システムを装備すれば、オペレータが離れたところからでも安全に伐倒することができる（第3図）。

フェリングヘッド付きフォーク収納型グラブパケット「フェラーバンチャザウルスロボ」は、同じくMSE社製で、掘る、伐る、掴むの三機能を1台でこなすアタッチメントとして、路網作設や伐採現場で活躍

している（第4図）。ベースマシンは、伐倒作業車との相性が良いとMSE社推奨の13tクラスを採用した。

造材機械（ハーベスタ）のヘッドはフィンランドKESLA社のストローク式（第5図）で、ヒノキの堅い枝払いを想定して導入された。ベースマシンは、カルスト森林組合管内で一般的な使用機械である7tクラスを採用した。

以上の使用機械の主要諸元は第2表のとおり。

### 3 作業システム

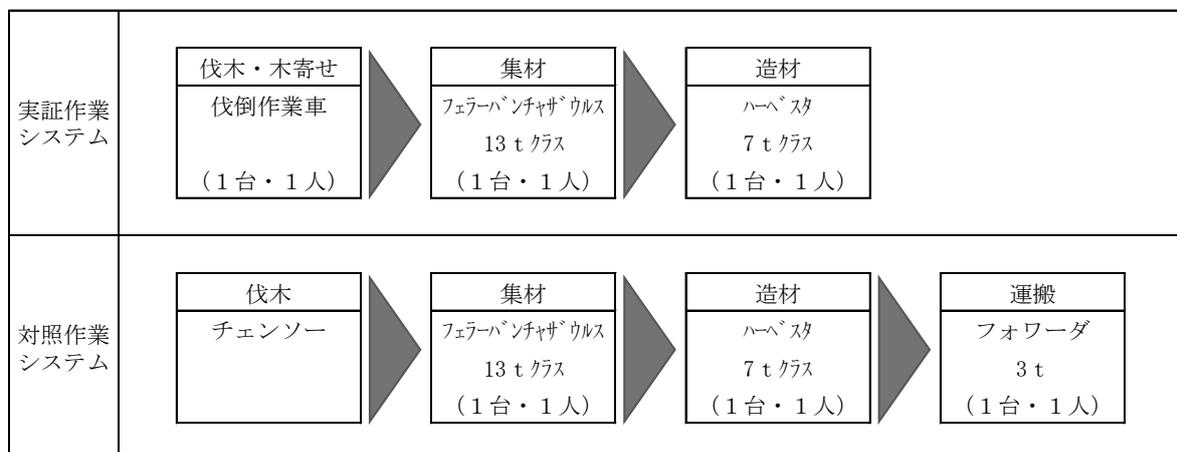
伐倒作業車を組み込んだ作業システムと従来の作業システムを比較するため、次の2パターンの作業システムを試験した。

#### 1) 実証作業システム：伐倒作業車を組み込んだ伐出作業システム（第7図）

伐倒作業車はウインチアシスト機能を有することから、上り伐倒（斜面上方に伐倒して下方に引き摺り下ろす）と下り伐倒（斜面下方に伐倒して上方に引き摺り上げる）の2パターンに分けて試験を行った（第8図）。伐倒後は、伐倒作業車が伐倒木を林道・作業道

第1表 試験地の概要

期日	2024年11月28日
場所	山口県美祢市美東町綾木 代官屋敷地内
林況	スギ・ヒノキ人工林（65年生）
傾斜	10～40度
面積	0.27ha
林地の状況	過去の落葉落枝のほか、作業の安全のために試験の数か月前に刈り払ったヒサカキ等の灌木の残渣が林床に堆積。



第1図 作業システム

近くまで木寄せし、フェラーバンチャザウルスロボが木寄せをアシストしつつ、全木で1本または数本まとめて山土場まで集材し、これを引き継いだハーベスタが造材、はい積みした。

## 2) 対照作業システム：カルスト森林組合が採用している伐出作業システム

実証作業システムを実施した後の残存エリアについて試験地の施工を請け負った事業者が通常採用している作業システムで伐出作業を実施した。



第2 図 ラジコン式伐倒作業車（伐倒・木寄せ）



第3 図 遠隔操作および立体映像システム

注) 機械から離れた安全な場所から遠隔操作することができる (左上)  
オペレータの手元にあるのがリモコン (右上)  
直接目視ができなくても VR ゴーグルによる立体映像でも操作できる (左下)  
VR ゴーグルで見たオペレータの視界 (右下)



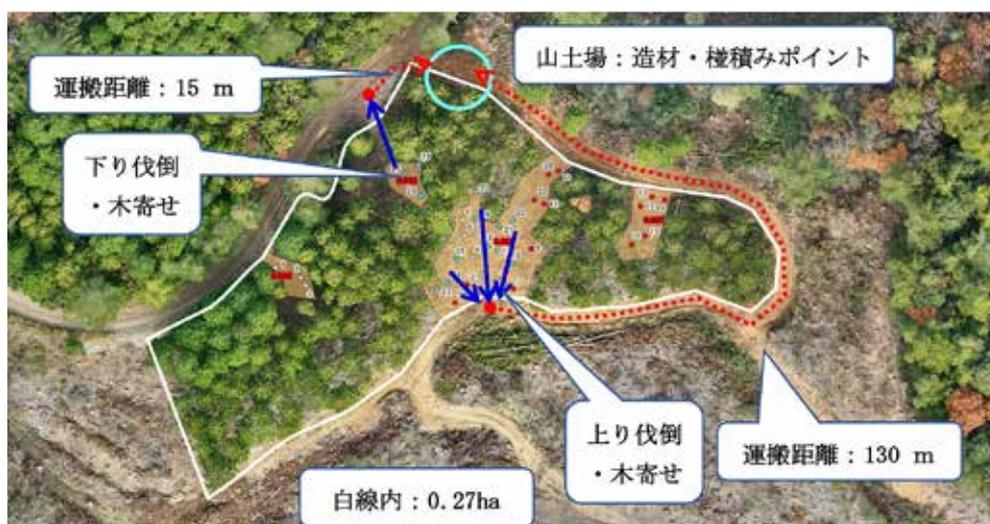
第4図 フェラーバンチャザウルスロボ (集材)



第5図 ハーベスタ (造材)



第6図 フォワーダ (運搬)



第7図 実証試験の作業経路図



第8図 作業システム (下り伐倒)

注) 伐倒作業車が下り伐倒した伐倒木を林道近くまで引き摺り上げ、フェラーバンチャザウルスロボが伐採木を受け取って山土場まで集材 (15 m) し、これをハーベスタが引き継いで造材、はい積み

第2表 使用機械の主要諸元

試験	区分	単位	伐倒作業車	フェラーバンチャ ザウルス	ハーベスタ	フォワーダ <sup>g</sup>
実証	ベースマシン		MSE	コベルコ	住友	-
	型式	-	シ・ラブ <sup>g</sup> トルII	SK135SR	SH75	
	全長	mm	4150	7410	5755	-
	全幅	mm	2400	2490	2320	-
	運転質量	t	5500	13.9	7.88	-
	エンジン出力	kw	55.4	73.9	40	-
	最大走行速度	km/h	6.0	5.6	5.1	-
	標準バケットサイズ	m <sup>3</sup>	-	0.50	0.28	-
	ヘッド 型式	-	-	MSE-45FGZX-DX	KESLA20SH II	-
	最大処理径	mm	600	500	520	-
試験	区分	単位	チェーンソー	フェラーバンチャ ザウルス	ハーベスタ	フォワーダ <sup>g</sup>
対照	ベースマシン			コベルコ	住友	IWAFUJI
	型式	-	-	SK75SR	SH75	U3
	全長	mm	-	5750	5755	4600
	全幅	mm	-	2300	2320	1930
	運転質量	t	-	7.44	7.88	3930
	エンジン出力	kw	-	41	40	54.6
	最大走行速度	km/h	-	5.3	5.1	10
	標準バケットサイズ /最大積載量	m <sup>3</sup> kg	-	0.25	0.28	3500
	ヘッド 型式	-	-	MSE-25FGZX-DX	KESLA20SH II	-
	最大処理径	mm	-	400	520	-
備考	(ベースマシンデータ参考型式)			SK75SR-3E	SH75X-6A	U3-E

#### 4 方法

##### 1) 実証作業システム

###### (1) データの計測方法

伐倒現場から山土場集積までの一連の工程（伐倒・木寄せ・集材・造材・はい積み）について、ビデオ撮影を行い、工程別の作業時間を計測の上、分析した。

なお、機械トラブルによる遅延は、作業時間に含めないこととした（理由は後述）。試験地の立木の大きさを類推する情報として、伐採後の根株径について等高線に対し水平方向を横径、垂直方向を縦径としてコンベックスで計測した。造材木は、ハーベスタによる造材後に山土場で末口を計測し、末口二乗法により材積を算出した。

###### (2) 工程別の労働生産性とシステムの生産性、労働生産性の算出

全工程で時間観測と作業時間の分析を行い、システム生産性及び労働生産性を求めた。

また、実証試験地を施工する事業体の就業形態に合わせ、1日7.5時間労働と仮定し、伐倒・木寄せ・集材・造材・はい積みを連携作業で行ったシステム生産性、1日当たりの労働生産性を岡らの手法（岡・井上2001）により試算した。

##### 2) 対照作業システム

###### (1) データの計測方法

現場施工主体から作業期間中の作業日報および原木出荷伝票を入手し、工程別の作業時間及び搬出材積を集計した。

###### (2) 作業システムと工程別の生産性の算出

上記により集計したデータを分析、算出した。

第3表 実証作業システムにおける伐倒方向別伐採径及び造材材積

伐倒方向	伐倒本数	横径		縦径		平均径		造材材積	
		平均	標準偏差	平均	標準偏差	平均	標準偏差	材積	
		cm		cm		cm		m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup> /本
下り	3	45.0	5.35	44.7	8.06	44.8	6.64	-	-
上り	10	34.9	6.70	34.8	7.40	34.9	6.80	-	-
計	13	37.2	7.70	37.1	8.62	37.2	7.97	6.08	0.47

注) 下り：控え索でアシストしながら林道から斜面を下り、立木を斜面下方へ向けて伐倒した後、林道まで引き上げた  
 上り：エリアの下方にある森林作業道から林地に取り付いて斜面を上り、立木を斜面上方へ向けて伐倒した後、森林作業道まで引き下ろした

第4表 実証作業システムにおける伐倒・木寄せ工程の作業量と生産性

事項	数量	備考
伐倒本数	本 13	
伐採材積	m <sup>3</sup> 6.08	原木換算
平均伐木材積	m <sup>3</sup> /本 0.47	
主作業時間	秒 1,653	掴み・伐倒・木寄せ
サイクルタイム	秒/本 127	
林道・作業道への往復数	回 13	
往復移動時間	秒 1,099	移動・列替え・作業待ち
主作業時間のシステム生産性	m <sup>3</sup> /組・時 13.24	
総作業時間	秒 2,752	
労働生産性	m <sup>3</sup> /人・時 7.95	

第5表 実証作業システムにおける集材工程の作業量と生産性

事項	数量	備考
集材回数	回 4	
伐採材積	m <sup>3</sup> 6.08	原木換算
平均集材材積	m <sup>3</sup> /回 1.52	
主作業時間	秒 2,887	引寄せ・運搬・集積
サイクルタイム	秒/本 722	
往復移動時間	秒 4,148	移動・列替え・作業待ち
主作業時間のシステム生産性	m <sup>3</sup> /組・時 7.58	
総作業時間	秒 7,035	
労働生産性	m <sup>3</sup> /人・時 3.11	

## 結果および考察

### 1 実証作業システム

#### 1) 伐採木の本数、伐採径及び造材材積

実証試験で伐採した木の本数と直径は第3表のとおりで、伐採木13本、造材材積6.08 m<sup>3</sup>を対象に分析を行った。

作業の手順として、初めは斜面上側からの下り伐倒を行い、控え索のアシストで林道へ全木で引き上げた。しかし、下り伐倒を3本実施後に控え索が破断したため、その後はすべて上り伐倒後に斜面下側の森林作業道沿いに伐倒木を木寄せした後、フェラーバンチャザウルスロボが全木で森林作業道を運搬し、ハーベスタに引き継いだ。

#### 2) 工程別の分析

#### (1) 伐倒・木寄せ工程

集計結果を第4表および第9図に示した。

伐倒作業車が伐倒木へ向かう走行時間と狙いを定めてから伐倒木を掴み終える時間が同程度で、合わせて全体の47%を占めた。これは、オペレータの操作の習熟によってさらに時間を短縮できると考えられる。

なお、遅延を含めた総時間で見ると、修繕等(機械トラブル処理)にかかる時間が1/2を占めたが、メーカーも認識しているハード面の欠点によるもので、早晩解決されると考えられるので集計結果には含めなかった。

#### (2) 集材工程

集計結果を第5表および第10図に示した。

待機時間等が50%を占め、生産性を大きく下げる原因となったことから、本実証作業システムの主要な改善ポイントである。今回の試験では、上り伐倒におい

て木寄せ作業のアシストを控え、基本的には集材に専念することにより、一定の改善が図られると考える。

次に全木集材（運搬：材を掴んで移動）にかかる時間が27%を占めた。これは、フェラーバンチャザウルスと集材に使用した森林作業道の規格のミスマッチが大きな要因と考える。すなわち、搬出間伐用に作設されたために幅員は狭く（2.5 m）、全木集材（樹高20 m 以上）で急カーブを通過するには方向転換や掴み直しが発生し、上り勾配と前日から続く降雨でぬかるむなど、集材を難しくする条件が重なったためと考える。

皆伐を効率的に行うには、大型機の使用を想定して林業専用道または幅員の大きい森林作業道の開設が必要である。

また、控え索の破断により、大部分を上り伐倒に切り替えざるを得なかったことも、集材にかかる時間を

大きくした（第11図）。

（3）造材工程

集計結果を第6表および第12図に示した。

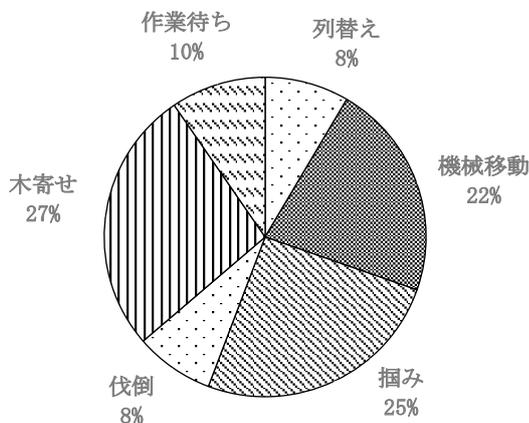
フェラーバンチャザウルスロボによる集材工程に時間を要したため、ハーベスタの作業待ち時間が55%となった。

3) 作業システムの労働生産性と改善点

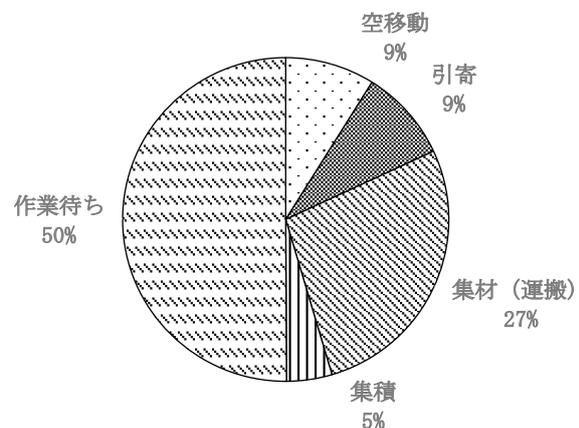
2) から現場就業時間を7.5 h/日、全作業時間を8,278秒として、システムの労働生産性を試算した。なお、全作業時間とは、使用した3台の機械のうち、最初に作業動作に入った機械の開始時間から最後に作業動作を終えた機械の終了時間を指す。その結果は、1日当たり労働生産性は6.61 m<sup>3</sup>/人・日で、国が目標

第6表 実証作業システムにおける造材工程の作業量と生産性

事項		数量	備考
造材本数	本	41	
造材材積	m <sup>3</sup>	6.08	原木換算
採材長	種類	2	3m or 4m
主作業時間 ①	秒	2,210	造材・樅積み・末木枝条整理・木探し等
サイクルタイム	秒/本	54	
往復移動時間 ②	秒	37	移動
作業待ち時間 ③	秒	2,759	前作業（集材）待ち
主作業時間のシステム生産性	m <sup>3</sup> /組・時	9.90	
総作業時間（①+②）	秒	2,247	
総作業時間（①+②+③）	秒	5,006	
労働生産性	①+②	m <sup>3</sup> /人・時	9.74
	①+②+③	m <sup>3</sup> /人・時	4.37



第9図 伐倒・木寄せ工程の作業時間の内訳



第10図 集材工程の作業時間の内訳

とする 11 m<sup>3</sup>/人・日はおろか、対照作業の 8.00 m<sup>3</sup>/人・日にも及ばなかった（第 7 表、第 8 表）。

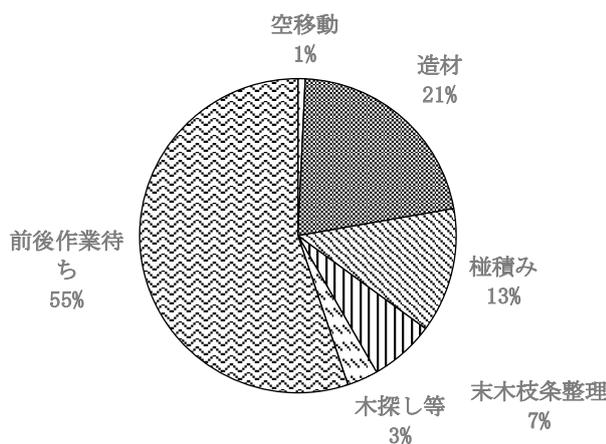
実証作業システムの生産性が対照作業システムのそれよりも大きく下回った原因は、実証作業の機械選定・システムと現場条件にミスマッチがあったことである。具体的には、作業システム、とりわけ、前述のとおり集材工程がボトルネックとなったことが大きく、伐倒作業車の能力を本実証データだけで判断するのは早計である。改善点を挙げると、このたびの現場であ

れば、作業システムは基本的に伐倒作業車（下り伐倒＋上げ荷集材）とハーベスタ（上げ荷アシスト＋造材）の組合せで事足りた可能性が高いと考える。しかし、伐倒作業車単体や 7t クラスのハーベスタでは全木を林道上に引き上げるのに苦心した場面があり、このときフェラーバンチャザウルスロボのアシストが非常に有効であったことから、ハーベスタは 13t クラスとし、併せて森林作業道の拡幅が必要と考える。

さらに、伐倒作業車のオペレータの習熟度が向上す



第 11 図 破断した控え索の修理の様子



第 12 図 造材工程の作業時間の内訳

第 7 表 実証作業システムの労働生産性

工 程		組生産性	作業時間 秒	全工程作業時間 秒	稼働率
伐倒・木寄せ	m <sup>3</sup> /組・時	7.95	2,752	8,278	0.33
集材	m <sup>3</sup> /組・時	3.11	7,035	8,278	0.85
造材	m <sup>3</sup> /組・時	4.37	5,006	8,278	0.60
システム生産性	m <sup>3</sup> /組・時	2.64			
作業員数	人	3			
労働生産性	m <sup>3</sup> /組・時	0.88			
1日当たり労働生産性	m <sup>3</sup> /人・日	6.61			

第 8 表 実証作業と対照作業の生産性の比較

作業システム	労働生産性 m <sup>3</sup> /人日	伐採面積 ha	搬出材積 m <sup>3</sup>
実証	6.61	0.04	6.08
対照	8.00	0.23	52.58
計	-	0.27	58.66

れば、全体の労働生産性はさらなる向上が期待できる。

さらに、伐倒作業車のオペレータの習熟度が向上すれば、全体の労働生産性はさらなる向上が期待できる。

## 2 まとめ

このたび実証した伐倒からは積みまでの作業システム全体の労働生産性は、林野庁の目標には及ばなかったが、作業システムの見直しや、機械操作の習熟、組み合わせ機械の大型化と森林作業道の拡幅により生産性は大きく改善することが見込まれる。

## 摘 要

林野庁は令和12(2030)年度までに、林業経営体における主伐の生産性を11 m<sup>3</sup>/人・日とする目標を設定している。主伐の生産性と伐倒作業の安全性の向上を期待して、ラジコン式伐倒作業車を組み込んだ伐出作業システムを、本県における代表的な林業地の一つである美祢市において実証した。その結果、当該システムの日当たりの労働生産性は国の目標には及ばなかった。しかし、今回の実証で採用した作業システムの工程別の課題は明らかにされたので、適切な対応策を実施すれば、生産性の向上が期待できることが示唆された。現場条件に対応した実用的な作業システムを提示するために、考え得る作業システムを試験して今後もデータを収集していく必要がある。

## 引用文献

- 新井紘嗣・立花 敏. 2020. 我が国林業の素材生産における生産性分析. 林業経済研究. 66 : 51-62.
- 舟木 徹・杉原雅彦. 2012. スギ人工林で行われた主伐の作業システムと生産性. 島根県中山間地域研究センター研究報告. 8 : 129-132.
- 石川知明. 2020. 伐採搬出作業における採算がとれる年間事業量の試算. スイングヤーダ, プロセッサ, フォワーダを用いた作業システムについて. 中部森林研究. 68 : 69-71.
- 宮崎隆幸・今井 信・白石 立. 2011. 高性能林業機械による作業システムの開発—作業工程別労働生産性の調査—. 長野県林業総合センター研究報告. 25 : 1-7.
- 西山嘉寛. 2010. 機械作業システムにおける労働生産性の予測. 研究報告/岡山県農林水産総合センター森

林研究所. 26 : 1-18.

- 岡 勝・井上源基. 2001. マネジメントの指標—生産性とコスト—. P. 89-161. 全国林業改良普及協会編. 機械化のマネジメント. 全国林業改良普及協会. 東京
- 酒井明香・栃木幸広. 2016. 「路網を活用した伐出システム」木材生産とバイオマス集荷の効率化を目指したハーベスタ・グラップルシステムの生産性-北海道千歳林業(株)の取り組み-. 森林利用学会誌. 31 : 13-19.
- 鈴木祥仁. 2005. 高性能林業機械による列状間伐の生産性評価に関する研究. 愛知県森林・林業技術センター報告. 42 : 1-13.
- 吉村哲彦・鈴木保志. 2022. 素材生産における機械化作業の生産性評価. 森林利用学会誌, 37 : 95-108.
- 林野庁. 林業労働災害の現況  
<https://www.rinya.maff.go.jp/j/routai/anzen/iti.html> (accessed on 7th Jul, 2025).

## 植栽デザインと多目的造林機械を用いた地拵え・植栽・

### 下刈りの機械化

川元 裕\*・田戸 裕之\*\*・板屋 真一郎\*\*\*・河田 朋巳\*\*\*\*・高倉 知温\*\*\*\*\*

#### Mechanization of Site Preparation, Planting, and Under Brushing Using Multipurpose Silviculture Machinery and Planting Designs

KAWAMOTO Yutaka・TADO Hiroyuki・ITAYA Shinichiro・KAWATA Tomomi and TAKAKURA Tomoharu

Abstract: When clearing undergrowth using multipurpose silviculture machinery, determining the location and arrangement of planted trees from the planning stage and organizing obstacles allowing machinery movement is essential. The method of systematically preparing the site, planting, and clearing undergrowth was defined as "planting design." This method utilizes drone aerial photography, location information from Global Navigation Satellite System (GNSS), and the map information software Quantum Geographic Information System (QGIS). We hypothesized that efficient undergrowth clearing can be achieved using smart glasses. We demonstrated the effectiveness and challenges of the method using "planting design" and multipurpose silviculture machinery. Future studies should address the challenges and establish more efficient methods with less environmental impact, from site preparation to undergrowth clearing.

Keywords: drone aerial photography, Global Navigation Satellite System (GNSS), location information, Quantum Geographic Information System (QGIS), smart glasses

キーワード: ドローン空撮、GNSS(全球測位衛星システム)、位置情報、QGIS、スマートグラス

### 緒言

林業の担い手不足対策、労働強度の軽減を考える上で、下刈り作業等の機械化が望まれ、近年、地拵えから下刈りまで多用途に作業できる多目的造林機械が開発された。

しかし、一般的に造林地には伐採残渣、根株、露岩等、障害物が存在し、下刈り時には植栽木も加わるため、これらが多目的造林機械を用いた下刈り作業の障害となる。

多目的造林機械の効率的な運用方法等の研究が始まっている(広島総技研林業技術センター, 2023)が、筆者らは造林地で使用するためには、従来の施業技術を機械走行に適するよう改良し、地拵えから下刈りまで「植栽デザイン(後述)」により計画的に実施する

ことが不可欠と考えている。

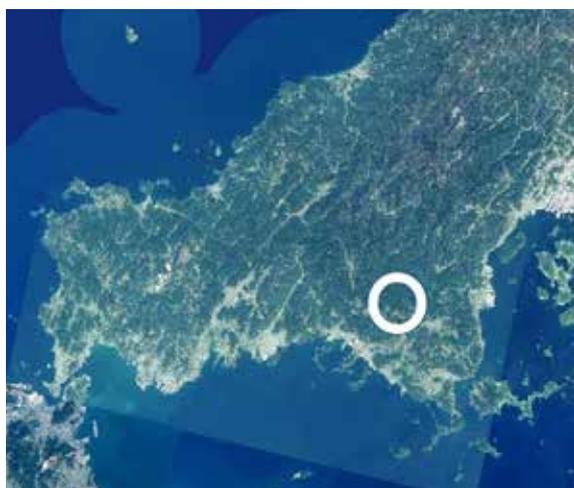
そこで、多目的造林機械を用いた効率的な下刈り作業を実現する「植栽デザイン」の作成と実行のため、かつ、現地普及を念頭に置いたできる限り簡易な方法とするため、多目的造林機械の開発元の(株)筑水キャニコムおよび(株)コア中四国カンパニー、(株)NTTドコモの4者で共同研究を行うこととし、各者が現在保有する技術・情報等を持ち寄り、植栽デザインの考案、作成および各工程の実証試験を実施し、本手法の有効性を明らかにしたので報告する。

試験地を提供いただいた山口県周南市および試験の実施に配慮いただいた山口県東部森林組合、実証試験の実施に協力いただいた共同研究者スタッフ各位、ならびに本研究の実行過程において、当センター「農林産学公連携プラットフォーム」専門アドバイザーとし

\* 現 下関農林事務所 \*\* 現 森林企画課 \*\*\* (株)コア中四国カンパニー \*\*\*\* (株)NTTドコモ \*\*\*\*\* (株)筑水キャニコム

第1表 試験地の概要I (試験実施前後の状況)

所在	試験地	前生樹		林齢	面積	本数	現況			樹種	植栽本数		
		形状	樹種				平均胸高直径	樹高	平均斜面傾斜				
		上層	下層	年	ha	本	本/ha	cm	m	度	本		
周南市 緑山	A	多角形	ヒノキ	ヒサキ	63	0.06	100	1,667	25	18	19.0	コウヨウザン	90
	B	長方形		外		0.06	68	1,133	25	18	8.8		90
	C	正方形				0.09	134	1,489	26	19	3.5		135
	D	〃				0.09	124	1,378	27	20	16.5		135
計						0.30	426	1,420	-	-	12.0		450



第1図 試験地位置図



第2図 試験地の配置

注) 試験地Eは目的のデータを取得できなかったため、実証対象から除外した

てご助言いただいた森林総合研究所の宇都木玄研究ディレクターに厚くお礼申し上げます。

## 材料および方法

### 1 試験地

地拵えから下刈りまで継続して実証試験を行うため、山口県周南市の市有林(第1表:63年生ヒノキを皆伐し、コウヨウザンを1,500本/haの密度で植栽する計画)に4か所の試験地を設けた(第1、2図)。その中に形状、障害物の有無など試験地ごとの状況に適した試験の目的と試験区a~fを設定し、それぞれの植栽デザイン(後述)を描いた(第2表)。

### 2 実施期間

一連の工程を第3表のとおり期間を分けて実施し

た。

### 3 方法

#### 1) 植栽デザインの定義

植栽デザインとは、「多目的造林機械等が林地を走行し効率的に下刈り作業をするために、機械の走行ルート、処理する根株および植栽位置等を想定して描画した造林地の設計図」と定義する。造園業界でも同用語が使われているようであるが、別の概念である。

#### 2) 植栽デザインの作成・実行手順と使用機材等

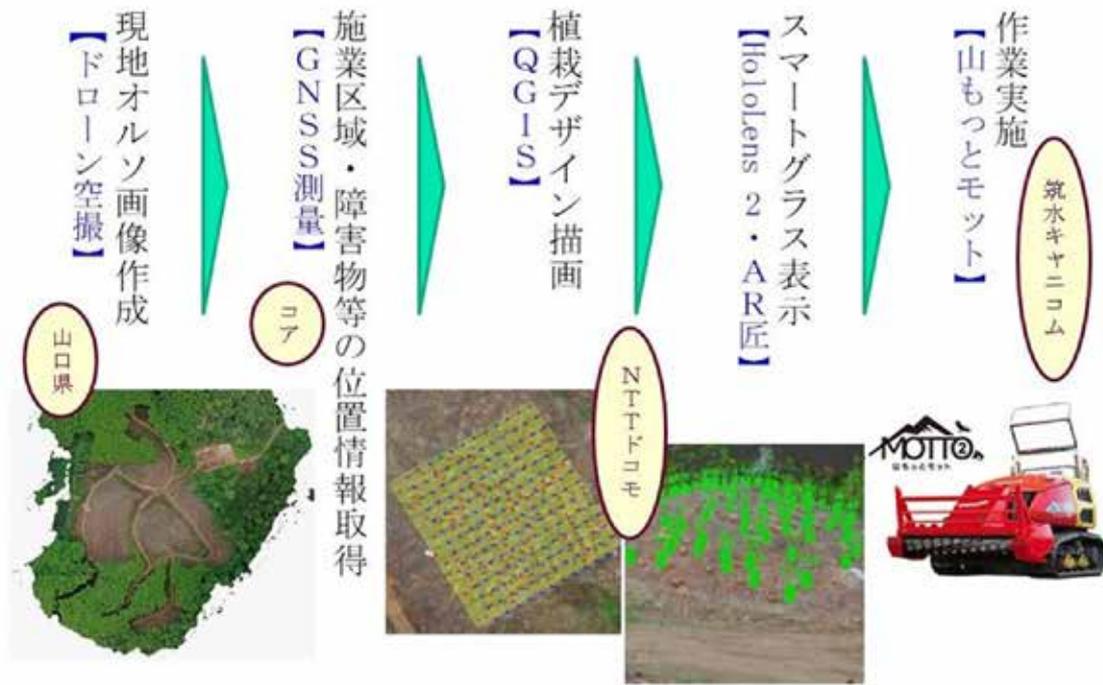
植栽デザインの作成から実行までは次の手順で行った。なお、各手順の後に括弧書きでそれぞれの作業主体を明記した(第3図)。

#### (1) ドローン空撮(山口県農林総合技術センター)

第2表 試験地の概要Ⅱ（林地条件、試験目的等）

試験地	傾斜区分※1	地形、条件等	走行方向 (対等高線)	試験目的・内容等	根株処理※2	植栽作業		下刈り機械 操作※3	試験区
						施工後の根 株処理率※3	者※4		
A	中傾斜	不規則な六角形・尾根を跨ぐ	平行	平行作業の確認	全部	95.7%	2 オペ	有人	a
B	緩傾斜	障害物（露岩、溝）	垂直	根株一部処理の効果、微地形への対応方法の確認	一部	53.9%	〃	〃	f
C	緩傾斜	起伏と傾斜に変化は少ない	〃	模式的な施工地の作業効率確認	全部	92.6%	〃	有人 ラジコン	b c
D	緩傾斜～急傾斜	起伏少ない、位置により傾斜が変化	〃	中～急傾斜での施工方法と効率の確認	〃	84.8%	1 オペ	有人	d
							2 オペ	〃	e

※1) 緩傾斜：0～15° 未満 中傾斜：15～30° 未満 急傾斜：30° 以上（林野庁，2000）  
 ※2) 全：機械走行に支障となる根株を全て処理 一部：最小限の根株処理 不：根株不処理  
 ※3) 試験区Dは、一部区画が急傾斜のため根株処理できなかったことにより、全体の処理率が低下した。  
 ※4) 2 オペ：機械操作に一人、植栽に一人で役割分担する。 1 オペ：一人が機械操作と植栽をする。  
 ※5) 有人：山もつとモット ラジコン：ラジコン式草刈り機



第3図 植栽デザイン作成・実行手順

第3表 実施期間

作業・試験実施時期		地拵え	植栽	下刈り
年	月日			
2022	9月27日～30日	(a～e)		
2023	2月 6日～ 9日	(f)	(a～f)	
	6月13日～15日			(a～f)

1) a～f：試験区 1) a～f：試験区  
 2) 準備作業（植栽デザイン作成）は、現場の変化を反映するため、各工程試験実施前にすべての試験区で行った



第4図 ドローン

DJI 社製の MAVIC 2 を使用した (第 4 図)。これは、2018 年に発売された高性能な折りたたみ式ドローンで、特にカメラ性能に優れ、安全な全方向障害物検知機能や、長時間の飛行、安定した映像伝送能力も兼ね備えており、プロの空撮や映像制作に広く使われている。

### (2) オルソ画像化 (山口県農林総合技術センター)

Ajisoft 社製の Metashape Professional を使用した。これは航空写真から高解像度の DEM データおよびテクスチャー付きのポリゴンモデルと GCP を含む 5 cm 以内の精度を持ったオルソフォト出力を生成することができるソフトウェアである。

### (3) GNSS 測量 (株)コア中四国カンパニー

(株)コア製の「Cohac<sup>∞</sup> Ten+」を使用した (第 5 図)。これは日本の準天頂衛星「みちびき」を使った手のひらサイズの高精度 GNSS 受信機で、誤差数センチという非常に正確な位置情報を取得できる。

### (4) 植栽デザインの描画 (株)NTT ドコモ・山口県農林総合技術センター

オープンソースの地理情報ソフトウェアの QGIS を使用した (第 6 図)。これは専門家から初心者まで誰でも自由に利用でき、地図の作成、地理データの表示、編集、分析など、多様な機能を備えていることから、将来の実用化も見据えて、今回の実証試験に本ソフトを採用した。

### (5) 植栽デザインのスマートグラスへの表示 (株)NTT ドコモ

スマートグラスにはマイクロソフトの HoloLens 2 を使用した (第 7 図)。これは現実世界にデジタルの情報を重ねて表示する「複合現実 (MR)」を実現するヘッドセットで、これを装着すると、目の前の空間に 3D ホログラムを映し出すことができる。この機能を使用すると、現場状況に植栽デザインを重ね合わせて表示することができる。このスマートグラスを装着することにより、植栽デザインであらかじめ決めておいたとおりの作業 (根株の処理・不処理の選択、植え穴掘り位置の確認、植栽木を含む障害物の位置の確認、機械の走行ルートの確認等) を機械のオペレータが一人で行うことができる。

### (6) 地拵え・植栽・下刈り作業 (株)筑水キャニコム

標記の 3 工程を処理するために、筑水キャニコム社製の「山もっとモット」を使用した (第 8~10 図)。これは林業の造林作業を効率化するために開発された多目的機械で、これまで人力で行われていた植栽や下刈り、およびその前作業として必要な根株や残渣の粉碎等の作業を、1 台で安全にこなすことができる。また、林地の斜面で安定して作業ができるように工夫されており、林業の重労働を軽減する役割を担う。

このほかに、下刈りの実証試験には、同社が当時開



第 5 図 GNSS 測量



第 6 図 ドローン空撮画像と QGIS マップ



第 7 図 スマートグラス

発中のラジコン式草刈り機を使用する試験区も設定した（第11図）。

### 3) 植栽デザインの作成方法

植栽デザインは現地状況に対応した描画が必要であるため、基本的なイメージとなる植栽模式図を考案し、試験区ごとにパラメータ（植栽本数、刈り幅等）を設定した（第12図）。その中で走行機械と植栽木の干渉および植栽後の下刈りを行わない場合に植栽木の成長に対する悪影響を最小限に抑えるために、本試験では走行機械と植栽木のバッファを0.3 mとした。

### 4) 試験区別植栽デザインの設定の目的

試験区は主な障害となる根株処理を主体として、全処理区と一部処理区に区分した。さらに全処理区を目

的に応じて条件を変えて設定した（第2表）。一部処理区（f）は、機械走行幅を確保しつつ根株の処理数をできる限り抑える、即ちコスト削減をテーマとして設定した。以下、試験区ごとの詳細な設計の趣旨を記述する。

#### (1) 試験区 a

試験地Aに設定した。クローラタイプのもしくは横転リスクを抑えるため等高線に垂直方向に移動（以下、「垂直移動」とする。）することが原則であるが、ここではそれに反して等高線に平行に移動（以下、「平行移動」とする。）する植栽デザインを描いた。その意図は、傾斜が当たり前の森林施業においても、平行移動のほうが効率的に作業を実施できる現場もあり得



第8図 多目的造林機械（根株処理）



第9図 多目的造林機械（植え穴掘り）

注) 図は2オペ作業の様子（試験区f）で、図右の人物が機械操縦、図手前の人物が植付作業手、1オペ（試験区d）では機械操縦と植付を一人が担った



第10図 多目的造林機械（下刈り）



第11図 ラジコン式草刈機（下刈り）

多目的造林機械の使用を前提とした施業模式図

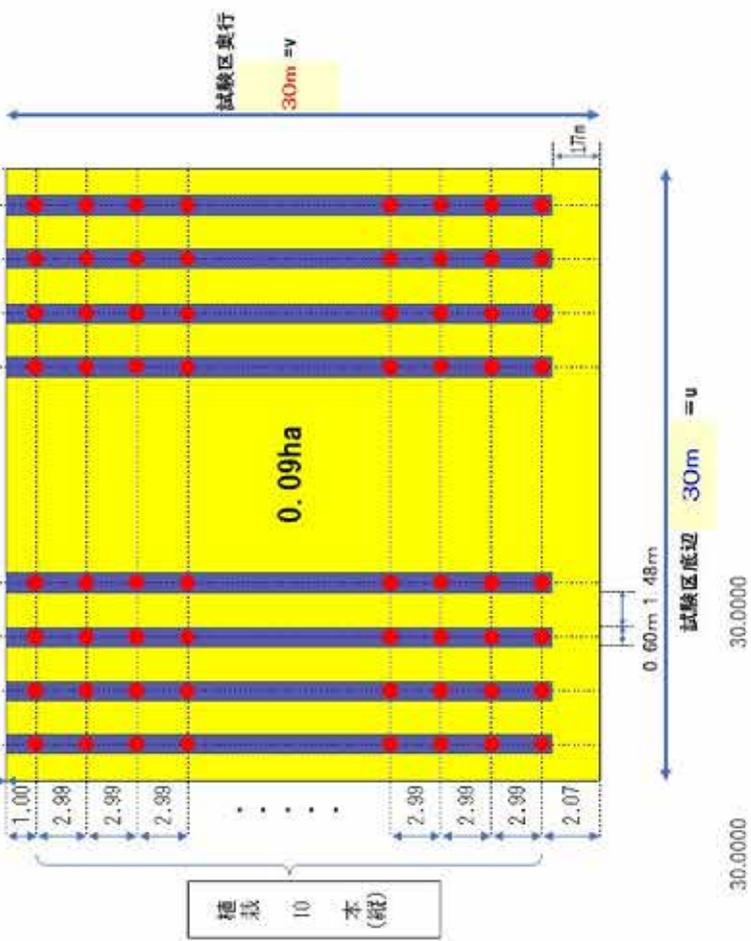
(正方形区: 135本/0.09ha)

植栽デザインの仕組み上、標準本数に合わせることが難しいため、試験区内での「標準本数 (135本/ha) を超える植栽ポイントには植栽しない。」(緑だけ抜けるor植栽あけもしない)

面積相当植栽本数: 1,500 本 / 0.09 ha = 135 本 (=r)  
 試験想定植栽本数: ● 10 本(s) × 14 列 (s) = 140 本 ← 列数は調整  
 多目的造林機械列強し部: ■ 0.0237 ha (26.3%) = 0.60 m × 28.2 m × 14 列  
 多目的造林機械列弱し部: □ 0.0663 ha (73.7%) = 0.09 ha - 0.0237 ha  
 計: 0.0900 ha (100.0%)

【施業模式図数値の条件】

機体長:	3.000 m	a ← 推測 ※要確認
機体幅:	1.180 m	b ← メーカ一聴き取り (可変: 1.180m~1.460m)
ラジコン帯列機列幅:	1.000 m	c ← メーカ一聴き取り
列強し幅 (片側):	0.300 m	d ← 比較走行で要確認 (隣の巻き込みがなければOK)
機械重複列幅下限:	0.200 m	e ← メーカ一聴き取り
植栽列数:	14 列	f = √r
植栽列間隔:	2.080 m	g = (u-2*i)/(t-1)
植栽間隔:	2.992 m	h = (v-(d+k))/s
最端列~境界幅 (図左右):	1.480 m	i = b+d
最端列~境界幅 (図上):	1.000 m	j ← 林業界通念上 (議論の余地あり)
最端列~境界幅 (図下):	1.770 m	k = b*1.5 ← メーカ一聴き取り
植栽区底辺:	27.000 m	l = u-2*i
植栽区奥行:	26.900 m	m = v-(d+j+k)
機械列幅:	1.480 m	n = h-2*d ← 隙間幅+0.2m以上必要 (メーカ一聴き取り)
機械重複列幅:	0.520 m	o = 2*c-n ← オーバーラップ (=機械列ロス)
列強し面積:	0.024 ha	p = (u-k)*t*2*d/10000 ← 人力対払い
折り返し部延長:	- m	q ※設けない。筋の先端は切り返して刈る。



試験パターン	地植え	山もつとモット
	植栽	山もつとモット
	下刈り	ラジコン式

第12図 植栽模式図

ると考えたため、実際、当試験区は最高地点を中心に裾野が扇形に広がる地形である。なお、「山もつとモット」は一般の重機と違って重心が低い上に、傾斜角警告システム（前後左右の傾斜を感知し、25°以上で警告アラームが作動。さらに、前後35°以上、左右30°以上の傾斜ではエンジンが強制停止。）や自動水平保持機能（最大30°までの傾斜地でもオペレータの体を垂直に保ちながら作業可能。）が搭載されているので、当試験区での横転リスクはないと判断した。

## (2) 試験区 b・c

大きな障害となる要因が存在しない、多目的造林機械が実力を存分に発揮できる模式的な試験区として試験地Cに設定した。実際は同じ区域で、下刈りの使用機械の違いで区分した。b区は「山もつとモット」、c区はラジコン式草刈り機である。

## (3) 試験区 d・e

試験地Dに設定した。走行上の大きな障害物は存在しないが、同区内で緩～急傾斜地まで変化があり、とくに中～急勾配での施工方法を検討するために設定した。植栽工程のオペレータ数で区域を分けた。植え穴掘りとdは1オペレータ、eは2オペレータである。

## (4) 試験区 f

試験地Bに設定した。取り除くことができない走行上の障害物（露岩・大きな溝）回避およびコスト削減のために根株処理を最小限に抑えることを目的として、残存する根株のそばに植栽することとしたため、植栽列は平行でなく波線状となり、したがって、下刈りルートも波線状となった。

## 4 作業効率および作業コストの算出

次の方法により算出し、機械作業と従来作業を比較した。

- ① 実証試験の計測結果から、地拵え・植栽・下刈り（4回分）全工程のha当たり合計人役数を算出。
- ② 従来作業データは、従来の人力施工を想定して森林整備保全事業標準歩掛等（林野庁. 1999, 2000, 2023）から算出。
- ③ 作業コストは、労務費および機械損料、燃料費の積み上げとした。このうち労務費および燃料費は実証試験分析当時（2023年）の山口県における標準的な労務単価等について山口県HPおよび経済産業省HPの

公表値を、機械経費は使用機械の販売価格（未発売の機械は類似の販売機械の価格）を使用した。なお、森林施業の機械化・無人化の推進は国および都道府県において喫緊の課題で、重要な施策であるので補助事業の活用を前提条件とした。一方、ドローンやGNSS測量機器は汎用性が高いことやスマートグラスは植栽デザインの実用化を想定するとオペレータの身体的負担から他の方法を採用する結論とした（後述）ことから、これらの経費は含まないこととした。

④ 地拵え工程は、次の内容を想定した。

- ・機械作業：「山もつとモット」による根株や灌木等の切削処理（第8図）
- ・従来作業：刈払い機・チェーンソーによる灌木の伐採・片付け

## 結果および考察

### 1 植栽デザインの作成

#### 1) ドローン空撮およびオルソ画像

ICT機器の取り扱いに習練は必要であるが、比較的容易に、ドローンの空撮画像から現場のオルソ画像を作成することができた（第2図）。ドローンの操縦には、技能講習を受けた上、一定の習練が必要であるが、林業経営体の職員にも可能な方法であると評価する。

しかし、オルソ画像やそれに基づく植栽デザインを現場で使用する際には、オルソ画像の歪みや位置情報の補正に手間や費用が必要なため、知見の浅い初心者には相応の経験が必要と考えられる。

#### 2) GNSS測量

GNSS測量は残存根株や障害物等の位置情報を高精度で取得でき、本試験地での植栽デザインの作成に重要な役割を占めた（第5図）。

しかしながら、今回の試験のように根株や植栽木の位置を全て測位することは、作業手間の観点から現実的でなく、むしろGNSS測量は要所（周囲測量等）のみに使用し、根株や植栽木の位置情報は高精度なオルソ画像からのAI判定とすることが、植栽デザイン作成作業の効率化につながると考えられる。

#### 3) 植栽デザインの作成とスマートグラスへの投影（AR：拡張現実）

植栽デザインは、植栽模式図であらかじめ基本設計を定め、QGISの機能を用いることで、初心者でも描画

することができた(第12図、第13図)。一方、オペレータがスマートグラスで現場と植栽デザインを重ね合わせて見るためには、オルソ画像の補正、スマートグラスへの植栽デザインデータ登載、現場でのズレの補正作業等の手間が必要で、これはスマートグラス使用経験者に頼った(第14図)。

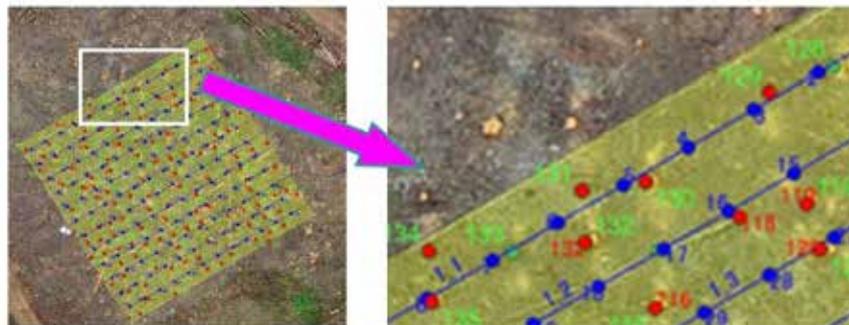
いずれも一定の習練を積むことによって、基本的に誰でも実施可能と評価するが、いくつもの工程を経ることや、補正作業が必ず発生すること等、一般普及に当たってはこれらの工程を簡略化するアルゴリズムの

開発が今後の課題と考えられる。

#### 4) 植栽デザインとスマートグラスの組み合わせ

根株処理の区別、植栽位置、走行ルート等をオペレータが随時判断できるため、作業効率の向上およびオペレータの目標物確認負担の軽減の観点から有効性が認められた。一方で、スマートグラスの装着はオペレータにとって身体的負担でもあった。スマートグラスの装着が身体的負担となった主な理由は、顔面部における常時装着に伴う異物感(または不快感)である。

- ◆ 機械で処理する根株(●)と植栽列(—●—)を決定。(植栽列上で機械走行を妨げないもの(●)は残す。)
- ◆ 植栽間隔は、ha当たり植栽本数と機械の刈幅等から決定。
- ◆ 後の下刈り等の機械操作を容易にし、かつ誰でも描画できることを意図して、基本的には直線状とすること。



第13図 植栽デザイン例



第14図 スマートグラスを装着したオペレータの視界(複合現実)

注) 撮影場所は本報告とは別の試験地、機械はラジコン式草刈り機

具体的な重量や発熱といった要因に加え、デバイスを身体に固定し続けること自体が生理的なストレスとなり、これがオペレータにとって無視できない負担として認識された。

したがって、今後の方向としては、スマートグラスの装着に係るオペレータの負担軽減を図りつつ、作業効率の向上機能を有するツールとして、モニタ（タブレット等）と植栽デザインの組み合わせによる遠隔操作、ひいては自律走行（自動化）を検討すべきと考える。

なお、植栽デザインは、各工程試験の実施結果を受けてその都度更新したが、機械の走行方向など基本的な部分は変更しなかった。

## 2 作業工程別の作業効率

機械作業と従来作業の作業効率を比較した結果の概要は以下のとおり。

### 1) 地拵え工程

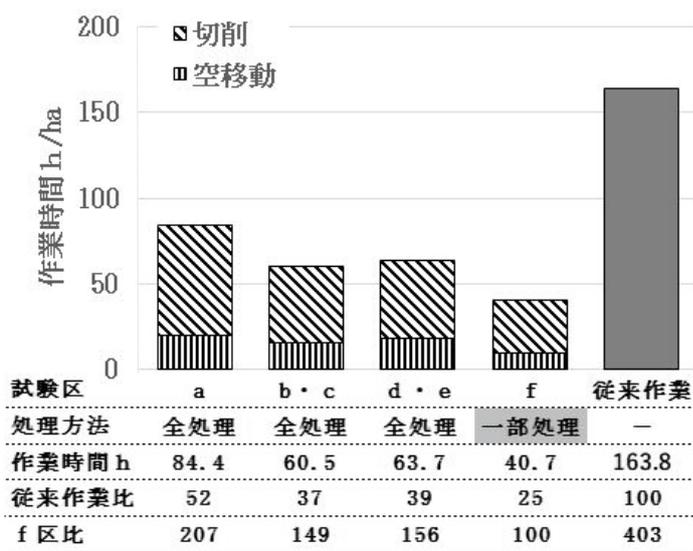
地拵え工程の要素作業は、根株の切削とその間の移動時間とした。単位面積（ha）当たりの作業時間に換算すると第15図のとおりで、前述のとおり従来作業の地拵えと機械作業のそれとは実質的な内容は異なるが、従来作業を100として各試験区の作業効率を比較

すると、25～52といずれも大きく向上する結果となった。一方、地拵え作業の効率化コスト削減を狙ったf区は根株処理数が全体の約54%（第2表）となった結果、その作業効率を100とすると他の試験区は149～207となった。

従来作業の場合、下刈り時に枝条や根株等が作業の支障となることを考えると、これらを均す作業はたとえ機械植栽・機械下刈りをしない場合であっても、作業負荷軽減の観点から有効と考えられる一方、f区との比較では、根株処理数が減少するので当然の結果であるが、ねらい（材料および方法 3 4）（4））どおりの結果が得られた。ただし、機械走行に問題が生じている（後述）。

### 2) 植栽工程

植栽工程の要素作業は、機械植え穴掘りと人力植付とした。なお、d区の1オペレータ作業における機械植え穴掘りには植付を含む。これは、機械植え穴掘りの待ち時間にオペレータ自ら植付をしたため、待ち時間を有効に使えた反面、両者の時間を明確に区分できなかったことによる。その結果を単位面積（ha）当たり、作業時間に換算すると第16図のとおりで、従来作業を100として各試験区の作業効率を比較すると、緩傾斜地（b、c区）では従来作業よりも上回った（74）



第15図 地拵え工程の作業時間

注) 一部処理：植栽デザインにおいて、地拵え作業の効率化・根株処理コストの削減のため、後の機械下刈り走行に支障がない最小限の根株処理とする  
 全処理：植栽デザインにおいて、後の機械下刈り走行ラインを直線状とし、その走行に支障がない場合を除いて根株を全部処理する

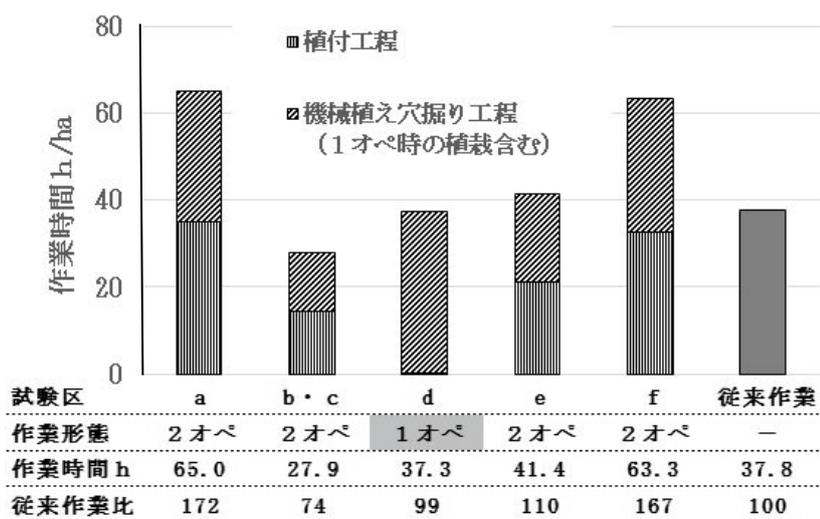
が、中～急傾斜地 (a、d、e 区) では 99 ～172 と同等ないしは低下した。

緩傾斜地 (b、c 区) では機械の強みを発揮して作業効率が向上した。一方、その他の試験区で効率が上がらなかった要因を個別に検討した結果、a 区は平行移動の弊害 (後述 3-1))、d、e 区は勾配と根株上でのスリップ等による速度低下、f 区は一部残した根株を含め露岩や溝などの障害物が作業の妨げとなり作業手順に狂いが生じたものと考えられる。

### 3) 下刈り工程 (1 回分)

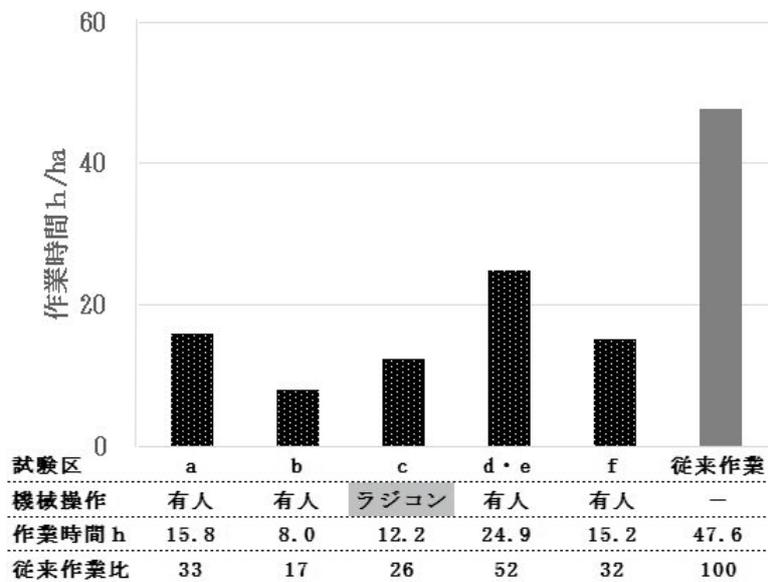
1 回あたりの下刈り工程の作業時間を単位面積 (ha) 当たりに換算すると第 17 図のとおりで、従来作業を 100 として各試験区の作業効率を比較すると、17 ～52 というよりも大きく向上する結果が得られた。

従来作業と比較して、機械力が格段に高いことに加え、スマートグラスにより植栽列は明確で、基本的にあらかじめ決めたルートを進ることから、作業効率が大幅に向上したものと考えられ、植栽デザインの有効性が証明された。



第 16 図 植栽工程の作業時間

注) 1 オペ: 機械操作をしながら、機械植え穴掘り中の待機時間にオペレータが植付作業をする  
2 オペ: 機械操作と植付作業を別々の作業員が分担する



第 17 図 下刈り工程の作業時間 (1 回分)

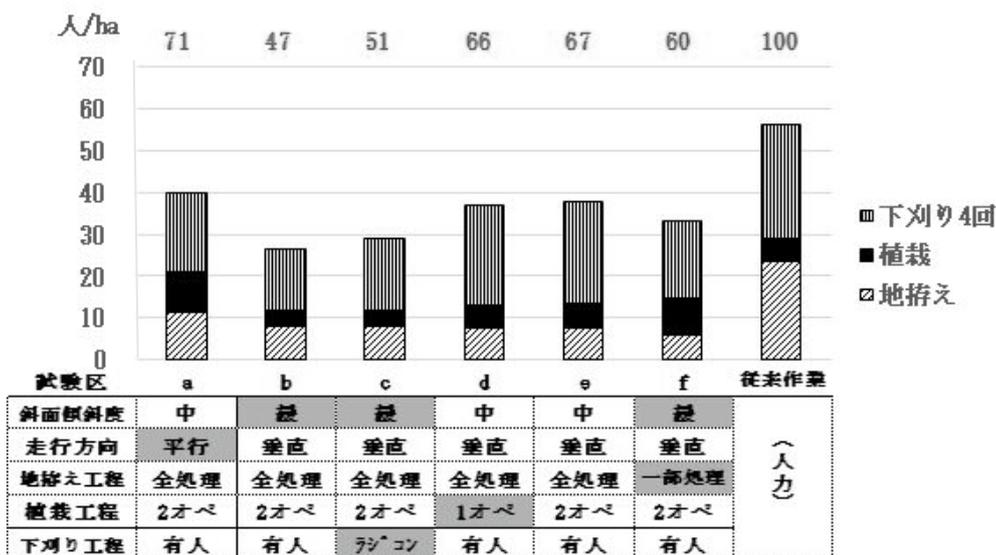
### 3 多目的造林機械等による3工程（地拵え・植栽・下刈り）トータル作業効率

2の結果をもとに、地拵え、植栽および下刈りの3工程トータルの作業効率をシミュレーションした。なお、下刈りは4回分として算出した。

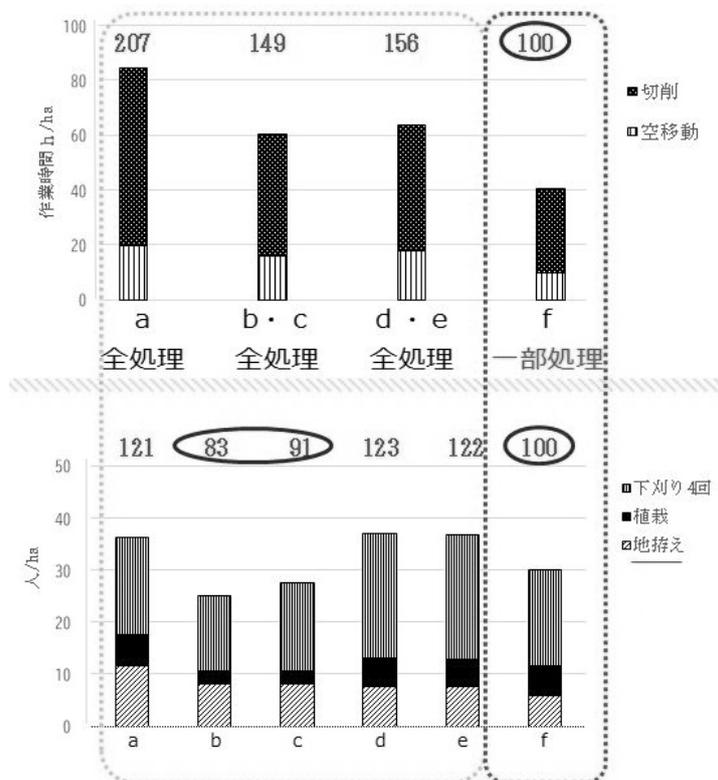
その結果、作業効率（人/ha）は従来作業の47～67%となり、植栽デザインの有効性が示された（第18図）。

また、前述（2-1）のとおり、地拵え工程に限って見た場合、根株の全処理（a～e区）は一部処理（f区）の約1.5～2倍の時間を要したが、3工程トータルの作業効率では緩傾斜（b、c区）において一部処理（f区）よりも作業効率が向上した（第19図）。

一部処理（f区）で3工程トータルの作業効率が低下した要因は、障害物等を極力避けた結果の波線状の走行ラインや障害物とのバッファに余裕がないことに



第18図 3工程トータルの作業効率



第19図 根株処理率の違いが3行程トータルの作業効率に及ぼす影響  
注) 試験区は第18図を参照のこと

より、施工速度が低下したと考えられる（第 20 図、第 21 図）。

以下、試験区別の詳細について記述する。

### 1) 試験区 a

作業効率は従来作業比 71%と、垂直移動（d 区：66%、e 区：67%）と大きな差はなかった。また、走行ルートが決まっている植栽・下刈りと違い、自由度の高い地存え工程において、他と比較して効率が低下した。1カ所のみの結果のため即断はできないが、平行移動は機体が進行中に斜面下方への力が働くことで、オペレータは常にその軌道修正を図らなければならないために作業効率が低下する可能性があるため、平行移動の採用に当たってはそれを考慮する必要がある。地存え工程の効率低下の要因は判然としなかった。

### 2) 試験区 b・c

b 区の作業効率は従来作業の 47%、c 区のそれは 51%と、試験区中で最も効率が良かった。その要因は、走行ルートに障害物が存在せず、多目的造林機械が得意とする緩傾斜地であったことと考えられる。

b 区と c 区の差は下刈り工程によるもので、使用した機械（b 区：多目的造林機械、c 区：ラジコン式草刈り機）の能力（エンジン出力、刈り幅、遠隔操作の緩慢さ）がその要因と推察した。

### 3) 試験区 d・e

作業効率は、d 区は従来作業比の 66%、e 区は同 67%で、垂直移動の試験区の中では最も低かった。

勾配が急になると緩傾斜地では問題とならなかった処理済み根株が影響した。根株処理後も地中の根系は

残るので、走行時にはクローラが根系の切削面で滑り、また、太根を乗り越えようとして下側の土壌を削ってしまって乗り越えることができず、何度も切り返しを必要とした。勾配が 30 度前後では太根を乗り越えることができず、結果的に想定した機械作業が一部実施できない区画が生じた。さらに、d、e 区の下刈り試験当日が雨天であったことも影響を大きくしたと考えられる。

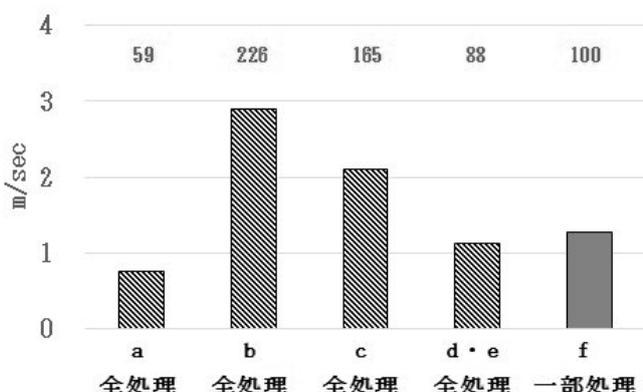
したがって、勾配が増すと作業効率が低下する傾向が認められることから、特に雨天中・直後は施工を避けることが望ましい。また、植え穴掘りアタッチメント機が 1 オペレータ・2 オペレータ両対応で設計されているが、トータルの作業効率にほとんど影響はなかったことから、作業当日の作業員数に応じて作業の選択の幅が広がると考えられる。

### 4) 試験区 f

作業効率は従来作業比 60%と、障害物の有無以外は林地の条件に近い b、c 区と比較して作業効率が低下した。これは、波線状で平行でない配置の残存根株や植栽木との距離に走行上の余裕がなくなり、走行速度が低下したためと考えられる。

植栽デザインの描画にあたっては、障害物とのバッファを確保する必要があると考えられるが、その場合は根株処理数が増加し、地存えのコスト増を招くことから、実証事例を増やしてその有効なラインを見極める必要があると考える。

走行上の障害物の回避については、植栽デザインと現場でのオペレータ判断に乖離が生じ、下刈りの走行ルートの一部において実走行ルートに大きな変更が生じた。オルソ画像上では可能と判断した走行ルートで



第 20 図 下刈り工程の平均走行速度

注) 試験区は第 18 図を参照のこと



第 21 図 b 区での走行の様子

あったが、オペレータが不可またはより良いルートで現場で判断し、採用したためである。露岩や溝状の微地形などはオルソ画像では詳細を判別しにくいいため、植栽デザインよりもオペレータ判断を優先する事態も想定すると同時に、下刈りは数回行うので、走行ルートに変更が生じた場合には植栽デザインの修正が必要である。その際にはオルソ画像を再度作成し、クローラの痕を辿る作業が必要と考えられる。

#### 4 作業コスト

3のシミュレーションに基づき従来作業と比較した結果、機械作業は約1.8～3.4倍の値を示した(第22図)。

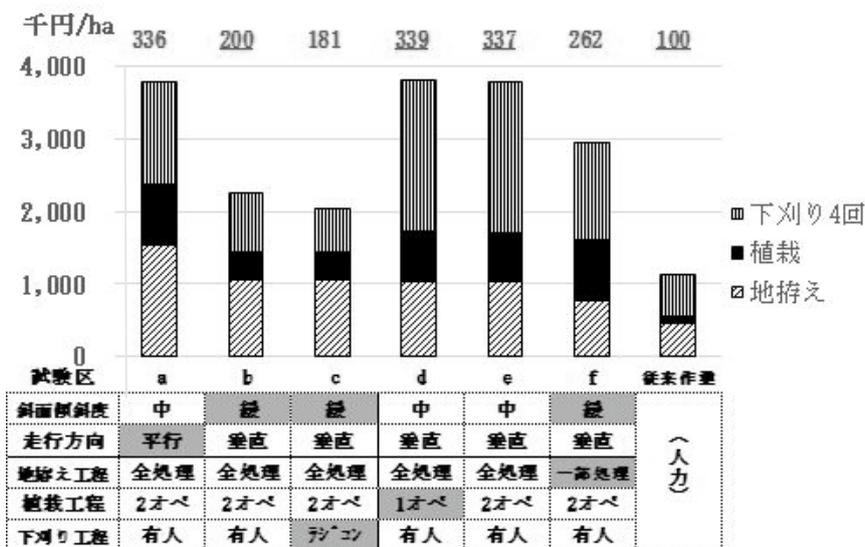
従来作業よりもコストが高んだ大きな要因は機械損料である。下刈りに限らず高額な機械導入の障壁であ

るが、コストの増加を機械導入による作業効率の向上に伴って生じる余剰労働力を事業量増加に振り向けることによる収益増に加え、労働負荷の軽減効果(省力化、軽労化およびそれに伴う労働安全・衛生の視点)を取り入れた経営判断が林業事業体に必要と考える。

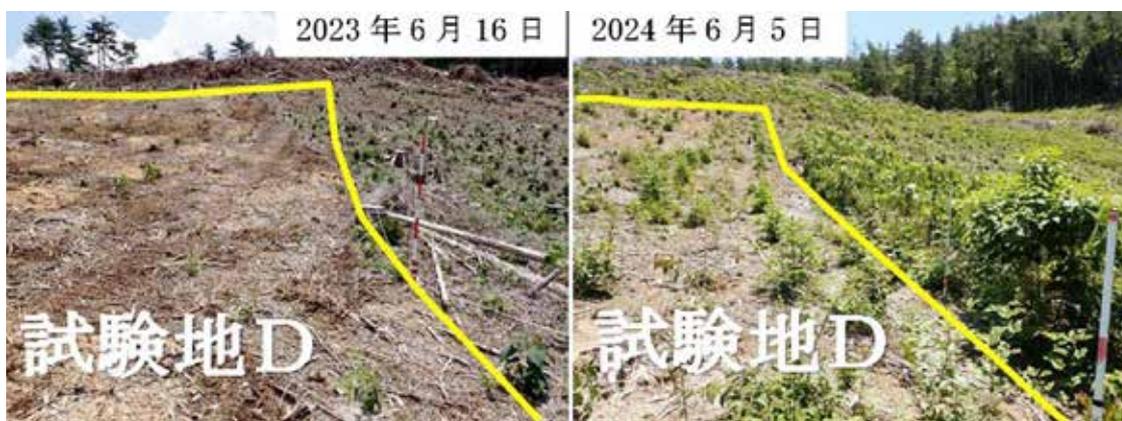
#### 5 下刈り回数・面積の削減の可能性

下刈り工程の実証試験を完了した2023年6月とその1年後の試験区内外を比較して、雑草・灌木の繁茂が抑えられていることが分かった(第23図)。

このことは、機械作業に伴う表土かく乱が下刈り回数・面積の削減につながる可能性を示している。一方で、傾斜地では有機質土壌の流失や裸地化の懸念がある(佐藤, 2020)ことから、多目的造林機械の作業による表土かく乱の影響を確認するため、経過観察が必



第22図 3工程トータルの作業コストのシミュレーション



第23図 下刈り回数・面積削減の可能性

左: 試験直後 右: 試験後1年経過



第24 図 試験直後の試験地Cの遠景



第25 図 機械旋回部の土壌かく乱

要と考える(第24, 25 図)。

しかし、多目的造林機械の使用が主に想定される斜面傾斜度は本機の性能が十分に発揮できる約20度以下で、中～急傾斜地での使用は多くないと予想されるため、有機質土壌の流失の程度は大きくないと考えられる。

以上のように、「植栽デザイン」と多目的造林機械を用いた再造林手法の現地実証を行い、その有効性と課題を明らかにした。今後はこの実証試験で明らかになった課題を改善し、より環境負荷の少ない効率的な再造林手法の確立を目指す必要があると考える。

## 摘 要

多目的造林機械を用いた下刈り作業では、計画段階から植栽木の位置や配置を決め、機械が走行できるような障害物を整理することが重要となる。筆者らは、地拵え、植栽、下刈りを計画的に行う手法を「植栽デザイン」と定義した。ドローン空撮、GNSSによる位置情報および地図情報ソフトQGISを用いてこれを作成し、スマートグラスを用いることで効率的な下刈り作業が実現できると考え、実証した。その結果、「植栽デザイン」と多目的造林機械を用いて地拵えから下刈りまで計画的に実施する手法の有効性と課題を明らかにした。今後はこれらの課題に取り組み、地拵えから下刈りまで、より環境負荷が少なく効率的な手法の確立を目指す必要がある。

## 引用文献

- 一般社団法人北海道造林協会. (掲載年不明). 造林作業の自動化・軽労化システムの構築に向けた実証・普及について  
<https://www.zorin-ai.jp/common/pdf/active/zorin-advanced-machineDEMO.pdf> (2025年8月12日現在)
- 広島県立総合技術研究所林業技術センター. 2023. 令和4年度業務報告;p4  
<https://www.pref.hiroshima.lg.jp/uploaded/attachment/582314.pdf> (2025年8月12日現在)
- 林野庁. 1999. 森林整備保全事業標準歩掛  
<https://www.rinya.maff.go.jp/j/sekou/gijutu/bugakarisan kou.html> (2025年8月13日現在)
- 林野庁. 2000. 地域森林計画および国有林の地域別の森林計画に関する事務の取り扱いの運用について  
[https://www.rinya.maff.go.jp/j/keikaku/sinrin\\_keikaku/attach/pdf/con\\_4-5.pdf](https://www.rinya.maff.go.jp/j/keikaku/sinrin_keikaku/attach/pdf/con_4-5.pdf)  
(2026年1月28日現在)
- 林野庁. 2023. 治山林道必携—積算・施工編—上巻・下巻. 東京: 一般社団法人日本治山治水協会/日本林道協会.
- 佐藤弘和. 2020. 車両系林業機械の走行による集材路での締め固めと土壌物理性の回復. 森林科学. 90: 6-13.

## 地域資源飼料の給与が黒毛和種肥育牛の生産性及び収益性に及ぼす影響

大賀 友英\*・吉村 謙一\*\*・藤田 航平

### Effects of Regionally Sourced Feed on the Productivity and Profitability of Japanese Black Beef Cattle

OHGA Tomohide, YOSHIMURA Kenichi and FUJITA Kouhei

**Abstract:** Utilizing regional resourced feed that offers relatively stable supply and prices is essential for strengthening the foundation of fattening operations of Japanese Black cattle. Therefore, we investigated the utilization of feed rice whole-crop silage, standing-stalk stored rice whole crop silage, feed rice, and sake lees as alternative feeds for Japanese black beef cattle. All alternative feeds demonstrated feed-cost reduction and were feasible without adversely affecting carcass performance. However, in short-term fattening, no improvement in oleic acid content was observed for feed rice or feed-grade rice bran oil.

**Keywords:** feed rice, rice whole crop silage, sake lees, short-term fattening, feed-grade rice bran oil

**キーワード:** 飼料用米、イネWC S、酒粕、短期肥育、飼料用ライスオイル

### 緒言

国内の肉用牛肥育経営は、飼料の多くを輸入に依存しており、国際的な穀物価格や為替レート等の要因により飼料価格が変動するため、常に不安定な経営環境に置かれている。経営基盤を安定させるためには、国産飼料の安定確保と飼料費のコスト削減が不可欠である。近年、輸入飼料の代替として、地域資源の飼料用米や飼料用イネWC S（稲発酵粗飼料）や酒粕などの活用が注目されている。これらの代替飼料の給与は、地域の資源循環に貢献し、飼料自給率の向上にも繋がる重要な取り組みである。

しかし、これらの代替飼料を肥育牛に給与する場合は、従来の飼養体系と同等以上の発育、産肉成績、そして肉質を確保することが必須条件となる。また、飼料費削減効果も、実用化に向けた重要な評価指標である。さらに、近年注目されている短期肥育（従来の出荷月齢より早期に出荷する肥育技術）における地域資源の活用は、肥育期間の短縮によるコスト削減と、肉質の維持・向上という両立が求められるため、新たな知見が必要である。

そこで本研究では、飼料用米、飼料用イネWC S、立ち枯れイネWC S<sup>註1)</sup>、酒粕を用いて肥育牛への給与と試験を実施した。まず、従来の肥育期間における給

\* 現 畜産振興課 \*\* 企画戦略部

与試験は、前述の地域資源を一部代替として給与した場合の発育、産肉性、肉質（オレイン酸割合<sup>注2)</sup>）、および生産コストにどのような影響を及ぼすかを検証した。次に、短期肥育では、牛肉の食味に影響を及ぼすとされるオレイン酸割合を高める効果があるとされている飼料用米（樋口、2012）および飼料用ライスオイル（茨城県畜産農業協同組合連合会、2009）を給与することで、短期肥育におけるオレイン酸割合への影響、並びに地域資源の活用による従来よりも飼料自給率の高い給与体系を検証した。

注1) 飼料用イネのβカロテンを低減させるため、冬季までは場で立ち枯れさせた後、サイレージ調製したもの

注2) 不飽和脂肪酸の一つで、融点が16度と低いのが特徴。オレイン酸割合の高い牛肉は口溶けや風味が良いとされている。月齢の影響が大きく、一般的に肥育期間が短い（出荷月齢が早い）ほどオレイン酸割合が低くなる傾向がある。

## 材料および方法

### 1 試験区分および材料

試験期間及び回数は、①従来の肥育期間における給与試験：2020年度から2022年度まで2回、②短期肥育における給与試験：2023年度から2024年度まで2回、計4回の試験を行った。試験区分は、地域資源を給与する区を試験区、給与しない区を対照区として設定し、産肉性や食味性に及ぼす影響を調査した。出荷月齢は各試験で試験区、対照区差がつかないようにした。供試牛は、黒毛和種とし、頭数および雌雄の別については試験により異なった。各区の群編成は、ゲノミック評価（（一社）家畜改良事業団）によるオレイン酸割合評価値の平均値が群間で等しくなるよう設定した。給与飼料は、対照区に肥育用配合飼料（ビタミンA添加）、仕上げ用飼料（二種混合飼料（トウモロコシ、ふすま）と圧ぺん大麦を1：1比で混合したもの）、大豆粕、圧ぺんトウモロコシ、オーツヘイ、稲わら、ヘイキューブを用いた。試験区では、対照区の飼料の一部を、試験区毎に設定した地域資源飼料で代替した。

給与する地域資源は、飼料用イネWCS、立ち枯れイネWCS、飼料用米および酒粕の4種類とし、その組み合わせにより試験1から4を実施した（第1図）。

なお、飼料の給与は朝夕の1日2回とし、粗飼料は長さ3cm程度に細断したものを給与した。飲水は

水槽による自由飲水とした。鈣塩は、尿石症予防薬を含有するものを常置した。飼料給与量は、当センター畜産技術部で行っている慣行の肥育方法に準じて設定した。

### 1) 試験1 飼料用米の代替利用

飼料用米の代替利用検証のため、肥育中期から後期に給与する肥育用配合飼料の一部を飼料用米で代替して給与した。供試牛は、試験区4頭、対照区4頭の計8頭の子牛を用いた。なお、飼料用米は、主食品種を用い、玄米を粉砕機で約2mm以下に砕いたものを用いた。

### 2) 試験2 飼料用イネWCS、立ち枯れイネWCSの代替利用

国産粗飼料活用のため、肥育期間中に給与する輸入粗飼料のオーツヘイを飼料用イネWCSへ、稲わらを立ち枯れイネWCSに代替して給与した。供試牛は、試験区4頭、対照区4頭の計8頭の子牛4頭及び雌牛4頭（各区に2頭ずつ）を用いた。なお、給与した立ち枯れイネWCSは、福馬ら（2016）の方法に準じ、高糖分飼料用イネ「たちすずか」をほ場で立ち枯れさせた後、11月下旬から12月にかけてサイレージ調製したものを用いた。

### 3) 試験3 短期肥育における飼料用米およびライスオイルの利用

短期肥育<sup>注)</sup>における飼料用米、飼料用ライスオイルのオレイン酸割合への影響を明らかにするため、肥育中期から後期に給与する肥育用配合飼料の一部を飼料用米で代替して給与し、飼料用ライスオイルを肥育後期から1日170g/頭添加して給与した。供試牛は、試験区3頭、対照区3頭の計6頭の子牛を用いた。

注) 本県の一般的な出荷月齢である30か月齢よりも早期（この試験では26か月齢程度）に出荷すること。

### 4) 試験4 短期肥育における飼料用米、飼料用イネWCSおよび酒粕の利用

試験2と試験3の結果と過去の酒粕給与試験結果（山本ら、2021）を踏まえ、さらに飼料自給率の高い給与体系を検討し、短期肥育における産肉性、食味に及ぼす影響を検証するため、飼料用米、飼料用イネWCSと酒粕を併給する試験を実施した。飼料用米は肥育用配合飼料の一部代替として給与し、飼料用イネWCSはオーツヘイ、酒粕は大豆粕の全量代替として給与した。供試牛は、試験区4頭、対照区4頭の計8頭

		肥育前期	肥育中期	肥育後期	
対照区	月齢	8	14	20	30
	濃厚飼料	肥育用配合飼料			
		大豆粕		仕上げ用飼料	
	粗飼料	圧ペントウモロコシ			
ヘイキューブ		稲わら			
	オーツヘイ				
試験1	月齢	8	14	20	30
	濃厚飼料	肥育用配合飼料			
		飼料用米			
	粗飼料	大豆粕		仕上げ用飼料	
圧ペントウモロコシ					
粗飼料	ヘイキューブ		稲わら		
	オーツヘイ				
試験2	濃厚飼料	肥育用配合飼料			
	粗飼料	大豆粕		仕上げ用飼料	
		圧ペントウモロコシ			
粗飼料	立ち枯れWCS				
	WCS				
試験3	月齢	8	14	20	26
	濃厚飼料	肥育用配合飼料			
		飼料用米			
	粗飼料	大豆粕		仕上げ用飼料	
圧ペントウモロコシ					
粗飼料	ヘイキューブ		稲わら		
	オーツヘイ				
添加剤				飼料用ライスオイル	
試験4	濃厚飼料	肥育用配合飼料			
	粗飼料	飼料用米			
		酒粕		仕上げ用飼料	
	圧ペントウモロコシ				
粗飼料	ヘイキューブ		稲わら		
	WCS				
添加剤				飼料用ライスオイル	

第1図 飼料給与体系

の去勢牛を用いた。なお、酒粕は粗タンパク質含量の高い液化仕込み酒粕を用い、嗜好性を高めるため事前に乾燥処理（自然乾燥）し、鶏卵大に破碎したものを給与した。また、試験3の短期肥育における飼料用米および飼料用ライスオイル給与によりオレイン酸割合への影響が見られなかったため、本試験においても肥育後期に飼料用ライスオイルを1日170g/頭添加して給与した。

## 2 調査項目

飼料摂取量は、飼料給与量と残飼量から算出した。発育は、体重、体高、胸囲等を毎月測定した。産肉性は、牛枝肉格付明細書（（公社）日本食肉格付協会）に基づき、枝肉重量、ロース芯面積、バラの厚さ、皮下脂肪厚、推定歩留、BMS（Beef Marbling Standard）、BCS（Beef Color Standard）を調査した。また、食味の評価指標としてオレイン酸割合を活用し、第6-7胸椎間の筋間脂肪のオレイン酸割合を近赤外光ファイバ装置（（株）相馬光学、S-7041）で光学測定を行った。

## 結果

## 1 試験1 飼料用米の代替利用

## 1) 飼料摂取量

飼料摂取量 (TDNベース) は、試験区 3,098 kg/頭、対照区 3,246kg/頭と試験区が対照区に比べ 148 kg/頭少なくなった (第1表)。飼料費は、試験区 277,007 円/頭、対照区 305,254 円/頭と試験区が対照区に比べ 28,247 円/頭少なくなった。また、地域資源利用割合は、試験区 14.3%/頭、対照区 6.9%/頭であった (第13表)。

## 2) 発育

試験終了時点 (27.4 か月齢) では、発育の全項目で有意な差は見られなかった (第2表)。

## 3) 産肉性及びオレイン酸割合

産肉性及びオレイン酸割合は、試験区と対照区で有意な差は見られなかった (第3表)。また、枝肉販売価格 (枝肉重量×販売単価×消費税) は試験区 1,222,271 円/頭 (枝肉単価: 2,299 円/kg、瑕疵<sup>注)</sup>: 4 頭中 2 頭)、対照区 1,289,067 円/頭 (枝肉単価: 2,306 円/kg、瑕疵: 4 頭中 2 頭) であった (第13表)。

注) ここでは、枝肉における欠陥や不備のことを意味する。飼養段階、運搬段階、屠畜段階で発生する。格付等級には影響しないが、商品性を損なうため枝肉単価が低下する要因となる。

## 2 試験2 飼料用イネWCS、立ち枯れイネWCSの代替利用

## 1) 飼料摂取量

飼料摂取量 (TDNベース) は、試験区 4,320 kg/頭、対照区 4,203 kg/頭と試験区が対照区に比べ 117 kg/頭多くなった (第4表)。また、飼料費は、試験区 445,810 円/頭、対照区 485,596 円/頭と試験区が対照区に比べ 39,786 円/頭少なくなった (第13表)。地域資源利用割合は、試験区 8.8%/頭、対照区 7.0%/頭であった (第13表)。

## 2) 発育

試験終了時点 (28.2 か月齢) で発育の全項目で有意な差は見られなかった (第5表)。

第1表 飼料摂取量 (試験1)

飼料名	(TDN kg /頭)	
	試験区	対照区
肥育用配合飼料	2,166	2,486
大豆粕	90	88
圧ペントウモロコシ	187	184
仕上げ用飼料	243	263
飼料用米	206	—
稲わら	206	224
計	3,098	3,246

第2表 地域資源飼料の給与が黒毛和種肥育牛の発育に及ぼす影響 (試験1)

項目	区分	n	肥育開始時		試験開始時		試験終了時		DG (kg/日)
			(13.4か月齢)	N.S.	(20.3ヶ月齢)	N.S.	(27.4か月齢)	N.S.	
体重 (kg)	試験区	4	400.5	N.S.	626.0	N.S.	781.5	N.S.	0.89
	対照区	4	414.8		643.0		801.0		
体高 (cm)	試験区	4	126.3	N.S.	137.3	N.S.	142.0	N.S.	
	対照区	4	126.5		138.8		143.8		
胸囲 (cm)	試験区	4	172.5	N.S.	211.3	N.S.	236.8	N.S.	
	対照区	4	178.3		217.5		242.5		
胸深 (cm)	試験区	4	60.8	N.S.	71.3	N.S.	77.5	N.S.	
	対照区	4	61.3		72.0		78.0		
尻長 (cm)	試験区	4	48.0	N.S.	56.3	N.S.	61.3	N.S.	
	対照区	4	49.0		56.5		63.3		
かん幅 (cm)	試験区	4	43.0	N.S.	49.5	N.S.	55.0	N.S.	
	対照区	4	43.0		50.3		57.0		

注) DG (Daily Gain) : 1日あたりの平均増体量

一元配置分散分析により有意差判定 (N.S. : 有意差無し)

第3表 地域資源飼料の給与が黒毛和種肥育牛の産肉性とオレイン酸割合に及ぼす影響 (試験1)

項目	試験区	対照区	有意差
出荷月齢 (か月)	27.3	27.6	N. S.
枝肉重量 (kg)	493.3	515.8	N. S.
ロース芯面積 (cm <sup>2</sup> )	59.3	67.8	N. S.
バラの厚さ (cm)	8.9	9.8	*
皮下脂肪厚 (cm)	2.1	2.8	N. S.
推定歩留 (%)	75.0	75.9	N. S.
BMS (No.)	8.3	8.8	N. S.
BCS (No.)	3.5	3.3	N. S.
オレイン酸 (%)	52.9	54.9	N. S.

注) 一元配置分散分析により有意差判定 (N. S. : 有意差無し、

\* : P<0.05)

第4表 飼料摂取量 (試験2)

項目	(TDN kg /頭)	
	試験区	対照区
肥育用配合飼料	2,655	2,490
大豆粕	125	125
圧ペントウモロコシ	261	260
仕上げ用飼料	702	691
オーツヘイ	—	156
ヘイキューブ	198	186
稲わら	—	296
イネWCS	116	—
立ち枯れイネWCS	263	—
計	4,320	4,203

第5表 地域資源飼料が黒毛和種肥育牛の発育に及ぼす影響 (試験2)

項目	区分	n	肥育・試験開始時		試験終了時		DG (kg/日)
			(9.0か月齢)		(28.2か月齢)		
体重 (kg)	試験区	4	283.8	N. S.	855.3	N. S.	0.98
	対照区	4	288.5		813.3		
体高 (cm)	試験区	4	119.8	N. S.	145.5	N. S.	
	対照区	4	120.0		144.8		
胸囲 (cm)	試験区	4	152.0	N. S.	244.3	N. S.	
	対照区	4	154.5		238.3		
胸深 (cm)	試験区	4	55.0	N. S.	79.8	N. S.	
	対照区	4	56.5		78.8		
尻長 (cm)	試験区	4	44.3	N. S.	61.5	N. S.	
	対照区	4	44.3		60.0		
かん幅 (cm)	試験区	4	39.5	N. S.	53.8	N. S.	
	対照区	4	39.0		54.3		

注) 一元配置分散分析により有意差判定 (N. S. : 有意差無し)

### 3) 産肉性及びオレイン酸割合

産肉性及びオレイン酸割合は、試験区と対照区で有意な差は見られなかった (第6表)。また、枝肉販売価格は試験区1,369,476円/頭 (枝肉単価:2,270円/kg、瑕疵:4頭中0頭)、対照区1,294,068円/頭 (枝肉単価:2,315円/kg、瑕疵:4頭中1頭)であった (第13表)。

### 3 試験3 短期肥育における飼料用米およびライス

### オイルの利用

#### 1) 飼料摂取量

飼料摂取量 (TDNベース) は、試験区3,268kg/頭、対照区3,048kg/頭と試験区が対照区に比べ220kg/頭多くなった (第7表)。また、飼料費は、試験区331,384円/頭、対照区316,297円/頭と試験区が対照区に比べ15,097円/頭多くなった (第13表)。地域資源利用割合は、試験区20.7%/頭、対照区10.5%/頭であった (第13表)。

第6表 地域資源飼料の給与が黒毛和種肥育牛の産肉性とオレイン酸割合に及ぼす影響(試験2)

項目	試験区	対照区	有意差
出荷月齢(か月)	28.0	28.6	N.S.
枝肉重量(kg)	556.9	517.3	N.S.
ロース芯面積(cm <sup>2</sup> )	75.5	72.3	N.S.
バラの厚さ(cm)	8.8	8.4	N.S.
皮下脂肪厚(cm)	3.2	2.4	N.S.
推定歩留(%)	75.3	75.7	N.S.
BMS(No.)	9.3	9.5	N.S.
BCS(No.)	3.5	3.3	N.S.
オレイン酸(%)	57.9	56.2	N.S.

注) 一元配置分散分析により有意差判定(N.S.:有意差無し)

第7表 飼料摂取量(試験3)

項目	(TDN kg/頭)	
	試験区	対照区
肥育用配合飼料	1,872	2,011
大豆粕	79	79
圧ぺんとうモロコシ	178	178
仕上げ用飼料	461	461
飼料用米	336	—
稲わら	341	320
計	3,268	3,048

第8表 短期肥育における地域資源飼料が黒毛和種肥育牛の発育に及ぼす影響(試験3)

項目	区分	n	肥育開始時		試験開始時		試験終了時		DG (kg/日)
			(12.3か月齢)		(17.3ヶ月齢)		(26.1か月齢)		
体重(kg)	試験区	3	406.3	N.S.	533.7	N.S.	736.7	N.S.	0.80
	対照区	3	381.0		516.3		693.3		
体高(cm)	試験区	3	127.0	N.S.	135.0	N.S.	144.3	N.S.	
	対照区	3	125.0		134.3		142.3		
胸囲(cm)	試験区	3	173.0	N.S.	194.7	N.S.	228.0	N.S.	
	対照区	3	172.7		198.0		227.3		
胸深(cm)	試験区	3	62.3	N.S.	68.3	N.S.	76.7	N.S.	
	対照区	3	61.7		67.3		75.7		
尻長(cm)	試験区	3	48.3	N.S.	53.0	N.S.	59.0	N.S.	
	対照区	3	49.0		54.0		60.7		
かん幅(cm)	試験区	3	42.7	N.S.	47.0	N.S.	52.3	N.S.	
	対照区	3	41.7		45.7		50.3		

注) 一元配置分散分析により有意差判定(N.S.:有意差無し)

## 2) 発育

試験終了時点(26.1か月齢)でも発育の全項目で有意な差は見られなかった(第8表)。

## 3) 産肉性及びオレイン酸割合

産肉性及びオレイン酸割合は、試験区と対照区で有意な差は見られなかった(第9表)。また、枝肉販売価格は試験区1,025,145円/頭(枝肉単価:2,123円/kg、瑕疵:3頭中1頭)、対照区985,626円/頭(枝肉単価:2,148円/kg、瑕疵:3頭中1頭)であ

った(第13表)。

## 4 試験4 短期肥育における飼料用米、飼料用イネWCSおよび酒粕の利用

### 1) 飼料摂取量

飼料摂取量(TDNベース)は、試験区3,516kg/頭、対照区3,758kg/頭と試験区が対照区に比べ242kg/頭少なくなった(第10表)。また、飼料費は、試験区400,873円/頭、対照区415,974円/頭と試験区が対照区に比べ15,101円/頭少なくなった。地域

地域資源飼料の給与が黒毛和種肥育牛の生産性及び収益性に及ぼす影響

資源利用割合は、試験区 18.2 %/頭、対照区 9.3 %/頭であった（第 13 表）。

2) 発育

試験終了時点（25.9 か月齢）でも発育の全項目で有意な差は見られなかった（第 11 表）。

3) 産肉性及びオレイン酸割合

産肉性及びオレイン酸割合は、試験区と対照区で有意な差は見られなかった（第 12 表）。また、枝肉販売価格は試験区 1,132,322 円/頭（枝肉単価：2,156 円/kg、瑕疵：4 頭中 1 頭）、対照区 1,102,990 円/頭（枝肉単価：2,073 円/kg、瑕疵：4 頭中 2 頭）であった（第 13 表）。

第 9 表 短期肥育における地域資源飼料が黒毛和種肥育牛の産肉性とオレイン酸割合に及ぼす影響（試験 3）

項目	試験区	対照区	有意差
出荷月齢（か月）	26.2	26.2	N. S.
枝肉重量（kg）	447.5	423.7	N. S.
ロース芯面積（cm <sup>2</sup> ）	55.0	55.7	N. S.
バラの厚さ（cm）	7.6	7.1	N. S.
皮下脂肪厚（cm）	2.7	2.4	N. S.
推定歩留（%）	73.6	73.9	N. S.
BMS（No.）	6.7	7.7	N. S.
BCS（No.）	3.7	3.0	N. S.
オレイン酸（%）	55.0	56.1	N. S.

注）一元配置分散分析により有意差判定（N. S.：有意差無し）

第 10 表 飼料摂取量（試験 4）

項目	(TDN kg / 頭)	
	試験区	対照区
肥育用配合飼料	2,181	2,341
大豆粕	1	105
酒粕	135	—
圧ペントウモロコシ	229	229
仕上げ用飼料	501	647
飼料用米	95	—
オーツヘイ	7	77
ヘイキューブ	5	5
イネWC S	29	—
稲わら	333	354
計	3,516	3,758

第 11 表 短期肥育における地域資源飼料の給与が黒毛和種肥育牛の発育に及ぼす影響（試験 4）

項目	区分	n	肥育・試験開始時		試験終了時		DG (kg/日)
			(10.7か月齢)		(25.9か月齢)		
体重 (kg)	試験区	4	339.3	N. S.	744.3	N. S.	0.88
	対照区	4	354.5		762.5		
体高 (cm)	試験区	4	124.3	N. S.	144.5	N. S.	
	対照区	4	122.3		144.3		
胸囲 (cm)	試験区	4	166.3	N. S.	235.3	N. S.	
	対照区	4	164.0		236.0		
胸深 (cm)	試験区	4	60.8	N. S.	78.8	N. S.	
	対照区	4	59.0		78.3		
尻長 (cm)	試験区	4	47.3	N. S.	60.5	N. S.	
	対照区	4	46.8		61.5		
かん幅 (cm)	試験区	4	40.8	N. S.	51.3	N. S.	
	対照区	4	41.5		53.5		

注）一元配置分散分析により有意差判定（N. S.：有意差無し）

第12表 短期肥育における地域資源飼料が黒毛和種育  
牛の産肉性とオレイン酸割合に及ぼす影響  
(試験4)

項目	試験区	対照区	有意差
出荷月齢 (か月)	27.0	27.0	N.S.
枝肉重量 (kg)	481.5	491.4	N.S.
ロース芯面積 (cm <sup>2</sup> )	60.5	56.0	N.S.
バラの厚さ (cm)	7.7	7.8	N.S.
皮下脂肪厚 (cm)	1.9	1.9	N.S.
推定歩留 (%)	74.6	74.1	N.S.
BMS (No.)	9.5	8.3	N.S.
BCS (No.)	4.0	3.8	N.S.
オレイン酸 (%)	53.5	53.5	N.S.

注) 一元配置分散分析により有意差判定 (N.S. : 有意差無し)

と考える。

## 2 飼料費削減効果の検証

試験1 では1 頭あたり 28,247 円、試験2 では1 頭あたり 39,786 円の削減効果があった。また、試験2 については、有意差は無かったが、18.7 か月齢以降の増体が試験区 (1 頭あたり 262.5 kg 増加) と対照区 (1 頭あたり 222.3 kg 増加) で差が 40.3 kg あった (第2 図)。これは、嗜好性の良い立ち枯れイネ WCS の給与により粗飼料を十分摂取したことでルーメン環境が良くなり、濃厚飼料の摂取量も増加した (期間濃厚飼料摂取量 1 頭あたり試験区 : 2,304.3 TDNkg、対照区 : 2,151.8 TDNkg) ためと考察される。

## 3 短期肥育における肉質評価の検証

第13表 収益性 (試験1, 2, 3, 4)

区分	枝肉重量 (kg)	枝肉販売価格 (円)		地域資源 利用割合 (%)	飼料費 (円)				差益 (円) (a)-(b)	
		枝肉単価	販売価格 (a)		濃厚飼料	粗飼料	添加剤	合計 (b)		
試験1	試験区	493.3	2,299	1,222,271	14.3	249,526	27,481	0	277,007	945,264
	対照区	515.8	2,306	1,289,067	6.9	275,465	29,789	0	305,254	983,813
	試験区-対照区			-66,796					-28,247	-38,549
試験2	試験区	556.9	2,270	1,369,476	8.8	417,949	27,861	0	445,810	923,666
	対照区	517.3	2,315	1,294,068	7.0	397,056	88,540	0	485,596	808,472
	試験区-対照区			75,408					-39,786	115,194
試験3	試験区	447.5	2,123	1,025,145	20.7	300,415	11,770	19,199	331,384	693,761
	対照区	423.7	2,148	985,626	10.5	305,260	11,037	0	316,297	669,329
	試験区-対照区			39,519					15,087	24,432
試験4	試験区	481.5	2,156	1,132,322	18.2	318,168	58,001	24,704	400,873	731,449
	対照区	491.4	2,073	1,102,990	9.3	346,131	69,843	0	415,974	687,016
	試験区-対照区			29,332					-15,101	44,433

注) 収益性は「枝肉販売価格」と「飼料費」で評価

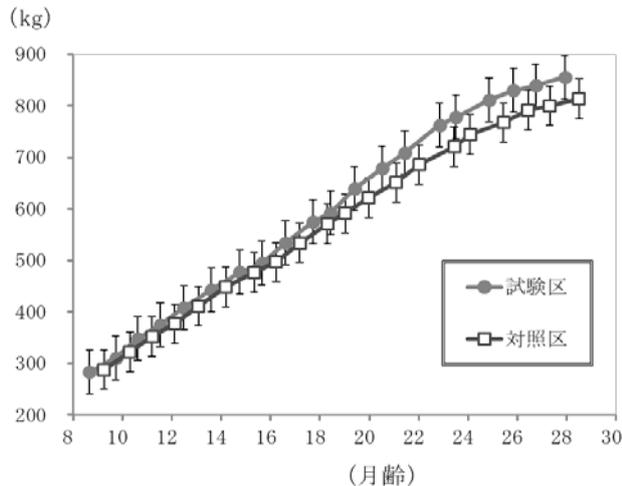
地域資源利用割合 : (地域資源飼料給与量 (TDNkg/頭) / 全給与飼料 (TDNkg/頭)) × 100 で算出。

## 考 察

### 1 発育、産肉成績等の検証

肥育用配合飼料の一部代替として飼料用米を給与した試験1、オーツヘイ、稲わらの代替として飼料用イネWCS、立ち枯れイネWCSを組み合わせて給与した試験2においては、発育、産肉性、オレイン酸割合について試験区と対照区で有意な差は認められなかった。よって、飼料用米、飼料用イネWCSおよび立ち枯れイネWCSは従来の飼料の代替給与が可能である

短期肥育におけるオレイン酸割合改善効果に関する試験である試験3について、肥育用配合飼料の一部を飼料用米に代替し、飼料用ライスオイルを添加した結果、試験区、対照区で発育、枝肉成績、オレイン酸割合に差が見られなかった。よって、短期肥育でも肥育用配合飼料の一部を飼料用米での代替利用が可能であると考えられる。また、飼料費削減効果については、1 頭あたり 15,087 円の飼料費の増加であった。これは飼料用ライスオイル添加に 1 頭あたり 19,199 円の費用がかかったためである。一方で、オレイン酸割合改善効果があるとされている飼料用米と飼料用ライスオイル



第 2 図 地域資源飼料の給与が黒毛和種肥育牛の発育 (体重) に及ぼす影響 (試験 2)

ルを給与した試験区は、対照区に対して有意な差は認められなかった。よって、短期肥育においては、飼料用米と飼料用ライスオイルによるオレイン酸割合改善効果は得られないと考える。

試験 4 においては、試験 2 と 3 の結果と過去の酒粕給与試験結果 (山本ら, 2021) を踏まえ、短期肥育における飼料自給率の高い給与体系を検討し、産肉性、食味に及ぼす影響を検証するとともに、試験 3 で短期肥育において飼料用米と飼料用ライスオイルのオレイン酸割合改善効果が見られなかったことから、再度効果を検討した。試験結果として、試験区、対照区で発育、産肉性、オレイン酸割合に差が見られなかった。よって、短期肥育においてもオーツヘイの代替として飼料用イネ WCS、大豆粕の代替として酒粕の利用が可能であると考え。さらに、飼料費削減効果については、飼料用ライスオイルの費用を考慮しても 1 頭あたり 15,101 円の削減効果があった。一方で、飼料用米と飼料用ライスオイルの給与によるオレイン酸割合への改善効果は認められなかった。24 か月齢以降はオレイン酸の増加が緩やかになるという報告 (片岡ら, 2008) もあることから、飼料用ライスオイルの添加を早期 (20 か月齢未満) に開始する等、効果的な使用方法を検討する必要があると思われる。

## 摘 要

黒毛和種の肥育経営の基盤強化を図るためには、供

給量や価格が比較的安定している地域資源を利用することが重要である。そこで、代替飼料として飼料用イネ WCS、立ち枯れイネ WCS、飼料用米や酒粕の黒毛和種肥育牛における利用性について検討した結果、いずれの代替飼料も飼料費削減効果があり、枝肉成績に影響を与えることなく利用可能であった。一方、短期肥育において、飼料用米と飼料用ライスオイルのオレイン酸改善効果については、本試験では効果が認められなかった。

## 引用文献

福馬敬紘ら. 2016. 「たちすずか」 WCS を混合した TMR による黒毛和種去勢牛の短期肥育. 2016 年度近畿中国四国農業研究成果情報.

[https://www.naro.affrc.go.jp/org/warc/research\\_results/h28/pdf/10\\_chikusan/31-1003.pdf](https://www.naro.affrc.go.jp/org/warc/research_results/h28/pdf/10_chikusan/31-1003.pdf)

(2025 年 12 月 2 日現在)

樋口幹人. 2012. 飼料用米の肉牛への給与技術. 畜産草地研究所平成 24-5 資料「平成 24 年度飼料イネの研究と普及に関する情報交換会」. 47-59.

本多昭幸・辻村和也・橋元大介・岩永安史. 2017. 黒毛和種去勢牛の脂肪酸組成における生検皮下脂肪の月齢による違い及び枝肉脂肪との関係に関する評価. 日暖畜会報, 60(2) 講演要旨: 188

茨城県畜産農業協同組合連合会. 古平 力. 2009. 肉牛の飼育方法. 特許 4226644

山本幸司・吉村謙一・岡崎 亮・村田翔平. 2021. 飼料自給率向上のための国産飼料等の給与が黒毛和種肥育牛の発育性や産肉性、肉質に及ぼす影響. 山口農林総技セ研報. 12. 55-60.

# 山口県農林総合技術センター研究報告投稿規程

平成 21 年 6 月 1 日制定

平成 25 年 2 月 1 日改正

平成 26 年 7 月 16 日改正

令和元年 7 月 8 日改正

令和 4 年 6 月 16 日改正

## 1 目 的

山口県農林総合技術センター研究報告（以下「研究報告」という。）および山口県農林総合技術センター特別研究報告（以下「特別研究報告」という。）に係る投稿の取り扱いについては、この規程に定めるところによる。

## 2 著 者

(1) 著者は、山口県農林総合技術センターの研究職員または当センターの研究職員であった者に限る。ただし、前記以外の者であっても共同研究者を著者に含むことは差しつかえない。

(2) 著者として掲載されるためには、日本学術振興会「科学の健全な発展のために」の中で例示された四つの基準を満たさなければならない。

ア 研究の構想・デザインや、データの取得・分析・解釈に実質的に寄与していること。

イ 論文の草稿執筆や重要な専門的内容について重要な校閲を行っていること。

ウ 出版原稿の最終版を承認していること。

エ 論文の任意の箇所の正確性や誠実さについて疑義が指摘された際、調査が適正に行われ疑義が解決されることを保証するため、研究のあらゆる側面について説明できることに同意していること。

## 3 論 文

(1) 著者は「研究活動における不正行為への対応等に関するガイドライン（文部科学省平成 26 年 8 月 26 日）」の主旨をよく理解し、公正な研究活動で得られた研究成果を研究報告に取りまとめるものとする。

(2) 研究報告に投稿できる論文は、山口県農林総合技術センター試験研究評価実施要領に規定する中間内部評価または事後内部評価において成果の取り扱いを研究報告とされた課題（以下「研究報告課題」という。）および受託試験事業で受託した課題（以下「受託課題」という。）についてとりまとめた報文または短報とする。論文は未発表のものに限り、2重投稿は厳に禁止する。

ただし、学会などにおいて口頭・ポスター発表したもので、別途発表していないものはこの限りでない。

(3) 投稿できる期限は原則として、研究報告課題については評価を受けた年度の翌々年度、受託課題については課題が終了した年度の翌々年度までとする。

(4) 短報は、報文にまとめ得ないが速やかに発表すべき内容を持つもので、分割報告の形式はとらない。研究が完成した場合の再掲載は妨げない。

(5) 特別研究報告に投稿できる論文は、完了した試験研究課題の成果を総合的にとりまとめた報文一編で博士論文相当のものとする。

#### 4 原稿の作成及び提出

- (1) 研究報告に投稿する論文は、別途定める作成要領に基づいて作成するものとする。その論文のページ数は、図表を含め原則として原稿 10 ページ以内とし、短報は 2 ページとする。
- (2) 研究報告に投稿する論文は、担当編集委員の校閲を受けた上で、編集委員会で定めた日までに編集委員会事務局に提出しなければならない。
- (3) 特別研究報告に投稿する論文は、別途定める作成要領に基づいて作成するものとする。
- (4) 特別研究報告に投稿する論文は、随時編集委員会事務局へ提出できる。

#### 5 投稿された論文の掲載採否及び順位

- (1) 研究報告は、編集委員会において投稿された論文の掲載採否及び順位の案を作成し、農林総合技術センター所長（以下「所長」という）が決する。
- (2) 特別研究報告は、編集委員会において投稿された論文の採否の案を作成し、所長が決する。

#### 6 校正及び印刷

- (1) 研究報告または特別研究報告に投稿された論文は、編集委員会が必要と認めた場合、著者に原稿または図・表の校正を要求し、あるいは説明を求めることができる。
- (2) 研究報告または特別研究報告に投稿された論文の著者による校正は原則として初校のみとし、文章、図・表の変更や追加は原則として認めない。
- (3) 研究報告に投稿された論文は、編集委員会でその内容に基づき報文と短報の区分替えを行うことができる。

#### 7 その他

この規程に定めるもののほか、研究報告および特別研究報告について必要な事項は編集委員会で別に定める。

#### 附則

- 1 平成 25 年 2 月 1 日改正は平成 25 年 4 月 1 日から施行する。
- 2 平成 25 年 7 月 16 日改正は平成 26 年 8 月 1 日から施行する。
- 3 令和元年 7 月 8 日改正は令和元年 8 月 1 日から施行する。
- 4 令和 4 年 6 月 16 日改正は令和 4 年 7 月 1 日から施行する。

山口県農林総合技術センター研究報告編集委員会  
Editorial Board

編集委員長  
Editor in Chief

光永 拓司  
MITSUNAGA Takuji

編集委員  
Editors

恵美奈 大作  
EBINA Daisaku

白石 勝己  
SHIRAIISHI Katsumi

村上 勝  
MURAKAMI Masaru

西村 達也  
NISHIMURA Tatsuya

村上 哲一  
MURAKAMI Norikazu

中谷 幸穂  
NAKATANI Sachiko

藤井 宏志  
FUJII Kouji

---

山口県農林総合技術センター研究報告  
第 17 号

発行日 令和 8 年 (2026年) 3 月

発行 山口県農林総合技術センター  
〒747-0004 山口県防府市牟礼10318  
TEL 0835-28-1211 FAX 0835-38-4115

---

BULLETIN OF THE YAMAGUCHI PREFECTURAL  
AGRICULTURE & FORESTRY GENERAL TECHNOLOGY CENTER  
No.17

CONTENTS

1701	<i>Liothrips wasabiae</i> Haga and Okajima Intrusion Routes and Pest Control Measures IWAMOTO Tetsuhiro	1
1702	Controlling <i>Curculio sikkimensis</i> (Heller) Using High Moisture Hot Air IWAMOTO Tetsuhiro	10
1703	Control Methods for Target Spot of Soybean Causing Premature Defoliation ODA Yuta	20
1704	Removal of Scaffolding Equipment on Sloping Terrain Using Simple Drone Port KAWAMOTO Yutaka, TADO Hiroyuki, ARIKUNI Hideyori and FUKUMOTO Taichi	29
1705	Demonstration of a Logging System Using a Remote-Controlled Felling Machine KAWAMOTO Yutaka	41
1706	Mechanization of Site Preparation, Planting, and Underbrushing Using Multipurpose Silviculture Machinery and Planting Designs KAWAMOTO Yutaka · TADO Hiroyuki · ITAYA Shinichiro · KAWATA Tomomi and TAKAKURA Tomoharu	50
1707	Effects of Regionally Sourced Feed on the Productivity and Profitability of Japanese Black Beef Cattle OHGA Tomohide, YOSHIMURA Kenichi and FUJITA Kouhei	64