

島根林技研報
Bull. Shimane Pref.
For. Res. Cent.

島根県林業技術センター 研究報告

BULLETIN OF
THE SHIMANE PREFECTURE
FOREST RESEARCH CENTER

No. 47
1996



島根県林業技術センター

目 次

論文

天敵糸状菌 *Beauveria bassiana* によるマツノマダラカミキリ駆除試験

..... 井ノ上 二 郎 1

論文

スギ芯抜き正角材の乾燥特性と強度性能

..... 池 淵 隆 ・ 錦 織 勇 13

論文

地域に適合した林業機械作業システム研究（第2報）

—タワヤーダとプロセッサの組み合わせによる集成・造材作業—

..... 西 政 敏 ・ 富 川 康 之 ・ 平 佐 隆 文 21

論文 天敵糸状菌 *Beauveria bassiana* による マツノマダラカミキリ駆除試験

井ノ上 二郎

Biochemical Control of the Japanese Pine Sawyer, *Monochamus alternatus*,
by Entomogeneous Fungus, *Beauveria bassiana*

Jiro INOUE

要 旨

1989~1994年, 天敵糸状菌 *Beauveria bassiana* によるマツノマダラカミキリ駆除効果を検討した。 *B. bassiana* 付着キイロコクイムシを布袋内のカミキリ寄生丸太へ放虫した場合, 9月に丸太表面積 1 m² 当たり1000頭を放虫して優れた駆除効果を得た。菌付着キイムシを被害林へ放虫した場合, 8万頭を放虫しても死虫率は50%に留まり, 駆除効果は不十分であった。カミキリ死虫は放虫場所から12m以内の枯死木にのみ生じた。

B. bassiana 菌培養駒をカミキリ寄生丸太に打ち込んだ場合, 8, 9月に丸太 1 本当たり20個を打ち込んで優れた駆除効果を得た。

I はじめに

松くい虫被害の病原体マツノザイセンチュウ (*Bursahelenchus xylophylus* (Sterner et Buhner) Nickle) の伝播者であるマツノマダラカミキリ (*Monochamus alternatus* Hope, 以下「カミキリ」と略記) の天敵菌として, 糸状菌の *Beauveria bassiana* Vuillemin, *B. brongniartii* (Delacroix) Siemaszko や細菌の *Serratia marsescens* Bizio が知られており, これらを用いたカミキリの殺虫試験が行われている (4, 11, 13, 14)。筆者もこれら天敵菌のカミキリに対する殺虫効果を確認するために菌の孢子・菌体懸濁液のカミキリ寄生丸太への散布試験を実施したが, 期待した効果が得られず, この理由として樹皮下のカミキリへの菌の到達が困難であるためと推察した (3)。一方, これら菌の枯死木樹皮下への到達を容易にするために, 穿孔性昆虫であるキイロコクイムシ (*Cryphalus fustus* Nijima, 以下「キイムシ」と略記) の虫体に孢子を付着させて被害林内に放虫する方法, また菌を培養した駒を枯死木に打ち込む方法

が考案され, 優れた効果を認めたとの報告がある (1, 2, 6, 9, 10, 12, 15)。そこでこれらの菌施用方法によるカミキリ駆除の実用性とその効果的な施用方法について検討した。

本試験は1989~1991年度林業普及情報活動システム化事業「マツ枯損の激化抑止技術」と1992~1994年度林業普及情報活動システム化事業「マツノマダラカミキリの生物的防除法の究明」の1課題として実施したものである。本研究への参加を許された林野庁研究普及課森山忠一企画官, また供試菌と供試菌培養駒を分譲していただいた農林水産省森林総合研究所天敵微生物研究室長島津光明博士に厚くお礼を申し上げる。

II *Beauveria bassiana* 付着キイロコクイムシの放虫によるカミキリ駆除試験

1. 試験方法

1989年は八束郡宍道町の林業技術センター内で布袋内

表-1 *Beauveria bassiana* 付着キイロコクイムシの野外放虫試験林の概要

試験年	所在地	面積	林齢	樹種	被害程度
1990年	出雲市朝山町	2 ha	26年生	アカマツ	微害
1991	隠岐郡西ノ島町	3	32	クロマツ	激害
1992	八東郡東出雲町	5	33	アカマツ	激害
1993	松江市坂本町	1	28	アカマツ	激害
1994	〃	2	30	アカマツ	激害

のカミキリ寄生丸太への放虫によって試験した。また、1990～1994年は県下5か所の26～33年生アカマツ、クロマツ微害～激害林で野外放虫によって試験した(表-1)。

供試菌は*Beauveria bassiana*で、農林水産省森林総合研究所天敵微生物研究室から分譲されたものである。

供試したキクイムシは林業技術センターの室内で大量飼育したものをを用いた。各試験年とも6月に構内のアカマツ林で小径木を5～10本伐倒し、1か月間林内に放置してキクイムシを寄生させた。7月にこれらを回収してキクイムシが多数寄生する部位を30～50cmに切断して、内側を黒色に塗った段ボール箱(40×50×50cm)に20～30本入れた。段ボール箱の横壁面に1か所穴を開けて、そこに透明のプラスチック製円筒(径4cm、長さ5cm)をはめ込み、羽化・脱出した成虫が光を求めて集まるようにした。採集した成虫は新鮮なアカマツ枝(径20～40mm)を20～30本入れた同様の段ボール箱に入れて再度繁殖させた。このような操作を7～9月に2～3回行って大量増殖させた。増殖させた成虫はプラスチック容器に採取して15℃の恒温器内に10分間置き、活動を不活発にした後小型メスシリンダーに集めて1ml当たり1000頭(9)としてその頭数を計数した。放虫直前所定の頭数の成虫を入れたプラスチック容器に*B. bassiana*の胞子を混じて、軽く振って攪拌して虫体へ胞子を付着させた。また、1992～1994年の試験では天敵付与装置を用いて付着させた。

布袋内放虫試験の供試丸太は林業技術センター構内で夏～秋期に枯死したアカマツで、カミキリが多数寄生する部位を1mに玉切って用いた。これらを布袋(80×150cm)内に5～7本入れ、そこへ菌付着キクイムシを

放虫し、布袋の口をナイロンひもでしばった。放虫数は丸太表面積1㎡当たり250, 500, 750および1000頭で、放虫は8月、9月および10月の3時期に行った。

野外放虫試験は各試験林内に0.25～0.5haの試験区を1991, 1993および1994年は1か所、また1990, 1992年は2か所設定して実施した。7月下旬～10月下旬、試験区の中央部に設置したつぎの放虫器具を用いて1万～8万頭の菌付着キクイムシを放虫した(表-2)。①放虫板-平板(30×50cm)を林床に打ち込んだ杭上端に水平に設置したもので、この板上に菌付着キクイムシを広げて自然に飛び立たした(写真-1)。②「林振式」天敵付与装置、自作天敵付与装置-内部に菌培養不織布を貼り付けた塩化ビニルパイプ(長さ30cm、径10cm)を上部に装着した黒色布のテントまたは黒色布を張った木枠を林床に設置したもので、その内部にキクイムシ寄生枝30～50本を井げた状に積み上げた(写真-3, 4)。寄生木から脱出したキクイムシはパイプ上方の明所に誘われてはい上がるが、パイプの内部を通過する際体表に胞子を付けて飛び立つようにした。

駆除効果調査は各試験年とも放虫1～3か月後の10月下旬～12月中旬に行った。布袋内放虫試験では供試丸太を、また野外放虫試験では試験区内に生じた枯死木を15～30本伐倒して供試した。1990年の野外放虫試験では7月上旬に試験区内の生立木40本の地際部にチェーンソーで鋸目を入れて衰弱・枯死させ、カミキリに自然産卵させて調査木とした。また、いずれの野外放虫試験でも放虫点から300～500m離れた地点のアカマツ、クロマツ枯死木3～4本を対照とした。

カミキリが多数寄生する部位から採取した1mの丸太

表-2 キイロコキクイムシの放虫数・時期と放虫方法

試験年	放虫数	放虫時期	放虫方法
1990年	1万頭	8月2, 9, 14日	放虫板
	3万	〃	〃
1991	4万	7月31日, 8月8日	〃
1992	5万	8月7, 10, 14日	〃
	3万	8月7日～9月13日	「林振式」天敵付与装置
1993	8万	7月26日～10月15日	自作天敵付与装置
1994	6万	7月30日～9月26日	〃

表-3 *Beauveria bassiana* 付着キイロコキクイムシの布袋内放虫によるマツノマダラカミキリ駆除試験

放虫時期	放虫数 (頭/m ²)	調査虫数	死虫数 (%)		
			割材調査時	飼育調査時	計
1989年 8月	1000	40	15(38)	1(2)	16(40)
	750	18	0(0)	0(0)	0(0)
	500	23	0(0)	0(0)	0(0)
	250	22	0(0)	0(0)	0(0)
	対照	33	0(0)	0(0)	0(0)
9月	1000	25	15(60)	3(12)	18(72)
	750	31	6(19)	6(19)	12(38)
	500	18	2(11)	5(27)	7(38)
	250	26	5(19)	0(0)	5(19)
	対照	39	0(0)	0(0)	0(0)
10月	1000	30	4(13)	1(4)	5(17)
	750	24	4(16)	0(0)	4(16)
	500	17	0(0)	0(0)	0(0)
	250	23	2(9)	0(0)	2(9)
	対照	38	0(0)	0(0)	0(0)

を剥皮・割材して、樹皮下と材内での幼虫の死亡状態を調査した。死虫の体表面が白色の胞子で覆われたものを *B. bassiana* によって死亡したものと判定した。割材調査時の生存虫については、60°Cで24時間乾熱滅菌したアカマツ材粉末を入れたプラスチック容器内で翌年4月まで個体飼育して発病の有無を調査した。

2. 試験結果

1) 布袋内放虫試験

表-3に示すように、対照区ではすべての調査虫が生存していた。これに対して、*B. bassiana*を付着したキクイムシを放虫した場合には、死虫が生じた。放虫数が減じると駆除効果は低下し、死虫をまったく認めない場合もあった。概して8・10月放虫に比べて9月放虫で駆

除効果が優れた。いずれの放虫時期でも1000頭/㎡放虫区で駆除効果が最も高く、9月放虫では70%に及んだ。

8・9月放虫では死虫の40~70%が樹皮下で死亡したが、10月放虫ではすべてが材内で死亡した。死虫を認めた試験区の多くでは総死虫数のうち割材調査時の死虫が80%以上を占めたが、飼育調査時に発病して死亡するものが30~50%を占める区もあった。

カミキリ死虫率が高い試験区では樹皮下には放虫後に発病して死亡したキクイムシを多数認めたが、死虫率が低い区とカミキリ死虫が生じなかった区ではキクイムシ死虫をほとんど認めなかった。

2) 野外放虫試験

表-4に示すように、各試験年とも対照区では調査虫のほとんどまたはすべてが生きていた。また、1990~1991年の放虫区では死虫が生ぜず、駆除効果を認めなかった。これに対して、1992~1994年の放虫区での死虫率は20~50%で駆除効果を認めた。概して放虫数が多数である場合に死虫率が高く、6~8万頭区で死虫率40~50%、3~5万頭区では20~25%であった。割材調査時に死亡したもので、死虫のほとんどが孔道または蛹室内で死

亡しており、樹皮下にはごく少数の死虫を認めたに過ぎなかった。1993、1994年の試験では総死虫数のうち割材調査時の死虫が50~65%を占めたが、1992年の試験では飼育調査時に発病して死亡したものが60~80%を占めた。死虫を認めた枯死木は放虫場所から5~12mに位置したが、いずれも死虫率は同程度で、放虫場所からの距離による駆除効果に差を認めなかった。

1990、1991年の試験では樹皮下にキクイムシ死虫をほとんど認めなかったが、1992~1994年の試験では調査丸太の樹皮下には放虫後に発病して死亡したキクイムシを多数認めた。

III *Beauveria bassiana* 培養駒の枯死木への打ち込みによるカミキリ駆除試験

1. 試験方法

1992~1994年、八東郡宍道町の林業技術センター構内で試験した。6月に構内のアカマツ生立木を伐倒して1mに玉切り、これらを網室(80×80×110cm)に入れてカミキリに強制産卵させた。また、試験当年の9~10月

表-4 *Beauveria bassiana* 付着キイロコキクイムシ野外放虫によるマツノマダラカミキリ駆除試験

試験年	試験区	放虫数	調査虫数	死虫数 (%)		
				割材調査時	飼育調査時	計
1990年	放虫	1万頭	23	0(0)	0(0)	0(0)
	〃	3万頭	12	0(0)	0(0)	0(0)
	対照	—	30	1(3)	0(0)	1(3)
1991年	放虫	4万頭	175	0(0)	0(0)	0(0)
	対照	—	41	0(0)	0(0)	0(0)
1992年	放虫	3万頭	138	7(5)	26(19)	33(24)
	〃	5万頭	72	5(7)	7(10)	12(17)
	対照	—	38	0(0)	0(0)	0(0)
1993年	放虫	8万頭	88	24(27)	13(15)	37(42)
	対照	—	34	0(0)	0(0)	0(0)
1994年	放虫	6万頭	75	18(24)	17(23)	35(47)
	対照	—	38	0(0)	0(0)	0(0)

に枯死したアカマツ、クロマツを伐倒してカミキリが多数寄生する部位を1mに玉切った。これらを試験用丸太として1試験区当たり10本供試した。

供試した菌培養駒は*B. bassiana*を日昌電材製のふすまペレット（キノプラン）に接種・培養したもので、農林水産省森林総合研究所天敵微生物研究室から分譲されたものである。

供試丸太に径9mm、深さ20mmの穴を電気ドリルであけ、そこへ菌培養駒を打ち込んだ。穴は10cmまたは20cm間隔で、らせん状または直線状にあけた。施用した駒数は供試丸太（長さ1m、中央径8～15cm）1本当たり10cm間隔で20個、また20cm間隔で10個である。打ち込み後はその部位の丸太表面をガムテープで被覆する場合と被覆しない場合を設定した。駒の打ち込みは1992年は10月18日と11月13日、1993年は8月26日、9月16日および10月8日、また1994年は8月26日、9月19日および10月14日に行った。駒打ち込み後の丸太は杭の間に渡した栈木に立てかけ、寒冷沙で被覆して直射日光が当たらないようにした。

駆除効果は駒打ち込み1～4か月後の11月～翌年3月に調査した。供試丸太を剥皮・割材して樹皮下と材内の幼虫の死亡状態を調査した。また、割材調査時の生存虫

については、60℃で24時間乾熱滅菌したアカマツ材粉末を入れたプラスチック容器内で、翌年4月まで個体飼育して発病の有無を調査した。

2. 試験結果

1) 打ち込み時期・駒数・駒の配列・被覆の有無別のカミキリ駆除効果

表-5に示すように、いずれの試験でも無施用丸太では調査虫のすべてが生存していた。これに対して、菌培養駒を打ち込んだ場合の死虫率は5～30%で、若干の駆除効果を認めた。10月の打ち込みでは10個/本区での死虫率が30%で、5個/本の20%より若干効果が高かった。11月の打ち込みでは20個/本区での死虫率が15～20%であったが、10個/本区では10%以下に留まった。駒の配列、被覆の有無は死虫率に影響を与えなかった。割材調査時に死亡していたものでは、ほぼすべてが孔道または蛹室内で死亡しており、樹皮下には死虫をごく少数認めただけに過ぎなかった。10、11月の打ち込みとも総死虫数のうち割材調査時の死虫が70%以上を占め、飼育調査時に発病して死亡するものは少数であった。

2) 打ち込み時期と駒数別のカミキリ駆除効果

表-6に示すように、いずれの試験でも無施用丸太ではすべてが生存していた。これに対して、菌培養駒を打

表-5 *Beauveria bassiana* 培養駒の施用時期・駒数・駒の配列・被覆の有無別のカミキリ駆除効果

施用時期	駒数	駒の配列	被覆の有無	調査虫数	死虫数 (%)		
					割材調査時	飼育調査時	計
1992年							
10月18日	5	らせん	有	30	5(17)	1(3)	6(20)
	10	〃	有	34	7(20)	3(9)	10(29)
	対照	〃	—	37	0(0)	0(0)	0(0)
11月13日	10	らせん	有	38	4(11)	0(0)	4(11)
	〃	〃	無	22	2(9)	0(0)	2(9)
	〃	直線	有	16	1(6)	0(0)	1(6)
	〃	〃	無	24	1(4)	0(0)	1(0)
	20	らせん	有	30	4(13)	0(0)	4(13)
	〃	〃	無	29	4(14)	2(7)	6(21)
	〃	直線	有	21	4(19)	0(0)	4(19)
	〃	〃	無	27	4(15)	1(4)	5(19)
	対照	〃	—	16	0(0)	0(0)	0(0)

表-6 *Beauveria bassiana* 培養駒の施用時期と駒数別のカミキリ駆除効果

処理時期	駒数	調査虫数	死虫数 (%)		
			割材調査時	飼育調査時	計
1993年					
8月26日	10	32	7(21)	3(9)	10(30)
	20	22	6(27)	2(9)	8(36)
9月16日	10	27	6(22)	2(7)	8(29)
	20	26	7(27)	2(7)	9(34)
10月8日	10	29	5(17)	2(7)	7(24)
	20	18	5(27)	0(0)	5(27)
対照	—	21	0(0)	0(0)	0(0)
1994年					
8月26日	10	29	11(38)	2(7)	13(45)
	20	33	20(61)	6(18)	26(79)
9月19日	10	18	3(17)	3(17)	6(34)
	20	25	10(40)	5(20)	15(60)
10月14日	10	20	5(25)	2(10)	7(35)
	20	38	8(21)	7(19)	15(40)
対照	—	21	0(0)	0(0)	0(0)

いずれも駒の配列は直線状，被覆有。

ち込んだ場合の死虫率は25~80%で，打ち込み時期によってはかなりの駆除効果を認めた。1994年の試験では概して打ち込み時期が早期である場合に駆除効果が高く，8月では死虫率が30~80%，9月では35~60%，また10月では35~40%であった。1993年の試験では8，9，10月の打ち込みとも死虫率は25~35%で，時期によって死虫率に大差を認めなかった。また，両試験年ともいずれの打ち込み時期でも1本当たりの駒数が20個の場合が10個の場合より死虫率が高かった。割材調査時に死亡していたものでは，8，9月の打ち込みでは樹皮下での死虫が総死虫数の80~85%を占めたが，10月では90%以上が孔道または蛹室内での死虫であった。樹皮下で死亡したものはほとんどが打ち込んだ駒からの10cm以内で死亡していた。1993年の試験ではいずれの打ち込み時期でも総死虫数のうち割材調査時の死虫が80%を占めたが，1994年の試験では飼育調査時に発病して死亡するものが50%を占める場合もあった。

IV 考 察

遠田ら(1)は*Beauveria bassiana*を付着させたキイロククイムシを屋外の網室に入れたマツノマダラカミキリ寄生木へ放虫して優れた殺虫効果を認め，本法によるカミキリ駆除の可能性を示した。一方，本法の実用化に向けて野外での放虫試験が数多く実施されたが，それらでの殺虫効果はいずれも網室内での試験結果に比べて極めて低かった(5, 7~11)。本試験でも布袋内での放虫試験では高い殺虫効果を認めたが，野外での放虫試験では効果が劣った。この理由のひとつとして本試験を実施したマツ林の多くは激害であり，ククイムシの放虫数が試験区内に生じた枯死木中のカミキリを殺虫するには充分でなかった可能性がある。実際，布袋内放虫試験では最多の1000頭/m²区で効果が最も優れ，放虫数が減じると効果も劣った。また，野外放虫試験では放虫数が多数であるほど死虫率は高かった。

遠田ら(2)はカミキリ死虫率と放虫場所から枯死木までの距離との関係を調査し，放虫場所から15m以上で

死虫率が大きく低下することを報告した。本試験でもカミキリ死虫を認めたのはいずれも放虫場所から12m以内の枯死木であった。また、1990年の試験ではカミキリとキクイムシの死虫をまったく認めなかったが、これは調査した枯死木のいずれもが放虫場所から20~35mに位置し、放虫したキクイムシが飛来できなかったためと推察する。

キイロコクイムシは樹皮が薄い場所を好んで穿孔するため、比較的樹皮の厚いクロマツでは樹幹上部または枝にしか寄生できないことが知られている(6)。クロマツ壮齢被害林で実施した1991年の試験では調査部位である樹幹中央部にはカミキリ死虫をまったく認めなかったが、これは放虫したキクイムシのほとんどが枯死木樹幹に穿孔できなかったためと考える。

野淵(6)はカミキリの天敵糸状菌である*B. bassiana*をキクイムシに運ばせるこの方法について、容易に樹皮下のカミキリに感染できること、また自然に生息するキクイムシや他の穿孔虫などへの二次、三次の感染が予想され、その実用化が期待できるとした。しかし、本試験は野外において5年間にわたって異なるマツ被害林で実施したが、カミキリ駆除効果は充分とはいいがたく、また効果の及ぶ範囲も小面積に限られ、その実用化は疑問と考える。

島津(12)、Shimazuら(15)は*B. bassiana*を培養した駒をカミキリ寄生丸太や枯死した立木に打ち込む方法を考案し、カミキリ殺虫効果が優れることを報告した。本試験でもカミキリ寄生丸太に同様の試験を行い、駆除効果を確認できた。

本試験では8~9月に駒を打ち込んだ場合に高い殺虫効果が得られたが、これは施用時期がカミキリ幼虫の多くが樹皮下で活動する時期であり、それらが菌に接触する機会が多かったためと考える。従来の試験(10)でも7~8月の打ち込みで効果が最も優れた。

島津(12)は打ち込んだ駒数と殺虫効果との関係を検討して、丸太1m当たり2~12個の駒を打ち込んだ場合、最多の12個で死虫率が最も高かったことを報告した。本試験では丸太1m当たり最多の20個を打ち込んだ場合に効果が優れ、5、10個では効果が劣った。一方、丸太1m当たり2~5個を打ち込んで効果も優れたとの報告がある(10)。カミキリ幼虫が菌に接触する機会を増や

すためにはできるだけ多数の駒を打ち込む必要があると考えるが、駒の打ち込みによって樹皮下に持ち込まれた孢子が雨水や穿孔性昆虫などによってカミキリ幼虫の生息部位に運ばれる可能性も指摘されている(12)。

本試験では打ち込んだ菌の繁殖環境を良好に保つために打ち込み部位の樹皮表面をガムテープで被覆したが、無被覆の場合と駆除効果に差を認めなかった。島津(12)の試験でも被覆、無被覆の間に差がなかった。

島津(12)は本法の短所として、駆除効果が駒を打ち込んだ場所に限定されることを指摘した。本試験でも死虫の発見場所はいずれも打ち込んだ駒から10cm以内の近距離に限られ、効果の及ぶ範囲に限られることを確認した。

*B. bassiana*培養駒の打ち込みは、孢子懸濁液をカミキリ寄生木の樹皮表面に散布する従来の方法(13, 14)に比べればカミキリ殺虫効果が優れた。しかし、期待した効果を得るには枯死木の発生が顕著でない7~9月に打ち込む必要があり、また駒打ち込みのために穴をあける必要があるなど実用化に問題を残した。

本試験ではカミキリ死虫は樹皮下、孔道、また蛹室と異なる部位で死亡していたが、概して早期に処理した場合に樹皮下での死虫の割合が高く、遅い時期の処理ではほぼすべてが材内で死亡していた。これは早期の処理時期がカミキリの樹皮下生息期であり、遅い時期の処理では材内へ穿孔して活動するものの割合が高かったためと考える。

樹皮下のカミキリは処理直後の夏~秋期に*B. bassiana*に感染して早期に死亡するものもあるが、感染源としてのキクイムシやカミキリの死虫が増えた樹皮下食害後期に感染する機会が多く、またこれら感染したカミキリのほとんどが材内へ穿孔後に発病して死亡するといわれている(6, 12)。本試験でも割材調査時の生存虫を個体飼育してその後の生育を観察したが、試験翌年に発病して多数が死亡する場合があり、これらは割材調査時にはすでに菌に感染していたものと考えられる。

引用文献

- (1) 遠田暢男・五十嵐正俊・福山研二・野淵 輝：キイロコクイムシを伝播者としたポーベリア菌によるマツノマダラカミキリの防除(予報). 100回日林論：579

- ～580, 1989
- (2) 遠田暢男・後藤忠男・福山研二・土屋大二：伊豆大島におけるキイロコキクイムシを媒介者としたマツノマダラカミキリの天敵微生物防除試験. 102回日林論：281～282, 1991
- (3) 井ノ上二郎・周藤靖雄・山田栄一：マツノマダラカミキリの天敵調査と天敵微生物によるマツノマダラカミキリ殺虫試験. 島根林試研報34：29～37, 1983
- (4) 片桐一正・島津光明：マツノマダラカミキリの天敵微生物. 森林防疫29：28～33, 1980
- (5) 衣浦晴生・楨原 寛・山家敏雄・五十嵐 豊・島津光明・藤岡 浩：天敵微生物を用いたマツノマダラカミキリ防除試験－キイロコキクイムシ多点放虫試験と種駒打試験－. 103回日林論：541～542, 1992
- (6) 野淵 輝：キイロコキクイムシを運搬者とした天敵微生物によるマツ枯損防止の試み. 森林防疫38：133～138, 1989
- (7) 竹常明仁：天敵微生物を利用した松くい虫防除試験 (I)－キイロコキクイムシの大量増殖及び野外放虫試験. 広島県林試研報26：1～14, 1992
- (8) 林業科学振興所：天敵利用による松くい虫防除調査. 昭和63年度林野庁委託事業報告書, 37pp, 1990
- (9) 林業科学振興所：天敵利用による松くい虫防除調査. 平成元年度林野庁委託事業報告書, 71pp, 1991
- (10) 林業科学振興所：天敵利用による松くい虫防除調査. 平成2年度林野庁委託事業報告書, 74pp, 1992
- (11) 林野庁：松の枯損防止新技術に関する総合研究. 大型プロジェクト研究成果2：8～44, 1984
- (12) 島津光明：種駒に培養した天敵微生物ボーベリア菌を利用するマツノマダラカミキリ防除法. 森林防疫42：232～236, 1993
- (13) 島津光明・串田 保：天敵微生物によるマツノマダラカミキリ防除試験－被害材の処理－. 32回日林関東支論：93～94, 1980
- (14) 島津光明・串田 保・片桐一正：天敵微生物によるマツノマダラカミキリ防除試験－脱出直前の被害材の処理－. 93回日林論：399～400, 1982
- (15) Shimazu Mitsuaki, Tamotsu Kusida, Daiji Tsuchiya, and Wataru Mitsuhashi: Microbial control of *Monochamus alternatus* Hope (Coleoptera:Cerambycidae) by implanting wheatbran pellets with *Beauveria bassiana* in infested tree trunks J.Jap.F-or.Soc., 74：325～330, 1992

Biochemical Control of the Japanese Pine Sawyer, *Monochamus alternatus*,
by Entomogeneous Fungus, *Beauveria bassiana*

Jiro INOUE

Summary

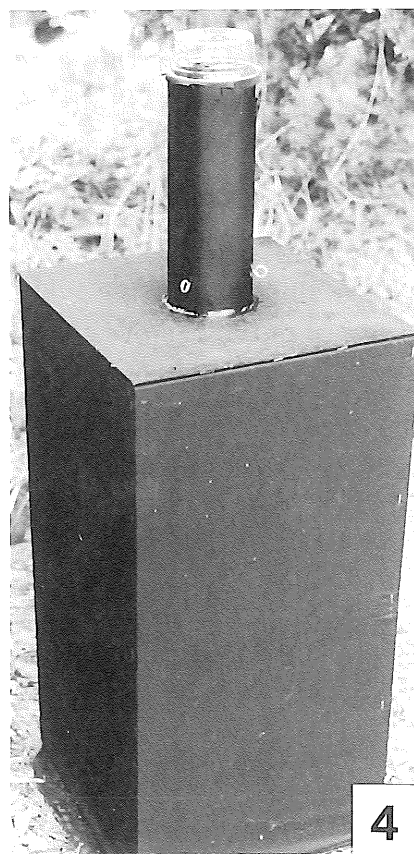
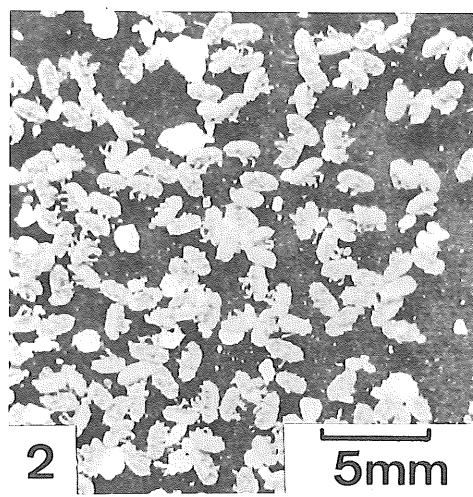
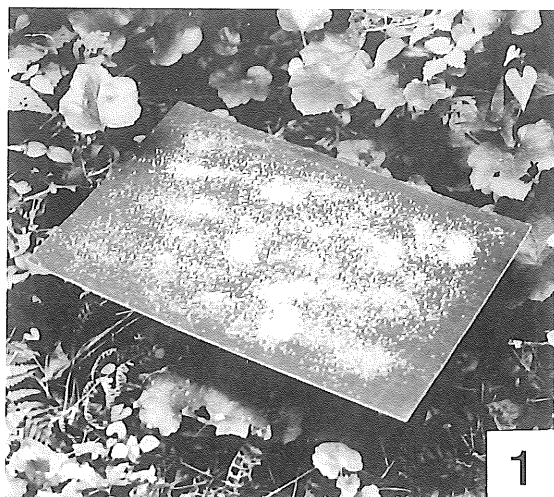
Microbial control experiments using entomogeneous fungus, *Beauveria bassiana*, were conducted in 1989-1994 in Shimane Prefecture, Japan, to eradicate the Japanese pine sawyer, *Monochamus alternatus*, the vector of the pine wood nematode, *Bursaphelenchus xylophilus*.

Adult of the minute pine beetle, *Cryphalus fulvus*, were coated with conidia of the fungus and they were released to inhabit under the bark of dead pine trees that has been infested with the nematode and the pine sawyer. The mortality of the sawyer larvae from the fungus was shown as the control effect.

As the experiments on the pine logs in cloth bags, the larvae mortality was highest when 1,000 beetle adults per a centare of the log surface were released in the bags in September. As the experiments in pine forests damaged from the pine wilt disease by the nematode, the highest mortality limited to half of the sawyer larvae in the dead pine trees when 80,000 beetle adults were released at the certain points in these stands. The larvae infected with the fungus were collected in the range around 12m from the point where the beetles were released.

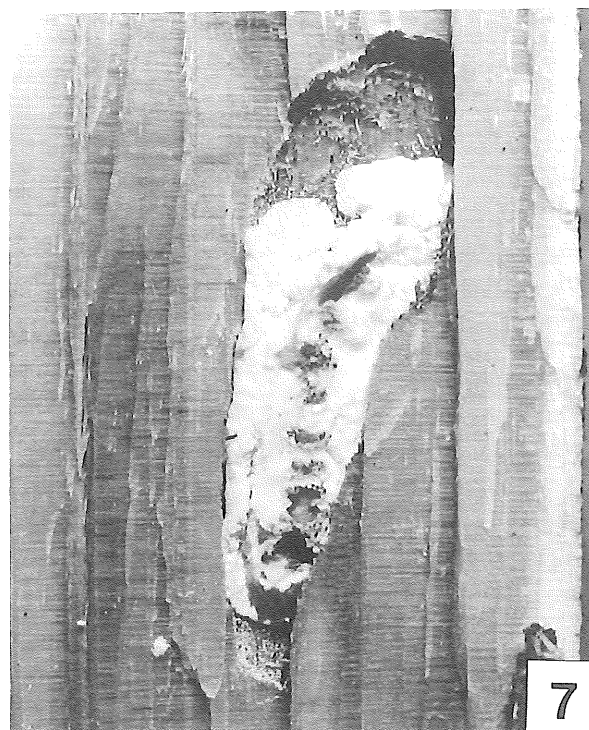
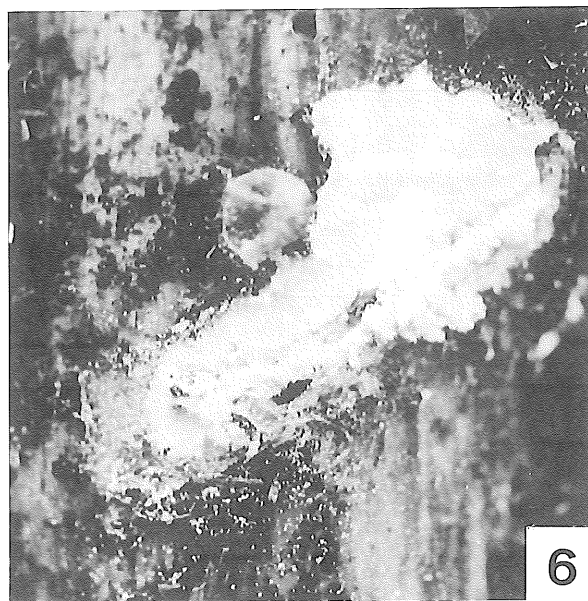
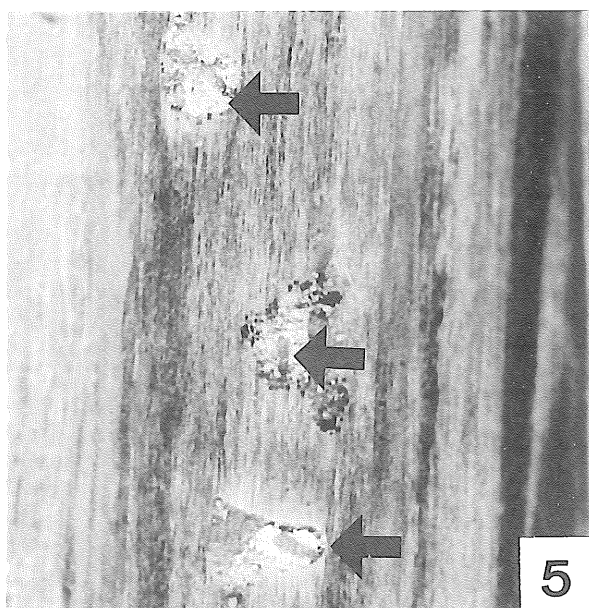
Wooden pellets cultivating *B. bassiana* were plugged up the small holes of the logs infested with the pine sawyer. The larvae mortality was highest when 20 pellets per log of one meter in length were plugged up between August and September.

写真-1~4



- 1 : 放虫板上に広げた *Beauveria bassiana* 付着キイロコクイムシ
- 2 : *B. bassiana* の孢子を体表に付けたキイロコクイムシ成虫
- 3 : 「林振式」天敵付与装置
- 4 : 自作の天敵付与装置

写真-5~8



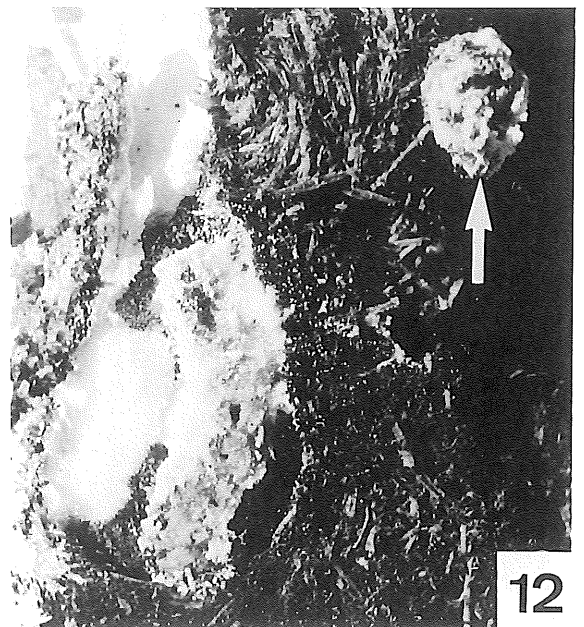
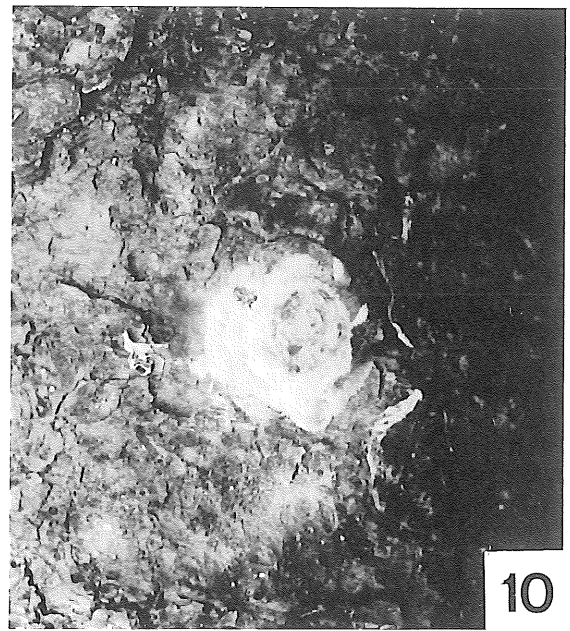
5 : *B. bassiana* によって死亡した樹皮下のキイロコクイムシ (矢印)

6 : " 樹皮下のマツノマダラカミキリ幼虫

7 : " 蛹室内のマツノマダラカミキリ幼虫

8 : 飼育時に*B. bassiana* によって死亡したマツノマダラカミキリ幼虫

写真-9~12



- 9 : マツノマダラカミキリ寄生木への*B. bassiana*培養駒の打ち込み
10 : 打ち込み3か月後の*B. bassiana*培養駒一駒の周囲に多量の胞子を形成
11 : *B. bassiana*培養駒を打ち込み後ガムテープで被覆した供試丸太
12 : 打ち込んだ*B. bassiana*培養駒(矢印)のごく近距離で死亡したマツノマダラカミキリ幼虫

論文 スギ芯抜き正角材の乾燥特性と強度性能

池 淵 隆・錦 織 勇

Drying Qualities and Strength Properties of the Square Lumbers of
Cryptomeria Japonica Bored Holes through Thier Hearts

Takashi IKEBUCHI and Isamu NISHIKÖRI

要 旨

スギ芯抜き柱材の乾燥特性と強度性能を明らかにするため、実大材の乾燥試験と曲げ試験を実施して芯抜きによる影響を検討した。

1. 短尺材では、芯抜き材が従来の背割り材に比べて乾燥速度が非常に速く、芯抜きの効果が明確であった。
2. 芯抜き材の平均含水率は乾燥終了時で背割り材に比べて低く、また、内・外層部の含水率のばらつきが小さかった。
3. 正角実大材では、芯抜きによって背割り材に比べて乾燥時間が約25%短縮できた。また、芯抜き径が大きいほど乾燥時間の短縮が図られた。
4. 材面割れは芯抜き実大材をPEG水溶液中に浸せき処理することによって抑制が図られた。
5. 芯抜き実大材と背割り材の間の曲げ破壊係数に違いはなく、中空穴は強度を低下させない単なる断面欠損と考えられた。

I は じ め に

島根県内の森林面積は488,000haで、そのうち人工林面積は182,000ha(37.3%)である。特に、戦後の拡大造林によって植栽された本県の針葉樹林の42.3%を占めるスギ人工林(77,000ha)の多くが標準伐期齢(40年)に移行しており、近い将来スギ材の伐採量は飛躍的に伸びることが予想される。

一方、これらスギ材の需要拡大は建築分野への利用が最も有効的と考えるが、近年木造住宅の質的向上に伴い、柱材などの建築構造材は適切な乾燥の必要性が叫ばれるようになってきた。一方、スギ正角柱材は芯持ちが多いため、その乾燥の段階において各種の損傷が発生することや、乾燥時間が長くなるため、スギ乾燥材の普及に大きな障害となっている。

また、生材を用いた場合に問題となるのが建築施工後のかびや乾燥による収縮、割れ、狂い等が発生することである。

そこで、住宅部材で最も利用率の高い建築構造材の芯持ち柱材を損傷をできるかぎり抑制し、かつ、乾燥時間の短縮化が図られれば柱材の品質向上とあわせてスギ材の需要拡大が期待できる。

このような背景から、乾燥による割れの減少と乾燥時間の短縮を図る一つの方法として、芯持ち柱材の中心部に穴を開けた芯抜き材を作製した。そして、その乾燥特性と強度性能を古くから柱材の表面割れ防止方法として実施されてきた背割り材と比較検討した。

本試験を実施するにあたり、短柱材の強度試験にご配慮をいただいた岡山県木材加工技術センターに厚くお礼申し上げる。なお、本報の一部はすでに公表した¹⁾。

II 試験方法

1. 供試材と芯抜き材の製造方法

県内の市場から末口径18~20cm, 長さ約3.1mのスギ丸太を入手し, 12cm正角, 3.1mの芯持ち柱材に製材した。次に木口断面の中心部から軸方向に向かって, 当センターに設置の芯抜き加工機械(永井機械製作所製, 写真-1)で貫通した穴を開けて芯抜き材を作製した。なお, 12cm正角3mの実大材に穴を開けるのに, 供試材のセッティング等を含めて5~6分の時間がかかった。また, 芯抜き径は20,30または40mmとした。芯抜き材の他に, 比較対照材として芯持ち無背割り材, 芯持ち背割り材も作成した。

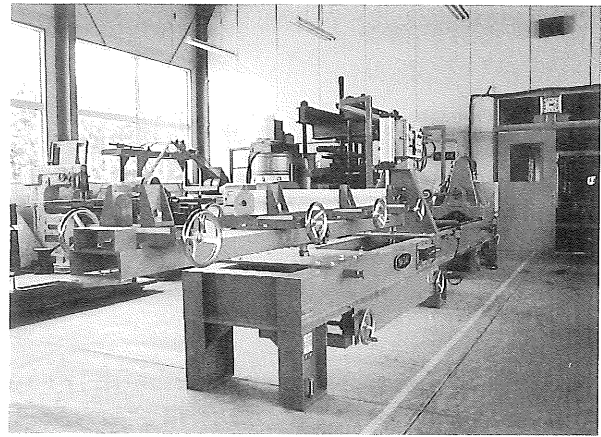


写真-1 芯抜き加工機械

2. エンドマッチ試験材の作成方法と乾燥試験

図-1に示すように, 長さ3.1mの正角実大材から長さ1mの試験材を3本とり, 1本を背割り材とし他の2本を芯抜き材とした。木口面は実大材と同様な乾燥状態になるように銀ニスでコーティングした。芯抜き材のうち, 1本は熱風が材軸に平行に, つまり開けた穴を熱風が通りやすいように²⁾, 他の1本は熱風が材軸と直角に, つまり積木の間を熱風が通る従来の乾燥方法になるように除湿型木材乾燥機(伊豆巴産業(株)製)内に設置して乾燥した。

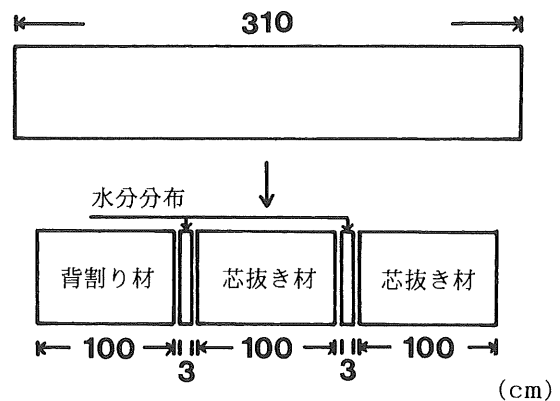


図-1 エンドマッチ試験材の作成方法

乾燥スケジュールは温度40℃一定とし, 関係湿度は85%から順次74%まで変化させて22日間除湿乾燥した。

3. エンドマッチ試験材の水分分布

1m試験材の軸方向中央部の内, 外層の含水率の違いを把握するため, 図-2のように試験片を採取した。背割り材は材表面から5mmきざみで4片, 次に20mmの試験片を1片, 合計11の試験片を作製した。芯抜き材では中心部が存在しない10の試験片を作成してその水分分布を求めた。

4. 正角実大材の乾燥試験

市販の除湿乾燥機のため実大材の熱風方向はすべて材軸と直角方向とした。

1) 背割り材と芯抜き材の乾燥性

無背割り, 背割りおよび芯抜きの違いによる乾燥性を把握するため実大材を乾燥した。乾燥スケジュールとして温度40℃一定で, 関係湿度は85%から順次72%まで変化させて29日間除湿乾燥した。なお, 試験体数は各々3本とした。

2) 芯抜き径の違いによる乾燥性

芯抜き径の違いまた正角材の等級別の乾燥性と割れの発生を調べるため実大材を乾燥した。乾燥スケジュールとして温度40℃一定で, 関係湿度は85%から順次68%まで変化させて35日間除湿乾燥した。なお, 試験体本数は15本である。

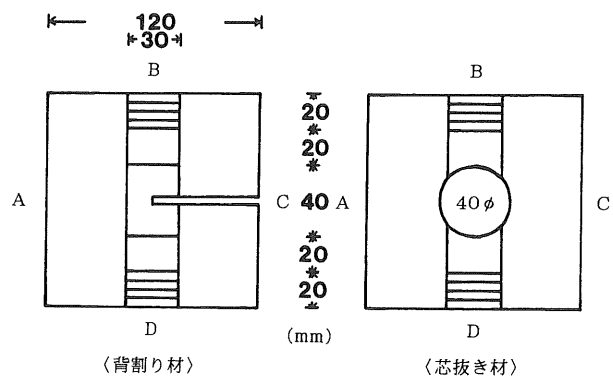


図-2 水分分布測定用試験片採取位置

3) 芯抜き材と材面割れ防止液との併用による乾燥性と割れの関係

芯抜き材を市販のラッカー系とエマルジョン系割れ防止液で全面塗布、また、ポリエチレングリコール(PEG#1000),30%水溶液中に5日間浸せき処理後試験材とした。乾燥スケジュールとして温度は40~45℃、関係湿度は実大材の初期条件としては厳しい77%から順次64%まで変化させて17日間除湿乾燥した。なお、試験体本数は10本である。

4) 芯抜き材の乾燥による形質変化

寸法(収縮率)と含水率計による含水率測定は図-3に示す3カ所(いずれも4材面)を乾燥初期と終了時に測定した。水分分布(全乾法含水率)は乾燥初期、終了時とも実大材の両端から試験片を採取して求めた。乾燥スケジュールとして温度は40℃一定で、関係湿度は85%から順次68%まで変化させて除湿乾燥した。

5. 正角実大材の曲げ試験

供試材は人工乾燥終了後含水率を調整し、気乾に達してから、無背割り材6本、背割り材7本、芯抜き材(芯抜き径20mm:6本, 30mm:7本, 40mm:20本)を図-4のように3等分点2点荷重方式で実大材の曲げ破壊試験を行った。そして全スパンの曲げヤング係数, 中央1/3区間の曲げヤング係数, 曲げ比例限度, 曲げ破壊係数を所定の計算式²⁾によって求めた。なお、試験機は万能木材強度試験機(円井製作所製)を用い、全スパンは270cm, ヨークスパンは50cmである。

6. 短柱実大材の縦圧縮試験

辺長10.5cm, 細長比 $\lambda=10$ とし、 $\lambda=l/r$, $r=\sqrt{I/A}$ (l は短柱の長さ, I は短柱の断面2次モーメント, A は短柱の断面積)より短柱の長さ $l=30.31$ cmを算出した。なお、試験機は実大木材強度試験機(株東京衡機製造所製)を用いて、荷重速度は0.8mm/min.で行った。

III 結果と考察

1. エンドマッチ試験材の乾燥特性

図-5に示すように、背割り材、芯抜き材とも初期含水率は70%とほぼ同程度であったが、背割り材は乾燥機内に熱風が材軸と直角方向に設置した場合、乾燥日数22日経過しても含水率は26%に留まった。これに対して、芯抜き材は熱風方向に関係なく17~18%まで低下した。

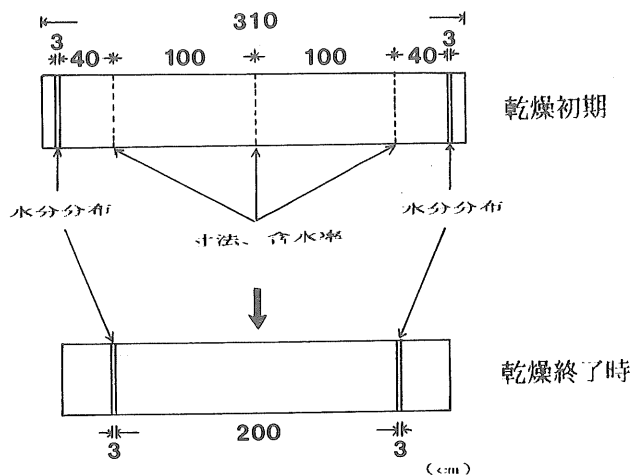


図-3 正角実大材の寸法及び含水率測定位置

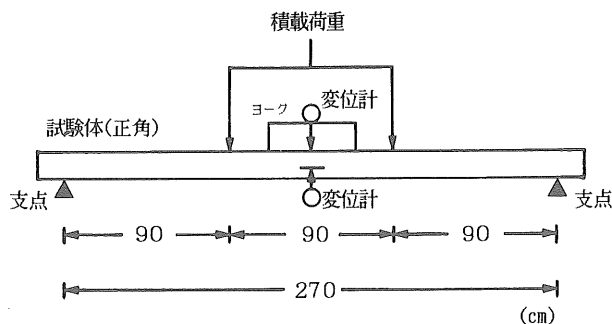


図-4 実大材の曲げ試験方法

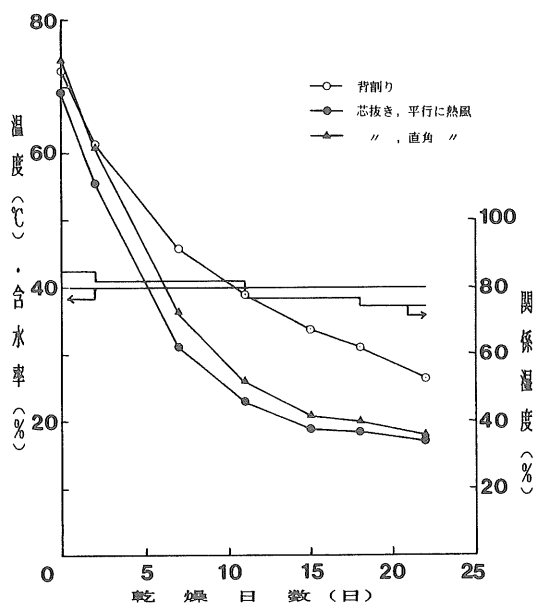


図-5 スギ柱材の乾燥経過(正角1m材)

一般的なスケジュールであったが、1 m試験材では背割り材と比較すると明らかに芯抜きによる乾燥度の低下と乾燥時間の短縮が認められた。また、試験材の平均含水率が26%に達したときの乾燥日数を比較すると、背割り材は22日を要したが、芯抜き材は熱風方向に関係なく10日前後と非常に短く、乾燥時間の短縮化が図られた。

2. エンドマッチ試験材の水分分布

図-6に示すように、乾燥終了時の1 m試験材の平均含水率は背割り材で26%、これに対して芯抜き材は17~18%と低く、図-5に示す乾燥経過曲線に対応した含水率を示した。また、長さ方向中央部の表層部と内層部の水分分布は背割り材で20~50%の範囲であったが、芯抜き材は熱風方向に関係なく12~26%の範囲であった。つまり、芯抜きすることによって半径方向(樹心方向)に大きく収縮できるようになり、いずれの試験材も割れは全く認められなかった。さらに、乾燥終了時の平均含水率は低くなり、また材の水分傾斜も小さくなることが分かった。

3. 正角実大材の乾燥経過と損傷

1) 背割り材と芯抜き材の乾燥経過

図-7に示すように、初期含水率が違うが、仕上がり含水率が約20%になるのに29日の乾燥日数を必要とした。また、実大材の平均含水率が40%から20%になる日数を比較すると、無背割り材が27日、背割り材が24日および芯抜き材が18日であり、背割り材に比べて芯抜き材の乾

燥時間が約25%短縮できた。

2) 芯抜き径による乾燥経過と割れ

図-8に示すように、初期含水率が違うが、試験材の平均含水率が25%になるのにいずれの芯抜き径の実大材でも35日の乾燥日数を必要とした。しかし、平均含水率が約40%から25%になる日数を比較すると、芯抜き径40 mmの実大材が径30、20 mmのものより乾燥日数が5日短く、芯抜き径が大きいほど乾燥時間が短縮できた。

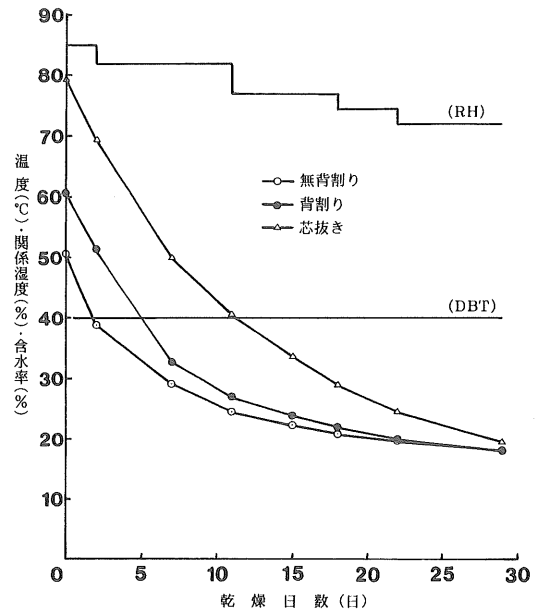


図-7 スギ柱材の乾燥経過 (正角実大材)

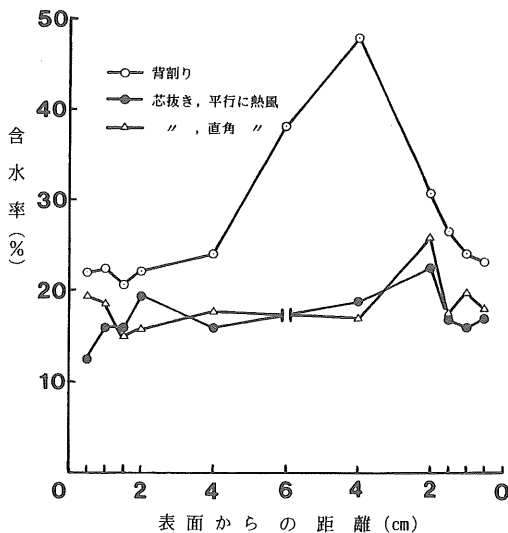


図-6 乾燥終了時の水分分布

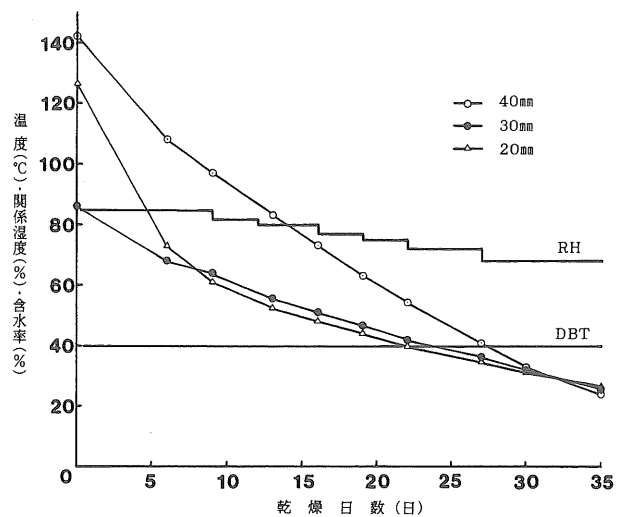


図-8 芯抜き径の違いによる乾燥経過 (スギ正角実大材)

また、表-1に示すように、芯抜き径及び材の等級が違
ういずれの試験体でも、仕上がり含水率を20%以下に乾燥
すると割れがまったく発生しない試験体もあったが、芯抜
きによって割れを完全に抑制することはできなかった。な
お、割れが発生した実大材は芯抜き径に関係なく、木口面
の心材色が黒色または重量の大きい初期含水率が高い材
に多く認められた。つまり、中空の大きさ、正角材の等級区
分と割れの関係に相関がなく、試験体の材質(節径、繊維傾
斜、年輪幅、樹心の位置等)が大きく影響すると考えられる。

3) 材面割れ防止処理と割れ

表-2に示すように、芯抜き材の木口、材面割れを防
止するために、PEG水溶液中に5日間浸せきした試験
体と、市販の割れ防止処理液で全面塗布処理した試験体
を前述の乾燥条件で試験した。その結果、PEG水溶液

中に浸せき処理した試験体の割れの発生は4個体がまっ
たく発生せず、1個体で木口割れがわずかに1本発生した
に留まった。市販の割れ防止液でも割れの発生はなく、
特にラッカー系の場合、終了時含水率が高く水分蒸発を
かなり抑制していた。いずれの処理方法とも、材面から
急激な水分の蒸発を抑制するには有効であるが、乾燥時
間を考慮するとPEG処理が有効であった。

4) 芯抜き材の乾燥による形質変化

表-3に示すように、A~Dの4材面の収縮率は図-
3に示す3か所の平均値である。また、中空径E、Fの
収縮率は両木口面の平均値である。なお、試験体の含水
率は全乾法で測定して47.7%が16.0%になった場合の収
縮率である。4材面とも平均的に収縮しており、収縮し
た寸法は1.2~1.7mmであった。また、中空径の収縮率

表-1 芯抜き径と割れ長さの関係(正角実大材)

試験体No.	芯抜き径 (mm)	等級区分	総割れ長さ (mm)		仕上り 含水率 (%)
			木口 (本数)	材面 (本数)	
1	40	一等	72 (2)	191 (3)	19.6
2		特等	0	0	17.0
3		一等	40 (1)	0	18.9
4		特等	649 (1)	331 (5)	17.3
5		一等	121 (1)	0	16.3
6	30	特等	3181 (3)	2476 (5)	18.6
7		一等	0	0	18.3
8		特等	840 (2)	271 (6)	18.6
9		特等	0	0	21.1
10		一等	108 (1)	0	17.4
11	20	一等	1483 (3)	1895 (3)	18.7
12		一等	0	0	17.6
13		特等	1317 (3)	596 (3)	18.3
14		特等	0	242 (1)	21.3
15		特等	0	0	18.3

表-2 芯抜き材の材面処理方法と割れの関係(正角実大材)

試験体 No.	処理方法	総割れ長さ (mm)		含水率 (%)	
		木口 (本数)	材面 (本数)	初期	終了時
1	PEG # 1000 30%水溶液 5日浸せき	0(0)	0(0)	83.8	24.5
2		170(1)	0(0)	85.2	25.2
3		0(0)	0(0)	107.5	20.6
4		0(0)	0(0)	77.6	15.1
5		0(0)	0(0)	78.3	18.8
6	割れ防止液A (ラッカー系)	0(0)	0(0)	159.7	129.3
7		0(0)	0(0)	65.4	37.9
8	割れ防止液B (エマルジョン)	90(1)	0(0)	73.0	35.5
9		0(0)	0(0)	56.9	23.6
10	無 処 理	0(0)	3097(10)	91.8	19.8

は約4%で、収縮した寸法では1.2mm程度であった。このことから芯抜き材は4材面が平均的に収縮して、乾燥によって背割り幅が大きく開き、2度挽きをする背割り材に対して製材歩留まり効率がよいことが分かった。

また、この試験体は曲りが0.17%、ねじれが2mmで、木口及び材面割れも全く発生しなかったことから、JASの構造用製材品の品質基準値で1級材に属し、乾燥後の材質としては良好であった。

4. 正角実大材の曲げ破壊試験

表-4に示すように、平均年輪幅は全数の平均値が5.6mmで範囲は1.3~7.9mmでかなりのばらつきがあり、また比重は全数の平均値が0.41で範囲は0.35~0.48でバラツキは比較的大きかったが、島根県産スギ材としては中山ら⁹⁾の報告と類似しており、一般的な材と考える。曲げヤング係数(MOE)の平均値は全区間で芯抜き径が20~40mmで約65~73tonf/cm²、無背割り材で約75tonf/cm²、背割り材で約63tonf/cm²でほとんど同程度であった。また、曲げ破壊係数(MOR)の平均値も芯抜き径が20~40mmで約350~390kgf/cm²、無背割り材で約410kgf/cm²、背割り材で約370kgf/cm²で同程度であり、芯抜きによる曲げヤング係数、曲げ破壊係数の低下は認められず、芯抜き径40mmまでは単なる断面欠損として取り扱ってさしつかえないと考える。

また、建築基準法施行令第95条に規定されているスギ材の材料強度値225kgf/cm²をいずれの断面の試験体も十分満足していた。この結果は津島ら⁹⁾の実験結果と類似していた。図-9に示すように曲げ強さと曲げヤング係

表-3 芯抜き柱材の形質変化(径30mm)

材面	収縮率(%)
A	1.12
B	0.99
C	1.38
D	1.41
E	3.89
F	4.45

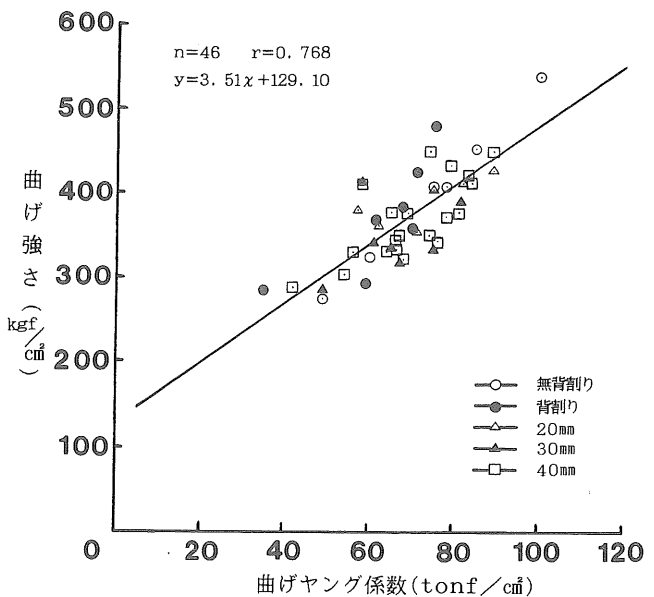
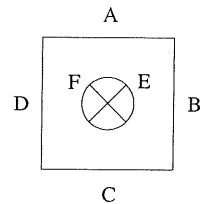


図-9 芯抜き径の違いによるMOEとMORの関係

表-4 芯抜き径別実大曲げ破壊試験結果

供試材		平均年輪幅 (mm)	比 重	曲げヤング係数		曲げ比例限度 (kgf/cm ²)	曲げ破壊係数 (kgf/cm ²)
				中央1/3区間 (tonf/cm ²)	全区間 (tonf/cm ²)		
芯抜き 径20mm	平均値	5.8	0.43	81.8	72.7	241	390
	標準偏差	0.7	0.01	12.9	11.0	28.0	26.4
	変動係数(%)	12.6	3.44	15.8	15.1	11.7	6.8
芯抜き 径30mm	平均値	5.2	0.43	73.1	65.1	219	345
	標準偏差	2.0	0.03	12.1	9.7	14.6	40.0
	変動係数(%)	38.4	6.13	16.6	14.9	6.7	11.6
芯抜き 径40mm	平均値	5.4	0.40	75.3	69.6	243	364
	標準偏差	1.6	0.03	13.1	11.2	34.5	42.8
	変動係数(%)	28.7	6.68	17.4	16.1	14.2	11.8
無背割り	平均値	5.7	0.44	78.4	74.6	263	407
	標準偏差	0.8	0.03	17.1	16.4	67.4	95.0
	変動係数(%)	14.8	7.07	21.8	22.0	25.6	23.4
背割り	平均値	6.1	0.41	66.0	62.6	220	370
	標準偏差	0.6	0.02	12.4	12.3	32.6	64.1
	変動係数(%)	10.5	5.21	18.8	19.7	14.8	17.3

表-5 実大材の縦圧縮強度

	平均年輪幅 (mm)	集中 節径比(%)	縦圧縮強度 (kgf/cm ²)	破壊荷重 (kgf)	備考
平均値	5.6	13.8	306.8	33502	背割り材
標準偏差	1.27	9.72	49.29	5382.2	
最大値	8.4	26.6	372.9	40720	
最小値	4.8	0	228.2	24920	
平均値	5.1	24.5	304.9	29790	芯抜き材
標準偏差	1.07	11.72	18.36	1794.6	(40φ)
最大値	6.8	36.1	332.4	32470	
最小値	3.4	0	285.1	27850	

数の間に $r=0.768$ の相関が認められたが断面形状による差は認められなかった。

5. 短柱実大材の縦圧縮試験

表-5に示すように、10.5cmの正角材で長さが約30cmの短柱材の縦圧縮強さの平均値は背割り材（試験体数6本）で約307kgf/cm²、芯抜き径40mmの芯抜き材（試験体数7本）で約305kgf/cm²であり、芯抜きによる縦圧縮強さの低下は本試験では認められなかった。つまり芯抜き部分が未成熟材であったため、強度への影響が少なかったと考える。ただ、中空径が40mmを越えると、津島ら⁹⁾が述べたように断面欠損が縦圧縮強さを低下させると推察する。また、建築基準法施行令第95条に規定された材料強度値180kgf/cm²を背割り材、芯抜き材とも十分満足した。

引用文献

- (1) 池淵 隆・錦織 勇：スギ芯抜き柱材の乾燥特性。
日本林学会関西支要46：15,1995
- (2) 遠矢良太郎・大川秀利・松田健一：心抜きによる間伐材の利用（1）中空柱材の乾燥技術について。第37回日本木材学会要旨集：409,1987
- (3) 林野庁：昭和58年度林業試験研究報告書。198,1985
- (4) 中山茂生・錦織 勇・池淵 隆・安井 昭：島根県産スギ造林木の強度性能—スギ正角材の曲げ強度—。
島根林技研報42：17～36,1991
- (5) 津島俊治・後藤康次：スギ中空材の強度性能—曲げ・縦圧縮・横圧縮強度—。大分県林試研究時報13：8～16,1988

Drying Qualities and Strength Properties of the Square Lumbers of
Cryptomeria Japonica Bored Holes through Thier Hearts

Takashi IKEBUCHI and Isamu NISHIKÔRI

Summary

Drying and bending tests were carried out on the square lumbers of *Cryptomeria japonica* to examine the effects of boring holes through their hearts with a drill.

1. As the short experimental lumbers, the drying of bored lumbers finished more quickly than that of the lumbers partly splited, the ordinary lumbers.
2. Average moisture content of the bored lumbers was lower than that of the splited lumbers at the end of drying. Moisture contents varied narrowly with the part of the lumber, inner and outer sides.
3. As the square lumbers of actual size, the period of drying of the bored lumbers saved 25 percent of that of the splited lumbers. The larger the hole in the lumbers was in diameter, the shorter the drying period was.
4. Opening cracks on the surface of the bored lumbers were prevented by dipping the lumbers into the emulsion of polyethylene glycol.
5. There were no differences in bending modulus of rupture between the bored lumbers and the splited lumbers. The hole in heart of the lumber was regarded as just section loss that did not relate to the strength of the lumber.

論文 地域に適合した林業機械作業システム研究 (第2報)
—タワーヤードとプロセッサの組み合わせによる集材・造材作業—

西 政 敏・富 川 康 之・平 佐 隆 文

Studies on the Systematization of Forest Machinery Operation
Adapted to the Local Condition (II)

— Logging and Bucking Operation on the Combined Use of Tower-Yarder and Timber Processer—

Masatoshi NISHI, Yasuyuki TOMIKAWA, Takafumi HIRASA

要 旨

1. 島根県飯石郡吉田村と簸川郡多伎町の各1林分において、タワーヤードとプロセッサを組み合わせた集材・造材作業を調査した。両調査林ともスギ林で、吉田では列状間伐、多伎では皆伐が行われた。
2. 吉田では作業路をタワーヤードの設置場所やプロセッサによる造材作業のための土場として利用した。多伎ではタワーヤードは一般道の路肩に設置して、造材作業は作設した土場で行った。
3. タワーヤード1回当たりの架線の架設と撤去時間、また、1サイクル当たりの集材時間は多伎では吉田に比べスパン長が長く、傾斜が急なため、吉田に比べて多くの時間を要した。
4. 吉田でのプロセッサの1サイクル当たりの平均処理時間は5分30秒であった。これはタワーヤード平均処理時間3分の約2倍であった。
5. タワーヤードの架線の架設・張替・撤去の人工数は集材機と比較して、吉田では約1/4、多伎では約1/8の人工数で行うことができた。
6. タワーヤードとプロセッサを組み合わせた生産性は吉田では $5.6\text{m}^3/\text{人}\cdot\text{日}$ 、多伎では $3.4\text{m}^3/\text{人}\cdot\text{日}$ と吉田の生産性が多伎より高かった。

I は じ め に

1994年11月と1995年2月、島根県下の2林分で、「高性能林業機械」であるタワーヤードとプロセッサを組み合わせた集材・造材作業が行われた。タワーヤードは元柱の代わりとなる鉄柱を備えた集材車である。プロセッサは土場に集材された材の枝払いを行うと同時に、一定の長さに玉切りする造材機械である。

これらの高性能林業機械を使用することによって、集材・造材作業の効率化が期待されている。本研究では、これらの機械の性能を十分に活かした作業システムを確立する基礎資料を得るために、実際に行われた作業の実態を調査した。まず、地況や林況などの作業条件を把握

した。ついで、各作業の所要時間や集材・造材量などの調査を行った。そして、作業日報から作業の各工程における人工数を調査して、生産性を検討した。なお、これらの作業は高性能林業機械のオペレータを養成するための「平成6年度高性能林業機械オペレータ養成研修実施事業」と高性能林業機械の性能を実証するための「高性能林業機械実証事業」で行われたものである。

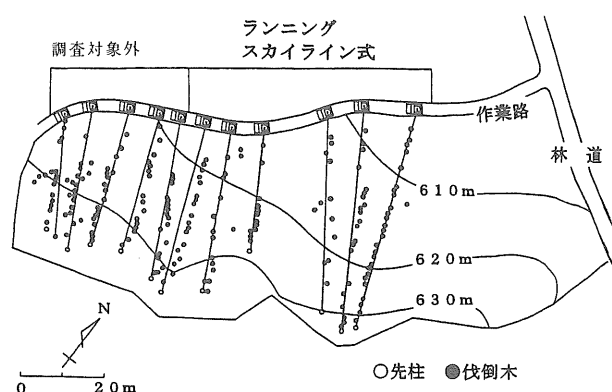
本調査は前報(2)の調査に引き続いて、大型プロジェクト研究開発推進事業課題「地域に適合した林業機械作業システム研究」で実施したものである。調査に御協力いただいたヒロシマ精機株式会社と波多野木材有限会社に厚くお礼を申し上げます。

表-1 地況・状況

場 所	伐採面積 (ha)	傾斜 (度)	樹 種	林齡 (年生)	成立本数 (本/ha)	蓄積 (m ³ /ha)
飯石郡吉田村	1.60	13 ~ 37 (17)	スギ	35	1,544	571
簸川郡多伎町	0.13	29 ~ 47 (37)	スギ	60	930	455

()内は平均値

吉 田



多 伎

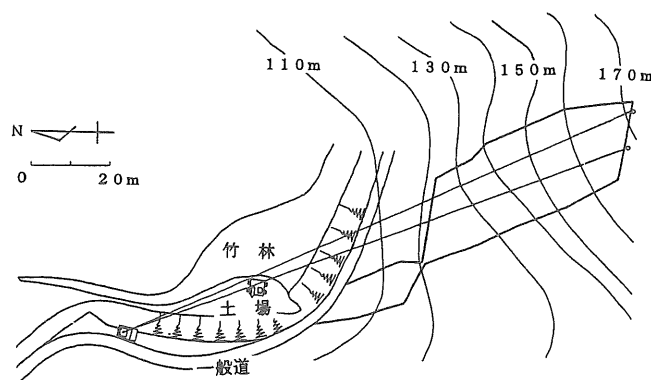


図-1 調査林

II 調査林, 作業条件および調査方法

1. 調査林

表-1と図-1に示した2林分で調査を行った。以下、各調査林をその所在する町村名から「吉田」,「多伎」と記す。両調査林ともスギの人工林で吉田は若齢林,多伎は壮齢林であった。吉田の傾斜は緩やかで,多伎はきわめて急傾斜地であった。吉田では調査林内に幅員2.5mの作業路があり,これをタワーヤードの設置場所や造材作業のための土場として利用した(写真-1)。多伎では幅員3mの一般道があったが,作業には使用せず,タワーヤードはその路肩に設置した(写真-6)。造材作業のために,一般道より5m下の竹林を切り開いて面積450m²の土場を作った(図-1)。

2. 作業条件

1) 使用機械

吉田,多伎とも同種類の機械が使用された。タワーヤードは及川自動車社製のRME-300Tであり,スパン長

300mの小型のものである(3)。索張り方式はランニングスカイライン式であった。プロセッサは新宮商行製のCP-30であり,最大玉切り径が400mmの機械仕様であった。このベースマシンは小松製作所製のPC-120であった。

なお,吉田では架線の索張り練習のため索張り方式はエンドレスタイラー式で,調査対象とは異なる機械メーカーのタワーヤードによる集材作業も行った。

2) 作業手順

吉田では4列を残して1列を伐倒する列状間伐で,梢端を先柱の方向に向けて伐倒した。多伎では皆伐で,伐倒方向は一様でなかった。両調査林とも調査前に伐倒が行われた。

両調査林とも下げ荷による全木集材であった。吉田での間伐列数は6列で,タワーヤードが作業路上を順次移動して,その度に先柱を変えながら架設と撤去を繰り返した。プロセッサはタワーヤードが次の列へ移動した後,

作業路上で造材作業を行った（写真－５）。多伎では横取り距離を短くするため、２本の作業索で集材した。タワーヤードの位置は変えずに、先柱の位置を１回変えて架線を張り替えた。土場内でプロセッサによって造材した（写真－７）。

３）作業員数

架設・張替・撤去は両調査林とも３人、集材作業は吉田ではオペレータと荷かけ手の２人、多伎ではオペレータと荷かけ手と荷はずしを行う作業員の３人で行った。造材作業は両調査林とも１人で行った。

吉田ではオペレータ養成研修に参加した９人がタワーヤードの操作、先山作業、およびプロセッサの作業を交代しながら行った。多伎では４人の作業員がタワーヤードの操作、先山作業、土場での荷はずしおよびプロセッサの操作をそれぞれ継続して行った。

３．調査方法

１）スパン長、集材距離および横取り距離

スパン長は各架線ごとに縦断面図を作成して測定した。集材距離は搬器が土場から先山の停止位置まで移動する距離を、コントロールボックスに表示される距離メーターから読みとった。横取り距離は搬器の停止位置から荷か

け位置までをポール、巻き尺および目測で測定した。

２）作業時間と作業量

機械の動きや作業員の動作をビデオカメラによって撮影して、その再生映像を用いて調査した（写真－８，９）。タワーヤードの架設・張替・撤去と集材作業は、先山と土場の２か所にビデオカメラを設置して撮影した。また、プロセッサの動きはヘッドの部分を中心に撮影した。作業の種類別に作業人数と作業時間を調査した。タワーヤードの架設・張替・撤去は「元柱の設置から先柱の撤収」までの作業を７種類に区分して、作業人数と作業時間の積を各作業の所要時間とした。タワーヤードの集材作業は「索上げから荷はずし」までの１サイクルを８種類に区分した。また、プロセッサの造材作業は「作業道の上に材を引き出すことから枝条処理」までの１サイクルを４種類に区分した（表－２）（７）。

本調査では、機械メーカーの講師によって指導や実演などが行われたサイクルは除いて集計した。その結果、吉田での集材作業４３サイクル、造材作業６２サイクルおよび多伎での集材作業５０サイクルを分析した。

集材量は１サイクル当たりの集材本数と材積を調査した。材積は集材された材の樹高と胸高直径を測定して材

表－２ 作業区分

タワーヤードによる 架設・撤去・張替	タワーヤードによる 集材作業	プロセッサによる 造材作業
元柱設置	索上げ	作業道の上に材を引き出す
先柱設置	空走行	作業道上での材の移動
索引き回し	索下げ	玉切り・枝払い
索張り上げ	荷かけ	樅積み・枝条処理
索巻き取り	荷上げ	
元柱撤去	実走行	
先柱撤去	荷下げ	
	荷はずし	

表－３ 各種距離

調査林	平均スパン長 (m)	平均集材距離 (m)	平均横取り距離 (m)
吉田	5.6 (3.8～7.1)	2.7 (3～5.4)	0.5 (0～3.2)
多伎	15.1 (14.8～15.4)	5.9 (3.4～6.9)	2.0 (0～13.5)

()内は最大～最小

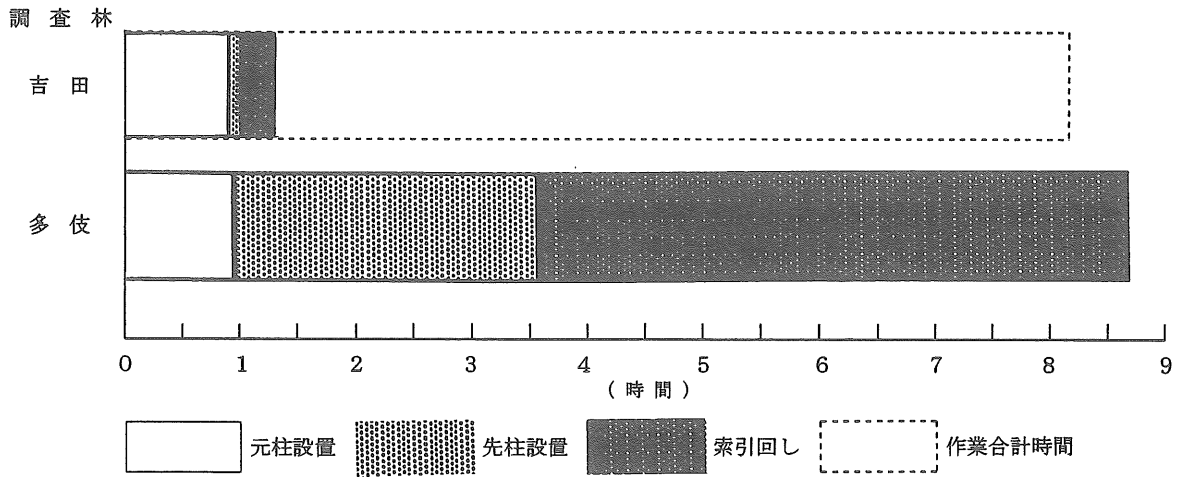


図-2 1列当たりの架設の作業区分時間と合計時間

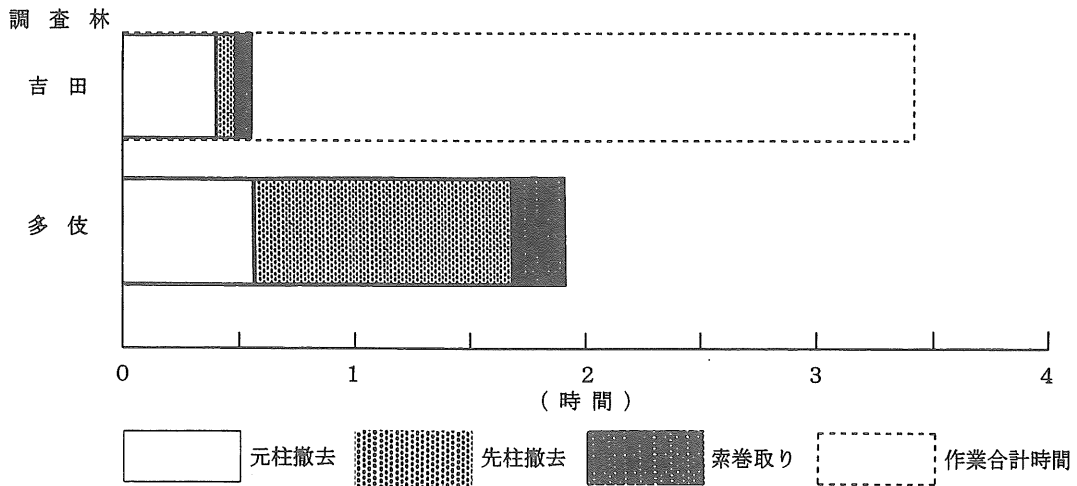


図-3 1列当たりの撤去の作業区分時間と合計時間

積表(8)によって求めた。造材量は玉切り本数と素材材積を調査した。素材材積は丸太の材長と末口直径を測定して、末口自乗法によって求めた。

3) 人工数と作業効率

吉田では1994年の11月に集材と造材を各2.5日間、多伎では1995年の2月に集材を4日間、造材を2日間で行った。各作業内容と作業時間は、吉田ではビデオ映像と研修のカリキュラム、多伎では30分単位で記録した作業日報によって調査した。生産量は吉田では単位時間当たりの造材量から計算して、多伎では製材所に運ばれた時点

で丸太の総材積を調査した。各工程の人工数と生産性を以下の式より計算した。

$$\text{各工程の人工数} = \frac{\text{各工程の作業時間}}{\text{平均勤務時間}} \times \text{作業員数} \quad \dots\dots\dots ①$$

ただし、平均勤務時間は勤務時間から昼休みを除いた時間の合計を勤務日数で除したものである。

$$\text{各工程の生産性} = \frac{\text{生産量}}{\text{各工程の人工数}} \quad \dots\dots\dots ②$$

ただし、集材工程と造材工程の人工数には機械調整や

土場清掃の人工数を含めなかった。

タワーヤードとプロセッサを組み合わせた全体の生産性 (3) はつぎの式によって求めた。

$$E = \frac{1}{1/e_1 + 1/e_2} \dots\dots\dots(3)$$

E : 全体の生産性

e₁ : 集材工程の生産性

e₂ : 造材工程の生産性

Ⅲ 結果と考察

1. スパン長, 集材距離および横取り距離

吉田では調査林内の作業路を利用したため, 架線のスパン長は従来の調査と比較して短かった (4, 12)。多伎ではタワーヤードを伐採林に隣接して設置できなかったためスパン長, 集材距離が長くなった。そのため平均集材距離が吉田での30mと比較して, 多伎では60mと2倍であった。横取り距離は吉田では3m以下で, 多伎では最大で14mと長いときもあったが横取り距離がないサイクルが多かったため平均2mであった。(表-3)。

2. 所要時間と作業量

1) 架設・張替・撤去

吉田での6列の架設時間合計は8時間30分, 撤去時間合計は3時間30分であった。多伎での架設時間は8時間30分, 撤去時間は2時間, 張替時間は3時間であった。両調査林での架設・張替・撤去の総時間は吉田では11時間, 多伎では12時間30分であった。

架設1回当たりの時間を作業区分別にみると, 吉田では元柱設置に多くの時間を要した。多伎では急傾斜地でスパン長も長いいため, 先柱設置と索引き回しに多くの時間を要した (図-2)。

撤去1回当たりの時間を作業区分別にみると, 吉田では元柱撤去時間が大半を占めた。多伎では先柱撤去に多くの時間を要した (図-3)。

両調査林の架設と撤去1回当たりの時間に大きな差が生じた原因は, 多伎では吉田に比べてスパン長が長いいため索を引き回す歩行距離が長くなるのと同時に, ワイヤ重量が作業員の負担を大きくしたと推察する (I)。また, 多伎は吉田に比べて斜面の傾斜が急で, 作業員の動作が遅くなったことも原因の1つと考える。

表-4 作業時間と作業量

工程集類 調査林	集材		造材
	吉田	多伎	吉田
平均処理時間	2分53秒 (1分00秒~5分19秒)	5分56秒 (3分43秒~12分51秒)	5分26秒 (43秒~14分28秒)
平均処理本数 (本)	1	1.1	1
平均処理材積 (m ³)	0.364 (0.038~0.866)	0.448 (0.053~3.722)	0.279 (0.035~0.584)

() 内は最小~最大

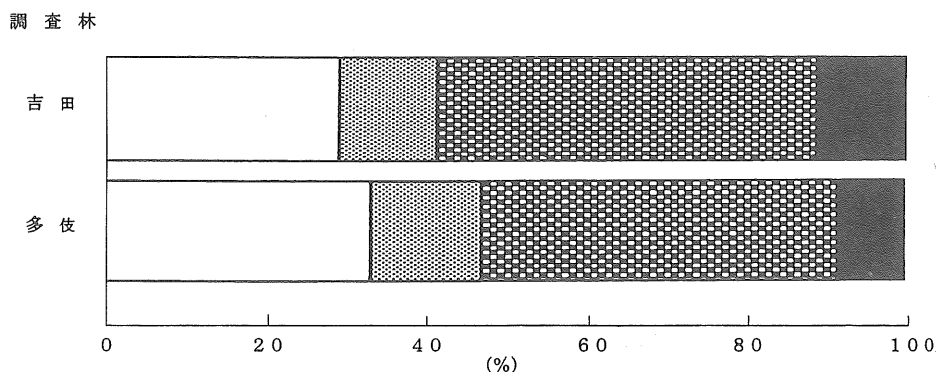


図-4 タワーヤード集材の1サイクル

空搬器走行 先山作業 実搬器走行 土場作業

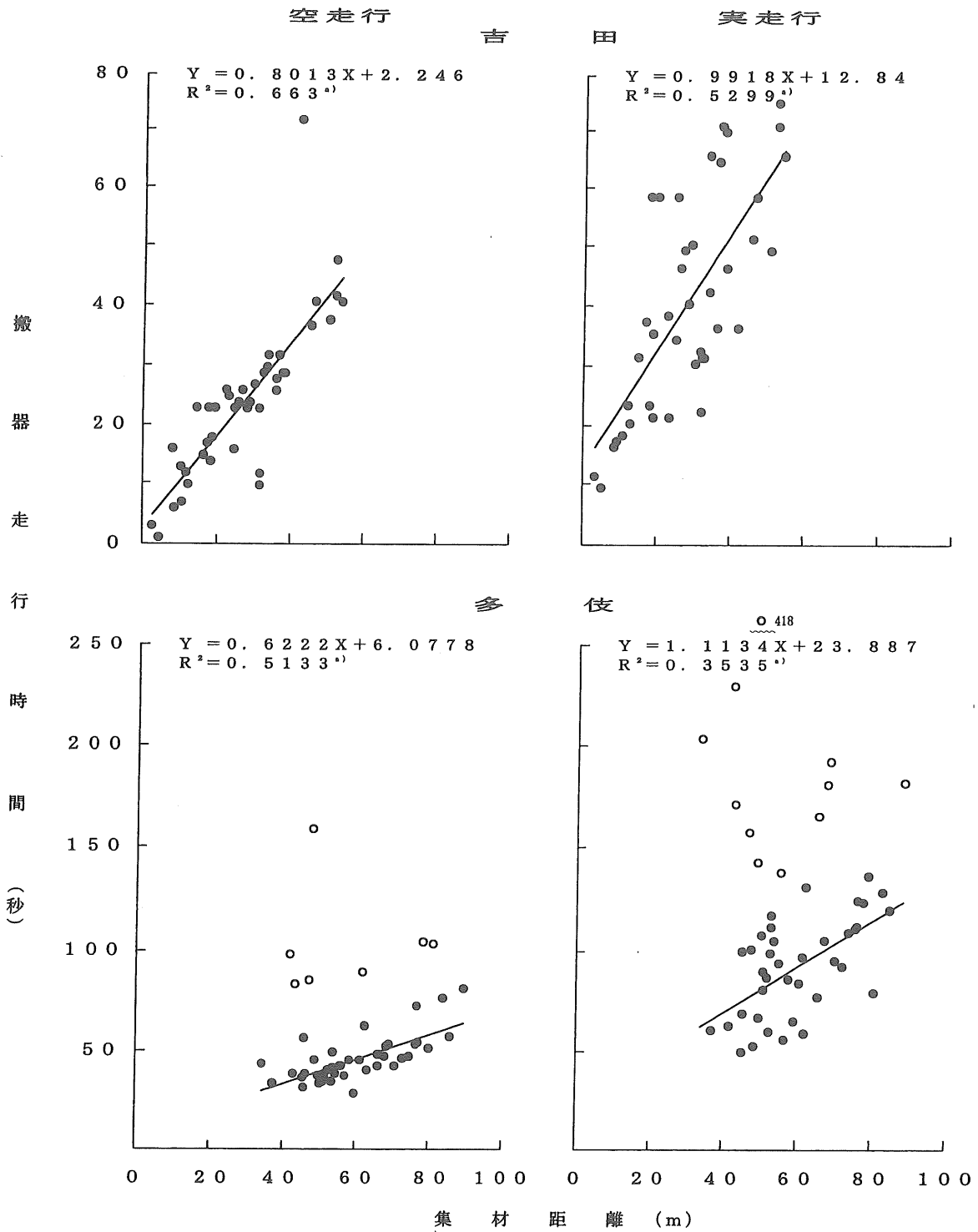


図-5 集材距離と搬器走行時間の関係

- : 走行中の搬器が一般道を通る車の通過待ちのために減速, または一時停止したサイクルを示す。
- : 搬器が順調に走行したサイクルを示す。
- a): 相関関係の検定の結果, 1%の有意水準で相関関係があったことを示す。

表-5 プロセッサの作業区別時間(吉田)

作業区分	合計 (秒)	割合 (%)
作業道上に材を引き出す	5168	26
作業道上での材の移動	10573	52
玉切り・枝払い	2989	15
木並積み・枝条処理	1497	7
合 計	20227	100

2) 集材作業

両調査林とも1回当たりの集材本数は約1本であった。両調査林の1サイクル当たりの集材時間に大きな差を認めた。これは多伎は吉田に比べ集材距離が長く、調査林の林齢が高く、集材材積が大きいことが理由と考える(表-4)。

集材作業を土場作業、空搬器走行、先山作業、実搬器走行の4種類に集約して総作業時間に対する割合をみると、それぞれの作業の割合は吉田、多伎とも同様の結果となった。両調査林とも搬器移動の割合が全体の約80%と大きかった。両調査林とも先山作業の割合が全体の約10%であったのは横取り距離が短かったためである。吉田ではタワーヤードのオペレータが荷はずしをしたが、

多伎では別に荷はずしを行う作業員がいたため、土場作業の割合が若干小さかった。吉田では集材距離が多伎の半分であったにもかかわらず、実搬器移動の割合が多伎と同様であったのは、列状間伐のため残存木に注意を払いながら集材を行ったためである(図-4)。

集材サイクルごとに集材距離と搬器走行時間の関係を、空走行と実走行に分けて分析した。集材距離と搬器走行時間の関係から回帰式を求めて、直線の傾きから搬器の平均走行速度を計算した。なお、搬器が一時停止したサイクルを除いて回帰分析を行った。吉田では、空走行は1.25m/s、実走行は1.01m/sであり両速度間に大きな差はなかった。多伎では空走行1.61m/sに比べて、実走行は0.66m/sと半分以下であったが、これは急傾斜地であり、また、一般道へ材が滑り落ちないように注意を払いながら集材したためである。多伎では一般道を通る車の通過待ちのため搬器を一時停止するサイクルがあった。そのため空走行、実走行とも集材距離と搬器走行時間の関係はばらつきが大きかった(図-5)。

3) 造材作業

吉田でのプロセッサの1サイクル当たり平均処理時間は、タワーヤードの集材作業の1サイクル当たり平均処理時間の約2倍であった。

プロセッサによる平均処理時間は造材した材の大きさ

表-6 各工程の人工数と生産性

調査林	功 程	作業内容	作業員数 (人)	人工数 (人・日)	生産性 (m ³ / 人・日)
吉 田	集 材	架線架設	3	1.50	—
		集 材	2	3.50	—
		架線撤去	3	0.75	—
	集材全体	—	—	5.75	8.04
	造 材	—	1	2.50	18.49
	作業全体	—	—	—	8.25
多 伎	集 材	土場作設	5	1.25	—
		架線架設	3	1.75	—
		集 材	3	8.00	—
		架線張替	3	0.75	—
		架線撤去	3	0.75	—
	集材全体	—	—	12.50	3.79
	造 材	—	1	2.00	23.69
作業全体	—	—	—	14.05	3.35

や形状が異なるため、最大と最小に大きな差が生じた(表-4)。

作業区分別所要時間は表-5に示すように、作業路両側の残存木を傷つけないように注意を払って作業したため、作業全体の半分が作業路上での材の移動であった。

3. 人工数と作業効率

タワーヤードの架設・張替・撤去の人工数みると吉田では2.25人・日、多伎では3.25人・日であった。従来の集材機でエンドレスタイラー式の索張りをした場合の人工数を試算すると(11)、吉田と同様にスパン長50mでは9.0人・日と4倍、多伎と同様にスパン長150mでは27.2人・日と8倍であった。タワーヤードの特徴である架設・張替・撤去が容易に行えること(9)が実証できた。

吉田での集材、造材工程の作業日数はいずれも2.5日間、平均勤務時間はいずれも6時間であった。各工程の人工数を①式によって計算すると集材工程は5.8人・日で、造材工程は2.5人・日であった。②式によって各工程の生産性を計算した。なお、生産量は単位時間当たりの造材量から計算すると46.215 m^3 であった。集材工程の生産性は8.0 m^3 /人・日で、造材工程の生産性は18.5 m^3 /人・日であった。造材工程はプロセッサのオペレータが1人だけで行うため、人工数は少なくなって、生産性は高くなった。また、集材工程の生産性はタワーヤードの架設・撤去作業を含めて計算するため小さくなる。とくに吉田では6列の架線を使用したため、架設・撤去到2.25人・日、集材工程の約40%を要したことが生産性を低くした(表-6)。③式によって作業全体の生産性を計算すると5.62 m^3 /人・日であった。

多伎での作業日数は集材工程で4日間、造材工程2日間で、平均勤務時間はそれぞれ6時間、7時間30分であった。集材工程と造材工程が同時に作業を行ったのは作業全体の後半の1.5日間であった。各工程の人工数を①式によって計算すると、集材工程は12.5人・日、造材工程は2.0人・日であった。②式によって各工程の生産性を計算した。なお、生産量は製材所に運搬された素材を調査した結果47.374 m^3 であった。集材工程は3.8 m^3 /人・日、造材工程は23.7 m^3 /人・日であった。多伎では集材工程の作業日数が造材工程の2倍であったこと、土場を作設したこと、集材作業を3人で行ったことが原因で、各工程の生産性は吉田と比較して差が大きかった。多伎では

タワーヤードの設置場所と土場作設場所が離れていたため、荷はずしだけを行う作業員が必要であった。(表-7)。③式によって作業全体の生産性を計算すると3.35 m^3 /人・日であった。

作業全体の生産性は、生産性の低い工程に大きく影響を受けて低くなるのが③式によって推察できる。また、各工程の生産性は等しい値であることが理想的であり、そうでない場合でもできるだけ近似させる必要があるとされている(5)。本調査では両調査林とも集材工程の生産性が低くて、造材工程の生産性が高い結果となった。今後、各工程間のバランスを考えた作業システムを検討必要がある。

伐倒～造材までの作業システムを検討するため、本調査での作業工程にチェーンソー伐倒の生産性5～14 m^3 /人・日(10)を加えた生産性を試算した。吉田では傾斜が緩く、林齢も若いいためチェーンソー伐倒の生産性を14 m^3 /人・日として試算すると4.0 m^3 /人・日となった。多伎では傾斜が急で林齢も高いためチェーンソー伐倒の生産性を5 m^3 /人・日として試算すると2.0 m^3 /人・日となった。これは生産規模が年間5000 m^3 以下の事業体の目標値3.2 m^3 /人・日(6)と同様であった。

多伎では一般道に落下した土砂などの除去に多くの時間を要したが、本調査では集計には含めなかった。実際の作業ではこのような土場清掃や機械調整などが必要であるため、特に作業期間が短い場合には生産性に影響を及ぼすと推察する。

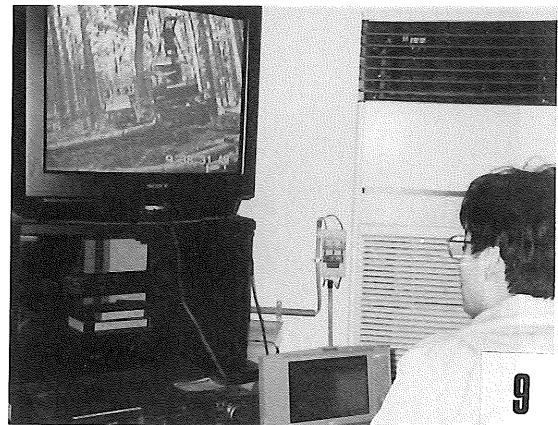
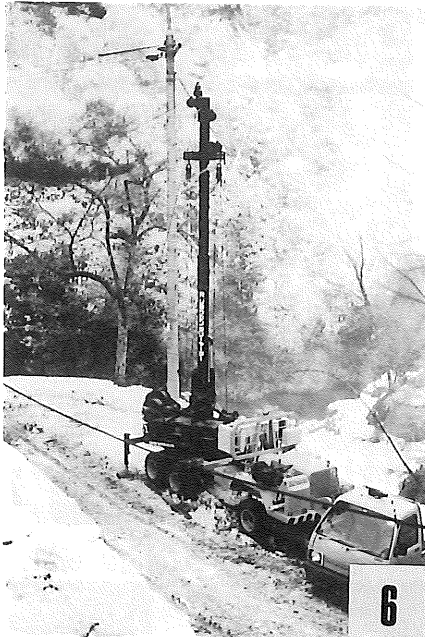
生産性は地況や機械の配置によって異なるが、このほかにも材の形状、オペレータの熟練度および機械の稼働日数などが影響を及ぼすと推察する。今後さらに多くの調査林で事例を収集する必要があると考える。

引用文献

- (1) 阿部鴻文・佐々木幸敏：タワーヤード集材作業の工程と効率的な作業の検討。日林東北支誌44：99～100, 1992
- (2) 福間優二・園山忠実・富川康之：地域に適合した林業機械作業システム研究－タワーヤードとグラップルソーの組み合わせによる集材作業－。島根県林業技術センター研究報告45：1～8, 1994
- (3) 小林洋司・仁多見俊夫・岩岡正博：タワーヤードを

- 想定した路網配置計画. 43回日林関東支論, 157~159, 1992
- (4) 小林洋司・仁多見俊夫・岩岡正博・伊藤幸也: 急傾斜地における高能率搬出作業仕組みの考究. 103回日林論, 649~650, 1992
- (5) 南方 康: 機械化・路網・生産システム. pp.56, 日本林業調査会, 東京, 1991
- (6) 林業機械化推進研究会編: 機械化のビジョン. pp. 26~34, 全国林業改良普及協会, 東京, 1990
- (7) 林野庁: 平成4年度林業試験設計書. pp.26~34, 林野庁, 1992
- (8) 林野庁計画課編: 立木幹材積表-西日本編-. pp.64~73, 日本林業調査会, 1970
- (9) 飛岡次郎・山崎忠久・芝 正己・並木勝義: タワーヤードによる風倒木集材作業. 日林誌75: 52~55, 1993
- (10) 辻 隆道: プロセッサを中心とした作業システム-徳島・高知県の調査から-. 機械化林業 499: 1~20, 1995
- (11) 梅田三樹男・辻 隆道・井上公基: 標準功程表と立木評価. pp.58, 日本林業調査会, 東京, 1982
- (12) 吉田智佳史・岡 勝・田中良明・今富裕樹・広部伸二・上村 功・井上源基・瀧辺秀一・田所幹夫・松崎範人・松瀬収司: 高性能林業機械の伐出作業システムに関する研究(II)-タワーヤードとプロセッサの組み合わせによる伐出作業-. 103回日林論, 657~658, 1992

写真-6~9



- 6~7: 多伎調査林
6: タワーヤードによる集材作業
7: プロセッサによる造林作業
8~9: ビデオによる調査
8: 調査林での撮影
9: 映像による作業分析

島根県林業技術センター研究報告第47号

平成8年3月印刷

平成8年3月発行

島根県林業技術センター

島根県八束郡宍道町大字1586 (〒699-04)

電話 0852-66-0301

印刷所 千鳥印刷有限公司

