

岩手林技セ 研報  
Bull. Iwate. Pref.  
For. Techn. Ctr.

ISSN 2758-7835

岩手県林業技術センター

# 研 究 報 告

第 32 号

令和 6 年 3 月

岩手県林業技術センター

岩手県 矢巾町

BULLETIN  
OF THE  
IWATE PREFECTURAL FORESTRY TECHNOLOGY CENTER

No.32

March 2024

IWATE PREFECTURAL FORESTRY TECHNOLOGY CENTER  
YAHABA, IWATE  
JAPAN



# 岩手県林業技術センター研究報告 第32号 (2024.3)

## 目 次

### (資 料)

アカマツラミナの人工乾燥日数の短縮に向けた試み .....森 諒平・谷内 博規・山口 晃輔	1
岩手県産人工林アカマツ材の集成材利用への強度適性 .....森 諒平・山口 晃輔・小島 瑛里奈・鈴木 雅人	13
寒冷地域の原木シイタケ栽培における植菌時期の早期化がホダ化と発生量に及ぼす影響 .....成松 眞樹	21

## CONTENTS

### (Notes)

An attempt to shorten the number of days required for kiln-drying of Akamatsu lamina .....Ryohei MORI • Hironori TANIUCHI • Kosuke YAMAGUCHI	1
Aptitude in strength of Akamatsu-wood from artificial forests in Iwate Prefecture for use as laminated wood .....Ryohei MORI, Kosuke YAMAGUCHI, Erina KOJIMA, Masato SUZUKI	15
Influence of early period inoculation on mycerial growth and fruiting body production for bed-log cultivation of Shiitake mushroom ( <i>Lentinula edodes</i> ) in cold region .....Maki Narimatsu	21

(資 料)

## アカマツラミナの人工乾燥日数の短縮に向けた試み

森 諒平・谷内 博規・山口 晃輔

An attempt to shorten the number of days required for kiln-drying of Akamatsu lamina

Ryohei MORI・Hironori TANIUCHI・Kosuke YAMAGUCHI

### 要 旨

県産アカマツ材の需要増加や人工乾燥に要する燃料費等の高騰に対応するため、人工乾燥日数の短縮を図る高温低湿の3条件の乾燥スケジュールで、アカマツラミナの乾燥試験を行い、含水率の推移を観察し、乾燥後の仕上がり含水率や割れの程度を評価した。

この結果、乾燥試験Ⅰ(乾球温度 90℃、乾湿球温度差 30℃)では、蒸煮処理から調湿処理終了まで49時間と、県内事業体の従来の人工乾燥日数である5日間(120時間)程度から大幅に短縮したが、乾燥による割れが多く発生した。乾燥試験Ⅱ(乾球温度 90℃、乾湿球温度差 10~30℃)では、蒸煮処理から調湿処理終了まで70時間、乾燥試験Ⅲ(乾球温度 80℃、乾湿球温度差 10~30℃)では64時間を要し、どちらも人工乾燥日数を3日間程度まで短縮することができ、かつ、仕上がり含水率及び乾燥による割れの程度から乾燥スケジュールの実用性が確認できた。なお、乾燥試験Ⅲは、乾燥試験Ⅱに比べて、乾球温度が10℃低いため、燃料費の軽減がより期待できる。

キーワード：アカマツ，ラミナ，人工乾燥，乾燥スケジュール，短縮

### 目 次

1 はじめに	3 乾燥試験Ⅱ-乾球温度 90℃・乾湿球温度差 10~30℃-
2 乾燥試験Ⅰ-乾球温度 90℃・乾湿球温度差 30℃-	3.1 実験方法
2.1 実験方法	3.2 結果
2.1.1 供試材料	3.2.1 含水率の推移
2.1.2 コントロール材の作成	3.2.2 水分傾斜
2.1.3 水分傾斜測定用試験体の作成	3.2.3 乾燥による割れの評価
2.1.4 乾燥方法	3.3 考察
2.1.5 乾燥経過の観察	4 乾燥試験Ⅲ-乾球温度 80℃・乾湿球温度差 10~30℃-
2.1.6 水分傾斜の測定	4.1 実験方法
2.1.7 乾燥による割れの測定	4.2 結果
2.1.8 仕上がり含水率等の測定	4.2.1 含水率の推移
2.2 結果	4.2.2 水分傾斜
2.2.1 含水率の推移	4.2.3 乾燥による割れの評価
2.2.2 水分傾斜	4.3 考察
2.2.3 乾燥による割れの評価	5 おわりに
2.3 考察	引用文献

### 1 はじめに

岩手県のアカツ資源は、民有林面積の約19%を占め<sup>1)</sup>、令和3年度のアカツ・クロマツ生産量は国内生産量の約4割を占める218千m<sup>3</sup>である<sup>2)</sup>。また、県産アカツラミナの、曲げヤング係数の平均値は10.5~11.1GPaであり<sup>3)</sup>、スギよりも高い値を示す。このことから、ウッドショック以降、国産材利用の機運が高まる中、県内事業者では、輸入材の代替としてアカツ材の商品開発が進められており、今後、アカツ材需要の増加が見込まれる。

一方、近年、ウクライナ危機の影響により、燃料となる灯油や重油の価格及び電気代が高騰し、木材乾燥など製造コストの増加が課題となっている。

今後見込まれるアカツ材の需要増加や人工乾燥に要する燃料費等の高騰に対応するため、人工乾燥日数の短縮を図る高温低湿の条件で、アカツラミナの乾燥試験を行い、含水率の推移を観察し、乾燥後の仕上がり含水率や割れの程度を評価することにより、乾燥条件を検討した。

### 2 乾燥試験 I - 乾球温度 90°C・乾湿球温度差 30°C-

伊藤ら(2001)のアカツラミナの「初期高温低湿乾燥」<sup>4)</sup>を参考に乾燥スケジュールを作成し、乾燥試験を行った。

#### 2.1 実験方法

##### 2.1.1 供試材料

表1に示す九戸村、軽米町産アカツ丸太8本を供試した。

供試丸太から得られたラミナ105枚(厚さ35mm、幅125mm、長さ4,000mm)と乾燥経過観察用の試験体(以下、「コントロール材」という。)3枚(厚さ35mm、幅125mm:辺材1枚、心材2枚)、水分傾斜測定用試験体2枚(厚さ35mm、幅125mm:辺材、心材各1枚)を供試した。

表1 供試丸太(乾燥試験I)

本数 (本)	長さ(mm)		元口径(mm)			末口径(mm)		
	平均	最大	平均	最大	最小	平均	最大	最小
8	4,157	494	629	429	401	481	346	

##### 2.1.2 コントロール材の作成

コントロール材は、両木口から300mm以上離れた上で、長さ1,000mmを採材した。また、コント

ロール材の採材とともに、採材箇所から残った両木口付近から長さ20mmの試験片も採材した。なお、コントロール材は、両木口にシリコンシーリング材を塗布し、木口からの乾燥を防止した。

コントロール材と試験片の重量を測定した後、全乾法により試験片の含水率を求め、試験片の含水率の平均を当該コントロール材の推定初期含水率とし、(1)式により推定全乾重量を算出した。

$$W_0 = W_u / (1 + U/100) \dots (1)$$

$$U_0 = (U_{a0} + U_{b0}) / 2$$

$$U_{a0} = (W_a - W_{a0}) / W_{a0} \times 100$$

※ $U_{b0}$ は $U_{a0}$ と同様の式で求める。

$W_0$  : コントロール材推定全乾重量 (g)

$W_u$  : コントロール材初期重量 (g)

$U_0$  : コントロール材推定初期含水率 (%)

$U_{a0}, U_{b0}$  : 試験片初期含水率 (%)

$W_{a0}, W_{b0}$  : 試験片全乾重量 (g)

$W_a, W_b$  : 試験片初期重量 (g)

##### 2.1.3 水分傾斜測定用試験体の作成

水分傾斜測定用試験体は、両木口から300mm以上離れた上で、長さ1,200mmを採材した。また、水分傾斜測定用試験体の採材とともに、採材箇所から残った両木口付近から長さ50mmの試験片も採材した。なお、水分傾斜測定用試験体は両木口にシリコンシーリング材を塗布し、木口からの乾燥を防止した。

試験片は、幅方向に両側40mmを除去し、厚さ方向に木表及び木裏面10mmを表層、それ以外を内層とし、採材した(図1)。表層と内層は、全乾法により含水率を求めた。表層と内層のそれぞれの平均含水率を算出し、表層と内層の含水率差である水分傾斜を求めた。



図1 試験片断面(木口面)

##### 2.1.4 乾燥方法

乾燥には(株)新柴設備製蒸気式人工乾燥機を用

いた。断面 25×25mm の栈木を用いて、栈木間隔は、300mm とし、圧縮のため重石 3.2t を載荷した。

目標含水率を 10～12% とし、乾燥スケジュールは表 2 に示す条件で行った。ステップ 1 は、コントロール材が目標含水率に達するまで行い、調湿処理は平衡含水率 12% となるように、乾球温度及び湿球温度を設定した。また、調湿処理終了後は、乾燥機を全停止させ、乾燥機を密閉した上で自然冷却し、乾燥機内の温度が外気と同程度になっていることを確認してから、材を取り出した。

表 2 乾燥スケジュール (乾燥試験 I)

ステップ	乾球温度 (°C)	湿球温度 (°C)	温度差 (°C)	時間 (hrs)
蒸煮処理	90	90	0	6
1	90	30	30	24±α
調湿処理	80	72	8	12
自然冷却				24～48

ファン出力：45Hz

### 2.1.5 乾燥経過の観察

コントロール材は、栈積み中央部に設置し、乾燥中に取り出し、適宜、重量を測定した。測定した重量と 2.1.2 で算出した推定全乾重量から (2) 式により推定含水率を算出し、乾燥スケジュールの段階を進める参考とした。

$$U = (W_u - W_0) / W_0 \times 100 \quad \dots (2)$$

$U$  : コントロール材推定含水率 (%)

$W_u$  : コントロール材重量 (g)

$W_0$  : コントロール材推定全乾重量 (g)

自然冷却終了後、コントロール材を乾燥機から取り出し、重量を測定した後、105°C に設定した乾燥機に置き、恒量に達するまで乾燥させ、測定した全乾重量により、含水率推移を補正した。

### 2.1.6 水分傾斜の測定

水分傾斜測定用試験体は、コントロール材と同様に栈積み中央部に設置し、乾燥中に取り出し、木口を長さ 50mm 切り捨てた上で、長さ 50mm の試験片を採材し、2.1.3 の方法により水分傾斜を求めた。

なお、試験片を採取するため、木口を切り落とした水分傾斜測定用試験体は、再度、木口にシリ

コーンシーリング材を塗布した後、乾燥機に戻した。

### 2.1.7 乾燥による割れの測定

自然冷却終了後、ラミナを乾燥機から取り出し、重量を測定した後、室内で一週間養生した。養生後は、乾燥による割れを測定した。

割れについては、木表、木裏面の割れの長さを測定し、長さの合計を 2 で割った値を「割れ長さ」とした。

### 2.1.8 ラミナの含水率の測定

ラミナは、乾燥前、乾燥直後及び養生後に重量を測定した。養生後の重量を測定した後、ラミナから長さ 20mm の試験片を 1 枚当たり 3 体採取した。全乾法により試験片の含水率を求め、(3) 式により推定全乾重量を算出した。推定全乾重量から 2.1.5 の (2) 式により、乾燥前 (初期含水率)、乾燥直後、養生後 (仕上がり含水率) の含水率を算出した。

$$W_0 = W_u / (1 + U/100) \quad \dots (3)$$

$$U = (U_a + U_b + U_c) / 3$$

$$U_a = (W_a - W_{a0}) / W_{a0} \times 100$$

※  $U_b$  及び  $U_c$  は  $U_a$  と同様の式で求める。

$W_0$  : コントロール材推定全乾重量 (g)

$W_u$  : コントロール材初期重量 (g)

$U$  : コントロール材推定含水率 (%)

$U_a, U_b, U_c$  : 試験片初期含水率 (%)

$W_{a0}, W_{b0}, W_{c0}$  : 試験片全乾重量 (g)

$W_a, W_b, W_c$  : 試験片初期重量 (g)

## 2.2 結果

### 2.2.1 含水率の推移

表 3 にラミナの初期含水率、乾燥直後の含水率及び仕上がり含水率の代表値、図 2 に仕上がり含水率の分布を示す。また、表 4 に乾燥スケジュールの各ステップに要した時間を示す。さらに、図 3 にコントロール材の含水率推移を示す。

ラミナの初期含水率は、31～203% (平均 84%) であり、採材部位別では、心材は平均 35%、辺材は平均 130%、移行材は平均 62% であった。また、仕上がり含水率は、9～14% (平均 10%) であり、目標含水率 10～12% のラミナが約 7 割を占めたが、仕上がり含水率 9% のラミナが約 3 割を占め、過乾燥気味となった。

乾燥時間は、蒸煮処理から調湿処理終了までで49時間を要した。

表3 ラミナの含水率（乾燥試験Ⅰ）

枚数 (枚)	初期含水率(%)			乾燥直後の含水率(%)			仕上がり含水率(%)		
	平均	最大	最小	平均	最大	最小	平均	最大	最小
105	84	203	31	10	14	8	10	14	9

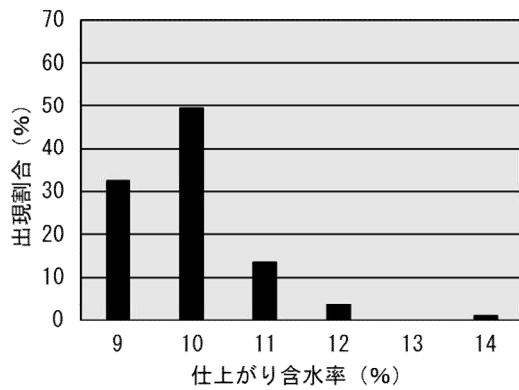


図2 仕上がり含水率の分布（乾燥試験Ⅰ）

表4 各ステップの乾燥時間（乾燥試験Ⅰ）

ステップ	乾球温度 (°C)	湿球温度 (°C)	温度差 (°C)	時間 (hrs)
蒸煮処理	90	90	0	6
1	90	30	30	31
調湿処理	80	72	8	12
自然冷却				63

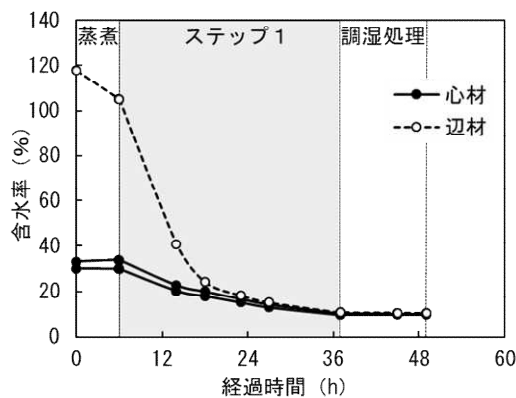


図3 コントロール材の含水率推移(乾燥試験Ⅰ)

2.2.2 水分傾斜

図4に心材の水分傾斜，図5に辺材の水分傾斜を示す。

心材、辺材ともに、乾燥中は、表層の含水率が内

層の含水率より高く，心材で最大約14ポイント，辺材で最大約10ポイントの含水率差が観察された。

また，図6と図7に心材及び辺材の乾燥終期から調湿処理まで(含水率0~25%)の水分傾斜を示す。

調湿処理前は，心材で約4ポイント，辺材で約2ポイントの含水率差が観察された。心材は，調湿処理により，過乾燥であった表層の含水率が引き戻され，調湿処理後は，約2ポイントの含水率差まで水分傾斜が緩和された。また，辺材は，調湿処理により，含水率が高い内層の含水率が低下し，調湿処理後は，含水率差は1ポイント以下であり，水分傾斜が観察されなかった。

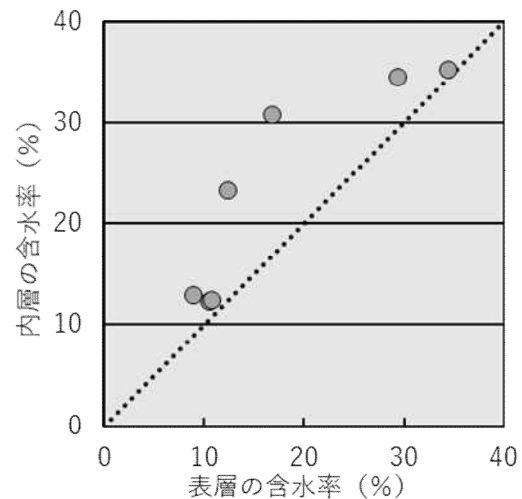


図4 心材の水分傾斜：全体（乾燥試験Ⅰ）

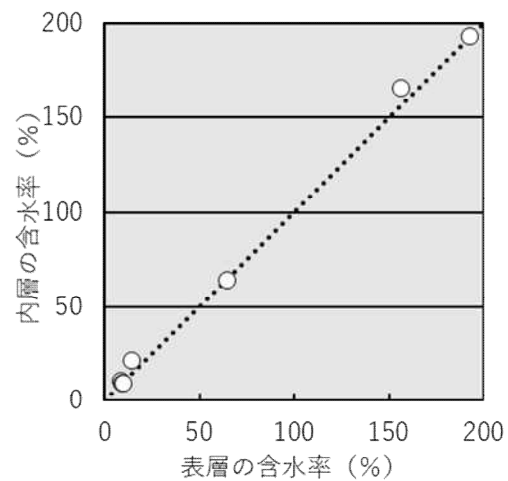


図5 辺材の水分傾斜：全体（乾燥試験Ⅰ）



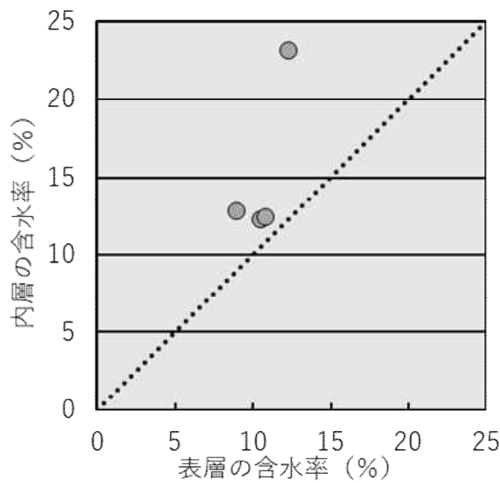


図6 心材の水分傾斜：含水率0～25%  
(乾燥試験Ⅰ)

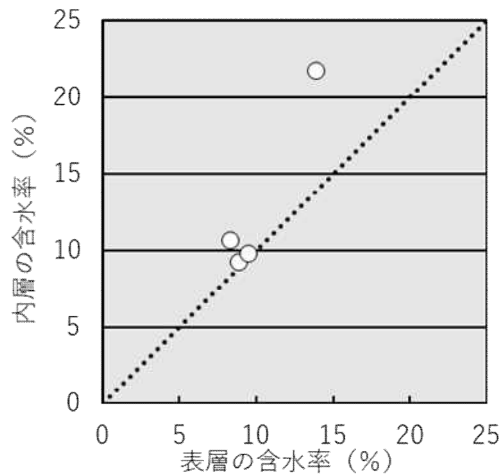


図7 辺材の水分傾斜：含水率0～25%  
(乾燥試験Ⅰ)

2.2.3 乾燥による割れの評価

図8に割れ長さの測定結果を示す。  
乾燥による割れは、ラミナ表面に多く発生し、特に乾燥収縮で閉じた割れ、髄に沿った割れが多く観察された。また、割れ長さの出現割合は、4m当たり11～50cmが最も多かった。「集成材の日本農林規格」における構造用集成材の目視区分の基準では、4等は「割れの幅が極めて小さく、長さ50mm以下であること」とされており<sup>9)</sup>、多くのラミナが4等の基準を満たさない結果となった。

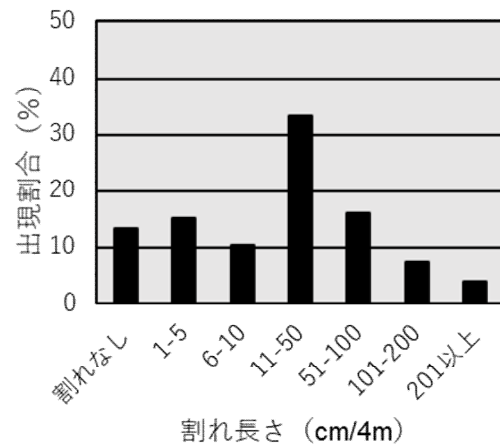


図8 割れ長さの分布 (乾燥試験Ⅰ：n=105)

2.3 考察

乾燥試験Ⅰでは、人工乾燥日数の短縮を図るため、乾球温度90℃、乾湿球温度差30℃の乾燥スケジュールにより乾燥試験を行い、蒸煮処理から調湿処理終了までで49時間を要した。県内事業者のアカマツラミナの人工乾燥日数が5日間程度であるため、人工乾燥日数は大幅に短縮することができた。しかし、乾燥による割れが多く発生した。これは、蒸煮直後、高温低湿の乾燥条件としたことにより、水分傾斜が顕著となったことが原因と考えられる。

乾燥試験Ⅰで用いた乾燥スケジュールはアカマツラミナには、厳しい乾燥条件であったため、乾燥スケジュールの見直しが必要である。

3 乾燥試験Ⅱ-乾球温度90℃・乾湿球温度差10～30℃  
乾燥試験Ⅰでは、人工乾燥日数は短縮されたものの、割れの発生が顕著であった。

そこで、乾燥試験Ⅱでは、割れの軽減策として、①蒸煮時間の延長による材の軟化促進、②乾湿球温度差の段階的移行による水分傾斜の抑制、③調湿処理の湿度増加による水分傾斜の緩和を挙げ、乾燥スケジュールを見直し、再度、乾燥試験を行った。

3.1 実験方法

表5のとおり久慈市産アカマツ丸太6本を供試した。

供試丸太から得られたラミナ53枚(厚さ35mm、幅125mm、長さ4,000mm)とコントロール材2枚(厚さ35mm、幅125mm：辺材、心材各1枚)、水分傾斜

測定用試験体2枚(厚さ 35mm, 幅 125mm : 辺材, 心材各1枚)を供試した。

表5 供試丸太(乾燥試験Ⅱ)

本数 (本)	長さ(mm)			元口径(mm)			末口径(mm)		
	平均	最大	最小	平均	最大	最小	平均	最大	最小
6	4,117	370	410	350	322	355	309		

コントロール材の作成は 2.1.2, 水分傾斜測定用試験体の作成は 2.1.3 の方法で行った。

また, 乾燥方法は, 2.1.4 の方法で行ったが, 乾燥スケジュールは表6に示す条件で行った。ステップ3は, コントロール材が目標含水率である 10~12%に達するまで行い, 調湿処理は平衡含水率 12%となるように, 乾球温度及び湿球温度を設定した。また, 調湿処理終了後は, 乾燥試験Ⅱと同様に自然冷却してから, 材を取り出した。

表6 乾燥スケジュール(乾燥試験Ⅱ)

ステップ	乾球温度 (°C)	湿球温度 (°C)	温度差 (°C)	時間 (hrs)
蒸煮処理	90	90	0	16
1	90	80	10	24
2	90	70	20	12
3	90	60	30	4程度
調湿処理	85	80	5	12程度
自然冷却				24~48

ファン出力: 45Hz

乾燥経過の観察は 2.1.5, 水分傾斜の測定は 2.1.6, 乾燥による割れの測定は 2.1.7, 仕上がり含水率等の測定は 2.1.8 の方法で行った。

### 3.2 結果

#### 3.2.1 含水率の推移

表7にラミナの初期含水率, 乾燥直後の含水率及び仕上がり含水率の代表値, 図9に仕上がり含水率の分布を示す。また, 表8に乾燥スケジュールの各ステップに要した時間を示す。さらに, 図10にコントロール材の含水率推移を示す。

ラミナの初期含水率は, 31~188% (平均 89%) であり, 採材部位別では, 心材は平均 37%, 辺材は平均 149%, 移行材は平均 95%であった。また, 仕上がり含水率は, 9~12% (平均 11%) であり, 仕上がり含水率が目標含水率である 10~12%の

ラミナが9割以上を占めた。

乾燥時間は, 蒸煮処理から調湿処理終了までで70時間を要した。

表7 ラミナの含水率(乾燥試験Ⅱ)

枚数 (枚)	初期含水率(%)			乾燥直後の含水率(%)			仕上がり含水率(%)		
	平均	最大	最小	平均	最大	最小	平均	最大	最小
53	89	188	31	10	12	9	11	12	9

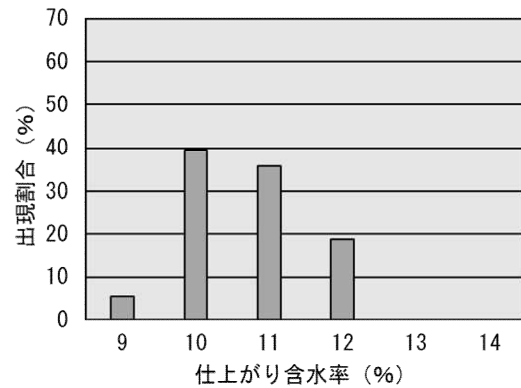


図9 仕上がり含水率の分布(乾燥試験Ⅱ)

表8 各ステップの乾燥時間(乾燥試験Ⅱ)

ステップ	乾球温度 (°C)	湿球温度 (°C)	温度差 (°C)	時間 (hrs)
蒸煮処理	90	90	0	16
1	90	80	10	24
2	90	70	20	12
3	90	60	30	4
調湿処理	85	80	5	14
自然冷却				23

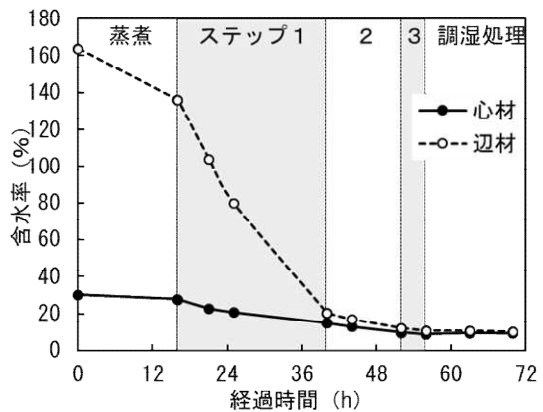


図10 コントロール材の含水率推移(乾燥試験Ⅱ)

### 3.2.2 水分傾斜

図11に心材の水分傾斜, 図12に辺材の水分傾斜を示す。

心材、辺材ともに、乾燥中は、表層の含水率が内層の含水率より高く、心材で最大5ポイント、辺材で最大約25ポイントの含水率差が観察された。心材の乾燥中の水分傾斜は、概ね一定であり、約6ポイントの含水率差であり、乾燥試験Iと比べて、水分傾斜が緩和された。

また、図13と図14に心材及び辺材の乾燥終期から調湿処理まで(含水率0~25%)の水分傾斜を示す。

調湿処理前は、心材で約3ポイント、辺材で約7ポイントの含水率差が観察された。調湿処理により、心材は過乾燥であった表層の含水率が引き戻され、辺材は含水率が高い内層の含水率が低下した。調湿処理後は、心材、辺材ともに約1ポイントの含水率差まで水分傾斜が緩和された。

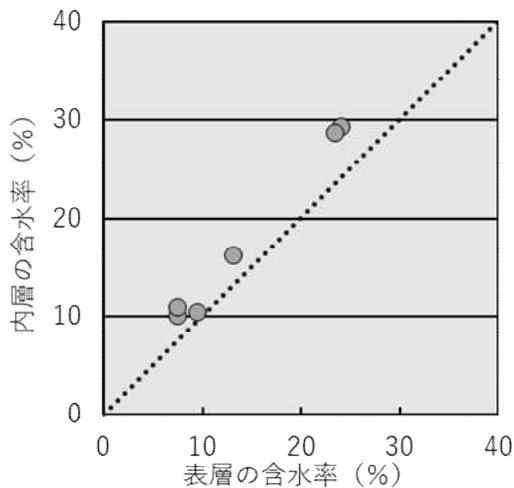


図11 心材の水分傾斜：全体（乾燥試験Ⅱ）

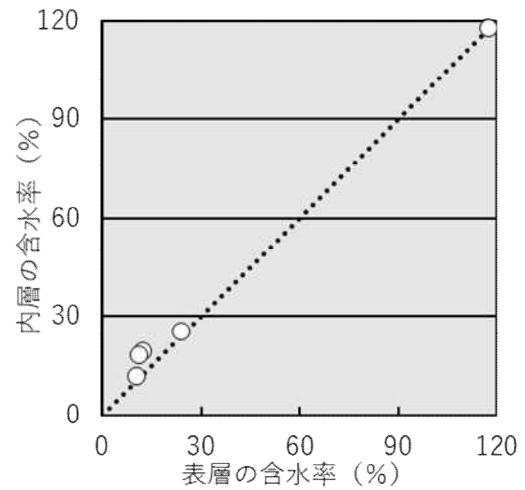


図12 辺材の水分傾斜：全体（乾燥試験Ⅱ）

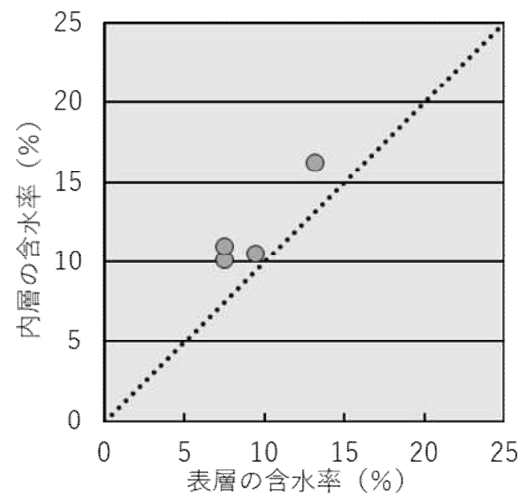


図13 心材の水分傾斜：含水率0~25%（乾燥試験Ⅱ）

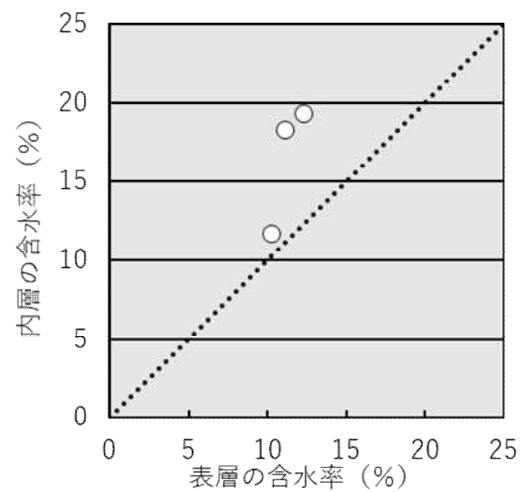


図14 辺材の水分傾斜：含水率0~25%（乾燥試験Ⅱ）

### 3.2.3 乾燥による割れの評価

図 15 に乾燥試験Ⅰと乾燥試験Ⅱの割れ長さの分布を示す。

乾燥試験Ⅰに比べ、乾燥試験Ⅱの割れの多くは、髓に由来するものや木口割れであり、全体的に軽微であった。乾燥試験Ⅱの割れ長さは、4m 当たり 1～5cm の出現割合が最も多く、乾燥試験Ⅰから、乾燥による割れの発生は、大幅に軽減された。

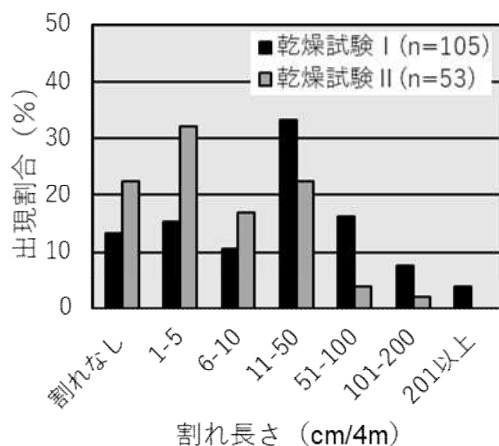


図 15 割れ長さの分布 (乾燥試験Ⅰ・Ⅱ)

### 3.3 考察

乾燥試験Ⅱでは、乾燥試験Ⅰの乾燥スケジュールを見直し、乾球温度 90℃、乾湿球温度差 10～30℃の乾燥スケジュールにより乾燥試験を実施し、蒸煮処理から調湿処理終了までで 70 時間を要した。

仕上がり含水率は、ラミナの 9 割以上が目標含水率となり、目標含水率を上回るラミナは観察されなかった。

乾燥時間は、乾燥試験Ⅰより増加したものの、県内事業体の従来の人工乾燥日数である 5 日間程度より大幅に短縮し、かつ、乾燥による割れも全体的に軽微であった。

仕上がり含水率及び乾燥による割れの程度から乾燥試験Ⅱで用いた乾燥スケジュールの実用性が確認でき、かつ、人工乾燥日数を 3 日間程度まで短縮する乾燥スケジュールであることが確認できた。

### 4 乾燥試験Ⅲ-乾球温度 80℃・乾湿球温度差 10～30℃-

乾燥試験Ⅱでは乾球温度 90℃、乾湿球温度差 10～30℃で乾燥試験を実施した結果、人工乾燥日数

は短縮され、割れの発生も軽微であった。

乾燥試験Ⅲでは、割れをより軽減し、かつ、燃料消費量の軽減を図るため、乾球温度を 80℃に見直し、再度、乾燥試験を行った。

### 4.1 実験方法

表 9 のとおり洋野町産アカマツ丸太 7 本を供試した。

供試丸太から得られたラミナ 72 枚(厚さ 35mm, 幅 125mm, 長さ 4,000mm)とコントロール材 3 枚(厚さ 35mm, 幅 125mm : 辺材, 心材, 移行材各 1 枚)、水分傾斜測定用試験体 2 枚(厚さ 35mm, 幅 125mm : 辺材, 心材各 1 枚)を供試した。

表 9 供試丸太 (乾燥試験Ⅲ)

本数 (本)	長さ (mm)	元口径 (mm)			末口径 (mm)		
	平均	平均	最大	最小	平均	最大	最小
7	4,076	378	421	342	335	349	326

コントロール材の作成は 2.1.2, 水分傾斜測定用試験体の作成は 2.1.3 の方法で行った。

乾燥方法は、2.1.4 の方法で行ったが、乾燥スケジュールは表 10 に示す条件で行った。

乾燥試験Ⅱの乾燥スケジュールのステップ 1～3 の乾湿球温度差を維持したまま、乾球温度を 80℃に下げ、また、調湿処理は乾球温度を 75℃に下げたうえで、平衡含水率 12%となるように、湿球温度を設定した。さらに、蒸煮処理を 4 時間、調湿処理を 2 時間ずつ短くした。なお、調湿処理終了後は、乾燥試験ⅠとⅡと同様に自然冷却してから、材を取り出した。

表 10 乾燥スケジュール (乾燥試験Ⅲ)

ステップ	乾球温度 (°C)	湿球温度 (°C)	温度差 (°C)	時間 (hrs)
蒸煮処理	90	90	0	12
1	80	70	10	24
2	80	60	20	12
3	80	50	30	4
調湿処理	75	70	5	12
自然冷却				24～48

ファン出力 : 45Hz

乾燥経過の観察は 2.1.5, 水分傾斜の測定は 2.1.6, 乾燥による割れの測定は 2.1.7, 仕上がり

含水率等の測定は2.1.8の方法で行った。

## 4.2 結果

### 4.2.1 含水率の推移

表11にラミナの初期含水率、乾燥直後の含水率及び仕上がり含水率の代表値、図16に仕上がり含水率の分布を示す。また、図17にコントロール材の含水率推移を示す。

ラミナの初期含水率は、31~188% (平均95%)であり、採材部位別では、心材は平均37%、辺材は平均136%、移行材は平均91%であった。また、仕上がり含水率は、9~12% (平均10%)であり、仕上がり含水率が目標含水率である10~12%のラミナが約8割を占めた。

コントロール材の含水率推移では、移行材は、心材と辺材の間を推移し、途中で心材に合流し、それ以降は、心材と同様に推移した。

乾燥時間は、蒸煮処理から調湿処理終了までで64時間を要した。

表11 ラミナの含水率 (乾燥試験Ⅲ)

枚数 (枚)	初期含水率(%)			乾燥直後の含水率(%)			仕上がり含水率(%)		
	平均	最大	最小	平均	最大	最小	平均	最大	最小
72	95	188	31	10	13	9	10	12	9

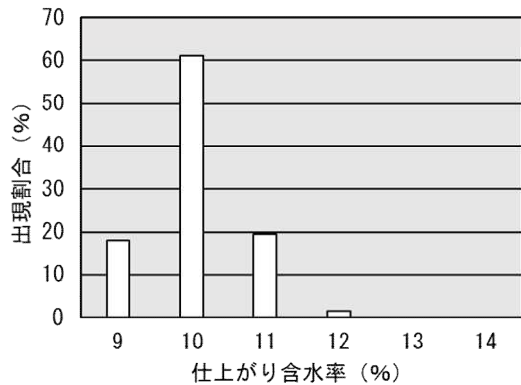


図16 仕上がり含水率の分布 (乾燥試験Ⅲ)

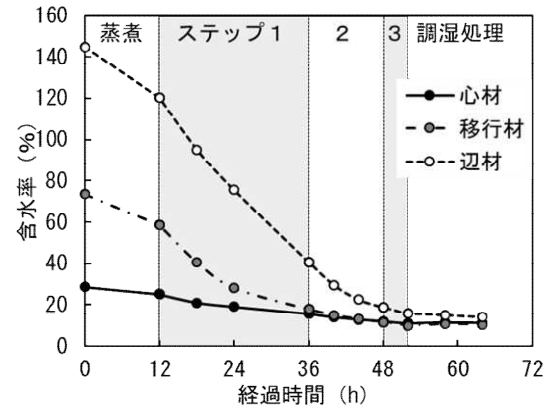


図17 コントロール材の含水率推移 (乾燥試験Ⅲ)

### 4.2.2 水分傾斜

図18に心材の水分傾斜、図19に辺材の水分傾斜を示す。

心材、辺材ともに、乾燥中は、表層の含水率が内層の含水率より高く、心材で最大8ポイント、辺材で最大19ポイントの含水率差が観察された。乾燥中の水分傾斜は、心材、辺材ともに概ね一定であり、心材は約6ポイント、辺材は約15ポイントの含水率差であった。乾燥試験Ⅲの乾燥スケジュールは、乾燥試験Ⅱの乾燥スケジュールよりも乾球温度を10℃低く設定したが、乾燥中の水分傾斜の緩和は観察されなかった。

また、図20と図21に心材及び辺材の乾燥終期から調湿処理まで(含水率0~25%)の水分傾斜を示す。

調湿処理前は、心材で約3ポイント、辺材で約8ポイントの含水率差が観察された。調湿処理により、乾燥試験ⅠとⅡと同様に、心材は過乾燥であった表層の含水率が引き戻され、辺材は含水率が高い内層の含水率が低下した。調湿処理後は、心材は約1ポイント、辺材は約3ポイントの含水率差まで水分傾斜が緩和された。

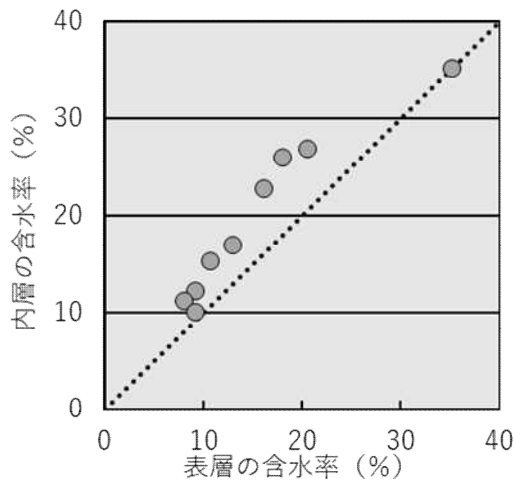


図 18 心材の水分傾斜：全体（乾燥試験Ⅲ）

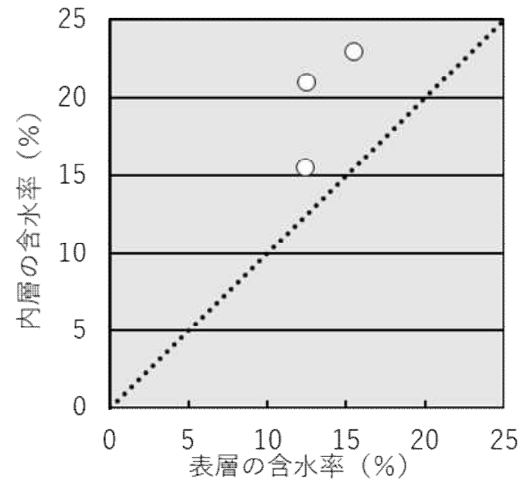


図 21 辺材の水分傾斜：含水率0～25%（乾燥試験Ⅲ）

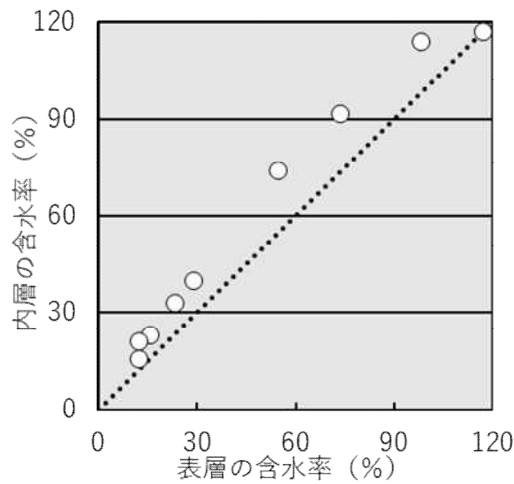


図 19 辺材の水分傾斜：全体（乾燥試験Ⅲ）

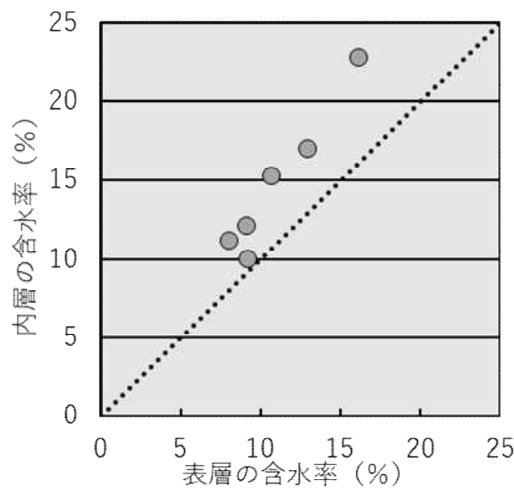


図 20 心材の水分傾斜：含水率0～25%（乾燥試験Ⅲ）

#### 4.2.3 乾燥による割れの評価

図 22 に乾燥試験Ⅱと乾燥試験Ⅲの割れ長さの分布を示す。

乾燥による割れは、乾燥試験Ⅱと同様に、髓に由来するものや木口割れであり、全体的に軽微であった。また、割れ長さの分布も、乾燥試験Ⅱと同程度となり、乾燥による割れの発生的大幅な軽減は観察されなかった。

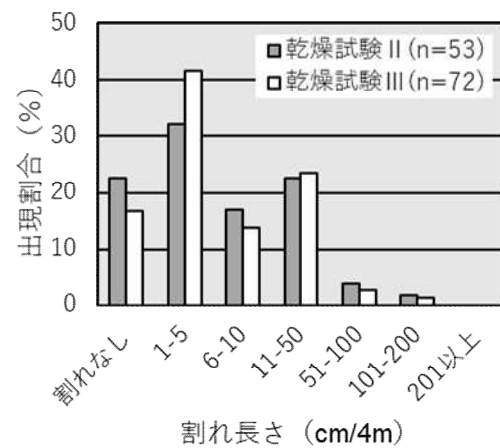


図 22 割れ長さの分布（乾燥試験Ⅱ・Ⅲ）

#### 4.3 考察

乾燥試験Ⅲでは、乾燥試験Ⅱの乾燥スケジュールを見直し、乾球温度 80℃、乾湿球温度差 10～30℃の乾燥スケジュールにより乾燥試験を行い、蒸煮処理から調湿処理終了までで 64 時間を要し

た。

仕上がり含水率は、約8割のラミナが目標含水率となり、目標含水率を上回るラミナは観察されなかった。なお、乾燥試験Ⅱの仕上がり含水率の分布と比べて、仕上がり含水率10%のラミナが占める割合が多く、仕上がり含水率11~12%のラミナの占める割合が少なかった。これは、乾燥試験Ⅱより調湿処理の時間が2時間短かったためと考えられる。

乾燥時間は、乾燥試験Ⅱの乾燥スケジュールから蒸煮処理を4時間、調湿処理を2時間短縮したため、乾燥試験Ⅱよりも合計6時間短縮された。

乾燥による割れは、全体的に軽微であった。また、乾燥試験Ⅱよりも乾燥スケジュールの乾球温度を10℃低く設定したが、乾燥による割れの発生は、乾燥試験Ⅱと同程度であった。

仕上がり含水率及び乾燥による割れの程度から乾燥試験Ⅲで用いた乾燥スケジュールの実用性が確認でき、また、人工乾燥日数を3日間程度まで短縮する乾燥スケジュールであることが確認できた。

なお、乾燥試験Ⅲは、乾燥試験Ⅱと含水率や割れの仕上がりと同程度であったが、乾燥試験Ⅲは、乾燥試験Ⅱに比べて、乾球温度が10℃低いため、燃料消費量の軽減が期待できる。

## 5 おわりに

今後見込まれるアカマツ材の需要増加や人工乾燥に要する燃料費等の高騰に対応するため、人工乾燥日数の短縮を図る高温低湿の3条件の乾燥スケジュールで、アカマツラミナの乾燥試験を行い、含水率の推移を観察し、乾燥後の仕上がり含水率や割れの程度を評価した。

この結果、乾燥試験Ⅰ(乾球温度90℃、乾湿球温度差30℃)では、蒸煮処理から調湿処理終了までで49時間を要し、従来の人工乾燥日数である5日間程度から大幅に短縮したが、乾燥による割れが多く発生した。

乾燥試験Ⅱ(乾球温度90℃、乾湿球温度差10~30℃)では、蒸煮処理から調湿処理終了までで70時間を要し、乾燥試験Ⅲ(乾球温度80℃、乾湿球温度差10~30℃)では、蒸煮処理から調湿処理終了までで64時間を要した。どちらも人工乾燥日数を3日間程度まで短縮することができ、また、仕上がり含水率及び乾燥による割れの程度が良好で

あることから、乾燥スケジュールの実用性が確認できた。なお、乾燥試験Ⅲは、乾燥試験Ⅱに比べて、乾球温度が10℃低いため、燃料消費量が減り、燃料費の軽減がより期待できる。

## 引用文献

- 1) 岩手県農林水産部(2022). 令和4年度 いわたの森林・林業概要:40.
- 2) 農林水産省(2022). 木材統計調査 令和3年木材需給報告書
- 3) 後藤幸広・谷内博規(2020). 岩手県林業技術センター研究報告 No. 28
- 4) 伊藤嘉文・吉田孝久・橋爪丈夫(2001). 長野県林業総合センター業務報告:56-57
- 5) 農林水産省(2007). 集成材の日本農林規格(最終改正:令和元年6月27日農林水産省告示第475号)





(資 料)

### 岩手県産人工林アカマツ材の集成材利用への強度適性

森 諒平, 山口 晃輔, 小島 瑛里奈\*, 鈴木 雅人\*\*

Aptitude in strength of Akamatsu-wood from artificial forests in Iwate Prefecture for use as laminated wood

Ryohei MORI, Kosuke YAMAGUCHI, Erina KOJIMA, Masato SUZUKI

#### 要 旨

人工林アカマツ資源の有効活用や輸入材等から県産アカマツ製材品への切り替えを促進するため、人工林アカマツの丸太及びラミナの縦振動ヤング係数を調査し、人工林アカマツ材の材質や強度性能から集成材で利用する上での強度適性を検証した。その結果、人工林アカマツの縦振動ヤング係数の平均値は、丸太で 10.0GPa、ラミナで 10.7GPa だった。また、ラミナの縦振動ヤング係数から曲げヤング係数を推定し、集成材の日本農林規格の基準で等級区分した結果、L110 が最も多く出現し、L80～L110 が約 7 割を占めた。最外層に使用できるラミナの出現割合は、E95-F270 で約 4 割、E105-F300 で約 2 割となり、E105-F300 を製造する場合、最外層ラミナの不足が懸念された。さらに、ラミナの木口面に占める未成熟材(髄から 15 年林分)の割合とラミナの等級区分の関係を調査した結果、未成熟材の割合が高いラミナほど、最外層に使用可能なラミナの出現割合は低下した。未成熟材を含むラミナの出現割合が高くなる若齢のアカマツ林から得られたラミナでは、E95-F270 であっても、最外層ラミナの不足が懸念される。

キーワード：人工林、アカマツ、集成材、ラミナ、縦振動ヤング係数

#### 目 次

- |                     |                       |
|---------------------|-----------------------|
| 1 はじめに              | 3.2 ラミナの縦振動ヤング係数      |
| 2 実験方法              | 3.3 ラミナの曲げヤング係数の推定    |
| 2.1 供試材料            | 4 おわりに                |
| 2.2 丸太の縦振動ヤング係数の測定  | 4.1 人工林アカマツ材の強度性能     |
| 2.3 ラミナの縦振動ヤング係数の測定 | 4.2 人工林アカマツ材の集成材利用の検討 |
| 2.4 ラミナの曲げヤング係数の測定  | 謝 辞                   |
| 3 結果                | 引用文献                  |
| 3.1 丸太の縦振動ヤング係数     |                       |

※ 国立研究開発法人 森林研究・整備機構 森林総合研究所

※※ 東海国立大学機構 名古屋大学 大学院生命農学研究科

## 1 はじめに

岩手県のアカツ蓄積量(クロマツを含む)は、5,866万 $\text{m}^3$ (天然林1,506万 $\text{m}^3$ ,人工林4,360万 $\text{m}^3$ )であり、人工林が約7割を占める<sup>1)</sup>。アカツ人工林の齢級別の蓄積は、11~12齢級が最頻値であり、10齢級以上が約9割を占める分布となっている<sup>1)</sup>。県内のアカツの標準伐期齢は、40~45年生(8~9齢級)であり、既に多くのアカツ人工林は、本格的な利用期に達している。しかし、令和3年度の岩手県のアカツ素材生産量(クロマツを含む)は、製材用31千 $\text{m}^3$ ,合板用117千 $\text{m}^3$ ,木材チップ用70千 $\text{m}^3$ となっており<sup>2)</sup>、価格の高い製材用丸太としての利用が進んでいない。本格的な利用期に達したアカツ人工林の資源を有効に活用するため、製材用丸太としての需要拡大が急務となっている。

また、ウッドショック以降、国産材利用の機運が高まるなか、県内事業者では、輸入材等の代替として、アカツ材の製品開発が進められている。集成材等の構造部材の製品開発では、製品の性能やコストを検討するため、丸太やラミナの強度分布を把握する必要がある。しかし、これまでに県内の人工林アカツ材に特化した材質、強度等の調査は行われておらず、県産人工林アカツ材の強度分布は明らかではない。

人工林アカツ資源の有効活用や輸入材等から県産アカツ製材品への切り替えを促進するため、人工林アカツの丸太及びラミナの材質や強度性能を調査し、集成材で利用する上での強度適性を検証した。

## 2 実験方法

### 2.1 供試材料

岩手県内4地域(盛岡市,花巻市,奥州市,洋野町)から得られた人工林アカツ丸太(長さ4.0~4.2m,末口径28.6~50.1cm)各地域25本,合計100本を供試した(図1)。

なお、丸太の元口は地域ごとにスプレーで着色し、末口は未成熟材(髓から15年輪分)をスプレーで着色して、製材後も地域と未成熟材を判別できるようにした。

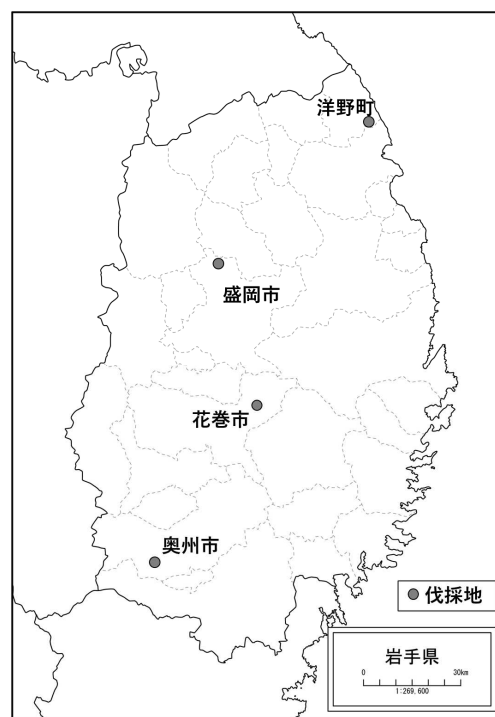


図1 供試した人工林アカツ丸太の伐採地

### 2.2 丸太の縦振動ヤング係数の測定

丸太は、長さ、両木口の最大径と最小径、両木口の未成熟材の最大径と最小径と測定した。また、クレーンスケール(A&D社製FJ-T001)で重量を測定した。その後、FFTアナライザ(小野測器社製CF-4220Z)を用い、固有振動数を測定した。

縦振動ヤング係数を、素材の日本農林規格<sup>3)</sup>に準拠し、以下のとおり算出した。

$$E_{fr} = (2Lf)^2 \rho / 10^9$$

$$\rho = W / (D^2 \times \pi / 4 \times L \times 1 / 10,000)$$

$E_{fr}$  : 縦振動ヤング係数 (GPa)

$L$  : 材長 (m)

$f$  : 縦振動の1次の固有振動数 (Hz)

$\rho$  : 見かけの密度 ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

$W$  : 丸太の重量 (kg)

$D$  : 両木口の最大径と最小径の平均値 (cm)

### 2.3 ラミナの縦振動ヤング係数の測定

測定した丸太を製材・乾燥し、得られたラミナ(長さ約4m,幅約114cm,厚さ約32cm)1,206枚の寸法と重量を測定した後、2.2と同様の方法で固有振動数を測定した。

縦振動ヤング係数は、構造用木材の強度試験マ

ニュアル<sup>4)</sup>に準拠し、以下のとおり算出した。

$$E_{fr} = (2Lf)^2 \rho / 10^9$$

E<sub>fr</sub> : 縦振動ヤング係数 (GPa)

L : 材長 (m)

f : 固有振動数 (Hz)

ρ : 密度 (kg/m<sup>3</sup>)

また、元口の着色から地域を判別し、末口の着色から木口面に占める未成熟材の割合を、なし、4割未満、4割以上9割未満、9割以上の4段階で区分し(以下、「未成熟割合」という。), それぞれ、なし、1~4割、5~8割、9~10割として示すこととした。

### 2.4 ラミナの曲げヤング係数の測定

測定した丸太の縦振動ヤング係数の分布を参考に、表1のとおり、地域及びラミナの縦振動ヤング係数ごとに曲げ試験用ラミナの抽出枚数を設定し、各地域25枚、計100枚抽出した。

表1 曲げ試験用ラミナの抽出枚数

地域	抽出枚数(枚)								合計
	ラミナの縦振動ヤング係数 (GPa)								
	7以下	8	9	10	11	12	13	14以上	
盛岡市	2	3	3	5	5	3	3	1	25
花巻市	1	2	5	5	5	4	2	1	25
奥州市	0	3	3	5	5	4	3	2	25
洋野町	1	2	4	5	5	4	2	2	25
全体	4	10	15	20	20	15	10	6	100

抽出したラミナは、長さ方向の中央で切断した後、長さ2,000mm、幅110mm、厚さ28mmに調製した (n=200)。

その後、2.3と同様の方法で、ラミナの縦振動ヤング係数を測定し、さらに、グレーディングマシン(飯田工業社製 MGN-101)を用い、曲げヤング係数を測定した。

表2 人工林アカマツ丸太の材質指標

地域	本数 (本)	平均直径(cm)		未成熟材(cm)		密度(kg/m <sup>3</sup> )		丸太E <sub>fr</sub> (GPa)	
		平均	C.V.(%)	平均	C.V.(%)	平均	C.V.(%)	平均	C.V.(%)
盛岡市	25	37.4	11.9	18.2	11.9	885.4	7.7	9.3	12.9
花巻市	25	33.6	7.4	15.8	16.6	904.9	6.7	10.1	9.1
奥州市	25	35.0	7.4	14.3	13.9	898.5	6.0	10.0	13.9
洋野町	25	35.4	12.1	16.0	16.5	889.8	6.9	10.5	12.1
全体	100	35.4	10.8	16.1	15.6	894.6	6.9	10.0	12.8

※ 平均直径: 両木口の最大径と最小径の平均

※ 未成熟材: 両木口の髄から15年輪分の最大径と最小径の平均

※ E<sub>fr</sub>: 縦振動ヤング係数

※ C.V.: 変動係数

## 3 結果

### 3.1 丸太の縦振動ヤング係数

表2に人工林アカマツ丸太の材質指標の測定結果を示す。

平均直径、未成熟材の大きさ及び密度は、地域ごとで若干の差異はあるが、類似した値を示した。

縦振動ヤング係数の平均値は、10.0GPaとなり、地域ごとの平均値では盛岡市産の丸太が他地域と比べ、若干低い値を示したが、他の地域では類似の値を示した。

これまでに報告されている岩手県産アカマツ丸太の縦振動ヤング係数の平均値は、大橋(2008)の報告<sup>5)</sup>では、8.6GPa (n=408)、後藤ら(2020)の報告<sup>6)</sup>では、久慈市産で10.3GPa (n=52)、奥州市産で9.4GPa (n=65)、洋野町産で10.4GPa (n=21)であった。

今回測定した人工林アカマツ丸太のみの縦振動ヤング係数は、天然林と人工林の区別なく測定した既往の報告と類似の値を示した。なお、大橋(2008)の報告では、供試した丸太の末口径が19.0~36.5cmと径が小さいものも用いており、材に占める未成熟材の割合が高いため、縦振動ヤング係数は低い値を示したと考えられる。

図2~6に県内4地域全体及び地域別の人工林アカマツ丸太の縦振動ヤング係数ごとの出現割合を示す。

盛岡市産の丸太は、他地域と比べ、7GPaが多く出現し、奥州市産の丸太は、7~13GPaの間で幅広く出現する分布となった。

地域ごとで若干の差異はあるが、4地域全体、地域別のいずれにおいても、10GPaにピークが出現し、9~11GPaが約8割以上を占める分布となった。

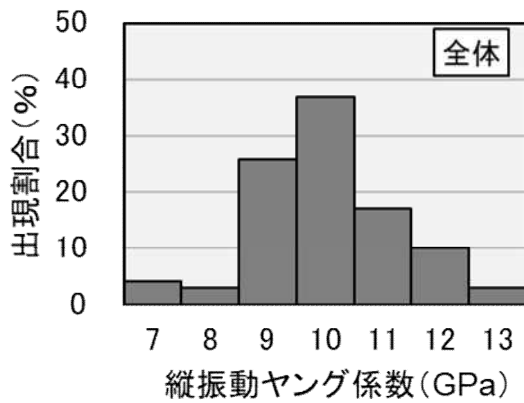


図 2 人工林アカマツ丸太の縦振動ヤング係数の分布 (岩手県内4地域, n=100)

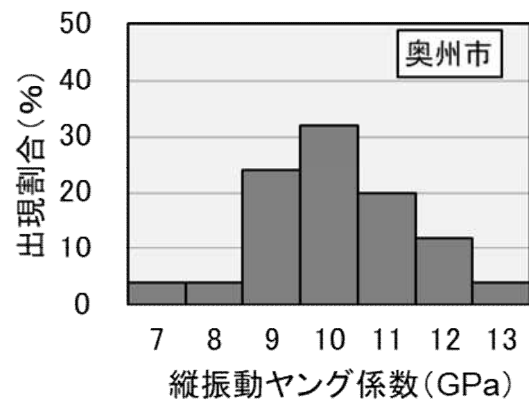


図 5 人工林アカマツ丸太の縦振動ヤング係数の分布 (奥州市産, n=25)

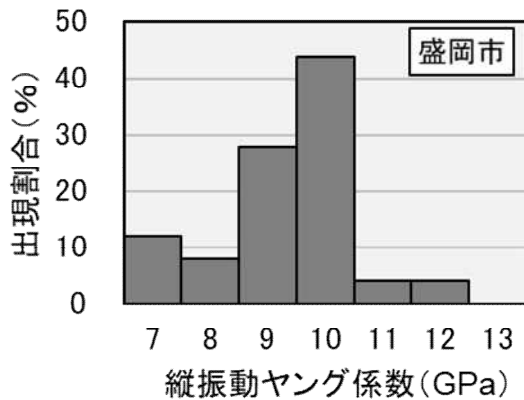


図 3 人工林アカマツ丸太の縦振動ヤング係数の分布 (盛岡市産, n=25)

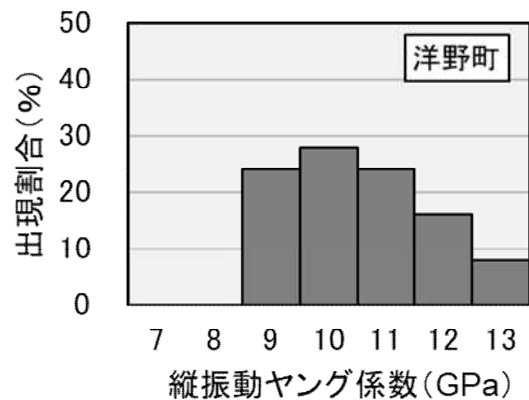


図 6 人工林アカマツ丸太の縦振動ヤング係数の分布 (洋野町産, n=25)

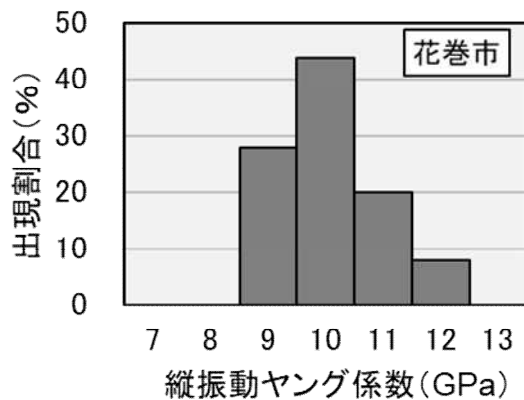


図 4 人工林アカマツ丸太の縦振動ヤング係数の分布 (花巻市産, n=25)

### 3.2 ラミナの縦振動ヤング係数

表3に人工林アカマツラミナの縦振動ヤング係数の代表値を示す。

人工林アカマツラミナの縦振動ヤング係数の平均値は、10.7GPaとなり、地域ごとの平均値では盛岡市産のラミナが他地域と比べ、若干低い値を示したが、他の地域では類似の値を示した。

これまでに報告されている岩手県産アカマツラミナの縦振動ヤング係数の平均値は、大橋(2008)の報告<sup>5)</sup>では、10.7GPa (n=509)、後藤ら(2020)の報告<sup>6)</sup>では、久慈市産で10.8GPa (n=360)、奥州市産で10.6GPa (n=397)、洋野町産で11.3GPa (n=183)と11.4GPa (n=159)であった。今回測定した人工林アカマツラミナのみ縦振動ヤング係数は、天然林と人工林の区別なく測定した既往の報告と類似の値を示した。

表3 人工林アカマツラミナの縦振動ヤング係数

地域	枚数 (本)	ラミナEfr(GPa)			
		平均値	最小値	最大値	C.V(%)
盛岡市	342	9.9	4.7	15.8	21.4
花巻市	241	11.3	6.3	19.7	25.2
奥州市	303	10.8	5.5	16.4	18.5
洋野町	320	11.0	6.5	16.8	20.3
全体	1,206	10.7	4.7	19.7	21.9

※ Efr: 縦振動ヤング係数  
 ※ C.V: 変動係数

図7~11に県内4地域全体及び地域別の人工林アカマツラミナの縦振動ヤング係数ごとの出現頻度を示す。

地域別にみると、盛岡市産のラミナは8GPa以下が約3割を占め、他地域と比べ、低い値を示すラミナが多く出現した。また、花巻市産のラミナは14GPa以上のラミナが約2割を占め、他地域と比べ、高い値を示すラミナが多く出現した。

地域ごとで若干の差異はあるが、県内4地域全体、地域別のいずれにおいても、9~11GPaの間でピークが出現し、9~12GPaが5~7割を占める分布となった。

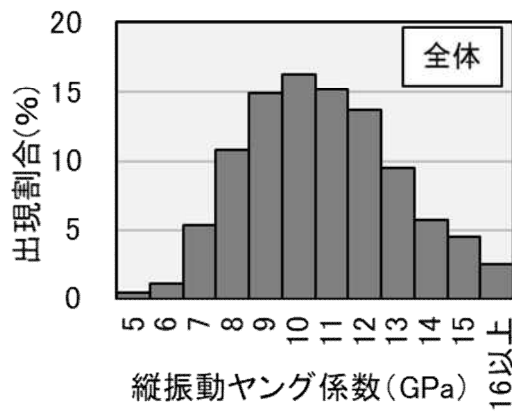


図7 人工林アカマツラミナの縦振動ヤング係数の分布 (岩手県内4地域, n=1,206)

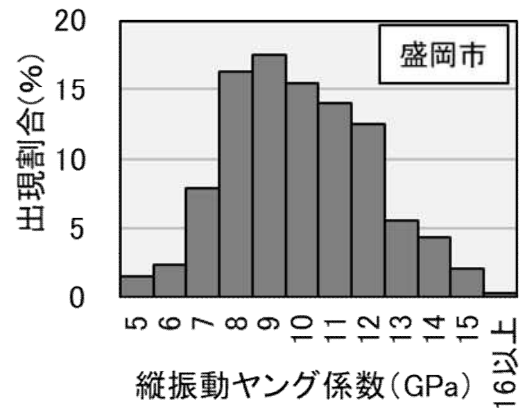


図8 人工林アカマツラミナの縦振動ヤング係数の分布 (盛岡市産, n=342)

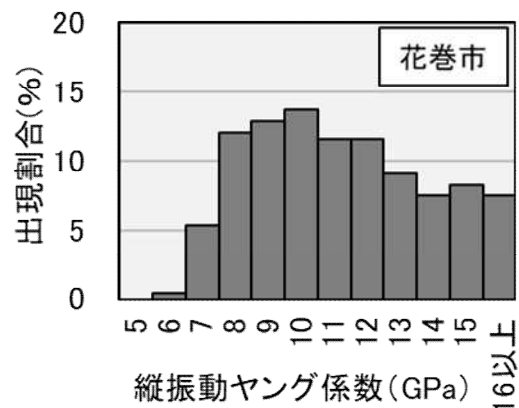


図9 人工林アカマツラミナの縦振動ヤング係数の分布 (花巻市産, n=241)

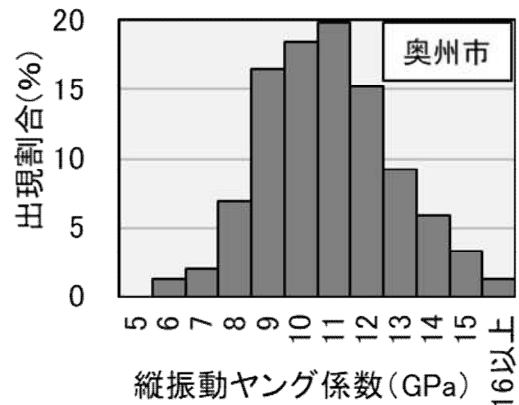


図10 人工林アカマツラミナの縦振動ヤング係数の分布 (奥州市産, n=303)

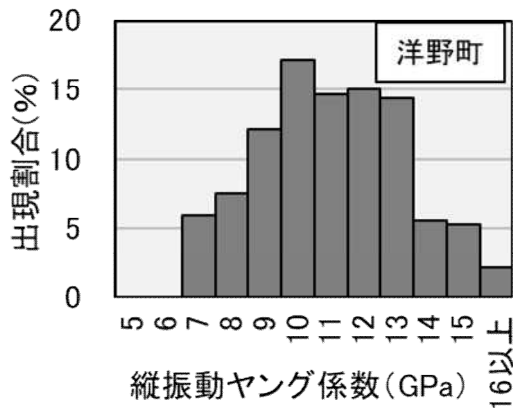


図 11 人工林アカマツラミナの縦振動ヤング係数の分布 (洋野町産, n=320)

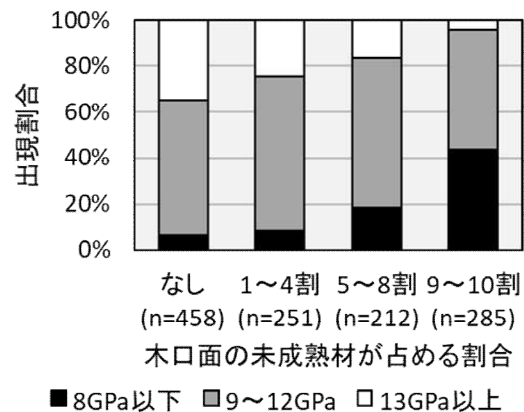


図 12 未成熟割合ごとの縦振動ヤング係数の出現割合

表 4 にラミナの未成熟割合ごとの縦振動ヤング係数の代表値を示す。

縦振動ヤング係数の平均値は、未成熟材の割合が高くなるほど低下する傾向が見られ、未成熟割合なしと未成熟割合 9~10 割では、平均値で 2.6GPa の差が見られた。

表 4 ラミナの未成熟割合ごとの縦振動ヤング係数

未成熟割合	枚数 (本)	ラミナEfr			
		平均値	最小値	最大値	C.V.(%)
なし	458	11.6	5.3	18.8	18.6
1~4割	251	11.1	5.9	19.7	18.6
5~8割	212	10.4	4.7	18.9	23.0
9~10割	285	9.0	5.2	15.6	20.2

※ 未成熟割合: 木口面に占める未成熟材(髄から15年輪分)の割合

※ Efr: 縦振動ヤング係数

※ C.V: 変動係数

また、図 12 に縦振動ヤング係数の出現割合を未成熟割合ごとに示す。

未成熟割合なしに区分されたラミナの約 4 割は 13GPa 以上であり、8GPa 以下のラミナは 1 割未満であった。一方、未成熟割合 9~10 割に区分されたラミナの約 4 割は 8GPa 以下であり、13GPa 以上のラミナは 1 割未満であった。

未成熟材の割合が高くなるほど、8GPa 以下のラミナが占める割合は高くなり、また、13GPa 以上のラミナが占める割合は低くなる傾向が見られた。

### 3.3 ラミナの曲げヤング係数の推定

図 13 に 2.4 で抽出したラミナの縦振動ヤング係数と曲げヤング係数の関係を示す。

今回の結果では、縦振動ヤング係数は、曲げヤング係数と比べ、約 3% 高い値を示し、関係式  $y=0.95x+0.21$  ( $R^2=0.95$ ) を得た。今回の関係式を使用し、2.3 で測定したラミナの縦振動ヤング係数から曲げヤング係数を推定し、さらに、集成材の日本農林規格<sup>7)</sup>(以下、「集成材 JAS」という。)に基づき、表 5 のとおり等級区分を行った。

図 14 に等級区分ごとの出現割合を示す。

L110 が最頻値となり、L80~L110 が約 7 割を占める分布が得られた。

強度等級 E95-F270 の対称異等級構成集成材のラミナは、内層は L70 以上、中間層は L90 以上、外層は L100 以上、最外層は L110 以上で構成され、L60 以下のラミナは使用できない。今回得られた分布では、L60 以下は 1 割未満、L110 以上は約 4 割を占めた。

また、強度等級 E105-F300 の対称異等級構成集成材のラミナは、内層は L80 以上、中間層は L100 以上、外層は L110 以上、最外層は L125 以上で構成され、L70 以下のラミナは使用できない。今回得られた分布では、L70 以下は約 1 割、L125 以上は約 2 割を占めた。

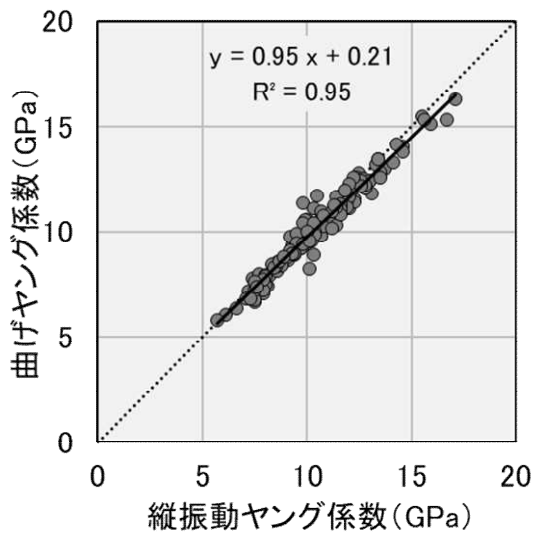


図 13 ラミナの縦振動ヤング係数と曲げヤング係数の関係 (n=200)

表 5 ラミナの等級区分

ラミナの等級	曲げヤング係数 (GPa)
L60以下	MOE < 7.0
L70	7.0 ≤ MOE < 8.0
L80	8.0 ≤ MOE < 9.0
L90	9.0 ≤ MOE < 10.0
L100	10.0 ≤ MOE < 11.0
L110	11.0 ≤ MOE < 12.5
L125	12.5 ≤ MOE < 14.0
L140	14.0 ≤ MOE < 16.0
L160以上	16.0 ≤ MOE

※MOE: 曲げヤング係数

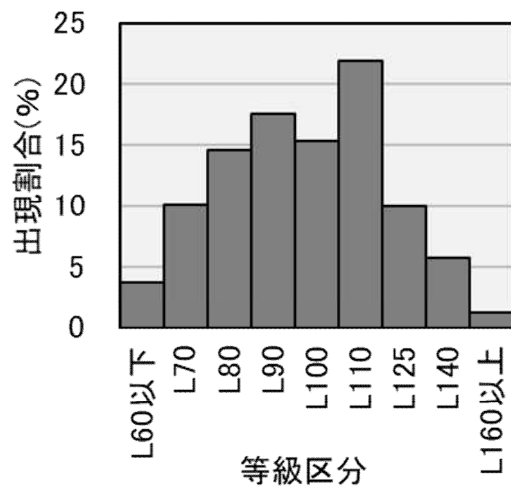


図 14 等級区分ごとの出現割合 (人工林アカマツラミナ, n=1, 206)

さらに, 図 15~16 に等級区分の出現割合を未成熟割合ごとに示す。なお, 図 15 は, E95-F270 を想定し, ラミナに使用不可である L60 以下, 最外層ラミナに使用可能な L110 以上, 内層ラミナ等に使用可能な L70~L100 ごとで示し, 図 16 は, E105-F300 を想定し, ラミナに使用不可である L70 以下, 最外層ラミナに使用可能な L125 以上, 内層ラミナ等に使用可能な L80~L110 ごとで示した。

E95-F270 の場合, 最外層に使用可能なラミナの出現割合は, 未成熟割合なしに区分されたラミナでは約 6 割, 未成熟割合 9~10 割に区分されたラミナでは約 1 割であった。

E105-F300 の場合, 最外層に使用可能なラミナの出現割合は, 未成熟割合なしに区分されたラミナでは約 3 割, 未成熟割合 9~10 割に区分されたラミナでは 1 割未満であった。

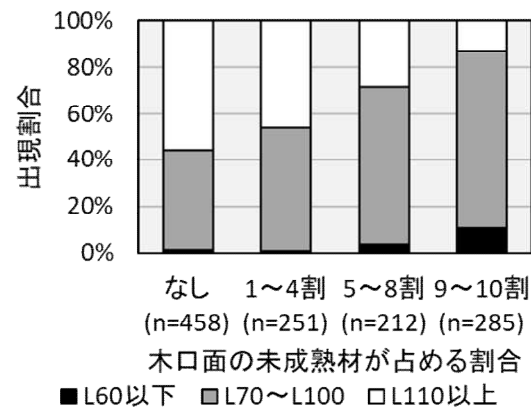


図 15 未成熟割合ごとの等級区分の出現割合 (E95-F270 を想定した等級区分)

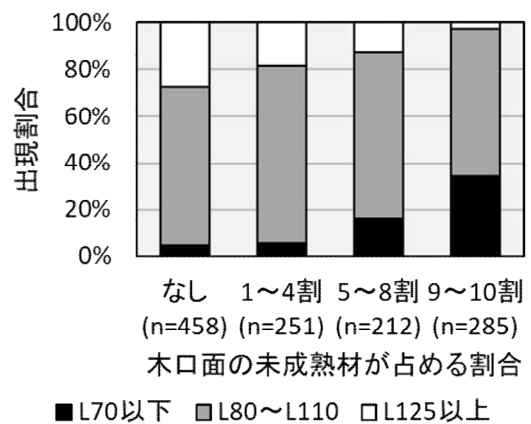


図 16 未成熟割合ごとの等級区分の出現割合 (E105-F300 想定を想定した等級区分)

#### 4 おわりに

##### 4.1 人工林アカマツ材の強度性能

人工林アカマツ材の縦振動ヤング係数の平均値は、丸太で 10.0GPa、ラミナで 10.7GPa であり、天然林と人工林の区別なく測定した既往のアカマツ材の縦振動ヤング係数の報告<sup>5)6)</sup>と類似の値を示した。

また、ラミナの木口面に占める未成熟材の割合とラミナの縦振動ヤング係数の関係を調査した。その結果、未成熟材の割合が高いラミナからは、縦振動ヤング係数の値が低いラミナが多く出現した。このことから、径に占める未成熟材の割合が高い丸太ほど、未成熟材を含むラミナの出現割合が高くなり、縦振動ヤング係数の平均値は低下すると考えられる。林齢が若い林分から得られた丸太は、径に占める未成熟材の割合が高くなるため、若齢のアカマツ林から得られたラミナの縦振動ヤング係数は、成熟したアカマツ林から得られたラミナと比べ、低い値を示すと推察される。

##### 4.2 人工林アカマツ材の集成材利用の検討

人工林アカマツ材の集成材利用への強度適性を検討するため、人工林アカマツラミナの縦振動ヤング係数から曲げヤング係数を推定し、集成材 JAS に基づき、等級区分を行った。

等級区分の結果、L110 が最頻値となり、L80～L110 が約 7 割を占める分布が得られた。対称異等級構成集成材の最外層に使用可能なラミナの出現割合は、E95-F270 では約 4 割、E105-F300 では約 2 割であった。対称異等級構成集成材のラミナのうち最外層ラミナが占める割合は、積層数が 5 層では 4 割、10 層では 2 割となるため、E105-F300 を製造する場合、最外層ラミナの不足が懸念される。

また、ラミナの木口面に占める未成熟材の割合とラミナの等級区分の関係を調査した。その結果、未成熟材の割合が高いラミナほど、最外層に使用可能なラミナの出現割合は低下した。そのため、未成熟材を含むラミナの出現割合が高くなる若齢のアカマツ林から得られる丸太では、E95-F270 であっても、最外層ラミナの不足が懸念される。

#### 謝 辞

本研究を実施するにあたり、ノースジャパン素材流通協同組合には、供試材料の手配、強度の測定など、株式会社川井林業には、測定場所の提供、アカマツ材の製材と乾燥など、多大なるご協力をいただきました。深く感謝の意を表します。

#### 引用文献

- 1) 林野庁 (2023). 森林資源の現況 (令和 4 年 3 月 31 日現在)
- 2) 農林水産省 (2022). 木材統計調査 令和 3 年木材需給報告書
- 3) 農林水産省 (2007). 素材の日本農林規格 (最終改正: 令和 4 年 4 月 15 日農林水産省告示第 776 号): 13-14
- 4) 公益社団法人 日本住宅・木材技術センター (2011). 構造用木材の強度試験マニュアル: 60-63
- 5) 大橋一雄 (2008). 岩手県林業技術センター研究成果速報 No. 247
- 6) 後藤幸広・谷内博規 (2020). 岩手県林業技術センター研究報告第 28 号: 27-33
- 7) 農林水産省 (2007). 集成材の日本農林規格 (最終改正: 令和 5 年 7 月 31 日農林水産省告示第 897 号)



(資料)

## 寒冷地域の原木シイタケ栽培における植菌時期の早期化がホダ化と発生量に及ぼす影響

成松 眞樹

Influence of early period inoculation on mycelial growth and fruiting body production for bed-log cultivation of Shiitake mushroom (*Lentinula edodes*) in cold region.

Maki Narimatsu

## 要 旨

寒冷地域の原木シイタケ栽培で植菌後のホダ化を促進させるためには、早期植菌とハウス内仮伏せが有効と思われることから、早期植菌の効果を明らかにするために、時期を変えて植菌し、被覆内の環境、ホダ化の程度および子実体発生量を比較した。その結果、従来より早めの 1 月に植菌した場合に、有効積算温度、ホダ化率、ホダ木の重量減少率および植菌 2 年後の子実体発生量が 3 月植菌より増大し、早期植菌の効果が示された。

キーワード: 早期植菌、ホダ化、子実体発生量、シイタケ、ハウス内仮伏せ

## 目 次

1 はじめに	謝辞
2 材料と方法	
2.1 原木と植菌	引用文献
2.2 ホダ木の管理	
2.3 子実体の採取	
2.4 測定	
2.4.1 仮伏せ期間中の温度	
2.4.2 ホダ化率	
2.4.3 ホダ木の重量減少率	
3 結果	
3.1 植菌時期が仮伏せ中の有効積算温度とホダ化に及ぼす影響	
3.1.1 被覆内温度	
3.1.2 ホダ化率	
3.1.3 ホダ木の重量減少率	
3.2 植菌時期が子実体発生量に及ぼす影響	
4 考察	
4.1 植菌時期が仮伏せ中の有効積算温度とホダ化に及ぼす影響	
4.2 植菌時期が子実体発生量に及ぼす影響	
5 おわりに	

## 1 はじめに

シイタケ(*Lentinula edodes*)の原木栽培で、栽培工程の初期における材内への菌糸伸長(ホダ化)の程度は、後の子実体発生量に影響を及ぼす点で重要である。ホダ化には栽培環境が影響し、その影響は温度が大きい(時本・小松1982)、寒冷地域の原木シイタケ栽培におけるホダ化の促進には、ホダ木を植菌後から初夏までビニールハウス内で被覆して、保温、保湿することにより、種菌の活着に併せ、菌糸伸長を促進するハウス内仮伏せ方法が有効である(高橋2011; 成松2018b)。ここで、植菌時期を早めて(以下「早期植菌」と記す)ビニールハウス内で仮伏せすることにより、さらなるホダ化の促進が期待されるが、子実体発生量を含めた詳細な知見は無い。そこで、早期植菌の効果を明らかにするために、時期を変えて植菌し、被覆内の環境、ホダ化の程度および子実体発生量を比較した。

## 2 材料と方法

### 2.1 原木と植菌

供試原木として、2017年(植菌前年)の11月以降に岩手県内で生産されたコナラ(*Quercus serrata*)の丸太を用いた。平均直径は11.9cm、長さは90cmである。植菌前に、全供試原木の直径を測定して断面積を算出し、長さに乗じて材積を原木毎に算出した。

植菌は2018年1月下旬(1月植菌)と同年3月下旬(3月植菌)に行った。3月植菌の原木は、植菌まで屋外にてブルーシートで被覆、保管した。植菌本数は1月植菌が65本、3月植菌が80本で、いずれも森290号駒菌(森産業株式会社、群馬県)を4×5の千鳥植えにて植菌した。

### 2.2 ホダ木の管理

植菌後はビニールハウス内(林業技術センター構内、以下同)に高さ90cmで薪積みし、内層から新聞紙、シルバーポリトウ(東罐興産株式会社、東京都)、ブルーシートの順で被覆して仮伏せとした。仮伏せは2018年7月2日まで行い、期間中の5月7日に被覆側面を、6月4日にハウスの扉を開放した。

仮伏せ終了後の2018年7月に、ホダ木を広葉樹林内に鏝伏せして本伏せとした。本伏せ中の散水や被覆は行わなかった。2019年の秋に、ホダ木を隣接ヒノキ林内に移動、合掌伏せして子実体の発生に備えた。

### 2.3 子実体の採取

2019年10月~11月(秋子)と2020年3月~6月(春子)に、子実体下面の膜が切れたものをホダ木ごとに採取した。ただし、秋子は伏せ込み場(鏝伏せ)から採取した。また、ホダ化率測定用の円板を採取したホダ木(次項2.4.2参照)は、解析から除外

し、解析対象を1月植菌57本、3月植菌70本、合計127本とした。いずれの子実体も、シイタケ用乾燥機で乾燥後に重量を測定、ホダ木の材積で除して、ホダ木1m<sup>3</sup>あたりの個数と重量を算出した。

## 2.4 測定

### 2.4.1 仮伏せ期間中の温度

仮伏せ期間中に、1月植菌と3月植菌の被覆内部の最上段に温度センサー(RTH-3010、エスペックミック、愛知県)を設置し、60分間隔で気温を測定、データロガー(サーモレコーダーミニ RT-32S、エスペックミック)に記録した。得られた値から24時間の平均値を算出し、日平均温度とした。次に、各日の平均温度から5°Cを減じ、有効温度とした。ただし、有効温度が0°C以下の場合には、解析から除外した。各日の有効温度を1月植菌と3月植菌それぞれの仮伏せ期間中で積算し、各条件における仮伏せ期間中の有効積算温度とした。

### 2.4.2 ホダ化率

2018年7月に、各条件の仮伏せの中段からホダ木を採取した。採取本数は1月植菌が15本、3月植菌が10本である。各ホダ木の中央付近の植菌部位をクロスカットソーで切断し、厚さ3cmの円板を採取した。円板は、水を含ませた紙(JKワイパー、日本製紙クレシア株式会社、東京都)と共にチャック付きビニール袋に密封して、室内の実験台上(約20°C)に約24時間放置、菌糸蔓延を促した。円板を実体顕微鏡の視野下で観察し、シイ



図1 ホダ化率の測定

赤枠内がシイタケの菌糸伸長部分。(1月植菌例、ホダ化率0.81)

タケの菌糸が伸長した部分(ホダ化部分)、心材および種駒の周縁部を、それぞれ異なる色の油性ペンで着色した(図 1)。着色後の円板をデジタルカメラで撮影し、画像解析に供した。

画像解析にはフォトメジャーVer.3(ケニス株式会社、大阪府)を用いた。画像をディスプレイ上で拡大し、周縁部をそれぞれ標識して、ホダ木の断面全体および各部分の面積を算出した。次式によりホダ木の断面全体に占めるホダ化部分の面積割合を算出、ホダ化率とした。

$$R_h = A_m / (A_a - A_s - A_h)$$

R<sub>h</sub>: ホダ木の断面全体に占めるホダ化部分の面積割合(ホダ化率)

A<sub>m</sub>: ホダ化部分の面積

A<sub>a</sub>: ホダ木の断面全体の面積

A<sub>s</sub>: 種駒の面積

A<sub>h</sub>: 心材の面積

### 2.4.3 ホダ木の重量減少率

1月植菌の直前と仮伏せ終了後の7月に全供試木の重量を測定し、次式により仮伏せ期間中のホダ木の重量減少率を算出した。

$$R_w = (w_1 - w_2) / w_1$$

R<sub>w</sub>: 仮伏せ期間中のホダ木の重量減少率

w<sub>1</sub>: 1月植菌直前の原木の重量

w<sub>2</sub>: 仮伏せ終了後(7月)のホダ木の重量

さらに、ホダ化が子実体発生量に及ぼす影響を検討するために、重量減少率をホダ化の程度を表す指標とみなして(後述)、子実体発生量との相関分析を行った。

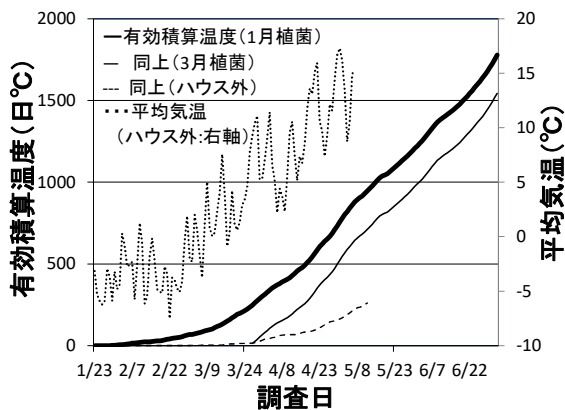


図2 有効積算温度と外気温の推移

## 3 結果

### 3.1 植菌時期が仮伏せ中の有効積算温度とホダ化に及ぼす影響

#### 3.1.1 被覆内温度

1月植菌の被覆内の有効積算温度は、外気温の低い時期だったにもかかわらず、仮伏せ開始の約15日後から上昇した(図2)。有効積算温度はその後も上昇し、1月植菌のホダ木は、3月植菌の植菌日までに約250日°Cの有効積算温度を獲得した。3月植菌の被覆内温度も仮伏せ開始後に上昇したが、1月植菌と3月植菌のホダ木が獲得した有効積算温度の差は、仮伏せ終了まで約250日°Cで維持された。

#### 3.1.2 ホダ化率

1月植菌が3月植菌より高かった。1月植菌の平均ホダ化率

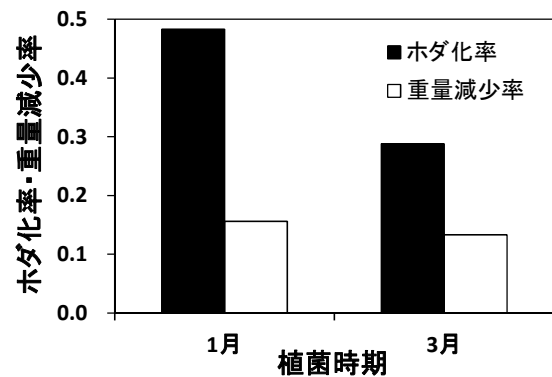


図3 ホダ化率と重量減少率の植菌時期比較  
各項目とも植菌時期間に有意差(p<0.05, t検定)

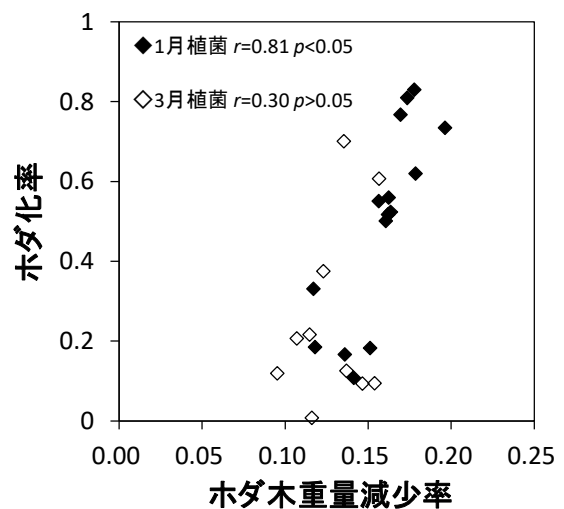


図4 ホダ化率とホダ木重量減少率の関係

は0.48で(図3黒棒)、3月植菌と有意差が認められた( $p<0.05$ , t 検定)。また、1月植菌の一部のホダ木では、菌糸が心材まで伸びていた。

### 3.1.3 ホダ木の重量減少率

1月植菌が3月植菌より高かった。1月植菌の平均重量減少率は0.15で(図3白棒)、3月植菌と有意差が認められた( $p<0.05$ , t 検定)。また、1月植菌の重量減少率はホダ化率と正の相関を示した(図4:  $r=0.81$ ,  $p<0.05$ )が、3月植菌では相関が有意ではなかった( $r=0.30$ ,  $p>0.05$ )。

### 3.2 植菌時期が子実体発生量に及ぼす影響

植菌2年後(夏経過後)の秋と春に子実体が発生したホダ木の本数は、1月植菌が57本中42本(73%)、3月植菌が70本中37本(52%)だった(図5)。植菌時期ごとのホダ木1m<sup>3</sup>あたりの平均子実体発生量は、個数(図6黒棒)、重量(図6◇)ともに、1月植菌が3月植菌より多かった。1月植菌の平均発生個数は782個/ホダ木1m<sup>3</sup>、平均発生重量は3119g/ホダ木1m<sup>3</sup>であった。また、ホダ木の重量減少率は1月植菌が3月植菌より大きかった( $p<0.01$ , t 検定)。このうち1月植菌は発生個数と

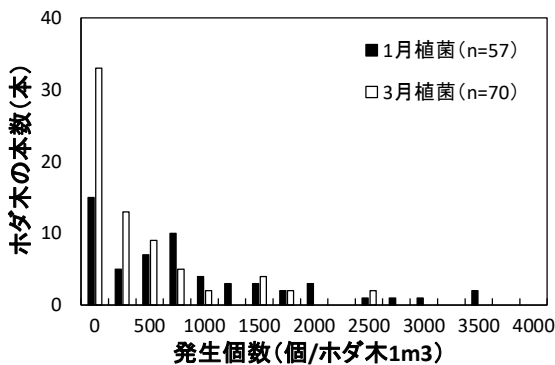


図5 子実体発生量の分布

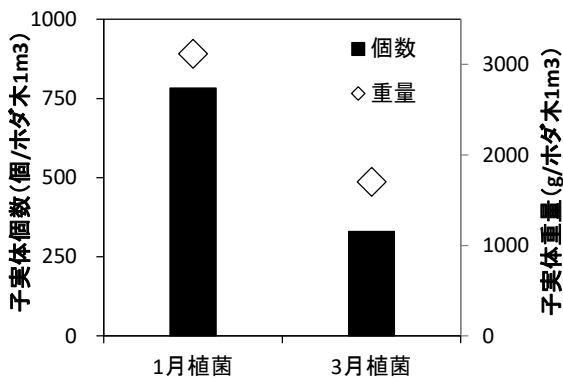


図6 子実体発生量の植菌時期での比較  
各項目とも植菌時期間に有意差( $p<0.05$ , t 検定)

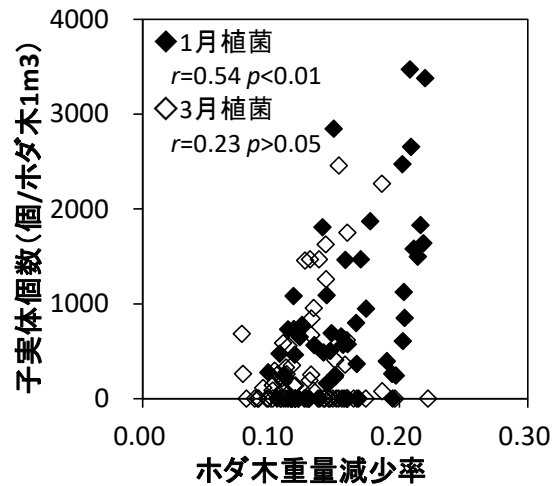


図7 子実体個数とホダ木重量減少率の関係

正の相関を示したが( $r=0.54$ ,  $p<0.01$ ; 図7)、3月植菌は有意な相関が認められなかった( $r=0.23$ ,  $p>0.05$ )。

## 4 考察

### 4.1 植菌時期が仮伏せ中の有効積算温度とホダ化に及ぼす影響

仮伏せ終了後のホダ木の断面では、1月、3月の植菌時期によらずシイタケの菌糸伸長(ホダ化)が認められた。一方、従来植菌が行われている時期よりも早めの1月に植菌し、ハウス内で仮伏せした場合に、有効積算温度とホダ化率が増大した。他の多くの糸状菌類と同様に、シイタケの菌糸伸長速度は温度に律速される(時本・小松 1982)ことから、仮伏せ中に獲得した有効積算温度に応じて、ホダ化率に植菌時期間で差が生じたと考える。

ホダ化率と同様に、ホダ木の重量減少率も1月植菌で高かった。シイタケは白色腐朽菌であり、菌糸の伸長に応じて木材組織のセルロース等を分解することから(大平 1991)、今回見られた重量減少の一因として、シイタケによる木材組織の分解(ホダ化)が挙げられる。また、今回と同様に、ビニールハウス内で被覆、仮伏せした実験では、仮伏せ中に含水率が低下した(成松 2018a)。含水率の低下は重量変化に直接反映されることから、仮伏せ期間の違いが重量減少率の差に反映された可能性もある。さらに、1月植菌の重量減少率はホダ化率と正の相関を示した。今回見られた程度の含水率低下であれば、菌糸伸長を促進させると考えられることから(Abe 1990)、1月植菌では、相対的な高温条件下で温度が菌糸伸長と含水率低下を促進し、かつ含水率低下も菌糸伸長を促進したことにより、重量減少率が増大した可能性がある。一方、3月植菌は重量減少率とホダ

化率の相関が不明瞭であった。仮伏せ期間が1月植菌より短かったことが影響したとみられるが、詳細は不明である。

#### 4.2 植菌時期が子実体発生量に及ぼす影響

1月に植菌後、ハウス内で仮伏せしたホダ木で、子実体発生量が3月植菌よりも増大した。また、子実体発生量は、菌床栽培で行われた研究(渡辺 1995)と同様に、栽培基質(ホダ木)の重量減少率と正の相関を示した。一般に子実体発生量は菌糸量に応じる(時本ら 1980; 時本 2010)。また、本研究で、1月植菌のホダ木重量減少率は3月植菌より高く、かつホダ化率と相関を示した。従って、早期植菌とハウス内仮伏せが、ホダ木の昇温や含水率低下を介してホダ化を促進、仮伏せ終了時点の菌糸量を増大させ、その影響が本伏せ中も維持されたことで、結果として1月植菌ホダ木の子実体発生量が増大したと思われる。

#### 5 おわりに

従来より早めの1月に植菌し、ハウス内で仮伏せした場合に、有効積算温度、ホダ化率、ホダ木の重量減少率および植菌2年後の子実体発生量が3月植菌より増大し、早期植菌の効果が示された。近年の高温傾向による仮伏せ中の高温障害を防ぐには、被覆を早めに開放することが有効であるが(成松 2018b)、その際にホダ化の期間を確保する上でも、早期植菌は有効と思われる。

#### 謝辞

植菌、試料調製および測定にご協力を頂いた岩手県林業技術センター職員各位に、深甚の謝意を表す。

#### 引用文献

- Abe Yasuhisa (1990) Influence of moisture on rate of decay of beech wood by *Hypoxylon truncatum* or *Lentinus edodes*, and their oxygen requirements. Transactions of the Mycological Society of Japan 31: 45-53
- 成松真樹(2018a) 原木シイタケのハウス内仮伏せにおける被覆期間の検討(1)被覆内の温湿度とホダ木の含水率に及ぼす影響. 岩手県林業技術センター研究成果速報 No. 347
- 成松真樹(2018b) 原木シイタケのハウス内仮伏せにおける被覆期間の検討(2) ホダ木内の菌糸伸長、子実体発生量に及ぼす影響. 岩手県林業技術センター研究成果速報 No. 348
- 大平郁男(1991) シイタケ菌によるコナラの腐朽様式と子実体発生に関する研究. 菌蕈研究所研究報告 29: 70-128
- 高橋健太郎(2011) ハウス利用によるシイタケ早期ホダ化法の調査(Ⅱ) -ハウス内仮伏せの被覆内温度変化とホダ付率

- 一. 岩手県林業技術センター研究成果速報 No. 282
- 時本景亮・坪井正知・尾崎栄一・小松光雄(1980) シイタケほど木の腐朽度と子実体形成との関係. 菌蕈研究所研究報告 18: 189-196
- 時本景亮・小松光雄(1982) シイタケの菌糸生長および子実体原基形成におよぼす温度の影響. 日本菌学会会報 23: 385-390
- 時本景亮(2010) シイタケ原木栽培の基礎. 日本きのこ学会誌 18: 131-138
- 渡辺和夫(1995) シイタケ菌床栽培における子実体発生に及ぼす諸要因について. 奈良県林業試験場研究報告 25: 1-11





---

令和6年3月

岩手県林業技術センター研究報告

第32号

発行所 岩手県林業技術センター  
〒028-3623  
岩手県紫波郡矢巾町大字煙山  
第3地割560番地11  
電話 (019) 697-1536

<http://www2.pref.iwate.jp/~hp1017>

---