

日本木材学会

北海道支部講演集

第56号

令和6年11月

日本木材学会北海道支部

札幌

日本木材学会北海道支部講演集
第 56 号

目次

口頭発表 13:03~16:38

1. 木材の腐朽劣化が木ネジの加力方向別引抜き抵抗に及ぼす影響…………… 1
○堀川拓央, 澤田圭, 高梨隆也, 佐々木貴信, 佐々木義久 (北大院農), 上田麟太郎 (道総研林産試)
2. 木ねじを使用した 2 面せん断接合における降伏耐力推定…………… 4
○斧本みどり, 下川亮太, 澤田圭, 高梨隆也, 佐々木貴信, 佐々木義久 (北大院農), 泉拓也 (若井産業)
3. シラカンバ単板への圧密処理が LVL の振動特性および曲げ性能に与える影響…………… 8
○古井戸宥樹, 古田直之 (道総研林産試), 佐々木貴信, 澤田圭, 佐々木義久 (北大院農)
4. 次亜塩素酸ナトリウムを用いた木材のバインダーレス接着における耐湿性改善の試み…………… 10
○中村神衣, 古田直之, 宮崎淳子, 伊佐治信一 (道総研林産試), 中村昇 (岡山大院)
5. 笹繊維を用いた木質複合材料の開発…………… 11
○松田祐輝 (旭川高専), 杉本剛 (旭川高専), 今井良 (道総研林産試)
6. 14 年経過した木製ガードレールの劣化診断…………… 15
○今井良 (道総研林産試)
7. シラカンバ樹皮の白さを生かした透明塗装法の検討…………… 19
○平良尚梧, 渋井宏美, 伊佐治信一 (道総研林産試)
8. 蒸煮処理によるカラマツ粗飼料の新製法…………… 20
○檜山亮 (道総研林産試), 稲川昌志, 小林祐輔 ((株) エース・クリーン), 谷川珠子 (道総研酪農試), 磯辺武市 (松原産業 (株)), 近藤萌里 (雪印種苗 (株)), 西田武弘 (帯広畜産大)
9. 分子量の異なる β -O-4 型リグニンモデルのジオキサン-水に対する溶解性…………… 23
○小野田樹, 宮寄絢子 (北大農), 鈴木栞, 浦木康光, 重富顕吾 (北大院農)
10. チャの凍結抵抗性の季節変化と裂傷型凍害に関する研究…………… 24
○中澤佑哉 (北大院農), 鈴木伸吾 (北大院歯), 高橋淳, 後藤高秋 (埼玉茶研), 荒川圭太 (北大院農)

11. カラマツ冬芽の組織構造と氷晶分布の関連性について 26
 ○筒井路実, 伊藤利章, 渡邊陽子, 佐野雄三, 荒川圭太 (北大院農)
12. 地上高により異なるナナカマド樹皮の解剖学的特徴の観察 28
 ○小山正登, 佐野雄三 (北大院農)
13. 野生型エノキタケ (*Flammulina velutipes*) における男性ホルモン分泌促進成分の含有量 29
 ○津田真由美, 宜寿次盛生, 東智則, 米山彰造 (道総研林産試), 望月淳, 長島浩二 ((株) テクノスルガ・ラボ)
14. シイタケ廃菌床とカラマツおが粉を併用したシイタケ菌床栽培 33
 ○永井杜明, 幸田圭一, 玉井裕 (北大院農)
15. 北海道産アミガサタケ属菌の栽培に向けた検討 34
 ○窪田慎太郎, 幸田圭一, 玉井裕 (北大院農)
16. 食用きのこ栽培における北海道産ササの利用 35
 ○渋川凜太郎, 幸田圭一, 玉井裕 (北大院農)
17. *Termitomyces* 属菌の人工栽培について 36
 ○袴田理央, 幸田圭一, 玉井裕 (北大院農)

【座長】 1~4: 今井良(道総研林産試), 5~8: 澤田圭(北大院農),
 9~13: 幸田圭一(北大院農), 14~17: 津田真由美(道総研林産試)

○堀川拓央，澤田圭，高梨隆也，佐々木貴信，佐々木義久（北大院農）
上田麟太郎（道総研林産試）

【緒言】

現在、脱炭素やカーボンニュートラルの観点から木造建築の需要が高まっており、林野庁の報告によると 2023 年での建築物全体の木造率は 44.7%、低層住宅においては 80%を超える状況となっている。そういった木造建築物の接合部には接合金物を用いた接合部を採用することが多く、建築物全体の高い強度性能を保つために接合部の構造性能を確保することが重要となる。そのため、仮に接合部に腐朽劣化が生じた場合、建築物の安全性は大きく損なわれることが考えられる。木造建築物の長寿命化・大規模化が求められている今、建築物の安全性を確保し、適切な補修を行っていくためにも腐朽劣化により強度性質がどのように低下していくのか把握していく必要がある。

そこで、今回は建築に用いられる接合金物の 1 つとして木ネジに着目した。木造建築の施工には多く木ネジが使用されており、あらゆる角度から木ネジが木材へと打ち込まれる。本研究では木造建築の接合部に使用される木ネジを木材に対して異なる 3 方向から打ち込み、強制腐朽処理を行うことで、加力方向に応じて腐朽劣化が引抜き抵抗値に及ぼす影響を調べた。

【実験方法】

試験体にはトドマツを使用し、サイズは(幅)45 mm×(長さ)45 mm×(高さ)60 mmとした。また、45 mm×45 mmの面は木口面(木ネジ L 方向打ち込み面)、板目面(木ネジ R 方向打ち込み面)、そしてその間の 45° の面(木ネジ LR 方向打ち込み面)の 3 種類となるように切り出した。腐朽期間は 0 日、30 日、60 日、90 日で設定し、3 方向それぞれの期間に対して 6 体ずつ、計 72 体作成した。木ネジはコンフィット CW-65RF（呼び径 4.0 mm、長さ 65 mm、ピッチ 3 mm、プロイズ加工済み）を使用し、45 mm×45 mmの面に対してネジ込み深さ 30 mmで打ち込んだ(ここで、L 方向に木ネジを打ち込んだものを 0°、LR 方向に木ネジを打ち込んだものを 45°、R 方向に木ネジを打ち込んだものを 90° と定義する)。

強制腐朽処理には腐朽源ユニット法を採用し、6 体の試験体に対して 1 個の腐朽源ユニットを取り付けた。初めに消毒したポリプロピレン容器（外寸法：縦 167×幅 117×高さ 58 mm）に、オートクレーブで 121°C 15 分の高圧蒸気滅菌処理を施したポテトデキストロース培地を注ぎ、そこに同じく高圧蒸気滅菌処理を施したトドマツ小片を市松模様状に置き、その小片同士の間褐色腐朽菌であるオオウズラタケ(*Fomitopsis palustris*)を接種、エアコン暖房 29°C 設定、加湿器 80% 設定環境下で表面に菌叢が十分に覆われるまで放置した。その後 1 つの腐朽源ユニットに対して 6 体の試験体を木ネジの打ち込み面が菌叢に接するように取り付け、再度同環境下にて腐朽処理を施した。しかし、腐朽処理開始 60 日経過後、ほとんどの試験体に腐朽が見られなかったことから、新たな腐朽条件で強制腐朽を行った。

新たな腐朽条件では腐朽源ユニットを滅菌済み軟膏容器に取り換え、1 つの腐朽源ユニットに対して 1 つの試験体を組み合わせるように変更した。また、腐朽期間は 60 日と 90 日で設定し、試験体

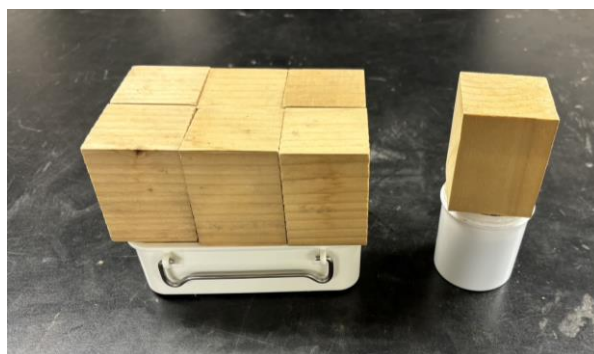


写真 1 腐朽源ユニット取り付け例

数は3方向それぞれの期間に18体ずつ、計108体新たに作成した。

腐朽処理後は含水率を繊維飽和点以上にすべく試験体を2週間水に浸漬した。その後東京衡機製の油圧試験機を用いて加力速度毎分 $2\pm 0.5\text{mm}$ で引抜き試験を行い、荷重と変位を測定した。引抜き試験終了後、各試験体についてピロディン打ち込み深さを計測し、さらに 105°C のオーブンに1週間置いて乾燥させ、絶乾質量を測ることで質量減少率を算出した。



写真 2 引き抜き試験の様子



写真 3 腐朽処理後の試験体

【結果および考察】

腐朽処理開始から60日後、試験体を確認したところ腐朽が十分に進んでいないことやカビの発生が確認できたことから、1つの腐朽源ユニットに対して複数体の試験体を腐朽させようとすると雑菌が入りやすくなり腐朽処理が困難になることが分かった。

また、引抜き抵抗値はコントロール材では木ネジを 0° 、 45° 、 90° に打ち込んだ順に大きくなっていくが、質量減少率が大きくなるにつれ引抜き抵抗値の差は小さくなっていき、質量減少率が15%前後でその順番は逆転する結果となった。これは、木ネジの引抜きメカニズムが起因していると考えられる。繊維に直交して木ネジを打ち込んだ場合、引抜きの際に広範囲に打ち込み部間際の他にその周辺にもせん断応力がかかることが既往の研究で判明している¹⁾。そのため、腐朽による引抜き抵抗値の低下を受ける範囲も広いことから、今回の実験で木ネジを 90° に打ち込んだ試験体は引抜き抵抗値の大幅な減少が見られたのだと考えられる。反対に、繊維に対して平行に木ネジを打ち込んだ場合、引抜きの際にかかるせん断応力の範囲は打ち込み部間際であることから、他の角度と比べて質量減少率の割に引抜き抵抗値の低下が見られなかったとなる。つまり、木ネジを繊維に直交して打ち込んだ木材は腐朽の程度が小さい場合でも、強度低下に大きな影響を与える可能性があると言える。

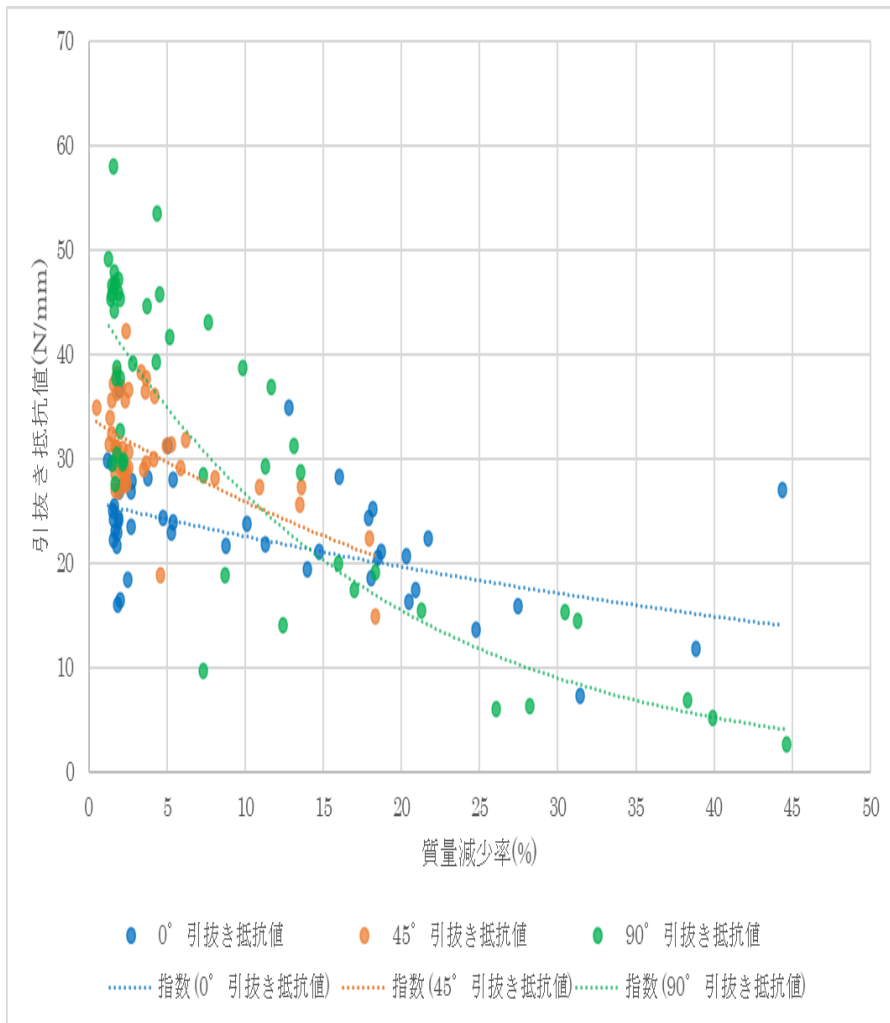


図 1 質量減少率と引抜き抵抗値の関係

【参考文献】

- 1) 本多航,落合陽,青木謙治,稲山正弘：木質構造用ビスの繊維直交方向引き抜き抵抗メカニズムと耐力推定式の提案,木材学会誌 67 巻 4 号,p178-187,2021

○斧本みどり, 下川亮太, 澤田圭, 高梨隆也, 佐々木貴信
佐々木義久 (北大院農), 泉拓也 (若井産業)

【緒言】

これまで木質構造物に使われてきた木ねじは短いものが多く、長いもので 100mm 程度であった。しかし近年、施工の容易性や木ねじの高強度化から、径が大きく長い構造用木ねじが発展してきた。構造用木ねじの長尺化に伴い、これまでの 2 つの部材を木ねじで接合する 1 面せん断接合だけでなく、3 つの部材を 1 本の木ねじで接合する 2 面せん断接合も増えてくると考えられる。本研究における 2 面せん断接合は、木ねじが 2 つの部材を貫通し、3 つ目の部材の途中にねじ先端がくる接合方法であり、こうした接合形式の設計式はこれまで提案されてこなかった。本研究では構造用木ねじを用いた 2 面せん断接合の降伏耐力推定式を求め、その実用性を検証した。

【木ねじを使用した 2 面せん断接合の降伏耐力推定式】

降伏耐力の推定には、ヨーロッパ型降伏理論 (EYT) を用いた。2 面せん断接合に関して、接合具が 3 つの部材を貫通する接合形式の場合は、降伏モードは左右対称であるのに対し、木ねじが 2 つの部材を貫通し 3 つ目の部材の途中にねじ先端がくる接合形式の場合は左右非対称な降伏モードも発現すると考えられる。これを考慮して、材料の降伏の仕方を組み合わせると、2 面せん断接合の降伏モードは図 1 に示す 7 つが想定された。

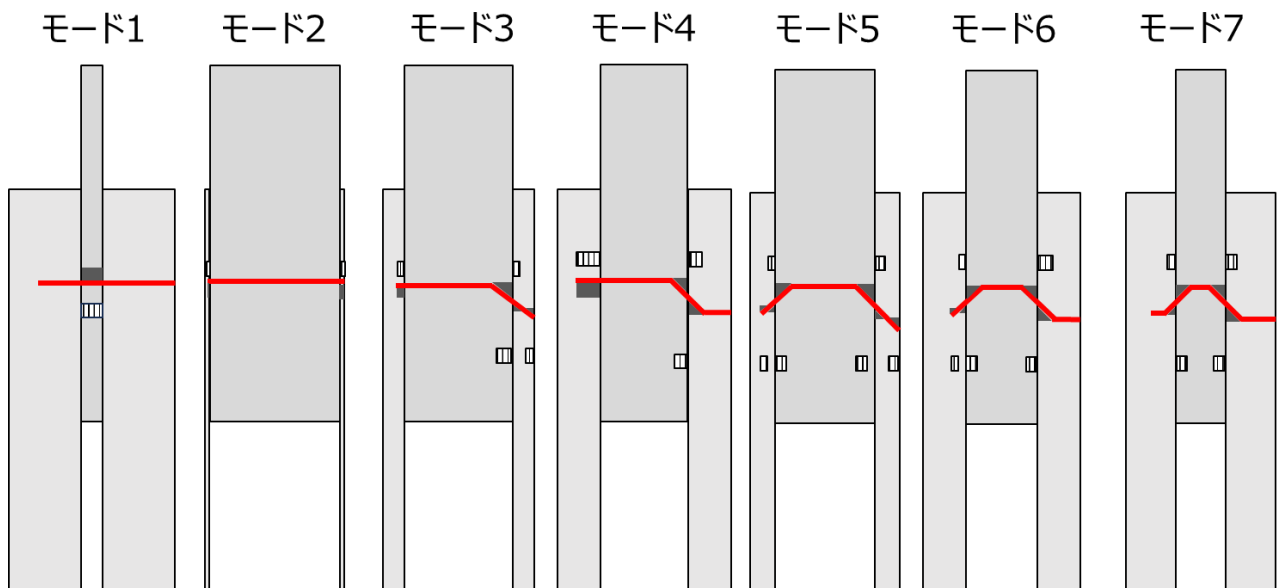


図 1 本研究における 2 面せん断接合の降伏モード

EYT に基づき各降伏モードの耐力を求め、式 (1) ~ (8) を得た。ここで、 P_{y_i} ($i=1 \sim 7$) は各降伏モードにおける耐力 (N)、 F_{e1} は主材の支圧強度 (N/mm^2)、 F_{e2} は側材の支圧強度 (N/mm^2)、 t_1 は主材厚 (mm)、 t_2 は側材厚 (mm)、 t_2' は木ねじ先端側の側材中の木ねじ打ち込み長さ (mm)、 d は木ねじの谷径 (mm)、 M_y は木ねじの降伏モーメント (Nmm) を示す。また、 $\alpha (=t_2/t_1)$ は木ねじ頭部側の側材厚と主材厚の比、 $\alpha' (=t_2'/t_1)$ は木ねじ先端部分の側材中の木ねじ打ち込み長さと主材厚の比、 $\beta (=F_{e2}/F_{e1})$ は側材と主材の支圧強度の比を示す。

・モード 1

$$P_{y1} = F_{e1} d t_1 \quad (1)$$

・モード 2

$$P_{y2} = F_{e1}dt_1(\alpha + \alpha')\beta \quad (2)$$

・モード 3

$$P_{y3} = F_{e1}dt_1\alpha'\beta + \frac{2F_{e1}d\beta}{2\beta + 1} \left\{ -\frac{t_1\alpha}{2} + \sqrt{\frac{t_1^2\alpha^2}{4} + \frac{(2\beta + 1)\left(\frac{1}{4}F_{e1}dt_1^2\alpha^2\beta + My\right)}{F_{e1}d\beta}} \right\} \quad (3)$$

・モード 4

$$P_{y4} = F_{e1}dt_1\alpha'\beta + \sqrt{\frac{4F_{e1}dMy\beta}{\beta + 1}} \quad (4)$$

・モード 5

$$P_{y5} = \frac{2F_{e1}d\beta}{2\beta + 1} \left\{ -\frac{t_1}{2}(\alpha + \alpha') + \sqrt{\frac{t_1^2\alpha^2}{4} + \frac{(2\beta + 1)\left(\frac{1}{4}F_{e1}dt_1^2\alpha^2\beta + My\right)}{F_{e1}d\beta}} + \sqrt{\frac{t_1^2\alpha'^2}{4} + \frac{(2\beta + 1)\left(\frac{1}{4}F_{e1}dt_1^2\alpha'^2\beta + My\right)}{F_{e1}d\beta}} \right\} \quad (5)$$

・モード 6

$$P_{y6} = \frac{2F_{e1}d\beta}{2\beta + 1} \left\{ -\frac{t_1\alpha'}{2} + \sqrt{\frac{t_1^2\alpha'^2}{4} + \frac{(2\beta + 1)\left(\frac{1}{4}F_{e1}dt_1^2\alpha'^2\beta + My\right)}{F_{e1}d\beta}} \right\} + \sqrt{\frac{4F_{e1}dMy\beta}{\beta + 1}} \quad (6)$$

・モード 7

$$P_{y7} = 4 \sqrt{\frac{F_{e1}dMy\beta}{\beta + 1}} \quad (7)$$

木ねじの 2 面せん断接合の降伏耐力 P_y

$$P_y = \min\{P_{y1}, P_{y2}, P_{y3}, P_{y4}, P_{y5}, P_{y6}, P_{y7}\} \quad (8)$$

【実験方法】

推定した降伏耐力に対する実証実験として、圧縮型の単調加力せん断試験を行った。木ねじはよび径 8.0mm、ねじ谷径 5.5mm、頭部径 12.5mm の全ねじ（若井産業株式会社製 X ポイントプラス Z）とよび径 8.0mm、ねじ谷径 5.5mm、頭部径 18.0mm の半ねじ（同社製 X ポイントプラス H）の 2 種類で、それぞれ全長が 260mm、290mm、320mm のものを使用した。全ねじを使用した試験はスギ製材、半ねじを使用した試験はスギ製材とヒノキ製材を使用した。主材と側材の長さは 350mm とし、材厚は木ねじの全長が 260mm・290mm の場合は 105mm、木ねじの全長が 320mm の場合は 120mm とした。試験体は各 6 体で、主材と側材を 2 本の木ねじで接合したものとした。

EYT による推定値計算に必要な木材の支圧強度と木ねじの降伏モーメントはそれぞれ支圧試験と木ねじの曲げ試験によって求めた。支圧試験はスギ製材とヒノキ製材の 2 種類、各 6 体行い、支圧強度の平均値はそれぞれ 29.9N/mm²、29.8N/mm²であった。また木ねじの曲げ試験は 3 体行い、木ねじの降伏モーメントの平均値は 34.9Nm であった。

【結果と考察】

せん断試験によって得られた木ねじ 1 本あたりの荷重変位曲線と降伏耐力推定値（図中の赤線）を図 2 に示す。また、これらの荷重変位曲線について 2 種類の方法で降伏耐力（実験値）を求めた。1 つは ASTM D5652 に準じた 5% オフセット法、もう 1 つは枠組壁工法建築物構造計算指針に準じた荷重変位曲線をエネルギーが等価な完全弾塑性モデルに変換することで降伏耐力を求める方法である。後者には荷重-変位曲線の特徴点抽出ソフト「PickPoint」を用いた。それ

らの評価方法を用いて求めた降伏耐力の実験値、EYT によって導出した推定値、実験値の平均と推定値の比を表 1 に示す。

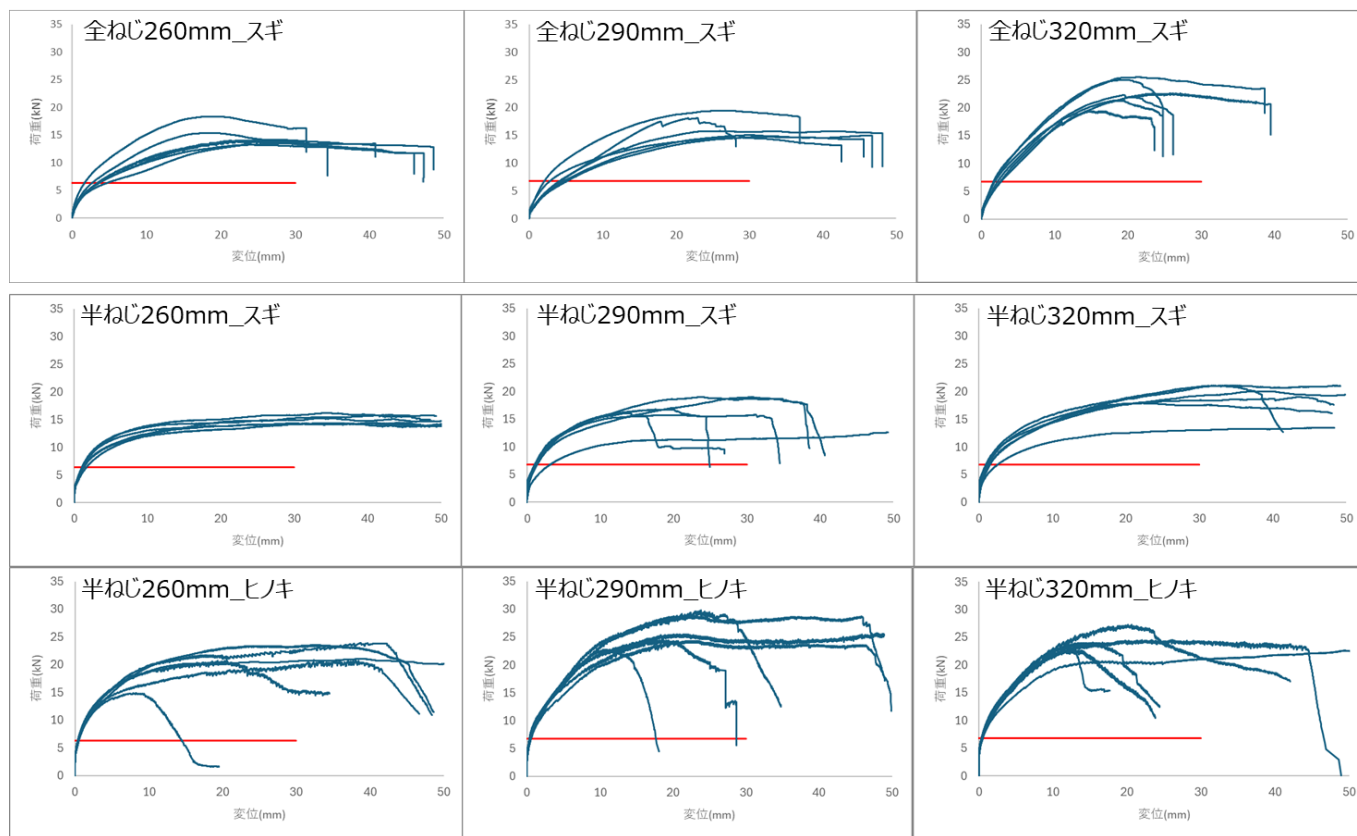


図 2 荷重変位曲線と降伏耐力推定値

表 1 降伏耐力の推定値と実験値

		推定値(kN)	実験値(kN) 平均		実験値(平均)/推定値	
			5%オフセット法	完全弾塑性モデルに変換する方法	5%オフセット法	完全弾塑性モデルに変換する方法
全ねじ	260mm_スギ	6.38	6.10	7.07	0.96	1.11
	290mm_スギ	6.78	6.72	8.18	0.99	1.21
	320mm_スギ	6.78	9.59	11.41	1.42	1.68
半ねじ	260mm_スギ	6.38	7.04	9.04	1.10	1.42
	290mm_スギ	6.78	7.59	9.48	1.12	1.40
	320mm_スギ	6.78	7.92	10.19	1.17	1.50
	260mm_ヒノキ	6.37	9.31	11.63	1.46	1.83
	290mm_ヒノキ	6.76	10.87	13.35	1.61	1.97
	320mm_ヒノキ	6.76	10.40	11.91	1.54	1.76

全ねじの場合、実験値の平均と推定値の比は 5%オフセット法で求めると 0.96~1.42、完全弾塑性モデルに変換する方法で求めると 1.11~1.68 であった。5%オフセット法で求めた場合に 320mm では実験値の平均と推定値の差が大きくなったが、これは 320mm の場合最大荷重が大きく、評価法は最大荷重に依存するためと考えられる。

半ねじの場合、実験値の平均と推定値の比は 5%オフセット法で求めると 1.10~1.17(スギ製材)、1.46~1.61(ヒノキ製材)、完全弾塑性モデルに変換する方法で求めると 1.40~1.50(スギ製材)、1.76~1.97(ヒノキ製材)であった。すべての条件で実験値の平均は推定値を上回っており、これは全ねじに比べてローブ効果が強く出たためだと考えられる。

2つの評価方法における実験値の違いは、5%オフセット法では弾性域における値から導出するのに対し、完全弾塑性モデルに変換する方法では塑性域を含めたエネルギーから導出するという違いから生じていると考えられる。本実験に用いた接合部の仕様は、終局変形に達するまでのエネルギーが大きく、その結果、完全弾塑性モデルに変換する方法の方が大きく算出されたと考えられる。

【参考文献】

- ・澤田圭, 斧本みどり, 泉拓也, 小林研治, 小川敬多 : 2面せん断木ねじ接合の降伏耐力の推定, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造, pp. 393-394, 2024. 8
- ・下川亮太, 斧本みどり, 澤田圭, 佐々木貴信, 高梨隆也, 佐々木義久, 泉拓也 : スギおよびヒノキにおける長ビス接合のせん断性能, 日本木材加工技術協会第 42 回年次大会講演要旨集, pp. 30-31, 2024. 9

シラカンバ単板への圧密処理が LVL の振動特性および曲げ性能に与える影響

○古井戸宥樹，古田直之（道総研林産試），佐々木貴信，澤田圭，佐々木義久（北大院農）

【緒言】

ローズウッド (*Dalbergia spp.*) をはじめとする，木製楽器に用いられる有用木材資源（楽器用木材）は年々減少傾向にあり，代替となる材料の開発や未利用樹種の活用が求められている。楽器用木材には美観だけでなく振動特性や強度性能など様々な性能が求められる。したがって楽器用木材の代替材の生産・開発を考える上で，候補となりうる材料の各種材料性能を調べる必要がある。本研究では高付加価値化が求められている北海道産シラカンバの単板に圧密処理を加え，高密度化した。その圧密単板を積層接着し LVL を製造することで，どのような振動特性や曲げ性能が得られるかを検討した。

【実験方法】

繊維方向 300mm，幅方向 150mm に切削された公称厚さ 2.9mm のシラカンバ単板に対して，油圧ホットプレス機（最大到達温度 250℃，熱盤寸法 350×350mm，最大圧力 21MPa）を用いて圧密処理を施した。処理条件は温度 100, 120, 140, 160, 180℃，圧力 1.5, 3, 5MPa，時間 1 分間とした。ただし，180℃/5MPa 条件については単板の表面に生じる凹凸が LVL 製造に影響すると判断し除外した。単板の圧密処理後，非圧密単板を用いた 3 層 LVL（非圧密 LVL）の厚さに合わせて，圧密 LVL 原板を処理条件ごとに 1 枚ずつ製造した（表 1）。原板の製造には水性高分子イソシアネート系接着剤を使用し，圧力 1.0MPa で 60 分間圧縮を行った。養生後原板を分割して，原板 1 枚当たり 6 試験体を作製した（図 1）。試験体寸法は，厚さ約 8~10mm，幅 20mm，長さ 260mm とした。

最初に，圧密 LVL の動的ヤング率および振動特性を曲げたわみ振動法によって測定した（図 2）。収録した打音は FFT アナライザによって時間軸波形化され，FFT 解析ソフトウェアによってパワースペクトルを得た。パワースペクトルのピークから 1 次振動モードの固有振動数を読み取り，見かけの動的ヤング率 E_F および比ヤング率 E_F/ρ （材料中の音の伝わりやすさ）を算出した。また打音の時間軸波形から 1 次振動モードにおける対数減衰率 λ （振動の吸収されやすさ）を算出した。

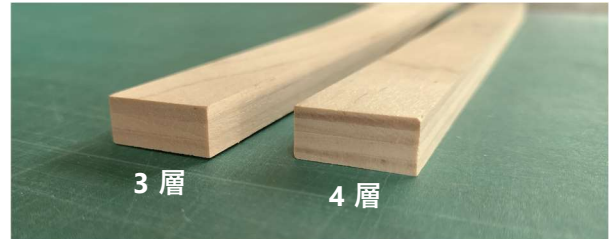


図 1 非圧密 LVL(左)と圧密 LVL(右)

表 1 LVL 原板の厚さ，層数，単板圧縮率

処理条件				
温度 (°C)	圧力 (MPa)	厚さ (mm)	層数	単板圧縮率 (%)
非圧密LVL		8.74	3	0
100	1.5	8.58	3	1.79
	3	8.40	3	5.87
	5	10.20	4	18.8
	1.5	8.52	3	4.68
120	3	8.04	3	14.7
	5	8.85	4	32.1
	1.5	8.50	3	2.72
140	3	10.14	4	14.6
	5	9.84	5	36.2
	1.5	8.27	3	6.82
160	3	9.30	4	28.1
	5	9.38	5	47.1
	1.5	8.10	3	7.25
180	3	8.71	4	27.5



図 2 曲げたわみ振動法

さらに圧密 LVL の曲げ性能を把握するため、同試験体を用いて 3 等分点 4 点荷重法による曲げ試験を行った (図 3)。条件によって試験体の厚さに多少のばらつきがあったが、本研究では非圧密 LVL の厚さを基準にスパンを 183mm (厚さの約 21 倍) とした。試験結果から静的曲げヤング率および曲げ強さを算出した。



図 3 3 等分点 4 点荷重法

【結果および考察】

圧密 LVL の振動特性を表 2 に示した。単板の圧密処理において温度・圧力条件を高めることで、LVL の比ヤング率は減少し、対数減衰率が増大する傾向が得られた。したがって過剰な温度・圧力条件では、より音が伝わりにくくより振動が吸収されやすい材料に変化した。ギターの音響性能に関わる部材に用いられる樹種¹⁾と比較すると、圧密 LVL はローズウッド (ブラジリアンローズウッド *D. nigra*, インディアンローズウッド *D. latifolia*) と異なる振動特性を持つ材料となった。また圧密 LVL はドイツトウヒ *Picea abies* やベイスギ *Thuja plicata* と比ヤング率において同等の性能であったものの、振動の吸収が過大であった。

また曲げ試験の結果を同じく表 2 に示した。単板の圧密処理によって LVL 曲げ性能が向上した。非圧密 LVL と比較すると 140°C/5MPa 条件では静的曲げヤング率が約 1.5 倍、曲げ強さが約 1.4 倍となり全条件の中で最大の増加率となった。140°C/5MPa 条件と 160°C/5MPa 条件で密度に大差がないことから、140°C/5MPa 条件で高密度化の限界に到達したと考えられる。ただし曲げ強さについては非圧密 LVL 並みもしくはそれ以下の条件があり、とくに 140°C/3MPa 条件では曲げ強さが著しく低かった。外層単板の欠点やせん断たわみの影響を受けたと考えられる。

表 2 圧密 LVL の振動特性および曲げ性能

処理条件		密度 ρ (kg/m ³)	固有振動数 (Hz)	動的ヤング率 E_F		比ヤング率 E_F/ρ (GPa)	対数減衰率 λ (10 ⁻²)	静的曲げヤング率 (GPa)	曲げ強さ (MPa)
温度 (°C)	圧力 (MPa)			(GPa)	(GPa)				
非圧密 LVL		603 (8.71)	662 (4.65)	14.9 (0.361)	24.8 (0.416)	2.58 (0.0408)	14.5 (0.463)	134 (10.6)	
	1.5	626 (14.4)	650 (8.58)	15.5 (0.364)	24.8 (0.676)	2.82 (0.147)	14.8 (1.02)	144 (6.21)	
	100	3	636 (2.96)	647 (7.14)	16.3 (0.380)	25.7 (0.519)	2.65 (0.0837)	16.1 (0.964)	148 (4.54)
	5	711 (5.30)	768 (5.92)	17.4 (0.316)	24.5 (0.303)	3.03 (0.0816)	16.8 (0.686)	147 (5.36)	
120	1.5	643 (4.47)	636 (19.6)	15.5 (0.907)	24.1 (1.39)	2.87 (0.186)	15.1 (1.38)	152 (6.17)	
	3	663 (4.80)	603 (10.1)	16.1 (0.471)	24.4 (0.835)	2.80 (0.126)	15.7 (0.780)	130 (6.25)	
	5	835 (11.8)	644 (14.2)	19.1 (0.588)	22.9 (0.972)	3.10 (0.141)	18.1 (0.799)	162 (7.51)	
140	1.5	626 (7.65)	630 (6.97)	14.9 (0.440)	23.7 (0.565)	2.95 (0.0548)	15.0 (0.448)	143 (5.69)	
	3	703 (3.50)	740 (18.7)	16.2 (0.852)	23.0 (1.13)	3.07 (0.197)	16.0 (1.20)	124 (14.4)	
	5	928 (9.65)	741 (5.40)	22.8 (0.318)	24.5 (0.250)	3.12 (0.117)	21.4 (0.481)	185 (5.62)	
160	1.5	656 (6.47)	623 (5.16)	16.1 (0.346)	24.6 (0.470)	2.80 (0.0632)	15.9 (0.658)	154 (9.36)	
	3	772 (5.57)	660 (13.5)	16.8 (0.692)	21.8 (0.970)	3.15 (0.138)	16.1 (0.653)	155 (12.2)	
	5	925 (22.4)	665 (7.32)	20.1 (0.445)	21.8 (0.483)	3.45 (0.138)	18.9 (0.561)	158 (8.65)	
180	1.5	670 (7.43)	613 (5.70)	16.6 (0.420)	24.8 (0.410)	2.90 (0.126)	16.1 (0.379)	152 (11.7)	
	3	795 (14.7)	636 (15.2)	18.3 (0.321)	23.0 (0.765)	3.10 (0.167)	17.2 (0.447)	144 (24.9)	
<i>D. nigra</i> ¹⁾		886	-	-	-	1.83*	-	-	
<i>D. latifolia</i> ¹⁾		790	-	-	-	2.32*	-	-	
<i>Picea abies</i> ¹⁾		426	-	-	-	2.16*	-	-	
<i>Thuja plicata</i> ¹⁾		354	-	-	-	1.52*	-	-	

注) () 内は標準偏差を示し、*は文献¹⁾の損失正接 $\tan\delta$ に π を乗じて算出した。

【参考文献】

1) 矢野浩之, 姜勝哲, 古田裕三, 梶田熙: ギター裏板用ブラジリアンローズウッド材の音響的性質. 木材学会誌 41 (1), 17-24 (1995).

次亜塩素酸ナトリウムを用いた木材のバインダーレス接着における 耐湿性改善の試み

○中村 神衣, 古田 直之, 宮崎 淳子, 伊佐治 信一 (道総研林産試), 中村 昇 (岡山大学大学院)

【緒言】 著者らはこれまで、板材等のソリッドな木材のバインダーレス接着を可能とする技術を開発してきた。これまでの報告では、次亜塩素酸ナトリウムを用いた木材のバインダーレス接着技術において、材料を市販漂白剤に浸した後、圧縮することで、常態接着せん断強さが市販接着剤と同等の接着が可能となることを明らかにした¹⁾。しかし、接着後の試験体は、吸湿時の接着強さの低下が顕著であった²⁾。そこで、本報告では、処理条件を変えたバインダーレス接着試験体について乾湿繰返し試験を行った結果について報告する。

【実験方法】 **接着試験** 厚さ 13×幅 100×長さ 300 mm のトドマツラミナを用いて 2 層の平行積層試験体を作製した。浸漬に用いた処理溶液は、台所用漂白剤 (花王製キッチンハイター) を用いた。ラミナの片面が処理溶液に接するようした状態で、20℃環境下で 16 時間 (20℃16h)、または 50℃環境下で 3 時間 (50℃3h) 行った。取り出した処理ラミナは、流水で表面を流した後、処理面同士を合わせプレスした。圧縮条件は、圧縮圧力 1MPa、熱板温度 60℃、圧縮時間 24 時間であった。その後 20℃65%RH 環境下で調湿し、ブロックせん断試験片を切り出した。また、比較用に酢酸ビニル樹脂エマルジョン接着剤 (PVAc) および水性高分子-イソシアネート系接着剤 (API) で貼り合わせた試験体を用意した。API について、主剤：架橋剤=100:15、API および PVAc について、塗布量 250g/m²、圧縮圧力 1MPa、圧縮時間 60 分であった。**乾湿繰返し試験** 既往の報告³⁾を参考に、せん断試験片を恒温恒湿器内において 50℃・40%RH、40℃・95%RH の温湿度条件で 1 週間毎に乾湿を 2 回繰返した。**接着せん断試験** 通常の試験片及び乾湿繰返し処理後の試験片について、常態ブロックせん断試験を行った。試験後の破断面から木部破断率を計測した。試験時の重量および試験後の試験片の全乾重量から含水率を算出した。

【結果および考察】 試験の概要を表 1 に示す。試験片数は、12 片用意したが、20℃16h の試験片が乾湿繰返し後に剥がれたため、試験に供した数は 5 片となった。浸漬の条件を 50℃3h にすることで、20℃16h より常態せん断強さが向上した。また、乾湿繰返し処理後の接着強さが大幅に向上した。これらの結果から、浸漬温度を上げることで、浸漬時間が短縮されるとともに、耐湿性を向上できることが明らかになった。本報告では、限られた条件での考察となったが、細かく条件を精査することで、バインダーレス接着における処理の簡略化および接着性能が向上する可能性が示唆された。

表 1 乾湿繰返し処理後のせん断試験の試験結果

試験体積層方向	20℃16h		50℃ 3h		PVAc		API	
	コントロール	乾湿処理後	コントロール	乾湿処理後	コントロール	乾湿処理後	コントロール	乾湿処理後
せん断強さ(Mpa)	4.3	0.5	7.8	6.8	7.9	7.9	8.9	8.2
変動係数(%)	45.2	171.6	11.4	21.6	8.7	5.4	17.4	17.9
木部破断率(%)	100	100	100	100	100	100	100	100
密度(g/cm ³)	422	418	401	404	389	386	394	397
含水率(%)	13.3	11.7	12.3	12.0	10.3	11.2	10.1	11.0
試験片数(個)	12	5	12	12	12	12	12	12

【謝辞】 本研究の一部は、JSPS 科研費 JP23K05346 の助成を受けたものである。

【参考文献】 1) 中村神衣, 古田直之, 宮崎淳子, 中村昇: 次亜塩素酸ナトリウムを用いた木材のバインダーレス接着—調湿条件及び配合成分の検討—. 日本木材加工技術協会第 41 回年次大会 (福岡) 講演要旨集 pp.32-33 (2023)
2) 中村神衣, 古田直之, 宮崎淳子, 中村昇: 次亜塩素酸ナトリウムを用いた木材のバインダーレス接着 (第 2 報) —接着処理条件の検討—. 第 74 回日本木材学会大会要旨集 I14-P-20 (2024)
3) 本宮 由美子, 佐々木 貴信, 澤田 圭, 佐々木 義久, 山内 秀文: 含水率変化に伴う CLT の寸法変化と被覆処理. 木材工学論文報告集 19 pp45-51 (2021)

○松田祐輝（旭川高専），杉本剛（旭川高専），今井良（道総研林産試）

1 緒言

一般的によく用いられる複合材料としてガラス繊維と樹脂を合成したFRP(Fiber Reinforced Plastic)がある。主に自動車のバンパーなどに使用されており、複合材料としての用途と強度は保証されたものである。しかし、ガラス繊維は焼却できないという欠点があるため廃棄方法が困難である。

2 目的

本研究では旭川の地場産業である製材業を活かすため、また焼却の問題を解決するため、複合材料の繊維部分に旭川の地場産業である木を用いて、焼却の問題を解決するとともに従来のガラス複合材料と同等の強度を持たせる。また、最終的には実用可能な強度を持たせることを目標とする。本研究を行うにあたり、FRPの繊維部分を不燃材であるガラスから木材繊維に置き換える、この際材料強度の低下が懸念されるため、木材の種類処理方法、FRPへの加工法を検討し、GFRPと同様の強度を持たせることを目標とする。

3 研究内容

本研究は

- ①木材を用いたFRPの成型方法を検討。
 - ②その強度試験。
 - ③強度を支配する因子の確認。
- の順序で行った。

3.1 試験片の製作

今回の研究では、比較のためのガラス繊維複合材（GFRP）と木質複合材（WFRP）を作成した。

- ① 日本特殊塗料製のポリエステル樹脂に硬化剤を2%～4%加えて十分に混ぜる。
- ② ガラス繊維（ガラスマット）に①の合成液を染み込ませ自然硬化するのを待つ。
- ③ ②で制作した複合材料の板をレーザー加工機（AMADA 製 QUATTORO AF2000i-C）を用いて試験片のサイズにカットする。

当初WFRPの強度を確認するために作成した試験片は2種類。

- ① 桜の皮の繊維を編み込み、樹脂と合成したもの。（編込材）図1
 - ② 桜の皮の繊維を編み込まずに無作為に重ね、樹脂と合成したもの。（無作為材）図2
- これらの引張試験を行い、強度を測定する。



図1 編み込み材



図2 無作為材

3. 2 試験片の設計

本研究を行うにあたり，JIS 5号引張試験片を用いた．試験片の形状は図3に示す．

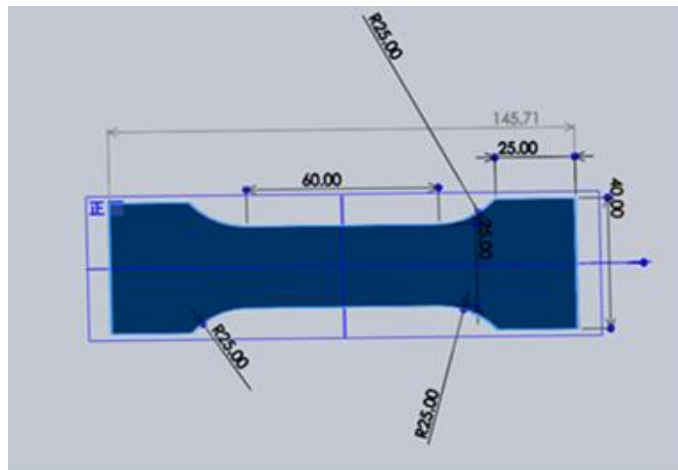


図3 試験片寸法

3. 3 試験片の測定

作成した試験片に対し図6の万能試験機を用いて引張試験を行った．

使用機械 島津製作所 AUTOGRAPH AG-X.

試験条件

引張速度 0.5 mm/min.

結果は縦軸を荷重 N/mm^2 ，横軸を伸び mm としてグラフを作成し，破断荷重を比較する．

試験結果は以下の図4のようになった．

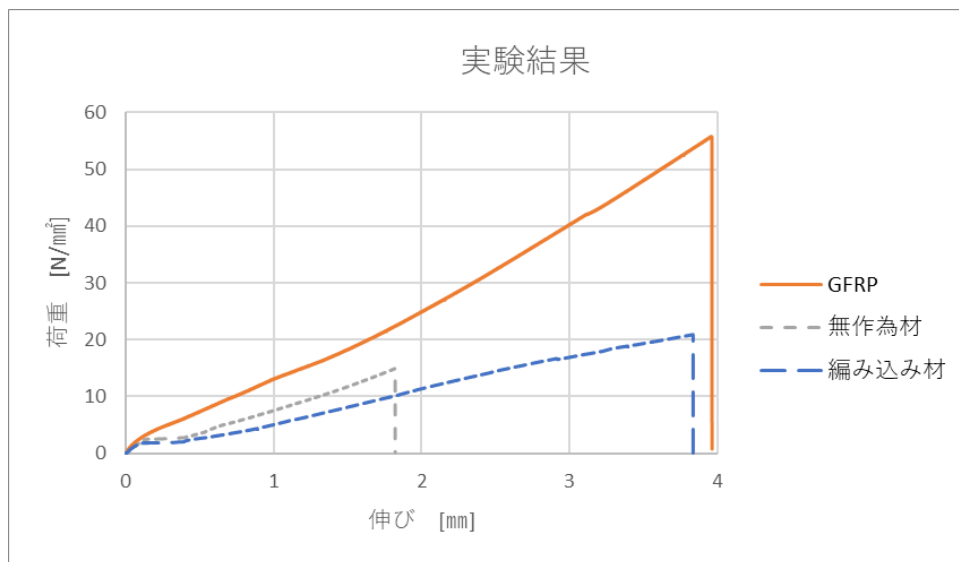


図4 試験結果

単純に木材を積み重ねて作った WFRP は GFRP に比べ大幅に強度がないことが分かった．

3. 4 新たな材料の模索

以上より WFRP の強度をこれより向上させるため以下を検討した．

木材についての改良すべき点として以下3つを考えた．

- 1 ガラス繊維のように布状にする．
- 2 繊維自体の強度を高くする．

3 入手性をよくする。

今後 FRP の代替品となるためには入手性が重要である。以上を考えた結果、竹の繊維を用いることにした。北海道の材料を生かすためにクマ笹を用いることを目標とする。

3. 5 クマ笹繊維の加工

旭川高専内に自生しているクマ笹を用いて実験を行った。繊維化するにあたって竹繊維の特徴とその用途開発^[1]を参考に加工を行った。

- 1、採取した笹竹を圧搾機で圧搾。
- 2、水酸化ナトリウム水溶液（4%）で2時間程度煮込む。
- 3、よく水で洗浄し、手で繊維束にほぐしていく。

3. 6 クマ笹繊維を用いた試験片の作成

3. 1, 3. 2と同様の手順で試験片を作成し、測定を行ったが笹繊維を用いると図2のように樹脂と上手く複合できず、繊維が抜ける形となってしまう、強度も 10N/mm^2 と下がってしまう結果となった。



図5 破断面

樹脂との相性が悪いと考え、ポリエステル樹脂ではなくエポキシ樹脂を用いて同様に試験片を作成した。樹脂を変更しても繊維が抜けてしまい、強度も 9N/mm^2 と向上させることができなかった。

3. 7 クマ笹繊維の追加加工

3. 6で示した通り、クマ笹繊維と樹脂の相性が良くないことが分かった。そこで、今までは繊維を完全に乾燥させずに水分を保有している状態で試験片を作成していたが、文献^{[1][2]}、竹繊維の特徴とその用途開発、竹材の剪断強度と含水率との関係より繊維を乾燥させることにより強度と樹脂との接着性が見込めるとのことで、65度湿度0%で48時間以上乾燥させた。なおそのまま乾燥させてしまうと繊維が丸まってしまうので網で挟み込んで乾燥させた。また文献^[3]によると、繊維複合材の強度理論により、充填率が重要なことが示されていたため、充填率向上のため成型時にプレス圧下を行う工法を合わせて行った。

3. 8 繊維単体の強度

初めに用いた桜の皮と加工した竹繊維、ガラス繊維で引張試験を行った。木片に繊維を貼り付け試験機にて試験を行った。

表1 繊維強度

	ガラス繊維	桜の皮	クマ笹繊維
破断荷重	220N/mm^2	45N/mm^2	120N/mm^2

表2のような結果となった。桜の皮よりもクマ笹繊維のほうが強度は高く、うまく複合材料として製作することができれば、ある程度の強度が見込めると考えた。

3. 9 乾燥させたクマ笹繊維での試験片の作成

3. 7で作成した竹繊維を用いて同様に試験片を作成し、引張試験を行ったが、竹繊維を均等に樹脂と混合させることが難しかったため、プレス機を用いて新たな試験片を作成した。プレス機を用いることにより、より多くのクマ笹繊維を複合することができた。



図6 プレス機 図7 クマ笹試験片

図6のように試験片を新たに作成し、試験を行った。

4 実験結果

結果をすべてまとめると図8のようになった。

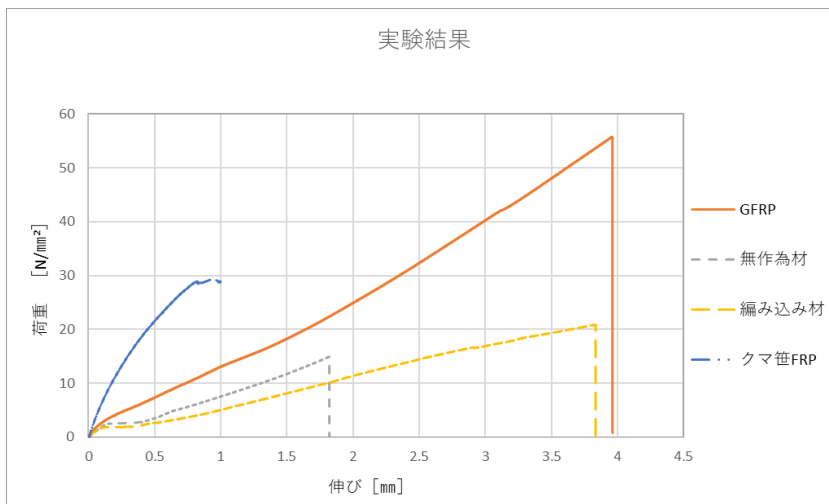


図8 実験結果

結果からまだガラス繊維には強度が及ばないが、クマ笹繊維を用いた複合材料で強度を 30N/mm^2 まで向上させることができ、実用可能な強度に近づけることができた。

5 考察

ガラス繊維を単純に木材にしたのみでは強度が足りなかったため、竹の繊維を用いて試験片の作成を行ったがガラス繊維程度の強度を持たせるのは容易ではなかった。しかし充填率向上、表面処理を行うことで強度を向上させることができた。今後さらなる強度向上を目指し、繊維加工や工法の検討を進めていく。

6 結言

本研究を行い、興味深い結果が得られたと同時に、課題も多く残ったので、引き続き研究を行いたい。

7 参考文献

- (1) 池田善光 竹繊維の特徴とその用途開発 SEN' I GAKKAISHI (繊維と工業) Vol.65, No.1(2009)P45-49
- (2) 太田基 竹材の剪断強度と含水率との関係 九州大学農学部演習林報告. 25, pp.121-131, 1955-03-30
- (3) 林毅 繊維複合材の強度理論 日本航空宇宙学会誌 第17巻 第183号 (1969年4月) P160-175

○今井 良 (道総研林産試)

【緒言】

1998年の「防護柵の設置基準」(建設省(現:国土交通省))改定により、防護柵は材料規定から性能規定へ変更され、北海道においても2004年から北海道立林産試験場(当時)が地域材であるカラマツを用いた木製ガードレール(以下、ビスタガードと称する)の開発に着手し、2009年の実車衝突試験を経て土中建込型の実用化を果たした。ビスタガードの仕様を図-1に示す。支柱スパンは3mで、支柱はB種ガードパイプと同仕様のものを利用し、ビームは上下2段構成でカラマツ集成材(上下とも120mm角)の背面に山形鋼(90mm×7mm)をM12ボルトで一体化したハイブリッドビームを利用している。なお、カラマツ集成材は防腐薬剤の注入処理はされておらず、木材保護塗料の塗布(表面処理)のみである。

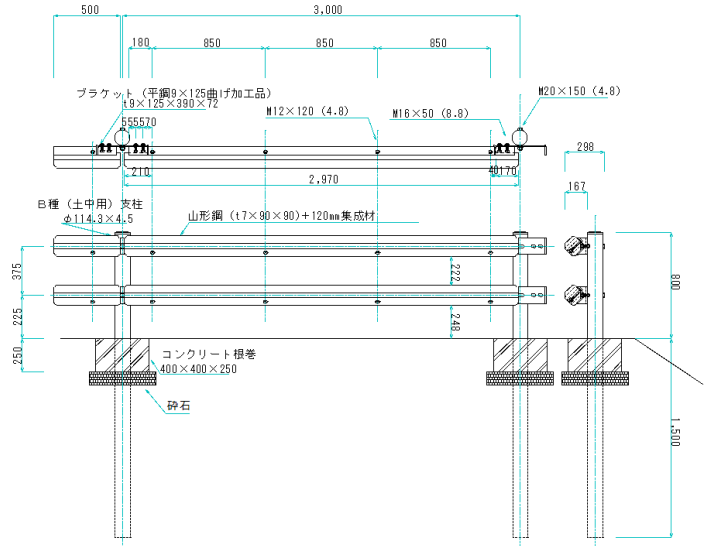


図-1 ビスタガードの仕様図面

実車衝突試験実施以前に試験施工されたプロトタイプも含め、これまでに表-1のとおり施工事例がある。本報では土中建込型の実用化後の最初の事例である2010年6月の林産試験場敷地内への施工物¹⁾について、その劣化状況や明らかになった課題等について報告する。

表-1 ビスタガードの施工事例一覧

種別	建込方式	積雪 ランク	支柱 スパン(m)	住所	路線名	延長(m)	設置年
初期型 製品	土中用	2	2	二海郡八雲町熊石折戸	ふるさと林道栄豊線	15	H18
	土中用	3	2	増毛郡増毛町暑寒沢	溪流の森散策路	12	H19
	土中用	3	2	島牧郡島牧村字賀老	賀老の滝散策路	70	H20
	土中用	3	2	増毛郡増毛町暑寒沢	溪流の森散策路	20	H21
小計						117	
実用化 製品	土中用	4	3	旭川市西神楽1線10号	林産試験場敷地内	18	H22
	土中用	4	3	上川郡鷹栖町22線13号	鷹栖町 町道	4	H22
	土中用	4	3	石狩郡当別町青山奥三番川	道民の森 神居尻地区	16	H23
	土中用	4	3	上川郡東神楽町25号	ひがしかぐら森林公園	28	H24
	土中用	4	3	留萌市礼受町	るるもっぺ憩いの森	40	H24
	土中用	4	3	河東郡上土幌町東3線237	生涯学習センターわか	18	H29
	土中用	4	3	上川郡当麻町3287番地	当麻ダム天端作業道路	400	H30
小計						524	
合計						641	

【実験方法】

(1) 調査対象

調査対象は2010年に林産試験場へ設置された土中
建込型のビスタガード7スパンである(図-2)。曲線
部はスパン長が2mに短縮されており、北西側から南
東側に向かって順に1スパン目、2スパン目、…7ス
パン目と設定した。設置時に全てのビームに水系の
木材保護塗料であるガードラックアクア(和信化学
工業株式会社製、オーク色)を1回塗りしており、2
年経過後の2012年7月に1~2スパン目と6~7ス
パン目を重ね塗りによる再塗装を行い、5年経過後の
2015年4月に6~7スパン目のみ3回目の再塗装を行
った。3~5スパン目には14年間一切再塗装を行っ
ていない。



図-2 林産試験場に設置されたビスタガード
(左側が西側, 右側が東側)

(2) 調査方法

設置年(2010年)から6年後(2016年)、8年後(2018
年)、10年後(2020年)、14年後(2024年)の4回、
ビームのカラマツ集成材を取り外し、写真撮影およ
び劣化診断を実施した(図-3)。



図-3 取り外したカラマツ集成材(2024年5月)

劣化診断では、目視のほか、触診、プラスドライ
バーを用いた刺診などを行った。なお、触診および

刺診の際に、腐朽が進行して木材組織が崩れる場合には劣化深度の確認のために木材組織を取り除いた。目視
被害度は一般的な手法である被害度0~5の6段階評価手法(JIS K 1571)に則って評価した。ただし、被害度
の断定が困難な場合は中間値として0.5や1.5のように0.5刻みで評価を行った。なお、目視診断は主観が入
りやすいことから通常は複数人の評価者による実施が推奨されているが、本研究では筆者1人で実施している。

14年後の診断時には、ピロディン打ち込みを実施し、腐朽箇所および健全部のピロディン打ち込み深さ(以
下、Pe値とする)と、高周波含水率計によりピロディン打ち込み箇所付近の含水率を計測した。

【結果および考察】

(1) 目視診断結果

表-2に目視診断結果を示す。なお
初回の目視診断では7スパン中5ス
パンのみ評価し、最新の2024年の目
視診断では諸事情により2023年に1
スパン撤去されたことから6スパン
の評価となった。

初回診断時には既に3本のビーム
にわずかな軟化と腐朽が確認された
が、腐朽被害度はすべて1(部分的
に軽微)以下であり、複数人で評価
を行っていれば評価者によっては被
害度0と見なされる可能性もあった。
2022年を除き、2年毎に診断したが、
6スパン目以外は上段側から先に腐
朽被害が確認された。これは上段ビ
ームが下段ビームの笠木替わりとな
って下段ビームの雨掛かりが低減さ
れていたことが理由と推察される。

表-2 目視診断結果(被害度は0~5の範囲で0.5刻み)

スパンNo.	長さ	方位	被害度				
			2010	2016	2018	2020	2024
1_上段	3m	西南西	0	1	1	1	
1_下段	3m	西南西	0	0	0	0	
2_上段	2m	西南西	0		1	1	1
2_下段	2m	西南西	0		0.5	0.5	1
3_上段	2m	南西	0	0	1	1.5	2
3_下段	2m	南西	0	0	0	0	0
4_上段	2m	南南西	0		1	1	2
4_下段	2m	南南西	0		0	0	0
5_上段	2m	南	0	0	0	0	1
5_下段	2m	南	0	0.5	1	1	1
6_上段	3m	南南東	0	0	0.5	0.5	1.5
6_下段	3m	南南東	0	1	1.5	1.5	2
7_上段	3m	南南東	0	0	0	0.5	1
7_下段	3m	南南東	0	0	0	0	0.5
平均被害度			0.00	0.25	0.54	0.61	1.08
最大被害度			0	1	1.5	1.5	2
腐朽部材率			0.00	0.30	0.57	0.64	0.83

最新の2024年の診断では、3スパン目と4スパン目の下段ビームを除き、全てのビームでわずかな腐朽が確認されている。また3スパン目と4スパン目の上段、6スパン目の下段では腐朽被害度が2（全体に軽微）と評価されている。なお、いずれのビームにおいても、腐朽の発生個所は同一傾向にあり、図-4に示すようにビーム背面に取り付けられた山形鋼とカラマツ集成材が接する上面にのみ腐朽が発生していた。これは雨水が山形鋼の端面とカラマツ集成材との接触部に溜まりやすく、かつわずかな隙間から侵入した雨水が表面張力により重力でも下方に抜け落ちていきにくい構造となっていたため、集成材の含水率が局部的に高まりやすかったと推察される。したがって、侵入した雨水が速やかに下方に流れ落ちるように山形鋼と集成材の接触面に隙間を設けるような工夫が必要と考えられる。



図-4 山形鋼との接触面に発生した木部腐朽の例（6スパン目の下段中央付近）

一般的に屋外用の木製構造物で腐朽の発生要因となりやすいとされるボルト穴については、ビスタガードでは目立った腐朽は確認されなかった。このことはボルト穴が雨水が溜まりやすい上面に露出しない耐朽設計の効果と推察される。

(2) ピロディン打ち込み結果

2024年のみ実施したピロディン打ち込み結果および含水率測定結果を表-3に示す。表はビーム部材の外形を模しており、○印がボルト穴部で、表の左側が部材の北西部、右側が南東部になっている。数値はおおよその位置がわかるように配置しており、網掛け部は目視で腐朽と判断された箇所である。なおピロディンを打ち込んだ面は前項で腐朽が確認された山形鋼と集成材の接する上面のみである。

腐朽部のPe値は概ね30mmを超えており、一部ではピロディンの測定限界である40mmを超えていた（40上と記載された箇所）。Pe値が20mm以下である箇所も3か所ほど確認されたが、表面が腐朽していても深さ方向には腐朽が進行しなかったと考えられた。

一方で、腐朽箇所およびPe値が大きい箇所は高含水率であろうという仮説に基づいて含水率の計測を実施したが、2～4スパン目ではほぼ健全材並みの含水率であった。しかし5～7スパン目では繊維飽和点相当の約30%を超える含水率を示した箇所が多数確認された。これらの含水率の違いが、方位によるものなのか、部材長に影響するものなのか、塗装の頻度によるものなのか、あるいは作業手順や作業効率の違いによるものなのかは、今回の結果からは判断できなかった。

ビームは曲げ部材であることからスパン中央部付近の劣化が強度性能に影響する。よって、端部に多く見られた40mm以上のPe値は強度にほとんど影響しないと考えられる。健全なカラマツ材の平均的なPe値は15mm

表-3 ピロディン打ち込み深さと含水率の測定結果（網掛け部は腐朽箇所、○印はボルト穴を示す）

スパンNo.	被害度	ピロディン打ち込み深さ(mm)				含水率(%)				
		北西 ←	←	→	南東	北西 ←	←	→	南東	
2_上	1	19○	27	33○	38	36○	22	18○	○19	○18
2_下	1	36○	25	○	21○	19○	19○	○19	○19	○19
3_上	2	40上○	34	○	33	○	28	18○	28	○19
3_下	0	18○	○	14	○	16	18○	19○	○16	○16
4_上	2	19○	21○	30	○40上	18○	○19	○28	○19	○28
4_下	0	23○	○	24	○	20	22○	29○	○22	○22
5_上	1	40上○	40上	26○	20	○18	33○	19○	○23	○23
5_下	1	26○	28	20○	18	16○	27○	30	○28	○30
6_上	1.5	40上○	40上	23○	17	○25	○23	20○	35○	20○
6_下	2	18○	30	○	32	○25	40上○	24	20○	30
7_上	1	○28	18○	31	○	20○	38○	38○	○18	○15
7_下	0.5	25○	23○	24○	37○	33○	34○	37○	36	○35

前後であることから、 P_e 値 30mm でも腐朽による断面欠損深さは 15mm 程度と推定される²⁾。スパン中央部の断面欠損深さが 15mm の場合、断面欠損による断面係数の低減率は計算上 2 割程度であり、木部材の耐力もこれに比例して約 2 割減と推定される。ビスタガードは鋼材とのハイブリッドビームで、木部材側の曲げ強度の負担が半分程度であることから、実質は 1 割程度の曲げ耐力低下にとどまる。ハイブリッドビームによるガードレールは木材のみを用いた木製ガードレール（剛性タイプ）とは異なり、鋼材のみのガードレール（靱性タイプ）に近い「半剛性タイプ」に分類されている。このため強度性能はビームの曲げ強度以外に鋼材の引張によるロープ効果が大きく寄与しており、曲げ剛性を主に負担する木部材の一部に軽微な腐朽があっても耐力低下は剛性タイプの木製ガードレールほどには考慮する必要はないと考えられる³⁾。

【結言】

木材保護塗料の塗布だけで防腐薬剤の注入処理を行っていない無処理カラマツ集成材を用いた木製ガードレールのビームは、設置後 14 年間経過しても目視診断で耐用限界（目視被害度 2.5 以上）とは診断されなかった。また、ピロディン打ち込み試験の結果からも、曲げスパンの中央付近の断面欠損深さは最大でも 20mm 程度と考えられ、5 層からなる集成材のラミナ 1 枚分さえも欠損していないことから十分な残存強度を有していると推定された。

今後はビーム部材を取り外して曲げ試験に供し、ハイブリッドビームとしての残存強度の確認を行う予定である。その際には新たな部材を取り付ける予定であり、山形鋼と集成材の接触面の隙間を十分に設けた構造への変更を計画している。

【参考文献】

- 1) 山崎亨史：木製ガードレール「ビスタガード」の設置，林産試だより，2010 年 7 月号，pp.13-15，2010.
- 2) 今井良，原忠：ピロディンによる木柵の早期劣化判別法の検討，土木学会論文集，Vol.80，No.28，23-28008，2024.
- 3) 今井良：道内全ての一般道路で使えるようになった木製ガードレール，林産試だより，2015 年 7 月号，p.3，2015.

○平良尚梧, 渋井宏美, 伊佐治信一 (道総研林産試)

【緒言】樹皮は防御組織としての役割を担うほか、色や質感等、樹木の意匠特性にも寄与する。シラカンバの利用拡大が進められる中、耳付き材を用いたテーブルや樹皮を巻き付けたスツール等、シラカンバ樹皮の特徴的な白さを生かした用途が提案されている^[1]。これらの用途では、樹皮の剥がれ防止や耐水性向上のために透明塗装が必要となることが多いが、通常の木部用塗装を施すと樹皮が変色してしまう。これまでに、顕微鏡観察時の脱水用エタノールによる樹皮の変色が報告されており^[2]、塗装時の変色も、塗料に含まれる溶媒の関与が考えられるが、詳細は明らかでない。本研究では、種々の溶媒がシラカンバ樹皮の色と表面構造に及ぼす影響を調べ、樹皮の意匠特性の保持に適した透明塗装法を検討した。

【実験方法】**試料**：胸高直径 30-40 cm のシラカンバから外樹皮を採取し、シート状に平らにして重しを載せ、室温下で約 1 週間放置した後、各測定に応じた大きさに樹皮を切り出した。

色差測定：樹皮から藻類の付着や皮目がない部分を約 1 cm 四方に切り出し、測色色差計 (Color meter ZE6000; 日本電色工業株式会社) で L*、a*、b* 値を測定した。測色後の試験片に種々の汎用溶媒を約 0.1 mL 滴下し、室温で十分に乾燥後に再び測色を行い、次の式で ΔE^*ab を算出した。

$$\Delta E^*ab = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2}$$

ここで、 ΔL^* 、 Δa^* 、 Δb^* はそれぞれ溶媒滴下前後の L*、a*、b* 値の差である。

電界放出型走査型電子顕微鏡 (FE-SEM) 観察：樹皮表面から厚さ約 0.1 mm の薄片を剥がしとり、前項と同様に種々の溶媒を滴下・乾燥後、白金コーティング後に加速電圧 5 kV で観察を行った。

試験塗装：市販透明塗料 [A, 油性ウレタン系 (溶剤系); B, 水性ウレタン系; C, アクリルラッカー系 (溶剤系); D, シリコン系 (溶剤系)] を 2-3 cm 四方の樹皮にそれぞれ塗装した。また前処理としてポリアクリル酸 (PAA) またはポリアクリル酸ナトリウム (PANa) による下塗りを加えた塗装も実施した。

【結果および考察】色差測定結果 (表 1) から、極性溶媒 (エタノール、酢酸エチル、アセトン、テトラヒドロフラン) では白さが低下し、赤みと黄みが増す変色傾向が示された。一方、無極性のヘキサンやトルエン等の炭化水素系溶媒では、目視で着色が全く確認されず、 ΔE^*ab は水と同程度に小さい値を示した。無処理、並びに溶媒滴下後の樹皮表面を FE-SEM で観察すると、無処理では筋状のコルク組織の上に直径が数百 nm の微細な凹凸を有する多量の集積物が確認された。一方、極性溶媒を滴下した樹皮では集積物の大半が消失し、残存集積物にも微細な凹凸は確認されなかった。炭化水素系溶媒では、無処理と類似した微細な凹凸が観察されたため、樹皮の表面微細構造並びに色特性を保持可能な塗装溶媒としての炭化水素系溶媒の可能性が示された。また、市販塗料を用いた試験塗装の結果、極性溶媒が主溶剤である塗料 A と C、並びに水が主溶剤ではあるが助剤として極性溶媒を含む塗料 B と比べ、炭化水素のトルエンを溶媒とする塗料 D で変色が最も少なかった。さらなる変色抑制を目的に、水溶性高分子を用いた下塗りを試みると、PANa ではむしろ顕著な変色が発生したが、PAA では変色を抑制することに成功した。以上より、シラカンバ樹皮の意匠特性保持に適した透明塗装法の可能性が示された。

表1 溶媒滴下時の樹皮の色差

溶媒名		L*	a*	b*	ΔE^*ab
水	前	88.2	2.7	6.7	0.6
	後	87.9	2.2	7.0	
エタノール	前	86.8	1.7	6.4	5.6
	後	81.8	3.3	8.2	
酢酸エチル	前	87.0	1.9	6.1	12.0
	後	79.7	5.0	15.1	
アセトン	前	87.2	1.9	6.3	6.4
	後	82.1	4.0	9.5	
テトラヒドロフラン	前	83.3	2.4	6.8	33.4
	後	65.9	12.9	33.3	
n-ヘキサン	前	85.3	2.3	6.5	0.8
	後	86.1	2.5	6.2	
トルエン	前	85.2	2.6	6.7	1.6
	後	85.7	2.4	8.2	

【参考】[1] 白樺プロジェクト HP <https://shirakaba-project.jp/cn3/pg371.html> (2024/10/20 アクセス), [2] 渋井宏美ら：日本木材学会北海道支部講演集第 46 号, 1-4 (2014).

【謝辞】本研究は JSPS 科研費 JP24K17945 の助成を受けたものです。樹皮の採取に際して、(一社) 白樺プロジェクトの鳥羽山聡氏、NPO 法人もりねっと北海道の山本牧氏にご協力いただきました。

○檜山 亮 (道総研・林産試)、稲川 昌志、小林 祐輔 ((株) エース・クリーン)、谷川 珠子 (道総研・酪農試)、磯辺 武市 (松原産業 (株))、近藤 萌里 (雪印種苗 (株))、西田 武弘 (帯広畜産大学)

【緒言】

北海道ではシラカンバを蒸煮した牛用の木質粗飼料の生産が2019年に本格的に事業化し、需要は年々拡大しており、2023年には約3,000トンが生産された。木質粗飼料のさらなる普及や発展のためにシラカンバ以外の樹種も原料としていく必要性が増している。発表者らは新たな樹種としてカラマツが木質粗飼料として有望であることを報告した^{1,2}が実用化に向けてはさらなる嗜好性の向上が課題となっていた。そこで、本研究ではカラマツの蒸煮条件を詳細に検討し、嗜好性に寄与している可能性が高い可溶性成分の変化を調べ、さらに実際の牛に給与して嗜好性を確認した。

【実験方法】

(i) 蒸煮処理と成分分析

粒径2mm前後の市販きのこ用カラマツおが粉(松原産業(株)、北海道)について、水分が50%となるように脱イオン水で加水し、1.125L容のステンレス網籠(60メッシュ)に入れ、170~200℃で10または30分、0.5kL容のオートクレーブ(日立造船(株)、大阪府)を用いて蒸煮した。蒸煮物の一部を採取し、105℃オーブンで一昼夜乾燥して絶乾重量を求めた。蒸煮物の別の一部に対して、既報³に準じてpHを測定した。蒸煮物1gに脱イオン水を50mL加え、100℃で1時間還流して抽出液を得た。抽出液の一部を採取し、熱水可溶単糖の含有量をHPLCで分析した。また、別の一部に硫酸濃度が4%となるように希硫酸を加えて121℃で1時間加熱して単糖化させた。硫酸処理液を中和後、HPLCを用いて単糖を分析し、熱水可溶単糖量を差し引いて熱水可溶多糖量を算出した。

0.5kL容オートクレーブによる蒸煮条件を基に、2kLおよび10kLの蒸煮装置を用いて粒径6~8mm程度のカラマツ粉碎物について、可溶性単糖量が多くなるように蒸煮して給与試験用に供試した。

(ii) 給与試験

(i)で2kLあるいは10kLの蒸煮装置により得られたカラマツ蒸煮物について、酪農試験場、雪印種苗(株)および帯広畜産大学の試験農場(北海道標津郡中標津町、夕張郡長沼町および帯広市)において、出産を2か月以内に控えた乳牛(乾乳牛)を用いて嗜好性を確認し、給与方法および給与量を検討した。その後、北海道興部町の6軒の酪農家において、出産を2か月以内に控えた乳牛(乾乳牛)に対し、乾乳牛用の混合飼料(TMR)に湿重量で5%のカラマツ蒸煮物を混ぜ込み、1週間程度給与する給与試験を実施した。さらに、北海道北見市の肉用牛肥育農家において、黒毛和種肥育牛および乳用種肥育牛に対し、カラマツ蒸煮物の単体を1頭あたり100g程度を飼槽に置いて食いつきと継続的な採食を観察する給与試験を実施した。

【結果および考察】

(i) 蒸煮処理と分析

カラマツ蒸煮物のpHを図1に示す。未蒸煮と比較して蒸煮処理ではpHが大幅に低下しており、有

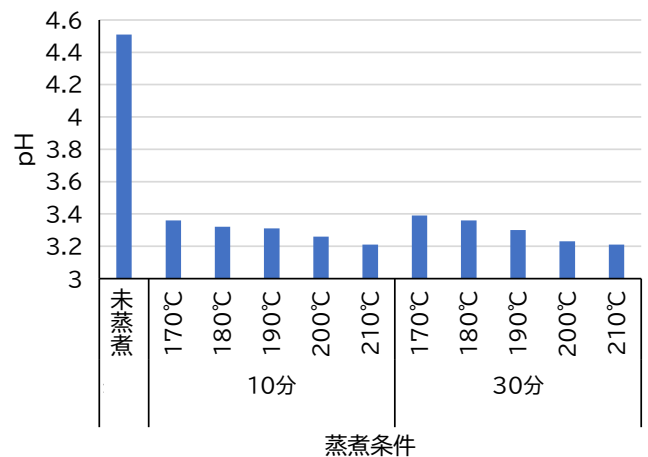


図1 蒸煮条件によるカラマツのpHの変化

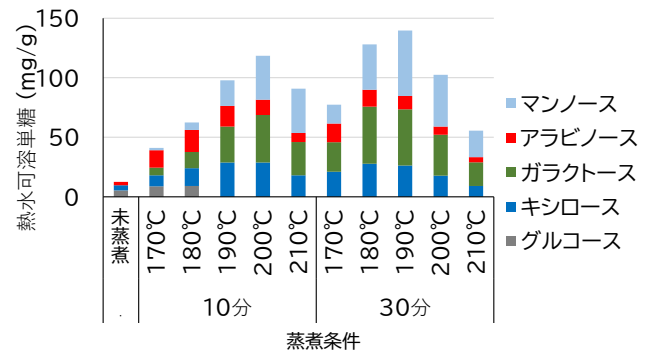


図2 蒸煮条件によるカラマツの熱水可溶単糖の変化

機酸が生成していることが考えられた。蒸煮の温度を高くすると pH の低下は大きく、210℃で pH 3.21 であった。

カラマツ蒸煮物の熱水可溶単糖量を図2に示す。蒸煮時間10分および30分において、それぞれ200℃および190℃までは蒸煮温度を高めたときに熱水可溶単糖量が増加する傾向が見られたが、それ以上の蒸煮温度では熱水可溶単糖量が減少した。190℃前後でアラビノースとガラクトースの割合が高い理由として、カラマツの材部にはアラビノガラクトンが含まれることが知られており、それが単糖化したことが考えられた。200℃前後の条件でマンノースの割合が高まる理由としては、針葉樹のヘミセルロースの主体であるグルコマンナンが分解していることが考えられた。

カラマツ蒸煮物の熱水可溶多糖量を図3に示す。熱水可溶多糖量は蒸煮条件180℃-10分、190℃-10分および170℃-30分で多いが、それ以上の温度で蒸煮すると減少した。未蒸煮ではガラクトンとアラビナンが多いが、蒸煮温度が高まるとガラクトンとアラビナンの割合は急速に低下した。200℃以上の蒸煮条件でグルカンの割合が高まった。

これらの蒸煮条件検討および分析により、180～190℃30分、200℃10分程度の蒸煮処理条件で可溶単糖量が高まることがわかった。ヤナギ蒸煮物の熱水可溶のグルコースおよびキシロースの合計が20 mg/gであったこと⁴、シラカンバの熱水可溶単糖量の合計が約70 mg/gであったこと⁵と比較すると、上述の3条件は熱水可溶単糖量が119～140 mg/gであり、広葉樹蒸煮物と比べても甘みが強い粗飼料であることが期待された。

(ii) 給与試験

酪農試験場、雪印種苗(株)および帯広畜産大学の試験牛を用いた給与試験により、乾乳牛用の通常の飼料に湿重量で、可溶性単糖量が多くなるように調製したカラマツ蒸煮物を5～8%程度混ぜ込むことを嗜好性や飼料設計の観点から決定した。5%混ぜ込んだ飼料を興部町の酪農家の乾乳牛に給与したところ、通常のTMRと遜色なくよく食べる様子が確認された(写真1)。肉用牛への給与試験では黒毛和種も乳用種もカラマツ蒸煮物単体にすぐに食いつき、継続して食べ続ける様子が観察され嗜好性は高いと考えられた(写真2)。以上の調製した蒸煮物の分析結果と観察結果から、甘みが嗜好性にどの程度寄与しているかについて今後調べていくべき課題と考えられた。

【引用】

1. 檜山, 折橋, 本間, 高橋, 古川 (2018) 木質バイオマスの飼料化に関する研究(Ⅱ) ートドマツとカラ

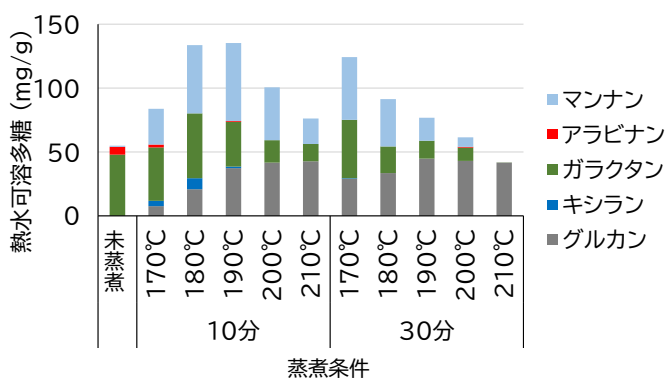


図3 蒸煮条件によるカラマツの熱水可溶多糖の変化



写真1 カラマツ蒸煮物を混ぜ込んだ混合飼料 (TMR) を食べる乾乳牛



写真2 飼槽に置かれたカラマツ蒸煮物を食べる肥育牛 赤線はカラマツ蒸煮物, 上: 黒毛和種, 下: 乳用種

マツの飼料特性一, 第 68 回日本木材学会大会. R15-P-01

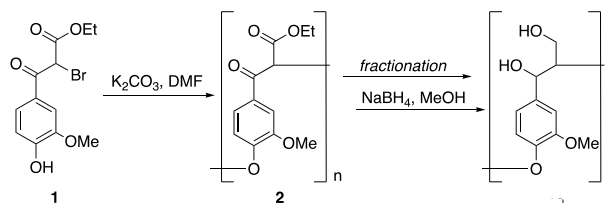
2. 阿部, 本間, 北村, 檜山, 折橋, 関, 稲川, 小林, 中井 (2019) 木質バイオマスの飼料化に関する研究 (V) —黒毛和種肥育牛へのトドマツ・カラマツ蒸煮飼料の給与試験—, 北海道畜産草地学会第 8 回大会. II-7
3. 後藤, 往西 (1967) 木材の pH に関する研究 (第 1 報) 木材の pH 測定について, 島根農科大学研究報告 **15** 68-74.
4. 檜山 (2022) 河畔林ヤナギを黒毛和牛用粗飼料にするための研究, 林産試だより 2022 年 4 月号 4-6.
5. 檜山 (2024) 木質粗飼料の研究開発, 令和 5 年度林産技術セミナー配布資料.

分子量の異なる β -*O*-4 型リグニンモデルの ジオキサン-水に対する溶解性

○小野田樹、宮寄絢子（北大農）、鈴木栞、浦木康光、重富顕吾（北大院農）

【緒言】リグニンの溶媒への溶解性やその溶液構造は、リグニンの抽出や構造解析、リグニンの利活用において極めて重要な因子である。高分子が溶解する場合は、溶媒とポリマーの相互作用がポリマー鎖間の相互作用に打ち勝たなければならないため、分子鎖長は溶解性に影響する要素の1つとなる。しかし、リグニンにおいて溶解に対する分子量の影響を検証した例は少ない¹⁾。本研究では、特にリグニンの抽出における分子量の影響を検証するため、リグニンのモデルとして分子量の異なる β -*O*-4 型ポリマーを調製し、摩砕リグニンの抽出に一般に用いられる1,4-ジオキサン/水 (96:4, v/v) に対するこれらの溶解特性を検証した。

【実験方法】 **β -*O*-4 型リグニンモデル化合物の調製**：岸本らの方法²⁾に従いモノマー**1**から調製した前駆体**2**を、H-2003 カラム(Shodex)を用いて20画分に分画した (Fr. 1–20)。得られた画分の相対分子量を KF-803L カラム(Shodex)を用いて測定した。それぞれの画分を NaBH₄/MeOH で処理しモデル化合物を得た。構造は ¹H 及び HSQC NMR によって確認した。



Scheme: β -*O*-4 型リグニンモデル化合物

溶解性試験：分光光度計を用いて278 nmにおける吸光度から各試料の検量線を作成した。サンプル10 mgに1,4-ジオキサン/水 (96:4, v/v) を500 μ L加え、60°Cで5 min保ちVortexで5 min攪拌を3回行った後30°C、200 rpmで6 h静置した。30°Cで10 min遠心分離した後、上清を任意の濃度に希釈し検量線から飽和溶解濃度を求めた。蛍光測定：モデル化合物(0.1 g/dm³)に対して278 nmの励起光を照射し、290-750nmの蛍光スペクトルを測定した。

【結果および考察】モデル化合物の前駆体**2**を調製した後、サイズ排除クロマトグラフィー(SEC)による分画を行うことで、数平均重合度(DP_n)2.6–43.1、多分散度1.04–1.20の20画分を得た。各画分を還元することで β -*O*-4 型リグニンモデル化合物(以下LM_{43.1}–LM_{2.6}; 下付き数字はそれぞれのDP_n)を得た。LM_{43.1}、LM_{31.1}、LM_{26.7}、LM_{15.6}、LM_{8.6}についてジオキサン-水に対する飽和溶解濃度を求めたところ、LM_{43.1}は1.10 g/dm³、LM_{31.1}は6.42 g/dm³、LM_{8.6}は17.5 g/dm³であり、 β -*O*-4 型結合から成るモデルは重合度の増加にともなってジオキサン-水への溶解性が有意に低下することが確認された。また、DP_n>23のモデル化合物は、278 nmに加えて新たに262 nmに極大吸収を示した。この吸光特性は希釈溶液でも維持されたことから、分子内の芳香環同士が溶液状態でスタッキングを起こしていると予想し、蛍光測定によりこれを検証した。278 nmの励起に対するLM_{23.0}、LM_{17.7}、LM_{15.6}の最大蛍光波長は分子量依存的に長波長シフトを示した。この結果は、J会合による π 相互作用が生じていることを示唆している。これまでリグニン分子の相互作用の一つとして π -スタッキングは示唆されていたが、本研究では、スタッキングが β -*O*-4 鎖の伸長によって分子内に形成される溶液構造であることを初めて示した。

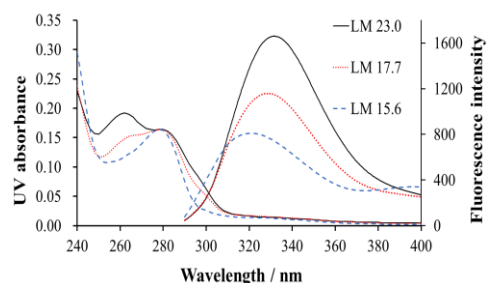


Fig. LM_{23.0}, LM_{17.7}, LM_{15.6} の
UV 吸収(左)と蛍光スペクトル(右)

【参考文献】1) Sameni J, et al. *Bio Resources* 12(1), 1548–1565 (2017)

2) Kishimoto T, et al. *Org. Biomol. Chem.*, 4, 1343–1347(2006)

○中澤佑哉（北大院農），鈴木伸吾（北大院歯），
高橋 淳，後藤高秋（埼玉茶研），荒川圭太（北大院農）

【緒言】

チャ (*Camellia sinensis* (L.) O. Kuntze) は、中国の西南地域原産のツバキ科ツバキ属の常緑広葉樹である。その栽培において、気温の低下によって発生する凍害や霜害は茶葉の生産性や品質を大きく低下させる要因の一つとして知られている。例えば、低温による傷害として、晩秋や早春には樹皮に割れが生じる裂傷型凍害が発生し、厳寒期には緑葉が部分的もしくは全面的に赤褐色になる赤枯れなどが発生することがある。また、3月中旬～5月には新芽への着霜による霜害も発生する。

裂傷型凍害は、初冬期または早春期に地際に近い幹で樹皮に割れが生じることによる傷害である。主に定植3年目までの幼木が被害を受けやすい。被害が幼木に集中する原因として、主に2通りの要因が挙げられる。1)幼木は成木と異なり、幹基部が葉層によって保護されていないため、夜間の気温低下の影響を受けやすくなる。2)チャノキは秋から冬にかけて日長の短縮と気温の低下に伴って、凍結抵抗性を獲得するが、幼木は年間の成長量に対する冬芽の相対的な成長量が大きく、凍結抵抗性の獲得が成木よりも遅れる（関谷ら, 1979）。

これらの凍害や霜害による被害を軽減する対応策を考えるためには、チャの越冬機構と凍害・霜害の発生機構の双方に関して知見を深めることが重要だと考えた。そこで本研究では、裂傷型凍害の発生に着目した。凍結抵抗性が強い品種であるさやまかおり、凍結抵抗性が弱い品種であるさやまみどり、まだ凍結抵抗性について調べられていないゆめわかばを用いて各組織の凍結抵抗性の季節変化を調べると共に、裂傷型凍害の発生実験によってその発生過程を調べることにした。

【材料と方法】

1. 材料

埼玉県茶業研究所で栽培されているチャの品種のうち、さやまかおり、さやまみどりの2品種の徒長枝を2022年1月から1ヶ月ごとに、ゆめわかばの徒長枝を2022年6月から1ヶ月ごとに送付してもらい、組織ごとに凍結抵抗性試験を行った。本試験では、常緑葉は5mm四方の切片にし、芽は無傷な状態で1つつ切り出し、枝は軸方向に2分割し、髓をカッターナイフで除いて樹皮と木部に分けた後、5mm長の切片にして実験に供試した。

2. 凍結抵抗性試験

凍結抵抗性試験は、Suzuki et al (2007) を参考にしておこなった。上記の要領で調製した材料をねじ口試験管1本あたり数片ずつ入れ、超純水50μLを加えた。これを-1℃に設定した液相のプログラムフリーザーに入れ、20分程度維持した後に、細かい氷を用いて植氷してから蓋を閉め、1時間平衡させた後に2.4℃/hの速度で冷却した。3℃間隔で試料を取り出し、4℃の冷暗所で一晩おいて融解させた。また、試料を液体窒素で急速凍結させ10分静置し、同様に4℃で一晩おいて融解させたもの（生存率0%となる試料）と、試料を凍結処理せずに4℃の冷暗所で静置したもの（生存率100%となる試料）を用意した。その後、試料にそれぞれ1mLの超純水を加え、10分間の減圧脱気をして水を浸透させてから、遮光して4時間室温で振盪させた。振盪後、電気伝導率計で試験管中の水の電気伝導率を測定した。計測に用いた水を元の試験管に戻してから、試料を沸騰水中で10分間熱処理して材料の細胞を死滅させた。処理後さらに1時間振盪して電気伝導率を測定した。計測した値（3検体の平均値）から以下の式に基づいて各温度での生存率を計算して処理温度ごとに生存率をプロットすると、処理温度の低下に伴って生存率も低下する生存曲線が得られる。生存曲線と生存率50%、生存率70%の横軸との交点の処理温度から、それぞれ生存率が50%となる温度（LT50：lethal temperature of 50%）、生存率が70%、つまり致死率30%となる温度（LT30：lethal temperature of 30%）を求め、凍結抵抗性の指標として用いた。

$$\text{生存率 (\%)} = 100 - (S - C) / (F - C) \times 100 = (F - S) / (F - C) \times 100$$

S = 各温度処理した試料の水溶液中の電気伝導率/各温度処理した試料の熱処理後の水溶液の電気伝導率

F = 液体窒素で凍結、融解処理した試料の水溶液の電気伝導率/液体窒素で凍結、融解処理した試料の熱処理後の水溶液の電気伝導率

C = 凍結処理していない試料の水溶液の電気伝導率/凍結処理していない試料の熱処理後の水溶液の電気伝導率

3. ポット苗を用いた裂傷型凍害のシミュレーション実験

2023年12月7日に埼玉県茶業研究所から分譲された、さやまかおり、さやまみどりの当年枝、ゆめわかばの2年生のポット苗を、温度を5℃、日長を10時間に設定したチャンバーで生育させた。その後、2024年1月19日に2.4℃/hで5℃から-10℃まで緩速凍結させてから、-10℃の低温室において木口面を実体顕微鏡で観察した。

【結果および考察】

1. チャの組織の凍結傷害の発生について

脱馴化過程におけるチャノキの凍結抵抗性を調べると、3月下旬から5月下旬にかけて成熟葉、芽、樹皮、木部の凍結抵抗性はいずれも顕著に減少した。5月下旬のさやまかおり、さやまみどりの芽と若葉について凍結融解後の生存率を調べると、-5℃における生存率は20%以下であった。

樹皮の-5℃での生存率は12月では90%、4月では80%を示し、凍結抵抗性は十分に高いことが分かった。また、耐寒性が強いとされている品種であるさやまかおりは、さやまみどりやゆめわかばよりも樹皮の低温馴化が早く始まることが分かった。

木部の凍結抵抗性の季節変化も同様に、9月下旬から低温馴化過程が始まっていることが分かった。早霜の発生時期である11月から12月にかけての凍結抵抗性は、樹皮・木部ともに、-10℃までは90%~100%、-20℃までは80%~90%と高い生存率を保っている。裂傷型凍害は氷点下数℃で誘発される凍結が原因だと考えられるが、樹皮や木部の柔細胞の凍結抵抗性を測定した限り、その程度の凍結温度では細胞が致命的な傷害を受けにくいはずなので、細胞の凍結抵抗性とは別の要因の影響を受けるのではないかと考えられた。例えば、細胞外凍結によって内樹皮付近に大きな細胞外氷晶が局所的に蓄積することでその部位で体積の膨張が生じ、樹皮に円周方向に引張力が加わって縦方向に裂けるのではないかという可能性が考えられる。この場合、樹皮近傍の水分量やその分布が、樹皮組織内で形成・蓄積される細胞外氷晶の大きさに影響を及ぼすことが考えられる。そのため、樹幹の含水率の違いがどの程度に細胞外氷晶の大きさや裂傷型凍害の発生に影響を及ぼすのかという点に注目して調べていきたい。

2. チャの枝の裂傷型凍害発生シミュレーションについて

2023年12月7日に埼玉県茶業研究所から分譲された、さやまかおり、さやまみどりの当年枝、ゆめわかばの2年生のポット苗を2.4℃/hで5℃から-10℃まで緩速凍結させてから、-10℃の低温室において木口面を実体顕微鏡で観察した。すると、さやまかおりでは氷が局所的に内樹皮付近に蓄積している様子が見られたが、裂傷型凍害には至らなかった。このことから、裂傷型凍害を実験室で再現するためには、凍結融解を1回だけでなく何度か繰り返す必要があるのかも知れない。また、樹皮組織において局所的に細胞外氷晶が蓄積する理由を考えると、樹皮組織における水の凍結のしやすさについても考える必要があるかも知れない。そのため、樹皮近傍の組織において水の凍結温度を高めるような活性(氷核活性)が存在する可能性についても今後は検討してみたい。

○筒井路実, 伊藤利章, 渡邊陽子, 佐野雄三, 荒川圭太 (北大院農)

【緒言】

冬季に樹木の冬芽が氷点下温度に曝されると、特徴的な氷晶分布を示すことが一部の樹種で確認されている(Endoh et al. 2014)。この凍結様式は器官外凍結と呼ばれている。カラマツの冬芽の場合、春に葉や枝へと成長する枝条原基では細胞外氷晶を蓄積せず、その下方に位置する空隙や芽鱗に比較的大きな細胞外氷晶を形成する様子が観察されている。この凍結様式は細胞外氷晶が形成される領域と、形成されない領域が分かれているという点で一般的な凍結様式である細胞外凍結とは異なる。この2つの領域の境界において、原基への細胞外氷晶の伝播を防ぐ仕組みとして細胞壁が関与する可能性が示唆されている(Kuprian et al. 2017)。

例年の札幌では、カラマツの頂芽は8月頃に形成されはじめ、11月頃に形成を終了するというサイクルを毎年繰り返す(藤本 1978)。この研究により、頂芽における各組織の形態形成については多くの知見が得られているが、器官外凍結を成立させる組織の構造特性の発達と越冬機能の獲得との関与についてはあまり分かっていない。そこで本研究は、札幌市に生育するカラマツを材料に、冬芽発達期における凍結挙動の変化と、器官外凍結に関与する組織の構造特性の変化を明らかにすることを目的とした。

【実験方法】

実験材料： 2023年9月、12月、2024年9月に北海道大学北方生物圏フィールド科学センター植物園及び札幌研究林にてカラマツの当年生枝を採取した。

示差熱分析を用いた凍結挙動の分析： カラマツの頂芽を基部で切り、0°Cから-60°Cまでの間で示差熱分析を行った(n=5)。冷却速度は12°C/時とした。冷却中に冬芽の組織で凍結が起これば潜熱を放出するので、冷却中の頂芽の温度変化を熱電対で記録し、発熱が開始した温度を凍結温度とした。

実体顕微鏡を用いた凍結挙動の観察： 採取した当年生枝を0°Cに設定したプログラムフリーザーで12時間静置した後、1日に5°Cずつ-30°Cまで温度を下げた。-30°Cに達した後、試料を-10°Cの低温室に移動させ、頂芽を切り出し、頂芽の縦断面を実体顕微鏡で観察した。凍結前の試料についても、採取した当年生枝から頂芽を切り出して23°Cの実験室で同様に観察した。

光学顕微鏡を用いた組織構造の観察： カラマツ頂芽の組織学的分析を行うため、FAA液に9月と12月の頂芽を浸して1晩室温で固定した。その後、超純水で6回洗浄し、エタノールシリーズ(30~100%)で脱水した後、Technovit7100で包埋した。包埋によってできたブロックをトリミングし、リトラームを用いて8µm厚の切片を作製した。作製した切片を0.05%(w/v)のトルイジンブルーで染色し、洗浄した後でマウントクイックを用いて封入し、永久プレパラートを作製した。

【結果および考察】

12月に採取したカラマツの頂芽を氷点下温度まで冷やし、実体顕微鏡で観察したところ、先行研究(Endoh et al. 2014)で報告されている通り、原基の下方に位置する空隙と原基を取り囲む芽鱗の下部に比較的大きな氷晶が観察された。また、遠藤らは、-30°Cまで緩速凍結したカラマツの頂芽において、原基では細胞外氷晶と細胞内氷晶の両方が形成されないことを観察している(Endoh et al. 2009)。このように氷晶が形成されない領域があることは、他の組織でみられる凍結挙動と異なる特徴である。例えば、最も一般的な凍結挙動である細胞外凍結を示す樹皮や葉などでは、細胞間隙が細胞の周囲に多くみられ、これらの細胞間隙に分散して氷晶が蓄積していくため、器官外凍結したカラマツ頂芽でみられるような大き

な細胞外氷晶は形成されにくい。そのため、実体顕微鏡でははっきりと観察できる程度の大きさの氷晶はみられない。

続いて、実体顕微鏡によって凍結挙動の季節変化を調べるために、9月の試料についても、12月の試料と同様に観察した。結果、9月のカラマツ頂芽では、12月の結果と異なり、小さい氷晶が芽鱗と原基の間や原基内部、原基下部にみられた。この凍結挙動は12月の試料でみられたものとは異なり、その理由として9月時点で冬芽全体が未発達であることが関係していると考えられる。原基組織は真冬でも細胞外氷晶に対して感受性が高いため、9月の試料において氷晶が観察されている原基部分は細胞の生存率が低いと予測される。

このように実体顕微鏡観察により、9月と12月で凍結挙動が異なることが示唆されたが、より詳細にこの違いを調べるために、示差熱分析を行った。カラマツの2月の頂芽を用いて同様の示差熱分析を行った先行研究は、 -10°C 付近で比較的大きな潜熱の放出が検出され、その後 -30°C 付近で再び小さな潜熱の放出が検出されると報告している(Endoh et al. 2009)。カラマツ頂芽を冷却する過程において、 -10°C 付近で検出される発熱は、器官外凍結が生じることで原基を取り囲む芽鱗やクラウンなどの組織で細胞外氷晶が形成されたことに起因し、その後の -30°C 付近で検出される小さな発熱は、脱水している原基の細胞内部にまだ残されていた水が過冷却を解消して細胞内凍結を起こしたことに起因するといわれている。本研究では、9月の頂芽を用いて示差熱分析を行い、すべてのサンプルにおいて -13°C ~ -15°C の間で1回の発熱を検出した。これは、原基の周囲の組織で生じた細胞外凍結と原基内部で生じた細胞内凍結が非常に近い温度で生じたことによって発熱ピークが重なったことを示す可能性がある。

以上のカラマツ頂芽の実体顕微鏡の観察結果と示差熱分析の結果により、9月と12月のカラマツ頂芽では、細胞外氷晶の蓄積部位といった凍結挙動についても違いがみられることがわかった。また、凍結挙動が9月と12月の間で異なる要因の1つとして、氷点下において原基と氷晶の境目に位置する組織が原基への氷晶の伝播を防ぐように9月から12月にかけて発達している可能性が考えられた。

そこで、頂芽の組織構造の発達過程を季節変化に注目して調べるため、カラマツの頂芽の縦断面を光学顕微鏡で観察した。はじめに12月の試料の縦断面を観察したところ、原基の基部に細胞壁の厚い細胞が7層ほど続く組織がみられた。この組織はヨーロッパカラマツでも観察されており、クラウンと呼ばれるものである(Frampton 1960)。さらに、縦断面では、クラウン組織が横上に伸び、お椀のような構造を形成して芽鱗に接続している様子がみられた。この椀状の構造は冬芽を凍結させた際の細胞外氷晶との境目に位置すると考えられることから、この構造が細胞外氷晶の伝播を阻止する可能性が考えられた。一方、9月の試料ではクラウン組織を含む椀状の構造がみられなかった。このことは、実体顕微鏡観察と示差熱分析より推測された、9月の頂芽では12月の頂芽よりも原基に氷晶が侵入しやすい可能性と矛盾しない。さらに、12月の頂芽でみられた椀状の構造中の細胞壁は、原基組織とは異なり、トルイジンブルーによって濃い青い色で染色されていたので、原基の細胞壁とは成分が異なることが示唆された。

以上より、札幌市内に生育するカラマツの頂芽は、9月から12月にかけて頂芽の構造を発達させる過程で、原基の下部に位置するクラウンおよび芽鱗の基部において、氷晶が原基へ伝播するのを防ぐための性質を獲得する可能性が考えられた。

【引用文献】

- Endoh K., Kasuga J., Arakawa K., Ito T., Fujikawa S. (2009) Cryo-scanning electron microscopic study on freezing behaviors of tissue cells in dormant buds of larch (*Larix kaempferi*). *Cryobiology*, 59, 214-222.
- Endoh K., Kuwabara C., Arakawa K., Fujikawa S. (2014) Consideration of the reasons why dormant buds of trees have evolved extraorgan freezing as an adaptation for winter survival. *Environmental and Experimental Botany*, 106, 52-59.
- Frampton C. V. (1960) Some aspects of the developmental anatomy of the 'long' shoot in *Larix decidua* Mill., with particular reference to seasonal periodicity. *New Phytologist*, 59, 175-191.
- Kuprian E., Munkler C., Resnyak A., Zimmermann S., Tuong T. D., Gierlinger N., Müller T., Livingston III D.P., Neuner, G. (2017) Complex bud architecture and cell - specific chemical patterns enable supercooling of *Picea abies* bud primordia. *Plant, Cell & Environment*, 40, 3101-3112.
- 藤本征司 (1978) カラマツの枝条形成に関する研究. 北海道大学農学部 演習林研究報告, 35(1), 1-28.

○小山正登, 佐野雄三 (北大院農)

【緒言】

樹皮は、維管束形成層より外側の全組織と定義されるが、木部と維管束形成層を害菌の侵入から防御する機能を担う組織として重要である。これまで演者らは、ナナカマド (*Sorbus commixta*) の内樹皮で発生するシアン化水素 (HCN) による木材腐朽菌に対する化学的な防御メカニズムを明らかにした¹⁾。一方で、その外側に位置する外樹皮の組織構造による物理的な防御メカニズムについては未解明であった。前報²⁾では、地上高によって樹皮の外観が異なるナナカマドの立木に着目し、地上高別に樹皮組織の解剖学的特徴および樹皮組織への菌糸の侵入状況について観察・比較した結果について報告した。本発表では、特に菌糸体が存在した樹皮の解剖学的特徴について、より詳細に観察した結果について報告する。

【実験方法】

北海道大学札幌研究林 (札幌実験苗畑) に生育する地際部と胸高部では樹皮の外観が異なるナナカマド (DBH=25 cm) を供試木とした。7~10月に、コルク組織表面が粗くささくれ立っている状態の地際部の樹皮組織 (以下、粗面域と記す)、コルク組織表面が平滑な胸高部の樹皮組織 (以下、滑面域と記す)、粗面域と滑面域が混在する地際部~胸高部の中間部分 (地上高約 60 cm) の樹皮組織よりコア (直径 6 mm) または薄板状の試料 (樹軸方向 × 接線方向 = 12 cm × 5 cm) を採取した。また、7月に、北海道大学檜山研究林に生育する胸高部のコルク組織表面が粗い高樹齢のナナカマド天然木 (DBH=33 cm) から胸高部よりコアを採取した。薄板状の試料からは、小片 (最大約 1 cm 角) を切り出した。コアおよび小片をエポキシ樹脂 (Epon 812 または Plain resin) で包埋し、10~15 μm 厚の切片を切削してサフランまたはトルイジンブルーにより染色後、永久プレパラートを作製して、光学顕微鏡で観察した。

【結果および考察】

前報²⁾では、(1) 地際部および中間部における粗面域の外樹皮には、コルク組織および変色した柔細胞群に円状に取り囲まれた師部繊維 (以下、“円状の組織”と記す) がコルク形成層付近から外樹皮の全域にかけて散発的に見られ、その内部に菌糸体が観察されたこと、および円状の組織またはコルク組織と死んだ師部組織が積層したりチドームを形成していたこと、(2) 胸高部および中間部における滑面域の外樹皮は、単一の周皮で構成され、円状の組織やチドームは認められず、外樹皮表面の亀裂や剥離した箇所でのみ菌糸の侵入が見られたこと、(3) 中間部の粗面域および滑面域では、最内のコルク形成層よりすぐ内側の内樹皮にも円状の組織が観察され、その内部には菌糸体は見られないことを報告した。今回、外樹皮において菌糸体が存在した円状の組織に着目してより詳しく調べ、さらに以下のことが分かった。

粗面域の内樹皮外層に点在する円状の組織では、師部繊維の細胞壁は分解されていなかったのに対して、外樹皮の円状の組織では、師部繊維の細胞壁の分解が進んでいた。分解の様子は、(A) 二次壁の大部分が残存、(B) 二次壁の大部分が分解され、複合細胞間層が残存、(C) 二次壁、複合細胞間層ともほぼ分解、の3タイプに大別できた。また、粗面域だけでなく、中間部の滑面域の内樹皮外層および檜山研究林のナナカマドの内樹皮外層にも円状の組織が観察された。よって、ナナカマドでは高齢になるにつれて、内樹皮の外層部において円状の組織が次々と生じることが考えられた。

【引用文献】

- 1) 小山正登 他: ナナカマドの樹皮組織から発生するシアン化水素の検出. 日本木材学会北海道支部講演集第 55 号, pp 27-29 (2023)
- 2) 小山正登, 佐野雄三: 地上高により異なるナナカマド樹皮の解剖学的特徴と同組織における菌糸体の分布. 第 74 回日本木材学会大会要旨集 A14-P-19 (2024)

野生型エノキタケ (*Flammulina velutipes*) における 男性ホルモン分泌促進成分の含有量

○津田真由美, 宜寿次盛生, 東 智則, 米山彰造 (道総研林産試),
望月 淳, 長島浩二 ((株) テクノスルガ・ラボ)

【緒言】

エノキタケ (*Flammulina velutipes*) は、男性ホルモンの一種であるテストステロンの分泌を顕著に促進し、その機能性成分はアデノシンであることが報告されている¹⁻³⁾。男性の性腺機能が低下すると更年期症状が現れることが知られている。男性ホルモンの主たる作用である骨と筋肉の増加・増強作用が減少すると、筋力や筋肉の減少に伴う歩行や起立の困難、寝たきりなどの「ロコモティブシンドローム (運動器症候群)」が誘発される。そのため、これらの症状の予防は超高齢化社会において喫緊の課題の一つとされている。

林産試験場が開発した野生型エノキタケ (エゾユキノシタ) は、市場での根強い需要を背景に、25年以上にわたり生産され、生鮮食品として上市されている。さらに加工食品の原料として活用することができれば、年間を通したきのこ生産と生産者の収入安定化に有効な手段となる。

本研究では野生型エノキタケの林産試験場保有菌株の子実体について、男性ホルモン分泌促進成分であるアデノシンの含量を明らかにした。

【実験方法】

1) 供試菌株および栽培試験

林産試験場保有野生型エノキタケ 42 菌株 (表 1) を栽培試験に供した。

表 1 林産試験場保有 野生型エノキタケ 42 菌株

番号	菌株	栽培用または野生株産地	番号	菌株	栽培用または野生株産地
1	Hfpri-Fv 68-04	東川町	21	Hfpri-Fv 97-02	旭川市中江丹別
2	Hfpri-Fv 75-01	栽培用	22	Hfpri-Fv 97-04	旭川市神楽岡公園
3	Hfpri-Fv 76-07	林産試・根株(樹種不明)	23	Hfpri-Fv 97-05	旭川市中江丹別
4	Hfpri-Fv 78-02	栽培用	24	Hfpri-Fv 97-06	旭川市西神楽
5	Hfpri-Fv 79-01	栽培用	25	Hfpri-Fv 97-07	旭川市未広モクレンの切り株
6	Hfpri-Fv 81-01	林産試裏門道路プラタナス伐根	26	Hfpri-Fv 98-01	旭川市中江丹別
7	Hfpri-Fv 82-01	栽培用	27	Hfpri-Fv 98-03	旭川市高砂台ヤナギ
8	Hfpri-Fv 82-03	旭川市緑町ナナカマド伐根	28	Hfpri-Fv 98-04	旭川市西神楽
9	Hfpri-Fv 84-01	栽培用	29	Hfpri-Fv 98-05	旭川市西神楽
10	Hfpri-Fv 84-02	栽培用	30	Hfpri-Fv 98-06	旭川市西神楽
11	Hfpri-Fv 85-01	朱鞠内	31	Hfpri-Fv 00-01	上川町
12	Hfpri-Fv 86-01	栽培用(長野K-1)	32	Hfpri-Fv 00-02	上川町
13	Hfpri-Fv 86-02	栽培用(愛別種菌センター)	33	Hfpri-Fv 00-03	美瑛町
14	Hfpri-Fv 87-01	旭川市ペイパン	34	Hfpri-Fv 01-02	旭川市牛朱別川
15	Hfpri-Fv 87-02	栽培用	35	Hfpri-Fv 06-01	東川町
16	Hfpri-Fv 89-01	栽培用	36	Hfpri-Fv 07-01	東神楽町
17	Hfpri-Fv 91-02	旭川市西神楽	37	Hfpri-Fv 09-01	旭川市旭神町カバ
18	Hfpri-Fv 92-02	愛別町山林	38	Hfpri-Fv 12-01	豊浦町
19	Hfpri-Fv 92-04	栽培用(ユキノシタ):84-1の 一核菌糸と84-2のダイヤモンド交配株	39	Hfpri-Fv 13-03	西興部村
20	Hfpri-Fv 97-01	旭川市西神楽	40	Hfpri-Fv 13-04	西興部村
			41	E704	栽培用(交配株)
			42	E274	栽培用(交配株)



図 1 野生型エノキタケ
(上) とその市販品 (下)

栽培試験は、林産試験場で通常実施している野生型エノキタケの標準的な栽培方法（カラマツ培地法）のほかに品種登録の「栽培試験」⁴⁾に準じて行った（品種登録法＝スギ培地法）。

カラマツ培地法は、850 mL 容ポリプロピレン（PP）製栽培瓶に 560 g の培地（絶乾重量換算でカラマツおが粉 110 g、米ぬか 100 g、培地水分 62.5%になるように水道水を添加）を充填し、高圧殺菌後、あらかじめ作製したおが粉種菌を接種した。温度 22℃、相対湿度 70%に設定した暗所で栽培瓶全面に菌糸が蔓延するまで培養を行った。菌糸蔓延後、菌掻きを行い、水道水で 2 時間冠水した。子実体発生・生育工程は温度 13℃、相対湿度 90%以上に設定した 12 時間間欠照明下で管理した。瓶を逆置きにして原基形成を確認後、幼子実体が瓶口に届く頃に正置し、瓶ごとに成熟した子実体を収穫、生重量を測定して収量とした。

スギ培地法は、800 mL 容 PP 製栽培瓶に 480 g の培地（絶乾重量換算でスギおが粉 95 g、米ぬか 85 g、培地水分 62.5%になるように水道水を添加）を充填し、殺菌から原基形成確認までの工程はカラマツ培地法と同様に管理した。原基形成後の抑制・生育工程は、温度 7℃、相対湿度 85%に設定した暗所下で、幼子実体が瓶口に届く頃に正置した。子実体が瓶口より 2～3 cm 伸びたら紙巻きを行い、中心部の菌傘が 7～8 分開きで瓶ごとに子実体を収穫、生重量を測定して収量とした。

2) アデノシンの定量

収穫した子実体を各栽培瓶別に凍結乾燥し、ミルで粉砕した。各凍結乾燥粉末 0.25 g に蒸留水 5 mL を添加し、攪拌後、ブロックヒーターを用いて所定温度、所定時間抽出した。抽出液を 12,000 g、20 分間遠心し、得られた上清を 10 mL に定容した後、Amicon Ultra-0.5 遠心式限外ろ過フィルターユニット 3 kDa（メルク社）を用いて精製し、液体クロマトグラフ（LC-10AD、検出器：SPD-10A、島津製作所）に供した。カラムには、InertSustain C18（5 μm, 150 x 4.6 mm I.D.）を使用し、カラム温度は 40℃とした。移動相には、20 mM KH₂PO₄ in H₂O（pH7.0）を使用し、流速 1.0 mL/min、検出波長 UV 260 nm とした。

ピークの確認は、標品との保持時間の比較によって行った。標品を用いて検量線を作成し、外部標準法により抽出物のアデノシン濃度を算出し、子実体乾燥重量に対するアデノシン含量及びアデノシン抽出効率を算出した。

3) 加熱がアデノシン濃度に及ぼす影響

100 μg/mL のアデノシン溶液を 10 mL 容の遠沈管に採取し、ブロックヒーターで 100℃、2 時間加熱した後、2) と同様に HPLC に供し、アデノシン含量を定量した。

4) 乾燥方法がアデノシン抽出効率に与える影響

現行品種およびアデノシンの含量又は生産効率をもとに選抜した 6 菌株の野生型エノキタケについて、乾燥方法がアデノシン抽出効率に与える影響を検討した。各菌株の子実体 50 g を凍結乾燥又は 60℃で 6 時間通風乾燥した後、フードプロセッサーで粉末化し、50℃、2 時間抽出後アデノシンを定量した。通風乾燥した試料の一部は、100℃、10 分加熱後に 50℃、2 時間抽出し、アデノシンを定量した。

【結果および考察】

1) 抽出時間と抽出温度がアデノシン抽出効率に及ぼす影響

42 菌株から交配株 E274 を選び、アデノシン抽出に適した条件を検討した。子実体凍結乾燥粉末を抽出温度 40℃、抽出時間を 30 分から 3 時間に変化させて抽出した場合（図 2A）、抽出効率は 2 時間で最も高くなった。抽出時間を 2 時間とし、20℃から 100℃で抽出すると（図 2B）、抽出効率は抽出温度によって変化し、50℃で最も高くなった。次に、抽出温度 50℃または 60℃について、30 分から 24 時間まで抽出時間を変化させたところ（図 2C）、抽出効率は 60℃よりも 50℃で高かったが、抽出時間を延ばしても抽出効率は上がらなかった。なお、アデノシン溶液は 100℃で 2 時間加熱しても、濃度が減少しないことが確認された。

以上のことから、アデノシンの抽出効率は 50℃で最も高くなり、酵素反応によってアデノシンが生成している可能性が示唆された。

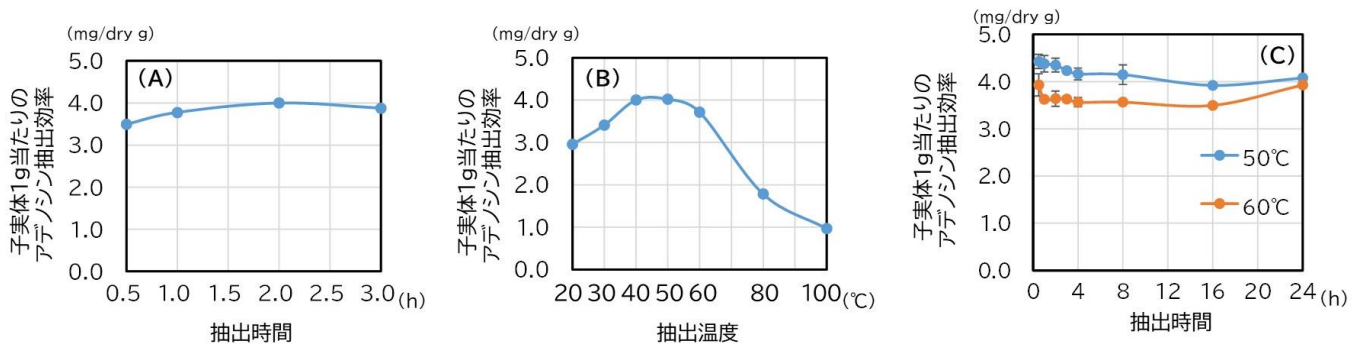


図2 抽出時間と抽出温度がアデノシン抽出効率に及ぼす影響

- (A) 抽出時間とアデノシン抽出効率の関係 (菌株: E274, カラマツ培地, 抽出: 40°C)
- (B) 抽出温度とアデノシン抽出効率の関係 (菌株: E274, カラマツ培地, 抽出: 2h)
- (C) 抽出温度および抽出時間とアデノシン抽出効率の関係 (菌株: E274, カラマツ培地)

2) 各菌株の子実体収量とアデノシン含量

カラマツ培地法で栽培した野生型エノキタケ 42 菌株の子実体収量は 14.7~151.3 g、アデノシン含量は 2.5~6.1 mg/dry g の範囲であった (図 3)。これらの中から、「子実体のアデノシン含量」または「子実体の栽培日数も考慮したアデノシン生産効率」を基準とし、菌株を選抜した (図 4)。81-01 と 97-04 はアデノシン含量がそれぞれ 6.12 ± 0.49 および 6.00 ± 0.27 mg/dry g と高かったが、子実体収量が 18.6 ± 4.5 および 14.7 ± 6.3 と少なかった。一方、92-04 (1.09 ± 0.05 mg/瓶・日) よりも生産効率が高い菌株として、6 菌株 (12-01, 82-03, 84-01, 86-01, 86-02, 97-06 : $1.33 \sim 1.81$ mg/瓶・日) が見いだされた。

3) 栽培方法がアデノシン含量に及ぼす影響

選抜菌株において、カラマツ培地およびスギ培地で得られた子実体のアデノシン含量には正の相関が示唆されたことから (図 5)、アデノシン含量は菌株に特異的と考えられた。

次に、部位別のアデノシン含量を検討するため、子実体を傘と柄に分け凍結乾燥後、アデノシン

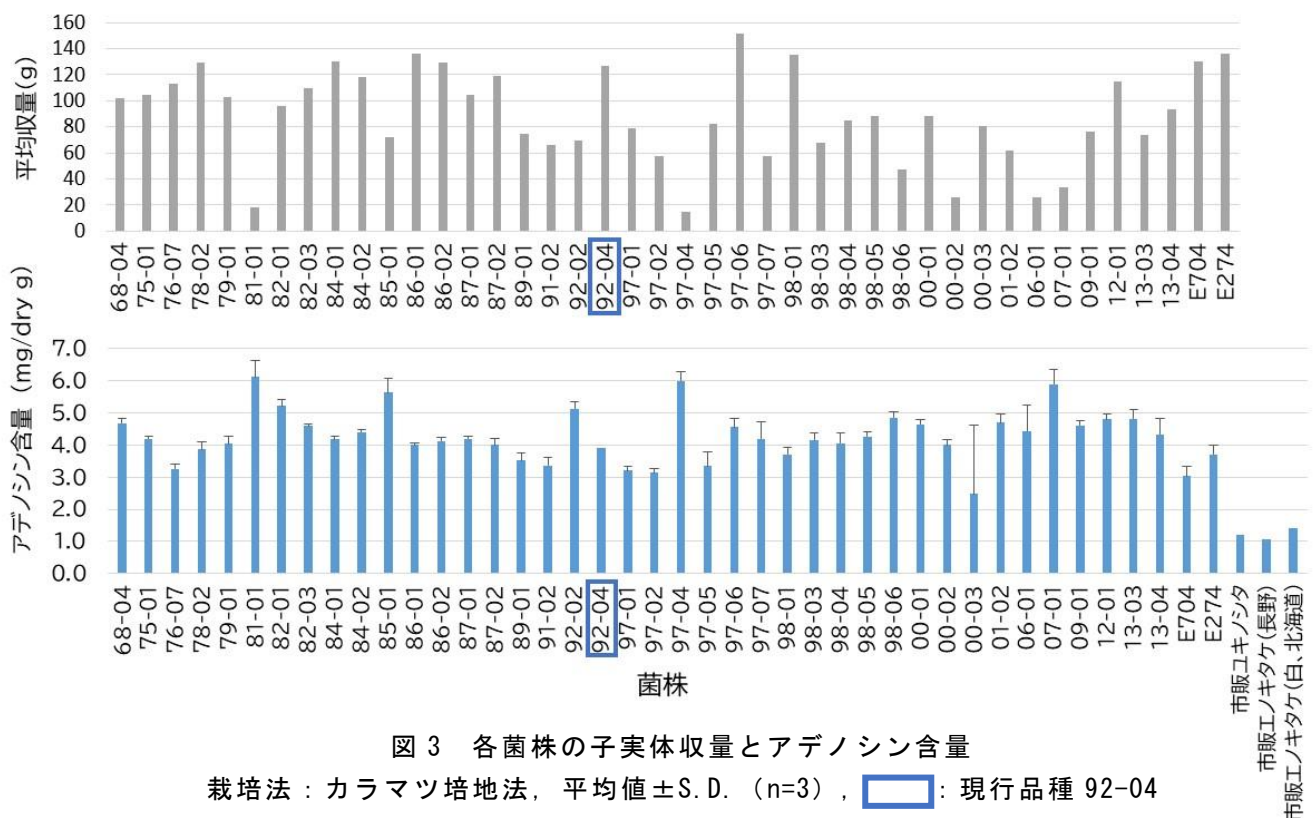


図3 各菌株の子実体収量とアデノシン含量

栽培法: カラマツ培地法, 平均値±S.D. (n=3), 92-04: 現行品種 92-04

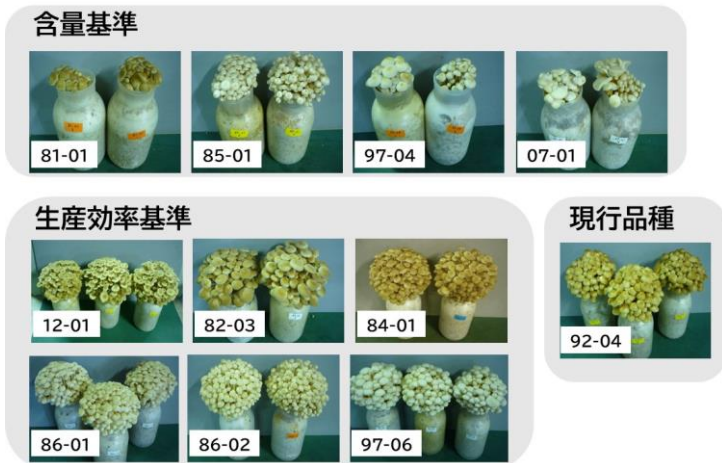


図 4 現行品種とアデノシンの含量および生産効率選抜品種（カラマツ培地法）

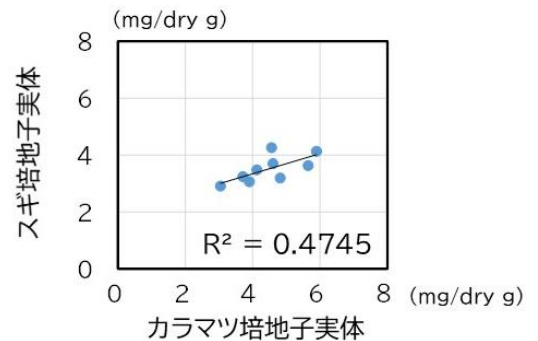


図 5 培地基材とアデノシン含量の相関

含量を測定した（図 6）。傘のアデノシン含量は、柄の 2.1～3.3 倍を示した。これらのことから、アデノシン含量を高めるためには、紙巻き工程を省き、傘を成長させる栽培方法が適していると考えられた。

4) 乾燥方法と抽出温度がアデノシン抽出効率に及ぼす影響

アデノシンの抽出効率を高める加工方法として、乾燥方法を検討した（表 2）。通風乾燥は、凍結乾燥に比べ、アデノシンが 2～3 倍に増加した。通風乾燥後に 100℃、10 分加熱した試料では、このような増加は見られなかった。これらのことから、60℃の通風乾燥の間に RNA が分解されてアデノシン生成の基となる AMP（アデノシンーリン酸）が生成され、その後の 50℃での抽出によって脱リン酸化酵素が働き、アデノシンへ変換されたと考えられた。

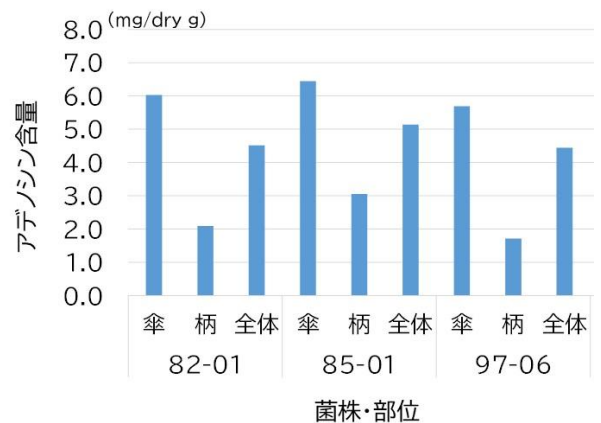


図 6 傘および柄のアデノシン含量（カラマツ培地法）

【参考文献】

- 1) 株式会社テクノスルガ・ラボ, テストステロン分泌促進用組物, 特開 2018-193345, 2018-12-6.
- 2) 株式会社テクノスルガ・ラボ, 男性ホルモン分泌促進用組成物, 特開 2020-80857, 2020-6-4.
- 3) Iguchi, K, Nagashima, K, Mochizuki, J, Yamamoto, H, Unno, K, Miyoshi, N: Enokitake Mushroom and Its Active Component, Adenosine, Which Restores Testosterone Production in Impaired and Fatigued Mouse Models, *Nutrients*, **15**, 2142-2155 (2023) <https://doi.org/10.3390/nu15092142>
- 4) 農林水産省品種登録ホームページ 農林水産植物種類別審査基準 えのきたけ種 <http://www.hinshu2.maff.go.jp/info/sinsakijun/kijun/1287.pdf>

表 2 乾燥方法と抽出温度がアデノシン抽出効率に及ぼす影響

菌株 (カラマツ培地法)	アデノシン抽出効率(mg/dry g)		
	凍結乾燥 50℃, 2h抽出	通風乾燥 50℃, 2h抽出	通風乾燥 100℃, 10min- 50℃, 2h抽出
	現行品種 92-04	3.90	12.19
含量基準 07-01	5.89	14.55	6.66
含量基準 85-01	5.64	14.61	6.43
生産効率基準 12-01	4.81	16.64	5.99
82-01	5.21	14.70	5.52
82-03	4.60	13.38	6.30
97-06	4.55	13.57	4.45

○永井 杜明, 玉井 裕, 幸田 圭一 (北大院農)

【緒言】

シイタケの菌床栽培にはミズナラ、シラカンバなどの広葉樹のおが粉が使用される。しかし、供給不足や価格上昇から、安価な針葉樹材の利用が模索されている。しかし、カラマツなど針葉樹おが粉による栽培では広葉樹と比較して収量が減少する点に留意する必要がある。そこで本研究ではシイタケ廃菌床を培地基材として混合することによるカラマツ培地の利用性の改善を試みた。

【実験方法】

培養試験：一般的な組成のシイタケ廃菌床を、乾燥後、粉碎して用いた。

培地基材としてカラマツおが粉、ミズナラおが粉、廃菌床（いずれも 10 mesh 通過画分）を使用し、培地基材に対し重量比 3:1 の割合で栄養体を添加した後、含水率を 60% に調整した。

カラマツのみからなる培地、廃菌床のみからなる培地、及びカラマツと廃菌床との混合比率を重量比 3:1、1:1、1:3 に設定した混合培地を用意した。90 mm シャーレに培地 20 g を詰め、滅菌後、PDA 培地上の種菌を接種し、20°C、暗所で菌糸伸長試験を行った。培養 20 日間で、菌糸伸長量、菌叢の色調を観察し、培養所見が良好であった混合比率の試験区について、次の栽培試験を行った。

栽培試験：カラマツのみ、カラマツと廃菌床の混合物、カラマツとミズナラの混合物、ミズナラのみ、ミズナラと廃菌床の混合物からなる 5 種類の培地を用意した。培地基材の混合比率はいずれも重量比で 3:1 に設定した。栽培袋に培地 1 kg を詰め、滅菌し種菌を接種後、23°C、暗所で 60 日間、その後 23°C、明所で 30 日間培養し、20°C、湿度 95% の明所にて子実体を発生させた。菌糸蔓延日数、褐変の進行状況、収穫した子実体重量と傘直径を記録した。

成分分析：栽培試験前後の培地を粉碎し 60 mesh 通過画分を得た後、エタノール-トルエン混液 (2.3:1, v/v) でソックスレー抽出器により還流条件下で 16 時間脱脂した。次にクラウンソン法およびワイズ法を用いてリグニン、ホロセルロースを定量した。

【結果および考察】

培養試験において、カラマツ 3 : 廃菌床 1 の混合培地については、菌糸伸長量、菌叢の厚さ共にカラマツおが粉のみの培地と同等であったが、他の条件では菌糸伸長は認められなかった。そこでカラマツ 3 : 廃菌床 1 の混合培地について、栽培試験を行うこととした。

栽培試験において、菌糸蔓延日数はカラマツを主体とする培地が少なく、褐変についても同様にカラマツを主体とする培地で早く進行する傾向があった。カラマツを主体とする培地では、廃菌床、ミズナラおが粉の添加による子実体の増収傾向があった。廃菌床の混合により、傘径が大型化する傾向があり、一方でミズナラを主体とする培地では、廃菌床を混合することで、子実体の収量が減少した。

各培地で培養前のリグニン量と培養後のリグニン量の差をリグニンの減少量として求めた。ホロセルロースについても同様に減少量を求めた。ミズナラを主体とする培地で廃菌床混合培地と非混合培地とを比較すると、後者がリグニン、ホロセルロースいずれにおいても減少量が大きかった。この実験事実は、主にホロセルロースの変換によって子実体が形成されると考えると、廃菌床の混合により子実体の収量が減少した結果と照応する。他方、カラマツを主体とする培地では、廃菌床混合培地、非混合培地の両方でリグニン、ホロセルロース減少量は同等であった。この実験事実は、廃菌床の混合による増収傾向と照応しない。栽培中のホロセルロース量の減少が子実体発生のみ起因しないことを考えると、カラマツ主体の培地における廃菌床の混合は、ホロセルロースの子実体形成への効率的な利用を促し、子実体の増収に寄与している可能性がある。

○窪田慎太郎, 玉井 裕, 幸田 圭一(北大院農)

【背景】

北海道においてアミガサタケ属菌 (*Morchella* spp.) は春にバラ科植物、カツラ、イチヨウなどの樹下に発生する。優秀な食用菌として、主に欧米や中国において好んで食されている。これまで栽培が検討され、近年中国で ENB(Exogenous Nutrient Bag)を用いた屋外での栽培が確立されつつあり、日本でも岩手県林業技術センターが中国で栽培に成功した菌株と近縁の日本産菌株 (*Mel-21* 系統)での子実体発生に成功した。しかし連作障害や天候不良などにより収量が不安定であり、屋内での安定した栽培方法が検討されている。本研究は北海道産アミガサタケ属菌の室内栽培化を目指し、道内において収集した菌株の遺伝的解析及び屋内栽培に向けた種々の検討を行った。

【材料と方法】

供試菌株：北海道内 15 か所より 60 系統の黒色系アミガサタケ属菌子実体を収集し、組織、または多孢子分離後、MYG 培地において継代培養により保存した。**遺伝的解析**：子実体組織及び分離菌株の菌叢からテンプレート DNA を抽出し、PCR 増幅に供した。系統解析には ITS, LSU, RPB1, 2, TEF1、交配型解析には MAT1-1, 1-2(交配型遺伝子)領域を使用した。**培養試験**：両交配型を確認できた菌株のうち、*EN01*, *EN02* 株を使用した。基本培地には押麦培地(押麦 49%+カラマツ木粉 32%+小麦ふすま 18%+木灰 1%：含水率 50%)を使用した。基本培地に炭またはサクラ落葉粉砕物を培地重量に対し 5%添加し、基本培地に MYG 液体培地で 2 週間培養した菌体を接種し、室温暗所で 1 ヶ月培養した。**栽培試験**：両交配型を確認できた 11 株のうち 2023 年に収集した 8 株を使用した。前述した試験と同様に培養を行った菌床を栽培袋から取り出し、プランター中央部に設置した。その後黒土で菌床上部から 3~5 cm まで覆土を行い、室温 14~17℃、湿度 70%で培養した。その後菌糸が土壌表面に現れた時に浸水処理を 24 時間行った。その後 ENB(基本培地と同様の組成)を設置し(図 1A)、室温 10~14℃、湿度 90%の条件下で分生子や原基、子実体発生を誘導した。

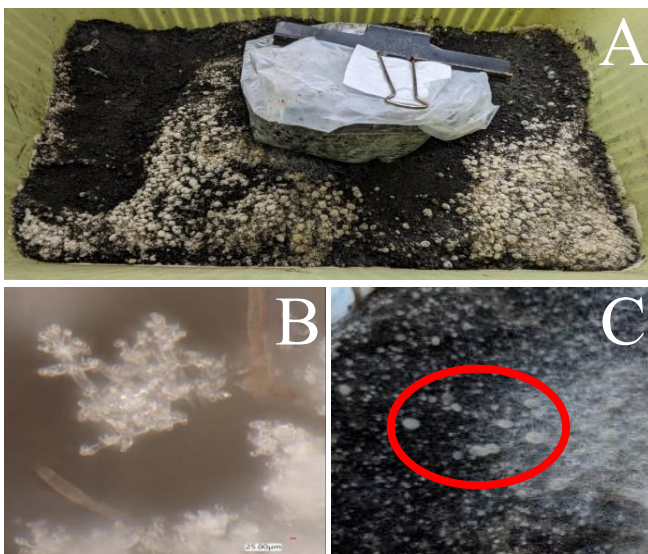


図 1 *EN01* 株接種区に発生した分生子と原基
A: 表面に発生した分生子マット(中央に ENB) B:A から採取した分生子
C: 発生した原基

【結果と考察】

遺伝的解析：組織分離で 44 株、多孢子分離で 38 株の計 82 株を得た。その中で 2 種類の交配型を有する菌株は組織分離 7 株、多孢子分離 4 株であった。系統解析の結果、*EN01* 株は既に報告されている系統のいずれとも近縁性は認められなかった。**培養試験**：炭添加区で菌周り日数の短縮が認められた。また、サクラ落葉添加区では無添加区や炭添加区に比べ菌床表面に菌核が多量に確認された。**栽培試験**：供試株のうち、*EN01*, *EN02* 株については分生子形成、*EN01* 株については原基形成に成功した(図 1B,C)。その後現時点において、原基から子実体形成には至っていない。今後子実体への誘導方法をさらに検討する必要がある。

○渋川凜太郎, 玉井 裕, 幸田圭一 (北大院農)

【緒言】

食用きのこ栽培には培地基材として主に広葉樹のおが粉が適するとされているが、供給不足や価格高騰などにより代替材が模索されている。針葉樹おが粉への転換が検討されているが、シイタケやマイタケでは、減収するなどの理由により利用は進んでいない。本研究では北海道内において豊富な蓄積が在りながらこれまであまり利用されることのなかったササ類を、培地基材として利用する可能性について検討した。

【実験方法】

供試菌としてマイタケ、シイタケを用いた。まずマイタケにおいてはカラマツ培地に対しクマイザサ葉粉砕物を5~20%添加した栽培試験、シイタケに関してはカラマツ培地基材をチシマザサで25~100%置換して菌糸伸長試験を行った(反復数5)。その結果を基に最適な添加率、置換率を決定し、栽培試験を行った。それぞれカラマツ培地をネガティブコントロール、ミズナラ培地をポジティブコントロールとし、マイタケ栽培ではカラマツ培地に対して5%重量のクマイザサ葉を添加した試験区を設けた。シイタケ栽培では培地基材の代替材としてチシマザサ稈を用いた。培地基材の50%をチシマザサで置換した試験区、チシマザサのみで基材を構成した試験区を設け、含水率65%、1kg詰め、反復数10で栽培試験を行った。

【結果及び考察】

マイタケの一度目の栽培試験では5%添加での収量が多く、シイタケではチシマザサを用いた培地での菌糸成長の抑制は見られなかった。

反復数と観察項目を増やしたマイタケの二度目の栽培試験(表1)では、カラマツを基材とし

表1. マイタケ×クマイザサ葉部栽培試験結果

	収穫日数	収量(g)	BE(%)	傘広さ(mm)	傘厚さ(mm)
ミズナラ	62.7±0.7 b	185.6±30.4 b	53.0±8.7 b	28.1±7.6 a	2.7±1.0 b
カラマツ	84.2±1.5 a	84.2±12.6 a	21.5±3.6 a	31.4±7.6 a	3.7±1.1 a
5%添加	84.7±2.9 a	121.5±11.9 c	32.3±4.1 c	40.3±11.9 b	4.2±1.3 b

た培地において収穫までの日数が長く、クマイザサの添加効果も見られなかった一方で、収量に関してはクマイザサ葉を添加した試験区はミズナラ培地に対しては劣るもののカラマツ培地に対しては収量が有意に増加した。培地重量に対する子実体収量の比であるBE(Biological Efficiency)も有意に増加した。また、形状で比較すると有意に傘が広くなり、より肉厚になる傾向が見られた。

シイタケの栽培試験ではチシマザサを用いた試験区において菌回り日数が長くなった。収量に有意な差は見られなかったが、培地あたりの最大収量を見ると、チシマザサ単体の培地が最大であった。子実体の発生個数に関して有意差は見られなかった。菌回

表2. シイタケ×チシマザサ稈部の栽培試験結果

	菌回り日数	収量(g)	最大収量(g)
ミズナラ	22.4±0.8 a	237.6±61.5 a	344.0
カラマツ	22.6±1.7 a	205.9±27.0 a	234.5
チシマザサ	31.0±0 b	165.1±78.9 a	349.2
ミズナラ+チシマザサ	27.6±3.7 bd	171.0±63.5 a	226.4
カラマツ+チシマザサ	26.9±2.7 cd	212.1±56.9 a	284.2

りの結果から、菌糸成長阻害物質が影響した可能性、あるいは培地の水分過剰による酸素含有率低下に伴う伸長阻害が示唆されるため、阻害成分除去(抽出、洗浄)や含水率の調整などを検討中である。

○袴田理央、幸田圭一、玉井 裕(北大院農)

【緒言】

Termitomyces 属には優秀な食用菌が含まれ、アジアやアフリカで食用とされてきた。日本では、南西諸島に生息する。小林ら (2022) は日本国内では *T. intermedius* (オオシロアリタケ) および *T. fragilis* の2種が生息するとしている。*Termitomyces* 属菌は、キノコシロアリと共生する菌で、国内種は、タイワンシロアリ (*Odontotermes formosanus*) と共生する。*Termitomyces* 属菌は地下に fungus comb と呼ばれるボール状の構造を作り、その随所に、粒状の fungal nodule と呼ばれる菌糸塊を作る。fungus comb はシロアリの棲み処であり、fungal nodule は働きアリの餌となる。特に fungal nodule はシロアリのセルロースやリグニンの間接的な代謝に寄与していると考えられている。*Termitomyces* 属菌の木質培地における培養事例は少ない。Tharavecharak ら (2023) は *Termitomyces* spp. 5 株について広葉樹おが粉、ピートモス、樹皮における菌糸成長速度を計測し、樹皮米ぬか培地の菌糸成長速度が最も高いとしている。また、小野 (2013) は5菌株についてヒノキ、スギ、アカマツ、ブナの JIS K 1571-2010 の材腐朽試験を行い、ヒノキとスギの心材について、2 菌株で質量減少率が、対象区のカワラタケ、オオウズラタケと同程度である一方、ブナではすべての菌株で質量減少率が低くなることを示した。

本研究では、*Termitomyces* 属菌の栽培化に向け、有用系統の選抜及び、木質培地の適性について検討した。

【実験方法】

供試菌：基礎生物学研究所 IBBP センターより分与された *Termitomyces* spp. 63 株を用いた。保存菌株の生存確認：1/2PDA 培地にサンプルを接種し、冷凍保存菌株の生存を確認した。寒天培地上の培養特性：1/2 PDA 培地及び酒粕培地 (酒粕 24 g、寒天 15 g、水 1000 mL) の2種の培地を用いた。木質培地における成長特性：培地基材に 10 メッシュ通過画分のカラマツ、ミズナラ、バーク堆肥を用いた。各培地基材と米ぬかを絶乾重量比 5 : 1 で混合し、含水率 65%とした。90 mm シャーレに培地を充填し、120°Cで 60 分間高圧蒸気滅菌を行った。

【結果および考察】

生存確認：63 株中、57 株が生きていた。寒天培地上の培養特性：結果は図 1 に示す通り、菌糸成長は 15 株で 1/2 PDA 培地のほうが速く、2 株で酒粕培地のほうが速く、残りの 18 株では菌糸成長速度は同程度であった。また、菌叢の様子は同心円状のもの、枝分かれ状のもの、密なものが観察され、枝分かれ状のものと密なものには nodule 様構造が認められた(図 2)。木質培地における成長特性：菌糸成長速度上位の 6 菌株 (No. 13, 57, 75, 107, 113, 119) を用いて木質培地の培養適性を検討した。培養 8 日時点で、カラマツ、ミズナラおよびバーク堆肥を基質とした培地上で発菌が見られた

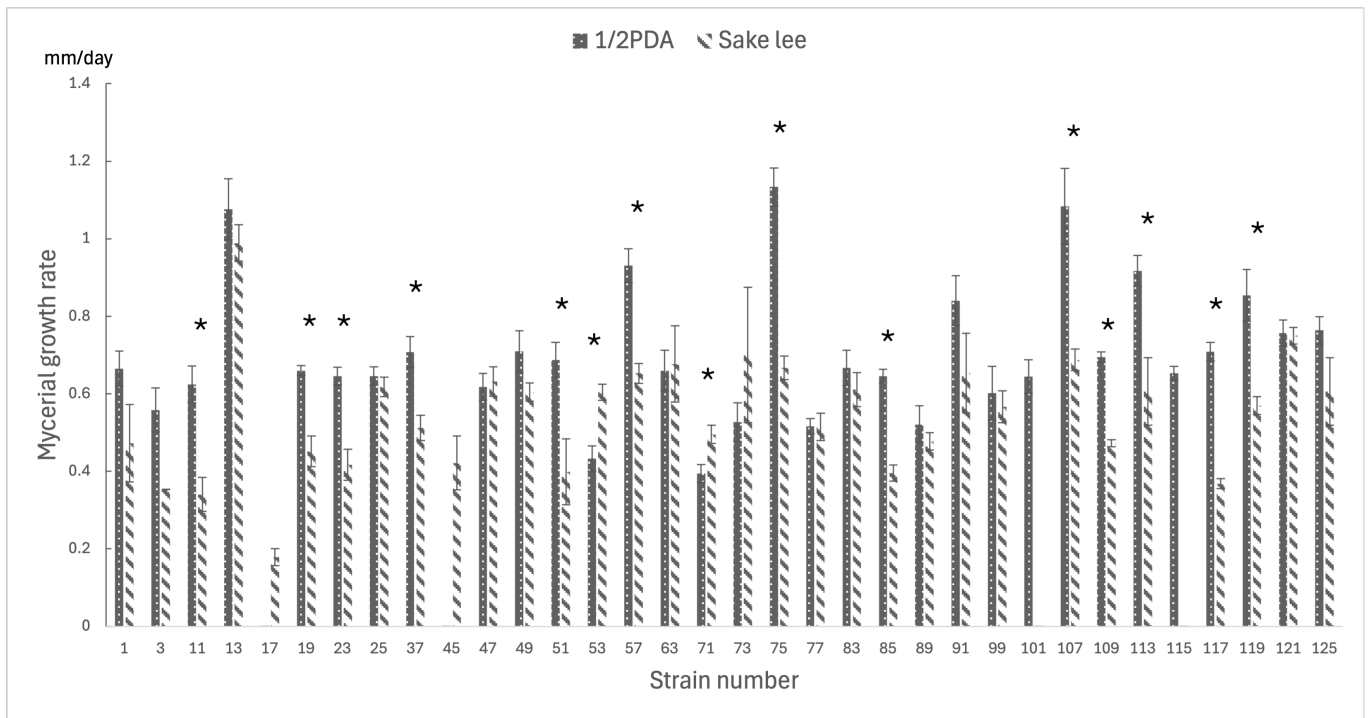


図 1. 1/2 PDA 培地と酒粕培地における *Termitomyces spp.* の菌糸成長速度

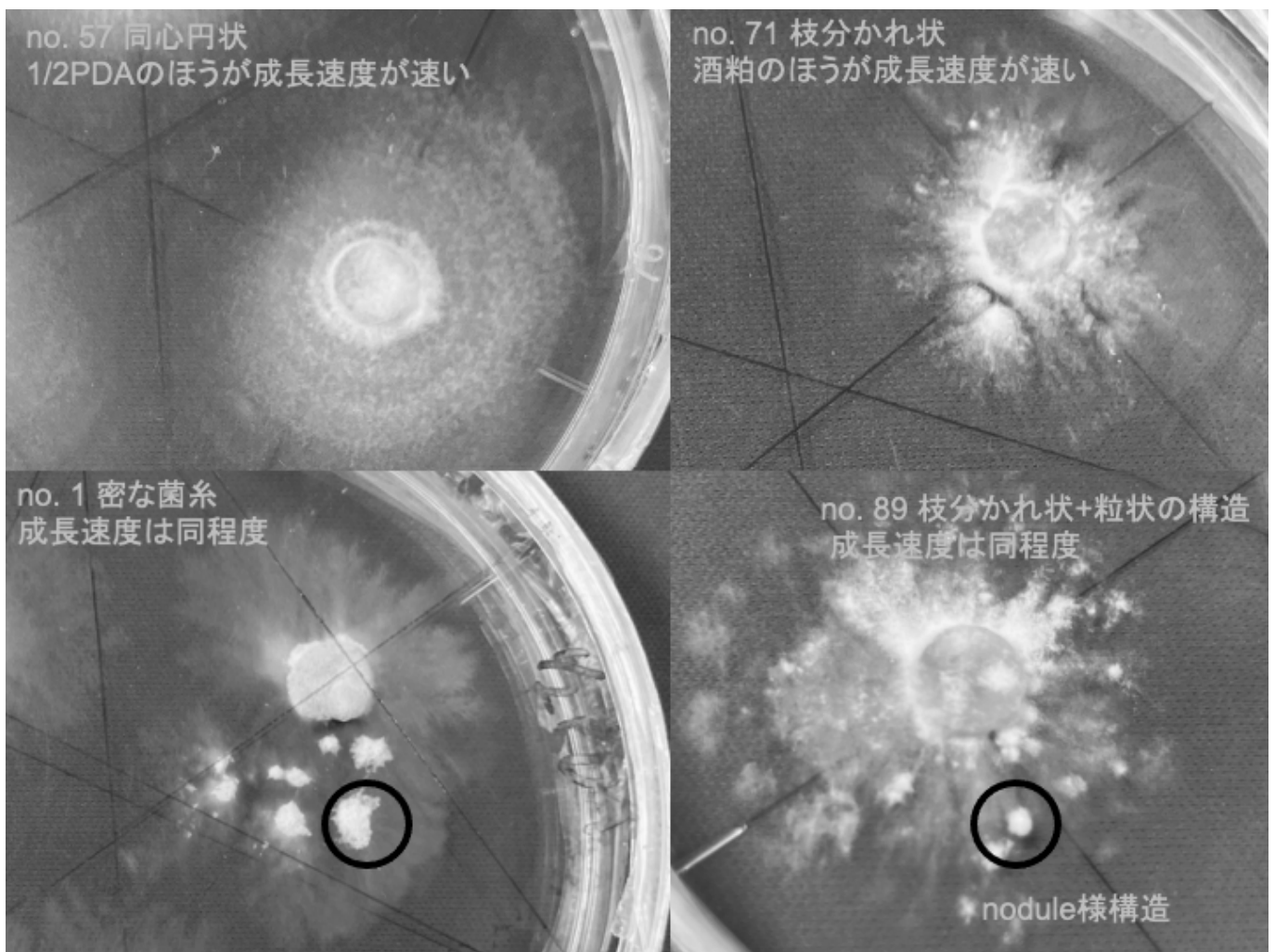


図 2. 寒天培地表面の形態

日本木材学会 北海道支部講演集 第56号

令和6年11月6日 発行

編集人 荒川 圭太, 中村 神衣, 戸田 守一

発行人 松本 和茂

発行所 日本木材学会 北海道支部

〒060-8589 札幌市北区北9条西9丁目

北海道大学農学部内
