

日本木材学会

北海道支部講演集

第 49 号

平成 29 年 11 月

日本木材学会北海道支部

旭 川

日本木材学会北海道支部講演集

第49号

目次

<口頭発表> 13:10-15:00

- 0-1) マイタケ「大雪華の舞1号」の脂質代謝改善効果—動物およびヒト臨床試験による実証— 1
○佐藤真由美, 東 智則, 米山彰造 (道総研林産試), 韓圭鎬, 得字圭彦, 島田謙一郎, 木下幹朗,
福島道広 (帯畜大・食品科学), 田中藍子, 西平 順 (北海道情報大・医療情報)
- 0-2) リグニン形成におけるヘミセルロースの機能…………… 5
○古川貴大 (北大院農), 吉永 新, 高部圭司 (京大院農), 松尾朱実 (北大農), 玉井 裕,
幸田圭一, 浦木康光 (北大院農)
- 0-3) 「バイオトイレ」と「新浄化装置」を活用した環境改善技術…………… 6
○大黒香那, 橘井敏弘, 佐藤仁俊, 婁地伸治, 大泉まどか (正和電工株式会社)
- 0-4) 木質バイオマスの飼料化に関する研究 (I) —トドマツの蒸煮による成分変化— …… 9
○檜山 亮, 折橋 健 (道総研林産試)
- 0-5) 木質系蒸煮飼料普及への挑戦 ~キャトルエースの価値と可能性~…………… 12
中井真太郎 (株式会社エース・クリーン)
- 0-6) 地域材を用いたトドマツ圧縮材の利用事例…………… 15
○澤田哲則, 清水光弘 (道総研林産試), 山崎康弘 (松原産業株式会社)
- 0-7) 縦列釘打ち面材耐力壁のせん断耐力…………… 18
平井卓郎 ((一社)北海道建築技術協会)
- 座長: 0-1, 2 重富顕吾 (北大院農) 0-3~5 関 一人 (道総研林産試) 0-6, 7 中嶌 厚 (道総研林産試)

<展示発表> 15:00-16:00

- P-1) ヨーロッパトウヒ培養細胞中に観察された仮道管様の細胞…………… 22
○鎌田 裕, 荒川圭太, 佐野雄三, 山岸祐介 (北大院農)
- P-2) 多芽体形成を目的とした広葉樹3種の組織培養…………… 24
○玉木健也 (北大農), 佐野雄三, 荒川圭太, 山岸祐介 (北大院農)

P-3) カツラ樹皮に存在する氷核活性物質に関する研究	26
○鉄穴口晃, 鈴木伸吾, 荒川圭太 (北大院農)	
P-4) セルロースナノファイバー添加リグニンポリエステルフィルムの物性評価	29
○平良尚梧, 栗原 誠 (北大農), 幸田圭一, 浦木康光 (北大院農)	
P-5) 白色腐朽菌による低分子芳香族資化に関する研究	30
○永井翔龍 (北大農), 重富顕吾, 生方 信 (北大院農)	
P-6) 北海道産きのこの食味評価	32
○高田絵里, 三谷朋宏, 玉井 裕, 宮本敏澄 (北大農)	
P-7) トキイロヒラタケの子実体生長に及ぼす光照射の影響	36
○横山貴史, 玉井 裕, 宮本敏澄 (北大院農), 東 智則 (道総研林産試)	
P-8) 道産 CLT の面外せん断強度の評価方法について	40
○川合慶拓, 小泉章夫, 澤田 圭, 佐々木義久 (北大院農)	
P-9) カラマツ CLT の面外曲げクリープ性能の評価法の検討	44
○高梨隆也, 大橋義徳, 石原 亘, 松本和茂 (道総研林産試)	
P-10) “現し”仕様を想定した道産カラマツ CLT の試作	48
○石原 亘, 宮崎淳子, 大橋義徳, 松本和茂 (道総研林産試)	
P-11) 道産 CLT を用いた鋼板添え板ボルト接合のせん断性能評価	51
○富高亮介, 戸田正彦 (道総研林産試), 植松武是 (北海学園大建築学科)	
P-12) 浸透性の高い木材保存剤で処理したカラマツ単板を用いた LVL の防腐性能	55
○宮内輝久, 古田直之, 宮崎淳子, 大橋義徳 (道総研林産試)	
P-13) 道産針葉樹材の病院内装材への活用に向けた検討	59
○川等恒治, 佐藤真由美, 松本久美子, 平林 靖, 北橋善範 (道総研林産試)	
P-14) 木質バイオマス燃焼灰の活用に向けた検討	61
○折橋 健, 西宮耕栄, 山田 敦, 安久津久 (道総研林産試)	

マイタケ「大雪華の舞1号」の脂質代謝改善効果 —動物およびヒト臨床試験による実証—

○佐藤真由美, 東 智則, 米山彰造 (道総研・林産試験場)
韓圭鎬, 得字圭彦, 島田謙一郎, 木下幹朗, 福島道広 (帯畜大・食品科学)
田中藍子, 西平 順 (北海道情報大・医療情報)

1. 緒言

林産試験場が開発したマイタケ「大雪華の舞1号」は、広葉樹の培地基材を30%までカラマツで置換しても収量が減少せず、歯ごたえがよいことを特徴とするマイタケである¹⁾。また、本品種は従来品種に比べ、食物繊維や免疫増強効果が知られるβ-グルカンが多く含まれている²⁾。

演者らはこれまでの研究において、コレステロールと本品種を摂食したマウスのコレステロール低下作用を確認している³⁾。

本研究では、高脂肪食投与ラットに対するマイタケ「大雪華の舞1号」の脂質代謝改善効果を検証した。また、食物繊維を主成分とする抽出残渣画分を「大雪華の舞1号」から調製し、マイタケと脂質代謝改善効果を比較した。さらに、「大雪華の舞1号」の8週間継続摂取ヒト臨床試験を実施し、その効果を明らかにしたので報告する。

2. 実験方法

2.1 栽培および試料調製

「大雪華の舞1号」をカンバ培地 (VB) および30%カラマツ置換培地 (VL) で、従来品種をカンバ培地 (MB) で栽培した¹⁾。収穫後の子実体を加熱処理後に凍結乾燥粉末とした。

2.2 動物実験

2.2.1 高脂肪食摂取ラットに対する「大雪華の舞1号」の脂質代謝改善効果の評価

20%脂肪を添加した AIN-93G 基準食を調製し、コントロール群には食物繊維として5%セルロースを添加した。一方、マイタケ添加群として、食物繊維の割合が5%になるように、MB、VB または VL の粉末を添加した飼料を調製した (表1)。これらの食餌を8週齢の F344 系雄ラットに4週間自由摂取で与え、室温 23±1℃、湿度 60±5%、明暗周期 12 時間で飼育した。飼育期間中には飼料摂取量、体重、血中脂質濃度および糞便排泄量を測定し、動物実験終了時には脂肪組織重量、肝臓重量を測定した。

また、採取した肝臓から RNA を抽出し、遺伝子発現量を RT2 Profiler PCR Array (QIAGEN) を用いて定量した。

2.2.2 「大雪華の舞1号」分画物の脂質代謝改善効果の評価

2.1 で調製した「大雪華の舞1号」(VL) の粉末を熱水抽出後、遠心分離し、熱水抽出物と熱水抽出残渣を得た。熱水抽出残渣をさらにエタノール抽出し、ろ過後得られた残渣を 60℃ で乾燥し、残渣画分とした。AIN-93G 基準食を調製し、コントロール群には5%セルロースを添加した。一方、マイタケ添加群および残渣画分添加群には、食

表1 飼料組成

成分 (g/10 kg)	コントロール (C)群	MB群	VB群	VL群
カゼイン	2000	1729.2	1767.8	1778.3
L-シスチン	30	30	30	30
大豆油	700	642.7	636.6	630.1
ラード	1300	1300	1300	1300
ミネラル (AIN-93G)	350	350	350	350
ビタミン (AIN-93G)	100	100	100	100
重酒石酸コリン	25	25	25	25
第3ダイブチルヒドロキノン	0.4	0.4	0.4	0.4
シュクロース	1000	1000	1000	1000
セルロース	500	0	0	0
従来品種 (MB)	0	1193	0	0
大雪華の舞1号 (VB)	0	0	1075	0
大雪華の舞1号 (VL)	0	0	0	1092
α-コーンスターチ	1320	1320	1320	1320
コーンスターチ	2674.6	2309.7	2395.2	2374.2
合計	10000	10000	10000	10000

MB: 従来品種, カンバ, VB: 大雪華の舞1号, カンバ, VL: 大雪華の舞1号, カラマツ30%置換.

物繊維の割合が5%になるように、VL または残渣画分の粉末を添加し（表2）、2.2.1と同様に動物実験に供した。

2.3 ヒト臨床試験による脂質代謝改善作用および抗動脈硬化作用の実証

「大雪華の舞1号」の脂質代謝改善作用および抗動脈硬化作用を評価することを目的とした、プラセボ対照二重盲検並行群間比較試験を実施した。

被験食として、「大雪華の舞1号」を加熱処理後に粉末化し、錠剤化した「大雪華の舞1号」錠剤およびデキストリンに着色し、見た目をマイタケの錠剤に似せた、プラセボ錠剤を作成した。

動脈硬化指数（LDL-コレステロール/HDL-コレステロール）が2.0以上の35歳以上70歳未満の男女50名を25名ずつ、「大雪華の舞1号」摂取群（「大雪華の舞1号」加熱粉末: 6.825 g/日摂取、生のマイタケ換算: 1日約70 g摂取）とプラセボ摂取群（デキストリン: 4.775 g/日）の2群に分け、各錠剤を8週間継続摂取させた（図1）。錠剤摂取開始前および摂取開始4、8週後に問診、身体測定（体重、BMI、体脂肪率）、バイタルチェック（来所時血圧、脈拍数、体温）、血液検査等を行い、血中脂質濃度や動脈硬化指数の測定を行った。

表2 飼料組成

成分 (g/10 kg)	コントロール	マイタケ	残渣画分
カゼイン	2000	1812	1947
L-システイン	30	30	30
大豆油	700	645.2	681.9
ミネラル(AIN-93G)	350	350	350
ビタミン(AIN-93G)	100	100	100
重酒石酸コリン	25	25	25
第3ダイブチルヒドロキノン	0.14	0.14	0.14
シュクロース	1000	1000	1000
セルロース	500	0	0
大雪華の舞1号	0	1191	0
大雪華の舞1号抽出残渣	0	0	623.4
α-コーンスターチ	1320	1320	1320
コーンスターチ	3980	3527	3923
合計	10000	10000	10000

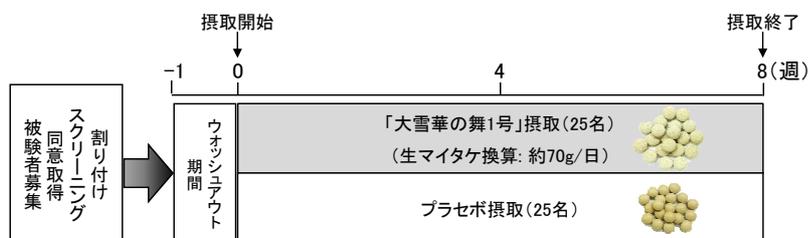


図1 ヒト臨床試験の概要

3. 結果および考察

3.1 高脂肪食摂取ラットに対する「大雪華の舞1号」の脂質代謝改善効果

ラットの血中HDL-コレステロールと非HDL-コレステロール濃度および動脈硬化指数を図2に示す。HDL-コレステロール濃度は、各群に差が認められなかった。一方、非HDL-コレステロール濃度は、コントロール群に比べ、各マイタケ摂取群で低い傾向であった。その結果、各マイタケ摂取群の動脈硬化指数はコントロール群に比べ、有意に低かった。

肝臓ではコレステロールから胆汁酸の生合成を触媒するCYP7A1 (cholesterol 7a-hydroxylase)の発

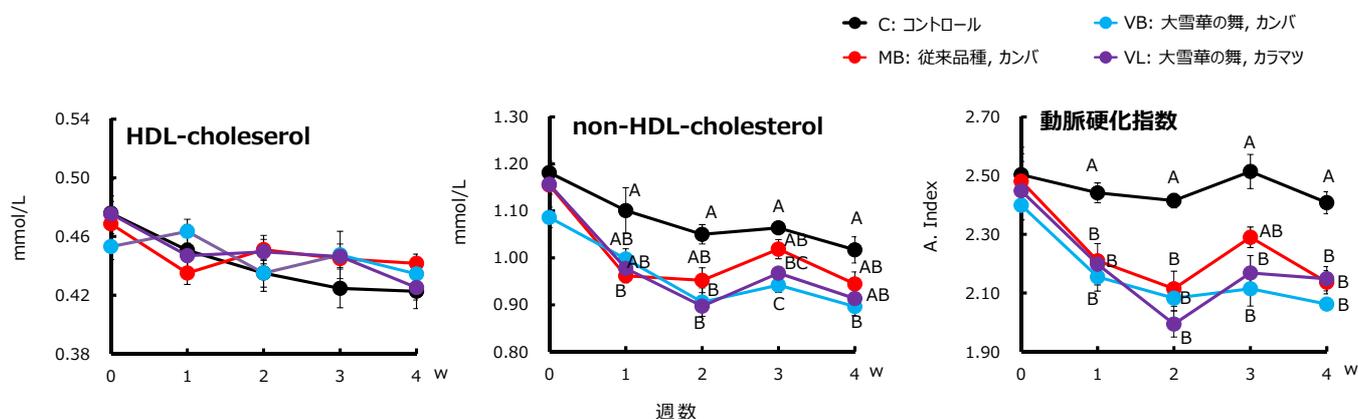


図2 血中脂質濃度に対するマイタケ摂取の効果

現上昇が見られた。さらに、血中コレステロール濃度低下作用のメカニズムとして、Srebf1 (sterol regulatory element binding transcription factor 1) の発現上昇により LDL レセプターが誘導され、血中から肝臓へのコレステロールの取り込みが増えることにより、血中コレステロール量が抑制されていることが示唆された。

3.2 「大雪華の舞 1 号」分画物の脂質代謝改善効果

マイタケ、およびその抽出成分を除いた、食物繊維を主成分とする残渣画分をラットに与え、それらが血中脂質濃度に及ぼす影響を検討した。各群の血中脂質濃度を図 3 に示す。マイタケ摂取群と残渣画分摂取群の HDL-コレステロールおよび非 HDL-コレステロール濃度に、差はなかった。一方、マイタケ摂取群は残渣画分摂取群よりも中性脂肪濃度が低い傾向が見られ、抽出成分の中性脂肪低下作用への関与が示唆された。

ラットの脂肪組織重量は、コントロール群に比べマイタケ摂取群で有意に低かったが、残渣画分摂取群には有意差が認められなかった (図 4)。また、糞中のコレステロール濃度に違いは認められなかったが、腸管内の嫌気性細菌によってコレステロールから生成される coprostanol の濃度が、マイタケ投与群で有意に高かった (図 5)。このように脂質の排出促進 (脂質吸収抑制) 効果は、抽出物にも見られることが明らかとなった。

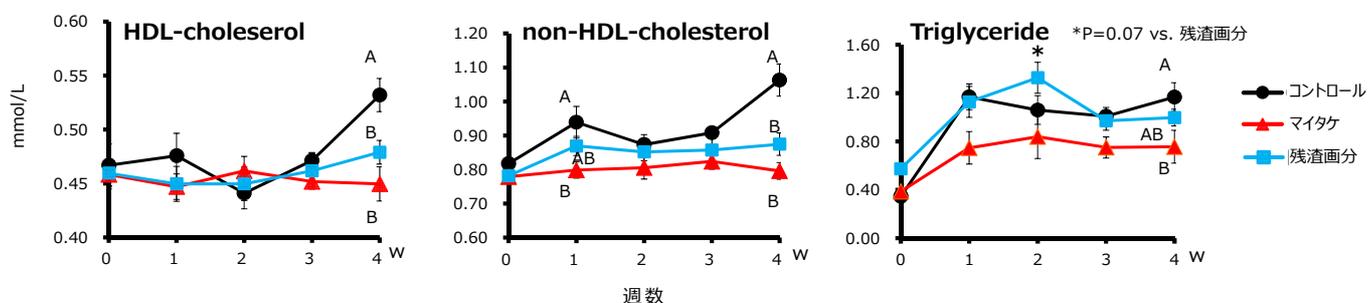


図 3 血中脂質濃度に対するマイタケおよび残渣画分摂取の効果

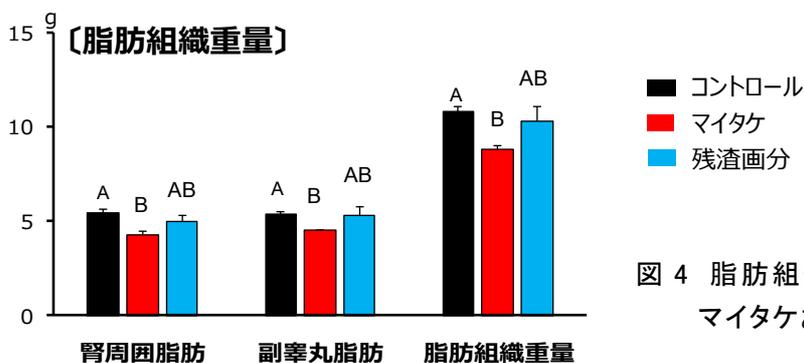


図 4 脂肪組織重量に対するマイタケおよび残渣画分摂取の効果

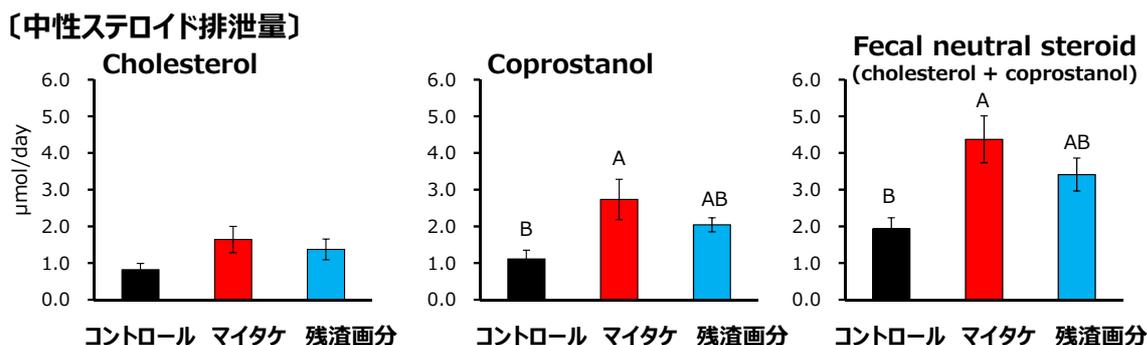


図 5 糞便への中性ステロイド排泄量に対するマイタケおよび残渣画分摂取の効果

3.3 ヒト臨床試験による脂質代謝改善作用および抗動脈硬化作用の実証

「大雪華の舞 1号」の脂質代謝改善作用および抗動脈硬化作用をヒト介入試験により実証した。被験者各群 25名のうち、自己都合で試験を中断した被験者や、被験食摂取率が不足した被験者を除いた、有効な解析対象者はプラセボ摂取群 22名、「大雪華の舞 1号」摂取群 23名であった。2群間の年齢、身長、体重、BMI、体脂肪率、動脈硬化指数、性別、被験食摂取率に有意差はなかった。

各血中脂質濃度の群間比較（独立2標本のt検定）および群内比較（対応のあるt検定）ともに、統計的な有意差は認められなかったものの、「大雪華の舞 1号」の摂取により、LDL-コレステロール、非LDL-コレステロールおよび動脈硬化指数が改善する傾向が認められた（図6）。

本研究では、高脂肪食投与ラットに対する「大雪華の舞 1号」の脂質代謝改善効果を明らかにした。また、その効果は食物繊維画分にも見られるほか、抽出物に中性脂肪低下作用が示唆された。さらに、ヒト臨床試験では統計的に有意な差は認められなかったものの、「大雪華の舞 1号」の摂取により、血中脂質濃度や動脈硬化指数が改善する傾向が認められており、「大雪華の舞 1号」は高齢者や生活習慣病患者など、動脈硬化性疾患のリスクが高い人々の健康の維持増進に役立つことが示唆された。

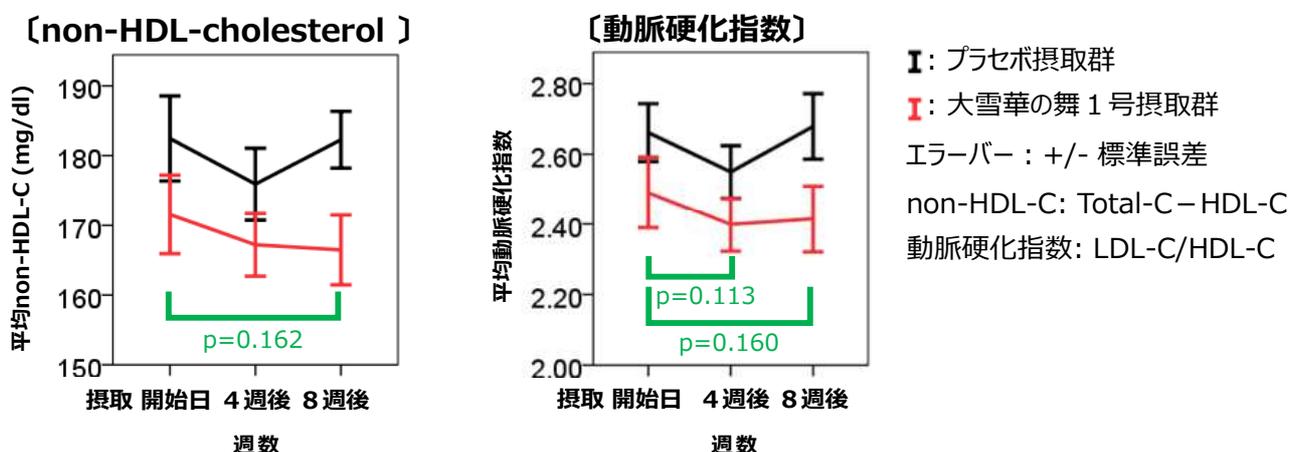


図6 non-HDL-cholesterol および動脈硬化指数に対する「大雪華の舞 1号」摂取の効果（ヒト臨床試験）

4. 引用文献

- 1) 米山彰造、宜寿次盛生、原田 陽、森 三千雄：カラマツおが粉の利用に適したマイタケ新品種の選抜。林産試験場報 **20**(3), 21-26 (2006).
- 2) 佐藤真由美、東 智則、米山彰造、韓圭鎬、末岡さつき、得字圭彦、島田謙一郎、木下幹朗、福島道広：マイタケ「大雪華の舞 1号」の腸内環境改善効果。日本木材学会北海道支部講演集，第47号，2015，pp.8-10.
- 3) Sato, M., Tokuji, Y., Yoneyama, S., Fujii-Akiyama, K., Kinoshita, M., Chiji, H., Ohnishi, M. Effect of dietary Maitake (*Grifola frondosa*) mushrooms on plasma cholesterol and hepatic gene expression in cholesterol-fed mice. *J. Oleo Sci.* **62**, 1049-58 (2013).

謝辞

本研究は農林水産業・食品産業科学技術研究推進事業（2013～2015年度）の一部として実施した。

○古川貴大（北大院農）、吉永新（京大院農）、高部圭司（京大院農）、松尾朱実（北大農）、玉井裕（北大院農）、幸田圭一（北大院農）、浦木康光（北大院農）

【緒言】

木化へのヘミセルロースの関与については諸説があり、未だ十分に解明されていない。当研究室では、木材細胞壁の形成過程を模倣した材料創製を通して細胞壁構成成分の機能解明を目的に、ブナ由来のキシランを吸着させたバクテリアセルロースフィルム（BC）存在下で、コニフェリルアルコール（CA）の脱水素重合を行った。その結果、キシランが CA を BC 内部に誘導して、フィルム内部の脱水素重合物（DHP）の生成量を増加させた。生成した DHP は、アリアルエーテル結合に富み、キシランが DHP の構造にも影響を与えることが分かった。本研究では、グルコマンナンを用いてキシランと同様な実験を行い、その機能解明を試みた。

【実験方法】

エゾマツ（*Picea jezoensis*）から熱水抽出して得られたグルコマンナン（GM; 15.0% Glucose、40.2% Mannose, 29.0% Galactose, 5.6% Xylose, 8.6% Lignin）を以下の実験に供した。酢酸菌（*G. xylinus*）が産生した BC を、異なる濃度の GM 水溶液に 1 日間浸漬させた。フィルムを蒸留水で洗浄した後に風乾させ、GM が吸着したセルロースフィルム（GM-BC）を得た。吸着前後の GM 水溶液の濃度を HPLC で測定して、その差から GM の BC への吸着量を求めた。

Horseradish peroxidase を含有するリン酸緩衝生理食塩水（PBS: 0.01 M pH 6.1）に GM-BC を浸し、そこに CA と過酸化水素をそれぞれ滴下させた。滴下終了後、さらに 16 時間静置した。フィルムを蒸留水で洗浄した後に風乾して、DHP が沈着したフィルムを得た。対照実験として、GM を吸着させていない BC を用いて、同じ実験を行った。

種々の条件で作製したフィルムに対し、GM を認識する一次抗体 LM21 と LM22 の緩衝液を滴下し、さらに、蛍光標識された二次抗体の緩衝液を滴下後、フィルム中での GM の分布を蛍光顕微鏡で観察した。

また、DHP の分布は、UV 顕微鏡観察、および臭素化した DHP の SEM-EDXA 観察により行った。DHP 含有量はアセチルブロミド法で定量した。

【結果および考察】

Li らのキシランを用いた研究¹⁾と比較すると、GM はキシランの 2 倍近くセルロースへ吸着し、セルロースへの親和性がキシランより高いことが示唆された。また GM が吸着した BC の免疫標識蛍光顕微鏡観察より、GM がフィルム内部まで浸透していることが確認できた。

DHP 沈着実験では、GM の溶出が起きていないかを検討するために、前述と同様な免疫標識蛍光顕微鏡観察を行い、フィルム内部まで GM が残存していることを確認した。DHP の分布に関しては、SEM-EDXA では臭素スペクトルが検出されず、DHP の存在が確認できなかった。そこで、より高感度の UV 顕微鏡観察を行い、芳香核の存在を示す黒色部を観測することができ、DHP がフィルム中に存在することを確認した。アセチルブロミド法を用いた DHP の定量から、DHP 含有量は極微量で、上記の観察結果を支持した。極微量生成した DHP は、GM ではなく、微量に混じていたキシランによって誘導されたものだと推測される。

共同研究者の高部らも、異なる人工細胞壁の形成実験より、キシランが存在すると、DHP が BC に沈着し、マンナン存在時には、DHP が沈着しない現象を確認している。しかし、両者のヘミセルロースが存在すると、DHP が多量セルロースに沈着することを観測している。

これらの結果から、グルコマンナンはキシランがセルロースへ吸着するための足場として機能し、キシランがモノリグノールの移動および重合に関与していると推定している。

参考文献 (1) Li, Q.; *et al.*, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 63(18), 4613-4620 (2015)

「バイオトイレ」と「新浄化装置」を活用した環境改善技術

0-3 ○大黒香那、橘井敏弘、佐藤仁俊、婁地伸治、大泉まどか(正和電気株式会社)

1. はじめに

現代の水洗トイレほど大量の人命を救い、人々の健康を改善したものはない。しかしそのトイレ革命も世界総人口の 1/3 にしか達していない。WHO（世界保健機構）の報告によると、排泄物の垂れ流しや不適切な処理が原因で年間 150 万人以上の子どもたちが命を落としているという現実がある。ビル&メリнда・ゲイツ財団は世界のトイレの改善のために 4200 万ドル（約 46 億円）を拠出すると発表して注目されている。この拠出の目的は「排泄物の捕捉と保管」を改善し、それらを「有効な資源」として活用出来る新型トイレを開発することである。同財団は「水洗トイレが設置されても排泄物が水路に垂れ流しではなんにもならない」と各国政府へ訴えている。このような状況下インフラが整備され、水洗トイレが普及している日本で「衛生的でし尿の再利用が可能な新型トイレ」が実用可能な段階までに開発が進んでいる。それは、オガクズを活用したバイオトイレ「Bio-Lux」と備長炭を活用した新浄化装置「Bio-Lux Water」である。図 1 で示す、分けて処理する考え方をインフラ整備の新発想として環境改善の一助として提案する。



図 1 分けて処理する分散処理システム



図 2 バイオトイレ「SW 型」



図 3 新浄化装置「SG 型」



図 4 バイオトイレ「S 型」



図 5 介護用バイオトイレ



図 6 ログハウス風バイオトイレ



図 7 駆除シカの分解処理装置



図 8 駆除シカの投入



図 9 残った太い骨



図 10 骨破砕機



図 11 破碎中の骨



図 12 破碎された骨

2. バイオトイレの概要

バイオトイレはオガクズを活用してし尿を処理する装置である。し尿は約 90%が水分であることから、蒸発させることで約 90%は消滅する。残った約 10%もオガクズ中に生息する微生物が分解する。最後に僅かに残るものがあるが、それは蒸発も分解も出来ない食べ物に含まれていた無機物の窒素、リン、カリウムである。これら無機物はオガクズに付着し肥料分として回収可能である。

当社バイオトイレに使用するオガクズは特別な菌を含まない普通のオガクズである。オガクズは高空隙率という特長を持ち、保水性と撥水性にも優れている。トイレを毎日使用するとその空隙に無機物が詰まる。穴がすべて詰まった時がオガクズの交換時期であり、交換は1年に2~3回行う必要がある。使用済みのオガクズは有機肥料や土壌改良材として再利用が可能である。弊社バイオトイレは種類が豊富なことも特長の一つである。

また、近年北海道ではエゾシカの増加が問題となり、その処理方法が課題である。現在の処理方法は燃やすかその場に埋めるかである。そこでバイオトイレの技術を応用した駆除シカの分解処理装置を開発した(図 7 で示す)。実証実験では駆除したシカ、約 80kg をそのまま装置に投入、約 2 週間後にオガクズの取り出し作業を行うと残ったのはオガクズと太い骨だけであった(図 9 で示す)。骨を計測すると約 12kg であった。そこで残った太い骨を破砕する骨破砕機も開発した(図 10 で示す)。実証実験では破砕した骨を分解処理装置へ再投入すると、オガクズ中での分解を確認した。

3. 新浄化装置の概要

新浄化装置(図 3 で示す)はトイレ以外の生活雑排水を対象にした浄化技術であり、トイレ排水が混入しない。装置内には備長炭が充填されているが、備長炭は吸着能力に優れており、高硬度、緻密性、水沈性、多孔質性等の特長を活かし汚水を浄化している。備長炭は洗うと再び吸着効果が回復する。

水質浄化の原理は沈殿作用による物理的な「固液分離」、備長炭による吸着等の作用による「物理化学的浄化」、及び備長炭に付着する生物膜が有機物を分解する「生物学的浄化」の3つが総合的に作用している。

本装置は環境省が実施する平成 24 年度環境技術実証事業(以下 ETV 事業)の有機性排水処理技術分野で採用され、実証機関である一般社団法人埼玉県環境検査研究協会が実証試験を行い、その結果を環境省が公表している。実証期間中の処理水は水の汚染を表す指標の一つである BOD7.4mg/L、全窒素 2.1mg/L、全リン 0.14mg/L となり汚濁負荷量の減少率はそれぞれ 95%、55%、84%であった。結果から処理水は雨水状態にまで浄化されていることがわかった。この技術は現在国内外において活用されている。その中でも独立行政法人国際協力機構(JICA)が実施する中小企業海外展開支援事業において「バイオトイレと新浄化装置の技術」が採用され、現在ベトナム国へ設置している(2015 年 12 月 18 日から 2018 年 5 月 16 日まで)。

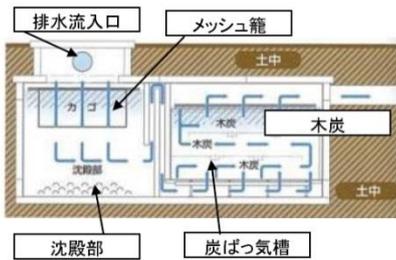


図 13 新浄化装置の処理フロー

図 14 新浄化装置 内部

図 15 使用する備長炭

4. ベトナム国での水質調査の結果

新浄化装置の流入水はトイレ排水以外の生活雑排水であることから、排水は比較的容易に浄化することができる。JICA の対ベトナム事業では定期的にデータ収集・分析が行われた。現地で行われた BOD の分析結果は、汚濁負荷量は平均で 166g、除去効率は 64.8%であった。このことから水環境への負荷軽減に効果があることがわかった。



図 16 ベトナム観光船

図 17 観光船内部にバイオトイレ設置

図 18 使用前後のオガクズ

5. 循環型社会へ貢献

費用や時間がかかる従来の下水処理施設の代わりにバイオトイレと新浄化装置を導入し、処理水や使用済みのオガクズを再利用することで循環型社会の構築に貢献できる。特に下水処理施設が整っていない地域や観光地、災害時での設置は有効である。水洗トイレが普及している日本は 2011 年に起こった東日本大震災で下水処理施設が破壊され、断水のため水洗トイレが使用不可能となった。トイレに困っていない日本でも度重なる震災や災害でトイレに対する課題がでてきた。下水処理施設の再構築は工事期間が長期で費用も高額である。バイオトイレと新浄化装置の登場はこれらの課題を解決できる。

6. 導入効果

し尿の垂れ流しによる健康被害の軽減だけでなく、地下水の保全や公共用水域の汚濁負荷量を半減させることができ、水環境改善に大きく貢献する。

7. まとめ

世界の人口は異常に増加し、生活排水の量が増大し続け、結果として河川や湖そして海域の汚染につながっている。従来の下水処理施設に加えて「バイオトイレと新浄化装置」の技術が国内外で普及・拡大することで、世界の水環境改善に大きく貢献するであろう。

木質バイオマスの飼料化に関する研究（Ⅰ） —トドマツの蒸煮による成分変化—

O-4

○檜山 亮、折橋 健（道総研 林産試）

【緒言】

北海道は全国一の森林面積を有し、1980年頃から順調に増加している森林蓄積は2016年には約8億m³となっており^{1,2)}、木質バイオマスの有効利用方法の開発が求められている。一方、畜産分野の黒毛和牛の肥育農家では輸入粗飼料の価格変動³⁾や品質への不安⁴⁾を抱えており、代替品が求められている。

木質バイオマスを蒸煮処理によって牛の飼料にする研究は約30年前に盛んに行われたが、当時の研究は木質バイオマスに含まれるセルロースを消化可能な状態にして牛が必要とするエネルギー源とすることが主目的とされ、蒸煮処理によって消化率が向上しやすいシラカンバを中心とする道産広葉樹に研究が集中していた⁵⁻⁹⁾。一方、近年の黒毛和牛の肥育では、濃厚飼料の多給により粗飼料から得られるエネルギーがあまり重視されず、蒸煮処理によって消化率があまり向上しない針葉樹⁶⁾も粗飼料として飼料化可能性があると考えられた。

そこで本研究では飼料化研究例が少ない道産針葉樹について、蒸煮条件を変えた時の成分や性質の変化について基礎的知見を得ることを目的とした。

【実験方法】

トドマツの切削チップを水分40–60%に調整し、所定圧（14.9または18.5 kgf/cm²）で蒸煮処理した。室温で5–10日間程度送風乾燥し、カッターミルで10 mm以下に粉碎した。さらにその粉碎物を組成分析と酵素糖化のために0.5 mm以下に微粉碎した（以下、微粉碎物）。

微粉碎物5 gを20 ml容のサンプル瓶に入れ、50℃のインキュベーターで10分予熱し、固相マイクロ抽出法により、サンプル瓶内に充満した揮発成分を吸着ファイバー（SUPELCO 50/30 μm DVB/CAR/PDMS、MERCK製）に5分間吸着させた。液相が化学結合型ポリエチレングリコールであるカラム（Rtx-WAX、60 m、内径0.32 mm、RESTEK製）を装着したガスクロマトグラフ質量分析計（GCMS-QP2010、（株）島津製作所製）を用いて吸着物を分析した。

微粉碎物について、アルコール-ベンゼン抽出して抽出量を算出し、抽出残渣を既報と同様に硫酸で分解して分析した¹⁰⁾。微粉碎物に対し、0.1 mol/Lのクエン酸緩衝液とメイセラゼ（明治製菓（株）製）を用い、基質濃度2%（w/v）、20 FPU/g-基質、50℃、120 rpmの条件で48時間酵素糖化し、24時間および48時間の時点で糖化液を1 ml採取し、そこで得られたグルコース量をHPLCにより分析した。

【結果と考察】

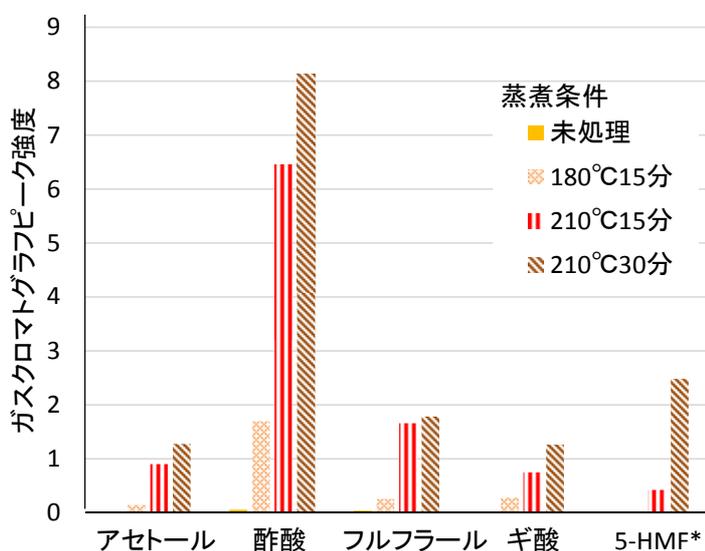
トドマツの主な揮発性成分の蒸煮条件による変化を図1に示す。酢酸がガスクロマトグラフのチャートで大きなピークとして検出され、主要な揮発成分であることが示唆された。加熱温度を上げて蒸煮時間を延長すると酢酸のピークは大きくなった。フルフラールや5-ヒドロキシメチルフルフラールは180℃ではごく小さくしか検出されなかったが、210℃の加熱条件では大きく検出された。牛が反芻胃内の微生物の働きによりセルロースや澱粉を乳酸、酢酸および酪酸等に変換してエネルギー源にしていること¹¹⁾、あるいは乳酸、酢酸および酪酸発酵したサイレージを牛が食べること¹²⁾から、酢酸を含む飼料は牛の嗜好性が高いと考えられ、トドマツの蒸煮物も一定程度の嗜好性が期待できると考えられた。

トドマツの異なる蒸煮条件による成分組成の変化を表1に示す。蒸煮条件を厳しくするとヘミセルロ

ース由来の主要構成成分であるキシランやマンナンが大きく減少し、ヘミセルロースが分解されることが示唆された。アルコール-ベンゼン抽出物の割合は210℃で15分処理したものが未処理または180℃処理したものと比べてそれぞれ約15または4倍と多かった。リグニンやグルカンの割合はヘミセルロースと比べて変動が小さかった。

トドマツに含まれるグルカンの酵素糖化率の蒸煮条件による変化を図2に示す。48時間の酵素糖化率で比較すると、未処理の酵素糖化率が5.2%であるのに対し、蒸煮物は1.5倍以上に向上した。210℃の蒸煮処理を15分から30分に延長しても酵素糖化率は向上しなかった。過去の広葉樹の蒸煮物の酵素糖化率の研究事例では酵素糖化率が80%以上となる¹³⁾のに対し、トドマツでは酵素糖化率が15%以下であり、広葉樹に比べて蒸煮処理の効果が低かった。なお、近年の黒毛和種肥育牛では粗飼料の物理性が重視され¹³⁾、粗飼料からの栄養回収はあまり期待されていないことから、酵素糖化率の低さは問題ない可能性が高い。

本研究により北海道産トドマツの蒸煮処理による成分変化の基礎的知見が得られた。これらの結果を基に、今後、酢酸等の成分が嗜好性に与える影響や含有フルフラール量が牛に適正な範囲内であること等を調査する予定である。



* 5-ヒドロキシメチルフルフラール

図1 蒸煮条件の異なるトドマツの主要な揮発成分

表1 異なる蒸煮条件によるトドマツの成分組成の変化 (%)

蒸煮条件	アルコール-ベンゼン抽出物	酸可溶性リグニン	酸不溶性リグニン	グルカン	キシラン	ガラクトサン	アラビナン	マンナン	その他	合計
未処理	1.4	0.5	29.0	45.3	4.4	1.2	1.0	12.6	4.6	100
180℃, 15分	5.1	0.5	28.3	43.9	3.7	trace	trace	12.1	6.3	100
210℃, 15分	21.2	0.3	28.1	45.9	1.9	trace	trace	1.5	1.2	100
210℃, 30分	18.9	0.3	30.9	47.4	1.4	trace	trace	0.4	0.7	100

trace は HPLC で検出されるものの 0.4%未満であることを示す。

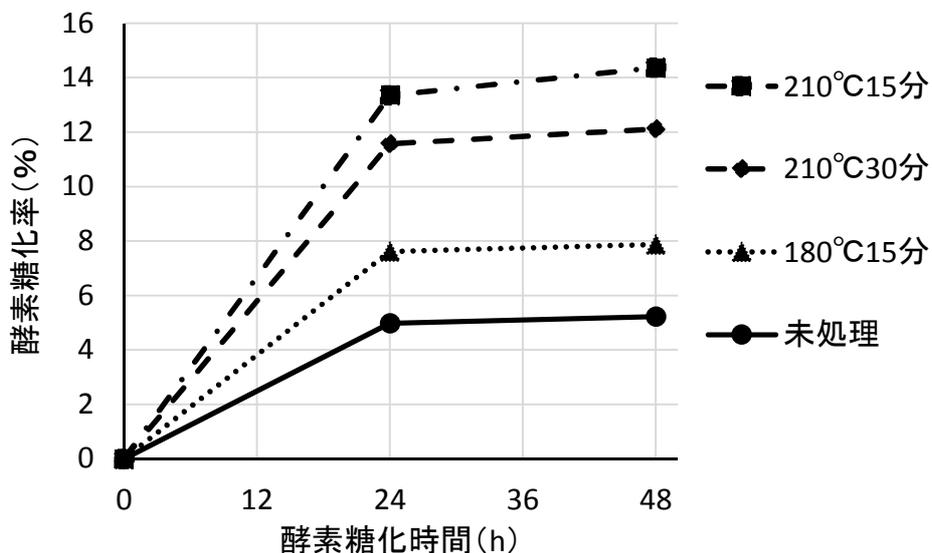


図2 異なる蒸煮条件のトマトに含まれるグルカンの酵素糖化率

【謝辞】

この研究は革新的技術開発・緊急展開事業（うち地域戦略プロジェクト）FS・個別型 課題 ID16789665 の研究の一環として実施された。

【引用文献】

- 1) 北海道：“昭和 54 年度北海道林業統計”，札幌，1980
- 2) 北海道：“平成 27 年度北海道林業統計”，札幌，2017
- 3) 農林水産省：“飼料をめぐる情勢”，生産局畜産部飼料課 消費・安全局畜産安全管理課，2016
- 4) 肉牛ジャーナル編集部：“白樺の飼料化で資源循環型畜産を一北海道北見市（株）エース・クリーン”，肉牛ジャーナル，2015 年 11 月号，20-25（2015）
- 5) 斎藤直人ら：“木質飼料の製造に関する研究（第 1 報）—酵素糖化率測定法に関する検討—”，林産試月報，No. 410，7-14（1986）
- 6) 安久津久ら：“木質飼料の製造に関する研究（第 2 報）—適用樹種の拡大について—”，林産試月報，No. 413，14-20（1986）
- 7) 斎藤直人ら：“木質飼料の製造に関する研究（第 3 報）—蒸煮による抽出と消化性の影響—”，林産試験場報，1 巻 3 号，18-22（1987）
- 8) 遠藤展ら：“木質飼料の製造に関する研究（第 4 報）—製造条件に関する研究—”，林産試験場報，1 巻 6 号，27-33（1987）
- 9) 農林水産省：“落葉広葉樹による乳牛および肉用牛の飼養マニュアル”，東京，農林水産技術会議事務局研究開発課，1988
- 10) Hiyama et al.：“Evaluation of waste mushroom medium from cultivation of shiitake mushroom (*Lentinula edodes*) as feedstock of enzymic saccharification”，J Wood Sci，57，429-435（2011）
- 11) 川島良治：“栄養消化生理”，肉牛大辞典—飼育の基本から最新研究まで—，農文協，東京，pp. 153-166（2013）
- 12) 道総研畜産試験場家畜研究部肉牛 G：“飼料自給率 up! 黒毛和牛にサイレージ”，平成 27 年（第 33 回）農業新技術発表会要旨，北海道農政部・道総研農業研究本部（2015）
- 13) 北川政幸ら：“肥育牛への発酵バガスの給与が第一胃の性状ならびに肥育成績に及ぼす影響”，肉用牛研究会報，74 号，48-50（2003）

株式会社エース・クリーン : 代表取締役専務 中井真太郎

【株式会社エース・クリーンの概要】

株式会社エース・クリーンは廃棄物処理を中心に昭和 51 年より 40 年創業しております。本社を北見市に構え、東京に支店があり、従業員は 60 名で、北見市から委託されている家庭系一般廃棄物の収集運搬を中心に事業系一般廃棄物や産業廃棄物の収集運搬を行っております。また強力吸引車や高圧洗浄車を用いた下水道管渠清掃や汚水処理施設などの汚泥を産業廃棄物として中間処理を行っております。その他、浄化槽の施工や維持管理、排水処理施設の設計・施工なども行っております。

【新事業の展開(木質蒸煮飼料製造への動機)】

木質系蒸煮飼料製造に取り組むきっかけは、現在当社に設置している蒸煮装置との出会いから始まりました。この蒸煮装置は廃棄物等を加水分解処理し、リサイクルすることを目的に作られた機械で、当社の産業廃棄物汚泥中間処理施設に採用できないかを検討しておりました。当社で扱う汚泥は成分や性状が安定しておらず、蒸煮処理物に付加価値を見出す事が出来ないなど課題があり、蒸煮装置の導入を見送っておりました。

そのような状況ではありましたが 20～30 年前の東北農試が書き上げた「肉牛へ蒸煮白樺飼料給与」の論文を見つけた事をきっかけに、この装置で木質蒸煮飼料製造の事業化を目指す事になりました。神奈川にある蒸煮装置メーカーへ、北海道から原料を輸送し、木質蒸煮飼料のサンプルを制作し、畜産農家などへ飛び込みの営業などを行い、木質蒸煮飼料に対する反応を確認してまいりました。

廃棄物処理を生業して林業や畜産業とは縁がなく、飛び込み営業から紹介をいただき模索して行く中で、網走管内で運送業と北海道チクレンの預託で畜産を営んでおられる、大正商運(株)太田社長とのご縁をいただき、獣医師の秋山先生と北見市の和牛農家 中野ファーム 中野社長を紹介いただく事になりました。この三名と当社のスタッフで懇談会を設け、木質蒸煮飼料について意見交換を行う中で、中野社長より「この飼料の良し悪しは使ってみないとわからない。」と意見をいただき、無償提供を前提に試験給与して頂けないかを打診した結果、「白樺蒸煮飼料試験給与」を行う事になりました。

【中小企業応援ファンドを利用した白樺蒸煮飼料給与試験】

白樺蒸煮飼料給与試験については北海道中小企業応援ファンドの市場対応型製品開発支援の助成金を利用して行う事になりました。計画テーマを「広葉樹／林地残材を原料とする牛飼料の開発研究」として、中野ファームにおいて、17 頭の黒毛和牛を対象（対象区 5 頭、試験区 12 頭）に白樺を原料（原木のほか市場価値のない枝や端材なども原料とする。）として加水分解処理をし、出来上がった白樺蒸煮飼料による肥育試験を一年間行いました。

- ① 対象区（5 頭）：従来飼料（配合飼料+稲ワラ）
- ② 試験区 A（6 頭）：従来飼料+白樺蒸煮飼料制限給与
（1 頭あたり 50 g / 日からスタートして最大 300 g / 日）
- ③ 試験区 B（6 頭）：従来飼料+白樺飼料飽食（1 頭あたり 400 g × 2 回 / 日）

この試験では北見市周辺で生産した白樺チップを神奈川にある蒸煮処理装置メーカーで飼料化し、原料や飼料について専門機関へ分析を依頼しました。獣医師の秋山先生の指導の下に、牛の健康状態を観察しながら給餌量を調整し、血液検査、体重検査を行い、栄養面での指導を獣医師の木村先生へ、最終的に試験牛を解体して得た肉質を帯広畜産大学の口田先生に画像解析の肉質評価にて行っていただきました。

この1年間の試験結果で白樺を原料として試作された飼料が、牛の嗜好性に合い、肉質の良い健康的な牛に育ち、従来使用されている稲ワラと比べ遜色ない飼料となる事が確認できました。

試験の課題として、牛の血統が考慮されておらず、産肉成績の偏りが見える事から、血統による分析も必要である事と、今回は18ヶ月齢以降の給与であった為、子牛の育成段階から与える試験も行わなければならないとの所見をお2人の獣医師よりいただきました。

【北海道の木質バイオマスからの飼料生産と給餌の実証研究】

白樺蒸煮飼料給与試験後、林産試験場が代表研究機関となり雪印種苗(株)と(株)エース・クリーンの「北海道木質蒸煮飼料コンソーシアム」を構成し、北海道の木質バイオマスからの飼料生産と給餌の実証研究を行う事になりました。

この研究では北海道内の針葉樹を中心とした木質バイオマス原料に対して、加水分解処理し肉用牛の粗飼料を製造し、成分や嗜好性の解析による蒸煮条件を最適化して給餌試験を行い、木質粗飼料の安全性や優位性を調査してコスト試算を行うものです。

この研究で(株)エース・クリーンは安価な入手可能性のある河川ヤナギを原料とした木質蒸煮飼料を乳用牛オスへ給与し、増体重や血液検査結果を確認する事と、昨年11月に実証プラントを立ち上げましたので、木質蒸煮飼料の製造コスト試算について、林産試験場へ情報提供を行い、製造コスト試算について協力を行いました。

この研究で白樺と同様にヤナギも牛の健康に安全である事が示されました。コスト面においては実証プラントという事もありスケールが小さくコスト高である面が否めませんが、この研究に係る事で製造ラインの問題や改善点が明確になり、現場担当者まで採算意識を高めるきっかけとなりました。

【実証プラントの設置】

中小企業ファンドの給与試験を終えて、その後も中野ファームへ白樺蒸煮飼料を継続的に無償提供しました。そのような中で中野社長より「早期に製造工場を立ち上げて欲しい」との要望があり、製造工場建設について具体的な決断を迫られました。

工場の設置には施設のイニシャルコストや販路の確保など課題は山積みではありましたが、蒸煮装置メーカーの配慮で神奈川県に設置してありました実証装置を譲っていただく事になり、「木質系蒸煮飼料実証プラント」として事業を立ち上げる事になりました。

設備については既存施設を改修するなど、最低限の投資に抑え準備を進めました。実際に試作品を作ってみると、原料の仕入れの事や製品品質の事など計画時には思いもつかなかった課題などが多数出てまいりました。実証プラントとして立ち上げたからこそ、課題一つ一つに向き合う事が出来、実際に作って納品してみてわかった事は机上の論理だけでは上手くいかないという事です。

試作品を製造するうえで一番のカルチャーショックは、サンプルとして蒸煮飼料を生産者のもとへお持ちした際、生産者の方々はこの飼料を実際に口に入れて香りや食味を確認されました。この現実を目の当たりにした時、原料や製品の管理に対する認識が甘いと深く反省いたしました。

また、企業として製造業を掲げた時点で素人ではなく専門家として立ち振る舞わなければならない事も自覚いたしました。一日でも早く畜産家の皆様に満足いただけるような完成品を安定的に生産する事を目指して試行錯誤を続けました。

中野牧場へサンプルとして試作品をお持ちし、製品の良し悪しに対して助言をいただきながら改良を重ね、北海道の厳寒期や多くの課題や問題を克服しながら、技術やノウハウも積み重ね、製品特徴も明確に捉え、木質蒸煮飼料が新飼料として価値を見出す事が出来ました。

【キャトルエース5つの特徴】

この様な背景で生まれた木質蒸煮飼料「キャトルエース」の5つの特徴ご説明いたします。

1. 地域の木材を原料とする、安全で安定した粗飼料

- ・木質飼料は農業汚染などなく、処理過程で化学薬品も使用しないクリーンで保存性の高い均一な品質の粗飼料として安定供給可能。

2. 甘酸っぱい香りと味で、牛の嗜好性が非常に高い飼料
 - ・木材が高温高压蒸気で加水分解された結果、糖と酸（主に酢酸）が形成されます。
3. 繊維成分 80%の「腹もちのいい」飼料
 - ・粗蛋白（1.6%）、粗脂肪（2.3%）のように栄養分は少ないのですが、繊維成分タップリの飼料です。
4. 糞便中の水分が低くなる飼料
 - ・牛の胃腸の健康状態が良いためか、糞便中の含水率が低く、敷料が長持ちします。子牛の下痢が抑制される試験結果が出ました。
5. β カロチン濃度の低い飼料
 - ・木質飼料中の β カロチン濃度は常に0~40IU/kg（乾物中）と低く、適切な給餌方法によって、牛肉の脂肪交雑状態や脂肪色をコントロールできる可能性があります。

【今後の展望】

今後の展望について、現在保有している施設は実証プラントの立ち位置となりますので、本格稼働を想定した工場の建設を検討しております。

近々の課題としましては商品の認知度を向上させる取り組みの課題がありますが、市場価格に見合ったコストカットを実現し、製品の量産体制の構築を目指さなければならないと考えております。その為には、この事業に対しての理念を共有できるパートナーを探し、連携を組むことが必須であると考えております。

木質蒸煮飼料製造事業 理念

木質蒸煮飼料で日本の飼料自給率を向上させ、日本の農業へ貢献する。
林業・畜産業・民間企業が連携し、全体が win-win に潤う事を目指す。

また、現在は白樺とヤナギを主力商品として取り扱いをしておりますが、北海道の林業はカラマツ・トドマツが主流であります。林畜民連携を目指すためにも、針葉樹の木質蒸煮飼料の製品開発及び改良に注力していきたいと考えております。そして、北海道を超えて日本全国に普及される技術を目指して、改良や改善を行い進化していきたいと考えております。

【おわりに】

飼料製造業という未知の領域への参入するにあたり、試験段階からリスクを負いながらも協力頂いております中野ファームの中野社長をはじめ大正商運 太田社長、北見チップ 岡田社長、獣医師の秋山先生、木村先生などを中心に林産試験場さま、雪印種苗さま、帯広畜産大学さま、北海道チクレンさま、赤坂木材さま、その他ご縁をいただきました皆様にお力添えいただいたおかげであると思っております。

また、この事業で得た一番の財産は熱意ある優秀な社員が育った事です。生産現場に直接足を運び、餌を食べる牛たちの姿に触れ、実際に木質蒸煮飼料で肥育された牛を食すことで、生産者や牛に対する熱い想いを抱き、この木質蒸煮飼料の製造や製品の品質向上の為に日々尽力しております。

現在の施設はまだ未完全な施設ですので、担当者には過大な負担がかかっている状況であります。一日でも早く本格稼働する施設を整備し、社員の想いに応えて行けるよう計画を進めて参りたいと思っております。

地域材を用いたトドマツ圧縮材の利用事例

○澤田哲則，清水光弘（道総研・林産試験場），山崎康弘（松原産業㈱）

1. 緒言

トドマツは道内森林蓄積量の3割近くを占める主要な森林資源であり、資源の充実とともに循環利用が期待されている。これら森林資源が有効利用されるように、国は「公共建築物等における木材の利用の促進に関する法律」を定め、それに基づき北海道では「北海道地域材利用推進方針」で地域材の利用促進に関する基本的な考え方を示している。そこでは建物の木造化に加えて、内装等の木質化推進も重要な項目とされている。

トドマツの主な用途は建築用羽柄材やパルプチップ、梱包・仕組材などで、近年は国産材への原料転換を図る合板での利用も増加している。しかしながらトドマツ材は軟らかく、傷つきやすいという材質的な特徴と、板材とした場合には節が散在するという外観から、内装用途に広く用いられてはいない。その材質的特徴を改質するのに有効な技術の一つとして木材の圧縮・圧密化がある。

ここでは林産試験場で開発した木材圧縮技術¹⁾を用いてトドマツ板材を圧縮し、フローリングに加工したものが南富良野町立幾寅保育所・地域交流スペースに敷設された事例を報告する。

2. 圧縮木材

木材の圧縮・圧密化は、加熱や蒸煮によって軟化させた木板を厚さ方向に圧縮し、その密度を加熱式のローラープレスなどを用いて部分的に高めたもの（表層圧縮）や、多段式ホットプレス等を用いて全体的に高めたもの（全層圧縮）などがある。いずれも対象とする木部を圧縮し、空隙を減じて密度を増すことにより、表面硬さ（ここではブリネル硬さ）を高めて硬く、傷つきにくくする改質技術の一つである。現在はスギ材を原料とした各種の圧縮・圧密化処理が本州を中心に実施され、主にフローリングや家具材として製品化、販売されている。

2.1 トドマツ圧縮材の製造技術

林産試験場ではトドマツ材を原料として、板材の厚さ全体に渡って密度を上げる全層圧縮の製造技術の開発に取り組んだ。当初は本州で研究や技術開発が進み、製品化もなされていたスギ材の圧縮方法を準用、調整すれば製造可能と考えられたが、実際には樹種によって物理的性質が大きく異なるため、新たな製造技術を開発し、安定的に圧縮処理を行うこととした。

木材を厚さ方向に圧縮すると、圧縮率が高くなるに従って幅方向へ変形・拡幅しようとし、その際に板材表面での木目に沿った割れや、節が円柱形から樽形等に変形することに伴う節回りの木目に沿った割れの発生頻度が高くなる。それらを抑制するため、一般的には金属型枠が用いられる。型枠を用いることで割れ等欠点の発生は抑制できるが、型枠で決められた寸法の板材しか処理することができず、幅の異なる板材を圧縮する場合には、それぞれの幅に合わせた型枠が必要となる。

林産試験場で開発した圧縮木材の製造技術は、厚さを揃えた板材を長手方向の端辺が接触するように配置し、配置した板材の両端長辺には端材などを添えて加熱軟化、圧縮工程に移行する。これにより図1に示すように隣接する板材に幅方向へ拡張しようとする力が発生し、幅寸法相互の拘束

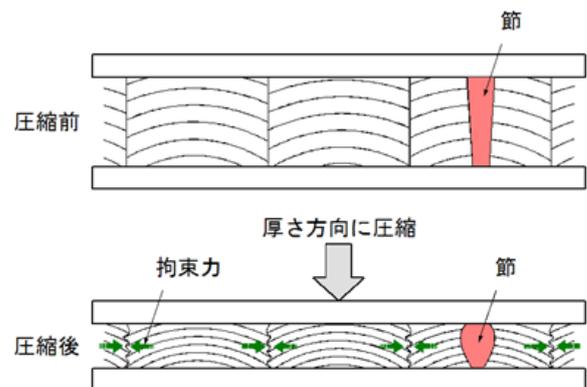


図1 相互作用による横幅拘束

力として作用することで型枠の代替として機能するもので、接触面には凹凸や食い込みが生じるが、幅や形状の異なる板材を同時に圧縮できる²⁾。

3. 利用事例

トドマツ圧縮材の用途としては、フローリングが主となっている。一部家具材にも利用されたが、板材にヤニ抜き乾燥を施しても、圧縮材から少量のヤニが滲出する場合があります、ユーザーの着衣などを汚損した場合にはクレームになることから、積極的な利用には至っていない。

フローリングとしては、これまでに栗山町移住者研修住宅（約 20 m²）、北海道庁 1 階ロビー・木質化スペース（約 40 m²）と少しずつ実績を重ねてきた³⁾。ここでは平成 29 年 3 月に竣工した南富良野町立幾寅保育所・地域交流スペース（約 88 m²）での利用事例を中心に報告する。

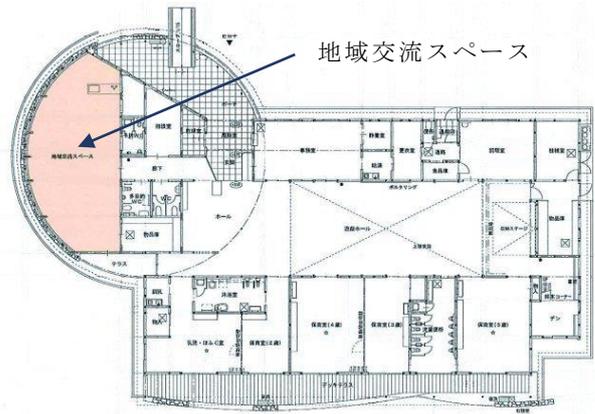


図 2 南富良野町立幾寅保育所の平面概要

3.1 南富良野町立幾寅保育所・地域交流スペースでのフローリング利用

南富良野町においては、平成 28 年度に予定された幾寅保育所の新築移転にあたり、地域材の有効活用を積極的に推進するため、町有林のトドマツを新屋舎に活かす検討が行われていた。林産試験場では、トドマツ圧縮材の技術移転を推進するため、施工実績の積み重ねと施工物件の追跡調査を実施するとともに、各種の資料や展示会などで普及情報を発信していた^{4)・6)}。これらの情報が結びつき、図 2 に示す地域交流スペースに敷設することとなった。

3.1.1 材料と加工

南富良野町有林で伐採した写真 1 に示すようなトドマツ丸太を、下川町内の製材・乾燥業者で厚さ 35mm（乾燥仕上がり）の板材に製材し、ヤニ抜き乾燥を施して含水率を 12%前後としたものを林産試験場に搬入した。林産試験場では写真 2 に示す実大ホットプレス（蒸気加熱式、熱盤サイズ 1×2m、最大圧縮能力 1,200t）を用い、圧縮率 55%で厚さ 15.7mm の圧縮材とした。これに栗山町のフローリングメーカーで切削加工と塗装を施し、厚さ 15×働き幅 105（本実仕様）×長さ乱尺（mm）でクリア塗装仕上げのフローリングとして現地に納入された。

3.1.2 床の構成

床は基礎コンクリートスラブ上に、地中熱ヒートポンプを熱源とした床暖冷房用温冷水を循環させる架橋ポリエチレンパイプを写真 3 のように敷設し、シンダーコンクリートを打設したものを床スラブとした。床下地は写真 4 に示すようにパーティクルボードの置床（厚さ 20mm）の上に下地合板（厚さ 12mm）を止め付けたものである。床下に空間（この場合、置床下の空間）を設けることは、当初から南富良野町に依頼していたもので、コンクリートからの湿気の影響を軽減し、床暖冷房による温湿度変化がフローリングに及ぼす影響を緩和するための措置である。加えて、空間部分では荷重による床のたわみが生じ、転倒衝突時の床の硬さ⁷⁾が低減して安全性が向上するとともに、踏み心地、歩行感も良好となる⁸⁾。



写真 1 南富良野町有林産トドマツ丸太



写真 2 ホットプレス

フローリングの止め付けは、写真5に示す1液型ウレタン樹脂系接着剤とエアタッカーによるタッカー止め糊釘併用とした。

3.1.3 利用状況

施設は、建築部分が平成28年度内に竣工し、平成29年度の入所式も予定通りに行われた。しかしながら平成28年8月末に発生した空知川の氾濫により、外構工事は平成29年度に及んだ。

平成29年5月25日に現地見学会を開催した際には、地域交流センターで

「ふれあいルーム」という子育て相談が開催されており、写真6に示すように多くの親子連れが訪れていた。当日の日平均外気温は14.7℃であったが、幾寅保育所および地域交流スペースは全館床暖房で暖められ、床表面温度は約25℃、床上20cmの温湿度は約20℃・60%RHであった。床暖房の効果で寒さは全く感じられず、子どもたちが裸足で遊び、保護者や相談員がフローリングに直接座って談笑する様子からも、居住性の好ましい床に仕上がったことが推察される。南富良野町のイベントカレンダーを見ると、平日はほぼ毎日利用予定が入り、使用頻度は高い。

今後、センター内の温湿度、フローリングの含水率、幅方向目地の目開き量、接合部の段差量、傷の発生状況などを追跡調査し、経時変化のデータ蓄積を図る。



写真3 床暖冷房用パイプの敷設



写真4 床下地の施工状況

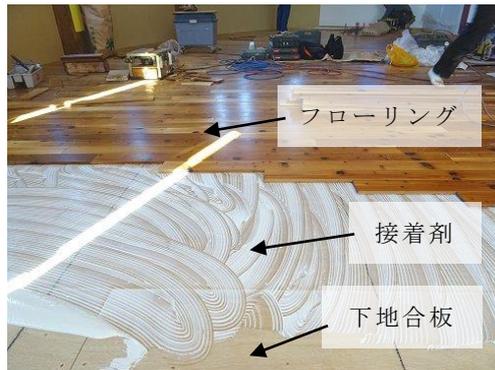


写真5 フローリングの止め付け



写真6 床の利用状況

4. 参考文献

- 1) 道総研：熱圧処理木材ならびにその製造方法、特許第5629863号（2014）
- 2) 澤田哲則：トドマツを原料とした圧縮木材の生産技術と利用方法、林産試だより、2012年10月号、1-3（2012）
- 3) 澤田哲則：道産トドマツ圧縮材フローリングの試験施工と経過、林産試だより、2015年1月号、1-4（2015）
- 4) 伊藤洋一：ジャパンホームショー2012に参加して、林産試だより、2013年2月号、5-6（2013）
- 5) 北海道林業・木材産業対策協議会：道産木材 Vol.2、42-43（2015）
- 6) 山田健四：第38回ジャパンホームショーに参加して、林産試だより、2017年2月号、1-2（2017）
- 7) 日本規格協会：JIS A 6519 “体育館用鋼製床下地構成材”（2013）
- 8) 小野英哲：用途別にみた床下地材料・構法と留意すべき性能、ゆか monthly 1993年9月号、87-89（1993）

平井卓郎 ((一社)北海道建築技術協会)

1. はじめに

木造建築で一般的に用いられる面材釘打ち耐力壁は、各種構造用面材を鉛直部材（柱、間柱、たて枠など）と水平部材（土台、胴差、梁、上枠、下枠など）の両方に釘打ちすることで構成される。このような面材耐力壁の真のせん断変形（耐力壁の見かけのせん断変形から脚部の浮き上がりによる傾きを除いたせん断変形）は、釘接合部のすべりと面材自体の面内せん断変形の和と考えることができる^{1,2)}。この真のせん断変形は、特に面材四周部に位置する釘接合部のすべりに大きく影響されるため、面材耐力壁の施工では、面材の上下辺と両側辺に適切に釘打ちすることが重要になる。

しかし、我が国で多数を占める在来構法の一般的な軸組部材の納まりの場合、内壁では面材の上下辺を水平部材に直接釘打ちすることが難しく、鉛直部材に沿った縦列のみ釘打ちされることが多い。このような縦列のみ釘打ちした面材壁は、昭56年建設省告示第1100号で定められた壁倍率（許容せん断耐力）を発揮することができないため、そのままでは建築基準法施行令第46条に該当する耐力壁としては使用できない。品確法（住宅の品質確保の促進等に関する法律：平成11年法律第81号）の耐震等級評価では、このような縦列釘打ち面材壁を準耐力壁と定義して低減壁倍率（許容せん断耐力）を与え、上記施行令に定められている必要壁量を一般の耐力壁（筋かい軸組を含む）のみで満たすことを必須条件とした上で、付加的耐力要素として加算することが認められている。この考え方は許容応力度計算を行う場合や既存木造建築の耐震補強計算を行う場合などでも準用されることが多い。

また、それとは別に水平部材の上下面に受け材を取り付け、その受け材に面材を打ち付けて耐力壁とする仕様も開発され、壁倍率の個別認定を受けている（日本合板工業組合連合会編：「合板耐力壁マニュアル」参照）。

縦列釘打ち面材耐力壁は、四周を釘打ちした一般の面材耐力壁とは異なり、下見板張り壁などの横板張り耐力壁と同様の変形機構で水平力に抵抗する³⁾。両者の違いを整理すると次のようになる。(1)四周を釘打ちした面材耐力壁は、耐力壁面の図心付近を中心として面材が回転するような変形機構を示し、主として四周の釘の一面せん断耐力で水平力に抵抗する。このため、図心付近からの距離が近い間柱や中間のたて枠などに打たれた釘は、せん断耐力に対する直接的な寄与率が相対的に低く、面材の座屈を防ぐなどの副次的効果の方が大きいと考えられている。(2)これに対し、縦列釘打ち面材耐力壁では、間柱や中間のたて枠などの鉛直部材が一定以上の曲げ剛性を持っていれば、それらに打たれた釘にも、両側辺の釘とほぼ同等の働きを期待することが可能である。したがって、縦列釘打ち面材耐力壁のせん断耐力は、四周を釘打ちした面材耐力壁のせん断耐力を基準として、それを低減するという捉え方をするよりも、その変形機構に合致した方法でせん断耐力を評価する方が合理的であると考えられる。このような視点から、この報告では縦列釘打ち面材耐力壁のせん断耐力評価法の整理と試算を行ってみることにした。

2. 計算方法

ここでは、図-1(a)のように一定間隔で並んだ複数の鉛直部材（柱、間柱等）に面材を縦列のみ釘打ちした耐力壁（幅 l (mm)、高さ h (mm)）を考える。この壁の上端に水平力 P (N)が加わり、釘接合部のすべりによって δ_J (mm)だけ水平変位を生じたときのせん断変形角を γ_J (rad.)とすると、

$$\gamma_J = \frac{\delta_J}{h} \quad (1)$$

このときの水平力 P と釘接合部のすべりによる水平変位 δ_J の関係を図-2 のように割線剛性を用

いて線形近似し、 P のなす仕事を $U_{EJ}(N \cdot mm)$ とすると、

$$U_{EJ} = \frac{P \cdot \delta_J}{2} = \frac{P \cdot h}{2} \cdot \gamma_J \quad (2)$$

このとき、面材 1 枚から鉛直部材 1 本に打たれた n 本の釘のうち i 番目の釘は、図-1(b)のように水平方向にすべり $s_i(mm)$ を生じる (図-3 参照)。面材の高さ方向の中心から釘までの距離を $r_i(mm)$ とすると s_i は、

$$s_i = r_i \cdot \gamma_J \quad (3)$$

このとき釘が負担するせん断力 $f_i(N)$ は、せん断力 f_i とすべり s_i の関係を図-4 のように割線剛性を用いて線形近似し、すべり s_i に対応する割線すべり係数を $K_{si}(N/mm)$ とすると、

$$f_i = K_{si} \cdot s_i = K_{si} \cdot r_i \cdot \gamma_J \quad (4)$$

この釘接合部単体の仕事を $U_{Ji}(N \cdot mm)$ とすると、

$$U_{Ji} = \frac{f_i \cdot s_i}{2} = \frac{K_{si} \cdot r_i^2}{2} \cdot \gamma_J^2 \quad (5)$$

面材 1 枚、鉛直部材 1 本あたりの n 箇所の釘接合部の仕事を $U_{JU}(N \cdot mm)$ とすると、

$$U_{JU} = \frac{\gamma_J^2}{2} \cdot \sum_{i=1}^n K_{si} \cdot r_i^2 \quad (6)$$

鉛直方向の釘列数を m 、面材枚数を q とすると、耐力壁の全釘接合部の仕事 $U_{JT}(N \cdot mm)$ は、

$$U_{JT} = m \cdot q \cdot \frac{\gamma_J^2}{2} \cdot \sum_{i=1}^n K_{si} \cdot r_i^2 \quad (7)$$

耐力壁が釘接合部のすべりによってせん断変形角 γ_J を生じるときの水平力 P は次のように与えられる。

$$U_{EJ} = \frac{P \cdot h}{2} \cdot \gamma_J = U_{JT} = m \cdot q \cdot \frac{\gamma_J^2}{2} \cdot \sum_{i=1}^n K_{si} \cdot r_i^2 \quad (8)$$

$$P = m \cdot q \cdot \frac{\gamma_J}{h} \cdot \sum_{i=1}^n K_{si} \cdot r_i^2 \quad (9)$$

釘接合部のすべりによる縦列釘打ち耐力壁の水平力と変形角の関係は、対象とする面材と木材の釘 1 面せん断曲線 (図-4) から、(9) 式を用いて計算することができる。

このときの面材の厚さを $t(mm)$ 、せん断弾性係数を $G(N/mm^2)$ とすると、面材自体の面内せん断変形によるせん断変形角 $\gamma_S(rad.)$ は^{1,2)}、

$$\gamma_S = \frac{P}{G \cdot l \cdot t} \quad (10)$$

水平力 P によって生じる耐力壁のせん断変形角 $\gamma(rad.)$ は、

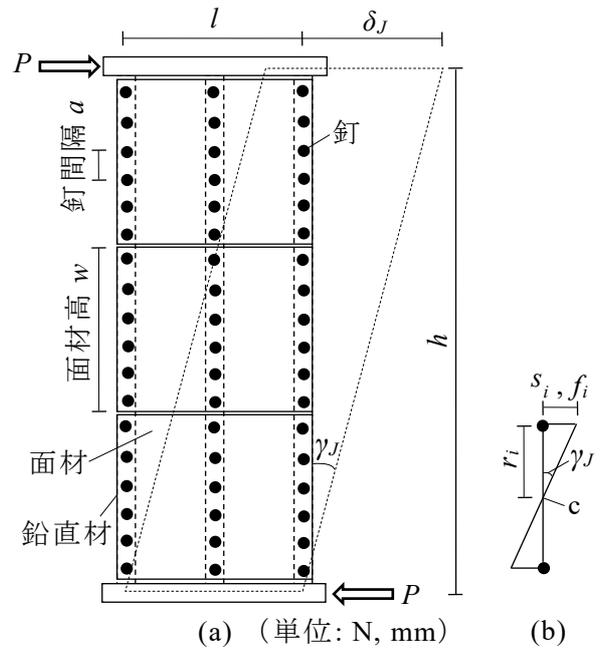


図-1 縦列釘打ち面材耐力壁

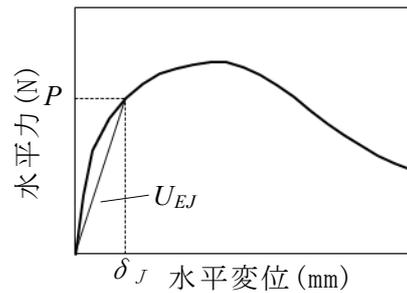


図-2 釘のすべりによる耐力壁の水平力-変位曲線



図-3 縦列釘打ち面材耐力壁の変形性状

$$\gamma = \gamma_J + \gamma_S \quad (11)$$

縦列釘打ち面材耐力壁に加わる水平力 P とせん断変形角 γ の関係は、(9)、(10)、(11)式から求められる。

上記の計算では、軸組の半剛節ラーメンとしての変形挙動⁴⁾を無視している。軸組の半剛節（閉合）ラーメンとしての変形挙動は、耐力壁のせん断抵抗を増加させるので、これを無視したせん断耐力の計算は通常安全側の評価となる。特にホールダウン金物その他によって柱脚・柱頭部が緊結されている場合は、水平力が増加するとともにこの効果が大きくなる。

ただし、このような軸組には曲げモーメントが加わるので、それによる耐力低下にも注意が必要である。四周を釘打ちした面材耐力壁の場合、鉛直部材に打たれた釘には鉛直部材に対して垂直方向よりも平行方向に傾いたせん断力が加わる^{1,2)}。これに対し、縦列釘打ち面材耐力壁の釘には鉛直部材にはほぼ垂直方向にせん断力が加わるため、せん断力の大きさが同じでも、四周釘打ちに比べて相対的に鉛直部材の曲げ変形を生じ易くなると考えられる。鉛直部材の曲げ剛性が十分大きければこの影響はわずかであるが、曲げ剛性が小さい場合はこの影響を無視できなくなる可能性がある。

3. 試算例

上記の計算方法に従い、ここでは縦列のみ釘打ちした幅 910mm、高さ 2730mm の合板張り耐力壁（図-1）について、水平力－変形角曲線の試算を行ってみることにした。計算仮定は以下の通りである。

- (1) 使用釘と釘間隔：枠組壁工法用 CN50 釘、釘間隔（図-1 の a）100mm。
- (2) 合板割り付け：(a) 合板高さ（図-1 の w）455mm×6枚、(b) 合板高さ 910mm×3枚、(c) 合板高さ 1820mm×1枚+910mm×1枚、(d) 合板高さ 2730mm×1枚。

計算には図-4 の 1 面せん断力－すべり曲線を用いた。

図-4 は気乾比重 0.47～0.51、含水率 6.9～8.3% の

9.5mm 厚カラマツ合板を、気乾比重 0.36～0.45、含水率 7.3～8.9% のトドマツ製材に枠組壁工法用 CN50 釘で打ち付けたときの 1 面せん断試験結果である⁵⁾。計算は次のような手順で行った。(1) 釘接合部のすべりによる耐力壁の変形角が 1/600、1/300、1/200、1/150、1/90、1/60、1/45、1/30、1/20、1/15 となるときの釘のすべり s_i を(3)式から求めた。(2) s_i に対応するせん断力 f_i を図-4 の釘 1 面せん断力－すべり曲線から読み取り、すべり係数 K_{s_i} を(4)式から求めた。(3) 上記の結果を用いて、釘接合部のすべりによる変形角 θ_j が上記の各値となるときの水平力 P を(4)～(9)式から求めた。この水平力 P に対する面材自体のせん断変形による変形角 γ_J を(10)式で計算し、水平力 P によって生じる耐力壁のせん断変形角 γ ($=\gamma_J + \gamma_S$) を求めた。(10)式の計算に必要な面材のせん断弾性係数 G は $0.6(\text{kN/mm}^2)$ と仮定した。

試算結果を図-5 に示す。図-5 は縦列釘打ち面材耐力壁の場合、図-1 の面材 1 枚あたりの面材高さ w が大きくなるほど、初期剛性、最大耐力ともに増加することを示している。この試算結果を見ると、間柱の曲げ剛性に配慮し、柱、間柱ともに同間隔で釘打ちを行えば、縦列のみの釘打ちでも、ある程度のせん断耐力を確保することが可能であると考えられる。この例は面材として合板を使用する場合についての試算結果であるが、現在は高耐力の窯業系構造用面材も市販されているので、同様の使い方が可能であろう。図-5 の試算結果で特に興味深いのは、面材高さ w が小さいほど初期剛性、最大せん断耐力が低下する代わりに、最大変形能が増すという点である（(1)～(9)式参照）。木造建築の構造設計では、一般に使用性能の確保や仕上げ材の損傷防止、家具・備品類の転倒防止などの観点から、高い初期剛性が求められることが多い。しかし、既存木造建築の耐震補強を行うような場合は、必ずしも初期剛性の高い耐震要素を導入することが望ましいとは限らない。初期剛

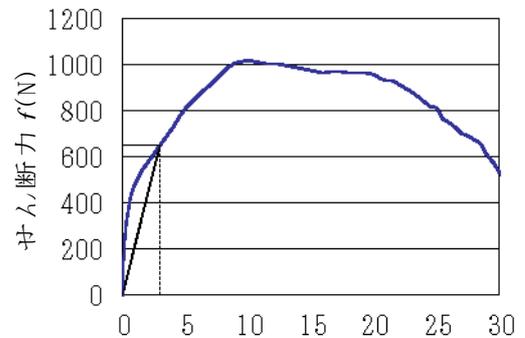


図-4 試算に用いた合板－木材釘 1 面せん断力－すべり曲線⁵⁾

性の低い既存耐震要素で構成されている既存建物の耐震補強に、既存耐震要素よりも初期剛性が高く、最大変形能の低い新規耐震要素を導入することによって、水平力の大半が新規耐震要素に集中的に加わり、既存耐震要素が力を分担する前に、それらが先行的に損傷・破壊する危険が生じることがあるからである。そのような場合は、例えば面材を図-5の $w910 \times 3$ と同様に横張り方式で割り付け、使用する釘の種類や本数を変えて最大耐力を調整する方が、建物の倒壊防止に効果的に働くことがある。一例として、図-5の $w910 \times 3$ の水平力-変形角曲線を、同一変形角 γ に対する水平力 P が 1.5 倍となるように補正した場合を図-6 に示す。

縦列釘打ち面材耐力壁は、(9)式からわかるように鉛直方向の釘列数 m に比例してせん断耐力が増加する。したがって、断面の大きな柱材が狭い間隔で配置されているような場合は、1本の柱に釘を2列打ちして釘列数 m を増やし、それによってせん断耐力を増加させることも可能であると考えられる。ただし、その場合は柱の曲げ剛性が十分高いこと、柱が釘に加わるせん断力によって割裂を生じないように、釘打ち部分の縁距離を確保できることなどが基本要件となる。

4. まとめ

この報告では、縦列釘打ち面材耐力壁のせん断耐力評価法の整理と試算を行った。その結果、施工仕様に注意を払えば、縦列のみの釘打ちでも、ある程度のせん断耐力を確保できることが分かった。また、面材の割り付けによってせん断耐力特性に違いが生じること、他の耐震要素と併用する場合は、個々の状況に応じた面材の割り付け方法や接合仕様を選択することによって、せん断耐力特性の制御も可能であることが分かった。

文 献

- 1) Itani, R.J., Obregon, S.A.: *Wood Sci.*, **16**(3), 454-465, 1984.
- 2) 平井卓郎、張沛文、入江康孝、若島嘉朗：構造用木質面材の釘接合耐力、木材学会誌、**45**(2)、120-129、1999.
- 3) 片山知実、佐々木義久、平井卓郎：西洋下見板貼り耐力壁のせん断性能評価、日本木材学会北海道支部講演集、**45**、23-26、2013.
- 4) 平井卓郎：半剛節接合部を持つ木造フレームの変形挙動(1)釘打ちガセット接合工法による梁およびラーメン型フレームの曲げ変形、北大農演研報、**44**(1)、297-326、1987.
- 5) Hirai, T., Uematsu, T., Sasaki, Y., Toda, M., Wanyama, O.G., Sawata, K.: Dynamic Responsive Characteristics of Nailed Plywood-Timber Joints under Harmonic Vibrations, *J Wood Science*, **58**(5), 408-416, 2012.

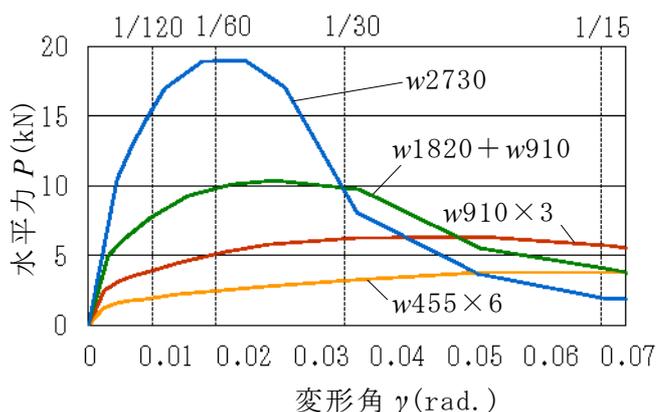


図-5 縦列釘打ち面材耐力壁の水平力-変形角曲線の試算結果

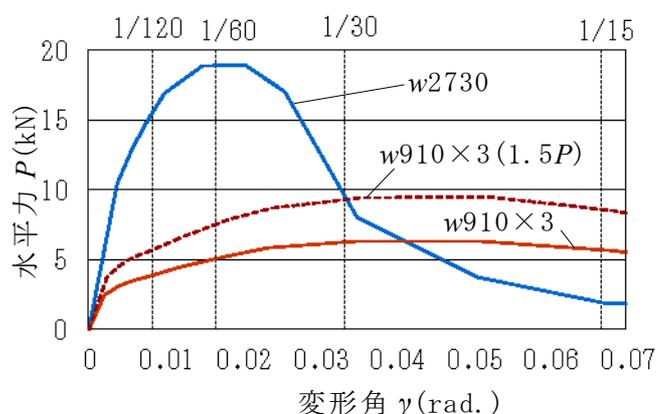


図-6 縦列釘打ち面材耐力壁の耐力特性の比較例

○鎌田 裕、荒川圭太、佐野雄三、山岸祐介(北大院農)

<背景>

植物細胞を特定の条件下で培養することで道管や仮道管といった管状要素へと分化誘導させる実験系は、細胞壁の形成過程の詳細な解析に用いられている。

ヒヤクニチソウ¹⁾やシロイヌナズナ²⁾といった草本植物の培養細胞を用いた実験系では、二次壁が網状やらせん状に肥厚した一次木部様の管状要素が多く観察され、二次壁の肥厚面積が広く発達した有縁壁孔を持つ二次木部様の管状要素は観察されていない。広葉樹においては交雑ポプラのカルス³⁾などで二次木部様管状要素の形成が報告されている。また、広葉樹とは木部の構造が異なる針葉樹においては、ラジータマツのカルスで有縁壁孔を持つ二次木部様の管状要素の分化誘導が報告され⁴⁾、仮道管におけるリグニン沈着の解析などに用いられているが⁵⁾、植物体内に形成される仮道管とは二次壁の構造が異なり、層構造を持っていない⁴⁾。また、スギの懸濁培養細胞でも管状要素の誘導が報告されているが⁶⁾、二次木部様の管状要素が誘導される割合が低いという問題がある。

そこで本研究では、これまでに管状要素誘導の報告がなされていない針葉樹であるヨーロッパトウヒ(*Picea abies*)を選び、成熟種子胚から培養細胞の作出を行うことで、針葉樹の二次木部様の管状要素を分化誘導する実験系の確立を目指した。

<手法>

培養細胞の誘導

林木育種センター北海道育種場で2012年に採取された、C622とC814の2系統のヨーロッパトウヒ成熟種子を提供していただき実験に用いた。2016年7月13、15、18日に、滅菌水に1晩浸漬させ膨潤させたヨーロッパトウヒ成熟種子を、70% 2-プロパノールに1分間、3% 次亜塩素酸溶液500 mlに対し tween 20 を数滴加えた液に5分間浸漬することで表面を殺菌後、クリーンベンチ内に移し滅菌水で洗浄した。次にメスで成熟種子胚のみを取り出し、オーキシシン(2,4-ジクロロフェノキシ酢酸(2,4-D) 0, 5, 10, 20 μM)とサイトカイニン(ベンジルアミノプリン 0, 5 μM)を組み合わせで添加し、スクロース 30 g/L とゲランガム 3.0 g/L を加え、pH 5.8 に調整した窒素源半量の MS 固体培地に静置し、23°Cの暗条件で培養を行った。

培養細胞内の管状要素の観察

管状要素が偏光顕微鏡下で複屈折を示すことから、複屈折を示す細胞を管状要素とみなすことで、5個の培養細胞塊(カルス)から取得した画像中の全細胞面積に占める複屈折を示す細胞面積の割合を求め、管状要素面積率とした³⁾。また、管状要素が見られたカルスをフランクリン液(30%過酸化水素水と氷酢酸の等液)に入れて60°Cで48時間以上処理することで解繊し、10個のカルスからそれぞれ解繊試料を作製した。この試料を用いて管状要素の二次壁の肥厚様式を分類し、さらに1試料につき各150個以上の管状要素を観察することで二次壁肥厚様式ごとの存在比率を算出した。また、解繊試料の細胞壁を100 μM アクリジンオレンジで染色し、共焦点レーザー走査顕微鏡を用いて二次壁の詳細な観察を行った。

<結果>

培養細胞の誘導

オーキシシンやサイトカイニンを添加したいずれの条件においても培養開始から2週間後にカルスが誘導された。培養開始4週間後に同条件の培地に継代を行った後、約6週間培養を続けたところ、2,4-D 20 μM 単独添加の条件で培養した C622 系統種子胚由来のカルスから不定胚形成細胞(Proembryogenic masses(PEMs))が得られた。得られた PEMs は2~3週間ごとに同条件の培地に継代培養した。継代をおよそ6ヶ月間続けたところ白色で軟らかいカルス(soft calli)と、黄色がかかった比較的硬いカルス(hard calli)

が得られた。

培養細胞内の管状要素の観察

誘導された *hard calli* では管状要素が観察され、管状要素面積率は $4.6 \pm 2.0\%$ (mean \pm SD, n=5) だった。一方、*soft calli* では管状要素は観察されなかった。解繊試料において観察された管状要素には、様々な二次壁の肥厚様式が存在しており、以下のように分類した。①網状に肥厚したもの、②大部分が網状に肥厚しているが、部分的に壁孔が形成されているもの、③レンズ状の壁孔を持つもの、④単壁孔様の円状の壁孔を持つもの、⑤広い肥厚部分と有縁壁孔を持つ二次木部に見られる仮道管様のもの(図 A)。それらの存在比率は、① $10.6 \pm 5.3\%$ 、② $16.7 \pm 3.7\%$ 、③ $8.0 \pm 2.9\%$ 、④ $9.5 \pm 3.0\%$ 、⑤ $55.3 \pm 11.6\%$ (mean \pm SD, n=10) であった。管状要素のうち、二次木部の特徴を持つ⑤の割合が 55.3% と最も高かった。さらに、仮道管様の細胞間には有縁壁孔対が並んでいる様子が観察された(図 B, C)。今後、二次木部細胞における二次壁形成を解析する実験系としての可用性を検討するため、二次壁の構造が樹木同様の層構造を有しているかを詳細に観察する必要がある。

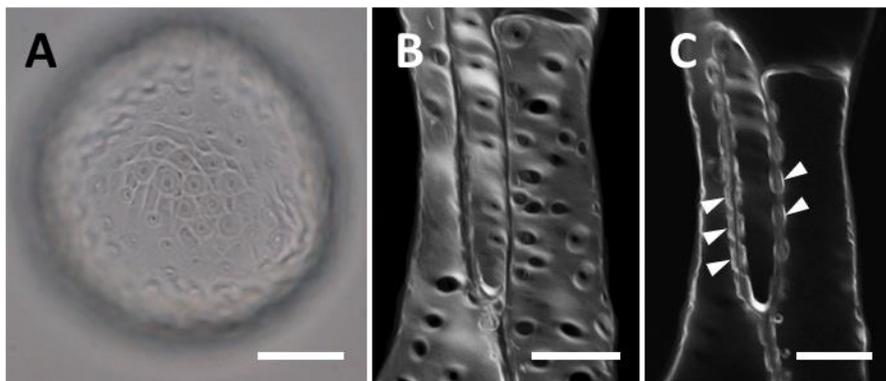


図. ヨーロッパトウヒの *hard calli* に観察された仮道管様の細胞。

(A) 光顕像, 有縁壁孔を持つ細胞。

(B) 共焦点レーザー走査顕微鏡像, 焦点位置を $0.54 \mu\text{m}$ 間隔で変えて撮影した 32 枚の画像の重ね合わせ像, 隣接して存在する仮道管様の細胞。

(C) 共焦点レーザー走査顕微鏡像, (B) の 1 光学断面像, 有縁壁孔対(矢じり)がみられる。

Bars = $30 \mu\text{m}$.

<文献>

- 1) Fukuda H, Komamine A (1980) Establishment of an experimental system for the study of tracheary element differentiation from single cells isolated from the mesophyll of *Zinnia elegans*, *Plant Physiol.* 65:57-60
- 2) Oda Y, Mimura T, Hasezawa S (2005) Regulation of secondary cell wall development by cortical microtubules during tracheary element differentiation in *Arabidopsis* cell suspensions. *Plant Physiol.* 137:1027-1036
- 3) Yamagishi Y, Yoshimoto J, Uchiyama H, Nabeshima E, Nakaba S, Watanabe U, Funada R (2013) In vitro induction of secondary xylem-like tracheary elements in calli of hybrid poplar (*Populus sieboldii* \times *P. grandidentata*), *Planta.* 237:1179-1185
- 4) Yamagishi Y, Uchiyama H, Sato T, Kitamura K, Yoshimoto J, Nakaba S, Watanabe U, Funada R (2015) In vitro induction of the formation of tracheary elements from suspension-cultured cells of the conifer *Cryptomeria japonica*, *Trees.* 29:1283-1289
- 5) Möller R, McDonald AG, Walter C, Harris PJ (2003) Cell differentiation, secondary cell-wall formation and transformation of callus tissue of *Pinus radiata* D. Don, *Planta.* 217:736-747
- 6) Möller R, Koch G, Nanayakkara B, Schmitt U (2006) Lignification in cell cultures of *Pinus radiata*: activities of enzymes and lignin topochemistry, *Tree Physiol.* 26:201-210

○玉木健也¹ 佐野雄三² 荒川圭太² 山岸祐介²

1 北海道大学 農学部

2 北海道大学 大学院農学研究院

【緒言】

日本には多くの名木、古木が存在する。樹木の遺伝資源の保存を行う上で組織培養は有効な手段である。近年では京都府仁和寺の樹齢 360 年越えのサクラ（御室桜）の古木の茎頂を培養することで増殖に成功した例がある。岩手県陸前高田市では津波から生き残ったアイグロマツが「奇跡の一本松」とよばれ震災復興の象徴となり、この保存法としても茎頂培養が試みられた。有効な培養条件は樹種によって異なることから、多くの樹種について前述のように組織培養技術を用いて樹木を保存する体制が整っているとはいえない。茎頂培養では種子による保存と異なり、交配による遺伝子型の変化を経ることなくクローン再生できる利点がある。加えて茎頂培養にはウィルスフリーの個体を作出できるという利点もある。また大量に個体を作出できるのも組織培養の魅力である。このように茎頂培養は植物の保存と増殖を行う上で適した手段であると考えられる。

そこで我々は北海道に分布するカツラ (*Cercidiphyllum japonicum*)、カシワ (*Quercus dentata*)、ハルニレ (*Ulmus davidiana* var. *japonica*) の 3 樹種について、茎頂培養の最適な培養条件を探ることを目的に研究を行った。

【実験方法】

北海道大学構内の苗畑で生育するカツラ、ハルニレおよび石狩海岸に生育するカシワを供試木とし、カツラは 2017/4/7、4/25 の計 2 回、ハルニレは 2017/4/8、カシワは 2017/4/17、5/2 にそれぞれ冬芽の採取を行った。滅菌した冬芽から茎頂をクリーンベンチ内で取り出し植え付けた。基本培地として 1/2MS 培地と WPM 培地の 2 種類を用い、糖としてスクロース 20 g/L を添加した。植物ホルモンについてはオーキシンであるインドール酢酸 (IAA) 0, 1 μM とナフチル酢酸 (NAA) 0, 1 μM とサイトカイニンである Zeatin 0.2, 1, 5 μM とベンジルアミノプリン (BAP) 1, 5, 10 μM を添加した条件および、植物ホルモン無添加の培地の合計 38 種類の条件を検討した。いずれも 25°C、16 時間日長で培養を行い、約 1 ヶ月～2 ヶ月間隔で植継ぎを行った。植継ぎには同じ条件の培地を使用した。カツラについては 3 回目の植継ぎからは植物ホルモン無添加の基本培地を用いた。

【結果および考察】

カツラにおいて茎頂が伸長した芽、そして複数の芽集合体である多芽体の形成がみられた。

植え付けから 55 日経過した時点ではサイトカイニンを添加したほぼすべての条件で茎頂が生存し、芽の伸長や伸長した芽とその根元からカルスが形成したのが見られたが、植え付けてから 103 日経過した時点では、サイトカイニンの濃度が低い条件や、サイトカイニンとして Zeatin を含んだ条件ではそれらの芽が枯死する傾向にあり、WPM 培地に BAP 5 μM を含む培地と、1/2MS 培地に NAA 1 μM と BAP 5 μM を含む培地で長期間生育し多芽体を形成した茎頂が見られた。オーキシンの有無は茎頂の成長や多芽体の形成には大きな影響を及ぼさなかった。

一方で 4/25 に植え付けたカツラで芽の伸長や多芽体の形成が多くみられたのは 1/2MS 培地に IAA 1 μM と BAP 1 μM を含む培地と、4/7 に植え付けたカツラ

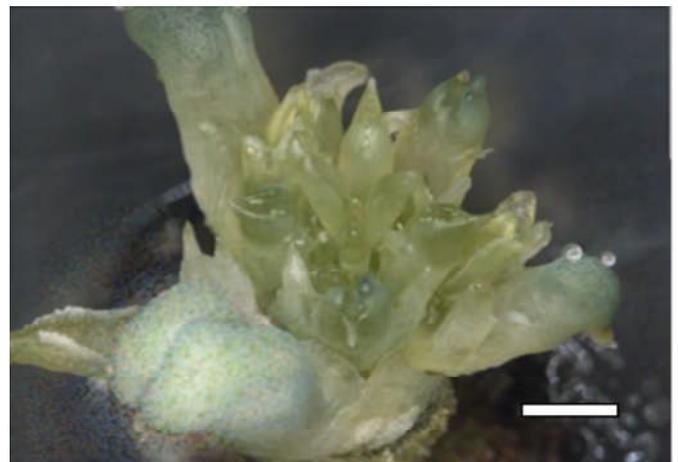


図 誘導されたカツラの多芽体 BAR=2 mm
(1/2MS 培地に NAA 1 μM と BAP 5 μM を添加し
4/7 に植え付け 103 日経過したもの)

と同様に BAP を含んだ培地においてであったが、4/7 植え付けよりも低いサイトカイニン濃度で多く見られる結果となった。これは冬芽の成長が進んだことで茎頂の植物ホルモンの感受性が高まった、もしくは茎頂でサイトカイニンの内生量が増加したなどの理由が考えられる。

ハルニレでは生存した茎頂は芽や多芽体を形成せず、すべてカルスを形成した。またカシワでは茎頂は NAA 1 μ M、BAP 10 μ M を含む WPM 培地、NAA 1 μ M、BAP 1 μ M を含む 1/2MS 培地に NAA 1 μ M と Zeatin 1 μ M を含む 1/2MS 培地においてカルス化が見られたものの、ほぼすべてが枯死した。

今回の実験では芽の伸長、多芽体の形成にカツラでは BAP を含む培地が有効であった。一方芽からの発根には至っていないため、発根のための培養条件を検討する必要がある。またハルニレについては茎頂の伸長が見られなかったことから、培地条件および茎頂の摘出方法を再検討する必要がある。カシワについては植え付けた茎頂の大部分が枯死したことから滅菌方法を見直す必要がある。

【参考文献】

佐藤孝夫 脇田陽一 錦織正智 (2012)「北海道総合研究機構林業試験場における組織培養のとりまとめ」北海道立総合研究機構林業試験場緑化樹センター pp72

○鉄穴口晃，鈴木伸吾，荒川圭太（北大院農）

【緒言】

植物が氷点下温度に曝される時、アポプラストの水は細胞内の水に比べて浸透濃度が低いため、細胞内水より先に凍結しやすい。また、植物には凍結のきっかけとなる氷核形成を促す活性(氷核活性)が存在すると報告されている (Kishimoto ら 2014) ことから、この氷核活性が細胞外の凍結に寄与している可能性も考えられる。細胞外の水が凍結すると、細胞外の氷と細胞内の過冷却した水の間には蒸気圧の差が生じ、細胞内の水が細胞外へ脱水される。温度が下がるにつれて細胞の脱水と収縮が進み、細胞内の濃度が高まる。そのため、細胞内は凍結しにくくなる (酒井 2003)。

植物における氷核の形成は、雪や霜、凍結土壌もしくはすでに凍結した植物組織のような外因性の氷、または着生氷核細菌や植物の内在的な氷核活性によって引き起こされる (Kishimoto ら 2014)。細菌由来の氷核活性は、広く研究されており、氷核タンパク質に起因するものであると考えられている (Ashworth and Kieft 1995; Fall and Wolber 1995)。また、植物由来の氷核活性物質として、レンゲツツジの髓に存在するシュウ酸カルシウムが報告されている (石川 特開 2014-55273)。

以前の研究で、シラカンバ (*Betula platyphylla* var. *japonica*) とカツラ (*Cercidiphyllum japonicum*) を用いて通年で氷核活性の検出を試みたところ、両樹種から氷核活性が検出され、特に 12 月のカツラ樹皮から高い氷核活性が検出された (鉄穴口 2014)。そこで本研究では、樹木に存在する氷核活性物質の存在を明らかにするため、12 月のカツラ樹皮から 2 種類の画分を調製し、それぞれの画分から氷核活性を検出することを試みるとともに、各画分に存在する氷核活性物質の性質について調べることにした。

【実験方法】

1. 試料の調製

供試材料として、2016 年 12 月に採取したカツラの 2~5 年生枝の樹皮を用いた。樹皮は、乳鉢と乳棒を用いて液体窒素中で粉末にした後、樹皮の生重量の 5 倍量の抽出緩衝液 [50 mM MOPS-NaOH (pH 7.0)、0.5 M ソルビトール、0.15 M NaCl、5 mM EDTA、5 mM K₂S₂O₅] とポリビニルポリピロリドン (PVPP) を加えて抽出し、遠心分離後、上清を別のチューブに取り分けた。抽出緩衝液に対して不溶性である沈殿は、新しい抽出緩衝液を用いて十分洗浄した後、再び上清を取り除き、抽出時と同量の MQ 水を沈殿に加えてよく懸濁したものを不溶性画分の試料とした。続いて、この不溶性画分に対し 10 倍量の MQ 水を加えて 30 秒間以上振とうした後、遠心分離して上清を取り分けた。この操作を同一試料について数回繰り返して得られた上清を、孔径 0.2 μm のフィルターでろ過し、そのろ液を洗浄液画分の試料とした。

2. 熱分析法による凍結温度の測定

試料の凍結温度は熱分析法 (鉄穴口 2014) によって測定した。各試料はよく振とうし、0.2 mL 容の PCR チューブに 10 μL ずつ分注した。これらのチューブは、4°C で予冷したプログラムフリーザーにセットして 0.2°C/分の速度で冷却し、試料中の水の凍結にともなう潜熱の放出を測定した。なお、1 つの試料あたり 5 つ以上のチューブに分注して凍結温度を測定し、その中央値を試料の凍結温度とみなし、中央値±標準偏差で表した。また、20 mg/mL の濃度となるように PVPP を MQ 水に懸濁した液を不溶性画分のコントロール、MQ 水を洗浄液画分のコントロ

ールとして用いた（各コントロールの凍結温度はそれぞれ、 $-18.5 \pm 1.9^\circ\text{C}$ 、 $-24.5 \pm 2.6^\circ\text{C}$ ）。

3. カツラ樹皮に存在する氷核活性物質の性質の検証

樹木に存在する氷核活性物質の性質を明らかにするため、12月のカツラ樹皮の不溶性画分、洗浄液画分に以下の様々な処理を行い、試料の氷核活性に対する影響を調べた。①熱処理： 95°C で10分間湯浴した。②プロテアーゼ処理：Proteinase K（和光純薬工業）を最終濃度が $100\ \mu\text{g}/\text{mL}$ 、MOPS-NaOH（pH 7.0）を $10\ \text{mM}$ となるように加え、 37°C で1時間静置した。③セルラーゼ処理：CELLULASE “ONOZUKA” RS（ヤクルト薬品工業）を最終濃度が 1% （w/v）、MES-NaOH（pH 5.5）を $10\ \text{mM}$ となるように加え、不溶性画分は室温で2時間、洗浄液画分は 50°C で30分静置した。④ペクチナーゼ処理：PECTOLYASE Y-23（協和化成）を最終濃度が 1% （w/v）、MES-NaOH（pH 5.5）を $10\ \text{mM}$ となるように加え、不溶性画分は室温で2時間、洗浄液画分は 50°C で30分間静置した。⑤硫酸処理：最終濃度が $10\ \text{M}$ となるように硫酸を加え、室温で30分間静置した。処理後、不溶性画分は、遠心分離して上清を取り除き、沈殿に新たに $1\ \text{mL}$ のMQ水を加えてよく振とうした後、再び遠心分離して上清を取り除いた。この作業を数回繰り返す、沈殿を洗浄した後、沈殿に最終濃度が $10\ \text{mM}$ となるようにMOPS-NaOH（pH 7.0）を加えた。一方、洗浄液画分はMQ水で10倍に希釈し、Microcon™-100を用いて元の液量になるまで限外濾過した。この作業を4回繰り返す、硫酸を十分希釈した後、この洗浄液画分に最終濃度が $10\ \text{mM}$ となるようにMOPS-NaOH（pH 7.0）を加えた。

【結果と考察】

1. カツラ樹皮不溶性画分、洗浄液画分からの氷核活性の検出

12月のカツラ樹皮から調製した不溶性画分と洗浄液画分から氷核活性の検出を試みた。その結果、両画分から氷核活性が検出され、不溶性画分は比較的高い凍結温度（ -8°C 程度）を、洗浄液画分は比較的低い凍結温度（ -11°C 程度）を示した。本研究では前者を高い氷核活性、後者を低い氷核活性とみなした。このことから、カツラ樹皮には2つのタイプの氷核活性の存在の可能性が示唆された。植物で検出された氷核活性は細胞外凍結を促すものと考えられており、これらの2種類の氷核活性は越冬機構と関連することが示唆される。

2. カツラ樹皮不溶性画分、洗浄液画分に存在する氷核活性物質の性質

不溶性画分と洗浄液画分について熱処理を行ったところ、不溶性画分の氷核活性は熱処理後に低下したのに対し、洗浄液画分の氷核活性は熱処理後に低下することはなかった（表1）。このことから、不溶性画分には熱感受的な氷核活性物質が、洗浄液画分には熱に対して非感受的な氷核活性物質が存在していると考えられる。このことは、カツラ樹皮に2つのタイプの氷核活性が存在することの根拠にもなる。すなわち、カツラ樹皮の不溶性画分には熱感受的で比較的高い氷核活性を持つ氷核活性物質が、洗浄液画分には熱非感受的で比較的低い氷核活性を持つ氷核活性物質が存在していると考えられる。

また、両画分について、タンパク質を分解するプロテアーゼ処理、セルロースを分解するセルラーゼ処理、ペクチンを分解するペクチナーゼ処理を行ったところ、両画分、すべての処理で氷核活性の変化はみられなかった（表1）。このことから、両画分の氷核活性には、タンパク質やセルロース、ペクチンが関与している可能性が小さいことが示唆された。加えて、氷核活性にタンパク質が関与していないのか更に検証するため、不溶性画分においてタンパク質を変性させるグアニジン塩酸処理とアセトン処

表1. 12月のカツラ樹皮から調製した不溶性画分および洗浄液画分の氷核活性に対する様々な処理の影響。

処理	氷核活性の変化	
	不溶性画分	洗浄液画分
熱処理	低下	影響なし
プロテアーゼ処理	影響なし	影響なし
セルラーゼ処理	影響なし	影響なし
ペクチナーゼ処理	影響なし	影響なし
硫酸処理	低下	低下

理を行ったが、これら処理においても不溶性画分の氷核活性は変化しなかった(データ示さず)。このことから、不溶性画分の氷核活性にはタンパク質が関与していないことが示唆された。これは、不溶性画分に存在する比較的高い氷核活性が、微生物由来でないことの根拠にもなりうる。

一方、両画分について、硫酸処理を行ったところ、不溶性画分においては凍結温度が 4°C 程度低下し、洗浄液画分においては凍結温度が MQ 水と同程度にまで低下した(表 1、数値データ示さず)。このことから、両画分に存在する氷核活性物質は、硫酸処理に対して感受性が高いことが明らかになった。現在、硫酸処理の影響を受ける多糖類が氷核活性に関与している可能性を考え、各画分中の構成糖の分析、糖質分解酵素処理等を行うことで、上記の可能性を検討していきたいと考えている。

【文献】

Ashworth EN, Keift TL: Ice nucleation activity associated with plants and fungi, In: Lee RE, Warren GJ, Gusta LV, eds. *Biological ice nucleation and its applications*, St.Paul, MN, APS press, 137-162 (1995)

石川雅也, 野村孝之, 槌谷明日香: シュウ酸カルシウムを含む氷核活性剤 特開 2014-55273, 公開特許公報 (A) (2014)

Fall R, Wolber PK: Biochemistry of bacterial ice nuclei, In: Lee RE, Warren GJ, Gusta LV, eds. *Biological ice nucleation and its applications*, St.Paul, MN, APS press, 63-83 (1995)

鉄穴口晃: 樹木の氷核形成機構に関する研究, 北海道大学農学部 平成 27 年度卒業論文 (2014)

Kishimoto T, Sekozawa Y, Yamazaki H, Murakawa H, Kuchitsu K, Ishikawa M: Seasonal changes in ice nucleation activity in blueberry stems and effects of cold treatments in vitro, *Environmental and Experimental Botany*, 106, 13-23 (2014)

○平良尚梧（北大農）、齋藤 涼（北大農）、
栗原 誠（北大農）、幸田圭一（北大院農）、
浦木康光（北大院農）

【緒言】

リグニンの高付加価値利用を目指して、我々の研究グループは、リグニンを原料とした電気二重層キャパシタ(EDLC)の開発を行っている。その中で、リグニンポリエステルフィルム(LPF)を EDLC の一部材であるセパレータに用いるという試みを、当支部会で既に報告した^[1]。このフィルムは、PEG-リグニン(PEGL)、無水マレイン酸(MA)とポリエチレングリコール 500,000 (PEG500kD) の三成分系からなるポリエステルで、非常に柔軟性に富み、良好なセパレータとしての性能を示した。しかし、柔軟であるために、引張強度が低いという問題があった。本研究では、この問題点を解決するために、2種類のセルロースナノファイバー (CNF) を添加して、強度増加を検討した結果を報告する。

【実験方法】

LPF の調製

TEMPO 酸化 CNF1%水分散液（日本製紙）、PEG500kD、PEGL（ハリマ化成）を水系で攪拌後、凍結乾燥した。その凍結乾燥粉末と無水マレイン酸 (MA)をよく混合し、テフロンシート上に置いた。このシートを 200°C、5 MPa で 4 時間ホットプレスした。MA と PEGL の比[-COOH (MA)/-OH (PEGL)]は 2/1、PEG500kD が 30%、および CNF 添加量が 1、5、10%とした。さらにもう一種類の CNF として、当研究室を中心に開発したアセチル化 CNF（ダイセルと日本製紙の共同研究）も用いた。

LPF の力学的特性ならびに熱的挙動の解析

得られた LPF について、引張試験と摩擦試験を行った。さらに、動的粘弾性測定により熱的挙動を追跡した。

【結果および考察】

引張試験では TEMPO 酸化 CNF 添加量が増加するにつれ、LPF の破断強度、弾性率が著しく向上した。無添加の場合と比べて、1%CNF 添加では紙飛行機を折れるほどの柔軟性を維持しつつ、LPF のヤング率および引張強度が増加した。その結果、1%CNF 添加 LPF が全ての LPF の中で最大の歪みエネルギー密度を示した。一方、5%および 10%添加では、LPF の歪みエネルギー密度は減少し、硬くて脆いフィルムとなった。また、CNF 無添加 LPF の摩擦試験では測定時間が長くなるにつれてグラフの振れ幅が大きくなり摩擦係数が増加したが、CNF を添加することで摩擦係数の変動が小さくなり、LPF に表面安定性がもたらされた。

動的粘弾性測定から、CNF 無添加 LPF では 150°C 以上では弾性率 (E' 、 E'' とも) が急激に低下し、180°C で崩壊を示した。しかし、CNF を添加することで両方の弾性率の低下が抑制され、300°C まで測定が可能であった。従って、CNF が LPF に弾性率を付与すると共に、耐熱性をも向上させたといえる。

ACF を加えると、無添加の場合に比べ延性が若干減少したが、破断強度は約 2 倍に増加した。TEMPO 酸化 CNF を 1%添加した場合と比べ、破断強度は及ばなかったが、延性は優れていた。これは、ACF の方が TEMPO 酸化 CNF よりも分散性が高いことが原因と考えている。

【引用文献】 [1] 久保田惇, 磯崎友史, 山田竜彦, 幸田圭一, 浦木康光. PEG リグニン由来の電気二重層キャパシタ用セパレータの開発. 日本木材学会北海道支部講演集第 47 号 15-16 (2015).

【謝辞】 動的粘弾性測定を行って頂いた、京都大学大学院農学研究科森林科学専攻 生物材料機能学講座 複合材料科学分野の西尾嘉之教授、杉村和紀助教に謝意を表す。

○永井翔龍（北大農）、重富顕吾、生方 信（北大院農）

【緒言】

セルロースに次いで地球上に豊富に存在するバイオマスであるリグニンは、不規則な芳香族高分子構造による難分解性等を理由に、その利用が困難とされている。より高位なリグニン利用法における基盤として、微生物によるリグニン代謝系の理解は極めて重要である。

リグニンは、白色腐朽菌を含む真菌が分泌するリグニンペルオキシダーゼ等の酸化還元酵素によって、多様な低分子芳香族化合物へと分解される。これらのリグニン由来低分子芳香族化合物は、主に *Pseudomonas* 属や *Rhodococcus* 属といった一部のバクテリアによって分解されることはよく知られている。その一方で、それらの白色腐朽菌による資化に関する詳細な研究はほとんど行われていない。本発表では、白色腐朽菌による低分子芳香族化合物の資化性について検討するために、低分子芳香族化合物を単一炭素源とした条件下で白色腐朽菌を培養し、その生育の評価を行った。また、白色腐朽菌における低分子芳香族化合物の分解経路がバクテリアの芳香族資化経路と同様の経路であるかについて検討するため、白色腐朽菌の catechol dioxygenase 遺伝子の探索を行った。さらに、実験に先立って、ergosterol による菌体定量法の改良を行った。

【実験方法】

2.1 低分子芳香族を単一炭素源とした条件下での生育評価

Trametes versicolor (NBRC 9791) , *Pleurotus eryngii* (NBRC 32798) , *Pleurotus ostreatus* (NBRC 30776) を前培養後、ホモジナイズを行い炭素源と minimum salt を含む培地にて 30 日間培養した。単一炭素源として veratryl alcohol, benzoic acid, guaiacol, vanillic acid, *cis,cis*-muconic acid (各 3.0 g/L) の 5 種を用いた。また control として minimum salt のみの培地での培養も行った。

2.2 Ergosterol による菌体定量法の改良

被検菌として凍結乾燥後、粉体化した *P. eryngii* 子実体 50 mg を用いた。常法に従い、菌体を酸化防止剤として 10 μ L 2,6-di-*tert*-butyl-*p*-cresol(50 g/L)を含む 10 mL KOH /MeOH(80 g/L)中で 70 $^{\circ}$ C、1 時間処理した後、hexane で 3 回の抽出操作を行い、溶媒留去と再溶解によりサンプルを調製した。また同様の処理において抽出操作の簡略化、Milli-Q 水(5.0 mL)の添加、YatalaseTM処理(2 mg/試験管, 37 $^{\circ}$ C, 2 時間)を行ったサンプルを調製した。それぞれのサンプルを内部標準物質に cholecalciferol を用いた GC-MS 分析 (TC-5) に供し、検出される ergosterol 量を内部標準に対する相対値で評価した。

2.3 Catechol dioxygenase 遺伝子の探索

NCBI 上の白色腐朽菌 4 種 (*T. versicolor* (accession number: GCF_000271585.1), *P. eryngii* (accession number: GCA_001717165.1), *P. ostreatus* (accession number: GCA_000697685.1), *Phanerochaete chrysosporium* (accession number: MJGA00000000)) の shotgun sequence を対象に BLAST 解析を行った。最初に、バクテリアにおける芳香族資化経路の鍵酵素である catechol dioxygenase (CO) に着目し、Emsemble Fungi 上に存在する塩基配列、アミノ酸配列をクエリとして、相同性を示す領域を探索した。しかし、相同性の高い配列が認められなかったため、より相同性の高い配列を求めて、NCBI 上に存在する catechol dioxygenase についても、同様に BLAST 解析を行った。

【結果・考察】

3.1 低分子芳香族を単一炭素源とした条件下での生育評価

cis,cis-Muconic acid を単一炭素源とした培地については、*T. versicolor*, *P. eryngii*, *P. ostreatus* の 3 種において目視で明確な生育が確認された。現在、生育の評価を行うため ergosterol 量による定量を行っている。一方、vanillic acid を単一炭素源とした培地、guaiacol を単一炭素源とした培地において培地の褐変が見られた。特に、*P. eryngii*, *P. ostreatus* を生育した vanillic acid 培地で生育させた時、培地の顕著な変色が見られた。

3.2 Ergosterol による菌体定量法の改良

常法とされる ergosterol 定量のプロトコル¹⁾において、分液漏斗を用いた hexane による 3 回の抽出を必要とするため、多検体の評価に適さない。このため、手順の簡便化について検討した。最初に、抽出回数を 1 回としたところ、ergosterol 量は既法に比べて微増したが、検出される絶対量は減少した。これは、MeOH 層と hexane 層との層分離が不十分であるためと考えられた。層分離を促すため、Milli-Q 水を添加し測定を行ったところ、ergosterol 検出量と絶対量はともに増大した。これにより、Milli-Q 水の添加が適切な層分離を促すことを見出した。さらに細胞壁破壊の促進を狙いアルカリ処理前に YatalaseTM処理による酵素消化を行った。これにより、既存法と比べ約 2 倍の ergosterol を検出することに成功した。YatalaseTM処理を既存法に適用した場合でも 1.5 倍の検出が見られたことから、YatalaseTM処理の有効性が認められた。

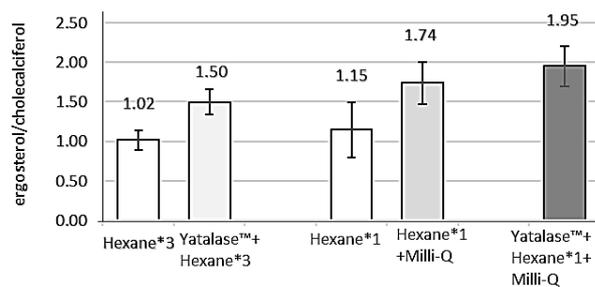


Fig.1 Ergosterol 定量法の条件検討

3.3 Catechol dioxygenase 遺伝子の探索

BLAST 解析の結果、真菌の catechol 1,2-dioxygenase (C12O) に帰属される配列と類似の部分配列が *P. chrysosporium* のゲノム中に認められた。この内、相同性の高い 2 つの配列に注目して詳細を検討した。

Trametes pubescens C12O (accession number: OJT10744.1) の 129-335 に相当する配列は *P. chrysosporium* contig9 (accession number: MJGA01000009.1) 1082733-1083464 とアラ イメントスコア 227、E-value 2e-109 を示した。しかしながら、そのうち 1083072-1083074 に停止コドンを含む 93 bp から成る挿入配列が認められた。さらに、その 1082733-1083464 の上流には相同ではあるがフレームの異なる配列が 3 箇所存在した。また、*T. pubescens* C12O の配列 89-191, 193-232 に相当する配列が *P. chrysosporium* contig2 (accession number: MJGA01000002.1) の 1158277-1158663(Frame -1, alignment score 93.6, E-value 9e-45)、1157874-1158218(Frame -2, alignment score 105, E-value 9e-45) に認められ、59 bp からなる配列に分断されていた。さらに、1158039-1158219 に停止コドンを含む 180 bp からなる挿入配列が存在した。このことから、*P. chrysosporium* は機能性の C12O を生産できないと考えられる。今後、*P. chrysosporium* 以外の白色腐朽菌 3 種の C12O 遺伝子相同領域について探索を行う。

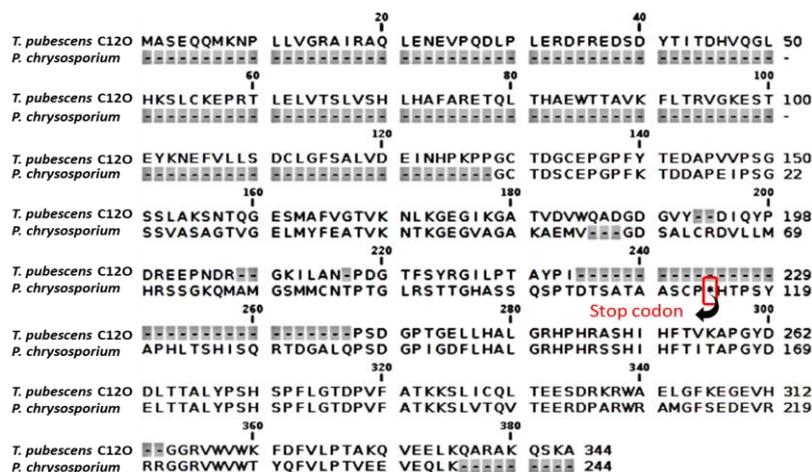


Fig.2 *T. pubescens* C12O と *P. chrysosporium* の相同配列

【参考文献】

- 1) V. M. Chicchio and L. Matković, "Determination of ergosterol in cellular fungi by HPLC. A modified technique.", *Journal of the Argentine Chemical Society*, **8**, 10-15 (2011)

○高田絵里, 三谷朋宏, 玉井 裕, 宮本敏澄 (北大農)

1. 緒言

従来、飲食物の味を評価する方法としては、人が直接評価をする官能試験を主流に行われてきた。官能評価は、目的別に評価者を選出することが必要であり、評価者の体調や嗜好によって結果が左右されること、多額の費用や時間がかかることが欠点である。

Intelligent Sensor Technology 社から味認識装置 (味覚センサー) が開発されている。味覚センサーは、味物質を人工脂質膜で受容し応答電位出力から味を数値化する。味覚センサーは各味に対応したそれぞれのセンサーを有しており、そのセンサーは個々の化学物質ではなく、その味を呈する成分に対する広域選択性を持つ。また、味覚センサーの五基本味応答閾値は人の閾値と近い。本来、おいしさの判定には食品の味だけではなく、匂いや食感さらには嗜好が影響しており、人が感じるおいしさそのままを機械が再現できるわけではないが、上に述べたことから、味覚センサーがおいしさの評価する際の尺度になると期待され、近年様々な食品の評価や味の向上に利用されている。

本研究では、官能評価と味覚センサーの結果を比較することのできるこのおいしさについての客観的な評価方法について探索することを目的としている。

2. 実験方法

食味官能試験

人がおいしいと感じるきのこの特性を調べることを目的として食味官能試験を行った。

きのこは市販の北海道産のものを使った。官能試験の各回に使用したきのこの種類は以下のとおりである。

- 1 回目…しいたけ、まいたけ、ぶなしめじ、えのき
- 2 回目…マッシュルーム、まいたけ、ぶなしめじ、えのき
- 3 回目…しいたけ、マッシュルーム、ぶなしめじ、えのき、たもぎたけ
- 4 回目…しいたけ、マッシュルーム、たもぎたけ、エリンギ

次に試料の作成方法を説明する。まず、きのここと水の液比についてはきのこ 100g に対して飲料水 200 ml に設定した。飲料水は 500 ml ビーカーにいれあらかじめウォーターバスで約 70°C に温めておく。きのこは一口大に刻み、温まった飲料水に加え全体が浸るように薬さじで抑え、30 分間熱する。30 分後、ウォーターバスから上げ、茶こしでキノコの煮汁と子実体とを分ける。水分をきった子実体は破棄した。得られた煮汁の重さを測り、300g になるように飲料水を加えたのち、室温にしばらく置いて冷ました試料を実際の官能試験に用いた。

官能試験は全 4 回で、一度に評価する試料は 4~5 種 (第 3 回のみ 5 種) とし、評価者は研究室の教員と学生 12 名 (第 2,3 回は 11 名) で試験を進めた。官能試験の流れを以下に説明する。試料をランダムに A~E とし、それぞれ約 25 ml ずつ、その試料に使用したきのこの種類は伏せて評価者に配布した。評価者は試料を口に含み、以下の項目について各試料の評価を行った。

質問1 試料の味でおいしいと感じたものから順番に順位を付ける

質問2 試料に 1~5 の点数を付ける (1:全くおいしくない、2:おいしくない、3:普通、4:おいしい、

5:すごくおいしい)。

質問3 おいしいと感じた理由、評価に関する感想

但し、質問 2 に関しては 2 回目以降の官能試験から項目にいった。

ある試料から、別の試料の評価に移る際、異なるきのこの味が混ざるのを防ぐために飲料水を飲むようにした。なお、同じ試料を何度も味見することも可能とした。

回答を集計し、質問 1(順位法)については“Kendall の一致性係数 W”を、質問 2(評点法)については“繰り返しのない二元配置法”を用い検定を行い、考察した。

味覚センサーを使った測定

味覚センサーの測定に使う試料には、えのき、しいたけ、マッシュルーム、エリンギ、たもぎたけ、まいたけ、ぶなしめじを使用した。

試料の作成手順については、先述の官能試験の試料と同じ手順で作成した。但し、比率は変えずにきのこ 150g に対し飲料水 300 ml とした。

測定には、Intelligent Sensor Technology 社の味認識装置 SA-402B を使用した。7 種類のサンプルをセンサーに設置し、4 反復で測定を行った。膜電位変化の値から、味の推定値に変換したデータを用いて統計解析、グラフ化を行い、考察を行った。

3. 結果・考察

官能試験

図 1 に各回の官能試験で試料のおいしさで順位付けを行った集計結果を示す。左から順に第 1 回、第 2 回、第 3 回、第 4 回のグラフである。

第 1 回では検定の結果、評価者の付けた順位に一致性があるとは判断できなかったが、グラフから明らかなように、しいたけがそれ以外の 3 種類に比べて順位が高いことが見て取れる。続いて第 2 回では、1 回目と差がなかったえのき、まいたけ、ぶなしめじの 3 種にマッシュルームを加えた 4 種類で行った。この場合では評価者の順位付けの結果に一致性があると判断された。第 3 回は、順位に一致性があると判断できなかったが、しいたけとたもぎたけには順位分布に特徴があった。まず、しいたけについては 1 位を付けた人が一人もなく、第 1 回と矛盾する結果となった。たもぎたけは 1 位を付けた人数、4 位を付けた人数とも一番多いという結果となり、このことからたもぎたけについては好みが二分すると考えられ、この特徴は第 4 回の結果にも見ることができる。第 4 回の結果からは順位に一致性があると判断できた。しいたけの評価の低さは第 3 回と共通していた。

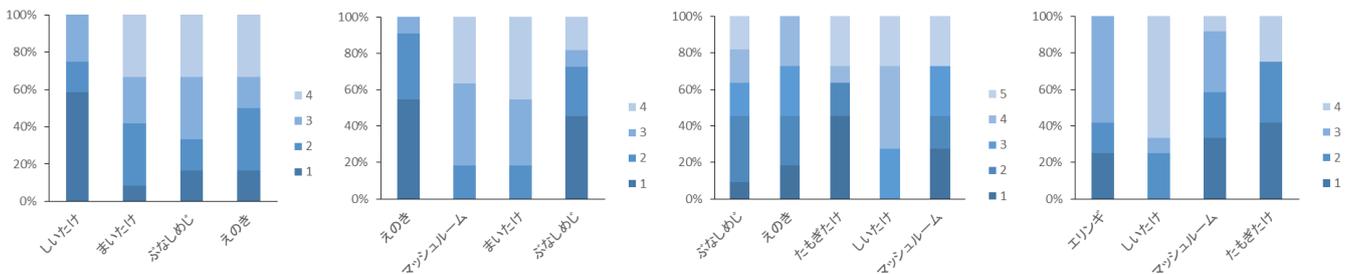


図 1. 官能試験で試料をおいしい順に順位付けを行った

図 2 にきのこのおいしさに点数を付けた結果の平均値のグラフを示す。先にも述べたが第 1 回は除き、第 2 回目以降の結果を左から順に示している。

第2回では有意差が認められた($p<0.01$)。えのきとぶなしめじが高評価、マッシュルームとまいたけが低評価であり、順位分布の傾向もこの組み合わせで類似性がある。第3回ではばらつきが目立ち、有意差が認められないという結果となった。第4回ではしいたけが有意に低評価であるという結果となった($p<0.05$)。

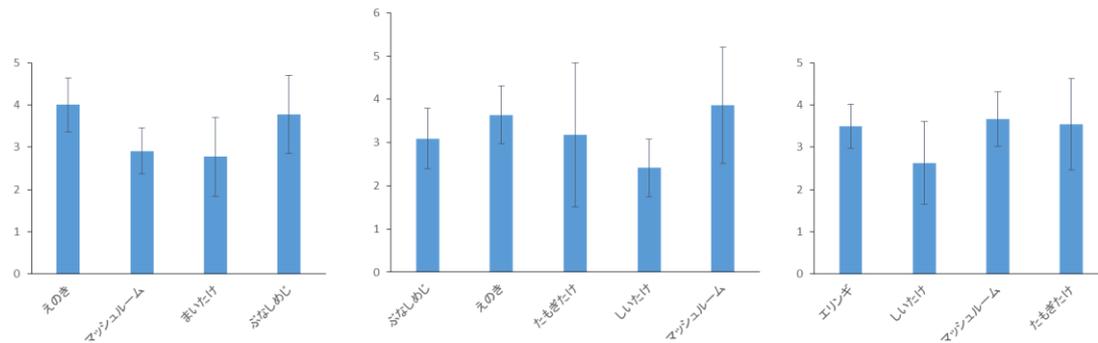


図2. 左から2回目から4回目の官能試験結果

質問1と質問2の結果から、人のきのこの味に対する嗜好の傾向を考察する。まずえのきとぶなしめじについてはわずかにえのきの評価の方が高かったが、ほぼ同程度の人気があると考えられる。しいたけは4回中3回、官能試験に使用したが、そのうち2回は低評価であったので好まれない味だと判断した。マッシュルームは第3, 4回では高評価だったことから好まれる味で、まいたけはえのきやぶなしめじに比べて低評価だと判断した。エリンギは1回しか官能試験に使用していないが、順位を集計結果から、受け入れられやすい味であることが考えられる。

以上に述べたことからきのこの味の評価でグループ分けすると、

高評価：えのき、ぶなしめじ、マッシュルーム

中程度：エリンギ、まいたけ

低評価：しいたけ

※たもぎたけは嗜好に偏りが大きいのでグループ分けから除外

という結果となった。

また、質問3の評価理由から、高評価のきのこの味の特徴は、クセがないこと、甘味・旨味が強く感じることなどが挙げられた。低評価のきのこは、生臭さがあること、苦味があることなどが味の評価に影響していた。

味覚センサーによる測定

図3に各きのこの味推定値データをグラフ化したものを示す。グラフ中の(先)値は「先味」、(後)は「後味」の意である。全体を見て、きのこを特徴づけるような推定値の値が大きい味覚項目は、苦味雑味、甘味、旨味であった。甘味については、たもぎたけとまいたけ以外のきのこで大きな値が得られたが、その中でも特に、えのきとぶなしめじが突出していた。官能試験でも、えのきとぶなしめじの甘味の強さは多くの人が指摘しており、測定値と相関性があると思われる。

官能試験で特に低評価だったしいたけは、先味の「雑味苦味」、後味の「苦味」の両項目で一番大きな値をとっている一方で、「旨味」は最も少ない。さらに甘味も特に大きく検出されていないので、しいたけの苦味や雑味が目立ち、評価の低さに影響したのではないかと考えられる。高評価だった3種類については、「渋味刺激」、「甘味」、「旨味」、「塩味」が大きく、「酸味」、「苦味」が少ないという測定結果となった。中でも、えのきとぶなしめじがととも近い測定値だった。

官能試験で高評価を得たきのこ、低評価だったきのこの測定値を比較すると、「旨味」、「渋味刺激」、「塩

味」、「甘味」は高評価の種類で大きく、低評価の種類で小さい値が測定された。また、「酸味」、「苦味」、「渋味」に関しては、低評価のもので大きく、高評価のもので小さいという結果となった。このことから、これらの項目がきのこの味の嗜好に何らかの影響を与えているのではないかと考えられる。

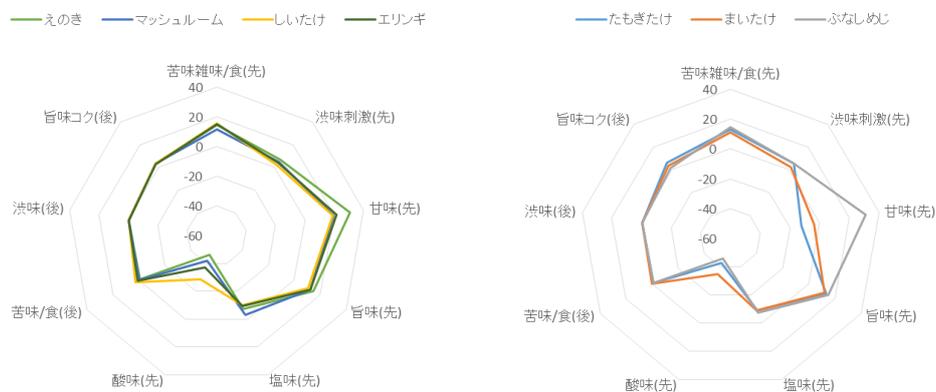


図 3. 味覚センサーの測定結果

(グラフ中の「(先)」は先味のことを示し、「(後)」とは後味のことを示している。)

【参考文献】

- 古川 秀子著：「おいしさを測る 食品官能検査の実際」，2007
- 食品の味評価のための味覚センサ活用マニュアル（第3版）
https://www.hro.or.jp/list/industrial/research/food/works/pdf/10inove03_taste3.pdf
- 都甲 潔：味覚センサーの開発と応用

○横山貴史, 玉井裕, 宮本敏澄 (北大院農), 東智則 (北林産試)

1. 緒言

きのこ栽培における子実体の形成は、温度や光、水分、酸素、二酸化炭素などの環境因子によって影響を受けている。このため、きのこの施設栽培ではこれらの環境を調節することによって品質や収量を向上させることが可能になる。光環境については、シイタケ¹⁾やエノキタケ²⁾などについて詳細に調べられた報告があるが、トキイロヒラタケについてはまだそのような報告はない。そこで、本研究ではトキイロヒラタケの子実体生長に及ぼす光照射の影響について調べた。

2. 材料と方法

2.1. 供試材料

供試菌株にはトキイロヒラタケ PSF 株を用いた。培地基材にカエデ (*Acer sp.*) のおが粉 (10 mesh pass)、栄養剤に米ぬか (20 mesh pass) を用いた。培地基材と栄養剤を体積比 3:1 で混合し、水道水を加えて含水率を 65% に調整したものを供試培地とした。

2.2. 各種 LED 光の照射

850mL の PP 製ビンに培地を約 510g 充填し、高圧滅菌 (121°C, 60 分) を行った。自然冷却後、おが種菌を接種し、温度 21°C、湿度 70% の暗所で培養した。ビン全体に菌糸が蔓延した後、菌かき及び注水処理を行い、芽出しを確認したビンを温度 23°C、湿度 90% で、赤色 LED、緑色 LED、青色 LED、白色 LED を光源とする光照射区 (光量子束密度 $12\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$) と暗黒下で生育を行った。芽出しから 4 日後に子実体を収穫し、収量、傘の直径、傘の厚み、柄の長さを測定した。傘の厚みは、傘の断面積における肉質部 (断面積からヒダの部分を引いた面積) の割合を求めて比較した。各試験区における反復数は 4 とした。

2.3. 照度の異なる青色 LED 光の照射

芽出しまでは 2.2 同様に行った。芽出しを確認したビンを温度 23°C、湿度 90% で、 $0\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 、 $2\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 、 $12\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 、 $24\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 、 $36\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ の青色 LED 光下で生育させた。芽出しから 4 日後に子実体を収穫し、収量、傘の直径、柄の長さを測定した。各試験区における反復数は 4 とした。

2.4. 菌糸構成と担子胞子の観察

暗黒下及び青色 LED 光下 ($12\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$) で生育させた子実体の肉質部から組織をピンセットで取り、5% KOH を滴下してほぐした後、フロキシシで染色し光学顕微鏡で観察した。また、ヒダの一部を切り取り、光学顕微鏡で担子胞子を観察した。菌糸構成と担子胞子の観察は、芽出し後から 7 日目まで毎日行った。

3. 結果および考察

3.1. 各種 LED 光の照射

Fig. 1 に収穫時の子実体、Table 1 に子実体の収量を示した。子実体の着色には差は認められなかった。また、各試験区間で収量に有意差は認められなかった。

各試験区で生育させた子実体の傘の直径、柄の長さ、傘の厚みをそれぞれ Fig. 2、Fig. 3、Fig. 4 に示した。傘の直径には有意差は認められなかった。柄の長さは暗黒下で最も長く $18.2\pm 3.4\text{mm}$ 、次いで赤色 LED で $12.0\pm 3.8\text{mm}$ であり、青色 LED および白色 LED ではそれぞれ $4.1\pm 1.6\text{mm}$ 、 3.0 ± 0.7 と低い値を示した。

傘の厚みは青色 LED と白色 LED でそれぞれ $79.6 \pm 2.5\%$ 、 $79.9 \pm 4.8\%$ と高い値を示した一方、暗黒下で $59.0 \pm 7.3\%$ と有意に薄かった。

子実体への光照射は、傘の厚み方向への生長を促進し、柄の伸長を抑制すると考えられる。また、光源としては青色 LED および白色 LED でその効果が大きいことが明らかとなった。



Fig.1 Fruit bodies grown under different light sources

Table 1 Effect of different light source on fruit-body yield

Fruit-body yield(g/bottle)	
Darkness	49.5 ± 5.2
Red LED	47.4 ± 3.9
Green LED	51.9 ± 3.8
Blue LED	58.0 ± 6.5
White LED	56.0 ± 4.0

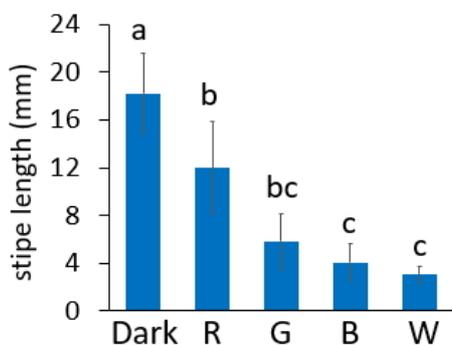


Fig.2 Stipe length of fruit bodies

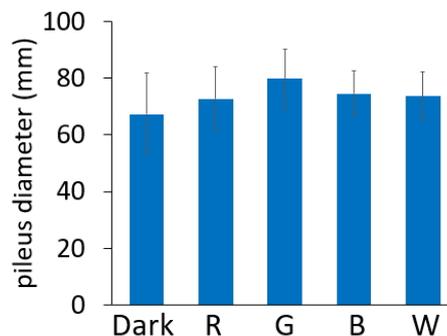


Fig.3 Pileus diameter of fruit bodies

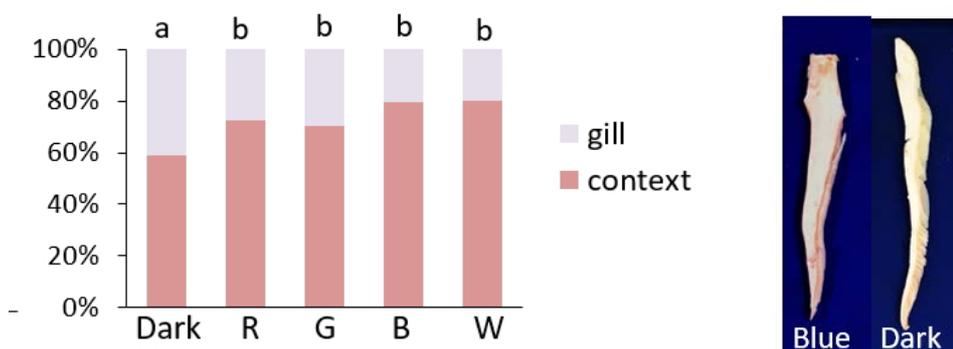


Fig.4 The proportion of context to cross-sectional area of pileus

3.2. 照度の異なる青色 LED 光の照射

Fig. 5 に収穫時の子実体、Table 2 に子実体の収量を示した。各試験区間で収量に有意差は認められなかった。また、傘の直径と柄の長さをそれぞれ Fig. 6、Fig. 7 に示した。傘の直径には有意差は認められなかった。柄の長さは $2\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}\sim 36\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ の試験区で暗黒下よりも有意に短くなった。 $2\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ほどの弱い光でも、青色 LED 光は柄の伸長抑制効果があることが明らかとなった。

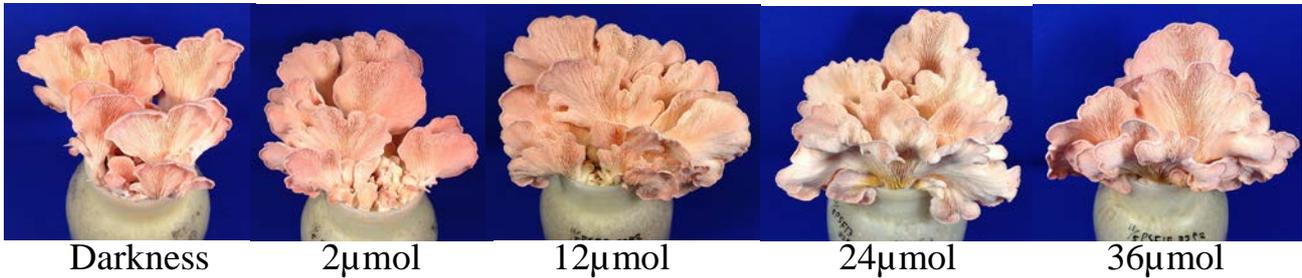


Fig.5 Fruit bodies grown under blue LED of different photon flux density

Table 2 Effect of flux density of blue LED light on fruit-body yield

	Fruit-body yield(g/bottle)
Darkness	49.8±6.2
2 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$	57.8±3.9
12 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$	59.5±6.1
24 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$	54.3±7.6
36 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$	56.5±3.9

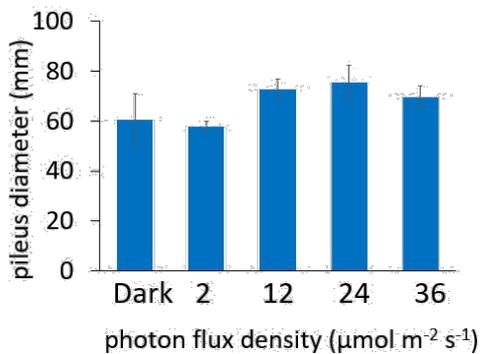


Fig.6 Pileus diameter of fruit bodies

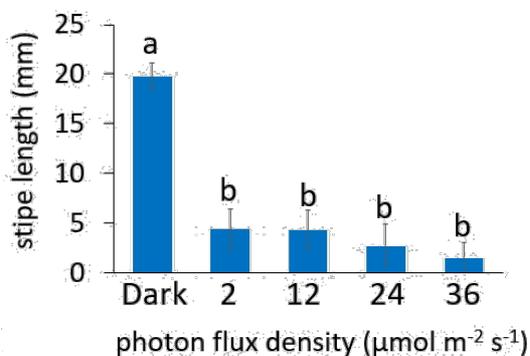


Fig.7 Stipe length of fruit bodies

3.3. 菌糸構成と胞子の観察

Fig. 8 に、芽出しから経時的に観察した子実体と肉質部の菌糸を示した。青色 LED 光下では 5 日目の時点で子実体の色がほとんど抜け、7 日目で萎れてしまった。菌糸構成は、2 日目ではほぼ全て原菌糸だったが 5 日目ではフロキシシンに染まらない骨格菌糸 (skeletal hypha) が一部観察された。7 日目では菌糸の分解が進み、細胞質の抜けた原菌糸も観察された。

暗黒下では、5 日目の時点では子実体の色はやや薄く 7 日目ではほとんど抜けてしまったが、青色 LED 光下の子実体のように萎れることはなく、より大きな子実体となった。菌糸構成は、5 日目までに見られた菌糸はほとんど原菌糸だったが、7 日目の時点では骨格菌糸が一部観察された。青色 LED 光の照射は子実体の成熟および老化、また骨格菌糸の伸長を促進していることが明らかになった。

担子胞子は青色 LED 光下で芽出しから 2 日目で観察されたが、暗黒下では 3 日目になって観察された (Fig. 9)。青色 LED 光の照射は胞子形成を促進していると考えられた。

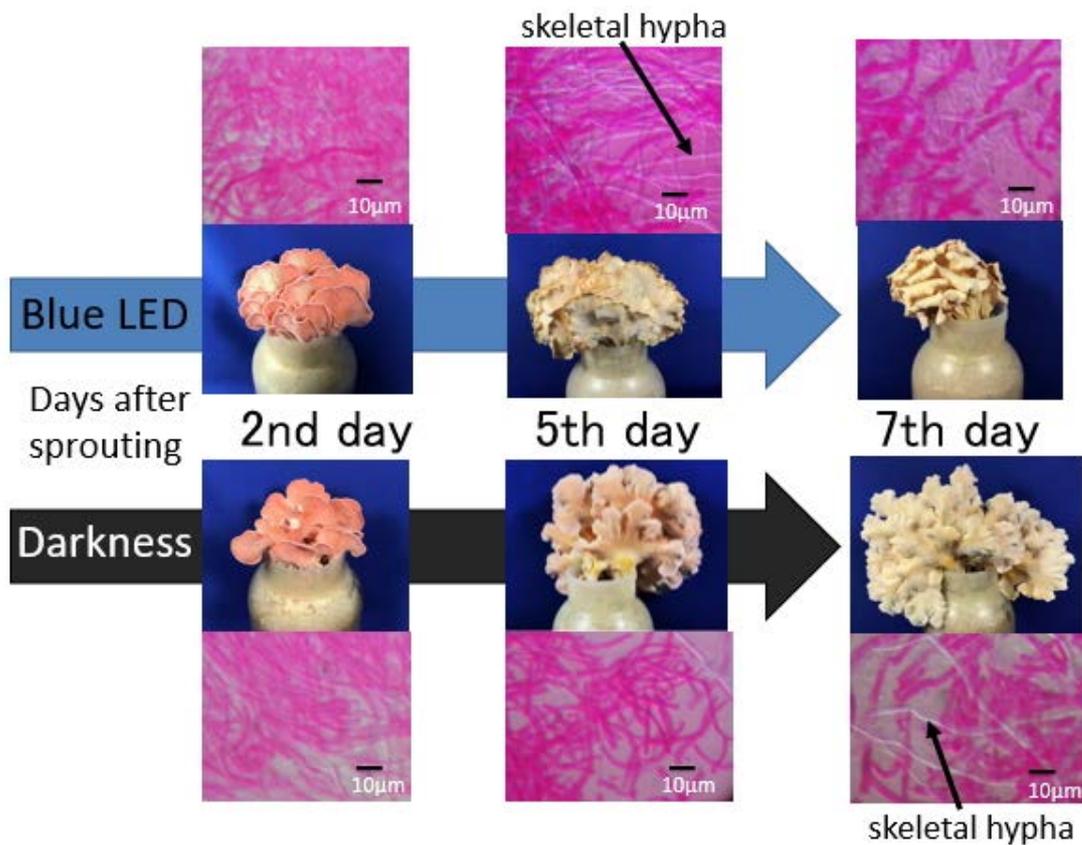


Fig.8 Hyphal system of fruit bodies grown under blue LED and darkness

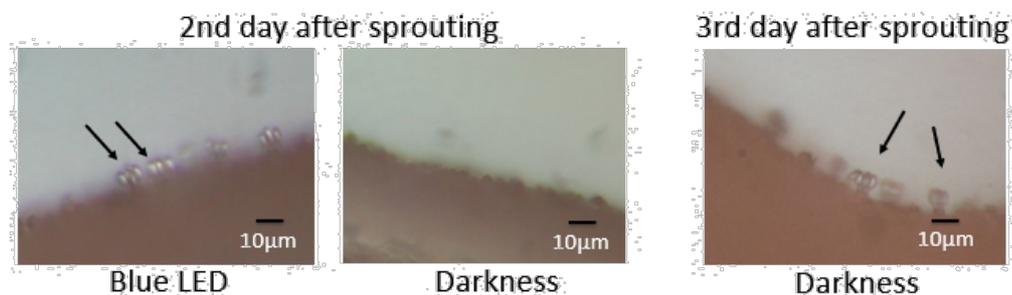


Fig.9 Sporulation of fruit bodies grown under blue LED and darkness

【まとめ】

トキイロヒラタケの子実体生長において、光照射下と暗黒下では収量及び着色の差は認められなかった。子実体に光照射を行うと、柄の伸長抑制、傘の厚み方向への生長促進、骨格菌糸の生長促進および老化、胞子形成の促進が起こることが明らかとなった。また、光源は赤色 LED、緑色 LED より青色 LED 光及び白色 LED 光で効果が大きく、光の強さには影響は受けなかった。今後はこれらの性質を利用して、高品質かつ高収量の子実体を形成させる光条件の検討をする予定である。

【参考文献】

- 1) 五十嵐祥友(2014)：菌床シイタケ栽培における光の役割，きのこ研だより 37 号 43-50
- 2) Yuichi Sakamoto · Yutaka Tamai · Takashi Yajima(2004)：Influence of light on the morphological changes that take place during the development of the *Flammulina velutipes* fruit body, *Mycoscience* 333-339(2004)
- 3) 財団法人日本きのこセンター編(2009)：図解よくわかるきのこ栽培，家の光協会，177-181

道産 CLT の面外せん断強度の評価方法について

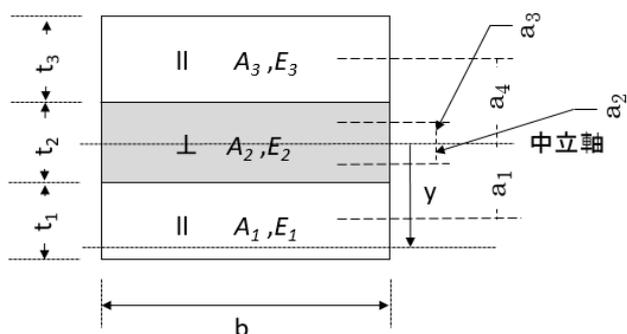
(北大院農)○川合 慶拓、小泉 章夫、澤田 圭、佐々木 義久

1. 緒言

CLT(Cross-Laminated Timber)は、新しい木質材料として 1990 年代にオーストリアで開発された。その後も欧米諸国を中心に活発に研究が行われ、最近では CLT を用いた木造ビルが建設されており、今後も 9~10 階程度の中層木造ビルの建設等が見込まれている。一方国内では、2011 年から研究開発が開始され、全国各地の研究機関で強度性能の把握とデータの蓄積が行われている。そして昨年、国交省による日本農林規格に定めるスギ CLT の材料強度及び基準強度が公布される¹⁾に至り、今後もヒノキやアカマツ材などを用いた CLT の法整備が進むと考えられる。CLT を建築材料として利用する場合は柱、壁材或いは床材となることが考えられるが、床材として利用される場合、積載荷重や固定荷重により曲げ応力とせん断応力が部材に働く。CLT のせん断応力は、CLT を構成する各層のヤング率の影響を受け、また直交層に作用するせん断力によって繊維が回転するような破壊、いわゆるローリングシアーが生じる。このローリングシアーが生じる場合は急激な耐力低下の恐れがある。よって CLT のせん断耐力の推定にはローリングシアー強度の把握が必要となるが、現在ローリングシアーに関するデータは少ない。そこで今回の研究では、道産樹種であるトドマツ・カラマツ材の CLT を作成し、直交層の構成に条件を付加してせん断破壊試験を実施した。また、合板の日本農林規格を参考に、圧縮型のローリングシアー試験を行い、逆対称 4 点曲げ試験、3 点曲げ試験との結果を合わせて、せん断応力を樹種、条件ごとで比較した。

2. せん断応力の計算方法

図 1 に示す CLT 断面を仮定する。中立軸を断面の中心と仮定すると、中立軸から距離 y の水平面に作用するせん断応力(τ_y)は、CLT 断面を構成するラミナの長さ方向平均ヤング率 E により式(1)で示される^{2,3)}。



$$\tau_y = \frac{Q \cdot S_y}{I \cdot b} = \frac{Q \cdot (ES)_y}{EI \cdot b} \quad (1)$$

ただし

 τ_y : 中立軸から距離 y の水平面に作用するせん断応力 (MPa) Q : せん断力 (N) S_y : 中立軸からの距離 y の水平面より外側の中立軸に対する断面一次モーメント (mm^3) I : CLT の断面二次モーメント (mm^4) b : CLT の幅 (mm)

図 1 3 層 CLT 断面

E : 中立軸からの距離 y の水平面より外側に幅方向に並んだひき板の長さ方向の平均ヤング率 (MPa)
CLT の曲げ剛性は、同一層幅方向に配置された複数枚ひき板の平均ヤング率によって式(2)に示される。

$$EI = \sum_{i=1}^n (E_i I_i + E_i A_i a_i^2) \quad (2)$$

ただし

n : 複層数

$E_i I_i$: i 層の曲げ剛性 EI (Nmm²)

A_i : i 層の面積(mm²) (= $t_i \times b$) (t_i : i 層ひき板厚さ)

a_i : 中立軸から i 層中心までの距離 (mm)

中立軸からの距離 $y = 0$ の時、水平面より外側の断面一次モーメント S とひき板ヤング率 E の積 ES は、図 1 に示す 3 層 CLT では、式(3)により示すことができる。ただし、この研究では直交層のヤング率 E_2 は無視して計算した。

$$(ES)_{y=0} = E_1 \cdot A_1 \cdot a_1 + E_2 \cdot 0.5A_2 \cdot a_2 \quad (3)$$

表 1 試験体の直交層の構成条件

	年輪接触角 (標準偏差)	幅はぎ 接着	無欠損 ラミナ
条件 1	ランダムに配置 平均 69.9° (10.9°)	なし	なし
条件 2	70° ~90° に統一 平均 79.1° (4.48°)	なし	なし
条件 3	ランダムに配置 平均 55.9° (9.27°)	あり	なし
条件 4	ランダムに配置 平均 57.1° (8.02°)	なし	あり

3.材料と実験方法

幅 100mm、厚さ 30mm、長さ 1800mm のトドマツ及びカラマツラミナから、図 2 に示すように幅 100mm、高さ 90mm、長さ 1800mm の 3 層 3 プライの CLT をそれぞれ 16 体ずつ製造した。なお、木材の密度はカラマツで平均 509kg/m³ で標準偏差は 43.96 kg/m³、トドマツは 389 kg/m³ で標準偏差は 27.7 kg/m³ だった。なお、逆対称 4 点曲げ破壊試験実施後に両側の非破壊部を 600mm、300mm の長さに切断して 3 点曲げ破壊試験と圧縮型試験に用いた。今回の研究では、CLT の直交層が破壊すると予想し、表 1 に示すように直交層のラミナ構成に 4 種類の条件を設け、各条件で 4 体ずつ CLT を製作した。条件 1 は直交層のラミナをランダム抽出で幅はぎ接着なしの CLT とした。ラミナの年輪接触角が 70° 以下では、せん断耐力がそれ以上の角度と比べて低下することが確認されている⁵⁾。条件 2 では年輪接触角は平均 70° ~90° となるように直交層ラミナを配置した。CLT 直交層の幅はぎ接着はされていない場合が多いが、幅はぎ接着をした際の直交層のせん断耐力を考察するため、条件 3 では幅はぎ接着した CLT を製作した。条件 4 は直交層を全て節無し・欠損なしのラミナで構成して、欠点の有無によるせん断破壊の比較も行うことにした。

試験体のヤング率は縦振動法で測定し、カラマツ CLT は平均 13.2GPa で標準偏差は 0.701GPa、トドマツ CLT は平均 10.3GPa で標準偏差は 0.37GPa だった。



図 2 3 層 3 プライ CLT 試験体

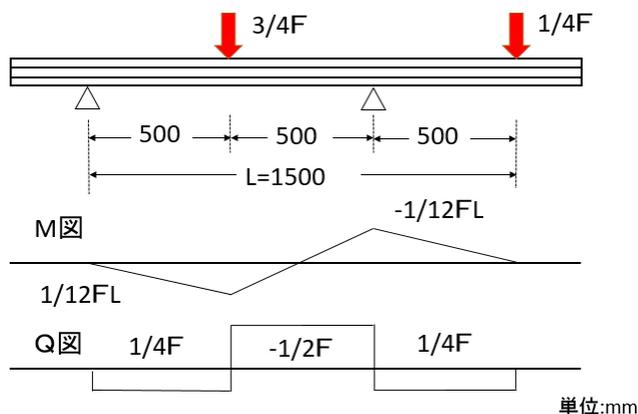


図 3 逆対称 4 点曲げ破壊試験

単位:mm

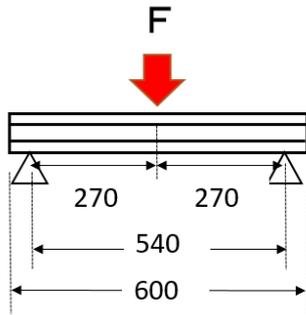


図 4 3点曲げ破壊試験

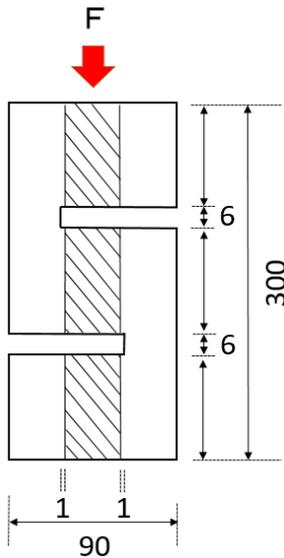


図 5 圧縮型せん断試験

せん断試験は逆対称 4 点曲げ破壊試験、3 点曲げ破壊試験、圧縮型試験で実施し、逆対称 4 点曲げと 3 点曲げはそれぞれ、構造用木材の強度試験マニュアル 第一部：構造用木材の強度試験法に規定する 11.1 せん断強さの C 法と A 法⁴⁾に準拠した。逆対称 4 点曲げ破壊試験は図 3 に示すように、スパン長 L を 1500mm、スパン間 500mm として、試験体中央部の曲げモーメントがゼロになるように左右の荷重比率を 3:1 とした。

3 点曲げ破壊試験は図 4 に示すようにスパン長を 540mm で、スパン梁せい比を 6 とした。

また、岡部ら³⁾は合板の日本農林規格にある接着力試験を参考にして、図 5 に示すような CLT の圧縮型試験を実施している。本研究でも圧縮型試験を行い、他の 2 種類の試験と比較した。圧縮型試験体は試験体高さを 300mm、スリット幅 6mm、深さを 61mm とした。全ての試験の実施の後に小試験体を切り出し、全乾法を用いて含水率を測定した。結果、カラマツ CLT は平均 12.6% で、トドマツ CLT は平均 12.6% だった。

4. 結果と考察

逆対称 4 点曲げ破壊試験による各条件のせん断強度の平均を図 6 に示す。全カラマツ CLT 試験体のラミナのせん断強度は平均 2.46MPa で標準偏差は 0.414MPa、トドマツ CLT 試験体は平均 1.82MPa で標準偏差が 0.198MPa となり、カラマツ CLT のせん断強度が約 35.2% 高い結果となった。また、

どちらの樹種でもせん断強度と年輪接触角との間には相関が見られなかった。条件毎では幅はぎ接着を施した条件 3 は、当初条件 1 よりも高いせん断耐力が得られると予想していたが、差は見られなかった。直交層ラミナにおける欠点の有意な影響について調べてみると、カラマツ・トドマツ CLT どちらの試験体でも条件 1 と 4 の間には差は見られなかった。

図 7 に 3 点曲げ破壊試験によるせん断強度の平均を示す。全カラマツ CLT 試験体のせん断強度は平均 2.58MPa でトドマツは 2.01MPa、標準偏差はカラマツ CLT が 0.62MPa でトドマツでは 0.31MPa だった。また、逆対称 4 点曲げと同様に、条件間の比較ではカラマツ CLT、トドマツ CLT 共に有意な差が見られなかった。

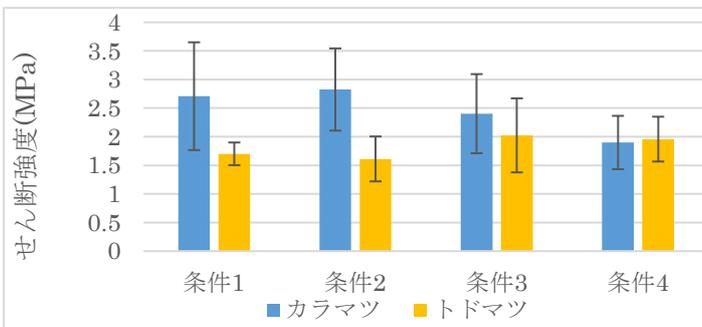


図 6 逆対称 4 点曲げ破壊試験の結果

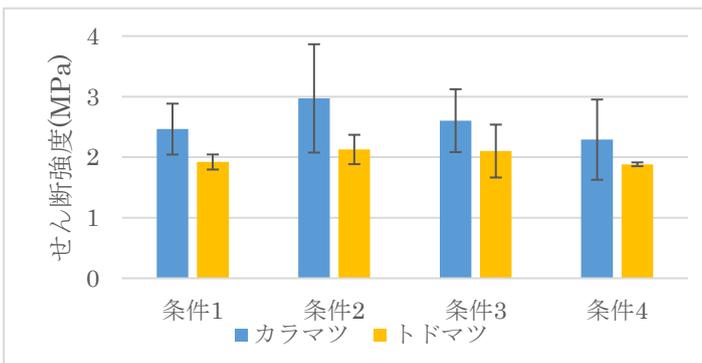


図 7 3点曲げ破壊試験の結果

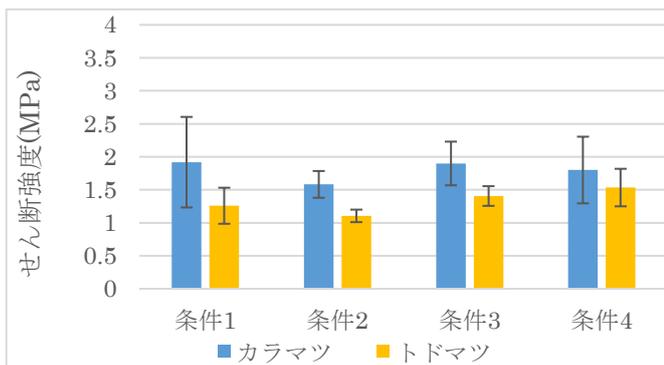


図 8 圧縮型試験の結果

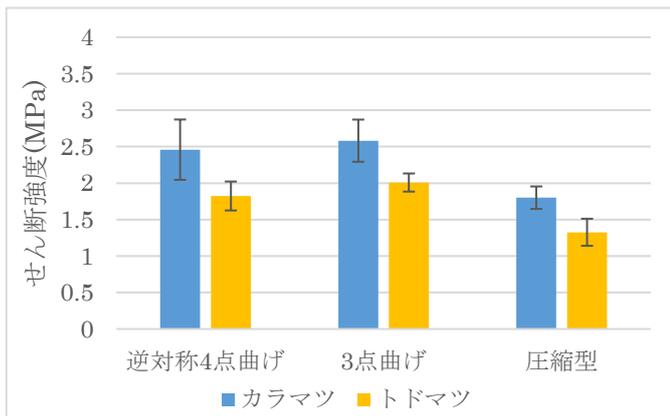


図 9 破壊試験によるせん断強度の比較

圧縮型試験による各条件のせん断強度の平均を図 8 に示す。全試験体のせん断強度はカラマツ CLT が平均 1.8MPa で、トドマツ CLT が平均 1.33MPa とカラマツ CLT の方が約 35.7% 高い結果となった。また、特にトドマツ CLT 試験体で、偏心荷重による曲げ応力などが原因と思われる平行層の割裂が発生したことから、試験体によってはローリングシアーが生じにくいことが起こりうるという点で、圧縮型試験の試験方法は問題が残る結果となった。

図 9 に示すようにせん断強度に関して 3 種類の試験方法で圧縮型試験の結果が最も小さく、カラマツ CLT の方がトドマツよりも高いせん断強度を示しながらもばらつきの大い結果を示した。また、岡部ら³⁾は 3 層 3 プライの厚さ 90mm、幅 100mm、スリット間 74mm のスギ CLT の圧縮型試験を実施し、せん断強度は平均で 1.64MPa であった。よって同試験との比較で、カラマツ CLT のせん断強度はスギ CLT よりも約 10% 高く、トドマツ CLT は約 19% 低い結果となった。

4. 結論

- ・カラマツ・トドマツ CLT 共に、逆対称 4 点曲げ破壊試験と 3 点曲げ破壊試験でせん断強度の差は小さかった。
- ・樹種による比較ではカラマツ CLT の方がトドマツよりも高く、逆対称 4 点曲げ破壊試験で約 1.35 倍、3 点曲げ破壊試験で約 1.29 倍、圧縮型試験では約 1.36 倍の結果となった。
- ・試験方法や樹種に関わらず、直交層の幅はぎ接着による効果は見られなかった。また、無欠点のラミナ構成の CLT でもせん断強度への影響は認められず、直交層の年輪接触角とせん断強度との相関も確認できなかった。
- ・トドマツ、カラマツを用いた CLT は、今回実施した圧縮型試験では、試験体にせん断荷重だけでなく偏心荷重によって曲げ応力が発生する可能性があるため、せん断強度の評価が適切にできなくなる恐れがある。

文献

- 1) (公財)日本住宅・木材技術センター：CLT 関連告示等解説書(2016)
- 2) 井道裕史,長尾博文,加藤英雄,吉田徳之：ラミナ構成の異なる集成材のせん断試験-破壊形状とせん断強度,木材学会誌 55(5),316-321(2009)
- 3) 岡部 実：スギ CLT パネル層内せん断耐力の推定. 木材学会誌 60(3),169-176(2014)
- 4) (公財)日本住宅・木材技術センター：構造用木材の強度試験マニュアル-第一部：構造用木材の強度試験法(2011)
- 5) 山井 良三郎：木材の圧縮異方性の関する研究.林業試験場研究報告 第 113 号,57-112(1959)

(道総研林産試) ○高梨隆也, 大橋義徳, 石原亘, 松本和茂

1. はじめに

日本国内では人工林材の需要拡大に向けて CLT (Cross Laminated Timber) が注目されており, 2016 年初頭には CLT の材料強度と構造設計法に関する告示^{たとえば 1, 2)}が改正, 新設され, CLT を用いた建築物が建てられるなど実用化が進んでいる。告示で定められた CLT の基準強度は, スギ CLT での実験から得られたデータに基づいているため, その対象は一部の強度等級に限定されている。そこで, 北海道産カラマツ・トドマツを用いた CLT が持つ高い強度性能を活かすために, 両樹種が相当する強度等級の基準強度への追加を目指しデータ収集を行っている^{たとえば 3, 4)}。本研究では, カラマツ CLT の長期材料性能データ収集として行ってきた 7 層 7 プライのカラマツ CLT の面外曲げクリープ試験について報告する。CLT のクリープ性能についてはスギ CLT でいくつかの研究⁵⁾がある。カラマツ CLT でのクリープ性能の評価方法, 評価対象期間の違いによる回帰計算の妥当性について考察を行った。

2. 実験方法

2. 1. 試験体

厚さ 30 mm × 幅 105 mm のカラマツラミナを水性高分子イソシアネート系接着剤で縦継ぎ, 積層したカラマツ CLT を用いた。等級構成は異等級構成の強度等級 Mx120 とした。ラミナの幅はぎは行ってない。CLT の断面構成は 7 層 7 プライとし, 最外層ラミナの繊維方向が試験体の長軸方向と平行になる強軸試験体で試験を行った。試験体寸法は幅 300 mm × 厚さ 210 mm × 長さ 4610 mm とした。試験体数は 11 体とした。

2. 2. 試験方法

モーメントアーム式の長期荷重装置 (図 1) を用いて, 支点間スパンを梁せいの 21 倍 (4410 mm) とした 3 等分点 2 点荷重方式で面外曲げクリープ試験を行った。試験は温度 20 °C, 相対湿度 65% に設定した恒温恒湿室内で行った。試験期間は 63~183 日間 (表 1) とし, 期間中は試験体側面の中立軸で支点間ヨークを用いて全たわみを計測した。

短期破壊強度に対する長期荷重レベルは, 平成 12 年建設省告示 1446 号の木質軸材料の性能評価法を参考に 37% (= 55% × 2/3) とした。短期強度試験は, 長期荷重試験用の試験体と同一原板の隣接する部位から切り出した試験体で行った。荷重条件はクリープ試験と同一とし, 最大荷重の平均値 ($n = 11$) は 76.4 kN であった。

2. 3. 評価方法

解析方法は, 経過時間ごとのたわみに対する荷重 1 分後のたわみの比 (クリープ変形比 = δ_t / δ_1) と経過時間との両対数プロットの回帰計算を行う方法 (告示法) と, 経過時間ごとのたわみから荷重 1 分後のたわみを引いた値 (クリープたわみ = $\delta_t - \delta_1$) と経過時間との両対数プロットの回帰計算を行う方法 (パワー則) とした。解析対象とするたわみデータは荷重を加え始めてから 10 分, 100 分, 500 分後, ならびに 24 時間経過後ごとのデータとし, 各試験体で荷重後 10 分後~試験終了時, 1~35 日後, 36 日後~試験終了時のデータを抜き出して回帰計算を行い (図 2), 評価対象期間の選び方の妥当性について検討した。



図 1 クリープ試験装置

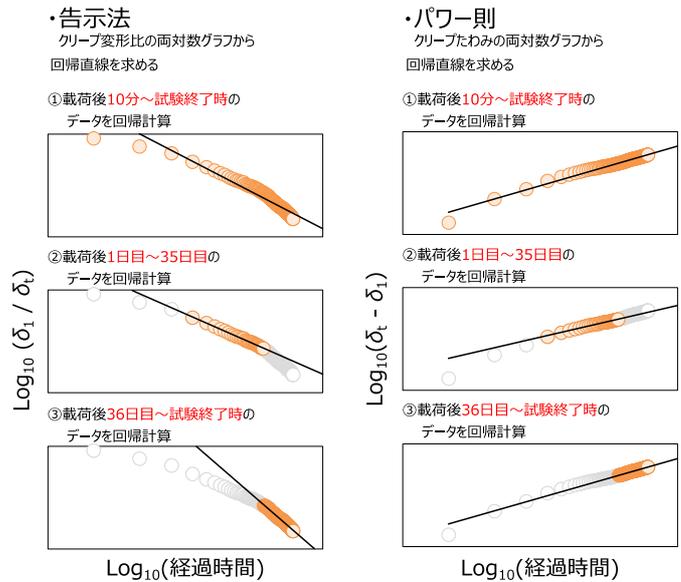


図 2 クリープたわみの回帰計算方法

3. 結果と考察

クリープ係数 δ_t / δ_1 (プロット) とその回帰曲線の関係を、6 体の試験体の結果を抜粋して図 3～5 に示す。それぞれの両対数プロットとその回帰直線の関係も併せて示す。図 3 は載荷後 10 分後～試験終了時のデータで回帰計算を行った結果である。両対数プロットの載荷直後 (載荷後 10 分, 100 分, 500 分) のプロットは直線域から外れており、その影響で回帰直線の傾きおよび切片が変化して、結果としてクリープ係数の回帰曲線と実測値の乖離が大きくなった。特に告示法による評価では過小評価となった。載荷後 24 時間以内のデータを用いると実測値と回帰値の乖離が大きくなることは木質 I 型梁でも報告されており⁶⁾、CLT においても載荷後 24 時間以内のデータを除外して回帰計算を行うのが妥当であると考えられる。

図 4 は載荷後 1～35 日目のデータで回帰計算を行った結果である。載荷期間の後半で両対数プロットと回帰直線の乖離が大きくなった試験体があり、それに伴い載荷期間後半でのクリープ係数の実測値と回帰値の差が大きくなった。図 3 と同様に告示法では過小評価となった。

図 5 は載荷後 36 日目～試験終了時のデータで回帰計算を行った結果である。この場合では載荷期間後半でのクリープ係数は実測値と回帰値でおおむね一致した。クリープの評価では回帰計算を 50 年後まで外挿して 50 年後のたわみ予測値を求めるため、試験期間の終盤で実測値と回帰値がより適合していることが求められると考える。以上より、CLT の面外曲げクリープ性能を評価する場合、載荷期間を可能な限り長くして、載荷期間終盤でのデータを用いて回帰計算を行う必要があると考える。

最後に、50 年後のたわみ予測値の初期たわみに対する比を、回帰計算方法ごとに表 1 に示す。すべての評価方法で値が 2.0 を下回っており、カラマツ CLT は木材に適用されてきた従来の値と同等のクリープ性能を有していると言える。

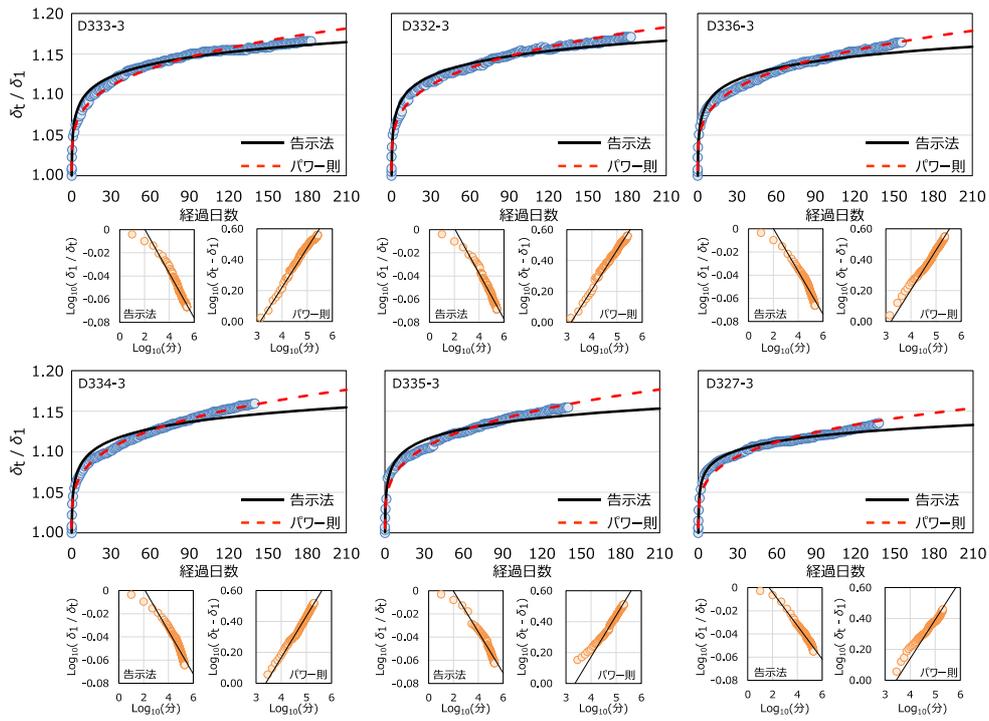


図3 クリープ係数実測値と回帰曲線の関係（載荷後10分～試験終了時のデータを用いた場合）

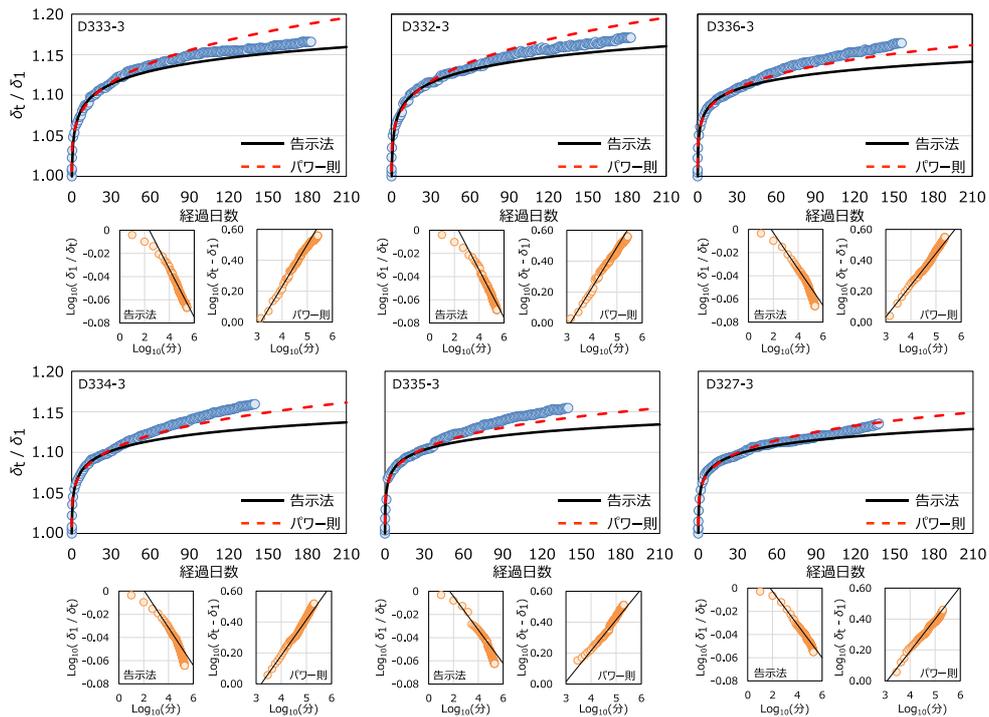


図4 クリープ係数実測値と回帰曲線の関係（載荷後1～35日後のデータを用いた場合）

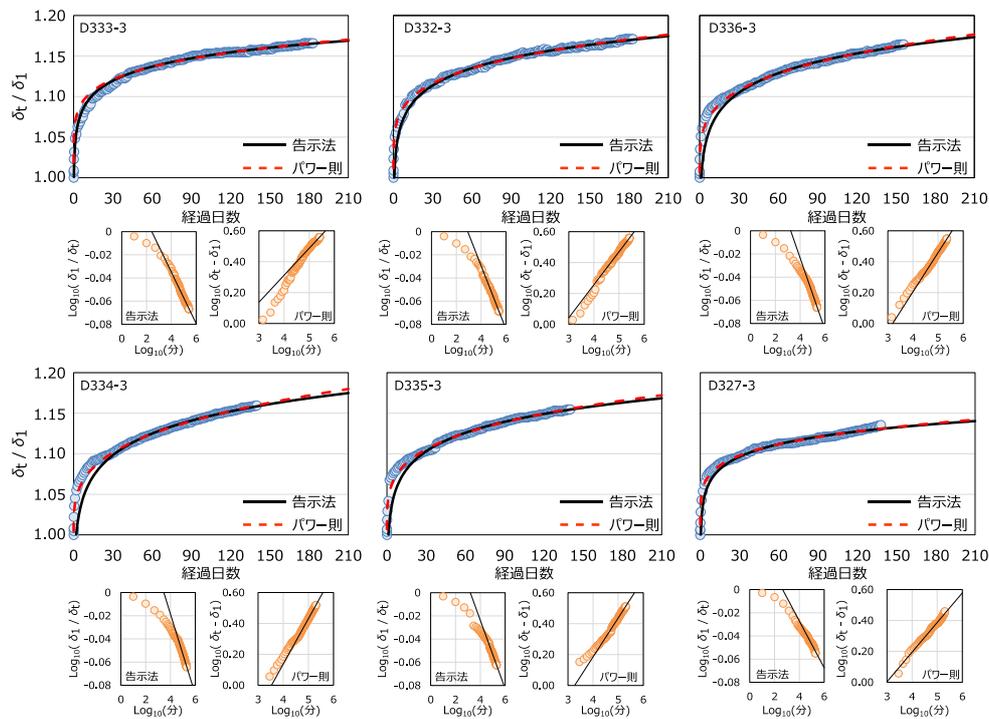


図5 クリープ係数実測値と回帰曲線の関係（載荷後36日後～のデータを用いた場合）

表1 50年後のたわみ予測値（初期たわみに対する比）

試験体 No.	試験期間 (日)	回帰計算評価対象区間					
		告示法			パワー則		
		10分～	1～35日目	36日目～	10分～	1～35日目	36日目～
D333-3	183	1.27	1.27	1.29	1.57	1.65	1.37
D332-3	183	1.27	1.27	1.33	1.57	1.64	1.46
D336-3	156	1.26	1.22	1.35	1.57	1.41	1.55
D334-3	140	1.25	1.22	1.37	1.59	1.45	1.67
D335-3	140	1.25	1.21	1.33	1.59	1.38	1.53
D327-3	138	1.21	1.20	1.25	1.48	1.38	1.33
D337-3	138	1.26	1.26	1.35	1.67	1.52	1.52
D330-3	138	1.22	1.22	1.26	1.46	1.42	1.34
D331-3	142	1.25	1.24	1.34	1.60	1.49	1.56
D329-3	64	1.20	1.22	1.32	1.64	1.54	1.63
D328-3	64	1.24	1.26	1.38	1.66	1.55	1.76
平均		1.24	1.24	1.32	1.58	1.49	1.52
最大		1.27	1.27	1.38	1.67	1.65	1.76
最小		1.20	1.20	1.25	1.46	1.38	1.33

【参考文献】

- 1) 国土交通省：国土交通省告示第561号，2016
- 2) 国土交通省：国土交通省告示第611号，2016
- 3) 高梨隆也ほか：日本建築学会大会学術講演梗概集，構造Ⅲ，115-116，2017
- 4) 松本和茂ほか：日本建築学会大会学術講演梗概集，構造Ⅲ，117-118，2017
- 5) 荒武志朗ほか：日本木材学会大会研究発表要旨集，D27-07-1045，2016
- 6) 大橋義徳ほか：木材学会誌，54(4)，174-182，2008

【謝辞】

本研究は平成27年度林野庁補助事業「地域の特性に応じた木質材料・工法の開発・普及等支援事業」により実施した。

○石原亘、宮崎淳子、大橋義徳、松本和茂（道総研林産試）

【緒言】

クロス・ラミネイティド・ティンバー（CLT）の実用化が進められる中、北海道内でも平成 27 年に道産カラマツ CLT による建築物が竣工した。しかし、冬場の室内環境が厳しい乾燥状態となり、CLT の“現し”部分において、図 1 に示すように顕著な目隙や干割れが生じ、美観が大きく損なわれるようになった。

著者ら¹⁾は、含水率や幅はぎ接着の有無等が目隙や干割れに及ぼす影響を把握するために、様々な条件で製作した小型の CLT 試験体を低湿度環境下に静置し経時的に観察を行うことで、“現し”仕様に適合した道産カラマツ CLT の製造条件を検討した。

その結果、①製造時のラミナの含水率を下げることで、②幅はぎ接着をすることで、③木裏を表面側に向けることにより、目隙や干割れが抑制され、“現し”仕様に適した CLT を製造できることが示された。

本報では既報¹⁾より得られた知見に基づいて、“現し”仕様に適合した製造条件で小型の CLT を製作し、同様の方法で目隙量及び干割れの観察を行い、その性能について検証した。

【実験方法】

〔試験体の材料と製作手順〕

ラミナは厚さ 30mm×幅 105mm×長さ 298mm（仕上がり寸法）の北海道産カラマツを使用した。低含水率のラミナを用意するために、恒温恒湿器にて気温 40℃・相対湿度 40%の環境下で調湿した。調湿後のラミナの平均含水率は 6.9%であった。接着剤は水性高分子イソシアネート系接着剤（株オーシカ製・主剤 PI5340S、硬化剤 H-50）を用いた。

試験体は 3 層 3 プライとし、5 体製作した。外層ラミナの表面は全て木裏となるようにした。内層ラミナについては、乾燥による反りを考慮し、木表と木裏が交互になるように配置した。図 2 に試験体の仕組みを示す。

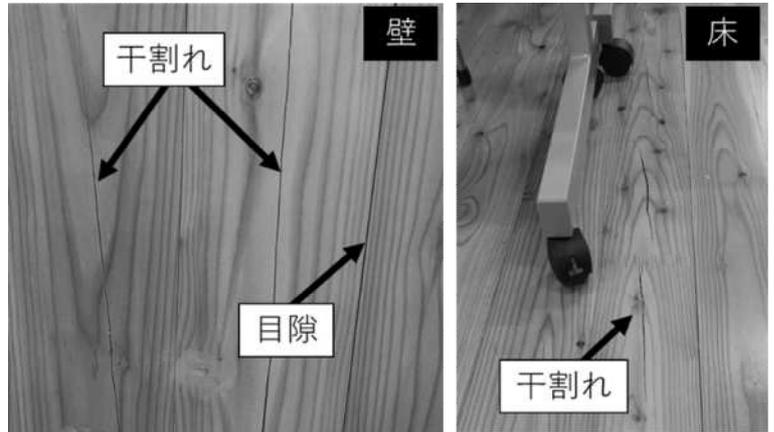


図 1 CLT に生じた目隙や割れ

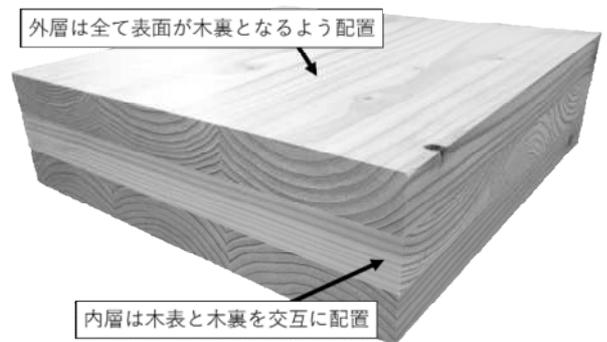


図 2 製作した試験体とラミナの配置



図 3 幅はぎ接着の様子

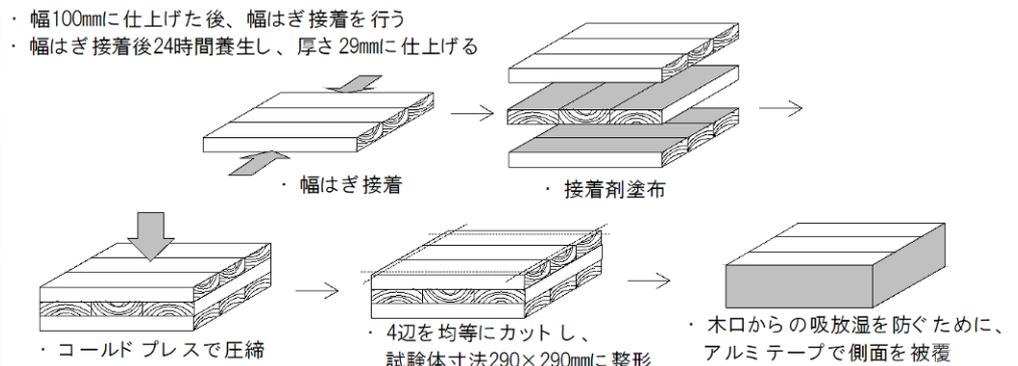


図 4 試験体の製作手順

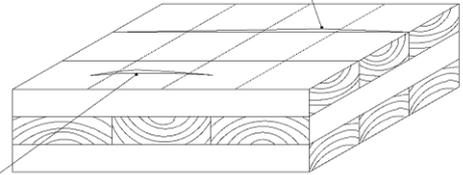
試験体は幅はぎ接着を行うものとし、ラミナを幅 100 mm に仕上げて幅はぎ接着をした。幅はぎ接着の様子を図 3 に示す。幅はぎ接着後、24 時間養生した後に厚さ 29 mm に仕上げ、その後積層し圧縮した。接着剤の塗布量は 200g/m²、圧縮圧力 1.0MPa（幅はぎ接着については塗布量 150g/m²、圧縮圧力 0.6MPa）、圧縮時間 60 分とした。試験体は圧縮後 1 週間養生した後に 4 辺を均等にカットし 290 mm×290 mm に整形した。また木口からの吸放湿を防ぐためにアルミテープで側面を被覆した。試験体の製造手順の概略を図 4 に示す。

〔目隙量と干割れの測定〕

既報¹⁾では、試験体を気温 23℃・相対湿度 30% の環境下で 14 日間静置した後、気温 23℃・相対湿度 20% の環境下で 24 日間静置し、表 1 に示すスケジュールで最大目隙量と干割れの出現数の測定を行った。今回の測定においても同一の温湿度環境及びスケジュールで行うものとした。最大目隙量は各ラミナの幅はぎ部分の隙間について、それぞれ最も大きい箇所を隙間ゲージで測定した。干割れの出現数は、各ラミナを長さ方向に 4 等分する線を引き、各線（試験体 1 体につき 18 箇所）とし、各線における干割れの有無をカウントした。図 5 に最大目隙量及び干割れの測定方法を示す。

最大目隙量の測定

・各ラミナ間の隙間が最も大きい箇所を隙間ゲージで測定



干割れの観察

・ラミナを 4 等分する線を引き、各線における干割れの有無をカウント
※この場合は干割れの出現数=2箇所となる

図 5 最大目隙量の測定と干割れの観察方法

表 1 試験体の測定スケジュール

温湿度	23℃・30%RH								23℃・20%RH							
経過日数	0	1	2	3	4	7	10	14	15	16	17	18	21	24	31	38
経過時間(h)	0	24	48	72	96	168	240	336	360	384	408	432	504	576	744	912

【結果および考察】

図 6 に最大目隙量の平均値の経時変化を、既報¹⁾の結果と共に示す。図中では初期値を基準として、経過時間ごとの増分を示した。なお、目隙は部分的に生じているものが殆んどであった。以上より、ラミナの含水率を低くし、幅はぎ接着を行うことで、目隙が大幅に低減されることが示された。

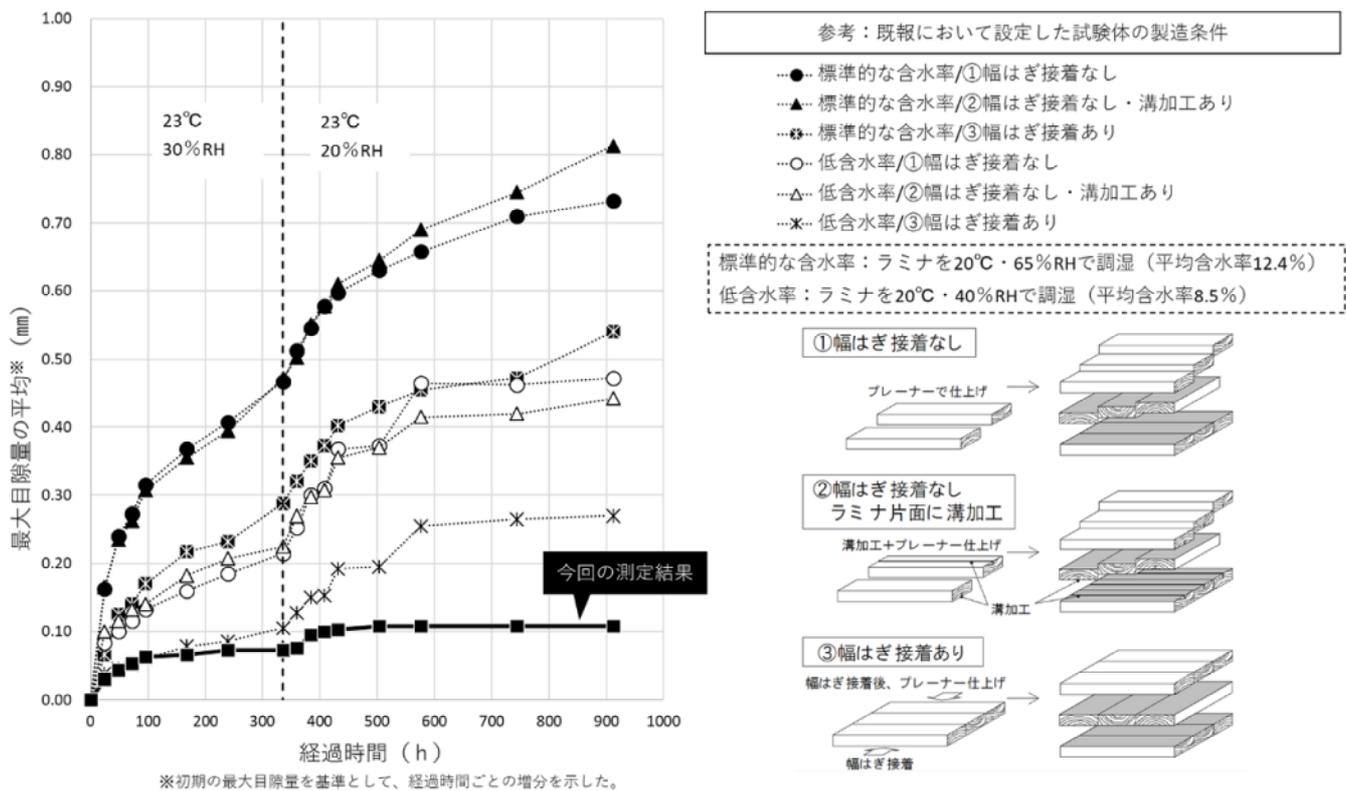


図 6 最大目隙量の平均の経時変化と既報の結果との比較

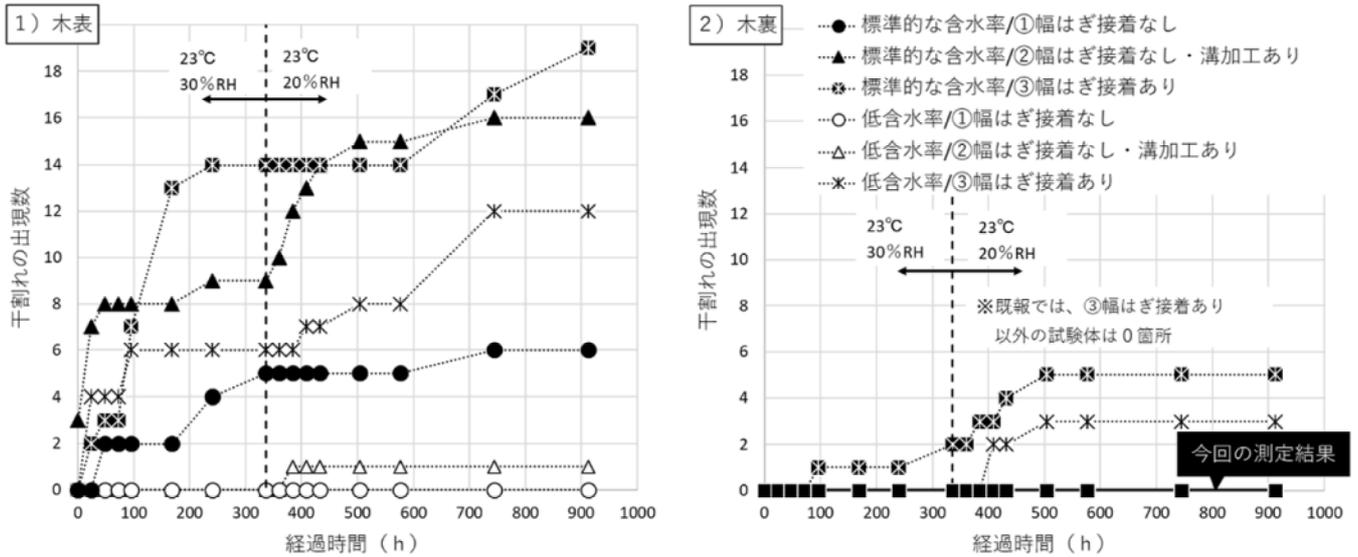


図7 干割れの出現数の経時変化と既報の結果との比較

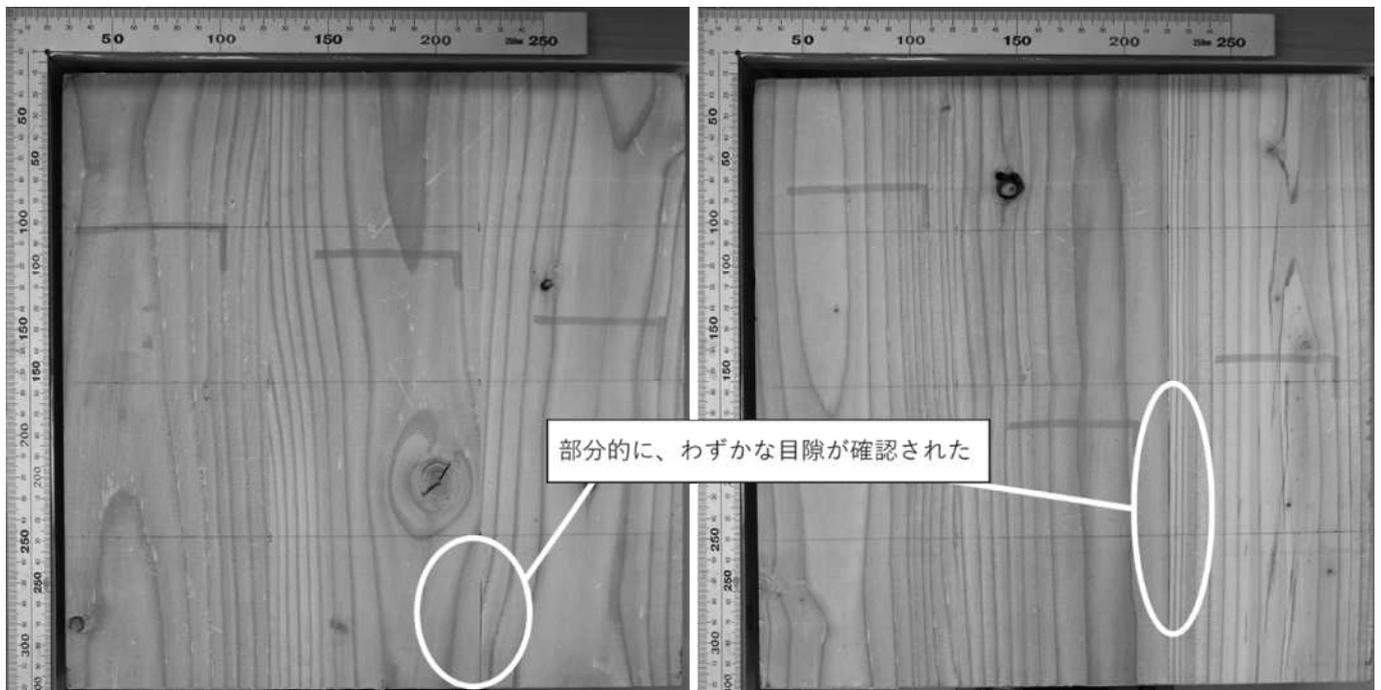


図8 試験終了時の試験体表面の例

図7に既報¹⁾における干割れの出現数との比較を示す。干割れについては、今回の試験体においては出現が確認されなかった。

図8に最終測定時の試験体表面の例を示す。幅方向にラミナを切削した際のわずかな欠損等から、部分的にわずかな目隙が生じたものの、試験体表面の様相にほとんど変化はなく美観上の問題はないと考えられる

以上より、検証を行った“現し”仕様に適したCLTは、目隙及び干割れの抑制について、おおむね良好な美観上の品質を有していることが確認された。

【参考文献】1)石原ら, 日本木材加工技術協会第35回年次大会講演要旨集, 84-85(2017)

○富高亮介, 戸田正彦 (道総研林産試), 植松武是 (北海学園大学)

1. 緒言

北海道産のカラマツおよびトドマツを用いた直交集成板 (CLT) について、層構成、ボルト径および加力方向をパラメータとした鋼板添え板ボルト接合の一面せん断試験および二面せん断試験を実施し、せん断性能の評価を行った。また、ボルト、ドリフトピンのような曲げ降伏型接合部は、ヨーロッパ型降伏理論 (EYT) を適用することで降伏せん断荷重を推定できるが、EYT を CLT の接合部に適応するためには、CLT を構成するラミナの層毎の強度比などを考慮する必要があると考えられる。本研究では、3 層 3 プライおよび 5 層 5 プライ CLT について、鋼板添え板方式の一面せん断ボルト接合および二面せん断ボルト接合の EYT による降伏耐力の計算式を誘導し、降伏耐力の実験値と計算値の比較を行った。

2. せん断試験

試験体は、カラマツ CLT (JAS 等級 Mx90、B 種構成相当、平均気乾密度 490kg/m³、平均含水率 10.0%) およびトドマツ CLT (JAS 等級 Mx90、B 種構成相当、平均気乾密度 384kg/m³、平均含水率 10.6%) で、いずれもラミナの断面寸法は、厚さ 30×幅 105mm とし、幅はぎ接着はしていない。接合具はボルトで、M12、M16、M20 の 3 種とし、座金はボルトの径に合わせ 3 種類とした。鋼板厚さは 9mm で、ボルトと CLT にあけた孔のクリアランスは 2mm、ボルトと鋼板にあけた孔のクリアランスは 1mm であり、ボルトは手締めとした。実験は層構成、ボルト径および加力方向をパラメータとした全 28 条件について実施した。試験体の仕様などを表 1 および図 1 に示す。

試験方法は、単調加力による予備試験によって得られた降伏変位を基準変位と定めた引張方向の繰り返し加力とした。加力は最大荷重の 80% を下回るか、変位の計測が困難になった時点で終了することとした。変位は鋼板と CLT との相対変位を測定した。試験体数は 1 条件あたり 6 体である。試験実施の様子を図 2 に示す。

荷重変位曲線の代表例を図 3 に示す。なお、加力方向が明記されていない曲線は全て強軸方向加力である。せん断性能を評価するにあたり、荷重変位曲線の包絡線において、変位が 15mm に達するまでの間の最大荷重を P_{max} と定め、 $0.1P_{max}$ と $0.4P_{max}$ を結んだ直線の傾きを初期剛性 K とした。また、この直線を接合具径の 5% だけずらした直線と荷重変位

表 1 試験体の仕様等

※樹種：カラマツ・トドマツ

種類	層構成	CLT材厚 / [mm]	加力方向	ボルト径 d [mm]	座金 [mm]	端距離 [mm]	縁距離 [mm]
一面せん断	3層3プライ	90	強軸	12	40×40×3.2	84 (7d)	150
				16	52×52×4.5	112 (7d)	
			弱軸	20	60×60×6.0	140 (7d)	
	5層5プライ	150	強軸	12	40×40×3.2	84 (7d)	
				16	52×52×4.5	112 (7d)	
			弱軸	20	60×60×6.0	140 (7d)	
二面せん断	3層3プライ	90	強軸	12	40×40×3.2	84 (7d)	
				16	52×52×4.5	112 (7d)	
				20	60×60×6.0	140 (7d)	
	5層5プライ	150	強軸	12	40×40×3.2	84 (7d)	
				16	52×52×4.5	112 (7d)	
				20	60×60×6.0	140 (7d)	

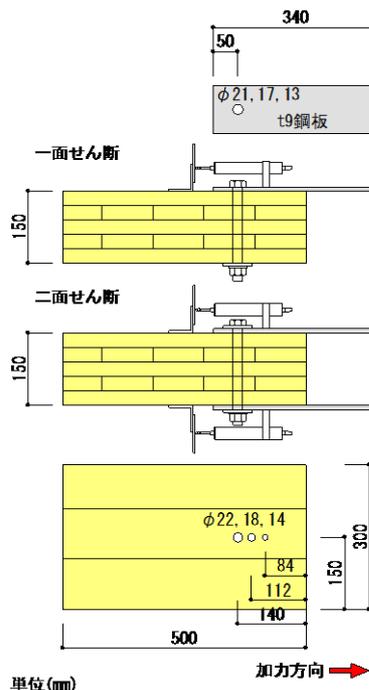


図 1 試験体の仕様



(a) 一面せん断



(b) 二面せん断

図 2 試験実施状況

曲線の交点の荷重を降伏耐力 P_y とした（「5%オフセット」¹⁾による降伏耐力）。降伏耐力 P_y と初期剛性 K を図4に示す。

降伏変位は、一面せん断、および二面せん断の試験体ともに 3~8mm であった。一面せん断の試験体では、強軸方向に加力した試験体に比べ弱軸方向に加力した試験体で降伏変位が大きい傾向があった。二面せん断の5層5プライの試験体において、降伏後にボルトの軸力が上昇することで接合部のせん断抵抗が上昇するロープ効果が他の試験体に比べ顕著に現れていた。降伏耐力はボルト径に比例して向上し、またカラマツはトドマツに比べて 1.1~1.4 倍程度の降伏耐力を示した。降伏耐力における加力方向の影響は小さかったが、初期剛性については弱軸方向に加力した試験体が強軸方向に加力した試験体の 5~6 割程度と、加力方向の影響が確認された。

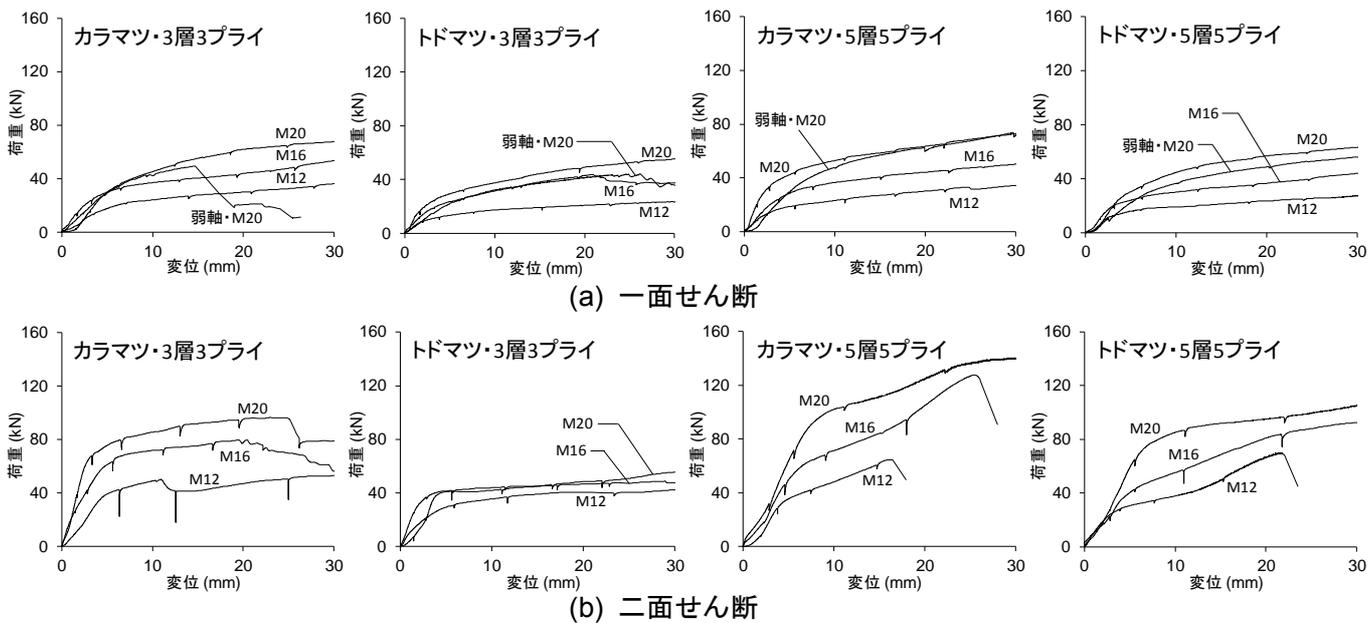


図3 代表的な荷重変位曲線（包絡処理後）

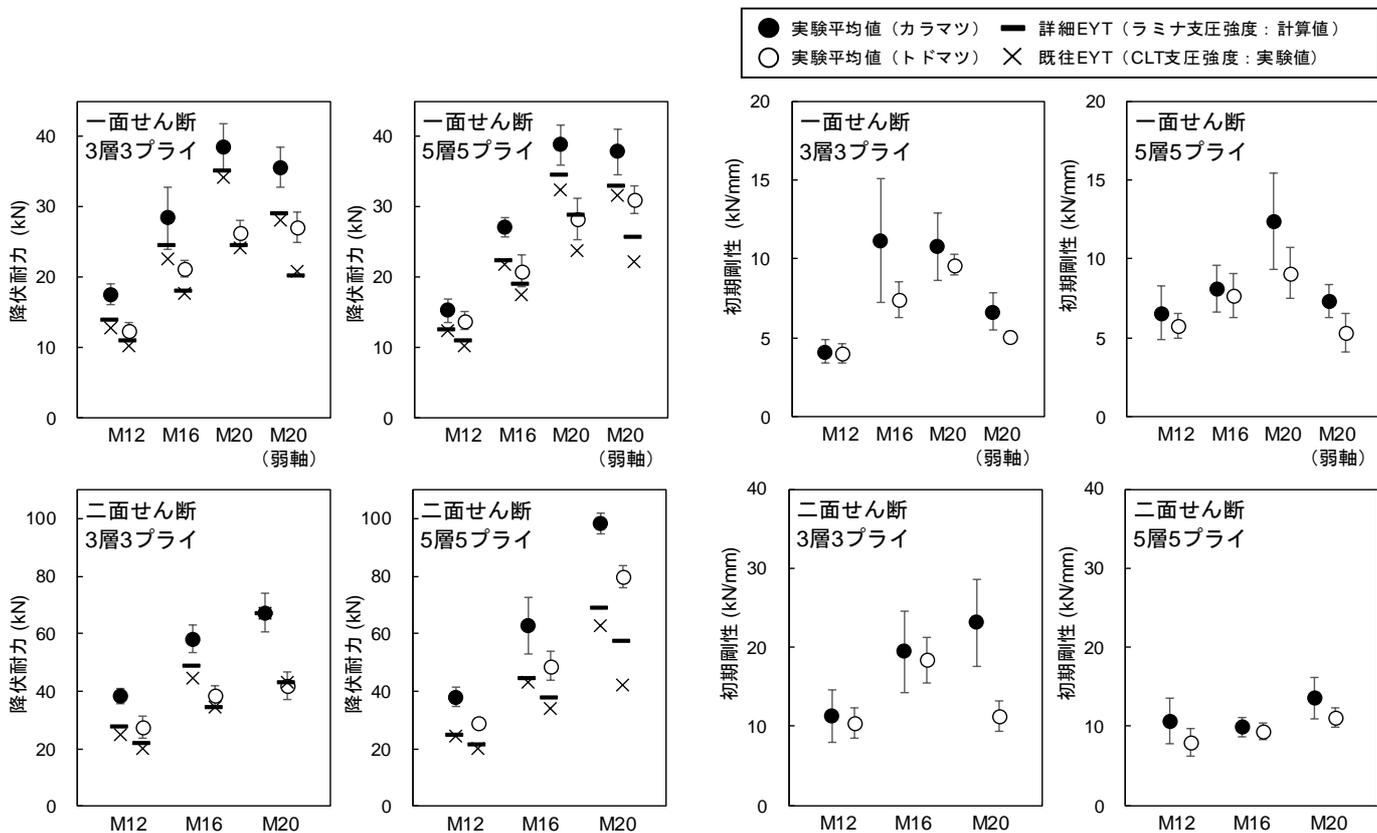


図4 降伏耐力および初期剛性の実験平均値と計算値

3. 降伏理論

EYT による曲げ降伏型接合具の降伏耐力の計算を CLT を用いた接合部に適応するには、CLT を構成するラミナの支圧強度比を考慮する必要がある。Uibel ら²⁾が鋼板を対称軸とした片側3層3プライ CLT について、中島ら³⁾が鋼板を挿入した5層5プライ CLT について、CLT に適応させた EYT による降伏耐力の計算式を報告している。本研究では、3層3プライおよび5層5プライ CLT について、鋼板添え板方式の一面せん断ボルト接合および二面せん断ボルト接合の EYT による降伏耐力の計算式を誘導した。

紙面の都合上、一例として5層5プライ CLT の一面せん断接合の EYT による降伏耐力の計算式を示す。降伏モードは、以下の3種類を仮定した。なお、CLT の層構成は同一等級構成と仮定した。

- Mode1 : 接合具に塑性ヒンジが生じない。
- Mode3 : 接合具に塑性ヒンジが1箇所が生じる。
- Mode4 : 接合具に塑性ヒンジが2箇所が生じる。

Mode3、Mode4 については、接合具の回転中心および塑性ヒンジの位置により場合分けを行った。図5に仮定した降伏モードを示す。

降伏耐力 P_y は以下の式で表される。

$$P_y = C \cdot f_1 \cdot d \cdot l \tag{1}$$

ただし、 C は接合形式係数であり、次式で表される。

$$C = \min \left\{ \begin{array}{ll} \frac{2}{5} \cdot \beta + \frac{3}{5} & \text{Mode1} \\ \sqrt{\frac{4}{5} \cdot \beta + \frac{6}{5} + \frac{2}{3} \cdot \left(\frac{d}{l}\right)^2 \cdot \gamma - \frac{2}{5} \cdot \beta - \frac{3}{5}} & \text{Mode3.1} \\ \sqrt{\frac{24}{25} \cdot \beta + \frac{26}{25} + \frac{2}{3} \cdot \left(\frac{d}{l}\right)^2 \cdot \gamma - \frac{4}{5} \cdot \beta + \frac{1}{5}} & \text{Mode3.2} \\ \sqrt{\frac{8}{25} \cdot \beta + \frac{42}{25} + \frac{2}{3} \cdot \left(\frac{d}{l}\right)^2 \cdot \gamma - 1} & \text{Mode3.3} \\ \sqrt{\beta \cdot \sqrt{\frac{44}{25} \cdot \beta + \frac{6}{25} + \frac{2}{3} \cdot \left(\frac{d}{l}\right)^2 \cdot \gamma - \frac{6}{5} \cdot \beta + \frac{1}{5}}} & \text{Mode3.4} \\ \sqrt{\frac{-4}{5} \cdot \beta + \frac{14}{5} + \frac{2}{3} \cdot \left(\frac{d}{l}\right)^2 \cdot \gamma + \frac{2}{5} \cdot \beta - \frac{7}{5}} & \text{Mode3.5} \\ \sqrt{\frac{2}{3} \cdot \left(\frac{d}{l}\right)^2 \cdot \gamma} & \text{Mode4.1} \\ \sqrt{\beta \cdot \sqrt{-\frac{1}{25} \cdot (1-\beta) + \frac{2}{3} \cdot \left(\frac{d}{l}\right)^2 \cdot \gamma - \frac{1}{5} \cdot \beta + \frac{1}{5}}} & \text{Mode 4.2} \\ \sqrt{\frac{3}{25} \cdot (1-\beta) + \frac{2}{3} \cdot \left(\frac{d}{l}\right)^2 \cdot \gamma + \frac{1}{5} \cdot \beta - \frac{1}{5}} & \text{Mode 4.3} \\ \sqrt{\beta \cdot \sqrt{-\frac{6}{25} \cdot (1-\beta) + \frac{2}{3} \cdot \left(\frac{d}{l}\right)^2 \cdot \gamma - \frac{2}{5} \cdot \beta + \frac{2}{5}}} & \text{Mode4.4} \\ \sqrt{\frac{2}{5} \cdot (1-\beta) + \frac{2}{3} \cdot \left(\frac{d}{l}\right)^2 \cdot \gamma + \frac{2}{5} \beta - \frac{2}{5}} & \text{Mode4.5} \end{array} \right. \tag{2}$$

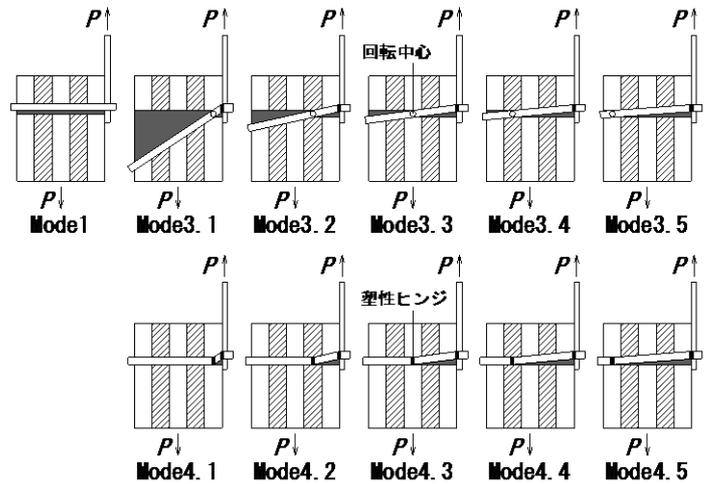


図5 降伏モード (一面せん断、5層5プライ CLT)

ただし、Mode3、Mode4 には以下の式が条件として与えられる。

$$0 < x < t \tag{3}$$

$$x = \begin{cases} \frac{l}{2} \cdot \sqrt{\frac{4}{5} \cdot \beta + \frac{6}{5} + \frac{2}{3} \cdot \left(\frac{d}{l}\right)^2} \cdot \gamma & \text{Mode3.1} \\ \frac{l}{2} \cdot \left\{ \frac{1}{\sqrt{\beta}} \cdot \sqrt{\frac{24}{25} \cdot \beta + \frac{26}{25} + \frac{2}{3} \cdot \left(\frac{d}{l}\right)^2} \cdot \gamma - \frac{2}{5} \right\} & \text{Mode3.2} \\ \frac{l}{2} \cdot \left\{ \frac{8}{25} \cdot \beta + \frac{42}{25} + \frac{2}{3} \cdot \left(\frac{d}{l}\right)^2 \cdot \gamma - \frac{4}{5} \right\} & \text{Mode3.3} \\ \frac{l}{2} \cdot \left\{ \frac{1}{\sqrt{\beta}} \cdot \sqrt{\frac{44}{25} \cdot \beta + \frac{6}{25} + \frac{2}{3} \cdot \left(\frac{d}{l}\right)^2} \cdot \gamma - \frac{6}{5} \right\} & \text{Mode 3.4} \\ \frac{l}{2} \cdot \left\{ -\frac{4}{5} \cdot \beta + \frac{14}{5} + \frac{2}{3} \cdot \left(\frac{d}{l}\right)^2 \cdot \gamma - \frac{8}{5} \right\} & \text{Mode3.5} \\ l \cdot \sqrt{\frac{2}{3} \cdot \left(\frac{d}{l}\right)^2} \cdot \gamma & \text{Mode4.1} \\ l \cdot \left\{ \frac{1}{\sqrt{\beta}} \cdot \sqrt{-\frac{1}{25}(1-\beta) + \frac{2}{3} \cdot \left(\frac{d}{l}\right)^2} \cdot \gamma - \frac{1}{5} \right\} & \text{Mode4.2} \\ l \cdot \left\{ \frac{3}{25} \cdot (1-\beta) + \frac{2}{3} \cdot \left(\frac{d}{l}\right)^2 \cdot \gamma - \frac{2}{5} \right\} & \text{Mode4.3} \\ l \cdot \left\{ \frac{1}{\sqrt{\beta}} \cdot \sqrt{-\frac{6}{25}(1-\beta) + \frac{2}{3} \cdot \left(\frac{d}{l}\right)^2} \cdot \gamma - \frac{3}{5} \right\} & \text{Mode4.4} \\ l \cdot \left\{ \frac{2}{5} \cdot (1-\beta) + \frac{2}{3} \cdot \left(\frac{d}{l}\right)^2 \cdot \gamma - \frac{4}{5} \right\} & \text{Mode4.5} \end{cases} \tag{4}$$

ここで、 f_1, f_2 (N/mm²) は最外層および最外層と直交する層の支圧強度、 β は最外層と最外層と直交する層の支圧強度比 (f_2/f_1)、 F (N/mm²) は接合具の材料強度、 γ は接合具と主材の強度比 (F/f_1)、 d (mm) は接合具径、 l (mm) は CLT の材厚、 t (mm) はラミナ厚を表わす。また、 x (mm) は接合具の回転中心または塑性ヒンジの位置を表わす変数である。

同様に、3層3プライ CLT の一面せん断接合および二面せん断接合と5層5プライ CLT の二面せん断接合について降伏耐力の計算式を誘導した。

4. 降伏耐力の実験値と計算値の比較

本稿で示した計算式を「詳細 EYT」、現行の規準式¹⁾を「既往 EYT」と呼ぶ。計算に用いるラミナおよび CLT の支圧強度を得るために、CLT の面圧試験を実施した。詳細は既報⁴⁾を参照されたい。計算に用いた CLT の支圧強度実験値を表 2 に、ラミナの支圧強度計算値を表 3 に示す。また、接合具の材料強度は中島ら³⁾を参考に 309N/mm²とした。降伏耐力の計算値を図 4 に併せて示す。

提案した詳細 EYT で計算することで、既往 EYT と比較して実験値の平均値により適合させることができた。実験値と計算値に誤差が生じる要因のひとつとして、実験に供した CLT が異等級構成であるのに対し、詳細 EYT の誘導およびラミナ支圧強度の計算において CLT を同一等級構成と仮定していることに起因していると考えられる。今後の課題としては、CLT の異等級構成の影響を考慮した降伏耐力の推定式の誘導があげられる。

表 2 CLT の支圧強度実験値

層構成	CLT支圧強度実験平均値 (N/mm ²)			
	3層3プライ		5層5プライ	
方向	強軸	弱軸	強軸	弱軸
カラマツ	37.33	29.27	35.05	34.07
トドマツ	24.08	19.69	23.65	21.50

表 3 ラミナの支圧強度計算値

層構成	ラミナ支圧強度計算値 (N/mm ²)			
	3層3プライ		5層5プライ	
方向	0°	90°	0°	90°
カラマツ	45.39	21.21	37.00	32.13
トドマツ	28.46	15.31	27.94	17.20

参考文献

- 1) 日本建築学会：木質構造設計規準・同解説, 2006.12
- 2) T Uibel, H J Blaß : LOAD CARRYING CAPACITY OF JOINTS WITH DOWEL TYPE FASTENERS IN SOLID WOOD PANELS, CIB-W18 / 39-7-5, 2006.8
- 3) 中島昌一、北守顕久、小松幸平：クロス・ラミネイティド・ティンバーを用いた鋼板挿入型ドリフトピン接合部の引張加力下の耐力指標の検討, 日本建築学会構造系論文集 Vol.78, No.687, pp.969-975, 2013.5
- 4) 富高亮介、戸田正彦、植松武是：CLT ラミナの平行層・直交層の支圧強度比を考慮した鋼板添え板ボルト接合の降伏せん断耐力の評価, 日本建築学会大会学術講演梗概集, C-1, 構造 III, pp.25-26, 2017.9

P-12 浸透性の高い木材保存剤で処理したカラマツ単板を用いた LVL の防腐性能

(道総研林産試) ○宮内輝久, 古田直之, 宮崎淳子, 大橋義徳

1 緒言

公共建築物等における木材の利用の促進に関する法律の施行および基本方針の発表(平成 22 年 10 月)を受け, これまでに 44 都道府県において公共建築物の木造化の推進方針が策定され, 国産材や地域産材の建築材料としての利用促進が進められている。そのような中, 平成 23 年 5 月, 木造公共建築物における構造や材料仕様の基準となる「木造計画・設計基準」が国土交通省により制定され(最新は平成 29 年版)¹⁾, 屋外に位置する主要な構造材については, 製材の日本農林規格³⁾に規定されている K4 に相当する, 高度な保存処理木材・木質材料の使用が求められている。また, 土台などの屋内に位置するものであっても構造物の耐用年数がより長期にわたる場合, 屋外に位置する場合と同様の保存処理が求められている。

主要な道産人工林材であるカラマツは, 心材部の液体の浸透性が極めて低いため, 心材部に薬剤が浸透している必要がある材料において, 安定的に高度な保存処理木材・木質材料を製造できる方法は一部の技術に限られている²⁾。そのため, カラマツを原料とする高度な保存処理木材・木質材料の製造技術の開発が求められている。

単板積層材(LVL)や合板は単板を積層接着して製造される。単板は製材や集成材ラミナと比較して圧倒的に薄いので, この段階で処理すれば, 単板の断面の広い範囲に木材保存剤を浸透させることができると考えられる。さらに, これらを積層接着することで材料全面に木材保存剤が浸透した高度な保存処理木質材料を製造できる可能性がある。

そこで, 本研究ではカラマツを基材とする高耐朽性木質材料の製造技術を確立する一環として, 浸透性の高い木材保存剤で処理(表面処理)したカラマツ単板を用いた LVL を試作し, 防腐性能を評価した。

なお本研究の一部は, 平成 29 年北海道森づくり研究成果発表会(森林整備部門・木材利用部門)(札幌)で発表した。

2 実験方法

2.1 処理単板の調製

浸透性の高い木材保存剤として, (株) ザイエンスより提供されたもの(木材保存剤 A と称す)を用いた。処理には木材保存剤 A (通常濃度)と木材保存剤 A の有効成分を 3 倍にしたもの(濃度 3 倍)を使用した。カラマツ単板は厚さ 3.15 mm および 2 mm のものを用い, 縦、縦、約 400 mm × 横、約 250 mm を基本に用いた。木材保存剤による処理は噴霧による表面処理で行い, 処理量は 80 または 160 g/m² とした。処理後の単板は, 室温下で 5 日間静置した後, 60°C で 24 時間乾燥した。乾燥後の単板は使用するまで室温下で保管した。

2.2 LVL の試作

LVL の試作に使用した接着剤の配合は, 主剤 100 部に対して水 8.6 部, 炭酸カルシウム 20.8 部, 小麦粉 7.8 部, 重曹 2.9 部とした。接着層一層あたりの塗布量は 22 g/900 cm² とした。3.15 mm 厚の単板を用いた場合は 7 ply に, 2 mm 単板を用いた場合は 9 ply に積層し, 0.98 MPa で 60 分間冷圧した後,

0.98 MPa, 130°Cで 55 秒 /mm 熱圧した。なお、いずれの厚さの場合も、対照用として無処理の単板を用いた LVL も同様に作成した。

2.3 防腐性能試験

2.3.1 試験体の調製

防腐性能試験は日本工業規格に規定された方法 (JIS K1571⁴⁾) に準じて行った。作成した LVL から、繊維方向の長さが 1 cm, 幅 2 cm の防腐性能試験用の試験体を調製した。なお、厚さは試作した LVL の厚さ (3.15 mm 単板は約 21 mm, 2 mm 単板は約 17 mm) とした。調製した試験体は、攪拌した状態の蒸留水中に 8 時間浸漬した後、60°C で 16 時間乾燥する操作を交互に 10 回繰り返す耐侯操作に供した。耐侯操作後、60°C で 48 時間乾燥した試験体の質量 (W_1) を測定した。質量測定後、エチレンオキサイドガスにより滅菌した試験体を腐朽操作に用いた。

2.3.2 供試菌

供試菌として、オオウズラタケ (FFPRI 0507) およびカワラタケ (FFPRI 1030) を用いた。全容 900 mL の円筒形広口ビンを培養瓶として用いた。培養瓶に 350 g の石英砂を入れた後、培養液 50 mL を加えた。培養液は 1000 mL の蒸留水にグルコース 40g, 麦芽エキス 15g, ペプトン 3g を溶解したものを用いた。培養液で満たされた石英砂の表面にエゾマツ木粉 (0.7 g) またはカバ木粉 (2.1 g) を添加した後、オートクレーブ (121°C, 30 分) で滅菌した。滅菌後、ポテトデキストロース寒天培地で培養したオオウズラタケおよびカワラタケを、7 mm のコルクボーラーで培地ごと打ち抜き、オオウズラタケはエゾマツ木粉を加えた培養瓶、カワラタケはカバ木粉を加えた培養瓶に接種した。接種後、26°C の恒温槽内で菌体が十分に広がるまで培養した (14 日間)。

2.3.3 抗菌操作

菌体が十分に広がった培養瓶 1 本につき 3 個の試験体を、試験体の繊維方向に直交する面を上下にして (オオウズラタケの場合はプラスチック製の網を介して) 菌体に載せた。なお、試験材料の繰返し数を 9 とし、3 本の培養瓶中のオオウズラタケまたはカワラタケの菌体に載せた。これらを 26°C の恒温槽中に 12 週間静置した。12 週間後、各試験体を取り出し、室温下で 48 時間乾燥した。次に、60°C で 48 時間乾燥した後、試験体の質量 (W_2) を測定した。質量減少率は下記の式から算出した。

$$\text{質量減少率 (\%)} = \{(W_1 - W_2) / W_1\} \times 100$$

3 試験結果

厚さ 3.15 mm の単板を通常濃度で処理したものをを用いて試作した LVL の防腐性能試験の結果を表 1 に示す。JIS K1571 によれば、供試試験体と同時に試験した無処理のスギ辺材の質量減少率が、オオウズラタケで 30%, カワラタケで 15% 未満の場合、再試験を実施することとされている。今回の試験は、表 1 に示すように、オオウズラタケのみを用いたが、無処理のスギ辺材の質量減少率が 48% であり試験が成立していることが確認された。

無処理単板で製造した LVL の質量減少率は、スギ辺材よりも低く、処理単板を用いた LVL ではさらに低い値であったが、いずれの塗布量においても JIS K1571 に規定されている性能基準である 3% を超えており、十分な防腐性能は認められなかった。

次に、防腐性能の向上を図るため、濃度 3 倍の木材保存剤 A を用いて試作した LVL の防腐性能を評価した。表 2 に示すように、無処理のスギ辺材の質量減少率は、それぞれ 53%、28%であり試験が成立していることが確認された。処理単板を用いた LVL のオオウズラタケに対する質量減少率は、スギ辺材や無処理 LVL よりも低いものの、有効成分濃度が 3 倍の場合でも性能基準を満たさなかった。

表 1 厚さ 3.15 mm単板を用いた LVL の防腐性能試験の結果

	処理量 (g/m ²)		質量減少率 (%) *	
	目標値		オオウズラタケ	
通常濃度	80	17	(4.6)	
	160	13	(5.3)	
無処理			25	(8.2)
スギ辺材			48	(5.9)

* n=9 の平均値, ()内は標準偏差

表 2 厚さ 3.15 mm単板を用いた LVL の防腐性能試験の結果

	処理量 (g/m ²)		質量減少率 (%) *			
	目標値		オオウズラタケ		カワラタケ	
有効成分濃度 3 倍	80	16	(5.1)	4	(1.2)	
	160	14	(4.8)	1	(0.6)	
無処理			30	(8.5)	15	(2.1)
スギ辺材			53	(5.7)	28	(4.0)

* n=9 の平均値, ()内は標準偏差

一方、カワラタケに対する質量減少率は、処理量が 80 g/m² の LVL で性能基準をわずかに上回っていたが、処理量が 160 g/m² であれば性能基準を満たすことが確認された。しかし、防腐性能試験における性能基準では、いずれの菌に対しても性能基準を満たすことが必要であるため、本検討で試作した 3.15 mm の処理単板を用いた LVL では性能基準を満たせないことが確認された。

さらに、防腐性能の向上を図るため、厚さ 2 mmの処理単板を用いて LVL を試作し、防腐性能試験を実施した。なお、処理には濃度 3 倍の木材保存剤 A のみを使用した。防腐性能試験の結果を表 3 に示す。同時に実施したスギ辺材の質量減少率から試験が成立していることが確認された。また、いずれの処理量でも、オオウズラタケとカワラタケの両方で性能基準を満たすことが確認された。この結果から、厚さ 2 mmのカラマツ単板を木材保存剤 A で表面処理することで、性能基準を満たす保存処理 LVL を作製できることが確認された。

4 まとめ

浸透性の高い木材保存剤で処理したカラマツ単板を用いることで、耐朽性の高い LVL を製造できることが確認された。本検討では試験材料として LVL を対象としたが、この方法は合板にも応用可能であると考えられる。

今後、より効率的な処理方法の開発や実大規模での検討を実施する必要があるが、今回用いた処理方法では、加圧注入を行う設備を使用しないため、LVL や合板工場においても比較的導入しやすい方法であると考えられる。

表 3 厚さ 2 mm 単板を用いた LVL の防腐性能試験の結果

	処理量 (g/m ²)	質量減少率 (%) *	
	目標値	オオウズラタケ	カワラタケ
有効成分濃度 3 倍	80	3 (4.1)	1 (0.4)
	160	3 (3.5)	1 (0.4)
無処理		47 (6.9)	19 (1.4)
スギ辺材		59 (0.8)	23 (3.8)

* n=9 の平均値, () 内は標準偏差

謝辞

本検討を実施するにあたり、木材保存剤 A をご提供いただいた (株) ザイエンスに謝意を表す。

参考文献

- 1) 木造計画・設計基準 平成 29 年版 (平成 29 年 3 月 29 日国営整第 243 号),
<https://www.mlit.go.jp/common/001178738.pdf> (アクセス日:平成 29 年 10 月 10 日)
- 2) 宮内 輝久:道産材を原料とした保存処理木材・木質材料, 林産試だより 2017 年 8 月号, 4-6 (2017)
- 3) 農林水産省告示第 1920 号 製材の日本農林規格 (平成 25 年 6 月 12 日)
- 4) JIS K1571:²⁰¹⁰ 木材保存剤—性能基準及びその試験方法, 日本規格協会

○川等恒治、平林靖、佐藤真由美、松本久美子、北橋善範（道総研林産試）

【緒言】

地域の針葉樹材の内装用途への活用を促進するためには、住宅だけではなく商用施設や公共建築物などの非住宅建築物への使用を図ることも有効な方策である。その中で病院は、院内で行われる消毒作業において、木材表面での除菌効果に対する懸念があり、木材の普及が進んでいない。また、「白」という色のイメージを連想させる病院の内装で、節や材色の様々な表面性状を持つ木材の外観が受け入れられるかも不明である。

そこで、本研究では、病院での内装用途への適性を検討するため、実際に院内の消毒に用いられる薬剤による、メチシリン耐性黄色ブドウ球菌（MRSA）および腸管出血性大腸菌O157を付着させた木材の除菌試験を実施した。また、スギ（*Cryptomeria japonica*）とトドマツ（*Abies sachalinensis*）を病院内の内装に使用したときの見た目の印象を調査した。

【実験方法】

〔除菌試験〕自然系（含浸型）、水性2液ウレタン（造膜型）の各塗料を塗装した70×100mmのスギの試験片に対し、表面に消毒用エタノール、次亜塩素酸ナトリウムの各消毒薬を0.5ml滴下して、実験用ペーパーで塗装面全体に延ばしながら清拭し、自然乾燥させた。これを50回繰り返した後、30mm角に切断し、除菌試験に供した。塗装面に *Staphylococcus aureus* IID1677（MRSA）および *Escherichia coli*（O157:H7）RIMD509939（腸管出血性大腸菌O157）の菌液を接種し乾燥させた後、消毒用エタノールおよび次亜塩素酸ナトリウムの各消毒薬を滴下し、滅菌ガーゼで清拭後、直ちに残存する付着菌を回収し、菌数を測定した。菌液乾燥直後および各消毒薬による清拭直後の菌数から、次式により除菌活性値を算出した。なお、JIS Z 2801（抗菌加工製品-抗菌性試験方法・抗菌効果）を参考に、除菌活性値2.0以上を除菌効果ありと判定した。

$$\text{除菌活性値} = A - B$$

A：消毒薬で清拭しないポリエチレンフィルム表面の生菌数（常用対数値）

B：清拭直後の試験体表面の生菌数（常用対数値）

〔印象評価〕病院内でいくつかの場所を設定し、画像による印象評価を実施した。

画像：スギとトドマツについて、病院の受付、廊下、病室、談話室の4か所の腰壁等に使用されている画像を作製した（図1）。その際、トドマツは節の量を3水準に設定した。節の量の少ないものは面積率0.46%、多いものが1.32%、それらの中間のものが0.86%であった。またスギは、赤身の材料のみで構成されているものと白太が部分的に入ったものの2水準とし、合計5種類の内装材を評価に使用した。

評価：評価は2016年11月に函館市の渡島総合振興局、2016年12月に旭川



図1 評価に使用した4か所の画像

（左上：受付、右上：廊下、左下：病室、右下：談話室）

市の上川総合振興局で実施し、被験者は94名であった。画像は24インチ液晶ディスプレイを用いて提示し、表1に示す6項目について5段階で評価した。

表1 評価の項目と点数付け

点数		+2	+1	0	-1	-2
評価項目	好ましさ	好き	やや好き	どちらでもない	やや嫌い	嫌い
	温かさ	温かく感じる	やや温かく感じる	どちらでもない	やや冷たく感じる	冷たく感じる
	落ち着き	落ち着く	やや落ち着く	どちらでもない	やや落ち着かない	落ち着かない
	高級感	高級感がある	やや高級感がある	どちらでもない	やや安っぽく感じる	安っぽく感じる
	違和感のなさ	違和感がない	やや違和感がない	どちらでもない	やや違和感がある	違和感がある
	清潔感	清潔感がある	やや清潔感がある	どちらでもない	やや清潔感がない	清潔感がない

【結果および考察】

[除菌試験] MRSA および O157 に対する除菌試験の結果を表2に示す。水性2液ウレタン塗料で塗装した試験片では、どの条件でも高い除菌効果を示したものの、自然系塗料では条件により除菌活性値がやや低いものがあった。これは、造膜型の水性2液ウレタン塗料が表面の凹凸を抑え、菌と消毒薬とが接触しやすくなることで高い除菌効果を示したものと推測される。

表2 除菌試験の結果

塗料	試験菌	消毒薬	除菌活性値
自然系	MRSA	消毒用エタノール	>3.9
		次亜塩素酸ナトリウム	3.2
	O157	消毒用エタノール	2.1
		次亜塩素酸ナトリウム	2.9
水性2液ウレタン	MRSA	消毒用エタノール	>3.9
		次亜塩素酸ナトリウム	3.5
	O157	消毒用エタノール	>3.6
		次亜塩素酸ナトリウム	>3.0

[印象評価] 印象評価の結果を図2に示す。

スギはどの場所においても温かさがあると評価されたものの、すべての項目について、受付、廊下、病室に比べて談話室の評価が高かった。また白太の有無による評価の差は見られなかった。

トドマツはすべての場所で、節の量が増加するにつれ、好ましさ、落ち着き、違和感のなさや清潔感が低下する傾向を示し、表面性状が評価に影響を及ぼすことが示唆された。

病院内において、使用場所により内装材の評価は異なることが明らかとなり、使用する樹種に適した設置場所を考慮する必要性が示された。

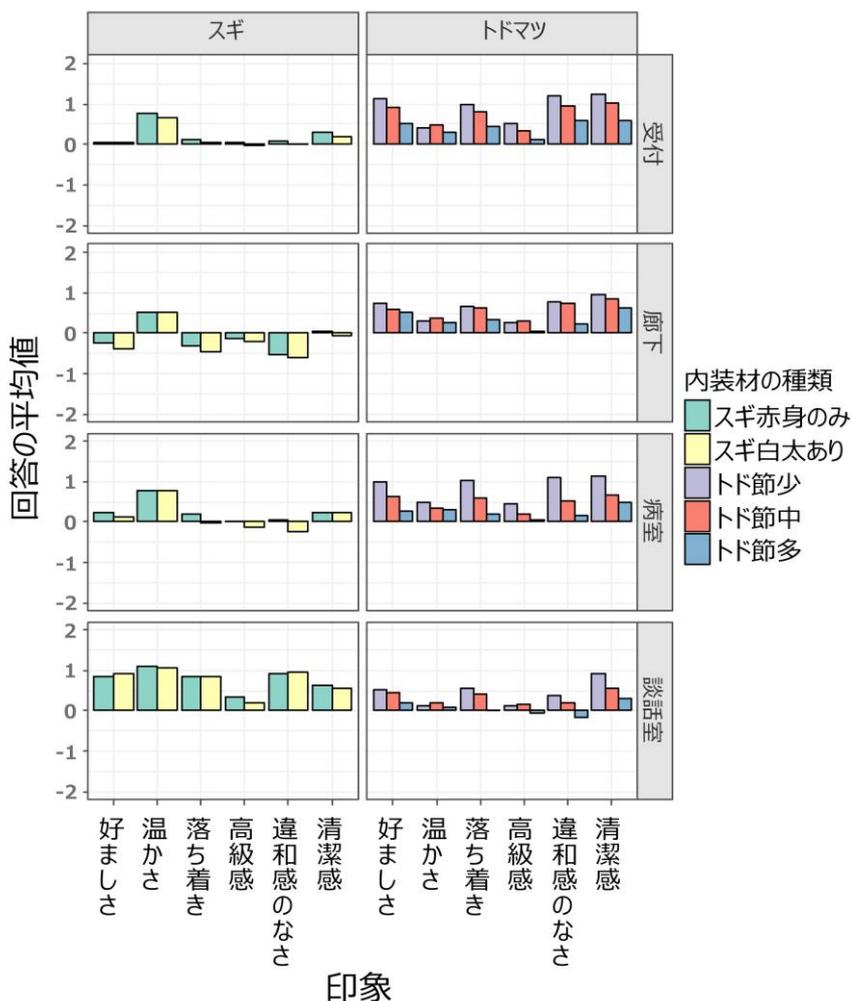


図2 印象評価の結果

○折橋 健、西宮耕栄、山田 敦、安久津久（道総研林産試）

【緒言】木質バイオマスの燃焼に伴って発生する灰の処理は、燃焼施設での運営上の課題となっている¹⁾。木質バイオマスをエネルギー利用する全国の事業所の6割において、燃焼灰は産業廃棄物として処分されるか、もしくは保管状態となっている²⁾。燃焼灰の処理、保管にかかるコストや環境負荷を軽減するために、有効活用策が求められており、活用に向けた燃焼灰成分の評価³⁾や農林業分野での肥料化の検討⁴⁾などが全国で行われている。

これに関連して我々は、燃焼灰の林地還元を目的として、燃焼灰を堆肥と混ぜた上で固形資材化（ペレット化）し、これをカラマツ苗木に施用する試験を行い、固形資材の施用区では対照区よりもバイオマス量が増える可能性があることを報告した⁵⁾。またこの報告後、エゾマツ苗木を対象に同様の試験に取り組んできた。一方、北海道は積雪地帯であるため、肥料以外に融雪資材としての利用が期待されるが、燃焼灰の融雪効果に関する科学的な報告例がないことから、融雪試験を行って検証した。そこで本報告では、1) エゾマツ苗木に対する施用試験および2) 融雪試験に取り組んだ結果について述べる。

【試験方法】

1) エゾマツ苗木に対する施用試験

試験地は、宗谷管内浜頓別町の町有林 23 林班 41 小班のエゾマツ植栽地である。苗間 2m、列間 2m で 10 本 5 列に植えられた苗木計 50 本 (0.025ha) を 1 試験区とし、燃焼灰施用区、堆肥施用区、固形資材施用区、対照（無施用）区の 4 試験区を設定した。苗木は 2008 年 10 月に植栽された。

燃焼灰、堆肥、固形資材の各施用区での施用は、2009 年 6 月と 2012 年 6 月に行った。施用量は 2 回とも同量であり、次に記すとおりとした。燃焼灰施用区では、道内の木質バイオマスボイラーより採取した燃焼灰を苗木 1 本につき 100g（乾物）施用した。堆肥施用区では、道内の堆肥化施設から入手した木質堆肥を固形化（ペレット化）した上で苗木 1 本につき 250g（乾物）施用した。固形資材施用区では、上記の燃焼灰と木質堆肥を乾物ベースで 2:5 の割合で混合し、固形化（ペレット化）したものを苗木 1 本につき 350g（乾物）施用した。対照区には何も施用しなかった。施用物の水分（湿重基準含水率）、pH、電気伝導度および NPK 含有量は、表 1 に示す通りである。

苗木の生存状況、苗高、根元直径を、初回の施用前に 1 回（2008 年 11 月）、初回施用後に 3 回（2009 年 11 月、2010 年 11 月、2011 年 11 月）、第 2 回施用後に 3 回（2012 年 11 月、2013 年 11 月、2014 年 11 月）、計 7 回調査した。苗木の生存状況については、「健全」、「衰弱・先枯れ」、「損傷」、「枯死」、「消失」の 5 分類で目視により確認した。苗高、根元直径については、生存状況調査において「健全」と判断された苗木のみを対象に測定した。

表 1 施用物の水分、pH、電気伝導度および NPK 含有量

	水分 (%)	pH (H ₂ O)	EC (mS/cm)	C/N	含有量 (%、対乾物)		
					N	P	K
燃焼灰	5.5	12.5	20.0	> 17	0.42	1.1	14.0
堆肥	10.1	6.8	3.3	21	1.92	0.74	1.8
固形資材	10.4	10.5	11.8	19	1.52	0.85	5.7

*水分は湿重基準含水率。pHは20℃、ECは25℃での値、試料と水の比は1:10。含有量は元素による表示。

2) 融雪試験

試験地は、国道 237 号線に沿った林産試験場内の緑地である。図 1 に示すように 1m×1m の試験区を 1m 間隔で 4 つ設けて 1 セットとし、燃焼灰散布区、木炭散布区、もみ殻炭散布区、対照（無散布）区をランダムに割り振った。散布に使用した燃焼灰は道内のチップボイラーより採取したものであり、木炭およびもみ殻炭は道内産で融雪、土壌改良用に市販されているものを使用した。各資材の水分（湿重基準含水率）は、燃焼灰 0.2%、木炭 21.9%、もみ殻炭 3.1%であった。

木炭発売元が商品に表示している目安散布量を参考に、木炭の散布量を 20g/m² (=75mL/m²) と設定した。これは、1ha あたり 200kg (750L) の散布量に相当する。この木炭散布量を基準に、各資材の散布量を①75mL/m²

で統一した場合と、②20g/m²で統一した場合の2通りについて、各3反復で試験を行った。なお、①における各資材の散布重量は、1m²あたり燃焼灰 40g、木炭 20g、もみ殻炭 7gに相当する。また、以上に記した散布重量は、すべて生重量である。

融雪試験は、2017年3月に行った。散布日から5日後までの各日と10日後に積雪深を1cm単位で測定した。各試験区における積雪の測定点は、図1に示す4点(1~4)とした。当初、4点の平均を各試験区における積雪深とする計画だったが、太陽光の入射方向の関係から、測定点1、2の方が3、4よりも融雪が早く進んだため、試験区を2分し、測定点1、2を含む側をa側、3、4を含む側をb側とし、それぞれの積雪深(2点平均)の推移を調べた。

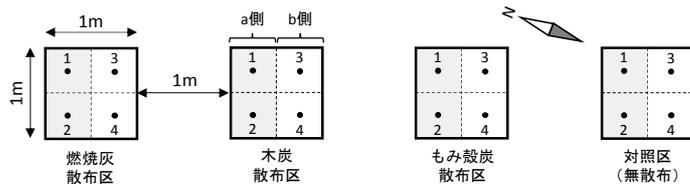


図1 試験区の配置例(1セット分)

*黒点(●)は積雪深の測定点。測定点1、2の側をa側、3、4の側とb側とし、それぞれの側の積雪深の推移を調べた。図中の各散布区の並びは1例で、実際にはランダム配置とした。本文記載の試験①、②のそれぞれについて、図に示すセットを3セット用意した(3反復)。

【結果および考察】

1) エゾマツ苗木に対する施用試験

表2にエゾマツ苗木の生存状況の推移を示す。この表中の「衰弱・先枯れ」、「損傷」の数値は、調査ごとに増減しているが、これは「衰弱・先枯れ」や「損傷」に分類された個体その後「枯死」や「消失」に分類変更される場合があったためである。また「損傷」や「消失」は、各試験区で1~5本認められたが、これは雪害や下刈り時の誤伐によるものであり、施用の影響とは無関係である。

第1回調査は、植栽翌月、燃焼灰等の初回施用前に実施された。この調査で確認された「衰弱・先枯れ」個体や「枯死」個体は、活着不良によるものと考えられる。各試験区の数値に大差はなく、活着状態は各試験区で同等であった。また、第2回調査以降の「衰弱・先枯れ」個体は、各施用区では1~3本とわずかであり、対照区よりも少なかった。

第1回調査における「健全」個体、「枯死」個体の数を基準とした、第2回調査以降の「健全」個体の減少数、「枯死」個体の増加数を図2、3に示す。「健全」個体の減少数は、調査を重ねるにつれて増加傾向にあった。対照区と比較して、堆肥および固形資材施用区の減少数は小さかった。一方、燃焼灰施用区では第2回調査時の「健全」個体の減少数が他区よりも大きく、その後の推移は他区と同様であった。「枯死」個体の増加

表2 エゾマツ苗木の生存状況の経年変化(本)

試験区	目視分類	調査回/年月						
		第1回 2008.11	第2回 2009.11	第3回 2010.11	第4回 2011.11	第5回 2012.11	第6回 2013.11	第7回 2014.11
燃焼灰施用	健全	38	19	17	17	16	15	13
	衰弱・先枯れ	5	1	2	2	2	2	2
	損傷	0	0	0	0	1	1	1
	枯死	7	30	31	31	31	32	33
	消失	0	0	0	0	0	0	1
堆肥施用	健全	37	32	29	26	26	23	21
	衰弱・先枯れ	5	3	3	2	2	2	2
	損傷	0	0	2	2	2	2	3
	枯死	8	15	16	17	17	20	20
	消失	0	0	0	3	3	3	4
固形資材施用	健全	36	29	25	25	23	23	22
	衰弱・先枯れ	5	2	1	1	1	1	1
	損傷	0	0	4	3	2	2	3
	枯死	9	19	20	20	21	21	21
	消失	0	0	0	1	3	3	3
対照	健全	41	30	30	27	26	25	21
	衰弱・先枯れ	3	6	4	5	5	4	4
	損傷	0	2	0	1	1	2	6
	枯死	6	12	16	16	16	17	17
	消失	0	0	0	1	2	2	2

*植栽年月は2008年10月、初回施用は2009年6月、第2回施用は2012年6月である。

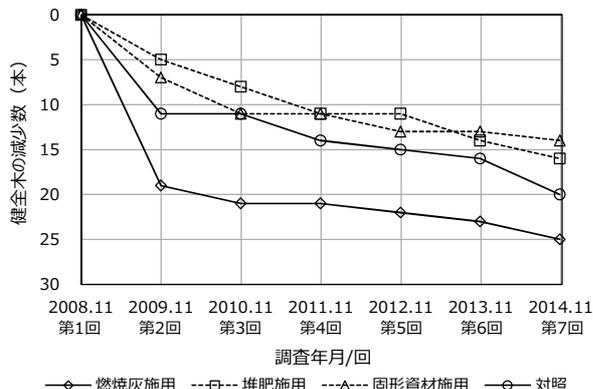


図2 第2回調査以降の健全木の減少数

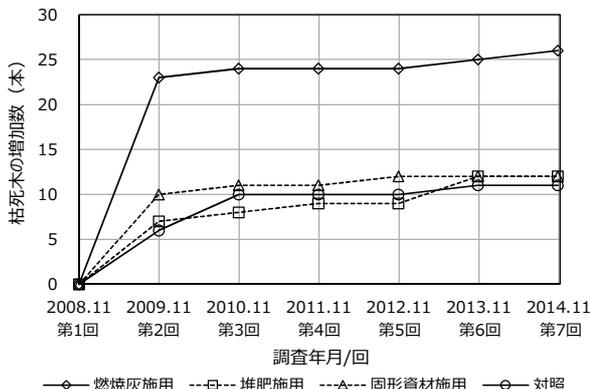


図3 第2回調査以降の枯死木の増加数

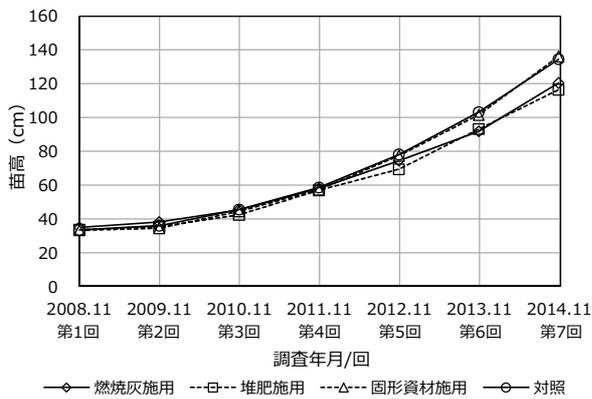


図4 エゾマツ苗木の苗高の推移（健全木対象）

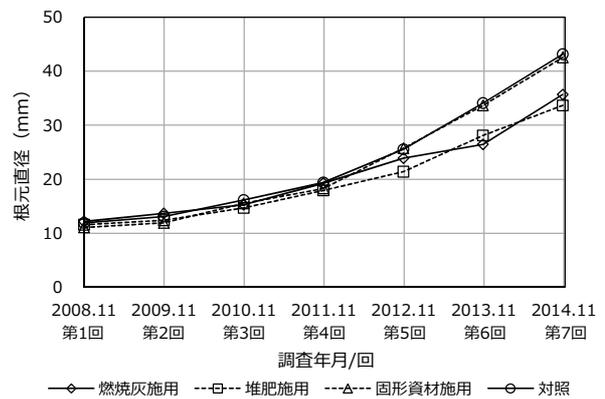


図5 エゾマツ苗木の根元直径の推移（健全木対象）

数は、堆肥、固形資材、対照の3区で同様の推移を示した。一方、燃焼灰施用区では第2回調査時の「枯死」個体の増加数が他区よりも大きく、その後の推移は他区と同様であった。

以上の結果から、第2回調査時の燃焼灰施用区での「健全」個体の減少と「枯死」個体の増加は、燃焼灰の初回施用の影響が示唆される。一方、堆肥および固形資材施用区では、初回施用が苗木の生存状況（特に生死）に影響を与えることはなかったものと推測される。また、第4回調査と第5回調査の間に行われた2回目の施用については、燃焼灰も含めて苗木の生存状況に影響しなかったと推察される。

「健全」個体を対象とした苗高および根元直径の測定結果を図4、5に示す。苗高、根元直径ともに、対照区と固形資材施用区では同様の推移を示した。一方、燃焼灰施用区、堆肥施用区については、第4回調査までは他の2区と同様の推移を示したが、2度目の施用後となる第5回調査以降、苗高、根元直径ともに他の2区よりも伸びが弱くなった。苗高に関しては第7回調査の結果において、根元直径については第5～7回調査の結果において、試験区間で数値に有意差が認められた（クラスカル・ワリス検定、 $p < 0.05$ ）。

以上のことから、今回の調査期間内では、エゾマツ苗木の伸長成長および肥大成長に対し、燃焼灰等の2度の施用による促進効果は認められなかったと判断される。また、燃焼灰および堆肥施用区では、第2回施用後に成長が鈍化しており、追加の施用が影響した可能性が考えられる。

エゾマツに対する長期施肥試験⁶⁾、コンテナ苗での施肥試験⁷⁾の例では、エゾマツの肥大成長に対して施肥効果が期待できると報告されている。したがって、今回の試験結果だけで燃焼灰等に施用効果はないと結論づけるのは早計と考えられる。施用量の変更といった検討の余地はあることから、今後の取り組みが必要である。

2) 融雪試験

各資材の散布量を $75\text{mL}/\text{m}^2$ で統一した場合（試験①）の積雪減少量の推移について、各試験区（図1）におけるa側の測定結果を図6に、b側の測定結果を図7に示す。なお、対照区を除く各区では、a側の10日後の測定において地面が露出している場合があったため、図6の10日後の積雪減少量は過小値の可能性があるが（仮に積雪がもっと深ければ、もっと減少量が大きくなっていった可能性があるが）、b側と傾向に差異はないことからそのまま図示する。

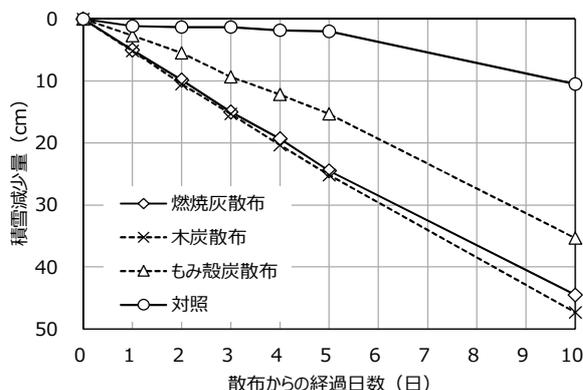


図6 積雪減少量の推移（ $75\text{mL}/\text{m}^2$ 散布、a側）

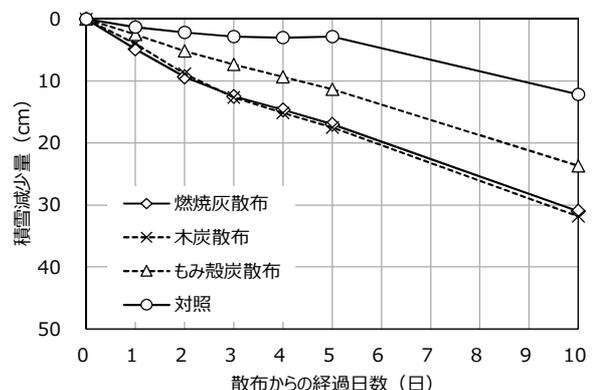


図7 積雪減少量の推移（ $75\text{mL}/\text{m}^2$ 散布、b側）

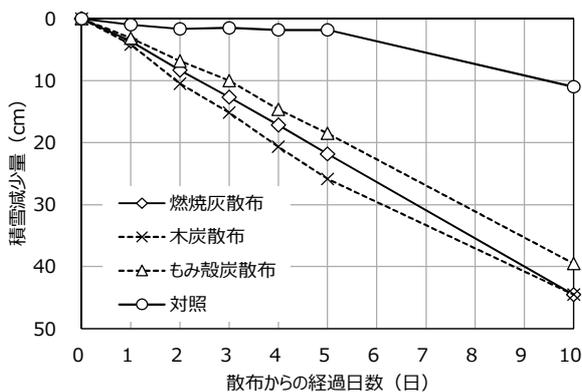


図8 積雪減少量の推移 (20g/m² 散布、a 側)

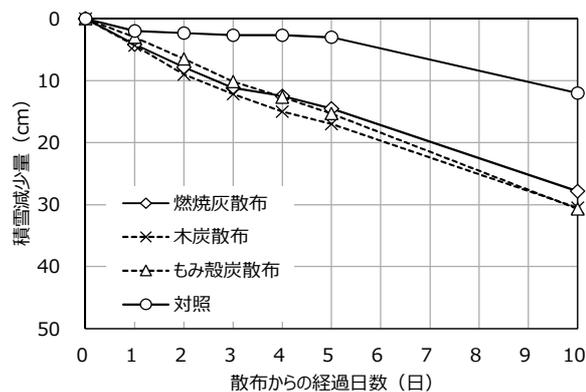


図9 積雪減少量の推移 (20g/m² 散布、b 側)

a 側、b 側ともに、各資材の散布区では順調に積雪が減少し、対照区と比べて明瞭な融雪効果が認められた。また、燃焼灰散布区の積雪減少量は、もみ殻炭散布区よりも大きく、木炭散布区とほぼ同等であった。

次に、各資材の散布量を 20g/m² で統一した場合 (試験②) の積雪減少量の推移について、a 側の測定結果を図 8 に、b 側の測定結果を図 9 に示す。対照区を除く各区では、a 側の 10 日後の測定において地面が露出している場合があったが、上記の散布量 75mL/m² の場合と同様の理由により、図 8 では結果をそのまま図示する。

a 側、b 側のいずれも、各資材の散布区については順調に積雪が減少し、対照区と比べて融雪効果は明らかであった。散布量 75mL/m² の場合、燃焼灰散布区の積雪減少量は木炭散布区の結果にほぼ沿っていたが、本試験では木炭散布区よりも 3~4cm ほど減少量が小さかった。一方、もみ殻炭散布区の積雪減少量は、散布量 75mL/m² の場合よりも大きく、燃焼灰や木炭の散布区と近い値となった。これは、重量ベースの散布量が 7g/m² から 20g/m² に増えたことによると考えられる。

気象庁のデータ⁸⁾によれば、試験中 (3/10~20) の旭川の日平均気温については、散布 1 日後から 5 日後までは連日 -3℃未満であり、散布日と 6 日後以降は -3℃を上回っていた。融雪は日平均気温が -3℃以上で起こり得るとされるが⁹⁾、図 6~9 に示すように、対照区の積雪減少の推移はこの指摘に一致するものであった。

一方、各資材の散布区では、対照区で融雪が進まない間も融雪が進んだ。木炭やもみ殻炭については、太陽光線を吸収し、熱として放出することで融雪が起こる。散布 1 日後から 5 日後までは日平均気温が -3℃未満であったが、天候はよく、晴れの日が続いたことから、融雪が進んだと考えられる。燃焼灰についても、木炭やもみ殻炭の場合と同様の融雪作用が考えられるが、それに加えて燃焼灰には水溶性の無機塩が含まれており、凍結防止剤 (塩化カルシウムなど) と同様の作用、すなわち無機塩が水に溶ける際の溶解熱や凝固点降下による融雪も起きたと想像される。

本試験では、木炭の散布量に合わせて燃焼灰の散布量を設定した。同一体積 (75mL/m²) では木炭と同等、もみ殻炭よりも大きい融雪効果が、同一重量 (20g/m²) では木炭、もみ殻炭に近い融雪効果が得られ、燃焼灰はいずれの基準でも木炭やもみ殻炭と同様に融雪資材として使用できると判断された。

【おわりに】燃焼灰の活用に向けて我々は、上記のような効能に関する試験を行うとともに、燃焼灰の物性や化学成分の特徴の把握、安全性の分析も進めている。今後、それらの結果も取りまとめ、効能と合わせて燃焼灰の活用策を提案していきたいと考えている。

【謝辞】エゾマツ苗木に対する施用試験は、浜頓別町ならびに宗谷森づくりセンター (現、宗谷総合振興局森林室) のご理解、ご協力を得て実施したものである。また融雪試験にあたり、長谷川優氏、阿部志津氏にご尽力いただいた。ここに記して厚くお礼申し上げる。

【引用文献】1) 山内ら：木材工業 62(4), 157-162, 2007. 2) 林野庁：「平成 27 年 木質バイオマスエネルギー利用動向調査」の結果 (確報) について、<http://www.rinya.maff.go.jp/j/press/riyou/170131.html>, 2017. 3) 例えば、佐野ら：第 20 回日本エネルギー学会講演要旨集, 174-175, 2011. 4) 例えば、和田ら：日本土壌肥科学雑誌 87(1), 40-44. 5) 折橋ら：九大演報 92, 13-18, 2011. 6) 相澤ら：北森研 60, 93-99, 2012. 7) 後藤ら：第 122 回日本森林学会大会学術講演集, E16, 2011. 8) 気象庁：旭川 2017 年 3 月 (日ごとの値), 2017. 9) 小島ら：低温科学物理篇 42, 101-110, 1984.

日本木材学会 北海道支部講演集 第49号

平成29年11月1日 発行

編集人 玉井 裕，松本久美子，折橋 健

発行人 森 満範

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
