

日 本 木 材 学 会

# 北 海 道 支 部 講 演 集

第 4 4 号

平成 2 4 年 1 1 月

日 本 木 材 学 会 北 海 道 支 部

札 幌

# 日本木材学会北海道支部講演集

## 第44号

### 目次

#### 口頭発表(13:30~15:00)

- 0-1) チシマザサ稈水解物のキシリトール発酵  
(北見工大) ○三浦雅弘、妹尾朋暁、霜鳥慈岳、青山政和…………… 1
- 0-2) ヒドロキシプロピルセルロースゲルの熱応答性—架橋剤が及ぼす影響—  
(北大農) ○神田高志、幸田圭一、浦木康光…………… 3
- 0-3) 安心安全な木製ハイブリッド遊具の開発  
(道総研林産試) ○小林裕昇、東 智則、野田康信、長谷川祐、古俣寛隆、川等恒治…………… 6
- 0-4) 公共建築物の木造化推進に向けた道内の建物実態調査  
(北大農) ○橋本泰治、平井卓郎…………… 10
- 0-5) カトリック北一条教会における耐力壁の評価  
(北大農) ○片山知実、富高亮介、澤田 圭、平井卓郎…………… 14
- 0-6) 枠組壁工法構造用製材を用いた開口耐力フレームの水平せん断性能  
(北大農) ○富高亮介、平井卓郎、澤田 圭…………… 18

#### 展示発表(15:00~16:30)

- P-1) 針葉樹合板の接着性能に及ぼす単板含水率の影響  
(北林産試) ○古田直之、平林 靖、宮崎淳子…………… 23
- P-2) 樹木冬芽の越冬過程における可溶性タンパク質の組成変化  
(北大農) ○鈴木伸吾、遠藤圭太、岡田香織、荒川圭太  
(岩大農寒バイオ) 高橋大輔、上村松生…………… 27
- P-3) シラカンバ材水解物の活性炭処理  
(北見工大) ○丹治未菜、三浦雅弘、霜鳥慈岳、青山政和、(道総研林産試) 原田 陽…………… 29
- P-4) ハルニレ立木のサイズと幹折れ耐力の関係  
(北大農) ○藤田 歩、小泉章夫…………… 31
- P-5) ミズナラ緑葉に含まれるリグニンの地域間差異  
(北大農) ○川口 新、幸田圭一、宮本敏澄、浦木康光…………… 35
- P-6) 冬季にカラマツ木部に蓄積するデハイドリンタンパク質の機能解析  
(北大農) ○坂本友陽、岡田香織、鈴木伸吾、宇梶慎子、荒川圭太…………… 39
- P-7) 鉄触媒炭化したバイオマス炭の導電性フィラーとしての応用  
(北見工大) ○中川健太郎、山本 剛、鈴木京子、鈴木 勉…………… 42
- P-8) バイオマス利用に適したヤナギ優良品種の選抜に向けた含有成分量の検討  
(道総研林産試) ○折橋 健、安久津久、(森林総研育種セ北海道) 福田陽子、矢野慶介…………… 44

P-9) タモギタケ白色変異体交雑株からの孢子分離集団とその自家交配株の栽培特性

(道総研林産試) ○宜寿次盛生、米山彰造、原田 陽、佐藤真由美、(鳥取大) 奥田康仁、松本晃幸…………… 48

※ 口頭発表座長

0-1) ~ 0-3) 重富顕吾 (北大農)

0-4) ~ 0-6) 前田典昭 (道総研林産試)

※ 機関略称一覧 (五十音順)

岩大農寒バイオ：岩手大学農学部 寒冷バイオフィロンティア研究センター

北見工大：北見工業大学

森林総研育種セ北海道：森林総合研究所 林木育種センター 北海道育種場

道総研林産試：北海道総合研究機構 森林研究本部 林産試験場

鳥取大：鳥取大学

北大農：北海道大学 大学院農学研究院、同 大学院農学研究科、同 農学部

## O-1 チシマザサ稈水解物のキシリトール発酵

北見工業大学 バイオ環境化学科 三浦雅弘, 妹尾朋暁, 霜鳥慈岳, 青山政和

### [緒言]

北海道の森林では下層植生としてササ類が広く分布しており, その資源蓄積は 1 億 5 千万トンと推定されている. ササ類は生長が非常に速く, 再生可能な循環型森林資源である. しかし, その膨大な資源も利用度は極めて低く, 資源全体から見ればほとんどが未利用の状態に放置されている. ササ類のヘミセルロースは主としてキシランから構成されており, キシロースやキシリトールの有望な供給源の一つである. とりわけキシリトールは, 砂糖と同程度の甘味度を示し, 口内で冷涼感を与え, 虫歯の原因となる細菌類に利用されないこと, インスリン非要求性など優れた食品機能性を示し, 甘味料や, 歯磨粉や洗口液などのオーラルケア商品に広く利用されている. 現在, キシリトールは, トウモロコシの穂軸や広葉樹パルプ廃液中から得られたキシロースを接触還元することにより工業生産されている. しかし, 現行の化学還元法では高純度のキシロースが要求され, 糖液の精製コストが製品価格に転嫁されることが課題とされている. 近年, 現行法に代わる代替プロセスとして微生物変換によるキシリトールの生産が注目されている. 本研究では, チシマザサ(*Sasa kurilensis*)稈から糖液を調製し, 酵母 *Candida magnoliae* を用いたキシリトール発酵生産を検討した.

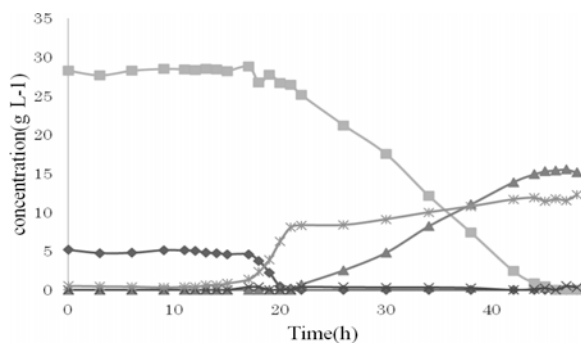
### [実験]

チシマザサ稈粗砕物(42-80 mesh)を, 2%硫酸に対する原料の割合を 1 : 6 とし, 121°C, 1 時間の条件で水解した. 予め醗酵阻害物質を除去するために, 水解液に粉末活性炭(白鷺 M, 日本エンバイロケミカルズ)を所定量(10, 15, 20 g L<sup>-1</sup>)に加え, 毎分 160 ストロークの往復運動式振とう器を用いて 30°C, 24 時間振とう接触した. ろ液中の中性糖, フルフラール, 5-ヒドロキシメチルフルフラール(HMF), 酢酸は HPLC 法により定量した. 炭末処理を行った水解液は炭酸カルシウムで中和し, 栄養源としてカザミノ酸 1.0 g L<sup>-1</sup>, 尿素 2.27 g L<sup>-1</sup>, ニトロゲンベース 1.7 g L<sup>-1</sup> を加えて発酵培地を調製した. 滅菌した発酵培地は, 先ず, 30°C, pH5.0 の好気条件でグルコースを消費させ, 続いて攪拌速度, 通気量を調節した微好気条件で発酵した. 糖類及びキシリトールは経時的にサンプリングし HPLC 法で定量し, 菌体重量は比色法で定量した.

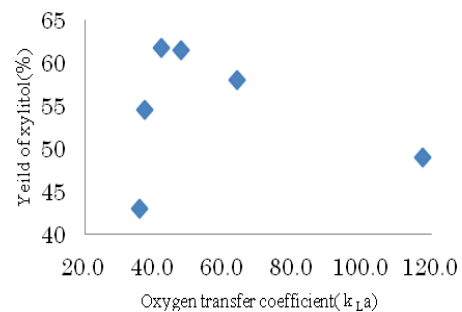
### [結果・考察]

ササ稈からキシロースを主成分とする糖液の調製に際して, 水解条件を 121°C, 1 時間とした場合, 2%硫酸が最大のキシロース収率を与えることが明かにされている.<sup>1,2</sup> 本研究では, チシマザサ稈から 2%硫酸を用いた水解で, キシロース濃度 31.1 g L<sup>-1</sup> の糖液が得られた. 一般に, 木質原料を水熱処理すると, 水解液中には有機酸, フラン誘導体, 低分子フェノール類等が含まれる. これらの化合物は微生物代謝を著しく阻害するため,<sup>3</sup> 発酵操作に先立ちこれらの阻害物質を除去しなければならない. 簡便で効果的な発酵阻害物質の除去法として活性炭処理が用いられている.<sup>4,5</sup> チシマザサ稈水解液中には 6 g L<sup>-1</sup> の酢酸, 0.25 g L<sup>-1</sup> のフルフラール,

0.36 g L<sup>-1</sup>のHMFおよびリグニン由来のポリフェノールが含まれていた。水解液を活性炭処理(0~20 g L<sup>-1</sup>)したところ単糖類や酢酸の濃度に大きな変化は見られず、フラン類やフェノール類の指標となる波長 280 nm での吸光度(A<sub>280</sub>)<sup>6</sup>は活性炭投与量の増加に伴い低下した。培地の A<sub>280</sub> 値が 20 以上の場合、発酵に支障をきたすことから,<sup>7</sup> 活性炭投与量を 15 g L<sup>-1</sup>として、阻害物質の除去操作を行なった。キシリトール発酵での最も重要なパラメータは初期キシロース濃度と溶存酸素量である。<sup>8</sup> そこで、まず攪拌速度 300~500 rpm の条件でキシリトール生産を比較した。攪拌速度 350 rpm のとき比較的高収率なキシリトール生産が認められ、次いで通気量の調整により最適な通気条件 (k<sub>L</sub>a = 42.0 h<sup>-1</sup>) (Fig. 1)を明らかにした。この通気条件でキシリトール収率は 62%であった(Fig. 2)。活性炭処理後も大半の酢酸が糖液中に溶存しており、発酵の生産性を低下させていると考えられる。この簡便な解決策として糖液の減圧濃縮を検討する予定である。



**Fig. 1.** Time course of xylose (-■-), glucose (-◆-), xylitol (-▲-), ethanol (-×-) and biomass (-\*-) concentration in batch xylitol fermentation by *Candida magnolia* from detoxified *Sasa kurikensis* culm hydrolysates (k<sub>L</sub>a = 42.0 h<sup>-1</sup>)



**Fig. 2.** Influence of k<sub>L</sub>a on fermentation of *Sasa kurikensis* hydrolyzate into xylitol by *Candida magnoliae*

## [参考文献]

- 1) Miura, M., Yokono, K., Miyamoto, H., Aoyama, M., Tada, K., Horiuchi, J., Kojima, Y., Sakai, C., Nakahara, M. *Eur. J. Wood Prod.* **68**, 139-142 (2010).
- 2) Miura, M., Shimahata, A., Nishikawa, T., Aoyama, M., Tada, K., Horiuchi, J., Nakahara, M., Sakai, C. *J. Mat. Cycles Waste Manag.* **13**, 80-83 (2011)
- 3) Palmqvist, E., Hahn-Hägerdal, B. *Biores. Technol.* **74**, 25-33 (2000).
- 4) Parajó, J.C., Domínguez, H., Domínguez, J.M. *Biores. Technol.* **66**, 25-40. (1998).
- 5) Mussatto, S.I., Roberto, I. C. *Biotechnol. Lett.* **23**, 1681-1684 (2001).
- 6) Martinez, A., Rodriguez, M.E., York, S.W., Preston, J.F., Ingram, L.O. *Biotechnol. Prog.* **16**, 637-64 (2000).
- 7) Tada, K., Horiuchi, J., Kanno, T., Kobayashi, M. *J. Biosci. Bioeng.* **98**, 228-230 (2004).
- 8) Silva, S.S., Felipe, M.G.A., Mancilha, I.M. *Appl. Biochem. Biotechnol.* **70-72**, 331-339 (1998).

## 0-2 ヒドロキシプロピルセルロースゲルの熱応答性 架橋剤が及ぼす影響

(北大院農) ○神田高志、幸田圭一、浦木康光

### 【緒言】

セルロースの誘導体であるヒドロキシプロピルセルロース (HPC) は、高い生体適合性と下限臨界共溶温度(LCST)を持つことが特徴である。LCSTとは、溶液の温度が高くなると、溶液中の高分子が凝縮し沈殿する温度のことであり、この特性をもつ高分子化合物を化学架橋によりゲルに変換すると、LCSTで顕著な体積減少が生じるようになる。特に、体温付近で体積変化を示すゲルは、体温に応答して薬剤を体内に放出する担体として、ドラッグデリバリーシステムの分野で期待されている。

そこで、本研究では、体温応答型のゲルの生成を最終目的とし、生体適合性の高い HPC ゲルが好適な薬物担体になると想定して、ゲルの調製に使用する架橋剤の構造および量と、得られたゲルの熱応答性の関係について検討した。

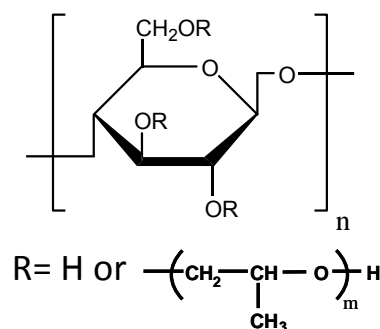


Figure1 HPC の構造

### 【実験】

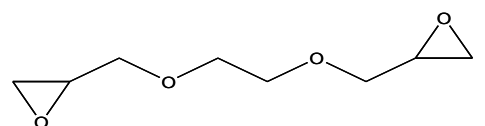
**ゲルの調製**：分子量の異なる HPC を 1,4-ジオキササンに溶解した。この溶液に、図に示すエチレングリコールジグリシジルエーテル(EGDE)、プロピレングリコールジグリシジルエーテル (PGDE)、レゾルシノールジグリシジルエーテル(RDE)、2,2-ジメチルプロパンジオールジグリシジルエーテル(DPDE)を架橋剤としてそれぞれ加えた。さらに、触媒となる塩化スズ(IV)をジオキササン飽和溶液の形態に加え 5 分間室温下で攪拌後、60 °Cのオープンに静置した。4 時間後、生成したゲルから直径 18 mm の円筒を切り出し、純水で十分洗浄して、試験体となるゲルを得た。

**ゲルの体積測定**：ゲルを純水に浸して、20 °Cから 2 °Cずつ上昇させた。各温度で 12 時間保持してからゲルの体積を測定した。ゲルの体積変化率は、20 °Cの体積を基準として、百分率で求めた。

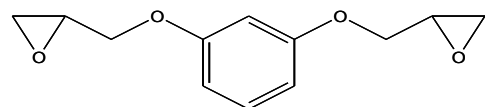
### 【結果と考察】

水中で LCST を示す高分子化合物は一般に、側鎖の疎水性が増加すると LCST が低下する。したがって、化学ゲルを調製するときの架橋剤の疎水性も、ゲルの熱応答性に影響を与えると想定される。

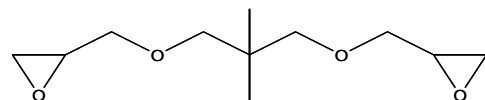
ゲルの生成条件を検討したところ、架橋剤の中心部分にベンゼン環を持つ RDE は反応性が高く、HPC の分子量が小さい条件でもゲルが生成した。しかし、脂肪族骨格を持つ他の 3 種の架橋剤は、HPC の分子量が大きいものほどゲルの形成が容易であった。



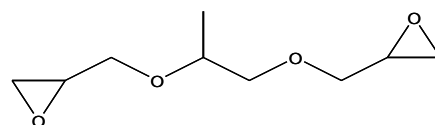
ethylene glycol diglycidyl ether (EGDE)



resorcinol diglycidyl ether (RDE)



2,2-dimethyl propanediol diglycidyl ether (DPDE)



propylene glycol diglycidyl ether (PGDE)

Figure2 各架橋剤の構造

次いで、実際の HPC ゲルの熱応答性に及ぼす架橋剤の影響を検討した。同一のモル量の 4 種の架橋剤を添加してゲルを調製し、各温度における体積を測定した(Fig.3)。まず、予想通り、疎水性の高い架橋剤を用いた方がゲルの収縮し始める温度が低くなっていることがわかった。目的のゲルに最も近かったものは、EGDE を添加したもので、およそ 40 °C 付近でゲルが収縮し始めた。また、DPDE を用いた場合では、50 °C まで温度を変化させた時、ゲルの体積が元の 40 % 程度までしか収縮しなかった。この現象は、他の架橋剤を用いた場合、元の体積の 10~20 % 程度まで収縮する結果と比べ、極めて対照的である。これは、DPDE のネオペンチレン基 (2,2-dimethylpropane-1,3-diyl 基) がゲルの収縮の際、分子鎖の動きを制御しているからではないかと考えられる。

さらに、分子量並びにセルロース残基に対するヒドロキシプロピル基の置換度とモル置換度が同一の HPC を原料として、各架橋剤の添加量を変化させてゲルを調製し、各温度における体積を測定した(Fig.4)。EGDE にメチル基をつけた PGDE は収縮し始める温度が低下することがわかった。また、どの架橋剤の場合でも、架橋剤の添加量が多くなるほど、ゲルが収縮を始める温度が低下した。また、RDE と DPDE については、添加量が増えると、50 °C まで体積変化させた時の体積減少率が小さくなっていった。これは、RDE はレゾルシノール構造由来の剛直性により収縮挙動が制限されること、DPDE はネオペンチレン基による立体障害がそれぞれ理由として考えられる。

また、HPC の分子量が与えるゲルの熱応答性への影響を検討した。同一のモル量の 4 種の架橋剤を添加してゲルを調製し、各温度における体積を測定した(Fig.5)。どの架橋剤を添加した時でも、HPC の分子量が大きい場合と比べると、ゲルが収縮を始める温度が低下した。疎水性の高いものは、同量の架橋剤を添加しても、同じ体積になるまでゲルが収縮することはなかった。

今後は、EGDE と PGDE の混合物で架橋することによって、目的とするゲルの調製を目指す。

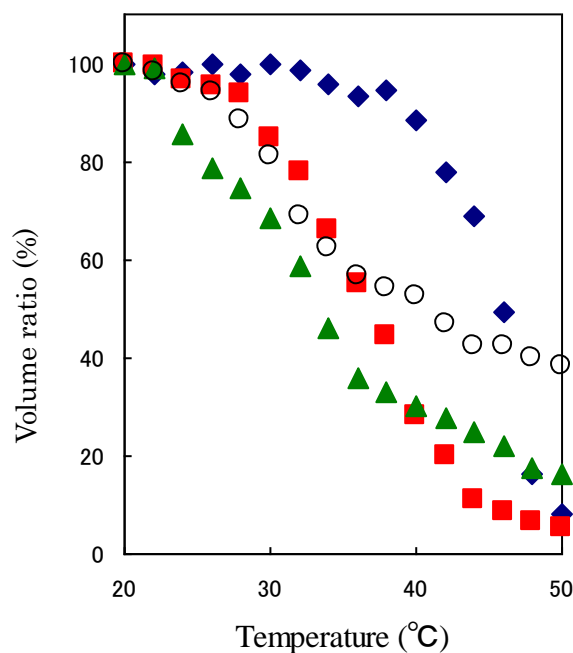


Figure3 架橋剤の種類が異なるHPCゲルの収縮挙動 (HPC-H 2% wt + 架橋剤  $1.0 \times 10^{-2}$  mol)

◆ EGDE、■ PGDE、▲ RDE、○ DPDE

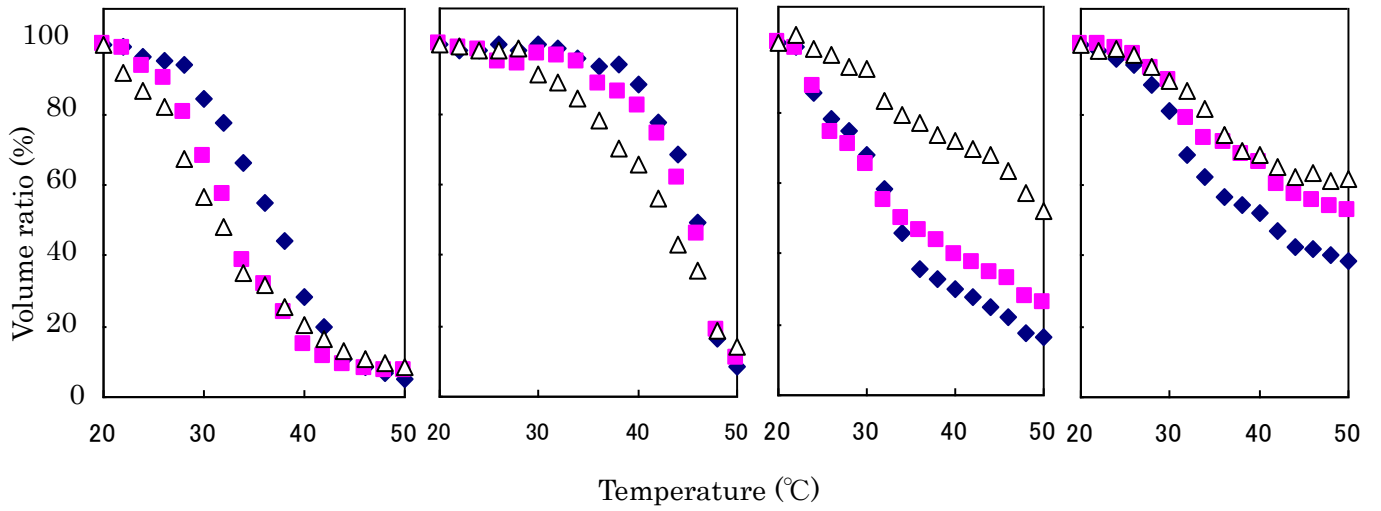


Figure4 架橋剤の仕込み量が異なる HPC ゲルの収縮挙動。右から EGDE、PGDE、DPDE、RDE の順。  
 ◆  $1.0 \times 10^{-2}$  mol、■  $2.0 \times 10^{-2}$  mol、△  $4.0 \times 10^{-2}$  mol

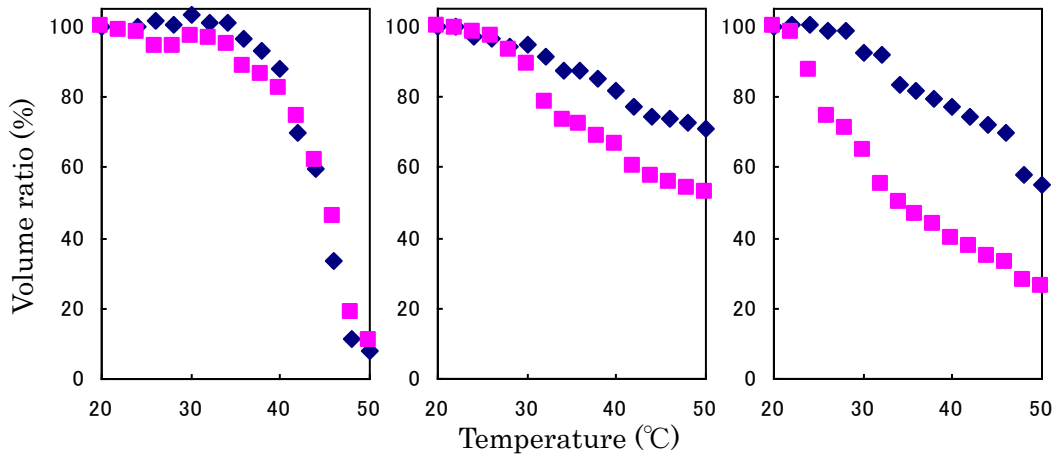


Figure5 HPC の分子量が異なるときのゲルの収縮挙動。右から EGDE、DPDE、RDE の順。  
 (PGDE は HPC-L を用いた時にゲルが生成しなかった)  
 ◆ HPC-L 4% +  $2.0 \times 10^{-2}$  mol、■ HPC-H 2% +  $2.0 \times 10^{-2}$  mol



## 0-3 安心安全な木製ハイブリッド遊具の開発

北海道立総合研究機構 森林研究本部 林産試験場  
 ○小林裕昇 東智則 野田康信 長谷川祐 古俣寛隆 川等恒治

### はじめに

日本国内で1990年代後半から2000年代前半にかけて設置された遊具は、老朽化の進行による倒壊の危険性があるため使用停止となる事例が増加しており、遊具の補修・更新は緊急を要する課題である。現在、自治体の財政状況の悪化から公園の維持管理コストは大幅に縮小され、遊具の更新および新規設置時には耐用年数が長くメンテナンスコストの小さい遊具が優先的に選択されている。また補修時においても、更なる耐久性の向上や劣化状態の判断が容易に行える素材や構造が重要視されている。

北海道の一人あたりの公園面積は全国一であり、木育の一環として子供たちが木に親しむための重要な役割を担っている木製遊具も多く設置されている。現存する木製遊具は、当時手に入りやすかったベイマツやベイツガなどの輸入木材が使われていたが、道産人工林材は主伐の時期を迎えており、一層の需要拡大を図るためにも遊具資材への利用が望まれている。しかし、木材は他の遊具部材と比較して耐久性やメンテナンス性の低さが指摘され、これが木製遊具普及の妨げとなっている。

そこで、遊ぶ子供の安心と安全性の確保、遊具本体の長寿命化を図るとともに、道産人工林資源の遊具への利用拡大、木育推進のため、木製遊具の円滑な普及を目標とし接合部に劣化の判断が容易である金属を併用した木製ハイブリッド遊具の開発を行った。

### 1. 木製ハイブリッド遊具のコンセプト

木製遊具が避けられる理由として、主要構造部が劣化または腐朽した場合の交換時期の判断が難しいことが挙げられる。特に支柱地際部の腐朽は、放っておくと遊具全体の安全性に関わるため、適切に防腐処理された部材を使用しなければならない。防腐剤を加圧注入した木材の耐用年数は、おおよそ10年であるが、材質や注入時の状態によっては想定した耐用年数を満たさず、補修および更新のタイミングに予期しない変更を生じる場合がある。そこで最も腐朽しやすい地際の柱部分を直接地面に接触させない構造とするため、地面より上で基礎と柱脚をドリフトピンで固定する金具（図1）を考案した。

通常の木製遊具支柱は、基礎に対し掘っ立て構造となっているため柱脚部と基礎は剛接合となる。本研究の木製ハイブリッド遊具は、基礎との接合に金具を用いていることからピン構造となり、水平力を負担する筋かいを設けなければならない。しかし、筋かいを設けることで遊具設計の自由度を奪う可能性があったため、鋼製支柱を構造のコアとし、その周囲の木製支柱が受ける水平力を鋼製支柱が負担することで、筋かいの必要ない構造とすることにした（図2・3）。

### 2. 遊具の1次試作（2010年）

木製ハイブリッド遊具は、施工性・耐久性・ライフ

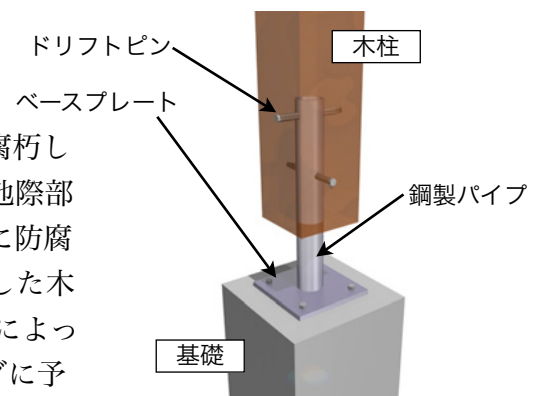
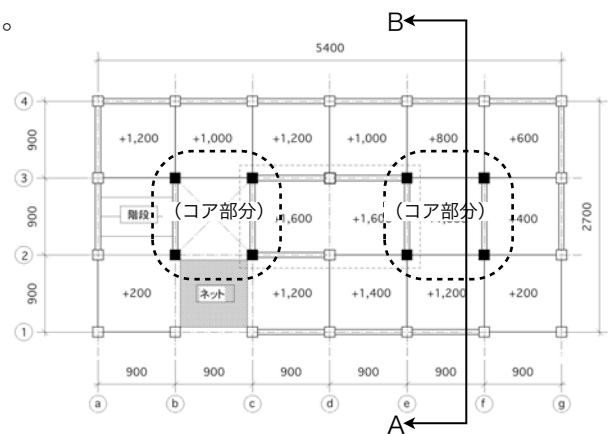


図1 支柱と基礎の接合金具



□: 木製支柱（120角） ■: 鋼製支柱（125角）

図2 一次試作遊具の平面図

サイクルコストなどを検証するため、旭川市内の保育所に試験設置した。

試作した木製ハイブリッド遊具は、間口5400mm、奥行2700mm、床面の最大高さは地面から1600mmである。すべり台やブランコなど特定のパーツを設けず自由な発想で遊んでもらうために段差のある床を組み合わせ、左右の登り口から複数の動線を使って中央部の展望台を目指すコンビネーション遊具とした(図4)。体格や運動能力の違いを発揮できる仕掛けとして、はしごとネットによるショートカット用の動線(図5)や床下でも遊べる上下二層の構造(図6)とし、バリエーションに富んだ立体的な遊び方ができるように配慮した。

主要構造部である柱、梁、床材には、防腐剤を加圧注入した道南スギと道産トドマツを使用し、表面保護塗料を塗布した。また部材の一部はハイブリッド構造の耐久性評価のため、防腐剤を注入していない無処理材を使用している。

遊具の更なる耐久性向上を図るため、部材各部に保護部材を取り付けた。木材の木口は他の部分と比べ水分の吸収率が高く、劣化しやすい箇所である。木製遊具の場合、柱頭部は高所にあることが多く、日々の点検でも見落とされ易いため、木製のキャップ部材を取り付け直接木口に水が当たらないようにした(図7)。

水平部材についても、上面に割れが発生し劣化しやすい部分であることから、手すりの横棧に笠木となる副材を取り付け、劣化しても交換が容易になるような納めとした(図8)。

### 3. 遊具の2次試作 (2012年)

二次試作は、旭川市の行政担当者、保育士、遊具関連の研究者が参加し、一次試作を踏まえ、子供達の遊び方や管理、維持メンテナンス、構造や各部納まり詳細の変更や改善点などについて検討し、設計を進めた。

遊具は、一次試作と同じように段差のある床を組み合わせた構造を基本形状としたが、ただ上に昇っていただくだけでは、上から下へ降りてくるという動機付けが希薄であるという指摘を受けた。これに対し、すべり台などを組み込むのがよく使われる解決方法ということであったが、木で屋外用すべ

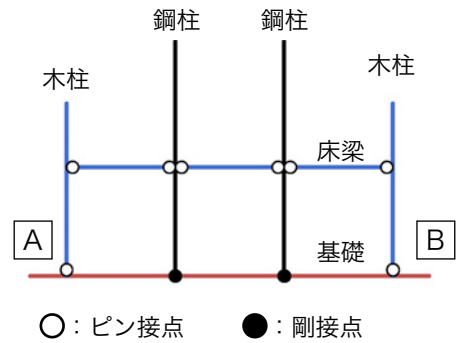


図3 遊具の構造モデル図 (A-B断面)



図4 一次試作遊具の外観



図5 はしごの近道



図6 床下の通路



図7 柱頭の保護



図8 水平部材の保護 (手摺の笠木)



り台を製作することは難しいため、ネットやクライミングウォールの代案が提案された。更に、動き回るだけではなく、行き止まりやちょっとした広場的な空間があり、その場に留まって遊ぶことのできる空間、ツリーハウスや木の砦などをイメージした屋根や天窓の要望があった。また、普段から敷地内の木に足場を付け木登り遊びをしているので、これらの樹木と繋がるような遊具にしたいという意見もあった。

各部位の改善・変更点としては、柱脚金具は基礎の天端に設置するベースプレートタイプから、基礎の中に埋め込むストレートタイプに変更し、通常の木製遊具に近い施工方法とした(図9)。

各自治体との意見交換では、床梁の劣化腐朽が多く発生していることが明らかになり、これに対する改善案が求められた。床は表面側より木ねじを使用して材を固定するため、梁に細かいピッチで多数の釘穴が開き、そこに水分が浸透することで劣化が促進されていると推測された。そこで床材は裏面から鋼材を併用し木ねじで固定することでユニット化を図った(図10)。床ユニットは、梁に取り付けた金属製アングルに固定し(図11)、出来るかぎり梁を傷つけない納まりとした。

一次試作で採用した鋼製支柱をコアとする構造は、地中で基礎を連結したことにより施工費が割高になったため、鋼製支柱を廃し独立基礎へと変更することでコストダウンを図った。これにより、二次試作では水平力を負担する構造部材が必要となり、筋かいの取り付けが必須となった。

二次試作の遊具は、間口4500mm、奥行3600mm、床面の最大高さは地面から1600mmとした(図12・13a~d・14)。コア構造の概念が無くなったので、筋かいを設置するという制約が生じたものの、遊具自体の形状は自由に設計することができた。上下二層の平面は、より床下を潜るという体験を意識させるように上部床と下部動線を交差させるようにした。

遊具に使用した部材は、必要とされる耐久性、メンテナンスの頻度、材料の入手しやすさを考慮し選定した。柱、梁、床材は、主要構造部で高い耐久性が求められることから防腐剤を加压注入した道南スギとした。手摺および手摺の笠木は、メンテナンスしやすい納まりとし部材交換が頻繁に行われると考え、防腐処



図9 形状を変更した柱脚金具



図10 ユニット化した床(裏面)



図11 梁への固定状況

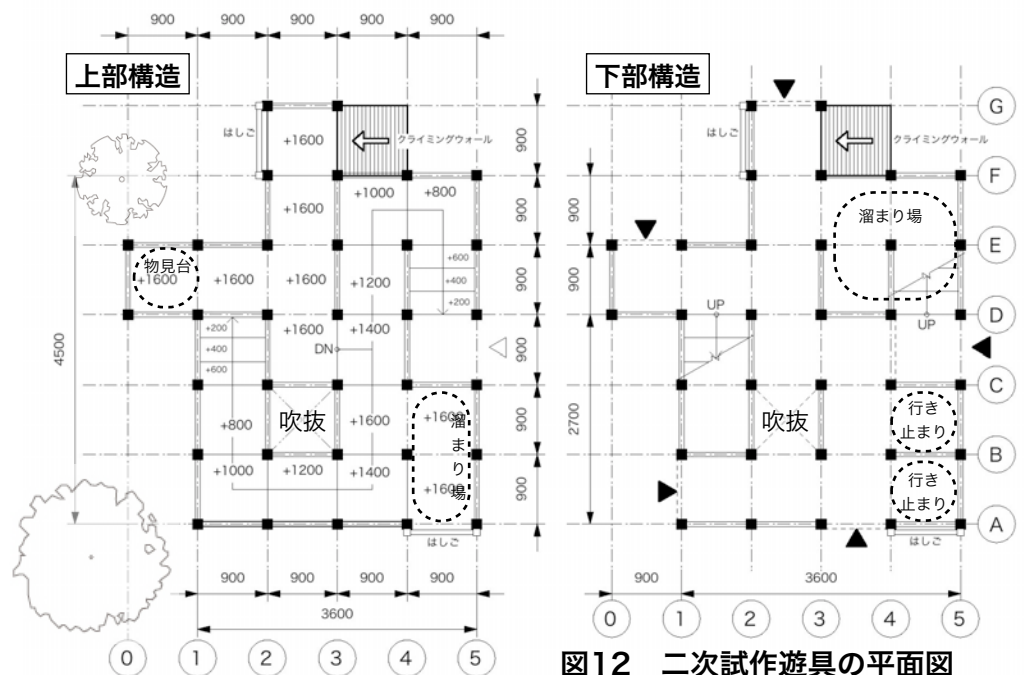


図12 二次試作遊具の平面図



図13 a.二次試作遊具の外観



b.手摺の取付



c.下部トンネル部分



d.筋かいの取付

理を施していない道産トドマツとした。筋かいは壊れることが前提の部材であり、壊れたときに入手しやすいようホームセンターなどで扱われているスプルーース（2×4材）を使用した。全ての部材には、表面保護塗料を塗布した。

#### 4.冬の公園と遊びについて

北海道における冬期間の遊びは、築山でのソリ滑りや雪合戦、かまくら作りなどが挙げられる。しかし冬期間の公園は、近隣住民の雪捨て場とり、子供達は家の中に籠もりがちになっているのが現状である。本遊具の上下二層構造は公園に捨てられる雪を逆手に取り、遊具本体を雪で埋めてしまうことで下部を雪道トンネルやかまくらとし、クライミングウォール部分にあっては金具を外し雪で覆うことでそり遊びのスロープとなるように考えた。今後は、北国らしく冬には雪を利用することで夏とは違った遊びを子供達に提供できる遊具が増えるように本遊具の情報発信に努めたいと考える。



図14 二次試作遊具の3D図（俯瞰）

#### まとめ

腐朽の著しい地際部に金属を採用し、劣化しやすい部位・部材は、あらかじめ交換を前提とした木製ハイブリッド遊具を試作した。木製遊具の標準使用期間は10年とされているが、この木製ハイブリッド遊具は、適切な維持管理が継続的に行われることで更なる長寿命化を図ることが期待できる。

一次試作遊具は設置してから二年が経過しており、劣化調査によると腐朽は認められず、床材に使用による塗装の剥げが見受けられるが、各部材には目立った傷みは発生していない。

今後は、防腐処理木材と非防腐処理材の経年劣化を観察し、ハイブリッド化の有効性について検証していく予定である。そして、これら二回の試作から得られた知見より「木製ハイブリッド遊具」の設計資料集を作成し、関連企業および自治体に配布し木材の外部利用のポイントを理解してもらうことで、道産材を使用した新しい木製遊具の普及拡大を図りたいと考える。

#### 【参考文献】

- ・遊具の安全に関する規準（JPFA-S:2008） 社団法人日本公園施設業協会
- ・（社）日本建築学会：“建築設計資料集成3 単位空間Ⅰ” （社）日本建築学会編，丸善（1980）
- ・遊具事故防止マニュアル 松野敬子 山本恵梨（2006）

## 0-4 公共建築物の木造化推進に向けた道内の建物実態調査

(北大院農) ○橋本泰治, 平井卓郎

### 1. はじめに

平成 22 年に「公共建築物における木材の利用の促進に関する法律」が公布された<sup>1)</sup>。この法律は、国や都道府県が公共建築物を整備する際に率先して木材を利用することにより、公共建築物に用いる木材の供給体制の整備を行い、林業の再生を図りながら木材の需要全体を拡大することを主な目的としている。これにより、今後は木造の公共建築物の木造化が積極的に進められていくと考えられ、地域の林業・経済の活性化も期待される。しかし、公共建築物といっても休憩所などの小規模なものから学校などの大規模なものまで様々であり、同じ木造であっても建物の規模、用途、建設地等によってそれらに使用される構造部材の断面寸法や長さ、構造計算方法も異なってくる。それにより必要な木材資源や加工方法、設計・施工技術にも違いが生じる。この違いは資材・設計・施工費にも反映され、対応できる設計・施工業者にも制約が生じる。したがって、今後北海道内において、道産材を使用した公共建築物の木造化を推進するにあたっては要求条件に応じた必要資材や設計・施工技術に対する理解が求められる。本調査では道内木造公共建築物の実態調査を行うことにより、主要構造部材を把握し、必要な資源と加工方法などの公共建築物の木造化に取り組んでいくための課題を整理することを目的とした。

### 2. 調査方法

平成 21～23 年に北海道の「森林整備加速化・林業再生事業」により整備された木造公共施設は 75 棟である<sup>2)</sup>。このうち内装または外構のみに木材を使用している施設 17 棟を除外した、施設の軸組に木材を使用している施設 58 棟を対象とし、その中から延床面積の大きなものから小さなものまでを含むように 8 棟を抽出した。抽出した 8 棟に関して、各施設の事業者連絡を取り、平面図、立面図、伏図、構造図等の資料を入手した。入手した図面から主要構造部材(今回読み取ることのできた梁、柱、土台)の断面寸法及び長さを読み取った。読み取った長さを整理する際には、在来工法で用いられる長さの基本単位である 910mm の半分の 455mm を最低の長さとし、その倍数で部材の長さを単純化して表した。また、メーターモジュールで設計されている建物は 1000mm→910mm として対応するに尺モジュールに換算して整理を行った。製材、集成材などの構造部材の種類別に読み取った寸法・数・材積等をまとめ、設計・施工の違いについて、及び部材の生産に必要な原木の径級について考察した。

表 1 各建物の基本情報

建物	延床面積 (㎡)	軒高 (m)	階数	最大部屋面積 (㎡)	用途	防火地域の指定の有無
A	267	4.1	1	104.3	集会施設	22 条区域
B	301	5.6	1	175.0	保育所	無指定地域
C	390	4.7	1	90.7	観光案内施設	無指定地域
D	417	6.5	2	30.2	診療所	22 条区域
E	567	7.3	2	146.6	集会施設	無指定地域
F	703	7.4	1	107.0	福祉施設	22 条区域
G	1066	8.0	1	192.0	集会施設	22 条区域
H	2982	6.7	2	135.3	病院	無指定地域



### 3. 結果と考察

全建物の主要構造部材の使用本数及び材積は図1の通りである。集成材の使用が多く、製材の約10倍の使用量であった。また、トラス梁の使用が8棟中2棟で見られた。延床面積が500㎡以下の建物（以下、建物小）と500㎡より大きな建物（以下、建物大）の2つに4棟ずつ分け、使用されている材の材幅の違いについて注目してみる。集成材に関しては、建物大では材幅120mm、150mmの使用が多く、建物小では材幅105mmの材の使用が多かった。製材では、建物大で複数の材幅の使用が見られるのに対し、建物小においては材幅105mmのものしか使用されていなかった。これらのことから、延床面積が比較的小さな建物では部材の基本材幅が105mmで設定されることが多く、大きな建物では120mmまたは150mmで設定されることが多いと考えられる。しかし、建物小の集成材で材幅180mmの使用が見られることから、一部の建物では広い部屋を確保するために材幅の大きな部材が使用されていることが分かる。

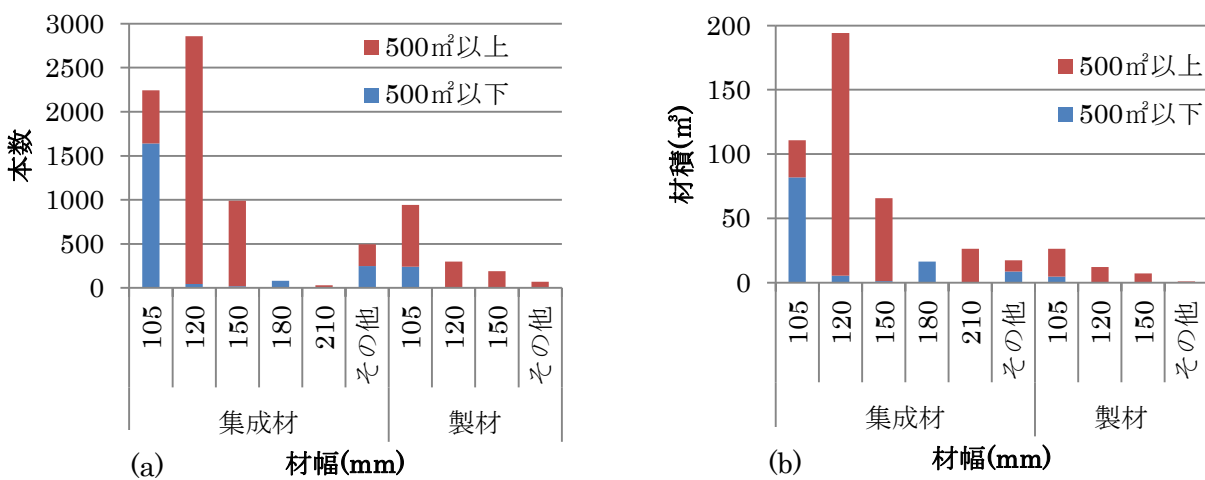


図1 主要構造部材の使用本数及び材積

#### 【製材】

製材は、8棟中5棟で使用されていたが、そのうち3棟では土台のみの使用で柱・梁に製材が使用されていたのは2棟のみであった。使用されていた樹種はカラマツ、トドマツ、ベイツガがあった。特に断面の大きなものではなく、105mm×105mm、120mm×120mmの角材の使用が多く見られた。部材の長さはほとんどが4m以下となっており、住宅と同じような使われ方をしていると言える。

#### 【集成材】

集成材はすべての建物において使用が見られた。使用されていた樹種はトドマツ、カラマツが多かったが、1棟でヒバの使用があった。製材と比べ長さ及び断面の種類が多く、部材の長さは長いもので約13m、断面は大きなもので210mm×800mmであった。製材と同じく、105角、120角、150角部材の使用が多かった。断面が大きくなるにつれて長い部材の割合が高くなっているが、断面の大きなものでそれほど長くない部材も見られるので、大きな断面の部材が必ず広い部屋に使用されているわけではないということが分かった。また、集成材の使用が圧倒的に製材よりも多かったことについては、断面の大きな部材を使用するために必要なだけでなく、105角、120角の部材にも使用されていたことから集成材ラミナの乾燥のしやすさ及び製品の寸法安定性等が製材よりも優れていることから選択されていると考えられる。

## 【トラス梁】

8棟中2棟でトラス梁の使用が見られ、1棟（トラス梁①）は約12mと7mの2つのトラス梁、もう1棟（トラス梁②）は約12mのトラス梁が34本あった。トラス梁②ではツーバイフォー工法に使用される断面の小さな材が用いられており、それらを接合し、トラスで組むことによって12mほどのスパンを渡していた。これより、断面の小さく、それほど長くない部材だけでも集成加工することなく広い空間を確保することができるということが分かった。今回調査した建物では地元で製材工場がない、原木の確保ができない等の理由から地域材の調達が困難な場合もあったので、そのような地域においてはトラス梁の使用は有効なのではないかと考えられる。

次に、製材及び集成材の製造に必要な原木について考える。製材が原木から製品になるまでの工程は、原木→丸太→製材→乾燥→仕上げ加工→製品の流れになっている。集成材の場合はラミナの乾燥後に縦継ぎ→積層接着→仕上げの工程を経て製品になる。製材を行う際には乾燥による収縮や加工による材の減りなどを考えて製品寸法よりも余分に断面を取らなければならない。丸太の木取りにはいろいろな取り方があるが、ここでは図2のように単純化して収縮や加工による減りを考慮して設定し、採材に必要な原木の径級を求めた<sup>3)</sup>。

集成材には様々な断面の部材があったが、集成材はラミナを積層接着して作るため、重ねる枚数によって自由に断面を決定することができる。製材では断面の大きな部材を製造する場合には原木径級の大きなものを必要とするが、集成材で同じものを作る際には原木径級の大きなものを必要とせず、採材可能な原木径級の幅が広い地域に合わせ、採材することができる。現在の道内の人工林資源を考えると<sup>4)</sup>、木造で公共建築物を建てる際には集成材またはトラス梁の使用が必須になるであろう。しかし、特に断面の大きな集成材は製造可能な工場が限定され、材の調達が困難な場合が出てくるのが想定されるので、地域の製材・集成材の製造状況を考慮して製材・集成材・トラス梁の使用を決定する必要がある。

表2 製材・集成材ラミナの木取り条件

	仕上げ寸法(mm)	製材寸法(mm)	原木径級(cm)	採材数
製材	105×105	114×114	16	1
	105×120	114×130	24	2
	105×180	114×195	30	2
	105×360	114×390	44	2
集成材ラミナ	105×30	120×36	16	3
	120×30	133×36	18	3
	150×30	168×36	24	4
	180×30	200×36	26	5
	210×30	235×36	30	6



図2 製材の木取り



図3 集成材ラミナの木取り

## 引用文献

- 1) 平成 22 年法律第 36 号 公共建築物における木材の利用の促進に関する法律
- 2) 北海道水産林務部林業木材課：森林整備加速化・林業再生事業 執行状況について (2011)
- 3) 加藤幸浩, 熊谷隆宏, 平井卓郎, 金森勝義, 高山光子, 大橋義徳：北海道内の人工林資源を背景とした木質構造部材生産システム(第 1 報)―木造住宅構造部材の供給可能性―, 木材工業, 65(8), 350-355(2010)
- 4) 熊谷隆宏：北海道大学農学部卒業論文, 道産材を用いた構造部材及び集成材の断面寸法別必要資源量, (2007)



## O-5 カトリック北一条教会における耐力壁の評価

(北大院農) ○片山知実、富高亮介、澤田圭、平井卓郎

### 1 はじめに

カトリック北一条教会は1916年建設の木造一部石造りの建物で、2008年に札幌市景観資産に指定された歴史ある建物である。この教会で昨年耐震改修が行われた。外壁は下見板張り壁(ドイツ下見)、内壁は木摺り漆喰塗り壁であるが、建築基準法ではこの壁種の壁倍率は定められていないため、両面木張り壁(0.98×2=1.96kN/m=壁倍率1.0)と仮定して耐震改修の計算は行われた。壁に関する改修は、教会の外壁を剥がし柱等の傷んだ部材を新規部材と交換。次に柱頭・柱脚の接合部をコーナー金物(タナカ製コンパクトコーナー)で補強。最後に、傷んだドイツ下見を新規にスギのドイツ下見と交換し、木ねじ(東日本パワーファスニング製ネダノットND-5-70)で打ち付けた。尚、今回の耐震改修は現行建築法規の定める耐震性能を満たすべく行ったものではなく、教会の歴史的・意匠的価値を損なわない範囲で大地震時の倒壊防止を目標に行われた。

本研究では耐震改修後の木摺り漆喰塗り壁・下見板張り壁の実際の性能について実験的に確認を行った。

### 2 試験方法

#### 2.1 試験体

試験体は以下の6種、計14体とした。

1. 下見板張り壁：3体
2. 下地を木張りとして下塗りを施した木張り漆喰塗り壁(以下、下塗り壁)：3体
3. 下地を木張りとして中塗りまで行った木張り漆喰塗り壁(以下、中塗り壁)：3体
4. 下塗り後下げおを打ち付けた上に中塗りまで施した木摺り漆喰塗り壁：1体
5. 片面を下見板張り壁、もう片面を中塗り壁とした両面張り壁：3体
6. 面材壁 N50 釘 150mm 間隔：1体(比較用試験体)

試験体の概要を図1、表1に示す。木張り漆喰塗り壁は塗り厚の違いによる性質の違い、下げおの役割を確認するため3種類作成した。漆喰の生石灰、すき、ノリ、骨材の種類や配合の割合は下塗り、中塗り、上塗りで本来異なるが、本実験では全ての工程で丸京石灰の「しっくいなか塗り」を使用した。また、漆喰の実際の塗り厚は不明であるため建築工事標準仕様書 JASS15 左官工事に示されている木張り漆喰塗り壁の最も薄い塗り厚 12mm に従い、下塗

3.0mm、鹿子ずり 1.5mm、中塗り 6.0mm とした。養生期間は下塗り、鹿子ずり・中塗りでそれぞれ1週間とした。下げおも JASS15 左官工事に従い打ち付けた(図2)。下見板のビスの種類とビスの間隔、木張りの小幅板の幅と間隔、柱・土台・梁・間柱のコーナー金物は耐震改修後と同様にした。

教会の外壁は幅 200mm(あいじゃくりの重なり部分の幅は除く)のスギのドイツ下見板であるが、試験では幅 180mm のスギ板を 20mm の間隔をあけて配置した。実際はあいじゃくりの重なり部分の摩擦等が効くと考えられるが、試験では実際より低い安全側の値が出るので問題ないとした。

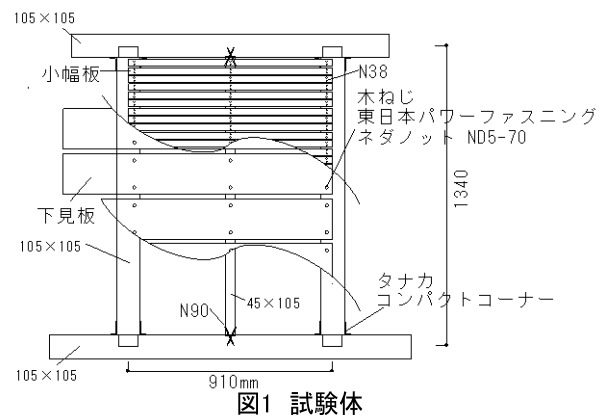


図1 試験体

表1 各試験体の平均比重

	軸組み トドマツ	下見板 スギ	小幅板 トドマツ
下見板1	0.38	0.34	—
下見板2	0.41	0.36	—
下見板3	0.45	0.39	—
下塗り1	0.38	—	0.44
下塗り2	0.41	—	0.44
下塗り3	0.46	—	0.44
中塗り1	0.39	—	0.40
中塗り2	0.41	—	0.40
中塗り3	0.47	—	0.40
両面張り1	0.39	0.34	0.43
両面張り2	0.41	0.36	0.38
両面張り3	0.46	0.39	0.38
下げお	0.39	—	0.43
面材	0.41	—	—

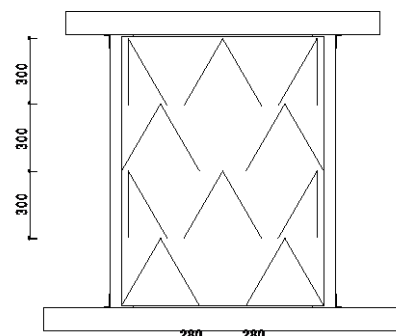


図2 下げお打ち

## 2.2 試験方法

無載荷の正負交番繰り返し加力で 1/450、1/300、1/200、1/150、1/100、1/75、1/50、1/30rad の各段階で 3 回繰り返し後、加力点側への一方向単調加力を行った。また、振れ止めを設置し加力方向以外への壁の動きを防止した。両面張り 3 体のうち 2 体（両面張り 2、3）はタイロッドを装着した。

## 3 試験結果

### 3.1 下見板張り壁

代表的な荷重-変形角曲線の例を図 3 に示す。6 種の試験体の中では一番剛性は低いが、1/10rad まで荷重は増え続け、荷重の増加が止まった後も高い耐力を維持し続けており、粘り強い壁であることが分かった。

### 3.2 木ずり漆喰塗り壁 下塗り

初期剛性は高く、1/100rad 程度で一旦 10% 程度の荷重が低下し、その後また増加した（図 3 (b)）。この荷重の低下は、変形角の増加に伴い漆喰が損傷したためである。剥離した漆喰は、ほぼ木ずり表面の漆喰のみで、木ずりの間の漆喰は残っていた。漆喰の剥離後も下見板張りと同様に最後まで荷重は伸び続け、粘り強い壁であることが分かった。

### 3.3 木ずり漆喰塗り壁 中塗り

初期剛性は下塗りよりも高く、面材張り並みであった。1/150~1/100rad で 50~60% 程度の荷重が低下し、その後また増加した（図 3 (b)）。この荷重の低下は、変形角の増加に伴いほぼ全ての漆喰が下地から剥離したためである。そして、全ての試験体で 1/30rad で全漆喰が一度に剥落した。この剥落した漆喰も、ほぼ木ずり表面の漆喰のみで、木ずりの小幅度板間の漆喰は残っていた。1/150~1/100rad 以降は、ほぼ木ずりとその間の漆喰のみの耐力である。それでも、最後まで荷重は増え続け、粘り強い壁であることが分かった。本実験中に最大荷重を迎えたものはなかったが、小幅度板の間に漆喰が入り込むことによって摩擦が効き、最大荷重を迎えた後も一定期間高い耐力を維持し続けるのではないかと考えられる。

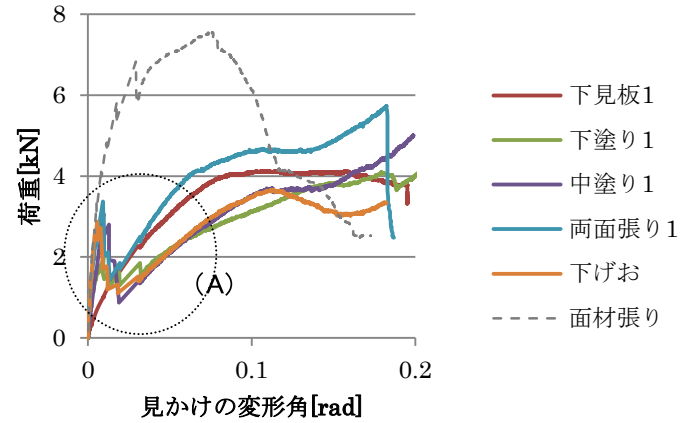
### 3.4 両面張り壁

両面張りの最初の剛性は中塗りと同程度であり、変形角の増加に伴い漆喰の損傷が進み一旦耐力は低下したが、その後また増加した（図 3 (b)）。この耐力低下時の耐力・その後の耐力共に中塗りの耐力をやや上回っていた。また、下見板と中塗りを単純に加算したような荷重-変形曲線は得られなかった。両面張りは下見板・中塗りそれぞれの性質が大きく異なる為、加力した際に均等に荷重が分配されていないと考えられる。最初の荷重低下が見られるまでの剛性は中塗りと同面張りはほぼ等しいので最初は中

塗りの方に力がかかり、荷重の低下後つまり漆喰が剥離した後は木ずり（漆喰の下地）と下見板に荷重が分散していると考えられる。

### 3.5 下げお打ち

下げお打ちは漆喰の剥落を防ぐ効果はあるが、強度の増加にはつながらなかった。



(a)

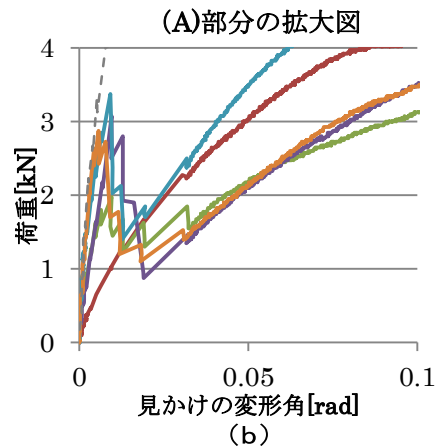


図3 代表的な荷重-変形曲線

### 3.6 壁倍率

下見板、下塗り、中塗り、両面張りについて完全弾塑性モデル置換による一般的な壁倍率評価<sup>2)</sup>を行った（表 2）。その際に、荷重変形曲線の特徴点抽出自動化ツール Pick Point（軽部、森林総研）を使用した。特定変形角はタイロッド装着のもの（両面張り 2、3）は真のせん断変形角 1/150rad、その他のものは見かけのせん断変形角 1/120rad で算出した。各壁倍率は特定変形時により決定され、両面張り 1.28 と耐震改修時に想定した 1.0 を上回る結果となった。

しかし、中塗り、両面張りでは漆喰の剥離により 50% 程度の耐力の低下が見られ、適正な降伏耐力  $P_y$ ・終局耐力  $P_u$ ・構造特性係数  $D_s$  を求められなかった。その荷重-変形曲線と完全弾塑性モデルの例を図 4 に示す。そこで中塗り、両面張りにおいて一

且荷重が最低まで低下した点より上の荷重（図 6 の破線部）を除いた荷重-変形曲線（図 5 の実線）を作成した。加工後のグラフは図 5 の破線部を除いただけであり危険側の結果は出ないので、これから壁倍率を算出した。これにより求められた壁倍率は中塗り 0.53、両面張り 0.92 であり、両方とも特定変形時によって決定された（表 3）。

この評価法では両面張りは耐震改修時の想定 1.0 を満たしていない。しかし、 $P_{max}$  に対して十分な安

全率があるので倒壊の危険性は低い。また、教会の聖堂ということで多少大きな変形が生じても一般の建築物のように家具など転倒による危険性は低い。さらに、現在定められている木張り壁の壁倍率 0.5 という値は 1/60rad の性能による値である<sup>3)</sup>ので今回使用した見かけの変形角 1/120rad、真の変形角 1/150rad の性能は本来保障されているものではない。従って、多少変形が大きくなるが、倒壊の危険性は低く安全であると言える。

表2 壁倍率

	下見板			下塗り			中塗り			両面張り		
	Ave	短期基準せん断耐力	壁倍率	Ave	短期基準せん断耐力	壁倍率	Ave	短期基準せん断耐力	壁倍率	Ave	短期基準せん断耐力	壁倍率
$P_y$	2.38	2.21		3.17	2.61		3.21	3.16		5.58	4.62	
$P_u*0.2/D_s$	2.03	1.87		2.16	1.71		3.87	2.82		4.12	3.41	
$2/3*P_{max}$	3.13	2.96		3.59	3.18		3.43	3.38		6.17	5.17	
特定変形時	0.98	0.93	0.52	1.69	1.60	0.90	2.76	2.61	1.46	2.60	2.29	1.28

※特定変形時：見かけの変形角1/120rad時の荷重、タイロッド装着の両面張り2、3は真のせん断変形角1/150rad時の荷重  
壁倍率=短期基準せん断耐力/1.96/0.91

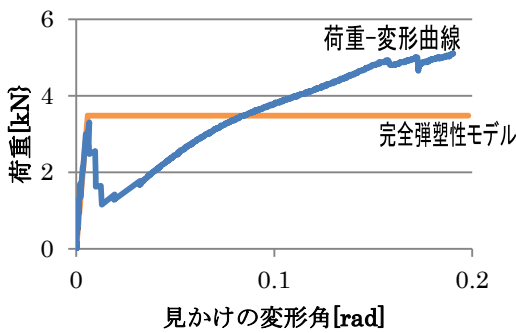


図4 不適切な評価の例(中塗り3)

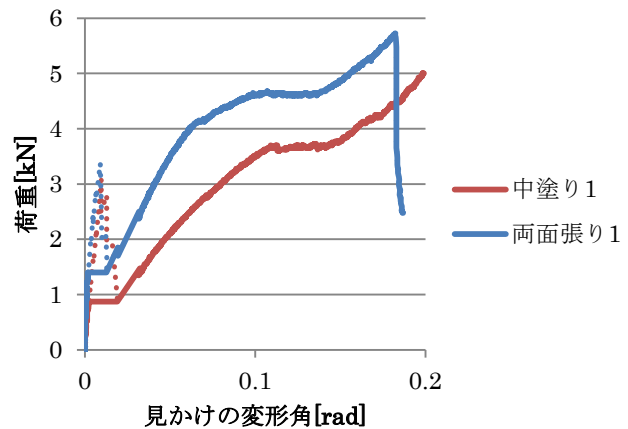


図5 加工後の代表的な荷重変形曲線

表3 グラフ加工後の壁倍率

	中塗り			両面		
	Ave	短期基準せん断耐力	壁倍率	Ave	短期基準せん断耐力	壁倍率
$P_y$	5.63	3.56		4.56	4.21	
$P_u*0.2/D_s$	1.16	0.96		2.52	2.28	
$2/3*P_{max}$	3.43	3.38		6.17	5.17	
特定変形時	1.00	0.94	0.53	1.82	1.64	0.92

### 3.7 漆喰

上塗りを省いたものであっても漆喰壁にある程度強度は期待できることが分かった。本試験では、下塗りにも中塗り用の漆喰を用いた。下塗り用の漆喰は中塗り用に比べ、硬度・曲げ強度を増加させるすさの割合が多く、硬度を増加させる骨材（砂）の割合が少ない。中村伸<sup>4)</sup>による下塗り用と中塗り用を比較すると、曲げ強度が約 1.5~1.9 倍、硬度が約 0.77~0.97 倍と、硬度に大きな変化はないが曲げ強度が増加している。さらに、漆喰の硬度・曲げ強度

は材齢とともに増加すると言われている。養生期間 1 週間ずつの本実験と比較して、実際の教会の壁の剛性はより高くなるのではないかと。

### 3.8 実大壁

本実験では壁高さを 1340mm としたが、実際の壁高さは 3422mm である。この壁高さが、実際の壁倍率にどう影響するかを見ていく。

下見板張りでは、全体の仕事を  $U$ 、全接合部の仕事量とを  $U_j$  とすると、

$$U = \frac{P \times \delta}{2} = \frac{Ph\theta}{2}$$

$$U_j = 6n \times \frac{f \times s}{2} = 6n \times \frac{fr\theta}{2} = 3nfr\theta$$

$P$ : 壁にかかるせん断力

$\delta$ : 壁の水平変位

$h$ : 壁高さ

$\theta$ : 真のせん断変形角

$s$ : 木ねじのすべり量

$f$ : 木ねじにかかるせん断力

$r$ : 回転中心から木ねじまでの距離

$n$ : 下見板枚数

下見板 1 枚当たりの木ねじ数: 柱数×柱 1 本  
当たりの木ねじ数=3×2=6

全体の木ねじ数: 6n

となり、全体の仕事量と各接合部の仕事量の和は等しいので。

$$U = U_j$$

$$\frac{Ph\theta}{2} = 3nfr\theta$$

$$P = \frac{3nfr}{2h}$$

となる (図 6)。板の枚数  $n$  と壁高  $h$  さは比例しているの、下見板張り壁は壁高さが変化しても強度に変化はない。実際の教会の壁は試験体と比較して壁高さは約 2.6 倍、板の枚数は 3 倍となっているので、 $P$  に若干の差は生じるが試験体の耐力と実大の耐力はほぼ等しいと言える。

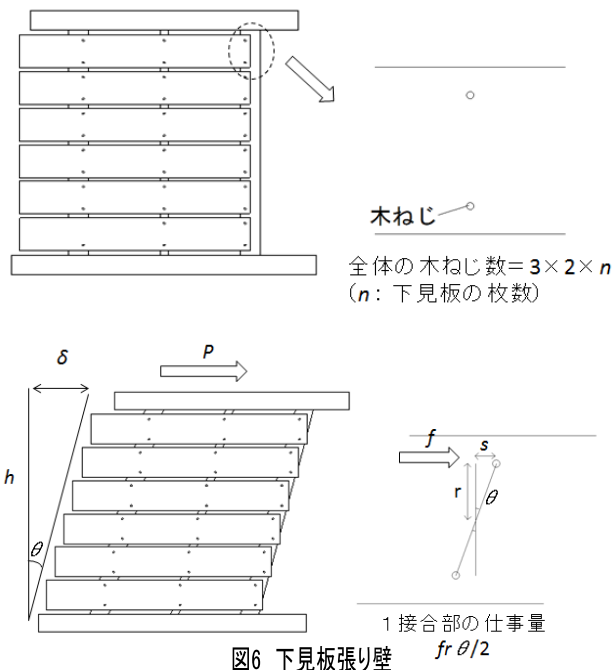


図6 下見板張り壁

木ずり漆喰塗り壁では、漆喰が剥離する前は面材壁に近いと考えられる。面材耐力壁は高さによる耐力の違いはあまりないと言われている<sup>5)</sup>。さらに、漆喰剥離後は木ずり壁として考えられる。木ずり壁は高さによる耐力の違いはないが、木ずりの間に漆喰が残っているため摩擦が生じ若干耐力は上がると思われる。よって木ずり漆喰塗り壁も試験体と実大の耐力はほぼ等しいと言える。

#### 4 まとめ

実験により下見板張り壁と木ずり漆喰塗り壁を合わせた耐力壁の壁倍率は 3.6 壁倍率で行った 2 種類の算出方法で 1.28、0.92 が得られた。実際のカトリック北一条教会では、漆喰-小幅板間の摩擦、下見板の摩擦、材齢を重ねた漆喰の強度により今回求められた壁倍率よりも若干高いと予想されるため、耐震改修時に想定された壁倍率 1.0 をほぼ満たしていることが確かめられた。今回の改修は大地震の倒壊防止を目標として行われていることを考えると、安全性は高いことが分かった。

#### 5 参考文献

- 1) 富高亮介・片山知実・平井卓郎・澤田圭: 日本木材学会北海道支部講演集第 43 号, 12-15 (2011)
- 2) 日本住宅・木材技術センター: 木造軸組み工法住宅の許容応力度設計 (2008 年版), 4-5 (2008)
- 3) 日本建築学会編: 木質系耐力壁形式構造に関する Q&A, 564-574 (2011)
- 4) 中村伸: 日本建築学会研究報告 (8), 156-159 (1950)
- 5) 平井卓郎・張沛文・入江康孝・若島嘉朗: 木材学会誌 45(2), 120-129 (1999)
- 6) 田邊平學・後藤一雄・菊田守雄: 交番水平加力を受くる木造有壁 (大壁) の実験, 建築学会論文集 (13), 210-219 (1939)
- 7) 田邊平學・勝田千利・後藤一雄: 交番水平加力を受くる木造有壁 (真壁) の実験, 建築学会論文集 (10), 建築学会論文集 (9), 130-139 (1938)
- 8) 藪原鉄之助: 左官実用百科宝典, ヤブ原出版部 (1952)
- 9) 平井卓郎・宮澤健二・小松幸平: 木質構造 [第三版], 東洋書店 (2009)

# 0-6 枠組壁工法構造用製材を用いた開口耐力フレームの水平せん断性能

北大院農 ○富高亮介 平井卓郎 澤田圭

## 1. はじめに

建物が地震力や風圧力といった水平力に対して安全であるためには、建物が保持する水平耐力が必要とされる水平耐力を満たしている必要がある。建物の水平耐力を求めるにあたり、開口部の水平耐力を評価するには許容応力度計算が必要になる。しかしながら、一般的な小規模住宅で行われる簡易的な構造計算では開口部は水平耐力要素とみなさないものとされる。一方で、開口部の存在は採光等の居住性の確保のために不可欠であり、多くの場合、建物の強さと開口部による居住性を両立させることが求められる。

本報は、開口部に挿入でき開口部に耐力を持たせられるような耐力フレーム<sup>1)2)3)</sup>の水平せん断性能について評価・検討した結果を報告する。

## 2. 実験概要

### 2.1 試験体

試験体の形状を図1に示す。開口フレームの試験体（以下CJ-G）は高さ2700mm、幅1820mmの閉合ラーメンフレームとした。図2に試験体組立概略図を示す。試験体は、厚さ35mm程度になるよう鉋掛けした206材を3枚接着（湿気硬化型ポリウレタン樹脂接着剤：サンスター技研）する構成（断面105×140）を基本とし、3層の間の部材と両側の部材をそれぞれ一定間隔でCN65釘による釘打ちを併せて行った。水平部材・縦枠の接合部も、接着接合とCN65釘を1せん断面当たり4本（両面8本）打つ釘接合の併用とした。このように組まれるため、水平部材・縦枠の仕口はほぞ接合となる。現在我が国では、現場における接着工程の管理が難しいことから、現場での接着のみによる接合は認められていない。これより、試験体の仕様は接着接合に加え、釘接合とほぞ接合の複数の機械的抵抗要素を持つものとした。接着面の抵抗の他に、釘のせん断抵抗

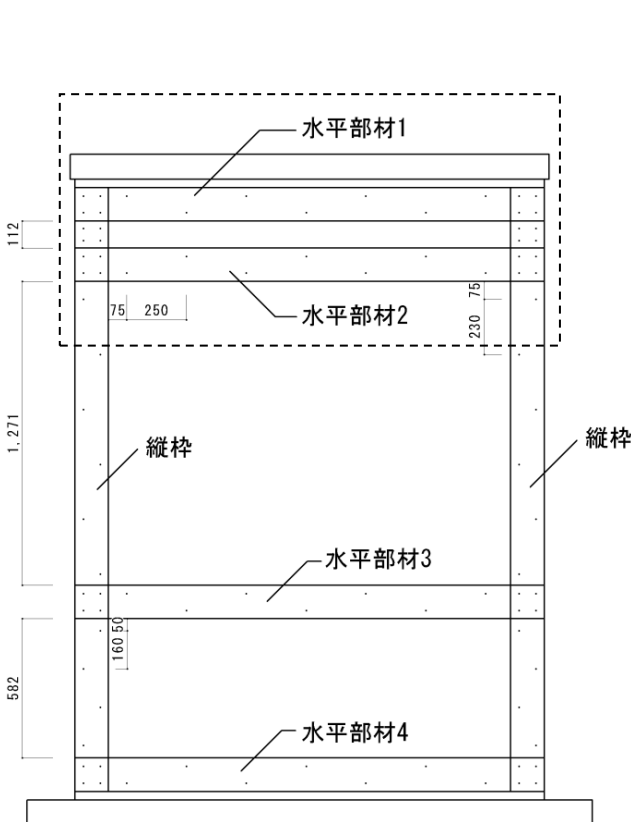


図1 CJ-G, CJ-NG 試験体形状

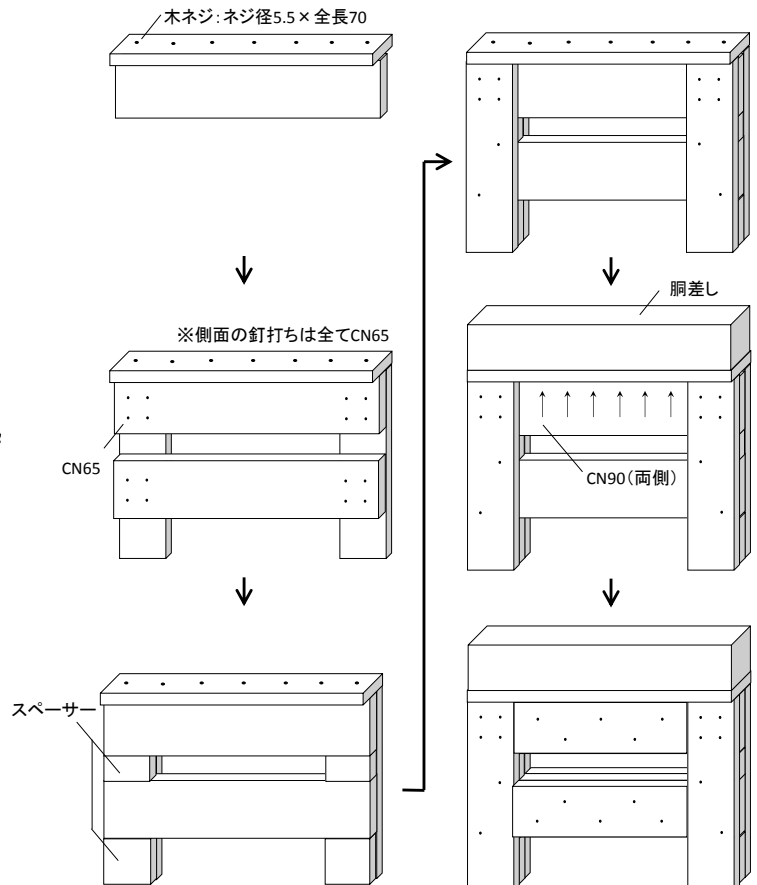


図2 試験体組立概略図（図1破線囲み部分）



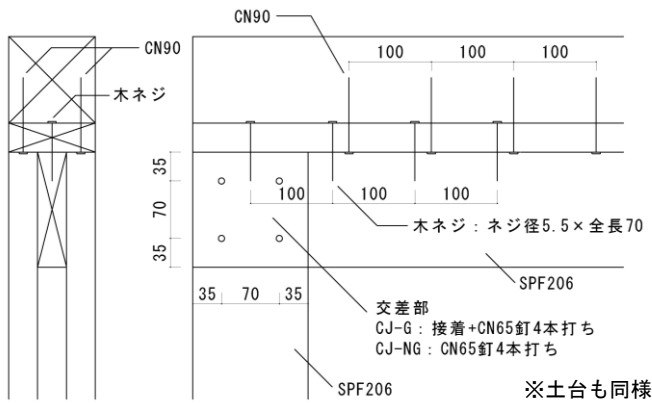


図3 胴差し-フレーム固定部詳細

表1 試験体仕様と基礎材質

試験体名	材	仕様	比重		含水率(%)		E <sub>r</sub> (GPa)	
			Avg.	C.V.(%)	Avg.	C.V.(%)	Avg.	C.V.(%)
CJ-G	SPF206	全面接着	0.49	6.80	13.34	6.64	10.83	13.17
CJ-NG		接合部のみ未接着	0.49	5.73	12.54	4.47	11.22	14.33
CP	ホワイトウッド105角材	面材張り耐力壁	0.47	3.00	15.55	2.42	12.69	12.34

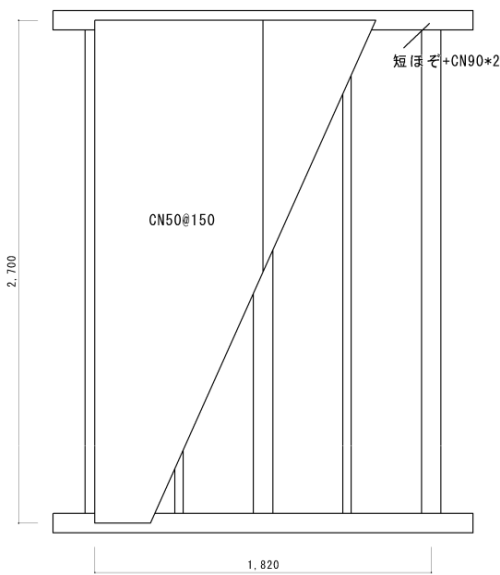


図4 CP試験体形状

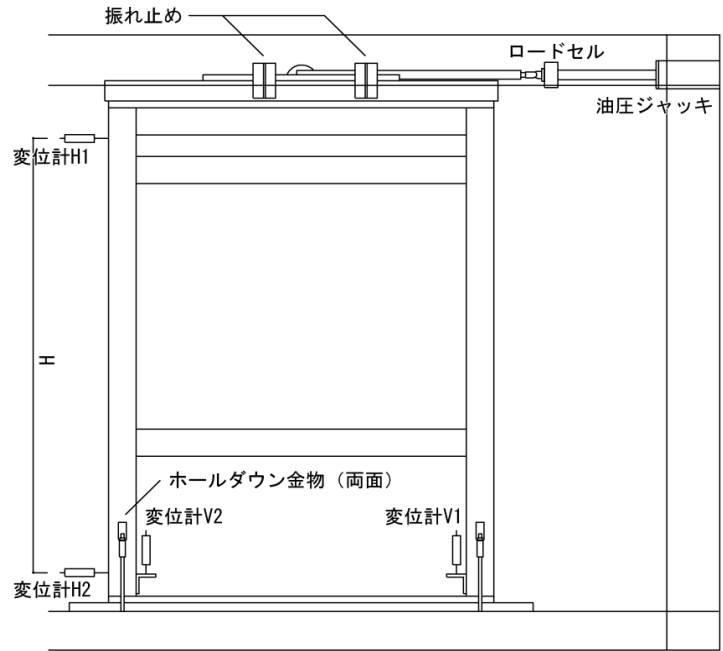


図5 加力装置及び変位計

とほぞのめり込み抵抗を並列させることで、脆性的な耐力の低下を防ぐことを試みた<sup>4)</sup>。図3に胴差し部分の詳細を示す(土台も同様)。胴差し及び土台はトドマツ正角材(105角)とし、フレーム側からCN90釘を釘打ちし固定した。接合部を接着しない開口耐力フレームの試験体(以下CJ-NG)は、水平部材・縦枠の接合部を接着せず、CN65釘を1せん断面当たり4本(両面8本)打つのみとした。接合部仕様以外はCJ-Gと同様とした。このため、CJ-NGは釘接合とほぞ接合の2つの機械的抵抗要素のみを持つ。比較のための一般的な荷重-変形角曲線を得るために、図4に示す面材張り耐力壁(以下CP)を作成した。柱及び胴差し、土台はホワイトウッド正角材(105角)とし、9mm厚構造用合板をCN50釘で150mmピッチで釘打ちした。各条件3体ずつ計9体の試験を行った。条件毎の仕様と基礎材質を表1に示す。動的ヤング率は縦振動法による値である。

## 2.2 試験方法

閉合フレーム及び面材張り耐力壁の水平せん断耐力試験を行った。加力装置及び変位計の設置位置を図5に示す。無載荷柱脚固定方式とし、ホルダダウン金物(20kN用:カネシン)を閉合フレームでは柱脚部(面外2個、計4個)に、面材張り耐力壁では柱頭柱脚部(面内1個、計4個)に取り付け、柱の浮き上がりを拘束した。加力方法は、みかけのせん断変形角が1/450、1/300、1/200、1/150、1/100、1/75、1/50における、正負3回の交番繰返しとし、変形性能を把握するため、最大荷重の80%まで低下した後も1/10rad.を目標に加力を続けた。土台は反力フレームにアンカーボルトで固定し、面外方向の振れは振れ止めで拘束した。

### 3. 結果・考察

#### 3.1. 破壊性状

CJ-G 及び CJ-NG について、試験後の破壊性状を写真 1~4 に示す。CJ-G では、縦枠の柱脚・柱頭の接合部での接着層の剥離が先行して生じ、その後、他の接合部でも破壊が生じたが、その順番や部位に傾向は見られなかった。接着面 (140\*140、両面) の剥離は接着面全面ではなく、木口からの割裂を伴って部分的に生じていた。CJ-NG では、柱脚部及び水平部材の木口で割裂が生じた。いずれの条件でも、仕口部、とくに水平部材 2 及び 3 と縦枠の接する部分でのめり込みが顕著であった。スペーサー部の滑りや破壊は確認されなかった。



写真 1 CJ-G 縦枠柱頭部



写真 2 CJ-G 縦枠柱脚部



写真 3 CJ-NG 縦枠柱頭部



写真 4 CJ-NG 縦枠柱脚部

#### 3.2. 荷重-変形角曲線

荷重-変形角曲線を図 6 に示す。CJ-G の荷重-変形角曲線は、1/30~1/40rad.にかけて最大荷重に達し、接着層の破壊により急激に荷重が落ちた。接着層の破壊後、荷重は落ち切ることなく、1/10rad.まで 7~11kN を推移した。CJ-NG の荷重変形角曲線は、剛性が小さく、荷重は緩やかに上昇を続け、1/10rad.で平均 7.16kN を示した。この荷重は、CJ-G の荷重低下後の荷重をやや下回るものの、CJ-G の低下後の荷重とほぼ一致を見せた。CJ-G は接着接合と釘接合及びほぞ接合を併用した仕様、CJ-NG は釘接合とほぞ接合のみの仕様で

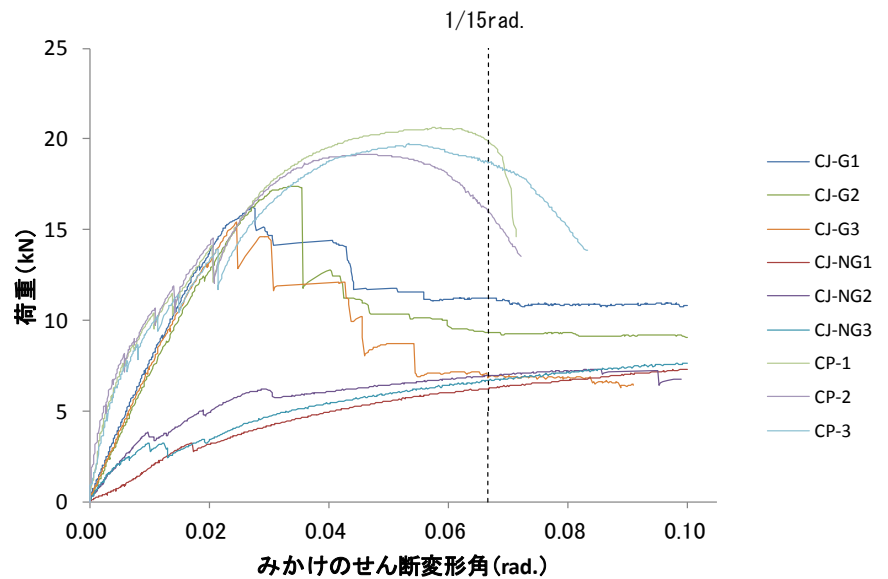


図 6 荷重-変形角曲線

あること、また、CJ-G の荷重の低下を引き起こした破壊が接着層の剥離によるものであったことから、CJ-G において、破壊に伴い接着接合から釘接合及びほぞ接合へ荷重の乗り換えが起こったと言える。このことは、靱性的な機械的抵抗要素を併用することで、接着接合であっても接着層の脆性的な破壊に伴う急激な耐力の低下を緩和させることが可能であることを示している。倒壊に対する安全限界として 1/15rad.の荷重を CJ-G 及び CJ-NG と CP で比較すると、3 条件の中で CP が最大となるが、CJ-G 及び CJ-NG も CP に対して 4~6 割程度の耐力を保有していることがわかる。ただし、耐力壁は壁長に比例してせん断耐力が増加するが、CJ-G 及び CJ-NG はラーメン構造であり耐力壁と同様ではない。あくまで、本実験の試験体仕様における耐力の限定的な比較とする。1/10rad.まで変形角を大きくすると、CP は耐力を失ってしまうが、CJ-G 及び CJ-NG は耐力がまだ存在している。この靱性的な特性は、極めて稀に起こる地震によって非常に大きな水平力が建物に発生し大変形が生じたとき、この耐力フレームにより生存に必要な空間の確保を担える可能性を示唆している。

上記の特性を踏まえ、安全で確実にせん断耐力を評価する方法を考える。安全限界である 1/15rad.における評価で、脆性的でばらつきの大きい破壊が既に生じている CJ-G の値を用いるのは難しい。よって、CJ-G の荷重低下後の下限値として CJ-NG の荷重を用いる。1/120rad.と設定される損傷限界<sup>5)</sup>の性能は、初期剛性が大きく影響するため、CJ-G の値を用いる。この時、CJ-G の抵抗要素は接着接合が主であるが、破壊が生じるまで変形角と荷重は 2 倍程度余裕があることから、CJ-G の値を用いても問題ないと判断される。具体的に以下に示す①、②の方法で CJ-G を置換し、得られた置換モデルを図 7 に示す。

① 最大荷重の信頼水準 75%における 5% 下限値 (図 6 中の i) に安全率 2 を除した荷重 (図 6 中の ii) から x 軸に平行な直線を引き、CJ-G の曲線との交点でつなぐ。

② CJ-G の損傷限界 1/120rad.時の荷重から x 軸に平行な直線を引く。

①は最大荷重を基準に考える。接着接合であることを考慮し安全率 2 を与えた。②は損傷限界変形を基準に考える。②は最大荷重の 5%下限値に安全率 2 を考慮した置換モデルである①を下回っているため、CJ-G の接着接合に対して安全側評価であるといえる。

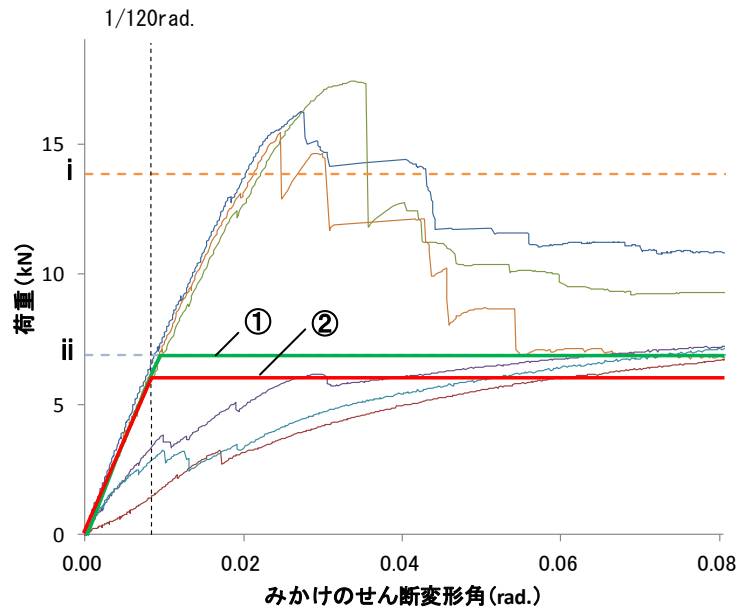


図 7 CJ-G の置換モデル

### 3.3. せん断耐力評価

表 2 に完全弾塑性モデルによる各評価値及び短期基準せん断耐力、壁倍率換算値を示す。壁倍率換算値は短期基準せん断耐力を壁長及び倍率 1 とするせん断耐力 1.96kN で除した値である。これは、せん断耐力が壁長に比例するという前提で考えられており、ラーメンフレームにはあてはまらない。

従って、CJ-G 及び CJ-N の壁倍率換算値は比較・検討のための参考値である。また、前項で検討した②を CJ-G の置換モデルとして耐力評価の対象とした。この CJ-G 置換モデルはバイリニア型であるため、降伏耐力  $P_y$ 、終局耐力  $P_u$  は一致する。また、CJ-G 低減モデルの最大荷重を含む評価項目は、CJ-G の最大荷重に安全率 2 を考慮してバイリニア置換しているため、さらに安全率 1.5 で除すことはせず、最大荷重 (=  $P_y = P_u$ ) を評価値とした。CJ-G、CJ-NG 及び CJ-G 置換モデルの終局変位を 1/15rad. として評価した。

CJ-G 置換モデルは塑性率を含む評価値が最小で、短期基準せん断耐力は 4.86kN となった。置換前の CJ-G も同様に塑性率を含む評価値が最小で、その値は CJ-G 置換モデルより 9%程下回る 4.43kN であった。このことは、完全弾塑性モデルによる評価方法が CP の荷重-変形角曲線のような一般的な形状の曲線を想定したものであり、特に CJ-G のように荷重低下後も一定の耐力を保有する曲線の評価に適さないことを示している。

### 4. まとめ

枠組壁工法構造用製材を用いた開口耐力フレームのせん断性能の評価を行った。実験により接着接合と釘接

表 2 完全弾塑性モデルによる耐力評価

条件名	平均値 [kN]				短期基準 せん断耐力 [kN]	壁倍率 換算値
	$P_y$	$P_u \cdot (2\mu - 1)^{0.5} / 5$	$2/3P_{max}$	$P_{1/120}$		
CJ-G	9.13	4.43	10.65	6.11	4.43	1.24
CJ-NG	3.35	2.37	4.32	2.16	2.16	0.61
CJ-G置換	6.28	4.86	6.28*	6.28	4.86	1.36
CP	9.12	9.83	13.04	8.80	8.80	2.47

※CJ-G置換のみ  $P_{max}$



合及びほぞ接合を併用した仕様と釘接合及びほぞ接合のみの仕様のせん断性能を明らかにした。接着接合と釘接合及びほぞ接合を併用した仕様は、急激な荷重の低下を防ぎ、かつ靱性を有していることが検証出来た。また、接着接合と機械的接合を併用した仕様と機械的接合のみの仕様を比較することで、接着接合に破壊が生じ荷重が落ちた後の耐力を、機械的接合のみの仕様の耐力を下限值として評価する方法を検討した。

#### 参考文献

- 1) 本間智恵美, 既存木造住宅の劣化した壁体の耐震補強に関する研究, 北海道大学大学院農学院修士論文, 2006
- 2) 野田康信, 採光性の高い居住空間を求めて—木質閉合ラーメンの可能性, 北海道大学農学部森林科学科木材工学研究室卒業論文, 2000
- 3) 高島和之, 木質閉合ラーメンの水平せん断耐力性能, 北海道大学農学部森林科学科木材工学研究室卒業論文, 1999
- 4) 平井卓郎・宮澤健二・小松建平: 木質構造第4版, p129, (2012)
- 5) 2007年版建築物の構造関係技術基準解説書, 建築物の構造関係技術基準解説書編集委員会, p294-295

## P-1 針葉樹合板の接着性能に及ぼす単板含水率の影響

(道総研林産試) ○古田 直之、平林 靖、宮崎 淳子

### 1. はじめに

近年、合板原料に占める国産針葉樹の割合が大幅に増加している。これらの針葉樹合板には通常フェノール樹脂接着剤が使用されている。フェノール樹脂接着剤は、高い接着耐久性を示す一方で、他の接着剤よりも高温での熱圧が必要であり、含水率が高い場合には接着不良（パンク）が生じるため、厳しい水分管理が要求される。国産針葉樹は、南洋材や外国産針葉樹よりも初期含水率のバラツキが大きく、含水率を均一に仕上げるのが難しい。したがって生産現場においては、単板を絶乾近くまで乾燥させているのが現状である。しかし、含水率の高い単板の接着が可能になれば、歩留まりや生産性の向上、さらにはエネルギーコスト削減にもつながり、経済性に優れた合板の製造が期待できる。

単板含水率と合板の接着性能の関係についての既往の報告<sup>1-3)</sup>は、南洋材やシナやカバなどの広葉樹を対象としたものであり、針葉樹に関する報告は見られない。本研究では、道産針葉樹および北洋カラマツについて、フェノール樹脂接着剤による単板含水率の許容性を把握するとともに、単板含水率が接着性能に及ぼす影響について検討した。さらに、フェノール樹脂接着剤に添加剤を加えることによる高含水率単板の接着の可能性についても検討した。

### 2. 試験方法

#### 2. 1 針葉樹合板の製造

長さ1mの道産カラマツ、道産トドマツおよび北洋カラマツ原木から、厚さ2.1mmと3.15mmで単板切削し、960×360mmの寸法のロータリー単板を得た。単板は、原木の内周側から順に番号を付け、ベニヤドライヤを用いて温度145℃で絶乾近くまで乾燥させた。それぞれの単板の気乾密度の平均は、道産カラマツが0.58(g/cm<sup>3</sup>)、道産トドマツが0.43(g/cm<sup>3</sup>)、北洋カラマツが0.66(g/cm<sup>3</sup>)であった。乾燥単板は320×320mmに裁断し、恒温恒湿器により表1に示す調湿条件で十分に調湿させた。単板含水率の組み合わせは、添え心板のみ高含水率の場合と全層一定含水率の場合の2条件とした。この際、それぞれの調湿条件で単板の採取位置が偏らないように単板を振り分けた。接着剤配合と合板製造条件を表2に示す。主剤にはDIC(株)製のフェノール樹脂接着剤を用いた。配合Iは標準的な配合、配合IIはレゾルシノール樹脂を添加することによる高含水率単板の接着を期待した配合である。合板は各条件2枚ずつ製造した。また、2枚中1枚の合板には接着層に熱電対を挿入し、データロガー（キーエンス製NR-1000）を用いて熱圧時の接着層の温度変化を測定した。

#### 2. 2 仮接着性評価

仮接着性は、冷圧解放後5分間合板を水平に放置した時の単板のはく離の程度を観察し、はく離が全

表1. 単板の組み合わせと調湿条件

製造条件 記号	2.1mm単板 (表板、裏板、心板)	3.15mm単板 (添え心板)
D-40	60℃20時間乾燥	20℃40%R.H
D-60		20℃60%R.H
D-70		20℃70%R.H
D-80		20℃80%R.H
D-90		20℃90%R.H
D-99		20℃99%R.H
40-40	20℃40%R.H	20℃40%R.H
60-60	20℃60%R.H	20℃60%R.H
70-70	20℃70%R.H	20℃70%R.H
80-80	20℃80%R.H	20℃80%R.H
90-90	20℃90%R.H	20℃90%R.H

表2. 合板製造条件

条件	項目	配合 I	配合 II
接着剤 配合	フェノール樹脂	100	100
	レゾルシノール樹脂	0	11.1
	粉末硬化剤	0	1.3
	小麦粉	10.4	5.6
	炭カル	12.5	22.2
	水	5	0
	重曹	3	0
単板構成	5PLY(2.1+3.15+2.1+3.15+2.1mm)		
塗布量	35g/900cm <sup>2</sup>		
冷圧	1MPa-30min		
熱圧	125℃-1MPa-30sec/mm		

く認められないもの、部分的にはく離が認められるもの、全体的にはく離が認められるものの3段階で評価した。

### 2. 3 接着性能試験

製造した合板から、常態接着力試験用、連続煮沸試験用それぞれ10片（順逆それぞれ5片）ずつ、合板のJASに準じた引張りせん断試験片を採取した。試験片の形状は、北洋カラマツのみJASのB型試験片（せん断面積13×25mm）とし、他はA型試験片（せん断面積25×25mm）とした。試験片を20℃65%R.Hの恒温恒湿室で十分に調湿した後、引張りせん断試験を行い、せん断強さと木部破断率を求めた。なお、引張りせん断試験は、表側（1、2層目）の接着層についてのみ行った。

## 3. 試験結果

### 3. 1 単板含水率の許容性

それぞれの調湿条件における単板の平衡含水率を表3に示す。平衡含水率は、同じ調湿条件でも樹種によって若干異なり、すべての調湿条件において、北洋カラマツ>道産トドマツ>道産カラマツの順となった。それぞれの樹種、配合、製造条件における合板の接着の程度を表4に示す。まず、仮接着性について見ると、いずれの配合においても含水率が

表3. 調湿条件と単板含水率

調湿条件	単板含水率(%)		
	道産カラマツ	道産トドマツ	北洋カラマツ
60℃20時間乾燥	1.7	1.1	1.7
20℃40%R.H	6.2	6.9	7.2
20℃60%R.H	8.7	9.7	10.0
20℃70%R.H	10.1	11.0	11.9
20℃80%R.H	13.2	13.9	14.8
20℃90%R.H	16.0	16.7	18.9
20℃99%R.H	23.1	23.2	—

高くなるほど、はく離が多くなる傾向が認められた。本研究では含水率が低い場合でも仮接着性が良好ではないものが散見されたが、これは本研究で切削した単板は比較的反りや狂いが大きい傾向があり、仮接着には厳しい条件であったためと考えられる。また、配合Iよりも配合IIの方がやや仮接着性は良好であった。

熱圧時について見ると、配合Iでは、添え心板含水率のみ高含水率の場合は15~17%程度まで、全層一定含水率の場合は10~11%程度まで、パンクを生じることなく接着できた。樹種別では、北洋カラマツは、道産カラマツや道産トドマツよりもやや低い含水率でパンクが生じた。これは、北洋カラマツは密度が高く、熱圧時に水分が蒸発しにくいことが影響しているものと推察された。配合IIでは、添え心板のみ高含水率の場合は18~23%程度まで、全層一定含水率の場合は12~14%程度まで接着が可能であり、配合IIは通常よりも3%程度高い含水率の単板を接着できることが確認された。

表4. 各製造条件における合板の接着の程度

製造条件 記号	配合I						配合II						
	道産カラマツ		道産トドマツ		北洋カラマツ		道産カラマツ		道産トドマツ		北洋カラマツ		
	仮接着	熱圧	仮接着	熱圧	仮接着	熱圧	仮接着	熱圧	仮接着	熱圧	仮接着	熱圧	
D-40	△	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
D-60	○	○	○	○	△	○	○	○	○	○	○	○	○
D-70	△	○	○	○	○	○	△	○	○	○	○	○	○
D-80	△	○	△	○	△	○	△	○	△	○	○	○	○
D-90	△	○	△	○	△	×	△	○	○	○	△	△	△
D-99	×	×	△	×	—	—	△	○	△	△	—	—	—
40-40	○	○	○	○	△	○	○	○	○	○	○	○	○
60-60	△	○	○	○	△	○	△	○	○	○	○	○	○
70-70	△	○	△	○	△	×	△	○	○	○	○	○	○
80-80	△	×	×	×	△	×	△	○	×	○	△	×	×
90-90	—	—	—	—	—	—	△	×	×	×	—	—	—

注) 仮接着: ○: はく離が全く認められない、△: 部分的にはく離が認められる、×: 全体的にはく離が認められる  
熱圧: ○: 2枚とも接着、△: 2枚中1枚がパンク、×: 2枚ともパンク

### 3. 2 接着性能

連続煮沸後におけるせん断強さと木部破断率を表5に示す。また、配合Iにおける単板含水率とせん断強さ、木部破断率の関係を図1に示す。添え心板のみ高含水率の場合、全層一定含水率の場合とも、含水率の増加に伴い、概ねせん断強さの平均値は低くなる傾向を示した。また、その時の木部破断率についても、含水率の増加とともに低くなる傾向が認められ、木部破断率の低下はせん断強さの低下よりも顕著であった。配合Iよりも配合IIの方が、せん断強さ、木部破断率とも高い値を示した。いずれの配合においても、パンクを生じることなく接着できた合板については、合板のJASの特類の基準値である0.7MPaを上回る性能が得られた。含水率の増加とともに接着性能が低下する原因として、単板含水率が高い場合には冷圧時や熱圧時に接着剤が単板中に過度に浸透し、接着層の形成が不十分になることが指摘されている<sup>2)</sup>が、本研究においても同様の理由が考えられた。

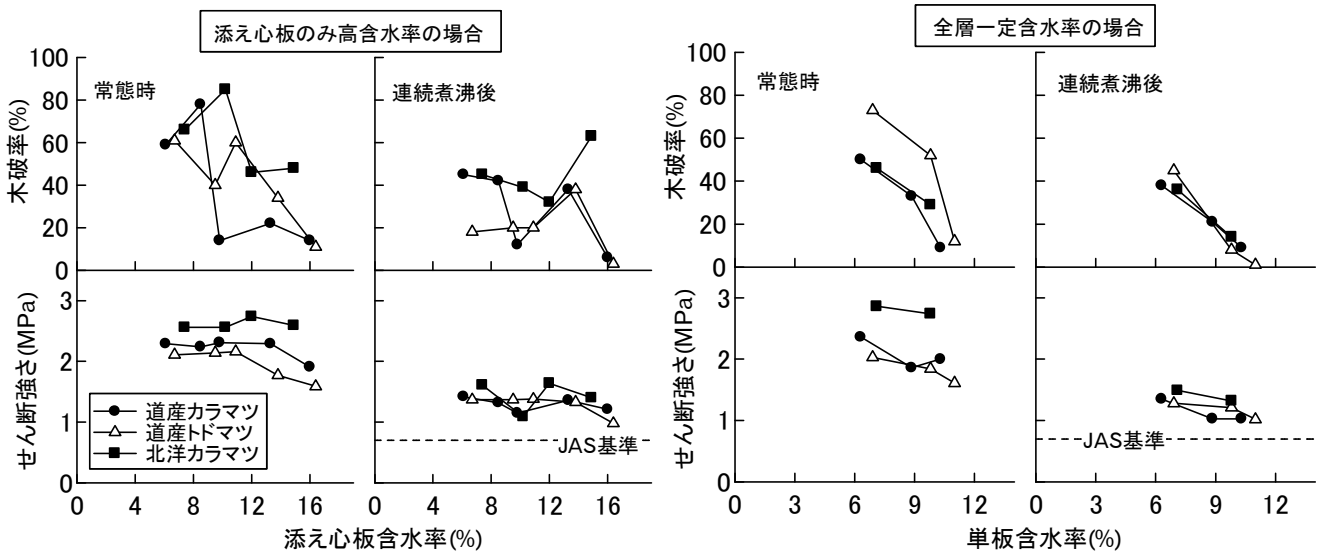


図1. 配合Iにおける単板含水率とせん断強さおよび木部破断率の関係

表5. 連続煮沸後のせん断強さと木部破断率

製造条件 記号	配合I						配合II					
	道産カラマツ		道産トドマツ		北洋カラマツ		道産カラマツ		道産トドマツ		北洋カラマツ	
	せん断強さ (MPa)	木破率 (%)	せん断強さ (MPa)	木破率 (%)	せん断強さ (MPa)	木破率 (%)	せん断強さ (MPa)	木破率 (%)	せん断強さ (MPa)	木破率 (%)	せん断強さ (MPa)	木破率 (%)
D-40	1.42(0.09)	45.0	1.37(0.18)	18.0	1.61(0.40)	45.0	1.60(0.18)	75.6	1.55(0.11)	68.0	1.88(0.21)	86.0
D-60	1.32(0.18)	42.0	1.37(0.14)	20.0	1.09(0.25)	39.0	1.71(0.14)	32.0	1.44(0.14)	33.0	1.23(0.32)	91.0
D-70	1.15(0.13)	12.0	1.38(0.20)	20.0	1.64(0.42)	32.0	1.63(0.24)	55.0	1.49(0.33)	40.0	1.94(0.32)	98.0
D-80	1.36(0.16)	38.0	1.33(0.21)	38.0	1.40(0.24)	63.0	1.48(0.15)	31.0	1.47(0.13)	68.0	1.41(0.18)	76.0
D-90	1.21(0.07)	6.0	0.98(0.12)	3.0	-	-	1.40(0.14)	30.0	1.42(0.10)	40.0	-	-
D-99	-	-	-	-	-	-	1.21(0.19)	11.0	1.14(0.07)	15.0	-	-
40-40	1.35(0.09)	38.0	1.28(0.15)	45.0	1.49(0.34)	36.0	1.67(0.25)	84.0	1.35(0.17)	76.0	1.75(0.41)	92.0
60-60	1.03(0.12)	21.0	1.21(0.34)	8.0	1.32(0.21)	14.0	1.65(0.24)	25.6	1.53(0.15)	61.0	1.50(0.36)	28.0
70-70	1.03(0.11)	9.0	1.02(0.14)	1.0	-	-	1.61(0.12)	25.6	1.57(0.20)	50.0	1.34(0.35)	11.0
80-80	-	-	-	-	-	-	1.55(0.19)	4.0	1.14(0.15)	23.0	-	-

注) 数字は平均値、( )内は標準偏差

### 3. 3 熱圧時の接着層の温度変化

添え心板のみ高含水率の場合における熱圧時の接着層の温度変化を図2に示す。図はそれぞれの製造条件における表層側から2層目の接着層の温度を示している。また、熱圧を開始してから2層目の接着層の温度が100℃に到達するまでの時間を表6に示す。北洋カラマツでは添え心板含水率が高くなるにつれて、接着層の温度上昇が遅れ、解圧時の温度も明らかに低くなった。道産カラマツや道産トドマツでは、含水率の違いによる解圧時の温度に大きな差はないものの、温度上昇は含水率が高いほど遅くなる傾向が認められた。接着層温度が100℃に

到達する時間は、D-90はD-40よりも道産カラマツや道産トドマツで20秒程、北洋カラマツで50秒程遅くなった。したがって、含水率の増加とともに接着性能が低下する原因は、前述した接着剤の過浸透以外に、含水率の増加に伴い接着層の温度上昇が遅れることで接着層に与えられる熱量が少なくなり、接着剤の硬化が十分に進まないことが影響していると考えられた。

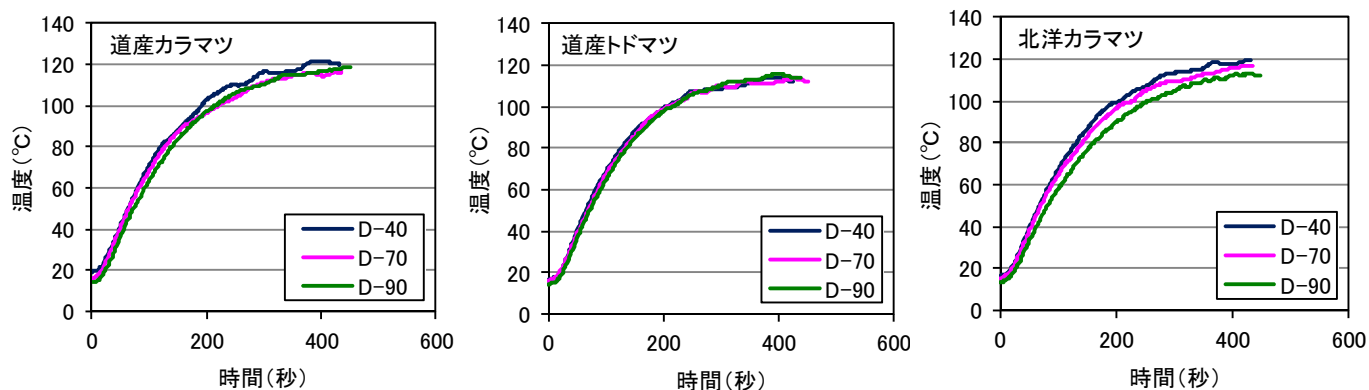


図2. 熱圧時の接着層（2層目）の温度変化

表6. 接着層（2層目）が100°Cに到達する時間（秒）

条件	道産カラマツ	道産トドマツ	北洋カラマツ
D-40	194	204	206
D-70	220	210	228
D-90	216	216	254

#### 4. まとめ

フェノール樹脂接着剤を用いて針葉樹合板を製造する際の単板含水率が接着性能に及ぼす影響について検討した。また、既存のフェノール樹脂接着剤にレゾルシノール樹脂を添加することによる高含水率単板の接着の可能性について検討した。その結果、以下の結論が得られた。

- (1) 単板含水率が高くなるほど、合板の仮接着性は低下した。
- (2) 標準配合においては、添え心板のみ高含水率の場合で15~17%程度まで、全層一定含水率の場合で10~11%程度まで、パンクを生じることなく接着できた。
- (3) 標準配合にレゾルシノール樹脂を加えることで、通常よりも3%程度高い含水率の単板の接着が可能であった。
- (4) 単板含水率の増加に伴い、せん断強さ、木部破断率とも低くなる傾向を示し、木部破断率の低下はせん断強さの低下よりも顕著であった。
- (5) パンクを生じることなく接着できた合板は、すべて合板のJASの特類の基準を満たす性能が得られた。
- (6) 単板含水率の増加に伴い接着層の温度上昇が遅れる傾向が認められた。

#### 謝辞

本研究は、北日本ディック(株) (現DIC北日本ポリマ(株))からの受託研究「フェノール樹脂を用いた針葉樹合板製造時の単板含水率の許容性向上に関する研究」の一部として行った。ここに記して謝意を表します。

#### 文献

- 1) 筒本卓造, 佐藤庄一, 柳下正: 林業試験場研究報告, 176, 151-171(1965).
- 2) 佐久間正至, 山川廣之介: 木材工業, 24, 568-571(1969).
- 3) 野崎兼司, 吉田弥明, 田口崇: 林産試験場月報, 216, 10-14(1970).

## P-2 樹木冬芽の越冬過程における可溶性タンパク質の組成変化

(北大農) ○鈴木伸吾、遠藤圭太、岡田香織、荒川圭太  
(岩大農寒冷バイオ) 高橋大輔、上村松生

### 緒言

温帯や亜寒帯に生育する樹木は夏から秋にかけて冬芽を形成する。翌春に成長するための冬芽は秋に日長が短くなるにつれて、芽自身が成長を抑制して自発休眠状態に入る。さらに、気温が低下して冬へ移行すると、適度な低温(4°C前後)に一定の期間さらされたことによって、冬芽の自発休眠は解除されるが、代わりに成長に不適な低温条件によって芽の成長が抑制されるという強制休眠状態に入る。このような秋から冬にかけて成長が停止して冬芽が休眠する過程とほぼ時期を同じくして、気温の低下によって冬芽の凍結抵抗性が向上する。やがて初春を迎え気温が上昇し始めると、強制休眠状態におかれていた冬芽は次第に開芽する。このような冬芽の越冬過程の特徴を生理的に調べるため、すでに凍結挙動が細胞レベルで詳しく調べられているカラマツ冬芽を用いてその越冬機構の解明を試みることにした。

特に本研究では、冬芽の自発休眠が解除される時の生理的な変化を調べるための指標として、冬芽の可溶性タンパク質に注目し、その組成変動を LC-MS/MS によって解析し、自発休眠解除前後で蓄積量に大きな変化のあるものを探索した。

### 材料と方法

北海道大学北方生物圏フィールド科学センター苗畑内に生育するカラマツ (*Larix kaempferi*) 成木の枝から冬芽を採取した。

#### <休眠状態の判定>

採取した枝を水挿しし、23°Cで明期 14 時間/暗期 10 時間の条件にて 14 日間処理した後に開芽している芽の割合を求めた。本実験では開芽率が 75%以上となる時点を目安とした。

#### <凍結抵抗性の測定>

切り取った芽(図 1)を少量の純水が入った試験管に入れ、-3.0°Cに予冷したプログラムフリーザーに入れて、約 30 分後に植氷した。その後、毎時 2.4°Cの速度で冷却し、目的の温度に達した時点で試験管を取り出して、4°Cの暗所で融解させた。また、液体窒素で急速凍結後に融解させる操作を 3 回繰り返した試料(生存率 0%)と凍結させずに 4°Cの暗所で処理した試料(生存率 100%)を用意し、電解質漏出法による生存率算出のための基準とした。融解させた試料が入った試験管に純水を 1 mL ずつ加えてから減圧状態にして組織に水を浸潤させた。さらに、試料が入った試験管を遮光して 3 時間振とうしてから、水溶液の電気伝導率を計測した。計測に用いた水溶液を試験管に戻してから、沸騰水中で 10 分間加熱処理して細胞を死滅させた。室温に冷却後、さらに 2 時間振とうしてから再度電気伝導率を計測した。この結果から各凍結温度での細胞の生存率を計算し、凍結抵抗性(LT<sub>50</sub>: 生存率が 50%となる温度)を見積もった。

#### <可溶性タンパク質の抽出、分析>

芽鱗を除いて原基のみにした芽(図 1、白点線内)を液体窒素中で破碎し、試料重量に対しておよそ 10 倍量の氷冷した抽出液(0.1 M Tris-HCl pH 7.8, 0.2 M sucrose, 5 mM EDTA, 1 mM benzamidine, 1 mM PMSF)を加え、よく攪拌した後に遠心分離(2,600×g, 10 min, 4°C)して上清を回収した。その上清をさらに二回遠心分離(15,000×g, 10 min, 4°C)を行った後に上清を超遠心(200,000×g, 30 min, 4°C)に供試して得られた上清を可溶性タンパク質抽出液とした。この抽出液のタンパク質組成の分析を LC-MS/MS で行うため、試料の前処理は Li et al. (2012) の方法に準じて行った。タンパク質の濃縮とトリプシン処理をして得られたタンパク質断片(ペプチド)は LC-MS/MS にて分析した。なお LC-MS/MS による分析は、岩手大学農学部附属寒冷バイオフロンティア研究センターの共同研究者に依頼した。得られたペプチドの配列を NCBI の BLAST (blastp) に



図 1. カラマツ冬芽の縦断面。  
白点線内: 冬芽原基部分



かけて植物の既知のタンパク質配列と照合してタンパク質を同定した。また抽出液を一次元の SDS-PAGE (Laemmli 法) にかけて、その組成分析を行った。

### 結果

カラマツの枝を経時的に採集し、開芽率を測定して自発休眠の状態を調べるとともに、凍結抵抗性について調べた。すると、12月中旬頃に開芽率が急激に上昇したことから、この時期に自発休眠が解除されていることが解った(図2: 緑線)。このため可溶性タンパク質の分析は自発休眠中で開芽率が0%であった時点と自発休眠解除後に開芽率がほぼ100%となる時点で行った。一方、凍結抵抗性は12月下旬までにはほぼ最高の値を示した状態で、一定していた(図2: 青線)。

可溶性タンパク質画分の SDS-PAGE による組成分析では、自発休眠解除前後ではバンドの有無や濃淡などの目に見えるような大きな変化は見られなかった(図3)。

タンパク質の LC-MS/MS による解析では、ペプチドに由来するシグナル強度が蓄積量を反映するものとし、蓄積量が増減したと判断する基準を自発休眠中のシグナル強度と比較して、自発休眠解除後のシグナル強度が2倍以上になったもの、もしくは半分以下になったものとした。蓄積量の変化が多かったペプチド由来の配列をもとにデータベース解析すると、蓄積量が増加したタンパク質は35個、減少したタンパク質は16個がそれぞれ同定された。蓄積量が増減したタンパク質では代謝に関わるタンパク質(酵素)が多くを占めた。中でも一次代謝(カルビン回路、TCA回路、解糖系、アミノ酸合成など)に関わるタンパク質の数が多かった(表1)。このことから自発休眠が解除される際に何らかのエネルギーが必要となることが考えられた。

特に蓄積量が大きく増加したタンパク質にはアコニターゼ、クエン酸合成酵素(いずれもTCA回路の主要酵素)、フルクトース二リン酸アルドラーゼ(解糖系の酵素)、活性酸素除去酵素などがあつた。

例えば、アコニターゼ遺伝子やクエン酸合成酵素は種子が休眠から覚めて発芽するときに発現が増加することが知られている<sup>2),3)</sup>。また、活性酸素除去酵素は種子の休眠を解除する処理をしたときに活性が増加することが報告されている<sup>4)</sup>。種子と芽はいずれも休眠が解除されると成長を開始するという点で共通している。そのため器官は異なるものの休眠を解除して成長するためには同じような代謝系の酵素群が作用する可能性が考えられるため、さらに詳細に蓄積量などの分析をして確認する必要がある。今後は、今回変化のあつたタンパク質群の詳細な蓄積量の測定や休眠解除に鍵となるタンパク質の同定を試みたい。

### 参考文献

- 1) B. Li et al.: *Plant & Cell Physiology* 53, 543-554 (2012)
- 2) H. Zehler & C. Schnarrenberger: *Physiologia Plantarum* 60, 9-15 (1984)
- 3) J. R. Stephen et al.: *New Phytologist* 161, 401-413 (2004)
- 4) U. Krasuska & A. Gniazdowska: *Acta Physiologiae Plantarum* 34, 683-692 (2012)

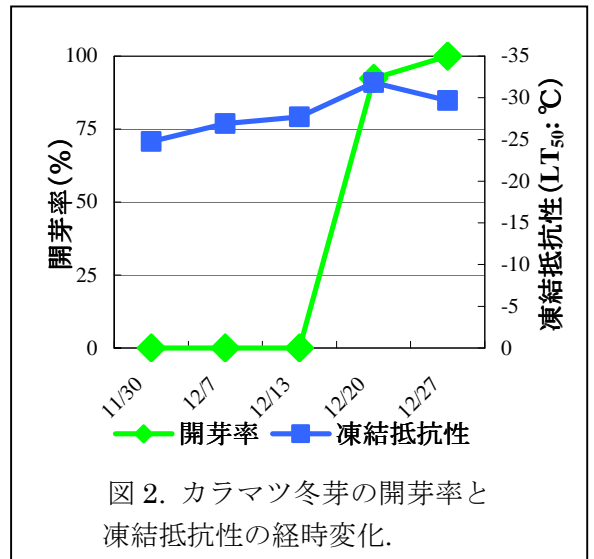


図2. カラマツ冬芽の開芽率と凍結抵抗性の経時変化。

表1. カラマツ冬芽において自発休眠解除前後で変化したタンパク質の分類。

	増加	減少
一次代謝	14	9
二次代謝	4	2
ストレス応答	7	2
転写	4	2
その他	6	1
	35	16

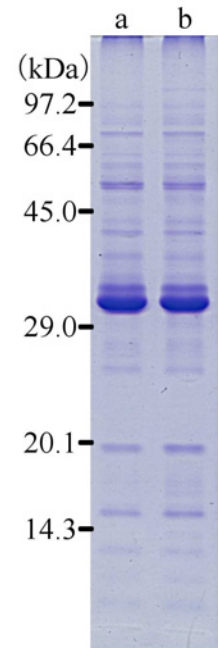


図3. 休眠過程におけるカラマツ冬芽の可溶性タンパク質の組成比較。  
a: 自発休眠中(12/7)  
b: 自発休眠解除後(12/27)

### P-3 シラカンバ材水解物の活性炭処理

(北見工業大学) 丹治未菜, 三浦雅弘, 霜鳥慈岳, 青山政和  
(北海道立総合研究機構 森林研究本部 林産試験場) 原田 陽

#### 【はじめに】

広葉樹材細胞壁構成成分の約 25%を占めるヘミセルロースは、比較的温和な条件で分離、抽出されるキシランから構成されており、キシロースやキシリトールの有望な供給源である。本研究は、キシリトールの原料となるキシロースを広葉樹残廃材から製造する目的で、北海道の森林に広く分布し、資源蓄積も多いシラカンバ材(広葉樹総蓄積の 23%)の希硫酸水解を検討した。一般に水熱処理で木質原料から調製された糖液中には、細胞壁構成成分に由来する発酵阻害物質が含まれている。<sup>1</sup> そのために発酵に先立つ前処理として、活性炭による水解液中の発酵阻害物質の除去を検討した。

#### 【実験】

食用きのこの菌床栽培用として市販されているシラカンバオガ粉を粉碎分級し、P32-R80 mesh 部を水解原料とした。水解原料の化学組成は、ヘキソザン 37.0%(グルカン 35.3%を含む)、キシラン 19.1%、リグニン 29.0%(酸可溶性リグニン 3.1%を含む)、灰分 0.7%である。シナノキ材からキシロースを選択的に調製する至適水解条件は、温度を 121°C とすると、硫酸濃度 3%、反応時間 60 分であることが報告されている。<sup>2</sup> そこで 3%硫酸を用いて、固液比 0.2(g g<sup>-1</sup>, 希硫酸に対する基質量)、120 °C、60 分の条件で水解液を調製し、市販活性炭の発酵阻害物質除去効果を調べた。水解液に所定量の水蒸気賦活炭(白鷺 M, 日本エンバイロケミカルズ)を加え、毎分 160 ストロークの往復運動式振とう器を用いて 30°C、1 時間振とう、接触させた。炭末をろ別し、ろ液中の中性糖 (Aminex HPX 87P, Bio-Rad) および発酵阻害物質(Shodex SH, 昭和電工)をそれぞれ HPLC 法で定量し、発酵阻害物質除去に及ぼす活性炭処理の効果を評価した。水解液中のフェノール量は Mussatto ら<sup>3</sup>の方法に従いの比色法で推定した。

#### 【結果】

Effland のリグニン定量法<sup>4</sup>に基づくシラカンバ材からのグルコース収量は 39.2%(対原料重量%)であるが、直接 3%硫酸で固液比 0.2 の条件で水解すると、グルコースの収量は 1.7%に大きく低下した。一方、キシランの水解に関しては、3%硫酸水解でキシロース濃度 37.7 g L<sup>-1</sup>(対原料に換算して約 19%収量)の糖液が得られ、原料中のキシランの 87%がキシロースとして回収された。Parajó ら<sup>5</sup>は、*Eucalyptus globulus* 材を 3%硫酸、固液比 0.125、130°C、1 時間の条件で水解し、13.6%の収量でキシロースを得ている。また、シナノキ材の 3%硫酸、固液比 0.2、121°C、1 時間の水解処理で、キシロース濃度 31.9 g L<sup>-1</sup>(対原料で約 16%収量)の糖液が得られている。<sup>3</sup> したがって、キシロース生産を目的とする場合、シラカンバ材は原料としてシナノキ材やユーカリ材よりも優れ、比較的温和な希硫酸水解が木質原料から簡便かつ選択的にキシロースを生産するプロセスであると言える。

一般に木質部の水熱処理では、処理過程でアセチル化した糖単位から酢酸や、一旦溶出したペントースやヘキソースの脱水生成物であるフルフラール、5-ヒドロキシメチルフルフラール(HMF)、リグニン由来の低分子フェノール類が副生する。これらの化合物は酵母に対し代謝毒性を示し、木質水解物中の糖類の発酵変換を著しく阻害する。Gong ら<sup>6</sup>、Lee ら<sup>7</sup>は発酵阻害物質の除去に活性炭処理が有効なことを示した。さらに最近、製糖工場で用いられている水蒸気賦活炭処理によって容易にササやタケ水解物から発酵阻害物質が除去されることも報告されている。<sup>8</sup>

Table 1 にシラカンバ水解液の組成に及ぼす水蒸気賦活炭処理の効果を示す。水解液は、発酵阻害物質として、11.3 g L<sup>-1</sup>の酢酸、0.67 g L<sup>-1</sup>のフルフラール、0.03 g L<sup>-1</sup>の HMF、280 nm での吸光度約 90 を与える濃度のフェノール類を含んでいた。Delgenes ら<sup>9</sup>は 0.5、1 g L<sup>-1</sup>のフルフラールが存在すると酵母(*Pichia*



*stipitis*)の細胞増殖がそれぞれ25%, 47%低下すると報告している. Watson ら<sup>10</sup>は, 酢酸濃度が  $1.45 \text{ g L}^{-1}$  を超えると, 酵母(*Pachysolen tannophilus*)の増殖が完全に阻害されると報告している. 酢酸の代謝阻害機構は, 非解離型の酢酸が酵母細胞の細胞質に拡散し, 解離し細胞内のpHを下げ, エネルギー代謝や栄養分の輸送を阻害すると考えられている. 水解液を炭末処理した結果, 活性炭添加量の増加( $5 \sim 25 \text{ g L}^{-1}$ )に伴い280 nmでの吸光度値とフルフラール濃度は減少したが, 各中性糖の濃度, とりわけキシロース濃度には大きな変化が見られなかった. 一方, 水解液中の酢酸は, 活性炭処理後もその大半が水解液中に残存していた. 活性炭処理はフェノール類や糖脱水生成物であるフラン類の除去には有効であるが, 酢酸除去には大きな効果が認められなかった. Parajó ら<sup>11</sup>も *E. globulus* 材水解液の活性炭処理で同様の結果を得ている. キシロースを主成分とする木質物の水解液を発酵基質として利用する場合には, 水解液から代謝阻害の原因とならないレベルまで酢酸を除去する必要がある.

Table 1. Effect of carbon dose on the chemical composition of birch wood hemicellulose hydrolysate<sup>\*1</sup>

Carbon ( $\text{g L}^{-1}$ )	Concentration ( $\text{g L}^{-1}$ )						
	$A_{280}$ <sup>*2</sup>	Glc <sup>*3</sup>	Xyl <sup>*3</sup>	Ara <sup>*3</sup>	Furfural	HMF <sup>*3</sup>	Acetic acid
0	88.8	3.4	37.7	1.2	0.7	- <sup>*4</sup>	11.3
5	80.4	3.1	35.8	1.3	0.5	-	9.7
10	24.4	3.6	37.1	1.0	-	-	9.5
15	20.4	3.5	37.2	1.0	-	-	9.3
20	8.6	3.1	36.3	1.0	-	-	9.1
25	6.9	3.2	35.3	1.1	-	-	8.9

<sup>\*1</sup>Ground Japanese white birch (*Betula platyphylla* var. *japonica*) wood was hydrolyzed with 3% sulfuric acid with a liquid to solid ratio of 5 at  $120^\circ\text{C}$  for 1 h. Sorption experiments were conducted by agitating the hydrolysate with a steam-activated char (Shirasagi A, Japan EnviroChemicals, Ltd., Osaka, Jpn) in a reciprocal shaker ( $160 \text{ strokes min}^{-1}$ ) to  $30^\circ\text{C}$  for 1 h. The resulting sugar solution was filtered and neutralized with calcium carbonate, followed by centrifugation. <sup>\*2</sup>Absorbance at 280 nm. The pH of the test solutions was adjusted to 12 according to the method of Mussatto *et al.*<sup>4</sup> <sup>\*3</sup>Glc: Glucose; Xyl: Xylose; Ara: Arabinose; HMF: 5-Hydroxymethylfurfural. <sup>\*4</sup>Less than  $0.1 \text{ g L}^{-1}$ .

#### 【文献】

- 1) E. Palmqvist, B. Hahn-Hägerdal: *Biores. Technol.* **74**, 25-33 (2000).
- 2) T. Yamaguchi, M. Aoyama: *Cellulose Chem. Technol.* **44**, 293-298 (2010).
- 3) I.S. Mussatto, J.C. Santos, I.C. Roberto: *J. Chem. Technol. Biotechnol.* **79**, 590-596 (2004).
- 4) M.J. Effland: *Tappi* **60**(10), 143-144 (1977); R.C. Pettersen *et al.*: *J. Chromatog. Sci.* **22**, 478-484 (1984).
- 5) J.C. Parajó, H. Domínguez, J.M. Domínguez: *Bioprocess Eng.* **13**, 125-131 (1995).
- 6) C.S. Gong, C.S. Chen, L.F. Chen: *Appl. Biochem. Biotechnol.* **39-40**, 83-88 (1993).
- 7) W.G. Lee *et al.*: *Appl. Biochem. Biotechnol.* **77-79**, 547-559 (1999)
- 8) M. Miura *et al.*: *Eur. J. Wood Prod.* **68**, 139-142 (2010); *J. Mater. Cycles Waste Manag.* **13**, 80-83 (2011); *Wood Sci. Technol.* Published on-line on the 26<sup>th</sup> of September, 2012.
- 9) J.P. Delgenes, R. Moletta, J.M. Navarro: *Enzym Microb. Technol.* **19**, 220-225 (1996).
- 10) N.E. Watson, B.A. Prior, P.M. Lategan: *Enzym Microb. Technol.* **6**, 451-456 (1984).
- 11) J.C. Parajó, H. Domínguez, J.M. Domínguez: *Biores. Technol.* **57**, 179-185 (1996)

## P-4 ハルニレ立木のサイズと幹折れ耐力の関係

(北大農) ○藤田歩 小泉章夫

### 1.はじめに

樹木の風倒害を考えるうえで、樹幹の断面係数は重要な指標となる。断面係数は樹幹断面の形状を把握することで計算することができるのだが、実際の樹幹断面の形状を把握することは困難であった。しかし、かたどり法<sup>1)</sup>によって樹幹断面の正確なイメージを取得することが可能となった。

本研究では樹木の幹折れ耐力の評価法を検討するために、かたどり法や樹幹の各種直径に基づいた断面係数を算出し、どのくらい誤差があるか比較検討した。

またかたどり法によって求めた断面係数を用いて、胸高位における立木のサイズと幹折れ耐力の関係についても検討を行った。

### 2.供試木

本研究では、サイズの影響を見る目的のためにハルニレ(*Ulmus davidiana* var. *japonica*)を供試木とした。北海道大学札幌キャンパスには自生や植栽を含めて多様なサイズのハルニレが存在するからである。本実験では合計 33 本(胸高直径 197~739mm)を供試木とした。

なお、ハルニレは一般的に腐朽なしでは、枝折れはあっても幹折れはないとされている。しかし 2004 年の台風によって北海道大学の中央ローンにて幹折れした例もある<sup>2)</sup>。

### 3.試験方法

#### 3.1 かたどり法による樹幹断面イメージの取得

本研究で用いたかたどりゲージは全長 630, 300 mm の 2 種類を用いた(図 1)。これを供試木に押し当て胸高断面一周分をかたどり、樹幹断面の二値画像を作成した(図 2)。本実験では断面係数の値を得る樹幹高さを 130cm にした。これは地上高数 m までは樹幹の曲げ応力の分布が比較的一定であり<sup>3)</sup>、計測しやすく扱いやすい高さであったことによる。以上の方法によって得られた樹幹断面イメージから算出した断面係数を  $Z_{pr}$  とする。

断面係数は荷重の方向によって値が変わるため、今回の実験では 30° ごとの方向(計 6 方向)について  $Z_{pr}$  を算出した。これらの値から、各供試木において方位角による  $Z_{pr}$  の標準偏差を求めた。

なお今回、内部腐朽は考慮しなかった。

#### 3.2 かたどり法と各種直径の円断面仮定による断面係数の比較

各供試木において高さ 130 cm で輪尺を用いて最大直径と最小直径、コンベックスを用いて周囲長を計測した。最大直径と最小直径の平均を平均直径とした。これら 3 つの直径と周囲長から算出した直径を持つ計 4 種の正円の断面係数を算出し、 $Z_{pr-min}$  と比較した。ここで  $Z_{pr-min}$  とは各供試木で算出した 6 つの  $Z_{pr}$  から最小となる値である。樹木の危険度診断においては最小値が重要なことからこの値を比較対象にした。

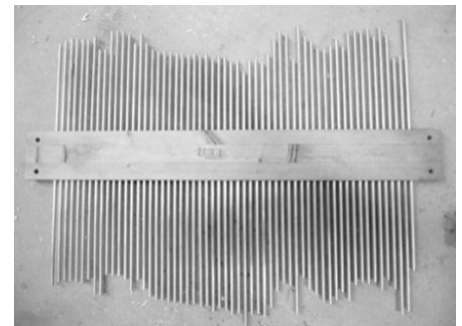


図 1 かたどりゲージ(630mm)

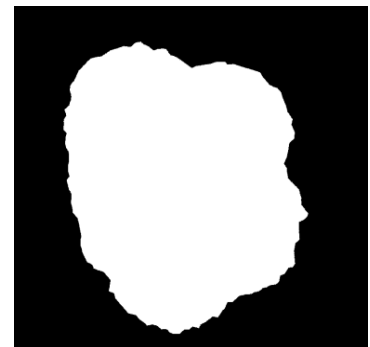


図 2 樹幹断面の二値画像の例

以下、最大直径の円断面仮定から算出した断面係数を  $Z_{c-max}$ 、最小直径のそれを  $Z_{c-min}$ 、平均直径のそれを  $Z_{c-av}$ 、周囲長から算出した直径のそれを  $Z_{pe}$  とする。これらの値は各直径を  $d$  とすると  $\pi d^3/32$  によって求めた。

### 3.3 樹冠の水平投影図の取得

各供試木について、 $30^\circ$  ごとの 6 方向から樹冠のデジタル画像を撮影した。ただし周囲に障害物があった場合は、樹冠を撮影できる方向のうち  $Z_{pr}$  が最小となる方向から撮影した。これを遠近補正<sup>4)</sup>、二値画像を作成した。

### 3.4 限界風速の算出

樹木の幹折れに対する限界風速  $v_{max}$  は以下の式で求められる。

$$v_{max} = \sqrt{\frac{2 \cdot MOR \cdot Z}{A \cdot \rho \cdot C_D \cdot L}} \quad \dots(1)$$

ここで、 $v_{max}$ : 限界風速(m/s), MOR: 曲げ強さ(Pa),  $Z$ : 断面係数(m<sup>3</sup>),  $A$ : 樹冠の水平投影面積(m<sup>2</sup>),  $\rho$ : 空気密度(1.2kg/m<sup>3</sup>),  $C_b$ : 抗力係数,  $L$ : 樹冠が受ける風圧の中心と対象断面高さとの距離(m)

$A$  と  $L$  の値は 3.3 で作成した画像から求めた。断面係数は樹冠を撮影した方向のうち最小となる  $Z_{pr}$  とした。なおハルニレ生材の MOR は文献値<sup>5)</sup>より求めた。また  $C_b$  は文献値<sup>6,7)</sup>より 0.3 とした。

## 4. 試験結果と考察

### 4.1 かたどり法による断面係数の方向別の比較

図 3 のグラフの横軸は胸高直径、縦軸は各供試木の方位角  $30^\circ$  ごとに得た断面係数の変動係数である。このグラフを見ると、胸高直径が大きくなるにつれて変動係数が大きくなった。これは胸高直径が小さいうちは樹幹断面が正円に近い状態であったが、胸高直径が大きくなるにつれ、樹幹断面は正円に近いままか不整な形になっていくかで分かれるためだと考えられる。

また樹木の危険度診断において重要となる断面係数が最小になる方位角の割合は、今回の実験では  $120^\circ$ (東北東~西南西)が最も多くなった。しかし今回の実験では方位角と断面係数の大きさには特に関係性は認められなかった。

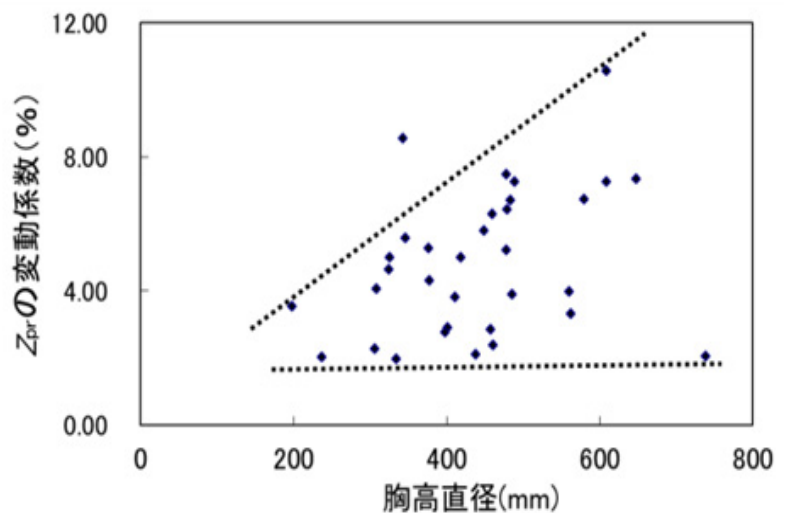


図 3 胸高直径と  $Z_{pr}$  の変動係数の関係

### 4.2 かたどり法と各種直径の円断面仮定による断面係数の比較

図 4 はかたどり法によって求めた各供試木の樹幹断面について計算した 6 つの断面係数の最小値  $Z_{pr-min}$  と、各種直径の円断面仮定の断面係数  $Z_{c-max}$ ,  $Z_{c-min}$ ,  $Z_{c-av}$ ,  $Z_{pe}$  との比を縦軸とした図である(分母は  $Z_{pr-min}$ )。ここで図を見ると平均値が 100%に近いのは最小直径、次いで平均直径の円断面仮定となった。樹木の危険度診

断においては  $Z_{pr-min}$  よりも小さい方が安全側に評価できて有用である。最小直径の円断面仮定による断面係数の平均値は93%であった。標準偏差の大きさも2番目に小さい値であり、今回設定した4つの円断面仮定においては1番有用であるといえる。

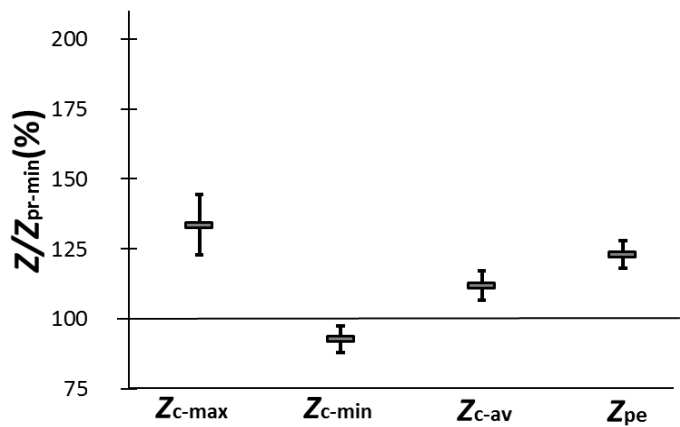


図4  $Z_{pr-min}$  と各種直径をもつ円断面仮定の断面係数の比

図5は横軸が胸高直径で、縦軸が  $Z_{c-min}$  と  $Z_{pr-min}$  との比であり、黒丸の大きさはかたどりに法によって得た樹幹断面から求めた6つの断面係数の変動係数の大きさである。したがって100%の横線に近い黒丸は  $Z_{c-min}$  と  $Z_{pr-min}$  が近いことを示し、黒丸が大きいことは樹幹断面が正円よりいびつであったことを示している。これを見ると黒丸が大きいものほど誤差が大きい、すなわち樹幹断面がいびつなものほど  $Z_{c-min}$  と  $Z_{pr-min}$  との差が大きい。したがって正円に近い樹幹断面をもつ樹木でないと、円断面仮定による樹木の危険度診断の信頼度は小さくなることが分かった。

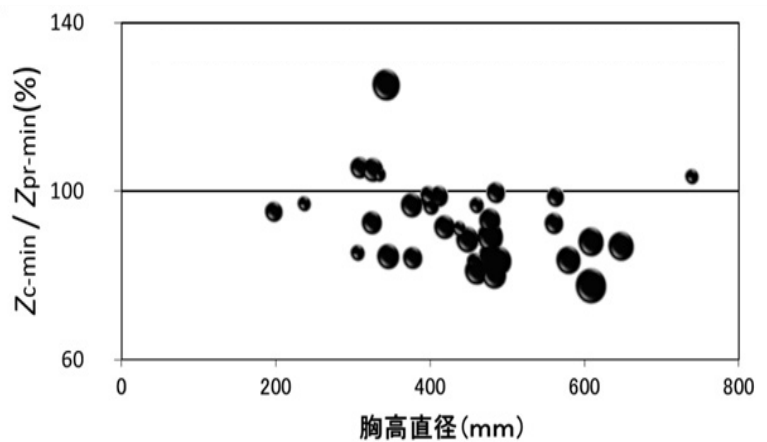


図5 樹幹断面の変動係数による円断面仮定の測定精度

### 4.3 ハルニレ立木のサイズと幹折れ耐力

図6は横軸が胸高直径、縦軸が限界風速の散布図である。このグラフを見ると胸高直径と限界風速はほぼ比例の関係にあるといえ、胸高直径が小さいほど限界風速も小さくなった。しかし太さの小さいものは樹高も低く、風心高が接地層に近い実際の風速は低減される。したがって細いものほど折れやすいとは言えない。また太さの大きいハルニレは心材腐朽が存在する確率が高い。これによって根元付近でのシェル座屈による幹折れが起こる可能性もあり、太さの大きいものの危険度診断では内部腐朽を計測することが重要である。

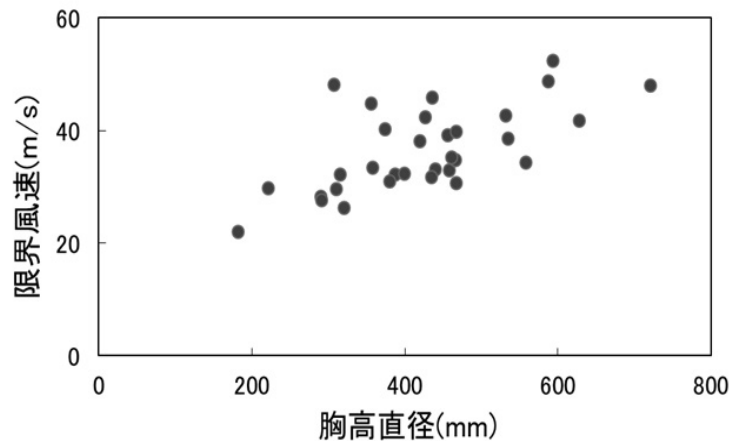


図6 胸高直径と限界風速の関係

### 4.4 方向別の樹冠面積と断面係数の比較

一本の立木の方向ごとの断面係数と樹冠面積には正の相関は認められなかった。しかし、どの供試木も断面

係数が小さい方角において限界風速が小さくなることはなかった。すなわち、今回の結果では、樹木の耐風性を評価するうえで断面係数の方角による違いは重要なファクターではないことが示された。また限界風速は方角によって異なる値を示したが、その差は比較的小さかった。これは供試木に樹幹断面が不整なものがあったことも影響している。

## 5.まとめ

1. 胸高直径が大きくなるにつれ断面係数の変動係数は大きくなった。これは樹木が小さいうちは樹幹断面の形状が不整なものがあったからだと考えられる。
2. 断面係数を評価するうえで、かたどり法を用いずに円断面仮定によって断面係数を評価するのであれば、最小直径を用いることが比較的正確かつ安全側に評価できる手段だといえる。ただし、不整な形状の樹幹断面をもつ立木では、 $Z_{pr-min}$ との誤差が大きくなり25%近くであった。
3. ハルニレの幹折れに対する限界風速は樹幹径と比例の関係にあった。しかし実際の風速は接地層に近いほど低減されるため、細いものほど折れやすいとはいえない。

今後の課題として、ハルニレより幹折れしやすい樹種の評価や、実際の風速とリンクした評価も必要だと考えられる。

## 引用文献

- 1) Koizumi, A; Ikeda, K; Sawata, K; Hirai, T: Nondestructive measurement of cross-sectional shape of a tree trunk, *Journal of Wood Science*, 57(4), 276-281 (2011).
- 2) 福井良恵, 宮本敏澄, 小泉章夫, 玉井裕, 矢島崇: 北海道大学構内樹木の2004年台風18号による風倒被害状況および被害木中の腐朽状況, *北海道大学演習林研究報告*, 64(2), 123-129 (2007).
- 3) 小泉章夫: 生立木の非破壊試験による材質評価に関する研究, *北海道大学農学部演習林研究報告*, 44(4), 1329-1415 (1987).
- 4) 池田啓輔: 2008年度修士論文, 幹折れの危険度診断 (2008).
- 5) “Wood Hand Book” Forest Products Laboratory, USDA, Madison, 5-4 (2010).
- 6) Mayhead, GJ: Some drag coefficients for British forest tree derived from wind tunnel studies, *Agricultural Meteorology*, 12, 25-39 (1982).
- 7) Koizumi, A; Motoyama, J; Sawata, K; Sasaki, Y; Hirai, T: Evaluation of drag coefficients of poplar-tree crowns by a field test method, *Journal of Wood Science*, 56(3), 189-193 (2010).

## P-5 ミズナラ緑葉に含まれるリグニンの地域間差異

(北大院農) ○川口 新、幸田圭一、宮本敏澄、浦木康光

### 〈緒言〉

北海道では、ミズナラの形態が地域によって異なることが知られている。東部地域では、近縁種であるカシワが多く天然分布しており、その開花期がミズナラと近接しているため、自然交配が起こり、カシワとミズナラの交雑種が存在する<sup>1)</sup>。本研究では、北海道各地でミズナラ緑葉を採取し、カシワとの交雑や地域間差異がミズナラ緑葉中に含まれるリグニン量や性状にどのような影響を与えるか検討した。

採用したリグニン分析法も注意深く検討した。森林生態学などの分野では、葉に含まれるリグニンの定量に、クラークソン法を適用している場合が多い。しかし、クラークソン法では、葉に含まれるリグニン以外のフェノール性成分、クチン質やタンパク質などの影響で、硫酸不溶残渣として定量されるリグニン量が過大に評価される可能性が指摘されている<sup>2),3)</sup>。比色定量法の一つ

であるアセチルブロミド法にも、同様の弱点が存在する。本研究では、リグニンに特徴的な官能基であるメトキシル基の定量及びニトロベンゼン酸化法を用いて、ミズナラ緑葉中のリグニンを分析した。

### 〈実験〉

桧山、苦小牧、母子里、苦前、大樹、厚岸、足寄の計7地点 (Fig.1) において、夏季 (2010 または 2011 年 7 月下旬~8 月中旬) にミズナラ緑葉 (Fig.2) を採取した。今回実験に供した緑葉の各サンプルは、形態上はミズナラに特徴的な外観 (鋭鋸歯状) を有する個体を選択した。緑葉を風乾した後、家庭用ミキサーで粉碎し、ふるい分けをして 60-80 メッシュ画分の乾燥粉末を得た。そこから 50 mg 取り、57% ヨウ化水素酸 (HI) を用いて、リグニンのメトキシル基をヨウ化メチルに変換後、GC で定量した。さらに、乾燥粉末 50 mg をニトロベンゼン酸化に供し、生成する芳香族アルデヒド及び芳香族酸を GC で定量した。なお、リグニンの分析は原則として、各地点から採取された 2 個体を用いて行なった。



Fig.1 ミズナラ緑葉採取地点



典型的なミズナラ



交雑種



典型的なカシワ

Fig.2 ミズナラ、カシワ及び交雑種の緑葉の形状

## 〈結果と考察〉

### (1) リグニン量の算出方法

緑葉中のリグニンの模式的な単位構造を Fig.3 に示した $\beta$ -O-4 構造で代表させた場合、その残基分子量はそれぞれ、①X,Y=H である場合は 166 g/unit、②X=OCH<sub>3</sub>, Y=H の場合は 196 g/unit、③ X,Y=OCH<sub>3</sub> の場合 226 g/unit となる。ニトロベンゼン酸化生成物の収量からリグニン中の骨格構造に関する情報 (H 核、G 核、S 核の比) が得られるので、以下の式を用いて Fig.3 で示すリグニン残基の分子量を決定した。

$$\text{残基分子量 (g/unit)} = \frac{166 \times \text{H核の比} + 196 \times \text{G核の比} + 226 \times \text{S核の比}}{\text{H核の比} + \text{G核の比} + \text{S核の比}}$$

この残基分子量とメトキシル基の定量結果から、ミズナラ緑葉中のリグニン量を計算した (Fig.4)。

### (2) リグニンの性状に関する考察

リグニンを構成する芳香核構造 (H 核、G 核、S 核) は非縮合型構造および縮合型構造に分けられる。ニトロベンゼン酸化は、非縮合型構造の主な結合様式である $\beta$ -O-4 結合を開裂し、芳香族アルデヒド及び芳香族酸を生成する。それらを定量することによってリグニン中の $\beta$ -O-4 結合の頻度を知ることができる。緑葉中のリグニン構造における $\beta$ -O-4 結合の割合を Fig.5 に示す。苫小牧では、 $\beta$ -O-4 結合割合が 80 % 以上であり、苫小牧のミズナラ緑葉中のリグニンは 80 % 以上が非縮合型構造で構成されていることが分かる。一方で、苫前や大樹では、 $\beta$ -O-4 結合の割合が 33~42 % であった。ゆえにリグニンの構造は地域間で大きく異なると言える。また、G 核に対する H 核、S 核のそれぞれの比についても検討し、地域間差異を見いだした (Table 1) が、これらを規定する要因や傾向については明確な解答を得るには至っていない。

### (3) リグニン量に関する考察

#### (i) 気候条件

Fig.4 に示すように北海道南東部に位置する厚岸と大樹、足寄では、他の 4 地点と比べてリグニン量が低く、地域間で差異が見られた。その理由として第一に、気候条件の違いが考えられる。北海道中央部に日高山脈や大雪山地が南北にまたがっており、これを境に東西で北海道の気候が大きく 2 つに分かれている<sup>1)</sup>。気候条件の中では、年間降水量及び年間日照時間の違いが顕著である。厚岸、大樹、足寄の年間降水量 (2011 年観測結果) は、1100 mm 未満であり、他の 4 地点の年間降水量は 1100 mm 以上である (Table 1)。また、年間日照時間については、厚岸、大樹、足寄で 1900 時間以上であるのに対し、他の 4 地点では、1700 時間よりも短い。

#### (ii) カシワとの交雑

サンプル採取地域間でリグニン量が異なった理由の 2 番目として、交雑の影響も想定できる。北海道東部地方では、カシワとミズナラの自然交配が行われており、東部のミズナラは、カシワに似た形態的特徴を有するとされている<sup>1)</sup>。今回実験に供した緑葉の各サンプルは、形態上はミズナラに特徴的な外観を有する個体を選択した (Fig.2) が、遺伝子レベルでの検討までは行っていない。

ミズナラとカシワの自然交配が道東部でより進行していることが、他の 4 地点と比べて緑葉中のリグニン定量値が小さくなっていることと関係しているかどうかを明らかにするために、現在、典型的なカシワ緑葉のリグニン含有量および性状の分析を進めている。

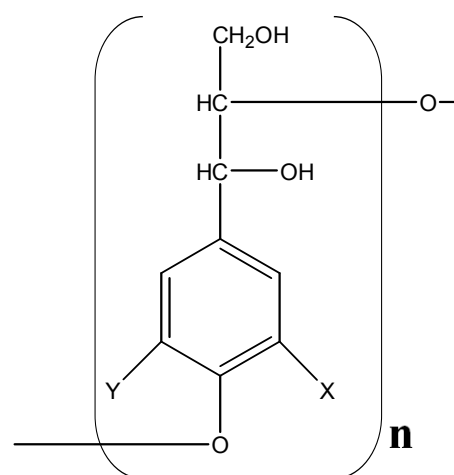


Fig.3 リグニンのフェニルプロパン単位  
(X, Y: -OCH<sub>3</sub>, or -H)

1) 生方正俊、飯塚和也、河野耕蔵：北海道のミズナラにおける葉および堅果の形質の反復率と地理的変異、



- 2) 川上日出國、草島すなお、沓名重明：スギ落葉有機組成分特にクチンの生分解について、*名大演報*9, 44-50 (1987)
- 3) Z. Jin, T. Akiyama, B. Y. Chung, Y. Matsumoto, K. Iiyama, S. Watanabe: Changes in lignin content of leaf litters during mulching. *Phytochem.*, 64: 1023-1031 (2003)

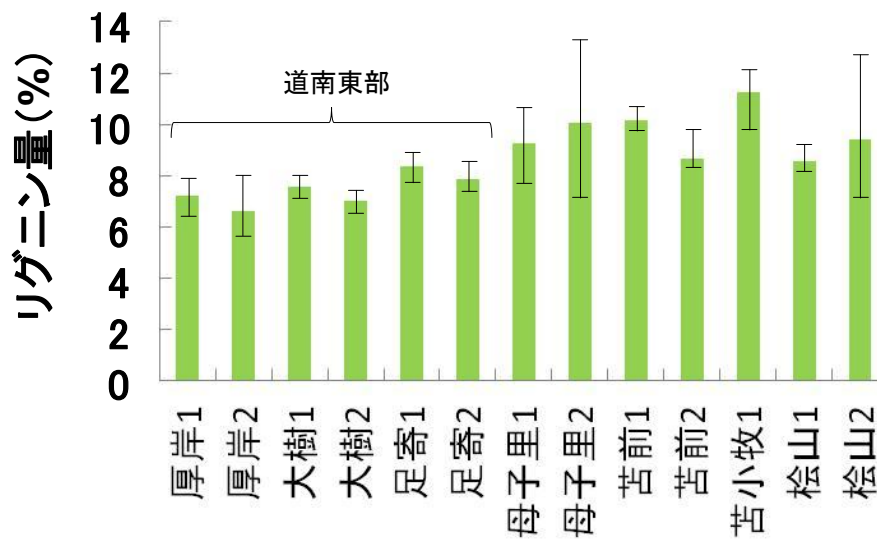


Fig. 4 ミズナラ緑葉中のリグニン量  
(error bar は3反復の最大値と最小値を示す)

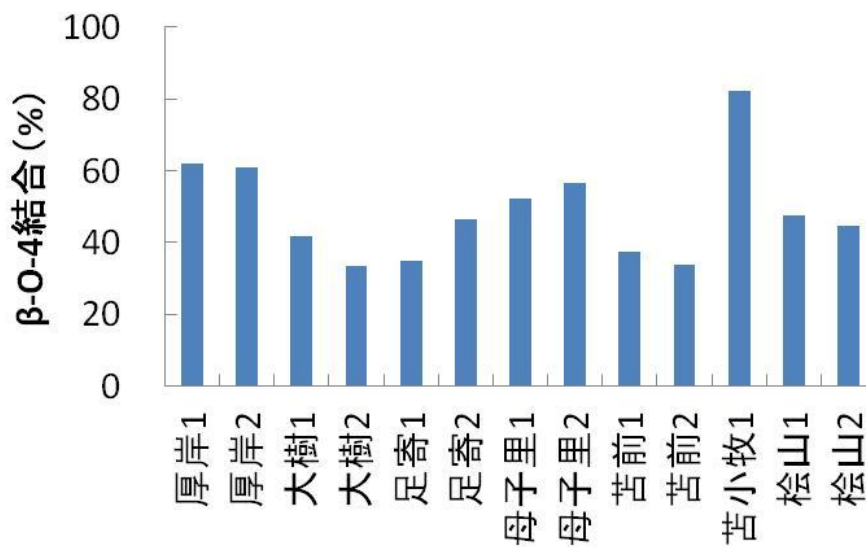


Fig. 5 ミズナラ緑葉中のβ-O-4結合の割合



Table 1 サンプル採取地の環境条件

	日照時間 (h)	年降水量 (mm)	H/G比 (個体1)	H/G比 (個体2)	S/G比 (個体1)	S/G比 (個体2)
厚岸(大田)	1933	1003	0.4	0.5	0.7	0.7
大樹	1997	1090	0.6	0.5	0.7	0.7
足寄	1947	852	1.1	0.6	0.4	0.5
母子里 (朱鞠内)	1188	1895	0.9	1.0	0.4	0.4
苫前(羽幌)	1557	1682	1.1	1.1	0.5	0.4
苫小牧	1667	1347	0.3	No data	0.6	No data
桧山(江差)	1371	1197	0.5	0.7	0.5	0.6

(注)：調査地地点の観測データがない場合には、近接地域（カッコ内）の観測結果を参照した。

## P-6 冬季にカラマツ木部に蓄積するデハイドリンタンパク質の機能評価

北大院農 ○坂本友陽、岡田香織、鈴木伸吾、宇梶慎子、荒川圭太

### 【緒言】

一般に、厳しい低温にともなって生じる凍結は、植物にとって致命的な細胞内凍結を引き起こす可能性がある環境刺激である。樹木の細胞ではこの細胞内凍結を防ぐため、組織や器官ごとに様々な凍結適応機構を示す。寒冷な地域でも生育するカラマツなどの木部柔細胞では、冬季に厳しい氷点下温度に曝されるのにも関わらず、細胞内の水を液体状態に保つ深過冷却と呼ばれる機構により氷点下温度に適応している。この深過冷却能力は、秋から冬にかけて季節的な低温馴化の過程において上昇するため、低温馴化で誘導される可溶性糖やタンパク質群、遺伝子群の種類や性質、深過冷却能における役割について解析してきた (Kasuga et al. 2007, Takata et al. 2005, Wang et al. 2011)。なかでも Takata ら (2005) は、カラマツ木部において Late Embryogenesis Abundant (LEA) タンパク質の一種であるデハイドリンをコードする 7 種類の遺伝子 (*LkDHN1* ~ 7) が冬季に誘導されることを発見した。このデハイドリンは、そもそも乾燥や低温などのストレス耐性に関与が示されているものである。そこで本研究では、このデハイドリンがカラマツ木部柔細胞において深過冷却機構にどう関わっているのかを調べるため、それらの組換えタンパク質を調製して、その機能について検証を行うことにした。

### 【実験方法】

#### ・組換えデハイドリンタンパク質の大量発現、精製

高田 (2005) が以前に His タグ融合型組換えタンパク質の発現用プラスミド (pET100/D-TOPO, Invitrogen) にカラマツ木部柔細胞の冬季誘導性遺伝子 *LkDHN1* ~ 7 を挿入して作製した rLkDHNs の発現用プラスミドを増幅した後、組換えタンパク質発現用の大腸菌 (BL21 Star™ (DE) One Shot Cell, Invitrogen) に導入し、組換えデハイドリン rLkDHNs を大量に発現させた。

rLkDHNs の検出は、SDS-PAGE ならびにイムノブロットングによって行った。なお抗体には抗 His タグ抗体、抗デハイドリン K-segment 抗体を用いた。rLkDHNs は His タグアフィニティカラム (His Trap HP, GE Healthcare) を用い、添付のプロトコルに従って精製した。

#### ・rLkDHNs の不凍活性 (氷晶成長阻害活性) の測定

rLkDHNs を 2 mg/ml に調製し、そこから 2  $\mu$ l 分取して低温ステージ上に乗せ、試料を -20°C で凍結させた後、昇温して小さな結晶を残した。その後、-0.1°C/min で緩速冷却して、その氷晶が徐々に成長する様子を低温顕微鏡 (ECLIPSE 50i, Nikon) で観察した。なお、ポジティブコントロールとして不凍タンパク質を含むワカサギの粗抽出液を用いた。

#### ・rLkDHNs の凍害保護活性の測定

凍結により著しく活性が低下することが知られている乳酸脱水素酵素 (LDH) を用いて凍害保護活性を測定した。LDH 溶液と試料溶液 (rLkDHNs, ウシ血清アルブミン (BSA), または sucrose) を混合し、混合液を -20°C で 24 時間静置して凍結させ、その後 15 分間室温で解凍した。これを基質溶液と混合させ、基質濃度の減少を測定することで LDH 活性を測った後、酵素の残存活性をもって凍害保護活性を評価した。なお、残存活性の計算方法は以下の通りである。

$$* \text{残存活性}(\%) = \frac{\{\text{試料添加LDH溶液(凍結)の活性}\} - \{\text{試料未添加LDH溶液(凍結)の活性}\}}{\{\text{試料未添加LDH溶液(未凍結)の活性}\} - \{\text{試料未添加LDH溶液(凍結)の活性}\}} \times 100$$

## 【結果および考察】

### 1. rLkDHN5 の調製

7種類あるデハイドリンの発現段階で最も多く集めることができた rLkDHN5 についてまずは実験を行うことにした。図1は rLkDHN5 の精製段階におけるサンプルの SDS-PAGE の結果である。rLkDHN5 が大腸菌内で発現され、これがアフィニティカラムで高度に精製されたのが分かる。

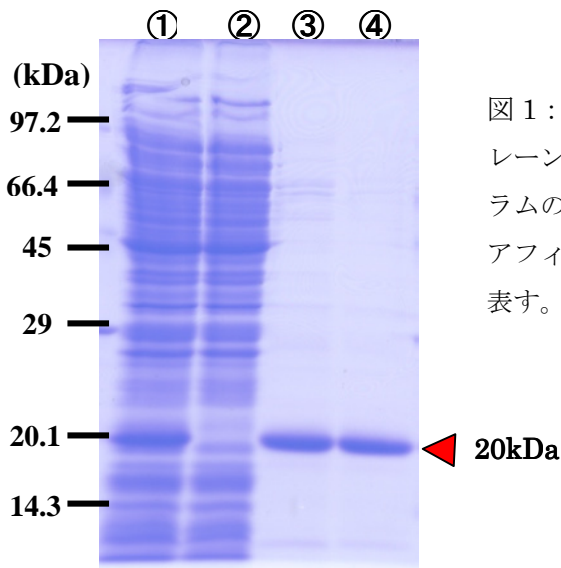


図1：rLkDHN5 のアフィニティ精製結果

レーン①rLkDHN5 発現後の大腸菌粗抽出液②His タグアフィニティカラムの素通り画分③アフィニティ精製（1回目）後の rLkDHN5 画分④アフィニティ精製（2回目）後の rLkDHN5 画分。矢頭は rLkDHN5 を表す。

### 2. rLkDHN5 の不凍活性

不凍タンパク質を含むワカサギの粗抽出液では、限られた氷点下温度域で氷晶が六角形やバイピラミダルな形状をとり、氷晶の成長が阻害されている様子が観察された。それに対し、1 mg/ml の rLkDHN5 を含む溶液では、バッファーのみの場合と同じように、氷晶はそのまま成長していったため、rLkDHN5 では目立った不凍活性は見られなかった。

### 3. rLkDHN1, 5 の凍害保護活性

凍害保護活性については、rLkDHN1, 5 について測定を行った。なお、コントロールとして BSA, sucrose, ovalbumin を用い、これらと rLkDHNs が持つ保護効果について比較した。

rLkDHN5 は、添加したサンプルの中でも BSA と並んで最も高い残存活性を示し、凍害保護活性を持つ事が示唆された。rLkDHN1 も rLkDHN5 とほぼ同程度の残存活性を示した。

表1：rLkDHN1, 5 の凍害保護活性測定と比較

sample(100 µg/ml)	残存活性
BSA	90%
sucrose	10%
ovalbumin	70%
rLkDHN1	85%
rLkDHN5	90%

デハイドリンをコードする遺伝子は、カラマツ木部柔細胞において冬季特異的に誘導されることから、デハイドリンは何らかの形でカラマツの越冬機構に関与していると思われる。今回の実験から rLkDHN1, 5 の凍害保護活性が検出された。これから、ドロップレット凍結法などを行い、過冷却促進活性等の測定を行っていく予定である。また、今回は rLkDHN1, 5 の機能評価から始めたため、それ以外の 5 種類の組換えデハイドリンについても、rLkDHNs が調製出来次第同様に活性測定が必要である。

## 1. 緒言

導電性フィラーはゴムやプラスチックをはじめとする高分子絶縁体に導電性を付与する目的で幅広く利用されているが、その原料の大部分は化石資源である。従って、再生可能なバイオマス資源から代替導電性フィラーが得られれば、循環型社会の構築、地球環境の保全に大きく貢献する。当研究室では木質バイオマスの鉄触媒炭 850°C炭化による機能性炭素の製造に注力している。この鉄触媒炭化から得られる炭素は通常の非晶質炭素と異なり、炭素六角網面の積層で覆われた中空のカーボンナノシェルが直鎖上に連結した特殊な構造(CNSC, 図 1)を持ち、導電性フィラーとして有望である。このことに関して鉄粒子や非晶質炭素の存在が導電性能の低下につながり、酸洗浄や空気酸化などの後処理を行うことで改善されることもわかった。本研究では、木質以外の様々なバイオマスを鉄触媒炭化し、後処理を行った後成型体とし、体積抵抗率、インピーダンス、電磁波シールド性能を調べて導電性フィラーとしての原料適性を調べた。

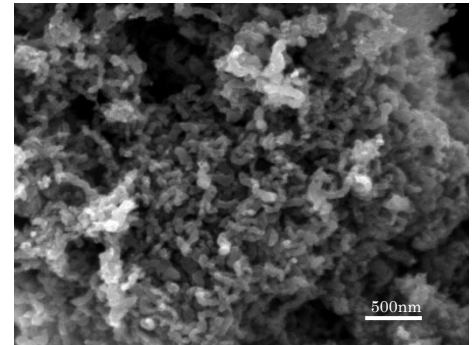


図 1. カーボンナノシェルチェーン(CNSC)

## 2. 実験方法

### 2-1. 試料の調製

カラマツ(L)、ダケカンバ(B)、モウソウチク(Ba)、ホウタイ(G)、ウメ殻(As)[粒径 0.5-1.4mm]に硝酸鉄[Fe(NO<sub>3</sub>)<sub>3</sub>・9H<sub>2</sub>O]を水溶液含浸で添加(Fe として 3wt%)し、N<sub>2</sub>気流中で 500°C・2h、引き続き 850°C・1h 炭化して鉄触媒炭(Fe-C)とした。比較用として無触媒炭(No-C)を調製した。Fe 除去のために Fe-C を室温で 1M HNO<sub>3</sub>に浸漬し、24h 攪拌後水洗し、これを AFe-C とした。また、Fe-C を遊星型ボールミルで 20min 粉碎(P)し、酸洗浄したものを APFe-C とした。さらに AFe-C, APFe-C を 400°C マッフル炉中で重量減少が 30wt%になるまで焼成し、酸化炭 OAFe-C, OAPFe-C を得た。なお、Ba に関しては重量減少が 50wt%になるまで焼成した。

### 2-2. 導電性能

炭の重量割合が 20wt%となるように酢酸セルロース粉末を配合して遊星型ボールミルにて 10min 粉碎、混合し、熱圧成型(140°C, 200kgf/cm<sup>2</sup>, 30min)した。得られた円板試料(直径 30mm, 厚さ 1.5mm)について、4 点端子法で体積抵抗率、単一正弦波相関法でインピーダンス(Imp, ~2MHz)、同軸キャピティ管法で電磁波シールド性能(EMC, 40MHz~2GHz)を測定した。市販の導電性カーボンブラック(中性能デンカブラック DB, 高性能ケッチェンブラック KB)についても同様の測定を行った。

## 3. 結果と考察

### 3-1. 体積抵抗率

図 2 は各試料の体積抵抗率を表している。Ba は非晶質部分が多く、重量減少 50wt%の酸化処理で KB と同等の性能となっ

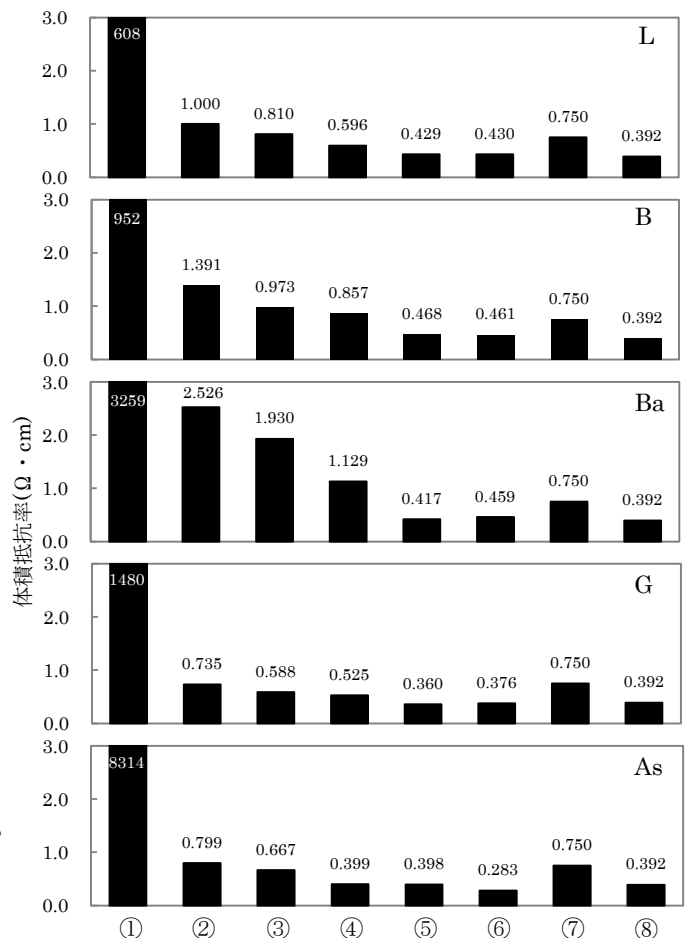


図 2. 各試料の体積抵抗率

た。しかし、他の試料では酸洗浄炭が DB と、酸化炭が KB と同等以上の導電性能であった。また Ba 以外では木炭(L, B)との差は小さかった。

### 3-2. インピーダンス

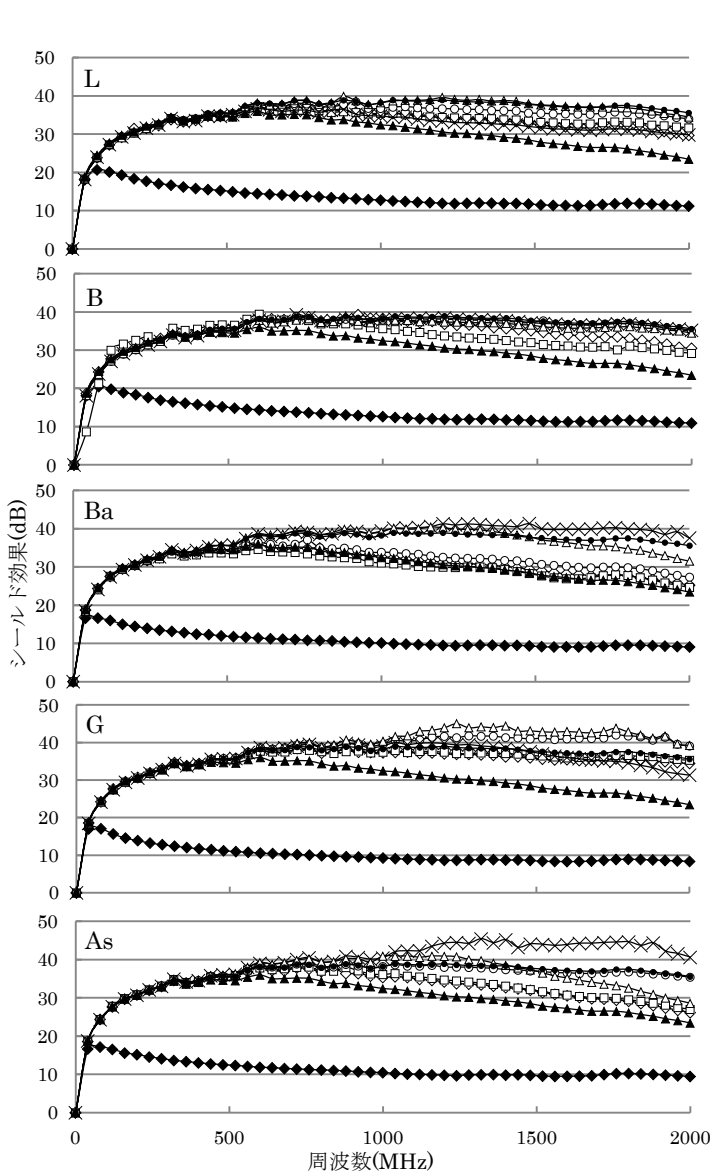
図 3 は各炭の成型体の Imp を示している。Ba は Imp の点でも劣っていたが、他の試料は No-C 以外、後処理による差がほとんどなく市販品と同等であった。

### 3-3. 電磁波シールド性能

図 4 は各炭の成型体の EMC である。いずれも後処理によって性能が向上し、いずれの周波数でも実用基準の 30dB を越えた。特に G の APFe-C, OAPFe-C などは 40dB を越える値を示し、L, B に優れた。

## 4. 結言

いずれの試料でも種々の後処理による触媒(Fe)と非晶質炭素除去の効果が認められた。各バイオマス由来の OAPFe-C, OAPFe-C は市販品と同等以上の体積抵抗率、Imp、EMC を示し、L, B より優れていた。このことから、木材以外のバイオマス由来炭素も多様な導電性フィラーとしての利応用が期待される。



◆ : No-C, ◇ : Fe-C, □ : AFe-C, ○ : APFe-C, × : OAPFe-C, △ : OAPFe-C, ▲ : DB, ● : KB  
 図 4. 各試料の EMC

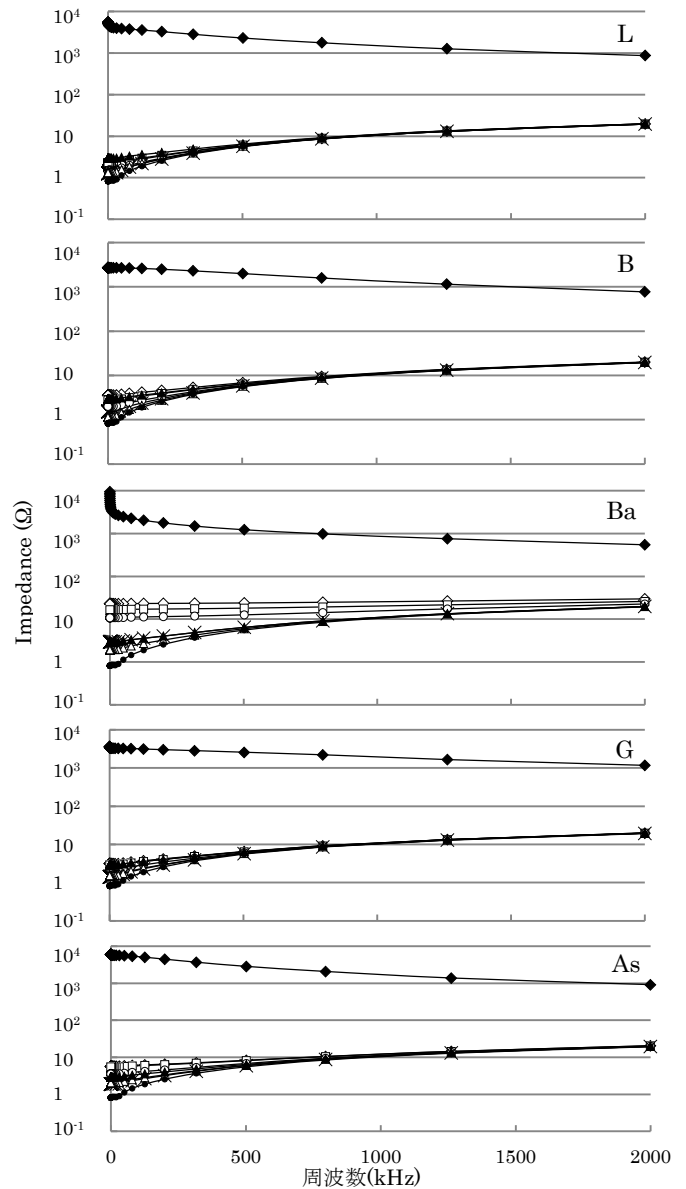


図 3. 各試料の Imp

(道総研林産試) ○折橋 健、安久津 久  
(森林総研林育セ北海道) 福田陽子、矢野慶介

## 1 はじめに

地球温暖化対策、地域産業創出などの観点からバイオマス利用への関心は年々高まっている。バイオマスの利用拡大に合わせて、量のみならず質的にも安定したバイオマス供給体制を確立していく必要がある。ヤナギ類は、道内で栽培可能なバイオマス資源として注目されており、試験栽培も始まっている<sup>1,2)</sup>。今後、ヤナギ類の導入に向けた動きの拡大が予想される中、ヤナギ類の優良品種選抜や栽培技術に求められる期待は大きい<sup>3)</sup>。

ヤナギ類の育種では、これまで生産性(量)に着目した育種が行われてきた<sup>2,4)</sup>が、含有成分(質)に着目した例<sup>4)</sup>はほとんどない。短伐期収穫ヤナギを原料とするバイオエタノールの製造実験<sup>5)</sup>では、エタノールの生産効率がセルロース、ヘミセルロース、リグニン等の含有量の影響を受けることが明らかにされており、含有成分に着目した優良品種選抜の可能性について検討が必要となっている。以上のことから本研究では、ヤナギの成分育種の可能性について検討することを念頭に、ヤナギ優良バイオマス品種候補木の含有成分量について検討を行った。

## 2 実験方法

### 2.1 材料

釧路川流域(弟子屈町、標茶町)に自生するオノエヤナギ(*Salix sachalinensis*)の中から選定した優良バイオマス品種候補木、計14個体(No.1~14)を分析対象とした。2010年8月に各個体の枝を1~4本ずつ採取し、その3~5年生部位を材料とした。

### 2.2 分析試料の調製

採取した材料は、剥皮して木部のみとし、風乾した。風乾した木部は、サイクロンサンプルミル粉碎機(静岡精機製、CSM-F1)により粉碎し、各個体につき1~4点の分析試料を得た。

### 2.3 分析

含有成分の分析は、**図1**に示す流れにより分析し、最終的に絶乾ベースの木部に対する含有割合を算出した。

#### 2.3.1 アルコール・ベンゼン混液抽出物

抽出溶媒としてアルコール・ベンゼン混液(99%エタノール/ベンゼン=1/2、v/v)を使用した。ソックスレー抽出装置を用いて、試料3g(風乾)、アルコール・ベンゼン混液150ml、抽出時間6時間の条件で抽出を行い、抽出残渣(以下、脱脂試料とする)を回収し、風乾した。抽出前の試料と脱脂試料の重量差(絶乾)をアルコール・ベンゼン混液抽出物(以下、アルベン抽出物とする)の量とした。

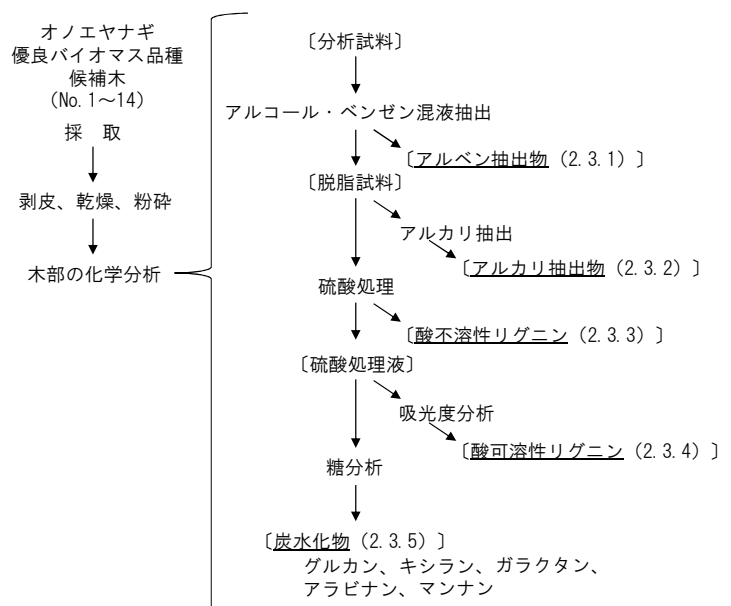


図1 分析の流れ

### 2.3.2 アルカリ抽出物

抽出溶媒として 1%水酸化ナトリウム水溶液を使用した。脱脂試料 1g (風乾) と 1%水酸化ナトリウム水溶液 100ml を 200ml 容丸底フラスコに入れ、フラスコ上部に還流冷却器を取り付けた。これを電気加熱器にセットし、1 時間煮沸した。煮沸後、ガラスろ過器 (1GP16) を用いて固液分離を行い、得られた残渣 (以下、アルカリ処理試料とする) を水、10%酢酸水溶液、水、アセトンにより順次洗浄してから風乾した。脱脂試料とアルカリ処理試料の重量差 (絶乾) を求め、さらにアルベン抽出物量の補正を行って、木部に含まれる 1%水酸化ナトリウム水溶液抽出物 (以下、アルカリ抽出物とする) の量とした。

### 2.3.3 酸不溶性リグニン<sup>6,7)</sup>

脱脂試料 0.3g (風乾) と 72%硫酸 3ml を  $\phi$  18mm 試験管に入れた。ガラス棒で混練してから 30°C のウォーターバスに入れ、1 時間加温処理した。加温中、10 分おきにサンプルを混練した。処理後のサンプルは、水 84ml により試験管から 100ml 容ねじ口瓶に移した (これにより硫酸濃度は 4%となる)。さらに、ふたをしてからオートクレーブに入れ、121°C で 1 時間の加圧加熱処理を行った。処理後のサンプルは、ガラスろ過器 (1GP16) を用いて固液分離を行った。残渣は水で洗浄してから 105°C のオーブンで 24 時間乾燥して絶乾重量を求め、さらにアルベン抽出物量の補正を行って、木部に含まれる酸不溶性リグニン量とした。また、液体 (以下、硫酸処理液とする) は液量を計測してから酸可溶性リグニンおよび糖類の定量分析に用いた。

### 2.3.4 酸可溶性リグニン<sup>6,7)</sup>

硫酸処理液を水で 20 倍希釈し、希釈液の 190~210nm における最大吸光度を測定した。吸光度の測定にはダブルビーム分光光度計 (日立製作所製、228A 形) を使用し、ブランクには 4%硫酸を水で 20 倍希釈したものを使用した。測定した最大吸光度から下式により、木部に含まれる酸可溶性リグニンの割合を算出した。

酸可溶性リグニン (%) = [20 倍希釈した硫酸処理液の最大吸光度 (ブランク補正值)]  $\times$  20 (希釈率)  $\times$  2.3.3 で得られた硫酸処理液量 (L)  $\times$  [100 - 2.3.1 で求めたアルベン抽出物量 (%)]  $\times$  100 / 2.3.3 で用いた脱脂試料量 (g) / 110 (リグニン吸光係数) / 100

### 2.3.5 炭水化物<sup>8)</sup>

硫酸処理液 10ml、内部標準 (0.1g/ml エリスリトール水溶液) 0.1ml、水酸化バリウム八水和物 1.3g を 50ml 容遠沈管に入れた。スターラー上で液を攪拌しながら液中の硫酸を硫酸バリウムとして沈殿させた。さらに、3%水酸化バリウム水溶液を加えながら pH を 6~7 に調整した後、遠沈管を遠心分離機 (3,000rpm、20 分) にかけて固液分離し、上澄み液を得た。この液を表 1 に示す条件で高速液体クロマトグラフにかけ、グルコース、キシロース、ガラクトース、アラビノースおよびマンノースを定量し、下式により木部から得られる各単糖の割合を算出した。

単糖 (%) = 単糖定量値 (g/ml)  $\times$  1.01 (内部標準添加による希釈率)  $\times$  2.3.3 で得られた硫酸処理液量 (ml)  $\times$  [100 - 2.3.1 で求めたアルベン抽出物量 (%)]  $\times$  100 / 2.3.3 で用いた脱脂試料量 (g) / 100

最後に、上式で得た単糖の値から炭水化物含有量への変換を行った。すなわち、グルコース、ガラクトース、マンノースについては 0.9 をかけてグルカン、ガラクトタン、マンナンとし、キシロース、アラビノースについては 0.88 をかけてキシラン、アラビナンとした。

表 1 高速液体クロマトグラフの稼動条件

機器	日立ハイテクノロジーズ製 La Chrom Elite L2000 series
検出器	示差屈折率検出器
カラム	Bio-Rad製 Aminex HPX-87P ( $\phi$ 7.8 $\times$ 300mm $\times$ 2)
カラム温度 (°C)	80
溶離液	水
流速 (ml/min)	1.0
試料注入量 ( $\mu$ l)	10



### 2.3.6 その他未同定成分

木部における全成分の含有割合を 100%とし、逐次分析により定量した成分、すなわちアルベン抽出物、酸不溶性リグニン、酸可溶性リグニン、グルカン、キシラン、ガラクトタン、マンナンの含有割合を差し引いた残りを未同定成分とした。なお、後述するが、アラビノースの全分析データが定量下限未満であったため、アラビナンはこの計算には含めなかった。

### 2.4 統計解析

各成分の含有割合の個体間での比較には、クラスカル・ウォリス検定<sup>9)</sup>（有意水準は上側 5%）を使用した。

## 3 結果と考察

表 2 に木部に含まれる各成分の割合（絶乾ベース）を示す。

表 2 オノエヤナギ木部の成分含有割合（%）

個体No.	試料数	アルコール・ベンゼン 混液抽出物		1%NaOH水溶液 抽出物		酸不溶性 リグニン		酸可溶性 リグニン		グルカン	
		平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差
1	2	2.8	0.4	27.5	2.6	21.8	0.6	2.4	0.1	35.8	4.6
2	3	3.4	0.7	27.5	1.7	23.7	1.2	2.3	0.2	36.5	2.2
3	1	3.0		26.4		22.5		2.5		39.3	
4	3	3.3	0.3	27.6	0.8	25.2	1.4	2.4	0.2	37.4	3.2
5	3	2.8	0.5	26.2	0.3	21.1	0.9	2.4	0.3	42.6	2.7
6	4	3.4	0.4	28.1	0.9	24.1	0.5	2.5	0.0	37.6	0.4
7	4	3.2	0.2	27.5	1.4	21.5	0.7	2.4	0.1	43.0	3.1
8	3	3.4	0.6	28.2	0.8	21.2	1.8	2.3	0.1	41.6	2.6
9	3	3.3	0.4	27.7	0.4	22.2	0.6	2.1	0.1	41.3	0.1
10	3	3.1	0.1	28.2	0.6	21.3	1.1	2.2	0.2	40.5	1.6
11	1	2.8		26.3		21.3		2.4		40.6	
12	3	4.9	0.6	30.9	0.8	23.3	0.7	2.0	0.2	35.8	2.1
13	4	3.2	0.4	27.3	0.3	22.1	1.1	2.2	0.1	40.6	1.1
14	3	3.4	0.3	26.8	2.2	22.7	1.3	2.7	0.1	35.9	3.5
		P>0.05		P>0.05		P<0.05		P<0.05		P<0.05	

個体No.	試料数	キシラン		ガラクトタン		アラビナン	マンナン		未同定成分				
		平均値	標準偏差	平均値	標準偏差		備考	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	備考	
1	2	9.3	1.5	1.2	0.1	*	trace	5.6	1.3	21.2	5.1	*	
2	3	11.7	1.2	1.5	0.3	*	trace	2.4	0.4	18.4	1.6	*	
3	1	13.4		1.7			trace	3.1		14.4			
4	3	12.1	0.5	1.6	0.7	*	trace	1.7	0.2	16.3	2.7	*	
5	3	12.1	0.5	1.4	0.0		trace	2.0	0.3	15.6	2.2		
6	4	13.1	0.3	1.4	0.2	*	trace	1.5	0.3	16.4	0.6	*	
7	4	13.4	0.8	1.4	0.3	*	trace	1.8	0.4	13.5	3.3	*	
8	3	13.7	0.4	1.7	0.2		trace	1.7	0.2	14.6	1.2		
9	3	13.2	0.5	1.8	0.4		trace	1.9	0.3	14.2	1.0		
10	3	13.7	1.2	1.7	0.1		trace	2.2	0.2	15.4	0.8		
11	1	14.8		1.9			trace	1.7		14.5			
12	3	12.8	0.8	1.9	0.2		trace	2.0	0.4	17.2	1.8		
13	4	14.7	0.6	2.0	0.4		trace	2.0	0.2	13.1	2.8		
14	3	13.6	0.6	1.5	0.3	*	trace	2.2	0.3	18.0	2.8	*	
		P<0.01						P<0.05					

数値の下に細線：最小値、太線：最大値。\*：ガラクトースの分析で一部に定量下限（脱脂試料に対して 1.2%相当量）未満のデータがあり、それをういた値のため参考値とした。trace：アラビノースの分析では、全試料においてピークは検出されたが、全て定量下限（脱脂試料に対して 1.2%相当量）未満であったため trace とした。

アルベン抽出物の含有割合は No.12 (4.9%) を除き 3%前後 (2.8~3.4%) であった (有意差なし)。アルカリ抽出物の含有割合は 26.2~30.9%であった (有意差なし)。アルカリ抽出においてはポリフェ

ノール類や低分子のリグニンなどが溶出するとされ、新生木部では多量となるとされる<sup>10)</sup>。酸不溶性リグニンの含有割合は21.1~25.2%、酸可溶性リグニンの含有割合は2.0~2.7%であった(いずれも $P < 0.05$ )。グルカンの含有割合は35.8~43.0%であり、個体間で最大7%強の開きがあった( $P < 0.05$ )。キシランの含有割合は9.3~14.8%と個体間で最大5%強の開きがあった( $P < 0.01$ )。ガラクタンの含有割合は多い個体でも2.0%であった。マンナンの含有割合は1.5~5.6%であった( $P < 0.05$ )。アラビナンは各個体に含まれるが、その量は他の多糖よりも少なかった。広葉樹に含まれるヘミセルロースについては、一般にグルクロノキシランが主体であり、その他グルコマンナンが含まれるとされる<sup>11)</sup>。それを裏付けるかのように、各個体ともキシランの含有割合が高かった。未同定成分は13.1~21.2%含まれていた。ここに属する成分として、ポリフェノール類、配糖体、ヘミセルロース由来の酸性糖(グルクロン酸)やアセチル基、タンパク質、灰分などが想定される。

宮城県内で、挿し木1年後に台切りし、そこからの萌芽を1シーズン育てた後に収穫して化学組成を調査した事例がある<sup>4)</sup>。この事例では全木試料(樹皮を含む試料)が使用されているが、道内でも栽培が検討されているエゾノキヌヤナギ、オノエヤナギの成分含有割合に関しては、アルベン抽出物が2.7~4.0%、酸不溶性リグニンが26.2~31.4%、酸可溶性リグニンが0.88~1.01%、 $\alpha$ -セルロース(グルカンに相当)が36.9~40.2%と報告されている。この事例の試料が全木であるため、木部を使用した今回の結果と単純には比較できないが、おおまかに見ると両結果は類似していると言える。

今回の分析において、含有割合に関する個体間差が比較的大きかったのは、グルカンとキシランであった。個体間差が大きくなるほど成分育種(品種選抜)の可能性が高まることから、さらに分析数を増やし、個体間差がさらに広がるのか否かを見極める必要があると思われる。また、分析数が増えると化学的な分解操作を伴う手法では対応が追いつかなくなる可能性がある。そこで、例えば近赤外分光法のような分解操作を伴わない迅速な手法の導入についても検討が必要と考える。

#### 4 参考文献

- 1) 北海道開発局開発調査課：北海道開発計画調査 北海道に適した新たなバイオマス資源の導入促進事業(平成20~22年度)の概要、2011。
- 2) 丸山 温：ヤナギ超短伐期栽培による新たなバイオマス資源の作出(研究プロジェクトの紹介)。北海道の林木育種 51 (1), 26-27, 2008。
- 3) 矢野慶介, 福田陽子, 田村 明, 折橋 健, 安久津 久：バイオマス生産用ヤナギ類優良品種選抜の取り組み。北の国・森林づくり技術交流発表集 2011, 174-177, 2012。
- 4) 佐藤 茂：早生樹の栽培による高収量木質バイオマス生産—短伐期ヤナギ林適性種の選抜—。第39回木材の化学加工研究会シンポジウム講演集, 7-12, 2009。
- 5) 岸野正典, 折橋 健, 檜山 亮：短伐期収穫ヤナギを原料とするエタノールの製造実験(1)—グルコースへの変換率におよぼす構成成分の影響—。第60回日本木材学会大会講演要旨集, 2010, PP015。
- 6) Effland, M. J. : Modified procedure to determine acid-insoluble lignin in wood and pulp. *Tappi J.*, 60(10), 143-144, 1977。
- 7) 日本木材学会：木質科学実験マニュアル。文永堂出版, 東京, 2000。
- 8) Sluiter, A., Hames, B., Ruiz, R., Scarlata, C., Sluiter, J., Templeton, D., Crocker, D. : Determination of structural carbohydrates and lignin in biomass. National Renewable Energy Laboratory, USA, 2008。
- 9) 柳井久江：4 Steps エクセル統計 第2版。オーエムエス出版, 埼玉, 2004。
- 10) 日本木材学会 化学編編集委員会：木材科学実験書 II。化学編, 中外産業調査会, 東京, 1985。
- 11) 城代 進, 鮫島一彦：木材科学講座 4 化学。海青社, 東京, 1993。

**【付 記】**本研究は、(独)森林総合研究所林木育種センターの育種交付金プロジェクト「バイオマスイエネルギー・化成品生産に向けたヤナギ類の優良品種の開発」の一環として実施した。

**【謝 辞】**本研究の分析では、中村正憲氏、吉田隆司氏にご尽力いただいた。記してお礼申し上げる。

## P-9 タモギタケ白色変異体交雑株からの孢子分離集団とその自家交配株の栽培特性

(道総研林産試) ○宜寿次盛生、米山彰造、原田陽、佐藤真由美  
(鳥取大学) 奥田康仁、松本晃幸

### 1. はじめに

タモギタケ (*Pleurotus cornucoiae* var. *citrinopileatus*) 白色変異体菌株 (HfpriPc02-1、2002 年道内で採取、菌傘が白色の子実体から組織分離) の育種への利用を目的として、これまで以下の検討を行ってきた<sup>1,2)</sup>。

HfpriPc02-1 を栽培して得られた単孢子分離集団から自家交配株を作出し栽培した結果、全ての菌株の菌傘は白色であり、子実体の柄が負の重力屈性を喪失 (以下、屈地性変異) した菌株が多数得られた。そこで、白色変異および屈地性変異の遺伝様式を明らかにするため、HfpriPc02-1 由来単核菌糸 (a003) とタモギタケ HfpriPc05-1 (道総研林産試で育成した菌株、構成核は Y1 と Y2、菌傘は鮮黄色) のプロトプラスト由来の単核菌糸 (Y1) を交配して交雑株 003F を作出した。003F を栽培して得られた子実体の傘色は黄色で屈地性変異は認められなかった。003F 子実体由来の単孢子分離集団 136 系統 (F1) の交配型を決定し、HfpriPc02-1 由来単核菌糸 a004 (a003 と和合性かつ交雑株の子実体は白色) を検定親として検定交配した。交配した 136 菌株を栽培し、子実体の表現型を解析した結果、「白色変異因子」および「屈地性変異因子」はいずれも劣性因子であり、「交配型因子」を含め 3 因子は連鎖していないことが明らかになった<sup>1)</sup>。また、屈地性変異体菌株の子実体からの孢子落下量が極端に少ないことを見出し、検定交配株を再度栽培し孢子紋を確認した結果、すべての屈地性変異体菌株は孢子落下量が少ないこと (以下、孢子欠損変異) が明らかになった<sup>2)</sup>。

本研究では、2 つの劣性変異因子 (白色因子および屈地性因子≒孢子欠損因子) を効率よく育種へ活用するため、各因子を同型接合 (ホモ) で有する栽培特性に優れた菌株の作出を行った。

### 2. 実験方法

#### 2.1 供試菌株

F1 (136 系統) の交配可能な 2274 組合せのうち各変異因子を同型接合で有する組合せを抽出し、さらに検定交配株の栽培試験結果 (子実体収量および形態) を基に選抜し、自家交配株 154 菌株を作出した。

#### 2.2 栽培試験

栽培試験は原田らの方法<sup>3)</sup>に準じた。カラマツおが粉とフスマを混合し水道水を加え水分 65% に調整した培地を PP 製 850mL 容栽培ビンに充填、殺菌、放冷後、おが粉種菌を接種した。培養は温度 22℃、相対湿度 70% の設定で行い、原基形成後、温度 18℃、相対湿度 95% 以上、1 日 12 時間照明の条件で子実体の生育を行った。1 菌株につき 4 本ずつ供試し、HfpriPc02-1 および HfpriPc05-1 を対照菌株とした。

各ビンにおける子実体総発生数の 50% 以上の菌傘が 25mm 程度に成長した時点で表現型 (傘色、屈地性) を確認後、収穫、生重量を測定し収量とした。また、収穫前の子実体 1 個を黒紙に置き一晚経過後、目視で孢子紋の有無を確認した。

### 3. 結果と考察

#### 3.1 検定交配株の栽培試験結果と同型接合を有する自家交配株の作出

検定親 a004 は劣性変異因子 (白色因子および屈地性因子) を有するため、検定交配株の表現型は対応する単核系統の有する因子と一致する。栽培試験の結果、白色変異因子は表現型の歪みが認められたが、屈地性変異因子は 1:1 に発現し、交配型を加えた 3 因子はそれぞれ相関が認められなかった<sup>1)</sup>。

自家交配株作出のため、F1 の交配可能な組合せのうち各因子を異型接合 (ヘテロ) で有する組合せを除外し、さらに「黄色・屈地性正常」を同型接合で有する組合せも除き、各因子を同型接合で有する 527 組合せを抽出した。そして「黄色・屈地性変異」は交配可能な 56 組合せ全ての菌株を作出した。また、収量および形態 (例えば、**図 2** に示すような「強度のロート状菌傘」を有する系統は除外した) を基に、「白色・屈地性正常」は 62 菌株、「白色・屈地性変異」は 36 菌株を作出した。

#### 3.2 同型接合を有する自家交配株の栽培試験結果

「黄色・屈地性変異」を同型接合で有する自家交配株 56 菌株の栽培試験における平均収量 (n=4) の分布を **図 1** に、そのうち子実体の形態が良好な 10 菌株の収量および栽培日数を **表 1** に示した。

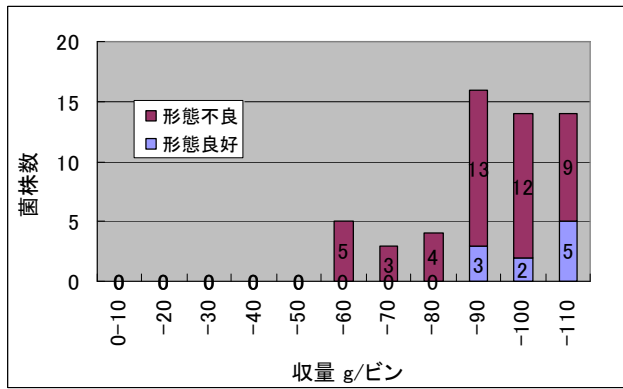


図1 「黄色・屈地性変異」同型接合菌株の平均収量の分布

表1 「黄色・屈地性変異」同型接合菌株(形態良好)の栽培試験結果(n=4、平均±標準誤差)

菌株記号	収量 (g/ビン)	栽培日数
f129f029	103.6 g± 1.06	19 日± 0.0
f031f002	101.6 g± 1.27	21 日± 0.3
f059f039	101.6 g± 4.86	20 日± 0.0
f060f039	100.6 g± 3.78	20 日± 0.0
f060f085	100.2 g± 3.02	20 日± 0.3
f129f187	93.2 g± 3.21	19 日± 0.0
f129f063	90.6 g± 1.20	19 日± 0.3
f015f063	83.8 g± 6.80	19 日± 0.3
f129f022	82.8 g± 2.22	19 日± 0.3
f031f064	80.8 g± 1.94	22 日± 0.3
(対照菌株)		
HfpriPc02-1	87.1 g± 5.73	21 日± 0.4
HfpriPc05-1	108.5 g± 4.90	20 日± 0.3

\*対照菌株の供試ビン数は、それぞれ n=7 (HfpriPc02-1)、n=8 (HfpriPc05-1)。

また、56 菌株全てにおいて孢子紋は認められず孢子欠損変異因子を有することが確認された。この 10 菌株中、f129f029 および f031f002 は、対照菌株 HfpriPc05-1 と同等の収量で図 2 に示すように形態も良好であり、孢子欠損変異因子を同型接合で有する優れた菌株と考えられる。また、図 3 に示すように「白色・屈地性正常」および「白色・屈地性変異」も同様に優良な菌株を選抜した。

今後は、これら選抜した菌株の栽培特性をより詳細に検討し、育種素材としての活用を進める予定である。



図2 強度のロート状菌傘を発現する菌株(左; f059f085)と形態良好な「黄色・屈地性変異」同型接合菌株(中央; f129f029、右; f031f002)



図3 形態良好な「白色変異・屈地性正常」同型接合菌株(左; f030f088、中央; f030f184)と形態良好な「白色変異・屈地性変異」同型接合菌株(右; f014f001)

#### 4. 引用文献

- 1) 宜寿次盛生ら：日本菌学会第 56 回大会講演要旨集，48 (2012)。
- 2) 米山彰造ら：日本きのこ学会第 16 回大会講演要旨集，150 (2012)。
- 3) 原田陽ら：日本きのこ学会誌，16，117-122 (2008)。

#### 5. 謝辞

本研究は、新たな農林水産政策を推進する実用技術開発事業(課題 23053)の一部として行った。この場を借りて感謝致します。

**日本木材学会 北海道支部講演集 第44号**

---

平成24年11月7日 発行

編集人 佐野 雄三

発行人 菊地 伸一

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

---