

日 本 木 材 学 会

北 海 道 支 部 講 演 集

第 46 号

平成 26 年 11 月

日本木材学会北海道支部

札 幌

日本木材学会北海道支部講演集

第46号

目次

口頭発表 (13:15-15:00)

- 0-1) シラカンバ樹皮組織に含まれる有機結晶・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・1
(北大院農)○渋井宏美、遠藤圭太、佐野雄三
- 0-2) -20℃を用いたシイタケ(*Lentinula edodes*) 菌株の凍結保存の検討・・・・・・・・・・5
(旭川高専)○大谷和也、細川芽衣、富樫 巖
- 0-3) 木材保存に用いるバイオリジカルコントロール微生物と担持材料の相互作用の解析・・・・・・・・9
(旭川高専)○渡部智弘、(釧路高専)高橋 剛、(旭川高専)富樫 巖
- 0-4) *Gymnopus* sp.由来の(+)-Epogymnolactam の全合成・・・・・・・・・・・・・・・・・・12
(北大院農) ○岡戸祐治、重富顕吾、三橋進也、生方 信
- 0-5) バイオエタノール生産に有用な両親媒性リグニン誘導体・・・・・・・・・・・・・・・・・・14
(北大院農)○山本陽子、Ningning Cheng、(東大院農生命)五十嵐圭日子、(北大院農)幸田圭一、浦木康光
- 0-6) 金属担持バイオマスを出発原料とする電気二重層キャパシタ用炭素の製造・・・・・・・・・・18
(北見工大)○百崎俊幸、鈴木京子、鈴木 勉
- 0-7) 木材チップ製造工程のコストおよび環境影響評価・・・・・・・・・・・・・・・・・・20
(東大院新領域)○海邊健二、(JST 低炭素社会戦略センター)湯本道明、(東大院新領域)大友順一郎、(JST 低炭素社会戦略センター)山田興一

展示発表 (15:00-15:50)

- P-1) カラマツ類の枝樹皮組織におけるテルペノイドと内分泌構造・・・・・・・・・・・・・・・・24
(北林産試)○関 一人、折橋 健
- P-2) Isolation of Trypanocidal Compound(s) from Todomatsu Outer Bark・・・・・・・・・・28
(Hokkaido Univ.) ○Albertus Eka Yudistira Sarwono, (Obihiro Univ. Agric. Vet. Med.) Keisuke Suganuma, (Hokkaido Univ.) Shinya Mitsuhashi, (Obihiro Univ. Agric. Vet. Med.) Puttik Allamanda, Tadashi Okada, (Hokkaido Univ.) Kengo Shigetomi, (Obihiro Univ. Agric. Vet. Med.) Kawazu Shinichiro, Noboru Inoue, (Hokkaido Univ.) Makoto Ubukata.
- P-3) Hirsutanol 類の作用機構の解析・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・30
(北大院農)○土井督史、三橋進也、東大先端研)川村 猛、児玉龍彦、(東北大院薬)鈴木貴大、叶 直樹、岩淵好治、(北大院農)生方 信
- P-4) Oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*) cultivation using non-sterile coffee husks・・・・・・・・・・32
(Hokkaido University/Viçosa University-Brazil) ○Mateus D. Nunes, (Viçosa University-Brazil) João G. S. Schram (Hokkaido University)Yutaka Tamai, (Viçosa UniversityBrazil) Maria C. M. Kasuya

- P-5) 緑色蛍光タンパク質を用いたハイブリッドアスペンの細胞内における小胞体の構造観察・・・33
 (北大院農)○桜井健至、鈴木伸吾、荒川圭太
- P-6) 立木の応力波伝播時間の測定における打撃条件の影響・・・36
 (北大院農)○日置絵里香、小泉章夫、佐々木義久、(北林産試)鳥田宏行
- P-7) 「枠組壁工法住宅工事仕様書〔分冊〕《道産材活用型》」の作成・・・40
 (NPO 法人北海道住宅の会)○山本 宏、坂東芳草、高倉俊明、林 芳男、(北林産試)大橋義徳、(北大院農)平井卓郎
- P-8) カラマツ中径原木を用いた高強度集成材の開発・・・44
 (北林産試)○松本和茂、大橋義徳
- P-9) 木質外装材の表面仕上げが塗装後の耐候性能に及ぼす影響(II)・・・47
 —屋外暴露試験と促進耐候性試験の比較—
 (北林産試)伊佐治信一
- P-10) 木質面材の吸放湿性能に及ぼす材料構成の検討・・・50
 (北林産試)朝倉靖弘
- P-11) 多雪地域における混構造3階建て(1階RC造、2,3階木造)住宅の必要壁量・・・52
 (北大院農)○平井卓郎、((有)奈良建築環境設計室)奈良謙伸

※ 口頭発表座長

- 0-1) ～ 0-4) 関 一人 (北林産試)
 0-5) ～ 0-7) 澤田 圭 (北大院農)

シラカンバ樹皮組織に含まれる有機結晶

(北大院農、*現森林総研林木育種セ) ○渋井宏美、遠藤圭太*、佐野雄三

1. 緒言

シラカンバの成熟した外樹皮は平滑で薄紙状に剥離し、白色を呈する。これは、外樹皮において周皮が幹を一周し、周皮の最外層に当たるコルク組織が、細胞壁の厚さの異なる細胞層により多層構造を成し¹⁾、ベチュリンの結晶により白色を呈するためである²⁾。ベチュリンは、カバノキ属樹種の外樹皮に多量に含まれるトリテルペノイドであり、樹種によっては含有量が乾燥重量比で約 30%に達する³⁾。また、近年ベチュリンやその派生物に関する薬理的な研究が進み、ベチュリンやその派生物に抗菌、抗ウイルス、抗がん、抗炎症、抗 HIV などの活性があることが報告されている⁴⁾。

通常、生物組織を光学顕微鏡で観察する際は、試料を有機溶媒などを用いて脱水や樹脂包埋の処理を行うことが多い。これまで筆者はカバノキ属樹種の外樹皮の構造に関する研究を行ってきたが⁵⁾、試料の処理～プレパラート作製の工程で有機溶媒を使うと、外樹皮組織中に結晶性の細胞内容物は観察されなかった。これに対し有機溶媒を一切使わずに作製した外樹皮の凍結切片を光学顕微鏡および偏光顕微鏡で観察すると、組織内に結晶性の細胞内容物が多く観察された。本研究では、凍結切片において多量に観察された結晶性の細胞内容物が、通常の顕微鏡試料作製処理では溶出するベチュリンを含む有機結晶であるのではないかと予測し、異なる処理を行った試料の顕微鏡観察と、脱水で用いるエタノールシリーズによる抽出成分の TLC 分析を行った。

2. 研究方法

2.1 試料

北海道大学札幌研究林実験苗畑のシラカンバ(*Betula platyphylla* var. *japonica*)成木の幹から外樹皮片を採取し、乾燥を防ぐため濡れたキムタオルで包み、実験室に持ち帰った。

2.2 実験方法

2.2.1 顕微鏡観察

実験室に持ち帰った厚紙状の外樹皮片を約 20mm²の大きさに片刃カミソリで切り、そのままの状態、またはエタノール処理(100, 30%液に常温で順次浸漬した後蒸留水で水洗)した後に、厚さ 5 μmの横断面凍結切片を滑走式マイクロトームで作製した。サフラニンで染色、水洗後、グリセリンで封入し、光学顕微鏡、偏光顕微鏡で観察した。

2.2.2 低温走査型電子顕微(Cryo-SEM)鏡観察

実験室に持ち帰った外樹皮片を約 6 mm²の大きさに片刃カミソリで切り、水に濡れた状態で試料台にセットし、液体フロンで急速凍結後、液体窒素中で保存した。試料の横断面または縦断面をフリーズフラクチャー法で割断後、金-パラジウムをイオンスパッター法によりコーティングし、Cryo-SEM を用いて加速電圧 5kV で観察した。

2.2.3 TLC 分析

実験室に持ち帰った外樹皮片を約 1 cm²の大きさにハサミで切り、エタノールシリーズ(30, 50, 70, 90, 100% × 3)で各 30 分ずつ脱水処理を行い、各抽出液を混合したものをろ過し、エバポレーターを用いて乾固した。得られた粗抽出物と、Ohara ら³⁾の方法に準じて同個体から得たベチュリンおよび市販の標品を、シリカゲルの薄層板を用いて薄層クロマトグラフィー(TLC)で分析、比較を行った。展開溶媒にはヘキサン:酢酸エチル=2:1の混液を用いた。展開後、254/365nmの紫外線照射下で観察し、その後ヨウ素蒸気またはリンモリブデ

ン酸エタノール溶液で発色させ、観察を行った。

3. 結果

3.1 有機結晶

凍結切片作製前の試料の接線面を肉眼で観察すると、採取後に湿潤状態で保存していた試料（非処理）は白色を呈していたのに対し、その後エタノール処理した試料は褐変した（Fig. 1）。これらの凍結切片を光学顕微鏡および偏光顕微鏡で観察したところ、非処理の切片では、複屈折を示す細粒状の物質がコルク組織の層のうち薄壁の細胞層の細胞内に見られたが、厚壁の細胞層の細胞内には見られなかった（Fig. 2, 3）。一方エタノール処理した切片では、薄壁、厚壁の細胞内ともに複屈折を示す細粒状の内容物は観察されなかった（Fig. 4, 5）。

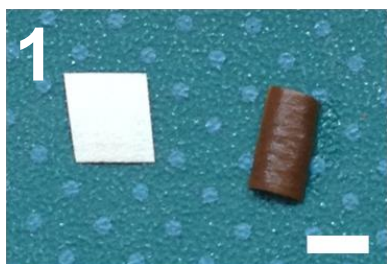


Fig. 1 凍結切片作製前の試料。左（白）：非処理。右（褐色）：エタノール処理。Bar=2mm.

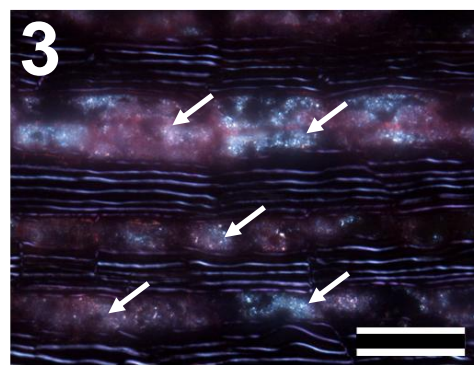
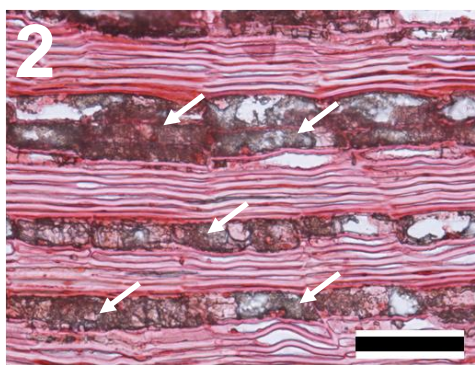


Fig. 2, 3 非処理のシラカンバ横断面凍結切片。Fig. 2 透過像。Fig. 3 偏光像。矢印：複屈折を示す細粒状内容物

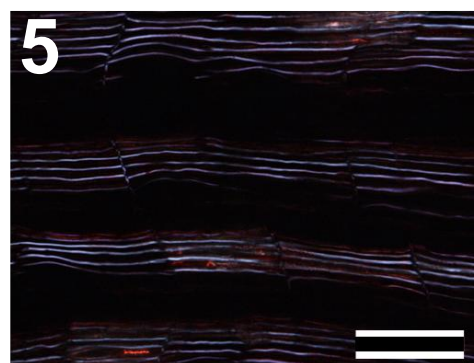
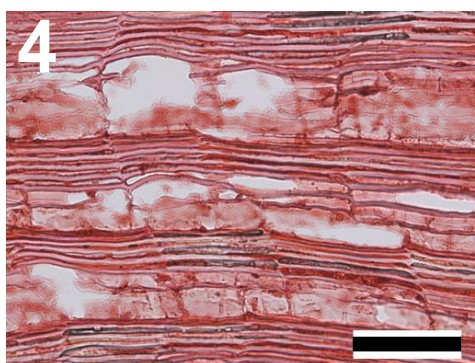


Fig. 4, 5 エタノール処理したシラカンバ横断面凍結切片。Fig. 4 透過像。Fig. 5 偏光像。2～5のBars=50 μ m.

Cryo-SEMで非処理の試料を観察したところ、薄壁の細胞層の細胞内にフレーク状の内容物が見られ（Fig. 6 アステリスク）たが、厚壁の細胞層は内腔がつぶれている細胞が多くフレーク状の内容物は見られなかった。薄壁の細胞層と厚壁の細胞層の間にある、二つの層の間期的な特徴をもつ細胞には、量は少ないもののフレーク状の内容物が見られた（Fig. 6 矢印）。

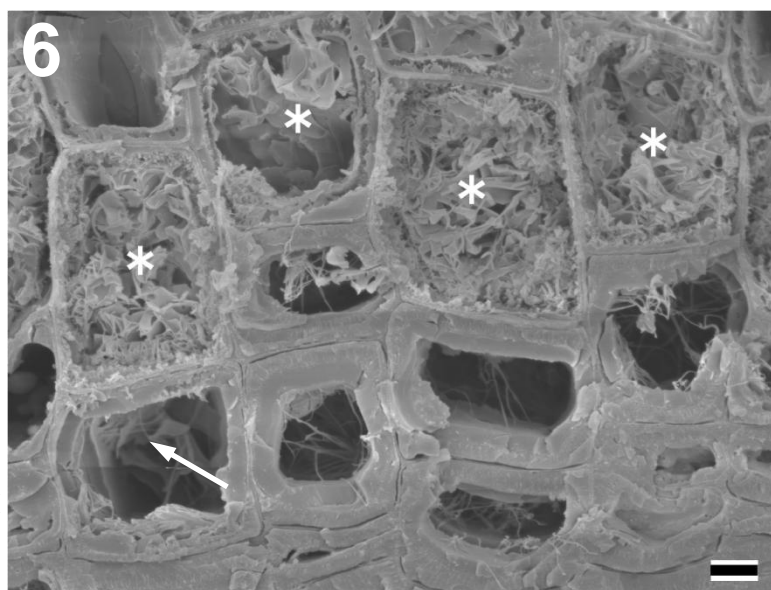


Fig. 6 非処理のシラカンバ外樹皮のCryo-SEM像（放射断面）。アステリスク：フレーク状の内容物。矢印：中間的な細胞壁厚の細胞中の内容物。Bar=2 μ m.

3.2 TLC 分析

エタノールシリーズによる抽出で得られた粗抽出物と、Ohara ら³⁾の方法に準じて得たベチュリンを TLC 分析により比較した結果、ベチュリンと判断される共通したスポット (II) が観察された (Fig. 7)。粗抽出物 (r) は、ベチュリンと思われるスポット以外にも 4つのスポットに分離した (I~V) が、Ohara ら³⁾の方法に準じて得たベチュリン (b) は、スポットが1つのみ観察された (Fig. 7)。各波長の紫外線照射下において、粗抽出物の展開では原点に最も近い部分 (V) が、365nm では青い自家蛍光を呈し、254nm では紫外線の吸収が観察された。Vの部分のうち特に点線で囲んだ部位が強い自家蛍光と紫外線の吸収を示した。ベチュリンと判断されるスポットは、自家蛍光、紫外線の吸収ともに示さなかった。市販の標品の TLC 分析でも、Ohara ら³⁾の方法に準じて得たベチュリンと同様の結果を示した。

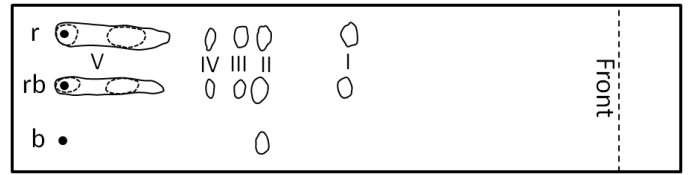


Fig. 7 エタノールシリーズ粗抽出物 (r) と Ohara ら³⁾の方法に準じて得たベチュリン (b)、両サンプルの混液 (rb) の TLC 展開図。ヨウ素蒸気による検出。溶媒は、ヘキサン：酢酸エチル=2：1。

4. 考察

本研究ではエタノール処理によりシラカンバの外樹皮片からベチュリンが溶出することが TLC により確認された。これまでもベチュリンは水に難溶であるが、エタノールには溶出することが報告されており⁶⁾、本結果はそれと一致する。また本研究では、エタノール処理によりシラカンバの外樹皮片が白色から褐色に変化することも示された。これらの結果は、カバノキ類の樹皮の白さは多量に含まれるベチュリンに由来するという通説を裏付けている。

エタノール処理をせず作製した凍結切片で認められた薄壁の細胞中の複屈折を示す結晶性の内容物は、ベチュリンを抽出してしまうエタノール処理した外樹皮片では認められなかった。また、エタノール処理した外樹皮片では、薄壁の細胞に見られる結晶性の内容物のほかには、未処理の外樹皮片と比べて際立った変化は認められなかった。これらのことから、薄壁の細胞中に含まれる結晶性の内容物はベチュリンを含み、少なくともその主成分はベチュリンであると考えられる。

Cryo-SEM での観察において、薄壁の細胞内に認められた、偏光下で複屈折を示す結晶性の内容物に対応すると考えられるフレーク状の内容物は、中間的な細胞壁厚の細胞を除くほとんどの厚壁の細胞内では見られなかった。これまで、カバノキ属樹木外樹皮のコルク組織については、厚壁の細胞層と薄壁の細胞層が交互に積層していることは明らかにされていた^{1,5)}ものの、細胞壁の厚さが異なる2種の細胞のうち一方だけに分布するというような、ベチュリンの局在性について明記した報告は筆者らの知る限り見当たらない。コルク組織における薄壁の細胞と厚壁の細胞の構成比は樹種間で異なる^{1,5)}。ベチュリンの含有量はカバノキ属内でも樹種により異なる^{2,7)}が、その含有量の種間差はコルク組織内におけるベチュリンを生成～貯蔵する機能をもつ薄壁の細胞の構成比に起因する可能性がある。

謝辞

本研究を進めるにあたり、ベチュリンの標品をご提供および TLC 分析手法をご指導下さいました北大大学院農学研究院講師・幸田圭一氏、粗抽出物の乾固および TLC 分析手法をご指導下さいました北大大学院農学研究院博士研究員・桑原慎子氏、TLC の発色剤をご提供下さいました北大農学部・小川真由さんに感謝致します。また、ミクロトームの凍結ステージをお貸し下さいました北大農学院教授・小池孝良氏、同装置の使用法を手ほどき下さいました北大大学院農学研究院博士研究員・渡邊陽子氏に感謝致します。

引用文献

- 1) Chang Y. P. (1954) Anatomy of common north american pulpwood barks. TAPPI. Monograph Series No. 14, 110-127.
- 2) O'Connell M. M., Bentley M. D., Campbell C. S., Cole B. J. W. (1988) Betulin and lupeol in bark from four white-barked birches. *Phytochemistry*, 27, 2175-2176.
- 3) Ohara S., Yatagai M., Hayashi Y. (1986) Utilization of wood extractives I. Extractives from the bark of *Betula platyphylla* Sukatchev var. *japonica* Hara. *Mokuzai Gakkaishi*, 32, 266-273.
- 4) Pazhe A., Zandersons J., Rizhikovs J., Dobele G., Spince B., Jurkjane V., Tardenaka A. (2012) Obtaining pentacyclic triterpenes from outer birch bark. *Latvian Journal of Chemistry*, 4, 415-420.
- 5) 渋井 宏美, 佐野 雄三 (2013) カバノキ属樹木における外樹皮の構造と形成. 日本木材学会北海道支部 平成25年度研究発表会 要旨. http://www.agr.hokudai.ac.jp/wrsh/files/2013_11_28/O-6.pdf.
- 6) Zhao G., Yan W., Cao D. (2006) Simultaneous determination of betulin and betulinic acid in white birch bark using RP-HPLC. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 43, 959-962.
- 7) Hayek E. W. H., Jordis U., Moche W., Sauter F. (1989) A bicentennial of betulin. *Phytochemistry*, 28, 2229-2242.

-20℃を用いたシイタケ (*Lentinula edodes*) 菌株の凍結保存の検討

○大谷和也, 細川芽衣, 富樫 巖 (旭川高専)

1. 緒言

食用菌の菌株保存としては継代培養法が主役と考えられる。一部では、菌株の変異リスク対策や長期的保存方法として温度-80℃以下の凍結保存も併用されている。しかし、-80℃以下のディープフリーザーや-196℃の液体窒素を用いる凍結保存では、初期設備と維持管理の負担が生じる。演者らは低コストの凍結保存を狙い、-20℃凍結の利用を検討してきた。凍結感受性が低いエノキタケ(*Flammulina velutipes*)では-20℃凍結保存に耐える¹⁾が、凍結感受性の高いシイタケ(*Lentinula edodes*)²⁾においては何らかの工夫が必要であり、その方策の一つとして高濃度グルコース溶液を凍結保護液とする可能性を報告した³⁾。

本研究では、40%グルコース水溶液を用いた-20℃凍結による1か月を超える中・長期保存の検討、グルコース以外の糖溶液を凍結保護液とする可能性の検討、および凍結時における菌体円盤の寒天の寄与度合について検討を行った。

2. 実験方法

2.1 供試菌株と各種菌調製

シイタケ菌株には系統の異なる市販4菌株(ANCT-05072, 同05152, 同09005, 同12001)とコレクション3菌株(NBRC 30877, 同31107, 同31894)を用いた。これらはPDA培地で継代培養保存していたもので、各試験に供試する場合にはPDA平板培地で温度25℃・14日間前培養した後、コルクボーラで培地ごと打ち抜いた直径5mmの菌体円盤を固体種菌とした。

また、2%麦芽エキス液体培地400mlを投入したピルナーフラスコにシイタケの菌体円盤4個を接種し、120rpmで25℃・10日間攪拌培養して液体種菌を調製した。三角フラスコに2%麦芽エキス液体培地を100ml投入後、シイタケの液体種菌を10ml接種し、25℃・7日間60rpmで振とう培養することで得た直径約5mmの菌体ペレットを菌体種菌とした。

2.2 凍結保護液

10%グリセリン水溶液(コントロール)、40%グルコース水溶液、および30~50%のフルクトース水溶液・スクロース水溶液・マルトース水溶液を調製し、高圧蒸気殺菌(121℃・15分間)したものを凍結保護液とした。

2.3 pHと水分活性の測定

凍結保護液等について、pH(25℃)の測定はニッコー・ハンセン社のpH計を用い、水分活性 A_w (25℃)の測定はアイネクス社のポータブル水分活性計Pawkitを用いて行った。

2.4 凍結保存及び生存確認試験

1.5mlのエピペンドルフチューブに固体種菌または菌体種菌を各5個入れ、凍結保護液を満たした。それらを-80℃または-20℃のディープフリーザーに投入して凍結保存を行った。所定期間経過後にサンプリングを行って30℃インキュベーター内で解凍し、PDA平板培地に接種後に25℃・10日間培養することで菌糸再生状況を観察した。PDA平板培地に菌糸活着した時点を生存とし、生存率を算出した。なお、10%グリセリン水溶液、40%グルコース水溶液では最大180日間凍結、30~50%のフルクトース水溶液・スクロース水溶液・マルトース水溶液では最大42日間凍結を行った。

3. 結果・考察

3.1 40%グルコース水溶液を用いた-20℃凍結による中・長期保存の検討

全供試菌株の固体種菌を供試し、10%グリセリン水溶液または40%グルコース水溶液を用いて温度-20℃で凍結保存した場合の生存率を観察した。コントロールの10%グリセリン水溶液では生存率の低下が早い傾向がみられ、7日間の凍結で生存率が0%となった菌株も観察された。40%グルコース水溶液ではシイタケ菌株の生存が良好であり、ANCT 4 菌株の生存率の変化を第1図に示すが、28~30日間に渡って生存率100%が維持された。NBRC 3 菌株もほぼ同様の結果であった。4週間程度の凍結でシイタケ菌株の生存率が低下する原因としては、凍結時の細胞内等に生じる氷晶形成による力学的ストレス⁴⁾が考えられる。

3.2 グルコース以外の糖溶液を凍結保護液とする可能性の検討

凍結保護液としてグルコース水溶液以外の糖水溶液を用いることで、シイタケ菌株の生存を長期化させる可能性を検討した。単糖類としてフルクトース、二糖類としてスクロースとマルトースを用いて30~50%の各水溶液を調製し、温度-20℃で供試菌株の固体種菌を凍結保存した。供試菌株により生存率に差異はあるが、凍結感受性が高いANCT-05072の生存率を第2図に示す。フルクトース水溶液での生存率は低く、スクロース水溶液とマルトース水溶液の順に生存率がより長期間維持される傾向がみられた。また、いずれも高濃度の水溶液ほど生存率は良好であった。40%グルコース水溶液での生存率が28日間以降に低下したのに対し、40~50%マルトース水溶液では42日間でも生存率100%が維持された。

以上の結果から、40~50%の高濃度糖水溶液において単糖類よりは二糖類で、フルクトース構成単位よりはグルコース構成単位を持つ糖でシイタケ菌株の保護作用が高い傾向が読み取れる。温度25℃での各凍結保護液のpHと水分活性(A_w)を第1表に示すように、pHについてはグリセリン、スクロース、マルトース、フルクトースの順に値が低下する傾向がみられる。A_wに注目すると50%マルトース水溶液の0.94と40%グルコース水溶液の0.92でシイタケ菌株の生存率が高いものの、30~50%フルクトース水溶液の0.95~0.90で生存率が低い結果となっており、明確な規則性がみられない。今後、凍結保護液の物性とシイタケ菌株の生存の関係を精査したい。

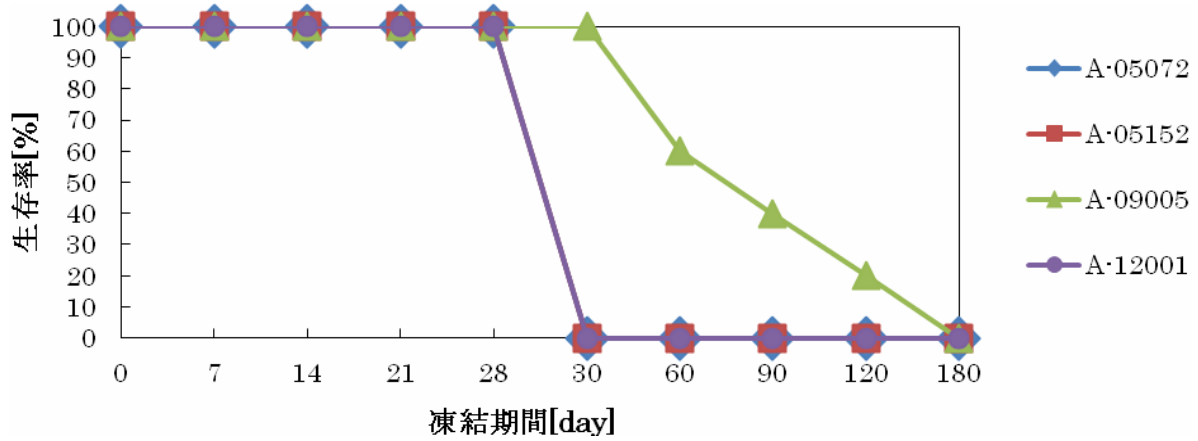
3.3 凍結保存時における菌体円盤の寒天の寄与度合

-80℃と-20℃、ANCT 4 菌株及び40%グルコース水溶液を用い、凍結させる種菌の寒天培地の有無がシイタケ菌株の生存に及ぼす影響を観察した。-20℃凍結での固体種菌と菌体種菌の生存率を第3図に示す。4菌株共に凍結当初から寒天培地の無い菌体種菌の生存率が低いのに対し、固体種菌では生存率100%が28日間維持された。また、-80℃と-20℃での菌体種菌の生存率を第4図に示す。菌株により凍結感受性の違いがあるが、特にANCT-09005に注目すると-80℃凍結では菌体種菌の生存率が42日間に渡って100%であるのに対し、-20℃凍結では100%に達したことがなかった。固体種菌の寒天培地がシイタケの菌糸体を-20℃凍結から保護していると考えられる。

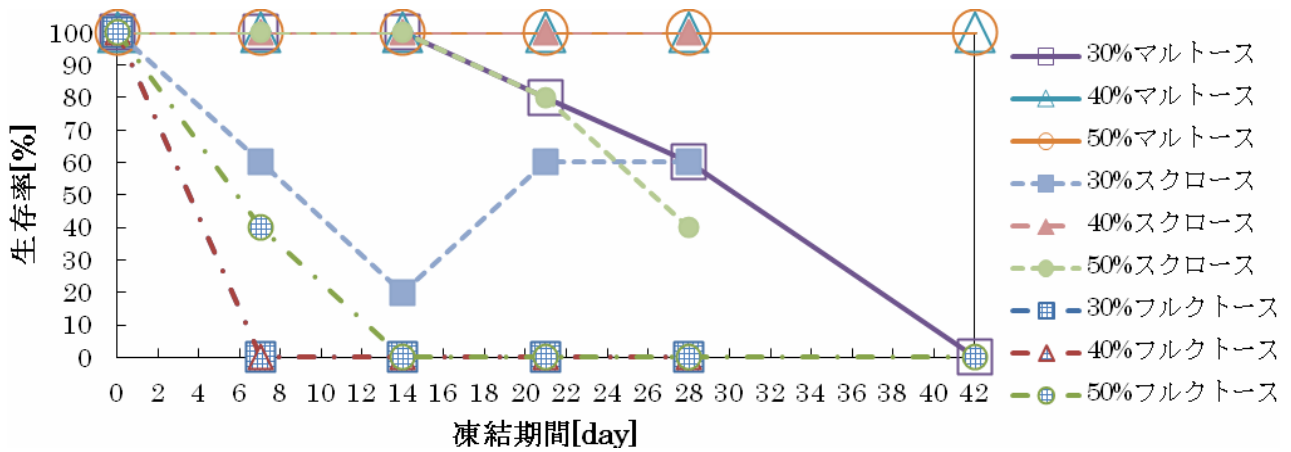
以上から、菌株の凍結保存に-20℃前後の温度を用いる場合、凍結保護液に加えて種菌の状態(寒天培地の有無)が大きく影響することが明らかになった。

引用文献

- 1) 富樫 巖, 幸田有以: 純水と-20℃を用いたエノキタケ菌株の凍結保存の試み, *NEW Food Industry*, 55(1): 6-11(2013)
- 2) Ohmasa M, Abe Y, Babasaki K, Hiraide M, Okabe K: Preservation of cultures of mushrooms by freezing, *Transactions of the Mycological Society of Japan*, 33(4), 467-479(1992)
- 3) 細川芽衣, 富樫 巖: -20℃とグルコース水溶液を用いたシイタケの菌株保存, 化学系学協会北海道支部 2014年冬季研究発表会, 札幌市, プログラム集, v(2014)
- 4) 白樫 了: 糖類(トレハロース)の細胞内凍結抑制?, *生産研究*, 55(2), 150-152(2003)



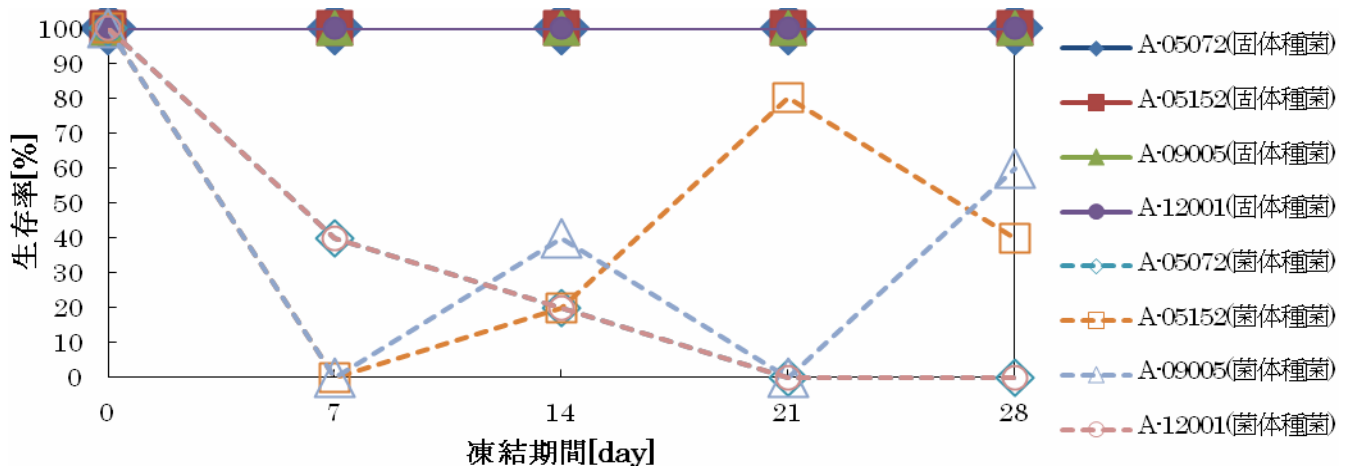
第1図 40%グルコース水溶液を凍結保護液とした-20℃凍結保存における生存率変化 (ANCT 菌株, 固体種菌使用)



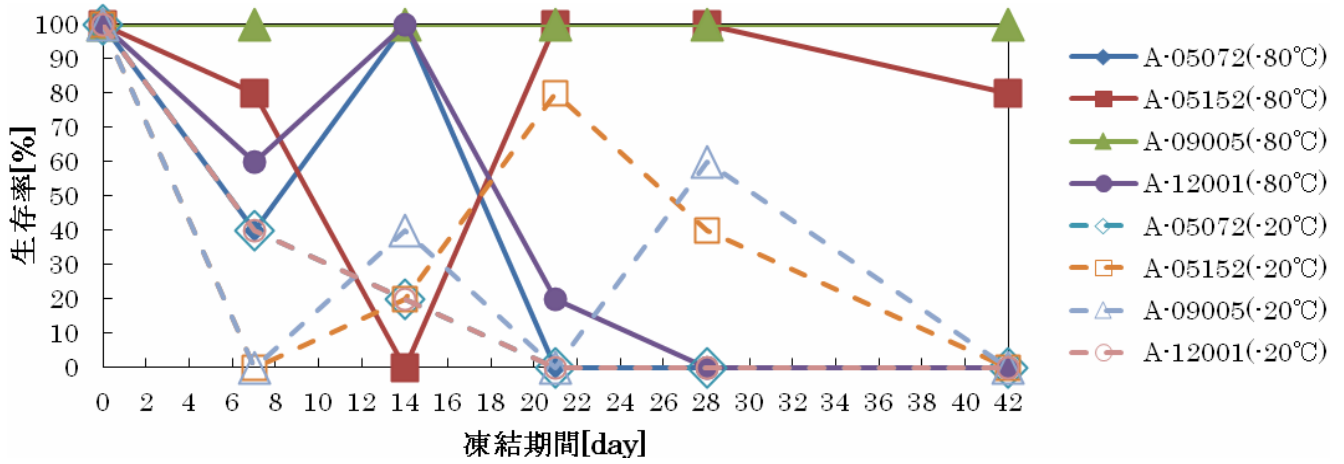
第2図 各種糖水溶液を凍結保護液とした固体種菌の生存率変化(ANCT-05072, -20℃)

第1表 25℃での各凍結保護液の pH と水分活性(Aw)

凍結保護液	pH	Aw
10%グリセリン	5.3	0.98
40%グルコース	4.0	0.92
30%スクロース	4.7	0.95
40%スクロース	4.7	0.96
50%スクロース	4.7	0.91
30%マルトース	3.5	0.96
40%マルトース	3.3	0.96
50%マルトース	2.7	0.94
30%フルクトース	3.1	0.95
40%フルクトース	3.0	0.92
50%フルクトース	2.9	0.90



第3図 -20°C凍結保存における固体種菌と菌体種菌の生存率変化
(ANCT 菌株, 40%グルコース水溶液使用)



第4図 -80°Cと-20°C凍結保存における菌体種菌の生存率変化
(ANCT 菌株, 40%グルコース水溶液使用)

木材保存に用いるバイオリジカルコントロール微生物と担持材料の相互作用の解析

○ 渡部智弘(旭川高専), 高橋 剛(釧路高専), 富樫 巖(旭川高専)

1. 緒言

木材は木材腐朽菌等による生物劣化を受けることがあり、その結果本来の強度を失う。この対策の一つとして、木材に防腐剤を注入・塗布する方法が確立されている。しかし、化学物質過敏症被害が社会問題化したこと等から防腐剤を用いない脱ケミカルの木材保存技術のニーズが生まれた。そこで演者らは、菌寄生菌の *Trichoderma* spp.(トリコデルマ属菌)の利用を検討し、木炭粉砕物に固定化したトリコデルマ属菌の木材保存性能の高さを明らかにした¹⁾。バイオリジカルコントロールの特徴として、防腐剤利用と比べて守備範囲が狭いことが指摘^{2,3)}されており、種々の防除対象微生物に効果を示す拮抗微生物の入手は難しい。加えて、固定化トリコデルマについては担持材料によっても性能に差が生じる⁴⁾。

本研究では、トリコデルマ属菌以外の菌寄生菌である *Gliocladium virens*⁵⁾の利用可能性の検討、固定化微生物と担持材料の組み合わせの検討、および菌寄生菌が木材に与える影響評価を行うことで、木材保存における固定化微生物の菌種の拡大や実用化に向けたデータの収集・蓄積を行った。

2. 実験方法

2.1 供試菌株

木材腐朽菌としてオオウズラタケ(*Fomitopsis palustris*) MAFF 420001(FFPRI 0509)とカワラタケ(*Trametes versicolor*) NBRC 30340(FFPRI 1030)、および旭川高専保存菌株の ANCT-08036, 同 09001, 同 09003 を供試した。菌寄生菌として、トリコデルマ属菌は ANCT-05013 と同 05103, *G.virens* はコレクション菌株の 8 菌株(NBRC 6355, 同 8349, 同 8350, 同 9166, 同 9167, 同 9168, 同 9169, 同 31959)を供試した。以上の供試菌株はいずれも PDA 培地で継代培養保存されていたものである。

2.2 菌寄生菌の培養特性の評価

菌寄生菌を PDA 培地(直径 9cm, 以下同様)に接種し、温度 15~35℃で培養することで温度特性を測定した。0.1M HCl または 0.1M NaOH で pH を調整した PDA 培地に菌寄生菌を接種して 25℃で培養することで pH 特性を測定した。いずれも繰り返し数は 3 とした。

2.3 固定化微生物の調製

高圧蒸気殺菌した 2% 麦芽エキス培地をピルナーフラスコに入れ、菌寄生菌の種菌を接種し、25℃で 2 日間攪拌培養したものを液体種菌とした。

木炭粉砕物(pH=9.3, 土壌改良材)あるいは熱処理木材粉砕物 (pH=4.3, バイクウッド™)に 2% 麦芽エキス水溶液を所定量加えて高圧蒸気殺菌を行った後、上述の液体種菌を接種して 25℃で 2 週間培養したものを固定化微生物(水分: 約 80%あるいは約 50%)とした。

2.4 菌寄生菌の木材腐朽菌に対する攻撃性の評価

PD 濃度を 1/1 と 1/2 に調整した各 PDA 平板培地(寒天濃度=1.5%)を作成し、菌寄生菌とオオウズラタケ(PD 濃度=1/1 使用)あるいは菌寄生菌カワラタケ(PD 濃度=1/2 使用)を 25℃で 10 日間対峙培養することで、

木材腐朽菌に対する攻撃性を評価した。繰り返し数は3とした。

2.5 固定化微生物の木材腐朽菌に対する攻撃性の評価

オオウズラタケあるいはカワラタケのコロニーの上に固定化微生物を載せ、25°Cで20日間培養した。培養後に固定化微生物を除去して木材腐朽菌の菌叢の一部を切り出し、菌寄生菌の菌糸成長を阻止するために0.02%となるようにベンレートを追加したPDA培地に接種して25°Cで7日間培養した。木材腐朽菌の生育状況から固定化微生物の木材腐朽菌に対する攻撃性を評価した。繰り返し数は3とした。

2.6 固定化微生物の木材保存性能評価

PDA培地で培養した木材腐朽菌のコロニー上に木片(4×5×25mm, シラカンバあるいはスギ)を暴露し(コントロール), その上を固定化微生物で覆った後に25°Cで8~12週間培養した。木片の質量減少率を測定することで木材保存性能を評価した。木片の繰り返し数は9~12とした。

2.7 菌寄生菌の木材に及ぼす影響評価

PDA培地で培養した菌寄生菌にシラカンバ木片(4×5×15mm)を25°Cで12週間暴露し、木片の質量減少率と軸圧縮強度(最大応力とヤング率)の変化を測定することで、菌寄生菌が木片に及ぼす影響を評価した。木片の繰り返し数は9とした。

3. 結果と考察

3.1 木炭固定化微生物のシラカンバ木片の木材保存性能

菌糸成長速度の高さや、木材腐朽菌に対する攻撃性の強さから、トリコデルマ属菌2菌株(ANCT-05013, 同05103)と*G.virens* NBRC 31959を選抜した。なお、PD濃度の使い分けは木材腐朽菌がより有利な条件とした⁶⁾。これら3菌株を木炭粉末物に固定化した固定化微生物の木材保存性能を評価し、得られた結果を表に示す。

表 木炭固定化微生物の木材保存性能(25°C・12週間暴露)

木材腐朽菌 試験区	シラカンバ木片質量減少率 [%]				
	コレクション菌株		旭川高専保存菌株		
	オオウズラタケ ^{a)}	カワラタケ ^{a)}	ANCT-08036 ^{a)}	ANCT-09001 ^{a)}	ANCT-09003 ^{b)}
コントロール区	76.7±1.27 ^{c)}	80.7±10.01	68.5±12.08	11.6±18.03	94.5±1.57
ANCT-05013区 ^{d)}	4.0±1.43	4.6±1.62	5.3±1.40	1.7±0.57	4.0±1.52
ANCT-05103区 ^{d)}	2.8±1.14	4.5±2.52	1.7±0.48	1.7±0.74	6.4±2.46
NBRC 31959区 ^{e)}	86.3±0.73	16.2±9.22	2.2±0.58	3.4±0.38	6.6±2.78

注) a): 平均値±標準偏差, b): トリコデルマ属菌, c): *G.virens*, 繰り返し数: 12

コントロール区ではANCT-09001を除き木片の質量減少率が69~95%と大きな値を示したが、トリコデルマ属菌を用いた試験区では木片の質量減少率は2~6%程度に抑えられた。一方、NBRC 31959では、旭川高専保存菌株の木材腐朽に対しては2~7%の質量減少率に抑えることができたものの、オオウズラタケとカワラタケで16~86%の質量減少率となり、木材腐朽を十分に抑制することができなかった。このことから、木材保存に用いる菌寄生菌としてはトリコデルマ属菌(ANCT-05013, 同05103)が優れることが示された。

3.2 木炭固定化トリコデルマのスギ木片の木材保存性能

供試木片をシラカンバからスギに代え、3.1と同様にオオウズラタケとカワラタケに対する木炭固定化トリコデルマの木材保存性能を評価した。コントロールのスギ木片の質量減少率は45~49%となったが、固定化トリコデルマ区では質量減少が全く確認されなかった。よって、固定化トリコデルマはスギ木片の木材保存においても有効であることが分かった。なお、シラカンバ木片とスギ木片でコントロール区の質量減少率に違いが生じた原因はカンバ類とスギの耐腐朽性能の違いかと考えられる。

3.3 ベイクウッド固定化トリコデルマの木材保存性能と木炭の木材保存性能

固定化トリコデルマの担持材料をベイクウッドに代えてシラカンバ木片の木材保存性能を評価した結果、木片の質量減少率を10%以内に抑制することができなかった。木炭固定化トリコデルマでは優れた木材保存性能が確認されたことから、固定化トリコデルマに用いる担持材料としては木炭粉砕物が適すると判断される。

木炭粉砕物とベイクウッドの違いとしてはpHが挙げられる。ANCT-05013, 同05103の至適pHは5付近であることからベイクウッドのpHとほぼ一致する。しかし固定化トリコデルマに用いる担持材料としてはベイクウッドよりも木炭粉砕物が優れる。一方、2.6の固定化微生物の代わりに木炭粉砕物を用いて木材保存性能を評価した結果、木炭単体での木材保存性能が全く認められなかった。木炭固定化トリコデルマの木材保存性能は菌株と担持材料の組み合わせにより生じる相乗効果によって発現していると考えられる。

3.4 木材に対する菌寄生菌の影響

トリコデルマ属菌に暴露したシラカンバ木片の質量減少率はANCT-05013, 同05103共に1.2%となった。一方、軸圧縮強度(最大応力, ヤング率)についてはANCT-05103の場合と異なり, 同05013に暴露した同木片で10%程度の低下が生じた。トリコデルマ属菌を木材保存に用いる際には木片に与える影響が少ない方が望ましく, 供試した2菌株の中では強度低下の点からANCT-05103が優れることになる。*G. virens*に供試した木片では質量減少, 強度低下が共に生じなかった。

参考文献

- 1) 富樫 巖, 小野寺 愛, 木下 俊祐, 宮崎 貞之, 黒田 裕一, 東 真史, 阿部 和真: 担子菌による木材腐朽に対する担持材料に固定化した *Trichoderma* spp. の阻害効果. 日本菌学会会報, 52(2), 62-67 (2011)
- 2) Bruce A, King B: Decay Resistance of Wood Removed from Poles Biologically Treated with *Trichoderma*. *Holzforschung*, 45(4), 307-311 (1991)
- 3) 土居 修一, 山田 敦: *Trichoderma* による木材腐朽防止. 林産試験場報 6(2), 1-5 (1992)
- 4) 富樫 巖, 谷口 大樹, 平沢 大樹: オオウズラタケとカワラタケの木材腐朽に対する木炭に固定化した *Trichoderma* spp. の阻害効果. 日本菌学会会報, 53(2), 88-92 (2012)
- 5) Highley TL, Ricard J: Antagonism of *Trichoderma* spp. and *Gliocladium virens* against wood decay fungi. *Material u. Organismen*, 23(3), 157-169 (1988)
- 6) 富樫 巖, 宮崎 貞之: 木材腐朽菌に対するトリコデルマ属菌 59 菌株の攻撃性評価. 旭川工業高等専門学校研究報文, No.48, 44-50 (2011)
- 7) 日本木材保存協会: 木材保存学. 文教出版, 東京, pp65-67(1982)

Gymnopus sp.由来の(+)-Epogymnolactam の全合成

(北大院農) ○岡戸祐治、重富顕吾、三橋進也、生方 信

1. 研究背景

(+)-Epogymnolactam(**1**)は当研究室において、モリノケレバタケ属の一種 (*Gymnopus* sp.) から単離・構造決定された化合物であり、オートファジーの誘導活性を有する¹⁾。オートファジーは細胞内タンパク質分解機構の一つであり、飢餓対応や細胞内環境維持のほか、ガンや神経疾患などと関係しているが、一方でその詳細な生理機構については明らかにされていない。このため、オートファジー誘導物質は、細胞機能の解明及び薬剤への応用が期待出来る。(+)-Epogymnolactam は水中やメタノール中において鎖状の Keto 型(**1a**)と環状の Syn 体(**1b**)、Anti 体(**1c**)との互変異性体が存在することが確認された。しかし、優位に生成するラクタム型構造が Syn 体(**1b**)として存在するのか、Anti 体(**1c**)として存在するのかについては不明であった。本研究では(+)-epogymnolactam の立体配置の確認と、さらなる高活性オートファジー誘導体の開発を目指して、本化合物の全合成を検討した。

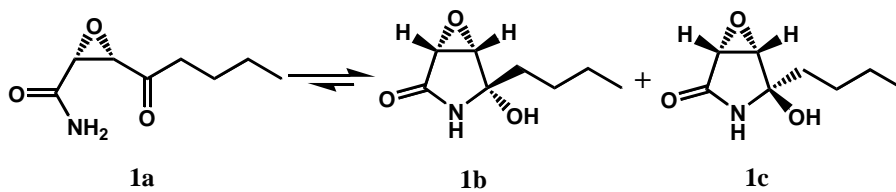
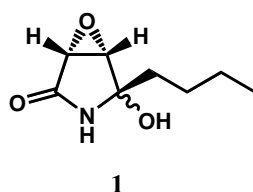
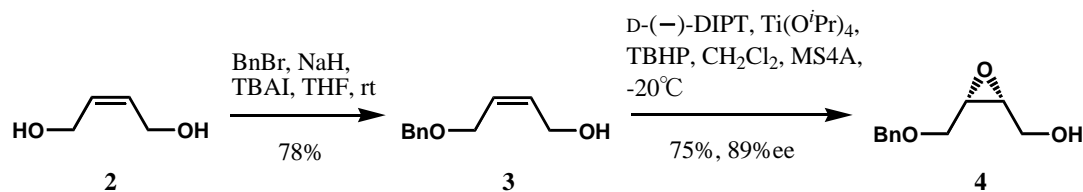


Fig.1 Structure of (+)-Epogymnolactam

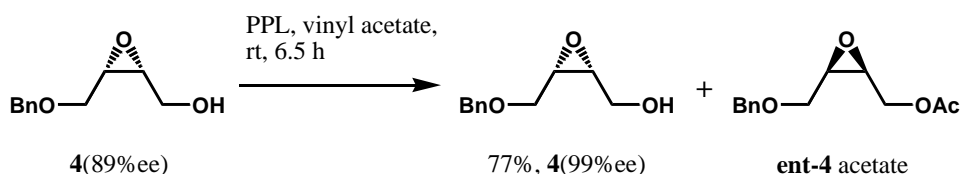
Fig.2 Tautomerization of (+)-Epogymnolactam

2. (+)-Epogymnolactam の全合成

cis-2-Buten-1,4-diol(**2**)を出発物質として、一方の水酸基をベンジル基で保護した後、シャープレスの不斉酸化を行い、89%ee のエポキシアルコール(**4**)を得た(Scheme 1)。ここで、光学純度をより高めるために porcine pancreatic lipase(PPL)を用いた光学分割を行った(Scheme 2)。PPLにより**4**の不要な異性体(**ent-4**)をアセチル化し、それを取り除くことで光学純度が99%eeの**4**を得ることに成功した。

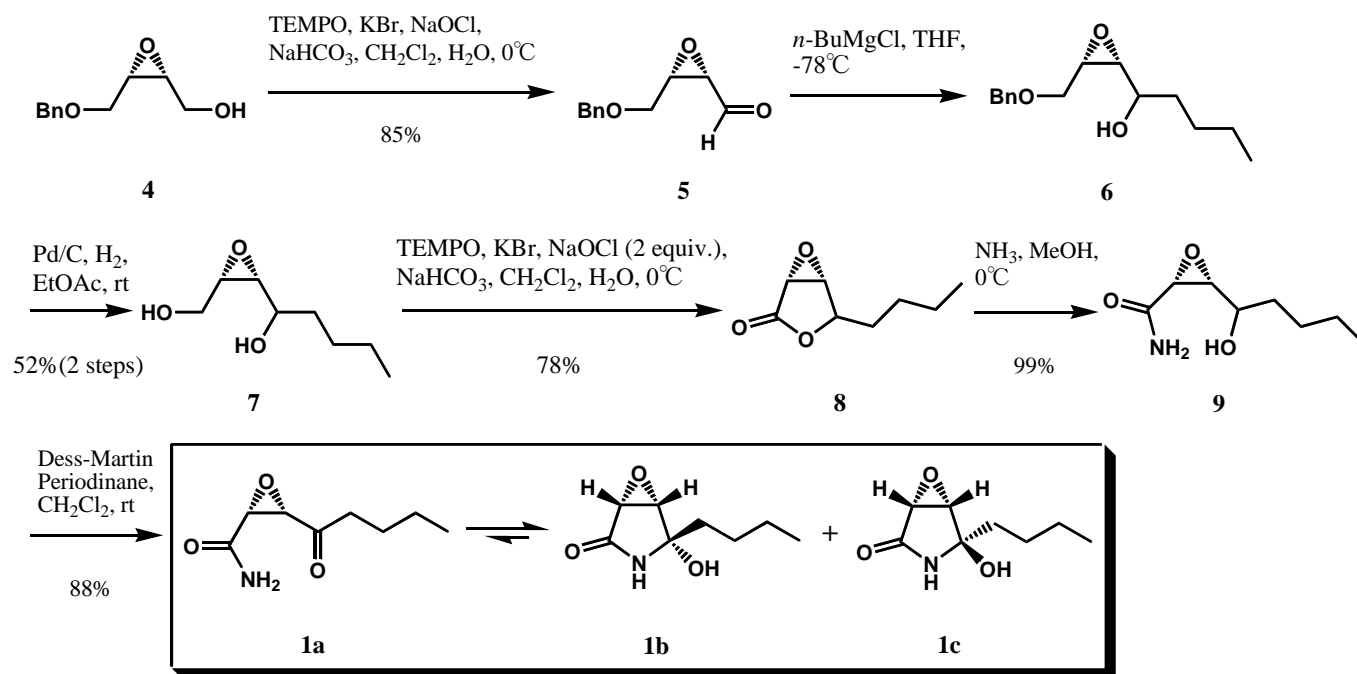


Scheme 1 Synthesis of epoxyalcohol



Scheme 2 Kinetic resolution of epoxyalcohol.

得られた高純度の光学異性体 **4** を TEMPO 酸化によりアルデヒド(**5**)へと導き、*n*-BuMgCl を用いて Bu 基の導入を行った。脱保護し得られたジオール(**7**)を、再び TEMPO 酸化によりラクトン(**8**)へと導いた。次に、**8** の加アンモニア分解によりアミド(**9**)を得た。最後に Dess-Martin 酸化を行い、(+)-epogymmolactam(**1**)の全合成を達成した。



Scheme 3 Total synthesis of (+)-Epogymmolactam

^1H 及び ^{13}C NMR において、合成品(**1**)は天然品(**1**)と良い一致を示した。また、ラクタム型の2つの異性体のうち、優位に生成する異性体の NOESY スペクトルにおいて、C-2 位と C-5 位のプロトン間に弱い正の NOE 相関がみられた。このことから、優位に生成する異性体は *Syn* 体(**1b**)であることが示唆された。

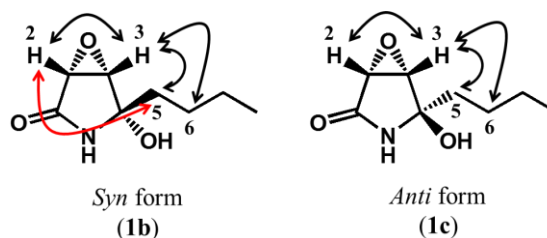


Fig. 3 NOEs detected in **1b** and **1c**.

3. 参考文献

1) Shinya Mitsuhashi, Chihaya Shindo, Kengo Shigetomi, Toshizumi Miyamoto and Makoto Ubukata, *Phytochemistry*, 2014, in press.

バイオエタノール生産に有用な両親媒性リグニン誘導体

(北大院農) ○山本陽子、Ningning Cheng、幸田圭一、浦木康光、

(東大院農生命) 五十嵐圭日子

1. 緒言

木質バイオマスは地球上に最も豊富に存在し、化石資源に替わる再生可能かつ食料と競合しない資源として期待されている。特に、間伐材や林地残材などの未利用木質バイオマスを原料とした、エタノール、アセトン、ブタノールといった液体燃料としても利用できるプラットフォーム化合物の製造が注目されている。これらの化合物の製造では、糖化と発酵が基本的な工程であり、糖化法として、酸糖化法と酵素糖化法が提案されている。環境負荷を考慮すると、温和な条件で操業できる酵素糖化法が好ましいと思われるが、主要な糖化酵素であるセルラーゼの価格が高価であることに加え、触媒であるはずの酵素が繰り返し利用できないといった問題点がある。この問題の解決策の一つとして、分子量 4000 以上で酵素糖化率を向上させるポリエチレングリコール(PEG)¹⁾など、様々な糖化助剤が提案されている。我々も界面活性性能を持つ両親媒性リグニン誘導体が酵素糖化率を向上させるだけでなく、糖化後も酵素の活性を高く維持することを発見して、糖化に有用な助剤であることを報告している^{2,3)}。

この糖化後の高い酵素活性維持能力は、繰り返し酵素を使用できることを示唆するばかりでなく⁴⁾、少ない酵素量で基質の連続投入による糖化も可能であることも意味している。実際に、基質連続投入型同時糖化発酵実験においても、両親媒性リグニン誘導体がエタノール生産量を向上させる有用な助剤であることが確認された⁵⁾。この両親媒性リグニン誘導体の効果は、リグニン誘導体とセルラーゼが直接相互作用することによって発現すると仮説を立て、既に、processive 型のセルラーゼである CBH II との相互作用について本支部会でも報告した。本研究では、セルラーゼを構成する他の酵素との相互作用の解明を目的に、processive 型の CBH I 及び non-processive 型の EG I との相互作用を、表面プラズモン共鳴に基づく解析システムである Biacore を用いて検討した。さらに、より詳細な分子論的観点から相互作用に関する考察を行うために、両親媒性リグニン誘導体と種々の官能基との相互作用についても検討した。

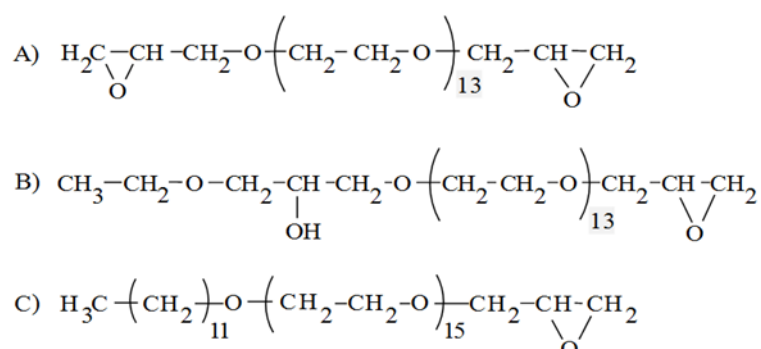


Fig.1. Chemical structure of epoxyated PEG analogues. (A), polyethylene glycol diglycidyl ether (PEGDE); (B), ethoxy-(2-hydroxy)-propoxy polyethylene glycol glycidyl ether (EPEG); (C), dodecyloxy-polyethylene glycol glycidyl ether (DOPEG)

2. 実験

2.1.両親媒性リグニン誘導体の調製

両親媒性リグニン誘導体は、常圧酢酸パルプ化法から得られたシラカンバの酢酸リグニン⁶⁾と Fig. 1 に示すグリシジル化ポリエチレングリコール(PEG)誘導体をアルカリ条件下で反応させ、限外濾過により精製して調製した。

2.2. セルラーゼの精製

市販の *Trichoderma reesei* 由来のセルラーゼ Celluclast (ノボザイムズ ジャパン株式会社製) から CBH I (Cel 7A) と EG I (Cel 7B) を精製した⁷⁾。Celluclast 酵素溶液に 20 mM Tris-HCl 緩衝液 (pH 7.3) を加えて限外濾過を行い、酵素溶液中に含まれている安定化剤などを取り除いた。その後、NaCl によりグラジエントをかけながら、DEAE-TOYOPEARL 650S を用いた陰イオン交換カラムクロマトグラフィーに供した。全ての分画面分について、*p*-ニトロフェニル-β-D-ラクトシド (*p*NPL) 活性測定⁸⁾、Bradford 法によるタンパク質定量⁹⁾および SDS-PAGE を行い、溶離した各セルラーゼ成分の同定を行った。CBH I に富む画分を、限外濾過装置を用いて 20 mM リン酸カリウム緩衝液 (pH 7.0) に置換した。その後、(NH₄)₂SO₄ によりグラジエントをかけながら、疎水カラム Phenyl-TOYOPEARL 650S を用いて更に分画を行い、*p*NPL 活性が高くタンパク量が多い画分を集め、何度か脱イオン水で洗浄した後、凍結乾燥を経て CBH I を単離した。精製純度は、SDS-PAGE で評価した。

同様に、陰イオン交換クロマトグラフィーおよび疎水クロマトグラフィーにより、EG I を単離した。この単離は東京大学森林化学研究室で行った。

2.3. センサーチップ CM5 へのセルラーゼの固定

Fig. 2 に示すように、CBH I はサーフェスチオールカップリング法により、EG I はアミンカップリング法によりカルボキシメチルデキストランを表面に持つセンサーチップ CM5 (GE ヘルスケア・ジャパン株式会社製) に固定した。全ての反応反応は、10 mM HEPES 緩衝液 (pH 7.4) 中で行った。

水酸基表面を持つ CM5 の作製は、Fig. 2 中の化合物 8 の活性エステル化したカルボキシ基にエタノールアミンを反応させて調製した。アミノ基表面は、化合物 4 のチオール基に 2-(2-pyridinyl-dithio)-ethaneamine (PDEA) を反応させて調製した。

2.4. 酵素及び各種官能基への両親媒性リグニンの吸脱着量測定

リグニン誘導体の酵素および各種官能基への吸脱着量測定には、Biacore-X を使用した。50 mM クエン酸ナトリウム緩衝液 (pH 4.8) をランニング緩衝液として用い、リグニン誘導体などのアナライトと呼ぶ測定試料溶液を流速 20 μL/min で 5 分間、37 °C で注入した。その後、ランニング緩衝液のみを流入して脱着現象を観測した。また、この測定では、リグニン誘導体の他に、PEG 4000 もアナライトとして用いた。

3. 結果と考察

3.1. CBH I と EG I のセンサーチップ CM5 への固定

アミンカップリング法¹⁰⁾は、センサーチップ CM5 表面の負に帯電したカルボキシ基と正に帯電したタンパク質との静電気力を利用して局所的なタンパク質濃度の向上を図り、有機合成反応を効率的に行う固定方法である。CBH I は EG I よりも等電点が低くアミンカップリング法による固定が困難であった。そこで、等電点に依存しないサーフェスチオールカップリング法¹¹⁾を用いたところ、23394 RU (Resonance Unit; 1 RU=1 pg/mm²) の CBH I を固定することができた。また、アミンカップリング法により、2261 RU の EG I を固定することができた。

3.2. アナライトと酵素および各種官能基との相互作用

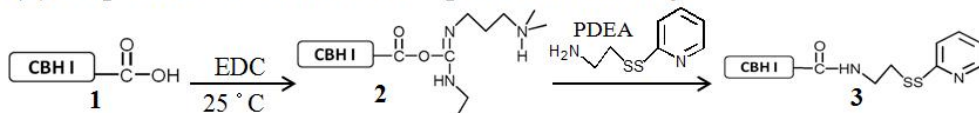
両親媒性リグニン誘導体および PEG 4000 の CBH I および EG I への吸脱着を表すセンサーグラムを Fig. 3、Fig. 4 に示す。いずれの両親媒性リグニン誘導体も、時間依存的に CBH I への吸着量が増加した。このような吸着挙動を示すセンサーグラムは、CBH I と両親媒性リグニン誘導体が強く相互作用していることを示してい

る。中でも、DOPEG-ALは吸着量が多く、他の誘導体と同じ濃度範囲では正確な測定が困難であったために1/10の濃度範囲に希釈して測定を行っても、他の誘導体より大きな吸着量を示した。これらの結果は、我々が既に報告しているCBH IIの吸脱着と同様な傾向であった。CBHへの吸着とは対照的に、両親媒性リグニン誘導体のEG Iへの吸着は弱く、CBH Iにおいて観測されたような強い相互作用は見られなかった。トンネル型の触媒ドメインを持つprocessive型のセルラーゼであるCBHと、基質に対して開いた構造の触媒ドメインを持つnon-processive型のセルラーゼであるEGの分子構造の違いが、両親媒性リグニン誘導体との相互作用の差異を生じさせていると考えられる。

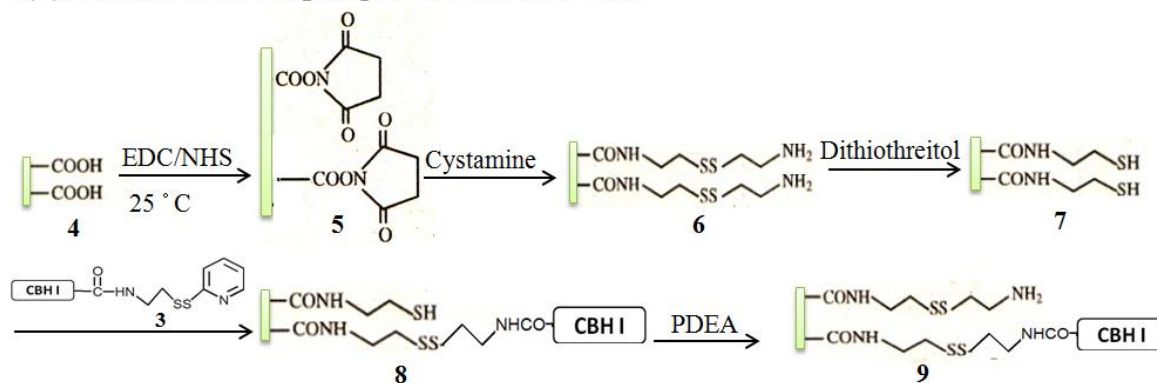
一方、両親媒性リグニン誘導体とは異なり疎水性領域を持たないが、セルラーゼの酵素糖化を向上させると報告されているPEG 4000¹⁾は、CBH IおよびEG Iへの物理吸着は非常に弱かった。以上の結果から、CBHへの吸着反応には、両親媒性リグニン誘導体の疎水性領域が関わっていることが示唆された。この結果より、両親媒性リグニン誘導体はCBHに直接吸着することで糖化率向上と酵素の残存活性維持に寄与すること、また、PEG 4000はリグニン誘導体とは全く異なる作用機構で糖化率向上に寄与することが明確になった。

種々の官能基表面への吸脱着量測定において、両親媒性リグニン誘導体は塩基性官能基表面によく吸着し、強く相互作用することが分かった。一方、PEG 4000ほどの官能基表面にもあまり吸着しなかった。この結果から、両親媒性リグニン誘導体はpH 4.8の環境で特定の官能基表面を好み、CBHへの吸着にも親水性官能基との相互作用が関与していることが示唆された。

(a) Preparation of CBH I bearing disulfide moiety



(b) Surface thiol coupling of CBH I onto CM5



(c) Amine coupling of EG I onto CM5

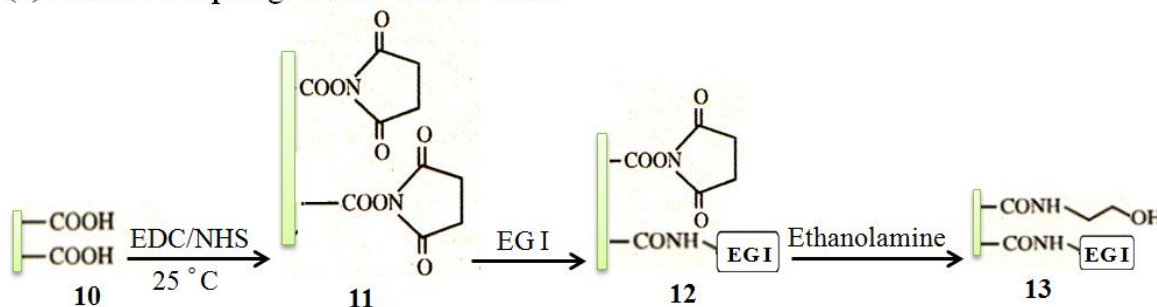


Fig. 2. Immobilization of CBH I and EG I onto CM5.

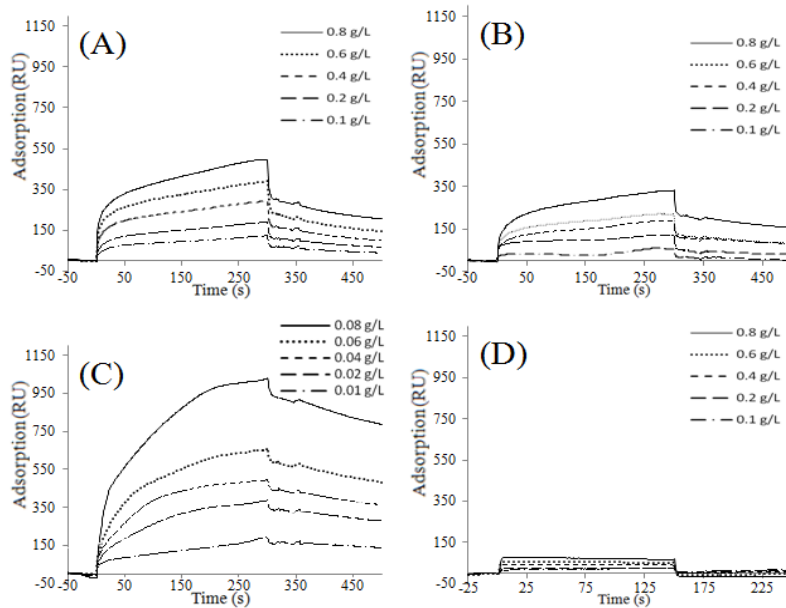


Fig. 3. Sensorgrams showing the interaction between CBH I immobilized on a CM5 sensor chip and PEGDE-AL (A), EPEG-AL (B), DOPEG-AL (C), and PEG 4000 (D).

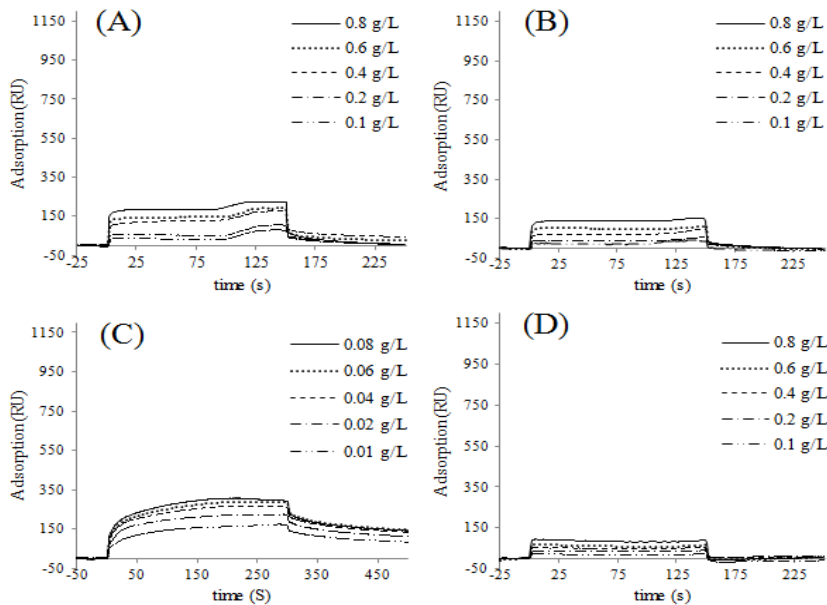


Fig. 4. Sensorgrams showing the interaction between EG I immobilized on a CM5 sensor chip and PEGDE-AL (A), EPEG-AL (B), DOPEG-AL (C), and PEG 4000 (D).

(参考文献)

1. Borjesson, J. et al. *Enzyme Microb. Technol.* **2007**, *40*, 754-762.
2. Uraki, Y. et al. *J. Wood Sci.* **2001**, *47* (4), 301-307.
3. Winarni, I. et al. *BioResources.* **2013**, *8* (2), 2195-2208.
4. Winarni, I. et al. *J. Wood Chem. Technol.* **2014**, *34*(3), 157-168.
5. Cheng, C. et al. *Bioresour. Technol.* **2014**, *173*, 104-109.
6. Uraki, Y. et al. *Jpn. TAPPI J.* **1991**, *45*(9), 1018-1024.
7. Gruen, L. C. *Eur. J. Biochem.* **1993**, *217*, 319-325.
8. Deshpande, M. V. et al. *Anal. Biochem.* **1984**, *138*, 481-487.
9. Bradford, M. M. *Anal. Biochem.* **1976**, *72*, 248-254.
10. Suurnäkki, A. et al. *Cellulose.* **2000**, *7*, 189-209.
11. Arnell, R. et al. *Anal. Chem.* **2006**, *78*(5): 1682-1689.

金属担持バイオマスを出発原料とする 電気二重層キャパシタ用炭素の製造

(北見工業大学) ○百崎俊幸、鈴木京子、鈴木勉

1. 緒言

カラマツ(LW)に鉄(Fe)塩を水溶液含浸で添加した後に500°C炭化するると図1のようにFeナノ粒子が超高分散した木炭が生成し、引き続き700-800°CでKOH賦活すると細孔構造が発達して市販活性炭を凌ぐ性能を発揮する電気二重層キャパシタ(EDLC)電極用炭素が得られる¹⁾。この賦活炭の電極性能(重量当たりのキャパシタンス、C_g)は細孔構造と密接な関係があり、ある特定の細孔構成においてC_gが最大となる。本研究では、LWと組織構造や化学構成の異なる植物系バイオマスのヤシガラ(CS)とパルプシート(PU)を用いて鉄(Fe)と銅(Cu)を添加し、LW同様に炭化、賦活処理を行って細孔構造とC_gの関係を調査した。

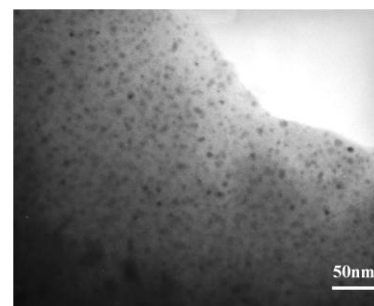


図1 LWFe500°C炭のSTEM-TE像

2. 実験方法

原炭の調製と賦活：CS、PU粉末(直径0.18mm以下)にFe(NO₃)₃・9H₂O、Cu(NO₃)₂・3H₂Oを金属として5wt%となるように水溶液含浸で添加し、N₂気流中で500°C・2h炭化した。これらの原炭に4倍量のKOHを加え、N₂気流中750と800°Cで処理した。保持時間は30min、45min、1hとした。**後処理**：得られた賦活炭は、金属除去のための1M HNO₃に室温で24h攪拌、浸漬した後水洗した。得られた賦活炭は、Cu750A、Fe800A等と表した。**性状分析**：細孔構造は、-196°Cの窒素吸脱着等温線を測定し、BET表面積(S_{BET})、ミクロ孔体積(V_{HK})、2-4nmのメソ孔体積(V₂₋₄)、全細孔体積(V_t)等を計算した。炭素と金属の結晶性は、X線回折で調べた。**電極性能**：賦活炭、アセチレンブラック、PTFEを90:5:5の重量割合で混合、製膜し、1M H₂SO₄を電解液とする二極式セルを組み立て、定電流充電法により充放電曲線を測定してC_gを求めた。

3. 結果と考察

図2にCS、PUのFe、Cu担持500°C木炭(左)と800°C賦活炭(右)のXRDプロファイルを生炭のそれらと比較して示した。左図から、いずれのFe担持炭でも鉄は酸化物ナノ粒子として高分散するが、Cu担持炭中のCu粒子はFeより粒子径が大きく、LWでは主に金属であったが、CSとPUでは金属と酸化物が混在していることが分かった。また、右図は800°C賦活後のFe担持炭にはシェルカーボンがPU>CS>LWで生成し、CSではFe残留量が多いこと、Cu担持炭ではシェルカーボンは生成せず、PUでは特に残留Cuが多いことを示している。従って、原料によって500°C炭、賦活炭ともに炭素だけでなく金属種の存在形態が異なることが明らかである。図3に、賦活条件を変えて調製した種々の細孔構造を持つ賦活炭のV_tに対するS_{BET}、V_{HK}、V₂₋₄および電流密度25.5mA/cm²におけるC_gをプロットした。CS炭、PU炭共にLW炭に十分匹敵する性能の電極炭素を与えたが、V_tとS_{BET}、V_{HK}、V₂₋₄の関係はLWとは異なっていた。すなわち、CS炭では細孔体積の分布は比較的広いが、S_{BET}はLW炭ほど発達せず、C_gとの間には明確な相関性は見られなかった。PU炭では、同条件で賦活処理したLW炭やCS炭に比べて細孔が発達せず、S_{BET}や細孔体積の分布は狭かったが、V_tとC_gとの関係はLW炭ほどではないが、かなり良好で、V_t≒1.5cm³/gでC_gが最大となった。LW炭ではV_tが1.65cm³/g付近でS_{BET}、V_{HK}、V₂₋₄との直線勾配が変化し、その変曲点でC_gが最大

となり、細孔構造と電極性能の関係が CS、PU 両炭に比べてより明瞭となるのは、残留金属が少ないためと考えられる。逆に言えば、CS 炭や PU 炭では LW 炭に比べて C_g 値にバラツキが大きいことから支持されるように、電解液分子の挙動に影響を与える残留金属量が多いためと推測される。CS、PU の電極性能が LW ほど細孔構造の影響を受けないという事実は、前 2 者の電極炭素転換適性は必ずしも低いとは言えないが、細孔構造を制御して電極性能を改善するという観点では木材には及ばないことを明示する。

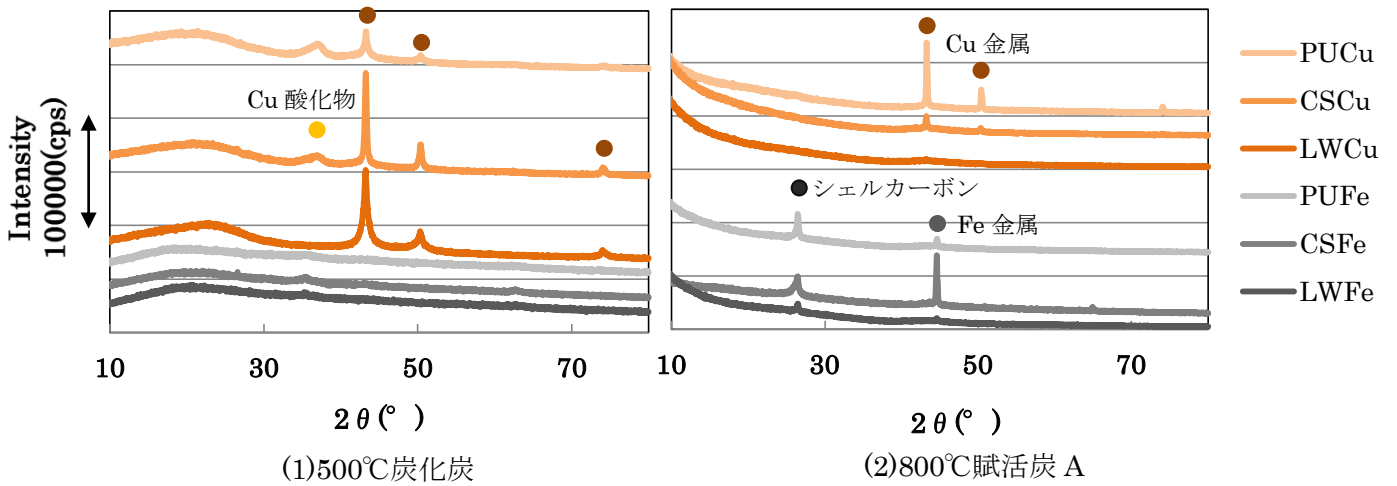


図 2 金属 5%担持した各試料炭の XRD プロファイル

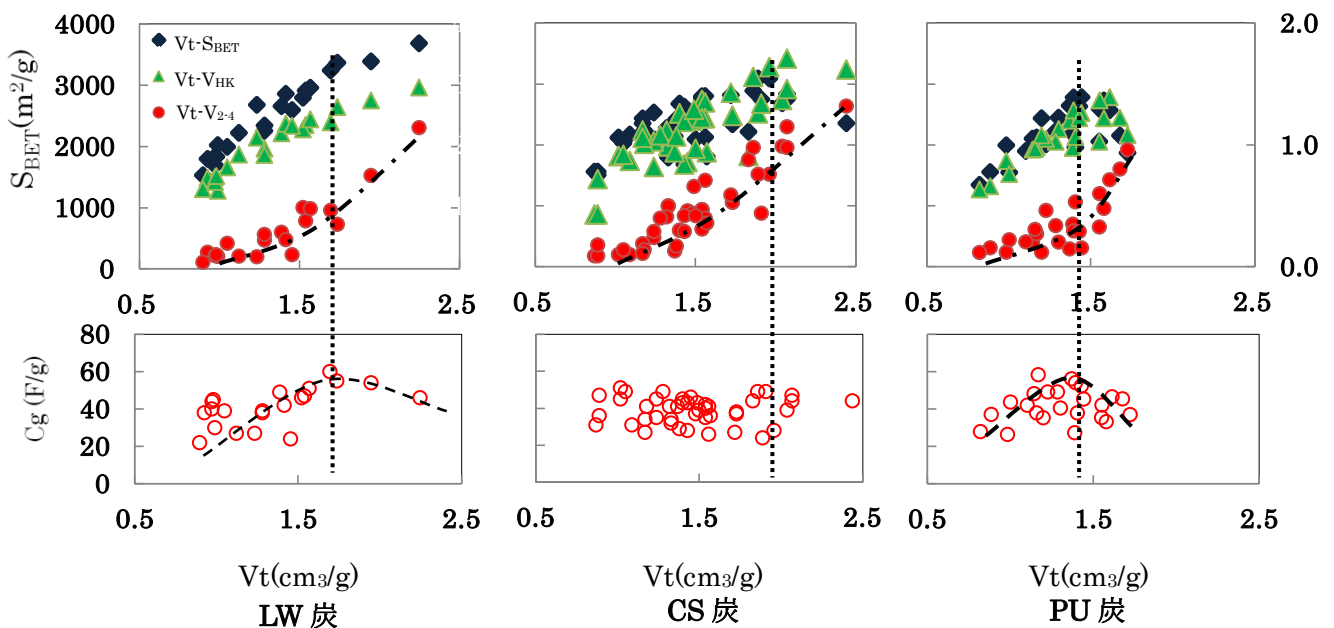


図 3 各賦活性炭の細孔構造、 C_g と V_t の関係

4. 参考文献

- 1) 鈴木 勉, ケミカルエンジニアリング, 59(9), 663-670 (2013).

木材チップ製造工程のコストおよび環境影響評価

(東大院・新領域) ○海邊 健二、大友 順一郎
(JST 低炭素社会戦略センター) 湯本 道明、山田 興一

1. 緒言

木質バイオマスは、日本の一次エネルギー消費量(20 EJ)の約2倍の賦存量を有し¹⁾、豊富かつ多くの地域で利用可能なエネルギー資源として、その利用に注目が集まっている^{2)~5)}。そのような背景のもと、再生可能エネルギーの固定価格買い取り制度をはじめとした我が国の政策的な後押しによって、燃料用木材チップの需要が急速に増加している。未利用の木質バイオマスである林地残材に由来する木材チップは、収集・運搬コストが高い上、含水率が高いこと等から化石燃料に比べ経済性が低い⁴⁾とされ、現状では林地残材起源の利用率は数%に留まっている。

これまで木質バイオマスを燃料として利用する場合のコストの検討は数多く報告されているが、伐採から搬出までの林業生産の各プロセスを対象とした現状のコスト分析や合理化研究に留まっている^{6)~10)}。またコストと並んで重要な評価指標であるエネルギー収支や、二酸化炭素排出量削減効果などの環境影響の評価についてもそれぞれ検討例^{11) 12)}はあるが、コストと同時に検討した例は少ない。

本研究では、木質バイオマスが豊富にある農山村地域を対象に、森林生産からエネルギー利用までの各プロセスにおける経済性及び環境性を把握しながら、高効率化・低コスト化の鍵となる技術の課題抽出し、汎用性のある自立分散型の低炭素社会モデルを構築する。

本稿では、木材チップの製造プロセスに焦点を当て、様々な規模や条件等に対応できる形でプロセス毎製造コスト及びエネルギー収支や二酸化炭素排出量の削減効果を積み上げて算出し、その製造コストとエネルギー消費や環境性を概観した。また軽油や灯油等の化石燃料や木質ペレットとの優位性について検討を行い、改善すべき課題の抽出を図った。

表1 木材チップの製造構成

製造工程	詳細	使用機器	
搬入原料処理	搬入原料処理	トラックによる搬入	11tトラック
	トラックスケール(計量)	トラックスケールによる原料を積んだ状態で計量	トラックスケール
	荷降ろし	ダンブアップによる荷降ろし	11tトラック
	風袋計量		トラックスケール
	搬入物の整理・積上げ	ホイールローダあるいはグラブによる搬入物の積上げ	ホイールローダ グラブ
	含水率測定	含水率計による含水率測定	含水率計 チェーンソー
	天然乾燥/切戻し	ホイールローダあるいはグラブによる搬入物の切戻し	ホイールローダ グラブ
	移動	原料置場からチップパー付近の仮置き場へ移動	11tトラック
	前処理	チップパー規格外の原料をチェーンソーで切断	チェーンソー
	破碎(投入)	グラブによるチップパーへの投入	グラブ
破碎	破碎	チップパーによる粉碎	チップパー
	選別	ロータリースクリーンによる選別	ロータリースクリーン
	集積	製品保管置場にベルトコンベアで集積	ホイールローダ
	含水率測定	含水率計による含水率測定	含水率計
製品搬出処理	風袋計量	トラックスケールによる空の状態での計量	トラックスケール
	積載	ホイールローダでトラックに積載	ホイールローダ
	トラックスケール(計量)	トラックスケールによる製品を積んだ状態で計量	トラックスケール
	含水率測定	含水率計による含水率測定	含水率計
	製品搬出	トラックにて製品搬出	11tトラック

2. 方法

分析対象として、北海道中部にある人口約3500人の自治体における木材チップ製造をケーススタディとして用いた。

表2 エネルギー原単位について

原料・燃料種	原単位 (単位)	類型	引用
電気	9.42 MJ/kWh	製造	12)
鋼鉄	25.7 MJ/kg	製造	12)
コンクリート	0.879 MJ/kg	製造	12)
ガソリン	34.6 MJ/L	発熱量	13)
軽油	38.2 MJ/L	発熱量	13)
潤滑油	41.0 MJ/L	発熱量	12)
乗用車	115.0 GJ/t	製造	12)
金属工作機械	89.6 GJ/t	製造	12)
木材チップ(絶乾)	19.1 MJ/kg	発熱量	14)
木材チップ(Dry-base25%)	13.4 MJ/kg	発熱量	14)

2.1 チップ製造のエネルギー収支について

木材チップ製造にかかるエネルギー収支を算出した。計算の範囲は、伐採、集材、チップ製造から流通までとしプロセス毎に要したエネルギー量を積み上げて算出した。ただし、木質ペレットとのエネルギー収支比較は、製造にかかる部分のみとした。なお、機器等の燃料消費量は、事業者からの聞き取りによるもので実測値に基づく。設備・機器の修理や廃棄に要するエネルギーは計上していない。エネルギー量の計算に使用した原単位を表2に示す。

2.2 木材チップ製造コストについて

木材チップ製造にかかる製造コストを算出した。原料価格及び製品スペック、各機器の燃費及び導入費用は事業者ヒアリングを行い、燃料価格は政府統計¹⁵⁾を用いた(表3)。本稿では、木材チップの製造部分に焦点をあて、そのプロセスを表1に示した搬入原料処理、破碎、製品搬出処理の3つに分け、様々な規模や条件に対応できる形でプロセス毎に製造コストを積み上げて算出した。

項目	原単位	単位
原料価格	5.0X10 ³	円/t
製品含水率	25.0	dry-%
軽油価格	15X10	円/L
トラック燃費	1.26	km/L
ホイールローダ	5.1	L/h
グラブ	5.5	L/h
チップパー	4.4X10	L/h
ロータリースクリーン	3.3	L/h

2.3 環境影響評価について

木材チップの製造にかかる温室効果ガスである二酸化炭素の排出量を製造部分に焦点をあてて算出した。なお、算出に用いた二酸化炭素排出原単位を表4に示す。

原料・燃料種	原単位	(単位)	類型	引用
乗用車 (トラック・ホイールローダ・グラブ)	7.3	t-CO ₂ /t-product	製造	12)
金属工作機械 (チップパー・ロータリースクリーン・ベルトコンベア等)	6.0	t-CO ₂ /t-product	製造	12)
圧延鋼材	1.3	t-CO ₂ /t-product	製造	12)
コンクリート	1.1×10 ⁻¹	t-CO ₂ /t-product	発熱量	12)
軽油	1.9×10 ⁻²	t-C/GJ	発熱量	13)
電気	5.6×10 ⁻⁴	t-CO ₂ /kWh	発熱量	13)

3. 結果と考察

3.1 チップ製造のエネルギー収支について

木材チップの製造にかかる必要エネルギー量を図1に示した。本分析地における湿量基準含水率25%(半年程度の気乾含水率)の木材チップの製造に要したエネルギーは合計で4.4 × 10³ GJ、製品単位重量当たりになると2.7 GJ/tに対し、得られるエネルギーは、2.2 × 10⁴ GJ、製品単位重量当たり13.4 GJ/tであった。その結果、木材チップ製造のエネルギー収支は、全体で10.7 GJ/t、製造部分のみに焦点を当てると、11.9 GJ/tであった。また既報¹¹⁾の木質ペレットの製造のみにかかるエネルギー収支は、年間製造規模が650 tから2,000 tで15.0 GJ/t~16.3 GJ/tで、木材チップはいずれの製造規模で比較しても収支が劣る結果となった。この主な要因として、①木材チップは木質ペレットと比較して含水率が高いため、製品が持つ単位重量当たりの熱量差、②本報告の木材チップ製造工場の稼働率(導入機器は現在の木材チップの製造量と比較して大きな装置となっている)、などが挙げられる。

なお、木材チップのエネルギー収支については、今後、含水率毎の詳細な検討が必要である。

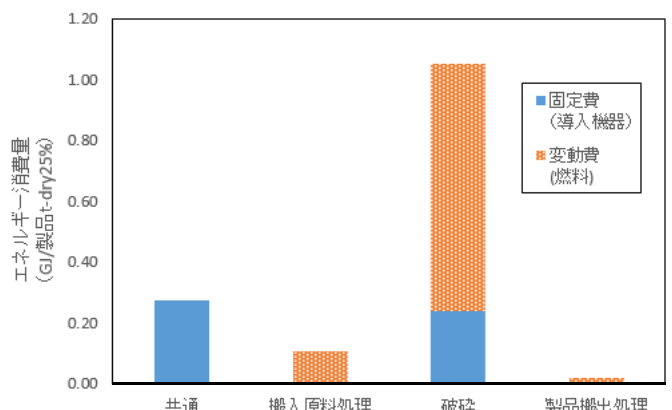


図1 木材チップ製造プロセス毎の必要エネルギー

3.2 木材チップ製造コストについて

木材チップの製造にかかるコスト構造を図2に示した。本分析地における木材チップの単位重量あたり製造コストは、22,600 円/tであった。これは平成25年度の木材チップの市場価格¹⁶⁾12,000~15,000 円/tよりも5~9割ほど高い結果となった。この要因として、本分析地では、林業振興の一環として原料を高く買い上げていることや、今後の製造規模拡大(最大製造能力2.7万トン/年)に対応できるように、現在の木材チップの製造量と比較して大きな製造能力を有する装置を導入していることなどが挙げられる。

また木材チップの熱量を基準としたコスト競争力を算出した結果を表5に示した。

木材チップの製造コストを本分析地の22,600 円/tを用いて算出すると単位熱量当たりの価格は1.82 円/MJであった。また木質ペレットの製造コストは、様々な試算^{17)~19)}がされているが、比較にあたっては本分析地とほぼ同じ製造規模の1600tの場合を想定し、本原料

材料費は本分析地と揃えた。その上で各木質ペレットの製造コストを算出したところ、約24 円/kg~56 円/kgと大きな開きがあったため、最高値と最安値の平均値を用いて計算をしたところ約2.5 円/MJであった。その他、化石燃料である軽油は3.95 円/MJ、灯油は2.9 円/MJであり、木材チップは他の燃料と比較して単位発熱量当たりのコストが1/2程度であることがわかった。

3.3 環境影響評価について

本分析地において木材チップ1 t当たり34.2 tの二酸化炭素を排出している。そのほとんどは、ホイールローダやチップパー等の運搬・製造機器を製造する際に排出されるものであることがわかった。

4. まとめ

本分析地における木材チップの製造のみにかかるエネルギー収支は、湿量基準含水率25%で11.9 GJ/tであった。この結果は、既報の木質ペレットのそれよりも2~3割程度劣るものであった。一方、本分析地の熱量当たりの木材チップ製造コストは1.82 円/MJで、木質ペレットや軽油、灯油等の化石燃料と比較して単位発熱量当たりのコストが1/2程度であることがわかった。

謝辞

本研究は、一部文部科学省革新的イノベーション創出プログラム(COISTREAM)の支援によって行われました。関係者各位に感謝致します。

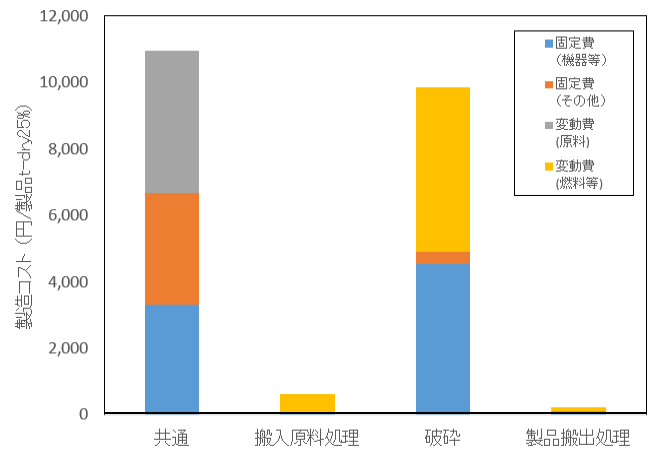


図2 木材チップ製造におけるプロセス毎の製造コスト

表5 単位熱量当たりの価格について

原料・燃料種	原単位	単位重量当たり単価	熱量当たり単価	引用
木材チップ	11.9 MJ/kg	21.6 円/kg	1.82 円/MJ	
木質ペレット	16.3 MJ/kg	24~56 円/kg	2.46 円/MJ	17)~19)
軽油	38.2 MJ/L	150.8 円/L	3.95 円/MJ	16)
灯油	36.7 MJ/L	106.4 円/L	2.90 円/MJ	16)
ガソリン	34.6 MJ/L	169.3 円/L	4.89 円/MJ	16)

参考文献

- 1) 独立行政法人科学技術振興機構低炭素社会戦略センター, 2012, 「低炭素社会づくりのための総合戦略とシナリオ」(第1版) P89 http://www.jst.go.jp/lcs/documents/item/all_scenario.pdf
- 2) Yoshioka, T., Iwaoka, M., Sakai, H., and Kobayashi, H., 2000, Feasibility of a harvesting system for logging residues as utilized forest biomass. J. For. Res., **5** 59-65
- 3) 小池浩一郎, 2001, 木質バイオマスエネルギーによる地球環境と地域経済への貢献, 森林科学, **33**, 44-50
- 4) 本多淳裕, 1986, バイオマスエネルギー : 生物系資源・廃棄物の有効利用, 財団法人省エネルギーセンター
- 5) 農林水産省, 2010, バイオマス活用推進基本計画
- 6) 森口敬太, 鈴木保志, 後藤純一, 稲月秀昭, 山口達也, 白石祐治, 小原忠, 2004, 林地残材を木質バイオマス燃料として利用する場合のチップ化と運搬コスト, 日本森林学会誌, **86**(2), 121-128
- 7) 酒井明香, 渡辺一郎, 木幡靖夫, 2008, 林地残材のエネルギー利用に向けた収集・チップ化システムの検討, 日本森林学会誌北海道支部論文集, **56**, 125-127
- 8) 酒井明香, 渡辺一郎, 2009, 林地残材のエネルギー利用に向けた収集・チップ化システムの検討(2), 日本森林学会誌北海道支部論文集, **57**, 203-205
- 9) 高梨啓和, 大林慶一, 佐潟輝洋, 寺岡行雄, 甲斐敬美, 筒井俊雄, 中島常憲, 大木章, 2009, 木質ペレットの製造に関する原単位および推算式の検討, 環境科学会誌, **22**(4) 241-246
- 10) 山口鈴子, 有賀一広, 長崎真由, 2011, 栃木県における森林施業履歴を用いた林地残材発生量と収穫可能量推定モデルの構築, 日本エネルギー学会誌, **89**, 983-995
- 11) 土屋陽子, 唐沢邦彦, 佐藤寿樹, 辻宣行, 2010, 未利用材を利用した日本における木質ペレット製造のエネルギー収支分析, 木材学会誌, **56**(6), 427-436
- 12) 電力中央研究所, 1996, 産業連関分析による財・サービス生産時のエネルギー消費量とCO₂排出量, 電力中央研究所報告,
- 13) 環境省地球環境局, 2007, 地球温暖化対策地域推進計画策定ガイドライン(第3版) 参考資料2, 1-2
- 14) 林業試験場, 1951, 木材工業便覧, 社団法人日本木材加工技術協会, 451
- 15) 経済産業省資源エネルギー庁石油製品価格調査
http://www.enecho.meti.go.jp/statistics/petroleum_and_lpgas/pl007/results.html#headline1
2014年7月の北海道の価格を使用
- 16) 全国木材チップ工業連合会ホームページ
<http://zmchip.com/chippricemokuji.html>
- 17) 青森県, 2009, 木質バイオマス燃料ビジネスモデル形成事業木質ペレット委託調査報告書
- 18) 株式会社森のエネルギー研究所
<http://www.mori-energy.jp/ryu-tu/seika22/07%20neruko.pdf>
- 19) 公益財団法人東京都農林水産振興財団, 2001, 木質バイオマスエネルギー事業化調査報告書

P-1 カラマツ類の枝樹皮組織におけるテルペノイドと内分泌構造

(道総研林産試) ○関 一人、折橋 健

1 緒言

樹皮の基本的機能のひとつとして、病原菌、植食性昆虫および哺乳類などの外敵に対して、樹木自身を物理的および化学的に防御することが知られている¹⁾。一般的に成熟した樹皮組織は、外側に死滅組織であるリチドーム、内側に生組織である二次師部からなる。マツ科樹種は、二次師部の内分泌構造（樹脂道、樹脂囊）の内孔周囲に存在するエピセリウム細胞においてテルペノイドを合成したのち、オレオレジンとして内孔へ移送・貯蔵することにより^{2,3)}、外敵に対して自らを恒常的に化学的防御する⁴⁾。これまでに、カラマツ類のグイマツ (*Larix gmelinii* var. *japonica*) の枝樹皮組織において、二次師部におけるジテルペノイド合成とリチドーム形成がより強固で恒常的な化学的防御を構築すること⁵⁾、グイマツおよびカラマツ (*L. kaempferi*) の種間雑種であるグイマツ雑種 F₁ (♀グイマツ×♂カラマツ、以下 F₁) のジテルペノイドは量的遺伝を示すこと⁶⁾が示唆されている。一方、カラマツ類における野ネズミ被害対策としての林木育種の見地から、グイマツおよびカラマツの樹皮における内分泌構造と精油・低極性溶媒抽出物との関係が検討されているが^{7,8)}、化合物レベルでの情報は乏しい。そこで本研究では、樹木の化学的性質を利用した新たな林木育種開発に関する基礎的情報の取得に向けて、遺伝的に関連性のあるグイマツ、カラマツ、F₁家系の枝樹皮組織における主要テルペノイドの集積分布と内分泌構造との関係について検討した。

2 実験方法

2.1 リチドームおよび二次師部における主要テルペノイドの定量

北海道立総合研究機構 林業試験場 道東支場（新得町）において、グイマツ家系 (G1×G1)、カラマツ家系 (K1 自然交配)、F₁家系 (G1×K1) の各 12 個体 (30 年生) より、リチドームの発達した生枝 (地上高約 8m、枝齢 10~15 年、直径 3~5cm) を 9 月に採取したのち、直ちに -20℃ の冷凍庫に保存して実験に供した。

枝の樹幹側の部位において、最内側の周皮を境にしてリチドームと二次師部を正確に分離した。得られたリチドームと二次師部をそれぞれ液体窒素存在下で粉碎した。10ml 容スクリュウキャップ付き遠沈管において、200mg の各樹皮粉碎物を、内部標準物質として 200mg/ml の *n*-tridecane を含有する 4ml 酢酸エチルで超音波洗浄機を用いて 10℃ 以下で 1 時間抽出したのち、遠心分離した。抽出液は硫酸ナトリウムで 24 時間脱水したのち、ガスクロマト質量分析計 (GC-MS) およびガスクロマトグラフィー (GC-FID) を用いて、モノ-およびセスキテルペノイドを市販標準物質または MS スペクトルデータベースと比較することにより同定したのち定量し、乾燥試料中における含有量を算出した。

10ml 容遠沈管において、200mg の各樹皮粉碎物を、内部標準物質として 200μg/ml の heptadecanoic acid を含む 4mL の石油エーテル-ジエチルエーテル (1:1, v/v) で超音波洗浄機を用いて 10℃ 以下で 1 時間抽出したのち、遠心分離した。得られた上清は窒素気流下で乾燥させたのちジアゾメタン含有ジエチルエーテルを添加してメチル化を図った。メチル化試料は GC-MS および GC-FID 分析に供し、8 種のジテルペノイド⁵⁾を標準物質として、乾燥試料中における含有量を算出した。

2.2 リチドームおよび二次師部の横断面における内分泌構造の面積および単位面積あたりの数

2.1 で用いた枝の樹幹側の部位において円板を作成した。実体顕微鏡で円板上のリチドームおよび二次師部における樹脂道および樹脂嚢を観察し、その長短寸法を測定して楕円として面積換算するとともに、単位面積あたりの数を測定した。

3 結果と考察

3 樹種の二次師部およびリチドームの樹皮組織の各抽出物から、いずれも 17 種のモノテルペノイド、9 種のセスキテルペノイド、8 種のジテルペノイドが同定された。3-carene などのモノテルペノイド、larixol などのジテルペノイド、総テルペノイドの含有量は、リチドームおよび二次師部のいずれにおいても、カラマツと比較して、グイマツや F₁ では有意に高かった。一方、(+)-Longiforene などのセスキテルペノイドの含有量は、リチドームおよび二次師部のいずれにおいても、3 樹種ともに有意な差はなかったが、モノテルペノイドおよびジテルペノイドと比較して低かった。また、3 樹種ともに、主要テルペノイドの質的組成は両樹皮組織で近似していたが、その含有量はリチドームの方が二次師部と比較して有意に高かった (Fig. 1)。

内分泌構造中のエピセリウム細胞の細胞内小器官である色素体において、二次代謝物の生合成経路であるメチルエリスリトールリン酸/デオキシキシルロースリン酸 (MEP/DOXP) 経路で生合成されたイソペンテニルニリン酸 (IPP) およびジメチルアリルニリン酸 (DMAPP) から、ゲラニルニリン酸 (GPP) を経てモノテルペノイドが、さらに GPP からゲラニルゲラニルニリン酸 (GGPP) を経てジテルペノイドが生合成される。一方、同細胞中の細胞質基質小胞体におけるメバロン酸 (MVA) 経路で生合成された IPP および DMAPP から、ファルネシルニリン酸 (FPP) を経てセスキテルペノイドが生合成される³⁾。したがって、本研究の結果より、3 樹種の樹皮におけるテルペノイド生合成に関しては、細胞質基質小胞体における MVA 経路と比較して、色素体における MEP/DOXP 経路の代謝流が高いことが示唆された。

グイマツでは主要ジテルペノイドのリチドームへの偏在性が認められており、ジテルペノイドの二次師部外層における偏在性と同部位における周皮への二次的分化に伴うリチドームの形成機構に起因することが推定されている⁵⁾。今回、3 樹種において、モノテルペノイドおよびセスキテルペノイドに関してもリチドームへの偏在性が認められたが、これらも同様に二次師部での偏在性とリチドームの形成機構に起因することが示唆された。

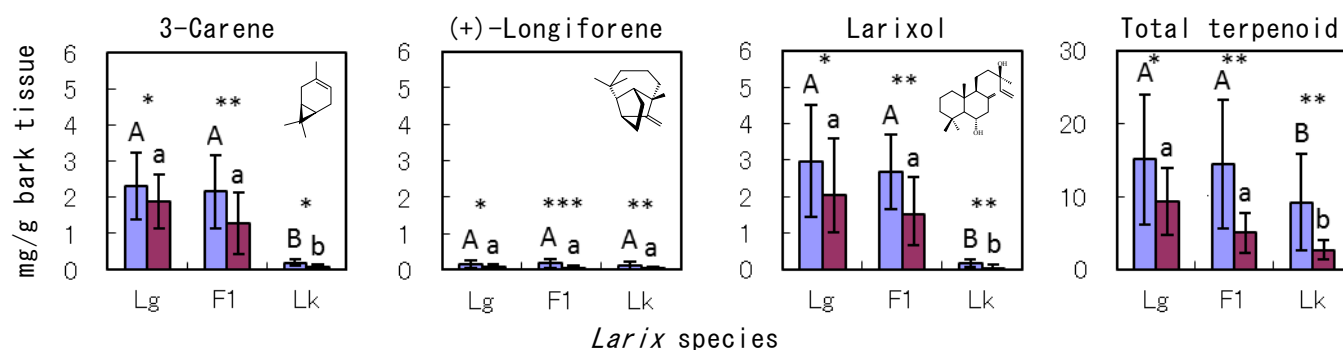


Figure 1 Contents of the constitutive terpenoids in the rhytidome and secondary phloem in the branch bark of *Larix* species: Lg, *Larix gmelinii* var. *japonica*; F1, hybrid larch F₁ (*L. gmelinii* var. *japonica* × *L. kaempferi*); Lk, *L. kaempferi*, based on the dry weight of the bark tissues. *n* = 12. ■, Rhytidome; ■, secondary phloem. Asterisks show that the terpenoid contents between the rhytidome and secondary phloem are significantly different in the branch bark of each individual tree using Wilcoxon signed ranks test: *, *P* < 0.05; **, *P* < 0.01; ***, *P* < 0.001. Values not sharing the same letters (A, B, or a, b) within the rhytidome or secondary phloem among the larch species and hybrid are significantly different at *P* < 0.05 by Steel-Dwass test.

3 樹種ともに、樹脂道はリチドームおよび二次師部にほぼ均一に存在していたが、樹脂嚢はリチドームでは均一に、二次師部では外層のみに存在していた。ほとんどの樹脂道および樹脂嚢にはオレオレジンが貯蔵されていた (Fig. 2)。樹脂道および樹脂嚢に関して、面積および単位面積あたりの数については、リチドームおよび二次師部のいずれにおいても、カラマツと比較して、グイマツや F₁ では有意に高かった。樹脂道の面積に関して、リチドームおよび二次師部との間において、3 樹種とも有意な差はなかった。樹脂道の数に関して、リチドームおよび二次師部との間において、グイマツではリチドームのほうが有意に高かったが、F₁ とカラマツでは有意な差はなかった。樹脂嚢の面積および数に関して、リチドームおよび二次師部との間において、3 樹種ともにリチドームのほうが有意に高かった (Fig. 3)。

これまでに、カラマツ類の雑種 F₁ における葉のモノテルペノイド⁹⁾および樹皮のジテルペノイド⁶⁾は、両親種から量的遺伝を受けることが認められている。今回検討した 3 樹種の結果から、F₁ の樹皮における内分泌構造の特徴も両親種から量的遺伝を受ける可能性のあることが推定された。また、3 樹種間において、両樹皮組織における総テルペノイド含有量と内分泌構造の面積および単位面積あたりの数はほぼ符合する結果が得られたことから (Fig. 1, 3)、これらには関連性のあることが示唆された。

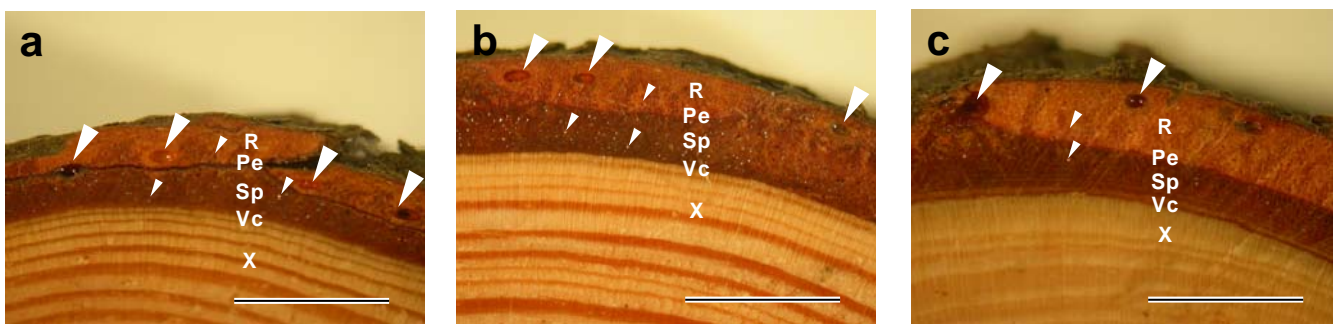


Figure 2 Transverse sections of *Larix gmelinii* var. *japonica* (a), hybrid larch F₁ (*L. gmelinii* var. *japonica* × *L. kaempferi*) (b), and *L. kaempferi* (c) branches. Resin ducts (small arrows), resin cavities (large arrows), rhytidome (R), periderm (Pe), secondary phloem (Sp), vascular cambium (Vc), and secondary xylem (X). Scale bars 5 mm.

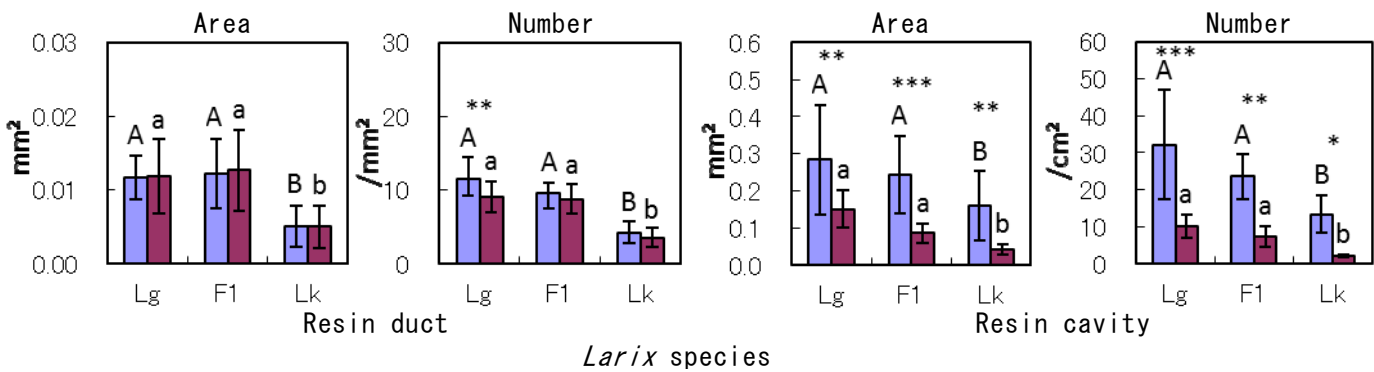


Figure 3 Area and number of resin duct and cavity in the rhytidome and secondary phloem in the branch bark of *Larix* species: Lg, *Larix gmelinii* var. *japonica*; F1, hybrid larch F₁ (*L. gmelinii* var. *japonica* × *L. kaempferi*); Lk, *L. kaempferi*. Resin duct area, $n = 72$; resin duct number, $n = 24$; resin cavity area, $n = 5 \sim 47$; resin cavity number, $n = 5 \sim 12$. ■, Rhytidome; ■, secondary phloem. Asterisks show that the area and number of resin duct or cavity between the rhytidome and secondary phloem are significantly different in the branch bark of each individual tree using Wilcoxon signed ranks test: *, $P < 0.05$; **, $P < 0.01$; ***, $P < 0.001$. Values not sharing the same letters (A, B, or a, b) within the rhytidome or secondary phloem among the larch species and hybrid are significantly different at $P < 0.05$ by Steel-Dwass test.

4 引用文献

- 1) Kučera LJ, Bergamin L (2003) The structure, function and physical properties of bark. In: Vaucher E, Eckenwalder JE (eds) *Tree bark: a color guide*. Timber Press, Portland, pp 23–37.
- 2) Evert RF (2006) *Esau's plant anatomy: meristems, cells, and tissues of the plant body: their structure, function, and development*, 3rd ed. John Wiley & Son, Hoboken.
- 3) Langenheim JH (2003) *Plant resins: chemistry, evolution, ecology, and ethnobotany*. Timber Press, Portland.
- 4) Gershenzon J (2006) Secondary metabolites and plant defense. In: Taiz L, Zeiger E (eds) *Plant physiology*, 4th ed. Sinauer Associates, Sunderland, pp 315–344.
- 5) Seki K, Orihashi K, Sato M, Kishino M, Saito N (2012) Accumulation of constitutive diterpenoids in the rhytidome and secondary phloem of the branch bark of *Larix gmelinii* var. *japonica*. *J Wood Sci* 58: 437–445.
- 6) Sato M, Seki K, Kita K, Moriguchi Y, Hashimoto M, Yunoki K, Kofujita H, Onishi M (2009) Comparative analysis of diterpene composition in the bark of the hybrid larch F₁, *Larix gmelinii* var. *japonica* × *L. kaempferi* and their parent trees. *J Wood Sci* 55: 32–40.
- 7) 石原供三, 松川篤治 (1941) 主要林木の品種改良 (第2報) 第1代雑種に顕れたる形質に就いて. 昭和15年度日林講, 126-131.
- 8) 柳沢聡雄, 川西利義 (1955) カラマツ類4種の木皮. 林業試験場研究報告 79: 125–142.
- 9) Holm Y, Hiltunen R (1997) Variation and inheritance of monoterpenes in *Larix* species. *Flavour Fragr J* 12: 335–339.

謝辞

本研究の一部は、科学研究費補助金（課題番号 20580166, 25450221）の助成を受けて実施された。

Isolation of Trypanocidal Compound(s) from Todomatsu Outer Bark

○Albertus Eka Yudistira Sarwono¹, Keisuke Suganuma², Shinya Mitsuhashi¹,
Puttik Allamanda², Tadashi Okada², Kengo Shigetomi¹,
Kawazu Shinichiro², Noboru Inoue², and Makoto Ubukata¹
(¹Hokkaido Univ., ²Obihiro Univ. Agric. Vet. Med.)

Trypanosoma congolense is among the most economically important parasitic protozoa in Africa. This parasite causes *nagana* disease in a broad range of African animals, which is a lethal disease¹⁻³. While in present time trypanocidal compounds for *T. congolense* infection such as pentamidine and diminazene are available, the serious adverse effects of the compounds are the major drawbacks in its usage^{4,5}. Therefore, the discovery of new active compounds against *T. congolense* with fewer side effects is necessary.

Recently, our research group has developed a rapid luciferase-luminescence-based bioassay system for anti *T. congolense* compounds⁶. By utilization of this bioassay system, methanol extracts of bark from several Hokkaido tree species were screened for any trypanocidal activity. Among all screened samples, Todomatsu (*Abies sachalinensis*) outer bark extract was found to exhibit the most notable growth inhibitory activity against the bloodstream form of *T. congolense* with IC₅₀ value of 11.2 µg/ml.

Following the result of the preliminary screening assay, adjustment of Todomatsu outer bark extraction condition to PH 10 and subsequent hexane extraction of the methanol extract significantly decreased the observed IC₅₀ value to 3.9 µg/ml. Partition of the hexane extract by neutralized silica gel 60 (49-59 µm) flash column chromatography (CC) yielded 21 extract fractions with IC₅₀ value ranged from 1.4 µg/ml to >25 µg/ml. Fraction 5 with the most abundant yield (141.7 mg) and relatively low IC₅₀ value (3 µg/ml) was prioritized for further analysis.

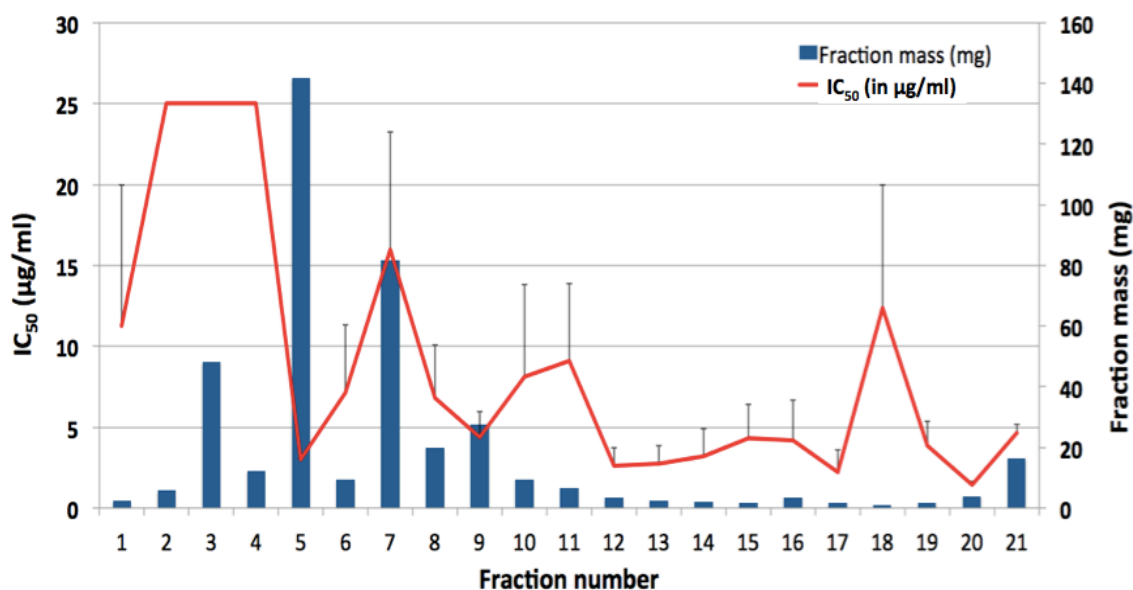


Figure 1. Fraction Yields from CC and IC₅₀ Value of Todomatsu Outer Bark Methanol Extract

The fraction 5 then analyzed with analytical HPLC. The optimum condition was achieved by utilization of Mightysil RP-18 (5 µm) column, gradient mobile phase from 83% to 93% methanol (0.1% acetic acid) in 30 minutes elution time, and 1 ml/minutes flow rate. The HPLC analysis resulted in detection of five single peaks in wavelength of 210 nm, each in retention time 9.8 minutes, 16.8 minutes, 18.2 minutes, 19.3 minutes, and 28.2 minutes. Employing wavelength of 254 nm, two single peaks for peak 2 and 3 were detected, indicating conjugation system in the molecular structure.

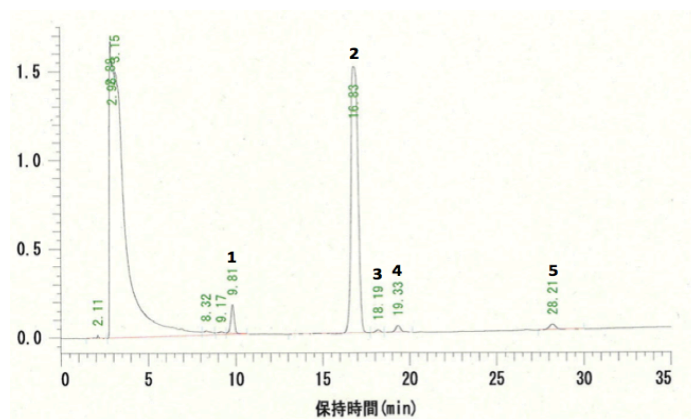


Figure 2. HPLC Chromatogram of Fraction 5 in 210 nm

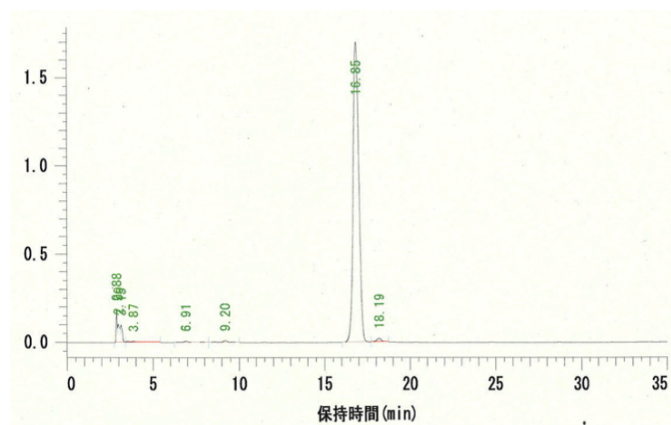


Figure 3. HPLC Chromatogram of Fraction 5 in 240 nm

Peak fractions then isolated using the analytical system, and subjected to EI-MS analysis. Peaks 1-5 were predicted to have molecular formula of $C_{19}H_{28}N_3O_2$, $C_{20}H_{34}O$, $C_{18}H_{30}O_2$, $C_{18}H_{35}NO$, and $C_{30}H_{48}O_2$, respectively. Preliminary analysis of peak 4 fragmentations in EI-MS showed similarities to reported fragmentations of endogenous hypnotic substance oleamide⁷. However, further spectrometric analysis is still required to finalize structure determination.

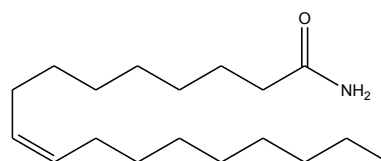


Figure 4. Oleamide

Preparative HPLC system will be developed to isolate each peak in the fraction 5 for further spectrometric analysis and bioactivity assay against *T. congolense*.

References

1. University of Michigan. http://sitemaker.umich.edu/section003group6/impact_on_food_production_and_security. Accessed September 10th, 2014.
2. Peacock, L. *Parasites & Vectors*. **5**:109 (2012).
3. International Livestock Research Institute. <https://ilri.org/InfoServ/Webpub/fulldocs/Ilrad82/Trypano.htm>. Accessed September 10th, 2014.
4. Whispelway, B. *Infect. Control. Hosp. Epidemiol.* **12**(6): 375-382 (1991).
5. Peregrine, A.S., *Acta Trop.* **54**:185-203 (1993).
6. Suganuma, K. (J-Stage advance online publication. doi: 10.1292/jvms.14-0273). *J. Vet. Med. Sci.* (2014).
7. National Metrology Institute of Japan (NMIJ). http://sdfs.db.aist.go.jp/sdfs/cgi-bin/direct_frame_top.cgi. Accessed October 22nd 2014.

Hirsutanol 類の作用機構の解析

(北大院農¹, 東大先端研², 東北大院薬³)○土井督史¹, 三橋進也¹, 川村猛², 児玉龍彦²鈴木貴大³, 叶直樹³, 岩淵好治³, 生方信¹

【背景】

オートファジーとは細胞質のオルガネラや可溶性タンパクをリソソーム経由で分解する機構であり、飢餓対応や細胞内環境維持のほか、ガンや神経疾患などに関わりのある重要な生理機能である。オートファジーでは隔離膜と呼ばれる二重膜の構造体が細胞質の一部を囲い込み、細胞質成分を隔離し、オートファゴソームを形成する。その後、オートファゴソームの外膜がリソソーム膜と融合することにより、オートファゴソームの内容物は加水分解酵素によって分解される。しかし、オートファジーには不明な点が多く残っており、オートファジー誘導物質は、細胞機能の解明への利用が期待できる。

当研究室ではニカワウロコタケ (*Gloestrem incarnatum*) 培養菌糸体から hirsutanol A および hirsutanol C を単離し、その絶対配置を決定した¹⁾。Hirsutanol A は細胞死誘導活性を有し、また、オートファジーを誘導することが報告されている²⁾。Hirsutanol C は hirsutanol A と類似した構造を有しているが、細胞死誘導活性はなく¹⁾、オートファジー誘導に関する報告はない。本研究では、これらの性質の違いを利用してがん細胞に対する hirsutanol 類の作用機構の解析を行うことを目的とした。

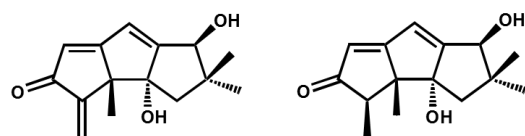


図1 Hirsutanol A(左)と hirsutanol C(右)の構造

【実験方法・結果】

まず、hirsutanol A と hirsutanol C の生体内における作用機構の違いを明らかにするために光親和型アフィニティ樹脂を用いた hirsutanol 類の標的分子の探索を行った。UV (365 nm) 照射によって hirsutanol 固定化アフィニティ樹脂を調製し、HeLa 細胞の溶解液と攪拌した後、遠心分離およびバッファーによる洗浄によって hirsutanol 結合分子の精製を行った。

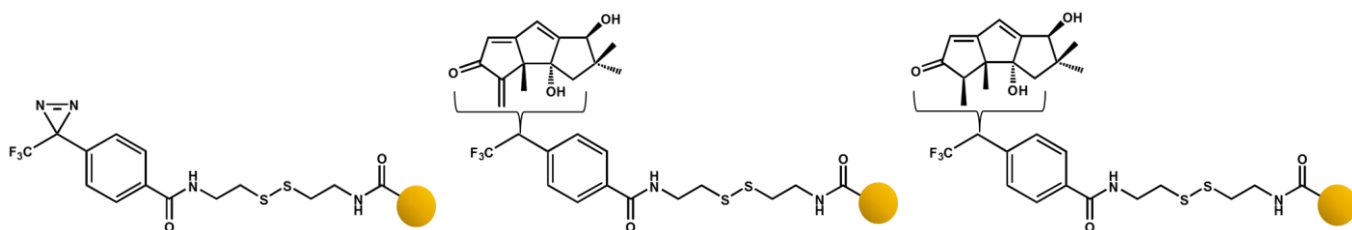


図2 光親和型アフィニティ樹脂(左)と固定化 hirsutanol A(中央)および hirsutanol C(右)

精製された分子を LC-MS/MS によるショットガン解析を行った結果、hirsutanol A に特異的な結合分子は検出されなかった。しかし、hirsutanol C に特異的な結合分子としてオートファジー関連タンパク質のひとつである 14-3-3 ファミリーの 14-3-3σ が検出された。

そこで、HeLa 細胞における hirsutanol 類のオートファジー誘導評価試験を行った。HeLa 細胞を 6 穴プレートに 5.0×10^5 cell/well で播種した後、hirsutanol 類をそれぞれ最終濃度 100 μM となるように加え、培養後に回収した。次に、ウェスタンブロット法により細胞内のオートファジーマーカータンパク質を検出し、細胞内のアクチンと比較を行うことでオートファジー誘導活性を評価した。マーカータンパク質としては LC3-II (オートファゴソーム形成に伴い増加) および SQSTM/p62 (オートファジー誘導に伴い減少) を用いた。ネガティブコントロールとして DMSO (最終濃度 0.1%)、ポジティブコントロールとして既存のオートファジー誘導物質 rapamycin (最終濃度 5 μM) で処理したものをを用いた。

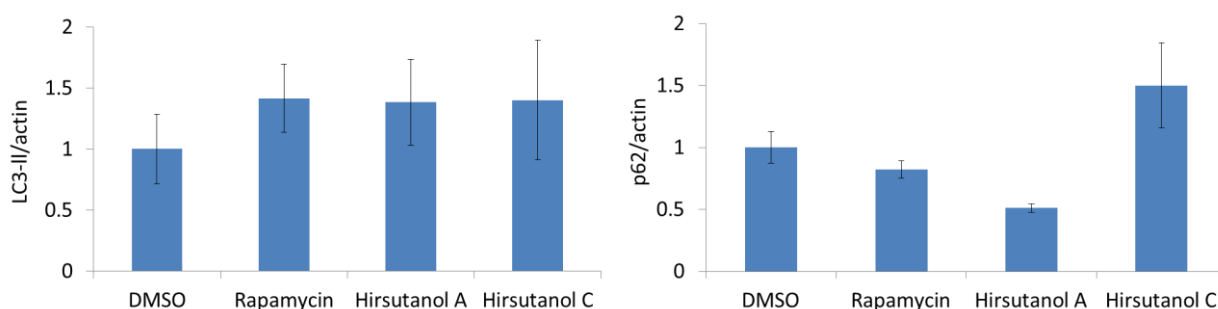


図 3 HeLa 細胞における 4 時間培養後 LC3-II/actin 比(左)と 12 時間培養後 p62/actin 比(右)

LC3-II の検出では、hirsutanol C を添加した HeLa 細胞において、rapamycin、hirsutanol A と同様に増加の傾向が見られた。しかし、SQSTM/p62 の検出においては、rapamycin、hirsutanol A では減少の傾向が見られたのに対して、hirsutanol C では増加の傾向が見られた。

【考察】

ウェスタンブロット法の結果より、hirsutanol C においてもオートファゴソームの形成能が示唆された。しかし、SQSTM/p62 の増加が見られたことにより、hirsutanol C は hirsutanol A とは異なりオートファジーを阻害している可能性が示唆された。よって hirsutanol 類の作用機構の解明はオートファジーの分子論的な機構解明につながる事が期待できる。また、がん細胞は保護機能としてオートファジーを誘導することが報告されている³⁾ため、オートファジー阻害能を有する hirsutanol C の抗がん剤としての働きが期待できる。現在、hirsutanol 類とがん細胞の関係についてウェスタンブロット法でのより詳しい解析を検討中である。

【参考文献】

- 1) R. Asai, *et al.*, *Journal of Antibiotics*, 2011. **64**, 693-696
- 2) F. Yang, *et al.*, *Chinese Journal of Cancer*, 2010. **29**, 655-660
- 3) S. Turcotte, *et al.*, *Current Opinion in Cell Biology*, 2010. **22**, 246-251

Oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*) cultivation using non-sterile coffee husks

Mateus D. Nunes (Hokkaido University/Viçosa University-Brazil), João G. S. Schram (Viçosa University-Brazil), Yutaka Tamai (Hokkaido University), Maria C. M. Kasuya (Viçosa University-Brazil)

[Introduction]

Brazil is the largest producer of coffee in the world. Nowadays, the two main species of coffee produced in Brazil are *Coffea canephora* and *C. arabica*, which are often referred to as Conilon and Arabica, respectively. The industrial processing of coffee cherries generates a residue called coffee husk, which is rich in nutrients. However, it also contains toxic compounds such as caffeine, tannins, and polyphenols, which limit the uses of this residue. With the aim of valorizing this agro-industrial residue, several studies have attempted to use coffee husks as a substrate for mushroom production. However, all these studies used sterilized coffee husks for mushroom production, an expensive method that requires considerable investment of funds and resources, this making its implementation difficult in under developed regions and countries.

[Experiment]

In this study, we evaluated the Biological Efficiency (BE) of two varieties of coffee husk (Arabica and Conilon) using simple non-sterilization methods as well as a sterilization method. The coffee husks supplemented with wheat bran (300 g) were treated for mushroom cultivation using three different non-sterilization methods: soaking in lime solution (2.0%) for 4 h, soaking in lime solution (0.5%) at 90—100 °C for 15, and soaking in lime solution (0.5%) at 90—100 °C for 30 min. For sterilization, the substrates (300 g) were moistened with water at 70% and autoclaved at 121°C for 2 h. After the treatments, the substrates were inoculated with 15 g of spawn and incubated at 25°C for 30 d. Flushing was conducted under light at 25 ± 2 °C with 85% moisture and continuous ventilation.

[Results and discussion]

The sterile coffee husks and non-sterile coffee husks showed significant differences ($P < 0.05$) in BE. The lowest BE was observed for sterile Arabica and Conilon with mean BE values of 0.5 and 0.0%, respectively. In fact, mycelia growth was inhibited when sterilized Conilon husks were used. The highest BE with a mean value of 40.3% was obtained with Arabica husks that had been soaked in 2.0% lime solution. The BE of Conilon husks was considerably improved by soaking them in lime solution (0.5%) at 90—100 °C for 15 or 30 min. The low BE of sterile husks raises the concern that these husks may contain toxic compounds that first inhibit mycelia growth and then at a later stage, block fruiting body formation. This problem seems to be alleviated by soaking the husks in alkaline solution. It is possible that immersion in alkaline solution releases toxic compounds from the husks into the solution, leading to a decrease in their concentration. Therefore, non-sterile alkaline methods are not alone cheaper but are also better for mushroom production. Further studies should be done to improve these methods further.

緑色蛍光タンパク質を用いたハイブリッドアスペンの細胞内における

小胞体の構造観察

(北大院農) ○桜井健至、鈴木伸吾、荒川圭太

1. 緒言

寒冷地に生育する樹木は冬季になると厳しい低温や凍結にさらされる。樹木は致命的な傷害である細胞内凍結を防ぐために様々な凍結適応機構をもっている。樹木の師部柔細胞や皮層柔細胞は氷点以下の低温になると細胞外で氷晶が形成され、細胞内の水は凍結せずに一時的に過冷却する。その際、水と氷の化学ポテンシャルの差により細胞内から細胞外へと脱水するため、細胞は収縮や変形を起こす(Sakai and Larcher 1987)。これらの細胞を過度に凍結脱水すると、著しく収縮、変形することによって生体膜（特に細胞膜）とオルガネラ膜が異常接近し、双方の膜脂質が膜融合を起こして不可逆的な微細構造変化を生じる。そのため、細胞膜は損傷し、結果的に細胞は致命的な傷害を被る(Fujikawa 1995)。しかし、耐寒性の高い樹木の細胞ではこのような凍結傷害が起こりにくい。このような細胞膜などが凍結傷害を受けないメカニズムの一つとして、細胞膜直下に小胞体 (ER) の多重層構造が形成されることによって細胞膜と他の生体膜との異常接近によって生じる細胞膜の微細構造の変化が防がれるという仮説がある (Fujikawa and Takabe 1996)。

緑色蛍光タンパク質(GFP)は青色の励起光を照射すると緑色に蛍光して容易に検出できるため、植物細胞でもタンパク質の分布を調べるために様々な実験で利用されている。これまでに、ER 局在性シグナル配列を付した GFP を発現させることによって ER の挙動を観察した研究例が草本植物で報告されている (Yamada et al. 2009)。そのため、樹木の細胞でも ER 局在性の GFP を発現させると ER の分布や細胞内の器官のダイナミックな構造変化を直接観察することが可能かもしれないと考えた。

そこで我々は ER 局在性のシグナル配列を付した GFP を過剰発現するハイブリッドアスペンの形質転換株を用いて、ER を GFP で蛍光標識して可視化することで ER の構造を観察すると共に、温度変化に対する ER の構造変化について調べることを目的とした。

2. 実験方法

2.1 アグロバクテリウム法による形質転換植物の作製

GFP の植物体への導入にはアグロバクテリウム法を用いた。ER 局在性のシグナル配列を付した GFP の遺伝子配列を挿入したプラスミド(Mitsuhashi et al. 2000)を導入したアグロバクテリウムをハイブリッドアスペン (*Populus tremula* × *P. alba*)の茎切片に感染させ、遺伝子を導入した。その後、抗生物質による一次スクリーニングを兼ねたカルス誘導、シュート誘導、個体再生の各過程を経て形質転換植物を作製した。培養個体を増殖させてから鉢上げしたハイブリッドアスペン個体を実験に供試した。

2.2 低温馴化

23°C・日長 16 時間で高さ 30 cm 程度に生育させた形質転換ハイブリッドアスペンを植物育成チャンバー内で短日・低温条件 (4°C・日長 8 時間) で 1 ヶ月以上処理することによって低温馴化させた。

2.3 顕微鏡観察

GFP を導入したハイブリッドアスペンの茎の先端から約 10 cm の範囲の茎を採取し、カミソリ刃で 3 mm 四方程度の徒手切片を作製し、共焦点レーザー顕微鏡(TCS SP5, Leica Microsystems GmbH, Wetzlar, Germany)

で切片の横断面と縦断面を観察した。なお、励起波長は 488 nm、検出波長は 500~600 nm に設定した。

3. 結果と考察

本来なら形質転換した未馴化株を最初に観察するべきであるが、低温馴化株の方が先に十分な個体数を用意できたので、まずは低温馴化株を実験に供試した。

低温馴化株から採取した茎の横断面 (図 1 A, B)、縦断面 (図 1 C) を観察すると、両断面ともに木部、師部、皮層など様々な組織で GFP の蛍光が検出されているように見えた。そこで、これらの組織の細胞を詳細に観察することにした。

皮層柔細胞や師部柔細胞では蛍光画像から網目状の構造が見られた (図 2 A, B, C)。このような構造は、本実験と同様に ER 局在性のシグナル配列を持つ GFP を導入したタバコ BY-2 培養細胞の ER (Mitsunishi et al. 2000) やシロイヌナズナの表皮細胞の ER (Hayashi et al. 2001) で観察されたものと類似している。そのため、このハイブリッドアスペンでも ER に GFP が存在するものと考えられた。また、比較的多くの細胞で、細胞の中心部よりも細胞膜付近で蛍光が強い傾向がみられた (図 2 B、右側の細胞列)。これは細胞中央付近に位置する液胞によって細胞質基質が細胞の縁に押しやられているためではないかと考えられる。

一方、木部では放射柔細胞で蛍光が見られたものの (図 1 A、図 2 D)、それ以外の部位では蛍光はほとんど検出できなかった (図 1 A)。また、髓組織では木部に近い部位で蛍光がみられた (図 1 A)。

これらのことから、この形質転換ハイブリッドアスペンの低温馴化株を用いることで、皮層、師部、木部の各組織の柔細胞で ER の網目状構造が見られることが示唆された。

今後は未馴化試料でも同様に、組織ごとの GFP 蛍光の観察を進める予定である。また、季節的に低温馴化したクワの皮層柔細胞が細胞外凍結すると、ER 小胞が融合して細胞膜直下に多重層構造を形成するが、 -5°C や -10°C 凍結相当の浸透圧脱水でも同様の多重層構造が形成されるため (Fujikawa and Takabe 1996)、形質転換ハイブリッドアスペンの低温馴化株でも凍結や脱水処理で ER の多重層構造を誘導できるか否かについても検証していきたい。

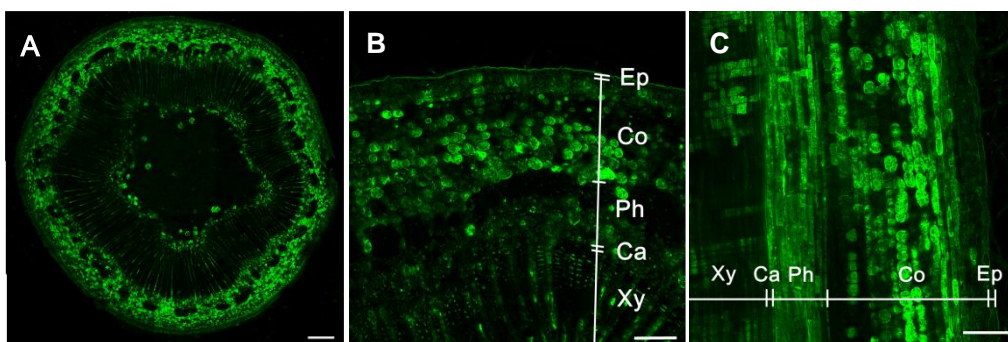


図 1. GFP を導入したハイブリッドアスペン低温馴化株の GFP 蛍光像。

(A) 茎の横断面. Bar= 250 μm .

(B) 茎の横断面. Xy:木部 Ca:形成層帯 Ph:師部 Co:皮層 Ep:表皮 Bar= 100 μm .

(C) 茎の縦断面. Xy:木部 Ca:形成層帯 Ph:師部 Co:皮層 Ep:表皮 Bar= 100 μm .

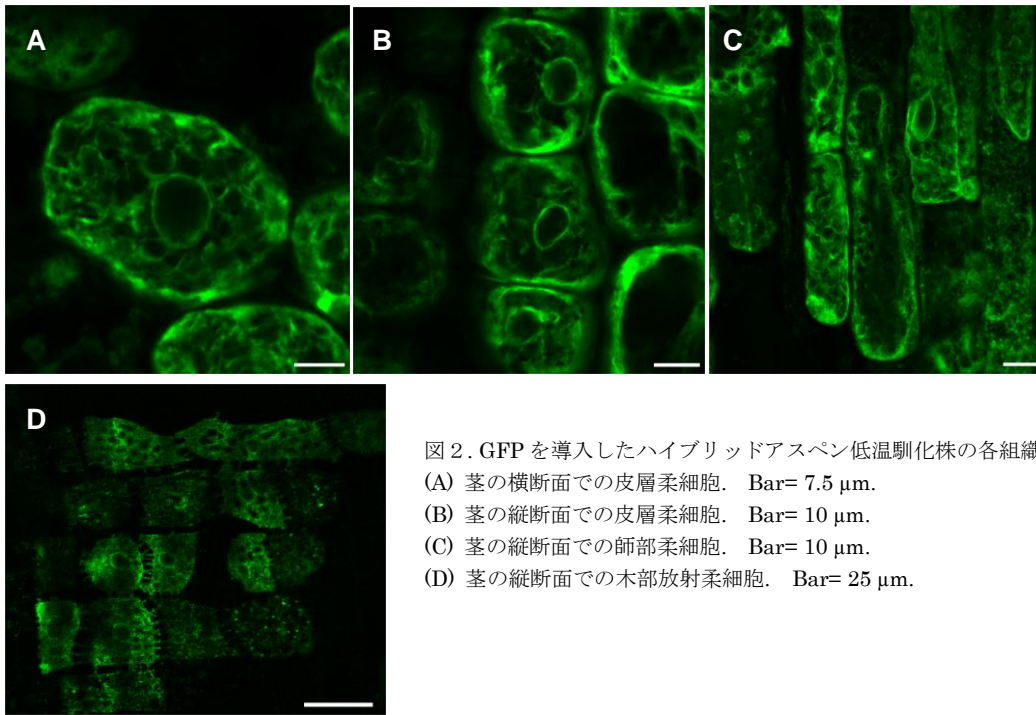


図2. GFPを導入したハイブリッドアスペン低温馴化株の各組織柔細胞の GFP 蛍光像.
 (A) 茎の横断面での皮層柔細胞. Bar= 7.5 μ m.
 (B) 茎の縦断面での皮層柔細胞. Bar= 10 μ m.
 (C) 茎の縦断面での師部柔細胞. Bar= 10 μ m.
 (D) 茎の縦断面での木部放射柔細胞. Bar= 25 μ m.

4. 謝辞

ER 局在性シグナル配列を付加した GFP 遺伝子の挿入されたプラスミド (SP-GFP-HDEL/pBI121) は、京都大学大学院理学研究科生物科学専攻植物学教室植物分子細胞生物学分科の西村いくこ博士のご厚意により分譲いただきました。

5. 参考文献

- Fujikawa, S. (1995) A freeze-fracture study designed to clarify the mechanisms of freezing injury due to the freezing-induced close apposition of membranes in cortical parenchyma cells of mulberry. *Cryobiology*, 32, 444-454.
- Fujikawa, S. and Takabe, K. (1996) Formation of multiplex lamellae by equilibrium slow freezing of cortical parenchyma cells of mulberry and its possible relationship to freezing tolerance. *Protoplasma*, 190, 189-203.
- Hayashi, Y., Yamada, K., Shimada, T., Matsushima, R., Nishizawa, N.K., Nishimura, M. and Hara-Nishimura, I. (2001) A proteinase-storing body that prepares for cell death or stresses in the epidermal cells of *Arabidopsis*. *Plant Cell Physiol.*, 42, 894-899.
- Mitsuhashi, N., Shimada, T., Mano, S., Nishimura, M. and Hara-Nishimura, I. (2000) Characterization of organelles in the vacuolar-sorting pathway by visualization with GFP in tobacco BY-2 cells. *Plant Cell Physiol.*, 41, 993-1001.
- Sakai, A. and Larcher, W. (1987) Frost survival of plants: responses and adaptation to freezing stress. Springer Verlag, Heidelberg.
- Yamada, K., Nagano, A.J., Ogasawara, K., Hara-Nishiyama, I. and Nishimura, M. (2009) The ER body, a new organelle in *Arabidopsis thaliana*, requires NAI2 for its formation and accumulates specific β -glucosidases. *Plant Signal Behav.*, 4, 849-852.

立木の応力波伝播時間の測定における打撃条件の影響

(北大農) ○日置絵里香、小泉章夫、佐々木義久、(北林試) 鳥田宏行

【緒言】

生立木を傷つけずに樹幹のヤング率を評価する非破壊試験は、検定林の遺伝・環境要因が材質に及ぼす影響の調査や人工林の材質評価などに利用されている。

非破壊試験の中でも、現在、主に利用されているのは、利便性に優れた応力波伝播速度試験である^{1)~3)}。応力波伝播速度試験は、打撃条件によって測定値が異なることが経験的に分かっている。本研究では、応力波伝播時間の測定によく用いられているファコップを用いて、トドマツ立木を供試材料として、STARTセンサーの打ち込み深さ、打撃の強さ、ハンマーの種類、加速度の打撃条件が応力波伝播時間の測定値に与える影響を調査した。また、同様の試験をトドマツの乾燥製材でも実施し、立木の試験結果と比較した。

この試験結果を基に、道内の造林地でSTARTセンサーの打ち込み深さ、打撃の強さ、ハンマーの種類の打撃条件を一定にして応力波伝播速度試験を行った。

【材料】

打撃条件を変えた試験の供試材料を以下に示した。本数はそれぞれ一本ずつとした。

トドマツ(立木)：樹齢不詳，北海道大学苗畑内，胸高直径 27.05cm，樹高 17.9m，枝下高 3.0m

トドマツ(乾燥製材)：105×105×3546(mm)，心去り材 (2 方桁)

【試験方法】

1. ファコップの打撃条件

(1) ファコップの附属品である金槌 (約 290g)，および市販のプラスチックハンマー (約 250g) の 2 種類のハンマーを用いた。

(2) START センサーは、打ち込み深さ 10mm，18mm，25mm の 3 段階の深さで打ち込んだ。また、STOP センサーは打ち込み深さ 15mm で固定した。

(3) それぞれ「弱・中・強」の 3 段階の打撃強さで試験を行った。

各条件の組み合わせとなる合計 18 種類の条件下で、立木と角材それぞれについて 力波伝播時間を測定した。なお、START センサーには予め加速度計(共和電業製 AS-5GB)をエポキシ樹脂接着剤で接着しておき、伝播時間の測定と同時に打撃の加速度を小型の動ひずみレコーダー(共和電業製 EDX-10A)で 200Hz のサンプリング速度で記録した。

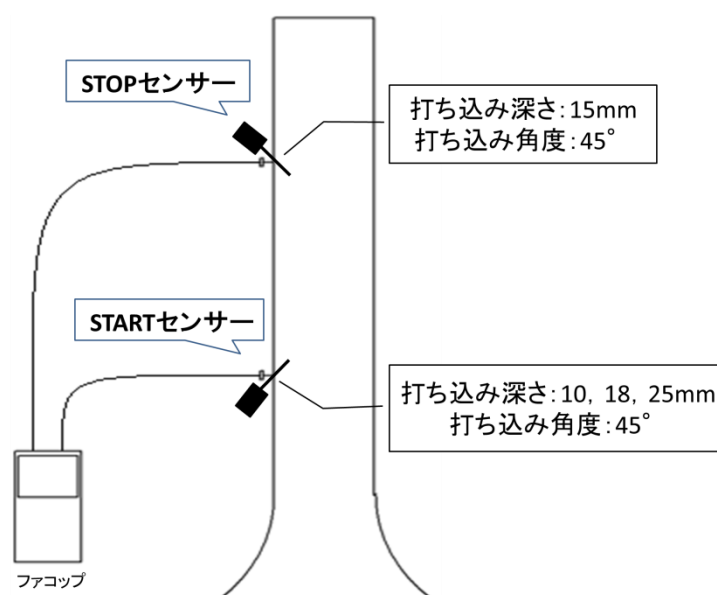


図 1. 立木の応力波伝播時間の測定方法

2. 応力波伝播速度試験

- (1) 立木：トドマツ立木の樹幹の高さ 700-1700mm にファコップのセンサーを打ち込み、打撃により発生した応力波の伝播速度を測定した（図 1）。
- (2) 乾燥製材：トドマツ角材の板目面の無欠点部分 1000mm を測定区間とした。打撃により発生した応力波の伝播速度を測定した。

【結果・考察】

表 1. 立木応力波伝播時間の測定結果

ハンマーの種類	平均値	標準偏差	外れ値平均	外れ値の出現率[%]
金槌	300.53	42.66	5515.57	44.12
Pハンマー	354.48	37.72	935.80	7.35

打ち込み深さ	平均値	標準偏差	外れ値の出現率[%]
10mm	369.38	20.41	61.90
18mm	307.57	27.79	68.18
25mm	274.43	16.81	8.00

打撃強さ	平均値	標準偏差	外れ値の出現率[%]
弱	323.96	38.94	8.00
中	274.44	3.40	59.09
強	249.83	1.57	71.43

※外れ値は、ヤング率に換算すると 1.5GPa 未満となり、測定エラーとするべきかもしれない。
 なお、測定値が 0 となったものは外れ値には含めず、測定エラーとして再測定した。

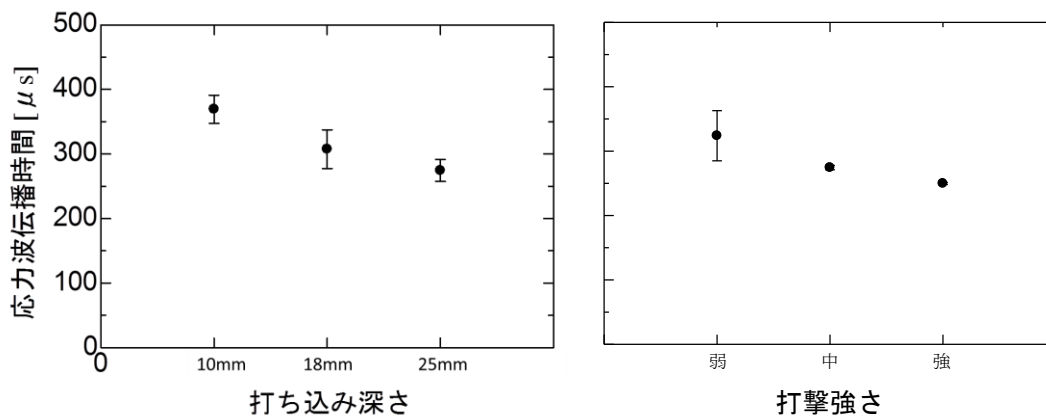


図 2. 立木の応力波伝播時間測定における打撃条件の影響

(1) ハンマーの影響

試験に用いるハンマーの種類は、ファコップの測定値に影響を与えていた(表 1 上)。ハンマーの種類によって発生する応力波の波形が異なるために、STOP センサーが応力波を捉えるまでの測定誤差が生じたためだと考えられる。したがって、ファコップの試験を行う際には既往の測定値と比較できるように、付属品の金槌を使用すべきである。

(2) 打ち込み深さの影響

打ち込み深さを 10mm にすると、平均値が他の 2 条件に比べて大きく異なった(図 2 左)。また、打ち込み深さを 25mm にすると、標準偏差と外れ値の出現率が他の 2 条件に比べて小さくなった(表 1 中央)。打ち込み深さが深いほど応力波を正確に伝えられているからだと考えられる。実際に林内で試験を行う際に 25mm 深さまでセンサーを打ち込むと労力がかかるため、試験の利便性を損なう可能性もある。したがって実際の試験の際には、18mm 程度以上、かつ試験者に負担のかからない程度の打ち込み深さでセンサーを固定したうえで行うのが望ましいだろう。

(3) 打撃強さによる影響

打撃強さによってファコップの測定値は異なった。弱く打撃すると、測定値のバラツキが他の 2 条件に比べて大きくなったが、外れ値の出現率は小さくなった(表 1 下)。なお、7m/s²以下の加速度ではバラつきが大きく、信頼性が得られなかった。

(4) 乾燥製材の試験結果との比較

表 2. 乾燥製材応力波伝播時間の測定結果

ハンマーの種類	平均値	標準偏差	外れ値平均	外れ値の出現率[%]
金槌	184.32	10.85	5515.77	46.99
Pハンマー	195.04	11.34	5509.00	4.21

打ち込み深さ	平均値	標準偏差	外れ値の出現率[%]
10mm	187.21	11.58	73.24
18mm	181.72	6.75	42.67
25mm	177.06	5.26	6.25

打撃強さ	平均値	標準偏差	外れ値の出現率[%]
弱	189.29	12.15	0.00
中	185.27	10.31	69.44
強	177.58	6.01	47.37

※プラスチックハンマーを P ハンマーと表記した。

全体的に立木よりも測定値のバラツキが小さい傾向が見られた。同様に、各条件間の測定値への影響も立木よりも小さかった。立木では、応力波の伝播経路となっている辺材の自由水が、応力波の振動性状に影響しているためだと考えられる。

【測定例】

1. 材料

トドマツ(10 本) : 41 年生, 新十津川町, 平均胸高直径 19.2 cm, 平均樹高 15.9m, 枝下高 5.47m

カラマツ(10 本) : 29 年生, 砂川市, 平均胸高直径 17.7cm, 平均樹高 14.7m, 枝下高 5.81m

2. 立木の応力波伝播速度試験

立木の樹幹の高さ 700-1700mm の無欠点部分 にファコップのセンサーを打ち込み、ハンマーで打撃し、応力波伝播速度を測定した。この時、START センサーの打ち込み深さは 15mm で固定し、ハンマーにはファコップの附属品である金槌を用いた。また、打撃の強さは本研究における「中」の強さで一定とした。

3. 丸太の縦振動試験

試験後、供試木を伐採して、地上高さ 300-1800mm 区間を含む丸太材について縦振動試験を行った。丸太材の全長平均は、トドマツで約 1700mm、カラマツで約 1600mm だった。

4. 試験結果

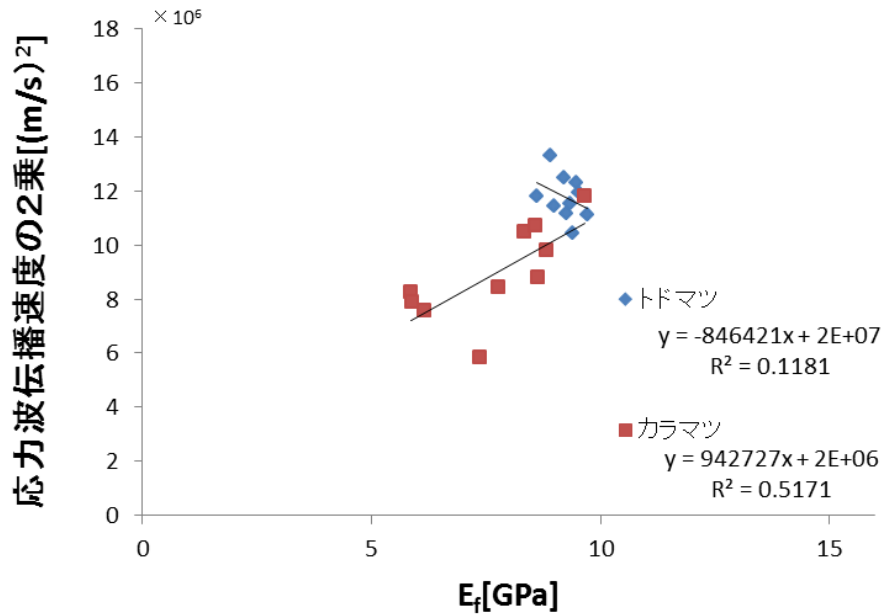


図 3. 応力波伝播速度の 2 乗と動的ヤング率

トドマツでは正の相関が得られなかったが、これは樹幹の動的ヤング率の出現範囲が狭かったためと考えられる(図 3)。トドマツには有意な相関が認められなかったが、カラマツには 5%水準で有意な相関が認められた。

【まとめ】

試験の結果、以下のような結論が得られた。

1. ファコップによる応力波伝播時間の測定値は、ハンマーの種類、START センサーの打ち込み深さ、打撃強さに影響を受けていた。
2. 立木は乾燥材よりも各条件間の測定値への影響が大きかった。
3. 立木でファコップによる応力波伝播時間の測定を行う際には、比較対象とする全ての供試木についてこれらの打撃条件を一定にするべきである。

【参考文献】

- 1)池田潔彦：応力波伝播速度による立木ヤング係数評価の現状とその適用. 木材工業 Vol.57, No.9. (2002)..
- 2)井城泰一・田村明・佐藤重樹彦・辻山善洋・飯塚和也：非破壊的測定法によるトドマツ精英樹クロウンの材質検定の試み. 日林誌 92 : 35-40. (2010).
- 3)藤澤義武・柏木学・井上祐二郎：ファコップを用いた材質優良個体の非破壊的選抜技術. Kyushu J.For.Res.No.56. (2003).

「枠組壁工法住宅工事仕様書〔分冊〕《道産材活用型》」の作成

○山本 宏、坂東芳章、高倉俊明、林 芳男(以上 NPO 法人北海道住宅の会)、
大橋義徳(北林産試)、平井卓郎(北大院農)

1. はじめに

NPO 法人北海道住宅の会は道産材の利用促進を目標に、ここ数年にわたり道産材(トドマツ、カラマツ、スギ)による枠組壁工法構造用製材の普及活動を行っている。その一環として、住宅金融支援機構の枠組壁工法住宅工事仕様書に、道産材による施工法を補足・記載した分冊を発行することにした。発行にあたっては道内の専門家による検討と、住宅金融支援機構の懇切なご助言とご指導を受けた。その内容の概略を紹介する。

2. 概要

住宅金融支援機構の仕様書(以下、機構仕様書)は、住宅工事の契約図書、申請図書の他に「施工マニュアル」として技術者のバイブル的な役割を永年果たしている。

機構仕様書の 4. 躯体工事の項に、4.2 材料、4.3 断面寸法等 4.8 平屋建又は2階建ての最下階の床構成 の各項目に道産材利用の施工法などについて、気候・風土等の地域的に特性のある事項を補足して、分冊《道産材活用型》(15 ページ)として北海道用に作成した。

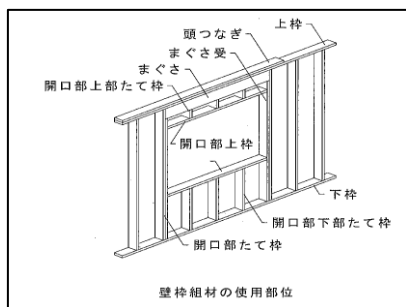
2.1 機構仕様書 4.2 材料の項に、道産構造用製材(トドマツ、カラマツ、スギ)および道産 I 型梁を加えて記載した。表-1、図-1 に、4.2.1 道産構造用製材(トドマツ、カラマツ、スギ)の等級別に壁組における使用可能部位を示した。

表-1 道産構造用製材の等級別使用可能部位

4.2 材料		4.2.1 道産構造用製材	
枠組材は、枠組壁工法構造用製材の日本農林規格に適合するものとし、壁組に用いる材は使用部位に応じて下表に掲げる等級に適合するものとする。			
道産構造用製材(トドマツ、カラマツ、スギ)			
	使用部位		等級
(3)	壁の上枠及び頭つなぎ	耐力壁	甲種枠組材の特級・1 級・2 級
		耐力壁以外	甲種枠組材の特級・1 級・2 級・3 級 乙種枠組材のコンストラクション・スタンダード
(4)	壁のたて枠	耐力壁	甲種枠組材の特級・1 級・2 級・3 級
		耐力壁以外	乙種枠組材のコンストラクション・スタンダード
(5)	壁の下枠	耐力壁	甲種枠組材の特級・1 級・2 級・3 級
		耐力壁以外	乙種枠組材のコンストラクション・スタンダード・ユーティリティ

* 道産構造用製材は壁枠組以外の部位でも使用できる。 * 上記部位以外については「機構仕様書」参照

図-1 壁枠組み材の使用部位



2.2 枠組壁工法構造用製材の日本農林規格にはトドマツは S-P-F 樹種群に、カラマツは Hem-Tam 群、スギは W-Cedar 群に属すとされている。分冊には表-2 に示すように、道産構造用製材の基準強度およびヤング係数としてそれぞれが属す樹種群に与えられている数値を記載した。なお、208 以上の断面の製材および 3640 mm 以上の長尺材の安定供給は原木の事情から困難な現状にあるため、当面は寸法形式は 204 と 206、長さは 2336~3640 mm に限定した。

表-2 道産構造用製材の基準強度およびヤング係数

4.2.2 道産構造用製材の基準強度およびヤング係数											
道産構造用製材(トドマツ)											
寸法形式	樹種	樹種グループ	区分	等級	基準強度 (N/m ²)						ヤング係数 (N/mm ²)
					圧縮	引張	曲げ	せん断	めり込み		
									材中間部	材端部	
204	□トドマツ	S-P-F	甲種	特級	20.4	16.8	30.0	1.8	6.0	4.8	10.8
				1級	18.0	12.0	22.2				10.0
				2級	17.4	11.4	21.6				9.6
				3級	10.2	6.6	12.6				9.3
			乙種	コンストラクション	18.6	8.4	16.2				9.8
				スタンダード	15.6	4.8	9.0				8.9
				ユーティリティ	10.7	2.4	4.2				8.3
204	□カラマツ	Hem-Tam	甲種	特級	18.0	13.8	29.4	2.1	7.8	6.2	8.2
				1級	15.0	8.4	18.0				7.5
				2級	12.6	6.6	23.8				7.5
				3級	7.2	3.6	8.4				6.2
			乙種	コンストラクション	14.4	4.8	10.2				6.9
				スタンダード	11.4	3.0	5.4				6.2
				ユーティリティ	7.2	1.2	3.0				5.5
	□スギ	W-Cedar	甲種	特級	15.0	14.4	23.4	1.8	6.0	4.8	7.5
				1級	12.6	10.2	16.8				6.9
				2級	10.2	10.2	16.2				6.9
				3級	6.0	6.0	9.6				6.2
			乙種	コンストラクション	11.4	7.2	12.0				6.2
				スタンダード	9.0	4.2	6.5				5.5
206	□トドマツ	S-P-F	上記の数値に乗じる調整係数		0.96	0.84	0.84		1.00		
	□カラマツ	Hem-Tam									
	□スギ	W-Cedar									

2.3 床根太やたる木に使用される断面の大きな製材や長尺材の代替製品として林産試で開発し道内企業で製品化されている道産 I 型梁を図-2 に示す。

図-2 道産 I 型梁の断面形状

4, 2, 3 道産 I 型梁
 床根太に使用できる道産 I 型梁の断面形状を以下に示す。
 なお、施工納まり等の詳細は道産 I 型梁施工マニュアルによる。

道産 I 形梁の断面形状				
種 類	<input type="checkbox"/> 235-42	<input type="checkbox"/> 235-63	<input type="checkbox"/> 235-88	<input type="checkbox"/> 使用しない
断面形状				
認定書番号	平成17年5月12日 国住指第98号	認定番号	MWCM-0007	

2.4 道産 I 型梁を用いた床組 および 従来から実績のある施工法による床組の例
 前述したように道内の人工林の生育状況から見て、208 以上の大きな断面の製材や 3650 mm以上の長さの製材を市場に安定供給することは現状では困難である。

従って表-3 および図-3 に示すような、それらによらない床組の施工法を提案する。

- A. 道産 I 型梁による床組
- B. 大引き床束を用いた床組
- C. 土間コンクリート床

これらはいずれも枠組壁工法の床組の施工法として従来から道内で実績のあるものである。

表-3 平屋建又は2階建の床構成

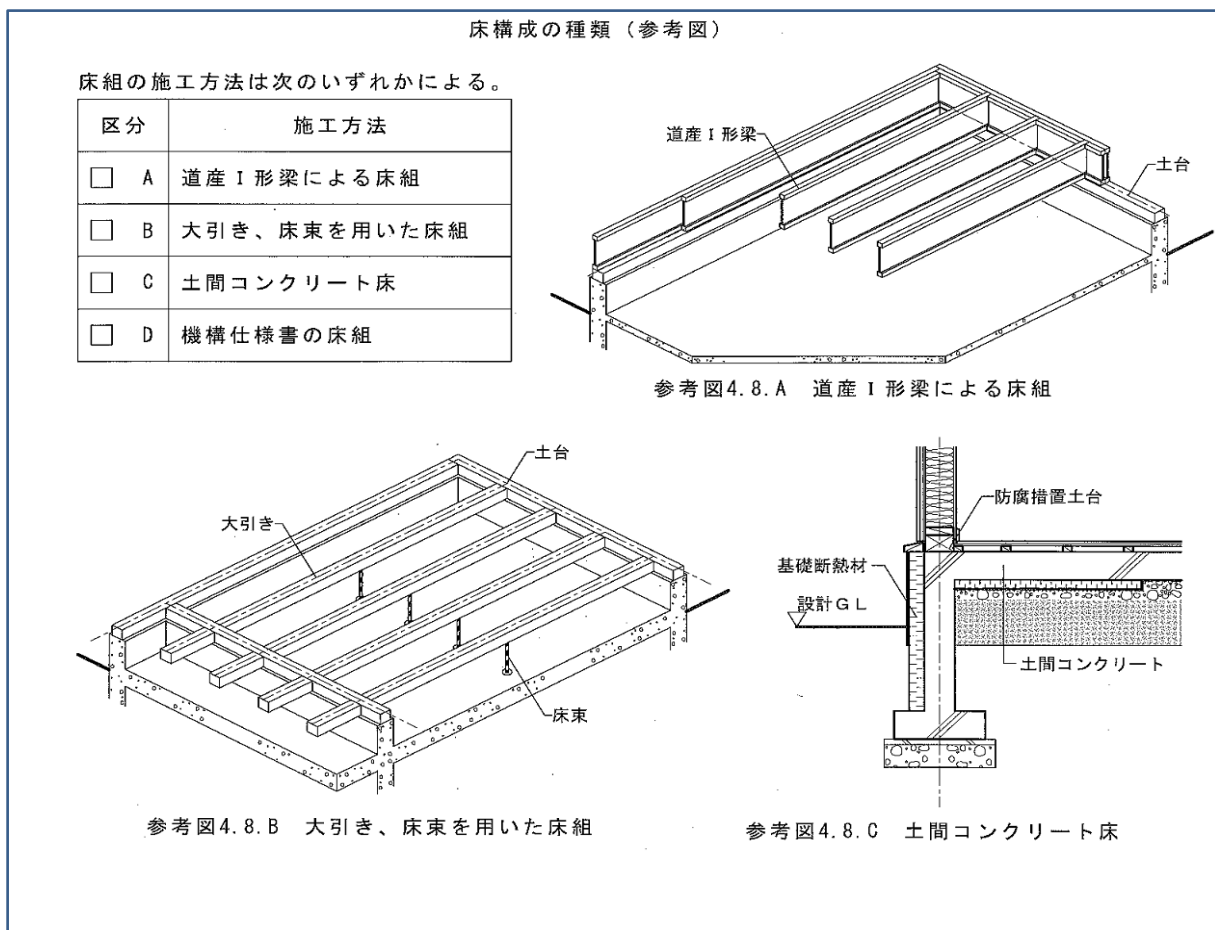
4, 8 平屋建又は2階建の床構成

4, 2 材料、4, 3 断面寸法で示したように道産製材の素材状況から、特に床組と小屋組における根太・たる木に使用される断面の大きなもの（206～212）と長尺材（14～20 フィート）の安定供給は現状では難しい状況にあり、枠組壁工法導入以来一般的に行われている 1 階床組に 210 材などを用いた施工方法を同じように道産構造用製材で行うことは困難である。しかし、以下に示すように従来から実績のある施工方法（参考図 4. 8. A, 4. 8. B, 4. 8. C）のいずれかを採用することで輸入材に依存しない住宅建築は可能であり、今後も多くの枠組壁工法建築物に採用されることが期待される。

道産 I 型梁（フランジに枠組壁工法構造用製材甲種 2 級に格付けされた道産トドマツ製材を、ウェブには構造用合板特類 2 級に格付けされた道産カラマツ合板を使用し、製品化されている。）は強度と寸法精度が安定し、作業時においても水平方向の振れが少なく軽く扱い易いという特性を持つ道産エンジニアードウッドである。

210 材などの床構成部材に代えて使用でき、その部材の長さは最大 8.0m まで製作可能であり、道産材による構造用集成材との併用により木材の収縮による建物の狂いを少なくし、建築物の構造安定化と耐久性に寄与する構造部材である。（スパン表、力学特性については北海道立総合研究機構林産試験場のホームページ「道産 I 型梁の軸組工法用施工マニュアル」を参照。）

図-3 床構成の種類



紙面の関係上、ここでは割愛するが、この他に提案した床組の施工における、防湿・防露工事、基礎工事、断熱工事などの要点について記載した。

3. おわりに

長年の懸案であった機構仕様書に、全国に先駆けて道産（国産）枠組壁工法構造用製材や道産 I 型梁を追加・記載した分冊を発行することができたが、道産枠組壁工法構造用製材普及のためには、未だ達成しなければならないことが山積みしている。

製材、乾燥、加工、流通、建設の各現場における技術の改良と積み上げ、大学・研究機関における新製品・新技術の研究開発が望まれる。

また、2.2 で示したが JAS ではカラマツを Hen-Tam と同等程度の強度を有するとしてトドマツより低い基準強度が与えられているが、中高齢のカラマツの強度データが蓄積されてきた現状から、再検討されるべきであろう。

また、今後、この分冊の補完となる枠組壁工法住宅の施工マニュアル、道産マテリアルガイドなども発行していく予定である。

P-8 カラマツ中径原木を用いた高強度集成材の開発

○松本和茂、大橋義徳（北林産試）

【緒言】

道内のカラマツ人工林資源は成熟期を迎えており、今後出材量が増加する中大径材の付加価値の高い用途開発が求められている。一方、道内のカラマツ製材工場における出荷製品の約8割は梱包材・パレット材等であり、今後建築分野等への利用拡大が求められている。また、建築分野における国産材利用が全国で活発化しているが、強度性能が求められる床梁等の横架材の自給率は7%と極めて低く、国産材利用のネックとなっている。

そこで、建築部材のうち国産材自給率が低い横架材分野へ、外国産樹種集成材に匹敵する高強度な国産集成材を供給することを目的として、道産カラマツ中径原木の成熟材部のみから選択的に集成材用ラミナを採材する方法を提案し、得られた高強度ラミナを用いて従来にない高強度なカラマツ集成材を開発した。

【試験方法】

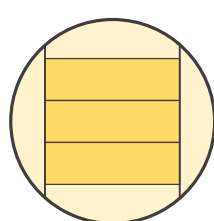
集成材用ラミナの生産実績が比較的高い道内のカラマツ製材工場4社（後志、上川、十勝、網走）において、製品の生産状況等を調査した結果、中断面集成材用ラミナ（挽立寸法：37×119mm程度）の生産では、**図1**のように径級18cmから3枚、あるいは径級20cmから4枚のラミナを採材するパターンが多かった。このパターンでは、ラミナの大部分が原木の未成熟材部から採られることとなり、必然的に高強度ラミナの出現割合が低くなる。

そこで、高強度が期待できる成熟材部から選択的にラミナを得るために、径級24cm以上の中径原木を用いて、**図2**のようにタイコ挽きした丸太の両側からラミナを取る木取り（側取り）を行うこととした。

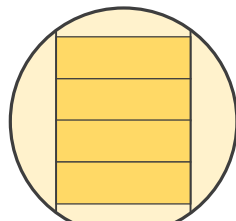
生産状況調査を行った製材工場4社で、径級26～28cmの原木を用いて側取りによる高強度ラミナの生産試験を行った。その際、比較のためにタイコ材の部分からもラミナを生産した。ラミナは人工乾燥により含水率を10～12%に調整した後、打撃音法により動的ヤング係数を測定した。

次に、得られたヤング係数頻度分布に基づいて、製造可能な集成材の強度等級を判定し、集成材工場でその強度等級の集成材を製造し、林産試験場で曲げ強度試験を行った。

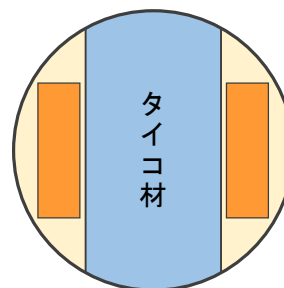
※ラミナ断面寸法：37×119mm



径級 18cm
3枚取り



径級 20cm
4枚取り



径級 24cm 以上
タイコ材の両側か
らラミナを採材

図1 従来の典型的なラミナの木取りパターン

図2 高強度ラミナを得るための木取り方法

【結果と考察】

製材工場 4 社で実施した高強度ラミナの生産試験に使用した原木は、径級 26~28cm、計 400 本で、生産したラミナの総数は 2638 枚である。このラミナの人工乾燥後の動的ヤング係数測定結果を以下に示す。ラミナ全体の相対度数分布を **図 3** に、タイコ材部から採ったラミナと側取りラミナの相対度数分布の比較を **図 4** に、従来の典型的なラミナ生産パターンに近いと思われるタイコ材の内側（タイコ材をだら挽きした際の外側 2 枚を除いたもの）のみの相対度数分布を **図 5** に示す。

現状の集成材用ラミナ生産においては、径級 20cm 以下の比較的小径な原木が多く用いられているが、本試験では径級 26~28cm の原木を使用したことにより、成熟材部を含むラミナの出現頻度が高まり、高強度ラミナの割合が多くなったと考えられる（**図 3、5**）。

タイコ材部のラミナと側取りラミナのヤング係数出現分布の違いは明らかである（**図 4**）。さらに側取りラミナと **図 5** の分布を比較すると、その差はより顕著となり、側取りによるラミナのヤング係数向上効果が示されている。

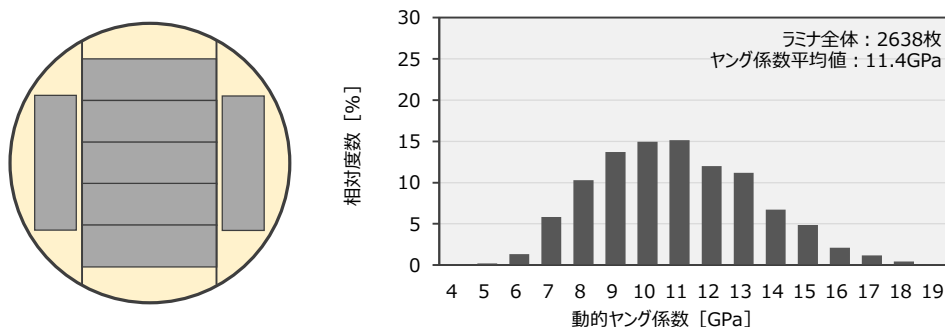


図 3 ラミナ全体のヤング係数の相対度数分布

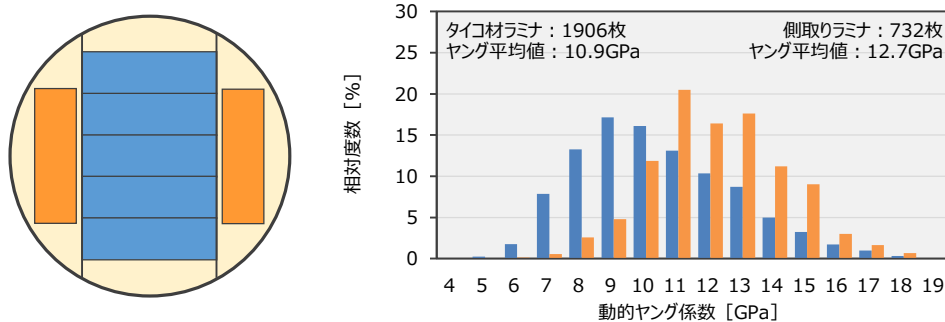


図 4 タイコ材部ラミナ及び側取りラミナのヤング係数の相対度数分布

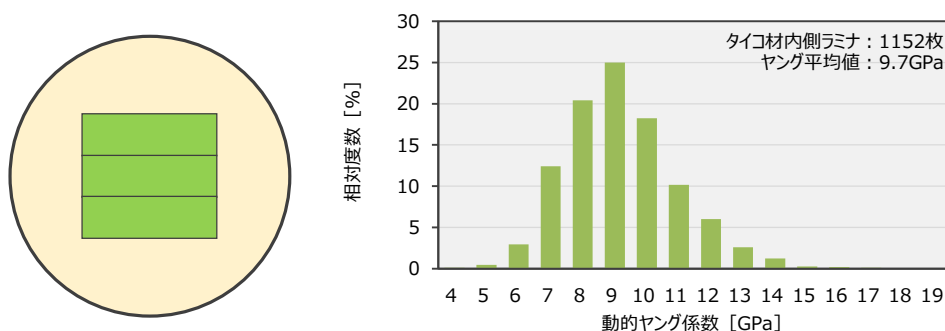


図 5 タイコ材の内側ラミナのみのヤング係数の相対度数分布

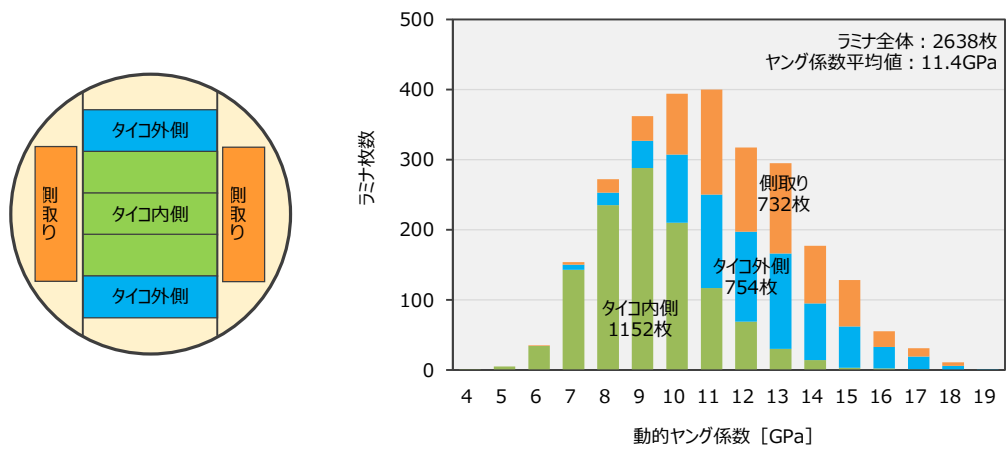


図 6 ラミナの断面内部位ごとのヤング係数の度数分布

得られたラミナの断面内部位ごとの度数分布を図 6 に示す。側取りラミナ及びタイコ材の外側のラミナは、ほぼ同等の分布となっており、それらはタイコ材の内側のラミナに比べて分布が高強度側に寄っていることがわかる。

側取りにより得られた高強度ラミナのヤング係数の出現割合は、集成材の JAS のラミナの強度等級 L140 以上が 26%、L125 が 21% となっており、従来のカラマツ構造用集成材の標準的な強度等級 E95-F270 よりも 2 ランク上位の強度等級 E120-F330 の集成材(図 7)が無理なく製造可能な水準であった。

得られた側取りラミナを用いて集成材工場で製造した集成材の内訳は、強度等級 E120-F330、接着剤：水性高分子イソシアネート系樹脂、寸法 105×300×6000mm 及び 105×240×4800mm を各 10 体である。これらを林産試験場で曲げ強度試験に供した結果を図 8 に示す。曲げ強さ、曲げヤング係数のいずれにおいても JAS の基準値を満たしていることが確認された。

今後は、側取りによる生産効率低下に伴うラミナの生産コスト増分と、従来にない高強度集成材の付加価値とを勘案し、製材業者、集成材メーカーの双方で収益が増加するような価格設定ができるよう、得られたデータを各企業等に提示するなどして道産高強度集成材の実現を目指す。

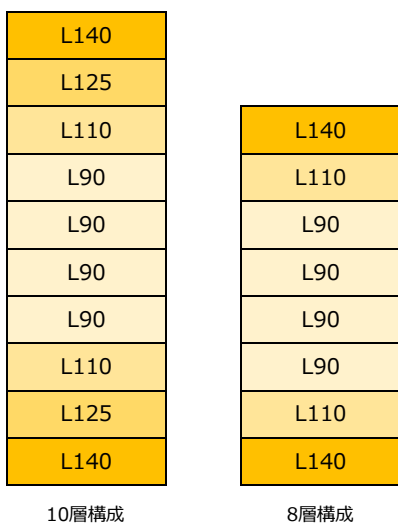


図 7 集成材の断面構成 (E120-F330)

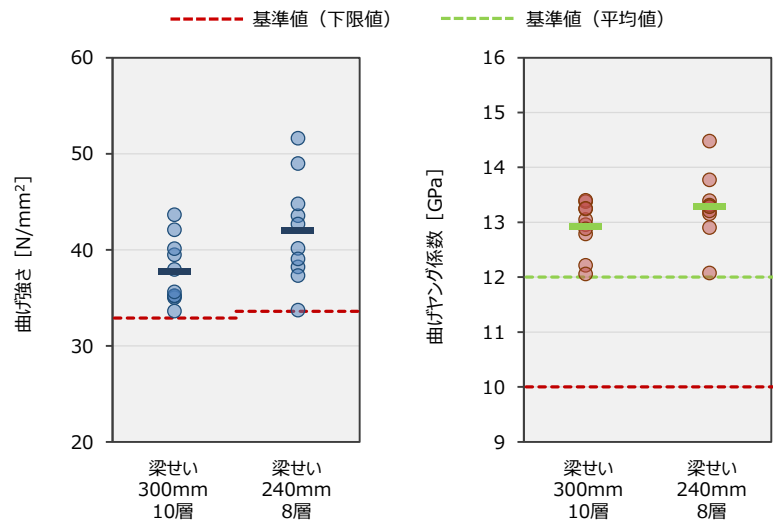


図 8 集成材の曲げ試験結果

木質外装材の表面仕上げが塗装後の耐候性能に及ぼす影響（Ⅱ）

-屋外暴露試験と促進耐候性試験の比較-

(北海道立総合研究機構 林産試験場) ○伊佐治信一

1. はじめに

木質外装材は、木の素材感を活かした意匠性の高い外装材であり、木材産業を活性化する上でも利用の促進が望まれる。木質外装材の利用促進を図る上での主な課題は、金属系や窯業系の塗装に比べて耐候性能が低いことにある。また、耐用年数が不明確なため、塗り換えまでの期間を推測できず、結果として利用が進まないといった側面もある。このことから、耐候性能の改善と耐用年数を推測するための暴露データの蓄積が重要と考えられる。

塗装面の耐候性能は、塗料自体の性能とともに木材の表面性状にも影響を受ける¹⁾。耐候性能の向上には、木材表面の粗面化が有効であることが報告されており²⁾、この理由として、粗面化による塗布量の増加が、木材の保護効果を高めるためと考えられている^{1, 2)}。しかし、塗料は、一般に平滑な面への塗布を前提に設計されているため、粗面化された木材に対しての適切な塗布量や塗布回数は必ずしも明らかになっていない。

本研究は、木質外装材の表面性状や塗料の塗布回数が、耐候性能に及ぼす影響を明らかにすることを目的とした。前報³⁾では、4種類の表面仕上げ（プレーナー仕上げ、粗挽き仕上げ、ワイヤーブラシ仕上げ、P60ペーパーサンディング仕上げ）に木材保護塗料を塗布した試片を用いて、ウェザーメーターによる促進劣化処理を1250時間までを行い、塗装面の耐候性能を調べた。その結果、粗挽き仕上げ材の塗料2, 3回塗りの色差変化が小さいなど、各表面仕上げの劣化の特徴が明らかになった。しかし、促進耐候性試験による耐候性評価の結果が、実際の屋外で暴露される条件に対してどの程度の相関性と促進性を有しているのかは未解明なままであった。そこで本報では、前報³⁾と同様の試験体を用いて屋外暴露試験を行い、両試験の相関性を調べた。

2. 試験方法

2.1 試験体

試験材には、人工乾燥され、丸鋸を用いて粗挽き仕上げされた市販の木質外装材（スギ心材）を用いた。木材の表面仕上げには、プレーナー仕上げ（以下、PL）、粗挽き仕上げ（以下、RO）、線径0.25mmの金属ワイヤを用いたワイヤーブラシ仕上げ（以下、WI）、P60のペーパーサンディング仕上げ（以下、SA）を用いた。ROは、入手した粗挽き仕上げ材の表面をそのまま用いた。PLは、ROの粗挽き面をプレーナーを用いて平滑にした面を用いた。WIとSAについては、PLの表面をワイヤーブラシ、P60ペーパーサンディングを用いて仕上げた。各

表1 塗装条件

記号	木材の表面仕上げ	塗装		
		塗布回数(回)	塗布量 (g/m ²) 平均値	標準偏差
PL-C0	プレーナー	-	-	-
PL-C1		1	48	11
PL-C2		2	79	10
PL-C3		3	117	8
RO-C0	粗挽き	-	-	-
RO-C1		1	143	22
RO-C2		2	235	54
RO-C3		3	291	30
WI-C0	ワイヤーブラシ (線径0.25mm)	-	-	-
WI-C1		1	200	15
WI-C2		2	353	31
WI-C3		3	482	51
SA-C0	P60ペーパーサンディング	-	-	-
SA-C1		1	65	8
SA-C2		2	116	10
SA-C3		3	161	6

表面仕上げを行った試験材は節のない部分を切り出し、70 (R) × 18 (T) × 300 (L) mm の寸法に裁断した。

表 1 に、塗装条件を示す。塗料には、塗膜をほとんど形成しない油性の木材保護塗料（色：茶色）を用いた。塗装は刷毛塗りとし、1, 2, 3 回塗りの試片を作成した。各条件につき 6 体作成し、3 体は屋外暴露試験に供し、残りの 3 体は、塗装後に、70 (R) × 18 (T) × 150 (L) mm に裁断した試片を促進耐候性試験に供した。なお、各試片の木口面は、2 液性のエポキシ樹脂を用いてシールした。

2.2 測色

測色には、日本電飾工業製の ZE-2000 を用いた。JIS K 5600-4-6⁴⁾ に基づき、暴露前および促進耐候処理 250, 500, 750, 1000, 1250 時間後に CIE-LAB 色空間における L*, a*, b* 値を計測した後、色差 (ΔE^*ab) を計算した。測色条件は、光源を D65, 視野角を 10°, 測色部の直径を 30mm とし、試片表面の定位置 3 箇所を計測した。

2.3 吸水量

吸水量の測定は、BS EN927-5⁵⁾ の試験方法を参考にして実施した。蒸留水を入れたプラスチック容器に、暴露面が水面に接する状態で試片を浮かべて、3 時間経過後の質量増加量を電子天秤（精度 1/1000g）を用いて計測し、吸水量とした。

2.4 屋外暴露試験

屋外暴露試験は、北海道旭川市（北緯 43 度 70 分，東経 142 度 38 分）において、南向き 90 度の傾斜条件で、2012 年 9 月から 2 年間実施した。暴露 1 年および 2 年経過後に試片を回収し、20°C65%RH の恒温恒湿室において 1 週間養生した後、測色、吸水量を計測した。

2.5 促進耐候性試験

促進劣化処理には、スガ試験機製の NX-75 を用いた。光源には、#295 の石英フィルターを取り付けたキセノンアークランプを用い、放射照度は 120W/m² (300~400nm) とした。光照射時におけるブラックパネル温度と装置内の温度は、73±3°C, 38±3°C とした。試片のぬれサイクルは、JIS K 5600-7-7⁶⁾ に順じ、18 分間の脱イオン水の噴霧を含む 2 時間の光照射を 1 サイクルとした。促進耐候処理は 1250 時間まで行い、250 時間経過ごとに試片を取り出し、20°C65%RH の恒温恒湿室において 1 週間養生した後、測色、吸水量を計測した。

3. 結果と考察

屋外暴露 1, 2 年後の吸水量、色差に相当する促進劣化処理時間を明らかにするため、促進劣化処理 0, 250, 500, 750, 1000, 1250 時間後の吸水量、色差と屋外暴露試験 1, 2 年後の吸水量、色差との残差平方和を求め、残差平方和の値が小さくなる促進劣化処理時間を調べた。表 2 に、塗装試片を対象にして算出した残差平方和を示す。屋外暴露 1 年後の吸水量と色差では、促進劣化処理 250 時間後の残差平方和が最も小さい値となり、屋外暴露 2 年後の吸水量と色差では、促進劣化処理 500 時間後との残差平方和が最も小さな値となった。この残差平方和が小さな値を示した条件における、屋外暴露試験と促進耐候性試験との吸水量、色差の関係を図 1, 2 に示す。屋外暴露試験 1 年後と促進劣化処理 250 時間後、屋外暴露試験 2 年後と促進劣化処理 500 時間後の吸水量、色差の値は、傾き 45 度の直線上に近いところにプロットされており、両試験の相関性は比較的高いと考えられる。これらの結果から、屋外暴露 2 年までは、促進劣化処理 250 時間が屋外暴露試験の 1 年に相当すると考えられた。Grüll らは、30 種類の塗料を用いて、屋外暴露試験と促進耐候性試験を

比較し、両試験から得られる塗料の耐用年数は、非線形の関係にあることを報告している⁷⁾。この報告を考慮すると、本研究における促進耐候性試験 500 時間以降の色差や吸水量変化が屋外暴露試験の何年に相当するののかについては、屋外暴露試験を継続して長期的な暴露データから判断する必要があると考えられた。今後は、これらの暴露データを蓄積し、耐用年数の明確化を図っていく予定である。

表 2 残差平方和による屋外暴露試験と促進耐候性試験の比較

屋外暴露年数	評価項目	促進劣化処理時間(h)					
		0	250	500	750	1000	1250
1	吸水量	26692	5491	46175	119678	374184	407535
1	色差	119	11	75	365	844	1674
2	吸水量	135475	50293	4980	22859	174910	200243
2	色差	448	97	27	93	381	984

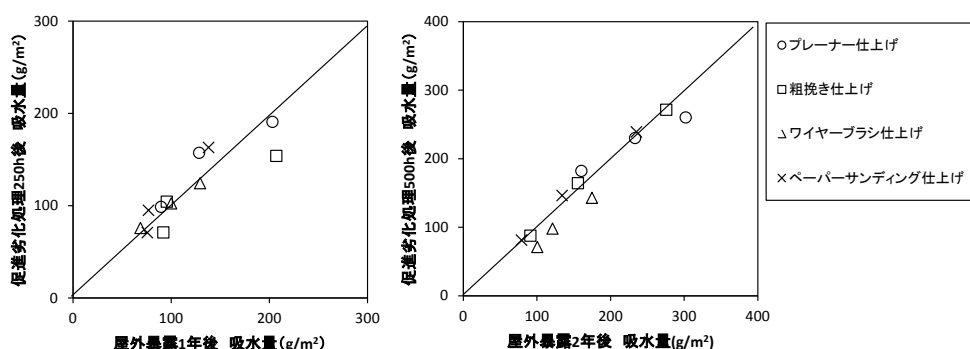


図 1 塗装試片における、屋外暴露試験と促進耐候性試験の吸水量の比較

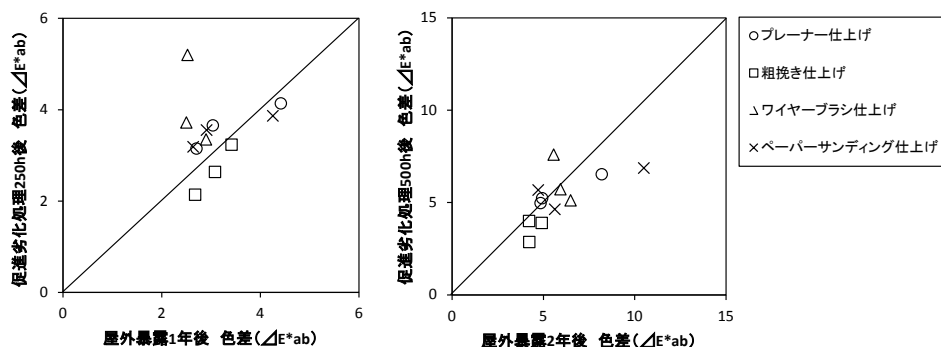


図 2 塗装試片における、屋外暴露試験と促進耐候性試験の色差の比較

【参考文献】

- 1) 木材塗装研究会編, 木材の塗装, 海青社, 186-188(2005).
- 2) 木口実, 塗装工学, 43 (9), 319-327(2008).
- 3) 伊佐治信一, 日本木材学会大会研究発表要旨集, N-13-P-13(2014).
- 4) 日本工業規格, JIS K5600-4-6(1999).
- 5) European Standard, BS EN927-5(2006).
- 6) 日本工業規格, JIS K5600-7-7(2008).
- 7) G.Grüll, F.Tscherne, I.Spitaler, B. Forsthuber, Eur.J.Wood Prod., 72,367-376(2014).

木質面材の吸放湿性能に及ぼす材料構成の検討

朝倉靖弘(北林産試)

【緒言】

木材および木質材料は吸放湿性能を有するため、室内等の湿度を調整する“調湿性能”を持つとされている。住宅の省エネルギー化が進む中、室内の湿度調整を内装材料が補助できれば光熱費等の削減につながる可能性が高い。しかしながら、木材の吸放湿性能および調湿性能に関しては、性能値の蓄積や検討が十分とはいえない。特に気温や湿度の年変動を考慮した検討は試験期間が長期にわたるため、測定例は非常に少ない。一方、建築材料内の熱と水分の移動においては、数値計算によるシミュレーション予測が一般的になってきている。今回は木質材料の吸放湿性能について、その性能と材料構成の関係をシミュレーションによって検討した。

【実験方法】

建築分野では、材料内の水分移動が結露領域以下の水蒸気拡散主体の場合、材料内の熱と湿気の移動は拡散則を基礎とし、熱と湿気の相互作用を含めた熱水分同時移動の形で表現されることが多く、熱湿気材料内非定常変化を検討する上でほぼ標準の手法となっている。本研究における計算には、独フラウンホフアー建築物理研究所で開発されたシミュレーションソフトウェアである“WUFI Ver5.3”を用いた。同ソフトウェアにおける熱水分同時移動式を図1に示す。

材料の吸放湿試験の計算条件としては、“JIS A 1470-1:2008 建築材料の吸放湿性試験法—第一部：湿度応答法”に規定される試験条件を用いた。同試験では、端部及び裏面をアルミテープ等でシールした試験体をあらかじめ一定の温湿度で養生し、その後試験体周囲の雰囲気温度を一定のまま湿度を急激に変化させ、材料の1面からの吸放湿による質量変化を検討する。今回、ソフトウェアの計算条件を当該JISの試験方法を模した形になるように設定して、シミュレーション計算を行った。なお、JISの試験方法では端部および裏面での熱水分移動は3次元となるが、本計算では材内の熱水分移動はすべて1次元流と見なし、端部および裏面における吸放熱も無視している。WUFIでは計算結果は材料の単位面積あたりの材内水分量で出力されるので、得られた結果からシミュレーション開始時の材内水分量を差し引くことによって材料の吸放湿量(g/m³)を得た。また、各材料の物性値には、WUFIが内蔵している建築材料データベースの値を用いた。計算

$$\frac{\partial H}{\partial \vartheta} \frac{\partial \vartheta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda \frac{\partial \vartheta}{\partial x} \right) + h_v \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\delta}{\mu} \frac{\partial (\varphi \cdot p_{sat})}{\partial x} \right) \quad \text{熱輸送}$$

$$\rho_w \frac{\partial u}{\partial \varphi} \cdot \frac{\partial \varphi}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\rho_w D_w \frac{\partial u}{\partial \varphi} \frac{\partial \varphi}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\delta}{\mu} \frac{\partial (\varphi \cdot p_{sat})}{\partial x} \right) \quad \text{湿気輸送}$$

Dw [m ² /s]	液水輸送係数
H [J/m ³]	湿った建材のエンタルピー
h _v [J/kg]	水の蒸発エンタルピー
P _{sat} [Pa]	水蒸気飽和圧
u [m ³ /m ³]	含水率
δ [kg/msPa]	空気中の水蒸気拡散伝導率
θ [°C]	温度
λ [W/mK]	湿った建材の熱伝導率
μ [-]	乾燥した建材の水蒸気拡散抵抗率
ρ _w [kg/m ³]	水の密度
φ [-]	相対湿度

図1 シミュレーションプログラムの熱水分同時移動式¹⁾

表1 シミュレーションに使用した材料と物性値

試験体記号	材料種類	厚み × 10 ⁻³ m	全乾密度 kg/m ³	熱伝導率 W/mK	湿気伝導率 ng/(m·Pa·s)
M12	MDF	12	528	0.1	16.5
M24	MDF	24	528	0.1	16.5
PW12	合板	12	500	0.1	0.283
PW24	合板	24	500	0.1	0.283
MPW24	MDF12mm+合板12mm	24	-	-	-

に用いた木質材料とその物性値を表1に示す。
MDF12mmと合板12mmを積層した試験体MPW24については、MDF側を吸放湿面とした。

温湿度条件としては、養生時の温湿度を23°C50%RHとし、試験湿度を75%RH一定とした場合と年間を通じて75%RHから25%RHの間で正弦波変動(平均50%RH)させた場合の2つを検討した。後者は、年変動する外気の換気による室内への流入を想定した試験条件である。

【結果と考察】

図2に湿度一定の場合における吸湿量の180日間の経時変化を示す。実験初期において、MDFは合板に比べ吸湿量の増加率(吸湿速度)が高いが、材内に湿気を有する性能(湿気容量)が少ないため、早い時点で平衡に達する。PW12とPW24の比較では初期の吸放湿量に大きな差は無いが、約21日後からはPW24の吸湿量が大きくなる。これは、材厚による湿気容量の差が要因と考えられる。また、PW24は3ヶ月後でも平衡に達しなかった。一方、MPW24では吸湿速度はM12およびM24とほぼ同様に最大値はM24以上の値となり、MDF(吸湿速度大)と合板(湿気容量大)の双方の特質を有すると考えられた。

図3に年変動を与えた場合の24mm厚の試験体の1年間の吸放湿量と、試験条件とした相対湿度変化を示す。M24は湿気に対する追従性は良いが吸湿量がやや少なく、PW24は湿度変化への追従が遅いことがわかる。これらは湿度一定試験での傾向と同様である。一方、MPW24は湿度変化への追従性が良く、湿度変化の吸放湿量の最大値はPW24をやや上回った。特に湿度変化の最初のピークである90日目の吸放湿量を比較すると、PW24とMPW24の大小関係は湿度一定試験と変動試験で明確に逆転している。これらの原因は吸湿速度と湿気容量の相互作用によると考えられるが、今後の検討課題とした。また、以上の結果から調湿材料の検討においては、一定条件試験と共に目的に応じた変動条件による測定が必要であると言える。

【まとめ】

本研究の結果から、異種木質材料の積層等によって吸湿速度および湿気容量を変化させることが出来ることがわかった。すなわち、組み合わせる材種や積層厚を変更することによって、使用目的に応じた材料設計が可能であると考えられる。今後は、現実の試験体実験によるシミュレーション結果の検証が必要であろう。

1) Hartwig M. Künzeli, 田中辰明：建築仕上技術, 30 (2), 49-60 (2005)

* 本研究は「平成25年度農林水産業・食品産業科学技術研究推進事業 国産材を高度利用した木質系構造用面材料の開発による木造建築物への用途拡大」にて実施した。

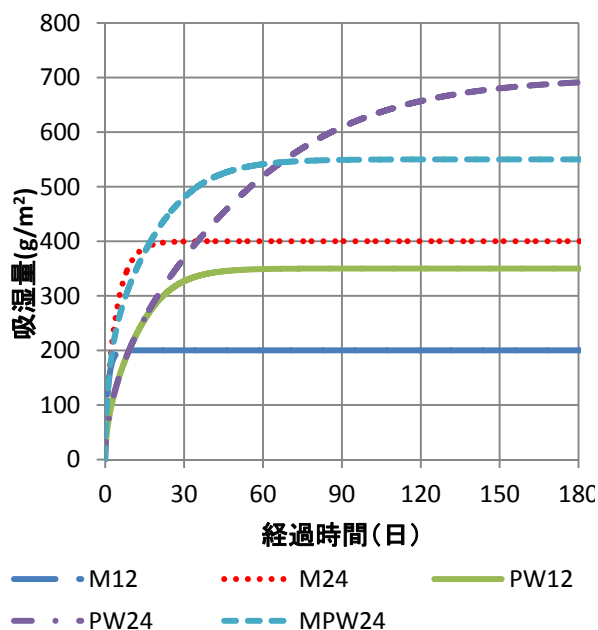


図2 湿度一定時の吸湿量の経時変化

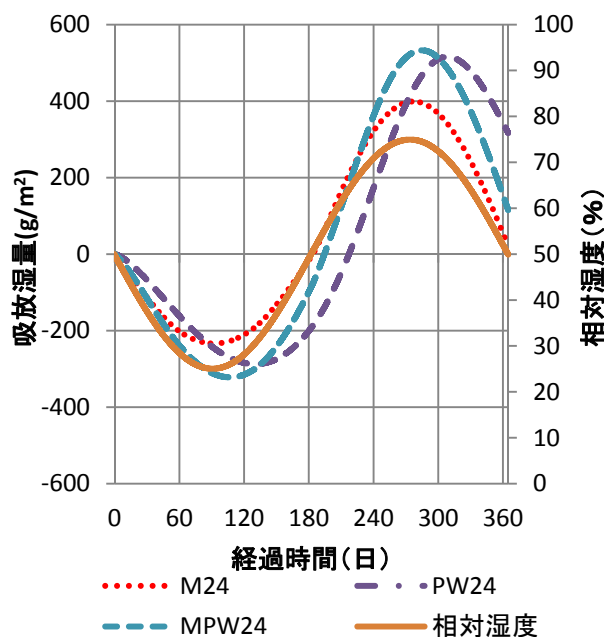


図3 湿度変化時の吸放湿量の経時変化 (24mm厚試験体)

多雪地域における混構造 3 階建て（1 階 RC 造、2、3 階木造）住宅の必要壁量

○平井卓郎（北海道大学農学研究院） 奈良謙伸（(有)奈良建築環境設計室）

1. はじめに

北海道では以前から、1 階または半地階を鉄筋コンクリート（RC）造とし、2、3 階を木造とする混構造 3 階建て住宅が数多く建てられてきた。この構造は多雪寒冷地の住宅として、次のような利点を持っている。(1)1 階 RC 部分を車庫などとして利用することで除雪面積が低減される。(2)車庫や店舗など 1 階に広い開口部を取りたい場合の設計が比較的容易である。(3)RC 造部分を外断熱することで、蓄熱容量を確保し易い。(4)木造部分が雪に埋まらないので、耐久性を高めることができる。(5)1 階を RC 造とすることで 1 階床高さの自由度が増し、バリアフリー対応が行い易くなる。(6)木造 3 階建てとした場合に生じる最下階の大きなめり込み力や引抜力を避けることができる。

混構造 3 階建て住宅は、かつては一定の構造規定に従っていれば、詳細な構造計算無しでも建設可能であったが、現在は許容応力度計算による安全確認が必要となっている。その際、一般的な構造設計ルートによる場合は、許容応力度計算と同時に、建築基準法施行令第 46 条（以下、令 46：在来構法）または平成 13 年国土交通省告示第 1540 号（以下、国交告 1540：枠組壁工法）による壁量計算¹⁾も求められる。しかし、在来構法に適用される令 46 の地震用必要壁率には積雪荷重が考慮されていない。また、令 46、国交告 1540 の地震用必要壁率は木造 3 階建てに対するもので、混構造は本来適用範囲外である。これらの点を考えると、多雪地域を想定した混構造に対する地震用必要壁率が与えられれば、詳細な構造計算の前に、概算的な耐力壁配置を行い易くなると考えられる。

北海道内の関係団体では、これまでに 1 階を RC 造、2、3 階を在来構法または枠組壁工法とした混構造 3 階建ての構造計算例^{2,3)}が作成されている。この報告ではこれらの計算例に基づき、1 階を壁式 RC 造とした混構造住宅の、2、3 階木造部分の必要壁率について試算を行ってみた。

2. 混構造 3 階建て（1 階 RC 造、2、3 階木造）住宅の構造計算例と必要せん断耐力

これまでに作成した構造計算例^{2,3)}の基本設定は次の通りである。

建物用途：一戸建て専用住宅、建設地：札幌市（垂直積雪深 140 cm）

構造上の床面積：1 階 73.71 m²、2 階 67.23 m²、3 階 55.08 m²

最高高さ：9.82 m、軒高：8.99 m、屋根形式：（3 階）M 型無落雪屋根、（2 階）フラットルーフ

在来構法の平面図、立面図を図-1 に示す。枠組壁工法は内部の壁配置や仕様に一部違いがあるが、基本設定はほぼ同じである。この設定条件に対して計算された地震用必要せん断耐力（(1)式）を表-1、表-2 に示す。

$$\text{必要せん断耐力 (kN)} = \text{各階負担重量 (kN)} \times \text{地域地震係数} \times \text{震動特性係数} \times \text{標準せん断力係数} \times A_i \quad (1)$$

表-1 構造計算例題（在来構法）の地震用必要せん断耐力

階	各階重量 (kN)	各階負担重量 (kN)	地震地域 係数	震動特性 係数	標準せん 断力係数	A_i	必要せん断耐力 (kN)
3	169.74	169.74	0.9	1.0	0.2	1.55	47.30
2	202.67	372.41				1.28	85.47
1	773.56 (405.34)	1145.97 (777.75)				1.00	206.27

()内の数値は A_i 計算用の換算重量で 2 階重量の 2 倍。

表-2 構造計算例題（枠組壁工法）の地震用必要せん断耐力

階	各階重量 (kN)	各階負担重量 (kN)	地震地域 係数	震動特性 係数	標準せん 断力係数	A_i	必要せん断耐力 (kN)
3	184.30	184.30	0.9	1.0	0.2	1.49	49.53
2	188.71	373.01				1.26	84.40
1	782.50 (377.42)	1155.51 (750.43)				1.00	207.99

()内の数値は同上。



図-1 構造計算例として用いた混構造3階建て（1階RC造、2、3階木造）住宅の平面・立面図

3. 混構造3階建て住宅の2,3階木造部分の必要壁率

3階建て木造住宅の地震力に対する必要壁率（各階単位床面積あたりの必要耐力壁長(cm/m²)：令46、国交告1540）は、(2)式のような考え方で与えられている。

$$\text{必要壁率(cm/m}^2\text{)} = \text{床面積あたり標準負担重量(kN/m}^2\text{)} \times \text{標準せん断力係数} \times A_i / (1.96 \times 10^{-2} \text{ (kN/cm)}) \quad (2)$$

(2)式は(1)式の地域地震係数を1.0とし、建物個々の仕様によらず標準的な負担荷重を仮定して求めた各階単位床面積あたり必要せん断耐力を、壁倍率1.0あたりの基準せん断耐力1.96(kN/m)に対する比に換算したものに相当する。したがって、(1)式による構造計算（許容応力度計算）と(2)式を用いた壁量計算の主な違いは、個々の仕様に応じて固定荷重を計算するか、標準固定荷重を用いて概算するかという点にある。なお、(2)式の多雪地域における標準負担荷重には、枠組壁工法と在来構法の品確法等級2以上では積雪荷重が加算されているが、建築基準法レベルの在来構法では加算されておらず、この点が多雪地域における壁量計算の問題点となっている。

3階建て住宅の2,3階木造部分の負担する荷重は、1階が木造でもRC造でも大きな違いは無いと考えられるので、木造3階建てと混構造との必要壁率の違いは(1)、(2)式のA_i分布の違いに帰着する。A_i分布は各階地震層せん断力係数の分布を1階の層せん断力係数に対する比として示したもので(3)式のように与えられている⁴⁾。

$$A_i = 1 + \left(\frac{1}{\sqrt{\alpha_i}} - \alpha_i \right) \frac{2T}{1+3T} \quad (3)$$

α_i：i階の負担重量を最下階の負担重量で除した値（表-1、表-2参照）

T：建物の1次固有周期（ $T = H(0.02 + 0.01\alpha)$ ）

α：木造である階の高さの長さHに対する比

H：建築物の高さと軒高の平均(m)

上式中のA_iは、地震時の各階負担重量の最下階負担重量に対する比α_iによって変化する。A_iはα_iが小さいほど大きくなるので、同じ3階建ての2,3階木造部分であっても、1階が重いRC造の場合は必要壁率が増加することになる。表-1、表-2では、1階重量を2階重量の2倍と仮定してA_iを計算しているが、これは1階重量が他の各階重量に比べて際立って大きい場合、実重量をそのまま用いると、A_iが過大になり過ぎることを考慮したものである。その場合、α_iの定義に従えば、1階負担重量を2階負担重量の2倍と仮定するのが本来であるが、現状では表-1、表-2のような取り扱いも行われている。どちらの仮定によるA_iが大きくなるかは個々に異なるが、多くの場合、計算結果にはそれほど大きな差はない。

1階木造、1階RC造のA_i分布の違いを比較するため、表-1の1階RC部分を2階と同仕様の木造1階（重量は概算的に床面積に比例）に置き換え、積雪深100、200cmについて各階のA_iを計算すると、表-3のようになる。表-3のA_iの比（A_i(混)/A_i(木)）を用いて、積雪荷重の考慮されている国交告1540の地震用必要壁率を補正した結果を表-4に示す。また、構造計算例^{2,3)}で想定している積雪深140cmに対する補正必要壁率と構造計算によって得られた必要せん断耐力の壁率換算値（(4)式）の比較結果を表-5に示す。

$$\text{壁率換算値(cm/m}^2\text{)} = (\text{必要せん断耐力(kN)/床面積(m}^2\text{)}) / (1.96 \times 10^{-2} \text{ (kN/cm)}) \quad (4)$$

構造計算例では各階の床面積が異なる場合を想定しているが、A_iの値は各階重量比（床面積比）によって異なり、令46、国交告1540は各階同面積を仮定して与えられている。この点を考慮し、表-5には各階床面積を等しくした場合のA_i(混)/A_i(木)の概算値（3階で1.05、2階で1.08）を用いた補正必要壁率も示してある。また、構造計算例で0.9としている地域地震係数を1.0とした場合の壁率換算値も示してある。

表-5を見ると、地域地震係数1.0とした壁率換算値(表中()^{b)})に対して、面積補正を行った必要壁率(表中()^{a)})が小さくなっているが、この結果は構造計算例で用いている各階負担荷重（主に固定荷重）^{2,3)}が令

46、国交告 1540 で用いている荷重¹⁾より大きいことが影響していると考えられる。固定荷重の設定には幅があるので、どちらが適切であるかは一概に判断できないが、一般的な壁量計算の拡張を考えるなら、 A_i 分布のみを考慮した補正を行うのが、また各地域の標準的な施工実態を考慮した地域別対応を考えるなら、負担荷重の見直しを含めた必要壁率の検討を行うのが合理的であろう。後者の場合は、基本構造計画が妥当であれば、壁量計算の結果と許容応力度計算の結果にはほとんど差が生じないと考えられる。

表-3 木造3階建てと混構造3階建ての A_i 分布の比較

階	床面(m ²)	積雪深(cm)	負担重量(木)(kN)	A_i (木)	負担重量(混)(kN)	A_i (混)	A_i (混)/ A_i (木)
3	55.08 (0.75)	100	146.60	1.52	146.60	1.58	1.04
		200	204.44	1.45	204.44	1.51	1.04
2	67.23 (0.91)	100	344.17	1.20	344.17	1.29	1.07
		200	414.76	1.18	414.76	1.26	1.07
1	73.71 (1.00)	100	561.27	1.00	739.31	1.00	1.00
		200	644.62	1.00	835.41	1.00	1.00

()内の数値は1階床面積に対する各階床面積の比。

表-4 混構造3階建て用の補正必要壁率(cm/m²)

階	積雪深(cm)	木造3階建て	混構造3階建て	混構造面積補正 ^{注)}
3	100	35	36	37
	200	55	57	58
2	100	51	54	55
	200	68	73	73

注)2階、3階の床面積を1階と同面積、各階重量は床面積に比例すると仮定し、表-3の A_i (混)/ A_i (木)を再計算した値。3階で1.05、2階で1.08。

表-5 補正壁率と構造計算結果の比較

階	積雪140cmに対する必要壁率 (cm/m ²)	構造計算による必要せん断耐力の壁率換算値(cm/m ²)	
		在来構法	枠組壁工法
3	45(45) ^{a)}	44(49) ^{b)}	45(50) ^{b)}
2	62(63) ^{a)}	65(72) ^{b)}	63(70) ^{b)}

a) ()内は面積補正(表-4参照)を行った場合の A_i (混)/ A_i (木)を用いた値。
b) ()内は地域地震係数を1.0とした場合の補正值。

4. まとめ

この報告では、混構造3階建て住宅の木造部分の必要壁率について検討を行った。今後は、構造計算手法の適切な合理化により、多雪寒冷地で利点の多いこの構法の普及が進むことが望まれる。

文献

- 1) 平井卓郎、宮澤健二、小松幸平：木質構造 [第3版]、東洋書店、77-79、165-166 (2012)。
- 2) (一社)北海道建築技術協会：混構造3階建て住宅の構造計算、2013年2月。
- 3) NPO 法人北海道住宅の会、(一社)北海道建築技術協会：混構造3階建て住宅の構造計算 (枠組壁工法)、2014年3月。
- 4) 石山祐二：耐震規定と構造動力学、三和書籍、13、46、202 (2008)。

日本木材学会 北海道支部講演集 第46号

平成26年11月5日 発行

編集人 荒川 圭太、長谷川 祐、大崎 久司

発行人 小泉 章夫

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
