

林産試験場報

研究記録

- 人工林針葉樹主伐後の再造林にともなう森林バイオマス集荷可能量の推定 (1)
酒井 明香
- 林地残材を含む木材を燃料とするバイオマス発電のGHG (9)
前川 洋平
- 高齢者の歩行安全性を備えたフローリングの性能と仕様 (15)
澤田 哲則, 松本 久美子, 北橋 善範, 高山 光子, 近藤 佳秀, 伊佐治 信一, 平林 靖, 横山 裕
- 鋼板添板ラグスクリー接合における先穴仕様および千鳥配置の影響 (23)
戸田 正彦, 富高 亮介, 村上 了
- 野生型エノキタケ新品種の開発 (第2報)
構成核由来単核系統を用いた菌株の作出と選抜 (27)
宜寿次 盛生, 米山 彰造, 吉野 (齋藤) 沙弥佳, 東 智則, 檜山 亮, 津田 真由美

抄録

- カラマツ成熟材部から採材したラミナの特性と製品の強度等級別製造シミュレーション (39)
高梨 隆也, 山田 実歩, 松本 和茂, 渡辺 誠二, 大橋 義徳, 石原 亘, 植松 武是
- 温湿度定常下でのカラマツ直交集成板の長期曲げ性能 (40)
高梨 隆也, 大橋 義徳, 石原 亘, 松本 和茂
- 低湿度環境で暴露したカラマツおよびトドマツCLTのせん断強度 (41)
石原 亘, 高梨 隆也, 川合 慶拓, 大橋 義徳, 佐々木 貴信, 澤田 圭

2023

550号

地方独立行政法人

北海道立総合研究機構 森林研究本部 林産試験場

人工林針葉樹主伐後の再造林にともなう 森林バイオマス集荷可能量の推定

酒井 明香

Estimation of the potentially collectable volume of unused forest biomass on artificial afforestation after final cutting

Sayaka SAKAI

キーワード：地ごしらえ，林地残材，伐採跡地，再造林

人工林針葉樹の主伐後に，再造林に向けた地ごしらえ作業で発生する森林バイオマス・地ごしらえ残材の集荷可能量を推定した。地ごしらえ残材集荷量を従属変数とし，伐採材積・樹種・地域・集材方法・広葉樹の出材状況を説明変数とする重回帰分析を行った結果，伐採材積・地域・広葉樹が統計的に有意な変数として採択された。自由度修正済み $R^2=0.861$ で，回帰式の P 値は1%水準で有意であった。この推定式を用いた2021年度および2031年度の地ごしらえ残材集荷量の試算結果は，各25.8万 m^3 ，34.9万 m^3 となり，2020年度に北海道で使用された“未利用材”86万 m^3 の30~40%に相当することが明らかになった。

1. はじめに

地球温暖化問題を背景として，化石燃料消費の削減に向けた取り組みが全国で活発となっている。2022年9月には，新たな「バイオマス活用推進基本計画」¹⁾が閣議決定され，バイオマスの種類ごとに2030年に向けた利用目標が掲げられた（第1表）。それによれば，黒液や製材工場等残材，建設発生木

材などの廃棄物系バイオマスは，現在の利用率が96%から100%と，ほぼ回収限界に近付いている。そのため，今後は農作物非食部や林地残材などの未利用系バイオマスの利用を推進すること，これまで計画上は扱ってこなかった新たなバイオマスの賦存量や利用量について2030年までに調査を実施することが明記されている。

第1表 バイオマス活用推進基本計画におけるバイオマスの種類ごとの利用率と2030年の目標（%）^{*1,2}

	バイオマスの種類	現在の年間発生量	現在の利用率	2030年の目標
廃棄物系	家畜排せつ物	約8,000万トン	約86%	約90%
	下水汚泥	約7,900万トン	約75%	約85%
	黒液	約1,200万トン	約100%	約100%
	紙	約2,500万トン	約80%	約85%
	食品廃棄物等	約2,400万トン	約58%	約63%
	製材工場等残材	約510万トン	約98%	約98%
	建設発生木材	約550万トン	約96%	約96%
未利用系	農作物非食部	約1,200万トン	約31%	約45%
	林地残材	約970万トン	約29%	約33%以上

* 1 現在の年間発生量および利用率は2021年4月時点

* 2 黒液・製材工場等残材・林地残材は乾燥重量、他のバイオマスは湿潤重量

また国が達成すべき目標として、2030年度までに全都道府県でバイオマス活用推進計画を策定すること、全市町村がバイオマス関連計画を活用することが掲げられている¹⁾。

北海道ではバイオマス活用推進基本計画の閣議決定（2022年9月6日）に先立つ2020年3月に「2050年までに温室効果ガス排出量の実質ゼロをめざす」ことを表明し“ゼロカーボン北海道”の達成に向けた森林吸収源対策や道産木材の利用推進に取り組んできた²⁾。北海道の森林は、人工林針葉樹の約8割が40年生以上の成熟期に達しており³⁾、森林施業に由来する低質材や林地残材は、木質バイオマス発電施設を中心に燃料としての活用が進んでいる。道内における木質バイオマスエネルギー利用量は、2016年度以降に稼働した大型木質バイオマス発電所等の利用を反映して急増しており、2020年度には146万³（うち未利用材86万³）に達した²⁾。

今後さらに複数か所の発電施設の新設が見込まれていることから⁴⁾、道内の木質バイオマス需要はさらに増加することが予想される。

本稿は、これらの施策の動きと本道における森林資源の成熟、主伐・再造林面積の増加を念頭に、再造林の前工程として実施される“地ごしらえ”作業の際に生じるバイオマス（以下「地ごしらえ残材」）を新たな未利用系バイオマス資源として、その集荷可能量を推定することを目的とする。

2. 森林バイオマスの利用可能量に関する知見

冒頭に示した農水省のバイオマス基本計画において、間伐材・主伐材・徐伐材および林地残材等の森

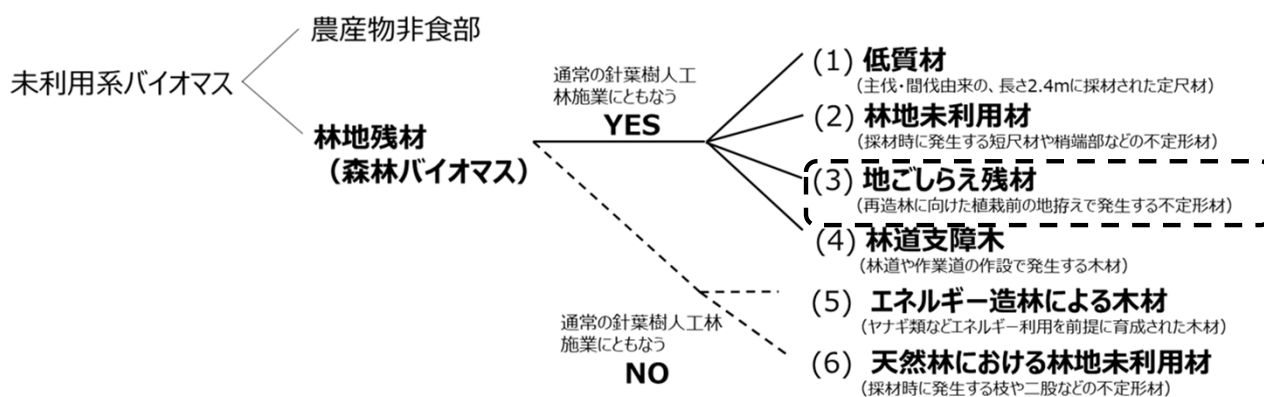
林施業が由来となるバイオマスは、未利用系バイオマスの一つとして“林地残材”に分類される。一方、林地残材と「既に利用されている木材」の境界を示すことは簡単ではない。例えば、腐朽がみられる原木は、製紙工場のある地域では主にパルプ材として利用されるが、需要のない地域では林地残材となる。末口6cmの太さの原木に需要がある地域もあれば、末口14cmの原木で切り捨てられ林地残材となる地域もある。このように林地残材になるかどうかは各地の木材需要状況や市況に大きく左右される。

本稿では林地残材を、山に残っているかどうかを問わず“森林バイオマス”と言い換え、本稿の試算対象となる地ごしらえバイオマスを含め、北海道で特に注目される森林バイオマスを、6つに分類した上（第1図）、これまでの知見を整理した。

2.1 低質材

低質材は、主伐や間伐に由来する、曲がりや腐朽などの欠点を有する原木を指す。北海道における針葉樹の低質材は、古くよりパルプ材として利用されており、吉沢⁵⁾によれば1960年から1963年における木材需要量の約3割をパルプ材が占めた。現在の北海道においても、これらのパルプ材はおおむね長さ2.4m前後に採材され、2020年現在で190余社のチップ工場に原木換算で434万³/年が出荷されている³⁾。

このことから、北海道における低質材の多くは現時点では「既存需要あり」（未利用ではない）と判断されるが、将来的な製紙業の後退によってはパルプ材としての出荷量が低下し、森林バイオマスとなる可能性がある。



第1図 本稿の試算対象とその他の注目される森林バイオマスの位置づけ

なお伐採材積に占める低質材の割合（パルプ率）の樹種による差について、大野ら⁶⁾は、北海道の山土場におけるカラマツおよびトドマツの低質材の出現パターンを調査し、カラマツは林齢とともにパルプ材出現率が低下するが、トドマツは逆に増加する傾向を明らかにしている。

2.2 林地未利用材

林地未利用材は、主伐材や間伐材を用途に合わせて採材するときに発生する、欠点を有した短尺材や、梢端部などの不定形材を指す（第2図左）。著者らの調査⁷⁾では、北海道内の間伐・主伐林分において、全幹集材時に、採材後の山土場に集積する森林バイオマス（引用文献中では「林地残材」）の立木幹材積に占める割合は約17%であった。また、立木幹材積（重量換算）を100%とした時、全木集材時に山土場に集積する森林バイオマスの重量割合は28%であった。これらは他府県のスギ・ヒノキの知見と比べ同程度かやや低めの数値である⁸⁾（中澤ほか（2006））。著者らはこの割合と北海道地域森林計画の森林経営計画（平成19～24年）等を元に全幹集材時の林地残材（本稿での未利用材と同義）の潜在的利用可能量を、約42.8万m³/年と試算した⁹⁾。

林地未利用材の名のとおり、その多くが林内に残置されたままであり、既存需要と競合しないことから、その活用が施策目標のひとつとなっている。

2.3 地ごしらえ残材

地ごしらえ残材は、主伐後の再生林の準備作業として、グラップルレーキ等を用いて不要物を除去する地ごしらえ作業の際に集められる森林バイオマスを指し（第2図右）、本稿の試算の対象である。低質

材や林地未利用材が主林木の樹幹であるのに対し、地ごしらえ残材には主林木の枝条や倒木のほか、広葉樹支障木の端材、稚樹やササ類などが含まれる。地ごしらえ残材集荷量は、伐採材積のほか、主林木の樹種や現地の下層植生、広葉樹の侵入状況等の因子に左右されると考えられるが、知見は乏しい。

著者らの調査¹⁰⁾による主伐林分では、地ごしらえ面積1haあたり約150トンが集荷できた。土砂混入率が8%～16%前後と高く、灰分の高い低質なチップではあるが、同試験地の地ごしらえ残材の熱量を計測したところ、製紙用カラマツチップの87%の熱量を有していた¹¹⁾。

従来、地ごしらえ残材は、火入れによる焼却が行われてきたが¹²⁾、消防法の強化や技術伝承の困難さから廃根線（はいこんせん）として林内に帯状に残置されることが多くなった。一方、廃根線は野ネズミの営巣環境になりやすく、野鼠害を誘発する可能性が高いとの指摘¹³⁾があり、地ごしらえ残材の有効活用の道が模索されていた。前出の事例では、地ごしらえ残材を廃根線にせずチップ化してバーク堆肥原料として出荷することで、チップ販売収入から地ごしらえに関する収支が1haあたり8万円ほど改善した¹⁴⁾。2016年以降は、道内の大型木質バイオマス発電所の一部で積極的に燃料利用されるようになり、有価物として取引される実績ができてきた¹⁴⁾。

2.4 林道支障木

林道支障木は、林道または作業道の作設の際に、森林の伐採にともない発生する支障木を指す。針葉樹・広葉樹ともに販売されることが多く、例えば北海道森林管理局では2018年度～2020年度に公売において1,000～7,000円/m³で落札されるなど¹⁵⁾、道内



第2図 林地未利用材（左）と地ごしらえ残材（右）

では有価物として取引されている実績ができつつある。

一方、公売の物件の不落率が高い地域では、森林バイオマスとなっていることが予想される。

2.5 エネルギー造林による木材

当初よりエネルギー利用を目的とした造林による森林バイオマスを目指す。道内では、ヤナギ類のエネルギー造林について伊藤ら¹⁶⁾、宇都木ら¹⁷⁾、矢野ら¹⁸⁾が検討している。ヤナギ類は成長が早く萌芽更新や差し木更新が容易であるのが特徴で、エゾノキヌヤナギ・オノエヤナギの適切な個体を選び造林することで、最大で1年当たり10トン/haの生産が可能であることを示した。ヤナギ栽培は土壌を選ぶこと、またエゾシカの食害を受けることもあるため、土壌改良に関わるインフラ整備、及び動物害に対する投資が必要であるが、何らかの公的補助が可能であれば、ヤナギ栽培はエネルギー資源作物として採算が合う可能性があるとしている。

2.6 天然林における林地未利用材

天然林における林地未利用材は、受光伐や整理伐などの施業で発生するもので、一般材やパルプ材として利用されずに林内に残置された欠点部や枝条などを差す。及川ら¹⁹⁾や笹ら²⁰⁾は、北海道大学天塩演習林の天然林（針広混交林）において、平地と緩傾斜地それぞれに全木集材と全幹集材の試験区を設け、立木1m³を伐採した際に集荷できる林地未利用材の重量を計測した。針広の混交率が異なる4つの試験区で立木伐採1m³あたり0.29～0.35トンが集荷できたことを示した。

一方、當山²¹⁾は、人工林だけでなく天然林もバイオマス利用していく前提に立ち、森林経営計画を樹立する際の課題を検討した。天然林を経営計画に組み入れることは計画の各種要件を満たすために有効で、森林作業道などを開設維持する面でも望ましいとした。しかし天然林は、人工林と異なり間伐補助金などの伐採補助制度がないことから、単体で施業コストを吸収することはほぼ不可能であるとした。一般的な条件下では、補助を得て行う人工林の森林整備を主体とし、近在する天然林のバイオマス生産

も付随的に実施することが妥当と結論付けた。

3. 資料と方法

道内のカラマツ・トドマツの主伐時の立木伐採量に対する地ごしらえ残材集荷量について調べるため、北海道内で実際に地ごしらえ残材を燃料として利用する大型バイオマス発電所に出荷している素材生産事業者3社に協力を要請した。2019年～2020年で地ごしらえ残材を集荷・販売した主伐事例で、樹種と伐採方法と集材方法および立木伐採材積が記録に残されているか追跡調査が可能で、実際の販売重量のデータが揃っている伐区データに限定した。

集まった伐区データのうち、幹折れや根返りなどの被害林分（特に2016年大型台風と2019年の北海道胆振東部地震の被災林分処理に関わるもの）と、2020年のコロナ禍で通常の販売先に出荷できなかった林分を除いた。結果的にカラマツ主伐14事例とトドマツ主伐15事例、カラマツに一部トドマツの混交する2事例の計31事例を分析資料とした（第2表）。

31事例の中には、単一小班のものから、複数の林小班にまたがる施業団地と同程度（数十ha）のものを含むこととなった。これは、地ごしらえ残材は安価であるため、複数の主伐現場から出されたものを一度にまとめてトラックで販売先まで運搬し、重量計測されるケースが多いことによる。その場合は、地ごしらえ残材の販売重量が1つの数字にまとめられるため、複数の現場であっても1事例としてカウントした。

地ごしらえ残材は前述のとおり倒木や枝条などの混合物であり、材積取引が困難なことから層積または生重量で取引されることが多い。本稿では発電所向けに地ごしらえ残材を販売している先行事例¹⁴⁾を参考に1トンを1.25m³に材積換算して分析を行った。

地ごしらえ残材集荷量（以下「残材集荷量 (G_r)」）を推定するにあたり、それに影響を与える変数として、伐採材積 (V_0)、樹種 (S_p)、地域 (R_e)、集材方法 (L_o)、広葉樹侵入状況（以下「広葉樹 (H_a)」）を考慮して重回帰分析を行った。第3表に変数の一覧を示す。

伐採材積 (V_0) は、針葉樹および広葉樹侵入木を含む伐区全体の合計とした。

その他の4変数はダミー変数とした。樹種 (*Sp*) は主林木にカラマツを含む場合を1とし、それ以外を0とした。これは、落葉樹種であるカラマツの方が相対的に林床照度が高いため下層植生が多く、ササ類が多く集荷される可能性を考慮した。また地域 (*Re*) は、道内の主要林業地域である網走と十勝と上川管内にある伐区を1とし、路網などの輸送基盤や地ごしらえ機械 (アタッチメントを含む) が充実し、地ごしらえ残材を搬出しやすい環境が相対的に整っている可能性を考慮した。集材方法 (*Lo*) は、短幹集材を実施した伐区を1とし、それ以外を0とした。これは短幹方法の方が、全木集材や全幹集材に比較して枝条や梢端部が林内に残置されやすい可能性を考慮した。広葉樹 (*Ha*) は、一般に人工林針葉樹林には若干の広葉樹が侵入し、パルプ材の出荷がみられるが、広葉樹一般材 (製材用) も出材している伐区は、母集団としての広葉樹本数が多いことを想定して1とし、それ以外を0とした。

4. 結果

重回帰分析に用いた6変数の相関行列を第4表に示す。各変数の相関は0.7を越えず、またVIF (Variance Inflation Factor) も3以内であり、問題となる多重共線性は認められなかった。

重回帰分析の結果、自由度修正済み決定係数 $R^2=0.861$ と十分に高く、分散分析の結果、回帰式は1%水準で有意であった (第5表)。ダービン・ワトソン比は1.851であり、2に近似していることから誤差項間の自己相関は十分に小さいとみなせた。説明変数のうち、偏回帰係数が1%水準で有意だったものは「伐採材積 (*Vo*)」「地域 (*Re*)」の2変数で、5%水準で有意だったのは「広葉樹 (*Ha*)」であった。今回の結果からは集材方法や樹種は採択されなかった。

この結果より、地ごしらえ残材集荷量の推定式として、次式が導き出された。

$$Gr=0.098Vo+242.333Re+157.923Ha \quad (1)$$

第2表 分析資料に用いた主伐事例一覧

番号	市町村	作業種	伐採材積(m ³)	樹種	番号	市町村	作業種	伐採材積(m ³)	樹種
①	岩見沢	皆伐	4,604	カラマツ	①	栗山	皆伐	2,270	トドマツ
②	置戸	皆伐	3,266	カラマツ	②	むかわ	皆伐	3,275	トドマツ
③	湧別	皆伐	1,410	カラマツ	③	網走	皆伐	931	トドマツ
④	美瑛	皆伐	2,540	カラマツ	④	網走	皆伐	4,382	トドマツ
⑤	標茶	皆伐	2,886	カラマツ	⑤	津別	皆伐	1,631	トドマツ
⑥	釧路	皆伐	3,240	カラマツ	⑥	網走	皆伐	3,224	トドマツ
⑦	釧路	皆伐	1,478	カラマツ	⑦	北見	皆伐	3,024	トドマツ
⑧	足寄	皆伐	1,444	カラマツ	⑧	置戸	皆伐	1,953	トドマツ
⑨	釧路	皆伐	766	カラマツ	⑨	猿払	皆伐	2,785	トドマツ
⑩	浦幌	皆伐	3,835	カラマツ	⑩	八雲	皆伐	1,086	トドマツ
⑪	標茶	皆伐	6,756	カラマツ	⑪	八雲	皆伐	1,217	トドマツ
⑫	足寄	皆伐	2,419	カラマツ	⑫	乙部	更新伐	951	トドマツ
⑬	足寄	皆伐	901	カラマツ	⑬	乙部	更新伐	853	トドマツ
⑭	倶知安	皆伐	1,242	カラマツ	⑭	黒松内	更新伐	135	トドマツ
⑮	枝幸	皆伐	4,485	カラトド	⑮	豊浦	更新伐	532	トドマツ
⑯	乙部	更新伐	548	カラトド					

第4表 相関係数とVIF

	伐採材積	樹種	広葉樹	集材方法	地域	残材集荷量	VIF
伐採材積(<i>Vo</i>)	1.000	0.224	-0.207	-0.162	0.128	0.546	2.238
樹種(<i>Sp</i>)	0.224	1.000	0.206	0.067	0.017	0.331	2.029
地域(<i>Re</i>)	0.128	0.017	-0.167	-0.167	1.000	0.304	1.560
集材方法(<i>Lo</i>)	-0.162	0.067	0.557	1.000	-0.167	0.161	2.046
広葉樹(<i>Ha</i>)	-0.207	0.206	1.000	0.557	-0.167	0.325	2.200
残材集荷量(<i>Gr</i>)	0.546	0.331	0.325	0.161	0.304	1.000	

第3表 変数の一覧

説明変数	変数の種類	内容
伐採材積 <i>Vo</i>	実数	伐区の針葉樹出材積と広葉樹侵入木出材積 (m ³)
樹種 <i>Sp</i>	ダミー変数	主林木にカラマツを含む (Yes=1)
地域 <i>Re</i>	ダミー変数	道内の主要林業地域 (網走・十勝・上川) にある (Yes=1)
集材方法 <i>Lo</i>	ダミー変数	短幹集材である (Yes=1)
広葉樹 <i>Ha</i>	ダミー変数	広葉樹 (一般材) を出材している (Yes=1)

推定式(1)を用いて、地ごしらえ残材集荷量の将来的な集荷規模について試算した。有意な説明変数として残った3変数のうち、広葉樹 Ha は伐採前には判断が難しいが、その他の2変数は北海道森林づくり基本計画における地域別主伐（予定）材積²²⁾を用いた試算が可能である。2021年度人工林針葉樹主伐実績および2031年度主伐予定材積を用いた地ごしらえ残材集荷量の試算結果は、前者が25.8万 m^3 、後者が34.9万 m^3 となった。これは、2章で記載した2020年度における北海道内の木質バイオマス利用量のうち未利用材86万 m^3 の30~40%に相当する量である。

5. 考察

分析結果より、地ごしらえ残材集荷量は、伐採材積の大きい伐区ほど、林業生産の盛んな地域ほど、広葉樹の侵入率が高い伐区ほど大きいという結果となった。当初、想定していた集材方法の差が有意な変数として残らなかった原因の一つとして、全国的な試験結果をまとめた中澤論文⁸⁾に対し、今回用いたデータが実際の販売実績に基づくもので、伐区面積の全ての地ごしらえ残材を試験のように厳密に集荷したわけではなかった可能性が挙げられる。またカラマツとトドマツの樹種差も小さく、有意でなかった。これは、カラマツ林の下層植生の大部分を占めるササ類は、層積が大きくても容積密度が低く、重量換算後は割合として大きくなかった可能性がある

る。今後は地ごしらえ残材の樹種差を検討するにあたり、残材の構成割合の検証が必要と考えられた。

推定式(1)の結果から、伐採材積の少なくとも9.8%にあたる地ごしらえ残材が苗木植栽前に集荷されていることが示された。繰り返しになるが、この残材の除去は苗木の植栽やその後の活着のために必要な地ごしらえ工程の一部である。地ごしらえ残材をできるだけ搬出し、未利用系バイオマスとして活用することは、森林施業の流れに沿っており、バイオマス活用推進基本計画の方向性にも一致していると考えられる。

前章の試算結果から、未利用系バイオマスの一角である地ごしらえ残材は、主伐と再生林の増加にもない一定の供給増が見込まれ、「新たなバイオマス資源」としてバイオマス利活用計画に資する可能性が高いことが示された。北海道内では、木質バイオマス発電所の増加などから、各種木質バイオマスの需給ひっ迫が予測されるが、既存需要と競合しない地ごしらえ残材や3章で記載した他の未利用バイオマスを組み合わせつつ、より多く商流に乗せることが需給緩和に向けた解決策の一つと考えられる。

今後は、推定式の精緻化のために伐区データを増やすことが必要である。今回用いた地ごしらえ残材の伐区データ ($n=31$) は、既に主伐が終了し地ごしらえを実施した後に収集したため、林小班ごとの広葉樹侵入率や主伐時の本数密度などのデータを

第5表 重回帰分析と分散分析結果

重回帰分析結果

説明変数名	偏回帰係数	標準偏回帰係数	標準誤差	F値	P値	判定
伐採材積	V_o 0.098	0.566	0.017	32.017	0.0000005	**
樹種	S_p 49.400	0.071	66.688	0.549	0.465	
地域	R_e 242.333	0.293	82.172	8.697	0.007	**
集材方法	L_o 25.827	0.031	79.236	0.106	0.747	
広葉樹	H_a 157.923	0.217	60.689	6.771	0.015	*
自由度修正済み $R^2=0.861$		$n=31$		** : $P<0.01$, * : $P<0.05$		
ダービン・ワトソン比=1.851						

回帰式の有意性（分散分析結果）

要因	平方和	自由度	平均平方	F値	P値
回帰変動	6,065,830.738	5	1,213,166.148	39.528	0.000000001 **
誤差変動	797,978.433	26	30,691.478		

遡って入手することが困難であった。また、4章で述べたとおり、伐区が大面積で小班に分離できなかったこと、そのため推定式は市町村の団地単位など大きな伐区の推定にしか活用できないことが問題点として残された。今後は、より小面積の推定が可能のように、伐区データは林班単位ではなく小班単位に細分化できるよう、地ごしらえ残材の現地計測方法を工夫すること、衛星画像などを用いて伐採前の広葉樹の侵入率を組み込むこと等に考慮した推定式の構築が必要と考えられる。

6. 引用文献

- 1) 農林水産省環境バイオマス政策課：“新たなバイオマス活用推進基本計画の閣議決定について”。農林水産省，東京，2022，https://www.maff.go.jp/j/press/kanbo/bio_g/220906.html，2022年9月30日参照
- 2) 北海道：“令和3年度北海道森林づくり白書”，北海道水産林務部，札幌，pp. 4-5, 69-71 (2022)。
- 3) 北海道水産林務部：“令和2年度北海道林業統計”，北海道庁，札幌 (2022)。
- 4) 経済産業省エネルギー庁：“再生可能エネルギー電子申請・事業計画認定情報公表用ウェブサイト”，経済産業省，東京，<https://www.fitportal.go.jp/PublicInfo>，2022年11月15日参照
- 5) 吉沢武勇：“北海道におけるパルプ材の流通”，日本林学会北海道支部講演集12，pp. 16-18 (1963)。
- 6) 大野泰之，酒井明香，寺澤和彦：“トドマツ，カラマツ人工林の土場におけるパルプ丸太の出現パターン”，第124回日本森林学会大会発表データベース (2013)。
- 7) 酒井明香，寺田文子，渡辺一郎，佐々木尚三：“北海道における機械作業システムと林地残材率を考慮した林地残材集荷可能量の推定”，森林利用学会誌，30(2)，pp. 71-78 (2015)。
- 8) 中澤昌彦，岩岡正博，峰松浩彦，小澤雅之：“全木・全幹・短幹の集材方式の違いによる土場残材発生量の変化”，森林利用学会誌，21(3)，pp. 205-210 (2006)。
- 9) 酒井明香，津田高明，八坂通泰：“北海道における木質バイオマス発電所向け未利用材の供給ポテンシャルの試算”，日本森林学会誌，99(6)，pp. 233-240 (2017)。
- 10) 酒井明香，渡辺一郎：“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(3)：土そりを使用したカラマツ主伐の事例”，日本森林学会北海道支部論文集58，pp. 97-100 (2010)。
- 11) 酒井明香：“皆伐跡地で林地残材を効率的に集める”，光珠内季報，Vol. 160，pp. 5-10 (2010)。
- 12) 高橋邦秀：“美幌森林組合を訪ねて：火入れ地拵えを見直す”。北方林業，Vol. 59，pp. 105-108 (2007)。
- 13) 中田圭亮：“野ネズミに強い山づくりーそのあり方と施業改善”。北海道水産林務部森林整備課，p. 38 (2000)。
- 14) 北海道水産林務部林業木材課：“令和元年度・林地未利用材集荷・搬出実践テキスト”，北海道水産林務部，札幌，pp. 2-14 (2019)。
- 15) 北海道森林管理局：“国有林野産物の公売公告及び結果”，2018-2020，北海道森林管理局，札幌，https://www.rinya.maff.go.jp/hokkaido/apply/publicsale/koubai/wood_ryuuboku_sonota/index.html，2020年12月26日参照
- 16) 伊藤江利子・古家直行・高橋正義・松井哲哉：“GIS環境情報を用いた下川町内におけるヤナギ栽培適地の抽出”，北方森林研究，62，pp. 39-42 (2014)。
- 17) 宇都木玄・松井哲哉・高橋正義・上村章・原山尚徳・伊藤江利子・古家直行・石原誠・佐山勝彦・松浦友紀子・韓慶民：“木質資源作物としてのヤナギの利用可能性”，北方森林研究，63，pp. 15-17 (2015)。
- 18) 矢野慶介・福田陽子・花岡創・田村明・山田浩雄・生方正俊：“北海道北部下川町の試験地におけるヤナギ属2樹種のバイオマス生産量のクローン間変異”，第128回日本森林学会大会発表データベース，(2017)。
- 19) 及川正敏，秋林幸男，野村睦，高木健太郎，上浦達哉，北條元，高橋廣行，小塚力，坂井勲，笹賀一郎：“天然林択伐作業における木質未利用バイオマスの収集コスト”，日本森林学会北海道支部論文集，55，pp. 98-100 (2007)。
- 20) 笹賀一郎，及川正敏，秋林幸男，野村睦，高木

健郎，上浦達哉，北條元，高橋廣行，小塚力，坂井励：“全木集材方式による木質未利用バイオマス収集コスト削減と実用化の可能性；天然林択抜作業における事例”，第118回日本森林学会大会発表データベース（2008）.

21) 當山啓介：“人工林と天然林双方の利用を包含する森林経営計画の特徴”，第126回日本森林学会大会発表データベース（2015）.

22) 北海道水産林務部：“森林計画関連資料オープンデータ”，北海道（2022）.

ー利用部 資源・システムグループ
（原稿受理：2022.11.30）

林地残材を含む木材を燃料とするバイオマス発電のGHG

前川 洋平

GHG emissions of biomass power generation fueled by wood including forest residues

Youhei MAEKAWA

キーワード：木質バイオマス，GHG排出量，林地残材，ライフサイクルアセスメント

林業事業者から林地残材を含む燃料用木材の調達にかかるインベントリ調査を実施し、それを燃料とするバイオマス発電の温室効果ガス（GHG）排出量について、ライフサイクルアセスメント（LCA）を用いて推計した。その結果、0.25～0.36kg-CO₂/kWhとなり、いずれも立地地域の商業電力（化石燃料等を由来）からの削減率は30.8～54.5%となった。これら結果について、国が検討しているGHG排出量基準値と比較したところ、将来にわたる目標値については厳しい条件設定と示唆された。内訳としては、発電（燃焼）工程におけるGHG排出量が大部分を占めており、ボイラーのN₂O排出に起因した。

1. はじめに

2012年度に創設された「再生可能エネルギーの固定価格買取制度」により、木質バイオマス発電については、原料需要が急増し、各地で丸太需要の競合や価格上昇がみられた。一方、活用が期待される林地残材は調達コストが高く、利用が十分に進んでいない。

経済産業省は2019年度よりバイオマスの持続可能性（環境性）の観点からバイオマス発電の温室効果ガス（以下、「GHG」とする）排出量の評価手法や基準等について検討している¹⁾。一方で、木質バイオマスは産地や種類などが多様かつ由来の追跡が複雑であるため、これまでその調達にかかるGHG排出量を算定した例は少ない。

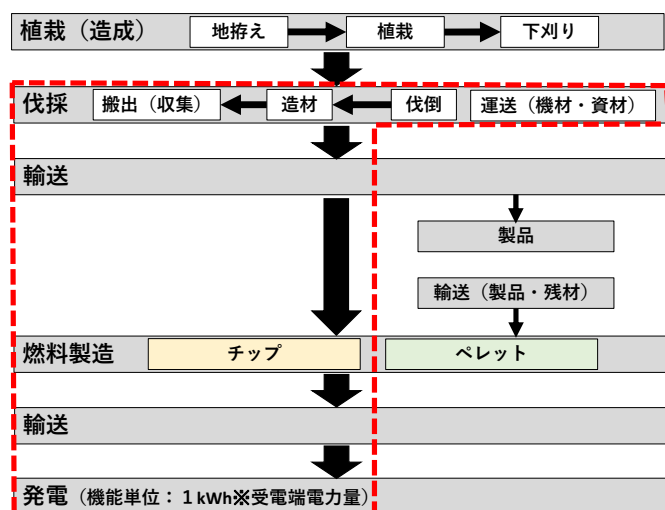
木質バイオマスのエネルギー利用に関するライフサイクルアセスメント（以下、「LCA」とする）の先行研究を概観すると、林業作業²⁾や丸太生産³⁾を対象とするものがある。その他にも、製材残材を用いた熱利用⁴⁾や間伐材による地域熱供給に関する検討⁵⁾などが存在する。古俣ら⁶⁾は林地残材の発電利用について検討しているが、同研究においては2事例を対象としており、算定事例の蓄積を課題としている。

そこで本研究は、全国の複数個所において木材収集事業者から林地残材を含む燃料用木材の調達にかかるインベントリ調査を実施し、それを燃料とするバイオマス発電のGHG排出量について、LCAを用いて評価事例の蓄積を試みた。そのうえで、化石燃料等を由来とした電力のGHG排出量と比較し、木質バイオマス利用による発電の優位性を明らかにすることを目的とした。

2. 調査方法

2.1 調査の概要とシステム境界

バイオマス発電のGHG排出量を明らかにするために、①利用段階における作業フローの整理、②林地残材の収集からチップ加工、輸送の各プロセスにおけるエネルギー消費量等のデータ収集、③LCAを用いたバイオマス発電のGHG排出量の算出、を行った。なお、GHG排出量の算出において設定したシステム境界は第1図の破線枠内に示したとおりである。また、得られた結果をもとに、化石燃料を由来とした電力のGHG排出量と比較し、バイオマス発電の優位性を考察した。



第1図 設定したシステム境界

2.2 算定方法

GHG排出量の算定式を次のように設定した。

$$E_{\text{GHG}} = (E_{\text{CO}_2} \times \text{GWP}_{\text{CO}_2} + E_{\text{CH}_4} \times \text{GWP}_{\text{CH}_4} + E_{\text{N}_2\text{O}} \times \text{GWP}_{\text{N}_2\text{O}}) / A \quad (1)$$

なお、 E_{GHG} ：発電のGHG排出量(kg/kWh)、 E_{CO_2} ：伐倒(収集)から燃焼までの CO_2 排出量(kg)、 GWP_{CO_2} ： CO_2 の地球温暖化係数、 E_{CH_4} ：伐倒(収集)から燃焼までの CH_4 排出量(kg)、 GWP_{CH_4} ： CH_4 の地球温暖化係数、 $E_{\text{N}_2\text{O}}$ ：伐倒(収集)から燃焼までの N_2O 排出量(kg)、 $\text{GWP}_{\text{N}_2\text{O}}$ ： N_2O の地球温暖化係数、 A ：得られる受電端電力量(kWh)、とした。

また、式(1)を求める過程において、次の式(2)～(5)を設定した。

$$E_{\text{CO}_2} = B \times f_{\text{CO}_2} \quad (2)$$

$$E_{\text{CH}_4} = B \times f_{\text{CH}_4} + A \times f_{\text{W-CH}_4} \quad (3)$$

$$E_{\text{N}_2\text{O}} = B \times f_{\text{N}_2\text{O}} + A \times f_{\text{W-N}_2\text{O}} \quad (4)$$

$$A = C \times D \times F \quad (5)$$

なお、 B ：伐倒(収集)から輸送までの軽油消費量(L)、 f_{CO_2} ：軽油の CO_2 排出原単位(kg/L)、 f_{CH_4} ：軽油の CH_4 排出原単位(kg/L)、 $f_{\text{W-CH}_4}$ ：燃焼による CH_4 排出原単位(kg/L)、 $f_{\text{N}_2\text{O}}$ ：軽油の N_2O 排出原単位(kg/L)、 $f_{\text{W-N}_2\text{O}}$ ：燃焼による N_2O 排出原単位(kg/GJ)、 C ：得られる低位発熱量(kWh)、 D ：送電網発電効率(%)、 F ：送配電損失率(%)、とした。

環境負荷項目を CO_2 、 CH_4 、 N_2O とし、地球温暖化係数の100年累積値(AR5)により CO_2 換算した(CO_2 ：1、 CH_4 ：28、 N_2O ：265)。環境負荷原単位は、MiLCA Ver.2.3搭載データベース(サステイナブル経営推進機構のLCA実施支援ソフトウェア)を用いた(第1表)。

チップ燃焼による CH_4 と N_2O の原単位は温室効果ガス排出量・算定報告マニュアルVer.4.6⁷⁾より、算定対象発電設備のボイラー形式を選択した。

含水率は発電設備納入時と燃焼時の実績値を基本とし、実績値が得られない場合は50%とした。また、低位発熱量は対象発電設備の実績値を用いた。

輸送に係る燃料消費量については、聞き取り調査により得られたトラックサイズや輸送距離を基に、ロジスティクス分野における CO_2 排出量算定方法共同ガイドラインVer.3.1⁸⁾により導出式を用いて算定した。

なお、伐採における燃料消費量は用途別の出材積に応じて按分することとした。また、MJからkWhへの変換係数は0.2778(kWh/MJ)とした。送配電損失率は電気事業便覧(2017年度)⁹⁾より算定対象発電設備の所在地域の値を用いた。また、比較対象とする商業電力の受電端電力量1kWhあたりのGHG排出量については、MiLCA Ver.2.3より算定対象地域の2016年度の値から算定した。

また、送電端発電効率や輸送距離条件を変化させる感度分析も実施した。

第1表 環境負荷原単位

項目	CO_2	CH_4	N_2O	単位	出典	
軽油	2.89×10^0	3.33×10^{-3}	9.40×10^{-6}	kg/L	MiLCA Ver.2.3搭載データベース	
ボイラー形式	常圧流動床	—	7.40×10^{-2}	5.40×10^{-2}	kg/GJ	温室効果ガス排出量・算定報告マニュアルVer.4.6(環境省)
	加圧流動床	—	7.40×10^{-2}	5.00×10^{-3}	kg/GJ	
	流動床以外のボイラー	—	7.40×10^{-2}	5.80×10^{-4}	kg/GJ	

3. 結果

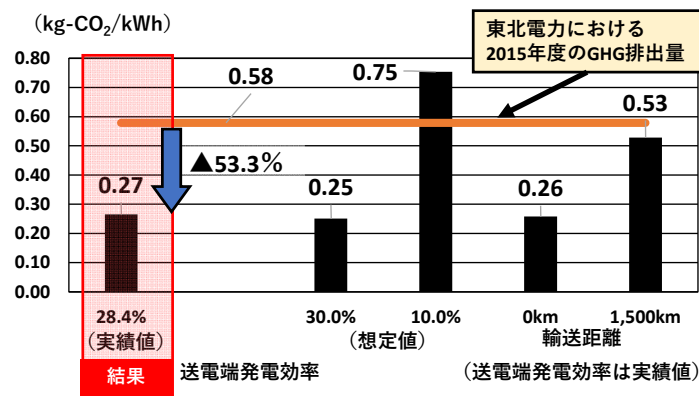
3.1 林地残材の収集を専門に行う事業者による収集・発電利用の算定例

岩手県内にて林地残材の収集を専門に行う事業者による算定結果を示す（第2図）。

対象森林は20haのアカマツ皆伐跡地であり、伐採後1年程度経過している。作業手順は、グラップルでフォワーダへ積み込み、集積土場へ輸送、グラップルで破碎機に投入し、集積土場から発電所に輸送する。なお、集積土場から発電所までは40kmであった。

その結果、GHG排出量は0.27kg-CO₂/kWhとなった。これは商業発電（東北電力）からの削減率は53.3%となる。この要因として、チップ含水率が35%（湿潤基準）であることや、対象とした発電設備における送電端発電効率が28.4%と比較的高いことが考えられる。また、感度分析の結果、仮に長距離（1,500km）輸送した場合においても商業電力との比較においては優位性があることが示された。

本事例における算定結果においては、林地残材を発電利用する環境優位性はあるものと考えられる。ただし、1事業地の算定結果であり、事業地によって林地残材の発生量や収集条件が異なることから複数事業地による検討が今後の課題といえる。

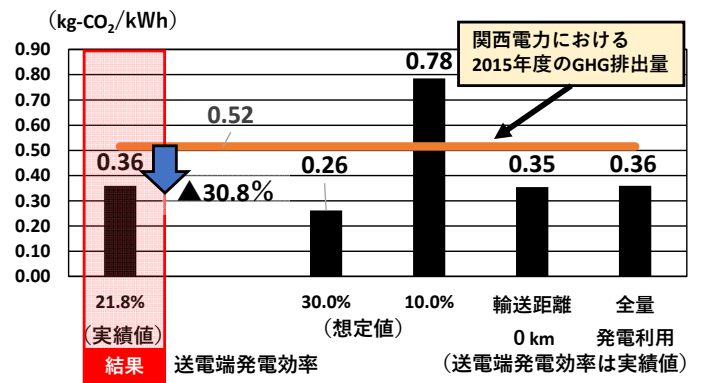


第2図 岩手県の発電設備における林地残材の収集を専門に行う事業者（#1事例）のGHG排出量

3.2 和歌山県における森林組合等による収集・発電利用の算定例

和歌山県で稼働している6,800kWの発電設備における3事業者の収集条件を第2表に示す。

N森林組合による算定結果を第3図に示す。本事例は平均傾斜30°以上のヒノキ皆伐施業地であり、架線系作業システムによるものである。山土場から発電設備までは12kmと比較的に近い距離にある。本事例における算定結果は0.36kg-CO₂/kWhであり、商業電力（関西電力）からの削減率は30.8%であった。

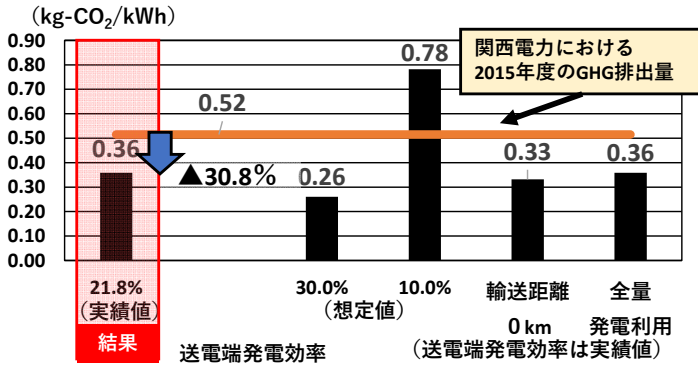


第3図 N森林組合による収集（#2-1事例）のGHG排出量

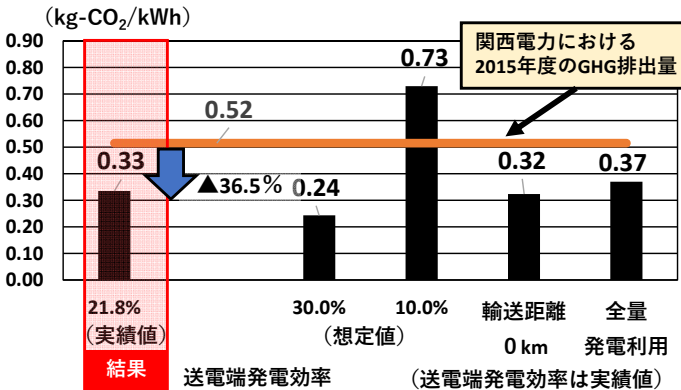
H素材生産事業者による算定結果を第4図に示す。本事例はスギ・ヒノキ間伐施業地であり、車両系作業システムによるものである。また、第5図はO素材生産事業者による算定結果であり、こちらは皆伐施業地であること、輸送距離が11.7kmとH素材生産事業者の約半分であること以外は、条件に特徴はない。GHG排出量は、H素材生産事業者によるものが0.36kg-CO₂/kWh、O素材生産事業者によるものが0.33kg-CO₂/kWhとなり、商業電力からの削減率はそれぞれ30.8%、36.5%だった。

第2表 和歌山県の発電設備を対象とする3事業者の収集条件

No.	#2-1事例 (N森林組合)	#2-2事例 (H素材生産事業者)	#2-3事例 (O素材生産事業者)
対象森林	2.48 ha (ヒノキ・皆伐)	2.51 ha (スギヒノキ・間伐)	2.0 ha (スギヒノキ・皆伐)
発電用出材積	140.14 t	85.63 t	631.410 t
作業システム	架線系 (平均傾斜30°以上)	車両系	車両系
使用機械	チェーンソー伐採、集材機、プロセッサ造材、グラップル付き掘削機仕分け・樅積み	チェーンソー伐採、プロセッサ造材、グラップル付き掘削機仕分け・樅積み	チェーンソー伐採、プロセッサ造材・樅積み
枝条・端材利用	あり	あり	あり
山土場におけるチップ加工	なし	なし	なし
輸送	山土場～ (12 km) ～発電所	山土場～ (33.3 km) ～発電所	山土場～ (11.7 km) ～発電所
発電設備	6,800 kW・常圧流動床・関西電力管内		



第4図 H素材生産事業者による収集（#2-2事例）のGHG排出量



第5図 O素材生産事業者による収集（#2-3事例）のGHG排出量

これら3条件の結果を基にした感度分析は送電端発電効率のほか、輸送距離条件や出材用途条件の変更も試みた。その結果、仮に輸送距離を0kmや全量を発電利用した場合においてもGHG排出量の大幅削減を見込めない結果となった。一方で、送電端発電効率を変更した場合のGHG排出量は大きく変化しており、発電設備側の対応がGHG排出量削減に寄与することが示唆された。

3.3 大分県の発電事業者による収集・発電利用の算定例

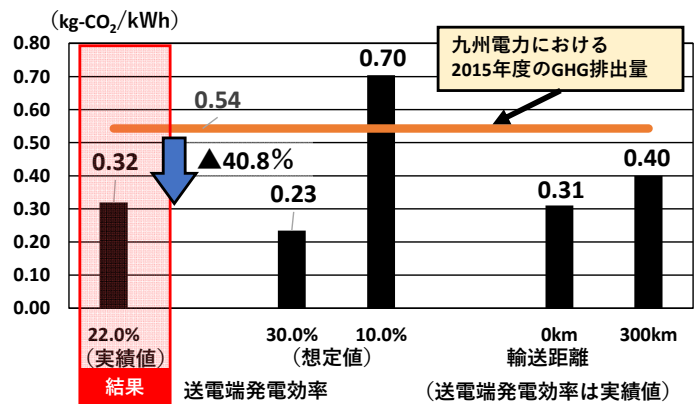
本事例は大分県における出力18,000kWの発電設備を有する事業者自らが社有林ならびに素材生産

第3表 大分県の発電事業者の収集条件

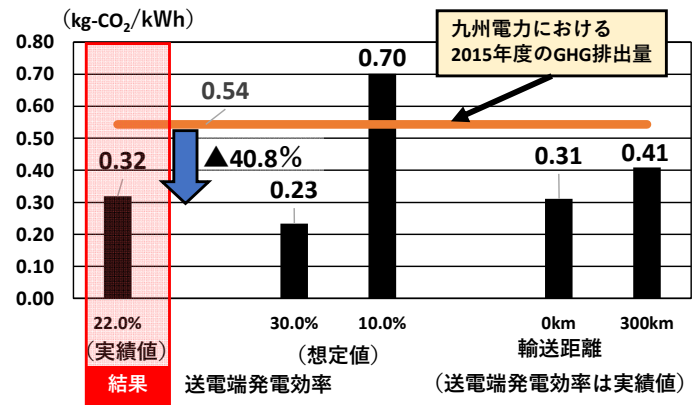
No.	#3-1事例（発電事業者）	#3-2事例（発電事業者）
対象森林	8.67 ha（間伐）	3.8 ha（間伐）
発電用出材積	1611.71 t	809.84 t
作業システム	車両系	車両系
使用機械	チェーンソー伐採、グラップル付き掘削機集材、ハーベスタ造材、フォワーダ運搬	チェーンソー伐採、グラップル付き掘削機集材、ハーベスタ造材、フォワーダ運搬
枝条・端材利用	なし	なし
山土場におけるチップ加工	なし	なし
輸送	山土場～(33.3 km)～チップ工場～(0.72 km)～発電所	山土場～(23.8 km)～チップ工場～(0.72 km)～発電所
発電設備	18,000 kW・常圧流動床・九州電力管内	

班を有しており、燃料材を調達するものである。各収集条件について第3表に示す。どちらも間伐によるもので、車両系作業システムも同じである。同一の発電設備まで丸太輸送し、敷地内でチップ化し、発電利用する。

各収集条件による算定結果について第6図と第7図に示す。いずれの条件においてもGHG排出量は商業発電（九州電力）からの削減率は40.8%であった。出材積の53%を燃料用に仕分けしており、燃料用途が比較的多いことがkWhあたりGHG排出量を低減させた要因と推察できた。また、各算定結果について輸送距離を変更した場合の感度分析を行ったところ、前述の事例と同様にGHG排出量の影響はわずかであることを確認した。



第6図 発電事業者のA社有林（#3-1事例）を利用するGHG排出量



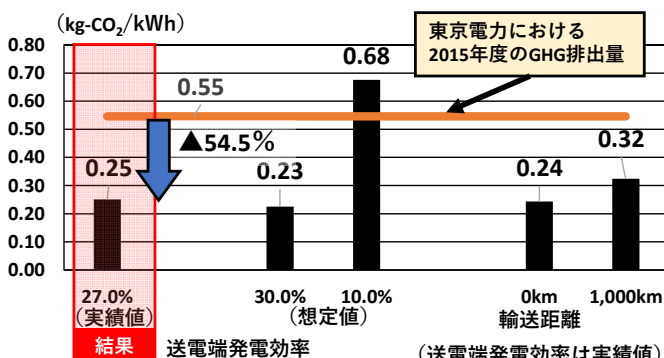
第7図 発電事業者のB社有林（#3-2事例）を利用するGHG排出量

3.4 果樹剪定枝の収集・発電利用の算定例

本事例は森林由来やいわゆる林地残材ではなく、農作業による排出物を発電利用する場合の算定例である。千葉県市川市周辺において行われている梨生産活動では剪定や植え替えに伴う枝条類が発生する。これらは野焼き処分されることが多く、周辺環境の悪化や処分費用の負担が課題となっていた。2016年より地域の農業協同組合が中心となり、梨剪定枝の収集・エネルギー利用を開始している。2021年現在、130戸が参画している。発電利用に至る経過として、①梨農家が特定の集積場所に運搬（平均4km）、②一定の乾燥期間を設けたのちチップ化作業、③茨城県内の発電施設まで約90kmを運搬、となる。

本事例の算定結果を第8図に示す。商業電力（東京電力）による排出量からの削減率は54.5%であった。この要因として、第一に送電端発電効率が27.0%と比較的高いこと、第二に、チップ生産における燃料消費量が少ないこと、が挙げられる。特に梨生産においては、剪定作業における機械類の使用が無いことによる燃料使用量の抑制に加え、集積場所において乾燥工程（期間）が設けられていることを背景として、チップ含水率が平均37.4%（湿潤基準）となることが優位性をもたらす要因と考えられる。当該発電設備における燃料の年間消費量264,000tに対して本件はわずか760t（0.2%）であるが、果樹剪定枝のエネルギー利用に環境優位性があることを示す結果として考えられる。

なお、本結果をもとに輸送距離を変更した場合について感度分析を試みたところ、例えば1,000km輸送したとしても商業電力の実績値と比べ優位性があることを確認した。



第8図 果樹剪定枝を発電利用した場合（#4事例）のGHG排出量

3.5 小括

これまで説明した7事例の算定結果を第4表にまとめた。第一に1 kWhあたりGHG排出量は0.25～0.36 kg-CO₂となり、古俣ら⁶⁾による結果から逸脱するも

のではないこと、第二にいずれの事例においても、商業発電と比較して優位性があること、第三に立地する商業電力が排出するGHG排出量からの削減率は30.8～54.5%となったこと、が明らかとなった。

第4表 算定結果の一覧

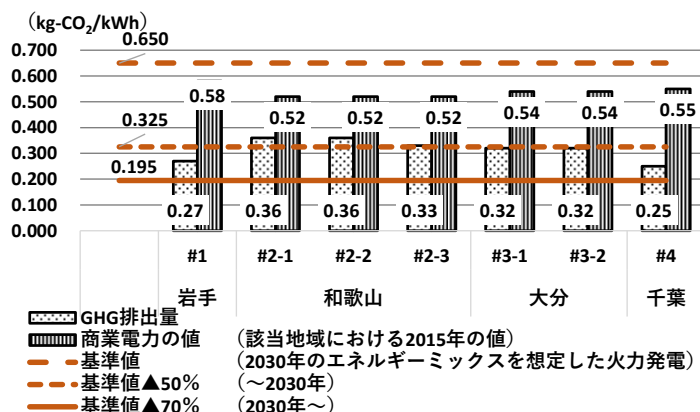
	都道府県	岩手			和歌山			大分		千葉
	No.	#1	#2-1	#2-2	#2-3	#3-1	#3-2	#4		
収集データ	収集（伐採）	(○)	○	○	○	○	○	○		
	輸送	○	○	○	○	○	○	○		
	チップ加工	○	○	○	○	○	○	○		
	燃焼	○	○	○	○	○	○	○		
	データ単位	期間	現場	現場	現場	現場	現場	現場		
GHG排出量 (kg-CO ₂ /kWh)		0.27	0.36	0.36	0.33	0.32	0.32	0.25		
商業電力 (kg-CO ₂ /kWh)		0.58	0.52			0.54		0.55		
削減率 (%)		53.3	30.8	30.8	36.5	40.8	40.8	54.5		

4. 考察

4.1 国が検討しているGHG排出量基準との比較

本章では、2021年現在、経済産業省において検討されているバイオマス発電のライフサイクルGHG排出基準と比較したい。

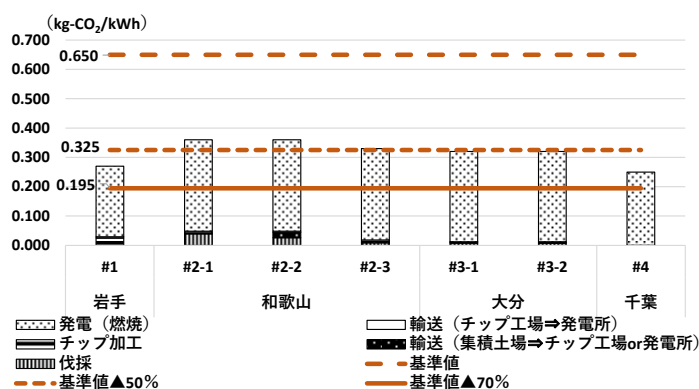
バイオマス発電におけるGHG排出量基準値として、2030年のエネルギーミックスを想定した火力発電の180g-CO₂/MJ（0.650kg-CO₂/kWh）が想定されている。また、将来にわたる排出量として、同基準値に対する削減率を2029年度まで50%（0.325kg-CO₂/kWh）、2030年度以降は70%（0.195kg-CO₂/kWh）とすることが検討されている。この基準と本研究による算定結果との比較図を第9図に示す。基準（180g-CO₂/MJ）については、全7事例が下回り、削減率50%については、4事例が下回るものの、削減率70%については下回る事例が存在しなかった。ライフサイクルGHG排出については、2022年度以降に算定条件や方法が確定するものであるが、林地残材の利用にとっては厳しい条件設定と示唆された。



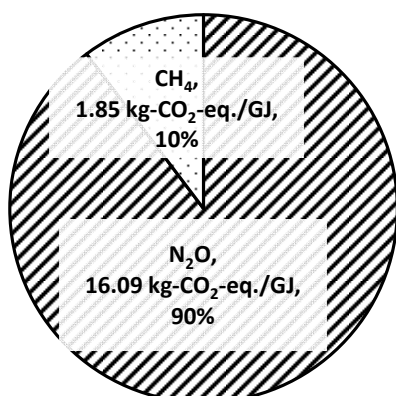
第9図 国が検討する基準値との比較

4.2 GHG排出量基準値への対応可能性

説明した7事例について、工程別の排出量を示した(第10図)。その結果、すべての事例において、発電(燃烧)工程による排出が圧倒的に多いことが明らかとなった。特にN₂Oの排出量が多いことがわかる(第11図)。この排出量は、環境負荷原単位に地球温暖化係数を乗じたものであるが、環境負荷原単位はN₂Oが0.054kg/GJ, CH₄が0.074kg/GJとほとんどかわらないものの、地球温暖化係数はN₂Oが298, CH₄が25と差のある設定が要因である。



第10図 工程別排出量と国が検討する基準値との比較



第11図 燃烧工程における由来別のGHG排出量 (CO₂換算値)

この点を踏まえて、国が検討する基準値への対応について、改めて検討したい。GHG排出量の算定に際し、発電(燃烧)工程について、バイオマス燃料の使用からのCO₂排出は0とみなす(CH₄とN₂Oの排出については計上することとしている。発電(燃烧)工程における大部分を占めるN₂Oが算定対象に含まれていることから、例えば、本研究で算定対象としたような林地残材を含む木材を燃料利用しても、ボイラー形式や環境負荷原単位の設定により排出量基準を満たすことが出来ないものとして評価される可能性も考えられた。今後は環境負荷の小さい発電方式の採用や装置開発も課題となろう。

5. おわりに

本研究では林地残材収集の専門事業者による利用や果樹剪定枝のエネルギー利用など、バイオマス発電のGHG排出量算定結果を蓄積することができた。伐採・チップ化条件や発電利用設備側の実績により結果はケースバイケースであるが、商業発電と比べGHG排出量の優位性を全事例で確認できた。

引き続き算定事例を蓄積するとともに、伐採段階における作業システムやチップ化における使用機器、輸送条件の相違等による分析を進める予定である。

謝辞

本研究はJSPS科研費JP20K22600の助成を受けた研究の一部である。また、本研究は発電・素材生産・チップ加工・コンサルタント・関連協会等にご協力戴いた。この場を借りて厚く御礼申し上げる。

参考文献

- 1) 経済産業省 総合資源エネルギー調査会 省エネルギー・新エネルギー分科会 新エネルギー小委員会 バイオマス持続可能性ワーキンググループ：第二次中間整理 (2012)。
- 2) 仲畑力, 小松崎未来, 有賀一広, 武井裕太郎, 山口鈴子, 伊藤要, 村上文美, 斎藤仁志, 田坂聡明：森林利用学会誌26(3), 187-194 (2011)。
- 3) Katsuyuki Nakano, Naoki Shibahara, Toshifumi Nakai, Keisuke Shintani, Hirotaka Komata, Masahiro Iwaoka, Nobuaki Hattori：Journal of Cleaner Production 170(1), 1654-1664 (2018)。
- 4) 一重喬一郎, 服部順昭：木材学会誌57(2), 63-71 (2011)。
- 5) 加用千裕, 大慈彌亮太, 岩岡正博, 安田幸治：木材学会誌62(5), 172-181 (2016)。
- 6) 古俣寛隆, 酒井明香, 八坂通泰, 石川佳生, 服部順昭：木材学会誌59(1), 22-28 (2013)。
- 7) 環境省：温室効果ガス排出量算定報告マニュアル Ver.4.7 (2021)。
- 8) 経済産業省・国土交通省：ロジスティクス分野におけるCO₂排出量算定方法共同ガイドライン Ver.3.1 (2016)。
- 9) 経済産業調査会：2017年度版電気事業便覧 (2018)。

一利用部 資源・システムグループ
(原稿受理：2022. 11. 9)

高齢者の歩行安全性を備えたフローリングの性能と仕様

澤田 哲則，松本 久美子*1，北橋 善範*2，高山 光子*2，近藤 佳秀*2，
伊佐治 信一*3，平林 靖*4，横山 裕*5

Performance and specifications of flooring with walking safety for the elderly

Tetsunori SAWADA , Kumiko MATSUMOTO , Yoshinori KITAHASHI , Mitsuko TAKAYAMA ,
Yoshihide KONDOU , Shinichi ISAJI , Yasushi HIRABAYASHI and Yutaka YOKOYAMA

キーワード：フローリング，安全性，高齢者，床の滑り，床の硬さ

1. はじめに

令和4年版高齢社会白書¹⁾によると，令和3年10月1日現在，65歳以上の高齢者人口は3,621万人で，総人口1億2,550万人に占める割合（高齢化率）は28.9%となり，国民の約4人に1人以上が高齢者となっている。また，平成31（2019）年の厚労省・人口動態調査²⁾によると，高齢者の死因最上位は疾病であるが，「不慮の事故死」でも33,347人の高齢者が死亡している。そのうち交通事故によるものは2,503人，スリップやつまづきによる転倒は8,774人となっており，その転倒の多くが家庭内で起こっている。加えて，令和3年版高齢社会白書³⁾によると，平成30年に要介護認定となった高齢者463万人が要介護となった原因の13%，約60万人が骨折・転倒によるものとされている。

東京消防庁の令和2年「救急搬送データからみる日常生活事故の実態」⁴⁾によると，高齢者の事故の種類で一番多いのが「ころぶ」で55,183件，83.1%となっている。「ころぶ」の発生箇所を見ると「住宅等居住場所」で64.1%と過半を占めている。

これらより，高齢者においては転倒が大怪我や寝たきりにつながり，また転倒の多くが住宅等居住場所で発生していることから，その危険性を少しでも減らし，転倒した場合でもダメージを軽減できれば，死亡者数や要介護者数，傷害件数等を減らせる可能性が見出せる。

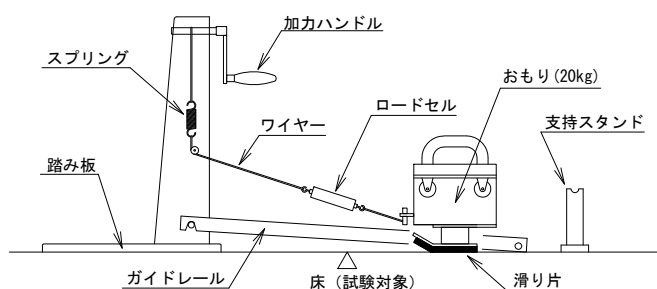
床は建築物や住宅の中で，常に人と触れる部位であり，その仕様により付与される性能が動作や移動のしやすさに大きく影響するだけでなく，転倒事故や傷害発生とも密接な関係を持っている。

本研究では高齢者の転倒防止の指標となる「床の滑り」と，転倒衝突時に発生するダメージの指標となる「床の硬さ」について調査，検討を行ったので報告する。

2. 床の滑り性

2.1 試験方法

床の滑り性は，JISに規定されている床の滑り性試験機⁵⁾とデータの同一性が確保された携帯型床の滑り試験機⁶⁾を用いて測定した。ここで使用した携帯型床の滑り試験機は第1図に示す構成となっており，測定の対象となる床上に試験機を設置し，おもりを床に静置後，直ちに加力ハンドルを回しておもりを引く時の荷重を記録することで床の滑りやすさを滑り抵抗係数（C.S.R'）として表すことが可能となる。また，滑り片には，その床を歩く際に装着する履物の底を張り付けるか，室内の床であれば足裏を模した素足モデルの滑り片やそれに靴下を装着したものをを用いる。ここでは素足，室内履きとして靴下，スリッパを用いた他，介護施設等でよく使用される介護シューズとナースシューズの5種類を滑り片とした（第1表）。



第1図 携帯型床の滑り試験機の構成

滑り抵抗係数C.S.R'は以下の式で算出される。

$$C.S.R' = P_{max}' / W'$$

ここに

P_{max}' : おもりが動き出す際の最大荷重 (N)

W' : 20kg のおもりの鉛直荷重=196 (N)

前述の方法で、市販フローリングを測定したほか、携帯型である利点を活かし、旭川市内2ヶ所の高齢者施設において測定を実施した。

2.2 試験体

試験体は国内主要メーカー製の複合フローリングで、滑りに配慮しているものなど高齢者対応のものを中心に5種とした(第1表)。

道内メーカーについては衝撃吸収タイプの体育館床の他、道産木材を用いた複合フローリングおよび単層フローリングを試験体とした。道産木材のフローリングについては、原料樹種は両者ともナラとカバであり、UV塗装がされていた。これらの道産木材フローリングについては、無塗装のものも入手し、滑り止め塗装を施したものについても測定した。

2.3 フローリングの滑り性測定結果

第1表に試験体としたフローリングと、用いた滑

り片との組み合わせで得られたC.S.R'を示す。表中の値は3回の測定の平均値である。歩行などゆっくりとした動作を室内で行う場合に推奨されるC.S.R'は0.3以上とされている⁷⁾が、滑り片が靴下の条件ではフローリングAおよび後述の滑り止め塗装での試作を除いたフローリングでのC.S.R'は0.3未満であった。滑り片が素足やスリッパの時のC.S.R'については試験に供した全てのフローリングでC.S.R'が0.3以上であったことから、滑りによる転倒が問題となる高齢者については、靴下履きなど履物により床が滑りやすくなることに留意することが安全な日常生活を送るうえで重要であることが推察された。

滑り片が介護シューズ、ナースシューズの条件については試験に供したフローリングのC.S.R'はすべて0.3以上であった。特に介護シューズで値は高くなる傾向にあり、国内主要メーカー製、道内メーカー製、それぞれのフローリングでC.S.R'は0.5以上を示し、滑りやすさに起因する転倒のリスクは低いことが示唆された。

第1表右側に滑り片が素足、靴下でC.S.R'を測定した道産メーカー製フローリングについて、滑り止め塗装を試みた結果を示す。複合フローリング、単層フローリングとも、原料樹種がナラ、カバ、どちらについてもC.S.R'は0.50以上の値を示し、塗装によりフローリングの滑り性能が大きく向上することが示された。

2.4 介護施設の床の滑り性測定結果

旭川市内の介護施設については、施設A、Bの2ヶ所を測定した。施設Aで床はビニールシートにワックスをかけた床、施設Bで床はビニールシートにワックスをかけた床の他、一部でフローリングが使用されていた。

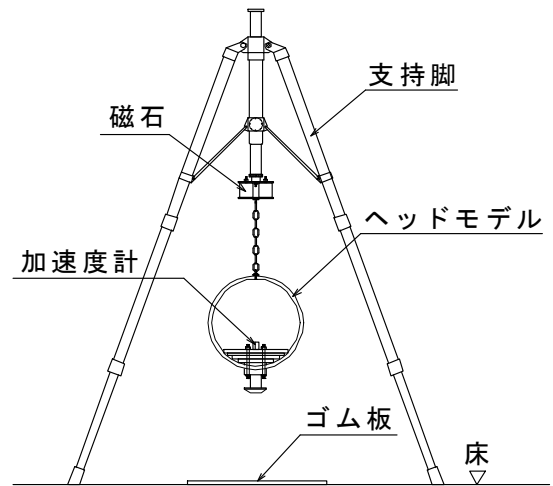
第1表 試験に供したフローリングおよび滑り片とそのC.S.R'

製造元	国内主要メーカー					道内メーカー									
	複合フローリング					体育館床	道産木材複合フローリング		道産木材単層フローリング		滑り止め塗装による検討				
仕様	A	B	C	D	E	G	J	K	L	M	J	K	L	M	
床材	-	-	-	-	-	-	UV塗装	UV塗装	UV塗装	UV塗装	NS塗装	NS塗装	NS塗装	NS塗装	
塗装	-	-	-	-	-	-	UV塗装	UV塗装	UV塗装	UV塗装	NS塗装	NS塗装	NS塗装	NS塗装	
滑り片	素足	0.41	0.39				0.68	0.42	0.37	0.36	0.43	0.64	0.60	0.62	0.68
	靴下	0.30	0.28				0.28	0.21	0.24	0.28	0.27	0.54	0.53	0.52	0.50
	スリッパ	0.41	0.37					0.30	0.37	0.44	0.41	-	-	-	-
	介護シューズ	0.56	0.62	0.57	0.62	0.50	0.92	0.68	0.60	0.57	0.62	-	-	-	-
	ナースシューズ	0.48	0.48	0.39			0.60	0.52	0.47	0.47	0.47	-	-	-	-

施設Aについては、測定個所を4ヶ所設定し、介護シューズの滑り片で測定したところ、C.S.R'は0.63～0.73であった。ナースシューズの滑り片では0.49～0.50であり、どちらの滑り片でも床材に危険な滑りやすさは認められなかった。

施設Bについては滑り片は介護シューズのみで測定したが、C.S.R'はビニールシートの床2ヶ所の測定で値は0.56および0.61、フローリングについては0.54～0.59であり、危険な滑りやすさは認められなかった。

なお、本研究については、高齢者の床の歩行時の安全性について、滑りやすさに着目して評価を実施したが、筋力の低下した高齢者の歩行についてはつまずきによる転倒が起こることも懸念されるため、今後は滑りにくい床でのつまずきも考慮する必要があるものと推察される。



第2図 床の硬さ測定装置

3. 床の硬さ（転倒衝突時）

3.1 試験方法

床の硬さはJIS A 6519:2018「体育館用鋼製床下地構成材」の「9.6 床の硬さ試験」に試験方法が規定されている。JISの標題が示すように、本来この規格が適用されるのは一般体育館、柔道場、剣道場及び柔剣道場などの運動床であるが、小野らの研究⁸⁾により、床の硬さと、その床の上での傷害の発現との間に有意な関係が認められていることから、(一社)日本建築学会の床性能評価指針⁷⁾において、高齢者施設などの中で配慮が望まれる床については床の硬さ980m/s² (100G) 以下が推奨されている。

試験は第2図に示す質量3.85kgのヘッドモデル（リング状の重すい）を床までの鉛直落下距離20cmで落下させ、規定のゴム板（ショアA硬度37、厚さ8mm）を介して測定対象とする床部分あるいは試験体に衝突させた際に、ヘッドモデルの加速度計に生じる減速の最大加速度を床の硬さとする。

試験体を測定対象とする場合は、コンクリートスラブ等剛床（床の硬さ：1568m/s²）の上に試験体を敷設し、その上に規定のゴム板を置いて測定した。

3.2 高齢者施設の床の硬さ

旭川市内の高齢者施設2ヶ所の協力を得て、床仕様の調査と、床の硬さを測定した。建物と床の仕様および床の硬さの測定結果を第2表に示す。高齢者施設においては、床の汚損が頻繁に発生することから、耐汚損性、清掃の簡便性が優先されることが多く、フローリング（直張り用合板フローリング）の使用は一部であった。フローリング部分においては、歩行器やリハビリ器具の移動による損傷も多く観察された。床の硬さは車いすや歩行器での移動が容易なように980m/s²を超える硬めの仕様となっている。これら施設では、転倒による傷害発生の危険性が認知されており、利用者が移動する際には必ず係員が付き添い、必要に応じて介助し、安全性を確保する体制が取られていた。

第2表 高齢者施設における床の硬さ測定結果

建物	場所・用途	床下地	床材	床の硬さ(m/s ²)
鉄筋コンクリート造 6階建て	5階 通所高齢者リハビリ (病院)	コンクリートスラブ	長尺ビニールシート(木目調)	1287
			長尺ビニールシート(大理石調)	1322
			長尺ビニールシート(木目調)	1313
鉄筋コンクリート造 3階建て	1階 通所高齢者リハビリ (介護老人保健施設)	コンクリートスラブ	直張り用合板フローリング	1123
			直張り用合板フローリング	1105
			長尺ビニールシート	1412

第3表 市販直張りフローリング等の床の硬さ測定結果

種別	用途等	仕様		床の硬さ (m/s ²)
		裏打ち材 (mm)	裏溝	
複合フローリングA	一般向け	なし	なし	1442
		カルプ 厚さ2	なし	1080
複合フローリングB	高齢者対応	立体ゴムシート 厚さ7	なし	646
複合フローリングC	高齢者対応	発泡樹脂シート 厚さ6	縦・横	662
複合フローリングD	高齢者対応	発泡樹脂シート 厚さ9	横	554
複合フローリングE	高齢者対応	発泡樹脂シート 厚さ4	なし	622
複合フローリングF	防音対応	発泡樹脂シート 厚さ2	横	868
複合フローリング	試作 (厚さ12)	なし	なし	1444
		カルプ* 厚さ2	なし	1117
		カルプ 厚さ4	なし	949
		カルプ 厚さ4	横	834
単層フローリング	試作 (厚さ12)	なし	なし	1444
		カルプ 厚さ2	なし	1120
		カルプ 厚さ4	なし	1053
		カルプ 厚さ4	横	893

* カルシウム イン プラスティックの略称。直張り用フローリングにおいては裏打ち材に用いる発泡樹脂シートを一般的にカルプと呼ぶ。

3.3 市販直張り用フローリング敷設時の床の硬さ

林産試験場内で床の硬さを確認済のコンクリートスラブ上に市販フローリングを敷設して、床の硬さを測定した。試験に供したフローリングの仕様等と測定結果を第3表に示す。

高齢者対応の市販直張りフローリングは、概ね600m/s²台の床の硬さを提供していることが確認できた。また簡易な試作フローリングで傾向を調べたところ、裏打ち材の厚さと、フローリングの裏溝の効果が相加的に作用していることが確認できた。

3.4 床の硬さ構成指標の明確化

市販品および簡易な試作品の結果から、裏打ち材の硬さ・厚さと、基材（木部）の裏面に施された裏溝（腰抜き）の深さ・間隔が床の硬さに関係すると推察されたため、それらを変化させて、床の硬さを検証した。

3.4.1 裏打ち材

裏打ち材として、比較的簡単に少量を入手できる発泡樹脂シートを用意した。材質、厚さ、測定したアスカC硬度（以下「C硬度」とする）を第4表に示す。C硬度の測定には第3図に示す半球状の圧子を有する一般的なJIS K 7312 Type C硬度計を用いた。

3.4.2 フローリング基材

複合フローリングの基材相当として12mm厚のラワン合板300×450mmを用い、合板の裏面には長辺と直交方向に幅1.2mm、深さ6または8mmの溝（腰

抜き）を間隔100, 75, 50, 25, 12.5mmになるように切削加工した。

3.4.3 床の硬さの計測方法

コンクリートスラブ上に裏打ち材（長さ500×幅500×厚さ(mm)）を敷き、中央が一致するように合板を置き、合板の両端に各5kgのおもりを置いて固定した上で、合板の中央で床の硬さを計測した。以降の計測値は同条件で計測した3回の計測値の平均値である。

3.4.4 床の硬さとフローリングの仕様

①裏打ち材厚さ2mm（カルプ）の床の硬さ計測結果を第4図に示す。



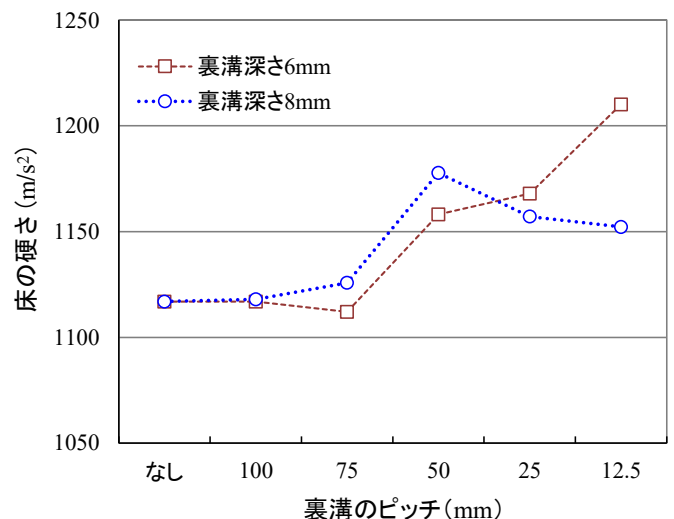
第3図 C硬度計

第4表 裏打ち材に用いる発泡樹脂シートの主な仕様とC硬度

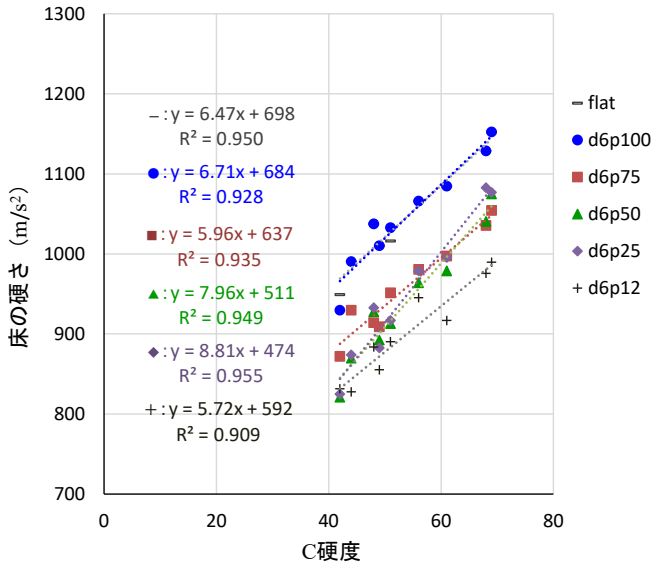
種別	呼称	材質等	厚さ (mm)	比重	C硬度
カルプ	CA1 t2	炭酸カルシウム配合軽量樹脂シート	2	0.102	42
	CA2 t4	〃	4	0.102	42
	CA3 t6	〃	6	0.102	42
ゴムスポンジ	NR1 t4	天然ゴム系発泡樹脂シート	4	0.152	44
	NR2 t8	〃	8	0.129	46
	NR3 t10	〃	10	0.157	48
	NR4 t10	〃	10	0.108	17
	CR1 t4	クロロプレンゴム系発泡樹脂シート	4	0.240	51
	CR2 t8	〃	8	0.253	52
	CR3 t4	〃	4	0.229	56
	CR4 t8	〃	8	0.250	57
	発泡樹脂シート	EP1 t10	EPDM系発泡樹脂シート	10	0.262
PE01 t4		ポリエチレン系発泡樹脂シート	4	0.063	49
PE02 t5		〃	5	0.067	40
PE03 t8		〃	8	0.061	47
PE04 t10		〃	10	0.063	50
PE05 t4		〃	4	0.121	69
PE06 t8		〃	8	0.126	70
PE07 t4		〃	4	0.116	68
PE08 t8		〃	8	0.114	68
PE09 t4		〃	4	0.112	61
PE10 t8		〃	8	0.114	61
PE11 t4		〃	4	0.098	48
PE12 t8		〃	8	0.101	50
PE13 t5		〃	5	0.035	31
PE14 t8		〃	8	0.037	32
PE15 t10		〃	10	0.033	27
PE16 t5		〃	5	0.045	38
PE17 t8		〃	8	0.042	37
EV1 t6		EVA系発泡樹脂シート	6	0.157	53
EV2 t6		〃	6	0.128	52
EV3 t6		〃	6	0.122	40
EV4 t6		〃	6	0.061	36
EV5 t6	〃	6	0.087	30	

裏溝の深さにかかわらず、裏溝を設けることで床の硬さが上昇する傾向がみられる。裏溝なしの値が、第2表の高齢者施設に用いられたコンクリートスラブ直張りフローリングの値とほぼ一致していることから、妥当な値が得られているものと考えられる。溝ピッチが細くなるにしたがって床の硬さの値が上昇するのは、フローリングが重すいの衝突によって沈み、裏打ち材が潰れて緩衝効果が減少し、コンクリートスラブの硬さが影響を及ぼしたものと考えられる。

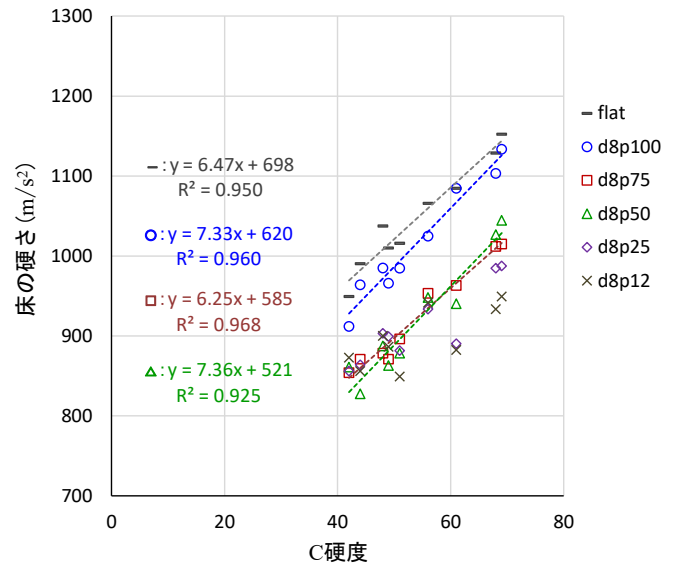
これらの傾向は裏溝を設けることで、さらに裏溝ピッチが細くなるに従ってフローリング基材の曲げ剛性が低下し、加力により曲りやすく、沈みやすくなるためと考えられ、以降の結果についてもその傾向がみられる。



第4図 裏打ち材厚さ2mmの床の硬さ



第5図 裏打ち材厚さ4mm, 裏溝深さ6mmの床の硬さ



第6図 裏打ち材厚さ4mm, 裏溝深さ8mmの床の硬さ

②裏打ち材厚さ4mmの床の硬さ

計測結果を第5図および第6図に示す。図中に回帰直線式と寄与率 (R²) を示す。図の凡例はflatが裏溝なし, d6は裏溝深さ6mm, p100は裏溝ピッチ100mmを示す。

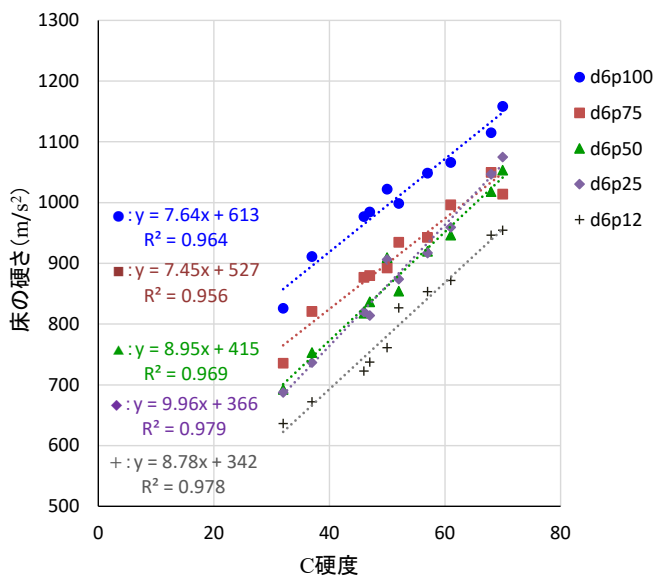
裏溝深さ6, 8mmともにC硬度が増すにしたがって, 床の硬さの値も上昇する。裏溝ピッチごとの値は概ねC硬度と床の硬さの間に有意な相関が認められるが, 裏溝深さ8mmで裏溝ピッチが50mm以下になると, C硬度が50以下となるあたりで床の硬さが横這いとなる。これは厚さ2mmのカルプを裏打ち材として用いた場合と同様に, 裏溝のピッチが狭く

なることにより, 衝撃時のフローリングの沈みが大きくなり, かつ, 裏打ち材のC硬度が下がって潰れやすくなったことが作用して, コンクリートスラブの硬さが影響したものだと考えられる。

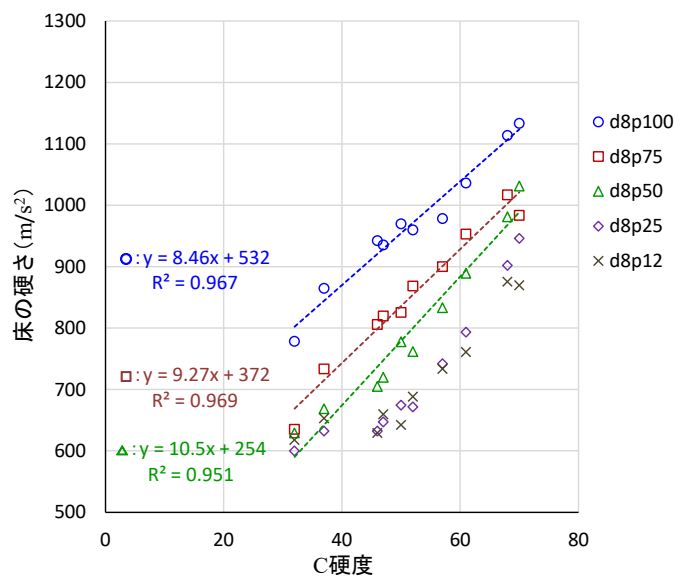
③裏打ち材厚さ8mmの床の硬さ

計測結果を第7図および第8図に示す。

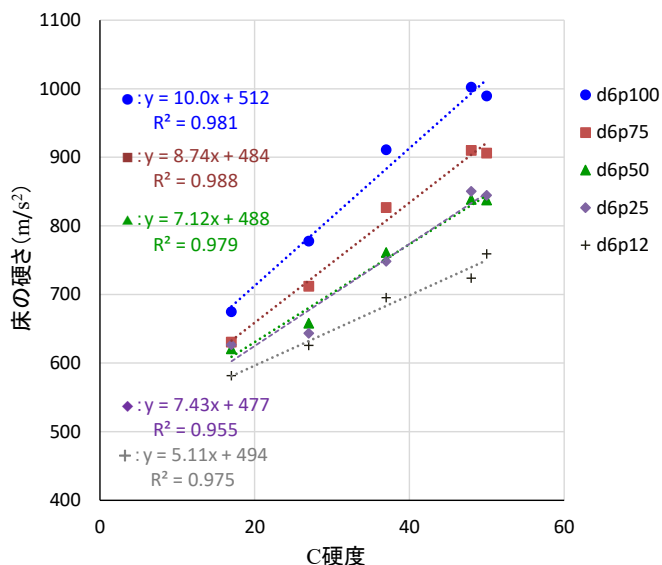
ここまでの結果と同様に, 裏打ち材のC硬度が低下するに伴って, 床の硬さも一定の範囲内で直線的に小さくなる。ただし, 裏溝深さ8mmで裏溝ピッチ25mmおよび12.5mmではC硬度が50以下になるとコンクリートスラブの硬さが影響して床の硬さの値が横這いとなる。



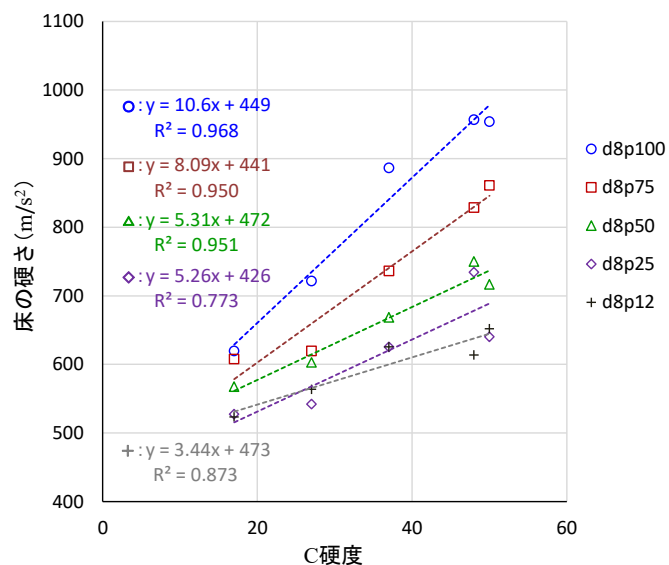
第7図 裏打ち材厚さ8mm, 裏溝深さ6mmの床の硬さ



第8図 裏打ち材厚さ8mm, 裏溝深さ8mmの床の硬さ



第9図 裏打ち材厚さ10mm、裏溝深さ6mmの床の硬さ



第10図 裏打ち材厚さ10mm、裏溝深さ8mmの床の硬さ

④裏打ち材厚さ10mmの床の硬さ

計測結果を第9図および第10図に示す。

裏打ち材厚さ10mmにおいては、C硬度の低下と裏溝ピッチが小さくなることによるコンクリートスラブの硬さの影響は、この試験の条件内ではみられないが、溝ピッチが小さくなるにしたがって、回帰直線の傾きが小さくなる傾向がみられた。

⑤その他の厚さの裏打ち材

裏打ち材厚さ5および6mmにおいては、裏溝深さ6および8mmで裏溝ピッチが50mm以下になるとコンクリートスラブの硬さの影響がみられた。

⑥小括 床の硬さ

高齢者施設等の転倒衝突に対する配慮が望まれる床については、床の硬さを980m/s²以下とするのが望ましいとされている。本報の第5図～第10図に示したデータにおいて、Y軸の床の硬さの値が980m/s²以下で目標とする値のポイントからX軸に平行な線を引き、その線より下側（安全側）となる裏打ち材のC硬度、フローリングの裏溝加工を選択することで、高齢者対応の直張りフローリング仕様が見出せる。ただし、床の硬さのみに重きを置くと、床の踏み心地や歩行感を低下させる、あるいは従来からのフローリングの触感と違和感を生じる場合も想定されるので、総合的な判断は必要となる。

4. まとめ

木質フローリングは人に優しい印象が強い床材であるが、移動時に足裏と接触する際には塗装・塗膜が滑り性能を左右する。また、柔らかく見える木目や色調でも、実際の硬さは床の構成・仕様によって様々である。これらは設計の段階で、あるいは使用する床材を選択する段階で、およそ実現できる性能値が決まる。見栄えや価格も大事な要素ではあるが、急速に高齢化が進む現在の情勢において、床の安全性に関わる性能についても認知しておく必要がある。

参考文献

- 1) 内閣府, 高齢社会白書 令和4年版 (2022).
- 2) 厚生労働省, 人口動態調査 平成31年版死因基本分類表 死因 V01～X59 (2019).
- 3) 内閣府, 高齢社会白書 令和3年版 (2021).
- 4) 東京消防庁, 救急搬送データからみる日常生活事故の実態 令和2年 (2020).
- 5) JIS A 1454 「高分子系張り床材試験方法」, (一財)日本規格協会 (2016).
- 6) 小野英哲, 携帯型床のすべり試験機 (ONO-PPSM) の開発, 日本建築学会構造系論文集, 第585号, 51-56 (2004).

- 7) 日本建築学会「床性能評価指針」(2015).
- 8) 小野英哲, 三上貴正, 渡辺博司, 安全性からみた学校体育館床のかたさに関する研究, 日本建築学会論文報告集, 第321号, 9-16 (1982).

- 企業支援部 普及連携グループ—
 - *1: 技術部 生産技術グループ—
 - *2: 技術部 製品開発グループ—
 - *3: 性能部 保存グループ—
 - *4: 元技術部 生産技術グループ—
 - *5: 東京工業大学 環境・社会理工学院—
- (原稿受理: 2022. 11. 10)

鋼板添板ラグスクリュー接合における先穴仕様 および千鳥配置の影響

戸田 正彦, 富高 亮介, 村上 了

Influence of pre-hole specification and zigzag arrangement in lag screw joints with steel side plates

Masahiko TODA, Ryosuke TOMITAKA, Satoru MURAKAMI

Keywords : yield strength, ultimate strength, initial stiffness, ductility factor

キーワード : 降伏耐力, 終局耐力, 初期剛性, 塑性率

本研究では, ラグスクリューを対象として, 先穴仕様の違いによる影響, および1列に多数本配置した場合の千鳥配置による効果について検討した。その結果, 標準的な配置においては先穴を簡便に1段であけることによって, 降伏耐力や終局耐力が1割~2割低下したが, それ以外の指標では明確な差は認められなかった。また, 千鳥配置にすることによって, 降伏耐力や初期剛性は変化しないが, 終局耐力および塑性率が向上する傾向が認められた。また端距離や接合具間隔が不足している場合には, 千鳥配置することで降伏耐力は向上し, 接合具間隔が不足していても端距離が十分にあれば接合性能の低下はそれほど大きくないことが確認された。

1. はじめに

一般に木質構造における釘やボルト, ドリフトピン, ラグスクリューなどの接合具を用いた接合部は接合具を1本ではなく複数本を配置して設計される。木質構造設計規準には, これら接合具の配置に関して, 材縁端までの距離および接合具同士の間隔の制限値を設けている¹⁾。同規準では先穴を通常設けない釘などの場合は, 先穴を設けるボルトなどに比べてこれらの距離が大きく設定されているが, 釘の場合は, 木材繊維に対して乱に打つことが望ましいともされている。これは釘打ちの際にわずかながらも木材に割れが発生し, これらが連結することによって割裂破壊が生じやすくなるためと考えられる。

ラグスクリュー (第1図) は, その構造上, 2段階の先穴をあけるのが望ましいとされている。すなわち胴部は胴径と同径, ねじ部は胴径の6~8割程度の径である。しかし加工手間を省略するためにねじ部に対応する径の穴を1段階で全長にあける場合もあり, 釘と同様に初期の割れの発生および接合性能の低下が懸念される。また配置を千鳥 (ジグザグ状)

とすることで割裂の連結が回避され, 終局耐力の向上が期待できるが, 千鳥の幅をどの程度にすれば有効となるかについてはこれまでほとんど検討が行われていない。

本研究では, 鋼板添板ラグスクリュー接合における先穴仕様および複数本配置した場合の千鳥配置の影響について実験による検討を行った。

なお本報告の一部は, 日本木材学会 (2019年3月, 北海道) で発表した²⁾。

2. 試験体および試験方法

2.1 試験体

主材にはカラマツ集成材 (同一等級E85-F300相当, 断面寸法105×120mm, 平均比重0.55, 平均含水率12%) を用いた。側材には鋼板 (SS400, 厚さ12mm), ラグスクリューは直径 (以下, d) が12mm, 長さが110mmのものを用いた。先穴径は, 鋼板に13mm, 主材には12mm+8mmの2段穴, または8mmの1段穴とした。ラグスクリューは板目面にインパクトレンチを用いて打ち込んだ後, 摩擦が生

じないように調整した。試験体数は各6である。

ラグスクリューの配置のうち、端距離 (e) および接合具間隔 (s) とともに設計規準を満たす直径の7倍の仕様 (以下7e7s) と、それを下回る直径の5倍の仕様 (同5e5s) , 端距離7d・間隔5dの仕様 (同7e5s) の3種類とし、千鳥幅はラグスクリューの直径の0, 0.5, 1.0, 1.5倍の4種類とした (第2図)。

2.2 試験方法

強度試験は油圧シリンダを使用した試験機を用いて、ロードセル (容量200kN) で荷重値を検出するとともに、定格容量50mmの変位変換器を使用して鋼板と主材間の変位を計測した (第3図)。加力は単調増加とし、最大荷重の80%に低下するまで加力した。

3. 結果と考察

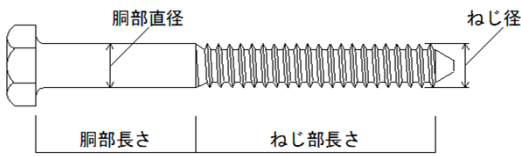
3.1 破壊形態と荷重-変形の関係

代表的な荷重-変位曲線を第4図に示す。いずれも初期の弾性域を経て降伏後に最大荷重に達したあと緩やかに荷重が低下していく挙動が観察された。概

ね最大荷重の20%~40%間で比例関係が認められたため、これを弾性域とみなして完全弾塑性モデル化を行い、降伏耐力、終局耐力、初期剛性、塑性率を算定した。試験結果を表1に示す。また主な破壊形態を第5図に示す。すべての試験体でラグスクリューの打ち込み部から割裂が発生し、ラグスクリューは概ね曲げ降伏していたが、破断したものはなかった。先穴を1段階であけた試験体のうちの2割程度でラグスクリュー打ち込み時に割れが発生していたが、終局的な破壊形態には差は見られなかった。また千鳥幅を大きくすることによって割裂の連結は減少したが、繊維傾斜によっては径と同じ千鳥幅としても割れがつながる場合が見られた。

3.2 先穴の加工仕様による影響

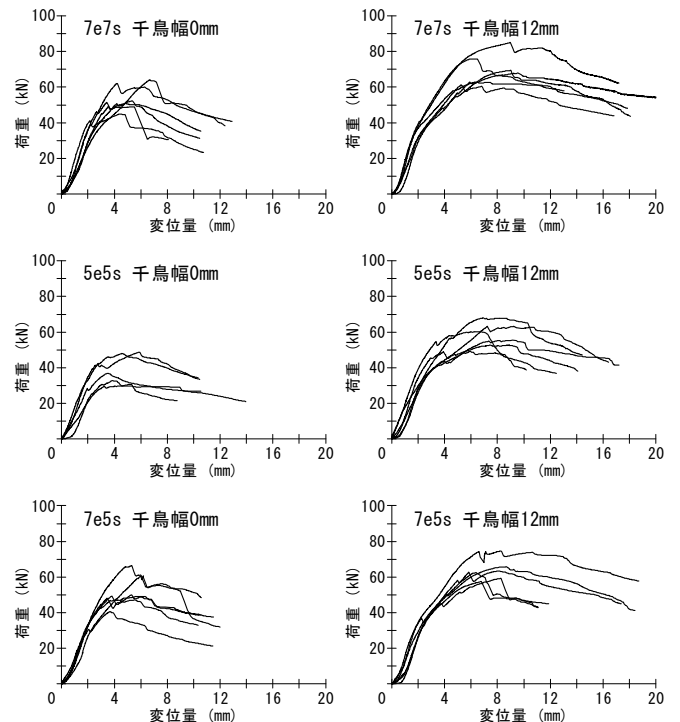
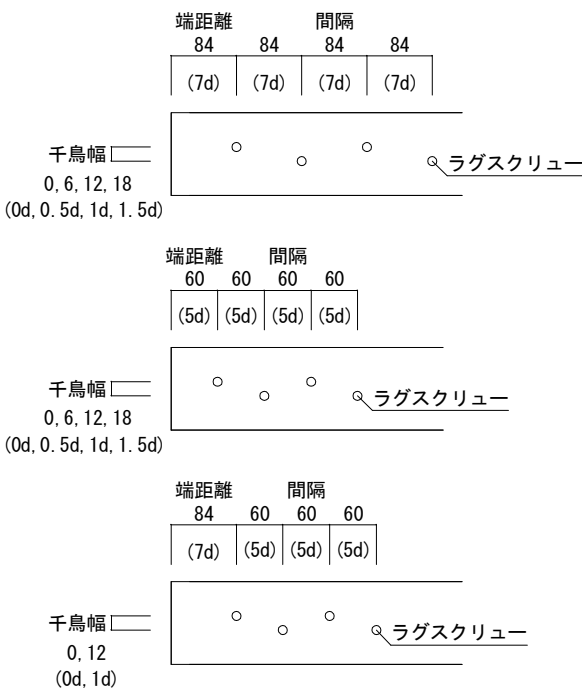
各接合性能を先穴の加工仕様ごとに比較した結果を第6図に示す。千鳥幅が0の条件では、木材側の先

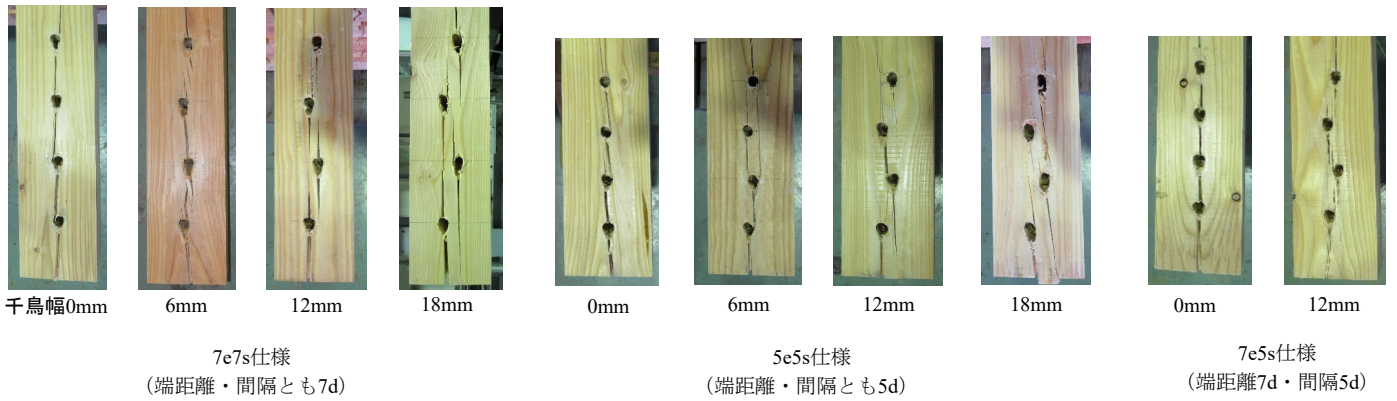


第1図 ラグスクリューの形状



第3図 試験実施状況





第5図 主な破壊形態（1段穴）

第1表 試験結果

端距離	間隔	千鳥幅 (mm)	段数	最大耐力 P_{max} (kN)		降伏耐力 P_y (kN)		終局耐力 P_u (kN)		初期剛性 K (kN/mm)		塑性率 μ	
				Av.	SD	Av.	SD	Av.	SD	Av.	SD	Av.	SD
7d	7d	0	1	13.57	1.82	8.19	0.85	11.96	1.44	4.13	0.67	2.65	0.60
			2	16.63	2.64	8.97	0.50	14.50	2.26	3.90	0.83	2.73	0.90
		6	1	16.41	3.62	8.54	0.62	14.37	2.92	3.93	0.32	3.57	0.92
			2	16.90	1.75	9.18	0.84	14.56	2.23	4.27	0.38	3.34	0.78
		12	1	17.58	2.22	8.46	0.53	15.57	1.88	4.38	0.65	4.27	1.04
			2	18.73	1.86	8.82	1.21	16.52	1.65	4.23	0.52	3.52	0.62
		18	1	17.81	1.54	8.49	0.79	15.78	1.82	4.48	0.38	4.37	0.90
			2	18.87	2.97	10.47	1.47	17.16	2.66	4.13	0.57	3.65	0.53
5d	5d	0	1	9.81	2.17	6.65	0.91	8.71	1.97	3.55	0.84	3.36	0.79
			2	10.51	1.33	7.45	0.93	9.60	1.30	4.83	0.60	4.06	1.77
		6	1	12.38	1.52	7.30	1.00	10.92	1.25	3.96	0.55	4.14	0.82
			2	12.38	0.84	7.51	0.81	10.94	0.75	4.07	0.28	3.90	0.60
		12	1	14.53	1.75	8.55	0.34	13.19	1.59	3.87	0.66	3.63	0.87
			2	13.90	1.70	8.29	0.91	12.38	1.58	4.39	0.69	4.33	1.23
		18	1	16.95	1.20	8.94	0.56	15.07	1.03	3.61	0.29	3.46	1.07
			2	13.90	1.70	8.29	0.91	12.38	1.58	4.39	0.69	4.33	1.23
7d	5d	0	1	13.18	2.32	8.29	1.02	11.49	1.86	3.94	0.33	3.00	0.55
		12	1	15.97	1.51	8.49	0.42	13.92	1.69	3.76	0.45	3.35	0.86

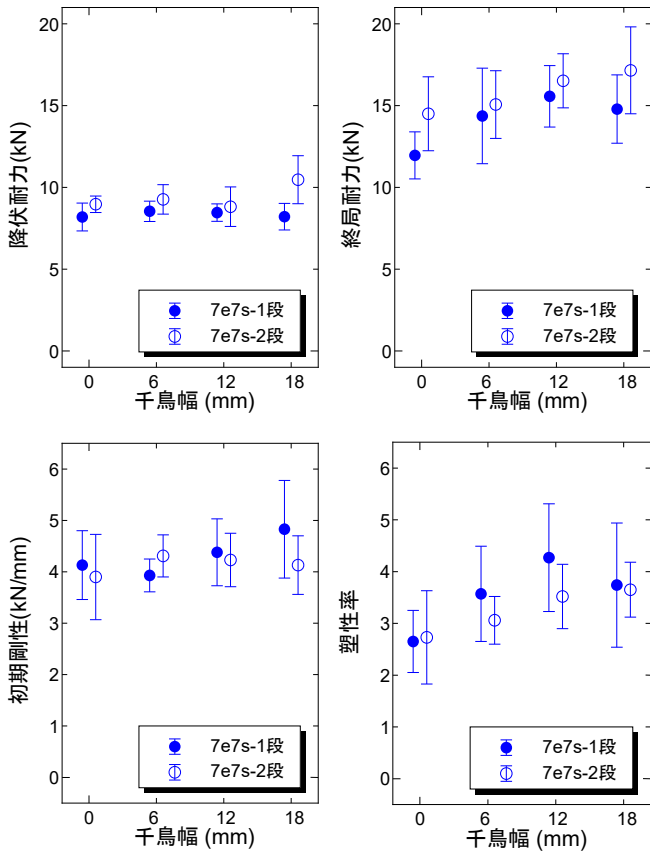
※Av. : 平均、SD : 標準偏差

穴を1段階であけた場合は2段階であけた場合に比べて降伏耐力および終局耐力が1~2割程度低下したが、千鳥配置にすることによってこれらの差は減少することが確認された。また7e7s仕様では、初期剛性や塑性率は大きな低下は認められなかった。1段穴でのラグスクリュー打ち込み時に割れの発生が確認されたが、割れの幅が小さかったことおよび縁距離が十分に確保されていたことから支圧性能の低下には至らなかったと考えられる。これに対して5e5s仕様では、すべての性能が1段穴で低下していたが、千鳥配置にすることによって差が減少することが確認された（第1表）。一方で、電動インパクトレンチによる打ち込み作業は、2段穴とすることによって作業効率が向上した。

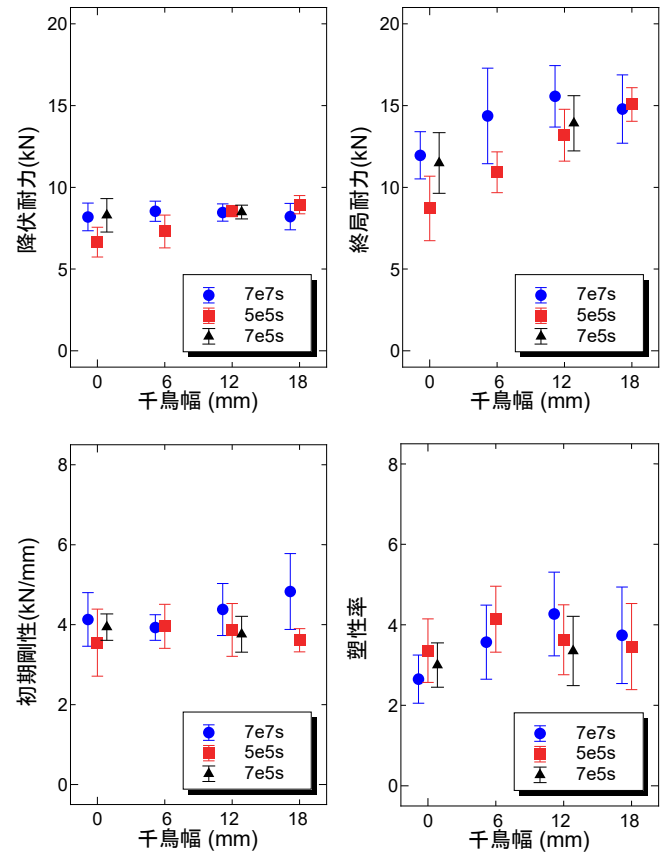
3.3 端距離および接合具間隔

端距離および接合具間隔の異なる3仕様について性能比較した結果を第7図に示す。

7e7s仕様では、千鳥配置にすることによって降伏耐力や初期剛性は変化しないが、終局耐力や塑性率は千鳥幅に応じて向上する傾向が認められた。ただし、千鳥幅がラグスクリューの径より大きくなると効果は頭打ちになる傾向がうかがえた。また5e5s仕様は千鳥配置にしない場合は7e7s仕様と比べて降伏耐力や終局耐力が低かったが、千鳥配置にすることによって性能が同程度まで向上することが認められた。さらに7e5s仕様は千鳥幅が0mmであっても7e7s仕様とほぼ同等の性能が得られていた。したがって、部材寸法によって端距離や接合具間隔が設計規準を



第6図 先穴仕様と接合性能の関係



第7図 端距離・接合具間隔および千鳥幅と接合性能の関係 (1段穴)

満たせない場合は、端距離の確保を優先することによって性能低下の抑制が可能であると考えられる。

4. おわりに

本研究では、鋼板添板ラグスクリュー接合を対象として、先穴仕様の違いによる影響、および千鳥配置による効果について検討した。その結果、設計基準で推奨されているように胴部とねじ部とで2段階の先穴をあける仕様に比べて、ねじ部に対応する径で1段階で簡便にあける仕様は、降伏耐力や終局耐力が1~2割弱低下したが、初期剛性や塑性率では明確な差は認められなかった。また、千鳥配置にすることによって、降伏耐力や初期剛性は変化しないが、終局耐力および塑性率が向上する傾向が認められた。また端距離や接合具間隔が不足している場合には、千鳥配置にすることで降伏耐力が向上する場合があることが認められた。また接合具間隔が不足していても端距離が十分にあれば接合性能の低下はそれほど大きくないことが確認された。

謝辞

本研究は、科学研究費補助金 (H28-30 基盤(C) 16K07815 : 戸田正彦) により実施した。

参考文献

- 1) 日本建築学会：”木質構造設計規準・同解説—許容応力度・許容耐力設計法—”，日本建築学会，pp.26-66 (2006)。
- 2) 戸田正彦，富高亮介，村上了：鋼板添板ラグスクリュー接合における千鳥配置の影響，日本木材学会大会研究発表要旨集，函館 (2019)。

一性能部 構造・環境グループ
(原稿受理：2022. 11. 16)

野生型エノキタケ新品種の開発 (第2報) 構成核由来単核系統を用いた菌株の作出と選抜

宜寿次 盛生, 米山 彰造, 吉野 (齋藤) 沙弥佳*¹, 東 智則,
檜山 亮*², 津田 真由美*³

Development of new wild-type *Flammulina velutipes* varieties (II) Generation and selection of new strains using mononuclear mycelia derived from parental strain cells

Seiki GISUSI, Shozo YONEYAMA, Sayaka YOSHINO-SAITOH, Tomonori AZUMA,
Ryo HIYAMA, Mayumi TSUDA

キーワード: エノキタケ, 育種, プロトプラスト, 分生子, ネオハプロント

1. はじめに

エノキタケは、国内生産量が最も多い食用きのこで年間約13万トン生産されている¹⁾。現在、人工栽培で生産されるエノキタケは「純白系」と呼ばれる品種がほとんどであるが²⁾、野生のエノキタケは傘が褐色で、柄の上部は淡黄褐色、下部は黒褐色を呈している³⁾。北海道立総合研究機構林産試験場 (以下、林産試) が開発した⁴⁾、天然の形態・風味を有する野生型エノキタケは実生産に活用されている。北海道の統計上、野生型エノキタケは「えぞ雪の下」と呼ばれ、エノキタケとは別品目扱いで、市場での根強い需要から25年以上一定量の生産が行われ流通している¹⁾。また、他のきのこ生産者から野生型エノキタケを導入したいという要望や、野生型エノキタケの機能性^{5,6)}を高めた品種開発の要望がある。

前報⁷⁾では、孢子混合液を用いたランダム交配菌株の作出と選抜を行った。本稿では、複核 (二核) 菌糸体からの構成単核 (一核) 菌糸体 (ネオハプロント) を用いた交配菌株の作出と選抜を行った結果を報告する。ネオハプロントを用いた交配菌株は、親菌株の特性を半分受け継ぐことが期待される。

まず、平成23年 (2011年; 以下「H23」のように記す) にネオハプロントを用いて作出した菌株群

の再検討を行い、H23に分離、継代保存しているネオハプロントから新たに作出した菌株群の栽培特性を検討した。続いて、新たに分生子由来およびプロトプラスト由来ネオハプロントから菌株を作出し選抜を行った。また、ネオハプロントとその交配菌株の特性改良を目的として、プロトプラストからの菌糸再生時に高温処理を試みた。

2. 実験方法

2.1 供試菌株および交配菌株の作製

2.1.1 H23作出菌株の再検討

H23~25 (2011~2013) 年にプロトプラスト再生ネオハプロントと単胞子由来単核系統を交配して作出した菌株⁸⁾の栽培特性を再確認した。まず、H23~25 (2011~2013) 年の栽培試験データから収量を指標に正逆交配48菌株 (24組合せ) を選抜した (第1表)。

2.1.2 H23分離構成核系統からの菌株作出

育種素材としての可能性を検討するため、継代保存しているH23年に分離したプロトプラスト由来のネオハプロントの交配能を確認した。

(1) HfpriFv92-04 (以下、Hfpriは省略してFv92-04のように記す) 自家交配試験

核A (第1表) を有するネオハプロント9系統 (PNA1~9) と核B (第1表) を有するネオハプロ

第1表 エノキタケ供試菌株

菌株	構成核*2(交配型)	細胞質由来*3	備考
Fv92-04	A (A1B1) + B (A2B2)	Fv92-04	交配菌株
Fv09-01	C (----) + D (----)	Fv09-01	野生菌株, 旭川市, 2009年
Fv82-03	J (A3B3) + K (A4B4)	Fv82-03	野生菌株, 旭川市, 1982年
H23作出株(Ajk)*1	A (A1B1) + 823# (----)	Fv92-04	3菌株; A45, A59, A87
H23作出株(jkA)*1	823# (----) + A (A1B1)	Fv82-03	3菌株; 45A, 59A, 87A
H23作出株(Bjk)*1	B (A2B2) + 823# (----)	Fv92-04	6菌株; B45, B60, B72, B81, B87, B93
H23作出株(jkB)*1	823# (----) + B (A2B2)	Fv82-03	6菌株; 45B, 60B, 72B, 81B, 87B, 93B
H23作出株(Jab)*1	J (A3B3) + 924# (----)	Fv82-03	1菌株; J23
H23作出株(abJ)*1	924# (----) + J (A3B3)	Fv92-04	1菌株; 23J
H23作出株(Kab)*1	K (A4B4) + 924# (----)	Fv82-03	10菌株; K06, K11, K15, K19, K23 , K27, K29, K30, K37, K38
H23作出株(abK)*1	924# (----) + K (A4B4)	Fv92-04	10菌株; 06K, 11K, 15K, 19K, 23K, 27K, 29K, 30K, 37K, 38K
H23作出株(Acd)*1	A (A1B1) + 091# (----)	Fv92-04	3菌株; A50, A74, A80
H23作出株(cdA)*1	091# (----) + A (A1B1)	Fv09-01	3菌株; 50A, 74A, 80A
H23作出株(Dab)*1	D (----) + 924# (----)	Fv09-01	1菌株; D38
H23作出株(abD)*1	924# (----) + D (----)	Fv92-04	1菌株; 38D
H23作出株(AK)*1	A (A1B1) + K (A4B4)	Fv92-04	Fv92-04とFv82-03の構成核由来系統の交配菌株
H23作出株(KA)*1	K (A4B4) + A (A1B1)	Fv82-03	Fv92-04とFv82-03の構成核由来系統の交配菌株
E274	924#38 (A2B1) + K23#74 (A4B4)	Fv92-04	Fv92-04とFv82-03の交配菌株K23にFv92-04を戻し交配した
E704	K23#04 (A4B4) + 924#38 (A2B1)	Fv82-03	Fv92-04とFv82-03の交配菌株K23にFv92-04を戻し交配した

*1: ()は交配株の構成核概略; 英大文字は親菌株の構成核, 英小2文字は親菌株の単孢子由来核
 *2: 英大文字は菌株を構成する2核の名称, 細胞質側由来の核(交配型) + 逆側の核(交配型)
 *3: 菌株の細胞質

ント9系統 (PNB1~9) で第2表(1)に示す9組み合わせの交配試験を行った。各組み合わせにつき9cmシャーレのPDA培地上に約5mm間隔で2組を対峙させ接種した。両菌叢が接触後, 菌叢外周部を検鏡してクランプの有無を確認した。クランプを確認した箇所から新たなPDA培地に分離, 培養後, 再度検鏡してクランプを確認し交配菌株を得た。

(2) Fv92-04ネオハプロント×Fv82-03 ネオハプロント交配試験

核Aを有するネオハプロント10系統と核K(第1表)を有するネオハプロント9系統(PNK1~9)で第2表(2)に示す18組み合わせの交配試験を行った。(1)と同様に対峙培養しクランプを確認した。各接種源側それぞれの菌叢外周でクランプ確認および分離を行い, 細胞質が異なる菌株として正逆交配菌株とした。交配菌株名は, 細胞質側の系統を先に逆側の系統を後にして命名した。(例: PNA1とPNK2を対峙接種, PNA1側から分離した菌株名はA1K2, 逆のPNK2側から分離した菌株はK2A1)

2.1.3 分生子由来ネオハプロント交配試験

育種素材としての可能性を検討するため, エノ

第2表 H23分離ネオハプロントの交配試験

(1) Fv92-04自家交配試験

	PNA1	PNA2	PNA3	PNA4	PNA5	PNA6	PNA7	PNA8	PNA9	PNA10
PNB1	A1B1									
PNB2		A2B2								
PNB3			A3B3							
PNB4				A4B4						
PNB5					A5B5					
PNB6						A6B6				
PNB7							A7B7			
PNB8								A8B8		
PNB9									A9B9	

(2) Fv92-04 PNAシリーズ×Fv82-03 PNKシリーズ交配試験

	PNA1	PNA2	PNA3	PNA4	PNA5	PNA6	PNA7	PNA8	PNA9	PNA10
PNK1	A1K1	A2K1	A3K1							A10K1
	K1A1	K1A2	K1A3							K1A10
PNK2	A1K2	A2K2	A3K2							A10K2
	K2A1	K2A2	K2A3							K2A10
PNK3	A1K3	A2K3	A3K3							A10K3
	K3A1	K3A2	K3A3							K3A10
PNK4				A4K4						
				K4A4						
PNK5					A5K5					
					K5A5					
PNK6						A6K6				
						K6A6				
PNK7							A7K7			
							K7A7			
PNK8								A8K8		
								K8A8		
PNK9									A9K9	
									K9A9	

□: 交配で得られた菌株
 □: 菌株が得られなかった(交配試験でクランプが確認できなかった)
 空欄は交配試験を行っていない

キタケ培養菌糸コロニーに形成される分生子を採取し、その核相（単核、複核）および交配型を確認した。

Fv92-04をPDA薄片（1×2×1 mm程度）に接種、室温で29日培養後、検鏡して分生子の形成を確認した。シャーレに滅菌蒸留水を1mL加え、ピペティングを行い、分生子を含む液を回収した。検鏡して分生子の存在を確認したのち、計数せずに希釈系列を作製し、各々PDAに播種した。再生してきたシングルコロニーを採取、それぞれ新たなPDAで培養し、検鏡してクランプの有無を確認した。クランプを形成しない分離系統の菌糸を用い、すべての組み合わせで交配試験を行い、クランプの有無を確認し交配菌株を得た。また、H23年分離ネオハプロント（2.1.2 参照）をテスターに交配型の確認を行った。

2.1.4 プロトプラスト分離単核系統の取得

供試菌株は、Fv92-04, Fv09-01, E274, E704を用いた（第1表）。

まず、各菌株をMYG液体培地にて4日間培養後、Yatalase消化処理（2%, 30°C, 2-3時間）によりプロトプラストを調製した。検鏡してプロトプラストを確認したのち、計数せずに希釈系列を作製し、各々PDAに播種した。

播種したPDAは、24°Cと32°C、24°C一晚培養後に32°Cの変温処理（以下「24°C⇒32°C」）の3条件下で管理した。再生してきたシングルコロニーを採取、それぞれ新たなPDAで培養し、検鏡してクランプの有無を確認した。クランプを形成しない分離系統の菌糸を用い、交配型の確認を行った。

2.2 栽培試験と選抜

2.2.1 種菌の作製

2.1の菌株をそれぞれPDA平板培地で培養し、その菌糸片を種菌用培地（555mL容ポリプロピレン製栽培ビン、培地量320g；シラカンバおが粉93g, フスマ23g, 設定培地水分63.8%）に接種後、ビン全面に菌糸が蔓延するまで培養して栽培試験用の種菌とした。対照菌株として、Fv92-04のほか、E274およびE704を供試した。

2.2.2 栽培方法および食味試験

道総研林産試における野生型エノキタケの標準的な方法（L培地法）⁷⁾および品種登録栽培法（C培地法）⁷⁾に準じて栽培試験を行った。また食味試験も前報⁷⁾に準じて行った。

2.2.3 選抜

1次選抜は、供試ビン数4本ずつで栽培試験を行い、L培地法での子実体収量平均値が対照菌株（Fv92-04）より高い菌株を選抜した。2次選抜は、供試ビン数8本ずつで栽培試験を行った。1次選抜および食味試験の結果も考慮し、L培地法での子実体収量平均値が対照菌株（Fv92-04）より高い菌株を選抜した。

2.3 統計解析

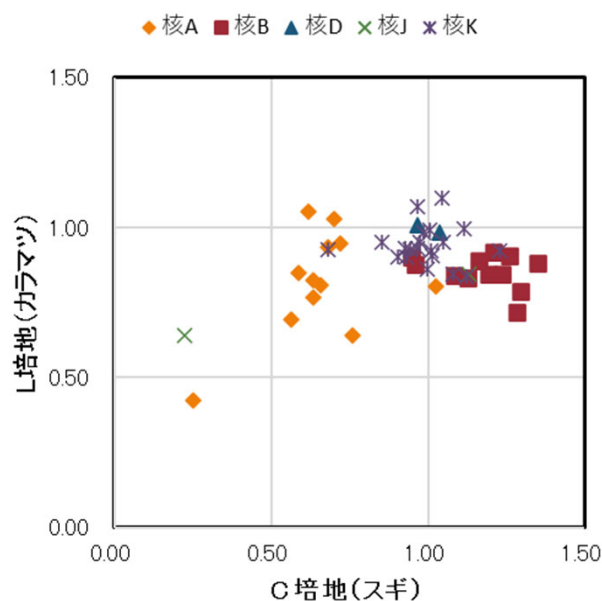
「エクセル統計2015」（社会情報サービスベルカーブグループ）を用い、前報⁷⁾に準じて解析を行った。

3. 結果と考察

3.1 H23作出菌株の再選抜と栽培特性

3.1.1 栽培試験1回目および2回目

対照（Fv92-04）に比べL培地で収量が高いのは5菌株（38K, K38, A80, 80A, 38D）で、C培地では対照に比べ収量が高いのは23菌株で、Fv92-04の構成核Bを有する菌株が多かった（第1図）。正逆交配菌株間で収量を比較すると、各組み合わせそれぞれ正逆で収量差が見られたが、正逆の優劣について共通する傾向は認められなかった（データは示していない）。また、正逆でのL培地とC培地の収量について、24組み合わせ中11組み合わせで



第1図 H23作出菌株から再選抜した48菌株の栽培試験結果(収量比)の分布

第3表A H23作出菌株の栽培特性 (対照Fv92-04との相対比)

菌株	1回目の結果(第1回)				2回目の結果				3回目(2次選抜)の結果			
	L培地(カラマツ) n=4		C培地(スギ) n=4		L培地(カラマツ) n=4		C培地(スギ) n=4		L培地(カラマツ) n=8		C培地(スギ) n=8	
	収量比*1	生産効率比*1	収量比*1	生産効率比*1	収量比*1	生産効率比*1	収量比*1	生産効率比*1	収量比*1,2	生産効率比*1,2	収量比*1,2	生産効率比*1,2
K30	0.984	1.130	0.988	1.190	0.792	0.943	0.713	0.927				
30K	0.995	1.059	1.117	1.285	0.998	1.068	1.060	1.201				
K37	0.994	1.058	1.004	1.007	0.972	1.047	0.952	1.079				
37K	0.950	1.005	0.854	0.846								
38K	1.098	1.184	1.044	1.099	1.112	1.205	0.947	1.098	1.318	++	1.520	++
K38	1.071	1.140	0.966	1.008	1.159	1.272	0.921	1.068	1.173	++	1.273	++
A80	1.054	1.072	0.619	0.607	1.173	1.202	0.666	0.701	1.209	++	1.459	++
80A	1.028	1.053	0.702	0.690	1.144	1.201	0.763	0.809	0.921		1.011	
D38	0.983	1.039	1.039	1.033	1.104	1.131	0.518	0.489	1.056		1.127	
38D	1.007	1.006	0.968	0.931	1.080	1.120	0.723	0.667	1.048		1.114	
E274					0.956	1.037	0.941	1.126	1.135		1.308	++
E704					1.068	1.188	0.983	1.179	1.251	++	1.289	++
Fv92-04(対照)	平均	標準偏差	平均	標準偏差	平均	標準偏差	平均	標準偏差	平均	標準偏差	平均	標準偏差
収量(g/ビン)	140.9	5.94	92.0	22.21	141.3	11.92	126.4	6.11	111.3	14.16	69.2	36.02
栽培日数	40	0.7	58	1.3	42	0.0	51	0.0	51	1.9	63	2.3
供試ビン数n	9		7		9		9		12		11	

*1 それぞれの栽培試験で対照菌株(Fv92-04)に対する子実体収量(g/ビン)および生産効率(収量/栽培日数)の比を示した。

*2 ++:危険率1%で有意に大きいことを示す(Dunnett法による多重比較, 供試ビン数8本/菌株)

第3表B H23作出菌株の食味評価試験結果

菌株	対照菌株	食味評価試験(評価値1~5の平均値)			
		Q1 かたさ	Q2 食感好	Q3 味濃さ	Q4 味好
38K	E274	2.64	2.91	3.00	3.18
K38	E274	2.91	3.09	2.91	3.00
A80	E704	2.75	2.92	2.58	2.83
80A	E704	2.58	3.00	2.58	2.75
D38	E704	3.00	2.75	2.75	2.83
38D	E704	3.25	3.17	2.83	2.83

対照と比較して5段階で評価した。評価結果は下記例の

値(5, 4, 3, 2, 1)に変換して平均値を求めた。

Q1かたさ:かたい5, 同じ3, やわらかい1

Q2食感の好ましさ:好5, 同じ3, 嫌1

Q3味の濃さ:濃5, 同じ3, うすい1

Q4味の好ましさ:好5, 同じ3, 嫌1

□ : >3.00 □ : <3.00

優劣の傾向が一致しなかった(データは示していない)。

L培地で比較的収量が高い9菌株(30K, K30, K37, 38K, K38, A80, 80A, 38D, D38)にE274とE704を加え再度栽培試験を行った(第3表)。これらは各正逆交配株間では収量差が小さく栽培特性が近いと考えられた。2回の試験で対照菌株(Fv92-04)に比べL培地で収量が高かった6菌株(38K, K38, A80, 80A, D38, 38D)およびE274とE704を選抜し次の試験に供した。

3.1.2 2次選抜試験(第3表A)

1, 2回目の栽培試験に比べ, 対照(Fv92-04)はL培地, C培地とも栽培日数が長く, 収量が低かった。種菌の影響が考えられるが原因は不明である。

Fv92-04を対照群として多重比較を行った結果,

L培地において有意に収量が高い3菌株が検出された(38K, K38, A80; $p < 0.01$)。一方, E704を対照群として多重比較を行った結果, L培地においてFv92-04のほか3菌株が有意に収量および生産効率が低かった(データは示していない)。

食味試験の対照菌株は, 栽培日数の関係でE704またはE274とした(第3表B)。

客観評価である「Q1かたさ」について, 38Dが対照E704よりかたく, D38が同等, 他の4菌株はかたさという評価だった。「Q3味の濃さ」について, 38Kが対照E274と同等で, 他5菌株は対照より濃くない評価であった。主観評価である「Q2食感の良否」について, 対照より良いのは38D(対照E704)とK38(対照E274)の2菌株だった。80Aは対照E704と同等で, 他3菌株は対照より良くない評価であった。「Q4味の良否」について, 38Kが対照E274より良く, K38が対照E274と同等で, 他4菌株は対照より良くない評価であった。

6菌株の全データを用いて, 4項目(Q1かたさ, Q2食感の良否, Q3味の濃さ, Q4味の良否)間の相関係数を求めた。前報⁷⁾と同様に「Q3味の濃さとQ4味の良さ」間で有意な相関が認められた(相関係数0.8587, $p < 0.05$)が, 「Q1かたさとQ2食感の良否」間では相関が認められなかった(相関係数0.3416)。

栽培特性と食味試験の結果を考慮して, H23作出菌株から38K, K38, A80の3菌株と対照に用いたE274およびE704を次の選抜候補とした。

3.2 H23分離ネオハプロントから作出した菌株の栽培特性

3.2.1 交配試験（第2表）

Fv92-04自家交配9組み合わせの内7菌株が得られた。Fv92-04 PNAシリーズ×Fv82-03 PNKシリーズ交配正逆36組み合わせの内29菌株が得られた。1組み合わせしか供試していない「PNB1」と「PNB3」は交配が確認できなかったが、他の単核系統は交配能を有していた。ただし交配できない組み合わせがあり、長期保管の影響等で交配能が低下（劣化）している可能性が示された。

3.2.2 栽培特性（第4表）

(1) Fv92-04自家交配菌株

雑菌汚染のため菌糸蔓延しなかった1菌株を除き他の6菌株は26～34日で菌糸蔓延した。菌糸蔓延後、順次菌掻き処理を行ったが、すべて子実体の発生は見られず49日で試験を終了した。

(2) Fv92-04 ネオハプロント×Fv82-03 ネオハプロント交配菌株

3.2.1で得られた29菌株のうち、L培地で26菌株、C培地では24菌株で子実体を得られた。収量は菌株間差（バラツキ）が大きく、対照のKAが最も高かった。長期間保存した単核菌糸を新たに交配し

た場合、交配能の低下に加え、得られた菌株群の収量性も低下すると考えられる。また、Fv82-03由来の細胞質を有する菌株群が比較的高収量で栽培日数が短くなり生産効率が高かった。

3.3 分生子由来ネオハプロントから作出した交配菌株の栽培特性

3.3.1 分生子の分離と交配型の確認

Fv92-04培養菌糸のコロニーに形成された分生子20個体中12個体はクランプを形成し複核菌糸と判断した。クランプを形成しない8系統を総当たり交配した結果、4系統ずつ2グループに分かれた。3.2.1の結果から選んだ6系統のテスターで検定したが、第5表に示すように、供試した12組合せ中クランプ形成が確認できたのはPNB6とcm01の1組のみであった。供試した6系統はいずれも3.2.1でクランプを形成した（第2表）が、あらためて交配能低下（劣化）の可能性が示唆された。他の組合せで精査する必要があるが、分生子由来ネオハプロントの交配型は以下と判断し、以降はこれらを交配型因子テスターとした。

交配型因子A1B1：cm01, cm15, cm16, cm19

交配型因子A2B2：cm09, cm10, cm12, cm20

第4表 H23分離ネオハプロントから作出した菌株の栽培特性(対照Fv92-04との相対比)

(1)Fv92-04自家交配菌株				(2)Fv92-04 ネオハプロント×Fv82-03 ネオハプロント交配菌株					
菌株	L培地(カラマツ) n=4		C培地(スギ) n=4		菌株	L培地(カラマツ) n=4		C培地(スギ) n=4	
	収量比	生産効率比	収量比	生産効率比		収量比 ^{*1}	生産効率比 ^{*1}	収量比 ^{*1}	生産効率比 ^{*1}
A1B1	No Crossed strain ^{*2}				A1K1	No Crossed strain ^{*2}			
					A1K2	0.840	0.889	0.717	0.710
					A1K3	0.693	0.710	0.805	0.875
					A2K1	No Fruitbody ^{*3}		No Fruitbody ^{*3}	
A2B2	No Fruitbody ^{*3}		No Fruitbody ^{*3}		A2K2	0.892	0.940	0.798	0.812
					A2K3	0.733	0.714	0.492	0.459
					A3K1	No Crossed strain ^{*2}			
					A3K2	0.093	0.078	No Fruitbody ^{*3}	
A3B3	No Crossed strain ^{*2}				A3K3	0.628	0.647	0.831	0.834
A4B4	No Fruitbody ^{*3}		No Fruitbody ^{*3}		A4K4	No Fruitbody ^{*3}			
A5B5	No Fruitbody ^{*3}		No Fruitbody ^{*3}		A5K5	0.942	1.017	0.847	0.877
A6B6	No Fruitbody ^{*3}		No Fruitbody ^{*3}		A6K6	0.944	0.999	0.793	0.772
A7B7	No Fruitbody ^{*3}		No Fruitbody ^{*3}		A7K7	0.896	0.924	0.724	0.750
A8B8	No Fruitbody ^{*3}		No Fruitbody ^{*3}		A8K8	0.795	0.789	0.671	0.645
A9B9	No Fruitbody ^{*3}		No Fruitbody ^{*3}		A9K9	0.139	0.121	0.093	0.073
					A10K1	No Crossed strain ^{*2}			
					A10K2	0.320	0.301	0.313	0.243
					A10K3	0.637	0.674	0.800	0.896
					AK	0.926	0.993	0.920	0.936
					K1A1	No Crossed strain ^{*2}			
					K2A1	0.837	0.858	0.552	0.521
					K3A1	0.815	0.964	1.015	1.242
					K1A2	No Fruitbody ^{*3}			
					K2A2	0.950	1.019	0.742	0.735
					K3A2	0.825	1.020	0.976	1.220
					K1A3	No Crossed strain ^{*2}			
					K2A3	0.660	0.676	0.170	0.165
					K3A3	0.897	1.054	0.875	0.988
					K4A4	No Crossed strain ^{*2}			
					K5A5	0.957	1.013	0.786	0.782
					K6A6	0.926	1.000	0.808	0.804
					K7A7	0.924	1.025	0.727	0.798
					K8A8	0.721	0.699	0.552	0.521
					K9A9	0.040	0.031	No Fruitbody ^{*3}	
					K1A10	No Crossed strain ^{*2}			
					K2A10	0.361	0.344	0.289	0.241
					K3A10	0.874	1.065	0.964	1.219
					KA	1.025	1.231	0.804	0.947
					Fv92-04(対照)	平均	標準偏差	平均	標準偏差
					収量(g/ビン)	145.9	6.87	96.7	10.54
					栽培日数	40	0.4	56	0.8
					供試ビン数 n	14		18	

*1 対照菌株(Fv92-04)に対する子実体収量(g/ビン)および生産効率(収量/栽培日数)の比を示した。

*2 No Crossed strain：交配菌株が得られなかった

*3 No Fruitbody：栽培試験で子実体が発生しなかった

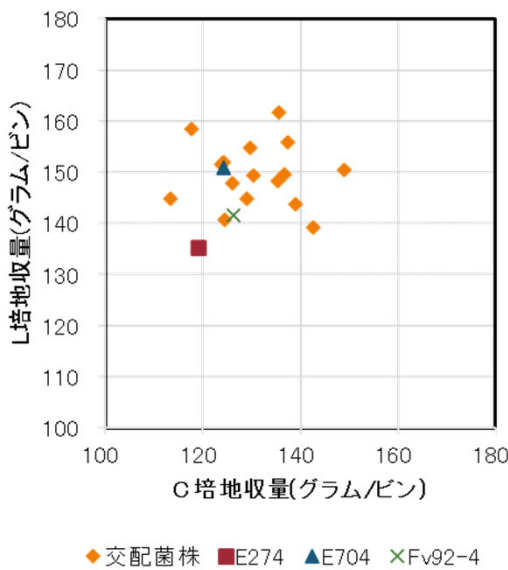
3.3.2 栽培特性

第2図に得られた自家交配16菌株（4系統×4系統）の栽培試験結果を示した。L培地，C培地とも元菌株Fv92-04と同等で，培地間の相関はなくランダムに分布した。

第5表 Fv92-04分生子由来ネオハプロントの交配試験結果

供試系統	テスターとその交配型					
	PNA5	PNA6	PNA9	PNB5	PNB6	PNB9
	A1B1			A2B2		
cm01	×	×	×	×	○	×
cm09	×	×	×	×	×	×

○: クランプ形成、×: クランプ無し
 テスターはH23分離構成核系統(第2表参照)
 cm01とcm09はFv92-04から分離した交配型が異なる単核系統



第2図 分生子由来ネオハプロントを再交配して得られた16菌株の栽培試験結果(収量)の分布

3.4 プロトプラスト分離ネオハプロントの取得と交配菌株の作出

3.4.1 Fv92-04プロトプラスト由来ネオハプロントの交配型

24°Cで再生したプロトプラスト由来菌糸を38個体得た。クランプが認められた7個体を除く31個体をテスター（3.3.1）と交配試験を行った結果を第6表Aに示す。交配型因子A1B1が17系統，A2B2が6系統と偏りがみられた。両方に交配可能な2系統，両方に交配できない6系統を合わせた26%（8個体/31）は，比較的遅く再生してきた個体で交配型因子の変異が示唆された。

32°C処理では40個体得られ，36個体にクランプが認められた。残り4個体は，両方に交配可能な1系統，両方に交配できない3系統で，交配型因子の変異が示唆された。

3.4.2 E274プロトプラスト由来ネオハプロントの交配型

24°C⇒32°Cおよび32°C処理では全く再生してこなかったが，24°C処理で24個体得た。クランプが認められない23系統から無作為抽出した5系統の総当たり交配試験の結果，274p01はいずれとも交配しなかったが，2系統ずつの2組に分かれた。E274を構成する核の交配型は，A2B1とA4B4である（第1表）。そこで交配型を推定するため，テスター（cm01；交配型A1B1，cm09；交配型A2B2）と交配試験を行った。また，274p02～274p05の4系統をテスターとして，残り18系統と交配試験を行った。テスター

第6表A エノキタケFv92-04のプロトプラスト由来ネオハプロントの交配試験結果

供試系統	テスターと交配型		供試系統	テスターと交配型		供試系統	テスターと交配型		供試系統	テスターと交配型	
	cm15	cm10		cm16	cm12		cm19	cm20		cm19	cm20
	A1B1	A2B2		A1B1	A2B2		A1B1	A2B2		A1B1	A2B2
pm02	×	○	pm12	×	○	pm29	×	×	pmH05	×	×
pm03	×	○	pm13	×	○	pm30	×	○	pmH07	×	×
pm04	○	×	pm14	×	○	pm31	×	×	pmH09	×	×
pm05	×	○	pm16	×	○	pm32	×	×	pmH22	○	○
pm06	×	○	pm17	○	×	pm33	×	○			
pm07	×	○	pm21	×	○	pm34	○	○			
pm08	○	×	pm22	×	○	pm36	×	○			
pm09	×	○	pm23	×	○	pm37	×	×			
pm10	○	×	pm26	×	○	pm38	×	×			
pm11	○	×	pm27	○	×	pm39	×	×			
						pm41	○	○			

○: クランプ形成、×: クランプ無し
 テスターはFv92-04分生子由来ネオハプロント(本文3.3.1参照)
 pm02～pm41の21系統は24°C，pmH05～pmH22の4系統は32°Cで再生・分離した。

cm01およびcm09の両方とクランプを形成した274p03の交配型はA4B4、両方とクランプを形成しない274p05の交配型はA2B1と判断した（第6表B）。同様に判断すると23系統の内訳は、交配型因子A2B1が7系統、A4B4が9系統となった。また、両方に交配可能なのが3系統、両方に交配できないのが3系統で、26%（6個体/23）は交配型因子の変異が示唆された。

3.4.3 E704プロトプラスト由来ネオハプロントの交配型

24°C処理で得られた76個体中、クランプが認められない64系統から無作為抽出した5系統の総当たり交配試験の結果、3系統（704p02、704p03、704p06）と2系統（704p04、704p05）の2組に分かれた（第6表C1）。

次に、704p02～704p05の4系統をテスターに、24°C⇒32°C処理および32°C処理で得られた系統の交配試験を行った（第6表C2）。24°C⇒32°C処理では40個体得られ、9個体にクランプが認められた。残り31系統（704pH01～704pH40）は、片方に交配可能なのが22系統および2系統と偏りがみられ、両方に交配可能なのが4系統、両方に交配できないのが3系統で、22%（7個体/31）は交配型因子の変異が示唆された。32°C処理では40個体が得られ、7個

体にクランプが認められた。残り33系統（704pH42～704pH80）は、片方に交配可能なのが23系統および4系統と偏りがみられ、両方に交配可能なのが4系統、両方に交配できないのが2系統で、18%（6個体/33）は交配型因子の変異が示唆された。

E704を構成する核の交配型はE274と同様、A4B4とA2B1である（第1表）。そこで交配型を推定するため3.4.2と同様に、テスター（cm01；交配型A1B1、cm09；交配型A2B2）と交配試験を行った（第6表C2）。E704由来でテスターに用いた2系統（24°C処理）では704p02とcm09の組合せのみで交配が確認された。24°C⇒32°C処理での再生系統では交配型が異なる2系統ずつの4系統を供試したが、同じ交配型であるはずの704pH15では両方と交配できず、704pH30では両方と交配可能で矛盾する結果となった。32°C処理での再生系統では交配型が異なる4系統ずつの8系統を供試したが、704pH51とcm01の組合せのみで交配が確認された。今回用いた分生子由来のテスターが1系統ずつであったことと、供試した14系統中12系統が高温処理したもので交配型因子が変異している可能性があり、明確な結果を得られなかった。分生子由来のテスターを2系統ずつに増やし、24°C再生ネオハプロントを供試して検討する必要がある。

第6表B エノキタケE274のプロトプラストから24°Cで再生したネオハプロントの交配試験結果

供試系統	想定される交配型	テスターと交配型				供試系統	想定される交配型	テスターと交配型	
		274p02 仮274p02	274p04 仮274p04	cm01 A1B1	cm09 A2B2			274p03 仮274p02	274p05 仮274p04
274p01		×	×				○	○	
274p02	A4B4	○	○		274p13		○	○	
274p03	A4B4	×	○	○	274p15	A2B1	○	×	
274p04	A2B1	○	○	○	274p16	A2B1	○	×	
274p05	A2B1	○	×	×	274p17		×	×	
274p06	A4B4	×	○		274p18		×	×	
274p07	A2B1	○	×		274p19	A2B1	○	×	
274p08	A2B1	○	×		274p20	A4B4	×	○	
274p09	A2B1	○	×		274p21		○	○	
274p10	A4B4	×	○		274p22	A4B4	×	○	
274p11		○	○		274p23	A4B4	×	○	
274p12	A4B4	×	○		274p24	A4B4	×	○	

○：クランプ形成、×：クランプ無し、空欄は未検討 ■：交配型因子が想定できない系統
 テスター274p02および274p04はE274プロトプラスト24°C再生ネオハプロント
 テスターcm01およびcm09はFv92-04分生子由来ネオハプロント（本文3.3.1参照）
 24°C一晚⇒32°C、および32°Cでは再生菌糸が得られなかった。
 □は栽培特性を評価した菌株（本文3.5.1参照）

第6表C1 エノキタケE704のプロトプラストから24°Cで再生したネオハプロントの自家交配試験結果

	704p03	704p04	704p05	704p06	cm01 A1B1	cm09 A2B2
704p02	×	○	○	×	×	○
704p03	■	○	○	×	■	■
704p04	■	■	×	○	×	×
704p05	■	■	■	○	■	■

○:クランプ形成、×:クランプ無し

第6表C2 エノキタケE704のプロトプラストから32°Cで再生したネオハプロントの交配試験結果

供試系統	テスターと交配型				供試系統	テスターと交配型				供試系統	テスターと交配型				テスターと仮交配型		
	704p02 仮704p02	704p04 仮704p04	cm01 A1B1	cm09 A2B2		704p03 仮704p02	704p05 仮704p04	cm01 A1B1	cm09 A2B2		704p03 仮704p02	704p05 仮704p04	cm01 A1B1	cm09 A2B2	704p02 仮704p02	704p04 仮704p04	
704pH01	×	○			704pH27	×	×			704pH42	×	○	×	×	704pH68	×	○
704pH03	○	○			704pH29	×	×			704pH43	○	×	×	×	704pH69	×	○
704pH05	×	○			704pH30	○	×	○	○	704pH44	○	×	×	×	704pH70	×	○
704pH06	×	○			704pH31	×	○	×	○	704pH46	×	○	×	×	704pH71	×	○
704pH08	×	○			704pH33	○	○			704pH48	×	○	×	×	704pH72	×	○
704pH11	×	○			704pH34	×	○			704pH49	○	×	×	×	704pH73	×	○
704pH12	×	○			704pH35	×	○			704pH50	×	○	×	×	704pH74	×	○
704pH13	×	○			704pH36	×	○			704pH51	○	×	○	×	704pH75	×	○
704pH14	×	○	○	×	704pH37	×	○			704pH52	○	○			704pH76	×	○
704pH15	○	×	×	×	704pH39	×	○			704pH56	○	○			704pH77	×	×
704pH16	×	○			704pH40	×	○			704pH57	○	○			704pH78	×	○
704pH17	×	○								704pH58	○	○			704pH79	×	○
704pH18	×	○								704pH60	×	○			704pH80	×	○
704pH20	×	○								704pH61	×	○					
704pH21	×	○								704pH62	×	○					
704pH22	×	×								704pH63	×	○					
704pH23	○	○								704pH64	×	○					
704pH24	×	○								704pH65	×	○					
704pH25	×	○								704pH66	×	×					
704pH26	○	○								704pH67	×	○					

○:クランプ形成、×:クランプ無し、空欄は未検討 ■:交配型因子が想定できない系統
 交配型は「A2B1とA4B4」が想定されるが仮とした。

テスターcm01およびcm09はFv92-04分生子由来ネオハプロント(本文3.3.1参照)

704pH01~704pH40の31系統は24°C一晚⇒32°Cで再生・分離した。

704pH42~704pH80の33系統は32°Cで再生・分離した。

□は栽培特性を評価した菌株(本文3.5.1および3.5.2参照)

3.4.4 Fv09-01プロトプラスト由来ネオハプロントの交配型

24°C処理で得られた15個体中10個体にクランプが認められた。また32°C処理で得られた26個体中25個体にクランプが認められた。H23分離ネオハプロント(PNC1~PNC10; 交配型A5B5, PND1~PND6; 交配型A6B6)をテスターとして残りのネオハプロント6個体と交配試験を行った。091p08は交配型A5B5と判断されたが他の組合せは全てクランプが認められ、テスターの変異が示唆された(第6表D)。

3.4.5 ネオハプロント再生菌糸へ与える高温処理の影響

以上の結果をまとめて第6表Eに示した。再生温度を高温(32°C)にすると、単核菌糸に比べ複核菌糸が増える傾向が見られた(Fv92-04の24°C; 18%, Fv92-04の32°C; 90%, Fv09-01の24°C; 67%, Fv09-01の32°C; 96%)。一方, E274では高温処理では再生菌糸が得られず, E704では再生温度によっても複核菌糸が得られる割合に違いは見られ

なかった(24°C; 18%, 24°C⇒32°C; 23%, 32°C; 18%)。

第6表D エノキタケFv09-01のプロトプラストから再生したネオハプロントの交配試験結果

供試系統	テスターと交配型					
	PNC7 A5B5	PNC10 A5B5	PND1 A6B6	PND4 A6B6	cm10 A1B1	cm15 A2B2
091p04	○	○	○	○	○	○
091p05	○	○	○	○	○	○
供試系統	テスターと交配型					
	PNC8 A5B5	PNC1 A5B5	PND2 A6B6	PND5 A6B6	cm12 A1B1	cm16 A2B2
091p06	○	○	○	○	○	○
091p08	×	×	○	○	○	○
供試系統	テスターと交配型					
	PNC9 A5B5	PNC2 A5B5	PND3 A6B6	PND6 A6B6	cm19 A1B1	cm20 A2B2
091p09	○	○	○	○	○	○
091pH	○	○	○	○	○	○

○:クランプ形成、×:クランプ無し

テスターPNC1~PND6はH23分離ネオハプロント

テスターcm01およびcm09はFv92-04分生子由来ネオハプロント(本文3.3.1参照)

□は栽培特性を評価した菌株(本文3.5.3参照)

第6表E エノキタケのネオハプロント再生菌系のまとめ

元菌株 Fv92-04 再生温度 24°C		元菌株 Fv92-04 再生温度 24°C 32°C		元菌株 E274 再生温度 24°C	元菌株 E704 再生温度 24°C 24⇒32°C 32°C			元菌株 Fv09-01 再生温度 24°C 32°C					
【参考】分生子													
交配型: A1B1	4	交配型: A1B1	17	0	交配型: A2B1	10	交配型: 仮 704p02	3	22	26	交配型: A5B5	1	0
交配型: A2B2	4	交配型: A2B2	6	0	交配型: A4B4	7	交配型: 仮 704p04	2	2	1	交配型: A6B6	0	0
両方に交配可	0	両方に交配可	2	1	両方に交配可	2	両方に交配可	0	4	4	両方に交配可	4	1
交配不可	0	交配不可	6	3	交配不可	4	交配不可	0	3	2	交配不可	0	0
交配型確認計	8	交配型確認計	31	4	交配型確認計	23	交配型確認計	5	31	33	交配型確認計	5	1
交配型未確認計	0	交配型未確認計	0	0	交配型未確認計	0	交配型未確認計	57	0	0	交配型未確認計	0	0
単核系統合計	8	単核系統合計	31	4	単核系統合計	23	単核系統合計	62	31	33	単核系統合計	5	1
複核菌株合計	12	複核菌株合計	7	36	複核菌株合計	1	複核菌株合計	14	9	7	複核菌株合計	10	25
合計	20	合計	38	40	合計	24	合計	76	40	40	合計	15	26

3.5 プロトプラスト由来ネオハプロントおよび分生子由来ネオハプロントから作出した交配菌株の栽培特性

3.5.1 プロトプラスト由来交配株の栽培試験その1

(1) 対照菌株

Fv92-04はL培地の収量（166.5 g/ビン）が高く、C培地の収量（89.8 g/ビン）が低かった。

(2) Fv92-04分生子×E274由来

L培地では対照菌株Fv92-04に対して、6菌株中4菌株は有意に収量が低く、B06c（PNB6×cm01）とc06B（cm01×PNB6）はC培地でも有意に収量が低かった。一方、c01p（cm01×274p03）とp01c（274p03×cm01）では比較的収量低下が小さく、H23分離ネオハプロント（PNB6）の劣化の影響が示唆された（第7表A）。

(3) E704×E704高温再生

12菌株中、H14pとH49pの2菌株はL培地で対照菌株Fv92-04に比べ有意に収量が低かった（第7表A）。一方、C培地では全ての菌株で収量が有意に高かった。L培地で比較的高収量の3菌株（H42p, H44p, H51p）のほか2菌株（H14p, H30p）を選抜した。

3.5.2 プロトプラスト由来交配株の栽培試験その2

(1) 対照菌株（第7表B）

Fv92-04はL培地の収量（111.3g/ビン）、およびC培地の収量（69.2g/ビン）とも低かった。E704はL培地の収量（139.2g/ビン）はやや低く、C培地の収量（125.0g/ビン）は高かった。

(2) Fv92-04分生子×E704高温再生（第7表B）

対照菌株Fv92-04に対して、L培地では10菌株中8菌株で有意に収量が高く、9菌株で生産効率が高かった。C培地では10菌株中7菌株で収量および生産効率が有意に高かった。

第7表A プロトプラスト由来および分生子由来ネオハプロントから作出した交配菌株の栽培特性

構成単核系統	菌株	L培地(カラマツ)		C培地(スギ)	
		収量比	生産効率比	収量比	生産効率比
cm01 × 274p03	c01p	0.893	0.904	0.982	0.947
274p03 × cm01	p01c	0.878	0.864	0.438	0.355
cm09 × 274p03	c09p	0.741	0.864	1.272	1.669
274p03 × cm09	p09c	0.719	0.838	1.299	1.781
PNB6 × cm01	B06c	0.367	0.315	0.292	0.260
cm01 × PNB6	c06B	0.554	0.518	0.364	0.325
704pH14 × 704p04	H14p	0.803	0.836	1.390	1.776
704pH15 × 704p02	H15p	0.884	0.915	1.558	2.054
704pH30 × 704p03	H30p	0.897	0.912	1.397	1.862
704pH31 × 704p05	H31p	0.890	0.956	1.484	1.978
704pH42 × 704p05	H42p	0.957	1.020	1.549	2.021
704pH43 × 704p03	H43p	0.893	0.952	1.466	1.945
704pH44 × 704p03	H44p	0.901	0.891	1.505	1.964
704pH46 × 704p05	H46p	0.900	0.990	1.575	2.100
704pH48 × 704p05	H48p	0.872	0.935	1.484	1.947
704pH49 × 704p03	H49p	0.869	0.968	1.480	1.921
704pH50 × 704p05	H50p	0.882	0.958	1.458	1.892
704pH51 × 704p03	H51p	0.903	0.909	1.447	1.849
E274		0.816	0.898	1.345	1.760
E704		0.915	1.016	1.403	1.826
Fv92-04(対照)	平均		標準偏差	平均	標準偏差
収量(g/ビン)	166.5		6.44	89.8	15.84
栽培日数	44		1.5	61	3.1
供試ビン数 n	8			9	

：選抜した菌株

第7表B プロトプラスト由来系統および分生子由来ネオハプロントから作出した交配菌株の栽培特性

構成単核系統	菌株	L培地(カラマツ)		C培地(スギ)	
		収量比	生産効率比	収量比	生産効率比
cm01 × 704pH14	c01H14	1.346	1.548	1.406	1.429
704pH14 × cm01	H14c01	1.186	1.379	1.601	1.949
cm01 × 704pH30	c01H30	1.315	1.529	1.634	1.701
704pH30 × cm01	H30c01	1.232	1.386	1.849	2.230
cm01 × 704pH51	c01H51	1.348	1.532	1.407	1.453
704pH51 × cm01	H51c01	1.202	1.292	1.356	1.345
cm09 × 704pH30	c09H30	1.351	1.486	1.710	1.788
704pH30 × cm09	H30c09	1.239	1.370	1.905	2.297
cm09 × 704pH31	c09H31	1.098	1.215	1.755	2.157
704pH31 × cm09	H31c09	1.054	1.219	1.902	2.338
cm19 × pmH22	c19H22	1.169	1.293	1.302	1.323
pmH22 × cm19	H22c19	1.018	1.052	1.524	1.555
cm20 × pmH22	c20H22	1.213	1.334	1.569	1.627
pmH22 × cm20	H22c20	1.012	1.046	1.206	1.221
	E274	1.135	1.170	1.854	2.307
	E704	1.251	1.442	1.807	2.075
Fv92-04(対照)	平均		標準偏差	平均	標準偏差
収量(g/ビン)	111.3		14.16	69.2	36.02
栽培日数	51		1.9	63	2.3
供試ビン数 n	12			11	

：選抜した菌株

対照菌株E704に対しては、L培地では10菌株中1菌株H31c09 (704pH31×cm09) で有意に収量が低かった。C培地では10菌株中別の1菌株H51c01で収量が有意に低く、3菌株の生産効率が低かった。正逆組合せに関して、L培地では分生子側 (cm01またはcm09) の収量が高く、C培地では逆側の収量が高い傾向が見られた。L培地で高収量の8菌株 (H14c01, H30c01, H30c09, H51c01, c01H14, c01H30, c09H30, c01H51) を選抜した。

(3) Fv92-04分生子×Fv92-04高温再生

対照菌株Fv92-04に対して、L培地では4菌株中2菌株で有意に収量および生産効率が高かった。C培地では4菌株中2菌株で収量および生産効率が有意に高かった (第7表B)。

対照菌株E704に対して、L培地では4菌株中2菌株で有意に収量および生産効率が低かった。C培地では4菌株中2菌株で収量が有意に低く、3菌株の生産効率が低かった。

正逆組合せに関して、収量に差が認められ、高温処理による細胞質の変異 (劣化) が示唆された。

第7表C プロトプラスト由来および分生子由来ネオハプロントから作出した交配菌株の栽培特性

構成単核系統	菌株	L培地(カラマツ)		C培地(スギ)	
		収量比	生産効率比	収量比	生産効率比
PND2 × 091p08	D2p8	1.008	1.178	2.794	3.391
PND5 × 091p08	D5p8	0.463	0.427	1.754	2.000
cm12 × 091p08	c12p8	0.601	0.583	2.302	2.637
cm16 × 091p08	c16p8	0.339	0.303	1.315	1.253
091p08 × PND2	p8D2	0.591	0.587	1.105	1.236
091p08 × PND5	p8D5	0.562	0.545	1.083	1.212
091p08 × cm12	p8c12	0.604	0.594	2.161	2.511
091p08 × cm16	p8c16	0.570	0.520	1.532	1.571
PND3 × 091pH	D3H	0.257	0.203	0.000	0.000
PND6 × 091pH	D6H	0.514	0.484	1.410	1.543
PNC9 × 091pH	C9H	0.607	0.622	1.961	2.155
PNC2 × 091pH	C2H	0.613	0.603	1.316	1.414
cm19 × 091pH	c19H	0.924	0.946	2.553	2.806
cm20 × 091pH	c20H	0.549	0.501	1.171	1.181
091pH × PND3	HD3	0.559	0.540	1.249	1.360
091pH × PND6	HD6	0.593	0.559	1.298	1.414
091pH × PNC9	HC9	0.597	0.554	1.136	1.277
091pH × PNC2	HC2	0.615	0.590	1.211	1.381
091pH × cm19	Hc19	0.408	0.368	1.457	1.532
091pH × cm20	Hc20	0.569	0.559	1.271	1.491
	E274	0.941	1.055	3.306	4.116
	E704	1.078	1.279	4.241	5.505
Fv92-04(対照)	平均	標準偏差	平均	標準偏差	
収量(g/ビン)	136.4	24.69	32.8	10.80	
栽培日数	42	0.9	61	2.1	
供試ビン数 n	8		7		

：選抜した菌株

3.5.3 プロトプラスト由来交配株の栽培試験その3

(1) 対照菌株 (第7表C)

Fv92-04はL培地の収量 (136.4g/ビン) に問題は無いが、C培地では供試8本中1本で収穫できず、収量 (32.8g/ビン) も低かった。E274およびE704はL培地、C培地とも問題なかった。

(2) 供試20菌株中2菌株 (D2p8, c19H) で、L培地の収量が対照Fv92-04と同等であった。他18菌株はすべて、L培地での収量および生産効率とも対照Fv92-04よりも有意に低かった。L培地で比較的高収量の2菌株 (D2p8, c19H) を選抜した。

3.5.4 2次選抜試験

2次選抜試験は第8表Aに示すように3回に分けて実施した。1回目は12菌株、3回目は2菌株で、それぞれ供試ビン数8本ずつで栽培試験を行った。2回目は1回目の12菌株8本ずつのほか、H42pを供試ビン数16本で栽培試験を行った。

対照 (Fv92-04) は1回目C培地では栽培日数が長く (60日) 収量が低かった (58.1g/ビン)。2回目および3回目のL培地では若干収量が低かった (2回目; 124.0g/ビン, 3回目; 138.3g/ビン)。

Fv92-04を対照群として多重比較を行った結果、1回目L培地において有意に収量が高い菌株は検出されなかったが、有意に生産効率が低い5菌株が検出された (H30c09, c09H30, H51p; $p < 0.01$, H14p, H30p; $p < 0.05$)。また2回目L培地においては13菌株中c09H30以外の12菌株が有意に収量および生産効率が高かった。3回目L培地においてD2p8の収量および生産効率が有意に高かった。

食味試験の対照菌株は主としてFv92-04であるが、2回目のH42pと3回目の2菌株の対照菌株は栽培日数の関係でE704とした (第8表B)。

客観評価である「Q1かたさ」について、3菌株 (H30c01, c09H30, H14p) が対照Fv92-04よりかたく、H30c09が同等、他の9菌株はかたくないという評価だった。また「Q3味の濃さ」について、3菌株 (H30c09, c01H30, c09H30) が対照Fv92-04より濃く、他12菌株は対照より濃くない評価であった。

主観評価である「Q2食感の良否」について、対照より良いのは4菌株 (c09H30, H14p, H44p, H51p) だった。H42pは対照E704と同等で、他10菌株は対照より良くない評価であった。「Q4味の良否」について、2菌株 (c01H30, c09H30) が対照

第8表A プロトプラスト由来および分生子由来ネオハプロントから作出した交配菌株の栽培特性(二次選抜;対照Fv92-04との相対比)

菌株	1回目の結果				2回目の結果				3回目の結果			
	L培地(カラマツ)		C培地(スギ)		L培地(カラマツ)		C培地(スギ)		L培地(カラマツ)		C培地(スギ)	
	収量 ^{*1,2}	生産効率 ^{*1,2}	収量 ^{*1,2}	生産効率 ^{*1,2}	収量 ^{*1,2}	生産効率 ^{*1,2}	収量 ^{*1,2}	生産効率 ^{*1,2}	収量 ^{*1,2}	生産効率 ^{*1,2}	収量 ^{*1,2}	生産効率 ^{*1,2}
H14c01	0.985	1.104	1.795 ++	2.224 ++	1.155 ++	1.279 ++	0.945	1.086 ++				
H30c01	0.941	1.111	2.266 ++	2.896 ++	1.109 ++	1.236 ++	1.045	1.201 ++				
H30c09	1.055	1.206 ++	2.183 ++	2.791 ++	1.139 ++	1.252 ++	1.043	1.185 ++				
H51c01	1.017	1.092	1.650 ++	1.642 ++	1.171 ++	1.183 ++	1.008	1.022				
c01H14	0.960	0.939	1.242	1.267	1.112 ++	1.108 +	0.964	0.972				
c01H30	1.012	1.108	1.737 ++	1.836 ++	1.163 ++	1.174 ++	1.023	1.075 ++				
c09H30	1.060	1.141 ++	1.638 ++	1.659 ++	1.055	1.036	1.073 ++	1.146 ++				
c01H51	0.905	0.896	1.514 ++	1.550 ++	1.116 ++	1.093 +	0.913 --	0.920 --				
H14p	0.964	1.130 +	2.400 ++	3.187 ++	1.118 ++	1.221 ++	1.041	1.225 ++				
H30p	0.990	1.117 +	2.294 ++	2.973 ++	1.123 ++	1.226 ++	1.064 ++	1.251 ++				
H42p					1.093 +	1.214 ++	1.047 +	1.246 ++				
H44p	0.959	1.116	2.263 ++	2.939 ++	1.107 +	1.209 ++	1.023	1.212 ++				
H51p	1.008	1.174 ++	2.226 ++	2.892 ++	1.104 +	1.233 ++	1.055 +	1.257 ++				
C19HL									1.011	1.026	0.930	1.011
D2p8L									1.083 +	1.225 ++	0.869 --	1.039
E274	0.933	1.090	2.427 ++	3.341 ++	1.078	1.177 ++	1.017	1.226 ++	0.971	1.043	1.036 ++	1.239 ++
E704	1.024	1.244 ++	2.460 ++	3.361 ++	1.129 ++	1.245 ++	1.036	1.238 ++	1.101 ++	1.190 ++	1.044 ++	1.209 ++
Fv92-04(対照)	平均	標準偏差	平均	標準偏差	平均	標準偏差	平均	標準偏差	平均	標準偏差	平均	標準偏差
収量(g/ビン)	140.7	14.26	58.1	17.95	124.0	8.29	145.5	5.64	138.3	8.82	130.2	7.52
栽培日数	41	0.5	60	1.5	40	1.1	49	0.8	41	0.5	52	0.6
供試ビン数 n	16		16		8		8		16		16	

*1 それぞれの栽培試験で対照菌株(Fv92-04)に対する子実体収量(g/ビン)および生産効率(収量/栽培日数)の比を示した。

*2 数字の右側の記号は統計的有意差があることを示す。(Dunnett法による多重比較, 供試ビン数8本/菌株)

++:1%の危険率で大きい, +:5%の危険率で大きい, -:5%の危険率で小さい, --:1%の危険率で小さい

第8表B 二次選抜試験における食味評価試験結果

食味評価試験(評価値1~5の平均値)					
菌株	対照菌株	Q1 かたさ	Q2 食感好	Q3 味濃さ	Q4 味好
H14c01	Fv92-4	2.91	2.91	2.36	2.36
H30c01	Fv92-4	3.20	2.70	2.80	2.60
H30c09	Fv92-4	2.99	2.88	3.08	2.85
H51c01	Fv92-4	2.91	2.91	2.80	2.82
c01H14	Fv92-4	2.89	2.56	2.22	2.44
c01H30	Fv92-4	2.73	2.82	3.09	3.36
c09H30	Fv92-4	3.18	3.18	3.18	3.09
c01H51	Fv92-4	2.89	2.89	2.56	2.56
H14p	Fv92-4	3.40	3.10	2.80	3.00
H30p	Fv92-4	2.94	2.81	2.78	2.50
H42p	E704	2.63	3.00	2.88	3.00
H44p	Fv92-4	3.40	3.10	2.80	3.00
H51p	Fv92-4	3.40	3.20	2.70	2.80
C19HL	E704	2.80	2.80	2.70	2.90
D2p8L	E704	2.60	2.90	2.70	3.00

対照と比較して5段階で評価した。評価結果は下記例の値(5, 4, 3, 2, 1)に変換して平均値を求めた。

Q1かたさ:かたい5, 同じ3, やわらかい1

Q2食感の好ましさ:好5, 同じ3, 嫌1

Q3味の濃さ:濃5, 同じ3, うすい1

Q4味の好ましさ:好5, 同じ3, 嫌1

□ : >3.00 □ : <3.00

Fv92-04より良く、4菌株(H42p;対照E704, H14p, H44p, D2p8;対照E704)が対照と同等で、他9菌株は対照より良くない評価であった。c09H30は、食感および味ともに高評価であった。

栽培特性と食味試験の結果を考慮して、新たにネオハプロントから作出した交配菌株からH51p, H30p, H30c09, H14p, D2p8, c19Hの6菌株を次の選抜候補とした。

4. まとめ

野生型エノキタケ新品種開発を目指して、ネオハプロントから作出した菌株をL培地法での栽培特性(収量, 生産効率)を主な指標とし、食味試験の評価を考慮して選抜を行った。

H23作出菌株群の再検討を行い、3菌株(38K, K38, A80)およびE704を選抜した。また、新たにネオハプロントから作出した菌株群では二次選抜に供した15菌株すべて収量性が高く、高温処理で再生したネオハプロントが多く含まれていた。一方、H23に分離、継代保存したネオハプロントは、交配能の低下および栽培特性の低下が認められた。

今後は、実生産に適した菌株を絞り込むため、これらを含む複数菌株を用いて、実際の生産現場で栽培試験を行う。

謝辞

(一社)北海道林産技術普及協会の杉森紀和子氏、伊藤千穂氏、松下美恵子氏には、栽培試験全般の作業で大変お世話になりました。また食味試験では、多くの道総研林産試の職員にも協力していただきました。記して謝意とします。

5. 引用文献

- 1) 北海道水産林務部林業木材課：“令和2年北海道特用林産統計”，札幌（2022）。
- 2) 中村公義：“最新バイオテクノロジー全書7きのこの増殖と育種”，最新バイオテクノロジー全書編集委員会編，農業図書，東京，pp. 246-248（1992）。
- 3) 今関六也，大谷吉雄，本郷次男：“増補改訂新版 山溪カラー名鑑日本のきのこ”，山と溪谷社，東京，pp. 138-139（2011）。
- 4) 瀧澤南海雄：林産試だより，1991年4月号，1-3（1991）。

- 5) Yoneyama,S.,Gisusi,S.,Sato,M.,Watanabe,O., : International Society for Mushroom Science Congress (Proceedings of ISMS) , 815-821 (2012).
- 6) 米山彰造：林産試だより，2012年1月号，2-3（2012）。
- 7) 宜寿次盛生，米山彰造，齋藤沙弥佳，東智則，檜山亮、津田真由美：林産試験場報，549，43-50（2022）。
- 8) 米山彰造，佐藤真由美，宜寿次盛生，加藤幸浩，東智則：林産試験場報，544，41-47（2016）。

－利用部 微生物グループ

－*1：法人本部研究事業部 知的財産グループ

－*2：利用部 バイオマスグループ

－*3：森林研究本部 企画調整部企画グループ
(原稿受理：2022. 12. 23)

カラマツ成熟材部から採材したラミナの特性と製品の 強度等級別製造シミュレーション

高梨 隆也 *1, 山田 実歩 *2,5, 松本 和茂 *3, 渡辺 誠二 *4, 大橋 義徳 *1,
石原 亘 *1, 植松 武是 *5

Properties of laminae of mature wood of Japanese larch and stress grade simulation of glulam and CLT

Ryuya TAKANASHI, Miho YAMADA, Kazushige MATSUMOTO, Seiji WATANABE,
Yoshinori OHASHI, Wataru ISHIHARA and Takeyoshi UEMATSU

木材学会誌, 68(2), 88-96 (2022).
Mokuzai Gakkaishi, 68(2), 88-96 (2022).

Key words : Young's modulus, twist warp, rough sawn thickness, jointed laminae, high stress grade
キーワード : ヤング係数, ねじれ, 製材厚さ, 縦継ぎラミナ, 高強度等級

カラマツの成熟材部から採材されるラミナの材料特性を検証することを目的とし、末口径20cm以上の原木から採材したラミナ原板（従来ラミナ）および、末口径26cm以上の原木の成熟材部から採材したラミナ原板（側取りラミナ）の縦振動ヤング係数およびねじれの計測を行った。また、製材厚さおよび横切り回数と縦継ぎラミナの製造歩留まりの関係を調べたほか、集成材およびCLTで製造可能な強度等級のシミュレーションを行った。側取りラミナは従来ラミナに比べ縦振動ヤング係数は高く、ねじれは小さかった。厚さ30mmの縦継ぎラミナの製造時、側取りラミナでは原板の製材厚さを35mm、横切り回数を原板1枚に対して1回としたとき歩留まりが最大となった。側取りラミナでは集成材で対称異等級構成E150-F435、CLTでMx120およびS120の強度等級が実現可能であった。

Material properties of laminae sawn from mature parts of large diameter logs of Japanese larch (*Larix kaempferi*), such as Young's modulus obtained by the longitudinal vibration method and twist warp, were investigated. These laminae were sawn from Japanese larch logs from Hokkaido, Japan, and had small end diameters of 20 cm or more (≥ 20 -cm logs) and 26 cm or more (≥ 26 -cm logs). Laminae from ≥ 26 -cm logs were sawn from mature wood parts of trucks. Subsequently, the effects of the rough sawn size and crosscut frequency on yield in the production of jointed laminae were examined. Additionally, simulations of stress grades capable of manufacturing glulam and cross laminated timber (CLT) were conducted. Laminae from ≥ 26 -cm logs had higher Young's modulus and smaller twist warp than those from ≥ 20 -cm logs. In this study, the yield in the production of a 30-mm-thick jointed laminae was maximized when the rough sawn thickness was 35 mm and crosscut frequency was once for each rough sawn lamina. The possible stress grade of glulam made of laminae from ≥ 26 -cm logs was as high as E150-F435 in symmetrical mixed-grade according to the Japanese Agricultural Standards for glulam. The major stress grades of CLT made of laminae from ≥ 26 -cm logs corresponded to Mx120 and S120 according to the Japanese Agricultural Standards for CLT. The laminae from mature wood parts of the Japanese larch have the potential to improve yields in the manufacturing of jointed laminae and produce high stress grade glulam and CLT.

*1 技術部生産技術グループ, *2 札幌市都市局建築指導課, *3 企業支援部研究調整グループ,
*4 企業支援部, *5 北海学園大学工学部建築学科

Long-term bending properties of cross-laminated timber made from Japanese larch under constant environment

Ryuya TAKANASHI, Yoshinori OHASHI, Wataru ISHIHARA
and Kazushige MATSUMOTO

温湿度定常下でのカラマツ直交集成板の長期曲げ性能

高梨 隆也 *1, 大橋 義徳 *1, 石原 亘 *1, 松本 和茂 *2

Journal of Wood Science, 67, 65 (2021). <https://doi.org/10.1186/s10086-021-01997-1>

Key words : Creep, Creep rupture, Duration of load, Out-of-plane bending, Survival analysis
キーワード : クリープ, クリープ破壊, 荷重継続時間, 面外曲げ, 生存時間分析

木質構造ではCross-laminated timber (CLT, 直交集成板) が広く使用されている。CLTパネルは屋根や床といった継続する荷重を受ける部材として使用されることが多く、CLTの長期荷重特性を検討することが重要である。しかしCLTの長期荷重特性に着目した研究は限られている。そこで、カラマツ7層CLTについて、温湿度定常下で長期面外曲げ試験を行い、クリープ性能と荷重継続時間を調べ、クリープ破壊挙動を実験的に解析した。50年後の推定相対クリープの平均値は1.49であり、建築構造材料として満足できるクリープ性能を示した。本研究のほとんどの試験体の荷重継続時間は無欠点小試験体での文献値より短かった。生存時間分析の結果によると、70%以上の荷重レベルでは試験体の初期破壊が生じた。ほとんどの試験体のクリープ破壊は、短期荷重試験における破壊時の変位よりも小さなたわみで生じた。フィンガージョイント、直交層、試験体幅がクリープ破壊挙動に与える影響について検討が必要である。

Cross-laminated timber (CLT) has been used extensively in timber construction. CLT panels are typically used in roofs and floors that carry a continuous load, and it is important to examine the long-term loading capacity of CLT. However, studies that focus on the long-term loading capacity of CLT are limited. To this end, we conducted long-term out-of-plane bending tests on seven-layer CLT made from Japanese larch (*Larix kaempferi*) under constant environmental conditions, investigated creep performance and duration of load, and experimentally analyzed creep rupture behavior. The mean estimated relative creep after 50 years was 1.49. The sample showed a satisfactory resistance to creep as a building material. The duration of load of most of the specimens in this study was shorter than the conventional value of small clear wood specimens. Specimens had a lower duration of load capacity than solid lumber. According to the results of survival analysis, a loading level of 70% or more caused the initial failure of specimens. Creep rupture of most of the specimens occurred at less deflection than displacement at failure in the short-term loading test. Additional studies focusing on the effects of finger joints, transverse layers, and width of a specimen on creep rupture behavior are suggested.

*1 技術部生産技術グループ, *2 企業支援部研究調整グループ

低湿度環境で暴露したカラマツおよびトドマツCLTのせん断強度

石原 亘^{*1}, 高梨 隆也^{*1}, 川合 慶拓^{*2}, 大橋 義徳^{*1},
佐々木 貴信^{*3}, 澤田 圭^{*3}

Shear strength of CLT with Japanese larch or Sakhalin fir exposed to low humidity environments

Wataru ISHIHARA, Ryuya TAKANASHI, Yasuhiro KAWAAI, Yoshinori OHASHI,
Takanobu SASAKI and Kei SAWATA

木材学会誌, 68(4), 154-164 (2022).
Mokuzai Gakkaishi, 68(4), 154-164 (2022).

Key words : cross-laminated timber, out-of-plane shear strength, in-plane shear strength, over-drying treatment, boiling treatment

キーワード : 直交積層板, 面外せん断強度, 面内せん断強度, 過乾燥処理, 煮沸処理

冬季の寒冷地における屋内環境のような低湿度環境での使用を想定し、過乾燥処理を行ったCLTについて、面外および面内せん断強度試験を実施した。併せて、平成12年建設省告示第1446号に規定されている促進劣化処理（煮沸法）を行ったCLTについても同様にせん断強度試験を実施し、強度低下の度合いを比較した。CLTはカラマツおよびトドマツCLTとし、面外せん断試験体は5層5プライ、面内せん断試験体は3層3プライのCLTを対象とした。試験の結果、（1）面外せん断強度は、過乾燥処理による強度の低下はみられず、煮沸処理において1割程度低下すること、（2）面内せん断強度は、過乾燥処理で2～3割、煮沸処理で2～4割程度低下すること、（3）外観的な劣化状況と強度低下との間に関係性はみられないことが示された。

The objective of this study is to investigate the changes in shear strength when cross-laminated timber (CLT) containing Japanese larch (*Larix kaempferi*) or Sakhalin fir (*Abies sachalinensis*) is used in a low humidity environment. We applied the over-drying treatments assuming a low humidity environment and boiling treatment (according to Notification 1446 of The Ministry of Construction of Japan) for comparison on CLT and performed out-of-plane and in-plane shear tests. Specimens for the out-of-plane shear tests were prepared from 5-layer 5-ply CLT, whereas specimens for the in-plane shear tests were prepared from 3-layer 3-ply CLT. Results from these tests suggested that: (1) Out-of-plane shear strength did not reduce by the over-drying treatment. However, it reduced approximately by 10% when subjected to boiling treatment; (2) In-plane shear strength reduced by 20% – 30% and 20% – 40% when subjected to over-drying treatment and boiling treatment, respectively; (3) The relationship between defects observed in external appearance and reduction in shear strength was not observed.

*1 技術部生産技術グループ, *2 性能部保存グループ, *3 北海道大学大学院農学研究科

林産試験場報
(林産試験場月報からの通巻550号)

編集人 林産試験場刊行物編集委員会
発行人 地方独立行政法人北海道立総合研究機構
森林研究本部 林産試験場
〒071-0198 旭川市西神楽1線10号
電話 0166-75-4233(代表)
FAX 0166-75-3621
HP <http://www.hro.or.jp/fpri.html>

令和5年2月28日 発行

令和5年3月 Web公開

JOURNAL OF THE FOREST PRODUCTS RESEARCH INSTITUTE

NO.550, 2023

Research Notes

- Estimation of the potentially collectable volume of unused forest biomass on artificial afforestation after final cutting (1)
Sayaka SAKAI
- GHG emissions of biomass power generation fueled by wood including forest residues (9)
Youhei MAEKAWA
- Performance and specifications of flooring with walking safety for the elderly (15)
Tetsunori SAWADA, Kumiko MATSUMOTO, Yoshinori KITAHASHI, Mitsuko TAKAYAMA,
Yoshihide KONDOU, Shinichi ISAJI, Yasushi HIRABAYASHI and Yutaka YOKOYAMA
- Influence of pre-hole specification and zigzag arrangement in lag screw joints with steel side plates (23)
Masahiko TODA, Ryosuke TOMITAKA, Satoru MURAKAMI
- Development of new wild-type *Flammulina velutipes* varieties (II)
- Generation and selection of new strains using mononuclear mycelia derived from parental strain cells (27)
Seiki GISUSI, Shozo YONEYAMA, Sayaka YOSHINO-SAITOH,
Tomonori AZUMA, Ryo HIYAMA, Mayumi TSUDA

Abstract

- Properties of laminae of mature wood of Japanese larch and stress grade simulation of glulam and CLT (39)
Ryuya TAKANASHI, Miho YAMADA, Kazushige MATSUMOTO, Seiji WATANABE,
Yoshinori OHASHI, Wataru ISHIHARA and Takeyoshi UEMATSU
- Long-term bending properties of cross-laminated timber made from Japanese larch under constant environment
..... (40)
Ryuya TAKANASHI, Yoshinori OHASHI, Wataru ISHIHARA and Kazushige MATSUMOTO
- Shear strength of CLT with Japanese larch or Sakhalin fir exposed to low humidity environments (41)
Wataru ISHIHARA, Ryuya TAKANASHI, Yasuhiro KAWAAL,
Yoshinori OHASHI, Takanobu SASAKI and Kei SAWATA

FOREST PRODUCTS RESEARCH INSTITUTE
FOREST RESEARCH DEPARTMENT
HOKKAIDO RESEARCH ORGANIZATION

Nishikagura 1-10, Asahikawa
HOKKAIDO, 071-0198, JAPAN