

ISSN 1343-912X

Wood Science in Kyushu

木科学情報

27卷2号 2020



日本木材学会九州支部

目 次

情報

「福岡県木造・木質化建築賞」から見える木材活用の魅力……………藤本 登留 17

ミニレビュー

廃棄消火器薬剤を活用した防火性木材の開発 ……………朝野 景 24

画像を用いた木材の乾燥応力の測定 ……………村野 朋哉 27

トピックス

黎明研究者賞を受賞して／令和元年度論文部門 ……………武内真奈美 31

黎明研究者賞を受賞して／令和2年度論文部門 ……………畠山真由美 32

編集後記 ……………33

●「レビュー」原稿募集！●

木科学情報では、会員の皆様からの投稿原稿を募集しています。
投稿された原稿の中から、特に優秀なものについては黎明賞（論文）の対象
といたします。
奮ってご応募ください。

情報

「福岡県木造・木質化建築賞」から見える 木材活用の魅力

藤本 登留



1. はじめに

日本には木造を中心とした建築の歴史があり、数百年を超える木造建築も数多く存在します。しかし、戦後は火災等の危険から都市の木造建築が制限され、さらに戦中戦後の乱伐により国産材が枯渇し外材に多くを委ねてきました。ここにきて技術の進歩と森林資源の充実から、いよいよ日本の木造建築の復活の兆しが見えてきていますが、木づかいの技や仕組が継承されてこなかったため、大型建築物をはじめとした木造の建設が今ひとつ伸び悩んでいる状況です。

樹木は光合成によって大気中の二酸化炭素を取り込み、木材の形で炭素を固定しているため、木材の利用は大気中の二酸化炭素削減に有効とされています。また、木材は有機物であり、断熱性や調湿性など生活空間の中で素晴らしい機能を発揮します。

一方、有機物であるが故に使い方の難しさがあることも確かです。木造・木質化に優れたモデル的な建築を表彰することで、建築関係者や県民の木材利用に対する関心が高まり、木材のさらなる利用促進につながるものと期待されます。そこで、福岡県では2014年度から木造・木質化建築賞が創設されました。毎年、木造の部・木質化の部で、それぞれ大賞1点、優秀賞1点あるいは2点を選定するとともに、奨励賞数点を選定して表彰しています。本稿では2014年度から2016年度の第1回から第3回までの大賞、優秀賞をご紹介します。木の魅力に触れていただこうと思います。

2. 受賞作品

第1回福岡県木造・木質化建築賞 (2014年度) 大賞

木造の部 「東長寺五重塔」(福岡市博多区)



化粧的強度的に選別された優良な国産ヒノキ赤身材を細部にわたり使用されている社寺建築作品です。ヒノキ赤身材は日本古来より神社仏閣に使用されており耐久性が高く加工性も良い美しい木材です。しかし木材資源が充実してきた現在でも大断面材料や広幅の板材料が得られるヒノキは貴重です。材料の調達にも苦勞が伺えます。また、伝統構法を踏襲した後世に残すべき技術を駆使しています。その一方、最先端素材を応用するとともに独自の接合法を組み合わせて綿密な構造解析を実施し、地震対策としてこれまでの問題を克服した点で注目に値します。屋根の木組み、塗装、金物等の細部から全景にわたり気が配られ、近くから見ても離れてみても美しく見えるように造られています。日本における木造技術のレベルの高さを意匠的に、構造的に示した純木造五重塔です。

木質化の部 「九州芸文館・アネックス 2」
(筑後市)



芸術文化・体験・交流などさまざまな事業を展開して地域振興を図るために整備された地域密着型の施設です。地域スギ材が主要部材にほとんど使われています。このような公共建築物は年度単位の工事となるため、木材調達に間に合わず、特に水を多く含むスギの大断面材は乾燥する時間が足りなくなり品質確保が困難な場合が見られますが、本作品の構造は三角形に切り取られた集成材をエレメントとして組み合わせた屋根梁、それを支える集成材の壁や柱でできています。集成材は2、3cm程度の板を乾燥して接着積層した材料であるため、乾燥も容易で材質のバラツキも少ない点では公共物件の材料には有効です。雨水に曝される集成材は保存処理も施され、木材の耐朽性にも配慮されています。あらかしの天井構造や壁柱がユニークな配置で形づくられ、広々とした公園の中の施設にマッチしており、人々を温かく迎えてくれる魅力的な木質化建築です。

優秀賞
木造の部 「連歌屋の家」 (太宰府市)



新材などを使わず主にスギ、ヒノキ無垢材を構造材に使用し、そのほか漆喰壁など自然素材を多用した木造2階建て住宅です。屋内のいくつかの高さに梁を渡して面格子や木質構造をあらかしで使うことにより、自由に変化させることができる空間を確保しています。バリアフリーとは真逆でアスレチックのように活発に過ごすことができる、元気な子ども達を中心とした豊かな生活の場を創り出しています。触れて感じるほどよい硬さと暖かさや湿度調整機能など、木がもつ人との相性の良さを効果的に使った、子育て世代に有効な木造住宅です。

木質化の部 「篠栗北中学校」 (篠栗町)

築30年足らずのRC校舎の教室床、壁材に地域産ヒノキ、スギを使用した木質化作品です。教室内の木質化は健康や精神的効果が期待され、温かみある「教育環境の改善」につながります。今回はさらに「持続的な森林づくり」や「木を活かす技術の継承」も考慮に入れた町独自の包括的な学校改修を実現しています。地域材から有効に製材、施工するとともに、木材の流通で価格を大きく左右する節等級を無視した歩留まり重視の製材品利用を実現したことは環境教育面でも注目に値します。まさに、地域の教育、森林林業、製材加工、建築設計施工関係者や町民が協力した未来志向の取り組みであり、先進的な木質化作品です。



第2回福岡県木造・木質化建築賞（2015年度）

大賞

木造の部 「森のおうち保育園」（福岡市城南区）



高層住居専用地域にありながら従来から存在したクスノキ等を伐採せずにそのまま活かし、これにマッチした木造として大断面スギ丸太をあらわしの柱に使うとともに、床、腰壁などにも木質系にこだわり、幼児に優しい保育園にしている点は評価されます。

一方、その部屋など立体的空間の配置は人工的、効率的とは対照的な曲線的で自然の中の空間を思わせる動線を持ち、同園の保育理念に即したユニークさを感じさせます。

準耐火建築が求められましたが、日本林業におけるスギ丸太の大径化に即した燃えしろ設計で対応することや、石膏ボードをうまく利用するなど、無理な木質化を行わない点で、見本となる適材適所の地域材利用建築物です。

木質化の部 「嘉穂小学校」（嘉麻市）

同市の5小学校を統合するにあたり、森林率60%の地域資源を教育に役立てたコンセプトと実行力により、児童の教育環境を重視して木質化された学校建築であることは評価されます。地域木材の利用で課題となる木材調達量の量的、質的課題を、建設発注2年前から木材の調達を行うことで対応しています。木材の事前調達は発注者側等のリスクを伴いますが、地元の森林組合との協議を重ねるなど地域連携によるリスクの回避は、大規模木質化の見本となる取り組みです。

多くの役物板を利用することは歩留まり低下等の問題も懸念されますが、デザイン的にスギの極端な色目の違いを活かしたグラデーションを壁に応用し、校舎の質的印象評価を上げています。校舎の質的向上は児童や教員、保護者からの愛着を生み、ものを大切にする教育に役立っています。スギの温かみのある空間は児童の情緒の安定にも寄与し、問題行動の減少も見られるなど教員の評価も好評のようです。





優秀賞

木造の部 「妙泉寺門徒会館・庫裏」

(福岡市城南区)

お寺に併設された会館と住居からなる木造和風建築物です。お寺に即した伝統木造建築で、板材だけでなく構造材にも天然乾燥材が使われています。これにより天井や壁板などスギの最高級の板を心材、辺材のコントラストをうまく活かすことができます。また書院の化粧木材と漆喰の内装は清楚な美しさを感じられ、落ち着いた生活の場にもなっています。宮大工による丁寧な木づかいは、木の性質を最大限に活かした技術であることを再認識させられます。



木質化の部 「八女市子育て支援総合施設(やめっこ未来館)」 (八女市)

保育の機能と子育ての総合的な支援を行う機能を備えたRC造の施設を内装木質化したものです。広い園庭と同様、園内のエントランスやホールも開放的で、そこに使われたヒノキ床材は幼児に優しい暖かさを感じさせます。多くのヒノキ材の調達には地域の木材組合の協力を得て、デザイン的にもバランスの取れた木質の割合計画が図られています。メンテナンスも考えた木づかいは、無理をしない木造・木質化にとって大切なポイントであり、この点でも一つの手本となる建築物です。



第3回福岡県木造・木質化建築賞（2016年度） 大賞

木造の部 「平尾保育園」(福岡市中央区)

都市の中のマンションなどに囲まれた2階建て木造園舎です。外構には多様な種類の樹木が植栽され、オアシス的に街の中に溶けこんだ保育園になっています。準耐火構造には燃えしろ設計で対応し、大断面で使ったあらかしの丸太や角材の柱は力強さとあたたかみを感じます。床はヒノキなどのフローリング、壁には漆喰が使われ、園庭や2階デッキへ通じる扉は木製サッシが使われています。園児の快適で安全な環境を、ヒトとの相性が良い天然材料である木材を上手に使いこなしています。2階の講堂は木造の小屋組みをそのまま見せ、園児たちにちょうど良い開放感をもつ場所になっています。大断面の丸太や角材が採れる大径木は資源的には豊富に育っているものですが、一般的に製品は流通しておらず、選木、加工、運搬に時間や労力や特殊な加工技術が必要です。特に品質確保に欠かせない乾燥には長い期間が必要になります。本建築物は主要な構造材の含水率やヤング率の計測チェック、欠点の目視検査を実施するなど、材料調達に細心の注意がはられています。



木質化の部 「福岡女子大学 図書館棟」 (福岡市東区)



語学学習室を併設した大学の2階層に木質化された図書館です。図書館とはいってもアクティブラーニングを当大学は推奨しており、読書だけではなく、ガラスで仕切られた多面的交流エリアも配置されています。外からもガラス越しに中の様子がよく見え、多くの学生たちや地域の人が入館したくなる開放的で明るい図

書館です。この2層吹き抜けの天井一面にスギ材のルーバーが設置されています。大空間を支える円柱鋼の柱はランダムに配置され、荷重に応じて梁成の異なる鉄骨の格子で屋根構造ができています。高さが違うこの梁に沿って木材のルーバーも傾斜を持ったまま設置され、全体的に軽く波打つモダンでしかも上品な雰囲気を作り出しています。天井から自然採光も取り入れ、ルーバー越しに木漏れ日が差し込みます。屋内ルーバーは不燃処理されて落ち着いたブラウンに仕上がっています。幅30×高さ75mmの断面を持つルーバー部材は、すべて取り外しができるボルト締めになっており、天井内の機器メンテナンスにも配慮されています。

優秀賞

木造の部 「亭亭舎・皎皎舎」(福岡市西区)

九州大学の学生集会場と購買施設としてつくられた平屋の木造建築物です。高層のRC校舎が並ぶキャンパス内の斜面に建設され、遠くからでも無垢のスギ、ヒノキの構造材や外壁がみえる、周りとは一風違った落ち着いた木造施設です。亭亭舎は掘ごたつを備えた畳間と板間の広い空間をもつ構造になっています。小屋組みも見せながら、縁側の1面全体にわたるガラス戸は開放感十分です。斜面を活かした採光や換気も上手に考えられています。象徴的な大きな柱は大学演習林の高齢ヒノキ材が使われ、大梁以外はほとんど国産スギ、ヒノキが使用され、魅力的なコミュニティスペースになっています。構造的には地域の技術者で施工、メンテナンスができるように在来軸組構法が採用されています。建設時は大学の特別授業として実習に活用され、次世代の建築教育にも活用されました。



木質化の部 「みやこ伊良原学園」(みやこ町)



ダムに水没する集落から移転新築された小中一貫の二階建て校舎です。児童数も限られ、小中各学年一室ずつの少人数型教室や、特別教室、職員室、体育館などが、楕円の中庭を中央に持つ吹き抜けのオープンスペースを囲むように配置されています。エントラン

スからオープンスペースにかけて、いろんな学年や教員が交わり、話がはずむ活動スペースになっています。地域の方との交流スペースとしても魅力的な空間です。フローリングや柱や壁板の木質化は、校舎デザインにマッチした落ち着いた雰囲気効果的に醸し出しています。内壁、外壁の杉板は地元産を使用し、親しみある町民のシンボリック建築物になっています。体育館を併設した外観はユニークで、深い庇をもつバルコニーは長尺木質柱をV字に配置して支えられています。特徴的でありながら背景となる山林に調和した建築物です。

3. おわりに

国土保全や水源涵養など森林の多面的機能の低下、さらに地球温暖化なども大いに懸念される事態となっています。このような厳しい状況を克服するためには、木を使って、森を育て、林業の再生を図ることが急務です。平成22年に施行された「公共建築物等における木材の利用の促進に関する法律」は、こうした状況を踏まえ、木造率が低く今後の需要が期待できる公共建築物にターゲットを絞って、国が率先して木材利用に取り組むとともに、地方公共団体や民間事業者にも国の方針に即して主体的な取組を促し、住宅など一般建築物への波及効果を含め、木材全体の需要を拡大することを狙いとした法律です。さらに東京五輪に向けた新国立競技場建設をはじめとした関連施設も木造、木質化に力がそそがれました。このように公共建築物など中大規模建築の木造・木質化は社会的に認められつつある一方、その割合は全国的に非常に低いものとなっています。今回ご紹介した事例は国産材、できれば地域材を積極的に活用した魅力的な建築物です。こんな建築作品が増えて、特に大型建築でも木材利用が進めばと願っています。

(ふじもと のぼる：九州大学大学院農学研究院)

ミニレビュー

廃棄消火器薬剤を活用した防火性木材の開発

朝野 景



1. 研究の背景

平成 22 年に公共建築物等における木材の利用の促進に関する法律が施行され、公共のみならず大規模な建築物において木材利用が拡大している。また、そのような特殊建築物は内装制限が設けられ、内装材は防火性能を持った防火材料の使用が義務付けられている。よって木材も、使用するためには防火性木材が必要となる。

福岡県では、県産スギ材を使用した県産防火性木材の開発を平成 30 年～令和元年の二カ年で実施した。防火性木材は、難燃性の薬剤を木材に注入して製造されるが、我々はそれに廃棄消火器薬剤を使用した。消火器は耐用年数を迎えると回収されるものの、中の薬剤は、再利用されない一部が廃棄されている。もともと消火器薬剤は高い防火性能を有していることと、先に農業用肥料としてその主成分が使用されていたこともあり¹⁾、廃棄物の有効利用の拡大を併せて開発が始まった。また既存の防火性木材では、施工後、薬剤が材表面に出て結晶化（白華）することが問題となっていた。よって、白華を抑制できる塗装材としての製品化を目指した。またその製品は内装材用途を目標とした。

2 実験

製品化に向けて行った研究内容で主要なものを紹介する。

2-1. 薬剤注入試験

無節スギ心材、辺材別の長さ 3m の板材（105×15 mm）を供試体とした。使用薬剤は濃度 30% の廃棄 ABC 消火器薬剤水溶液（主成分：硫酸アンモニウム、リン酸アンモニウム）^{1), 2)} である。減圧・加圧含浸装置を用い、異なる減圧・加圧時間、加圧工程で薬剤

を注入し（表 1）、最も効率の良い注入条件を確認した。その結果、以下のことが分かった。

・ 辺材

減圧工程が含まれる場合、どの条件でも準不燃性能を満たす薬剤注入量を得ることができる。最も効率の良い条件は、加温無し、減圧 1 時間（8kPa）＋加圧 1 時間（0.98MPa）である。

表 1 薬剤注入条件

	減圧工程	加圧工程	加圧圧力 (MPa)	加圧時間 (h)	供試体		
					心材	辺材	
加温無 (室温)	8KPa 2時間	一定圧	0.98	24	○	○	
				1.80	24	○	○
			0.98	1		○	
				3		○	
				6		○	
				24	○	○	
	8KPa 1時間	一定圧	0.98	48	○	○	
				72	○	○	
				①0.29	①2		
				②0.59	②4		
				③0.88	③8	○	○
				④0.98	④10		
加温有 (50°C)	8KPa 1時間	一定圧	0.98	24	○	○	
				1.80	24	○	○
			0.98	12	○		
				24	○	○	
				48	○	○	
				段階圧	①0.29	①2	
	②0.59	②4					
	③0.88	③8	○		○		
	④0.98	④10					
	無	一定圧	0.98		24	○	○
					1.80	24	○
				0.98	12	○	
24					○	○	
48					○	○	
段階圧					①0.29	①2	
	②0.59	②4					
	③0.88	③8	○	○			
	④0.98	④10					

注) 表中①～④は段階工程を示す

・ 心材

辺材と異なり、準不燃性能を満たす注入量を得られる条件は限られた。最も効率の良い条件は、

加温無し、減圧1時間(8kPa)＋加圧48時間(0.98MPa)である。

2-2. 薬剤注入材の乾燥試験

実大サイズ(3m 板材)での乾燥スケジュールを作成するために、先に短尺スギ板材(無節辺材、500×100×15mm)を供試し、送風乾燥機を用い、30℃、50℃、70℃の異なる温度で乾燥した(表2)。また、乾燥前には養生の有無を設定し、材内の薬剤充填状況に差が見られるか調べた。材内の薬剤は、乾燥時に木口含め材表面に集積していくため、養生期間を設けることで、その偏りが抑制できると仮定した。薬剤の充填状況は、乾燥後に試験体の中心部を採取後、木口面を微小部蛍光X線分析装置を用いてマッピングし、確認した。

以上の全てを検討した結果、50℃、70℃の温度で実大サイズの乾燥試験を行うこととした。また養生の効果は確認できなかったため、実大サイズでは養生無しで乾燥試験を実施した。

長さ3mのスギ板材(無節辺材105×15mm)での乾燥試験を繰り返した結果、乾球温度70℃、湿球温度40℃(初期蒸煮無し)、53時間の乾燥が最も効率が良かった。

表2 短尺材の乾燥実験

注入条件	注入後の養生	乾燥温度(℃)
減圧：8kPa,1h 加圧：0.98MPa,30min	有	30
	約1週間室内養生後に 送風乾燥	50
		70
	無	同上
	翌日より 送風乾燥	

注) 各n=6(平均気乾比重0.36)

2-3. 塗料および塗装方法の検討

塗料はウレタン系、シリコン系、アクリル系の三種類を用いた。各塗料について塗布量、塗装方法を変えるとともに、基材については心材、辺材別、および薬剤注入量が異なる供試体を作製し、それぞれについて、AQ認証に準拠した乾湿繰返し試験(白華発生率の確認)の実施、およびコーンカロリーメータ

を用いた防火性能の確認を行った。

その結果、塗料はウレタン系塗料の標準仕様により白華が抑制できること、また、基材の薬剤注入量が200kg/m³以上である場合、準不燃性能を満たすことが分かった(図1)。

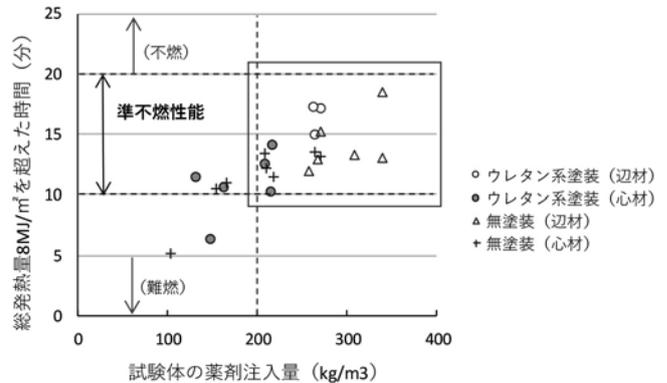


図1 ウレタン系塗装材と無塗装材の防火性能

以上、薬剤の注入条件から効率的な乾燥方法、さらに効果的な塗装方法及び防火性能の検証まで、実際の防火性木材製造に係る一連の工程について各種試験を行ってきた。試験に際しては既往の文献を始め、防火性木材の製造業者からも聞き取りを行い、試験条件の設定等参考にさせていただいたが、その中で、薬剤注入材の含水率管理方法については未だ明確な手法が無いことが分かってきた。薬剤注入材の製造には乾燥工程が必須であり、適切な乾燥を行うためにはその含水率の把握が欠かせない。

よって、ここでは薬剤注入材の含水率管理方法について検討することとした。

3. 薬剤注入材製造における新たな視点

— 薬剤注入材の含水率管理方法の検討 —

防火性木材は、薬剤を注入した後、適切な乾燥工程を経て出荷される。乾燥の目安は他の木材製品と同様、使用される場所での平衡含水率であり、内装材であれば一般的に11～13%程度である。現場での含水率の確認には高周波式含水率計などが簡易的に使用されるが、薬剤注入材の場合、その比重が通常の木製品と異なることから、含水率計による実測

値が過大となる傾向にある。そのため、乾燥が適切に終了したかの判断が難しい。

そこで、薬剤注入材の乾燥終了時点が明確に判断でき、製品の含水率管理が適切に行える含水率管理方法を検討した。

3-1. 実験方法

両木口にシーリングを施したスギ板材（無節辺材 480×105×15mm）36体を供試材とし、試験区を薬剤注入材18体、対照区を水道水を注入した水注入材18体とした。使用薬剤は濃度30%の廃棄ABC消火器薬剤溶液、注入には減圧・加圧含浸装置を用いた。注入条件はいずれも減圧1時間-0.098MPa、加圧30分0.98MPaとした。

注入後は約半日室内養生後、送風乾燥機で30℃、50℃、70℃の温度にてそれぞれ6体ずつ乾燥させ、適宜、重量、寸法（比重）を測定した。乾燥は、試験体の重量が、6時間の間隔をおいた測定で0.5%以下の変化に止まった時点を終了とした。

乾燥の目安として着目したのが比重の推移である。乾燥中、薬剤注入材と水注入材は、水分だけは同様に材から抜けていくと考え、水注入材の比重が変化しなくなる時点では、薬剤注入材も気乾含水率程度にまで乾燥が進行していると判断した。この時点を目標含水率と設定し、これに至るまでの必要時間を求めた。

3-2. 結果と考察

薬剤注入材の乾燥中の比重推移を図2に示す。目標含水率には50℃乾燥では47.5時間、70℃乾燥では24時間で到達した。30℃は10日間を要した（データ略）。いずれの乾燥温度でも、目標含水率時点の薬剤注入材の比重は、水注入材の約2倍の0.7となり、もともとの気乾比重の約2倍となること、及び全乾に近い乾燥終了時点では、気乾比重の約1.7倍付近に収束することが分かった。

以上のことから、温度の異なる乾燥条件であっても、気乾比重の約2倍の比重となる時点が薬剤注入材の乾燥終了目安となり得ることが確認できた。板

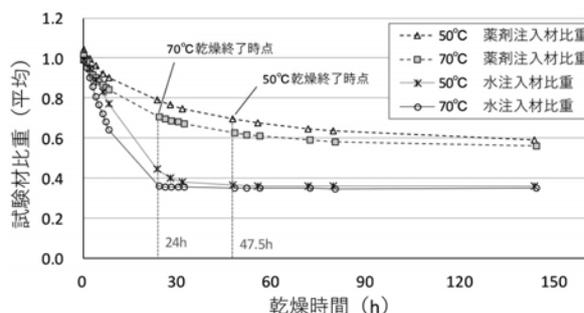


図2 乾燥中の比重推移

材の気乾比重を予め測定しておけば、注入材の乾燥中は比重を測定するだけで精度の高い含水率管理が容易に行える可能性が示唆された。

4. 最後に

本技術は、既存の難燃性薬剤ではなく、リサイクル品の廃棄消火器薬剤を使用することから始まった。実験においては未知な事の方が多く、各方面の方々より参考となる知見を収集し、またご協力もいただき、なんとか実施できたという感想である。残念ながら、福岡県としての県産防火性木材の製品化は成しえていないのだが、今後、本技術が生きる機会があることを望んでいる。

現在、世の中は循環型社会の形成を目指している。木材はサステナブル製品であることから、企業においてもその利用を拡大することで、評価を高めようとしている。今後も木材利用は加速していくと考えている。防火性木材においても、次々に新しい企業が参入し、ユーザーが容易に使用できるようなコストで、高品質な製品が開発されていくことを期待したい。

参考文献

- 1) 特許第 6273567 号「粉末消火薬剤処理物を用いる肥料およびその製造方法」
- 2) 特開 2018-168325 「肥料材料として利用可能な防火性付与木材及びその製造方法」

(あさの けい：福岡県農林業総合試験場 資源活用研究センター)

画像を用いた木材の乾燥応力の測定

村野 朋哉



1. はじめに

木材は乾燥して含水率が低下すると割れが生じることがある。家具用材や住宅に用いられる柱材のような建材では割れは一般的に欠点とみなされる。割れは乾燥過程に生じる乾燥応力によって引き起こされる。乾燥応力は木材が有する収縮異方性のような不均一性と、乾燥過程で形成される不均一な含水率の分布によって生じる。乾燥割れの発生と乾燥応力は密接に関係しているため、乾燥応力を測定することができれば乾燥スケジュールの改良等に活かすことができる。このため、古くから乾燥応力の測定について多くの試みがなされてきた。

本稿では、まず従来までに提案された乾燥応力の測定方法について説明する。次に筆者らが新たに開発した画像を用いた乾燥応力の測定法について、測定時の具体的な手順と留意点について述べる。そして最後に、実際に適用した例について紹介する。

2. 乾燥応力の測定手法

2-1. 定性的手法

乾燥応力を推定する手法として代表的なものに、くし型試験法とカップ法¹⁾がある。これらの手法では特定の形状に加工した試験片を用意し、その変形挙動から乾燥過程の木材内の乾燥応力の状態を定性的に把握することができる。乾燥操作において重要な応力転換時期の推定に利用される。

近年では、くし形試験片やカップ試験片の乾燥過程の挙動をシミュレーションし、乾燥過程に起こる乾燥応力変化について定量的な理解を進める試みもなされている²⁻³⁾。

その他には圧電素子を木材に埋め込むことで乾燥応力のモニタリングを行った例などがある⁴⁾。

2-2. 定量的手法

乾燥応力がはたらいっている木材の一部を切り出すとその部分の応力が解放されて変形が生じる。この変形を測定すれば、木材内にはたらいていた元々の乾燥応力を測定することができる。このように応力を解放することで乾燥応力を測定する方法には、逐次除去法とスライス法の大きく2種類がある。

逐次除去法は木材を徐々に削ることで応力を解放させ、残りの部分の反りや変形を測定することで、乾燥応力の分布を測定する。円盤材に適用して乾燥応力の半径方向の分布を測定した報告がある⁵⁾。

スライス法は木材を小片に分割し、分割前後の変形から乾燥応力の分布を測定する。板材の乾燥応力の測定に多く利用されてきた⁶⁾。スライス法では一般的に、ノギスやマイクロメーター等でひずみの計測を行う。このため、計測方向の断面寸法より小さい領域の応力を測定することができない。この欠点を改良し、任意の2点間での局所的な応力を測定可能な手法としてピン打ちスライス法が提案された⁷⁾。ピン打ちスライス法は、虫ピンを材に打ち込み、それを標点として測定顕微鏡で2点間の距離を測ることで解放ひずみを測定する。スライス法では測定できないような局所的な応力を計測できる一方で、測定に特殊な技術と器具が必要となる。

そこで、筆者らは画像分析を利用することで、ピン打ちスライス法と同等以上の精度でより簡便に解放ひずみ分布を測定する手法を開発した⁸⁾。以下では、本手法の具体的な測定手順と測定時に注意する点について紹介する。

3. 画像を用いた解放ひずみの測定

3-1. 測定の原理

本手法では、試験片の分割後の伸び縮みの測定を画像分析によって行う。具体的には表面に任意のターゲットを付与した試験片の分割前後の画像を取得し、画像上のターゲットの重心座標の変化から解放ひずみを算出する。このような手法は Mark tracking 法などと呼ばれている⁹⁾。重心座標を用いることで、取得画像の解像度以下の精度で2点間距離を算出することができ、測定精度の向上につながる(図1)。画像分析の中では古典的な手法であるが、画素の補間を行わずにサブピクセル単位での計測を行うことができるという特徴がある。

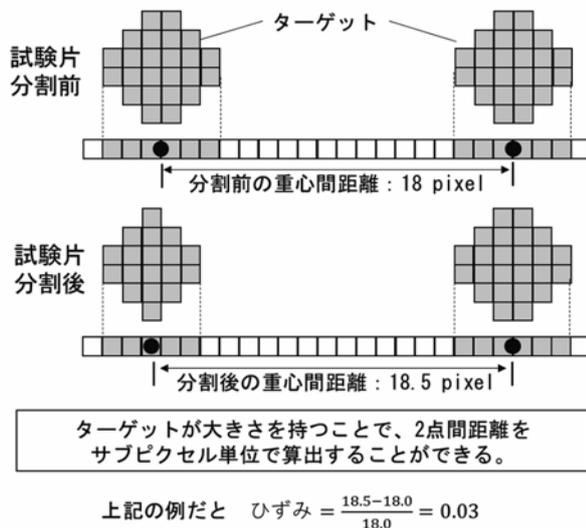


図1 Mark tracking 法の概要

3-2. 試験片の作製

Mark tracking 法は試験体の表面に任意に付与したターゲットの重心座標を追跡することで解放ひずみを計測する。付与するターゲットは円形で、小さすぎずある程度の大きさがあることが望ましい。ターゲットを直接木材表面に付与しても測定可能だが、白色塗料を薄く塗ってから付与することで測定精度の向上が見込める。このとき、含水率の変化による試験片の膨潤を避けるため、用いる塗料は油性のものが望ましい。ターゲットはマジックペン等で木材表面に付与する。ある一定のパターンで付与する必要がある場合はゴム印等を利用する(図2)。

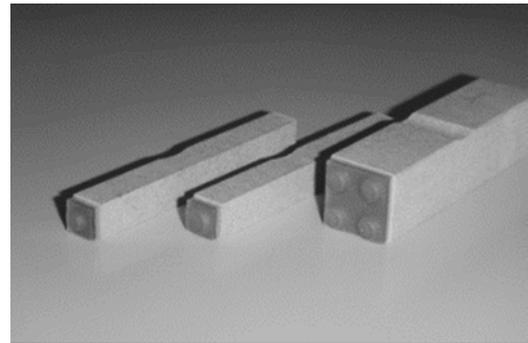


図2 ターゲットを付与するためのゴム印

試験片はバンドソーで切るか鉋などで割裂することで分割する。試験片の表面に付与したターゲットが少しでも欠けてしまうと測定ができなくなるので、分割する際は特に注意する。正角や平角など断面が大きいものを割裂する場合は、応力の解放によって試験片が破損してしまう場合が多々ある。このため、一方向から順番に分割するのではなく、外周部から分割するというように分割の順番を工夫する。バンドソーで切る場合も、一方向から順番に分割すると、応力の解放によって残りの試験片が変形してしまうので、分割の順番に注意する。

3-3. 画像の取得

画像の取得はデジタルカメラやスキャナーによって取得する。本手法では分割のために測定対象物(試験片)を動かす必要があるため、カメラでは撮影条件を適正に保つことが難しい。そのため画像の取得は撮影条件を整えやすいスキャナーの利用が便利である。本手法では画像の輝度値を直接利用するため、画像の形式はJPEG等の圧縮された形式ではなく画素毎に輝度値の情報がそのまま保存されるBMPやTiff形式にする。スキャナー側での画素の補間等による補正を避けるため、取得画像の解像度はスキャナーに搭載されているラインセンサの解像度の整数分の1以下にするのが望ましい。解像度は高いほど測定精度は高くなるが、一方でスキャナーの取り込み速度が遅くなり画像の容量も増大するので測定条件に合わせて設定する。また、得られた画像は最終的に2値化処理するため高階調のカラー画像である必要はなく、8bitのモノクロ画像で十分である。

解放ひずみを算出するために試験片の分割前と分割後の計 2 枚の画像を取得する。分割後の試験片は、特に表層部が大きく反るため、専用のホルダーやクランプのような治具を用意して反りを矯正する（図 3）。この時、力を加えすぎると試験片が伸びてしまい測定結果が大きく変わってしまうため特に注意を要する。また、試験片の分割前に画像を取得してから分割後の画像を取得するまでに時間がかかりすぎると、試験片が乾いてしまい測定結果に影響が出るので、試験片の分割と画像の取得は素早く行う。

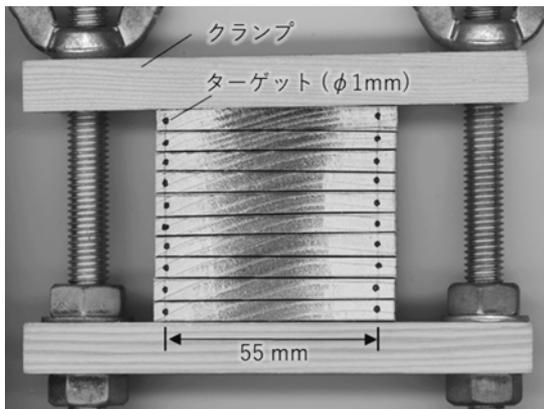


図 3 解放ひずみの測定の様子

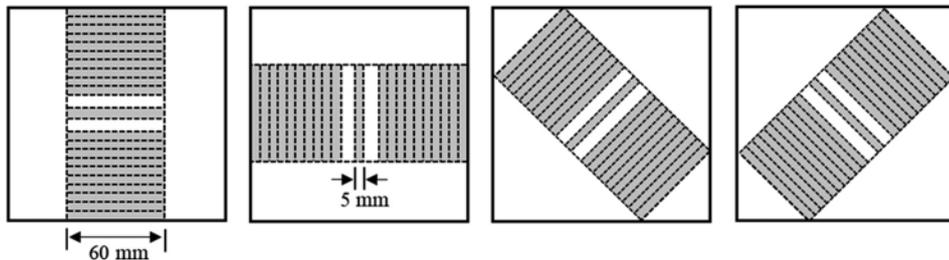
3-4. 画像の分析

Mark tracking 法は非常に簡易なアルゴリズムであるため、汎用的な画像分析ソフトである ImageJ でも処理することができる。得られた画像を 2 値化処理し、各ターゲットの重心座標を抽出する。重心座標が抽出できれば、それを基に表計算ソフト等を用いて解放ひずみが算出できる。

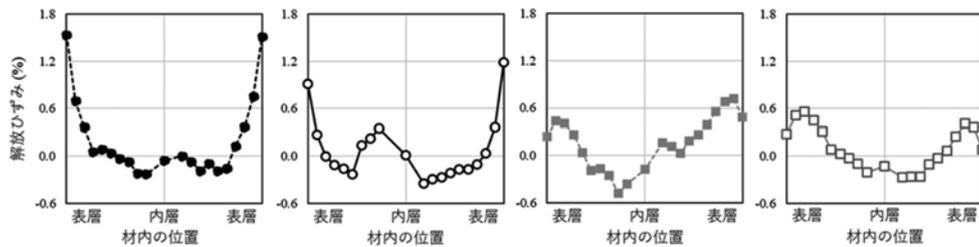
4. 解放ひずみ分布の測定例

図 4 は断面寸法 120 mm×120 mm のスギ心持ち正角および心去り正角を乾球温度 120°C、乾湿球温度差 30°C で 12 時間高温セット処理した後、乾球温度 90°C、乾湿球温度差 30°C で含水率 15% になるまで乾燥させたときの解放ひずみ分布の一例である⁸⁾。高温セット処理を行うと、心持ち正角では乾燥終期に表層に顕著な圧縮応力が形成されることが知られていたが、心去り正角でも同様の傾向が見られた。また試験片の分割方向によって解放ひずみ分布の傾向が異なることが分かった。

(a) 分割方法



(b) 心持ち正角の解放ひずみ分布



(c) 心去り正角の解放ひずみ分布

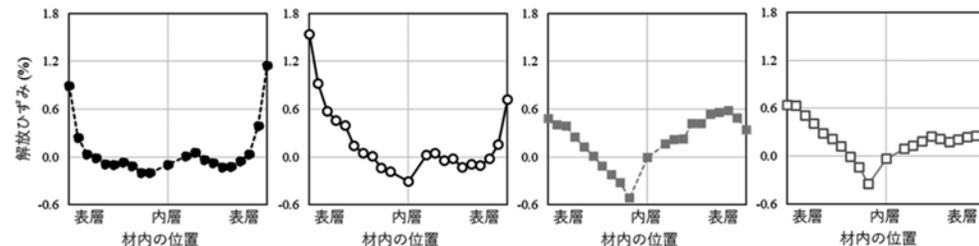


図 4 高温セット処理を行ったスギ心持ち正角および心去り正角(120mm 角)の解放ひずみ分布
プラスが伸び(圧縮応力からの解放)をマイナスが縮み(引張応力からの解放)をそれぞれ示す。

図5は断面寸法125 mm×250 mmのスギ心去り平角を乾球温度120℃、乾湿球温度差30℃で18時間高温セット処理した後、乾球温度90℃、乾湿球温度差30℃で含水率15%になるまで乾燥させたときの解放ひずみ分布の一例である。心去り平角でも高温セッ

ト処理を行うことで乾燥終期には表層に顕著な圧縮応力が形成されていた。本手法では任意の2点での計測が可能であるため、このような断面寸法が大きな材でも詳細に解放ひずみ分布を測定できる。

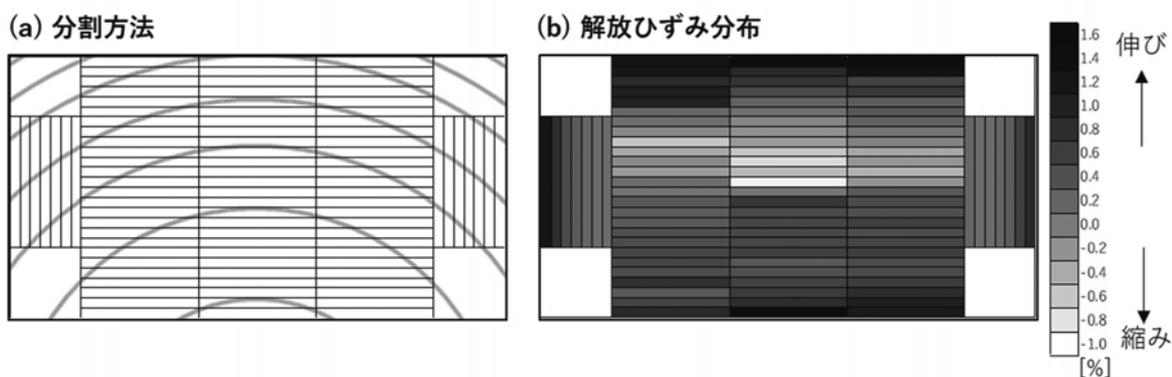


図5 高温セット処理を行ったスギ心去り平角(断面寸法125 mm×250 mm)の解放ひずみ分布

5. おわりに

解放ひずみ分布を測定することで、乾燥スケジュールの良否について、最終的な割れの結果だけでなく別の観点から考察することができる。平角のような大断面材は乾燥スケジュールも確立されておらず、また乾燥応力についても詳細が明らかにされていない。今後さらなるデータの蓄積と研究の進展が期待される。

引用文献

- 1) 中戸莞二編著, 新編木材工学, 養賢堂, 東京, 1985, pp.318-335.
- 2) Allegretti, O et al., *Drying Technol.*, 36 (13), 1554-1562 (2018).
- 3) Thomas S., *Wood Sci Technol.*, 51, 46-473, (2017).
- 4) Ferrari, S. et al., *Holzforschung*, 64, 781-789 (2010).
- 5) Nam-Ho Lee et al., *Drying Technol.*, (in press).
- 6) 徳本守彦, 木材学会誌, 35 (3), 175-184 (1989).
- 7) 徳本守彦ほか, 材料, 54 (4), 365-370 (2005).
- 8) 村野朋哉ほか, 木材学会誌, (印刷中).
- 9) Bretagne, N. et al., *NDT and E International.*, 38 (4), 290-298 (2005).

(むらの ともや: 森林総合研究所)

トピックス

黎明研究者賞を受賞して

— 論文部門 —

武内 真奈美



この度は第26回日本木材学会九州支部大会において、論文部門での黎明研究者賞を賜り、誠にありがとうございます。ご推薦くださいました諸先生方、ならびに関係者の皆様に厚く御礼申し上げます。このような賞をいただきましたのも、九州大学大学院農学研究院の堤祐司教授の多大なるご指導、ご支援によるものと深く感謝しております。

今回、「シロイヌナズナにおけるモノリグノール輸送体の探索」というテーマで発表致しました。

リグニン前駆物質の生合成や重合に関与するタンパクが多く報告されている一方で、細胞壁輸送に関わるタンパクはほとんど明らかにされていません。そこで本研究ではシロイヌナズナを用いた細胞壁関連遺伝子と輸送体遺伝子の発現解析を通して候補輸送体遺伝子を推定し、その遺伝子をノックアウトした植物体を用いた表現型解析によって、リグニン前駆体輸送に関わる輸送体の探索を試みました。

リグニン沈着の進行に伴いリグニン生合成関連遺伝子の発現量は変化すると予想し、二次壁形成が促進される管状要素誘導培養細胞において、ABC輸送体を中心とした輸送体遺伝子および既知のリグニン生合成遺伝子の経時的な発現パターンを解析することで、リグニン生合成に関わると予想される遺伝子を選抜することにしました。木化誘導後細胞のうち木化細胞の割合をフロログルシノール染色によって経時的に測定し木化レベルを確認しました。木化の進行具合と遺伝子発現パターンから輸送体遺伝子 *ABCG11*、*ABCG22*、*ABCG29* および *ABCG36* は、シロイヌナズナ培養細胞の木化に関与している可能性が高いと予想されました。次にシロイヌナズナの異なる植物器官（4週または6週齢植物体の茎上部、茎基部、根、ロゼット葉、茎生葉）を用いて、リア

ルタイムPCRによる輸送体遺伝子および二次壁生合成関連遺伝子の発現パターンを測定することでモノリグノール輸送体候補遺伝子の選択を試みました。木化は維管束植物の特徴であることから、維管束植物であるシロイヌナズナと非維管束植物であるヒメツリガネゴケのABC輸送体を比較して、シロイヌナズナのみが保存する10個のABC輸送体を選択し、前出の発現パターン解析で選択した4個のABC輸送体と合わせて遺伝子発現解析を行いました。その結果 *ABCG29* および *ABCG33* は6週齢の茎上部で強く発現し、リグニン生合成の転写因子と考えられている *MYB46* および *MYB58* と協調的な発現を示しました。また、*ABCG30*、*ABCG34* および *ABCG37* が4週齢および6週齢の植物の根においてリグニン生合成に関与するペルオキシダーゼである *AtPrx25* と協調的な発現が認められました。最終的に、活発に木化する植物器官で複数のリグニン生合成関連遺伝子と同調的に発現した5遺伝子 (*ABCG29*、*ABCG30*、*ABCG33*、*ABCG34*、*ABCG37*) をモノリグノール輸送体候補遺伝子として選択しました。これらの候補遺伝子の一遺伝子ノックアウト変異体の解析を行ったところ、リグニン量および組成の変化はありませんでした。変異体の遺伝子発現解析の結果、特定の遺伝子ノックアウトに呼応して発現上昇する遺伝子が存在し複数の輸送体遺伝子が協調的にリグニン前駆体輸送に寄与する可能性が示唆されました。

このような名誉な賞を賜りましたことを、誠に嬉しく思います。最後になりましたが、日本木材学会九州支部の益々のご発展を祈念申し上げます。

(たけうち まなみ：九州大学学術研究・産学官連携本部)

トピックス

黎明研究者賞を受賞して

— 論文部門 —

畠山 真由美



この度は第22回日本木材学会九州支部黎明研究者賞（論文部門）を賜り、誠にありがとうございました。ご推薦くださいました諸先生方、ならびに関係者の皆様に厚く御礼申し上げます。

受賞を賜りました今回の総説では「天然糖鎖薄膜の界面機能化と細胞応答制御」というタイトルで糖鎖薄膜を用いた細胞培養基材と細胞応答についてご紹介させていただきました。

近年、再生医療の実現へ向けた生体外細胞培養技術のさらなる発展が希求されており、中でも核酸・タンパク質に次ぐ第三の生命鎖である糖鎖の機能活用に期待が集まっています。我々は、樹木の主成分であり地球上で最も豊富に存在する天然高分子であるセルロースや甲殻類の構造多糖であるキチン（セルロースのアナログ）などに由来する天然糖鎖を用いて細胞培養基材を作製し、基材側から細胞に対して増殖や分化を直接働きかける新規なバイオインターフェース材料の開発を試みて研究を進めています。

細胞膜表面は糖タンパク質や脂質などの糖鎖で覆われており、細胞接着や免疫応答を含む生体反応全般に深く関わっています。より厳密に捉えると、糖鎖の還元末端は脂質やタンパク質と結合しているため、作用部位は糖鎖の非還元末端の数残基です。そこで、多糖類の還元末端のみに存在するアルデヒド基を選択的にチオセミカルバジドでS誘導体化して、S-Au間の化学吸着によりAuコートしたガラス基板上へ糖鎖を自己組織化させました。本手法で作製した糖鎖基板は、糖鎖の非還元末端基が表面に“高密度”で剥き出しになっています。一般に、糖鎖を介した相互作用は非常に弱く、それを補うために細胞膜表面に種々の糖鎖集密化構造を形成して作用を増幅させることが知られており、これは糖鎖クラス

ター効果と呼ばれています。本手法で作製した高密度に集積した糖鎖薄膜においても細胞応答に何かしらの影響を与えると考え、糖鎖の密度制御による細胞接着・機能制御の検討を試みました。

具体的には、バイオイナーナセルロースと生理機能糖であるキチンの強い分子間相互作用に着目し、構造が明確なセロヘキサオース（スペーサー分子）とキトヘキサオース（生理活性分子）からなるハイブリッド膜を調製しました。膜表面の糖鎖比率を精密制御することで、キトオリゴ糖61%/セロオリゴ糖39%の膜（糖鎖密度0.425/0.277 chains nm⁻²）において、ヒト肝ガン細胞（HepG2）が凝集塊を形成し、薬物代謝酵素であるシトクロムP450（CYP1A1）の活性が向上することを見出しました。

我々の糖鎖固定化技術は、スペーサーであるセロオリゴ糖とキチンやヒアルロン酸といった生理機能糖をS誘導体化し、混合比率を変えた糖鎖溶液に金コートした基板を浸漬させるだけで密度の異なる糖鎖薄膜が設計可能であるため、様々な生理機能糖を用いる応用展開に期待がもたれます。その他、セルロースナノファイバーやキトサンナノファイバーを用いて生体内で細胞を取り囲んでいる細胞外マトリックスを模倣する培養基材の研究も進めています。

今回の黎明研究者賞は九州大学の北岡卓也教授をはじめ、生物資源化学研究室のみなさまのおかげで頂けた賞だと思っております。この場をお借りして深く感謝申し上げます。今回の受賞を励みに、木質科学分野から発信するバイオマテリアル応用へ貢献できるよう、これからも研究に一層励んでいきたいと思っております。最後になりましたが、日本木材学会九州支部の益々のご発展を祈念申し上げます。

（はたけやま まゆみ：九州大学大学院農学研究院）

[編集後記]

木科学情報第 27 巻 2 号をお届けします。

情報では、藤本登留から『福岡県木造・木質化建築賞』から見える木材活用の魅力』についてご紹介させていただきました。

レビューのコーナーでは、福岡県農林業総合試験場資源活用研究センター 朝野景様に「廃棄消火器薬剤を活用した防火性木材の開発」について、また、森林総合研究所 村野朋哉様に「画像を用いた木材の乾燥応力の測定」についてご投稿いただきました。

当支部のトピックとして、令和元年度、および令和2年度の黎明研究者賞（論文部門）を受賞された武内真奈美様と畠山真由美様には、受賞した研究の紹介と感想を寄稿いただきました。

新型コロナウイルス感染拡大で研究活動や学会活動が例年通りにはいかないことも多々あるところですが、「木科学情報」では皆様の取り組みを紹介する場として利用していただければと願っています。積極的なご投稿をお待ちしています。

最後に、本号に執筆いただきました皆様におかれましては、お忙しい時期にもかかわらずご協力いただき大変ありがとうございました。お礼申し上げます。

藤本 登留

[各種問い合わせ先]

- 支部全般に関わること（総務：藤本 登留）

E-mail: fujipon@agr.kyushu-u.ac.jp Tel/Fax: 092-802-4661

- 会費、入退会に関わること（会計：一瀬 博文）

E-mail: ichinose@agr.kyushu-u.ac.jp

- 木科学情報に関わること（編集：田中 圭）

E-mail: kei@ota-u.ac.jp Tel: 097-554-7756 / Fax: 097-554-7930

- 支部ホームページ

<http://rinsan.wood.agr.kyushu-u.ac.jp/index.html>

木科学情報 27 巻 2 号

2020 年 12 月 28 日発行

編集人 中尾 哲也

発行人 西野 吉彦

発行所 一般社団法人日本木材学会九州支部

〒819-0395

福岡市西区元岡 744

九州大学大学院農学研究院環境農学部門

サステナブル資源科学講座内

Tel/Fax : 092-802-4661

※著者以外の方が本誌に掲載された論文・記事等を複写あるいは転載する場合には本誌編集委員会にご連絡ください。

