

論文

ナラ枯れ枯死木の製材用途としての加工方法¹

富田守泰・土肥基生・大橋章博・田中伸治²

Processing method for sawing use of damaged oak tree by Japanese oak wilt¹

Moriyasu Tomita, Motoo Dohi, Akihiro Ohashi, Shinji Tanaka²

ナラ枯れ被害で枯死した原木を枯死年別に選別し、市販の健全原木とともに板材として製材した。板材から極端に大きな節のみを除いて枯死の原因である虫穴や腐れなどを含め、原木からの板枚数に応じて一定比率となるように試験片を作成し、曲げ強度試験を実施した。同様に板材から2種類幅のフローリング用幅決め材を作成し、横裁断のみで虫穴や腐朽、変色による材面の欠点の除去を想定して良材率を測定した。その結果当年枯死材は強度低下、良材率とも僅かであったのに対し、前年枯死材は虫穴以外にも黒色変色による良材率低下と白色腐朽菌による強度低下が大きかった。商品価値を見出すためには当年枯死材の確保が重要であると考えられた。材面の欠点を含めたフローリング材を試作し、枯死年、健全別に展示しながらアンケート調査を実施した。JASフローリング製品規格は、2mmを超える虫穴で1等材から除外されている。しかし回答者の約半数は虫穴があっても扱う可能性があると回答した。JAS規格の指定がなければ用途に応じて虫穴材そのものの利用可能性が示唆された。ただし利用者側からみた製品価格については健全材の4～5割を想定している。今後良材率の試算を踏まえて、乱尺フローリングや複数の幅寸フローリングなど被害に応じた商品化が必要とされる。当面ナラ枯れ被害の発生時は、良材率向上や強度低下防止のため、枯死当年の内に伐採し、良材部分のみを生かした短尺のフローリング用途を想定した製品化が求められる。

キーワード：アンケート、ナラ枯れ、フローリング、ミズナラ、強度、製材利用

I はじめに

カシノナガキクイムシによるナラ枯れ被害が懸念されている（岐阜県森林研究所 2011）。持続性のある対策として枯死材を利用しながら被害拡大を防ぐ方法の開発が期待されているが、製材用途面からその期待に応じるためには被害材の商品価値を探る必要がある。

特にフローリング用途など高付加価値の想定されるミズナラ被害材利用の可能性と、製材品としての用途利用を探るため、試験と調査を実施した。なお被害地域からの伐木では、枯死木のみでなく虫害を受けた生木も同じロットでの出材が想定される。そのため、被害木すべての評価が必要であるが、本報告では枯死木のみを扱う。

試験では、原木からの歩留まり評価を実施した。枯死材は虫穴や腐朽、変色などの欠点が多いため、見た目による良材としての比率を測定した。次に、虫穴や腐朽、変色などの欠点による強度低下が懸念されるため、その影響を見るべく曲げ強度試験を実施した。

調査では素材感、デザイン等、価値の尺度を図る方法として、利用者に対してアンケート調査を実施した。これらの結果を統合し製材品として価値の得られる対応策を探ることを目的とした。

II 方法

1. 材料

岐阜県内飛騨市神岡地内にて枯死したミズナラのうち、前年被害木（H24年枯死材）と当年被害木（H25年枯死材）を各5本選木した。それらを長さ1.7m前後に玉切りし、元玉から3本の原木を利用した。対照の健全木として市場流通原木を6本使用した。

2. 加工試験と強度試験

各原木を3cm厚板にだら挽きし、天然乾燥後中温人工乾燥にて仕上げ、幅105mmから15mm間隔で165mmまで幅決めして原木からの歩留まり計算をした。各原木

¹本研究の一部は、第126回日本木材学会大会で発表した。

²現所属：岐阜県庁統計課

（2016年10月3日受付、2017年2月22日受理）

から採材された板枚数に応じてほぼ一定比率となるよう、各板を原木ごとに比率を同じくしてランダムにフローリング用材及び強度試験用材に振り分けた。

フローリング用材は、最小幅 105mm、120mm の板に対して更に 97mm、110mm の 2 種類の幅決めをして、有効幅を 75mm、90mm として用いた。なお、採材にあたっては、虫穴、腐れの欠点を意図的にはずすことはせず、製品幅寸法に満たない部位のみ欠点を意識して切除した（幅 135mm 以上の幅に余裕のある柾目板で辺材に多い虫穴は除外されている）。極端に大きい節などは除いているが、アテは含んだまま加工した。

次に、虫穴、腐れ、変色等を除いた部位を良材として、横鋸断を想定して長さ方向で 300mm 以上の 100mm 刻みとし、900mm 以上は 300mm 刻みで良材面積比を算出した。その後一部をフローリング試作すべく、欠点を含めて委託加工した（図-1、図-2）。

強度試験用材は、仕上げた板材から 25×25×400mm の角材に再加工して虫穴、腐れ、変色の欠点を意図的にはずすことはせず供試した。用材は事前に木口平均年輪幅、重量、腐朽・変色の有無、スパン 1/3 中央区間の繊維傾斜と虫穴数を測定し、日本工業規格 JISZ2113(1994) による曲げ強度試験により曲げ強さ、最大荷重の 1/10 から 4/10 区間の曲げヤング係数を求めた。

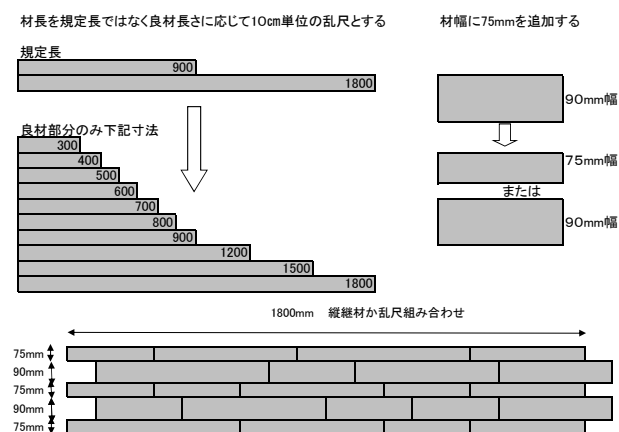
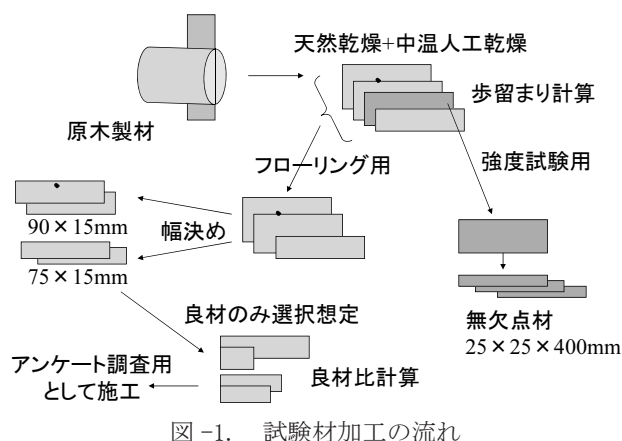


図-2. フローリング歩留り向上のための木取りと施工方法

3. 市場調査

ミズナラ枯死材を使用したフローリングの利用について、製品市場調査を実施した。委託加工した長さ 910mm、幅 75mm および 90mm に加工済みの無垢単層フローリングを使用し、前年枯死材（H24 枯死材）、当年枯死材（H25 枯死材）、健全材の 3 種類に分けた。表面仕上げは無塗装のまま、各種類ごとに、縦 2 列 1820mm、横は実（さね）を突合して約 1500mm 程度の施工形状（面積 2.7m²）にまとめて展示した（図-3）。なお、アンケート対象者は木造を主体に設計、施工している関係者 21 名とした。

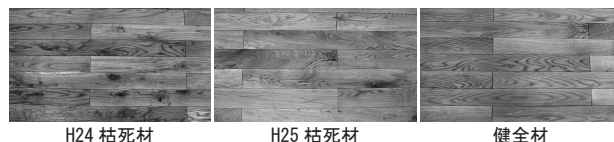


図-3. アンケートに使用したフローリング施工状況

III 結果と考察

1. 加工試験結果

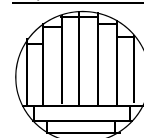
(1) 板材歩留まり

広葉樹原木の取引は径級により大きく 2 つに分類されている。末口径 24cm 以上の原木は用材として取引され、市場に流通している。その主要な規格は曲がり 10, 20, 40% を境として 1, 2, 3, 4 等級に区分（農林水産省 2007）されている。末口径 24cm 未満の原木はチップ、おが粉用材として直接取引されて製材用材として市場に出ない原木に相当する。

枯死した年度と健全木別に原木の性状と板材歩留まりを表-1 に示した。試験原木は、H24 年枯死材で 15 本中 2 本、H25 年枯死材で 14 本中 6 本しか製材用材として該当していなかった。結果的に枯死原木は製材用途試験用としての対象原木としては小径であった。さらに 3 番玉まで採材していることから原木径にばらつきが多く、曲りも大きい。曲がり大きいと製材時の板幅が狭くなりやすく、その結果枯死木は健全木に対して平均板幅が狭い。最終的には、枯死木の歩留まりは健全木に対して製材時で 7～8% 低かった。

表-1. 原木から製材した板材と歩留まり

種類	立木本数	原木本数	原木末口径		曲り平均	原木等級別本数 ¹⁾					歩留まり ²⁾	平均板幅 ³⁾	板数
			最小	最大		1	2	3	4	等外			
H24 枯死	5	15	19.8	23.9	23.9	1	1	13			44.0	130	64
			11-26	9.7-58.7									
H25 枯死	5	14	23.9	23.6	23.6	3	2	1	8		42.9*	130	96
			16-36	12.0-58.3									
健全木	-	6	29.5	10.2	10.2	4	2				50.9	153	56
			28-32	5.9-17.6									



¹⁾ 曲がりで判定した素材等級 等外は 24cm 未満

²⁾ 板厚 30mm 板幅 105 120 135 150 165 とした歩留まり

³⁾ 板幅区分 105 120 135 150 165 とした平均板幅

* H24 枯死材の平均幅と測定枚数から換算した推定値

表-2. フローリング表面材質比較

種類	H24年枯死材			H25年枯死材			健全材
	幅90mm	幅75mm	面積計	幅90mm	幅75mm	面積計	
枚数	13	35		53	27		45
全面積 m ²	1.053	2.363	3.416	4.293	1.823	6.116	3.038
良面積 ¹⁾ m ²	0.000	0.533	0.533	2.718	0.893	3.611	2.753
良材比率 %	0.0	22.5	15.6	63.3	49.0	59.0	90.6

¹⁾ 良面積とは乱尺材を想定し長手方向で30cm以上10cm単位で欠点を除去し裁断した面積をいう。
欠点とは虫穴以外の節等、規格による欠点をいう
幅90mmから75mmへの欠点除去は想定していない

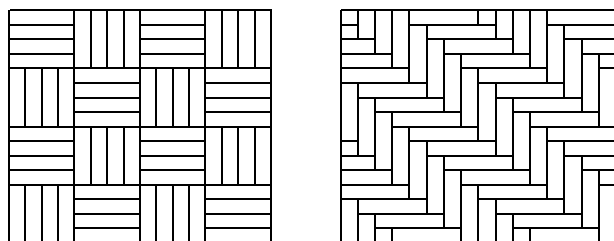


図-4. 短尺材利用の各種施工法

歩留まりは枯死の如何に関わらず対象材の比較ではあるものの、既に30年前から製材用広葉樹が枯渇している状況（富田ら 1985）を鑑みれば、末口径24cm未満の原木も加工用としての必要性があることを考慮し対策をすべきであろう。

(2) フローリング表面材質比較

表-2にフローリング加工用部材の欠点を鋸断除去した良材比率を示した。枯死材は前述のとおり原木自体に製材用材としての条件が備わっていないため、厳密には比較できない。しかしあえて比較すると、健全材が9割の良材比率に対し、H25年枯死材は6割程度の良材比率を維持しており、H24年枯死材の1.5割以下に比較してH25年枯死材の利用可能性が高い。

良材比率の向上を踏まえて、図-2による2種類の商品化を検討した。長さ方向に多種あれば、乱尺フローリングを加工している工場を参考に縦継フローリングとしての製品化が考えられ、複数種の幅材による製品も考案できよう。長さが300mm、450mm単位ならば図-4に示す短尺（30-45cm）としたパーケットフローリング、斜め網代フローリングも考えられる。

2. 強度試験結果

強度試験結果について、枯死した年度と健全木別の曲げ強さと曲げヤング係数を表-3に示し、曲げ強さの度数分布を図-5に示した。表-3右端に併記した既存資料（森林総合研究所 1982）（年輪幅の小さい天然材と想定される）の曲げ強さはさらに低い値であるが、本試験材は2次林材と想定され、年輪幅も広く、サンプルの性状がかなり異なることによるものと推定される。

表-3では曲げ強さの平均値は健全材、H25年枯死材、H24年枯死材の順で低下している。枯死年数間の相違は平均値で12Mpa、5%下限値では20Mpa程度の差がある。

表-3. 曲げ強度試験結果

	H24年枯死材		H25年枯死材	健全材	既存資料*
	個体数	75	72	63	
曲げ強さ	平均値	121.1**	133.8(**)	134.7	98.1
	標準偏差	26.5	22.6	11.9	
(Mpa)	5%下限値	73.8	93.6	113.4	63.7
曲げヤング係	平均値	12.83	13.93	13.46	9.81
	標準偏差	2.29	2.00	1.36	
(Gpa)	5%下限値	8.72	10.37	11.04	7.85

*木材工業ハンドブック改定3版P188ミズナラ

**健全材との有意差0.01

(**)H24年枯死材との有意差0.01

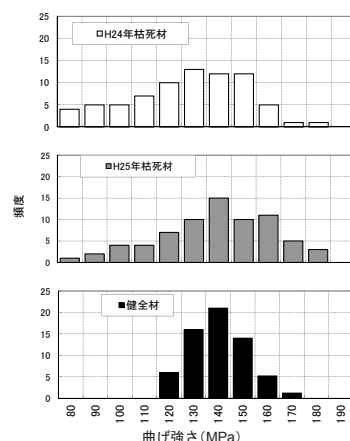


図-5. 種類別曲げ強さの度数分布

ただ健全材とH25年枯死材の平均値での相違はほとんどない一方で、H25年枯死材の標準偏差が大きいこと、5%下限値では20Mpa程度の差がある。図-5の曲げ強さの度数分布によると、健全材に対し両方の枯死材ともばらつきの大きいことが下限値低下の原因になっている。

曲げヤング係数は曲げ強さほど枯死材間、枯死材と健全材の差は生じてはいないが、ばらつきについては曲げ強さと同様に生じているため、5%下限値では健全材、H25年枯死材、H24年枯死材の順で曲げ強さと同様の低下傾向にある。

差が生じる原因を探るため、強度に影響すると想定される因子をXとして、曲げ強さYの関係を材面に生じている変色で区分して図-6に示した。白変については白色腐朽菌に冒されていると思われる個体で、黒変についてはカビによるものと推定される個体である。これらを横配列に枯死年別・健全材とし、縦配列に因子別として配置した。最上段の虫穴数については曲げ強さとの関連は見られない。2段目以下の因子ではH24年枯死材、H25年枯死材、健全材の順に白変（○印）が多く、しかも白変化した個体は曲げ強さが低い。上から2段目左、中央部の繊維傾斜角との関係図では、繊維傾斜角の大きい個体ほど曲げ強さの低下が大きい、さらに白変化した個体ほど顕著となっている。3段目の気乾密度との関係図では、白変化した個体ほど密度が低く、曲げ強さが低下している。これらを総合的に推測すると、強度低下は虫穴数ではなく、虫害以後の白色腐朽菌と、それによる密度低下を原因に繊維傾斜

角の大きい個体から生じていると推測される。さらに4段目の曲げヤング係数も密度と同様に剛性低下を生じているものと理解される。

この分析から、表-3と図-5で、健全材と枯死材の偏差が明らかに異なっているのは、次の2つの因子が影響しているからと推測される。一つは市場材とパルプチップ材の相違である。節や曲がりによる試験材の繊維傾斜のばらつきによるもので、小径材利用の問題点である。もう一つは腐朽菌による強度低下が及ぼすばらつきである。

枯死材間の曲げ強さの差(1%有意差)は、H24年枯死材の方が低いことから、白色腐朽にさらされている個体の強度低下が影響していると推測される。ナラ枯れ対策として用材としての強度低下を防ぐためには、枯死以後の早急なる伐採加工処理が必要で、その対策に

より製材利用の範囲を広げられる可能性が伺える。

次に用途から使用時の耐用性の有無を検証する。想定される単層フローリングとしての強度基準はJAS規格には存在せず、縦継ぎ個所の強度基準が存在する。これによれば厚さ15mm幅10mm断面材をスパン250mmの曲げ試験にて、中央縦継ぎ部で20kgに耐えることが要求される。計算すると曲げ強度で32.7MPaになる。同じく単層フローリングの剛性の基準もJAS規格には存在しないが、複合フローリングに存在する。これによれば厚さ15mm幅100mm断面材をスパン700mmの曲げ剛性試験にて、4kgの荷重で3.5mm以下のたわみが要求される。同じく2.85GPaになる。両者とも表-3の下限値よりかなり低いため、枯死材であっても事実上要求されるフローリング強度には十分耐えられる評価になる。

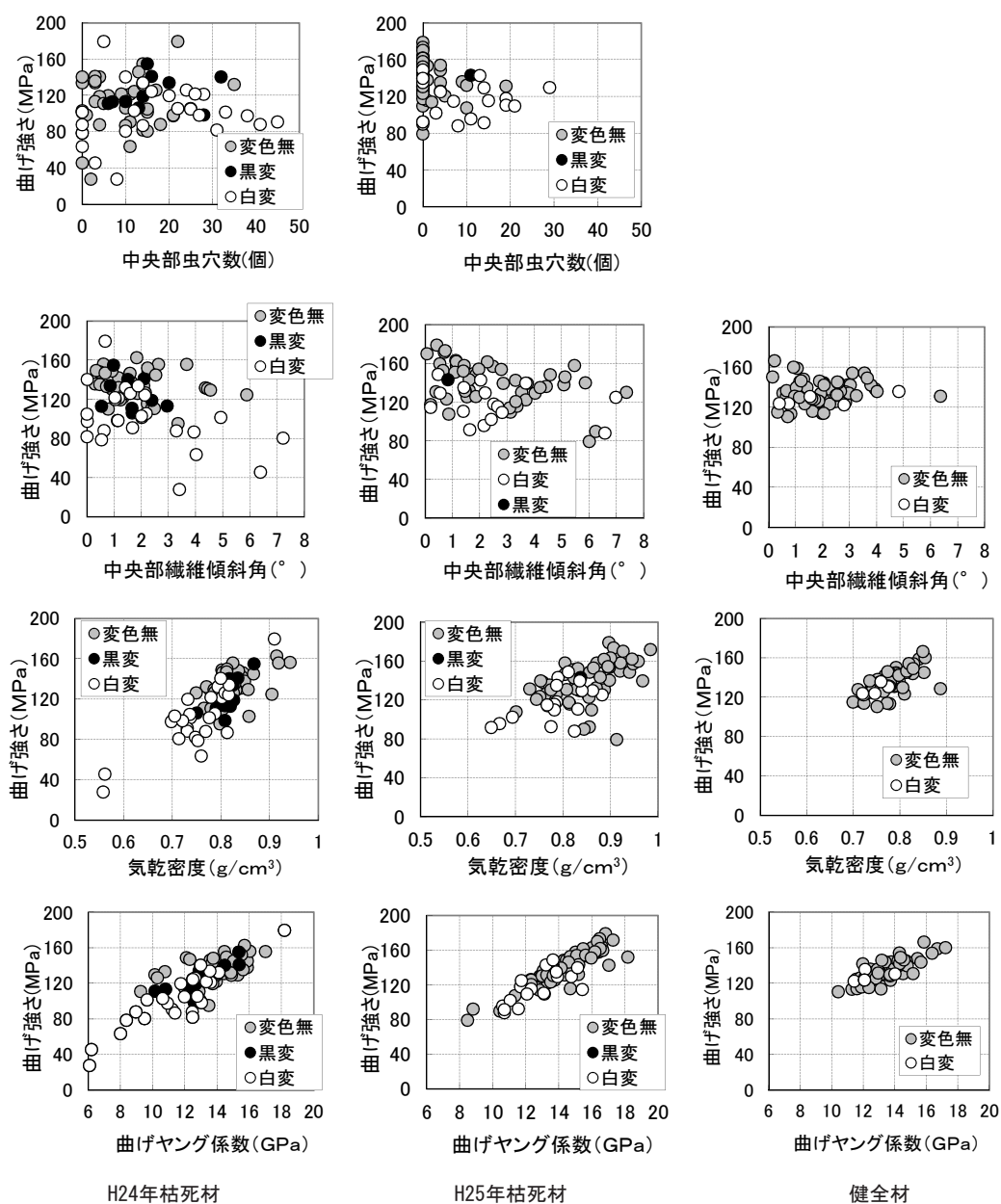


図-6. 種類別各因子と曲げ強さの関係

3. 市場調査結果

アンケートの流れを図-7左側に示す。展示した3種類のフローリング（図-3）を見せながらアンケートに記載していただいた。回答者が、施主への建築材料の意向収集時に、展示したフローリングを施工材のメニューのひとつとして扱うことができるか否かで左右2パターンに分け、その後の設問について分けて回答していただいた。その結果を図-7右側に示し、図-8にまとめた。

(1) 枯死材の印象

図-8は左上から順に矢印で流れを示す。JASの規格では2mmを超える虫穴の存在で1等材から除外され、利用上支障がない程度で2等材、支障があれば規格外となる（農林水産省 2013）。しかし、アンケートの結果、約半数の回答者は施工材のメニューのひとつとして扱う（以下扱う回答者）と回答している。

施工材のメニューのひとつとして扱う回答者はこのような部材を扱うことに対し、不具合やクレームの対応策について、塗装や短尺材としての選別などの工夫

や、用途先（店舗用）など柔軟な対応策が考えられると回答している。一方枯死材を扱わない回答者（以下扱わない回答者）の場合、扱わない理由について虫穴と同等レベルに腐れ、変色を問題視している。このような立場の回答者は塗装するなどの対応ではなく、用途を別に期待する傾向にある。使用できる、さらに使用できる商品化についての設問には、分離し健全部分のみの利用が両回答者とも最も多い。

(2) 価格設定

「施工材のメニューとして扱う」の有無別に、全員フローリング別にいくらの価格なら購入できるかを、健全材を1とした値で答えていただいた（図-8右下）。その結果扱う回答者のH25年枯死材価格比0.55であっても、価格設定においては、扱わない回答者のそれと同じ価格比0.55となった。またH25年枯死材、H24年枯死材の比較では、わずかにH24年枯死材の価値低下が大きく受け取られ、価格に反映されてはいるものの、その差があまりない。枯死材という当初の印象だけが価格設定の主因子となっている可能性がある。

質問項目		回答 (%)				
提案メニューへの掲載		いずれも入れて良い 入れたくないフローリングあり いずれも入れたくない				
OK 48%10名	NG 52% 21名	48	48	4		
OK 使用した場合の顧客からのクレームについてどのように考え、対応したいか		用途を考え、商業施設など特徴ある場所で生かす 塗装で工夫して目立たなくする 欠点を均質な複合フローリングとの差別化に生かす ナラ枯れ活用等顧客への同意を得る 無垢材は欠点が付き物、施工場所の仕方です				
		35	29	18	12	6
↓						
どのような商品化をしたら、更に使用できるか		乱尺材でもいいから虫食い健全部分分離、虫食材のみ別シリーズ化 目立たなくする塗装で商品化 ナラ枯材の情報とともに環境対策商品化				
		50	30	20		
↓						
掲載しない理由		変色 虫穴 腐れ 節 その他				
		33	29	17	13	8
↓						
価格以外でどのような対策(商品化)をしたら使用できるか		乱尺材でもいいから虫食い健全部分分離、虫食材のみ別シリーズ化 欠点を分離し、健全材のみとする 対策をすれば虫食混入OK				
		56	22	22		
↓						
分離した虫食い乱尺材の利用についてどのような商品なら購入できるか		用途を考え、商業施設などで特徴ある場所です 価格次第で使用する可能性もある 環境対策商品 目立たなくする塗装での商品				
		57	29	14	0	
↓						
健全材1に対する価格比(平均)		いずれも入れて良いグループ 入れたくないフローリングがあるグループ いずれも入れたくない				
		健全材	1	1	1	
		H24年枯死材	0.43	0.51	0.1	
		H25年枯死材	0.55	0.55	0.4	
↓						
無垢フローリングに求める性能について		無垢の素材感 収縮、反り防止 見た目の良さ 色や模様のムラを揃える 水分に対する寸法安定性 (膨潤防止) きしみ防止、防音対策 見た目の良さ 虫穴の除去 床暖房対応性能				
上位4つの複数回答		21	13	9	7	6
↓						
クレーム経験		ある ない 受ける立場ではない (別途部署での対応)				
ある場合		68	26	5		
↓						
クレームの原因はどこにあったと考えですか		フローリング製品そのもの フローリング施工の不良(吸湿による膨潤など) 事前の説明不足(音発生や寸法安定性説明と対策施工) 根太(下地床張り)の施工不良(未乾燥も含む) フローリング製品への過大評価 床暖房対応などの評価不一致など)				
		38	25	19	13	6

図-7. アンケートの流れと結果一覧

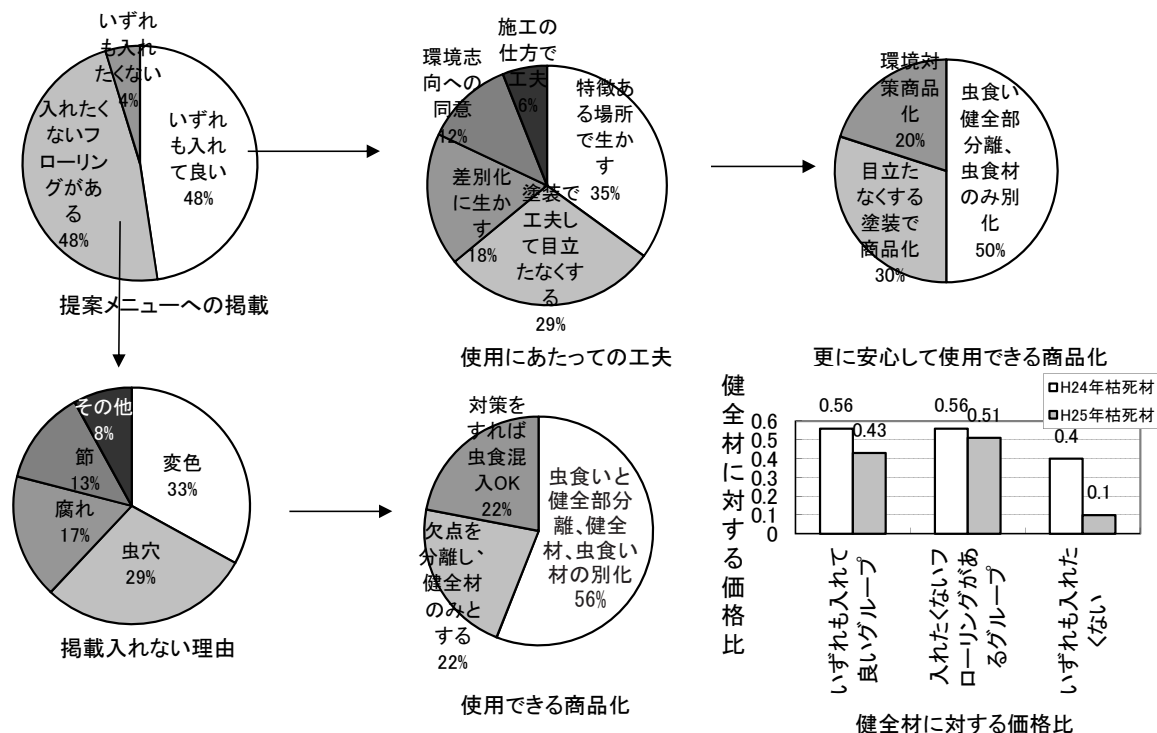


図-8. アンケート結果

表-4. 良材歩留まりとアンケート価格から推定される製品金額比

	①良材選択価格				②選別なし材価格				利用方向性
	歩留	単価	金額	比*	歩留	単価	金額	比*	
H24年枯死材	0.15	1	0.15	0.17	1	0.43	0.43	0.47	0.17<0.47 あえて選別せずに利用者任せ
H25年枯死材	0.59	1	0.59	0.65	1	0.55	0.55	0.61	0.65>0.61 選別することで利用効果期待
健全材	0.91	1	0.91	1					

*材単価を良材1に対し、25年0.55、24年0.43、不良材を0とし、健全材金額に対する製品金額比

アンケート結果から表-4に製品価格を試算した。良材選択価格1に対し不良材を含めた単価をH24年枯死材0.43およびH25年枯死材0.55として、①良材のみを扱った場合、②不良材を選別せずに扱った場合を想定した。H25年枯死材は選別しなければ良材1に対し0.55の単価で金額0.55となり、健全材の金額0.91との価格比0.61で扱うことになるが、良材を選別すれば良材単価1として歩留まり0.59で金額0.59 健全材金額0.91との価格比で0.65に試算できる。H24年枯死材は同様に算出し、良材を選別すると0.17であるが、あえて選別しなくても0.47の価値となる。これは枯死材の利用価値を施工者の判断でその価値を担わせる手法ともいえる。

工務店・設計士から見たフローリングの商品性は、消費者の嗜好性を捉え、価値を見出すことでもある。実際に商品化を考えた場合、さらに選別手間を加算しなければならないし、その一方で良材選別後の不良材の価値もあるかもしれない。店舗用途としての利用を

想定した製品を製造側が企画することができれば、高付加価値製品としての期待も得られる。

(3) 全員に対する質問

フローリング材に求める性能に対して、虫食い材のアンケートにもかかわらず虫穴の除去を選択した回答者は僅かしかなく、無垢の素材感、材表面の色ムラの統一、寸法安定性が求められている。また、7割の回答者がフローリングのクレームを経験しており、その内4割がフローリング製品自体のクレームを経験している。

このようにフローリング建材用途としての利用の可能性は大きいものの、消費者側の期待も大きく、製造側の乾燥技術をはじめとした製造技術を完全なものにして行う必要性を感じる。

IV まとめ

H24年枯死材とH25年枯死材別に、さらに健全材を含めて、3種類のミズナラ材を製材し良材率、強度試験を実施した。H25年枯死材は歩留まり低下、強度低下も僅かであったのに対し、H24年枯死材は虫穴以外にも黒色変色による良材率低下と白色腐朽菌による強度低下が大きい。強度面や良材率向上から枯死材は年内に伐採、製材することが求められる。

良・不良材を問わず試験材の残材をフローリングに加工し、一種類に付き2.7m²程度を施工した。試作品を見せながら木造建築を主体とする工務店、建築設計

士 21 名によるナラ枯死材のフローリングについてアンケートした結果、半数から施工材のメニューのひとつとして扱うとの回答を得られた。しかしながら通常の用途では顧客へのクレームが想定され、店舗等商業施設などの用途を想定しながら、虫穴の欠点部分を活用することが期待される。腐れは当然除去すべきであるが、変色も虫穴程度に選択の判断材料とされることがから変色も含めた部位の除去による乱尺縦継フローリングやパーケットフローリング、斜め網代拭きなどでの利用の可能性はある。

扱うとした回答者であっても欠点材としての判断となればその価値は他の関係者と同様に低いとされ、半値以下とされる。環境対応製品とする捕らえ方もあるが、用途を見定めた加工方法と製品価格設定、加えてデザイン・企画能力が求められる。

以上から、当面ナラ枯れ被害の発生時は、枯死木の場合は、良材率向上や強度低下防止のため枯死した当年に伐採搬出することが重要である。被害地域からの生木を含めた全体のナラ原木については、枯死材よりは良材率も高いと推測され、短尺のフローリング用途を想定した木取りでの製品化が想定される。虫穴や変色など顕著な板材は、求める特殊用途消費者の意見を

取り入れ、全体の色彩感を揃えたうえでストックし活用することも重要であろう。

本研究は重点研究課題 ナラ枯れ被害木を有効利用して防除につなげる技術の開発－被害木の板等への利用に関する研究－により実施したものである。本事業に関わった関係諸氏に厚くお礼申し上げる。

引用文献

- 岐阜県森林研究所（2010）ナラ枯れ被害を防ぐために。
岐阜県森林研究所
森林総合研究所（1982）木材工業ハンドブック改訂 3 版。
丸善：188
富田守泰・野原正人・香川紘一郎・杉山正典（1985）広葉樹小径材の材質特性及び乾燥技術に関する研究。岐阜県林セ研報 14：18-41
日本規格協会（1994）日本工業規格 木材の曲げ試験方法 JISZ2113. 財団法人日本規格協会
農林水産省（2007）素材の日本農林規格（平成 19 年）。農林水産省
農林水産省（2013）フローリングの日本農林規格（平成 25 年）。農林水産省