

持続的スギ乾燥材生産に関する経済分析

The Economic Study of Sustainable Production of Kiln Dried Sugi Lumber

坂東 紀子・吉本 敦・永田 信・立花 敏

Bando, N., Yoshimoto, A., Nagata, S. & Tachibana, S.

キーワード： 乾燥材、実現可能性分析、経営分析、製材業、モデル分析

要約 住宅需要の変化に伴い、木材に対して強度や形状の安定性が求められるようになり、乾燥材や集成材へのニーズが高まっている。しかし、欧州などからの集成材の輸入が急増する一方で、乾燥費用の負担の問題から国内の乾燥材生産量は製品の1割程度に留まっている。本研究では、既往研究及び聞き取り調査による情報に基づき乾燥材生産に対する経営プロトタイプモデルの構築を行い、持続的な生産に対する経営分析を行った。分析対象は、乾燥が難しいとされるスギを中心とし、加えて他の樹種についても検討した。分析の結果、持続的に乾燥材生産を実現するには、費用削減などの単独項目の効率化だけでは不十分であることが分かった。小規模工場が多い我が国では、現在ある製材工場に乾燥設備の導入をしても投資効果が発揮されず、採算が合わない結果となった。生産の効率性を向上するには、製品の多様化が必要不可欠であることが示唆された。

Abstract: A feasibility study with a prototype model for kiln dried lumber production was performed. The result shows that it is necessary to cut numbers of cost categories for sustainable production of kiln dried lumber. It results as not feasible to invest in wood driers because of low economic efficiency of the Japanese small scale sawmills. It was suggested that diversifying is needed to promote efficiency.

Key Words: Kiln dried lumber, Feasibility study, Economic analysis, Sawmill, Model analysis

はじめに

住宅需要の変化に伴い、「住宅の品質確保の促進等に関する法律」が施行され、木造建築に対しても高い品質が求められるようになってきた。その背景には、未乾燥材の使用による住宅施工後の木材の形状変化や割れが、住宅に対するクレーム要因として表面化し、住宅供給者側の対応が要求されていることが挙げられる。その結果、木材に対し強度や形状の安定性が求められるようになり、乾燥材の需要が増加しているのである。こうした背景にもかかわらず、供給側の生産状況については、乾燥材の市場価格が乾燥費用を十分にまかなえるほどの水準にはなっていないと言われており、乾燥材生産の導入が進んでいないのが現状である。

林野庁(2001)の実態調査によると、現在国内の乾燥材(含水率25%以下)生産量については、1999年時点では1,983千m³であり、全製品の11.1%となっている。住宅施工者側が要求する平衡含水率に近い含水率15%前後の生産量はさらに少ないと考えられ、国内の人工乾燥材の生産量の割合は年々増加傾向にあるものの、依然として絶対量は低い水準である。こうした供給不足に対し、近年は、高品質の乾燥製材が入手できないことから、代わりに入荷量や品質が安定している集成材を使用しようとする住宅供給者が急増しており、国内の乾燥材生産体制の整備が頭著化している。

乾燥材供給不足には、製品の低価格による生産体制への影響がある。スギ・ヒノキの乾燥材の価格をみると、それらは未乾燥材と同じように推移し、価格差が1m³当たり15,000円程度となっている。従って、原料である未乾燥材を加工し、乾燥材を生産するのに関わる全ての費用をこの価格差内に抑えられれば、生産は持続できることになる。これまで木材の乾燥費用について分析されたものには、西村(1996)、河崎(1996)、信田(1996)などがある。西村(1996)は、乾燥にかかる経費は、直接乾燥経費、棧積みおよび搬入・搬出経費、粗挽き寸法から仕上げ寸法への歩損、乾燥により発生する割れ・曲がりなどの損失からなり、このうち歩損及び割れ・曲がりを除いた経費の合計を乾燥費用とし、11,500円と試算した。スギのように仕上がり含水率が揃い

にいく場合には、これとは別に養生期間を含めた長時間の天然乾燥が必要となり、広大な在庫場所の確保と在庫金利負担が発生し、スギ乾燥材の生産に対する効率性が悪いことも指摘されている。河崎(1996)は、蒸気式乾燥装置を導入した場合のスギ柱角の乾燥費用を、設備費、人件費、エネルギー費から試算し、 1m^3 当り20,000円としている。信田(1996)は、乾燥装置の設備費(乾燥装置、ボイラー、電気給排水工事、運搬、品質管理諸設備等)、電力や石油などのエネルギー費用から乾燥費用を算出している。信田(1996)によると人件費を除いた 1m^3 当りエネルギー費用は高温乾燥で1,800円(乾燥室の規模 20m^3)、1,600円(同 50m^3)、1,580円(同 100m^3)と推定している。さらに(社)全国木材組合連合会(2000)ではスギの乾燥費用を設備費、人件費、燃料費から概算している。これによると、スギの心持ち柱材(10.5cm 仕上げ)の 1m^3 当たり乾燥費用は、高温蒸気式乾燥で7,220円(含水率20%以下)、8,880円(同15%以下)と試算している。

生産体制の持続性を追求するには、費用分析のみならず、生産に関わる経営分析を行うことが必要不可欠である。これまでの研究では、製材工場への機械導入の採算性を検討したAnderson et al. (1997)やHodges et al. (1990)、使用済み丸太の再利用における防腐剤処理の採算性を検討したKing et al. (2000)、原料の性質別に採算性を検討したLin et al. (1995)、Warren (1997)などがある。国内では、北洋エゾマツ製材における原木消費量の損益分岐点分析を行った茅原・坂井(1993)、スギ中小丸太製材の木取りパターン別に機械の稼働率をみた伊神ら(1995)、製材工場の類型別の生産性分析を行った幡・藤掛(1998)などがある。これらの研究では、従来の構造材である未乾燥材市場に関する分析が主体で、現在需要が高まっている乾燥材生産に関する研究は前述したような技術面から分析したものはあるが、経済性に関して考察しているものは少ない。

本研究では、既往研究及び聞き取り調査による情報に基づき乾燥材生産の経済分析を行う。そのために、まず現地調査によるデータ収集を行い、得られたデータを用いてプロトタイプの経営モデルを構築する。現地調査は、熊本・宮崎・岡山・愛媛県の乾燥材生産工場及び関連業者に対し、アンケート調査及び聞き取り調査を行い、経営データを収集する。分析には、損益計算

書を用いた収益性分析、損益分岐点分析を中心に行う。分析の対象は、人工林の主要樹種であり乾燥が難しいとされるスギの柱角を対象とし、他の部材や樹種についても検討を行う。

なお本研究では、乾燥材を乾燥室内で熱風などにより人工的に乾燥を施した「人工乾燥材」のこととし、一定期間戸外に放置することにより乾燥させる天然乾燥材や葉枯らし乾燥材などは含めない。

現地調査概要

本研究では、実際の乾燥材生産工場の経営状況を把握するため、乾燥材生産を行っている工場へのアンケート調査及び関連業者への聞き取り調査を行った。調査は、2001年7月末～12月にかけて行った。その方法は、まず各工場に対しあらかじめ経営データ収集のためのアンケート票を送付し、事前にアンケートに記入してもらい、その内容を踏まえて後日対面による聞き取り調査を行う。調査の際、乾燥にかかる費用のみを把握するため、生産工程を、丸太を粗挽きする「製材工程」と、乾燥して修正挽きする「乾燥工程」とに分けて考えることに留意した。調査対象とする製材工場は、熊本・宮崎・岡山・愛媛県にある4工場とし、工場の抽出は、高温乾燥により乾燥柱角を生産している工場の中から、生産規模、取扱樹種、生産工程などが異なる工場を選定した。調査対象工場の概要は以下の通りである。

A工場は、ヒノキの柱角を中心とした乾燥材生産を行っている工場である。乾燥材生産工場だけで2つの工場を持ち、このほかにも集成材の加工を行うなど、日本有数の大規模工場である。生産量は年間20,500 m³ほどに上る。1つめの工場は、敷地面積が7,500坪、うち工場が2,000坪の広さを持ち、柱角の製造ライン(全自動ツイン、帯鋸盤、横バンドソー)、太角専用ライン、20台の乾燥機を備えている。2つめの工場は、敷地5,700坪、工場面積は1,400坪で、中温乾燥機4台と高温乾燥機3台を備えている。このほかの加工設備として、ツインソー、横バンラインを持つ。乾燥機の生産可能量は、両工場ともそれぞれ月当たり2,000 m³程度で、蒸気式乾燥機のほか、ケヤキや大断面の材を乾燥できる減圧乾燥機も備えている。主な製品は、乾燥したヒ

ノキ・スギの柱角、通し柱、鴨居・敷居、神社仏閣用材などである。このうち、ヒノキが85%程度を占めている。

生産工程については、まず原木の丸太を入荷し、柾積み、皮剥き、荒挽き製材を行う。次に乾燥し、養生させた後に、モルダー仕上げを行い、最終的に10.5cm角および12cm角の柱材を中心に乾燥材を生産している。2000年度の年間原木入荷量は、スギが $10,000\text{m}^3$ 、ヒノキが $40,000\text{m}^3$ であった。原木入荷は、主に地元の原木市場などからで、直径16cm、長さ3mの丸太などを主に仕入れている。荒挽き製材は、乾燥による収縮分(通常各辺12mm～15mm)を考慮し、柱角の仕上がり寸法10.5cm角のものは挽き上げ寸法11.5cmに、12cm角は13.3～13.5cmに荒挽きする。重量選別・柾積みは、スギ・ヒノキとともに大きさごとに重量別3つのクラスに分けられ、乾燥されやすいように背割りの方向を上の列は上向き、横の列は外側向き、他は下向きにして柾積みされる。仕上げ乾燥は、スギには高温蒸気式乾燥を行う。高温乾燥の場合、表面の水分が抜け、中心に水分が残るために水分傾斜が発生する。従って、乾燥後はこの水分傾斜を安定させるために2週間程度養生期間を取る。ボイラーの燃料には、昼間は木屑、夜間はオガ粉(一部重油)を使用している。そして、養生後、モルダーがかけられ、規定の寸法に仕上げられ、最終的に、含水率や強度のヤング率の基準値をクリアした製品だけが出荷される。歩留まりについては、荒挽き段階の歩留まりが45%程度、修正挽き後の歩留まりが80%程度で、乾燥後の最終製品の歩留まりは36%くらいとなる。

B工場はプレカットの協同組合が所有する工場で、プレカットの資材を提供することを目的として、委託による木材乾燥を行っている。この工場は、2つのプレカット加工ラインを持ち、それぞれ1日当り60坪と45坪、年間30,000坪、700棟(約 $10,173\text{m}^3$ /年)のプレカット材を生産している。プレカット材の約4割は人工乾燥したものを用いており、樹種は、100%スギである。また、乾燥だけでなく、製材加工の委託も受けている。

次に、プレカット加工工程を除いた粗挽き工程及び乾燥工程について述べる。生産工程には、原木を入荷する場合と、荒挽き材を入荷する場合がある。原木を入荷した場合は、荒挽きを行い、重量選別、段積み、前処理乾燥、仕上げ乾燥、モルダー加工を行う。荒挽き製品を入荷した場合は、製材

工程は行わず、重量選別後、段積み、前処理乾燥、仕上げ乾燥、モルダー加工を行う。

製材工程は、2つある柱加工ラインで行われる。製材機の加工能力は、年間 $13,200\text{m}^3$ である。原木から入荷して工場内で粗挽きを行うのは4割程度で、荒挽き製品の入荷割合が6割程度を占める。原木の荒挽きは、原木の形・大きさによって自動的に歩留まりが良くなるように行われる。仕入れる木材は末口径で20cm(18~25cm)のものが中心で、柱角の場合はこれを荒挽きして12.8cm角にする。2000年の年間原木消費量は、 $13,320\text{m}^3$ であった。製材加工賃は 1m^3 当たり5,807円である。

乾燥工程は、前処理乾燥機1台、中温乾燥機5台、高温乾燥機4台、及びドイツ製の高温減圧乾燥機1台を用いて行う。過乾燥による割れや歪みをなくすために、重量で選別を行い、3クラスに分けて棟積みする。その後、前処理乾燥を行う。前処理乾燥機の容量は 40m^3 で、8時間弱、1日2回転の乾燥を行っている。その後、1週間弱養生させる。仕上げ乾燥には、中温乾燥機5台、高温乾燥機4台、ドイツ製乾燥機1台を使用している。生産日数は、前処理乾燥に1日、仕上げ乾燥には10日程度(月4回転)程度要し、養生期間1週間、段積み1日、モルダーがけに2日で、合計20日程度かかる。原木入荷の場合、これにさらに土場までの運搬、皮むき、荒挽きなどの工程が加わり、15日(月2回転)程度を要するため、合計35日程度かかる。ドイツ製の乾燥機は、高温減圧式で、黒芯で重量の重いもの(高温乾燥機で2~3週間乾燥しても芯の含水率が20%まで落ちないようなもの)を乾燥するのに用いており、月に3回転程度の生産を行っている。中温乾燥機は板、間柱など、高温乾燥機に入れると曲がってしまうものを中心に使用されている。乾燥後、モルダーで仕上げ加工をし、出荷となる。乾燥・モルダー仕上げ後の最終寸法は、12cm角となる。

工場内で荒挽きしたものはすべて乾燥を行っており、乾燥料金は、柱で8,000~9,000円、間柱で5,000円程度、平均で8,057円程度である。乾燥を委託される荒挽き製品は主に組合内の企業から入荷される。年間生産可能量は最終製品材積で $11,000\text{m}^3$ である。歩留まりについては、荒挽き歩留まりが40%

程度、乾燥歩留まりが88%程度である。すなわち、原木から入荷した場合の最終歩留まりを算出すると約35%となる。

C工場は、県の森林組合連合会が所有する工場で、乾燥工程のみを行い、荒挽きをした半製品を入荷し、モルダー仕上げをして出荷している。おもにスギの柱角を生産しているが、板材(フローリング材や壁板など、厚み12～15mmのもの)やスギのデッキ材なども生産している。2000年度の年間生産量は、最終製品の材積で7,898m³、板材の生産が約1,400m³だった。

乾燥工程は、前処理乾燥機による蒸煮式減圧処理の後、乾燥、検査を行い、モルダー仕上げをし、製品として出荷している。1台ある前処理機の容量は約25m³で、10.5cm角の3m材用の荒挽き製品ならば600本程度入る。これで5～6時間の前処理乾燥を行う。前処理によって、道管にある有縫壁孔を破壊し、早く乾燥しやすくなる。また、材の水分傾斜を緩和して含水率を下げる作用もあり、前処理が終了した時点で、もとの含水率100%のものなら70%程度、60%のものなら40～50%まで含水率を下げられる。前処理された材は、含水率50%を境に2段階に重量選別される。その後、20日～1ヶ月程度天然乾燥を行い、含水率を揃える。その後、重量ごとに養生期間も含めて1週間程度人工乾燥する。乾燥は、4台ある高温乾燥機(容量は最大40m³だが、1度に乾燥する量は平均35m³程度)が用いられ、月に4回転、年間48回転のペースで生産を行っている。板やデッキ材については、前処理は行わず、高温乾燥機のみにより2日間程度乾燥される。その後、基準含水率に達したものをモルダーで加工する。含水率は、15%、20%、25%の3段階で表示する。歩留まりは最終仕上がり段階で83%である。

D工場は、2000年より高温圧縮熱処理乾燥機による乾燥材生産を始めた工場である。現在の主な製品は、スギおよびヒノキの未乾燥・乾燥柱角や板類、集成材用ラミナなどで、スギの売上は乾燥材売上の約40%を占めている。生産規模は全体で年間10,000m³強である。

乾燥柱角の生産工程は、まず丸太を入荷し、皮剥ぎ、製材を行い、乾燥、修正挽きを行ったうえで、梱包、出荷という手順を取っている。原木は、原木市場および素材生産業者から主に入荷しており、中心的な丸太のサイズは直径14～22cm、長さ3mのものである。乾燥に用いている高温圧縮熱処理乾

燥機は、従来の高温乾燥機に比べると価格が高く、容量も小さいが、十分な乾燥を行えるとして導入した。乾燥にはスギで約4日間、ヒノキで2日間程度、このうち約12時間(季節により変動する)は機械の温度を下げ、養生に費やされる。スギの乾燥柱角の場合、原料入荷後、5~6日で生産できることになる。製品の含水率は確実に15%を達成しているという。乾燥された木材は仕上げ加工が施される。歩留まりについては、製材段階では板挽きにしたものも含め平均68%程度である。乾燥によって発生する4%程度の割れなどの不良品はすべて再利用しており、乾燥後の歩留まりは平均で64%程度である。乾燥柱角のみで計算すると約60%強になる。

乾燥材生産経営プロトタイプモデルの構築

ここでは、上記の調査結果及び事例研究で入手したデータをもとに、乾燥材生産の経営分析のための乾燥材生産経営プロトタイプモデルを構築し、経営分析を行う。一般に、経営分析では財務諸表分析が重要とされるが、特に損益計算書が重点的に分析される。財務諸表とは、事業年度末の財政状態を示す貸借対照表と、事業年度の経営成績を示す損益計算書とからなるものである。損益計算書では、いくつかの段階の「利益」が算出されるが、ここでは、売上から直接費用である売上原価を差し引いた「売上総利益」から販売管理費を差し引いた「営業利益」を、本来の営業活動によって稼ぎ出された利益とみなし、経営を判断する基準とした。ここでいう「営業活動」とは、原材料の購買活動、製品の製造活動、取引先への販売活動、企業の行う諸活動を企画・統制・調整する一般管理活動などを指す。なお、損益計算書に計上する営業費用の科目は、中小企業庁(2001)の「中小企業の原価指標」の枠組をもとに決定した。

表1にここで想定する経営モデルの構造を示す。基本的にモデルは、初期費用(投資費用)、年間費用、年間収益(売上高)からなる。初期投資は機械、建物などの購入にかかる初期費用である。年間費用については、原材料の購買から製造に関わる製品製造原価と、販売・管理活動に関わる販売管理諸経費に分けた。製品製造原価は、原料費、労務費、動燃費、保険費、減価償却費、維持費からなる。また、販売管理諸経費は、取引先への販売活動にかか

る販売人件費、諸経費、事務系の原価償却費や事務所の光熱費、通信費、工場勤務以外の人件費、租税公課、支払利息を含む販売管理費と固定資産総額に関わる税からなる。なお、通常、支払利息は営業外費用として計上するが、ここでは「中小企業の原価指標」の方式に従い、支払利息も販売管理費に含め、租税公課には固定資産税のみを計上した。また、厳密には、在庫増減が発生するために売上原価と製品製造原価は等しくならないが、ここでは在庫は一定と考えることにした。

表1. モデルの構造

科目		内訳	1年目	2年目	…	n年目
投資費用	初期投資(I ₀)	Σ (機械設備購入費、建物建設費、初期原料購入費)	I ₀	-	-	-
年間費用	粗挽き製品価格 × 原材料投入量					
	原料費(t) = 製品1m ³ 当り原料価格(X) × 原料投入量 × 歩留まり	原料費1	原料費2	…	原料費n	
	= 製品1m ³ 当り原料価格(X) × 製品生産量(V)					
	労務費(t) = 建場内作業員数 × 1人当り年間労務費	労務費1	労務費2	…	労務費n	
	原料1m ³ 当り動燃費 × 原材料投入量	動燃費1	動燃費2	…	動燃費n	
	= 製品1m ³ 当り動燃費 × 製品生産量(V)					
	保険費(t) = 1人当り保険費 × 作業員数 × 年間保険費用額	保険費1	保険費2	…	保険費n	
	減価償却費(t) = Σ (1台当たり機械購入費 × 台数) × (1 - 残存価値) × (1 - 損助率) ÷ 耐用年数 + 建物建設費 × (1 - 残存価値) × (1 - 損助率) ÷ 耐用年数	減価償却費1	減価償却費2	…	減価償却費n	
	メンテナンス費(t) = 乾燥機メンテナンス費 × 乾燥機台数 + モルダーメンテナンス費 × モルダーハウス台数	メンテナンス費1	メンテナンス費2	…	メンテナンス費n	
	残材処分費(t) = 残材1m ³ 当り処分費 × 製品生産量(V)	残材処分費1	残材処分費2	…	残材処分費n	
販管費	販売管理費(t) = 売上高 × 販売管理費率	販売管理費1	販売管理費2	…	販売管理費n	
	固定資産税(t) = 固定資産純額 × 税率	固定資産税1	固定資産税2	…	固定資産税n	
	年間費用(Ct) = Σ (原料費 + 固定資産税)	C1	C2	…	Cn	
売上高	年間収益(Rt) = 製品価格(Y) × 原料投入量 × 歩留まり = 製品価格(Y) × 製品生産量(V)	R1	R2	…	Rn	
利益	年間利益(Pr) = 年間収益(Rt) - 年間費用(Ct)	P1	P2	…	Pn	

経営分析の前提条件

次に、調査結果や既往研究を参考に、経営モデルの前提となる生産工程やスケジュール、設備投資等を以下のように仮定した。

1. 生産工程

ここで想定する生産工程は、原料(粗挽き製品)の入荷、選別・仕分け、乾燥、仕上げ加工、製品の積込・搬出からなることとした。すなわち、粗挽き製品から入荷し乾燥、修正挽きする「乾燥工程」のみを行う工程を想定した。これは、現在ある製材工場に乾燥材生産設備を導入したときのインパクトをみるため、乾燥部門のみの経営収支を製材工程とは分離して把握するためである。なお、乾燥は一般的な蒸気式乾燥のひとつである高温蒸気式によるものとした。これは従来の蒸気式乾燥(50~80°C)よりも高温の100°C以上

で乾燥する方法である。また、運搬費を分離させるため、生産工程で用いる原料購入単価は工場着価格とし、粗挽きを行う工場・製品市場から乾燥工場までの運搬費を含んだものとした。それに対し、製品販売単価は工場渡し価格とし、市場までの運送費や市場手数料は含まれていない。

2. 生産スケジュール

次に、生産スケジュールについては、機械の稼働率を90%とし、乾燥日数は1シフト当り7.5日(乾燥7日、養生及び材の出し入れ0.5日)とし、生産工程と機械の回転数は年間44回転とした。また、年間の原料投入量をC工場とほぼ同じ規模の8,000m³とした。なお、生産量は、1年目は計画の90%の実行率とし、2年目以降は100%の実行率とした。歩留まりについては、以下の仮定を設けた。一般に木材は乾燥することによって収縮し、さらに乾燥によって生じる割れや曲がり・歪み・ねじれなどを補正するため、乾燥後に修正挽きが必要となる。このため、通常は仕上がり寸法よりも断面を縦横それぞれ約1cmずつ大きく挽いた材を原料として用いる。つまり、仕上がり寸法10.5cm角には11.5cm角を、12cm角には13cm角を用いるのである。この乾燥と乾燥後の修正加工によるロスは約15%となる(乾燥歩留まり85%)。また、聞き取り調査の結果から、乾燥による不良品(割れによるハネ品)の発生率を8%とし、最終歩留まりを77%とした。なお、在庫は0.5ヶ月分とし、分析期間で一定とした。

3. 設備費用

生産活動の初期に必要な費用は、機械設備購入費、建物建設費、敷地購入費用、初期原料購入費である。ここでの分析では、導入する設備は全て新しいもの(新規購入)とした。また、設備投資は自己資本によるものとして、借入は考慮しないとした。購入価格については、導入する高温蒸気式乾燥機の場合、容量を1台当り45.2m³とし、購入費を1台当り25,000千円とした。計画原料投入量と乾燥機容量から、必要な乾燥機台数は4台となる。また、乾燥機のほかに、モルダー装置、リフトを導入する必要がある。それらの価格は、それぞれ20,000千円、3,000千円とした。また、モルダー装置は1日許容加工本数を1,000本とし、これを越える場合は、作業を補うため、半額の10,000千円のものを購入できることとした。リフト台数についてはC工場と

同じ2台とした。設備据付経費は設備購入費のなかに含まれるものとした。建物については、作業用建物の面積を $1,500\text{m}^2$ とし、建設費は 1m^2 当たり30,000円とした。敷地は、あらかじめ持っている土地に乾燥設備を導入することを想定し、敷地購入費はかかるないものとした。工場敷地面積は $4,000\text{m}^2$ 、さらに初期の原料として在庫の0.5ヶ月の購入費を仮定した。建物と敷地の面積は、乾燥材生産工場や乾燥機械メーカーへの聞き取り調査より得られた乾燥機1台当たりに要する面積と、原料・製品在庫の確保に必要な面積より設定した。

4. 費用と収益

分析に用いる費用と製品価格については、調査結果に基づき設定した。調査結果の費用については、以下の通りであった。まず、得られたデータのうち、原料が工場に着いた時点から製品の工場渡しまでの対象とし、生産工程を、丸太を粗挽きする「製材工程」と乾燥して修正挽きする「乾燥工程」とに分け、スギ乾燥材 1m^3 当たりの乾燥工程のみにかかる費用を算出した。なお、対象とした工場がヒノキも扱っている場合、取扱樹種の材積比率からスギのみの乾燥費用を算出した。その際、動燃費については、一般にスギの乾燥日数がヒノキの2倍程度かかることから材積当たりのスギの動燃費をヒノキの2倍として算出を行った。また、工程別のデータが得られない場合は、聞き取り調査及び売上高比率を参考に乾燥工程の費用を算出した。その結果、スギ製品 1m^3 当たりの乾燥費用(原料費は除く)は、A工場では、乾燥費用が7,043円、B工場では11,134円となった。乾燥工程のみを行っているC工場では、11,408円、高温圧縮熱処理式を行っているD工場では19,457円という数値になった。

これらの結果を基に、費用と収益を表2のように設定した。なお、ここで算出した費用は製品製造原価、販売管理費、固定資産税の3種からなる。残材処分費については、モルダー挽きによる木屑などの残廃材はボイラー燃料などとして利用するとし、費用に計上しないものとし、残廃材売却による利益も生じないとした。原材料となる粗挽き製品の価格(工場着価格)は、原料 1m^3 当たり33,150円(歩留まり0.77の場合、製品 1m^3 当たり43,052円)とした。乾燥材生産に必要な人員は、C工場の調査結果より、原料の選別・仕分け1人、

乾燥機の操作1人、モルダー工程2人、製品積込・リフト運転1人の合計5人とした。また、工場内作業員の労務費は、1人当たり年間3,000千円とした。動燃費は、原料1m³・日当たり387円(スギの場合、原料1m³当たり2,710円、歩留まり77%で製品1m³当たり3,519円)とした。なお、この動燃費は、乾燥方法に依存し、動燃費単価は(社)全国木材組合連合会の「乾燥材生産の技術マニュアル」の計算方法をもとに算出した。毎年の減価償却費は、設備の残存価値を10%、機械設備の耐用年数を法定年数と同じ12年、建物設備の耐用年数を31年として、定額法により算出した。長期経営分析の時には、初期投資として考慮するので、毎年の減価償却費は計上せず、売上高利益率の算出のみに用いた。販売管理費は、宣伝広告・営業旅費・通信費・光熱費などとし、C工場の調査結果より売上高の5%とする。収益については、乾燥柱角の1m³当たり販売価格(工場渡し価格)をC工場の2001年8月のデータより51,000円とした。

表2. モデルの設定値

科目	項目	採用データ
原料費	粗挽き製品価格	原料1m ³ 当たり33,150円
	原料投入量	ベースケースでは8000m ³
労務費	工場内作業員数	5人(選別仕分け×1、乾燥機運転×1、修正挽き×2、リフト運転など×1)
	1人当たり年間労務費	3,000千円
動燃費	スギ原料1m ³ ・1日当たり動燃費	原料1m ³ ・日当たり387円
	スギ乾燥日数*	7日
保険費	1人当たり保険費	4,000千円
	年間財産保険費	4,000千円
減価償却費	乾燥機購入費	25,000千円(容量45.2m ³)
	乾燥機台数	4台(ベース)
	モルダー購入費	20,000千円
	モルダー台数	1台(ベース)
	リフト購入費	3,000千円
	リフト台数	1台(ベース)
	建物建設費	30,000千円/m ²
	建物面積	1500m ² (ベース)
	敷地購入費	考慮しない
	敷地面積	4000m ² (ベース)
メンテナンス費	機械耐用年数	12年
	建物耐用年数	31年
	残存価値	10.0%
	資材処分費	モルダー2,000千円、乾燥機100千円 木屑などの残廃材は、チップなどとして処理するとし、これに伴う費用・収益は考慮しない。
販売管理費	販売管理費率(対売上高)	5.0%(対売上高)
固定資産税	固定資産税率	1.4%(建物・機械設備・土地に対してかかる。建物・機械設備については減価償却に伴い評価額が減る。)
売上高	製品価格	51,000円
	乾燥歩留まり	85.0%(乾燥による木材収縮15.0%)
	不良品発生率	8.0%

* 燃料を燃やしている日数

乾燥材生産に関わる経営分析

1. 分析項目

経営分析では、乾燥材生産の1年間の収支と長期の投資効果について調べた。長期の分析期間は乾燥機械の耐用年数とし、年間の売上高利益率と収支の現在価値の合計を算出し分析を行った。年間の売上高利益率(%)は[1]式の通りである。

$$[1] \quad ROS_t = (R_t - C_t)/R_t \cdot 100 (\%)$$

ただし、 ROS_t は t 年における売上高利益率(%)、 R_t は計画実行率100%のときの年収益、そして C_t は計画実行率100%のときの年費用である。[1]式には設備に対する初期投資費用は含めず、固定資産税は資産の減却を行わない1年目の金額を計上することとした。

現在価値の合計 PNV は、

$$[2] \quad PNV = \sum_{t=0}^T \frac{(R_t - C_t)}{(1+r)^t} - I_0$$

である。ただし、 r は年割引率、 I_0 は初期投資費用、 T は機械の耐用年数である。なお、初期投資費用 I_0 は機械設備や建物設備、原料などの初年度購入費の合計である。

次に、価格体系と収益性の関係を見るため、原料価格が一定のときの損益分岐点(現在価値 PNV がゼロ)における製品価格を求めた。すなわち、製品1m³当たり製品価格(円/m³)を Y とし、製品生産量(m³)を V_t とすると、

$$[3] \quad R_t = Y \times V_t$$

となる。従って、原料価格を一定とした場合、

$$[4] \quad PNV = \sum_{t=0}^T \frac{(Y \cdot V_t - C_t)}{(1+r)^t} - I_0 = 0$$

を満たす Y を求めればよいことになる。

一般に、製造業においては、原料価格と製品価格の両方が経営に大きな影響を与えるため、その価格差が持続的な経営を分析する際に重要な役割を果たすものと考えられる。従って、損益分岐点に達する原料価格と製品価格の関係を調べ、価格差の経営に与える影響について分析を行った。すなわち、 X を製品1m³当たり原料価格(円/m³)とすると、

$$[5] \quad C_t = (X + C_0) \cdot V_t$$

となり、式[2]～[5]より、 $PNV=0$ となる X と Y の関係を調べた。

2. 現状分析結果

まず、年間原料投入量8,000m³とした場合の毎年の売上高利益率と機械耐用年数12年間の現在価値を計算した。計画実行率100%、固定資産価値は投資した年の価値として算出し、年割引率は1%とした。その結果、売上高利益率は-8.0%、現在価値は-335,665千円となり、この状態では年間の操業費用が売上高を上回り、乾燥材生産の導入はマイナスの投資効果を生むという結果となった。製品1m³当たりに換算すると、1m³当たり総費用は55,055円、乾燥費用(原料費を除く)は12,003円となった。原料価格(製品1m³当たり43,052円)と製品価格(1m³当たり51,000円)の製品1m³当たり格差は7,948円であるから、乾燥費用が原料と製品価格の差額を大きく上回ることが分かる。また、費用全体に対する原料費の占めている割合は78.2%となり、原料価格が経営に与える影響は大きいと考えられた。原料費を除いた乾燥費用についてみると、動燃費が最も高く、全体の29.3%、ついで販売管理費が21.2%、労務費が20.3%となつた。

分析の結果、損益分岐点における製品単価は56,090円となり、設定単価51,000円よりも5,090円高い値となった。また、損益分岐点における原料価格(X)と製品価格(Y)の関係は以下の直線関係となった。

$$Y = 1.1X + 10605.2$$

$$[6] \quad Y - X = 0.1X + 10605.2$$

すなわち、損益分岐点における製品と原料の製品1m³当たり価格差は、原料価格に比例し上昇することが分かる。

3. シナリオ分析結果

次に、生産に関わる諸条件を変え、5つのシナリオを想定し同様の分析を行った。まず、第1のシナリオでは、乾燥費用に占める割合の大きかった動燃費、販売管理費、労務費について、それぞれ20%ずつの削減を想定した。その結果、それぞれの費用を100%削減したとしても、現在価値は常にマイナスとなり、損益分岐点における製品単価は設定単価51,000円の水準まで引き下げられなかった(表3、表4)。

表3. シナリオ1の分析結果（現在価値）

現在価値(千円)				
費用削減率(%)	動燃費	販売管理費	労務費	
(ベース)0.0	-335,665	-335,665	-335,665	
20.0	-286,809	-300,267	-297,015	
40.0	-237,952	-264,869	-258,365	
60.0	-189,096	-229,470	-219,716	
80.0	-140,240	-194,072	-181,066	
100.0	-91,383	-158,673	-142,416	

表4. シナリオ1の分析結果（製品単価）

損益分岐点における製品単価(円/m ³)				
費用削減率(%)	動燃費	販売管理費	労務費	
(ベース)0.0	56,091	56,091	56,091	
20.0	55,350	55,506	55,504	
40.0	54,609	54,934	54,918	
60.0	53,868	54,374	54,332	
80.0	53,127	53,824	53,746	
100.0	52,386	53,286	53,160	

第2のシナリオは生産規模の変化を想定したもので、その仮定の設定値、分析の結果における規模別現在価値、売上高利益率、損益分岐点における製品単価、及び価格差は、表5に示すとおりとなった。

表5. シナリオ2の設定値と分析結果

規模	原料 投入 量(m ³)	乾燥機 台数 (台)	モルダー 台数 (台)	リフト 台数 (台)	建物面 積(m ²)	敷地 面積 (m ²)	売上高利 益率(%)	現在価値 (千円)	損益分岐 点単価 (円/m ³)
0.5倍	4,000	2	1	1	1,400	3,700	-16.4	-331,628	61,059
ベース	8,000	4	1	2	1,500	4,000	-8.0	-335,665	56,091
1.5倍	12,000	6	2	2	1,800	4,600	-5.5	-365,540	54,696
2.0倍	16,000	8	2	2	1,900	5,000	-4.0	-366,293	53,778

この表から分かるように、生産規模が大きくなると売上高利益率が改善されるが、依然としてマイナスの値になり、乾燥材生産導入の実現可能性は低いことが分かった。また、現在価値は規模が大きくなるとマイナスの値が大きくなり、規模が大きいほど投資の損失額が大きくなることが分かった。損益分岐点における製品価格は設定価格51,000円を常に下回らなかった。また、損益分岐点における価格差に対し直線回帰式を求めたところ、傾きは0.1で変化しなかったが、切片の値が規模の拡大に伴い低くなつた。このこ

とから、生産規模が大きい場合、損益分岐点に達するための製品単価は原料単価に大きく左右されることが分かった。規模別の費用の内訳は表6のようになつた。規模が拡大するにつれて製品1m³当りの労務費が小さくなり、機械設備のモルダーとリフト、建物面積に対する利用効率も高まるため、これらの点においては、規模拡大の効果が観察される結果となつた。

表6. 生産規模別の費用原価と製品1m³当り費用

規模(原料投入量)	0.5倍(4,000m ³)		8,000m ³		1.5倍(12,000m ³)		2.0倍(16,000m ³)	
	原価額 (千円)	1m ³ 当り (円/m ³)	原価額 (千円)	1m ³ 当り (円/m ³)	原価額 (千円)	1m ³ 当り (円/m ³)	原価額 (千円)	1m ³ 当り (円/m ³)
原料費	132,600	43,052	265,200	43,052	397,800	43,052	530,400	43,052
労務費	15,000	4,870	15,000	2,435	15,000	1,623	15,000	1,218
動燃費	10,840	3,519	21,680	3,519	32,520	3,519	43,360	3,519
保険費	6,000	1,948	6,000	974	6,000	649	6,000	487
減価償却費	6,694	2,173	10,756	1,746	15,518	1,679	19,355	1,571
メンテナンス費	2,200	714	2,400	390	3,600	390	3,800	308
残材処分費	0	0	0	0	0	0	0	0
販売管理費	7,854	2,550	15,708	2,550	23,562	2,550	31,416	2,550
固定資産税	1,610	523	2,394	389	3,360	364	4,102	333
営業費用総計	182,798	59,350	339,138	55,055	497,360	53,827	653,433	53,038
乾燥費用(原料費除く)	50,198	16,298	73,938	12,003	99,560	10,775	123,033	9,986

第3のシナリオは、政府による補助金交付を想定したものである。林野庁が行っている木材乾燥に対する補助としては、乾燥材供給体制緊急整備特別対策事業(林業構造改善事業)による木材乾燥施設棟整備特別対策事業(平成13～14年度)が挙げられる。これは、市町村、森林組合、林業者等の組織する団体、木材関連業者等の組織する団体等に適用されるもので、これまで林業構造改善事業により整備した既存施設の効率的運営のために必要な乾燥施設等を整備する。補助率は条件により全費用の1/2、1/3、4/10となっている(林野庁木材課資料より)。そこで、機械設備購入費・建物建築費に対して0～100%の補助金の交付を想定し経営分析を行つた。なお、補助を行つた際の減価償却は設備の取得価格に対して行うものとし、固定資産価値の評価も同様とした。分析結果は表7に示す通りである。

表7. シナリオ3の分析結果

補助率(%)	売上高利益率(%)	現在価値(千円)	損益分岐点単価(円/m ³)
(ベース)0.0	-8.0	-335,665	56,091
20.0	-7.1	-297,865	55,517
40.0	-6.3	-260,065	54,944
60.0	-5.4	-222,264	54,371
80.0	-4.6	-184,464	53,798
100.0	-3.8	-146,664	53,224

補助率が上がれば、売上高利益率、現在価値ともに上昇するが、補助率が100%になっても、現在価値がプラスとはならなかった。損益分岐点を満たす補助率を求めたところ、178.0%の補助率が必要であることが分かった。また、損益分岐点における製品単価は補助率が上がるにつれて引き下げられたが、設定価格51,000円を下回らなかった。損益分岐点における価格差と原料価格の直線回帰式は以下のようになつた。

$$[7] \quad Y - X = 0.1X - 28.7S + 10605.2$$

ただし、Sは補助率(%)である。この式から、補助率1%の上昇に対し、価格差の減少は28.7円程度であることが分かる。

第4のシナリオでは、異なる機械設備の導入を想定した。想定した乾燥機は高温圧縮熱処理乾燥機の類である。すなわち、想定した乾燥機の乾燥機容量、不良品率、燃料費、機械購入費、乾燥日数の5項目について、既存の高温乾燥機と高温圧縮熱処理乾燥機の量の違いに線形関係があると仮定し、想定した乾燥機に対する設定量を決定した。ここでAを高温乾燥機、Bを高温圧縮熱処理乾燥機の設定量とすると、想定する乾燥機の値は

$$[8] \quad C = \alpha A + (1-\alpha)B \quad \text{for } \alpha \in [0,1]$$

とした。分析では、αを0から0.2ずつ変化させ得られる設定量を持つ乾燥機を想定した。なお、α=0のときは高温乾燥機、α=1のときは高温圧縮熱処理乾燥となる。表8に設定値と分析結果を示す。高温圧縮熱処理乾燥機を用いたときの売上高利益率は-7.7%、現在価値は-361,294千円であった。α=0のときの高温乾燥機に比べると収益性は少し改善されたが、依然として投資効果は赤字であることが分かる。損益分岐点における価格差の直線回帰式では、切片はαが増加するにつれて大きくなり、その増加度は最終的に26.7%

であった。すなわち、 α が大きくなると損益分岐点における価格差の固定格差は増加するが、その割合は全体の設定量の変化に比べ、低いことが分かる。

表8. シナリオ4の設定値と分析結果

α	容量(m ³)	不良品率(%)	動燃費単価(円/m ³ ・日)	乾燥日数(日)	機械購入費(千円)	売上高利益率(%)	現在価値(千円)	損益分岐点単価(円/m ³)	傾き	切片
0.0	45.2	8.0	387.1	7.0	25,000	-8.0	-335,665	56,091	0.1	10605.2
0.2	39.8	7.0	504.0	6.3	30,600	-8.4	-358,452	56,367	0.1	11464.2
0.4	34.3	6.0	620.9	5.6	36,200	-8.5	-366,492	56,417	0.1	12083.5
0.6	28.9	5.0	737.7	4.9	41,800	-9.3	-406,685	56,936	0.1	13156.7
0.8	23.4	4.0	854.6	4.2	47,400	-8.7	-391,363	56,642	0.1	13403.0
1.0	18.0	3.0	971.4	3.5	53,000	-7.7	-361,294	56,145	0.1	13433.3

最後のシナリオは、製品開発に関わるものである。上記シナリオ分析からも分かるように、単独の費用削減や生産規模の拡大、補助金の交付、機械の変化だけでは、経営の改善は困難であることが分かった。上記で仮定したスギの柱角は、乾燥の難しい製品であり、付加価値も低い。現状の赤字体制を打破するためには、原料と製品の価格差を現在の価格差以上にする製品を生産する必要があると考えられる。そこで、新たな製品生産としてヒノキの柱角とスギの平角の乾燥材の生産を想定した。スギの平角は断面積が大きく、通常の高温蒸気式乾燥機では乾燥が難しいと言われるため、高温圧縮熱処理乾燥機による乾燥を想定した。想定した製品に伴って変動する変数の設定は表9の通りである。これらの製品生産の組み合わせを想定し、分析した結果を表10に示す。この表からも分かるように、ヒノキ柱角やスギ平角を組合せることによって経営が改善されることが分かる。また、スギ平角生産を導入する場合、製品のうちスギ平角(D)の生産割合を67.1%としたときに損益分岐点に達した。

表9. シナリオ5の仮定

方法	樹種	製品	乾燥日数(日)	不良品率(%)	原料換算原料価格(円/m ³)	製品換算原料価格(円/m ³)	損益分岐点単価(円/m ³)
A 高温乾燥	スギ	柱角	7.0	8.0	33,150	43,051	51,000
B 高温乾燥	ヒノキ	柱角	3.5	5.0	58,000	72,500	80,000
C 高温圧縮熱処理	スギ	柱角	3.5	3.0	33,150	40,427	51,000
D 高温圧縮熱処理	スギ	平角	4.5	3.0	40,000	48,780	70,000

表10. 製品組合せの仮定

シナリオ	製品組合せ	売上高利益率(%)	現在価値(千円)
i	Aのみ(ベースケース)	-8.0	-335,665
ii	A:B=50:50	-5.5	-311,365
iii	Bのみ	-4.0	-287,065
iv	Cのみ	-7.7	-361,294
v	C:D=50:50	-0.7	-107,030
vi	Dのみ	4.4	147,234

考察

現状分析や経営分析の結果から、現在の未乾燥材、乾燥材価格では乾燥材生産の経営は非常に厳しい状況にあることが明らかになった。また、シナリオ分析の結果から、単独項目(例えば動燃費、補助制度、生産規模)の効率性の改善だけでは、持続的な生産体制を構築することが困難であることも分かった。このことは、項目の組み合わせに対する効率性の向上が必要不可欠であることを示唆している。

例えば、諸費用削減と補助金投入が同時に達成されるとすれば、次のような結果が想定される。原料価格をここで構築したプロトタイプモデルの設定のままとして考える。木材乾燥施設棟整備特別対策事業による補助を1/2受けたとすると、損益分岐点における製品単価は54,657円まで引き下げられる。これに合わせて、動燃費を調査対象であるA工場の水準まで引き下げ、686円とすると、損益分岐点における製品単価は51,675円にまで下がる。ここで、さらに1人分の人員削減を達成すれば、さらに51,089円まで下がり、設定単価との格差が89円になる。この格差は販売管理費を売上高の4.8%まで削減することによってゼロにすることが可能になり、持続的な生産への可能性が出てくる。動燃費については、A工場では木屑ボイラーを導入し、廃材を利用することによって低く抑えている。このような水準を達成するには、A工場のような規模の確保が必要不可欠になることは言うまでもない。

生産製品については、製品の多様化による生産性の向上は達成可能であることが分かった。今回の分析では、ヒノキの柱角を組合せたが、その場合経営が持続できることが分かった。その原因として、ヒノキの製品価格が高いことに加えて、スギよりも含水率が低く、乾燥日数が少なくてすむために製

品1m³当り動燃費が少ないと、不良品の発生率が低いことなどが考えられる。また、スギの平角と柱角との生産を想定した場合、現在価値がプラスとなり、経営が持続できるという結果も得られた。スギ平角生産の現実性を考えると以下のようになる。通常、梁には、ベイマツの無垢材や集成材の使用が増えている。スギを梁に使用する地域は限られてはいるが、十分な乾燥によって強度を得られれば、スギの利用可能性は十分にあると思われる。スギの乾燥平角は生産量が少ないため市場価格は得られなかつたが、木材流通会社への聞き取り調査によると工場渡し価格で製品1m³当り66,000～73,000円(12.0cm×12.0cm～36.0cm×長さ3m)という情報が得られた。今回の分析では、価格設定1m³当り70,000円としているため、現実的に十分利益を保てると考えられる。さらに、昨今齢級の高いスギ林が増えており、スギの中目材の活用が資源管理の観点から要求されている。スギ中目材は構造材として柱材のほか、梁・桁材としての活用が考えられ、平角としての利用に対する現実性も高いと言える。さらに、これまでスギの平角は乾燥が難しいと言われてきたが、近年は乾燥技術の向上に伴い、大断面の材であっても乾燥可能な設備が開発されてきている。このような高性能な乾燥機の導入により、製品の多様化も達成できる事項である。

結論

本研究では、既往研究及び聞き取り調査による情報に基づき乾燥材生産に対する経営プロトタイプモデルの構築を行い、持続的な生産に対する経営分析を行った。分析の結果、持続的に乾燥材生産を実現するには、費用削減などの単独項目の効率化だけでは不十分であることが分かった。また、小規模工場が多い我が国では、現在ある製材工場に乾燥設備の導入を行っても投資効果が發揮されず、採算が合わないことが予想された。このような状態では、乾燥材生産を導入する際、いくつかの工場が集まって設備投資を行い、生産規模を確保できるような供給システムを整備することが必要不可欠となろう。

生産の効率性を向上するには、製品の多様化が必要不可欠となろう。例えば、柱角だけの生産体制ではなく、原料と製品の価格差が大きい平角などの製

品も組合せた生産を行い、トータルでの経営利益を追求する体制を整えることが重要となろう。このことは、リスク回避の観点からも重要な戦略であると考えられる。しかしながら、そのようなシステムの整備や対応できる乾燥機の導入には多額の初期投資が必要となる。高齢化する我が国の森林資源を管理する際、こうした多様な製品の生産により資源整備が可能になるのであれば、政策面からのバックアップが可能であると考える。

引用文献

- Anderson, R.B., Wiedenbeck, J.K. and Ross, R.J. 1997. Nondestructive evaluation for detection of honeycomb in the sawmill: an economic analysis. *Forest Products Journal* 47(6): 53-59.
- 幡 建樹・藤掛一郎1998. 製材工場の生産性分析―国産材工場の経営戦略への接近―、*林業経済研究*44(1): 105-110.
- 中小企業庁2001. 中小企業の原価指標(平成12年度調査)、同友館、東京.
- Hodges, D.J., Anderson, W.C. and McMillin, C.W. 1990. The economic potential of CT scanners for hardwood sawmills. *Forest Products Journal* 40(3): 65-69.
- 伊神裕司・西村勝美・村田光司1995. スギ中小丸太製材の工程分析による作業改善、*木材工業*50(9): 407-412.
- 河崎弥生1996. 蒸気式乾燥、*木材工業*51(11): 541-546.
- 茅原正毅・坂井正孝1993. シベリア産エゾマツ製材工場のレイアウトと生産性、富山県林業技術センター研究報告7: 27-48.
- King, S.A. and Lewis, D.K. 2000. Manufacturing solid wood products from used utility poles: An economic feasibility study. *Forest Products Journal* 50(11/12): 69-78.
- Lin, W., Kline, D.R., Araman, P.A. and Wiedenbeck, J.K. 1995. Producing hardwood dimension parts directly from logs: An economic feasibility study. *Forest Products Journal* 45(6): 38-46.
- 西村仁雄1996. スギ柱材の乾燥―品質の揃った乾燥材生産を目指して―、*木材工業*51(11): 529-530.

信田 聰1996. 高温乾燥におけるエネルギーコストと設備費、木材工業
51(11): 560-562.

Warren, S. and Johnson, G. 1997. The economic benefits of sorting SPF lumber to
be kiln-dried on the basis of initial moisture content. Forest Products
Journal 47(3): 58-61.

(社)全国木材組合連合会2000. わかりやすい乾燥材生産の技術マニュアル、
99pp、全国木材協同組合連合会、東京。