

信州大学審査学位論文

森林の建築材とエネルギー資源としての
複合利用モデルの構築に関する研究

2014 年 9 月

早川 慶朗

目次

第1章 序論	2
1.1 研究の背景	2
1.2 研究の目的	4
1.3 本論文の構成	5
1.4 参考文献	7
第2章 木造住宅における国産材利用時の設計や調達スケジュールに関する研究	9
2.1 本章の背景と目的	9
2.1.1 本章の背景	9
2.1.2 本章の目的	9
2.1.3 既往研究	10
2.2 国内の住宅用木材流通の現状と課題	11
2.3 木造住宅の設計と木材調達	15
2.3.1 立木から製材品と現場への流れ	15
2.3.2 木造住宅に用いられる木材	15
2.3.3 木材の品質	16
2.3.4 木材の調達方法	16
2.3.5 木造住宅の設計プロセス	18
2.4 在庫費用の検討	19
2.4.1 在庫費用の検討モデル	19
2.4.2 在庫費用の試算	21
2.4.3 試算結果の考察	22
2.5 木取りと歩留まりに関する考察	23

2.5.1	木取りのパターン	23
2.5.2	段階的な木取りの方法	23
2.5.3	材積歩留まりと価値歩留まり	24
2.6	木造住宅における木材調達を含めた設計スケジュールのモデル化	25
2.6.1	プロジェクトスケジュールの概要	25
2.6.2	プロジェクトスケジュールのモデル化	25
2.6.3	スケジュールモデルの効果	28
2.6.4	新たな立木・原木の取引方法	29
2.6.5	複数プロジェクトへの展開	30
2.7	小結	31
2.8	参考文献	32
第3章	公共建築や中・大規模建築での木材利用時の発注者、設計者の支援に関する研究	37
3.1	本章の背景と目的	37
3.2	中・大規模建築における木材の調達と発注、設計について	39
3.2.1	木造住宅分野で利用される木材	39
3.2.2	中・大規模建築での木材利用の場合	41
3.3	木材を活用した設計事例の調査	44
3.4	木材利用に向けた自治体の取組への調査	50
3.5	設計と企画段階における課題の整理	52
3.6	中・大規模建築への木材利用の拡大に向けた取り組み	54
3.7	小結	55
3.8	参考文献	57

第4章 木質バイオマス燃料の供給力を向上させるための地域連携に関する考察	60
4.1 本章の背景と目的	60
4.2 木質バイオマス利用の具体地域事例調査	62
4.2.1 岡山県真庭市	62
4.2.2 岩手県葛巻町	63
4.2.3 秋田県能代市	63
4.2.4 福島県会津若松市	63
4.2.5 長野県塩尻市	64
4.2.6 地域事例調査からの考察	64
4.3 国内の森林資源供給、需要の地域モデル化	65
4.3.1 都道府県別の地域特性の分類	65
4.3.2 地域タイプに需要規模を加味した考察	68
4.4 木質バイオマス利用における課題	71
4.4.1 供給側(素材生産)の課題	71
4.4.2 需要側(燃料加工・消費)の課題	73
4.5 木質バイオマスエネルギーの計画策定プロセスの考察	75
4.5.1 素材生産者側の供給力の向上と資源情報流の整備	75
4.6 小結	81
4.7 参考文献	83
第5章 木材のカスケード利用に向けた可搬型3次元レーザスキャナによる資源量算定	86
5.1 本章の背景と目的	86
5.2 調査及び計測方法	88

5.3	スキャナによる計測及び実測結果.....	91
5.3.1	地形情報	91
5.3.2	立木の情報.....	92
5.3.3	伐採および全長計測、枝葉重量計測、含水率の計測の結果.....	94
5.4	計測精度及び樹冠重量との相関に基づく検証.....	96
5.4.1	胸高直径と樹高の精度誤差の評価.....	96
5.4.2	樹冠部（枝葉・林地残材）の重量予測精度の評価.....	98
5.4.3	スキャナ 8 ポイント全部を使った回帰分析による評価.....	98
5.4.4	7 本の立木近傍のスキャナ 4 箇所を用いた回帰分析による評価.....	100
5.5	カスケード利用や木材調達への可搬型 3 次元スキャナの効果....	103
5.6	小結	105
5.7	参考文献	107
第 6 章	結論「森林の建築材とエネルギー資源としての複合利用モデルの構築」	110
	参考文献リスト	114
	既往発表論文一覧.....	123
	謝辞	125

第 1 章

「序論」

- 1.1 研究背景
- 1.2 研究の目的
- 1.3 本論文の構成
- 1.4 参考文献

第1章 序論

1.1 研究の背景

再生可能な資源・エネルギー源である森林や木材の持続的な活用について、我が国においても政府、地方自治体をあげての取組みが本格化しつつある。日本の国土の3分の2、約2500万haを占める森林を持続的に活用していくためには、建築材としての利用、エネルギー資源としての利用を複合的に組合せる必要がある。しかしながら、国内の森林・林業は、プレカットの普及、集成材利用の拡大、在来木造以外の構法の普及など、木造建築の構造や様式の変化、地域での森林・木材の利用方法や利用主体の変化に対して、十分な対応ができてこなかった。また1970年以降の円高を伴った国際貿易の中で、国内林業のコスト競争力の低下から、1960~70年代に、最大約5,000万m³供給されてきた国産材は、2011年では1,937万m³に留まる。現在、我が国では毎年約8,000万m³ずつ森林蓄積量が増加しているが、国内の森林のポテンシャルを十分生かされてない状況である。

これらの課題に対応すべく、政府は2001年に制定された「森林・林業基本法」の「森林の有する多面的機能の発揮」と「林業の持続的かつ健全な発展」の理念のもと、「森林・林業基本計画」に基づいて様々な施策が実施されている。2009年12月に農林水産省は、「森林・林業再生プラン」を策定し、木材自給率50%を目標に、施業の集約化や路網整備、人材育成、効率的な加工・流通体制の整備を提言した。具体策として、「森林経営計画制度」の導入や、木材需要の喚起のために「公共建築物等における木材の利用促進に関する法律」の制定や、「再生可能エネルギー固定買取制度（FIT）」にて、木質バイオマスを用いた発電による電気を対象とした。これらのように、政府の木材利用推進の支援策は、年々拡大している。¹⁻¹⁾

学術面では、新たな政策導入を踏まえ、森林活用に向けた森林経営¹⁻²⁾⁻⁶⁾や施業の効率化¹⁻⁷⁾⁻⁹⁾等について林学側にて研究が進められている。また建築物への木材利用については、構造解析¹⁻¹⁰⁾や耐火性能¹⁻¹¹⁾などを中心に、建築学側で研究が進められている。木質バイオマスのエネルギー利用¹⁻¹²⁾⁻¹³⁾についても、FIT制度の導入に伴い、活用等に関する研究が進められている。森林分野、建築分野、エネルギー利用分野の個別分野毎に研究は進められているが、森林を複合的に利用するために、森林（川上）から加工・製材（川中）、建築材、エネルギー

一燃料（川下）まで、産業システム全体を一気通貫した流通やロジスティクス、サプライチェーンマネジメントという視点での研究は、ほとんど実施されていない。

森林利用の拡大に向けて、林業側が経済的に持続可能な経営をするためには、最も付加価値の高くなる建築材利用を前提とし、カスケード利用することが重要であるが、建築用木材の調達ユーザーである設計者、施工者からすると、「いつ」、「どこで」、「どのように」、「どのような材が」、「いくら」で調達可能なのかは、不明瞭なままである。そのため、木造住宅分野での地域材の利用は、容易ではない。同様に中・大規模建築での木材利用も容易ではない。同じく、FITをはじめとするエネルギー利用においても、安定的に燃料を調達できるか不明瞭なため、計画から実施へ進める段階での障壁となっている。

これらの課題の根底には、森林資源情報から木材在庫情報、建築側の調達情報、地域のエネルギー需要情報を、同じレイヤー上で共有し管理するシステムの重要性が認識されていないことがある。特に供給側である森林側と需要側である建築側、エネルギー利用側とで、緊密な需給情報の連携がとれていないのが現状である。

以上から、森林分野から建築分野、エネルギー利用分野を、調達や情報といった視点から、俯瞰的に課題を調査し、解決策を探ることが求められている。

1.2 研究の目的

本研究は、森林を持続的に活用していくために、カスケード利用を前提とした建築材とエネルギー資源の複合利用モデルの構築を目的とする。

川上と川下の情報連携に着目し、建築材利用の視点、エネルギー資源利用の視点、そしてそれらをつなぎ合わせる情報連携の視点の3つの視点から研究を実施することで、今後さらに森林利用を拡大し、経済性を持つ産業システムにするための課題を抽出し、課題の解決策を考察した。

建築材利用では、木造住宅分野での地産地消をベースにした国産木材利用を対象とした。また従来、鉄骨造や鉄筋コンクリート造が中心であった中・大規模建築における木材利用推進を対象とした。その上で、発注者、設計者が木材を選定し設計・調達する際の情報やスケジューリングについて、実態調査を実施し、あるべき設計・調達プロセスの姿について考察を行った。

エネルギー資源利用については、森林資源利用政策とエネルギー利用政策を立案、推進・実施する者が、地域特性を踏まえた木質バイオマスの利用計画を策定するプロセスの明確化及び、事業の実現手法について考察した。

次に、川上から川下まで情報連携するために必要な森林資源量を、効率よく把握する手法として、可搬型3次元レーザスキャナの実用性について検証し、資源情報のデジタル化、データベース化による森林資源のカスケード利用や建築材調達への応用可能性を検証した。

上記の3つの視点から、森林を建築材から、パルプ、チップ、そしてバイオマス燃料として総合的な利用をしていくための研究を実施し、地域の需要（建築材・エネルギー利用等）と供給のバランスをとりながら森林を持続的に活用、経営していくためのモデル化を行った。

1.3 本論文の構成

本論文は、全 6 章からなり、図 1-1 の構成となる。第 1 章の序論から始まり、建築材に焦点をおいた第 2 章、第 3 章、エネルギー資源（木質バイオマス）に焦点をおいた第 4 章、情報に焦点を置いた第 5 章、そして第 6 章の結論となる。

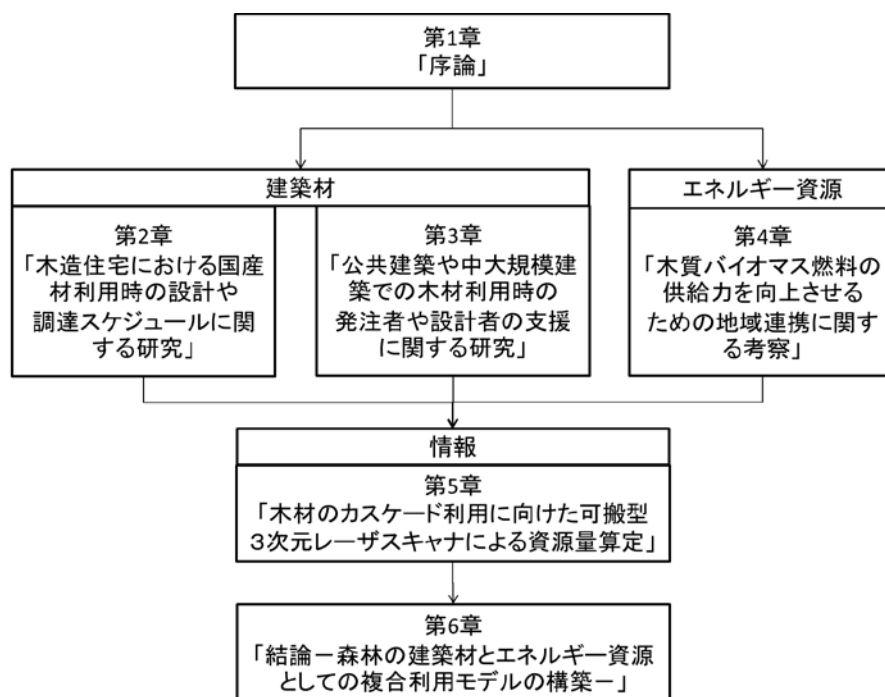


図 1-1 本論文の構成

各章毎に具体的に述べると、第 1 章「序論」では、森林の建築材とエネルギー資源としての複合利用モデルの構築に関する研究を行う背景や、本研究の目的を明らかにしている。そして本論文の構成について述べている。

第 2 章「木造住宅における国産材利用時の設計や調達スケジュールに関する研究」では、木造住宅分野において地産地消をベースにした国産木材の利用を目的として、研究を実施した。流通システムを、情報流、物流、商流から分析し、在庫費用とリードタイムの関係を明示した。そして木取りの効率化の観点から、所要の設計情報の確定時期を分析し、木材調達と連動したスケジュールについて考察した。

第 3 章「公共建築や中・大規模建築での木材利用時の発注者や設計者の支援に関する研究」では、従来、鉄骨造や鉄筋コンクリート造が中心であった中・

大規模建築における木材利用推進を対象とし、研究を実施した。公共建築や、中・大規模建築における木造建築の設計や木材調達に関する具体事例の調査をもとに、企画・設計段階や調達段階での課題を調査した。そして今後の公共建築や、中・大規模建築での木材利用の拡大や、木造建築の普及のための課題を解決するために、地方公共団体の発注者への支援や木材供給側が整備すべき情報、設計者支援についての有用な取組みを考察した。

第4章「木質バイオマス燃料の供給力を向上させるための地域連携に関する考察」では、エネルギー資源として利用する際の計画策定プロセスについて、考察した。大量の木質バイオマス燃料を安定的に供給できる地域は限られているため、林地残材の活用が不可欠であるが、林業側の生産能力など、地域の実状に合わせた計画手法については、明確にされていない。そこで、森林資源利用政策とエネルギー利用政策を立案・推進・実施する者が活用可能な、策定プロセスを提案し、事業の実現手法について考察した。

第5章「木材のカスケード利用に向けた可搬型3次元レーザスキャナによる資源量算定」では、森林経営や木材流通をする際に、共有する森林資源情報をデジタル化する手段として、可搬型3次元レーザスキャナの実用性について検証した。国産材の大半を占めるスギを対象にし、必要な森林資源量を把握する際の効率性や、計測データを用いることによる、森林資源のカスケード利用や建築材調達への応用可能性を検証している。

第6章「結論 ―森林の建築材とエネルギー資源としての複合利用モデルの構築―」では、本研究成果の結論とともに今後の課題を示している。

1.4 参考文献

- 1-1) 林野庁：平成 24 年度 森林・林業白書,平成 25 年 6 月 7 日
- 1-2) 小島孝文：森林・林業再生プランの目指すもの-森林計画制度を中心として-,林業経済研究 59 (1) ,36-44,2013.03
- 1-3) 牧田邦宏：森林・林業再生プランにおける人材育成と日本型フォレスターの意味,林業経済研究 59 (1) ,27-35,2013.03
- 1-4) 滋賀和人：現代日本の森林管理と制度・政策研究-林野行政における経路依存性と森林経営に関する比較研究, 林業経済研究 59 (1) ,3-14,2013-03
- 1-5) 佐藤宣子：「森林・林業再生プラン」の政策形成・実行段階における山村の位置付け,林業経済研究 59 (1) ,15-26,2013.3
- 1-6) 亀田則男,平沢健次,元島俊彦：情報機器を活用した森林経営計画制度対応と林業経営,森林利用学会誌 28(1) ,79-84,2013.1
- 1-7) 今井辰雄：列状間伐施業方法の検討：福島県内の事例について,福島県林業研究センター研究報告(46),61-68,2013.8
- 1-8) 興儀兼三,佐野俊和：平成 24 年度林業機械化協会助成課題 欧州型森林盛業と林業用トラクタ K175 の生産性評価,機械化林業 (720) ,7-15,2013.11
- 1-9) 村山浩久：現場ネットワーク低コスト施業への高性能林業機械の導入-美山町森林組合,機械化林業 (723) ,19-22,2014.2
- 1-10) 中層大規模木造設計情報整備委員会：中層大規模木造 構造設計データ集,2013.7
- 1-11) 国土技術政策総合研究所：木造 3 階建て学校の実大火災実験（本実験）の結果概要,2013.12
- 1-12) 阿部勲：わが国の木質バイオマス利用の動向と課題,森林技術 (862) ,4-8,2014.1
- 1-13) 曾月萌, 近藤加代子, 美濃輪智朗：木質バイオマス資源の収集状況に影響する要因分析,環境科学会誌,Vol.26, No.1,41-62,2013.1

第 2 章

「木造住宅における国産材利用時の設計や 調達スケジュールに関する研究」

- 2.1 本章の背景と目的
- 2.2 国内の住宅用木材流通の現状と課題
- 2.3 木造住宅の設計と木材調達
- 2.4 在庫費用の検討
- 2.5 木取りと歩留まりに関する考察
- 2.6 木造住宅における木材調達を含めた
設計スケジュールのモデル化
- 2.7 小結
- 2.8 参考文献

第2章 木造住宅における国産材利用時の設計や調達スケジュールに関する研究

2.1 本章の背景と目的

2.1.1 本章の背景

日本の国土の約 2/3 にあたる 2,512 万 ha は森林であるが、平成 24 年の木材自給率は 27.9%にとどまっている²⁻¹⁾。国産材の木材としての消費が停滞しているため、林業経営が産業として成立せず、国内の人工林は維持管理が放棄されつつある²⁻²⁾。

国産材の利用が進まない原因の一つは、今や複雑すぎる流通システムにある。流通システムが過剰に多段階であるため、各主体の関係が希薄化しており、流通の基本要素である情報流・物流・商流が非合理的な状態におかれている。例えば、木材供給者と住宅設計者との間の情報流が滞り、それが無駄な在庫の発生、歩留まりの悪い木取り、規格寸法を無視した木拾いなどの一因となっている。

2.1.2 本章の目的

本章は流通システムの中でも、在来軸組構法による木造住宅を対象にして、設計情報と木材の生産情報の情報流に焦点を絞る。そして、リードタイムの短縮、各流通段階での在庫の削減、設計と製材の同期化による木取りの効率化などを目的として、スケジューリングモデルを開発する。開発過程では、次の 2 点を検討した。

- ① 木材が立木から製材品を経て、木造住宅へと至る過程を調査分析に基づいて整理し、各調達方法の長短を明示する。
- ② 在庫と生産リードタイムの関係から、在庫費用について考察し、在庫方法や最適な在庫点を検証する。

本章では、まず、地域で生産される木材（以下、地域産材とする）の従来の流通の実態をフィールド調査²⁻³⁾⁻⁵⁾によって把握し、その問題点を抽出する。そして情報流に注目し、どの時期にどのような情報が必要とされるかを明らかにする。さらに、具体的な実プロジェクトの設計事例を題材に、設計と製材が連動した木取りを行うことによる歩留まりの改善や、木材コストの低減を一定条件下で試算する。

2.1.3 既往研究

地域産材活用の取り組みは、各地で始まっている。例えば、京都府は、京都府産木材認証制度²⁻⁶⁾を導入し、輸送時に排出される二酸化炭素量を数値化することで、地域産材の利用を促進している。また、宮崎県では、行政補助によって価格を圧縮し、宮崎県産材のスギ材を日本全国へ出荷している。地域産材を用いた木造住宅建設に低利融資を行う自治体もある。

農学分野でも、これまで林業や原木市場、製材業者などの流通に関して多くの研究がある²⁻⁷⁾⁻¹⁹⁾。しかし、現在に至る建築構造方式の変化や流通システムの陳腐化への解は見いだせていない。現時点の取り組みの多くは、林業や製材業者の大規模化によるコストダウンを意図するものである。また、工場設備の全自動ライン化、大型乾燥機の導入など、ハード面の改革が中心である。加えて、これらは生産者側の視点でのシステム改善であり、木造住宅の設計現場や、大工・工務店の実情、たとえば設計情報がどのように製材業者側や山林所有者側へ伝わっているかを把握した上で進められているわけではない。

一方、建築分野でも早くから問題意識は提起されていた。²⁻²⁰⁾⁻²³⁾国産材や地域産材を利用する試みや研究も全国各地で報告されるようになってきた。²⁻²⁰⁾⁻²⁷⁾近年の事例を見ると、木と家の会²⁻²⁸⁾は、地域産材の標準寸法を定め、ストックへの対応や、設計の簡略化などを試みている。中村、野城ら²⁻²⁹⁾は、立木や製材品に電子タグを取り付けて、最終消費者がトレーサビリティ情報を検証・追跡可能になるように、実証実験を行っている。それでも、住宅の設計情報と木取りの対応、生産リードタイムの評価などを総合的に分析、研究したものは少ない。

2.2 国内の住宅用木材流通の現状と課題

近年の木材流通の大きな変化は、プレカット工法の普及と、工期の短期化要求である。その結果、木材は人工乾燥が主流となり、無垢材から集成材への需要転換が高まった。既往研究²⁻²²⁾⁻²³⁾⁻²⁵⁾⁻²⁸⁾にあるように、木材流通の実態は全国各地で同様の課題を抱えている。以下では京都地域を対象とした調査結果等を示すが、この状況は各地にも一般的に該当するものである。

京都地域の現在の地域産材流通システムを、情報流・物流・商流で分析したものを図 2-1 に示す。かつては在庫調整機能、品質リスク回避機能、決済機能など、卸売・小売を含む多段階性に一定の合理性が存在していた²⁻⁷⁾。しかし現在は、多段階性は地域産材のコストの高どまりの一因とみなされている。流通が多段階となることで、川上側と川下側の主体間で、情報が適切に流れにくくなっている。その結果、個別の地域産材の品質や価格に関する的確な情報が、最終消費者や設計者に届かなくなっている。また、逆に山林所有者や製材所など木材の生産側にも最終消費者のニーズが届かないため、地域産材の流通形態は、最終消費者を向いたマーケットイン型の流通形態に移行できていない。

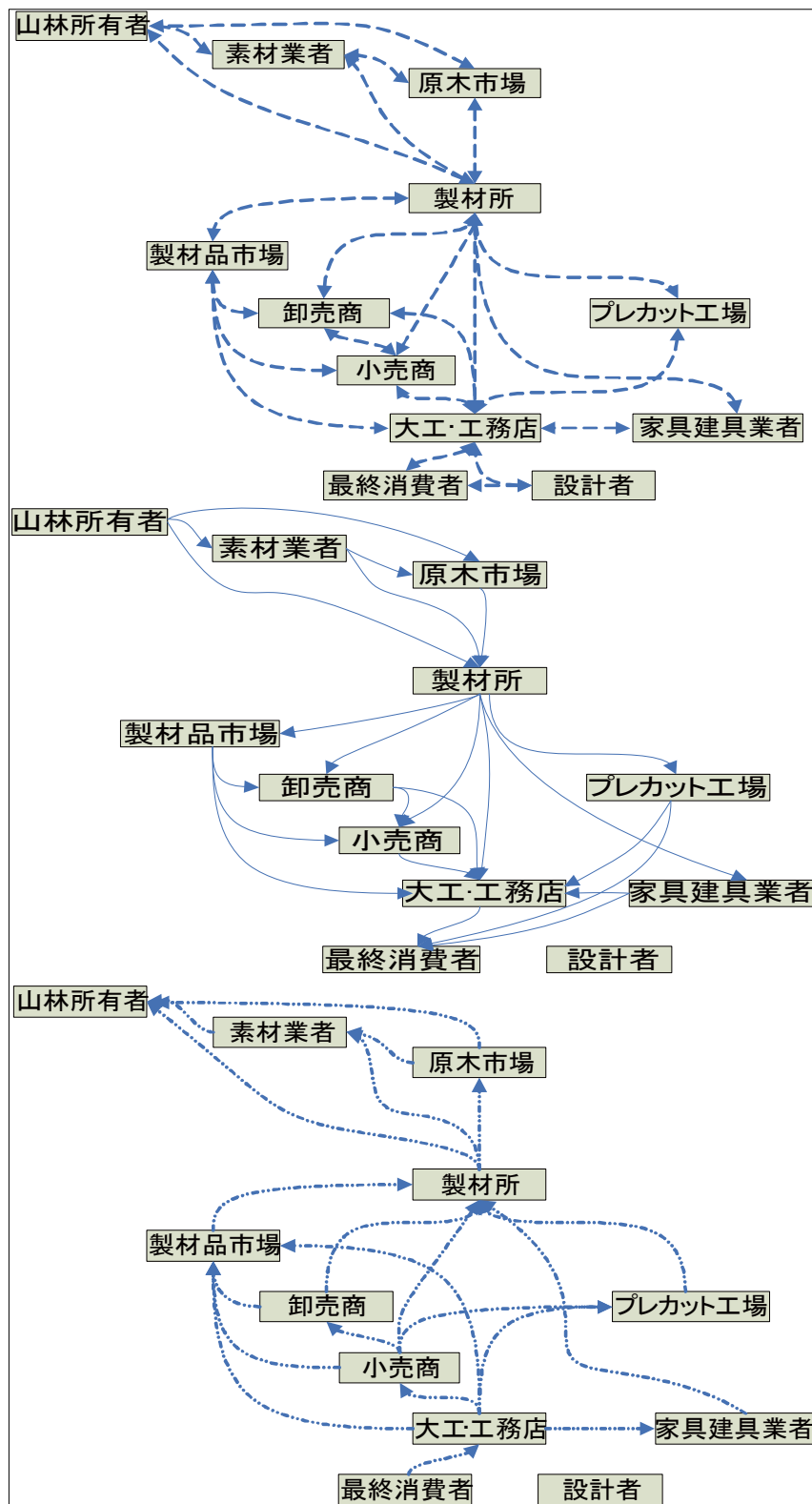


図 2-1 木材流通における情報流・物流・商流（京都地域の例）

既存の流通システムにおける課題を列挙すると以下となる。

- ① 立木のデータベースの作成
- ② 原木の安定供給
- ③ 原木や製材品の在庫や価格情報の共有
- ④ 長尺材など規格外の製材品の供給
- ⑤ 並材や欠点材の活用
- ⑥ 製材の合理化・歩留まりの向上
- ⑦ 製材品の規格化と定価表示
- ⑧ 品質・性能の明示と確保
- ⑨ 商流・物流・情報流の再編と整理
- ⑩ 乾燥材の供給

本章では、設計と木材調達のスケジューリングモデルを構築することで、これらのうち、主に③⑥⑨の解決を目指す。この分析で、木材流通において欠かせない主体として明らかであるのは、山林所有者、製材業者、大工・工務店、建具業者である。本章では、今後は木造住宅に設計者の関与が増えるとの仮説から、山林所有者、製材業者、大工・工務店、設計者、そして建具業者の5つの主体を中心にした流通モデルを提供して検討を進める。また、これらの主体として大規模な業者や組織を対象とせず、中小の業者や組織間の連携を対象とする。中小の組織による情報の連携によって、柔軟性がある木材流通システムを構築する。

図 2-2 は従来の木材発注モデルの一例である。本章ではこれを集約し、図 2-3 のように大工・工務店と建具業者が同一の製材業者に全ての木材を発注するような、新たなモデルで考察する。

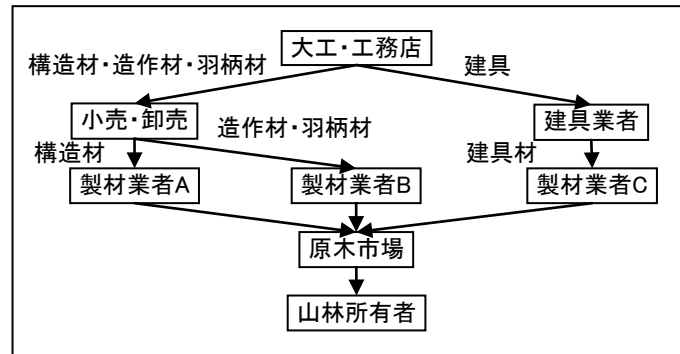


図 2-2 従来の木材発注モデル（京都地域の例）

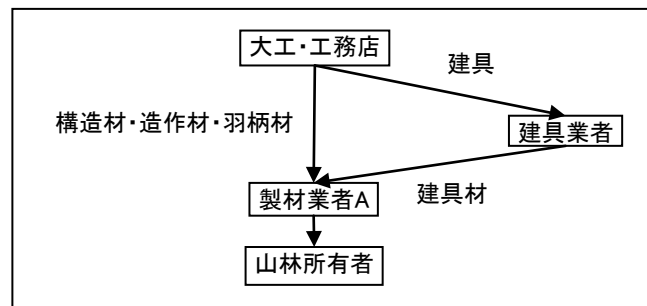


図 2-3 新たな木材発注モデル

2.3 木造住宅の設計と木材調達

2.3.1 立木から製材品と現場への流れ

木材は、図 2-4 に示すように、立木から原木、製材品へと加工される。伐採された立木は、一定の長さ（3m, 4m, 6m など）に玉伐りされ、原木となる。この玉伐りによって、部材の長さが定まる。規格外の長尺材などは、玉伐りの段階で需要情報を作業側に送っておく必要がある。原木は、長さ、太さ、質によって選別される。原木の製材が完了し各種の製材品が生産されると、断面寸法が定まる。製材品は、プレカット工場や大工・工務店の手に渡り、仕口が加工される。加工された木材は、現場で組み上げられ、住宅となる。建具材は、建具業者の手に渡り、建具に加工される。

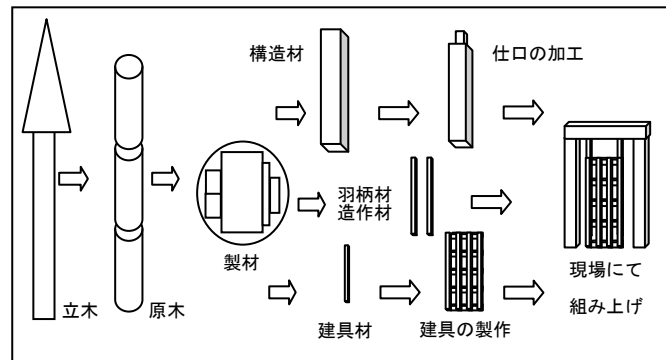


図 2-4 立木から製材品と現場への流れ

2.3.2 木造住宅に用いられる木材

木造住宅に用いられる木材は、構造材・羽柄材・造作材・建具材の4つに分類することができる。それぞれの特徴を整理する。

(1) 構造材

構造材は、柱や梁、土台などに用いられる。柱材は、通し柱を除いて3m材が中心となる。通常の柱であれば大径木を必要としない。また、柱材は十分な乾燥が求められる。梁材は、スパンや荷重条件に左右されるが、長尺材や大径木が必要となることが多い。

(2) 羽柄材

羽柄材は、板類、垂木などの造作に用いられる。原木の歩留まりを向上させるために、柱材や梁材などを挽いた際の背板などを無駄なく羽柄材などに製材し、木材コストの低減につなげる。

(3) 造作材

造作材（仕上材）は、床材や鴨居、敷居などの枠材などである。構造材や羽柄材より、さらに良質の材が必要である。また近年の嗜好の変化によって節の有無は重視されなくなっている。

(4) 家具・建具材

建具は使用中のソリやネジレを防ぐ必要がある。ゆえに建具材は、住宅に使われる木材のなかで、柂目かつ目が細かい、最も良質の材となる。

2.3.3 木材の品質

木材の品質については、評価軸や基準が一定しておらず、それが木材流通側と最終消費者の意思疎通に、ずれを生じさせている。原木市場や製材品市場では、加工前の状態で価格が設定されており、加工して初めて判明するような品質上の問題は、加工後の商品の価格へリスク転嫁されてきた。供給側と需要側での品質評価のずれは、価格の妥当性への疑問や、不信感へとつながっている。

木材の評価軸として考えられるのは、①樹種（希少性を含む）、②強度、③乾燥の度合い・乾燥方法、④年輪の詰まり具合、⑤反り・捩れ・傷、⑥色味（赤身・白太）、⑦節の有無、⑧伐り旬などである。これらをもとに、構造材、羽柄材、造作材、建具材で、求められる品質と適正価格を、消費者に明示する必要がある。

2.3.4 木材の調達方法

設計者や施主が中心となって、木材の調達に関わっていく方法は図 2-5 に示すように、①従来どおり製材品から調達する、②原木から調達する、③立木から調達する、の3つである。立木や原木からの調達では、製材や乾燥を行うためにリードタイムが長く他、品質のリスクがある。しかし、用途の自由度や、歩留まりの向上などのメリットもある。設計側から木材生産側へ適切なタイミングで、適切な情報を送ることで、立木や原木からの調達でも、リードタイムを短くし、リスクの低減を図ることが可能である。

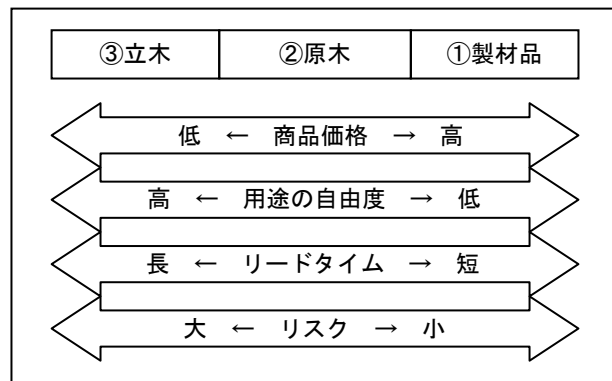


図 2-5 各段階からの木材調達の特徴

2.3.5 木造住宅の設計プロセス

木造住宅の設計は、通常の建築設計と同じく、企画、基本設計の開始、基本設計、詳細設計というプロセスで進行する。木造住宅の設計に特有のものは、伏図と、木拾い書である。伏図は、構造躯体の架構を示しており、それぞれの部材の寸法や接合部の仕口などを記す。木拾い書は、住宅全体に使用する木材の寸法や数量を拾い出したものである。大工・工務店は、木拾い書をもとに木材の発注を行う。プロジェクトの早期に伏図が確定し、正確な木拾いをできれば、木材調達のリードタイムを確保することができる。そのためには、設計時に考慮すべき情報を、木材供給側から提供しておくことも重要である。

2.4 在庫費用の検討

2.4.1 在庫費用の検討モデル

流通システムを縮約すると、需要側に木材の在庫が発生することがある。ここでは、設計者側のリードタイムや、乾燥方法の違いによって生じる総在庫費用の変動を試算する。ここでは、同じ寸法での木材使用量の最も多い部位である柱材を対象としているが、このモデルの考え方はその他の部位にも拡張可能である。

図 2-6 に示すように、流通は、山林所有者 (M)、製材所 (S)、大工・工務店 (C) の 3 段階とする。

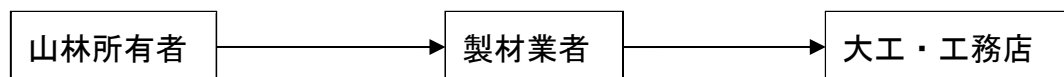


図 2-6 在庫費用検討のための木材流通モデル

木材は、天然乾燥材 (t)、人工乾燥材 (j)、グリーン材 (g) の 3 つの場合を考察する。

① 木材需要量

木材需要量は、毎月住宅 1 (± 1) 戸分とする。1 戸あたり、3m×4 寸角のスギ材を 100 本使用すると仮定する。需要量の標準偏差を 100 とし、正規分布に従うものとする。なお、柱 1 本あたりの材積は 0.0432 m³であり、100 本では 4.32 m³となる。

② 木材価格

試算に用いる価格は、スギ材で、以下のように想定する。

M : 原木価格 15,000 円 / m³

S : S_t 70,000 円 / m³, S_j 65,000 円 / m³, S_g 55,000 円 / m³

C : C_t 77,000 円 / m³, C_j 71,500 円 / m³, C_g 60,500 円 / m³

大工・工務店は、製材業者の価格に 10% の管理費を加えるとした。

③ 品切れ費用

木材の品切れを生じた場合は、市販品から小売価格で補充することとする。
小売価格は製材所出荷価格に、卸売マージン 10%、小売マージン 30%を加えたものとする。

C_t 4,300 円／本, C_j 4,000 円／本, C_g 3,400 円／本

④ 在庫費用

在庫費用＝在庫保管比率×品目の価値×在庫量 である。

在庫保管比率は、利子率、消耗率などから 5%とする。品目の価値は、各在庫地点におけるスギ材の単価とする。

M : 35 円／本

$S : S_t$ 150 円／本, S_j 140 円／本, S_g 120 円／本

$C : C_t$ 165 円／本, C_j 155 円／本, C_g 130 円／本

⑤ 臨界率

臨界率＝品切れ費用／（品切れ費用＋在庫費用） である。

$C : C_t$, 96.30% 正規分布表より、安全係数は 1.79

C_j , 96.27% 正規分布表より、安全係数は 1.78

C_g , 96.32% 正規分布表より、安全係数は 1.79

⑥ 生産にかかるリードタイム

伐り旬（9月～4月）には 1 ヶ月とする。それ以外の時期には出荷できないので、5月は 5 ヶ月、6月は 4 ヶ月、7月は 3 ヶ月、8月は 2 ヶ月となり、年間平均では M : 1.8 ヶ月 となる。

製材 1 回目 0.25 ヶ月、製材 2 回目 0.25 ヶ月とし、乾燥期間によって、以下のように設定する。

$S : S_t$ 3.5 ヶ月, S_j 1.5 ヶ月, S_g 0.25 ヶ月（製材 1 回目のみ）

大工・工務店では、材を受け取ってから現場で施工するまでの期間として C : 1 ヶ月 とする。

2.4.2 在庫費用の試算

在庫費用の計算では、直列段階モデル²⁻³⁰⁾を用いる。

$$\min \sum_{i=1}^n h_i I_i \quad (1)$$

$$I_i = D(L_{i+1} + T_i - L_i) - (L_{i+1} + T_i - L_i)\mu \quad (2)$$

$$\forall i = 1, \dots, n$$

$$D(t) = \mu t + z\sigma\sqrt{t} \quad (3)$$

各変数は、以下の通りである。

h_i : i における在庫費用 D : 1ヶ月当たりの需要量

I_i : i における安全在庫量 μ : 需要の平均値

T_i : i における生産時間 z : 安全係数

L_i : i における保証リード期間 σ : 標準偏差

なお、保証リード期間とは、発注を受けてから納入するまでの期間である。

試算では、大工・工務店の在庫は0とし、山林所有者は製材業者へ保証リード期間0で供給すると仮定した。

製材業者の保証リード期間を変化させたときの総在庫費用の試算結果を図2-7に示す。

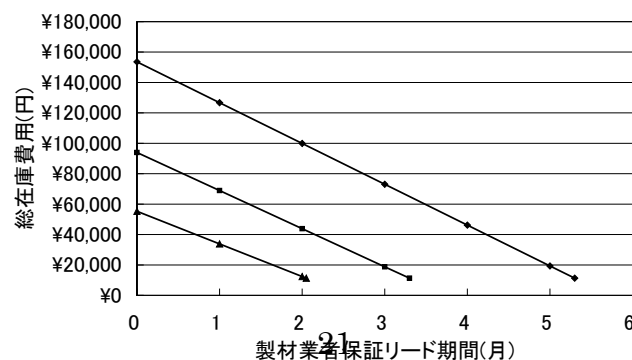


図 2-7 在庫費用の試算結果

2.4.3 試算結果の考察

乾燥方法が総在庫費用へ与える影響が大きいことが明らかとなった。グリーン材は、乾燥を行わずにすむため生産リードタイムが短くなり、明らかに総在庫費用が安くなるが、乾燥材の供給が課題となっている現状に鑑み、グリーン材の供給は、品質確保の観点から避けるべきである。

人工乾燥の導入による乾燥期間の短縮は、在庫費用に与える影響が非常に大きく、人工乾燥が広く普及している実態とも合致する。よって、品質に悪影響を及ぼしにくい中低温の人工乾燥であれば、積極的に導入することも有効な策である。

天然乾燥、人工乾燥のいずれの場合も、木材流通において乾燥の時間が最も長い。製材業者に保証リード期間を与えることは、木材の乾燥工程の時間を確保することと同義である。

天然乾燥の場合、保証リード期間を約 6 ヶ月確保すれば製材業者の在庫を 0 にできる。現実的には発注から納入まで約 6 ヶ月待てる場合は少ないが、可能な限り長い保証リード期間を確保するには、大工・工務店もしくは設計者側から、木材に関する情報を段階的に製材業者側に送るシステムの構築が必要となる。つまり設計と製材の同期化を行う必要がある。

2.5 木取りと歩留まりに関する考察

2.5.1 木取りのパターン

原木から種々の製材品を採材することを木取りという。木取りの方法については、樹種毎に文献²⁻³¹⁾⁻⁴⁸⁾等にも報告されているが、図 2-8 にその代表例を示す。図 2-8 (f) は、原木から様々な種類の材をとる場合の例である。原木の片側だけが無節だとすると、無節側で建具材をとり、節が出る側からは構造材や板材をとる。文献²⁻⁴⁹⁾⁻⁵¹⁾等に報告された最適化手法に加え、建具材も含め住宅一戸分の木材の発注が製材業者に包括的に行われると、より効率的な木取りが可能となる。

原木の品質は一定でないため、一本一本の状態、節の有無、アテや割れの入り方などを考慮しながら、製材を行う。歩留まりは、通常の製材品で 50~60%、建具材となると 40%以下となる。

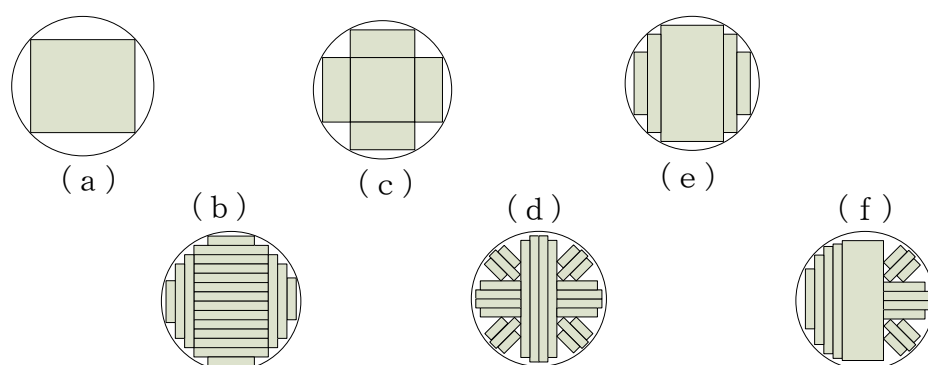


図 2-8 木取りの代表的なパターン

2.5.2 段階的な木取りの方法

全ての設計情報が確定していれば、それに合わせて木取りを最適化することが理論的には可能である。しかし、現実には設計情報が完全に確定していない状態で、木取りを効率化させねばならない。それには、乾燥に時間を要する構造材を、まず確定させる必要がある。その他の材に関しては、木拾いが確定しておらずとも、板材として木取りをしておくことで、暫定的な木取りが可能となる。その後の木拾いの確定情報にあわせて、板材を加工していく。

2.5.3 材積歩留まりと価値歩留まり

製材業者が特定の材種（柱、羽柄、板）のみを生産する専門化や、流通の多段階化によって、発注が分散化し、歩留まりが低下する傾向にある。構造材と建具材が同時に発注されると、図 2-8（f）のような木取りが可能となり、建具材が安価に供給できる。また原木の価値歩留まりが高まることで、消費者に安価な材を提供しつつ、原価割れが常態化している原木価格を引き上げることが可能となり、再造林や維持管理への投資余力を引き出し、持続的な森林の活用に貢献することとなる。

2.6 木造住宅における木材調達を含めた設計スケジュールのモデル化

2.6.1 プロジェクトスケジュールの概要

従来のプロジェクトでは、図 2-9 のモデル A のように在庫を保有することで、木材調達に対応してきた。このモデルでは、木材生産時に設計情報が届かないために、在庫の肥大化や歩留まりの低下が起きている。在庫を減らし、受注生産に近づけるには、モデル B も考えられる。しかし設計完了後に、はじめて製材品の生産に取り掛かるため、プロジェクトの期間が長くなる。そこで、本研究ではモデル C のように、設計段階から段階的に木材生産側へ情報を送ることで、プロジェクトの期間の長期化を防止しつつ、在庫を減らし受注生産に近づけるプロジェクトスケジュールのモデル化を行う。

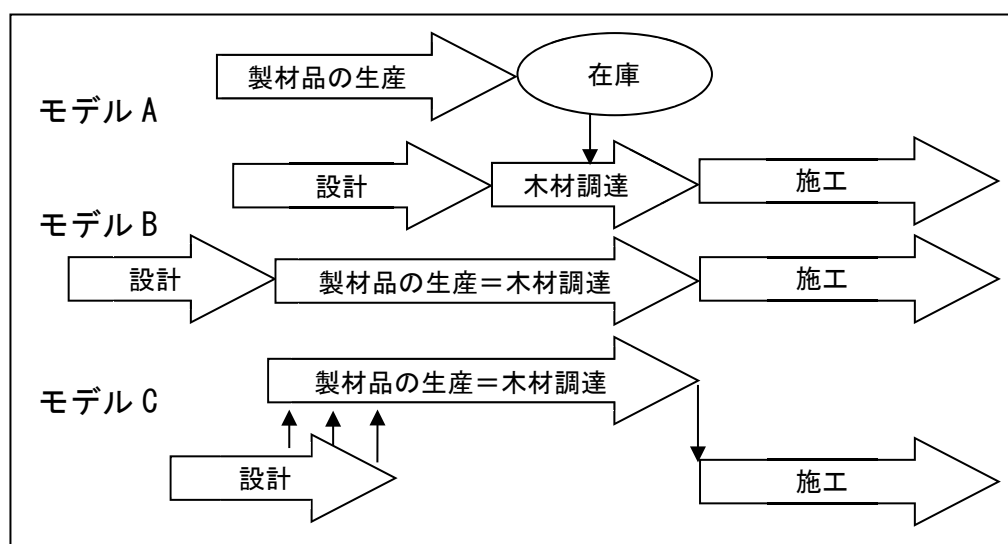


図 2-9 スケジュールモデルの概念

2.6.2 プロジェクトスケジュールのモデル化

立木から調達し、設計側と連動したプロジェクトスケジュールのモデルを図 2-10 に提案する。およその住宅の規模が把握できれば、必要となる原木量が概算できる。この時点で山林所有者・素材業者は立木の伐採を行う。玉伐りを行うために、通し柱や、大スパンの材の本数を確定させる。基本設計の完了時には、構造材の確定を行い、伏図を確定させる。伏図の確定によって、原木の径と長さの関係が確定するので、これに合わせて1回目の製材を行う。1回目の製材後、木材を乾燥させている期間に、詳細設計を行う。詳細設計が完了する

と、住宅全体の木拾い書が完成する。その木拾いをもとに2回目の製材を行い、必要な製材品を揃える。

図 2-11 は、より詳細なスケジュールモデルである。

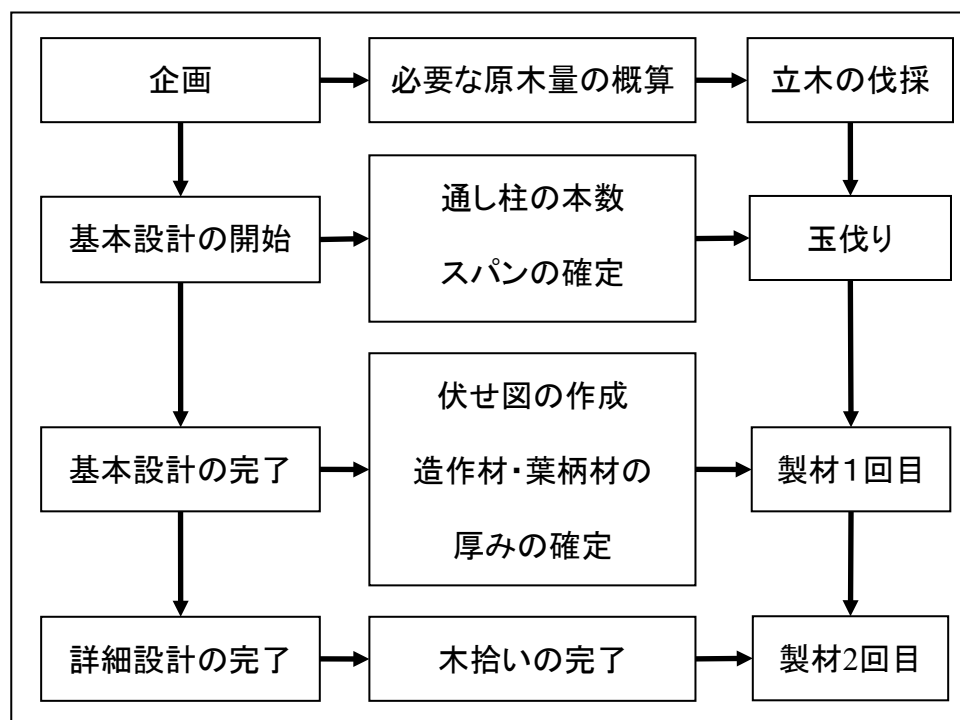


図 2-10 スケジュールモデルの概要

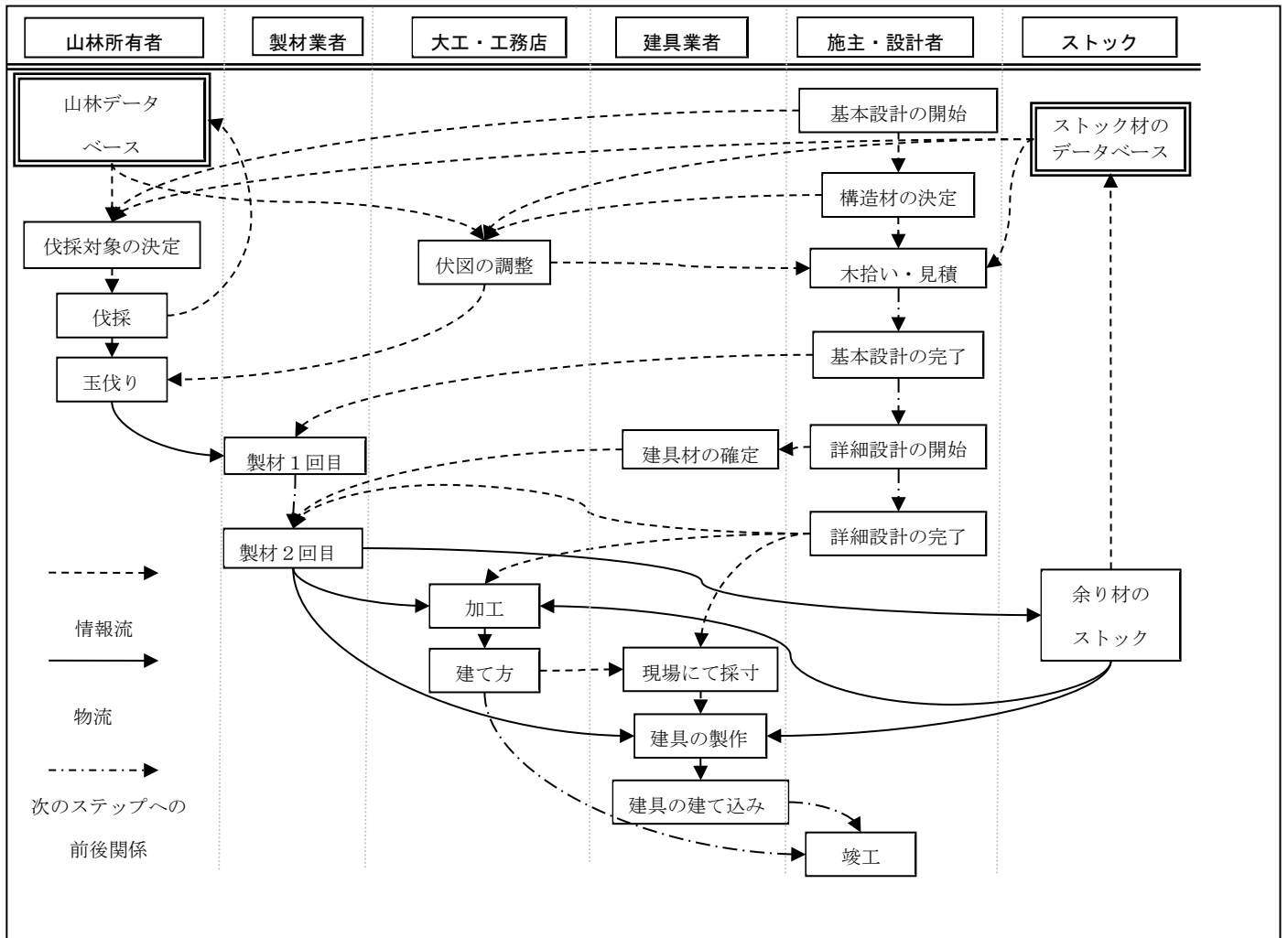


図 2-11 詳細なプロジェクトスケジュールモデル

2.6.3 スケジュールモデルの効果

次に、開発したスケジュールモデルの効果を試算する。試算は、京都地域で建設された建築面積 20 坪、延床面積 40 坪の 2 階建木造住宅の実プロジェクトの数量データに基づいている。

この種の事例における木材の歩留まりは、通常 50%とされている。このプロジェクトでは、1 回目の製材時に約 70%の歩留まりを記録したが、仕上げ挽き後の最終的な歩留まりは 60%と推計される。このとき、表 2-1 に示すように、製材品換算で約 30 m³の木材を使用したことから、20 万円の原木代金の削減効果があった。

図 2-8 (f) の木取りができた場合は、材料単価の高い建具材の費用削減も可能となる。また、木材の供給側に十分なリードタイムを確保することで、在庫の削減が行えると同時に、乾燥材を確実に供給することができ、製材品の品質が向上する。また立木から調達することで、森林まで遡ったトレーサビリティが可能となる。

表 2-1 原木代金の削減効果

	製材品	歩留まり	必要な原木	原木単価	原木代金
前	30 m ³	50%	60 m ³	2 万円/m ³	120 万円
後	30 m ³	60%	50 m ³	2 万円/m ³	100 万円

2.6.4 新たな立木・原木の取引方法

ここまでの考察では、原木の質を一定として扱っている。しかし、現実には原木の質は一定ではなく、一本一本異なっている。立木からの調達を行う場合、内部の状態が不明瞭なため、取引に投機的な側面が生まれる。よって、図 2-12 に示すように、製材後に立木や原木の取引価格が妥当でなかった場合に、価格を返金するような仕組みを導入すべきである。製材後に、原木価格以上の製材品が取れた場合には、追加支払いや他プロジェクトへの転売を行うことで、得られた利益を、原木生産者側と双方で、分配するようなスキームも考えられる。

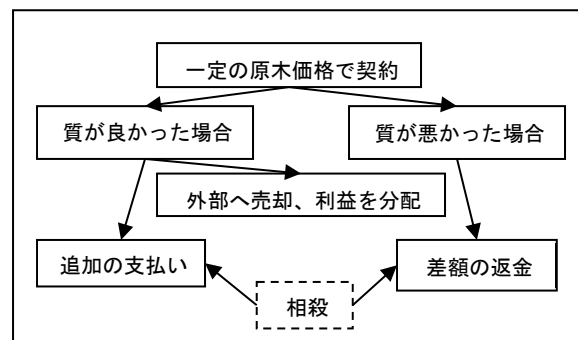


図 2-12 新たな取引方法

2.6.5 複数プロジェクトへの展開

図 2-13 に示すようにプロジェクト A、プロジェクト B、二つのプロジェクトが同時に進行していたとする。プロジェクト A は良材を必要とし、プロジェクト B は並材で十分だとする。調達した原木の質のミスマッチが起きていたら、プロジェクト AB 間でお互いの材を融通することで、より無駄なく木材を利用することができ、トータルの歩留まりを向上させることができる。寸法体系を整理しておくことで、余り材などを他プロジェクトへ転用でき、在庫負担を軽減することが可能である。

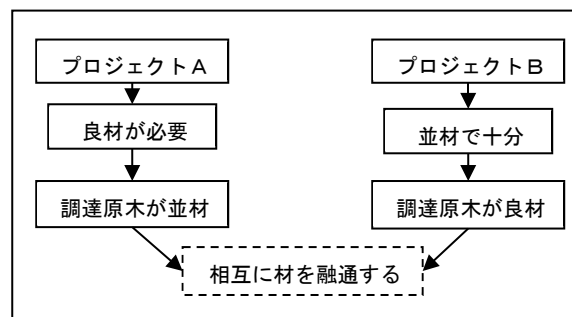


図 2-13 複数プロジェクトへの展開

2.7 小結

本章では、地域産材流通の現状を詳細に調査し、その情報流に問題の所在を指摘した。次に、流通システムの縮約を仮定し、在庫費用とリードタイムの関係を明示した。さらに、立木から原木、製材品への流れと木取りの効率化の観点から、所要の設計情報の確定のタイミングを分析した。これらから、木材調達と連動したスケジュールモデルを提案した。モデルを利用することで、歩留まりの改善効果や在庫削減、品質の保証やトレーサビリティの向上などが期待できる。

以上により、国産材流通システムを再構築する際の重要課題である情報流の整理とスケジューリング問題を解決した。

今後の課題としては立木や原木に含まれる不良材の扱いの問題が残る。また情報流以外に、物流や商流の観点から、実際に木材流通システムの分析、再構築が必要である。システムを中心を担う主体の分析も必要である。ストックヤードの場所や、ハンドリング回数など、物流面からのアプローチも必要である。さらには地域に合わせた標準寸法や標準価格を策定し、実務レベルで利用しやすくすることが望まれる。

謝辞

本章は、京都環境建設研究会の参加者各位の支援を得て完成された。また財団法人地球環境財団の研究助成を受けている。記して謝意を表したい。

2.8 参考文献

- 2-1) 林野庁：木材需給表，2014.1
- 2-2) 林野庁：森林・林業白書－平成 18 年版，2006
- 2-3) 早川慶朗，古阪秀三，金多隆：木造住宅における木材コスト比較から考察する地域産材活用の可能性，日本建築学会近畿支部研究報告集，pp.669-672，2005.6
- 2-4) 早川慶朗，古阪秀三，金多隆：SCM 概念を用いた地域産材流通システムの構築－京都府産材を用いた住宅の建設－，日本建築学会近畿支部研究報告集，pp.717-720，2006.6
- 2-5) 森本均，早川慶朗，金多隆，古阪秀三：住宅への地域産木材活用のためのサプライチェーン構築，日本建築学会第 22 回建築生産シンポジウム論文集，pp.65-70，2006.7
- 2-6) 京都府：ウッドマイレージ－京都府産木材認証制度
<http://www.pref.kyoto.jp/rinmu/14100081.html>
- 2-7) 西川善介：流通市場からみた木材商品生産の発展，社会経済史学，Vol.27，No.1，pp. 453-476，1961.5
- 2-8) 高木唯夫：林業経済研究会秋季大会シンポジウム共通課題『木材流通問題』をめぐって，日本林学会誌，Vol.48，No.1，pp.37-42，1966
- 2-9) 岡村明達編著：木材産業と流通再編，日本林業調査会，1977
- 2-10) 伊藤栄一，林進，矢内正：国産材供給の組織化に関する研究 I－岐阜県郡上地域産スギ材について，岐阜大学農学研究報告，第 50 号，pp.103-110，1985
- 2-11) 安藤嘉友：木材市場論－戦後日本における木材問題の展開，日本林業調査会，1992
- 2-12) 小野田法彦編著：こうして流域林業を活性化させた，全国林業改良普及協会，1994
- 2-13) 熊崎実：地球環境と森林，全国林業改良普及協会，1997
- 2-14) 篠原武夫：沖縄県産材の加工・流通に関する研究，琉球大学農学部学術報告，第 47 号，pp.47-58，2000
- 2-15) 遠藤日雄：スギの行くべき道，全国林業改良普及協会，2002
- 2-16) 大熊幹章：地球環境保全と森林利用，全国林業改良普及協会，2003

- 2-17) 青柳修平, 竹内公男: 地域木材産業の総合的管理ー木材サプライチェーンの視点からー, 木材情報, 2004.12
- 2-18) 緑の列島ネットワーク: 地域材の家づくりネットワーク, 全国林業改良普及協会, 2004
- 2-19) 成田真澄: 大工・工務店の住宅生産システムの変化と木材流通チャネルー京都市を対象としてー, 京都大学農学研究科修士論文, 2006
- 2-20) 水谷頴介, 岡本弘次: 阪神都市圏における木材流通施設の動向ー阪神都市圏の市街地再開発パターンの検討, 日本建築学会学術講演梗概集計画系, pp. 621-622, 1968
- 2-21) 森川武雄: 建材流通にからむ諸問題, 建築雑誌, Vol.93, No.1141, p.2, 1978.9
- 2-22) 丹生谷地域杉のまち住まいづくり協議会: 地域木造住宅生産供給促進事業 丹生谷地域杉のまち住まいづくり計画調査 (供給体制の整備), 1987.3
- 2-23) 秋山哲一: 地域型木造住宅生産システムに関する研究, 京都大学博士論文, 1990
- 2-24) 大島康隆, 斉藤雅也, 宿谷昌則: 木造住宅の建設と解体に関わる木材の循環に関する調査, 日本建築学会大会学術講演梗概集 D-2 分冊, pp.477-478, 1998.9
- 2-25) 白井裕子, 尾島俊雄: 富山県の木材資源とその活用実態に関する調査研究, 日本建築学会環境系論文集, 第 569 号, pp.61-66, 2003.7
- 2-26) 滋賀で木の住まいづくり読本, 海青社, 2005
- 2-27) 京都大学フィールド科学教育研究センター年報, No.4, 2006
- 2-28) NPO 法人木と家の会: 地域産木材による住宅生産システム構築のための研究ー自然乾燥材を使った住宅のケーススタディ, 2003
- 2-29) 中村裕幸, 野城智也: 電子タグを付与した住宅への地域産木材活用のためのサプライチェーン構築, 日本建築学会第 22 回建築生産シンポジウム論文集, pp.157-164, 2006.7
- 2-30) 久保幹雄: ロジスティクス工学, 朝倉書店, 2001
- 2-31) 小西千代治: 製材木取りシリーズ 1～3 製材木取りについて(1)～(3), 木材工業, Vol.34, No.1-3, pp.42-44, pp.37-39, pp.42-45, 日本木材加工技術協会, 1971.1-3

- 2-32) 鎌田昭吉：製材木取りシリーズ4～8 北海道広葉樹の製材木取り（1）～（3），北海道針葉樹の製材木取り（1）（2），木材工業，Vol.34，No.4-8，pp.39-41，pp.40-42，pp.41-43，pp.38-41，pp.38-40，日本木材加工技術協会，1971.4-8
- 2-33) 長岐義蔵：製材木取りシリーズ9 秋田天然スギ製材の木取り，木材工業，Vol.34，No.9，pp.42-45，日本木材加工技術協会，1971.9
- 2-34) 小林大徳：製材木取りシリーズ10 木曽ヒノキの製材木取り，木材工業Vol.34，No.10，pp.38-41，日本木材加工技術協会，1971.10
- 2-35) 落合寅夫：製材木取りシリーズ11 飢肥スギの製材木取り，木材工業Vol.34，No.11，pp.32-35，日本木材加工技術協会，1971.12
- 2-36) 中村実：製材木取りシリーズ12 カナダ西海岸の針葉樹製材木取り，木材工業，Vol.35，No.1，pp.40-43，日本木材加工技術協会，1972.1
- 2-37) 吉田靖，杉本英明，福本通治：製材木取りシリーズ13 吉野材の製材木取りについて，木材工業，Vol.35，No.2，pp.38-40，日本木材加工技術協会，1972.2
- 2-38) 吉田直隆：製材木取りシリーズ14 シベリア産針葉樹製材木取り，木材工業，Vol.35，No.3，pp.38-41，日本木材加工技術協会，1972.3
- 2-39) 中野正志：製材木取りシリーズ15 南部アカマツの製材木取り，木材工業，Vol.35，No.4，pp.40-43，日本木材加工技術協会，1972.4
- 2-40) 飯島昭三：製材木取りシリーズ16 ブナの製材木取り，木材工業，Vol.35，No.5，pp.38-39，日本木材加工技術協会，1972.5
- 2-41) 河瀬州雄：製材木取りシリーズ17 スギ、ヒノキ間伐材の製材木取り，木材工業，Vol.35，No.6，pp.39-43，日本木材加工技術協会，1972.6
- 2-42) 宇都巖：製材木取りシリーズ18 米ツガ製材の木取り，木材工業，Vol.35，No.7，pp.40-43，日本木材加工技術協会，1972.7
- 2-43) 秋山喜蔵：製材木取りシリーズ19-20 造林カラマツ大径木の製材木取り（その1）（その2），木材工業，Vol.35，No.8-9，pp.39-41，pp.33-35，日本木材加工技術協会，1972.8-9
- 2-44) 熊谷洋二：製材木取りシリーズ21 東濃ヒノキの製材木取り，木材工業，Vol.35，No.10，pp.39-42，日本木材加工技術協会，1972.10

- 2-45) 杉山英作:製材木取りシリーズ 22 智頭スギの木取り, 木材工業, Vol.35, No.11, pp.34-38, 日本木材加工技術協会, 1972.11
- 2-46) 平野二三男:製材木取りシリーズ 23 天竜材(スギ)の木取り, 木材工業, Vol.36, No.1, pp.32-36, 日本木材加工技術協会, 1973.1
- 2-47) 藤原勝敏:製材木取りシリーズ 24 米ツガの製材木取りー和歌山県田辺地方における一例ー, 木材工業, Vol.36, No.2, pp.35-38, 日本木材加工技術協会, 1973.2
- 2-48) 小西千代治:製材木取りシリーズ 25 東京木場地区における南洋材の木取り, 木材工業, Vol.36, No.3, pp.36-42, 日本木材加工技術協会, 1973.3
- 2-49) 前田活郎:リニアプログラミングによる木取り計画, 経営科学, Vol.2, No.2, オペレーションズリサーチ学会, 1958.1
- 2-50) 島崎鶴雄, 飯島泰男, 吉田直隆:スギ根曲がり材の利用技術(第1報) 図形木取りによるモデル計算の試み, 木材と技術, No.37, pp.3-6, 富山県林業技術センター, 1979.6
- 2-51) 島崎鶴雄, 武田和正:スギ根曲がり材の利用技術(第2報)狂いにおよぼす製材木取りと乾燥条件の影響, 木材と技術, No.41, pp.11-14, 富山県林業技術センター, 1980.4
- 2-52) Takashi Kaneta, Yoshiaki Hayakawa: Inventory Control on Regional Woods for Houses, Proc. of the 12th Seminar of JSPS-MOE Core University Program on Urban Environment, Kyoto University, pp.393-402, October 3-4, 2006
- 2-53) 池井健, 早川慶朗, 金多隆, 古阪秀三:木造住宅における設計と木材調達のスケジューリングに関する研究, 日本建築学会第23回建築生産シンポジウム論文集, pp.171-176, 2007.7

第 3 章

「公共建築や中・大規模建築での木材利用時の 発注者や設計者の支援に関する研究」

- 3.1 本章の背景と目的
- 3.2 中・大規模建築における木材の調達と発注、
設計について
- 3.3 木材を活用した設計事例の調査
- 3.4 木材利用に向けた自治体の取組への調査
- 3.5 設計と企画段階における課題の整理
- 3.6 中・大規模建築への木材利用の
拡大に向けた取り組み
- 3.7 小結
- 3.8 参考文献

第3章 公共建築や中・大規模建築での木材利用時の発注者、設計者の支援に関する研究

3.1 本章の背景と目的

森林の持続的な活用のため、森林・林業再生プランが平成 21 年に公表され、平成 23 年に新たな森林・林業基本計画が策定された。また公共分野での木材需要を喚起するため、平成 22 年 10 月、「公共建築物等における木材の利用の促進に関する法律」が施行された。平成 23 年 5 月に国は具体的な木造設計の技術基準「木造計画・設計基準及び同資料」を公表した。法律を施行後、公共建築における設計基準や、仕様の整備は進んでいる。しかしながら、実際の建物の整備状況は、平成 24 年度に国が整備した低層(3 階建て以下)の公共建築物が 462 棟、合計延べ床面積 249,692m²のうち、木造で整備をしたのは 42 棟、合計延べ床面積 7,744 m²であった。木造以外の構造とした主な理由は以下であった。³⁻⁵⁾

○延べ 3,000m²を超える大規模な建築物など、建築基準法その他の法令に基づく基準において、耐火建築物とすること又は主要構造部を耐火構造とすることがもとめられた建築物であること。

○自衛隊施設など、治安上又は防衛上の目的から木造以外の構造とすべき施設等の建築物であること。

○刑務所、拘置所等の収容施設であり、施設の機能上の観点から木造以外の構造とすべき施設等の建築物であること。

○气象台、海上保安本部航空基地など、災害応急対策活動に必要な施設であることから、木造以外の構造とすべき施設などの建築物であること。

○法施行(平成 22 年 10 月)前に非木造建築物として予算化された建築物であること。

その他、高温多湿な環境条件、危険物の貯蔵、並びに工期・予算上の制約などの理由が挙げられている。なお木造を選択しなかった理由の要因毎の分布度や、普及率の低さの要因分析については報告されていない。

木造以外を選択した要因として、報告されている 3000m²を超える建築物への耐火基準については、国土交通省の社会資本整備審議会にて制度設計について議論されており、新技術導入の円滑化や性能規定化をはかり、防火壁等で有効に区画した場合には、耐火構造以外の木造建築物であっても、3000m²を超えて建築可能になるような規制の見直しや、合理化をはかる案が提出されている。³⁻⁶⁾

公共建築等の非住宅系建築における木造は、企画・設計段階以外にも、調達に関する課題が存在する。従来の鉄骨造や鉄筋コンクリート造の場合、鉄骨寸法の標準化、鉄筋寸法の標準化がなされているとともに、同じ品質基準で材料を供給可能な業者が全国に存在しており、調達に関して地域性の課題は少ない。一方、木材の場合、設計にて標準寸法を指定しても、原木の長さ、太さの制約条件や、品質・強度や量について、地域によって供給・調達可能な材料に差異がある。木材の調達の地域に由来する問題については、全国一律の設計基準と標準仕様の整備だけでは不十分である。

次に木造建築に関する技術開発や研究の状況についてであるが、構造については、林野庁事業にて構造設計データ集³⁻⁷⁾の公表などの情報整備が進められている。また火災に対する検証についても実物大実験³⁻⁸⁾により研究は進められている。そして設計や調達については実務者への情報提供を主とした手引書やマニュアル³⁻⁹⁾は配布されつつあるが、その課題や設計者支援について体系的な研究は、ほとんど実施されていない。

本章では、公共建築や、中・大規模建築¹⁾における木造建築の設計や木材調達に関する具体事例の調査をもとに、企画・設計段階や調達段階での課題を調査する。今後の公共建築や、中・大規模建築での木材利用の拡大や木造建築の普及のための課題を解決し、地方公共団体の発注者への支援や木材供給側が整備すべき情報、設計者支援について、有用な取組みに向けた試案を作成する。

¹⁾ 本章での中・大規模建築とは、木造建築士、二級建築士の業務範囲外、すなわち一級建築士のみが業務可能となる建築構造、規模を想定している。

3.2 中・大規模建築における木材の調達と発注、設計について

3.2.1 木造住宅分野で利用される木材

本項における木造住宅分野は、二級建築士の業務範囲での規模を想定し、記述する。木造住宅に使用される木材は、構造材、下地材（羽柄材）、造作材（仕上げ材）、合板類の主に4つに分類される。表3-1に一般的に利用されている材の寸法や、供給状況をまとめた。

表 3-1 木造住宅に使用される木材

構造材	柱材	105mm 角（三五角）、120mm 角（四寸角）を基本とし、長さは、3m、4m、6m（通し柱）。近年は、同寸法での集成材も広く流通する。国産材、外材、共に調達は容易。
	横架材	幅 105mm もしくは 120mm、成は 150mm から 30mm 刻みとなり、製材では 300mm 程度、集成材の場合、450mm 程度までが、一般的な流通で入手可能である。国産材、外材、共に調達は容易であるが、梁成の高い製材品は、調達が困難になる事もある。
	梁材	
下地材 （羽柄材）	野縁、胴縁、根太、間柱、筋交い等、下地材として利用。 寸法は（15～105mm 程度×15～105mm 程度）からなり、国産材、外材ともに広く流通する。	
造作材 （仕上げ材）	床材や腰壁などの板材が中心となる。（90～150mm、厚み 10～30mm）通常の寸法の板材であれば、容易に調達可能。役物材などは、専門問屋などから調達が可能。	
合板類	構造用合板（910mm×1820mm、厚み 12～28mm程度）は主に壁、床、屋根に利用され、広く流通する。近年は、根太を省略する構法を採用するために厚みのある合板を床下地に使用することも増加している。国の補助制度もあり、国産材の構造用合板の供給が増加している。その他に、下地材として、ラワン材やシナ材等の合板も広く流通する。	

住宅分野の場合、年間約 45 万戸～55 万戸（2010 年：約 46 万戸、2013 年：約 55 万戸）の推移で国内需要が存在する。^{3・10）} 寸法体系については、ほぼ規格化されており、産地指定や樹種指定（杉や桧以外）をせずに、一般的な寸法の木材であれば、調達容易である。

また住宅分野では、壁量による構造計算手法や、構法・構造用金物について、全国的に統一した仕様や規格が整備されてきていることや、プレカットの導入など、一定の品質が確保されるシステムが確立されている。木造住宅では、ハウスメーカーやパワービルダーなどの施工業者を中心に、設計者や職人の技能への依存度が低くなるように、生産システムが改良されてきた。多くの木造住宅の設計は、主に木造建築士や二級建築士の業務可能な範囲となる。

木造住宅の工期は、6～9 ヶ月程度であり、木材調達からプレカット、建て方工事までは、2 ヶ月程度で実施されるため、木材は、流通業者や製材業者が持つ在庫からの供給が一般的である。（図 3-1）

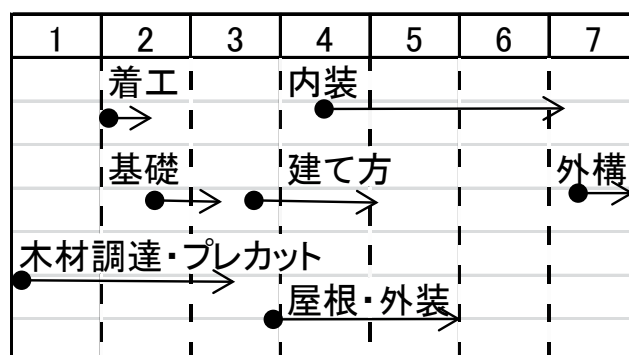


図 3-1 木造住宅の工期の一例（単位 ヶ月）

3.2.2 中・大規模建築での木材利用の場合

従来は RC 造、S 造、SRC 造で建築されてきた中・大規模建築においても、木造を採用する事例が増えつつある。また、構造材以外にも内装材として、木材の利用が増加しつつある。しかしながら木構造として利用する場合には、中・大規模建築が全国的に計画・施工されるようになりはじめたが、発注者・設計者・施工者ともに、経験が不足しており、様々な課題がある。

①構造材の寸法

中・大規模建築では、構造的要素として広い空間が必要とされ梁のスパンが長くなる上、階高が高くなり柱の断面寸法が太くなる。このため、住宅用の製材では、材長、断面寸法から供給が困難となる。したがって、集成材の活用や、製材をトラス構造で利用するなどが必要となる。一方で、無理に木構造を選択すると、建築コスト全体の高騰につながる可能性も有する。

②調達可能な材の地域性と強度

スギやカラマツなど樹種によりヤング係数は、大きく異なるため、地域材などを指定して構造材に利用する場合には、設計時に調達可能な材を予め把握して、材料強度を反映した設計をする必要がある。また同じ樹種のスギにおいても、強度は地域性を有しており平均強度は地域によって異なる。

③材の調達および供給

住宅用に流通する木材とは違う寸法や材を必要となる事や、一度に必要な量が、大きく異なる。例えば人口 5 万人程度の自治体が、小学校を木造で建築する計画を立て、原木換算で 1000 m³の木材を必要としたとする。人口 5 万人あたりの住宅に利用される原木量が 2,000 m³と試算²されるため、学校建築の木材を自治体や周辺の地元産材を活用するとなると、年間需要の 50%に相当する原木を調達・供給することとなり、需給構造を急変させることとなるため、流通面で様々なところへ歪を生じかねない。また中・大規模な木造建築は、一過性の

² 日本の総人口は約 1 億 28 百万人であり、年間の住宅着工数を約 50 万戸と仮定すると、人口 5 万人当りの年間住宅着工数は、約 20 戸程度である。住宅 1 戸あたり製材 40m³程度（原木換算 100m³程度）を利用するため、5 万人の自治体での年間原木需要を 20 戸×100 m³=2,000 m³と試算。

需要であることが多く、中・大規模需要に合わせて流通を地域整備することは困難である。

④大規模木造建築の施工能力、施工図の作成

大規模な木造建築を施工した経験を持つ施工業者数は、まだ不十分であるため、施工能力面での課題は全国的に存在する。また木材調達および施工に重要な施工図・加工図を作成できる技術者は、集成材メーカー以外では、非常に少ない。

⑤単年度予算と工期（公共建築の場合）

公共建築で単年度予算での執行などの場合、4月に入札、工期1年での竣工・引き渡しとすると図3-2のようなスケジュールとなる。木材調達には、施工者自らが実施するとなると3ヶ月程度となり、大量の木材を、なおかつ地域産材での指定となると非常にクリティカルな工期となる。また原木の伐り旬は、秋から冬が良いとされているため、4月の入札後に春から夏にかけて伐採することは、本来の木材の性質からすると望ましくないと考えられる。一部、木材調達のみを分離発注する動きもあるが、施工図が作成されていないため、見込みでの木材発注になるため、材の過不足などのリスクを誰が負担するのかなど課題が残る。

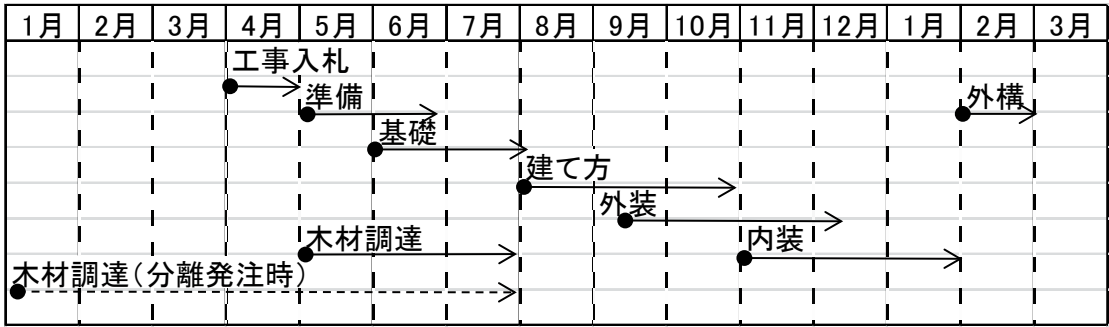


図 3-2 公共建築の工期の一例 3-12)より引用・加筆

⑥JAS 認定工場の供給体制

公共工事の場合、木材の仕様について JAS 規格を指定されることが多い。しかしながら、構造用製材工場で JAS 認定工場のうち機械等級区分ができる工場は、20 県の 46 工場に限られている。一方、構造用集成材については、JAS 規格品が流通材の基本となっている。ただしいずれの JAS 認定工場も、全ての都道府県には存在しておらず、エリアによっては地域材を使用する場合に、一度

他府県の工場へ原木を輸送し、集成材へ加工した後に、現場へ搬入する工程をとる必要もある。

3.3 木材を活用した設計事例の調査

従来、RC造、S造、SRC造を中心に手がけてきた大規模な組織系設計事務所においても、木構造や木材を利用した設計事例が増えつつある。組織系設計事務所に在籍し、木材の利用経験がある設計者に、木材を用いた設計に関するヒアリング調査を実施した。(表 3-2)

表中の項目番号は、

1. 建築物の概要、
2. 木材を利用するに至った経緯や利用した材等、
3. プロジェクトを通じて得られた課題等

である。また当初木材利用を意図したが、利用できなかった事例についても、ヒアリングを実施した。

表 3-2 木材を活用した事例調査

1	①小学校体育館（関西）， 施主：自治体， 構造：木造， 竣工：2004 年
2	<ul style="list-style-type: none"> ・ 地域住民が将来にわたり、愛着が湧き、誇りに思える建物を目指すため「純木造」、「地元木材の利用」、「明るい大空間」等の施主の要望を具現化した。 ・ 地元のスギ、ヒノキをはじめとする国産材の木材を採用している。 ・ 地元森林組合と設計時より調整し、樹齢 75 年程度の原木を伐採し、建物に採用した。 ・ 25m 超のロングスパン部は、ヤング係数が多い北海道産のカラマツを採用。 ・ エントランス、小屋組など応力が小さい箇所は、地元産のスギを採用。 ・ 内外装は全て、地元産の木材を採用。
3	<ul style="list-style-type: none"> ・ 設計段階で森林組合などの協力を仰ぎ、採用可能な断面、長さなどを確認しておくことが必要。集成材であれば、上記のような問合せが不要であるので設計者としては採用しやすい。 ・ 設計者の木造設計での経験や技量が不足し、製材サイズのみでの設計にはいたらなかった。一部集成材も活用したが、製材サイズで地元材のみで設計・施工できていれば、更に地元へのアピールとなったと考えられる。 ・ 設計時に鉄骨、RCと同様の納まりで考えてしまい、現場での納まりに苦労した。木造の癖を理解した上でプロジェクトに取り組み必要がある。梁のたわみ・変形、部材の誤差などを考慮した納まりとする必要がある。 ・ 木を伐採するのに適した時期があるが、それが工事工程と合致しなかった。そのため含水率が高い状態で伐採することになり、乾燥も苦労することとなった。乾燥は、自然乾燥ではなく人工乾燥を実施。 ・ 設計工程、施工工程を伐採時期に合わせる必要がある。施工着手時期に合わせて伐採するよりも、伐採に適した時期に行い保存しておく方が木材の品質は向上する。

1	②宿泊施設・商業施設（関西）、 施主：民間企業、 構造：木造、 竣工：2009 年
2	<ul style="list-style-type: none"> ・提案コンペの中で、地元材杉材の使用を提案。構造材の一部と、外壁材、内装材に地元産材を使用。 ・林業が活発な地域であり、施主からも木造の要望があったため木造を採用。耐火性能など問題がない棟はすべて木造を採用した。 ・地元の工務店が窓口となり採用可能な木材を問合せた。 ・工務店よりモーメント抵抗接合などの加工できないと相談があり、通常の在来工法での設計とし、ロングスパンは用いないことや、壁量を確保することで対応した。 ・調達は、設計者側で地元産材を指定し、施工者が選定した。
3	<ul style="list-style-type: none"> ・加工業者、大工のグレートを指定する必要があるが、そのような状況にはなっていない。加工が複雑になると一般的な大工・工務店では対応できない。大工・工務店の技量が定量的に示すことができ、鉄骨ファブのようにグレードが示されると図面に表記しやすい。 ・施工業者（工務店）の能力により、納まりなどが制約される可能性がある。 ・前回の木造建築の設計時の経験と反省から、木質構造の知識を講習会等で得たが、書籍などには記載されていない木材、仕口の加工法などで苦労した。 ・製材は断面寸法、仕口形状によりコストが大きく異なるので注意が必要。集成材のほうが安くなることもある。 ・本工事では、地元の森林組合と直接やりとりできなかった。地元の山林組合と直接やりとりできれば、採用可能なサイズ、材積などがわかり、コストダウンにつながった可能性がある。 ・地域性も加味した価格に対する透明性が求められる。 ・法的な内装制限に対する緩和措置があるとよい。

1	③店舗兼事務所（四国）、 施主：民間企業、 構造：S 造、 竣工：2010 年
2	<ul style="list-style-type: none"> ・地域に根差す地球環境を重視した企業精神をアピールするものとして、地元県産の間伐材を建物、内装材として使用したいと考えた。 ・地元森林組合に問い合せたが、間伐材の取り扱いがなかった。 ・工事発注後、施工会社（地場工務店）で調べてもらったが入手できなかった。 ・内装腰壁の仕上材として、間伐材ではない通常地元県産杉板材を使用。
3	<ul style="list-style-type: none"> ・他材料のように、設計段階で仕様、入手先、品質、納期、コストを確認できるしくみが必要。他材料と異なりメーカー（代理店）が明確になっていないため、問合せ先が不明である。 ・設計段階で施工会社が先に選定されていれば、施工会社経由で調査は可能だが、施工会社が先に決まることは少ない。 ・材料調達は施工会社の取引先に依存することとなり、施工店により実行価格が大きく変わる。プレカット機械を持っている工務店だと、安く施工可能。 ・木材を利用する場合、一品生産なのか、均一で高品質なものを大量生産できるかで、使い方が大きく変わる。一品生産の場合は、だれもが気軽に使えない。使う側にも知恵とお金が必要となるため、コンスタントな使用は難しい。 ・木材は他材料よりメンテナンスが難しく、使うには慎重を要するため、更改サイクルの早い商業施設ならよいが、あまりメンテナンス費用を掛けない事務所ビル等へは利用箇所が限定されたり、樹脂製品などの選択となる。 ・構造材として使うためには、設計者の経験やスキルが必要となる。 ・設計者が国内産木材や間伐材加工品を探し出して使うのではなく、例えばフローリングメーカーのカタログの中に、外国材のもの、国内材のもの、間伐材のものがあてから選定できるようにすれば使いやすいと思われる。 ・他商品同様に、普及させるには特別な設計者ではなく、誰もが簡単に使える製品と仕組が必要。

1	④市民会館・ホール（関東）施主：自治体、構造：RC造、竣工：2010年
2	<ul style="list-style-type: none"> ・新しい市民ホールとして、子供からお年寄りまでの幅広い利用者がいつでもにぎわうホールを目指し、内装は暖かみのある木を多用し格調高くモダンな印象を狙った。 ・具体的には、ホール内の床はナラ無垢材OSCL、壁・天井は不燃天然木練り付け材を採用。 ・この市は特産林業が盛んな地域ではないこともあり、地元材利用については話題とならなかった。
3	<ul style="list-style-type: none"> ・合板化されているフローリング材と違って無垢材利用の際、設計にてコスト設定をしていますが、現場段階で施工者により材質やグレードの相違があり増額要素となり協議が難航した。 ・現在設計している別物件では合板フローリングを採用。大阪ではある程度の規模を超えると大阪CASBEみらいの申請が必須であり、木材利用は加点対象の項目となるが、持続可能な森林からのフローリングや合板ということが証明されないと加点不可。そのため、フローリングメーカーに問い合わせても、現場単位によって木材の入手ルートが異なり、実際施工者と契約をしないとトレーサビリティのような証明書は発行不可。したがってCASBE加点が実質不可となる。 ・学校関連の施設や商業施設を対象としているフローリングが多く、一般事務所建物に導入する際、床点検口（OAフロアのため部分的に必要）が体育館用や住宅用しかないなど木材を採用した際に出てくる各種対処品が充実していないため、用途が限定されてしまう。

1	⑤大学研究施設（関西）， 施主：学校法人 ，構造：RC 造， 竣工：2011 年
2	<ul style="list-style-type: none"> ・ 施主との協議の中で設定した課題（周辺環境への溶け込みだけでなく、使用する学部の専門性ならでは社会性、根源性を表出した建築とする）に対し、木材の使用がその糸口となると考えたため、設計意図として木材を使用した。 ・ 外装（エキスパンドメタル内木片積層）に、杉芯材を関西エリア産の材を使用。 ・ サインは杉板積層を使用。 ・ 使用を取りやめたものとして、天井材。上記外装と同材が軒天、エントランス内部天井まで延びていく予定だったが、全体工事費のコストダウンの観点から内装分は取止めた。 ・ 調達に関する経緯について。はじめに、木材使用の方向性は決めたが、ヒアリング先に困り、ネット・雑誌で検索を実施した。建築雑誌にて、四国エリアの木材業者を見つけ、ヒアリングや工場見学を実施した。こちらの業者へのヒアリングを通じ、杉芯余材材（合板製造時の芯材端材）の使用を決定したが、こちらの業者で取扱いがなく、調達先に苦慮した。社内にいた木材業界へのネットワークを有する社員にヒアリングし、合板製造メーカーと取引のある原木市場の紹介を受けた。この原木市場から、合板製造メーカーと打合せを実施し、調達ルートを確認した。
3	<ul style="list-style-type: none"> ・ 木材コーディネーター（調達先の調整など）の、人的な支援が必要。2013 年頃から、木材を利用した実例が増加し、注目度も高まっているので、使用意識の高い人は見学会等を通じて、木材業界とのネットワークが築きやすくなっているようにも感じる。この建物の場合は、木材ネットワークを有する社員がいて成立した。 ・ 地域で調達可能な木材のリスト（サイズ、納期、量）については、木材を採用する方向性が決まった後には、重要である。しかしながら、まず木材利用の方向性を導く手段として、設計側と木材業界をつなぐツールとして、下記のようなメディアへの露出の工夫があると良い。しかしながら設計者の意欲と、施主の考え方に大きく左右される。 ・ 有効と思われるメディアへの積極的露出が設計者へのアプローチとして必要とかがえる。例えば <ul style="list-style-type: none"> ①雑誌データシートへの掲載 木材以外にも素材選定の際は、雑誌等を参考にする。建築雑誌の巻末のデータシート等は、設計者側から見ると有効なメディアである。 ②WEB, HP の充実 通常業務で住宅設計に携わらない設計者は、木の知識が少ないため、「特性」、「加工実例」、「建物実績」等が掲載されているとイメージを膨らませやすくなる。そのような実例について、材木屋でもなく、施工者でもなく誰が情報提供するかは不明。前述の四国の木材業者は、施工はせずとも積極的に施工現場に出向き、設計手法や使用方法を調査している。これらを、HP に掲載し、設計者から問い合わせや相談を受け、設計図書にスペックインするという流れで有名建築にも、参入している。 ③賞の内容充実と知名度の向上 実例を見る際、雑誌とともに有効なのが賞の実績である。木材活用コンクールや木材利用推進中央協議会の優良施設等々がある。しかしながら意匠設計者として、興味を惹かれるものが少ない。審査員が環境系であり意匠面での評価でなかったり、また受賞作品も写真のみで選定ポイントが不明なことも多い。
1	⑥町役場庁舎（九州）， 施主：自治体， 構造：RC 造， 竣工：2014 年
2	<ul style="list-style-type: none"> ・ 町産材である地場の桧を積極的に活用したいとの施主の希望により、実施設計段階で施主（町）が自ら桧材を大量に調達した。 ・ 外壁腰壁部仕上材に、町産材桧を予定していたが、屋外に使用するため、定期的なメンテナンス（保護塗料の塗り替えや清掃）等が必要になることから、施主の意向でメンテナンス時の負担を避けるために、施工段階でタイルに変更。 ・ 多目的室床材に町産材桧を使用した。当初のタイル仕上げから、暖かみのある床仕上げということで町産材桧を設計者から提案。劣化等の対策として 一液ポリウレタン塗料+加圧焼成を地元業者で行い施工予定。 ・ 歩廊部の天井仕上材に、町産材桧を、内装制限の範囲内で使用。
3	<ul style="list-style-type: none"> ・ 内装制限の法的解釈について各行政においての明確化。

1	⑦消防防災センター（東北）、 施主：自治体、 構造：RC 造、 竣工：2014 年
2	<ul style="list-style-type: none"> ・ プロポーザル提案時に地場産材の利用として、地場の杉材利用を提案した。 ・ 震災復興における市内の公共建築物の一つ目となる建物にふさわしい、シンボル性を与える意図があった。 ・ 消防署という公共的な用途のため、市民が親しみやすい建物とするため地場産にこだわった。 ・ エントランスホールの壁および天井の化粧材。地場産の杉、上小節を 50×150 を 200 ピッチで施工予定。
3	<ul style="list-style-type: none"> ・ 地場産材を採用する際の特記方法がルール化されていない。メーカー品でないため地元工務店や製材所などにヒアリングする必要があったが、問合せ先が不明だったため、「地場産杉材使用」と設計図で謳うこととなった。 ・ 化粧材として使用する場合において、耐震性の確認方法がルール化されていない。ボルトで材を固定しても割れが生じないか、などの確認方法が不明。 ・ 山間部に近い地域では、地元材利用のニーズが多いため、問合せ先の公表（例えば、市から発信する等）があれば、設計時に参考にしやすくなる。

1	⑧太陽光発電所（関西）、 施主：森林組合、 構造：架台、 竣工：2014 年
2	<ul style="list-style-type: none"> ・ 太陽光発電所の施主が森林組合の為、間伐材を用いた太陽光架台の開発及び太陽光発電所構築として依頼された。 ・ 太陽光架台（基礎、取付金物を除く）に、地元県産スギ間伐材、無等級製材を使用。部材断面：105×105、30×105 とし、部材長は 3m または 4m の定尺内で設計。木材は施主支給品を使用した。
3	<ul style="list-style-type: none"> ・ 木材ボリュームや性能、品質に対応した納期、コストが分かる仕組みが必要。 ・ 木製架台は、小規模発電所（100kW 以下程度）の場合、鋼製架台と比較して価格競争力のある架台である。メガクラスの大規模発電所に採用する場合、鋼材等は物量が多くなると取引単価が下がるため、事業面からみると木製架台は不利となる。木材に関して補助金がなければ、メガクラスでの事業性の確保は難しい。（当事業では、木材の材料費は林野庁補助金が 100%適用された） ・ 部材断面だけでなく、部材長が定尺を超えると納期、コストともに跳ね上がる。 ・ 定尺からの小材の切り出しについて、のこ目のロスやカッター位置の付け替え手間等を考慮し、最も効率的に木材を利用できるカッターリストの作成を行う必要があった。（実際に製材を行う木材センターにて詳細打合せが必要） ・ 太陽光架台という使用目的のため、無等級材とした。割れ、曲がり、節抜け等が多く、施工誤差だけでなく木材のそり等に対応可能なシステムの設計が必要。 ・ 施主が森林組合のため供給業者の選定等に苦労はなかったが、製材後防腐処理を行う関係上、木材の出荷の頻度とボリュームをコントロールする必要があった。使用ボリュームが大きい場合には、調達期間だけでなく、ストックする場所の確保を考慮しなければならない。 ・ 建材メーカー等、総合的な相談を出来る窓口が必要。

1	⑨複合公共公益施設（関東），施主：自治体，構造：S造，竣工：2014年
2	<ul style="list-style-type: none"> ・発注者の要望にて国産木材を利用。また発注者は、木材利用促進の制度を設計期間中に新たに設けたため、その制度の先進事例としても、木材利用を推進。 ・木材を利用した部位は次の通り。 ・外装ルーバー材、外装仕上げ材（下見板貼り）、外部デッキ材、外部天井ルーバー材、外部手摺。スギの熱処理加工木材、ヒノキの熱処理加工木材を使用。 ・内装材（床材、壁仕上げ材、腰壁、家具、内装下地材の一部、天井・壁ルーバー材、手摺、コーナーガード、巾木）。スギ・ヒノキ・ナラ・ブナ・カラマツ・アカマツ・サクラを使用予定。 ・産地は主に国産材とし、発注者である自治体と協定を結んでいる自治体産を使用予定。 ・当初使用予定だったもので使用しなかった、できなかった材としてはカバ材があげられる。（国産材としての供給量が少なく、外材になる可能性が出たため。発注者の意向として国産材の使用を要望。）。また圧密加工木材（家具のカウンターやフローリング等の堅さを要求される部位に使う予定）も、圧密した木材の長期の経年時の耐久性の見通しが不明瞭であり、反りが発生する可能性を避けるために使用を見送った。 ・調達については、発注者である自治体が協定を結んでいる自治体の木材から調達が可能のように公募を実施した。公募概要は施工者・設計者・発注者にて作成し公募による木材業者の選定は施工者にて選定した。
3	<ul style="list-style-type: none"> ・自然素材なので経年による劣化（割れや反り等）が起こるためメンテナンスを要することに対する、発注者の理解が必要。 ・木材業者は経年による割れや反りによる不具合まで全て保証できない。例えば外装のルーバー材では経年による割れ等による落下の危険性を回避するために取り付けディテールの工夫に検討時間とコストがかかった。

1	⑩事務所（関東），施主：民間企業，構造：S造，竣工：2015年
2	<ul style="list-style-type: none"> ・環境配慮の一つとして、固定化されたCO2である地元木材を使用することを提案。内装材等に計画、検討したが採用に至らなかった。 ・地元産材を想定していたが、大規模施設では法的に内装制限があり、不燃加工が必要となる。地元では不燃加工ができないため、地産地消とならず運搬コストもかかるため、環境配慮項目として扱うには至らなかった。また、メンテナンスに手間がかかることも不採用の理由の一つ。
3	<ul style="list-style-type: none"> ・法的な内装制限に対する緩和措置、または簡易かつ汎用的な不燃加工方式 ・メンテナンスもセットにした販売方式

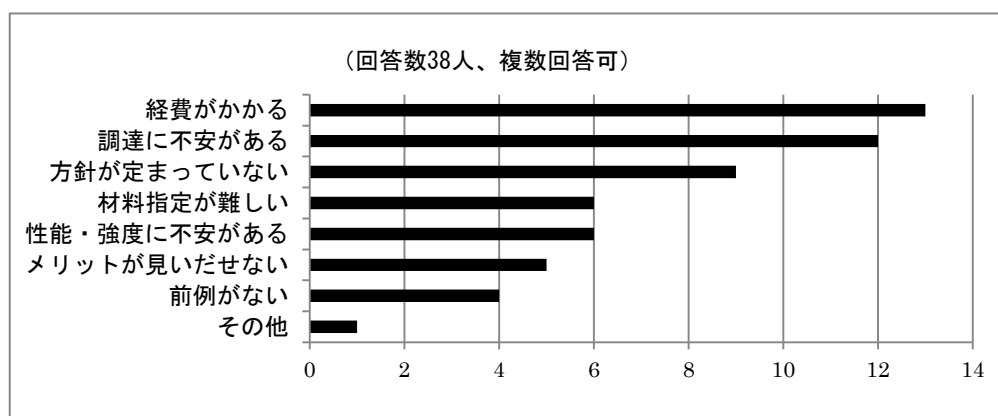
3.4 木材利用に向けた自治体の取組への調査

多くの地方公共団体にとっても、企画段階や発注段階での発注者の木造への取組事例や経験が少ないこと、情報不足等が普及への障害の一因と考えており、実際に、木造利用の推進が困難であることも事実として存在する。そこで、自治体では、地域の課題に合わせたガイドラインづくりなども進みつつある。

埼玉県では、公共建築物への埼玉県産材の利用を躊躇する理由についてもアンケートを県の営繕技術者へ実施し、38人から結果を得て、表3-3のような結果を得ている。これらから、埼玉県では、木造が他の構造体(RC造、S造)等と同列で比較、検討されて、実際に採用されていくためには、「建設事例」「構造体への知見」「使用材料への理解度」の情報の整理が不可欠と考え、農林部森づくり課が主導し、木造公共建築物整備の手引を作成している。岐阜県も同様に、木造公共建築のマニュアルの整備を進めている。³⁻¹⁵⁾

また熊本県は、2012年7月から「木造設計アドバイザー制度」を試行的にスタートさせている。従来の木材アドバイザーは、木材の普及啓蒙に重きをおくことに対し、木造設計アドバイザーは、中・大規模の木造設計実務の支援に特化している。(図3-3) 通常的设计委託料にアドバイザー料を上乗せし、これらの設計業務を発注し、受注した設計事務所には、木造設計アドバイザーの利用を義務付けている。設計者の中・大規模木造への経験不足と知識不足を補うための制度である。

表 3-3 公共建築物への県産(埼玉県)木材の利用を躊躇する理由 ³⁻¹⁴⁾



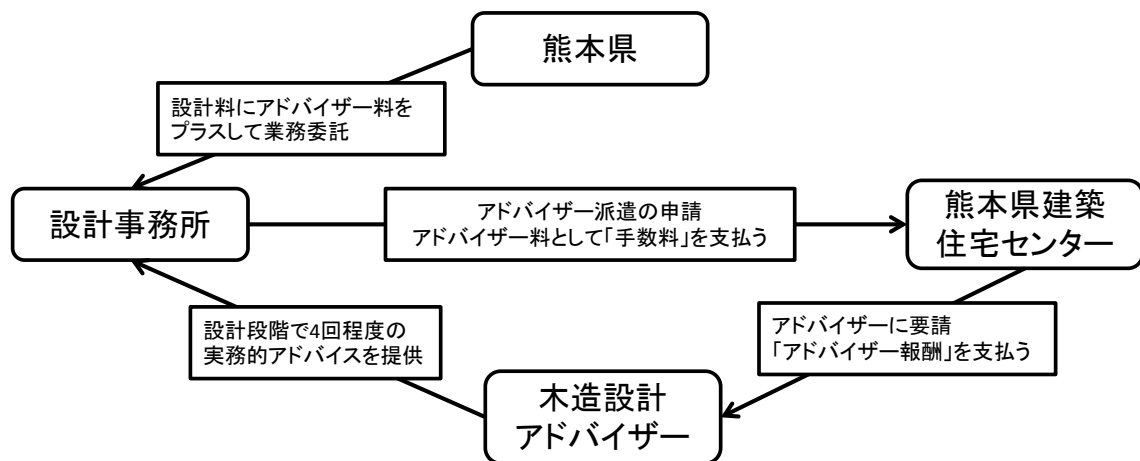


図 3-3 木造設計アドバイザーの仕組み ³⁻¹⁶⁾

(熊本県発注の設計業務の場合)

3.5 設計と企画段階における課題の整理

前項までの調査や自治体の取り組み事例などから、中・大規模建築での木材利用の際の課題を、各者の立場から、考察を行う。

◆ 発注者の立場での課題

- ・ 中・大規模建築での木材利用をした発注経験が乏しく、木材特有の調達リスクやリードタイムへの認識が不足していること。
- ・ 木材の耐久性など長期的に利用する際のお他建材との維持管理方法の違ひや、木造のコスト感への理解不足。
- ・ 自治体の場合、自らのエリアでの地域材の供給能力を把握した上での、地域材の合理的な範囲を指定する必要があること。
- ・ 公共建築の場合の単年度予算でのスケジュールとなった場合、木材調達を含めると非常に工期が厳しくなること。分離発注を行う場合は、部材調達期間を短縮でき適切な伐期を選択でき、無理のない材料供給が可能であること。しかし工事段階での数量の過不足への対応や保管場所の課題が発生すること。

◆ 設計者の立場での課題

- ・ 中・大規模木造を実施することが増えると予想される組織系設計事務所では、通常業務では鉄骨、RC が中心であり、木材利用の経験が組織として少ないため、支援や事例の蓄積が必要。
- ・ 工業生産されている部材は、納期、コスト、性能が、カタログや代理店の存在があり明確に把握できるが、木材の場合は、問合せ先すら不明なことが多いこと。
- ・ 木構造とした場合、RC 造や S 造のように構造の標準化が不十分であるため構造設計者の技術力への依存度が高いこと。

◆ 施工者の立場での課題

- ・ 大量の木材を利用する場合は、調達リスクが発生すること。
- ・ 現時点では、中・大規模木造建築の施工能力を有する施工者は少ない。木造は、施工図の作成能力がより重要となること。

- ・接合部に特殊な金物を大量に使用する場合は、コスト増の要因になりうる。またプレカット工場では、プレカット後に手作業で金物を取り付ける必要があるため、大断面集成材等は作業が煩雑になりコスト増もありうる。しかし、木材はもとの加工技術が高いうえに現場で調整が可能なため、建て方が始まってからは工期が早いという利点も有す。

◆ 集成材メーカー、流通業者の立場での課題

- ・中・大規模建築用の木材は、寸法が大きくなることや、現時点では年間を通じての安定的な建築需要がないため、保管の場所や在庫管理が重要であること。
- ・現在流通している木材寸法は、住宅用であり限定されていること。今後、中・大規模建築用の木材需要量を平準化することが出来れば、流通材としてコストを抑えることが出来る可能性があること。
- ・同じスギでも地域により大きな強度の差があるため、地域毎のヤング係数の平均分布値の公開が必要であること。

◆ 木材生産者の立場での課題

- ・山林の多くは、「森林施業計画」に従って管理されており、新たにすぐに木材の伐採は困難であること。
- ・木の伐採時に、伐採者が考慮する項目は、樹種と末口直径、曲りの有無、年輪の密度、節の程度である。これらをもとに、森林施業計画に則り伐採する木を選定、玉切りのサイズを決定しており、対象木がいくらで取引され、何に使用されるのかが不明なまま原木市場へ出荷されていること。伐採時に取引されている生のデータを把握し、反映することが出来れば、より効率的に伐採を行うことが出来、無駄の少ない木の利用につながるため、建築側から発注予定の材の数量や寸法を予め把握できるシステムが求められていること。

3.6 中・大規模建築への木材利用の拡大に向けた取り組み

課題整理の結果から、中・大規模建築での木材利用の建築生産システムが社会的に確立されていないことが明らかとなった。

したがって、熊本県の木造設計アドバイザーのように、各ステークホルダーの連携を深め、ノウハウ不足を解消し、木材利用に伴うリスクを低減させるために、建築と木材利用に精通したコーディネーターの重要性がより明確となった。(図 3-4)

コーディネーターは、建築と木材の両方に深く精通する必要があるが、全てをコーディネーターに頼ることとなると高度な職能となりすぎ、普及や標準化の阻害要因にもなる。したがって、コーディネーターが担う内容、流通情報の整備によってサプライチェーンマネジメントシステムが担う内容、構造部材の接合部の標準化などによって標準仕様書や設計者が担う内容を、分類する必要がある。

その中でも、コーディネーターが特に支援すべき対象は、発注者と設計者であり、支援すべき内容は、適切な調達スケジュールの設定と、予算を踏まえた適切な素材・構法の選択、木材利用箇所の選定である。長期的には、産業システム化することで、より容易に中・大規模建築での木造利用が可能になる。

またコーディネーターの育成と並行して、中・大規模建築を担う一級建築士ならびに、将来の建築士の候補である建築を学ぶ学生への中・大規模建築を前提とした木材利用教育が必要である。

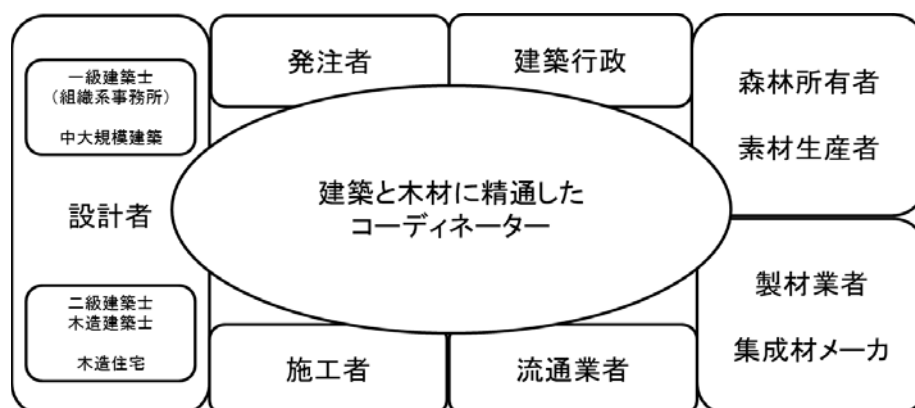


図 3-4 コーディネーターの位置付け

3.7 小結

従来、鉄骨造や鉄筋コンクリート造が中心であった中・大規模建築分野において、発注者、設計者が木材を選定し設計・調達する際の課題の実態調査を実施した。調査結果からは、発注者、設計者が、木材を扱ったことがないため、知識、経験、技量が不足しているだけでなく、木材供給側からも十分な情報提供がなされていないため、地域で入手可能な木材の質、量、納期などが、木材を利用する側に届いていないことが明らかとなった。また公共建築の木材利用については、単年度予算による建築スケジュールなどが、木材調達をする上での新たな課題となっていることも明らかとなった。

中・大規模建築において、木材利用を通常の鉄骨造や鉄筋コンクリート造などと、同様に木材を扱うためには、他の工業素材と同等の情報提供や構造設計を簡素化するために、部材や接合部の標準化を行うことが、より多くの発注者、設計者が木材を選択し利用できるように必要不可欠なことがわかった。さらには各関係者を連携させ、ノウハウを補うコーディネーターの重要性や、必要な職能について考察した。

今後の課題としては、次のことがあげられる。

現状の建築教育では、鉄骨造や鉄筋コンクリート造について学ぶ機会が多いが、木造や木材利用を学ぶ講座は少ない。木材利用に向けた教育プログラムづくりが課題である。

また公共建築では、単年度での建築スケジュールから木材調達の分離発注を前提とした複数年度での発注スケジュールへの対応や、分離発注時のリスクを管理可能な、柔軟な予算制度や仕組の確立が求められる。

最後に、広範な知識やノウハウを求められるコーディネーターの育成と、コーディネーターを支える情報システムの整備、その職能に対して報酬が得られる社会環境の整備が求められる。

謝辞

本章では、建築学会・地球環境委員会・木材流通のデータベース化と共有化の手法検討小委員会での、平野陽子氏（㈱ドットコーポレーション）、山田憲明氏（山田憲明構造設計事務所）、原田浩司氏（木構造振興㈱）、北村俊夫氏（齋

藤木材工業(株) らとの議論を多いに参考とさせて頂いた。また(株)NTT ファシリ
ティーズの設計者の方々には、ヒアリングにご協力いただいたことを感謝申し
上げる。

3.8 参考文献

- 3-1) 林野庁：森林・林業基本計画,2011.7
- 3-2) 林野庁,国土交通省：公共建築物等における木材の利用の促進に関する法律,2010.10
- 3-3) 国土交通省：木造計画・設計基準及び同資料,2011.5
- 3-4) 国土交通省：公共建築木造工事標準仕様書,2013.2
- 3-5) 農林水産大臣、国土交通大臣：公共建築物における木材の利用の促進に向けた措置の実施状況（平成 24 年度）,2013.11
- 3-6) 国土交通省：今後の建築基準制度のあり方について「木造建築関連基準等の合理化及び効率的かつ実効性ある確認検査制度等の構築に向けて」（第二次報告）（案）,2014.2
- 3-7) 中層大規模木造設計情報整備委員会：中層大規模木造 構造設計データ集,2013.7
- 3-8) 国土技術政策総合研究所：木造 3 階建て学校の実大火災実験（本実験）の結果概要,2013.12
- 3-9) 木を活かす協議会：ここまでできる木造建築の計画,
<http://www.kiwoikasu.or.jp/technology/>,2013.12
- 3-10) 国土交通省：新設住宅着工戸数と床面積、木造率, 2013
- 3-11) 早川慶朗、金多隆、古阪秀三：木造住宅の設計と木材調達のスケジュールリングに関する研究,日本建築学会計画系論文集,No
632,pp2173-2179,2008.10
- 3-12) 原田浩司：地域木材の供給体制の現状（大規模木造建築の技術的課題と解決方法）,2012 年度日本建築学会大会 PD 配布資料,2012.9

- 3-13) 北村俊夫：S・TEC システムの紹介と 3 ヒンジ山形ラーメンのスパン表,木
質構造研究会,第 15 回木質構造研究会技術報告集,pp11-14,2011.12
- 3-14) 埼玉の木づかいワークショップ,埼玉県農林部森づくり課:木造公共建築物
整備の手引,2013.10
- 3-15) 岐阜県：大規模木造公共施設の建築にかかる低コストマニュアル・事例
集,2012.3
- 3-16) 日経 BP 社：中・大規模木造&木質建築の現在,日経アーキテクチャ
SPECIAL,2013
[http://kenplatz.nikkeibp.co.jp/article/knp/news/20131217/644930/?SS=i
mgview&FD=1420927604](http://kenplatz.nikkeibp.co.jp/article/knp/news/20131217/644930/?SS=imgview&FD=1420927604)
- 3-17) 松浦隆幸+日経アーキテクチュア：こうすれば燃えにくい新しい木造建築,
日経 BP 社, 2014.3

第 4 章

「木質バイオマス燃料の供給力を向上 させるための地域連携に関する考察」

- 4.1 本章の背景と目的
- 4.2 木質バイオマス利用の具体地域事例調査
- 4.3 国内の森林資源供給、需要の地域モデル化
- 4.4 木質バイオマス利用における課題
- 4.5 木質バイオマスエネルギーの
計画策定プロセスの考察
- 4.6 小結
- 4.7 参考文献

第4章 木質バイオマス燃料の供給力を向上させるための地域連携に関する考察

4.1 本章の背景と目的

再生可能エネルギーである木質バイオマスを用いた発電は、固定価格買取制度（FIT）の対象となった。平成 25 年度の未利用木材燃焼発電による電力の調達価格は、平成 24 年度と同額の 32 円（税抜）/kWh⁴⁻¹⁾である。この価格の場合、発電事業者の燃料チップの調達価格は 10000～12000 円/t 程度⁴⁻²⁾になると想定されている。FIT によって、各地で木質バイオマスの発電利用に向けた計画に着手が進み始めており、約 30 件の計画⁴⁻³⁾が進む。しかしながら、平成 24 年度に実際に稼働しはじめたプロジェクトは、1 件⁴⁻¹⁾のみである。

同じく FIT の対象となった太陽光発電は、導入の容易さから、全国各地で大規模な新設が進んでいる。

両者の普及速度の違いは、木質バイオマス発電特有の課題である、燃料の安定的な調達にあると考える。5000kW 出力の木質バイオマス発電所は、含水率にも左右されるが、年間約 8～9 万 t の燃料を必要とする上、少なくとも FIT の固定買取期間である 20 年間に渡り安定的に供給し続ける必要がある。しかしながら、大量の木質バイオマス燃料を安定的に供給できる地域は限られており、木質バイオマス発電の実現には、課題が多い。

国内で木質バイオマスの燃料利用をする上では、森林資源の有効活用ならびに、調達コストの低減のために、建築材の生産・流通と一体となった計画を考慮する必要があるが、現在の木材流通において、製材以降の流通課程で排出される樹皮、オガ粉、製材端材等は平成 24 年度に実施した調査⁴⁻⁴⁾において、ほぼ全量近くは流通先が確定していることが明らかとなっている。そのため新たに燃料へ供給する余力は無い。したがって、木質バイオマス発電等の燃料利用を実施するためには、林地残材の活用が不可欠であるが、木質バイオマス燃料を、林地から新たに低コストで大量に出材する必要があり、供給力は、森林組合をはじめとする森林施業者の能力（作業効率、作業数）に依存する。

一方、木質バイオマスの燃料利用や発電に関する既往研究は、主に 3 つの分野を中心に進められている。1 つは、ボイラー技術や炭化手法、エタノール化など、燃焼、燃料化、効率的な発電に関する技術開発分野である。⁴⁻⁵⁾⁻⁶⁾

2 つめは、森林資源の推定方法、算定方法として、衛星や航空機 LiDAR などによる計測手法の開発分野である。4・7・8)

3 つめは、施業時の効率的な林地残材の集材などの林業技術や高性能林業機械等の施業分野である。4・9・10)

上記のように木質バイオマスの活用を拡大するための各要素技術における研究開発は進められているが、実際に木質バイオマスを用いた事業を開始するために必要な計画策定のプロセスについては、明確化されていない。また地域毎の特殊要件に合わせ、燃料を安定的に調達する方法や、段階的に需要を拡大していく方法など、事業性検討段階及び、事業化段階の計画策定手法に関するプロセスの研究は、十分に行われていない。このように計画策定プロセスが明確化されていないことが、木質バイオマスの活用を妨げている一因と考えられる。

本章では、丸太の建築材利用と一体となった林地残材の搬出・利用による森林資源全体の供給力の確保と、燃料需要（薪、ペレット、チップ）の創出を対象とし、地域における木質バイオマスの燃料利用について考察する。

その上で、地域差が大きい森林資源及び需要形態の中で、共通点を探るとともに、地方自治体等における森林資源の利用政策とエネルギー利用政策を立案・推進・実施する者が活用可能な、木質バイオマス利用の計画策定プロセスを明確化するとともに、事業の実現手法について考察する。

4.2 木質バイオマス利用の具体地域事例調査

全国各地で実際に展開される木質バイオマス利用の具体事例について文献等、公開情報を中心に調査した。

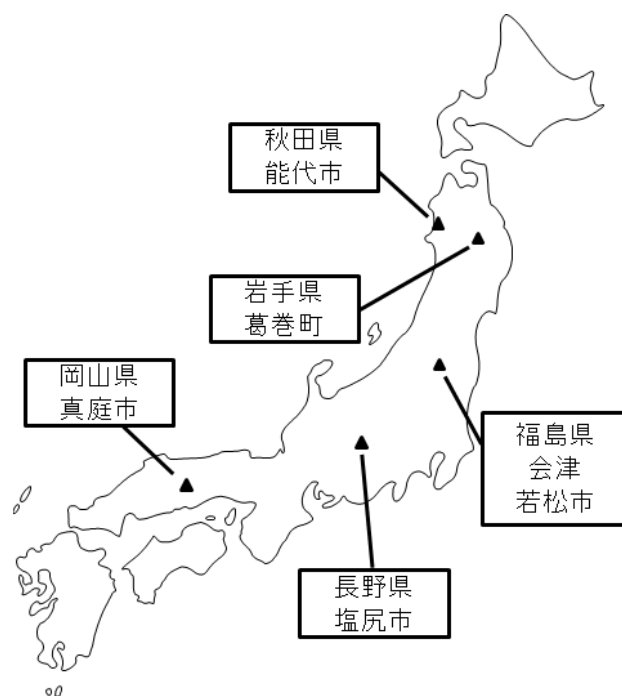


図 4-1 調査対象とした市町村

4.2.1 岡山県真庭市

1998 年から木質バイオマス発電事業を開始し、国内でも早い時期からバイオマス利用を推進している。人口約 5 万人、面積 828 km² であり、森林面積は、79.2% (656 km²) を占める。製材工場が約 30 社立地しており、地域内での原木及び製材端材の供給体制が整っていたことが、先進的な取組を可能にした要因と考えられる。またバイオマス集積基地の設置によって、基地での燃料の買取制度にて未利用材への有償価値が付与されたことによって、燃料の安定収集及び安定供給体制が構築されている。⁴⁻¹¹⁾

4.2.2 岩手県葛巻町

1981 年から葛巻林業株式会社がペレット製造を開始し、木質バイオマスのエネルギー利用を実施。人口は約 7 千 5 百人、面積 434 km²、森林面積は 85.5% (373 km²) を占める。町全体で、木質バイオマスのエネルギー利用を推進しており、木質バイオマスガス化発電から、ペレットボイラー、ペレットストーブと、大口から小口、利用形態も、発電から熱利用と多様性を持たせることでエネルギー利用の市場を町内で創出している。

ペレット製造を軸にし、小口のペレットボイラーの地域導入など、エネルギー利用を地域内で段階的に拡大していく事が供給力確保の上で重要なプロセスと考えられる。⁴⁻¹²⁾

4.2.3 秋田県能代市

平成 15 年度に能代森林資源利用共同組合が事業主体となって能代バイオマス発電所（発電出力 3000kW）が運転開始。人口約 5 万 9 千人、面積 426 km²、森林面積 58.4% (249 km²)、林家数約千戸であり、林業並びに木材・木製品製造業が立地する。域内で年間約 4 万 5 千 t の製材端材が発生しており、全量を発電燃料並びに家畜敷材として活用しているが、林地残材については集材コストなどの点から利用が進んでいない。⁴⁻¹³⁾

4.2.4 福島県会津若松市

2003 年会津若松市地域新エネルギービジョンを策定し、2008 年バイオマスタウン構想を策定、2012 年 7 月よりグリーン発電会津河東発電所が運転開始。人口約 12 万 3 千人、面積 383 km²、森林面積は 54% (207 km²)、インシュレーションボードの製造工場が立地していることから、木材流通の基盤が整っている地域である。またダムの流木などを、チップ化する施設も地域内に存在する。

⁴⁻¹⁴⁾

4.2.5 長野県塩尻市

全木利用型製材工場及び木質バイオマス発電施設を併設した信州 F・POWER プロジェクトを計画中。人口約 6 万 7 千人、面積 290 km²、森林面積は 75.6% (219 km²) である。F・power プロジェクトでは、長野県の年間素材生産量に相当する約 20 万 5 千 m³の持続的需要を創り出す計画である。⁴⁻¹⁵⁾

4.2.6 地域事例調査からの考察

先行して木質バイオマスの利用が進む地域は、いずれの地域も豊富な森林面積を背景にした製材業が立地している。これらから、木質バイオマスの供給力拡大には、建築材や家具材、ボード等の需要の拡大が不可欠であることが明らかである。よって、法制度が整備された公共建築物の木造化を活用するなど、地域内での建築材としての木材利用を増やす努力が求められる。また現実的な施策として、エネルギー利用の場合には、熱利用（ストーブ、ボイラー）等、小口需要から段階的に拡大していく必要がある。

4.3 国内の森林資源供給、需要の地域モデル化

4.3.1 都道府県別の地域特性の分類

前節では、市町村における木質バイオマスの具体的な活用事例について、調査した。本節では、都道府県をマクロ的な指標にて分類することで、国内の木質バイオマス利用を行う上での、地域の特徴を明らかにする。分類にあたっては、次の指標、

- ① 資源量（木質バイオマスの基となる森林資源の豊富さを占めず森林率⁴⁻¹⁶⁾）
- ② 製材業の集積度（供給・加工の集積状況を表す製材用動力の出力階層別出力数⁴⁻¹⁷⁾）
- ③ 需要規模（建築・エネルギー需要規模の観点から人口密度⁴⁻¹⁸⁾）

で、上位から全国 47 の都道府県ごとに順位付けを行った。

表 4-1 中に上位からの順位を示し、上位（1～15 位）、中位（16～30 位）、下位（31～47 位）の 3 グループに分類した。また表 4-2 に、森林率（3 分類）、製材業の集積度（3 分類）から、9 分類となるように、地域タイプ进行分类し、該当する都道府県数を集計した。

前節の具体地域事例で取り上げた岩手県、秋田県、長野県は、森林率、製材業の集積度のいずれも、上位グループに属する、A タイプに分類でき、地域の特徴を生かした政策を進めていると考えられる。福島県は、製材業の集積度が高い C タイプに分類でき、木質バイオマスの供給量が確保できるという背景から、政策を進めていると考えられる。

また一方で、真庭市の立地する岡山県は、いずれの指標においても中位をしめる D タイプに分類され、指標から読み取る限りでは木質バイオマス利用において、都道府県レベルでは上位地域と比較して、相対的には有利な地域とは言えない。しかしながら木質バイオマスの特徴である森林資源と製材業の立地特性から、都道府県単位で有利な地域でなくても、市町村単位で優位性を持つ地域の特徴を活かした政策を進められれば、木質バイオマスの利用で先進的な取り組みが可能であることを示した事例と考えられる。

表 4-1 都道府県別、森林率製材業集積度、需要規模

(上位 1～15 位 濃灰色、上位 16～30 位 薄灰色)

都道府県	地域タイプ 表 4-2 参照	森林率		製材業の 集積度		需要規模	
		森林率 (%)	順位	製材用動力の 出力合計値 (kW)	順位	人口 密度 (人/km ²)	順位
北海道	C	71%	20	63,615	1	5,101	21
青森県	D	66%	28	12,979	26	3,950	45
岩手県	A	77%	8	21,869	5	4,679	27
宮城県	I	57%	34	10,009	31	5,793	15
秋田県	A	72%	15	20,869	8	4,256	39
山形県	D	72%	17	11,800	27	4,308	36
福島県	C	71%	21	20,225	10	4,406	33
茨城県	F	31%	46	17,037	16	4,570	31
栃木県	F	55%	35	13,397	23	4,691	26
群馬県	D	67%	27	13,124	25	3,997	44
埼玉県	I	32%	44	4,929	39	8,340	4
千葉県	I	31%	45	9,389	35	7,145	7
東京都	I	36%	43	3,724	44	12,022	1
神奈川県	I	39%	42	1,143	46	8,979	3
新潟県	C	68%	22	19,078	13	4,894	22
富山県	D	67%	25	16,305	18	3,864	46
石川県	E	68%	23	8,835	36	5,478	17
福井県	G	75%	11	9,582	34	4,308	36
山梨県	G	78%	5	3,802	43	4,668	28
長野県	A	78%	4	18,135	15	4,244	40
岐阜県	A	82%	2	20,184	11	4,523	32
静岡県	C	64%	30	21,745	6	5,267	20
愛知県	F	43%	41	11,065	28	6,179	11
三重県	C	65%	29	25,686	4	4,200	41
滋賀県	I	51%	36	7,747	37	6,120	12
京都府	G	74%	12	9,750	32	8,300	5
大阪府	I	31%	47	3,235	45	9,366	2
兵庫県	C	67%	26	18,184	14	7,415	6
奈良県	B	77%	6	11,052	29	6,340	10
和歌山県	B	77%	7	14,694	21	4,347	35
鳥取県	G	73%	13	4,508	40	4,304	38
島根県	B	78%	3	10,322	30	4,174	43
岡山県	D	68%	24	16,191	19	4,368	34
広島県	A	72%	14	31,246	3	5,983	13
山口県	E	72%	16	9,710	33	3,317	47
徳島県	B	75%	10	13,173	24	4,708	25
香川県	I	47%	37	4,351	41	4,178	42
愛媛県	C	71%	19	21,253	7	4,872	23
高知県	B	84%	1	16,347	17	5,871	14
福岡県	F	45%	40	13,783	22	6,351	9
佐賀県	I	45%	39	6,047	38	4,662	29
長崎県	I	59%	33	4,191	42	5,574	16
熊本県	F	63%	32	19,912	12	5,440	18
大分県	C	71%	18	20,814	9	4,713	24
宮崎県	A	76%	9	41,356	2	4,573	30
鹿児島県	D	64%	31	15,392	20	5,364	19
沖縄県	I	46%	38	781	47	7,019	8

表 4-2 地域タイプの分類表

地域 タイプ	森林率	製材業の 集積度	該当する 都道府県数
A	上位	上位	5
B	上位	中位	5
C	中位	上位	8
D	中位	中位	7
E	中位	下位	2
F	下位	中位	5
G	上位	下位	4
H	下位	上位	0
I	下位	下位	11

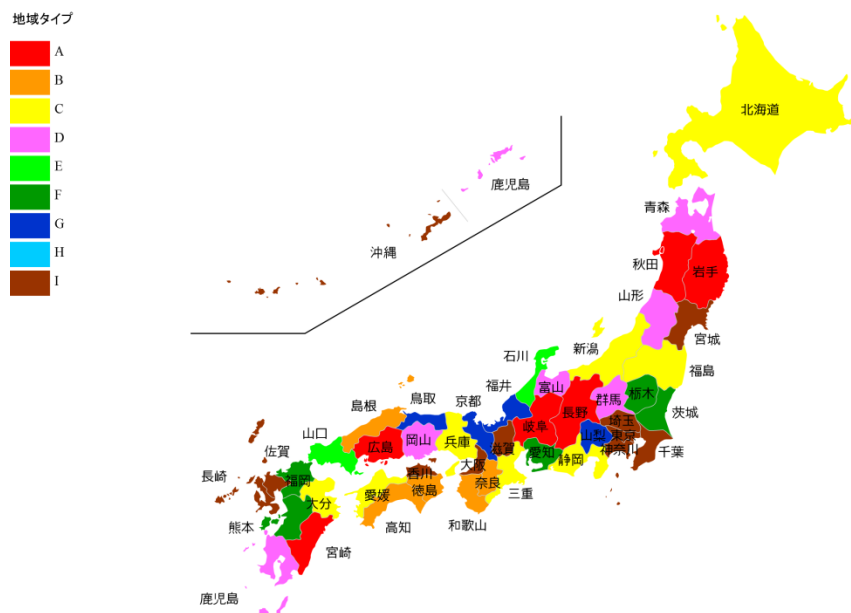


図 4-2 都道府県別 地域タイプ

4.3.2 地域タイプに需要規模を加味した考察

前項の分類では、森林率と製材の集積度から分類したが、本項では、需要規模も加味し、特徴的な都道府県について抽出し考察する。需要規模は、自地域でのエネルギー利用時の市場形成に影響する。商品価格に占める輸送コストの割合が大きくなるエネルギー利用向け燃料は、輸送距離が最少となるように、地域内で小口のエネルギー利用の需要を積み上げていくことが重要である。一方、建築材等は、商品価格に占める輸送コストの割合は、エネルギー利用向け燃料よりは小さいため、自地域以外に近隣の人口密度の高いエリアでの建築材としての木材需要を高めていく施策も求められる。

(1) Aタイプの地域

森林資源量が豊富かつ、加工・流通体制も整っているため、木質バイオマス利用への展開は比較的容易な地域であり、先進的な取組をする地域も多い。製材端材等は、すでに流通先が決まっている。そのため新たにエネルギー利用するためには、建築需要をさらに取り込み、製材量そのものを増やし、端材発生量を増やすことが求められる。また林地残材の活用が重要となる。広島県は、需要規模も上位であるため、木材利用および木質バイオマス利用に理想的な地域であると読み取れる。

長野県や岐阜県は、人口密度が低いため県内需要だけでなく積極的に他府県の建設需要等も取り込むことが木質バイオマス活用の拡大につながると考えられる。

(2) Bタイプの地域

豊富な森林資源を伴うが、製材業の集積度は、中位となる地域である。豊富な資源量を活かし、素材生産を中心としながら、林地残材の活用を図ることで、木質バイオマスの活用が進められると思われる。また小規模な地域内でのエネルギー利用が重要と考えられる。奈良県や和歌山県は、森林率は7位と上位であるが、製材業の集積度は低い。奈良県は吉野杉などのブランドを有するが、面積も狭く絶対的な資源量という点では、広い面積を持つ県と比較し、製材業の集積度が低い。また海に面していないため外材を中心に拡大してきた大規模製材工場が立地する上で不利だった点も、奈良県の製材業の集積度が低い要因と考えられる。今後の国産材への需給構造の移行や、自県ならびに周辺に需要

規模の大きい大阪を持つ地域特性を活かせることができれば、地産地消での木質バイオマス活用が可能なエリアである。一方、和歌山県は県内の需要規模が小さいため、積極的に他府県の需要を取り込む策が求められる。

(3) C タイプの地域

森林資源量と比較し、製材業の集積度が高い地域である。周辺地域から流入する素材（原木）流通の拠点、もしくは外材を主に製材する工場が多い地域であると考えられる。林地残材の調達を周辺地域から行うことは、輸送コスト面から不利なため、豊富に立地する製材業から副産物として供給される製材端材を中心とした木質バイオマス利用が中心になると考えられる。

大規模な製材工場での、工場内での製材品の乾燥に用いる熱の自家利用や、発電利用等が、推進しやすい地域と考えられる。

(4) G タイプの地域

豊富な森林資源を有する一方で、地域内での製材業の集積度が低い地域である。山梨県、福井県、鳥取県、京都府が該当する。豊富な森林資源を有しており、供給力の拡大ができれば、理想的な木質バイオマス利用エリアとなる潜在力を持つ。しかしながら京都を除く3県は、需要規模も小さいため、新たに大規模な製材業を立地させることは、実現性が乏しいと考える。そのため、木質バイオマス利用をするためには、地域内の既存の製材所や林家とより地域密着での連携を実施することが重要であると考えられる。

京都は森林率も高く、需要規模も大きい、製材の集積度が低い特徴的なエリアである。域内の需要を取り込むことができれば、建築材、エネルギーを含めた地産地消が実現できる可能性が高いエリアである。

(5) I タイプの地域

関東や関西の都市圏が多く、都市化が進んでいることから、森林率も低く、製材業の集積度も低い地域である。多くの地域は人口密度が高く豊富な需要を持つ。国内全体で見た場合に、主に木材の消費地としての役割を果たす必要がある。木質バイオマスのエネルギー利用は、輸送距離・コストから現実的でないため、建築材としての木材利用を中心に、木材需要を支える必要がある。

都市部は、戸建住宅よりも集合住宅の比率が高いため、森林資源供給側、製材供給側は、構造材ではなく内装材や家具材などの需要に合わせた供給体制を整えていく必要がある。

また都市において木材利用を進めている事例として、東京都港区があげられる。2009年、港区長と全国の森林資源を豊富に持つ市町村の首長が一堂に会し、「みなと森と水サミット」が開催された。その後、「みなとモデル 2012 宣言」等を掲げ、都市と山側の交流を積極的に進めている。都市での木材利用と山側の森林整備を促進するために、「みなとモデル二酸化炭素固定認証制度」や「間伐材を始めとした国産材の活用促進に関する協定」を港区と山側自治体で締結をしている。これらの制度から港区内で、延べ床面積 5,000m²以上の建築を行う場合は、床面積 1m²につき 0.001m³の協定木材の使用と、着工前に国産木材使用計画書の提出を義務づけており、提出前に必ず、みなとモデル二酸化炭素固定認証制度事務局と事前協議を行うこととなっている。

4.4 木質バイオマス利用における課題

4.4.1 供給側(素材生産)の課題

森林資源の理想的なカスケード利用は、図 4-3 のように、製材用丸太から梢端に至るまで全てを利用することである。木質バイオマスで FIT 対象となるのは、未利用間伐材等、工場残材、建設発生木材である。工場残材の未利用率は約 5%、建設発生木材の未利用率は約 10%であり、供給余力は小さい。林地残材は、その多くが未利用であるが、搬出コストの課題や、エネルギー利用の需要が地域内で創出しきれていない事などから、林内に放置されたままである。

賦存量としては、約 800 万 t (約 2,000 万 m^3)⁴⁻²⁰⁾発生しており、これは、国産材供給量 1,824 万 m^3 ⁴⁻²⁰⁾に匹敵する量である。

次に素材生産を担う森林組合の状況として、平成 22 年度の森林組合数⁴⁻²¹⁾は、679 組合存在し、1 組合当たりの専従職員数は 10.6 人である。林業労働者の一人当たりの年間素材生産量⁴⁻²⁰⁾は、日本の場合は 344 m^3 /年人である。ドイツ：1,039 m^3 /年人、オーストリア:710 m^3 /年人、スウェーデン:4,615 m^3 /年人、フィンランド 2,049 m^3 /年人である。

林地残材の量は、素材生産量とほぼ同量が存在するため、仮に全量搬出を行うとなると、生産性を 2 倍にするか、投入する労働力を 2 倍にする事が求められる。欧州と比較し、一人当たり素材生産量は、生産性の改善（団地化、機械化）によって拡大の余地があるが、労働集約的な林業においては、急激な改善は難しいと思われるため、段階的に生産性の改善、供給力の向上を実施しなければならない。

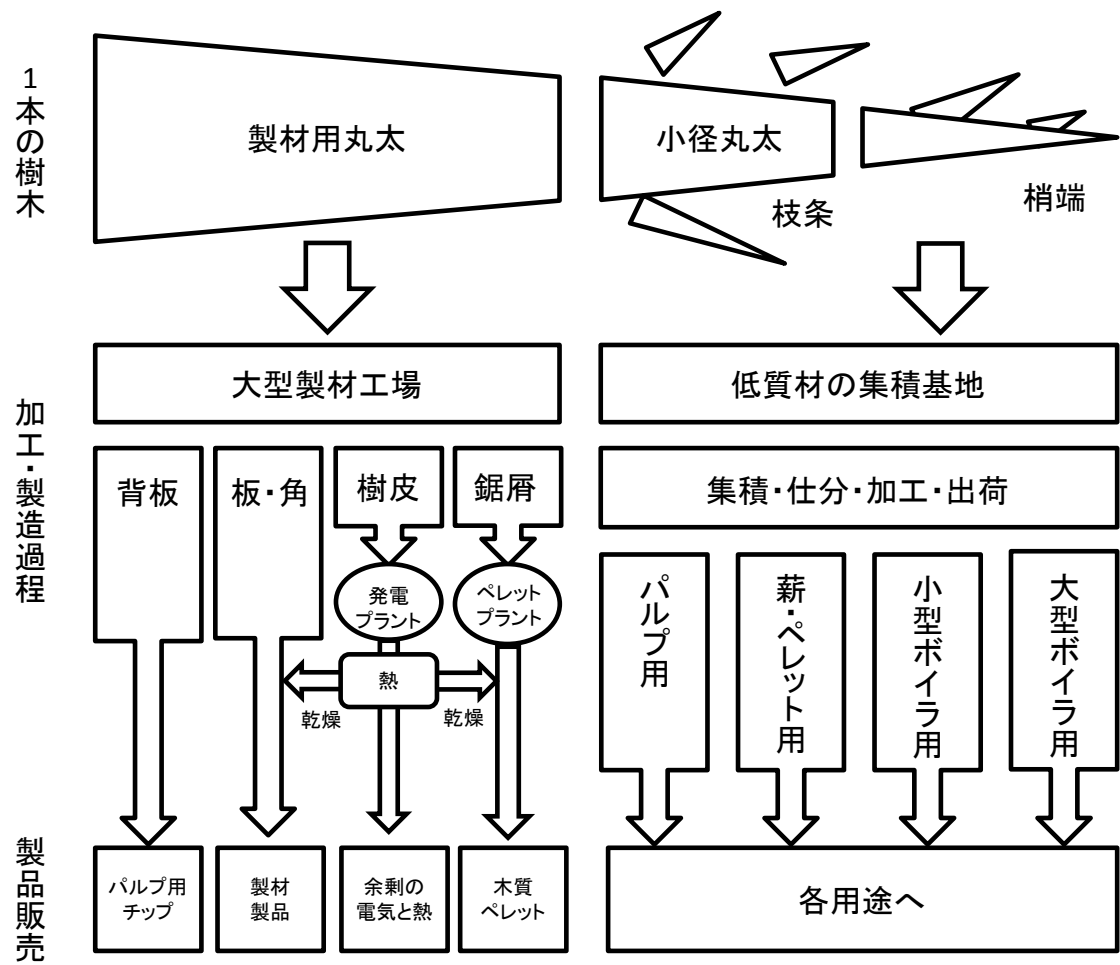


図 4-3 森林から伐り出される樹木のカスケード利用 ⁴⁻¹⁹⁾

4.4.2 需要側（燃料加工・消費）の課題

木質バイオマスのエネルギー利用においては、熱利用と発電利用の2つが主となる。表4-3に木質バイオマスエネルギーの利用形態をまとめた。

最も小規模なエネルギー利用の場合、燃料の自動供給の必要性も小さいため、薪での利用が現実的である。薪は、生産、供給する上で、新たな機器や製造施設が不要という点がメリットである。

ペレットは、燃料供給の自動化や、燃料品質の安定化、単位体積あたりの熱量の向上のメリットがある。ペレット製造施設を地域内で持たない場合は、外部から購入する必要がある。また地域内に新たにペレットの製造施設を構築する場合、数億円単位の初期投資が必要な上、稼働率を維持するために、年間の安定的な需要（1万t〜）が求められる。

チップを燃料とする場合は、燃料供給の自動化が可能となるため、出力規模の大きなボイラーでの利用も可能である。一方、小型の家庭用ストーブなどでは不向きである。木材からチップを製造する装置は、小型で安価なものもあり、ペレットと比較し、燃料の製造コストが安価である。

また木材資源の効率的な利用のために、エネルギー変換効率の観点からすると、発電利用よりも熱利用を中心に展開すべきである。他方、エネルギー搬送の観点からは、木質バイオマス発生地周辺に大きな熱需要が無い場合は、電力での搬送が容易なため、発電利用が優位と考えられる。

一般家庭の熱利用の場合、冬季の暖房利用が中心となり、年間の平均した需要とならない。そのため地域内での給湯・温水利用や、吸収式冷凍機を用いた地域冷暖房によって年間の木質バイオマス需要の平準化が求められる。

5,000kWクラスの木質バイオマス専焼の発電所を建設すると、含水率にもよるが年間約8～9万tの燃料を必要とする。（表4-2参照）発電利用の場合、出力が大きな方が発電効率が良くなり、経済上有利になるため、計画段階では、燃料調達の観点を無視すると、大型化する傾向にある。

仮に8万tの燃料は、比重を $1\text{t}/\text{m}^3$ とし試算すると、年間8万 m^3 の木材となる。これは、現在の林業の生産性をもとにすると、新たに232人の林業従事者を必要とし、10t積みトラックで、8千台/年の運行が必要となる。発電プラントの運用開始直後から、発電施設の100%稼働をめざすと、この規模の供給力を確保する必要がある。しかしながら、現実的にはこの供給力を確保できない地域

が多くあると思われ、平成 24 年度時点で FIT を活用し稼働した発電施設が 1 ヶ所のみという結果につながっていると考え。したがって発電のみならず、大規模な木質バイオマス利用計画の実現へは、地域内での燃料の供給力を、いかに安価で安定的に確保するかが肝要となる。1 森林組合あたりの専従職員数が 10.6 人から、1 組合当りの素材生産量が約 3,650m³/年程度と試算すると、5,000kW クラスの発電所の設立を行うと、約 22 組合規模の供給力を増加させる必要があることから、発電事業を実現するには、事業開始までに供給力を高める施策を実施すると共に、可能な限り小規模な発電とすることが重要である。

表 4-3 木質バイオマスエネルギーの利用一覧 4-19)-22)-23)より作成

利用形態	利用施設規模	燃料種別	エネルギー変換効率(%)	年間使用量
熱	家庭	薪	70～90	一般家庭で 0.5～1t 程度
		ペレット		
	中・大規模施設	ペレット	70～90	出力に応じ 10～1,000t
		チップ		
	地域熱供給	チップ	70～90	出力に応じ 1,000t～
熱電供給	木質専焼	チップ	40～70	1,000t～
電力	木質専焼	チップ	10～30	5,000kW 規模 約 8～9 万 t
	石炭混焼	チップ	30～40	1 発電所当り 数千～数万 t

4.5 木質バイオマスエネルギーの計画策定プロセスの考察

前節までの考察により、現状、木質バイオマスのエネルギー利用に必要な燃料の供給余力は製材端材には無く、段階的に供給力を引き上げていくプロセスが必要であることが、明らかとなった。各々の地域で木質バイオマス利用を計画し、実現するには、調査やフィージビリティスタディ（FS）を行い、その上で地域毎の特性や特徴に合わせた戦略を策定し、具体策を実施していく必要がある。

また木質バイオマス利用では、可能な限り高く売りたい森林資源供給側と、可能な限り安く買いたい木質バイオマスの需要側と、それぞれの利害が相反するため、第三者の視点から利害調整し、全体最適を目指すことが重要である。

例えば木質バイオマス発電を計画する事業者の立場では、地域での木質バイオマスの需要や供給を段階的に拡大するために、小規模な熱利用などを働きかけていくことは、自らの計画に直接結びつかず、行動を促すことは難しい。そこで地域全体を把握し、政策立案、実施する地方自治体などの第三者の役割が重要となる。本節では、地域全体を把握し、供給側と需要側の利害調整を担い、政策立案する立場の者にとって、活用可能な体系立てた木質バイオマスの利用計画策定プロセスを明確化し、事業の実現手法について各要点を、以下に考察する。

4.5.1 素材生産者側の供給力の向上と資源情報流の整備

1 森林組合の供給力が約 3,650 m³ とすると、生産性を年間 10% 向上させるとすると、約 365 m³ の供給力が増す。生産性の向上には、林野庁が補助を進める林道整備や高性能林業機械の導入などのハード面の事業を着実に実施するとともに、ソフト面の支援を実施していくことが求められる。たとえば計画段階での効率化を進めるために、3D スキャナーの活用による資源量計測等を⁴⁻²⁴⁾を実施することで、正確な森林資源量を把握するとともに、把握した資源量を需要側と共有することを可能にする。これにより、従来物流と情報流が一体であった木材流通において、物流と情報流を分離し、施業前の計画段階で「どの資源を、どこに運搬し、いくらで、どのぐらい供給するか」を決定することで、流通全体の効率化をはかり、生産性の向上をはかる。

また情報流の整備をすることで、中間土場の運用がより容易になり、川上から川下への資源の流れをスムーズにすることで川上のさらなる生産性向上へつなげる。また作業班（3人）を1班増やすと、約1,000 m³の供給力が向上するが、年間に新たに3人を雇用するとなると、直接人件費ベースで1,000万円～2,000万円の費用負担が増すために、同時に川下側で、同量の需要をつくり連携していくことが求められる。新たな供給力の拡大を、全量林地残材の搬出に適用した場合は1,000 m³/年、製材用丸太の搬出とした場合は、製材歩留まりを50%とすると、500 m³/年の木質バイオマスの供給が増加する。500 m³の製材用原木からは、製材歩留まり30%とすると、150 m³の製材品の供給力となる。これは延べ床面積40坪程度の戸建住宅5～10棟分程度であり、自治体の森林利用の政策立案者が、住宅政策者側と連携することで、需要側で十分吸収可能な量である。

(1) 建築材としての需要創出

素材生産時の経済性を高めるためには、素材供給力の増加分をすべて林地残材の生産に当てるのではなく、立木の半分を占める製材用丸太も含めた生産を行わなければならない。このため、エネルギー利用を推進するには、同時に製材（建築材）側の需要を創出していくことが重要である。近年、公共建築物への木材利用推進について法整備がなされたが、市町村レベルでは、大規模な公共建築は、数十年に一度しかなく、公共建築の需要に合わせた供給体制の構築は現実的ではない。安定的な需要を有する一般的な住宅での木材利用をさらに推進していく必要がある。延床40坪程度の一般的な戸建住宅で、構造材で10～20 m³、内装・下地材で10～20 m³程度利用するため、建築材としての需要を、地域内だけでなく大都市圏での住宅需要も取り込んでいく必要がある。大都市圏の場合、集合住宅が増加しているため、構造材での供給ではなく、内装材での供給、販売を高めて行く必要がある。

(2) 小規模な熱利用需要の創出

木質バイオマスの供給量に合わせて、エネルギー利用の需要側を創出する必要がある。最も小規模な需要である地域内での一般家庭への薪・ペレットスト

ープの導入を促しながら、バイオマス利用の意識を地域内で醸成し、中規模程度のボイラー導入を同時に進展させていくことで、需給を一致させながらの木質バイオマス利用拡大が可能となる。

地域内での地域熱供給事業等を展開する場合は、大型ボイラー等での導入となり、年間 1,000 t 以上の燃料を必要とする。地域熱供給プラントの運転直後からこの規模の量の供給を確保することは困難であるので、小規模での利用によって、燃料の供給力を高めてからの実施となる。

(3) 既設石炭火力発電での混焼による供給力の向上

木質バイオマスの供給力をさらに高めるとなると、既存の石炭火力発電との連携が重要になると考えられる。石炭火力発電所は、石炭の輸入のために港湾部へ立地しており、必ずしも木質バイオマス発生地から近距離にある訳ではなく、運搬コストにおいて不利な場合も多い。また石炭と木質バイオマス燃料の熱量、蒸気発生量の違いから、石炭火力発電所での混焼には制限があるが、木質バイオマスの供給力を高めるため、遠方地であったとしても積極的に需要先として連携、活用することを提案する。

既存の石炭火力発電所で、ペレット等を受入することにより、林地残材を安定的に搬出する体制を整備し、木質バイオマス燃料を生産する供給力を向上させる。石炭混焼発電も FIT 制度の対象になっているが、遠方地では輸送コストの面から採算が取れない可能性も高い。木質バイオマスの供給力を高めるために、遠方での石炭火力混焼には、通常の FIT に加え一時的（5～10 年間程度）な輸送コストの割増制度等も政策的に支援すべきと考える。既設石炭火力での混焼を活用し、より安定的に大規模に燃料を供給できる体制を整備する。

(4) 地域内での中規模・大規模な熱利用への転換

既設石炭火力発電所での混焼により、地域での木質バイオマスの供給力が整えば、石炭混焼側の木材混焼設備の更新時期に合せ、輸送コスト、エネルギー効率の観点から、森林近傍での中・大規模な熱利用へシフトする。設備更新時期に、近隣への需要に切替えることで、石炭混焼側の設備投資負担を軽減し、

現実的な計画とするとともに輸送コストの低減をはかる。各事業主体の長期の改修計画を把握しながら、需要地、需要先を意識的に移行させる。

(5) 木質バイオマス専焼発電への展開

木質専焼での発電事業は、燃料調達の実現性及びエネルギー効率面から、地域内で熱利用の展開を行い、さらに木質バイオマスの供給力に余裕が出来た際に、実施することが現実的な計画順序になると考える。

ただし、既に大型の製材工場や合板工場が立地している場合には、製材端材からの燃料調達が容易であることから、(1)～(4)までの段階を経ずに、国内での先行事例があるように熱電供給や発電を実施することが可能である。

(6) 計画から実施への全体プロセス

調査、計画から開始し上述した(1)～(6)を実施していくプロセスを図4-3に示す。まず木質バイオマス利用の拡大を目的とした戦略を策定する前に、供給側、流通加工側、需要側(消費)の3つの階層から調査を実施する。

賦存量調査の実施時には、5章にて有効性を検証した3Dスキャナーを活用するなどし、調査の効率化と資源データの精度を高めることで、地域内で供給できる資源量を、品質情報(原木としての価値)と合わせて詳細に把握する。次に、現在の流通加工の経路や製材能力を調査し、バイオマスの供給能力を把握する。そして、地域内での熱利用を中心としたエネルギー利用のポテンシャルを調査し、把握する。

この3つを実施し、商流、情報流、物流を分析し、地域に合わせた具体的な実施戦略を策定する。特に森林情報や木材情報を、地域で共通に利用できるシステムは、計画策定時だけでなく、実際に資源を効率的に流通させる際に必要であるが、林道整備などハード面と比較し、取組みが遅れているため、より意識をしながら情報流を整備する必要がある。

次に、具体的な事業への展開となる。地域でのエネルギー利用を推進するために、まず林地残材を少量から供給し、住宅で熱利用を開始する。これにより、地域全体での木質バイオマス利用の意識を醸成し、林地残材の搬出量を増加させるとともに、中間土場の整備により物流網の強化を進める。そして、同時に

建築材需要を拡大させ、原木の生産量の拡大を行う。建築材の生産量の拡大に伴い、製材端材、林地残材の供給が増えることで、地域内での熱利用の規模を拡大、エネルギー需要を創出していく。

そしてさらに、林地残材の搬出・供給量を増加させるために、既設石炭火力発電での混焼を活用し、安定的な大規模な需要を確保し、林地残材の供給網を整備する。そして、地域内での大口の熱利用を開始し、地域内での本格的なサプライチェーンを構築する。

地域内で大規模な熱利用を行った上で、それでも木質バイオマスの供給余力がある場合に限り、木質専焼の発電利用に着手することが、実現性、エネルギー利用効率の面から望ましいとプロセスと考える。

以上のように計画策定・実施のプロセスを明確化することで、順をおって実行することが可能となる。供給側と需要側が、規模に応じて段階的に協力、補完体制をつくり合うことで、木質バイオマスの地域利用の実現可能性が高まる。

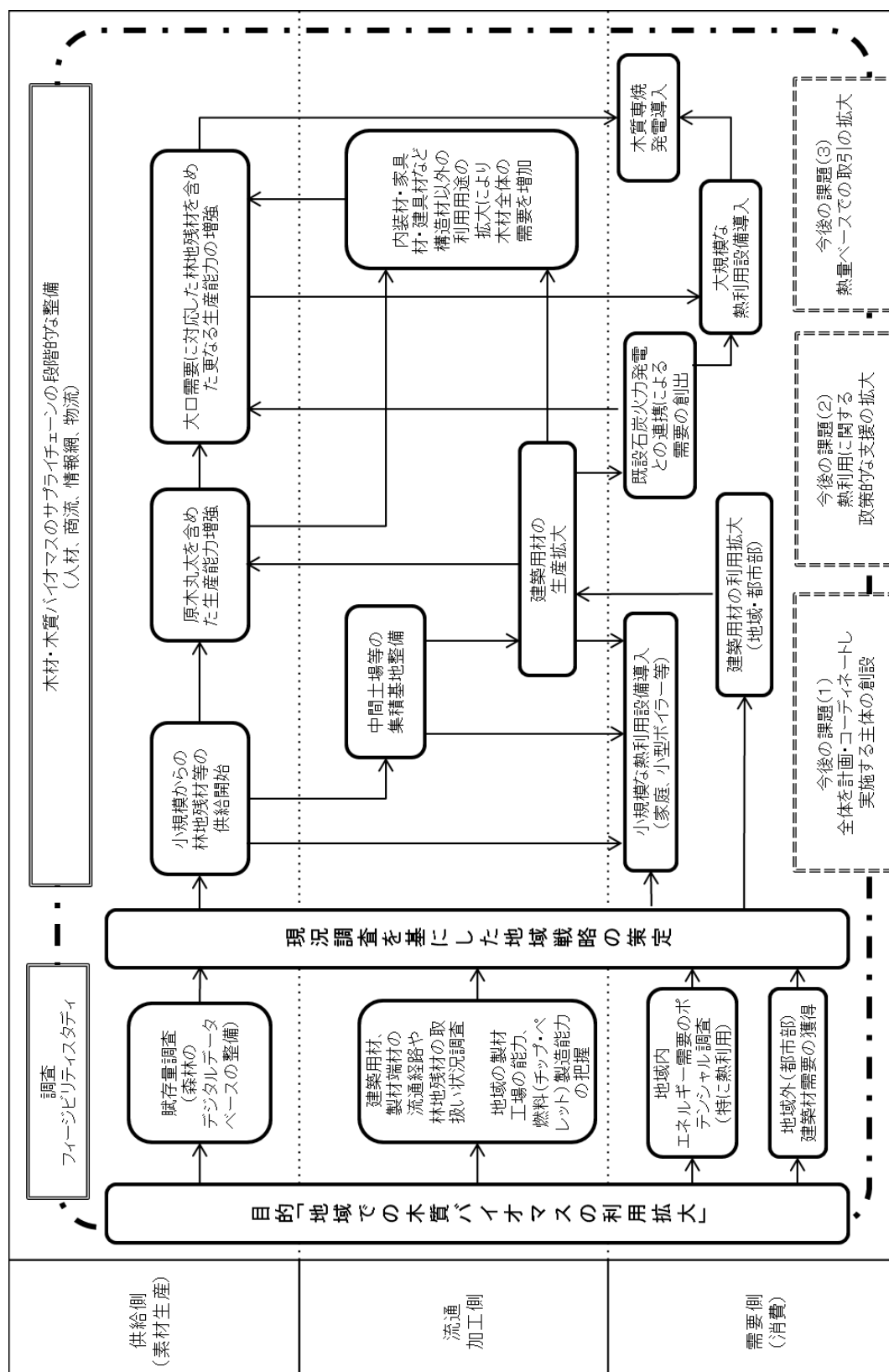


図 4-4 木質バイオマス利用の計画策定・実施プロセス

4.6 小結

木質バイオマスのエネルギー利用の拡大のために、地方自治体等における森林資源利用とエネルギー利用政策を立案する者が、利用可能な木質バイオマス利用の計画策定プロセスを明確化し、事業の実現手法について考察した。現在展開されている市町村の事例を調査した結果、建築材を流通・加工する事業者の存在が重要であることが明らかとなった。また都道府県別の地域特性を、森林資源量、製材業の集積度、需要者となる人口密度から、エリアを9地域に分類し、必要な施策を考察した。

次に、供給側（素材生産）と需要側（燃料加工・消費）の双方について課題を整理した。供給側から、現実的な木質バイオマスの供給量や、実現可能な年間の供給力の増加量を推測した。需要側は、利用形態毎に燃料消費量を整理し、地域で導入しやすい小規模からのエネルギー利用（熱利用）を開始することが重要であることを明らかとした。

以上から地域で木質バイオマス利用を実施し、拡大するためには、需要側と供給側が連携し、段階的に需要を増やし、供給力を確保することが、実現可能性を高めることにつながることを明らかにした。また木質バイオマス利用を実現する計画策定・実施プロセスを明確化した。（図 4.4）

実現に向けた今後の課題として次の3点を提示する。

（1） 地域全体をコーディネートする主体の設立

本章では地域における森林資源利用とエネルギー政策の立案者として、地方自治体の役割を重視した。しかしながら地域内での木質バイオマスのエネルギー利用をさらに展開するためには、既存の自治体組織に加え、流通システムの整備を行い、森林資源管理、木材流通に専門的に係り、全体最適をめざす第三の主体の設立が不可欠である。この新たな主体が専門的に係る事で、組織としてのノウハウを確立するとともに、中長期計画に基づいた事業を運営・推進し、資源供給計画の立案から、安定的な燃料の供給・配送、燃焼機器のメンテナンス等を行いながら、森林管理業・木材流通業から総合的なエネルギーサービス事業者へと成長することで、地域でのエネルギー利用を実現する。

（２） 熱利用へのさらなる政策支援の必要性

現在、FIT 制度によって木質バイオマス発電が注目されているが、エネルギー効率の観点や、小規模需要から展開可能な点から、熱利用に対しても FIT と同様の政策的な支援が必要であると考ええる。特に熱利用の場合、欧州では技術開発により、小型のストーブ、ボイラーでも 90%近い効率の機器が普及しており、限りある木質資源を有効活用する点からも、熱利用をより重視すべきである。薪ストーブ、ペレットストーブの設置について、市町村によって設置費の支援が行われているが、一般家庭や、中・大規模施設への更なる普及には、FIT のように運用時の長期にわたる補助する制度の創設も検討すべきと考える。

（３） 熱量ベースでの取引の重要性

燃料の取引において、現在国内では重量をベースにした取引が中心に実施されているが、含水率が高い場合は、消費者にとって不利益になりかねない。燃料重量による課金は、乾燥状態の悪い燃料の場合、取得熱量が小さくなる一方で、消費者の支払い金額は上昇する。また燃料生産者にとっても、乾燥を実施し燃料としての価値を高めても、商品価格が下がることになり、燃料品質を高めるインセンティブが働かなくなるおそれもある。乾燥状態の良い燃料に対する適正な評価、および適正な取引を実現していくためにも、実際に燃焼時に提供された熱量ベースでの取引がさらに重要となる。

4.7 参考文献

- 4-1) 調達価格等算定委員会;平成 25 年度調達価格及び調達期間に関する意見,(平成 25 年 3 月 11 日), 経済産業省.
- 4-2) 渡辺喜智;木質バイオマス発電の特性・特徴と課題, 農林金融, 第 65 巻第 10 号, (2012 年 10 月), 21-36
- 4-3) NPO 法人バイオマス産業社会ネットワーク;バイオマス白書 2013, (2013 年 5 月) ,<http://www.npobin.net/hakusho/2013/>
- 4-4) 木質バイオマス資源の循環と有効利活用特別研究委員会,木質バイオマス資源の循環と有効利活用特別研究委員会報告書,2013 年 3 月,社団法人日本建築学会
- 4-5) 鎌田泰成,前田太佳夫,村田俊介,小比賀功,矢田雅也;小型木質バイオマス発電のためのガス化炉内流れに関する研究,年次大会講演論文集,pp1-2,2010 年 9 月,一般社団法人日本機械学会
- 4-6) 高橋信英,小玉聡,藤岡祐一 ; 木質バイオマスからの高効率な高密度発電燃料製造における触媒添加の影響,日本エネルギー学会大会講演要旨集 (19) ,pp118-119 ,2010 年 8 月
- 4-7) 根本光,加藤顕,小林達明;航空機レーザー測量を用いた異なるスケールアプローチでのスギ・ヒノキ林材積の推定,日本緑化工学会誌 38(1),pp79-84,2012 年
- 4-8) 平田泰雅;高分解能衛星データの森林モニタリングへの応用,日本森林学会誌 91(2),pp136-146,2009 年 4 月
- 4-9) 久保山裕史;林地残材の低コスト収集の可能性について,日本エネルギー学会大会講演要旨集(13),pp224-225,2004

- 4-10) 石川知明,板谷明美,中西将大;高性能林業機械による搬出作業システムにおける伐採対象面積と機械回送距離との関係,森林利用学会誌
25(2),pp85-90,2010 年
- 4-11) 岡山県真庭市 ; 真庭市バイオマスタウン構想, (平成 18 年 4 月 7 日,平成 21 年 2 月 27 日改訂)
- 4-12) 岩手県葛巻町 ; 葛巻町バイオマスタウン構想, (平成 20 年 2 月 15 日)
- 4-13) 秋田県能代市 ; 能代市バイオマスタウン構想, (平成 20 年 2 月 20 日)
- 4-14) 福島県会津若松市 ; 会津若松市バイオマスタウン構想, (平成 21 年 2 月 12 日)
- 4-15) 長野県塩尻市,征矢野建材 (株) ; 信州 F・POWER プロジェクト事業計画,
(平成 25 年 3 月 25 日現在)
- 4-16) 林野庁 ; 平成 19 年度森林資源現況調査
- 4-17) 林野庁 ; 平成 23 年木材需給報告書
- 4-18) 総務省 ; 平成 22 年国政調査報告
- 4-19) 熊崎実,沢辺攻 ; 木質資源とことん活用読本,2013 年 3 月,社団法人 農山漁村文化協会
- 4-20) 林野庁 ; 森林・林業白書,平成 23 年度
- 4-21) 林野庁 ; 平成 22 年度森林組合統計
- 4-22) 熊崎実 ; 木質エネルギービジネスの展望,全国林業改良普及協会,2011 年 2 月
- 4-23) 宮島欣幸 ; 固定買取制度における木質バイオマス発電の動向,エネルギー・資源,第三四巻第三号,平成 25 年 5 月,pp159-163
- 4-24) 早川慶朗 ; 森林(スギ)の 3D スキャナー計測による樹冠部の資源量推定について,日本森林学会大会学術講演集 (第 124 回) ,2013 年 3 月,pp62

第 5 章

「木材のカスケード利用に向けた 可搬型 3 次元レーザスキャナによる資源量算定」

- 5.1 本章の背景と目的
- 5.2 調査及び計測方法
- 5.3 スキャナによる計測及び実測結果
- 5.4 計測精度及び樹冠重量との相関に基づく検証
- 5.5 カスケード利用や木材調達への
可搬型 3 次元スキャナの効果
- 5.6 小結
- 5.7 参考文献

第5章 木材のカスケード利用に向けた可搬型3次元レーザスキャナによる資源量算定

5.1 本章の背景と目的

森林の有する多面的機能を将来に渡り持続的に発揮させていくために、面的なまとまりをもった森林経営の確立が推進されており、森林経営計画に基づく森林施業がより重視されることとなった。森林経営に必要な情報については、行政による森林資源のモニタリングや、データの公表・活用を進める事とされている。

また木質バイオマスの利用促進も注力分野となり、未利用間伐材の活用の推進もとられている。⁵⁻¹⁾ 森林資源の有効活用には、建築材から木質バイオマスまでの総合的な利用が必要であり、そのための森林経営計画では、資源量の正確な把握が重要な課題である。持続的な資源管理のためには、対応する個体（森林、林分、林木）の価値を最大化していく必要がある。特に森林所有者が出材を計画する段階において、林分や林木（単木）での管理を適切に行うことができれば、より高度な経営計画を立てることにつながる。

資源量の把握にあたっては、林内調査（全木～サンプリング調査）にはじまり、近年では人工衛星や航空機によるリモートセンシングによる調査手法の開発が進む。リモートセンシングでは、人工衛星で撮影したデジタル画像の解析により、森林の現況把握や、単木の判読が可能であり⁵⁻²⁾、GISとの連動も進む⁵⁻³⁾。航空機等によるLiDAR（光波計測）による資源量把握手法についても研究が進められており、単木の位置データ、樹高、樹冠量からの材積推定が行なわれている⁵⁻⁴⁾。またLiDARデータから樹冠形状の再現、推定についても林分管理の指標としての検討が行なわれている⁵⁻⁵⁾。

しかしながら、人工衛星や航空機LiDARを活用した手法は広域を把握できる点で優れているが、樹冠下部や、幹の直径や形状を把握することは困難である。上部からの計測の短所を補う手法として、地上からの測定手法として、可搬型の3次元スキャナを用いた手法も検証が進んでいる。カラマツ林を対象に可搬型スキャナにて胸高直径を推定する研究では、精度誤差7.3mmの有効性が確認されている。⁵⁻⁶⁾ また樹高の推定についても検証が行われ、誤差0.1m－4.5mの範囲で実現できることは確認されている。⁵⁻⁷⁾ また建築分野においても、3次元スキャナを用いた研究が行われている。資材の材料の差異による測定精度の

誤差は、スキャナそのものの測定精度と比較し、非常に小さく材料の違いを考慮する必要性は少ないことや⁵⁻⁸⁾ また手計測、写真計測、3次元スキャナによる配筋検査の比較では、3次元スキャナの効果として誤認防止やデータの再現性などの利点が認められている。⁵⁻⁹⁾

森林資源の建築材としての活用は、政府の国産材の利用促進を受け、日本では新設住宅着工における木造率が、平成18年に43.3%だったものが、平成24年には、55.1%に増加している。⁵⁻¹⁰⁾ 林業政策及び外材における丸太での輸出規制等、合板用素材丸太における、外材から国産素材丸太への移行は進んでいるが、国産素材丸太による製材量の増加、さらに山元の森林組合等の伐採増、林地残材の搬出には、大きく波及していない。森林資源を有効に活用するために、建築用製材の需要の確定の重要性の認識は広まりつつあり、坂野上、白井、野瀬はそうした観点から需要が生産・流通へ与える影響の研究を行っている。⁵⁻¹¹⁾⁻¹²⁾⁻¹³⁾ しかしながら建築材としての森林資源の実態に基づく量的把握を進める研究は少ない。さらに伐採した素材丸太の新たな流通形態について、建築分野での研究は少ない。

そこで本章では、建築材として国産材の大半を占めるスギを対象として、建築材から木質バイオマスまで有効にカスケード利用するために必要な森林資源量を効率よく把握する手法として可搬型3次元レーザスキャナの実用性について検証し、資源情報をデジタル化、データベース化する手法の構築を目的としている。

具体的には、スキャナによる計測と、実測との精度誤差を、胸高直径、全長の比較、ならびに点群データからの樹冠部重量の推定方法について評価、スキャナによる計測データが森林資源のカスケード利用や建築材調達への応用が可能であることを検証する。

5.2 調査及び計測方法

本研究では、調査対象地を間伐対象林であった長野県信濃町大字柏原黒姫山4289-11とした。対象林班の詳細情報は、「75 林班い, 小班 1-イ, スギ, 面積 1.51ha, 林齢 48, 地位 3, 樹高 22m」である。計測対象地域は、施業面等から、図 5-1 の円で囲ったエリアとした。調査対象地は、樹冠部の重量調査に必要なハーベスタが作業可能な林道付近であることを前提条件とし、国内の大半を占めるスギ林であること、狭いエリアで平坦地と急傾斜の斜面の両方を持つことから、多くの山林を代表可能であると判断したため選定した。また対象地は、植林後は間伐等が行われておらず下層植生が密に生えており、広葉樹も適度に生えている状況であるため、スキャナの計測環境として、より厳しい条件であることも実用性を評価する上で、有用な環境であると判断し、選定した。(写真 5-1)

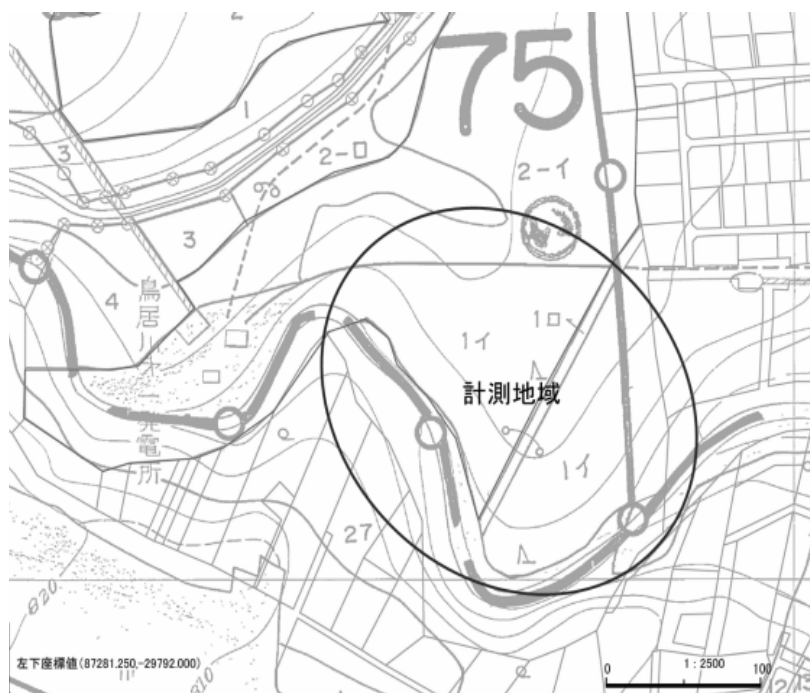


図 5-1 調査対象地における計測地域



写真 5-1 計測した森林の状況

調査対象地にて、計測を3段階にて行った。まず、可搬型3次元レーザスキャナによって調査対象林を計測（2012年10月30日～31日）した。計測日は、雨風による計測誤差への影響を避けるため、快晴かつ静穏な日を選択した。可搬型3次元レーザスキャナは、「FARO Laser Scanner Focus 3DS 120」（以下スキャナとする）を用い、林内の点群データを収録した。スキャナの計測条件は、全領域で177.7百万ポイントの分解能、毎秒122,000ポイントの速度とした。スキャナの仕様は、測定範囲：0.6m～120m、スキャナとターゲット間の範囲誤差は、±2mmである。レーザーの仕様は、レーザー出力（cwφ）：20mW（レーザークラス3R）、波長：905nm、ビーム広がり：標準0.19mrad(0.011°)、ビーム径（出口）：3.0mm、円形である。計測するスキャナ位置は、林内の状況（起伏等の地形、下層植生の密度、立木の配置および密度等）により変化するが、スキャナ間の間隔は最大で40mまでとし、276本の立木を計測した。計測後、各スキャナ位置のデータを統合、地形及び立木情報を生成した。なお本論文で示すXおよびY方向、DEMは、スキャナに内蔵の方位及び高度計センサーによる下記である。

X座標（m）：正を磁北とする。

Y 座標 (m) : 正を東とする。

DEM (m) : 数値標高モデルとする。

次に、生成した立木情報との比較のために、立木の実測調査 (94 本) を 3 人で行った。(2012 年 11 月 12 日) 立木実測調査時に、重量実測のための伐採対象木を、スキャナ計測により計測された立木位置および、ハーベスタによる伐採集材線に示されるルートより選定した。なお、今回は間伐のため、伐採木は地形、立木間隔等により当日の伐採者の意向にも左右されるため、地域を特定 (図 1) し、候補木を実測予定本数である 10 本以上を選定した。また同時に巻尺による胸高直径の実測 (計測精度、0.5cm) を行った。そして重量実測時には伐採対象木のうちから、直径、樹高、スキャナによる反射ポイント数を問わずに無作為に 10 本を抽出し、選択伐採した。伐採木の全長を巻尺にて計測 (計測精度、0.1m)、その後プロセッサによって枝葉を切断し、その重量を台秤にて計測 (計測精度 0.01kg) を行った。また伐採木からサンプルを抽出し、絶乾比重から含水率の測定を実施した。(2012 年 12 月 19 日)

5.3 スキャナによる計測及び実測結果

5.3.1 地形情報

TIN（不規則三角形網）メッシュにより作成した 2m メッシュの数値標高モデル（以降 DEM と表す）を図 5-2（平面図）、図 5-3（南面パース）に示す。図 5-4 より、計測地中央を約 10m の標高差を持つ傾斜地が横断しているのが確認できる。本章では、資源量の計測に主眼を置いているが、スキャナ計測を行うことにより、森林資源データの算定だけでなく、同時に地形図の生成も容易となる。林地の詳細な地形図が把握できることにより、伐採・搬出の施業計画、林道、施業道の計画へ応用可能である。従来から利用されている森林簿や地理情報システム（GIS）と、スキャナ計測による詳細な地形図の情報とを組み合わせることで、より効果的な運用が期待できる。

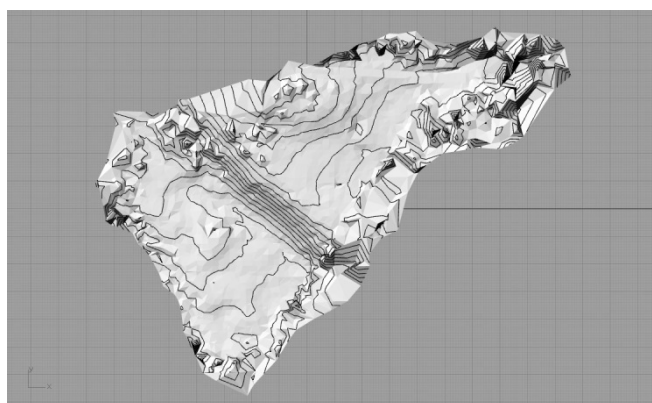


図 5-2 2mメッシュで作成した DEM 平面図（等高線間隔は 1m）

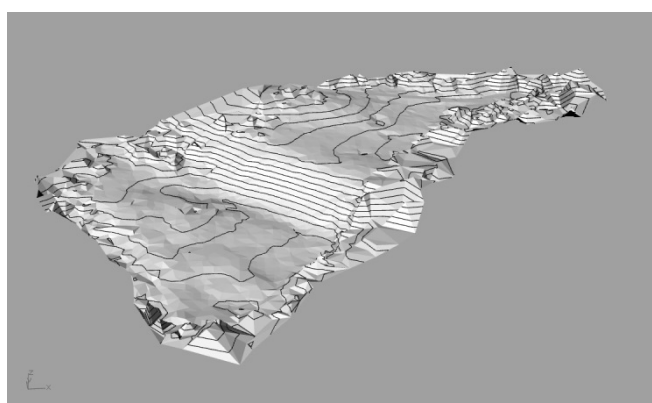


図 5-3 2mメッシュで作成した DEM の南側パース（等高線間隔は 1m ）

5.3.2 立木の情報

計測エリアにおける立木の配置を図 5-4 に示す。スキャナ計測により、276 本の立木情報を生成した。立木配置図及び、現地での間伐予定ルートから伐採候補木の選定を行い、立木情報を生成した 276 本のうち、94 本の胸高周長を巻尺にて実測をした。両者の差異は平均で 1.84 cm（スキャナによる計測値の方が細く評価）、標準偏差 6.1 cmであった。表 5-1 に計測結果例とし、ID 0-10 のデータを示す。ID5 や ID9 の事例のように、平均測定誤差から大きく外れているものがあるが、これはスキャナの測定点から対象木に至るまでに、他の樹木の影となっており、計測ポイント数が小さくなっているためである。



図 5-4 立木配置図

表 5-1 立木情報の計測データ例 (ID 0 - 10)

ID	X (m)	Y (m)	DEM (m)	スキャナ計測による胸高半径 (m)	実測による胸高円周 (cm)	実測による胸高半径 (m)	差 (m)
0	-33.541	-36.613	831.562	0.086	70.5	0.112	0.026
1	-28.333	-33.417	831.508	0.133	100.5	0.160	0.027
2	-31.067	-32.585	831.877	0.164	107.0	0.170	0.006
3	-25.686	-32.585	831.500	0.135	91.0	0.145	0.010
4	-34.212	-31.186	831.937	0.105	70.0	0.111	0.007
5	-15.335	-31.007	830.511	0.046	126.0	0.201	0.155
6	-27.342	-30.321	831.736	0.180	111.0	0.177	0.003
7	-22.204	-29.952	831.317	0.130	86.0	0.137	0.007
8	-31.199	-29.656	831.895	0.144	102.0	0.162	0.019
9	-12.480	-29.010	830.463	0.040	99.0	0.158	0.117
10	-34.050	-28.816	832.042	0.163	114.0	0.182	0.018

5.3.3 伐採および全長計測、枝葉重量計測、含水率の計測の結果

胸高直径を実測した 94 本のうち、10 本を伐採し、全長及び枝葉部の重量計測を行った。全長は、伐採後に巻尺にて実測を行った。枝葉部は、木質バイオマス資源として有望視されている林地残材の主たる素材であることから、重量の実測対象とした。

枝葉部の重量は、伐採後、プロセッサにて林道まで搬出し、枝葉部をシート上に剪定し、現地にて台秤にて実測した。ただし、伐倒時に折れる枝葉については、測定対象外とした。実際の施業時においても、林地残材（主に枝葉部）の搬出は、林道や土場まで枝葉付きで搬出し、そこから幹部分と枝葉部分を分け、林地から運搬される。よって伐採時や林道までの搬出時に折れる枝葉を測定対象から除くことは、利用可能な木質バイオマス資源量を把握する上では、実運用上とも整合する。

計測結果は、表 5-2 の通りである。全長のスキャナによる計測と実測との平均差異は、1.1m、標準偏差 1.5m であった。含水率については伐採木からサンプルを取得し、乾燥機にて 24 時間、105℃の条件にて乾燥させ、絶乾重量と比較することで、算出した。（乾燥機：ESPEC CORP.MODEL:PV-212）

伐倒木のサンプルの平均含水率は、表 5-3 より、葉：41.4%（標準偏差 16.0%）、枝：116.0%（標準偏差 28.1%）、幹：151.8%（標準偏差 7.4%）であった。

表 5-2 伐倒木の全長、枝葉重量計測結果

ID	実測による 全長 (m)	実測による 枝下長 (m)	計測による 全長 (m)	全長の差異 (実測 - 計測) (m)	重量 (kg)
7	21.1	12.6	18.0	3.1	58.66
9	23.7	10.0	21.9	1.8	141.30
11	21.7	9.1	19.8	1.9	67.60
12	22.8	13.0	22.9	-0.1	59.50
17	23.6	12.0	25.1	-1.5	152.57
18	22.0	13.8	21.6	0.4	59.64
21	22.2	14.0	21.4	0.8	43.08
25	22.4	13.6	22.0	0.4	73.38
27	24.5	15.0	20.8	3.7	87.60
29	11.4	7.5	11.5	-0.1	7.54
全長の実測と計測の平均差異 (m)				1.1	

表 5-3 伐倒木のサンプル部の含水率

ID	部位	樹皮あり 重量 (g)	樹皮無し 重量 (g)	絶乾重 量 (g)	体積 (cm ³)	全乾比重 (t/m ³)	含水率 (%)
7	葉	47	-	29	-	-	62.1
	枝	7	-	3	-	-	133.3
	幹	756	723	277	786.7	0.35	161.0
9	葉	43	-	28	-	-	53.6
	枝	6	-	3	-	-	100.0
	幹	547	507	184	594.2	0.31	175.5
11	葉	33	-	23	-	-	43.5
	枝	9	-	4	-	-	125.0
	幹	605	583	209	652.6	0.32	178.9
12	葉	45	-	29	-	-	55.2
	枝	8	-	4	-	-	100.0
	幹	626	590	222	653.7	0.34	165.8
17	葉	27	-	22	-	-	22.7
	枝	5	-	3	-	-	66.7
	幹	614	591	220	706.2	0.31	168.6
18	葉	37	-	24	-	-	54.2
	枝	8	-	4	-	-	100.0
	幹	-	-	-	-	-	-
21	葉	41	-	27	-	-	51.9
	枝	12	-	6	-	-	100.0
	幹	711	678	262	886.2	0.30	158.8
25	葉	33	-	29	-	-	13.8
	枝	11	-	4	-	-	175.0
	幹	611	585	225	812.1	0.28	160.0
27	葉	31	-	23	-	-	34.8
	枝	12	-	5	-	-	140.0
	幹	685	646	232	717.8	0.32	178.4
29	葉	22	-	18	-	-	22.2
	枝	11	-	5	-	-	120.0
	幹	730	683	252	870.3	0.29	171.0
平均含水率						葉	41.4
						枝	116.0
						幹	151.8

5.4 計測精度及び樹冠重量との相関に基づく検証

本考察において利用する立木（伐倒木）10本及びスキヤナの配置を図5-5に示す。また、立木10本の位置関係を把握するため、DEM上での立木モデルを、パースにて図5-6に示す。

5.4.1 胸高直径と樹高の精度誤差の評価

胸高直径における平均差異は、実測本数94本において、1.84cm（スキヤナ計測値 - 実測値）、標準偏差6.1cmであった。実際の原木の流通段階では2cm単位で丸められ取引されており、資源量の把握・算定において、十分に実用に耐える計測精度である。

また樹高（全長）においては、実測本数10本において、平均差異は、1.1m（スキヤナ計測値 - 実測値）、標準偏差1.5mであった。樹高は実運用上においても、2m毎で運用されているため、実用に耐える精度であると考えられる。また実際の建築材の原木取引においては、元玉、2番玉、3番玉が流通し、先端部は林地に切捨てられることも多く、建築材の資源量把握としては、十分に実用レベルである。一方、木質バイオマス資源量として先端幹部分までを把握するには、今後さらに測定本数を増やし精度検証を行う必要がある。

また今回の調査によるスキヤナでの計測と実測との精度誤差、既往研究⁶⁾との精度誤差については、次の要因が考えられる。

- ① 胸高直径の実計測においては、周長テープを用い目視により計測桁数を上げていること。
- ② スキヤナ計測においては、間伐施業等が行われていないため樹幹のかなり低い位置から枯れ枝が多数残っていたこと。
- ③ 密な下層植生及び、ツタや低層広葉樹等によるノイズが多数発生していたこと。（写真5-1）
- ④ 上記②および③に関連し、レーザポイントの反射点の少ない幹表面において真円による近似を行ったこと。

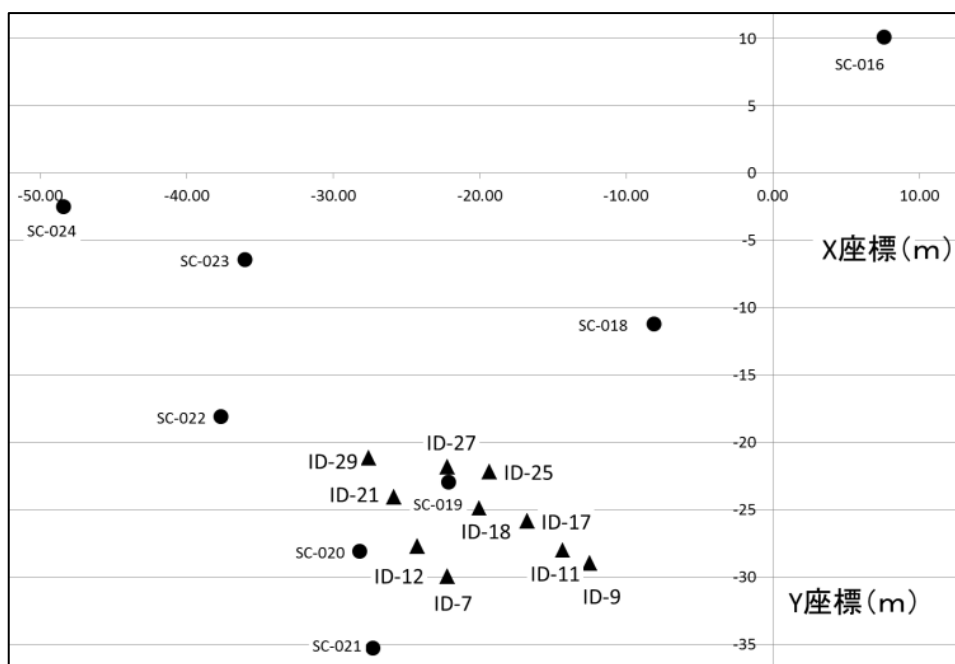


図 5-5 立木（伐倒木）とスキャナの配置図

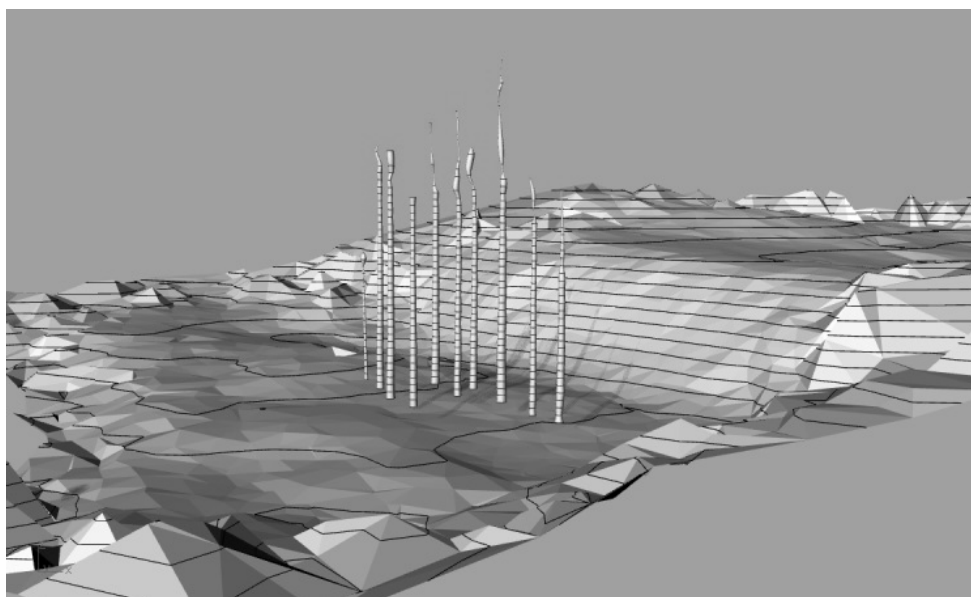


図 5-6 立木モデルのパース（南側低位置より）

5.4.2 樹冠部（枝葉・林地残材）の重量予測精度の評価

伐採した 10 本の枝葉部の重量と、それぞれの反射ポイント数を用い、木質バイオマスの主材となる枝葉部の重量予測に関する回帰分析を行った。目的は、実運用上において、スキャナからの反射ポイント数から枝葉部の重量（バイオマス量）を予測することにあるため、本章で構築する回帰式はなるべく簡易であることが望ましい。したがって、因果関係をより詳細に考察する相関分析ではなく、予測に重点を置いた回帰分析を用いた。

5.4.3 スキャナ 8 ポイント全部を使った回帰分析による評価

伐採を行った 10 本の枝葉部の重さと、それぞれの反射ポイント数を表 5-4 に示す。ここでの分析に用いる枝葉部の重量は、生木の実測値とした。枝葉重量と反射ポイント数の 10 サンプルの散布図を図 5-7 に示す。散布図からは、回帰分析をするまでもなく、枝葉部重量と反射ポイント数の間には認められるべき相関は無いと考えられる。これは表 5-4 のスキャナへの反射ポイントを見れば明らかなように、Scanner16, 18, 23, 24 は他の測定値と比較し反射ポイントが少ない。すなわち、図 5-4、図 5-5 から読み取れるように、対象としている重量実測した立木と、これらのスキャナとの間に、レーザを遮蔽する他の立木が存在するからである。したがって、位置関係、単位重量辺りの計測ポイント数から、上記スキャナ以外の反射ポイント、立木 7 本に限定し、枝葉部重量との回帰分析を次項で行うこととした。

表 5-4 スキャナ（8ヶ所）による立木 10 本の反射ポイント数

Scanner No	Tree ID									
	25	21	12	29	7	18	27	17	11	9
16	0	0	0	26	0	0	0	0	0	0
18	41	733	255	241	7,951	599	118	50,229	16,727	75,160
19	655,881	547,666	306,291	211,654	82,628	415,890	999,074	362,281	106,594	135,264
20	20,066	275,205	392,560	115,994	264,272	50,451	106,498	37,793	65,834	79,798
21	4,459	35,664	142,974	8,090	142,959	34,420	12,060	22,292	16,091	36,026
22	10,397	30,067	11,830	43,324	4,174	5,271	1,392	4,987	1,610	6,341
23	3,682	1,866	336	6,653	948	0	30	3,051	2,370	861
24	2,150	55	129	2,625	25	58	33	42	115	440
総ポイント数	696,676	891,256	854,375	388,607	502,957	506,689	1,119,205	480,675	209,341	333,890
枝部重量【kg】	73.78	43.08	59.50	7.54	58.66	59.64	87.60	152.57	67.60	141.30

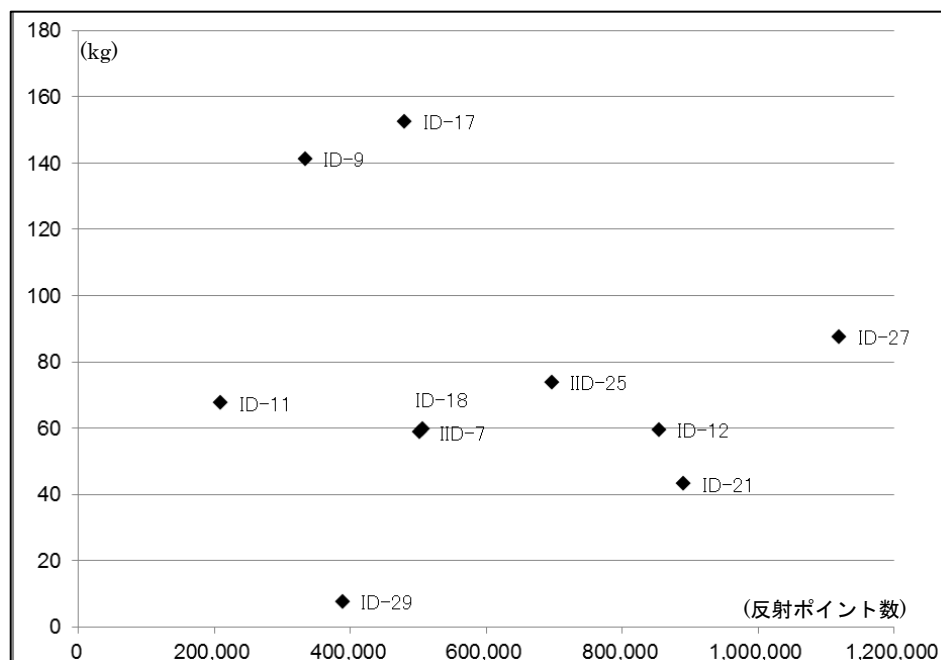


図 5-7 立木 10 本の枝葉部重量とスキャナ 8 点の反射点数の散布図

5.4.4 7本の立木近傍のスカナ4箇所を用いた回帰分析による評価

前項の考察から、Scanner16,18,23,24の反射ポイント数を除外し、Scanner19,20,21,22の反射ポイント数及び、近傍の7本の立木

(ID-7,12,18,21,25,27,29)での回帰分析を行うこととした。(図5-8)3本の(立木ID-9,11,17)は、Scanner19,20,21,22からの反射ポイント数を除外すると、重量辺りの反射ポイント数が極端に少なくなるため、回帰分析対象から除外した。表5-5は、回析対象とした表5-4の網掛け部を抽出した反射ポイント数である。表5-5の反射ポイント数と枝葉部の重量をMicrosoft EXCELにて回帰分析を行うと、表5-6より枝葉部重量(Y)〈単位kg〉を3次元スカナの反射ポイント数(X)で予測する回帰式は次式になる。

$$Y = 0.00006 X + 12.707 \quad \cdots \text{式 (1)}$$

相関係数は0.63であるため、かなり高い相関があると判断できる。スカナの計測条件は全領域で177.7百万ポイントの分解能、毎秒122,000ポイントの速度であるので、立木とスカナの相対位置が分かれば対象領域からの全反射ポイント数を把握できる。全反射ポイントに対する実際の反射ポイント数(反射密度)を評価することで、対象立木の樹冠部(枝葉)の木質バイオマス密度を評価することが出来ると考えられ、それらを使い森林全体のバイオマス量を、予測的に把握することが可能となると考えられる。一方、説明変数のt値が1.836であるため、より厳密な樹冠部のバイオマス量の把握のためには、今後継続して実測データを収集することにより回帰式の有効性や精度の向上を確認することが求められる。

またカラマツ林を対象とした既往研究⁵⁻⁶⁾にて、予め胸高直径と地上部の木質バイオマスとの相関式が予め求められていれば、スカナで計測した胸高直径からの推測値が誤差評価2.7%で得られたと報告されている。したがって、今後スギ林での胸高直径と地上部バイオマスの相関式を求める研究を行うことで、スカナデータに基づく樹冠部のバイオマス量の推定がより容易となり、有効性を高めることができる。

次にサンプルから計測した含水率を反映した絶乾状態のバイオマス量の算定について考察する。枝・葉の重量構成比については、既往研究⁵⁻¹⁵⁾の林分の枝・

葉の重量現存量の調査データを参考(表 5-7)とし、葉/枝の比率を 2.01 とした。枝と葉の重量構成比を元に、実測した 10 本の部位別重量を算定し、計測した部位別含水率から部位別に絶乾重量を算定した。算定後の枝葉を合わせた平均含水率は、58.65%となった。(表 5-8)

伐採後、林地内での含水率の変化は、スギの丸太 2m の場合 110%前後から、約半年間林地に放置すると、60%前後まで低下する。⁵⁻¹⁶⁾ 枝葉の部位についても、同様に林地内に放置することで、同様に含水率が低下し、運搬性の向上や、発熱量の向上が期待できるため、林内に放置した場合の枝葉部分の含水率の低下率についても今後検証していく必要がある。

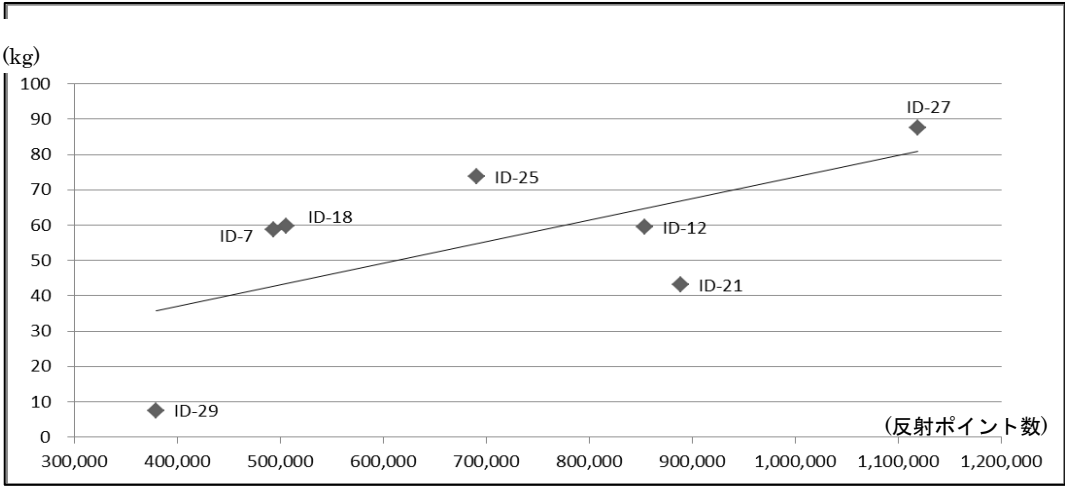


図 5-8 立木 7 本の枝葉部重量とスキャナ 4 点の反射点数の散布図

表 5-5 スキャナ (4 ヶ所) による立木 7 本の反射ポイント数

Scanner No		Tree ID						
		25	21	12	29	7	18	27
19		655, 881	547, 666	306, 291	211, 654	82, 628	415, 890	999, 074
20		20, 066	275, 205	392, 560	115, 994	264, 272	50, 451	106, 498
21		4, 459	35, 664	142, 974	8, 090	142, 959	34, 420	12, 060
22		10, 397	30, 067	11, 830	43, 324	4, 174	5, 271	1, 392
総ポイント数	説明変数 X	690, 803	888, 602	853, 655	379, 062	494, 033	506, 032	1, 119, 024
枝部重量【kg】	目的変数 Y	73. 78	43. 08	59. 50	7. 54	58. 66	59. 64	87. 60

表 5-6 回帰分析概要と分散分析表

回帰統計	
重相関 R	0.635
重決定 R ²	0.403
補正 R ²	-1.4
標準誤差	21.480
観測数	1

分散分析表					
	自由度	変動	分散	観測された分散比	有意 F
回帰	7	1554.979	222.140	3.37	0.126
残差	5	2306.891	461.378		
合計	12	3861.87			

	係数	標準誤差	t	P-値	下限 95%	上限 95%	下限 95.0%	上限 95.0%
切片	12.707	24.779	0.513	0.630	-50.990	76.403	-50.990	76.403
説明変数	6.1E-05	3.3E-05	1.836	0.126	-2.4E-05	14.6E-05	-2.4E-05	14.6E-05

表 5-7 林分現存量⁵⁻¹⁵⁾

重量現存量	西広谷	針木	戸津宮	一刻	角間1	角間2
枝 (ton/ha)	13.88	19.72	12.20	18.87	18.74	12.88
葉 (ton/ha)	24.04	44.74	30.93	30.82	35.27	25.51
葉/枝 比率	1.73	2.27	2.54	1.63	1.88	1.98
葉/枝 平均比率			2.01	標準偏差		0.31

表 5-8 枝葉部分の絶乾重量の算定

ID	枝葉重量 (kg)	部位	構成比率による 算定重量 (kg)	含水率 (%) (枝 葉別)	絶乾重量 (kg) (枝葉別)	絶乾重量 (kg) (算定)	含水率 (%) (算定)
7	58.66	葉	39.17	62.1	24.16	32.51	80.4
		枝	19.49	133.3	8.35		
9	141.30	葉	94.36	53.6	61.43	84.9	66.4
		枝	46.94	100.0	23.47		
11	67.60	葉	45.14	43.5	31.46	41.44	63.1
		枝	22.46	125.0	9.98		
12	59.50	葉	39.73	55.2	25.6	35.49	67.7
		枝	19.77	100.0	9.89		
17	152.57	葉	101.88	22.7	83.03	113.44	34.5
		枝	50.69	66.7	30.41		
18	59.64	葉	39.83	54.2	25.83	35.74	66.9
		枝	19.81	100.0	9.91		
21	43.08	葉	28.77	51.9	18.94	26.1	65.1
		枝	14.31	100.0	7.16		
25	73.38	葉	49.00	13.8	43.06	51.93	41.3
		枝	24.38	175.0	8.87		
27	87.60	葉	58.50	34.8	43.4	55.53	57.8
		枝	29.10	140.0	12.13		
29	7.54	葉	5.04	22.2	4.12	5.26	43.3
		枝	2.50	120.0	1.14		
平均含水率							58.65
標準偏差							13.66

5.5 カスケード利用や木材調達への可搬型3次元スキャナの効果

森林からの木材供給は、A材（建築材）からB材（主に合板用材）、C材（パルプ、チップ）が主な出材対象であり、D材といわれる未利用材は、林地残材として放置されてきた。

しかしながら電力の全量買取制度により木質バイオマス発電の燃料として有望視されるD材が、より活発に出材される可能性が高まっている。スキャナによってA材からD材までの総合的な資源量の把握を容易にすることは、森林のカスケード利用や、より効果的な経営、建築側からの木材調達を可能にする上で重要となる。（図5-9）

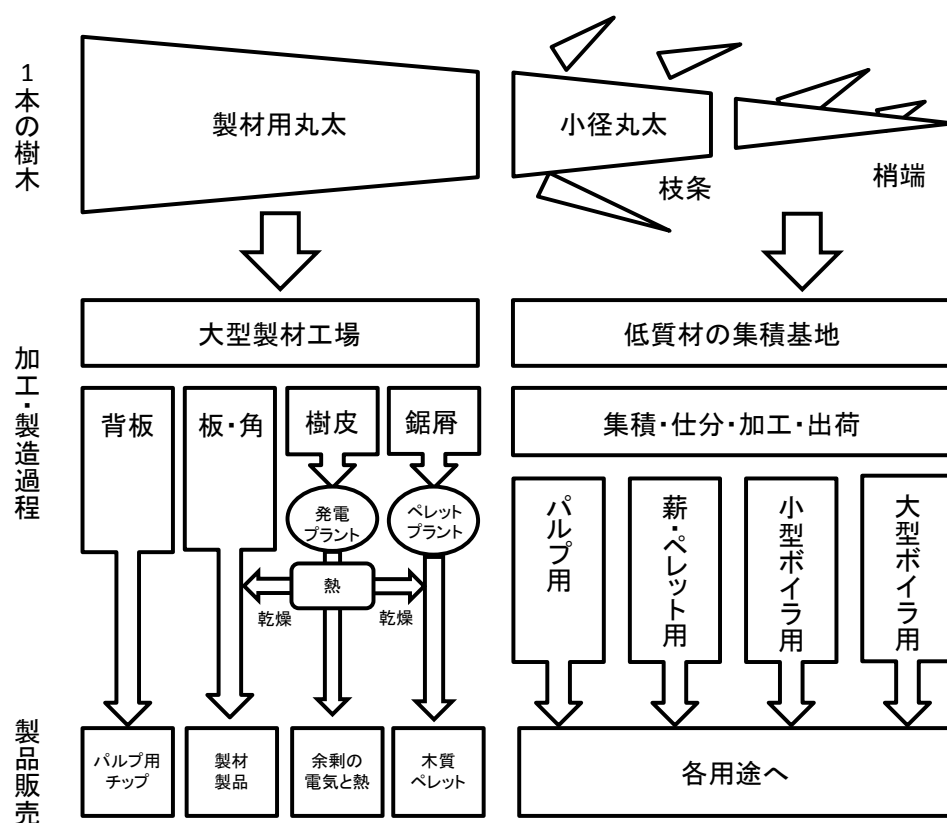


図 5-9 森林から伐り出される樹木のカスケード利用 (5-22)

現在、原木の加工や流通側は、伐採され原木市場に出荷されるか、もしくは製材工場に入荷されるまで、どのような立木が、どれくらいの量で存在しているかという情報について、精緻なデータを得ることは困難である。前項までの検証によって、可搬型 3 次元スキャナによる計測は、樹高、胸高直径の毎木データを精緻に得られ、なおかつ樹冠部の木質バイオマスの推定値も得られることが明らかとなった。予めバイオマス資源量を容易に算定することができるようになることで今後のバイオマス利用の拡大につながる。

また計測結果が、デジタル化されることにより再現性が高まる。これらのデータから、3 次元パースによる対象森林の再現によって、伐採前に、製材用丸太部分のグレード毎の材積の算定も可能と考えられ、より有効に森林資源を活用できる上、森林所有者にとっても、収益を最大化できる可能性を高める。3 次元データを基に立木データが、設計者や施工者に共有されることで、立木段階から調達の可能性も高まる。また伐採前にグレード毎に把握できることで、林地にて買付けし、土場からグレード毎に購入先である需要家に直送することでの流通の合理化が期待できる。

今回の調査での人による毎木調査とスキャナによる作業効率を比較すると、スキャナを用いて 2 人一組にて、2 日間で 276 本の全木の位置、胸高直径、樹高、曲りのデータを得ることができた（図 5-4、図 5-6）。人による調査では、3 人で 1 日、胸高直径のみの計測で 94 本であった。結果、スキャナでは 138 本/人日、人による毎木調査では 31 本/人日と作業効率だけでなく、調査により得られるデータの質・量も、スキャナ計測の効果が高い。

5.6 小結

本章では、長野県信濃町のスギ林にて、可搬型 3 次元レーザスキャナの計測と、実測による精度誤差の検証を行い、実務への適用可能性について検討、またカスケード利用や木材調達への効果を検証し、以下の結論を得た。

- ① 3 次元レーザスキャナによる樹幹直径の計測の平均差異は、1.84cm であり、流通上 2cm 刻みで取引されており、製材用丸太の資源量把握としては有効である。また樹高についても、建築材となる根元の部分からの計測はできており、建築材の調達において、スキャナによる計測は実用可能である。
- ② スキャナのポイント数からの枝葉重量の回帰分析の結果、枝葉部全体が単独の 3 次元レーザスキャナにより計測できる場合、枝葉よりの反射ポイント数と枝葉の重量にはかなり高い相関（相関係数 0.63）があることが明らかとなったが、t 値は 2 以下であるため今後さらに計測を重ね、検証を進める必要がある。一部の樹冠部で反射ポイント数が極端に少ない部分については、反射ポイント数からの重量推定が困難であるが、胸高直径が計測できていると、胸高直径から地上部のバイオマス量の推定値を得ることは可能である。
- ③ スキャナにより 3 次元データ化することで、森林のカスケード利用に向け、建築材となる主幹部分、バイオマス利用となる枝葉部や先端部の資源量を短時間で実用性のあるデータ精度で把握できることが明らかとなった。バイオマス利用可能な量を明確に把握できることで、地域利用時の調達計画を建てる際に利用可能となる。
- ④ 建築材の対象となる幹の部分の太さ、長さ、形状がスキャナによって 3 次元データとして把握でき、流通関係者や加工者、設計者、施工者らと共有できることとなることで、従来はほとんど不可能であった立木の段階からの建築用木材の調達が可能となる。この効果は、木造建築での調達リスクの低減や、森林資源の有効活用につながる。
- ⑤ 可搬型 3 次元スキャナ計測により、従来の毎木調査の約 4 倍以上の効率化に加え、得られるデータの質・量が格段に向上する。よって従来に比べて著しく短時間かつ低コストで建築材を対象とした森林資源の量的把握が行え、実用的な展開が期待できる。

今後の課題として、継続して実測データ（スギ・ヒノキ等）を収集することにより、回帰式の精度や有効性の向上が求められる。

また収集した森林の 3 次元デジタルデータを活用した原木出材量の自動計算の手法や、製材時の木取りのシミュレーションに関する手法の検討・開発が必要である。加えて森林の 3 次元データを、流通・加工側や設計者、施工者が容易に利用可能なデータベース環境を構築していくことが求められる。

さらには今後増加が予想される木材を利用した公共建築など、非住宅分野における木材調達に活用できるよう、森林資源情報、地域の在庫情報、調達スケジュールなどが一体的に把握できる調達システムの研究・開発があげられる。

5.7 参考文献

- 5-1) 林野庁：森林・林業基本計画,2011.7
- 5-2) 加藤正人：高分解能 IKONOS 画像による単木判読可能性の比較, 日本森林学会誌 84,pp221-230, 2002.4
- 5-3) 加藤正人ら：大規模公有林を対象とした衛星データ利用森林 GIS の開発. 日本森林学会誌 84,pp231-238, 2002.4
- 5-4) 松英恵吾ら：航空機 LiDAR による森林資源量推定-密度の異なるスギ・ヒノキの林分パラメータ推定-. 写真測量とリモートセンシング 45
- 5-5) (1) ,pp4-13,2006
- 5-6) 伊藤拓弥ら：航空機 LiDAR による樹幹の再現性.日本森林学会誌 91,pp326-334,2009
- 5-7) 大政謙次ら：可搬型 Scanning Lidar データを用いたカラマツ林の樹林マッピングと胸高直径及びバイオマスの推定. 日本リモートセンシング学会 vol.22,No.5,pp550-557.2002
- 5-8) 戸田健太郎ら：地上型レーザスキャナを用いた 3 次元環境計測における樹高の推定. 日林工誌,35(1),pp69-74.2009
- 5-9) 三上瑛ら：建築生産における 3 次元スキャナーの活用に関する研究：材料の差異による計測結果に対する影響の分析. 日本建築学会関東支部研究報告集 82 (Ⅱ), pp509-502, 2012
- 5-10) 福田結磨：鉄筋工事における 3 次元測定の活用に関する研究：3 次元スキャナーと写真計測を用いた寸法データの比較. 日本建築学会関東支部研究報告集 81 (Ⅱ), pp411-414, 2011
- 5-11) 新設住宅着工戸数と床面積、木造率：国土交通省総合政策局情報管理部 建設調査統計課,2013.12

- 5-12) 坂野上なお：木材生産・流通に影響を与える需要側の変化を追って,日本林業経済学会,Vol57,NO1,2011
- 5-13) 白井裕子：岐阜県長良川流域における産業活動を通じた森林資源の持続的保全に関する研究 その2 木造住宅建築における木材需要と在来軸組工法の特徴,日本建築学会大会学術講演梗概集 pp935-936,2007.8
- 5-14) 野瀬光弘：関西地方における製材用国産材需要の将来推計,森林応用研究 19(1),pp1-7,2010.4
- 5-15) 金澤洋一ら：スギ若齢林の樹冠・定直径高管理図作成の試み関西,日林誌 91 (1) ,pp21-26,2009
- 5-16) 相原英春：カワイダニスギ若齢林の成長と生産力,富山県林業技術センター研究報告 No15,pp1-12,2002.3
- 5-17) 角田健一ら：長野県における未利用林地残材のバイオマスエネルギー利用に関する基礎調査ーその2 林地・土場における丸太の含水率変化の比較ー,日本建築学会大会学術講演集,pp721-722,2013.8
- 5-18) 熊崎実, 沢辺攻：木質資源とことん活用読本社団法人,農山漁村文化協会,2013.3
- 5-19) 加藤正人：森林リモートセンシング第3版,(株)日本林業調査会,2010
- 5-20) 岩男弘毅：リモートセンシング読本. 社団法人日本測量協会,2005
- 5-21) 日本大学森林資源学科：森林資源科学入門.(株)日本林業調査会,2002
- 5-22) 露木聡：リモートセンシング・GIS データ解析実習ー入門編ー.(株)日本林業調査会,2005
- 5-23) 中村裕幸：地上型 3D レーザースキャナによる森林資源調査、第 124 回日本森林学会大会学術講演集 pp194 , 2013

第 6 章

「結論」

－森林の建築材とエネルギー資源としての 複合利用モデルの構築－

第6章 結論「森林の建築材とエネルギー資源としての複合利用モデルの構築」

本研究は、森林を持続的に活用していくために、カスケード利用を前提とした建築材とエネルギー資源の複合利用モデルの構築を目的とした。川上と川下の情報連携に着目し、建築材利用の視点、エネルギー資源利用の視点、そしてそれらをつなぎ合わせる情報連携の視点の3つの視点から研究を実施し、今後さらに森林利用を拡大し、経済性を持つ産業システムにするための課題を抽出し、課題の解決策を考察した。

建築材利用では、木造住宅分野、中・大規模建築分野、それぞれを研究対象とした。木造住宅分野では、地産地消をベースにした国産木材利用を促進するために、地域産材の流通システムを、詳細に調査し、情報流、物流、商流から分析することにより、情報流に問題の所在があることを指摘した。次に、流通システムの縮約を仮定し、在庫費用とリードタイムの関係を明示した。さらに、立木から原木、製材品への流れと木取りの効率化の観点から、所要の設計情報の確定のタイミングを分析した。

これらから、木材調達と連動したスケジュールモデルを提案した。モデルを利用することで、歩留まりの改善効果や在庫削減、品質の保証やトレーサビリティの向上などが期待できることが明らかとなり、国産材流通システムを再構築する際の重要課題である情報流の整理とスケジューリング問題を解決した。

次に従来、鉄骨造や鉄筋コンクリート造が中心であった中・大規模建築分野では、発注者、設計者が木材を選定し設計・調達する際の情報やスケジューリングについて、実態調査を実施した。各ステークホルダー毎の課題を整理し、多くの発注者、設計者は、木材を扱ったことがないため、知識、経験、技量が不足している現状を把握した。また木材供給側からも、十分な情報提供がなされていないため、地域で入手可能な木材の質、量、納期などが、木材を利用する側に届いていないことを明らかにした。加えて公共建築の木材利用については、単年度予算による建築スケジュールなどが、木材調達をする上での新たな課題となっていることも明らかとした。

中・大規模建築において通常の鉄骨造や鉄筋コンクリート造などと、同様に木材、木造を扱うためには、他の工業素材と同等の情報提供や接合部の標準化を行うことが、より多くの発注者、設計者が木材を選択し利用するために必要であるとした。さらには、各ステークホルダー間を連携させるコーディネー

ターの重要性や職能に必要な要素を明示した。また長期的には、産業システム化することで、より容易に中・大規模建築にて木材が利用可能となる。

また森林の持続的な複合利用には、木質バイオマスのエネルギー利用の拡大が必要である。そのために、地方自治体等における森林資源の利用とエネルギー利用政策を立案する者が利用可能な木質バイオマス利用の計画策定プロセスを明確化し、事業の実現手法について考察した。

現在展開されている市町村の事例を調査した結果、建築材を流通・加工する事業者の存在が重要であることが明らかとなった。また都道府県別の地域特性を、森林資源量、製材業の集積度、需要者となる人口密度から、エリアを9地域に分類し、必要な施策を考察した。次に、供給側（素材生産）と需要側（燃料加工・消費）の双方について課題を整理した。

供給側の現状能力から、現実的な木質バイオマスの供給量や、実現可能な年間の供給力の増加量を推測した。需要側は、利用形態毎に燃料消費量を整理し、地域で導入しやすい小規模からのエネルギー利用（熱利用）を開始することが重要であることを明らかとした。

これらの結果から地域で木質バイオマス利用を実施し、拡大するためには、需要側と供給側が連携し、段階的に需要を増やし、供給力を確保することが、実現可能性を高めることにつながることを明らかにするとともに、木質バイオマス利用を実現する計画策定・実施プロセスを明確化した。

次に、森林資源を情報化する手段として、可搬型3次元レーザスキャナの計測と、実測による精度誤差の検証を行い、実務への適用可能性について検討、またカスケード利用や木材調達への効果を検証し、建築材の調達において実用可能であることを明らかとした。

スキャナによって3次元データ化することで、森林のカスケード利用に向け、建築材となる主幹部分、バイオマス利用となる枝葉部や先端部の資源量を、短時間で実用性を持つ精度で把握できることが明らかとなった。バイオマス利用可能な量を、明確に把握できることで、今後の地域での熱利用や発電利用の調達計画を建てる際にも、利用可能となる。

以上のように建築材利用、エネルギー資源利用、森林資源の情報化の視点から研究を実施したことで、森林の複合利用モデルの構築に必要な要素を抽出し、明確化し、全体システムをモデル化した。（図4-3再掲）

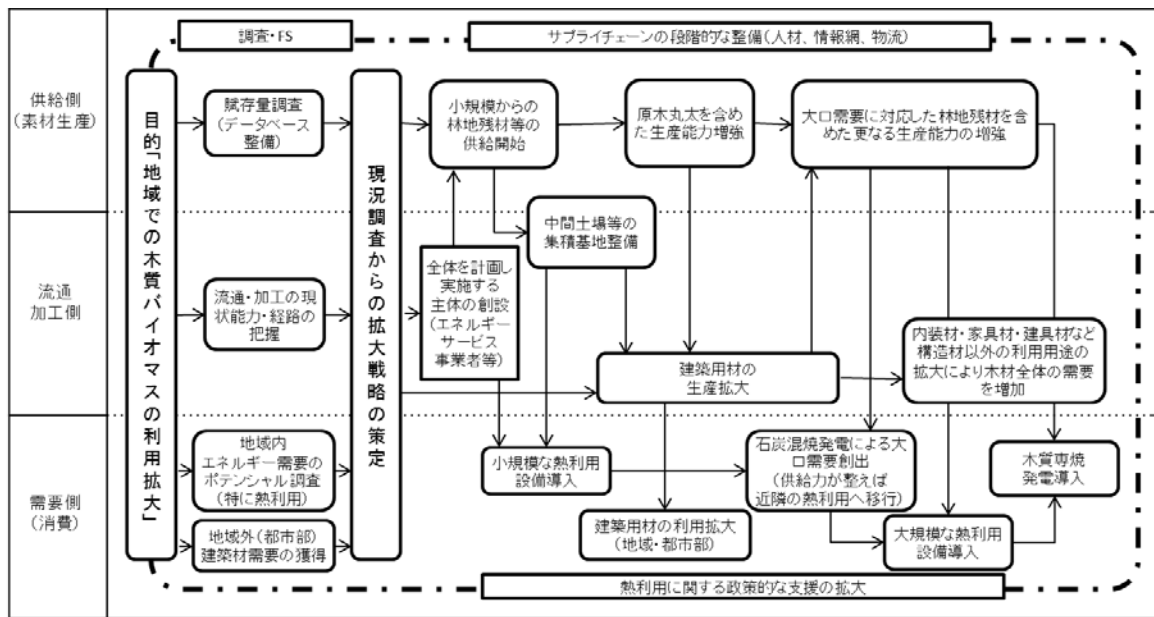


図 4-4 木質バイオマス利用の計画策定・実施プロセス(再掲)

今後の課題として、以下が挙げられる。

(1) 木造住宅での木材利用での課題

情報流以外に、物流や商流の観点から、実際に木材流通システムの分析、再構築が必要である。システムの中心を担う主体の分析も必要である。ストックヤードの場所や、ハンドリング回数など、物流面からのアプローチが必要である。地域に合わせた標準寸法や標準価格を策定し、実務レベルで利用しやすくすることが望まれる。

(2) 中・大規模建築での木材利用での課題

公共建築では、木材調達と施工の分離発注するシステムやリスク管理の整備が求められる。また木材コーディネータの育成と職能に対して対価を支払う商習慣の整備が必要である。また大学等での、木材利用を学ぶ教育プログラムの確立が課題である。

(3) エネルギー利用での課題

地域内での木質バイオマスのエネルギー利用をさらに展開するためには、既存の自治体組織に加え、流通システムの整備を行い、森林資源、木材流通に専門的に係り、全体最適をめざす第三の主体の設立が不可欠である。

現在、FIT 制度によって木質バイオマス発電に注目されているが、エネルギー効率の観点や、小規模需要から展開可能な点から、熱利用に対しても FIT と同様の政策的な支援が必要であると考え。特に熱利用の場合、欧州では技術開発により、小型のストーブ、ボイラーでも 90%近い効率の機器が普及しており限りある木質資源を有効活用する点からも、熱利用をより重視すべきである。

乾燥状態の良い燃料に対する適正な評価、および適正な取引を実現していくためにも、実際に燃焼時に提供された熱量ベースでの取引がさらに重要となる。

(4) 森林資源の情報化での課題

継続して実測データ（スギ・ヒノキ等）を収集することにより、回帰式の精度や有効性の向上が求められる。また収集した森林の 3 次元デジタルデータを活用した原木出材量の自動計算の手法や、製材時の木取りのシミュレーションに関する手法の検討・開発が必要である。加えて森林の 3 次元データを、流通・加工側や設計者、施工者が容易に利用できるようなデータベース環境を構築していくことが求められる。さらには今後増加が予想される木材を利用した公共建築など、非住宅分野における木材調達に活用できるよう、森林資源情報、地域の在庫情報、調達スケジュールなどが一体的に把握できる調達システムの研究・開発があげられる。

以上の成果により、本研究では、森林の建築材とエネルギー資源としての複合利用モデルの構築に向け、必要な要素の把握を行い、モデル化するとともに、今後の課題を明確にした。(図 6-1)

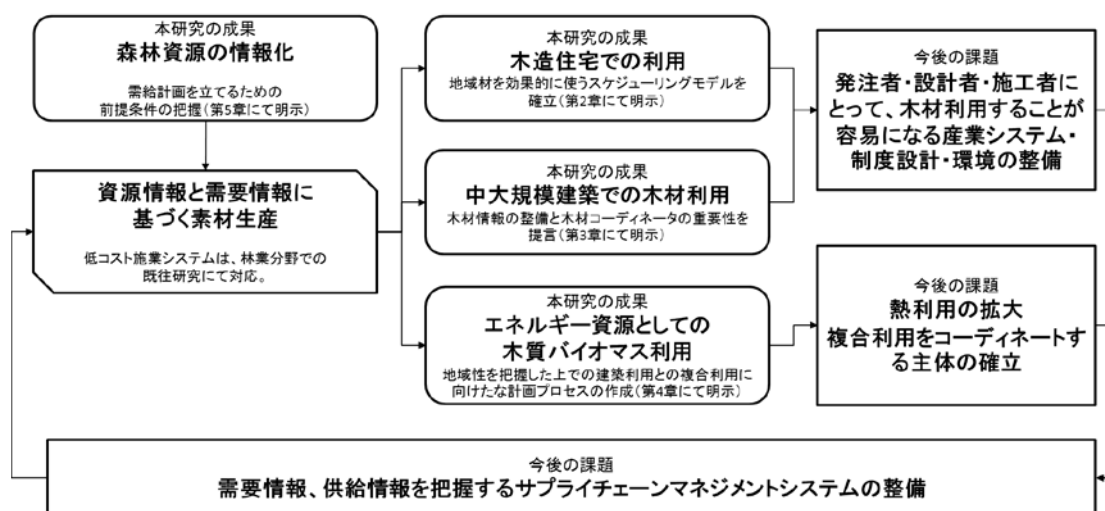


図 6-1 本研究の成果と今後の課題の概要

参考文献リスト

- 1-1) 林野庁：平成 24 年度 森林・林業白書,平成 25 年 6 月 7 日
- 1-2) 小島孝文：森林・林業再生プランの目指すもの-森林計画制度を中心として-,林業経済研究 59 (1) ,36-44,2013.03
- 1-3) 牧田邦宏：森林・林業再生プランにおける人材育成と日本型フォレスターの意味,林業経済研究 59 (1) ,27-35,2013.03
- 1-4) 滋賀和人：現代日本の森林管理と制度・政策研究-林野行政における経路依存性と森林経営に関する比較研究, 林業経済研究 59 (1) ,3-14,2013-03
- 1-5) 佐藤宣子：「森林・林業再生プラン」の政策形成・実行段階における山村の位置付け,林業経済研究 59 (1) ,15-26,2013.3
- 1-6) 亀田則男,平沢健次,元島俊彦：情報機器を活用した森林経営計画制度対応と林業経営,森林利用学会誌 28(1) ,79-84,2013.1
- 1-7) 今井辰雄：列状間伐施業方法の検討：福島県内の事例について,福島県林業研究センター研究報告(46),61-68,2013.8
- 1-8) 興儀兼三,佐野俊和：平成 24 年度林業機械化協会助成課題 欧州型森林盛業と林業用トラクタ K175 の生産性評価,機械化林業 (720) ,7-15,2013.11
- 1-9) 村山浩久：現場ネットワーク低コスト施業への高性能林業機械の導入-美山町森林組合,機械化林業 (723) ,19-22,2014.2
- 1-10) 中層大規模木造設計情報整備委員会：中層大規模木造 構造設計データ集,2013.7
- 1-11) 国土技術政策総合研究所：木造 3 階建て学校の実大火災実験（本実験）の結果概要,2013.12
- 1-12) 阿部勲：わが国の木質バイオマス利用の動向と課題,森林技術 (862), 4-8,2014.1
- 1-13) 曾月萌, 近藤加代子, 美濃輪智朗：木質バイオマス資源の収集状況に影響する要因分析,環境科学会誌,Vol.26, No.1,41-62,2013.1
- 2-1) 林野庁：木材需給表, 2014.1
- 2-2) 林野庁：森林・林業白書－平成 18 年版, 2006

- 2-3) 早川慶朗, 古阪秀三, 金多隆: 木造住宅における木材コスト比較から考察する地域産材活用の可能性, 日本建築学会近畿支部研究報告集, pp.669-672, 2005.6
- 2-4) 早川慶朗, 古阪秀三, 金多隆: SCM 概念を用いた地域産材流通システムの構築ー京都府産材を用いた住宅の建設ー, 日本建築学会近畿支部研究報告集, pp.717-720, 2006.6
- 2-5) 森本均, 早川慶朗, 金多隆, 古阪秀三: 住宅への地域産木材活用のためのサプライチェーン構築, 日本建築学会第 22 回建築生産シンポジウム論文集, pp.65-70, 2006.7
- 2-6) 京都府: ウッドマイレージー京都府産木材認証制度
<http://www.pref.kyoto.jp/rinmu/14100081.html>
- 2-7) 西川善介: 流通市場からみた木材商品生産の発展, 社会経済史学, Vol.27, No.1, pp. 453-476, 1961.5
- 2-8) 高木唯夫: 林業経済研究会秋季大会シンポジウム共通課題『木材流通問題』をめぐって, 日本林学会誌, Vol.48, No.1, pp.37-42, 1966
- 2-9) 岡村明達編著: 木材産業と流通再編, 日本林業調査会, 1977
- 2-10) 伊藤栄一, 林進, 矢内正: 国産材供給の組織化に関する研究 Iー岐阜県郡上地域産スギ材について, 岐阜大学農学研究報告, 第 50 号, pp.103-110, 1985
- 2-11) 安藤嘉友: 木材市場論ー戦後日本における木材問題の展開, 日本林業調査会, 1992
- 2-12) 小野田法彦編著: こうして流域林業を活性化させた, 全国林業改良普及協会, 1994
- 2-13) 熊崎実: 地球環境と森林, 全国林業改良普及協会, 1997
- 2-14) 篠原武夫: 沖縄県産材の加工・流通に関する研究, 琉球大学農学部学術報告, 第 47 号, pp.47-58, 2000
- 2-15) 遠藤日雄: スギの行くべき道, 全国林業改良普及協会, 2002
- 2-16) 大熊幹章: 地球環境保全と森林利用, 全国林業改良普及協会, 2003
- 2-17) 青柳修平, 竹内公男: 地域木材産業の総合的管理ー木材サプライチェーンの視点からー, 木材情報, 2004.12

- 2-18) 緑の列島ネットワーク：地域材の家づくりネットワーク，全国林業改良普及協会，2004
- 2-19) 成田真澄：大工・工務店の住宅生産システムの変化と木材流通チャンネル－京都市を対象として－，京都大学農学研究科修士論文，2006
- 2-20) 水谷頴介，岡本弘次：阪神都市圏における木材流通施設の動向－阪神都市圏の市街地再開発パターンの検討，日本建築学会学術講演梗概集計画系，pp. 621-622，1968
- 2-21) 森川武雄：建材流通にからむ諸問題，建築雑誌，Vol.93，No.1141，p.2，1978.9
- 2-22) 丹生谷地域杉のまち住まいづくり協議会：地域木造住宅生産供給促進事業 丹生谷地域杉のまち住まいづくり計画調査（供給体制の整備），1987.3
- 2-23) 秋山哲一：地域型木造住宅生産システムに関する研究，京都大学博士論文，1990
- 2-24) 大島康隆，斉藤雅也，宿谷昌則：木造住宅の建設と解体に関わる木材の循環に関する調査，日本建築学会大会学術講演梗概集 D-2 分冊，pp.477-478，1998.9
- 2-25) 白井裕子，尾島俊雄：富山県の木材資源とその活用実態に関する調査研究，日本建築学会環境系論文集，第 569 号，pp.61-66，2003.7
- 2-26) 滋賀で木の住まいづくり読本，海青社，2005
- 2-27) 京都大学フィールド科学教育研究センター年報，No.4，2006
- 2-28) NPO 法人木と家の会：地域産木材による住宅生産システム構築のための研究－自然乾燥材を使った住宅のケーススタディ，2003
- 2-29) 中村裕幸，野城智也：電子タグを付与した住宅への地域産木材活用のためのサプライチェーン構築，日本建築学会第 22 回建築生産シンポジウム論文集，pp.157-164，2006.7
- 2-30) 久保幹雄：ロジスティクス工学，朝倉書店，2001
- 2-31) 小西千代治：製材木取りシリーズ 1～3 製材木取りについて（1）～（3），木材工業，Vol.34，No.1-3，pp.42-44，pp.37-39，pp.42-45，日本木材加工技術協会，1971.1-3

- 2-32) 鎌田昭吉：製材木取りシリーズ4～8 北海道広葉樹の製材木取り(1)～(3), 北海道針葉樹の製材木取り(1)(2), 木材工業, Vol.34, No.4-8, pp.39-41, pp.40-42, pp.41-43, pp.38-41, pp.38-40, 日本木材加工技術協会, 1971.4-8
- 2-33) 長岐義蔵：製材木取りシリーズ9 秋田天然スギ製材の木取り, 木材工業, Vol.34, No.9, pp.42-45, 日本木材加工技術協会, 1971.9
- 2-34) 小林大徳：製材木取りシリーズ10 木曽ヒノキの製材木取り, 木材工業 Vol.34, No.10, pp.38-41, 日本木材加工技術協会, 1971.10
- 2-35) 落合寅夫：製材木取りシリーズ11 飢肥スギの製材木取り, 木材工業 Vol.34, No.11, pp.32-35, 日本木材加工技術協会, 1971.12
- 2-36) 中村実：製材木取りシリーズ12 カナダ西海岸の針葉樹製材木取り, 木材工業, Vol.35, No.1, pp.40-43, 日本木材加工技術協会, 1972.1
- 2-37) 吉田靖, 杉本英明, 福本通治：製材木取りシリーズ13 吉野材の製材木取りについて, 木材工業, Vol.35, No.2, pp.38-40, 日本木材加工技術協会, 1972.2
- 2-38) 吉田直隆：製材木取りシリーズ14 シベリア産針葉樹製材木取り, 木材工業, Vol.35, No.3, pp.38-41, 日本木材加工技術協会, 1972.3
- 2-39) 中野正志：製材木取りシリーズ15 南部アカマツの製材木取り, 木材工業, Vol.35, No.4, pp.40-43, 日本木材加工技術協会, 1972.4
- 2-40) 飯島昭三：製材木取りシリーズ16 ブナの製材木取り, 木材工業, Vol.35, No.5, pp.38-39, 日本木材加工技術協会, 1972.5
- 2-41) 河瀬州雄：製材木取りシリーズ17 スギ、ヒノキ間伐材の製材木取り, 木材工業, Vol.35, No.6, pp.39-43, 日本木材加工技術協会, 1972.6
- 2-42) 宇都巖：製材木取りシリーズ18 米ツガ製材の木取り, 木材工業, Vol.35, No.7, pp.40-43, 日本木材加工技術協会, 1972.7
- 2-43) 秋山喜蔵：製材木取りシリーズ19-20 造林カラマツ大径木の製材木取り(その1)(その2), 木材工業, Vol.35, No.8-9, pp.39-41, pp.33-35, 日本木材加工技術協会, 1972.8-9
- 2-44) 熊谷洋二：製材木取りシリーズ21 東濃ヒノキの製材木取り, 木材工業, Vol.35, No.10, pp.39-42, 日本木材加工技術協会, 1972.10

- 2-45) 杉山英作:製材木取りシリーズ 22 智頭スギの木取り, 木材工業, Vol.35, No.11, pp.34-38, 日本木材加工技術協会, 1972.11
- 2-46) 平野二三男:製材木取りシリーズ 23 天竜材 (スギ)の木取り, 木材工業, Vol.36, No.1, pp.32-36, 日本木材加工技術協会, 1973.1
- 2-47) 藤原勝敏:製材木取りシリーズ 24 米ツガの製材木取りー和歌山県田辺地方における一例ー, 木材工業, Vol.36, No.2, pp.35-38, 日本木材加工技術協会, 1973.2
- 2-48) 小西千代治:製材木取りシリーズ 25 東京木場地区における南洋材の木取り, 木材工業, Vol.36, No.3, pp.36-42, 日本木材加工技術協会, 1973.3
- 2-49) 前田活郎:リニアプログラミングによる木取り計画, 経営科学, Vol.2, No.2, オペレーションズリサーチ学会, 1958.1
- 2-50) 島崎鶴雄, 飯島泰男, 吉田直隆:スギ根曲がり材の利用技術 (第1報) 図形木取りによるモデル計算の試み, 木材と技術, No.37, pp.3-6, 富山県林業技術センター, 1979.6
- 2-51) 島崎鶴雄, 武田和正:スギ根曲がり材の利用技術 (第2報)狂いにおよぼす製材木取りと乾燥条件の影響, 木材と技術, No.41, pp.11-14, 富山県林業技術センター, 1980.4
- 2-52) Takashi Kaneta, Yoshiaki Hayakawa: Inventory Control on Regional Woods for Houses, Proc. of the 12th Seminar of JSPS-MOE Core University Program on Urban Environment, Kyoto University, pp.393-402, October 3-4, 2006
- 2-53) 池井健, 早川慶朗, 金多隆, 古阪秀三:木造住宅における設計と木材調達のスケジューリングに関する研究, 日本建築学会第23回建築生産シンポジウム論文集, pp.171-176, 2007.7
- 3-1) 林野庁:森林・林業基本計画,2011.7
- 3-2) 林野庁,国土交通省:公共建築物等における木材の利用の促進に関する法律,2010.10
- 3-3) 国土交通省:木造計画・設計基準及び同資料,2011.5
- 3-4) 国土交通省:公共建築木造工事標準仕様書,2013.2

- 3-5) 農林水産大臣、国土交通大臣：公共建築物における木材の利用の促進に向けた措置の実施状況（平成 24 年度）,2013.11
- 3-6) 国土交通省：今後の建築基準制度のあり方について「木造建築関連基準等の合理化及び効率的かつ実効性ある確認検査制度等の構築に向けて」（第二次報告）（案）,2014.2
- 3-7) 中層大規模木造設計情報整備委員会：中層大規模木造 構造設計データ集,2013.7
- 3-8) 国土技術政策総合研究所：木造 3 階建て学校の実大火災実験（本実験）の結果概要,2013.12
- 3-9) 木を活かす協議会：ここまでできる木造建築の計画,
<http://www.kiwoikasu.or.jp/technology/>,2013.12
- 3-10) 国土交通省：新設住宅着工戸数と床面積、木造率, 2013
- 3-11) 早川慶朗、金多隆、古阪秀三：木造住宅の設計と木材調達のスケジュールリングに関する研究,日本建築学会計画系論文集,No
632,pp2173-2179,2008.10
- 3-12) 原田浩司：地域木材の供給体制の現状（大規模木造建築の技術的課題と解決方法）,2012 年度日本建築学会大会 PD 配布資料,2012.9
- 3-13) 北村俊夫：S-TEC システムの紹介と 3 ヒンジ山形ラーメンのスパン表,木質構造研究会,第 15 回木質構造研究会技術報告集,pp11-14,2011.12
- 3-14) 埼玉の木づかいワークショップ,埼玉県農林部森づくり課：木造公共建築物整備の手引,2013.10
- 3-15) 岐阜県：大規模木造公共施設の建築にかかる低コストマニュアル・事例集,2012.3
- 3-16) 日経 BP 社：中・大規模木造&木質建築の現在,日経アーキテクチャ SPECIAL,2013
<http://kenplatz.nikkeibp.co.jp/article/knp/news/20131217/644930/?S=imageView&FD=1420927604>
- 3-17) 松浦隆幸＋日経アーキテクチュア：こうすれば燃えにくい新しい木造建築, 日経 BP 社, 2014.3
- 4-1) 調達価格等算定委員会;平成 25 年度調達価格及び調達期間に関する意見,(平成 25 年 3 月 11 日), 経済産業省.

- 4-2) 渡辺喜智; 木質バイオマス発電の特性・特徴と課題, 農林金融, 第 65 巻第 10 号, (2012 年 10 月), 21-36
- 4-3) NPO 法人バイオマス産業社会ネットワーク; バイオマス白書 2013, (2013 年 5 月), <http://www.npobin.net/hakusho/2013/>
- 4-4) 木質バイオマス資源の循環と有効利活用特別研究委員会, 木質バイオマス資源の循環と有効利活用特別研究委員会報告書, 2013 年 3 月, 社団法人日本建築学会
- 4-5) 鎌田泰成, 前田太佳夫, 村田俊介, 小比賀功, 矢田雅也; 小型木質バイオマス発電のためのガス化炉内流れに関する研究, 年次大会講演論文集, pp1-2, 2010 年 9 月, 一般社団法人日本機械学会
- 4-6) 高橋信英, 小玉聡, 藤岡祐一; 木質バイオマスからの高効率な高密度発電燃料製造における触媒添加の影響, 日本エネルギー学会大会講演要旨集 (19), pp118-119, 2010 年 8 月
- 4-7) 根本光, 加藤顕, 小林達明; 航空機レーザー測量を用いた異なるスケールアプローチでのスギ・ヒノキ林材積の推定, 日本緑化工学会誌 38(1), pp79-84, 2012 年
- 4-8) 平田泰雅; 高分解能衛星データの森林モニタリングへの応用, 日本森林学会誌 91(2), pp136-146, 2009 年 4 月
- 4-9) 久保山裕史; 林地残材の低コスト収集の可能性について, 日本エネルギー学会大会講演要旨集(13), pp224-225, 2004
- 4-10) 石川知明, 板谷明美, 中西将大; 高性能林業機械による搬出作業システムにおける伐採対象面積と機械回送距離との関係, 森林利用学会誌 25(2), pp85-90, 2010 年
- 4-11) 岡山県真庭市; 真庭市バイオマスタウン構想, (平成 18 年 4 月 7 日, 平成 21 年 2 月 27 日改訂)
- 4-12) 岩手県葛巻町; 葛巻町バイオマスタウン構想, (平成 20 年 2 月 15 日)
- 4-13) 秋田県能代市; 能代市バイオマスタウン構想, (平成 20 年 2 月 20 日)
- 4-14) 福島県会津若松市; 会津若松市バイオマスタウン構想, (平成 21 年 2 月 12 日)
- 4-15) 長野県塩尻市, 征矢野建材 (株); 信州 F・POWER プロジェクト事業計画, (平成 25 年 3 月 25 日現在)

- 4-16) 林野庁；平成 19 年度森林資源現況調査
- 4-17) 林野庁；平成 23 年木材需給報告書
- 4-18) 総務省；平成 22 年国政調査報告
- 4-19) 熊崎実,沢辺攻；木質資源とことん活用読本,2013 年 3 月,社団法人 農山漁村文化協会
- 4-20) 林野庁；森林・林業白書,平成 23 年度
- 4-21) 林野庁；平成 22 年度森林組合統計
- 4-22) 熊崎実；木質エネルギービジネスの展望,全国林業改良普及協会,2011 年 2 月
- 4-23) 宮島欣幸；固定買取制度における木質バイオマス発電の動向,エネルギー・資源,第三四巻第三号,平成 25 年 5 月,pp159-163
- 4-24) 早川慶朗；森林(スギ)の 3D スキャナー計測による樹冠部の資源量推定について,日本森林学会大会学術講演集（第 124 回）,2013 年 3 月,pp62
- 5-1) 林野庁；森林・林業基本計画,2011.7
- 5-2) 加藤正人；高分解能 IKONOS 画像による単木判読可能性の比較,日本森林学会誌 84,pp221-230, 2002.4
- 5-3) 加藤正人ら；大規模公有林を対象とした衛星データ利用森林 GIS の開発.日本森林学会誌 84,pp231-238, 2002.4
- 5-4) 松英恵吾ら；航空機 LiDAR による森林資源量推定-密度の異なるスギ・ヒノキの林分パラメータ推定-.写真測量とリモートセンシング 45
- 5-5) (1) ,pp4-13,2006
- 5-6) 伊藤拓弥ら；航空機 LiDAR による樹幹の再現性.日本森林学会誌 91,pp326-334,2009
- 5-7) 大政謙次ら；可搬型 Scanning Lidar データを用いたカラマツ林の樹林マッピングと胸高直径及びバイオマスの推定.日本リモートセンシング学会 vol.22,No.5,pp550-557.2002
- 5-8) 戸田健太郎ら；地上型レーザスキャナを用いた 3 次元環境計測における樹高の推定.日林工誌,35(1),pp69-74.2009
- 5-9) 三上瑛ら；建築生産における 3 次元スキャナーの活用に関する研究：材料の差異による計測結果に対する影響の分析.日本建築学会関東支部研究報告集 82（Ⅱ）, pp509-502, 2012

- 5-10) 福田結磨：鉄筋工事における 3 次元測定の活用に関する研究：3 次元スキャナーと写真計測を用いた寸法データの比較. 日本建築学会関東支部研究報告集 81 (Ⅱ), pp411-414, 2011
- 5-11) 新設住宅着工戸数と床面積、木造率：国土交通省総合政策局情報管理部建設調査統計課,2013.12
- 5-12) 坂野上なお：木材生産・流通に影響を与える需要側の変化を追って,日本林業経済学会,Vol57,NO1,2011
- 5-13) 白井裕子：岐阜県長良川流域における産業活動を通じた森林資源の持続的保全に関する研究 その2 木造住宅建築における木材需要と在来軸組工法の特徴,日本建築学会大会学術講演梗概集 pp935-936,2007.8
- 5-14) 野瀬光弘：関西地方における製材用国産材需要の将来推計,森林応用研究 19(1),pp1-7,2010.4
- 5-15) 金澤洋一ら：スギ若齢林の樹冠・定直径高管理図作成の試み関西,日林誌 91 (1) ,pp21-26,2009
- 5-16) 相原英春：カワイドニスギ若齢林の成長と生産力,富山県林業技術センター研究報告 No15,pp1-12,2002.3
- 5-17) 角田健一ら：長野県における未利用林地残材のバイオマスエネルギー利用に関する基礎調査ーその2 林地・土場における丸太の含水率変化の比較ー, 日本建築学会大会学術講演集,pp721-722,2013.8
- 5-18) 熊崎実, 沢辺攻：木質資源とことん活用読本社団法人,農山漁村文化協会,2013.3
- 5-19) 加藤正人：森林リモートセンシング第3版,(株)日本林業調査会,2010
- 5-20) 岩男弘毅：リモートセンシング読本. 社団法人日本測量協会,2005
- 5-21) 日本大学森林資源学科：森林資源科学入門.(株)日本林業調査会,2002
- 5-22) 露木聡：リモートセンシング・GIS データ解析実習ー入門編ー.(株)日本林業調査会,2005
- 5-23) 中村裕幸：地上型 3D レーザースキャナによる森林資源調査、第 124 回日本森林学会大会学術講演集 pp194 , 2013

既往発表論文一覧

(1) 原著論文

- ① 早川慶朗,金多隆,古阪秀三
木造住宅の設計と木材調達のスケジューリングに関する研究
日本建築学会計画系論文集, No 632, pp2173-2179, 2008.10
- ② 早川慶朗,浅野良晴,高村秀紀
再生可能エネルギーである木質バイオマスの供給力を向上させるための地域連携に関する考察ー利用計画策定プロセスの明確化ー
エネルギー・資源学会, Vol35.No3, 2014.5
- ③ 早川慶朗,浅野良晴,高村秀紀,中村裕幸
木材のカスケード利用に向けた可搬型3次元レーザスキャナによる木材の資源量算定ー長野県北信エリアのスギの事例ー
日本建築学会計画系論文集, No703, pp2109-2116, 2014.9
- ④ 早川慶朗
公共建築の計画・設計時における木材調達に関する実施事例ー中・大規模建築物における計画・設計段階での木材流通情報を活用した木材調達支援に関する研究 その1
日本建築学会計画系論文集へ投稿し、査読審査中

(2) 参考論文

- ① 渡辺公太,浅野良晴,高村秀紀,早川慶朗
長野県における未利用林地残材の有効利用に関する研究ー長野県におけるカーボン・オフセットを前提とした未利用林地残材のバイオマスエネルギー利用に関する基礎調査 その2ー
日本建築学会環境系論文集, 第78巻, 第694号, pp965-971, 2013.12

- ② 高村秀紀,浅野良晴,櫻庭瞳,上田智輝,早川慶朗

木造住宅に使用される新潟県産スギのライフサイクルアセスメント調査

日本建築学会技術報告集 第 20 巻 第 44 号,pp423-428, 2014.2

- ③ 井戸結貴,浅野良晴,高村秀紀,早川慶朗

日本中部山岳域における岐阜県産材と長野県産材の比較－地場産材を使用した住宅における木材のライフサイクルアセスメントに関する基礎調査 その 3－

日本建築学会環境系論文集,第 79 巻,第 698 号,pp357-364,2014.4

- ④ 松場啓太,浅野良晴,高村秀紀,早川慶朗

加工木材のライフサイクルアセスメント調査－長野県東信カラマツ集成材の場合－

日本建築学会技術報告集 第 20 巻 第 45 号,pp819-824, 2014.6

(3) 口頭発表

- ① 第 124 回 日本森林学会 口頭発表 2013 年 3 月 25 日

早川慶朗：森林（スギ）の 3D スキャナー計測による樹冠部の資源量推定について

謝辞

本論文は、多くの方々のご指導と、ご協力によって、執筆できた次第である。

信州大学大学院総合工学系研究科の浅野良晴先生には、社会人博士課程での研究を受け入れ、指導をして頂いた事に、感謝を申し上げる。また信州大学の高村秀紀先生には、様々な面で研究を支援頂いた。。

木材流通、森林利用に関する研究については、京都大学の学部生の頃に、地域産材を用いた木造住宅の研究にはじまり、古阪秀三先生、金多隆先生の指導ならびに、NPO 法人京都環境建設研究会の皆様の知見を頂き、修士論文の執筆に至った。その後、NTT ファシリティーズへ進み、森林管理やエネルギー利用に研究対象を広げ、Woodinfo の中村裕幸氏や NTTGP エコの渡邊聡氏の協力を得ながら研究を進めることができた。中大規模建築への木材利用については、建築学会・地球環境委員会・木材流通のデータベース化と共有化の手法検討小委員会での、平野陽子氏（㈱ドットコーポレーション）、山田憲明氏（山田憲明構造設計事務所）、原田浩司氏（木構造振興㈱）、北村俊夫氏（齋藤木材工業㈱）らとの議論を多いに参考とさせて頂いた。また NTT ファシリティーズの方々には、多大にご協力いただいたことを感謝申し上げる。学位論文の編纂にあたっては、浅野研究室の松場啓太氏と添原洋平氏に、大いに助けていただいた。

最後に、社会人課程での研究を進めるにあたっては、妻の希美や、長女の陽埜の暖かい応援があったからこそである。また最後のまとめを行っていた平成 26 年 9 月 9 日には長男の達葵も誕生し、論文の成果に花を添えてくれた。本論文の成果が、今後の我が国の持続的な森林利用につながり、孫の世代が豊かな森林を享受できることを期待する。

平成 26 年 9 月

早川 慶朗