

木質バイオマス利用に向けての一考察

No.8 渡辺 大詞

はじめに

近年、化石燃料等の代替として木質バイオマスが期待されている。このことから、「バイオマス活用推進基本計画」（平成 22 年 12 月 17 日閣議決定）においては、木質バイオマスのエネルギー利用拡大に向けた施策を推進するとされている。また、環境先進企業等がクレジットを購入し、資金が国内林業に還流する「オフセット・クレジット制度」（J-VER）も進展している。

しかし、木質バイオマスのエネルギー利用が進展する中、製材工場等残材や建設発生木材の供給が追いついていない現状にある。一方、林地残材は、一般的に林内等に少量・分散していることから搬出コストがかかり、発生箇所の把握や発生量の推測は難しい状況にある。

このことから、本研究においては林地残材の発生箇所や発生量を推測し、それを活かした効率的な搬出体制の構築に向けて検討する。

第1 木質バイオマスの現状

1 木質バイオマス利用の意義と課題

エネルギーは、経済活動や国民生活の基盤であるが、我が国のエネルギー自給率は、原子力を除くと僅か4%程度であり、そのほとんどが化石燃料に依存している。一方、我が国の森林資源は豊富であり、かつては木炭や薪として日常的に利用されていた。

しかし、エネルギー革命やライフスタイルの変化等により利用されることが少なくなった。木質バイオマスは生物由来の有機物資源であり、カーボンニュートラルという特性を有していることから、地球温暖化防止対策に資するとともに、化石燃料とは異なり再生可能な資源であるといえる。

このようなことから、全国に分布する木質バイオマスを、自国で有効利用することは大変意義のあるものである。

しかしながら、木質バイオマスの利用を推進していくためには、「低コスト・安定供給」、「利用システム構築」、「バイオマスエネルギーの需要開発・確保」、「地域住民等の理解と協力」、「各種制度等による支援体制整備」等多くの課題を抱えている（図-1）。

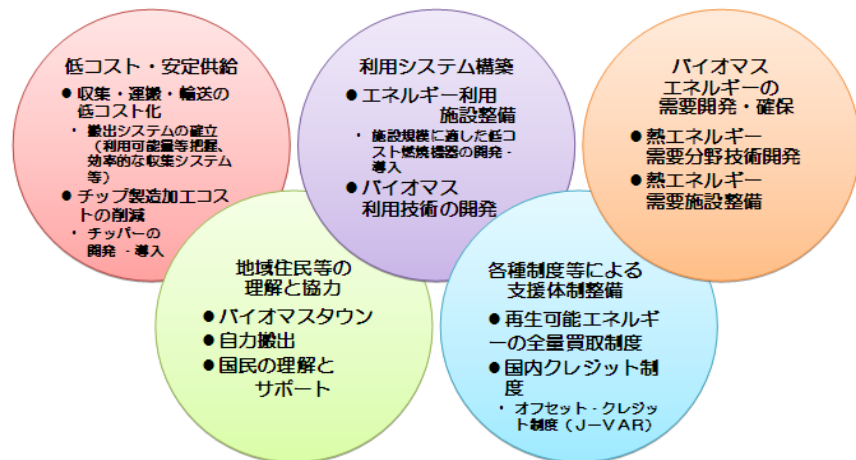


図-1 木質バイオマスの利用における課題

2 木質バイオマスの利用の実態

木質バイオマスは、発生形態によって「未利用間伐材等」、「製材工場等残材」及び「建設発生木材」に分類される。住宅着工戸数の減少等により、「製材工場等残材」及び「建設発生木材」の増加は見込まれないため、未利用間伐材等の活用に期待が集まっている。

しかしながら、未利用間伐材等は年間約 2,000 万 m³ 発生しているにも関わらず、林内に少量・分散しているため、販売費に対する収集・運搬コストは採算がとれていない(図-2)。

このことから、未利用間伐材等の有効利用に向けて、効率的な搬出方法等について確立していく必要があると考え、本研究においては、発生箇所の把握・発生量推測・効率的な搬出方法に着目した。

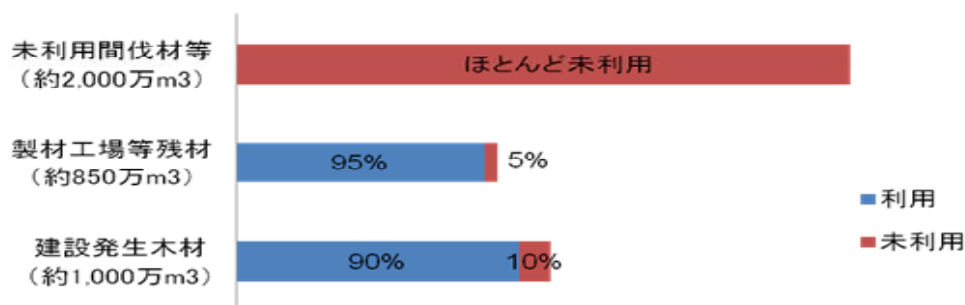


図-2 木質バイオマスの発生量と利用の現況(推計)

資料: 森林・林業白書(平成23年度版)から作成

参考：未利用間伐材等の発生形態

未利用間伐材等の発生形態は、伐倒後の集材方法等により異なることから集材方法等別に発生形態を下記のとおり分類した。

①未利用間伐材

※伐り捨て間伐材：チェーンソー等で伐倒後林内に存置されることから、全て林内に発生する。

②利用間伐材

※全木集材：チェーンソー等で伐倒後、プロセッサで集材し作業路で枝払い・玉伐りを行う。その際、道端には根元部端材と玉伐りをして残った末木、枝条、梢端部が発生する。プロセッサは国内で最も普及している高性能林業機械であり、全木集材が主流となっている。

※全幹集材：チェーンソー等で伐倒後、枝払いを行い、梢端部を伐り落とし、道脇まで集材する。その後玉伐りを行うことで、根元部端材、末木が道端に発生し、林内には梢端部と枝条が発生する。

※短幹集材：林内で伐倒・枝払いを行い根元部端材と梢端部を伐り落とし玉伐りをする。丸太は集材するが、林内には根元部端材、梢端部、玉伐りをして残った末木、枝条が発生する。

第2 調査方法

林地残材は主伐・間伐に伴い発生することから主伐・間伐箇所を把握することにより、林地残材の発生箇所を把握することができる。平成 21 年度の全国の主伐実績は 77 千 ha、間伐実績は 585 千 ha である。(図-3)。さらに、間伐材積のうち利用されている材積の割合は全体の約 3 割にとどまっており、多くの間伐材が林内に存置され、林地残材が大量に発生していることから間伐における林地残材を調査対象とした。

また、林地残材の活用について鳥取県智頭町で現地調査を行った。

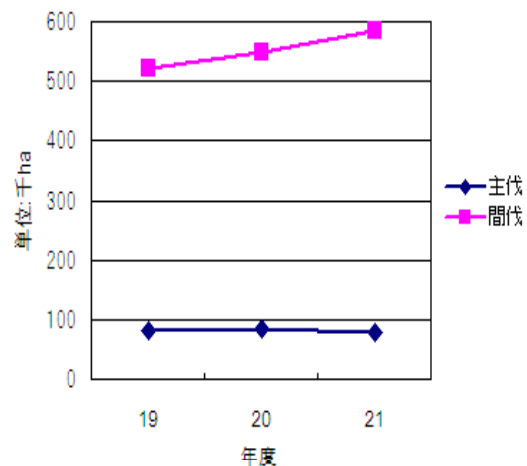


図-3 主伐面積及び間伐面積の推移

資料:森林・林業統計要覧2011により作成

1. 林地残材発生箇所の把握

間伐箇所を把握するため、文献等調査及び聞き取り調査を行う。

2. 林地残材の発生形態別発生量の推測

バイオマス発電所等へ熱源（林地残材）として安定的に供給するためには、発生量を推測し把握する必要がある。このことから、発生量推測手法について文献等調査を行い、発生形態別発生量の推測手法について、設定した試算条件を用いて比較・検討を行う。

発生形態については、近年の高性能林業機械の普及に伴い、林地残材は道端に発生するケースが多い。さらに、伐り捨て間伐により林内に発生するケースもある。このことから、林地残材の発生形態を道端に発生する「端材+末木タイプ」と林内に発生する「未利用間伐材タイプ」に区分した。

なお、発生量の単位を生重量単位（生 t/ha）とした。（参考：変換係数 0.83 については「バイオマスエネルギー—生物系資源・廃棄物の有効利用—/本多淳裕 1986 年」による。）

試算条件の設定を以下のとおりとする。

①端材+末木タイプ

「端材+末木タイプ」の試算条件を以下のとおり設定する。民有林における人工林の年齢構成が 40 年生から 50 年生にかけて多いことから、本研究においては 40 年生スギとした。また、鳥取県へ林地残材の現地調査に行ったことから、「鳥取県民有林スギ人工林収穫予想表等作成に関する基礎調査書」を用いた。40 年生スギでは、胸高直径 20 cm・樹高 16 mであった。さらに、間伐材積を求めるため、「林野庁計画課編立木幹材積表—西日本編—」及び、「林分密度管理図とその使い方」を用いて収量比数（Ry0.7）としたところ、材積伐採率 33%で間伐材積 156m³/ha(129.48 生 t/ha)を得た。

得られた間伐材積をもとに、文献等調査による発生量推測手法と、細り表等を用いて林地残材率を求め発生量の比較・検討を行う。

②未利用間伐材タイプ

未利用間伐材の試算条件を以下のとおり設定する。一般に伐り捨て間伐は30年生以下を対象としていることから、30年生スギ、伐採率20%と仮定した。さらに、「鳥取県民有林スギ人工林収穫予想表等作成に関する基礎調査書」及び「林野庁計画課編立木幹材積表―西日本編―」によれば、30年生スギは胸高直径14cm、樹高13mであり、間伐材積37.17m³/ha（30.85生t/ha）を得た。

また、鳥取県智頭町では、林道沿線両側で樹高程度の範囲において未利用間伐材を収集していたことから、収集範囲を林道沿線の両側15mとした。路網密度については、林野庁整備課資料より17m/haとした。

これらの試算条件を基に搬出可能量を推測し未利用間伐材の収集について検討した。



写真:端材等の発生



写真:未利用間伐材の発生

3. 効率的な搬出方法

林地残材の搬出方法は林地残材の発生形態により異なる。これを踏まえ、「林地残材フル活用実証事業」（全国木材協同組合連合会）等の文献等調査を行い、林地残材の発生形態別に検討した。

また、文献等調査にあたっては搬出基準を設定し、搬出基準以内で搬出している事例について調査した。

$$\text{搬出基準} = \text{工場着価格 (7,000 円/生 t)} - \text{工場チップ化費用 (4,000 円/生 t)} = \underline{3,000 \text{ 円/生 t}}$$

第3 調査結果

1. 林地残材発生箇所の把握

森林法第十条の八により、森林所有者や立木買受者は、森林の立木を伐採するときは、市町村の長に、森林の所在場所等について記載した伐採及び伐採後の造林の届出書を、届出しなければならないとされている。

このことから、市町村は伐採及び伐採後の造林の届出により、間伐箇所を把握していることとなる。なお、森林組合においては、組合員が所有する森林について、間伐予定（実行）箇所を把握している。

2. 林地残材発生形態別発生量の推測

(1) 端材+末木タイプ

ア 文献等調査による推測方法

文献等調査の結果、林地残材の発生量等について統計処理しているものはないが、現場でサンプル調査した例や発生量を推測する手法を得た。その手法については下記のとおりであり、これらを用いて試算した。

(ア) 独立行政法人森林総合研究所による推測手法

森林バイオマス（生物体総量）の推測方法として、立木材積のうち丸太にならない追い上げ材等の占める割合と立木材積に対する枝の発生割合を乗じて、林地残材の発生量を推定するものである。

林地残材発生係数=容積密度(t/m³)×(100－幹材歩留まり(%))/100×拡大係数
 林地残材発生量(t)=立木伐採量(m³)×林地残材発生係数

この算定式と林地残材発生係数一覧（表－1）を用いて、林地残材発生量を推測すると下記のとおりとなった。

表－1 林地残材発生係数一覧

樹種	拡大係数		容積密度	幹材歩留まり (%)	林地残材発生係数
	林齢 20 年生以下	林齢 21 年生以上			林齢 21 年生以上
スギ	1.57	1.23	0.314	82	0.070
カラマツ	1.50	1.15	0.404	82	0.084
トドマツ	1.88	1.38	0.319	82	0.079
広葉樹	1.92	1.46	0.348	82	0.091

資料:独立行政法人森林総合研究所

林地残材発生係数=容積密度(0.314)×(100－幹材歩留まり 82(%))/100×
 拡大係数(1.23)=0.070

林地残材発生量(生 t/ha)=立木伐採量(156m³/ha)×林地残材発生係数(0.070)
 =10.92 生 t/ha

(イ) 岐阜県森林研究所による推測手法

間伐現場において、実際に利用可能な林地残材の発生量について把握するため、岐阜県内の間伐作業現場で ha あたりの林地残材量を 1 本毎に調査されたものである。調査は造材前に胸高直径、樹高、枝下高を測定し、プロセッサで造材した後に①端材（曲材・損傷木・梢端部等）、②枝条、③用材の 3 つに区分されている。40 年～ 50 年生の人工林では、林地残材は 14 ～ 35 生 t/ha であり、部位別では端材が 10.00 生 t/ha で箇所による差はほとんどなく、枝条は 4 ～ 20 生 t/ha とバラツキが多い。また、胸高直径・樹高等の林地残材発生量との関係比較では、高い相関が得られたものの、スギの端材の場合で胸高直径と林地残材の発生量には明確な関係はなかった。さらに、林地残材の発生量はヒノキについても胸高直径の増加とともに若干増加する傾向はあるものの、発生量はスギと同様とされている。

(ウ) 財団法人林業科学振興所による推測手法

林地残材率を、文献や道県の末木・枝条発生率調査事例により取りまとめたもので、立木全体（末木+枝条+丸太部+根元部）に対する林地残材（末木+枝条+その他（根元部））の比率が求められている。

この林地残材率（表-2）を用いて生 t 変換係数を乗じて発生量を推測すると下記のとおりである。

表-2 林地残材率一覧

樹種	林地残材率			
	末木	枝条	その他	合計
スギ・ヒノキ	0.02	0.08	0.05	0.15
マツ類	0.03	0.11	0.05	0.19
その他の針葉樹	0.03	0.16	0.05	0.24
広葉樹	0.05	0.20	0.10	0.35

資料:財団法人林業科学振興所

林地残材率=末木 (0.020) + その他 (0.050) =0.070

林地残材発生量(生 t/ha)=立木伐採量(156m³/ha) × 林地残材発生係数(0.070) ×
生 t 変換係数 (0.83) =9.06 生 t/ha

イ 細り表等を利用し推測した手法

40年生スギ・胸高直径 20 cm・樹高 16 mを、「鳥取県智頭地方の細り表」等を用いて、試算した。直径 13 cm以上を丸太部とし、3 m材 3本を採材したと仮定し、他の部位を林地残材として林地残材率を求めた（表-3）。

表-3 林地残材率一覧

樹種	林地残材率			
	幹材積	端材	末木	合計
スギ	0.91	0.08	0.01	1.00

林地残材率=端材 (0.080) + 末木 (0.010) =0.090

林地残材発生量(生 t/ha)=立木伐採量(156m³/ha) × 林地残材率(0.090) ×
生 t 変換係数 (0.83) =11.65 生 t/ha

ウ 林地残材発生量推測比較表

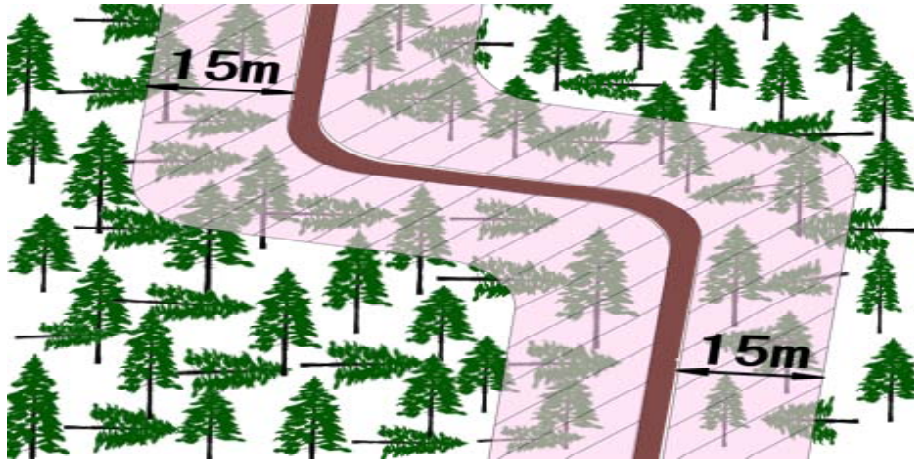
端材+末木についての林地残材発生量の推測結果は下記のとおりである。

推測手法	(独)森林総合研究所	岐阜県森林研究所	(財)林業科学振興所	細り表等による推測
発生量推測	10.92 生 t /ha	10.00 生 t /ha	9.06 生 t /ha	11.65 生 t /ha

(2) 未利用間伐材タイプ

搬出試算条件の、第2の3を基に搬出可能量を推測すると下記のとおりである。

搬出可能量=間伐材積 (37.17m³/ha) × 路網密度 (17m/ha) × 収集範囲 (15m × 2)
÷ 10,000m²/ha × 生 t 変換係数 (0.83) = 1.57 生 t/ha



未利用間伐材の搬出可能範囲イメージ

3. 効率的な搬出方法

(1) 端材+末木タイプ

搬出方法は、林業事業者や林況等によって異なり、搬出基準以内で収集された事例はほとんど得られなかった。また、林地残材の搬出コストを低減させるために、ボランティアとの協働による搬出事例も見られた。文献等から得られた作業システムの中から一般的に行われている代表的な搬出方法を例示すれば以下のとおりである。

ア 素材と別途収集

- ・グラップル+大型トラック
- ・グラップル+フォワーダ+グラップル+大型トラック
- ・現地チップ化 (山元土場においてグラップル+移動式チップパー+箱形トラック)

イ 素材生産と連携して同時搬出

- ・プロセッサ+専用コンテナ+クレーン付大型トラック

(2) 未利用間伐材タイプ

伐り捨て間伐では、搬出を前提としていないことから、林内に無造作に存置されており、残存木を保護しながら搬出することは多くの労力とコストがかかる。また、景観だけでなく、その後の間伐等の森林施業に支障を来すと考える。

搬出基準以内での事例は得られなかったが、代表的な搬出方法を以下に示す。

- ・スイングヤーダ+グラップル+フォワーダ+大型トラック
- ・チェーンソー+軽トラック (人力)

第4 考察

1. 林地残材の発生箇所把握及び林地残材発生量推測について

(1) 林地残材発生箇所把握

市町村は伐採及び伐採後の造林の届出義務により、森林組合は森林所有者等からの施業受託により間伐予定（実行）箇所、即ち林地残材発生箇所をそれぞれ把握している。しかし、市町村や森林組合のそれぞれが把握するだけでは、林地残材を搬出する際に、双方へ問い合わせる必要等があり、まとまった林地残材量の確保が難しいと考える。

このことから、管内（市町村）で一元的に管理し、情報提供することで、搬出箇所等の把握に労力をかけず、搬出の効率化と林地残材の安定供給に繋がると考える。

(2) 林地残材発生量推測

林況等によっても林地残材発生量は異なるが、文献等調査による推測手法及び細り表等を用いて試算した結果を分析すると、おおよそ 10 生 t/ha（40 年生スギ）であり、それぞれの推測手法は比較的近い数値となった。

未利用間伐材の搬出可能量は、林道沿線両側の樹高程度（両側 15m）を収集範囲とした結果、1.57 生 t/ha と僅かな数量となった。このため、機械化による搬出は採算がとれず収集は困難であると考え。さらに、広範囲の収集になると、機械の移動等非効率となることから、機械化によるものではなく人力で収集する。

(3) データの蓄積

実際には地域によって、林況や作業条件等により林地残材発生量は異なると考え。

このことから、今後は、林地残材のデータ（面積、林齢、樹高、胸高直径）を蓄積し、精度の高い推測手法を構築する必要がある。

2. 効率的な搬出に向けて

(1) 施業計画作成について

林地残材を安定供給し、搬出コストを低減するためには、間伐施業の計画段階から、小規模所有森林の団地化を行うことで、その後の作業が容易となる。小規模森林においては、路網整備や施業時期はバラバラとなり、非効率な施業となる（図-4）。一方、団地化をすることによって、まとまりのある数量を確保することができる。

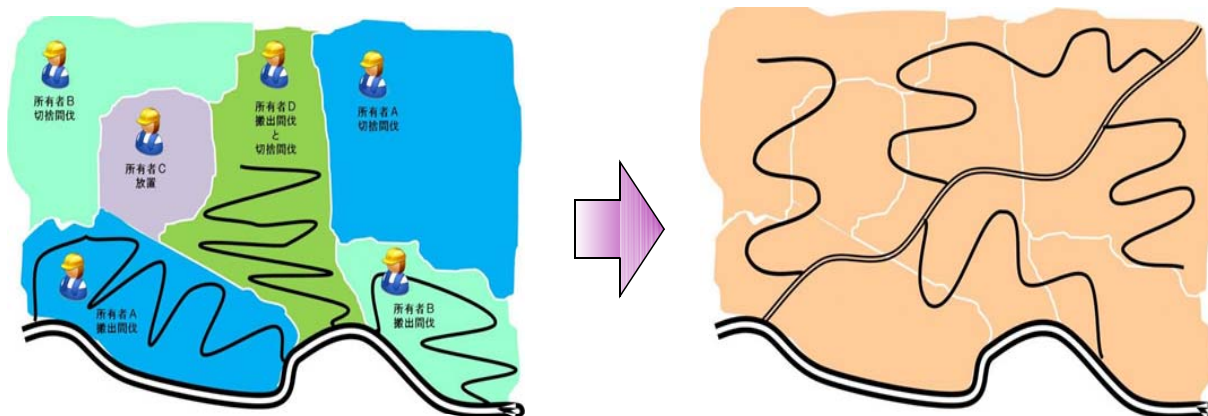


図-4 団地化のイメージ（資料：林野庁ホームページ）

(2) 搬出の条件整備

林地残材は間伐等により発生するため所有者がいる。このため、林地残材の収集・搬出作業においては、林地残材の無償譲渡等の許可を得ることや、森林所有者等から林地残材を搬出するための作業道使用許可を得る必要がある。

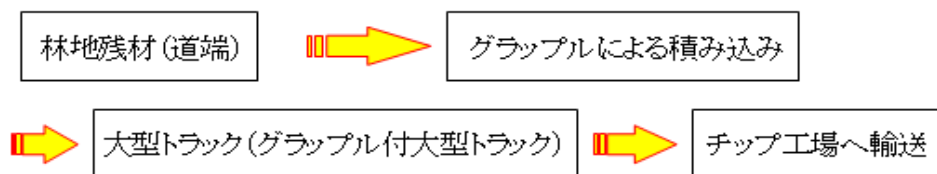
また、林地残材を有効利用するためには、林地残材の資源としての価値について理解を得る必要があり、そのためには地域（市町村等）が一体となって取り組む必要がある。

(3) 搬出方法

ア 端材+末木タイプ

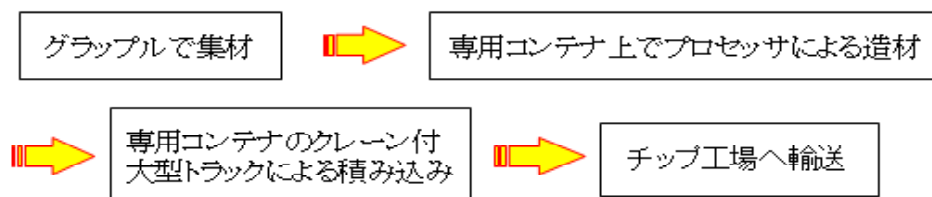
(ア) 素材と別途収集

搬出方法は林業事業者や林況等によって様々であり、搬出基準以内で搬出している事例はほとんどなく、一概に望ましい搬出方法を示すことは難しい。端材や末木の効率的な搬出に向けて、一般的に導入されている機械であることや、少人数でも作業が可能なこと等の条件から、最も効率的と考える搬出方法について、定性的ではあるが下記のとおり示す。



(イ) 素材生産と連携して同時搬出

下記に示すとおり、素材生産と連携して同時搬出する方法もあり、搬出コストが最も低コストである事例もあった。しかし、専用コンテナが必要となり、この作成に初期投資が必要なことや、専用コンテナを設置する場所の確保等の課題があり、現状では一般的でない。



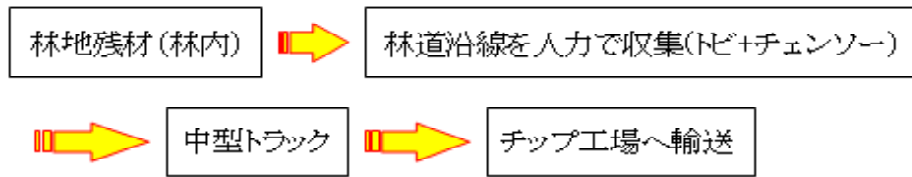
イ 未利用間伐材タイプ

残存木を損傷しないように、スイングヤードで集材する事例もあったが、この事例を含め搬出基準以内で搬出できる事例は得られなかった。

このことから、未利用間伐材は下記に示すとおり、林道沿線の両側、樹高程度の範囲を人力で収集し、残存木保存の観点からも無理な収集作業を行わない。

また、未利用間伐材は林内に無造作に重なっていることから、間伐時に伐倒方向を揃え、簡易な玉切りを行うことで、林地残材が搬出しやすくなる。

なお、実証事業においては、伐採後2年を経過して腐朽が進行しているものもあり、搬出時期についても考慮する必要がある。



第5 提案

1 木質バイオマス有効利用協議会(仮称)の設置

林地残材の発生箇所・発生量を把握している市町村や森林組合が中心となって、木質バイオマス有効利用協議会(仮称)を設置することを提案する(図-5)。

協議会では、間伐履歴等をGIS等を活用して林地残材の所在地・面積・林齢・伐採種等を一元的に管理し、森林所有者と林地残材利用申請者(林業事業者・個人等)と連絡調整するとともに、森林所有者の林地残材への理解を得る。

また、林地残材の発生量や利用に対する需要の条件は地域によって様々であることから、地域の実情に即したシステムを構築することが重要である。さらに、チップ工場への中継点として地域内にストックヤードを設け、その発生量に見合ったチップボイラー等を設置・運用することで木質バイオマスを循環して利用することも可能となる。

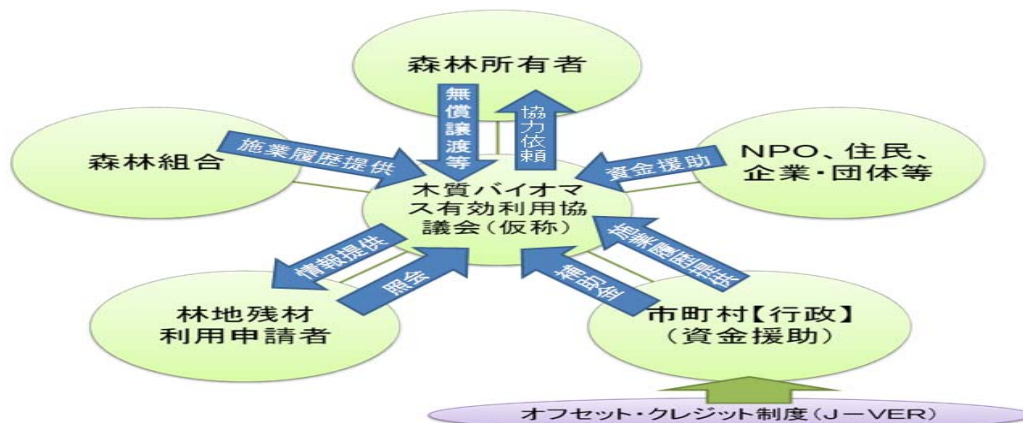


図-5 木質バイオマス有効利用協議会(仮称)のイメージ

2 オフセット・クレジット制度(J-VER)の活用

オフセット・クレジット制度(J-VER)とは、国内における温室効果ガスの排出削減・吸収活動プロジェクトにより実現された温室効果ガスの排出削減・吸収量を、自主的なカーボン・オフセット(自らの温室効果ガスの削減が困難な部分について他の場所で実現した排出削減・吸収活動等により、その排出量の全部又は一部を埋め合わせることに利用可能なクレジットとして認証する制度である。

森林分野では、化石燃料から間伐材等バイオマスへの燃料転換や、バイオマスを燃料とするボイラーの導入が含まれ、大企業等と中小企業、農林漁業者との協同事業によるクレジットの創出が行われている。

(1) 制度の活用

林況等によっても異なるが、現状では多くの場合、搬出基準以内で林地残材を搬出することは搬出コストの観点等から困難である。

このため、温暖化防止対策として環境先進企業等が「オフセット・クレジット制度」(J-VER)により、化石燃料の代替として林地残材を利用し、クレジットを購入していることに着目した。この購入されたクレジットを搬出基準を超える部分について、搬出経費として山元に還流させることで、これまで搬出できなかった林地残材の搬出が可能となると考える。

●先進事例の紹介

高知県では、森林資源の有効利用と温暖化対策の観点から排出量取引地域モデル事業に取り組んでいる。当事業は、住友大阪セメント株式会社高知工場の発電施設へ石炭の代替燃料として林地残材を混焼し、代替されることにより削減された二酸化炭素をモニタリング・検証し、オフセット・クレジット制度(J-VER)によって金銭化することで、森林資源の有効活用と資金循環を図っている(図-6)。



図-6 排出量取引地域モデル事業 (資料:環境省ホームページ)

まとめ

木質バイオマスを有効利用するためには多くの課題がある。しかし、近年、温暖化防止対策としての期待が高まっており、循環型社会を目指したクリーンエネルギーの相対的なメリットを高めていく必要がある。

そのためには、林地残材の発生箇所や発生量を把握し効率的な搬出を行うこと、搬出基準を超える部分については、オフセット・クレジット制度」(J-VER)等を利用することが重要であると考えられる。

また、木質バイオマスを循環利用していくためには、地域住民や地場産業を結び付けていくことが重要である。それが結果として地域の活性化と雇用創出に繋がり、木質バイオマスの有効利用に繋がるものと考えられる。

謝辞

最後に、本研究を進めるにあたりご指導・ご協力を頂いた関係各位に対し、心から御礼申し上げます。

【引用・参考文献等】(順不同)

- ・森林・林業白書(平成 23 年度版)/農林水産省
- ・森林・林業再生プラン/農林水産省
- ・バイオマス活用推進基本計画/農林水産省
- ・エネルギー基本計画/経済産業省
- ・オフセット・クレジット制度(J-VET)/環境省
- ・都道府県報告による平成 19(2007)年現在の開設状況の累計/林野庁整備課
- ・森林バイオマス(生物体総量)の推計方法/(独)森林総合研究所
- ・林地残材の収集・搬送に関する事前評価/財団法人林業科学振興所(1985)
- ・林地残材フル活用実証事業等/全国木材協同組合連合会(平成 19～平成 22 年度)他
- ・バイオマス賦存量・有効利用可能量の推計/(独)新エネルギー・産業技術総合開発機構:NEDO
- ・バイオマスエネルギー―生物系資源・廃棄物の有効利用―/本多淳裕 1986 年
- ・林地残材の効率的な集荷システムづくりモデル事業報告書/北海道(平成 20～平成 21 年度)
- ・間伐での林地残材発生量調査/岐阜県森林研究所
- ・鳥取県民有林スギ人工林収穫予想表等作成に関する基礎調査書/鳥取県
- ・木の宿場プロジェクト報告集/鳥取県智頭町・木の宿場実行委員会
- ・智頭地域に於ける所謂「元木計算」による立木評価法に関する研究(第 2 報)/益子ら
- ・間伐木の全量搬出を目指して―林地残材の搬出及び販売―/兵庫森林管理署
- ・木質資源エネルギー活用事業/高知県
- ・立木幹材積表―西日本編―/林野庁計画課
- ・林分密度管理図とその使い方/農林出版