

北海道の林地残材利活用システムの 持続可能社会に向けた検討

森俊介¹, 古市徹², 石井一英³, 金相烈⁴

¹非会員 北海道大学 大学院工学院 (〒060-8628 札幌市北区北13条西8丁目)

E-mail: mori@kanri-er.eng.hokudai.ac.jp

²正会員 北海道大学教授 大学院工学研究科 (〒060-8628 札幌市北区北13条西8丁目)

E-mail: t-furu@eng.hokudai.ac.jp

³正会員 北海道大学准教授 大学院工学研究科 (〒060-8628 札幌市北区北13条西8丁目)

E-mail: k-ishii@eng.hokudai.ac.jp

⁴非会員 北海道大学助教 大学院工学研究科 (〒060-8628 札幌市北区北13条西8丁目)

E-mail: sykim@eng.hokudai.ac.jp

国は低炭素・循環型・自然共生の3社会の統合的な構築による持続可能な社会形成を目指すことを示した。特にバイオマスは持続可能な社会を形成する上で重要なトピックであり、未利用バイオマスである林地残材の利活用が期待されるが、その利活用率は現在約1%と低迷している。林地残材利活用の推進と3社会の統合的な構築との関係性を明確にし、持続可能な社会形成のための重要政策として位置付けるべきである。特に、森林豊富な北海道で実践する必要がある。そこで本研究では、道内有識者へのヒアリング調査によって北海道の林地残材利活用上の課題をシステムの視点から抽出し、それに基づいて実現可能な利活用モデルを森林管理主体別に提案した。その結果、提案モデルと3社会との関係性を「制約条件」と「効果」という形で明確化することができた。

Key Words : sustainable society, unused biomass, logging residue, modeling, hearing survey

1. 序論

(1) 研究背景

我が国は低炭素社会・循環型社会・自然共生社会という3つの社会の統合的な構築によって持続可能な社会形成を目指す「21世紀環境立国戦略」を打ち出した¹⁾。一方、現在日本ではバイオマスの利活用が推進されている。バイオマスの利活用は未利用資源であることから循環型社会に、カーボンニュートラルによるCO₂削減は低炭素社会に、生物由来の有機性資源であることから自然共生社会にそれぞれ寄与するものである。よって、持続可能な社会を形成する上で、バイオマスの利活用は適当かつ緊急度の高いトピックである。

数あるバイオマスの中で、その更なる利活用が期待されているものの一つに林地残材がある。林地残材は未利用バイオマスの一種であり、膨大なエネルギーポテンシャルを秘めながら、その利活用率は現在約1%にとどまっている。しかし、新たに閣議決定された「バイオマス活用推進基本計画」の中では、2020年までに林地残材利活用率を約30%以上とすることが目標とされており²⁾、

有効かつ具体的な利活用計画の立案が急務となっている。

ここで林地残材利活用の推進と3つの社会の統合的な構築との関係性に着目すると、必ずしもその関係性については明らかになっていない。

よって、これらの関係性を明確にし、林地残材利活用を3つの社会の統合的な構築に向けた政策として位置付けるべきである。特に、国土の森林の約4分の1を有する北海道の担うべき役割は大きく、早急な実践が求められる。

(2) 研究目的

持続可能な社会形成に向けた北海道の林地残材利活用の促進を大目的として、下記を研究目的とする。

- ① 道内有識者へのヒアリング調査によって、北海道の林地残材利活用上の課題を、特に3つの社会との関係性に着目して抽出する。
- ② 抽出された課題に基づいて、実現可能な北海道の林地残材利活用モデルを提案する。
- ③ 提案モデルと3つの社会との関係性を明らかにする。

2. 林地残材利活用に向けた取組と課題

(1) 林地残材利活用の現状と課題

現在の林地残材の年間発生量は約800万tであり、その大半が利用されず間伐等の際に森林に残されている²⁾。利活用が進まない大きな原因の一つに林地残材集荷の際のコストがあり、路網、集積基地等の林業生産基盤の整備と併せて、高性能林業機械の開発と低コスト・効率的な収集・運搬システムの確立が急務となっている。また林地残材の利用先についても、高度利用技術の開発・実証や、木質バイオマス燃料利用施設等の整備支援、石炭火力発電所での混合利用等の推進が求められている。

(2) 北海道の取組

北海道では、森林から産出される木材の全量利用による道産材の付加価値向上を目的として、林地残材を含む未利用部分を平成29年度には全量利用することを目標としており、特に林地残材・製材工場等残材・建築発生木材からなる森林バイオマスのエネルギー利用量を平成18年度の34万 m^3 から平成29年度には67万 m^3 に向上させることが具体的な数値目標として掲げられている⁶⁾。それに向けて、林地残材の効率的な集荷システムモデル事業を行う等積極的な取組がなされている。

3. ヒアリング調査に基づく北海道の林地残材利活用の課題の抽出

(1) システム的視点の必要性

林地残材の利活用システムを構築するには、(0)林地残材利活用の目的を明確にし、その目的達成のために、(1)Input（林地残材の集荷）、(2)Output（利用先）、(3)変換技術（山土場から利用先までの運搬・変換）、(4)事業主体、(5)地域特性に応じてもう組み合わせる必要がある。よって、このシステム化の(0)から(5)の視点から、北海道の林地残材利活用上の課題抽出を行う。

図-1に林地残材利活用のためのシステム的視点を示す。

(2) ヒアリング調査対象

道内の主な森林管理主体を中心に5団体（足寄町・北海道総合研究機構林業試験場・イワクラ㈱・北海道庁林業木材課・十勝東部森林管理所足寄森林事務所）を対象とした。

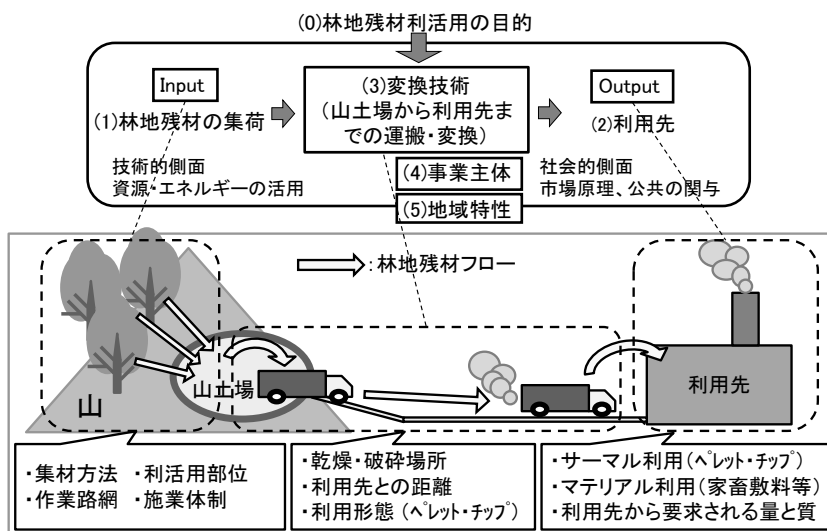


図-1 林地残材利活用のためのシステム的視点

(3) 持続可能な社会形成のための目的設定上の課題

林地残材利活用の目的設定は、森林の管理主体や管理目的と密接に関係し、また利活用状況も森林のその管理目的によって大きく異なることがヒアリング調査によって明らかになった。よって、目的設定及び各システム要素の課題を管理主体別に抽出していくこととする。

なお、ここからは紙面制約の都合上、主に国有林及び道有林について記すが、本研究では市町村有林及び私有林についても対象としている。

表-1に目的設定上の課題を整理した。

a) 国有林

林内清掃の一環として、集荷が容易な林地残材のみを山土場を集積させ、有価で販売することにより利活用がなされている。しかし、国有林の管理主体である国は、森林保全を第一の目的としつつも環境面にも配慮された取組が期待される。つまり、林地残材が有用な資源として社会に広く認知されることによって間伐や残材の搬出が促進され、以って健全な森林形成による自然共生・低炭素社会実現に貢献することが必要であり、国はこのことを先導すべき立場にある。すなわち、森林保全に加えて林地残材利活用も管理目標に設定し、利活用規模を大幅に拡大させていくべきである。そのことが、低炭素・循環型社会に向けた林地残材利活用によるCO₂削減や未利用資源の有効利用につながり、国が掲げている方針と合致する。

b) 道有林

現在は林地残材の利活用は行われていないが、国有林と同様に、その意義を認める立場として、林地残材利活用を森林管理目標に設定すべきである。

(4) Input上の課題

表-2にInput上の課題を整理した。活用部位について説明する。図-2に示すように林地残材はその発生部位によって幹末利用部の「端材」、梢端部の「末木」、枝葉部の「枝条」に分けられ、また図-3に示すようにその発生割合は枝条が他と比べて極めて高い。

集材方法について説明する。図-4に示すように全木集材・全幹集材・短幹集材の3種類がある。

全木・全幹集材は、林内から立木を長距離牽引するという点で、周辺樹木等へ与える影響が大きく、森林保全の観点から課題が残る集材方法であると考えられる。特に全木集材は枝条が付いた状態で牽引するため森林環境へ与える影響がより大きいと考えられる。

一方短幹集材は、運搬重機を用いた集材であるため、森林環境に与える影響は比較的小さいとみなせるが、これを行うには作業の機械化や林内作業路網の舗装整備・高密度化が必要であり、施業主体には一定以上の資本力が求められる。

表-1 森林管理主体別の林地残材利活用の目的設定上の課題

	国有林	道有林	市町村有林 (足寄町を中心として)	私有林
森林管理目的	保全>>利用		保全>利用	保全<利用
現在の利活用目的	林内清掃 (森林保全)	利活用なし	地域振興	採算性向上

表-2 森林管理主体別のInputの課題

	国有林	道有林	市町村有林 (足寄町を中心として)	私有林
活用部位 (付録1)	山土場脇の端材	活用なし	端材	端材・末木・枝条 (利用先からの要求による)
集材方法 (付録2)	短幹集材	全木集材	主に全幹集材	
作業路網(付録3)の整備状況	長期使用可能な作業路網整備への移行段階		作業路網の整備が進まない	施業にあたる企業規模による
施業体制	高性能重機を用いた機械化による施業		一般的な重機・人力による施業	
主伐 or 間伐	間伐主体		地域特性による	主伐主体

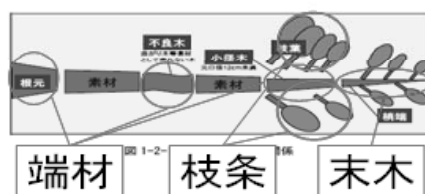


図-2 林地残材の発生部位と名称

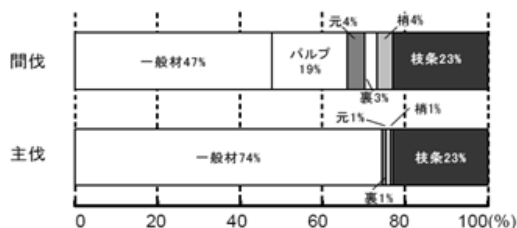


図-3 全木に占めるバイオマス発生量の部位別割合(カラマツ・乾重量比)⁷⁾

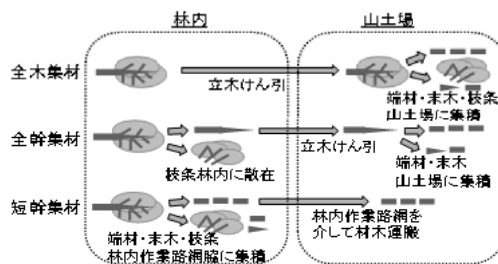


図-4 各集材方法と林地残材利活用との関係

林地残材利活用の観点から各集材方法を考察すると、全木集材は山土場に端材・末木・枝条が集積するため、林外へ容易に搬出することが可能である。全幹集材は林内に枝条が散在し、山土場に端材・末木が集積するため、枝条の搬出は困難である。短幹集材は、林地残材は林内に留まるが、作業路網脇にまとまっている場合が多い。これらを集荷するためには運搬重機の運転が必要であり、それに伴って生じるコストが課題である。

つぎに、作業路網について説明する。林内に開設される、伐採・運搬等を行うための作業路のことであり、効率的な施業を行うには、耐久性に富んだ作業路を高密度に整備することが重要であるが、コストがかかり課題である。持続可能な社会形成の観点からは、路網整備による作業効率向上はCO₂削減に繋がる一方で、過度の路網開設は森林保全を阻害するため、開設場所を吟味した上での作業路網整備が望まれる。

a) 国有林

間伐主体の適正な森林整備を行っており、一定の評価が出来る。しかし、林地残材の活用部位に関しては山土場脇の端材をわずかに資源利用するにとどまっており、林内の作業路網脇に集積する端材・末木・枝条はそのまま放置されている。林地残材利活用の有用性を認める立場である以上、これらを一定量資源利用すべきである。

b) 道有林

効率面を重視した全木集材は森林保全の観点から課題の残る集材方法であり、再考の余地がある。林地残材の利活用に関しては、現在は採算性の確保が困難であるという理由から利活用せず、山土場に堆積する残材に関しては山土場で破碎した後に林内に散布している。しかし、国有林と同様に一定量資源利用すべきである。

(5) Output上の課題

表-3にOutput上の課題を整理した。

国有林では山土場周辺の端材が家畜敷料・堆肥の水分調整材としてマテリアル利用されている。しかし、低炭素社会に向けて一定量をサーマル利用すべきである。また、マテリアル利用は自然共生社会の観点からは食料生産に貢献するため有意義であり、生成される堆肥が適正に散布されれば循環型社会にも寄与するものである。

(6) 変換技術（乾燥工程、運搬も考慮）上の課題

表-4に変換技術上の課題を整理した。

林道について説明する。ここで述べる林道とは、山土場と一般道とを繋ぐ森林内の道路のことを指す。林道の舗装整備は林業の効率化を図る上で重要であるだけでなく、林道沿線の森林環境への影響も軽減でき、さらに高効率化に伴って運搬車からのCO₂削減も期待できる。

表-3 森林管理主体別のOutputの課題

	国有林	道有林	市町村有林 (足寄町を中心として)	私有林
Output	マテリアル利用 (敷料・堆肥の水分調整材)	活用なし	主にサーマル利用	サーマル利用 マテリアル利用

表-4 森林管理主体別の変換技術上の課題

	国有林	道有林	市町村有林 (足寄町を中心として)	私有林
変換技術	林道(付録4)の 舗装整備状況	舗装が行き届いている	舗装が行き届いていない	地域特性 による
	乾燥・破碎場所 (付録5)	移動式チップ バーによる 山土場での チップ化	チップ化工場内の ヤードで乾燥した後チップ化	
	利用形態	チップ	活用なし	主にペレット チップ ペレット
	利用先との距離 (付録6)	近距離	中・近距離	

乾燥・破碎場所について説明する。林地残材のサーマル利用では、残材に付着する土砂や含有水分が熱効率の低下や破碎機器・燃焼機器への負荷といった不都合を生じさせるので、一定期間の乾燥による土砂払い・水分調整が原則必要である。マテリアル利用では、多少の土砂や水分が許容される場合がある等、乾燥工程の有無は利用先の要望によって異なる。

乾燥・破碎場所は大きく山土場とチップ化工場とに大別され、山土場での破碎はチップの状態では搬出されるため運搬効率が良く、その分運搬車の使用を減らせる点で有意義である。しかし、乾燥工程を経ずに生成されるチップは土砂や水分を多量に含んでいるため、利用先が限定される破碎方法である。一方チップ化工場での乾燥・破碎は林地残材をそのままの形で運ぶため運搬効率が悪く、化石燃料の消費が課題であり、運ぶ残材の部位をそろえる等の運搬効率向上のための工夫が求められる。

次に利用先との距離について説明する。山土場もしくはチップ化工場から、利用先までの距離のことである。距離が長くなれば、その分化石燃料消費が増加するため考慮が必要である。しかし、大規模チップボイラーでは土砂・水分が多少含有されたチップも許容されるなど、林地残材の受け入れ条件が利用先によって異なり、またペレットは広域に流通させることで、スケールメリットを活かした効率的な販売形態を可能にする。これらの事項を考慮した上で低炭素社会に向けた効果的なCO₂削減の観点から運搬距離の妥当性を判断する必要がある。

国有林では山土場で林内施業と同時に並行でチップ化し、舗装された林道を介して近隣の家畜農家にチップが運ばれる。現状では合理的な方法だと評価できるが、国有林は今後新たに収集する林地残材の一部は一定量サーマル利用すべきであり、乾燥・破碎工程の再考が求められる。また、効果的なCO₂削減の観点から、中・遠距離の大型ボイラー施設への投入も地域特性を考慮した上で検討することが望まれる。

表一5 森林管理主体別の事業主体上の課題

	国有林	道有林	市町村有林 (足寄町を中心として)	私有林
事業主体(付録7)	企業単独型	活用なし	協同組合型	企業単独型

(7) 事業主体上の課題

表一5に事業主体上の課題を整理した。

事業主体について説明する。林地残材利活用の事業主体は企業単独型と協同組合型の二つの形態に大別される。企業単独型は、山土場を集積する林地残材の集荷・運搬・加工・販売を企業が単独で行う事業形態である。一方協同組合型は、個人や中小企業が協同組合を組織して集荷から販売までを行う事業形態である。

国有林では現在は、山土場で破碎された林地残材を敷料販売業者等が買い取って運搬・家畜農家等への販売を行っており、事業形態としては企業単独型である。家畜敷料は現在「売り手市場」であり、利用量が供給量を上回る傾向にあり、この傾向は食料自給率の向上を目指す国の方針に沿ってさらに顕著になると予想される。そのため現在の事業形態は今後も継続されると見込まれるが、国有林の林地残材は一定量サーマル利用されるべきであり、また管理主体である国はエネルギー資源としての林地残材の有用性を認める立場であるから、民間への委託等によって主体的にサーマル利用の事業運営をしていくべきである。現在は利活用が行われていない道有林についても同様である。

(8) 地域特性上の課題

効果的な利活用システムを構築する上では、Input、Output、変換技術、事業主体それぞれに地域特性を考慮する必要がある。特にOutput、変換技術に関しては地域特性に応じた適当な選択が重要である。農業地域では、低炭素・循環型社会に向けてサーマル利用事業を行う一方で、敷料や堆肥の需要が大きいことから自然共生社会に向けて林地残材のマテリアル利用を一定量すべきであり、両事業間の連携が望まれる。一方工業地域で既存の大型木質ボイラーがある場合は、低炭素・循環型社会実現に向けてより広範囲の林地残材のボイラー投入による効率的な燃焼が期待される。その際輸送時の化石燃料消費の考慮が重要となる。現状では、農業地域では主に市町村有林の利活用事業でサーマル・マテリアル両事業間の連携がなされておらず課題であり、工業地域では大型木質ボイラーへの林地残材投入量の増加が課題である。

4. 持続可能社会のための実現可能な北海道の林地残材利活用モデルの提案

(1) 国有林・道有林利活用モデルの提案

国有林・道有林の林地残材利活用と持続可能な社会形成との関係性を明らかにするために、前章における各システム要素の課題に基づいて、それらを解決する形で実現可能な林地残材利活用モデルを提案し、提案モデルと3つの社会との関係性を考察する。図一5に国有林・道有林利活用モデルを示す。

a) 目的設定

現状では、森林資源の保全に重きを置いた森林管理が行われ、国有林ではその一環として極めて小規模な林地残材の利活用がなされているにすぎないしかし、森林管理主体である国・道は未利用林地残材の有効利用を先導していくべき立場にあるため、化石資源消費の抑制やCO₂排出削減、健全な森林形成促進といった林地残材利活用の意義を最大限達成すべく、森林資源の保全に加えて林地残材利活用を森林管理目的に設定し、林地残材の利用規模を大幅に拡大させていくべきである。

b) Input

林地残材利活用による意義を最大限達成するという目的に沿う形でInputを設定する。林内施業においては、施業による森林環境への負荷低減及びCO₂排出削減を最大限考慮する。そのため、現状では最も低負荷高効率だと判断される高性能重機を用いた短幹集材によって林内施業を行う。また未利用資源有効利用の観点から、端材・末木・枝条を可能な限り利活用することとし、林内作業路網脇に集積する林地残材を集荷する。

これらの作業工程の効率性を向上させ、より低負荷高効率な施業体制を実現すべく、開設場所を吟味した上で林内路網を高密度に張り巡らし、長期使用可能な耐久性に富んだ形に整備する。

c) Output

林地残材はサーマル利用されることによって、直接的に化石資源消費の抑制に貢献する。そのため利活用目的に合わせて発生林地残材の一定量をサーマル利用する。さらに、未利用資源有効利用の観点からより大量の林地残材をサーマル利用するために、端材・末木・枝条を乾燥・チップ化した後に、中・大型チップボイラーへ投入することによって、効率的に燃焼する。

一方、現状でも国有林において小規模ながら行われている家畜敷料及び堆肥の水分調整材によるマテリアル利用は、食糧生産への貢献という点で重要であり、さらに食料自給率向上を目指す国の方針に沿って需要増加が見込まれるため、端材・末木・枝条を利用する。この時、生成される堆肥の適正散布が要求される。

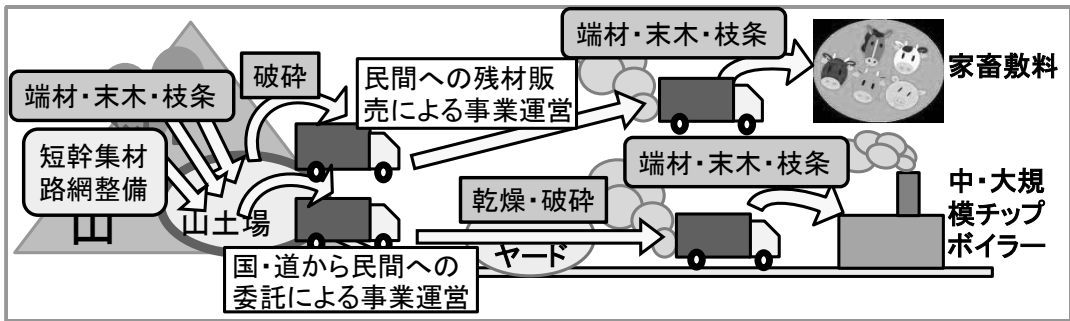


図-5 国有林・道有林利活用モデル

d) 変換技術

運搬では輸送トラックからのCO₂排出削減を考慮する。そのため、マテリアル利用については現状通り近距離圏農家を中心に運搬を行う。サーマル利用についても、近距離圏の燃焼施設を中心に運搬を行い、地域特性に応じて、CO₂排出を考慮しながら中・長距離の大型燃焼施設への運搬も検討する。より高効率な運搬を実現するために、トラック一台当たりの林地残材の積載密度を上げることが重要であり、可能な限り同じ部位を揃えて積むといった工夫が求められる。

乾燥・破碎工程については、サーマル利用分は乾燥工程が必須であるためストックヤードにて乾燥・破碎する。マテリアル利用分は乾燥工程を経る必要性が薄いため、現状通り山土場で施業と同時並行で破碎する。

e) 事業主体

サーマル利用とマテリアル利用とで、それぞれ事業主体を設定する。マテリアル利用は、需要増加傾向が予想されるため現状形態での事業運営が可能との判断から、森林管理側から民間への林地残材の販売によって事業運営を行う。

一方サーマル利用は、現状では管理側から民間への林地残材の販売という形態では事業運営が困難であり、さらに森林管理主体である国・道はエネルギー資源としての林地残材利活用を先導すべき立場であるため、自ら事業主体となって民間委託という形でサーマル利用事業を運営する。

f) 地域特性

特に変換技術・Outputに関して地域特性を考慮する必要がある。農業地域ならば需要に応じてマテリアル利用分を増やす、既存の大型燃焼施設が近隣に存在する場合にはサーマル利用分を増やす等して、より多くの林地残材が利活用できるように柔軟に対応する。

(2) 提案モデルと3つの社会との関係性

Inputでは、高性能重機を用いた短幹集材及び長期使用可能な作業路網の高密度化はそれぞれ林内施業時の森林保全・CO₂削減を考慮したものであり、林内作業路網脇に集積する端材・末木・枝条の集荷は未利用林地残材の有効利用を考慮したものである。これらから、低炭素社会からは林内施業時のCO₂削減が、自然共生社会からは林内施業時の森林保全が、循環型社会からは未利用資源の利用がそれぞれ利活用を推進する上での制約条件として存在するとみなすことができる。

変換技術では、近距離圏中心の運搬はCO₂削減を考慮したものであり、運搬時のCO₂削減が低炭素社会からの制約条件として存在するとみなすことができる。

Outputでは、家畜敷料等によるマテリアル利用は食料生産への貢献によって自然共生社会に、チップによるサーマル利用はカーボンニュートラルによるCO₂削減によって低炭素社会にそれぞれ寄与するものである。さらにこれらに端材・末木・枝条を最大限利用することは、未利用資源有効利用の観点から循環型社会に寄与するものである。また林地残材利活用の推進に伴って森林の間伐が促進され、これは森林生態系の保全の観点から自然共生社会に、健全な森林形成によるCO₂吸収量増加の観点から低炭素社会にそれぞれ寄与するものである。これらは林地残材利活用の推進によって生じる3つの社会への効果とみなすことができる。

図-6に国有林・道有林利活用モデルと3つの社会との関係性を示す。

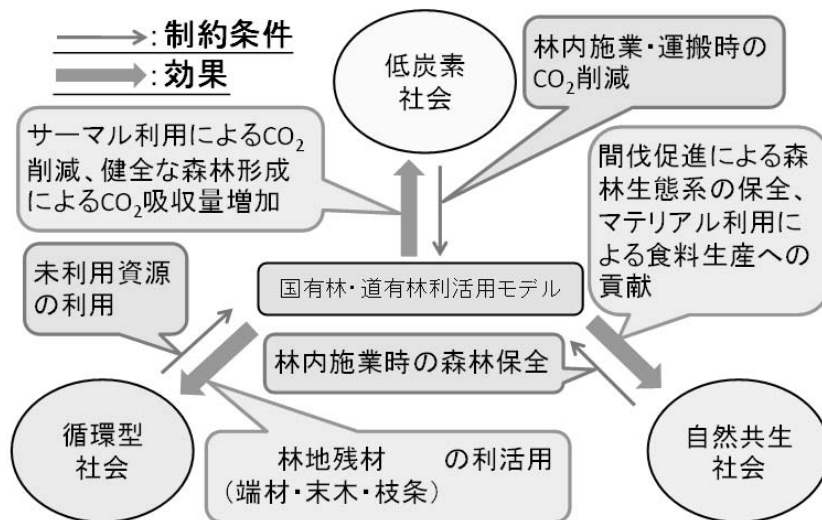


図-6 国有林・道有林活用モデルと3つの社会との関係性

5. 結論と課題

(1) 結論

- ① システム化の観点から持続可能な社会に向けた北海道の林地残材利活用上の課題を明らかにした。
- ② 抽出された課題に基づいて、実現可能な北海道の林地残材利活用モデルを森林管理主体別に提案した。
- ③ 提案モデルと3つの社会との関係性を「制約条件」と「効果」という形で明確化することができた。

(2) 今後の課題

- 林地残材運搬時の運搬距離とCO₂排出の関係は定量的には明らかではないので、実証実験等による検証が必要である。
- 同様に燃焼施設の土砂・水分の許容量についても実証実験等による検証が必要である。

謝辞：ヒアリングにご協力頂いた足寄町・北海道総合研究機構林業試験場・イワクラ(株)・北海道庁林業木材課・十勝東部森林管理所足寄森林事務所の

皆様に、感謝の意を表する。本研究の一部は H22 年度環境省循環型社会形成推進科学研究費補助金により行われた。

参考文献

- 1) 環境省HP：21世紀環境立国戦略
http://www.env.go.jp/guide/info/21c_ens/index.html
- 2) 農林水産省HP：バイオマス活用推進基本計画
http://www.maff.go.jp/j/biomass/b_kihonho/index.html
- 3) 環境省HP：生物多様性国家戦略2010
<http://www.env.go.jp/nature/biodic/nbsap2010/index.html>
- 4) 林野庁HP：森林・林業基本計画
<http://www.rinya.maff.go.jp/j/kikaku/plan/index.html>
- 5) 北海道庁HP：北海道森林づくり基本計画
<http://www.pref.hokkaido.lg.jp/sr/sum/kcs/r-g/r-keikaku/top.htm>
- 6) 酒井明香 「木質バイオマスの有効利用に向けて - カラマツのバイオマス量調査 -」 光珠内季報 No.133, pp.15-20, 2004

(2011.8.8 受付)