

スギ人工林の低コスト間伐技術の導入による非皆伐施業体系 の確立

— 高能率な作業システムによる間伐の生産性 —

澤田智志

Studies on low-cost thinning methods and system of non-clear cutting in
Sugi forests

— Highly effective logging technology results on forest productivity via thinning —

Satoshi SAWATA

要 旨

スギ人工林での間伐作業の低コスト化を目的として、列状間伐や点状間伐といった間伐方法の違いによる生産性と作業システムの改善について現地試験を行った。県内事業体の収穫間伐事業実績の分析から、列状間伐は点状間伐に比べて事業費が約3割削減されることが確認された。伐採方法の違いによる生産性への影響を調査したところ、列状間伐と点状間伐の作業能率は伐倒作業で列状間伐が1.5倍の生産性が高くなることなどの要因により、生産性は列状間伐が点状間伐より高くなる結果が得られた。高密度路網配置による高性能林業機械を利用した点状間伐の生産性に関する調査を2箇所で行ったところ、列状間伐後の林分では路網密度を210m/haとすることで、一連の間伐作業を機械3台と3人のオペレーターでの作業が可能となり、点状間伐の山土場での労働生産性は6.6m³/人日となった。また、点状間伐を目的として238m/haの高密度路網を整備した林分ではプロセッサでの造材と集材を一連の作業で行うことが可能となり、山土場での間伐の労働生産性は6.1m³/人日となった。このように点状間伐でも簡易な作業路をha当たり200m以上の密度で配置し作業システムを改良することで、間伐の生産性が高くなることが確認された。高性能林業機械による作業時の残存木への損傷を防ぐために、ポリエチレン製の防護具を改良し、試験を行ったところ、防護具を設置した試験区での残存木への重度の損傷が少なくなり、防護具の使用効果が確認された。

I. はじめに

本県では民有林のスギ人工林面積の68%がすでに利用可能な状態になっており、このまま推移すると今後10年間でさらに約2割の人工林が間伐で利用可能な林分に成長する（秋田県農林水産部、2011）。造林や保育事業が低迷する中で、林業の担い手である森林所有者や林業事業体が安定した経営体制を維持する必要がある、間伐による森林整備を行いながら安定した木材供給の役割を担うことが期待されている。そのためには、団地化等による事業規模の拡大と、安定した事業量の確保を図るとともに、高性能林業機械と路網の効率的な配置により素材生産コストを低減させるための努力が

必要となる。このような状況の中で、高性能林業機械に対応した間伐方法や作業システムについて、実用的な技術の確立が求められている。

人工林における伐採作業では、プロセッサなどの高性能林業機械が導入され、作業時における労働負担の軽減や作業効率の向上が図られてきた。このような高性能林業機械の普及に伴い、主伐だけでなく間伐も低コストで行う方法が検討され、列状間伐は点状間伐（定性間伐）に比べて生産性が高くなることが報告されている（全林協, 2001；林野庁, 2004；大竹, 2006；植木, 2007）。その一方で、列状間伐の次の間伐であるはずの点状間伐の生産性に関するデータは非常に少ない（中川, 2007）。

木材生産の手段として、架線による架線系の作業システムと高密度路網の整備による車両系の作業システムの2種類がある。かつて皆伐が主体だった時代には、秋田地方でも国有林を中心に天然スギの伐採などで架線を使用した作業システムが主体として行われた経緯があるものの、間伐が作業の主体となる今の時代では、大規模な架線集材は行われなくなっている。また民有林ではタワーヤードによる架線集材が注目された時代があった。現在の高性能林業機械は1988年には全国でわずか23台だったものが、2000年頃には2100台を超えるように急速に普及し、そのうちの約40%がプロセッサ、約20%がハーベスタ、約20%がフォワーダである。間伐作業の現場では伐採の対象となる立木が分散しているために、路網整備を含めた作業方法について工夫をしない限り高い生産性の実現は難しい。梶山(2008)は欧州では間伐で高い生産性を上げるための作業システムと路網整備が我が国よりはるか早い時期から進んでいたのに対し、日本では安定した事業量の確保、間伐に適した作業システム、将来を見据えた路網整備などが遅れていることを指摘している。

現在、本県においてはプロセッサを主体に林業機械の導入が進められているものの、これらの機械を効率よく利用する方法については検討が始まったばかりである（秋田スギ振興課, 2008）。また、我が国における林内路網密度はドイツの128m/haに対し、日本は17m/haという極めて低い状況で、林道や作業道の整備が課題であることも指摘されている（林野庁, 2010）。従って、本県においても県内各地に普及してきた高性能林業機械と高密度路網を組み合わせた高能率な作業システムを確立し普及させることは重要な問題である。高性能林業機械による作業では効率性が重視されるものの、伐倒時に機械や集材木が立木に接触し、残存木に損傷を与えてしまうため（森ら, 2008；岡ら, 1998）、残存木の価値が低下するといった問題が発生している。残存木の損傷箇所の大きさは接触頻度と材に押し付ける力に比例傾向にあることが実験的に確認されており（佐々木ら, 2005）、対策として簡易な防護具を残存木の幹に巻き付けることで損傷被害を軽減できることが報告されている（岡ら, 2006）。また、点状伐採では列状伐採に比べて伐採木の位置が林内に分散するため、損傷割合が大きいことが指摘されている（岡ら, 2005）。このように列状間伐後の林分に林業機械による間伐を行うにしても、その方法については森林施業と林業機械の両分野からの研究が必要であるが、このような観点で行われた研究は少ない（中島ら, 1999；大竹ら, 2006）。

そこで本研究では、高密度路網の配置による列状間伐や点状間伐を実施する場合の、高性能林業機械の作業システムの改善を目的とした生産性の調査を行った。生産性の調査は（独）森林総合研究所の協力のもとで高性能林業機械を活用した生産システムの改善とその生産性に関する試験を行い、さらには集材時における残存立木の損傷を防ぐための防護具の使用効果について検討し、残存木の損傷割合と被害の程度について解析を行った。

II. 調査方法

1. 間伐の生産性

1) 調査地

間伐の生産性に関する調査は秋田県林業公社の収穫間伐事業の計算書による資料の調査と、北秋田市の古河林業所有のスギ人工林3箇所での現地調査により実施した。以下にスギ人工林3箇所の調査地の概要を示す。

列状間伐後の中層間伐の生産性の調査は第1報で紹介した阿仁真木沢のスギ人工林で行った。林齢45年生、面積6.24haの調査地の標高は180～310m、傾斜20～40度の東から南向きの斜面に位置し、1962年春に3,000本/haの密度で植栽され、その後下刈り、除間伐、枝打ちや蔓切りが行われた。調査地は斜面に位置し、また積雪地帯特有の雪害による根曲がりの影響のため植栽列は不明確である。2001年の春～夏に地形傾斜方向に列幅で伐採列5m、残存列15mを基準とした9残3伐程度の列状間伐が行われた林分である。

高密度路網整備による点状間伐の生産性の調査は阿仁柴森のスギ人工林で行った。林齢44年生、面積6.35ha調査地の標高は400～460m、傾斜20～35度の北向きの斜面に位置し、1965年春に約3,000本/haの密度で植栽され、その後下刈り、除間伐、枝打ちや蔓切りが行われた。なお、調査林分の中に林齢77年生の高齢林が0.1ha残存していた。

高密度路網整備後の列状間伐と点状間伐の生産性の調査は阿仁銀山のスギ人工林で行った。林齢44年生、面積0.20haの調査地の標高は約400m、傾斜10～20度の南向きの斜面に位置し、1966年に約3,000本/haの密度で植栽され、その後下刈り、除間伐、枝打ちや蔓切りが行われた。

2) 調査方法

阿仁真木沢試験地（澤田ら、2009）では2007年春に20m×20mの標準地を2箇所設置し、樹高および胸高直径の測定を行った。選木方法は渡邊(2005a、2005b)の中層間伐のための方法を採用し、立木10本の個体群の中で2～3本の優良木を永代木とし、上層の空間配置や形質を見ながら材積で約3割になるように伐採木を決定した。生産性調査は6.24haの調査地内の6列で伐採から運搬までの作業をビデオカメラにより撮影し、時間分析を行った。防護具試験は隣接した2～3列を防護具設置区と対照区に分けて2箇所の繰り返しで行なった。

阿仁柴森試験地では2008年秋に0.04haの方形区を7か所と77年生の林分で0.09haの方形区を1か所設置し、毎木調査（樹高、DBH）を行った。間伐木の選木は阿仁真木沢と同様に中層間伐の方法を採用し、作業日報により選木に要した人員を集計した。間伐作業は2009年11月中旬から延べ40日間行われ、作業日報により全ての作業を記録した。生産性の調査は8箇所の標準地でビデオカメラにより撮影し、時間分析を行った。

阿仁銀山試験地では2010年秋に0.25haの調査地を16m×25mの列状間伐区および点状間伐区を交互に2調査区ずつ設定した。調査区の間には4mの緩衝帯を設け、列状間伐区は4m伐採して12m残存させる2伐6残の列状間伐を実施し、点状間伐区においては永代木選抜による中層間伐を実施した。さらに列状間伐区においては列状間伐を実施後に残存列に対し、中層間伐による点状間伐を行うこととした。生産性の調査は伐採から運搬までの作業をビデオカメラにより撮影する時間分析のみで解析

を行った。

いずれの調査地においても、現場での作業では伐倒はチェーンソー（HV社45cc）、集材はウインチ付きグラップル（H社GS-90LVJ）、枝払いと造材はプロセッサ（I社GP-45A）を使用し、プロセッサまたはグラップルでフォワーダ（I社U-6、M社MST-1100）に積み込み山土場まで運搬する一種の二段集材方式の作業システムを採用した。作業人員は3人組であり、伐倒は先行して行なったあと、ウインチ付グラップル（オペレーター1人、荷掛け手1人）、プロセッサ（1人）、フォワーダ（1人）で作業を実施した。防護具は防護具設置箇所において農業用の半円形に加工したポリ排水溝（T社P型U字溝、長さ1m、内径30cm程度）を用い、伐倒後の集材時に損傷被害が予想される立木の根元に設置した。なお、損傷の程度については樹皮のはく離にとどまったものを軽度とし、幹まで達し材を損傷したものを重度として区分した（岡ら、2006）。

Ⅲ. 結果と考察

1. 間伐の生産性

1) 列状間伐の生産性

ここでは（財）秋田県林業公社が2007～2010年度に実施した列状間伐、定性間伐（点状間伐の意味だがここでは同公社の使用する用語を採用する）並びに人工林整理伐の収穫間伐事業について、林業公社の指名競争入札と随意契約の事業成績を分析することで、間伐の種類により生産事業費がどのように異なるかについて解析を行った。

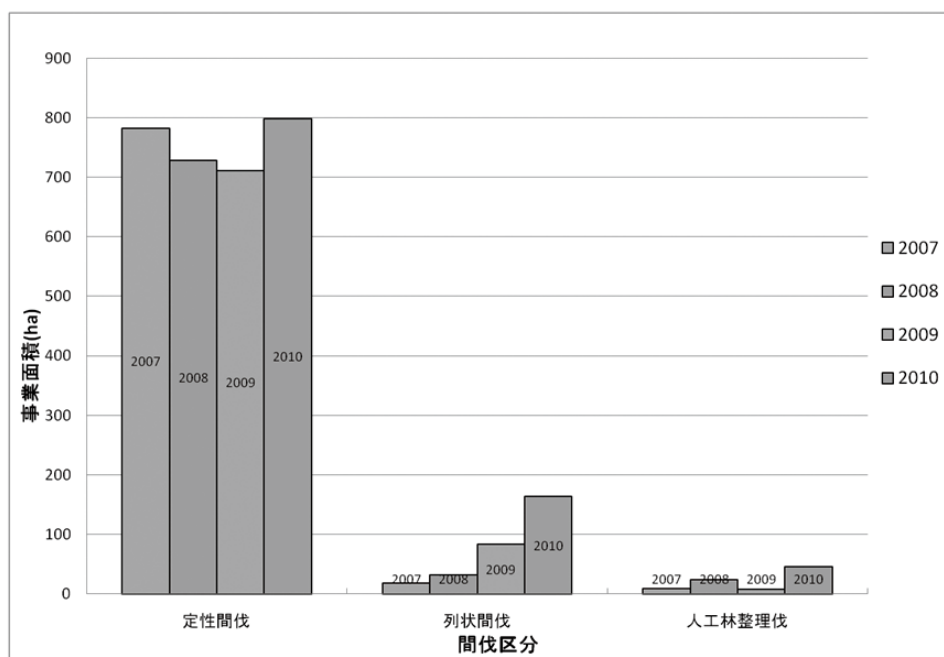


図-1 林業公社における間伐種別事業面積の推移(2007～2010)

林業公社では年間800～1,000haの間伐事業を実施しており、主たる収穫間伐の種類は定性間伐、列状間伐、人工林整理伐の3種類が実施されている。林業公社の列状間伐は4～5mの幅で伐採し、残存列を10～12m程度にする、いわゆる6残2伐の方法で行われている。人工林整理伐は20mの幅で伐採し、残存列を40mとする方法で行われている。図-1に示したように、4年間で定性間伐は710～798haと事業面積が微増しながら推移しているのに対し、列状間伐は2007年にはわずか18haだったものが、2010年には164haへと増加している。人工林整理伐は9～45haと増加しているが、列状間伐ほどの増加とはなっていない。これは、人工林整理伐の事業対象地の条件として施業地の近くに種子供給源となる広葉樹林があることなどが条件となっているため、事業適地が少ないことが原因となっているものと思われる。

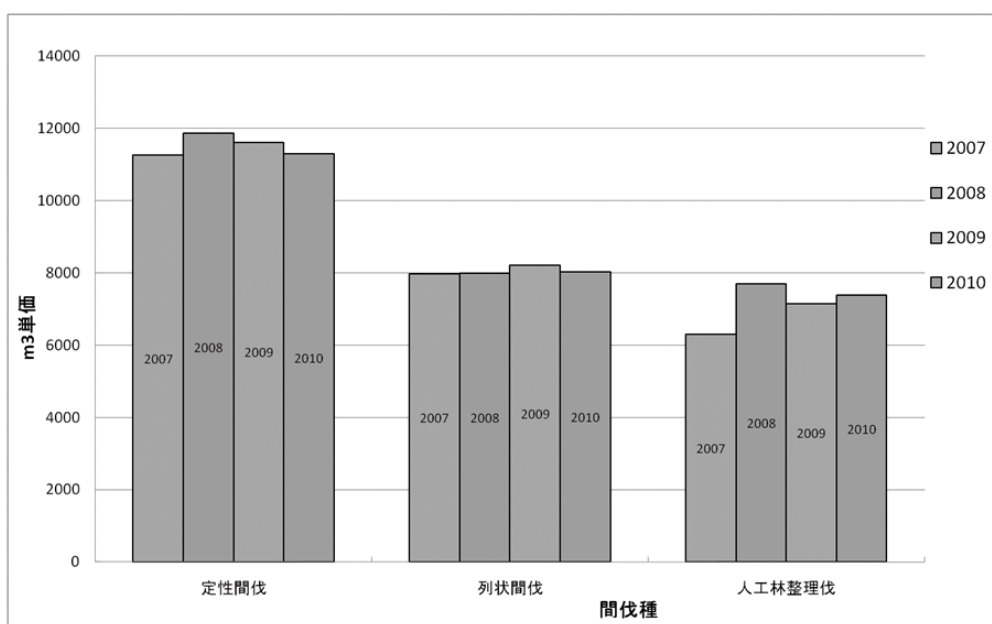


図-2 林業公社における収穫間伐種別事業単価の推移(2007～2010)

間伐種別の素材生産量に占める事業費の単価を図-2に示した。定性間伐では11,262～11,870円/m³（平均11,507円/m³）で推移しているのに対し、列状間伐では7,971～8,200円/m³（平均8,047円/m³）と生産事業費が定性間伐に比べて約30%少なくなっていた。一方、人工林整理伐では6,300～7,686円/m³（平均7,124円/m³）と定性間伐に比べて生産事業費が約38%少なくなっていた。

このように、列状間伐の事業コストが点状間伐に比べて3割以上低くなるという報告は東北地方の他県での事例調査でも報告されており（岩手県林業技術センター、2000；宮城県林業試験場、2007）、今回解析した林業公社の定性と列状の間伐方法の違いによる生産事業費の平均値が試験研究機関などによる詳細調査事例の事業コストの差と一致していた。これらの結果から、点状間伐に比べて列状間伐の生産事業費は事業費として比較した場合でも約3割削減されるということが確認される結果が得られた。

2) 点状間伐の生産性

生産性は伐出作業の作業効率を表す指標であり、作業現場での生産性を把握するためには、日々の作業日報による解析と、現地で各工程の作業をVTR等に記録して時間計測を行う解析方法がある（全国林業改良普及協会編、2001）。作業日報による解析により生産現場でそれぞれの工程にどれだけのコストがかかったかを総合的に解析することができるのに対し、時間計測による解析では生産コストの中で各工程が占める割合を詳細に解析することができる。

(1) 列状間伐後の点状間伐の生産性

① 路網の整備

傾斜地で列状間伐後の点状間伐の生産性についての実験を行った阿仁真木沢試験地では既存の作業路が490m作設されていたが、今回の間伐作業に先行して820mの新たな作業路開設と支障木伐採を行ったため、作業路の総延長は1,310mとなった。このように新たに開設した作業路は列状間伐区を横断したことにより、2001年の列状間伐箇所では列長は約50～60mに分断されている。伐区内の集材路網密度は210m/haであり、路網は伐区を網羅するように開設された。路線測量結果をもとに、既設路網および新路網の各路線の迂回率を求め、路線延長により加重平均値を求めた結果、全体の路網迂回率は0.41であった。また路線測量結果を図化し、25mの格子点から路網までの最短距離を図上計測し、平均到達距離を求めた結果17mであった。これは、両側集材（上荷，下荷）を行なった実績の平均集材距離約18mとほぼ一致している。

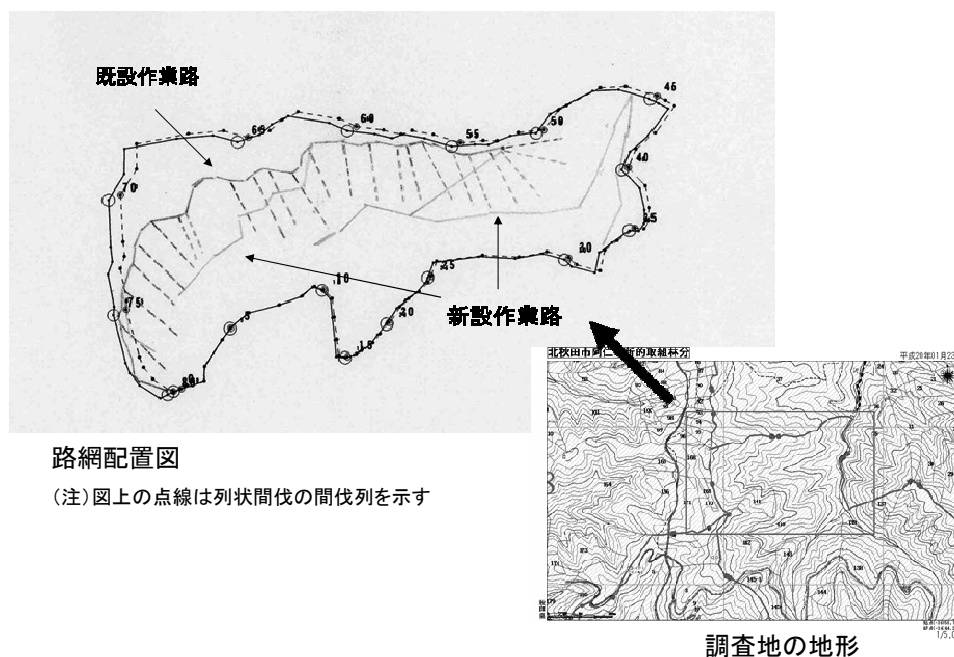


図-3 調査地の地形と路網配置図

ウインチ付きグラップルの巻取量は70mであったが、本調査箇所のように列方向を傾斜方向に設定し、下方伐倒を行った場合、伐採木は伐根から数m程度滑落することが観察された。下荷の場合は樹高+滑落距離により木寄距離は短縮されるが、上荷の場合は伐倒木が滑落した分だけ荷掛距離が長くなる。このように、ワイヤーロープによる木寄せ作業を少なくし、グラップルによる集材作業で作

業効率を高めるとともに、木寄作業の負担を軽減させるためには少なくとも200m/ha以上の路網密度が必要になるものと推察された。なお、今回幅員4mの作業路を開設したが、その作設経費は労務費、機械経費、燃料費を合わせた単価で970円/mとなり、低コストな作業路が開設された。

②時間分析による生産性

本県における旧来の作業ではチェーンソーで伐倒・玉切した後に、フォワーダにより集材する短幹集材システムが主体であった。これに対して、高性能林業機械を使用した場合の改善点はチェーンソーで全木伐倒したのち、ウインチ付きグラップルで木寄せ集材し、林内路上でプロセッサにより枝払いも含めた造材、フォワーダ搬出を行なうという全木+短幹方式の作業となる。現地ではプロセッサ、グラップル、フォワーダといった林業機械を4台使用し、4工程3人編成で作業が実施され、各作業はそれぞれの作業能率を高めるため同時並行的に作業が行われ、1人で複数台の機械を操作する少人数連携作業で行われた。

時間分析による生産性の調査は、定性間伐を行う残存列単位で4つの列を対象に行なった。表-1に各作業工程別の時間分析から求めた生産性を示し、文献による生産性を標準的な値として示した(全国林業改良普及協会編、2001)。ただし、機械化のマネジメント(2001)にはウインチ付きグラップルの生産性が示されていないため、クレーン中型の生産性を準用した(集材距離20mの推計値)。伐倒の生産性は9.1~18.3m³/時と標準生産性の3 m³/時を大きく上回り、集材の生産性は12.7~38.0m³/時で標準生産性8.0m³/時を大きく上回っていた。造材の生産性は12.4~20.7m³/時、平均17.1m³/時と標準の生産性を上回っていた。今回の時間分析では幅約20m、長さが50m程度の列を測定単位として分析を行なったため、列間の移動や機械のメンテナンス時による遅延時間が測定されなかったことも生産性が高くなった原因の一つと推察される。集材の場合は機械のメンテナンスなどの時間ロスが少ないために、標準の生産性に近い値が得られたものと推定される。いずれにしても、今回の間伐による各工程の生産性は標準よりは高い結果が得られた。

表-1 伐出作業工程の把握に関する時間観測調査集計結果

	使用機械	機械種	標準生産性(m ³ /h)*	4列	9列	10列	18列	平均
伐倒	HV社, 45cc		3	9.1	11.7	14.1	18.3	13.3
集材	H社, GS-90LVJ	大	8**	38.0	23.7	12.7	23.2	24.4
造材	I社, GP-45A	中	10	15.8	20.7	19.5	12.4	17.1
搬出	I社, U-6		4	4.6				4.6

*標準生産性は機械化のマネジメント(2001)から引用, ただし**はクレーン中型の生産性を準用した(集材距離20mの積み値)

③作業日報による生産性

作業日報による生産性の調査は、作業道開設終了後から間伐終了までの作業を対象とした。表-2には作業日報の分析結果を示したが、伐採では現地での捨て伐りを行なっているにもかかわらず、伐採量に占める造材量の割合は76%と素材歩留まりは高かった。この理由として作業路の支障木伐採の材積が記録されていなかったことと、伐採作業員の日報には伐採木の径級が小さめに記録されていたことの2つの要因が考えられる。造材時の作業量には作業路の支障木も含まれており、造材量の

みでは749.4m³で、山土場での生産量652.9m³は造材量の87%に相当する。山土場での生産量から生産性を求めると6.6m³/人日となり、労働生産性としては中～急傾斜地における同様の作業システムを採用した岩手県森林組合の間伐地12箇所(澤口、2007)の平均値4.7m³/人日を上回っていた。今回の作業現場では2001年に列状間伐を実施した伐採列に空間が出来ており、集材時にこの空間を利用できたのも生産性が高くなった要因と推定される。素材として販売された最終土場での出材量は515m³となり、この作業路開設に伴う人工数と調査・選木に伴う人工数を合わせた全ての作業人工数で計算すると、最終土場での労働生産性は3.6m³/人日となった。

表-2 作業日報による労働生産性の分析

	作業量 (m ³)	工数 (人)	生産性 (m ³ /人日)
伐倒	984.0	43.6	22.6
集材	234.3	44.4	22.2
造材	749.4		
搬出 (山土場まで)	652.9	11.6	56.3
山土場での1人あたり生産性	652.9	99.6	6.6
最終土場での1人あたり生産性	515.0	142.6	3.6

(2) 高密度路網整備による点状間伐の生産性

点状間伐の生産性の改善を目的とした阿仁柴森試験地の林分状況を写真1に示した。この林分の林齢は44年生、面積は6.35haで斜面上部から斜面下部まで分布し、そのうち0.1haに林齢77年生の部分が混在していたため、林齢による立木サイズの違いが生産性に与える影響についても解析を行った。

第1報で紹介した中層間伐は列状間伐後の間伐方法として渡邊(2005a)により推奨されているものの、ここでは簡易な作業路を高密度に配置したあとに中層間伐を導入する方法について試験を行った。阿仁柴森試験地は44年生のスギ人工林であり、その一部に77年生の林分が混在していた。44年生林分の平均樹高20.2m、平均胸高直径26.5cm、立木密度1,296本/haであり、混在する77年生の部分は平均樹高25.3m、平均胸高直径38.3cm、本数密度731本/haである。中層間伐を実施するにあたり、標準地を8箇所設定したが、その概要を表-3に示した。標準地の秋田地方収穫表(澤田、2004)での地位は44年生が1～5、77年生が4であった。44年生林分の本数密度は1,075～1,875本/ha、収量比数は0.73～0.88と高く、77年生の収量比数は0.76であった。中層間伐を目指した選木により、44年生では材積率で20.7～32.0%、77年生では34.7%の間伐が行われた。

選木は林内の10本程度を1つの集団として2～3本の優良木を永代木とし、永代木にはテープでマーキングを行った。伐採木は上層の空間配置や幹の形質を見ながら判断したが、本調査地においては雪害による先折れや根元曲がりなどの形質不良の個体が多かった。この選木に要した人員は延べ14.3人、経費は人件費で約15万円の費用がかかった。作業路を除く試験地の面積でha当たりに換算すると選木に要する人員は2.5人となり、事業費に中層間伐による選木工程の人件費を計上するため



斜面上部



斜面下部

写真1 阿仁柴森間伐試験林分

表-3 阿仁柴森試験地の林分概要

プロット	平均樹高(m)	平均胸高直径(cm)	地位	本数密度(本/ha)	材積(m ³ /ha)	収量比数	本数間伐率(%)	材積間伐率(%)	備考
No.1	15.0	20.5	5	1,450	507.0	0.73	39.7	31.9	
No.2	21.6	28.6	2	1,100	794.5	0.82	38.6	29.8	
No.3	23.5	30.2	1	1,150	1,004.8	0.87	37.0	24.1	
No.4	21.7	29.1	2	1,075	804.8	0.81	37.2	32.0	
No.5	16.7	21.2	4	1,875	594.5	0.88	36.0	30.1	
No.7	22.2	29.5	2	1,175	950.0	0.85	40.4	26.9	
No.8	20.9	26.7	2	1,250	799.5	0.84	30.0	20.7	
平均	20.2	26.5		1,296	779.3	0.83	37.0	27.9	
No.6	25.3	38.3	4	731	2,766.7	0.76	53.1	34.7	77年生

(注)樹高と胸高直径の平均値は被圧木を含む

の1つの基準値を提示することができた。

図-4に示したように、試験地内では既存の林道から新たな作業路の作設が行われた。これにより、作業路からの平均到達距離が17.6mとなり、理論的には平均樹高20m程度の林分であればウインチによる木寄せ作業を省略し、グラップルやプロセッサによって直接間伐木をつかみ取りできるようになった。このように、県内のスギ人工林の平均樹齢は40年を超え、平均樹高は20mを超える林分が多いことから、作業路からの平均到達距離を20m程度にするような路網配置を考えることは有効であると判断された。作業路作設に要した経費は直接費で600円/m程度と安価だったものの、簡単な排水対策などを施しても1,000円/m程度の簡易な作業路を林内に配置することは可能になると考えられる。

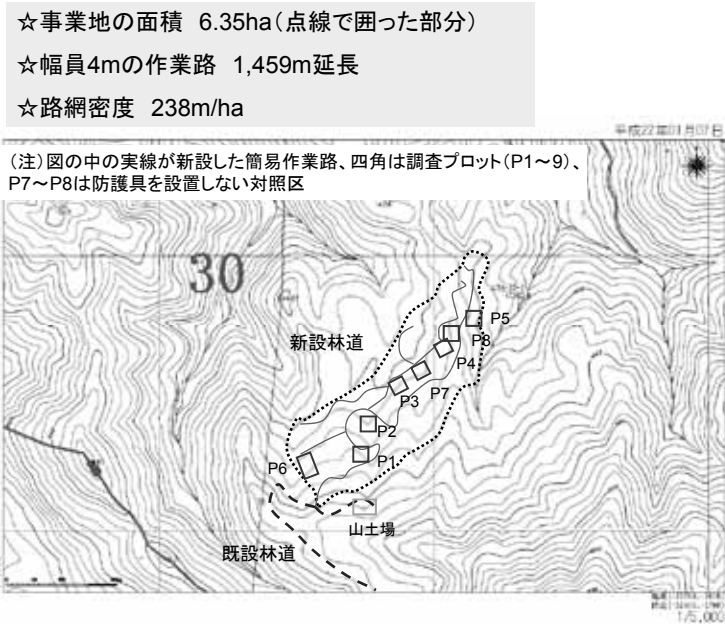


図-4 阿仁柴森試験地の路網と標準地の配置状況

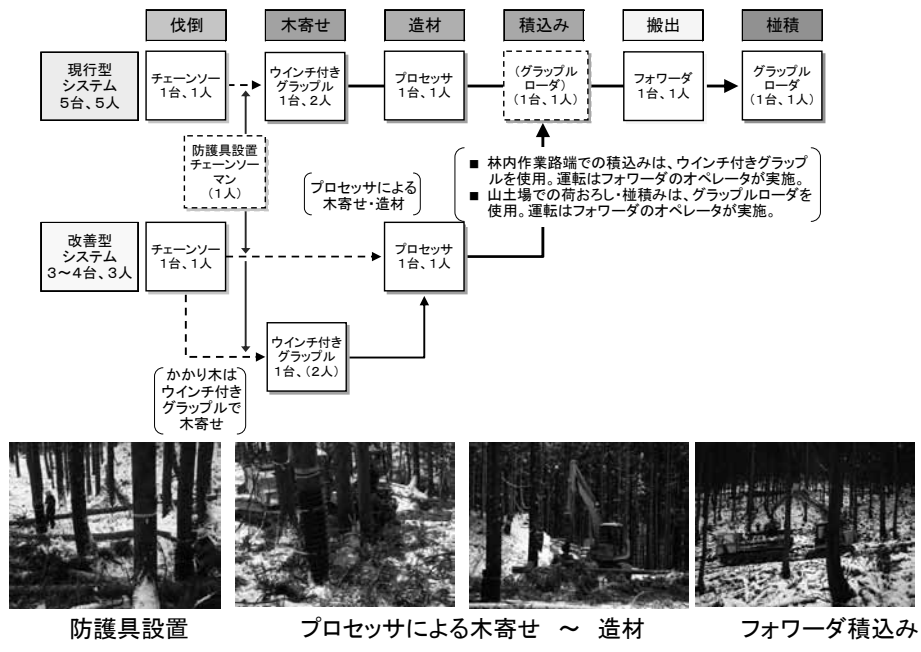


図-5 作業システム改善の工程図

高密度路網を配置することで、作業工程がどのように改善されるかを図-5に示した。点状間伐の現行型では5台の機械を5人で作業する作業システムだったのが、木寄せ造材をプロセッサ1台で行い工程を兼務させ、高密路網の整備によりプロセッサで木寄せ～造材を行うことで、3~4台の機械を3人で作業するように改善することが可能となった。

この現場ではウインチを使った木寄せとプロセッサによる直接の木寄せに注目し、その生産性にどれだけの違いが出るかを解析した。時間当たりの生産性は使用する機械と大きさによって異なるため、機械化のマネジメント(2001)に記載されている基準値と比較した。表-4には阿仁真木沢の列状間伐後の林分で点状間伐を行った時の生産性も比較のために示した。

表-4 時間当たりの生産性分析

使用機械	機械種	澤田ら* 生産性 (m ³ /h)	44年生		77年生		機械の生産性の 基準値 (機械化のマネジメント、 138-139頁の表参照)	
			素材	立木	素材	立木		
チェーンソー 伐倒	HV社、45cc	13.3	—	8.7	—	12.9	☆チェーンソー伐倒 3m ³ /h	
ウインチ木寄せ	H社、GS-90LV	大	24.4	—	13.1	—	12.4	☆プロセッサ・中 10m ³ /h
プロセッサ木寄せ	I社、GP-45A	中	—	—	34.0	—	66.0	☆プロセッサ・中 10m ³ /h
プロセッサ造材	I社、GP-45A	中	17.1	18.8	16.3	28.9	21.0	☆フォワーダ・中 4m ³ /h
木寄せ+造材			—	9.6	11.1	10.7	14.7	
フォワーダ搬出	GS-90LV +U6	中	4.6	9.6	—	—	—	

*澤田ら(森利学誌24(2)、2009)より

◎先行伐倒、木寄せ～造材～搬出工程一環作業(実働7H、セット人員3人)

この現場でのVTR観測では伐採と造材の生産性は機械化のマネジメントの基準値よりも高く、阿仁真木沢の生産性に近かった。44年生林分ではグラップルのウインチによる木寄せの生産性は13.1m³/時だったのに対し、プロセッサによる木寄せでは34.0m³/時と作業効率が2.6倍向上していた。逆に77年生のように高齢級で個体のサイズが大きくなると44年生に比べて生産性は伐倒で1.5倍、集材で約2倍と高くなった。表には示さなかったものの、同じ作業システムでも尾根筋の樹木のサイズが小さい所では伐倒で2.7m³/時、木寄せ集材で5.5m³/時と生産性が低くなった。

この現場では約1カ月にわたり作業が行われたが、図-6のように作業日報から全体的な作業の流れが大まかに3つに分けられた。序盤は作設した作業路の支障木の造材と搬出が作業の主体であり、中盤になって林内の間伐作業に取り組み、終盤には搬出作業が主体となっていた。このように、実際の現場での作業員の作業の進め方や生産性に変化が現れた場合の原因などを把握することで、次の作業に向けた改善点が明らかになる。

また、作業日報から各工程の作業時間を表-5に取りまとめた。作業日報の解析よりプロセッサによる木寄せ+造材の生産性は24.5m³/人日を達成し、これはウインチによる木寄せの2.3倍となった。なお、この試験では高密度路網を配置し、ウインチ集材を省略することを目的としたが、実際はかかり木の除去や伐倒方向が作業路方向でなかったなどの理由から、ウインチによる集材が全体の21.7%必要となり、完全に省略するまでには至らなかった。

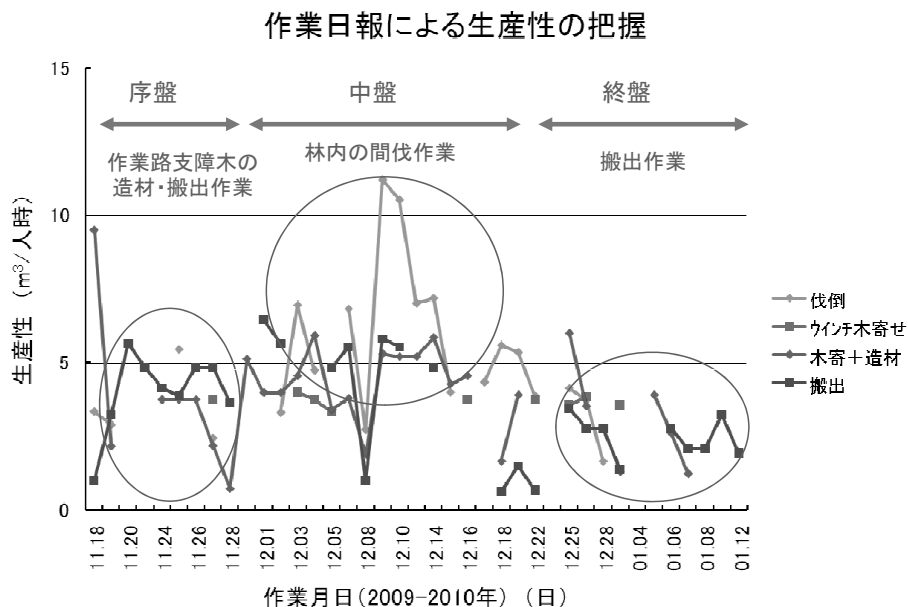


図-6 作業日報と作業の流れ

表-5 改善型システムの労働生産性

作業日報による労働生産性の分析

	作業量(m ³)	工数(人)	生産性(m ³ /人日)
チェンソー伐倒	1,205	39.8	30.3
ウインチ付グラップル木寄せ	155	6.4	24.2
プロセッサ木寄せ	558	9.9	56.4
プロセッサ造材	713	19.2	37.1
搬出(山土場まで)	595	22.4	26.5
山土場での1人あたり生産性	595	97.7	6.1
た1人あたり生産性(選木、作業路網込み)	595	121.5	4.9

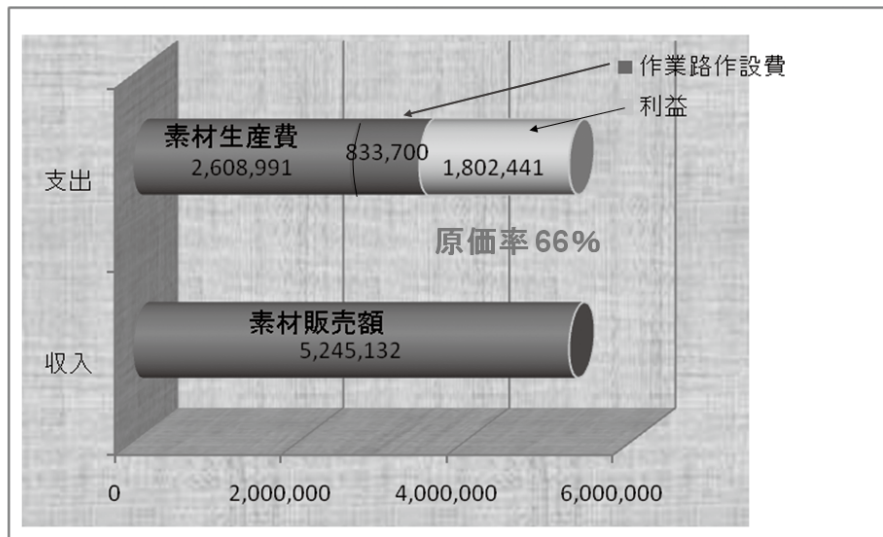
プロセッサの
木寄せ+造材
の生産性は
24.5m³/人日

(注)プロセッサの集材と造材の工数は時間観測プロット調査での比率で案分した

以上の工夫により、この現場での点状間伐作業の生産性は山土場までで6.1m³/人日と高い生産性を達成した。この調査地では選木に永代木選抜方法を採用したが、選木作業と作業路開設費を含めた全体での生産性は4.9m³/人日だった。

図-7には今回の試験の事業収支を示した。このように点状間伐を実施しても、簡易な作業路を設ける方法で高密度路網を配置することにより点状間伐の生産性を高くすることができた。以上の結果を事業費としてまとめると、素材生産コストが直接費で4,388円/m³、作業路作設費を合わせても

5,791円/m³という低いコストで事業を実施することができた。実質の素材販売額が8,822円/m³だったため、原価率を7割以下まで抑えることができた。

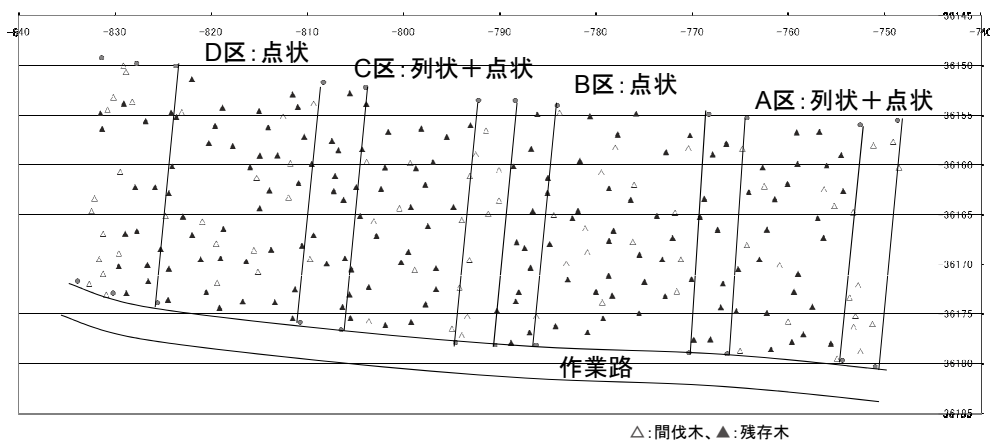


(注) 素材生産総事業費 2,924,619円 (うち除雪費 315,178円)

図一七 点状間伐の事業収支

(3) 列状間伐と点状間伐の生産性に関する時間分析

ここでは高密度路網を整備した後の間伐方法を列状間伐、点状間伐、列状間伐後の点状間伐という3種類の間伐作業種を選択した場合の伐倒から造材までの工程の生産性について時間分析による解析を行った。



図一八 阿仁銀山間伐試験地の試験区配置と立木位置

図一八に示したように、調査地は斜面と平行な作業路に沿って、横16m×縦25mの方形区を設定し、各調査区の間には幅4mの緩衝帯を設けた。A区、C区においては4mの幅で列状間伐（6残2伐）

を行い、B区、D区では点状間伐を行った。これらの間伐が終了後、A区とC区においては列状間伐後の点状間伐を行う試験を追加した。点状間伐における選木方法は中層間伐による永代木選抜方法を採用し、いずれの調査区においても材積間伐率が25%になるように間伐木の選木を行った。

表-6 阿仁銀山間伐試験地の林分概要

	A区:列状	B区:点状	C区:列状	D区:点状
平均樹高(m)	21.4	21.3	20.4	19.8
平均胸高直径(cm)	27.4	26.5	25.1	24.1
立木密度(本/ha)	1,075	1,075	1,150	1,200

各調査区における林分の概要を表-6に示した。林分の平均樹高は19.8~21.4m、平均胸高直径は24.1~27.4cm、立木密度は1,075~1,200本/haとなっており個体サイズの揃った林分形態を示している。時間分析による生産性の調査は、A~D区までの4つの区を対象に行なった。

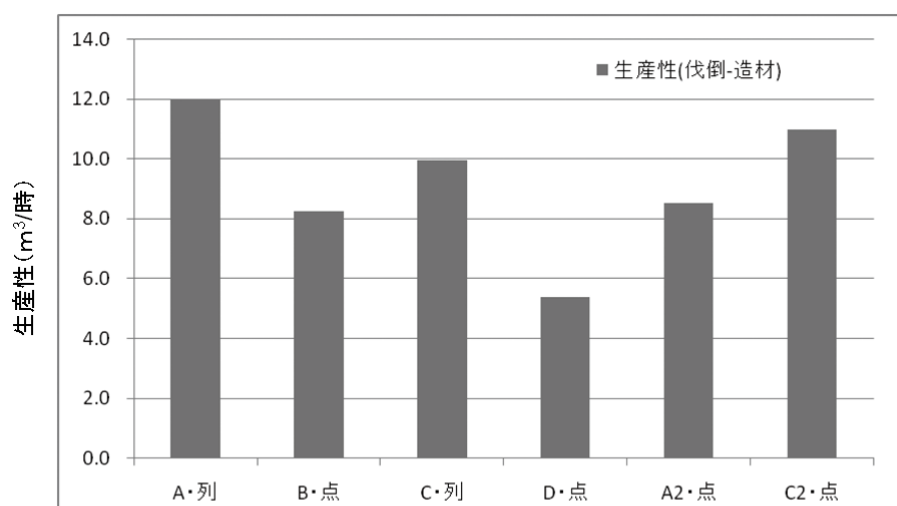


図-9 伐倒・木寄せ・造材のトータルタイムから算出した生産性

図-9に伐倒・木寄せ・造材のトータルタイムから算出した時間当たりの生産性を示した。伐採作業は2名の作業員で行われたが、それぞれの作業員が列状間伐区と点状間伐区の両方の伐採作業に従事しており、作業員の能力による生産性の誤差を最小に抑えることができた。伐倒作業に要した時間当たりの生産性は点状間伐で21m³/時なのに対し、列状間伐では37m³/時と点状間伐に比べて1.7倍の生産性となった。列状間伐後の点状間伐の生産性は21m³/時で、点状間伐の生産性と等しかった。点状間伐では伐倒時にかかり木が生じたことがタイムロスになって表れていた。本調査地の伐倒作業の生産性は先に紹介した阿仁柴森の8.7m³/時、阿仁真木沢の13.3m³/時よりもはるかに高くなっているが、これは調査面積が小さかったこと、移動時間や給油などの遅延作業の時間が計測されなかったことによるものと判断される。プロセッサによる集材と造材の作業を一連で行ったため、今回の調査



で両者の区分は明確にならなかったものの、集材～造材の生産性は点状間伐で11.0m³/時、列状間伐で15.7m³/時となり、列状間伐の生産性が高くなっていた。列状間伐ではプロセッサの移動時間が少なかったのに対し、点状間伐では集材のために移動する時間がロスタイムとなって表れたものと判断された。伐倒作業からプロセッサによる集材・造材までのトータルタイムで生産性を算出すると、列状間伐（A、C）が11.0m³/時、点状間伐（B、D）が6.8m³/時で、列状間伐の方が点状間伐に比べて生産性が高くなっていた。列状間伐後の点状間伐（A2、C2）の生産性は9.8m³/時で両者の中間であった。

以上の結果から高密度路網整備後の伐採方法の違いによる生産性については、伐倒作業の時間当たりの生産性では列状間伐が点状間伐に比べて生産性が明らかに高い結果が得られた。また、高密度路網の配置によりウインチ集材を少なくできる条件下であっても、プロセッサ集材・造材を合わせたトータルの時間当たりの生産性は列状間伐の方が点状間伐よりも高くなる結果が得られた。

2. 防護具による残存木の保護効果

1) 防護具の開発

間伐作業の本来の目的は、間伐により残存木の成長を促進させることにあり、将来に向けた良質な森林に導くための準備であるといえる。そのため、残存木の保護は大切であるが、作業効率のみに目が奪われると、残存木の保護に対する配慮が不足し、幹を損傷させる事態が発生することになる。また、森林内に路網を高密度で配置し、高性能林業機械で作業を進めるようになると、林内の残存木への損傷被害がこれまで以上に深刻になることが懸念される。残存木の損傷を最小限にするためには、保護資材を幹に巻きつけて作業する方法が有効となる。近年、（独）森林総合研究所が樹脂製の排水管を利用した防護具を開発したが、ここではそれを改良するとともに実用化試験を行った結果を紹介する。

- あて木 → 
- 杭を打つ → 
- トタン板 → 
- 毛布、ブルーシート

↓

- **ポリエチレン製の暗渠排水管**
 - 品名:ダイポリンP型U字溝
 - 平均内幅300~400mmを使用




写真2 防護具の種類



設置方法: 伐採作業後に必要と判断される立木にのみ実施する



改良した防護具: 下部に切れ込みを入れ、ひもを本体と一体型にした

写真3 ポリエチレン製防護具の使用例

防護具として今まではあて木、杭を地面に打つ、トタン板、毛布、ブルーシートなどが使われてきた(写真2)。本研究では農業で用いられているポリエチレン製の暗渠用排水管を防護具として用いた。排水管の長さは4m程度あるので、チェーンソーなどで1m程度の長さに切って使用することになる。この防護具は市販の荷締めベルトを使用して樹木に固定する。作成した防護具は集材木の接触や衝突に対して効果があり、こわれにくいため多数回の使用が可能となる。当センターでは、この森林総研が開発した防護具を、立木の根際の根張りに対応できるように、防護具の下側2か所に武士の鎧のような切れ込みを入れ、さらにベルトを通す穴を作り、防護具の持ち運びがしやすいようにするための改良を加えた(写真3)。

2) 防護具による損傷の軽減効果

阿仁真木沢の列状間伐後の中層間伐試験地における防護具設置試験結果の概要を表-5に示した。9~11列をグループ1として、9列は永代木のみ防護具を設置し、10列では伐採後の集材時に被害がおよぶ可能性のある全ての立木に防護具を設置し、11列は防護具なしの対照区とした。また、17~18列をグループ2として同様の試験を繰り返し行うこととし、17列を対照区、18列を防護具の設置区とした。各プロットにおける調査本数は伐倒後に被害が予想される立木のみを防護具設置の対象としたため7~15本と少ないものの、グループ1では防護具を設置しなかった列で重度の損傷が28.6%発生したのに対し、防護具を設置した10列では重度の損傷は7.1%にとどまった。また、永代木に防護具を設置した9列でも重度の損傷はなく、損傷率も低かった。グループ2では防護具を設置しない17列の重度被害が71.4%と高かったのに対し、防護具を設置した18列では重度被害が21.4%となり、いずれのグループにおいても防護具設置の効果が確認された。岡ら(2006)は林齢24年生のカラマツ人工林での点状伐採時の防護具設置区での損傷率は12%だったのに対し、防護具なしの区での損傷率は42%と高いことを報告しており、本研究においても同様に定性間伐で有効であることが確認された。

表-7 防護具試験調査結果の概要

グループ	列番号	伐採方法	防護具の設置	調査本数	損傷木本数(軽度)	損傷木本数(重度)	軽度損傷率(%)	重度損傷率(%)	損傷率合計(%)
1	9	点状	永代木のみ	15	2	0	13.3	0.0	13.3
	10	点状	残存木	14	1	1	7.1	7.1	14.3
	11	点状	なし	14	0	4	0.0	28.6	28.6
2	17	点状	なし	7	2	5	28.6	71.4	100.0
	18	点状	残存木	14	1	3	7.1	21.4	28.6
全体				64	6	13	9.4	20.3	29.7

(注) 伐倒時の損傷は含まず(防護具設置が伐倒後のため)

このように永代木選抜を行った間伐においては、永代木として選定された個体の被害は極力防ぐ必要があり、少なくとも永代木には防護具を設置することで集材時の被害を低減し、残存木へのダメージを防ぐことが可能になることが確認された。なお、今回使用したポリエチレン製の配水管と固定ベルトは資材を購入する時の初期投資コストが約3,500円/基かかるものの、取り外して別の場所でも再利用が可能であり、使う回数が増えるほどコストを削減できる。また、使用する防護具としては列状間伐では現地で調達できる杭でもある程度の効果は得られるものと考えられるが、定性間伐では今回使用した防護具のようにしっかり固定できるタイプの方が使用しやすくかつ確実に被害を防ぐことができるのが特徴である。

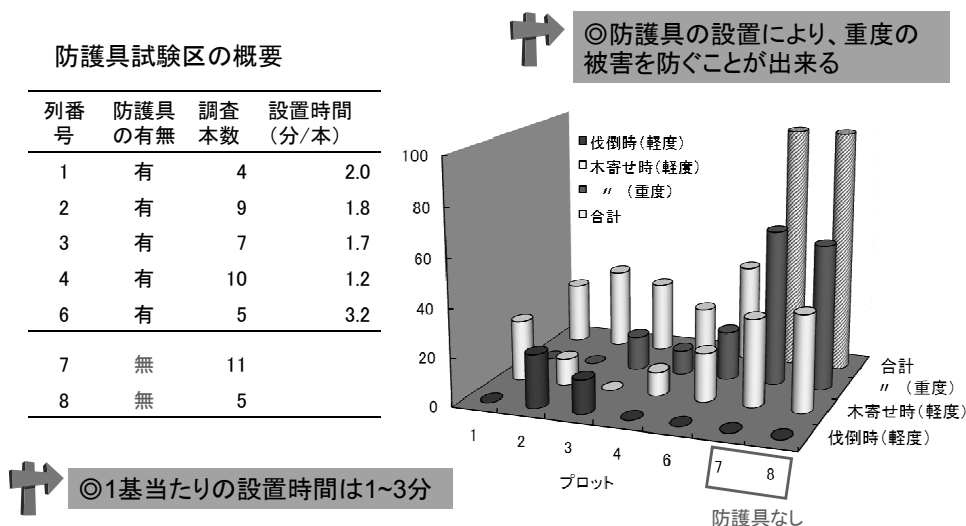


図-10 防護具使用の効果について

阿仁柴森の高密度路網整備による点状間伐試験地での防護具の設置試験では、間伐木の伐倒後、集材時に損傷の危険があると判断される立木だけに設置した。図-10に示したように、防護具を設置

しない対照区では幹まで達するような重度の被害が7割近く発生したのに対し、防護具の設置区の損傷率は11～40%に抑えられ、特に重度の被害が20%以下と低かった。

このように3年間にわたる防護具使用試験の結果、防護具の使用により、残存木の幹への被害が高い確率で防げることが明らかとなった。防護具は1基あたり1～2分程度と短い時間で設置が可能であるものの、現場の作業従事者の防護具使用への理解と認識が必要であるなど解決すべき課題が残されている。いずれにしても残存木の損傷を確実に防ぐことができるという点で、長伐期の良質材生産を目標とする施業にとって有効な資材であると判断される。

3. 高能率な間伐作業システムの確立に向けて

森林の生産現場で効率的な生産性を実現するためには、その地域の地形条件、林分条件、経営条件などを的確に把握し、最も効率的な作業システムで作業を実施する必要がある。しかしながら、プロセッサ、スイングヤードなどの高性能林業機械は高価であり、限られた機械による効率的な作業システムを構築する必要がある。

改善すべき間伐の作業システム

- 高密度路網の整備
 - 2,000円/m以下の簡易作業路の整備
 - 200m/ha以上の路網密度
- 間伐作業システムの改善
 - 集材を短幹方式から全木方式へ改善する
 - 木寄せ作業工程の省略などによる生産性の向上
 - 作業時間の短縮と、少ない人員での生産性向上
- 防護具の使用
 - 残存木の損傷の防止

本研究では、現時点での秋田県民有林の地形条件、林分条件、高性能林業機械の普及状況にあった間伐の高能率な生産システムの確立に向けた試験を行ってきた。本県に導入されている高性能林業機械はプロセッサなどの車両系の機械がほとんどを占め、これに適した作業システムは車両系システムと呼ばれている。試験の結果、車両系の生産システムで高能率な生産性を実現するためには、安価な簡易作業路をha当たり200m以上の密度で整備することが必要である。間伐時の作業システムの改善は、現場の状況やニーズに合わせた対応が必要であるものの、基本的な考え方は作業時間の短縮と少ない人員での生産性向上を意識して作業の改善に取り組むことにある。試験では、集材を短幹方法から全木方法に改善すること、ウインチ付きグラップルなどによる木寄せ作業の工程を、造材を行うプロセッサで木寄せから造材まで一連の作業で実施することで生産性の向上が図られることが明らかと

なった。また、路網密度を高めることで林内での高性能林業機械の作業が可能となるが、それに伴って発生する残存木の損傷被害対策として、農業用のポリエチレン製の排水管を防護具として使用することで残存木の損傷に対する防止効果が発揮されることが明らかとなった。このように、本県で主に普及している車両系の高性能林業機械の作業システムと高密度路網の配置を合わせた作業システムを工夫することにより、点状間伐でも高い生産性を実現できることが実証された。また、傾斜地における列状間伐林分においても高性能林業機械が入れるような作業路を高密度に配置することで、列状間伐後の点状間伐作業を高性能林業機械で効率良く実施する試験も行った。

我が国においては間伐作業への認識が希薄だったため、間伐用機械のニーズが欧州に比べて低かったことが問題であると梶山(2008)は指摘している。そのため、林業用機械も皆伐を前提としたものに開発の主眼が置かれていたと梶山は指摘しており、現在林野庁が推進している森林・林業再生プランの進捗状況によっては国内で使用される機械と作業システムに変化が出てくるのかもしれない。その一方で県内に目を向ければ、個人所有者が自力で低コストな間伐作業を実施するためのシステム技術を開発するなどの取り組むべき課題も多く残っている。今後とも、これら国内外の状況を把握しながら作業を行う事業者と森林所有者の両方が満足できるような、さまざまな状況に適した高能率な生産システムの改善を目指していきたい。いずれの時代においても、使用される機械が変わると、それに適した作業システムも変化する。今後しばらくの間、生産現場では高密度路網、高性能林業機械、作業システムなどの改善が間伐作業を行う上で重要視されると思われる。

研究を進めるにあたって(財)秋田県林業公社、古河林業株式会社阿仁林業所の皆さまから貴重な試験地を提供していただいた。古河林業株式会社阿仁林業所所長福森卓氏および阿仁林業所の皆さんには調査ご協力を頂いた。(独)森林総合研究所岡勝博士(現:鹿児島大学)、佐々木達也氏には現地調査でのご指導と解析方法に関する有益な助言を頂いた。(財)秋田県林業公社には貴重なデータを頂いた。これらのご協力に対しここに深く謝意を表する。

引用文献

秋田県農林水産部(2011)平成22年度版秋田県林業統計. 秋田県農林水産部林業木材産業課. 秋田. 172pp.

秋田県林業普及冊子15(2008)高性能林業機械の低コスト生産システム. 44pp, 秋田県農林水産部秋田スギ振興課, 秋田市.

岩手県林業技術センター(2000)列状間伐と定性間伐の比較試験結果. 岩手県林業技術センター研究成果速報82.

梶山恵司(2008)欧州との比較による日本の林業機械と作業システムの課題. 富士通総研研究レポート316.

植木達人編(2007)列状間伐の考え方と実践. 林業改良普及双書154. 全林協. 東京. 203pp.

森勇佑・田坂聡明・有賀一広・松英恵吾・斎藤仁志・馬場修平(2008)列状間伐における残存木被害発生因子の検討. 森林学誌22(4):255~260.

- 中川昌彦(2007)定性間伐と列状間伐におけるハーベスタの生産性の違い. 森利学誌21(4):299~302.
- 中島嘉彦・芦田素廣・旦良則・山岡嘉助(1999)高性能林業機械を用いた列状間伐と定性間伐の比較試験. 岡山県林試研報15:1~7.
- 岡勝・吉田佳史・井上源基(1998)高性能林業機械による林地環境への影響(Ⅱ)ー残存木の損傷ー. 日林関東支論49:107~108.
- 岡勝・近藤耕次・吉田智佳史・田中良明・佐々木達也・井上源基・近藤道治・山口達也・小嶋重幸(2005)伐出作業に伴う残存木被害軽減対策の検討(Ⅰ)ー架線系集材における被害要因の分析ー. 日林関東支論56:79~80.
- 岡勝・佐々木達也・近藤耕次・鹿島潤・濱本高光・加利屋義広・小林洋司(2006)簡易な防護具を用いた残存木損傷の軽減効果. 森利学誌20(4):273~276.
- 大竹正博(2006)長伐期に対応する列状間伐について. 森利学誌21(1):21~24.
- 佐々木達也ほか(2005)伐出作業に伴う残存木被害軽減策の検討(Ⅱ)ー被害防護具の選択に関する予備的考察ー. 日林関東支論56:81~82.
- 澤口勇雄(2007)路網の話. 機械化林業連載(No.629-640):62~68.
- 澤田智志・岡勝・佐々木達也(2009)列状間伐後の間伐方法と高能率な作業システムの生産性. 森利学誌24(2):53~59.
- 澤田智志(2004)長期育成循環施業に対応する森林管理技術の開発. 秋田県森林技研報13:65~88.
- 全国林業改良普及協会編(2001)機械化のマネジメント. 239pp, 全国林業改良普及協会, 東京.
- 宮城県林業試験場(2007)列状間伐のここが知りたい!. 宮城県林業試験場.
- 林野庁(2004)機械化作業システムに適合した森林施業法の開発. 大型プロジェクト研究成果. 220pp.
- 林野庁編(2010)森林・林業白書(平成22年版)概要. 林野庁ホームページ.
- 渡邊定元(2005a)新しい間伐法の紹介:列状間伐と中層間伐. 森林科学44:18-25.
- 渡邊定元(2005b)列状間伐の生態学. 山林1454:2-10.