

高性能林業機械作業システム研究の現状と課題

誌名	農林水産技術研究ジャーナル
ISSN	03879240
著者名	井上,源基
発行元	農林水産技術情報協会
巻/号	17巻3号
掲載ページ	p. 6-12
発行年月	1994年3月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat



特集 林業における機械化技術の展開方向

高性能林業機械作業システム研究の現状と課題

井上 源基

林業の採算性の低下や林業従業者の減少・高齢化，木材需要の停滞と木材価格の低迷など，厳しい情勢の下で，様々なアプローチによるコストダウンの達成が我が国の至上命題となっている。その一つの方策として，高性能林業機械が全国的に急速に導入されてきた。これらの機械を普及・定着させるためには，我が国の地形条件や事業規模に適合した作業システムへの確立が緊急の課題となっている。

ここでは，高性能林業機械による機械化研究の課題や地域林業に適応した生産コスト低減のための主要な高性能林業機械作業システム研究の現状や問題点について提示した。

1. はじめに

我が国の林業は，地形・地表状況等の自然条件の厳しさに加え，森林の所有規模が小さく，事業規模や作業ロットが小さいことなどが機械化を推進する上で大きな制約条件になっている。しかしながら，森林資源の充実，素材生産事業体の生産規模拡大傾向など，林業機械化への条件が変化しつつあるなかで，労働力減少への対応，林業労働安全衛生の向上，低コスト林業の確立等の必要性に対応して，種々の条件を克服しつつ，林業の機械化の促進による新しい作業システムの確立が切望されている。

こうしたなかで，林野庁は平成3年9月「高性能林業機械化促進基本方針」を公表した。こ

の方針は，我が国の森林・林業が抱える問題を克服するために，高性能林業機械を積極的に導入し，普及することを目的とするものである。高性能林業機械類は，その後毎年，急速な伸びを示しており，現在490台以上にまで急増している。しかし，これらの高性能林業機械は，実際の作業現場において稼働率が低かったり，機械の能力を十分に発揮させることができない場合が多く，期待される高性能林業機械化の効果をあげているとはいえないのが現状である。その原因の多くは，機械自身のハードの部分ではなく，機械の選択や作業方法が適切でなかったり，適正な集材路網や作業土場の配置の選定がなされていないなどソフトの部分である作業システムに問題があることがこれまでの調査結果から指摘されている。

そこで，高性能林業機械に係わる作業システムの問題について整理し，とくに，技術的視点からみた作業システムの展開について検討を行

Motoki INOUE: The present situation and further research of the high productive mechanization system in logging operation

った。なお、ここでは、高性能林業機械として伐出用機械を対象としている。

2. 高性能林業機械化と作業システム 研究の動向

高性能林業機械は、一般に伐倒と集積、伐倒と集搬、あるいは伐倒と造材および集搬等の2工程ないし3工程を連続して行うことのできる多工程処理機械を意味しているが、これらの車両系伐出機械に、架線系の移動式タワー付集材機（タワーヤード）を加えたものを総称して高性能林業機械とよんでいる。高性能林業機械は、大別すると伐倒工程を主とするフェラーバンチャ系機械、集搬工程を主とするスキップ系機械、フォワーダ系機械およびタワーヤード系機械、造材工程を主とするプロセッサ系機械、伐倒と造材工程を同時に行うハーベスタ系機械にわけられる。これらの機械は、伐出作業に際し各種組合わされることになるが、地形条件等の作業現場の状況に応じて組合せは限定される。現在適用されている高性能林業機械による伐出システムは、緩斜地車両系タイプと傾斜地架線系タイプからなり、全木材集材方式か普通材集材方式かによって、ほぼ3パターンにわけられている（図1）。

高性能林業機械による作業システムは、従来のシステムに比べて、生産性が高いことは調査結果から明らかである。しかし、機械の選択や

組合せが妥当であるのか、あるいは各種作業現場の状況に対して適正な伐出方法や作業仕組であるのかといった総合的なシステム展開はまだ緒についたばかりである。

高性能林業機械による作業システムの研究は現在、おおまかにみて3つの研究項目からなっている。一つは「高性能伐出機械の特性評価研究」であり、他の一つは高性能機械化を展開する基盤的条件としての「森林路網や作業土場（作業ポイント）施設の評価研究」である。また、それらを適用する作業の場である「森林作業情報の把握・評価研究」である。

高性能林業機械の特性評価研究では、機械自体の性能把握と機械を使用した場合の作業性の評価がある。前者では機械性能面から技術的難易性を検討し、機械ごとの使用限界値と適用可能な範囲を究明する。後者では、各々の機械の作業能率を把握し、適正な作業域や機械の組合せ、使用台数等を検討する。

一方、森林路網や作業土場施設の評価研究では、各種路網や作業土場の形態的特徴の評価とそれらの規格・構造の違いごとの適用機械の走行性や作業操作性の検討がある。前者では各種路網の迂回率や配置パターンの検討や路網の配置の違いと集材距離の関係、作業土場の形態の違いと土場敷内の機械の平均移動距離の関係等について幾何学的視点から検討を行う。後者では形態や規格・構造の異なる路網や作業土場ごとの作業性の関係を明らかにし、各々の走行費用関数や土場作業費用関数ならびにそれらの作業費用関数等について明らかにする。

森林作業情報の評価研究では地形・地理条件等の簡易計測法の開発や作業現場の地形条件を定式化し、各種作業現場に対して適用できる地形分類法等について検討を行う。

高性能林業機械による作業システム研究は、これらの研究事項を順次解明することが必要になる。ここでは研究項目の中から幾つかの問題について取りあげてみる。

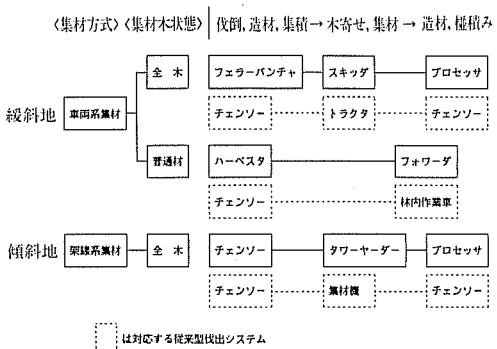


図1 高性能林業機械を用いた伐出システム

3. 高性能林業機械と作業条件

伐出作業に対して適切な技術システムを選定するためには、まず作業条件を定量的に把握し、様々な作業現場に対して統一性のある機能的分類表示が必要になる。伐出作業に影響を与える現場の作業因子は極めて多い。機械化による伐出システムを展開する場合、最大の制約条件は地形条件である。高性能林業機械の開発の目的の一つには地形条件の克服にあるが、我が国の様な急峻で複雑な地形や不整地が多い作業現場では、高性能林業機械といえども地形条件は避けられない問題である。伐出作業に対する地形の評価法に関する研究として地形情報を簡易に収集する方法が検討されている。これは作業計画や路網導入計画の立案の際のインプットデータとして数haの対象区域の地形情報を移動車両の3次元位置を連続的に計測することによって自動的に測定する方法であり、地形の3次元情報を収集する測定装置を開発した(写真1)。現在のところ不整地等では測定精度に多少検討の余地があるが、本装置を林内に導入し走行させることにより、対象区域の地形を連続的に計測し、コンピュータを介して図化处理等一連の作業を行うことが可能となった。

また、収集された地形や地表情報を定量的に捉え、各種作業現場に対する地形評価システムについても検討している。車両系機械に対する

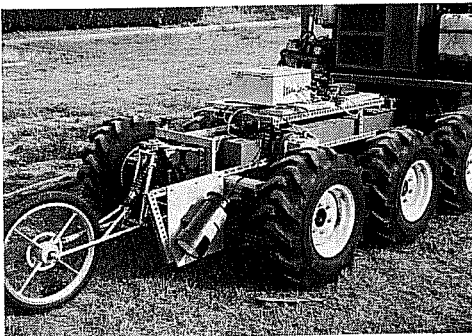


写真1 3次元位置測定装置

地形評価については、車両の走行の難易度を評価値とした地形分類法を明らかにした。これは車両走行の難易度に影響を与える地形、地表因子は、地形傾斜、地表障害物の密度や大きさおよび地表状態(土質、含水率)からなり、これら3因子を含む関係式から林地の地形分類を行うものである。ここでえられた標準的な地形評価値は、地域的特性や作業方法の違いなどを修正係数として与えてやれば、各種作業現場の地形、地表条件を定量的に評価することができ、作業計画の立案の際の情報として、あるいは使用機械の選択のための判断基準として利用が可能になっている。

4. 高性能林業機械の作業特性の評価

高性能林業機械の適正作業域の算定や適正な機械の選定等を明らかにし、伐出システムとして展開していくためには、機械の作業能率の把握が不可欠であり、高性能林業機械の作業能率の分析に主体がおかれてきた。ここでは、伐出システムのタイプごとに作業分析の結果を概論する。

(1) 車両系伐出システムの作業特性

高性能車両系機械の伐出システムは(フェラーバンチャ+スキッド)タイプと(ハーベスタ+フォワーダ)タイプがほとんどである。両タイプとも比較的緩斜地で適用され、おおむね前者は天然林、後者は人工林に適していることが明らかになっている。フェラーバンチャやハーベスタによる伐倒作業は、地形傾斜のほか林内の地表障害物や地形凹凸、林地支持力に影響し、伐倒木の樹種や径級および分布状態によって作業時間は異なる。またフェリングヘッドの設定の仕方等の伐倒手順や列状伐採か単木伐採かによって異なる伐倒木への機械の移動方法など伐倒の仕方の違いが伐倒作業の効率に大きく関与することが示唆されている。

フェラーバンチャにより伐倒された全木材やハーベスタにより伐倒・造材された普通材は、

前者の場合はスキッダ、後者の場合はフォワードにより作業土場まで集材されるが、この集搬工程は林内の伐倒地から作業土場までの集材距離に関係する。集搬作業の能率は集材される径路の地況条件や積載量によって異なり、各機種集搬時間は、集材距離のほか集材される径路の規格、構造や縦断勾配、積載量等の因子を含む関係式で表すことができる。したがって集材距離の長短は、集搬作業の前後の作業工程の能率を左右することになる。これらの問題は後述するが、各工程間の生産能力が互いにバランスが採れるようにすることが、作業上極めて重要であり、工程ごとに複数の機械を組み合わせることや、集材路を作設して、スキッダやフォワードの走行時間を短縮させること、あるいは作業土場を適正に分散させて集材距離を短くすることなどに関して、想定試験等により検討している。

(2) 架線系伐出システムの作業特性

タワーヤードを用いた集材方式の特徴の一つは、架線の架設・撤去等の副作業が大幅に軽減できることであり、従来の架線方式に比べて数十分の一の所要人工数ですむことになり、副作業に要する費用は非常に少ない。したがってタワーヤードによる集材方式は従来の長距離パン固定型の集材機方式の場合と異なり、その特徴をいかして少量の作業面域ごとに短スパンの架線を頻繁に張替え、漸次タワーヤードを移動して集材作業を行う方法がとられる。この場合タワーヤードの車両は、道路上を移動することになる。また集材された材は、道路上でプロセッサによって造材され、道路端に極積みされる。タワーヤードの主作業の集材時間は、架線のスパン長に相応する集材距離のほか横取り距離、積載量および作業現場の地形条件等の因子からなる関係式が示されている。この場合、上げ木集材方式か下げ木集材方式かによって集材時間は異なる。一般に上げ木集材方式の方が、主作業および副作業時間も短くなり生産性は高い。また間伐作業や択伐作業の際の残存立木の被害

に対しても上げ木集材方式が優れていることが示唆されている。上げ木集材を前提とした場合、タワーヤード集材のための路網は、従来の沢沿いに配設するより稜線沿いや中腹沿いに配置する方が良いことになり、新たなタワーヤード集材のための路網配置計画法の検討が行われつつある。

また、プロセッサの造材工程についてみると、プロセッサの造材能率は、タワーヤードの集材能率に比べてはるかに高い。したがってプロセッサの稼働率は、タワーヤードの集材作業に左右され、低く抑えられることが多い。またプロセッサによる造材作業は、道路上で行われることになり、道路上の作業土場スペースの確保が問題となる。プロセッサの作業場所、タワーヤードの設置場所、極積み場所等の土場敷内のレイアウトやその作業ポイントを「どこに」、「いくつ」配置するかといった適正作業土場の選定の問題は、適正な路網密度や配置の選定の問題と関連しており、伐出システム全体の生産性に大きく影響を与えることが報告されている。

5. 伐出機械と路網の研究とかかわり

伐出システムを展開するためには、機械と路網は不可欠のものであり、どちらか一方が不備であっても、その確立は望めないといわれている。しかし機械と路網の関係は、総論としては理解できても、両者がどのようにかかわりあって一つのシステムを構成しているのかはかなり漠然としている。

伐出機械と路網のかかわりについて機械側からみた場合、その主題となるのは、各伐出機械の作業適応範囲や適正集材距離を明らかにすることになる。高性能林業機械は元来、急斜地や不整地に対応する機械として開発されたものであるが、安全で能率的な作業を可能にするには、路網があった方が良いのは当然であり、いかに路上外の作業を少なくするかということが問題となる。いいかえれば、これらの問題は、

各機械の路上外の作業が可能な限界値や適応可能な作業範囲を明らかにすることである。この作業範囲は、機械の機構や性能によるところが大きい。作業の流れからみた適正な作業範囲は、機械の作業能率や機械の組合せによる機械ごとの稼働可能率等の経済的評価等から決められる。伐出作業の場合、各機械の生産効率を最大にする作業（集材）距離が適正な作業範囲の指標となる。これらの解明の一つとして、機械の組合せによって生ずる作業工程間の待ち時間を最小にする観点から、待ち行列の問題としてシミュレーション手法により検討が行われている。図2は1例として（フェラーバンチャ+スキッド+プロセッサ）タイプの伐出システムについて、各作業工程間の待ち時間を示したものである。各機械の作業待ち時間は、作業面積あるいは集材距離によって変わり、作業待ち時間の合計はある一定の集材距離の時に最小値を有することになる。この値が適正な集材距離となるが、適正集材距離は、出材量や地形条件等の作業条件のほかに機械の組合せや台数、作業の仕方および集材径路の状況等によって変わることが示されている。伐出システムごとに各使用機械の適正な集材距離がわかると、それに応じて作業域をカバーするように路網を適正に配置

することになる。

一方、路網側から見ると、路網の高密化により伐出技術選択の自由度が広がり、より集約的かつ能率的な作業を可能にする。しかし現段階での素材生産面の便益だけを優先させて、やみくもに道路を開設するのでは、長期的にみて偏りの大きい無駄な路線を多く作設することになる。道路の作設には高額な費用が必要となり、場合によっては森林環境の破壊の原因にもなりかねない。路線によって構成される路網は序々に拡充されていくプロセスがあり、あるタイムスパンのなかで整備され、幹線的な高規格道に支線路や分線路の低規格道が組合わされ、それらが適切に配分・配置されて、全体の路網システムが完成される。

路網に関する研究は、路網を対象地に「どれだけ」導入するかという必要な道路の量的基準を求める路網密度に関する研究と「どこに」「どの様に」配置するかという路網配置に関する研究、あるいは対象域全体に対して「どこから」導入するかという開設順位に関する研究等がある。高性能林業機械による伐出作業に対しては、スキッド道やフォワード道等の規格の異なる集材路と林道を組合わせた複合路網の密度理論が展開されている。路網側からみた伐出機械へのアプローチは、伐出システムごとの集材距離に関する集材費と道路規格ごとの延長距離に関する道路作設費や走行速度に関する走行費等の総費用を最小にする適正路網密度を算定し、その路網密度に応じて適正な伐出機械や伐出システムを選択することになる。路網と伐出システムを選択について、総費用を最小にする問題として定式化し、シミュレーションにより各種現場条件ごとの適正路網型や路網型、集搬方式等の選択について検討している。これらの選択基準を高性能林業機械に適用すると図3のとおりである。伐出機械と路網の研究的なかわりには、作業域を網羅する適切な集材路網配置と伐出機械や伐出システムのための適正な集材距離や路網密度を明らかにすることに

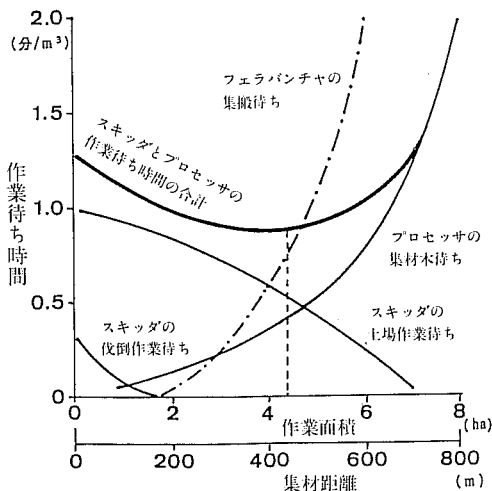


図2 作業の待ち時間を最小にする適正集材距離

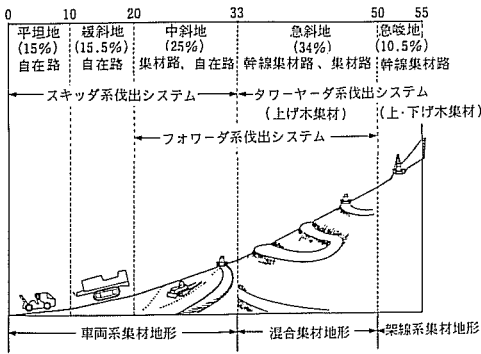


図3 我が国の地形傾斜別森林面積ごとの適正な伐出システム

あり、これらが一体となって最適な作業システムが展開されることになる。

6. 今後の課題

森林作業システムは、階層的構造と複合的構造の両面を持ったシステム構造であり、全体と部分が階層的に分割された計画体系と空間的・地理的あるいは時間的にみて幾重にも重なりあった複合的な計画体系からなっている。これらの複雑な構造を持った作業システムの問題は、一朝一夕に解決できるものではなく、段階をおって構築していくことになる。作業システムを展開するという事は、作業をデザインするという事であり、作業システムの構築に際し段階に応じて次の様なことが必要になる。

- ① 現実の多元的な価値観を持つ問題複合体(多目的, 多主体)をどの様に認識するか。
- ② 現実の問題を一般システムとして写像するための定式化の方法。
- ③ 評価のための基準や判断に必要な外部情報を明らかにする。
- ④ 一般システムの問題から現実の問題にフィードバックした時の予想モデルの作成。

具体的に高性能林業機械作業システムを展開する場合、先述の3つの個別の研究項目を順次解明して、総合化や統合化していくことになるが、各研究項目には、解明すべき多くの課題が残っている。例えば、森林作業情報の評価研究

では、森林の地形・地理情報のほかに林業情報や地域・社会的情報等を統合した森林作業情報システムのデータベース化や定式化が必要であり、その統合手法やそれらの要因から森林がもつ機能評価や資源把握に基づくゾーニング手法についての研究が求められる。また機械の評価研究では、機械の導入に対しての経済性の評価がある。高性能林業機械は、従来の機械に比べて極めて高価であり、機械コストが全体の生産コストに占める割合が相当大きいといわれている。労働コストが軽減されても、機械コストが高ければ生産コストの低減にはならない。そうしたことから、高性能林業機械の故障率や稼働率等について経時的な調査を行い、機械の投資効果や機械損料の算定方法等のコスト分析の課題が必要となる。さらに路網や作業土場施設の評価研究では高性能林業機械作業システムのための新たな路網理論や機械の稼働率等を考慮したダイナミックな路網や作業ポイントの配置計画法やそれらの作設施工技術法等についての研究が必要となる。

さらに、高性能林業機械作業システムを現実の問題として定着させていくためには、高性能機械が人間や林地環境に与える影響の評価研究が必要になる。高性能林業機械は、従来の伐出機械に比べて森林環境へのインパクトは大きいといわれる。とくに、地表面を走行することによって木材を集材する車両系の集材方法では、林地土壌や残存立木に与える影響は大きく、林業本来の目的である社会的要請の規範としての森林の健全, 安定, 永続といった機能を損ないかねない。林地への影響を少なくすることは、がいして作業の効率化に相反するものであるが、林地環境への配慮なくして高性能機械作業の普及・定着はなりたちえない。林地土壌の攪乱や残存立木の被害に対して何等かの方策を施すことによって、作業効率を低下させることなく被害を軽減することは可能である。これらの問題は、技術研究上のテーマとして極めて重要であり、実証試験を重ねて解明していく必要がある。

ともあれ、これからの伐出技術開発の基本的考え方を生産性向上と環境への調和と定めると、機械の選択とこれを用いる作業システムの確立が一層重要となるが、この場合ここで述べた考え方をさらに普遍させて、自然条件あるいは社会的条件に適合した技術選択のための総合的なシステム化が必要となる。

機械と人間と環境を有機的に統合した新しい創造的な作業システムを推進し、我が国の林業の活性化やコストダウンの大きなターニングポイントとなるためには、総合化するためのプロジェクト研究の推進や行政と研究分野の協力体制が必要となろう。

(森林総合研究所 システム計画研究室長)

