

氏 名	吉 田 智 佳 史
学位 (専攻分野の名称)	博 士 (農学)
学 位 記 番 号	乙 第 953 号
学位授与の日付	令和 3 年 1 月 20 日
学 位 論 文 題 目	<b>森林バイオマス収穫作業システムの構築に関する研究</b>
論 文 審 査 委 員	主査 教 授・博士 (農学) 今 富 裕 樹 教 授・博士 (農学) 佐 藤 孝 吉 教 授・博士 (生物環境調節学) 田 島 淳 准 教 授・博士 (林学) 矢 部 和 弘 博士 (農学) 吉 岡 拓 如*

## 論文内容の要旨

地球温暖化の防止や循環型社会の形成等を目指し、新たなエネルギーおよびマテリアル資源として木質バイオマスが注目されている。特に、平成 24 年の FIT 制度の開始に伴いその需要は近年大きく増加した。木質バイオマスは、発生源の違いにより「建設発生材」、「製材工場等残材」、「未利用間伐材等」に大別されるが、建設発生材や製材工場等残材は既に 9 割以上が利用されているのにも関わらず、未利用間伐材等（以下、森林バイオマス）はその多くが林内に残されているのが現状である。そのため、今後の木質バイオマスの利用拡大には、年間 2,000 万 m<sup>3</sup> 以上発生する森林バイオマスの活用が重要と考えられる。しかしながら、森林バイオマスは林内に広く散在するとともに重さの割にかさ張ることから、これを効率的に収集する技術の開発が不可欠と考えられる。

そこで本研究では、わが国の伐出作業条件に適した森林バイオマス搬出方法を開発し、森林バイオマスの低コスト安定供給システムの確立に資することを目的とした。そのため、用材とは形質が大きく異なる森林バイオマスを効率的に搬出するための新たな林業機械を開発し、従来の作業方法との比較により作業性能や生産性を評価するとともに、モデル地域を対象に森林バイオマスの生産コストおよび供給可能量を推計しその有効性を検証した。

第 1 章では、わが国における森林バイオマス資源の賦存量、供給量、需要量等について既往の文献を用いて示すとともに、わが国の素材生産における作業方法の現状および森林バイオマス生産に関する既往の研究成果等をもとに森林バイオマスの既往の搬出方法を検証した。

第 2 章では、素材生産と連携した森林バイオマス搬出のうち林内での造材作業による集材方式、つまり短幹集材により発生する末木・枝条・端材等の搬出作業の生産性を調査し、森林バイオマス搬出作業における短幹集材方式の可能性を検討した。林内に散在する森林バイ

\*東京大学 大学院農学生命科学研究科 准教授

オマスをタワーヤードにより土場へ搬出する試験を行った結果、用材の集材作業に比べ生産性は約 2 割程度と低く、短幹集材方式により発生する森林バイオマスを対象とする場合、その搬出作業は容易ではないことが示された。このため、森林バイオマスの収集が集材作業の実質一部として行われる全木集材方式が有効と考えられることが示唆された。これらの結果から、本研究で開発する森林バイオマスの搬出方法は、わが国の素材生産現場で広く行われている作業システムも考慮し、プロセッサによる作業道上での全木材の造材作業に伴い発生する末木、枝条、端材の森林バイオマスを対象にすることとした。なお、開発する機械は、わが国の作業条件に適応する比較的小型な機械であるとともに、森林バイオマス生産に特化した専用機ではなく用材生産とも共用が可能な機械とし、素材生産と連携して森林バイオマス生産が可能な作業システムの開発を目指した。

第 3 章では、造材作業に伴い発生する森林バイオマスのうち、特に末木・枝条を効率的に搬出するための森林バイオマス対応集材車両の開発とこれを用いた適正作業方法を検討した。開発機は、用材の積載機能を維持したままかさ張る末木・枝条を効率的に積載するため荷台が圧縮装置を兼ねる構造とした。開発機による森林バイオマス搬出作業の現地試験を行った結果、森林バイオマスの積載量は、圧縮機構を持たない従来の集材車両に比べおよそ 1.5～2.2 倍になった。樹種、部位、圧縮方法、搬出距離を変数とする生産性の算定式を導き、森林バイオマス搬出作業の生産コストを試算した結果、従来型集材車両に比べ搬出コストはおよそ 2 割削減されることがわかった。また、搬出コストが最小となる作業方法は搬出距離によって異なり、短距離（約 150m 以下）では従来型運材車、中距離（約 150～約 1,500m）では森林バイオマス対応運材車、長距離（約 1,500m 以上）では森林バイオマス対応フォワードを用いて搬出するなど適正な作業方法があることがわかった。

第 4 章では、造材作業に伴い発生する森林バイオマスのうちの端材を用材と同時に搬出する新たな作業システムを検討し、用材と森林バイオマスを合わせた森林資源全体を効率的に生産する作業システムの開発を目指した。端材は用材に比べ短小で不定形なことから搬出コストの増大を招く一因となっている。そこで、端材と用材を切り離さず 1 本の丸太として採材し、搬出した後に切り分ける新たな作業方式「一体材生産システム」を考案した。フォワード搬出、トラック運搬、プロセッサ切り分けの各工程を合わせたシステム全体の生産コストを一体材方式と従来方式で比較すると、用材の生産に伴い発生する端材量を搬出する場合、従来方式に比べ一体材方式は 2～3 割のコスト削減効果があることがわかった。一体材生産システムは、生産コストの低減が可能な作業方式であるとともに箱型トラックの導入が不要なことから小規模事業者等での事業も比較的容易なため、森林バイオマスの供給量拡大に有効な作業方式であると考えられた。このように、一体材生産システムは、森林バイオマス生産の低コスト化に効果的ではあるが、長尺な一体材はフォワード荷台への積載時の車体安定性や材の滑落危険性など安全面に懸念が残った。そこで、長尺な一体材の積載に適した横積

式フォワーダを開発し、開発機による一体材生産システムの作業性能を評価した。開発した横積式フォワーダによる一体材方式と既存の従来型フォワーダによる用材と端材を別々に搬出する従来方式を比較した結果、用材と端材を合わせたトータル搬出作業の生産性は一体材方式の方が 10~20%高く、生産コストは約 4 割低下することがわかった。開発した横積式フォワーダによる一体材方式は、用材、森林バイオマスともに有効な作業方式であることがわかった。

以上の結果を元に第 5 章では、本研究で開発した末木、枝条、端材の新たな搬出方法の現地への適用評価として、秋田県をモデルとして地域における森林バイオマス搬出コストおよび森林バイオマス搬出量について検討した。県全域のスギ人工林を対象に GIS を用いて地形・地理・林分条件を分析した。林分条件に応じた各林分の森林バイオマス発生量を推計するとともに、開発方式および従来方式による森林バイオマス搬出コストを算定した。また、搬出コストと発生量の関係からコストに応じた森林バイオマスの搬出可能量を推計した。枝条は第 3 章で開発した圧縮機構付き集材車両、端材は第 4 章で開発した横積式フォワーダによる一体材方式で搬出を行うものとして試算した。その結果、開発方式による県全域の平均搬出コストは、枝条が 4,565 円/t-dry、端材が 3,206 円/t-dry と求められ、従来の作業方法に比べ枝条は平均 1 割、端材は平均 4 割のコストを削減が可能であることがわかった。また、県内のスギ人工林における森林バイオマス発生量は、枝条が 126.6 千 t-dry/年、端材が 187.9 千 t-dry/年であり、ha あたりの森林バイオマス発生量は、枝条が平均 6.72t-dry、端材が平均 14.20t-dry と推計された。この結果、森林バイオマス搬出コストに応じた森林バイオマス搬出可能量は、例えば最大搬出コストを 5,000 円/t-dry とした場合、開発方式で行うことにより枝条は 96 千 t-dry/年、端材は 186 千 t-dry/年の搬出が可能となり、従来方式に比べ枝条は 1.2 倍、端材は 2.8 倍の搬出量の拡大が可能になることがわかった。

以上のように、本論で開発した新たな森林バイオマスの搬出方法を用いることにより、供給コストの削減とともに供給量の拡大が可能となることがわかった。また、開発したバイオマス搬出方式は、素材生産作業と連携した作業が可能なることから森林バイオマス供給とともに素材生産量の拡大が見込まれる。今後、本研究で開発した作業方式の普及によりわが国の木材自給率の向上や森林整備の促進など林業界全体の活性化が期待できると考えられた。

## 審査報告概要

地球温暖化の防止や循環型社会の形成のために新たなエネルギー資源としてバイオマスが注目されている今日、それらの新たな利活用のために森林に存在する森林バイオマスを効率的に収集搬出する技術開発は非常に重要な課題である。

本研究はこれまで利用されてこなかった未利用木質資源を利活用するための新しい収集搬出機械や作業システムを提案しつつ、それらの生産性や生産コストを推計・評価することにより、新しい森林バイオマス資源収穫システムとしての有用性や実用性を明らかにされるとともに、実証地での調査等を通して利用可能な新たな森林バイオマス資源量を示されたものである。本研究は森林での未利用資源の利活用に向けた新しい作業システムの構築、利活用に向けた新たなバイオマス資源量を明らかにされたことから、審査員一同は博士（農学）を授与する価値があると判断した。