

作業路を活用したハーベスタ・フォワーダによる間伐作業事例

対馬 俊之・渡辺 一郎

はじめに

北海道では1982年に初めてハーベスタが導入されて以来、現在では184台が活躍しています。一台で伐倒から枝払い、玉切りまでをこなすこの機械がもたらす生産性の向上は甚大です。しかし、間伐での使われ方は林内ですべての機能を使い最大の生産性を発揮するというものではなく、林内での伐倒・枝払いや、土場でプロセッサのように枝払い・玉切りを行うことが多くなっています。一方で、集材用のフォワーダについては導入が全道で10台と少なく、集材のほとんどがクローラトラクタで行われています。北海道のように緩傾斜地が多い地形では、北欧と同様にハーベスタ・フォワーダ作業システムが高い生産性を発揮するはずですが、導入台数からみても、両機械の機能を活かした生産性の高いハーベスタ・フォワーダ作業システムが定着するまでには至っていません。

林業試験場では、北海道における本システムの普及を目指し、路網と機械を組み合わせた低コスト・高効率な作業システムの開発に取り組んでいます。ここでは、林野庁補助事業「低コスト作業システム構築事業(H19～21)」のなかで取り組んだ、作業路を活かしたハーベスタ・フォワーダ作業システムの生産性の把握と改善について報告します。

調査方法

調査地は北海道名寄市風連町の上川北部森林組合所有35年生カラマツ人工林(1049林班19小班)です。作業の概要は、地形に合わせて作業路をあらかじめ作設しておき(図1、写真1)、テレスコピックアームを装着したロングリーチハーベスタ(312Cテレスコピックハーベスタ、ヘッド KETO150、最大作業半径10m、写真-2)により作業路上から両側(10m+10m)の間伐木を伐倒するとともに、作業路作設時の支障木(チェーンソー伐倒後、路肩に木寄せ済み)もあわせて枝払い・玉切りし、その後フォワーダ(イワフジU-6Aグラップル付き、写真-3)で集材し土場で巻立てるといったものです。作業班の人員は生産性向上のため2名とし、森林組合直営作業班の若手オペレータが作業にあたりました。また、採材は簡素化を図るためパルプ材2m、用材3mの2通りとしました。事前に作業路に沿って20×50mの調査区を設け毎木調査と間伐木の選定を行い、



図-1 調査地と作設した作業路

茶色の太線が作業路。調査区①では標準型、②・③では積込み強化型、④・⑤では連携作業型を調査した。



写真-1 作業路作設後の林内状況

作業時にはビデオカメラで撮影し、その映像を用いて要素作業別の時間解析を行いました。伐区内の3.3haで行われた間伐は表-1のとおりで、間伐木と作業路支障木をあわせた本数間伐率は39%、間伐木の平均立木材積は0.349 m³/本となりました。

表-1 調査地における間伐結果の概要

	本数(本/ha)	材積(m ³ /ha)	平均直径(cm)	平均樹高(m)
間伐前	691	271	21.6	21.9
間伐木	176	61	-	-
作業路支障木	93	33	-	-
間伐後(間伐率%)	422 (39)	177 (35)	22.6	22.0

注) 間伐率は間伐木と作業路支障木をあわせて算出。 間伐木平均立木材積は 0.349m³/本

作業システム

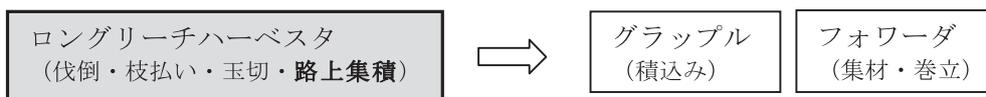
一般的にハーベスタに比べてフォワーダの集材生産性は低くなります。そのためフォワーダによる集材工程、特に積込みや巻立工程の改善を図るシステムを検討しました(図-2)。標準型ではハーベスタは作業路沿いの林内に玉切り材を集積し(写真-2)、フォワーダが集材して自ら土場で巻立てます(写真-3)。積込み強化型では、林内ではなく作業路上に玉切り材を置き(写真-4)、それをグラップルローダ(0.45クラス)とフォワーダを一人のオペレータが交互に操作しながら集材を行います(写真-5)。これはグラップル付きフォワーダの普及台数が少ない現状を考慮しての設定です。標準型と積込み強化型はハーベスタとフォワーダがそれぞれ独立し並列的な作業を行うことで、臨機応変な作業ができるようになります。一方、連携作業型ではフォワーダの積込み作業の軽減を図るため、ハーベスタがフォワーダの荷台上で玉切りして直接積載し(写真-6)、また、土場での荷降ろしと巻立にグラップルローダを導入することで、生産性の向上を狙いました。

1. 標準型 (調査区①)



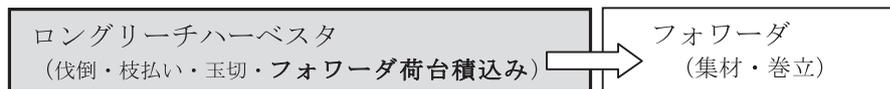
ハーベスタが作業路路肩に玉切り材を集積(写真-2)、フォワーダが集材、自ら土場で巻立(写真-3)。

2. 積込み強化型 (調査区②, ③)



ハーベスタは作業路上に玉切り材を横置き(写真-4)、それをグラップルとフォワーダを一人のオペレータが交互に操作しながら積込み(写真-5)・集材し、土場でフォワーダが巻立。

3. 連携作業型 (a) (調査区④, ⑤)



連携作業型 (b) (調査区④, ⑤)



ハーベスタがフォワーダの荷台に直接積込む(写真-6)。生産性の計算方法については、ハーベスタはフォワーダが居る時のみ稼働すると仮定する(稼働率 0.6)。フォワーダについては待ち時間も連携作業に必要とみなし稼働時間に含めた(稼働率 1.0)。

図-2 作業システム



写真-2 ハーベスタによる路肩集積



写真-3 フォワーダによる集材



写真-4 ハーベスタによる路上集積



写真-5 グラップルによるフォワーダ荷台積込み



写真-6 ハーベスタによるフォワーダ荷台積込み

結果と考察

ハーベスタによる伐倒・枝払い・玉切りの生産性は、標準型（路肩集積）の場合 $7.1\text{ m}^3/\text{時}$ 、積込み強化型（路上集積）で $6.8\text{ m}^3/\text{時}$ と集積位置によって大きな差はなく、玉切りされた材の置き場所は生産性に大きな影響を及ぼさないことがわかりました（表 2）。その一方で、連携作業型では $6.0\text{ m}^3/\text{時}$

と若干低くなり、フォワーダ荷台への積込みにより時間を要することがその原因と考えられました。しかし、この低下は、続くフォワーダ作業の生産性が向上するため、システム全体としての影響は全くないものです。

表－２ ハーベスタによる伐倒・枝払い玉切作業の生産性

システム	調査区	合計時間 (h:m:s)	間伐木 本数	支障木 本数	合計 本数	出材量 (m ³)	生産性(m ³ /時)	
							小計	平均
標準型	①	1:06:24	17	17	34	7.89	7.1	7.1
積込み 強化型	②	0:56:01	19	9	28	6.93	7.4	6.8
	③	0:57:27	22	9	31	5.87	6.1	
連携作業型	④	1:08:24	17	14	31	7.68	6.7	6.0
	⑤	0:21:10	8	3	11	1.84	5.2	

集材作業の生産性を標準型と積込み強化型と比較すると(表 3)、標準型で3.4 m³/時、積込み強化型で4.6 m³/時となりました。当初の予想どおり集材生産性はハーベスタに比べ低かったのですが、グラップルで積込むことで集材作業の生産性を改善することができました。

ちなみに、フォワーダの要素作業別時間割合に着目すると、標準型ではフォワーダの積込みに60%、荷下ろしに25%の時間を要しており、積込み強化型では積み込む前段の玉切材の「選別」と積み込んだ後の「材整理」に多くの時間がかかっていました。

表－３ 集材作業の生産性

システム	調査区	合計時間 (h:m:s)	機械(主作業)*1	出材量 (m ³)	生産性(m ³ /時)		
					機械別	小計	平均
標準型	①	0:35:38	フォワーダ(積・集・降)	2.04	—	3.4	3.4
積込み 強化型	②	0:23:47	グラップル(積)	2.57	6.5	4.1	4.6
		0:13:40	フォワーダ(集・降)		11.3		
	②	0:14:31	グラップル(積)	2.56	10.6	5.1	
		0:15:50	フォワーダ(集・降)	9.7			

*1 主作業 積＝積込み、搬＝集搬、降＝荷降ろし

連携作業型については、ハーベスタ工程に積込み部分が含まれ分離が困難なこと、フォワーダ工程にハーベスタの待ち時間が含まれることから、全体の生産性を計算し比較しました(図 3)。伐倒から集材、巻立までの1サイクルあたりのサイクルタイムは、巻立をフォワーダが行う連携作業型(a)で58分に対し、巻立にグラップルを導入した連携作業型(b)では43分と短く、ハーベスタの稼働割合も62%から84%に増加しました。結果として、全体の生産性は連携作業型(a)で3.9 m³/時、連携作業型(b)で5.3 m³/時となり、先に述べた積込み強化型と同様に、グラップルを土場での荷降ろしと巻立に用いることで生産性が向上しました。

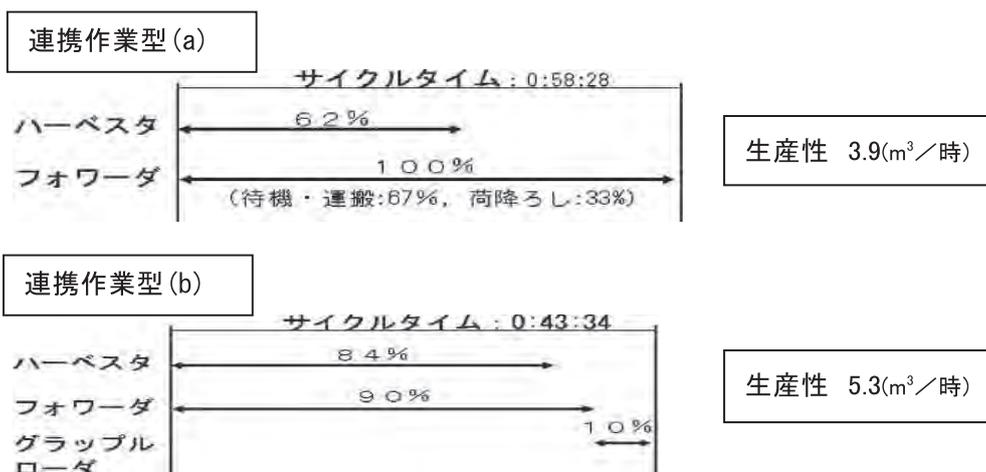
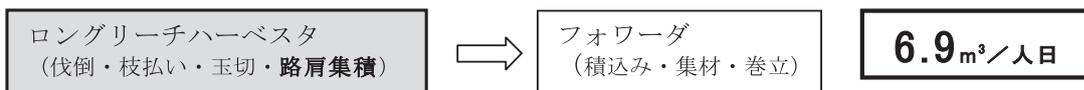


図-3 連携作業型の生産性

各作業システムの労働生産性（一人一日6時間あたり）は標準型で6.9m³／人日に対し、積み込み強化型で8.2m³／人日、さらに連携作業型（a）では11.2 m³／人日、連携作業型（b）では15.1 m³／人日、と改善による生産性の向上が認められました（図-4）。上川北部森林組合からの聞き取りによる従来作業での生産性は約5m³／人日ですので、標準型であってもそれを超える生産性が確保でき、本システムの有効性はあきらかです。

連携作業型は最大の生産性を発揮しましたが、ハーベスタにフォワーダの集材を待つ時間が生じ、集材距離が長くなるほどその割合が多くなってしまいます。また、機械オペレータにとっても作業の流れに配慮したり、接近作業になることから安全確保に気をつけることが多く、森林組合の現場管理者やオペレータからは、集材距離が短い場合などに限って適用するシステムではないか、との意見もありました。この方法については追加データをとるなどして継続した検討が必要と考えます。

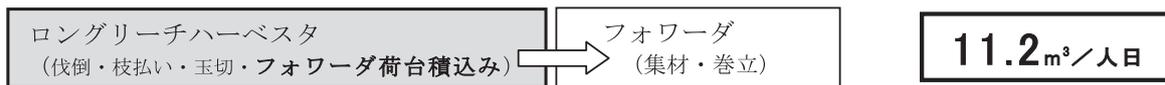
1. 標準型



2. 積み込み強化型



3. 連携作業型 (a)



連携作業型 (b)

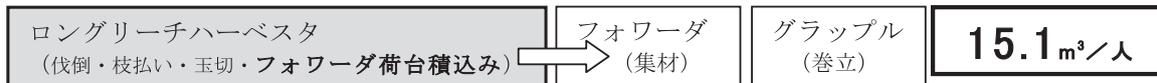


図-4 各作業システムの労働生産性

おわりに

ハーベスタ・フォワーダによる間伐作業システムは適切な配置の作業路を前提とすれば十分に普及するシステムと考えられました。今回の調査ではグラップルローダを組み合わせることでフォワーダへの積載が効率化され生産性が向上しましたが、本格的なグラップルを備えたフォワーダが比較的安価に導入できれば、機械の能力を最大限活かした低コストな作業システムが期待できます。現在行っている「低コスト作業システム構築事業」や今後の試験の中で実証的な調査に取り組み、データを蓄積していくことで、「北海道のスタンダード作業システム」を提示できる日も近いと考えています。

(企画指導部, 経営科)