

## 北海道型作業システムの構築と実証事例

～路網配置と作業システムによる林業生産コスト低減の検証～

北海道森林管理局森林技術・支援センター 井上 純

北海道森林管理局技術普及課 南 達彦

森林総合研究所北海道支所 佐々木 尚三

### はじめに

我が国の人工林は本格的な利用期に入り、その森林資源の有効活用と、それに伴い計画的に造成すべき時期を迎え、北海道においても、その資源の循環利用が大きな課題となっている。

このため、林地生産力や傾斜等の自然条件に優れ、車道等や集落からの距離などの社会的条件の良い森林などを中心に、持続的な林業をより確実なものにする取組を推進する必要がある。

具体的方策の1つとして、素材生産における労働生産性の向上によるコストの低減を推進し、林業の収益性を向上させるため、路網と高性能林業機械を適切に組み合わせ、機械の性能を最大限に発揮させることを中心とした高効率・低コスト作業システムを構築することが重要である。

現行の作業システムにおいては、フォワーダによる集材距離が長い箇所も多く、本来の目的である高効率・低コスト作業の効果の発現が十分とはいえない状況も見受けられる。効果的な作業システムに対応し得るモデル的な路網作設を通じ、北海道の地形特性にマッチした作業システムの確立が求められている。

### 調査目的

北海道の地形の特性（傾斜が緩やか、地形が複雑ではない）を生かして高効率・低コスト化を図るためには、ハーベスタによる伐倒、枝払い、玉切り、フォワーダへの積み込みを基本とする車両系作業が有効であり、路網開設の考え方を森林作業道重視から林業専用道の路網密度を上げることにシフトすることで、①10t程度のトラックや大型ホイールフォワーダ等による走行が可能となる距離が延伸され、②グラブによる直接木寄せのシステムが可能となるエリ

アが拡大し、搬出・集材コストを抑えることが可能と考えられる。このため、緩傾斜、平易な地形を有する箇所において、作業のベースとなる林業専用道を高密度に配置し、森林作業道が必要としない、又は森林作業道による集材距離を概ね200m以内を目指す低コスト・高効率作業システム（以下「北海道型作業システム」と記載）のモデルフィールドを設定し、林業生産コストの低減に係る検証を行った。

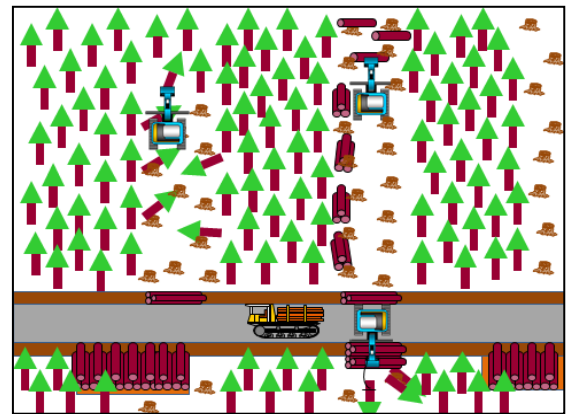


図-1 北海道型作業システムのイメージ

### 調査・事業の全体概要

本稿で取り上げる作業システム構築と実証試験は上川中部森林管理署1041～1043林班（上川郡美瑛町）で実施した。事業箇所・対象林分（モデルフィールド）の概要は以下の通りである。

- ・林地面積：147ha
- ・傾斜度：15～20° が大部分
- ・樹種：主に、ドドマツ、アカマツ人工林
- ・林齢：33～48年
- ・初回間伐：平成18年度（一部）
- ・2回目間伐：平成27年度（一部初回間伐）

北海道型作業システムは、①森林作業道による集材距離を概ね200m以内（最長でも500m以内を上限）、②山土場を必要としない（小規模分散土場）作業システムを

前提としている。森林整備（間伐）事業として発注したモデルフィールド内の一部（提案区域）において、作業システムの違いによる生産性とコストの比較・検証を行った。なお、本事業の発注に当たり、提案区域での作業を対象に、上記①、②を特別な特記仕様書に盛り込んでいる。

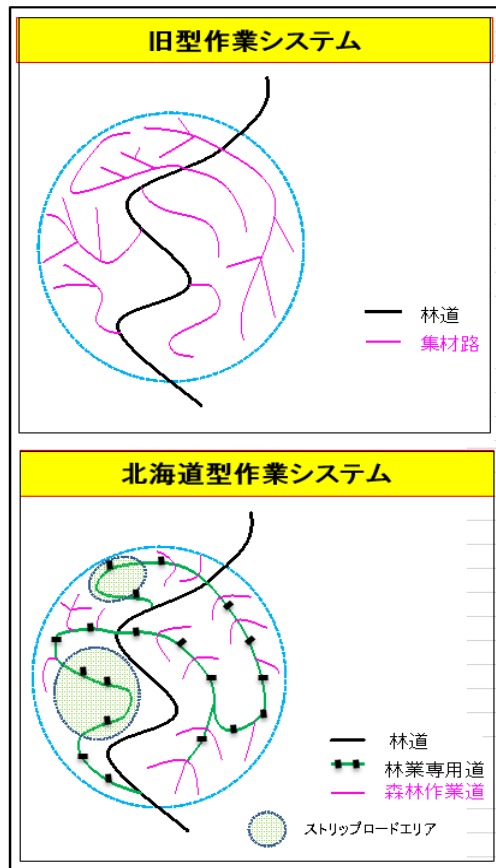


図-2 路網比較イメージ

北海道型作業システムにおいて搬出路を作設する場合は、継続的に使用できる「森林作業道」とする。ここで、ストリップロードエリアとは、10度未満程度の緩傾斜地において林内走行型の作業車両が入る部分であり、ストリップロードとは、地面（列状間伐の場合は、伐採列）の切り盛りを行わずフォワーダ等が集材時に（場所によっては枝条を敷き詰める）1～3回程度走る道である（写真-2・3）。

### 林業専用道の開設

平成 26 年度にモデルフィールド全域を網羅する林業専用道を 4 路線（延長計 7,137m）開設した。その結果、路網密度は、既設の林道を含め 19m/ha→68m（人工林のみ）、15m/ha→52m/ha（人工林+天然林）へ向上した。

林業専用道の配置に際しては、切盛土量や工作物の低

減のほか、集材距離の短縮、直接木寄せや林内へのアクセスのしやすさなど、施業に資するよう考慮した（写真-1）。



写真-1 作設した林業専用道

### 北海道型作業システム実証調査

森林整備事業の発注（平成 27 年度）に当たり、事業地の一部区域（61.35ha）を「北海道型作業システム提案区域」に選定し保育間伐（活用型）を実行した。この提案区域は 3 区域（以下区域 1, 2, 3 と呼ぶ）に分割し、以下に示す作業システム A および B（以下 A, B と略称）によって作業を行った。

区域 1 では作業システム A による作業、区域 2 では作業システム A（面積割合 32%）と作業システム B（同 68%）の併用、区域 3 では作業システム B によって作業が実施された。

#### 【作業システム A】

林業専用道からの直接木寄せ・造材、または、伐採列をストリップロードとしたハーベスタ伐木造材、フォワーダ集材

- ・ハーベスタ 2 台（伐倒・枝払・玉切り）
- ・グラップル 1 台（集材・積込）
- ・フォワーダ 1 台（運搬）
- ・グラップル 1 台（荷下し・巻立） 計 5 人

#### 【作業システム B】

標準的な森林作業道を配置し、森林作業道上での造材、フォワーダ集材

- ・チェンソー 1 台（伐倒）
- ・グラップル 1 台（木寄せ）
- ・プロセッサ 1 台（枝払・玉切り）
- ・グラップル 1 台（集材・積込み）
- ・フォワーダ 1 台（運搬）
- ・グラップル 1 台（荷下し・巻立） 計 6 人

各提案区域の林況と事業実績は表―1の通りである。また作業状況を写真2～4に示す。

表―1 林況・事業実績

提案区域	作業システム	林小班	面積 ha	植栽年度	平均傾斜度	路網密度(m/ha)		出材量実績 m <sup>3</sup>
						林業専用道	森林作業道	
1	A	1043へ	7.23	S55	10			
		1044に	9.36	S45	11			
		小計	28.36			59	8	945
2	A:32% B:68%	1042か	2.20	S44	10			
		1042よ	6.71	S43	11			
		1042た	12.80	S43	16			
		小計	21.71			53	105	666
3	B	1041と	6.60	S57	20			
		1041の	4.68	S56	14			
		小計	11.28			49	164	395
計			61.35			55	71	2,006

※ 樹種は全小班、トドマツ(出材量には、侵入広葉樹を含む)  
 ※ 路網密度・林業専用道には既設林道を含む。

要因は、作業システム B (チェーンソーシステム) を採用しており、先山での伐木造材 (木寄せ) 作業が、フォワーダの能力 (積載量・走行速度) に追いつかず、平均積載量が少なくなっていることが見て取れる。



写真―4 林業専用道沿いでの小規模分散土場



写真―2 フォワーダがストリップロード (伐採列内) に入り、グラブプルにより積み込み作業を行っている状況

表―2 土場における工期調査結果

	フォワーダ	1台あたり	搬入量	作業システム	労働
	搬入回数	平均積載量	(A)×(B)=	人数	生産性
	(A)	(B)	(C)	(1)	(C)÷(1)
提案区域1	13	6.2 m <sup>3</sup>	80.6 m <sup>3</sup>	5人	16.1 m <sup>3</sup> /人・日
提案区域2-①	16	6.2 m <sup>3</sup>	99.2 m <sup>3</sup>	5人	19.8 m <sup>3</sup> /人・日
提案区域3	16	3.0 m <sup>3</sup>	48.0 m <sup>3</sup>	6人	8.0 m <sup>3</sup> /人・日

※1 各区域とも土場までの平均集材距離200mでの作業で計測

※2 各区域とも先行伐倒していない状態で計測



写真―3 ストリップロードにおいて土壌保全に配慮し、フォワーダ走行前に枝条を敷き詰めた状態

表―3 提案区域の生産コストと労働生産性

提案区域	作業システム	林小班	面積 ha	植栽年度	平均傾斜度	路網密度(m/ha)		出材量実績 m <sup>3</sup>
						林業専用道	森林作業道	
1	A	1043へ	7.23	S55	10			
		1044に	9.36	S45	11			
		小計	28.36			59	8	945
2	A:32% B:68%	1042か	2.20	S44	10			
		1042よ	6.71	S43	11			
		1042た	12.80	S43	16			
		小計	21.71			53	105	666
3	B	1041と	6.60	S57	20			
		1041の	4.68	S56	14			
		小計	11.28			49	164	395
計			61.35			55	71	2,006

※ 樹種は全小班、トドマツ(出材量には、侵入広葉樹を含む)  
 ※ 路網密度・林業専用道には既設林道を含む。

### 3) 生産性調査結果

調査は、各提案区域における1日の丸太土場搬入量を計測し労働生産性を算出した(表～2)。なお、提案区域2-①は、作業システムAを採用した区域である。

労働生産性は、提案区域3で最も低く8.0m<sup>3</sup>となり、他の区域に比して5割～4割未満の結果となった。その

### 4) 作業日報調査結果

作業日報を基に、生産コストと労働生産性を算出した(表～3)。1日の作業時間は7.5時間(ミーティング0.5時間含む)であった。

#### ① 労働生産性について

日報から算出した労働生産性は、提案区域1では

23.6m³/人日となり、提案区域3の5.3m³/人日と比較し約4倍となった。

ちなみに、北海道庁では林業事業者の素材生産性について、平成23年度の7.4m³/人日から平成34年度までに12.1m³/人日になることを目標としている1)。また、森林総合研究所北海道支所では、帯状伐採の生産性について、旧システム9m³/人日からCTLでは30~40m³/人日になるとし、当面は18m³/人日を目標としている2)。

② 生産コストについて

提案区域3は、8,645円/m³となり、提案区域1の2,163円/m³と比較し4倍となった。同区画の作業システムは、チェーンソー・グラブ・プロセッサを用いていることにより、伐木・木寄せ・造材のコストが高くなっている。また、前述の工期調査結果のとおり伐木・造材(木寄せ)における生産性の低さが、その後の集材・巻立作業での手待ち時間を大きくし、システム全体でも高コスト化の一因になったと判断される。

③ 提案区域の評価について

以上の調査で、各提案区域によって地形条件等に差異はあるが、区域1と3を比較すると、区域1の方が労働生産性は約4倍、生産コストは約4分の1となり、どちらも作業システムA、すなわちハーベスタ伐木造材とフォワーダ集材を基本にしたストリップロードを利用する作業システムの優位性が顕著に現れる結果となった。

表-4 試算に当たっての前提因子

※ ①は、既設林道対応、②は林業専用道作設対応
・林業専用道(既設林道含む)の路網密度:①15m/ha、②55m/ha
・搬出路作設距離:①=7,885m(図上試算)、②=4,360m(実績)
・平均集材距離:①=645m(図上試算)、②=248m(実績)
・2回目間伐以降の搬出路作設経費:①では、従来の集材路を作設することとし、毎回の間伐等の都度、追加の作設費を見込む。
②では、森林作業道(緑り返しの使用に耐える土構造)を作設するため作設費は見込まない。
・固定費(人員輸送費、機械類運搬経費)は、539千円(実績)を直接経費に加算する。
・丸太生産量(生産量):間伐=2,006m³(実績) 毎回同量と仮定 主伐=15,092m³(246m³/haと仮定)
・トドマツ原木丸太価格:初回 間伐=6,500円/m³(原材料) 2回目間伐=7,044円/m³(実績(原材料+低質材)) 3回目間伐=8,600円/m³(低質材) 主伐=11,100円/m³(一般材)
・林業専用道作設距離:2.457m(実績)、開設費:16,859円/m(実績)
・一般的に主伐の生産性は間伐より高く、そのためコストは低くなることが多いが、ここでは同じと仮定した。
・林業専用道は、初回間伐前に新設すると仮定した。
・林業専用道維持管理経費:草刈11円/m、路面整正11円/m、敷砂利(砕石費+敷設費)=700円/5cm厚/m
・施業方法については、比較をわかりやすくするため、単層林施業群(トドマツ伐期齢65年)を当てはめて試算する。

次に、路網配置の違いによる生産コスト並びに利益見込みの比較を行った。提案区域全体を1つの施業団地と捉えて、①既設林道(林業専用道を作設しない)で対応する場合、②林業専用道を作設する場合とし、さらには、③路網整備後(林業専用道と森林作業道を作設後)次回以降の間伐等の場合、とした。これらそれぞれの生産コストを算出し、これらをもとに、初回間伐から主伐までのトータルコストと利益見込みを試算した。試算に当たっての前提は、表-4のとおりである。

1) 生産コスト

表-5-1の直接経費欄は、②欄が提案区域3カ所の合計実績で、③欄は各路網を設置後であり、搬出路等作設経費が発生しない。①欄は、②をもとに林業専用道の新設しないことによって発生する搬出路等作設コストと集材コストを加算している。

表-5-1 路網設置状況別生産コスト

ケース	① 既設林道		② 林業専用道新設		③ 路網整備後	
	645m		248m		248m	
平均集材距離	作業人日	経費(千円)	作業人日	経費(千円)	作業人日	経費(千円)
伐木	41	1,831	41	1,823	41	1,823
造材(木寄せ)	28	1,640	28	1,628	28	1,628
直 小計	69	3,471	69	3,452	69	3,452
集材	123	7,230	48	2,858	48	2,858
巻立	29	1,528	29	1,528	29	1,528
接 小計	152	8,757	76	4,386	76	4,386
搬出路等作設	20	852	11	472		
その他	19	266	19	266	19	266
経 検知	14	188	14	188	14	188
小計	53	1,306	44	926	33	454
計	273	13,535	189	8,764	178	8,292
費 固定費(人員輸送費+機械類運搬経費)		539		539		539
合計	273	14,074	189	9,303	178	8,831
林業専用道新設費(※16,859円/m)			2,457m	41,422		
総計		14,074		50,725		8,831

表-5-2 路網設置状況別生産コスト

ケース	① 既設林道		② 林業専用道新設	
	作業人日	生産費(千円)	作業人日	生産費(千円)
各伐採時生産コスト(生産量)		(円/m³)		(円/m³)
初回間伐	273	14,074	189	9,303
(2,006m³)	(20)	7,016	(11)	4,637
2回目間伐	263	13,655	178	8,831
(2,006m³)	(10)	6,807	(0)	4,402
3回目間伐	258	13,438	178	8,831
(2,006m³)	(5)	6,645	(0)	4,402
主伐	256	13,330	178	8,831
(15,092m³)	(2.5)	6,618	(0)	4,402

※ 搬出路等作設に係る作業人日は、下段( )内数のとおり設定。

表6 路網設置状況別 利益見込み比較

伐採年度	丸太価格 円/m <sup>3</sup>	生産費 円/m <sup>3</sup>	生産量 m <sup>3</sup>	利益見込額(千円)		林業専用道開設費の回収(千円)	
				(丸太価格-生産費)×生産量		専用道の維持	新設費 41,422
				既設林道	専用道新設(A)	修繕費(B)	(A)-(B)-新設費残
1回目 H17	6,500	表5 より	2,006	-1,035	3,737	0	-37,685
2回目 H27	7,044	表5 より	2,006	475	5,300	1,901	-34,286
3回目 H37	8,600	表5 より	2,006	3,922	8,421	2,036	-27,901
主伐 H52	11,100	表5 より	15,092	67,643	101,087	2,198	70,988
合計			21,110	71,005	118,545	6,135	70,988

※ 林業専用道維持修繕：H17～27年度 草刈5回、路面整正2回、敷砂利1回  
 : H28～37年度 草刈10回、路面整正2回、敷砂利1回  
 : H38～52年度 草刈15回、路面整正3回、敷砂利1回 としている。

次に表-5-2で、各間伐・主伐時における生産コストを比較した。

初回間伐では、①が7,016円/m<sup>3</sup>に対して、②が4,637円/m<sup>3</sup>で約66%、主伐では、①が6,618円/m<sup>3</sup>に対して、②が4,402円/m<sup>3</sup>で約67%となり、②におけるコスト削減効果が現れている。

## 2) 利益見込み

丸太価格から生産費を差し引き、どのような利益が見込まれるか比較した(表-6)。既設林道で実行した場合は、初回間伐では1,035千円の赤字となり2回目間伐から黒字に転じ、主伐を終えた段階で合計71,005千円の利益となる。林業専用道で実行した場合は、初回から黒字となり主伐後の合計で118,545千円となる。以上、生産コスト(表-5)と利益見込み(表-6)から、林業専用道の密度を高めたことによるトータルコスト削減効果と利益拡大が見込まれる結果となった。

なお、林業専用道の開設費は公共投資であるため事業費として取り扱わないが、参考までにその新設費と維持修繕費を含めて考えた場合を試算(表-6右側欄)したところ(割引率は見込んでいない)、3回目間伐までは赤字となるが、主伐を終えた段階で70,988千円の黒字に転じる結果となった。

## おわりに

作業システムの選択に当たっては、ハーベスタ・フォワーダシステムの採用、さらには、緩傾斜地では、森林作業道を作設せず林内走行を前提としたストリップロードで対応することで、労働生産性の向上が顕著に現れた。

今回の調査では、ハーベスタ2台・グラップル2台・

フォワーダ1台の計5台の高性能林業機械等によるシステムを採用しているが、さらなる生産性の向上(機械台数の減などによって)の余地もあると考えられる。他の事業地においては、伐採方法や地形条件等の諸条件を勘案し、最適な高性能林業機械と作業システムを選択することが肝要である。

試行的に実証事業として実施した林業専用道の路網密度を高める北海道型作業システムにおいては、森林作業道等の延長が短くなるため、その作設コストと集材コストの削減、さらに2回目以降の間伐・主伐までのトータルコスト削減と利益拡大が見込まれた。

素材生産までの労働生産性とコストにおいて一定の成果を得たが、林業専用道の開設効果は、その後の造林・保育作業においても、高効率・低コスト化につながることから、森林整備全体のコスト低減にも効果的であると考えられる。

## 引用文献

- 1) 北海道水産林務部「低コスト施業の手引き」平成26年3月
- 2) 森林総研北海道支所「緩中傾斜を対象とした伐採造林一貫システムの手引き」平成28年2月24日