

# タワーヤード・プロセッサ・フォワーダ型集運材作業システムにおける集材路と架線の検討

櫻井 倫\*・酒井秀夫\*・小林洋司\*

## Studies on Location of Skidding Road and Cable with Yarding and Hauling Systems of Mobile-Yarder, Processor, and Forwarder

Rin SAKURAI\*, Hideo SAKAI\* and Hiroshi KOBAYASHI\*

### 1. はじめに

急傾斜地の木材搬出作業に対しては、タワーヤードとプロセッサによる作業システムに期待が寄せられている。しかし、この作業システムがその能力を発揮するためにはある程度高い密度の路網が必要であり、経済的に厳しい現在の我が国の林業の状況下では、低規格な林道である集材路を作設し、トラックが通行可能な林道端までフォワーダによる運材作業を中継手段として行うケースも多い。

また、タワーヤードによる集材作業では、その機動性を活かすために道路を伐区に沿って作設し、きめ細かく架線の張替えを行うことが標準的な作業方法とされている。この場合、作業道、集材路を突っ込み型の線形で開設し、到達補助としてタワーヤードを用いている事例も少ない。特に既存の林道、作業道から見て奥に細長い形状をもつ伐区の場合、道路を伐区に沿うように奥の方まで作設を行っても路線の作設延長あたりの集材材積は少なくなるため、必ずしも路線延長を大きくすることが良策とは限らない<sup>4)</sup>。

そこで、「タワーヤードで集材し、作業土場においてプロセッサで造材、フォワーダにより林道まで運材を行う」という集運材作業システムにおいて、矩形の伐区を設定し、筆者が開発したシミュレーションシステムを用いて集材路と架線の分担に関していくつかのパターンを設定し、比較、検討を行った。

前報<sup>4)</sup>では、作業土場は一ヶ所のみとし、タワーヤードおよびプロセッサの作業位置は一点に固定し、タワーヤードの架線の張替えは行わずにタワーヤードは到達補助に徹するシステムについて検討を行った。今回は、タワーヤードおよびプロセッサが複数の土場を移動していく場合も含めて検討することとし、到達補助としてタワーヤードを用いる場合にも架線の張替えを行う、タワーヤードの典型的な作業システムについて検討を行った。

### 2. 設定条件

ここでは、タワーヤード・プロセッサ・フォワーダという集運材作業システムにおいて、以下のような条件を設定した。なお、タワーヤードのパン長は 200 m を上限とした。

\* 東京大学大学院農学生命科学研究科森林科学専攻

\* Department of Forest Science, Graduate School of Agricultural and Life Sciences, The University of Tokyo.

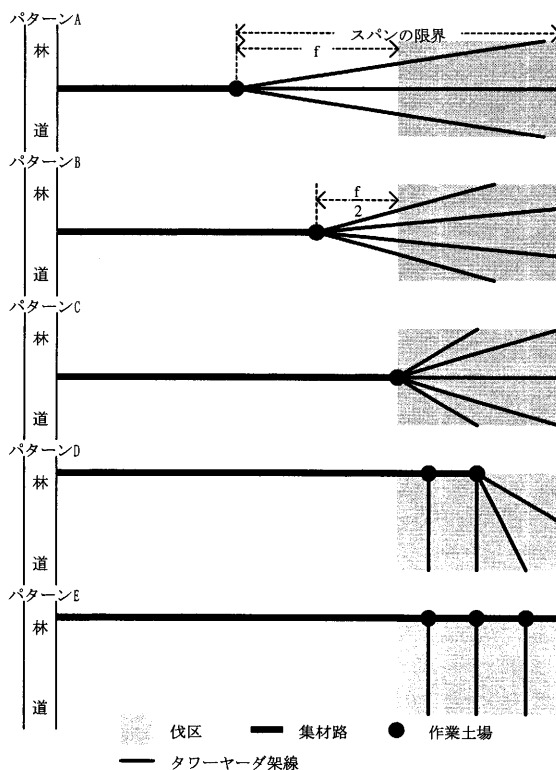


図-1 架線配置と集材路のパターン

Fig. 1. The Pattern of Cable Location and Skidding Trail.

集材路の作設および架線の架設法に関して、次の5パターンを設定した(図-1)。

- A: 集材路の作設延長は極力短くすることとし、タワーヤードによって到達補助を行う。集材路はスパンの限界となる地点まで作設する。
- B: 集材路をAと次項Cの中間点まで作設する。
- C: 集材路を伐区のエドまで作設する。
- D: 伐区の中程まで集材路を作設し、伐区の手前側では架線を並行に、奥では扇形に架設する。
- E: 伐区が一番奥まで集材路を作設し、架線は並行に架設する。

伐区の形状は矩形とし、次の3種を設定した(図-2)。

幅広伐区: 林道から見て幅広く、奥行が浅い伐区。奥行と間口の比は1:2.5とする<sup>3)</sup>。

正方伐区: 正方形の伐区。奥行と間口の比は1:1である。

奥深伐区: 奥行が長く、間口が細い伐区。奥行と間口の比は2.5:1とする<sup>3)</sup>。

伐区の面積には、0.4 ha程度、0.9 ha程度、1.6 ha程度の3通りを設定した(表-1)。

林道と伐区との距離については、100 m、300 m、500 mの3通りを設定した。立木や材積の数値には、群馬県松井田町で1998年に行われた作業時に得られたデータ<sup>2)</sup>を用い、間伐対象木の収穫本数はhaあたり140本とした。なお、面積1.6 ha程度の奥深伐区の場合、タワーヤードを伐区に隣接させてはじめて伐区全域の集材が可能になるため、この場合の架線架設のパターンA

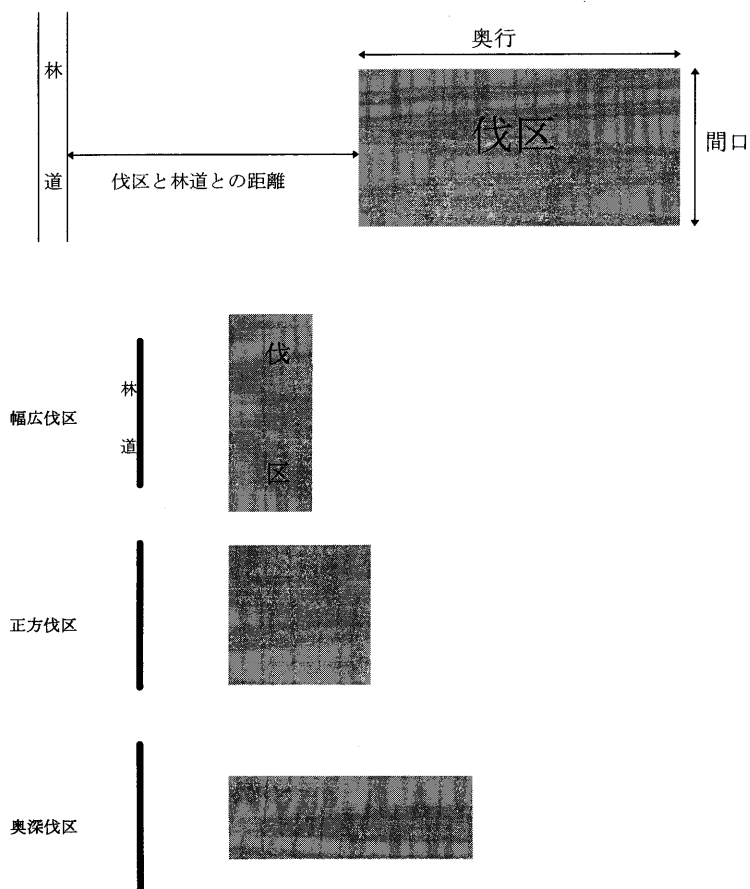


図-2. 伐区の形状

Fig. 2. Form of the Site.

表-1 想定する伐区の大きさ  
Table 1. The Size of Area for Simulation

伐区大きさ	形状	間口(m)	奥行(m)	面積(ha)
0.4 ha	幅広	100	40	0.4
	正方	60	60	0.36
	奥深	40	100	0.4
0.9 ha	幅広	150	60	0.9
	正方	90	90	0.81
	奥深	60	150	0.9
1.6 ha	幅広	200	80	1.6
	正方	130	130	1.69
	奥深	80	200	1.6

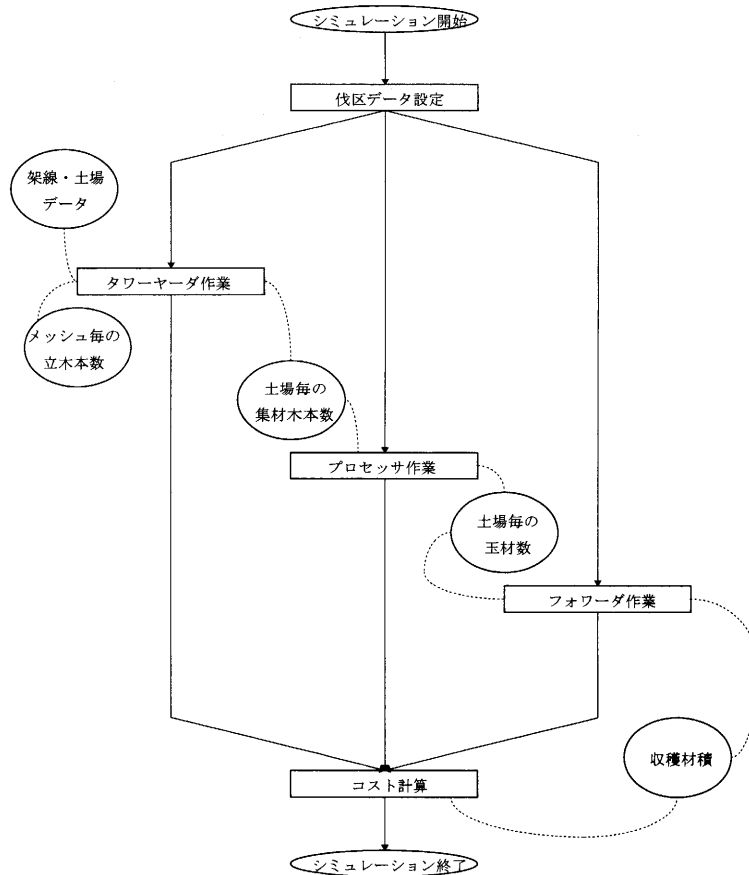


図-3. シミュレーションの流れ

Fig. 3. The Flow Chart of the Simulation.

とBについては検討の対象外とした。また、伐区が林道から100 mしか離れていない場合、パターンAの中には集材路の作設を行わなくても林道から伐区が一番奥までタワーヤードの架線が到達可能なケースがある。この場合、集材路は作設しないこととした。

シミュレーションシステムの本体には既報のもの<sup>4)</sup>を用い、新たな要素として土場の移動を追加した。シミュレーションの流れを図-3に示す。シミュレーションに適用した作業時間等のデータには、タワーヤードについては、1998年9月に宮城県登米町で観測したO社製RME-200Tによる間伐の集材作業のデータおよび東京大学秩父演習林で観測された事例<sup>1)</sup>を用いた。プロセッサについては、群馬県松井田町の約60年生のスギ集材現場で1998年9月に行われた、I社製CT-500(ヘッド:同社製GP-35A)の時間観測データを用いた。フォワーダについては1997年7月および1998年9月に宮城県登米町で観測したO社製RMF-CHのデータを用いた。

今回のシミュレーションでは、伐区の東西方向、南北方向にそれぞれ10 m間隔のメッシュを設定し、それぞれのメッシュごとにどの架線を用いて集材するかを決定した。また架線の元柱、先柱や土場の位置もメッシュ上の座標で表した。

表-2 作業コスト (円/m<sup>3</sup>)  
Table 2. Working Costs (Yen/m<sup>3</sup>)

0.4 ha の伐区		架線配置パターン				
伐区形状	伐区から林道までの距離 (m)	A	B	C	D	E
幅 広	100	<b>9881</b>	10163	10490	10569	11271
	300	15190	<b>14929</b>	15275	15444	16167
	500	20004	<b>19721</b>	20078	20340	21053
正 方	100	<b>8962</b>	9585	10275	10843	11460
	300	14675	<b>14672</b>	15542	16159	16756
	500	<b>19943</b>	19949	20849	21469	220079
奥 深	100	<b>9754</b>	10034	10045	12401	11840
	300	14936	<b>14907</b>	14928	17216	16524
	500	19833	<b>19819</b>	19885	22011	21169
0.9 ha の伐区		架線配置パターン				
伐区形状	伐区から林道までの距離 (m)	A	B	C	D	E
幅 広	100	9787	9578	<b>8907</b>	9194	9198
	300	12559	11747	<b>11023</b>	11381	11393
	500	14698	13867	<b>13131</b>	13561	13562
正 方	100	9228	9071	<b>8964</b>	9175	9278
	300	11980	11466	<b>11319</b>	11568	11684
	500	14381	13855	<b>13696</b>	13979	14090
奥 深	100	9525	9209	<b>8940</b>	9279	9692
	300	11703	11388	<b>11105</b>	11384	11825
	500	13881	13569	<b>13277</b>	13528	13978
1.6 ha の伐区		架線配置パターン				
伐区形状	伐区から林道までの距離 (m)	A	B	C	D	E
幅 広	100	9516	9173	<b>8498</b>	9839	9655
	300	11375	10380	<b>9697</b>	11080	10883
	500	12569	11595	<b>10893</b>	12297	12131
正 方	100	9542	8840	<b>8500</b>	8532	8725
	300	10703	9998	<b>9655</b>	9674	9892
	500	11857	11144	<b>10798</b>	10843	11,050
奥 深	100	( 9046)	( 9046)	9046	<b>8510</b>	8801
	300	(10273)	(10273)	10273	<b>9716</b>	10026
	500	(11505)	(11505)	11505	<b>10908</b>	11240

太字: A から E の 5 パターンの中で最も低コストとなるもの

集材路の作設費用は1 m 当たり 927 円(登米町森林組合実績値)とし、費用の全額を一回の集材作業で償却するものとした。

### 3. 結 果

シミュレーションによる計算結果を表-2 に示す。その概要は以下のとおりである。

面積 0.4 ha 程度の伐区においては、伐区から林道までの距離が 100 m の場合、伐区形状によらずパターン A が有利となった。また、伐区が林道から 500 m 離れている正方伐区でもパターン A が有利となった。その他の場合ではパターン B が最も低コストとなった。

面積 0.9 ha 程度の伐区の場合、伐区が林道から 500 m 離れている正方伐区ではパターン C が最も有利となった。

面積 1.6 ha 程度の伐区では、奥深伐区ではパターン D が最も低コストとなった。正方伐区および幅広伐区においては林道からの距離によらずパターン C が最も有利となった。

### 4. 考 察

集材路・架線の各パターンについてみると、コストが低くなるのはパターン A から C に集中しており、パターン E ではコストが最低となることはない。また伐区面積が大きい場合、コスト最低となる集材路の作設延長は大きくなる。これは、収穫材積が大きくなることにより、タワーヤードの集材コストの低下の方が、集材路作設延長の増加に伴うコストの上昇より大きいことによるものである。以下、生産コストに関して伐区面積ごとに考察を行う。

**伐区面積が 0.4 ha 程度のとき** 0.4 ha 程度の小さい伐区ではパターン A もしくはパターン B のいずれかが最も低コストとなっている。伐区が林道から 100 m 離れている場合にはパターン A が最も低コストであり、伐区が林道から 300 m, 500 m と離れる場合には、パターン B が最も低コストとなる。正方伐区で林道から伐区までの距離が 500 m の場合ではパターン A がもっとも低コストであるが、パターン B とのコストの差は  $1 \text{ m}^3$  当たり 6 円と小さく、ほぼ同様であるといえる。

伐区が林道から 100 m しか離れていない場合、伐区の奥行が 100 m 以下のときには、集材路の作設を行わなくても伐区が一番奥までタワーヤードの架線が届くため、集材路作設費は 0 円となる。このため、伐区の形状にかかわらず最も低コストとなる。

また、伐区が林道から 300 m 以上離れるとほぼパターン B が最も低コストとなる。このことから、集材路の作設延長が大きすぎても小さすぎてもコストは増大し、コストの増減は単調に集材路の作設延長と連動するものではないことが明らかとなった。

**伐区面積が 0.9 ha 程度のとき** 0.9 ha 程度の伐区では、いずれの場合もパターン C が最も有利となる。0.9 ha の伐区においても、林道から 100 m しか離れていないときの幅広伐区と正方伐区では、作業道からの架線による集材が可能のため、集材路を作設する必要はない。しかしながら、パターン C が最も低コストとなったことから、0.9 ha の伐区においては、伐区が林道に近くにあっても集材路を作設し、作業時間の減少を図る方が低コストとなることが明らかとなった。

伐区面積が 1.6 ha 程度のとき 面積 1.6 ha 程度の伐区では、幅広伐区および正方伐区ではパターン C が最も低コストとなった。また、奥深伐区ではパターン D が最も低コストとなった。これは、伐区が大きくなったため、生産材 1 m<sup>3</sup> 当たりの集材路作設コストは低下し、作業コストを決定する要素として作業時間が大きなウェイトを占めるようになってくるためである。また奥深伐区では、パターン C の場合タワーヤードのスペンが 200 m と長いいため、集材作業の能率は低下する。このためスペンが短いパターン D の方が低コストとなっている。

次に、タワーヤードのスペン長について検討を行うことにする。

伐区面積が 0.4 ha 程度のとき 伐区面積が 0.4 ha のとき、架線長 200 m で最も低コストとなるのは、集材路の作設を必要としない、奥深伐区の伐区から林道までの距離が 100 m の場合、正方伐区の林道から伐区までの距離が 500 m の場合だけである。後者については、2 番目にコストが低くなるパターン B とのコストの差は m<sup>3</sup> 当たり 6 円と小さい。

伐区面積が 0.9 ha 程度のとき 伐区面積が 0.9 ha のとき、パターン C が最も有利となっており、このときの架線長は 60~150 m となっており、架線長 200 m で最も有利となる事はない。

伐区面積が 1.6 ha 程度のとき 幅広伐区ではパターン A, D, E がコストが高く、ついでパターン B のコストが高くなっている。正方伐区ではパターン A が際立って高価であり、その他のパターンとパターン C との間のコストの差はパターン A との差よりも小さい。また奥深伐区で最も高コストとなるのはすべてパターン C となっている。これらの高コストとなるパターンに共通するのはタワーヤードのスペン長が 200 m で、本タワーヤードの最大スペン長に一致することである。

上記のことから、タワーヤードの架線長を 200 m と長くするような集材方式は、基本的に望ましくないといえることができる。

それぞれの大きさの伐区について、各パターンの作業コストとタワーヤードのスペンとの関係

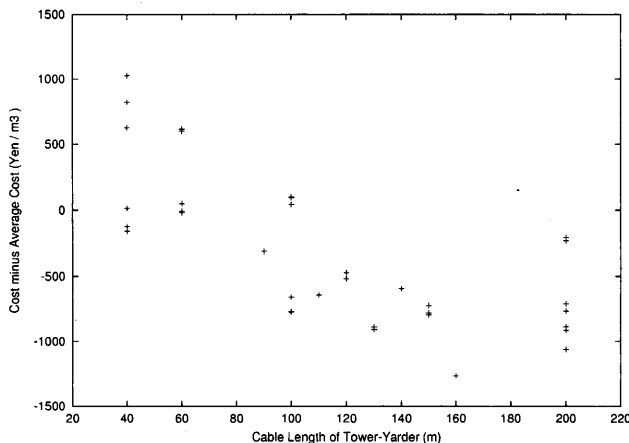


図-4 0.4 ha の伐区についてタワーヤードスペンと作業コストの関係

Fig. 4. Relationship of the Span of Mobile-yarder and Working Costs with 0.4 ha Site.

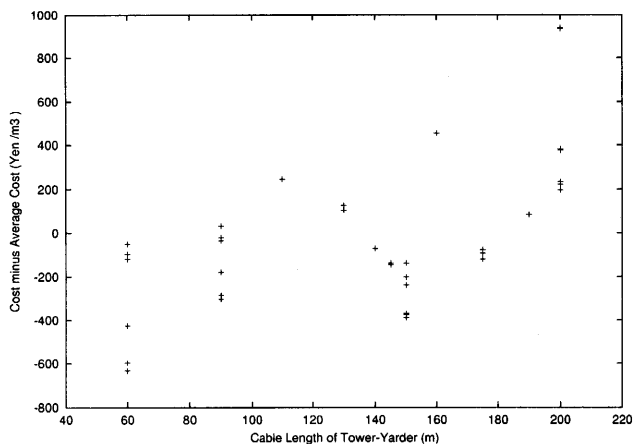


図-5. 0.9 ha の伐区についてタワーヤーダスパンと作業コストとの関係

Fig. 5. Relationship of the Span of Mobile-yarder and Working Costs with 0.9 ha Site.

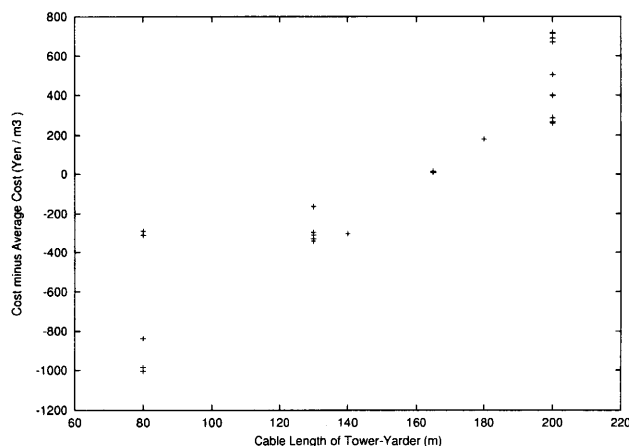


図-6. 1.6 ha の伐区についてタワーヤーダスパンと作業コストとの関係

Fig. 6. Relationship of the Span of Mobile-yarder and Working Costs with 1.6 ha Site.

を示すと、0.4 ha の伐区については図-4、0.9 ha の伐区については図-5、1.6 ha の伐区については図-6 のとおりとなる。なお、タワーヤーダのスパンは代表値として伐区の架線方向の辺の長さを用い、伐区の状態による差異をなくすため、同一の伐区における A から E の 5 パターンの平均コストとの差によって作業コストを表している。

0.4 ha 程度の伐区では、タワーヤーダスパンが長いほどコストは低くなっているが、スパンが 200 m のときだけはコストが上昇している。0.9 ha 程度の伐区では、逆にタワーヤーダスパンが長いほど少しずつコストが上昇している。1.6 ha 程度の伐区では、タワーヤーダスパン長と作業コストの間には明確な正の相関関係が認められる。

伐区が小さければ伐出量は少なく、 $m^3$  当たりの集材路作設費は大きくなるため、集材路を作設するよりもタワーヤーダの架線による集材に重点をおいたほうが良いことが示された。ただし、タワーヤーダの架線長が 200 m になると、集材作業に多くの時間を要するため、コストは逆



に上昇に転じることになる。一方、伐区が大きく伐出量も多い場合には、 $\text{m}^3$  当たりの集材路作設コストは減少する。また、伐出量が増えて作業のサイクル数が増加すると、集材に要する作業時間が全体の作業時間および作業コストに大きく影響するため、集材路を作設し、タワーヤードによる集材距離の短縮を図るほうが望ましいことが明らかとなった。伐区面積が 0.9 ha のとき、タワーヤードスパン長の増加とともに作業コストは微増している。タワーヤード架線と集材路のどちらに重点をおくべきかの境界線は 0.8 ha 付近に存在するものと考えられる。

上記のように、到達用の集材路を作設する場合、タワーヤードのスパンは長すぎても短すぎてもコストが増大することが明らかとなった。また、タワーヤードのスパン長が 80~160 m 程度のときにコストは最小となることがわかった。

## 5. お わ り に

本研究により、タワーヤード・プロセッサ・フォワーダを用いた作業システムにおける効率的な路網作設指針の一端が明らかとなった。

概略の傾向として、小面積の伐区では、集材路の作設延長を極力抑えることが有利であるのに対し、面積の大きな伐区では、ある程度の集材路の作設を行って、集材作業の能率の向上を図る方が有利となることが明らかとなった。

現地調査に当たってご協力いただいた宮城県登米町森林組合および群馬県松井田町森林組合の諸氏に感謝の意を表する。

なお、本研究はその一部を森公弘済会による補助（平成 10 年度）によった。

## 要 旨

林道から離れた伐区において、低規格集材路を作設して、タワーヤード・プロセッサ・フォワーダによる集運材作業を行う場合の架線と集材路の距離について、シミュレーションを用いて作業コストを求め、比較、検討を行った。土場を一ヶ所に固定してタワーヤードを到達補助として用いる場合を 3 例、複数の土場を架線の張替えを行いながら移動して集材を行う場合を 2 例、計 5 例について、次の条件により算定を行った。すなわち、伐区の大きさは小面積、中面積、大面積の 3 通り、形状は林道に対して間口が広い場合、奥行がある場合および正方形の場合、林道から伐区までの距離は 100 m、300 m、500 m とした。計算の結果、面積 0.4 ha の伐区では、伐区が林道に近い場合には集材路の作設延長を最大限抑えるパターンが最も低コストとなり、伐区が林道から離れている場合には、集材路を途中まで作設するパターンが有利となった。面積 0.9 ha の伐区では、集材路を伐区に隣接するまで作設し、一ヶ所に固定されたタワーヤードより扇形に架線を張替えて集材を行う方式が有利となった。面積 1.6 ha の伐区においても、伐区の間口が広い場合および正方形の場合には同様の結果となった。奥行が長い場合には、伐区の中央まで集材路を作設し、タワーヤードを移動させながら集材を行うシステムが最も有利となった。すなわち、伐区が小さい場合には、タワーヤード架線の分担を大きくして作業にかかる費用を削減する方式が有利となり、伐区が大きい場合には、集材路の比率を大きくして、作業速度の向上を図る方が有利となることが明らかとなった。また、その境界は 0.4 ha から 0.9 ha の間に存在した。

キーワード：集材路・シミュレーション・伐区形状・林道から伐区までの距離・伐区面積

## 引用文献

- 1) 朴 相俊・岩岡正博・酒井秀夫・小林洋司(1994) タワーヤードによる間伐作業システムと適正路網密度. 東大演報 92: 175-197.
- 2) 林業機械化協会(1998) 小型プロセッサとホイール型フォワーダを組み合わせたスギ間伐作業事例. 機械化林業 534: 55-62.
- 3) 酒井秀夫(1987) 合理的集運材方式に基づく長期林内路網計画に関する研究. 東大演報 76: 1-85.
- 4) 櫻井 倫・岩岡正博・酒井秀夫・小林洋司(1999) タワーヤード・プロセッサ・フォワーダ型集運材作業システムのシミュレーションによる検討. 東大演報 102: 113-132.

(2000年10月31日受付)

(2001年5月22日受理)

## Summary

This study was conducted to calculate the profitable location of skidding road and cable in mobile-yarder, processor, and forwarder logging system by simulation methods. Five patterns of road and cable positions were calculated under the following condition. The size of site is 0.4 ha, 0.9 ha, and 1.6 ha, shape is oblong, square, and rectangle, distance from forest road is 100 m, 300 m, and 500 m. For the small site, to set the mobile-yarder and the processor away from the site is the most profitable one. In the case of middle site, to construct skidding road close to the site, and not to move the mobile-yarder is profitable. In the case of large site, if the depth of the site is longer than width, to construct skidding road to the middle area of the site and to move the landing is profitable.

**Key words:** skidding road, simulation, shape of site, distance from forest road to site, area of site

# Studies on Location of Skidding Road and Cable with Yarding and Hauling Systems of Mobile-Yarder, Processor, and Forwarder

Rin SAKURAI, Hideo SAKAI and Hiroshi KOBAYASHI

This study was conducted to calculate the profitable location of skidding road and cables in mobile-yarder, processor, and forwarder logging system. Five patterns of road and cables, with sites have various shape, area, and distance from the forest road were calculated. For the small site, to set skidding road away from the site is profitable. In the case of middle site, to construct skidding road close to the site is profitable. In the large site, if the depth of the site is longer than width, to construct skidding road to the middle depth of site is profitable.