

6

第6部

路網と作業システム

第1章

路網整備の推進

1 路網整備の状況

戦後造成された人工林が本格的な利用期を迎えた今、森林資源の循環利用を確立し、林業の成長産業化と森林の適切な管理を実現するためには、林道（林道及び林業専用道。以下同じ。）や森林作業道による路網を整備し、造林・保育等の作業や木材生産、木材輸送の効率化を図っていくことで山元の収益力を高めていく必要があります。

フォレスターは、こうした路網整備の必要性を認識し、地方自治体、事業者、森林所有者等の関係者との調整や、路網の配置、伐採・造林、木材輸送等を行う事業者への指導を行う役割を担います。

本章では、林業の成長産業化の鍵を握る路網と作業システムについて、フォレスターが留意すべき点を含めて説明します。

現状

林内路網は、国道、都道府県道などの公道、農道、そして林道、森林作業道で構成されます。我が国の令和3（2021）年度末の林内路網の密度は24.1m/ha、林道及び森林作業道の総延長は約41万kmとなっています。

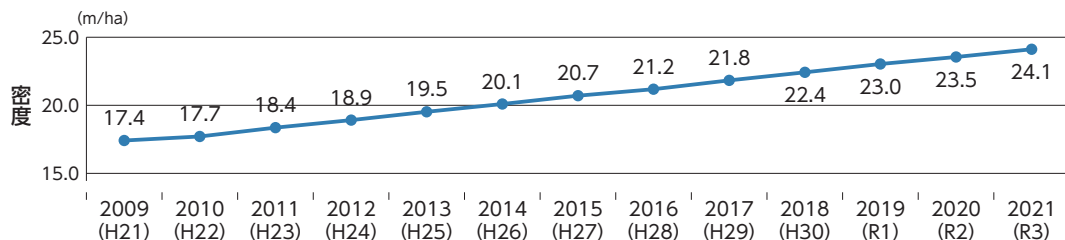


図6-1 林内路網密度の推移

資料：林野庁業務資料

注：林内路網密度は、公道、農道、林道、森林作業道の現況延長を森林面積で除したものの。

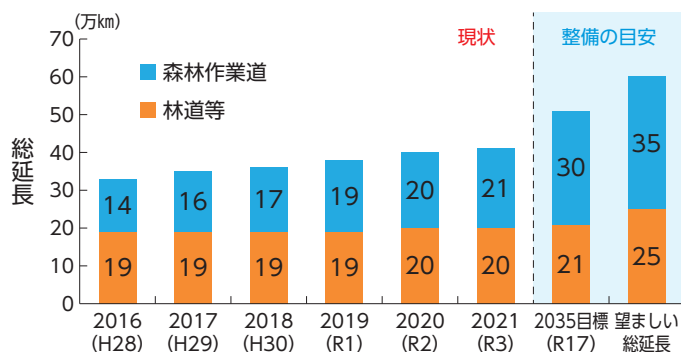


図6-2 路網の総延長

資料：林野庁業務資料

注：林道等には、「主として木材輸送トラックが走行する作業道」を含む。

(参考) 諸外国との比較

ドイツ(旧西ドイツ圏)は、1960年代から1970年代にかけて集中的な路網整備が進められたことから、路網密度が約118m/haとなっており、オーストリアも、1990年代半ばの時点で約89m/haとなるなど、森林内の路網整備が進み、生産性の高い作業システムが定着しています。

一方、我が国は、アジアモンスーン地帯に属し、高温多雨な気候で、台風や梅雨前線に伴う豪雨が発生します。また、地質的には、大陸プレートに向かって太平洋プレート、フィリピン海プレートが沈み込む変動帯に位置し、複雑な地形・地質となっているだけでなく、地表には火山噴出物に由来する特異な性質をもった土が広く分布し、地形・地質、土質の面から路網整備を進める上で困難な条件があります。

このような立地条件に加え、材価の低迷とともに路網整備に関する取組が消極的になったことや、人工林が利用齢級に達していない林分が多かったことなどの理由から路網の整備が十分には進んでいませんでした。

このため、我が国の気象条件や地形・地質、土質に応じた路網作設技術を普及し、林業の就労環境の改善を図るとともに、高性能な林業機械の積極的な活用による林業生産性の向上、木材等の効率的な輸送のための条件整備を進めていくことが急務となっています。

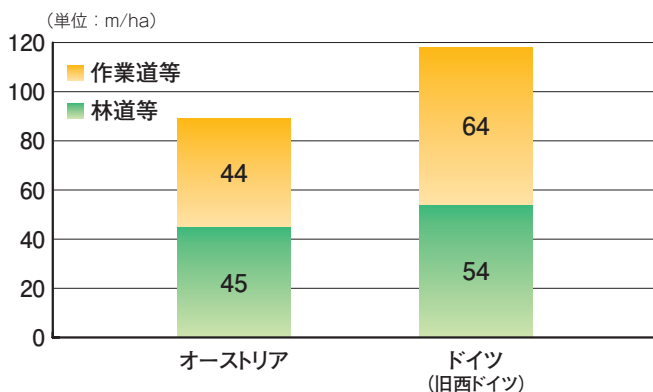


図6-3 林内路網密度の諸外国の状況

資料：BFW「Österreichische Waldinventur」、BMELV「Bundeswaldinventur (BWI)」、林野庁業務資料
 注：オーストリアは、Österreichische Waldinventur 1992/96による生産林の数値。
 ドイツ(旧西ドイツ)はBundeswaldinventur 1986/1989による数値。

2 今後の路網整備の方向

地域の森林において、造林、保育、伐採等の森林施業を効率的に実施し、産出された木材等の林産物を効率的に市場に輸送するためには、幹線、支線、分線の役割を踏まえた林道と森林作業道を効果的に組み合わせることが重要です。

また、森林施業の効率化には、高性能林業機械による作業システムの構築が必要です。

路網の整備に当たっては、森林施業に携わる者、木材の運搬に携わる者、木材加工に携わる者、地方自治体の職員等の関係者が、林道や森林作業道の役割に関する認識を共有し、地域における林業が、継続的かつ産業として成長可能となるよう整備していく必要があります。

近年、日本の人工林はその半数が利用期を迎え、建築用材や木質バイオマス利用の拡大等と合わせ木材生産が増加することが見込まれ、より大型の自動車による木材の輸送を安全かつ円滑に行うことが必要となっています。

一方、集中豪雨等の異常な自然現象が頻発し、被災する林道や森林作業道が増加しており、これまでも増して被災しにくい路網の整備が必要となっています。

このような状況を踏まえ、林道規程及び同運用細則に関して、設計車両、路肩、曲線部の拡幅、縦断勾配、路面、排水施設、林業作業用施設等についての取り扱いを改正し、令和2（2020）年4月から適用しています。主な改正点は、次の通りです。（林道規程と同運用細則は巻末資料に添付します）。

林道規程等の主な改正内容

第4条（林道の種類及び区分）

自動車道の種類をセミトレーラ等大型自動車の通行を対象とする第1種とセミトレーラ等大型自動車の通行を対象としない第2種に区分した。

自動車道の級別の区分を車道幅員で行うこととした。

第9条（設計車両）

設計車両にセミトレーラを追加し、その諸元を明示した。

第12条（路肩）

路肩の幅員を縮小する場合の下限値を0.3mとした。

地形、地質や土質等の現地条件から必要な場合に拡幅が行えることとした。

第17条（曲線部の拡幅）

第1種自動車道に係る曲線半径ごとの拡幅量を追加した。

自動車道2級において車両の前面から後車輪軸までの距離が6m以下の特殊な車両の通行に限定して取り扱っていた拡幅量の縮減を廃止した。

第20条（縦断勾配）

縦断勾配を幹線と支線・分線の自動車道に区分するとともに、幹線の縦断勾配のうち例外値の最急勾配、支線・分線の縦断勾配のうち通常値及び例外値を緩勾配化した。

第22条（路面）

幹線とする自動車道は舗装又は砂利、支線・分線とする自動車道は砂利を基本とした。

路面を砂利とする場合の構造は、林道技術基準に定める「路盤工」とすることを明記した。

路面が砂利であって、縦断勾配が7%を超える区間において路面を強化する必要がある場合の工種及び構造は、路床土の強度特性等から交通荷重の支持が可能であることを確認した工種・工法で行うこととした。

第27条（排水施設）

雨水流出量や流下水の態様等に応じた規格・構造の横断排水施設、路外からの流入水に対応する側溝及び路面排水施設を適切に設置し、路体やのり面等の決壊、路面侵食等を防止しなければならないことを明記した。

第33条（林業作業用施設）

自動車道には、必要な箇所に林業作業用施設を設置しなければならないものとした。

また、林業専用道作設指針は、令和元年度の林道規程及び同運用細則の改正、令和2年度の林道技術基準及び同解説の改正に併せ、令和2年度に改正し、令和3年4月から適用しています。

林業専用道作設指針については次章で説明します。

(1) 路網を構成する道の整理

路網を構成する道の区分と役割分担は以下の通りです。

表6-1 路網の区分

林道	森林経営の効率化、林業・木材産業等の育成、適正な森林の整備、維持・管理等を促進し、森林の多面的機能の持続的かつ高度発揮を図り、必要に応じて、前記に併せ山村地域の交通路として不特定多数の者が利用する公共施設
林業専用道	主として特定の者が森林施業のために利用する公共施設であり、幹線又は支線を補完し、森林作業道と組み合わせて、間伐作業、主伐後の再造林その他の森林施業の用に供する支線林道又は分線林道で普通自動車(10t積トラック)や林業用車両(大型ホイールタイプフォワーダ等)の輸送能力に応じた規格・構造を有する
森林作業道	特定の者が森林施業のために継続的に利用する道であり、主として林業機械(2t積み程度のトラックを含む)が走行する道。集材等のために、より高密度な配置が必要であり、作設に当たっては、経済性を確保しつつ丈夫であることが特に求められるもの

なお、林業専用道の規格・構造は、林道規程に定める第2種自動車道2級のうち「支線・分線の自動車道」の設計速度(時速15kmのみ)、縦断勾配等が該当しています。また、林業専用道は、林業専用道でない林道よりも走行性は低位ながら、普通自動車(10t積トラック)により木材等を安全かつ効率的に運搬することが可能な規格・構造や路線形を有しつつ、森林作業道の配置や林業機械の利用を考慮した効率的な作業システムの構築及び木材等の効率的な運搬に資するものとし、地



写真6-1 幹線林道のイメージ

地域の地形、地質及び気象条件等を踏まえ安心・安全な通行が可能で、被災しにくい線形、施設機能を確保し、土構造を基本とするなど、コスト面においても十分に検討して作設することとしています。



写真6-2 林業専用道(のり面は低く抑えられ、土工量が小さく、林内へのアクセスが容易)



写真6-3 森林作業道(林業機械が集材作業等のため走行する)



図6-4 林道(林業専用道を含む)、森林作業道の役割分担のイメージ

(2) 路網整備水準

効率的な森林経営の基盤づくりを進める上で、路網を構成するそれぞれの道が、木材の輸送距離や輸送量、森林施業の作業システムを勘案して量的にも空間的にも適切なバランスで配置されることが必要です。

最適な作業システムには、理論と法則があります。地域の条件にとらわれない普遍的な因子として林地傾斜があり、傾斜の違いによって想定される作業システムが異なります。このことに着目し、目標とすべき路網整備水準の目安を示します。

路網整備の目的は、間伐・主伐、再造林等の森林施業や木材等の輸送の効率化を図ることによって整備水準を満足させることではありません。作業システムについては、第4章以降で説明しますが、最も重要なことは森林所有者、素材生産を行う事業者など地域の関係者の間で、森林経営と調和する最適な作業システム、生産された木材等の効率的な輸送について十分な検討が行われ、必要な林道、森林作業道それぞれの整備に関する認識を共有していくことです。

表6-2 林地生産力が比較的高い林分を対象とした地形傾斜・作業システムに対応する路網整備水準の目安

区分	作業システム	路網密度 (m/ha)	
		基幹路網 (林道等)	森林作業道
緩傾斜地	車両系	30 ~ 40	70 ~ 210
中傾斜地	車両系	23 ~ 34	52 ~ 165
	架線系		2 ~ 41
急傾斜地	車両系	16 ~ 26	35 ~ 124
	架線系		0 ~ 24
急峻地	架線系	5 ~ 15	—

第2章

作設指針

1 作設指針の整備

林業専用道と森林作業道は、それぞれの役割に応じた規格・構造等で作設できるよう林業専用道作設指針と森林作業道作設指針において基本的事項が示されています。

特に、「作業道」や「作業路」と呼ばれ、それぞれの地域において作設されてきた道は、間伐や主伐、再造林等の施業に繰り返し使用できないものもみられたため、線形や排水処理などの基本的事項等、森林作業道として森林施業の各段階に繰り返し使用するための留意点が明示されました(林業専用道作設指針と森林作業道作設指針は巻末資料に添付します)。

また、利用期を迎える人工林の増加に伴い、伐採時に一時的に利用される集材路の作設が増加しています。集材路の中には、近年頻発する豪雨により崩壊し、林地荒廃や土砂流出等による下流域の被害が生じているものが確認されています。

このため、林野庁においては、令和2年度に「主伐時における伐採・搬出指針」を策定し、主伐時の伐採、集材路や土場の適切な作設についての留意事項を示しました(当該指針は巻末資料に添付します)。

(1) 林業専用道と森林作業道の機能・性能

林業専用道は、素材等を積載した普通自動車(10t積トラック)が安全に走行可能な性能を有する第2種自動車道2級の林道であるため、規格・構造や具備すべき性能、用いる工種工法等は林道規程、林道技術基準に従って決定され、平面図、縦断図等の図面や数量調書、仕様書等の設計図書により施工管理されます。

森林作業道は、使用する林業機械等が安全に走行できるよう、作業を行うオペレーターが、地形、土質等の状況を判断しながら作設します。

交通荷重等に対する支持力は、走行するものが普通自動車か林業用機械等かによって大きく異なります。

(2) 耐久性と経済性の両立

路網は、森林経営の合理化に最も影響を与える施設ですから、実行が予定される作業システム、木材の輸送量、供給先、造林、保育等の森林施業に相応した配置であることが必要であるとともに、それぞれの道に求められる機能を考慮しなければなりません。

「林業専用道」の路線計画・設計に当たっては、予定箇所の作業システム、造林、保育等の森林施業と森林作業道の配置を考慮するとともに、地形・地質等の条件を把握し、地形に沿い切り盛り高が低く、森林への直接的なアクセスや森林作業道を取り付けやすくすることが重要になります。堅固な土構造を原則とするため、地形・地質、土質などの面から開設の支障となる因子の回避方法を検討し、必要な機能を確保することを前提条件に必要最低限の経費で整備を行うよう留意します

が、構造物の設置や切土・盛土の高さを高くせざるを得ない場合等があります。

林業専用道は、森林作業道と組み合わせて森林施業の効率的な実施や木材等の効率的な輸送のために恒久的に使用するものであることから、開設経費の低減のみに囚われず、構造物の設置等が必要な場合には、適切な工種、工法等を選定して当該路線の機能を確保するとともに、維持管理も含めた生涯コストの低減も考慮して整備することが必要です。

森林作業道の作設に当たっては、実行される作業システム、造林、保育等の森林施業に相応した森林作業道の配置や使用する林業機械等の諸元を考慮するとともに、地形・地質、土質などの自然的条件を適切に把握し、繰り返しの使用に耐える丈夫な道づくりを行うことが必要です。

森林作業道は、造林、保育、間伐、主伐の各施業に使用するため、いずれかの施業の段階で作設されることから、施主である森林所有者や当該森林施業を行う事業者の経済観念、事業者の指示に従って作業するオペレーターの作業経験や習熟度などによって森林作業道の耐久性や経済性に差が生じやすいですが、効率的な作業システムの構築や施業実施のための丈夫で繰り返しの使用ができる道を必要な機能を確保した上で、低コストで整備することについて、これらの者間で共通認識を醸成することが重要です。

2 林業専用道作設指針

(1) 林業専用道作設指針制定の趣旨

林業専用道は、第2種自動車道2級の林道であるため、林道規程、林道技術基準などの諸規定に従って調査・設計が行われ、作成された設計図書に従って施工管理される公共施設です。しかし、木材等を運搬する普通自動車の輸送能力に応じた規格・構造を有する道として整備するため、指針は、林業専用道の管理、規格・構造、調査設計、施工等に係る基本的事項を示しています。

また、土構造を基本とする方向性を踏まえ、平均傾斜30度程度以下の斜面にできるだけ地形に沿って計画することを基本としつつ、傾斜が30度を超える斜面を通過させる必要がある場合には、路体や地山の安定、走行の安全を確保した構造となるよう十分検討する必要があります。

(2) 規格構造

林業専用道の規格構造は次の通りです。

- ①設計車両 車両構造令に定める普通自動車としその諸元に応じたもの

表6-3 設計車両の規格

(単位：m)

諸元	長さ	幅	高さ	前端 オーバーハング	軸距	後端 オーバーハング	最小回転 半径
普通自動車	12	2.5	3.8	1.5	6.5	4	12

- ②幅員 車道幅員 3.0m
- ③設計速度 設計速度 時速15km
- ④路肩 側方余裕幅0.30mを基本
走行上の安全性の確保その他の必要がある場合は、現地条件に応じた必要な幅に拡幅可能
- ⑤屈曲部 車道の屈曲部は、曲線形
- ⑥最小曲線半径 12m以上
- ⑦曲線部の片勾配 設けないことを基本
- ⑧曲線部の拡幅

表6-4 曲線部の拡幅

曲線半径 (m) 以上 未満	拡幅量 (m)	曲線半径 (m)	拡幅量 (m)
12 ~ 13	2.25	19 ~ 25	1.25
13 ~ 15	2.00	25 ~ 30	1.00
15 ~ 16	1.75	30 ~ 35	0.75
16 ~ 19	1.50	35 ~ 45	0.50
		45 ~ 50	0.25

- ⑨緩和区間 屈曲部には、緩和接線による緩和区間を設ける
緩和区間長は、B.C、E.Cを基点として直線方向に8mを標準とする
- ⑩視距 15m以上
- ⑪縦断勾配 原則として7%以下
必要な場合12%以下（延長100m以内に限り14%以下。このとき、前後の区間に100m程度の緩勾配区間を設定）
- ⑫縦断曲線 代数差が5%を超える場合、曲線半径100m以上の縦断曲線を設ける。長さは20m以上
- ⑬路面 路面は砂利とし、構造は「路盤工」、縦断勾配が7%を超える場合は、路面侵食を防止できる構造とすることが可能
- ⑭横断勾配 水平とし、路面水は縦断勾配と横断排水工等の組合せによる分散排水処理
- ⑮林業作業用施設 側溝を設置する区間には5%以内の横断勾配を屋根型直線形状で設置
林業作業用施設は、森林作業道の分岐箇所付近等への設置が必須。待避所及び車廻しとの兼用、森林施業用と防火用の兼用は不可
- ⑯交通安全施設 急カーブ、急勾配等の箇所その他の通行の安全を確保する必要がある場所に、カーブミラー、注意標識等の交通安全施設を設置

(3) 測量・調査・設計

① 路線選定

路線の選定に当たっては、森林施業の対象範囲や森林作業道の取付け箇所等を考慮しながら、地形・地質の安定している箇所を通過するようにします。また、路線の線形は、地形に沿った屈曲線形、波形勾配とし、森林へのアクセス機能の確保、切土、盛土の土工量の最小化及び均衡等の諸条件を十分調査、検討して適切な路線を選定します。

○ 路線計画に当たり検討すべきポイント

- 予定されている作業システム、造林、保育等の森林施業や森林作業道の配置との連携
- 線形は地形に追従し切土、盛土を抑え、森林へのアクセスを確保
- 曲線半径は拡幅量等を踏まえ自動車の安全通行を確保
- 土構造が原則。ただし、構造物を設置する必要がある場合は、必要な機能を備える構造物を主体にコスト比較等により選定
- 伐開幅は必要最小限とするなど、自然環境の保全への配慮
- 希少な野生生物の生息等への配慮、必要な対策を検討
- 排水処理は分散排水



○ 通過位置のポイント

- 森林作業道の取付け箇所
- 地形・地質の安定した箇所（タナ地形）
- できる限り尾根部を通過するよう選定
- 地すべり地形及び跡地、軟弱地盤及び湧水地帯はできるだけ回避



○ 地形に追従したルート、平面・縦断線形の検討ポイント

- 切土、盛土ののり面高の抑制
- 波形勾配による路面排水

②実測量、設計図、数量計算

林業専用道の実測量等は次により行います。

- 実測量は、現地測量を原則とし、IPの選定、中心線測量、縦断測量、横断測量及び平面測量を行います。
- 実測量等の成果を基に、路線の幾何学的構造等について位置図、平面図、縦断面図、横断面図及び標準図を作成します。また必要に応じて、構造物図、用地図等を作成します。
- 数量計算は、設計図等に基づき、設計積算等に必要な所定工種、工法等別に数量を算出します。

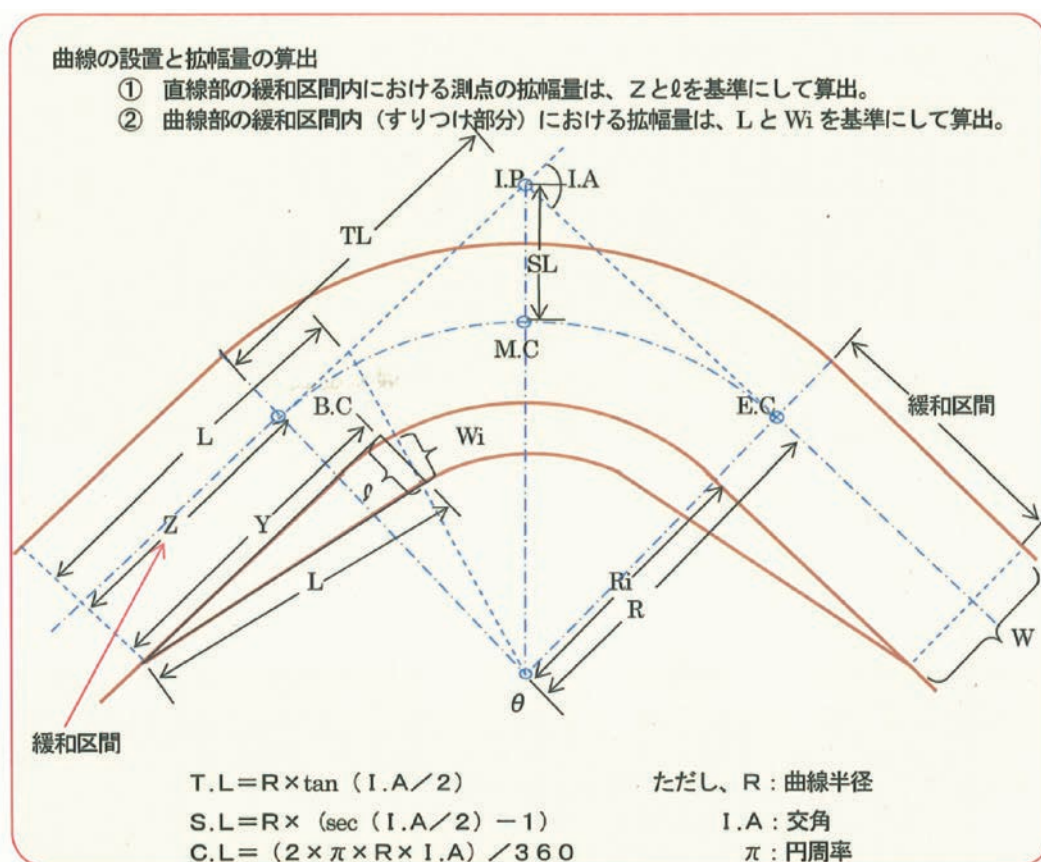


図6-5 曲線の設置と拡幅量の算出

○曲線設定のポイント

- 地形に沿った線形とすることができるよう、設計車両の最小回転半径（ $R=12m$ ）で設計することができる
- ただし、 $R=12m$ の場合は拡幅量が大きく（2.25m）なるため、地形に沿わせることによって大きな拡幅の連続となるのは、本末転倒になる
- 曲線半径は前後の線形や拡幅量を考慮し、必要な場合には構造物の設置も含めてバランス良く決定することが重要

(4) 土工の注意点

林業専用道を施工するに当たって注意すべき点は次の通りです。

①切土 切土高は極力低く

のり面勾配は、よく締まった崩れにくい土砂の場合6分、風化の進度や節理の発達が遅い岩石の場合3分を標準とするが、現地の土質条件等により適切な勾配を判断

②盛土 盛土高は極力低く

盛土勾配は、1割2分を標準とするが、盛土基礎地盤、盛土材料等より適切な勾配を判断

③残土 切土、盛土の土工量は最小化及び均衡

残土が発生した場合は、路線内の最も近い箇所で小規模に分散させて処理

残土処理場は、待避所及び車廻し、林業作業用施設と明確に区分

なお、残土処理は宅地造成及び特定盛土等規制法の許可対象となる可能性

④のり面保護工 切土及び盛土高を低く抑えることが前提

切土のり面整形・保護工は、切土のり面の勾配及び土質条件等から早期の保護が求められる等の場合、種子吹付工等を実施

盛土のり面保護工は、盛土のり面の勾配及び盛土材料等の条件から早期の保護が求められる等の場合、実播工等による植生工を実施

⑤路盤工

路床土の強度特性、実績等を基に交通荷重に対応する支持力を有する路盤厚を決定

路床構築後に路床を路盤工の厚さに掘削し、路盤工の全てを施工基面以下に設置

1層が20cm程度以下の仕上がりとなるよう十分に締固めて設置

(5) 構造物

直線区間の設定により、安全性の向上が図られる場合等には、擁壁等の設置を検討します。

地山の急傾斜箇所や溪流の横断箇所等において土構造のみで安定しない場合は、必要最小限の構造物を計画します。橋梁は可能な限り設けないこととしますが、一定の流下断面を確保する必要がある場合には、橋梁（大型ボックスカルバート含む）の設置を検討します。

(6) 排水処理

波形勾配による分散排水を基本としていますが、現地の状況により横断排水工等を設置します。なお、側溝は、湧水による常水のある場合や地形条件から路外からの流入水が生じやすい場合、路面侵食を防止する必要がある区間に採用します。常水のある沢では溝きよ（開きよ、暗きよ、洗越工）を設置することとし、雨水流出量や土石の流下状況を踏まえ、耐久性、施工性、経済性等の観点から検討し、必要に応じて土砂止工等の設置を検討します。

○曲線部の片勾配及び横断勾配のポイント

- 曲線部の片勾配は設けないことを基本
- 横断勾配は水平とする
- 湧水や地形等の関係で側溝を設ける場合は、片勾配または横断勾配を設ける

コラム

林道事業における ICT 活用の取組（山梨県）

今後、労働力の減少が見込まれる中で、森林土木技術者等が地域の森林・林業全体を俯瞰して路網の整備に取り組むためには、ICT等の技術を積極的に導入していく必要があります。例えば、リモートセンシング技術や設計ソフトを活用した路網線形の策定、AI建機等を活用した自動施工の導入により土木技術者の業務の大幅な効率化・高度化が期待されます。林道事業においては、立地条件や費用負担、費用対効果などが課題となってICTの導入が進んでいない状況にありますが、一部地域では先進的なICTを活用した取り組みが行われています。

山梨県では、森林土木分野の担い手不足解消に向けて、ICT活用による省力化に取り組んでいます。県営林業専用道開設工事では、ICT建機を活用した施工の省力化を実証し、丁張り設置等に係る作業時間削減効果を確認しました。

また、県営林道災害復旧工事で3次元測量を試行し、効果の検証を行いました。

林業専用道 開設工事（山梨県韭崎市）

ICT建機における
モニター画面MC（マシンコントロール）
土工の様子

県営林道災害復旧工事（早川町）

使用した地上型
レーザスキャナー災害復旧工事における
3次元測量成果

3 森林作業道作設指針

(1) 森林作業道作設指針制定の趣旨

森林作業道作設指針は「最適な森林作業道を作設していく上で、全国一律に適用する指針を策定することは、地域における創意工夫を促す面では、必ずしも望ましいことではない。一方で、不適切な森林作業道の作設を未然に防止することも重要である。」とし、「森林作業道を作設する上で考慮すべき最低限の事項を目安として示した。」「森林作業道の技術はそれぞれの地域の地形・地質、土質や気象条件等を十分に踏まえ、この指針によるほか、近傍の施工事例を参考としたり、地域において作設作業に十分な経験を有する者から技術的な指導を受けることも必要である。」と関係者の注意を喚起しています。

なお、構造上の特徴として、「間伐主伐による木材の集材・搬出、主伐後の造林・保育等の森林施業に継続的に用いられる道であり、作設費用を抑えて経済性を確保しつつも繰り返しの使用に耐えるよう丈夫であること」「路体は堅固に締め固めた土構造によることを基本とし、線形は、土量の抑制及び分散排水により路面侵食等を防止するため地形に沿わせた屈曲線形及び波形勾配」「構造物は地形・地質、土質、人家等との位置関係等の条件から、必要な箇所限定して設置するものとする。」とし、安易な道作りを戒めています。

(2) 路線計画

① 計画

森林作業道は、目標とする森林づくりのための基盤であり、森林施業の目的に従って継続的に利用していくものです。特に、主伐時に作設する場合は、造林・保育等の森林施業による次世代の森林づくりのため、継続的に利用できるように考慮しなければなりません。

路線は、伐木造材、集材、造林、保育等の作業に使用する林業機械等の種類、組合せ等に適合し、森林内での作業の効率性が最大となるよう配置します。

森林作業道の作設に当たっては、道路や水路等の公共施設、人家、田畑、野生生物の生息・生育環境等に土砂の流出や林地崩壊による影響が生じないようにするため、地形・地質、土質及び気象条件はもとより、水系や地下構造等について資料又は現地踏査により確認し、無理のない線形とします。

なお、森林作業道の作設予定箇所の地形が急傾斜地又は脆弱な地質・土質であるなど、土砂の流出又は林地の崩壊により下流に被害を生じさせるおそれがある場合には、森林作業道によらない架線集材での作業システムを検討します。

○計画のポイント

- 地形、地質の安定している箇所を通過するように選定
- 線形は地形に沿った屈曲線形、排水を考慮した波形勾配
- 林道や公道との接続地点、地形を考慮した接続方法、介在する人家、施設、水源地などの迂回方法を適切に決定
- 破碎帯などを通過する必要がある場合は、通過する区間を極力短くするとともに、幅員、排水処理、切土、現地に適した工作物等を適切に計画
- 潰れ地の規模に影響する幅員やヘアピンカーブ設置の検討は、森林施業の効率化の観点だけでなく小規模森林所有者への影響に配慮
- 造材、積み込み、造林資材の荷下ろし、待避、駐車のためのスペース等の作業を安全かつ効率的に行うための平地や空間を適切に配置
- 作設費用と得られる効果のバランスに留意
- 稀少な野生生物の生息・生育が確認された場合は、路線計画や作設作業時期の変更等の対策を検討

②傾斜に応じた幅員と作業システム

森林作業道は、土工量の縮減を通じた作設費用の抑制を図る等の観点から、作業システムに対応する必要最小限の規格で計画することが必要です。

作業システムに最も影響を与えるのは林地の傾斜であることから、おおよその傾斜区分ごとに、主に想定される作業システムを現行の林業機械等のベースマシンのクラス別に示し、これに対応する森林作業道の幅員の目安を示しています。

幅員についても必要最小限とすることが肝要ですが、林業機械等を用いた作業の安全性、作業性の確保の観点から、当該作業を行う区間に限って、必要最小限の余裕を付加することができることとし、付加する幅は9～13tクラスの機械（標準バケット容量0.45m³クラス）にあっては、0.5m程度としています。

○傾斜別林業機械等別の幅員の目安

傾斜25°以下

6～8tクラス（バケット容量0.2m³～0.25m³クラス）及び9～13tクラス（バケット容量0.45m³クラス）の幅員は3.0m

傾斜25～35°

6～8tクラス（バケット容量0.2m³～0.25m³クラス）の幅員は3.0m
3～4tクラス（バケット容量0.2m³クラス以下）及び2t積トラックが走行する場合の幅員は2.5m

傾斜35°以上

急峻地であるため、丸太組等の構造物を計画しないと作設が困難であり、構造物を多用すると経済性を失ったり、環境面、安全面での対応が困難となるおそれがある場合は、林道とタワーヤードなどの組み合わせによる架線集材を検討する

森林作業道の作設を選択する場合には、3～4tクラス（バケット容量0.2m³クラス以下）及び2t積みトラックの走行に限られるものと想定され、幅員は2.5m

注：バケット容量は旧JIS表示

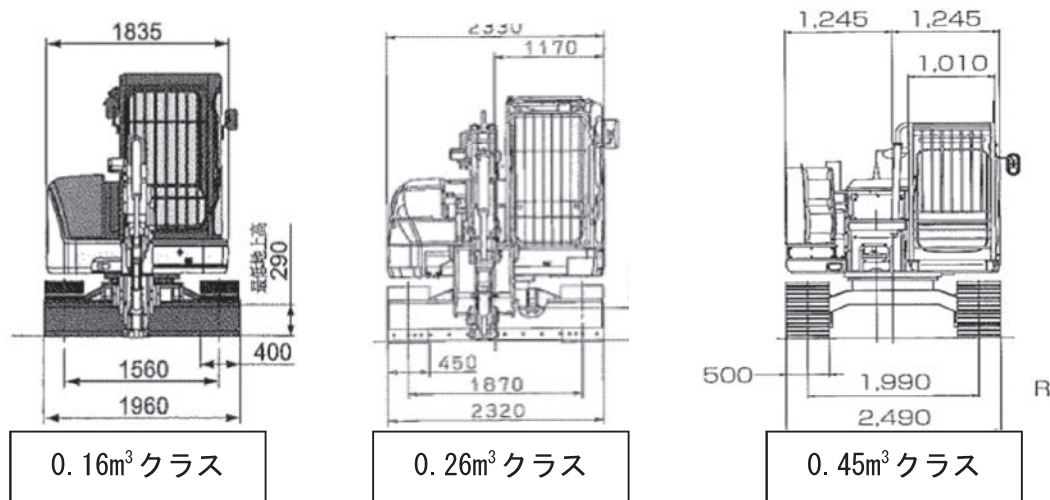


図6-6 重機的車幅(例)

③幅員設定における留意事項

森林作業道の幅員は、必要最小限の規格で設定するものであることを踏まえ、走行する林業機械やトラックの規格に応じて安全性に配慮しつつ、必要な場合には2.0m程度の幅員設定も含め、検討することも必要です。

(3) 縦断勾配

①縦断勾配の基本

縦断勾配は、集材、苗木等の運搬作業を行う林業機械等が木材等を積載し、安全に上り走行及び下り走行ができるとともに、波形勾配による分散排水が行えることを基本として計画します。

適切な縦断勾配は、集材、苗木等の運搬作業を行う林業機械等の自重、木材等積載時の荷重バランス、エンジン出力等のほか、路面の固さ、土質による滑りやすさ、勾配が急になるほど波形勾配を設けにくく路面侵食も起きやすくなること等を考慮して計画します。

縦断勾配について、現地条件が岩やよく締まった礫質土であるなど、最も良い条件である場合の目安を示せば次の通りです。

- ・基本的には概ね10度(18%)以下
- ・土地の制約等から必要な場合は、短区間に限り概ね14度(25%)程度

縦断勾配、土質条件から、路面侵食の発生、林業機械等の走行に危険が予想される場合は、コンクリート路面工等を検討することとし、周辺が水分を含むと滑りやすい粘土質の赤土等である場合又はコケ等の付着、積雪寒冷地における路面の凍結等が予想される場合にあっては、コンクリート路面工の表面に箒掃きによる滑止めを施す等の工夫も検討します。

②縦断勾配設定における留意事項

上記①の縦断勾配の目安は、土質等の条件が最も良い条件であることを前提としたものであるため、火山灰、軽石、スコリア、マサ土、粘性土の土質、崖すい地帯など悪い条件の場合には、路面等の侵食、路体崩壊の発生防止及び走行の安全性を考慮して、縦断勾配を緩勾配とすることが望ましいです。

また、2t積トラックの走行を想定する森林作業道においては、自動車は林業機械に比べて走行速度が速いこと、制動距離が長いこと等を考慮し、走行の安全性の観点から縦断勾配を緩勾配とすることが望ましいです。

なお、森林施業を行う区域内のみでは、路面侵食の防止措置を要する区間が長くなる、2t積トラックの安全な走行が確保できなくなる等の場合には、縦断勾配を緩勾配とするため、当該地域に隣接する森林の所有者等との調整を行った上で経由区間を設けるよう検討します。

③曲線部及び曲線部の前後の区間の縦断勾配

急勾配区間と曲線部の組み合わせは極力避けるようにします。また、S字カーブは、木材等を積載した林業機械等の下り走行時の走行の安全を確保する観点から、連続して設けないようにし、カーブ間に直線部を設けます。

ただし、地形条件からそのような組合せを確保できない場合は、当該箇所での減速を義務付けるなど、運転者の注意を喚起する必要があります。

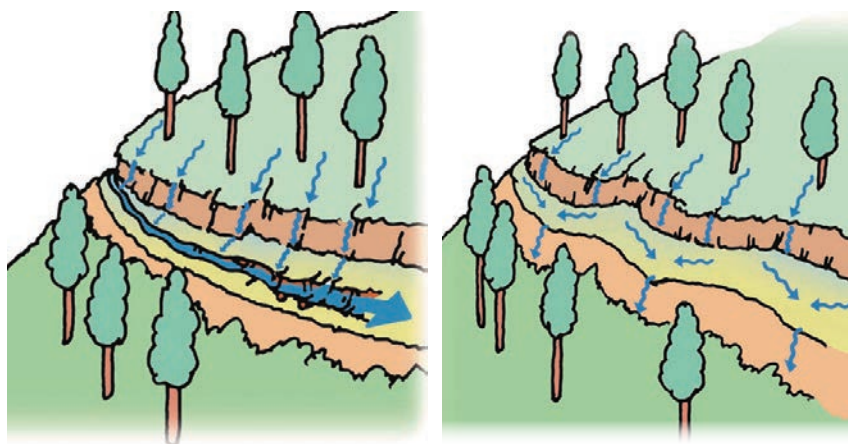
(4) 排水計画

森林作業道を安定した状態で維持するためには、適切に排水処理を行うことが重要です。

森林作業道では、原則として路面の横断勾配を水平にした上で、縦断勾配を緩やかにして、かつ、波状にすることにより、こまめな分散排水を行うとともに、排水先を安定した尾根部や常水のある沢にするなどして、路面に集まる雨水を安全、適切に処理するよう路線計画を検討します。

○排水処理のポイント

- 横断排水施設やカーブを利用して分散排水
- 排水が集中するような場合は、安全に排水できる沢、尾根等の箇所をあらかじめ決めておく
- 排水先に適した箇所がない場合では、側溝等により導水
- 曲線部は、雨水を極力流入させないように、曲線部上部入り口手前で排水
- 地下水の湧出又は地形的な条件による地表水の局所的な流入又は滞水がある場合は、これらを側溝又は横断排水施設により排水
- 木材等の積載時の下り走行におけるブレーキの故障及び雨天又は凍結時のスリップによる転落事故を防止するため、カーブの谷側を低くすることは避ける



路面排水されていない

路面排水されている

図6-7 路面の排水

(5) 施工

森林作業道は、締固めを十分に行った堅固な土構造による路体とすることを基本としています。

なお、構造物は地形・地質、土質等の条件から必要な場合には、現地条件に応じて規格・構造の施設を設置するものとしています。締固めの効果は、

- ・ 荷重が載ったときの沈下を少なくすること
- ・ 雨水の浸透を防ぎ土地の軟化や膨張を防ぐこと
- ・ 土粒子のかみ合わせを高め、土構造物に強さを与えること

などにあることを十分理解し、林業機械等が安全に通行できる路体支持力が得られるように施工することが必要です。

①切土

切土は、事業現場の地山の地形・地質、土質、気象条件や林業機械等の作業に必要となる空間などを考慮しつつ、発生土量の抑制と切土のり面の安定が図られるよう適切に行わなければなりません。

切土高は、傾斜が急になるほど高くなりますが、ヘアピンカーブの入口など局所的に1.5mを超えざるを得ない場合を除き、切土のり面の安定や機械の旋回を考慮して1.5m程度以内とすることが望ましく、なおかつ高い切土が連続しないよう注意する必要があります。

切土のり面の勾配は、よく締まった崩れにくい土砂の場合は6分、風化の進度又は節理の発達が遅い岩石の場合は3分を標準とし、地質や土質等の条件に応じて切土のり面勾配を調整します。

なお、土質が、岩石であるときや土砂であっても切土高が1.2m程度以内であるときは、直切が可能な場合があり、土質を踏まえて検討する必要があります。

崖すい（急斜面から、剥がれ落ちた岩石・土砂が堆積してできた地形）では切土高が1mでも崩れる一方、シラスでは直切が安定するなどの例もあり、直切の可否は土質、近傍の現場の状況などを基に判断してください。



図6-8 のり面高

※のり面高は低く抑えている。1.2m程度以内であれば直切も可能な場合もある。

②盛土

盛土工は、事業現場の地山の地形・地質、土質、気象条件や森林作業道の幅員、林業機械等の重量などを考慮し、路体が支持力を有し安定するよう適切に行う必要があります。

堅固な路体をつくるため、盛土は複数層に区分し、各層ごとに30cm程度の厚さとなるよう十分に締固めて仕上げるものとし、施工に当たっては、地山の土質に応じて次のように行う必要があります。

- ・よく締まった緊結度の高い土砂の場合

施工中、建設機械のクローラ等が沈みにくいような緊結度の高い土砂では、盛土部分の地山を段切りして基盤を作ったうえで、盛土を行う。

- ・緊結度の低い土砂の場合

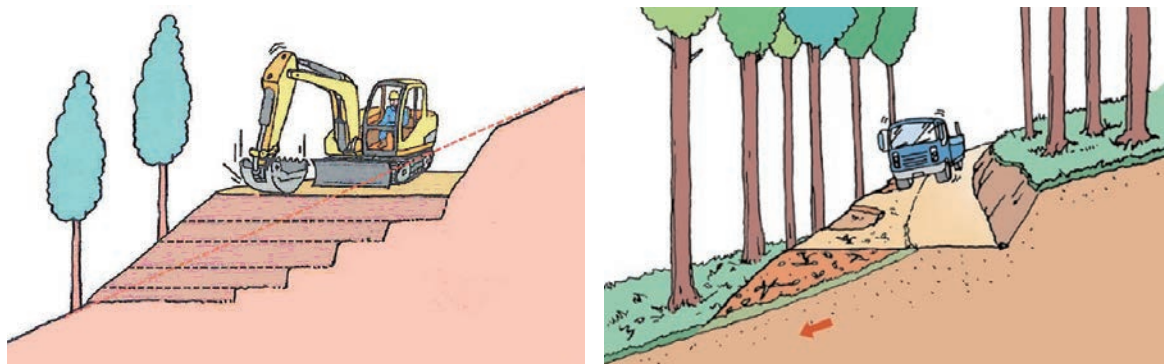
施工中、建設機械のクローラ等が沈下したり、泥濘化しやすいような緊結度の低い土砂では、

盛土部分と地山を区分しないで、路体全体について盛土を行う。

盛土のり面勾配は、盛土高や土質等によりますが、概ね1割より緩い勾配で計画します。盛土高が2mを超える場合は、1割2分程度の勾配とします。なお、急傾斜地では、堅固な地盤の上のり止めとして丸太組工、ふとんかごや2次製品を設置したり、石積み工法等を採用するなどして、盛土高を抑えながら、堅固な路体を構築することも検討します。

ヘアピンカーブにおいては、路面高と路線配置を精査し、盛土箇所を谷側に張り出す場合には、締固めを繰り返し行ったり、構造物を設けるなどして、路体に十分な強度をもたせるようにします。

盛土の土量が不足する場合は、安易に切土を高くして山側から谷側への横方向での土量調整を行って補うのではなく、当該盛土の前後の路床高の調整など縦方向での土量調整を検討することも必要です。



※丈夫な路体を作るためには段切りを行い、各層ごとに30cm程度の厚さとなるよう締固めを行う。

※盛土材料を直接地山に載せた場合は、締固め効果が得られず、崩壊する可能性がある。

図6-9 盛土

③ 曲線部

林業機械等が安全に走行できるよう、内輪差や下り旋回時のふくらみ等に対する余裕を考慮して曲線部の拡幅を確保します。

④ 構造物等

森林作業道は、土構造を基本としていますが、地形・地質、土質の条件、幅員の制約等から、林業機械等の走行における安全の確保や路体を維持するための必要に応じて構造物を設置する場合は、丸太組工、ふとんかご等の簡易な構造物、コンクリート構造物、鋼製構造物等の中から、必要な機能を有する工種及び工法を選定します。

- ・ 流入水や地下水の影響による軟弱地盤の箇所を通過する必要がある場合は、水抜き処理、側溝の設置等の実施について検討します。
- ・ 森林作業道の作設に不向きな黒ぼくや粘性土質のロームなどの箇所を通過する必要がある場合は、必要な路面支持力の確保や路面侵食等を防止するため、碎石を施すことを検討します。火山灰など、一度掘り起こすと締固めが効かない土質の箇所で掘削を行う場合は、火山灰土などの深さに応じて、剥ぎ取ったり深層と混ぜ合わせる等の工夫を施すことを検討します。
- ・ 2t積トラックなどの接地圧の高い車両が走行する場合には、路面支持力が得られるよう特に

強固に締固めを行うとともに、必要に応じて荷重を分散させるため丸太組による路肩補強工の実施について検討します。

⑤排水施設

森林作業道は、路面の横断勾配を水平とし、縦断勾配を可能な限り緩くして波形勾配を利用した分散排水を行うことを基本とし、必要に応じて簡易な排水施設を設けます。

○排水施設のポイント

- 排水施設は、路面の縦断勾配、当該区間の延長および区間に係る集水区域の広がり等を考慮して、路面水がまとまった流量とならない間隔で設置
- 排水溝を設置する場合は、維持管理を考慮し、原則として開きよ
- 丸太を利用した開きよやゴム板などを利用した横断排水施設を設置する場合は、走行する林業機械等の重量や足回りを考慮
- 路面にコンクリート路面工等を設ける場合は、山側の地山とコンクリート路面工等の境界からの地中への浸透水、地表面の侵食の発生、路面水の長い区間の流下等が生じないように横断排水施設を設置する等により適切に排水
- 横断排水施設の排水先には、路体の決壊を防止するため、岩や石で水たたきを設置したり、植生マットで覆うなどの処理
- 水平区間など危険のない場所で、横断勾配を谷側にわずかに低くする排水方法を採用する場合は、必要に応じて丸太などによる路肩侵食保護工や植生マット等で盛土のり面の保護措置を実施
- 湧水又は地形的な条件による地表水の局所的な流入又は滞水がある場合は、側溝などでその場で処理することが原則
- 小溪流の横断には、原則として暗きよではなく洗い越しを施工
- 洗い越しの上流部・下流部に流速を抑えるための水溜を設けるダム工は、渦や落差による侵食を引き起こすおそれがないよう留意

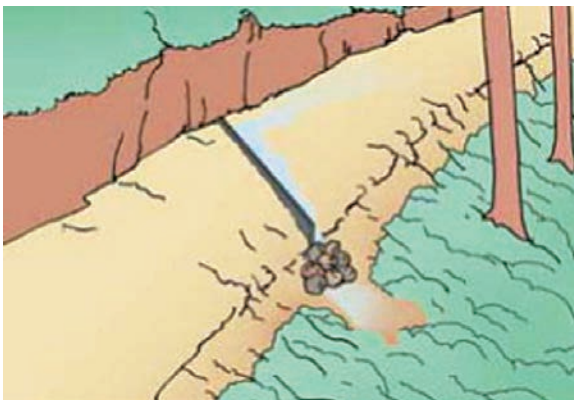


図6-10 簡易な横断排水施設の例

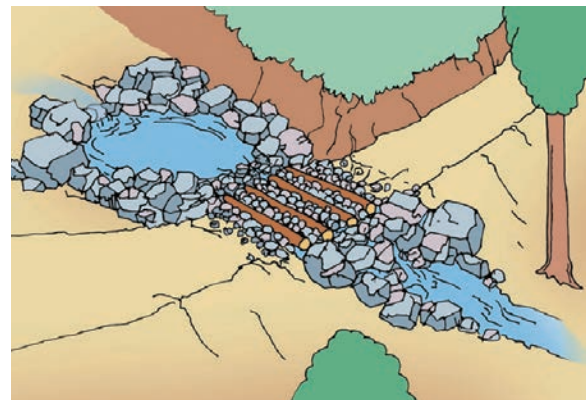


図6-11 洗い越しの例

※排水先には岩や石で水たたきを設置したり、植生マットで覆うなどの処理を施す。

⑥伐開

立木の伐開幅は、開設区間の箇所ごとにおける斜面の方向、風衝等を考慮し、必要最小限となるようにします。

○伐開のポイント

●斜面の方向や気象条件等の考慮

路面の乾燥又は植生の繁殖を促す必要がある箇所では、伐開幅を広めにする

植生が繁茂しやすく除草作業を頻繁に行う必要のある箇所、立木に風害、乾燥害を招くおそれがある箇所では、伐開幅を狭めにする

林縁木の枝から滴下する雨滴により、路面又はのり面の侵食が発生しやすい箇所は、伐開幅を広めにする

●土質条件や風衝の考慮

締まった土砂又は粘着性の高い土質の箇所は崩れにくいことから、切土高が低い場合には、伐開幅を狭めにする

崖すい等粘着性の低い土質の箇所は、切土高にかかわらず崩れやすいことから、立木が切土のり頭に残らないよう伐開幅を広めにする

風衝の影響を受ける箇所は、切土のり頭の立木が風で揺れることにより土質条件にかかわらず切土のり頭部の地盤を緩める原因となりやすいことから、立木が残らないよう伐開幅を広めにする

●運転者の支線誘導等の考慮

路線谷側に沿った立木は、路肩部分を保護するとともに、林業機械等運転者の視線を誘導し、走行上の安心感を与える効果が期待できることから、林業機械等の走行の支障とならない範囲で残存する

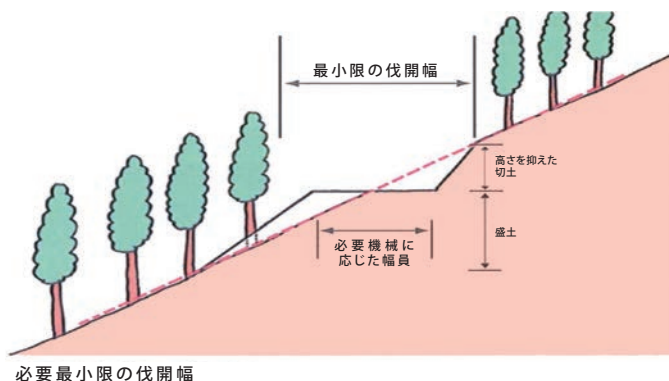


図6-12 伐開幅

(6) 周辺環境への配慮

森林作業道は、人家、道路、鉄道、その他の重要な保全対象又は水道の取水口が存在する場合、その直上では極力作設しないようにします。

森林作業道の作設工事中及び森林施業の実施中は、これらの保全対象への土砂、転石、伐倒木等が落下しないよう、必要に応じて保全対象の上方に丸太柵等を設置する等の対策を講じることが必要です。

また、事業実施中に稀少な野生生物の生息・生育情報を知ったときは、必要な対策を検討します。

(7) 管理

森林作業道は特定の林業者等が森林施業専用に利用する施設であるため、施設管理者はゲートの設置・施錠等により、必要に応じて一般の車両の進入を禁止するなど適正に管理をするよう努める必要があります。

また、間伐や主伐の作業期間のほか、造林や保育の作業期間等においても、利用頻度及び車両の走行性を勘案しつつ、崩土除去、路肩の強化、横断排水施設の設置、路面整正、枝条散布等による路面の養生等の路面・路肩の侵食防止措置等の維持管理に努める必要があります。

(8) 参考

○丸太組工について

丸太組工は、丸太組により路体支持力を維持するものであり、現地資材を有効に活用できるほか、施工から数十年経過した事例もある。

この工法を採択する場合には、作設時の強固な締固めが必要なことに加え、路体支持力を維持していくため、丸太が腐朽した場合には、丸太を補強したり砂利を補給するなど、丸太の腐朽を補う維持管理が重要である。

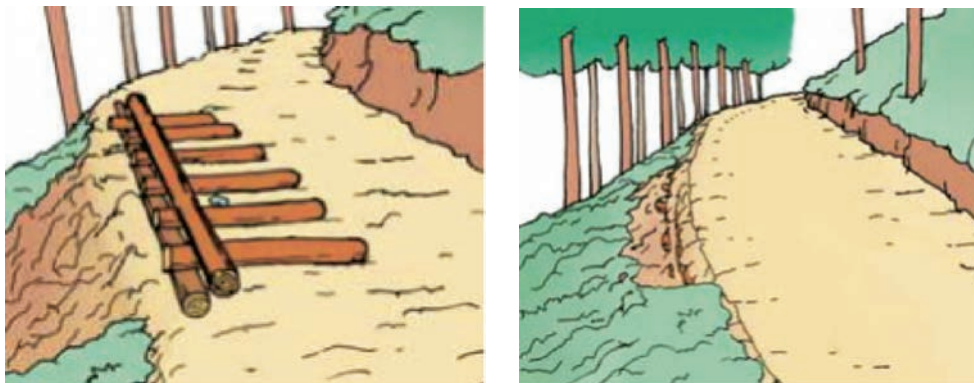


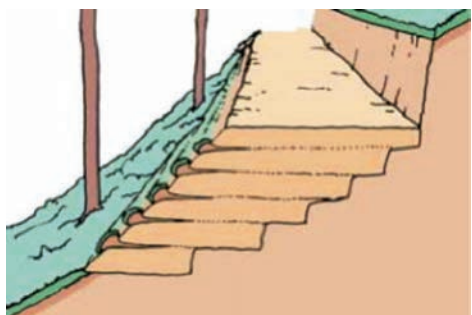
図6-13 丸太組工

※土構造で路体が作設できない場合、丸太等の簡易な構造物も有効である。

○表土、根株を用いる盛土のり面保護工について

この工法を採用する場合は、集材方法を考慮し、路肩上部の根株が集材・運材作業の支障とならないように留意することが求められる。

なお、根株やはぎ取り表土は、路体構造として車両の荷重を支えるものではなく、あくまで土羽工の一部と位置づけられるものである。これについて工法本来の趣旨を誤解、逸脱した施工事例が多く見られることから注意が必要である。



根株等を土羽工の一部として利用する方法もある。

図6-14 表土をのり面緑化に利用した例

4 PDCAサイクル

(P：計画、D：実行、C：チェック、A：改善の取組)の確立

路網は、森林経営の合理化に最も影響を与える施設であり、その整備を促進し、後世へ伝えていくことが重要です。そのような観点から、林業専用道と森林作業道の性質に応じた問題点を次に述べます。

林業専用道は、幹線林道又は支線林道を補完し、森林作業道と組み合わせて、間伐作業や主伐後の再造林その他の森林施業の用に供する支線林道又は分線林道として、普通自動車(10t積トラック)等の輸送能力に応じた規格・構造を有するように整備していく必要があります。このため、林道規程及び林道技術基準に基づき、地形・地質及び気象条件等を踏まえ、安心・安全な通行が可能で、被災しにくい線形・施設機能を確保しつつ、森林作業道の配置や林業機械の利用を考慮した効率的な作業システムの構築及び木材等を安全かつ効率的に運搬することが可能な規格・構造や路線形としますが、作設経費、利用状況、維持管理の手間や経費の面からの評価が欠かせませんし、評価によって得られた知見を次の現場に活かしていく必要があります。

森林作業道は、作設オペレーターが、作設箇所の自然条件、地形・地質、土質をその場その場で判断しながら作設作業を進めますが、森林作業道の作設目的が間伐、主伐、造林保育などの森林施業に利用するものである以上、その成否は、森林施業全体の中で評価されなければなりません。いかに立派な道がつくられていても、森林施業実施の面では役に立たないものであれば、それは有用な道とは言えないのです。

また、「あんな道ではすぐ壊れてしまう」といった評価を聞く場合がありますが、単に「壊れてしまう」という抽象的な評価では問題の所在が把握されていないため学ぶべき教訓が得られないだ

けでなく、不良工事を防いでいくこともできません。客観的な評価が必要であることがわかりいただけだと思います。

P D C Aサイクルの確立に向けた取組は、以上のような問題意識を事業に取り入れていく上で重要な活動であるといえます。

(1) 林業専用道におけるP D C Aサイクル

林業専用道は、林道規程、林道技術基準、仕様書等に基づいて計画や設計、施工管理が行われます。このため、設計、施工については、それぞれの品質管理のためP D C Aサイクルが取り入れられています。

その上で、造林、保育、間伐、主伐の各施業を通じた利用や、被災しにくく維持管理しやすい道とすることなどの観点をP D C Aの各段階に取り入れ、次の行動に反映させていく仕組みをつくっていく必要があります。

このため、林野庁は、平成23年4月6日付け23林整整第5号整備課長通知により「林業専用道の作設に関するチェックリスト例の送付について」を作成し、都道府県宛に通知しています。

チェックリストは、調査設計発注者と受託者との設計協議、設計図書の完了検査、工事の施工中及び完了検査時、並びに既設林道等を事例とした現地検討会等の場で活用することを通じ、都道府県職員、市町村職員等事業に関係する者の技術の向上や共通認識の醸成に役立てていただければと考えています。【林業専用道チェックリスト巻末参考】

○林業専用道の整備に関する留意点

- 森林施業の実施、木材等の効率的な輸送のための基盤が目的であることを踏まえた計画、測量・調査・設計
 - 普通自動車（10t積トラック）等の輸送能力に応じた規格・構造
 - 林業作業用施設（森林作業道の取付口、作業場所、土場）の確保
 - 切土高、盛土高、のり面勾配、のり面保護工
 - 波形勾配と横断排水工の組み合わせによる分散排水処理
- 設計図書に基づく施工が基本
 - 起工測量が施工管理の第一歩

(2) 森林作業道におけるP D C Aサイクル

森林作業道は、造林、保育、間伐、主伐を行うためのインフラとして作設されるものです。林野庁整備課は、平成25年4月森林作業道に係わるP D C Aサイクルを進めていくため、森林作業道チェックリスト（例）を通知しました。チェックリスト（例）は、路線計画用、施工オペレーター用、そして検査職員用にわかれています。ここでは、検査職員用を示します。【森林作業道チェックリスト巻末参考】

第3章

路網整備における フォレスターの役割

路網は、林道、森林作業道を効果的に組み合わせたもので、森林の多面的機能を持続的に発揮していくための森林施業に必要不可欠な基盤であり、持続的な森林経営を実現するためには、安心・安全な利用、効率的な輸送、被災しにくい（維持管理しやすい）ものとして整備していく必要があります。

また、林業の収益性向上のためには、路網と高性能林業機械の合理的な組み合わせによる生産性の高い作業システムの構築と林道を通じた木材等の効率的な輸送体制の整備が必要です。

令和12(2030)年の木材供給量42百万 m^3 の目標達成に向け、間伐、主伐、再造林等を効率的に進め、木材の輸送コスト縮減等に資する林道と森林作業道を一体的、かつ有機的に整備して合理的な路網を構築し、森林を適正に管理して、林業・木材産業の持続性を高めながら成長発展させ、2050年カーボンニュートラルを見すえた豊かな社会経済を実現（グリーン成長）させることが必要です。

戦後、営々と造成されてきた人工林を中心に森林資源が成熟、充実する状況にあります。路網が森林の多面的機能の発揮、持続的な森林経営実現のために必要不可欠な基盤であることを踏まえた路網計画のプラン（構想計画）を示し、関係者の意識を切り替えていく役割がフォレスターに求められています。

1 林道整備におけるフォレスターの役割

フォレスターの役割は、①広域的・長期的な視点に立った地域の森林・林業の構想を作成し、②公平・公正・中立的な立場から関係者の合意形成を図り、③地域の森林・林業の構想の実現に向けた取組を進めていくことにあります。地域の森林・林業の構想には、木材生産や森林施業を行う川上から木材加工あるいは木材利用の川中・川下まで含めた幹線林道、支線・分線と森林施業地に展開する森林作業との路網の構築が不可欠です。フォレスターは、地域の森林資源、作業システム、木材産業の状況等を踏まえ、地域の森林・林業・木材産業に適した路網の整備に関する指導・助言を行う役割があります。

(1) 地域の森林・林業の構想（ビジョン）

地域の森林・林業の構想（ビジョン、以下「ビジョン」という）は第3部第1章で説明したとおりですが、林道はこのビジョンを実現するツールとしての役割を担います。

特に、地域において効率的な木材生産、造林・保育等の森林施業を実現するためには、地形等に対応した作業システムの選択と、そのシステム等に応じた路網の基幹となり、木材等が効率的に広範囲に輸送可能となる林道の整備が必要です。地域内の森林現況や集約化の進展状況等を念頭において施業を集中して行う団地を設定し、その団地内の優先度や作業システム、自然的・社会的条件を踏まえて林道の整備にかかる戦略を立てます。

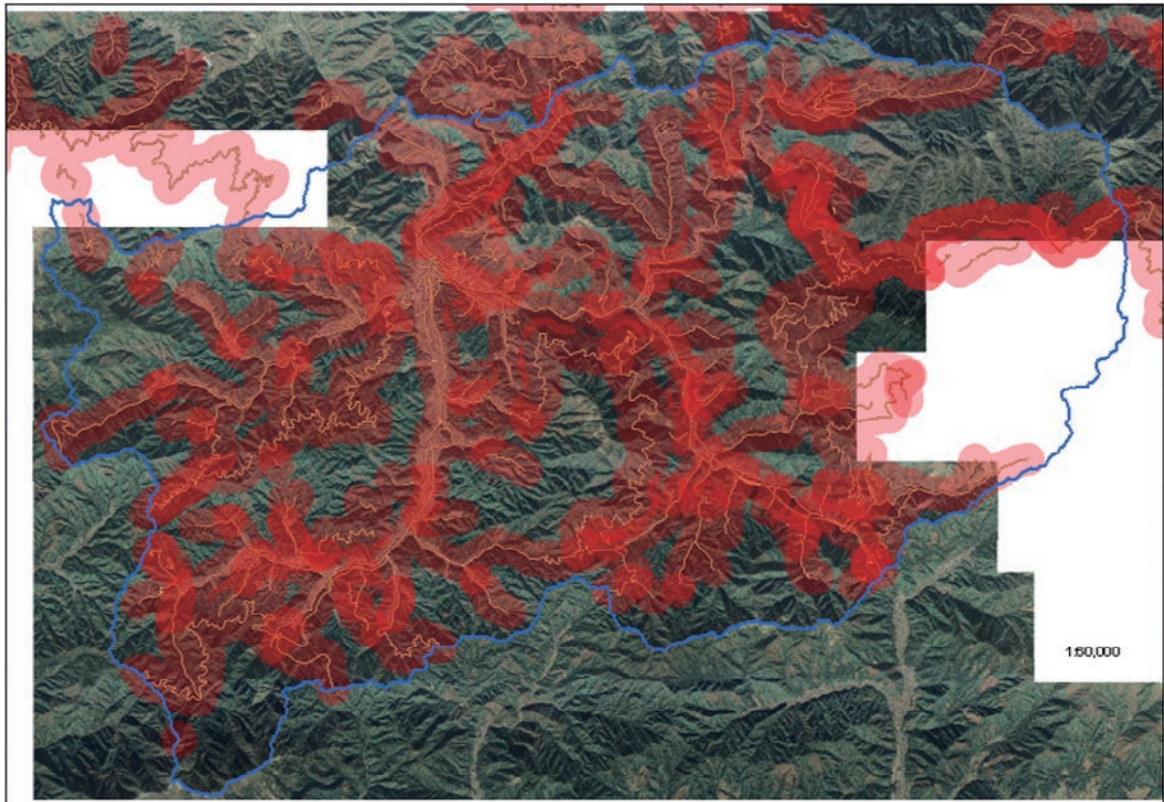


図6-15 路網配置の検討事例(鳥取県智頭町)

公道、林道等をマッピングし、フォワードによる搬出コストの限界を水平距離350mとしてゾーン(赤い部分)を表示した事例。フォワードによる搬出が不可能な林分があるため、既存の林道網を踏まえ、更に支線林道又は分線林道の配置と作業路網の配置、あるいは架線集材の検討が必要

林道の施工主体は主として自治体であり、国の補助はありますが自治体の経費を投入する必要があります。また、自ら事業を発注・監督するとともに管理責任も負います。

ビジョンの作成に当たっては、自治体首長や関係職員、地域のさまざまな関係者の意識を変え、合意形成を図りつつ、森林施業や林道整備への投資と、地域への効果をトータルで示していくことが重要です。特に効果については森林の多面的機能の発揮、木材販売による山元利益、造林・保育等の森林施業のコスト縮減、地元事業者の育成や雇用の確保、これらに関連する地域振興効果など幅広く、短期的な視点と長期的な視点から示すと良いでしょう。

(2) 市町村森林整備計画の策定・変更

ビジョンは、市町村森林整備計画に具体的に表現する必要があります。ビジョンを踏まえて市町村森林整備計画に木材生産機能維持増進森林、路網整備等推進区域、幹線、支線、分線による林道の予定線形等を定めるとともに、地域森林計画にも林道の路線を記載することになります。

フォレスターは、ビジョンの検討段階から、これらの策定に関わる都道府県・市町村の担当者との連携・調整を行うことも必要です。

(3) 設計・施工に当たってのアドバイス等

林道のうち林業専用道のように主として森林施業に利用する支線・分線の林道は、森林へのアクセス性を高める必要があります。低いのり高に抑えられているなど林内への直接的な進入や森林作業道の取付けが容易な状況にあるか、作業場所、土場等の林業作業用施設の設置に配慮がなされているか等の森林施業や木材等の輸送にとっての使い勝手のほか、のり面や路体の損傷等の発生抑制及び損傷等が生じた場合の補修等が軽微となる作設方法のアドバイスをを行う必要があります。

このため、フォレスターは地形、地質や土質、切土・盛土、平面的・縦断的な線形、排水対策、施工等に関する知識も有していることが重要です。

設計・施工業者の意識の切り替えも含め、市町村の担当者や都道府県森林土木担当者と連携して取り組んでいくことを期待します。

(4) 完成・供用

林道を活用した効率的な森林整備や木材等の輸送に関する事業者及び森林施業プランナーへのアドバイスをするとともに、完成後の状況や活用実態等を把握し、関係者と連携して今後の林道の改善につなげていくことも、フォレスターとして心がけるようにしてください。

2 森林作業道整備におけるフォレスターの役割

森林作業道は、造林、保育、間伐、主伐等の森林施業を実施する事業者が作設する道です。フォレスターの任務としては、市町村森林整備計画や民有林林道整備計画等の策定時点における林道と森林作業道を組合せた路網整備に関する森林施業プランナーへの指導、事業実施時点の森林作業道作設オペレーターへの指導が主体となります。

また、森林施業プランナーやオペレーターの森林作業道による路網整備に関する知識・技能を高めていくため、研修や現地検討会への参加を促していくことも重要です。

表6-5 路網整備を行う地域において留意する事項

路網計画をチェックする				
地形・地質、気象、経済的、技術的条件				留意点
地形	地形分類	形態	傾斜、谷、斜面型、流れ盤等	地層の走向や谷の深さ、地盤の安定した場所か
		成因	地すべり、崖すい等	崩積土、湧水の可能性
地質	岩石成因	火成岩	風化を受けていないものは硬い	伏流水 (湧出部に転石、滝などが見られる場合がある) 角礫の抜け落ち、巨塊の存在、節理の崩壊の可能性
		変成岩	火成岩や堆積岩が高温や高圧により変質	変成帯によって性質が異なる (地すべりの原因になることがある)
		堆積岩	侵食、運搬、堆積した土が固結化	砂岩、泥岩などが積み重なっているか (層理面に沿った割れ目が生じやすい場合がある)
	年代と特徴	時間	固結化の程度に影響	特に第四期以降の地質は軟弱
		土層の特徴	プレートの移動に伴って生成された付加体、断層、変性、火山活動等	流れ盤地形、褶曲作用や火山岩の冷却に伴って形作られる節理、雨水等による風化作用など地盤の生成過程による問題の有無 断層付近の固結度
	土	基岩の影響	粒度組成、密度、粘性、含水比等	安定した盛土ができる性質の土質か (含水比が高い場合は締固め困難)
特異な土		ローム、まさ、しらす等	作設作業や水処理法の影響	
気象	降雨特性	降雨強度、総雨量等	排水方法、沢の横断、集水区域の広がり 濁水の発生	
	気温	凍結、融解の影響	のり面への影響、作業上の注意 (南側斜面は凍結融解の影響受けやすい、滑落の危険)	

3 林道整備計画の考え方

森林総合監理士は、地域の森林・林業の牽引者として、①地域の森林・林業に関する情報や要望を踏まえた構想（マスタープラン）の作成、②構想（マスタープラン）に係る地域の森林・林業関係者や地域住民の合意形成、③構想（マスタープラン）の実現に向けて、伐採・造林等の施業方法、森林の適正利用等に関する指導・助言を行い市町村を支援する役割があります。

森林を活用した地域経済、産業の振興を図るためには、間伐や主伐、生産された木材等の輸送、再造林や保育による次世代の森林づくりの基盤となる林道が不可欠です。

林道整備計画は、森林所有者、伐採・輸送・造林等の事業関係者、木材加工業者等の要望を踏まえ、木材生産における生産性の向上、木材等輸送コストの低減、安定的な木材供給、再造林や保育等森林施業のコスト低減を図って、地域の林業・林産業を恒常的に成長させるように考慮しなければなりません。

林道整備計画は、利用しようとする森林の範囲、森林資源、地形・地質、地域の林業・木材産業の状況等に応じて作成することとなりますが、考え方、順序等を示すと次の通りです。

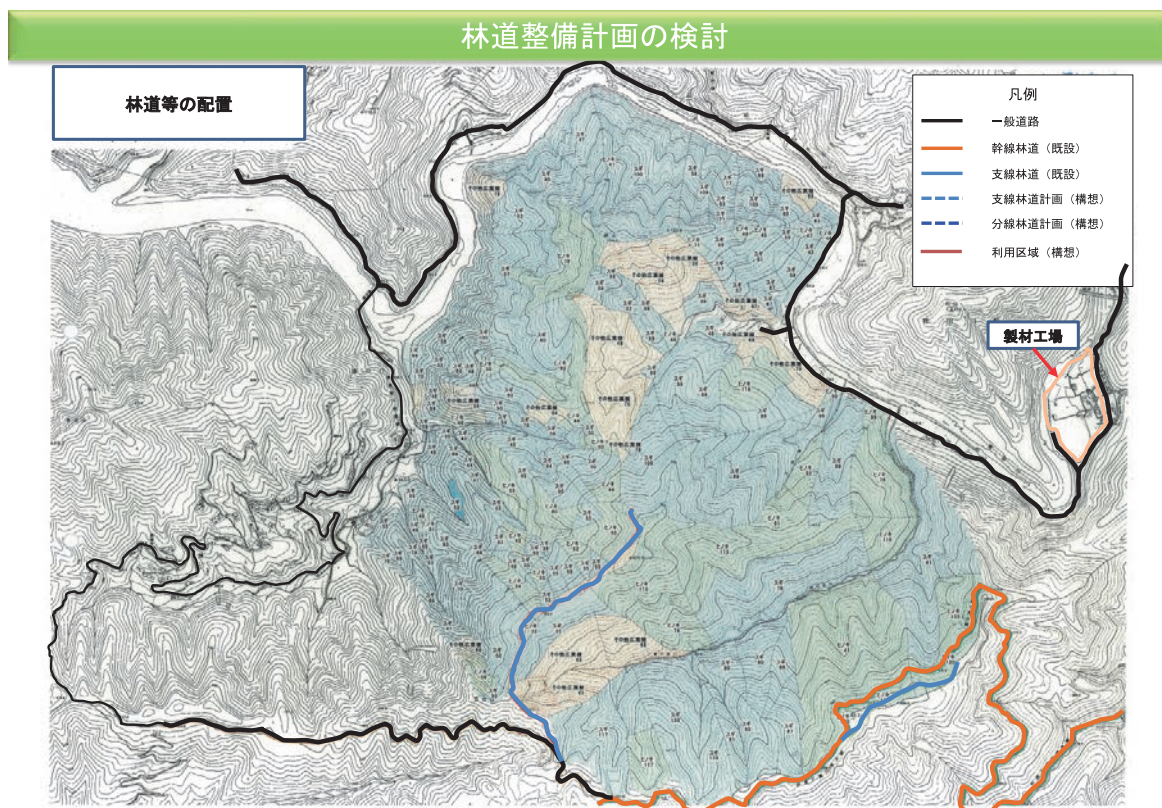
①利用区域の設定

林道整備計画を作成する場合は、最初に利用する森林の範囲を決定します。

利用する森林の範囲の決定に当たっては、地域の森林の林種（人工林、天然林）配置、森林資源、

地形・地質、木材加工場等の位置その他木材以外の林産物生産や森林レクリエーション利用等の状況を把握するとともに、森林所有者、伐採・造林等林業関係者、木材加工場等の関係者からの要望等を踏まえることが重要です。

次に示す図は、スギ・ヒノキを主体とし、一部に天然林を含む森林の地域で、北側に国道、西側から南側に一般道があり、東側には既設林道が所在して木材市場に連絡しています。また、東側には地元の製材工場も所在しており、西側には林業従事者の居住地が所在しています。

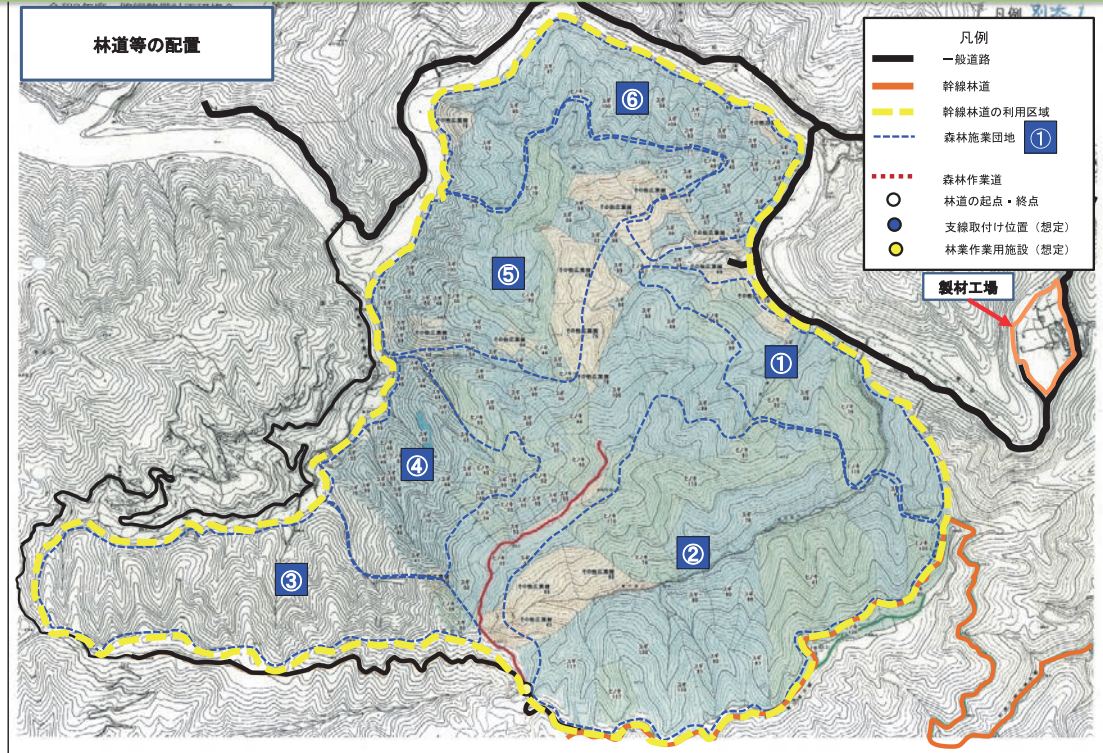


このような森林の地域について、森林資源、地形の傾斜や地質等の状況を踏まえ、本森林地域に関係する林業関係者等と地元の製材工場及び既設林道が連絡している市場への木材の安定供給、再造林及び保育等の森林施業の適切な実施による次世代の森林づくりなどに関する意見交換や要望把握を行い、利用区域を決定します(次図の黄色破線)。

森林施業団地は、林分の分布状況、地形の傾斜や地質等を踏まえ、対応する作業システムも考慮して設定します(次図の○付き数字で示した6箇所)。

このようにして決定した利用区域には、幹線、支線、分線による林道と森林作業道による路網を整備します。次図の黄色破線の利用区域は、今後林道整備計画を作成するうえで幹線の利用区域となります。

林道整備計画の検討



② 幹線林道の整備計画

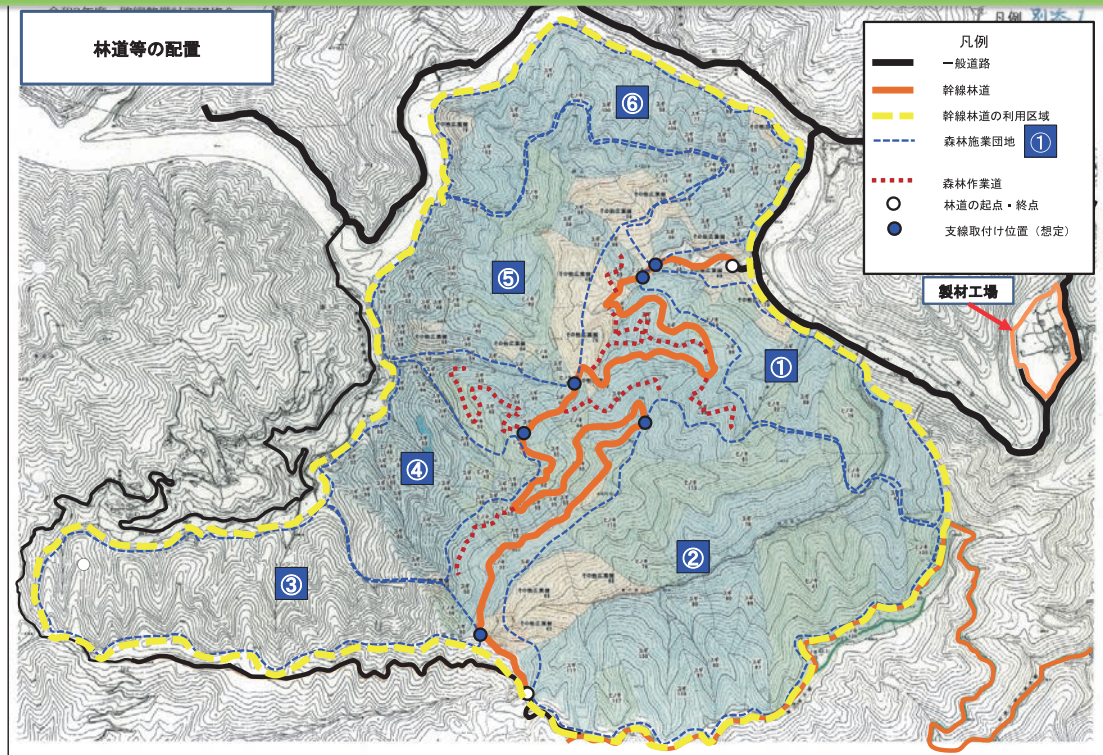
幹線林道は、利用区域内に形成する林道等路網の根幹となるものであり、林業従事者の通勤、木材生産及び木材等林産物の輸送、間伐や造林等の施業が効率的に実施できるように配置する必要があります。

本事例では、既設森林作業道の道型も利用して幹線林道を整備することとし、起点は既設森林作業道の取り付け箇所、終点は北側の公道とし、森林地域に設定した施業団地に支線林道等を配置しやすいよう、概ね中央部を通過し、各施業団地にアクセスしやすい線形を計画します。

このことにより、林業従事者は起点側からアクセスしやすく、生産された木材等林産物は、北側の地元製材工場及び南側の既設林道を通じた木材市場に供給が可能となります。

なお、森林作業道は、幹線、支線、分線の林道それぞれに取り付け、利用する森林を面的にカバーできるように計画するため、幹線林道によって木材生産等の施業を行う範囲については森林作業道の取り付け及び林業作業用施設（作業場所、土場）の設置についても計画します（次図参照）。

林道整備計画の検討



③支線林道の整備計画

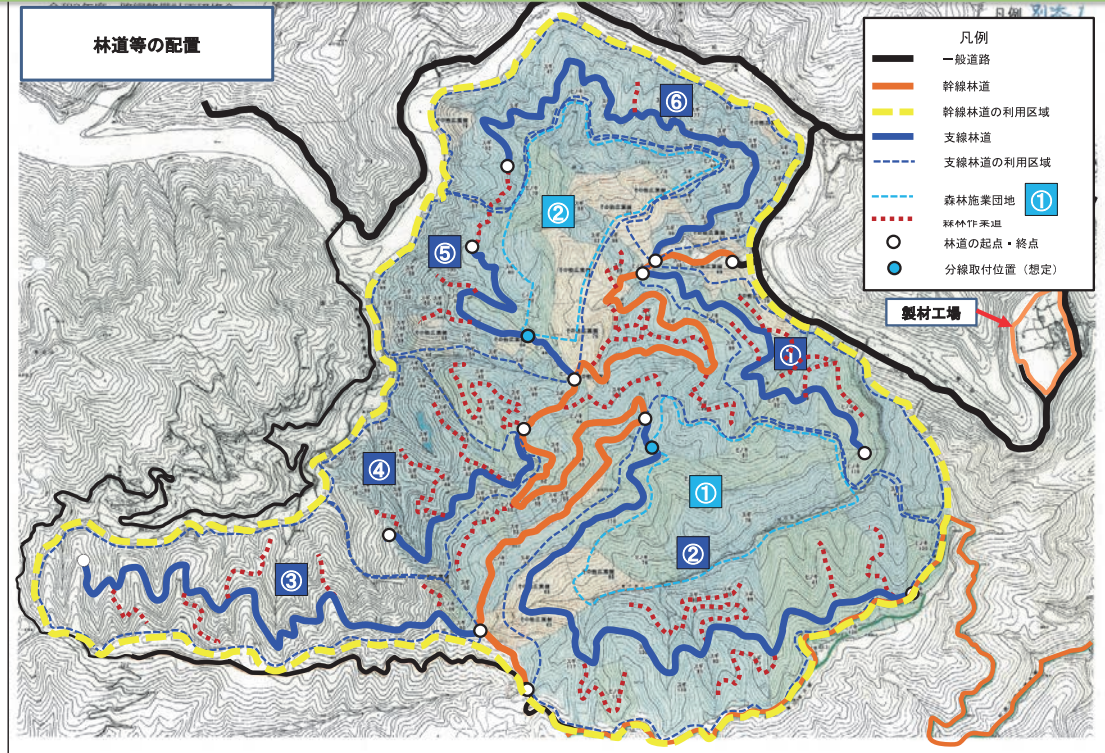
支線林道は、幹線林道から森林作業道を延伸させての車両系作業システムや幹線林道から架線系作業システムにより木材生産等を行うこととした場合、生産性や輸送効率が低位、適切な森林管理が行えないといった範囲の森林に林道等路網を展開できるように計画します。

本事例では、幹線の利用区域内に計画した施業団地ごとに支線林道を配置し、木材生産等の施業や輸送効率を向上させることとします。また、支線林道の線形は、森林作業道が展開しやすくなるよう、施業団地の概ね中央部を通過するように計画し、線形計画に合わせて森林作業道及び林業作業用施設の配置についても計画します（次図参照）。

なお、施業団地（濃い青色破線）の範囲は、支線林道の利用区域となります。

支線林道を配置しても車両系作業システム、架線系作業システムでは木材生産の生産性や輸送効率が向上できない範囲が生じる場合には、当該範囲を施業団地（水色の○付き数字）として設定し、分線林道の配置を検討します。

林道整備計画の検討

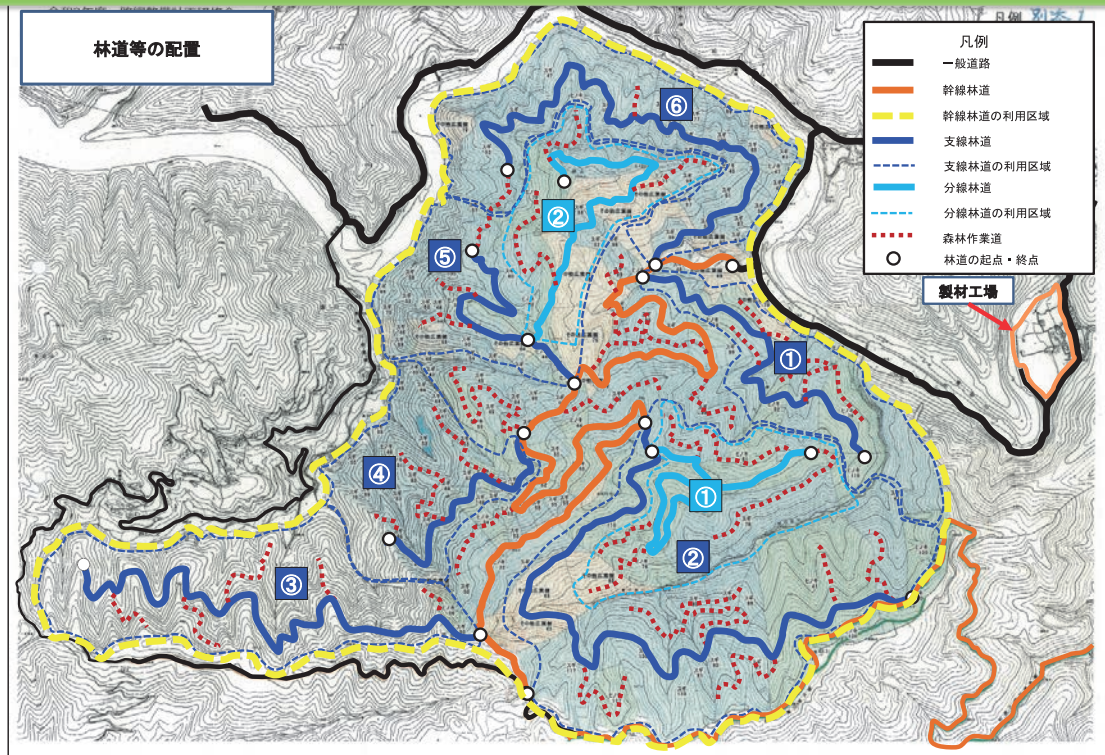


④分線林道の整備計画

分線林道は、支線林道の検討において車両系作業システムや架線系作業システムにより木材の生産性や輸送効率が向上できない範囲の森林を対象として設定した森林の範囲（施業団地）に森林作業道の路網を展開しやすくするよう、施業団地の概ね中央に配置するよう計画します。

分線林道の線形決定に併せて森林作業道の取付け、林業作業用施設の設置についても計画します（次図参照）。

林道整備計画の検討



以上のような林道と森林作業道による路網の整備計画作成に当たっては、森林総合監理士が、利用しようとする森林の範囲に所在する森林の所有者を適切に指導して森林の集約を行うとともに、伐採、造林等の事業を行う林業関係者、木材の供給先の関係者等の意見を聞き、利用区域内の森林資源の状況、生産する木材、木材の生産方法、造林・保育の方法、施業の継続性、地形、地質等を踏まえて適切に助言・指導を行う必要があります。

4 林道の規格

幹線、支線、分線は、利用区域内の森林を適切かつ効率的に利用するため、間伐、主伐、再造林、保育等の施業に必要な資機材や労働力の搬入、生産された木材等林産物の効率的な輸送等を考慮して配置します。

林道の規格は林道規程の第4条において自動車道の種類と級別の区分を、第9条において設計車両を、第10条において幅員（車道幅員）を定めており、一覧にすると次表の通りです。

表6-6 設計車両に応じた自動車道の種類、級別の区分、車道幅員の一覧

設計車両	自動車道の種類	級別の区分	車道幅員
セミトレーラ	第1種自動車道	1級	2.75m(車線) 4.0m
		2級	3.0m
普通自動車道	第2種自動車道	1級	2.75m(車線) 4.0m
		2級	3.0m
小型自動車道		3級	2.0m

林道の路線ごとの規格の決定に当たっては、通行させる自動車（設計車両）の種類を考慮する必要があり、そのためには森林資源の状況（齢級構成及び林分の配置、資源量等）、地形、地質、作業システム（輸送する木材の長さ、搬入機械の規格等を含む）、伐採や造林等の継続性等を考えなければなりません。

木材生産の観点では、生産が旺盛か否か、継続性の有無（齢級構成及び林分の配置）、土場等に滞留する木材の量（1回に輸送する木材の量、対象とする土場等の数）、輸送する木材の長さ、搬入する林業機械の規格等を考慮して通行させる自動車（設計車両）の種類を考えます。

例えば、木材生産が旺盛、継続性がある、輸送する1回当たりの量が多い、材長が長い、搬入する林業機械の規格が大きく、地形・地質的にも好条件である、といった場合は、セミトレーラを選定し、林道の規格は、第1種自動車道の1級又は2級となります。

同様の地域であっても、材長が比較的長い、搬入する林業機械の規格は中程度、地形等の条件は比較的の良い場合は、普通自動車（10t積トラック）を選定し、林道の規格は、第2種自動車道の1級又は2級となります。

木材生産が散発的、材長が短い、搬入する林業機械の規格が小型、地形等の条件が比較的が悪い場合は、小型自動車（3t積トラック程度）を選定し、第2種自動車道の3級となります。

使用するトラックにより輸送コストが大きく異なるため、輸送経費も考慮して林道の規格を考えることが必要です。例えば、山土場から工場等まで30km運搬すると仮定しておおよその試算をすると、20t積トラック（セミトレーラ）であれば2,000円/m³程度、10t積トラックでは3,000円/m³程度、4t積トラックでは5,500円/m³程度の木材運搬費になると考えられます。

地域によっては、木材生産が旺盛で継続性があっても、材長が比較的長い又は短い、地形条件等

が比較的悪い等により小型自動車しか選択できない場合などがあるため、通行させる自動車（設計車両）の種類を選定に当たっては、森林総合監理士は、森林所有者や伐採・造林等の林業関係者の意見を聞くとともに利用区域内の施業団地、地域の実情を踏まえて十分に検討することが必要です。

5 林道の役割別・自動車道の種類別・級の区分別の組合せ

林道は、役割によって幹線、支線、分線に区分されており、これを効果的に連結することにより林道網が構築され、これを基に森林作業道による路網が展開されます。

林道の規格は、前述の通り利用区域内の施業団地の状況や地域の実情等に応じて決定することとなるため、一律なものとなりません。

利用区域内の森林の全てが長尺材の木材生産に利用され、地形条件等も良い場合は、幹線、支線、分線の全てが第1種自動車道の1級又は2級となることがある一方で、材長の短い木材が生産され、地形条件等も悪い場合には、幹線、支線、分線の全てが第2種自動車道の3級となることもあります。

林道の役割別・自動車道の種類別・級の区分別の組合せは、利用区域内の森林資源、生産する木材、地形、作業システム等の条件を踏まえて十分に検討し、路線ごとに適切な規格を選定して行うことが必要です。

なお、林道の役割別・自動車道の種類別・級の区分別の組合せを一覧にすると次の通りです。

表6-7 林道の役割別・自動車道の種類別・級の区分別の組合せ一覧

区分	幹線	支線	分線	区分	幹線	支線	分線
1	第1種1級	第1種1級	第1種1級	16	第1種2級	第1種2級	第2種2級
2	第1種1級	第1種1級	第1種2級	17	第1種2級	第1種2級	第2種3級
3	第1種1級	第1種1級	第2種1級	18	第1種2級	第2種2級	第2種2級
4	第1種1級	第1種1級	第2種2級	19	第1種2級	第2種2級	第2種3級
5	第1種1級	第1種1級	第2種3級	20	第1種2級	第2種3級	第2種3級
6	第1種1級	第1種2級	第1種2級	21	第2種1級	第2種1級	第2種1級
7	第1種1級	第1種2級	第2種2級	22	第2種1級	第2種1級	第2種2級
8	第1種1級	第1種2級	第2種3級	23	第2種1級	第2種1級	第2種3級
9	第1種1級	第2種1級	第2種1級	24	第2種1級	第2種2級	第2種2級
10	第1種1級	第2種1級	第2種2級	25	第2種1級	第2種2級	第2種3級
11	第1種1級	第2種1級	第2種3級	26	第2種1級	第2種3級	第2種3級
12	第1種1級	第2種2級	第2種2級	27	第2種2級	第2種2級	第2種2級
13	第1種1級	第2種2級	第2種3級	28	第2種2級	第2種2級	第2種3級
14	第1種1級	第2種3級	第2種3級	29	第2種2級	第2種3級	第2種3級
15	第1種2級	第1種2級	第1種2級	30	第2種3級	第2種3級	第2種3級

林道整備計画の作成においては、林道の役割別・自動車道の種類別・級の区分別の組合せを考慮する必要があることから、森林総合監理士は、利用区域内の森林資源の状況、生産する木材、木材の生産方法、造林・保育の方法、施業の継続性、地形、地質等を踏まえ、林道の路線配置、路線ごとの規格等を適切に判断する知識と技術を有することが必要です。

森林を活用した地域経済、産業の振興を図るためには、森林所有者、伐採・輸送・造林等の事業関係者、木材加工業者等の要望を踏まえ、木材生産における生産性の向上、木材等輸送コストの低減、安定的な木材供給、再造林や保育等森林施業のコスト低減を図って、地域の林業・木材産業を持続的に成長させなければなりません。

生産された木材等を供給先に効率的に輸送することができなければ、森林施業団地内において林業専用道のような支線又は分線の林道と森林作業道による路網と作業システムを組合せて生産性を向上させる意味がありません。

このため、森林総合監理士は、森林施業地における施業の効率化のみでなく供給地への木材等の効率的な輸送も含めた広い視野を持たなければなりません。

第4章

作業システムと林業機械

1 作業システムとは

「作業システム」とは、木材生産現場における、「作業」と「機械」と「人」の有機的な組み合わせであり、立木の伐倒（伐木）、枝払い・玉切り（造材）、林道端や土場への搬出（木寄せ・集材）まで（場合によってはトラック積み込みまで）の一連の作業プロセスであると言えます。要は森林にある立木を丸太（素材）の形にして土場に集積するまでの方法であり、その要素は伐倒、枝払い、玉切り、集材など基本的に変わらないのですが、それらの工程の順番は、機械の選択や人の配置でさまざまな選択肢があります。この作業システムの構築は、それぞれの事業体の経営判断に基づくものですが、選択の幅が大きく、それ故に収益性を大きく左右する重大な投資判断でもあります。しかし作業システムの決定における基準は、その現場における木材生産の収益性の確保だけではなく、中・長期的な事業量の見通しや事業地の林況、さらには事業体の現場技能者の状況など、さまざまな側面があり、したがって1つの事業地であっても事業体によって最適なシステムは必ずしも同じではなく、また1つの事業体であっても事業地によって最適なシステムは異なるものとなります。

2 林業機械導入の考え方

林業機械は、作業システム構築の上で非常に重要な要素です。新品を購入すると、ハーベスタで2,000万円前後にもなる大きな投資となることから、重要な経営判断となります。一方でハーベスタの労働生産性を手持ちのチェーンソーと比較すると、伐倒・枝払い・造材まで一気に行うことができ、圧倒的な差があります。機械購入の判断基準は、購入価格のほか、事業量と稼働率の見通し、システムにおける生産性、メンテナンスや故障修理など維持管理費や運搬費など購入後にかかるコスト、オペレーターの確保などの要素が考えられます。

フォレスターの立場からは、補助金等を活用して安易に高性能な機械を導入し、稼働率が低位のままとなるような状態に陥ることを未然に防ぐという見地からのアドバイスが期待されます。一方で十分な事業量を確保し、積極的に生産性を向上しようとする事業体に対しては、処理能力が低く効率の悪い古い機械を更新し、より高性能・高効率な機械を導入することで、生産性を向上させるだけではなく燃費の改善、技能者のモチベーションの向上、労働安全の確保などに貢献することも考慮します。

さらに機械の処理能力に見合う十分な事業量の確保が可能で、地形や路網の条件が合致するのであれば、先進的な機能を持つ林業機械の導入により、飛躍的な生産性のアップが実現できる可能性があります。国内に導入した北欧製のハーベスタが点状間伐において、1台で伐倒から造材まで1日100m³を大きく上回る実績を挙げた例もあります。また操作系の自動化を徹底したタワーヤーダで伐採から造材までを3人で行い、高い生産性が実現できることも実証されつつあります。こうした従来の林業機械と比較して能力が格段に高い機械を導入するに当たっては、既に導入した事業体から情報を収集するなどにより、導入後の作業を現状及び今後の自らの条件に当てはめてシミュ

レーションした上で判断します。

機械の導入は、新品を購入するだけでなく中古を選択したり、レンタルやリースを活用することも条件によっては有力な選択肢となります。レンタルは、事業地や伐採方法に合わせて機械を選べるメリットがありますが、高度な機械ほどオペレーターの操作の習熟が大きく生産性に影響します。どのような導入方法による場合にも、故障修理の対応やメンテナンスなどをきちんとできるような体制とすることが必要です。



写真6-4 先進的な車両系林業機械の例

ドイツ製の林業用トラクタ。キャビンが270°回転し、前・後進が同じように可能。強力なダブルウインチは乱巻きをしない工夫がされている。アタッチメントは、グラップル、ハーベスタ、牽引荷台、クラムバンクなどが装着可能。

第5章

作業システム選択の考え方

1 作業システムの種類

作業システムは、伐倒した木を森林作業道や林業専用道まで引き寄せる方法（木寄せ）により、集材機やタワーヤードを使用する架線系とウインチの直曳きやグラップル等による車両系とに大別されます。車両系は比較的高い路網密度が要求され、架線系は急傾斜地などの路網密度が限られる作業地や、架線の架設・撤去の手間を考慮しても車両系よりも高い効率を得られるような条件の作業地で採用されています。特に車両系のシステムでは、使用する機械と人の組み合わせにより、多くのバリエーションが考えられます。林地傾斜は路網配置に密接に関連し、作業システムも林地傾斜と路網配置に密接に関連しています。これらの関係を大まかに整理すると、以下の表のようになります。

表6-8 作業システムの例

区分	作業システム	最大到達距離(m)		作業システムの例			
		基幹路網から	細部路網から	伐採	木寄せ・集材	枝払い・玉切り	運搬
緩傾斜地 (0 ~ 15°)	車両系	150 ~ 200	30 ~ 75	ハーベスタ	グラップル ウインチ	(ハーベスタ)	フォワーダ トラック
中傾斜地 (15 ~ 30°)	車両系	200 ~ 300	40 ~ 100	ハーベスタ チェーンソー	グラップル ウインチ	(ハーベスタ) プロセッサ	フォワーダ トラック
	架線系		100 ~ 300	チェーンソー	スイングヤード タワーヤード	プロセッサ	トラック
急傾斜地 (30 ~ 35°)	車両系	300 ~ 500	50 ~ 125	チェーンソー	グラップル ウインチ	プロセッサ	フォワーダ トラック
	架線系		150 ~ 500	チェーンソー	スイングヤード タワーヤード	プロセッサ	トラック
急峻地 (35° ~)	架線系	500 ~ 1500	500 ~ 1500	チェーンソー	タワーヤード	プロセッサ	トラック

(路網・作業システム検討委員会最終報告から一部改変して引用)

注：この表は、現在採用されている代表的な作業システムを、使用されている林業機械により現しつつ、傾斜および路網密度と関連づけたものであり、林業機械の進歩・発展や社会経済的条件に応じて変化するものである。地域において、今後の路網整備や資本装備の方向を決めるに当たっては、地域における自然条件、社会経済的条件を踏まえた工夫や経営判断が必要である。「グラップル」にはロングリーチ・グラップルを含む。

2 路網と作業システム

路網と作業システムは相互に密接に関連しています。森林経営計画に記入され、予定される路網は、第3章にあるとおり、現在はもちろんのこと、将来の資源状況や施業を勘案して決める必要があります。その際作業システムと路網は、相互に最適な配置やシステムの選択に影響し合います(表6-8)。路網に応じて最適な作業システムを決めるか、作業システムに応じて最適な路網配置を決めるかは、どちらがより強い制約条件を持っているかによりますが、現在地域の林業事業体が通常採

用している作業システムだけでなく、将来を見据えてより効率の良い作業システムに誘導していくという視点がフォレスターには求められます。

3 作業システムの選択の考え方

実際の作業地に応じた作業システムを選択するにあたっては、林地傾斜や路網密度、さらには送電線、下流の養魚場、付近のレクリエーション施設や観光施設等作業が何らかの影響を与える可能性がある施設の位置などの作業地の制約条件をはじめに勘案しなければなりません。さらに土壌支持力が低い場合や林床植生が攪乱に弱い場合は、例え緩傾斜地であっても土壌保護の観点から林内走行型のシステムは避けざるを得ない場合があります。このようなさまざまな条件を考慮した上で、人（事業体の雇用する技能者の数と能力）、機械（保有する機械とレンタル・リース、新規購入、共同購入等の可能性）、作業（皆伐、列状伐採、点状伐採などの仕様）などの現地条件以外の条件を考慮するとともに、路網の新設の可能性、伐採対象木の樹種やサイズ、土場の配置、運材の方法（仕分けの必要の有無、トラックの大きさ等）の組み合わせによる生産性とコストのシミュレーションを行います。いくつかのパターンのシミュレーションを行い、単純な生産性や収益性のほか、さまざまな条件を比較検討して決定します。フォレスターには、森林施業プランナーや事業体の検討状況に対して情報収集を行い、必要な観点について検討を十分に行って合理的な選択をしているか、改善の方向へ向かっているか、といった視点でアドバイスすることが期待されます。

このシミュレーションでは、丸太の川下までの流れを組み入れることが重要です。具体的には、丸太の仕分けをどこで行うのが最も高く売れ、コストを抑えられるか、つまり収益が高まるか、という視点が重要です。例えば、素材生産者が仕分けをして製材工場、合板工場、チップ工場などへ直送することにより流通プロセスとその経費（市場や卸売りの手数料、横持ち経費）を省くという方法、山元の作業ポイントから仕分けをせず、全量直接特定の需要者（製材工場、市場等）に納入し、機械選別などを行うことにより、狭い山元土場での積み降ろし、仕分け、巻立てのプロセスを省くという方法、さらに一部（例えばチップ用材）だけを工場に直送して、その他の材を市場へ運搬して選別する方法などが考えられます。このような出荷方法の選択肢は、地域における川中（市場・卸）や川下（製材工場、合板工場、チップ工場等）の業態・配置や山土場の作設における制限などによりある程度限定されます。また、この選択肢によってはトラックを作業ポイントまで入れるために林業専用道が中心のシステムとする必要があるのか、山土場で仕分けする場合は森林作業道の延長や密度をどうするのか等、作業システム構築の考え方に直結します。一方、現状と比較してより合理的と思われる選択肢があるか他地域の事例なども研究し、出荷先までの距離、方法毎に適したトラックの大きさ、市場の手数料や機械選別などの機能などを勘案してシミュレーションを行い、新たな方法を提案していくことにより、地域の木材資源の競争力を高めることができる可能性があります。

4 作業システムと生産性

以上のような制約条件を満たした作業システムの中から、生産性の高い、より収益が得られるような作業システムを選択、導入します。それでは、「生産性の高い」作業システムを選択するポイントとは、どのようなものでしょうか？

「生産性」とは、通常労働生産性を意味し、技能者1人当たりの素材生産量（ $\text{m}^3/\text{人日}$ ）で表します。人件費はコストに占める割合が高いことから、多くの場合生産性の向上がコスト縮減の鍵になります。通常木材生産は数人のチーム（セット）で伐倒から山土場での巻立てまでを行うので、1人当たりの生産性はセット当たりの生産性と異なることに注意が必要です。つまりセット当たりの生産量が同じでも、セット当たりの人数が異なれば、大きく労働生産性は変わります。基本は、「1セットにふさわしい生産量をより少ない人数で」ということになります。ここで「1セットにふさわしい生産量」とは、プロセッサやハーベスタなど、1人当たりの処理能力が最も大きい機械を中心にセットを考えた場合に生産できる最大の量と考えることができます。

例えば、プロセッサは通常1～2分程度で1本の全木伐倒木の枝払い・玉切りを行うことが可能です。つまり1時間に30～40本、6時間で180～240本程度の処理が可能です。1本当たり0.3 m^3 であれば70 $\text{m}^3/\text{日台}$ 、条件が良い場合、高性能のプロセッサであれば80 $\text{m}^3/\text{日台}$ 以上も可能となります。しかしプロセッサがフルにその能力を発揮するためには、他のすべての工程の処理能力がこの処理能力に釣り合う必要があります。つまりボトルネックとなるような工程を作らない工夫が求められます。

こうしてプロセッサの能力をフルに発揮させ、1セット1日で72 m^3 を生産した場合、セットの人数が4人であれば18 $\text{m}^3/\text{人日}$ 、8人であれば9 $\text{m}^3/\text{人日}$ となります。プロセッサは1時間に40本処理するので、この処理能力をフルに発揮させるためには、他の工程も時間当たり12 m^3 の処理量を確保する必要があります。このためには、全木伐倒に2人、木寄せにグラップルと荷掛けに2人ずつが必要です。また、プロセッサが造材した丸太を4 m^3 積みのフォワーダでトラックでの運搬が可能な土場まで1時間に3往復する必要があります。積み降ろしにはかなりの時間がかかるので、走行時間を往復12分程度とすると、5 km/h の平均走行スピードであれば平均運材距離は片道500mとなります。このセットで合計8人、セットで72 $\text{m}^3/\text{日}$ 、1人当たりでは9 $\text{m}^3/\text{人日}$ の労働生産性となります。理論的には、以上のようにプロセッサなどセットに1台配置する最も処理能力の高い機械をフルに稼働させる組み合わせを検討することになります。しかし、この例では荷掛けとウインチ（グラップル）の組み合わせの2組が1台のプロセッサに向かって同時に木寄せする必要がありますが、このような作業が可能な箇所は、ほとんどないと言わざるを得ません（表6-9）。

表6-9 (例1)セット当たり8人の場合

	全木伐倒	木寄せ	枝払・玉切り	集材	セット
人員配置	2人	2人+2人	1人	1人	8人
使用機械	チェーンソー 2台	グラップル 2台	プロセッサ	フォワーダ	重機4台
セット生産性 m^3/h	12	12	12	12	12
セット生産性 $m^3/日$	72	72	72	72	72
労働生産性 $m^3/人日$	36	18	72	72	9

注：木寄せは、荷掛けとウインチ操作（グラップル）の2人組を想定。

そこで、生産性の高いプロセッサとフォワーダを1人で操作することになると、理論的には同程度の労働生産性を確保することができます（表6-10）。

表6-10 (例2)セット当たり4人の場合

	全木伐倒	木寄せ	枝払・玉切り	集材	セット
人員配置	1人	2人	0.5人	0.5人	4人
使用機械	チェーンソー	グラップル	プロセッサ	フォワーダ	重機3台
セット生産性 m^3/h	6	6	6	6	6
セット生産性 $m^3/日$	36	36	36	36	36
労働生産性 $m^3/人日$	36	18	72	72	9

上記の2例はいずれもすべての作業員が手待ち時間を生じない人員配置になっていることから、同程度の労働生産性となっています。この2例の違いは、機械台数当たりの生産性です。例1では重機がフル稼働するのに対し、例2ではプロセッサとフォワーダが交互の稼働となります。これを機械損料からコストのかかり増しとみることもできます。理論上の最大の生産性を達成するのは、さまざまな制約条件から難しいのですが、作業員と機械の両方の稼働率がより高まるような合理的な配置を追求することにより、労働生産性の向上や機械損料を含めたコストの低減を図ることが可能になります。これらの2例の生産性を改善するオプションにはどのようなものがあるのか、森林施業プランナーや事業体にアドバイスすると仮定してシミュレーションをしてみます。

木寄せの工程を改善するため、ロングリーチのグラップルを導入して木寄せを1人でまかなうと、1セット3人となり、1人当たりの生産性は $12m^3/人日$ に向上します。このオプションは、森林作業道の配置がグラップルによりすべての伐倒木に届くように設計されていることが必要となります。その際、12tクラスのロングリーチ・グラップルが届くのは作業道の中心から12m程度ですので、伐倒した木をすべて直接つかむためには、 $150m \sim 250m/ha$ の路網密度が必要となること、車両価格が通常のグラップルよりも400万円～500万円程度高くなることも考慮に入れる必要があります。現地の条件によって、路網密度を抑えながら作業の組み合わせを工夫することにより、直接つかめる範囲の外にある材だけをウインチで木寄せするなど、さまざまな工夫が考えられます。

また伐倒作業では、樹高20m以上もある伐採対象木を倒すことから、十分な作業間隔が必要と

なります。このため、木寄せと並行作業をする場合にプロセッサの枝払い・造材工程に見合う複数の伐倒手・荷掛手が安全に作業するためには、接近同時作業を避けるための手待ちが生じるなど、非効率になりがちです。こうしたことを防ぐためには、伐倒をその後の工程と切り離して先行伐倒し、独立した工程とすることにより接近作業による危険を軽減するとともに、手待ち時間を解消して効率の向上につながります。

なおスイングヤード、タワーヤード、集材機などの架線系のシステムの場合は、その架設・撤去の効率が生産性に大きく影響しますので、その移動頻度（ライン当たりの生産量）と架設・撤去にかかる労力（人数×時間）なども考慮に入れて、比較検討する必要があります。例えばタワーヤードのスパンを長くとることができ、その範囲すべてが間伐対象である場合は、架設・撤去にかかる人手・コストが相対的に少なくなります。また架設・撤去の作業に習熟することは、生産性の向上に直結します。さらにタワーヤードに中間支持器の位置をあらかじめ入力でき、その前後の減速運転が自動で可能な機種であれば、架設距離が長い場合であっても、配置人数を増加させることなく効率を高めることができます。

このほか、オートチョーカーを使用して荷外しをリモコンで行うことにより、タワーヤード側はプロセッサのオペレーターが荷外しと枝払い・造材を1人でプロセッサに乗ったまま行うことも可能です。このことにより大幅な効率アップが望めるとともに、急傾斜地での荷外し作業に伴う危険を排除することができます。



写真6-5 先進的な架線系林業機械の例

オーストリア製の牽引式タワーヤード。リモコンによる運転や中間支持器での自動減速が5箇所まで可能。

第6章

地域における 作業システムの構築

1 地域における作業システムのモデルの構築

これまで述べた通り、作業システムは多様で、最適な作業システムは、各事業者さらには各事業地により異なるものになります。また機械を購入して作業システムを変更する場合などは多額の投資が必要となるので、事業者の経営判断の範疇に入るものです。

しかしながら、事業者固有の条件を除けば、地形、地質、森林の分布、所有形態や樹種・齢級構成、木材流通・加工業の状況など、条件を共有できる一定の広がりを持つ地域でこうした条件下で効率的な木材生産が可能となるいくつかのモデル的な作業システムを示すことは、事業者にとってばかりではなく幅広い関係者にメリットがあります。具体的な例を挙げると、作業システムは路網と密接に関連がありますが、林道（林業専用道を含む）は、市町村など地方公共団体が主体となって開設・維持・管理を行います。作業システムのモデルを地域で策定する際には、市町村が参加することにより、路網にあった作業システムのモデルを策定したり、作業システムのモデルを勘案した路網整備を計画したりすることが可能となります。また作業システムのモデルは、短・中期的な林業機械の需要を押し量る根拠になり、レンタルやリースの業界にとっては、作業システムが求める機械を整備しやすくなります。

このような地域における作業システムのモデルを策定するに当たっては、林業事業者、森林所有者、地方自治体、研究機関などの関係者の参画を得て、森林資源のもたらす便益を最大限に活用することを目的として検討します。その際に、森林経営の持続性を実現することを意識して、間伐だけでなく主伐後の更新経費もカバーできるよう、直接的な木材生産コストや売上げだけでなく、山土場以降の流通コスト（運賃、手数料等）も勘案したトータルの収益性を検討するとともに、主伐の計画を策定する際には、更新作業の効率化も勘案する必要があります。関係者はえてしてそれぞれの日常の経済活動を中心とした立場に立ちがちなので、フォレスタは総合的な得失や短期的なメリットだけでなく中・長期的な林業のサイクルも見据えた戦略として、作業システムのモデルと路網計画を策定することが望まれます。

2 作業システムのPDCAサイクル

PDCAサイクルは、作業システムのモデルにも適用させることが必要です。地域で作業システムのモデルを定めて関係者に周知した結果、どのような変化が生じたのか、具体的には林業事業者の作業システムがどのように変わり、その結果生産性、コスト、機械の稼働率、作業性などはどのように変化したのか、路網とのマッチングはどうだったのか、環境スポットを運材トラックが騒音や埃をあげて通行したり、集材架線が景観に支障を与えるなど環境や観光産業などへの影響はどうだったのか等を検証し、必要に応じてモデルを加えたり、修正したりすることが必要です。また伐採対象木の構成、作業地の条件、木材流通・加工等の変化があった場合や新たな林業機械が選択可

能となった場合に、それまでのモデルを見直す必要があるか、などを定期的にチェックすることで、その時々で最も合理的で有利なシステムを選択できる情報を共有することができます。このような取組は、地域の林業関係者の意識を高め、地域の林業全体の底上げにつながるとともに、情報交換や意見交換を通じて流通・加工部門と川上の関係が強化され、川上から川下までを視野に入れた地域戦略に発展することも可能となります。フォレスターは、このような枠組みを提案、構築、運用する際の核となることが期待されます。

コラム

需要構造を踏まえた木材生産と販売

柱目や無節など化粧性の高い柱材を中心とした木材が求められる市場から、大壁工法の構造材や合板・ボード類などいわば原料としての木材へと市場のニーズがシフトして久しくなっています。このことを背景として一般的なスギ丸太のAからC材までの価格差が縮まっていることや、曲がり材を効率よく製材する加工機械の進歩とスギを活用した新たな製品の開発などによりB材の用途が拡大するなど、スギ材の需要構造は引き続き大きく変化しています。こうした流れを受け、九州地方のI木材市場では、素材生産現場等と連携し、マーケットの変化に対応して造材や流通販売方法の改善を図り、森林所有者への還元の増大に取り組んでいます。

従来は直材生産のみを目的とした造材であったことから、材の曲がりを除くために短尺材や端材を造材してきましたが、曲がり部分を含めて3mや4mに造材し、その曲がり材（B材）を加工することができる工場に、山元から直送するようにしました。この取組によって、比較的林齢の若い間伐林分においては造材歩留まりの向上が図られるとともに、材の曲がりにこだわらずに造材できることから、プロセッサの性能をより発揮することができ、造材経費の低減も期待できます。また、山元と需要者を直接結ぶことにより、流通経費の低減も図ることができます。

このように、木材市況のほか、地域における住宅産業や木材加工工場がどのような材をどのような価格でどれだけ量を求めているのかなどを的確に把握し、素材の生産から流通までのプロセスを考えることにより、林業従事者の所得や森林所有者の手取りの向上につなげることができます。

第7章

コスト計算と機械の能力

第7章は「平成21年度 施業集約化・供給情報集積事業『提案型集約化施業テキスト』第3部第4章」を一部編集し転記しています。

1 生産性と採算性のバランス

第4章～6章で作業システムと生産性について分析してきましたが、これをコスト面からも分析することが不可欠です。いくら生産性が高くても、機械を揃えるのに費用がかかりすぎて採算が取れなければ、絵に描いた餅になってしまうからです。

コストについては、まずは年間ベースで算出し、それをまかなうために必要な事業量を設定する必要があります。

なお、簡略化のため、コスト計算の対象は、伐倒－造材－集材（トラックが入れる林道端まで）までとし、作業道の開設やトラック運材費、市場手数料などは考慮に入れていません（実はこの費用も大きいのですが）。また、現場作業にかかわる直接事業費のみを対象とします。調査費も含めた間接事業費は、直接事業費の4割と仮定して話を進めます。

2 年間経費を賄えるだけの事業量を達成できるシステムかどうか

現場技能者が通年で作業に従事して、購入（またはレンタル）した機械を使えば、年間で必ず一定の経費が発生します。これを賄うためには、事業量を確保し、一定以上の売上げを達成する必要があります。

これは、製造業で「予算管理」と呼んでいる、年間事業計画のことです。その点で、木材生産は、木材（丸太）の製造と考えることができます。木材生産の年間事業計画とは、現在の材価や補助金、森林所有者への返却金も想定しながら、想定する作業チーム（現場技能者数・機械の台数）でどれくらいの素材生産量が最低限必要かを計算することです。

この必要事業量を計算したら、想定する作業システムが、そもそもその事業量を達成できるかを考えなければなりません。達成できれば黒字になり、できなければ赤字になるということです。

3 年間必要事業量の計算方法

間伐の場合、現場作業でかかる直接事業費の多くは、人件費と機械経費です。まず、前述の作業システムの中で一番シンプルな事例として、1チーム（現場技能者4名）が専用でハーベスタとフォワーダを使用した場合の年間事業費を計算します。

人件費は、日額の日当・手当てに加えて、事業体で負担する社会保険料も含めた総額の人件費とします。日給月給制で、4名とも日当と手当ての合計が16,000円/人日、これに社会保険料25%を加えて、日額総人件費を20,000円/人日とします。仮に、利用間伐を年間200日行う計画であれば、

このチームの年間の総人件費は1,600万円（4名×200日×20,000円/人日）となります。

一方、機械経費は、減価償却費、維持管理費、燃料費の合計です。例えば、購入価格800万円のフォワーダを5年で償却する場合、各年度に均等に振り分ければ年間160万円の減価償却費となります。

また、購入から廃棄までに購入価格と同額の修理費がかかると想定すれば、同様に年間160万円の維持修理費がかかります。さらに、1日当たりの軽油消費量が30ℓ、軽油単価100円/ℓ、年間の想定運転日数150日とすると、年間の燃料費は45万円となります。そして、これらを合わせると、フォワーダの年間経費は365万円となります。

同様に、ハーベスタについても年間経費を計算し、これらを合計したのが表6-11です。総人件費と機械2台の経費で年間約2,700万円かかることとなります。なお、ハーベスタについては、購入価格を2,000万円、見込みの修理費を購入価格の半分で計算しました。

表6-11 現場技能者4名+ハーベスタ・フォワーダの年間の事業費

(単位：万円)

費用の項目		費用	備考
現場技能者総人件費		1,600	4名×200日×20,000円/人日
フォワーダ経費	減価償却費	160	購入価格800万円÷5年
	維持修理費	160	購入価格800万円×100%÷5年
	燃料費	45	(軽油) 30ℓ/日×100円/ℓ×150日
	小計	365	
ハーベスタ経費	減価償却費	400	購入価格2,000万円÷5年
	維持修理費	200	購入価格2,000万円×50%÷5年
	燃料費	118	(軽油) 70ℓ/日×100円/ℓ×150日
			(オイル) 3ℓ/日×300円/ℓ×150日
小計	718		
直接事業費		2,683	
間接事業費			
総事業費			

また、森林施業プランナーが施業地のとりまとめや調査をする費用や事務所経費など、間接的にかかる費用を、簡略化のため直接事業費の4割とします。この場合、間接事業費は1,073万円（2,683万円×40%）となり、直接事業費と合わせた年間の総事業費は3,756万円となります。

次に、木材の売上げや補助金、森林所有者への返却金、木材の運搬費用（外注）の差引きから、事業単価を見積ります。ここでは、表6-12のように、事業単価10,000円で、年間の総事業費をまかなうものとします。

年間総事業費を事業単価で割ると、年間必要事業量が計算できます。この事例では、3,756m³/年となります。ここで、人件費は年間200日で計算していますので、総人工数800人日から、1人1日当たりの必要生産性は4.7m³/人日となります。林分条件の良し悪しもありますが、年間を通して最低限この生産性を達成できれば、森林所有者も事業体も適度に利益を得ることができます。

- 年間必要事業量 $3,756\text{m}^3 = \text{年間総事業費 } 3,756\text{万円} \div \text{事業単価 } 1\text{万円}/\text{m}^3$
- 必要生産性 $4.7\text{m}^3/\text{人日} = \text{年間必要事業量 } 3,756\text{m}^3 \div 800\text{人日}$

表6-12 事業単価の見積り

収入等および費用の項目		m ³ 当たり単価
収入等	①木材売上(手数料等控除後)	9,000
	②補助金(m ³ 当りに換算)	4,000
	③木材売上+補助金(①+②)	13,000
費用	④所有者返却金	1,000
	⑤木材運搬費(外注)	2,000
	⑥小計(④+⑤)	3,000
	⑦事業単価(③-⑥)	10,000

4 スイングヤード・プロセッサ・フォワーダを使った年間事業計画

続いて、現場技能者5名でスイングヤード・プロセッサ・フォワーダの、いわゆる3点セットを使用した場合の年間事業計画を見てみましょう。

表6-13 現場技能者5名+3点セットの年間の事業費

費用の項目	費用(万円)	備考	
現場技能者総人件費	2,000	5名×200日×20,000円/人日	
スイングヤード経費	減価償却費	360	購入価格1800万円÷5年
	維持修理費	108	購入価格1800万円×30%÷5年
	燃料費	75	(軽油) 50ℓ/日×100円/ℓ×150日
	小計	543	
プロセッサ経費	減価償却費	400	購入価格2,000万円÷5年
	維持修理費	200	購入価格2,000万円×50%÷5年
	燃料費	118	(軽油) 70ℓ/日×100円/ℓ×150日 (オイル) 3ℓ/日×300円/ℓ×150日
	小計	718	
フォワーダ経費	減価償却費	160	購入価格800万円÷5年
	維持修理費	160	購入価格800万円×100%÷5年
	燃料費	45	(軽油) 30ℓ/日×100円/ℓ×150日
	小計	365	
直接事業費	3,626		
間接事業費	1,450	直接事業費×40%	
総事業費	5,077	直接事業費+間接事業費	

この場合、年間必要事業量は $5,077\text{m}^3$ となります（総事業費 $5,077$ 万円 \div 事業単価 1 万円/ m^3 ）。また、1人1日当たりの必要生産性は $5.1\text{m}^3/\text{人日}$ となります。さらに、機械の想定運転日数 150 日から考えると、各機械の1日当たりの処理量は $33.9\text{m}^3/\text{日}$ となり、図表9（『提案型集約化施業テキスト』第3部 第3章参照）の想定値（ $25\text{m}^3/\text{日}$ ）を大幅に上回ります。

仮に、各工程の生産性を $25\text{m}^3/\text{日}$ に固定すると、各機械は年間 203 日稼働しなければ必要事業量に達しません。実際には、機械は回送や修理、現場に置いてあるが動かない日もあるため、現実の生産性では年間必要事業量を達成しえないことがわかります。

なお、機械の購入に補助金が出ている場合、年間必要事業量は減価償却費の低減分だけ少なくなります。ただし、補助が出ていたとしても、機械の購入に際してはこのような事前設計が必要であることに変わりはありません。表6-13の事例では、機械の購入に 100% の補助が出た（償却費ゼロ）と仮定しても、採算は取れません。

購入した機械を使ってから後悔しては後の祭りですので、まずはデモ機やレンタル機での試用や、先進地の視察などを経て、購入するのが良いでしょう。

5 スイングヤードとプロセッサを使った年間事業計画

最後に、フォワーダを使わずに、林業専用道へ運搬用トラックがそのまま入ってくる場合の作業システムについて検討します。使用する機械は、スイングヤードとプロセッサ、土場用のミニグラップルの3台です。

フォワーダでの集材作業がなくなった分、機械の年間運転日数を 160 日としています。年間必要事業量は $4,276\text{m}^3/\text{人日}$ 、1人1日当たりの必要生産性は $5.3\text{m}^3/\text{人日}$ です。

また、各機械の1日当たりの処理量は $26.7\text{m}^3/\text{人日}$ となり、フォワーダを使う場合よりも低くなっています。想定値よりも若干高い生産性が必要となりましたので、やはり集材工程が事業量達成のカギとなります。

表6-14 現場技能者4名+3点セットの年間の事業費

費用の項目	費用(万円)	備考	
現場技能者総人件費	1,600	4名×200日×20,000円/人日	
スイングヤーダ 経費	減価償却費	360	購入価格1800万円÷5年
	維持修理費	108	購入価格1800万円×30%÷5年
	燃料費	80	(軽油) 50ℓ/日×100円/ℓ×160日
	小計	548	
プロセッサ経費	減価償却費	400	購入価格2,000万円÷5年
	維持修理費	200	購入価格2,000万円×50%÷5年
	燃料費	126	(軽油) 70ℓ/日×100円/ℓ×160日 (オイル) 3ℓ/日×300円/ℓ×160日
	小計	726	
ミニグラップル 経費	減価償却費	100	購入価格500万円÷5年
	維持修理費	50	購入価格500万円×50%÷5年
	燃料費	30	(軽油) 20ℓ/日×100円/ℓ×160日
	小計	180	
直接事業費	3,054		
間接事業費	1,221	直接事業費×40%	
総事業費	4,276	直接事業費+間接事業費	

6 現場作業の体制

これまでの事例では、あくまで簡略化のために、1チームの人数を固定し、そのチームが機械を専用で使うことを前提に検討しました。

ところが、実際には現場技能者4名が林業機械2～3台を占有するのは現実的ではありません。伐倒や、さらには作業道の開設作業なども含めると、ある程度状況に合わせて施業地に入る技能者の人数を調整することも、低コスト化を実現するためには重要です。

1作業班の人数を固定することは、ある日は人手が足りず、別の日には手持ち無沙汰になりかねません。これは、施業地の面積が小さければなおさらで、隣接作業であれば危険も増します。工程管理には、このような現場の状況に応じた人数の微調整も含まれます。

また、生産性という数値は、第一に作業システムで決定されるため、現場技能者が一生懸命働けばその分だけ数値が上がるとは限りません。これまで見てきた通り、事前の機械選定と組み合わせが非常に重要です。

さらに、生産性は、現場技能者の作業の結果ですので、日頃の連絡と情報共有の下、技術や作業効率の向上を目指す雰囲気ある職場づくりも大切です。その点で、単に作業日報を現場から出してもらえば十分というわけではありません。関係者の情報(データ)の共有と、ムダを省くための日々の工夫の積み重ねが生産性向上のカギとなります。

