公益社団法人国土緑化推進機構
「緑と水の森林基金」事業助成

路網整備と森林施業（特に間伐）技術体系に関する調査研究

平成 22 年度報告書

平成 23 年 12 月

森林保全管理技術研究会

は じ め に

本報告書は、「森林・保全管理研究会（路網整備部会）」の活動の成果について取りまとめたものである。本路網整備部会は、森林整備技術および路網整備技術について扱うことである。森林整備技術は、森林整備の重要なる手段である間伐作業について、施業としての間伐方法の検討と低コスト作業方法としての路網と高性能林業機械による作業システムの構築を目的とする。その上で森林施業法全体について考える．間伐方法については、各種の方法が提案されているが，搬出方法は，市場価格に見合う，経済的に成り立つ低コスト出材方法は未だ確定していない。この搬出作業システムの構築を図る。特に急傾斜地における搬出システムに重点を置いて従来型の架線系高性能林業機械を検討したが、今までに我が国になかった「新世代タワーヤーダ」の応用に重点を置いて検討した。

路網については，林野庁における路網検討委員会によって「林業専用道」の提案があった．従って路網を構成する林道，林業専用道，森林作業道についての技術的確立を必要とする．特に，林業専用道と森林作業道について，規格構造，路体構造，測量設計法，作設基準を示し，森林施業技術体系を構築する。

最終目標の現地集材マニュアルを作成する準備段階としてより現場に分かる形で、下記の項目別に取りまとめた。

Ⅰ．森林施業技術

森林施業技術については、造林技術、森林計画技術と関連する分野までに及ぶが、特に重要と思われるのが搬出にかかわる間伐、皆伐といった分野であろう。この間伐等の森林施業技術について検討した。間伐搬出と関係する高性能林業機械による作業システムは、急傾斜林地を中心に検討した。急傾斜地における搬出法として、今までと異なった、パワーは従来型の２倍、スパンは 500～800ｍといった従来型では考えられない「新世代タワーヤーダ」の仕様から適用、効率等について論じ、またこれにあった路網についても論ずる。

Ⅱ．林道と森林作業道について

林野庁は、検討委員会の検討結果から林道の範疇に属し、なおかつ林道より作設単価の安い「林業専用道」を実施することとした。この新たなる「林業専用道」の路体構造、設計指針はどうあるべきかについて論ずる。また森林作業道についても「四万十式」、「大橋式」あるいは「簡易で長持ちする改良型」といったようにいろいろな論議がある。これらを含め、その路体構造、設計指針はどうあるべきかといった検討を述べる。

Ⅲ．作業システム構築マニュアル

間伐に新世代タワーヤーダをもちいたシステムを構築したが，実際に林業を行うときには，どのように実行するかについて述べる．これについては　路網の計画段階から　林道，林業専用道，森林作業道について作設法までの手順についてを述べる．

特に急傾斜林地での森林施業すなわち採算の合う林業を行う場合の路網計画から、搬出計画、さらには具体的に架線、スイングヤーダあるいはタワーヤーダを架設する場合の注意点などについて述べる。

Ⅳ．間伐材の経済的利用技術

森林・林業の再生を目指す場合には，木材の需要の面が順当でなければならない．木材の需要についても近年変化が見られる．たとえば，檜の良質材について価格の下落が見られたり，無垢材からラミナーといった集成材の需要が多くなってきている．間伐材についても低質材としての需要がなければならない．さらには温暖化防止としての木材のバイオマス利用について

も喚起しなければならない．さらにはマーケットとしての市場についての変化も上げなければならない．流通面では大型の輸送システムがコスト面で有利と言われている．この点についても論ずる。

本検討委員会の開催中に林野庁においても「森林土木研究会」を立ち上げ、「林道、作業道について」検討を始めた。特に、林道の中で「林業専用道」を新たに立ち上げた等，本会の活動と重なるところもあったが、本会としては、林野庁の政策に沿った中で具体的に新たな提案をするということで当初の目的に幾分修正を加えながら活動した。この間に林野庁等の動きの中で決定された項目についてできるだけ資料として添付した。

尚、本研究会の委員は、下記の方々であり、各担当項目について執筆していただいた。

森林・保全管理研究会（路網整備部会）委員

（主査）	東京大学 名誉教授	小林　洋司
	独立行政法人 森林総合研究所　林業工学領域長	梅田　修史
	東京大学大学院農学生命科学研究科　准教授	仁多見　俊夫
	㈱森林環境コンサルタンツ 代表取締役	壁村 秀水
（副主査）	株式会社 森林テクニクス 業務課長	鎌滝　晋

平成 23 年 12 月

森林・保全管理研究会（路網整備部会）　主査　　小林洋司

平成 22 年度
森林・保全管理研究会（路網整備部会）　　報告書

目　　次

はじめに
Ⅰ．森林施業技術 1
　Ⅰ－１　森林施業法 1
　　Ⅰ－1－1　森林・林業について 1
　　Ⅰ－1－2　森林施業法の種類 8
　　Ⅰ－1－2－1　天然林における森林施業法 9
　　Ⅰ－1－2－2　人工林における森林施業法 10
　　Ⅰ－1－3　森林作業法 10
　　Ⅰ－1－3－1　間伐作業法 10
　　Ⅰ－1－3－2　列状間伐 11
　　Ⅰ－1－3－3　作業システムと地形区分 13
　Ⅰ－2　高性能林業機械による作業システム 15
　　Ⅰ－2－1　高性能林業機械による低コスト作業システム 15
　　Ⅰ－2－1－1　概　要 15
　　Ⅰ－2－1－2　高性能林業機械による作業システム適用手順 18
　　Ⅰ－2－2　急傾斜地における作業システム 22
　　Ⅰ－2－2－1　従来型の架線集材 22
　　Ⅰ－2－2－2　タワーヤーダ集材 27
　　Ⅰ－2－2－3　スイングヤーダ集材 29
　　Ⅰ－2－2－4　スイングヤーダによる作業事例 36
　　Ⅰ－2－3　新世代タワーヤーダによる作業システム 50
Ⅱ．林道と森林作業道による路網整備 55
　Ⅱ－1　低コスト路網に関する技術体系 55
　　Ⅱ－1－1　路網の体系と路網計画法 55
　　Ⅱ－1－2　路網作設法の体系化 59
　　Ⅱ－1－2－1　概説 59
　　Ⅱ－1－2－2　作業システムと路網の関係 59
　　Ⅱ－1－2－3　作設技術の体系化 60
　　Ⅱ－1－2－3(1)　作設技術とその基礎となる地形・地質・土質 60
　　Ⅱ－1－2－3(2)　路線配置法と考え方 63
　　Ⅱ－1－3　路網と山地保全 64
　Ⅱ－2　路網の路体構造規格等 66
　　Ⅱ－2－1　林道(林業専用道について) 66
　　Ⅱ－2－1－1　概説 66
　　Ⅱ－2－1－2　林道規程の変遷 66
　　Ⅱ－2－1－3　林道専用道の構造規格等 69
　　Ⅱ－2－2　森林作業道 78
　　Ⅱ－2－2－1　概論 78

Ⅱ－2－2－2　森林作業道作設指針における構造規格 79
Ⅱ－3　路網の設計指針 85
Ⅱ－3－1　林道(林業専用道について) 85
Ⅱ－3－1　林道（林業専用道） 85
Ⅱ－3－1－1　測量・調査・設計 85
Ⅱ－3－1－2　土　工 86
Ⅱ－3－1－3　構造物 88
Ⅱ－3－1－4　排水施設 89
Ⅱ－3－2　森林作業道 90
Ⅲ．作業システム構築マニュアル 99
Ⅲ－1　路網計画法 99
Ⅲ－2　新型タワーヤーダによる作業のポイント 106
Ⅲ－3　路網作設法 110
Ⅲ－3－1　路網計画作設法 110
Ⅲ－3－2　林道作設法(林業専用道) 114
Ⅲ－3－2－1　路線選定（ルート選定） 114
Ⅲ－3－2－2　切土・盛土のり面勾配 117
Ⅲ－3－2－3　排水施設の選定 120
Ⅲ－3－2－4　その他 122
Ⅲ－3－3　森林作業道作設法 123
Ⅲ－3－3－1　計画 123
Ⅲ－3－3－2　施工 127
Ⅳ．間伐材の経済的利用技術の検討 132
Ⅳ－1　間伐材の利用方法 132
Ⅳ－2　バイオマス利用上の問題点 143
Ⅳ－3　間伐材の流通上の問題 144
おわりに

Ⅰ．森林施業技術

森林に対するさまざまな要求にこたえるためには、森林の公益的機能が発揮される状態を保ちながら木材の利用を行い森林資源の持続的利用を図るという林業の基本的な考えをいっそう徹底し、適正な収穫を行う必要がある。近年の林業に対する厳しい経済情勢の中で森林の公益機能を損なうことなく木材生産を経済的に行うということはかなりの至難なことである。

以下これからの森林施業に際しての技術について述べる。

Ⅰ－１　森林施業法

Ⅰ－1－1　森林・林業について

地球上はどのくらいの森林があるか,過去にはどのくらいあったかまた将来はどうなのかといった考察をする。 FAO(国連農業機構)の資料によると,世界の森林面積は約40 億 ha,陸地面積の 30%である。森林率が高い国は,フィンランド,スエーデンの北欧,ブラジル,アジアのインドネシア,マレーシアと韓国,日本である。他のヨーロッパ,北米諸国ではほぼ 25%前後である。ロシアの森林率が開発により減少している。中国の森林率が 17%と低く近年植林活動を続けている。イギリスは 11.6 %となっているが嘗ては約9%であったのが国の努力によって増加した結果である。これらはその国家の森林政策による結果である。東南アジア,南米,シベリアといったところの森林の開発による減少が問題となっているところである。

図 1 は,世界の地域別の森林率を示した。アジアは全体で 18%と低くなっている。FAO(国連食糧農業機関)が 1999 年 10 月に公表した「世界森林白書」によると,1995 年現在の世界の森林面積は約 40 億 ha であり,全陸地面積の約 30%を占めている。森林は特に熱帯地域の開発途上国の森林を中心に減少･劣化を続けており,熱帯林は 1980 年から 10 年の間に 1 億 5,400 万 ha 減少した。これは日本の面積の 4 倍に当たる。1980 年から 95 年の全森林面積は約 1 億 8,000 万 ha 減少している。さらに,1990 年から 1995 年にかけて世界の森林面積は,総計 5,635 万 ha 減少した。年間平均の減少面積は約 1,130 万 ha,年間の平均減少率は 0.3%である。途上国では 1990 年から 95 年にかけて 6,500 万 ha 以上の森林が消失している。東南アジアの大陸部で年間減少率が 1.6%,島部で 1.3%と減少率が著しい。この期間,最も森林の減少面積が大きかったのはブラジルで,1,277 万 ha,次いでインドネシア 542 万 ha,次いで旧ザイール,ボリビア,メキシコとなっている。

1996 年,世界森林保全モニタリングセンターが行った分析によると,世界の森林面積 40 億 ha 弱のうち,北米,ロシア,南米には他地域よりも多くの森林が分布し,この地域の森林面積の合計は 25 億 ha であり,他地域の合計よりも多い。同じ調査によると,この研究で使われた 25 の森林タイプのうち,最も大きい面積を占めるのが非熱帯常緑針葉樹林である。次いで,熱帯低地雨林,そして非熱帯落葉広葉樹林及び非熱帯落葉針葉樹林の面

積が大きい。

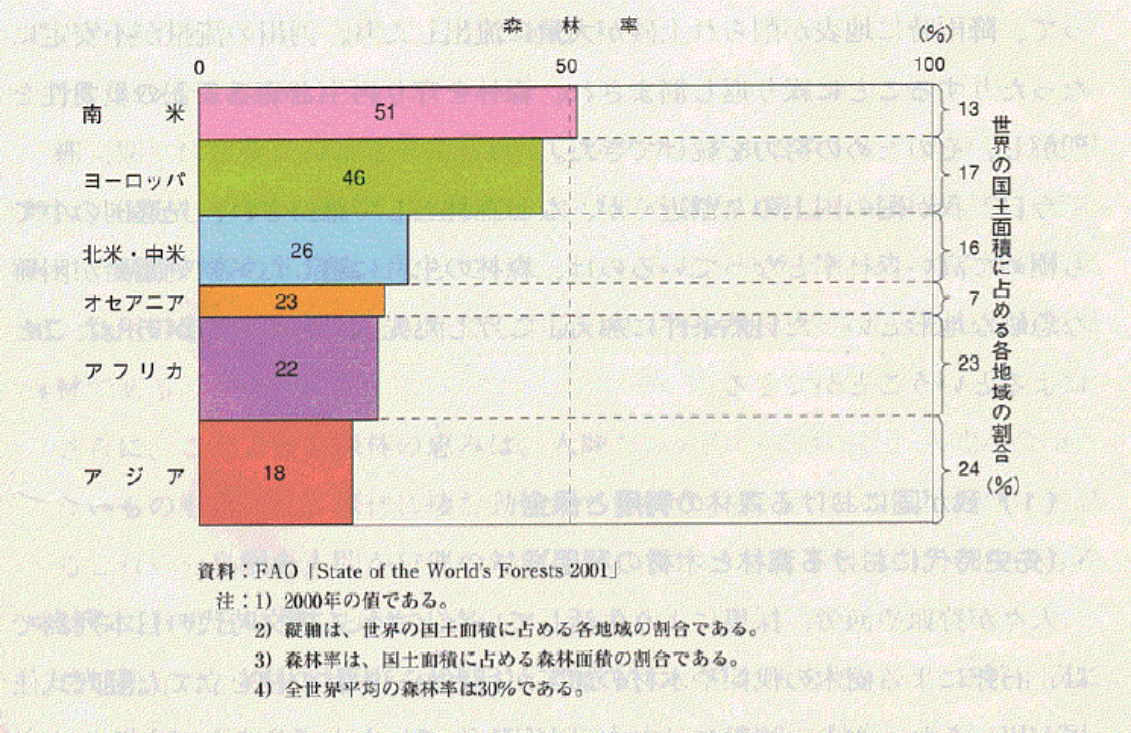


図 1　世界の地域別森林率（FAO 資料）

1997 年 10 月発表された,WWF(世界自然保護基金)及び WMC(世界自然保護モニタリングセンター)の森林減少に関する共同調査によると,8 千年前に存在した世界の自然林、約 3 分の 2 が消失しまっており,うち最も自然林の減少が進んでいるのはアジア･太平洋地域である。本来の自然林であったうちの 88%が既に失われているとされている。残っている自然林のうち,保護地域に指定されているのはわずか 6%(IUCN の保護地域カテゴリーのⅠ～Ⅲ)であり,このまま森林の減少が進行すれば,50 年後には森林が全く消滅してしまうという。

森林破壊の歴史は人間文明がはじまって以来,進行しており,人類の拡散と同時に少しずつ森林が失われていった。特にヨーロッパやアジア地域の比較的早く開けた地域では,ほとんど原生的な森林は残っていない。低緯度地域の熱帯雨林と高緯度地域の北方林の多くは比較的最近まで原生的な状態を保ってきたが,この 20 年から 30 年ほどの間に加速的な崩壊が目立つようになった。

我が国の森林率は約 67%と変わっていない。各内容について示したのが**表 1** である。全体の森林面積は 2500 万 ha,人工林が約 1000 万 ha(40%)となっている。蓄積は 40 億 m3　人工林が 23 億 m3 と増え続けている。所有別を見ると 1700 万 ha(68%)が民有林,780 万 ha(42%)が国有林と公有林である。

森林蓄積は,全体で 40 億 m3,針葉樹が 23 億 m3(58%),広葉樹が 17 億 m3(42%)となっ

ている。現在の木材消費量からすると年間約 7000 万 m3 ずつ増加していると言われる。自給率も最近は 20%弱に落ち込んでいることを考えると海外の森林を守るためにも我が国の林を発展させ自給率を増加させることが必要であろう。

表 1　日本の森林面積

(1)　所有形態別森林面積・蓄積の概況

区分			総数	人工林	天然林	その他
面積（万ha）	総数		2,512	1,036	1,335	141
	民有林	計	1,728	795	858	75
		私有林	1,449	672	715	62
		公有林	280	123	143	14
	国有林	計	784	241	477	66
		林野庁所管	764	238	463	62
		他省庁所管	20	3	14	3
蓄積（百万m³）	総数		4,040	2,338	1,701	1
	民有林	計	3,029	1,970	1,059	0
		私有林	2,596	1,715	881	0
		公有林	433	255	178	0
	国有林	計	1,011	368	642	1
		林野庁所管	990	364	624	1
		他省庁所管	22	4	18	0

(注)　1）本表は，森林法第２条第１項に規定する森林の数値である。
2）その他は，伐採跡地，未立木地，岩石地，竹林等である。
3）平成14年３月31日現在の数値である。

先に見てきたように森林の衰退は世界的に見て激しい。一方我が国においては木材生産を主とした林業は,木材の需要の低下,これに伴う材価の低迷,労働者の不足と高齢化によって衰退している。そのために森林は間伐材等の整備も行われず,放置されたり,あるいは伐採しても植林されずに放置されて森林は荒れて,環境保全,水源涵養機能といった公益的機能を発揮することも危ぶまれてきている。

森林の様々な機能を発揮させるためには,森林は整備されなければならない。従来森林は木材を生産し,収入を得,その上で森林整備を行ってきた。木材生産は長期にわたり,そのために投資された資金も長くおかれることになる。こういった経済行為の中で森林整備は行われてきたのである。　しかし最近の林業の状況は,材価が低迷し,経済行為として産業としての構造的問題となりつつある。森林の機能を発揮させなおかつ林業を成り立たせることは困難なこととなった。

我が国の木材需給の状況を見たのが図 2 である。現在は自給率が嘗ては 45%あったが 18.2%にまで落ちている。 生産高も 4600 万 m3 から 1608 万 m3 と激減している。全体の需要は,約 1 億 m3 であり,さほどの落ち込みはないが自給率が低下している。 我が国の木材供給量は、国産材が約 20%,米材,北洋材が合わせて約 40%,南洋材が 15%,その他となっている。国産材が減り,外材の率が多くなっている。最近の特徴として南洋財が減り米材,北洋材が増加している。ロシアのシベリア材は,開発により乾燥化から環境問題を起こしていると言われている。いずれにしても自給率は約 2 割と低く,輸入の割合が 8 割である。

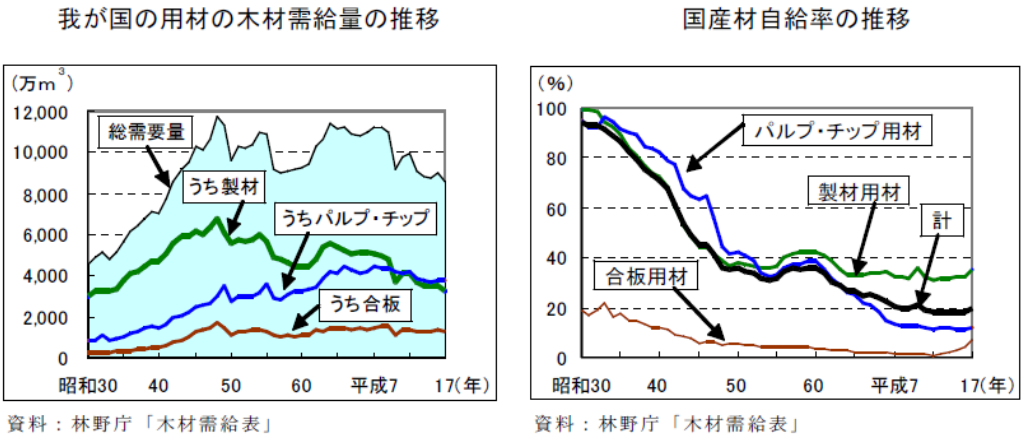
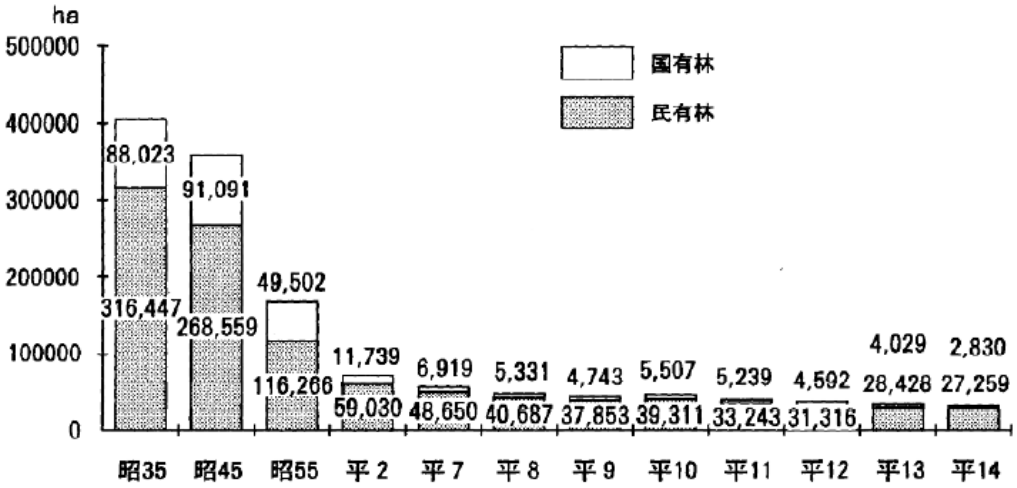


図 2　日本の木材の需要状況（22 年度林業白書）

次に国内の林業についてみると,図 3 は,林野庁による造林面積の推移を示したものである。昭和 35 年頃には約 40 万 ha あったものが,平成 14 年には約 3 万 ha に激減している。先ほどの木材の生産量の推移と比較すると伐採量も減少し,造林面積も減少している。これは伐採もせず造林もしないということで,林業の衰退を示している。

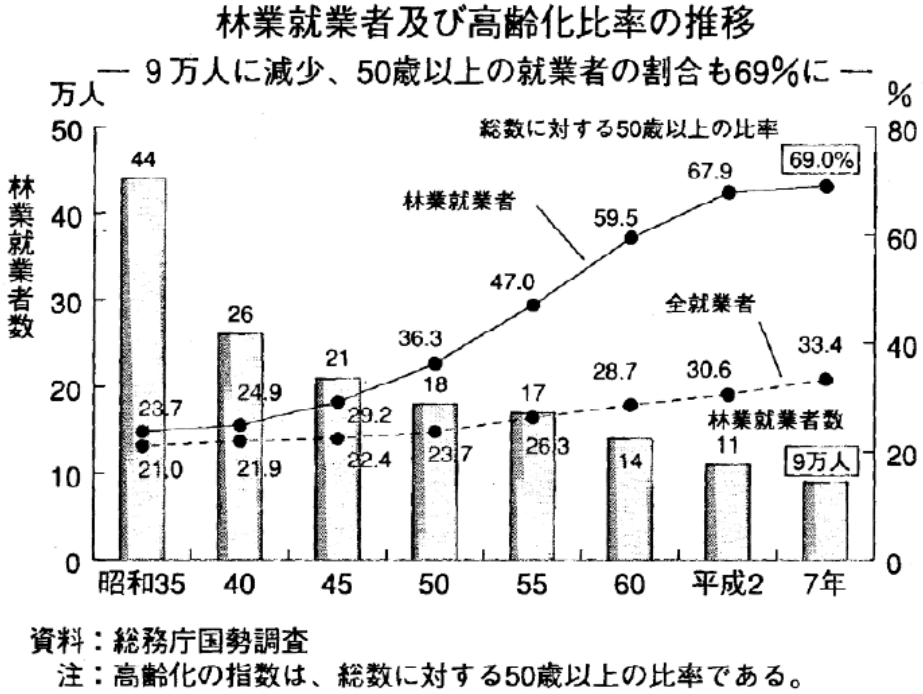


資料：国有林は林野庁業務課調べ，民有林は林野庁整備課調べ

図 3　造林面積の推移

以上のような厳しい林業の状況から林業就業者が減ってきている。**図 4**に林業就労者数の推移を示した。昭和 35 年頃に 44 万人いたのがさらに 9 万人最近では,現在約 7 万人と減少している。また高齢者率(60 歳以上)も 60%を越し,全産業の率と比較しても高いことが分かろう。その原因として考えられるのが,先にも示したように輸入材の増加と国産材の減少で明らかなように，林業の衰退から来ているものである。結果として山村での人不足であるが,林業労働が他産業に比べ［厳しい,汚い,危険］といったいわゆる 3K の代表的な産業から若者の参入が減少したことも考えられ,この解決が森林利用学の目的でもある。

従来,林業労働は,屋外での作業で,機械化が遅れ,自動化が遅れた折,急傾斜地の不安定な足場で,重量物を人力で扱う作業が多いことから重筋労働が多い(厳しい)上に,他産業と比べ労働災害の発生頻度が格段に高い(危険)産業部門となっている。また林地では炎天下や降雨/降雪はさけられず(汚い)作業となる。このように林業の場合は若者に嫌われる職場の 3 条件(3K)が残念ながらそろっている。



資料：総務庁国勢調査
注：高齢化の指数は、総数に対する50歳以上の比率である。

図 4　林業就労者数

表 2　産業別労働災害死傷率

区　　分	昭和 50 年	平成 20 年
林業	55.4	29.9
鉱業	74.0	14.0
港湾荷役運輸業	62.4	6.3
陸上貨物運輸業	25.3	7.9
建設業	22.7	5.3
製造業	11.0	3.0
全産業	-	2.3

出典：昭和 50 年数値，安全の指標
　　平成 21 年度　中央労働災害防止協会
　　平成 20 年数値，安全衛生情報センターホームページ
資料出所：労災保険給付データ
なお，年千人率とは，労働者 1,000 人あたり 1 年間に発生する死傷者数を示すもので，

$$千人率 = \frac{1年間の死傷者数}{1年間の平均労働者数} \times 1{,}000$$

表 2 は 1990 年の厚生労働省による就労条件について示したものである。労働災害度数率をみても林業の場合は,全製造業の 8 倍,建設業の 6 倍の率になっている。 賃金も見ると平均より低い水準である。林業は小規模が多く通年雇用の機会が少ないために季節的な雇用になり年間収入も少ない結果となる。これは月刊の労働時間が少ない結果からも分かる。

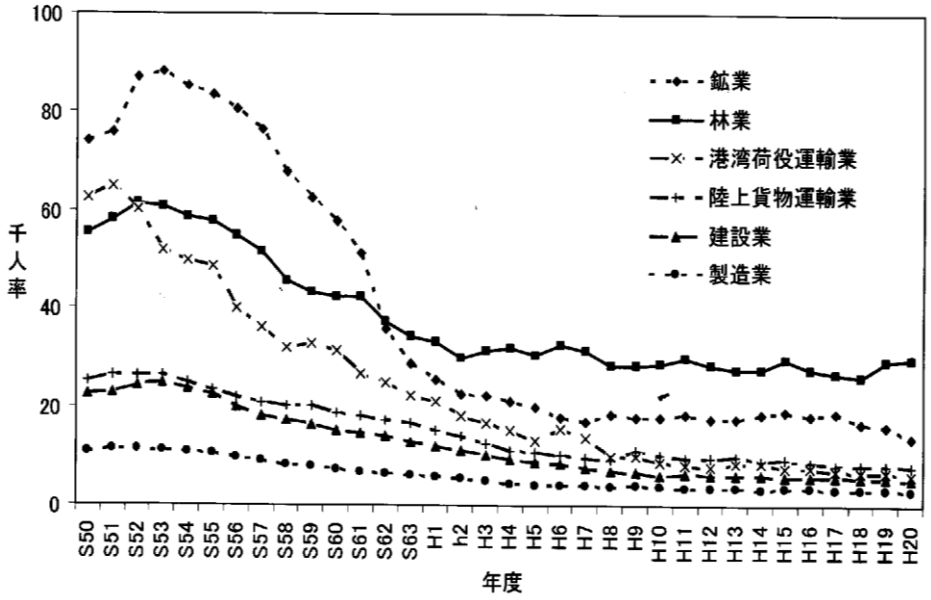
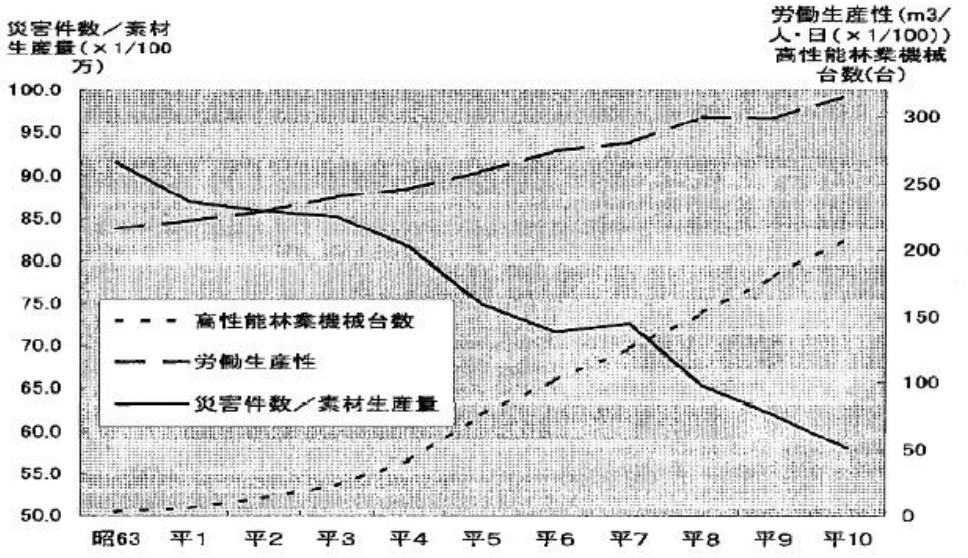


図 5　産業別労働災害死傷率



	昭63	平1	平2	平3	平4	平5	平6	平7	平8	平9	平10
災害件数／素材生産量	91.6	86.9	85.8	85.2	81.7	74.9	71.7	72.7	65.3	62.0	58.1
高性能林業機械台数	3	6	14	23	42	77	102	126	153	181	209
労働生産性	216	222	229	240	246	259	274	280	300	299	316

図 6　高性能林業機械化と労働災害の発生

図 5 は,林業木材製造業労働災害防止協会による林業における労働災害の動向である。全体として減少傾向にあるがまだ年間 2000 件の死傷事故があり,約 60 名の死亡事故がある。最近の傾向は,間伐作業が多くなり,掛木処理による災害事故が多くなっているのが特徴である。

図 6 は,高性能林業機械の普及状況と労働災害発生の変化を示したものであるが,高

性能林業機械の普及によって生産性が増加するだけでなく労働災害も減少に役立っていることが分かろう。

Ⅰ－1－2　森林施業法の種類

森林と人間の関係を論ずる場合には、まず人間からの行動としての林業がある。この作業技術について概観する。最初に人間は森林から食料などを糧として採取していった。それが農耕によって定着し、森林に対しても収穫のみならず育て育成するという行動があった。これが林業の始まりである。この方法は天然の力を生かした方法と、より人工的に森林を育成した方法がある。これらの詳細な技術は森林科学では造林学の分野である。ここではその技術的側面、一般的な森林作業について述べる。

天然林、人工林いずれにしても林業は伐ることから始まる。すなわち人工林について概括すると以下のようになろう。人工林は、植栽して伐採するまでの期間の 1 サイクル期間について輪伐期という。通常我が国の杉で 40～60 年、ヒノキでは 50～70 年である。近年長伐期施業と称して 80～120 年と長期にわたる場合がある。北欧の例では、方法において幾分異なるが、基本的には同じである。輪伐期は 70～120 年となっている。伐倒された後は直ちに植林されるわけではなく、通常は林地の残材の整理をして新植し易いようにする。これを地拵えという。残された枝葉根株等を等高線沿いに平行に並べる。これがその後の林地のエロージョンを防止する。

人工林の場合の皆伐が行われた後は必ず植林される。しかし最近では木材価格が低迷し造林のための費用が捻出されず皆伐後、そのまま植林されず放置される場合が多く見られる。これが今後の大きな問題である。新植されてから通常 3～6 年の間、年に 2 度くらい下刈りが行われる。新植された苗木が雑草に負けないためであり、雑草より苗木が高くなるまで行われる。夏の初めと終わり頃に行うが重労働である。従来草刈り鎌、刈払機により行われる。

植林は、通常 1.8m間隔すなわち本数として 3000 本植えられ、そのご生長するに従って除伐、間伐を行い本数を減らし、皆伐の頃には　700 本ぐらいにする。　除伐は、収入が伴わない植林後 10～25 年ぐらいまで 2～3 回行われ、間伐は収入のともなうもので、その後やはり皆伐されるまで 2～3 回行われる。最近は費用がかさみ，収入にならないために捨て切りと称されて林地に放置される場合が多い。伐出作業の費用がかさむためである。この間伐を怠ると風倒、虫害などの被害が生じ、伐倒時の商品としての価値を著しく下げる。

森林より木材を収穫することを素材生産といい、この作業を伐木造材作業という。皆伐（final felling)は、文字どおり区域全体を伐採することである。木材としての収穫でありもっとも収入を得ることができる経済行為である。現在ではチェーンソー伐倒から高性能林業機械による収穫まで行われて、能率よく行う必要がある。

ここで通常の伐出作業の中で用いられる用語について解説する。上記にあげた用語の

うち伐倒搬出については logging　という。また harvesting は、広い意味で使用される。狭い意味での用語として伐倒(felling)、造材(conversion)、集材(skidding, yarding)、運材(hauling)という。

Ⅰ－1－2－1　天然林における森林施業法

我が国で、天然林施業という林業はおそらく存在しないであろう。通常は、人工林がスギ、ヒノキ、マツといった針葉樹をさすに対して、照葉樹林などの広葉樹に対して里山とか、天然林というのであろう。針広混交林の天然林としては北海道における天然林であろう。

もともと北海道の山林は、エゾ、トドマツといった針葉樹とブナ、カンバの広葉樹との混交林であった。この形を残しているのが東京大学北海道演習林にある。ここで、この施業形体を述べる。

昭和 30 年代後半から林長として森林施業をした高橋教授の提唱した天然林施業としての林分施業法というのがある。これは森林を 3 区分に分け、1 そのまま天然林施業のできる林分、2 一部伐採して補植を行う林分、3 皆伐して植え付けを行う林分、に分けて施業を行うのである。1 の林分は　文字どおり形質の良くない木を、10 年ごとに１５％択伐していく林分である。2 の林分は幾分森林の状況がよくない林分で、本数の少ないところは、補植を行う林分である。3 の林分は、風倒などにより破壊された林分で全面的に皆伐し、新たに植林をする林分である。

搬出は、当時はチェーンソー伐倒、トラクタによる地引集材で、急傾斜地では、クレーンなどによって集材した。路網については、当時、高橋林長と森林利用学加藤教授によって林道の整備を積極的に進め、当時で路網密度平均 30m／ha ぐらい整備されていた。現在もこの路網整備は続けられ、自力による作業道を作り、路網密度は平均５０m/ha　整備されている。このような路網の充実を背景に亡ければ、天然林施業としての林分施業法は不可能である。

里山林：

現在、民有林に残された広葉樹林の多くは里山林と称された林である。かつて山村では炭を焼くために切り、あるいは人々は燃料として暖房として薪として切って利用してきた。　ところが昭和３０年頃より燃料革命によって人々は薪、炭といった燃料から石油へと変わってきた。そして薪として、炭としての需要がほとんど無くなり、里山林は放置されるに至った。その後も椎茸などの生産のための「ほだぎ」としての需要があったものの、これも中国産を中心とする輸入品位押され生産が落ちている。

このような状況に里山林は、利用されることなく放置された。その結果、枯れ、腐れと言ったことから里山林は荒れていった。里山林の施業法は、かつては、人手によって薪、炭として必要な太さになったときに根元より伐倒し、利用した。その後はこの根元よりブナ、クヌギ等萠芽により更新し、６～７年後に再び伐採された。このように繰り

返されていくことによって里山は正常に森林として整備されていった。

Ⅰ－1－2－2　人工林における森林施業法

我が国で使用される木材の大部分は、スギ、ヒノキであった。この第 2 次世界大戦のときに、戦争中、戦後の復興期に多くの森林が伐採された。その後荒れた森林を回復する目的で多くの山に木を植えた。さらに昭和 30 年代になると木材の需要が増え、木材は高騰した。多くの木材が海外から輸入によってまかなわれた。木材の需要はさらに増え、伐採が多くなった。広葉樹を伐採し、生産の高い針葉樹が植えられた。これが拡大造林である。

森林施業が正常に行われるには、森林が法正状態になければならない。そこで伐採される量だけ生長量の期待できる植え付けが行われる。これが人工林の施業である。木材が人件費に比して値段が高い場合には、伐採された森林跡地には、新植がなされた。これが再造林である。その後人工林は、数年の下刈り、除伐、間伐として育てられ 40 年ぐらい経った時に、皆伐され、その後地拵え、新植と繰り返すことこれが正常な人工林の施業法である。

このように繰り返されていくことによって 森林は、整備されている。当時までは、伐採は、チェーンソー、下刈りは刈払機、除伐は人力によって切り捨てられた。間伐、皆伐はほとんどが、小型、大型の架線集材か、地形が緩いところでは　作業道と林内作業車によって搬出された。大型の高性能林業機械が導入されてからは、次項に述べるような形である。

Ⅰ－1－3　森林作業法

Ⅰ－1－3－1　間伐作業法

わが国の森林は国土の 67%､2500 万 ha あり、このうち人工林は、約 40%、1000 万 ha である。間伐を必要とする 40 年生以上の森林は人工林の 65%を占める。従来より 21 世紀は国産材の時代が来るといわれていたが、今や林業は低迷し、林業労働者は約 5 万人までに減少してしまった。平成 13 年に林業基本法が 40 年ぶりに改正され、森林・林業基本法として公益機能重視の政策がとられたが、一方で林業が疲弊したために、十分にその機能を発揮できなくなった。最近では、林業を活性化しなくてはならないと平成 21 年新政府のもとで林野庁は 10 カ年の「森林・林業再生プラン」を策定し、今日に至っている。

従来の日本林業の施業形体は、地拵え、植え付け、下刈り、除伐、間伐、皆伐という形体をとっている。しかし昭和 30～40 年代の拡大造林のようなことは行われなくなった。造林面積の最大は 40 万 ha もあったが最近は新植面積は 2 万 ha 以下である。これは林業の収穫収入に対しての再造林費用が足りないことによる。従ってかつてのような輪伐期に従った施業方式というのは不可能になっている。この人工林の造成費用は、ス

ギ人工林の保育には、植え付けから 50 年生までに平均で約 248 万円／ha の費用を要する（22 年度林業白書）。　そこで　現在の状況から林業を続けるためには　間伐の繰り返しによって収入を得て、長伐期へと持って行く施業形体がとられている。この間伐でさえも材価に対する搬出コストの費用の採算が合わなく間伐が遅れ気味である。

以上のことから、当面は皆伐といった施業体系ではなく間伐を主体にした施業体系をとることになる。ここではこの間伐施業法についていかにしたら高能率な採算の合う間伐が可能であるかを論ずる。

以上述べたように　施業体系の中でほとんどをしめる間伐について考えていく。今後の林業の行く先を左右する間伐は、人工林を造成する場合に必要とされるもので、従来から行われた方式は、植え付け 3000 本／ha を劣勢木を伐倒する除伐という作業を行う。この場合に初期の伐採は収入が伴わないが 20 年生を越える林は、収入を期待できる。これを間伐と称している。通常ではこの間伐を２～３回繰り返し 40～50 年生に　最終的に、本数を 700 本／ha　にして皆伐を行う。ところが最近の状況では皆伐を行っても再造林する費用が出ない。そのため間伐をさらに繰り返し、皆伐時期を遅らせ、長伐期施業となっている。さらに最近ではこの収入のともなう間伐についても実行されにくくなっている。政府の補助金を当てに間伐を実行しているのが現状である。一つには間伐の材価に対して搬出コストが多くかかることによる。そこで今回の搬出コスト削減による間伐法の提案となる。

以下、搬出法を主体に述べる。

皆伐については、従来型の架線集材でも車両系であればトラクタ集材でも可能で、能率も期待できる。　これに準じた物として筋状に皆伐を行う帯状間伐が行われることもある。また部分的に皆伐を行う巣状間伐もある。

Ⅰ－1－3－2　列状間伐

これまでに行ってきたのは、定性間伐（点状間伐）で、劣勢木を伐倒し、残存木の育成を主とした間伐であるが、伐倒作業、搬出作業は効率が落ちる。そのために、能率の面からの皆伐と、生態的な面からの定性間伐の中間として提案されているのが列状間伐である。この方法によれば間伐も生産性にあった経済的に成り立つ間伐が可能になり、間伐の推進が可能な方法である。低コストな作業システムとしてこれまでに推進してきた方法である。

この列状間伐の方法も、そのやり方によって一列を伐って 2 列残す 1 伐 2 残、1 列伐って 3 列残す、1 伐 3 残、さらに 2 列伐って 5 列残す 2 伐 5 残などと称されている方法がある。列が明確でない場合は、作業車両が通行可能な幅に伐って、残す森林も 15m、２０ｍというふうに定量的に列状に行う方法もある。

ここで列状間伐として長野県と北海道の例を述べる。

長野県における実行例（森林利用学会誌２１（１）２００６．3～7 島崎他）は、カ

ラマツ人工林高遠町 50ha、において信州大学の島崎らによって 1971 年に始まった。列状間伐が搬出経費削減できる効率的な施業方法であることを実証した。最初は 10 列 1 残、3 列 1 残、トラクタ集材によって実行された。近藤（森林利用学会誌２１（１）２００６）によると残存木損傷についての報告がある。間伐を行うと伐倒作業時や集材時に残存木損傷が発生する場合がある。残存木に損傷が発生すると樹種によては損傷部から腐れが入ったりすることがある。そこで残存木を損傷を少なくする作業法を模索するために列状間伐と、定性間伐を比較した。この報告によると緩傾斜地でのトラクタ集材で列状間伐 14．6%、定性間伐 19．4%の損傷が発生し、列状間伐の方が損傷が少ないという結果を得ている。また急傾斜地でのタワーヤーダ集材でも、列状間伐の 2.3%、6.7%に対して点状間伐 14.5%、12．5%損傷 木が発生し、列状間伐の方が低い結果となっている。結論としてトラクタ集材でもタワーヤーダ集材でも列状間伐が点状間伐に比べて残存木の損傷が少ないことを実証した。

北海道においては、高性能林業機械は、1989 年頃より導入されたが、当時からハーベスタとフォワーダの組み合わせによる列状間伐が行われていた。木幡靖夫氏による北海道における高性能林業機械による列状間伐の報告がある（森林利用学会誌２１（１）２００６）。

北海道の森林面積は約 554 万 ha このうち約 148 万 ha は、トドマツやカラマツの人工林となっている。これらの約 7 割が 8 令級以上の間伐を必要とする林分となっている。

このため北海道では平成元年から高性能林業機械の積極的な導入に取り組んできており，平成 16 年度末時点では 398 台を保有するまでに至っている。北海道に導入されたハーベスタやフエラーバンチャは，バケットサイズ 0．45m3 クラスのエクスカベータをベースマシンとすることが多く，このため立木密度の高い林内を自由に走行することは困難であった。特に，ハーベスタを用いて従来同様の定性間伐を行った林分では，伐採木間の移動に多くの時間を要し，生産性が上がらないばかりか残存木の損傷被害も発生した。こうした中で，ハーベスタが効率的に稼働できる森林施業法の一つとして列状間伐が見直されるようになった。それまで列状間伐は，作業の省力化や事業費の軽減を図る方法として国有林や道有林を中心に実施されていたが，不良木が淘汰されない，あるいは気象害を受ける恐れが高い等の理由から，一般民有林においてはその適用に躊躇する森林所有者もみられた。しかし，高性能林業機械を用いて列状間伐を行った林分における生産性の向上や残存木の損傷被害の減少が明らかにされたことにより、列状間伐は、厳しい経済情勢の中で間伐作業を推進していく方法として一般民有林においても認知されるようになってきている。しかし，高性能林業機械を用いて列状間伐を繰り返し実施した事例はまだ少なく，初回間伐での適用だけにとどまっているケースが多いというのが実態である。　高性能林業機械を用いて列状間伐を繰り返し実施しながら，低コストで森林づくりをする際の参考とするため，実際にハーベスタにより列状間伐を 2 回実施した事例を取り上げ，機械作業の生産性や残存木の損傷防止の面か間の繰り返し

らみた列状間に伴う林分構成の変化と残存木の成長状況を紹介するとともに，3 回目の列状間伐の適用についても報告している。

Ⅰ－1－3－3　作業システムと地形区分

(1)わが国の森林地域の地形特性

我が国の地形は，急峻な地形である。経済的発展の上にも今なお森林面積が国土の６７％有り,これは，通常の農地或いは宅地として不適な場所が多いということを示している。すなわち傾斜地が森林として残ったのである。民有林の 90%は標高 1000m以下となっている。15 度未満御傾斜地の森林は 23%面積にして約 575 万 ha で,残りは 15 度以上の傾斜地といえる。我が国の森林はいずれにしても傾斜地にあるといえよう。地域的に見れば北海道は標高の低い傾斜地が多く,その他は標高の高い傾斜地が多くなっている。この森林で営む林業は，傾斜のある地形と対置しなければならない。

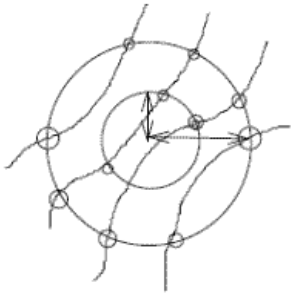
(2)森林利用学的地形区分

森林を扱う場合に，まず到達性と，伐出作業の仕組みを大きく左右する地形分類が必要となる。これについては従来から森林利用学的地形分類として確立されている。対象とする森林は，一つの団地を形成し,森林基盤としての林道網計画等の単位となり得る面積である。この対象面積としては約 1000ha 以上の団地の地形を概括的に把握表示する方法である。すなわちこの地形分類は、地形指数（Ｉ）によって、地形を緩地形（小起伏地）・中地形（丘陵地）・急地形（中山地）・急峻地形（山岳地）に分類するものである。地形指数の要素因子は、傾斜　Ｉ（%）・起伏量Ｒ（m）・谷密度Ｖ（本／km^2）の３つであり、これらは５万分の１の地形図によって決定されるが、地形の種類とそこで採用される集材法等は表 3 に示すようである。 またこれらの因子についての測定法は，堀によって標準化されている。以下その手法について説明する。

表 3　森林利用学的地形区分

地形クラス	Ⅰ　緩	Ⅱ　中	Ⅲ　急	Ⅳ　急峻
地形指数I	0-19	20-39	40-69	70<
路網密度	高密	中程度	やや疎	幹線のみ
路網形体	網目状	ほぼ網目状	樹枝状	樹枝状
集運材方式	トラック	トラクタ	中距離架線	長距離架線

森林利用学的地形区分法は、地形因子として傾斜，起伏量，谷密度を用いる。結果は表 3 に示すような 4 区分に分けられる。



5 万分の 1 の基本図を用いる。対象区域に 2cm のメッシュをかける。その交点に半径 5mm, 10mm の円を描く。等高線と円周との交点数を数える(N1,N2)。小さい円の傾斜は（5）式，大きい円の傾斜は（6）式となり全体の平均傾斜として円周に重みを付けて平均すると（7）式のようになる。

$$Im_1 = \frac{N_1}{2}\frac{h}{2r_1} = \frac{N_1 \times 20}{2 \times 2 \times 250} \times 100 = 2N_1\% \quad (5)$$

$$Im_2 = \frac{N_2}{2}\frac{h}{2r_2} = \frac{N_2 \times 20}{2 \times 2 \times 500} \times 100 = 2N_2\% \quad (6)$$

$$Ii = (Im_1 + 2Im_2)/3 = (N_1 + N_2)2/3 \quad \% \quad (7)$$

次に起伏量を求める。各円の中での最高点と最低点の標高差である（Rm)。

次に，谷密度を求める。谷密度は計画区域全体のなかに谷がいくつあるかと言うことであるが，地図上に表現されない谷頭を推定して数える必要がある(V/km²）。

以上の傾斜，起伏量，谷密度から(8)、(9)式のように最終的に森林利用学的地形指数として表す。

$$Ir = R(0.1 + 0.01V) \qquad (8)$$

$$I = (3Ii + Ir)/4 \qquad (9)$$

以上が従来から用いられた森林利用学的地形指数の算出法であるが、この方法は煩雑であり、かなりの人手を要する。そこで本論では電算機を用いてすなわち数値地形モデル（DTM）より計算によって求める以下の方法を推奨する。ここでは電算機による計算であり地形の各因子の算出法も幾分異なる。

以上森林利用学において扱う場合の分析例を挙げた。森林内にて人間が活動するためには森林基盤としての地形を考慮しなければならない。最近はコンピュータの発達によって身近に使うことが出来るようになった。GPS（Geographic Positioning System)と言われる簡単な機器によって自分の位置を測定できるようになった.そして地図情報においてもその処理技術が格段の進歩を見,身近に使えるようになった。この技術を地理情報システム（Geographic Information System）と呼ばれ,その略称とし［GIS］として用いられている。

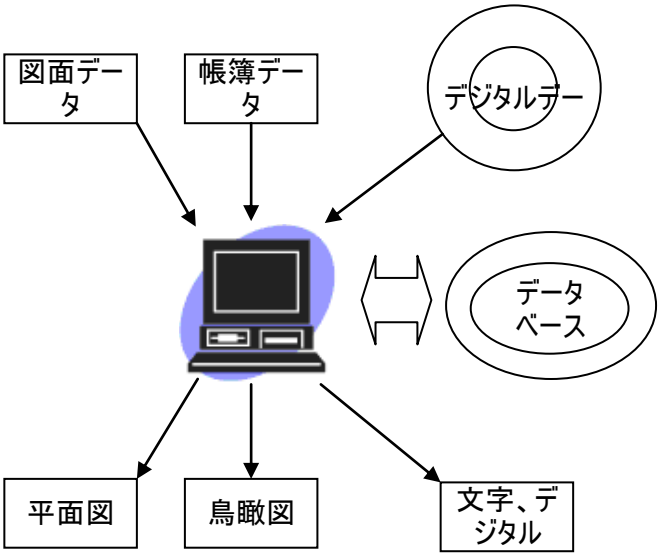


図 7　GIS の機能

本来地図は,人間に対しての案内図であり，人間によって理解できるように作られている。GIS は，コンピュータによってこの処理を出来るようにしたものである。図 7 に示すように、GIS においては,地理情報の記憶，地理情報の解釈,地理情報の表示、これらすべてにコンピュータによって処理することになる。

参考文献
1) 堀高夫：路網計画のための図上地形判定について，日林誌 47,168ー170,1965
2) 小林　洋司：森林基盤整備計画論, pp205 , 1997.7　日本林道協会

Ⅰ－2　高性能林業機械による作業システム

Ⅰ－2－1　高性能林業機械による低コスト作業システム

Ⅰ－2－1－1　概　要

高性能林業機械による作業システムを実現するためには路網整備が必要であり、さらに高性能林業機械は、固定的な経費（機械の購入費等）が高いことから、稼働率を高め、能率的な使用を進めることが必要である。また、作業システムの労働生産性は、特に集材距離が大きな影響を与えるため、施業の団地化・集約化等による事業規模の確保を図るとともに、路網整備と高性能林業機械が一体となった効率的な作業システムの整備が必要である。この場合、路網整備については、効率的な作業システムに対応し得るよう、森林の利用形態等に応じた規格・構造の柔軟な選択、施業の優先順位に応じた整備を推

進する。

現在、高性能林業機械による低コスト作業システムとして主なものをあげれば表 4 のようになる。

表 4　集材用作業システムと路網密度

地　形	路網密度	適用作業システム		地　域
Ⅰ　緩	密	ハーベスタ系	ハーベスタ　＋フォワーダ ロングリーチハーベスタ　＋　グラップルスキッダ（スレイ付き）	北海道
	中	スキッダ系	フェラー（チェーンソー）＋スキッダ＋プロセッサ	北海道
Ⅱ　中 Ⅲ　急 Ⅳ　急峻	密	グラップル系	チェーンソー＋ウインチ付グラップル＋プロセッサ＋フォワーダ	東北 九州
	中	スイングヤーダ系	チェーンソー＋スイングヤーダ＋プロセッサ＋フォワーダ(トラック)	東北 中国 九州
	疎	タワーヤーダ系	チェーンソー＋タワーヤーダ＋プロセッサ＋フォワーダ(トラック)	関東 九州

図 8 は、地形区分と集材距離に対する作業システムであり、各番号は、表 5 の作業システムを示している。縦軸に集材距離と路網密度を示し、横軸は、森林利用学的地形指数と地形区分地形区分を示した。各作業システムは地域、事業体によって幅がある。トラック等の走行に用いる林道、作業道については、計画的な施業の実施に合わせて整備することとし、また、高性能林業機械等の走行に用いる作業路については、近年の路網作設のための技術の向上も踏まえ、できる限り「簡易で耐久性のある構造」での整備を推進する。

素材生産のための作業システムは、林業経営を行う上で重要な手段、技術であり、林業機械、路網と人から構成される。機械、路網と作業法とを施業地の自然条件、経営条件に最も適するように組み合わせ、効率的に安全でしかも低コスト、低環境負荷で木材の搬出を行うために構築される。作業システムは、使用する作業機械を決定した後、機械の特性、能力等適応した集材距離、路網が決定される（表 5，図 8）。

表 5　調査作業システム

伐　倒	木寄せ（集材距離m）	造材	集材（運材 ）
Ⅰハーベスタ系			
①　ハーベスタ	ハーベスタ（25～50）	ハーベスタ	フォワーダ
②フェラー バンチャ	スキッダ （25 ～ 100）	プロセッサ	フォワーダ
③ハーベスタ	グラップル　＋ スレイ（25 ～ 150）	ハーベスタ	トラック
④チェーンソー	プロセッサ（25～50）	プロセッサ	フォワーダ
⑤チェーンソー	プロセッサ（25～50）	プロセッサ	フォワーダ ＋モノレール
Ⅱグラップル系			
⑥ チェーンソー	グラップル（25～50）	プロセッサ	フォワーダ
⑦ チェーンソー	ロングリーチ グラップル（25～75）	プロセッサ	フォワーダ
Ⅲ　架　線　系			
⑧チェーンソー	タワーヤーダ （50～150）	プロセッサ	フォワーダ
⑨チェーンソー	スイングヤーダ （25～100）	プロセッサ	フォワーダ
⑩チェーンソー	クレーン（10～50）	プロセッサ	フォワーダ

この中で特に我が国の山岳地における森林では、従来から架線集材が多く用いられていた。高性能林業機械の中でこの急傾斜地に敵したシステムは、架線系としてはタワーヤーダ集材システムとスイングヤーダ集材システムである。

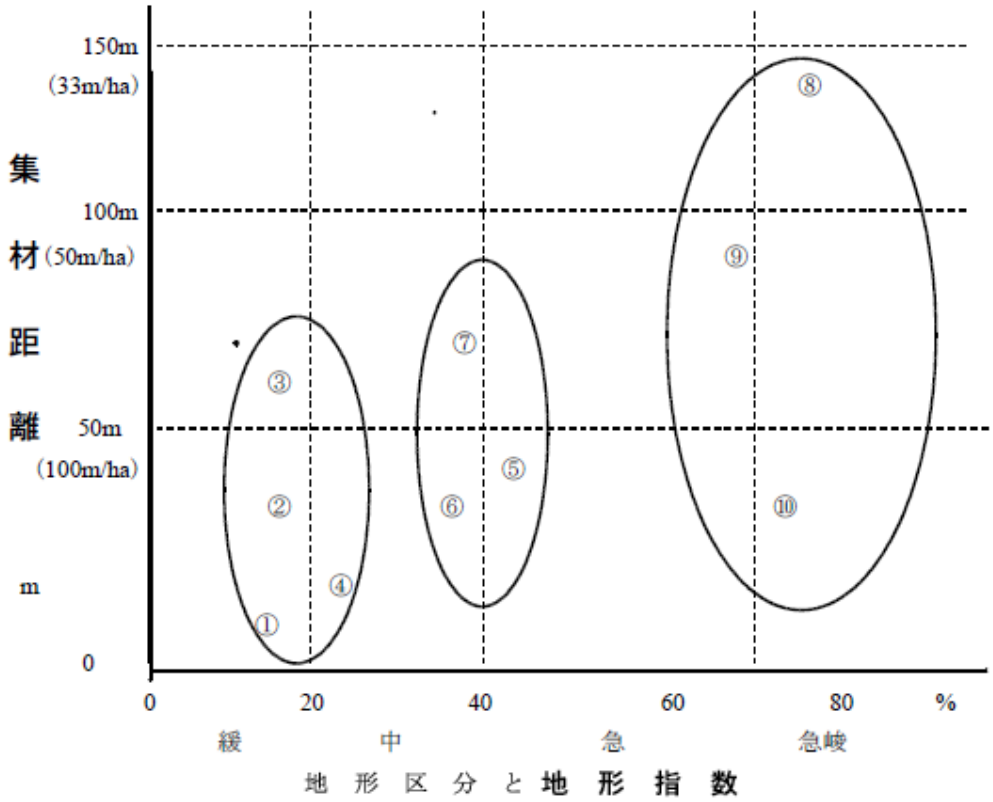


図 8　地形区分と作業システム

Ⅰ－2－1－2　高性能林業機械による作業システム適用手順

低コスト作業システムを構築するためには、現状における状況、すなわち用いる高性能林業機械、作業者の技術状況、実行する森林の状況などを勘案し、計画することになる。低コスト作業システムを実行し、低コスト作業を実現するためには、多くの前提条件がある。例えばこのシステムは、高性能林業機械を用いることが前提になっており、そのためには搬出材積、すなわちロットの大きさは、ある程度以上の大きさを必要とする。また路網に関しても基盤となる林道整備状況も基本的に整備されていなければならない。その上に下記に示すような条件も加味して、はじめて低コスト作業が可能となっている。そのほか発注者としての事業体も協力的であり、受注者側の事業体の経営能力、技術者の技能能力も加わることである。

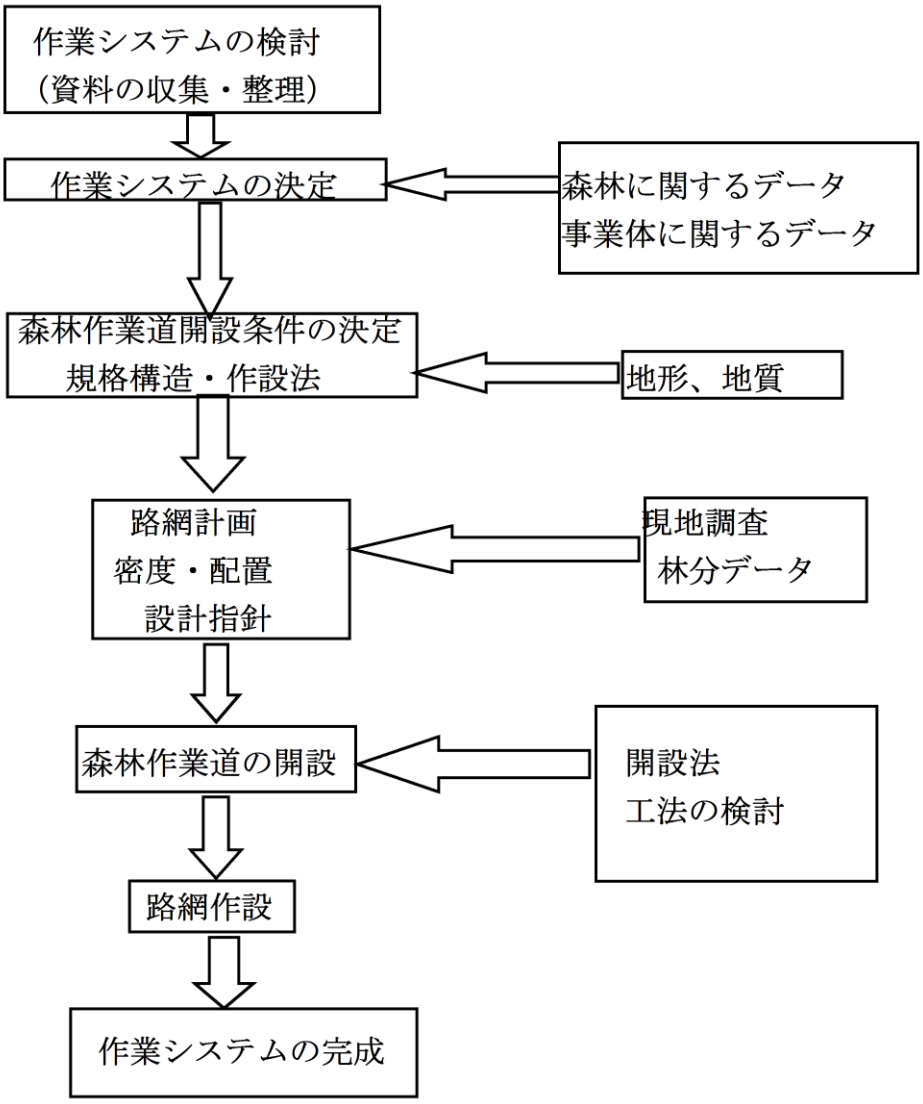


図 9　作業システムの概念図

具体的に作業システムの開発課題を遂行するための展開フローを示すと図 9 のとおりである。これは低コスト作業システムを構築するための解明すべき事項の流れでもあり、地域あるいは各種作業条件に適した低コスト作業システムを開発するためには、伐出機械と路網に関する個別の項目を順次明らかにして、それらの要件を段階的に統合化していく調査が必要となる。ここでは、当該開発目標に対して 4 段階の解明事項があり、それらを統合化、総合化して最終的に地域に適合した最適な作業システムが構築されることになる。

全体の状況を示したのが表 6 路網を主とした作業システムの流れである。大きく分けてⅠ施業対象林の決定、Ⅱ低コスト作業システムの決定、Ⅲ路網計画、Ⅳ作業システムの実行、である。（図 9、表 6 参照）

表 6　路網を主とした作業システムの流れ

Ⅰ	施業対象林と事業体の決定 １）森林簿、調査による森林に関するデーの収集 （樹種、林令材積、間伐率、地形、地位、林道からの距離等） ２）事業体の決定 （所有する高性能林業機械、オペーレータ、作業員、施設等）
Ⅱ	低コスト作業システムの決定 １）上記データによる作業システムの決定 （使用する)高性能林業機械、オペレータ、作業員、施設等） ２）集材方法、集材距離、搬出機械から作業道の幅員の決定
Ⅲ	路網計画 １）適正な路網密度の決定 ２）作業システムにあった適正作業路延長の計算 ３）図上における路線選定
Ⅳ	低コスト作業の実行 １）現地における作業路の路線選定 ２）作業路作設計画と実際の作設 ３）対コスト作業システムによる作業の実行 ４）作業の結果と日報の整理

生産性の向上や生産コストの低減を目指した「作業システム」として、生産性および生産コストについて目標値を設定している。生産性に対しては作業システム全体の労働生産性として 10m³/人日以上を目安とし、生産コストでは、列状間伐の場合で 3,500 円/m³以下、定性間伐の場合で 5,000 円/m³以下を目標値においている。この目的のために、特に伐出機械と路網およびその組み合わせによる作業システムを重要な要件として取り上げる。

伐出作業システムを展開するためには伐出機械と路網は不可欠のものであり、どちらか一方が不備であってもその確立は望めない。伐出機械と路網の係わりについて機械側からみた場合、その主題は伐出機械の作業適応範囲や適正な集材距離を明らかにすることである。

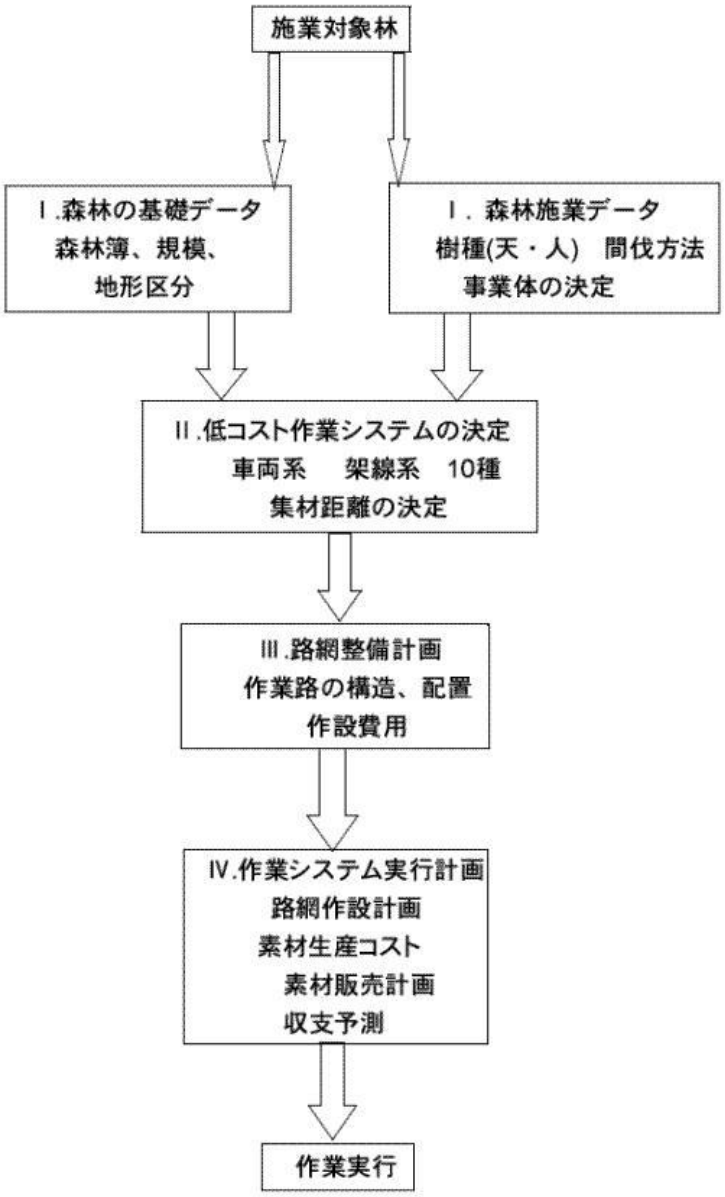


図 10　低コスト作業システムの展開フロー

林業機械等は、本来、急斜地や不整地に対応する機械として開発されたものであるが、安全で能率的な作業を可能にするには路網は必然であり、いかに路上外の作業を少なくする
かが問題である。すなわち、機械の路上外作業の可能な限界範囲や適応可能な作業域を明確にすることであり、機械側からみた路網へのアプローチはその作業域をカバーするような路網をいかに適正に配置するかである。

Ⅰ－2－2　急傾斜地における作業システム

Ⅰ－2－2－1　従来型の架線集材

先に見てきたように我が国の国土は，ほとんどが山岳であり，我が国の森林は，地形の急峻な山岳林が多い。国土の 67%が森林である。林業が始まった昔から木材の収穫は，ワイヤロープを用いた架線集材が多く用いられた。車両による集材作業は近年のことである。最近の高性能林業機械の普及においても架線集材は多く用いられ、これが我が国の林業の特徴でもある。ここでは，架線集材の基本的索張りについて述べる。

架線集材（集材機集材）は，集材機でワイヤロープを操作して行う集材である。集材機は，集材作業に適した構造を備えた一種の動力ウインチである。通常の形は運転席を備え，ワイヤロープを操作するいくつかのドラムとこれを駆動するためのエンジン,伝導装置及び制動装置を有し,これらはそり状のフレームの上に組まれた移動性を持たせている。

ワイヤロープは, 集材可能な形に張られ, これを索張り方式といい各種の方法がある。基本的には図 11 にあるように集材機側にある元柱（head　tree, HT), 先柱(tail　tree, TT）に張られるワイヤロープを主索（skyline,SKL）, 荷重を支える搬器（carriage,CR), 荷をつり上げる荷揚げ索（lifting-line，LFT）搬器を材の集積場所まで戻す引き戻し索（haulback-line，HBL)，これらの作業索（operating-line）のほかに支柱を支える控え索（guy-line，GYL)等がある。その他ワイヤロープの走りをよくするガイドブロック（guide block)，ロージングブロック（loading block），重錘(loading　weight）がある。通常，搬器は組滑車などによりその荷重を軽減している。

下げ荷集材（downnhill-yarding)とは, 集材を地形傾斜の方向で集材する方法である。上げ荷集材（uphill-yarding）とは,この反対で地形の斜面方向に引き上げる集材方式である。

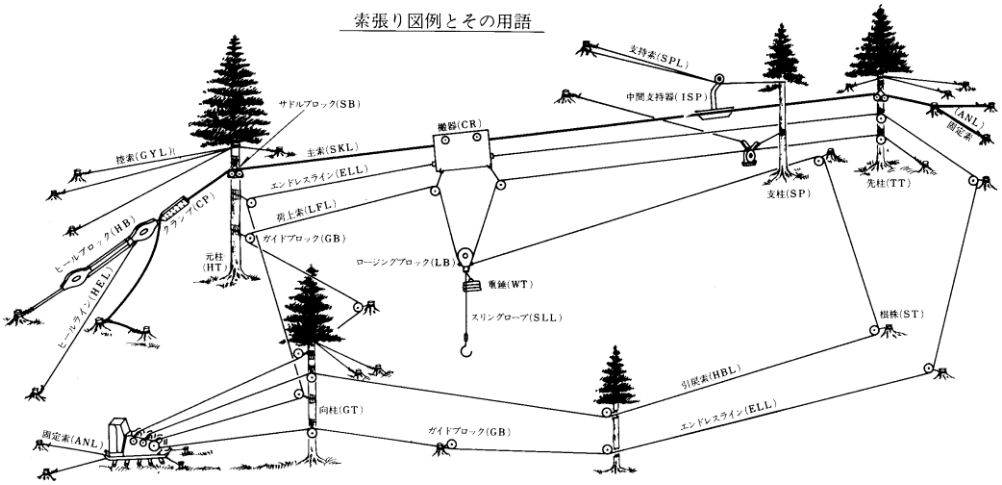


図 11　基本的索張り図

①各種の集材方法

集材機とワイヤロープによる集材は架線集材と呼ばれる。その方式は各種考案され利用されてきた。

地曳集材　集材機とワイヤーロープによる集材方式で, 単に引き寄せる形で短距離の場合に用いられる。帰り用のワイヤーを備えたものもありこの場合は引き寄せ索と引き戻し索となる。

ハイリード式　この方式は米国でよく用いられる方式で,地曳集材の元柱をもち材の片方が上げられて集材される。地曳集材より長い距離の集材が可能である。

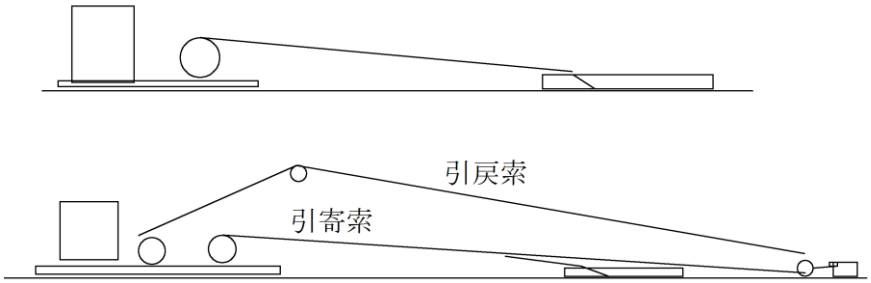


図 12　地曳集材（グランドリードシステム）

架空式

この方式は，材は空中をあるいは一端を地面に付けて集材される。我国で多く用いられる方式で、以下概略を述べる。

（ア）軌索を用いる方式

材を支える軌索を持つ方式である。架空索を緊張させて用いる緊張式には,タイラー式,フォーリングブロック式，コントロールエンドレス式,スナッピング式，ホイシチングキャレッジ式がある。架空索を緊張させたり,弛めたりして材を荷揚げするスラックライン式がある。

（イ）軌索を用いない方式

軌索を用いず作業索のみで行う方式で, タワーヤーダによく用いられるランニングスカイライン式，帯広エンドレス式ダンハム式，モノケーブル式などがある。

（ウ）立体的な架線方式。

索を特殊な形に張り巡らす方式で Y の字に索を張る Y 型式, H の字に索を張り巡らす H 型式がある。その他 3 点で支える 3 支点式，多支点式等の形がある。

架空索による集材方式

この方式は，搬器の走行と荷の上げ下げを，作業索の操作により行う。この 2 つの作業を行う方式として，我国ではタイラー式，フォーリングブロック式，エンドレスタイラー式あるいはエンドレス式が普通用いられている。どの方式を用いるかは地形の形種類，施業法，集材規模，使用する集材機，作業種によって決まる。

ア）タイラー式（tyler system）

タイラー式の索張りは，荷の上げ下げを荷揚げ索（lifting line)で行い,搬器の走行作用を引き寄せ索（hauling line)，引き戻し索(haul back line)で行う方式で,3 胴の集材機によって行う。ただし架空索の勾配がある程度あれば　搬器は自重で走行するから引き寄せ,引き戻しのいずれかの索が不必要になる。我が国ではもっぱらこの状態で使われ,荷揚げ索,引き戻し索の 2 胴の集材機で操作する方式をタイラー式の標準という。

タイラー式では荷上索の一端が別なところに固定されているため搬器の走行と荷揚と別々に行うことが出来る。すなわち運転作業が容易であることがこの方式の利点である。欠点としては荷上索が摩耗すること,抵抗が大きいことである。このため自走できる勾配は架線の緊張や勾配にもよるが普通は 9~10 度以上のところ タイラー式の場合は 15~25 度とされている。

イ）エンドレスタイラー式

3 胴式タイラー式において､引戻索と引寄索をエンドレス索としてつないだ方式である。３胴式のタイラー式を２胴で行える。長距離集材が行え、民間でもっとも普及している。

欠点として、横取りが制限されること、エンドレス索の損耗が早いことがあげられる。

この欠点を補った形として横取り用の策を追加し、３胴にした「横取りエンドレスタイラー式」がある。

間伐などの場合に､引き込み用の索が主索に対して直角に引き込む必要性が生ずることがある。これを横取り規制、直角集材という。このような工夫を搬器に施した工夫がいくつか見られる。こうすることによって、搬器が到着したところから直角に林内に引き込まれ材を直角に曳き索の方向へ木寄せをすることを可能にしている。

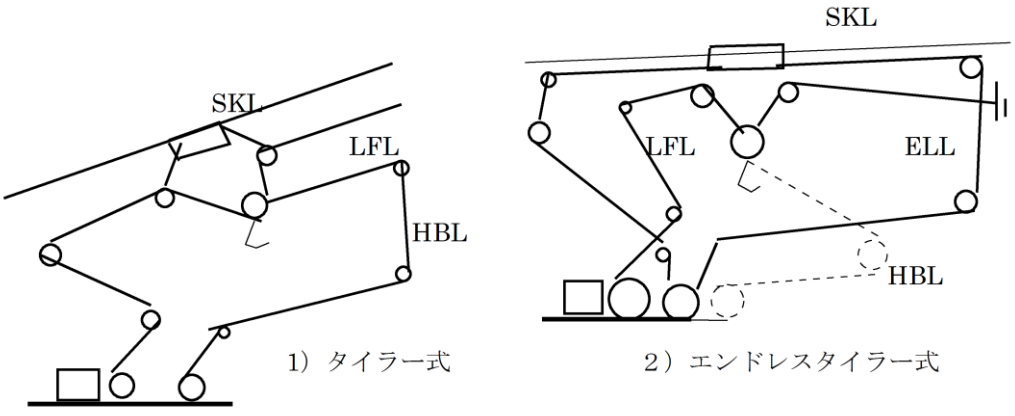


図 13　タイラー式とエンドレスタイラー式の模式図

ウ）フォーリングブロック式（falling block sysytem）

ロージングブロックに重さを設けた索張りである。索張り、架設作業が容易であること、勾配にとらわれることなく集材作業が行える。短所としては、引き寄せ、引き戻しの場合に両索を張りながら走行させなければならぬこと、林道密度の高い、穏やかな地形の短距離向きである。

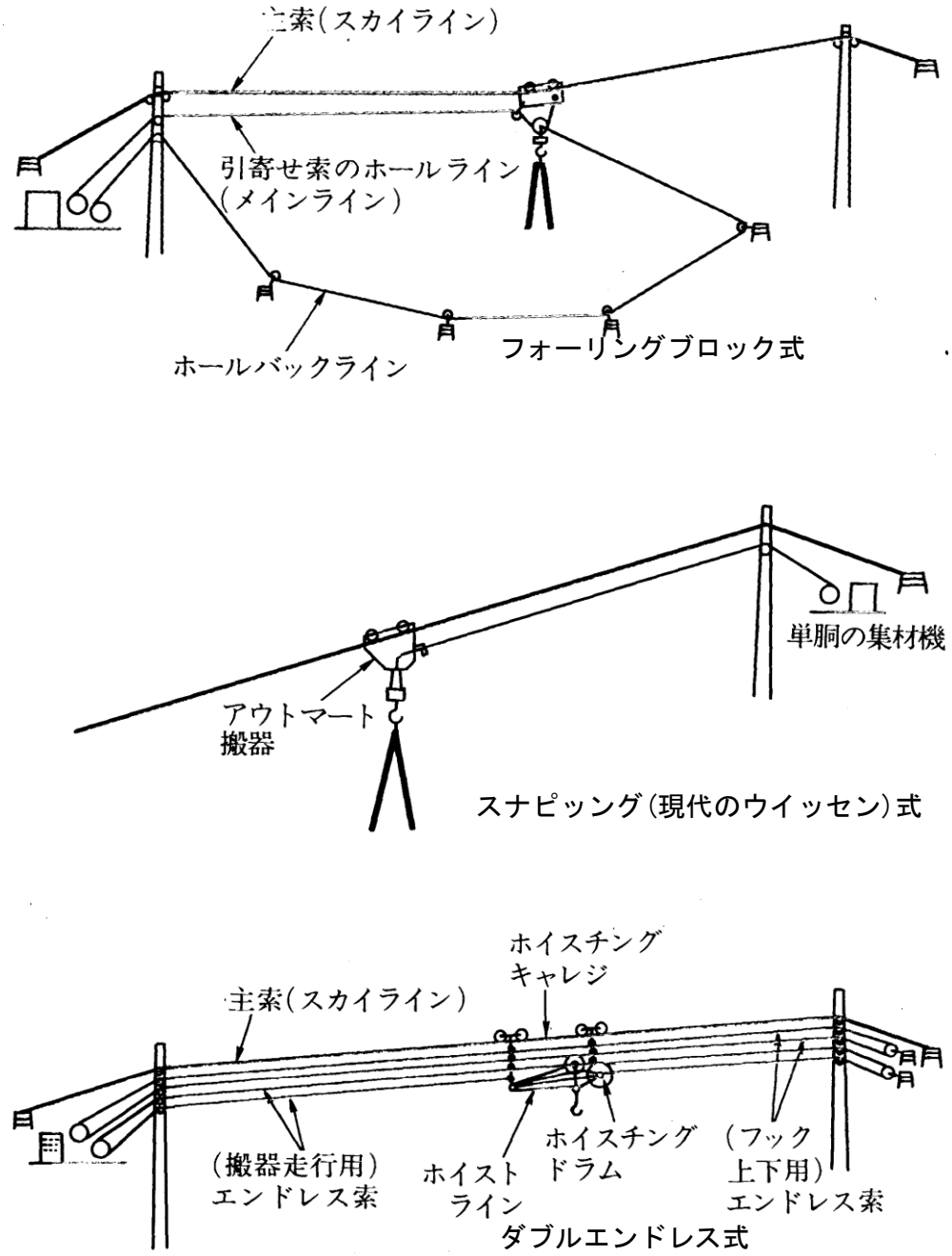


図 14　スカイラインを用いた各種の索張り方法

（大原昭二編:林業機械学，文永堂出版,255pp,1991）

エ）コントロールエンドレス式(north-bend system, interlocking system)

熊本エンドレス式ともいい、エンドレス索をコントロールしながら集材を行う。

オ）スナッピング式(snubbing system)

中部ヨーロッパで多く使用されたウィッセン式集材機に用いられた索張りである。単純な索張りと、渓流搬器が特徴である。

カ）ダブルエンドレス式（double endress sysytem）

我が国でもっとも普及している索張りの一つである。長距離集材に適している。作業索の消耗が激しい。索張りが複雑なため架設に時間がかかる。

キ）スラックライン式（slack-line system）

架線の主索を緊張、置換させて荷の上げ下げを行う方式である。

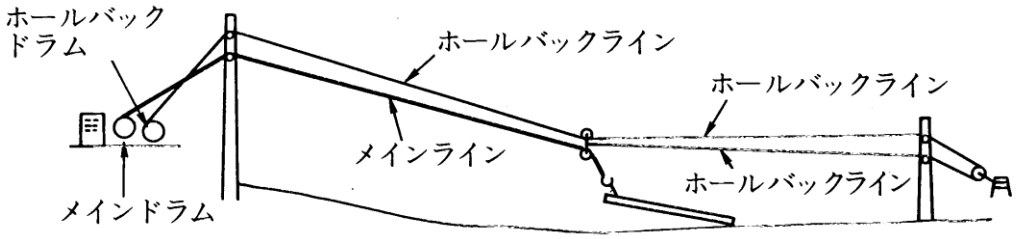
軌索を用いない方法

ア）ランニングスカイライン式（running skyline system ）

タワーヤーダ、スイングヤーダの索張りとして多く用いられる。短距離で索張りが簡単なことが特徴である。作業索が主索の役割をし，スカイラインは用いない。そのために搬器の走行中にインターロックなどのドラムの回転についてコントロールする必要がある。詳細はタワーヤーダの項で述べる。帯広式エンドレスもこの形になる。

イ）モノケーブル式（mono-cable system）

簡単な索張りとして活用されている。米国で多く用いられたハイリード式、我が国のモノケーブル式などがある。搬器に多くの工夫が見られた。



イサアクセン (Isachsen) 式（ランニングスカイラインシステム）

図 15　ランニングスカイライン索張り方式

立体的な架線方式。

架線集材の多くは、主索により荷を吊り上げ、集材する。方向としては線状になっている。それに対して伐区を面としてとらえ、面的に集材することをねらった方式を各種考え出されている。実用的にはこの中で、現在でも四国におけるH型架線集材であろう。

その他としては、米国でのハイリードの助けとしてバルーン集材が用いられたことが

あるが本格的な実用にはならなかった。

以下、Y型式集材、H型式集材、３支点架線式。バルーン式などが挙げられる。

Ⅰ－2－2－2　タワーヤーダ集材

移動可能な車両に集材機と人工支柱を備えた方式である。移動式集材機とも呼ばれている。作業に要するワイヤロープ、ドラムなどはすべて車載されている。主索の張り上げもこのダラムでおこなう。ヨーロッパのオーストリアで開発されたものでヨーロッパでは多く使われている。最近は、エクスベータをベースマシーンとした、簡易なタワーヤーダとしてスイングヤーダが我が国で多く普及し始めている。考え方は同様のものでタワーヤーダの１種と考えてよい。

作業は、移動が簡単であること、架設撤去が容易である。操作が多くはリモコンによって行われ、自動化など簡単になっている。高性能林業機械である。我が国では近年導入された機械であるが、架設撤去が簡単と言うことで間伐材の集材に用いられている。作業仕組みとしては抜倒をチェーンソーにより行い、全木にてターヤーダにより集材、プロセッサによって造材玉切りを行う。最小２人作業で可能である。

索張りは、多くは主索を用いないランニングスカイライン式で、主索を用いることも可能である。通常、インターロック機構を有する。

インターロック機構

タワーヤーダ集材によく用いられる索張り方式にランニングスカイライン方式がある。

この索張り方式は、引戻し索が主索の役割をするために材を集材するとき、緊張しながら集材しなければならない。そのための方策として引き込みドラムと送りドラムのワイヤーロープロープの走行速度をコントロールするために、各種の機構が考案されている。これがインターロック機構というものである。

図 16 に示すような機構で引き込みドラム（A）と送りドラム（B）の間に回転をコントロールする仕掛けである。従来の形としては，スリッピングクラッチを持った機構でドラムの回転を制御する方式，遊星歯車によってドラムの回転をコントロールしている方式がある。いずれもドラムの巻き取りによる回転半径の変化に対応する機構である。これらの機構は、タワーヤーダ集材の場合だけでなく通常の集材にも用いられた機構である。

我が国で開発されたリョウシンタワーヤーダには、ダブルキャプスタンという機構を取り入れ、ワイヤーロープの走行速度をコントロールする新しい方式を採用している。

主索を走行し、荷を引き寄せる中心となるのが搬器である。普通搬器としては各種の形がある。さらに荷上索、引き寄せ索の引き出しを容易にした形が考案されている。これによって先山の荷掛け手の労力を軽減できる。

図 17 はツルムファルケタワーヤーダに採用されている搬器でスラックラインを引

き寄せることで引き寄せ索が強制的に降下する。同じくスカイフライヤーと称し，同様の機能を有する機種もある。

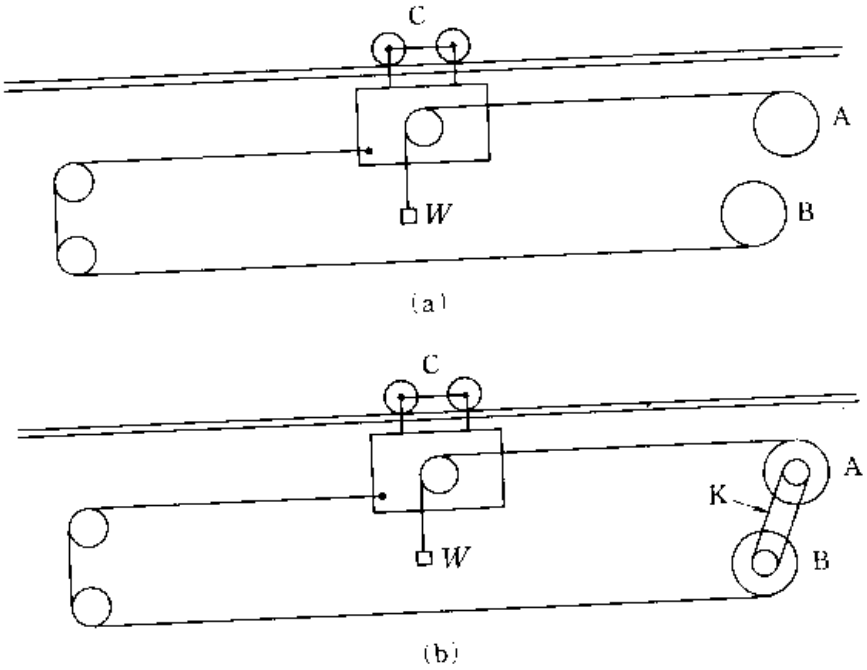


図 16　インターロック式の説明図

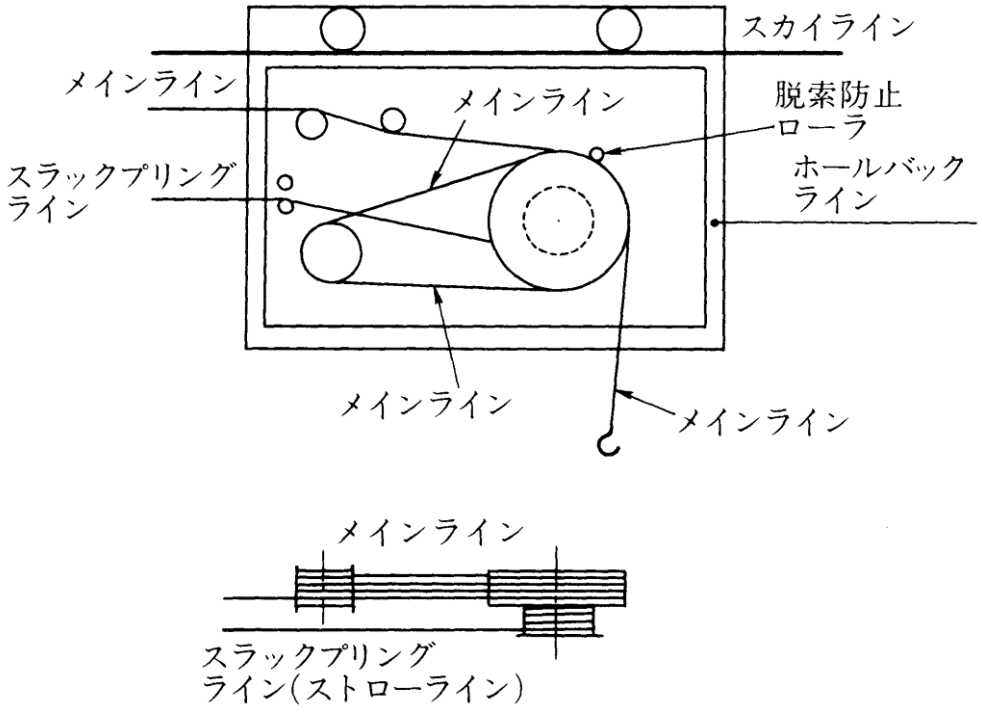


図 17　ツルムファルケの搬器の説明図

Ⅰ－2－2－3　スイングヤーダ集材

a　スイングヤーダの構造

油圧ショベルに 2 個のドラムを装備し、ベースマシンのブーム・アームを架線の元柱に利用している機械で、次のような特長がある。ベースマシンの重量で架線にかかる荷重を支えるため、通常支柱に控索を張らないこと、主索を張らない簡易索張りであること、集材距離が短いことなどから架設・撤去・移動が簡単にできる。ベースマシンの旋回動作などにより、作業道・作業路近くまで集材し、きた材をプロセッサ造材しやすい所におろすことができる。ベースマシンに装着するグラップル装置などによって、集材作業以外に、集積・はい積み作業などに幅広く使用できる。なお、安定確保のために、ブレード仕様のベースマシンを選び、運転・操作装置はベースマシンの運転室をそのまま利用し、飛来してくる木片や滑落してくる材からオペレータを保護するために、前面と上部にガードが取り付けられている。

搭載しているドラムは従来の集材機と異なり、油圧で駆動・制御されているものが多く、ほとんどの機種でドラム間にインターロック機構が組み込まれている。この機構が組み込まれていると、一つのドラムの動きと他方のドラムと連携して、インターロック機能により、実行されることが少なかったランニングスカイライン索張り方式がタワーヤーダ集材とスイングヤーダの基本的索張り方式となった。2 本の作業索の張りを調整でき、木材の鼻上げなどの集材作業ができる。図 18 に、基本的な機能を示した。

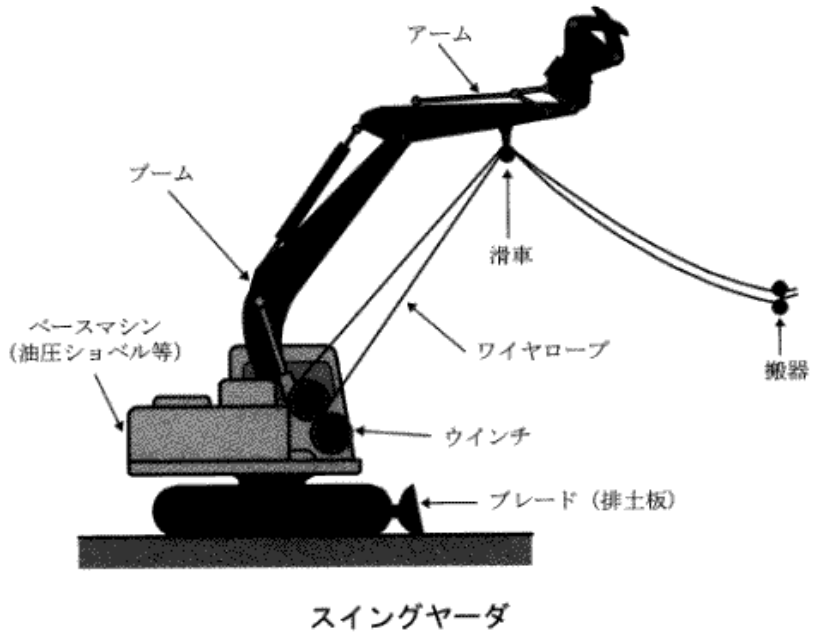


図 18　スイングヤーダの基本的機能図

b　スイングヤーダによる作業システム

この基本的作業システムは、伐倒作業はチェーンソーによって行い、スイングヤーダによる全木木寄せ作業、プロセッサによる造材作業、フォワーダによる集材かあるいは直接トラック運材である。

スイングヤーダ集材作業について、以下に長所と短所をあげる。

ア。スイングヤーダの利点

・控索を使わないため、架線の張り替えが容易
・架設撤去を頻繁に行う列状間伐に効果的
・控索の取れない高い切取法面のある現場でも使用可能
・架線を緩めて、グラップルで木寄集材した材の整理ができる

イ。スイングヤーダの欠点

・控索を使わないため、長い集材距離や重い材を引き上げることに限界がある
・元柱の高さが低く、木寄せ時に地表の障害物による影響を受けやすい
・材が分散する定性間伐や短い集材距離では架設撤去の時間が生産性を下げる

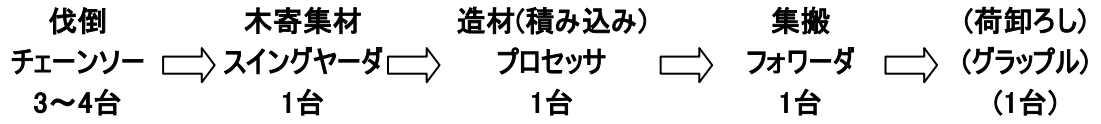
スイングヤーダ集材作業の全体についてあげれば、表 7 のように，集材距離は 30～150m の範囲の木寄集材に適用が可能で、効率の良い集材距離は 50～80m とされている。特に、高密路網の整備ができない悪条件、すなわち急傾斜地、転石や岩の多い地形、ならびに所有界による制限などがある森林において、スイングヤーダを中心とする作業システムの活躍の場があると考えられる。

当該作業システムは、列状間伐を採用することとスイングヤーダとプロセッサの間の連携をスムーズにすることが重要で、小型スイングヤーダを使用したときの木寄集材距離を 65m とすると路網密度は 115m／ha（迂回率 0.5）となり、当該作業システムの人員を 3（4）名，4t クラスのフォワーダの集搬距離を 200m として労働生産性の目標を 6.0m³／人目とすれば、伐出コストは 6,500 円／m³ と見積もられる。

表 7　スイングヤーダ集材作業

作業システムの大きさ	小型		中型
材の大きさ	小	中	大
林道からの距離	短	中	長
伐採方法	定性間伐		列状間伐
集材距離	~ 30m	30 ~ 100 m	100 ~ 200 m
索張り形式	単線地曳き	索張り	索張り
地形区分	緩	急	急峻
上げ荷	ハイリード、ランニングスカイライン、スラックライン		
下げ荷	ハイリード、ランニングスカイライン、スラックライン		
労働生産性	8.0 ㎥／人・日	6.0 ㎥／人・日	4.5 ㎥／人・日
伐出コスト	5500　円／㎥	6500 円	8000 円

当該作業システムの構成機械と台数を以下に示した。なお、基本的にはフォワーダに装備されたダラップルで材に積み降ろしをするが、作業能率があまり高くないためプロセッサで積み込み行い、土場ではグラップルで荷降ろしする現場も多い。



当該作業システムのセット人員は 4 人あるいは 3 人が一般的であり、基本的な人員配置を以下に示す。伐倒作業は全員で先行して行い、4 人体制ではスイングヤーダに 2 名（オペレータと荷掛手）、プロセッサに 1 名．（荷外し手を兼任）、フォワーダに 1 名という人員配置になる。一方、3 人体制でも基本的に同じ人員配置だが、1 名少ないためにプロセッサのオペレータがスイングヤーダのオペレータを兼任、あるいはフォワーダのオペレータを兼ねることになる。

ｃ．スイングヤーダによる伐出作業の手順と方法

ア．列状間伐

列状間伐は 1 伐 2 残が一般的だが、地域の実情に合わせて 1 伐 3 残＋定性などのバリエーションが考えられ、列の方向は植栽された列方向、道路と直交する方向、最大傾斜の方向の 3 つに分類される。植栽列方向はわかりやすいが、残りの 2 つは植栽列とは関係のない方向であり、伐採幅と残存幅を決めて間伐を行うため帯状間伐とも呼ばれている。

植栽列方向‥　列は分かりやすいが、必ずしも最大傾斜の方向になるとは限らず、木寄集材が困難になる場合もある。

道路直交方向‥ 計画しやすいが、必ずしも最大傾斜の方向になるとは限らず、木寄集材が困難になる場合もある。

最大傾斜方向‥ 木寄集材はしやすく、集材時の残存木被害が軽減される。しかし、道路との角度が様々になり、木寄せした材の取り回しが困難になる場合もある。

谷密度が多く、複雑に摺曲した地形をしているわが国では、等高線沿いに道路を入れてもカーブが多く、いずれの方向に間伐列を入れても間伐列が平行に続くことはない。そのため、たとえ等間隔に間伐列を入れても、隣り合う間伐列同士が先の方で開いたり閉じたりする。間伐列が交差する場合はその長さを調節し、残存列の不均衡は残存列に定性間伐を行うことで対処することになる。

地形傾斜が急な地域では、木寄せした材の滑落を防ぐために間伐列あるいは集材線を最大傾斜方向に少し角度をつけて入れる場合があるが、最大傾斜方向に木寄集材しない

場合は、木寄せする材が最大傾斜方向に流れるため、間伐列あるいは集材線の斜面下側になる残存立木にプロテクターをつける必要がある。この残存立木の保護作業に時間がかかるため、一般的に最大傾斜方向に間伐列あるいは集材線を入れることが最も生産性が高くなると考えられる。

イ．定性間伐

定性間伐を行う場合は、道路に木寄集材しやすいように伐倒方向を考えて伐倒する。また、木寄集材に際して障害となる木を伐倒して集材ラインを確保する。定性間伐を行う人工林の林齢は高い場合が多く、1 本あたりの材の大きさがスイングヤーダの集材能力を超える場合がある。このような場合は、林内でチェーンソーによる枝払いあるいは玉切りを行い、全幹材あるいは短幹材として木寄集材できるようにする。

伐倒作業はチェーンソーによって行う。伐倒作業は伐倒専門の作業チームが全ての作業に先行して入る事業体もあるが、多くの場合はひとつの作業班が伐倒作業から集搬作業まで行い、その中で伐倒作業を全員で全ての作業に先行して行う。伐倒に際してはスイングヤーダの木寄集材を効率的に行うために以下の点に留意する必要がある。

先柱候補木‥　間伐列の方向を決めると、次に先柱になる立木を決め、この立木を伐らないようにマークをつけて注意する。

伐倒方向‥　スイングヤーダが元口から木寄せ集材できるように、上げに集材では斜面の下方向に、下げ荷集材では斜面尾上方向にいずれも間伐列宝庫に沿って伐倒作業を行う。

列状ではかがり木が少なくなるが、間伐列が最大方向と異なる場合には場合は、木寄せする材が最大傾斜方向に流れるため、間伐列あるいは集材線の斜面下側になる残存立木にプロテクターをつける必要がある。この残存立木の保護作業に時間がかかるため、一般的に最大傾斜方向に間伐列あるいは集材線を入れることが最も生産性が高くなると考えられる。

ｄ　スイングヤーダによる木寄集材作業の実施

スイングヤーダを使って木寄集材作業を行う場合、使用する現場の条件に合わせて 2 本ある索をうまく組み合わせた索張りを使うことが、生産性を上げるためや作業のやり易さ、労働負担を軽減するヒントになる。索張りは上荷集材・下木集材の向き不向き、索張りの架設・撤去の手間、操作の難易に大きく影響する。

ア　単線地曳き集材

定性間伐のように集材ライン上にある間伐木があまり多くない場合は、索張りを行わず、荷掛手が引き寄せ用の索を引きだし、1・2 本ずつ地曳き集材を行う単線地曳き集材が効果的である。集材サイクルあたりの生産性を比較すると、索張りよりも単線地曳きの方がむしろ良い生産性を示している。

単線地曳き集材の生産性の高さは、スイングヤーダと間伐木の間を行き来する荷掛手に多くを依存しており、その生理的負担は軽視できるものではない。荷掛手の作業時心拍数が年齢による予想最高心拍数の何%にあたるかを示す心拍水準で生理的負担を評価すると、単線地曳きの索引き出しと材引き寄せの作業は 30m 以上では心拍水準が 80%以上のかなりハードな作業になるのに対して、架線系の作業では 30m 以上で心拍水準が 80%以下になっている。荷掛手の生理的負担を考慮すると、単線地曳き集材は集材距離で 30m 以内にとどめておくべきであると考えられる。

列状間伐のように 1 列からまとまった材を集材する場合、人力によるワイヤーの引き出しが制限要因になるで、以下に述べる索張りを行った方が効果的だ。なお、単線地引きは、上荷，下木どちらでも使うことができるが，下木の場合は材の滑落を抑える術がないことから、材の滑落が予想される箇所での使用は避けるべきだ。

イ　ハイリード式

ハイリード式は図のように先柱で折り返した引戻し索と引寄せ索を連結し、その連結点に荷掛けフックを取り付けて集材木を地曳きまたは半吊りの状態で集材する索張りをいう。いうまでもないが 2 つあるドラムのうち巻き取りドラムの巻き取り容量が大きい方のドラムを引戻し索として使う。ハイリード式の特徴としては次のことが挙げられる。

・索張りが最も簡単な部類に入る
・単線地曳きに比べて架設・撤去に少し手間がかかる
・搬器の戻しはできるが、材の鼻を高く上がることが困難である
・先柱の位置を高くする必要がある
・先柱を高く設置する場合は先柱に控えをとる

ハイリード式索張りの架設・撤去の時間は，架設が先柱までの水平距離 25～40m（平均 33m）で 6 分～25 分（平均 14 分）、撤去に 4 分程度を要する。

ウ　　ランニングスカイライン式

ランニングスカイライン式は、図 19 のように引戻し索を搬器の滑車を通した後、先柱で折り返して先端を搬器に結合する。引寄せ索は搬器の滑車を通して先端に荷掛けフックを取り付け、搬器が引戻し索の上を走行して引戻し索があたかも主索のように使うことからランニングスカイラインと呼ばれている。一見ハイリードの索張りによく似ているが，搬器が必要なことと引戻し索が搬器の滑車を通っている点が異なる。この方式の特徴として次のようなことがあげられる。

・斜面傾斜に関係なく上荷、下木どちらに使える
・搬器は滑車 2 つを組み合わせた簡単なものでよい
・フックの引き出しが容易である
・先柱よりも奥にある材も集材できる
・先柱の位置が低くても良い
・材の鼻上げをするために引寄せ索を巻き取る際に引戻し索にも適度な張力を絶え

ず掛けておく必要がある
・上述の操作がまずいと材が上下振動を起こして過大な張力が発生する原因となり危険である
・走行時の運転操作を容易に行うためにインターロック機能付き 2 胴ドラムが望まれる

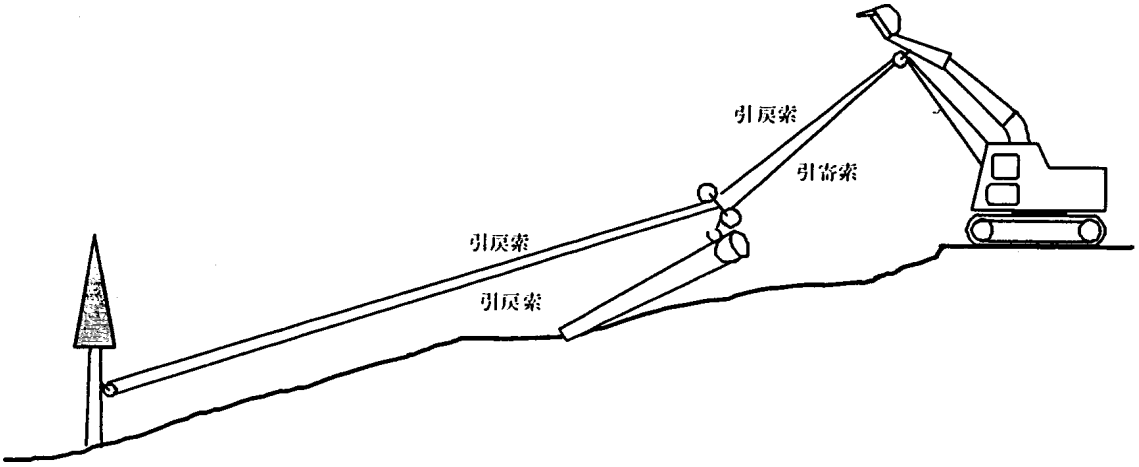


図 19　ランニングスカイライン方式によるスイングヤーダ集材

ランニングスカイライン式と後述のスラックライン式を比較では両者の集材サイクルタイムに若干の違いが見られ, 集材距離が 127m を境に集材距離が短い場合はスラックライン式が、長い場合はランニングスカイライン式が有利である（図 19）。一方、架設時間はスラックライン式が約 4 分に対し, ランニングスカイライン式 9 分とおおよそ倍かかる。

ランニングスカイライン式は索の張り回しの際に先柱から折り返す必要と搬器の設置に時間を要するが，撤去に要する時間に両者で差はなく、スラックライン式の 1 分半、ランニングスカイライン式は 2 分程度である。

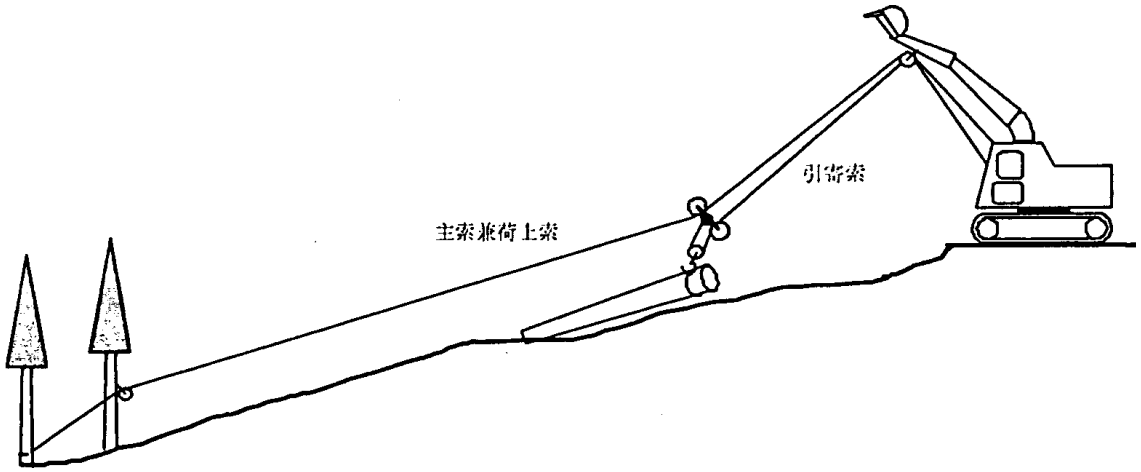


図 20　スラックライン式索張り状況

エ　スラックライン式

スラックライン式索張りは、図 20 に示すように一方の索を主索として張り上げ、ドラムの巻き取り送り出し操作によって材の上げ下げを行うものである。荷掛けフックの引き出しは

搬器の自重で行うため，下木集材には使えなく上荷集材しか使えない。また、上荷であっても緩傾斜地では荷掛けフックの引き出しが十分に行えないほか、搬器が固定されていないために集材時に搬器がスイング方向へ自走して鼻上げができないことがある。

また、スイングヤーダ付近で荷下ろしのために主索兼荷上げ索を緩めるだけでは材がスイングヤーダの方へ引寄せられない。これを防ぐためには引寄せ索を適宜緩めて引寄せ索の張りを調節して行う必要がある。スラックライン式索張りの特長には次のことがあげられる。

・架設がランニングスカイライン式と比べて容易である（架設時間がランニングスカイラインのおよそ半分の時間である）

・上荷集材のみに使用できる

・搬器が自重で落下できるような傾斜が必要である（急傾斜向き）

・先柱の位置が低くても良い

・搬器の走行操作は容易である

・スイングヤーダ付近での荷下ろし操作に若干の慣れが必要である

エ　スイングヤーダ集材における安全上の留意点

・地形傾斜が 40 度以上の森林では、材あるいは作業員の滑落の危険性があるため安全上、集材作業を行わないようにする。

・地形が急変する場所を確認し、道路からの見通しが効かない場合は、その場所を集材　対象から外す。・大きな岩や転石がある場合は、そこを避けて間伐列を入れる。

Ⅰ－2－2－4　スイングヤーダによる作業事例

a. 試験林の概要

スイングヤーダによる作業事例として，平成 21 年度林野庁補助事業「低コスト作業システム構築事業」による結果を述べる。事業場所は、熊本森林管理局国有林南部森林管理署管内，熊本県の南部，鹿児島県境に近い人吉市大畑国有林 56 林班である。大畑国有林は熊本県の林業の中心である熊地域に隣接しており，南部森林管理署は人吉市に事務所がある。事業体は，熊本県人吉市泉林業により林野庁の補助事業として実行され、作業員は人吉市からの通いで実行した。熊本モデル林は，国道　号線のループ橋の近くで大畑国有林 56 よ，小班，で全体の実行面積は，18.05ha のスギの 52 年生の人工林，地形は中傾斜，全体蓄積　7565 ㎥　，過去に，列状間伐 1 回，定性間伐 1 回　行った。今回は森林整備事業（保育間伐活用型）として　1 伐 2 残　の列状間伐で，予定素材生産量は 800 ㎥　である。（表 8）

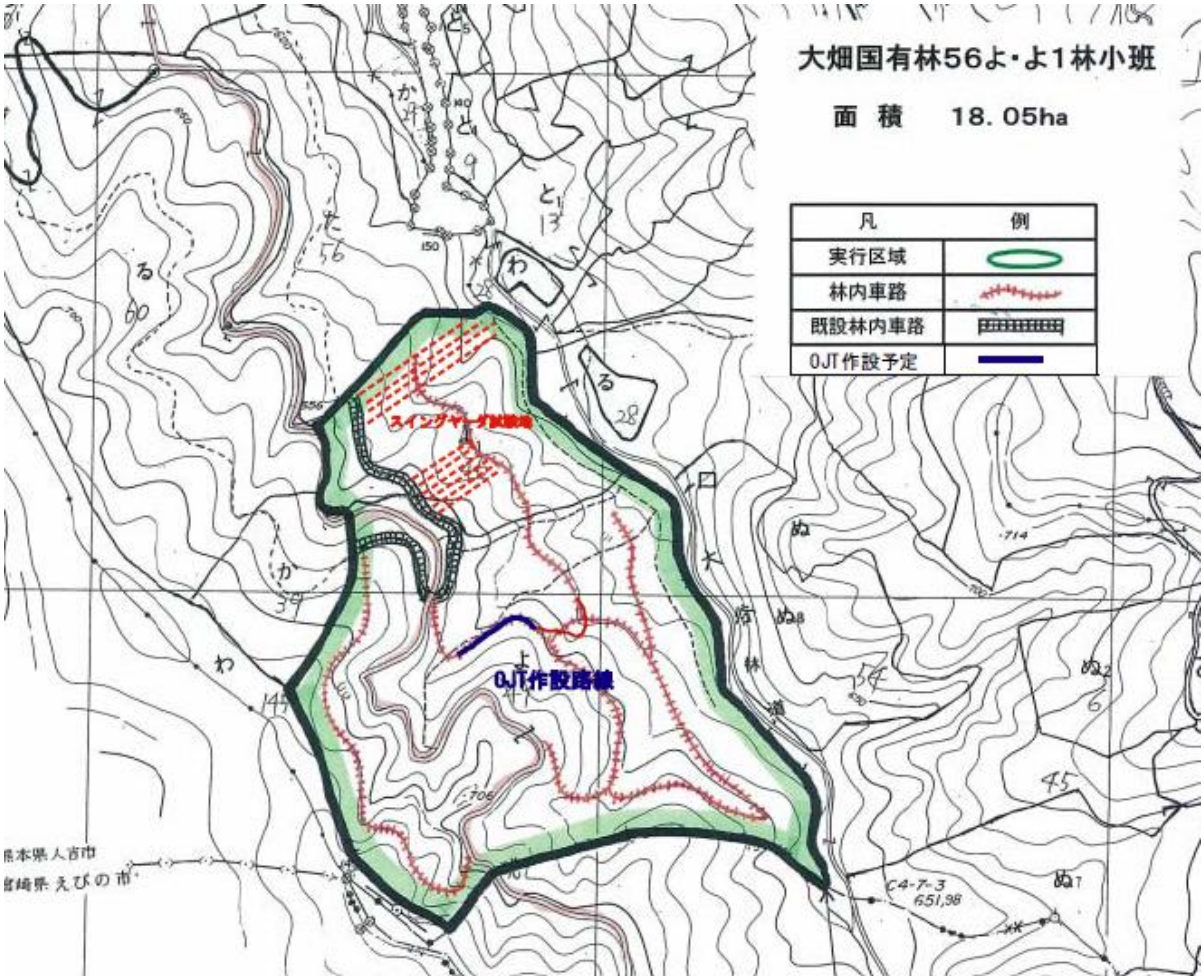


図 21　伐区と作業路の位置図

表 8　調査地の概要

調査地の森林	熊本南部森林管理署　大畑国有林　56よ　他 森林整備事業(保育間伐―活用型)
素材生産量	800㎥
伐区面積	18. 05　ha (　56よ 4.02ha　56 よ 1　4.03 ha)
林況	スギ　52年生 平均胸高直径 22cm　平均樹高　15m 蓄積　スギ　7565㎥ (56 よ　5825㎥　56よ1　1740㎥)
地況	地形傾斜　中傾斜
施業方法	間伐方法　列状間伐　1 伐2残 列状間伐 1 回　定性間伐　1回

b.　調査方法

試験地は，先に示した大畑国有林 56 よ小班 18.05ha である(図 21)。全体に対して実証試験として実行し，この中で　OJT 研修　として作業路作設を実行した。また特にスイングヤーダについて列状間伐の伐列の長さを変化させて 10 列行い作業観測を行った。

特にスイングヤーダ試験に設定した伐列は，いずれも既設の作業路を用いた。全体の方位は北東方向，標高は 590~720 m　傾斜は 20～30 度　である。林地は　中傾斜というところで　部分的に急になっているところがある。林相は 52 年生であるが　１０年前に列状間伐　１伐３残　を行っている。今回はこの伐列に沿って　１伐２残の列状間伐である。(表 8)

事業は，事業体での日報によって分析した。その他実態を測定するために上記の伐列について作業を行い，時間観測を行った。伐倒は先行伐倒のため別に測定した。スイングヤーダについては，時間観測した。またプロセッサとフォワーダについても測定した。材積については　スイングヤーダとプロセッサは，立木材積，フォワーダについては土場での荷下ろし前に積載丸太の末口直径と材積を全て計測し，搬出材積を測定した。これらの数値を元に作業の総人工数を計算し，出材量から労働生産性を算出した。

事業終了後に，残存木の被害調査を行った。被害木の位置と被害の種類を確認し，樹皮，剥皮被害の場合は，形成層まで被害を受けているものについて本数とした。林内の土壌攪乱についても観測した。いずれにしても今回のスイングヤーダによる列状間伐は，ランニングスカイライン索張りを用いたため残存木の被害，土壌攪乱も少なかった。

C. 作業測定結果

ア．適用作業システムの概要

今回の実証試験に用いた高性能林業機械は，表 9 のとおりである。本事業は作業路を作設，スイングヤーダによる作業システムである。路網については，林道と作業路一部既設道を含む。ほとんどは新設の作業路である。下記のベース・マシーンは，１２ｔクラスであり車幅は２．５m以上である。

表 9　試験実業システムを構成する高性能林業機械

種類	メーカー名	型式	備考(ベースマシン等)
スイングヤーダ	イワフジ	TW-302	KUBOTA KX-120
プロセッサ	イワフジ	GP―35V	HITACHI　ZAXIS　135US
フォワーダ	イワフジ	U-4AG	

今回の実証作業システムは，下記のような流れである。

伐倒は，通常どおりの先行伐倒による。功程は，列状伐倒のためかなり高い値となっている。次に先行伐倒された列ごとに 4 名一組でスイングヤーダによる木寄せ集材，プロセッサによる造材，フォワーダによる集搬作業となっている。プロセッサ，フォワーダのオペレータは，その進行によってスイングヤーダの荷外し等の補助作業を行っている。

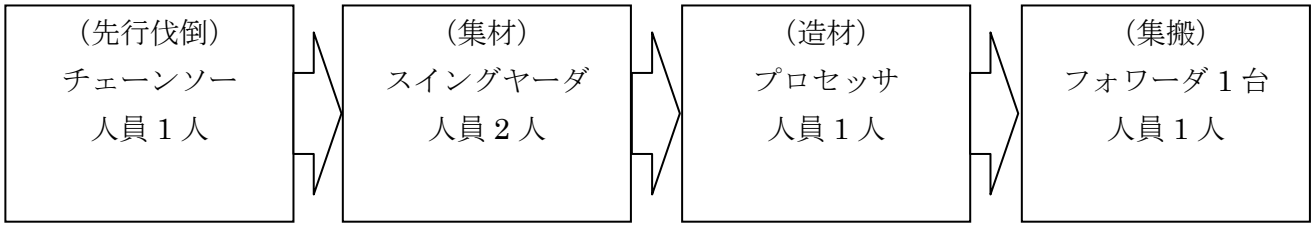


図 22　作業システムの流れ

各工程に用いられた機械は下記の通りである。スイングヤーダ、プロセッサのベース・マシーンは１２ｔ　クラスである。

イ．スイングヤーダの索張り

本事業体の実証試験で用いたスイングヤーダの索張り方式は，スナッピング方式とランニング方式である。しかし 21 年度の実証試験地は，地形傾斜が 25 度前後と比較的緩いため，スナッピング方式は，不向きであった。ランニングスカイライン方式を用いた。

スナッピング方式（スラックライン方式）スイングヤーダの索張りは，地形が 30 度以上の急傾斜地に適している。すなわち荷揚げ後，搬器を送る場合に自重によって送る

ことができる傾斜を必要とする。索張りが簡単である。

ランニングスカイライン方式は，比較的緩い地形の傾斜でも搬器送りが可能である。今回の場合は，この方式によって行った。

ウ．日報調査による実証試験結果

今年度の実業については，日報による集計と，前もって列状間伐の伐列を取り作業観測した。先の概況で述べた熊本南部署大畑国有林 56 よ小班　18ha　予定間伐 800 ㎥である。間伐は列状間伐 1 伐 2 残　先行伐倒によって行った。熊本モデル林での実証データを泉林業より受領した。以下概要について述べる。

作業システム

伐倒は　列状で　先行伐倒。木寄せ集材は，スイングヤーダによる。　先山 1 名　オペレータ　1 名，プロセッサ造材，オペレータ　1 名，フォワーダ集搬作業オペレータ　1 名，仕分け作業は，フォワーダが行う。

作業時期

10 月 26 日　から 11 月 6 日

スイングヤーダによる木寄せ作業

① 作業時間　　実働　7．5　日間　　合計時間　56．5 時間
② 生産量　　合計生産量　は不明
③ セット当たり生産性　　19.39　㎥／セット・日　　9.70　㎥／人・日
　　2.57　㎥／セット・時間
④ 先山 1 名

プロセッサ造材

① 作業時間　　実働　9 日間　　合計時間　65 時間
② 生産量　　233.25　㎥
③ セット当たり生産性　3.59　㎥／時間　　25.92　㎥／日人
④ オペレータ 1 名作業
⑤ 連携作業により　スイングヤーダの功程に影響される。

フォワーダによる集搬作業

土場が近いために　功程はつかめなかった。

作業者は連携作業により　仕分け作業道作り作業などを行っている。

作業道作設実績は　実働時間 59．5 時間　，実績３０５ｍであった。換算すると約 30m³／日･人であった。

エ．試験事業の結果

本実証事業のうちスイングヤーダによる搬出システムのデータをとるために前述の熊本モデル林、実証事業地大畑国有林 56 よ小班の一部に測定区域を設けた（図 21 参照）。伐列は図 21 に示すように 10 列とし，各長さについては図 23 の通りで 70～143

mの長さがある。

作業システムは，チェーンソーによる先行伐倒，スイングヤーダによる木寄せ集材，プロセッサによる造材作業，フォワーワーダによる集搬作業である。それぞれについて時間観測をした。　（表 10 参照）

1）　立木の状況

林分は、51 年生のスギ林、定性間伐、列状間伐を過去に行っている。

試験区域の立木本数は 234 本，材積 80 ㎥　平均胸こう直径 22cm，同じく樹高１５m，である。

2）　伐列の状況

伐列は　10 本　設定した。本数は 15～32 本／列，　長さは　58～142m，平均 95 m，　平均集材距離 50mである。

3）　地形因子

平均の地形傾斜は，19.7 度　方位角は 51.9 度　である。

4）採用した作業システム

伐倒作業については、チェーンソーによる先行伐倒を行った。その後スイングヤーダ、プロセッサ、フォワーダによる搬出を行った。本年は伐列が長いためスイングヤーダによる搬出作業とプロセッサ、フォワーダ作業の連携作業とした。また，伐列が長いため地引方式は使用せず、スナッピング式、ランニング式を試みた。

スナッピング方式は、搬器の送りを重力によって送るため、地形傾斜が列方向にある程度の大きさが必要である。今回，試みたが，　スイングヤーダのドラムの回転操作の関係でうまくいかなかった。　そこで今回については、比較的地形傾斜が緩傾斜（約 20 度）であったこと、また事業体が通常よく行っていたランニングスカイライン方式を採用した。

試験事業であるが，特に列状間伐において伐列の長さによって生産性がどのように異なってくるかを検証するために，試験作業を行った。伐列の長さの異なる　10 の列について作業し，測定した。

1）　伐列のデータ

スイングヤーダによる集材を行うに当たり，伐列の長さによってどのように功程が異なるかを実証するために伐列の長さのことなる伐列を設定した。（図 21）その他伐倒木の胸こう直径，樹高　伐列の長さ等について表 10 のとおりである。

表 10　調査に用いた列状間伐の本数と列の長さ

列番号	木の番号	本数	平均胸高直径(cm)	平均樹高(m)	平均材積(㎥)	合計材積(㎥)
1 列	101～132	32	22.19	15.2	0.33	10.2
2 列	133－163	31	27.10	16.5	0.49	14.79
3 列	164－191	28	25.57	16	0.42	11.4
4 列	192－222	31	22.13	15.4	0.32	9.21
5 列	223－246	24	20.04	14.6	0.28	6.8
6 列	247－263	16	20.70	14.9	0.3	5.04
7 列	264－282	19	20.10	14.7	0.28	5.31
8 列	283－298	16	21.38	15	0.33	5.28
9 列	299－313	15	22.40	15.7	0.33	4.99
10 列	314－335	22	22.82	15.3	0.35	7.78
総括		234	22.443	15.33	0.343	8.08
合計		234.00				80.8

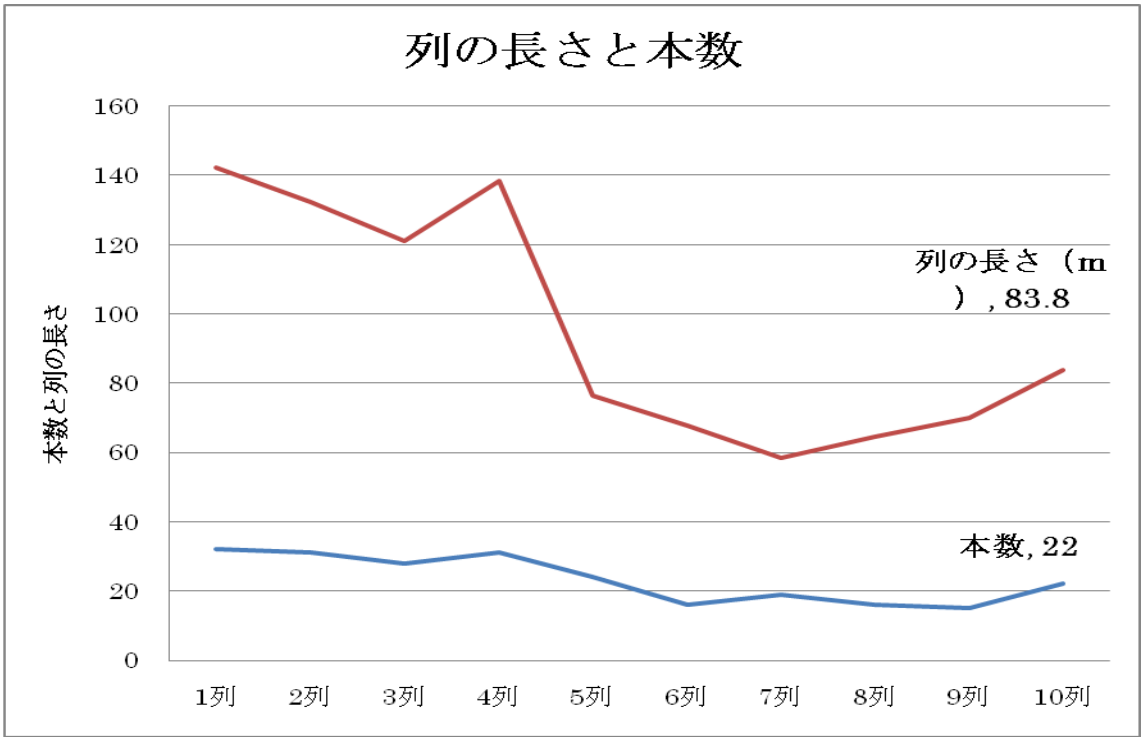


図 23　列の長さと本数

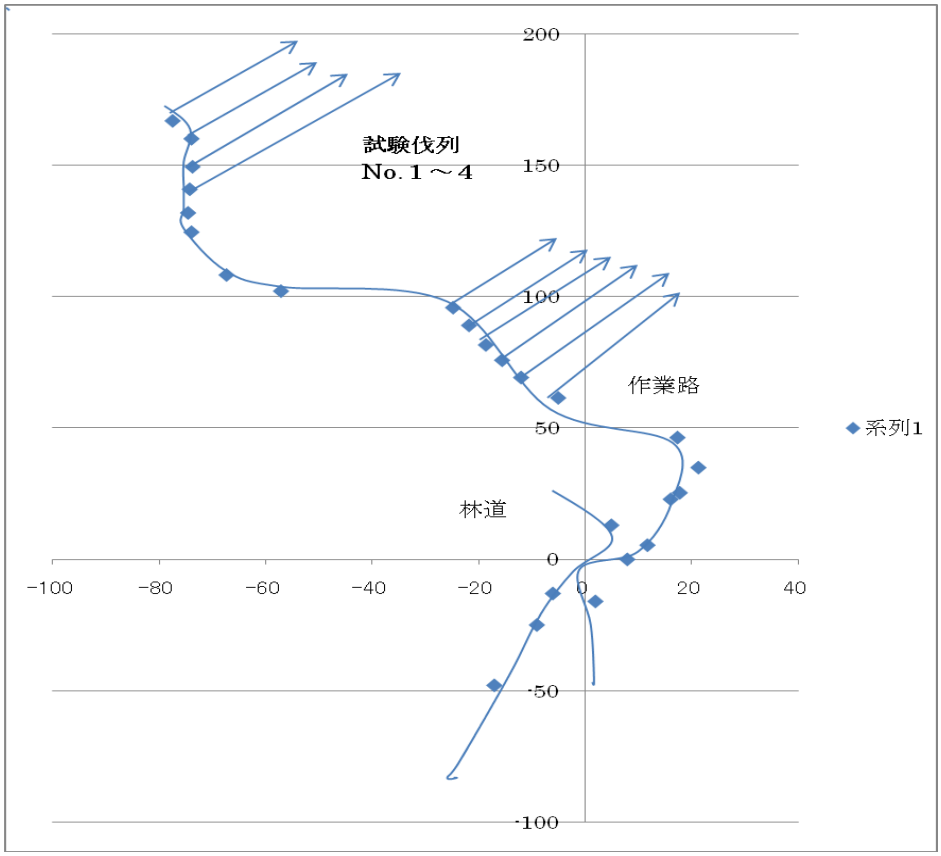


図 24　調査列状間伐の位置図（No.1~10）

このときの作業路は，平面は図 24，縦断は図 25 に示した。逆勾配となっているがその大きさはさほど大きくない。フォワーダの集搬距離は　最大 250mであった。作業路は　平均幅員 3mでやや狭い。今回の作業機にとって幾分狭隘である。

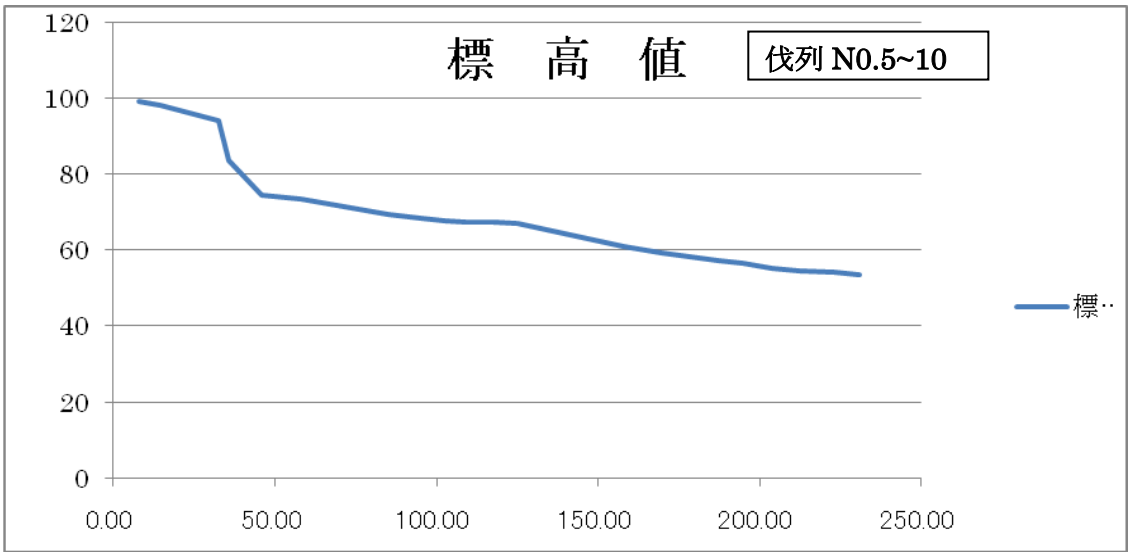


図 25　フォワーダによる搬出の用いた作業路の縦断勾配

各列について間伐作業を行った。この場合の作業について観測した。

作業員の配置は，スイングヤーダ，プロセッサ，フォワーダそれぞれ１名のオペレータ先山の台付け　１名の計　４名である。本事業体の特徴としては，各人手が空いたときはどの機械も操作できるという体制にある。作業システムとしては，伐倒のみ先行して行う並列の形である。伐倒作業は　搬出に先立ち先行伐倒された。列状のため通常の伐倒より功程は上がり，また掛かり木も少ないため安全である。

スイングヤーダによる間伐については，先山に１名の作業員がスリングロープを掛ける。この場合全木であるが　２～３本付けてスイングヤーダに合図し，木寄集材を行う。スイングヤーダはランニングスカイラインのために切り株などスムーズに乗り越えることができた。しかし距離が 100m ほど長くなった場合に時として切り株につかえたり，ラインがずれたりする場合がある。この場合に「F 型」滑車を用いてロープの引き方向を変化させて解決している。

表 11 がスイングヤーダの各列ごとの観測結果である。

表 11　スイングヤーダ測定結果

列　名	列の長さ（m）	材積（㎥）	移動/設置（秒）	実働時間（秒）	撤去時間（秒）	合計（秒）	合計（時間）	生産性（㎥/時間）
1	142	10.2	366	5961	213	6540	1.817	5.61
2	132	14.79	723	4305	232	5260	1.461	10.12
3	121	11.4	1303	7004	613	8920	2.478	4.60
4	138	9.21	860	9040	420	10320	2.867	3.21
5	76	6.8	649	2941	513	4103	1.140	5.97
6	68	5.04	318	1502	182	2002	0.556	9.06
7	58	5.31	694	1675	212	2581	0.717	7.41
8	65	5.28	511	1787	148	2446	0.679	7.77
9	70	4.99	423	2389	93	2905	0.807	6.18
10	84	7.78	1156	5649	291	7096	1.971	3.95
平均	95.4	8.08	700.3	4225.3	291.7	5217.3	1.45	6.39
合計	954	80.8				52173	14.4925	5.58

写真 1　スィングヤーダによる木寄せ（ランニグスカイライン方式）

写真 2　木寄せ中，鼻上げによる障害物回避

写真 3　先柱の控え索の状況

作業時間についてみると，合計作業時間が 14．49 時間　全体の材積についての生産性を求める 5.58 ㎥／時間となる。列によって生産性は異なるが，3．95～10．12 ㎥／時間となりかなり高い生産性であった。

次に列の長さと作業時間をみると図 26 のようになった。当然のことながら架設撤去については列の長さに関係なく実働時間（木寄せ時間）は列の長さに比例している。

さらに列の長さと　生産性（㎥／時間）との関係をみると図 27 のようになった。

次に，図 27 に　列の長さに対する生産性について，昨年のデータを合わせて示したが，明確には分からないが，生産性は，列の長さが 40mから増えていき 100mを越えるとまた減少傾向にあることが分かる。

これは作業条件によって幾分異なるが，スイングヤーダの場合特に，索張りを設置して行う場合には，ある程度の長さがあった方が生産性が上がることを示している。

そのピークは，列の長さはおそらく 100m前後と思われる。

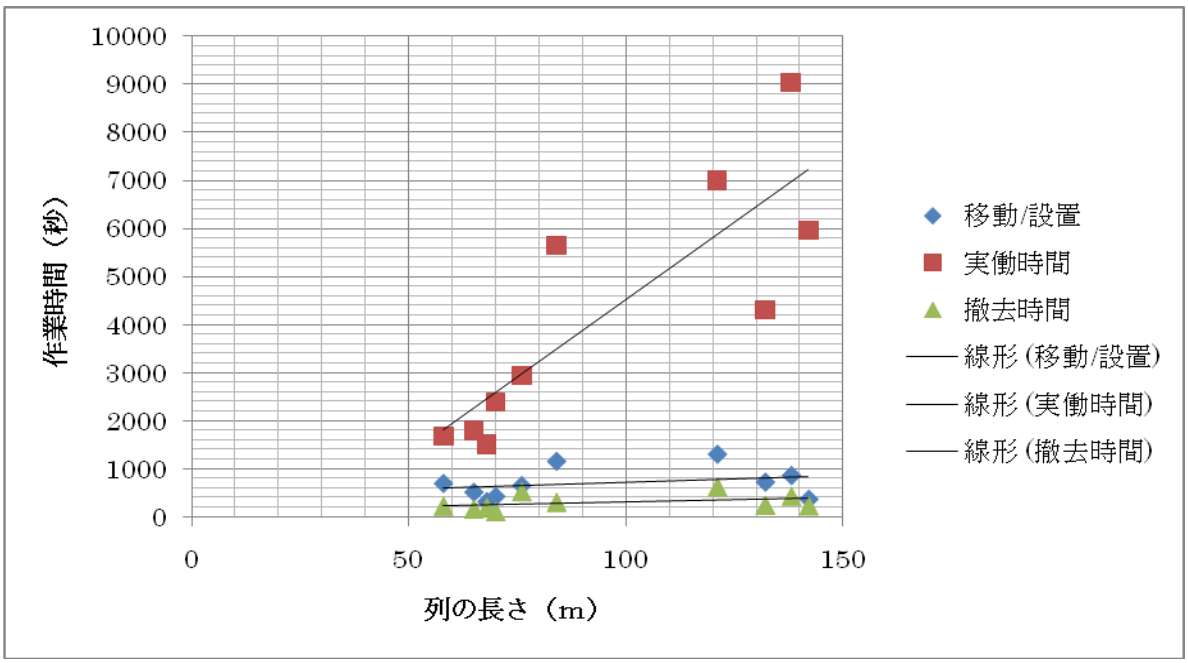


図 26　列の長さに対する各要素時間

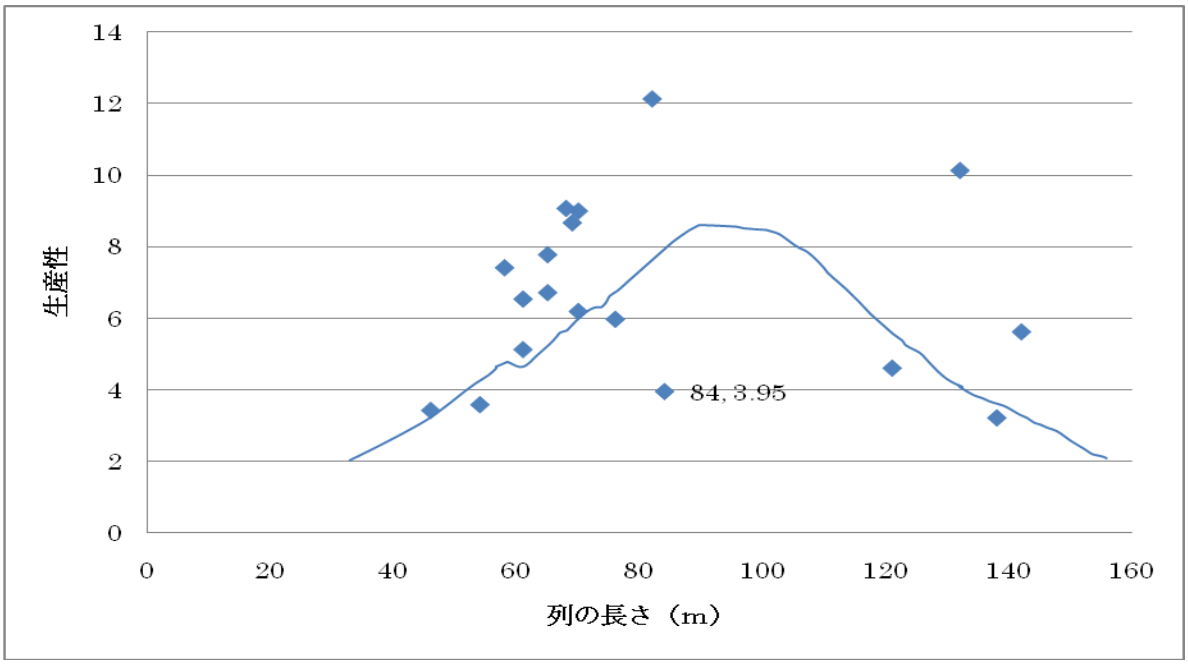


図 27　　列の長さと生産性（㎥／時間）

フォワーダによる集搬作業は、全体の実働時間 2.71 時間であった。これはスイングヤーダに比して　18.70%　の稼働率となっている。また，フォワーダによる集搬作業の流れは、土場から空走行でスイングヤーダの集積地へ行き，プロセッサによって巻立て積み込みを行っている。荷台が一杯になったら林道端の土場まで作業路上を実走行す

る。土場では　3m材，4m材を仕分けしながら積み卸しする。そして空走行によってスイングヤーダの集積地へ行く。これが 1 サイクルである。今回の集搬距離は，118m～204m，平均 181m と短距離であった。そのためにフォワーダの移動時間が短く，約 30%，また積み卸の時間が 60%と長くなっている。従ってこの現場ではフォワーダの稼働率は，20%以下と低い。しかしながらフォワーダの実働時間に対する生産性をみると最小で 10.2 ㎥／時間，最大で 20.0 ㎥／時間となっている。平均で 16.4 ㎥／時間　となりかなり高い値となった。なお巻立てはプロセッサで行ったのでこの待ち時間は除いている。

写真 4　フォワーダによる集搬作業

オ．システム全体の生産性

各事業についての時間観測結果についてみてきた。先行伐倒作業については、今回時間観測はできなかったが聞き取りによると時間当たり 10～20 ㎥／時間となっていた。スイングヤーダからフォワーダまでは並列作業で作業員合計 4 名にて行った。

合計の作業時間は，3 日間勤務時間 15 時間であった。全体の材積が 80 ㎥であったので　勤務時間　8 時間に換算すると下記のように　一人 1 日当たり 10 ㎥を越えることができた。

80 ㎥　÷　　1 5　時間　＝　5．33　㎥／時間

5．33 ㎥　X　8 時間　　＝　42．64 ㎥／日

42．64 ㎥　÷　4 人　　＝　10．66　㎥／人・日

全体の生産性について，理論的に求めると，各作業を独立作業で行うと

1/E =　1/e1 + 1/e2　+　1/e3 +　　――――――――　（1）

並列作業で考えると　下記のようになる。

Ps =　m*Ks*Po

Ks = (Ka + Kb + Kc)/m　　――――――――――――（２）

m：生産工程数

Ks：　システム稼働率

Ka,Kb,Kc：　a,b,c　の　作業功程の稼働率

本例では,

伐倒　3.3　㎥／時間　　スイングヤーダ　9.77　㎥／時間

造材(プロセッサ)　6.39　㎥／時間　　フォワーダ　15.43　㎥／時間

１／Po　＝　1/3.3　＋　1/9.77 +　1/6.39　+1/15.43

Po　＝　1.60　㎥／時間　　9.57　㎥／人･日

またシステムの効率は，スイングヤーダの効率を 1.0 とすると　プロセッサは　0.747 フォワーダは　0.187 であり，（２）式を用いると

m　＝　3　　Ks = (1.0 + 0.747 + 0.187)/3 = 0.6457

Ps =　3 * 0.6457 * 1.60 = 3.10　㎥／時間

伐倒は　先行伐倒の直列であるから,

Pr　＝　1（　1/3.33 + 1/3.10）　＝　1.61　㎥／時間

システム全体では,　9.63　㎥／人･日　となった。

コストを求めると　チェーンソー伐倒　759 円／m3

スイングヤーダ　687 円／㎥

プロセッサ造材　1229 円／㎥

フォワーダ集搬　602 円／㎥

合計　3277 円／㎥

㎥当たり　3277 円　となった。

路網密度について計画図において全体路網延長は　2750ｍ　全体面積　18.05ha 路網密度（ｄ）を計算すると

ｄ　＝　2750ｍ　／　18.05ha　＝　152m/ha

となる。

ここで最大集材距離(a)についての理論式　a =　(5000x1.5)/d より

a　=(5000x1.5)/152　=　49.3m　約 50ｍ

となる。

グラップル系によるウィンチ集材，あるいはスイングヤーダに適正な距離である

本事業体の作業員，オペレータは技術的にかなり高いレベルにある。功程に関しても意識が高く常に能率を意識している。例えば各作業員は，どの機械についても作業することができ必要に応じて各人が動いている。　また高性能林業機械の使用歴は長く　技

術教育も行き届いている。使用機械については修理も独自に行い，長く使用している。これはメインテナンスにお金が掛かるが　反面コストの面では機械損料の節約になっている。　現地をみて、作業方法、作業機械、人員配置等全般に功程上の工夫がみられた。また，環境負荷については　列状伐採であり，スイングヤーダによる架線集材なので　残存木の損傷，また林地攪乱も少なかった。

引用文献:森林技術協会、低コスト作業システム構築事業報告書、2010年

写真 5　搬出後の状況

Ⅰ－2－3　新世代タワーヤーダによる作業システム

①機械仕様

新世代タワーヤーダは、元柱となるタワーを車体に備え、主索、作業索や控え索などすべての索のドラムを油圧駆動しており、それらは遠隔制御によって操作される機構となっている。これらによって、架設作業の単純化と迅速化を可能とした。

これらの全ての作業機構は、道路を走行移動して、迅速に作業現場間を移動するとともに、ドラムなどのすべての機能を備えた単車両機械として仕上げられている。ヤーダ機能だけを架装したもののほかに、本体にプロセッサ機構を合わせて架装した統合型のタワーヤーダがある。日本国内では、公道はもちろん林道の構造規格の制限によって大型の車両利用が容易でない。ヤーダ機構とプロセッサ機構の両者を備える統合型は 25 ｔほどの重量となり車体も大きくなって林道での走行が困難となる。ヤーダ機構だけを架装することによって、総体重量を小さくできる。国内の林道事情を考慮してトラック架装型で 20 t を上限とするのが適切である。ヤーダ機構をトレーラに装荷したものは、自走する車両機構がないために、けん引車両は必要であるが、軽量にすることができる（写真 6 参照）。

新世代タワーヤーダ　トレーラタイプ　　新世代タワーヤーダ　トラックタイプ

写真 6　新世代タワーヤーダ　トラックタイプとトレーラタイプ

また、同様に油圧駆動される小径化繊ロープであるストローラインは、軽量であって人力引き出しが容易で、重量物ワイヤーロープの人力運搬が避けられ、傾斜地であっても架設作業を迅速に可能とする。このストローラインは、無線操作の巻き取りドラムで駆動され、４ｔ程度の直引力を有する。これによって、先柱の架設作業、主索、作業索の延伸設置作業に不可欠な引張力を担い、人力によるチルホール作業等を代替して、迅速な作業を行う（写真 7 参照）。

写真 7　ストローラインとドラム　Koller 社タワーヤーダ

タワーマストは中間に屈折関節があり、公道走行移動時の建築限界に対応して、屈折格納した際に 3.8m以下に高さを抑える。その屈折関節上部の左右側面両サイドに控え索ドラムが設置される。控え索はタワーマスト内部を貫通して上部先端から主索後方にその対抗張力を備えるべく架設される。駆動ドラムは本体のスイッチにより制御され、容易迅速に適正な張力で控えを取ることが出来る（写真 8 参照）。

写真 8　タワーマスト基部近くに設置された控え索ドラム Konrad 社タワーヤーダ

ワイヤーケーブルの巻き取りドラムは、すべて車体に搭載され油圧駆動制御である。複数のドラムを制御する電子機構を備えており、タワーヤーダ土場位置と、先山の荷掛位置で制御機構を操作する無線装置を有する。ワイヤーロープの巻き取り量はロープ径にによるが、ホールバックラインに 1600m ほどの巻き取り量があり、その半分が架設可能な最大スパンとなる。

主索は、中間支持器によって地形状況に合わせて支持され、現場の突地形に対応して架設される。

②機械性能

タワーヤーダの性能は、一荷量と搬器走行速度による。一荷量はリフティングラインの荷揚げ力により、搬器速度はホールラインの巻き取り速度によるが、リフティングラインはホールラインの先端部分を搬器を経由して伸展させたものなので、これらはともにホールラインを駆動する能力に左右される。

リフティングラインは、タワーと搬器間の距離が長いと索重量が大きくなって、荷掛フックが降下し難くなり、また人手で引き出す際に大きな力が必要になるが、搬機に駆動力を持たせて強制降下させるものがある。KOLLER 社の製品としては、NSK-3 がある。エンジンを内蔵し、600kg 程度であるが有用な機能を備える。また、架線を架設する林地の標高差を生かして、上げ木集材作業で搬器が下降走行する際に発電し、逐電した電力でモータを駆動してリフティングラインの強制降下を行わせる搬器が開発されている（特許申請中）。

荷揚げ力は、機械の大きさによるが、中型で 2.5 t 程度、大型で 5t 程度である。すなわち、一荷として 2.5 から 5m3 の木材を動かすことができる。もっともタワーヤーダの架線では荷は完全に宙釣りされることはなく、地引きで集材され地表との摺動抵抗があるので、最大でもその半分程度の量となることが多い。

ホールライン、ホールバックラインは、最大 8m/秒程度の走行速度が可能である。

③作業性能及び作業例

いく例かの実証作業の成果から以下のように想定する。タワーヤーダによる標準的な作業時間として、架設作業に 2 人で 5 時間、撤収に 3 時間を想定する。集材作業は、2 人で行う。

1)主伐作業

平均一荷量を 1m3、スパンを 400m とする。搬器の走行速度は、上げ木、下げ木ともに、実搬機の平均を 1m/s、の平均を 5m/s とする。平均荷掛時間を 240 秒、平均荷外し時間を 60 秒とする。

これらによって、表 12 に示すように、平均サイクルタイムは 440 秒となり、人日あ

たりの作業生産性は、造材歩留まりを 0.7 として 14.7 m3（素材）となる。

2)間伐作業、

間伐作業は、林内で伐倒しながら集材する。伐倒作業が付帯するので荷掛作業は長くなり、600 秒を費やす。また荷掛する一荷材積は、材が小径であることを想定して小さく、0.7m3 である。平均サイクルタイムは 800 秒となり、主伐の 1.8 倍である。造材歩留まりも 0.5 と小さくなり、人日あたりの素材作業生産性は、4.7 m3 と主伐の 1/3 ほどしか得られないと予想される。

表 12　新世代タワーヤーダによる集材作業能率の予測

	主伐	間伐
架設人工数	10 人時	←
撤去人工数	6 人時	←
日実作業時間	6 時間	←
作業員数	2 人/班	←
スパン	400 m	←
一荷量	1 m3	0.7 m3
空搬器平均速度	5 m/s	←
実搬機平均速度	2 m/s	←
荷掛時間	240 秒	600 秒
荷外し時間	60 秒	←
平均空搬機走行時間	40 秒	←
平均実搬機走行時間	100 秒	←
搬機走行時間	140 秒	←
平均サイクルタイム	440 秒 7.3 分	800 秒 13.3 分
時間当たり生産性	8.18 m3/時	3.15 m3/時
人時当り生産性	4.09 m3/人時	1.58 m3/人時
造材歩留まり	0.6	0.5
機械作業生産性	29.5 m3/日	9.5 m3/日
人日当り生産性	14.7 m3/人日	4.7 m3/人日

以上は、集材作業における作業能率であるので、素材生産事業としての能率を考えると、架設撤去の困難さ、事業地の立木の大きさが制約因子として考慮されなければならない。

事業地の大きさを 3ha、とする。経費は表 13 のようになり、上記の生産性によって主伐の場合は大きな利益の出るビジネスとなり、間伐の場合には、上記の作業能率が出ると想定した架線張り替え間隔を 50m とした作業によって、新世代タワーヤーダ作業によっても作業経費がかかることが試算される。

間伐作業においてはたとえ新世代タワーヤーダが普及し、高能率な作業が可能になっ

たとしても、補助金が必要となると予想される。

表 13　想定作業能率による事業経費予測

	主伐	間伐	単位
事業地面積	3	3	Ha
立木密度	300	1000	本/ha
単木材積	1	0.3	m^3
間伐率	1	30%	
事業地間口	100	100	M
TY架設間隔	100	50	M
TY架設本数	1	2	本
架設人工数	10	20	人時
撤去人工数	6	12	人時
TY大移動時間	6	6	時間
機械償却費	4	4	万円/日
出幹材積	900	900	m^3
造材歩留まり	0.6	0.5	
出玉材積	540	450	m^3
出材人工数	35.4	93.5	人日
出材経費	76.2	197.6	万円
機械作業日数	17.7	46.7	日
作業機械経費	70.8	186.9	万円
TY大移動経費	4	4	万円
機械経費	74.8	190.9	万円
事業経費	151	388.5	万円
出材事業経費単価	2796	8633	円/m3

Ⅱ．林道と森林作業道による路網整備

Ⅱ－1　低コスト路網に関する技術体系

Ⅱ－1－1　路網の体系と路網計画法

路網側からみると、路網の高密化は伐出技術や機械の選択の自由度を広げ、より集約的かつ能率的な作業を可能にする。しかし、現時点で、素材生産面の便益だけを優先させてやみくもに道路を開設するのでは、長期的にみて偏りの大きい無駄な路線を多く作設することになる。道路の作設には高額な費用が必要となり、場合によっては森林環境の破壊の原因にもなりかねない。路線によって構成される路網は徐々に拡充されていくプロセスがあり、幹線的な高規格道に支線路や分線路の低規格道が組み合わされ、それらが適切に配分・配置されて全体の路網システムが形成されることになる。路網側から伐出機械へのアプローチは、伐出作業システムごとの集材距離に関する路網作設費や走行速度に関係する走行費等の総費用を最小にする適正路網密度を算定し、その路網密度に応じて適正な伐出機械や伐出システムを選択することになる。

ここでの路網とは何かということである。一般的には、林内路網密度とは、当該森林内に存在する高速道路等の公道を除いた「一般の公道」、「林道」、「作業道」のトラック等の車両用の道路延長を全体面積で割った値である。

しかしながら最近の作業システムは、上記で述べたように従来の集材システムで多く用いられていたトラクタ集材、架線集材に替わり、林内作業車、フォワーダと言った車両系の集材方式が多く用いられ、主流となってきた。この車両系集材の場合は車両集材用の道路が必ず必要になる。これが上記のトラック道にプラスされる。この道を林野庁の検討委員会では、「森林作業道」と称し、10t クラスのトラックの通る作業道は、新たに「林業専用道」とし、「林道」の範疇に加えた。したがってこれからは「一般公道」「林道」「林業専用道」「森林作業道」に分けられる。

森林作業道のうち、作業路については、多くの民有林において古くから用いられている。林内作業車用の高密路網として採用されて、北は北海道から九州に至るところで採用されてきた。有名な方式として「大橋式」「四万十方式」等がある。この背景には土工機械の「バックホウ」の普及がある。また林業の生産現場での高性能林業機械の普及と、この中でのフォワーダの大型化があり、急傾斜地での適用に当たっては路網を作るという要請とこの技術の普及からきたと思われる。また技術の普及に当たっての林野庁のみならず地域のオペレータ指導者の努力にもよる。すなわち従来の一時的使用の作業路から「簡易で耐久性のある道」を目指したものである。こうした森林作業道作設技術の普及によって「高性能林業機械による低コスト作業システム」が可能になりつつある。

ａ.路網計画法

作業システムが決定されれば、作業路の幅員、最急勾配を決定し、路網計画をする。

適正路網計画については、これまで多くの研究があり、経済的に最適とする路網密度の決定方法、路網の配置方法など提案されている。ここでは上記作業システムが決定され、必要な集材距離が想定される場合の路網密度、計画延長の求め方について述べる。

林道密度理論については、古くはマチュースの林道間隔理論から我が国における林道密度理論まで多くの研究がある。その中で典型的な理論モデルとして「矩形モデル」が有名である。図 28 に示すような形で、横 2am、縦 b　m　とし、中心に林道が入っている。林道、作業線の迂回率を　η、η'とすると林道延長は　b(1＋η）m、　最大到達率（最遠距離）a(1+η'）　m　、平均集材距離は　a/2　m　となる。

矩形の林道密度 d (m/ha)は　(1)式のようになる。（図 28）

$$d = b(1+\eta) / (2ab/10000) = \frac{5000(1+\eta)}{a} \qquad (1)$$

最大到達距離　a　m、　と　林道密度との関係は（2）式のようになる。

$$a = \frac{5000(1+\eta)}{d} \qquad (2)$$

平均集材距離は　a/2　である。

（1）、（2）の関係式から最大到達距離(集材距離）a、m　が決まれば　路網密度が求められる。ここでこれを実際に当てはめる場合は、迂回率の他に林道の配置の偏りを考慮する必要がある。この係数をこれまでの研究から総合修生係数と称し、通常、1.0~2.0　の値をとることが実証的に求められている。

ここでこの関係から計画対象区域の必要とする作業路延長を求める。

まず、対象計画区域に関する面積(A ha), 既設林道、作業道延長を測定する（L0 m)。前節で決定された作業システムにあった集材距離(a　m）を決める。必要とする路網密度を下記の式よりもとめる。但し総合係数 k は 1.5　とする。

$$Dm = \frac{5000}{a} \cdot k \qquad (3)$$

（3）式の関係を示したのが図 29 である。

この路網密度より全体必要延長（Lt m)をもとめる。

$$Lt = Dm \cdot Am \qquad (4)$$

求める開設延長は、既設延長を引いて求める。

$$La = Lt - L0 \qquad (5)$$

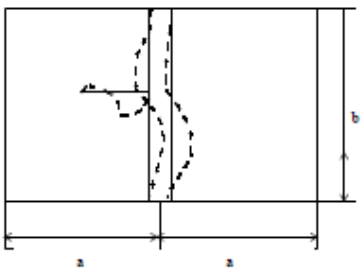


図 28　林道の矩形モデル

以上によって開設すべき作業路延長が求められた。

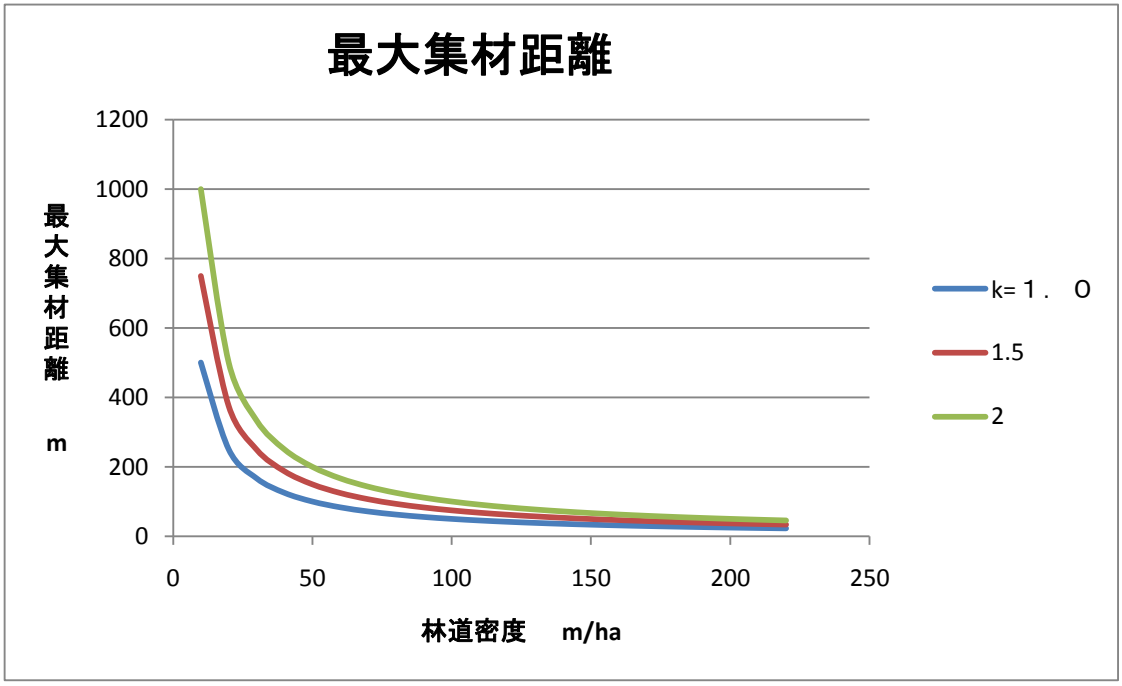


図 29　集材距離に対する路網密度

この延長にあった計画を与えられた森林基本図に図上で路線選定を行う。この場合幅員、急勾配を配慮し行うが、この作業は習熟と技術を要する。

施業対象伐区、森林が決まり上記の過程により作業システム、作業路計画が決定され、いよいよ実行に入る。作業員、林業機械、施設の調達、全体の作業計画は、事業体の状況によって異なる。しかしこの段階の作業の進め方が、低コスト作業システムが実現できるかどうかに懸かっている。

最初にかかる作業が作業路の作設である。この作設については、いわゆる林道作設技術、森林土木技術と異なった、経験と工夫と現場において積み重ねられた技術である。低コスト作業システム構築事業では、現場の経験を有する指導者による研修としてのOJT 研修を実行したところである。この作業路は「簡易で耐久性のある道」を目指した技術習得で主な特徴は、「切取を少なく（切取法長 1.5m　以下）、強固な盛土と路肩、地形に沿った線形と排水によい縦断線形（波形線形）、排水に十分に配慮した路体（洗越）」等である。

作業路の作設がおわり、次に低コストを目指して作業の実行システムに移るが、多くの優良な事業体が述べているように「路網作設が終われば全体の半分の作業は終わったようなものだ」と、如何に作業路の作設が重要であるかを物語っている。

現在は、作業路は「森林作業道」の範疇に含まれる道で、あくまで作業システムの一環として考えなくてはならない。目的とするところは次の間伐まで利用できるあるいは、森林の管理整備に利用可能になるような耐久性を要求している。しかし過度の期待とシステムの森林作業道の利用延長が 500m 以上になるような作業システムは好ましくない。

要するところ低コスト作業システムの成功如何は、現場、事業体と技術者としての作業員の技術総合力に懸かっている。

Ⅱ－1－2　路網作設法の体系化

Ⅱ－1－2－1　概説

森林施業、森林の維持管理に必要な路網は、林道、林業専用道、森林作業道を適切に組み合わせた森林路網として森林の状態、林業機械を含む作業システムにより、現在と将来の施業を見据え、路網密度を勘案して合理的に開設する必要がある。林道は、「林道規程」により規格化された作設法が確立し、一般車両も通行することから構造的な安定や車両走行の安全が保証される。一方、林業専用道や森林作業道（林道以外の道）は、林業を行う目的のために開設される専用の道であり、低規格で開設される。これまで林道以外の道は、一時的な使用を目的とする施設として開設されてきたが、今後は、林業専用道、森林作業道ともに継続的使用を前提に開設される。このため、林業経営の立場から、これらの低規格道に対して、①崩れない、②維持管理が容易、③低コストで開設する、という基本的な条件を満たすことが求められる。これらの条件を，低規格道の作設技術に反映させる場合には、⑴緩斜面に道を開設する、⑵出来るだけ土の性質を生かす（締固める）、⑶必要ならば構造物で補強する、⑷のり面は在来種の草本で緑化する、等が最も基本的な技術的対処指針であり、これらをどう現場へ適用するかが技術的課題となる。これらの技術的課題を更に体系化するためには、林道を開設する際よりもより詳細な路網開設対象地の地形、土質の情報を収集し、地形学、地盤工学の視点から技術の検証と整理を行う必要がある。

Ⅱ－1－2－2　作業システムと路網の関係

路網は、林業機械と同様に林業を行うための重要な手段であり、林内での作業をいかに効率的に安全に行うかという観点から、路線配置や道の規模が検討されてきた。一方、林道はもとより、林業専用道や森林作業道の低規格な土構造物は、開設コストと維持管理、環境保全の面から自然条件を十分に考慮して作設する必要性がますます増加している。

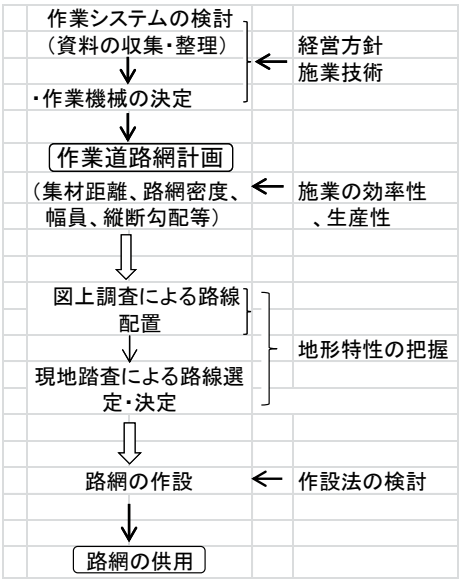


図 30　路網計画の流れと留意点図

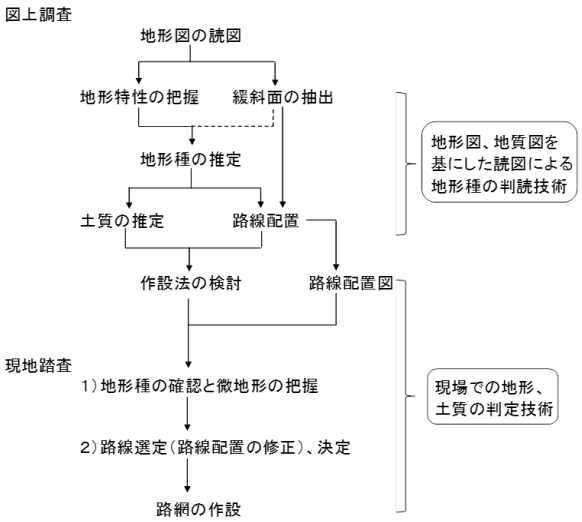


図 31　図上調査、現地調査と技術的背景

図 30 に路網計画の流れと留意点を示す。作業システムの構築には、林業の経営方針や既存の作業機械、作業法など、自然条件とは異なるさまざまな要因がある。しかし、路網を基盤として集材距離を短くした集材システム（車両系集材）か、または最小限の路網を活用する集材距離の長い集材システム（架線系集材）か、作業システムを構築する際には、地形を含めた自然条件が大きな背景となる。また、作業システムは、林業機械の開発・改良に伴って変わっていくものと考えられる。このため、路網の規格や密度等、トラックを導入できる路線（林業専用道）と林業車両用の道（森林作業道）をどこに、どの位の割合で配置するのか等、将来の作業システムの変化に対応出来る基本的な路網開設プランを計画しておく必要がある。また、林業機械、運材トラックの大型化、重量化を想定した場合、特に林業専用道については、出来るだけ構造物を作らずにトラックの安全走行を確保するためには、斜面の地盤、基礎と土構造物（路体）に関して、定量的なデータを基にした設計、作設を行う必要がある。

Ⅱ－1－2－3　作設技術の体系化

Ⅱ－1－2－3(1)　作設技術とその基礎となる地形・地質・土質

低規格路網の作設では、①斜面のどこに作るか、②どの程度の大きさの道をどの位の路網密度で作るか、③どういう方法で作設するか、即ち、路線開設位置、道の規模、量、作設法が主要な技術的な課題となる。開設位置は、緩斜面に開設することが基本となるが、比較的広域での緩斜面の抽出法、緩斜面の中の軟弱地等の見きわめなどの判定には、地形図を読図することにより得られる情報が有効である。図上での路線配置は、1/5000 の森林基本図で行われる事が多い。しかし計画段階での路線配置には、路線開設候補地を含んだある程度の広域の地形、地盤情報が必要となるため、読図に用いる地形図は、

1/2.5 万の国土地理院発行の地形図が適している。

図 31 に、図上調査と現地調査の流れとそれらの技術的背景を示す。路線配置は、読図により地形情報を収集した後に行われ、開設位置の情報と同時に土質特性の推定が行われる。路線配置と土質の推定の後には、作設法の検討がなされる。これらの地形、土質情報と作設法等の検討事項の結果は、路線配置図の中に書き込まれ、この配置図を現地踏査で活用することにより、調査事項やチェックポイントが明確となる。踏査の目的は、路線開設予定線周辺の微地形の把握と地形種の同定及び路線の選定・決定である。地形種とは、地形のうち、特定の成因によって形成された特定の形態的特徴を持つ部分として地形学的に認定された地形である（1）。例えば、扇状地という地形は、山地から河川によって運搬されてきた砂礫が谷口から下流の平地に堆積して形成された地形種である。したがって，地形種を同定することは、その形成過程と構成物質が推定されることになり、これからの地形変化と地盤・土質条件の推定ができる。しかし、読図での地形種の推定はあくまでも仮説であり、現地踏査で確認する必要があるが、どのポイントを踏査し確認すれば良いのか、確認ポイントも読図をすることにより明確になる。読図の手順や地形図の見方等の技術的な方法は、文献（1）を含め（2）に詳細に解説されている。

路網の開設場である山地、丘陵斜面での地形種、地形の形態的特徴と地質、土質条件との関係を、表 14 に示す。左欄に主要な地形種、右隣に地形種の出現する場や地質年代の区分、その右欄には、地形種とその場所の構成物質（地形物質）を示し、最右欄には、盛土や切土工事での留意事項を示す。

表 14　地形種、地形の形態的特徴と地質・土質条件との関係

地形種、地形の形態的特徴	地質学的区分の例	地質・土質条件の工学的分類（地形物質の分類）			主要な建設工事 基礎・盛土	切取り・開削	その他
崖錐、沖積錐、土石流錐、地すべり錐、麓屑面	第四系山麓堆積物	角礫質層		非固結堆積物	特になし	法面整形困難	帯水層、透水性大
扇状地、浜堤、侵食段丘、丘陵のケスタ山稜	第四系	礫質層		非固結堆積物	特になし	法面整形困難	帯水層、透水性大
カルデラと火砕流台地、火山岩屑流原（泥流丘陵）	火砕流・火山岩屑流（泥流）堆積物	火砕流堆積物	火砕物質	非固結堆積物	特になし	植生工困難	透水性大
火山風下側の段丘面や丘陵・山地の緩傾斜面	第四系の降下火山灰・軽石・スコリア層	降下火砕堆積物	火砕物質	非固結堆積物	特になし	植生工困難	透水性大
火山風下側の高い段丘面や丘陵・山地の緩傾斜面	関東ローム層などの古い降下火砕堆積物	風化火山灰層	火砕物質	非固結堆積物	支持力不足	土圧	施工性と含水比
低密度の丘陵・山地、カルスト地形、火山	石灰岩、火砕岩、礫層、破砕岩	高透水性地質		特殊地質（非固結）	特になし	植生工困難	
火山岩屑流（泥流）丘陵、集団移動地形、風穴	火山岩屑流、集団移動堆積物	大岩塊堆積物		特殊地質（非固結）	不均等支持力	斜面整形困難	充填物の固結度
前輪廻小起伏面、小起伏丘陵の尾根部、高位段丘	花崗岩、第三系	厚い風化帯		特殊地質（非固結）	支持力不足	崩壊	
噴気地区、火山地すべり地区、温泉帯	温泉余土、プロピライト	変質帯		特殊地質（非固結）	支持力不足、滑動	崩壊、偏圧	
傾斜変換線、水系模様・谷密度・起伏量の不連続	地層面、不整合面、断層面、節理面	地質的不連続面		地質構造	支持力不同	流れ盤	相対傾斜
傾斜変換線、ケスタ、地層階段、水系模様	地質的不連続面の走行・傾斜	走行・傾斜		地質構造	特になし	流れ盤	相対傾斜
ケスタの配列、背斜山稜、水系模様異常	背斜軸と向斜軸	褶曲構造		地質構造	向斜部で湧水	流れ盤	相対傾斜
断層一般地形、リニアメント	断層角礫岩、断層粘土	断層破砕帯	断層	地質構造	支持力不足	崩壊	良いこと無し
活断層一般地形	縦ずれ断層、横ずれ断層	活断層	断層	地質構造	変位	変位、崩壊	活動度、変位速度
直線的差別削剥地形、直線的水系模様、火口列	急傾斜の地質的不連続面	リニアメント		地質構造	特になし	崩壊	成因、開口性
岩脈尾根、ホグバック、谷底幅異常（狭窄部）	岩脈、岩床	岩脈・岩床		地質構造	特になし	特になし	厚さと相対傾斜
火山一般地形、火山削剥地形一般	降下火砕堆積物、火砕流堆積物、熔岩	火山の構造		地質構造	支持力不同	硬軟互層、流れ盤	層状と塊状の違い
非対称性のない尾根、厚い熔岩流原、熔岩円頂丘	深成岩、接触変成岩、熔岩	等方性岩	硬岩	固結岩	特になし	特になし	特になし
山地、丘陵、火砕流台地（熔結凝灰岩）、ケスタ	古生界、中世界、結晶片岩、熔結凝灰岩	異方性岩	硬岩	固結岩	特になし	偏圧、崩壊	相対傾斜
丘陵、段丘、ケスタの尾根部	第三系、第四系、新第三紀火山砕屑岩	礫質岩	軟岩	固結岩	特になし	法面整形困難	相対傾斜
丘陵、段丘、ケスタの尾根部	第三系、第四系	砂質岩	軟岩	固結岩	特になし	特になし	相対傾斜
丘陵、段丘、ケスタの谷部	第三系、第四系	泥質岩	軟岩	固結岩	特になし	特になし	相対傾斜
地すべり地帯、ケスタの谷部	蛇紋岩、頁岩、泥岩、圧砕岩、変質岩	膨張性岩		固結岩	基礎滑動	盤膨れ、崩壊	良いこと無し

（表 14 は、文献（１）表 2.3.12、表 2.3.13 より引用、修正）

表 15　岩種から予測される施工上の問題点に関する対比表

	岩種	火成岩						堆積岩													変成岩		施工対象（掘削・法面）
								中・古生層					古第三紀層				新第三紀層			四紀			
予測される性状、問題点		花崗岩 閃緑岩	花崗斑岩 ひん岩	流紋岩 石英粗面岩	安山岩 玄武岩	輝緑岩 はんれい岩	蛇紋岩	礫岩 砂岩	粘板岩 頁岩	輝緑凝灰岩	チャート フォルンフェルス	石灰岩	礫岩 砂岩	頁岩	泥岩 凝灰岩	角礫凝灰岩 集塊岩	礫岩 砂岩	泥岩 凝灰岩	角礫凝灰岩 集塊岩	熔結凝灰岩	結晶片岩	花崗片麻岩	
岩の硬軟	新鮮部は硬岩	◎	◎	◎	◎	◎	○	◎	○	◎	◎	◎	◎			○	×	×	○	◎	○	◎	ー
岩の硬軟	新鮮部は中硬岩			○			◎		◎				○	◎	○	◎		○	◎	○	◎		ー
岩の硬軟	新鮮部は軟岩	×	×		×	×	○	×		×	×	×		○	◎		◎	◎	○			×	ー
岩盤状況	層理・片理が発達	×	×	○	×	×	×	○	◎		◎		○	◎	○						◎	○	ー
岩盤状況	節理が発達	◎	○	○	◎	○	○	◎	○	○	○		○			○				◎	○	◎	ー
岩盤状況	断層が発達	○		○		○	◎	○	◎	○	○	○	○	◎	○	○					◎	○	ー
岩盤状況	塊状を呈する	◎	○	○	○	○		◎		◎	○	◎	◎		○	◎	◎	◎	◎	◎	○	◎	ー
岩盤状況	破砕している	○	○		○		○		○	○	○			○		○			○	○	○		ー
岩盤状況	深層まで風化	◎	○	○		◎		○		◎			○								○	◎	ー
施工上の問題点	新鮮部でもｺﾝｸﾘｰﾄ骨材として不向き		○	○	○		◎		◎		○		○	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎		×
施工上の問題点	基礎としての強度が低い						◎		○					○	◎	○	◎	◎	○		○		△
施工上の問題点	湧水が多い	○	◎	○	◎	○	○	◎		○	○	◎	◎			○	◎		○	◎	○		△
施工上の問題点	膨潤性・ｽﾚｰｷﾝｸﾞ性を有する	×	×		×	○	◎	×		×	×	×	×	◎	◎	○		◎	○	×		×	○
施工上の問題点	路盤が泥濘化する					○	◎		◎					◎	◎	○	◎	◎	○		◎		○
施工上の問題点	地すべりを起こす				○		◎		◎					◎	◎	○	○	◎	○		◎		○
施工上の問題点	流れ盤すべり、ﾄｯﾌﾟﾘﾝｸﾞを起こす	○	○	◎	◎	○		○	◎		◎		○	◎	○	○		○		◎	◎	○	○
施工上の問題点	ﾘｯﾋﾟﾝｸﾞが困難	◎	○	◎	◎	◎	○	○		◎	◎	◎	○			○						◎	○
施工上の問題点	盛土材として不安定						◎		○					○	◎	○	◎	◎	○		◎		○

◎：可能性大、　○：可能性あり、　空欄：可能性小、　×：可能性なし
施工対象（掘削・法面）欄、○：関連性が強い、　△：やや関連する、　×：関連しない

粗粒土か細粒土かの推定は、地形種が推定されればその属性から可能であり、読図技術の習熟度から、さらに詳細な土質情報の推定が可能となる。地形種の推定による地形物質（土質）の把握は、読図力のレベルで異なると思われるが、土質材料の工学的分類体系（３）では、大分類から中分類の土質材料に適用可能である。

表 15 は、岩種から予測される施工上の問題点に関する対比表（７）であり、一部を修正したものである。岩種の分類は、地質学上の分類をもとに、土木分野で問題となる岩の硬軟、風化などを考慮した分類で示している。左欄の「岩の硬軟」、「岩盤状況」は、各岩種の一般的な性質を掲載している。例えば、「玄武岩」は、比較的硬岩であり、柱状節理が発達した産出状況を呈し、また「花崗岩」は、シーテイング節理の発達する塊状の岩であり、花崗岩地帯では深層風化していることが多い、などである。「施工上の問題点」では、路網作設に関連する項目を示す。多くの岩に共通する問題点の一つは、「流れ盤すべり、トップリングを起こす」、「膨潤性・スレーキング性を有する」等であり、前者は、切土のり面を作設する路網では、要注意点となる。岩種別では、蛇紋岩が問題の多い岩であり、堆積岩では、古第三紀層の頁岩、凝灰岩、泥岩、新第三紀層の全ての岩種が施工上、要注意である。新第三紀、古第三紀の堆積岩は、中・古生層の堆積岩と比べ、堆積時間が短く固結度が低いためと考えられるが、一方、中・古生層の堆積岩には、節理、断層等の発達しているものが多い。このような各岩種の有する一般的な特性は、各岩の生成過程や日本の地質構造に起因するものと考えられる。しかし、これらの一般的な特性の表れ方は、顕著に表れる所とそうでない所があり、極めてローカルな表れ方をする。例えば花崗岩の特性である「風化」は、深層まで風化している斜面があり、深層風化でもコア岩が地下数メートルに存在する場合もある。また、花崗岩の風化残積土はマサ土と呼ばれる砂質土であるが、地表付近の風化土では、強風化の粘性に富んだ土の場合もある。このような特性の出現の仕方は、地形に反映する場合も多く、各岩種での地形への表出の特徴やその程度を地形から把握することは、土の推定に有用な情報となる。一方、作業道の作設に有用なレベルの土や土層情報の精度を得るためには、現地調査が不可欠である。したがって地形図、地質図やその他の資料から、作業道開設対象地の情報を収集し、地形図、地質から斜面構成土を推定（砂質土か粘性土か、また礫混じりか等）して、現地調査で確認することが最も合理的な地盤情報の把握法と考えられる。

Ⅱ－1－2－3(2)　路線配置法と考え方

地形図上での路線配置は、緩斜面を抽出してこれを中心に配置を検討する。地形学での斜面傾斜の認識は、地形の成因を解明することが目的の一つであるため、斜面傾斜の絶対値よりも隣接する斜面との相対的な緩急や傾斜の変化（漸移的か急変か）がより重要視される。しかし、斜面上での道の開設では、斜面傾斜の絶対値が開設の難易や作設法の違いに影響する。このため、道を作設するという観点から何らかの基準あるいは考

え方を基に斜面傾斜を認識し区分する必要がある。ここでは、路肩を含めた路面全面を活用することを前提として作設される道である点を考慮して、路肩が盛土で構成され始める斜面傾斜を一つの基準とする例を述べる。道の一部が盛土となる盛土幅 B は、$B=W-h/\tan\theta$ で表され、幅員W＝3.0m、切土高ｈ＝1.5m の道を斜面を切り盛りして開設する場合、斜面傾斜 θ が 27 度となると B=0.05m となり路面の一部である路肩部に盛土が出現する（幅員 3m の路面で、0.05m が盛土、2.95m が地山）。θ ＝28 度のとき B=0.18m、θ ＝29 度で B=0.29m、θ ＝30 度で B=0.4m となり、傾斜 29 度から 30 度（ここでは、盛土幅の値を考慮して 30 度とする）以上になると、盛土による路肩が出現し、盛土を考慮して道を作設する必要が生じる。この盛土が路面となる 30 度という閾値は、道の開設の難易、路体の安定等に影響する値であると考えられる。今後さらに検証する必要がある。このような何らかの意味のある値での斜面傾斜の区分けは、作設の難易、開設コスト、土質や降雨量等の観点から更に検討される必要があると考えられる。道を開設する立場から斜面傾斜による地形の区分は、最も基本的な要因に基づく区分であり、今後、数値地図の利用が有効となる。したがって、道の開設に意味を持つ斜面傾斜で先ず地形区分して道の配置を考え、また集材距離を参考にする場合には、更に 100m、50m の格子を入れ、配置を考える。このように様々な観点からの基準を図面に描き、重ねることにより道の開設予定位置が定まる。

Ⅱ－1－3　路網と山地保全

林道、林業専用道、森林作業道から成る森林路網は、森林の利用や管理をする上で、不可欠な施設である。一方、路網は、自然斜面を切り盛りして開設されるため、必然的に土砂移動を伴い、多少の土砂流出が生じる。森林作業道では、開設から 1，2 年間のあいだ浮遊土砂の流出が確認され、開設後の経過年数に関係なく、搬出作業が行われた場合には，路網と渓流の位置関係により、浮遊土砂の流出があることが報告されている（*11*）。このような、路面、のり面から流出する浮遊土砂は、下流域に養魚施設や上水道集水施設等がある場合には問題となる。路面、のり面から流出する浮遊土砂は、路面の締固め、のり面植生の繁茂とともに減少するのが一般的である。

一方、路網路肩部の盛土の転圧不足により不安定盛土が形成されると、道としての機能を果たさないばかりか、有害土砂を生産することになる。昭和 40～50 年代には、切り取った土を路肩から谷部へ積み上げて作業路、集材路を作設しており、路肩に積み上げた土砂の谷部への崩落により渓流部の環境悪化を招き、大きな問題となった。この方法は、作設技術の点からは地山を路面として道を開設する緩斜面で行われる方法であり、一時的な使用を大前提としたため、現在の切土と盛土を組み合わせた急傾斜地に対応した作設法の進展には至らなかったと考えられる。現在の作業道作設技術は、前述のように路体となる切土部（地山部）、盛土ともに転圧して締め固める方法で作設され、盛土のり面は、表土を用いたのり面工（一種の土羽工）で緑化され、路体の安定性、路面支

持力は従前の作設法と比べ極めて大きい（*4*, *6*）。

作業道は、幅員 2.5～3.0m であるが、その密度が 250m/ha 以上の施業地も確認され、ウインチ付きグラップル、フォワーダの作業システムで高密度に作設された作業道路網を活用して間伐施業をしているケースがある。幅員 3.0m の作業道が路網密度 300m/ha で開設されている場合、作業道路面の面積は施業地全面の９％を占める。高密度の作業道は、森林の水保全的な観点から見た場合、難浸透域であり地表流出の増大とともに水源涵養機能に影響するものと考えられる。難浸透域の面積割合が、流域の水保全環境にどの程度影響を及ぼすのか、また、浮遊土砂量の流出にどの程度、どれくらいの期間影響するのか、まだ不明の点が多い。作業道の路網密度には作業の側からも自ずと上限があると思われるが、流域の水源涵養機能の面からも影響の出る密度があるものと考えられる。高密度路網（214～271m/ha）を活用した実際の施業地では、難浸透域の割合は 6.2～7.6%であった。この難浸透域の面積割合が大きいのか，小さいのかの判断は今後の研究により明らかにする必要がある。

参考文献

（*1*）鈴木隆介：建設技術者のための地形図読図入門、第 1 巻、p.171-200、古今書院、東京、1997

（*2*）鈴木隆介：建設技術者のための地形図読図入門、第 3 巻、第 4 巻、古今書院、東京、2000、2004

（*3*）地盤工学会：土質試験 基本と手引き、p.160-161、（社）地盤工学会、東京、2010

（*4*）大内正伸：山を育てる道づくり、（社）農文協、東京、2008

（*5*）大橋慶三郎・岡橋清元：作業道づくり、（社）全国林業改良普及協会、東京、2007

（*6*）梅田修史・鈴木秀典・山口智：作業道路網の開設に関する一考察、森林利用学会誌、Vol.22、No.3、2007

（*7*）古部　浩：岩種から予測される施工上の問題点に関する対比表の私案、応用地質、Vol.32、No.3、1991

（*8*）荒牧重雄：岩波地球科学選書　火山 5.3 火山砕屑物と火砕岩、pp.6～188、2003

（*9*）兵動正幸　他：火山灰質土－その性質と設計施工－3.火山灰質粗粒土の工学的性質、土と基礎, Vol.53、No.10、2005

（*10*）地盤工学会火山灰質土の工学的性質とその利用に関する研究委員会:委員会報告、9.火山灰質土の性質とその設計･施工に関するシンポジウム発表論文集、p.74～99、1995

（*11*）臼田寿生・古川邦明・安達原子・藤下定幸：路網開設による濁水流出の実態について、中部森林研究、58、p.79-80、2010

Ⅱ－2　路網の路体構造規格等

Ⅱ－2－1　林道（林業専用道について）

Ⅱ－2－1－1　概説

平成 21 年 12 月に、今後 10 年間を目途に、路網整備、森林施業の集約化及び人材の育成を軸に、我が国の森林・林業を再生するための指針として、「森林・林業再生プラン」が公表された。この中で、林道や作業道等の整備に関する事項については「路網・作業システム検討委員会」において具体的な対策等が検討された。路網・作業システム検討委員会では、今後の路網整備にあたっては、「丈夫で簡易な、使いやすい」道づくりが必要であるとして、林道、作業道を含めた路網の区分と役割を次表のように提言している。この提言を受けて林野庁は、丈夫で簡易な道づくりの指針として「林業専用道」と「森林作業道」について作設指針を取りまとめた。そして、平成 23 年 3 月の林道規程の改訂に伴い、林業専用道は自動車道 2 級に位置づけられることとなった。

表 16　路網の区分と役割

林　　道		原則として不特定多数の者が利用する恒久的公共施設であり、森林整備や木材生産を進める上での幹線となるものである。
	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恒久的公共施設であり、幹線となる林道を補完し、森林作業道と組み合わせて、森林施業の用に供する道をいい、普通自動車（10 トン積程度のトラック）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必要最小限の規格・構造を持つことにより、森林作業道の機能を木材輸送の観点から強化・補完するものである。
森林作業道		特定の者が森林施業のために利用するものであり、主として林業機械（2 トン積程度の小型トラックを含む。）の走行を予定するものである。 また、集材のために、より高密度な配置が必要となる道であり、作設に当たっては、経済性を確保しつつ丈夫で簡易な構造とすることが特に求められる。

Ⅱ－2－1－2　林道規程の変遷

路網・作業システム検討委員会において提言された林業専用道も、林道規程に位置づけられたことで、その規格構造は林道規程に準じて整備されていくことになる。ここでは、林業専用道の規格構造を検討する上で、その基本となる林道規程が時代とともにどのように変化してきたかを整理する。

林道規程の制定は昭和 30 年までさかのぼる。その後、時代の要請にあわせて種々の改正がなされ、平成 23 年 3 月に新たに「林業専用道」を規程に加え現在に至っている。

その変遷の概要は次のとおりである。

【昭和３０年】

林道網の整備を図る上で、林道の種類・管理・構造計画及び設計等の基準化を進めるために、初めて「林道規程」が制定された。この規程は、総則、管理、構造、計画、設計示方、標識、雑則等の各章で構成されていた。

【昭和４８年】

林道規程が制定されて以来始めて改正された。社会・経済の著しい発展に対応した自動車の性能の向上と、自動車による木材輸送の拡充・進歩を背景として、広域基幹林道の創設を機に林道規程の見直しと全面改正が行われ、現在の林道規程の基礎となった。特筆すべきは、幅員構成、設計速度、線形などの規格・構造が昭和 45 年 10 月に制定された「道路構造令」に準拠して定められたことである。

【昭和４９年】

旧林道規程から切り離された林道の計画及び設計示方等の技術部門は、林道技術指針（林野庁指導部長通達）として制定された。この指針は、「林道事業の計画、調査、設計及び施工を実施するに当たり、これらに必要な技術的諸事項を明らかにして、技術の質的向上と、事業の合理化を図ることを目的とする」ためのものであった。

【昭和５８年】

その後、昭和 52、54、55 年の改訂を経て、昭和 58 年に、林道規程の一部に運用基準を定めて事業の円滑化が図られた。いわゆる「みなし規程」であり、林道規程第 33 条第１項「この規程により難い特別な事由がある場合には、林野庁長官の承認を受けて、この規程によらないことができる。」ことの適用について、付則第 2 項で、林野庁長官の承認を受けたものとみなされる内容が別途定められた。

【昭和６３年】

さらに、昭和 59、60 年の改正後、昭和 63 年には、間伐林道の構造及び簡易林道の構造等に関わる林野庁長官通達を廃止し、林道規程本文の関係各条項で整理統合した。さらに、この頃から開設が皆無となっていた牛馬道、木馬道については軽車道に統合整理した。

【平成３年】

高性能機械化林業を推進するため、林道規程に新たに第 34 条を起こし「林業作業用施設」を制定するとともに、林道利用の多様化や広域林業活動に対応する林道整備を図るため、２車線構造の林道が制定された。

２車線林道の構造は、道路構造令の第３種第４級に該当する山岳部の市町村道で日計画交通量が 500 台以上 4,000 台未満の場合の車道幅員 2.75 メートルを準用することとなった。

【平成７年】

２級林道について曲線半径の例外値 10 メートルが 12 メートルに改正されるととも

に、前年改正された道路構造令及び道路橋示方書に準拠して、林道においても設計車両荷重が見直され、設計荷重 20ｔf が 25ｔf に改正された。また、林道事業においては、平成 5 年度に創設された「ふるさと林道」の事業実施等が飛躍的に伸びてきており、この頃から林道の規格構造が高規格化・肥大化していく傾向がみられた。

【平成１３年】

林道規程は、平成 9、12 年の改正を経て平成 13 年の改正に至る。平成 12 年から平成 13 年にかけては、林政の基本方向が、木材の生産を主体とした政策から、森林の有する多面にわたる機能の持続的発揮を図るための政策へと転換された時期であり、林道においても新たな森林整備の方向に即した規格・構造とするため必要な事項について改正が行われた。

特筆すべき改正事項としては、林道の利用形態区分が「もっぱら森林施業の実施である場合」について記述が条項の一部に追加されており、森林管理や森林施業に特化して開設する林道については、一般車両の通行を前提とした林道と異なる規格・構造の適用が可能となっている。主な改正点は次のとおりである。

（１）利用形態が「もっぱら森林施業の実施である場合」の林道の設計速度、縦断勾配について、利用形態、開設コストの低減等を考慮した数値に改正

（２）1 級 1 車線林道の拡幅量の縮小、設計速度 30km/h の縦断勾配の見直し

（３）「もっぱら森林施業の実施にある」場合の 3 級林道について、横断勾配を川側片勾配とすることが出来ることの規程を設けた。

【平成１８年】

平 18 年 9 月に閣議決定された「森林・林業基本計画」の施策をうけ、森林の利用形態に応じた規格・構造の柔軟な選択、コスト縮減等の観点から、林道規程の一部改正が行われた。主な改正内容としては、2 級林道のうち、利用形態がもっぱら森林施業の実施の林道について、①路肩幅員の縮小、②車軸の短い自動車（4ｔトラック程度以下）の場合の拡幅量の縮小などである。

【平成２３年】

平成 23 年の改正では、前述した森林・林業再生プランにおける「路網・作業システム検討委員会」の提言をうけて、「林業専用道」を新たに林道規程の中に位置づけた。主な改正箇所としては次のとおりである。

（１）林道の利用が「もっぱら森林施業の実施である場合」の 2 級及び 3 級林道について新たに設計速度 15km/h を設けた。

（２）設計速度 15km/h における曲線部の片勾配及び利用形態が「もっぱら森林施業の実施である場合」の横断勾配について設けないことができるとした。

（３）新たに設計速度 15km/h を規定したことに伴い、曲線半径、視距、縦断勾配、縦断曲線に 15km/h の速度区分を規定した。

以上、林道規程の変遷についてみてきたが、林道規程はその時代のニーズに合わせてその都度改正が行われてきた。平成 30 年に制定されて以来、平成 11 年までにその内容が充実していった。特に平成 3 年以降は 2 車線林道の制定や平成 5 年の「ふるさと林道」の創設などもあり、林道規程も徐々に高規格仕様になってる。その後、林道規程は平成 12～13 年にかけて一つの転換期を迎える。バブル崩壊後 10 年、国の財政事情はますます厳しさを増し、林道事業においても開設コストの縮減が強く求められるようになっていった。このような中、平成 13 年の改正では、経済的コスト理念を基本とした路網の整備推進が最重要課題として、これまでどちらかといえば高規格化傾向にあった林道規程も徐々に無駄な部分をそぎ落とす改正へと変化していき、平成 18 年の改正においてもその傾向は変わっていない。なお、平成 13 年の改正では、林道の利用形態に応じた規格・構造で開設するという概念が、「もっぱら森林施業の実施のため林道」という形をとってはっきりと現れている。この「もっぱら森林施業の実施のため林道」の中に路網・作業システム検討委員会で提言された「林業専用道」の姿をみることができる。もっぱら森林施業の実施のための林道を、さらに丈夫で簡易な、使いやすい道として提言したのが林業専用道である。

Ⅱ－2－1－3　林道専用道の構造規格等

路網・作業システム検討委員会で提言した「林業専用道作設指針」（成 22 年 9 月 24 日付け、林野庁長官通知）の内容は、平成 23 年の林道規程の改正において、2 級林道のうち「利用形態がもっぱら森林施業の実施である場合」の林道として位置づけられた。

ここでは、林業専用道作設指針（以下、作設指針という）の規格・構造に関する事項について、林道規程との関連を検証し、今後改正すべき事項等について検討する。

（1）設計車両

1 設計車両

設計車両は普通自動車とし、当該車両の諸元に応じた規格・構造とする。

なお、大型ホイールタイプフォワーダに関する規格・構造は、当該車両の普及の状況に応じて定めるものとする。

（単位：m）

諸　元	長さ	幅	高　さ	前　輪 ｵｰﾊﾞｰﾊﾝｸﾞ	軸　距	後　輪 ｵｰﾊﾞｰﾊﾝｸﾞ	最小回転半　径
普通自動車	12.0	2.5	3.8	1.5	6.5	4.0	12.0

林業専用道は、前記Ⅱ－2－1－1 に示すように幹線となる林道を補完するとともに、森林作業道の機能を木材輸送の観点から強化するものであるから、十分な輸送機能を有

する車両を設計車両して定めることが重要であるが、ここに示す車両の寸法は、道路法第 47 条第 1 項の規程を受けて車両制限令に定められた数値と同値であって、公道等を通行の許可を受けずに走行可能な最大寸法である。

また、作設指針では、「大型ホイールタイプフォワーダに関する規格・構造は、当該車両の普及の状況に応じて定める」としており、これは、今後開発が期待される輸送系の大型林内作業車、大型タワーヤーダー等の導入や現行の作業システムのみに限って通行を制限した場合の特例を定めることを想定しての記述である。

（２）幅　員

２ 幅員

車道幅員は、3.0m とする。

一般に車道の幅員はそこを通行する車両の幅と設計速度によって決定する。車道の幅員は道路周辺の地形・地質、沿道の状況、ドライバーの技量、線形、路肩幅などに関連するとともに、車両の走行速度の影響を受けることも明らかである。しかしながら、これらを合理的に定めることは難しく、なかば経験的に定めているのが現状である。このため、林道規程では幅員を設計車両の最大幅を基本として、これに走行上の必要な余裕幅を加えて決定している。

車道幅員と車両幅との関係について明示したものがないので、林業専用道における車道幅員 3.0m の適否についても明確な根拠を示すことは出来ないが、①3.0m の幅員は設計車両（2.5m）に対して片側に 0.25m の余裕幅しかないこと、②林業専用道では原則側溝を設けないので 2 級林道に比べて山側に走行上のゆとりがないこと、③地形に追従した路線線形が求められる林業専用道では、曲線を設置する区間が相当多くなること、などを考慮すると、通行の安全性を確保する上で 3.0m の幅員は最低限必要と考えられる。

（３）設計速度

３ 設計速度

設計速度は 15km/h とする。

設計速度は、路線の平面線形や縦断線形など道路の規格・構造と深く関連する。設計速度を低くすることによるデメリットとしては、車両の走行速度が低下することによる輸送機能への影響が考えられる。しかしながら、昨年度の報告書でも述べたように、設計速度と実際の走行速度とは必ずしも一致しないことが多い。特に林道のような山岳道路では、車のドライバーは、道路周辺の状況、開設された道路の幾何構造、路面の状況等に応じて走行速度を適宜選択しており、設計速度の低下がそのまま走行速度の低下に

つながるとは限らない。これからの道づくりに求められるのは、設計速度が低くても、走行速度が高くなるような平面線形なり縦断線形を現地の条件あわせて設定することである。林道の設計における平面線形や縦断線形の良否は、設計速度で示される条件よりは、むしろ現地の地形・地質的条件に左右されることのほうが多い。

以降の項では、設計速度を 15km/h にしたことによって、設計速度以外の規格・構造がどう変化し、どんな効果が期待できるかを検討していく。なお、設計速度が関連する規格・構造としては、①曲線半径、②曲線部の片勾配、③視距、④縦断勾配、⑤縦断曲線などがある。

（４）路　肩

４ 路肩

路肩幅員は、原則として側方余裕幅を 0.25m とし、走行上必要な最小限度を確保するものとする。ただし、走行上の安全性の確保のため必要がある場合は 0.5m まで拡幅することができる。

林道規程における路肩の役割は、道路の主要構造部を保護し、車道の効用を保つために設けられている。しかしながら、その必要幅については、現在のところ理論的に明らかでないので、林業専用道における路肩幅の原則が 0.25m の適否についての評価は難しい。ただ、国有林の林道等においては、これまでも 0.25m や 0.30m の路肩幅で開設されたものも少なくなく、それが直接的な原因となって道路の決壊等につながった報告等はない。その適否については今後開設を進めながら検証していくことが必要であろう。

なお、路肩は林道の主要構造部を保護するための施設であるとともに、幅員の狭い林道では、時に路肩部分を車両が走行することもあるので、林道の路体と同様に十分な締固めを行い、その効果を発揮させることが重要である。また、路肩は側方余裕幅として、特に切土部等では曲線部の視距を増大し、交通の安全性の確保にも効果を発揮するので、小さな曲線半径などでは状況に応じて路肩幅を 0.5m にするなど検討する必要がある。

（５）曲線半径

５ 曲線半径

曲線半径は、原則として普通自動車道の諸元に示す最小曲線半径の 12m 以上とする。

なお、曲線部の設計に当たっては、拡幅量、土工量、工作物の設置等現地の状況を踏まえ、コストの縮減が図られるよう総合的に検討するものとする。

一般に道路の最小曲線半径は、曲線部を走行する自動車に加わる遠心力等の横方向力が、タイヤと路面との摩擦によって与えられる値の限界を超えないこと、さらに走行中

の車両における運転者の快適性等を考慮して算定され、一般には次式によって求められる。

$$R = \frac{V^2}{127\,(f + i)}$$

ここにR ： 曲線半径(m)
V ： 設計速度 15km/h
f ： 横すべりに対する路面とタイヤの摩擦係数 0.15
i ： 路面の横断勾配（片勾配）0.00

いま、林業専用道の設計速度を 15km/h として、路面に片勾配を設けないで車が安全に走行できる最小の曲線半径を求めると、R＝11.8m≒12.0m となる。

また、車両制限令等に定められている車両の最小回転半径が 12m 以下であることや高性能林業機械をセミトレーラーに積載して運搬する際の必要最小曲線半径が 12m であることなどを考慮すると、林業専用道における最小曲線半径は 12.0m を確保することが必要である。なお、実際の設計等における曲線半径の設定は、土工量の増減や構造物の多寡等に影響するので、現地の地形条件に適合した曲線半径を設定することが重要である。

（６）曲線部の片勾配

６ 曲線部の片勾配
片勾配は、これを設けないものとする。

曲線部を走行する自動車は、遠心力を受けて、曲線部の外側に滑動又は転倒を起こす恐れがある。したがって、曲線半径の小さいカーブなどでは、カーブの外側を内側より高くして（片勾配を設けて）、路面とタイヤの摩擦力によって遠心力に抵抗している。

一方で片勾配を設けることによって生じるデメリットもある。尾根部の曲線などでは、片勾配は通常、川手側が高く山手側が低くなるので、フラットな路面と比べて切取量が増大する。また、路面水を山手側に集めてしまうので、側溝等が設置されていない場合には切取のり尻が洗掘をうけて、のり面の崩落を招くなどの事例も発生している。

側溝を設けない林業専用道では、路面の片勾配も設けないとしており、片勾配を設けない場合の自動車走行の安全性について検討する。前記（５）の最小曲線半径は、路面の片勾配を 0.0%（フラットな路面）として算出した結果得られた曲線半径の最小値である。この式を逆にみれば、設計速度 15km/h で、曲線半径が 12m 以上ある林道では路面に片勾配が付されていなくても、自動車は安全に通行することが可能である。

（７）曲線部の拡幅

７ 曲線部の拡幅

車道の曲線部においては、当該曲線部の曲線半径に応じて、次表に掲げる値により車道を拡幅するものとする。ただし、地形の状況、その他の理由によりやむを得ない場合はこの限りではない。拡幅は、線形の連続性を確保しつつ地形の状況に応じて、内側拡幅、外側拡幅により、最も土工量等の縮減可能な方法を用いるものとする。

曲線半径(m)	拡幅量(m)	曲線半径(m)	拡幅量(m)
以上　　未満		19～25	1.25
12～13	2.25	25～30	1.00
13～15	2.00	30～35	0.75
15～16	1.75	35～45	050
16～19	1.50	45～50	0.25

林道規程における 2 級林道（車道幅員 3.0m）の拡幅量は、設計車両の走行が物理的に可能な限界から所要拡幅量を求めているため、前輪部、後輪部とも拡幅量に余裕幅がない。林業専用道も設計車両の諸元及び車道幅員は 2 級林道と同じであるので、設計車両を安全に通行させるためには上表に示す拡幅量を確保する必要がある。また、外側拡幅等の取り扱いについても林道規程と同様とするものとする。

なお、林業専用道では、ホイールベースの短い 10 トン積トラックや大型ホイールタイプフォワーダの走行等も想定しているので、通行車両の制限等を設ける場合においては、当該車両等の普及、導入の状況に応じて、拡幅量の増減を検討して開設コストの縮減等に努める必要がある。

（８）緩和区間

８ 緩和区間

曲線部には、緩和接線による緩和区間を設ける。

緩和区間長は B.C、M.C を基点として 8m を標準とする。

林道規程のおける緩和区間は、自動車の走行軌跡を考慮した上で、車両の前面から後輪軸間部の距離（普通自動車の場合は 1.5m+6.5m=8.0m）を緩和区間長として定めている。林業専用道においても設計車両が同一であるので、この考え方に準拠して緩和区間長を 8.0m としている。

林道の路線選定（主として平面線形）において、この緩和区間長を確保するのが特に苦慮するところである。切土・盛土の土工量や構造物の多寡を気にしないで線形を確保するのであれば問題ないが、それでは開設コストの増嵩を招くうえ長大なのり面が出現するなど森林・林地へのアクセス性も低下する。これからの林道（特に林業専用道）では、丈夫で簡易な、使いやすくコストのかからない道づくりを進めていかなければなら

ない。そのためには、山地の複雑な地形に追従した路線線形の最適解を求めていかなければならない。

仮に、基準で示された緩和区間を確保しようとすれば、緩和区間長の 8.0m に加え、これに接続する一方の曲線の接線長（T.L）として 10.0～15.0m 程度が必要（カーブを車両が走行する場合、その走行性を確保する上で一定の曲線長が必要とるので、おのずと T.L も一定の長さを確保する必要がある。）となり、IP 間の距離は少なくとも 30m 程度以上が必要となる。そうした場合に、日本のような急峻で複雑な地形を呈する山岳地では、地形に追従した線形を求めることが難しくなり、適切な線形を設定できないこともある。

設計車両の通行に支障をきたすような線形を設定してはならないが、図 32 に示すような背向曲線などでは、緩和区間長を短くしても、前後の曲線の外側縁と内側縁を計算された接線で接続することによって、基準値以上（この例では 10.33m）の緩和区間を確保できる場合もある。ただし、この場合には緩和区間に接続する曲線長が短くなるので、十分検討して設置することが重要である。

なお、前述のとおり、緩和区間長は路線選定上、林道の開設コストや林地へのアクセス性の確保にも大きなウェイトを占めているので、これら基準値の緩和処置等については今後の検討課題とする。

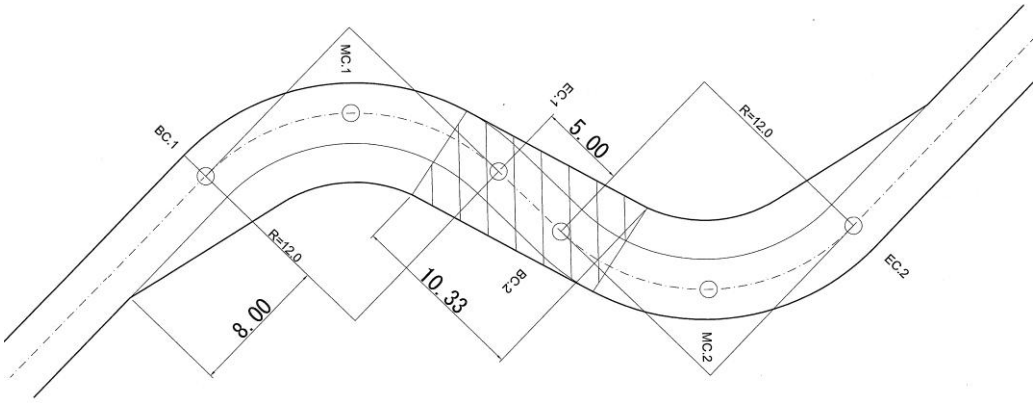


図 32　背向曲線の場合の緩和区間長の検討図

（９）視　距

９ 視距
視距は、15m 以上とする。

林道における視距は、自動車がその進行方向の前方に障害物又は対向する自動車をみとめ、衝突しないように制動をかけて停止するか、又は障害物を避けて走行できる距離をいい、次式によって求められる。なお、1 車線の林道では、待避所、車回し以外でのすれちがいはできないので、対向車に対しても同様の制動距離が必要となるので、次式

で求めた値の 2 倍の長さをもって制動停止距離としている。

$$D = \frac{V}{3.6} t + \frac{V^2}{2 \cdot g \cdot f (3.6)^2}$$

ここに　D：制動停止距離(m)
V：設計速度又は走行速度 15km/h
f：タイヤと路面の縦すべり摩擦係数 0.45
t：判断時間+反動時間＝反応時間 0.75 秒
g：重力の加速度 9.8m/sec^2

林業専用道の設計速度を 15km/h として制動停止距離を求めると、D=5.1m となり、1 車線林道の場合はその 2 倍を制動停止距離(視距)としているので 2D=10.2m となる。林業専用道では安全を考慮して視距 15.0m としているが、計算に使用された係数等が安全側たった数値を用いているので視距 10.0m でも特に問題ないものと判断される。なお、視距の長さが直接的に林道の線形や規格・構造等に影響することは少ない。

（１０）縦断勾配

１０ 縦断勾配

縦断勾配は、路面侵食等を防止するためできる限り緩勾配とし、原則として 9%（舗装等を行う場合は 12%）以下とする。ただし、地形の状況等によりやむを得ない事情がある場合には、縦断勾配を 14%（延長 100m 以内に限り 16%）以下にすることができる。

縦断勾配の基準は、最急勾配の上限値を規定していることを十分理解して調査・設計を進めることが重要である。これまでの林道設計では、距離の短絡効果や開設コストの縮減を目的に、どちらかといえば縦断勾配の上限値を最大限に活用して設計を進める傾向が強かった。林道の場合は、国県道と異なり、大きな交通容量をさばくことが本来の目的ではなく、上下に広がる林地の高低差を克服し、林道の施設としての効果をいかに早く発揮させるかが目的であるので、急勾配を使いながら距離を短絡し、開設コストの縮減に努めることも一つの方法ではある。しかしながら、急勾配が必ずしも良い効果を発揮するとは限らない。急勾配の林道では路面洗掘が顕著に現れ、このため路面工の実施や短区間での横断溝の施工などの経費に加え、路面洗掘による維持管理経費の増嵩を招く場合もある。また、急勾配の林道ほど車両の走行速度は低下するので、距離の短絡が必ずしも時間的な短絡効果につながるわけではない。車両の走行性や安全性からいえば縦断勾配はできる限り緩い勾配で計画したほうがよく、基準で示された上限値や制限値を使う場合には、その効果を十分検討したうえで用いる必要がある。

（１１）縦断曲線

１１ 縦断曲線

縦断勾配の代数差が 5%を超える場合には、縦断曲線半径 100m 以上の縦断曲線を設けるものとし、縦断曲線の長さは 20m 以上とする。

縦断曲線は、縦断勾配が変移する箇所において、自動車への衝撃を減じたり、運転者の視距を確保する目的で設置される。縦断曲線半径及び縦断曲線の長さについては、次式で表される。

縦断曲線長　$L = 1.0 | i_1 - i_2 |$

縦断曲線半径　$R \fallingdotseq \dfrac{100L}{| i_1 - i_2 |}$

ここに　L：縦断曲線の長さ(m)

R：縦断曲線半径(m)

$|i_1 - i_2|$：縦断勾配の代数差の絶対値(%)

林業専用道の設計速度を 15km/h をもとに、上段の縦断曲線長 L の右辺を、縦断曲線半径を求める式（下段の式）の L に代入すると、縦断勾配の代数差の絶対値が消去されるので、縦断曲線半径は 100m となる。

また、縦断勾配の制限値等からその代数差の最大値は 32%（上り勾配 16%から下り勾配 16%に変移、又は下り勾配 16%から上り勾配 16%に変移するとき最大）であるので、このときの縦断曲線長を計算するとその長さは 32m になり、基準値の 20m を超えることになる。以上のように、縦断曲線の長さは、縦断勾配の代数差の絶対値によっては、規程の縦断曲線半径を満たさない場合があるので、適用にあたっては、縦断曲線長を計算して設定する必要がある。なお、縦断曲線の長さは、縦断勾配の代数差の絶対値が 20%を超えると縦断曲線半径を満たさなくなるのは、上式からも明らかである。

（１２）路　面

１２ 路面

路面は砂利道とし、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できる。

ここでは、林業専用道における路面は砂利道を基本することを規定しているが、林道規程では路床土の土質が良好で表面転圧によって必要な支持力が得られる場合や、路床に岩石等が出現する箇所については、砂利等の施工を行う必要がないとしている。林業専用道においても現地の地質条件が良好で転圧等により十分な支持力が期待できるような箇所にあっては、コスト縮減のうえからも路盤工を省略することを検討する必要がある。また、砂利道等における路面の洗掘は縦断勾配だけでなく、現地の地形条件、路線の通過位置、路床の締固め状況、横断溝の設置間隔等にも左右されるので、これらの

事項を十分検討して適切な路面構造を決定するものとする。

（１３）横断勾配

１３ 横断勾配

横断勾配は水平とし、路面水は必要に応じて横断排水工等により処理するものとする。

一般に路面に設ける横断勾配は、路面に降った雨水等を取り除き、側溝などに導水する目的で設置されるが、林業専用道では、側溝は原則設置しない構造であるので横断勾配を付ける必要性はない。また、路面構造が砂利道の林道などでは、施工当初は横断勾配が付されていても、1年も経過すると車輪の轍によって横断勾配の機能が発揮されていない状況にあり、路面水の処理については基準にも示しているように簡易な構造の横断排水工により処理することが実態に即している。

Ⅱ－2－2　森林作業道

Ⅱ－2－2－1　概論

従来、作業道・作業路として大まかな区分がされてきた「集材路・運材路として林道を補完する道路施設」は、平成 22 年度に取りまとめられた森林・林業再生プランの中で「森林作業道」として 1 つにまとめられた。

森林・林業再生プランの中では、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作設指針が提案され、森林・林業再生プランの中の路網・作業システム検討委員会における審議を得て、平成 22 年 11 月 17 日に林野庁長官から 47 都道府県に通知された。

従来の作業道・作業路については、一時的な施設という考え方があったが、森林作業道作設指針の中からは、一時的という考え方はなくなり、以下のように定義された。

森林作業道は、間伐をはじめとする森林整備、木材の集材・搬出のため継続的に用いられる道であり、地形に沿うことで作設費用を抑えて経済性を確保しつつ、繰り返しの使用に耐えるよう丈夫で簡易なものであることが必要である。

これを踏まえ、路体は堅固な土構造によることを基本とし、構造物は地形・地質、土質などの条件からやむを得ない場合に限り設置するものとする。

森林作業道作設指針より抜粋

森林作業道作設指針は、森林作業道を作設するための最低限守らなければならない事項をまとめたものであり、それぞれの地域の地形・地質、気象条件等を踏まえつつ、森林作業道作設指針を基本として都道府県としての森林作業道作設指針を整備し、その普及が求められている。

これまでも、従来の作業道・作業路の規格造規格に関しては、開設する各事業団体や自治体が独自に定めたものはあった。ただし、内容等にはバラツキがあって統一された考え方に基づき整備されたものではなく、地方自治体の定める構造規格は、どちらかというと 3 級林道相当の規格に準じるものが多く、林道と同等の測量設計を必要とするようなものが多かった。

各自治体の取り組みとして、トラックの走行を前提とする路線のほかに、クローラ型車両の走行する路線については、作業路、集材路、簡易作業道といった名称で構造規格を定めており、道路の種別は作業システムと一体化したものという認識の下、作業システムと組み合わせた道路構造について整理されている場合が多い。

林野庁が示した森林作業道作設指針は、この作業システムとの関連から道路構造規格を定めており、道路構造規格の基本である幅員の考え方については、機械の種別を示しつつ、必要とする道路幅員が整理されている。

Ⅱ－2－2－2　森林作業道作設指針における構造規格

森林作業道作設指針は、これを基本として各地の状況に合わせた作設指針の作成を前提としていることから、あえて具体的な記述を避けたところがあるため、項目によっては森林・林業再生プラン以前に作成された各地の作業道作設指針等の記述・説明が充実している場合もあるが、ここでは、森林作業道作設指針に示された構造規格に関する箇所について説明を加えるものとする。

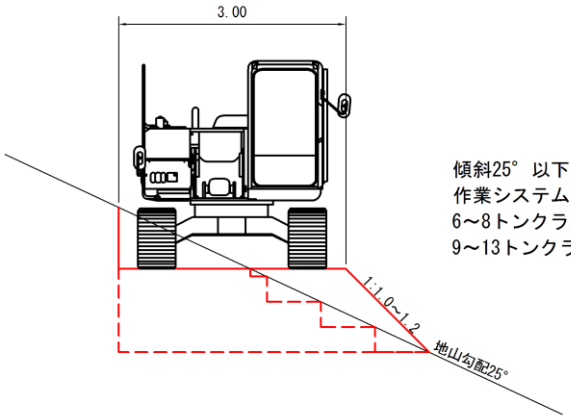
①幅員

幅員については、作業システム別ではなく、作業システムの中で用いられるベースマシンから必要とされる幅員が整理されている。

また、林業機械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としており、その付加幅を 9～13 トンクラスの機械（バケット容量 0.45m^{3}クラス）にあっては、0.5m程度としている。

1)傾斜 25° 以下

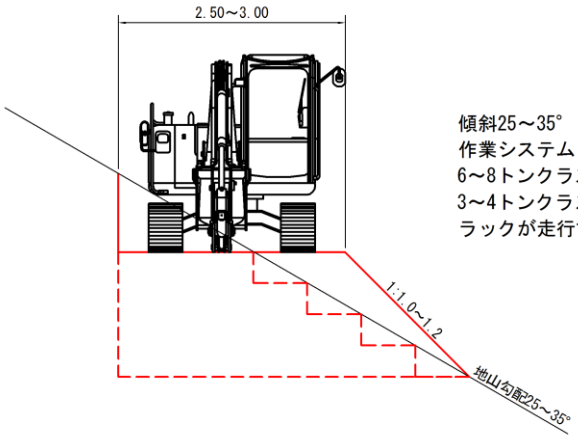
比較的傾斜が緩やかであるため、切土、盛土の移動土量を抑え、土構造を基本として作設することが可能である。 6～8 トンクラスの機械（バケット容量 0.2m^3～0.25m^{3}クラス）及び 9～13 トンクラスの機械（バケット容量 0.45m^{3}クラス）をベースマシンとした作業システムの場合は、幅員 3.0 mとする。



傾斜25° 以下
作業システム
6～8トンクラス（バケット容量0.2～0.25m3クラス）
9～13トンクラスの機械（バケット容量0.45m3クラス）

2)傾斜 25～35°

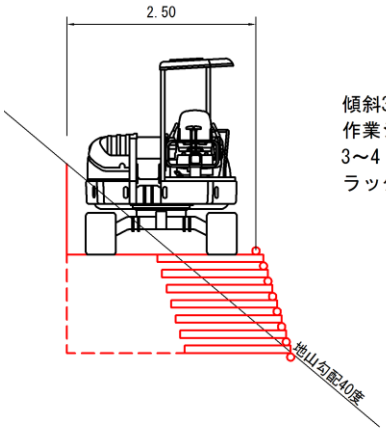
中～急傾斜地であるため、切土、盛土による移動土量がやや大きくなる。 ①6～8 トンクラスの機械（バケット容量 0.2m³～0.25m³クラス）をベースマシンとした作業システムの場合は、幅員 3.0mとする。 ②3～4 トンクラスの機械（バケット容量 0.2m³クラス以下）をベースマシンとした作業システム及び 2 トン積トラックが走行する場合は、幅員 2.5mとする。



傾斜25～35°
作業システム
6～8トンクラス（バケット容量0.2～0.25m3クラス）：幅員3.0m
3～4トンクラス（バケット容量0.2m3クラス以下）及び2トン積トラックが走行する場合：幅員2.5m

3)傾斜 35° 以上

急傾斜地であるため、丸太組等の構造物を計画しないと作設が困難である。 経済性を失ったり、環境面、安全面での対応が困難となる恐れがある場合は、林道とタワーヤーダなどの組合せによる架線集材を検討する。 なお、森林作業道の作設を選択する場合には、3～4 トンクラス（バケット容量 0.2m³クラス以下）をベースマシンとした作業システム及び 2 トン積みトラックの走行に限られるものと想定され、幅員 2.5mとする。



傾斜35° 以上
作業システム
3～4トンクラス（バケット容量0.2m3クラス以下）及び2トン積トラック：幅員2.5m

四角囲いの部分は森林作業道作設指針からの引用部分である。文中の 6～8 トンクラスとは具体的な機械名は上げられていないが、フォワーダのよるものである。道路の幅員は、ベースマシンから 0.5m 程度の余裕幅がとれるように設定されている。施工機械の幅は 0.6～0.8 割程度を目安として選定することが良いとされており、指針の考え方はこれを踏襲するものである。

作設機械は過度に大きい機械を使用すると、必要以上に幅員を広げることになることから、機種の選定には注意する必要がある。旋回半径を小さくした後方超旋回型等の機種もあり、これらを含めて選定するとよい。また、伐根の処置では、できるだけ垂直にバケットを入れて取り上げることが良いが、機械の不慣れであるとバケットサイズ 0.25m3 程度の機種であると伐根の除去が困難であるというオペーレータからの意見もあり、そのような場合では、あえて伐根のため大型のバックホウを使用している場合もみられる。

②切土

切土工は、事業現場の地山の地形・地質、土質、気象条件や機械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う。
切土高は傾斜が急になるほど高くなるが、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 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。
切土のり面勾配は土砂の場合は 6 分、岩石の場合は 3 分を標準とする。
ただし、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、土質を踏まえ検討する。
崖すい（急斜面から、剥がれ落ちた岩石・土砂が堆積して出来た地形）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もとに判断する。

切土については、安全を考えて、土砂 6 分、岩石 3 分を標準とするということで、林業専用道と同程度の切土のり勾配が指針では示されている。ただし、切土高が低い場合では、土質にもよるが、垂直に切り上げても安定する場合が多いことから、実際に全国各地の現場では垂直に切り上げて、伐開幅と切土高を抑制している場合が多い。

垂直に切り上げた場合に、切土のり面が安定しない土質・地形では、指針に示されている崖すいのほか、斜面下方の崩積土は構成する土石が一様ではないことから石礫の抜け落ちが発生しやすく、垂直に切り上げてものり面勾配が緩やかとなる場合が多い。また、破砕帯の箇所では、切土のり面からの石礫の抜け落ちの発生や斜面崩落が発生しやすい。

③盛土

（１）盛土工は、事業現場の地山の地形・地質、土質、気象条件や幅員、機械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。

堅固な路体をつくるため、締固めは概ね 30ｃｍ程度の層ごとに十分に行う。

この場合、地山の土質に応じて十分な強度が得られるよう必要な盛土工を行う。

（強度を有する土質の場合）

地山に段切りを行った上で、盛土部分を概ね 30ｃｍ程度の層ごとに締固め、路体の強度を得る。

（強度を有しない土質の場合）

盛土・地山を区分しないで、路体全体を概ね 30ｃｍ程度の層ごとに締固め、路体全体としての強度を得る。

（２）盛土のり面勾配は、盛土高や土質等にもよるが、概ね 1 割より緩い勾配とする。盛土高が 2ｍを超える場合は、1 割 2 分程度の勾配とする。

なお、急傾斜地では、堅固な地盤の上に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する。

（３）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する。

（４）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ある。

盛土の安定は盛土勾配と盛土断面の大きさ及び盛土材の物性値(粘着力、内部摩擦角)から規定される。指針では盛高によりのり面勾配を分けており、2.0m を超える盛土の場合は 1 割 2 分程度としている。盛土の施工の良否は、盛土厚により左右される場合が

多く、薄い盛土では締固めが不足しやすいことから、切土と盛土のバランスを考えながら、盛土の突き固めがしやすい作業幅を確保するべきである。

一般に森林作業道では、バックホウの履帯により転圧していく場合が多く、転圧の面からは小型のバックホウが十分な締固めには向いており、路面全体を転圧するのに適している。

指針では、「強度を有する土質」、「強度を有しない土質」として盛土の考え方を示している。ここで強度を有する土質と強度を有しない土質について検討する。

盛土材の強度を示す値については、判定する要素により次のようなものがある。

土の物性値	内容	備考
内部摩擦角 φ（度）	土のせん断強さのうち、鉛直応力に比例する摩擦抵抗分を表す角度のこと。	粘性土は低く(30度以下)、礫質土(30度以上)になると高くなる。
粘着力 c(kN/m^2)	土のせん断強さのうち、鉛直方向に関係の無い成分定数のこと。	この値は排水条件により異なる。含水比の高い粘性土では、こね返しによって盛土内の間隙水圧が上昇し、盛土の安定性が問題となる場合がある。
支持力係数 K値(Mpa/m3)	路床面、または路盤面における支持力の大小を表わす指標として用いられるものである。	
コーン指数 qu(kN/m^2)	土工機械の走行に耐えうる地面の能力。コーン指数で示す。	200kN/m^2以下だと泥水状態であり、1,200KN/m^2以上だとダンプトラックが走行可能である。
N値	土の硬さや締まり具合を表す単位	粘性土であると4以下、砂質土であると10以下がやわらかいとされる。
CBR（%）	地盤試験の一つで路床土支持力比を求めるものである。基準材料は、代表的なクラッシャーラン（割放し砕石）であり、その平均値をCBR=100%と定めた。	

盛土材の密度、含水比、土粒子径により同じような土質でも均一の値となることはない。粘性が高く含水比が高い場合は、礫質でない土ほど強度が低く、礫質であるほど強度は高くなる。ただし、火山灰質粘性土の盛土では、こね返して強度低下を生じても、放置乾燥することで強度がある程度回復する。

締固めは十分に行う必要がある。盛土材が最も締まり安定する状態は最適含水比のときであることから、雨天時の施工や冬期の施工は、できるだけ避けるべきである。雨天後の施工では、盛土材の状態を考えながら締固めを行い、泥濘化するような場合は、施工を中止するべきである。特に自然含水比と最適含水比の差が大きいような粘性土では、水分管理が重要である。

表 17　土質別の最適な含水比の測定例

土質	最適な状態の特徴	自然含水比	最適含水比
礫質土	手に水っぽさが伝わらない状態	18.4%	16.5%
まさ土	指で露出面を押し込んでも、水気は残らず、土粒子も簡単に落ちる。	13.0%	14.7%
砂質土	見た目でも乾燥した感じを受ける状態がよい。	17.7%	20.1%
粘土・粘性土	通常は水っぽさを感じ、土粒子は指紋の隙間に残る。この水っぽさが残らない状態がよい。	－	－
黒ボク土	通常は水分が多いため、黒土の細かな粒子は指に残る。この粒子が指に残っても、すぐに払える状態がよい。	41.2%	26.0%
シラス		－	－
火山灰質粘性土	親指で軽くへこむような場合は水分多い。やや乾燥してくると手につきにくくなる。	95.6%	54.3%

盛土の安定は含水比のほかに粘着力と内部摩擦角が関係する。一般に粘着力は、粘性土ほど高く礫質土は低い、内部摩擦角は礫質土ほど高く粘性土ほど低い。粘着力と内部摩擦角は含水比によって変化する。礫が得られる場合は、礫質の土を採取しておき、粘性土や火山灰質粘性土に混入して路体を構築することにより、安定した路体となる。一方、礫質土が発生しない場合では、含水比に注意して、大きな盛土断面を作らないことが重要である。

④縦断勾配

（１）縦断勾配の基本

縦断勾配は、集材作業を行う車両が、木材を積載し安全に上り走行・下り走行ができることを基本として計画する。

適切な縦断勾配は、集材作業を行う車両の自重、木材積載時の荷重バランス、エンジン出力などのほか、路面の固さ、土質による滑りやすさ、勾配が急になるほど路面侵食が起きやすくなること等を考慮して計画する。

縦断勾配の目安を示せば次のとおりである。

基本的には概ね 10°（18%）以下で検討する。やむを得ない場合は、短区間に限り概ね 14°（25%）程度で計画する。12°（21%）を超え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。

なお、周辺の土壌が、水分を含むと滑りやすい粘土質の赤土などである場合や、コケなどの付着が予想される場合にあってはコンクリート路面工に箒掃きを行う等の滑り止めの工夫を施すことを検討する。

縦断勾配は走行が想定される車両の登坂能力から最急勾配が定められるものである。縦断勾配は走行の安全と密接に関係するため、その安全性も踏まえたうえで指針における縦断勾配の目安が示されている。

ホイールタイプとクローラタイプでは、車両の持つ登坂能力は異なり、クローラタイプの登坂能力は 30°(58%)程度まで有するが、満載時の下り時では転倒や滑動の危険性が高いことから、できるだけ指針に示す縦断勾配とすることが望ましい。

Ⅱ－3　路網の設計指針

Ⅱ－3－1　林道(林業専用道について)

Ⅱ－3－1　林道（林業専用道）

林業専用道は、林道として位置づけられたことで、今後は林道の技術基準等に準じて開設が進められることになる。ここでは、「林業専用道作設指針」の中で、①測量・調査・設計、②土工、③構造物、④排水施設等について、林道技術基準との関連性を整理して、今後検討すべき事項を明らかにする。

Ⅱ－3－1－1　測量・調査・設計

（１）路線選定

> **１ 路線選定**
>
> 林業専用道の路線選定に当たっては、森林施業のポイントや森林作業道との分岐点等を考慮しながら、地形・地質の安定している箇所を通過するようこれを行うものとする。また、路線の選定は、地形に沿った屈曲線形、波形勾配とすることとし、以下の諸条件を十分調査、検討して適切な路線選定を行うものとする。
>
> （１）森林へのアクセス機能の確保
>
> （２）切土、盛土の土工量の均衡かつ最小化
>
> （３）工作物の設置の抑制
>
> （４）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
>
> （５）計画路線上及びその周辺において、希少な野生生物の生息等の情報を得た場合には、計画の見直し等必要な対策の検討

林業専用道は、森林施業のための林道としての位置づけから、森林・林地へのアクセス性を基本とした路線選定を行うこととしている。これまでも林道の路線選定においては上記(1)～(5)に示された事項に配慮しながら調査・設計が行われてきたし、林道の技術基準等においても路線選定に関する考え方が示されてきたが、専用道の指針は、これらの点をより強調した記述となっている。林業専用道には、これまで以上に、①林地へのアクセス性に富んだ、②コストのかからない、③耐久性のある道づくりが求められており、特に路線選定やルート選定に占める比重は相当に高く、如何に地形に追従した路線選定を行うかが林業専用道の路線の良否を決定することになる。

（２）実測量、設計図、数量計算

実測量、設計図、数量計算等に関する記述内容としては、これまでの林道と同様のものが求められている。基本的には請負工事を想定した設計図書の作成が必要である。

また、林業専用道は、林道や作業道を木材輸送の観点から補完する道であり、普通自動車等の走行性能を確保するうえでの規格・構造を有する必要があるため、適切な測

量・設計の実施を義務づけている。したがって、調査・測量等の実施方法や精度、設計等における作成図面や計算方法等については、林道技術基準に準じた取りまとめを行う必要がある。

Ⅱ－3－1－2　土　工

（1）切　土

> **1 切土**
> （1）切土高は、極力抑えることとする。
> （2）切土のり面勾配は、工事の施工性、経済性等に留意しつつ、土質条件等により判断するものとし、土砂の場合は6分、岩石の場合は3分を標準とする。

切土高を低く抑えて森林・林地へのアクセス性を確保することを基本に、土砂ののり勾配を 6 分、岩石の場合を 3 分とした。林道技術基準では、土砂の標準は 8 分で、緊結度の高い場合を 6 分としている。土構造を主体とする林業専用道では、土工量の増減が開設費を左右することになるので、切土の勾配は重要な事項である。しかしながら、切土のり面の安定は、地形・地質等の条件に加え、同じ地質であっても亀裂の大小や風化の程度などの地質構造にも影響されるので、地域の地形条件等を十分勘案して決定する必要がある。

なお、基準は林業専用道の調査・設計に当たっての方向性を示したものであり、必ずしも 6 分を採用する必要はないと考えられるが、その場合に、明確な選定理由等を準備しておくことは必要である。

（2）盛土

> **2 盛　土**
> （1）盛土高は極力抑えるものとし、盛土基礎地盤の表面のかき起こしや段切りを設けるなどにより安定を図るものとする。
> （2）盛土のり面勾配は、工事の施工性、経済性等に留意しつつ、盛土基礎地盤、盛土材料等より判断するものとし1割2分を標準とする。
> （3）盛土は、複数層に分割して行うこととし、各層水平に締め固めながら所定の高さまで盛り上げるものとする。ここでいう各層の仕上がり厚は、30cm程度以下

切土と同様、森林・林地へのアクセス性を確保することを基本に盛土のり勾配の標準値を規定している。盛土のり勾配の安定については、これまでも多数の調査が行われているが、明確な基準を示すまでには至っていない。なお、これらの調査報告書によれば、盛土の安定は、その勾配よりはむしろ盛土高の影響が大きいとしており、5.0m 程度の盛土高であれば「1 割 5 分と 1 割 2 分の差はほとんどない」と纏めている調査が多くみ

られる。

一事例を挙げれば、1 割 2 分の実績が多い国有林の調査報告（昭和 54 年林野庁委託調査「国有林林道の盛土工法に関する調査」）には、盛土のり勾配と被災との関係について、「1 割以下の法勾配では被災率 16%と大きいが、1.2 割、1.5 割の場合は、それぞれ 10.9%、11.8%とその差はみられない。」とまとめている。

また、のり面の安定は、法勾配よりはむしろ、土の強度と降雨等による間隙水圧、土の収縮の程度により決まるものであり、盛土ののり面附近の締固めの程度が大きく関係していることも報告されている。作設指針では盛土の締固めに関しても基準が定められており、盛土の安定を図るためには、盛土高を極力低く抑えるとともに、段切り、締固めなど適切な施工を実施することが重要である。

また、盛土ののり面勾配をどの程度に設定できるのかは、林道の路線を選定するうえでも重要な事項であり、森林作業道の目指す「丈夫で簡易な、使いやすい」道づくりを実施していくためにも、さらに検討していく必要がある。

（3）残　土

3 残　土

切土、盛土の土工量の均衡かつ最小化に努めるものとするが、やむを得ず残土が発生した場合は、路線内の最も近い箇所で処理することを原則とする。

残土処理は、林道を建設するうえで重要な課題の一つである。切土・盛土量のバランスを図ってもなお、地形の状況によっては残土が発生する場合がある。開設コスト縮減の観点からは、指針に示すように最も近い箇所に処理することが原則であるが、近いからといって集中して処理することは避けなければならない。地形の改変量を最小限に抑え壊れにくい道づくりが求められている中、残土の処理方法についても 1 箇所に集中処理することなく、腹付けによる分散処理を基本とし、林業用作業施設や車回し、待避所等への利用を検討するものとする。なお、残土処理場をこれら施設として利用する場合には、車両等の乗り入れを考慮して路体と同等の締固めを行う必要がある。

（4）のり面保護工

4 のり面保護工

（1）切土のり面の整形・保護工は、原則として実施しないものとするが、土質条件等から見て早期の保護が求められる等の場合には、必要に応じて種子吹付工等を実施できるものとする。

（2）盛土のり面の保護工は、早期の保護が求められる等の場合には、必要に応じて実播工等による植生工を実施できるものとする。

切土・盛土のり面ともに実施しないことを原則としている。主として国有林林道の実績等を踏まえての記述であり、林業専用道ではのり面を低く抑えることを前提にしてののり面保護工の指針である。のり面保護工は、のり面を安定させるためには有効な方法でるので、地形・地質の状況等により、のり面が長くなる場合や崩落等の危険性がある場合には適切な保護工を実施する必要がある。なお、のり面保護工の選定に当たって地域の地形・地質、気象条件、既往の実績等を十分勘案して適切な工種を選定するものとする。

（５）路盤工

５ 路盤工

（１）路盤工の設計に当たっては、路床の強度、実績等を基に路盤厚を決定するものとする。

（２）路盤材は、切土によって発生した岩砕、礫等の活用を図るとともに、適材が得られない場合にあってはクラッシャーラン、切込砂利等を用いるものとする。

（３）路床が岩石等の場合は、路盤工を省くことができる。

（４）急勾配で路面侵食が発生するおそれがある場合は、路面の安定処理を行うことができる。

路盤工の設計における基本的な考え方は、林道技術基準に示されているのと同様である。路盤工の目的は、交通荷重を直接支持し、切土、盛土等の路床に広く分布伝達して、安全かつ安定した路面を形成することであり、その目的が達成できるのであれば、極力、現地で入手できる材料を利用して路盤を構築することがコストの縮減にとっては重要となる。また、縦断勾配の緩い尾根附近を通過するような林道等では、流水による路面侵食が起こりにくいので表層工や上置砂利のみで対応することも検討すべきである。逆に、縦断勾配が急で軟弱な地層では路面侵食が顕著になるので、コンクリート路面工等による安定処理を検討する必要があろう。いずれにしても、路面浸食は、横断工などの排水施設とも密接に関係しているので、これら排水施設の設置方法とあわせて適切な路面構造を選択するものとする。

Ⅱ－3－1－3　構造物

第６ 構造物

（１）土構造を原則とし、やむを得ず擁壁等の構造物を設置する場合は、簡易な構造物を主体としつつ、地形・地質の状況、コスト比較等を行い、適切な工種・工法を選定する。

（２）橋梁は、原則として設けない。

土構造物だけでは路体を構築できない場合、擁壁等の構造物を設置して路体の安定を図る必要が生じるが、林道における構造物の選定は、一般に土構造物からコンクリート構造物へ、さらに鋼構造物へと、また、簡易な構造のものから複雑な構造のものへと検討が進められる。林業専用道における構造物も同様の方法で検討するものとするが、選定に当たっては、現地の地形・地質等の状況を十分精査し、コストのかからない適切な構造物を選定することが重要である。なお、林業専用道の開設に向けて、新たな構造等の開発・普及も期待されるので、これら情報収集にも十分留意するものとする。

Ⅱ－3－1－4　排水施設

第７　排水施設

（１）排水は、波形勾配による分散処理を基本とし、現地の状況に応じて、土構造（凹凸）や簡易な資材による横断排水工を区間延長50m程度に１箇所程度以上を設置するものとする。

（２）側溝を設置する必要がある場合は、原則として素掘とする。

（３）常水がある場合は、溝きょ（開きょ、暗きょ、洗越工）を設置する。なお、溝きょは、経済性及び維持管理を考慮し開きょを原則とする。

排水の方法は、地形のヒダを利用した波形線形を原則とし、工種は簡易な横断排水工によることとしている。なお、横断排水工の設置間隔（50m 程度に 1 箇所程度）は、林道の勾配が 3～5%以上の区間について示しているものであり、縦断勾配が 3%以下のようなところでは、縦断勾配に沿って路面水が流れるとは考えにくく、設置間隔が長くなっても問題ないと考えられる。設置間隔は地域の気象条件や地形・地質等にも左右されるので、開設後も現地状況を精査しながら対応することが望ましい。

指針では、側溝を必要箇所にのみ設置することを原則としており、林道における側溝はこれまで、視距確保の役割や、切土のり面からの崩落土砂の処理スペースとしての役割も担っていたので、通行車両に対する走行の安全性には十分留意して設計する必要がある。

なお、この指針では示されていないが、排水施設の吐口に設置する流末処理や呑口に設ける土砂止め工、流木除け工等は、流水による洗掘防止や路体を保護する目的を担っているので、排水の設置箇所や地形・地質等の条件を十分検討し、必要に応じて適切な工種・工法を選定するものとする。

Ⅱ－3－2　森林作業道

森林作業道の設計指針について、計画・設計の指針について整理する。森林作業道作設指針は、「丈夫で簡易な」という、ある意味相反することを基本方針として各項目が記載されている。森林作業道は林業生産の基盤であり、林業生産高を向上させるためには、そのトータルコストをできるだけ低減させる必要がある。

簡易という言葉だけに縛られ、イニシャルコストのみを追求するがゆえに、耐久性を有しない道路を開設した場合、結果として被災を受け、林業生産の場である林地の消失ということにつながりかねない。

森林作業道については、森林作業道作設指針が通知される以前より、設計や作設にかかる指針等が各自治体で整理されてきた。既に述べたように森林作業道作設指針は、森林作業道を計画・作設する上での最低限の考え方を示したものであり、各自治体が作成してきた指針等は、地域性も取り入れて作業システムまでも考えた上で、作成されてきたものが多い。森林作業道作設指針が通知されてから、長野県では「長野県森林作業道作設マニュアル」として長野県における森林作業道の計画・施工のためのマニュアルを整備した。また、林野庁では平成 22 年度より、路網作設のためのオペレータの養成を補助事業として開始し、そのオペレータ養成の一環として受託団体である一般社団法人フォレストサーベイから森林作業道作設の研修教材が作成された。林野庁では、平成 18 年より低コスト作業システム構築事業の補助事業の中でも作業路作設のテキストを作成している。

森林作業道という新たな定義がなされても、道路作設に対する基本的な考え方は変わっておらず、大きく変わった点は、従来のような一時的な施設ではなく、恒久的な施設として作設・維持していくものという考え方がされたことである。

したがって、本節では、各地で示されている森林作業道作設・設計対する考え方を項目別に整理することとする。北海道では、森林作業道作設指針の通知を受けて平成 23 年 4 月に北海道森林作業道作設指針に示した。内容は森林作業道作設指針から、北海道の地形にあわせて傾斜区分毎の幅員の目安を 21°以下、21～30°、31°以上とし、2 トントラックの走行を前提としている。また、排水施設についても二次製品の種類を明記するなど、地域の実情にあわせて森林作業道に手をくわえた内容となっている。

現在のところ、前述の長野県が独自のマニュアルを示したほかは、この北海道の指針のみが森林作業道作設指針の通知後に示された自治体独自のものである。（平成 23 年 5 月時点）

林道と異なり、森林作業道については、補助金を受けないで個人の資金のみで開設される場合もあり、伐採届けや保安林内作業許可以外で行政が関わる場合がない場合もある。そのようなこともあってか、47 都道府県のうちで web 上において森林作業道若しくは作業道(路)の作設指針や基準が簡単に入手できるところは、北海道、新潟県、長野県、兵庫県、和歌山県、鳥取県、徳島県、高知県、長崎県のみである。このような指針・

マニュアルなどは必要な場合において、簡単に道路開設予定者が入手しやすくするべきであり、各地で講習会なども開かれているようであるが、さらに周知徹底されることが望ましい。

表 18　各地の森林作業道の作設指針等

規格	1.森林作業道作設指針	2.北海道森林作業道作設指針
	平成22年11月	平成23年4月
1. 設計車両	25° 以下 －6～8トンクラス及び9～13トンクラス 25～35° －6～8トンクラス 25～35° －3～4トンクラス及び2トン積トラック 35° 以上-3～4トンクラス及び2トン積トラック	小型トラックの走行を予定 ベースマシンは森林作業道と同じ
2. 幅員 車道幅員 （路　肩）	25° 以下 －3.0m、余裕幅の上限0.25m 21～30° －3.0m、余裕幅の上限0.25m 31° 以上-2.5m、余裕幅の上限0.25m	20° 以下 －3.0m、余裕幅の上限0.25m 21～30° －3.0m、余裕幅の上限0.25m 31° 以上-2.5m、余裕幅の上限0.25m
3. 最急縦断勾配	概ね10° (18%)以下、やむをえない場合14度(25%)	概ね10° (18%)以下、やむをえない場合14度(25%)
4. 最小曲線半径	記載なし	記載なし
5. 拡幅量	記載なし	記載なし
6. 待避所・車回し	記載なし	記載なし
7. 路盤・路面	縦断勾配が12° (21%)を超える場合コンクリート路面工を検討する。	森林作業道作設指針からコンクリート路面工の記
8. 切取のり面	土砂－6分 岩－3分 直切が可能な場合は、切土高が1.2m程度以内で可能	土砂－6分 岩－3分 直切が可能な場合は、切土高が1.2m程度以内で
9. 盛土のり面	概ね1割2分を標準とする 30cmを1層としてしめかためる	概ね1割2分を標準とする
10. 排水施設	排水溝は原則として開渠とする 丸太を利用した開渠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、走行車両の重量や足回りを考慮する。 小渓流の横断は原則として洗越工とする	排水溝は原則として開渠とする 林業機械により耐久性を確保しなければならない場合に限りU字管(鋼製、コンクリート)を使用することが 小渓流の横断は原則として洗越工とする 開渠で不適切な場合に限りコルゲート管、プラヒューム管等を使用した暗渠とすることができる
11. 構造物	安全確保の観点や地形・地質、土質、幅員などの制約から構造物を設置する場合は丸太組工、ふとんかご等の簡易構造物を選定する。	安全確保の観点や地形・地質、土質、幅員などの制約から構造物を設置する場合は丸太組工、ふとんかご等の簡易構造物を選定する。

規格	3.群馬県林業作業道総合整備事業の手引き	4.新潟県造林作業道等実施基準
	平成21年4月	平成20年4月
1. 設計車両	機械化モデル作業道　－普通自動車 林業経営作業道　－小型自動車 葉脈路　－林内作業車	作業道　－ 簡易作業道　－
2. 幅員 車道幅員 （路　肩）	機械化モデル作業道　－3.0（0.3）m 林業経営作業道　－2.5（0.25)m 葉脈路　－1.6（0.2）m	作業道　－3.0m以内（0.5m以内） 簡易作業道　－2.5m（0.25m）
3. 最急縦断勾配	普通自動車　－16%（局部的に通行可能な勾配可） 小型自動車　－18%（局部的に通行可能な勾配可） 林内作業車　－25%（局部的に通行可能な勾配可）	作業道　－16%以下（100mに限り18%） 簡易作業道　－通行車両の安全性を考慮
4. 最小曲線半径	林内作業車　－回転半径3.0～4.0m 軽トラック　－回転半径4.0m 2tトラック　－回転半径5.0m 4tトラック　－回転半径8.0m	作業道　－6.0m以上 簡易作業道　－通行車両の安全性を考慮
5. 拡幅量	曲線部は拡幅する	作業道　－ 6以上～9未満　1.00m 9以上～13未満　0.75m 13以上～25未満　0.50m 25以上～50未満　0.25m 簡易作業道　－通行車両の安全性を考慮
6. 待避所・車回し	特になし	待避所：作業道　－ 必要により設置（有効幅4.0m　有効長10.0m） 車回し：作業道　－設ける場合は原則終点 規格構造の定めは特になし
7. 路盤・路面	縦断勾配が緩い箇所　－ 地盤が軟弱な箇所に砕石　極力現地発生材を利 縦断勾配が急な箇所　－ やむを得ない場合はコンクリート路面工を実施	敷砂利は必要に応じて10cm 再生クラッシャーラン・アスファルト再生材を優先 縦断が9.0%を超える場合はコンクリート路面工可
8. 切取のり面	土砂　－3分　切高5.0m以上は6分 岩石　－3分	作業道　－ 土石類　－6～8分 岩石類　－1～5分 簡易作業道　－ 切取高<1.5m以下、法勾配0～3分
9. 盛土のり面	特に規程はないが林道に準拠していると考えられる	作業道　－1割2分～1割5分 簡易作業道　－ 施工が容易で崩壊しにくい工法・勾配とする
10. 排水施設	縦断勾配方向の排水 横断溝　－丸太水切り、盛土 川側片勾配等	側溝 作業道　－路体維持上必要なkしょに設ける 簡易作業道　－原則設けない　波形線形等による排水施設 作業道　－木製横断溝等間伐材の利用 簡易作業道　－波形勾配、片勾配、洗越し
11. 構造物	やむを得ない場合は簡易構造物を原則 切土　－崩壊しやすい箇所に丸太柵工 盛土　－急峻な箇所に路肩・土羽尻構造物	恒久的構造物については規模を最小限とする

規格	5.長野県森林作業道作設マニュアル	6.静岡県作業道・作業路開設基準
	平成23年1月	平成22年7月
1. 設計車両	25° 以下－バケット容量0.25m3(6～7.5t)、バケット容量0.45m3(9～13t) 25° ～30° －バケット容量0.25m3(6～7.5t) 30° 以上-バケット容量0.25m3(6～7.5t)	幹線作業道－小型自動車(林道3級規格と同等) 作業道－4トントラック程度 作業路－クローラ車両
2. 幅員 車道幅員 （路 肩）	25° 以下－3.0(0.5m)～3.5m(0.5m) 25° ～30° －3.0m(0.5m) 30° 以上－2.5m(0.5m)	幹線作業道－車道幅員1.8m以上、路肩0.5又は0.3m 作業道－車道幅員3.0m以下、路肩0.5mを限度として設けることができる 作業路－全幅4.0m以下(車幅の1.2倍以上)
3. 最急縦断勾配	基本的に10°（18%)以下とする。ただし、短区間に限って概ね14度(25%)までを限度とする。	幹線作業道－9%、やむをえない場合14%、100m以内に限り18% 作業道－18% 作業路－林業用クローラ車両の通行が可能な程度
4. 最小曲線半径	2t以下のトラックを走行させる場合は曲線半径を6.0m以上とする。	幹線作業道－15m、やむをえない場合6m 作業道－6m 作業路－林業用クローラ車両の通行が可能な程度
5. 拡幅量	記載なし	幹線作業道－特になし(必要に応じて) 作業道－特になし(必要に応じて) 作業路－特になし
6. 待避所・車回し	木寄せ・集材作業のフィールドとなるため、平面線形を利用したスペースに、適度に待避所と同規模の作業スペースを設置する。	規定なし
7. 路盤・路面	車両の走行に支障がある場合、現場発生の石礫を用いて路面を仕上げるか、安価な石礫資材を用いての路面処理を検討する。	軟弱箇所は良質土による置換工、丸太敷工をおこなう。必要に応じて敷き砂利をおこなう。
8. 切取のり面	切取勾配は概ね1:0.6とする。ただし、1.5m以内の直切も可能とする。	土砂－1.5m以下直、5m未満3分以上、5m以上6 岩－5m未満直～3分以上、5m以上3分以上
9. 盛土のり面	原則1:1.2より緩い勾配とする。	特に規定しない。(安定した路肩を確保できる勾配) 表土ブロック積工による。
10. 排水施設	波型勾配による分散排水により処理する。 小渓流の横断は洗越工とする。	側溝は設けず、片勾配や横断溝(素掘り横断溝、丸太横断溝)を設けて処置する。沢部の渡河は洗越とする。 縦断勾配0～9%：20m 縦断勾配10～14%：15m 縦断勾配15%～：10m
11. 構造物	必要に応じて丸太組工、フトン篭工を設置する。	法長が1.5mを超える場合は緑化工を計上できる。崩落や湧水の状況に応じて丸太組工等を設置できる。盛土のり面は緑化が期待できない場合は、緑化工を計画できる。

規格	庫県「美しいひょうごの森づくりに必要な作業道開設手	8.和歌山県「作業道」の開設手引き
		平成19年7月
1. 設計車両	記載なし	作業道−4トントラック 作業路−2トントラック、フォワーダ(2～3トン)
2. 幅員 車道幅員 （路　肩）	バックホウの1.3～1.4倍	作業道−全幅員3.0m程度 作業路−全幅員2.0～2.5m
3. 最急縦断勾配	30%以下を基本とし、やむをえない場合40%以下とする	作業道−18%以下を標準とする 作業路−使用する林内作業車等が安全に走行可能 概ね30° 以下
4. 最小曲線半径	記載なし	作業道−使用するトラック等が安全に走行できる曲線 作業路−使用する林内作業車等が安全に走行できる曲線半径
5. 拡幅量	記載なし	記載なし
6. 待避所・車回し	記載なし	記載なし
7. 路盤・路面	栗石利用の路面処理工、表土が少ないときは丸太置き工、路床強度が不足する場合は栗石と丸太を土中に敷きこむ、路面の侵食防止策として枝条を敷き詰める	記載なし
8. 切取のり面	原則として1.4m以下とし、直切を基本とする。谷筋の溜まり土のところなどは0.7m以下とする。	原則として1.5m以下の直切とし、最高2.0mまでとする
9. 盛土のり面	盛土表面に表土を利用し、のり勾配は表土の状態を勘案して定める。	盛土は原則として表土ブロック積工するが、急傾斜地、湧水箇所等路体の強度を一層求める箇所には支障木を利用した丸太組工を施工する。
10. 排水施設	波型線形により路面水の分散排水とする。 暗渠排水は行わないで洗越工とする。 カーブの外周部分に排水する。 一定の縦断勾配が続く場合は、途中で逆勾配部分を作る。または、丸太1本を進行方向に対し30° 傾	登り下り区間は100m以内程度毎に水平部を設け路面水を分断する。また、沢をわたる場合は、沢の通過部分を一段下げて渡すようにし、大雨時に沢の水が路面に流れ込まないようにする。
11. 構造物	急傾斜地では土の落ちとまり線から上部に向かって丸太組工を施工する。	急傾斜地、軟弱土質、表土の少ない箇所及び湧水箇所等では、表土ブロック積工のみに頼らず、丸太組工法を組み合わせることにより、路体の保全を行う。

規格	9.鳥取県「鳥取式作業道のすすめ」	10.広島県作業道実施基準
		平成21年4月
1. 設計車両	不明	基幹作業道　－四輪自動車 （林道規程2級、3級に準拠） 作業道　－四輪自動車 集材路　－林内作業車
2. 幅員 車道幅員 （路　肩）	記載ないが3.0m程度まで	基幹作業道　－3.0m(0.50～0.25) 作業路　－2.0～3.0m(0.50～0.25) 集材路　－1.5～2.5m(0.25～0)
3. 最急縦断勾配	不明	基幹作業道　－9.0～14.0(18.0)% 作業路　－16.0(18.0)% 集材路　－特に規定しない
4. 最小曲線半径	不明	基幹作業道　－16.0(6.0)m 作業路　－6.0m 集材路　－特に規定しない
5. 拡幅量	不明	基幹作業道、作業路　－ 6以上～9未満　1.00m 9以上～13未満　0.75m 13以上～25未満　0.50m 25以上～50未満　0.25m 集材路　－必要に応じて拡幅
6. 待避所・車回し	不明	待避所：基幹作業道、作業路　－ 幅員3.0m－500m以内(有効幅5.0　有効長20.0) 幅員2.0m－300m以内(有効幅4.0　有効長10.0) 車回し：基幹作業道、作業路　－ 幅員3.0m－(有効幅10.0　有効長10.0) 幅員2.0m－(有効幅8.0　有効長8.0) 集材路　－必要に応じて設置
7. 路盤・路面	不明	基幹作業道、作業路　－敷砂利 集材路　－原則行わない ※切取りにより車道幅員を確保
8. 切取のり面	直で切り上げる	土　砂　－6～9分 堅結土　－4～5分 軟岩Ⅰ　－3～5分 軟岩Ⅱ以上　－1～3分 作業路・集材路　－ 1.5m以下直切り(土質により2.0mまで直切り)
9. 盛土のり面	表土積み工	1割5分を標準 土質その他の条件により10.0mまで1割2分も可
10. 排水施設	洗越工、支障木利用の横断溝	基幹作用道、作業路　－素堀を原則 集材路　－側溝は設けない ※開きょは木製横断溝 ※作業路、集材路は原則洗越し
11. 構造物	路側に支障木や根株を利用	原則、空石積み、編柵工、フトン篭工、蛇篭工 丸太組工　－のり面勾配の確保が困難な箇所

規格	11.徳島県「低コストで森林に優しい作業道」	12.高知県作業道開設基準
	平成17年3月	平成21年2月
1. 設計車両	記載ないが2トントラック程度まで	運材型　ートラック 集材型Ⅰ－スイングヤーダ、フォワーダ 集材型Ⅱ－林内作業車等
2. 幅員 車道幅員 （路　肩）	記載ないが伐開幅は3.0m程度まで	運材型　－3.0m～ 集材型Ⅰ－3.0m～ 集材型Ⅱ－1.8～3.0m（機械幅×1.2）
3. 最急縦断勾配	クローラ式のフォワーダの場合で最急35%程度まで	運材型　－18%以下 集材型　－30%程度以下 ※（登坂能力以下）集材箇所は緩くする
4. 最小曲線半径	2トントラックが切り返しなしで走行できるように6.0m以	運材型　－6.0m以上（必要により10.0m以上） 集材型　－通行可能な曲線半径
5. 拡幅量	記載なし	運材型 － 6以上～9未満　1.00m 9以上～13未満　0.75m 13以上～25未満　0.50m 25以上～50未満　0.25m 集材型　－通行可能な拡幅量
6. 待避所・車回し	記載なし	待避所　－ 車回し　－
7. 路盤・路面	記載なし	現地発生の岩砕等 縦断勾配が急な区間は5cm以上の砕石を敷設
8. 切取のり面	直切りを原則とし、法高は1.5m程度とする	切土高＜2.0m 土砂・岩・固結土　－直切 切土高2.0～5.0m 土　砂　－5分 岩・固結土　－3分 ※切土高は原則2.0mを超えない
9. 盛土のり面	表土積工とし、盛土のり勾配は1割以内とする	盛土高＜1.0m　－6分以上 盛土高＞1.0m　－1割2分以上 ※盛土高は原則2.0mを超えない
10. 排水施設	谷部分は転石を利用した洗越工とし、暗渠は使用 波型勾配による分散排水とする。 尾根部は外カントにし、表面水を分散させる。	誘導排水（波形線形、横断勾配等による） 横断工　－ゴム板、木材、盛土等 側溝　－原則設置しない 洗越し工　－小谷川等の排水 ※管きょは原則設置しない
11. 構造物	現地で発生する支障木は、丸太組み、土留め、路肩工、谷沿いの湧水箇所、土質の悪いところに利用する。	路肩を丸太積みで補強 空石積み、編柵工、フトン篭工、蛇篭工

規格	13.長崎県作業道(路)開設の手引き	4.低コスト作業システム構築事業作業路開設テキス
	平成19年4月	平成20年12月
1. 設計車両	運材型Ⅰ　－トラック、フォワーダ(林道3級に準じる) 運材型Ⅱ　－2tトラック、小型フォワーダ 集材型Ⅰ－トラック、フォワーダ 集材型Ⅱ－小型作業車、小型フォワーダ	フォワーダ
2. 幅員 車道幅員 （路　肩）	運材型Ⅰ　－3.0m～ 運材型Ⅱ　－2.5m～ 集材型Ⅰ－3.0m～ 集材型Ⅱ－車幅×1.2	フォワーダの設置幅の1.2倍
3. 最急縦断勾配	運搬Ⅰ型　－18%以下 運搬Ⅱ型　－30%以下	路面排水を考慮した波型線形。最急勾配についての記載なし。
4. 最小曲線半径	搬出する木材の長さにあわせて半径3m以上とする。8m材の場合は半径10m以上とする。	林業機械や搬出材を考えた半径とする
5. 拡幅量	内側に拡幅をいれる	記載なし
6. 待避所・車回し	記載なし	記載なし
7. 路盤・路面	縦断勾配が急な区間は5cm以上の砕石を敷設 簡易なコンクリート路面工を行う場合は厚さを10cmとする	車両の走行に支障がある場合に、土質及び過去の施工事例を参考に必要最小限の範囲で路面処理を行う。
8. 切取のり面	切土高＜2.0m 土砂・岩・固結土　－直切～3分 切土高2.0～5.0m 土　砂　－3～8分 岩・固結土　－直～3分 ※切土高は原則2.0mを超えない	土質により1.5m程度以下まで直切とする。
9. 盛土のり面	1割2分～1割5分 ※盛土高は原則2.0mを超えない	30cmを1層としてしめかためる
10. 排水施設	誘導排水（波形線形、横断勾配等による） 横断工　－木材 設置間隔の目安 洗越し工　－小谷川等の排水 ※管きょは原則設置しない 設置間隔の目安 縦断勾配0～2%：必要に応じて 縦断勾配3～5%：60～80m 縦断勾配5～12%～：30～40m 縦断勾配12%以上：20m程度	縦断勾配と横断勾配を工夫した、こまめな排水とす 横断排水施設が必要な場合は、支障木を利用した簡易な横断排水施設や路面盛土工等により排水 沢部の渡河は洗越工とする。
11. 構造物	丸太の利用による路肩の補強 空石積(のり勾配、土質別最高の目安有り) フトン篭、蛇篭	必要に応じて丸太組工を設置する。

Ⅲ．作業システム構築マニュアル

路網と林業機械を組み合わせた高能率で低コストなシステムモデルを実行する場合の具体的方法について提案する。

Ⅲ－1　路網計画法

まず路網計画の前に決定しなければならないのが作業システムである。以下手順に従って述べる。

（1）作業システムの開発・提案

下記の作業について方法を決定する。

伐倒 ⇒ 木寄せ ⇒ 集材 ⇒ 造材 ⇒ 集材 ⇒ 土場 ⇒ 市場

高性能機械の利用を前提とした作業システムを決定する。その上で森林作業道を計画し、作設計画を立てる。

機械の種類；チェーンソー、スイングヤーダ、プロセッサ、フォアワーダ、等何を用いるかを検討する。

現況：現況はどうなっているか？

例；チェーンソー伐倒、グラップル木寄せ、プロセッサ造材、フォワーダ集材

（2）事業の実施

1）作業モデルの提示　（例示）

チェーンソー伐倒、スイングヤーダ木寄せ、プロセッサー造材、仕分けフォワーダ集材

2）事業の実施

森林管理署が主体となって請負で実施する。

3）集材距離別効程調査

～50m　　50～100m　　100～200m　　現状との比較

4）間伐方法を決める

a.　列状間伐　あるいは　b.　　定性間伐

（3）事業実施森林の因子を調査

1）林況　　面積　　ha　　蓄積　　m^3/ha

樹種　　スギ　　林令　　年

間伐回数　　回　　胸高直径　cm　　平均　　cm

樹高　　m　　平均　　m

国有林　　林班　　ha

２）地況　　地形区分；　　度　、地質　　斜面方位；

３）その他　　施業法　　列状間伐

伐採率　　30％

現地までの距離　　市場まで

モデル森林組合　　最上広域森林組合

その他　素材生産業者

（４）林業作業システムの流れ

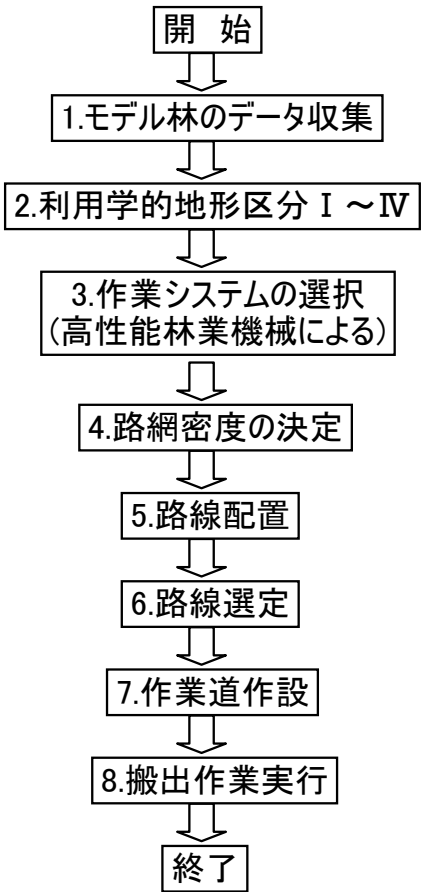


図 33　林業作業システムの流れ

（５）作業システムの選択(高性能林業機械による)

地形区分ごとの作業システム選択

機械の仕様決定　　道路規格　　最大集材距離

１）緩傾斜地（傾斜 0～19％）

①　伐倒造材；　ハーベスタ

②　搬出、木寄せ；　フォアワーダ

③　運材；トラック

路網；　作業道＋集材路

路網密度；

2）中傾斜地（傾斜 20～39%）

①伐倒；ハーベスタあるいはチェーンソー

②搬出、木寄せ；グラップル、全木によるスイングヤーダあるいはタワーヤーダ

③造材、積み込み；プロセッサー、グラップル

④集材；フォアワーダ

路網；　作業道＋林道

路網密度

3）急傾斜地（傾斜 40～69%）

①伐倒；チェーンソー

②搬出、木寄せ；全木によるスイングヤーダあるいはタワーヤーダ

③造材、積み込み；プロセッサー、グラップル

④集材；　トラック

路網；　作業道＋林道

路網密度

4）急峻地(傾斜 70%～)

①伐倒；チェーンソー

②搬出、木寄せ；全木によるスイングヤーダあるいはタワーヤーダ

③造材、積み込み；プロセッサー、グラップル

④集材；　トラック

路網；作業道＋林道

路網密度；下記の複合路網密度により求める。

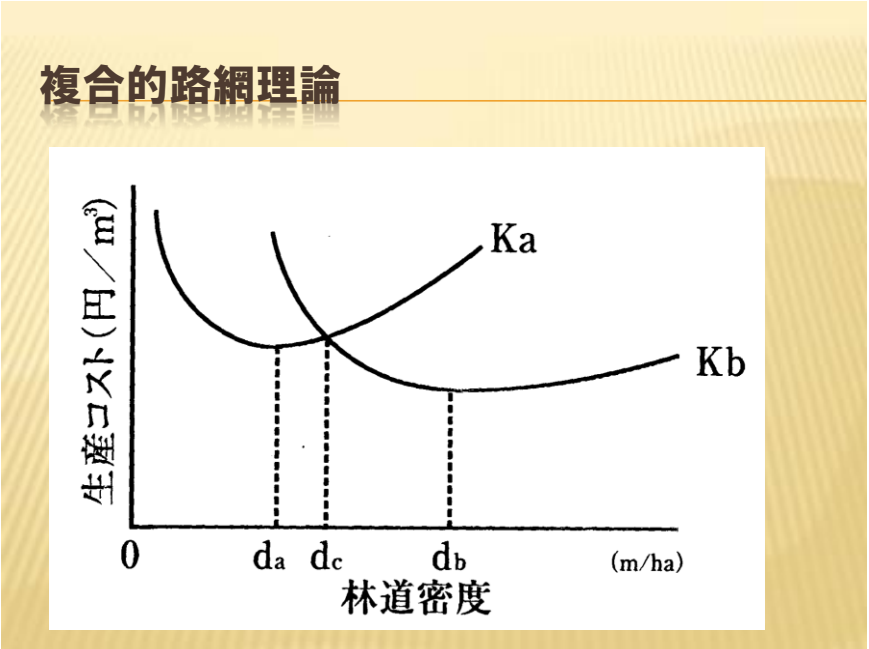


図 34　複合路網密度

（6）最適システムと路網密度の決定

施業地の諸因子を抽出し、最適作業システムにあった作業路密度を決定する。さらにこれにもとずいた作業路延長計画、作業路配置計画をする。路網と高性能林業機械を組み合わせた低コスト作業システムの 路網密度は、複合的路網密度理論による。

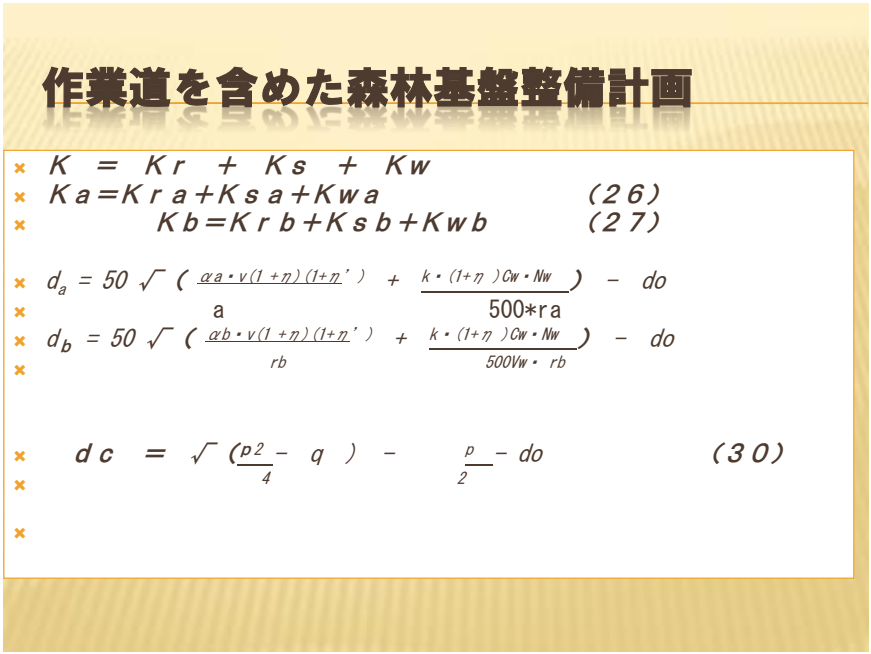


図 35　複合路網密度の算式

（７）最適モデルの開発

a. **スイングヤーダを主としたシステム**

１）作業システム

①伐倒；チェーンソー

②搬出、木寄せ；全木によるスイングヤーダ

③造材、積み込み；プロセッサー、グラップル

④集材；フォアワーダ

２）最適モデルの開発

最適路網密度を求める。　スイングヤーダを用いる。

α b＝7.6　円／m^3m、作業路の単価　rb=3000 円／m

迂回率　1.4,1.5　総人工数　300 人／ha、賃金 1250 円／hr

伐期蓄積 235m^3/ha とする。

最適低規格路網は　以下のとおりである。

$$d_b = 50\sqrt{\frac{\sigma_{sv}(1+\gamma_y)(1+\gamma_{sb})}{rb}+\frac{k(1+\gamma_y)C_{wNw}}{500V_w\ rb}}-d_0 = 50\sqrt{\frac{7.6\times235\times1.4\times1.5}{3000}+\frac{2\times1.5\times300\times1250}{500\times2\times3000}}-0 = 63\ m/ha$$

Db=　63 m/ha

L　＝　Db　×　St　＝　62　×　33ha　＝　2046　m

平均集材距離

a／2　＝2500（1＋η）／d

＝　2500×1．5　／62　＝　60m

最大集材距離

＝　（平均集材距離）×２　＝　120m

b.**プロセッサ、グラップルを主としたシステム。**

１）作業システム

①伐倒；チェーンソー

②搬出、木寄せ；全木によるグラップル、

③造材、積み込み；プロセッサー、グラップル

④集材；フォアワーダ

2）最適路網密度を求める。

グラップル集材とする。

集材にかかる係数α b ＝11.76　円／m^3m　　とする。

作業路の単価　　rb=1000 円／m

迂回率 1.4,1.5　総人工数　300 人／ha、賃金 1250 円／hr

蓄積　235m^3/ha　とする。

最適低規格路網は　以下のとおりである。

$$d_b = 50\sqrt{\frac{\sigma_{sv}(1+\gamma_v)\phi_b(1+\gamma_b)}{rb}+\frac{k(1+\gamma_v)C_{wNw}}{500V_{w\ rb}}-d_0} = 50\sqrt{\frac{11.7\times 235*1.4\times 1.5}{1000}+\frac{2\times 1.5\times 300\times 1250}{500\times 3\times 1000}}-0 = 123.61\ m/ha$$

Db = 123.69　m/ha

L　＝　Db　×　St　＝　123．61　×　33ha　＝　4079　m

平均集材距離

a／2　＝2500(1＋η）／d

＝　2500×1．5　／124　＝　30 m

最大集材距離

＝　（平均集材距離）×２　＝　60 m

（８）．作業路の配置

以上のシステムにあった路網を配置する。

図 36　ピンクの太い実線がスングヤーダを主とした集材法の場合の作業路図である。全体延長　約 2000m　路網密度　60m/ha

図 36　には　赤の波線に、グラップルあるいはプロセッサーを主とした集材法の場合の作業路網図を加えた。

破線延長　約 2000m　　合計　4000m　路網密度　120m/ha

（９）作業試験地の設定

図 36　に　開発のための作業試験地を設定した。

A　；　スイングヤーダによる列状間伐試験地である。

上げ荷集材　最大集材距離　100m×100m

B　；　同じくスイングヤーダによる列状試験地

下げ荷集材　最大集材距離　100m×100m

いずれも毎木、伐倒木の位置等の測定

（１０）実証事業

実証は、業者に依頼し、大まかの生産性等について把握する。日報等による測定とな

る。

モデル林路網計画図

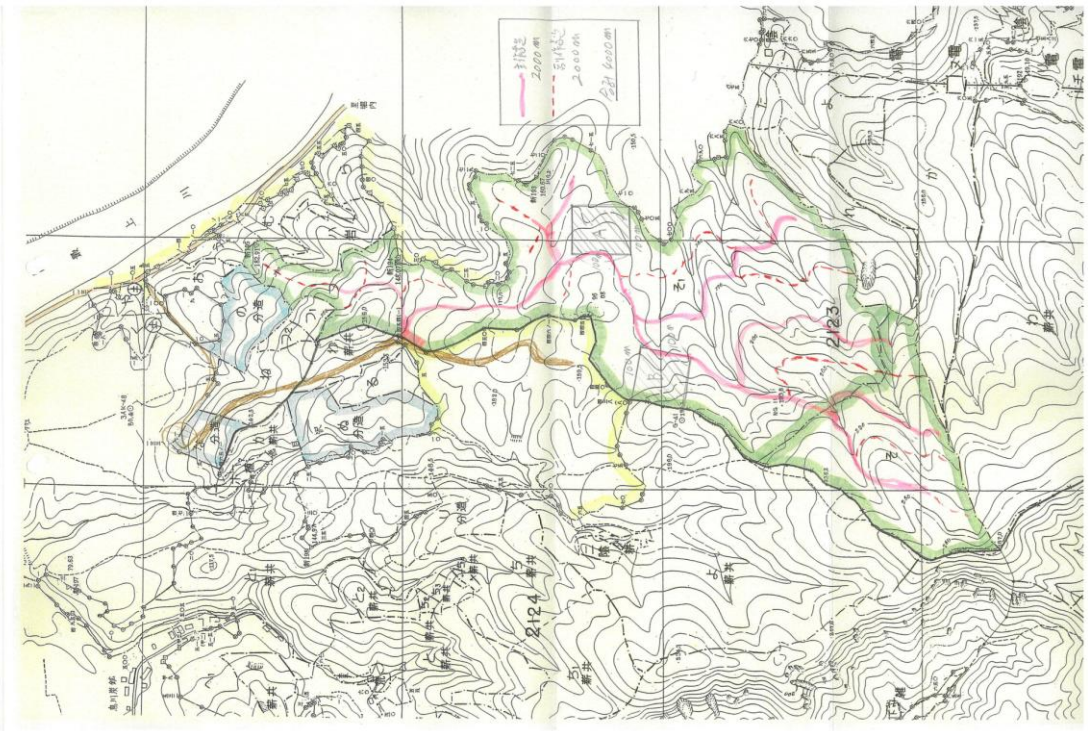


図 36　路網計画図例

Ⅲ－2　新型タワーヤーダによる作業のポイント

①架設

ストローラインを巧みに利用することが有効である。ワイヤークレーンの架設作業において、手間のかかる作業は先柱の架設、中間支持器の架設である。控え索の緊張やブロック、中間支持器の荷揚げ、さらにはワイヤーロープの引き回しには、その場所で人力作業でチルホールによって張力を発生して利用するではなく、外部動力の利用が有効である。　無線制御されるストローラインを利用することによって、少人数での架設作業を可能とする。

先柱や中間支持器の架設の際、木登り高所作業が必要であるが、スパイクをブーツに装着し、安全ハーネスを着けて、登上立木にベルトを巻き抱きながら上るが、確実に登上技術を身につけることが必要である。作業安全はもちろん、迅速な作業を可能とし、作業能率を高めるために不可欠である。この技術によって、短時間で先柱設置作業、中間支持器設置作業が可能となり、2 人で半日で集材架線の架設作業を行うことができる。

②上げ木作業

集材する伐倒木の安定した滑り上げができ、ホールドラムの駆動力によって早い集材作業ができる。材が滑落する恐れがないので、ヤーダの駆動力を大きくかけて速い速度で集材することができる。作業索がホールライン（メインライン）1 本で、それを緩めることによって空搬器が自重で滑走降下する。その高速走行速度が集材サイクルタイムの短縮に有効である。1 本の作業索を垂下させ、荷揚げ用に用いる際の作業を効率化するために、索の強制降下機構が有効である。タワーヤーダの作業索駆動ドラムの動作速度は大きく、最大 8m/s ほどなので、実搬器の荷上げ走行速度も小さくはない（表 19 では 2m/s と設定)。これらによって、集材サイクルタイムを短くすることができる。

道路基盤が山腹上方に開設されていないと、上げ木作業はできないが、地域内で広域に道路基盤の整備を検討し、尾根部や等高線方向の区間が多くなるような路網の配置が目標となる。

③下げ木作業

伐倒木を斜面下方へ滑り下ろすので、材が滑り遊び下りないように斜面上方からホールバックラインで吊り上げながら落ちないように制御する。中腹に道路基盤を設けた場合でも、全くの尾根道でない限り斜面最上部エリアでは下げ木集材作業が発生する。下げ木作業を避けては通れないが、地形を解釈して架設位置を適正にすることによって、作業を円滑に行うことが有用である。

④間伐

事業地の広さ、立木密度や奥行き（=スパン）と間伐率、などに応じて適切に、張り

替え間隔を設ける必要がある。通常、架線と大きな偏角をなさずに伐倒木を斜め上方へ引き上げるが、横取り距離として片側 25m程度、架設１線当りの幅として 50m程度で行われる。

高機能、高効率な新世代タワーヤーダを用いても、間伐における作業能率は大きくすることは容易ではない（表 19)。森林資源の持続的利用のための造林工程の確実化、安定化や、林木の健全な成長を確保して、CO2 固定能を高く維持するなどのために、事業採算の取りにくい間伐事業を支援するための補助制度が必要であると思われる。

⑤主伐

横取り距離は立木１本分、１ライン当たりの幅としては、片側 50mで幅 100mが適当である。スパンとして、機構的には 800mまで可能であるが、300m程度の架設規模となる場合が多くなると思われる。幅 100m、長さ 300m の 3ha 程度の短冊状の皆伐事業地の設定が標準的な規模になると思われる（表 20)。

⑥機械

1) タワーヤーダ

荷揚げ力 5ｔのものが 6 千万円程度、2.5t のものが 3.5 千万円程度の価格である。それぞれ償却年数を 5 年、年間の稼働日数を 200 日として、日当りの償却費はそれぞれ、6 万円、3.5 万円である。これらを用いてビジネスとして素材生産、木質バイオマス生産事業を成り立たせるためには、機械経費に耐えるだけで日当り 20、15m3 以上の生産性が必要である（班当り)。人件費などを考慮するとその倍の生産性が求められる。このような高能率な機械を運用するためには、地域の林業事業を取りまとめ、事業の段取りを行う組織が必要である。

2) 搬器

タワーヤーダと連動して作業に用いられる搬器は、主索のクランプ位置固定機能や作業索の巻きだし機能などを備えた高機能なものである場合が多い。それらは独立して稼働するのではなく、タワーヤーダのライン巻き取り、巻きだし操作と連携して稼働する。その連係動作において、暴走動作が発生しないことが不可欠である。

3) 無線解放フック

土場における荷外し作業を効率化し安全に行わせるために有用である。通常 1 人プロセッサ作業で行われる土場での処理作業において、車両から離れて荷外しを行うのは非効率である。無線解放フックによって、プロセッサ車内から無線操作によって集材してきた材を荷かけしているフックを自動解放する。価格は 130 万円ほどであるが、これによって排除される荷外し作業時間や得られる作業安全性を考慮すると、事業の採算性

を大いに改善する。

4) プロセッサ

土場作業において造材工程を処理するが、生産する玉材の径と長さを計測して採材する機能を備えるのが通常である。同時にそれらを記録し、造材材積の集計を行う機能も備えるものが一般的であるが、プロセッサで得たデータを販売管理処理作業に連携させることが容易でなく、材種、材の大きさを人手で計測記録することが一般的である。

プロセッサの採材時情報を販売管理事務セクションで利用可能にすることによって、製品の生産管理、販売計画・管理などを、迅速、高精度に行うことができる。さらに、造材時の採取データおよび処理シーケンスから、採材製品の品等区分が可能となり、木質バイオマスの生産量も把握することができる。プロセッサの情報処理機能の向上による造材工程の高度化と利便化はさらに進展する可能性があると言えよう。

表 19　新世代タワーヤーダによる集材作業能率の予測（再掲）

	主伐	間伐
架設人工数	10 人時	←
撤去人工数	6 人時	←
日実作業時間	6 時間	←
作業員数	2 人/班	←
スパン	400 m	←
一荷量	1 m3	0.7 m3
空搬器平均速度	5 m/s	←
実搬機平均速度	2 m/s	←
荷掛時間	240 秒	600 秒
荷外し時間	60 秒	←
平均空搬機走行時間	40 秒	←
平均実搬機走行時間	100 秒	←
搬機走行時間	140 秒	←
平均サイクルタイム	440 秒 7.3 分	800 秒 13.3 分
時間当たり生産性	8.18 m3/時	3.15 m3/時
人時当り生産性	4.09 m3/人時	1.58 m3/人時
造材歩留まり	0.6	0.5
機械作業生産性	29.5 m3/日	9.5 m3/日
人日当り生産性	14.7 m3/人日	4.7 m3/人日

表 20　想定作業能率による事業経費予測（再掲）

	主伐	間伐	単位
事業地面積	3	3	Ha
立木密度	300	1000	本/ha
単木材積	1	0.3	m^3
間伐率	1	30%	
事業地間口	100	100	M
TY架設間隔	100	50	M
TY架設本数	1	2	本
架設人工数	10	20	人時
撤去人工数	6	12	人時
TY大移動時間	6	6	時間
機械償却費	4	4	万円/日
出幹材積	900	900	m^3
造材歩留まり	0.6	0.5	
出玉材積	540	450	m^3
出材人工数	35.4	93.5	人日
出材経費	76.2	197.6	万円
機械作業日数	17.7	46.7	日
作業機械経費	70.8	186.9	万円
TY大移動経費	4	4	万円
機械経費	74.8	190.9	万円
事業経費	151	388.5	万円
出材事業経費単価	2796	8633	円/m3

Ⅲ－3　路網作設法

Ⅲ－3－1　路網計画作設法

林業専用道、森林作業道は、低規格で作設される土構造物であり、前述のように開設される斜面条件（地形条件、地盤条件）を十分に考慮する必要がある。地形条件では、表 14 に示した地形種や地質構造的な不連続面、弱線のある地形場での道の開設は、基本的には回避することが望ましい。しかし、ポイント的な対応で突破出来る場合は、構造物を配して対処する必要がある。土構造物を作設する場合、土を転圧して締固めることが最も基本的な作設法である。締固めには、土の持つ性質（土質特性、特に粒度組成）と斜面での状態（自然含水比）とが大きく影響する。この２つの条件が締固めに適した場合には問題はないが、前者に問題がある場合（粒度組成の悪い砂等）には、構造物の構築を考える。後者の自然含水比に問題（値が大きい場合）がある場合は、乾燥土や改良材を投入して締固めを行うことが出来る。

日本では第四紀以降の火山活動により膨大な火山灰質土が広域に堆積し、このため、日本の代表的な地盤構成土となっている。ここでは、この最も問題の多いと考えられる火山灰質土を取り上げ、斜面に路網を開設するという観点からこの土の性質と基本的な対処法について述べる。

火山灰質土（＝火山砕屑物）とは、火山噴火物の内、軽石、火山灰、スコリアで構成される一次、二次堆積物である。その粒径（ｄ）により、ｄ＞64mm のものを火山岩塊、2mm＜ｄ＜64mm ： 火山礫、ｄ＜2mm ： 火山灰、に分類される（*8*）。工学的には、細粒分（ｄ≦0.075mm）含有率 Fc≧50%のものを細粒火山灰土、Fc＜50%のものを粗粒火山灰土と定義し、それぞれ、火山灰質粘性土、火山灰質粗粒土と呼ばれる。

火山灰質土の分布は、上記のように北海道から九州まで広域に分布し、火山灰は、関東ローム、黒ぼく、アカホヤ他、軽石は、シラス、ぼら、鹿沼土他、とそれぞれ固有名詞でよばれている。表 21 は、火山灰質粗粒土の物理的性質の例（*9*）を示す。火山灰質粗粒土は、火砕流堆積物、降下火砕堆積物から成り、砂質土、礫質土に分類され、軽石成分を含む。16 サンプル中 6 サンプル（恵庭、支笏 Spfa-1、摩周、赤城、大山）が自然含水比（Wn）＞100%であり、多孔質の軽石が主体と考えられ、土粒子密度（ρs）、湿潤密度（ρt）、乾燥密度（ρd）は小さい。一方、礫分含有率（Gc）が大きく、Wn が 50%未満の土（樽前、支笏 Spfa-7、クッチャロ）は、ρd が他のサンプルよりも大きく、軽石に重鉱物を含むと考えられ、突き固めによる締固めの効果が期待できる土である。一般的には、前述の 6 サンプルに含まれる軽石の粒子は、多孔質であるため脆く、力学的特異性（せん断時に粒子破砕をする）を示す。火山灰質土の路網作設上の問題点は、次の３つになる（*10*）。①こね返しによる泥濘化（強度の問題）、②高盛土の場合、大きな沈下が長期に渡って発生する（圧縮性の問題）、③切・盛土のり面の雨水による侵食（侵食問題）。①のこね返しによる強度低下や②高盛土の大きな沈下は、路網作設上最も大きな問題点であり、（1）良質な砂質土や礫質土と混合する、（2）乾燥して含水

比を低下する、(3)安定処理剤（石灰、セメント等）を混合する、などの対策がある。決定的な方法はないが、路体の強度を大きくするためという観点から、現場の状況に応じて適切な方法を工夫する必要がある。自然含水比の低下する乾燥する時季に作設をすることも考慮する必要がある。③盛土のり面の侵食対策には、早期の在来種の草木本による緑化が効果的である。盛土勾配は、1 割 2 分までとされているが、有機物の多い表層土を用いた土羽工を設置することにより現場条件に応じて柔軟に対処する必要がある。

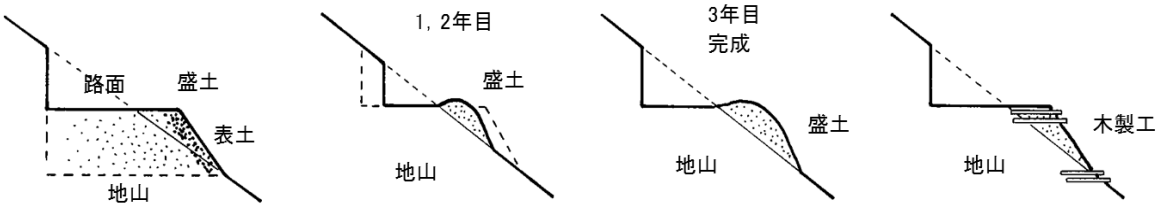
表 21 火山灰質粗粒土の物理的性質の例

	種別・火山名		火山灰記号	Wn (%)	ρ s (g/cm3)	Fc (%)	Gc (%)	ρ t (g/cm3)	ρ d (g/cm3)	採取地（俗称）
北海道		樽前	Ta-a～c	10-40	2.6-2.8	0-20	10-80	1.1-1.6	1.0-1.3	千歳町－早来町－苫小牧市－厚真町などの道央地域　多地点
	Pfa	恵庭	En-a	50-110	2.6-3.0	0-30	0-60	1.1-1.6	0.6-1.1	
		支笏	Spfa-1	30-150	2.1-2.6	0-20	20-80	0.7-1.6	0.4-1.0	札幌市－千歳町－苫小牧市－厚真町・穂別町などの多地点
	Sfa		Spfa-7	20-40	2.7-3.0	0-20	10-50	1.4-1.9	1.1-1.5	
		駒ヶ岳	Ko-d	20-50	2.5-2.9	0-10	0-30	1.7-1.8	1.4-1.5	道南の南茅部町・森町・八雲町
		摩周	Ma-1	70-170	2.1-2.6	0-30	20-80	0.8-1.4	0.2-0.8	道東の中標津町
	Pfl	支笏	Spfl	20-80	2.1-2.5	10-50	0-30	1.1-1.6	0.7-1.3	札幌市－千歳町－苫小牧市多地点
		クッチャロ	Kc-4	10-50	2.4-2.7	20-50	0-40	1.2-1.7	1.0-1.5	道東の北見市-女満別町-別海町
東北	Pfl	十和田	To-H	25-50	2.6-2.7	15-30	15-30	-	—	青森県掟ヶ関（十和田しらす）
		肘折尾花沢	Hj-H	15-40	2.4-2.7	0-35	0-30	-	—	山形県肘折（肘折しらす）
関東	Pfa	赤城	Ag-KP	180-220	2.6-2.8	4.0-8.0	40-70	0.9-1.1	0.3-0.4	栃木県鹿沼市・真岡市（鹿沼土）
中国	Pfa	大山	DAP2	115	2.5	40	—	—	—	鳥取県荒田市（大山荒田軽石2）
			DMP	120-150	Ave.2.62	30	0-5	—	—	鳥取県溝口市（大山松江軽石）
九州	Pfa	桜島	Sz-2	—	2.4-2.5	—	20-100	—	0.25-0.55	姶良郡福山町（桜島安永ぼら）
	Pfl	姶良	A-Ito	15-50	2.3-2.5	10-40	0-20	1.0-1.7	—	鹿児島県（入戸火砕流：一次しらす）
				20-70	2.3-2.7			1.0-1.8	—	鹿児島県（入戸火砕流：二次しらす）

Pfa： Pumice fall deposit（降下軽石）、Sfa： Scoria fall deposit（降下スコリア）、Pfl： Pumice flow deposit（軽石流堆積物）
Wn：自然岩水比、 ρ s：土粒子密度、 Fc：細粒分含有率、 Gc：礫分含有率、 ρ t：湿潤密度、 ρ d：乾燥密度

締固めに因っても路面の支持力が得られない場合には、構造物を構築する。構造物は、出来るだけ簡易な物を必要な所に適切に構築する。切土、盛土により路体を構築する専用道、作業道では、切土した地山による路面と盛土による路面の支持力を同じにするか、盛土部を強くすることが重要である。盛土部の支持力が不足（強度不足）する場合、クローラタイプの車両の通過では顕著な不等沈下（地山側と盛土側で）は認め難いが、供用するにしたがって路肩部の変位が生じ、損傷へと発展する。以下、路体の作設、主な構造物について基本的な考え方を述べる。

（1）路体の作設：作業道の作設は、路体の作設と同義であり、これまでの調査で 4 つの方法が確認されている（*6*）。図 37 に 4 つの方法の概略を示す。①切土部（地山路面）も一度土を解して盛土部と同様に転圧して締め固める、②作設開始から供用まで 3 年間をかけ、粗道（幅員は機械幅程度の道）を開設した後、3 年目に拡幅して仕上げる（③の図）、③切り土を谷側の斜面に盛り転圧して短期で路肩を構築する（従来方式）、④盛土部を含めた路面に木製構造物を作成することにより路面、路肩、盛土のり面の安定を図る、の 4 つである。



①高知県四万十町安中市松井田

②湯沢市 3年かけて完成

③常陸太田市 盛土部のみの締固め

④甲府市 木製工を施工地山まで解して締固め

図 37　作業道の作設法

斜面での道の作設は、専用道、作業道ともに切土・盛土をバランス良く行い、残土は出さない。盛土路面は、強度不足になりがちであるため、以前は切土のみで作設する傾向があったが、切土高を 1.5m 未満に抑え、必要な幅員を確保すると、盛土を構築して路体を作設し地形の変化に追従した道にならざるを得なくなる。このため、切土を盛土に転用する土の横断方向の移動と同時に、道の縦断方向（道に沿った方向）の土の移動も行いながら、過不足なく路体を構築する。また、路体の構築は、①のような、盛土のり尻付近から地山部、盛土部を区別無く転圧して構築し、路体の横断方向の均質性を確保することが重要である。このような作設技術は、極めて高度な技術であり、路線線形、斜面傾斜、切土量と盛土量等の関連を瞬時に把握して処理する能力が必要である。

作業道の場合は、のり勾配や転圧回数、木製構造物の施工等の作設方法を規定して開設することにより、クローラタイプの林業用車両の走行に支障のない路面の支持力が確保される。一方、林業専用道は、作業道と同様の考え方で作設されるが、10 トントラックの走行を念頭に置いた場合、必要とされる路体強度を明確にし、路線選定を含め、地盤（地山）条件と共に土質条件を定量的に把握し、その強度を確保出来る路体作設法を検討する必要がある。

（２）排水施設：路面流下水の排水は、基本的には道の構造（縦断・横断勾配の変化）により対処し、供用後不足の部分を検証して横断工等の構造物で対応する。渓流部では、基本的には洗越しで通過する。洗越しでは、流水に直角に渡るように道を配置し、その上面（路面になる面）は出来るだけ水平にして、流水が路面上を流れないよう前後の路面高を高くする。また、上流部は流速を緩和するように制水池、下流部には転石や木製構造物で両岸斜面や地盤を補強する。使用する材料は、基本的に現場で調達できる資材（岩、転石、木材、根株、枝条等）を利用する。

（３）のり面の植生工：盛土のり面の緑化は、路体の長期安定化に重要である。基本的には、現地で使える活物材料（稚樹、表土等）を利用する。有機物や種子を含む表土を盛土の外部（のり面部）に転圧して積み上げ緑化を図る工法がある。これは、一種の土羽工であり、木製構造物による路体の安定化が最長 10 年程度を目途に構築される短期

的安定化工法であるのに対し、この緑化工法は、植生による長期的な安定化を図る工法であり、時間の経過と共に安定性が増加する点に特徴がある。

（４）丸太積み工法：森林作業道では、盛土部、路盤、切土部、渓流部等に用いられ、路体保持のために構築される。盛土部、切土部では土留工として、路盤では路盤工として用いられ、基本的には、支障木を利用する。丸太積み工の方法は、実用的な解説書(1)、(2)がある。

(*1*) 大内正伸：山を育てる道づくり、(社) 農文協、東京、2008
(*2*) 大橋慶三郎・岡橋清元：作業道づくり、(社) 全国林業改良普及協会、東京、2007

Ⅲ－3－2　林道作設法(林業専用道)

ここでは、森林作業道に求められる「丈夫で簡易な、使いやすい」道を構築するための林道（林業専用道）の作設手法について検討するものであるが、その目指すところは、地形の改変量が最小の道ということになる。地形の改変量が小さければ小さいほど、土工量を削減し（コストの縮減、耐久性の向上）、のり面が短くなり（アクセス性の向上、耐久性の向上）、構造物の設置が抑制される（コスト縮減）道となる。

道路を建設するうえでの工種・工法には種々のものがあって、検討すべき事項も多岐に及ぶが、今年度は主として、①路線選定、②切土の勾配、③盛土の勾配、④排水施設等について検討し、「林道作設法」の構築に向けての課題とする。

Ⅲ－3－2－1　路線選定（ルート選定）

森林・林業再生プランを推進し、我が国の林業を再生していくためには、路網の質的・量的な整備を早急に実施していく必要がある。そのためには、これまで以上に低コストで耐久性のある道づくりが求められるが、その場合に路線選定（ルート選定）にかかる比重は極めて高く、林道作設法を検討するうえで重要な課題である。

これまでの林道は、上下に広がる森林の高低差を克服し、如何に早く目的地まで到達するかに重点が置かれ整備が進められてきた。それに加えて、林道の持つ公益性や公共性の観点から、どちらかといえば走行の安全性や一般的輸送機能が重要視され、本来の林道の持っている森林・林業に対する機能への期待が希薄になっていた。したがって、林道技術者の路線選定も、距離的・時間的な短絡効果を主目的に、平面線形的には直線的で、縦断線形的には急勾配な線形をとる傾向が強く、森林管理や林業経営の面から見ると使いにくい道となっていた事実がある。

図 38 は、地形条件のみを考慮して林道のルートを検討した図面である。ある地点（A）から、上方の林道に向かって数本のルートが計画されている。赤いルートは距離の短絡効果のみを期待する場合には最も有利なルートであるが、沢沿いに開設するので急峻な地形を通過する箇所が多い。また、渓流の横断箇所では、他のルートに比べ集水区域面積が広くなるので、排水施設の規模が大きくなるなど、1m 当たりの開設単価は、最も高くなることが予想される。一方、緑や黄色のルートは、延長は赤いルートに比べ 1.7～2.5 倍になるが、通過位置の地形が良好なため森林や林地の改変量が小さく、かつ、尾根付近を通過するので渓流の横断もほとんどなく、1m 当たりの開設単価は赤いルートよりも安価になるうえ、森林施業上は使いやすい道になると予想できる。

なお、青やピンクのルートは、用地等の制約、施業地の配置状況等によって沢の右岸を通過する必要ある場合には検討すべきルートである。（本来、林道のルートを選定するためには、施業地の配置、環境保全上の留意箇所及び事項、用地の条件などを地形図上にゾーニングした後、最適な路網配置を検討するのが一般的であるが、ここでは地形図から判読できる条件のみでルートを検討している。）

これまでの林道は、前述のとおり、目的地まで如何に早く到達し、距離的・時間的短絡効果を発揮するかに重点が置かれ整備されてきたところがあって、どちらかといえば赤いルートが優先されがちであった。これに対して、緑や黄色のルートは、延長は長くなるが、迂回率が大きく路網密度が高くなるので、森林管理・経営の視点からみれば赤のルートに比較して有利な面が多々ある。さらに、地形的には尾根部の安定した緩斜面を通過するので、地形の改変量を最小にして耐久性の高い開設コストがかからない道となりえる。仮に、10 万円/m の道を 1000m 開設するのであれば、5 万円/m の道を 2000m 開設しても全体の工事費は同じであり、森林経営や森林管理にとっては有益な林道となる可能性がある。

以上のようなことを念頭に置いてルートを選定することが、これからの道づくりには求められている。特に、林業専用道や森林作業道の路線選定にあたっては、使いやすさい道づくりに重点をおいて、森林・林地へのアクセス性が高い路線選定を心がけていくことが重要であり、そのためには、踏査を繰り返して、現地の地形・地質条件を十分精査しながら、地形に追従した路線選定を行うとともに、これまでの林道から少し視点を変えた路線選定技術を習得することが必要である。

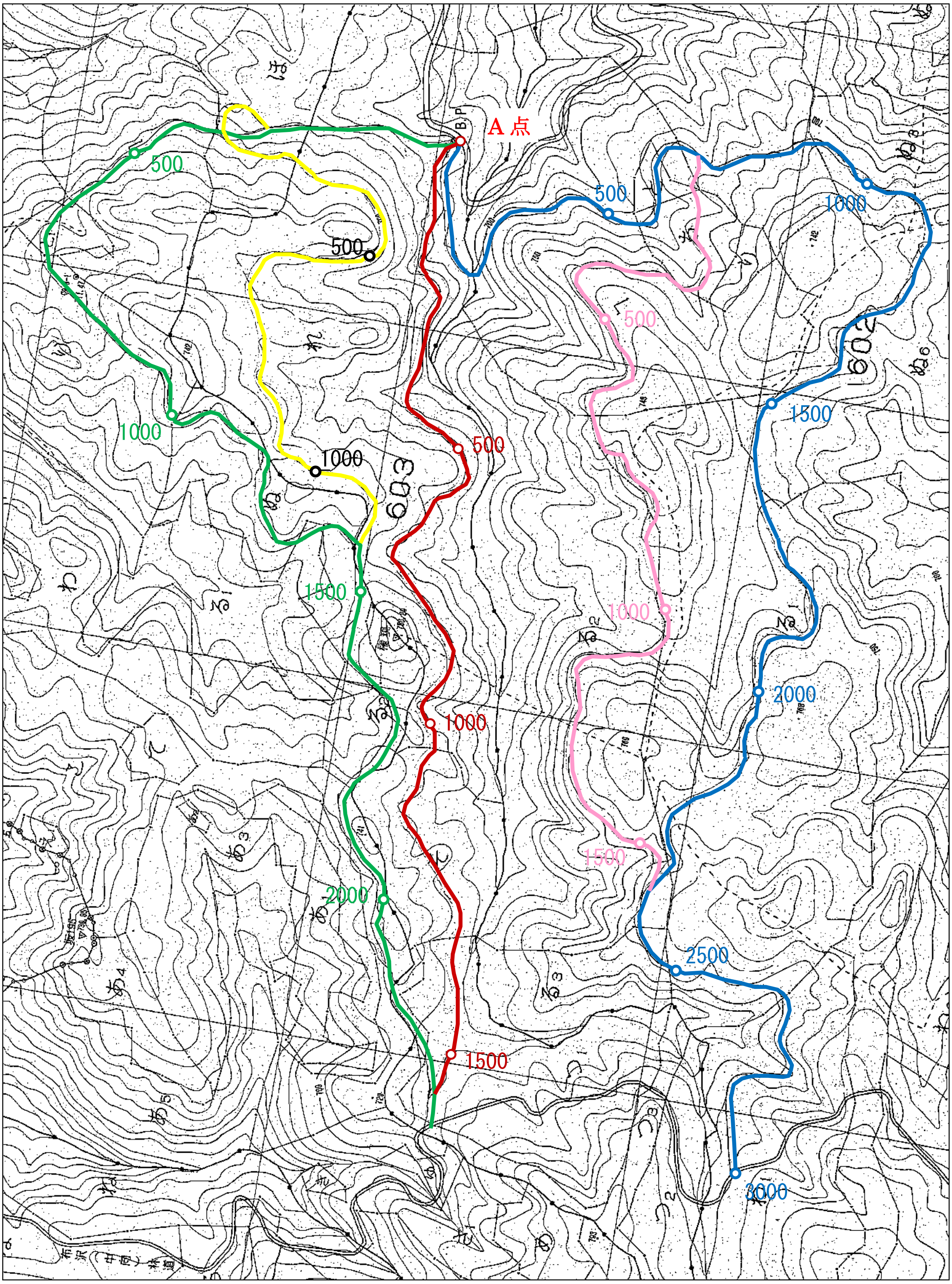


図 38　路線配置検討図

Ⅲ－3－2－2　切土・盛土のり面勾配

林業専用道に求められる「簡易で丈夫な、使いやすい」道づくりは、切取・盛土のり面を如何に短くし、土工量を抑制して自然環境へのインパクトを最小化するかにかかっている。このような道づくりを進めるうえで、切土・盛土におけるのり面勾配をどの程度にするのかは重要である。のり面勾配を急勾配で施工することができれば、地形の改変量を小さく抑えることが可能になり、路線の選定方法も違ってくる。林業専用道の指針におけるのり面勾配の基準値は、経験則等に基づいて盛土は1割2分、切土の場合は、土砂6分、岩3分を標準としている。ここでは、切土・盛土ののり面勾配について考察する。

（1）切土のり面勾配

切土のり面の安定は、地形・地質、気象等の自然条件や切土高、のり面保護工等の施工条件などにより異なるうえ、のり面の地質・土質等は極めて不均質で、工学的分野においてものり面の安定度を決定する技術はいまだ明らかにされていない。このため、切土のり面の勾配は、各機関で従来からの経験的知識に基づいて標準値が定められている。これら機関ごとの切土のり面勾配の基準を示せば表 22 及び表 23 のとおりである。

表 22　各機関ののり面勾配の標準

岩質・土質		機関名／基準名／切土高	日本道路協会 道路土工―のり面工・斜面安定工指針	建設省河川局 河川砂防技術基準（案）	労働省 改正労働安全衛生規則解説	横浜市 横浜市宅地造成工事設計施工基準
岩盤	硬岩		1:0.3～0.8 (0.5)		−0 垂直 −5 m 75° ↓ (約 0.3)	
	中硬岩		1:0.5～1.2 (0.8)			−0 80° −5 m 60°
	軟岩					−0 50° −5 m 40°
硬く締まった土砂・普通土	土礫まじり	0―5―10― m	1:0.8～1.0 1.0～1.2 (1.0)	1:1.0 (1.0)	−0 垂直 −2 75° −5 m 60° ↓ (約 0.5)	−0 45° −5 m 30°
	土砂・砂質	0―5―10― m	1:0.8～1.0 1.0～1.2 (1.0)			
	その他	0―5―10― m				
締まっていない土砂・崩れやすい土砂	土礫まじり	0―5―10― m	1:1.0～1.2 1.2～1.5 (1.2)	1:1.5		−0 45° −5 m 30°
	土砂・砂質	0―5―10― m	1:1.0～1.2 1.2～1.5 (1.2)			
	岩塊まじり粘性土	0―5―10― m	1:1.0～1.2 1.2～1.5 (1.2)			
	その他	0―5―10― m				
粘性土		0―5―10― m	1:0.8 1.2 (1.0)	(1.5)		

注）（ ）内数字は平均的勾配

表 23　国鉄ののり面勾配の標準

土質・岩質			のり面勾配	摘要
一般土	軟質土 崩れやすい土砂	軟らかい細粒土	1.5 以上	ただし，SPは山砂に準ずる
		緩い砂粒土 緩い礫粒土	1.5～1.8	
	中硬質土 やや締まった土砂	中ぐらいの硬さの細粒土 中ぐらいに締まった砂粒土 中ぐらいに締った礫粒土	1.2～1.5	
	硬質土 締まった土砂	硬い細粒土 締まった砂粒土 締まった礫粒土	1.0～1.2	
特殊土	火山灰質粘性土	軟質 硬質 灰土	1.2 以上 1.0～1.5 1.0 以上	関東ローム，岩手ローム等
	まさ		1.0～1.5	
	山砂		1.5～2.0	
	しらす	風化しらす 普通しらす 硬しらす	1.0～1.4 0.7～1.0 0.5～0.7	
岩石	ぜい弱岩		0.8～1.2	＊岩盤以外の地山で，2m 以上ののり高の場合は，のり面勾配を45°より緩勾配とする。
	軟岩		0.5～1.0	＊崩壊または落石の原因となるき裂のある岩盤で5m以上ののり高の場合は，のり面勾配を60°より緩勾配とする。
	硬岩		0.3～0.8	

注 1）表中ののり面勾配の欄で 1.5 以上，1.2 以上および 1.0 以上とは 1：1.5，1：1.2，および1：1.0より緩勾配を表し，適用する場合はそれぞれ安全率が確保できるようのり面勾配を決定しなければならない。
表中の＊印は労働安全衛生規則第 356 条，357 条の定めによる。

2）犬走りは原則として，幅 1.5m とし，のり高が 10m 以上の場合 7m ごとに設けるものとする。
ただし，のり高にかかわらず土と岩との境界や透水層と不透水層との境界には必要に応じて設けるものとする。

林道の場合もこれらの基準を参考に土質ごとの標準値を定めており、林業専用道における切土のり面勾配の標準値は、ここに示した各機関で定めたのり面勾配の最小の値を採用している。これは、林業専用道が、①通常の道路と比べて小規模であること、②地形に追従した線形により地形の改変量を最小にして、のり面の高さを極力抑制することを原則に作設する道であることを前提としている。

また、昨年度の調査結果からもわかるように、作業道や作業路（路網・作業システム検討委員会では、これらを総称して森林作業道とした）においては、切土の高さが 1.5～2.0m 程度の場合では、切土のり勾配を直切りや 3 分程度を標準にしている機関もある。切土ののり面を直切りにした森林作業道は、以前からも数多く作設されてきたが、これらの作業道の中には、のり面勾配が急であっても安定している道が相当ある。切土のり面の安定については、次のような報告もあり、必ずしものり面勾配が原因で崩壊が発生しているとは限らない。切土のり面勾配の緩・急は、開設コストや耐久性の優劣、路線選定手法、さらには通行の安全性にも関連するので、十分検討して定める必要があるが、「簡易で丈夫な、使いやすい」道づくりを進めていくためには、避けられない重要な課題のひとつである。

① 勾配が立ち過ぎているための崩壊例は少なく、むしろ表層のはく落、崩壊等の現象が多く、のり面の表面排水施設を含めたのり面保護工の改良に待つところが大きい。
② 勾配に起因した崩壊は断層・破砕帯や流れ盤の存在等地形・地質的になんらかの特殊構造が原因となっているのが多い。設計する際には崩壊の要因として関係の深い特殊要因をどのように見つけ出して、この各々の原因に対してどのような勾配をあてはめていくかが崩壊を防ぐ意味で重要である。
③ 崩壊に対するのり面の安定性は地形・地質によるばかりでなく、気象条件、特に降雨の影響は地域による差が大きく、一律に勾配を規制するには問題がある。

※土質工学ハンドブック（土質工学会）

（２）盛土のり面勾配

盛土のり面勾配も切土のり面と同様に、開設コストや耐久性に大きく影響するが、盛土のり面の緩・急は路線の選定にとって特に重要な検討課題であり、林業専用道の開設の適否そのものにも関係する。林業専用道における盛土のり勾配は、1 割 2 分を標準としたが、盛土勾配を 1 割 2 分にすることによる効果は、図 39 に示すように、盛土高を一定にした場合の路線位置の検討では、道路のセンターを川手側に移動することによって、切土量と切土のり面を縮小して、より耐久性が高く、林地へのアクセス性の良い道の構築が可能となる。さらに、これまで盛土ができなかった傾斜 35 度の斜面に対して、

盛土工法によって通過することの可能性が生まれ、路線選定における線形の選択肢が増え、これまで以上に地形に追従した線形を求めることができる。

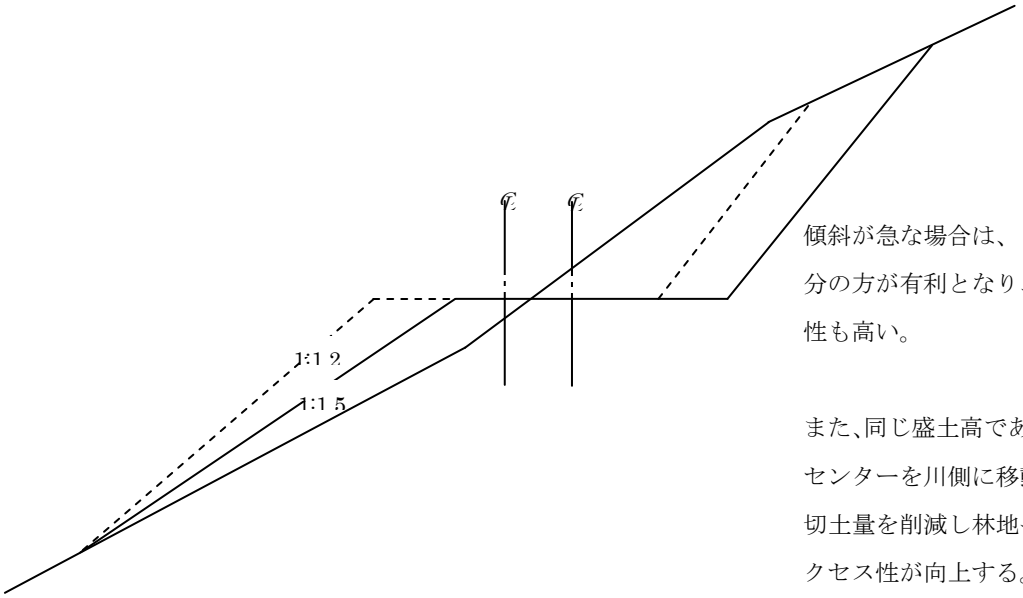


図 39　盛土のり勾配と道路センターの関係図

また、図 40 は、地山に傾斜がある場合の盛土高についての概念図である。盛土を斜面上に施工する場合、盛土勾配を緩い勾配で施工するよりも急な勾配で施工したほうが盛土高を低く抑えることができるし、不安定な薄層盛土の解消もできる。

盛土の高さが、盛土の安定を左右する大きな因子であることに着目すれば、ある限度以上の勾配を有する斜面について、盛土の勾配を急にすることができれば、盛土高を低く抑えられ、ひいては盛土の安定をもたらすことになる。一方、盛土ののり面の勾配が急になれば、急勾配に相当する分の崩壊力が生じ、これは不安定要因になる。したがって、これらの安定要因と不安定要因が零になる斜面勾配を、盛土のり面の勾配別に見出せば、それより急な斜面における盛土はその高さが低下して、より安定側になると考えられる。このことは、林業専用道で示された盛土の標準値１割２分を、盛土高によってはさらに急勾配で施工した方が安定する可能性があることを示しており、これからに向けた検討課題とする。

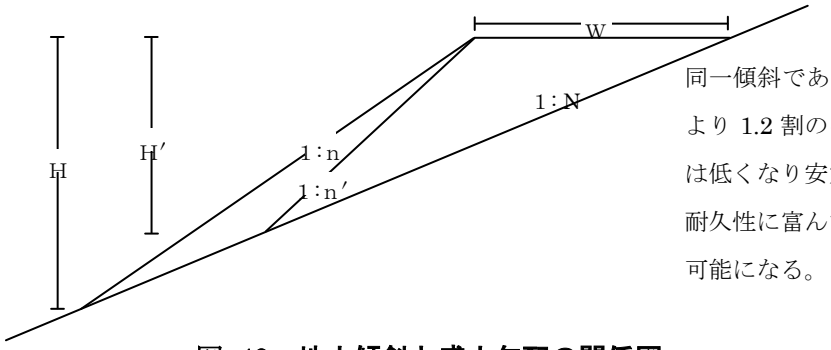


図 40　地山傾斜と盛土勾配の関係図

Ⅲ－3－2－3　排水施設の選定

林道における溝渠類の選定は、開設単価を大きく左右することになるので十分検討して決定することが重要である。溝きょ選定の基本は、対象とする集水区域からの雨水流出量（林道の場合は通常 10 年確率の雨水流出量）を求め、これに所定の安全率を乗じて排水施設の規模を決定している。林業専用道においてもこれに準じて排水施設の規模等を決定することになるが、その安全率について現行の基準では次のように定めている。

① 流量計算する側溝、開きょの場合は、1.2 倍以上
② 流木除け工又は土砂止め工等の施設を設ける場合は、2.0～3.0
③ 流木除け工又は土砂止め工等の施設を設け難い場合又は不当な場合は、3.0 以上

しかしながら、安全率の根拠については、各省庁で考え方や数値の取扱いが異なっていることもあって、林道技術基準においても明確な根拠は示されていない。林道や林業専用道の場合は、木材生産の過程における間伐や枝払いなどによる枝条や流木等を考慮して、高めの安全率が設定されているものと考えられるが、林道開設後の現地をみると、排水施設の多くは、実際の流水量に対して相当に大きな規模で設置されている状況がみられる。

前述のとおり、林道の排水施設は開設単価に大きく影響するばかりでなく、施工の難易性や工期等にも関連するので、現地等を十分精査して設置することが重要である。また、その安全率や流出係数の取り扱いについては、現地実態調査等を実施して今後検討していくことが必要であると考える。

なお、林業専用道の指針では、常水のある河川等の横断にあたっては、「開きょを原則とする」としており、今後、洗越工の設置が多くなるものと考えられるが、これまでの林道設計では、暗きょを主体とした路線選定の手法がとられていたことから、その事例は非常に少ない。したがって、設計・施工等についても確立した手法がない状況にあり、今後、設計手法等を確立しながら標準図等を整備していく必要がある。参考までに

洗越工の写真を掲載する。

写真 9　転石積工による洗越工

暗きょは設置しないで全て表面排水する構造。常水のないところには有効。

写真 10　暗きょ洗越工

最も一般的な形式の洗越工
暗きょにコルゲートを布設し、常水はコルゲートパイプで排水する構造。
表面には車の横滑りを防止するため凹凸が設けられている。

写真 11　開きょ洗越工

常水を開渠（横断工）で排水する形式の洗越工。

写真 12　洗越横断工

洗越工形式の横断工。常水がないところに設置する。盛土ののり面もコンクリートで被覆している。

Ⅲ－3－2－4　その他

以上、林道作設法について、主として林業専用道の観点から、①路線選定、②切土の勾配、③盛土の勾配、④排水施設等について検討してきたが、今年度のなかで最終的な結論を出すには至らなかった。最初に記述したように、森林・林業再生プランが目標としている 10 年後の木材自給率 50%以上を達成するためには、これまで以上に路網の密度を上げていく必要があるが、限られた財源の中でその目標を達成するためには、更なるコスト縮減や耐久性の向上に取り組んでいかなければならない。

その場合に路網の作設手法については、今年度の検討事項の他にも、路体の締固め工法、構造物選定及び残土処理方法など、個別に検討すべき課題が数多く残されており、それらをひとつひとつ解決していくことが、路網作設法の指針となることを踏まえて、残された課題に対しては来年度以降の課題とする。

参考文献

（１）酒井秀夫、作業道－理論と環境保全機能－、（社）全国林業改良普及協会（2004）
（２）大橋慶三郎、岡橋清元、作業道づくり、（社）全国林業改良普及協会（2007）
（３）小林洋司、低コスト作業システムにおける路網整備、機械化林業 NO.664（2009）
（４）南方　康、林道の種類と構造、林業土木施設研究所報 10（1998）
（５）林道規程－運用と解説－、（社）日本林道協会（2008）
（６）林道必携－技術編－（林道技術基準）、（社）日本林道協会（2002）

Ⅲ－3－3　森林作業道作設法

森林作業道の計画及び作設に対する考え方については、各自治体により示されている指針のほか、各種研修テキスト、市販の書籍[1]、[2]等に細かく整理されている。森林作業道は地域の特性に応じて開設されるべきものであり、様々な作設方法について、地形・地質及び作業システムに応じて、森林作業道を使用して森林生産を行うものの考え方により作設されるものである。

したがって、ここでは、様々な指針等の中で一般的に考えられている計画等に対する考え方を整理する。

Ⅲ－3－3－1　計画

①机上における計画

机上における計画時には、次のような資料を用いて路網を作設する地域の地質、地形等を事前に整理し、路網を作設するための情報を整理する。

●地形図(1/25,000)：国土地理院発行によるもの。事業地を含む地域全体の道路配置等社会条件や水系の状態、谷密度、傾斜変換点などの地形条件を俯瞰するのに便利である。

●空中写真:撮影機関により白黒・カラーの違いや縮尺の違いがある。地域によっては、歪みを補正したオルソフォトも販売されている。空中写真からは森林基本図では得ることができない立木の配置と生育状況、崩壊の状況、崖や傾斜変換点等の状況が確認できる。

●表層地質図(都道府県土地分類基本調査)：国土交通省の土地分類調査結果はウエブ上において全国のデータを閲覧できる。表層地質図のほか地形分類図や土壌図も閲覧することができ、それらの説明についても簿冊において確認できる。このため、地域の地質の特徴湯土壌の特徴を確認するのに有益な資料である。

●森林基本図(1/5000)：路線計画位置の検討時に使用する。集材予定地を決定したら、そこに至るまでのルート選定を行う。ルート選定にあたっては、地形の傾斜を考えながら、路線計画を避けるべき箇所(地すべり、断層・破砕帯、崩壊地、崖すい、急斜面、岩盤、転石、大規模な沢、受板・流板)を回避して路線計画をおこなう。路線計画は複数路線について検討し、現地踏査時で回避できることも考えて、ある程度の幅をもって検討しておくとよい。

②路線検討時の注意点

森林作業道の作設者等から示されている、路線計画の検討時における注意点を列挙す

---

[1] 大橋慶三郎/岡橋清元、作業道づくり、㈳全国林業改良普及協会、東京(2007)

[2] 大内正伸、山を育てる道づくり、㈳農文協、東京、(2008)

ると次の通りとなる。

●ヘアピンカーブ

ヘアピンカーブ箇所は切土が大きくなりやすく、作設の面からも技量を要する。高低差を克服して、尾根部に至るためには、どうしてもヘアピンを設ける必要が生じることから、ヘアピンの適地を見つけておくことが必要である。

ヘアピンの適地は次のような箇所がある。

・傾斜が緩やかな尾根部がよい。できるだけ小尾根ではなく、広い尾根がよい。どの程度の傾斜が目安かは、カーブの曲線長と縦断勾配の関係から、上下の道路が干渉しない地形を選定することがよい。

・地形が緩やかな林地では、緩やかな沢地形を利用して盛土によりヘアピンが設けることが容易であるが、集水地形におけるヘアピンの設置は路体の流出の危険性が高いため避けるべきである。

小型自動車が旋回するためには、曲線半径 6.0m は確保する必要がある。地形傾斜と縦断勾配の関係から、2 点間の高低差の目安を示した。図でも示したようにヘアピンカーブにおける横断面は、地山勾配と縦断勾配の関係により変化する。地山勾配が 15°の緩い勾配ならば終点側の切土断面も大きくならないが、地山が急になるほど終点側の切土断面が大きくなることから、起点側の計画高を高くしたり、縦断勾配の急勾配化を検討する必要がある。ただし、ヘアピンカーブ中における急な縦断勾配は車両の安全な走行の面から問題があるため、できるだけ避けるべきである。

表で示したように、地山傾斜が 30 度の場合では、18%の縦断勾配としても 6.93m の地山の比高差が生じるため、起点側の計画高をゼロとした場合では、終点側の切土高は 18%の縦断勾配を採用しても 5.05m と大きな切土断面が生じるため、起点側の計画高をできるだけ上げておく必要がある。

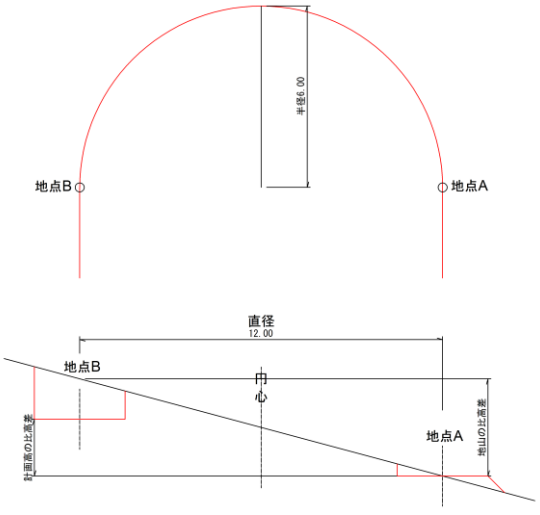


図 41　ヘアピン作設時の高低差

表 24　ヘアピン作設時の切土高

曲線半径 m	地山勾配 度	縦断勾配 %	2点間の距離 m	曲線長 m	2点間の計画高の比高差 m	2点間の地山の比高差 m	地点A 切盛高 m	地点B 切盛高 m
6	15	10	12	18.84	1.88	3.22	0	−1.34
		11			2.07		0	−1.15
		12			2.26		0	−0.96
		13			2.45		0	−0.77
		14			2.64		0	−0.58
		15			2.83		0	−0.39
		16			3.01		0	−0.21
		17			3.20		0	−0.02
		18			3.39		0	0.17
6	20	10	12	18.84	1.88	4.37	0	−2.49
		11			2.07		0	−2.30
		12			2.26		0	−2.11
		13			2.45		0	−1.92
		14			2.64		0	−1.73
		15			2.83		0	−1.54
		16			3.01		0	−1.36
		17			3.20		0	−1.17
		18			3.39		0	−0.98
6	25	10	12	18.84	1.88	5.60	0	−3.72
		11			2.07		0	−3.53
		12			2.26		0	−3.34
		13			2.45		0	−3.15
		14			2.64		0	−2.96
		15			2.83		0	−2.77
		16			3.01		0	−2.59
		17			3.20		0	−2.40
		18			3.39		0	−2.21
6	30	10	12	18.84	1.88	6.93	0	−5.05
		11			2.07		0	−4.86
		12			2.26		0	−4.67
		13			2.45		0	−4.48
		14			2.64		0	−4.29
		15			2.83		0	−4.10
		16			3.01		0	−3.92
		17			3.20		0	−3.73
		18			3.39		0	−3.54

●路線の適地

大橋[3]は自著の中で道路開設をする際に着目すべき点として、「タナ」の見つけ方にあるとしている。タナとは、変動や軟岩の風化等で緩やかな地形が連続している地形のことで、軟岩等が硬く残ったところのため地質的に安定しており、道路開設に適しているといわれている。傾斜変換点のように明瞭(大規模)ではないことから、地形図上での判読は困難であり、現地確認が必要である。傾斜変換線のうち、傾斜が緩～急になる遷急線は崩壊上部であったり、崩壊の危険性が高いとされている。一方、傾斜が急～緩となる遷緩点では、侵食前線や地すべり末端、崖すい堆積物の上端を示すこともある。特に

[3]橋慶三郎/岡橋清元、作業道づくり、㈳全国林業改良普及協会、東京(2007)

遷緩部とタナとの見極めについては、地形全体を見たり、構成する土質が破砕堆積物であったり、礫の混入が不均一である場合はタナではないことから注意を要する。

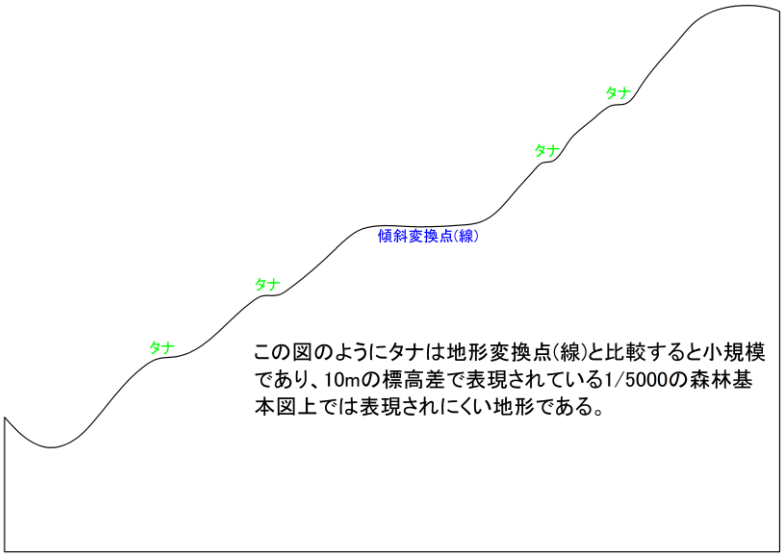


図 42　地形の状況

●縦断勾配

道路の耐久性は路面水の処置をどうするかにより、大きく左右される。路面水の処理はできるだけ短い距離で処理することがよく、1 箇所への路面水の処理は避ける必要がある。

このためには、道路の縦断線形を調整して波型勾配により処理することが必要である。一般には、地質の面から安定している尾根部で排水し、路面水が集中する沢地形部には路面水は集中させないことがよいといわれている。また、常水のある沢については、暗渠による排水は避けて、できるだけ洗越工により渡河することがよいといわれている。

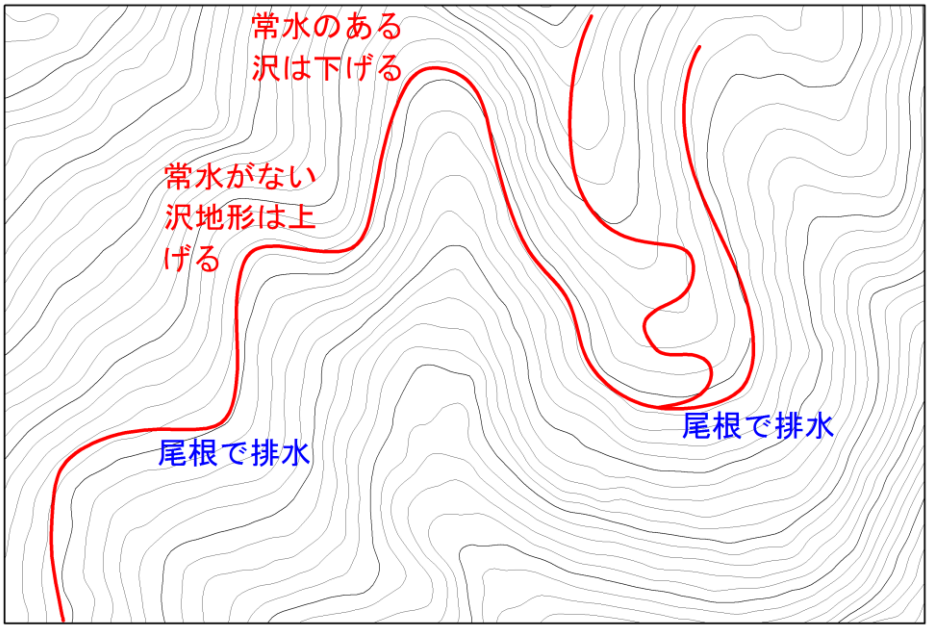


図 43　縦断計画時の注意点

③現地踏査

現地踏査は、実際に路網を作設する林地において、通過する地点、してはならない地点をみきわめるために実施する。現地を踏査することにより、林相、根曲がりの状況、浮石の状況、地質・土質、集材位置、沢部の状況が確認できる。この結果と机上における検討線を現地において確認し、路線位置を決定していく。車両の安全な走行のためには、作設指針以上の縦断勾配は危険であることから、ハンドレベルなども利用しながら通過位置を決定するとよい。

Ⅲ－3－3－2　施工

予定線に従い、道路開設を行う。道路開設を行ううえで留意しなければならない事項は次の通りである。

●不必要な伐開を抑える

不必要な伐開は、林地を荒らすことにつながりかねず、一定幅の以上の余切は発声しないように注意するべきである。大型の機械を使用した場合は、どうしても施工幅が広くなりやすいため、林地の傾斜と作業システムを考えて施工機械を選定するべきである。

●現地の土質に適した切土・盛土勾配とする。

土質を見極める

切土の際にのり面から土石が崩落し、石礫の抜け落ちがとまらない場合には、のり面勾配を緩やかにしたり、切土のり面の下方に丸太組工を敷設し、崩落土を受け止める方

策を採るべきである。

●地形と出水状況にあわせた排水処理計画とする。

水の流れを見極める

多くの森林作業道開設者の方から異口同音に聞かれる言葉は「水」に関することである。水の流れに逆らって土構造物を設けることは、かえって林地を荒らしてしまう。路面水については、短く且つ的確に排水し、流末部が洗掘を受けないように対処するべきである。

●路肩が不足する箇所では構造物を検討する。

森林作業道ではできるだけハードな構造物を設置しないで、丸太組工等の現地発生材を利用した簡易な施設によることが大切である。丸太組工については、作設方法を誤ると、内部の盛土材が流亡してしまい、路体の流出につながる場合があることから、しっかりと締固めを行う必要がある。現地で石礫が入手できる場合は、前面に石礫を敷き並べるなどして土砂の抜け落ちを防いでおくとよい。

丸太組工の設置は、急傾斜地であり盛土だけでは路肩が構築できない場合の土留施設、軟弱な盛土材であり路肩の補強材としての利用があげられる。丸太組工については、各地でいくつかのタイプのものが利用されている。

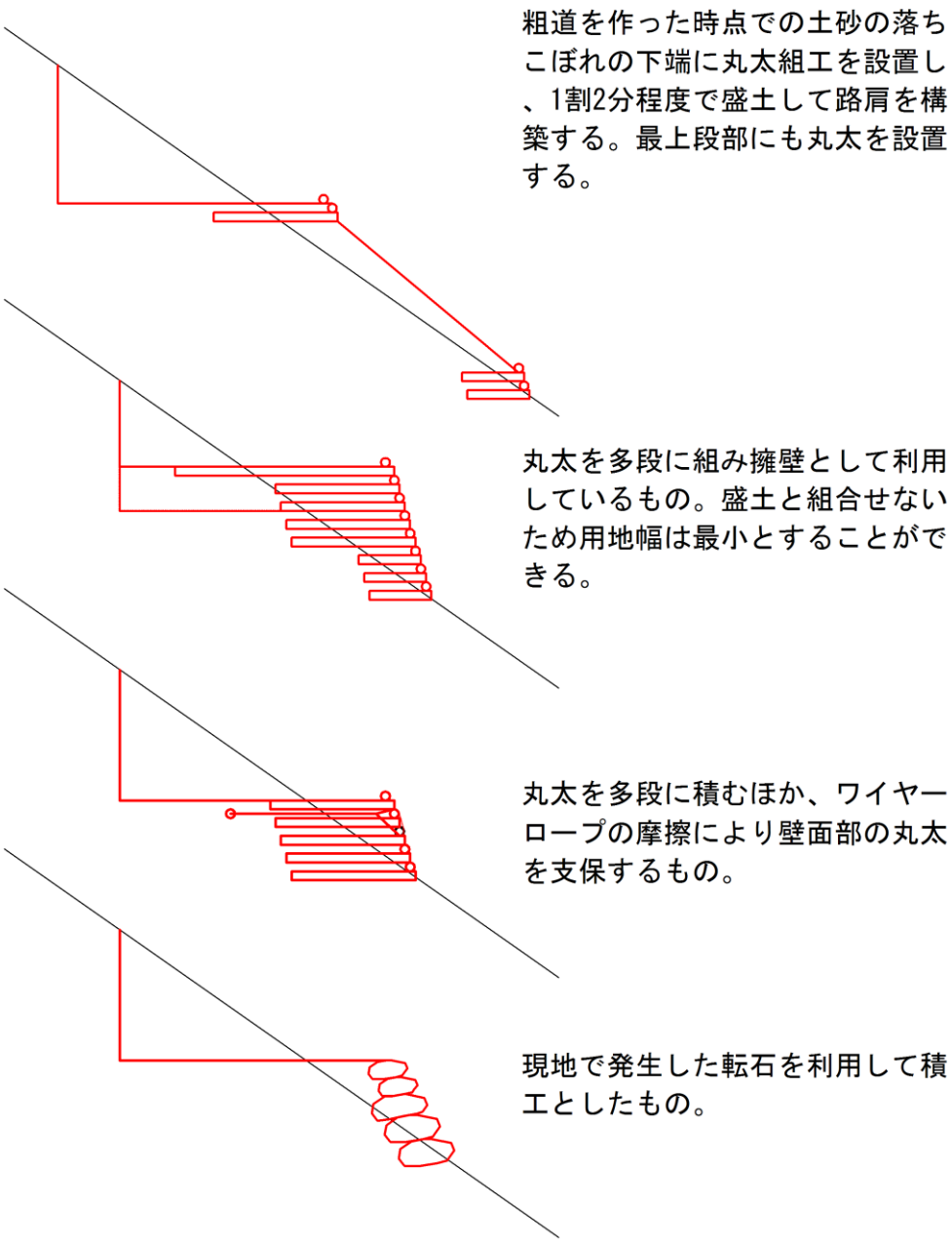


図 44　構造物の例

構造物の安定には土が持つ物性値のうち、内部摩擦角と粘着力が重要である。一般に粘着力か高い土(粘性土やローム)では内部摩擦角は低く、内部摩擦角が高い土(礫質土)では粘着力が低くなる。実際の盛土材では、表層の粘性を帯びた土と下層の礫質土が混ざる場合が多いことから、その中間的な性質の盛土材となる。したがって、盛土材や丸太組工の背面の埋戻し材の土の状況については、常に観察し、どのような性質の土であるか見極めることが重要である。

特に粘着力は土の水分により数値が変化するため、それぞれの土の最適な水分の状態を知っておく必要がある。また、盛土内部に雨水が滞留すると盛土の安定性が損なわれることから、盛土内部に雨水が滞留しないように石礫を利用した水抜きや二次製品となるがドレーンパイプなども利用するとよい。

●切土のり面が不安定な場合は丸太組工を活用する。

切土のり面については、崩落が発生しやすい場合などに限り使用するべきである。崩積土の区間は、のり面からの土砂崩落や石礫の抜け落ちが発生しやすく、不安定なのり面の状態が続くことから、このような箇所では法尻部に丸太組工を設置して、のり面の安定を図ることも必要である。設置に関しては、丸太組工を設置するために過度な切土が発生しないように注意する必要がある。

●急な縦断勾配では路面工を検討する。

土構造を主体とする森林作業道は、路面洗掘の防止や安全な車両の走行の面からは、できるだけ急な縦断勾配を避けるべきである。しかし、急傾斜地の回避やヘアピン箇所などでは縦断勾配の急勾配化が避けられない場合が生じる。このような箇所では、現地で発生した石礫を利用したり、入手できない場合はクラッシャーランを購入するなどして路面の摩擦係数をあげるようにする。車両の通行量が多い場合では、コンクリート路面工を利用している場合もみられる。

礫の敷厚については、5～10cm 程度とし、走行する車両の種別に応じて使用する礫径を決定する必要がある。あまり大きな礫を使用すると不均一な路面の状態となり、石礫が水衝部となって石礫の路面水衝突側の土砂部分が侵食されていくことから、均一に路面をカバーすることに注意する必要がある。

コンクリート路面工の厚さについては、林道の場合では厚さ 15cm を標準とし、路床の支持力から路盤厚を決定し、交通荷重は直接表層で支持して、路盤に分散伝達するものとしている。路面工の耐久性を考えると、表層の下部には砕石若しくはクラッシャーランのように粒径のそろったものを路盤材として使用することにより、交通荷重がしっかりと分散されるため割れや部分的な沈下が発生しない。ただし、森林作業道の作設について、このような厳密な設計を持ち込むことは、道路の性質上なじまないことから、経験的には路面厚 10～15cm は確保するべきである。路床に石礫が混入している場合には、できるだけ均一になるように敷均してから表層を施工するべきである。軟弱な地盤の場合では、直接表層を施工することはせずに、経費は増すが砕石やクラッシャーランを 10～15cm 程度敷均してからコンクリートの表層を施工するとよい。

●現地にあった施工機械を選定する。

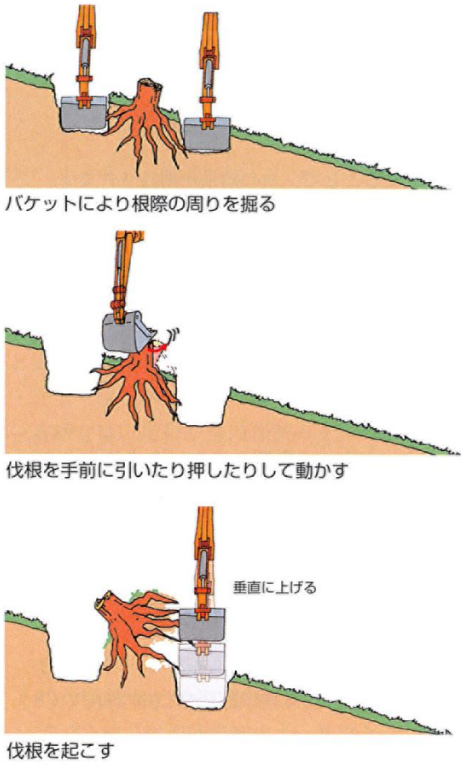
作設する森林作業道は、作業システムから必要な幅員が規定される。林道とは異なり、

全幅員の狭い森林作業道であるから、開設を予定する森林作業道にあわせた施工機械を使用しなければ必要以上に幅員を広げてしまうことになる。幅員と施工機械の関係は、施工機械の 1.2 倍から 1.5 倍程度とされており、この関係を考えた上で施工機械を選定する必要がある。

ただし、路線計画位置の立木が高齢級であると根株が大きいことから、0.25m^3 クラスのバックホウであると作業者の技量によっては引き抜きに手間がかかるため、より大型の 0.45m^3 クラスを伐根のために用意する場合もみられる。

このようなことは、施工経費と時間がかかるため、できるだけ回避しなければならない。伐根については、フォレスト・サーベイによる研修教材[4]中に以下のように説明されている。

①バケットで根際の周りを掘る。（直根が長い場合はバケットを深く差し込んで直根を切る。）②バケットで伐根を手前に引いたり押したりして伐根が傾くまで動かす。③動いたらバケットを水平にして張り根を垂直に引き上げるように起こすと大きな穴をあけずに比較的容易に取れる。伐根が大きい場合は、周りの張り根を丁寧に少しずつ切りながら起こしていかないと取ることができない。



バケットにより根際の周りを掘る
伐根を手前に引いたり押したりして動かす
伐根を起こす

[4] 森林作業道づくり、一般社団法人フォレスト・サーベイ、東京(2011)

Ⅳ．間伐材の経済的利用技術の検討

Ⅳ－1　間伐材の利用方法

昨年，新政権の基で「森林・林業再生プラン」が林野庁により策定され，いよいよ検討委員会の中間とりまとめ，施策の実行と進んでいるところである。これに先立ち林野庁は，平成 18 年度より上記「新生産システム対策推進事業」を実行したところである。本課題は、間伐材の利用に通づるところがあるので、この「新生産システム対策推進事業」について紹介する。

林業不振から森林所有者の施業意欲が低下している中で、森林整備の一層の推進を図るためには、成熟期を迎えた人工林資源を活用し、生産・流通・加工のコストダウンと需要の確保によって林家等の収益向上を実現し、間伐・再造林等の森林施業を促進することが重要である。このため、大規模な人工林資源が賦存する地域において、施業の集約化、低コストで安定的な原木供給、ニーズに応じた最適な流通・加工体制の構築等の取組を集中的に実施することにより地域材の利用拡大を図るとともに、林家等の収益性を向上させる仕組みを構築する。このことにより、一定の条件下で林業が業として成立することを明らかにし、その展示効果により林業の再生を図り、森林の健全性維持、森林整備の推進、地域材の利用拡大を図る。

次の要件を満たすモデル地域（都道府県内に限られない、全国 10 ヵ所程度）において、一般材を含む地域材の安定供給体制を構築するため、施業効率化の体制整備、条件整備、情報提供及び実証調査等の事業を実施した。

・森林面積が 10～20 万 ha 以上、毎年 5～10 万 m^3 以上の木材の安定供給　・中核となる地域。
・林業事業体の存在　・概ね 5 万 m^3／年の処理能力が見込まれる大規模な加工体制
・協定等による所有者（国有林を含む）から林業事業体、加工施設に至る供給体制の構築

ア）木材安定供給圏域システムモデル事業

モデル地域において、林家等から木材加工事業体への木材の供給量・供給時期・価格決定方法等に関する安定供給システムの設計、経営診断、運営、分析評価等を実施

イ）林業経営担い手モデル事業

施業・経営の集約化を図り効率的な林業生産活動を行う取組を支援し、効率的・安定的な林業経営を行うモデルの提示

ウ）森林・所有者情報データベース設置事業

伐採可能な立木資源の情報データベースを整備し、林業事業体による零細な林家等への集約的な施業の働きかけを促進することにより林家等の収益を高めるとともに木材供給量を確保　、施業効率化の体制整備、条件整備、情報提供及び実証調査等の事業を実施。

エ）革新的施業技術等取組支援事業

森林施業、素材生産、流通等の抜本的なコストダウンのための施業技術・事業手法等の普及を図る試行的・実証的取組を公募により支援した。

②　強い林業・木材産業づくり交付金

ア）望ましい林業構造の確立（拡充）

①イ）の事業を実施する林業事業体を路網整備や高性能機械導入等の実施主体に追加

イ）戦略的木材流通・加工体制モデル整備

製材工場の大型化等を推進し、品質・性能の確かな製品を安定的に供給するための木材加工施設の導入等

ウ）森林・所有者情報データベース設置事業

伐採可能な立木資源の情報データベースを整備し、林業事業体による零細な林家等への集約的な施業の働きかけを促進することにより林家等の収益を高めるとともに木材供給量を確保 、施業効率化の体制整備、条件整備、情報提供及び実証調査等の事業を実施。

エ）革新的施業技術等取組支援事業

森林施業、素材生産、流通等の抜本的なコストダウンのための施業技術・事業手法等の普及を図る試行的・実証的取組を公募により支援

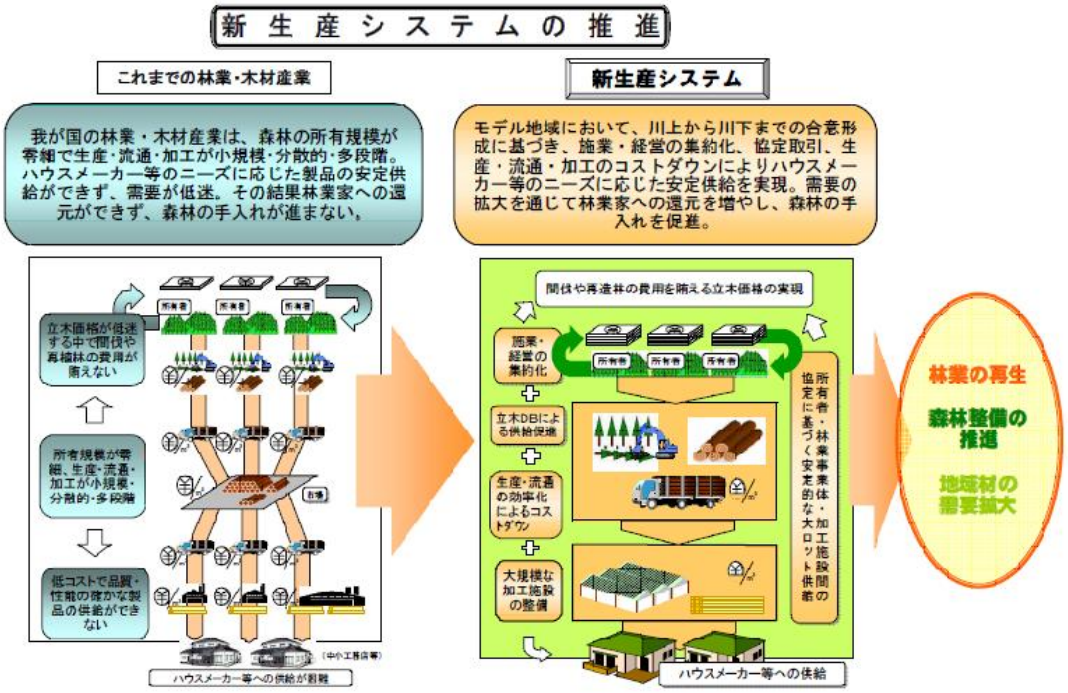


図 45　新生産システムの概要図(林野庁ホームページ)

①秋田モデル地域

参加する加工事業体は 11 事業体。協同組合方式による大型工場の設置も計画されている。また、既存工場の能力を個別に引き上げることにより、原木消費能力と製品販売力の強化に取り組む。原木の安定供給対策としては、全県を対象としたデータベースの作成に力を入れ、素材生産活動を安定して展開するための基盤とする。山元から加工事業体への供給については、川上から川下までの関係者で構成する需給協議会によって品質、価格、納期などに関する合意形成を行い、直送方式による安定供給を図る。

一連の取組を着実に実施して効果を上げるためには、参加事業体の意識改革が重要と考えている。そのため、トータルな経済分析を行って利益見通しを提示することなどを通じ、目指すべきコンセプトの啓蒙を図る。加工事業体素材受け入れ量と目標

・秋田製材協同組合（秋田木材㈱、秋田パネル㈱を中心とした協同組合による施設整備）、東北木材㈱、大館北秋田森林組合、㈱沓澤製材所、畠慶木材（資）、加賀谷木材㈱、本庄由利森林組合、協同組合サンエース秋田、㈱ウッド・ミル、㈱カネサン製材所

・生産目標

背平成１７年　　163,000m³（0m³）

　平成２２年　　246,000m³（172,000m³）

（　）内はそのうちの協定量

写真 13　沓澤製材所の概観

写真 14　剥皮施設（同じく沓澤製材所）

写真 15　木材乾燥装置（沓澤製材所）

②奥久慈八溝

有力国産材製材メーカーである協和木材㈱が素材生産～原木直送～製材加工～製メーカのすべてに直接携わり、山元から製材加工販売まで一貫した地域材の大量供給・加工システムを形成する。その一方で地元及び隣県の森林組合系統において、データベース構築、施業システムや組織体制の改善などを進め、森林所有者に対する調整窓口としての機能を高める。協和木材㈱は独自の資金調達により、平成 18 年 8 月に大型製材工場を竣工。年間スギ原木消費量は平成 22 年度までに 12 万 m^3 に引き上げる。自社山林部門で山元から直接原木を調達するほか、地元原木市場、森林組合、素材生産業者などと直送に関する協定を結び、原木の安定確保に努める。協栄会を含めた各原木供給者は施業の集約化や機械化を進めて素材生産の効率化に取組、森林所有者への利益還元を図

る。

・協和木材㈱

・平成 17 年　107,000m³（0m³）　平成 22 年　153,000m³（112,000m³）

（　）内はそのうちの協定量

③岐阜広域

岐阜県は森林面積が 87 万 ha、針葉樹人工林面積が 31 万 ha と屈指の森林県であり、人工林資源の成熟化も進んでいる。ところが、素材生産量は 30 数万 m³ と 10 年前に比べて半減し、製材加工も零細工場が多い。そこで、山元の生産力を強化して原木の安定供給体制を整備し、それを基盤として加工事業体の製造力強化を進める。山元の生産力強化については、森林組合の経営能力を高めて施業の集約化を促進するとともに、高密路網の整備、高性能林業機械を活用した作業システムの普及を図る。製材加工については、既存工場の能力アップを図るほか、施設整備を行う大型工場の経営に関して有力国産材メーカの経営指導を受け、高品質製品の製造と販路の確保を実現する。

・　飛騨高山森林組合、親和木材工業㈱、桑原木材工業㈱

・　生産目標

・平成 17 年　107,000m³（0m³）　平成 22 年　153,000m³（112,000m³）

④中日本圏域

岐阜、愛知、三重 3 県の全流域が対象。静岡県の天竜地域と長野県の県南地域からも森林組合や素材生産業事業体が参画している。加工事業体は有力ヒノキ製材メーカの㈱西村木材店（三重県松阪市）1 社。三重県では森林組合系統のほか、主要な大規模山林所有者が参画。岐阜県では県森連が原木供給で中核的な役割を演じる。愛知県は東三河地域が主要な供給地となる。いずれの県でも原木市場による従来の木材流通機能を活用しつつ、付売や直送によるヒノキ原木の安定供給に取り組む。㈱西村木材店は最新鋭の製材設備や乾燥施設を供えた新工場を開設（平成 19 年度）。原木消費量を現状（平成 17 年度）の 2 万 7,400m³ から 22 年度には 8 万 m³ に拡大する計画。主にヒノキ人工乾燥柱角・土台角を生産し、ハウスメーカ向けに販売する。ホルツ三河や岐阜県森連とも連携し、供給力を高める。

・㈱西村木材店

・生産目標　平成１７年　27,000m³（0m³）　平成２２年　80,000m³（57,000m³）

（　）内はそのうちの協定量

⑤岡山

国内有数のヒノキ製材メーカである院庄林業㈱が加工事業体の中核。地域の大規模山林所有者や有力素材生産業者から同社および他の加工事業体に原木を安定供給する仕

組みを構築する。院庄林業㈱は現状 6 万 m³／年の原木消費量を 7 万 m³／年に拡大させる。また、新たに設立した岡山高次木材加工協同組合が組合員製材工場で生産された製材品の乾燥および 2 次加工を行い、地域材の高付加価値化を図る。製品の販売については、院庄林業㈱の販売チャンネルを活用し、大手ハウスメーカやホームセンターまで一貫したサプライチェーンを構築する。素材生産に関しては、施業の集約化や路網整備、列状間伐の導入、高性能林業機械の活用などによりコストダウンを図る。

・院庄林業㈱、岡山高次木材加工協同組合、河井林産㈱、㈱鈴鹿製材所、富士パレット㈱、山政木材(有)、江与味製材㈱、(有)太平製材所、(有)山渋木材、竹本木材㈱、インノショウフォレストリー㈱、セイキ林業㈱、㈱すえ木工、大光産業㈱、鳥越工業㈱

・生産目標　平成１７年　108,000m³（0m³）　平成２２年　134,000m³（61,000m³）

（　）内はそのうちの協定

⑥高知中央・東部地域

当地域は人工林面積が 22 万 7,000ha（民有林 18 万 ha、国有林 4 万 7,000ha）に達し、1ha 当たりの蓄積量も 400m³ を超えるなど資源も成熟している。ただし、素材生産の現場では事業量の安定確保が課題であり、年間の生産量も 27 万 m³ にとどまっている。そこで、山元の施業を集約化し、高密路網と機械化をセットにした生産性向上を図りつつ、原木の直送体制の構築、輸送コストの削減などを実現する。それらの取組を進めるための基礎的条件整備として、森林組合の経営能力を高めるための経営指導に力を入れる。

製材加工については、国内有数の集成材メーカである銘建工業㈱（岡山県真庭市）が参画する新たな協同組合による製材工場を核とし、乾燥の行き届いた無垢の板材製品と集成材用ラミナを製造する。また、既存の中小工場の能力アップを図り、競争力を強化する。

・仁淀川森林組合、池川木材工業（有）、土佐材板挽専用製材協同組合（仮称）、嶺北林材協同組合、森昭木材㈱、レイホク木材工業協同組合、山下木材㈱

・生産目標　平成１７年　73,000m³（0m³）　平成２２年 73,000m³（0m³）

（　）内はそのうちの協定量

⑦熊本

国内有数の集成材メーカである銘建工業㈱（岡山県真庭市）と熊本県森林組合連合会が中心となって年間原木消費量 10 万 m³ クラスの大型製材工場を協同組合方式で新設し、地域材を大量に加工する体制を整える。地域の森林資源が成熟していることから、原料の丸太は中目材以上の大径材とし、品質・性能の優れた製材品と集成材用のラミナを製造する。他の加工事業体も乾燥施設やモルダーを導入し、高品質製品を製造する能力を整える。

協同組合の製品は銘建工業㈱の販売ルートを活用して大手ハウスメーカやプレカット工場に販売する。既存工場の製品も本システムに参画している地元のプレカット工場などに安定供給する。丸太は県森連が周辺の原木市場や素材生産業者、森林組合と協力して調達し、安定供給する。山元では高性能林業機械化等により生産力の向上を図る。
・城南製材協業組合、㈱松島木材センター、椎葉森林㈱、(有)清水、(有)藤和林業、阿蘇森林組合（蘇陽、久木野加工所）、球磨村森林組合工場、天草地方森林組合加工工場、協、同組合くまもと製材、小国ウッディ協同組合、(有)坂田製材
・生産目標　平成 17 年　22 万 4 千 m^3　　平成 22 年　38 万 5 千 m^3

⑧大分

大分県内の全流域を対象地域としているが、素材生産、原木流通、製材加工のいずれにおいても中心となるのは日田地域（大分西部流域）である。取組の特徴は、原木市場の集荷能力と選別仕分け機能を積極的に活用することと、独自の乾燥方式による「大分方式乾燥材」をメーン商品として、その製造販売を積極的に展開することである。
日田地域は全国有数の国産材集散地である。地域内には原木市場が 8 市場あり、100 社以上の製材工場がひしめく。製材工場の多くは中小規模で専業化されており、原木市場の集荷・選別・仕分け機能に対する依存度は大きい。新生産システムによる取組でもこうした市場の機能を活用しつつ、合理的・効率的な原木流通システムの構築を目指す。
加工事業体としては 8 工場が参画。年間原木消費量は 1 万 m^3 弱から 3 万 m^3 程度だが、大分方式乾燥材という同一アイテムの生産で共同歩調を取り、市場開拓に取り組む。
・(有)安心院製材所、㈱井上製材所、㈱佐藤製材所、㈱武内製材所、㈱ネクスト、㈱日田十条、㈱ヤマサ、(有)新貝商店
・生産目標　平成１７年　147,000m^3（0m3）平成２２年　208,000m^3（149,000m^3）
（　）内はそのうちの協定量

⑨宮崎

加工事業体は 3 社であるが、林業関係者、森林組合、流通業者については県内関係者のほぼすべてが参画しており、全県を挙げての取組となる。最重要課題は山元の素材生産力強化による原木の安定供給体制の構築で、システム事業体による素材生産量を平成 17 年の 21 万 8,000m^3 から 36 万 m^3 に引き上げることを目指す。このため、施業の集約化や路網整備、リースやレンタル制度も活用した高性能林業機械化などに取り組むほか、原木流通については県森連に原木流通情報センターを設置し、需給情報を一本化して原木を安定供給する新たな流通システムを構築する。製材加工についてはラインの増強・整備、規模拡大などによって効率的な経営を実現し、県外需要者向けの販売ルートを確保する。コンサルタントの鹿児島大学が中心となり、適切な全体調整のもとに取組を進める。

・山佐木材㈱、㈱南薩木材加工センター、㈱ワイテッ
・生産目標　平成 17 年　23 万 400m³(0m³)　　平成 22 年　34 万 4800m³（24 万 1500m³)

⑩四国地域（徳島東南部、中予山岳、嶺北仁淀・東予、四国中東部）

徳島、愛媛、高知の 3 県にまたがる広範な地域をひとつのモデル地域としているが、実際にはその中で 4 つの小地域の取組が展開することになる。当面はそれぞれの地域が個別に新生産システムによる事業を進め、将来的にはその成果を共有することによって、一層の発展を図ることになっている。各地域の特徴は次の通り。

⑩-1 徳島東南部

徳島東南部地域は、素材生産について小型スイングヤーダ、小型プロセッサ、フォワーダの高性能林業機械 3 点セットを駆使した作業システムを確立し、生産効率を高める。また、生産拠点での山元土場整備や小規模原木市場の機能見直しによって、輸送ロットの拡大や製材工場への直販を図り、流通コストの削減に資する。加工面では、プレカット工場向けの供給を促進することを視野に柱角と土台角の生産基盤を強化し、人工乾燥施設の導入も推進する。加工事業体素材受入量と目標

・西野商店、徳島製材所、中千木材、㈱佐々木木材店、(有)三枝林業、㈱アルボレックス、岡久製材所、㈱ウッディアイハタ、(有)長尾製材、中本林業㈱、徳島県プレカッ西野商店、徳島製材所、中千木材、（株）佐々木木材店、（有）三枝林業、（株）アルボレックス、岡久製材所、（株）ウッディアイハタ、（有）長尾製材、中本林業（株）徳島プレカット協会会員プレカット工場
・生産目標　平成 17 年　56,000m³（0m³）　　平成 22 年　89,000m³（63,000m³）
（　）内はそのうちの協定量

写真 16　集材作業〔徳島県〕

⑩-2 中予山岳

中予山岳地域は、久万広域森林組合の大型製材工場を中核的な加工拠点とし、同工場の経営改善を図ることによって地域材の利用促進を図る。山元の素材生産については、森林組合が取りまとめを行い、立木を売買するシステムを構築して森林所有者の利益の確保を図る。また、作業は主に民間の素材生産業者が担うことになるので、その能力アップを図る。

・久万広域森林組合父野川事業所、久万広域森林組合久万事業所、上浮穴木材製材協同組合

・生産目標　　平成 17 年　45,000m³（2,000m³）平成 22 年　　95,000m³（54,000m³）

（　）内はそのうちの協定量

⑩-3 嶺北仁淀・東予

嶺北仁淀･東予地域は、取組のコンセプトはサプライチェーンの機能統合による圧縮、総原価の低減、技術革新の 3 点。第 3 セクター（株）ソニアの製材工場を中核事業者として位置づけ、その経営体質を強化することによって産地としての競争力を高め、地域材利用を促進する。素材生産は団地化、高性能林業機械化、列状間伐、作業員の技能向上などにより、効率化を図る。販路確保として、単位面積当たりの木材使用量を高めた木造住宅商品を開発して高付加価値化等を図る。

・久万広域森林組合父野川事業所、久万広域森林組合　久万事業所、上浮穴木材製材協同組合

・生産目標　平成１７年　10,000m³（5,000m³）平成２２年　48,000m³（35,000m³）

（　）内はそのうちの協定量

写真 17　運材作業（久万広域森林組合）

写真 18　製材所（久万森林組合）

⑩-4 四国中東部

四国中東部は、住友林業フォレストグループを安定した需要の受け皿とし、原木の大量安定供給システムの築を最重要視した取組を進める。山元では小規模所有者を森林組合の働きかけによって集約化し、所有者の伐採意欲を高めるため立木代金の一部を前渡しする仕組みの検討も進め、原木流通では中間土場の設置による輸送効率の向上、原木市場の機能見直しなどに取り組む。

・住友林業クレスト㈱小松島事業所、住友林業クレスト　㈱新居浜事業所、㈱瓜守材木店、(有)中成木材工業、富士木材工業協同組合、三王ハウジング㈱、河野興産㈱集成　材事業部

・生産目標　平成１７年　39,000m³（0m³）　平成２２年　120,000m³（107,000m³）
（　）内はそのうちの協定量

⑪おわりに

平成 18 年度から 5 カ年計画で進められている林野庁の「新生産システム」によるとりくみは，平成 22 年度で 5 年目最終年度となります。この間，全国 11 カ所のモデル地域では，それぞれの地域事情をふまえつつ，素材生産力強化，原木安定供給体制の構築，加工事業体の生産力強化・製品の高品質化に取り組んできました．具体的には，山元では林地集約化の推進や路網整備，高性能林業機械化を駆使した生産システムの構築，加工事業体への直送を効率的に行うための仕分け機能の強化などが進められ，加工事業体では製材施設整備による生産力増強，低コスト化，人工乾燥施設導入による乾燥剤供給強化などが図られてきました．それらの取組により，各モデル地域では地域材原木・製品の供給力が確実に高まってきております．

ここ数年の林業・木材産業をめぐる情勢を見ますと、１８年度には外在の供給不安から合板や集成材を中心とする木製品の価格が高騰し、市況は活発に推移したものの、19

年度には建築確認審査厳格化の影響で住宅産業が停滞し、市況が一気に悪化、２０年度後半から米国サブプライムローンの破綻から世界的な景気低迷の影響で、住宅着工件数が減少し、木材価格も低迷、21 年度も不況が継続し、木材需要は大幅に減少し、地域材の利用活用拡大を図るという観点からは、必ずしも芳しくない状況が続いています。こう行った中で「森林・林業再生プラン」が政府によって発表され、今後の目標、国産材の自給率を５０％に拡大する政策が強力に進められることになり、本「新生産システム対策推進事業」の成果が活用されることが期待されます。

国産材に対する期待感は確実に高まっており、最近は大手ハウスメーカや建材メーカの中でも、国産材を採用するところが多くなってきている。林業木材業界としては、そうした情勢の変化に対応することが期待されます。本事業で取り上げられた各モデル地域が国産材のシェアー拡大の駆動力になることを期待するものです。

参考文献

１） 林野庁ホームページ
２） 日本林業士会ホームページ
３） 日本林業技士会；新生産システム対策推進事業パンフレット「新生産システムモデル地域の主な取組」その１～３、平成 20～22 年

Ⅳ－2　バイオマス利用上の問題点

木質バイオマスは、低質なもので価格が低いうえに嵩張るので取り扱いを効率的に行う必要がある。

①サプライチェーン

効率的に取り扱うために、発生から処理、運搬の各工程を正確に効率化する必要がある。低質材の収集作業は、車両系機械作業では、短材作業の場合には林内から収集してくる必要があり、その作業の効率を左右する。架線系機械作業では、造材残材は道路作業エリアの脇に集積するので有利である。

②林地残材の集積

車両系機械作業では、短材作業では大容量のバイオマス・フォワーダが有用である。クラムバンク・スキッダ車両による全木作業では、造材スポットを中間として、作業道網と運搬するトラック道網との連携した配置が重要である。

道路脇に林地残材を集積する際には、一般の目に触れて廃棄物が投機してあるように受け止められないことが必要である。林業専用道は一般車の侵入を制限するので、低質材の集積、乾燥のスペースとして機能することができることは有用である。

道路脇に集積する造材残材は、現地でモービルチッパーで粉砕するか、バンドルにされて処理施設へ運搬される。チップ化された後は時間をおかずに、燃焼や原料利用などへ供するのが得策で、貯留性能は低い。貯留が必要な際には、バンドラ化が有効である。

③現地チップ化

モービルチッパーを現地に搬入し、トラック・トレーラの箱コンテナへ低質材を粉砕した木質チップを吹き入れる。コンテナ箱がアームリフト機能を有して交換装着ができるものは、運搬トラックの効率が向上する。面積 3ha、立木幹材積 300m3/ha の林分で、間伐率 30%の事業地では、造材歩留まり 60%として、枝条を含めて素材と等量の 160m3、80ｔ-dry ほどの木質バイオマスが発生する。この粉砕処理は時間処理能力最大 60ｔの小型モービルチッパーで対応可能で、1 日作業として、ｔ当り 300 円程度が当該処理費に加算される。

④バンドラ

貯留工程が発生する場合には、造材林地残材を圧縮成形しバンドル化することが有用である。トラック運搬も効率的であり、放置しても劣化が少ない。1 日 6 時間に最大 100 バンドル、50ｔ-wet(25t-dry)が可能で、この処理によって、3 日作業としてｔ当り 2000 円が加算される。この減容処理によってトラック運送経費は 1/3 になる。

Ⅳ－3　間伐材の流通上の問題

間伐を進め、森林・林業を活性化させるためには第一に、素材生産費を低コスト化し、輸送費を削減、そして川下としての間伐材の需要を促進させることである。林野庁の進める森林・林業再生プランにおいて、10 年後に自給率を 50%、5000 万㎥素材生産をあげることにしている。これを実現させるためにはさらに需要促進、間伐材の流通についての取り組みが重要である。

最近の木材の利用状況は、構造材の利用状況の変化から　無垢材としての a 材から合板材料である b 材、c 材へと移ってきている。これは間伐材の需要にとっては好ましいことである。大手の合板業界も不足がちな外材から安い国産材へとシフトしつつある。国産材の供給を目的として合板工場が各地にできつつある。さらに木材の利用を促進させるためにはパルプの原料としてのチップ材の需要も期待しなければならない。先に挙げたバイマス利用についても林地に残された間伐材の残材の利用も考えられる。これらの開発はいずれにしても低コスト化と大量生産としての安定した原料としての木材の安定供給体制をつくらなければならない。

こういった課題に対する林野庁の新生産システムで検討されている。私達の課題に関係することとしては、広い流域内の大量輸送手段としての大型のトラック輸送などによっての輸送のコスト削減があろう。

また、現在の市場を介在したシステムではなく森林と工場との直送システムを作って行かなくてはならない。これらの課題については木材生産団地化と同様に別な角度で検討して行かなくてはならない。私たちの課題に関係することしてはトレーラー輸送としての道の問題として、林道、作業道の構造についても検討して行かなくてはならないであろう。

ここでは課題についての提案のみとして、今後の検討項目としてあげたが、流通一般の問題としては、そのほか解決されなければならない問題がたくさんある。今回については問題提起のみにしたい。

お　わ　り　に

本報告書は　「森林・保全管理研究会（路網整備部会）」の活動の成果について取りまとめたものである。本路網整備部会は、森林整備技術および路網整備技術について扱うことである。

間伐方法については、各種の方法が提案されているが，特に急傾斜地における搬出システムに重点をおいて従来型の架線系高性能林業機械を検討し、特に今までに我が国になかった従来型の倍のパワーを持つ「新世代タワーヤーダ」の応用に重点を置いて検討した。

路網については，林野庁における路網検討委員会によって「林業専用道」の提案があった．従って路網を構成する林道，林業専用道，森林作業道についての技術的確立を必要とする．特に，林業専用道と森林作業道について，規格構造，路体構造，測量設計法，作設基準を示し，森林施業技術体系を構築した。

また、最終目的の作業マニュアルを作成する準備段階としてより現場に分かる形で、下記の４章に分けて取りまとめた。Ⅳ章については、幾分時間の関係で不充分であり、今後に課題を残す。

Ⅰ章．森林施業技術

森林施業技術については、間伐、皆伐といった分野で、森林の形に影響するばかりではなく特に、林業経営分野に関係するので重要である。間伐搬出と関係する高性能林業機械による搬出法については、急傾斜林地を中心に検討した。急傾斜地における搬出法としては、今までと異なったパワーは従来型の２倍、スパンは 500～800m、といった従来型では考えられない「新世代タワーヤーダ」についてその仕様から適用、効率等について論じた。

Ⅱ章．林道と森林作業道について

林野庁は、検討委員会の検討結果から林道の範疇に属し、なおかつ林道より作設単価の安い「林業専用道」を実施することとした。この「林業専用道」の路体構造、設計指針はどうあるべきかについて論じた。また森林作業道についても「四万十式」、「大橋式」あるいは「簡易で長持ちする改良型」を含め、路体構造、設計指針はどうあるべきかといった検討した。

Ⅲ章．作業システム構築マニュアル

間伐に新世代タワーヤーダを用いた作業システムを提案したが，路網の計画段階から林道，林業専用道，森林作業道までの作設法の手順も述べた．特に急傾斜林地での森林施業すなわち採算の合う林業を行う場合の路網計画から搬出計画さらには具体的な架線、スイングヤーダあるいはタワーヤーダを架設する場合の注意点などについて述べた。

Ⅳ章．間伐材の経済的利用技術

森林・林業の再生を目指す場合には，木材の需要の面が順当でなければならない．木材の需要についても近年変化が見られる．たとえば，檜の良質材について価格の下落が見られたり，無垢材からラミナーといった集成材の需要が多くなってきている．間伐材についても低質材としての需要がなければならない．林野庁補助で行われた「新生産システム」事業について紹介した。さらには温暖化防止として、喚起しなければならない木材のバイオマス利用についても幾分ふれた。

終わりに、研究担当の委員の方々には，お忙しいところ執筆いただいたことに感謝申し上げる。

平成 23 年１２月

森林・保全管理研究会

平成 23 年 11 月 17 日　発行

編集・発行　森林保全・管理技術研究会
（事務局）一般社団法人　森林技術コンサルタンツ協議会
〒102-0085
東京都千代田区六番町 7 番地　日林協会館 4 階
TEL　03-6737-1236

印刷