

林業技術革新プロジェクトのうち森林作業システム高度化推進事業  
(架線作業システム高度技能者育成)

# 高度架線技能者 技術マニュアル 2016 (タワーヤーダ編)



林野庁

# はじめに

---

利用期を迎えている森林資源の循環的な利用を図り、森林の公益的機能の高度発揮と持続的な林業経営を進めていくためには、現地の状況に適した林業機械や作業システムを効率的に運用できる技能者の育成を図ることが重要となっており、とりわけ急傾斜地等においては、架線系林業機械の作業効率を向上させる高度な技能を有する現場技能者（高度架線技能者）の育成が課題となっています。

高度架線技能者とは、実際に現場作業を指揮等しなければならない林業架線作業主任者であるとともに、各種作業システムの知識を有し、林況や路網の開設状況等の現地の状況に応じた最も生産性の高い架線系作業システムの選択と設計や架線架設・撤収作業の実施・指導、生産性の高い集材作業の実施、軽微な機械の故障については、現場修理を行う能力を有する者としてします。また、今後の生産性向上の必要性を勘案すれば、現場実践技術のノウハウ・コツの習得・向上のみならず、マネジメント感覚を身に付けさせることも必要と考えています。

このため、林野庁では、平成 26 年度に高度架線技能者の育成を図るための育成プログラム及び技術マニュアルを作成し、それらを活用した研修事業を実施しています。その内容は、エンドレスタイラー方式による架線集材作業技術を中心としたものとなっていますが、今年度は、新たに、日本に導入が進められつつあるタワーヤーダ方式についての育成プログラム及び技術マニュアルを作成することとしました。

本書は、タワーヤーダ方式による高度架線技能者を目指す林業架線作業主任者を対象として作成したものです。

タワーヤーダ方式による架線集材作業については、機械そのものの技術開発・改良の余地がまだまだあり、また、架線集材の実施に当たっても、創意工夫をしながら、現地の状況に応じた架線集材作業に係る技術・技能を磨いていくことが必要となります。

本書の内容は、そのような観点からまだ十分なものとは言えませんが、基本的な事項の理解に少しでも参考にしていただければと考えています。

平成 29 年 3 月

# 目次

---

はじめに .....	1
第1章 タワーヤーダ導入の現状.....	8
1・1 高性能林業機械導入の考え方 .....	8
1・2 作業システムの検討.....	9
1・3 タワーヤーダの保有状況等 .....	11
1・4 タワーヤーダの最近の動向 .....	12
1・5 オーストリアにおけるタワーヤーダの利用状況.....	13
第2章 タワーヤーダの構造と索張り方式.....	16
2・1 タワーヤーダの性能.....	16
2・2 タワーヤーダの構造.....	17
(1) 動力伝達装置.....	17
(2) エンジン出力と牽引力・牽引速度 .....	18
(3) ドラムとワイヤロープ巻き込み容量.....	19
(4) タワー .....	20
(5) 移動方法.....	22
(6) 設置方法.....	24
(7) 安全装置.....	25
2・3 主要な索張り方式 .....	26
(1) 主索型の索張り方式.....	26
(2) 非主索型（動索型）の索張り方式 .....	31
2・4 主に使用される器材.....	33
(1) ワイヤロープ.....	33
(2) 繊維ロープ .....	35
(3) 繊維スリング.....	36
(4) スリング等 .....	41
(5) 中間サポート.....	42
(6) 滑落防止柵 .....	42
第3章 生産性の向上に向けた取り組み .....	44
3・1 施業地の集約化.....	44
3・2 適正な架線配置.....	45
(1) 集材方向.....	45
(2) 集材距離.....	46
(3) 架線間隔.....	46
(4) 架線高 .....	47

3-3 主作業の効率化.....	48
(1) 伐倒と集材の連携.....	48
(2) 集材と造材の連携.....	49
(3) 造材と運材の連携.....	50
3-4 副作業の効率化.....	52
(1) 作業班による計画作成.....	52
(2) 架設・撤収の省力化.....	52
3-5 非生産時間の短縮.....	53
(1) 歩道や作業道等の整備.....	53
(2) 必要資器材の点検.....	53
(3) 人材の養成・育成.....	53
(4) 機械のメンテナンスや架線装置の点検.....	54
第4章 作業計画・架線計画.....	56
4-1 作業計画の必要性と手順.....	56
(1) 作業計画の必要性.....	56
(2) 労働基準監督署への届出.....	57
(3) 作業計画の作成手順.....	58
4-2 資料収集.....	59
(1) 作業計画作成に必要な資料.....	59
(2) 作業計画作成におけるソフトウェア.....	61
(3) 作業計画作成にかかる主な測定機器.....	62
4-3 対象地の現況把握.....	63
4-4 作業システムの選定.....	64
(1) 路網とタワーヤーダの組み合わせ.....	65
(2) 効率的な機械の組み合わせ.....	67
(3) 索張り方式の選定.....	68
4-5 配置計画.....	69
(1) 索張り本数の推定.....	69
(2) 配置パターンの選定.....	69
4-6 架線計画.....	73
(1) 架線計画の留意点.....	73
(2) 架線計画の手順.....	76
(3) 作業場所の選定.....	76
(4) 先柱・アンカーの選定.....	81
(5) 引戻索用支柱の選定.....	85
(6) 中間サポートの選定.....	87

4-7 集材架線設計計算 .....	89
(1) 設計計算の必要性 .....	89
(2) 設計計算の手順 .....	91
(3) 機械集材装置での設計計算 .....	92
(4) 簡易架線集材装置での設計計算 .....	102
(5) 計算方法 .....	103
第5章 タワーヤードによる架線作業 .....	104
5-1 架線作業の手順 .....	104
5-2 準備作業 .....	105
(1) 歩道の作設 .....	105
(2) 支障木の伐開 .....	105
(3) 器材等の点検・準備 .....	106
(4) タワーヤードの搬入 .....	106
5-3 タワーヤードの設置 .....	107
(1) 据え付け .....	107
(2) タワーの起立 .....	108
(3) ガイラインの設置 .....	109
5-4 主索の引き回し・固定 .....	112
(1) リードロープの引き回し .....	112
(2) 主索アンカーの作設 .....	113
(3) 主索の引き回し・固定 .....	114
5-5 支柱の作設 .....	115
(1) 先柱の作設 .....	115
(2) 中間サポートの作設 .....	128
5-6 主索の張り上げ .....	131
(1) 搬器の組み付け .....	131
(2) 主索の張り上げ .....	131
(3) 点検と試運転 .....	132
5-7 伐倒作業 .....	133
(1) 伐倒の方向 .....	133
(2) 伐倒の順序 .....	134
5-8 集材作業 .....	134
(1) 作業開始前の点検 .....	134
(2) 荷掛け作業 .....	135
(3) 半自動運転 .....	135
(4) 集材木の制御 .....	136

(5) 残存木の保護.....	137
(6) 荷下ろし作業.....	138
5-9 撤収作業.....	139
(1) 搬器の取り外し.....	140
(2) 主索や作業索の撤収.....	140
(3) 支柱や主索アンカーの解体.....	141
(4) タワーヤーダの撤収.....	141
第6章 機械・架線装置の点検.....	142
6-1 タワーヤーダの点検.....	142
(1) 日常点検.....	143
(2) 月例自主検査.....	144
(3) 年次自主検査.....	144
6-2 集材装置の点検.....	145
(1) 架設後の点検.....	145
(2) 日常点検.....	145
(3) 随時点検.....	146
6-3 運転者の危険防止のための措置.....	146
(1) 前照灯の設置.....	146
(2) ヘッドガードの設置.....	146
(3) 防護柵の設置.....	147
6-4 故障と対策.....	148
第7章 安全作業.....	150
7-1 災害発生状況.....	150
(1) 産業別死傷年千人率.....	150
(2) 林業における死亡者数.....	150
(3) 作業種別死亡災害発生状況.....	151
7-2 安全管理の基本.....	152
(1) 関係機関への届出等.....	152
(2) 表示及び標識の設置.....	153
(3) 最大使用荷重の遵守.....	153
(4) 架線作業地の調査.....	154
(5) 作業計画の作成・周知.....	154
(6) 林業架線作業主任者・作業指揮者の選任.....	157
(7) 制限速度の設定.....	158
(8) 転落等の防止.....	158
(9) 立入禁止区域.....	159

(10) 運転位置から離れる場合の措置 .....	159
(11) 機械移送時の措置 .....	160
(12) 適格なワイヤロープの使用 .....	160
(13) 緊急連絡体制の周知 .....	161
(14) 架線集材作業全般の注意事項 .....	162
(15) 特別教育等の受講 .....	165
(16) ヒヤリ・ハット事例 .....	166
7-3 労働安全衛生管理の推進 .....	169
(1) 指差し呼称 .....	169
(2) 危険予知 (KY) 活動 .....	170
(3) リスクアセスメント .....	170
参考資料 .....	172
参考資料1 架線作業に関する用語と用途 .....	172
参考資料2 安衛則における用語の定義 .....	174
参考資料3 基礎力学と三角関数 .....	176
(1) 力の用語と単位 .....	176
(2) 力学の基礎 .....	177
(3) 三角関数の基礎 .....	178
参考資料4 林業架線作業に必要な力学と三角関数 .....	178
(1) 台付けロープにかかる力の推定 .....	179
(2) スリングにかかる力の推定 .....	180
(3) 支柱やガイラインにかかる力の推定 .....	182
(4) モーメント .....	185
(5) 滑車 .....	185
参考資料5 立木重量の推定 .....	186
(1) 材積と体積 .....	186
(2) 比重と密度 .....	186
主な引用文献・参考資料 .....	187

## 第1章 タワーヤーダ導入の現状

### 1-1 高性能林業機械導入の考え方

**Point!**

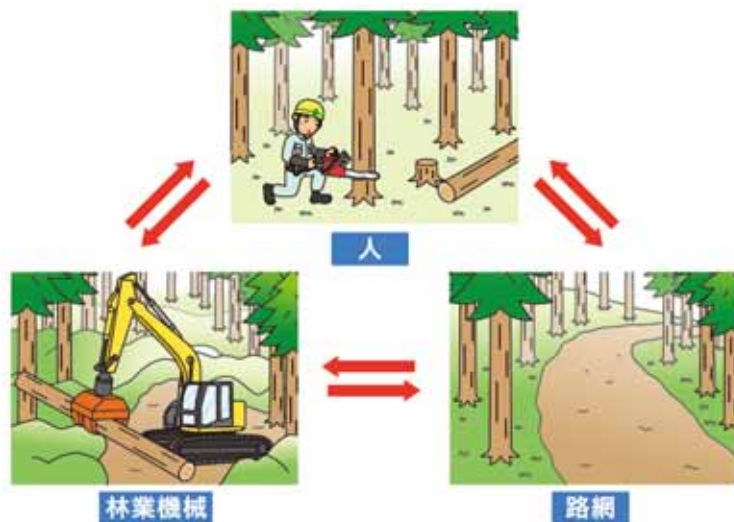
「何を改良すれば使えるか」というような、前向きな視点を持って導入を検討

新しい高性能林業機械が開発・導入されることにより、飛躍的に生産性と安全性が向上するといわれています。現在、架線系作業システムにおいては、特に集材工程の安全性と生産性の向上が求められており、集材機やタワーヤーダ等の開発・改良が進められています。このような、新しい高性能林業機械を自らの林業経営に導入することが困難であるという見方よりも、「どこで使えるか」、「何を改良すれば使えるか」というような、前向きな視点を持って検討することが重要です。

**Point!**

高性能林業機械の導入だけでなく路網整備や技能者の育成をバランスよく実施

森林施業を実施するに当たり、人・路網・林業機械の適切な繋がりをもつことが必要です。効率的な架線系作業システムを導入するためには、高性能林業機械を効率的に利用するための路網整備と林業架線技術等を有する技能者の育成を、バランス良く実施しなければいけません。



このうち、人については、

架設・集材・撤収といった架線作業を安全で効率的に行える技術はもちろんですが、なぜこの機械を使用するのか、なぜこの立木を支柱として利用するのかといった、具体的な架線計画や作業手順等を、的確かつ理論的に説明できる知識が求められます。

このような、安全な架線作業を実施する技術と知識を有した技能者であれば、路網整備を含めた作業システムの問題点を把握し、効率化するための前向きな選択肢を考えることが可能になり、その上で、地域に応じた作業システムに必要な高性能林業機械を導入することが可能になると考えます。



## 1-2 作業システムの検討

**Point!**

路網整備の状況や施業方法、集材距離等により、適する集材機械が異なる

日本の森林は、地形が急峻であるだけでなく、多くの破砕帯が分布しているなど、複雑な地形・地質を有し、路網の開設が困難な場所が多くあります。

このような場所では、様々な集材機械を用いた架線系作業システムが必要で、集材作業には、集材機やタワーヤーダ、スイングヤーダ等の集材機械を用いることになります。

それらの集材機械は、構造や規格、対応可能な索張り方式などが異なります。したがって、機種によって異なる大きさや性能を把握し、路網整備の状況や施業方法等を考慮して、自分の地域に適した作業システムや高性能林業機械を選定することが重要です。



路網の状況	集材距離の目安	集材方式	使用機械
林道・林業専用道	架線による長距離集材	主索を用いた架線集材	集材機
林道・林業専用道	600m未滿の架線集材	機動性の高い架線集材	大・中型タワーヤーダ
森林作業道	300m未滿の架線集材	機動性の高い架線集材	中・小型タワーヤーダ
森林作業道	100m未滿の架線集材	主索を用いない簡易架線集材	スイングヤーダ
森林作業道	車両系による短距離集材	ウインチとグラブによる集材	車両系

**Point!**

タワーヤーダを用いた作業システムは稼働率の向上が不可欠

タワーヤーダは、架設・撤収が容易であることから、移動しながら張り替えを繰り返す機動性の高い架線集材が可能であり、皆伐だけでなく、間伐や択伐での利用も可能です。特に、大型・中型タワーヤーダは、牽引力や牽引速度が高いことなどから生産性の向上が期待できるほか、皆伐や択伐等で大径木の集材が求められる地域でも使用が可能となります。

しかし、高価な機械を組み合わせた作業システムとなることから、採算性を確保するためには、事業量を確保し、全体の生産量を増加し、稼働率を向上させることが不可欠です。

### タワーヤーダの区分

#### 【大型タワーヤーダ】

林道や林業専用道との組み合わせが必要な大型トラックに搭載された機種  
「コンラッド Yarder4000JAPAN」「コラー K500」等



#### 【中型タワーヤーダ】

主として林道や林業専用道との組み合わせが必要な機種  
「マイヤーメルンホフ Wanderfalke」「コンラッド KMS 12U」「コラー K602H」  
「イワフジ工業 TY-U5C」等



#### 【小型タワーヤーダ】

林道や林業専用道以外に森林作業道との組み合わせが可能な機種  
「イワフジ工業 TY-U3B」「コラー K303H」「IHI NR301」等

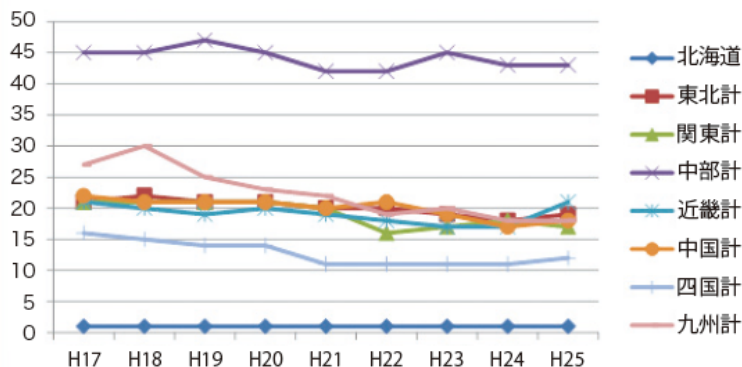


### 1-3 タワーヤーダの保有状況等

集材機械の保有台数について、集材機は大型・小型合わせて約 8,500 台（平成 25 年度）で、近年は減少しつつあります。スイングヤーダは、約 850 台（平成 25 年度）で、増加しています。

タワーヤーダについては、近年は 150 台前後で推移しており、地域別に見てみると、特に中部圏での保有台数が多いことが分かります。

地域別タワーヤーダ保有台数



タワーヤーダは、初めて導入が図られた 1990 年代には、森林資源が未成熟な状態であったこと、搬入に必要な路網が未整備であったこと、牽引力が小さく搬器の走行速度が遅いため、高い生産性が確保できなかったこと、中間サポートやガイラインの張り方といった利用技術の普及が不十分であったこと等から、あまり普及・定着せず保有台数の増加が見られなかったと考えられます。

【集材機械の保有台数の推移】

(単位：台)

区分	平成21年度 (2009年)	平成22年度 (2010年)	平成23年度 (2011年)	平成24年度 (2012年)	平成25年度 (2013年)	比率 (%)
集材機	9633	9318	9078	8815	8331	86.5
タワーヤーダ	155	148	149	143	149	96.1
スイングヤーダ	655	708	752	810	851	129.9

※1 国有林野事業で所有する集材機械を除く

※2 比率は平成 21 年度を 100 とした場合の平成 25 年度の数値

また、現在保有されているタワーヤーダのほとんどは、1990 年代に、主に従来の集材機に変わるものとして導入されたものの、稼働率は 17%（平成 25 年度）と、他の高性能林業機械と比較して低位に留まっています。

【林業機械の稼働率の推移】

(単位：%)

区分	平成20年度 (2008年)	平成21年度 (2009年)	平成22年度 (2010年)	平成23年度 (2011年)	平成24年度 (2012年)	平成25年度 (2013年)
ハーベスタ	57	57	56	54	56	58
プロセッサ	58	55	56	56	56	57
フォワーダ	49	47	50	49	52	49
スイングヤーダ	59	55	55	54	55	56
タワーヤーダ	20	15	16	18	16	17

※稼働率は（当該機械の年間稼働日数/当該事業体が機種を保有した日数から週休、雨天等休業日数を差し引いた日数）×100 で算出した

### 1-4 タワーヤードの最近の動向

タワーヤードは、伐採した立木を道沿いまで集めるための架線集材機械で、トラックなどをベースマシンとし、人工支柱や集材用のドラムとワイヤロープ等を装備していることなどから、架設・撤収が容易です。

日本の森林のように、降雨が多く、急傾斜地が多い厳しい条件下では、高密な路網整備を実施できる森林が限られています。今後は、こうした急傾斜地において不足している路網を補完する意味から、タワーヤードの導入・利用が期待されています。



大型タワーヤードでの集材作業



中型タワーヤードでの集材作業

タワーヤードについては、スイングヤードと同様に高性能林業機械の一つとして、平成元年頃からその普及が図られています。近年では、素材生産の生産性の向上、低コスト化を実現し、収益構造を改善するため、現地の作業条件に適合するよう様々な機種の開発・改良・導入が進められており、3胴式エンドレスタイラー方式のような広範囲の横取りが可能なタワーヤードや油圧ショベルのアタッチメントとして装着可能なタワーヤード等の開発、欧州製タワーヤードの日本仕様への改良等が進められています。



横取り可能なタワーヤード



油圧ショベルに装着するタワーヤード

### 1-5 オーストリアにおけるタワーヤーダの利用状況

日本とオーストリアは、急峻な地形、零細な所有、育成林業の歴史、補助金等で林業の方向性を誘導している点で類似しています。ただし、我が国が急傾斜でシワの多い地形であるのに対して、オーストリアは急傾斜であるものの、比較的起伏の変化が乏しい地形となっています。加えて、林地が細長い帯状に区画整理されており、環境への配慮から、原則として大規模皆伐が禁止されるとともに、車両の林内走行による土壌圧縮を極力回避することが求められています。したがって、中腹に路網を整備して、タワーヤーダによる列状を基本とした間伐や択伐を行う架線集材が発達してきました。

オーストリアの路網密度は1900年代半ばの時点で約89m/haとなっており、そのうち、タワーヤーダが走行可能な林道等は45m/haとなっています。また、急峻な地形が多く、タワーヤーダの利用率が高いシュタイヤーマルク州では、55m/ha程度となっています。

整備されている林道の規格は、想定する走行車両に応じて異なりますが、多くは重量30tを超えるコンビマシンでの集材・造材作業や走行を想定した構造となっています。なお、林道の整備に当たっては、林道の延長や勾配、排水方法などを記した計画書を提出して、州政府の許可を得ることが必要となっており、適正なルートや技術的な要素については、行政が確認や修正を加えることで、その意向を反映できる仕組みになっています。

#### オーストリアの林道

- 勾配：12%以下とし、例外的には15%まで
- 幅員：4m以上とし、機械の走行や作業ポイントの確保を考慮すると5mが好ましい
- 耐荷重：392kN（40tf）で、最大でも431kN（44tf）まで
- 曲線半径：【大型トラック】最大20mで、積載量が15m<sup>3</sup>程度であれば10m  
【牽引型トラック】14~15mで、長い場合は24m以上必要なこともある
- 排水：良好な排水（水はけ）施設を確保することが重要



集材作業でタワーヤードが使用される割合は、オーストリア全体で約 21%、特に急峻な地形が多いシュタイヤーマルク州では約 60%となっています。基本的には、タワーヤードは、傾斜約 60%以上（約 30° 以上）の場所で用いられますが、地形等に応じて傾斜約 45%以上（約 25° 以上）の場所でも利用されています。

作業システムは、一般的に、チェーンソーで伐倒し、高性能搬器を用いた簡易な索張り方式により、上げ荷集材を行う方法が用いられています。平均架線長は民有林で 225m程度、国有林では 330m程度で、労働生産性は 5~15 m<sup>3</sup>/時、コストは皆伐で 20~30 ユーロ/m<sup>3</sup>、間伐で 30~50 ユーロ/m<sup>3</sup>、稼働時間は年間 1,200~1,300 時間/台程度となっています。

### タワーヤード以外の架線系集材システム

伐採方法は、チェーンソーかハーベスタで、集材方法は、タワーヤードやフォワードのほかにトラクタやヘリコプタ等が用いられている。また最近では、搭載したケーブルウインチで移動を補助する、急傾斜地に対応したハーベスタとフォワードの組み合わせが普及し始めている。

農業との兼業の林家が多く、農業機械であるトラクタやトラック等に、動力取り出し（PTO）により駆動する、ドラム等のアタッチメントを追加した機械を利用している。

また、タワーヤードで対応できない長距離集材が必要な場合は、単胴油圧式集材機と高性能搬器を用いた索張り方式による集材も行われている。



単胴油圧式集材機



トラクタに装着されたタワーヤード

