

第2章 タワーヤーダの構造と索張り方式

2-1 タワーヤーダの性能

Point!

効率的な集材作業を行うために、十分な牽引力と搬器の走行速度を有する

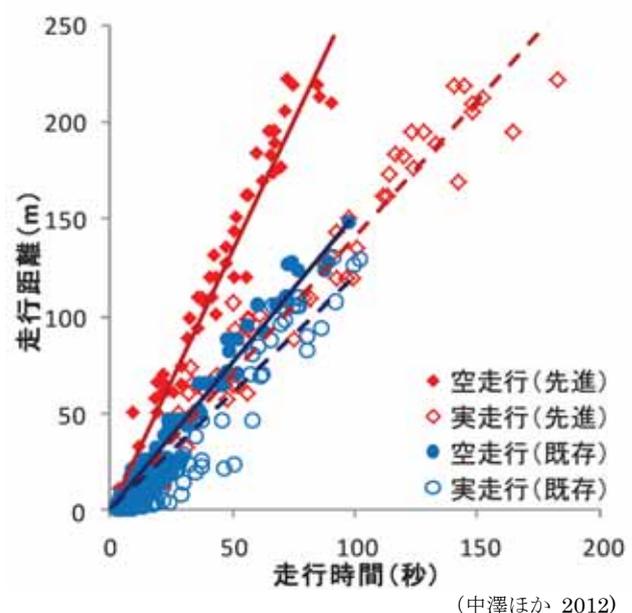
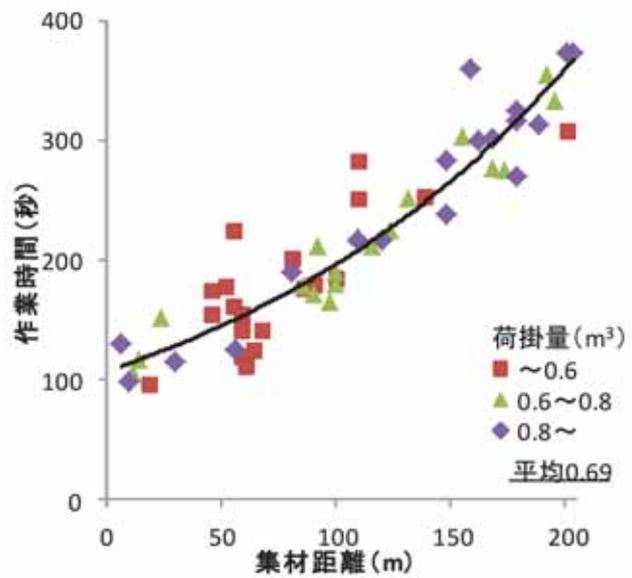
タワーヤーダは、機種によりエンジン出力のほか、牽引力や牽引速度、移動方法などの構造や性能が異なりますが、近年導入されているタワーヤーダの多くは、搬器の走行速度が速く、効率的な集材作業が可能な性能を有しています。

また、中間サポートを用いることにより集材距離を延長できるほか、高性能搬器と組み合わせることにより、少人数で効率的な集材作業を可能としています。

実際に導入された欧州製の中型タワーヤーダ（牽引型）による、中間サポートを用いた支間水平距離約 200mでの集材作業においては、集材距離が長いほど、作業時間がかかります。しかし、荷掛量と作業時間には相関関係は見られません。最大 1 m³程度の木材を集材しても作業時間の増加が見られないことがわかります。

搬器の走行速度については、既存のタワーヤーダと比較すると、空荷の走行で約 2.0 倍、材を積載した実走行で約 1.2 倍の速度となっています。集材作業全体で 1.5 倍程度高い能率となり、中間サポートを使用した、比較的長い距離の集材でも、高速で効率の良い作業が可能であることが明らかになっています。

これらのことから、近年導入されているタワーヤーダは、効率的に集材作業を行うために、十分な牽引力と搬器の走行速度を有していることがわかります。



2-2 タワーヤーダの構造

(1) 動力伝達装置

Point!

遠隔操作機構とインターロック機構により、効率的な作業が可能

動力伝達装置とは、エンジンの動力をドラムに伝達する一連の装置の組み合わせのことで、機械式と油圧式があり、タワーヤーダは油圧式となります。

油圧式は、エンジンにより油圧ポンプを駆動し、発生した油圧を電子制御により調整し、油圧モーター等を作動させ、その動力をドラムに伝える方式です。

このため、無線操作による遠隔操作機構やインターロック機構を備えている機種が多く、機械操作が容易です。

ア 遠隔操作機構

タワーヤーダに搭載されている遠隔操作機構により、先山の荷掛け者と土場の造材作業者が、搬器の操作権を切り替えながら集材作業を行うことができます。荷掛け者が集材木の動きを確認しながら搬器の操作を行うので、安全な作業が可能となります。

また、土場の荷下ろし場所や先山の荷掛け場所及び中間サポートの位置などを設定することにより、搬器を自動走行・停止させるとともに、中間サポートの通過時に減速させることができる半自動運転が可能となります。さらに、操作方法は機種により異なりますが、いずれも数少ないボタン操作により作業できるため、経験の浅い新規参加者でも機械操作が容易です。なお、地形の影響等により、電波が届かない場合は、アンテナの延長や中継装置の導入を検討する必要があります。



延長されたアンテナ



無線操作用リモコン

イ インターロック機構

複数の作業索ドラムの間で、索の張力を保ったまま、ワイヤロープの巻き込まれる量と引き出される速度を同調させる機構であり、簡単な操作で、作業索の緊張度合を変えずに搬器走行を行うことができます。

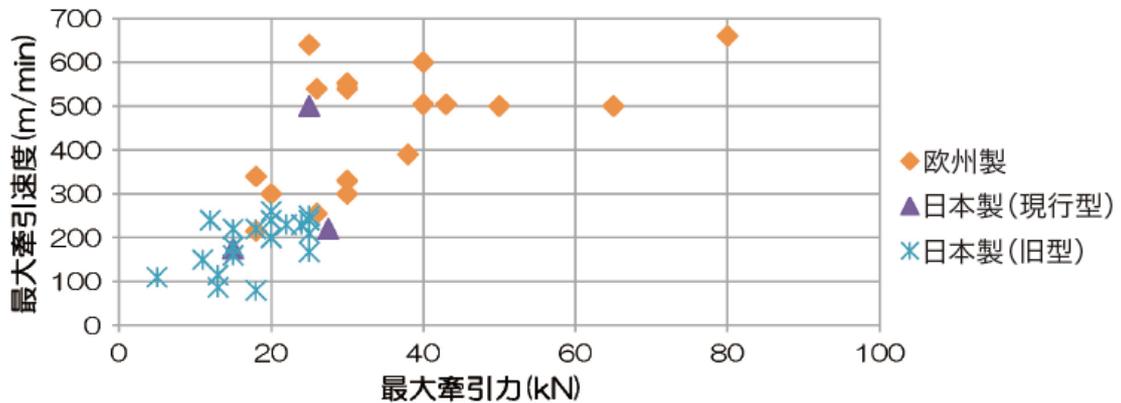
また、非主索型の索張り方式で地曳き集材を行う際に、作業索を緊張させ、材の一部を浮かせて集材するためのバックテンション（集材方向とは反対方向の張力）を調整することもできます。

(2) エンジン出力と牽引力・牽引速度

Point!

大型になるほどエンジン出力が高くなり、牽引力や牽引速度も高くなる

エンジン出力と動力伝達装置の機械効率によって、牽引力及び牽引速度が決まります。一般的に、大型になるほど牽引力や牽引速度が高くなります。近年導入が進められている欧州製や日本製（現行型）のタワーヤードは、効率的な集材作業が可能な牽引力や牽引速度を有している機種がほとんどです。特に、大型タワーヤードは、最大牽引力も高く、高性能な機種となりますが、その分、中間サポートを含め、先柱やアンカーに高い強度が求められます。



(3) ドラムとワイヤロープ巻き込み容量

Point!

ドラムの個数と巻き込み容量により、索張り方式と集材距離が異なる

タワーヤードは、主索及び作業索やガイライン用のドラムを搭載しています。また、機種により作業索のドラム数が異なるので、採用できる索張り方式が限定されます。

主索やガイライン用のドラムは、索を張り上げる必要があることから、索の巻き取り部は、フランジで2つに分けた構造のスプリットドラムとなっています。索を緩く巻き取る部分と、締め巻きをする部分に分けることにより、張り上げ作業によるワイヤロープの食い込みを防止するほか、ウインチの牽引力を最大限発揮することができます。

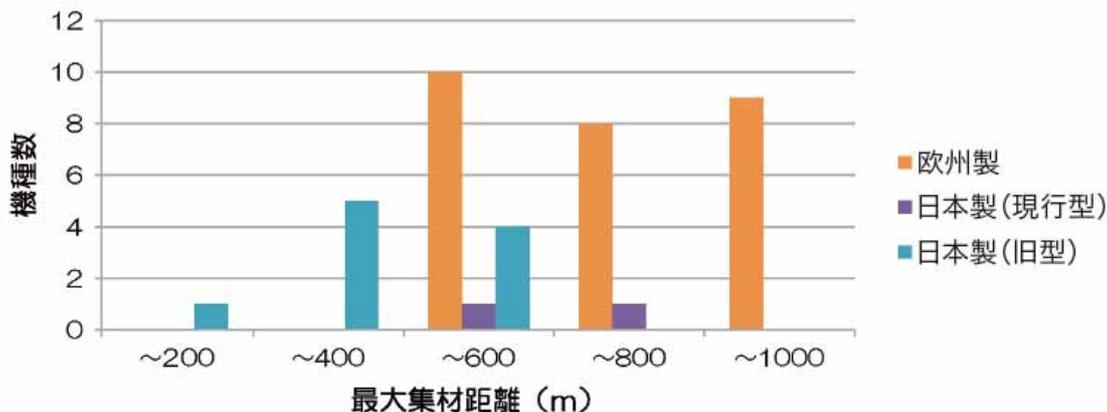


主索用のドラム



作業索用のドラム

機種により、ドラムのサイズやワイヤロープの巻き込み容量が異なることから、対応できる集材距離が異なります。一般的に、大型になるほど巻き込み容量が多くなり、最大集材距離が長くなります。主索を有する機種における、主索の巻き込み容量から想定される最大集材距離については、欧州製や日本製（現行型）の機種では、400m以上の長距離の集材が可能です。



(4) タワー

タワーは元柱の役割だけではなく、主索や作業索、ガイライン等をそれぞれのドラムに誘導する向柱の役割を併せ持っているほか、滑車や起伏装置等が備えられています。また、タワーは移動時に収納し、集材時は起立するため、機種により、折り畳んだり伸縮したりするものがあります。



起立した状態のタワー



折り畳み式のタワーを収納

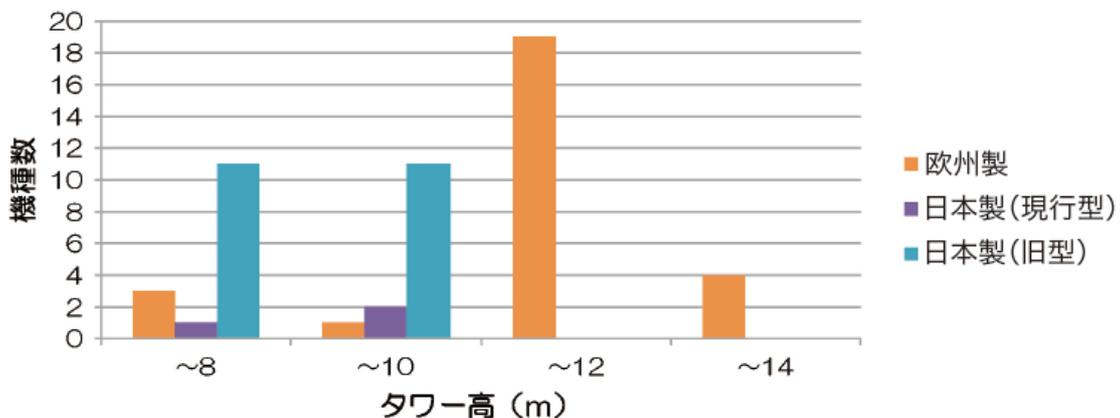
ア タワー高

Point!

タワー高が高いほど集材作業が効率的であるが、収納時の機体は大きくなる

タワー高が高いほど架線高を確保できるため、地形の影響を受けにくくなり、効率的な集材作業が可能となります。機種別のタワー高を比較すると、一般的に、欧州製は日本製よりも高く、10m以上のタワー高を有している機種が多いことがわかります。

タワー高は機体の大きさに関係があり、タワーが高くなるほど、収納時の機体が大きくなります。移動時の車長や車高に問題が無いか注意が必要です。



イ 架設方向

Point!

機種により、タワーと先柱を正対させる方法が異なる

架設作業を行うためには、タワーと先柱を正対させる必要があります。

先柱に正対させるために、タワーとドラム装置をターンテーブルに載せて、車体の方向に係わらず架線方向に正対できるようにしたものと、タワーの先端の滑車のみが動いて、架線方向に合わせるものがあります。また、水平に設置するため、タワーの傾きを調整するチルト機能を有している機種もあります。

機種により、架設可能な方向が異なり、車体方向に対して架線方向が限定される場合があるため注意が必要です。



ターンテーブル上のタワーとドラム装置

(5) 移動方法

Point!

移動方法の違いにより、不整地での走破性や公道走行の可否が異なる

タワーヤーダは、トラック搭載型、クローラ搭載型、牽引型があり、設置場所までの移動方法が違うことから、不整地や軟弱地での走破性や公道走行の可否などが異なります。よって、路網の整備状況等により、設置場所までの移動の可否を確認することが必要です。

ア トラック搭載型

Point!

離れた現場への移動は容易であるが、林業専用道のような堅固な構造の路網が必要

トラック搭載型のタワーヤーダは、公道を自走することが可能であり、離れた現場への移動が容易です。機械質量が20tを超える大型機種の場合は、現場への移動に当たって、集落の狭い道、橋梁、踏切、トンネルといった、通行上支障となりそうな箇所を確認を、十分に行う必要があります。

林内路網については、林業専用道のような、堅固な構造の路網が必要となります。



トラック搭載型を搬入するための路網

イ クローラ搭載型

Point!

フォワーダと同様に、森林作業道の走行が可能

クローラ搭載型のタワーヤーダは、国産の小型や中型の機種で多く見られますが、公道での自走はできないのでトレーラー等での運搬が必要となります。

林内路網については、多少の不整地でも、フォワーダと同様に走行が可能なおことから、森林作業道の走行も可能ですが、機種によって、機械幅や機械質量等が異なるので、幅員や路体構造に留意する必要があります。

ウ 牽引型

Point!

牽引車両の走行の可否を、路網の整備状況等により確認

牽引型のタワーヤーダは、欧州製の小型や中型の機種で多く見られ、自走できないため、牽引するための機械が必要となります。また、公道において、牽引走行ができない場合は、トレーラー等での運搬が必要となります。

林内路網については、牽引する車両により、走行が可能な勾配や幅員等が異なるため、路網の整備状況等により、走行の可否を確認する必要があります。また、多くの場合に、牽引する車両とタワーヤーダの牽引接合部分が合致するように改良する必要があるほか、走行中には、横断排水等の凹凸部で牽引接合部分等が路面に接触しないか注意が必要です。また、下り勾配での牽引走行が多い場合等では、必要に応じて、タワーヤーダ側にもブレーキを装着することを検討します。なお、牽引するための車両の選定については、トラクタやホイールローダ、フォワーダなどの様々な機種が利用できます。



牽引に使われるホイールローダ



装着されたエアブレーキ用コンプレッサ

(6) 設置方法

Point!

リガー装置とガイラインでタワーヤードを固定

ア リガー装置

車体を固定するためのリガー装置には、アウトリガーとセンターリガーの2種類があり、機種により、リガー装置の種類や位置が異なります。



アウトリガーとセンターリガーによる固定



センターリガーによる固定

イ ガイライン

日本で導入されているタワーヤードのガイラインは、4本が主流となっています。ガイライン用のドラムは、主索用のドラムと同様に、スプリットドラムとなっており、油圧により巻き取るため、引き締めが容易に行えます。



ガイライン用ドラム

(7) 安全装置

Point!

計器やモニター等により運転状況の確認が可能なほか、様々な安全装置を搭載

タワーヤードの運転は、本体の制御盤やリモコンを用いて行い、圧力計でドラムの張力を確認しながら作業を行うことができるほか、安全装置を搭載していることから、主索を張り上げ過ぎることがありません。

架設や集材作業中の張力を確認する方法は、機種によって異なりますが、一般的には、タワーヤードに搭載されている、圧力計や張力早見表で行います。

また、エンジンの回転数や水温などの基本情報のほか、搬器の走行速度や走行距離、操作権の状況等が表示されるモニターにより、運転状況を容易に確認できます。



タワーヤード本体に設置された制御盤



各ドラムの圧力計

また、油圧機器が多く組み込まれ、電気的な制御方式により遠隔操作されるタワーヤードには、様々な安全装置が搭載されています。

架設や集材作業で過大な張力を検出した場合等に、警報を鳴らす、ワイヤロープを巻き出す、自動停止させるなどの機能があります。また、機械本体側と荷掛け側の無線送信機のどちらが操作権利を持っているか認識できるように、ホーンなどで知らせることができます。

2-3 主要な索張り方式

Point!

タワーヤードや搬器の構造等により、採用できる索張り方式が異なる

タワーヤードは、簡易な構造の索張り方式により、架設・撤収を繰り返しながら集材を行います。また、索張り方式は、使用する搬器の機能や構造、タワーヤードに搭載されているドラムの数等により異なります。

(1) 主索型の索張り方式

ア 欧州製高性能搬器

欧州では、主索を用いて高性能搬器と組み合わせる索張り方式が一般的であり、近年、日本にも欧州製タワーヤードと高性能搬器のセットで導入されています。高性能搬器は、「自走式搬器」、「巻上索内蔵型搬器」、「自動繫留搬器」に区分され、主索だけ、もしくは主索と引寄索だけで集材可能となるなど、簡易な索張りが可能です。

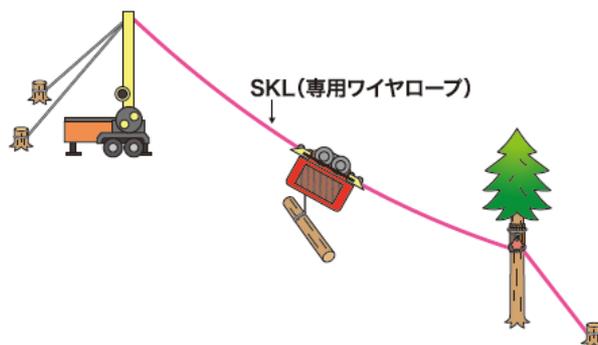
(ア) 自走式搬器

エンジンと巻上索用のドラムを内蔵しており、搬器上部の駆動輪が専用ワイヤロープを巻き込みながら走行するため、主索1本だけで架設できる構造です。

全地形に対応できますが、他の索張り方式と比較して、搬器の走行に作業索を用いないという利点が大きく、また、搬器の自重が重い傾向にあることから、その自重を活かした下げ荷集材や平坦地での集材に適しています。

近年日本に導入された機種の最大巻上能力は3t程度あり、効率的な集材が可能です。しかし、自重が1t以上と重いことから設計荷重が大きくなるため、それに対応できる堅固な構造で牽引力の高い主索ウインチを有するタワーヤードとの組み合わせが求められます。また、索張力が大きく、主索アンカーや先柱にも大きな負担がかかることから、強固な支柱や主索アンカーが必要になります。

なお、垂下量が大きくなることから、特に凸型地や緩傾斜地では、架線高が低くなり、集材作業に支障が生じるおそれがあります。





自走式搬器



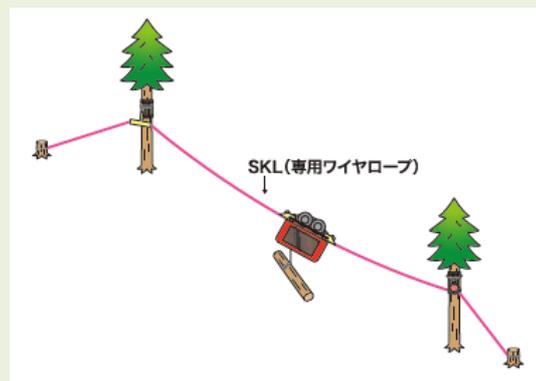
自走式搬器を用いた集材作業

集材機との組み合わせ

自走式搬器は、集材機等のウインチとヒールブロックを用いて主索を張り上げることにより、架設を行うことが可能である。

また、元柱等の支柱に、サドルブロックではなく、中間支持金具を用いた中間サポートを作設することで、主索を固定しているアンカー付近まで搬器を走行させることができるため、自走式搬器への給油作業の省力化が可能となる。

なお、主索用ウインチや人工支柱と組み合わせて使用することで、タワーヤードが設置できない場所での架線集材の効率化を図ることができる。



主索用ウインチ



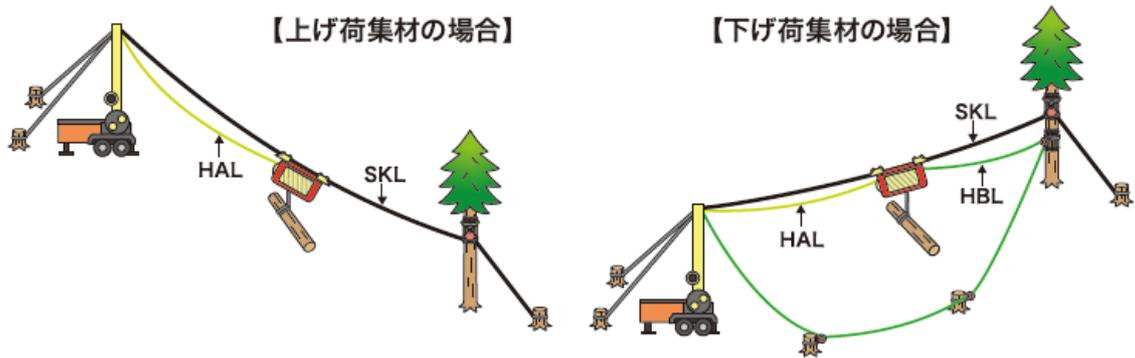
人工支柱との組み合わせ

(イ) 巻上索内蔵型搬器

エンジンと巻上索用のドラムを内蔵しており、搬器の走行はタワーヤードに搭載された作業索で行います。

全地形に対応できますが、特に、引寄索だけで作業可能な上げ荷集材に適しています。なお、下げ荷集材では、引戻索が必要となるので、架設作業に手間がかかります。

近年日本に導入された機種の最大巻上能力は4t程度あり、効率的な集材が可能です。しかし、搬器の自重が1t弱と重いため、自走式搬器の場合と同様に、堅固な構造で牽引力の高い主索ウインチを有するタワーヤードや強度の高い支柱の選定が必要となります。



巻上索内蔵型搬器

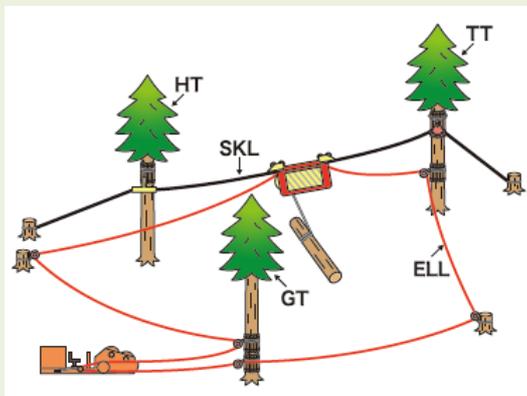


巻上索内蔵型搬器を用いた集材作業

集材機との組み合わせ

巻上索内蔵型搬器を、エンドレス索で走行させることにより、集材作業が可能である。

集材機によるダブルエンドレス方式と比較して、少ない作業索で架設することができ、架設・撤収作業が効率的になるほか、荷掛け者自身で、巻上索の操作ができるため、安全な作業が可能である。支柱に中間支持金具を用いることで、給油作業の省力化もできる。

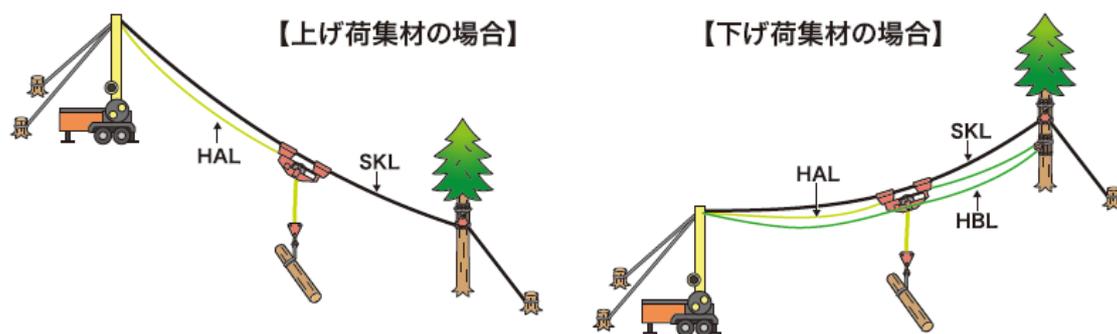


(ウ) 自動繫留搬器

繫留装置（クランプ）により、搬器を主索に固定して集材を行うもので、搬器の走行と荷の巻き上げを、タワーヤードに搭載された作業索により行います。搬器の位置がタワーヤードから遠くなると、荷上索の自重により、横取りの際に、荷掛けフックを移動させることが難しくなるため、蓄積油圧式や機械油圧式による強制降下機構を搭載しています。

集材方向は、全地形に対応できますが、巻上索内蔵型搬器と同様に、引寄索だけで作業可能な上げ荷集材に適しており、下げ荷集材では、引戻索が必要となるので、架設作業に手間がかかります。なお、一般的に、下げ荷集材における引戻索は、横取り範囲の外側に張り巡らせますが、主索下を張り巡らせる方法が可能な機種もあり、その場合は架設が比較的容易です。

近年日本に導入された機種は、最大巻上能力が3t程度ありますが、自重が400kg～700kg程度と、高性能搬器の中では比較的軽量となっています。なお、巻上索の降下のため、繫留装置（クランプ）を切り替えて主索への固定と解除を行うことから、搬器の走行と巻上索の操作を同時に行うことができません。



自動繫留搬器（蓄積油圧式）

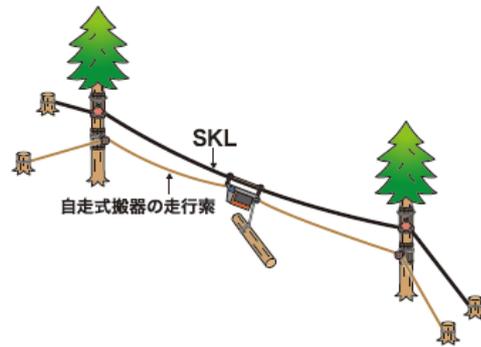


自動繫留搬器（機械油圧式）

イ 日本製自走式搬器

高性能搬器のうち、自走式搬器については、日本でも製造されており、現在新型のものが開発されています。

エンジンと巻上索用のドラム以外に、走行索用のエンドレスドラムを搭載し、走行索を巻き込みながら自走します。タワーヤード等と組み合わせ、搬器を支える主索と走行索による簡単な索張り方式で使用されています。



小型で自重が 500kg 程度と軽量であることから、内蔵された走行索用のエンドレスドラムを用いて、主索等を引き回し、手動ドラム等で張り上げることができます。このほかに、集材機のように設置して使用することもできる等、様々な作業に用いることができます。

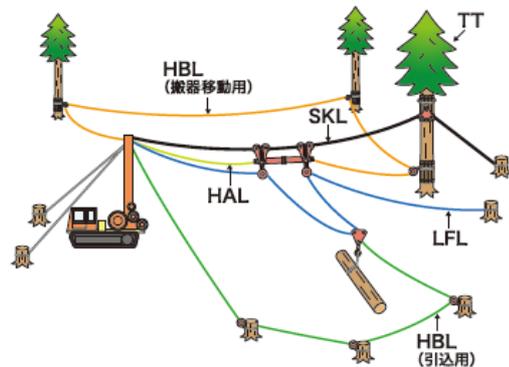
全地形に対応できますが、エンジンが小型なため、欧州製の自走式搬器と比較して、走行速度が遅く、最大巻上能力は 1.5 t 程度であることから、集材距離が短い間伐作業に適しています。

ウ 5 胴式タワーヤード

日本で開発中の 5 胴式タワーヤード方式は、搬器の走行用に引寄索と引戻索を用いながら、荷上索と引込索で荷掛けフックを誘導するため、集材機による 3 胴式エンドレスタイラー方式と同様に広範囲な横取りが可能となる索張り方式です。

また、全地形に対応でき、これまで集材機で行われていたような、幅広い横取りが求められる皆伐作業に適しています。

集材機を用いた場合と比較して、架設・撤収は勿論のこと、インターロック機構により、操作も容易です。なお、主索や作業索の巻き取り容量により、集材範囲が制限されます。



5 胴式タワーヤードによる集材作業

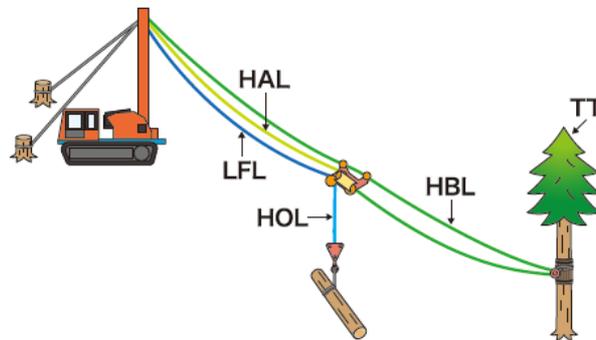
(2) 非主索型(動索型)の索張り方式

ア 3 胴式ランニングスカイライン

引寄索、引戻索、荷上索のドラムを搭載したタワーヤーダと、巻上索を内蔵した特殊搬器を組み合わせた、固定主索を用いない索張り方式です。

従来のランニングスカイライン方式とは異なり、引寄索と引戻索により搬器を固定したまま、荷上索で特殊搬器の巻上索を操作して、横取り作業を行うことができます。

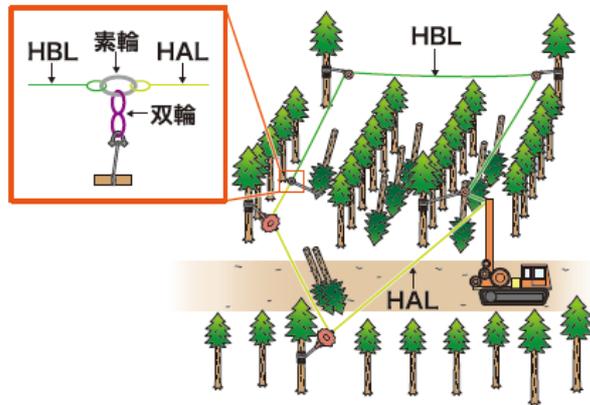
固定主索を用いないため、主索を固定するためのアンカー等の設置の必要がないこと等から、架設・撤収が容易ですが、ワイヤロープの損耗が大きくなります。また、中間サポートを用いることができません。



3 胴式ランニングスカイライン用の
タワーヤーダと特殊搬器

イ 信州式搬出法

信州式搬出法は、長野県などで使用されています。引寄索と引戻索を素輪で繋ぎ、そこにフックを 8 の字の素輪（双輪）で吊り下げ、ジグザグ滑車により張り巡らせた、主索を使用しない索張り方式です。



集材機でも採用できる方式ですが、インターロック機構を用いて、簡単な操作により、地形などの状況に応じて張力を調整しながら集材できるため、タワーヤーダでの集材に適しています。

また、全地形に対応可能であり、ジグザグ滑車を架け替えて、作業索を繋ぎ直すことにより、タワーヤーダを移動することなく、広範囲の集材が可能です。また、ジグザグ滑車により、全木のまま材の方向転換を行って、集材木を作業道上まで引き出せるため、特に下げ荷集材での安全性が高く、タワーヤーダの移動が難しい場所での索張り方式としても応用できます。なお、ガイドブロックを 1m 程度の高さに取り付けることで、地曳きされた材の一部を吊り上げ、根株等の障害物に阻まれることなく通過させることが可能です。

留意すべき事項として、ジグザグ滑車の構造上脱索するおそれがあるため、ジグザグ滑車を含めたガイドブロックがずり下がらないように固定することやある程度張力をかけておくこと、ブロックを通過する際の全木の動きを想定して計画すること、残存木への損傷対策を講じることなどが挙げられます。



信州式搬出法による集材作業



ジグザグ滑車

2-4 主に使用される器材

(1) ワイヤロープ

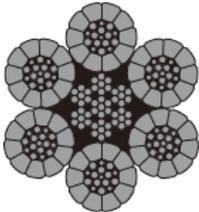
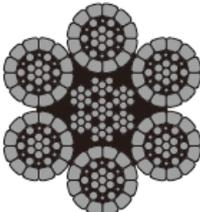
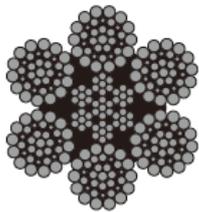
ア 主なワイヤロープの種類

Point!

強度が高く、柔軟性に富み、耐疲労性や耐摩耗性が高いワイヤロープを使用

タワーヤードで使用するワイヤロープは、架設・撤収を繰り返し、ドラムからタワーに設置された滑車を経由して先柱や搬器に固定されるため、耐疲労性や耐摩耗性だけでなく、強度や柔軟性が求められます。一般的に、破断荷重が大きい鋼心のロープ心（IWRC）で、柔軟性に富み、耐疲労性や耐摩耗性が高い異形線ウォーリントンシール型のワイヤロープが適しています。

【JIS 規格の鋼心の異形線ロープ】

呼 び	異形線ウォーリントン シール型 26 本線 6 より ロープ心入り	異形線ウォーリントン シール型 31 本線 6 より ロープ心入り	異形線ウォーリントン シール型 36 本線 6 より ロープ心入り
構成記号	IWRC 6×P・WS (26)	IWRC 6×P・WS (31)	IWRC 6×P・WS (36)
断 面			

欧州の自走式搬器は、搬器上部の駆動輪がワイヤロープを巻き込みながら走行することから、強度や柔軟性が高い専用の特殊ケーブル(8ストランドワイヤロープ)を使用します。このほかに、一般的な鋼心のロープ心を樹脂被覆し、内部摩擦の防止や断線の発生を低減させワイヤロープ全体の寿命を長くしたもの、欧州の巻上索内蔵型搬器に対応可能な破断荷重の高いものなどがあります。

イ シンプルロック加工

Point!

シンプルロック加工されたワイヤロープで架設・撤収を効率化

タワーヤードは、架設・撤収を繰り返しながら集材を行うため、主索やガイライン等の張り上げ作業を、より容易にする必要があります。ワイヤロープの先端をシンプルロック加工することにより、主索やガイラインをシャックルで簡単に固定することができます。

シンプルロック加工とは、ワイヤロープのアイの内側に金具（シンプル）を入れてから、2本並んだ根元の部分に楕円形の素管（スリーブ）を装着して、プレス機で圧縮することで、ワイヤロープを完全に固結する加工方法です。

作業が簡単であり、任意の寸法のもものが正確に加工できることや加工効率（強度）が95%以上期待できること、細工代（さいくしろ）が少ないので、ロープの長さに無駄がないことなどの利点があります。

ただし、シンプルロック加工されたワイヤロープは、その形状から、リードロープを繋いだ状態でガイドブロックを通過させることができません。



シンプルロック加工されたワイヤロープ

(2) 繊維ロープ

Point!

軽量で屈曲性に優れるが、滑車等との接触による磨耗や断裂、切断への脆弱性が欠点

繊維ロープは、合成繊維と天然繊維のものに分類されますが、強度や取扱易さ等から、合成繊維のものが林業に用いられています。合成繊維のうち、同径の鋼製ロープと比較して、同等程度の破断強度を有しており、重量が 1/6、弾性率は 1/2 と、軽量で屈曲性も優れているスーパー繊維といわれる繊維ロープがあります。

タワーや先柱のガイライン、リードロープ、高性能搬器の巻上索等に利用することで、架設・集材・撤収作業等での労働負担の軽減に大きな効果があるほか、取り扱いが容易なため、架線集材における作業効率の向上が期待されます。

欠点としては、現時点での価格が、鋼製ロープの 2~3 倍程度であること、岩石や滑車などとの接触による磨耗や断裂・切断といった脆弱性が挙げられます。また、繊維ロープの構造上、初期伸びに注意が必要です。



高性能搬器の巻上索として利用



リードロープとして利用

繊維ロープのアイ加工

超高分子量ポリエチレン繊維ロープの強度試験によると、繊維ロープの端末を割差してアイ加工する場合は、差し回数を 5 回以上とすれば、ストランドが抜ける可能性はほとんど無く、アイ加工後の強度は 65%以上になるとの結果が報告されている。

すなわち、破断荷重が 9.2t の繊維ロープをアイ加工した場合、約 6t の強度が残っていることになる。安全率を 4 とすれば、約 1.5t の荷重まで使用できることになる。

(3) 繊維スリング

ア 種類

Point!

架線作業で用いられる主な繊維スリングは、ラウンドスリングとベルトスリング

繊維スリングは、主にラウンドスリングとベルトスリングの2種類があり、それぞれに、ループ状のエンドレス形と、両端をアイに縫製加工した両端アイ形があります。

【ラウンドスリング】

ラウンドスリングは、合成繊維を回旋して心体として、それを表面布によって被覆して製造したものです。鋼索と比べて、軽量で折り曲げてもクセがつかず柔軟であることから、主索やガイラインを固定する台付けロープとして使用されています。

【ベルトスリング】

ベルトスリングは、強靱な合成繊維（ナイロン、ポリエステルなど）を使用し、同一のベルトを本体部で2枚、縫製部で2枚以上（エンドレス形は3枚）重ねて縫製されているものです。破断荷重が高くなると、ベルトの幅が広がるので、ラウンドスリングと比べて取り扱いにくくなることから、スイングヤード等による集材での作業索の固定や引戻索用のガイドブロックの固定等、かかる張力が少ない場合に使用されます。

ラチェット式ラッシングベルト

ラチェット式ラッシングベルトは、荷物の固定や締め付けのための繊維製の器具で、ガイラインとして使用する場合は、ワイヤロープを使用した場合と比べて、ガイラインの架設・撤去時間が半分程度で済むが、張力がかかった際のベルトの伸びと、屋外での利用による劣化を考慮する必要がある。

欧州では、ガイラインやアンカーラインとして使用されており、その際の安全係数は、ワイヤロープで4、ラチェット式ラッシングベルトは7と規定されている。



イ 使用上の注意点

Point!

繊維スリングを台付けロープとして使用する場合は安全係数を満たす製品を使用

繊維スリングを台付けロープとして使用する場合は、劣化がなく安全係数を満たす破断荷重を有するものを用います。また、使用基準を遵守するとともに、台付けロープとして使用する際の注意点を考慮して、正しく使用しなければなりません。

台付けロープとして使用する際の注意点

- ・ 結んだ状態やねじれた状態で使用しない
- ・ ねじれた状態や搬器等重量物の下に置いたまま放置しない
- ・ 水、油などにぬれた状態では、滑り易いので注意する
- ・ 熱、日光などの影響で劣化するため、屋外で長期間利用する場合は、取扱説明書に記載された屋外使用の耐用期間が経過したものは使用しない
- ・ 熱、日光、薬品などの影響を受けない場所に保管する
- ・ 紫外線に比較的弱い、芯体がポリプロピレンのものを屋外で常時使用しない
- ・ 縫製のほつれが見えた場合は使用しない
- ・ 点検の結果、廃棄することになったものを、補修等して再利用しない
- ・ シャックルと共に使用する場合、連結部分で破損しないよう太いシャックルを使うか使用荷重を低減する

ウ 繊維スリングの選定

Point!

吊り方による使用荷重の違いに注意し、集材作業中の衝撃を考慮し選定

ラウンドスリングとベルトスリングは、それぞれ JIS 規格で破断荷重が定められており、安全係数を満たす使用荷重を有している製品を選定し、使用します。また、集材作業中の衝撃等を考慮し、余裕のある使用荷重の繊維スリングを選定します。また、吊り方や吊り角度により、モード係数が定められており、使用方法により、使用荷重は規定された使用荷重にモード係数を掛けた値となるので注意が必要です。

吊り方	チョーク吊り	バスケット吊り			
					
吊り角度	-	$\alpha = 0^\circ$	$\alpha \leq 45^\circ$	$45^\circ < \alpha \leq 90^\circ$	$90^\circ < \alpha \leq 120^\circ$
モード係数	0.8	2	1.8	1.4	1

【ラウンドスリングの破断荷重】

JIS 規格により設定された破断荷重は、最大使用荷重に相当する力の 6 倍以上とされています。なお、JIS 規格によって、最大使用荷重が簡単に識別できるように色分けされていますが、条件に応じて、最大使用荷重や表面布の色は、受渡当事者間の協定により変更しても良いこととなっています。

【JIS 規格による表面布の色と破断荷重及び最大使用荷重】

表面布の色	灰色	紫	青	緑	黄色	赤	紺色	協定による
最大使用荷重 (t)	0.5	1.0	1.6	2.0	3.2	5.0	8.0	10.0
破断荷重 (t)	3.0	6.0	9.6	12.0	19.2	30.0	48.0	60.0
(kN)	29.4	58.8	94.1	117.6	188.2	294.0	470.4	588.0

※最大使用荷重 5 t 以上については、受渡当事者間の協定によってもよい

※最大使用荷重 8 t 以下の表面布の色は受渡当事者間の協定によってもよい

【ベルトスリングの破断荷重】

JIS 規格では、両端アイ形やエンドレス形といったスリングの型式や、ベルト幅及び等級（材料原糸の強度レベル）の区分ごとに、最大使用荷重及び破断荷重が規定されており、ベルト幅が広く、等級が高くなるにつれて、最大使用荷重、破断荷重は大きくなります。

【JIS 規格による破断荷重】

型式	両端アイ形				エンドレス形			
	I	II	III	IV	I	II	III	IV
幅 25 mm	30 以上	40 以上	50 以上	60 以上	60 以上	75 以上	100 以上	125 以上
35 mm	50 以上	60 以上	75 以上	100 以上	100 以上	125 以上	150 以上	190 以上
50 mm	60 以上	75 以上	100 以上	125 以上	125 以上	150 以上	190 以上	250 以上
75 mm	100 以上	125 以上	150 以上	190 以上	190 以上	250 以上	300 以上	400 以上
100 mm	125 以上	150 以上	190 以上	250 以上	250 以上	300 以上	400 以上	500 以上
150 mm	190 以上	250 以上	300 以上	400 以上	400 以上	500 以上	600 以上	750 以上
200 mm	250 以上	300 以上	400 以上	500 以上	500 以上	600 以上	750 以上	1000 以上
250 mm	300 以上	400 以上	500 以上	600 以上	600 以上	750 以上	1000 以上	1250 以上
300 mm	400 以上	500 以上	600 以上	750 以上	750 以上	1000 以上	1250 以上	1500 以上

※破断荷重の単位は kN

エ 使用方法

Point!

ワイヤロープを用いた台付けロープによる固定方法を基準とする

繊維スリングは、タワーヤードによる集材作業において、主に主索やガイラインの固定、作業索用ガイドブロックの固定、ワイヤロープの引き回しに用いるリードロープ用ガイドブロックの固定を行う台付けロープなどとして使用します。

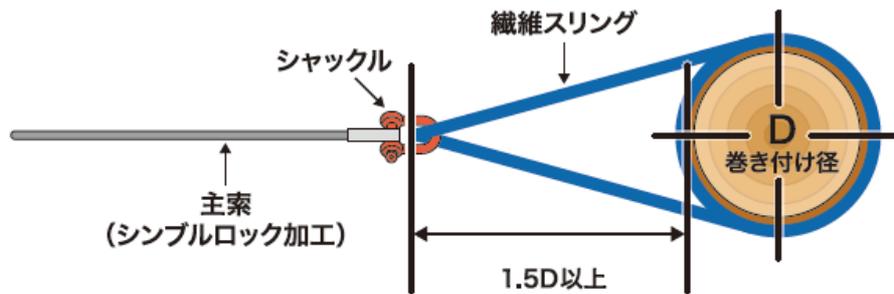


主索の固定に使用



作業索用ガイドブロックの固定に使用

台付けロープとして使用する場合、一般的には、台付けロープにかかる張力を考慮し、立木の根元等に腹側で1回以上巻いて、片効きにならないよう両端のアイを揃えてワイヤロープと連結します。また、台付けロープやシャックルにかかる張力を考慮して、台付けロープの内角を小さくする必要があることから、固定する立木等の直径の1.5倍以上の位置で連結します。



台付けロープの片側にかかる張力の計算（立木等の直径の1.5倍離れた位置）

$$\text{台付けの片側にかかる張力} = \frac{\text{主索にかかる張力}}{2} \times 1.031$$

両端のアイを揃えて、固定する立木等の直径の1.5倍離れた位置で連結した場合に、台付けロープの片側にかかる張力を計算で求めることができる。

主索の張力を100kNとした場合、台付けロープ片側にかかる張力は51.55kNとなる。

また、チョーク吊りにする場合は、深絞り（繊維スリングを通したアイの部分を立て木等に密着させる）にすることと、繊維スリングの破断荷重が低下することに注意します。

繊維スリングとワイヤロープ等を連結する場合、タワーヤーダの主索やガイライン等のシンプル入りロック加工済のワイヤロープは、シャックルで直接固定できますが、先柱や中間サポート等のガイラインでクリップが必要な場合は、ガイラインの屈曲を低減させ、引き締め易くするため、アイの部分にガイドブロック等を取り付けて固定します。



一般的な台付けロープとして使用



チョーク吊りでの使用

(4) スリング等

ア スリング

Point!

器材の種類による特徴を把握し、コストや使用頻度等を考慮して使用

スリングは、器材の種類による特徴を把握し、作業性やコスト、使用頻度、労働強度等を考慮して使用します。

器材の種類	特徴
ワイヤロープ	<ul style="list-style-type: none"> • 安価で入手しやすいが、クセが付き易くキンクする • 搬器移動時によく揺れる • 荷掛け時に、地面と材の間に通し易い
繊維ロープ	<ul style="list-style-type: none"> • 軽量で柔軟性が高く、荷掛けが容易 • ほつれたストランドによる怪我や油による汚れがほとんど無い • 摩擦に弱く、特にフック等との接合部分が傷み易い
チェーン	<ul style="list-style-type: none"> • 切れにくく長持ち • 搬器移動時の揺れが少ない • 荷掛け時に、地面と材の間の隙間が小さいと通しにくい

イ ラジコン式自動荷外しフック

荷掛けしたスリングを無線操作により自動で荷外しできる器具です。安全性の向上や荷外し作業に係る人員又は時間を削減できるため、集材作業の効率化を図ることができます。スリングが傷んだ場合に、スリングの先端部の金具の交換が必要となり、メンテナンスのコストがかかることなどから、スリングにチェーンを採用した事例があります。これまでは、欧州の製品が普及していましたが、日本の製品も開発されています。



スリングにチェーンを使用した事例



日本製のラジコン式自動荷外しフック

(5) 中間サポート

Point!

架線高が確保できない地形において、1線当たりの集材距離と集材量を増加

主索を用いる索張り方式において、地形により架線高が確保できない場所で集材を行う場合に、立木や中間支持金具を用いた中間サポートを設置します。これにより、主索の距離を伸ばすことが可能となり、1線当たりの集材距離と集材量を増やすことができます。また、中間支持金具は搬器の種類によって形状が異なります（中間サポートの作設については、第5章5-5(2)を参照）。



設置された中間サポート

(6) 滑落防止柵

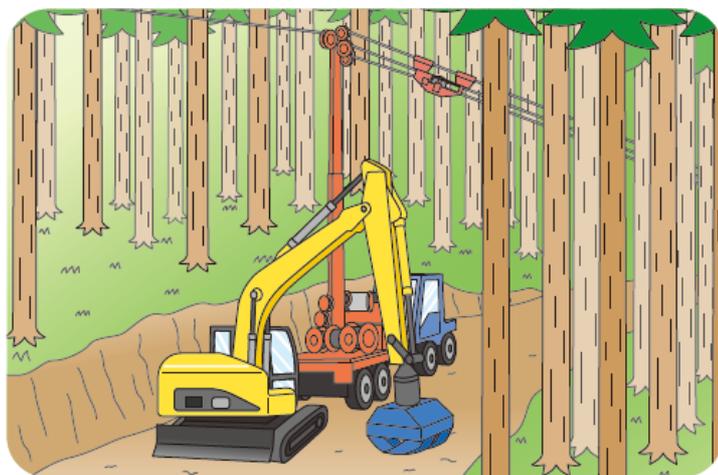
Point!

荷外しした材の滑落を防止し、荷外しから造材までの作業効率を向上

急傾斜地における上げ荷作業で、荷外しした材の滑落を防止するための柵で、荷外しから造材までの作業効率を向上させることができます。



滑落防止柵を用いた集材作業



第3章 生産性の向上に向けた取り組み

Point!

施業地の集約化、適正な架線配置、主作業・副作業の効率化、非生産時間の短縮が重要

タワヤーダによる集材作業を実施するに当たり、施業地の集約化により事業規模を拡大することで生産性を向上して採算性を確保することが重要です。

また、適切な架線配置や作業間の連携を高めること等により、直接的に生産につながる主作業（伐倒、集材、造材、はい積、運搬等）や間接的に生産につながる副作業（架設・撤収、路網や土場の作設等）の効率化、非生産時間（作業のやり直し、他工程の待ち時間、悪条件による遅れなど）を短縮するための対策を検討します。

3-1 施業地の集約化

Point!

作業の効率化とともに、稼働率と生産性の向上を図る

施業地の集約化により広範囲な事業地を確保することで、路網計画や架線の配置を含む作業計画がより柔軟に行えるようになるため、作業の効率化を図ることができます。それにともない、事業規模を拡大することができれば、出材量が増加することとなり、機械稼働率の向上とともに、生産性の向上にもつながります。



3-2 適正な架線配置

(1) 集材方向

Point!

架設・撤収や伐倒・集材・造材を、容易かつ安全に実施できる上げ荷集材が基本

集材方向は、上げ荷集材を基本とします。

上げ荷集材では、架設する際に、中腹道や尾根近くの道にタワーヤードを設置し、ガイラインを固定する立木等を山側に確保するため、ガイラインの設置が容易です。また、リードロープは斜面の下方に引き回すため作業員への負担が少なく、基本的には、引戻索が不要なため索張りが簡単です。更に、撤収の際に、主索アンカーを取り外しても主索が滑落することがないため、撤収が容易です。

主作業においても、主に傾斜の下方に伐倒するため、伐倒が容易です。横取りの際の人力による荷掛けフックの移動も、下方に移動するため負担が少なく、そのまま元口に荷掛けをすることが可能です。集材中は、材の滑落を意識しなくてもよいため、高速での搬器走行を行うことができます。荷下ろし時も、材の滑落による衝突の危険性もないため、集材だけではなく造材との連携も、効率的かつ安全に実施できます。

しかし、我が国では、主に谷筋に路網が整備されているため、上げ荷集材の適用可能な箇所が少ない傾向にあることから、中腹道や尾根近くの道を整備することが求められます。この時、岩石や軟岩等が固く残ったところで安定した地形であるタナ地形や表層崩壊の発生源となり得る0次谷等の地形を考慮して路線を選定します。



容易な下方伐倒と元掛け



材の滑落による危険が少ない

(2) 集材距離

Point!

使用機械の性能に応じた適正な集材距離と中間サポートを使用しない計画を検討

一般的に集材距離が長くなると、一度の索張りで広い面積の集材が可能になり、一線当たりの集材量が多くなります。また、張り替え回数が少なくなるという利点があります。しかし、搬器の走行時間が長くなるため、集材作業にかかる時間が増加します。このほかに、中間サポートの設置等の架設にかかる時間も増加します。

したがって、架設・撤収や集材作業の効率性を考慮すると、タワーヤードや搬器のワイヤロープの巻込容量、牽引力・牽引速度などの能力に適した集材距離で作業を行うことや可能な限り中間サポートを使用しないで架設できるように計画することが重要です（タワーヤードの区分に適した集材距離については、第4章 4-4 を参照）。

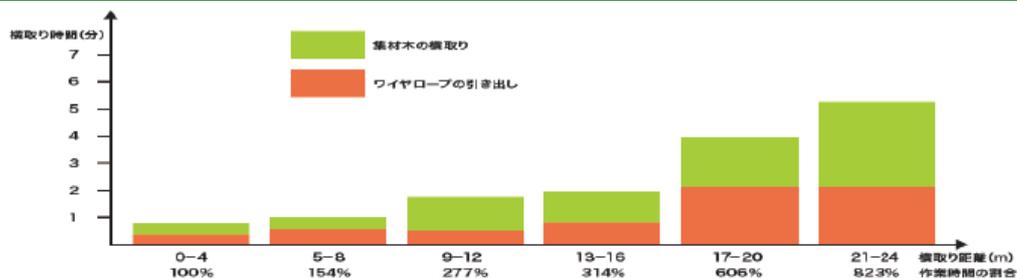
(3) 架線間隔

Point!

間伐での全木・全幹集材では 30m程度、短幹集材では 40m程度が目安

架線間隔が広がると、一度の索張りで広い面積の集材を行うことになり、一線当たりの集材量が多くなります。また、張り替え回数が少なくなるという利点があります。しかし、横取りにおいて、フックの誘導距離が長くなり荷掛者の労働強度が増加するほか、集材木の先端（荷掛け部）を浮かすことが難しくなるため根株等に引っかかり易くなります。更に間伐の場合は、残存木保護の観点から一層の注意が必要となるため、集材作業が難しくなり作業効率が低下します。

間伐での横取り距離と作業時間については、下記のグラフのとおり、一定の距離を超えると急激に増加する傾向にあります。よって、最大横取り距離は、全木・全幹集材で、最大横取り距離は 15m程度（架線間隔は 30m程度）、短幹集材で、最大横取り距離は 20m程度（架線間隔は 40m程度）を目安とし、架線高や地形の状況等を考慮して計画します。



横取り距離とともに増加する横取り作業時間
(間伐・全木・上げ荷集材の例) (FHP 2011)

(4) 架線高

Point!

樹高より4m程度高い位置、地曳きの場合は集材木の長さの2/3程度の位置が目安

適度な架線高で集材木を宙吊りにできれば、障害物の影響を受けない効率的な集材が可能となります。また、横取りの際に、スリングが搬器から垂直に近い状態で降下し、ワイヤロープの自重の多くが搬器に掛かるため、横取り作業の労働強度が軽減されるほか、集材木の先端（荷掛け部）を浮かして集材木を制御し易くなるため、間伐の場合は、残存木の保護が容易になります。

架線高が高すぎると、集材木が揺れて制御しにくくなるので、搬器の走行速度を落とすことになるほか、搬器から地表までの荷掛けフックの降下時間が長くなり、作業の効率性が下がります。逆に、架線高が低いと、横取り距離が短くなり張り替え回数が多くなるほか、障害物の影響を受けるため集材作業の効率性が下がります。

これらのことから、横取り距離を確保し、効率的な集材作業を行うための架線高は、搬器の大きさやスリングの長さを考慮し、集材する立木の樹高から、最高で4m程度高い位置を目安とします。このため、架線高を確保するためには、谷越し地形での架設を考えます。

全木・全幹で地曳き集材を行う場合は、障害物の影響を受けないように集材木の先端（荷掛け部）を浮かす必要があるため、集材木の材長の2/3程度の高さを目安とします。



谷越し地形に架設して架線高を確保



地曳きの場合は全木・全幹の2/3程度の架線高

3-3 主作業の効率化

Point!

各作業の効率を高め、作業間の連携を図ることで、ボトルネックを解消

一般的に、伐倒、集材、造材、運材と続く一連の生産作業は、先行する作業の生産性が、後続する作業の生産性を下回ると、先行する作業が後続する作業のボトルネックとなり、全体の生産性の著しい低下を招きます。

したがって、各作業の処理能力を最大限に活かし、生産性を最大限に高めるためには、いかに各作業の効率を高めながら、作業間の連携を図るかが重要になります。



一連の作業風景

(1) 伐倒と集材の連携

Point!

先行伐倒により、作業の安全性の確保と伐倒・集材作業の連携を強化

伐倒と集材の連携をより円滑に進めるためには、先行伐倒を行います。

主索に伐倒木が当たること等による危険性を回避すると共に、複数本を荷掛けする効率的な集材を行うことができるほか、伐倒の遅れによる集材作業の中断を防げます。

また、集材時の荷掛けや横取り方向を考慮し、荷掛けしやすいように伐倒方向を調整することで、集材の生産性向上を図ることができます（横取り方向については、第4章 4-5(2)を参照）。



先行伐倒後の集材作業

ただし、立木密度が高い場所での間伐において、かかり木が発生し易い場合等で、タワーダの作業索を用いてかかり木処理を行う場合は、部分的に並行伐倒を検討します。

(2) 集材と造材の連携

Point!

集材・造材作業の連携を高め、生産性の向上を図る

全作業の中で、時間当たりの処理能力は、一般的に高性能林業機械を用いた造材作業が最も高く、逆に、集材作業が生産性のボトルネックとされてきましたが、タワーヤード等を使いこなし、造材作業との連携を高めることで、架線集材全体の生産性を向上させることができます。

ア 集材の効率化

一般的に、集材の作業時間を構成する荷掛けや横取り、搬器走行や荷下ろしといった部分作業のうち、荷掛けした状態の搬器の走行時間が、最も長い傾向にあります。

よって、搬器走行時間の短縮を図り、1回の搬器走行当たりの出材量を増加させることが、集材作業の効率化を図る上で効果的です。

(ア) 搬器走行時間の短縮

適度な架線高を確保した宙吊りによる集材や集材木の先端（荷掛け部）を高く持ち上げる（鼻上げ）と共に、伐根の面取りを施した地曳き集材により、集材中の障害物の影響を最小限にとどめ、搬器走行時間の短縮を図ります。



材の先端（荷掛け部）を浮かせた（鼻上げ）集材

(イ) 搬器走行1回当たりの集材量増加

牽引力の大きなタワーヤードを用いて、一度に多くの材を荷掛けします。一旦、主索下に複数本の材を集めてから、まとめて荷掛けすることなどにより搬器走行1回当たりの集材量を増加することができます。

しかし、集材距離が近い場合では、荷外し場所に集材木が溜ると、集材が停滞してしまうため、造材業者と荷掛け者の連携が重要です。なお、荷掛け量は設計計算によって得た最大使用荷重の範囲内に留めます。



複数本の荷掛けによる出材量の確保

イ 造材の効率化

チェーンソーを用いた先山造材よりも、高性能林業機械を用いた土場造材の方が安全で効率的です。

また、機械の運転手は、半自動運転機能やラジコン式自動荷外しフックを利用することにより、キャビンから降りることなく、搬器の走行や荷下ろし・荷外しを行うことができます。このほかに、荷下ろし場所では、滑落防止柵を用い、造材機械で掴み易くすることも造材作業の効率化を図る上で効果的です。



滑落防止柵を用いて掴み易くする

(3) 造材と運材の連携

Point!

造材や積み込み作業を考慮した広い土場の確保と大型トラックによる効率的な運材

集材・造材作業の効率化が進むにつれ、造材場所に大量の造材木が集積されます。造材木の一時保管場所の容量超過による造材作業の中断を回避するため、広い土場の確保と大型トラック等による運材作業の効率化が必要です。

ア 造材場所の確保

造材作業は、トラック等の進入方向側の荷下ろし場所の近くに造材機械を設置して行います。造材機械の設置場所周辺において、道の上下の斜面だけでなく路面上も利用し広い造材場所を確保することが重要です。

広い造材場所を確保することにより、造材作業だけではなく、仕分けやはい積、枝条の処理、運材車両への積み込み作業の効率化も期待できます。



作業しやすい広い土場を確保

イ 運材の効率化

(ア) 積載量の確保

大型トラックを用いることで、運材1回当たりの運材量を確保します。

また、造材木が造材場所の容量を超過しない十分な頻度で運材作業を行えるよう、台数を調整します。



大型トラックで積載量を確保

(イ) 積み込み・荷下ろしの効率化

トラック等に付属しているグラップルローダ、積荷の荷締めを自動調整できる器具、荷台が脱着できるトラックなどを活用して、積み込みや荷下ろしの効率化を図ります。



グラップルローダ付トラックでの積込



荷台が脱着可能な大型トラック

3-4 副作業の効率化

(1) 作業班による計画作成

Point!

作業班が現場の下見を兼ねて、作業計画・架線計画を作成し共有

作業班が、現場の下見を兼ねつつ、作業計画の作成にかかる地況・林況調査や架線配置、支柱等の選定を行うことにより、架設の際の考え方を事前に理解できるため、効率的な計画や架設作業が可能になります。



作業班による現場調査と下見

(2) 架設・撤収の省力化

Point!

簡易・軽量・最小限の架設器材を利用して、架設・撤収を容易に実施

ガイドラインや主索の固定等にラウンドスリングなどの軽量で繰り返し利用できる器材を用いるほか、繊維ロープをリードロープとして使用し、作業員の腰部に取り付けた2つの小さな滑車を通して、端末をタワー側で保持しながら引き回しする等により、架設・撤収の省力化や労働強度の軽減を図ることができます。

また、ガイドライン等に破断荷重が大きいラッシングベルトを試験的に用いた事例では、高コスト化の懸念があるものの、効率よく負担の少ない作業となる可能性があります。



ラウンドスリング等を用いたアンカーの作設



腰部の滑車で繊維製リードロープを引き回し

3-5 非生産時間の短縮

(1) 歩道や作業道等の整備

Point!

歩道や作業道等の整備により先山への移動時間を短縮し、長い作業時間を確保

長距離集材などを実施する場合に、荷掛け作業等のための先山への移動に長時間かかる
と、1日当たりの集材作業の時間が少なくなるほか、元山で造材作業を行う作業者の待機時
間が発生します。

このため、やぶ払いを始めとして、歩道や作業道などを整備することで、作業員の負担
を減らし、移動時間と待機時間を短縮して、より長い1日当たりの作業時間を確保します。

また、路網作設作業を行った場合、土質や根張りの状況を確認することで、アンカーや
支柱の選定に活かすことができます。

(2) 必要資器材の点検

Point!

必要資器材の情報を作業班全員で共有し、段取りミスを回避

架線計画の際に、器材のチェックリスト
を作成して共有しておくことで、架設・撤
収時のワイヤロープや滑車類等の規格及び
数量の確認を容易にします。

また、資器材の確認により、忘れ物の点
検を行いつつ、滑車等の器材の動作点検も
行うことで、段取りミスによる遅れを防ぎ
ます。



器材の動作確認を実施

(3) 人材の養成・育成

Point!

架線集材に係る知識の習得や技術力の向上により作業効率を改善

作業者の習熟度の低さや段取りの悪さが原因で、作業時間が掛かり増しとならないよう
に、ガイラインの角度等の安全作業に繋がる基本的な架線作業に関する知識の習得や機械
操作等の技術力向上に向けた人材の養成・育成が重要です。

(4) 機械のメンテナンスや架線装置の点検

Point!

定期的なメンテナンス等で機械や架線装置の不具合によるトラブルロスを回避

ア タワーヤードの点検

(ア) 日常点検・整備

始業時や終業時だけでなく、定期的な機械の点検と整備により、作業中の故障や修理を回避して、作業の中断による遅延を防ぐことが重要です。

油圧系統などの故障し易い部分のパーツや一般の工具店等で取扱われていない、タワーヤード専用のパーツを事前に取り揃えておくなどして対応します（点検項目については、第6章6-1を参照）。また、溶接技術を習得していれば、様々な故障に対処し易くなります。



専用パーツを事前に取り揃えておく

(イ) 分解点検修理

取扱説明書に記載されている項目について、オーバーホール（分解点検修理）をして、部品単位での清掃や点検、交換を実施します。

機械の構造や原理を把握することで、機械に無理な負担のかからない、適切な使用方法に関する理解を深め、故障や修理による作業の中断を回避することが可能となります。



分解点検修理で故障を予防

イ 架線装置の点検

日常点検として、始業時に索張り全体の点検を行うことは、安全性確保の観点から義務付けられているとともに、事故発生時の作業の中断等に伴う、多大な損失の発生を防止する観点からも大変重要です（架線装置の点検項目については、第6章6-2を参照）。



搬器を降ろして点検を実施

