

伐採・造林一貫作業システムにおける繊維ロープと タワー接地型スイングヤーダ適応の可能性 ～伐・造一貫システム in 愛知～

名古屋大学大学院生命農学研究科 博士前期課程（2年）

わたなべ りょうすけ
渡辺 亮介

要旨

アーム接地型のスイングヤーダに繊維ロープを用いることで作業者の労働負荷の低減につながることを確認されました。ただし、ホールラインに使用した繊維ロープは磨耗が激しく、強度が最も低下していました。また、アームを接地することで高い安定性が確保されました。これらの結果から伐・造一貫作業システムでの皆伐地においても本機械の適用が可能であると考えられます。

はじめに

林業において、架線集材作業は作業者、特に荷掛け手に大きな負担を強いる作業と言え、集材作業の軽労化が求められます。一方で、近年は林分の大径木化や施業の集約化によってより集材能力が高く、集材距離の長い架線集材機械が求められています。

このような現状の中で全ての索に軽量の繊維ロープを用いたアーム接地型スイングヤーダ（南星機械製 IWS-20DY1）が「平成 24 年度 先進的林業機械緊急実証・普及事業」の 1 つとして開発され、愛知県新城森林組合に導入されました。この機械は主索ウインチを備えており、従来一般的であったランニングスカイラインの索張りとは比べて集材能力の向上が見込まれます。

今回は①繊維ロープの使用による作業者の労働負担軽減効果、②繊維ロープの耐久性の評価、③車体の安定性評価の 3 点に着目した調査に基づいて、伐採・造林一貫作業システムにおけるアーム接地型スイングヤーダ適応の可能性を検証しました。

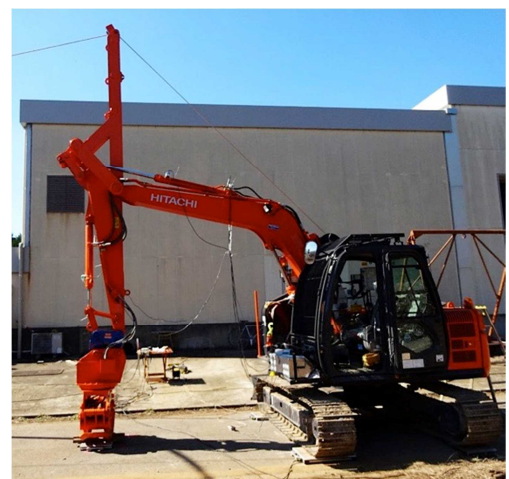


写真-1 アーム接地型スイングヤーダ

1. 繊維ロープについて

本機械には東京製鋼繊維ロープ株式会社の「エースライン HD026B」が用いられました。このロープは超高分子量ポリエチレン繊維（ダイニーマ）からできており、12 本のストランドからなる組みひも構造をしています。表-1 に示したように同径の一般的なワイヤーロープと比較すると、ワイヤーロープよりも強度が高く、質量は約 1/6 と非常に軽量です。さらに、ロープの伸び率もワイヤーロープが約 4%であるのに対して、この繊維ロー

表-1 繊維ロープとワイヤーロープの比較

項目	呼称太さ	エースラインHD026B		(参考) ワイヤーロープ IWRC 6×Fi(29) 裸・めっきB種	
		引張り強さ	質量	引張り強さ	質量
用途	Φmm	kN (tf)	g/m	kN (tf)	g/m
主索	12	115 (11.7)	95.0	97.5 (9.94)	634
HAL	10	79.9 (8.15)	68.5	67.7 (6.90)	440
HBL HCL	8	53.3 (5.43)	45.8	43.3 (4.42)	282

東京製鋼繊維ロープ（株）資料より引用

ブは約6%とそれほど変わりません。本機械では主索に12mm径、ホールライン（HAL）に10mm径、ホールバックライン（HBL）と補助索（HCL）に8mm径の繊維ロープをそれぞれ使用しています。

2. 調査方法

（1） 繊維ロープの労働負荷軽減効果

荷掛け手の労働負荷を、心拍計を用いて評価し、繊維ロープを用いたアーム接地型スイングヤードとワイヤーロープを用いたスイングヤードでの作業の場合で作業者の負担を比較しました。調査は愛知県新城市愛郷地区のスギ・ヒノキ人工林で行いました。心拍数の測定にはPOLAR社製のスポーツ心拍計（RX800CX）を用い、調査対象者を新城森林組合の健康な27歳男性（経験年数5年）としました。心拍計を用いて集材作業中の心拍数を5秒間隔で記録しました。計測された心拍数からRMR（エネルギー代謝率）という指標を求めて解析を行いました。RMRは値が大きくなるほど作業負担が大きいことを示しています。

作業システムはワイヤーロープを用いたスイングヤード集材ではイワフジ社TW232Aを使用し、ランニングスカイラインの索張りで列状集材を行いました。一方、繊維ロープを用いたスイングヤード集材では南星機械社IWS-20DY1を使用し、主索つきランニングスカイラインの索張りで魚骨状集材を行いました。現場の集材作業時に調査を実施したため、ワイヤーロープと繊維ロープの集材方法に差が生じました。

（2） 繊維ロープの耐久性評価

繊維ロープの磨耗状況を調べるために、集材20サイクルごとにHAL、HBL、HCLの先端から9.8～10.0mの区間を写真で撮影して磨耗状態を記録しました。主索については撮影に時間を要することから省略しました。

また、約840サイクルの集材を行ったときの、各索の先端部を試験体として回収し、製造元である東京製綱繊維ロープ株式会社に協力をいただいて繊維ロープの破断強度試験を実施しました。破断強度試験は試験体のなかのスプライス部分（端末部）とロープ部分の2箇所で行いました。

（3） 車体の安定性評価

本機械のようにアームが接地している場合とアーム未接地の場合での車体の安定性の違いをモーメントの釣り合いの考え方を用いて調べました。

平地において、本機械の履帯の4隅とアーム接地部の下に車重計を設置し、無負荷時の重心位置を算出しました。次に、求めた重心位置と図-1に基づいた安定モーメントと転倒モーメントのつりあいの式から車体が傾き始める張力を索が水平面となす角 α の関数として算出しました。以下にアーム未接地の場合とアーム接地の場合の式を示します。そして最後に、実際に図-1のように主索に力をかけて車体が傾き始めるのに必要な張力を実測によって求めました。

アーム未接地の場合の安定性シミュレーション式

$$T \leq \frac{L_1 \times W}{(L_3 \cos \alpha + L_2 \sin \alpha)}$$

アーム接地時の安定性シミュレーション式

$$T \leq \frac{L_1 \times W}{L_3 \cos|\alpha|}$$

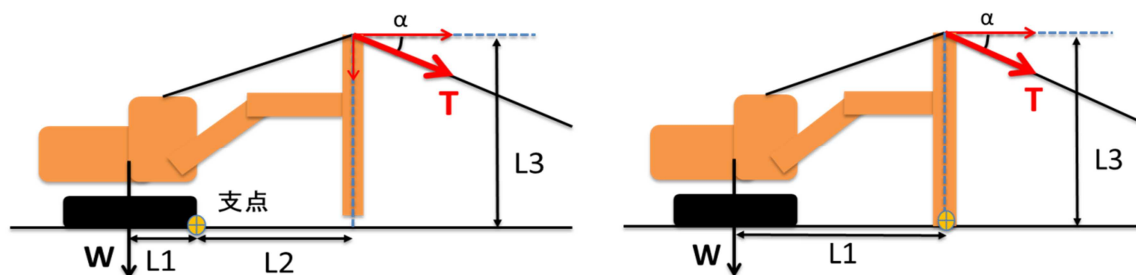


図-1. アーム未接地（左）とアーム接地（右）の時の力のかかり方

3. 結果・考察

(1) 繊維ロープの労働負荷軽減効果

表-2から分かるように繊維ロープを用いた集材作業の調査地はワイヤーロープ作業の調査地に比べて傾斜が急でした。しかし、図-2の示すように、架設と集材作業においては繊維ロープの方がRMRの値が低くなり、ワイヤーロープ作業より負担の少ない作業であったことが明らかとなりました。特にロープの引き出し歩行が求められる架設作業ではワイヤーと繊維ロープの差が顕著に現れました。

そこで、架設作業におけるロープ引き出し歩行時の心拍数上昇率（1秒あたりの心拍数の上昇率）を算出すると図-3のようになりました。上り、下りともにロープ引き出し歩行時には顕著な労働負荷軽減効果が見られました。

ただし、今回の調査では列状集材と魚骨状集材での比較であったため、集材作業については公正な比較が行えませんでした。今後、集材作業についても条件を合わせた上で公正な比較が必要と考えられます。

表-2. 調査地の傾斜と支間距離

	サンプル	支間傾斜(度)	支間距離(m)
ワイヤー	4	8.2	48.2
繊維ロープ	5	21.9	73.4

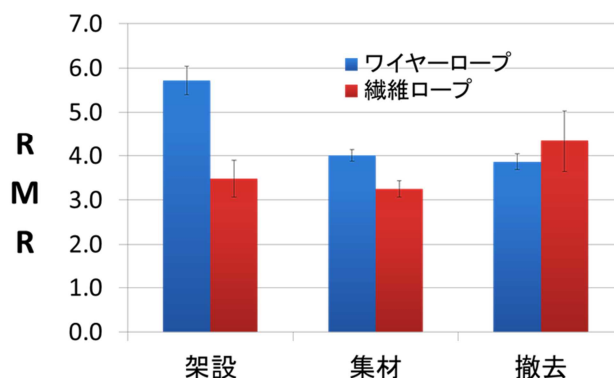


図-2. ワイヤーロープ作業と繊維ロープ作業でのRMRの比較

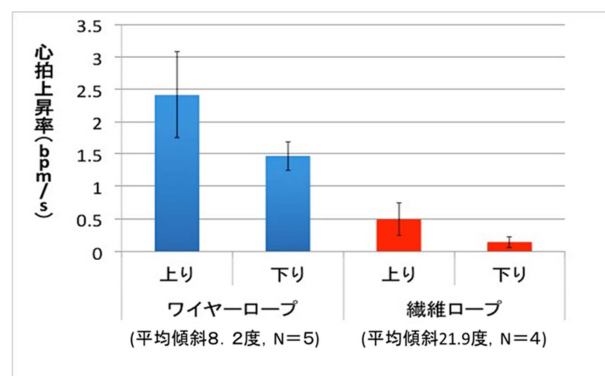


図-3. ロープ引き出し歩行時の心拍上昇率

(2) 繊維ロープの耐久性評価

磨耗状況を追跡調査した結果、HAL で最も磨耗が進行していることがわかりました。実際に、HAL は集材 580 回から 600 回の間一度ロープ先端部が破断しました。この破断の理由として、搬器の金属部分とロープ先端部との接触が考えられており、現在は搬器を改良して使用を続けています。その他にも、HAL は他のラインに比べて地面との接触の機会が多いため磨耗が最も進行したと考えられます。一方で、HBL、HCL に関しては表面の毛羽立ちは見られるものの、HAL と比較すると磨耗が非常に少ないことが確認されました。

繊維ロープの破断強度試験の結果を図-4 に示します。磨耗状況が示したように、HAL において強度低下がもっとも進行していました。端末分で新品時の 58.9%まで強度が低下していることが分かりました。HAL 以外の索についてはいずれも 85%以上の強度を保っていることも明らかになりました。

これらの結果から、繊維ロープを安全に使用するためには HAL 先端部の磨耗対策が必要であることが示唆されました。また、磨耗状況から適切な交換時期を判断できるような基準が今後整備されることが望ましいと思われます。

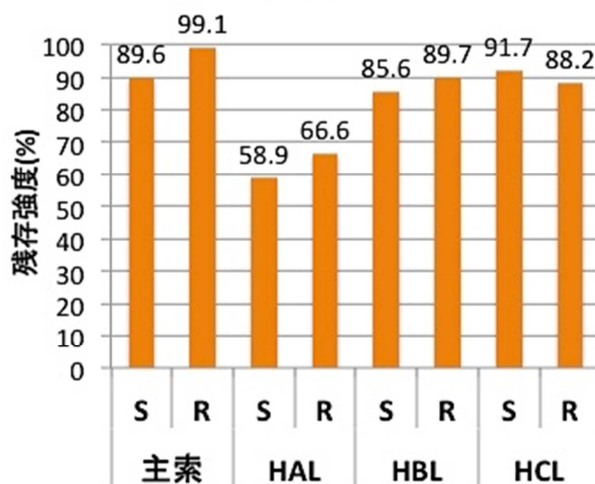


図-4 840 回集材した繊維ロープの残存強度保持率
(S はスプライス部、R はロープ部)

(3) 車体の安定性評価

図-5 に重心位置から求めた傾き始める張力のシミュレーション結果を示しました。その結果、アームを場合はアーム未接地の時と比較して大幅に転倒リスクが減少していることが分かりました。アーム接地の場合ではもっとも転倒モーメントが大きくなる条件 ($\alpha = 0$) においても、50kN 以上の力がかからない限り車体が傾くことはないことがわかります。つまり、アーム未接地の 5 倍以上の安定性を持つことが示されました。

次に、実際に主索に力をかけて車体の傾き始める張力を調べた実験では、アーム未接地の場合のみ車体の傾きが確認されました。アーム接地時には、車体が傾くより先に主索ドラムの巻き取り限界を迎えてしまったため、それ以上張力を強めることができませんでした。

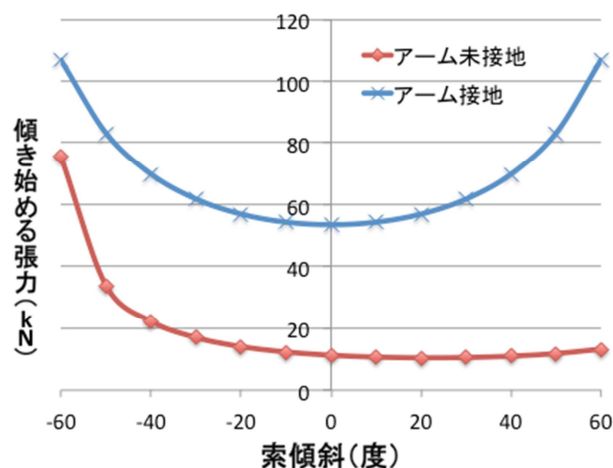


図-5 アーム接地と未接地での転倒リスクシミュレーション

アーム未接地の時には主索張力が 7.9kN から 10.9kN となる間に傾き始めました。ウィンチドラムによって張力の調整を行ったため、傾き始めた張力を詳細に求めることはできませんでした。しかし、この時の索傾斜からシミュレーション結果と比較すると表-3 のようになりました。計算値で求めた値は今回の傾き始めた張力の範囲よりわずかに外れていたものの、重心位置から算出されたシミュレーション結果は概ね正しいと考えられました。

車体の安定性試験によって、アーム接地による転倒リスクの軽減効果を定量的に示すことができました。



写真-2 アーム未接地において車体が傾いた様子

表-3 実測値と計算値の比較

索傾斜(度)	傾き始める張力(kN) (計算値)	傾き始めた張力(kN) (実測値)
41.4	11.0	7.9<T<10.9

4. 伐採・造林一貫作業システムへの適応可能性

(1) ～ (3) の調査によって、繊維ロープを用いたアーム接地型スイングヤーダの特性と課題を明らかにすることができました。これらの結果から伐採・造林一貫作業システムへの適応を考える上で利点と課題を示すと以下ようになります。

利点

- ・ 繊維ロープの使用によって労働負荷の少ない作業が可能
- ・ アーム接地による高い安定性を持つため、主伐期を迎えた林分でも使用可能
- ・ 主索を備えており、横取りに適した索張りシステムを持つこと
- ・ 造林作業時には苗の運搬にも使用可能

課題

- ・ HAL 先端部の磨耗対策

以上のように、HAL 先端部をロープ表面のコーティングや保護カバーの使用などによって磨耗から守ることでアーム接地型スイングヤーダは十分に伐・造一貫作業システムにも適応可能であると考えられます。

おわりに

調査の結果から繊維ロープを使用したアーム接地型スイングヤーダは皆伐地においても適応可能であることが示されました。ただし、繊維ロープはワイヤーロープよりも物理的な磨耗に弱いという側面があります。今後は、適切な繊維ロープの磨耗対策等を検討していく必要があります。