

# 地域に適合した林業機械作業システム研究（Ⅱ）

古川 邦明

目	次
1. はじめに	29
2. 試験方法	29
2.1 タワーヤードの索張り特性調査	29
2.2 タワーヤード先柱用小径木の支持力調査	31
2.3 フォワーダの走行特性調査	31
2.3.1 搬出作業調査概要	31
2.3.1.1 搬出調査地林況	31
2.3.1.2 路網状況	31
2.3.2 調査作業概要	31
2.3.3 走行調査	31
2.3.3.1 調査概要	31
3. 結果と考察	32
3.1 タワーヤードの索張り特性調査	32
3.2 タワーヤード先柱用小径木の支持力調査	32
3.3 フォワーダの走行特性調査	33
3.3.1 調査概要	33
3.3.2 フォワーダ作業調査結果	33
3.3.2.1 搬出作業の結果と生産性	33
3.3.2.2 走行試験の結果	34
3.3.2.2.1 集材路の勾配と走行速度	34
3.3.2.2.2 カーブ走行調査の結果	34
3.3.2.2.3 集材路の規格	35
3.3.2.2.4 フォワーダのサイクルタイム	35
3.3.3 作業環境について	38
3.3.3.1 作業者の整理負担	38
3.3.3.2 作業騒音調査	38
4. まとめ	38

## 1. はじめに

労働力不足対策と作業の省力化を進めるため、ここ数年岐阜県内での高性能林業機械の導入台数が増えている※。現在導入を計画している事業体も多い。※

近年、林業の現場においては、賃金の高騰による採算性の悪化、若年林業従事者の減少と高齢化等の人的条件の悪化に加え、木材価格の低迷等の厳しい情勢にさらされており、生産性の向上によるコストダウンの達成が全国で模索されている。

その一つとして、各種の「高性能林業機械」が全国的に導入されてきている。しかし、我が国の急峻で複雑な地形に加え、林業の零細性等の理由から欧米での作業システムがそのまま導入できるところはほとんどなく、地域に適合したそれぞれの機械による作業システムを探る必要がある。

前報ではオペレータの効率的な養成手法を検討し、新しい機械作業システムの有効化の手法を考察したが、本報では既に本県に導入されている「高性能林業機械」の作業特性等を明らかにすることによる作業システムの構築を目指した。特にタワーヤード作業では、架線長による作設時間を明らかにすることによって、ランニングスカイライン式のタワーヤード作業に適した作業範囲を明らかにするとともに、安全作業を行うために必要なアンカーとしての中小径木の根株の強度を測定して、胸高直径と根株強度の関係を検討した。

また、小面積の皆伐、間伐で高能率作業が期待できるフォワーダについても、その走行性能を集材路走行による搬出において、傾斜と曲線半径と走行速度の関係について検討し、最適な集材路の規格について検討も行った。

## 2. 試験方法

### 2.1 タワーヤードの索張り特性調査

久々野町内の県有林（ヒノキ人工林）において、列状間伐の上げ荷集材の架設時間とスパン長との



関係を調査した。調査対象機種はリョウシンRME300T、索張り方式はランニングスカイラインである。全箇所を索張りに要した時間をビデオに撮影しその架設作業を要素作業に分析し、主に余裕時間と実働時間に区分して、実働時間を索張りに要した時間とした。

架設長は、タワーヤードの元柱から先柱までの水平距離とした。距離は架設位置を決定した後、測量で求めた。なお、架設は全て上げ荷用である。

## 2.2 タワーヤード先柱用小径木の支持力調査

林業短期大学校（以下林短と言う）演習林の胸高直径12～20cmヒノキ立木の根株の支持力を測定した。

張力の作用点は地際から40cm高とし、フォワーダ搭載のウインチにより傾斜下方に張力をかけた。なお、ウインチの牽引力は1トンであるため、さらに大きな張力を得るために、途中にヒールブロックを介している。

張力の測定は、東京精機製のロードセル式張力計で行った。ワイヤーロープの撚り戻りを吸収するように、中間に回転体を介している。データの収集は、ロードセルの電圧出力をユニパルス製指示計で拡張しキーエンス製のインターフェースを使ってノートパソコンに取り込んで行った。

張力の測定と同時に、張力作用点の水平方向への変位量を、共和製の変位計で0.1mm単位で測定した。

## 2.3 フォワーダの走行特性調査

### 2.3.1 搬出作業調査概要

#### 2.3.1.1 搬出調査地林況

A調査区は、岐阜県姪川村の村有林で30～35年生のスギとヒノキの混交人工林で、過去に1度間伐が行われており、林分密度2,000本/ha、平均胸高直径15cm、平均樹高14.7mである。平均傾斜が8度で、基岩が花崗岩の風化土壌であり、所々転石が露出した生長量の低い林分であった。ここに、県道から約80mほど入ったところから、50m×50mの調査方形区を設置した。

B調査区は岐阜県林業短期大学校実験林の40年生のヒノキ人工林で、林分密度1,800本/ha平均胸高直径18cm、平均樹高15.8mである。林道から300mほど集材路が作設してありこの集材路を使用した作業となった。

#### 2.3.1.2 路網状況

A調査区は、県道から延長58m、幅員3.6mの作業路が作設してあり、その終点から調査区まで平均勾配6度、幅員2.5mの集材路を、約90mミニバックホーで林床をならした程度で作設し、その先は林内走行で搬出した（図-1）。

B調査区は、林道から300m、幅員2.0mの集材路が作設してある。トラック積み込み用の林道横の土場までの搬出距離は、最少250m、最大310mである（図-2）。

### 2.3.2 調査作業概要

A調査区は、35%の定性間伐を実施した。作業の流れは、間伐用のハーベスタ（コマツPC45）で伐木、造材を行い、集材しやすい位置に小集積する。その後フォワーダでハーベスタの走行跡に沿って直接林内を走行して材を積み込んだ後、集材路を走行して県道脇の土場まで搬出した。

B調査区は、チェーンソーで伐木、造材し集材路までウインチで集積し、集材路からフォワーダに積載して林道脇の土場まで搬出した。間伐は、定性間伐で伐採率25%である。集材路は、作業に先立って作設した。

### 2.3.3 走行調査

走行速度は、搬出距離と路盤状況など走行条件によって大きく変動する。フォワーダの作業走行速度は作業工期を決定する大きな要因であり、走行時間へ直接影響すると思われる積載量、傾斜、及びカーブの曲率について、これらの走行速度との関係について検討した。

#### 2.3.3.1 調査概要

岐阜県林業短期大学校演習林内の集材路において調査した（図-2）。集材路は平均幅員1.8mおよび2.0m、路盤は地山掘削の切取面が殆どで盛土部分は少ない。この集材路は、林内作業車用に5～

15年前に開設したもので毎年改修しており、路盤は比較的良好で硬く、碎石などの敷設は行っていない。

調査には、あらかじめ材積を測った3mのスギ丸太を使い、空載、半載、満載の走行速度を傾斜別に測定した。路線1では、上り下りそれぞれ前・後進で測定し、路線2では、上りは後進、下りは前進時のみ測定した。

カーブと走行速度との関係の調査は、林業センター構内の土場で半径3~20mのカーブを設定し、空車時と満載時においてそれぞれの走行速度を測定した。

### 3. 結果と考察

#### 3.1 タワーヤードの索張り特性調査

調査した索張り長は37.5mから77.9mである。先柱は立木を使用し、取付高は、できるだけ地際に近いところとした。

架設作業は4~6人で行い、先ず最低限の列状間伐を行った後、ホールバックラインを引き回し、搬器を取り付けて仮走行をして接触する立木を更に伐倒した。

索張り時間は、単位作業に分類して、現場にて秒単位で測定した。

架設距離と架設時間の関係を図3に示す。スパン長が長くなるにつれて、架設に要する時間が直線的に増加している。この結果から、架設所要時間は、10m当たり4.4分であった。

一方、下げ荷集材の場合、その架設時間は、他県の報告と本県の調査結果から10m当たり13.6分となり(図4)、ランニングスカイライン式のタワーヤード集材は、上げ荷で行うことが、架設時間からみても作業工程の向上が望める。

#### 3.2 タワーヤード先柱用小径木の支持力調査

立木へ傾斜方向へ牽引して、立木の傾きを変位計で計測し、立木の土壌支持力を検討した。

張力をかけた際の変位量を測定すると、立木が元の位置まで回復不可能なまで牽引した場合、張力付加後しばらくは立木の傾きは無く、傾斜が始まった後、作用点の水平変位量が8mm程度までは、直線的に一樣に増加して行き、8mmを過ぎたあたりで、張力の増加割合に対して変位量が増加した。さらに張力を掛け続けると水平変位量が20mm前後で再度変位量が増加する点

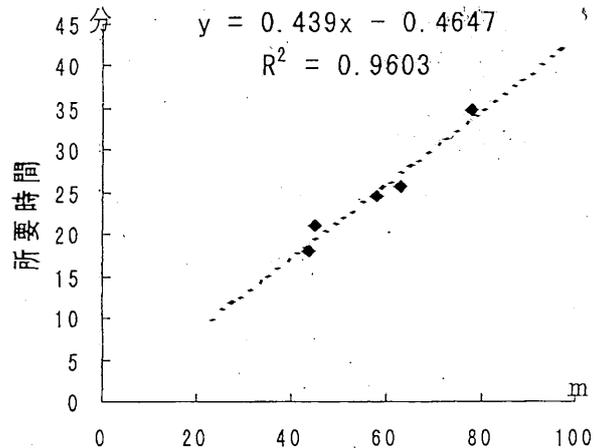


図-3 スパン長と架設時間

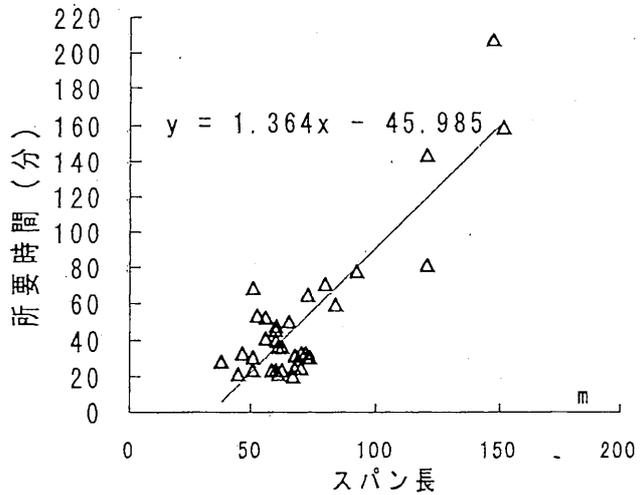


図-4 スパン長と架設時間

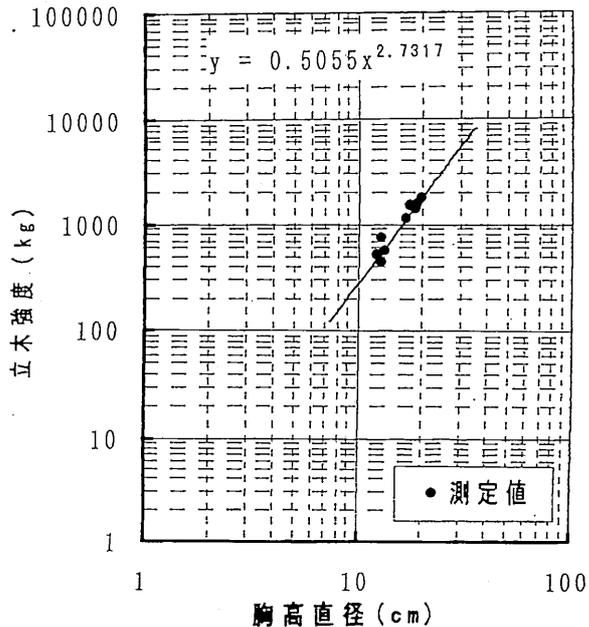


図-5 胸高直径と立木強度

が現れ、その後、急激に立木は傾いていくことが分かった。

また、初回の変化点が現れる以前に、張力を解放した場合、立木は完全に元の状態に回復したが、これを過ぎた場合、張力を解放しても完全には回復しなかった。また、2回目の変化点を超えると、根返りが発生し、立木は傾斜したままとなった。

このことから、立木をタワーヤードの先柱、又はアンカーとして使用する場合における支持力とする場合においては、安全性・残存木の保護の点から、最初に変位量の上昇率が増加する点を、その立木の支持力とすることとした。

各測定立木の胸高直径と支持力の測定結果を図5に示す。x軸、y軸とも対数表示で表した。

ランニングスカイライン式のタワーヤードのRME300Tによる間伐材の集材において、その集材架線及びガイラインに懸かる最大張力は、集材架線には2000kg、ガイラインには800kgである。立木の引き抜け強度を基準とした安全係数は3~6としてある。しかし、今回の測定結果は、立木の傾き度の変化点を最大支持力としているため、安全係数は、2程度で十分であるものとした。しかし、この場合でもヒノキにおいて先柱に必要な胸高直径は、先柱で26cm以上、控え索用のアンカーでも20cm以上が求められる。この胸高直径の立木が確保できない場合は、さらに控えをつくるなどして強度を確保する必要がある。

### 3.3 フォワーダの走行特性調査

カーブの曲率について、これらの走行速度との関係について検討した。

#### 3.3.1 調査概要

岐阜県林業短期大学校演習林内の集材路において調査した(図-2)。集材路は平均幅員1.8mおよび2.0m、路盤は地山掘削の切取面が殆どで盛土部分は少ない。この集材路は、林内作業車用に5~15年前に開設したもので毎年改修しており、路盤は比較的良好で硬く、碎石などの敷設は行っていない。

調査には、あらかじめ材積を測った3mのスギ丸太を使い、空載、半載、満載の走行速度を傾斜別に測定した。路線1では、上り下りそれぞれ前・後進で測定し、路線2では、上りは後進、下りは前進時のみ測定した。

カーブと走行速度との関係の調査は、林業センター構内の土場で半径3~20mのカーブを設定し、空車時と満載時においてそれぞれの走行速度を測定した。

#### 3.3.2 フォワーダ作業調査結果

##### 3.3.2.1 搬出作業の結果と生産性

スコープオンによる積込搬出作業のサイクルは、大きく分けて走行・積込・荷下ろしからなる。まず、土場から積み込みのために先山へ空走行して小集積された材の横に停車して、転倒防止のためアウトリガーを設置した後、後方の荷台にグラップルクレーンにより材を積み込み次の集積された材へ小移動を行う作業を1~数回繰り返す、満載になったら土場まで実走行し、アウトリガーを設置してグラップルによりは積みを行う。一回の積み込みに要する時間は、林内走行集積では、最大395秒、最少41秒、平均140秒、集材路横まで、ウインチで小集積しての集材路からの積み込みでは、最大133秒、最少42秒、平均71秒であった。

また、1サイクル中の積込時間は、林内走行で2,606秒(43分26秒)、集材路積載で824秒(13分44秒)となった。

図-6、7に林内走行集材と集材路積込時の要素作業の割合を示す。ともに積込が27%(704秒)と31%(255秒)と最も高い要素作業割合である。林内走行集材では実移動が集材路集積に比べ高い割合で発生している。また、集材路集積では後進で集材路を空走行し前進で搬出しているため、グラップル操作のためのオペレータの移動がなく、走行の障害物を除くための待ち時間の発生もなかった。

集材路集積の平均木寄せ距離は14m、キャトラ積載のウインチと人力で2人1組で行い、作業工程は7.5m<sup>3</sup>/人日であった。

積み込み一回毎の材積と本数は、林内走行では0.9m<sup>3</sup>、1.9本、集材路では1.2m<sup>3</sup>、2.5本であった。

一回の積載量は林内走行で1.8m<sup>3</sup>/回、集材路の積載は2.2m<sup>3</sup>/回となり、林内走行では積載量が多くなると重心が高くなり、走行が不安定になるため集材路走行に比べ少ない目の積載量となっていることがわかる。

荷下ろしに要した時間は、平均 677秒（11分17秒）、最大726秒、最少606秒であった。

両調査区の集材搬出の全作業工程は、林内走行集材では7.1m<sup>3</sup>/人日（搬出距離148m）、集材路走行での集材では作業工程5.1m<sup>3</sup>/人日（搬出距離310m）となった。

### 3.3.2.2 走行試験の結果

#### 3.3.2.2.1 集材路の勾配と走行速度

フォワーダで搬出するために集材路を開設する場合、フォワーダの走行性能を考慮した効率的な走行が行えるように開設することが求められる。集材路の開設要件で最も走行を左右するのは縦断勾配と思われる。そこで、道路勾配とフォワーダの走行速度の関係について調査した。

調査では荷台に材を満載、半載、それに空載した場合のそれぞれの走行速度を測定した。その結果を図-8～11に示した。集材路の上り下りそれぞれ、積載量を空載、半載、満載時において測定している。積載材積は半載時1.31m<sup>3</sup>、満載時2.17m<sup>3</sup>であった

集材路の上りでは勾配が大きくなるほど前進後進とも積載状態とも走行速度が落ちているのがわかる。特に勾配が10度を越えると走行速度の低下が多くなる傾向が認められた。また、勾配が小さい時は前進と後進では速度差が生じているが、勾配が大きくなるに連れてその差は少なくなっている。

一方下り走行においては、前進時はどの積載量においても勾配と走行速度に相関は認められなかったが、後進では空載及び半載時には同様に

ハッキリした傾向は認められないのに、満載時には勾配が大きくなると走行速度が低下している。満載時にはオペレータの視野が材によって妨げられ、視認性が著しく悪くなるためと考えられる。

#### 3.3.2.2.2 カーブ走行調査の結果

集材路の縦断勾配とともにフォワーダの走行速度に影響するのが、作業路のカーブ設定である。そこで、3～20mのカーブにおけるフォワーダの走行速度を測定した。積みには、先山に向かう際の空走行と搬出時の実走行を想定して、空載・満載の条件で行った。満載時の積載材積は2.2m<sup>3</sup>である。

調査結果を図-12、13に示した。空車時にはカーブの半径5m以下になると急激に走行速度が低下して半径20mのカーブを走行速度の約半分にまで落ちている。一方満載時には、空車時ほど速下の傾向は著しくはないが、カーブ半径が10mとより大きなカーブで走行速度が低下してくることがわかった。

また、ホイールタイプのフォワーダの場合前輪と後輪の内外輪差の発生や最少操舵角が特に林内走行において問題となる。スコープオンはアーティキュレート式の操舵方式であるが、屈曲軸から後部ボギー中心までの軸長が前部ボギーまでのそれより若干長い。このことにより、半径5m程度までは

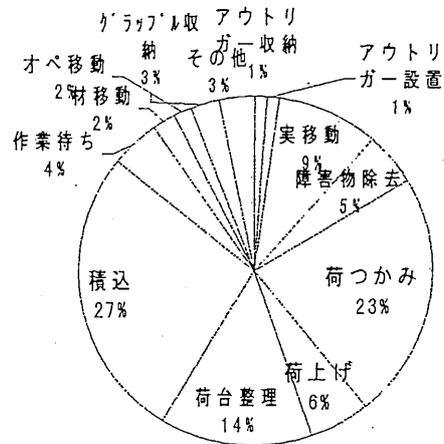


図-6 積込要素作業割合（林内走行）

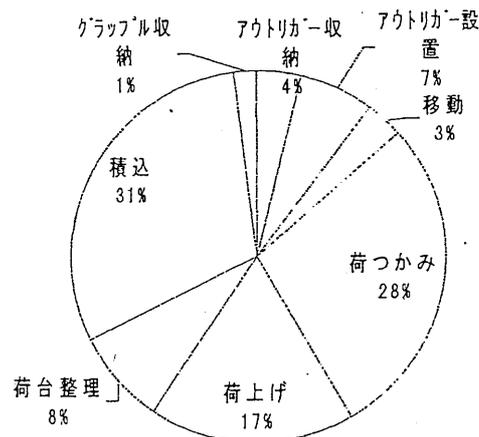


図-7 積込要素作業割合（集材路）

輪差は全く問題とならないが、最少回転半径の4 m程度になると、20cm程度の内輪差が生じる（図-14）。このため集材路走行では問題はないが、間伐林内の集材では走行が困難になることもあった。

積載時のカーブ走行ではさらに積載材の後端がカーブがや荷台が外に膨らむため直進時より大きな旋回幅が必要となる。4 m材を主に生産するとすれば、半径10 mで1.84m、半径5 mで2.2m、4 mでも2.2m以上が必要である（図-14）。切り法面が高い場合は、カーブ外側に幅員を大きくとり、

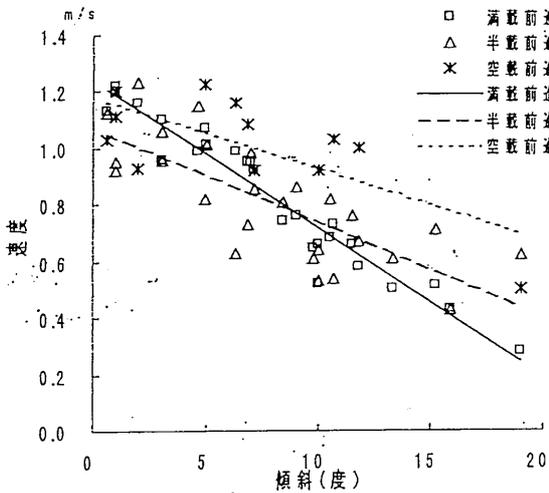


図-8 走行性能（集材路前進上り）

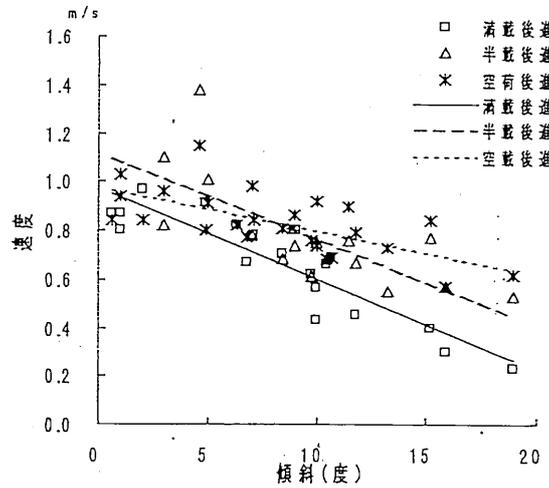


図-9 走行性能（集材路後進上り）

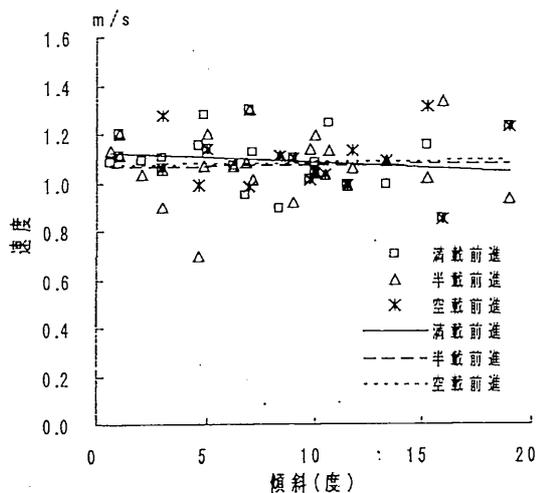


図-10 走行性能（集材路前進下り）

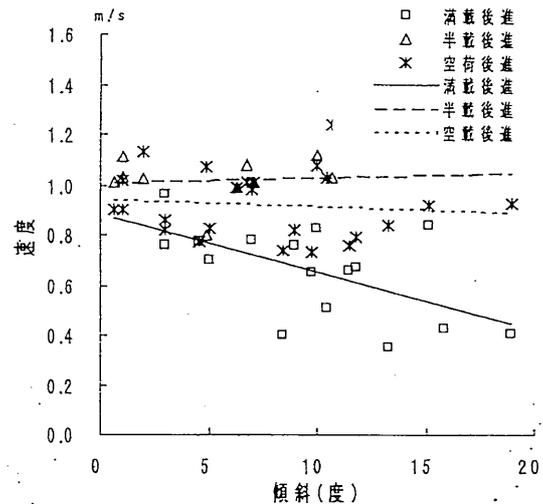


図-11 走行性能（集材路後進下り）

法面がない場合もカーブ外方の立木等障害物を除いておく必要がある。また、カーブ半径が小さい場合は、内側への入り込みも無視できなるので、走行方法等考慮が必要である。

### 3.3.2.2.3 集材路の規格

以上のことから、スコープオンによる搬出用の集材路を開設して搬出するには、下げ荷での集材では、最大勾配は15度以内、上げ荷では10度以内とし、カーブ作設では上げ荷下げ荷ともおよそ半径7 m以上になるよう作設する事が望ましい。また、幅員は直線で1.8m、カーブではボギーが通過するには直線と同じ1.8mあれば良いが、旋回幅はカーブ半径に応じた伐開幅をもうけておく。

### 3.3.2.2.4 フォワードのサイクルタイム

フォワードによる集材作業は、次の式で表される。

$$1 \text{ サイクル時間}(T_f) = \text{走行時間}(T_1) + \text{積込時間}(T_2) + \text{荷下し時間}(T_3)$$

各要素作業の調査結果から、集材路積込みで下げ荷の一回の積載量が2.2m<sup>3</sup>場合、スコープオンの

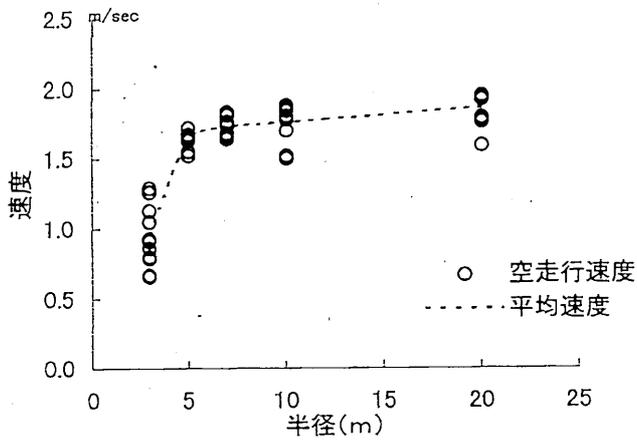


図-12 カーブ半径と走行速度 (空車時)

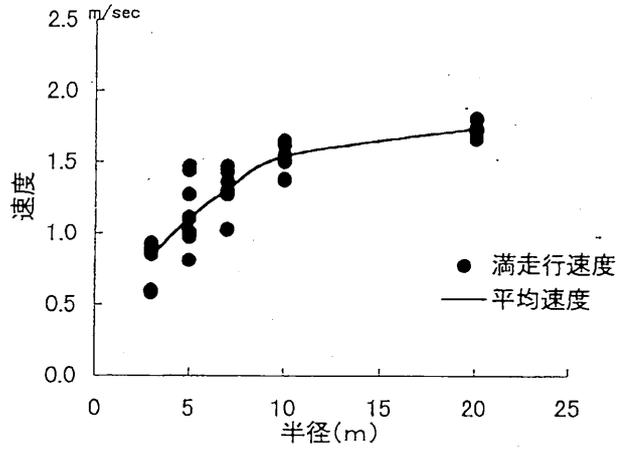


図-13 カーブ半径と走行速度 (満載時)

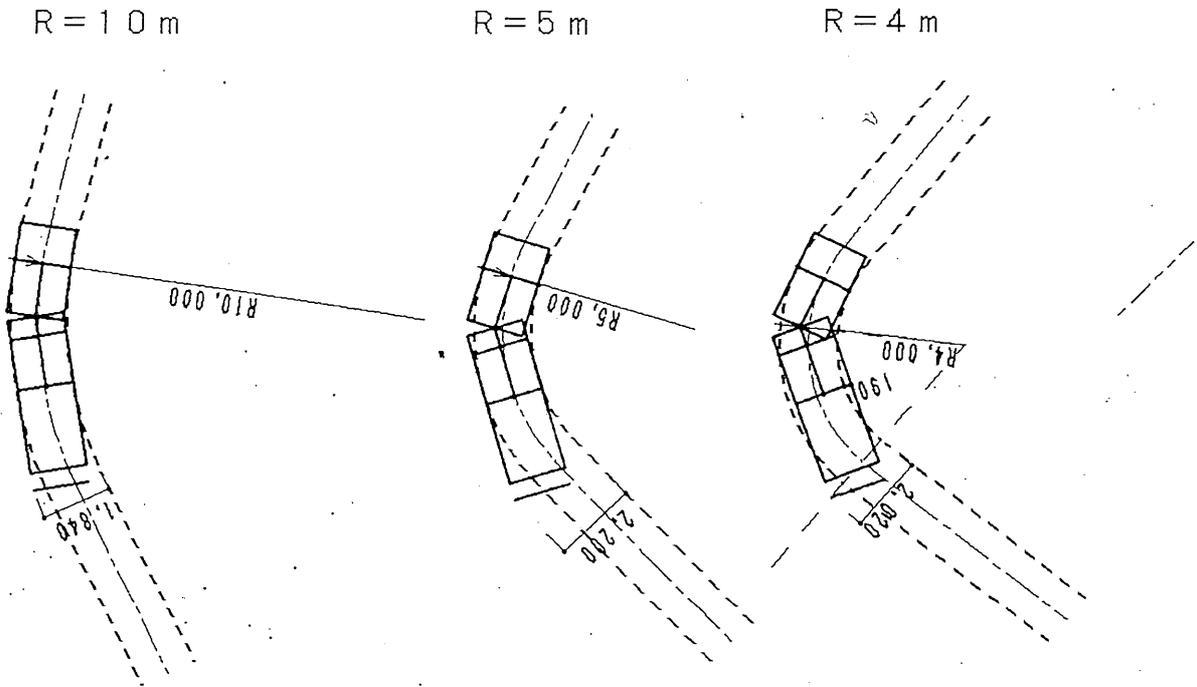


図-14 必要旋回幅

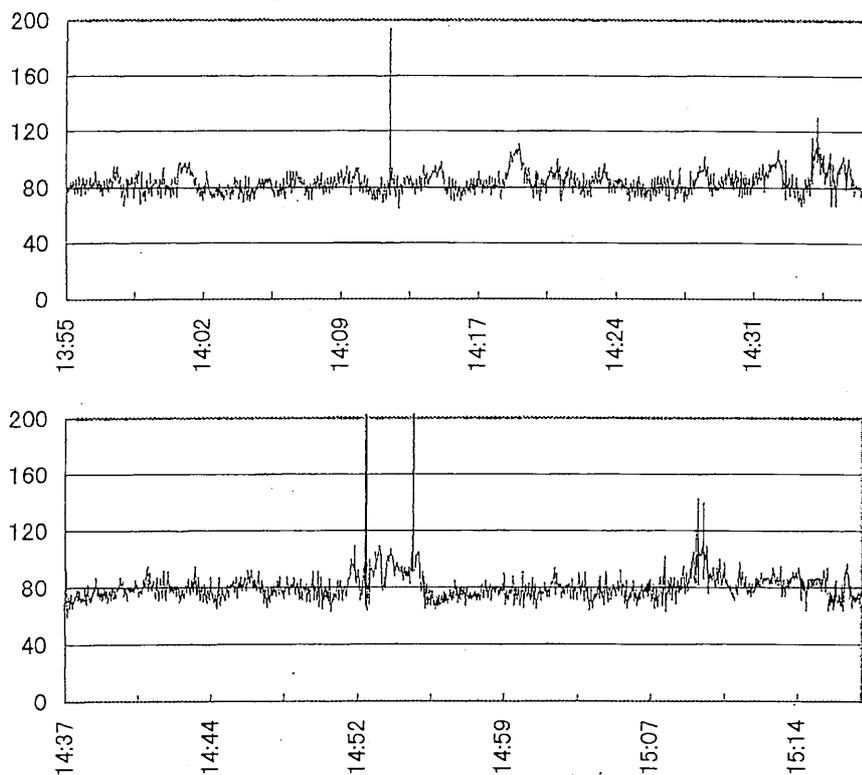


図-15 オペレータの作業中の心拍数の変動

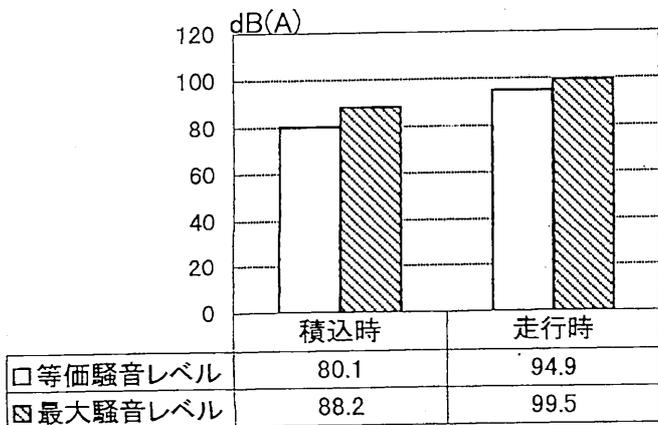


図-16 作業時騒音測定結果

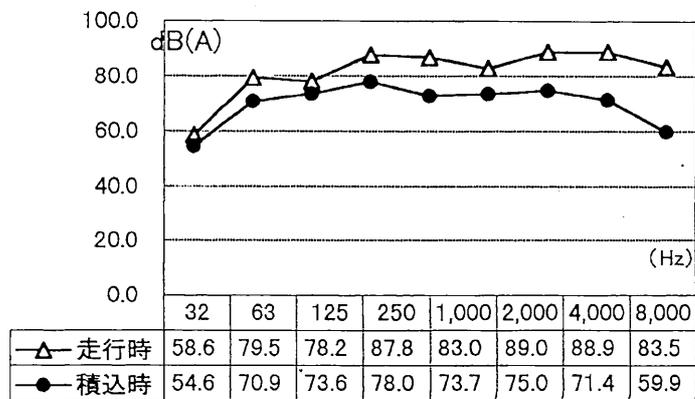


図-17 作業時騒音1/1オクターブ分析結果

サイクルタイムの推定式は、次式のとおりである。

まず、走行時間の推定式は、

$$T1 = (1/V1 + 1/V2) L \\ = (0.88 + 1/(-0.02x + 0.98)) L \\ T2 = 824 \text{ (秒)}、T3 = 677 \text{ 秒}$$

但し L : 走行距離、V1 : 空走行速度、V2 : 実走行速度  
x : 集材路傾斜 (度)

したがって  $Tf = (0.88 + 1/(-0.02x + 0.98))L + 1501$  となった。

### 3.3.3 作業環境について

#### 3.3.3.1 作業者の整理負担

スコープイオンのオペレータに心拍測定装置を付けて作業をしてもらい、搬出作業中の心拍数を測定記録した。作業中の心拍数の変動を図-15に示した。オペレータは、森林組合の職員で37歳の男性である。被験者の平常時の心拍数は、62拍/分で、作業中の平均心拍数は85拍/分であった。

架線集材等の先山作業に比べてかなり低い作業負担であり、全作業を通じて作業負担の変動が少ないことが判った。

#### 3.3.3.2 作業騒音調査

オペレータのヘルメットに騒音計のマイクロホンを取り付けて、作業中の10分毎の等価騒音レベル(A特性)と最大騒音レベル(A特性)、および1/1オクターブ分析による周波数特性を測定した。

その結果、積み込み時の等価騒音レベルが80.1dB(A)、最大騒音レベルが88.2dB(A)、走行時には等価騒音レベルが94.9dB(A)、最大騒音レベルが99.5dB(A)であった。走行中の等価騒音レベルの値は、労働安全衛生基準の85.0dB(A)を遥かに越えている(図-16)。積み込み時の値も基準値は下回っているもののかかなり高い値を示している。

また、走行中の騒音の1/1オクターブ分析の結果では、走行中2000~4000Hzの音域で騒音レベルが89dBでピークを示した(図-17)。2000Hz以上の高周波の騒音が高いと、作業能率への影響が大きいと言われている。

これらの調査結果から、スコープイオンのオペレータはイヤーマフをするなど、作業中何らかの防音対策を行う必要がある。

## 4. ま と め

本県においても、当研究期間の5カ年間に高性能林業機械の導入が進んでいる。特にプロセッサ、タワーヤダの導入が多い。一方で高性能林業機械の作業指針が少ないため、導入を躊躇する事業者も少なくない。また、タワーヤダは簡易索張り方式を採用しているため、集材時に安全性を十分考慮していない点も見受けられる。今回の調査で、タワーヤダの索張りは高能率で行えることが再確認できたが、一方で索張りにおいて使用する先柱は、間伐対象林分の平均的な中径木一本では、十分な強度が得られず、さらに控えて補強する等の対応が必要であろう。

また、車両系の搬出機械でも林分配置を考慮すれば効率的な搬出が可能であり、今後は集材作業に適した森林施業方法の検討が望まれるところである。今回調査したスコープイオンは、アウトリガーの強度や操作性で改良の余地はあるが、小型で間伐材の搬出に向いているフォワーダであろう。今後この機械のコンセプトを引き継いでより優れた小型フォワーダが開発されるものと期待したい。

最後にこの調査報告にあたって、森林総合研究所作業システム研究室、労働科学研究室、伐出機械研究室のみなさまに多大なご協力をいただいたことを御礼いたします。