

集材機運転作業環境に関する基礎的研究 (第2報)

— 人間工学の観点よりみた集材機運転作業の評価 —

豊川 勝生⁽¹⁾

TOYOKAWA, Katsumi: A Fundamental Study on the Work Environment
of the Yarder Operator II

— An evaluation of the yarding operation on human engineering —

要 旨 : 本研究は集材機運転作業を人間側より評価し、現在の集材機作業の問題点を抽出して、改善方向を見出す研究である。本報告ではまず、集材機運転操作に関する調査で運転手が高い関心度を示した項目(豊川, 1990)の検討を行った。視野の解析からは、前方視野は右側視界がよく、視野妨害物は前柱、集材機左側ドラム、注視野内でコンソールパネル、後方視野では背あてであることが、また、眼点位置変化による視野の変化は少ないことが判明した。振動の解析からは、座席振動が全身振動の評価基準値以下であること、振動成分がエンジン、トランスミッション、ドラム回転に起因するものに分離できること、座席への振動の伝播は特に前後方向の振動で大きいことが判明した。騒音の解析からは、ドアを開けた状態での「空搬器走行」、「横取り」作業工程で問題があること、聴力障害危険率は31%となること、エンジン付近と排気管付近の騒音はレベルが高く、人体に影響を与える周波数成分を多く含んでいることなどが分かった。操作器具と座席の検討では、林業機械運転手の体格調査結果と人間特性から、座席寸法関係の推奨値、ペダル位置、レバー位置の推奨範囲を得た。次に、この推奨操作器具位置と現用集材機の操作手順より求めた操作器具類の操作推移確率を検討することにより、操作器具類の最適配置法を作成した。最後に室内環境、計器、運転室、乗り降りの評価基準を検討し、得られた各項目の基準で集材機運転作業環境の総合評価表を作成した。

目 次

| | | |
|-----|---------------------|----|
| 1 | はじめに | 36 |
| 2 | 集材機運転手の視野 | 37 |
| 2.1 | 視覚情報の概要 | 37 |
| 2.2 | 視野測定方法 | 38 |
| 2.3 | 視 界 図 | 41 |
| 2.4 | 前方非可視部分面積 | 43 |
| 2.5 | 立 体 角 | 43 |
| 3 | 集材機座席上の振動 | 49 |
| 3.1 | 集材機振動の測定、分析方法 | 49 |
| 3.2 | 集材機座席上振動の波形 | 49 |

| | | |
|-----|----------------------------|-----|
| 3.3 | 振動の曝露時間 | 49 |
| 3.4 | 集材機座席上振動の評価 | 50 |
| 3.5 | 振動の伝播 | 51 |
| 3.6 | 防振対策 | 52 |
| 4 | 集材機運転手耳元の騒音 | 57 |
| 4.1 | 騒音の測定分析方法 | 58 |
| 4.2 | 集材機外騒音の評価 | 58 |
| 4.3 | 運転手耳元騒音の評価 | 58 |
| 4.4 | 防音対策 | 64 |
| 5 | 集材機操縦席回りの設計 | 70 |
| 5.1 | 集材用機械運転手の体格 | 70 |
| 5.2 | 集材用機械運転手の人体寸法値からみた操縦席回りの設計 | 72 |
| 5.3 | 操作器具類の操作力, ストローク量 | 87 |
| 5.4 | 操作器具類の操作頻度, 操作時間 | 90 |
| 5.5 | 操作器具類の位置決定手順 | 94 |
| 6 | 集材機運転作業環境の総合評価 | 103 |
| 6.1 | 未評価項目の検討, 整理 | 104 |
| 6.2 | 評価方法とランク付け | 105 |
| 6.3 | 評価項目と検討項目の評価基準 | 107 |
| 6.4 | 集材機運転作業の総合評価方法 | 120 |
| 6.5 | 運転作業よりみた集材機評価 | 120 |
| 7 | 結 論 | 123 |
| 7.1 | 集材機運転手の視野 | 124 |
| 7.2 | 集材機座席上の振動 | 124 |
| 7.3 | 集材機運転手耳元の騒音 | 124 |
| 7.4 | 集材機操縦席回りの設計 | 124 |
| 7.5 | 集材機運転作業環境の総合評価 | 125 |
| | 謝 辞 | 125 |
| | 引用文献 | 125 |
| | Summary | 129 |

1 はじめに

近年の林業機械の発達は、林業労働力の減少を補い、また、作業者の労働強度の軽減に役立っている。しかし、これらの機械の発達は、機械を操作する人間に高度の操作技術力を要求するようになった。機械の発達は労働強度の軽減にはつながったが、別の意味での疲労を人間に生じさせることとなった。こ

これは操作する人間と機械との適合の問題である。この適合が十分にできていないと、人間に無駄な疲労を与えることとなる。本論文ではこの点に着目、題材に集材機運転作業を取り上げ、集材機運転作業を従来より行われてきた機械側からの検討でなく、人間側より検討するものである。

前報(豊川, 1990)では、集材機作業のおかれている現状をつかむために、集材機運転作業にかかわる人間の労働負担、集材機運転作業に関する運転手の評価などを取り上げ、集材機運転作業の問題点を抽出した。その結果、集材機の改良点として、移動の容易性を考え重量の軽減、全長の短縮、巻き上げ能力と巻き上げ速度の選択幅の増加などがあげられた。また、集材機運転手の労働環境の検討では、1日の作業は疲労をもたらすが、その蓄積は少なく、労働負担としては好ましい限界内にあることが分かった。また、疲れは身体各部の局部(手、足、腰など)に自覚症状の訴え率が高いことが判明した。集材機運転手の運転作業環境に対する評価では32項目のチェックリスト結果を因子分析法にかけることにより、11項目にしばった。この11項目に対する3段階評価法では、振動、騒音、視野、座席、操作器具の5項目が重要な項目として取り上げられた。

本論文ではこれらの結果をふまえて10項目(排気ガスの項目を室内環境の項目に含ませる)の検討、特に上記5項目の検討を各章(2~5章)で行い、さらにはほかの項目も6章で検討、集材機運転作業環境の評価表を作成することにより、現在の集材機作業環境を総合的に評価できるようにした。これら本研究の結果が集材機の改良、開発時の設計に何らかの示唆を与えるものと筆者は考えている。

2 集材機運転手の視野

視覚情報は運転作業において情報量の90%をなすといわれている(倉田, 1959)。現在の集材機運転1集材サイクル中で運転手が緊張を強いられる工程は、山での材の吊り上げ時、そして材の移動時であろう。前者は有線なり無線なりの電話で荷かけ手と連絡をとり、ドラム上の作業索の繰り出し具合を見ながら作業を行うことであろう。また、後者は土場上に搬器がある場合の運転作業で土場の人間の動きと搬器の動き、搬器が吊っている材をみながらの作業という視覚情報が主となる作業であろう。前報の関心度調査(豊川, 1990)で視野に対する関心度が高かったのもここに原因があるものと推測される。そこで本章では集材機25台(9機種)について運転身体格等を考慮しながら集材機視界について考察を進める。

2.1 視覚情報の概要

本論文で使用する視野、視界の定義を述べる。視界は窓で得られる全視界(潜在視界)と集材機の装備類で視野妨害された視界を除いた実質的外部視界(実用視界)とに分けられる。運転手は運転情報を、土場での人の動きや搬器の動きで、また、荷かけ地点での荷かけ手との有線あるいは無線電話による情報とドラム上の作業索の繰り出し量で得ている。従って、集材機運転手の視覚情報の検討は、実用視界の検討(視界図、前方非可視部分面積で対応)、潜在視界の検討(立体角で対応)が必要となる。

また、運転作業時の眼の動きは、周辺視で状況の変化を感知し、中心でその状況をさらに認知するという選択的知覚を行っているといえる。本論文で使用される視界評価の一つ注視野は、頭を固定し眼球を自由に動かして得られる中心視の範囲での視野評価であり、前述の視界評価に使用する視野は頭を固

定して眼球を自由に動かして得られる視野、動視野における評価といえる。

2.2 視野測定方法

2.2.1 概 要

一般的な視野測定方法には、プロット法、XY レコーダ法、スクリーン撮影法、パノラミックカメラ法、魚眼レンズカメラ法がある（本郷，1977）。これらの中で、一般的には ISO/TC 127（土工機械専門委員会）で 1976 年に提案されたスクリーン撮影法や地上投影法（ISO, 1976 c），建設省土木研究所や建設機械化研究所が採用している目視による方法（JIS, 1977）がよく利用されているが、本論文

では魚眼レンズカメラ法による評価を試みた。それは魚眼レンズカメラ法が作業現場での測定が容易であり、また、次の理由で同法が人間工学的検討に最適であると考えられるからである。

視界情報を人間工学的に検討する目的は、視覚情報を人間の眼の特性に最もよく適合させて得られやすくすることにあるが、視点が変化するため他の方法では検討が難しい。また、本論文で検討する「視野」は「人間機械系における人間の視覚情報の占める空間的大きさ」を考えるが、このような視野は眼の位置により変化するものであり、さらにその定量化は一般的視野測定法では表現が困難である。従って、魚眼レンズカメラ法により、その視点位置を確定し、この方法より得られる立体角で視野の定量化を行うことにより上記の解決を図った（堀野，1970）。

この測定に使用した魚眼レンズは、NIKON 製の等距離射影魚眼レンズで、その性能は下記のとおりである。

フィッシュアイ・ニッコール

焦点距離 8 mm F 2.8 画角 180° 重量 1100 g

2.2.2 魚眼レンズカメラ法の理論

魚眼レンズによる撮影像は天頂角を θ とすると、 $y = k\theta$ (k ; 常数) で示される像となる (Fig. 1)。つまり、同一天頂角上の物点は像面上で半径 y の同心円となる。また、方位角（垂直方向角） ϕ は画面上でも ϕ として示される。ここで Fig. 2 における画面上の Q 点と地上の P 点の関係より次式が導かれる。

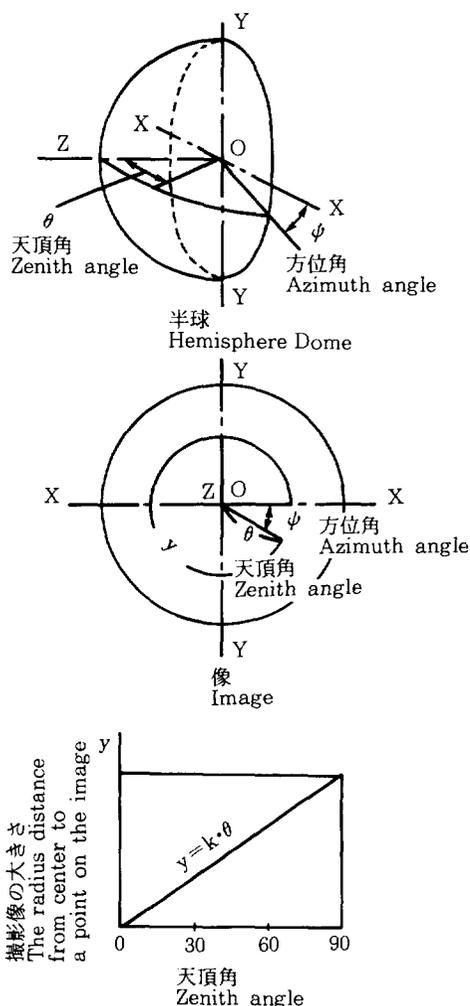


Fig. 1. 等距離射影魚眼レンズによる像 Image by the equidistant projection fish-eye lens.

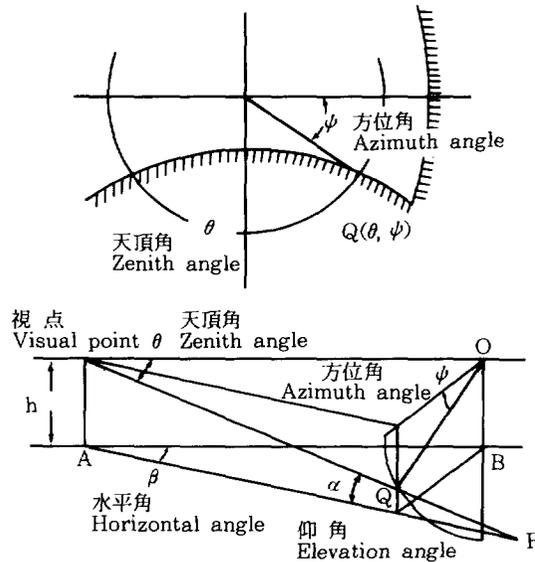


Fig. 2. Q 点の視点からみた地上の投影点 P の軌跡

The locus of "P" on the ground plane of "Q" from the visual point.

O : 魚眼レンズ撮影画面の中心

A point of center on the image by fish-eye lens.

A : 視点の地上への投影点

The point on the ground plane of the visual point.

B : O 点の地上への投影点

The point on the ground plane of "O".

P : 視点よりみた Q 点の地上への投影点

Locus of "Q" from the visual point on the ground plane.

Q : 魚眼レンズ撮影画面上のある点

A point on the image.

h : 地上からの視点の高さ

Ground height of the visual point.

$$AP = \frac{h \times \sqrt{1 - \sin^2 \theta \times \sin^2 \phi}}{\sin \theta \times \sin \phi}$$

$$\cos \beta = \frac{\cos \theta}{\sqrt{\cos^2 \theta + \sin^2 \theta \times \cos^2 \phi}} \quad (\beta; \text{水平角})$$

$$\tan \alpha = \frac{\sin \theta \times \sin \phi}{\sqrt{1 - \sin^2 \theta \times \sin^2 \phi}} \quad (\alpha: P \text{ 点から視点への仰角})$$

従って、Q 点の座標と高さ h が求めれば、P 点の軌跡図 (視界図) が描かれることになる。

次に立体角の計算手順を検討する。立体角とは、視点よりみたある一定球面上の物体の見かけ上の大きさを示す角 (Ω ; 単位ステラジアン) で、この立体角の大小で視野の大小が表せる。

Fig. 3 における球帯の表面積 S は、 $S = 2\pi rH$ である。従って、天頂角 θ_a と θ_b ($\theta_a > \theta_b$) の間

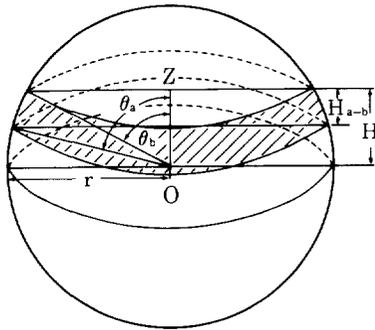


Fig. 3. 球帯の表面積

The surface area of a zone of sphere.

O : 球の中心

The center of a sphere.

H : 球の中心 O を通る中心線上での球帯の高さ

Height of a zone of sphere on the center axis "OZ" from the central point "O" of a sphere.

H_{a-b} : 天頂角 a から b までの球帯の高さ

Height of the zone of sphere on the center axis between zenith angle "θ_a" and "θ_b".

θ_a, θ_b : 天頂角

Zenith angle.

r : 球の半径

The radius of a sphere.

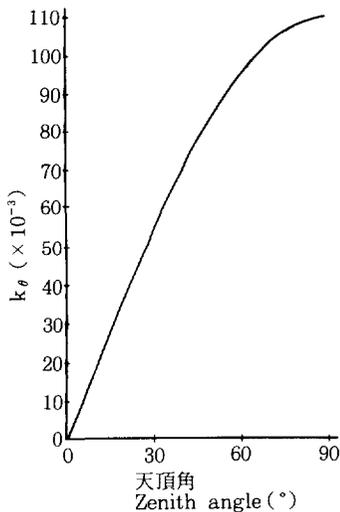


Fig. 4. 天頂角と常数の関係

Variation of "k_θ" with the zenith angle "θ".

H_{a-b} の面積 S_{a-b} は,

S_{a-b} = 2π r² × (cosθ_b - cosθ_a) となる。次に、方位角 φ を細分して考えると、r = 1 のとき半球の表面積は 2π なので、方位角 φ = 1° のときの面積 S(θ = a~b, φ = 1°) は

$$S(\theta = a \sim b, \phi = 1^\circ) = \frac{2\pi r^2 \times (\cos\theta_b - \cos\theta_a)}{360}$$

ここで、φ = 360°, θ = a~b, r = 1 のときの面積を k(θ_{a-b}) とおくと、

$$S(\theta = a \sim b, \phi = 1^\circ) = k(\theta_{a-b}) / 360$$

従って、k(θ_{a-b}) = 2π r × (cosθ_b - cosθ_a) となる。

ここで、θ_a - θ_b = 1° の状態で、θ_a を 90° から 1° まで変化させたときの k_θ と θ_a の関係は Fig. 4. のようである。この k_θ を使用して立体角 Ω は天頂角 θ ごとにそのときの方位角合計 Σ(φ_θ) を求め積算することにより

$$\Omega = \left[\sum_{\theta=1^\circ}^{90^\circ} (k_\theta \times \Sigma(\phi_\theta)) \right] / 360$$

で求まることになる (YAMAMOTO, 1966)。

2.2.3 撮影時の眼の位置

眼の位置の決定は自動車規格に準じた。自動車規格では以下のように規定している (JASO, 1972)。

○ 運転席のシート位置は全スライド量の中央に固定する。アイポイント (Eye P.) の左右位置はシート中心である。アイポイントの前後位置、高さは運転席に着座させた三次元マネキンのヒップポイント (H. P.) を通る縦断面内で、0° ~ 8° 後方に傾斜した線上の H. P. から 620 mm ~ 640 mm 上方の点とする。

以上のことを参考にして、Fig. 5 に示す装置 (上下・前後移動、水平・垂直回転可能) を作成した。また、人間の胴体以上の重さを考慮してウェイト 40 kg を装置に設置した。

集材機視野の調査眼点の位置は前述の規格を参考にして林業運転手の体格 (Table 12 参照) から検

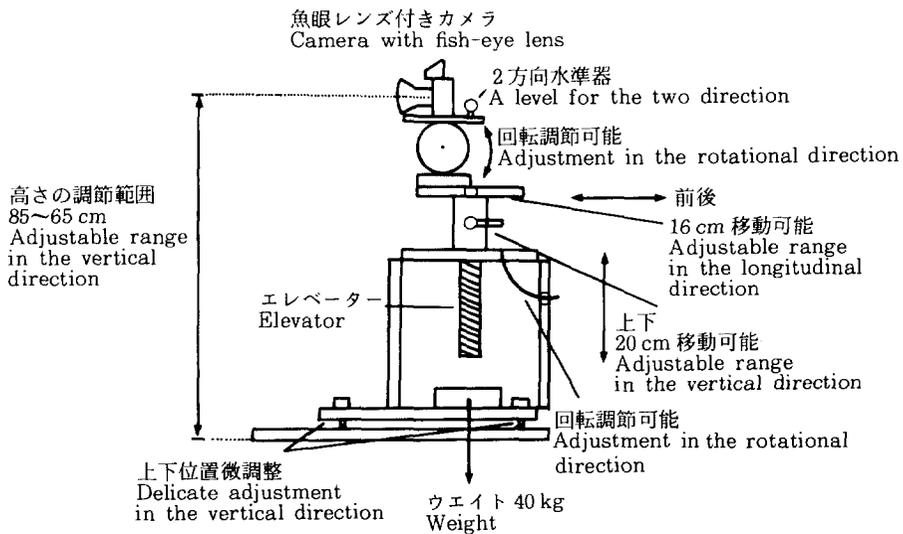


Fig. 5. 魚眼レンズカメラ固定装置
Equipment for setting up camera with fish-eye lens.

討した。座面からの高さは運転手の平均眼高 75.6 cm, 5 パーセント値 67.8 cm, 95 パーセント値 83.4 cm, 集材機の背あて傾斜最頻角度 105° から標準の高さ 73 cm, ほかの高さを 80 cm, 66 cm とした。前後の位置は運転手の臀部・足趾間距離 5 パーセント値 82.7 cm, 95 パーセント値 101.3 cm, ペダル踏み込み角度最頻値水平から 25° 下を考慮すると, 前後差は水平距離で 17 cm となった。従って, 中立点から 8 cm 前後の移動を考えた。

以上の検討から調査眼点の位置は集材機座席の前後, 高さを中立位置として, 座席上に前述の装置を高さ 73 cm に設置 (基準眼点), 4 方向 (前, 後, 左, 右) を魚眼レンズ付きカメラで撮影した。また, 前方視界は座席を中立位置にして高さ 80 cm, 66 cm で, 前後を 8 cm ずつ移動することにより撮影した。さらに調査対象運転手の視野を測定するために, 運転手眼点より 4 方向の撮影を行った。調査対象集材機は現在よく使用されている集材機 25 台 (9 機種) である。

2.3 視界図

Fig. 6 は集材機 9 機種の視界図を示している。これは前述の P 点の軌跡で描かれるものである。眼高は地上からの集材機運転手の平均眼高 (地上からの基準眼点高) で算出している。図より死角となるのは前方 $30^\circ \sim 40^\circ$ にある前柱と分かる。そのほか, ドラムが大きな前方非可視部分となっており, ドラム数の増加につれ非可視部分面積が増加する傾向にある。

理想的視界の基準としては, ISO/TC127 で車両の安全運転に必要な基準が提案されている (ISO, 提案中)。その内容は,

- ① 前方視界は視野限界が半径 12 m の半円内まであれば十分である。
- ② 前方で視野をさえぎるものがない部分として, 少なくとも前方視野円錐の基線の長さ (視界半円

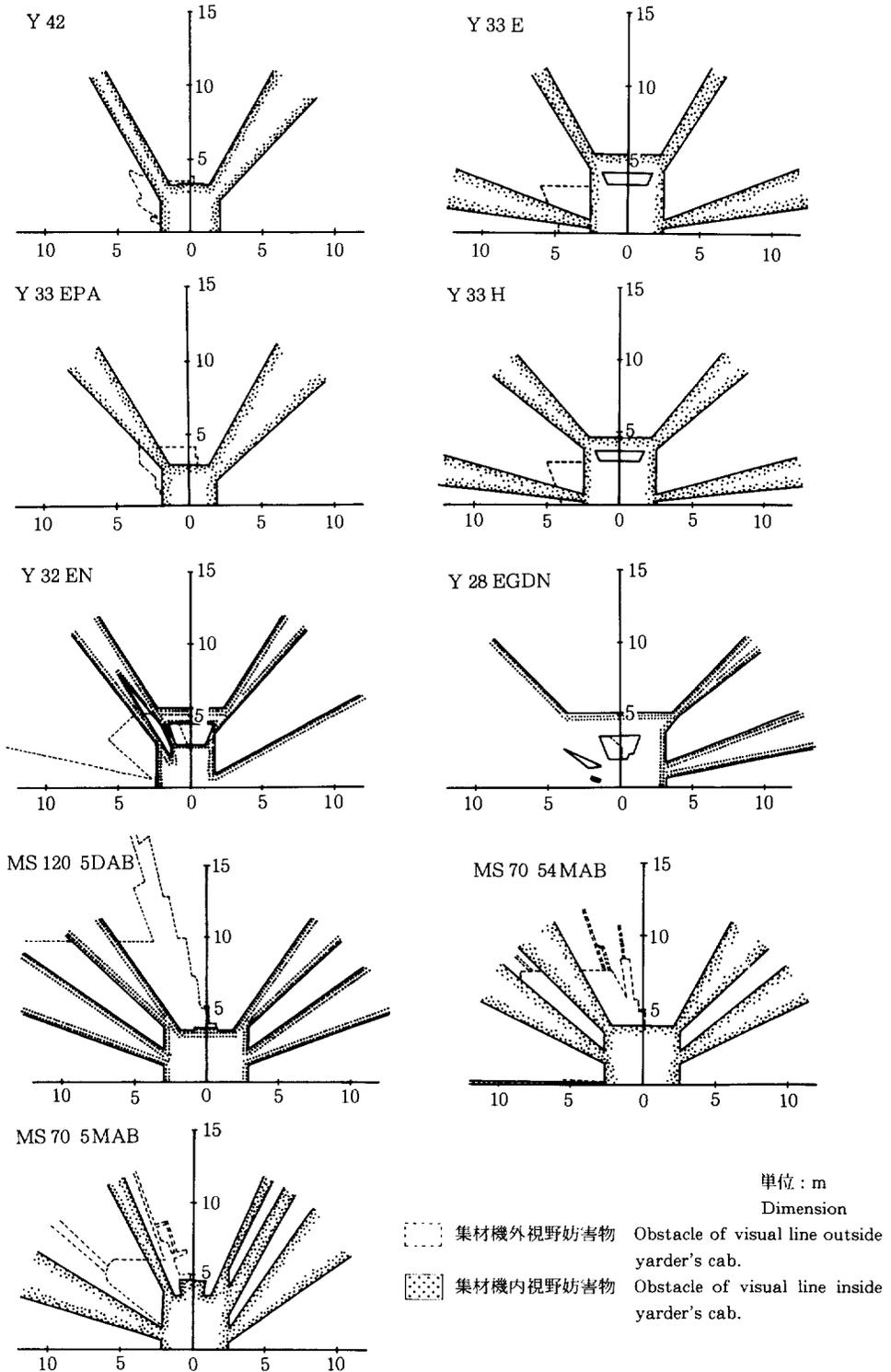


Fig. 6. 集材機視界図
Visible range on ground (yarder).

の弦の長さ）が 9.5 m 必要である。この円錐視界内ではマスキング部分は 2 か所以下でなければならない。

③ 幅 80 mm を超す非可視部分が視界半円上にいくつかある場合は、これらの中心間最小距離（半円視界の弦の長さ）は 2.5 m なければならない。

④ 全視界半円上でマスキング部分は 6 か所以上ないことが望ましい。

この基準で集材機 9 台の視界を検討した結果、基準①で 56%、基準②の基線長の検討で 67%、マスキング部分で 100%、基準③で 100%、基準④で 100% の満足度であった。ただし、基準①の検討では非可視部分が前柱のような無限長のものをほかの最大有限長部分の最長非可視部分でカットして考えている。集材機の場合、基準①と基準②でこれを満足しないものがあるが、ほとんどの機種で ISO 基準を満足していた。

2.4 前方非可視部分面積

視界図より得られた半径 12 m の円内の前方非可視部分面積と集材機全装備重量の関係、眼高（地上からの基準眼高）と非可視部分面積の関係は正の相関がみられた。集材機はほかの走行車両と比べ、重量や眼高が低いにもかかわらずキャビン有しているため、その非可視部分面積の多さが顕著であった。また、集材機間での比較では、同程度の眼高、重量でも非可視部分面積は機種間で差がみられた。

集材機前方中央での最小地上明視距離と、集材機全長×前幅の関係は、前方に作業機を装着しない集材機の明視距離がほかの車両と比べ短く、機種間の相違も少ないことが分かった。

2.5 立体角

本節では立体角を使用して集材機の視界の評価を行う。なお、視界測定位置は基準眼点よりの評価である。

2.5.1 視界の評価

視界角度の評価には上方視界角度、下方視界角度、水平方向視界角度が考えられる（Fig. 7）。上方視界角度は集材機種間で差があった。例えば 20 m の全幹材を土場におろす場合を考え、このときの搬器の高さ 20 m、その地点と集材機間の距離は安全をみて 30 m と仮定すると、この場合の上方視界角度は 35° が必要となる。しかし、35° 以下のものが調査対象機種中 30% を占めており、これらの機種の上方向視界角度の増加改良が望まれる。下方視界角度はドラム上の作業索の動きをみるために必要であり、これは 25° 内外で機種間の差は少なかった。水平方向視界角度は ISO 基準をもとに考え、運転手基準眼点より前方 180°、水平方向で眼点より半径 12 m の半円上の視野妨害のない視界角度合計値を求めた。この値は平均で 131° であった。これら水平視界角度もできるだけ増加が望ましい。

Table 1 は集材機 9 台の各方向に対する魚眼レンズ撮影像で得られた画角 180° 内の視野立体角合計値を示している。全視界の立体角は機種間で差があり、少ないものと多いものでは 2 倍近い差がみられた。前方視界（潜在視界）では、利用できる視野が 43%～63% であり、運転手視線が下方はドラム、上方は搬器と広い範囲に動くことを考慮すると、少ない視野範囲といえよう。実用視界と潜在視界の比では、前方視界において 90% 以上の外部視界が確保され良好であったが、全視界では 69% と減少した。この減少原因は後方視界の座席背あてによる視野妨害であり、背あての高さに問題が残った。

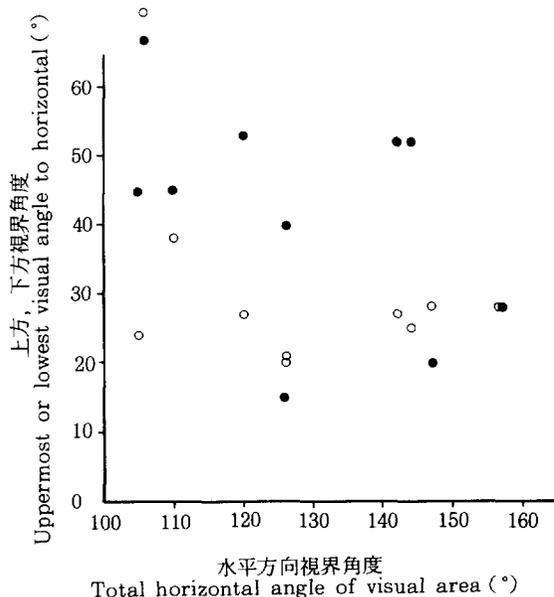


Fig. 7. 集材機の視界角度

Visibility on the horizontal plane at the height of the driver's eyes and visibility in the vertical plane included between the visual line through upper limit and lower limit of front window.

- : 上方視界角度 Uppermost visual angle to horizontal.
- : 下方視界角度 Lowest visual angle to horizontal.

Table 2 は全視界に対する 4 方向の比である。調査機種 9 台は運転席前方に向かって左側にドラム、トランスミッション、エンジンが装備してある。従って、右側にドアを配置しているため、右方の視界がよく、次に前方視界がよいのが通常であるが、2 機種については右方ドア以外に窓がなく全視界の値は低くなっている。後方視界は集材機の場合ほとんど必要ないが、緊急の場合の眼による安全確認のために、また、採光のためにも窓を設置する必要がある。

2.5.2 注視野による評価

集材機操作時の運転手の視覚運転情報には土場上の材や人の動き、搬器の動き、ドラム上の作業索の巻き取り具合がある。集材機 9 台の前方注視野内の妨害物割合は Table 3 のようであった。機種間で差があり、その視野妨害物の大部分はドラム、コンソール・パネルであった。注視野内にあるコンソール・パネル上の計器や操作器具は計器が緊急の場合のみに必要であること、また、操作器具は運転手が筋肉感覚のみで操作できることを考え、注視野内にコンソール・パネルを配置する必要はない。

Fig. 8 はドラム上の作業索巻き取り部分の立体角と天頂角、方位角の関係を示す。立体角の大きさは機種により差がある。また、ドラムの作業索巻き取り部分中心は天頂角 40° 付近にある。しかし、方位角 0° のこの方向は左前柱があり、ドラム上の作業索確認のために左前柱の後方への移動もしくは左

Table 1. 集材機視界の立体角
 Visibility of yarder expressed by "solid angle".

| 機 種 Yarder type | 実 用 視 界 Visual area | | | | | 潜 在 視 界 Visual area through the window | | | | | ①/② (%) | ③/④ (%) |
|--------------------|------------------------|-------------|--------------|-------------|------------|---|-------------|--------------|-------------|------------|------------|------------|
| | 前方A Front | 左 方 Left | 右 方 Right | 後 方 Back | A/B (%) | 前方A Front | 左 方 Left | 右 方 Right | 後 方 Back | A/B (%) | | |
| MS120 5DAB | 2.246 | 1.664 | 2.496 | 1.914 | 36 | 2.502 | 2.219 | 2.502 | 2.219 | 40 | 90 | 88 |
| MS70 54MAB | 2.662 | 1.491 | 3.117 | 1.946 | 42 | 2.855 | 1.954 | 3.117 | 2.216 | 45 | 93 | 91 |
| MS70 5MAB | 2.103 | 1.326 | 1.990 | 1.213 | 33 | 2.207 | 1.477 | 2.039 | 1.309 | 35 | 95 | 94 |
| Y33 HD6N | 2.643 | 2.289 | 2.746 | 2.392 | 42 | 2.849 | 2.867 | 2.746 | 2.764 | 45 | 93 | 95 |
| Y33 EAD6N | 2.669 | 2.635 | 3.251 | 3.217 | 43 | 2.866 | 3.301 | 3.251 | 3.686 | 46 | 93 | 90 |
| Y33 EPA | 2.581 | 1.959 | 1.624 | 1.002 | 41 | 2.728 | 2.640 | 1.981 | 1.893 | 43 | 95 | 78 |
| Y42 EA | 2.784 | 1.922 | 1.392 | 0.530 | 44 | 2.865 | 3.021 | 1.761 | 1.917 | 46 | 97 | 69 |
| Y32 EN | 2.480 | 2.099 | 2.580 | 2.199 | 39 | 2.926 | 2.940 | 2.580 | 2.594 | 47 | 85 | 85 |
| Y28 EGDN | 2.000 | 1.666 | 2.202 | 1.868 | 32 | 2.130 | 1.796 | 2.202 | 1.868 | 34 | 94 | 97 |

- ① 前方実用視界 Solid angle of front visual area
 ② 前方潜在視界 Solid angle of front visual area through the window
 ③ 全視界実用視界 Total solid angle of visual area
 ④ 全視界潜在視界 Total solid angle of visual area through the window
 B : 半球の立体角 Solid angle of a half sphere (2π steradian)

Table 2. 各方向の視界

The ratio of the solid angle in each direction to that in all direction.

| 機 種 Yarder type | 実用視界 Visual area | | | | 潜在視界 Visual area through the window | | | |
|--------------------|---------------------|-------------------|--------------------|-------------------|--|-------------------|--------------------|-------------------|
| | 前方 Front (%) | 左方 Left (%) | 右方 Right (%) | 後方 Back (%) | 前方 Front (%) | 左方 Left (%) | 右方 Right (%) | 後方 Back (%) |
| MS120 5DAB | 20 | 21 | 40 | 19 | 19 | 28 | 35 | 18 |
| MS70 54MAB | 16 | 17 | 49 | 18 | 15 | 23 | 44 | 18 |
| MS70 5MAB | 34 | 21 | 29 | 16 | 34 | 24 | 27 | 15 |
| Y33 HD6N | 21 | 25 | 31 | 23 | 19 | 32 | 27 | 22 |
| Y33 EAD6N | 12 | 25 | 32 | 31 | 11 | 30 | 29 | 30 |
| Y33 EPA | 17 | 50 | 31 | 2 | 18 | 51 | 29 | 2 |
| Y42 EA | 18 | 48 | 28 | 6 | 17 | 52 | 26 | 5 |
| Y32 EN | 23 | 21 | 32 | 24 | 20 | 31 | 28 | 21 |
| Y28 EGDN | 27 | 20 | 29 | 24 | 28 | 20 | 28 | 24 |

Table 3. 集材機の注視野内妨害物割合

The solid angle of the obstacle within the whole visual field, when fixing operator's head.

| 機 種 Yarder type | 実用視界 Visual area | | 潜在視界 Visual area through the window | |
|--------------------|---|-------|---|-------|
| | 注視野内妨害物A Solid angle of visual obstacle | A / B | 注視野内妨害物A Solid angle of visual obstacle | A / B |
| MS120 5DAB | 0.840 | 0.41 | 0.687 | 0.33 |
| MS70 54MAB | 0.971 | 0.47 | 0.778 | 0.38 |
| MS70 5MAB | 1.170 | 0.57 | 1.091 | 0.53 |
| Y33 HD6N | 0.794 | 0.39 | 0.779 | 0.38 |
| Y33 EAD6N | 0.663 | 0.32 | 0.660 | 0.32 |
| Y33 EPA | 1.173 | 0.57 | 1.007 | 0.49 |
| Y42 EA | 1.262 | 0.61 | 1.241 | 0.60 |
| Y32 EN | 0.740 | 0.36 | 0.639 | 0.31 |
| Y28 EGDN | 0.635 | 0.31 | 0.536 | 0.26 |

B: 注視野 (2.056 ステラジアン)

Solid angle of visual field, when fixing operator's head (2.056 steradian)

前柱幅の減少が望まれる。

2.5.3 眼点の移動による立体角の変化

調査対象 25 名の運転手眼点からの前方視野 (実用視界) は、平均で 2.149 ステラジアン (標準偏差 0.308 ステラジアン) であった。この値は 180° 画角内で 34% が運転手視野情報を得るために使われていることを示す。この前方視野は注視野内では平均で 1.039 ステラジアン (標準偏差 0.235 ステラジアン)

ン)であった。この値は前方視野の16.5%, 全注視野の50.5%に当たる。農業用トラクタによる同様の調査で、この値が全注視野当たり乗用型65.9%であった(酒井, 1965)のと比較して少なく、視界を考慮したキャビンの改良が望まれる。

Table 4 は運転手眼点位置測定のために集材機の運転手座眼高(地上からの高さ)とペダル・背あ

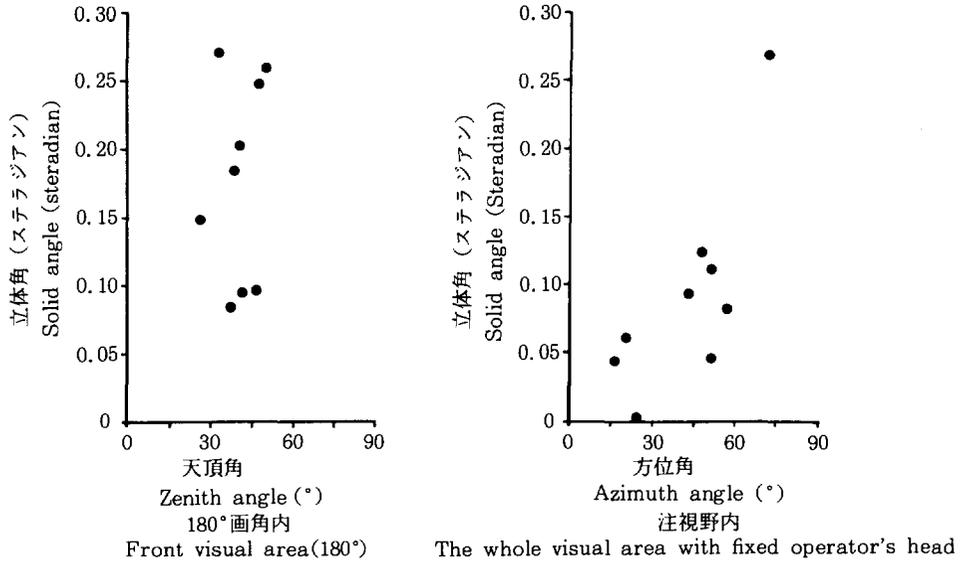


Fig. 8. ドラムの立体角
Solid angle of drum in visual area.

Table 4. 運転手眼点位置を決定する各距離
Distance among operator's eye, seat backrest, pedal and lever.

| 機種 Yarder type | 台数 Number (台) | 上下方向 Vertical direction | 前後方向 Longitudinal direction | |
|-------------------|---------------------|--|---|---|
| | | 床からの座眼高 Eye height from the floor level, when sitting (cm) | 最遠ペダル・背あて 間距離 Distance between the farthest lever position and backrest (cm) | 最遠レバー・背あて 間距離 Distance between the farthest pedal position and backrest (cm) |
| MS70-54MAB | 26 | 115.8 (6.86) | 89.6 (13.04) | 52.0 (8.31) |
| MS70-5MAB | 21 | 114.9 (7.44) | 85.7 (11.35) | 53.2 (13.33) |
| Y33H | 51 | 111.9 (7.06) | 82.7 (12.18) | 51.4 (13.72) |
| Y33E | 16 | 114.9 (7.44) | 80.2 (5.93) | 63.8 (6.29) |
| Y33EPA | 5 | 113.2 (3.27) | 74.8 (3.09) | 67.8 (15.59) |

平均 (標準偏差)
Average (Standard deviation)

て間距離、レバー・背あて間距離を調査した結果である。運転手が座席を調節している前後幅の変動をベダル、レバーと背あて間各距離の標準偏差で、高さ幅の変動を座眼高の標準偏差で代表させると、表より前者の方が大きいことが読み取れ、運転手は前後位置を中心に座席を調節していることが理解できる。逆に、高さの変化は少なく、運転手が一定の高さの座眼高で運転していることも理解できる。

また、運転手眼点の位置は運転手体格、運転動作、集材機振動などにより変化するため、集材機視界は眼点位置の変化による影響が少ないことが望ましい。Fig. 9 は、使用頻度の高い代表的な集材機2機種の視点移動による立体角の変化を示す。高さの移動（座席前後位置中立で高さを80 cm, 73 cm,

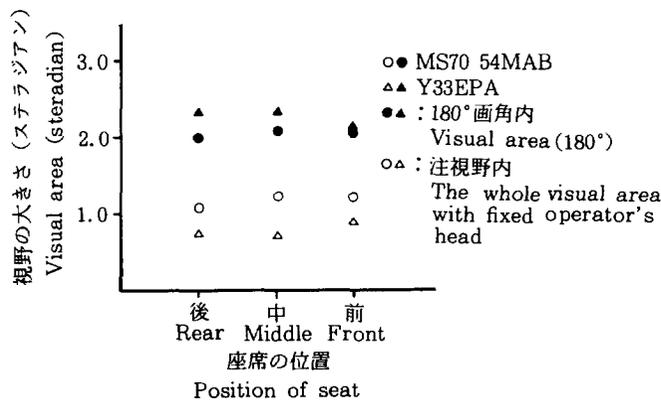


Fig. 9 (a). 立体角の座席前後による前方視野の変化 (高さ 73 cm で一定)
Variation of operator's visual area by position of seat in the longitudinal direction (In the case of the height of seat surface being 73 cm).

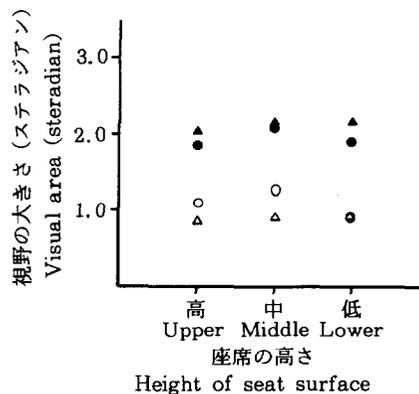


Fig. 9 (b). 立体角の高さによる前方視野の変化 (座席位置一定)
Variation of operator's visual area by position of seat in the vertical direction (In the case of the seat being fixed in the middle position in the longitudinal direction).

66 m に変化), 前後の移動 (座席の高さ中立で座席前後位置を中立より前後に 8 cm 移動) とも, その立体角の変化は少なく望ましい結果となった。

3 集材機座席上の振動

現在の振動研究は走行型車両であるトラクタでは, 振動実態調査, 振動の評価, 振動モデルからの振動理論解析と, かなりの研究がみられる (BARGER, 1967; MATTHEWS, 1964, 1965, 1966; 猪内, 1980)。しかし, 集材機振動は集材機運転手の関心度が高いにもかかわらず (豊川, 1990), いまだその実態と評価, 振動伝播経路などの研究は少ない (辻, 1972)。振動問題の解明は, 作業の快適性の維持のため, 操作性を向上させ作業能率を高めるため, 作業の安全性を高めるため, また, 高いレベルの振動に対しては人的障害を防ぐためにも必要である。

本章では作業現場の集材機座席上の振動, 集材機床上の振動を測定分析することにより, 集材機作業中の振動曝露実態, その評価, 振動伝播問題の解明を行った。

3.1 集材機振動の測定, 分析方法

集材機運転中の座席上振動の測定は, 集材機 20 台で行われた。測定方法は集材機座席上に箱型の 3 方向振動ピックアップを置き, 運転手がその上に座った状態で運転手に曝露される振動加速度値を振動計 (リオン株式会社製 VM-16) を通して計測した。現場でこの計測値をデータレコーダ (共和電業株式会社製 RTP-520 A) に記録, 室内で再生分析した。この波形解析は 1/3 オクターブ周波数分析器 (リオン株式会社 SA-57) と, レベルレコーダ (リオン株式会社製 LR-04) を使用した周波数分析と, データ処理装置 (日本電機三栄株式会社シグナルプロセッサ 7 T 0 8) を使用したスペクトル解析で行われた。なお, 運転手の臀部と座席の間にピックアップを置く方法は, 人体へ伝播する振動を測る目的で規定された方法である (SAE, 1973; ISO, 1976 a; ISO, 1976 b)。

3.2 集材機座席上振動の波形

Fig. 10 は, 集材機座席上振動の周波数分析 (オーバーオール値) 結果で, 8 作業工程別に示している。この図は周波数分析された波形を 1.5 秒ごとに振動レベルで読み取り, その中央値を示している。図からエンジン負荷時と無負荷時では振動レベルが異なることが分かる。これは, 奥田らも集材機 65 台の座席直下の上下方向振動レベルを各工程別に分け, その値を主成分分析した結果, 集材機運転中の作業工程別振動がドラム回転型とドラム非回転型とに分離できることで示している (奥田ら, 1980)。

3.3 振動の曝露時間

1 日の振動曝露時間は 1 日の集材機運転時間と考えてよい。この時間は人間工学的チェックリスト調査, 集材機座席直下の振動調査 (奥田ら, 1980) 結果より, 平均 5.6 時間 (138 例) であった。

77 現場における集材機作業の各作業工程の時間分析では, ドラム非回転型である荷かけ待ち時間, 荷はずし待ち時間の合計値は 1 集材サイクル中 43% を占めていた。

振動の曝露レベルは 1 集材サイクルではレベル変動が激しいが, 各作業工程内ではレベル変動は少ない。また, Fig. 10 のように振動レベルはドラム回転時よりドラム非回転時の方がレベルが低い。従って, ここでは集材機座席上の振動評価のための各作業工程ごとの曝露時間割合を安全側に立って考え,

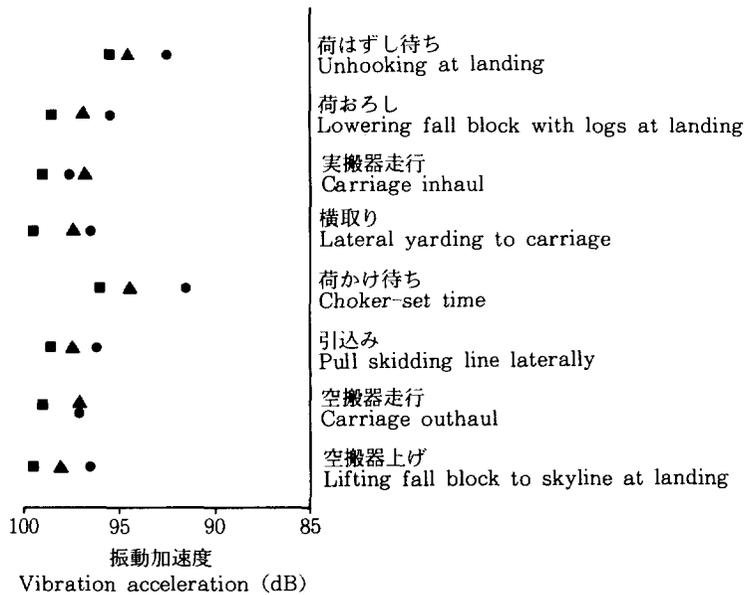


Fig. 10. 集材機座席上の振動

The vibration in 3 directions on the seat of yarder.

- 前後の振動 Longitudinal component of the vibration
- 左右の振動 Lateral component of the vibration
- ▲ 上下の振動 Vertical component of the vibration

前述のドラム非回転時間を 95% 信頼限界の最小時間に，ドラム回転時間を 95% 信頼限界の最大時間に設定した (Table 5)。

3.4 集材機座席上振動の評価

集材機運転手への集材機からの振動伝播は，座席上人体の臀部，背中より伝播する振動と，操作器具類を操作する手，足より伝播する振動とに区分できるが，ここで取り扱った振動は前者の全身振動である。

この全身振動の代表的な評価基準は ISO / TC 108 (機械振動・衝撃専門委員会) で決定した「全身振動曝露の評価に関する指針」(ISO, 1974 a) がある。この指針の概要は，以下のようなものである。この指針は立位及び座位の人間のその支持部分の表面より伝播する振動の評価に適用され，対象とする振動周波数範囲は 1~80 Hz, 振動の測定位置は振動体と人体の接触部分の振動を測定することを示している。分析は 1/3 オクターブまたはそれ以下の狭帯域のフィルタで分析を行い，振動は加速度の実効値 (rms) で表現することになっている。また，指針では，振動の人体への影響を決定する物理的因子として，振動の強さ，周波数，振動の方向，持続時間 (曝露時間) をあげている。これら 4 因子で評価される限界線としては ○ 作業能率の保持 (疲労・能率減退境界) ○ 健康や安全の保持 (曝露限界) ○ 快適性の保持 (快感減退境界) をあげている。ここでは一般的な評価である疲労・能率減退境界による集材機座席上振動の評価を試みた。

Table 5. 各作業工程推定時間
Estimated time of each phases in a yarding cycle.

| 工 程 Phase | 推定時間 Estimated time (sec) | 各工程の分布 Distribution in each phase (%) | 6 時 間 値 Conversion to 6 hours-operating time by the distribution in each phase (min) |
|---|--|--|--|
| 空搬器上げ Lifting fall block to skyline at landing | 25 | 4.0 | 14 |
| 空搬器走行 Carriage outhaul | 89 | 14.2 | 51 |
| 引込み Pull skidding line laterally | 52 | 8.3 | 30 |
| 荷かけ待ち Choker-set time | 180 | 28.7 | 103 |
| 横取り Lateral yarding to carriage | 76 | 12.1 | 44 |
| 実搬器走行 Carriage inhaul | 108 | 17.2 | 62 |
| 荷おろし Lowering fall block with logs at landing | 44 | 7.0 | 25 |
| 荷はずし待ち Unhooking at landing | 53 | 8.5 | 31 |
| 合 計 Total | 627 | 100 | 360 |

Fig. 11 は ISO 基準による集材機 20 台の座席上振動の評価を示している。この図では作業工程を代表的な 3 工程とし、1/3 オクターブ周波数分析した振動レベル結果を各周波数ごとにその平均と 95% 信頼限界で示した。3 作業工程の振動レベルが ISO 基準値より低く、集材機座席上振動レベルが人体に害を与える振動レベル以下であることが分かる。

3.5 振動の伝播

3.5.1 振動解析方法の概要

集材機振動の低減を目指す場合、振動の周波数成分を集材機の構造及び作業と関連づけて考え集材機振動の発生機構、伝播経路を検討することが重要である。

振動現象の解析には、1/3 オクターブ分析器のような定比幅フィルタを使用する方法と、データ処理装置のような定幅フィルタを使用し、解析には高速フーリエ変換を使用した FFT 分析器を利用する方法とがある。一般には時間軸の長いものには前者、短いものには後者が利用されている。後者の利点は定幅フィルタを使用するので細かな周波数分析が可能なことである。本節では後者の方法を利用したスペクトル解析 (日野, 1977) を行う。

3.5.2 集材機振動の伝播

集材機座席は本体フレームに直接固定されているものが多く、さらに振動源であるエンジン本体と座

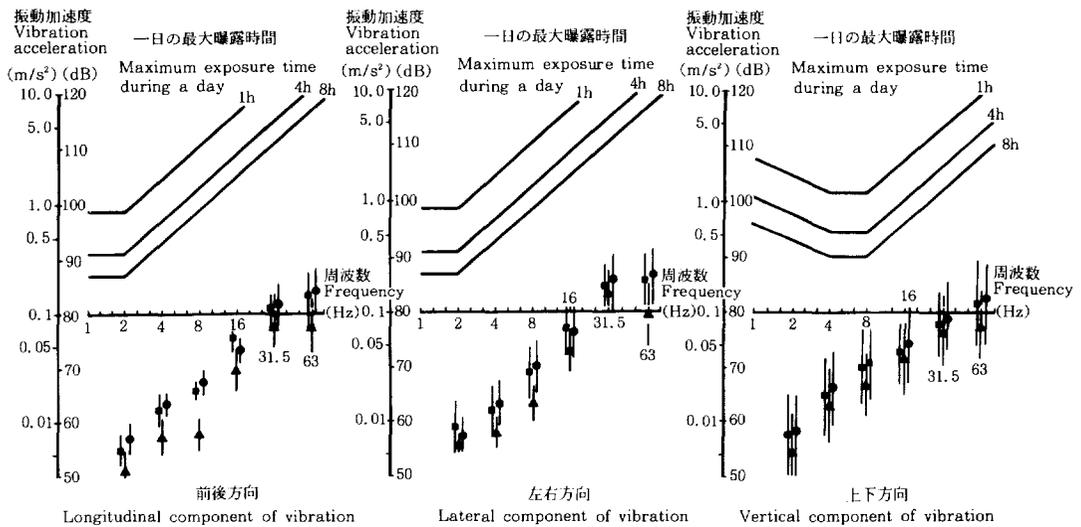


Fig. 11. 集材機座席上の振動評価

Evaluation of vibration on the yarder's seat by ISO proposal.

- 空搬器走行 ▲ 荷かけ待ち ● 実搬器走行
- Carriage outhaul Choker-set time Carriage inhaul

席が近距離にあるため、座席は吸振性の優れた構造のものを採用することが望ましい。この項では座席の防振効果の検討のために座席上振動と床上振動の振動レベルを比較する。検討を試みた集材機は防振対策としてエンジン部とキャビン間を防振ゴムで離し、座席上のクッションで振動を減衰させる方を講じていた。

Fig. 12 は 1 台の集材機の各作業工程別上下方向の床上振動と、座席上振動のパワースペクトル（振幅）を示している。振動測定時にはエンジン回転計を使用したエンジン回転、光電管を使用したドラム回転の同時測定を行った。この測定結果よりエンジン回転数を求め、その周波数を推定し、振動周波数と比較することにより、エネルギー量が最大である 23~25 Hz の振動は、エンジン回転に起因するものと理解できた。次いで大きな 56~60 Hz の振動は、エンジン回転とトランスミッションのギヤ比を考えてその振動周波数を推定し、トランスミッション系歯車による振動と理解できた。この振動は荷吊り上げ時や走行時に 70 Hz 付近の振動となる。12~13 Hz の振動はドラム回転に起因するものと推定できる。床上振動と座席上振動では座席上振動で振動の減衰がみられる。なお、これらの傾向はすべてドラム回転時の作業工程で顕著であった。

3.6 防振対策

振動の伝達に関する理論的解析は、振動が人体を含めた多自由度系の問題であり、また、振動自体が広い周波数帯にわたるランダム振動であるため、その理論的解析は容易でない。そこで、ここでは簡単に 1 自由度系の振動伝達モデル（谷口、1966）を考え、その指針を得る。

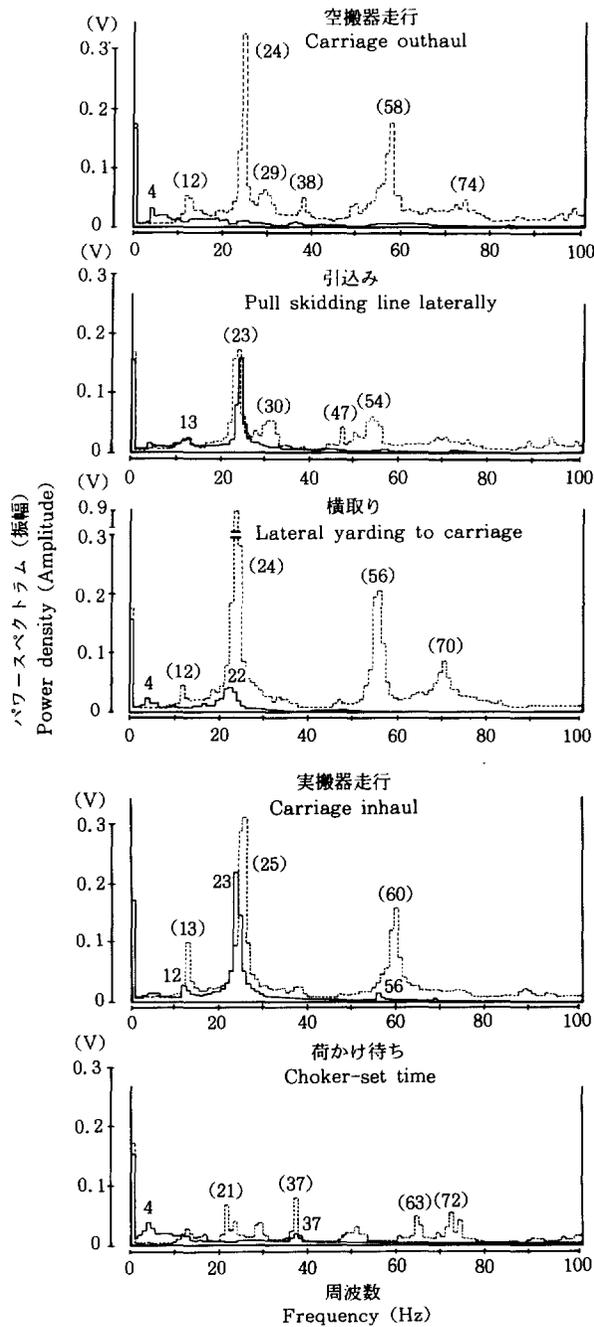


Fig. 12. 振動スペクトル解析

Power spectrum of vibration on the yarder's seat and floor by "Spectral Analysis".

—— 座席上 - - - - 床面上
Vibration on the seat Vibration on the floor

今, Fig. 13 のように粘性減衰のある 1 自由度のばねの質量系 (座席) の支持点に, 周期的強制変位 (角振動数を ω , 時間を t , 振幅を f とする) が加えられたと仮定すると, 周期的強制加振力は $f \cdot \sin \omega t$ となる。ばね定数を k , 粘性減衰定数を γ とすると, その運動方程式は

$$m \cdot (d^2x / dt^2) = f \cdot \sin \omega t - \gamma \cdot (dx/dt) - kx$$

となる。ここで減衰係数を ε , 座席の固有角振動数を ω_n とすると, 上記の運動方程式は

$$d^2x / dt^2 + 2\varepsilon (dx/dt) + \omega_n^2 = (f/m) \cdot \sin \omega t$$

となる。この運動方程式を解くことにより, 伝達率 λ は,

$$\lambda = \frac{1+4E^2W^2}{\sqrt{(1-W^2)^2+4E^2W^2}}$$

となる。ただし, $W = \omega / \omega_n$, $E = \varepsilon / \varepsilon_c$ (ε_c ; 臨界減衰時の ε)

この式より,

$$W (\omega / \omega_n) = \sqrt{2} \text{ のとき } \quad \lambda = 1$$

$$W (\omega / \omega_n) < \sqrt{2} \text{ のとき } \quad \lambda > 1$$

$$W (\omega / \omega_n) > \sqrt{2} \text{ のとき } \quad \lambda < 1$$

また, $\omega_n^2 = k / m$ より, m が一定のとき

$$k > m\omega^2 / 2 \text{ のとき } \quad \lambda > 1$$

$$k < m\omega^2 / 2 \text{ のとき } \quad \lambda < 1$$

従って, このモデルで振動伝達を低くするためには, 強制振動の周波数 ω に比べて ω_n ができるだけ小さくなるようなばね定数 k を選ぶこと, また, 適当な減衰係数 ε を選んで共振点における伝達率を下げる事が考えられる。つまり, 座席の吸振効果を高めるためには, 座席の固有振動数を振動源である集材機体の振動数の 1.4 倍以下にして, できるだけ減衰係数比が大きくなるような構造とすることが考えられる。従って, 調査対象集材機のエンジン回転に起因した振動 (上下方向) を座席で吸振させるには, 座席の固有振動数を 34 Hz 以下にして, 減衰係数比を下げる工夫が必要である。

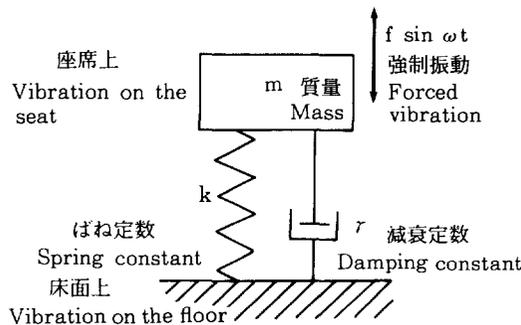


Fig. 13. 集材機座席の床からの振動伝達モデル (谷口, 1966)

The model of the transmission of forced vibration from floor to seat on yarder.

実際の防振方法として考えられるのは、振動絶縁材(防振材)を利用する方法、ダンピング(制動)の方法、振動絶縁材と付加ダンパによる方法である。前述の共振点の振動伝達率を低下させるためにこれらを利用する必要がある。

Fig. 14 (a)～(c) はある集材機の床上振動と座席上振動3方向のパワースペクトル(log表示)と伝達関数(log表示)を示す。作業工程は荷かけ待ち工程である。前節で述べたように床上振動より座席上振動は減衰している。しかし、この傾向は振動方向により異なる。上下方向では5～8 Hz付近で

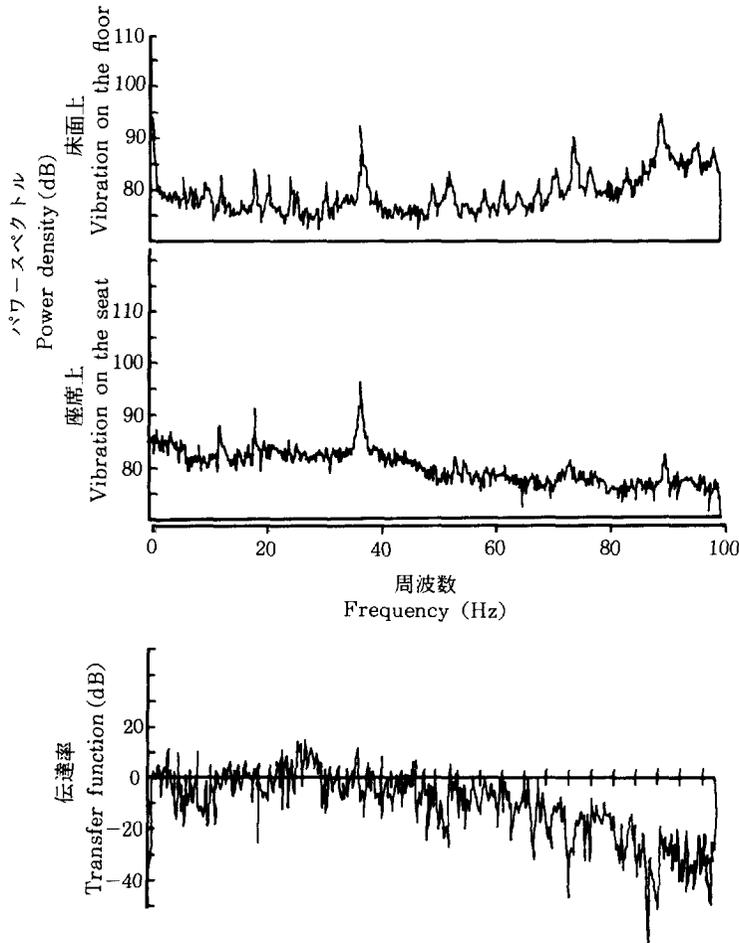


Fig. 14 (a). 振動伝播の解析 (前後方向)

Analysis of transmissibility from vibration on the floor to that on the seat
(In the longitudinal direction).

共振点がみられ座席上振動が大となる。前後方向では DC~50 Hz において床上振動, 座席上振動が同レベルであり, 4 Hz, 20~30 Hz 付近に共振点がある。左右方向は 10 Hz, 15 Hz 付近に共振点があるが, それ以外は減衰している。従って, この座席は前後方向の振動の伝播, 特に 20~30 Hz 付近の前後方向共振点を減衰させる必要があることが分かった。

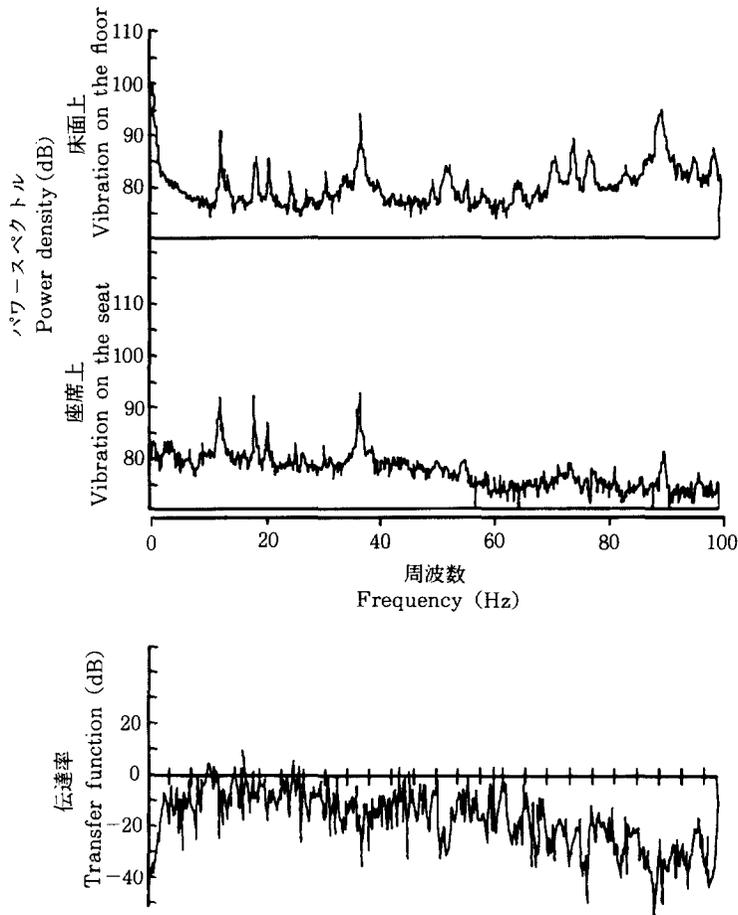


Fig. 14 (b). 振動伝播の解析 (左右方向)

Analysis of transmissibility from vibration on the floor to that on the seat
(In the lateral direction).

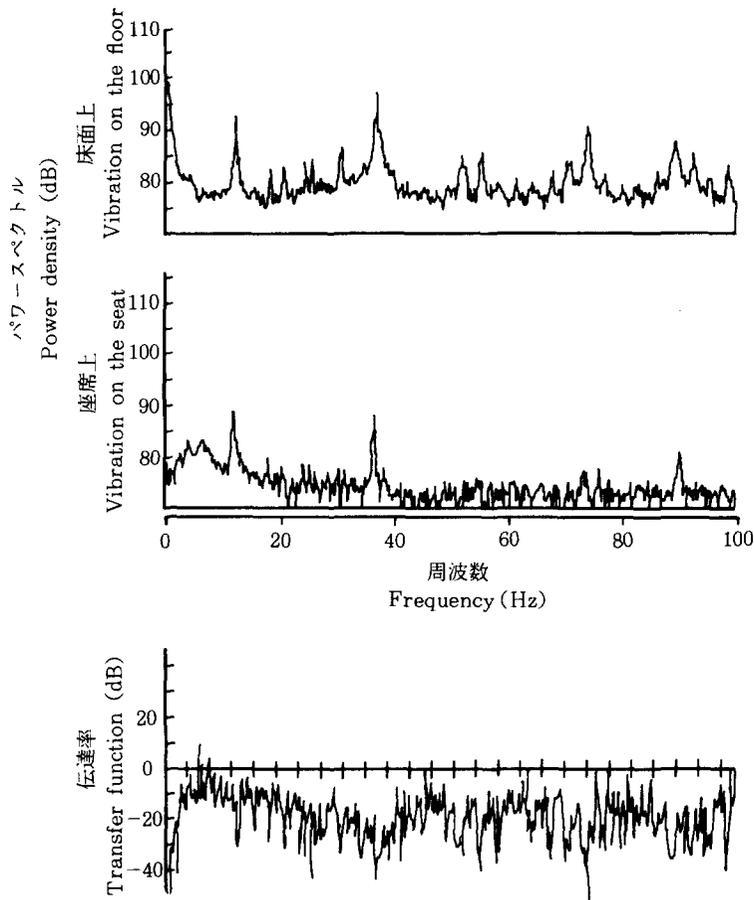


Fig. 14 (c). 振動伝播の解析（上下方向）

Analysis of transmissibility from vibration on the floor to that on the seat
(In the vertical direction).

4 集材機運転手耳元の騒音

集材機運転時に問題となる作業環境の一つに騒音があげられる。騒音とは「好ましくない音」、または「ある目的にとって不必要な音、障害になる音」とされているが明確な定義はない。騒音の影響は、精神的なものと生理的なものとに大別され、精神的影響は、心理的不快感、いらいら、精神集中の困難などがあげられ、生理的影響は聴力損失、耳鳴り、疲労の増大などがあげられる。

集材機作業における騒音の影響は、作業員への影響と作業員を介しての作業面への影響があげられる。集材機運転作業は一般に山元での作業を荷かけ手との電話連絡で行うシステムとなっている。そのため、騒音によるこの会話への妨害は作業能率の低下を、また、事故を誘発する危険性もあるわけである。作

業者への影響は、その精神的影響で疲労や事故を引き起こす原因となるし、生理的影響では聴力損失の問題ともなる。集材機運転手の関心度調査で、運転手の騒音に関する関心度が高かった（豊川、1990）こともこれに起因すると考えられる。

騒音に関する研究はトラクタ騒音では、例えば騒音の重要性や（BELLINGER, 1969）、トラクタ騒音が聴力を奪うこと（HUTCHINGS, 1964）、農業機械騒音の実態調査（MATTHEWS, 1968）、トラクタの騒音源別騒音レベル調査で（MATTHEWS, 1971）それぞれ行われている。また、我が国の研究でも、農業用トラクタのキャビン内騒音の共鳴現象解析（笈田、1983）、作業時での騒音実態調査（遠藤、1981）、騒音低減対策の検討（松居、1978）と数々ある。しかし、集材機騒音に関する研究はまだまだ少ない。

そこで、本章では集材機作業環境の一つである騒音を取り上げ、作業現場におけるその実態調査、人間側よりの集材機騒音の評価、その防音対策を考察する。

4.1 騒音の測定分析方法

測定対象集材機は 32 台（外部騒音測定は 5 台）である。騒音測定は集材機ドアを閉めた状態で（ドアを開けた状態での分析は文中に記述する）、集材機運転手耳元近くに精密騒音計（リオン株式会社製 NA-60）のマイクロホンを設置（外部騒音は集材機 4 隅に地面による反射を防ぐため地上 1.2 m の高さに精密騒音計を設置）し、この信号をデータレコーダ（共和電業株式会社製 RTP-160 A）に記録、これを室内で再生、1/3 オクターブバンド周波数分析器（リオン株式会社製 SA-57）で分析、レベルレコーダ（リオン株式会社製 LA-04）で記録検討した。また、第 4 節ではデータ処理装置（日本電機三栄株式会社製シグナルプロセッサ 7 T08）を使用したスペクトル解析を行った。

4.2 集材機外騒音の評価

集材機騒音は、操作者である集材機運転手と、集材機外で作業する作業員（土場で作業する荷はずし手など）に影響を与える。

Fig. 15 は地上 1.2 m の位置で測定された集材機まわりの騒音レベル分布図である。この調査は同一機種 5 台の集材機で行ったが同様な結果を示した。作業工程は騒音レベルが高く、レベル変動が少ない「空搬器走行」作業でエンジン回転を同一にして測定した。エンジン、排気管系騒音の騒音レベルが高い。心理的影響も考慮した人間の騒音曝露限界は、一般に 85 dB (A) でありこの値以下の騒音なら問題はないといわれている（Table 6）。従って、集材機を中心に 10 m 離れば機外の作業員には問題がないといえる。

4.3 運転手耳元騒音の評価

4.3.1 騒音レベルの変動と頻度分布

騒音レベルは 1 集材サイクル中かなり変動があるが、各作業工程別に判読すればその変動は少ない。また、1 集材サイクル中における騒音レベルの頻度分布は振動レベルと同様に、エンジンアイドリング時の低レベルと、非アイドリング時の高レベルにピークをもつ分布となった。

また、集材機 1 機種での作業中のエンジン回転数と、運転室のドアを閉めた状態での運転手耳元騒音との分析では、両者に正の相関があり、エンジン回転数が増加するほど騒音も高くなることが分かった。

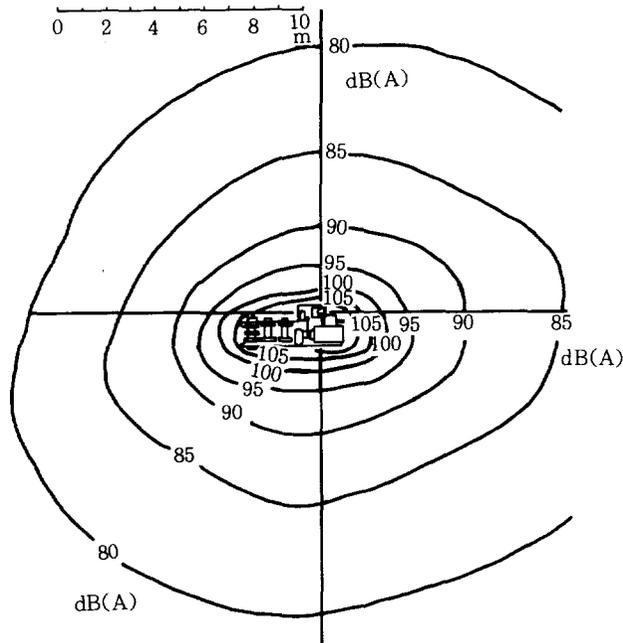


Fig. 15. 集材機まわりの騒音レベル分布図
Distribution of noise level around yarder.

4.3.2 騒音変動レベルの評価

集材機騒音は各作業工程によりレベルが異なり、また、各作業工程内の騒音レベルも変動する。このように、時間内に著しく変化する騒音を人間の感覚といかに結び付けていくかという問題は、他分野でも問題とはなっているが、いまだ確定した評価法はない。そこで本論文で使用する評価法をここで検討する。

騒音の変動レベルを統計的に処理する方法としては、中央値と等価騒音レベルの二つの考え方がある。

中央値の考え方は「不規則かつ大幅に変動する騒音はある時間ごとに十分な数の測定値を読み取り、その中央値をもって騒音レベルとする。変動の幅は、90%レンジの下端、上端で表す」ものである (JIS, 1966)。

等価騒音レベルは、変動騒音を測定時間内で、これと同等のエネルギーを持った連続定常音の騒音レベルに変換したものである。これは、

$$L_{eq} = 10 \log_{10} 1/T_m \int_0^{T_m} P_A(t)^2 / P_0^2 dt = 10 \log_{10} 1/N \sum_{i=1}^N 10 (L_i/10) \\ \approx L_{50} + 0.011 \times (L_5 - L_{95})^2$$

T_m ; 測定時間 P_0 ; 基準音圧 $20 \mu Pa$

P_A ; A 特性で重み付けられた音圧レベル L_i ; 瞬時の騒音レベル (A 特性)

で示される。一般に L_{eq} は中央値より少し大きな値となる。

Table 6. 諸外国の職業性騒音曝露限界
The limits of occupational noise level in various countries.

| 国名 Country | 定常音騒音レベル Noise level of stationary sound dB (A) | 騒音曝露時間 Exposure time (h/day) | 最大定常騒音レベル Maximum steady state noise level dB (A) |
|----------------------------|--|------------------------------------|--|
| 日本 (1) Japan | 90 | 8 | — |
| アメリカ (2) America | 90 | 8 | 115 |
| ソ連 (3) The Soviet Union | 85 | 4~8 | — |
| フランス France | 90 | 40 (4) | — |
| イギリス the United Kingdom | 90 | 8 | 135 (5) |
| ドイツ Germany | 90 | 8 | — |
| カナダ Canada | 90 | 8 | 115 |
| オーストラリア Australia | 90 | 8 | 115 |
| イタリア Italy | 90 | 8 | 115 |
| スウェーデン Sweden | 85 | 40 (4) | 115 |

(1) : 日本産業衛生学会案 The proposal of "Japan Association of Industrial Health"

(2) : 労働安全衛生法 Occupational Safety and Health Act in America

(3) : ソ連衛生規則 Standards of environmental sanitation at the Soviet Union

(4) : h/week

(5) : 動特性 fast を用いる Measure by dynamic characteristics "fast"

ISO では変動騒音について等価騒音レベルの方法を推奨しているが (ISO, 1975 a), 我が国では騒音規制法や環境基準との関連で、中央値の考え方が存続している (久保田, 1978)。ここでは、中央値の考え方を中心に分析を進める。

4.3.3 集材機騒音の概要

集材機騒音は1集材サイクル中の騒音レベル変化は大きいですが、各作業工程内の変動は少ない。そこで、調査対象 32 台の集材機の各作業工程ごとの A 特性の騒音レベルの平均 (95% 信頼限界も示す) を示したのが Fig. 16 である。諸外国では各作業工程ごとの騒音のように、定常音とみなされる騒音は 90 dB (A) 以下なら問題がないといわれている (Table 6)。この値と比較すると非アイドリング時はどの作業工程でもこの値より高く、問題がある。ただし、騒音曝露時間 (Table 5) を考えると、早急には結論づけられない。

4.3.4 騒音の評価法

騒音の評価法には、その適用目的により種々の評価法があり、その代表的な評価方法として、①日

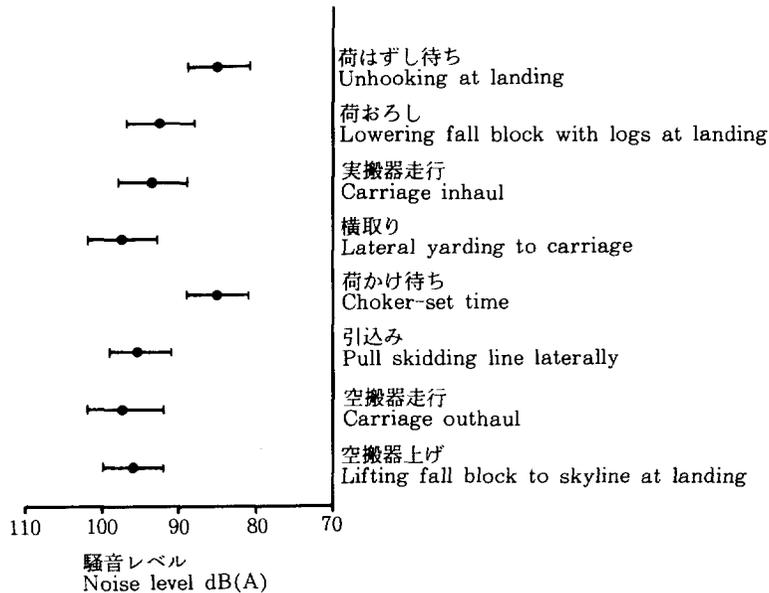


Fig. 16. 集材機運転手耳元騒音レベル
Noise level at operator's ear in yarder.

本産業衛生学会の勧告（日本産業衛生学会，1977），② ISO 1999（聴力保護のための作業間露聴の評価）（ISO，1975 a）があげられる。ここで，この2基準適用で使用される語句「聴力損失」の定義を述べる。聴力損失とは，「ある周波数で正常な耳の最小可聴値と，被検者の最小可聴値との比をデシベルで表現したもので，聴力損失が500～2000 Hzの範囲で20 dB以上となると難聴」と定義されるものである。

本論文では，各作業工程ごとの評価は日本産業衛生学会の勧告を，1日の騒音曝露の評価には ISO 1999 をそれぞれ適用した。その理由は，前者は騒音の周波数成分，曝露時間が明確に示され，後者は変動騒音の評価方法が明確であるからである。

4.3.5 日本産業衛生学会の勧告による騒音の評価

この勧告は，永久聴力損失の限界を，日常会話の聴取にほとんど支障をきたさない程度においている。つまり，この勧告基準値以下の騒音ならば，1日8時間以内の騒音曝露が日常的に10年以上続いた場合でも，永久聴力損失を1 kHz以下の周波数領域で10 dB以下，2 kHz付近の周波数領域で15 dB以下，3 kHz以上の周波数領域で20 dB以下に納められるよう考慮してあるものである。

取り上げた作業工程は，「空搬器走行」，「横取り」，「実搬器走行」工程である（Fig. 17 (a)～(c)）。図は調査対象集材機32台の騒音の中央値の平均と，その95%信頼限界を示している。これらの図では，「空搬器走行」，「横取り」工程の1 kHz，「空搬器走行」，「横取り」，「実搬器走行」工程の2 kHzでその騒音レベルが高いことを示しているが，Table 5の1日の各作業工程騒音曝露時間を参照すると，その騒音レベルは基準以下となっていた。

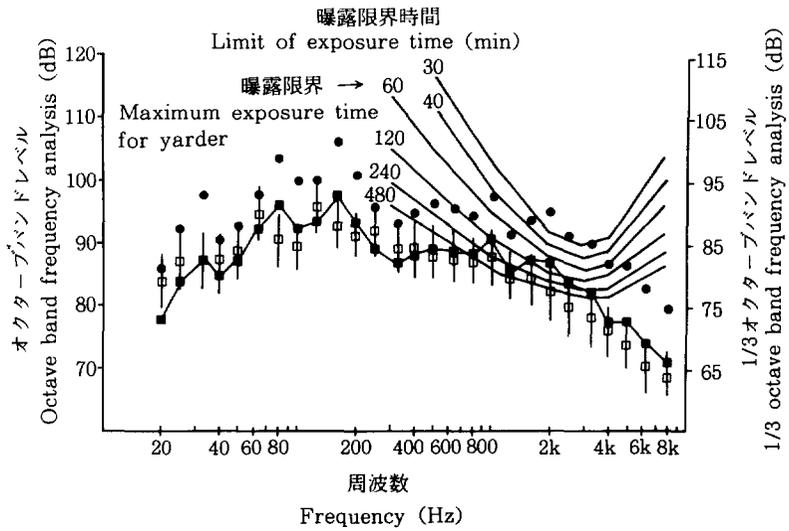


Fig. 17 (a). 聴力保護のための騒音の許容基準 (「空搬器走行」工程)

Evaluation of yarder's noise by the proposal of "Japan Association of Industrial Health" (In the phase of "Carriage outhaul").

- : ドア閉 When closing the door
- : ドア開 When opening the door
- : ドア開 (上限値) When opening the door (upper limit in 95% confidence)

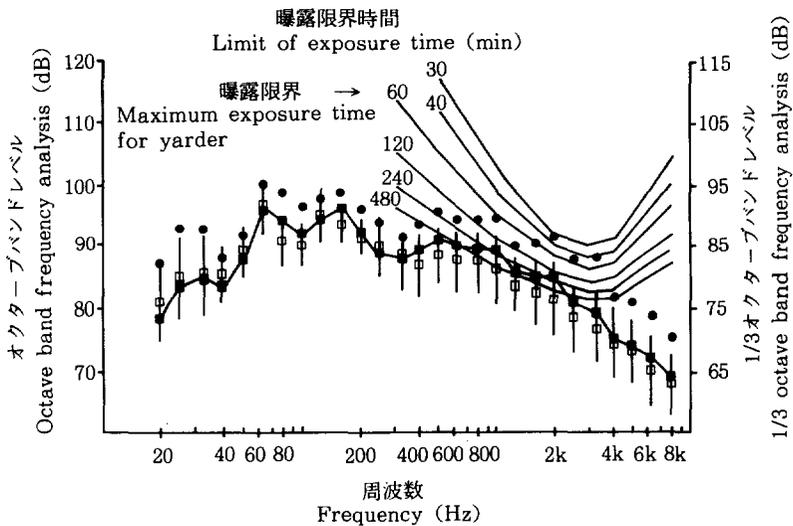


Fig. 17 (b). 聴力保護のための騒音の許容基準 (「横取り」工程)

Evaluation of yarder's noise by the proposal of "Japan Association of Industrial Health" (In the phase of "Lateral yarding to carriage").

- : ドア閉 When closing the door
- : ドア開 When opening the door
- : ドア開 (上限値) When opening the door (upper limit in 95% confidence)

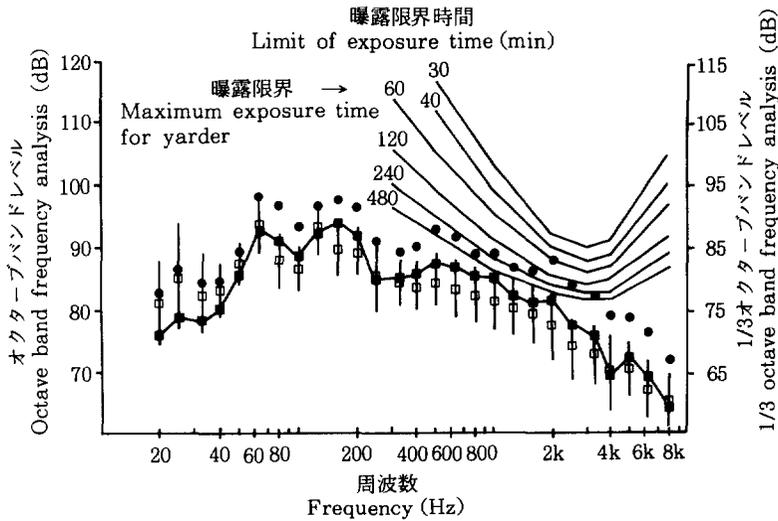


Fig. 17 (c). 聴力保護のための騒音の許容基準 (「実搬器走行」工程)

Evaluation of yarder's noise by the proposal of "Japan Association of Industrial Health" (In the phase of "Carriage inhaul").

- : ドア閉 When closing the door
- : ドア開 When opening the door
- : ドア開 (上限値) When opening the door (upper limit in 95% confidence)

しかし、夏場の暑いときにみられる集材機ドアを開けた状態での運転は、「空搬器走行」、「横取り」工程の騒音レベルの95%信頼限界上限値で許容限界を超えているものもみられ、1kHz~4kHzにおける騒音レベルを低下させることが必要と思われる。

4.3.6 ISO 1990 による騒音の評価

このISO規格は、職業性騒音曝露と聴力障害者の推定発生率(危険率)との関係を定めている。この規格は、1週間40時間連続的に騒音に曝露される場合を基本として、500, 1000, 2000 Hzの会話域聴力損失の平均が25 dB以上の場合を「聴力障害」と定義している。これを基に騒音曝露群における「聴力障害者」の出現率と、非騒音曝露群におけるそれとの差を聴力危険率と定義し、騒音を評価するものである。前述の日本産業衛生学会の勧告との相違は、ISO規格では騒音の断続曝露の影響を、等音響エネルギー法則を基に考慮している点である。

聴力危険率の計算手順は、騒音レベル(A特性)を求め、これの曝露時間でレベル別騒音曝露指数に直し、その合計値(合成騒音曝露指数)で等価騒音レベルを求めるものである。

調査対象集材機32台の計算結果はTable 7(a), (b)のとおりである。この場合も騒音レベルの変動を少なくするため、各作業工程ごとに分解、その和をもって騒音の評価とした。各作業工程の平均継続時間はTable 5を使用した。騒音は、32台の集材機の各作業工程の騒音レベル(Lin, A特性)の中央値の平均と、最も騒音レベルの高いもの(95%信頼限界上限値)を計算した。騒音曝露年数は、運転手の経験年数分布調査より最大30年と考えた。この場合、通常の運転(平均)で危険率31%、騒音が高い

Table 7(a). 騒音曝露計算手順 (1 週間の運転時間 40 時間)

Calculation process of equivalent continuous sound level of quasi-stable impulsive noise (40 working hours per week).

| 工 程 Phase | 1 週間の平均 継続時間 Operating time per week in each phases | (A) 平均 値 Average | (B) 95% 上限値 95% upper confidence limit | レベル別騒音曝露指数 Partial noise expo- sure indices | |
|--|---|------------------------|--|---|-----|
| | | | | (A) | (B) |
| 空搬器上げ Lifting fall block to skyline at landing | 1 h 36min | 96 | 100 | 15 | 40 |
| 空搬器走行 Carriage outhaul | 5 h 41min | 97 | 102 | 45 | 150 |
| 引込み Pull skidding line laterally | 3 h 19min | 95 | 99 | 30 | 90 |
| 荷かけ待ち Choker-set time | 11 h 29min | 85 | 89 | 10 | 30 |
| 横取り Lateral yarding to carriage | 4 h 50min | 97 | 102 | 40 | 125 |
| 実搬器走行 Carriage inhaul | 6 h 53min | 93 | 98 | 55 | 175 |
| 荷おろし Lowering fall block with logs at landing | 2 h 48min | 92 | 97 | 10 | 25 |
| 荷はずし待ち Unhooking at landing | 3 h 24min | 85 | 89 | 5 | 10 |
| 合成騒音曝露指数 Composite noise exposure index | | | | 210 | 645 |
| 等価騒音 レベル Equivalent continuous sound level dB(A) | | | | 94 | 99 |

場合 (95% 信頼限界上限値) で 44% となった (Table 7 (a), (c))。

ただし、この評価基準は作業時間を 1 週間 40 時間、年 50 週間で作成してある。この基準が 1 週間の作業による総騒音エネルギー量で規定されているなら、集材機運転手の 1 日の平均運転時間 6 時間、1 週間の作業日数 5.5 日を考慮して、1 週間の平均作業時間 33 時間で換算することも可能であろう。この場合は通常の運転 (平均) で危険率 18%、騒音が高い場合 (95% 信頼限界上限値) で 31% となった (Table 7 (b), (c))。

4.4 防音対策

4.4.1 騒音曝露時間

4.3.5 で検討したように、集材機ドアを開けた状態での運転は集材機騒音の 95% 信頼限界上限値で日本産業衛生学会の勧告の許容限界を超えるものがあられ好ましくない。Fig. 17 (a), (b), (c) では集材機ドアを開けた状態、またはキャビンのない集材機の運転は、半日交替の運転が望ましいことを示している。

Table 7(b). 騒音曝露計算手順 (1週間の運轉時間 33時間)

Calculation process of equivalent continuous sound level of quasi-stable impulsive noise (33 working hours per week).

| 工 程 Phase | 1週間の平均 継続時間 Operating time per week in each phases | (A) 平均値 Average | (B) 95%上限値 95% upper confidence limit | レベル別騒音曝露指数 Partial noise expo- sure indices | |
|--|--|-----------------------|---|---|-----|
| | | | | (A) | (B) |
| 空搬器上げ Lifting fall block to skyline at landing | 1 h 19min | 96 | 100 | 10 | 35 |
| 空搬器走行 Carriage outhaul | 4 h 41min | 97 | 102 | 40 | 125 |
| 引込み Pull skidding line laterally | 2 h 44min | 95 | 99 | 20 | 65 |
| 荷かけ待ち Choker-set time | 9 h 28min | 85 | 89 | 5 | 25 |
| 横取り Lateral yarding to carriage | 4 h 00min | 97 | 102 | 30 | 100 |
| 実搬器走行 Carriage inhaul | 5 h 41min | 93 | 98 | 45 | 150 |
| 荷おろし Lowering fall block with logs at landing | 2 h 19min | 92 | 97 | 5 | 15 |
| 荷はずし待ち Unhooking at landing | 2 h 48min | 85 | 89 | — | 10 |
| 合成騒音曝露指数 Composite noise exposure index | | | | 155 | 525 |
| 等価騒音レベル Equivalent continuous sound level dB(A) | | | | 92 | 97 |

4.4.2 騒音曝露レベル

騒音レベルを低下させる方法としては、(1) 騒音源に対する対策、(2) 騒音を遮断させる方法が考えられる。

(1) 騒音源に対する対策

① その概要と測定法

防音対策の一つとして騒音源を明らかにし、騒音源の騒音レベルを低下させる方法が考えられる。この項では各騒音源付近の騒音レベルの違いを述べ、具体的な防音対策を言及したい。

集材機騒音を構成する主要音源は、エンジン騒音、排気系騒音、駆動系騒音である。

○ エンジン騒音は、シリンダ内部の燃焼やピストン往復運動エネルギーにより振動が発生し、この振動が伝達してエンジン外表面より放射される騒音である。○ 排気系騒音は、エンジン排気行程の断続的なガス流が、排気管吐出口より放出されるとき生じる脈動音、排出ガスが排気系を通過するとき乱流となって生じる気流音、エンジン振動や排出ガスの脈動により排気各部表面の振動から生じる放射音

Table 7(c). ISO 1999 による聴力障害危険率
The risk of hearing impairment, ISO-1999.

| 等価連続騒音 レベル Equivalent continuous sound level dB(A) | 危険率 [%] Risk % 聴力障害の総計 [%] Total % with impaired hearing | 露聴年数 Duration of exposure (year) | | | | | | | | | |
|---|---|--|---|----|----|----|----|----|----|----|----|
| | | 0 | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 |
| | | ≦ 80 | (a)危険率 [%] Risk % (b)聴力障害の総計 [%] Total % with impaired hearing | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 85 | (a)危険率 [%] Risk % (b)聴力障害の総計 [%] Total % with impaired hearing | 0 | 1 | 3 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 7 |
| 90 | (a)危険率 [%] Risk % (b)聴力障害の総計 [%] Total % with impaired hearing | 0 | 4 | 10 | 14 | 16 | 16 | 18 | 20 | 21 | 15 |
| 95 | (a)危険率 [%] Risk % (b)聴力障害の総計 [%] Total % with impaired hearing | 0 | 7 | 17 | 24 | 28 | 29 | 31 | 32 | 29 | 23 |
| 100 | (a)危険率 [%] Risk % (b)聴力障害の総計 [%] Total % with impaired hearing | 0 | 12 | 29 | 37 | 42 | 43 | 44 | 44 | 41 | 33 |
| 105 | (a)危険率 [%] Risk % (b)聴力障害の総計 [%] Total % with impaired hearing | 0 | 18 | 42 | 53 | 58 | 60 | 62 | 61 | 54 | 41 |

(a) 危険率：騒音を曝露されていないで聴力障害のある人と、騒音を曝露されて聴力障害のある人の率の差
Risk : The difference between the percentage of people with impaired hearing in a noise-exposed group and the percentage of people with impaired hearing in a non-noise-exposed group

(b) 聴力障害の総計：各等価連続騒音レベルの危険率に 80 dB(A) 以下の騒音を曝露されていた人の聴力障害の総計を加えた危険率

Total % with impaired hearing : Total percentage of people with impaired hearing in a non-noise-exposed group. (Percentage of people with impaired hearing in a non-noise-exposed group is equal to percentage in a group exposed to continuous sound levels below 80 dB(A).)

が考えられる。○ 駆動系騒音は、エンジンよりドラムに至る駆動力伝達機構や、ドラムのベアリングや歯車の回転音、それらの振動より発生する放射音、ドラムと作業索の摩擦音が考えられる。

騒音源の騒音パワーを測定する方法としては、鉛遮蔽法、振動測定法、近接騒音測定法などがあげられるが、本論文では近接騒音測定法により各部の騒音を測定した。

② 騒音源別騒音レベル

騒音源の騒音レベルの測定は、集材機 1 台を選び、1 台の騒音計で運転手耳元の騒音、ほかの騒音計

で騒音源とみられる排気管，エンジン，トランスミッション，ドラムに 15 cm の距離で近づけて計測する方法をとった。作業工程は騒音の変動が少なく，また，騒音レベルが高い「空搬器走行」工程を選んだ。

Fig. 18 は空搬器走行工程の各騒音源の騒音レベルを示す。各騒音源のピークは 60~300 Hz 付近にみられ，人間に影響を与える周波数帯 500~8 000 Hz 付近での騒音レベルは，ドラム，トランスミッション，排気管，エンジン付近の順に騒音レベルが高くなる。特に，トランスミッション，ドラム付近の騒音が人間に影響を与えやすい 2 000~4 000 Hz 付近で減衰しているのに比べ，エンジン，排気管付近の騒音レベルは，この帯域で減衰していないのはその騒音レベルの高いことと考え合わせ問題となる点である。

Fig. 19 は，前述の周波数分析結果で騒音レベルが高かった DC~1 000 Hz の各騒音源のパワースペクトル (log 表示) である。作業工程は空搬器走行時である。エンジン付近騒音と排気管付近騒音が，エンジン内燃焼工程と排気工程が一致するため相関が高く，また，トランスミッション付近騒音とドラム付近騒音が，同様に相関が高いことを示している。

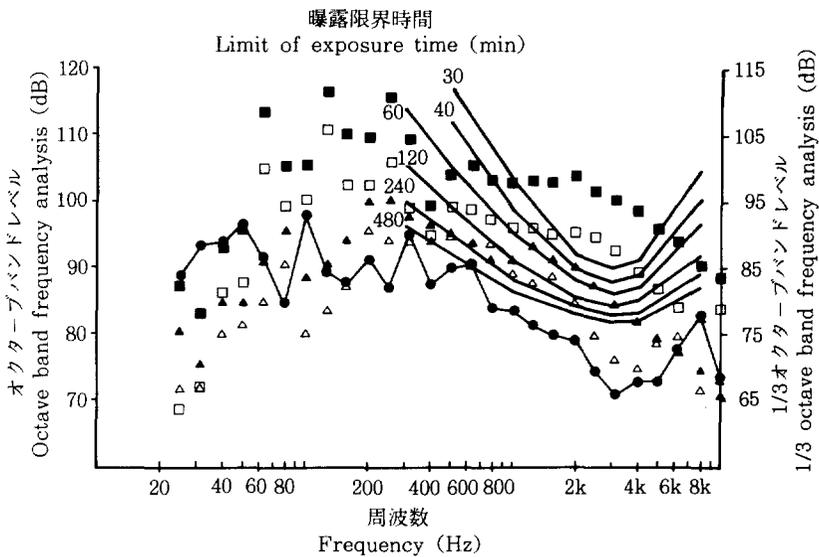


Fig. 18. 騒音源付近の騒音レベル

Noise analysis of yarder.

- | | |
|--|-------------------------------------|
| ■ エンジン付近 Noise around the engine | □ 排気管付近 Noise around the muffler |
| ▲ トランスミッション付近 Noise around the transmission | △ ドラム付近 Noise around the drums |
| ● 耳元 Noise at operator's ear | |

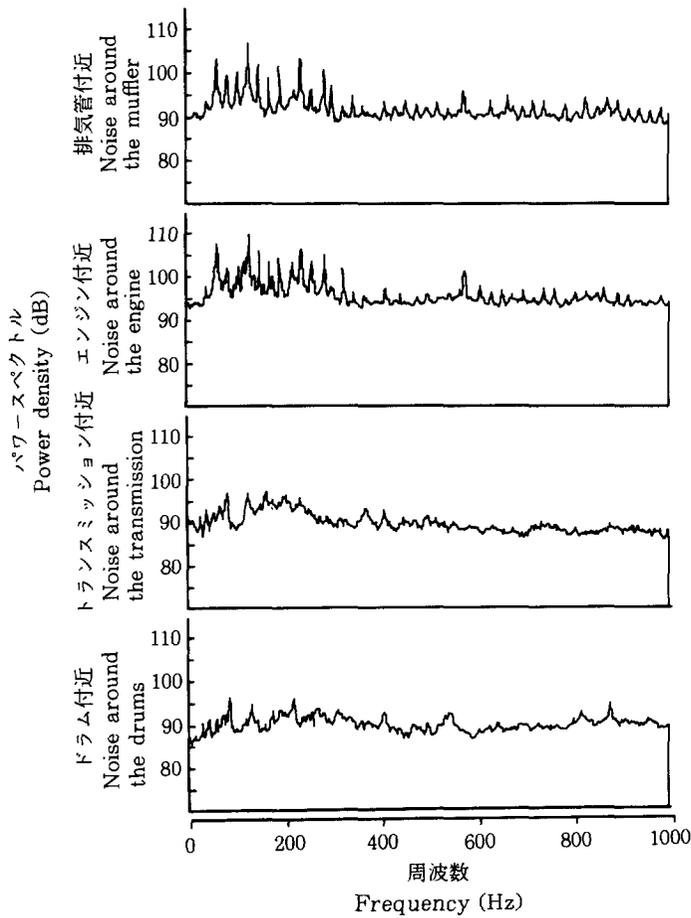


Fig. 19. 騒音源のスペクトル解析
 "Spectral Analysis" for noise of yarder.

(2) 騒音の遮断対策

① キャビン

Fig. 20 (a), (b) は、集材機作業 2 工程（空搬器走行，横取り）における同一機種 5 台の，集材機外 4 隅における平均騒音レベルと，そのときの運転手の耳元騒音レベルを示したものである。運転手の耳元騒音が機外の騒音源より伝播した騒音であると考えれば，機外 4 隅における騒音と運転手の耳元騒音との傾向比較でキャビンの遮音効果が検討できる。図から機外騒音は 60 Hz 付近でピークがあり，その後減衰，200～400 Hz 付近で再度レベルが上昇，その後減衰している。運転手の耳元騒音は，40 Hz 付近までこもり音のため機外騒音より高いものもみられるが，その後 60 Hz，200 Hz 付近でピークがあり，200 Hz 以降はその減衰傾向が著しい。キャビンの遮音効果が現れていると考えられる。

② 耳栓，耳覆い

耳栓，耳覆いは，集材機騒音で問題となる周波数帯 1 000～4 000 Hz で，15 dB 以上の遮音効果があ

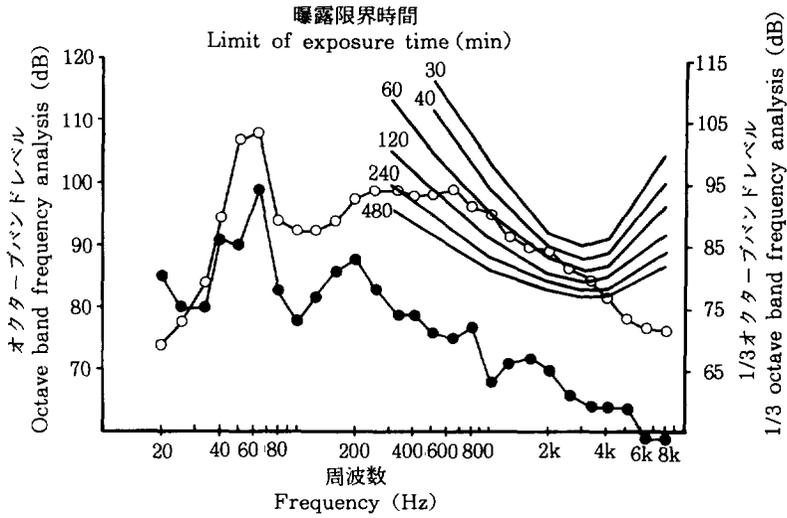


Fig. 20 (a). 集材機運転手耳元騒音と機外騒音 (「空搬器走行」工程)
The difference between noise at operator's ear and outside the cab of yarder
(In the phase of "Carriage inhaul").

● 耳元騒音 ○ 機外騒音
Noise at operator's ear Noise outside the cab

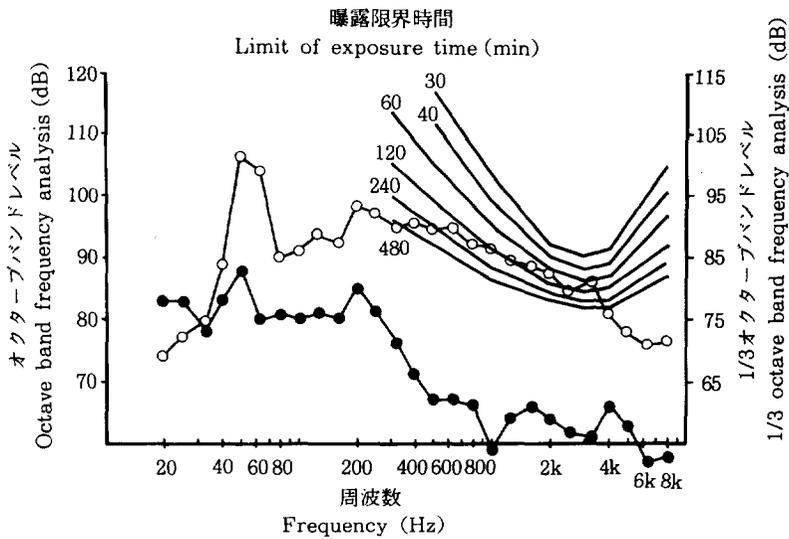


Fig. 20 (b). 集材機運転手耳元騒音と機外騒音 (「横取り」工程)
The difference between noise at operator's ear and outside the cab of yarder
(In the phase of "Lateral yarding to carriage").

● 耳元騒音 ○ 機外騒音
Noise at operator's ear Noise outside the cab

るよう JIS 規格で設計されている (JIS, 1958)。

集材機運転手 54 名の耳栓の使用状況調査では、いつも耳栓をつける 2%、時々耳栓をつける 4%、耳栓をつけない 94% で、ほとんどの者が着用していない (林業試験場, 1982)。聴力保護のため耳栓の使用が望まれる。

5 集材機操縦席回りの設計

現在林業界では多数の集材機が使用されている。集材機の使用は集材能率を高め、林業労働者の労働負担の軽減化、ひいては集材作業の安全化にも多大な恩恵を与えてきた。しかし、機械の使用は機械と人間の不適合からくる疲労を作業者に与える。この中には集材機視界、振動、騒音という作業環境の問題もあげられるが、そのほか、操作器具類の使いやすさ、取り扱いやすさの問題がある。この問題解決のために本章では人間機械系のよりよい適合を目指して、人間の特性より操縦席回り器具類、座席の考察を試みた。

この種の研究は、集材機運転手の疲労が身体各部の局所的疲労であること、集材機運転手が座席、操作器具類へ関心が高いこと (豊川, 1990) などから重要なものと思われるが、いまだ研究が着手されていない分野である。他産業では、高度の運転操作能力が必要な関係からか、自動車、建設機械、電車、飛行機などで研究が進みその基準案も作成されている (ISO, 1975 b; ISO, 1980; ISO, 1981; SAE, 1980 a; SAE, 1980 b; KELLERMANN, 1967)。しかし、農業関係ではわずかに農業用トラクタにその研究がみられるにすぎない (酒井, 1966; 新井, 1974)。

本章では集材用機械運転手の体格調査、人間特性を考慮した集材機操作器具類の位置の考察、この位置と現用集材機の操作器具類の位置の比較、さらに操作手順を考慮した操作器具類の配置案作成と分析を進めた。

5.1 集材用機械運転手の体格

5.1.1 運転手体格調査の概要

調査対象者は、国有林の集材用機械運転手 188 名である。Fig. 21 に測定項目とこれら部位と操縦席回りの操作器具類の関連を示した。調査対象者の年齢構成は Table 8 のとおりで、平均年齢は 41.5 歳であった。調査項目の平均値、標準偏差は Table 9 に示した。

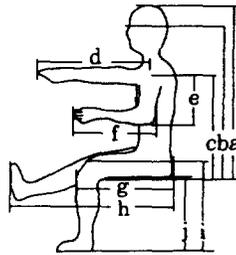
また、他産業の作業者の体格 (大島, 1965; 人間工学人体計測編集委員会, 1968) と比較すると (Table 10)、身長、座高などで林業運転手は劣っているが、体重、肩幅、臀部幅で勝っており、一般人と比べ林業運転手は太り気味の人の多い結果となっていた。

5.1.2 体格計測値間の関係

14 計測値間の類似関係を検討するために主成分分析法を使用した。分析結果は固有値が 1 以上あるのは第 3 主成分までであり、累積寄与率は 57% であった。この固有ベクトルは Table 11 のとおりであり、このときの因子負荷量を Fig. 22 に示す。

第 1, 第 2, 第 3 主成分の解釈は以下のとおりである。

第 1 主成分の固有ベクトルはすべて正であり、これはどの 14 特性値をとっても第 1 主成分の値は大



| 測定人体項目 Physical dimensions | 集材機の関連項目 Arrangement of driving devices of yarder |
|---|---|
| 体 重 Weight | 座席スプリング, クッション Seat spring, cushion |
| 身 長 Stature | 車室高さ Height of operator's cab |
| a 座 高 Sitting height from the seat surface | 視 界 Invisible area |
| b 座 眼 高 Eye height from the seat surface, sitting | 操作レバーの高さ Height of lever |
| c 座 位 肩 峰 高 Acromion height from the seat surface, sitting | 座席と操作レバーの距離 Distance between lever and seat |
| d 肩峰点・中指先端間距離 Acromion-hand tip length | アームレスト高さ Height of armrest |
| e 肩峰点・肘間距離 Acromion-elbow length | 座席とレバーの距離 Distance between lever and seat |
| f 前方前腕長 Forearm-hand length | 操作レバーの位置 Position of lever |
| 肩 幅 Shoulder breadth | レバー, ペダルの形状 Shape of lever and pedal |
| 座位臀部幅 Buttock breadth | 座席の形状 Shape of seat |
| g 臀部・膝蓋前縁間距離 Buttock-knee length | ペダル位置 Position of pedal |
| h 座位下肢長 Buttock-leg length | ステップ高, ペダル位置 Height of step, position of pedal |
| i 膝 高 Knee height | 座席の高さ Height of seat |
| j 膝 か 高 Popliteal height | レバーの形状 Shape of lever |
| 手 長 Hand length | |
| 掌 長 Hand length at metacarpale | |
| 手 幅 Hand breadth | |
| 最大握径 Hand grip breadth | |
| 足 長 Foot length | ペダルの形状, ステップの余裕空間 Shape of pedal, clearance of step |
| 足 幅 Foot breadth | |

Fig. 21. 測定人体項目と機械寸法の関連

The relation between physical dimensions of operators and the arrangement of driving devices of yarder.

Table 8. 調査運転手の年齢分布
The age distribution of subjects
(forestry logging machine operators)

| 年 齢 Age | 人 数 Number | 内 訳 Distribution (%) |
|------------|---------------|----------------------------|
| 55～ | 7 | 4 |
| 50～54 | 24 | 13 |
| 45～49 | 35 | 19 |
| 40～44 | 50 | 26 |
| 35～39 | 39 | 21 |
| 30～34 | 19 | 10 |
| 25～29 | 14 | 7 |
| | 合 計 Total | 平均年齢 Average age |
| | 188 | 41.5 |

きくなることを示している。従って、「大きさの因子」と解釈できる。これを因子負荷量でみると、身長が高く、肩幅、臀部幅が低い。つまり、第1主成分は縦の長さの順に大きく、横幅の順に小さくなっていた。第2主成分の固有ベクトルは体の中心である胴体に関する特性値が正で大きく、腕とか脚に関する長さを示す特性値が小さいことから、「太り具合の因子」と解釈した。第3主成分の固有ベクトルの傾向は第2主成分のものとよく似ている。異なる点は座高、肩峰点高、身長と高さを示す特性値が正で、肩幅、臀部幅と横幅を示す特性値が負で小さいことである。このことから、形を示す因子「姿勢、体形の因子」と解釈した。

次に、各特性値のグループ化を考察する。14特性値は、Fig. 22 より3グループに分けられることが理解できる。第1のグループは身長を代表値として、ほとんどの特性値が入るものである。第2のグループは肩幅、臀部幅のグループ、第3のグループは座高、肩峰点高のグループである。この第1～第3グループの代表値がそれぞれの主成分の代表的なものを示しているので、第1主成分「大きさの因子」は身長、第2主成分「太り具合の因子」は肩幅、第3主成分「姿勢、体形の因子」は座高の特性値としてそれぞれを代表できる。つまり、集材用機械運転手の体格は、身長、肩幅、座高の3測定値で表現できることが分かった。

5.2 集材用機械運転手の人体寸法値からみた操縦席回りの設計

5.2.1 機器設計に必要な人体寸法

測定値は χ^2 検定の結果、正規分布に該当していた。そこで運転手の体格の個人差を考え、各測定値の正規分布関数よりその5パーセンタイル値、50パーセンタイル値、95パーセンタイル値を求め、それぞれを小柄な人、標準的な人、大柄な人の値と考えた (Table 12)。次に、これらの値より機器設計に必要な人体寸法値を求めた (Fig. 23)。また、同図上に示されるように眼の位置を Eye Point、上

Table 9. 調査部位の寸法

Sample means of physical dimensions of forestry logging machine operators.

| 項 目 Item | 平 均 Average | 標準偏差 Standard deviation | 変動係数 Coefficient of variation (%) |
|--|----------------|----------------------------|--------------------------------------|
| 体 重 Weight (kg) | 60.5 | 7.0 | 11.5 |
| 身 長 Stature (cm) | 163.3 | 5.5 | 3.4 |
| 座 高 Sitting height from the seat surface (cm) | 86.2 | 5.0 | 5.7 |
| 座 眼 高 Eye height from the seat surface, sitting (cm) | 75.6 | 4.7 | 6.3 |
| 座 位 肩 峰 高 Acromion height from the seat surface, sitting (cm) | 58.1 | 4.3 | 7.4 |
| 肩峰点・中指先端間距離 Acromion-hand tip length (cm) | 70.0 | 4.1 | 5.9 |
| 肩峰点・肘間距離 Acromion-elbow length (cm) | 32.3 | 2.7 | 8.2 |
| 前方前腕長 Forearm-hand length (cm) | 42.9 | 2.3 | 5.3 |
| 肩 幅 Shoulder breadth (cm) | 39.5 | 4.3 | 10.8 |
| 座 位 臀 部 幅 Buttock breadth (cm) | 35.4 | 2.8 | 7.9 |
| 臀部・膝蓋前縁間距離 Buttock-knee length (cm) | 52.8 | 3.5 | 6.7 |
| 座 位 下 肢 長 Buttock-leg length (cm) | 92.0 | 5.7 | 6.2 |
| 膝 高 Knee height (cm) | 49.1 | 2.9 | 5.8 |
| 膝 間 高 Popliteal height (cm) | 40.2 | 3.0 | 7.4 |
| 手 長 Hand length (cm) | 18.0 | 0.9 | 5.1 |
| 掌 長 Hand length at metacarpale (cm) | 9.4 | 1.3 | 13.6 |
| 手 幅 Hand breadth (cm) | 8.5 | 0.6 | 6.5 |
| 最 大 握 径 Hand grip breadth (cm) | 9.5 | 0.9 | 9.4 |
| 足 長 Foot length (cm) | 23.8 | 1.1 | 4.6 |
| 足 幅 Foot breadth (cm) | 9.6 | 0.6 | 6.8 |

Table 10. 他産業の作業者と林業運転手の体格
Difference in physique by professionals and students

| 項 目 Item | 林業運転手 Forestry logging machine operator | パイロット Pilot | クレーン運転手 Operator of crane | N自動車従業員 Employee of "N" automobile manufactory | P自動車従業員 Employee of "P" automobile manufactory | K大学生 Students of "K" university |
|---|--|----------------|------------------------------|---|---|------------------------------------|
| 体 重 Weight (kg) | 60.5 | 61.1 | 57.5 | 56.6 | 58.0 | 57.7 |
| 身 長 Stature (cm) | 163.3 | 166.9 | 164.0 | 164.6 | 165.9 | 166.6 |
| 座 高 Sitting height from the seat surface (cm) | 86.2 | 90.8 | 89.5 | 90.0 | 90.3 | 91.5 |
| 座位肩峰高 Acromion height from the seat surface, sitting(cm) | 58.1 | | 60.3 | 59.2 | 58.5 | |
| 肩峰点・肘間距離 Acromion-elbow length (cm) | 32.3 | | | | | |
| 肩峰点・中指先端間距離 Acromion-hand tip length (cm) | 70.0 | | | | 68.3 | 72.8 |
| 前方前腕長 Forearm-hand length (cm) | 42.9 | 44.4 | 44.0 | 43.5 | | 43.6 |
| 膝 高 Knee height (cm) | 49.1 | 49.1 | 48.1 | 47.8 | 47.6 | 49.0 |
| 臀部・膝蓋前縁間距離 Buttock-knee length (cm) | 52.8 | | 53.2 | 54.6 | 55.7 | 53.6 |
| 座位下肢長 Buttock-leg length (cm) | 92.0 | | | 94.2 | | 100.5 |
| 肩 幅 Shoulder breadth (cm) | 39.5 | 37.5 | | | 37.5 | |
| 座位臀部幅 Buttock breadth (cm) | 35.4 | | 32.0 | 32.0 | 32.8 | 32.5 |
| 手 長 Hand length (cm) | 18.0 | | | | | |
| 足 長 Foot length (cm) | 23.8 | | 23.9 | | | |

(大島, 1965; 人間工学人体計測編集委員会, 1968)

Table 11. 測定部位の主成分分析による固有ベクトル
The eigenvectors of physical dimensions of forestry logging machine operators
by "Principal Component Analysis".

| 項 Item | 目 | Z ₁ | Z ₂ | Z ₃ |
|-----------|---|----------------|----------------|----------------|
| 1 | 体重 Weight | 0.286 | 0.260 | -0.021 |
| 2 | 身長 Stature | 0.376 | -0.015 | 0.022 |
| 3 | 座高 Sitting height from the seat surface | 0.203 | 0.378 | 0.586 |
| 4 | 座位肩峰高 Acromion height from the seat surface, sitting | 0.226 | -0.039 | 0.647 |
| 5 | 肩峰点・肘間距離 Acromion-elbow length | 0.273 | -0.231 | 0.082 |
| 6 | 肩峰点・中指先端間距離 Acromion-hand tip length | 0.274 | -0.147 | -0.199 |
| 7 | 前方前腕長 Forearm-hand length | 0.310 | -0.135 | -0.064 |
| 8 | 膝高 Knee height | 0.275 | -0.042 | -0.193 |
| 9 | 臀部・膝蓋前縁間距離 Buttock-knee length | 0.270 | -0.350 | -0.057 |
| 10 | 座位下肢長 Buttock-leg length | 0.277 | -0.252 | -0.053 |
| 11 | 肩幅 Shoulder breadth | 0.109 | 0.608 | -0.269 |
| 12 | 座位臀部幅 Buttock breadth | 0.203 | 0.346 | -0.175 |
| 13 | 手長 Hand length | 0.256 | 0.119 | -0.195 |
| 14 | 足長 Foot length | 0.309 | 0.056 | -0.059 |

腕の回転中心位置を Shoulder Point (S. P.), 肘の回転中心位置を Elbow Point, 腰の回転中心位置を Hip Point (H. P.), 膝の回転中心位置を Knee Point (K. P.) と定義した。なお, 操作器具類の調節幅は大柄な人と小柄な人の差, すなわち, 95 パーセントイル値と 5 パーセントイル値の差で検討した。

5.2.2 人体寸法値より考察した操縦席回り操作器具類の適正位置と座席の寸法

(1) 座席

① 座面高

座面高は作業に適正な座姿勢を与える重要な寸法である。適当な高さの条件は, ○深く腰かけても足趾部がむりなく床面に届くこと ○大腿裏側に局部的圧迫がなく, 裏側の大部分が座面に接し, 身体が安定すること ○足をおる程度自由に前後及び側方に傾けたり動かしたりできることなどがあげられる (MORGAN, 1972; MORRISON, 1960; 豊口, 1957)。このためには,

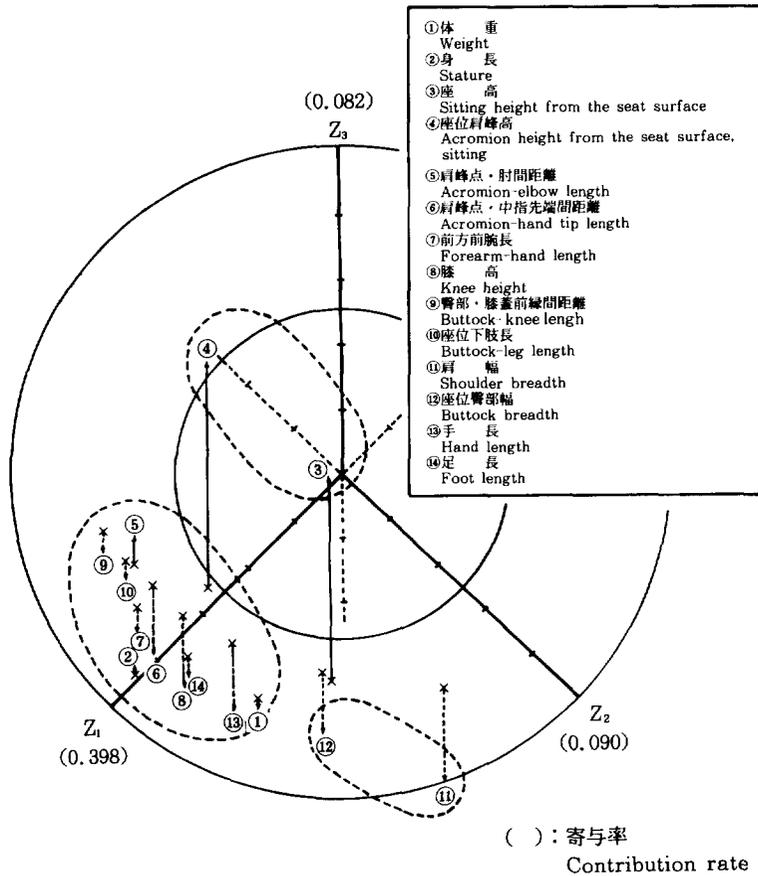


Fig. 22. 主成分分析により得られる因子負荷量による人体部位の分類
Factor loadings of physical dimensions of yarder operator by "Principal Component Analysis".

座面高 ≤ 膝か高 + 靴のかかとの高さ

が考えられる。集材用機械運転手の膝か高 40.2 cm と靴の高さを考えて、約 40 cm が適当と考える。

高さの調節幅は、膝か高の 95 パーセント値と 5 パーセント値の差、約 10 cm が必要である。

② 奥行き

座席の奥行きは臀部・ふくらはぎ間距離が関連し、この値の短い人を基準に考えた方がよい。従って、人体寸法の臀部・膝蓋前縁間距離より推定された上記の値の 5 パーセント値 32.9 cm を考え、また、短か過ぎても体圧分布の面から不都合が生じるので約 35 cm を適当と考えた。

③ 座席幅

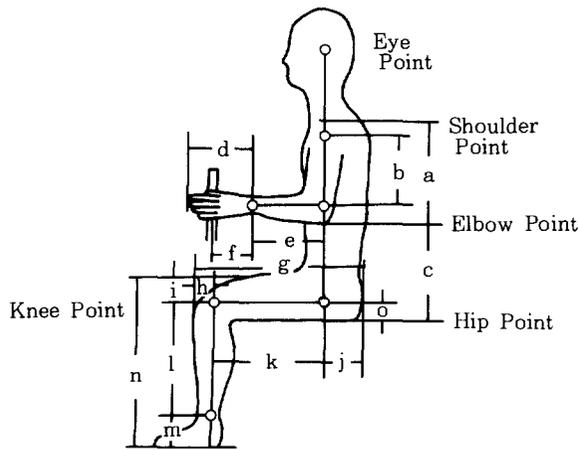
座席幅は臀部幅と関連し、広すぎると不安定となり狭すぎると臀部側面が圧迫される。臀部幅 95 パーセント値 40.0 cm と衣服の増加、さらに前屈による臀部幅の増加を考慮して、45 cm を適当と

Table 12. 測定部位のパーセンタイル値

The percentile value of physical dimensions of forestry logging machine operators.

| 項 目 Item | パーセンタイル値 Percentile value | 5パーセン タイル値 5th percentile | 50パーセン タイル値 50th percentile | 95パーセン タイル値 95th percentile |
|--|------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| 体 重 Weight (kg) | | 49.0 | 60.5 | 72.0 |
| 身 長 Stature (cm) | | 154.2 | 163.3 | 172.4 |
| 座 高 Sitting height from the seat surface (cm) | | 78.0 | 86.2 | 94.4 |
| 座 眼 高 Eye height from the seat surface, sitting (cm) | | 67.8 | 75.6 | 83.4 |
| 座位肩峰高 Acromion height from the seat surface, sitting (cm) | | 51.0 | 58.1 | 65.2 |
| 肩峰点・中指先端間距離 Acromion-hand tip length (cm) | | 63.2 | 70.0 | 76.8 |
| 肩峰点・肘間距離 Acromion-elbow length (cm) | | 27.9 | 32.3 | 36.7 |
| 前方前腕長 Forearm-hand length (cm) | | 39.1 | 42.9 | 46.7 |
| 肩 幅 Shoulder breadth (cm) | | 32.5 | 39.5 | 46.5 |
| 座位臀部幅 Buttock breadth (cm) | | 30.8 | 35.4 | 40.0 |
| 臀部・膝蓋前縁間距離 Buttock-knee length (cm) | | 47.0 | 52.8 | 58.6 |
| 座位下肢長 Buttock-leg length (cm) | | 82.7 | 92.0 | 101.3 |
| 膝 高 Knee height (cm) | | 44.4 | 49.1 | 53.8 |
| 膝 か 高 Popliteal height (cm) | | 35.3 | 40.2 | 45.1 |
| 手 長 Hand length (cm) | | 16.7 | 18.0 | 19.3 |
| 掌 長 Hand length at metacarpale (cm) | | 7.3 | 9.4 | 11.5 |
| 手 幅 Hand breadth (cm) | | 7.6 | 8.5 | 9.4 |
| 最大握径 Hand grip breadth (cm) | | 8.1 | 9.5 | 11.0 |
| 足 長 Foot length (cm) | | 22.0 | 23.8 | 25.6 |
| 足 幅 Foot breadth (cm) | | 8.5 | 9.6 | 10.6 |

考えた。なお、自然の椅子坐位姿勢では両膝がやや開くので、座面の前幅は後幅より若干広くすることも考えられる。



| 部 位 Physical dimension パーセン タイル値 Percentile value | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|------|------|------|------|------|-----|------|-----|-----|------|------|------|-----|------|------|
| | a | b | c | d | e | f | g | h | i | j | k | l | m | n | o |
| 5 th | 27.9 | | 23.1 | 16.7 | | 7.0 | 47.0 | | | | | | | | 44.4 |
| 50 th | 32.3 | 26.8 | 25.8 | 18.0 | 24.3 | 7.6 | 52.8 | 3.8 | 3.4 | 10.4 | 38.6 | 38.2 | 7.5 | 49.1 | 7.5 |
| 95 th | 36.7 | | 28.5 | 19.3 | | 8.3 | 58.6 | | | | | | | | 53.8 |

単位 Dimension : cm

Fig. 23. 主要人体寸法
Percentile values of physical dimensions for machine design.

④ 座面の傾斜

座面傾斜は運転作業時上半身が多少前屈みになるので、一般的に水平から5°前後までの後方への傾斜が適当である。

⑤ 背もたれ

背もたれは上半身の安定、ペダル操作時に足の踏圧力を助ける意義をもつ。この位置が低いと効果は減少し、高いと上体や腕の活動を阻害する。ペダル操作上、背もたれ上縁の適正位置は第3背椎の上あたりといわれている (DUPUIS,1959)。集材用機械運転手のこの高さは、座面より約23cmとなり、約25cmの背もたれの高さが推奨される。

背もたれ傾斜は、フリッカー値を使用した実験で、105°の傾斜位が脳を適度な緊張レベルに保持する効果があることが解明されており (大島, 1965)、座位姿勢による持続作業にはこの角度が適している。

⑥ 座席位置の調節

前後の座席必要移動量は、ペダル操作を考え臀部・足趾間距離、臀部・ふくらはぎ間距離、レバー操

作を考え肩峰点・中指（Ⅲ指）先端間距離で決定できる。それぞれの95パーセントイル値と5パーセントイル値の差は、18.6、15.9、13.6 cm なので、調節移動量は20 cm 必要と考える。

(2) ペダル

ペダル位置は運転手が背中を背あてて、足を踏み込むことができる距離以内で、その踏み込み方向がペダル操作力が出しやすい方向になければならない。そのための条件としては、○ 膝関節角度が、 $90^{\circ} \sim 160^{\circ}$ の範囲にあること ○ 上腿の角度は水平から 15° の範囲にあること ○ ペダル踏み込み角度は 70° が最適でこの線をくるぶしが動くこと (LEHMAN, 1958) ○ 座面とペダルの垂直距離は作業開始前の状態で、20 cm 以下がよいこと (DUPUIS, 1959) ○ ペダル左右位置は肩幅内をはずれると急激に操作力が減少するので、肩幅内の配置がよいこと (LEHMAN, 1958) があげられる。

そのほかに、ペダル配置の検討に当たって最適ペダル領域の概念がある (ELY, 1956)。これは次の4点で囲まれた領域を示す。すなわち、

- 近低点 上腿部を座面より 15° あげ、下腿部と上腿部との角度を 90° としたときのかかとの位置
- 近高点 近低点の状態より下腿を座面高まであげたときのかかとの位置
- 遠低点 上腿を水平に下腿を垂直にしたときのかかとの位置
- 遠高点 遠低点の状態より下腿を 60° あげたときのかかとの位置があげられる。

以上の条件を集材用機械運転手の人体寸法で検討したのが、Fig. 24 である。図上で、くるぶしはペダル踏み込み最適角度 70° の線を座席背あてから約 80 cm の位置から 90 cm の位置まで動き、この時のペダルストローク量は約 10 cm である。また、この時の膝関節角度は $115^{\circ} \sim 120^{\circ}$ となり、ほぼ最大の踏み込み力を得ることができる。

(3) レバー

レバー位置検討条件として次のものがあげられる。

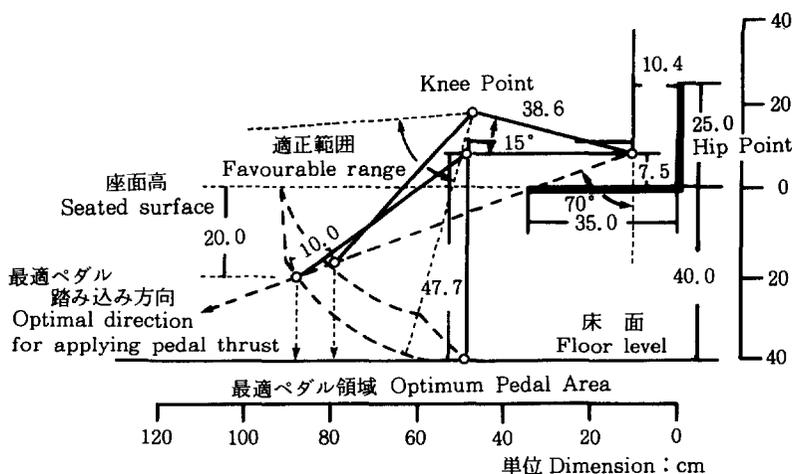


Fig. 24. ペダル位置検討図
Schematic diagram of pedal position.

○ 椅座位姿勢で背あてに背中をつけた状態で手の届く範囲にあること ○ 上記の範囲で手を動かすのが容易で握みやすい位置にあること ○ 操作力が出しやすい位置にあること

そこで、これらの条件を満たすレバー位置を検討する。

① 水平面作業域に関する検討

水平面作業域（手の届く範囲）には最大作業域（肩を中心として両手の届く範囲内）と通常作業域（肘を身体によせて前腕で届く範囲内）がある。この水平面作業域は高さにより変化する。例えば、肘の高さで集材用機械運転手の作業域は、その主要人体寸法の前方前腕長 32.5 cm と前方腕長 66.0 cm であるところから、通常作業域 37 cm、最大作業域 56 cm となる（坪内, 1961）。

② 垂直面作業域に関する検討

垂直面作業域は最適手動領域をあてはめる。この領域は次の4点で囲まれた領域である（ELY, 1956）。

○ 近低点 肘を体につけ肘関節を90°に曲げた状態のこぶしの位置

○ 近高点 近低点の状態から肘関節を75°に曲げたときのこぶしの位置

○ 遠高点 腕を水平に伸ばしたときのこぶしの位置

○ 遠低点 遠高点の状態より肩を中心として、こぶしの高さを近低点の肘の高さにしたこぶしの位置である。

今、人間機械系の座標を座席基準点（座席の中心線と背あての中心線の交点）を原点として、座面高を40 cm、座標位置を前方向、右方向、上方向を正とし、前後位置を X、左右位置を Y、上下位置を Z、単位を cm で表すと、上記4点の (X, Z) 座標は、集材用機械運転手の標準体格で近低点 (42, 28)、近高点 (41, 37)、遠高点 (69, 55)、遠低点 (62, 28) となる。

③ 正確度によるレバー位置検討

機械操作時の操作器具類の確認は、初めは眼を使用するが後に手足の筋肉感覚のみで操作できるようになる。この感覚の正確度は、人間の機械操作に重要で、正確度の高い位置に操作器具類を配置すれば作業者には運転操作のしやすい機械となる。これを検討することは作業空間の広い手の動作では特に重要である。

そこで位置による正確度の差を検討するために、被験者4名（林業運転手の体格と比べA、Cは大柄、Bは平均的、Dは小柄）による盲目位置決め実験を行った。

実験方法は被験者を椅子座位におき、標的（8 cm×8 cm）を腕の付け根から前面水平方向30°間隔で水平距離10, 30, 50, 70, 90 cm、高さで地上より20, 40, 60, 80, 100 cmの各位置にランダムに置いた。被験者は椅子座位状態で目的とする標的位置を記憶、その後盲目状態になり、筋肉感覚のみで標的中心位置にサインペンで印をつける。同様の実験を標的位置確認の状態から、繰り返し4回右手と左手で実施した。この分析結果は以下のとおりである。

標的中心より実験結果であるサインペンの印の各点までの距離を求め、その4回の平均を平均得点とした。平均得点に影響を与えると考えられる要因は、標的方向、高さ、腕の付け根と標的までの距離、個人差、左手と右手の違いである。こうしたことから、左手、右手別に、各要因の分散分析を試みた結果、上記要因で5%水準の有意差がみられた。

次に上記の分析で有意差のあった要因, すなわち, 方向, 高さ, 距離, 個人を説明変数とし, 平均得点を外的基準とする数量化I類による分析を行った。

Fig. 25 は分析結果のスコアとレンジを示している。各要因の傾向を順に考察する。

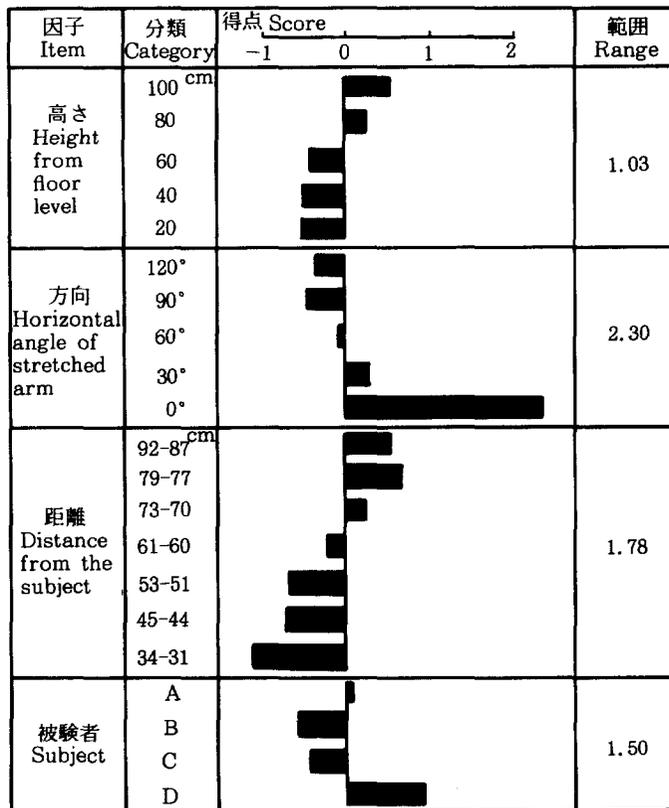
高さは平均得点に対しレンジ, 偏相関係数とも低く影響は低い。カテゴリの傾向としては, 高さが低いほどよい。ペダル操作時の膝の高さ 65 cm を最低位置と考え, レバーの位置は 65 cm がよいことになる。

方向はレンジ, 偏相関係数とも影響度が高い。カテゴリの傾向は体正面方向がよく, 外側へ移るほど悪くなる。

距離はレンジ, 偏相関係数とも影響度が高い。カテゴリの傾向は距離の遠い程悪くなる。

個人差は, 平均的な体格の人が良く, 小柄な人で悪かった。小柄な人は手と標的までの距離が遠くなる場合が多くあらわれ, 不利な実験となったと思われる。

以上のように体正面で高さ 65 cm, 距離は腕の付け根より 33 cm 付近が最もよく, この点より離れ



重相関係数 0.721
Multiple correlation coefficient

Fig. 25. 盲目位置決め動作実験の各要因の影響度

An effect of factor upon the accuracy of hand movement by "Blind-Test".

る程悪くなる。特に悪いのは手の届かない距離と体の外側 0° の方向であった。

④ 操作方向に関する検討

レバー操作方向は前後、上下、左右の3方向が考えられる。前後操作方向のレバーをI型、上下・左右操作方向のレバーをII型として考察する。レバー最適位置の条件としては次に示すものがあげられている。

○ 肘関節角度が 90° のとき、上腕の垂直に対する角度は $0^{\circ}\sim 35^{\circ}$ の範囲がよく、特に 25° のときが最適である (DUPUIS, 1959) ○ 右手前腕を水平に保った状態での最大力は、押す・引くの操作時は肘関節角度 $150^{\circ}\sim 180^{\circ}$ 、上下方向の操作時では 120° 、左右方向の操作時では右方向 120° 、左方向 60° で最大力が出せる (HUNSICKER, 1955)。

そこで、上記の条件を考慮すると、I型のレバーは上腕の垂直に対する角度 25° 、肘関節角度 110° の位置が、II型のレバーは上腕の垂直に対する角度 35° 、肘関節角度 130° の位置が適当となる。

レバーの左右方向の位置は、操作力が肩の直前で最大で、外側になるほど減少する (倉田, 1959) ことから、レバーは肩幅内に配置するのが適当である。

⑤ レバー最適位置での移動量

①～④の条件を総合的に考え、レバー位置は④の検討位置とする。この場合、最適手動領域内のレバー操作のうち、ストローク量はI型のレバーで上へ 10 cm 、下へ 5 cm 、II型のレバーで前へ 5 cm 、後ろへ 15 cm となる (Fig. 26)。

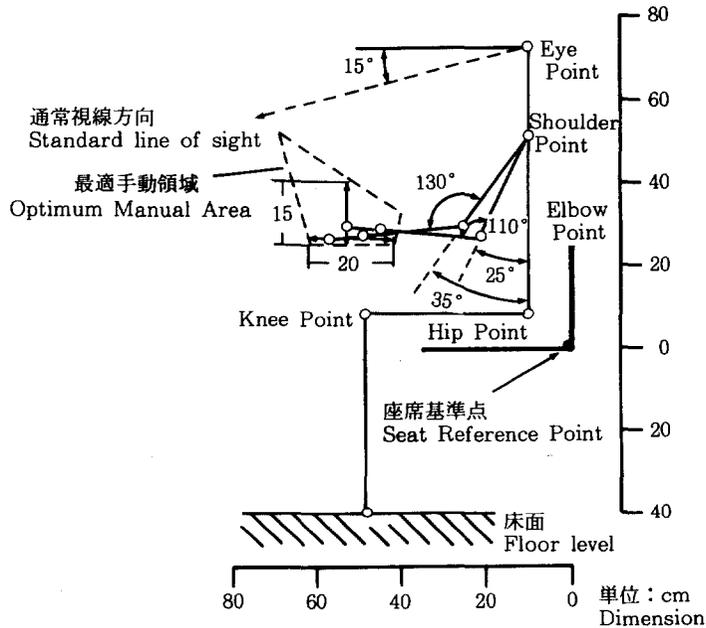


Fig. 26. レバー位置検討図
Schematic diagram of lever position.

また、背あて角度を105°とした場合には、I型のレバーで上下15cm、II型のレバーで前後15cmのストローク量となる。

5.2.3 集材用機械運転手の人体寸法値からみた現用集材機の操縦席回り操作器具類と座席の評価

前項において、集材機操縦席回りの操作器具類の位置と座席寸法値を検討した。この項では前項の検討を基に現用集材機の評価を試みる。

(1) 座席

Table 13 は現用集材機（18機種）と前節で検討した推奨値の比較を示す。推奨値と比較して現用集材機の座席寸法値はばらつきがあり、特に座面高、背あての高さで統一がとられていない。従って、統一基準を設ける必要がある。各座席寸法値のなかで特に背あての高さに問題があるといえる。

(2) ペダル

Fig. 27 は現用集材機のペダル位置を示す。ペダル推奨位置はすでに、5.2.2(2)で検討した。これを、5.2.2(3)②で定義された座標系で表すと、標準体格の集材用機械運転手の場合次のとおりである（Fig. 24 参照）。

① 最適ペダル領域

近低点、近高点、遠低点、遠高点で囲まれた範囲は、標準体格の集材用機械運転手の H. P. と K. P. 間距離、K. P. と足の操作箇所間距離より次のように表される。

$$(Z - 18)^2 + (X - 46)^2 \geq 48^2$$

$$(Z - 8)^2 + (X - 49)^2 \geq 48^2$$

$$59 \leq X \leq 90$$

Table 13. 現用集材機の座席寸法
The size of yarder's seat.

| | 平均 Average | 最大 Maximum | 最小 Minimum | 標準偏差 Standard deviation | 最頻値 Mode | 推奨値 Recommended value |
|--|---------------|---------------|---------------|----------------------------|-------------|--------------------------|
| 座面高 (cm) Height of seat surface | 38.5 | 45 | 33 | 3.62 | 40 | 40 |
| 奥行き (cm) Length of seat | 39.9 | 43 | 36 | 1.98 | 40 | 35 |
| 幅 (cm) Width of seat | 51.9 | 57 | 45 | 2.91 | 53 | 45 |
| 座面傾斜 (°) Angle of seat surface to horizontal line | 0 | | | | 0 | 0~5 |
| 背あての高さ (cm) Height above seat surface of backrest | 48.4 | 54 | 33 | 5.37 | 50 | 25 |
| 傾斜 (°) Angle of backrest to horizontal line | 100.8 | 110 | 90 | 8.61 | 105 | 105 |

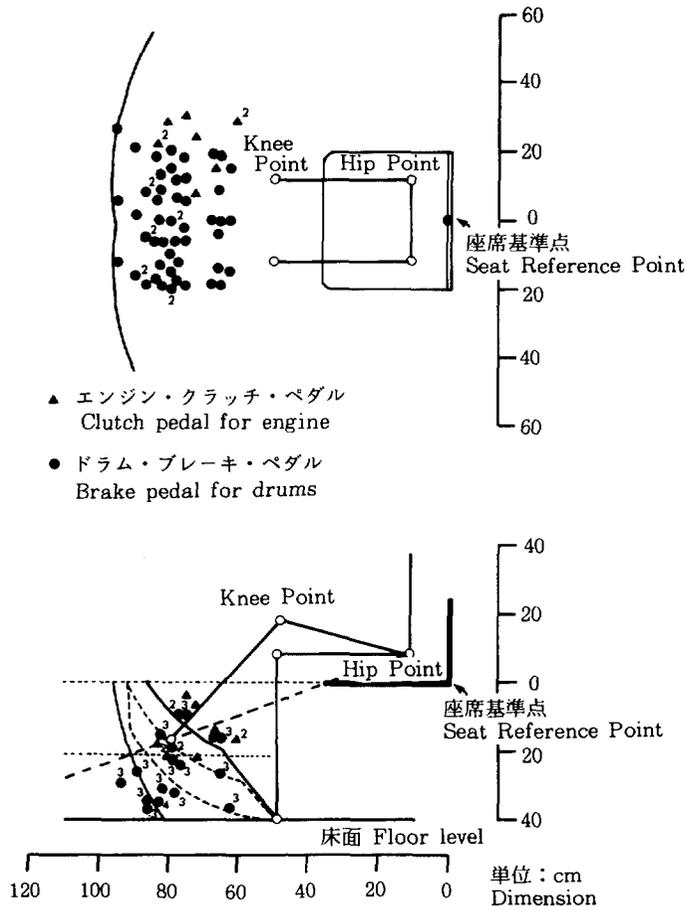


Fig. 27. 集材機 18 機種種のペダル位置
Position of clutch pedals and brake pedals in 18 kinds of yarders.

② 肩幅内

①と同様に、標準体格の集材用機械運転手の肩幅から、次のように表される。

$$-20 \leq Y \leq 20$$

③ 座面とペダル間の高さ

Fig. 24 で検討したとおりで、次のように表される。

$$Z \leq -20$$

④ 足の届く範囲

①と同様に、次のように表される。

$$(X - 10)^2 + (|Y| - 12)^2 + (Z - 8)^2 \leq 84^2$$

現用集材機 18 機種種のペダル各位置をこの条件で判定した結果は、①で 38%、②で 84%、③で 61%、④で 80% の満足度であった。

(3) レバー

現用集材機 18 機種種のレバーの位置は, Fig. 28 (a), (b) に示すようであった。また, レバー配置を方向別, 距離別に分類したのが, Fig. 29 である。操作性の劣る 150°~180° の方向にあるレバーや, 背あてより背中を離さない手の届かないレバーもみられた。

レバー推奨位置は, すでに 5. 2. 2(3) で検討した。これを, ベダルと同様の座標系で表すと, 標準的体格の集材用機械運転手の場合, 次の各条件で表せる (Fig. 26 参照)。

① 垂直面作業域・最適手動領域 (背あて傾斜角 90° の場合)

近低点, 近高点, 遠低点, 遠高点で囲まれた範囲は, 標準体格の集材用機械運転手の S. P. と Elbow P. 間距離, Elbow P. と手の操作箇所間距離より次のように表される。

$$(X - 11)^2 + (Z - 28)^2 \geq 32^2$$

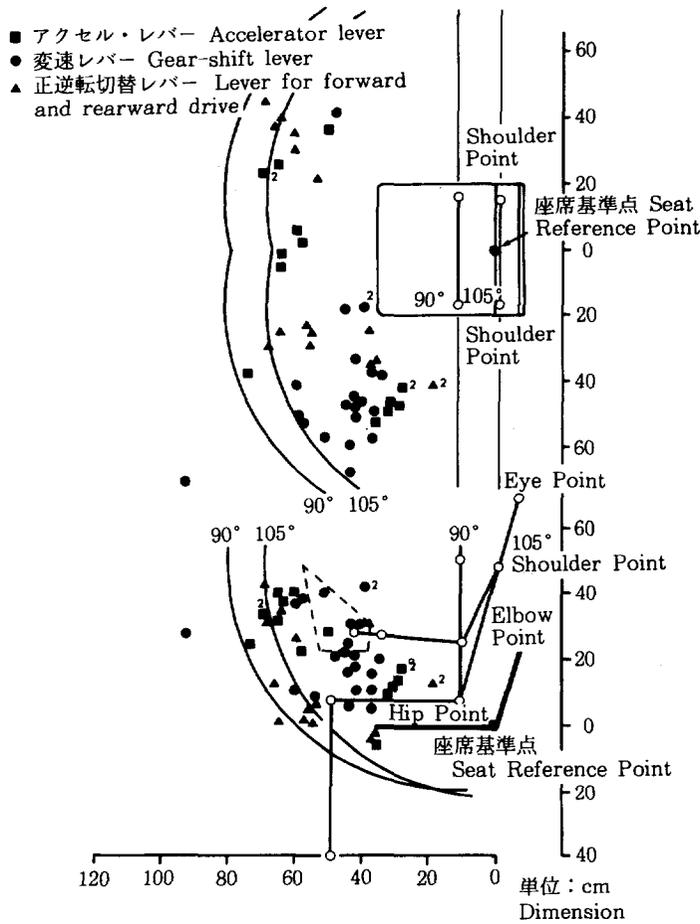


Fig. 28 (a). 集材機 18 機種種のレバー位置 (1)
Position of levers in 18 kinds of yarders.

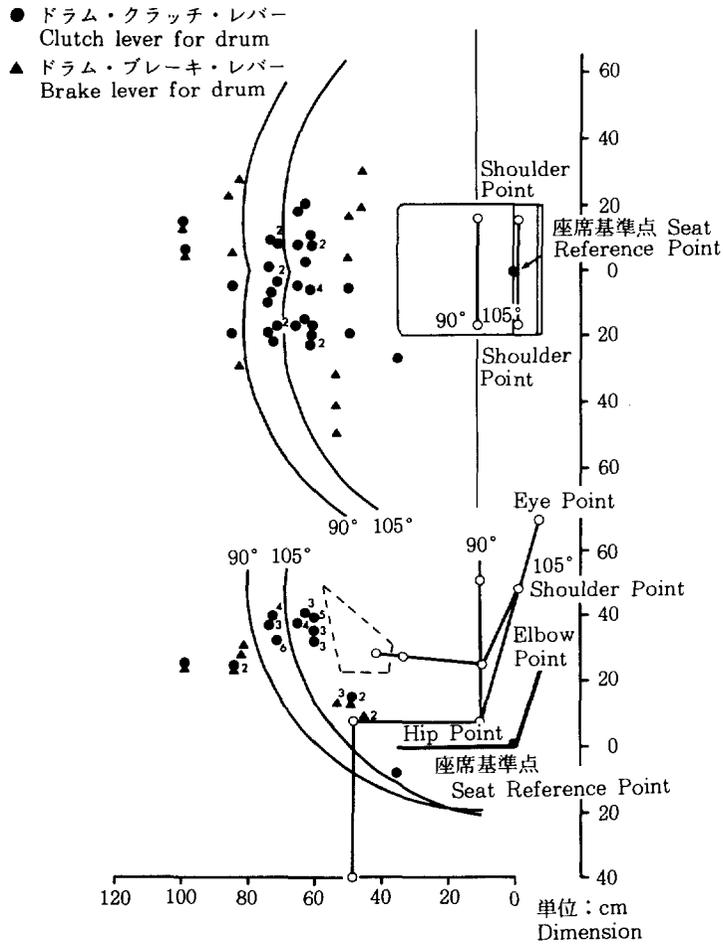


Fig. 28 (b). 集材機 18 機種のレバー位置 (2)
Position of levers in 18 kinds of yarders.

$$(X - 11)^2 + (Z - 55)^2 \geq 59^2$$

$$Z \geq 28$$

$$Z \leq 0.64 X + 10.76$$

② 水平面作業域

水平面作業域は高さにより異なるので、最大作業域内として①の運転手の部位の数値を使い以下のように定義した。

$$(X - 11)^2 + (|Y| - 19)^2 + (Z - 55)^2 \leq 59^2$$

③ 体の正面 60°~120° の範囲内

①の運転手の測定値をもちいて、以下のように表せる。

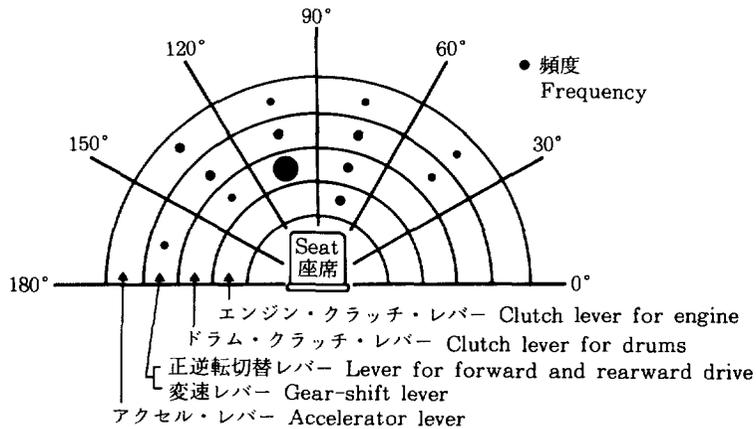
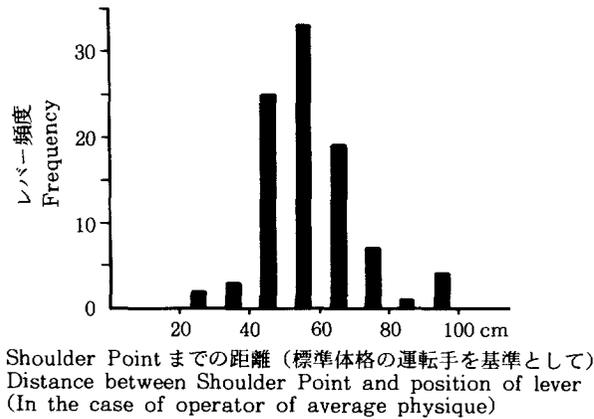


Fig. 29. レバー頻度分布
Distribution of lever's position in 18 kinds of yarders.

$$|Y| \leq 19$$

$$(X - 11) / (|Y| - 19) \geq \tan 30^\circ$$

④ 手の届く範囲

同様に、①の運転手の測定値をもちいて、以下のように表せる。

$$(X - 11)^2 + (|Y| - 19)^2 + (Z - 55)^2 \leq 69^2$$

各レバーの座標値を上記条件で検討した結果、①、②、③条件をすべて満足するレバーは42%、最も悪い④条件を満たさないレバーが15%あった。

5.3 操作器具類の操作力、ストローク量

主なレバー、ペダルの操作力、ストローク量を検討するため、各種運転機械の適正基準案を Table 14 に示した (JIS, 1975; JIS, 1978; 建設省土木研究所, 1972)。Fig. 30 (a)~(c) は、集材機 18 機種種の操作器具類の操作力 (中立の位置よりレバー、ペダルが移動を始めるときの力) とストローク量である

Table 14. 操作器具類の操作力, ストローク量
Optimum operating physical force and stroke of control devices.

操作力

Optimum operating physical force of lever and pedal.

| 操作器具類 Controls | 土木研究所案 Proposal in "The Public Works Research Institute" | ISO TC127/SC2 DIS 7095(履带式トラクタ) for tractor | JIS A 8401 | JIS A 8001 (動力ウインチ) for winch |
|-------------------|---|--|----------------------|-------------------------------------|
| レバー Lever | 2~10kg (最適 4~6 kg). Optimum | 230N (前後) (before and behind) 100N (左右) (from side to side) 600N (ブレーキ) (for brake) | 10kg 以下 and below | 20kg 以下 and below |
| ペダル Pedal | 10~20kg (最適 12.5kg) Optimum | 450N | 20kg 以下 and below | 30kg 以下 and below |

ストローク

Optimum stroke of lever and pedal.

| 操作器具類 Controls | JIS A 8401 | JIS A 8001 (動力ウインチ) for winch |
|-------------------|-----------------------|-------------------------------------|
| レバー Lever | 300 mm以下 and below | 600 mm 以下 and below |
| ペダル Pedal | 200 mm以下 and below | 300 mm 以下 and below |

(林業機械化協会, 1976)。

(1) エンジンクラッチ・レバー

自動式の遠心式クラッチと手動式の乾式単板式があるが、前者はアクセルと直結しているので乾式単板式のレバーを検討した。基準案と比較して操作力は適正であるが、ストローク量で大きなものがあった。このレバーは自動式にして、レバー本数の減少をはかるのがよい (Fig. 30 (a))。

(2) アクセル・レバー

ペダル式もあるが、ペダル式はレバー式と併用しているのですべてレバー式と考えてよい。操作力は基準案内であるがストローク量で大きなものがみられる (Fig. 30 (a))。

(3) トランスミッションチェンジ・レバー (正逆転切替レバーも含む)

自動変速機構をもつものとそうでないものがあり、調査対象機種の40%は前者であった。操作力、ストローク量とも基準案内であるが、操作の複雑性から短時間で操作できるようストローク量の短小化が望まれる。なお、測定したストローク量は総移動量を示している (Fig. 30 (c))。

(4) ドラムクラッチ・レバー

調査対象18機種中14機種がドラムクラッチを有していた。操作手段は空圧式、油圧式、リンク機構を利用した機械式があるが、Fig. 30 (a)には空圧式とそのほかの方式とに分けて示した。ストローク

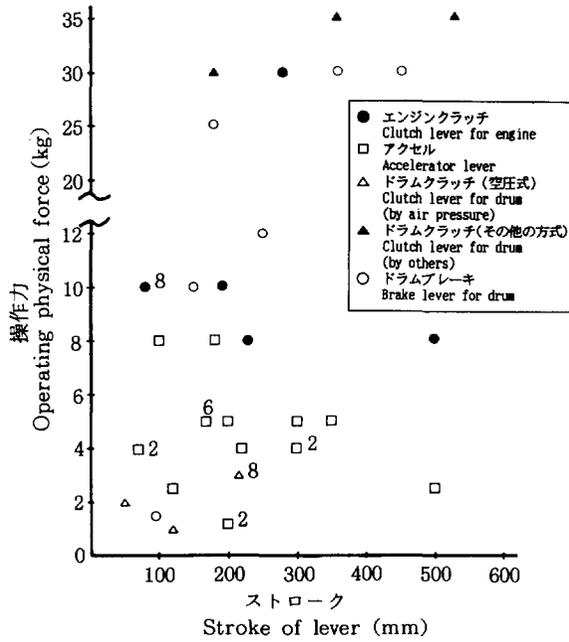


Fig. 30 (a). 操作力とストロークの関係（レバー）
The relationship between operating physical force and stroke of lever.

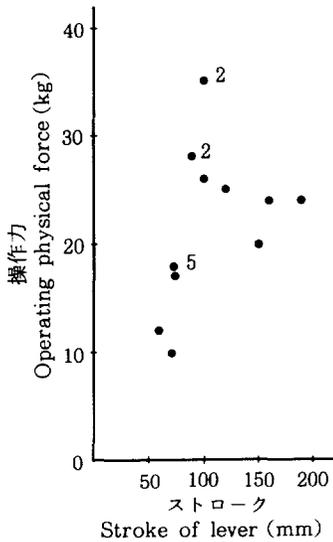


Fig. 30 (b). 操作力とストロークの関係（ペダ
ル式）

The relationship between operating physical force and stroke of the brake pedal for drum.

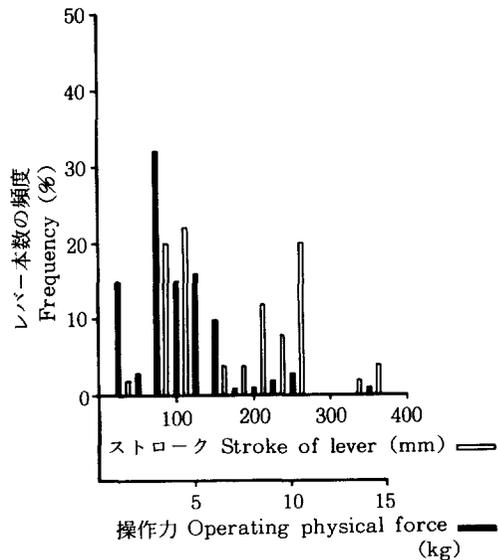


Fig. 30 (c). チェンジレバーの操作力とスト
ローク

Frequency of operating physical force and stroke of gear-shift lever.

量、操作力において空圧式が優れている。なお、操作力とストローク量は集材機が最大巻き上げ能力を発揮できるときの値を示した。

(5) ドラムブレーキ・レバー（ペダル）

ブレーキ操作手段には空圧式、油圧式、機械式がある。空圧式のレバーはそのほかの方式と比べ操作力が少なくすむ（Fig. 30 (a)）。また、ペダル式の操作力は基準案より大きなものがある（Fig. 30 (b)）。

以上のように調査対象機種種のレバー、ペダルは操作力において問題は少なかったが、ストローク量において適正範囲を超えるものがあった。空圧操作方式は、操作力、ストローク量で優れ、レバー、ペダル操作方式の一つの目標となろう。また、レバー、ペダルとも操作本数が多く、できるだけ自動化などによる操作性の改善が望まれる。

5.4 操作器具類の操作頻度、操作時間

操作器具類の操作性の難易を決める要因には、その配置と操作力、操作方向があげられるが、操作頻度、操作時間も検討要因の一つとなる。あまり操作頻度の高いものは手足の疲れを生じるし、あまり長い操作器具への接触は運転手の手足へ機械の振動が伝播するので好ましいものでない。このため本節では操作器具類の操作頻度、操作時間を検討する。

5.4.1 調査方法

測定器は、ピックアップ部に 250 g/cm^2 以上の力でスイッチの入る厚さ 3.1 mm のテープスイッチを利用した。このピックアップ入力をデータレコーダに記録するとき、1チャンネルに多くのデータを記録することを考え、 2^n ($n=0\sim 4$) の抵抗値をもつ抵抗を並列に並べた回路を考えた。入力電流はこの回路を伝わることにより、階段上のアウトプットとなる。試作の回路では5入力か1チャンネルに記録され、あとの分析で各入力の組み合わせが判別できるよう設計した。

測定対象機種は3台（A；Y 33 H, B；Y 33 EPA, C；Y 32 E）で、索張り方式はエンドレス・タイラー方式であった。測定は1台につき3集材サイクルで実施した。

5.4.2 操作時間

操作時間は1集材サイクルについて、手足が各レバー、ペダルに接触している時間割合（接触時間比）で検討した（Fig. 31）。レバーは、A, C 機種ともアクセル接触時間比が高い。空圧操作の B 機種ではレバー接触時間比合計が低く、また、各レバーとも均一に接触していた。レバーとペダルの接触時間比の比較ではペダルの接触時間比が多かった。

5.4.3 操作頻度

操作頻度の解析は対応リンク解析で考えた。対応リンクとは、「あるシステムの中におかれた作業者が自己の感覚並びに身体各部位を用いて、機器並びに外界条件に無形または有形の接触を行うことにより発生する対応関係」と定義されている（坪内, 1961）。リンク解析ではリンク数の増加で操作性も複雑となるので、C, A, B 機種順に操作が複雑となっている（Fig. 32）。左右手足のリンク数による操作配分の分析では、B 機種は左右とも均一に使われ、A, C 機種は偏りがみられた。ドラム数増加により操作は複雑となるが、各操作器具の使用は均一化の傾向にある。

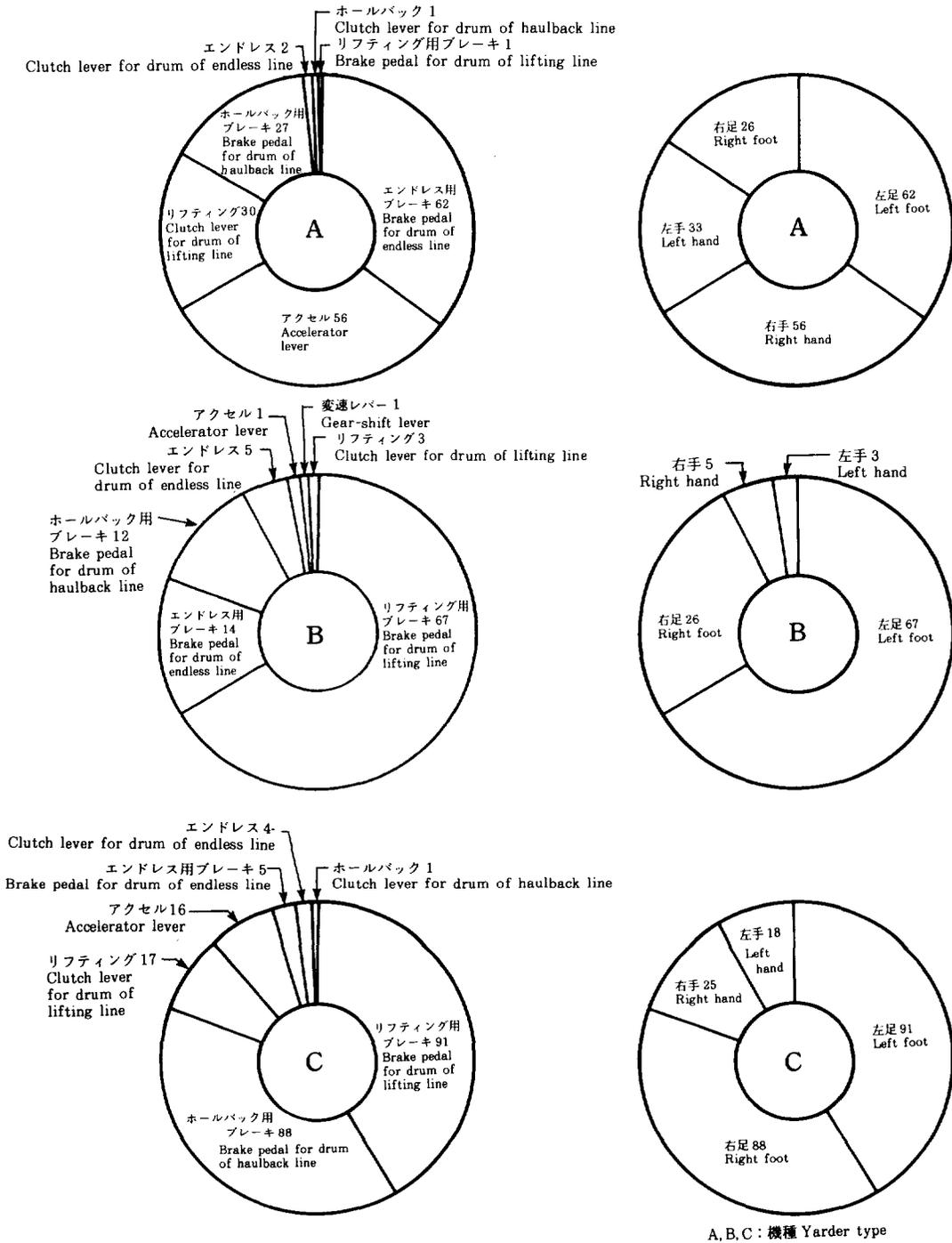


Fig. 31. 操作器具類への接触時間比 (%)
The percentage of operating time by hand or foot in yarding cycle.

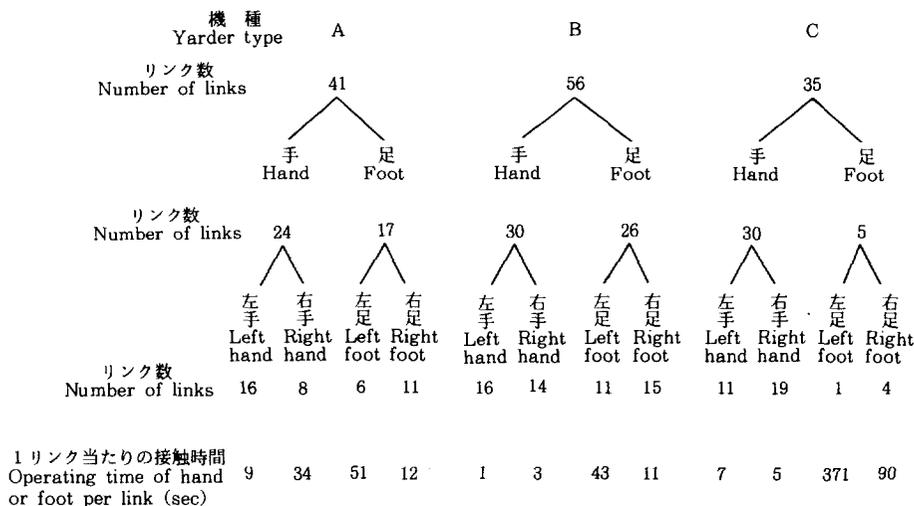


Fig. 32. 操作器具類の操作頻度に基づいたリンク解析
“Link Analysis” based on the frequencies of operating controls.

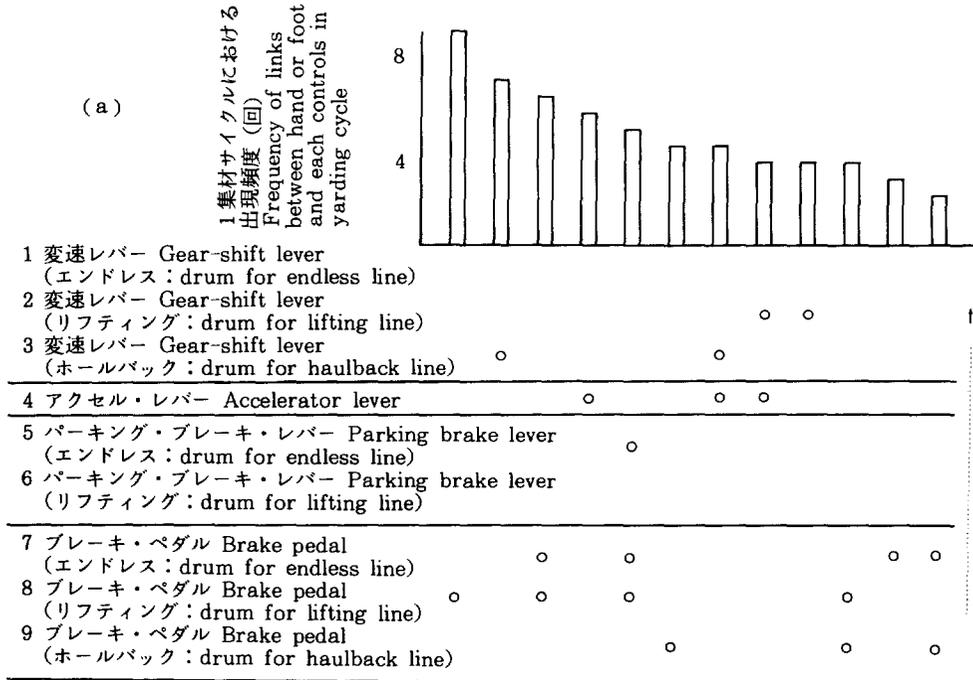
Fig. 32 下段の値は1リンク当たりの接触時間であるが、ペダルが高く、ペダルが足おき台として使われていることが推測された。この状態は緊急時での誤動作なども考えられるのでペダル使用時以外、足は床上に置くべきであろう。

5.4.4 動作分析

A 機種種のデータ追加をはかり (3 台×3 集材サイクル), 手足とレバー, ペダルの接触頻度より運転手操作中の動作分析を試みた。動作のパターンは1集材サイクル中平均で64回変化した。この動作パターンを, 出現頻度が多かったものから順に示した (12 パターンのみを示す) のが Fig. 33 (a) である。この図よりリフティング用ブレーキのみの動作が1集材サイクル中8.6回出現し, 次いでホールバック用変速レバー5.6回, 次いでエンドレス用ブレーキペダルとリフティング用ブレーキペダルの同時動作5.2回の順に並ぶことが理解できる。また, 動作の出現頻度を手足の状態別に分けたのが Fig. 33 (b) である。この図で, 例えば H1, F2 は手1本, 足2本での操作器具類への接触動作パターンを示している。この図から, 動作は, ① 操作器具本数の少ないものから多いものへ ② 手, 足のどちらか片方を使用するものから手足の操作へと動作パターン数が減少していることが読み取れる。つまり, 手足ともなるべく使用する本数が少なく, 足を使用するなら足だけ, 手を使用するなら手だけの動作が多い。このことは, 人間の手足の操作は情報処理の容易さの順に選択されることを示している。

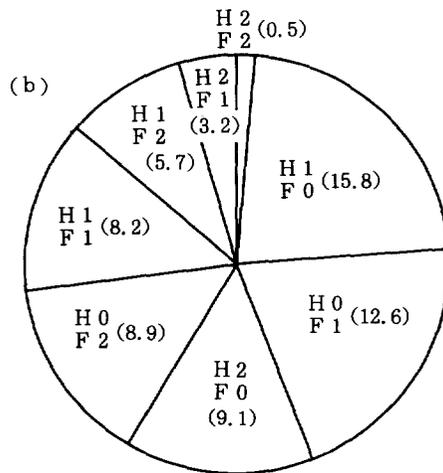
5.4.5 操作器具類の操作頻度, 操作時間よりの評価

現在, 集材機は作業の複雑化に伴いドラム数が増加傾向にあり, また, その操作も複雑化の傾向にあ



(例) エンドレス用ブレーキペダルとリフティング用ブレーキペダルを操作する頻度が5.2回あることを示す。

(For example) The frequency of operation of endless drum brake pedal and lifting drum brake pedal is 5.2 in this table.



1 集材サイクルにおける出現頻度 (回)

Frequency of links between hand or foot and each controls in yarding cycle

H 1, F 2 は 1 本の手, 2 本の足による操作を示す

H 1, F 2 indicates operation by 1 hand and 2 feet.

Fig. 33. リンク数による動作分析

“Motion Analysis” based on the frequency of links between hand or foot and each controls.

る。これに反して本節の運転操作の動作分析では、集材機運転手の動作は単純化を指向しているように考えられる。また、運転手の自覚疲労症状を調べた結果をみると、手足の疲労の訴えがみられた。これらのことを考え合わせると、集材機操作器具類は自動化などによる操作の単純化により操作器具類の本数の減少が望まれていると考えられる。

5.5 操作器具類の位置決定手順

操作器具類の理想的な位置決定には、操作器具類の機能別集団化をはかり、操作のシーケンスと関連ある配置をする、使用時期、頻度を考えた割付をする等をシステム工学の立場から考慮したらよいとの提案がある（林，1971；勝沼，1975）。そこで本論文では、操作器具類の位置決定手順として、Fig. 34に示すとおり、各操作器具類の位置範囲の検討、その操作頻度、操作器具類の機能別集団化（グループ化）、操作の推移過程の検討（操作のシーケンスの検討）、操作推移過程を考慮した最小移動システムの検討の手順でシステム工学的に操作器具類の配置を考えた。なお、前節までで操作器具類の理想的な位置範囲は検討済みである。本節では、林業集材現場で一般的に使用されているA機種について具体的にそのレバー、ペダル配置を検討する。

5.5.1 適正位置

(1) レバー・グループの適正位置

レバー配置は、その適正範囲、操作方向、ストローク量、レバー間隔がその考慮すべき条件となる。

A機種はアクセル・レバー1本、チェンジ・レバー3本、パーキングブレーキ・レバー2本の計6本のレバーを有するので、この6本のレバーすべてを検討済みの適正範囲内に配置するのは無理がある。そのため、範囲外も考慮しながら配置を検討する。

操作方向は、左右、上下方向の操作力より前後方向の操作力の方が強い（HUNSICKER, 1955）。従って、前後方向操作のレバー配置がよいといえる。

ストローク量はTable 14の基準案内（30 cm以下）でなければならない。調査対象集材機の平均ストローク量は22 cmであったので、目標を22 cmにおく。

レバー間隔は、手の筋肉感覚のみで、肩の高さより低い位置にあるレバーを操作するときは14 cm以上必要とする（FITTS, 1950）。

A機種のレバーはその機能配分からみてアクセル・レバー、チェンジ・レバー、パーキングブレーキ・レバーの3グループに分けられる。Table 15にその使用頻度を各グループのレバー平均接触時間比、平均リンク数で示す。このグループごとに適正位置の検討を進める。

① アクセル・レバー

アクセルは接触時間が長いので、左右どちらの手でも操作可能なものの方がよく、また、細かな操作を必要とするため、5.2.2(3)で検討したレバー最適位置である、上腕の垂直に対する角度 35° 、肘関節角度 130° 、体正面中央線上のレバー位置をあてる。ストローク量は23 cm、本論文の座標系では(53, 0, 27)となる。

② パーキングブレーキ・レバー

ほかのレバーと比べ力を必要とするレバーである。日本人の屈腕力は右腕が強い（人間工学人体計測

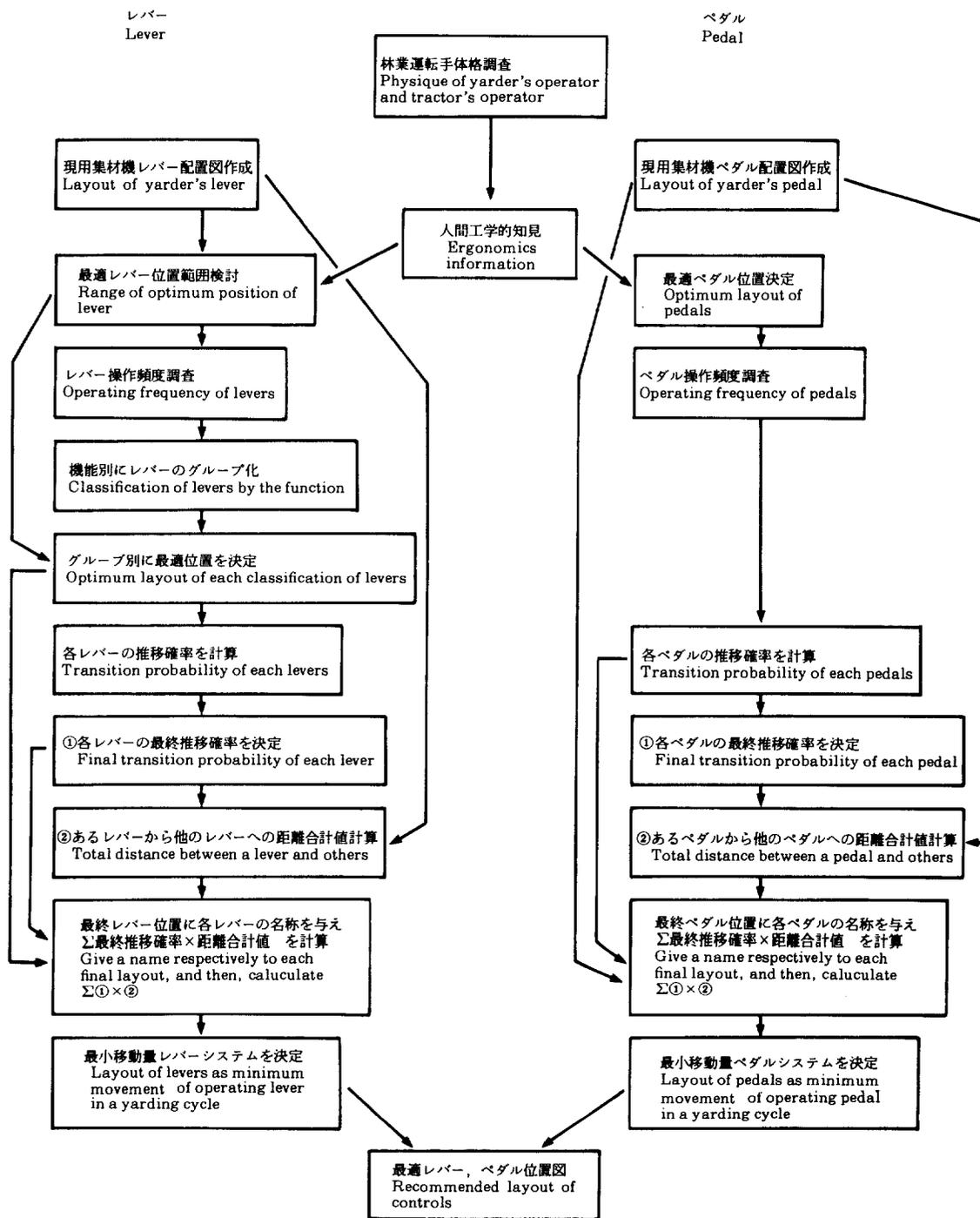


Fig. 34. レバー, ペダル最適位置計算手順

Charts of determination routine for recommended layout of controls.

Table 15. A機種3台におけるレバーの操作時間と頻度
The operating time and operating frequency of lever in the case of yarder-A.

| Lever | 各レバー当たりの 接触時間比 (%) Percentage of operating time in yarding cycle "P" | | | グループ別平均 接触時間比 (%) Average value of "P" | | | 各レバーの リンク数 Number of links per lever "L" | | | グループ別平均 リンク数 Average value of "L" | | |
|---|--|------|------|---|------|------|---|------|------|--|------|------|
| | a | b | c | a | b | c | a | b | c | a | b | c |
| 変速レバー (エンドレス) Gear-shift lever (drum for endless line) | 11.9 | 8.0 | 4.4 | | | | 9.0 | 3.9 | 6.3 | | | |
| (リフティング) (drum for lifting line) | 18.5 | 8.5 | 8.6 | 14.2 | 8.2 | 13.7 | 13.9 | 8.3 | 10.0 | 11.7 | 7.3 | 11.4 |
| (ホールバック) (drum for haulback line) | 12.2 | 8.0 | 28.0 | | | | 12.1 | 9.6 | 17.9 | | | |
| アクセル・レバー Accelerator lever | 27.0 | 20.8 | 32.8 | 27.0 | 20.8 | 32.8 | 12.1 | 12.8 | 17.5 | 12.1 | 12.8 | 17.5 |
| パーキング・ブレーキ・レバー (エンドレス) Parking brake lever (drum for endless line) | 9.8 | 14.3 | 37.0 | 7.5 | 8.7 | 18.8 | 7.1 | 9.2 | 11.6 | 5.7 | 6.8 | 6.5 |
| (リフティング) (drum for lifting line) | 5.2 | 3.0 | 0.5 | | | | 4.2 | 4.3 | 1.3 | | | |

a, b, c: Yarder-A

編集委員会, 1968) ことが知られている。そこで、右側配置で力が最大出せる位置、右肩前方で、上腕の垂直に対する角度 35° 、肘関節角度 130° が考えられる。レバー間隔 14 cm を考えると、2本のパーキングブレーキ・レバー位置は $(50, 22, 27)$ 、 $(50, 36, 27)$ となり、ストローク量は 23 cm となる。

③ チェンジ・レバー

このレバーはパーキングブレーキ・レバーを右側へ配置したので、その反対の左側への配置となる。同じ高さに 14 cm 間隔にレバーを並べると、最も外側のレバーは S. P. より正面 45° 方向の配置となり不適当なので、3本のレバーを上下に配列する方法を考える。上、中、下段のレバーが S. P. からの距離で差がない配列は、上段のレバーが外側、下段のレバーが内側の配列である。

上段のレバーの位置は Fig. 26 の適正範囲に3本のレバーを配置することを考えると、適正範囲の上側、上腕の垂直に対する角度 35° 、肘関節角度 120° の位置となる。下段のレバーは腰以上の高さとし、K. P. から 3 cm 上、座席基準点から 13 cm 上に配置すると肘関節角度 135° 、上腕の垂直に対する角度 20° の位置となる。従って、中段のレバーは肘関節角度 123° 、上腕の垂直に対する角度 25° の位置となる。これらレバーの座標は上段のレバー $(58, 38, 32)$ 、中段のレバー $(53.5, 30, 21.5)$ 、下段のレバー $(49, 22, 11)$ となり、ストローク量は 14 cm となる。

(2) ペダルの適正位置

5.2.2 (2) でペダル前後位置は検討済みである。この項では左右位置を検討する。配置に必要な条件は次のように設定した。

① 左右位置

ペダル操作力は体中心線より外側になるほど減少することから、ペダル配置は体中心線より外側 $8\sim 12\text{ cm}$ 内の位置、つまり両脚のほぼ直前を考える (DUPUIS, 1959)。

② ペダル間隔

ペダル中心間距離は 19 cm 、ペダル端間距離は 9 cm が適当である (人間工学人体計測編集委員会, 1968)。

③ ペダル形状

ペダル幅は靴底程度かそれ以上がよく、長さは 7 cm 以上がよい (MORGAN, 1972)。集材用機械運転手の足幅 10 cm (50パーセントイル値) を考慮して、ペダル幅は 8.5 cm 、長さを 7 cm とした。

以上の条件よりペダル間隔を 9 cm とすると、3個のペダル端間最大距離は 35 cm となる。また、各ペダルの座標位置は $(79, 17.5, -17)$ 、 $(79, 0, -17)$ 、 $(79, -17.5, -17)$ となる。

5.5.2 推移確率からみた操作器具類の配置

各レバー、ペダルの操作推移確率からレバー、ペダルの適正配置を考える。データはA機種3台のものをを使用した。

(1) レバーの適正配置

A機種の6本のレバーで、レバー操作状態がほかのレバー操作状態へ変化したときの頻度を1として推移表 (Table 16) を作成した。この表は、例えばホールバック用変速レバーとアクセル・レバー操作状態からアクセル・レバーのみの操作状態となる頻度が13であることを示している。

Table 16. 各レバーの操作推移頻度
Transition frequency of lever operations.

| Lever | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | |
|---|---|---|---|---|---|---|--------------------------|
| 1 変速レバー Gear-shift lever (エンドレス) (drum for endless line) | ○ | | | | | | ○ ○ ○ ○ |
| 2 変速レバー Gear-shift lever (リフティング) (drum for lifting line) | ○ | | | | | | ○ ○ ○ |
| 3 変速レバー Gear-shift lever (ホールバック) (drum for haulback line) | ○ | | | | | | ○ ○ ○ ○ ○ |
| 4 アクセル・レバー Accelerator lever | ○ | | | | | | ○ ○ ○ ○ ○ |
| 5 パーキング・ブレーキ・レバー Parking brake lever (エンドレス) (drum for endless line) | | ○ | | | | | ○ ○ ○ ○ ○ |
| 6 パーキング・ブレーキ・レバー Parking brake lever (リフティング) (drum for lifting line) | | ○ | | | | | ○ ○ ○ ○ ○ |
| Lever | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | |
| | ○ | | | | | | 1 3 1 3 2 4 2 2 4 |
| | ○ | | | ○ | | | 2 2 3 1 3 1 2 3 1 |
| | ○ | | | | ○ | | 4 4 1 3 1 1 1 3 1 |
| | ○ | | | | | ○ | 1 1 3 1 3 1 1 3 1 |
| | | ○ | | | | | 3 2 4 1 17 4 4 1 1 |
| | | ○ | | ○ | | | 3 1 1 3 4 12 7 6 1 |
| | | ○ | | | ○ | | 1 2 1 1 1 1 1 1 |
| | | | ○ | | | | 1 4 1 18 3 12 12 1 |
| | | | ○ | ○ | | | 3 2 1 5 5 14 2 13 1 2 |
| | | | ○ | | ○ | | 1 1 1 1 1 1 1 2 |
| | | | ○ | | | ○ | 1 1 1 1 1 1 1 1 |
| | | | | ○ | | | 5 3 1 3 10 10 14 1 1 1 5 |
| | | | | ○ | ○ | | 1 1 1 1 1 1 1 1 |
| | | | | ○ | | ○ | 2 3 4 3 1 1 2 5 6 |
| | | | | | ○ | | 1 1 1 1 1 1 1 7 |

(例) ホールバック用変速レバーとアクセル・レバー操作状態からアクセル・レバーのみの操作状態となる頻度が13であることを示す。

(For example) The transition frequency from operation of haulback drum lever and accelerator lever to accelerator lever operation is 13 in this table.

Table 17 の推移頻度はあるレバーからほかのレバーへ移る手の推移頻度を示している。この推移頻度は以下のような考え方で求めた。すなわち、レバー操作は両手操作から片手のみの操作へ、片手操作からほかの片手でほかのレバー操作へ移る場合などさまざまな状態があるため、レバーごとの推移頻度は、各レバーの推移頻度の重みを考慮しなければならない。つまり、1本のみのレバー操作状態からほかの1本のみのレバー操作状態へ推移するときは、ほかの状態のレバー操作推移と比べ2倍の頻度と定義し、この重みを付けることにより推移頻度を算出した。

次に、この推移頻度を使用して、各レバーの最終の状態確率を次の考え方で求めた。すなわち、レバー操作推移はエルゴード的単純マルコフ過程で推移し、エルゴード的マルコフ連鎖の最終分布は n 時点における状態確率分布を $\pi(n)$ とすると、 $n \rightarrow \infty$ のとき初期分布 $\pi(0)$ によらず、ある最終分布に収束することが証明されている。このことは、ある推移行列 P を

$$P = \begin{pmatrix} a_1 & b_1 & c_1 \\ a_2 & b_2 & c_2 \\ a_3 & b_3 & c_3 \end{pmatrix} \text{と} \text{おいて,}$$

この状態から P^{∞} の最終状態へ推移した状態を

$$P^{\infty} = \begin{pmatrix} x & y & z \\ x & y & z \\ x & y & z \end{pmatrix} \text{と} \text{おくと,}$$

この両者の関係が、

$$a_1 x + a_2 y + a_3 z = x$$

$$b_1 x + b_2 y + b_3 z = y$$

$$c_1 x + c_2 y + c_3 z = z$$

$$x + y + z = 1$$

となる連立3元方程式が成立していることを意味する（森村，1979）。

上記の定理を応用して A 機種種のレバー最終推移確率を求める。今、A 機種種のレバー推移確率より、

$$0.149 x_1 + 0.136 x_2 + 0.094 x_3 + 0.123 x_4 + 0.116 x_5 + 0.061 x_6 = x_1$$

$$0.176 x_1 + 0.068 x_2 + 0.319 x_3 + 0.123 x_4 + 0.116 x_5 + 0.061 x_6 = x_2$$

$$0.283 x_1 + 0.466 x_2 + 0.175 x_3 + 0.245 x_4 + 0.072 x_5 + 0.091 x_6 = x_3$$

$$0.257 x_1 + 0.220 x_2 + 0.362 x_3 + 0.359 x_4 + 0.319 x_5 + 0.303 x_6 = x_4$$

$$0.108 x_1 + 0.085 x_2 + 0.031 x_3 + 0.109 x_4 + 0.203 x_5 + 0.454 x_6 = x_5$$

$$0.027 x_1 + 0.025 x_2 + 0.019 x_3 + 0.041 x_4 + 0.174 x_5 + 0.030 x_6 = x_6$$

$$x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6 = 1$$

が成立する。従って、最終推移確率はこの解より、Table 17 の下段のようになる。

また、レバーの推奨位置座標を用いて各レバーからほかのレバーへの距離合計値を求めると以下の数値が得られる。

アクセル・レバーからほかのレバーへの距離：155.0 cm

Table 17. 各レバーの操作推移頻度, 推移確率
The transition frequency and transition probability of lever operations.

| | 推移頻度 Transition frequency | | | | | | | 推移確率 Transition probability | | | | | | 最終推移確率 Final transition probability | |
|---|------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|---|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|--|-------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | | | |
| 1 変速レバー (エンドレス) Gear-shift lever (drum for endless line) | 1.1 | 1.3 | 2.1 | 1.9 | 0.8 | 0.2 | ↑ | 0.149 | 0.176 | 0.283 | 0.257 | 0.108 | 0.027 | ↑ | 0.118 |
| 2 変速レバー (リフティング) Gear-shift Lever (drum for lifting line) | 1.6 | 0.8 | 5.5 | 2.6 | 1.0 | 0.3 | | 0.136 | 0.068 | 0.466 | 0.220 | 0.085 | 0.025 | | 0.164 |
| 3 変速レバー (ホールバック) Gear-shift Lever (drum for haulback line) | 1.5 | 5.1 | 2.8 | 5.8 | 0.5 | 0.3 | | 0.094 | 0.319 | 0.175 | 0.362 | 0.031 | 0.019 | | 0.242 |
| 4 アクセルレバー Accelerator lever | 2.7 | 2.7 | 5.4 | 7.9 | 2.4 | 0.9 | | 0.123 | 0.123 | 0.245 | 0.359 | 0.109 | 0.041 | | 0.318 |
| 5 パーキング・ブレーキ・レバー (エンドレス) Parking brake lever (drum for endless line) | 0.8 | 0.8 | 0.5 | 2.2 | 1.4 | 1.2 | | 0.116 | 0.116 | 0.072 | 0.319 | 0.203 | 0.174 | | 0.112 |
| 6 パーキング・ブレーキレバー (リフティング) Parking brake lever (drum for lifting line) | 0.2 | 0.2 | 0.3 | 1.0 | 1.5 | 0.1 | | 0.061 | 0.061 | 0.091 | 0.303 | 0.454 | 0.030 | | 0.046 |

(例) ホールバック用変速レバー操作状態からアクセルレバー操作状態となる推移頻度, 推移確率がそれぞれ5.8と0.362であることを示す。

(For example) The transition frequency and transition probability from operation haulback drum lever to accelerator lever operation are 5.8 and 0.362 in this table.

パーキングブレーキ・レバーの場合,

a_1 (内側) のもの : 196.1 cm

a_2 (外側) のもの : 251.2 cm

チェンジ・レバーの場合,

b_1 (上段) のもの : 215.2 cm

b_2 (中段) のもの : 177.0 cm

b_3 (下段) のもの : 176.3 cm

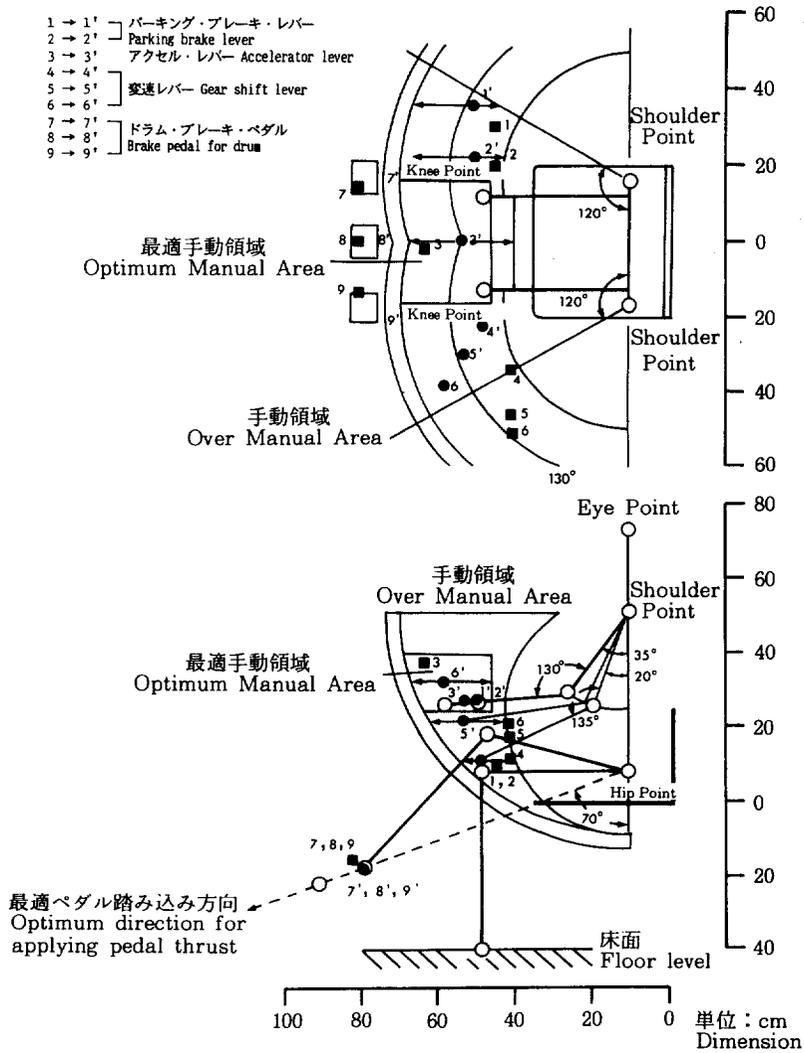


Fig. 35. レバー, ペダルの最適位置検討図
Schematic diagram of lever and pedal position.

この各レバーへの距離と最終推移確率の積和を最小にすることが操作移動量を最小限にすることになる。
この結果、

- a_1 はエンドレス用パーキングブレーキ・レバー
- a_2 はリフティング用パーキングブレーキ・レバー
- b_1 はエンドレス用チェンジ・レバー
- b_2 はリフティング用チェンジ・レバー
- b_3 はホールバック用チェンジ・レバー

と決定できた (Fig. 35)。このことから、人間特性を考慮したレバー操作性がよい位置での 1 集材サイクル当たりのレバー総操作移動量は 180 cm となり、A 機種における現状の 1 集材サイクル当たりのレバー総操作移動量が 233 cm なので、53 cm の操作移動量減少となる。

(2) ペダルの適正配置

ペダルの推移頻度より推移確率を求め、レバーと同様に最終推移確率を求める (Table 18)。

各ペダル推奨位置よりほかのペダルまでの距離合計値は、

- a_1 (右側) のペダルの場合: 52.5 cm
- a_2 (中央) のペダルの場合: 35.0 cm
- a_3 (左側) のペダルの場合: 52.5 cm

この距離と最終推移確率の積和の最小システムは総操作移動量で 45 cm となる。各ペダルの作業素への対応は、外側のペダルの距離合計値が同じために解は 2 つとなる。しかし、前述のレバー配置を考慮して、

- a_1 はエンドレスブレーキ用ペダル

Table 18. 各ペダルの操作推移頻度, 推移確率
Transition frequency and transition probability of 3 brake pedals

| Pedal | 推移頻度 Transition frequency | | | 推移確率 Transition probability | | | 最終推移確率 Transition probability |
|---|------------------------------|-----|-------|--------------------------------|-------|---------|----------------------------------|
| | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | |
| 1 ブレーキ・ペダル(エンドレス) (Brake pedal of endless line drum) | 8.7 | 9.7 | 3.1 ↑ | 0.405 | 0.451 | 0.144 ↑ | 0.340 |
| 2 ブレーキ・ペダル(リフティング) (Brake pedal of lifting line drum) | 9.0 | 9.6 | 7.6 | 0.345 | 0.365 | 0.290 | 0.424 |
| 3 ブレーキ・ペダル(ホールバック) (Brake pedal of haulback line drum) | 3.6 | 7.4 | 4.1 | 0.238 | 0.490 | 0.272 | 0.236 |

(例) リフティング用ブレーキペダル操作状態からエンドレス用ブレーキペダル操作状態となる推移頻度, 推移確率がそれぞれ 8.7 と 0.405 であることを示す。

(For example) The transition frequency and transition probability from operation of lifting drum brake pedal to endless drum brake pedal operation are 8.7 and 0.405 in this table.

a_2 はリフティングブレーキ用ペダル

a_3 はホールバックブレーキ用ペダル

と決定できる (Fig. 35)。A 機種における現状のペダル配置では、1 集材サイクル当たりペダル総操作移動量は 35 cm であるが、人間特性を考慮した操作しやすいペダル配置は、総操作移動量で 10 cm の増加となった。

6 集材機運転作業環境の総合評価

集材機運転システムを考えるに当たり Fig. 36 のような運転作業モデル (ZANDER, 1970) を基に検討した。この運転作業モデルは、運転手が外界より情報を得て、自分のもつ運転操作量を判断基準値として、これと機械の移動量と比較を繰り返しながら機械を操作するモデルである。従って、操作に必要な情報がいかにうまく適正に運転手に伝達されるか、機械がいかに適正に運転手の指令どおり動くかが、このモデルのシステムをいかに適正に、有効に動かすことができるかのポイントとなる。

また、この図はこのような運転作業システムが情報系、操作系、これらの系に外乱を与える作業環境系で成立していることを示している。これらの系のポイントとなる項目を抽出した結果、その中心となる項目は情報系では集材機視界、作業環境系では振動、騒音、操作系では座席、操作器具類であった。そのため第2章～第5章でこれら項目に検討を加えてきた。しかし、集材機運転作業の評価項目としては上記の5項目だけでなく、乗り降り、運転室、計器、室内環境、排気ガスの項目も評価項目として必

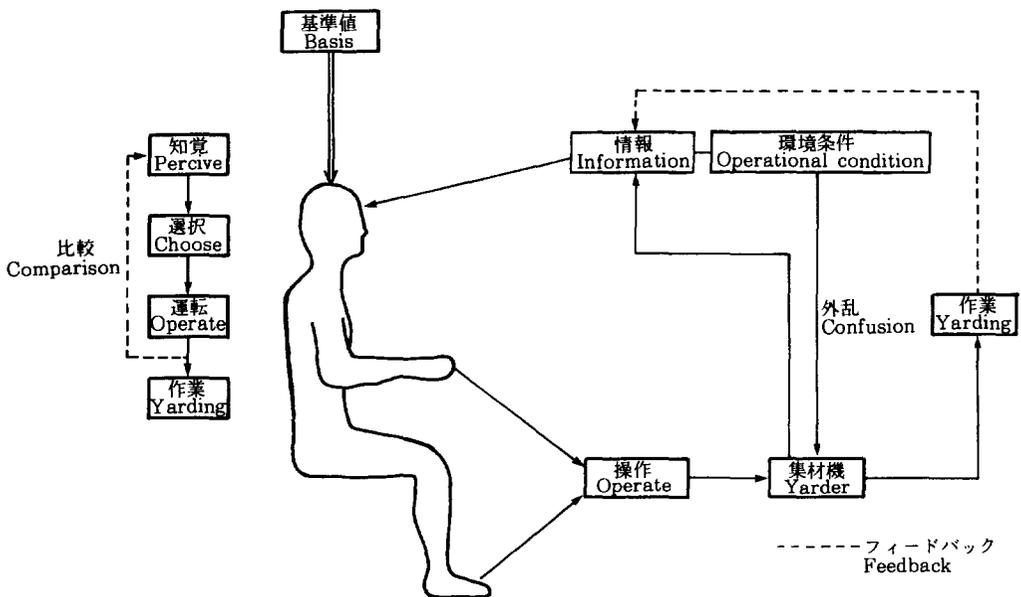


Fig. 36. 集材機運転システム (ZANDER, 1970)

A model of operator in yarding operation.

要なものである。また、集材機運転作業の総合評価は、運転作業に対して各項目の重要さが異なるため、各項目にウェイト付けをして得られるものであろう。このような基準で、ある作業環境内の集材機の総合評価が得られれば、各集材機の改良点の指摘、改良順序の指摘、また、集材機運転作業環境の設計基準の目標も得られる。従って、本章では第 2 章～第 5 章における各項目以外の未評価項目の評価基準を考察し、再度全項目の各評価基準を整理して集材機運転作業の総合評価を試みる。

6.1 未評価項目の検討、整理

運転手関心度が低く、まだ未評価の項目、すなわち、操作系では乗り降り、計器、運転室内の作業環境、環境系では室内温度、照度、排気ガスやすきま風の有無の 6 評価項目の評価基準を考察する。

6.1.1 操作系

(1) 乗り降り

乗り降りの検討項目としてはステップ高、ドアの大きさがあげられる。

ステップ高は K. P. で、足を曲げたときの足底点と地上との距離で決定できる。股関節屈曲角の限界は $120^{\circ} \sim 130^{\circ}$ といわれているので (MORGAN, 1972)、今、この角度を 120° とするとステップ高は、

$$\text{ステップ高} = (\text{H. P. と K. P. 間距離}) \times \{\sin(120^{\circ} - 90^{\circ}) + 1\}$$

となる。ここで集材用機械運転手の H. P. と K. P. 間距離は Fig. 23 より 38.6 cm なので、ステップ高は 58 cm となり、目標値を 55 cm とする。なお、推奨値ではステップ高を 40 cm 以下 (ISO, 1974 b) としているが、この値を集材用機械運転手の体格に換算すると、36 cm 以下となる。

また、ドアの大きさの推奨値は、幅 62 cm、高さ 160 cm とある (ISO, 1974 b) ので、集材用機械運転手の体格に換算し直してみると幅 62 cm、高さ 150 cm 以上が必要となる。

(2) 運転室の広さ

推奨値は幅 92 cm、高さ 158 cm、長さ 134 cm (ISO, 1975 b) の場合と、幅 90 cm、高さ 160 cm、長さ 135 cm 以上 (HANSSON, 1969) の場合がある。これらを集材用機械運転手の体格に換算し直すと、幅 85 cm、高さ 150 cm、長さ 127 cm 以上が必要となる。

(3) 計器

計器はその評価基準として計器の大きさ、目盛りの寸法、計器のグルーピング、計器盤までの視距離、視線俯角、両側視線角度などの多数の検討項目があげられる。しかし、この評価項目は運転手の関心度が低い項目であり、また、計器の大きさ、目盛りの寸法、計器のグルーピングは運転手よりの問題提起もないので検討項目より除外し、ここでは計器盤までの視距離、視線俯角、両側視線角度の 3 項目を検討項目として取り上げる。

視距離の推奨値は最大で 33～75 cm の範囲、最適範囲で 51～75 cm という推奨値 (ISO, 1974 b) があるが、ここでは 75 cm 以下を目標値とする。

視線俯角の推奨値は以下のように検討した。椅子座位の運転手の通常視線は水平より約 15° 下向きであり、最適視野はこの通常視線周辺にある。垂直視角は眼の動きのみで最適範囲下向き 30° 、最大範囲が下向き 35° (MORGAN, 1972) なので、通常視線角度を考慮して、運転手の計器に対する最適視線俯角の範囲は 45° 以内、最大でも 60° の範囲を考える。

両側視線角度はそれぞれ中心線より眼の動きのみで最適範囲 15° 、最大範囲が 35° (MORGAN, 1972)なので、両側視線角度は最適で 15° 、最大でも 35° の範囲を考える。

6.1.2 環境系

(1) 室内温度

温熱要素としては、気温、湿度、気流、熱輻射があげられ、室内の快適温熱条件はこの4要素の総合化したもので評価すべきである。しかし、ここでは作業現場における至適温度に関する研究を参照検討して、集材機運転作業環境の温熱条件を室内温度のみの簡便法で評価する。至適温度は、対象作業により、また、季節により異なるので、Table 19ではそれぞれの文献(三浦豊彦, 1979; 労働科学研究所, 1974; 渡辺明彦, 1982)から集材機運転作業に近い作業を選んである。これら文献の至適温度の重複度を考慮し、表中に室温のランク付けを行った。この結果、集材機室内の至適温度を $19^{\circ}\sim 23^{\circ}$ とした。

(2) 照度

室内照度は外界の情報により運転操作する集材機ではそれほど必要ではない。木材、建設関係の運転機械の推奨値で 30 lux 以上で満足、 $30\sim 15\text{ lux}$ で不満足、 15 lux 以下でひどく不満足(HANSSON, 1969)の記述があるが、集材機運転室内照度も同様に考える。

(3) すきま風・排気ガス

室内の密閉度、排気管の位置などを検討する項目であるが、それぞれの室内への流入の有無で評価すればよい。

6.2 評価方法とランク付け

6.2.1 総合評価の検討手順

人間機械系に関する作業環境の評価項目を整理した結果、情報系1項目、環境系3項目、操作系6項目の計10評価項目となった。この10評価項目とは林業運転手の関心度で抽出できた11項目、すなわち、視野、操作器具類、作業位置、座席、計器、運転室、乗り降り、振動、騒音、室内環境、排気ガスの内、排気ガスを室内環境へ含めた10項目である。Fig. 37に第2章～第5章までの検討項目と前節の検討項目を加えて、今までの集材機運転作業の総合評価手順を示した。

この節では集材機運転作業環境を総合的に評価する一提案として評価項目を検討項目で細分化し、各検討項目に基準を与え、この検討項目の基準から得られた評価を総合検討することにより、各評価項目の評価を得るような評価方法を検討した。

6.2.2 評価方法とランク付けの概要

評価方法は各検討項目について個別評価(原則としてa, b, c, dの4段階評価)を行い、複数の検討項目をまとめて1つの評価項目の最終評価(A, B, C, Dの4段階評価)とする方法である(建設省関東地方建設局, 1978)。

各検討項目のランク付けの意味はa(優良)、b(普通)、c(可)、d(不適)である。区分はすでにある法規や評価基準、及び人間工学的知見で区分できるものは、その区分に基づき2~4区分とし、原則として国内法規、または他基準との評価で可なものはb、不適なものはd、人間工学的知見より得られた評価基準で可なものはb、不適なものはcまたはdとした。これらの区分ができないものは、a-

Table 19. 集材機内室温の評価
Evaluation of temperature in yarder's cab

| ランク Ranking | 集材機内室温 Temperature inside cab (°C) |
|----------------|---------------------------------------|
| A | 19~23 |
| B | 16~19, 23~26 |
| C | 10~16, 26~34 |
| D | ~10, 34~ |

参考：職場の温度環境 Temperature condition of work places

| 摘要 Remarks | 温度 Temperature (°C) | 文献 Reference |
|---|---|--|
| 快適環境条件 Comfortable condition | 17~28 | 事務所衛生基準規則, 1972 Jimusyo Eisei Kijyun Kisoku |
| 最低限界 Lower limit | 10 | (Regulation for standards of occupational health) (三浦豊彦, 1979) |
| 快適温度 Comfortable temperature | 冬 In winter 20~23 | 中央労働災害防止協会, 1971 Japan Industrial Safety and Health Association (三浦豊彦, 1979) |
| (座作業, R. M. R. ~1) For work in sitting | 夏 In summer 24~27 | |
| 高温限界 upper limit (R. M. R. ~2) | 34 | 日本産業衛生学会, 1967 Japan Association of Industrial Health (渡辺明彦, 1982) |
| 至適温度 Optimum temperature | 冬 In winter 20~22 | 新労働衛生ハンドブック, 1974 Handbook of Occupational Health (労働科学研究所, 1974) |
| | 夏 In summer 25~28 | |
| 至適温度 Optimum temperature | 精神労働 For mental work 17~22 | 人間工学, 1974 Ningen kougaku (Human Engineering) (坪内和男, 1961) |
| | 肉体労働 For physical work 15~17 | |
| 至適温度 Optimum temperature | (座作業) For work in sitting 18~21 | VERNON (倉田正一, 1959) |
| | (機械による作業) For work by machine 10~16 | VERNON (倉田正一, 1959) |
| | (筋作業) For physical work 15~17 | LERMANN and PEDERSEN (倉田正一, 1959) |

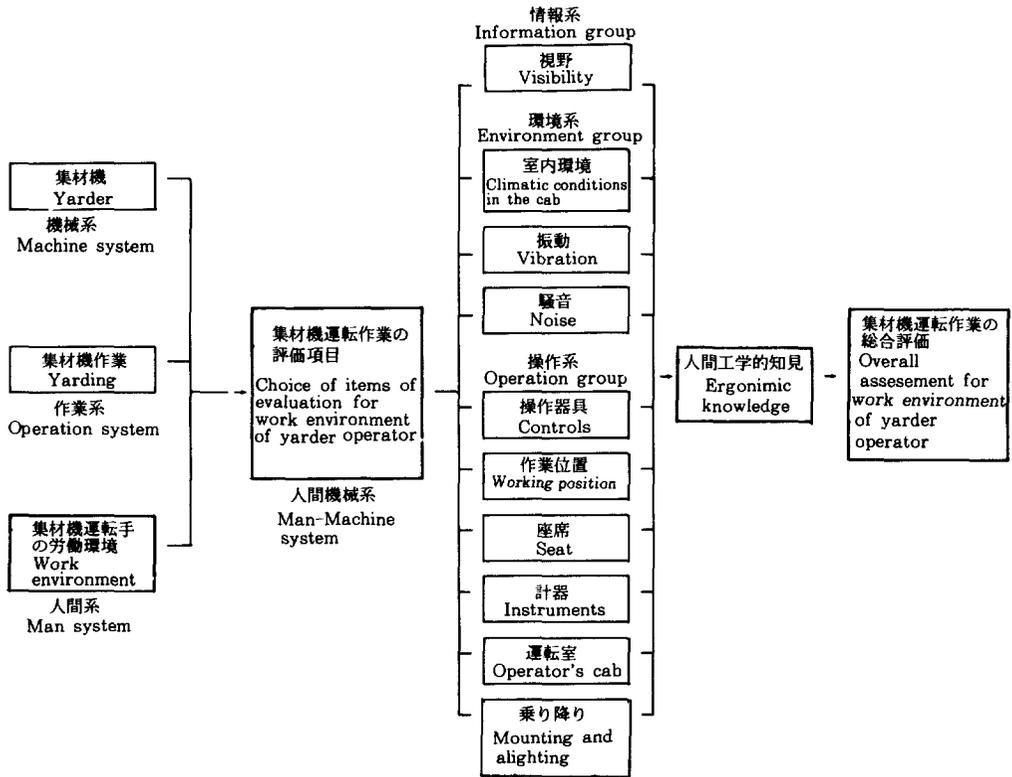


Fig. 37. 集材機運転作業の評価の流れ図
Flow chart for evaluation of work environment of yarder operator.

現用集材機平均的レベル以上、b-現用集材機平均的レベル、c-現用集材機平均的レベル以下とし、この場合の a, b, c の分割基準は現用集材機（本論文での調査対象機種）台数が3等分できる境界値を求め、この値を基準値とした。

6.3 評価項目と検討項目の評価基準

この節では、集材機運転作業の評価項目とその検討項目の評価基準を考察した。その項目と基準を Table 20 (a)～(e) に示す。

6.3.1 情報系

(1) 視野

情報系に入る評価項目としては視野があげられる。この視野で取り上げられる検討項目には、① 視界の良否 ② 非可視部分面積 ③ 上方視界角度 ④ 下方視界角度 ⑤ 水平方向視界角度合計値 ⑥ 立体角 ⑦ 注視野 があげられる。これらの評価基準は視界の良否を除き、法規や人間工学的知見がなく、従って、判断基準がない。従って、②～⑦の基準は前述の調査対象機種台数が3等分できる値を求め、a, b, c の3区分のランク付けを行った。基準値は Table 20 (a) に示すとおりである。

Table 20(a). 集材機運転作業評価の検討項目の一覧（視野）
Items of evaluation for work environment of yarder operator (Visibility).

| 評価項目 Item for evaluation | 検討項目 Details of item | a ランク Ranking | b ランク Ranking | c ランク Ranking | d ランク Ranking |
|--------------------------------|---|---|---|---|---|
| 視 野 Visibility | 視界の良否 Quality of visibility (ISO/TC127/SC2 N95) | 6 項目適合 passing above 6 standards of items | 5 項目適合 passing above 5 standards of items | 4 項目適合 passing above 4 standards of items | 適合が 3 項目以下 passing below 3 standards of items |
| | 非可視部分面積 Area of invisibility | 74㎡ 未満 under | 74～96㎡ | 96㎡ 以上 and over | — |
| | 上方視界角度 Uppermost visual angle to horizontal | 41° 以上 and over | 28～41° | 28° 未満 under | — |
| | 下方視界角度 Lowest visual angle to horizontal | 26° 以上 and over | 23～26° | 23° 未満 under | — |
| | 水平方向視界角度合計値 Total level angle on Eye Point | 138° 以上 and over | 123～138° | 123° 未満 under | — |
| | 立 体 角 Solid angle of visibility | 2.846 ステラジアン以上 steradian and over | 2.434～2.846ステラジアン steradian | 2.434 ステラジアン 未満 steradian under | — |
| | 注 視 野 Rate of invisible area by obstacle to the whole visual area with fixed operator's head | 35% 未満 under | 35～45% | 45% 以上 and over | — |

Table 20(b). 集材機運転作業評価の検討項目の一覧 (室内環境, 振動, 騒音)

Items of evaluation for work environment of yarder operator (Climatic conditions inside the cab, Vibration, Noise).

| 評価項目 Item for evaluation | 検討項目 Details of item | a ランク Ranking | b ランク Ranking | c ランク Ranking | d ランク Ranking |
|---|---|---|---|---|--|
| 室内環境 Climatic conditions inside the cab | 室 温 Temperature inside the cab | 19~23°C | 16~19°C 23~26°C | 10~16°C 26~34°C | 10°C 未満 under 34°C以上 and over |
| | 照 度 Brightness | 30 lux 以上 and over | 15 ~30 lux | 15 lux 未満 under | — |
| | す き ま 風 Draughts | 無 Nothing | — | 有 り Frequent | — |
| | 排 気 ガ ス Exhaust fumes | 無 Nothing | — | 有 り Frequent | — |
| 振 動 Vibration | ISO 2631 の疲労・能率減退境界 "Fatigue-Decrease Proficiency Boundary" by ISO-2631 (実搬器走行) (Carriage inhaul) | 8 時間値以下 8 hours-level and below | 4 時間値以下 4 hours-level and below | 1 時間値以下 1hour-level and below | 1 時間値を越すもの above 1 hour-level |
| 騒 音 Noise | 日本産業衛生学会勧告値 Noise limits by "Japan Association of Industrial Health" (空搬器走行) (Carriage outhaul) | 8 時間値以下 8 hours-level and below | 4 時間値以下 4 hours-level and below | 1 時間値以下 1 hour-level and below | 1 時間値を越すもの above 1 hour-level |
| | ISO 1999 による聴力障害危険率 Risk of hearing impairment by ISO-1999 | 0 % Leq で 80dB 以下 80dB(Leq) and below | 25%以下 and below Leq で 93dB以下 93dB(Leq)and below | 50%以下 and below Leq で 102dB 以下 102dB(Leq) and below | 50%を越すものover Leq で 102dB 以下 above 102dB(Leq) |
| | Lin (A) (空搬器走行) (Carriage outhaul) | 85dB(A) 以下 and below | 90dB(A)以下 and below | 95dB(A)以下 and below | 95dB(A)を越すもの over |

Table 20(c). 集材機運転作業評価の検討項目の一覧 (操作器具類)
 Items of evaluation for work environment of yarder operator(Controls).

| 評価項目 Item for evaluation | 検討項目 Details of item | aランク Ranking | bランク Ranking | cランク Ranking | dランク Ranking |
|--------------------------------|---|---|--|---------------------------------------|--|
| 操作器具類 Controls | レバー配置 Layout of lever | (a) が60%以上で その他が(b) (a) or (b), and (a) as above 60% of total | (a) か (b) が80%以上 で (d) のないもの (a) or (b) as above 80% of total and (d) as 0% of total | a, b, d ランク以外 except "a", "b", "d" | (d) が20%以上 (d) as above 20% of total |
| | レバー・ストローク量 Stroke of lever | すべて (a) (a) in all | (a) か (b) が80%以上 (a) or (b) as above 80% of total | a, b, d ランク以外 except "a", "b", "d" | (d) を含むもの contain (d) |
| | レバー操作力 Operating physical force of lever | すべて (a) (a) in all | (a) か (b) が80%以上 (a) or (b) as above 80% of total | a, b, d ランク以外 except "a", "b", "d" | (d) を含むもの contain (d) |
| | ペダル配置 Layout of pedal | (a) が60%以上で その他が(b) (a) or (b), and (a) as above 60% of total | (a) か (b) (a) or (b) | a, b, d ランク以外 except "a", "b", "d" | (d) が30%以上 (d) as above 30% of total |
| | ペダル・ストローク量 Stroke of pedal | すべて (a) (a) in all | (a) か (b) が80%以上 (a) or (b) as above 80% of total | a, b, d ランク以外 except "a", "b", "d" | (d) を含むもの contain (d) |
| | ペダル操作力 Operating physical force of pedal | すべて (a) (a) in all | (a) か (b) が80%以上 (a) or (b) as above 80% of total | a, b, d ランク以外 except "a", "b", "d" | (d) を含むもの contain (d) |

Table 20(d). 集材機運転作業評価の検討項目の一覧（作業位置，座席）
 Items of evaluation for work environment of yarder operator (Working position, Seat).

| 評価項目 Item for evaluation | 検討項目 Details of item | a ランク Ranking | b ランク Ranking | c ランク Ranking | d ランク Ranking |
|--------------------------------|--|----------------------|---|--|------------------|
| 作業位置 Working position | 座席調節幅前後方向 Adjustable range in the longitudinal direction | 20 cm 以上 and over | 20 cm 未満 under | 無 nothing | — |
| | 座席調節幅上下方向 Adjustable range in the vertical direction | 10 cm 以上 and over | 10 cm 未満 under | 無 nothing | — |
| 座 席 Seat | 座 面 高 Height of seat surface | 37~42 cm | 35~45 cm (a の範囲外) except the range of "a" | a, b の範囲外 except the range of "a", "b" | — |
| | 座 面 傾 斜 Angle of seat surface to horizontal line | 0~5° | — | a の範囲外 except the range of "a" | — |
| | 奥 行 き Length of seat | 32~38 cm | 29~41 cm (a の範囲外) except the range of "a" | a, b の範囲外 except the range of "a", "b" | — |
| | 座 面 幅 Width of seat | 43~47 cm | 40~50 cm (a の範囲外) except the range of "a" | a, b の範囲外 except the range of "a", "b" | — |
| | 背あての高さ Height above seat surface of backrest | 23~27 cm | 20~30 cm (a の範囲外) except the range of "a" | a, b の範囲外 except the range of "a", "b" | — |
| | 背あて傾斜 Angle of backrest to horizontal line | 100~105° | 95~115° (a の範囲外) except the range of "a" | a, b の範囲外 except the range of "a", "b" | — |

Table 20(e). 集材機運転作業評価の検討項目の一覧 (計器, 運転室, 乗り降り)

Items of evaluation for work environment of yarder operator (Instruments, Operator's cab, Mounting and alighting).

| 評価項目 Item for evaluation | 検討項目 Details of item | a ランク Ranking | b ランク Ranking | c ランク Ranking | d ランク Ranking |
|---|---|--|--|----------------------|------------------|
| 計 器 Instruments | 計器盤までの距離 Distance between Eye Point and instruments | 75 cm 以下 and below | — | 75 cm を越えるもの over | — |
| | 視 線 俯 角 Angle of visual line to horizontal line | 45° 未満 under | 45~60° | 60° 以上 and over | — |
| | 両側視線角度 Angle of visual line outside center front line | 前方向中心線より 15° 以内 Within 15 outside center front line | aの範囲外で 35° 以内 Within 30 except the range of "a" | 35° 以上 and over | — |
| 運 転 室 Operator's cab | 幅 Width | 84 cm 以上 and over | — | 84 cm 未満 under | — |
| | 高 さ Height | 144 cm 以上 and over | — | 144 cm 未満 under | — |
| | 長 さ Length | 1 216 cm 以上 and over | — | 1 216 cm 未満 under | — |
| 乗 り 降 り Mounting and alighting | ステップ高 Height of cab step | 36 cm 以下 and below | 36~55 cm | 55 cm 以上 over | — |
| | ドアの高さ Height of cab door | 150 cm 以上 and over | — | 150 cm 未満 under | — |
| | ドアの幅 Width of cab door | 62 cm 以上 and over | — | 62 cm 未満 under | — |

①「視界の良否」は、ISO/TC 127/SC 2 N 95 による6項目提案の内、全項目適合を a、5項目適合を b、4項目適合を c とし、それ以外は基準案に不適合として d とした。②「非可視部分面積」は、集材機運転手の基準眼点の高さ(座面からの高さ 73 cm)で座席基準点前方 180° 水平面の 12 m 半円面積内にある非可視部分面積の大きさを評価した。③「上方視界角度」、④「下方視界角度」は、基準眼点の高さで得られる視界角度の大きさを評価した。⑤「水平方向視界角度合計値」は、基準眼点の高さで得られる座席基準点中心の前方半径 12 m の水平面半円上の視界(視野妨害のない場合の視野角度合計値)の大きさを評価した。⑥「立体角」、⑦「注視野」(注視野内障害物割合)は基準眼点の高さで得られる潜在視界の大きさを評価した。

①～⑦の検討項目を総合して視野の評価を得る。重要度は基準案のある①と運転情報系で重要となる⑦を高く評価した。そのランク付けは以下のとおりである。

A ランク : $a_1, a_7, b_2 \sim b_6$ 以上

B ランク : A, C, D ランク以外

C ランク : c_7 を含むか、 $c_2 \sim c_6$ の内 3 項目以上を含むもの

D ランク : d_1 を含むもの

ただし、各記号の添字は①～⑦の検討項目番号を示す。

6.3.2 作業環境系

作業環境系に含まれる評価項目には室内環境、振動、騒音がある。

(1) 室内環境

この評価項目の検討項目は、①集材機内室温 ②照度 ③すきま風の有無 ④排気ガス があげられる。これら検討項目は 6. 1. 2 で検討済みであり、その結果は Table 20 (b) に示したとおりである。

室内環境の各検討項目を総合した室内環境の評価は①～④の重要度を同等と考え、以下のように設定する。

A ランク : すべて a

B ランク : A, C, D ランク以外のもの

C ランク : 各検討項目中 c が 2 以上あるもの

D ランク : d を含むもの

(2) 振動

振動は集材機座席上 3 方向の振動レベルで評価する。また、第 3 章で検討したごとく、振動値は各作業工程で変動するため、作業工程のなかでもその振動レベルが高い「実搬器走行」作業工程で評価する。

A ランクは ISO 2631 の疲労・能率減退境界の 8 時間値以下のもの、B ランクは同境界の 4 時間値以下のもの、C ランクは集材機 1 日当たりの平均実搬器走行合計時間 1 時間を考えてこれ以下のもの、同境界の 1 時間値を超えるものを D ランクとした。これらランクを分ける境界線の値を Table 21 に示した。

(3) 騒音

騒音の検討項目は第 4 章で取り上げた騒音の評価案、①日本産業衛生学会の勧告 ② ISO 1999 (聴

Table 21. 振動の評価
Evaluation for the vibration on the seat of yarder.

| 周波数 Frequency (Hz) | 垂直振動 Vertical direction (dB) | | | 水平振動 Lateral or longitudinal direction (dB) | | |
|------------------------------|------------------------------------|--------------|-------------|---|--------------|-------------|
| | 8時間 hours | 4時間 hours | 1時間 hour | 8時間 hours | 4時間 hours | 1時間 hour |
| 2 | 93 | 98 | 105 | 87 | 91 | 99 |
| 4 | 90 | 95 | 102 | 93 | 97 | 105 |
| 8 | 90 | 95 | 102 | 99 | 103 | 111 |
| 16 | 96 | 101 | 108 | 105 | 109 | 117 |
| 31.5 | 102 | 107 | 114 | 111 | 115 | 123 |
| 63 | 108 | 113 | 120 | 117 | 121 | 129 |

120 dB = 10 m/s²

力保護のための作業間露聴の評価) ③ A 特性による騒音評価 を取り上げた。騒音は、すべて集材機のドアを閉めた状態での運転手耳元の騒音である。

① 日本産業衛生学会の勧告

集材機運転手耳元騒音レベルは各作業工程で変動するため、その騒音レベルが高い「空搬器走行」作業工程の騒音を評価する。勧告の8時間境界値以下の騒音の場合を a ランク、4時間境界値以下の場合を b ランク、集材機1日当たりの平均空搬器走行合計時間1時間を考えて、これ以下のものを c ランク、同境界の1時間値を超えるものを d ランクとした。これらランクを分ける境界線の値を Table 22 に示した。

② ISO 1999 (聴力保護のための作業間露聴の評価)

この評価では、各集材機作業の1集材サイクルの等価騒音レベル (L_{eq}) を求め、この騒音に30年間曝露されるものとして、聴力障害の危険率を算出した (第4章第3節)。ランク付けは聴力障害が0% (L_{eq} で 80 dB 以下) のものを a ランク、25% 以下 (L_{eq} で 93 dB 以下) のものを b ランク、50% 以下 (L_{eq} で 102 dB 以下) のものを c ランク、50% を超えるものを d ランクとした。

③ 騒音の A 特性による評価

この評価は「空搬器走行」作業工程の騒音レベル ($L_{in}(A)$) を対象として、ランクを各国の関連法規 (Table 6) を基準に考えた騒音曝露限界を使用するものである。これは「空搬器走行」作業工程での騒音が、8時間連続騒音曝露限界を示す 85 dB (A) 以下の騒音の場合を a ランク、4時間連続騒音曝露限界の平均 90 dB (A) 以下の騒音の場合を b ランク、平均空搬器走行時間値1時間の ISO 基準限界値 95 dB (A) 以下の騒音を c ランク、95 dB (A) を超える騒音の場合を d ランクとするものである。

総合評価では①～③の重要度を同等と考え、以下のように設定する。

A ランク : a が2項目以上で、ほかのものは b

B ランク : A, C, D ランク以外

Table 22. 騒音の評価
Evaluation for the noise of yarder.

| 時間 Time | 8時間 hours | 4時間 hours | 1時間 hour |
|----------------------|--------------|--------------|-------------|
| 周波数 Frequency(Hz) | | | |
| 250 | 93 | 97 | 112 |
| 500 | 87 | 89 | 100 |
| 1 000 | 82 | 83 | 90 |
| 2 000 | 78 | 78 | 83 |
| 4 000 | 77 | 78 | 82 |
| 8 000 | 82 | 83 | 91 |

(dB)

C ランク : c を含み, ほかのものは a か b

D ランク : d を含むもの

6. 3. 3 操作系

操作系の評価項目は操作器具, 作業位置, 座席, 計器, 運転室, 乗り降りである。

(1) 操作器具

操作器具にはレバー, ペダルがある。検討項目として ① 配置 (位置), ② ストローク量, ③ 操作力を取り上げる。なお, 操作器具の本数が多いため, ②, ③ の検討項目はレバー, ペダルの全本数のうち各レバー, ペダルが以下の各条件を満たす割合でランク付けをした。その割合は a ランクはすべて (a) のもの, b ランクは (a), (b) 合わせて 80% 以上のもの, c ランクは a, b, d ランク以外のもの, d ランクは人間工学的知見で不適な (d) を含むものとした。また, ① の検討項目はレバー, ペダルの本数が多いため推奨位置範囲内に ①, ② の配分割合で配置するのは不可能であるため, ②, ③ の検討項目と異なるランク割合, 調査対象集材機種が 4 等分できるようなランク割合を考えた。

① レバー配置 (位置) の評価

この評価は 5. 2. 3 (3) で考察した。それは座席基準点を原点として, 前後方向を X (前を正), 左右方向を Y (右が正), 上下方向を Z (上が正), 単位を cm とすると以下の 4 条件であった。

(I) 最適手動領域

$$(X - 11)^2 + (|Y| - 19)^2 + (Z - 28)^2 \geq 32^2$$

$$(X - 11)^2 + (|Y| - 19)^2 + (Z - 55)^2 \geq 59^2$$

$$Z \geq 28$$

$$Z \leq 0.64 X + 10.76$$

(II) 水平面作業域

$$(X - 11)^2 + (|Y| - 19)^2 + (Z - 55)^2 \geq 59^2$$

(Ⅲ) 体の正面 $60^\circ \sim 120^\circ$ の範囲内

$$|Y| \leq 19 \text{ または}$$

$$(X - 11) / (|Y| - 19) \geq \tan 30^\circ$$

(Ⅳ) 手の届く範囲

$$(X - 11)^2 + (|Y| - 19)^2 + (Z - 55)^2 \geq 69^2$$

$$X \geq 10 \text{ である。}$$

以上の条件でその重要度を考え、各レバーを以下のように分類する。

(a) : (Ⅰ), (Ⅲ) を満たすもの

(b) : (Ⅱ), (Ⅲ) を満たすもの

(c) : (Ⅳ) を満たすもの

(d) : (Ⅳ) を満たさないもの

調査対象集材機の分布割合を考慮して、分類できた各レバーは Table 20 (c) のような割合でランク付けした。

② レバーのストローク量の評価

ストローク量の基準となるものは、JIS A 8401, JIS A 8001 である。また、林業機械運転手体格調査より、椅子座位の状態で、手が前後方向水平に最大移動できる範囲は 48 cm である。以上の法規と人間工学的知見よりストローク量を考え、Table 23 のようにする。ランク付けはレバー配置と同様に、レバー総本数に対する各レバーの評価で判別し、Table 20 (c) のようにした。

③ レバー操作力

操作力の基準となるものは、建設省土木研究所案、JIS A 8401, JIS A 8001 がある。これらを基準として、Table 23 のように考えた。ランク付けはレバー配置と同様にレバー本数の割合で評価し、Table 20 (c) のようにする。

④ ペダル配置 (位置) の評価

5.2.3 (2) で検討した次の条件をペダル配置の評価基準とする。なお、レバーと同様に三次元空間で座標を考え、単位は cm、原点は座席基準点とした。

(Ⅰ) 最適ペダル領域

$$(X - 46)^2 + (|Y| - 12)^2 + (Z - 18)^2 \geq 48^2$$

$$(X - 49)^2 + (|Y| - 12)^2 + (Z - 8)^2 \geq 48^2$$

$$59 \leq X \leq 90$$

(Ⅱ) 肩幅内

$$|Y| \leq 20$$

(Ⅲ) 座面とペダル間の高さ

$$Z \leq -20$$

(Ⅳ) 足の届く範囲

$$(X - 11)^2 + (|Y| - 12)^2 + (Z - 8)^2 \geq 84^2$$

Table 23. 操作器具のストローク量・操作力の評価
Evaluation for stroke and operating physical force of controls.

| ランク Ranking | レバ - Lever | | ペダル Pedal | |
|----------------|-----------------------|---|-----------------------|---|
| | ストローク量 Stroke | 操 作 力 Operating physical force | ストローク量 Stroke | 操 作 力 Operating physical force . |
| (a) | 30 cm 以下 and below | 4 ~ 6kg | 15 cm 以下 and below | 10~15kg |
| (b) | 48 cm 以下 and below | 2 ~ 10kg (a) の範囲外 except the range of (a) | 20 cm 以下 and below | 5 ~ 20kg (a) の範囲外 except the range of (a) |
| (c) | 60 cm 以下 and below | 20kg 以下 and below (a), (b) の範囲外 except the range of (a) and (b) | 30 cm 以下 and below | 30kg 以下 and below (a), (b) の範囲外 except the range of (a) and (b) |
| (d) | 60cm を超えるもの over | 20kg を超えるもの over | 30cm を超えるもの over | 30kg を超えるもの over |

(V) 椅座位で膝を 90° 曲げた状態での足の位置以遠

$$X \geq 49$$

(VI) 座面高以下

$$Z \leq 0$$

(VII) 上腿の水平に対する角度は 30° 以上には曲がらないので、その状態での足先の位置の範囲外

$$(X - 44)^2 + (|Y| - 12)^2 + (Z - 27)^2 \geq 48^2$$

以上の各条件の重要度を考え、ペダル位置は次のように分類する。

(a): (I), (II), (III) を満たすもの

(b): (II), (IV) を満たすもの

(c): (a), (b), (d) 以外のもの

(d): (IV), (V), (VI), (VII) を満たさないもの

分類できたペダルは調査対象集材機の分布割合を考慮して、Table 20 (c) のようにランク付けした。

⑤ ペダルのストローク量の評価

この評価基準は JIS A 8401, JIS A 8001 を参照し、Table 23 のようにした。また、このランク付けは Table 20 (c) のように考えた。

⑥ ペダル操作力の評価

この評価基準には建設省土木研究所案、JIS A 8401, JIS A 8001 を参照し、Table 23 のようにし、また、ランク付けは Table 20 (c) のように定めた。

評価項目「操作器具」の評価は、この6検討項目により評価する。各検討項目の重要度は同等と考え、

総合評価のランク付けは以下のように考えた。

- A ランク：a, b が 80% 以上のもの
- B ランク：A, C, D ランク以外
- C ランク：c が 60% 以上であるもの
- D ランク：d を含むもの

(2) 作業位置

この評価項目の検討項目は座席の調節幅を考える。この検討項目は、法規や人間工学的な知見で不適という基準がない。従って、a, b, c, の 3 区分として、区分は以下のように考えた。座席調節幅は 5.2.2 (1) で検討したごとく、前後方向で 20 cm, 上下方向で 10 cm が必要な幅となる。従って、検討項目として、① 座席調節前後方向 ② 座席調節上下方向 の 2 項目を取り上げ Table 20 (d) のような基準とした。

総合評価は、①, ② とも重要度は同等と考えて以下のように定める。

- A ランク：すべて a のもの
- B ランク：A, C ランク以外のもの
- C ランク：c を含むもの

(3) 座席

この評価項目の検討項目は、① 座面高 ② 座面傾斜 ③ 奥行き ④ 座面幅 ⑤ 背あての高さ ⑥ 背あて傾斜があげられる。これら検討項目の評価基準は、5.2.2 (1) で検討した最適値を基準とした。区分は、法規や人間工学的知見で不適という基準がないため、a, b, c の 3 区分 (⑥ は 2 区分) とした。また、ランク幅は②, ⑥を除き、5.2.2 (1) で検討したように各座席寸法に最も関連する人体部位の 95 パーセンタイル値と 5 パーセンタイル値の差を算出 (Table 12 参照)、この差の幅の範囲外を c ランク、幅内で中央部分 1/2 幅を a ランク、幅内のそれ以外のものを b ランクとした。

① 座面高

座面高に関連する人体部位は膝か高である。その 95 パーセンタイル値と 5 パーセンタイル値の差は約 10 cm である。また基準値は 40 cm である。これに基づいて、Table 20 (d) のようなランク付けを考えた。

② 座面傾斜

最適値が 0° ~ 5° なので Table 20 (d) のように考えた。

③ 奥行き

奥行きに関連する人体部位は臀部・膝蓋前縁間距離である。95 パーセンタイル値と 5 パーセンタイル値の差は約 12 cm であった。また、基準値は 35 cm である。このことから、ランク付けを Table 20 (d) のようにした。

④ 座面幅

座面幅に関連する人体部位は臀部幅である。その 95 パーセンタイル値と 5 パーセンタイル値の差は約 10 cm である。また基準値は 45 cm であった。ランク付けは Table 20 (d) のように考えた。

⑤ 背あての高さ

背あての高さに関連する部位は臀部・第3背椎間距離であり、肩峰点高からランク幅を推定する。肩峰点高の95パーセンタイル値と5パーセンタイル値の差は約14cmである。臀部・第3背椎間距離と肩峰点高の長さの比を考慮してランク幅は10cmとする。また、基準値は25cmなのでランク付けはTable 20 (d) のとおりである。

⑥ 背あて傾斜

背あて傾斜は95°未満の角度は背あてによる圧迫がきつすぎてよくないし、また、115°以上の角度は脳の活動レベルが低下して作業用としてはよくない(大島, 1965)。また、最適傾斜角度は105°なので、ランク付けはTable 20 (d) のように考えた。

総合評価は各検討項目の重要度を同等と考え、以下のようにする。

A ランク : a, b が80%以上のもの

B ランク : A, C ランク以外

C ランク : c を60%以上含むもの

(4) 計器

この評価項目の検討項目は、①計器盤までの視距離 ②計器盤への視線俯角 ③計器盤への両側視線角度を取り上げた。基準は本章1.1.(3)の検討項目を基にTable 20 (e) のように作成した。この評価項目は、集材機運転手の関心度が低いため、人間工学的に非常に悪いdランクを省き、②、③はa, b, cの3区分、①は2区分とした。

総合評価は、②、③の検討項目の重要度を高く考えた。

A ランク : すべて a, b のもの

B ランク : A, C ランク以外

C ランク : c_2 か c_3 を含むもの

(5) 運転室

この評価項目は運転室の広さを考える。検討項目は①運転室の幅、②運転室の高さ、③運転室の長さである。基準は本章1.1.(2)の検討結果を基にTable 20 (e) のように作成した。この評価項目は、集材機運転手の関心度が低いため、人間工学的に非常に悪いdランクを省き、a, c ランクの2区分とした。総合評価は検討項目の重要度を同等と考え、以下のようにした。

A ランク : すべて a のもの

B ランク : A, C ランク以外

C ランク : c を含むもの

(6) 乗り降り

この評価項目は、①ステップ高 ②ドアの高さ ③ドアの幅の検討項目があげられる。基準は本章1.1.(1)の検討結果を基にTable 20 (e) のように考えた。この評価項目も、集材機運転手の関心度が低い項目なので、人間工学的に非常に悪いdランクを省き、a, b, c ランクの3区分、②、③はa, c の2区分とした。総合評価は検討項目の重要度を同等と考え、以下のようにした。

A ランク：a, bが 60% 以上のもの

B ランク：A, C ランク以外

C ランク：c を含むもの

6.4 集材機運転作業の総合評価方法

6.4.1 総合評価の考え方

集材機運転作業の総合評価を以下のように考えた。この総合評価は、検討してきた 10 評価項目よりなるものとして、項目それぞれの重要度を考え、各評価項目の総合化を試みた。その資料として、集材機運転手の人間機械系に対する関心度調査結果（豊川，1990）を使用した。関心度の調査結果は、集材機評価項目に対する運転手の重点度の高さで表現されている。そこで「あまり重要でない」、「重要」、「かなり重要」の各項目の配点を 0, 1, 2 点として、全体の配点合計値と各評価項目の配点合計値の比を基準に各評価項目のウェイトを考え、このウェイトの合計値が 100 になるよう各評価項目の配点（重要度）を求めた。

次に上記で求められた各評価項目の配点（重要度）を、各評価基準（A～D ランク）で評価する方法としてその配点割合を建設省の建設機械の安全評価法（建設省関東地方建設局，1978）を参考にして検討した。その結果、優良なもの A を配点の 100%，標準的なもの B を配点の 80%，可なもの C を配点の 60% とし、D は検討項目で国内法規や国内、国際基準以下のものとして評価されるものを含むため、配点割合を 0% とした。

Table 24 は各評価項目のウェイトと、A～D 評価の配点割合を考慮して作成した各評価項目の配点表である。

集材機運転作業の総合評価手順は、各評価項目ごとに検討項目で a～d 評価を行い、これをまとめあげて各評価項目の A～D 評価とした。この評価のあと、各評価項目の配点表より数量化し、合計すれば、ある集材機のある作業環境内での総合評価指数を算出することができる。

6.4.2 調査方法

調査は前項の 10 評価項目について、作業現場で使用されている集材機を対象に行った。ただし、室内環境の各検討項目は、各作業現場や測定時期によりその数値がかなり変動するため、ランク付け作成には同一機種を長年にわたって運転している集材機運転手の意識調査をもとに判断した。資料として使用したのは「人間工学的チェックリスト」調査結果である。その訴え率を基準にして Table 25 のようなランク付けをした。

6.5 運転作業よりみた集材機評価

前節の評価方法、ランク付けで集材機を評価した結果は Table 26 のとおりである。ランク付けで問題となる C, D ランクは評価項目、「視野」、「室内環境」、「騒音」、「操作器具」が多い。以下、具体的な検討項目で、その評価結果と前節までの考察結果との関連を検討する。

6.5.1 視野

この評価項目には視界の良否を除いて確定した基準がないため、そのほかの項目は調査対象機種間の比較でランク付けを行った。第 2 章で検討したように運転情報を適正に得るためには、上方視界角度の

Table 24. 配点表
The distribution of marks for item.

| 運転作業区分 Group | 評価項目 Item for evaluation | ラ ン ク Ranking | | | | 重要度 Weights |
|-----------------------------|---|------------------|----|---|---|----------------|
| | | A | B | C | D | |
| 情報系 Information group | 視 野 Visibility | 15 | 12 | 9 | 0 | 15 |
| 環境系 Environment group | 室内環境 Climatic conditions inside the cab | 10 | 8 | 6 | 0 | 10 |
| | 振 動 Vibration | 15 | 12 | 9 | 0 | 15 |
| | 騒 音 Noise | 15 | 12 | 9 | 0 | 15 |
| 操作系 Operation group | 操作器具 Controls | 10 | 8 | 6 | 0 | 10 |
| | 作業位置 Working position | 10 | 8 | 6 | | 10 |
| | 座 席 Seat | 10 | 8 | 6 | | 10 |
| | 計 器 Instruments | 5 | 3 | 2 | | 5 |
| | 運 転 室 Operator's cab | 5 | 3 | 2 | | 5 |
| | 乗り降り Mounting and alighting | 5 | 3 | 2 | | 5 |
| 合 計 Total | | | | | | 100 |

Table 25. 訴え率と室内環境項目のランク付けの関係
The relationship between frequencies of operator's complaints to
climatic conditions inside the cab and their ranking.

| 検討項目 Details of item | a ランク Ranking | b ランク Ranking | c ランク Ranking | d ランク Ranking |
|--------------------------------------|------------------|------------------|-------------------|-------------------|
| 室 温 Temperature inside the cab | 25%未満 under | 50%未満 under | 75%未満 under | 75%以上 and over |
| 照 度 Brightness | 25%未満 under | 50%未満 under | 50%以上 and over | |
| すきま風 Draughts | 50%未満 under | | 50%以上 and over | |
| 排気ガス Exhaust fumes | 50%未満 under | | 50%以上 and over | |

Table 26. 集材機運転作業の総合評価
Overall assesement for work environment of yarder's operator.

| 運転作業区分 Group | 評価項目 Item for evaluation | ランク (%) Ranking | | | | 機種 Number of yarder-types (種) | 台数 Number of yarders (台) |
|-----------------------------|---|--------------------|----|----|----|--|-----------------------------------|
| | | A | B | C | D | | |
| 情報系 Information group | 視野 Visibility | 11 | 22 | 56 | 11 | 9 | 25 |
| 環境系 Environment group | 室内環境 Climatic conditions inside the cab | 0 | 40 | 20 | 40 | 10 | 56 |
| | 振動 Vibration | 73 | 18 | 9 | 0 | 11 | 20 |
| | 騒音 Noise | 0 | 17 | 33 | 50 | 12 | 30 |
| 操作系 Operation group | 操作器具 Controls | 10 | 15 | 20 | 55 | 20 | 20 |
| | 作業位置 Working position | 0 | 65 | 35 | | 20 | 20 |
| | 座席 Seat | 40 | 55 | 5 | | 20 | 136 |
| | 計器 Instruments | 11 | 89 | 0 | | 18 | 18 |
| | 運転室 Operator's cab | 6 | 22 | 72 | | 18 | 18 |
| | 乗り降り Mounting and alighting | 5 | 75 | 20 | | 20 | 20 |

増加，注視野内妨害物の減少，ドラム立体角の増加が望まれる。

6.5.2 室内環境

この評価項目は，前述のように集材機運転手の意識調査で判断している。結果は D ランクが40%以上を占め，改良要望の高い評価項目である。検討項目では集材機内温度で問題が多い。これら室内環境の居住性向上には，フロアと離脱可能なキャビンの装着と，このキャビンの完全密閉が要求される。このキャビンの装着は，後述の騒音防止にも貢献するので不可欠なものと思われる。キャビン内の空調機能として必要なものは暖房，冷房，除湿，換気，防塵があげられるが，特に検討項目中問題の多い集材機内温度調節のために，冷房能力4000 kcal/h 程度のクーラ，暖房能力5000 kcal/h 程度のヒータを組み合わせたエアコンの装備，合わせて窓には紫外線を遮断する，熱線吸収タイプの着色安全ガラスの装着が考えられる。また，室内への排気ガス流入に対しては，キャビン内圧を高くするプレッシャライザの装着も考えられる（青木，1980）。これら装備を必要に応じて装着するのが望ましい。

6.5.3 振動

この評価項目は A ランクに該当する機種が多く，D ランクがないことから問題は少ない。

6.5.4 騒音

この評価項目は D ランクに該当するものが 50% を占め、今後の改良が望まれる評価項目である。第 4 章で検討したように問題となる騒音源、エンジン、排気管の防音対策が必要である。検討項目では特に騒音の A 特性による評価で d ランクが特に多く、「空搬器走行」、「横取り」作業工程においても騒音レベルが高い。このことから、騒音レベルを低下させるために「空搬器走行」作業工程では無駄なエンジンのふかしをやめ、「横取り」作業工程ではエンジン負荷を減少させるために搬出木が適正に吊り上げられるよう配慮し、そのための伐倒方向を考えるなど、作業面からの改善も望まれる。

6.5.5 操作器具

D ランクの多い評価項目である。これは主に操作器具の位置関係の悪さに起因している。第 5 章で検討したごとく集材機操作器具はその本数が多い。そのため、ある程度のもものが適正範囲外に配置されるのは仕方ないが、検討項目の d ランクの位置にある操作器具は問題があろう。また、第 5 章で検討したように、その操作頻度に応じた操作性のよい操作器具の配置の検討も必要である。

6.5.6 作業位置

評価結果は比較的良好である。調査結果では集材機運転手は座席調節のうちでも前後調節をよく使用していた（2.5.3）が、この前後調節の検討項目は、b ランク以上がほとんどであり良好な結果を示していた。これに対して、検討項目の上下調節では調節不可能な機種もあり改良が望まれる。

6.5.7 座席

この評価項目はほとんどが B ランク以上であり良好な結果であった。検討項目のなかでは背あての高さに c ランクのもものがみられ、背面視界の問題と考え合わせ、検討が必要なものといえよう。

6.5.8 計器

評価ランクはすべて B ランク以上であった。検討項目のなかでは視距離において過大なものがみられたが、運転作業に対する重要度も低いので現在の状態でも可であろう。

6.5.9 運転室

C ランク評価の機種が多い。これは検討項目のなかの運転室幅、高さで基準に達しないものが多いためである。集材機移動の容易性との兼ね合いとなるが、操作性向上のために広くする努力が必要である。

6.5.10 乗り降り

ほとんどの機種の評価が B ランクである。検討項目のなかではドアの高さで c ランクが多かった。この問題は前述の運転室の広さと同様の扱いとなるが、高くする努力は必要であろう。

7 結 論

林業界ではいままでに集材機機械の工学的な研究、作業研究としては作業能率に関する作業工程、作業システムの研究と数々の業績がある。しかし、人間機械系（環境系）の関係を検討する人間工学的研究分野では、基礎となる労働強度の研究、労働環境面での研究が行われているが、いまだ少なく、特に本研究の研究対象である集材機では、ほとんどみられないのが現状である。本報告は実際の作業現場か

ら得られた資料を基に、集材機運転作業を人間側より評価し、現在の集材機作業の問題点を抽出し、改善方向を見出す基礎的な研究の成果である。

本報告では、前報（豊川、1990）の研究で抽出された、集材機運転作業環境の問題点を具体的に検討した。前報では、振動、騒音、視野、座席、操作器具の5項目が、集材機運転作業環境の中で重要な項目としてあげられた。本報告はこれらの項目の検討、集材機運転作業環境の評価基準の作成、この評価基準による現在の集材機運転作業環境の総合的評価で構成されている。本報告で得られた結果を最後にあらためて総括して結論にかえる。

7.1 集材機運転手の視野

集材機運転手の視野の解析は魚眼レンズカメラ法により行った。前方視野で視野妨害物となった主なものは、前方30°～40°にある前柱、集材機左側ドラム（運転時には視覚情報として必要）、注視野内ではコンソールパネルであった。これらの視野妨害物割合は機種間で相違があり、視野のよい機種にならって悪いものは改良の余地がある。後方視野は背あての高さに問題があった。また、集材機は一般に右側視界がよく、土場など視覚情報として必要なものは右前方に配置するのがよい。視野は運転手の体格、運転動作、集材機の振動などで変化する。この検討のために眼点位置を上下方向、前後方向に変化させて視野の変化を検討した結果、その変化は少なく良好な結果を示した。

7.2 集材機座席上の振動

集材機座席上振動は、その振動レベルの変化から各作業工程ごとの評価が望ましい。そのため、集材機作業の時間分析を行い、各作業工程の1日の累積時間を推定した。この結果と集材機20台の振動測定分析結果を、全身振動の評価基準（ISO、1974 a）で検討した結果、前後、左右、上下方向の振動とも基準値以下であった。集材機振動はエンジン回転数、ドラム回転数からエンジン、トランスミッション、ドラム回転に起因するものに分離できた。また、伝達関数を使用した集材機床上振動と座席上振動の比較分析では、特に前後方向20～30 Hz付近の振動伝播が大きいことが判明した。

7.3 集材機運転手耳元の騒音

機外騒音は、集材機より10 m離れれば問題はなかった。運転手耳元騒音は作業工程ごとに、①日本産業衛生学会の勧告 ②ISO 1999（聴力保護のための作業間露聴の評価）の基準で評価した。その結果、①による評価では、ドアを開けた状態での運転で「空搬器走行」、「横取り」作業工程の1000～4000 Hzの帯域に問題の残る集材機もあった。②の評価では通常の運転で聴力障害危険率は31%、1日の運転時間を考慮すると18%となった。エンジン付近騒音と排気管付近騒音はほかの騒音源と比べ騒音レベルが高く、また、人体に影響を与えやすい2000～4000 Hzで減衰傾向が小さいので問題となる騒音であろう。従って、エンジン付近の遮音カバー、排気管の改良が騒音源対策として重要となる。遮音対策はキャビンの設置、耳栓の使用が考えられる。キャビンは、200 Hz以上の周波数帯域で遮音効果がみられ良好であったが、耳栓は着用者が少なく今後の指導が望まれた。

7.4 集材機操縦席回りの設計

林業機械運転手の体格調査結果を正規分布にあてはめ、その5パーセント値で小柄、50パーセント値で標準、95パーセント値で大柄な人の代表値を得た。この結果と数々の人間特性を考

慮して、座席座面高 40 cm、奥行き 35 cm、座席幅 45 cm、座面傾斜 $0^{\circ}\sim 5^{\circ}$ 、背あて高さ 25 cm、座席位置調節幅は高さで 10 cm、前後で 20 cm の推奨値を得た。ペダル位置は座席基準点より前へ 80 cm、下へ 18 cm の位置付近がよく、レバー位置は座席基準点より上へ 28 cm、前へ 59 cm 付近が最適であった。この推奨値を現用集材機と比較した結果、座席では背あての高さでほとんどの機種が、ペダルではその 20% が、レバーではその 15% が改善することが望まれた。操作器具類の操作力、ストローク量の検討では、ストローク量で適正範囲を超えるものがみられた。最後に、上記の推奨操作器具位置と、現用集材機の操作手順から求められた操作器具類の操作推移確率を検討することにより、操作器具類の最適配置を考慮した。

7.5 集材機運転作業環境の総合評価

本章では末評価項目(室内環境、計器、運転室、乗り降り)の評価基準を検討した。次に得られた基準を基に評価項目を 10 評価項目として、各評価項目ごとに 1~7 の検討項目を作成した。これらの評価(検討)項目は A~D (a~d) ランクの 4 段階、または A~C (a~c) ランクの 3 段階評価とし、検討項目の総合評価で各評価項目の評価を、また、評価項目の総合評価で集材機運転作業環境の評価とした。現用集材機は著者が提案した評価基準で検討した結果、視野、室内環境、騒音、操作器具の評価項目で C、D ランクが多かった。

以上のように本報告は、第 2 章~第 5 章における集材機運転作業環境の問題点の整理、分析、考察、第 6 章における前章までの知見を基にした、集材機運転作業環境の評価で構成されている。これらの結果が集材機の改良、開発時での設計の基礎的データとして何らかの示唆を与え、また、このような考え方、手法がほかの林業用運転機械にも応用できるものと筆者は期待している。

謝 辞

この研究をまとめるに当たり終始懇篤なるご指導と暖かい励ましを賜り、さらに校閲の労をとっていただいた東京大学農学部上飯坂実名誉教授、東京大学農学部南方 康教授に対して心からの謝意を捧げます。

また、懇篤なるご指導と校閲の労をとられた農林水産省森林総合研究所生産技術部小沼順一部長と前生産技術部林 寛部長(現関西支所長)、長年にわたって有益なご助言とご激励を賜った生産技術部奥田吉春作業技術科長、辻井辰雄林業機械科長、企画調整部石井邦彦連絡室長、また、本研究の調査に多大なご協力をいただいた生産技術部作業技術科の皆様にご心からお礼を申し上げます。

引用文献

- 青木英勝：土工機械の運転室について、建設機械，**16** (2)，34~39 (1980)
新井清一ほか：乗用トラクタに関する人間工学的研究，農機誌，**36** (2)，202~212 (1974)
BARGER, E.L.: "Human factors in tractor design" in tractors and their power units, John Wiley & Sons, 250-269 (1967)
BELLINGER, P.L.: Man-Machine compatibility, Agr. Eng., **50** (1), 17-21 (1969)
DUPUIS, H.: Effect of tractor operation on human stresses, Agr. Eng., **40** (9), 510-525

(1959)

ELY, J.H. et al. : Layout of workplaces, Aero Medical Lab., Wright Air Development Center, 232-264 (1956)

遠藤俊三ほか：農作業におけるトラクタの乗心地-とくに騒音ならびに振動の実態, 農機誌, 43 (2), 259~266 (1981)

FITTS, P.M. et al. : Location discrimination (II)-Accuracy of reaching movements to twenty-four different areas, Aero Medical Lab., Wright Air Development Center, p. 261 (1950)

HANSSON, J.E. et al. : An ergonomic checklist for transport and materials-handling machinery, The National Board of Occupational Safety and Health, the Building Industry Labour Research Foundation et al., 23 pp. (1969)

林 喜男ほか：人間・機械システムの設計, 人間と技術社, 369 pp. (1971)

日野幹雄：スペクトル解析, 朝倉書店, 300 pp. (1977)

本郷慎一：建設機械の運転席視界について, 建設機械, 13 (11), 70~75 (1977)

堀野定雄：特殊魚眼レンズの人間工学への応用, IE, 7, 51~55 ; 8, 57~64 (1970)

HUNSICKER, P.A. : Arm strength at selected degrees of elbow flexion, Aero Medical Lab., Wright Air Development Center, 256-258, 473-477 (1955)

HUTCHINGS, M.J. et al. : Preliminary investigation of the noise levels around agricultural tractors, Jour. Agr. Res., 9 (2), 140-146 (1964)

ISO : Visibility Arrangements, ISO/TC 127/SC 2/N 95 (提案中)

ISO : Guide for the evaluation of human exposure to whole body vibration, ISO 2631-1978 (E) (1974 a)

ISO : Earth moving machinery-Access system, ISO 2867 (1974 b)

ISO : Assessment of occupational noise exposure for hearing conservation purposes, ISO 1999 (1975 a)

ISO : Earth moving machinery-Human physical dimensions of operators and minimum operator space envelope, ISO 3411 (1975 b)

ISO : Agricultural wheeled tractor and field machinery-Measurement of transmitted vibration and seat dimensions, ISO/DIS 5007 (1976 a)

ISO : Agricultural wheeled tractor and field machinery-Measurement of whole body vibration of the operator, ISO/DIS 5008 (1976 b)

ISO : Earth moving machinery-Methods of measuring the operator's field of view, ISO/TC 127/SC1 N 131 (1976 c)

ISO : Earth moving machinery-Zones of comfort and reach for controls, ISO/TC 127/SC 2 N 185/DIS 6682 (1980)

ISO : 履带式トラクタおよびトラクタショベルの操縦装置, ISO/TC 127/SC2 DIS 7095 (1981)

JASO : 自動車規格, 運転視界試験方法, JASO 6824 (1972)

JIS : 防音用耳栓, B 9904 (1958)

JIS : 騒音レベル測定方法, Z 8731 (1966)

JIS : 動力ウィンチ, A 8001 (1975)

JIS : 履带式トラクタ性能試験方法, D 6503 (1977)

JIS : ショベル系掘削機構造性能基準, A 8401 (1978)

勝沼晴雄ほか：人間-機械系 (健康管理シリーズ 6), 医歯薬出版, 340 pp. (1975)

- KELLERMANN, F. et al.: 人間工学の指針, 医歯薬出版, 94 pp. (1967)
- 建設省土木研究所: ブルドーザの操作性に関する研究(第2報), 土研資料, 736, 43 pp. (1972)
- 建設省関東地方建設局関東技術事務所: 建設機械の安全性評価に関する調査報告書, 184 pp. (1978)
- 久保田喜八郎: 騒音の代表的評価法とその使用法, 安全工学, 17 (6), 318~325 (1978)
- 倉田正一: 人間工学, 技報堂, 284 pp. (1959)
- LEHMAN, G.: Physiological basis of tractor design, *Ergonomics*, 1 (3), 197-206 (1958)
- 松居勝広ほか: トラクタの騒音とその低減対策, 農機誌, 40 (2), 241~244 (1978)
- MATTHEWS, J.: Ride comfort for tractor operators (I)~(IV), *Jour. Agr. Eng. Res.*, 9 (1), 3-31. 9 (2), 147-158 (1964); 10 (2), 93-108 (1965); 11 (1), 44-57 (1966)
- MATTHEWS, J.: Measurements of environmental noise in agriculture, *Jour. Agr. Eng. Res.*, 13 (2), 157-167(1968)
- MATTHEWS, J.: A study of tractor noise control, *Jour. Pro. Ins. Agr. Eng.*, 26 (1), 25-42 (1971)
- 三浦豊彦: 働き方の科学, 講談社, 215 pp. (1979)
- MORGAN, C.: 人間工学データブック, コロナ社, 539 pp. (1972)
- 森村英典ほか: マルコフ解析, 日科技連, 314 pp. (1979)
- MORRISON, C.S. et al.: Tractor seating for operator comfort, *Agr. Eng.*, 43 (11), 632-635, 650-652 (1960)
- 日本産業衛生学会: 許容濃度等の勧告, 労働の科学, 32 (11), 61~72 (1977)
- 人間工学人体計測編集委員会: 人体計測値図表, 人間と技術社, 40 pp. (1968)
- 笈田 昭ほか: トラクタキャブの防振と内部騒音軽減に関する研究, 農機誌, 45 (3), 297~302 (1983)
- 奥田吉春ほか: 局所振動障害の発生機序に関する総合研究成果報告書, 科学技術庁研究調整局, 206 pp. (1980)
- 大島正光: アーゴノミクス(人間工学), 朝倉書店, 374 pp. (1965)
- 林業機械化協会: 集材機の安全化に関する調査, 101 pp. (1976)
- 林業試験場: 林業機械の振動騒音の防止(作業方法の改善), 56年技発報告書, 101~134 (1982)
- 労働科学研究所: 新労働衛生ハンドブック, 1512 pp. (1974)
- SAE: Measurement of whole body vibration of the seated operator of agricultural equipment, SAE J 1013 (1973)
- SAE: Control locations for construction and industrial equipment design, SAE J 898 (1980 a)
- SAE: Operation's seat dimension construction and equipment design, SAE J 899 (1980 b)
- 酒井 学: トラクタの操縦席及び操縦装置に関する人間工学的考察(1)-乗降性・前方可視性及び座乗性, 農機誌, 27 (2), 87~92 (1965)
- 酒井 学: トラクタの操縦席及び操縦装置に関する人間工学的考察-コントロール類及び計装について, 農機誌, 28 (1), 239~243 (1966)
- 猪内正雄: 集材用トラクタの性能解析に関する基礎的研究, 岩学演報, 11, 139 pp. (1980)
- 谷口 修: 振動工学, コロナ社, 169 pp. (1966)
- 豊口克平: 椅子についての人間工学, 労働の科学, 14 (6), 366~373 (1957)
- 豊川勝生: 人体計測値よりみた操縦席回り設計の一考察, 日林論, 90, 507~508 (1979)
- 豊川勝生: 集材機レバー配置についての一考察, 日林論, 91, 483~484 (1980)

- 豊川勝生ほか：林業機械の操作操縦性-集材機について，日林論，92，469～470（1981）
豊川勝生：集材機運転作業環境に関する基礎的研究（第1報），森林総研研報，358，95～140（1990）
坪内和夫：人間工学，日刊工業新聞社，284 pp.（1961）
辻 隆道ほか：人間-機械系からみた集材機の座席の振動と構造，林試研報，243，63～105（1972）
渡辺明彦：最近の職場の高温問題，労働の科学，37（7），9～14（1982）
YAMAMOTO, M. et al. : New method of evaluation of field of vision for drivers of
methods vehicles, Proceedings of Second FISITA Congress, 74-84（1966）
ZANDER, J. : Studies of combine harvester operation, Jour. Pro. Ins. Agr. Eng., 25（1），
30-35（1970）

A Fundamental Study on the Work Environment of the Yarder Operator II —An evaluation of the yarding operation on human engineering—

TOYOKAWA, Katsumi⁽¹⁾

Summary

In recent years, timber transportation operations in Japan have been almost completely mechanized and the work-load of the forestry workers has been alleviated. Primary objectives to improve those machines are to maximize efficiency, safety and comfort for machine operation. The purpose of this study is to evaluate the yarder as a representative logging machine from the point of human engineering, as one of the ways to improve the machines, and to obtain some profitable information for the design of yarder.

This thesis is composed of 7 main chapters; namely 1. Introduction 2. Field of vision for yarder operator 3. Vibration on the seat of yarder 4. Noise at the operator's ears 5. Location of controls and operator's seat 6. Evaluation of yarder on human factors and 7. Conclusion.

The results of the research written in each chapter are summarized as follows;

In the first chapter, the research results on the work environment of yarder operators by using a human engineering checklist (1990, TOYOKAWA) are summarized, that is, the following 10 items were picked out as being the most important;

1. Mounting and alighting 2. Operator's working position 3. Operator's seat 4. Operator's cab 5. Controls 6. Instruments 7. Visibility 8. Climatic conditions in the cab (including exhaust fumes) 9. Noise 10. Vibration. Yarder operators expressed the greatest concern for the following aspects of the yarder, given here in decreasing order of importance; 1. Vibration 2. Noise 3. Visibility 4. Operator's seat (including Operator's working position) 5. Controls

In chapters 2 to 5 of this report, the above 5 items are dealt with and analyzed.

An evaluation of the field of vision for the yarder operator was analyzed from photographs taken by a camera with a fish-eye lens which was set in the position corresponding to the center between the eyes of a yarder operator of average stature in an operating position. The visible range on the ground obtained by photos indicated that the dead angle on the horizontal plane by the front pillar was 30°-40°, and the ground about 5 m forward of the eye point of the operator was the limit of the field invisible to the operator, because of the height of the instrument board. The study on the visibility by solid angle suggested that the visibility to the front and to the right was good through the door window, so the actual dead angle in front of the right side governed the total visibility. The necessary field of vision while operating the yarder is that as seen though the upper part of the front window, but this was insufficient. It is considered a good

Received January 14, 1991

(1) Forestry Technology Division

result that the solid angle of the visibility to the front of the yarder did not change significantly due to differences in the operators' physiques.

With regard to vibration, it was found that an evaluation of the vibration in each phase of the yarding cycle is necessary, because of the vibration being random in yarding. The average daily time of the yarding operation, that is, the daily exposure time to vibration for the operator was about 6 hours. Comparing the results of 1/3 octave band frequency analysis of the 20 yarders' data obtained with the ISO-proposal, the vibration level on the operator's seat was below the "Fatigue-Decreased Proficiency Boundary" in each of the three directions. The resonance frequencies obtained by comparison between the vibration on the floor and on the seat were 5-8 Hz in the vertical component of vibration, 4 Hz and 20-30 Hz in the longitudinal component, and 10 Hz and 15 Hz in the lateral component. And then, the largest amplitude of vibration was produced at the resonance frequency of 20-30 Hz in the longitudinal component of vibration.

The results of an evaluation of noise sampled from 32 yarders were summarized as follows; because the maximum noise level at a point 10 m from yarder is less than 85 dB (A), a worker more than 10 m away from the yarder would not be affected by the noise. When performing the "Outhaul" and "Lateral yarding" operations with the door and windows of the yarder open, the noise level at the operator's ear is higher than noise limits at the frequencies of 1-4 kHz prescribed in "Japan Association of Industrial Health". The percentage of yarder operators with impaired hearing, judging from the level of ISO-1999, is estimated at 18%, provided the daily exposure time to noise for yarder operators is 6 hours over 30 years duration. The noise from the engine and muffler is harmful to the operator's ear, because the noise level is high and does not reduce at the higher frequencies so much, especially within the frequency ranges of 2-4 kHz relative to the most sensitive frequency ranges for man. Therefore, the improvement of the muffler and the engine hood is essential for most yarders. It is obvious that the cabin is effective in reducing the sound pressure, especially for the noise of a frequency range above 200 Hz. The fact that almost no yarder operators wear ear muffs in spite of being exposed to a high level of noise is considered a serious problem.

Human engineering research on the operator's seat, operator's working position and controls must be helpful in finding the design factors which will contribute to an increase in the operator's comfort during operation. This research started with an anthropometric investigation of 188 operators of forest machines. From the results, the 5th percentile, 50th percentile and 95th percentile of each physical dimension of operators were used as the values of small, mean and large build respectively in the operator's physique. Then, a proposal as to the optimum position, optimum manual area and stroke of levers and pedals and the optimum position of the operator's seat in the yarder was obtained through the analysis of these data and the accuracy of hand movement of the "Blind-Test", and human engineering data from the experiments and extensive literature. Comparing the position of the levers, pedals and seats of 18 kinds of yarders with the proposal's ones, it found that 20% of pedals and 15% of levers are arranged in unsuitable positions, and the height of backrests is higher than the standard value

proposed. The stroke space of controls in some yarders is beyond the satisfactory range. One of the measures being considered to decrease the number of controls and reduce the handling force and stroke space of the yarders is to equip them with automatic transmission and air brakes. Finally, the proposal of the optimum location of levers and pedals was found on considering the above optimum position area of control and the transition probability of control obtained from the frequency analysis of control operations.

In the sixth chapter, human engineering information on 4 items yet to be analyzed, that is, climatic conditions in the cab, instruments, operator's cab, and mounting and alighting, are considered. The checklist of the work environment of a yarder operator from the standpoint of human engineering is proposed for the overall assessment. This checklist consists of 10 assessment items and 37 assessment points, because each assessment item includes 1-7 assessment points for covering a variety of features, each of which should be assessed individually. Moreover, the importance of each item and point is weighted as 3-4 grades (for example, "Very good", "Good", "Poor", "Very poor") on the basis of the human engineering information obtained in the six chapters, as each assessment item varying in human engineering importance. Finally, the subject yarders are evaluated into 3-4 grades of every assessment item and point. That is, first of all, each assessment point on them is evaluated into 3-4 grades. Then, the overall assessment on them is obtained for the evaluation of each assessment item in 3-4 grades on the base of the evaluation of each assessment point. As the results of overall assessment for the work environment of a yarder operator, the following are picked out as being poor; 1. Visibility 2. Climatic conditions in the cab 3. Noise 4. Controls.