

# 面的架空線集材装置の開発に関する研究

## 駆動機構の自動制御法

山本 誠\*・田村 朋厚\*・沖田日出男\*\*

(\*農学部林業工学研究室・\*\*広島県林務課)

## A Study on Development of a New X-Pattern Aerial Cableway Yarding System that Covers in Broad Area

### A Method of Motor Driven System under Automatic Control

Makoto YAMAMOTO\*, Tomoatsu TAMURA\* and Hideo OKITA\*\*

\* Laboratory of Forestry Engineering, Faculty of Agriculture ;

\*\* The Division of Forestry, Hiroshima Prefecture : (Then a graduate student of Kochi Univ.)

**Abstract :** The conventional aerial cableway yarding has a limit in the scope of its operating area. Its operating area is limited to the area along the cableway in the forest below. The forest subject to the operation, however, expands not in line but in vast plane. If the carriage can be freely controlled and precisely moved to a desired point in the forest area and be positioned right above the standing tree which is aimed at, harvesting of thinning and selection of trees may be easily done to the satisfaction of the planner. Under the conventional aerial cableway yarding system, this cannot be done.

Attempt, therefore, was made to develop an entirely new system to materialize this idea. This system uses no main cable but only operating cables, and must be operated not manually but under automatic control system. In this attempt, the writer tried with a digital automatic control method. The result was successful in transferring the carriage to a desired point fairly precisely. However, the locus of the carriage swung in vertical directions and a smooth operation was difficult to attain. (Fig. 11)

The reasons for the difficulties may lie partly in the lack in sufficient information fed in the program, but mainly in the deficiency in the mechanism of the input transducer.

It is believed that improvement in the input transducer and addition of more memory system will solve the difficulties.

## 緒 言

従来の架空線集材装置の性能を幾何学的に分類すると、運材用索道は積込盤台と荷卸盤台を結ぶもの、すなわち点と点による構成であり、架空線集材は集材地帯と荷卸盤台の間を任意に結ぶもの、すなわち任意区間長の線分を構成するものであり、また横取可能な集材装置では、限られた幅であられるが帯状の集材領域が存在し、現場の視野からは面的な構成をなしていると云えよう。このことは木材の収穫という限られた作業過程について言えば、在来の架空線直下のみを作業対象としたいいわゆる線的集材に、ある幅を持たせた帯状集材となるので一段と効率の高い集材法といえる。しかしこの作業の実行にあたっては伐倒木を相当距離引き摺ることとなるので種々の好ましからざる結果を生ずる。しかも横取集材作業は経済的理由から比較的大面積皆伐地に適用されるため前述の好ましからざる結果、すなわち植生の破壊、肥よく土壌の流亡、土砂流出等、土地生産力を減退させ森林の恒続的生産を阻止する結果を生んでいる。このことは本来林業が森林の機能を高めながら恒続的に木材の価値生産を増進していこうとするのに反する。

本研究は、森林のもつ種々の機能をそれぞれ犯すことなく最大限に発揮させ、価値生産を高め、さらに収穫の恒続性を期待し得る集材システムで、上記の幾何学的分類による面的作業の可能な装置の開発を試みんとするものである。なお本研究主題の創案は京都大学神崎康一博士によるものであ

ることを付記する。

**装置の必要条件：** 森林の生産力を最大にする林型が皆伐林型か択伐林型かという問題については、未だ定説をみないが森林の各種機能をバランスを保ちながら恒続的に導き出すということになれば多くの条件に関して択伐林型の方が優れているといわれよう。

面的な拡がりを持つ森林内の特定の立木だけを選んで切り出すという択伐林作業には、従来の集材方法のほとんどが経済的、技術的理由で実行が不可能に近いが、あるいは大変不合理なものといわれてきた。

従来の架空線集材法では、まず立木を伐倒することに始まり、それを架空線直下あるいはその近くまで引き摺って来るので伐倒木の近くの残存木と引き摺られる途中の草木および土壌は大きな損傷をこうむる。

森林作業遂行上最大の障害は地形の起伏と立木、転岩等の地表物であろう。これらの障害を克服し、しかも森林の植生に危害を及ぼさないで林地を自由に移動できる作業機械の出現は、大きな技術的難関が七重八重に存在する現状ではずい分と将来のこととなる。障害物を克服し得る機械を開発する方法よりは地表の障害物の影響を受けないために障害物の存在する地表面から作業の場を離して、空間にそれを求める方が容易な方法であろう。ある高さ、例えば林分の樹高以上の空間にはこれらの障害物は全く存在しないから。

上記のことから、集材作業のプロセスは、①立木を伐倒することなく直立のまま搬出する。②搬送のルートは伐採地点（切株）の直上に吊り上げ周囲の立木の樹冠を超えて始めて横方向に移動し目的地へ搬送する。

従って集材装置としての条件は、森林内のあらゆる立木の直上に正確に搬器またはロージングフックが到達し係留し、かつ巻上げ得ることが要求される。すなわち面的な作業領域を持つことが要求される。

### 面的な作業が可能と思われる装置

前節の条件から、拡張された架空線集材装置あるいは GANTRY CRANE の機能に類似した働きをもつものでなければならぬであろう。以下前節の条件に叶う装置として考えられるものを記す。

#### T型架線装置

構成：在来のエンドレスタイラー式索張の元柱側支点を左右方向に移動させることができるように架設されたもので、Fig. 1 に示す元柱側支点は軌索 B に懸かる搬器 C に碇結されている。搬器 C は軌索 B 上を左右に移動できるのでこの装置の作業領域は、見かけ上 O, P, Q, で囲まれる三角形の面をなす領域ということになる。

特徴：実質的には O, P, Q で囲まれる三角形よりはやく各辺が内側にひずんだ形の作業領域を作ることとなる。この形は山岳森林の作業団地の多くが一つの

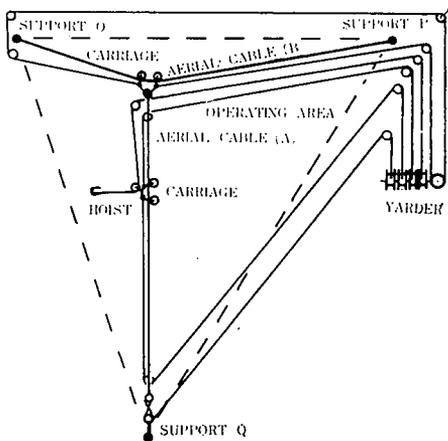


Fig. 1. T-pattern aerial cableway yarding :  
The combination of 2 sets of the Endless Tyler System.  
The operating area is that surrounded by the 3 supports.

谷筋に沿って形成されることにかんがみると、装置の作業領域と自然の地形の広がりとは合致し比較的無駄の少ない架線装置といえよう。しかし作業索は可成の量が必要である。

### H型架線装置

構成：従来のエンドレスタイラー式索張の集材架線を3組組合せたものである。作業対象地の両側に文字Hの縦線に相当する軌索が1本あて架設され、その両軌索上の搬器を礎着部としたもう1つのエンドレスタイラー式架線、すなわち文字Hの横線に相当するもので構成される。大型の多胴集材機で駆動させるとすると索線の引き廻しは非常に繁雑となる。

特徴：Fig. 2 に示される支柱 A, B, C, D に囲まれる範囲内の任意の点上に搬器（ホイスト）を移動できるので、ほぼ完全な面的作業の遂行が期待できよう。しかしこの装置を期待どおり操作するには、莫大な量の作業索と案内滑車が必要となる。従って駆動用の原動機の出力も驚異の高馬力のものが要求されよう。そしてこの装置の架設撤去に要する経費はH型架線装置の実用化の大きな問題点となるだろう。

### G型架線装置

構成：H型架線装置の応用型とも、また工場の GANTRY CRANE の応用型ともいえるもので、相対する山の尾根筋にそれぞれ林道を設け、その上に各1台の車両を配し、その車両には比較的低い架線支柱と集材機をそなえている。すなわち、谷を狭んで相対する2台の車両間に架空線を張り、それを横方向に移動する主索として、面的作業を可能ならしめようとするものである。

特徴：この装置とH型装置とを比べれば作業索の量は格段に少なくなっているが施設が大きくなっている。林道の配置が既に適正におこなわれている森林では、この方法による作業方式は比較的問題はなく、すぐにでも実行に移れるのではなかろうか。また、このことを側面的に見ると地形条件の制約を受けやすいことが考えられる。

### X型架線装置

構成：前記のT型、H型、G型架線装置は在来の索張形式応用型ともいえるものであるが、こゝにあげるX型架線装置は主索を持たない作業索のみの架線装置で4本の作業索の繰延巻込操作のみで集材作業等を

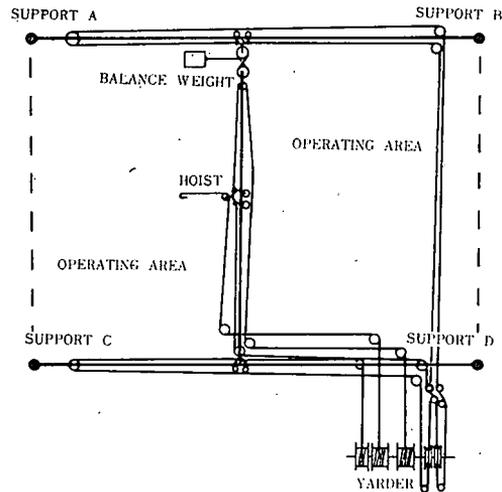


Fig. 2. H-pattern aerial cableway yarding:  
The combination of 3 sets of the Endless Tyler System.  
The operating area is that surrounded by the 4 supports.

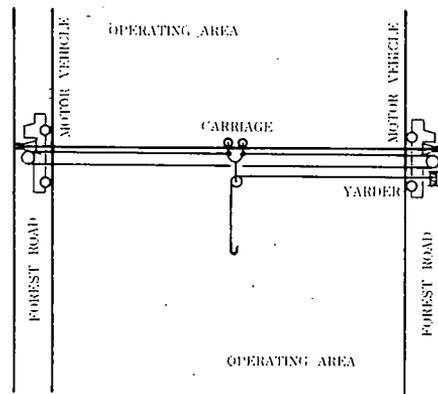


Fig. 3. G-system aerial cableway yarding:  
Utilization of gantry crane.  
The operating area is that between the two parallel roads.

実行しようとするものである。4本の索の合致点にはホイストを持ち、各索の他端はそれぞれ別個の巻取機ドラムに巻かれている。各巻取機の作動は電子頭脳で制御されることとなる。

特徴：この装置は荷重を懸架する主索がなく、作業索が主索の役目をも兼ねる構造となっているので、4本の作業索の正確な操作が要求される。従って4台の巻取機の操作は、すべて自動制御装置によっておこなわれねばならないだろう。このことはこのX型架線装置の実用化に大きな難関となる。

架線は Fig. 4 に見られるように僅に4本の直線的に伸びた索線のみで構成されているので架線

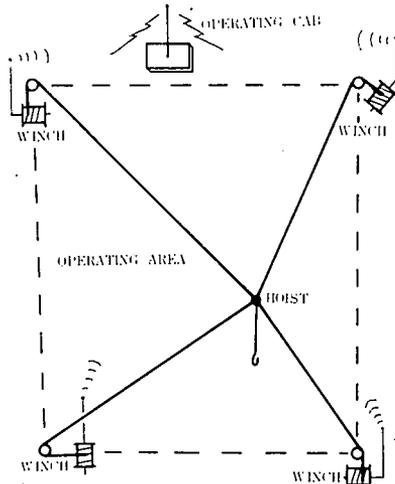


Fig. 4. X-pattern aerial cableway yarding :

A system under which a hoist is tied at the junction of four (4) separate wire ropes, with each rope leading to the corresponding support.

The operating area is that surrounded by the 4 supports.

自動制御の方式：自動制御の方法を決定するに当っては、小規模の模型実験で架線張力の分布を測定し、制御方法決定の資料とした。その結果、自動制御の方法には、1. 索長を入力データとする方法と、2. 索張力を入力データとする方法があるが両者の特徴を比較すると

1. 索長を入力データとして制御する場合

- 1) 荷重点（ホイスト）の位置決定が正確
- 2) 使用する環境条件（場所）によって制御データを変更せねばならない。
- 3) 索長の検知は容易。
- 4) 索長の検器故障の折は危険。

2. 索張力を入力データとして制御する場合

- 1) 使用する索強度に合わせて制御できるので安全性が高い。
- 2) 使用する条件（場所）が変わっても制御データの変更が容易。
- 3) 索張力の検定は電氣的張力計によらねばならないが、環境条件のきびしい森林では、やゝ不安がある。
- 4) 利用区域内に等索長力点がいくつか存在すると制御が不確実になる心配あり。

以上のように両者には一長一短がある。索張力を入力データとする自動制御の手法は神崎<sup>1~2)</sup>

撤収が容易なこと、在来の架線方式ではホールバックライン、リフティングライン等の作業索が立木の梢端部を折損することが多かったが、これらが無いためにその憂もない等の長所がある。短所としては4台の巻取機を必要とし、それを遠隔自動制御せねばならない点である。この方式を一言にして評すれば「実用化には技術面で大きな未解決問題を残しているが卓越した長所を兼ねそなえている」と言えよう。

### 試作および方法

前節に示した面的作業が可能と思われる装置のなかから、装置の改良によって将来発展性の要素を多く秘めていると考えられるX型架線装置に関して、その実用化を進めるために自動制御ならびにプログラムランニングの方法を検討する。

によって試みられているので筆者らは索長による方法で自動制御することとした。なお、索長の算定は放物線索理論<sup>3)</sup>に従がい、微小項を省略した近似式を適用した。

**索長検知法：**

索長を入力データとして制御をおこなう場合、何らかの方法で物理量に変換せねばならない。この場合 Analog 量と Digital 量の二法があることが知られている。Analog 量として入力するには索の巻取ドラムの軸と可変抵抗器の軸とが連結されて、索の移動量に比例して A, B 間の抵抗値を変化させ、これを情報としてフィードバックさせる方法が考えられる。Digital 量として入力するには巻取ドラムの軸、あるいは適当なガイドブロックの溝車軸とカム軸とを連結して、索の移動量をスイッチの接断回数、すなわち puls に変換して情報とする方法が考えられる。両者にはそれぞれ以下の特徴がある。

**Analog 式**

- 1) 変換器に高精度のものが必要、気象条件の変動の大きい森林ではやゝもすると不安定になりやすい。
- 2) 自動制御装置を電算機式の形式とするならば低歪率の増幅機が必要。
- 3) 電算機と接続できるプログラム回路の製作がむずかしい。
- 4) 連続的情報なので索の巻取巻戻が円滑。

**Digital 式**

- 1) 変換器の制作が容易。
- 2) 自動制御装置は Digital 式が普遍的なのでリレーにより連結が容易。
- 3) 電算機との接続が比較的容易。
- 4) 断続的情報となるので索の巻取巻戻しに Analog 式ほどの円滑さは期待し難い。

出力の形は Analog 量としての巻取ドラムの回転ということになるので、入力変換器も Analog 式の方が優れた性能を示すとも考えられるが、実験の進捗度をも考慮して本研究では、現在の一般的技術でも充分確実な作動が期待できる Digital 方式によることとした。

**自動制御系列**

前節において述べた如き判断により、本研究での自動制御系のプロセスは Fig. 5 に示す様式とした。また各々の装置の概略は Fig. 6, 7, 8, 9, 10 に示した。

入力データ変換装置 (Fig. 6, 7)：自動制御装置への入力データ情報の指令法はホイストの

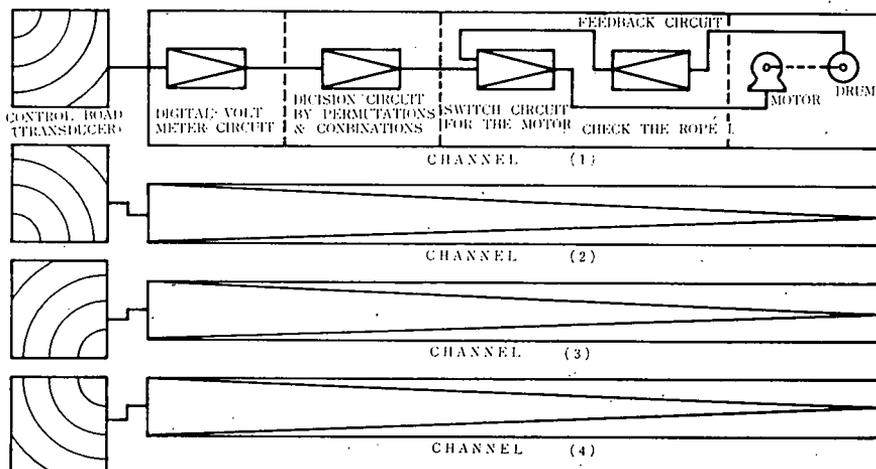


Fig. 5. Block diagram of the automatic feedback control system.

あらゆる位置における、ホイストと各支柱間の索長を算定し、その索長を基にしたコンターライン状のパターンを Fig. 6 に示すプリント基盤上に描き、この上を接点が滑動することによって、索長制御の入力変換器とした。なお本実験では各支点高を同一高さとし、その配置は正方形の各頂点としたので、このプリント基盤は同じものを各支柱1枚あて割り付けた。

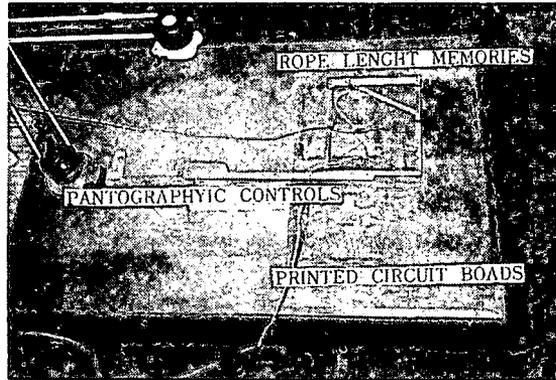
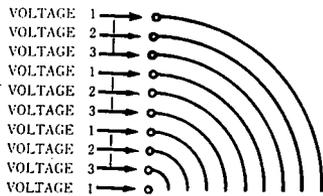


Fig. 6. Input transducer (The rope length contour lines on the printed circuit board and control pantograph).

この入力データ変換装置を電算機にオンラインすれば非常に簡単な制御装置ですむこととなるが今回は独自の記憶装置を筆者らの1人沖田が創作した。その装置は Fig. 7 に示すようにコンターライン状の等索長曲線に3種の電圧



(VOLTAGE 1) < (VOLTAGE 2) < (VOLTAGE 3)

Fig. 7. Symbolic diagram of the input transducer.

( $V_1, V_2, V_3$ ) を交互に配置し、接点の滑動操作により、 $V_1 \rightarrow V_2, V_2 \rightarrow V_3, V_3 \rightarrow V_1$  の順に電圧が変化したときに巻取器ドラムは正転して索は巻取られ、 $V_2 \rightarrow V_1, V_1 \rightarrow V_3, V_3 \rightarrow V_2$  の順に電圧が変化したとき巻取機ドラムは逆転して索は巻戻されるように制御器内へプログラムしておけばよい。この方式では3種の電

圧を判定する回路とプログラム回路とが共に Digital 式となるので制御が容易である。

**Digital 式電圧計 (Fig. 8):** 入力変換装置で発生された3種の電圧  $V_1, V_2, V_3$  を判定するための回路である。この回路の動作原理は基準電圧の異なる3つの Schmidt 回路を組合せて、基準電圧の差によって NOT 回路と AND 回路の論理的開閉を利用したものである<sup>4)</sup>。そのブロックダイアグラムを Fig. 8 に示す。

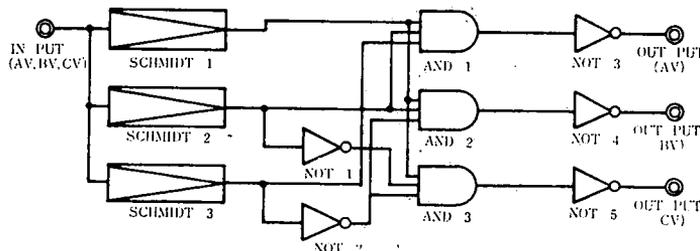


Fig. 8. Block diagram of the digital volt meter and its circuit.

<sup>4)</sup> SCHMIDT means Schmidt circuit, NOT means Not circuit and AND means and AND circuit.

信号判読回路：(Fig. 9) Digital 式電圧計の3本の出力回路からの電気信号の発生順位によって、その順位の組合せを判読する機能をこの回路が持ち、いわば制御装置の中枢部である。

判読回路の作動機構は順列組合せの応用型で、その判定法は電算機の FORTRAN 語の IF 文に相当しよう。3つの入力端子 ABC に A→B, B→C, C→A の順に入力電圧があると出力側端子にFなる信号が出力され、C→B, B→A, A→C の順に入力電圧があるとRなる信号が出力される。この時の回路内の作動状態を説明すると、いま、A 端子に入力電圧がかかっている状態で、 $t_1$  のときB端子に入力がかはいると OR<sub>1</sub> を通って R-SFF<sub>1</sub> の F 出力電圧が下がり、その瞬間 MV<sub>1</sub> の F 出力に一定時間電圧が生じる。一方  $t_1$  のとき R-SFF<sub>2</sub> に F 出力電圧が上る。そして MV<sub>1</sub> の F 電圧と R-SFF<sub>2</sub> の電圧が AND<sub>2</sub> を通って出力電圧が表われる。同様にして B→C, C→A の時は AND<sub>4</sub>, AND<sub>6</sub> に C→B, B→A, A→C の時は AND<sub>3</sub>, AND<sub>2</sub>, AND<sub>5</sub> に出力波形が生ずる。A→B, B→C, C→A のときFから B→A, A→C, C→B のときRから出力波形が生ずるようになるため、AND 回路の後に NOT 回路を付け OR 回路へ廻るようにしてある。

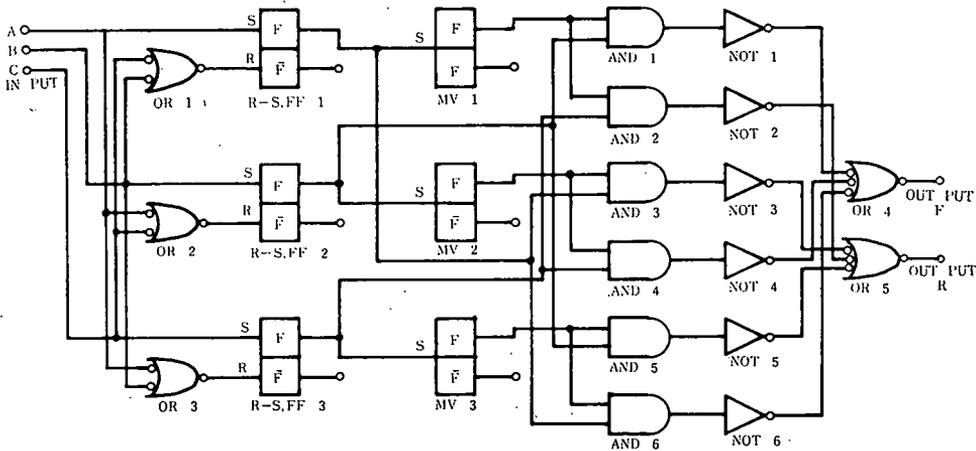


Fig. 9. Block diagram of the decision circuit by permutations and combinations system.

\* ) OR means OR circuit, AND means AND circuit, R-S, FF means Reset-set flip flop circuit, NOT means NOT circuit and MV means Monostable multivibrator circuit.

駆動スイッチ回路 (Fig. 10) : 信号判読回路より送られた信号がFまたはRによってモータは正転、逆転し索の巻取り巻戻しをする。いまFに入力信号がかはいると Relay<sub>1</sub> が働き、SW<sub>1</sub> のスイッチが閉じ電源からモータに電流が通じ回転を始める。このときモータに連動されている索長カウンターが所定の索長まで送りだすと索長カウンターのスイッチがはいる、R-SFF<sub>1</sub> を通じて Relay<sub>1</sub>

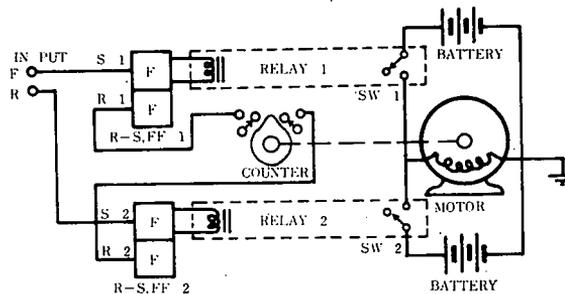


Fig. 10. The switch circuit for the motor and decision feedback system.

が作動して、 $SW_1$  のスイッチが開きモーターは停止する。R に入力信号がはいった場合も同様である。

なお使用する原動機は、正転、逆転、加速、減速そして停止の制御が楽な直流モーターを用いた<sup>5)</sup>。

## 結果と考察

試運転の結果、制御系および機械系には、以下の問題があることがわかった。

制御系：試運転の結果、かなり頻繁に誤動作が生じた。これの原因としては入力変換器のデザイン上の2つの問題と出力回路からの強電圧による雑音パルスの問題、そして操作者の不注意によるものが考えられる。

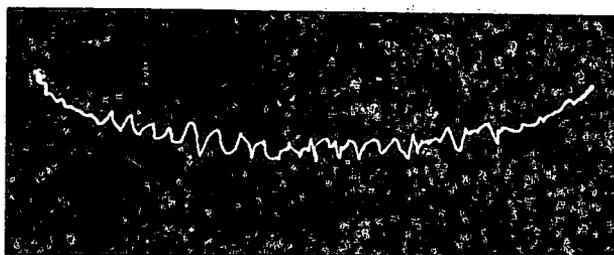


Fig. 11. Locus of the load point  
(when the locus moved on a diagonal).

1) 入力変換器のデザイン上の問題の1つは、等索長曲線群の線間隔が手描きであったため幅が広く、現寸に換算すると約15cmの索長差に相当するので、これによる誤動作発生と考えられ、これより約2倍の精度の高いものを作った結果誤動作は若干減少した。そして搬器の走行はかなり円滑化した。入力変換器のデザイン上の問題の1つとしては、この装置が腐食処理をしたプリント基盤と銅線を滑動させるという形式の接点構造のため、4つの接点のうちどれか1つに接触不良が起これると誤動作となる。これには接点復活剤の使用で幾分は改善されるが、十分な効果とは言えず、構造を改善せねばなるまい。入力データーのいれかたは、このような機械的方法によらず、電気的方法が確実性が得られやすいように思われる。

2) 出力回路からの雑音パルス問題は、直流モーター駆動回路が閉じられた時点で判読回路のリレーが作動することから信号の逆送が起きていることが考えられ駆動回路に大容量コンデンサーの配線と大型リレーの使用によって解決した。

3) 操作者の不注意によるものとしては、搬器の走行速度と操作盤すなわち入力変換器の接点の操作速度が同調しなかったときに起るものである。従って将来は、搬器の目的地点に相対する操作盤上の1点に接点を滑らせれば、その経路を記憶させる回路を新設すれば解決するものと思われる。

機械系：機械系の問題点は索の張力計算の段階で一部判明したが試運転の結果いっそう明瞭となった。

1) この装置には索がないために全荷重は作業索に負荷される。従って荷重点の軌跡が低い場合、地形によっては4本の支柱に囲まれた範囲すべてを作業領域とすることができない場合が出てくるものと思われる。また、地形条件以外にも作業領域を狭める要因がある。それは索の破断強度の問題である。索張力の理論計算では支柱付近に荷重が接近した際に索張力は索の破断強度に近く十分な安全率が得られなくなる。このため作業領域と考えられている区域のうち周辺部、隅角部は

条件によっては作業不能区域とならぬとも限らない。

2) この装置は4本の索で構成されているが、3本にして運転しても、ほど同じような働きをすることが判った。面を決定するには3点で必要充分であるから、3本索とするのがより合理的であろう。

## 要 約

従来の架空線集材装置は1本の線を張り渡し、その線分の下を作業領域としていた。しかし対象とする森林は面的な広がりをもっている。面的な広がりを持っている森林をカバーできる架空線装置があれば森林内の任意の立木の真上に搬器を正確に操作できよう。このことは間伐や択伐作業が自由にできることに直結する。それができるものとして Fig. 4 に示す装置を考え、これの駆動機構の自動制御化を Digital 式で試験してみた。結果は入力変換器とその回路の改良と記憶装置の新設でどうまく走行するものと思われる。なお、機械系には種々の未解決の問題が残った。

## 引 用 文 献

- 1) 神崎康一・酒井徹朗, 日林誌 54, 103—112 (1972)
- 2) ————, 日林誌 54, 143—149 (1972)
- 3) 加藤誠平, 東大農演報 49, 31—47 (1955)
- 4) 前橋幸男, トラジ技術 34, (8) (1970)
- 5) 西村正太郎・林 千博編, 自動制御用電気機器 I・II 朝倉書店, 東京 (1968)

(昭和47年7月6日受理)

