

建設機械の自動化

Automation in Construction Machinery

建設機械のうち、ブルドーザ及び油圧ショベルの自動化は、各作業に共通して必要な作業、高度の熟練を要する作業から、部分的に進めていくのが好ましい。

ブルドーザでは、土工板の位置を制御するレベル制御を取り上げ、機械式ならい方式と傾斜角制御方式について、制御系の構成と動作原理を述べる。実機に適用した結果、前者の方式では車速が6km/hで±2.5cm程度の平坦度を、後者の方式では車速が10km/hで±3cm以内の平坦度を得ている。また、後者の方式は車体外部に基準を必要としないので、実用性が高い。

油圧ショベルでは、掘削軌跡を制御する方式を取り上げ、演算式軌跡制御方式について、制御系の構成と動作原理を述べる。実機に適用した結果、±3cm以内の軌跡を得ている。

中村弘康* Hiroyasu Nakamura

松崎 淳** Atsushi Matsuzaki

1 緒 言

産業界において自動化が叫ばれてから既に久しく、数値制御(NC)工作機械などの工場生産設備から航空機の自動操縦に至るまで、各方面において自動化が進められてきている。

建設機械の分野においても、アスファルトフィニッシャーやモータグレーダなどの道路建設用の機械で、その仕上げ精度を容易に得るための自動制御装置を採用するなど、自動化が取り入れられてきているが^{(1),(2)}、他の産業分野と比較すれば、その自動化はまだ進んでいるとはいえない。この原因としては、次のようなものを挙げることができる。

(1) 使用条件が厳しい。

建設機械は一般に野外の不整地において使用されることが多いので、振動や衝撃が多く、風雨にさらされ、周囲の気温も低温から高温まで考慮する必要があり、また埃などふんい気も良くない。

(2) 経 済 性

高度成長に伴って、建設機械の規模もしだいに大形化してきているが、なお自動化による価格上昇の比率が大きくなる場合が多い。

(3) 保守態勢

自動化には油圧や電子回路を利用することが多いので、これらに関する保守態勢を整える必要がある。

建設機械のうち、代表的なブルドーザ及び油圧ショベルも自動化の難しい機種である。これは、この機械が他の機械や設備との連携作業が少なく、機械1台1台が異なった条件の作業に従事することが多いので、これをシステム的に取り上げて自動化するのが簡単でないためである。従って、自動化を進めていくためには、各作業に共通して必要な作業、高度の熟練を必要とする作業などを、まず部分的に自動化する必要がある。

本稿では、ブルドーザ及び油圧ショベルの自動化の概要について述べる。

2 ブルドーザの自動化

ブルドーザの作業のうち、最もその操作に熟練を要するのは、水平面仕上げ作業であろう。

この作業は、ブルドーザの土工板によって、地面を一定レベルの水平面まで削り取ったり、高い所の土砂を低い所へ押して移動させ、水平に仕上げたりする作業である。従って、ブルドーザの移動に伴って、車体は上下したり傾斜したりする。一方、土工板は車体の前方に取り付けられているので、例えば土工板を少し下げ過ぎたとすれば、前方の土砂が少し削り取られ、そこへ車体が進むと車体は前方へ傾斜し、土工板はますます下がって土砂を削る結果となる。次に、運転者の操作によって土工板を水平の位置まで上げたとすれば、車体は前下がりの状態から前上がりの状態へと移っていくので、土工板は上方に上げられて、先に削られて前方にたまった土砂の山を押すことができない。このように、運転技術が未熟であると、水平に仕上げるところかますます凹凸が激しくなる結果になりかねない。

従って、ブルドーザを自動化するに当たってまず取り上げるべき作業は、水平面仕上げ作業であり、車体の姿勢にかかわらず土工板の位置を自動的に制御すること、すなわち土工板のレベルコントロールが必要である。

2.1 土工板の位置の制御方式

車体の位置や姿勢に関係なく、土工板の位置を制御する方式には、外部に基準を設ける機械式ならい方式や光基準方式、及び車体自身に基準をもつ傾斜角制御方式などがある。

(1) 機械式ならい方式

これは、アスファルトフィニッシャーなど、道路建設用の機械で用いられている方式で、水平面の基準として、ひもや棒、あるいは一度仕上げた面などを利用し、土工板の位置と基準とのずれを接触子などで検出し、ずれに応じて土工板を制御する方式である。

この方式は精度よく制御することができるが、ブルドーザは基準に沿って走行する必要があるので、道路のように作業場所が限定される欠点がある。

(2) 光基準ならい方式

これは、機械的基準の代わりに、基準として光、あるいはレーザを使用する方式であって、光を固定点から水平に投射し、土工板上の受光器でこの光を受けて、土工板の位置を制

* 日立建機株式会社土浦工場 ** 日立製作所機械研究所 工学博士

御する方式である。

この方式は、機械的基準による場合よりは作業場所の制限は少ないが、光が受光器を外れると制御できなくなるので、仕上げに近い作業に限定される。

(3) 傾斜角制御方式

これは、外部の基準を必要とせず、ブルドーザ自身に基準をもつ方式で、振り子式あるいはジャイロ式の傾斜角検出器によって、土工板を支持しているフレームの傾斜角を検出し、本体の姿勢にかかわらずフレームの傾斜角を一定に制御する方式である。従って、作業場所に制限はなく、どのような地形でも使用でき、最も使いやすい方式である。

2.2 実機への適用例

ここでは、機械式ならい方式と傾斜角制御方式とを実際のブルドーザに適用した2例について、具体的構成と掘削試験の結果について述べる。

(1) 機械式ならい方式^{(3),(4)}

図1はならい方式の基本的構成を示す。レベル制御系は、

土工板を駆動する油圧シリンダ、電磁弁、土工板高さ検出器、高さ設定要素、比較器及び電磁弁駆動回路から構成される。

土工板の高さは、ブルドーザ走行路の側面に設置した基準面を滑動するリンク装置を用いて検出する。このとき、車体の前後の傾斜に関係なく土工板の絶対高さが測定されるようにくふうされている。比較器は、土工板の刃先の高さ y と掘削目標高さ γ の偏差 ϵ を常に許容範囲に収めるように電磁弁制御信号を発生する。偏差が小さいときには、電磁弁 L_1, R_1 の回路が作動し、土工板は低速度で動き、精度よく土工板の高さを制御する。一方、偏差が大きくなると L_2, R_2 の電磁弁も切り換わって高速度で土工板が動き、いち早く偏差を小さくすることができる。ブルドーザによる掘削作業系は本来不安定であるが、本装置では高速大流量の電磁弁を用い、5値動作オン・オフ制御系を構成することによって、安定性と応答性能を高め、高精度の掘削作業を可能としている。

図2に、実際に掘削した掘削地面の形状を測定した一例を示す。図中、横軸はブルドーザの走行位置、縦軸は掘削面の

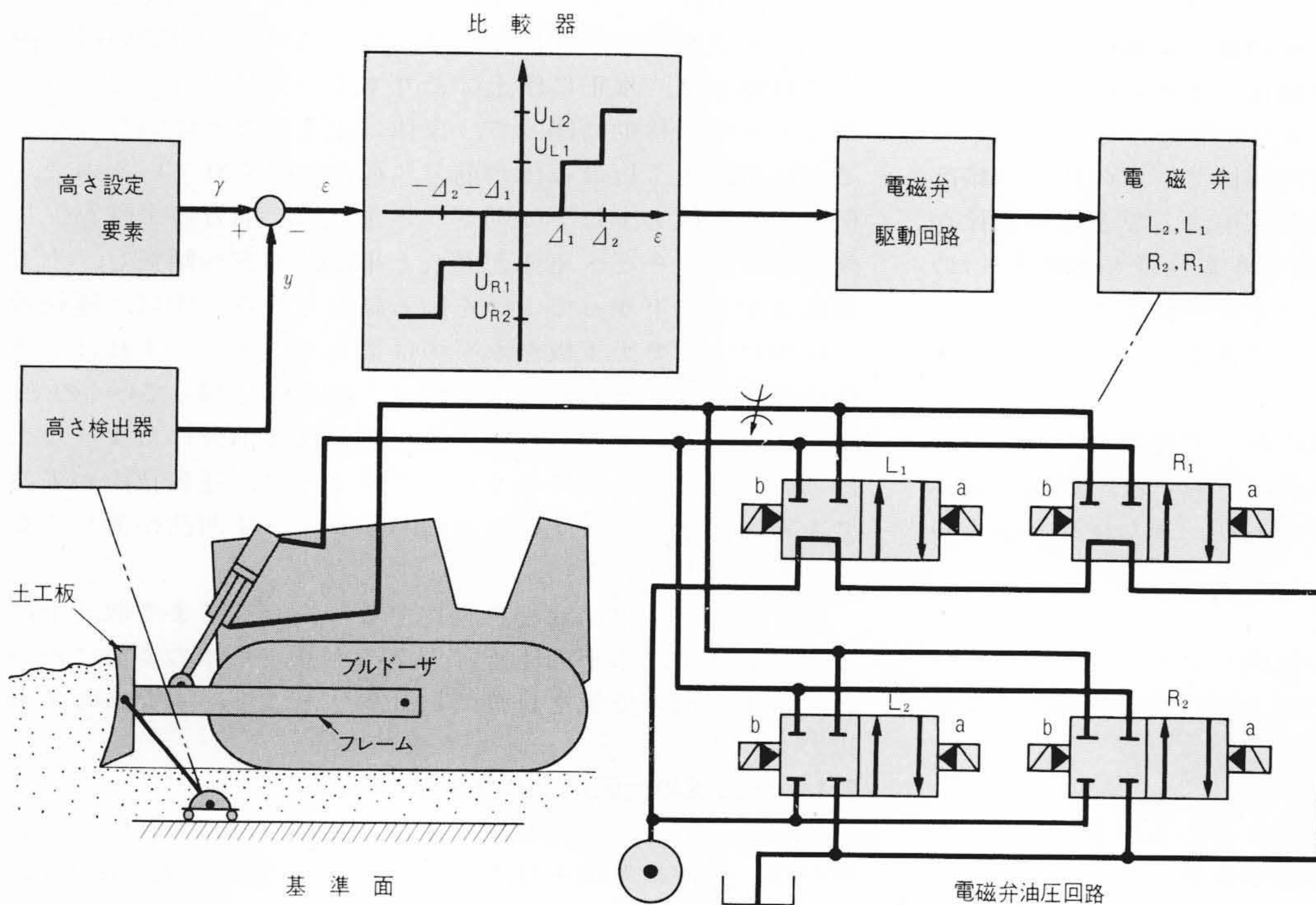


図1 レベル制御系の構成 機械式ならい方式のレベル制御系は、油圧シリンダ、電磁弁、高さ検出器、設定要素、比較器及び電磁弁駆動回路から構成されている。

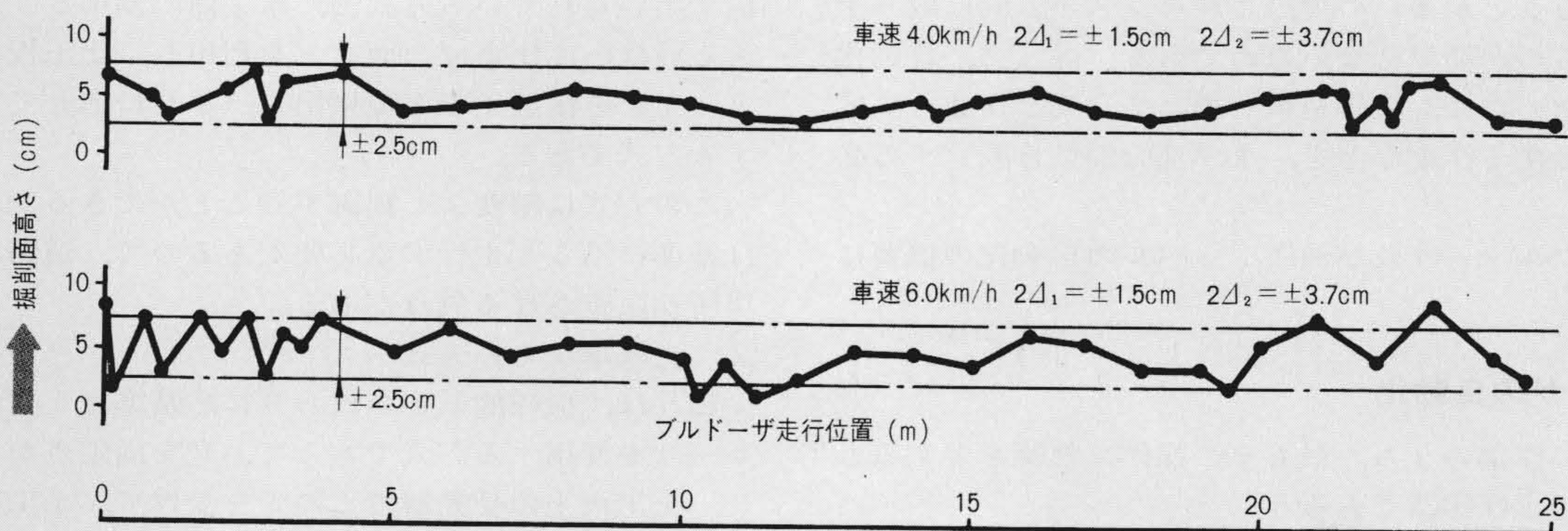


図2 整地作業精度 車速4 km/hで、 ± 2.5 cm以内、車速6 km/hでもほぼ同程度の平坦度が機械式ならい方式で得られた。

高さを表わす。同図から明らかなように、車速 4 km/h では $\pm 2.5\text{cm}$ の精度の掘削が可能であり、車速 6 km/h でもほぼ同程度の掘削が可能となった。掘削精度は比較器の不感帯を調整することによって荒削り、仕上げなど作業に合わせて適当に設定することが可能である。

本方式は、掘削精度が高く、しかも絶対的高さを指定できる特長をもっているが、高さの基準面をなんらかの形で設定する必要があり、実用的には傾斜角制御方式のほうが有利である。

(2) 傾斜角制御方式⁽⁵⁾

図 3 に、傾斜角制御方式の基本構成を示す。この方式は、土工板の高さを制御するために、土工板を取り付けたフレームの傾斜角を制御することを特徴とする。土工板は、増幅器

及びサーボ弁から成る連続制御系と、比較器及び高速電磁弁から成るオン・オフ制御系によって駆動され、土工板の高さは、フレーム回転中心の高さを基準として、フレームの傾斜角度から算出する。傾斜角（高さ）設定値 γ と実際のフレーム傾斜角 α の偏差 ε を加算器で求め、偏差が小さい範囲ではサーボ弁によって連続的に精度よく土工板の高さを制御し、偏差が所定の範囲を超えて大きくなると電磁弁も作動して高速度で土工板を動かし刃先の位置を制御する。この結果、高精度、高速度の土工板操作が可能となり、掘削作業系が安定となった。この装置では、高速掘削状態での制御系の安定性を高めるため、傾斜角検出にジャイロスコプを用いた。

図 4 に、掘削地面の形状測定の一例を示す。傾斜角設定装置のレバーを操作してフレームの傾斜角を設定し、矢印の方

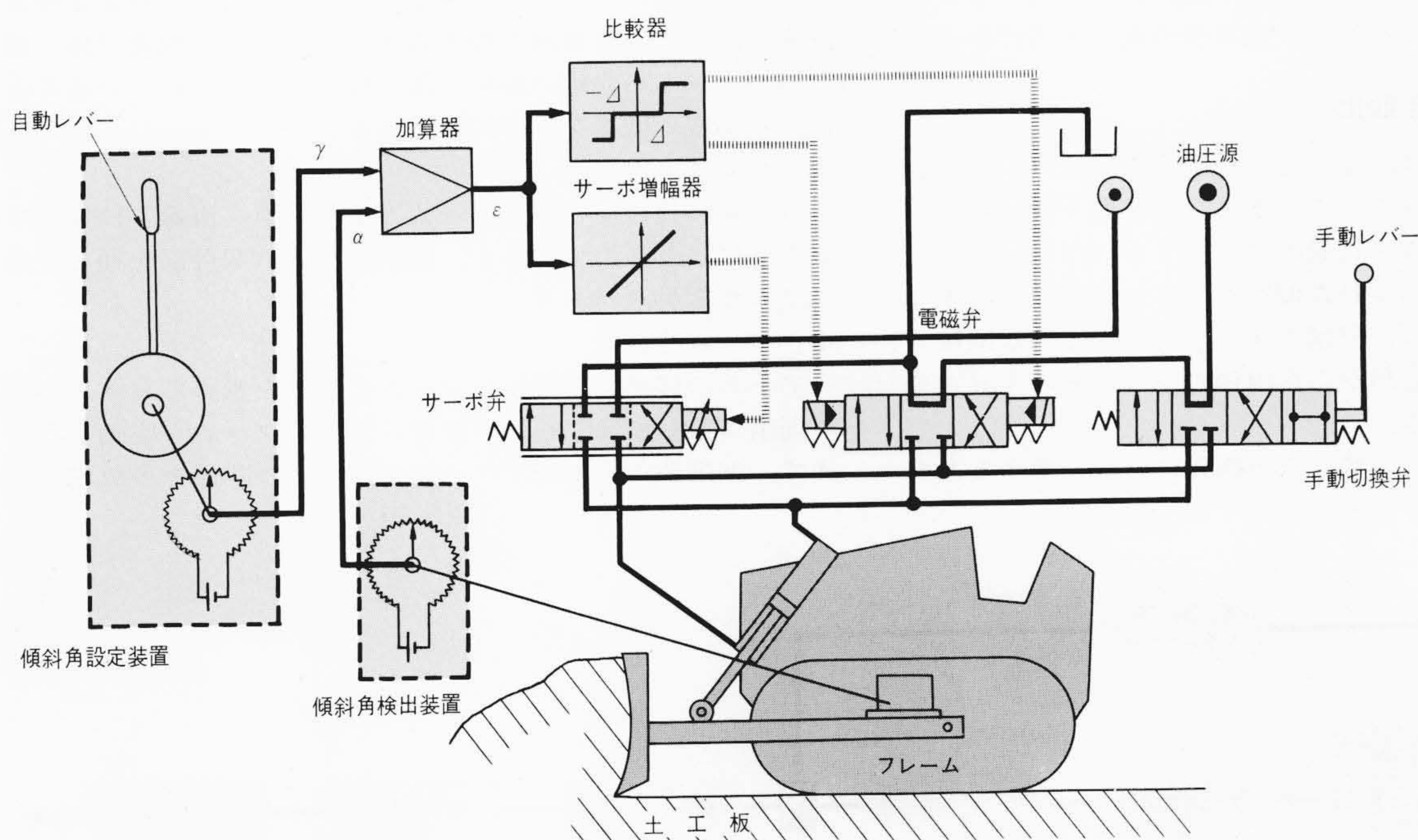


図 3 制御系の基本構成
傾斜角制御方式の制御系では、フレームの傾斜角を、サーボ弁を含む連続制御系と電磁弁を含むオン・オフ制御系とで制御している。

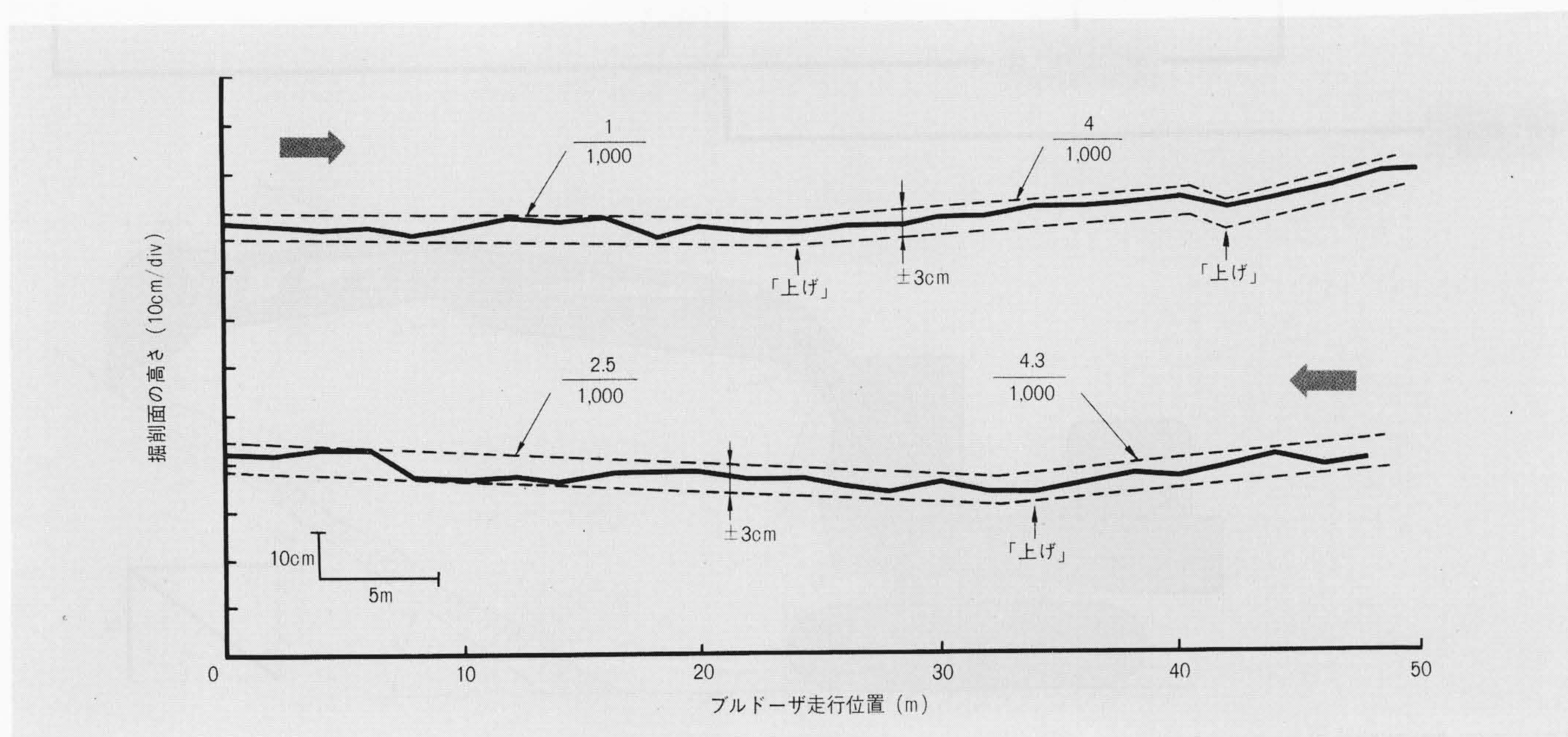


図 4 整地作業精度 車速 6.3 km/h で $\pm 3\text{cm}$ 以内の平坦度が傾斜角制御方式で得られた。

向に車速6.3km/hで掘削を進めた結果であるが、掘削面は滑らかであり、その凹凸は±3cm以内に抑えられている。同図上方の測定結果は、左から右に水平掘削し、「上げ」の表示のある部分で、土工板前面にたい積した土砂を軽減するためにレバーを操作して、土工板を上げ前進したことを意味している。また同図下方の測定結果は、逆に右から左に掘削したもので、スタート時に土砂が不足のため土工板を下げて前進し、「上げ」の表示のある部分からレバーの操作によって水平掘削に入ったことを示している。掘削面の水平度はレバー操作で調整することが可能であるが、この例では掘削面のこう配は $\frac{1}{1,000}$ ～ $\frac{2}{1,000}$ と極めて小さく、実用上水平面と見なすことができる。

以上のように、この方式はならい方式と異なり掘削面の絶対高さを制御することはできないが、車体外部になんら基準面を必要とせず実作業での機動性が高いこと、掘削面は非常に滑らかで車速6.3km/hから10km/hでも±3cmの精度で掘削することが可能であること、任意のこう配の面を掘削することができることなどの特長をもち、実用性の高い方式である。

3 油圧ショベルの自動化

油圧ショベルの作業は、主として掘削及び積込み、又は放土であり、その他に特殊なアタッチメントを取り付けた場合の作業がある。掘削のみを自動的に行なうものには、建設省納め水陸両用油圧ショベルU A 03⁽⁶⁾がある。これは、河床などの水底を掘削するのに、掘削の状態を目視するのが困難であるため、バケットの着地から掘削後のバケットの上昇までを自動化したものである。

一般の陸上の作業において、その操作に熟練を要するもの

は直線的に掘削する作業であろう。この作業は、のり面や一定深さの溝掘削の場合などに必要な作業で、バケットを直線的に移動させるためには、ブーム、アーム及びバケットを同時に適量操作する必要があり、熟練を要する作業である。

3.1 掘削軌跡の制御方式

バケットの掘削軌跡を制御する方式について比較すれば、次のとおりである。

(1) 平行リンク式

ローダ形で使用されているように、平行リンクを形づくることによって、バケットがほぼ平行に移動するようにしたもので、通常はバケットの姿勢はほぼ平行に保たれるが、ブームとアームの同時操作が必要である。

(2) ならい式

実際のブーム、アーム及びバケットと相似のならい用の模型を設けて、模型のバケットの先端を一定の軌跡に沿って移動させ、実際のバケットを模型の動きに追従して移動させる方式で、あらゆる軌跡を得ることができるが、現実には、模型のバケットの先端の駆動方法、模型が縮小されていることによる精度の低下などの問題がある。

(3) テレスコープ式

望遠鏡の筒のように、ブームとアームを一直線上に伸縮するようにしたものであるが、掘削がブーム取付部を通る直線に限られる欠点がある。

(4) アーム追従式

アームの移動に対応したブームの位置を求めておき、実際の掘削に際してはアームの操作に従ってブームも駆動する方式で、掘削軌跡に応じてアームとブームの関係を多数求めて

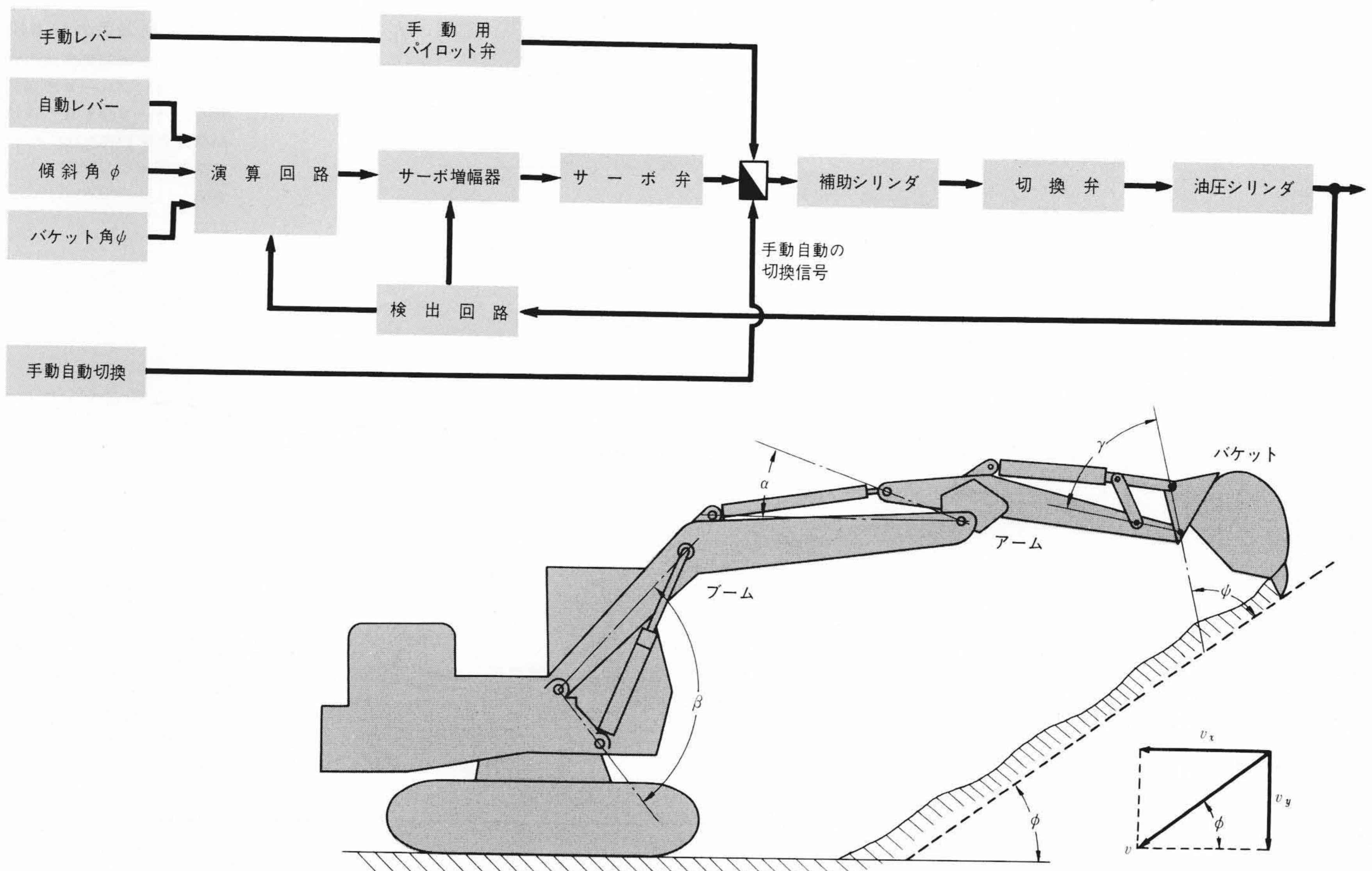


図5 演算式軌跡制御系の構成 制御はブーム、アーム及びバケットに対して行なわれ、自動操作と手動操作ができる。

おき、切り換えて使用する必要があり、バケットの制御も含めると極めて複雑となる欠点がある。

(5) 演算式

電子的に掘削軌跡を与えて、ブーム、アーム及びバケットの移動位置を計算によって求め、この値を指令値として駆動する方式である。この方式は軌跡を自由に選ぶことができ操作も容易で、最も使いやすい方式である。

3.2 演算式軌跡制御方式

ここでは、演算式軌跡制御方式の構成と、それを実際の油圧ショベルに適用した場合の掘削試験結果について述べる。

演算式軌跡制御系の構成を、図5に示す。まず、手動操作の場合には従来どおり手動のレバーによって、ブーム、アーム及びバケットはそれぞれ独立に操作できる。この場合は通常の油圧ショベルと同様、レバーの先に取り付けられた手動用パイロット弁により補助シリンダを介して主回路の切換弁を操作する。一方、自動操作の場合には、ダイヤルで設定した傾斜角の方向に、自動レバーの引き具合に比例した速度で、バケットの先端が移動するように構成されている。すなわち、演算回路では、目標傾斜角とレバーの引き具合に応じて、切削速度の水平成分 v_x と垂直成分 v_y とを算出し、これを実際のバケット位置を基準にして積分することにより、バケット刃先の進むべき位置を計算する。更に、その位置にバケットの先端を位置決めするとともに、バケット角 ψ を設定目標に保つために必要な各油圧シリンダの伸びを逐次計算する。この計算結果は油圧サーボ系の入力としてサーボ増幅器へ加えられ、サーボ弁、補助シリンダを介して切換弁を操作する。そして、油圧シリンダの伸びはサーボ増幅器へフィードバック

される。ただ実際にはシリンダの伸びの代わりに、角度 α 、 β 及び γ を利用している。

また、手動と自動との切り換えは、自動レバーの先端に設けられたスイッチにより行なわれる。しかも、自動掘削中に、油圧シリンダがストロークエンドに達して、それ以上掘削できなくなったときには自動的に自動から手動操作に切り換わるようになっている。

更に、自動運転中に手動レバーを操作すると、手動操作回路が優先するように構成されている。

次に、この油圧ショベルの油圧回路について説明する。油圧回路の特長の一つは、主切換弁として従来の切換弁をそのまま利用し、補助シリンダによってこれを自動操作することにより、油圧サーボ系にアンロード機能をもたせるとともに、従来機種の主回路を変更せず、自動操作系をアタッチメントとして追加できるようにしたことである。もう一つの特長は、安全性と操作性の点から常に手動回路が優先するようにした点である。

図6において、主切換弁に直結した補助シリンダは、自動操作の場合にはサーボ弁によって駆動され、手動操作の場合には手動用パイロット弁によって駆動される。すなわち、同図は自動運転の状態を示すもので、電磁弁切換信号はオンで、手動自動切換弁のパイロットはタンクに通じ、手動・自動切換弁はばねによって左へ押しつけられ、補助シリンダはサーボ弁回路に結合されている。ここで、電磁弁切換信号をオフにすると、パイロットポンプの油が電磁弁を経て、手動優先弁のボールを押し上げて、手動・自動切換弁を切り換え、補助シリンダを手動用パイロット弁の回路に結合する。

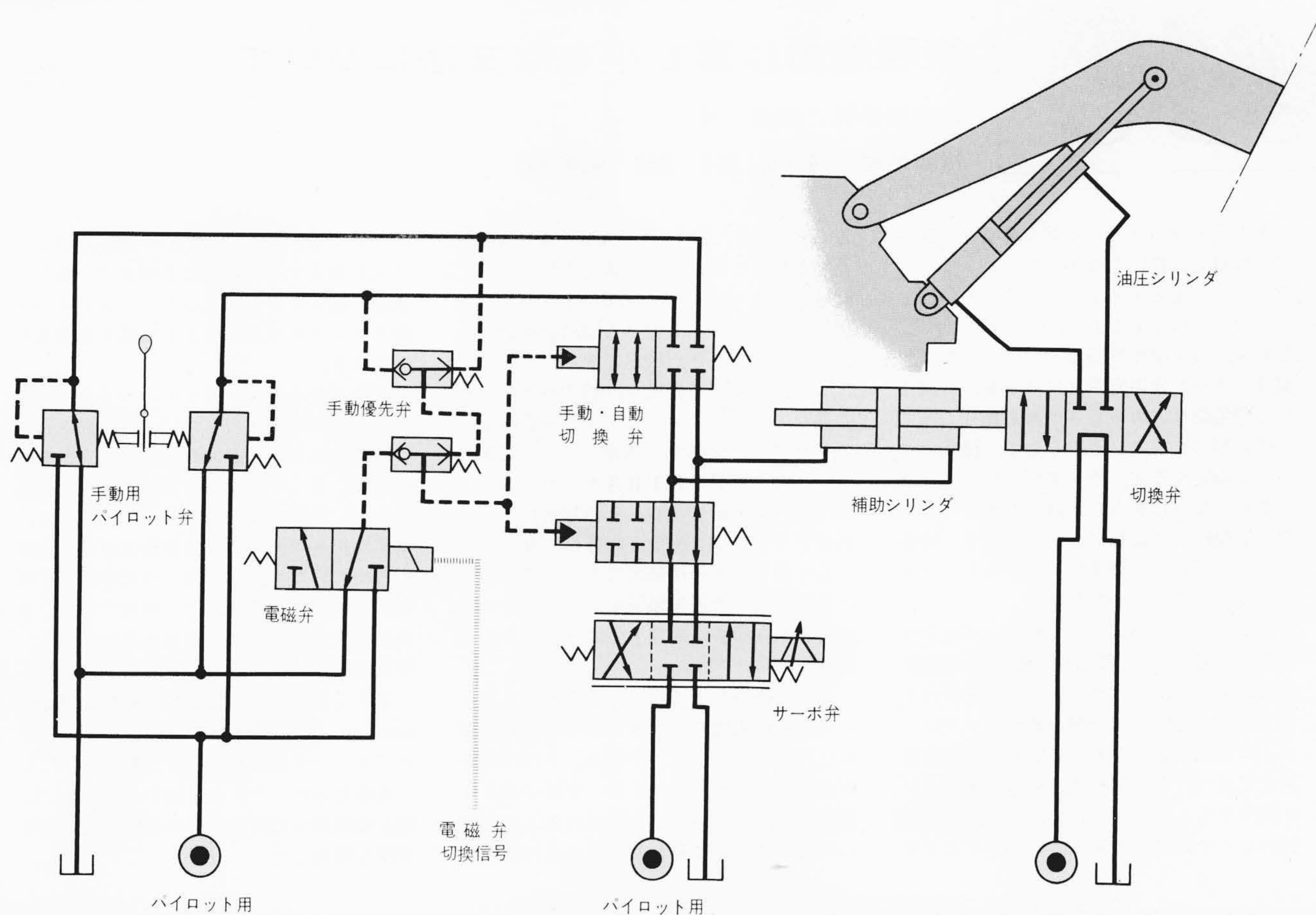


図6 油圧回路 手動優先弁によって、自動運転中でも手動操作が優先する。

次に、自動操作中に手動レバーを操作すると、手動パイロット弁が作動し、その出力側のいずれか一方の圧力が上昇する。この油圧回路では、いずれの圧力が上昇しても、手動優先弁によって手動・自動切換弁を手動の位置に切り換える。すなわち、この油圧回路では、どのような場合でも手動が優先するように構成されている。

本制御装置を 0.7 m^3 の油圧ショベルUH06に組み込んで、実際に掘削した場合の結果を、図7に示す。掘削面は滑らか



図7 掘削試験結果の一例 掘削面は滑らかで精度が良い。

で、かなりの精度であることが認められる。バケット先端にランプを付けてその軌跡を測定した結果では、直線からのずれは $\pm 3\text{ cm}$ 以内でショベルとしては精度的に十分であるといえる。

4 結 言

本稿は、建設機械のうちブルドーザと油圧ショベルについて、最近の自動化の方向と開発成果について紹介した。これ以外にも、無線ブルドーザ、水中ショベルなどがあるが紙面の都合で今回は割愛した。

今後、建設機械の分野でも自動化、省力化の傾向はますます強まると思われるし、電子計算機を使用した高級な制御も夢ではなくなりつつある。本稿が建設機械の自動化促進の一助となれば筆者らの幸いとするところである。

参考文献

- (1) E. O. Martinson "Electro-Hydraulic Servo Valve—Application in Construction Machinery", SAE Paper 670737 (1967)
- (2) Rathje "Der Grader mit automatisch gesteuerter Hauptschar", Strasse und Autobahn 21, 9, 358 (1970)
- (3) 松崎, 河内「ブルドーザ排土板のオンオフ制御」機械学会講演論文集 730-3, 51 (1973-4)
- (4) 松崎, 河内「ブルドーザ排土板のならい式レベル制御」機械学会講演論文集 730-14, 223 (1973-10)
- (5) 松崎, 河内「ブルドーザ排土板のレベル制御」機械学会関西支部第49期定時総会講演会講演論文集 (1974-3)
- (6) 平野「水陸両用油圧ショベルにおける自動化」建設機械 89, 32 (1972-10)

論文抄録

表現能力に富む小さな文法について

日立製作所 渡辺 坦

情報処理 14-4, 260~266 (昭48-4)

現在広く使われているFORTRANやCOBOL, PL/Iなどのプログラミング言語では、使えるステートメントの種類とその中に並べる単語までが固定されている。しかし、日本語や英語など人間の言葉では構文パターンは固定されているが、外来語や専門用語などの新しい用語を採り入れてゆける形になっている。そこで、構文パターンは固定するが、使う用語については余り制限しない行き方を検討したところ、非常に表現能力に富むにもかかわらず、対応するコンパイラが簡単なプログラミング言語を構成することができた。

構文パターンを定めるために、プログラムを、「定数」と「変数」、計算値や処理操作を表わす「関数」、式やデータの列を表わす「リスト」、処理操作の列を表わす「ブロック」の5種類の表現形式で構成する構文規則を定めた。その規則は、全体を1ページに図示できる単純なものであるが、その規則のもとで単語や記号の使い方をくふうす

ることにより、FORTRANやALGOL及びPL/Iに似た表現を構成できた。また、既存のプログラミング言語にとらわれなければ、これらよりも更に人間の言葉に近い表現をとれることが例示できた。

これらの多様な表現も、構文パターンが共通なので、プログラムを定数や名前などのシラブルに分割する部分を除くと、300ステップ余りのFORTRANプログラムですべて構文解析できる。その解析は、関数名やかっこ、コンマなどの各に、先行要素として扱うときと後続要素として扱うときに分けて別々の優先順位をつけ、順位の高い要素から順番に処理することにより実現できる。

この文法のもとで新しい表現を導入するには、その表現における単語や記号の配列の仕方を示す見出しの1行と、その表わす意味内容を他の表現を使って言い換える部分を書けばよい。その形式自体も、上記の構文パターンに合わせて書けるので、他

のプログラミング言語においてサブプログラムを導入するのと同じ手軽さで、新しい表現を導入できる。従って、コンパイラを修正することなく、使える表現を多様化してゆける。

プログラムの生産性や使いやすさを著しく向上させる方法の一つに、問題向き言語の開発がある。本論文の構文パターンの範囲内で、多くの問題向き言語の表現を構成できる。従来の問題向き言語の開発では、構文解析ルーチンの開発が全体の30%前後を占めていたが、本論文の方式を採用すれば、その部分の開発労力を無視できる。また、機能拡充に応じて表現を追加しても、構文解析ルーチンを修正する必要がない。

この文法を採用したEXTRAN (Expression Translator) と名づける汎用プログラミング言語を開発し、それを核にして意味記述ルーチンを追加することにより、統計処理用や設計計算用の各種の問題向き言語を開発した。