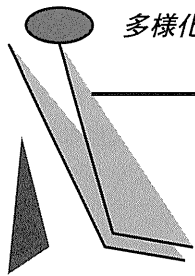


多様化するニーズに対応する建設機械とアタッチメント



油圧ショベルのワンレバー式 操縦システムの開発

江川 栄治・生田 正治・小関 光弘

油圧ショベルのフロント操作にマスタスレーブ方式を採用することで、片手で操作するだけの簡単な操作を実現するワンレバー式操縦システムを開発した。本システムの構成によると、指令入力部とモータ駆動による姿勢フィードバック部が独立した設計が行え、特に指令入力部はジョイスティックと同様な構成にできるので、メカニカルで良好な操作フィーリングが実現できる。また、今回は作業性を良くするために、マスタスレーブを完全な相似形にすることにこだわらず、マスタ側の操作範囲の適正化を図った。

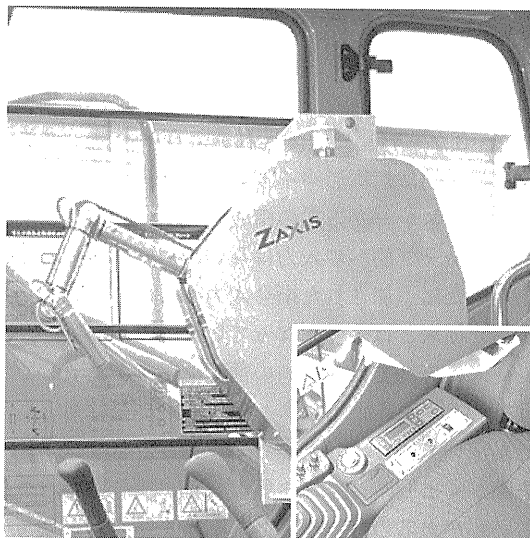
キーワード：油圧ショベル、マスタスレーブ、バイラテラル、相似形、対称形

1. はじめに

建設作業現場では作業員の高齢化が進むことで建設機械の熟練オペレータが不足してきており、今より一層、誰でも簡単に操作できる操縦システムが望まれている。また、油圧ショベルの利便性・汎用性により、従来の掘削作業に限らずハンドリング作業や災害復旧作業にも用いられるケースが増加してきており、その作業特性に合った操縦システムが必要とされている。

そこで今回、油圧ショベルのフロント操作にマスタスレーブ (master slave) 方式を採用することで、従来の2本レバーに代わり、1本のレバーを片手で操作するだけで簡単な操作を実現するワンレバー式操縦システムを開発した。

操作装置本体は運転室内の右側に設置され、オペレータが動かしやすい範囲に操作グリップが配置されるようになっている (写真—1 参照)。また、操作パネルはその下のコンソール内に収められ、手元で駆動電源のオンオフを行ったり、操作入力の状態をLED表示で確認できるようになっている。なお、本システムでは必要に応じて、操



写真—1 操作装置

作パネルのスイッチを切換えることで従来の2本レバー操作も可能となっている。

2. 基本機能の説明

(1) 操作方法

オペレータはレバー先端のグリップを作業した

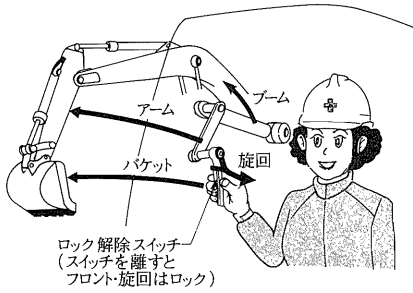


図-1 操作方法

い方向に動かすだけで良いが、実際にはレバーのリンク機構により、操作指令は油圧ショベルのブーム、アーム、バケット、旋回の各々に相当する関節角指令に分解されて各々の流量指令として入力される(図-1参照)。

また、実際に油圧ショベルが動いて姿勢が変化しても、それに応じてレバーの姿勢も同様に変化するように構成されているため、オペレータは油圧ショベルの姿勢に関わらず、バケットを動かしたい方向にレバー操作するだけで作業が行える。

(2) 制御方法

単純化した制御システムの構成図(図-2参照)に基づき説明する。

図-3から容易に推測されるように、本システムは基本的に対称形バイラテラルサーボ系を用いたマスタスレーブ方式の構成となっている。ただし、スレーブ側への入力はい互いの角度偏差ではなく、新たに追加された指令入力部により行うという点で従来とは多少異なっている。

従来の方では、互いの角度偏差をモータの駆動指令とするとともにスレーブ側の駆動指令としても用いていた。したがって、モータはマスタ側を動かすと同時にマスタ側の操作により動かされる必要があるため、高精度なトルク制御が必要で

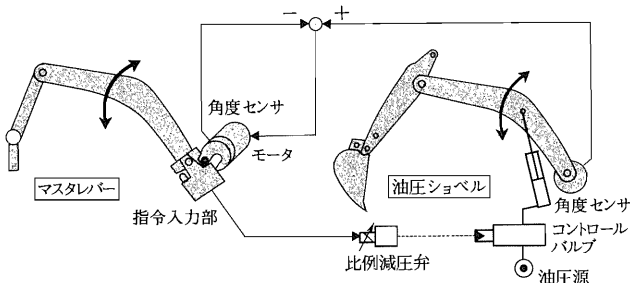


図-2 制御システムの構成

あった。また、マスタ各関節の中立復帰力もモータのトルク制御によって与えられていたため、応答遅れが生じたり、実用上は不可欠な中立保持力の設定が困難であった。したがって、過酷な条件下にて繊細な操作性が要求される油圧ショベルの操縦システムには不向きと思われる。

本システムの構成によると、指令入力部とモータサーボ系によるスレーブ側の姿勢フィードバック部の独立した設計が行える。指令入力部に関しては、オペレータの操作フィーリングを良くするために、一般のジョイスティックと同様にばねや摺動部材を用いることができるので、中立復帰力や中立保持力、最大指令位置の設定がメカニカルに容易に行える。姿勢フィードバック部に関しては、単に位置フィードバック制御を行えば良いので、大減速比のギヤと小型モータを用いることができ、省電力化やコンパクト化が図れる。

ただし、旋回に関しては、モータを用いた姿勢フィードバック部はなく、指令入力部のみの構成としている。これは、油圧ショベルの特性上、マスタレバーを操作するオペレータ自らがスレーブ側と一緒に旋回することを考えれば妥当な選択であろう。

(3) 作業負荷に対する操作反力

ここで、バイラテラルサーボ系の特徴である、負荷反力の検知に関して説明する。

本システムでは、負荷検出のために特別なセンサを用いない対称形バイラテラルサーボ系を基本的に採用している。したがって、マスタレバーの操作で負荷反力を検知するには、油圧ショベルの動作が負荷により変化して、マスタレバーの姿勢に影響を与える必要がある。

今回、本システムを搭載した油圧ショベル Zaxis 110 (車重約 11 t, 写真-2 参照) では、操作性の優れたオープンセンタ方式の油圧システムを採用しており、作業負荷が大きくなると動作速度が減少し、また動き始めるのに必要な操作量が変化するので、原理的には負荷反力が検知できることになる。しかし、操作性を良くするために指令入力部の中立復帰力を小さく設定しているので、その負荷変動に対して手元を感じる



写真—2 油圧ショベル (Zaxis 110) に搭載

反力は微小なものとなる。実際、よほど硬い障害物に当たった場合に、手元にわずかに感じられる程度である。

3. 操作装置の構成

(1) メカニカルな構成

オペレータはバケットを動かしたい方向にグリップを操作するだけで良いが、実際にはグリップの移動量がリンク動作とチェーン駆動により各関節の回転となって操作装置の本体側へ伝達され、最後には各々の指令入力部へと伝達されるように構成されている(図—3参照)。

ただし、実際には本体側へ伝達された各回転角は各レバー回転量の合成となるため、このままで

は関節ごとに独立した制御系が構成できない。したがって、この合成された各回転角を再びレバー各関節の回転量に分解するために今回は差動機構1を用いた。

また、バイラテラルサーボ系を採用しているので、このマスタ側の回転量を指令入力部に伝達するとともに、スレーブ側の姿勢をマスタ側にフィードバックする必要がある。よって、これら入力合成を行うために差動機構2を用いた。

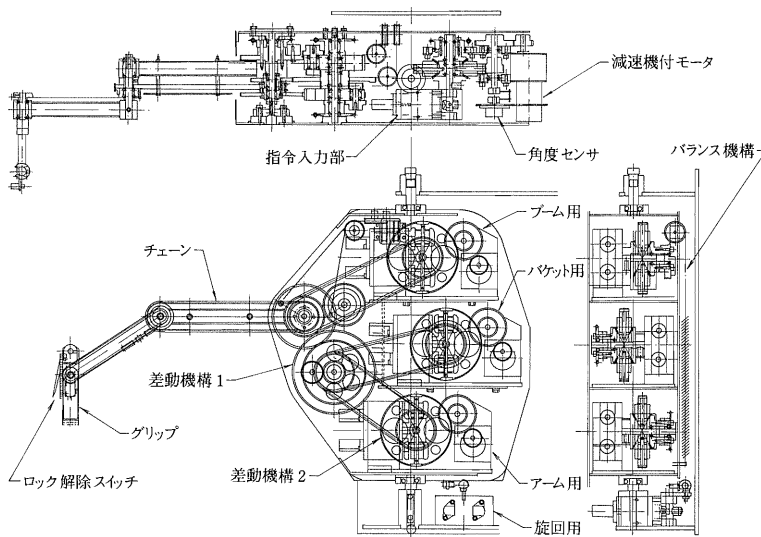
さらに、マスタ側には、手を離れた場合でもレバー姿勢が保持されるように、自重のバランス機構が必要となる。このとき、ウエイト式では重量や設置スペースが大きくなるので、今回はばねの張力で釣り合うように設計した。

(2) 操作性の検討

マスタスレーブを構成する場合、マスタ側をスレーブ側と相似形にすると見た目も単純で分かりやすい。しかし、今回のようにスレーブ側が人間の腕をモデルとしたものでなく、従来からの油圧ショベルを対象とした場合、油圧ショベルは姿勢変化が大きく、また従来からの2本レバー向けに調整されているため、相似形ではかえって操作し難いものになってしまう。したがって、見た目の相似形にこだわるよりも、実際にイメージ通りの操作が広範囲で行えるようにすることを主目的として、試行錯誤の結果、マスタ側の作業範囲とリンク比を決定した。

はじめに、作業範囲に関して説明する。油圧ショベルの作業装置であるバケットの可動範囲は最大400°以上となる。したがって、マスタ側を完全な相似形とした場合には、グリップの可動範囲も400°以上必要となるため、人間の手で直接操作するのが大変困難な操縦システムになってしまう。

よって、グリップ姿勢を操作しやすい範囲に保ちつつ、マスタスレーブとしてのダイレクト感を失わないように、



図—3 操作装置の構成

各角度のフィードバック比を設定した。これにより、グリップの可動範囲は人間の手で操作しやすい範囲に収めることができた。

次にリンク比に関して説明する。多くの油圧ショベルでは作業性を良くするために、ブーム、アームの操作レバーを同程度に動かしたときに、バケット先端の水平引きが行えるように調整されている。

マスタ側を相似形とした場合、リンク構造により、グリップを手前に引くとアームに比べてブームに対するリンクの回動角が小さくなるので、ブーム流量が不足し、先端軌跡は下方にずれることになる。これを防ぐために、単純にブームの流量指令ゲインを大きくすると、今度はレバー操作が敏感になりすぎて、ブームの単独操作がやり難いものになってしまう。よって、今回はブーム、アームの互いの流量バランスを考慮して、マスタのリンク比を設定した。

このように、マスタ側を相似形から大きく変更した場合、姿勢によってはスレーブ側との一体感が低下することが懸念される。しかし、実際に操作してみると違和感はほとんど受けなかった。グリップの操作方向と作業装置の動作方向が概ね合っていれば、後は視覚情報によりオペレータが自然と補正するようである。

4. おわりに

今回紹介したワンレバー式操縦システムを用いれば、誰でも意のままに油圧ショベルの操作が行えるようになる。したがって、今まで熟練が必要とされていた掘削作業や解体作業などの現場において、新たな層のオペレータが生まれる可能性がある。

また、単純にグリップの操作方向が作業装置の移動方向に対応しており、油圧ショベルの姿勢を気にせずに操作が行えるので、限られた周囲の情報の中で作業を行わなければならない遠隔操作等に対しても効果を発揮する。

実際、昨年(平成)13年9月に開催された CONET 2001 に本システムを油圧ショベルシミュレータとともに当社ブース内に出展する機会

に恵まれ、4日間で延べ500人以上の老若男女の方々に体験して頂いた(写真-3参照)。



写真-3 CONET 2001 に出展

体験者の中には建設機械に触れたこともないような人も多かったが、たとえ幼い子供でも見よう見まねで何とか操作できていたのには、スタッフもあらためて驚かされた。

本システムが直感的に操作できるため、はじめの方にも受け入れられやすいことが再認識された。

J C M A

【筆者紹介】

江川 栄治(えがわ えいじ)
日立建機株式会社
技術開発センタ
研究員



生田 正治(いくた まさはる)
日立建機株式会社
関東支社
応用開発 G
部長



小関 光弘(こせき みつひろ)
株式会社コセキ
代表取締役

