

4脚クローラ式不整地移動機構の開発

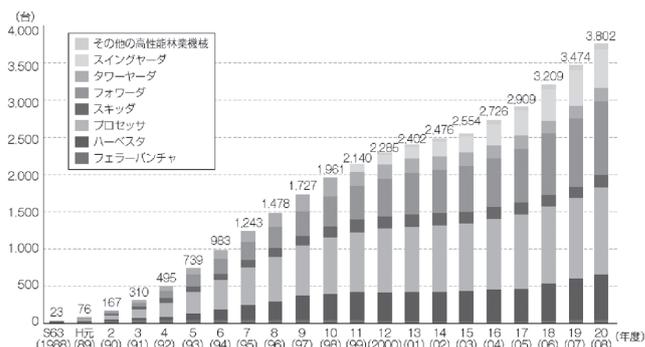
石井 啓 範

掘削機械として開発されてきた油圧ショベルをベースとして、解体作業や林業等を対象とした特殊な作業機械が開発されてきている。今後、作業機械の活動範囲をさらに広げることを想定した場合、既存の足回り（2クローラ）では対応が困難な凹凸がある不整地路面への対応が求められる。そこで作業機械のさらなる適用範囲拡大を目指し、不整地対応をターゲットとした新しい移動機構を開発した。本機は4本の脚の先に4台のクローラを設けた4脚クローラ機構を採用しており、以下の特徴を有する。1) 4脚が独立に上下・左右に可動（前後左右20度斜面に対し姿勢水平可能）。2) クローラユニットが受動的に揺動し、路面への接地性を向上。3) 上部旋回体の姿勢水平制御機能。

キーワード：不整地，移動機構，脚クローラ，林業，災害復旧，姿勢制御

1. はじめに

掘削機械として開発されてきた油圧ショベルをベースとして、ビル等の各種解体や、産業廃棄物処理などの様々な作業に対応した特殊な作業機械が開発されてきている。さらに近年、林業分野において、倒木・造材・集材作業用に専用アタッチメントを搭載した“高性能林業機械”の普及が進んでいる（写真—1）。図—1は高性能林業機械の稼働台数を表すグラフであり、1990年代からその稼働台数が着実に増加していることがわかる。これらの林業機械は山岳部での作業となるため、今後、林業機械の活動範囲をさらに広げることを想定した場合、凹凸がある不整地路面への対応が求められると考えられる。しかし、既存の油圧ショベルの足回り（固定2クローラ）では不整地への対応に限界がある。また林業以外で、例えば、地震等の災



図—1 高性能林業機械の稼働数

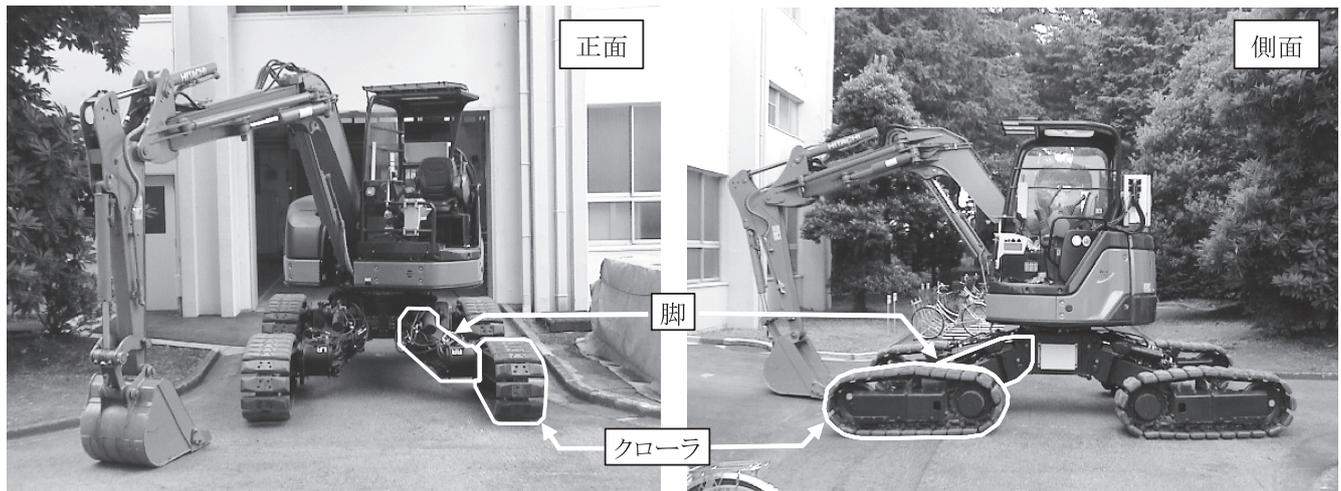
害復旧作業においても、不整地路面への対応能力が求められる。そこで作業機械の適用範囲のさらなる拡大を目指し、不整地対応をターゲットとした新しい移動機構を開発することとした。

2. 4脚クローラ式不整地移動機構

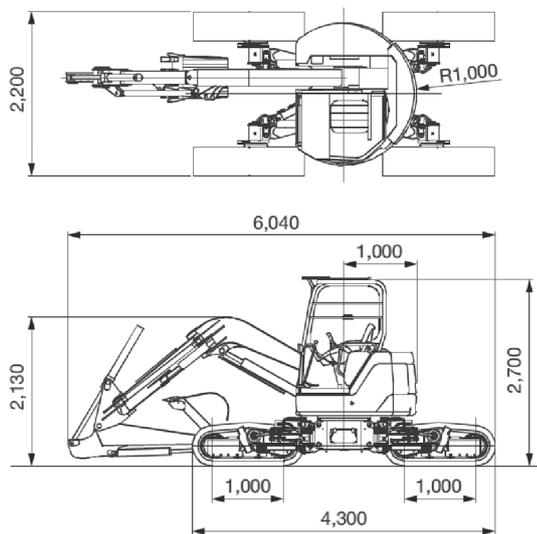
不整地に対応した移動機構として、様々な方式が考えられた。そこで、各種方式を不整地移動に要求される項目を用いて比較評価を実施した。その結果、移動機構として4脚クローラ方式を採用し、新しい不整地対応移動機構を開発した。開発した4脚クローラ式不整地移動機構の外観写真を写真—2に、外形寸法図を図—2に、作業範囲図を図—3に、移動機構部の構造図を図—4に、仕様を表—1にそれぞれ示す。以下、移動機構の詳細について述べる。



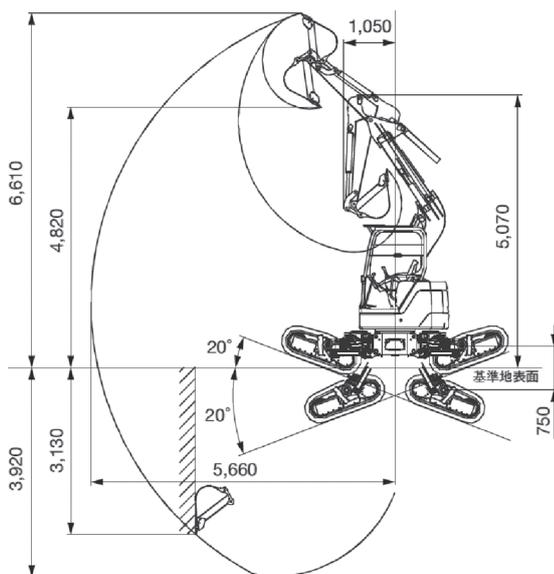
写真—1 高性能林業機械（プロセッサ）



写真一 2 4脚クローラ移動機構外観写真



図一 2 外形寸法図



図一 3 作業範囲図

表一 1 仕様表

機械質量	kg	6,500
機体質量	kg	5,000
標準バケット容量	m ³	0.22 (旧 JIS 表示 0.2)
標準バケット幅	mm	700
旋回速度	min ⁻¹ (rpm)	9.3
走行速度	km/h	3.5/2.1
登坂能力	度 (%)	30 (58)
最大掘削力	kN (kgf)	41.2 (4,200)
エンジン		
型式	クボタ V2403-DI-K2A	
形式	水冷 4 気筒直噴式	
定格出力	kW/min ⁻¹ (PS/rpm)	33.1/2,400 (45/2,400)
油圧装置		
油圧ポンプ形式	可変容量型斜板式 × 1, 歯車式 × 1 (操作用)	
主リリーフ圧	MPa (kgf/cm ²)	24.5 (250)
旋回油圧モータ形式	定容量形斜板式 × 1	
走行油圧モータ形式	可変容量形斜板式 × 4	
フロント		
側溝堀形式	平行リンク式	
最大オフセット量	mm	左 740 右 920
足回り		
シュー形式	パットクローラ	
標準シュー幅	mm	400
接地圧	kPa (kgf/cm ²)	37 (0.38)
最大脚移動量	mm	750
姿勢水平最大傾斜	(前後) deg	20
	(左右) deg	20
油類の容量		
燃料タンク	L	70
作動油タンク	L	77 (基準レベル 59)

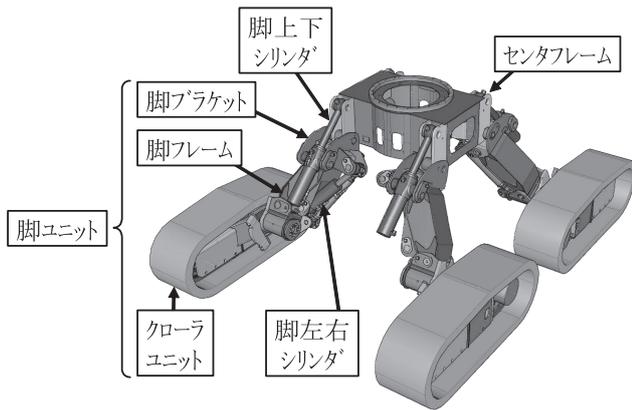


図-4 移動機構構成図

(1) 脚クローラ機構

移動機構のセンタフレームには、前後左右端部にそれぞれ脚ユニットが設けてある。脚ユニットとは、脚根元ブラケットから先端のクローラユニットまでの部位の総称であり、大別して、脚根元ブラケット、脚フレーム、クローラユニットから構成されている。脚ユニットは、センタフレームに対し上下揺動自在に設けられており、脚ユニットとセンタフレームを繋ぐ脚上下シリンダによって駆動する。各脚ユニットを上下に揺動することにより、上部旋回体の姿勢を変化させることが可能となる。脚上下ユニットの可動角は60 [deg] であり、最大脚上げ高さは750 [mm]、前後左右約20 [deg] の傾斜地においても上部旋回体を水平に保つことができる。また、脚上下シリンダにはトラニオンシリンダを採用し、脚上下シリンダをセンタフレームの上ではなく、脚ユニットの上に配置している。こうすることで、センタフレームの大型化を回避し、移動機構の全高を低く抑えている。

脚フレームは脚根元ブラケットを中心に左右揺動自在に設けられており、脚根元ブラケットと脚フレームを繋ぐ脚左右シリンダによって駆動する。ここで、前左右脚を左(右)側に、後左右脚を同じく左(右)側に駆動することによって、本移動機構を中折れ型のステアリング姿勢とし、旋回動作を行うことができる(図-5a)。本姿勢による旋回動作では、通常の2クローラが行う左右クローラの速度差による(超)信地旋回のようにクローラを横方向に滑らせることが無い

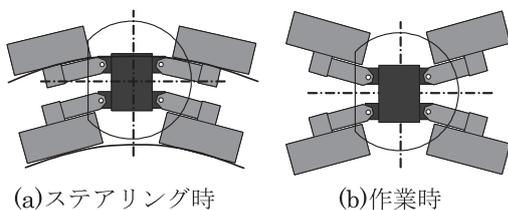


図-5 脚姿勢

め、路面に与えるダメージを軽減することが可能となる。また、前後右脚を右側に、前後左脚を左側に駆動することによって、作業姿勢とすることができる(図-5b)。本姿勢では、クローラを左右外側に張り出すことによって、特に横方向の支持多角形を拡大することが可能となり、作業時の安定性の向上を図ることができる。

脚フレームの先端には、クローラユニットが設けてある。クローラユニットは脚フレームに対し受動的に揺動する構造となっており、クローラユニット揺動により不整地へのぬい動作を実現している。

最後に自由度について述べる(図-6)。本移動機構は各脚ユニットが上下左右の能動2自由度脚(J1, J2)を有し、各クローラユニットが脚フレームに対する受動1自由度(J3)と、走行用の自由度(J4)を有している。したがって、1脚当たり能動3自由度、受動1自由度となり、移動機構全体で能動12自由度、受動4自由度の構成となっている。

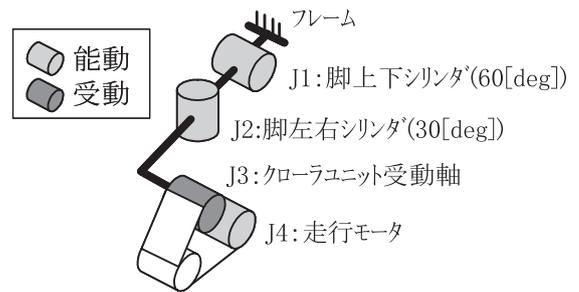


図-6 自由度配置図

(2) 全体システム

次に本機のシステム関係について説明する。図-7に本機システムの概略図を示す。

はじめに移動機構用コントロールバルブから移動機構アクチュエータに繋がる駆動油圧管路について述べる。通常の油圧ショベルの場合、上部旋回体にコントロールバルブを設け、センタジョイントを通じて移動機構のアクチュエータに繋がる構成となっており、セ

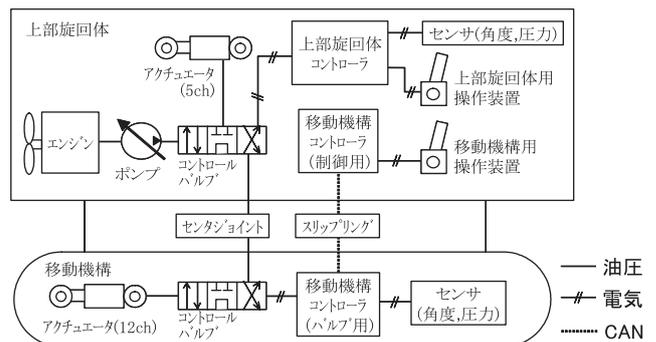


図-7 システム概略図

ンタジョイントはアクチュエータ数×2のポート数を有している。移動機構のアクチュエータとして、走行モータを2台有するタイプが一般的であり、センタジョイントを通過する管路数は、 $2 \times 2 = 4$ ポートとなる。ここで、今回開発した4脚クローラ式移動機構について考えると、2.(1)で述べたように、移動機構に12個のアクチュエータを有している。これらのアクチュエータの駆動油圧管路を、通常の油圧シヨベルと同様にセンタジョイントを介して接続することを想定した場合、 $12 \times 2 = 24$ のポートを有する巨大なセンタジョイントが必要となり、現実的ではない。そこで、本機では移動機構用のコントロールバルブ自体を移動機構側に設置する構成とした。これにより、ポンプからのメイン管路、パイロット管路、タンク管路、ドレン管路の4管路のみをセンタジョイントを介して下部コントロールバルブに接続するだけで済み、センタジョイントの大きさを通常の油圧シヨベルと同等に抑えることができた。

次に本実験機のシステム全体について述べる。本機の油圧システムはロードセンシングシステムを採用している。原動機（ディーゼルエンジン）によって駆動される油圧ポンプは上部旋回体用コントロールバルブに接続され、上部旋回体用コントロールバルブには上部旋回体用のアクチュエータが接続されている。さらに、上部旋回体用コントロールバルブの出力ポートの一部が、センタジョイントを経由して移動機構用コントロールバルブに接続されている。さらに、移動機構用コントロールバルブの各セクションが移動機構用の各アクチュエータに接続されている。

また、移動機構用コントロールバルブはソレノイドによる電磁駆動方式を採用しており、この電磁弁を駆動するためのバルブ用コントローラもまた、移動機構に設けてある。本コントローラは上部旋回体からスリップリングを経由して給電されている。また、上部旋回体に移動機構の制御用コントローラを配置しており、上下のコントローラはスリップリングを介してCAN (Controller Area Network) で接続されている。上部コントローラには上部旋回体の運転席に設けてある操作装置が接続されており、操作装置からの信号を基に上部コントローラが演算した移動機構各アクチュエータの駆動信号は、CANを経由して下部コントローラに伝達される。また、下部移動機構の姿勢角や負荷圧を計測するセンサは下部コントローラに接続されており、これらのセンサ情報はCANを経由して上部コントローラに伝達される。

(3) 操作装置

2.(2)で述べたように、移動機構の操作装置は上部旋回体に配置された制御用コントローラに接続されている。操作装置本体は、上部旋回体の運転席内の前方部中央付近に配置している(図-8)。操作装置の中央に走行指示用のメインレバーを配置している。本レバーは前後・左右・回転の3自由度に加えて、アナログ指令が可能なシーソー型ポテンシヨを2つ備えている。また、メインレバーの左右に4つのサブレバーを配置している。このサブレバーは各脚ユニットを個別にマニュアル操作を行う時に使用するもので、それぞれが前後・左右・回転の3自由度を有している。またこれら4つのサブレバーの配置は、正面を向いた状態での実験機の脚の配置に対応している。サブレバーの前後を脚の上下、左右を脚の左右方向の自由度に割り当てている。

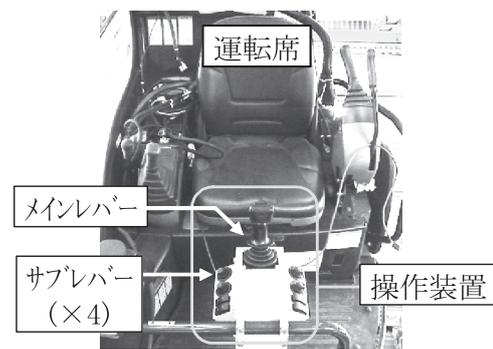


図-8 操作装置

本移動機構の操作方式は、フロントとの複合動作による瓦礫の乗越え動作等を考慮し、1本のレバーにより指示する方法としている(図-9)。3自由度のジョイスティックの前後自由度によってクローラの前後進速度を指令し、左右自由度によって脚左右シリンダのステアリング角を指し、さらに、ジョイスティック自体の回転自由度によって、左右のクローラに対し逆方向の速度指令を与える構成としている。

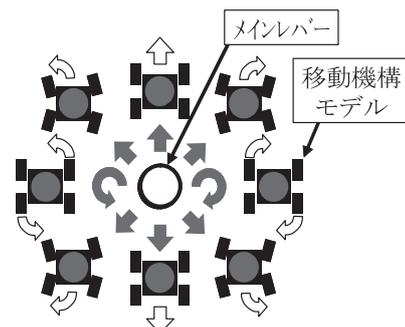


図-9 操作方式



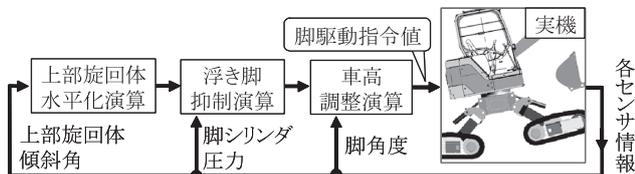
写真一 3 姿勢水平制御実験

3. 姿勢水平制御

本機は不整地における作業を想定している。通常の油圧ショベルの場合、傾斜地等で作業を行う際に、上回りが傾斜した姿勢で作業せざるを得ず、作業性や安全性の低下に繋がっていた。そこで本機は、作業性の向上を目的として、上回りの姿勢を自動的に水平に保つ“姿勢水平制御機能”を有している。

(1) 姿勢水平制御の構成

本制御の主要な構成を図一 10 のブロック線図に示す。



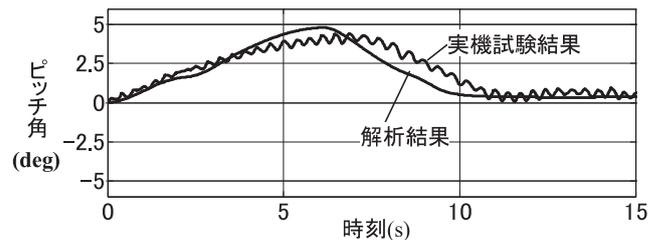
図一 10 姿勢水平制御ブロック線図

まず上部旋回体水平化演算部にて、上部旋回体の傾斜角から上部旋回体を水平化するための各脚への駆動指令値を演算する。次に浮き脚抑制演算部にて、脚上下シリンダの圧力から判別した接地力が弱い脚について、脚駆動指令値を調整する。さらに、車高調整制御部にて、車高を不必要に変化させないように、駆動する脚の優先順位を設け脚指令値を調整する。

(2) 実機実験

制御手法の実証実験として、上部旋回体の姿勢水平制御を実機実装し、17deg 斜面の登坂実験を行った。

この時の機体の様子を写真一 3 に、上部傾斜角度の推移を図一 11 に示す。これらの図から、上部傾斜角



図一 11 姿勢水平制御実験結果

に応じて脚を駆動させ、上部傾斜角を不感帯の 1deg まで水平化していることがわかり、本制御方法の有効性を確認した。

4. おわりに

本報告では、林業等、不整地における作業を対象として開発した 4 脚クローラ式不整地移動機構および、考案した上部旋回体姿勢水平制御方式について述べた。

今後は実用化に向けて、実現場でのフィールドテスト等を行っていくのと同時に、本機の開発を通して得られた技術を他の作業機械に展開し、将来の製品開発に結び付けていく予定である。

JICMA

《参考文献》

- 1) 林野庁, 平成 21 年度森林・林業白書, (社)全国林業改良普及協会, P16, 2010

【筆者紹介】

石井 啓範 (いしい あきのり)
日立建機(株)
技術開発センター
主任研究員

