

2つのフロントを有する双腕作業機の開発

—速度指令式ワンレバー方式で制御—

石井 啓 範

各種解体、災害復旧、産業廃棄物処理など、複雑な作業が要求される分野において、油圧ショベルをベースとした多くの作業機械が重用されており、今後さらなる複雑作業への対応が求められるものと考えられる。そこで、より複雑なハンドリング作業の実現を目指して2つのフロントを有する双腕作業機を開発した。本機は油圧ショベル ZX 70 をベースとして、右腕にミニショベル ZX 35 U 木造家屋解体機のフロントを、左腕にミニショベル ZX 50 U のフロントを装備している。油圧システムは2ポンプ独立型ロードセンシングシステムを採用し、操作方式は、1つの操作装置で1つのフロント操作が可能な、速度指令式ワンレバー方式を採用している。本機を用いて、「一方の腕で鋼管を把持し、他方で切断する」「長物（トタン）を折り曲げる」といった複雑な作業を実現できた。今後は、家屋・自動車解体、災害復旧・救助、産業廃棄物処理など様々な分野への適用を図っていく予定である。

キーワード：双腕作業機、油圧ショベル、ミニショベル、油圧システム、ロードセンシングシステム、速度指令式ワンレバー方式、ワンレバー、解体、災害復旧、産業廃棄物処理

1. 緒 言

近年、地球温暖化、資源枯渇など地球環境問題のクローズアップとともに循環型社会の構築が求められるようになってきており、各産業分野において、リサイクルに関する各種法整備がなされている。

こうした流れを受け、元々は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、これまで、各種解体や産業廃棄物処理などの複雑作業に対応した様々な作業機械が開発されてきた。今後は、さらなる複雑作業への対応が求められるものと考えられる。

また、地震等の災害においても、油圧ショベルベースの作業機械が活躍しており、こうした分野でもより複雑な作業が可能な作業機械に対する要望は大きいものと考えられる。

ここで、力と複雑さを軸にとって、作業機械の適用範囲について考えてみる（図-1）。

図-1より、単純で軽負荷な作業では、人間が片腕、もしくは両腕を1つの腕のように用いて対応している。作業内容が複雑になった場合の人間の対応を見てみると、人間は2つの腕を協調させることによって、複雑な作業に対応していることがわかる。

一方、作業負荷をより増大させた延長に作業機械があると考えると、作業内容に応じて、フロントに特殊

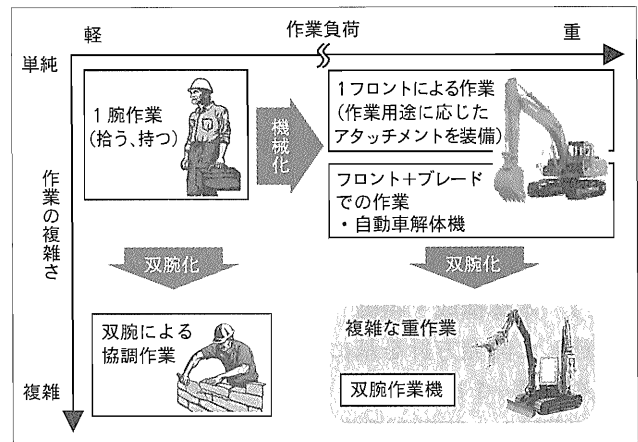


図-1 作業機械の適用範囲

なアタッチメントを装備した作業機械が多種多様な産業分野で重用されている。さらに近年では、自動車解体機のように、フロントに加えて足回りのブレード部分の自由度を利用して、より複雑な作業への対応を図った作業機械も生まれてきている。

ここで、さらなる複雑作業への対応を視野に入れた場合に、人間と同様に2つのフロントを有することがひとつの解決方法ではないかと考えるに至り、日立建機株式会社（以下、当社）は2つのフロントを有する双腕作業機を開発したので、以下に紹介する。

2. 双腕作業機の概要

(1) 開発方針

ここで、世の中に存在する双腕作業機あるいは双腕ロボットについて見てみると、いずれも人間の腕の構成を模擬する人間側からのアプローチがとられており、このことが様々な問題を発生させ、これらの作業機がまだ実用性に欠ける根本原因であると考えた。

そこで今回開発する双腕作業機は、「作業機械として実績のある油圧ショベルの機能を拡張する」という基本コンセプトに基づき、以下の開発方針に沿って開発を行った。

- ① 人間から発想した双腕作業機では、例えばフロント自由度が人間並みに6~7と多自由度であり、操作性の悪化や作業能力の低下、構造の脆弱化等の問題を引起す大きな要因になっていた。そこで、本機では作業に必要な最低限のフロント自由度とする。
- ② 2つあるフロントを同時に動作させることができないければ、この作業機械の利点を生かすことができない。したがって、2つのフロントの同時操作が可能なシステムとする。
- ③ 解体等の実作業で長時間利用することを想定し、操作性や疲労軽減に主眼を置いた操作方式とする。
- ④ 実験機を製作するにあたり対象とする作業は、機械の大きさや双腕作業機の有用性等を考慮し、家屋解体とする。

(2) 本体構成・特徴

前述した開発方針を基に開発した双腕作業機の全体構造を写真-1に示す。

今回開発した双腕作業機の主な特徴を以下に述べる。

- ① 本体は当社の油圧ショベル ZX 70 をベースとしている。
- ② フロントは、右腕は高所作業とハンドリング等の軽負荷を主目的としてミニショベル ZX 35 U 木造家屋解体機を、左腕はブレーカやカッタ作業等の重作業を対象してミニショベル ZX 50 U のフロントを装備している。
- ③ 油圧システムは、1つのポンプで多数のアクチュエータに対応可能で、またアーム先端のベクトル制御にも適しているロードセンシングシステムを採用している。
- ④ 操作方式は、1つの操作装置で1つのフロント操作が可能で、しかも長時間作業時にも疲労が少ない速度指令式ワンレバー操作方式を採用している。

表-1 に、本機の仕様を示す。

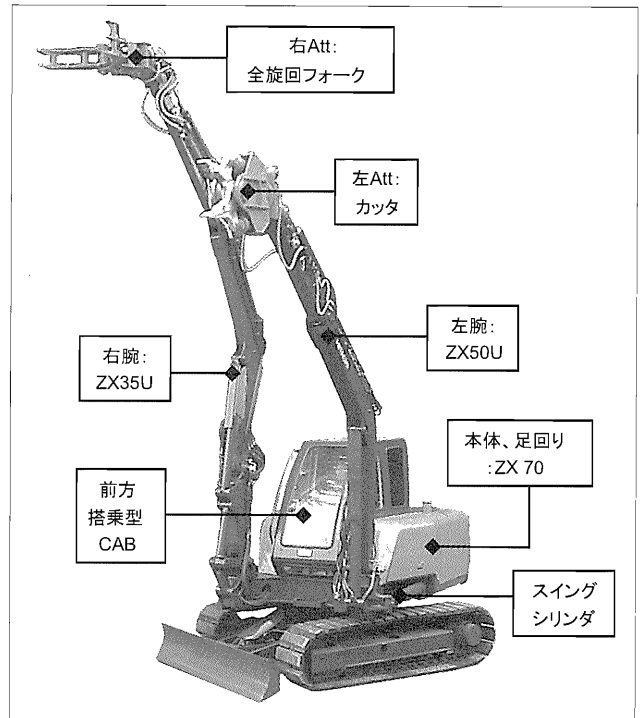


写真-1 双腕作業機

表-1 双腕作業機仕様表

		双腕作業機 (Att 仕様)	
		左腕	右腕
仕 様	運転質量 (kg)	8,710	
	機体質量 (kg)	6,880	
	標準シュー幅 (mm)	450 バットクローラ (分割式)	
性 能	接地圧 (kPa (kgf/cm ²))	40 (0.41)	
	走行速度 (高/低) (km/h)	5.0/3.4	
エンジン	名 称	いすゞ CC-4 JG 1	
	定格出力 (kW/min ⁻¹ (PS/rpm))	40.5/2,100 (55/2,100)	
	総行程容量 (総排気量) L (cc)	3,059 (3,059)	
油圧装置	油圧ポンプ形式	可変容量型ピストン式×2 歯車式×1	
	主リリーフ弁セット圧 (MPa (kgf/cm ²))	24.5 (250)	
	旋回油圧モータ形式	定容量型ピストン式×1	
	走行油圧モータ形式	可変容量型ピストン式×2	
フロント	フロント自由度	4	
	取付け可能アタッチメント自由度	2	
	アタッチメント形式	油圧式 カッタ	全旋回式 フォークグラブ
	ブームスイング角度 (左/右) 度	70/30	30/45
油類容量	燃料タンク容量 (L)	100	
	作動油タンク容量 (L)	全量 100 (タンク基準レベル 60)	
	エンジンオイル交換量 (L)	12	
作業範囲	最大作業半径 (mm)	6,540	6,770
	最大作業深さ (mm)	3,820	1,980
	最大作業高さ (mm)	5,800	7,600
	最大ダンプ高さ (mm)	3,740	5,220
	フロント最小旋回半径 (mm)	2,970	2,690

3. 各部の構成

ここでは、双腕作業機各部の特徴的な部位について、より詳しく述べる。

(1) フロント

双腕作業機を開発するにあたり、ターゲットとした家屋解体の作業分析を行い、要求項目をより多く解決できるであろうフロントの構成を探った結果、左右の腕に異なる役割を持たせることとした。

右腕は高所作業とハンドリング等の軽負荷を主目的とし、左腕はブレーカやカッタ作業等の重作業を対象としている。

つぎに自由度構成について、本機は左右フロントで同じ自由度構成としている。図-2 にフロントの自由度構成図を示す。

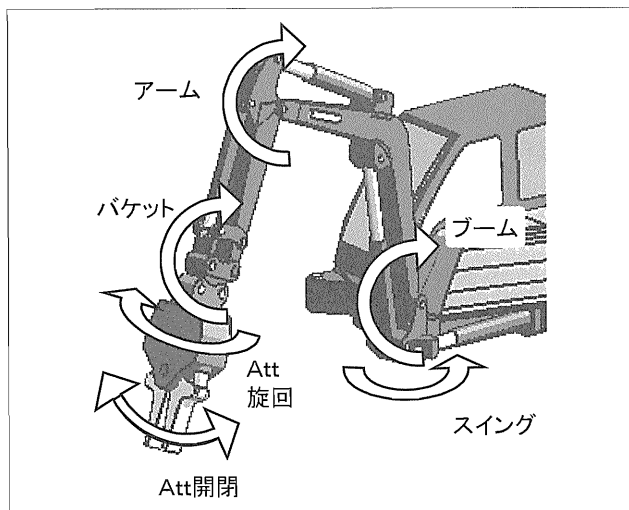


図-2 フロント自由度構成

図-2 より、フロントの基本的な3自由度(ブーム、アーム、バケット)に加えて、根元のスイングの1自由度を加えた合計4自由度となっている。また、アタッチメント用に2自由度の油路を有しており、最大、片腕6、左右で12自由度の構成としている。なお、本機の全自由度は本体旋回、ブレード、左右走行を加えた合計16自由度である。

次にフロントの作業範囲について述べる。図-3の左側双腕作業機フロントの垂直面作業範囲図である。また、ベースとした油圧ショベルZX70の作業範囲も重ねている。

図-3より、右フロントの作業範囲と左フロントの作業範囲を加えた斜線で示す双腕の作業範囲が、実線で示した油圧ショベルZX70とほぼ同等の作業範囲

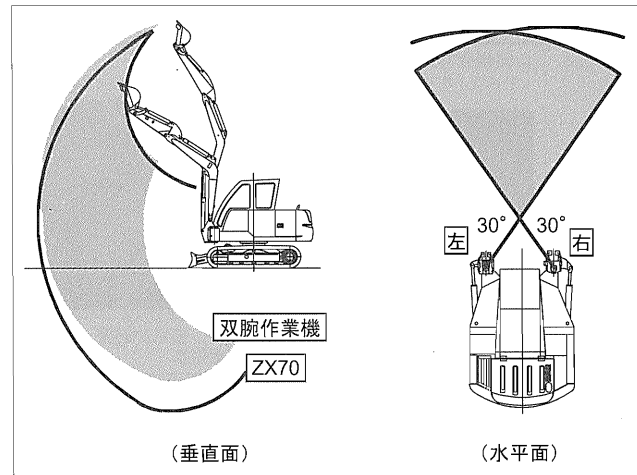


図-3 作業範囲図

をカバーする構成となっている。

図-3の右側は双腕作業機フロントの水平面作業範囲図である。図に示す斜線部分が左右フロントの作業範囲の重複部分であり、このように広い重複範囲を設けることで、柱などを縦の2点で掴むといった縦方向での複雑作業にも対応可能となっている。

なお、左右のスイングポストは同クラスのものを用いていることから、場合によっては左右フロントの付け替えも可能である。

(2) 油圧システム

本機は前述したように、全身で最大16自由度を有しており、標準の油圧ショベルの2倍近い自由度を同時に駆動させる必要がある。そこで、1つのポンプで多自由度を同時に駆動することが可能で、アーム先端のベクトル制御にも適しているロードセンシングシステムを採用している。

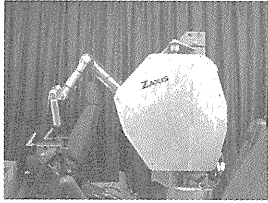

コントロールバルブ(以下、C/V)を2台搭載しており、一方のC/Vに主に右フロントを担当させ、他方のC/Vに主に左フロントを担当させ、左右走行や本体旋回は左右のC/Vに分配している。また、ポンプは平行のダブルポンプであり、1つのポンプに1つのC/Vを対応させ、別個にロードセンシング制御を行うことで、左右フロントの独立性を確保している。

(3) 操作方式

次にフロントの操作方法について述べる。

双腕作業機では1つの操作レバーを1つのフロントに対応させるワンレバー操作方式を採用し、2つのフロントの同時操作を可能としている。ここで、ワンレバー操作方式として一般的によく用いられる位置指令

表-2 操作方式の比較

操作方式	位置指令方式 (マスタ/スレーブ)	速度指令方式 (通常の油圧ショベル)
		
直感性	非常に良い フロントと相似形	悪い 慣れが必要 非相似形
疲労	大 (広い範囲を動かす必要あり)	小 (レバーを傾げるだけでよい)
微操作性	相似比の影響が大きい	良い

方式、いわゆるマスタ/スレーブ方式と、通常のショベルに採用されている速度指令方式の比較について述べる(表-2)。

マスタ/スレーブ方式とはマスタである操作レバーとスレーブであるフロントが相似形を成すのが一般的で、マスタレバーの姿勢を変化させると、スレーブがその動きに追従して同じ姿勢をとるシステムである。

マスタとスレーブが同じ姿勢となることから非常に直感的に操作がしやすいという利点を持っているが、フロント先端の位置を常に指示する必要があるため、マスタを常に広い範囲で動かす必要があり、長時間使用時のオペレータの疲労が大きな問題点となる。

速度指令方式とは通常のショベルと同様にフロントの速度をレバー角度によって指令する方式である。速度指令方式ではレバーを大きく動かす必要が無く、長時間作業時でも疲労が少ないという利点があるが、操作レバーとフロント形状の相関性が薄いため、直感的に操作できないことが問題として挙げられる。

そこで今回の双腕作業機では、双方の利点を生かすべく、操作時の疲労が少ないとされる速度指令方式をベースとし、レバーの構成、配置を工夫することで、直感的な操作が可能な速度指令式ワンレバー操作方式の考案した。

現在双腕実験機に搭載している速度指令式ワンレバー操作方式の構成について述べる(図-4)。

図-4に示すように、操作アームの先端に3自由度(上下、前後、回転)のジョイスティックを横置きに配置し、操作装置自体も根元のブラケット部分で左右に揺動する構成としている。

このような構成とすることで、オペレータはアームレストに前腕を乗せたままの状態でもフロントの4自由度を操作することが可能となり、疲労することなく長時間作業時に対応可能となる。なお、アタッチメントについては操作レバーに配したスイッチにより操作す

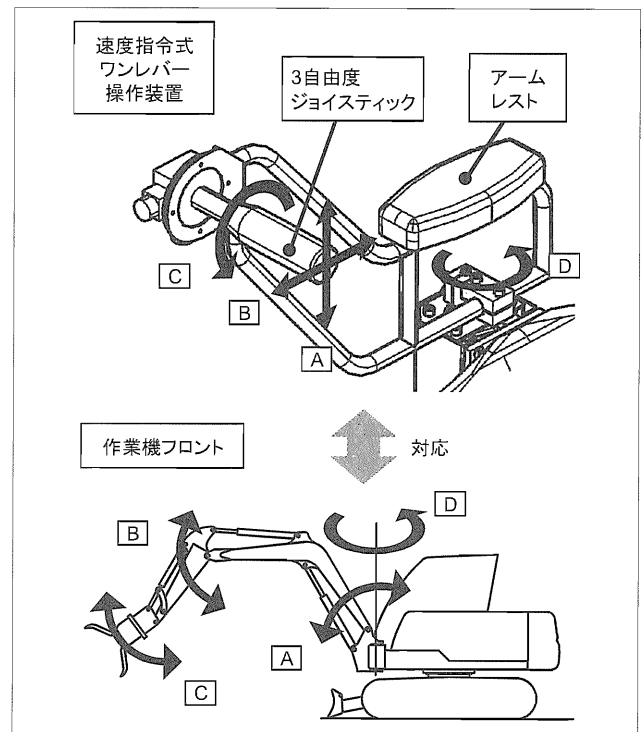


図-4 速度指令式ワンレバー操作方式

る。

次に操作レバーの各自由度と、フロントの各自由度の対応について述べる。

図-4に示すように、操作装置の揺動Dがシングポスト、つまりフロント左右の揺動と対応し、操作アーム先端のジョイスティックの上下動Aがブームと、前後動Bがアームと、回転Cがバケットと対応している。

このような構成とすることで、操作者は、「フロント先端のアタッチメントを動かしたい方向に操作レバーを動かす」というイメージで操作することができ、直感的な操作が可能となる。

4. 作業対象

本機を用いて、

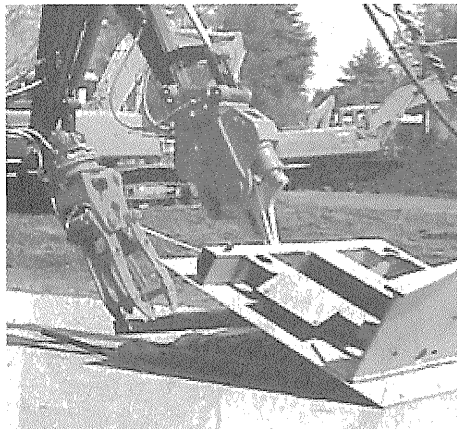
- 一方の腕で鋼管を把持し、他方で切断する
- 長物(トタン)を折り曲げる
- 一方の腕で重量物(フレーム)を把持し、他方で作業する

といった、1つのフロントしか持たない作業機械には不可能な複雑作業を実現できた(写真-2)。

これらの能力を生かすことで、双腕作業機は解体(家屋、自動車)、産廃処理、スクラップ処理、災害救助・復旧等の様々な分野への適用が可能と考える(図-5)。



長物（トタン）を折り曲げる



一方の腕で重量物を把持し、他方で作業する

写真-2 動作テストの様子

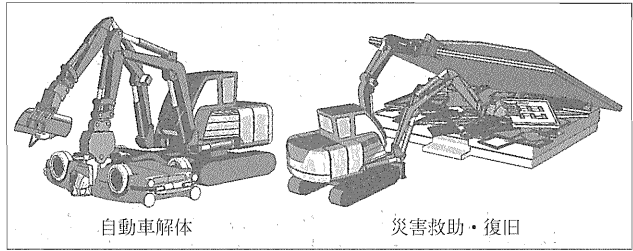


図-5 作業イメージ図

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行くのと同時に、双腕作業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。 **JCMA**

【筆者紹介】

石井 啓範（いしい あきのり）
 日立建機株式会社
 技術開発センター
 研究員



絵で見る安全マニュアル 〈建築工事編〉

本書は実際に発生した事故例を専門のマンガ家により、わかりやすく表現しています。新入社員の安全教育テキストとしてご活用下さい。

■要因と正しい作業例

- ・物動式クレーン
- ・電動工具
- ・油圧ショベル
- ・基礎工事用機械
- ・高所作業車
- ・貨物自動車

A5判 70頁 定価 650円（消費税込） 送料 270円

社団法人 日本建設機械化協会

〒105-0011 東京都港区芝公園 3-5-8（機械振興会館） Tel. 03(3433)1501 Fax. 03(3432)0289