

# 大型ブルドーザの 直動式遠隔操縦による押土作業

—中部電力碧南火力発電所建設工事における掘削土の埋立て—

中島 英雄・藤永 友三郎・藤田 全彦

中部電力(株)碧南火力発電所(愛知県碧南市)の増設工事では、建設に伴う掘削発生土や既設発電所から出てくる石炭灰を埋立てる押土機械として、汎用性の高い直動式遠隔操作システム「ALD-System」(Active Lever Drive Control System)を18t級の湿地ブルドーザに搭載し、適用した。比較的高速で機敏な動作を伴うブルドーザの遠隔操作化には、押土量、土質、勾配等の作業場所の諸条件によるものに加え、負荷が急激に減少した場合の車輛の走行慣性力による逸走を止めるとか、機械の前後進切替え時等には、そのつどオペレータの判断により任意の位置に停止させる操作が要求され、信頼性の高い制動制御装置が必要であった。水際法面の土砂崩壊という危険が伴う押土工事に、本遠隔操作システムを採用し、優れた作業性を確保した。

キーワード：埋立て工事，ブルドーザ，直動式遠隔操作，特定小電力無線，無人化施工

## 1. はじめに

近年、建設工事では作業環境の改善や施工効率、安全性の向上を図るため、施工の機械化を推進している。機械化技術の中でも、雲仙・普賢岳のような土砂崩れや河川の氾濫など自然災害による復旧作業の2次災害防止のために、作業車輛の無人化施工技術が確立されてきている。

しかしながら、このような大規模な機械の遠隔操作は先端的な技術の施工事例であり、一般的な土木工事は依然として、山岳地の急峻な箇所、路下、狭隘、線間等の人力に頼らざるを得ない場所での作業が存在しており、そこでの作業環境は危険で苦渋なものとなっている。

また雲仙・普賢岳の重機械無人化施工時では、遠隔操作装置取付けのための関連部品供給体制もできていなかったため、遠隔操作車輛が確保できず、緊急時に対処できないもどかしさがあった。

そこで中小規模の作業所へもできる限り低廉、無駄の少ない、機種を選ばない、容易に取付けが可能な直動式遠隔操作装置の開発、実用化を進めていた。

本埋立て工事では、ブルドーザによる押土作業中に、水際法面の土砂崩壊の発生が懸念されたた

め、オペレータの安全確保を目的として、汎用型の直動式遠隔操作システム(Active Lever Drive Control System; ALD System)を既保有の18t級の湿地ブルドーザに搭載し、施工することとした。

## 2. 工事概要

- ・工事名：碧南火力発電所埋立て工事
- ・発注者：中部電力株式会社
- ・施工場所：愛知県碧南市港南町2-8-2
- ・工期：平成11年1月～平成12年6月  
(ALD搭載機稼働期間)

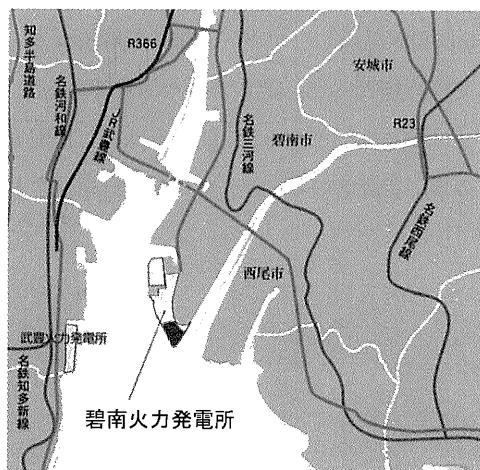
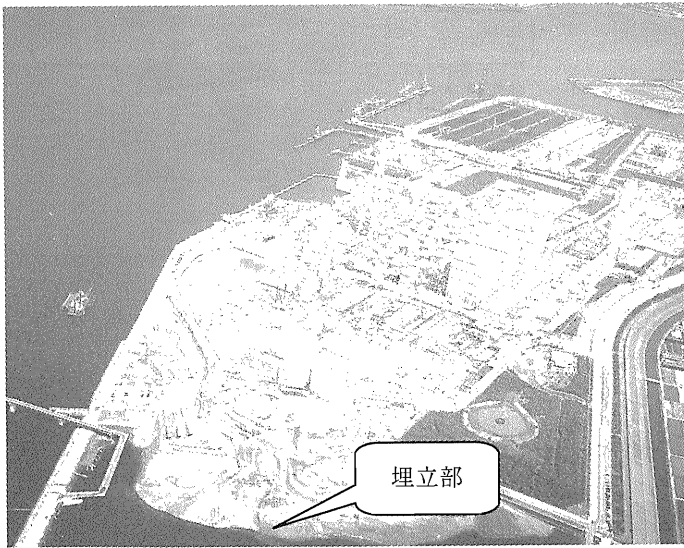


図-1 位置図

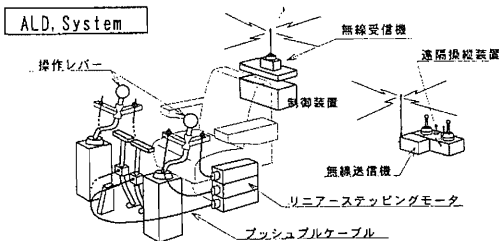
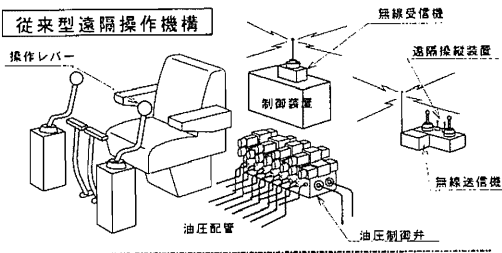


写真—1 碧南火力発電所埋立工事

工事の内容は、写真—1に示すように、建設に伴う掘削発生土や発電所から出てくる石炭灰をブルドーザで水際まで押土して、埋立てるものである。

### 3. システム概要

従来では既存の油圧式掘削機械等の車輛系建設機械に遠隔操作システムを組込む場合、大幅な油圧回路の改造が必要であった。しかも、部品が特注品であるため、納期が2~3カ月かかることも考慮しなければならない。しかし、本ALDシス



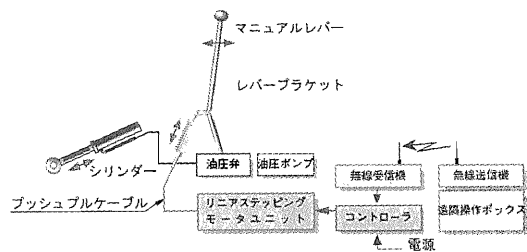
図—2 ALDシステム比較図

テムの場合は、車輛系建設機械本体のマニュアル操作レバーをプッシュ・プルケーブルを介して、リニアステッピングモータで直接押し・引きする直動方式を採用した。

これにより、油圧回路に改造を加えずコントローラとリニアステッピングモータ、プッシュ・プルケーブルおよび周辺機器を取付けるだけで済むため、比較的短時間に建機本体の仕様はそのままに、汎用建機をラジコン化できるのが大きな特徴である(図—2参照)。

#### (1) 制御について

遠隔操縦装置のジョイスティックレバーを操作し送信されたデジタル信号は、特定小電力型無線を通じて無人の建設機械本体に設置されたコントローラに入力される。次に、ジョイスティックレバーの操作量に比例したパルスを出し、モータシャフトを直線駆動できるリニアステッピングモータを作動させ、プッシュ・プルケーブルと建設機械本体のマニュアル操作レバーをX-Y方向にクランプしたブラケットを介してマニュアル操作レバーを作動させる仕組みになっている(図—3参照)。



図—3 ALDシステム系統図

リニアステッピングモータは、回転運動ではなく直線運動をし、ボールねじやベルトなどの変換装置は一切不要のシンプルな構造を提供している(図—4参照)。

操作者のジョイスティックレバーの倒し角度に比例した位置、速度制御にはプログラマブルコントローラを採用しているので、プログラムの変更

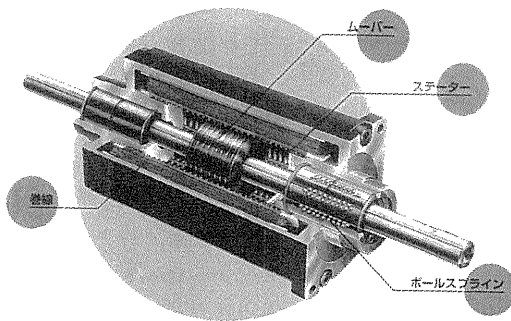


図-4 リニアステッピングモータ

や位置決め、操作フィーリングの微調整も容易に行える。また、リニアステッピングモータの全ストロークを120段階に設定し、高速多点位置決めをすることができ、滑らかな動きを実現した。さらに、遠隔・搭乗操作切替えが可能で、本システムを搭載したまま有人運転が可能となっている。

なお、本工事に使用したようなブルドーザは押土、運土が主体であり、押土量、土質、勾配等の作業条件に加え、負荷が急激に変化した場合の逸走防止や前後進切替え時の発進、制動が要求されるため、アクセル、ブレーキ操作用として、DCモータを駆動源としたアクセル・パーキングブレーキアクチュエータ（電動スクリュージャッキ方式）を採用した（図-5参照）。

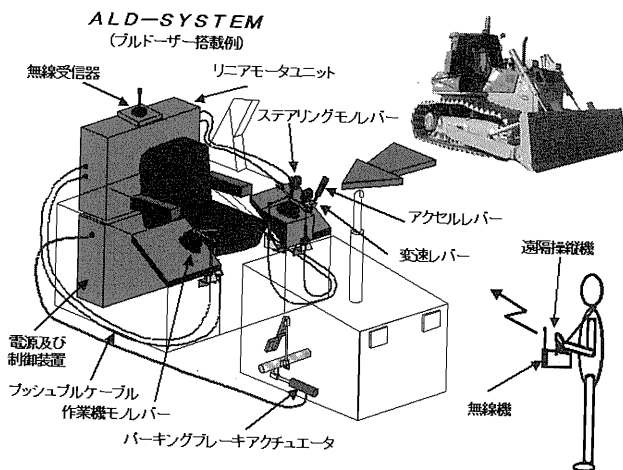


図-5 ブルドーザ搭載のALDシステム

## (2) 無線機について

遠隔操縦に使用している無線方式は制御用無線として実績のある400MHz帯、特定小電力無線

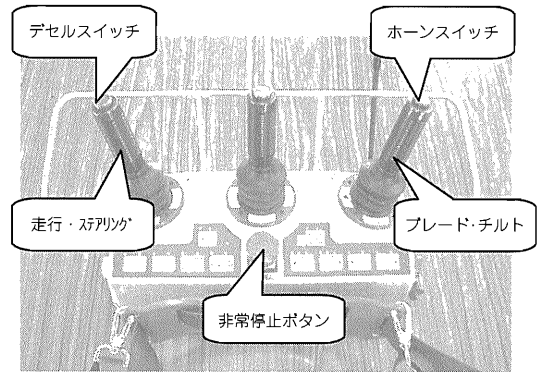


写真-2 ブルドーザ用遠隔操作器

機を採用している（写真-2参照）。

## (3) 安全対策について

非常停止装置や安全装置は以下のとおりである。

機械本体側の電源異常、モータ作動範囲異常、発熱、無線異常、操作レバーに強い外力が働いた時やオペレータが異常を察知し、手元の操作用遠隔操作器の非常停止ボタンを押した場合には、各操作レバーを中立に戻し、車輛エンジンが停止して、機械を全停止させる。

非常停止スイッチロック解除および操作電源リセット後再始動可能としているが、操作電源を入れた時や非常停止を解除した際に機械の暴走を防止するため、操作レバーは中立位置へ復帰するよう制御される。万一操作レバーが倒れたままの状態の時は異常警報ランプ（本体に取付けられた4色のシグナルランプ；写真-3参照）の赤が点灯しエンジンは始動しない。また、エンジン始動前には警報ブザーが鳴り、周囲の人に注意喚起するようにしている。

また、リニアステッピングモータの脱調により制御位置異常が発生した場合、強制的にニュートラルに戻す。さらに機械的な異常により位置異常を起こした場合は非常停止するようプログラムされている。エンジン停止回路の異常により暴走した場合でも、操作機の非常停止により走行操



写真—3 シグナルランプ

赤点灯：非常停止  
 黄点灯：無線受信確認  
 間欠：無線断  
 緑点灯：インスタートOK  
 青点灯：安全ロック解除



写真—4 車輻外部非常停止ボタン

作のセーフティレバーを瞬時に解除し、走行油圧システムを停止させるなど、二重三重のフェイルセーフを施している。

また、遠隔操作器にもオペレータの不意な操作レバー誤操作を防止する上で安全ロックスイッチを設けている。無線のノイズ対策や誤操作防止対策としては、受信機側のチェックサム機構により誤作動をチェックし、連続エラーの検出時には作業機を非常停止させる。

その他、ブルドーザには、レバー中立時に作動する走行ブレーキシステムと万一の場合を想定して、車輻外部に非常停止ボタン(写真—4 参照)を設け、エンジンを停止させるようにしている。

#### (4) 汎用性について

市販されている油圧式レバー操縦方式の様々な建設機械、大型・小型を問わず搭載できる汎用性に優れたシステムである。また、機械本体の油圧系装置をそのまま使用するため、機械本体の仕様の変更は無い。すなわち、既存の機種であれば、ブラケット製作やプログラム調整が必要であるが、約1週間程度で取付け可能である。さらに、現場にてシステムの取外しも比較的簡単にできるようにシンプルなユニット化を行っている。

#### (5) 耐久性について

本システムはすでに、奈良県内深礎杭工事における発破ずりの積込み作業を壁吊り下げ式油圧ショベルを使った遠隔操作システムの実証試験を実施して、その性能を確認している。立坑内は粉塵や湧水、振動と悪条件下での作業環境であったが、制御機器を防塵ボックスに収納し、プッシュ・プルケーブル稼働部にはダストシール・ダストカバーを装着することで対策を講じた。

また、東京都内建築物基礎直下掘削工事に本システム搭載のミニ油圧ショベルを導入し、約半年にもおよぶ連続稼働の実績を有している。

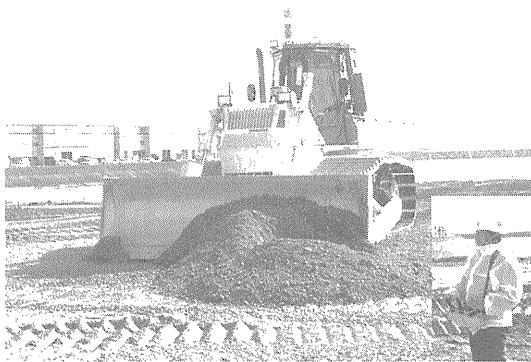
## 4. 稼働状況

稼働開始当初は、施工箇所周辺の電波状況を調査し、無線の周波数を調整しながら、施工を進めた。特定の時間帯ではあるが異常信号を捕らえ、非常停止回路が作動することもあったが、無線機制御信号伝送効率の改善を加えた結果、ほぼ期待どおりの施工能力を達成することができた。

目視範囲での無人運転であったが、上記信号応答性の向上に加え、オペレータの操作技術の向上もあって、機械の操作性、機動性は有人運転と同等との評価を得ることができた。

施工状況の写真を写真—5、写真—6に示す。

なお、本工事のブルドーザに搭載した直動式遠隔操作システム「ALD-System」は奈良県内の宅造工事でも実証した6t級ブルドーザに使用したシステムを18t級の湿地ブルドーザ用に若干の改良、調整をしたものであり、その汎用性が実証された。



写真—5 操作状況 ①



写真—6 操作状況 ②



写真—7 普賢岳におけるALD搭載機（参考）

ニット化と高い汎用性の実現により、すでに全国各地の建設現場へのレンタルが可能となっており、現在では、普賢岳の除石工事他において監視カメラ車（写真—7 参照）として活躍するに至っている。

これらの採用事例に見られるように、汎用性のある「ALD-SYSTEM」は建設機械による無人化施工の普及促進へ寄与していけるものと考えられる。

最後に、ご指導、ご協力を頂いた関係各位に謝意を表します。

## 5. おわりに

本システムの特徴を以下に示す。

- ① 従来の油圧装置系をそのまま使用するため、スピード、パワー、微調整、複合操作等のフィーリングを損なわない。
- ② 面倒な油圧系の改造が不要でシステムの取付けが比較的容易であり、改造にかかる期間、コストの低減が可能。
- ③ プッシュ・プルケーブルを介して作動させるためリニアステッピングモータやコントローラ本体の設置場所が選べる。
- ④ 車軸系だけではなく、油圧レバー操作型のような建設機械への取付けも可能である。
- ⑤ 遠隔操作装置を搭載したままスイッチ切替えのみで、手動運転も可能である。

これらの特徴を有する直動式遠隔操作システム「ALD-SYSTEM」は、システム構成機器のユ

### 【筆者紹介】

中島 英雄（なかしま ひでお）  
中部電力株式会社  
碧南火力建設事務所  
土木課  
課長



藤永 友三郎（ふじなが ともさぶろう）  
清水建設株式会社  
土木本部  
機械技術部  
主査



藤田 全彦（ふじた まさひこ）  
西尾レントオール株式会社  
大阪支店  
技術開発課  
課長代理

