

旋回規制バックホウの開発 ～バックホウの旋回による接触事故の防止～

大成建設(株)	フェロー会員	○森田 泰司
大成建設(株)	正会員	青木 浩章
大成建設(株)	正会員	片山 三郎
アクティオ(株)		太田 八生

1. 目的

バックホウによる事故・災害の原因としては、周囲の確認不足や機械操舵の誤り等といった、ヒューマンエラーに起因するものが多く挙げられる（図-1）。こういったヒューマンエラーによる災害は、作業に「人」が介在する限り無くならない。ヒューマンエラーが起きても、安全が確保される方策を確立することが必要であるが、非常に難しい課題となっている。その解消法の一つとして、やむを得ずバックホウの作業半径内への立ち入り立ち入らなければならないことがある場合は、バックホウの動きを完全に止めてから立ち入る「グーパー運動」を推奨している建設会社も多い（図-2）。

設定した旋回禁止帯方向に旋回操舵した場合に、バックホウの油圧回路を制御し、その手前で段階的に旋回速度を緩め、旋回禁止帯へは旋回しないよう旋回規制を掛けるシステム「旋回規制バックホウ」を開発した。本報では、システムの概要と実現場に導入した結果について報告する。



図-1 バックホウによる旋回事故例
厚生労働省（職場のあんぜんサイト）の事例より



図-2 グーパー運動
横浜建設業協会（建設現場の安全よ

2. 背景

バックホウは建設工事に欠かせない掘削・積込用作業機械として多くの現場で使用されている機械の一つである。作業場所が、鉄道沿線・電力・通信線等の重要なライフラインに近接する場合や、路上の狭小な作業帯脇で第三者が行き来する場合などがある。いずれの場合も、線路側・ライフライン側や第三者側を旋回禁止帯と安全指示の下で作業を行うが、ライフライン等の損傷や作業場内での接触事故が後を絶たないのが現状である。現在、バックホウの旋回による接触事故

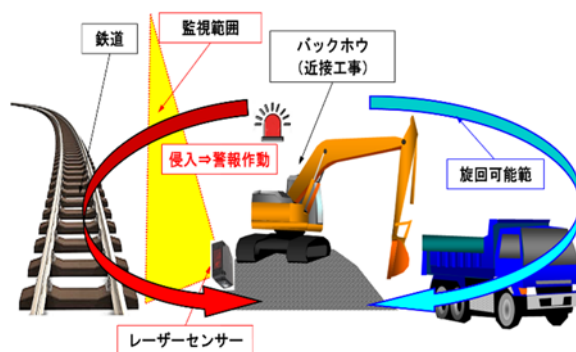


図-3 レーザーバリア

キーワード 安全対策、旋回禁止帯、電子制御、GPS 方位センサー、ユーザーインタフェース

連絡先 〒245-0051 神奈川県横浜市戸塚区名瀬町 344-1 大成建設(株)技術センター TEL045-814-7229

防止システムとして、重要構造物周辺や作業帯の境界にレーザーバリアを張り、バックホウのアーム等が侵入すると回転灯などで警報を発するものがある（図-3）。



写真-1 バックセンサー

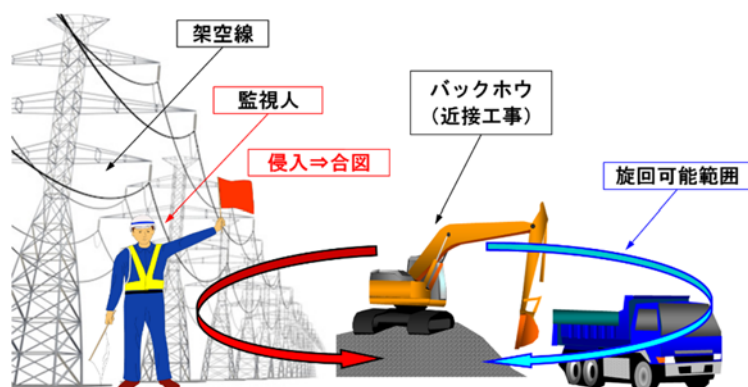


図-4 監視人による警戒

また、レーザーセンサーを車両後方に搭載し、発するレーザーに反応があるかどうかで、後方の障害物の有無や境界線のバリケード等を感知して音で警報するものもある（写真-1）。一時的な工事で、レーザーセンサーなどを常時取り付ける必要がない場合には、監視人を配置しバックホウの旋回行為が規制側に差し加えようとした場合に監視人が合図を送り、操縦者に知らせる方法が取られている（図-4）。これらの方法は、多くの現場で採用されていることから、事故防止に一定の効果があると考えられるが、作業に注力している操縦者が、これらを見逃したり、聞き逃したりするヒューマンエラーが発生しても事故が起こらないフェールセーフ機能が求められている。

3. 旋回規制バックホウ

(1) 搭載する機械装備

本システムは、「どのバックホウにも対応可能で、専門工事業者の手持ち重機にも搭載できる汎用性の高いシステム」をコンセプトとして開発を行った。バックホウに搭載する設備としては、① GPS 方位計（1つの筐体にGPS受信機と2つのGPSアンテナが内蔵された一体型GPSコンパスで位置、方位、ピッチ、ロールが同時観測出来るもの）、②制御ユニット、③ モニタ、④パトライト、⑤旋回系電磁弁を後付けするのみである（写真-2, 3, 4, 5, 6, 7）。



写真-2 バックホウに搭載する設備



写真-3 ①GPS 方位計 写真-4 ②制御ユニット 写真-5 ③モニタ 写真-6 ④パトライト 写真-7 ⑤旋回系電磁弁

(2) 旋回規制の入力

配水管の地下埋設のため、高圧線に並行して溝掘削作業を行っている機械配置を作業条件例として示す（図-5）。バックホウが、ダンプトラックへの残土積込のための旋回によりで高圧線に接触しないよう、高圧線と逆の方向を旋回可能方向と定めて作業を行う。作業開始前に、操縦者は図-6, 7に示すように旋回規制帯の始点と終点を定める（図の赤エリア）。まず、規制エリア端（高圧線の下手前）にバケットを置き、キャビンに設置されたモニタでその位置をクリックし、旋回規制帯の始点を入力する（図-6）。

次に、反対側の規制エリア端（高圧線の下手前）まで、旋回可能方向側にバケットを旋回させ、モニタでその位置をクリックし、旋回規制帯の終点を入力して旋回規制範囲が設定される（図-7）。

またバックホウは、掘削と共に移動しながら作業を進めるケースが多い。図-8 のように移動前の旋回規制帯をそのまま移動後に適用すると、条件が異なるため接触事故発生の原因となる。よって、旋回規制帯を設定した位置を記憶し、設定した場所から大きく移動した場合は、旋回範囲の再設定を促す警告機能を搭載している。この警報により操縦者は再設定を行う。この場合の重機の移動量（D）の設定は作業条件に合わせて任意に入力することが可能である。

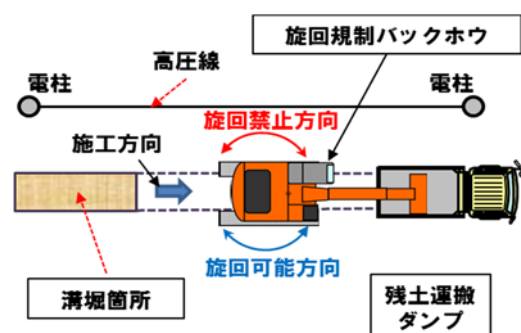


図-5 機械配置と作業条件例

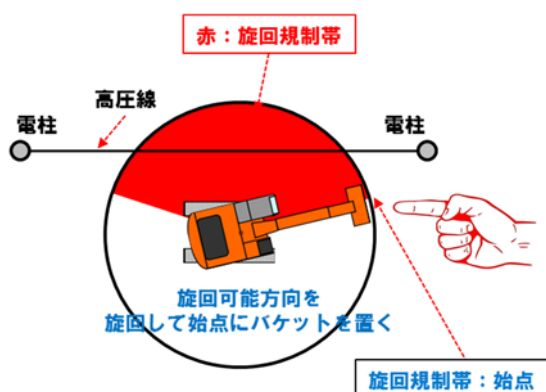


図-6 旋回規制帯始点の入力

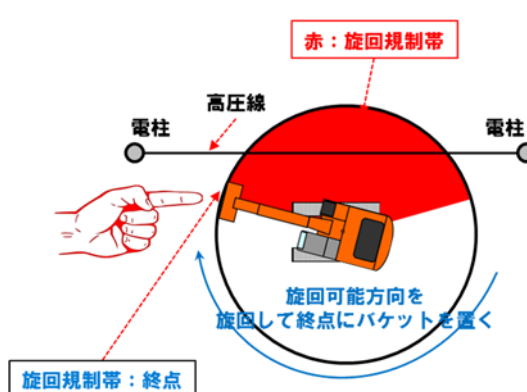


図-7 旋回規制帯終点の入力

(3) 旋回規制システムの流れ

図-9 にシステムの全体構成を示す。ホスト PC は操縦者とのインターフェイスであるため、旋回帯の基本設定の他、制御演算と指令も行う。設定した段階で始点・終点の座標を GPS 方位計が記憶し、旋回禁止帯に到達するかどうかを GPS 方位計で常時計測し、達するようであれば然るべき操舵信号を送信し、旋回規制用電磁弁の作動と LED 三色灯で状態を表示する。

(4) 旋回規制の油圧回路

ベースマシンはコベルコ SK135SR（クレーン機能付）を今回使用した。操舵のためのコントロールバルブの操作は、多くの機械が採用されている「油圧パイロット式」の油圧制御方式であるのバックホウである。

このベースマシンで旋回動作を制御するには、ホスト PC が演算する制御信号を受け、油圧操作ができるパイロットバルブを増設する必要があった。本システムでは、図-10 に示すように新たに右旋回用と左旋回用のパイロットバルブ（リモコンバルブ）を各 1 基（合計 2 基）追加した。

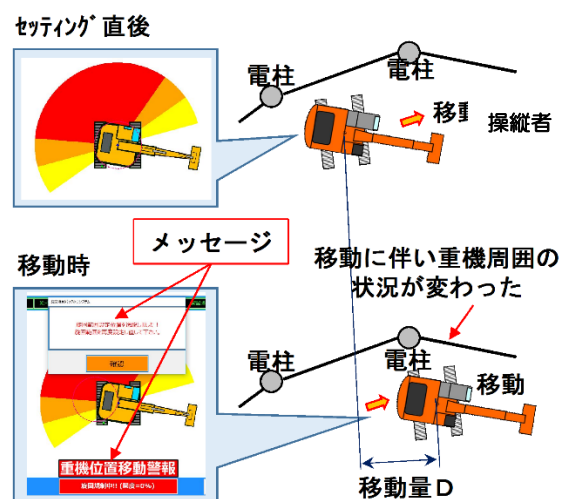


図-8 重機位置変更による警報

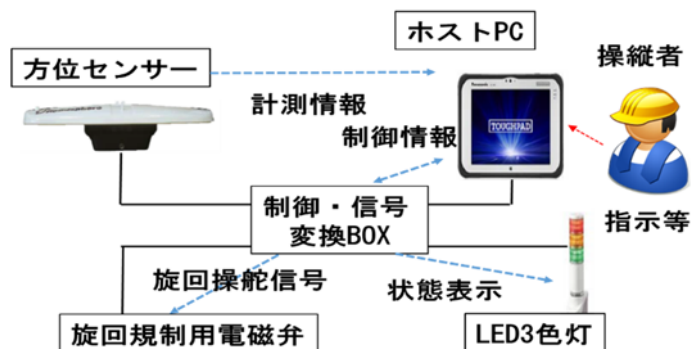


図-9 システム構成イメージ

また、偶発的なシステムトラブルや、ケーブル断線時等にも安全に停止させる様にした。

本システムを使わない場合は通常動作が出来るように、手動のメインスイッチを設けた。メインスイッチが手動でONの場合は、本システムでコントロールが可能となり、偶発的なシステムトラブル等で信号を与えない場合にはバルブ閉状態となる。逆にメインスイッチが手動でOFFの場合は、別系統から電源供給されバルブがON状態で運用されるノーマルクローズ機構で構成している。

（5）旋回減速帯の設定

旋回規制バックホウは、速度を上げて旋回しても赤エリアに達することなく、段階的に減速帯を設けて旋回規制帯の始点または終点付近で停止するよう油圧制御を行う。即ち、規制の無い白色帯では旋回油圧バルブの開度は100%であるのに対し、黄色の第一、橙色の第二減速帯では徐々にバルブの開度を減じることになり、赤色の旋回規制帯ではバルブの開度が0%となる（図-11）。

（6）旋回減速帯の設定実験

当該重機における減速帯は、以下の方法によって設定した。減速帯決定に当たり、エンジンの回転数を最大にし、バケットに1tのウエイトを置き（バケット内に土砂を抱え込んだ状態を想定）、次の要領で実施した。旋回角180°で急に不動作（バルブ開度0%：停止）にした場合、できるだけ小さな滑り角で停止する旋回バルブ開度Y%と滑り角の関係を求めた。実験結果を図-12に示す。ここでは、バルブの開度60%であれば、急に不動作としても0.4°程度の滑り角で機械が停止することがわかった（減速帯の段数や開度の設定は、機種毎に確認する必要があると考えている）。

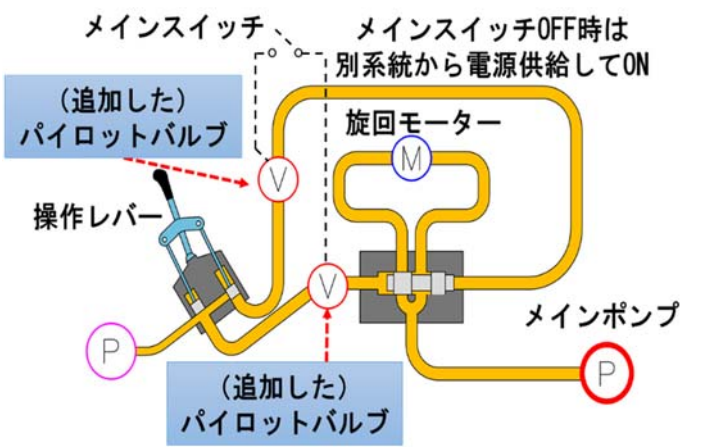


図-10 改造後のシステム油圧回路図
（パイロットバルブ2基設置）

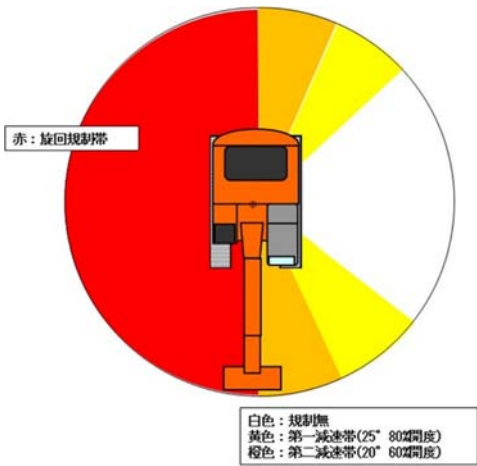


図-11 バルブの開閉度と減速帯

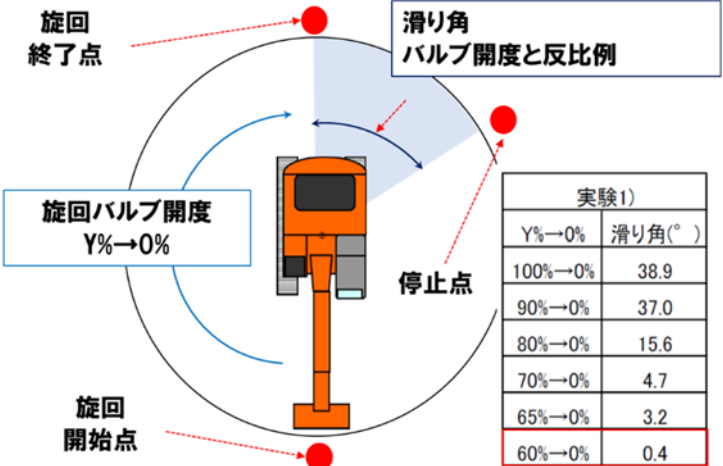


図-12 機械が確実に停止するまでの角度を確認

4. 現場運用

（1）運用現場の概要

現場運用は、表-1に示す工事の内、開削工法にて施工する配水管敷設部（L=472m）で実施した。本作業は、夜間作業主体で、作業帯を設けた中で掘削を行う路上作業となる。作業エリアには、歩道に近接し、歩道側への旋回を規制する区間、電力等の高圧線が存在し、高圧線側への旋回を規制する

表-1 工事概要

発注者	東京都水道局
工事内容	配水本管敷設2,400m他
運用箇所	開削工法にて行う配水本管敷設部（L=472m）
施工形態	夜間施工

区間，供用中の道路（開削トンネル）に近接し，道路側への旋回を規制する区間がある（図-13）。

(2) 現場運用結果

高圧線近接作業での，本システムの運用状況を写真-8 に示す．今回の運用では，操縦者が，ユーザーインターフェースを使った本システムの概要，使用方法や操作方法を理解し，習得するまでの時間は15分程度であり，簡単に操作できるシステムとなっていることを確認した．旋回範囲の設定は，タブレットPCを使ったタッチペン操作であったが，操作に苦労するところはないようであった．現場での運用にあたっては，バケットが，設定した規制帯に接近すると自動的に減速するため，「操縦者のヒューマンエラーをカバーするシステム」として活用できた．

(3) 運用時の改善点

本システムを使用した操縦者の意見として，夜間の使用に対して，モニタの表示が眩しいと指摘を受けたため，モニタの表示を変更した（写真-9）．また，「もう少しだけ設定範囲を広げたい，狭めたい」という要望があり，設定した規制帯を微小変更する機能（変更ボタンを押すと赤色の規制帯部分の大きさが変わる）を追加した．

5. まとめ

本システムは，既存の警報音や警報表示による接触事故防止システムには頼ることなく，重機の旋回を機械的に制御し，操縦者のヒューマンエラーをカバーする技術である．

- ① 従来システムのような警報だけ発信する方式ではなく，確実にバックホウの旋回を停止させ，重要構造物・車両・架線・配管などとの接触や損傷を事前の設定で防止できる技術である．
- ② 汎用重機のどの機種にも（手持ち機械にも）容易に取り付けられ，接触防止を図ることができる技術である．
- ③ 規制範囲の設定は簡便で，初めての操縦者やICTに不慣れな操縦者であっても15分程度で使いこなせる．
- ④ 旋回動作は，規制エリアに近づくと油圧量を制御して徐々に止まる機構で，操縦者への注意喚起に効果的かつ，急に旋回を止めることによるバックホウ本体の転倒を防止することが出来る．
- ⑤ 全ての建設工事で利用できる技術である．

本システムを広く展開することによって，ヒューマンエラーによる事故を防止し，安全な機械施工を実現してい

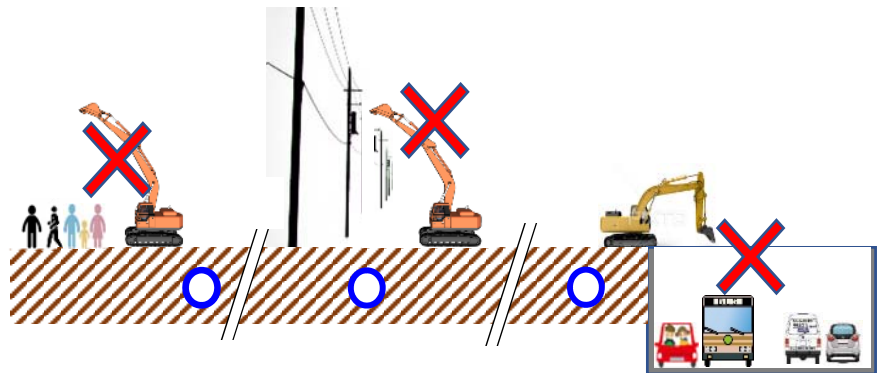


図-13 近接施工条件



写真-8 高圧線近接作業での運用



写真-9 夜間用のモニタ表示

きたい。また、システム運用時には、その都度操縦者にヒアリングし、使い勝手の良いユーザーインターフェースに改良していくことが重要である。今後は、土木工事での使用頻度の高い20t級バックホウや、重機旋回による同様のトラブルが多い小型クローラクレーン等への搭載に向けて開発を進めていく所存である。

謝辞

本システムの運用にあたり、御指導頂いた東京都水道局の方々をはじめ、実験から運用に至まで御協力頂いた関係各位に感謝致します。

参考文献

- 1) 岡部信也：油圧ショベル大全，日本工業出版，2007
- 2) 生田正治：油圧ショベルの歴史と系統化調査，産業技術史資料情報センター，第22集，2015
- 3) 森田泰司，青木浩章，片山三郎，太田八生：バックホウの旋回による接触事故防止 - 旋回規制バックホウの開発 - ，中国地方建設技術開発交流会，27-10-2017
- 4) 森田泰司，青木浩章，片山三郎，太田八生：重機旋回規制システムの開発（バックホウの旋回による接触防止），土木学会第72回年次講演会，31-8-2018
- 5) 水島智，有働敬天，石田桂子，森田泰司：重機旋回規制システムの開発（旋回規制バックホウの現場運用），土木学会第72回年次講演会，31-8-2018