実用技術紹介

放射線環境下における解体がれきの 自律搬送システム

三浦 悟^{*1} 浜本 研一^{*1} 黒沼 出^{*1} 大塩 真^{*1}
片村 立太^{*1} 加賀美 聡^{*2} Simon Thompson^{*2}

(^{*1}鹿島建設株式会社)

(^{*2}独立行政法人産業技術総合研究所)

1. はじめに

東京電力福島第一原子力発電所の建屋解体・撤去工事では、発生するがれきの保管施設への搬送作業に遠隔操作型や放射線遮蔽型の建設機械を導入し、作業者の被ばく量低減が図られてきた。しかし、解体工事の進捗に伴って発生が予想された高線量がれきの搬送作業に対しては、更なる被ばく量の低減、作業者の誤操作防止、作業効率の向上への対策として、搬送機械の自動運転が求められていた。

我々は従来から建設機械自動化技術や各種計測技術の研究開発を行っており、今回それら成果を結集することで、汎用建設機械を自動化する技術を開発し実作業に適用した。

2. 搬送システム概要

本工事では、建屋解体箇所において高線量の放射線がれきを鋼製コンテナに積み込み、構内保管施設まで運搬し、保管施設内の地下コンテナ貯蔵場所に荷下ろしを行う(図1)。車両や走行条件が異なる以下の2種類の建設機械を対象に走行機能の自動化を図った。

- クローラダンプ：原子炉建屋から構内保管施設まで屋外を約1[km]走行する。
- フォークリフト：施設内地下走路を貯蔵場所まで約800[m]走行する。

3. クローラダンプ自律走行システム

3.1 システム概要

開発のベースとなった建設機械は遠隔操作型11[t]クローラダンプである(図2)。自律走行に必要な各種センサ、制御機器、および通信機器を現地でクローラダンプに取り付けシステムを構築した。主な機器と用途は以下のとおり。

- ・センサ機器：RTK-GPS(機体位置計測)、GPS方位計(機体方位計測)、ジャイロ・加速度センサ(機体姿勢角計測およびGPSによる位置・方位計測の補間)、レーザスキャナ(障害物検出)、車載カメラ(周囲状況確認用)
- ・制御機器：自律走行制御用コンピュータ
- ・通信機器：GPS無線、システムモニタリング用無線LAN

図1 搬送システム概要

図2 クローラダンプ外観

図3 走行状況のモニタリング

時速約4[km]での走行を制御するため、制御サイクルは100[Hz]としている。これに対しGPSによる位置・方位の計測は10[Hz]と低周期であるため、ジャイロ・加速度センサにより100[Hz]に補間して制御に用いた。

クローラダンプ走路は構内の一般路であるため走行作業時の安全確認を目的に先導車が伴走する。作業者は先導車に搭乗し、無線LANを通してクローラダンプシステムを管理可能であると同時に、目標経路に対する機体の位置、方位、障害物検出状況、および車載カメラの映像をリアルタイムに確認することができる。

3.2 走行制御方法

あらかじめ現地測量により目標経路、および走路の状況・幅員に応じた各区間の管理幅を設定する(図4)。走行を開始したクローラダンプは、GPSにより得られた機体位置や方位を基に、与えられた管理幅内部に機体が収まるように

図4 走行制御のイメージ

直進走行と方位制御を切り替えながら、時速約4[km]で走行を行う。

4. フォークリフト自律走行システム

4.1 システム概要

開発のベースとなった建設機械は定格荷重8.5[t]の遠隔操作型フォークリフトである（図5）。フォークリフトは主に地下を走行しGPSを利用することができないため、レーザスキャナによる位置・姿勢角計測方法を開発し適用した。本方式は、工場などで実績のある電磁誘導方式に比べて走行経路の初期設定や変更に伴う構造物や機械への工事・改造が不要であるという点で優れている。

なお、直線部や切り返し部、斜路の上り下りのいわゆる走行作業は自律走行システムで行い、それ以外の鋼製コンテナの積み替え、荷下ろし作業は遠隔操作で行われる。走路周辺には有線および無線によるLANが構築されており、フォークリフトの操作は保管施設から約500[m]離れた建物内の遠隔オペレータ室から行う（図6）。

4.2 レーザスキャナによる位置・姿勢角計測方法

レーザスキャナにはSICK社製LMS111を使用し、パーティクル・フィルタを用いて、フォークリフトの施設内での相対位置や姿勢角を推定している。まず、フォークリフトのステアリング角度および速度データを基に車両の確率的な運動モデルを用いて各パーティクルの推定位置・姿勢角およびその推定確率を求める。得られた推定位置・姿勢角に対し、レーザスキャナ計測データ（図7左）を施設内の壁に反射して得られたものと考え、CAD図面などから事前に作成した二次元地図データとの照合確率を求める。位置・姿勢角の推定確率とレーザスキャナ計測データの照合確率から各パーティクルの適合確率を求め、フォークリフトの施設内での相対位置・姿勢角を全パーティクルの期待値として推定している（図7右）。演算のサイクルタイムは0.05秒以内であり、フォークリフトの動特性に対して十分リアルタイムな推定をすることができている。レーザスキャナは機体の前後左右の4箇所に配置し、左右のレーザスキャナの計測結果を用いて位置・姿勢角計測を行い、すべてのレーザスキャナで障害物の検知を行う。

図5 フォークリフト外観

図6 遠隔オペレータ室

図7 相対位置・姿勢角の推定

4.3 走行制御方法

制御サイクルタイムは、位置・姿勢角計測のサイクルタイムから約0.05秒とした。ステアリング角度指令値は、フォークリフトの相対位置・姿勢角を計測後、あらかじめ定めた目標ラインからの誤差変位および誤差方向を求め、フォークリフトが追従するようにPI制御を用いて計算している。走行速度はスロープ部上り・下り、直線部および切り返し部のそれぞれに対して速度指令値を設定し、指令値を切り換えて制御している（平均時速約2[km]）。

5. おわりに

本システムの導入により、作業者の被ばく量を抑えながら、誤操作をなくし、狭隘な走路においても安全に走行することが可能になり、円滑ながれき搬送作業の実現に寄与することができた。また、作業者の心理的疲労も軽減されたとの評価もいただいた。

廃炉作業はまだ始まったばかりであり、少しでも廃炉工程が短縮されるよう、これからも関連技術の開発を進めていく所存である。