

画像を用いた球体マーカ―検知および自動停止機構の開発

千 野 雅 紀

供用車線に隣接した工事では、建設機械が供用車線に入らないように対策することが重要である。対策として、球体マーカ―をカメラで撮影して検知および追跡を行い、進入禁止エリアに入った場合に警報を発し、建設機械を自動停止する機構を開発した。球体マーカ―を設置した特定の物体だけ検知することができるため、汎用性高く利用することができ、これにより供用車線に隣接した作業の安全性を確保することが可能になった。本稿では、画像を用いた球体マーカ―の検知および自動停止機構について紹介する。

キーワード：画像処理、安全装置、自動停止、ボーリングマシン、道路工事

1. はじめに

国内の高速道路の4割以上が供用開始から30年以上経過しており、更新工事が必要になっている。更新工事は供用車線に隣接する形で行われることになり、狭い作業エリアに作業員、建設機械、その他資材が配置される。こうした工事においては、路線を利用する第三者の安全性を確保することが最も重要であり、特に建設機械が供用車線に入らないように対策することが求められる。

従来の安全対策では、目隠しフェンスの設置や、2D LiDARを用いてレーザーバリアを張り警報を鳴らす等の対策が取られていた。しかし、目隠しフェンスではフェンスを越えようとする物体まで止めることができないという点や、レーザーバリアでは建設機械だけでなくすべての物体に反応してしまうという点、警報だけではオペレータが停止させるまでに時間差が生じてしまい、供用車線に入ってしまうリスクが解消できないという点で問題があった。これらを解決するためには、建設機械のみを検知して、作業エリアを越えた場合に自動で停止するシステムが必要である。

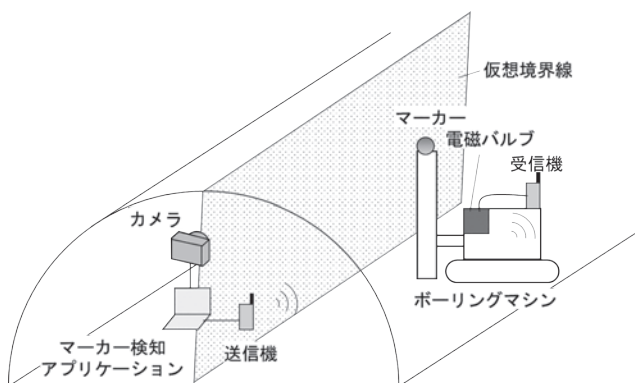
そこで、画像処理により特定の物体の認識が可能で、比較的低価格なセンサであるカメラに着目した。カメラは検知対象となる物体が撮影範囲に入るように設置すれば良いことから設置が容易であるという利点がある。今回、盤ぶくれ対策のインバート工事で用いられるボーリングマシンについて、画像処理により境界を越えたことを検知し、自動停止する機構を開発したため、本稿にて紹介する。

2. システム概要

(1) 主な機能

本システムは、図―1に示すようにマーカ―、カメラ、マーカ―検知アプリケーション、通信機器、停止用電磁バルブを追加したボーリングマシンから構成される。ボーリングマシンにマーカ―を設置して、カメラでマーカ―を検出することで、建設機械が施工範囲を越えたかどうかを判定する。判定結果を無線でボーリングマシンに送信し、信号を受信したボーリングマシンは電磁バルブを作動させることで動作を停止する。

任意の姿勢においても画像上に投影される形状が変化しない球体のマーカ―を、ボーリングマシンの最外周の可動部に設置する。次に、カメラを施工範囲と供用車線の境界面に対して垂直に設置する。仮想的に設けられた境界面は、画像上では境界線になる。マーカ―



図―1 システム構成

検知アプリケーションにより、カメラで撮影した画像上で、色と形状を用いてマーカーをリアルタイムに検知し追跡する。画像上で仮想の境界線を設定して動作可能エリアと進入禁止エリアを設定する。マーカーが境界線を越えた場合、ボーリングマシンが施工範囲を越えたと判定する。進入したと判定されると、マーカー検知アプリケーションは信号を発出して、通信機器を通じてボーリングマシンに送信する。進入信号を受信したボーリングマシンは、電磁バルブを作動させて作動油の流れを止めることで動作を停止する。

(2) マーカー検知手法

本システムの特徴は、検出が得意なハフ変換を用いた円検出と、追跡が得意なパーティクルフィルタの2

つの手法を、検出状況に応じて切り替えることである。マーカー検知全体のフローを図-2に示す。

まず、マーカーの色を設定してその色でマスク処理を行うことで、マーカーとそれ以外の物体を分離する。次に、ハフ変換による円検出を行い、マーカーの検出を行う。円検出が5フレーム以上連続で安定し成功した場合、追跡が得意なパーティクルフィルタに切り替えて追跡に重点を置く。パーティクルフィルタでの追跡が10フレーム連続して失敗した場合、円検出に切り替えて検出に重点を置く。

円検出のフローを図-3に示す。円検出では、円が検出されたら1フレーム前の検出結果の有無を確認する。1フレーム前に検出結果があれば、その結果と距離が近い円を円検出結果として出力する。1フレーム前に検出結果がなければ、検出された円のうち、円

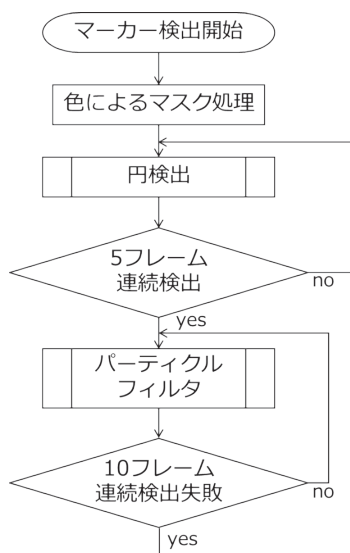


図-2 マーカー検知全体フロー

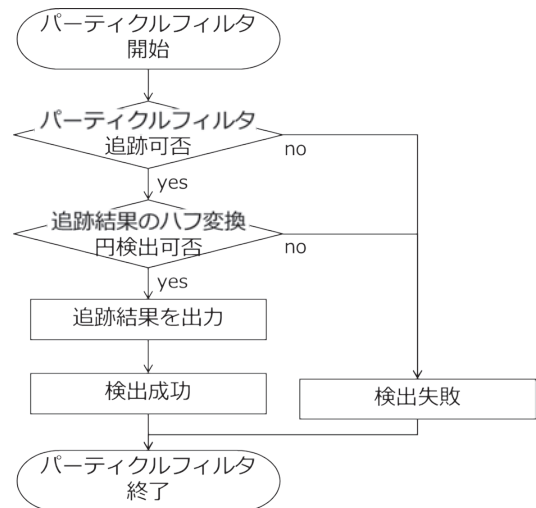


図-4 パーティクルフィルタフロー

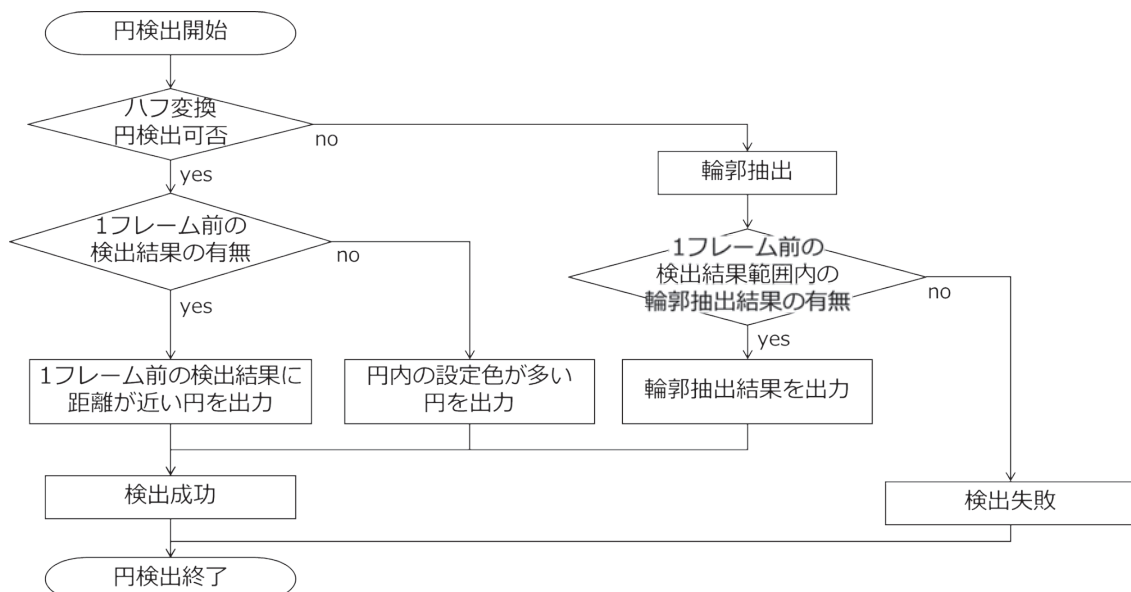


図-3 円検出フロー

内に検出の設定をした色が多い円を検出結果として出力する。ハフ変換による円検出で円が検出されなかったら、画像二値化による輪郭抽出を行う。1フレーム前の検出結果の範囲内に輪郭抽出結果があれば、輪郭抽出結果を円検出結果として出力する。

パーティクルフィルタのフローを図—4に示す。パーティクルフィルタによる追跡が成功した場合、追跡している物体が円形かどうかを判定するためにハフ変換を行い、円検出を行う。円と検出された場合、追跡結果を出力する。円と検出されなかった場合、またはパーティクルフィルタによる追跡ができなかった場合、検出失敗となる。

手法を切り替えることで、検出の失敗を抑え、追跡の精度を高めることができる。

(3) 自動停止機構

ボーリングマシンの自動停止機構の概要を図—5に示す。ボーリングマシンには電磁バルブを追加で設置して、受信機で信号を受信したら電磁バルブが作動して作動油の流れを停止することができるように配線を行う。

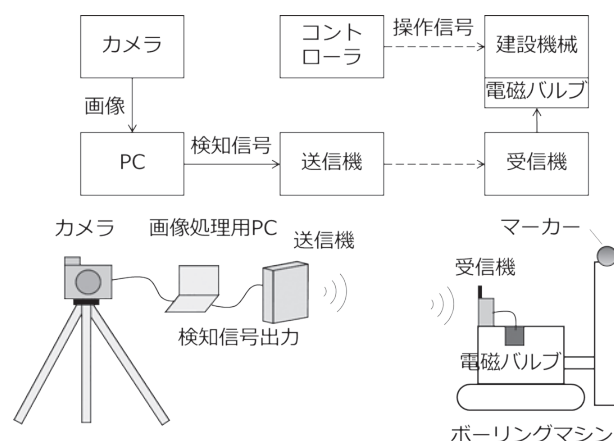
また、マーカ―検知アプリケーションが入ったPCと通信機器の送信機を接続する。PCのインターフェー

スはUSBであるが、送信機の入力は接点入力であるため、接点出力ユニットを間に挟み、マーカ―検知アプリケーションの信号を送信機で送信できるようにする。

3. 実証実験

(1) マーカ―検知

マーカ―検知手法による進入禁止エリアへの進入検知の可否を確認する実験を行った。実験は、供用中のトンネル現場と模擬トンネルを利用して行った。



図—5 自動停止機構



(a) 実験状況



(b) 模擬トンネル撮影画像



(c) 供用トンネル撮影画像

図—6 マーカ―検知実験状況

カメラを設置して仮想境界線を設定し、仮想境界線上を往復するようにマーカーを動かして、マーカー検知アプリケーション上でマーカーを検知して追跡が可能であるかを確認した。実験条件として、マーカーの色（黄、緑、桃）と大きさ（70 mm, 150 mm, 300 mm）、カメラとの距離（最大 50 m）を変更して実験を行った。実験状況を図一 6 に示す。カメラとレンズには、長距離でマーカーを検知するために 10 倍ズームが可能な機種を用いた（カメラ：The Imaging Source 社 DFK33UX178, レンズ：興和オプトロニクス社 LMVZ990-IR）。

マーカー検知実験の結果を図一 7 に示す。検知するマーカーの色を設定してマスク処理を行い、パーティクルフィルタによる追跡が問題なく行えることを確認した。検出範囲が進入禁止エリアに入ると、マーカー検知アプリケーション上で警報を発することも確認した。実トンネルにおいては緑色、模擬トンネルでは桃色のマーカーでよく検知が可能であった。壁面や照明の違いから、トンネルによって検知可能なマーカーの色に違いが出た。たとえば、図一 8 に示すように、実トンネルで黄色のマーカーを使用した場合、

坑内照明と色味が似ていることからマーカー検知が失敗することがあった。このことから、利用環境ごとに検出する色の設定を変更する必要がある。こうした誤認識を防ぐために、マーカー検知アプリケーションには検知範囲を仮想境界線付近に限定する機能を実装している。

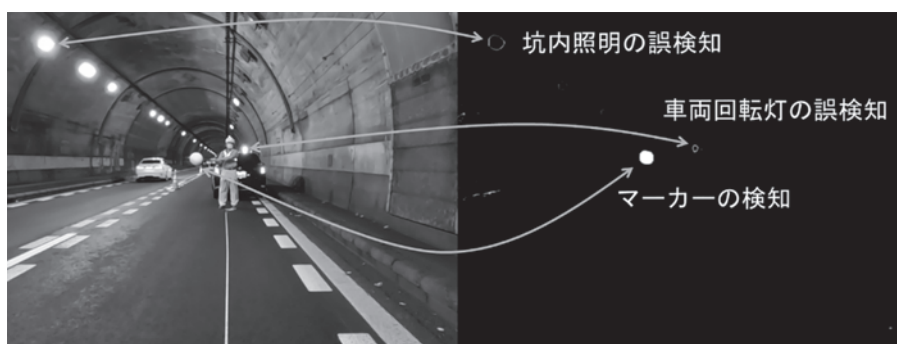
実験結果から、ズームを用いない場合、150 mm のマーカーで 50 m まで、ズームを用いた場合、70 mm のマーカーで 50 m までの距離で検知可能であった。これは画像上での円の直径が 20 pixel 以上であるサイズである。

(2) 自動停止

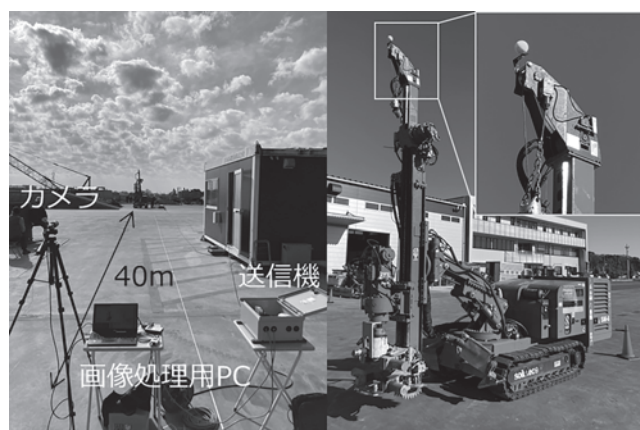
マーカー検知から通信を経てボーリングマシンが停止するまでの一連の流れについて、動作確認の実験を行った。ボーリングマシンはソイルメック社の SM-6 を使い、マーカーをブームの頂部に設置した。通信機器には 429 MHz 帯の特定小電力無線を用いた。ボーリングマシンへのマーカーの設置状況および実験状況を図一 9 に示す。マーカーは黄色の球体で直径 70 mm、実験場所の広さから、カメラとボーリングマ



図一 7 マーカー検知実験結果



図一 8 環境色との誤検知



図—9 ボーリングマシン自動停止実験状況



図—10 ボーリングマシン自動停止実験結果

シンの距離は40 mで実施したが、マーカー検知から自動停止まで1秒未満の反応速度で問題なく動作することを確認した。図—10に自動停止したときの状況を示す。ボーリングマシンは1秒未満で自動停止するものの、その間も機械は動くため、実際の運用では仮想境界線は動作可能エリアに500 mm程度寄せる必要がある。

また、SM-6はリモコンによる遠隔操作が可能であり、リモコンも429 MHz帯の電波を利用している。リモコンと送信機が近い位置にある場合に、混線してボーリングマシンが信号を受信できないことがあ

た。検証の結果、送信機から10 m以上の離隔を取り、かつ周波数が0.3 MHz以上離れるようにチャンネルを設定する必要があることが分かった。今回は入手の容易さからレンタル会社からレンタル可能な429 MHz帯の通信機を選定したが、混線しない周波数帯の機器の選定が必要である。

4. おわりに

本稿では、供用中の道路に隣接する工事における、建設機械が境界線を越えないための安全装置として、球体マーカーを用いて進入を検知して建設機械を自動停止する機構を開発した。実験に際しては日本基礎技術(株)にご協力いただいた。本技術は、無線で受信した信号をトリガーにして動作を停止することが可能な仕組みを持つ建設機械であれば、ボーリングマシンに限らず適用が可能である。また、高速道路だけでなく、一般国道の片側車線を通行止めにして行う工事や、橋梁での床版取り換え工事などにも適用可能である。自動停止することによる安全性への影響を考慮する必要があるが、適用性の拡大について今後も検討を続けていく。

J C M A

《参考文献》

- 1) 石濱裕幸, 千野雅紀, 山岸稔, 画像を用いたマーカー検知によるボーリングマシンの自動停止機構の開発, 土木学会第78回年次学術講演会講演概要集, 2023年9月

【筆者紹介】

千野 雅紀 (ちの まさき)
 (株)安藤・間
 技術研究所フロンティア研究部
 主任

