

学 位 論 文 の 要 旨

専攻	安全システム工学 専攻	ふりがな 氏 名	かわべ ともひと 川辺 知人
学位論文題目	ホイールローダによる堆積物運搬作業の自動化と実証実験 (Demonstration experiment of automated gravel pile transportation work using a wheel loader)		
学位論文要旨			
<p>建設業は深刻な人手不足の問題に直面している．この問題に対し，国土交通省が「i-Construction」と呼ばれる施策を推進している．これにより ICT を活用した建機による遠隔施工や自律施工の研究開発が行われている．土木施工に用いられる重機としてホイールローダが挙げられる．ホイールローダは中折れ式のステアリング機構をもつ 4 輪駆動の重機であり小回りが利くため，採石，土砂運搬，除雪，畜産，農業，林業などで様々な資材の輸送に用いられている．我々はホイールローダによる堆積物運搬作業の自動化を目的としている．本稿における堆積物運搬作業とは積み上げられた堆積物をホイールローダで掬い取り，ダンプトラックの荷台へ積み下ろしを繰り返すことを指す．</p> <p>ホイールローダを用いた堆積物運搬作業は(A)堆積物の掬い取り，(B)掬い取りを行った地点から，ダンプトラックの前までの移動．(C)堆積物をダンプトラックの荷台に積み下ろす，という 3 つの作業に大別される．ホイールローダは(A)，(B)，(C)の作業をダンプトラックの荷台が空から満杯になるまで繰り返す．ダンプトラックの荷台が満杯になったら，ダンプトラックは指定された場所へ回収した堆積物を運搬する．この作業が作業区画内の全堆積物を運搬し終えるまで行われる．ホイールローダとダンプトラックが連携して自律で堆積物運搬作業を行うことは，(1)ホイールローダのタスク実行のための制御，(2)堆積物運搬作業をし終えるまでの建機の作業計画，という 2 つが必要となる．これら 2 つの研究開発と実証実験により，現実の屋外環境でのホイールローダによる自律堆積物運搬作業の実現可能性を示す．</p> <p>2 章ではホイールローダが(A)，(B)，(C)のタスクを実行するための後付け運転装置による制御手法を提案する．重機は一般的に制御入力を与えてから重機が動き始めるまでに油圧駆動システム特有のタイムラグが生じる．これはむだ時間と呼ばれており，このむだ時間は制御性能を低下させることで知られている．また，後付け運転装置の応答速度，地面の粘度，地面形状の分布などが，走行制御モデルのパラメータに影響を与える．これら要因を考慮するとホイールローダの制御モデルはパラメータが多くなり，複雑化する．実現場で運用するには簡素なモデルで少ないパラメータで運用可能な制御モデルであることが望ましい．この課題に対し，単純な制御モデルによるシステム同定方法とむだ時間を考慮した制御手法を提案し，実際のホイールローダを用いて屋外環境で走行制御の実証実験を行うことにより提案手法の有用性を示した．</p> <p>3 章では作業区画内に存在する全堆積物運搬作業にかかる総走行距離を小さくするための経路計画手法を提案する．ホイールローダによる堆積物運搬作業を自動化するには，堆積物を掬い取る地点の</p>			

決定、積み下ろし地点の決定、掘り取り・積み下ろし点間の走行経路の決定を行う必要がある。この作業を効率化するためには、作業終了までにかかる総走行距離を小さくするための適切な経路計画が必要となる。しかし、掘削による堆積物形状を考慮した経路計画を行うには、状態空間（堆積物形状、車両座標など）のパターンが発散することや、実際の堆積物が経路計画で算出したものと同様の变化をすることがないため逐次経路を組み直さなければならないことから最適経路計画は困難となる。この経路計画問題を3つの単純な問題として分割し、分割した問題の1つに深層強化学習を組み込むことで堆積物の形状変化に対してもロバストな経路計画手法を提案し、実験により有用性を示した。

4章では、2章、3章で提案した2つの手法の有用性を示すために、後付け運転装置を搭載したホイールローダを用いて複数の異なる屋外環境にて堆積物運搬作業の実証実験を行うことにより評価した。それらの実験環境では、その堆積物の大きさや形状、走行可能な領域、そして、路面の状態が同じでない場合においても提案手法による制御方法により堆積物運搬作業を実現した。また、実際の作業現場は壁や塀などの障害物に囲まれ、ホイールローダの走行可能領域が限られている環境の場合がある。このような作業環境で堆積物運搬作業を行うために、堆積物形状の計測、掘り取り・積み下ろし作業によるホイールローダのアームやバケットの稼働範囲、障害物に囲まれていることを考慮した経路計画および堆積物運搬作業を行う必要がある。この課題に対して、環境配備 LiDAR により車両と環境情報を同時にリアルタイムで計測することで作業計画をする手法を提案した。また、雪山を堆積物として実環境で実証実験することにより、その有用性を示した。

これら研究により、実現場でホイールローダを制御するための制御システム、作業全体を効率化するための経路計画、それら手法を用いた実証実験を行うことにより、本研究が有用であることを示した。