

倉庫の保管効率と入出庫速度向上を両立させる 新型自動運転フォークリフトの開発

Development of New-AGF Improving Warehouse Storage Efficiency and Throughput



川部 満久*¹
Mitsuhsa Kawabe

奥田 智也*¹
Tomoya Okuda

小野寺 祥*¹
Sho Onodera

大滝 雄介*¹
Yusuke Otaki

自動運転フォークリフト(以下 AGF:Automated Guided Forklift)の適用現場を拡大していく上で、処理能力が有人車の半分程度であることと、運用可能な通路幅を有人車より広くとる必要があることが課題となっている。そこで、本研究では、新たな機構(3輪操舵, 新マスト機構等)やセンサ・制御技術(2D-LiDAR/SLAM 等)を実装した有人車並みの荷役作業が可能な AGF を試作し、倉庫の保管効率と入出庫速度向上を両立させる新型 AGF の性能評価を行った。実証試験の結果、有人車相当の処理速度と、有人車で運用できない狭隘通路でも運用可能な見通しを得た。

1. はじめに

生産/物流現場での人手不足やコロナ禍での接触回避に対して、自動化・知能化システム導入は有効な打ち手である。しかし、既存の AGF の処理能力は有人車の半分程度で自動化が高額、投資回収期間が長いこと、および運用可能な通路幅を広くとる必要があり、自動化できるユースケースが限定され、導入障壁となっている。

本研究では、AGF の荷捌き能力(スループット)向上と、運用可能な通路幅縮小による倉庫の蔵置密度向上への寄与を目的とした新型自動運転フォークリフトの開発を進めている。三菱ロジスネクスト株式会社の有人フォークリフト(Platter-Multi)をベースとして、三輪操舵可能、かつコンパクトな AGF を設計し、狭隘な通路幅でも運用可能とする制御技術を開発することで、有人車では運用できない狭隘通路でも処理速度を維持して運用可能な見通しを得た。本報ではその概要について述べる。

2. 新型自動運転フォークリフト(新 AGF)の機構設計

本研究で試作した新 AGF は、①小型化による倉庫の蔵置密度増大、②高速化によるスループット向上を目指して開発した。図1に示すように、ベース車両として人操作での全方位移動が可能な Platter-Multi を採用し、駆動モータや荷役系、基本的な制御装置を流用することで、新たな開発項目が最小限になるようにした。

また、3D CAD/機構解析の同時並行設計を進め、車両形状の小型化検討、重量配分の設計と、MBD(Multi Body Dynamics)による動作シミュレーションを1週間程度のサイクルで回すことにより、短期間で実用性のある車両設計を実施した。

*1 総合研究所 機械研究部



図1 ベース車両と開発した新 AGF

図2に製作した車両の外観と、主な構成機器の配置を示す。まず、有人車から無人仕様に置き換えるため、車両下部に安全検知兼自己位置用 2D-LiDAR を全方位カバーするように複数台取り付けているほか、自律走行を行うための計算機を車両制御機器配置スペースに新規で搭載している。

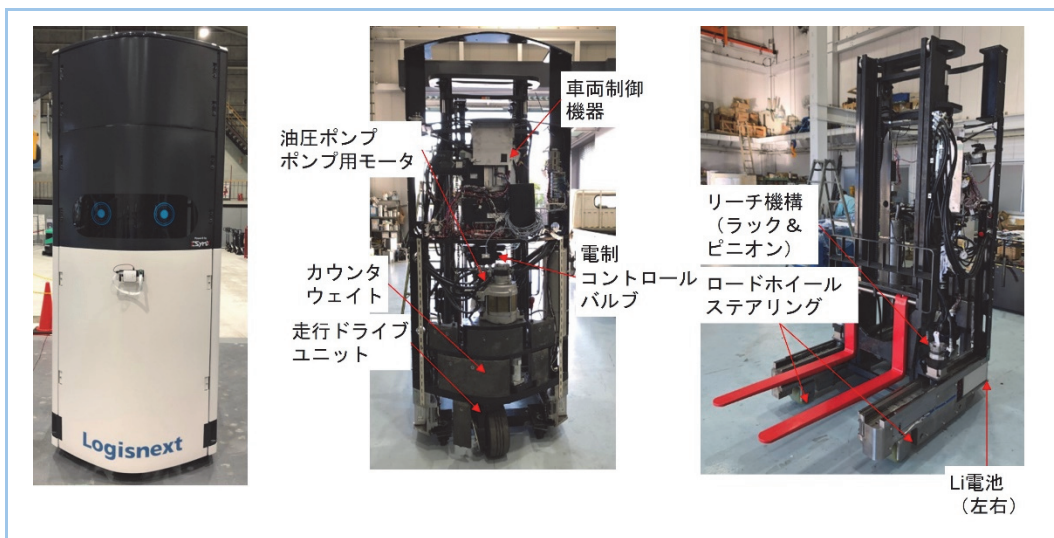


図2 車両外観と主な機器配置

小型化のために、車両の走行ドライブユニット、油圧系統の機器の再配置を行っている。フォークのリーチ機構を、油圧シリンダからラック&ピニオンギアで動作するように改造するほか、車体の駆動バッテリーを小型リチウム電池に置き換える等の施策により、図3のように車両サイズを小型化している。現行機と比較して、1100mm 四方のパレットを保持する際、車両の専有面積内にパレットを収められるようになり、荷役時の全長を従来よりも 65% 小型化できている。

また、Platter-Multi では、フォーク側の2つの従動輪(ロードホイール)に操舵角制御を行うためのモータが搭載されていて、新 AGF でもそのモータを活用することで、三輪操舵での走行を可能とした。車両の小型化に加え、3輪操舵によるその場旋回(超信地旋回)など、現行 AGF ではできない走行ができるようになったことで、図4のように走行時に必要とされる最小通路幅を1900mm まで削減できた。

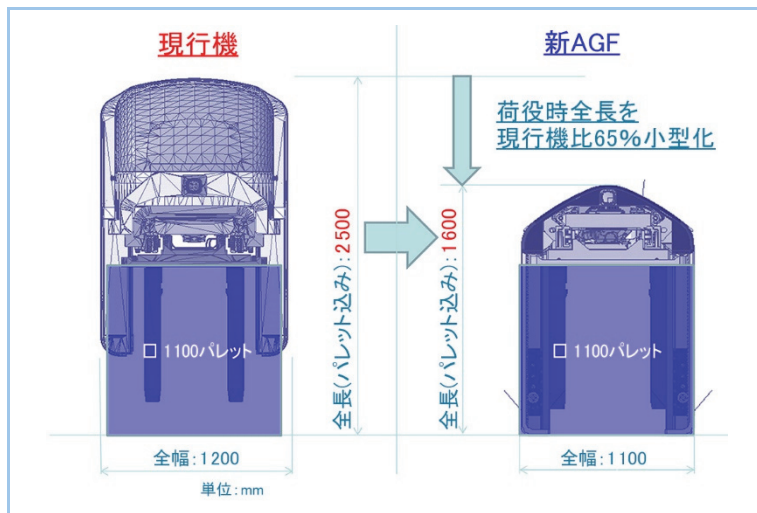


図3 車両サイズの比較(上から見た図)

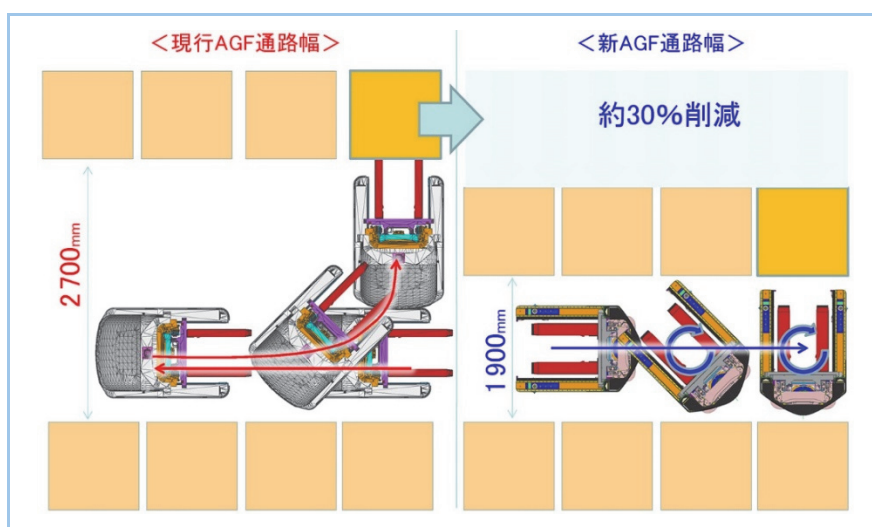


図4 走行時に必要な最小通路幅の比較

3. 狭隘路に対応するための旋回制御技術

現行 AGF や有人車で運用できないレベルの通路幅(2.7m 以下)でも走行可能とするため、通路壁との距離を保つように並進位置補正しながら旋回する技術を開発した。図5に示すように、通路幅方向に車両がずれている状態から旋回する際、位置ずれ量が多い状態でそのまま旋回しようとするすると壁と車両がぶつかってしまう。そこで、旋回中に通路壁と車両のクリアランスを、車体に取り付けている自己位置推定用 2D-LiDAR のセンシングデータから計測し、クリアランスの小さい壁から遠ざかるような並進位置補正成分を加えた旋回制御を行っている。

通路壁と車両のクリアランス計測では、図6のように、2D-LiDAR で計測した車両周辺の点群データに対する直線フィッティングにより、車両両側の壁を検出し、各々の壁に対して、車両外形領域との最小距離を計測することで、クリアランス計測を行っている。また、車両座標系に対する、壁の傾きを計算することで、壁から遠ざかるための並進移動方向を求めている。

旋回時の指令は、車両の旋回中心をフォーク側の従動輪(ロードホイール)とした、旋回速度/操舵角指令を生成している。これは、車両の駆動輪が搭載されている側(バンパ側)の外形が、左右それぞれのロードホイールを中心とした円に沿うカーブを描くような形状となっており、車両中心での超信地旋回よりも狭い幅で旋回できるためである。

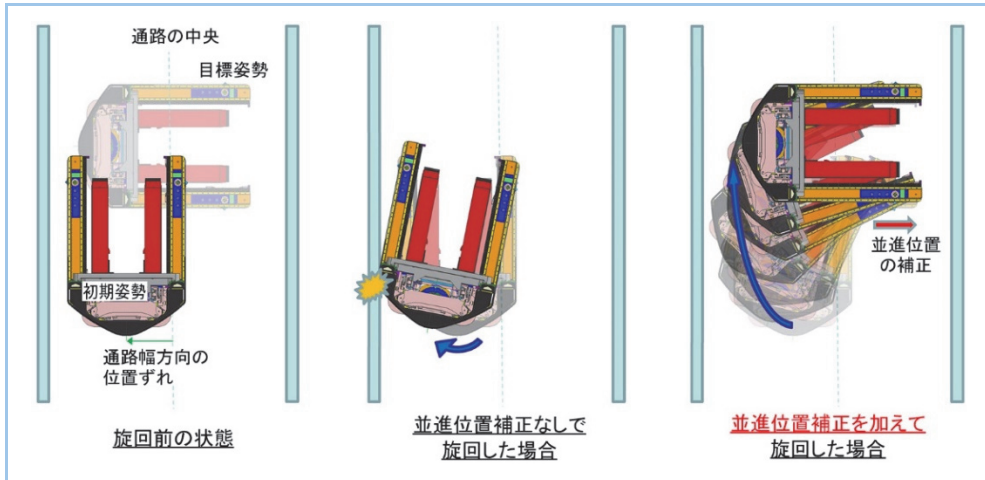


図5 並進位置補正を加えた旋回技術イメージ

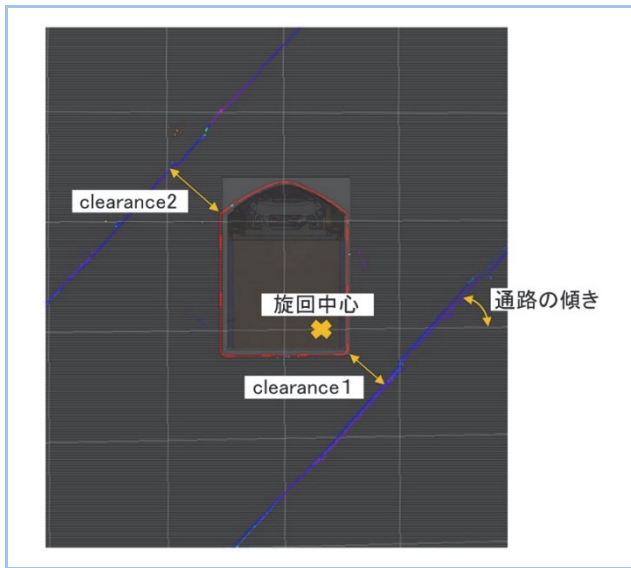


図6 通路壁との距離をセンシングした結果例

並進位置補正を加えて旋回する際、上記で計測した車両に対する壁の傾きに基づき、図7のように、旋回中心のロードホイールを通路幅方向に操舵する。その他2つの車輪は、旋回中心のロードホイール周りで旋回するための旋回速度成分と、並進位置補正速度成分ベクトルを合成した方向に操舵角を制御することで、旋回と並進位置補正を両立させている。旋回中に時々刻々の変化するクリアランス計測結果に基づいて、旋回中心のロードホイールが常に通路幅方向を向くようにすることで、車両の姿勢が変わっても通路幅方向の並進位置補正を可能としている。

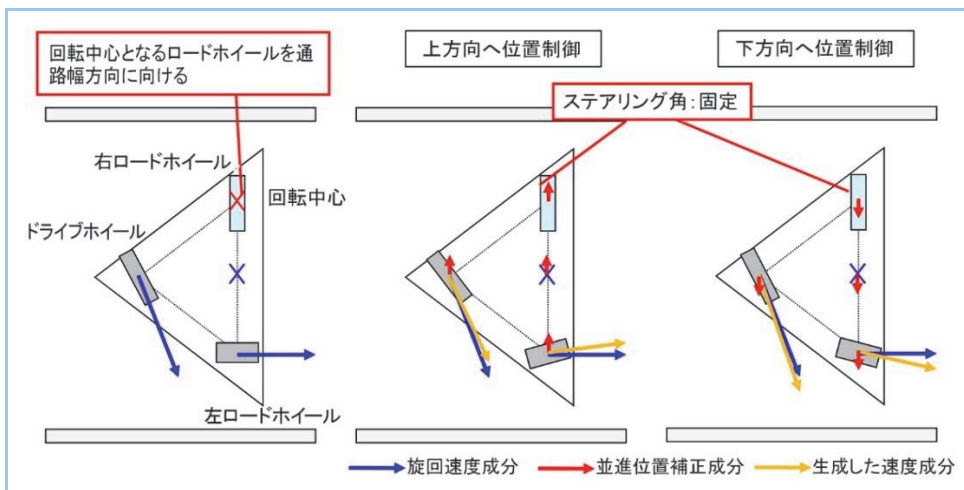


図7 旋回と並進位置補正を両立する速度成分の算出イメージ

4. 実機検証試験

開発した新 AGF に上記の巡回制御技術を実装し、動作検証を実施した。狭隘路での走行試験では、**図8**のように棚を模擬する柱を置くことで車両毎に走行通路幅を変え、既存 AGF と新 AGF の棚間通路の直進～巡回～荷取りにかかる時間の比較を行った。

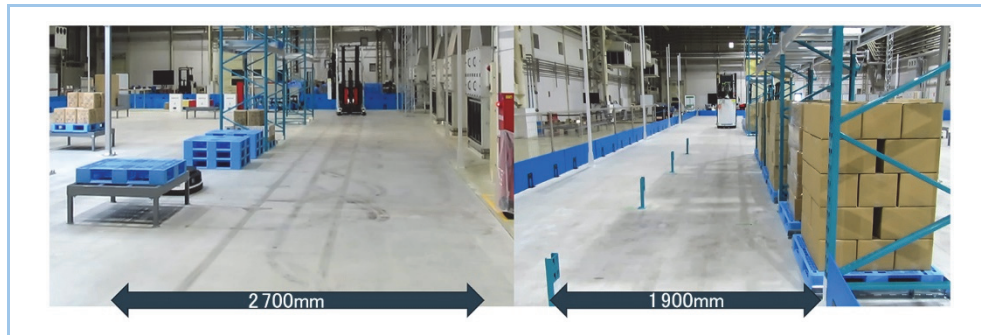


図8 実機検証時の通路幅比較

試験の結果を、**図9**に示す。既存 AGF よりも狭い通路幅での走行でも、棚とぶつからずに巡回できていることに加え、より高速に荷取り完了までの動作ができていることを確認した。

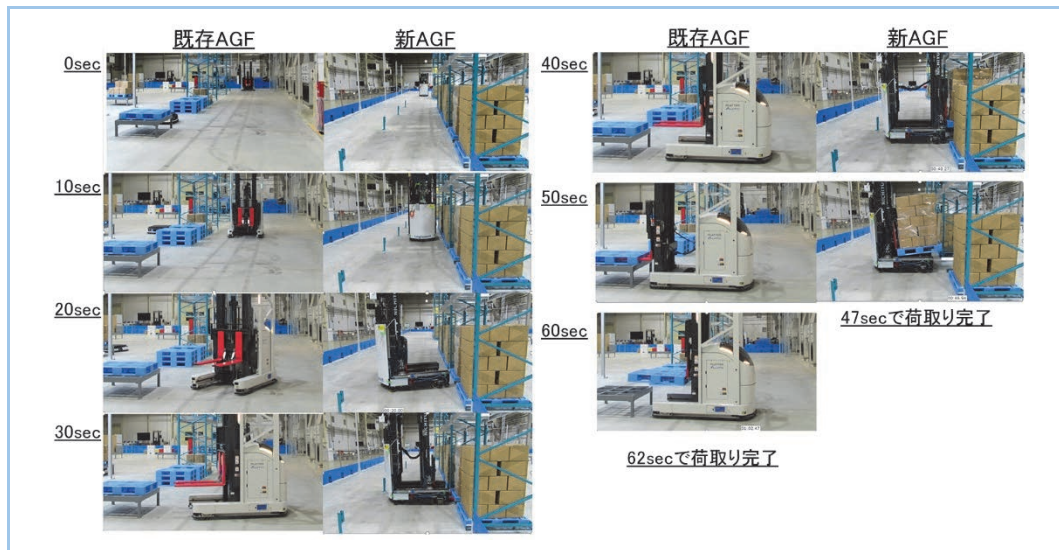


図9 棚間通路の走行と荷取り動作の時間比較

また、マルチテナント倉庫での運用で想定される走行シナリオを検討し、“仮置き場からの荷取り⇒棚への荷置き⇒仮置き場に帰る”までの一連動作にかかる時間を試算することでスループットの評価を行った。検証では上記のシナリオを部分的に切り出して試験を実施し、シナリオ実行にかかる総所要時間を評価した。その結果、**図10**に示す結果が得られ、既存 AGF よりも高速で動作できるだけでなく、人操作(ベテランフォークマン)に匹敵するスループットを達成できる見込みが得られた。

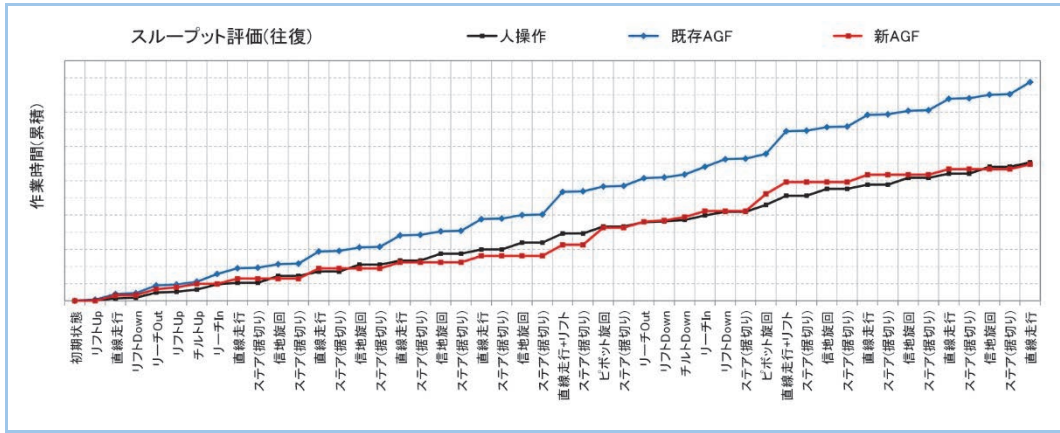


図 10 スループット比較結果

5. まとめ

本研究では、有人フォークリフトをベース車両として、新たな機構(3輪操舵, 新マスト機構等)やセンサ(2D-LiDAR 等)・自動走行技術を実装することで、有人車並みの荷役作業が可能なAGFを開発した。狭隘路での運用を可能とするために、3輪操舵による並進位置ずれ量の補正と旋回動作を同時に行う走行制御技術を開発した。

試作車両によって実走行/荷役させたデータに基づき、入出庫処理速度の指標となるスループット(単位時間当たりのパレット処理数)を試算し、想定したモデルケースにおいて、有人車に匹敵する処理速度があることを確認した。また、モデルケースのコースは、有人車では運用できない2.7m以下(1.9m)の狭隘通路でも処理速度を維持して運用が可能であることを実証した。

今後は、より適用現場に近い走行環境での繰り返し動作試験や、スループット観点での走行、操舵制御の改善を進めていくことで、より実用性の高い車両を作り上げていく予定である。