

## 製品紹介

## コンテナ用フォークリフト FH120-1ガイダンス・セミオート仕様

## Container Forklift FH120-1 Guidance and Semi-automatic Functions

山代 学  
Manabu Yamashiro  
山根 一夫  
Kazuo Yamane  
野寄 敬博  
Takahiro Noyori  
岩永 圭弘  
Yoshihiro Iwanaga

近年、物流業界での人手不足が深刻となる中モーダルシフトによる鉄道コンテナ輸送の要求の高まりを受け、フォークリフトの熟練オペレーターの確保や人材育成が課題となっている。この課題解決のため、日本貨物鉄道株式会社（以下「JR貨物」）とコマツはオペレーターの作業負担軽減を目的とした取り組みを進めてきた。エンジン式フォークリフトFH120-1をベースに、未熟練者でも「安全」「簡単確実」「疲れず」に作業ができることを目指すガイダンス・セミオート機能を開発したので、その主な特徴を紹介する。

In recent years, as labor shortage has become increasingly serious in the logistics industry, securing skilled operators of forklifts and training human resources is an issue because of the increasing demand for container transportation by rail as a means of modal shift. In order to solve this issue, Japan Freight Railway Company (hereinafter referred to as “JR Freight”) and Komatsu have been working to reduce the workload of operators. Based on the engine-powered forklift FH120-1, we have developed guidance and semi-automatic functions that aim to achieve “safe,” “easy and reliable,” and “fatigue-free” operations even for unskilled operators. This paper reports on the main features of these functions.

*Key Words:* コンテナ、荷役作業、作業負担、ガイダンス、セミオート

## 1. はじめに

近年、物流業界での人手不足への対応や環境負荷の低減を主眼に大量輸送が可能であり環境特性に優れた貨物鉄道輸送への転換（モーダルシフト）の関心が高まっている。一方で貨物駅では、労働人口の減少により、コンテナ荷役作業における熟練したオペレーターの確保や人材育成が課題となっている。

貨物駅での荷役作業には、大型のフォークリフトが用いられるが、安全で高品質な輸送のため、オペレーターは高度な運転技術と貨物列車のダイヤなどに合わせた臨機応変な作業が求められる。このような中、新人オペレーターは運転技術の習熟と作業負担の高い業務遂行に苦勞しており、迫りくる労働者不足への対応として安全性の確保や人材の早期育成が大きな課題となっている。

コマツはJR貨物より相談を受け、このような課題解決に向けた取り組みを2019年より開始した。現状の課題と将来のあるべき姿を共有し協議した結果、将来的な荷役作業の遠隔化や自動化に向け、まずは有人作業の補助によるオペレーターの作業負担軽減を目的とすることとして、FH120-1をベースとした操作ガイダンス機能（**図1**）と操作セミオート機能（**図2**）の研究開発を開始した。2023年に本機能の量産化にむけた共同開発契約を締

結し、FH120-1ガイダンス・セミオート仕様を開発した。

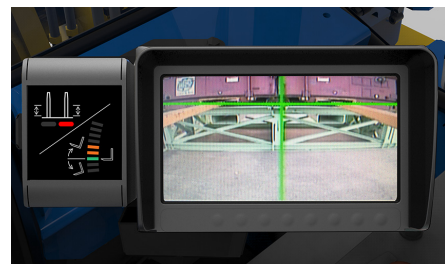


図1 操作ガイダンス機能

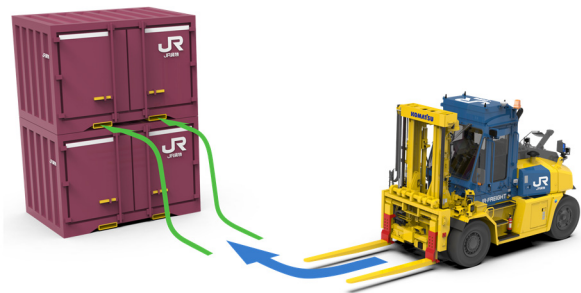


図2 操作セミオート機能

## 2. 開発のねらい

機能の検討にあたり、まずどのような作業でオペレーターの負荷が高いのかを分析した。貨物駅でアイトラッキング（視線計測）やタイムスタディを実施し、新人と熟練のオペレーターの作業を比較した結果、新人オペレーターは操作の難しさや視認性の問題などから、荷役時の正対動作と作業機姿勢の確認、そして、コンテナを安全に取り扱うための確認作業に苦労していることが分かった。

そこで、オペレーターの作業負荷軽減のため、未熟練でも「安全」「簡単確実」「疲れず」に作業ができることを目指して、以下の機能を開発した（図3）。

### (1) 操作ガイダンス機能

- 荷役時の確認作業を容易化することをねらいとし、ガイド線やフォーク角度の表示による操作補助や、コンテナを適正な位置で保持するための注意喚起、およびオペレーターの視界の補助を行う。

### (2) 操作セミオート機能

- 荷役時の操作を容易化することをねらいとし、操作が難しい荷役対象への正対動作や、フォーク挿入時の作業機姿勢の調整を一部自動化する。

荷役作業時の課題

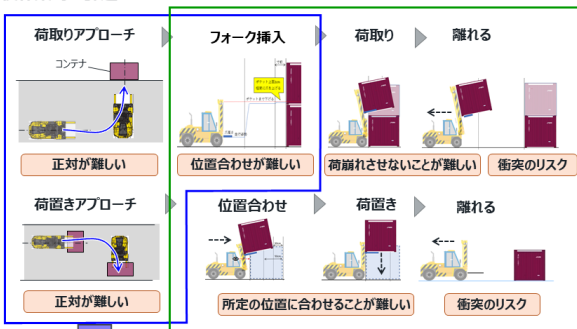


図3 荷役作業時の課題と目指す機能

これらの機能により、以下のような導入メリットが期待できる。

- 死角の改善、確認の容易化により、新人・熟練者問わず、事故のリスク低減につながる。
- 簡単・確実な作業ができることで、特に新人オペレーターにとって荷役作業中のやり直し回数の低減につながる。
- 新人オペレーターの身体的疲労・精神的負担の軽減につながる。

## 3. 主な特長

### 3.1 操作ガイダンス機能

#### 3.1.1 機能の概要

操作ガイダンス機能は、オペレーターの確認作業を補助する機能である。車体の前方、後方の確認をガイダンスモニタシステムで補助し、ガイダンスインジケータでフォーク角度やコンテナへのフォークの挿し込み量の確認を補助する。

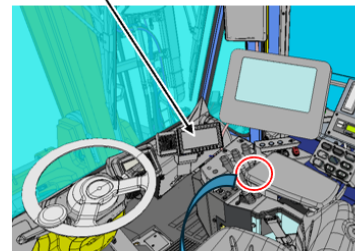
#### 3.1.2 ガイダンスモニタシステム

本機は、ガイダンスカメラを前方に3個、後方に1個搭載する（図4）。カメラからの映像は、運転席の右前方に配置するガイダンスモニタに表示される。ガイダンスモニタの画面表示は、ひじ掛け下に配置するガイダンスモニタ切替スイッチによって切り換えることができる（図5）。



図4 ガイダンスカメラのレイアウト

ガイダンスモニタ



ガイダンスモニタ切替スイッチ

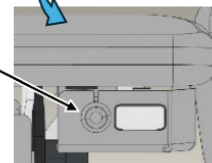


図5 ガイダンス用装置のキャブ内レイアウト

カメラのレイアウトや角度は、コンテナを持ち上げる荷取り作業と、コンテナを貨車へ置く荷置き作業時の確認作業に使用されることを想定して設定しており、運転席からは直接視認しにくいオペレーターの視界を補助する。

コンテナ荷役時に特に注意が必要なことは、コンテナを貨車に締結するための装置（緊締装置）へのロックおよび解除を確実に実施することや隣のコンテナと接触させないことである。状況に応じてこれらを確認できるように、画面表示の切り換えはガイダンスモニタ切替スイッチによる手動での切り換えやコンテナの保持状況に応じた自動での切り換えができるようにしている（図6）。

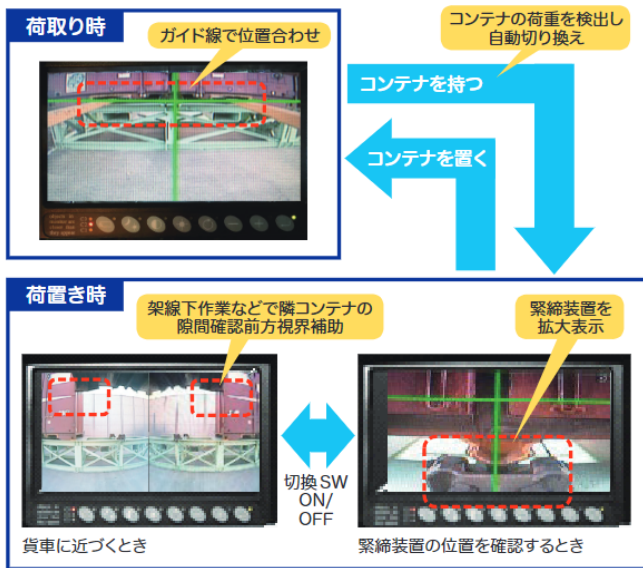


図6 ガイダンスモニタ画面の切り換え（前方確認時）

また、後進走行時は、前後進レバー操作に連動してガイダンスモニタの表示が自動的に後方カメラ映像に切り替わる。超広角カメラのため、車体後方の広範囲のエリアを確認することができる（図7）。



図7 ガイダンスモニタ画面の切り換え（後方確認時）

### 3.1.3 ガイダンスインジケータシステム

ガイダンスインジケータシステムには、水平インジケータ機能とツメ余し警告機能がある。

水平インジケータ機能は、フォーク上面が水平方向からどの程度傾斜しているかを表示する。新人オペレーターにとっては、FH120-1のような大型フォークリフトにおいてフォークを水平に合わせることが難しく習熟に時間もかかるが、この水平インジケータ機能でフォーク角度を確認できるのでフォークを水平に合わせやすくなる。

作業機のボードに傾斜センサーを取り付けているため、車体が傾斜地にいる場合でも、フォーク（保持しているコンテナ）の水平面に対する角度を表示することができる。また、保持しているコンテナの荷重によるフォークのたわみ量を補正して表示している（図8）。

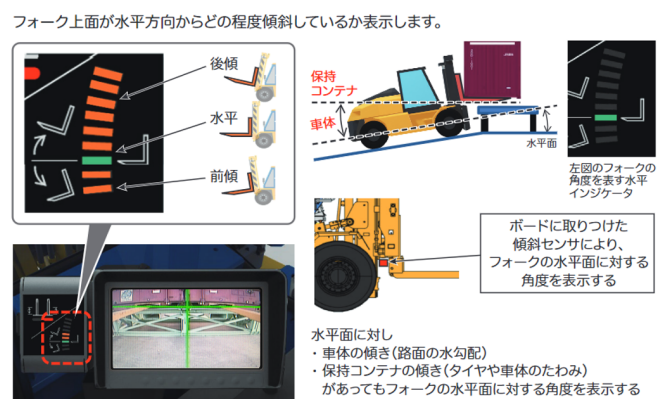


図8 ガイダンスインジケータシステム（水平インジケータ機能）

フォーク挿し込み量が足りない状態でコンテナを持ち上げると、コンテナを落下させてしまうおそれがあるが、これを低減するためにツメ余し警告機能を開発した。コンテナへのフォーク挿し込み量が十分でない「ツメ余し状態」になっていると、インジケータのランプが点灯する。ツメ余し状態でコンテナを持ち上げようとすると、ランプが点滅しブザーが鳴動することでオペレーターに知らせる。ツメ余し状態は、左右のフォークそれぞれ対して検知および表示するため、フォークがコンテナに斜めに挿している場合でも、ツメ余し状態であることを警告できる（図9）。

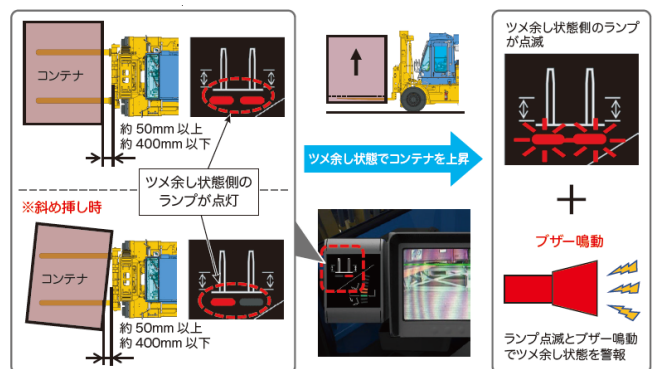


図9 ガイダンスインジケータシステム（ツメ余し警告機能）

### 3.2 操作セミオート機能

#### 3.2.1 機能の概要

操作セミオート機能は、コンテナ荷役におけるフォークリフトの一部操作を自動化する機能であり、自動ステアリング制御と自動作業機制御から構成される。自動ステアリング制御は対象に正対するためのステアリング制御を行い、自動作業機制御は作業機のフォーク先をコンテナのフォークポケットに合わせる制御を行う。

操作セミオート機能を利用したい場合、オペレーターは以下の手順に従う：

- (1) キャブ内のセミオートモニタに荷役対象を示す認識枠が表示されていることを確認する（**図10**）。
- (2) セミオート開始スイッチを押して自動ステアリング制御を開始する。
- (3) アクセルを踏んで前進を始めると、ステアリングは荷役対象に正対するよう自動制御される（**図11**）。
- (4) 正対後、再びセミオート開始スイッチを押して自動作業機制御を開始すると、作業機のフォーク先がコンテナポケット中央へと制御される（**図12**）。
- (5) アクセルを踏んで前進し、フォークをコンテナポケットへと挿入する。

なお、コンテナを保持して貨車やトラックへ積み込むといった荷置き作業の場合にも、貨車などの緊締装置やコンテナ横の空きスペースを目標として、自動ステアリング制御が行われる。

このように、操作セミオート機能を利用することで、オペレーターは荷役作業の大部分をアクセル操作のみで行うことができる。

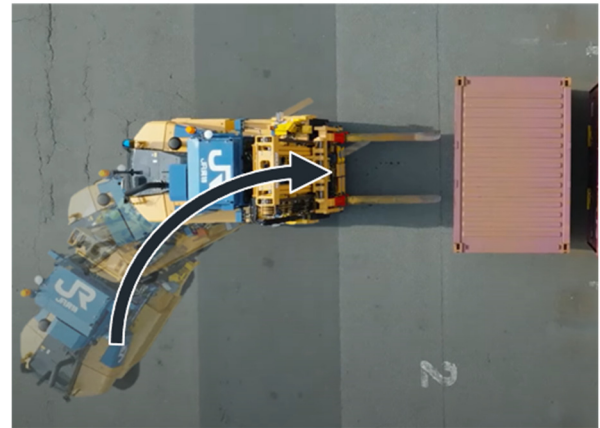
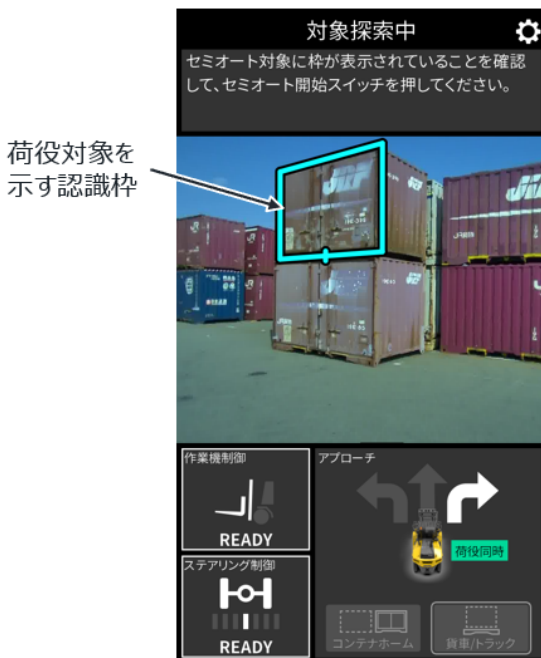


図11 自動ステアリング制御



図12 自動作業機制御



荷役対象を示す認識枠

図10 セミオートモニタでの荷役対象の表示

#### 3.2.2 搭載機器

本機は、操作セミオート機能として以下の機器が搭載されている。まず、外界センサーとしてLiDAR（※1）とカメラで1組とし計4組、タイヤフェンダ上に左右前それぞれを向いた3組、作業機に1組が搭載されており、車体に対する荷役対象の方向や積荷の有無によって使用するセンサーを切り換えている。また、ステアリング Electromagnetic Proportional Control (EPC) バルブと作業機EPCバルブが搭載されており、ステアリングと作業機を自動制御できるようになっている。ステアリング角度エンコーダと作業機シリンダ長エンコーダも搭載されており、それぞれの位置を計測する。キャブ内には、セミオートモニタとスイッチ類が搭載されており、セミオートの荷役対象の確認や各種操作を行うことができる（**図13**）。

（※1）：Light Detection And Rangingの略。レーザー光を照射して、その反射光の情報をもとに対象物までの距離や対象物の形などを計測する技術。

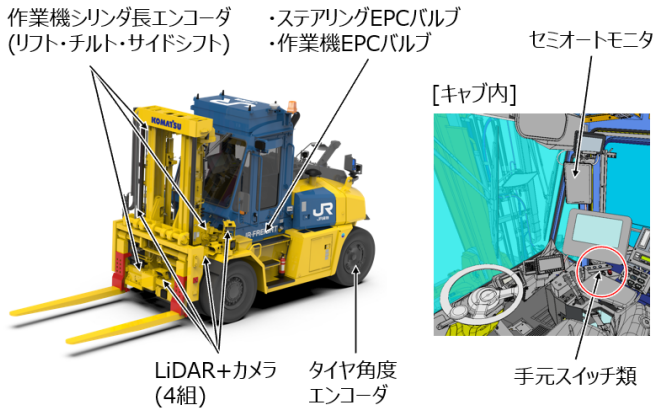


図13 セミオート用装置のレイアウト

### 3.2.3 制御システム

図14に操作セミオート機能の制御システムのブロック図を示す。制御システムは、外界センサー、車体情報、認識処理、セミオート制御、アクチュエータ制御の5つのブロックから構成される。

LiDARとカメラからの点群と画像、車体情報から、認識処理によって荷役対象の位置姿勢を推定する。荷役対象の位置姿勢をもとに、セミオート制御によって目標ステアリング角度、目標作業機位置を決定する。目標ステアリング角度、目標作業機位置をもとに、ステアリングや作業機のアクチュエータを制御し、操作セミオート機能を実現する。

以降は、認識処理とセミオート制御についての詳細を説明する。

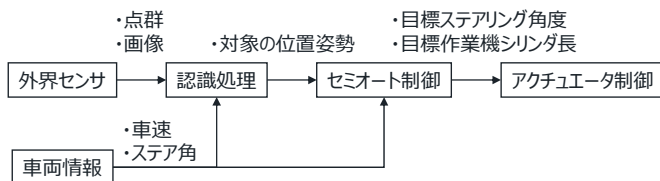


図14 制御システムのブロック図

### 3.2.4 認識処理

認識処理の目的は、外界センサー情報から荷役対象を検出し、その位置姿勢を精度よく推定することである。操作セミオート機能で認識できる対象は、コンテナ、貨車やトラック上の緊締装置、空きスペースの3種類がある(図15)。ここではコンテナ認識を例にその認識アルゴリズムの概要を説明する。

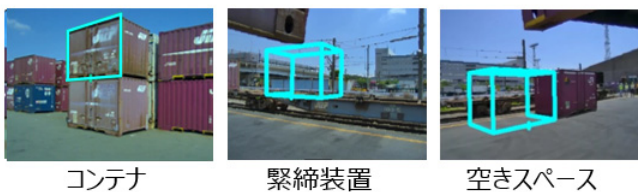


図15 認識できる対象

図16に認識処理のブロック図を示す。まず、LiDARで取得した3次元点群データを用いて、点群認識ブロックがコンテナを検出し、その位置姿勢を推定する。このブロックでは、点群からコンテナ前面の平面部分を抽出し、その平面上でフォークポケットを検出することで、コンテナの3次元の位置姿勢を推定する。

そのあと、事前に学習された画像分類モデルにカメラ画像を入力し、点群で検出された物体がコンテナであるかどうかを分類する。このときに、点群データから検出された物体を正面から見た画像に視点変換した画像を画像分類モデルの入力とすることで、より高精度で画像分類を行うことを図っている。また、貨物駅には二段積みで設置されているコンテナも存在するが、LiDARの垂直方向の視野角が不足しているため、点群データからコンテナが二段積みになっているかを判断することができない。そのため、画角が比較的大きいカメラ画像を用いて画像分類モデルのなかで、二段積みコンテナであるかどうかの分類も行っている。

最後に、整合性確認ブロックが点群認識と画像分類の整合性を確認し認識の成否を判定する。このブロックのなかには過去の認識結果が保持されており、ある一定回数連続して認識に成功したときに初めてその対象をコンテナとして確定する処理を実施している。このように、点群と画像の併用に加え、時系列的な整合性確認を行うことで、誤認識を極力減らす設計となっている。

以上の手続きで推定された荷役対象の位置姿勢は、最終的にホイールオドメトリ(ステアリング角度と車速から車体の移動量を推定する手法)とアンセンテッドカルマンフィルタを用いて統合し、平滑化されたものが制御の入力として用いられる。

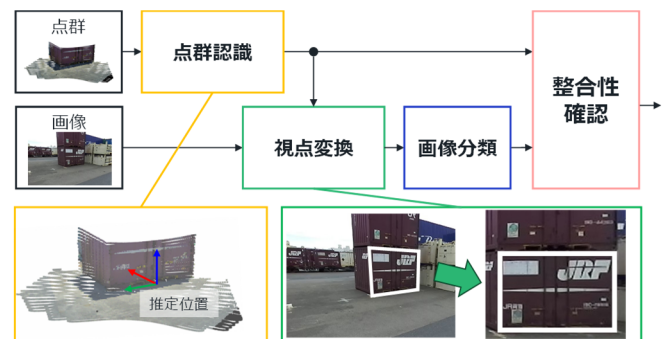


図16 認識処理のブロック図

### 3.2.5 セミオート制御

セミオート制御では、認識処理で推定した荷役対象の位置姿勢に基づいて、自動ステアリング制御によって車体を対象に正対させ、自動作業機制御によって作業機のフォーク先を対象のコンテナのフォークポケット中央へと制御する。

自動ステアリング制御には、経路計画と経路追従の2つの処理が含まれる。

経路計画では対象の位置姿勢をもとに、正対するための目標経路を計画する。目標経路はクロソイドと円弧の組み合わせで構成され、なめらかな車体挙動を実現するよう生成される(図17左)。また、目標経路は、自車と対象の位置関係によって変化

する。近いときは大きな曲率の曲線を、遠いときは小さな曲率の曲線となるよう生成され、不必要にステアリングを大きく切ることを防いでいる（図17右）。

経路追従では目標経路をもとに目標ステアリング角度を決定する。目標ステアリング角度は、目標経路の曲率から計算されるステアリング角度をフィードフォワード成分に、経路からのずれのフィードバック成分を加えることで決定し、目標経路に追従する。

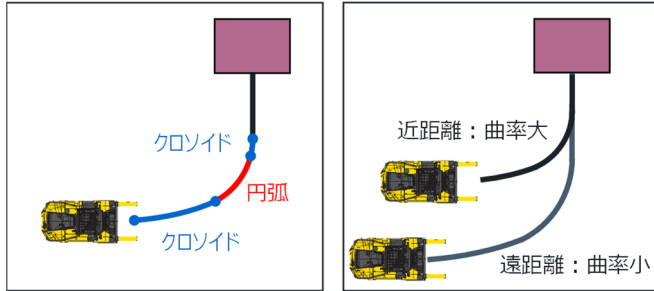


図17 経路計画

自動作業機制御では、フォークがコンテナのフォークポケットに挿さるように調整する制御が行われる。荷役対象コンテナのピッチ角度と一致するように作業機のチルト角度が制御される。それと同時にフォーク先端位置がフォークポケット位置と一致するように、リフト位置とサイドシフト位置がそれぞれ制御される（図18）。

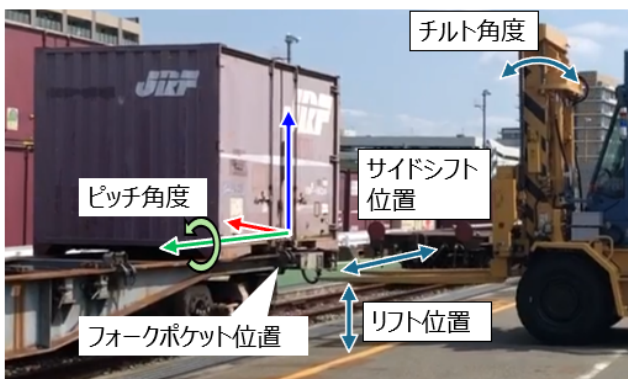


図18 自動作業機制御

また、自動作業機制御にはステアリングと作業機を同時に制御する機能があり、機能の有効／無効をモニタ操作により選択できる。有効にした場合、自動ステアリング制御開始と同時に自動作業機制御も開始する。旋回中に作業機制御が完了し、コンテナへの正対完了時にはフォーク先がフォークポケットの中央に合う状態になる。一連の荷役作業をシームレスに実施することができるため、特に貨車上のコンテナや段積みされたコンテナを荷取りする際に大きな時間短縮を期待できる。

#### 4. おわりに

迫りくる労働者不足への対応について、現在もJR貨物と検討を進めており、今回のガイダンス・セミオート機能の開発は、将来の荷役作業の更なる省力化や省人化に向けた一つのステップである。今後、本機能を搭載した車両の貨物駅への順次導入が予定されており、運用していく中で新たに見えてくる課題を調査し、次のステップへつなげていく予定である。今回の開発で得られた知見を活かして、JR貨物とコマツがともに目指す将来の物流の姿を実現していきたい。

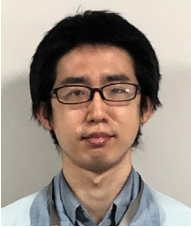
筆者紹介



Manabu Yamashiro

やましろう まなぶ  
山代学 2009年, コマツ入社.

開発本部 車両第四開発センタ所属



Kazuo Yamane

やまね かずお  
山根一夫 2013年, コマツ入社.

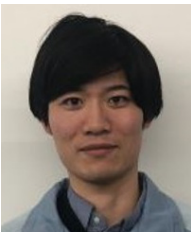
開発本部 車両第四開発センタ所属



Takahiro Noyori

のより たかひろ  
野寄敬博 2013年, コマツ入社.

開発本部 ICTシステム開発センタ所属



Yoshihiro Iwanaga

いわなが よしひろ  
岩永圭弘 2016年, コマツ入社.

開発本部 ICTシステム開発センタ所属

【筆者からひと言】

本開発では、お客さまとともに新たな価値創造に向けて取り組んできました。初めてのことが多く数々の困難がありましたが、多くの方々にご協力をいただき、これまでにない商品を生み出すことができました。この開発に関わったすべての方々に厚く感謝を申し上げます。