

## 新幹線車両用側ふさぎ板取外し装置の開発



井藤 遼介\*1



和田 智樹\*2



見田 光\*3

### Developed of automatic side cover detaching robot

Ryosuke ITO\*1, Tomoki WADA\*2, and Hikaru MITA\*3

\*1 Researcher, Rolling Stock Maintenance Technology Unit, Research and Development Center of JR EAST Group

\*2 Chief Researcher, Rolling Stock Maintenance Technology Unit, Research and Development Center of JR East Group

\*3 Principal Researcher, Rolling Stock Maintenance Technology Unit, Research and Development Center of JR East Group

#### Abstract

When general overhauling a rolling stock, all underfloor equipment is removed. The underfloor equipment is covered with a side cover, and it is difficult to detach. Therefore, we developed a robot system to detach the side cover. Robot teaching is performed using a database of bolts and side covers, and corrections are made based on car position measurement results. We are conducting demonstration test using cars with different side cover layouts and cross-sectional shapes and checking the effects of weather, dirt, distortion, deterioration, and manufacturing dimensional variations on operation. In the future, we will work on improving the bolt removal function and robot sensing.

●**Keywords:** Rolling stock, Industrial robot system, End effector, Robot sensor, Vacuum suction

\*1JR東日本研究開発センター 車両技術メンテナンスユニット 研究員  
\*2JR東日本研究開発センター 車両技術メンテナンスユニット 主幹研究員  
\*3JR東日本研究開発センター 車両技術メンテナンスユニット 首席研究員

## 1. はじめに

JR東日本研究開発センターでは、生産人口の減少を見据えた技術革新による新たな仕事の仕組みづくりに取り組んでおり、車両検査作業の自動化について検討を進めている。本稿では、新幹線車両の全般検査で実施する側ふさぎ板の取外し作業の軽労化を目的としたロボットシステムの開発について紹介する。側ふさぎ板とは車両の床下機器格納部をふさぐ板のことで枚数が多く重量物であるため、取外しにおける作業への負担が大きい。そこで、産業用ロボットを用いた側ふさぎ板取外し装置の開発と、実導入に向けた検証に取り組んでいる。側ふさぎ板の車両への取付け状態について、図1に示す。

## 2. ロボットシステムの概要

側ふさぎ板の取外し作業を自動化するにあたり、開発したロボットシステムのイメージを図2に示す。はじめに、ロボットが車体側面に設置した走行レール上を移動しながら、側ふさぎ板を車体に固定するボルトを取り外す。次に、車体の溝に掛けられた状態の側ふさぎ板を取り外す。これらの作業の自動化を実現するために、ロボットによる作業位置の検出方法の検討と、ロボットに取り付けて作業を行うためのツールの開発を行った。



図1 E5系新幹線における側ふさぎ板の取り付け位置

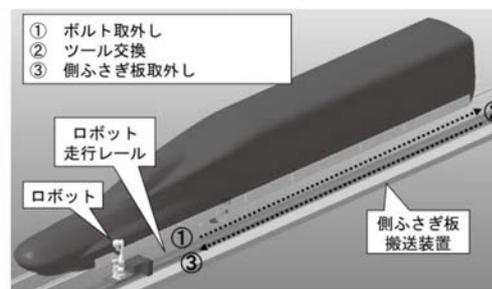


図2 ロボットシステムのイメージ

## 2・1 車体センシングの検討

ロボットの作業位置は、車体や側ふさぎ板の寸法をもとにボルトや側ふさぎ板の取付け位置を入力したデータベースの情報によって教示を行うが、車体の位置や傾きによりずれが生じるため、作業前に車体に対しセンシングを行い、ロボットの位置や姿勢の補正を行う必要がある。センシングは、はじめに車両の停止位置を計測しロボットに対するレール方向のずれ量と各側ふさぎ板の位置を算出する、次に、各側ふさぎ板の取付け高さやロボットとの距離を計測することで車体の傾き量を算出し、ロボット用ツールの作業姿勢の補正を行う。

### (1) 停止位置の計測

車両の停止位置は、ロボットの走行装置に取り付けた距離センサを用いて、車輪位置を計測することで算出している。計測イメージを図3に、模擬車輪を用いた車輪位置計測試験結果を図4に示す。距離センサの応答速度などの影響でロボットの走行速度を上げると結果がばらつく傾向が認められた。そのため、実車両を用いた検証時に許容されるばらつきの範囲内で検出が可能となる走行速度への調整を行った。



図3 車両停止位置の計測イメージ

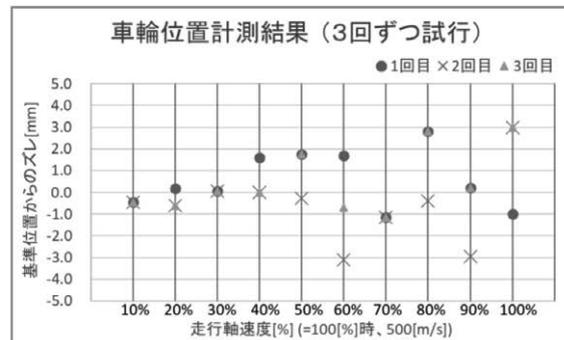


図4 車輪位置計測の試験結果

### (2) 車体の傾きの計測

車体の傾きは、ロボットの手先に取り付けた距離センサを用いて側ふさぎ板の下部と上部の平滑面を計測し、算出している。計測項目は図5に示すY、Z、RX、RY、RZである。側ふさぎ板の計測イメージを図6に示す。また、表1には試験架台に取り付けた側ふさぎ板をロボットシステムと3D計測器 (計測精度  $\pm 0.087\text{mm}$ ) を用いて計測し、3D計測器の計測結果を基準として得られたロボットシステムの計測誤差を示す。本ロボットシステムは最大 $\pm 1.5\text{mm}$ 以内、傾き計算値 $0.1^\circ$ 以内に収まる計測精度を持つという結果を得られた。



図5 ロボット座標系と車体傾き方向の定義

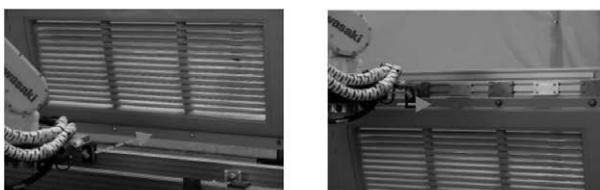


図6 側ふさぎ板の計測イメージ

表1 ロボットシステムの計測誤差

方向	誤差平均	最大誤差
Y+	0.97mm	1.32mm
Y-	0.82mm	1.5mm
Z+	0.32mm	0.92mm
RX+	0.07°	0.08°
RX-	0.05°	0.07°
RY+	-	0.03°
RY-	-	0.01°
RZ+	-	0°
RZ-	-	0.01°

## 2・2 ツールの開発

### (1) ボルト取外しツール

ロボットによるボルト位置を検出するにあたり、ボルト頭部の回転角度によらず中心位置の検出が可能なセンサについて検討を行った。センサはレーザースキャナや3Dカメラと比べ安価で、導入が容易なパターンマッチングによる画像処理で検出する2Dカメラ方式のロボットビジョンを採用した。図7に示すとおり、採用したロボットビジョンに、ナットランナーを組み合わせたボルト取外しツールを製作した。ナットランナーは、回転速度やトルク値の制御などが可能であり、ソケットとボルトの角度を合わせるまで低速で回転させる制御や、トルク値上限の設定による固着検知の制御などを行うことができる。ソケットのボルトへの押し付け量は、回転軸に設けたバネシリンダの伸縮で調整する。取り外したボルトは、図8に示すエアシリンダを備えた回収装置により、ソケットから抜き取る仕様とした。

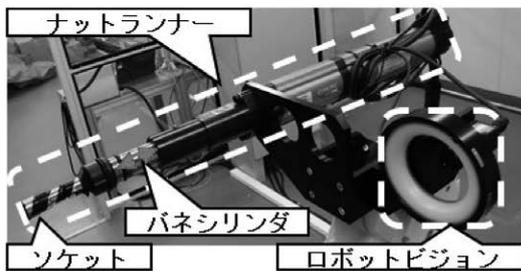


図7 ボルト取外しツールの機器構成

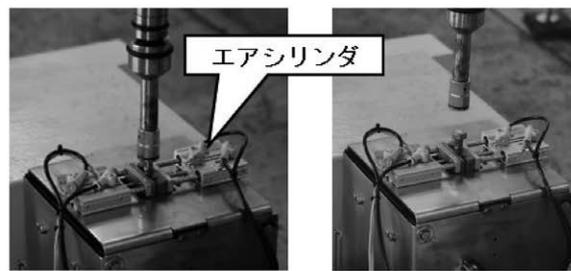


図8 ボルト回収装置  
左：ボルトを挟んだ状態 右：ボルトを抜き取る状態

### (2) 側ふさぎ板把持ツール

ロボットにより側ふさぎ板を把持するにあたり、把持方式について検討した。側ふさぎ板はアルミニウム製やFRP製など非鉄製金属で製作しているため磁力による把持ができない。また、サイズや断面形状が各板により異なるため、挟みこみ(グリッパ)の動作制御は複雑となることが考えられる。ここで、各把持方式の利点や課題を、表2のとおりまとめ比較した。その結果、真空吸着方式は他の方式よりも、吸着面の確保や脱着が容易であるという点で優位性があることがわかったため、本開発では真空吸着式を採用することとした。次に、真空吸着に用いるパッドの検討を行った。側ふさぎ板は、車体に設けられた取付け溝に一旦引っ掛けてからボルトで固定する構造のため、図9に示すとおりボルト取り外し後は側ふさぎ板の自重で把持部の角度が変わる。そのため、図10に示すとおりパッド形状毎に把持試験を行い、把持部には角度ずれに追従できるパッド形状の選定を行った。

表2 把持方式の比較

方式	利点	課題
真空吸着	ワークの脱着が容易	穴や隙間があると把持できない
グリッパ (挟み込み)	構成機器が軽量	動作制御が複雑になりやすい
磁力吸着	ワークの脱着が容易	アルミやFRPを把持できない

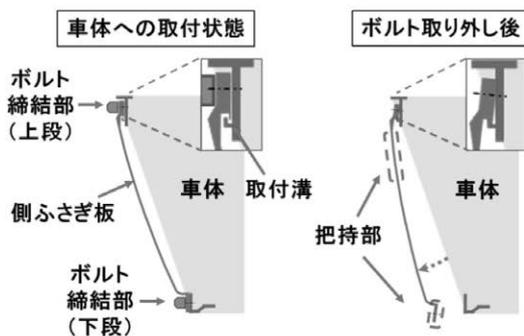


図9 側ふさぎ板取り外しイメージ

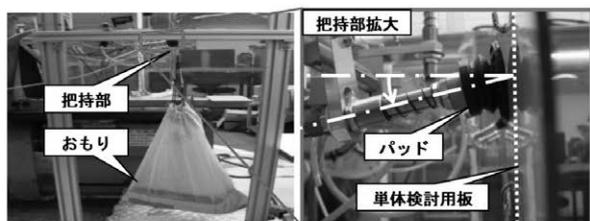


図10 パッド把持角度ずれ試験

3つの形状について、パッドの限界把持角度を比較した結果、ペローズ（蛇腹）形状のパッドが最適であることが分かった。比較した結果を表3に示す。さらに、実使用環境においては側ふさぎ板表面の粉塵汚れや水濡れ、油汚れが想定できるため、溶接ヒューム（粉塵）、水、潤滑油（油）を用いた汚損模擬試験により把持力の確認を行った。表4に示すとおり、油汚れの場合に把持力低下が認められることが分かった。

表3 パッドの限界把持角度

形状	把持力 [N]	把持限界角度 [rad]
ペローズ型 	19.6	6
ベル型 	29.4	2
フラット型 	39.2	0

表4 汚損時の吸着パッド把持力

吸着パッド寸法 [mm]	吸着パッド単体把持力 [N]			
	汚損なし	粉塵	水	油
Φ31	20	20	29	10
Φ50	78	78	78	59

以上の検討結果を踏まえたうえで、側ふさぎ板の重量と把持可能な部位を精査して、把持に必要な吸着パッドの数量と適切なレイアウトを検討し、側ふさぎ板把持ツールを製作した。なお、使用しないパッドや吸着不良が生じたパッドから吸気圧が抜けた際に、他のパッドの吸気圧が低下し側ふさぎ板が落下することを防ぐため、空気管路を自動で閉じる機能を持つ落下防止弁を設けた。製作した側ふさぎ板把持ツールと側ふさぎ板把持の様子を図11に示す。

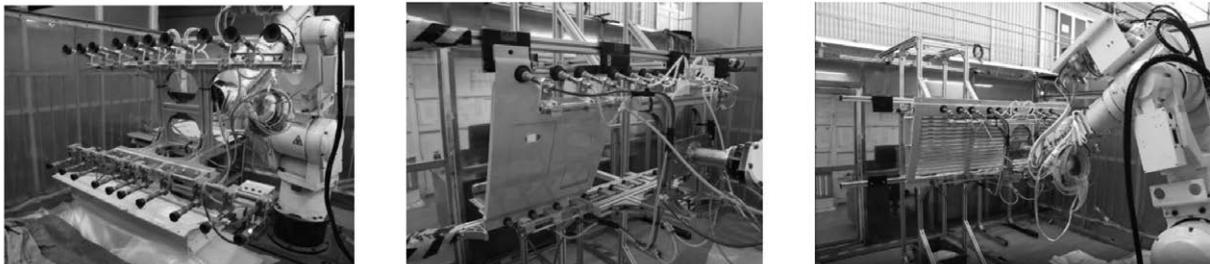


図11 側ふさぎ板把持ツール  
左：ツール本体 中央：車端部側ふさぎ板把持の様子 右：ルーバー付き側ふさぎ板把持の様子

### 2・3 システム検証試験

開発した2種類のツールとツールを持ち替えるツールチェンジャおよび、走行装置を組み合わせたロボットシステムを製作した。製作したロボットシステムを図12に示す。図13には、側ふさぎ板を車体に取り付けた状態を模擬した試験架台を用いて、取外し動作試験を行った様子を示す。側ふさぎ板取外し動作のフローは図14に示すとおりである。試験では、データベースにより教示した動作位置の確認、側ふさぎ板取外し動作の確認、調整、試験架台を傾かせた状態での動作試験および作業時間（サイクルタイム）の確認などを行った。



図12 ロボットシステム  
左：アーム本体 右：走行装置

図13 動作試験の様子  
左：ボルト取外し 右：側ふさぎ板取外し

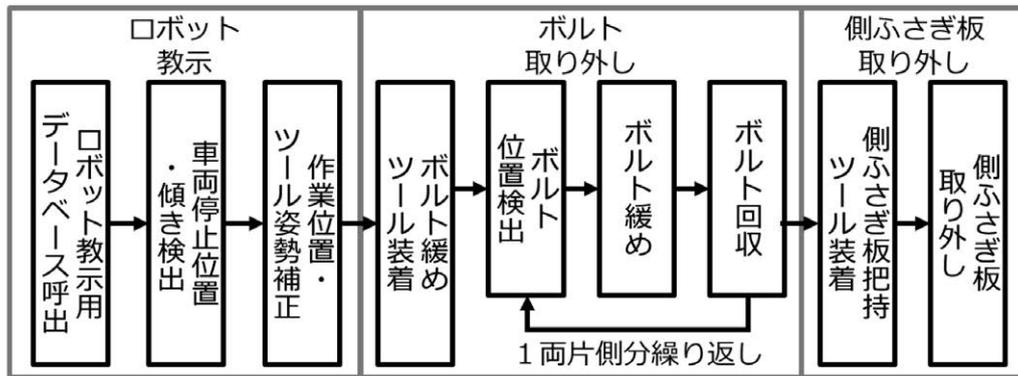


図14 側ふさぎ板取外し動作フロー

### 3. 実車両を用いた検証

製作したロボットシステムを新幹線総合車両センターに設置し、2023年1月よりE2系新幹線とE5系新幹線の実車両を用いた、側ふさぎ板取外し動作検証試験を実施した。設置状況と試験の様子を図15と図16に示す。



図15 ロボットシステムの設置状況



図16 実車両を用いた検証の様子  
左：ボルト取り外し (E2系) 中央：側ふさぎ板把持 (E2系) 右：ボルト取り外し (E5系)

検証試験では、車両の個体差や導入想定環境(車体の汚れや歪み、製造誤差、季節毎の車両庫の気温や湿度および外乱光など)による側ふさぎ板取外し動作への影響について確認を行った。検証試験時に確認された影響をおよぼす要因について以下に示す。

#### 3・1 ボルト頭部の汚損

頭部が汚損したボルトにおいて、ボルト位置検出の失敗が発生した。原因は図17に示すとおり、パターンマッチングに使用する基準画像に比べて汚損ボルトのコントラストが低く、エッジが検出できなかったためである。本課題に対しては、検出不良となった汚れの度合いが異なる複数の画像をもとに改良を行い、繰り返し試験においてエッジ検出率の評価を継続中である。

### 3・2 ボルトの固着

ボルト取り外し作業時に、ボルトの固着による作業中断が発生している。ボルト固着時の状況を図18に示す。取付け部位の歪みやサビなどの影響でボルトが焼き付き、緩め動作に支障をきたすと考えられる。このため、トルク値検出や回転速度の制御を用いたナットランナーによる緩め動作の改良検討を行っている。

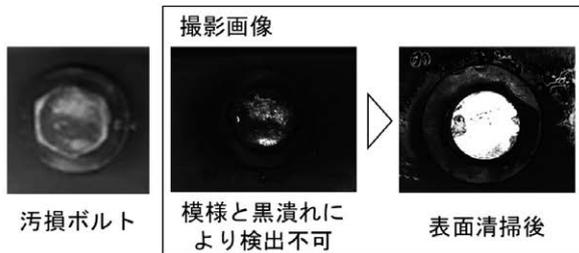


図17 汚損ボルトの撮影イメージ



図18 ボルト固着時の状況と取り外したボルト

## 4. まとめ

全般検査での自動化を目指して、側ふさぎ板取外し装置の開発と実車両を用いた動作検証を行い、側ふさぎ板の取外し動作において、ボルトの汚損やさび、取付部位の歪みなどの影響を受けることが分かった。引き続き、検証試験を実施し装置の改良を進めていく。また、車幅の異なる新在直通車両 (E6系新幹線) を用いた検証も計画しており、実運用に向けた開発を継続する。