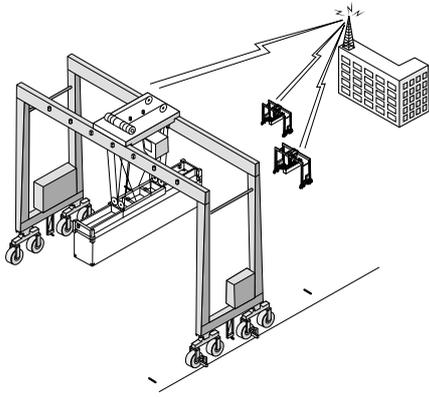


# 自動運転トランスファクレーン

## Automated Transfer Crane

小幡 寛治    内田 浩二    千蔵 孝  
吉川 博文    門前 唯明



1996年に、当社は世界に先駆け自動運転大型レール式門型トランスファクレーン（RMGC：Rail Mounted Gantry Crane）を実用化した。しかしながら、コンテナヤード荷役における主流はタイヤ式門型トランスファクレーン（RTG：Rubber Tired Gantry Crane）であり、RTGの自動化に対して根強いニーズがある。RTGは、ラバータイヤに起因する問題から自動化が困難であったが、(1) コンテナ専用吊具であるスプレッドに搭載したCCDカメラによるコンテナ積付け位置ずれ量検出技術、(2) 高精度積付け制御技術、(3) 目標位置への走行自動位置決め制御技術を開発し、これらを搭載した自動運転RTGを開発した。

### 1. はじめに

コンテナヤードの自動化、省力化といったニーズに対応すべく、当社はこれまでクレーンの自動化に取り組んできた。

コンテナヤードで用いられるクレーンのうち、コンテナ蔵置エリアにおいてコンテナの段積み保管／払出し作業を行うトランスファクレーンに関しては、大型レール式門型トランスファクレーン（RMGC）の自動運転システムを当社は既に実用化している<sup>(1)</sup>。

国内外において、トランスファクレーンとしては、機動性、ヤードレイアウトに対する柔軟性といった面から、タイヤ式トランスファクレーン（RTG）が最も多く用いられている。そのため、RTGの自動化に対するニーズが高い。しかしながら、RTGはラバータイヤでクレーン本体が支えられているため、

- 振動、変形が発生しやすく、自動でのコンテナ段積みの精度確保が難しい。
  - レールのような機械的ガイドの無い走行路を走行するため、本来直進すべき軌道に対しての直進走行、目標位置への走行位置決めが、RMGCと比べ難しい。
- といった問題があり、これまで実用化に至っていない。

今回、これらの問題をクリアする新技術を開発し、これまで実現されていなかった自動運転RTG実用化のめどを得たので、本報にてその概要を紹介する。

### 2. 自動運転RTGの概要

開発した自動運転RTGの概略構成を図1に、主仕様を表1に示す。自動運転RTGは、従来からの標準的な手動運転RTGに自動化用センサ及び制御装置を追加することで実現している。

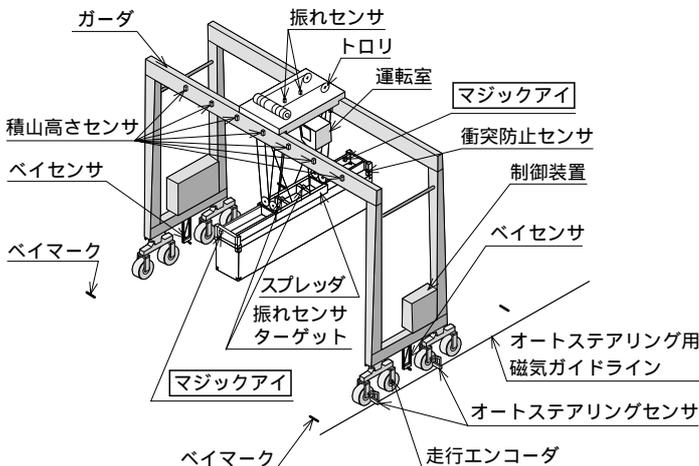


図1 自動運転RTGの概略構成 自動運転RTG用のセンサ種類及び取付け位置を示す。

表1 自動RTGの主仕様

タイプ		6列 + 1シャシレール 4段 + 1クリア
コンテナ	タイプ (ft)	ISO準拠, 20/40/45
	定格荷重 (ton)	40.6
速度	主巻 (m/min)	23 - 52
	横行 (m/min)	70
	走行 (m/min)	135
ヤード傾斜	横行方向	1/100以下
	走行方向	無し
自動運転用装置		マジックアイ 振れセンサ オートステアリングセンサ バイセンサ

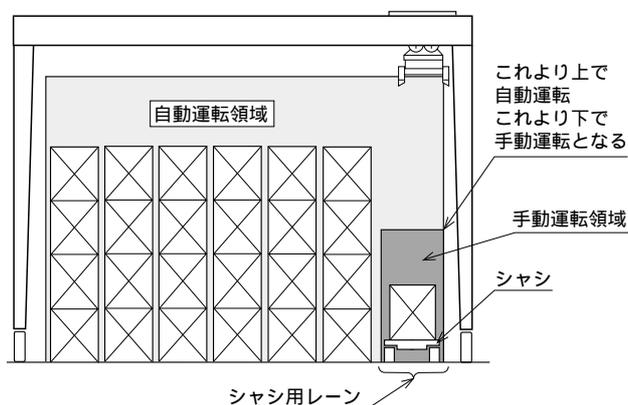


図2 自動運転領域と手動運転領域 自動RTGの運転領域の区分を示す。

このため自動運転は、RTG運転室にて直接入力される運転指令に基づき行うことも可能であり、コンテナターミナルのプランニングコンピュータから無線通信装置によりRTGへ送信される運転指令に基づき行うことも可能である。

### 2.1 自動運転の領域

自動運転と手動運転の各々の領域を図2に示す。

自動運転RTGにおいて、コンテナ搬送用トラックであるシャシとの荷役部分のみが手動運転で行われる。それ以外の領域はすべて自動運転で行われる。シャシとの荷役部分を手動運転としたのは、クレーンがヤード内のコンテナ蔵置位置に正しく位置合わせできるのに対し、シャシがクレーンに対して正しく位置合わせすることが難しく、またシャシは有人運転であるので、RTG運転手による安全確認の上、荷役作業を行うこととしたためである。

シャシへコンテナを積み込む場合には、吊っているコンテナ（以降、吊コンテナと称する）がシャシ用レーンのあらかじめ設定された高さまでは自動運転で行われ、巻高さが設定高さ以下となった時点で手動運転に切り替わる。シャシからコンテナを持ち上げる場合には、運転手により巻上げ操作を行い、巻高さが上記設定高さ以上となった時点で自動運転に切り替わる。シャシ用レーンは、自動運転RTGの制御装置にあらかじめ登録されたヤードレイアウトのデータベースに基づき設定される。

また、自動運転領域においても、状況に応じて運転手が手動操作を行った場合には、手動運転に切り替わる。

### 2.2 自動運転の種類

運転の種類としては、以下の4種類がある。

- (1) シャシ上のコンテナをヤード内へ積み付ける運転
- (2) ヤード内のコンテナをシャシに払い出す運転
- (3) ヤード内のコンテナをヤード内で積み替える運転
- (4) コンテナを搬送せずスプレッドのみ移動させる運転

上記の運転を行うために、自動運転RTGには、以下の機能がある。

- ヤード内のコンテナ上及びヤードの一段目へのスプレッド及び吊コンテナの自動積み付け機能
- 目標位置までの自動巻／横行機能
- ヤード内の走行方向目標位置までの自動直進走行及び走行

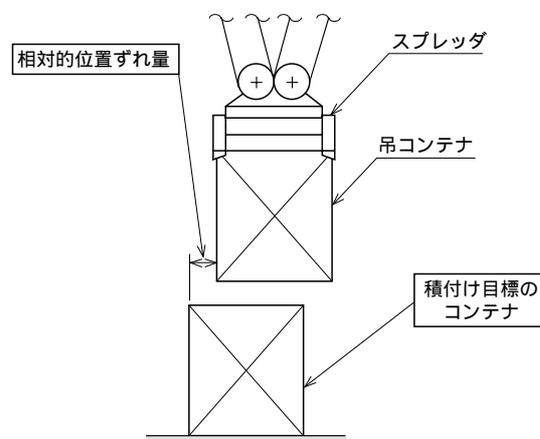


図3 相対ずれ量 積み付け目標コンテナとスプレッド及び吊コンテナとの相対的な位置ずれ量を示す。



図4 マジックアイ マジックアイの外観及び取り付け状況を示す。

## 自動位置決め機能

### 3. RTG 自動化技術

RTGの自動運転を可能とするために開発した新技術について説明する。

#### 3.1 マジックアイ

吊コンテナをヤードに蔵置されたコンテナ（以降、目標コンテナと称する）の上に正確に積み付けるためには、図3に示すように、吊コンテナと目標コンテナとの相対的な位置ずれ量（以降、相対ずれ量と称する）を検出する必要がある。この相対ずれ量を精度良く検出するために、当社はマジックアイを開発した。

マジックアイは、図4に示すようにスプレッド前側の左右のコーナーに設置される。マジックアイは、CCDカメラと夜間用照明から構成され、CCDカメラで取り込んだスプレッド下の映像を基に、画像処理装置により目標コンテナ上面のエッジと吊コンテナ下面のエッジを検出し、両者の相対ずれ量を算出する。図5に、マジックアイにより処理した画像の一例を示す。

RTGでは、トロリ移動やコンテナ荷重等によるタイヤ及び構造体の変形や振動が発生し、また、スプレッドはロープで吊り下げられているため、トロリ移動や風外力により振れ



図5 マジックアイの検出画像 マジックアイで検出し、画像処理した画像を示す。

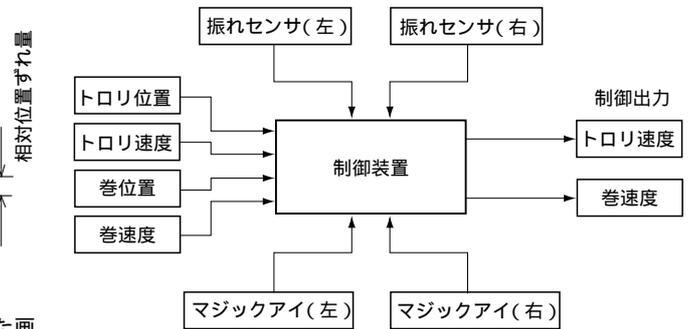


図6 自動積付け制御 自動積付け制御の制御ブロックの概要を示す。

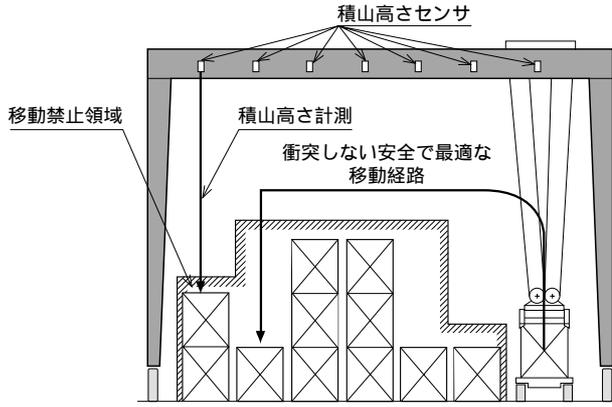


図7 安全で最適な移動経路 ヤードに積まれたコンテナに衝突しない巻/横行の移動経路を示す。

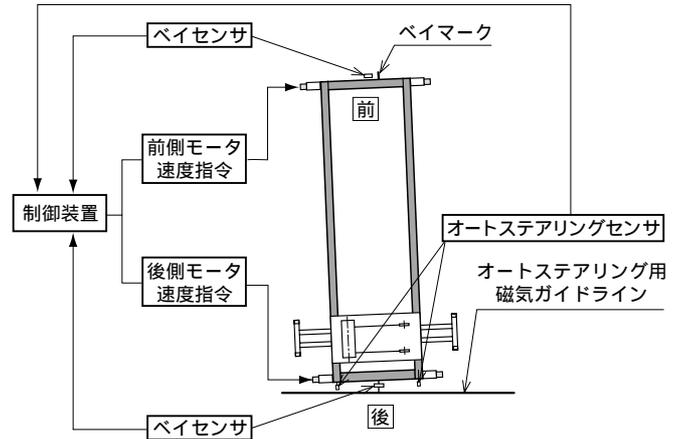


図8 自動走行制御 自動走行システムの制御ブロックの概要を示す。

が発生する。当社のマジックアイは、これらの外乱があっても最終的に必要な吊コンテナと目標コンテナとの相対ずれ量を直接検出できるので、高精度な積付け制御が可能となる。

### 3.2 自動積付け制御

積付け制御のシステム概要を図6に示す。

マジックアイにより検出した相対ずれ量が無くなるように制御して、吊コンテナを目標コンテナ上へ積み付ける。相対ずれが無くなるとマジックアイでは目標コンテナ上面のエッジが見えなくなり確認ができないため、吊コンテナの振れを検出する振れセンサ<sup>2)</sup>の信号を併用して、最後まで相対ずれ量の確認ができるようにしている。

図3の状態において、相対ずれ量が許容値以下で振れ停止状態となるか、または振れている状態であっても着床時の相対ずれ量の予測値が許容値以下になると判断されたら、巻き下げて着床させる。

### 3.3 自動巻/横行制御

自動積付け制御開始位置までの吊コンテナの移動(巻上げ・横行・巻下げ)は、RTGのガーダに下向きに設置した積山高さセンサによりコンテナ積山高さを検出し、蔵置コンテナに衝突しない安全かつ最短な最適移動経路に沿って行う。図7に巻/横行の最適移動経路の一例を示す。標準装備の機械式振れ止め装置及び吊コンテナの振れ周期の整数倍の時間で加減速する振れ止め速度パターンにより、吊コンテナの振れ止めを行いながら横行する。横行目標位置への位置決めは、トリの現在位置と目標位置との偏差をゼロとする位置フィードバック制御により行う。巻上げ、巻下げの動作中

には、スプレッドに横向きに設置した超音波センサにより隣接コンテナとの衝突を防止している。

### 3.4 自動走行制御

自動走行制御は自動直進走行(オートステアリング制御<sup>3)</sup>)及び走行自動位置決め制御(ベイ位置決め制御)により実現している。

自動走行制御のシステム概要を図8に示す。

自動直進制御は、RTG後側の左右に設けたオートステアリングセンサにより検出した、地上の走行基準線(オートステアリング用磁気ガイドライン)からのずれ量をゼロとするように前後の走行速度を制御することで行う。

走行自動位置決め制御は、走行車輪に設けた走行エンコーダ及びヤードの走行方向の積付け位置(ベイ)毎に設けたベイマークを検出するベイセンサにより行う。走行エンコーダ検出値から算出される走行目標位置までの残り距離が減速に必要な距離となったポイントで、低速度まで減速する。次に、低速走行状態にてRTG前後各々のベイセンサでベイマークを検出し、ベイセンサ検出値が許容値内(±25mm)となった場合に、前後単独で走行停止することで精密かつヤードに対して直角にRTGを走行位置決めする。

## 4. 実機性能検証

新開発したRTG自動化技術を用いた自動運転RTGの実機性能検証を共同研究先である香港のModern Terminals社の



図9 実機検証 RTG 実機性能検証中の RTG を示す。

表2 実機検証 RTG の仕様

タイプ		6列 + 1シャシレール 6段 + 1クリア
速度	主巻 (m/min)	26 ~ 60
	横行 (m/min)	70
	走行 (m/min)	120

積付け精度  $\pm 25$  mm 以内：99%以上（3時間の荷役運転で積付け精度  $\pm 25$  mm 以上が1回のみであり、実用レベルである）のめどを得た。

## 6.まとめ

コンテナヤードで用いられる主要機器である RTG 用に新開発した“マジックアイ”、“自動積付け制御”、“自動走行制御”を備えた自動運転 RTG について紹介した。

香港のコンテナヤードにて実施した実機検証にて、自動運転実現のめどを得た。

さらに、実機検証で得られたデータを基にマジックアイ及び自動制御アルゴリズムの改良を行い、サイクルタイム 30 本/h、積付け精度  $\pm 25$  mm 以内の割合 99% 達成の見通しを得た。

今後は、開発した自動運転 RTG を納入し、コンテナヤードの自動化、省力化に協力していきたい。

### 参考文献

- (1) 小幡ほか、自動運転港湾ヤードクレーンの開発、三菱重工技報、Vol.37 No.6 (2000) p.286
- (2) 吉川ほか、港湾クレーン用吊荷位置センサの開発、三菱重工技報、Vol.37 No.6 (2000) p.290
- (3) 宮田ほか、タイヤ式トランスファクレーンのオートステアリング装置、三菱重工技報、Vol.37 No.6 (2000) p.298
- (4) 宮田ほか、クレーン荷役効率化・干渉回避のためのフィードフォワード振れ止め制御の開発、三菱重工技報、Vol.37 No.6 (2000) p.294

協力を得て、実施した。

### 4.1 実機検証 RTG

図9に実機性能検証中の RTG を示し、表2に実機検証に用いた RTG の仕様を示す。

### 4.2 性能検証結果

自動化改造を行った実機検証 RTG にて、晴天、雨天、曇天、昼、夜といった実際の環境下でテスト運転を実施した。コンテナの積付け/払出し作業に関しては、サイクルタイムは手動の運転手とほぼ同等であり、自動積付け精度  $\pm 25$  mm 以内の割合は 97% であった。自動走行制御に関しては、クレーン前後脚とも目標位置に対して  $\pm 25$  mm 以内にほぼ 100% の確率で位置決めすることが可能であり、走行位置決めに要する時間は、手動の運転手と比較して 20% 短縮できた。

以上のテスト運転の結果より、運用上十分な性能であるとの評価を得て、実際のコンテナを使用しての自動運転を約1ヶ月間実施した。

## 5.自動運転性能向上

香港の Modern Terminals 社にて実施した実機検証結果を基に、自動運転性能をさらに向上するため、以下の対策を実施した。

### (1) サイクルタイム向上のため

- スプレッド及び吊コンテナの旋回振れ止め機構の開発
- フィードフォワード/フィードバック制御による高速振れ止め制御<sup>4)</sup>の採用

### (2) 積付け精度向上のため

- レーザ光によるコンテナエッジ検出を併用した、検出精度の高い新型マジックアイの開発
- オプザーバ適用による積付け時のスプレッド及び吊コンテナの相対ずれ量予測精度の大幅向上

この結果、サイクルタイム（荷役能力）：30本/h以上、



小幡寛治  
広島製作所  
鉄構技術部  
運搬機設計課主席



内田浩二  
広島製作所  
鉄構技術部  
運搬機設計課



千蔵孝  
技術本部  
広島研究所  
運搬機・物流研究室  
主席



吉川博文  
技術本部  
広島研究所  
運搬機・物流研究室  
主席



門前唯明  
技術本部  
広島研究所  
運搬機・物流研究室