自動運転港湾ヤードクレーンの開発

Development of Automatic Container Yard Crane

広島製作所　小幡寛治*1　宮田紀明*2
小林雅人*1
技術本部　西岡正樹*3　吉川博文*4

現在のコンテナヤードの荷役は手動操作のラバータイヤ式橋形クレーン（RTG）が主流であるが，省力化，情報管理を含めた高効率化，24時間操業への対応から，自動化への根強い要求がある．この度，過去に例のないトップレベルの技術を必要とする自動化レールマウント式橋形クレーン（RMGC）を受注し，数々の開発項目をクリアして，高速，安全，高信頼性の製品を実現した．主な特徴は，(1)シャシとの取合いを除いて自動運転で荷役，(2)従来のRTGと比較して，大型化し，蔵置能力を向上．さらに，各動作を高速化し，荷役効率も向上，(3)±50 mm以内の吊荷の着床精度の実現，(4)各装置の自己診断機能，に加えて衝突防止装置を装備し，安全な運転を実現した．

In the present container yard, container boxes are mainly handled manually with a rubber-tired gantry crane (RTG). Terminal operators have strongly requested automated handling equipment to save on labor, raise productivity with information, management and enable 24 hour operation. Orders for cutting-edge automatic rail-mounted gantry cranes (RMGCs) were accepted and high productivity, safety, and reliability delivered. Features include : (1) Automatic operation excluding container handling on the chassis. (2) Improved storage capacity over RTGs and improved productivity thanks to higher operation speed. (3) Landing variation is less than ± 50 mm. (4) Safe operation due to self check function on devices and anticollision device.

1. はじめに

コンテナターミナルにおけるクレーンの自動化は，屋外環境によるさまざまな外乱の問題があり，屋内クレーンに比べて実現が遅れている．

岸壁のコンテナクレーンでは船舶の動揺により，クレーンとの相対位置が確実に把握できないことがその第一の理由である．

また，コンテナヤードのトランスファクレーンでは船舶とは無関係であるので，比較的自動化が容易な環境ではあるが，国内外で最も多く使われているラバータイヤ式橋形クレーン（RTG）での自動化はタイヤの挙動の問題解決が難しいため実用化に至っていないのが実情である．

今回ヤードクレーンのうちのレール式橋形クレーン（レールマウントガントリークレーン：RMGC）の自動化に着目し，トラッククレーンでの荷役を除くすべての荷役を自動運転できる“レール式橋形クレーンの自動運転システム”を開発したので，その概要を紹介する．

このシステムは，東南アジアのコンテナターミナルに24台納入され，1996年から商業運転を始めており，順調に稼働中である．

2. クレーンの概要

本クレーンは，コンテナ取扱い用のレール式橋形クレーンである．主仕様を**表1**に，RMGCの全体を**図1**に示す．また，**図2**に従来のRTGとの大きさの比較を示す．

表1及び図2の比較で分かるように本クレーンは，大型で，高速であり，コンテナ蔵置能力が従来に比べ格段に高い．

表1　主仕様
Principal specification

項　目	仕　様		
形　式	レール式橋形クレーン		
蔵置個数	12列　6段（1オーバパス）		
定格荷重	40.0 t		
揚　程	21.668 m		
スパン	37.03 m		
横行範囲	45.43 m		
ホイールベース	15.0 m		
クレーン幅	24.0 m		
速度（m/min）主巻	35/96	（RTG）	(23/52)
横行	150		(70)
走行	120		(135)
シャシ荷役	両側カンチレバー		
給　電	ケーブルリール		

3. 自動運転

自動運転は，コンテナターミナルのプランニングコンピュータからの運転指令を，光ファイバケーブルを介してクレーン上のコンピュータに送り，この機上コンピュータの指令に基づき行われる．

3.1 自動運転の範囲

本クレーンは両サイドカンチレバータイプの橋形クレーンであり，トラックとの荷役は，両サイドのカンチレバーの部

*1 鉄構技術部運搬機設計課
*2 鉄構技術部運搬機設計課主席
*3 広島研究所搬送システム技術グループ主席
*4 広島研究所搬送システム技術グループ

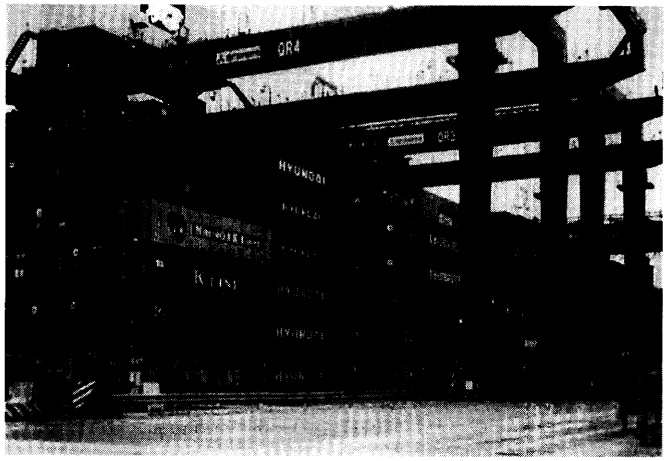

図1　レールマウントガントリークレーン（RMGC）　現地で稼働中のRMGCを示す.
Rail mounted gantry crane

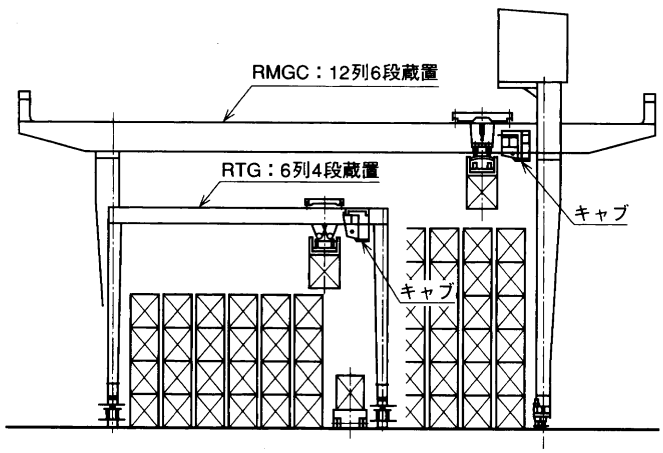

図2　従来のRTGとの比較　クレーンの大きさについて，RMGCとRTGとの比較を示す.
Comparison with RTG

分で手動で行われる.

手動運転はトラックとの荷役部だけであり，その他はすべて自動運転範囲である．したがってクレーンの脚間はすべて自動運転であり，カンチレバーの下の部分を除いて自動運転領域は作業員と切離されている．トラック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せできるのに対し，トラックがクレーンに対して正しく位置合せすることが難しく，また，トラックもヤード専用トラック，一般公道用トラックと一定の形状でないためである．自動運転範囲を図3に示す.

3．2　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) ローディング
　ヤード内のコンテナをトラックに積込む運転
(2) アンローディング
　トラック上のコンテナをヤード内に積込む運転
(3) マーシャリング
　ヤード内のコンテナをヤード内で積替える運転
(4) ムーブ
　コンテナは搬送せずにスプレッダのみ移動させる運転

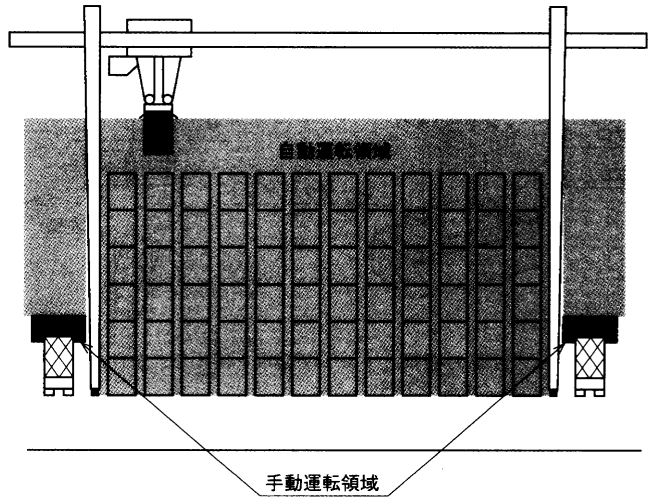

図3　自動運転範囲　自動運転範囲をクレーン全体図を基に示す.
Automatic operation area

4．高速自動運転システムの特徴

本クレーンの自動運転はヤードの荷役効率を向上させる目的を持っており，屋外における特有の外乱（太陽熱・太陽光・雨・霧・風などの自然現象）にも対応したものとしている．自動運転のコンセプトは“高速”“正確”“安全”である.

以下にそれぞれの特徴を述べる.

4．1　高　速　性

従来のRTGに比べ，巻上げ，横行，走行の各動作の速度，加減速度を上げたことに加え，自動化部分の高機能化により，移動，位置決め時間の短縮を達成した．高速性実現のために以下の技術を適用した.

(1) 平行及びスキュー振れに対応した高速振れ止め，位置決め技術

スプレッダ・吊荷の振れには，平行振れと吊荷が回転方向に振れるスキュー振れがある.

横行移動中の平行振れは，トロリの加減速度を制御することによって取除き，スキュー振れは，トロリ上に設置したシーブ台車装置の動きを制御することによって取除いている.

その後スプレッダ・吊荷が目標の横行方向位置に近づいたら，より高精度の振れ止め，位置補正をシーブ台車の動きの制御で実現している.

シーブ台車の機構を図4に，シーブ台車によるスキュー振れ止めの性能を図5に示す.

屋外での自動運転では，風による外乱等があるが，このシーブ台車の作用により高速，高精度な振れ止め，位置決めが実現できた[1].

(2) 最適経路の自動生成技術

手動運転で巻下げ，着床させる場合，減速タイミングはオペレータによってばらつきが発生し，着床前のクリープ時間が一定しない．自動運転では，最少クリープ時間になるように減速タイミングを自動的に生成することとした.

また，巻きと横行を同時に運転する時間が多ければ運転

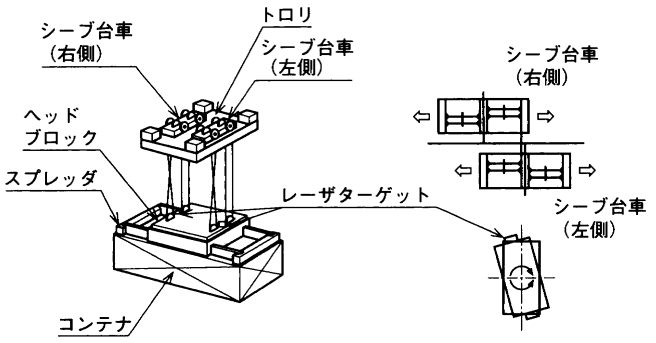

図4　シーブ台車の機構　シーブ台車を使った，振れ止め，位置決め機構の概略を示す．
Mechanism of sheave car system

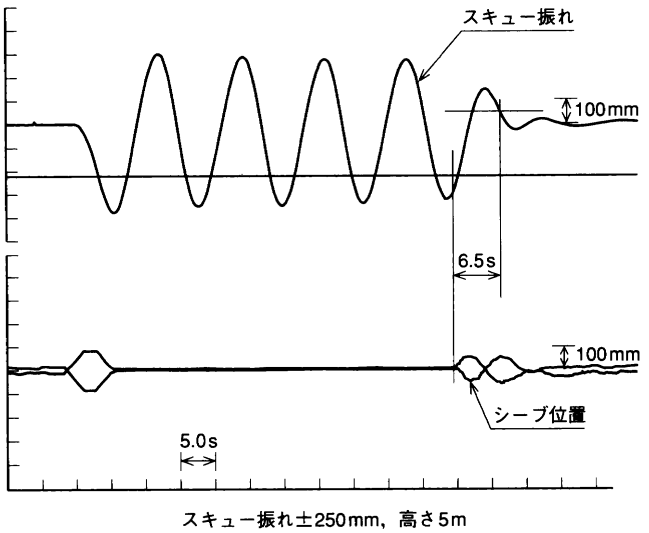

図5　スキュー振れ止めの性能　スキュー振れ量とシーブ台車の動きをチャートで示し，振れ止め性能を明確にする．
Performance of anti-skew system

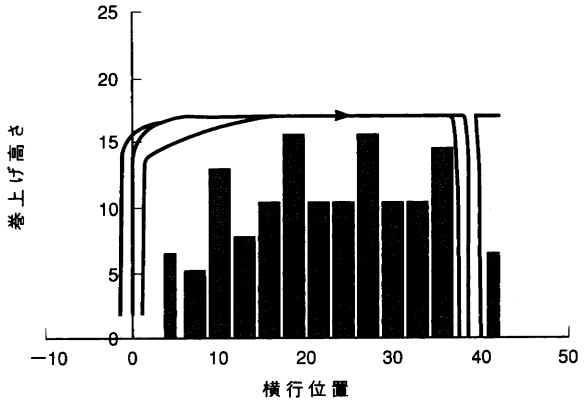

図6　自動生成された最適経路の一例　積み山と最適経路を重ね合せて示す．
Sample chart of automatically produced optimum pass

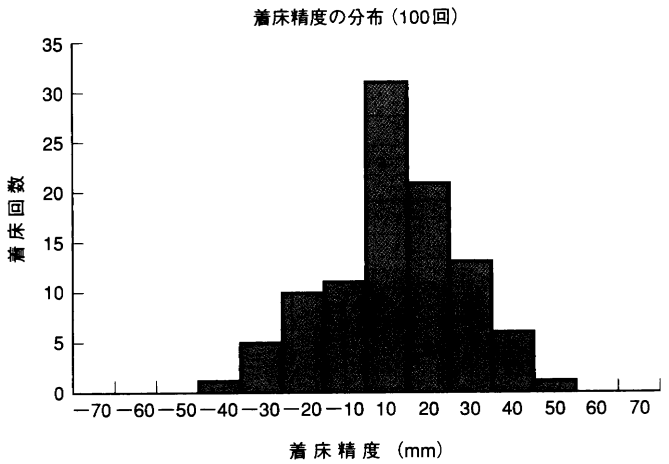

図7　着床精度分布　実際に着床精度を計測した結果をヒストグラムで示す．
Landing variation histogram

時間が短縮される．

手動運転では自分の吊っているスプレッダ・吊荷とヤードに積まれているコンテナが衝突しないよう安全距離をとって運転するが，運転者によっては多めの安全距離をとるために最適な運転経路にならない場合もある．

自動運転で横行と巻きを同時に運転するときでも，最も重要なことはスプレッダ・吊荷を既に積まれてあるコンテナと衝突させないことである．

本システムでは，積み山の高さを自動検出するためにクレーンに積み山の高さ検出センサを設置しており，そのデータを基に積荷に衝突しない最も速い移動経路を計算する．また，ヤードの積み山情報とセンサの計測値を比較し，情報に差がある場合は高い方のデータを採用することで安全を確保している．

図6に生成された最適経路の一例を示す．

4.2 正　確　性

スタックエリア内のコンテナ積み山の間隔400 mmで操業するための正確なスプレッダ・吊荷の位置決め及び±50 mm以内の着床精度を実現している．

図7に，空コンテナ，20 tコンテナ，30 tコンテナをそれぞれ33回ずつ地上に着床させたときの計測結果を示す．平均で±20 mmとなっており，この精度を実現するために以下のことを実施している．

(1) スプレッダ位置検出装置

スプレッダ位置検出装置の構成を図8に示す．

この検出装置は，スプレッダを吊っているヘッドブロックと呼ばれる構造の左右両端に，それぞれ光源としてレーザ発光器を設置しておき，トロリ上のカメラによりその光源を検出し，画像処理することによってヘッドブロックとトロリの相対位置を検出している．

(2) 着床位置予測制御

この制御は，着床直前に，そのままの挙動で巻下げて着床したとき，着床位置のずれが許容値に収まるかどうかを巻下げ中に予測し，もし許容値に収まると判断された場合はそのまま巻下げを継続し，収まらないと判断された場合は許容値に収まる状態になるまで，巻下げを一時停止して待ち，着床位置の予測が許容値に入る状態となった時点で，着床させる方法である．これらの一連の動作は前記(1)のスプレッダ位置検出装置を使用して自動で行われる．着床後

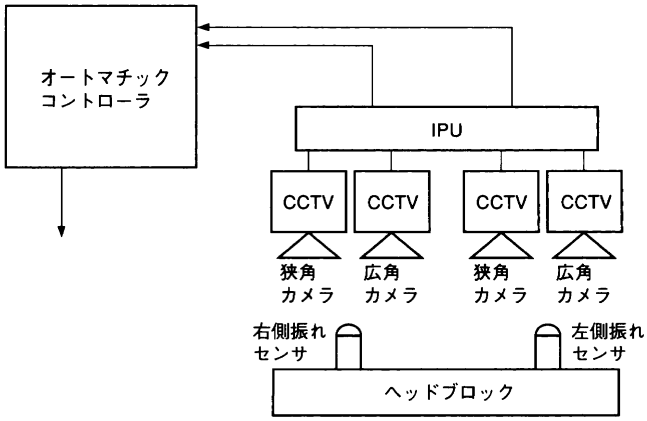

図8　スプレッダ位置検出装置の構成　スプレッダ位置検出装置の構成を示す.
System architecture of spreader position detection system

もシステム側で着床位置を判定し，許容値に収まっていないと判断した場合には，再度着床動作を自動でやり直す機能も持たせた[2].

(3) 構造補正機能

クレーンはトロリの移動，吊り荷重の大小により，脚の傾き，ガーダの変形等構造のひずみ及び走行車輪と走行レールとのすきまの変化により，地上の絶対位置に対するスプレッダ位置検出装置の認識位置にずれが発生する．これらのずれに対する補正機能を装備した.

走行レール上をクレーンと一緒に移動する光源を設け，クレーンのガーダにこの光源を検出するカメラと傾斜計を設置し，走行レール中心に対するガーダの移動量，傾きをリアルタイムに検出する．この検出値を用いて地上の絶対位置に対するクレーン側の認識位置を補正した.

前述のスプレッダ位置検出装置，着床位置予測制御，構造補正機能及び振れ止め・位置決め制御の組合せにより，地上から約30 mの高さにあるトロリとシーブを制御することで，ワイヤロープに吊られたコンテナを地上平面に±50 mm以内に着床させることを実現した.

4.3 安　全　性

各装置の自己診断機能に加え，吊荷の衝突防止のために監視機能を装備し，安全な運転を実現した.

以下に各機能について説明する.

(1) 異常発生時の吊荷位置の考察

吊荷は，ロープで吊られているため，移動時に異常が発生し横行が停止した場合に吊荷が大きく振られることになる．このような場合にも吊荷と積み山が衝突することのない最適経路を生成するように自動経路生成は考慮されている.

(2) リアルタイム経路トレース

自動生成された最適経路に沿って確実に制御されていることの監視を常時行った．実動作の監視結果と自動生成された経路との差が許容値を超えたときは，安全のために自動停止させている.

また，巻下げのみの場合は，衝突を回避するために目標位置に対する吊荷位置のずれ量に応じて自動的に巻下げ速度を加減速する機能を持たせており，高速性と安全性を両立させている．これは，巻下げ時でも風等の外乱に対処するため，トロリ上のシーブで常に振れ止め・位置決め制御が行われているために実現できている.

(3) 積み山衝突防止センサ

巻下げ時に目標位置の隣接コンテナに衝突しないように，スプレッダに取付けられたセンサにより隣接コンテナを検出することを行った.

通常の巻下げ時では上述のリアルタイム経路トレース機能により隣接コンテナとの衝突防止を行っているが，隣接コンテナのずれ出し，各種検出器の誤検出，突風等の避けられない外乱にも対応するため，最終バックアップの安全装置として設けた.

(4) 豊富な自己診断機能

前記以外に，セーフティインタロックを充実させるために，種々の自己診断機能を搭載して，安全性を高めている.

5. お　わ　り　に

コンテナヤードにおける屋外の大型クレーンとして自動運転を実現し，3年以上の商用運転を行っているレール式橋形クレーンの自動運転について紹介した．自動化のコンセプトである“高速”“正確”“安全”について，その特徴を述べた．個々の詳細技術については紙面の関係上割愛したが，一部は本特集に掲載されているので参照願いたい.

これらの技術は今後のコンテナヤードのみならず，屋外クレーンの自動化に活用できるものである．さらに，今後シャシとの荷役の自動化を研究し，完全自動運転の実現へ努力して行きたい.

参　考　文　献

(1) 宮田，レール式橋型クレーンの半自動運転システム，日本クレーン協会，第20回全国クレーン安全大会特別講演・研究発表資料（1999）
(3) 星名，レールマウントガントリクレーンの自動化について，港湾荷役　平成12年3月号