

リニア搬送台車を活用したコンテナ荷役システム の試設計および評価

門前 唯明¹・田邊 俊郎²・鈴木 武³・中島 晋⁴

¹運輸施設整備事業団（〒100-0011 東京都千代田区内幸町 2-1-1）

²正会員 工修 運輸省港湾技術研究所計画設計基準部（〒239-0826 横須賀市長瀬 3-1-1）

³正会員 運輸省港湾技術研究所機械技術部（同上）

⁴運輸省第三港湾建設局（〒651-0082 神戸市中央区小野浜町 7-46）

リニアモータは自動化や直角走行が容易である等の利点を有し、コンテナターミナルにおいてコンテナ搬送に活用された場合には、荷役作業の効率化・省力化に貢献するものと考えられる。そこで、リニアモータを活用した荷役システムの試設計および評価を行った。荷役方式としては、トランシーファークレーン式、立体倉庫式、リニア直入型の3方式とし、以下の成果を得た。(1)リニアへの要求仕様（速度7m/s、加速度1.5m/s²）を明らかにすることことができた。(2)ランニングコストは高い順から並べると、リニア直入型、立体倉庫式、トランシーファークレーン式、在来式の順であり、従来と同等にするための荷役機械のコスト目標を定量的に示すことができた。(3)3方式ともに本船荷役能率と搬出入荷役能率が向上することが分かった。

Key Words : container terminal, linear motor, linear motor carriage, transfer crane, container silo, simulation, cost evaluation, capability evaluation

1. はじめに

昨今、近隣諸国の港湾における急速な大規模コンテナターミナルの整備等により、我が国の国際コンテナターミナルの競争力の低下が強く指摘されており、大水深ターミナルの整備や規制緩和等の強化に加え、荷役作業の効率化・省力化を図るための新たな対策が求められている。そのため、次世代型コンテナターミナルとして、シンガポールで建設中の天井クレーン方式や立体倉庫式等の新たな荷役方式が検討されており、また、ハンブルク港において試作されたりニア搬送台車等の荷役機器の自動化も活発に検討されている。このような中で九州大学から提案された永久磁石を用いた反発力制御・同期型リニアモータは、制御の自動化やスムースな直角走行が容易であるなどの利点を有し、また、従来ターミナルに比べて排気ガスや騒音などの環境への影響を小さくすることが可能になるなど、コンテナ搬送に活用された場合にはコンテナターミナルに

おける荷役作業の自動化、そしてこれによる荷役コストの低減に大きく貢献するものと考えられる。このように本研究はコンテナ搬送システムを高度化するため、コンテナ搬送にリニアモータ技術を活用した荷役システムを試設計し、その評価を行うものである。本報告では、まず2章でリニア搬送台車の利点を生かしたコンテナ荷役システムを設計するべくリニアの利点の整理を行い、3章で前提条件である蔵置規模の設定を行い、4～6章で3方式のリニアターミナルの試設計を行う。そして7章で比較用従来ターミナルを想定し、8章で3種類のリニアターミナルの評価を行う。

2. リニア搬送台車の利点の整理

リニア搬送台車の利点を生かしたコンテナターミナル（リニアターミナル）を設計するため、リニア搬送台車の利点を以下のように整理した。

- ①走行運転指令が容易…リニアへの走行指令は駆動コイルへの給電による有線なので、コンテナが多段積みされたヤード内の広範囲にわたる複数の各台車に確実に指令を与えることができる。
- ②高速搬送可能…リニアは軌道台車なので AGV (Automated Guided Vehicle) よりも高速化できる可能性が高い。また、タイヤ駆動でないためスリップが発生しないので加減速度も上げることができ。高速化によって台数を減らすことができ、交通流制御が容易になる。
- ③高位置決め精度…コンテナを台車にのせるためのコーナフリッパ（台車上の設備）や、台車上のコンテナをつかむためのガイドフリッパ（スレッダ付属の設備）が吸収できるずれ分は±150mm程度である¹⁾。つまり、台車の位置決め精度は、許容誤差±150mmからクレーンの位置決め誤差やコンテナの残留振れ等を差し引いた範囲内にする必要がある。AGV の停止精度はメーカーカタログ値で±30mmであるのに対し²⁾、リニアはギヤ等の駆動機構がないためガタがなく、またスリップが発生しないので、高位置決め精度が得られ易い。また、軌道台車なので走行直角方向へのずれやねじれもない。なお、ドイツのハンブルク港でのリニアの実験結果では±3mmとの報告がある³⁾。
- ④直角走行が可能…シャーシがコンテナの蔵置されたヤードに直角進入する時は約20m手前から曲がり始める必要があり、直角進入用の約20m幅のスペースが必要である⁴⁾。また、AGV が方向反転する時の旋回半径は約10mである²⁾。リニアはいずれも必要としないため、蔵置スペースを拡大できる可能性がある。ただし、岸壁と直角方向に走行する時は長手分の軌道幅が必要となる。
- 上記①～③は自動化容易性につながり、④は土地有効活用につながるので、これらを目指してリニアターミナルを設計することにした。

3. ターミナル蔵置規模の想定

現状の国内最大実績である約45万TEU/年（1997年実績、C.I. Yearbook1998）の荷役量を取り扱うのに必要な蔵置規模を算出し、これを目標蔵置規模としてリニアターミナルを設計し、従来ターミナルと比較するという考え方とした。そこで、本船荷役個数を表-1のように設定するなどして、コンテナの最大滞留個数3738個（5957TEU）を算出した。ところで、実際のターミナル運用においては、船種や輸出入毎でヤードを区分けする必要があったり、荷締りのた

表-1 本船荷役個数

曜日	月	火	水	木	金	土	日
船名	A	B	C	D	E	F	G H
船積	530	300	255	530	500	100	380 80
陸揚	480	270	255	480	120	550	100 430

表-2 ターミナル仕様と機器構成

岸壁延長	700m (2バース)
奥行き	312m
蔵置量	ヤード 2988×3段=8964TEU バッファ 396×6段=2376TEU
ペイ	長手 6.4m/1入口、幅 26m/6入口
コンテナクレーン	5基 (設定能力:40個/h)

めの空きスペースが必要である等の理由で、滞留個数が蔵置能力の70%以下でないと運用が難しいと言われている。そこで、必要蔵置規模は3738/0.7=5340個(8510TEU)であるとした。

4. トランク式リニアターミナルの試設計

(1) ターミナルレイアウトの設計

ターミナルレイアウトを図-1に、ターミナル仕様と機器構成を表-2に示す。特徴としては、レール式トランク式クレーン(RMG, Rail-Mounted Gantry Crane)と本船荷役専用バッファの採用により、自動化実現の可能性が高いものにしている。また、直角走行による方向反転を利用して搬送軌道の占有面積を小さくし、土地有効活用を図っている。バッファはターミナル右端に配置した。本船荷役に使う領域なのでコンテナクレーンに近い所がよく、最も海側に岸壁と平行に横長の領域とする配置も考えられる。この場合、RMG の走行方向や蔵置コンテナの向きを90°変える必要があり、ロッテルダムのECT デルタターミナルと向きが同じレイアウトとなる。バッファ・コンテナクレーン間の距離が短縮されるので本船荷役能率の向上が予想されるが、RMG の台数を約3倍に増やす必要がある。

本船荷役は、コンテナクレーンとバッファ RMG とその間を結ぶリニアで行う。搬出入荷役は、ヤードに外来シャーシを直接進入させて、ヤード RMG が外来シャーシとコンテナの受け渡しを行う。本船荷役前には輸出コンテナをヤードからバッファへ、本船荷役後には輸入コンテナをバッファからヤードへ、バッファ RMG が配置替え荷役を行う。エプロン・バッファ・その間のリニア動線上は無人領域で、ヤード・コンテナクレーンのバックリーチ下・ターミナル外回り・その他は有人領域である。ただし、ゲート閉門後のヤードは配置替え荷役の自動運

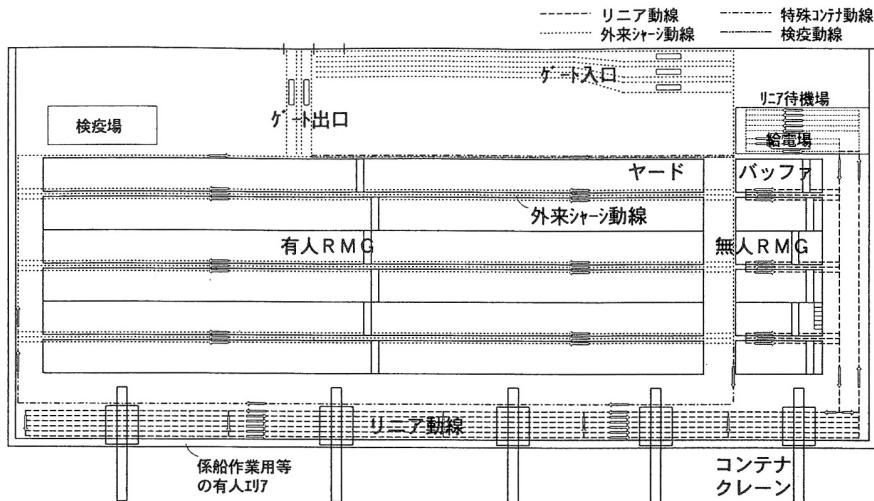


図-1 トランسفァークレーン式リニアターミナルのレイアウト

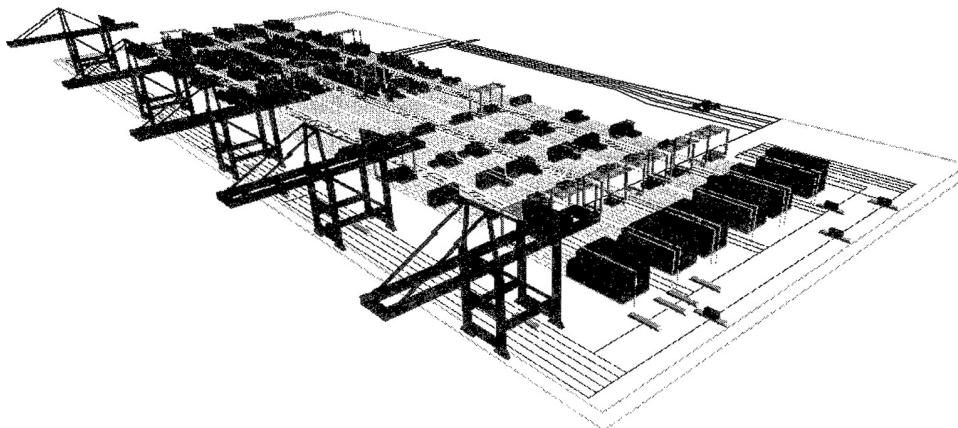


図-2 シミュレーション画面

転のため無人領域とした。リニアとパッファ RMG が無人で、コンテナクレーンとヤード RMG が有人である。なお、本船荷役専用パッファとは、翌朝船積みされるコンテナを前日夜間にヤードからパッファに配置替えし、パッファにおいては本船荷役中に荷繰りする必要がないように船積み順に合わせて積み付けるという方式である。本方式のメリットは、①船積み中に荷繰りを行う必要がない、②搬送台車はパッファとコンテナクレーンの間のみで搬送し走行距離が短縮される、③ヤードで搬出入を行う外来シャーシとの干渉がない、というメリットがある。一方、デメリットとしては、①前日夜間にヤードからパッファへの RMG による長距離高頻度搬送が必要になり高速化が要求される、②基本的に外来シャーシ搬出入禁止時間帯を設ける必要がある、

③パッファ用の土地面積を確保する必要がある、といったデメリットがある。しかし、「荷役システムの設計において最も重要な視点の一つは、本船荷役においてコンテナクレーンを待たせずに陸側荷役システムを動かすことである」と考え、本方式を採用した。

(2) リニア搬送台車の運行ロジック

リニア搬送台車は、本船荷役の時にコンテナクレーンを待たせずに次々と受け渡しを行う、ということが荷役能率確保のために重要である。そのため、クレーンの荷役が行われる前に、荷役スケジュールに従って、予めかつ周期的に向かわせる、という運行方法が考えられる。しかし、この方法はクレーンの荷役が定周期であればよいが、船倉底部の荷役に

表-3 シミュレーションツール

ハードウェア	名称	パーソナルコンピュータ
	CPU	Pentium II
	OS	Windows NT Workstation
ソフトウェア	名称	AutoMod
	メーカ	AutoSimulations

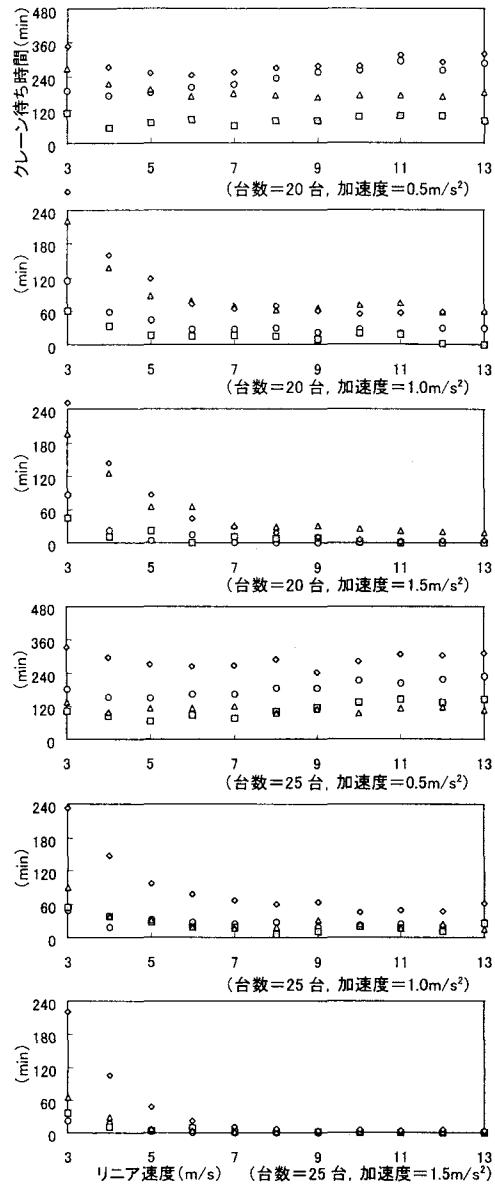
なるとサイクルタイムは長くなり、走行やハッチバーの取り外しも介在する。そこで、以下に述べる運行ロジックを考案した。

- ①コンテナクレーンがリニアとの受け渡し場所まで、陸揚げコンテナを持ってくる、あるいは船積みコンテナを取りに来たらば、リニアに作業指令を与える。
- ②作業指令を与える台数（指令台数）は、予め定めた1以上の台数（設定台数）から、既に作業指令を受けて作業待ちとなっている待機台車の台数（現在台数）を差し引いた数とする。
- ③作業指令を与える度にカウントアップし、作業（コンテナクレーンとの受け渡し）を終える度にカウントダウンすることで、現在台数を管理する。上記運行ロジックにより、初回の荷役においてのみ台車の到着待ちが発生するが、2回目以降は待機台車が作業に当たるので待ちは発生しない。つまり定常的には、クレーン下の待機台車が作業に当たり、そのつど設定台数となるように待機台車を補充する、という運用になる。

(3) ターミナルシミュレータの製作

以下の特長をもったシミュレータを作成した。

- ①シミュレーション画面を図-2に示すように3次元グラフィックスで精密に描いており、あらゆる角度・大きさでリアルタイムに表示させることができ、視覚確認を容易に行うことができる。
- ②コンテナクレーン荷役、ゲート搬出入、荷役機器の動き、荷縄り等を実態に合ったものにしており、数千個たまるコンテナ1個1個に独立な属性を付けて区別しており、リニアの運行ロジック等を実機システムに組み込むことを想定して製作しているので、実機化した場合のものを高精度に模擬している。
- ③長期間の複数船分（最大100船）の連続シミュレーションを可能としており、これによりコンテナの滞留状況を正確に再現でき、これの影響を受けるターミナルの挙動も正確に再現できる。使用したシミュレーションツールを表-3に示す。



●: D_Unload ■: E_Unload ▲: D_Load ◆: E_Load
図-3 リニア仕様とクレーン待ち時間の関係

表-4 リニアの仕様決定

台数	25
速度(m/s)	7.0
加速度(m/s ²)	1.5

表-5 RMG の仕様決定

	速度(m/s)	加速度(m/s ²)
横行	2.5	0.71
走行	6.0	0.3
巻き	2.0	0.8

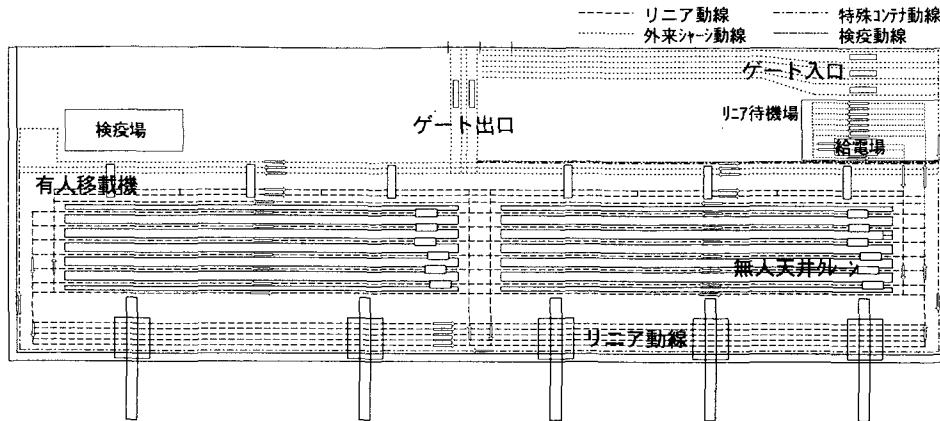


図-4 立体倉庫式リニアターミナルのレイアウト

(4) シミュレーション

本船荷役においてコンテナクレーンができるだけ待たせない、必要最小限のリニアの台数・速度・加速度を求めるため、これら3つのパラメータと、コンテナクレーンの待ち時間の関係を計測した。結果を図-3に示す。なお、計測はシミュレーション開始後4週目の2船同時荷役であるD船とE船の本船荷役を対象に行った。例えば、コンテナクレーン待ち時間の D_Unload とは、D船の陸揚げを全て終えるまでの、荷役に当たったコンテナクレーン3基の各々の累積待ち時間の平均値である。図-3によると、リニアの台数が20台だと、加速度をAGV実績例の約3倍の 1.5m/s^2 と高くしても D_Load で約20分の待ちが生じる。25台にすれば、加速度 1.5m/s^2 、速度 7m/s で待ち時間はほぼゼロになる。これより、リニアへの要求仕様を表-4のように定めた。なお、必要速度 7m/s (25km/h)は、今回想定したターミナル面積が岸壁延長 700m の広い敷地であることを考えれば、必要最小限で妥当と思われる。また、加速度が 0.5m/s^2 だと 7m/s に達するのに約 50m も要し、 1.5m/s^2 だと約 16m ですむことから、必要加速度についても妥当と思われる。

次に、RMGについては、配置替え荷役が最も負荷の高い作業であることから、これを所定時間内(ゲート閉門中)に終えるための必要最小限の速度・加速度を、RMGへの要求仕様とすることにした。これより、要求仕様を表-5のように定めた。なお、ゲート閉門時間は今回は12時間と仮定した。バッファ方式におけるRMGは長距離高頻度搬送が必要であるが、今回は単純化のため各レーン2台ある内の1台のみを荷役作業に当てるとしたので、全体的に高い数値となっている。

5. 立体倉庫式リニアターミナルの試設計

(1) ターミナルレイアウトの設計

次に、ここまでで説明したトランク-クレーン式とは別方式である立体倉庫式リニアターミナルの試設計を行った。ターミナルレイアウトを図-4に、ターミナル仕様と機器構成を表-6に示す。特徴としては、ランダムアクセスが可能で荷繰りが不要なので自動化が容易でかつ荷役能率向上も期待できる。ポイントとなるラックへの格納/取出は立体倉庫屋上を走行する特殊天井クレーンを採用した⁵⁾。本船荷役は、コンテナクレーンと天井クレーンとの間を結ぶリニアで行う。搬出入荷役は、例えば搬出の場合、天井クレーンがラックから取り出し、リニアが移載機へ搬送し、移載機が外来シャーシにコンテナを渡す。エプロン・立体倉庫・移載機・これらの間のリニア動線上が無人領域で、ターミナル外回り・移載機下の外来シャーシ動線より陸側は有人領域である。リニアと天井クレーンが無人で、コンテナクレーンと移載機が有人である。立体倉庫は9段積みとし、屋上の天井クレーン走行路の両側に奥行き1ラック分のラックを岸壁平行方向に並べている。天井クレーンは特殊吊具を持っており、特殊吊具には車輪を有するスプレッダドーリを収納しており、ラック内に取り付けられたレール上を横移動してラック内に進入し、コンテナを巻上下してラック内受面に格納する。リニアは天井クレーン走行路の真下の地上を走行し、本船荷役のためにコンテナクレーンと天井クレーンの間を搬送し、搬出入荷役のために移載機と天井クレーンの間を搬送する。

表-6 ターミナル仕様と機器構成

岸壁延長	700m (2バース)
奥行き	226m
収容能力	960×9段=8640TEU
ペイ	長手7.25m/1スロット, 幅6.4m/2スロット
コンテナクレーン	5基 (設定能力: 平均40個/h)
天井クレーン	12台
移載機	6台
リニア搬送台車	35台 (シミュレーション調整結果)

表-7 リニアの仕様決定

台数	35
速度(m/s)	7.0
加速度(m/s ²)	1.5

表-8 ヤード荷役機器の設定仕様

天井クレーン	台数	12台
	走行	6.0m/s, 0.71m/s ²
	巻き	2.0m/s, 0.8m/s ²
	ラック	格納/取出時間 10sec
移載機	台数	6台
	横行	2.5m/s, 0.71m/s ²
	巻き	2.0m/s, 0.8m/s ²

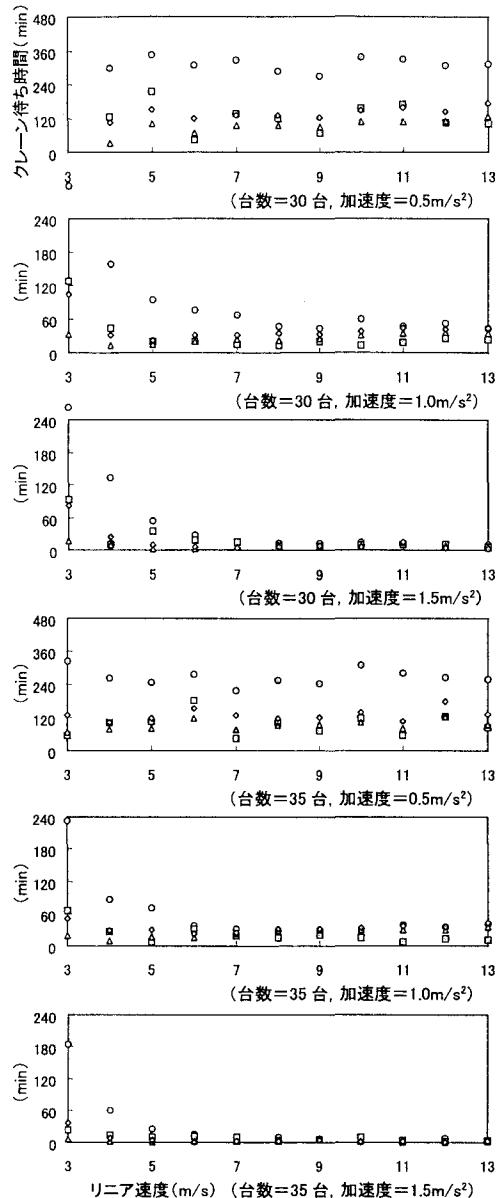
(2) シミュレーション

立体倉庫式リニアターミナルにおいてもシミュレータを作製した。リニアの仕様決定方法はトランク-クレーン式の場合と同じやり方にした。リニアの台数・速度・加速度とコンテナクレーン待ち時間の関係を図-5に示す。これより、リニアへの要求仕様を表-7のように定めた。トランク-クレーン式においては、RMGの仕様はシミュレーションを行うことにより決定したが、立体倉庫式におけるヤード荷役機械である天井クレーンと移載機については、仕様決定のための明確な目標設定がないこと、トランク-クレーン式との比較評価を行いたいことから、RMGの値を用いて表-8のように設定した。

6. リニア直入型リニアターミナルの試設計

(1) ターミナルレイアウトの設計

さらに別方式であるリニア直入型リニアターミナルの試設計を行った。ターミナルレイアウトを図-6に、ターミナル仕様と機器構成を表-9に示す。特徴としては、前章と同様、ランダムアクセスが可能で荷繰りが不要なので自動化が容易でかつ荷役能率向上も期待できる。ポイントとなるラックへの格納/取出は浮上機能によってリニアが直接行う方式を採用した⁶⁾。本船荷役は、コンテナクレーンと立体



● : D_Unload ■ : E_Unload ▲ : D_Load ◆ : E_Load
図-5 リニア仕様とクレーン待ち時間の関係

倉庫のラックとその間を結ぶリニアが、途中リフトによる昇降を経由して行う。搬出入荷役は、例えば搬出の場合、リニアがラックから取り出し、リフトで地上に降りて移載機へ搬送し、移載機が外來シャーシにコンテナを渡す。エプロン・立体倉庫・移載機・これらの間のリニア動線上が無人領域で、ターミナル外回り・移載機下の外來シャーシ動線より陸側は有人領域である。リニアとリフトが無人で、コンテナクレーンと移載機が有人である。立体倉庫は、

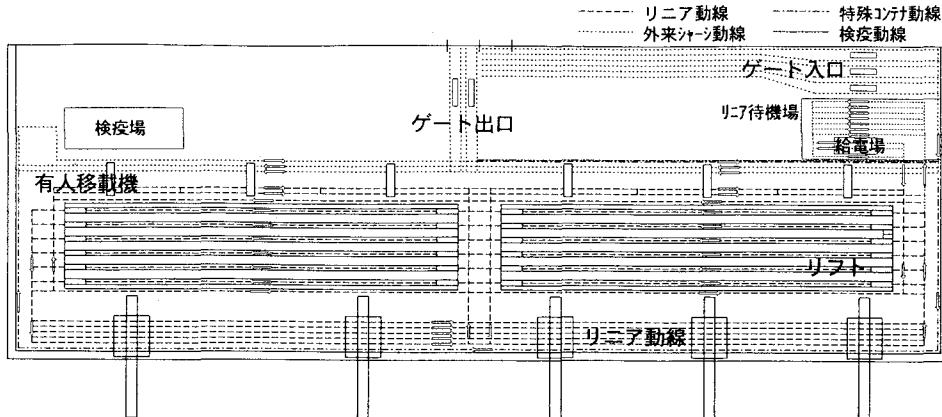


図-6 リニア直入型リニアターミナルのレイアウト

表-9 ターミナル仕様と機器構成

岸壁延長	700m (2バース)
奥行き	226m
収容能力	960×9段=8640TEU
ペイ	長手 7.25m/1スロット、幅 6.4m/2スロット
コンテナクレーン	5基 (設定能力: 平均 40個/h)
リフト	24台
移載機	6台
リニア搬送台車	30台 (シミュレーション調整結果)

前章と同様 9段積みで、リニアは立体倉庫の両端にあるリフトで任意の階に上がることができ、各階全面にリニアの走行路(駆動コイル)を敷いている。また、リニアの走行路の両側には奥行き 1ラック分のラックを岸壁平行方向に並べている。各ラックの床面には長手方向の前後に設置台を開けて設けており、その間隔はリニア長よりも広く、コンテナ長よりも狭くしている。例えばコンテナを格納する場合は、リニアはコンテナを載せた状態で、2本の設置台の間をリニア上面の高さが設置台の高さよりも高くなるように浮上しながら進入し、設置台間の床面に下降して設置台上にコンテナを載置し、さらにリニア上面の高さが設置台の高さよりも低くなるように下降して後退する。リフトはリニアを昇降させるためのエレベータであり、立体倉庫の各レーンの両端に上げ用と下げ用を設けている。

(2) シミュレーション

リニア直入型リニアターミナルにおいてもシミュレータを作製した。リニアの仕様決定方法はトランスクレーン式の場合と同じやり方にした。リニアの台数・速度・加速度とコンテナクレーン待ち時間の関係を図-7 に示す。これより、リニアへの要求仕様を表-

表-10 リニアの仕様決定

台数	30
速度(m/s)	7.0
加速度(m/s ²)	1.5

表-11 ヤード荷役機器の設定仕様

リフト	台数	24台
	昇降	2.0m/s, 0.8m/s ²
移載機	台数	6台
	横行	2.5m/s, 0.71m/s ²
	巻き	2.0m/s, 0.8m/s ²
リニアのラックアクセス	格納/取出時間	10sec

10のように定めた。トランスクレーン式においては、RMG の仕様はシミュレーションを行うことにより決定したが、リニア直入型におけるヤード荷役機械であるリフトと移載機については、仕様決定のための明確な目標設定がないこと、各方式との比較評価を行いたいことから、RMG の値を用いて表-11 のように設定した。

7. 従来ターミナルのシミュレーション

リニアターミナルの比較対象とするために、従来ターミナルのシミュレーションも行った。従来ターミナルとしては、国内の既存の 2バースターミナルを参考にし、タイヤ式トランスクレーン (RTG, Rubber-Tyred Gantry Crane) とヤードシャーシによる荷役方式とした。荷役機器の仕様は実績例をもとに表-12 とした。ただし、ヤードシャーシは 10 秒で最高速度に達すると仮定した。

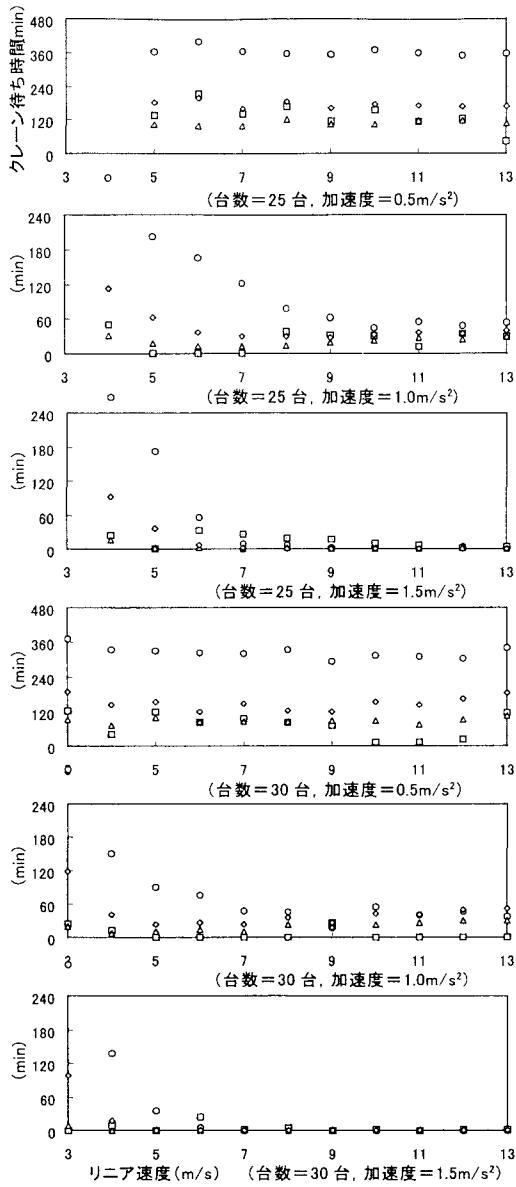


図-7 リニア仕様とクレーン待ち時間の関係

表-12 従来ターミナルの荷役機器の仕様

RTG	台数	14 台
	横行	1.17m/s, 0.5m/s ²
	走行	2.25m/s, 0.3m/s ²
	巻き	0.87m/s, 0.35m/s ²
ヤード・シャーシ	台数	22 台
	走行	35km/h, 0.97m/s ²

表-13 搬送台車の比較

	リニア	AGV	ヤード・シャーシ
速度(m/s)	7.0	3.5(6.0)	9.72
加速度(m/s ²)	1.5	0.5	0.97

8. リニアターミナルの評価

(1) 実現性評価

速度については、AGV の最高速度がカタログ値で 25km/h (6.9m/s) であり、表-4, 7, 10 に示したリニアの速度はこれとほぼ同等なので、実現可能と推測される。加速度は、ECT デルタターミナルで 0.5m/s² であり、リニアの加速度はこれの 3 倍である。リニア駆動ではスリップがないので、原理的には実現可能であろうが、駆動コイルの電流値に関わるので別途検討が必要である。参考に、各台車の比較を表-13 に示す。AGV については、ECT デルタターミナルの実績値を示した。ただし、6m/s への高速化が検討されている。ヤード・シャーシについては、速度は規制速度の 1 例、加速度は 10 秒で最高速度に達すると仮定した。これによると、リニアへの要求仕様は、速度については他と同程度であり、加速度については他よりも大きくする必要がある。

(2) 経済性評価

シミュレーションによる荷役機器台数の決定および稼動時間の計測結果をもとに、コスト見積りを行った。ランニングコストを図-8、イニシャルコストを図-9 に示す。なお、数値は従来を 100 とする相対値で示した。これによると、ランニングコストは高い順から並べると、リニア直入型、立体倉庫式、トランシファークレーン式、従来式の順であり、トランシファークレーン式は従来とほぼ同等であることが分かった。ただし、リニア等の自動化機器の価格は、技術開発が支障なく行われた場合を想定した目標値で設定した。さらに、荷役機械の単価をいくら下げれば、従来のランニングコストと同等になるかを調べた。その結果、トランシファークレーン式では 89%、立体倉庫式では 80%、リニア直入型では 34% に下げれば従来と同等になることが分かった。

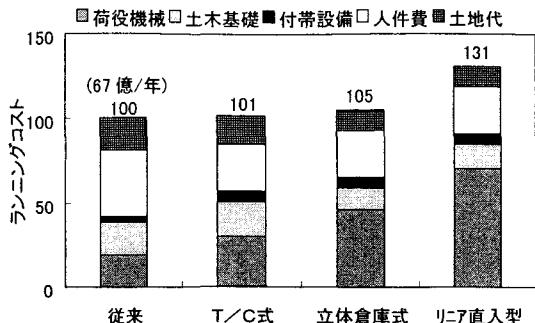


図-8 ランニングコスト相対比較

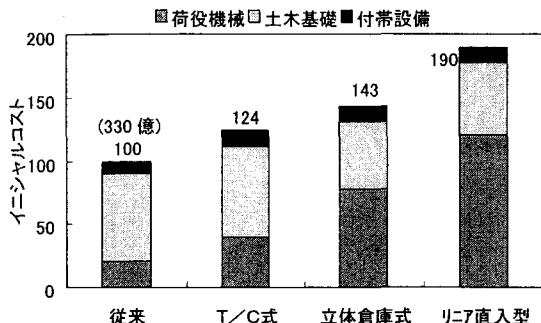


図-9 イニシャルコスト相対比較

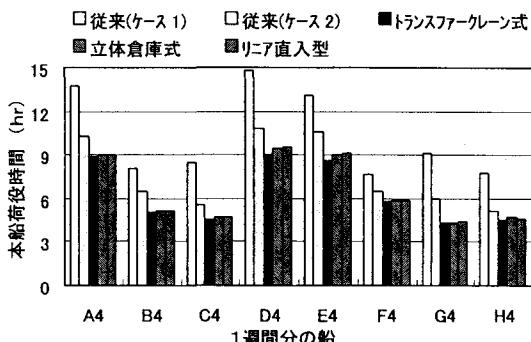


図-10 本船荷役時間の比較

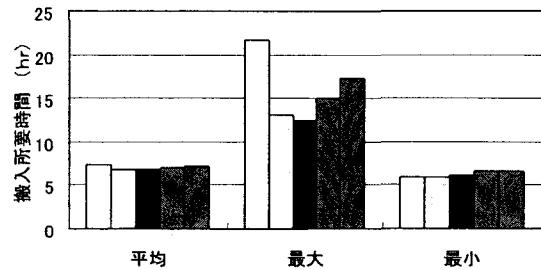


図-11 搬入所要時間の比較

(3) 处理能力評価

① 本船時間

本船荷役時間の比較を図-10に示す。リニアターミナルについては、3方式ともコンテナクレーン待ち時間がゼロになるようリニアの台数等を調整しているので、コンテナクレーンの能力によって決まる最短時間にほぼなっている。一方、従来ターミナルでは、RTGが荷繰りをしながら船積みを行うので時間が長くなっている。なお、ケース1とは荷役機器の仕様を表-12の通りとしたもので、ケース2とはRTGとヤードシャーシを、各々トランスクレーン式リニアターミナルのRMGとリニアに合わせて高速化したものである。

② 搬出入所要時間

搬入所要時間の比較を図-11に示す。別途計測した搬出所要時間とも合わせて、搬入所要時間は平均7~9分程度であり、他文献にて目標20分以内に設定されていることから満足できる⁷⁾。トランスクレーン式では、基本的にバッファのみを無人領域としており、外来シャーシはヤードへ直接進入できるので時間短縮できている。立体倉庫式とリニア直入型は、リニアと移載機を介するために若干能率が落ちていると推測される。なお、搬出入所要時間とは、外

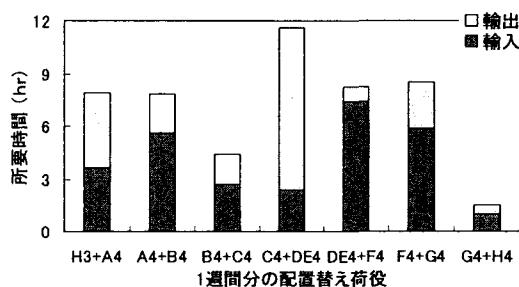


図-12 配置替え荷役の所要時間

來シャーシがターミナル入口から出口に至るまでの所要時間のことである。

③ 配置替え所要時間

バッファを有するトランスクレーン式リニアターミナルでは配置替え荷役が必要であり、1週間分の各船の配置替え荷役の所要時間を図-12に示す。現状の国内ターミナルは、ほとんどがゲート閉門時間を有するので、この時間中に行けばよい。しかし、将来24時間開門となった時に搬出入禁止時間帯として設ける必要があるので、配置替え荷役時間を短縮するための検討が必要である。

9. おわりに

リニア搬送台車の利点である自動化容易性と土地有効活用を生かすべく、リニア搬送台車を用いた自動化ターミナルの試設計を行った。荷役方式としては、本船荷役専用バッファを有するレール式トランスファークレーン式、ラックへの格納機構が装備された特殊天井クレーンを有する立体倉庫式、立体倉庫の全階全面をリニア搬送台車が走行するリニア直入型の3方式を対象とした。ターミナル運用方法としては、特に本船荷役中にコンテナクレーンを待たせずにリニア搬送台車を供給するための運行ロジックを工夫した。さらに、試設計したリニアターミナルを正確に評価するために、実際を細かく模擬したターミナルシミュレータを作成した。現状の国内最大実績である45万TEU/年の取扱量を想定してシミュレーションを行い、リニアターミナルを評価した。これにより以下の成果を得た。

- ①リニアへの要求仕様（速度7m/s、加速度1.5m/s²）を明らかにできた。
- ②経済性評価の結果、ランニングコストは高い順から並べると、リニア直入型（従来の131%）、立体倉庫式（105%）、トランスファークレーン式（101%）、従来式の順であり、トランスファークレーンは従来とほぼ同等であることが分かった。また、従来のランニングコストと同等にするための荷役機械のコスト目標を定量的に示すことができた。
- ③処理能力評価の結果、3方式ともに、本船荷役時間は従来の2/3以下に低減され、搬出入所要時間は最大時間が短縮され、平均7~9分程度で満足できることが分かった。ただし、トランスファークレーン式では新たに必要となる配置替え荷役に平均7.2時間/日も要することが分かった。

以上により、コンテナターミナルへのリニア導入に向けての前提条件を概略明らかにすることことができた。

謝辞：本研究は運輸施設整備事業団のもと九州大学と港湾技術研究所が共同で実施しており、運輸施設整備事業団をはじめとする皆様にご支援・ご協力を頂いており、ここに深く感謝致します。

参考文献

- 1)竹原亨、星名博光：コンテナクレーンの電気式(ワード・パウ式)振れ止め制御、港湾荷役、39巻5号、pp.515~521, 1994.
- 2)港運構造改善促進団体：我が国におけるコンテナターミナルの自動化・機械化方策に関する調査 平成7年度報告書、pp.42~48, 1996.
- 3)Wolper, A. and Huth, E. : INTRODUCING LINEAR MOTOR-BASED TRANSFER TECHNOLOGY TO A CONTAINER HANDLING ENVIRONMENT, TERMINAL OPERATIONS CONFERENCE 1997, pp.1~23, 1997.
- 4)渡辺逸郎：コンテナターミナルの特性・能率分析の手法、CONTAINER AGE, No.283~291, 1991.
- 5)沿岸開発技術研究センター：平成8年度船舶用コンテナ自動立体格納装置の研究報告書、pp.8~32, 1997.
- 6)福地信義：リニアモータ駆動搬送台車を用いた高密度集積コンテナ・ストックヤードの概念設計、マリン・エクスプロス構想(Phase-2)に関する調査研究報告(平成8年度)、pp.11~22, 1997.
- 7)山崎正敏、土井厚二、飯田日出夫、金川弘二、有吉俊一、望月則孝：コンテナターミナルにおけるコンテナ荷役シミュレーション、三井造船技報、149号、pp.14~21, 1993.

(2000.1.19受付)

DESIGN AND EVALUATION OF A CONTAINER HANDLING SYSTEM APPLIED A LINEAR MOTOR CARRIAGE

Tadaaki MONZEN, Toshiro TANABE, Takeshi SUZUKI and Susumu NAKASHIMA

Linear motor carriage has the merit which is easy to automate and right-angled drive. In case of container conveyance as applied, it contributes to an efficiency and labor saving at a port container terminal. So, we designed a cargo handling system using linear motor carriage, and evaluated it by a series of numerical simulations. We obtained the following result. (1)Linear motor specification : It is required 7m/s speed and 1.5m/s² acceleration. (2)Cost evaluation : We made cost target of cargo handling machine clear, in order to be same with the conventional terminal. (3)Capability evaluation : It is possible to increase efficiency of stevedoring and carrying in or out. After all, we made a precondition clear for applying linear to the terminal.