

運輸省港湾技術研究所

# 港湾技術研究所 報告

---

---

REPORT OF  
THE PORT AND HARBOUR RESEARCH  
INSTITUTE

MINISTRY OF TRANSPORT

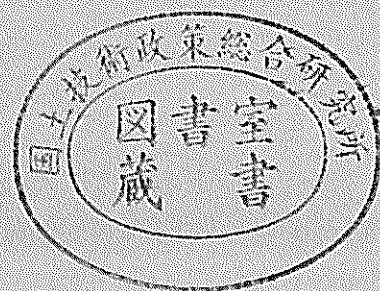
---

VOL.39

NO.1

Mar.2000

NAGASE, YOKOSUKA, JAPAN



# 港湾技術研究所報告(REPORT OF P.H.R.I.)

第 39 卷 第 1 号 (Vol.39, No.1), 2000 年 3 月 (Mar. 2000)

## 目 次 (CONTENTS)

1. A Diagnostic Study on Water Bodies Connecting Two Open Seas  
.....Mohamed ELZEIR, Hiroichi TSURUYA, Yasushi HOSOKAWA  
and Tadashi HIBINO .... 3  
(二つの海域を連結する狭窄部での流れに関する研究  
..... Mohamed ELZEIR・鶴谷広一・細川恭史・日比野忠史)
2. 東京湾における密度構造の変化と流れ場  
—黒潮の流れと東京湾—  
.....日比野忠史・野村宗弘・岡田知也・古川恵太 .... 25  
(Variation of Stratification and Current Field in Tokyo Bay  
—Kuroshio Current and Tokyo Bay—  
..... Tadashi HIBINO, Munehiro NOMURA, Tomoya OKADA and Keita FURUKAWA)
3. 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  
ターミナルシミュレーションによる評価  
..... 門前唯明・田邊俊郎・鈴木 武・中島 晋 .... 57  
(Design of a Port Container Handling System Applied a Linear Motor Carriage  
and Evaluation by a Terminal Simulation  
..... Tadaaki MONZEN, Toshiro TANABE, Takeshi SUZUKI and Susumu NAKASHIMA)
4. クレーンの振れ止め制御におけるノッチフィルタによるロッキング振動対策  
.....門前唯明・田邊俊郎・鈴木 武 .... 155  
(Rocking Vibration Removing Method by Notch Filter on Anti-sway Control of a Crane  
.....Tadaaki MONZEN, Toshiro TANABE and Takeshi SUZUKI)

## 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 ターミナルシミュレーションによる評価

門前唯明<sup>\*1</sup>・田邊俊郎<sup>\*2</sup>・鈴木 武<sup>\*3</sup>・中島 晋<sup>\*4</sup>

### 要 旨

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効率化・省力化に大きく貢献するものと考えられる。そこで、コンテナ搬送にリニアモータを活用した港湾におけるコンテナ荷役システムの試設計およびシミュレーション評価を行った。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 (T/C) 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台車が走行するリニア直入型の3方式について試設計および評価を行い、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  $1.5\text{m/s}^2$ ) を明らかにすることができた。
  - (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、立体倉庫式、T/C式、従来式の順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じ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能率と搬出入荷役能率が向上することが判った。ただし、T/C式は配置替え荷役に長時間を要することが分かった。
- これにより、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ができた。

キーワード：コンテナターミナル、リニアモータ、リニア搬送台車、トランスファークレーン、立体倉庫、シミュレーション、経済性評価、処理能力評価

---

\*1 機械技術部 機械作業システム研究室 客員研究員 (運輸施設整備事業団 運輸技術研究員)

\*2 計画設計基準部 設計技術研究室長

\*3 機械技術部 機械作業システム研究室長

\*4 前 機械技術部 主任研究官 (現 第三港湾建設局 神戸機械整備事務所所長)

〒239-0826 横須賀市長瀬3-1-1

電話：0468-44-5040 Fax：0468-44-0575 E-mail：monzen@cc.phri.go.jp

## Design of a Port Container Handling System Applied a Linear Motor Carriage and Evaluation by a Terminal Simulation

Tadaaki MONZEN \*1  
Toshiro TANABE \*2  
Takeshi SUZUKI \*3  
Susumu NAKASHIMA \*4

### Synopsis

Linear motor carriage has the merit which is easy to automate and right-angled drive. In case that it is applied to a container conveyance, it contribute for an efficiency and labor saving at a container terminal. So, we designed a cargo handling system using linear motor carriage, and evaluated it by a numerical simulation. We designed 3 types of cargo handling system, which were the transfer crane (T/C) type, the container silo equipped with overhead bridge crane (CS) type, and the container silo of linear motor carriage direct access (LDA) type. We obtained the following result.

(1)Linear motor specification : It is required 7m/s speed and 1.5m/s<sup>2</sup> acceleration.

(2)Cost evaluation : Running cost is larger in order of LDA type, CS type, T/C type and conventional type. And we made cost target of cargo handling machine clear, in order to be same with the conventional type.

(3)Capability evaluation : It is possible to increasing efficiency of stevedoring and carry in or out, at all of 3 method. But T/C type needs long time for shift handling.

That is to say, we made a precondition clear for applying linear motor carriage to a port container terminal.

**Key Words:** Container terminal, Linear motor, Linear motor carriage, Transfer crane, Container silo, Simulation, Cost evaluation, Capability evaluation

---

\*1 Visiting Researcher, Machinery System Laboratory, Machinery Division  
(Corporation for Advanced Transport & Technology)

\*2 Chief of Design and Construction Technology Laboratory, Planning and Design Standard Division

\*3 Chief of Machinery System Laboratory, Machinery Division

\*4 Former Senior Research Engineer, Machinery Division

1-1-3, Nagase, Yokosuka, Kanagawa, 239-0826 Japan

Phone:0468-44-5040 Fax:0468-44-0575 E-mail:monzen@cc.phri.go.jp

## 目 次

要 旨	57
1. まえがき	61
2. リニア搬送台車を活用したコンテナターミナルの条件整理	61
2.1 リニア搬送台車の利点の整理	61
2.2 ターミナルの前提条件の設定	61
3. トランスファークレーン式リニアターミナルの試設計および評価	63
3.1 ターミナルレイアウトの設計	63
3.2 ターミナル運用方法の考案	64
3.3 ターミナルシミュレータの製作	66
3.4 シミュレーション	67
3.5 従来ターミナルのシミュレーション	70
3.6 リニアターミナルの評価	70
3.7 3章のまとめ	73
4. 立体倉庫式リニアターミナルの試設計および評価	74
4.1 ターミナルレイアウトの設計	74
4.2 ターミナル運用方法の考案	75
4.3 ターミナルシミュレータの製作	75
4.4 シミュレーション	75
4.5 立体倉庫式リニアターミナルの評価	78
4.6 4章のまとめ	81
5. リニア直入型リニアターミナルの試設計および評価	82
5.1 ターミナルレイアウトの設計	82
5.2 ターミナルシミュレータの製作	83
5.3 シミュレーション	83
5.4 リニア直入型リニアターミナルの評価	87
5.5 5章のまとめ	88
6. 各種リニアターミナルのまとめ	89
6.1 実現性評価	89
6.2 経済性評価	90
6.3 処理能力評価	91
7. 結論	92
8. あとがき	92
謝辞	93
参考文献	93

付録1. リニアの利点整理の詳細 .....	94
付録2. コンテナクレーンによる本船荷役について .....	96
付録3. ヤード滞留個数の算出 .....	96
付録4. リニアターミナルのレイアウト案の設計 .....	98
付録5. 本船荷役専用バッファについての検討 .....	132
付録6. ブロック分けについての検討 .....	132
付録7. 蔵置管理ロジック .....	133
付録8. リニアターミナルの計測結果の詳細 .....	134
付録9. 従来ターミナルの計測結果の詳細 .....	135
付録10. 見積り数値の詳細 (T/C式リニアターミナル) .....	136
付録11. 立体倉庫式リニアターミナルの計測結果の詳細 .....	141
付録12. 見積り数値の詳細 (立体倉庫式リニアターミナル) .....	142
付録13. リニア直入型リニアターミナルの計測結果の詳細 .....	147
付録14. 見積り数値の詳細 (リニア直入型リニアターミナル) .....	148
付録15. 駆動コイルを100万円/m, リニア消費電力を300kWとした場合の経済性評価 .....	153

## 1. まえがき

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、我が国の港湾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等に加え、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。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ズ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効率化・省力化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。

## 2. リニア搬送台車を活用したコンテナターミナルの条件整理

### 2. 1 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を設計するため、リニア搬送台車の利点を以下に列挙し、コンテナターミナルへの効果を表-1のように整理した。

#### (1) 走行運転指令が容易

AGV(Automated Guided Vehicle)への走行運転指令は無線なので、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台車への指令は困難と予想される。これに対してリニアへの走行運転指令は無線ではなく、駆動コイル給電による有線なので、複数の台車1台1台に確実に指令を与えることができる。

#### (2) 軌道追従確保が容易

AGVでは1例として地中に埋設されたトランスポンダ(磁気誘導板)を検出して<sup>1)</sup>、軌道ずれを補正するオートステアリング制御を行いながら走行する。これに対してリニアは軌道台車であり軌道確保が保証される。

#### (3) 高速搬送可能

AGVの最高速度は運用実績で3.5m/sで、最大加速度は0.5m/s<sup>2</sup>である<sup>2)</sup>。オートステアリング制御により軌道確保しながらの走行であり、これを必要としない軌道台車であるリニアは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る。高速化は荷役能率の向上になるが、最も重要な本船荷役はコンテナクレーンの荷役

能率に制限されるため、実際には台数を低減できることになる。台数が減ると渋滞やデッドロックが回避され交通流制御が容易になる。台数低減は経済性にも効くが、駆動コイルを含めたリニアは高価格と予想される。

#### (4) 高位置決め精度

コンテナを台車にのせるための台車に付属のコーナフリッパや、台車上のコンテナをつかむためのスプレッドに付属のガイドフリッパが吸収できるずれ分は±150mm程度と言われている<sup>3)</sup>。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<sup>4)</sup>、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可能性が高い。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<sup>5)</sup>。

#### (5) 直角走行が可能

シャシーがコンテナ蔵置場所である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、つまり直角進入用の20m幅のスペースが必要である<sup>6)</sup>。また、AGVが方向反転する時の旋回半径は約10mである<sup>4)</sup>。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方向分の約16mの軌道幅が必要となる。

表-1により、コンテナターミナルへの効果は、自動化が容易になることと、土地を有効活用できることであると整理したので、自動化と土地有効活用を目指して、リニア搬送台車を用いたコンテナターミナル(リニアターミナル)を設計することにした。なお、リニアの利点整理の詳細は付録1に添付した。

### 2. 2 ターミナルの前提条件の設定

#### (1) 岸壁延長

これからのターミナルはヤードを効率的に利用するために、複数船の同時着岸が望ましいとされるであろうことから、今回は2船同時着岸を想定することにした。岸壁延長としては、H9.10現在で就航している世界最大のコンテナ船は全長347mであり、係留索の関係で1バース400m必要であるが、大型コンテナ船2隻が1つのターミナルに同時に着岸して荷役する状態は、現状の航路スケジュールからすると可能性が低いと考えられる。よって、岸壁延長は700m(350m×2)と想定することにした。



表-1 リニア搬送台車の利点の整理

リニア搬送台車の利点	コンテナターミナルへの効果	
走行運転指令が容易	有線化されるので、ヤード内の広範囲にわたり各台車への指令が 確実になる。	自動化が容易になる
軌道追従確保が容易	軌道台車なので、軌道確保が保証されることで自動化が実現可能 になる。	
高速搬送可能	軌道台車かつスリップが無いので、高速化が可能になり、台車数 が低減され交通流制御が容易になる。	
高位置決め精度	ガタやスリップが無いので、位置決め精度が向上し、他の荷役機 械との自動受け渡しが可能になる。	
直角走行が可能	直角走行や旋回に要するスペースが縮小され、蔵置スペースを拡 大できる。	土地有効活用できる

(2) コンテナクレーン基数

コンテナクレーンは今のところ1バースに2基のターミナルが多い。大型船で荷役コンテナ個数が多い場合は3基投入することのメリットがあるかもしれないが、通常船の場合は2基でも能力的に対応できると考えられる。そこで、リニアターミナルでは5基のクレーンを備えることにした。つまり、最大負荷としては大型船と通常船の2船同時荷役を想定し、各々に3基と2基を投入することにした。なお、コンテナクレーンによる本船荷役についての前提条件は付録2に添付した。

(3) ヤード蔵置規模

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ため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にした。そこでまず、本船荷役個数や搬出入パターンなどの実態データを調査・取得し<sup>7)</sup>、コンテナ滞留個数のシミュレーション等を実施することによって、最大滞留個数3738個(5957TEU)を算出した。本船荷役個数を表-2に、搬出入パターンを表-3に示す。算出方法の詳細は付録3に添付した。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るが、荷繰りのた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、リニアターミナルに必要なヤード全体の蔵置規模は3738/0.7=5340個(8510TEU)であるとした。

(4) その他

- ① 有人無人エリアを区別する…バッファ、コンテナクレーンのスパン内、リニア動線上は無人領域とし、その他のヤード等は有人領域として両者を区別した。ただし、ゲート閉門後は無人RMGが配置換え荷役のためにヤード内に進入するものとした。
- ② 係船作業用、船員移動用の有人エリアを設ける…岸壁および岸壁に至るまでの左右両端に、数m幅の有人エリアを設けた。
- ③ 無人の機器から有人の機器へコンテナを渡さない…外来シャーシとの搬出入荷役を行うヤード内のRMGは有人とした。
- ④ 特殊コンテナの動線を確保する…特殊コンテナは、ヤードシャーシがヤードとコンテナクレーンの間を基本的に外来シャーシの動線を使って運搬し、コンテナクレーンにおいてはバックリーチ部でコンテナの受け渡しを行うことにした。
- ⑤ ターミナル内検疫場へのコンテナの動線を確保する…検疫コンテナは通常の荷役でヤードに蔵置された後、検査を受ける際はヤードシャーシが検疫場まで基本的に外来シャーシの動線を使って運搬し、検査後は再びヤードシャーシがヤードに運搬し蔵置することにした。

表-2 本船荷役個数

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

表-3 搬出入パターン

搬入の割合(%)	入港7日前	6日前	5日前	4日前	3日前	2日前	1日前	入港日
	5.2	3.0	3.5	7.5	12.0	22.5	46.3	0.0
搬出の割合(%)	出港日	出港1日後	2日後	3日後	4日後	5日後	6日後	7日後
	0.0	0.5	5.5	7.5	13.5	16.5	21.0	8.5
	8日後	9日後	10日後	11日後	12日後	13日後	14日後	15日以降
	7.0	5.0	3.5	3.0	2.0	1.0	1.0	4.5



### 3. トランスファークレーン式リニアターミナルの試設計および評価

#### 3.1 ターミナルレイアウトの設計

リニア搬送台車の利点を生かしたコンテナターミナルとは、自動化と土地有効活用であると整理したので、これらを目指してリニアターミナルのレイアウト(荷役方式および機能配置)を設計した。ところで、自動化と土地有効活用の最終効果としては以下の2つの捉え方がある。

- ①自動化によって省力化が図られ、土地有効活用によって面積縮小が図られ、つまり、コスト低減につながる。
  - ②自動化によって連続運転が可能になり、土地有効活用によって蔵置量増大が可能になり、つまり、取扱能力が増加し、将来の取扱量増加に対応できるようになる。
- ここではまず、①のコスト低減を重視した場合のレイアウトを設計した。具体的には、考えられる複数のレイアウト案を設計し、この中から自動化(自動化率、自動化容易性)、土地活用率、経済性を総合評価し、図-1に示すトランスファークレーン式リニアターミナルを選定した。複数のレイアウト案については付録4に添付した。

##### (1) 概要

レール式トランスファークレーン(RMG, Rail-Mounted Gantry Crane)による荷役方式で、本船荷役能率を重視して本船荷役専用バッファ(バッファ)を設けた。本船荷役は、岸壁クレーン(コンテナクレーン)とバッファのRMGとその間を結ぶリニア搬送台車で行う。

搬出入荷役は、基本的に有人領域とするヤードに外来シャーンシを直接進入させて、ヤードのRMGが外来シャーン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、バッファのRMGが配置替え荷役を行う。

##### (2) ターミナル配置と機器構成

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-4に示す。エプロン・バッファ・その間のリニア動線上は無入領域とし、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・その他は有人領域とした。ただし、ゲート閉門後のヤードは配置替え荷役の自動運転のため無人領域とした。実績例をもとに、ヤードより陸側の奥行き80mの領域に、管理棟等の建屋・検査場・リニア待機場・給電場・ゲート等を設け、ゲートは入口6レーンで出口4レーンとした。また、

表-4 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
ベイ	長手方向	6.4m/1スポット
	幅方向	26m/6スポット
コンテナクレーン	5基(設定能力:平均40個/h)	
RMG	12台(有人:6台, 無人:6台)	
リニア搬送台車	25台(シミュレーション調整結果)	

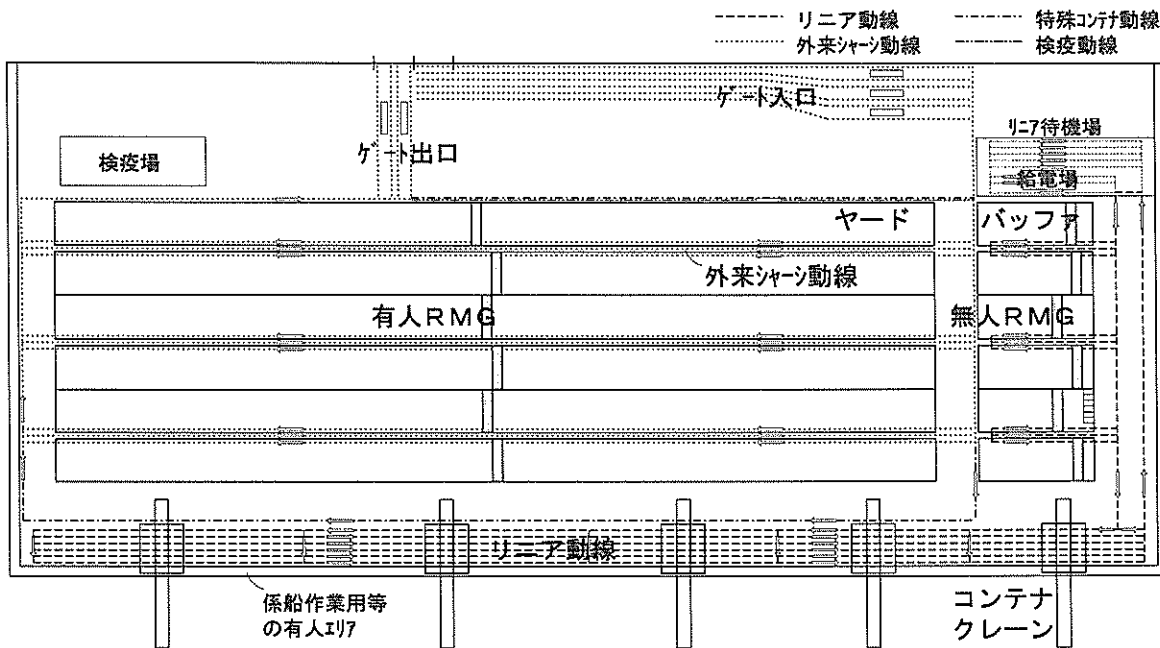


図-1 トランスファークレーン式リニアターミナル

ゲート入口はターミナル入口より離れた所に設置して公道での滞留を防止するものとした。リニアとバッファのRMGが無人で、コンテナクレーンとヤードのRMGが有人である。

RMGは土地活用の面からは大型のものが望まれるが、自動受け渡しや高速化が困難になり、荷繰りも増加するので、一般的な中で大きめの5段積み1段クリア、6列1シャシーレーンとした。台数は各レーンにバッファ用無人RMGとヤード用有人RMGの計2台とした。バッファ用RMGが本船荷役を行い、ヤード用RMGが搬出入荷役を行う。配置替え荷役は、両方で行うと荷役能率は良いが運用が複雑になるため、今回はバッファ用RMGが単独で行うこととした。横行・走行・巻きの必要速度・加速度はシミュレーションにより求めることにした。

リニアは本船荷役のみを行う。リニア動線は土地活用のため直角走行とし、RMGがリニア動線(駆動コイル)上を横切らないような経路とした。リニアの必要台数・速度・加速度はシミュレーションにより求めることにした。なお、リニアが直角走行するため、コンテナの向きの関係で船は右舷接岸する必要がある。

積み段数は、バッファでは荷繰りが必要ないため最大の6段積みとし、ヤードでは簡単のため輸出入共通で3段積みとした。蔵置能力は表-4に示した通りである。

(3) コンテナフロー

① 輸入コンテナ

コンテナクレーン→リニア→RMG→バッファ→RMG→ヤード

② 搬出コンテナ

ヤード→RMG→外来シャシー

③ 搬入コンテナ

外来シャシー→RMG→ヤード

④ 輸出コンテナ

ヤード→RMG→バッファ→RMG→リニア→コンテナクレーン

(4) 特徴

RMGと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なっている。また、直角走行による方向反転を活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。なお、本船荷役専用バッファとは、翌朝船積みされるコンテナを前日夜間にヤードからバッファに配置替えし、バ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った方式である。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搬送台車はバ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シーとの干渉が

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バッファへのRMGによる長距離高頻度搬送が必要になり、RMGの高速化が要求される、②基本的に外来シャシー搬出入禁止時間帯を設ける必要がある、③バ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、「ターミナル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陸側荷役システムを動かすことである」と考え、また、広大なヤード全面を、搬出入荷役との混在の中、荷繰りを繰り返す状況下で本船荷役を自動化することは困難と考え、本方式を採用した。本船荷役専用バッファについての検討内容は付録5に添付した。

3.2 ターミナル運用方法の考案

(1) ヤードの区分け方(ブロック分け)

ヤード内に各種コンテナが混在することによって、荷繰りが増えたり管理し難くなるのを防ぐため、一般に行われている輸出入毎・船種毎のブロック分けを基本とし、以下を考慮して図-2のようなブロック分けにした。

- ①荷役能率向上のため、多くの荷役機械に作業が分散されるようにする<sup>8)</sup>。
- ②蔵置効率向上のため、ブロック間の境界を一部不定にする。

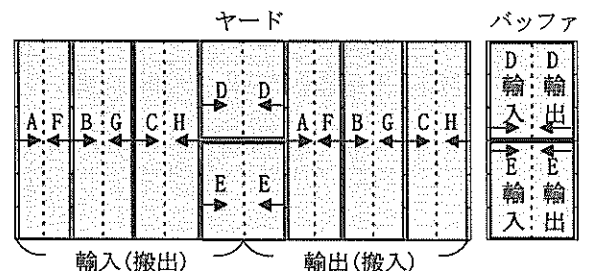


図-2 ブロック分け

①については、全てのRMGに荷役作業が分散されるように、各ブロックは全レーンにまたがるようにした。ただし、2船同時荷役において、1台のRMGが2船分の本船荷役を行って走行頻度が増加して効率が落ちるのを防ぐため、2船各々のブロックは分離することにした。なお、ヤードのブロック分けが固定であるのに対し、バッファのブロック分けはその日の船によって変化し、図-2のバッファは2船同時荷役日の場合である。

②については、各船の蔵置量のピーク日にはずれがあることを利用したもので、各船種毎でブロックを確定させた場合には、蔵置規模は最大滞留個数の約1.6倍必要であったのに対し、境界を一部不定にすることで約1.4

倍に低減させることができた。なお、A~Hは船種名で、矢印は各船種のコンテナが混在しないように蔵置順を定めたものである。なお、ブロック分けについての検討内容は付録6に添付した。

### (2) 蔵置位置決定方法

搬入コンテナのヤードへの蔵置位置と、陸揚げコンテナのバッファへの蔵置位置については、所定のブロック内において、不定境界より遠い側から、RMGレーンが順々に変わるように蔵置してゆくこととした。これにより、同一ブロック内の異なる船種の混在が防止でき、また作業するRMGが分散されて荷役能率が向上する。搬出コンテナのヤードへの蔵置位置については、所定ブロック内の所定レーン(陸揚げされたバッファのレーン)内に、不定境界より遠い側から蔵置ゆくこととした。船積みコンテナのバッファへの蔵置位置については、同様に所定ブロック内の所定レーン(搬入されたヤードのレーン)内に、船積み順の遅いコンテナが、不定境界から遠い側で、かつ下段になるように、また船積み順に並ぶように蔵置することとした。これにより、船積み開始とともに陸揚げコンテナの蔵置エリアが速やかに拡大され、輸出入の混在が防止できる。また、船積み順の早いものが上段に積まれるので、船積み時の荷繰り解消が実現できる。また、船積み順に同一ベイ内に並ぶので、RMGの走行頻度が減って荷役能率が向上する。なお、上述の蔵置位置決定および取出位置検索を行うための具体的なロジック案は付録7に添付した。

### (3) 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、船倉を掘り進めばサイクルタイムは長くなり、走行やハッチカバーの取り外しも介在し、これによってクレーン下に待ち行列が発生する。逆にこれを防ごうとすると到着遅れになる。また、計画変更や故障等があった時の対処も困難である。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搬送台車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、リニア搬送台車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が発生しない。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。さらに、初回の荷役においても、予めクレーン運転員が、クレーン荷役開始前にリニア搬送台車へ作業指令を与えることができるような運行管理システムにすれば、初回の到着待ちも解消される。

走行ルートを図-3に示す。これをもとに、上述した運行ロジックを船積みの場合を例に具体的に説明する。リニアはまず車庫で待機する。そして①で述べたように、コンテナクレーンがリニアとの受け渡し場所に船積みコンテナを取りに来たら、運行管理システムはリニアに作業指令を与える。作業指令を与える台数は②で述べた指令台数とする。また作業指令を与える時には、行き先である船積みコンテナが蔵置されているバッファ内の位置、およびその次の行き先であるコンテナクレーンを指示する。リニアはバッファ内でコンテナを受け取り、コンテナクレーンへと搬送する。コンテナクレーンにコンテナを渡したら、再び車庫に戻って作業指令を受けるまで待つ。陸揚げの場合も基本的に同じである。ただし、コンテナクレーンから受け取った陸揚コンテナをバッファに蔵置した後、再び車庫に戻ると走行距離が余分に長くなる。そこで、リニアがRMGにコンテナを渡したら、運行管理システムはコンテナクレーン下に待機しているリニアの現在台数を数え、現在台数が設定台数より少なければ、車庫には戻らずに直接コンテナクレーン下に向かうように作業指令を与える運行ロジックを追加した。

なお、上記②で述べた設定台数は、例えばリニアの台数が25台であるならば、計5基のコンテナクレーン各々に5台ずつ割り当てるという考え方をベースに、バッファから遠いために荷役効率の悪い海から見て左側2基に対しては設定台数を5台とし、右側3基に対しては設定台数を4台とし、各コンテナクレーンの荷役能率が同等になるようにした。

リニア搬送台車どうしの交差点や合流点での衝突回避については、図-4に示すようなブロックを設定し、以下に述べるような衝突回避ロジックとした。まず、各

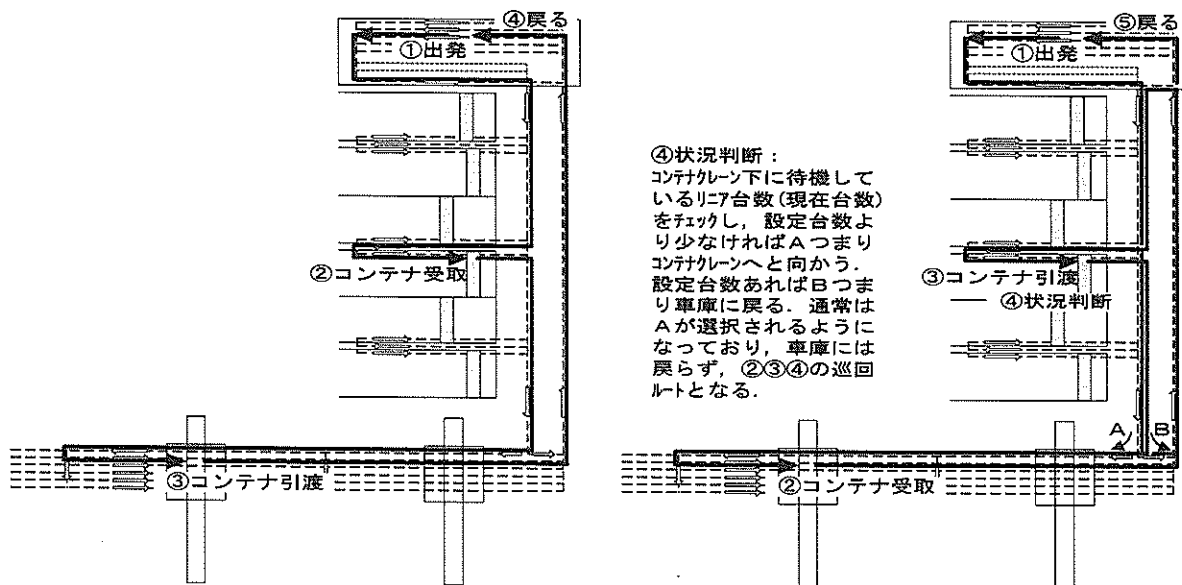


図-3 リニアの走行ルート

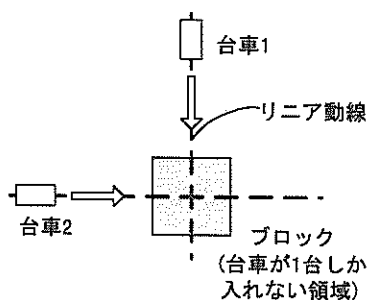


図-4 衝突回避用ブロック

台車は減速すればブロック直前で停止できる位置に来たら、ブロック確保を要求する。もし他の台車が確保していなければ、確保してそのまま交差点に進入し、通過後は確保を解除する。もし他の台車が既に確保していれば、減速停止して、確保が解除されるのを待つ。

ただし、本運行ロジックには今後検討を要する以下の課題がある。

- ①本リニア動線では、バッファ右側部で動線の本数が少なく合流点や直角点が多いため、台数が多く加速度が遅い時に渋滞が発生し、荷役効率が大きく劣化する。リニア動線や運行ロジックに改善の余地がないか検討が必要である。
- ②リニア搬送台車への、どの船積みコンテナを搬送するかの作業指令は、船積み順序に従って順番に与えているが、コンテナクレーンへの到着順は必ずしも船積み順序通りにはならない。後積みのコンテナが先に到着してしまった場合、今回は、コンテナクレーンがエブ

ロンに仮置きして対処するというにしたが、本船荷役能率の面から、リニアの運行ロジックによって対処できないかどうかの検討が必要である。

### 3. 3 ターミナルシミュレータの製作

3. 1節で設計したターミナルレイアウトを画面上に描画し、3. 2節で考案したターミナル運用方法をプログラム化して組み込み、以下の特長をもった高度なターミナルシミュレータを製作した。

- ①シミュレーション画面を図-5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・大きさと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、荷繰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、リニア台車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。

なお、今回製作したシミュレーションモデルの概略のタスク構成図を図-6に、使用したシミュレーションツールを表-5に示す。

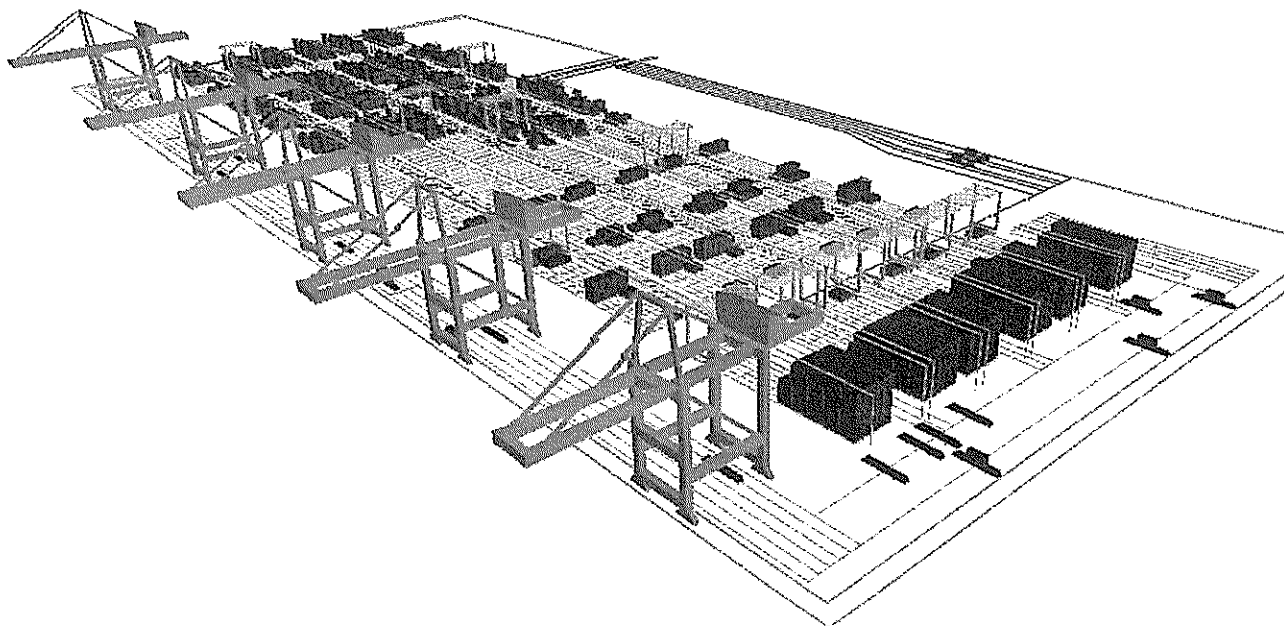


図-5 シミュレーション画面

表-5 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	WindowsNT Version4.0
ソフトウェア	名称	AutoMod Version8.7
	メーカー	AutoSimulations

### 3.4 シミュレーション

#### (1) シミュレーション条件

荷役機器の仕様を表-6に示す。ただし、RMGとリニアの仕様については(3)項で述べるようにシミュレーションにより決定した。本船荷役については、基本的に海から見て右側3基のコンテナクレーンが荷役に当たることとし、2船同時荷役日のE船に対してのみ左側2基が荷役に当たることとした。そして、表-2に示した荷役個数分を各コンテナクレーンが均等に40個/hで荷役することとした。搬出入荷役については、表-3に示すパターンでターミナル入口に外来シャシを出現させ、各日にち内での出現タイミングはゲート開門時間中に均等間隔とした。また、搬出入コンテナのコンテナ番号(船積み順または陸揚げ順に対応)は乱数で発生させた。ゲート開門時間は8:00~17:00の9時間とし、本船荷役開始時刻は9:00とし、配置替え荷役はゲート閉門後かつ本船荷役終了後に開始することとした。シミュレーションは35日間行うことにした。シミュレーション条件をまとめたものは、シミュレーション結果と合わせて付録8に添付した。

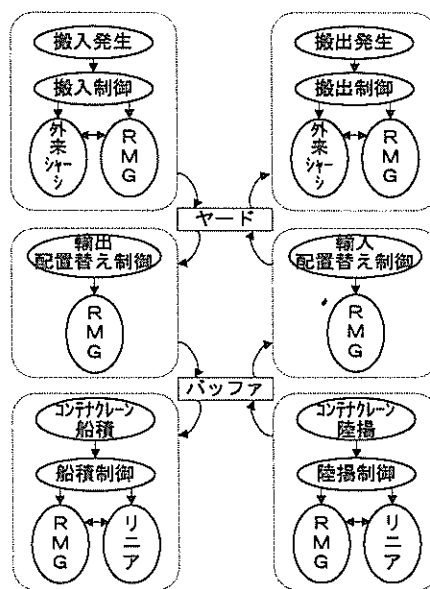


図-6 タスク構成図

表-6 シミュレーション条件

荷役機器	設定仕様	備考
コンテナクレーン	5基, 40個/h	付録2参照
RMG	台数	12台
	横走行・巻き	(シミュレーション調整)
リニア搬送台車	(シミュレーション調整)	
外来シャシ	35km/h, 0.97m/s <sup>2</sup>	ターミナル内規制速度, 加速時間10secと仮定

(2) 荷役システムの調整

シミュレーションによって判明した低効率部分を改善するため、例えばリニアの陸揚げの場合の走行ルートについて、図-3(b)に示したように車庫に戻らないBのルートを追加して走行距離を短縮するなど、荷役システムを改善した。つまり、リニアターミナルの荷役システムの設計について、定性的な机上設計だけでなく、定量的かつ動的なシミュレーションに基づく設計を行うことができた。

(3) 荷役機器の仕様決定

a) RMGの仕様決定

RMG にとっては配置替え荷役が1番負荷の高い作業である。すなわち、配置替え荷役を所定時間内(ゲート閉門中)に終わらせるための必要最小限の速度・加速度がRMGへの要求仕様となる。なお、ゲート閉門時間は今回の設定では15時間であるが、余裕をみて12時間以内を目標にした。今回は、RMG どちらの干渉を避けるため、バッファ側のRMG 1台で荷役することにした。RMGの動かし方としては、最上段まで巻上げた後に横走行を行う、つまり横行と巻きの同時運転は不可、横走行同時運転は可能という動かし方で仮定した。また、位置決め等に要するロス時間は今回は考慮しなかった。計測は、配置替え所要時間が最大となる2船同時荷役日前のC船の輸入配置替え+D・E船の輸出配置替えを対象に行った。RMGの速度・加速度と配置替え所要時間の関係の計測結果を図-7に示す。

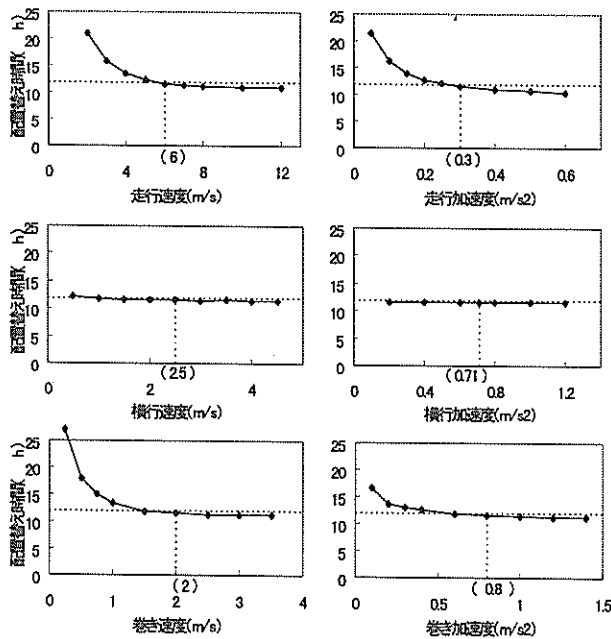


図-7 RMGの速度・加速度と配置替え所要時間の関係

グラフの見方は、例えば走行速度と配置替え所要時間の関係のグラフは、走行加速度や横行速度等の他の5つのパラメータはカッコ内の数値を設定している。これより、RMGへの要求仕様を表-7のように定めた。その他の組み合わせも考えられるが、実績値をもとにこの辺が適当であろうとした。横行については、横行距離に対する速度・加速度が比較的速いこと、横走行同時運転が可能であると仮定したことから、配置替え所要時間への影響は小さいため、現状実績値とした。

表-7 RMGの仕様決定

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

b) リニアの仕様決定

本船荷役においてコンテナクレーンをできるだけ待たせない、必要最小限の台数・速度・加速度を求めため、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-8~図-11に示す。なお、リニアの速度を3m/s~13m/sの範囲としたのは、ロッテルダム港で実用化されているAGVの速度が3.5m/sであり<sup>2)</sup>、リニアは軌道台車なのでAGVよりも高速化できると推測したからである。上限については、感覚的に50km/h(13.6m/s)程度が安全面から限界ではないかと推測した。リニアの加速度を0.5m/s<sup>2</sup>~1.5m/s<sup>2</sup>の範囲としたのは、同じくロッテルダムのAGVの加速度が0.5m/s<sup>2</sup>であり、リニアはスリップがないのでAGVより高加減速が可能と推測したからである。また、本リニア動線では3.2節の終わりに課題として述べたように、加速度が低いとバッファ右側部で渋滞が発生するので、このような高い数値範囲にした。なお計測は、RMGの仕様決定の時と同じように、D4船とE4船の本船荷役時を対象に行った。コンテナクレーン待ち時間のD4 Unloadとは、D4船の陸揚げを全て終えるまでの、コンテナクレーン3基(CC1~CC3)の各々の累積待ち時間の平均値である。E4 Unloadとは、E4船の陸揚げを全て終えるまでの、コンテナクレーン2基(CC4, CC5)の各々の累積待ち時間の平均値である。D4 Load, E4 Loadとは、同様に船積みについての待ち時間である。なお、陸揚げ開始または船積み開始の一番最初のリニア到着待ちに要する時間は除外した。シミュレーションにより求めた図-8~図-11をもとに、リニアの仕様(必要速度・加速度)を台数毎に求めた結果を表-8に示す。

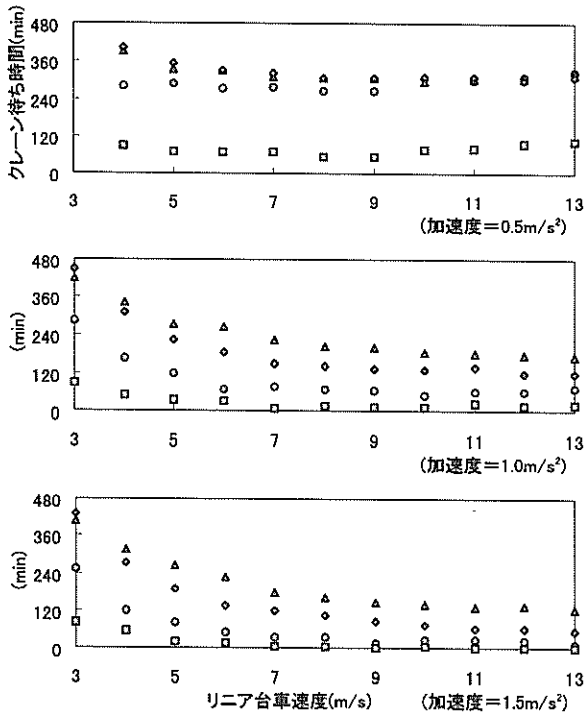


図-8 リニア仕様とクレーン待ち時間の関係 (15 台)

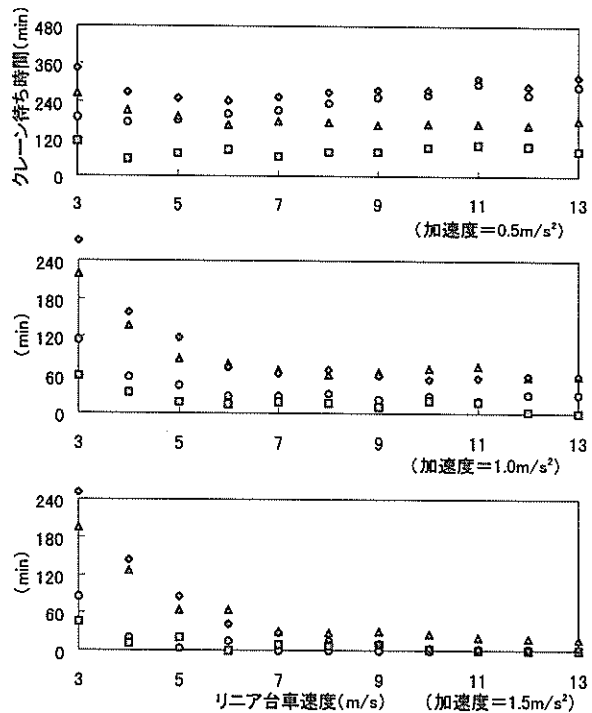


図-9 リニア仕様とクレーン待ち時間の関係 (20 台)

● : D4 Unload ■ : E4 Unload ▲ : D4 Load ◆ : E4 Load

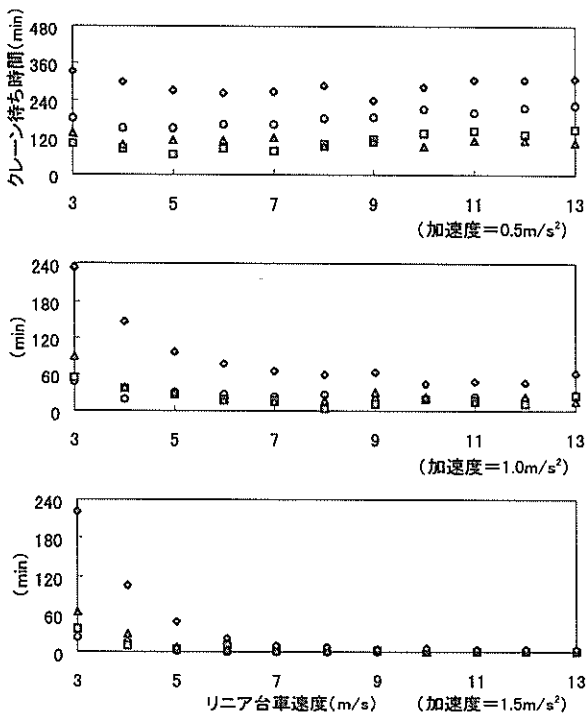


図-10 リニア仕様とクレーン待ち時間の関係 (25 台)

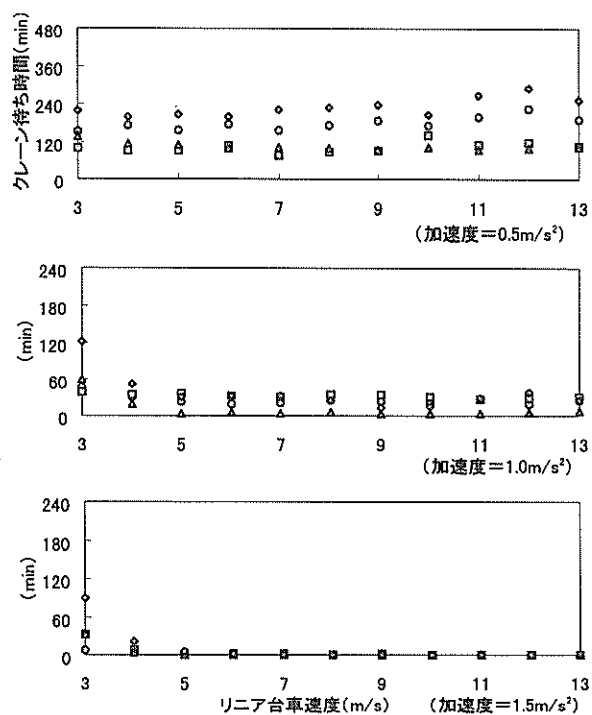


図-11 リニア仕様とクレーン待ち時間の関係 (30 台)

● : D4 Unload ■ : E4 Unload ▲ : D4 Load ◆ : E4 Load



表-8 リニアの仕様決定

台数	15	20	25	30
速度 m/s	—	—	7.0	5.0
加速度 m/s <sup>2</sup>	1.5 以上	1.5 以上	1.5	1.5

ターミナル運用実績面に着目すると、現状のヤードシャーシの台数がコンテナクレーン 5 基のターミナルで 20~25 台程度であり、速度が 10m/s 程度であることから、例えば台数 25 台、速度 7m/s、加速度 1.5m/s<sup>2</sup>が良いと思われる。台数を少な目に設定すると、初期投資や運行管理容易さという点でもメリットがあるが、一方で高速化が必要なので、安全性（衝突防止センサの検知範囲を越える）や経済性（駆動コイルへの厳しい要求仕様）の悪化が懸念される。つまり、最終的にはリニアの技術的検討をもとに決定する必要があるが、今回のシミュレーションによって目標数値の概略設定を行うことができた。ところで、ある文献によると<sup>9)</sup>、ロッテルダム の ECT デルタターミナルにおいて、AGV の速度が 3.5m/s では遅いということで 6m/s への高速化が検討されている。今回のシミュレーション結果に近い数値であり、本シミュレーションの妥当性が推測できる。

次に、リニアの走行頻度と連続運転必要時間の計測結果を表-9 に示す。走行頻度は、駆動コイル上のある点をリニアが通過した後に、次のリニアが来るまでの時間間隔で評価しており、駆動コイルの仕様に関わるものである。正確には、1 台目が通過してから 10 台目が来るまでの時間を計測して 9 で割った数値を示している。連続運転必要時間とは、本船荷役所要時間のことで、本船荷役中に搬送効率低下となるバッテリー給電を不要にするためのものであり、バッテリーの仕様に関わる。

(4) 各種処理能力の計測

処理能力としては、本船荷役時間、搬出入所要時間、配置替え所要時間について計測した。計測結果は 3. 6 節の表-14 に示した。詳細は付録 8 に添付した。

表-9 リニアの走行頻度と連続運転必要時間

台数		15	20	25	30
走行頻度 (sec)	平均	—	—	20	20
	最大	—	—	50	46
	最小	—	—	12	9
連続運転必要時間 (hr)		—	—	9.0	9.2

3. 5 従来ターミナルのシミュレーション

リニアターミナルを評価する時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 パースターミナルを参考にして、荷役方式としては、タイヤ式トランスファークレーン(RTG, Rubber-Tyred Gantry Crane)とヤードシャーシによる有人荷役方式とし、図-12 に示すレイアウトとした。ターミナル運用方法については、RTG やヤードシャーシの動かし方は、実際には運転員が速やかにかつ様々なケースに応じて柔軟に動かしているであろうが、ここではリニアターミナルにおける RMG やリニアの動かし方と同じにした。ブロック分けについては、リニアターミナルでは図-2 に示したように、基本的に全レーンにまたがるように区分けしたが、従来ターミナルの場合は文献を参考にして<sup>10)</sup>、計 7 レーンある中の 3 または 4 レーンだけをまたぐものとした。

従来ターミナルのシミュレーション条件である荷役機器の仕様は表-10 とした。ケース 1 は、実機での実績例である<sup>11)</sup>。ただし、ヤードシャーシの速度はターミナル内規制速度の 1 例で、加速度は 10 秒で最高速度 35km/h に達すると仮定した。ケース 2 は、リニアターミナルにおける RMG またはリニアの仕様と同じにした場合である。各々の計測結果は、次節のリニアターミナルの経済性評価および処理能力評価の比較表に示した。詳細は付録 9 に添付した。

表-10 従来ターミナルの荷役機器の仕様

		ケース 1	ケース 2
RTG	横行	1.17m/s, 0.5m/s <sup>2</sup>	2.5m/s, 0.71m/s <sup>2</sup>
	走行	2.25m/s 0.3m/s <sup>2</sup>	6.0m/s 0.3m/s <sup>2</sup>
	巻き	0.87m/s, 0.35m/s <sup>2</sup>	2.0m/s 0.8m/s <sup>2</sup>
ヤードシャーシ		22 台 35km/h, 0.97m/s <sup>2</sup>	25 台 7.0m/s 1.5m/s <sup>2</sup>

3. 6 リニアターミナルの評価

(1) 実現性評価

シミュレーションにより得られた必要速度・加速度等の実現性評価を行った。

a) RMG

シミュレーションにより決定した RMG の仕様を現状実機のものと比較して示すと表-11 となる。なお現状実機としては、最新式の半自動化された川崎港東扇島や香港 HIT のものを示した<sup>12)</sup>。なお、巻きについては、平均的と思われる 20ton 吊り時の仕様と比較した。

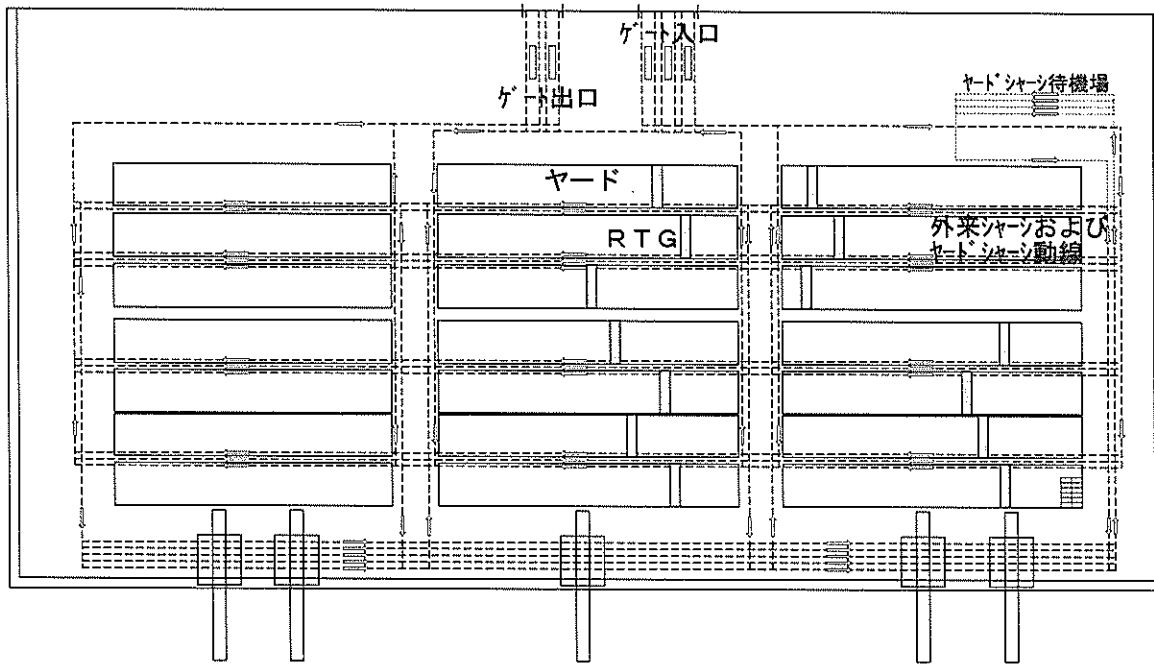


図-12 従来ターミナル

表-11 RMGの仕様比較

		リニアターミナル	実機
横行	速度 (m/s)	2.5	2.5
	加速度 (m/s <sup>2</sup> )	0.71	0.71
走行	速度 (m/s)	6.0	3.0
	加速度 (m/s <sup>2</sup> )	0.3	0.33
巻き	速度 (m/s)	2.0	0.95
	加速度 (m/s <sup>2</sup> )	0.8	0.38

①横行については、現状実機と同じであり実現性に問題はない。

②走行と巻きについては、現状実機の2倍程度必要である。メーカーからのヒヤリングによると、実証試験が必要であるが、基本的には実現可能である。

b) リニア搬送台車

①速度・加速度について

速度としては、無軌道台車のAGVの最高速度があるメーカーのカタログ値で25km/h(6.9m/s)であり<sup>4)</sup>、表-8に示したリニアの速度はこれとほぼ同等であることから、軌道台車のリニアとしては実現可能と推測される。加速度としては、参考としてRMGのトロリーの実績例で、重量が35tonで、加速度はスリップ限界により0.7m/s<sup>2</sup>程度である。表-8に示したリニア加速度はこれの約2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-12に示す。AGVについ

ては、ECTターミナルの実績値を示した。ただし、3.4節(2)で述べたように6m/sへの高速化が検討されている。台数はコンテナクレーン8基で56台との報告をもとに5基だと35台であるとした。ヤードシャーシについては、台数は実績値、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大きくする必要がある。

②衝突防止について

衝突防止のために、障害物センサの検出範囲内の制動距離が求められる。ロッテルダム港のAGVの超音波センサの検出範囲が10mであり<sup>1)</sup>、表-8の仕様では少しオーバーする。衝突防止センサの検出範囲の拡大を検討するか、あるいはリニアの加減速度増加または速度低減を若干行う必要がある。

③駆動コイルについて

表-8に示した速度と加速度、表-9に示した走行頻度、手動介入時のシャーシ通過等を満足する駆動コイルが必要である。また、コスト上のネックであることから、コスト低減も検討する必要がある。

表-12 搬送台車の比較

	リニア	AGV	ヤードシャーシ
台数	25	35	22
速度 (m/s)	7.0	3.5(6.0)	9.72
加速度 (m/s <sup>2</sup> )	1.5	0.5	0.97

(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働時間の計測結果をもとに、リニア台数を 25 台とした場合のコスト見積りを行った。結果を表-13 に示す。これによると、ランニングコストは従来の 101% でほぼ同等であり、環境性向上等も考慮すれば従来よりも有効と考えられる。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ており、また、その他の価格については、各種資料に記載された数値<sup>13) 14)</sup>、メーカーからのヒヤリング等により設定したもので、あくまで参考値である。また、ランニングコストやイニシャルコストの合計値について、管理部門の人件費や税金等は対象外としているので、絶対値は参考値であり、相対的に評価すべきものである。また、リニア台車は 5 千万円、駆動コイルは 50 万円/m、年間保守費は単価の 3%、電力消費量はリニア 1 台当たり 150kW とした。見積り数値の詳細は付録 10 に添付した。

(3) 処理能力評価

リニアターミナルと従来ターミナルの処理能力の比較を表-14 に示す。

a) 本船荷役時間

本船荷役時間としては、2 船同時荷役の D 船の時に最大 9.0 時間、最小 4.3 時間、平均 6.3 時間である。一方、従来ターミナルでは、RTG が荷繰りしながら船積みを行うので、ケース 1 では平均 10.3 時間、ケース 2 では平均 7.7 時間である。つまり、リニアターミナルはケース 1 の 61%、ケース 2 の 82% に低減されている。なお、1 週間分の本船荷役時間の比較を図-13 に示す。

さらに、ケース 2 において夜間マーシャリングが行わ

れた場合を想定し、船積み時にヤードに埋もれているコンテナを取り出す際に瞬時に最上段のコンテナと入れ替えて、荷繰りを強制的に無くした場合の本船荷役時間との比較を図-14 に示す。若干低減されているのは、パuffa 方式による外来シャーシとの非干渉効果や搬送距離の短縮効果と考えられるが、ほぼ同等になった。つまり、従来ターミナルでも、荷役機械の速度を上げてリニアターミナルと同等にし夜間マーシャリングを行えば、本船荷役能率はほぼ同等になることが判った。ただし、自動化するには、外来シャーシとの混在や夜間マーシャリングといった点で困難と考えられる。

本船荷役中のコンテナクレーンの待ち時間で評価すると、最大は 2 船同時荷役時の E4 Load の場合で 10.3 分である。E4 Load について、クレーンに全く待ちが生じなかった場合の最短時間は 6.3 時間であり、これに比べて 10.3 分は僅かなのでクレーン待ち時間はゼロとみなせる。一方、従来ターミナルでは、ケース 1 では 266.4 分、ケース 2 では 108.5 分であり、この点からもリニアターミナルの本船荷役能率の良いことが分かる。

b) 搬出入所要時間

外来シャーシの搬出入所要時間は平均 7 分程度であり、他文献にて平均で目標 20 分以内とされていることから満足できる<sup>10)</sup>。自動化コンテナターミナルでは、一般にヤードへの外来シャーシの進入を禁止しているが、今回設計したリニアターミナルでは、基本的に本船荷役を行うエプロンとパuffaのみ無人領域としており、ヤードへの直接進入が可能なので搬出入時間を短縮できている。なお、ここでの搬出入所要時間とは、外来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で

表-13 経済性評価

	項目	リニアターミナル	従来ターミナル
ランニングコスト (千円/年)	荷役機械償却費	1,142,250	625,702
	荷役機械保守費	310,000	142,400
	荷役機械電力燃料費	529,666	492,201
	土木基礎	1,378,858	1,284,396
	付帯設備	172,176	172,176
	システム	263,000	82,750
	職員人件費	936,000	936,000
	直接作業員人件費	910,000	1,670,000
	土地代	1,126,944	1,264,200
	合計	6,768,894	6,669,825
イニシャルコスト (千円)	荷役機械	13,200,000	6,944,000
	土木基礎	23,520,160	22,873,760
	付帯設備	2,660,000	2,660,000
	システム	1,600,000	500,000
	合計	40,980,160	32,977,760

表-14 処理能力の比較

評価項目		リニアターミナル	従来(ケース1)	従来(ケース2)
本船荷役時間 (hr)	最大	9.0	14.7	10.8
	最小	4.3	7.7	5.1
	平均	6.3	10.3	7.7
コンテナクレーン待ち時間 (min)	D4 Unload	0.0	15.7	3.1
	E4 Unload	1.9	0.2	4.1
	D4 Load	1.0	301.5	93.6
	E4 Load	10.3	266.4	108.5
外来シャシ搬入所要時間 (min)	最大	12.4	21.6	13.1
	最小	6.1	6.0	5.9
	平均	6.8	7.4	6.9
外来シャシ搬出所要時間 (min)	最大	13.5		19.5
	最小	6.1		6.2
	平均	7.3		8.2
配置替え所要時間 (hr)	最大	11.6	0	0
	最小	1.5		
	平均	7.2		

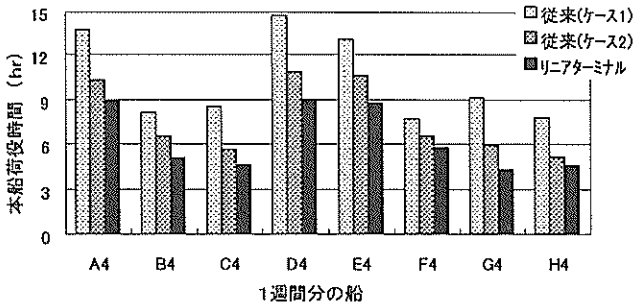


図-13 本船荷役時間の比較

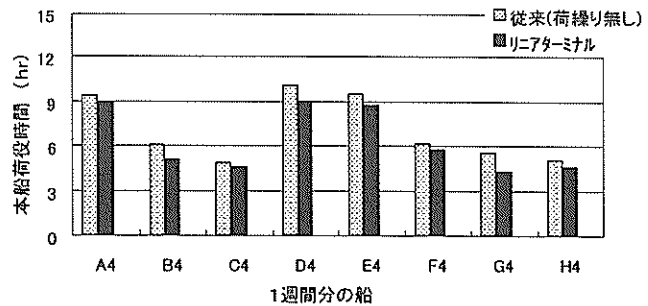


図-14 従来(荷繰り無し)との比較

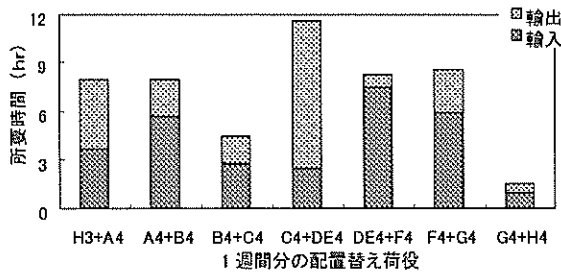


図-15 配置替え荷役の所要時間

ある。表-14の従来ケース1で搬出所要時間が抜けているのは、シミュレーション途中でヤードシャシのデッドロックが発生したためである。

c) 配置替え所要時間

今回のリニアターミナルでは配置替え荷役が必要であり、2船同時荷役日の前日夜間に最大11.6時間要する。なお、1週間分の各船の配置替え荷役の所要時間を図-15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、この時間中に行えばよい。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。

3.7 3章のまとめ

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コンテナ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RMG方式とし、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、実際に細かく模擬したターミナルシミュレータを製作した。現状の国内最大実績である45万TEU/年の取扱量を設定して、シミュレーションを行った結果、リニアターミナルの評価は以下となった。

①実現性…RMGに要求される速度・加速度は、配置替え荷役の負荷が高いことから、走行6m/s、巻き2m/sと現状実機の約2倍必要であるが、基本的には実現可能である。リニアに要求される速度・加速度について、速度は現状のAGV仕様と同程度の7m/sで問題ないが、加速度は1.5m/s<sup>2</sup>と高加減速が必要であり検討を要する。

②経済性…技術開発が支障なく行われた場合を想定すると、ランニングコストは従来の101%でほぼ同等である。

③処理能力…本船荷役時間は、主にバッファ方式を採用したことにより、従来の61%に低減される。また、搬出入所要時間は平均7分程度であり満足できる。しかし、新たに必要となる配置替え荷役に平均7.2時間/日を要する。

リニアターミナルの課題としては以下が挙げられる。

- ①リニア台車への高加速度要求
- ②配置替え荷役の高負荷対策
- ③リニア台車のバッファ右側部での渋滞対策
- ④リニア台車のコンテナクレーンへの到着順が船積み順序通りにならないことへの対策

#### 4. 立体倉庫式リニアターミナルの試設計および評価

##### 4. 1 ターミナルレイアウトの設計

前章では、リニア搬送台車を用いることによるコンテナターミナルへの効果を、3. 1節の①で述べたようにコスト低減と捉え、これを目指してリニアターミナルの試設計を行った。本章では、3. 1節の②で述べたように取扱能力増加と捉え、これを目指してリニアターミナルの試設計を行うこととし、図-16に示す立体倉庫式リニアターミナルを選定した。選定についての詳細は付録4に添付した。

##### (1) 概要

ランダムアクセスにより荷繰りが不要な立体倉庫式で、ラックへの格納/取出は沿岸開発技術研究センターで提案された、立体倉庫屋上を走行する特殊天井クレーンを採用した<sup>15)</sup>。本船荷役は、コンテナクレーンと天井クレーンとその間を結ぶリニア搬送台車で行う。搬出入荷役は、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、移載機が外来シャシとコンテナの受け渡しを行う。

##### (2) ターミナル配置と機器構成

ターミナルレイアウトを図-16に、ターミナル仕様と機器構成を表-15に示す。

表-15 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
蔵置能力	960×9段=8640TEU
ベイ	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)

エプロン・立体倉庫・移載機下の立体倉庫側・これらの間のリニア動線上は無入領域とし、ターミナル外回り・移載機下の陸側・その他は有人領域とした。管理棟等の建屋やゲート等については、3. 1節で述べたT/C式リニアターミナルと同じである。

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、次世代コンテナターミナル技術開発調査で設定された9段積みとしており、屋上の天井クレーンまたは地上のリニアの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。つまり、海陸両端が1ラック分の幅で、その他は2ラック分の幅で、岸壁平行方向に細長い構造である。各構造間の中段部には強度を得るためにつぎ材を取り付けており、従って、天井クレーンは屋上を走行して所定ラック位置に到着してから巻下げを始める。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ドダーリが収納されており、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。台数は各レーン2台の計12台とした。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。リニアが所定のラックの所まで搬送するので、天井クレーンがコンテナを持って搬送する必要はない。移載機はトランスファークレーンと同じ形状で6台とした。

##### (3) コンテナフロー

##### ① 輸入コンテナ

コンテナクレーン→リニア→天井クレーン→立体倉庫

##### ② 搬出コンテナ

立体倉庫→天井クレーン→リニア→移載機→外来シャシ

##### ③ 搬入コンテナ

外来シャシ→移載機→リニア→天井クレーン→立体倉庫

##### ④ 輸出コンテナ

立体倉庫→天井クレーン→リニア→コンテナクレーン→本船

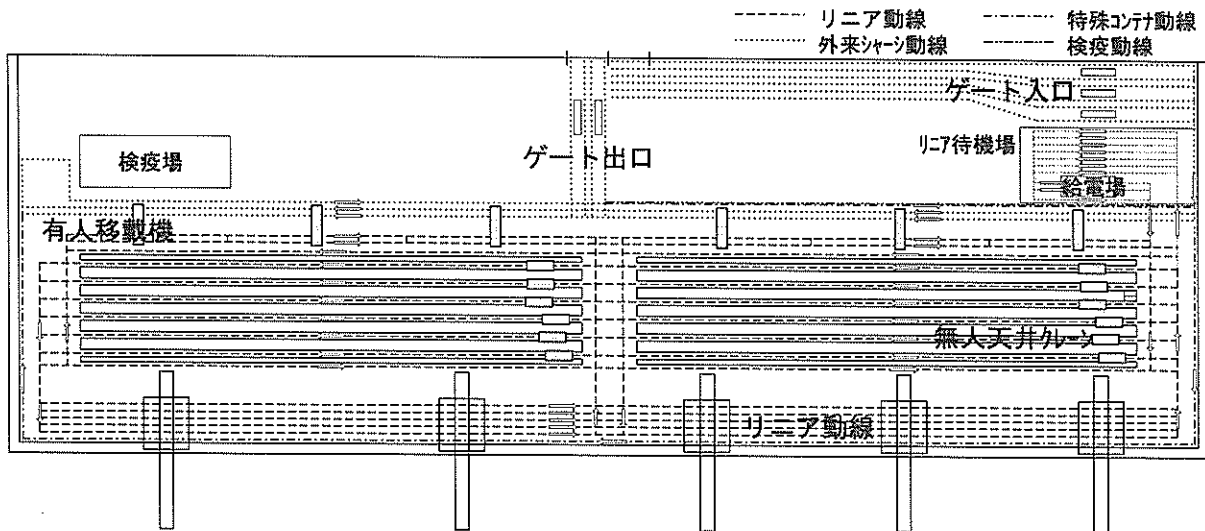


図-16 立体倉庫式リニアターミナル

(4) 特徴

本立体倉庫は沿岸開発技術研究センターで提案された方式を採用しており、ランダムアクセスにより荷繰りが不要であり、特殊天井クレーンは模型実験により動作確認されている。

4. 2 ターミナル運用方法の考案

基本的にトランスファークレーン式 (T/C式) リニアターミナルの運用方法と同じとした。

ヤードの区分け方については、3. 2節(1)で述べたように、多くの荷役機械 (天井クレーン) に作業が分散されるようにし、ブロック間の境界を一部不定とし、図-17に示すようなブロック分けとした。

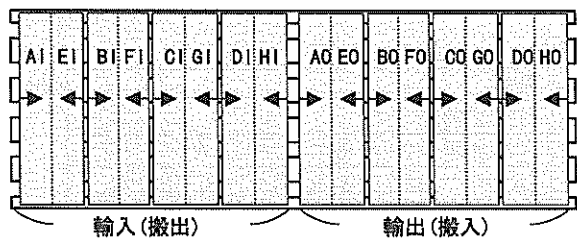


図-17 ブロック分け

リニア搬送台車の運行ロジックについては、3. 2節(2)で述べた通りであるが、T/C式の場合と違って、船積みの場合に毎回車庫に戻るようにすると、特に蔵置位置が岸壁に近い場合に走行距離が余分に長くなる。そこで、船積みの場合も陸揚げの場合と同様の考え方とし、リニアがコンテナクレーンにコンテナを渡したらば、運行管理システムはコンテナクレーン下に待機している

リニアの現在台数を数え、現在台数が設定台数より少なければ、車庫には戻らずに直接所定の天井クレーンに向かうように作業指令を与える運行ロジックを追加した。つまり、考え方としては、本船荷役におけるリニアの運行方法は、基本的には車庫・立体倉庫・コンテナクレーンを巡回することとし、効率を上げるために、陸揚げの場合は天井クレーンにコンテナを渡した時に、船積みの場合はコンテナクレーンにコンテナを渡した時にコンテナクレーン下の待機台数を数え、所定台数より少なければ、車庫は経由させずに直接コンテナクレーンもしくは天井クレーンに向かうものとした。コンテナクレーン下の待機台数は常時1台不足するようなロジックとしているので、実質的には車庫を経由せずに立体倉庫とコンテナクレーンの間を巡回するようになっている。

4. 3 ターミナルシミュレータの製作

3章で製作したT/C式リニアターミナルのシミュレータと同じように、立体倉庫式リニアターミナルのシミュレータを製作した。シミュレータの画面を図-18に示す。また、概略のタスク構成を図-19に示す。

4. 4 シミュレーション

(1) シミュレーション条件

シミュレーション条件を表-16に示す。T/C式においては、ヤード荷役機械である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、T/C式との比較評価を行いたいことから、T/C式の

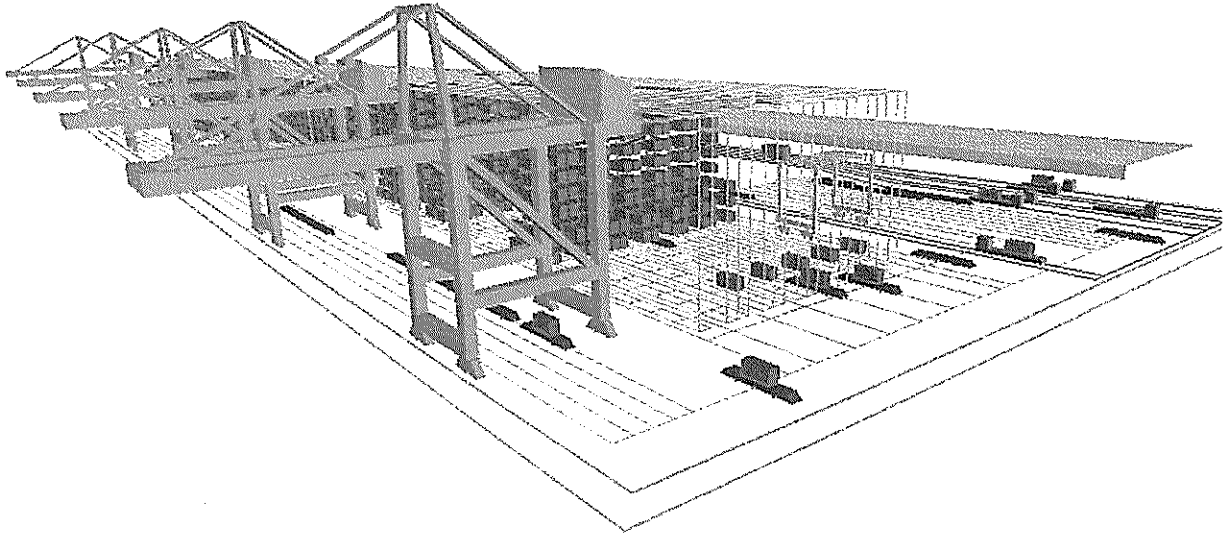


図-18 シミュレーション画面

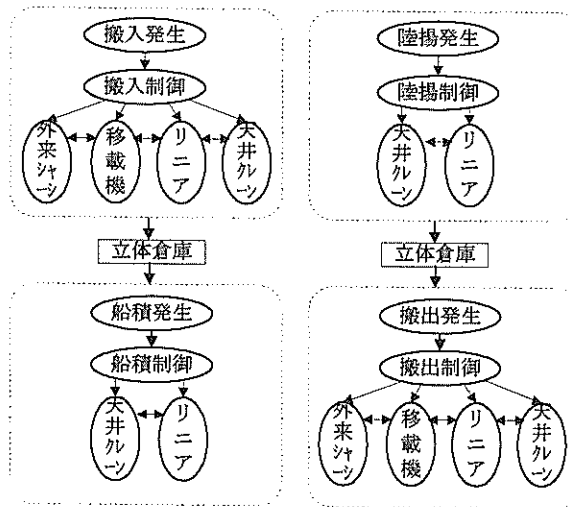


図-19 タスク構成図

表-16 シミュレーション条件

荷役機器	設定仕様	備考	
コンテナクレーン	5基, 40個/h	付録2参照	
天井クレーン	台数	12台	立体倉庫の各レーン毎に2台とした
	走行	6.0m/s, 0.71m/s <sup>2</sup>	T/C式のRMGの走行/横行と同じにした
	巻き	2.0m/s, 0.8m/s <sup>2</sup>	T/C式のRMGの巻きと同じにした
	ラック	格納/取出時間 10sec	仮定値
移載機	台数	6台	仮定値
	横行	2.5m/s, 0.71m/s <sup>2</sup>	T/C式のRMGの横行と同じにした
	巻き	2.0m/s, 0.8m/s <sup>2</sup>	T/C式のRMGの巻きと同じにした
リニア搬送台車	(シミュレーション調整)	搬出入荷役に10台割り当てると仮定	
外来シャシ	35km/h, 0.97m/s <sup>2</sup>	ターミナル内規制速度, 加速時間 10sec と仮定	

RMGと同じ仕様にした。リニアについては、搬出入荷役用を確保するため、全台数から10台差し引いた台数を本船荷役に割り当てることにした。

(2) リニア搬送台車の仕様決定

3.4節(2)で行ったT/C式でのリニアの仕様決定と同じやり方とした。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-20～図-23に示す。



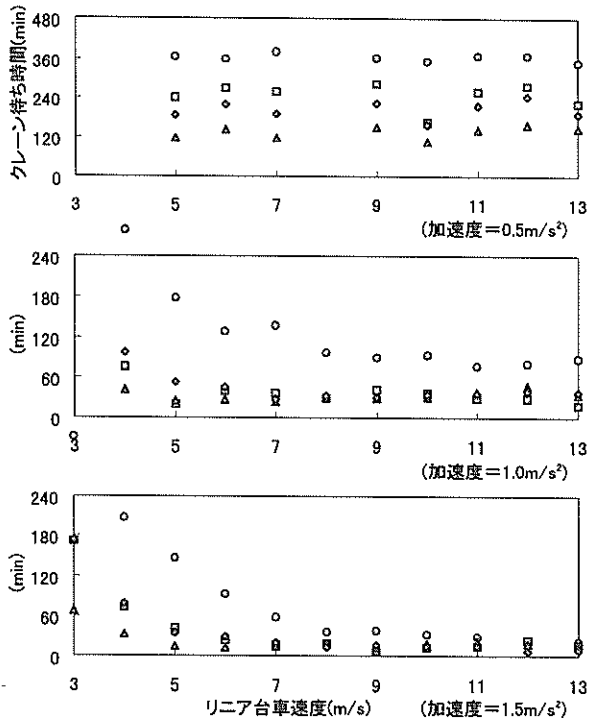


図-20 リニア仕様とクレーン待ち時間の関係 (25 台)

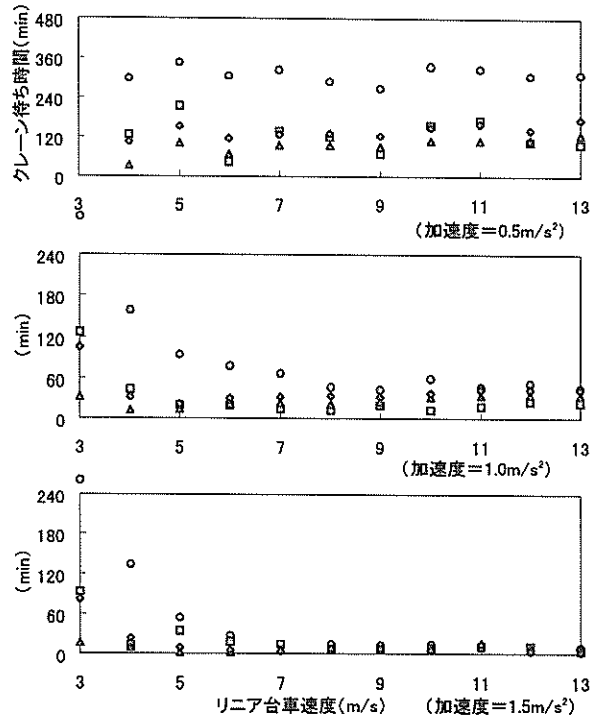


図-21 リニア仕様とクレーン待ち時間の関係 (30 台)

● : D4 Unload ■ : E4 Unload ▲ : D4 Load ◆ : E4 Load

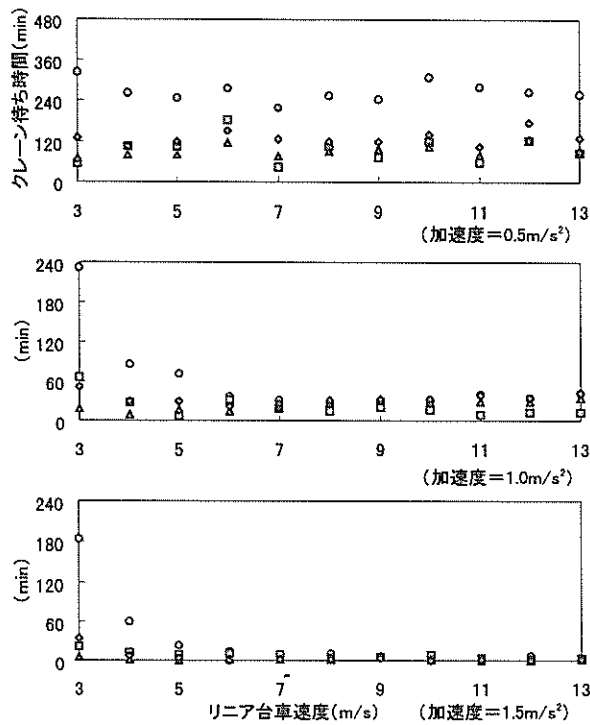


図-22 リニア仕様とクレーン待ち時間の関係 (35 台)

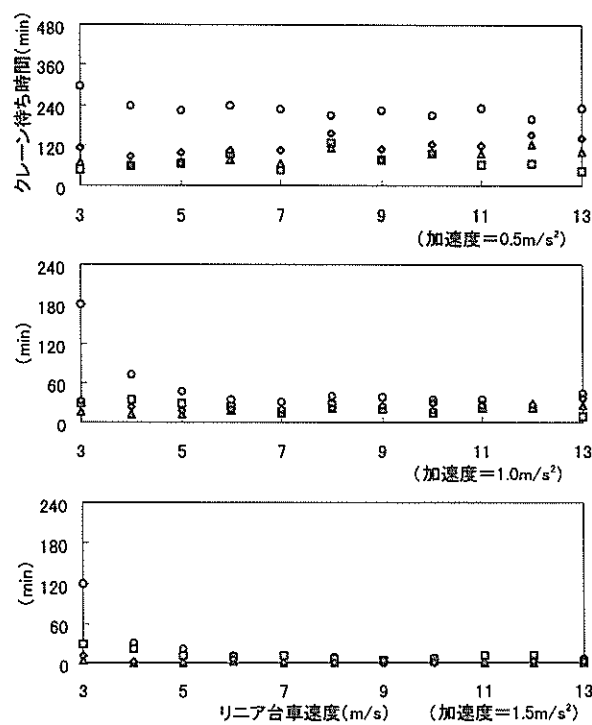


図-23 リニア仕様とクレーン待ち時間の関係 (40 台)

● : D4 Unload ■ : E4 Unload ▲ : D4 Load ◆ : E4 Load

これらの図をもとに、リニアの仕様（必要速度・加速度）を台数毎に求めた結果を表-17に示す。台数が少ない方の35台、速度7m/s、加速度1.5m/s<sup>2</sup>が良いと思われる。リニアの走行頻度と連続運転必要時間の計測結果を表-18に示す。

表-17 リニアの仕様決定

台数	25	30	35	40
速度 m/s	—	—	7.0	6.0
加速度 m/s <sup>2</sup>	1.5 以上	1.5 以上	1.5	1.5

表-18 リニアの走行頻度と連続運転必要時間

台数		25	30	35	40
走行頻度 (sec)	平均	—	—	126	124
	最大	—	—	231	272
	最小	—	—	57	39
連続運転必要時間 (hr)		—	—	9.4	9.7

(3) 各種処理時間の計測

処理能力としては、本船荷役時間、搬出入所要時間について計測した。計測結果は4.5節の表-21に示した。詳細は付録11に添付した。

(4) 各種設定値の検討

シミュレーション条件として表-16に示した天井クレーン、移載機、搬出入用リニア台数の設定値は仮定値なので、これらの値を変えた場合のシミュレーションも行った。計測結果を図-24と図-25に示す。なお、ここでのコンテナクレーン待ち時間とは、3.4節(3)b)で定義した待ち時間の累積値であるD4 Unload, E4 Unload, D4 Load, E4 Loadの平均値である。搬出入所要時間とは、外来シャシーがターミナル入口から出口に至るまでの所要時間の平均値である。リニアの仕様は、上記(2)で決定した35台、7m/s、1.5m/s<sup>2</sup>とし、参考用に1m/s<sup>2</sup>の場合も追加した。巻きの加速度は速度に比例させて値を変えたが、横走行の加速度についてはスリップ限界による実績例で固定した。移載機の台数変更については、モデル修正が困難なので今回は行わなかった。

a) 天井クレーンの設定仕様について

走行速度を設定値6m/sから4m/sに下げても、コンテナクレーン待ち時間(本船荷役能率)、搬出入所要時間(搬出入荷役能率)ともにあまり変わらない。ただし、2.5m/sにまで下げるとコンテナクレーン待ち時間が若干長くなる。RMGの走行速度に合わせて高い数値に設定しているので、走行速度の設定値については若干下げてもよい。巻き速度を設定値2m/sから1m/sに下げると、

特にコンテナクレーン待ち時間が長くなる。上げた場合はあまり変わらない。つまり、巻き速度の設定値については適当である。コンテナのラックへの格納/取出時間は短いほどよいが、当然、機械に限界があるためとりあえずは適当と考える。

b) 移載機の設定仕様について

横行速度や巻き速度を変えることによって、コンテナクレーン待ち時間に若干ばらつきがあるが有意性がなく、リニアの加速度が1.5m/s<sup>2</sup>の時はほぼ一定である。横行の設定値については実績例をもとに決めているので適当であり、巻きの設定値についてはRMGに合わせて高めに設定しているので実績例の約1m/sに下げてもよい。

c) 搬出入用リニア台数の設定仕様について

搬出入荷役に5台割り当てるとした30台にすると、コンテナクレーン待ち時間、搬出入所要時間ともに若干長くなり、40台にしても両者あまり変わらないので、搬出入荷役に10台割り当てるとした35台は適当である。以上、検討結果のまとめを表-19に示す。

表-19 シミュレーション検討結果

荷役機器		検討結果
天井クレーン	走行	4.0m/s, 0.71m/s <sup>2</sup>
	巻き	2.0m/s, 0.8m/s <sup>2</sup>
	ラック	10sec
移載機	横行	2.5m/s, 0.71m/s <sup>2</sup>
	巻き	0.95m/s, 0.38m/s <sup>2</sup>
搬出入用リニア台数		10台

4.5 立体倉庫式リニアターミナルの評価

(1) 実現性評価

a) リニア搬送台車

リニアに要求される速度・加速度は7m/s、1.5m/s<sup>2</sup>であり、T/C式の場合と同じ結果になった。また、台数は10台多い35台であるが、搬出入荷役に10台割り当てるとしたので、本船荷役に割り当てる台数としてはT/C式と同じ結果になった。直感的にはもう少し高めの仕様が必要と思っていたが、T/C式の場合と同じく荷繰りの必要がないこと、特に海から見て右側のコンテナクレーンと受け渡す場合にはT/C式に比べて走行距離が長くなるが、船積みの場合でも車庫に戻らない運行ロジックを追加したこと、台数は10台多いがヤード全面に分散するので混雑しないことなどから、T/C式の場合と同じ結果になったと考えられる。つまり、実現性評価については、3.6節(1)b)で述べたT/C式の場合と同じであり、リニアの速度については実現可

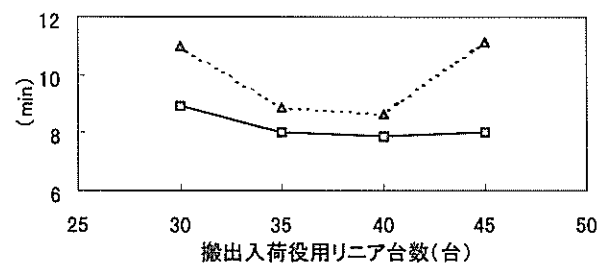
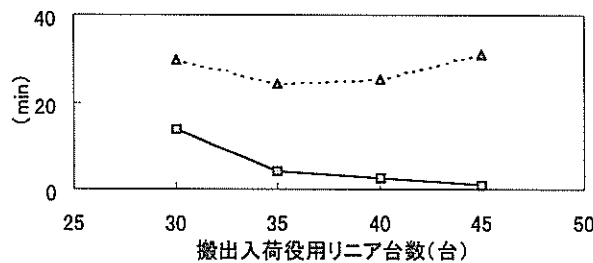
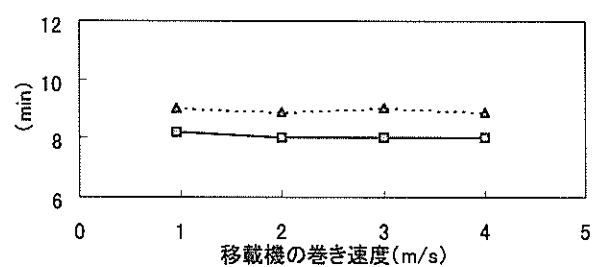
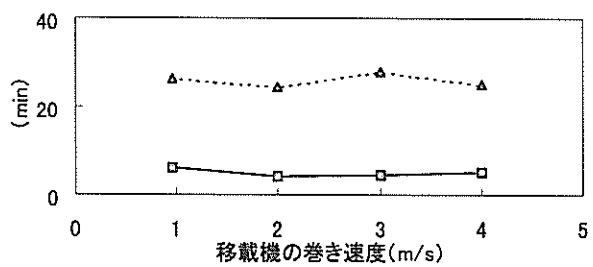
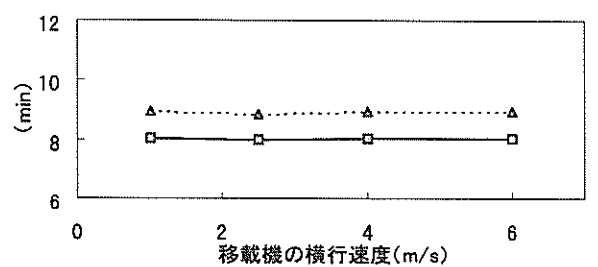
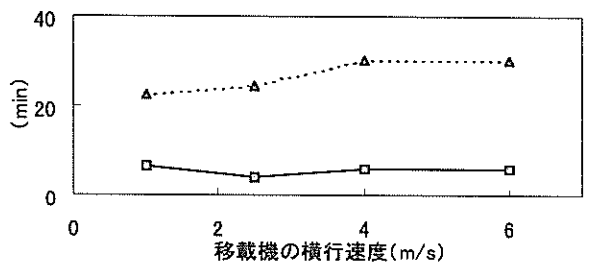
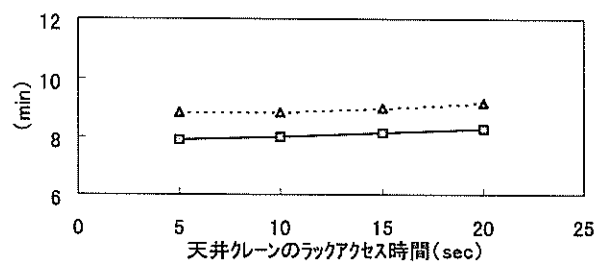
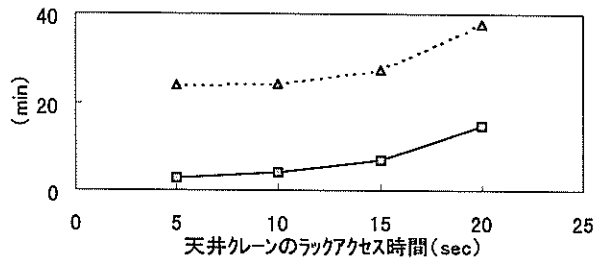
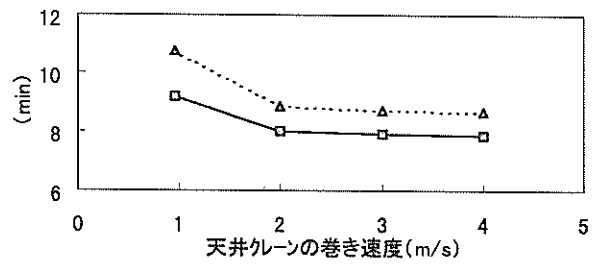
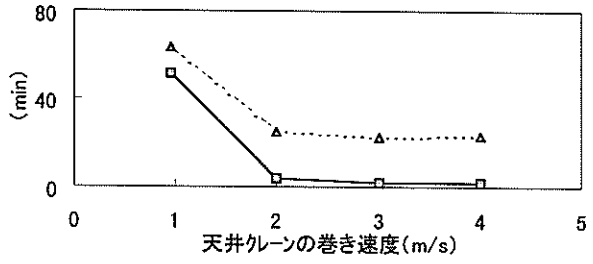
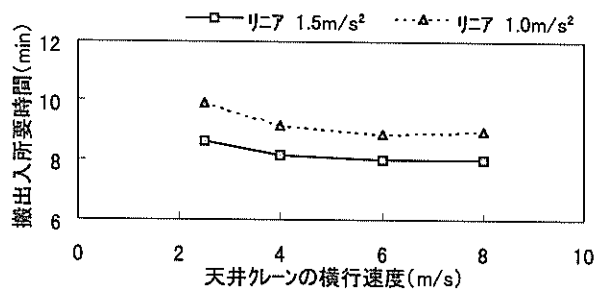
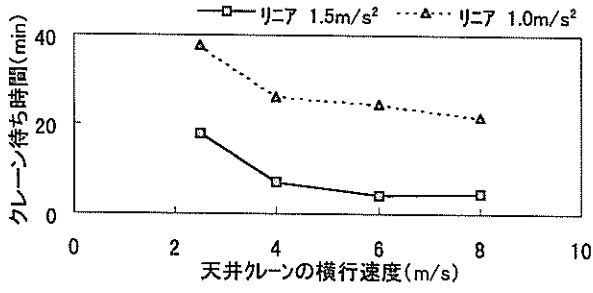


図-24 各種設定値とクレーン待ち時間の関係

図-25 各種設定値と搬出入所要時間の関係

能と推測され、加速度については高加減速が必要なことから別途検討が必要である。

b) 天井クレーン

T/C式との比較評価のため、天井クレーンの走行速度はRMGの走行速度と同じく6m/sとし、巻き速度はRMGと同じく2m/sとし高い数値で設定した。ただし、4.4節(4)aで述べたように走行速度は4m/s程度に下げてもよい。つまり、3.6節(1)aで述べたT/C式の場合と同様、実証試験は必要であるが基本的には実現可能と推測される。なお、ここでの天井クレーンは、ラックへの格納/取出機構を装備した特殊吊具を有するものであるが、沿岸開発技術研究センターで模型実験により動作検証されている。

c) 移載機

横行・巻きともにRMGと同じ数値で設定した。横行については実績例の2.5m/sとしており、巻きについては実績例の約1m/sに下げてもよいので実現可能である。

(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働時間の計測結果をもとに、コスト見積りを行った。結果を表-20に示す。これによると、ランニングコストについて、自動化による人件費削減効果や、主にRTG走行路が不要なことによる土木基礎費削減効果があるものの、特に荷役機械償却費の増分が大きく、合計額で従来の105%とコスト増になっており、若干のコスト低減が必要である。ただし、3.6節(2)で述べたように、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ており、あくまで参考値である。各見積り数値の詳細は付録12に添付した。

(3) 処理能力評価

立体倉庫式リニアターミナルと従来ターミナルの処理能力の比較を表-21に示す。

表-20 経済性評価

	項目	立体倉庫式	従来ターミナル
ランニングコスト (千円/年)	荷役機械償却費	1,812,946	625,702
	荷役機械保守費	479,500	142,400
	荷役機械電力燃料費	796,653	492,201
	土木基礎	830,497	1,284,396
	付帯設備	172,176	172,176
	システム	263,000	82,750
	職員人件費	936,000	936,000
	直接作業員人件費	910,000	1,670,000
	土地代	816,312	1,264,200
	合計	7,017,084	6,669,825
イニシャルコスト (千円)	荷役機械	25,730,000	6,944,000
	土木基礎	17,310,000	22,873,760
	付帯設備	2,660,000	2,660,000
	システム	1,600,000	500,000
	合計	47,300,000	32,977,760

表-21 処理能力の比較

評価項目		立体倉庫式	従来(ケース1)	従来(ケース2)
本船荷役時間 (hr)	最大	9.4	14.7	10.8
	最小	4.3	7.7	5.1
	平均	6.5	10.3	7.7
コンテナクレーン待ち 時間 (min)	D4 Unload	5.2	15.7	3.1
	E4 Unload	9.3	0.2	4.1
	D4 Load	1.2	301.5	93.6
	E4 Load	1.2	266.4	108.5
外来シャシ搬入 所要時間 (min)	最大	15.0	21.6	13.1
	最小	6.6	6.0	5.9
	平均	7.0	7.4	6.9
外来シャシ搬出 所要時間 (min)	最大	21.8		19.5
	最小	6.9		6.2
	平均	9.0		8.2

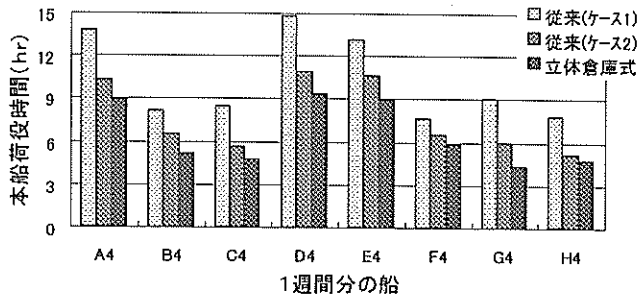


図-26 本船荷役時間の比較

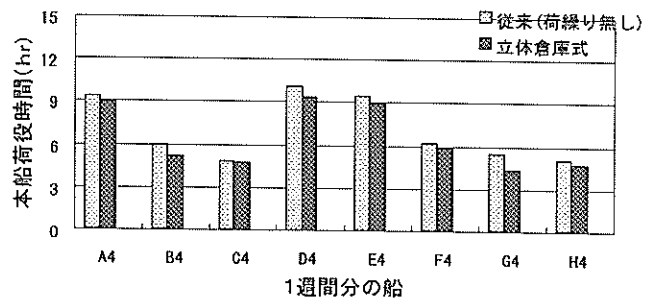


図-27 従来(荷繰りなし)との比較

a) 本船荷役時間

従来ターミナルでは RTG が荷繰りしながら船積みを行うのに対し、立体倉庫式リニアターミナルではランダムアクセスにより荷繰りが必要ないので、ケース1の63%、ケース2の84%に低減されている。また、T/C式で必要であった配置替え荷役も必要ない。なお、1週間分の本船荷役時間の比較を図-26 に示す。

さらに、ケース2において夜間マーシャリングが行われた場合を想定し、荷繰りを強制的に無くした場合の本船荷役時間との比較を図-27 に示す。若干低減されているのは、船積みの場合でも車庫に戻らない運行ロジックを追加したことにより、搬送距離が短縮されたためと考えられるが、ほぼ同等になった。つまり、従来ターミナルの荷役機器の仕様をT/C式リニアターミナルと同等にし、夜間マーシャリングを行えば、立体倉庫式リニアターミナルとほぼ同等になる。

b) 搬出入所要時間

外来シャシーの搬入所要時間は平均7分、搬出所要時間は平均9分であり、他文献にて平均で目標20分以内とされていることから満足できる<sup>9)</sup>。ただし、最大約21.8分かかる場合があり、天井クレーンや移載機の仕様を上げて効かないこと、リニアの仕様は上げたくないことから、短縮するためには、外来シャシーとの受け渡しコンテナを仮置きするバッファが有効と考えられる<sup>1)</sup>。ただし、搬出に対してバッファを有効に活用するには、外来シャシーのターミナル到着時刻を到着前に入手する必要がある。

4.6 4章のまとめ

本章では、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のターミナルへの効果を取扱能力増加と捉えて、リニアターミナルの試設計を行った。荷役方式としては、沿岸開発技術研究センターで提案された、ラックへの格納/取出機構を装備した特殊吊具を有す

る天井クレーンを使った立体倉庫式とし、ターミナル運用方法は基本的にT/C式と同じにした。そして、T/C式と同様に、試設計したリニアターミナルを正確に評価するために、実際に細かく模擬したターミナルシミュレータを製作し、現状の国内最大実績である45万TEU/年の取扱量を設定してシミュレーションを行った。その結果、立体倉庫式リニアターミナルの評価は以下となった。

- ①実現性…リニアに要求される速度・加速度は、T/C式の場合と同じく、速度は現状のAGV仕様と同程度の7m/sで問題ないが、加速度は1.5m/s<sup>2</sup>と高加減速が必要であり検討を要する。天井クレーン、移載機に要求される速度・加速度については基本的には実現可能である。
- ②経済性…主に荷役機械償却費の増加により、ランニングコストが従来よりも5%アップとなる。
- ③処理能力…本船荷役時間は、荷繰りを必要としないランダムアクセスにより、従来63%に低減される。また、搬出入所要時間は平均7~9分であり満足できる。課題としては以下が挙げられる。

  - ①コスト低減
  - ②リニア台車への高加速度要求
  - ③リニア台車のコンテナクレーンへの到着順が船積み順序通りにならないことへの対策

5. リニア直入型リニアターミナルの試設計および評価

5. 1 ターミナルレイアウトの設計

本章では、前章と同じく取扱能力増加を目指し、かつリニア搬送台車を最大限に活用したターミナルということで、九州大学で考案された図-28に示す立体倉庫式リニアターミナル（リニア直入型と呼ぶことにする）の評価を行うこととした。付録4のリニアターミナル選定におけるCSH-5に相当するものである。

(1) 概要

ランダムアクセスにより荷繰りが不要な立体倉庫式で、ラックへの格納/取出は九州大学で提案された、浮上機能によってリニアが直接行う方式を採用した<sup>17)</sup>。本船荷役は、コンテナクレーンと立体倉庫とその間を結ぶリニアが、途中リフトを経由して行う。搬出入荷役は、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、移載機が外来シャシとコンテナの受け渡しを行う。

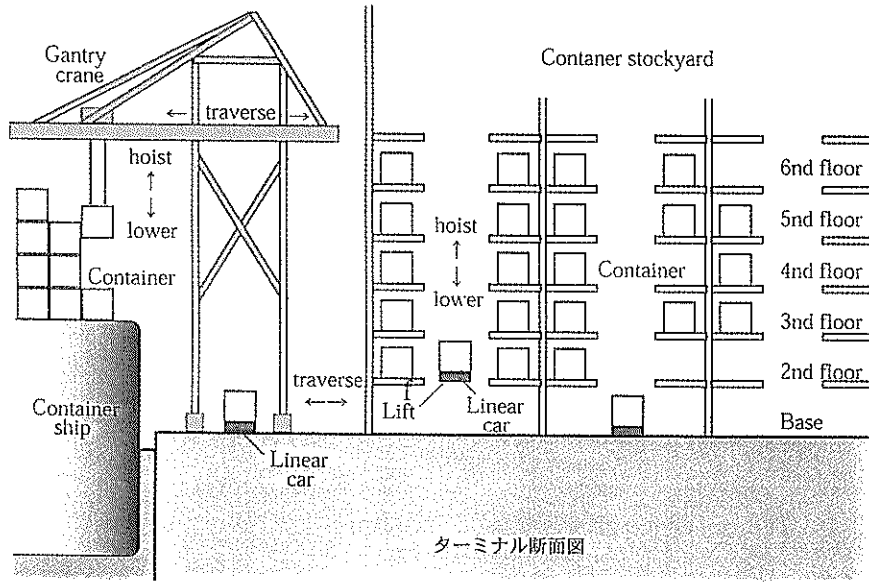


図-28 リニア直入型リニアターミナル

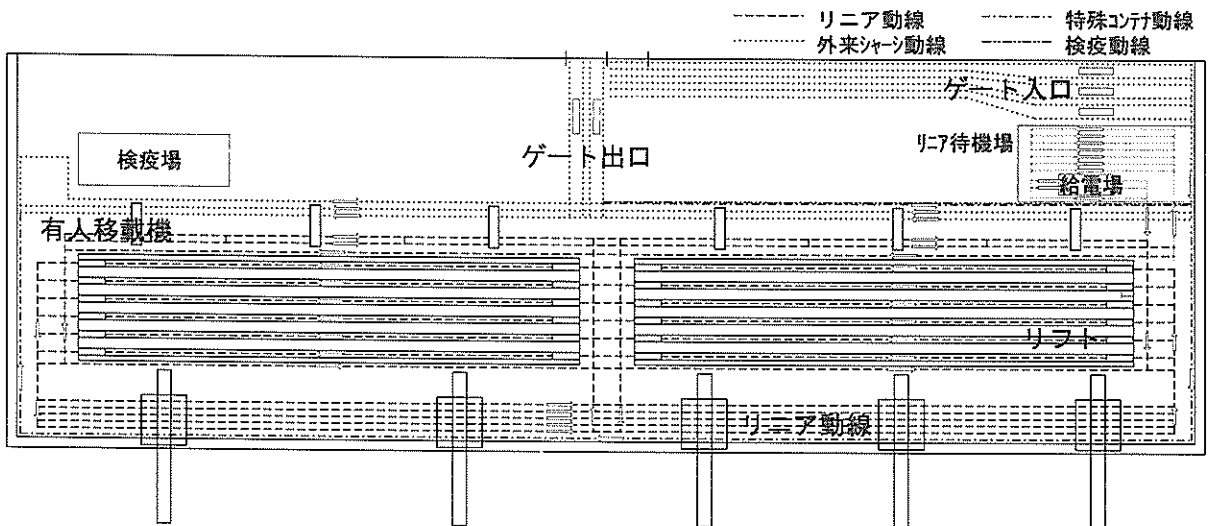


図-29 リニア直入型リニアターミナルのレイアウト

(2) ターミナル配置と機器構成

ターミナルレイアウトを図-29に、ターミナル仕様と機器構成を表-22に示す。

エプロン・立体倉庫・移載機下の立体倉庫側・これらの間のリニア動線上は無人領域とし、ターミナル外回り・移載機下の陸側・その他は有人領域とした。管理棟等の建屋やゲート等については、3.1節で述べたT/C式リニアターミナルと同じである。

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、前章の立体倉庫式の場合と同様に9段積みとしており、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、各階全てにリニアの走行路(駆動コイル)がある。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間隔を開けて取り付けており、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。リニアは立体倉庫の全階全面を岸壁平行方向に走行し、本船荷役においてはコンテナクレーンと所定ラックの間を搬送し、搬出入荷役においては移載機と所定ラックの間を搬送し、両者は共通のリニア動線を使う。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の計24台とした。移載機はトランスファークレーンと同じ形状で6台とした。

(3) コンテナフロー

① 輸入コンテナ

コンテナクレーン→リニア→リフト→リニア→立体倉庫

② 搬出コンテナ

立体倉庫→リニア→リフト→リニア→移載機→外来シャシ

表-22 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
蔵置能力	960×9段=8640TEU
ベイ	長手7.25m/1スポット 幅6.4m/2スポット
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)

③ 搬入コンテナ

外来シャシ→移載機→リニア→リフト→リニア→立体倉庫

④ 輸出コンテナ

立体倉庫→リニア→リフト→リニア→コンテナクレーン

(4) 特徴

本立体倉庫は九州大学で提案された方式を採用しており、ランダムアクセスにより荷繰りが不要であり、リニアは立体倉庫の全階全面を搬送しラックへの格納/取出も行い、リニアを最大限に活用した方式である。リニアが搬送と格納/取出を全て行うので、持ち替え回数が少なく自動化が容易であり、高速化されて荷役能率が向上すると思われる。しかし、駆動コイルが全階全面に必要なのでコストが高く、リニアを浮上させる必要がある。

5.2 ターミナルシミュレータの製作

ターミナル運用方法は4.2節で述べた通りとし、リニア直入型リニアターミナルのシミュレータを製作した。シミュレータの画面を図-30に示す。また、概略のタスク構成を図-31に示す。

5.3 シミュレーション

(1) シミュレーション条件

シミュレーション条件を表-23に示す。T/C式においては、ヤード荷役機械である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、立体倉庫式の場合と同様、仕様決定のための明確な目標設定がないこと、T/C式との比較評価を行いたいことから、T/C式のRMGと同じ仕様にした。リニアについては、搬出入荷役用を確保するため、全台数が10台差し引いた台数を本船荷役に割り当てることにした。

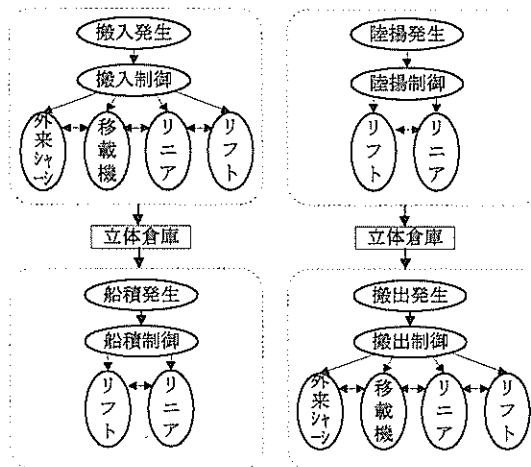


図-31 タスク構成図



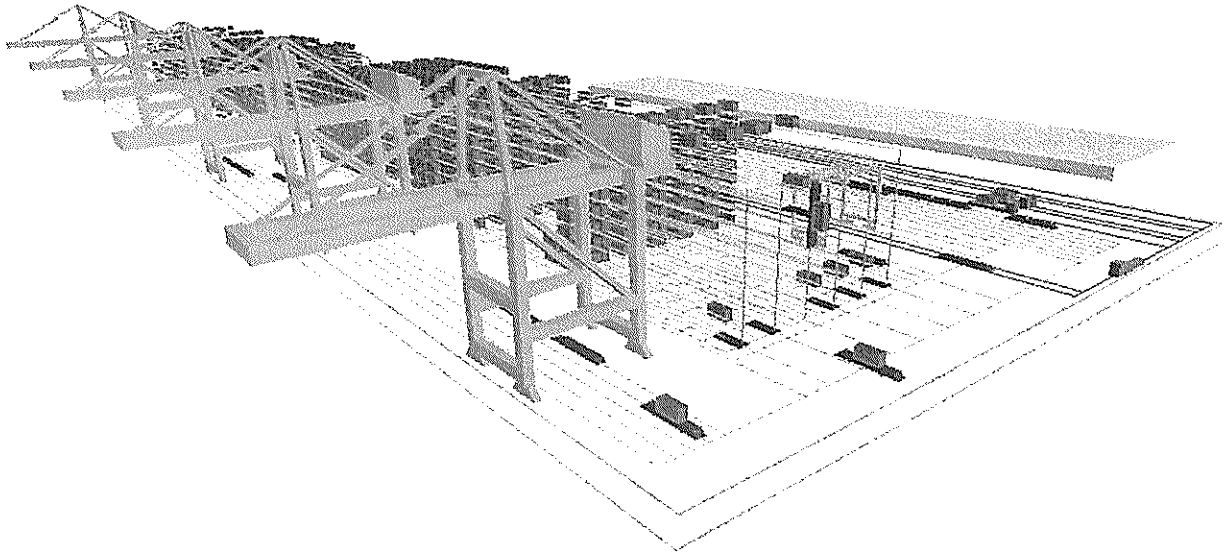


図-30 シミュレーション画面

表-23 シミュレーション条件

荷役機器	設定仕様	備考
コンテナクレーン	5基, 40個/h	付録2参照
リフト	台数	24台
	昇降	2.0m/s, 0.8m/s <sup>2</sup>
移載機	台数	6台
	横行	2.5m/s, 0.71m/s <sup>2</sup>
	巻き	2.0m/s, 0.8m/s <sup>2</sup>
リニア搬送台車	走行	(シミュレーション調整)
	ラック	格納/取出時間 10sec
外来シャーン	35km/h, 0.97m/s <sup>2</sup>	ターミナル内規制速度, 加速時間 10sec と仮定

(2) リニア搬送台車の仕様決定

3.4節(2)で行ったT/C式でのリニアの仕様決定と同じやり方とした。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-32~図-35に示す。これらの図をもとに、リニアの仕様(必要速度・加速度)を台数毎に求めた結果を表-24に示す。台数が少なく速度が過大でない30台, 速度7m/s, 加速度1.5m/s<sup>2</sup>が良いと思われる。リニアの走行頻度と連続運転必要時間の計測結果を表-25に示す。

(3) 各種処理時間の計測

処理能力としては、本船荷役時間、搬出入所要時間について計測した。計測結果は5.4節の表-28に示した。詳細は付録13に添付した。

(4) 各種設定値の検討

シミュレーション条件として表-23に示したリフト, 移載機, リニアに関する設定値は仮定値なので、これら

の値を変えた場合のシミュレーションも行った。計測結果を図-36と図-37に示す。

表-24 リニアの仕様決定

台数	25	30	35	40
速度 m/s	12.0	7.0	6.0	5.0
加速度 m/s <sup>2</sup>	1.5	1.5	1.5	1.5

表-25 リニアの走行頻度と連続運転必要時間

台数	25	30	35	40	
走行頻度 (sec)	平均	166	198	198	189
	最大	271	341	455	324
	最小	111	131	189	44
連続運転必要時間 (hr)	9.2	9.5	9.7	9.9	

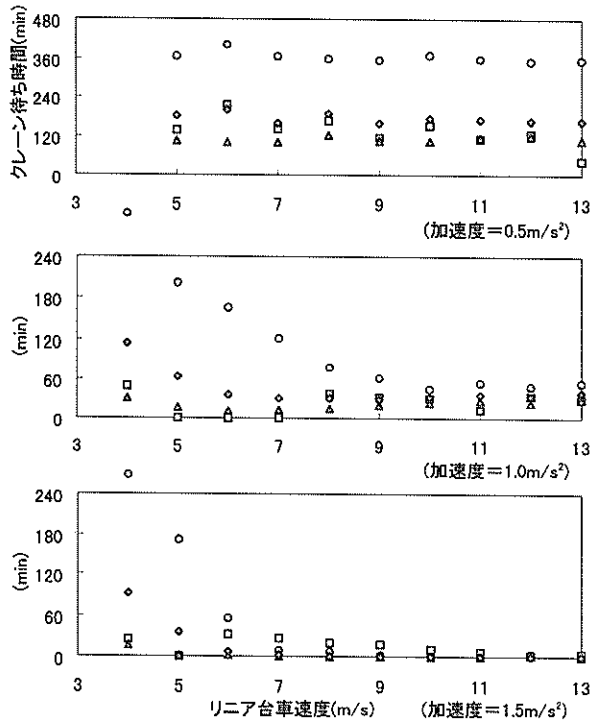


図-32 リニア仕様とクレーン待ち時間の関係 (25 台)

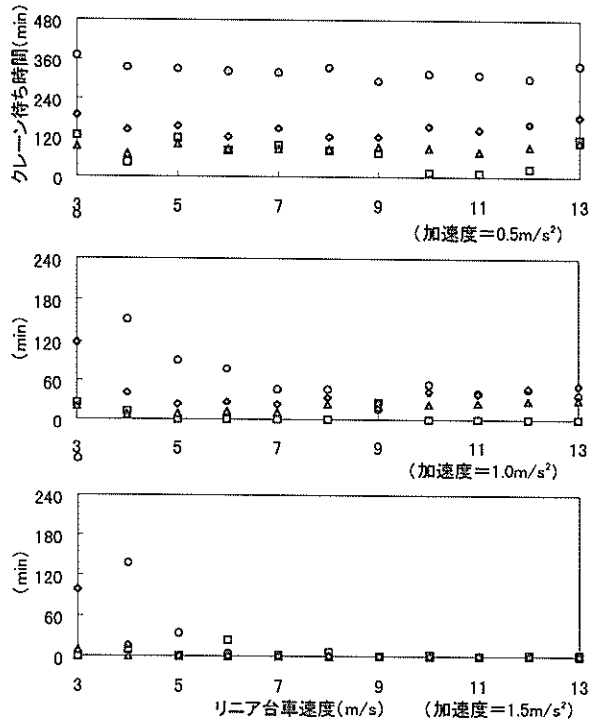


図-33 リニア仕様とクレーン待ち時間の関係 (30 台)

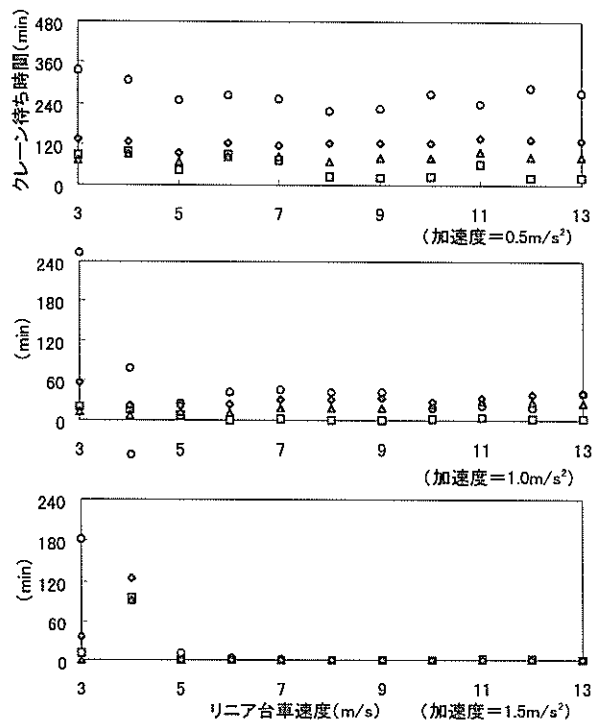


図-34 リニア仕様とクレーン待ち時間の関係 (35 台)

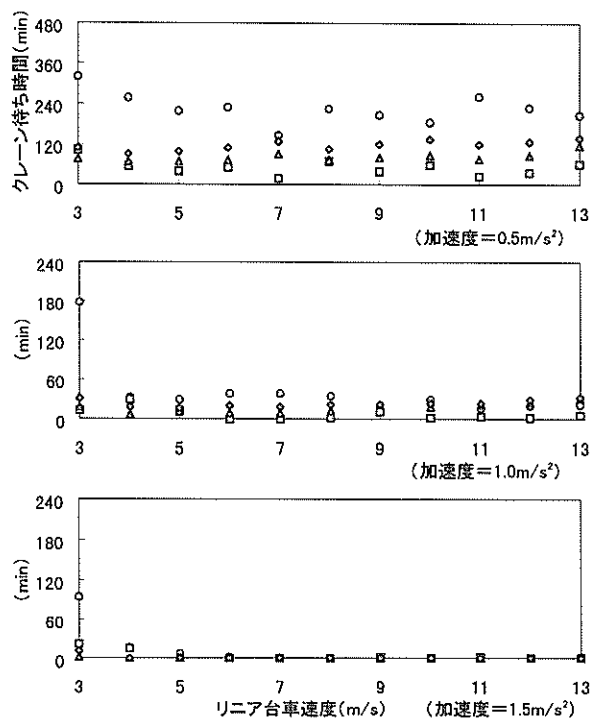


図-35 リニア仕様とクレーン待ち時間の関係 (40 台)

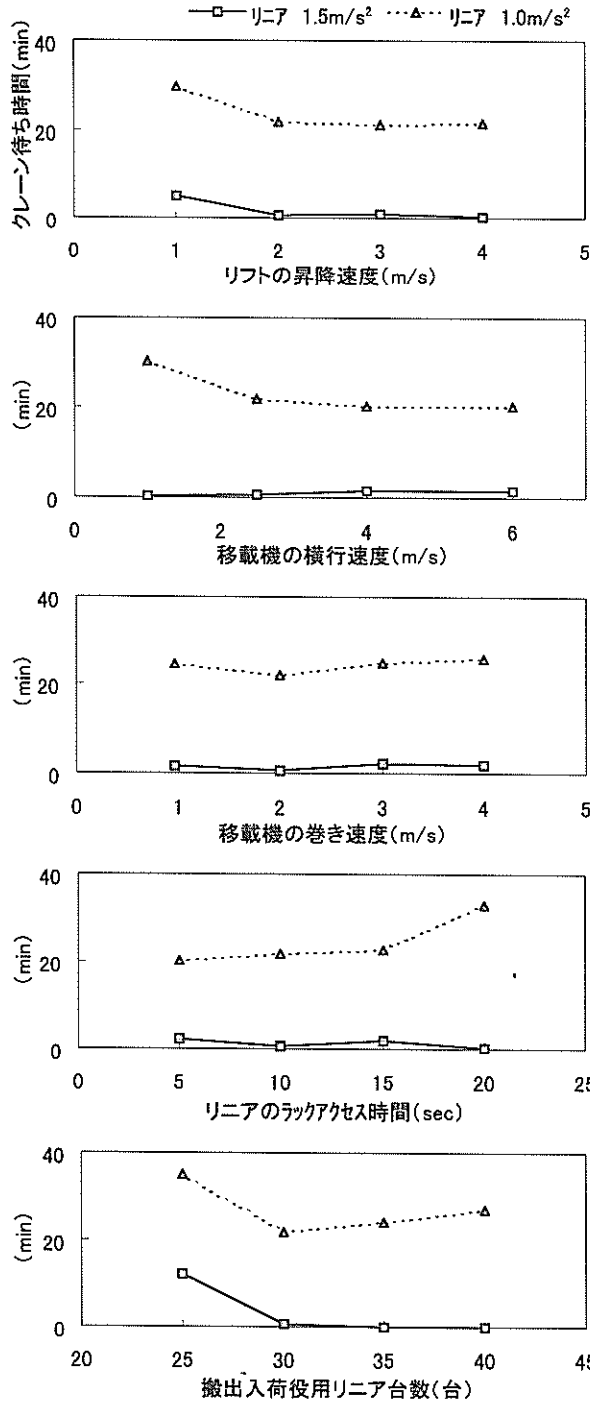


図-36 各種設定値とクレーン待ち時間の関係

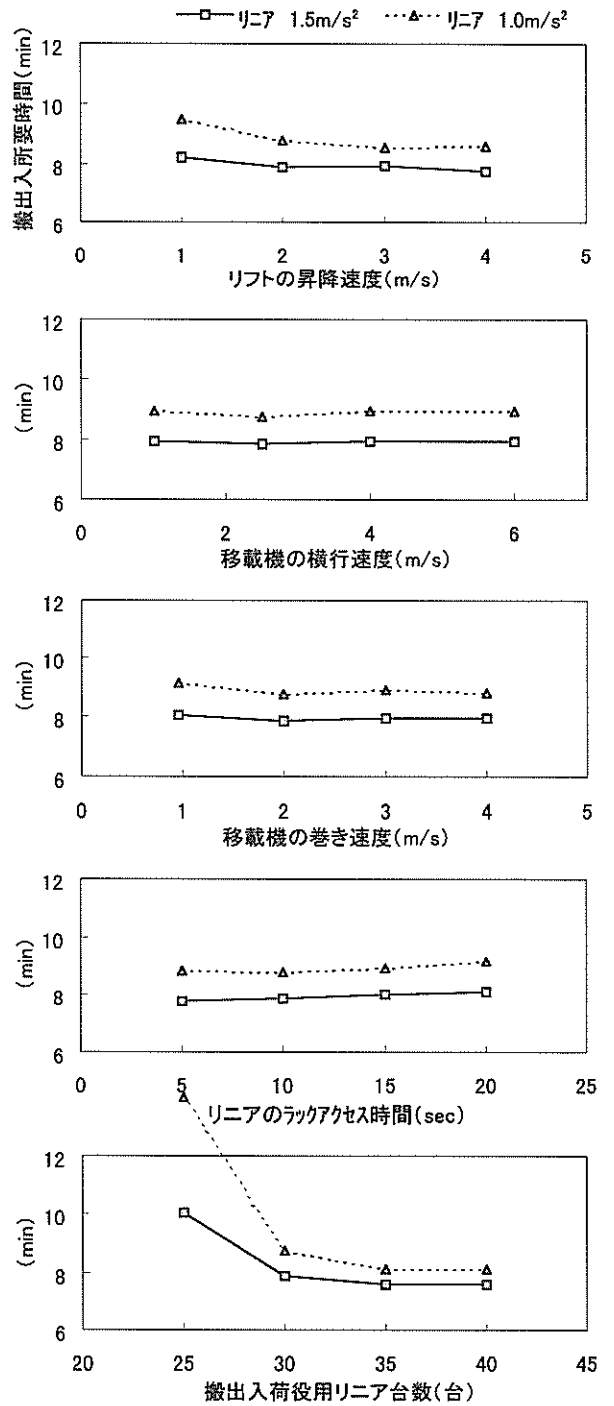


図-37 各種設定値と搬出入所要時間の関係

なお、ここでのコンテナクレーン待ち時間や搬出入所要時間の定義は、4.4節(4)で述べた通りである。リニアの仕様は、上記(2)で決定した30台、7m/s、1.5m/s<sup>2</sup>とし、参考用に1m/s<sup>2</sup>の場合も追加した。

a) リフトの設定仕様について

昇降速度を設定値2m/sから1m/sに下げると、コンテナクレーン待ち時間、搬出入所要時間ともに若干長くなる。上げた場合はあまり変わらない。つまり、昇降速度の設定値については適当である。

b) 移載機の設定仕様について

横行速度を設定値2.5m/sから1m/sに下げると、リニアの加速度が1m/s<sup>2</sup>の場合にコンテナクレーン待ち時間が若干長くなる。上げた場合はあまり変わらない。つまり、横行の設定値については適当である。巻き速度については多少ばらつきがあるが、ほぼ一定値である。巻きの設定値についてはRMGに合わせて高めに設定しているので、実績例の約1m/sに下げてもよい。

c) リニアの設定仕様について

搬出入荷役に5台割り当てるとした25台にすると、コンテナクレーン待ち時間、搬出入所要時間ともに長くなり、35台にしても両者あまり変わらないので、搬出入荷役に10台割り当てるとした35台は適当である。ラックアクセス時間の設定値については、長くすると搬出入荷役時間が若干長くなるので短いほどよいが、当然、機械に限界があるためとりあえずは適当と考える。以上、検討結果のまとめを表-26に示す。

表-26 シミュレーション検討結果

荷役機器		検討結果
リフト	昇降	2.0m/s, 0.8m/s <sup>2</sup>
移載機	横行	2.5m/s, 0.71m/s <sup>2</sup>
	巻き	0.95m/s, 0.38m/s <sup>2</sup>
搬出入用リニア台数		10台
リニアのラックアクセス時間		10sec

5.4 リニア直入型リニアターミナルの評価

(1) 実現性評価

a) リニア搬送台車

リニアに要求される速度・加速度は7m/s、1.5m/s<sup>2</sup>であり、3章のT/C式、4章の立体倉庫式と同じ結果になった。つまり、リニアの実現性評価は他のリニアターミナルと同じく、リニアの速度については実現可能と推測され、加速度については高加減速が必要なことから別途検討が必要である。台数については30台必要であるが、搬出入荷役に10台割り当てるとしたので、本船荷役に割り当てる台数としてはT/C式や立体倉庫式よ

りも5台少ない20台となった。シミュレーション実行画面を見ると、立体倉庫式において、リニアが天井クレーンとの受け渡しのために待つ時間よりも、リニア直入型においてリフトを待つ時間の方が全般的に短いようであり、これにより荷役効率が若干向上していると思われる。

b) リフト

T/C式との比較評価のため昇降速度はRMGの巻きと同じ2m/sとし、シミュレーションの結果、適当であることが分かったが、実績例がなく別途検討が必要である。

c) 移載機

横行・巻きともにRMGと同じ数値で設定した。横行については実績例の2.5m/sとしており、巻きについては実績例の約1m/sに下げてもよいので実現可能である。

(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働時間の計測結果をもとに、コスト見積りを行った。結果を表-27に示す。これによると、ランニングコストについて、特に荷役機械償却費(駆動コイル)の増分が大きく、合計額で従来の131%とコスト増になっており、コスト低減が今後の課題である。ただし、3.6節(2)で述べたように、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ており、あくまで参考値である。各見積り数値の詳細は付録14に添付した。

(3) 処理能力評価

リニア直入型リニアターミナルと従来ターミナルの処理能力の比較を表-28に示す。

a) 本船荷役時間

従来ターミナルではRTGが荷繰りしながら船積みを行うのに対し、リニア直入型リニアターミナルではランダムアクセスにより荷繰りが必要ないので、ケース1の63%、ケース2の84%に低減されている。なお、1週間分の本船荷役時間の比較を図-38に示す。さらに、ケース2において夜間マーシャリングが行われた場合を想定し、荷繰りを強制的に無くした場合の本船荷役時間との比較を図-39に示す。立体倉庫式の場合と同等、両者ほぼ同等になった。つまり、従来ターミナルの荷役機器の仕様をT/C式と同等にし、夜間マーシャリングを行えば、リニア直入型リニアターミナルとほぼ同等になる。

b) 搬出入所要時間

外来シャシーの搬入所要時間は平均7.1分、搬出所要時間は平均8.7分であり、他文献にて平均で目標20分以内とされていることから満足できる<sup>9)</sup>。ただし、最大

表-27 経済性評価

	項目	リニア直入型	従来ターミナル
ランニングコスト (千円/年)	荷役機械償却費	2,814,571	625,702
	荷役機械保守費	901,600	142,400
	荷役機械電力燃料費	994,980	492,201
	土木基礎	939,276	1,284,396
	付帯設備	172,176	172,176
	システム	263,000	82,750
	職員人件費	936,000	936,000
	直接作業員人件費	910,000	1,670,000
	土地代	816,312	1,264,200
	合計	8,747,915	6,669,825
イニシャルコスト (千円)	荷役機械	39,800,000	6,944,000
	土木基礎	18,553,200	22,873,760
	付帯設備	2,660,000	2,660,000
	システム	1,600,000	500,000
	合計	62,613,200	32,977,760

表-28 処理能力の比較

評価項目		リニア直入型	従来(ケース1)	従来(ケース2)
本船荷役時間 (hr)	最大	9.5	14.7	10.8
	最小	4.4	7.7	5.1
	平均	6.5	10.3	7.7
コンテナ搬入待ち 時間 (min)	D4 Unload	0.4	15.7	3.1
	E4 Unload	2.4	0.2	4.1
	D4 Load	0	301.5	93.6
	E4 Load	0	266.4	108.5
外来シャーン搬入 所要時間 (min)	最大	17.3	21.6	13.1
	最小	6.6	6.0	5.9
	平均	7.1	7.4	6.9
外来シャーン搬出 所要時間 (min)	最大	23.1		19.5
	最小	6.9		6.2
	平均	8.7		8.2

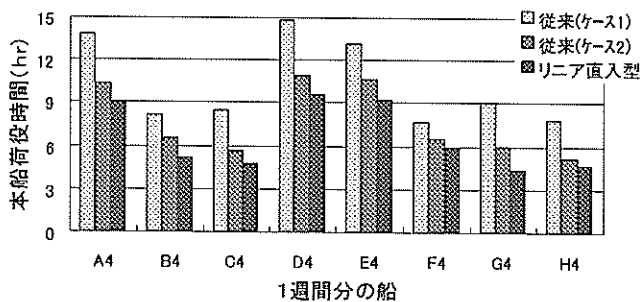


図-38 本船荷役時間の比較

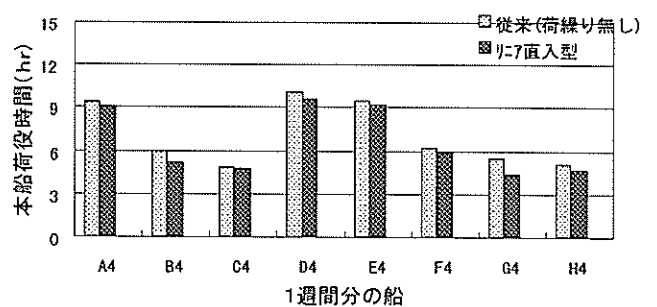


図-39 従来(荷繰りなし)との比較

23.1分かかる場合があり、4.5節(3)b)で述べたように、短縮するためには、外来シャーンとの受け渡しコンテナを仮置きするパッファが有効と考えられる<sup>24)</sup>。

5.5 5章のまとめ

本章では、リニア搬送台車を最大限に活用したターミ

ナルということで、九州大学で考案されたリニア直入型リニアターミナルの試設計を行った。荷役方式は、立体倉庫全階全面に駆動コイルを敷き詰め、途中リフトを経由して、リニアが所定ラックへ直接進入し、リニアの浮上により格納/取出を行うものである。他のリニアターミナルと同様に、試設計したリニアターミナルを正確に

評価するために、実際に細かく模擬したターミナルシミュレータを製作し、現状の国内最大実績である 45 万 TEU/年の取扱量を設定してシミュレーションを行った。その結果、リニア直入型リニアターミナルの評価は以下となった。

- ①実現性…リニアに要求される速度・加速度は、他のリニアターミナルの場合と同様、速度は現状の AGV 仕様と同程度の 7m/s で問題ないが、加速度は 1.5m/s<sup>2</sup> と高加減速が必要であり検討を要する。移載機に要求される速度・加速度については実現可能であり、リフトについては実績例がないことから別途検討が必要である。
- ②経済性…主に荷役機械償却費（駆動コイル）の増加により、ランニングコストが従来よりも 31%アップとなる。
- ③処理能力…本船荷役時間は、荷繰りを必要としないランダムアクセスにより、従来の 63%に低減される。また、搬出入所要時間は平均 7～9 分で満足できる。リニア直入型リニアターミナルの課題は立体倉庫式の場合と同じであるが、特にコスト低減が課題である。

## 6. 各種リニアターミナルのまとめ

### 6. 1 実現性評価

#### (1) リニア搬送台車への要求仕様

現状の国内最大実績である 45 万 TEU/年を想定し、本船荷役におけるコンテナクレーン待ち時間をほぼゼロにするための、リニアの必要台数・速度・加速度を求め、これをリニアへの要求仕様とした。結果を表-29 に示す。なお、比較用の AGV は ECT デルタターミナルの実績値であり、カック内は新型で高速化が図られているものである。また、国内メーカーのカタログ値で最大 25km/h(6.9m/s)である。つまり、速度については、AGV とほぼ同等なので実現可能と推測される。加速度については、AGV の 3 倍必要であり、リニアはスリップがなく実現可能であろうが、駆動コイルの仕様（電流値）に関わるので別途検討が必要である。

なお、必要速度 7m/s(25km/h)は、今回想定した 2 パースターミナルが岸壁延長 700m の広い敷地であることを考えれば必要最小限と思われる。また、AGV が 6m/s へ

と高速化が図られているということからも妥当と思われる。また、加速度が 0.5m/s<sup>2</sup>だと 7m/s に達するのに約 50m も要し、1.5m/s<sup>2</sup>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。

#### (2) T/C 式のヤード荷役機械への要求仕様

今回の T/C 式における RMG にとっては、配置替え荷役が最も負荷の高い作業である。配置替えの目標時間を 12 時間以内と設定し、RMG に必要な速度・加速度を求め、これを RMG への要求仕様とした。結果は表-10 に示した通りである。走行と巻き速度・加速度については、現状実機の 2 倍程度必要であるが、メーカーからのヒヤリングによると実現可能である。なお、今回考案した配置替え荷役における荷繰り最小化手法、RMG の振れ止め制御の高速化を適用すれば、両者合わせて 20%程度の速度低減が可能である。また、今回検討できなかったが、ヤード側 RMG も使って各レーン 2 台同時運転とすれば、さらに速度低減が可能である。

#### (3) 立体倉庫式のヤード荷役機械への要求仕様

##### a) 天井クレーン

沿岸開発技術研究センターで提案された立体倉庫を基本的に採用しており、天井クレーンはラックへの格納／取出機構を装備した特殊吊り具を有するものであるが、模型実験により動作検証されたものである。走行・巻き速度・加速度は表-19 に示した通りで、RMG と同等またはそれ以下であり、一般にトランスファークレーンよりも高速化が可能であることから実現可能と推測される。

##### b) 移載機

移載機は基本的にトランスファークレーンと同じ形状であり、横行・巻き速度・加速度については表-19 に示した通りで、実績値と同等なので実現可能である。

#### (4) 立体倉庫式のヤード荷役機械への要求仕様

##### a) リフト

リニアを上層階へ上げたり降ろしたりするものであり、とりあえず RMG の巻きと同じ速度・加速度としたが、実績例がないので別途検討が必要である。

##### b) 移載機

移載機は基本的にトランスファークレーンと同じ形状であり、横行・巻き速度・加速度については表-26 に示した通りで、実績値と同等なので実現可能である。

表-29 リニアへの要求仕様

	T/C 式	立体倉庫式	リニア直入型	AGV
台数	25	35	30	35
速度 (m/s)	7.0	7.0	7.0	3.5(6.0)
加速度 (m/s <sup>2</sup> )	1.5	1.5	1.5	0.5

6. 2 経済性評価

ランニングコストを図-40に、イニシャルコストを図-41に示す。荷役機械は、RMGやリニア台車等の荷役機器のほかに駆動コイルや立体倉庫も含めた。付帯設備には制御システム等も含めた。なお、3.6節(2)で述べたように、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ており、リニア台車は5千万円、駆動コイルは50万円/m、年間保守費は単価の3%、電力消費量はリニア1台当たり150kWとした。ここでは、従来ターミナルのコストを100として比較しており、絶対値は表-13、表-20、表-27に示した通りである。詳細は付録10、付録12、付録14を参照のこと。荷役機械のコスト低減が課題である。

そこで次に、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じになるかを調べた。なお、コスト低減の対象は、従来と共通であるコンテナクレーン以外の全ての荷役機械とし、つまり、T/C式ではRMG、リニア、駆動コイルとし、立体倉庫式では立体倉庫、

天井クレーン、移載機、リニア、駆動コイルとし、リニア直入型では立体倉庫、リフト、移載機、リニア、駆動コイルとした。また、各荷役機械に対するコスト低減率は一律とした。荷役機械の内訳は償却費、保守費、電力燃料費であり、単価は直接的には償却費のみに関わるが、保守費(年間)は単価にある一定比率を掛けたものとしているので、単価に合わせて保守費も下げることにした。この結果、表-30に示すように、T/C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、従来のランニングコストと同じになることが分かった。なお、仮に駆動コイルを100万円/m、リニア消費電力を300kWとした場合の経済性評価を付録15に示す。

表-30 従来と同等にするための単価

	T/C式	立体倉庫式	リニア直入型
コスト目標	89%	80%	34%
リニア台車	4450万円	4000万円	1700万円
駆動コイル	44.5万円/m	40万円/m	17万円/m

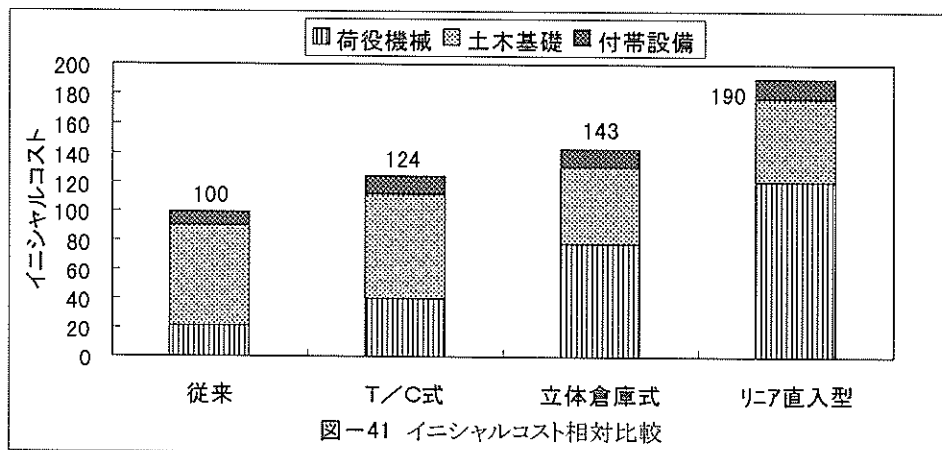
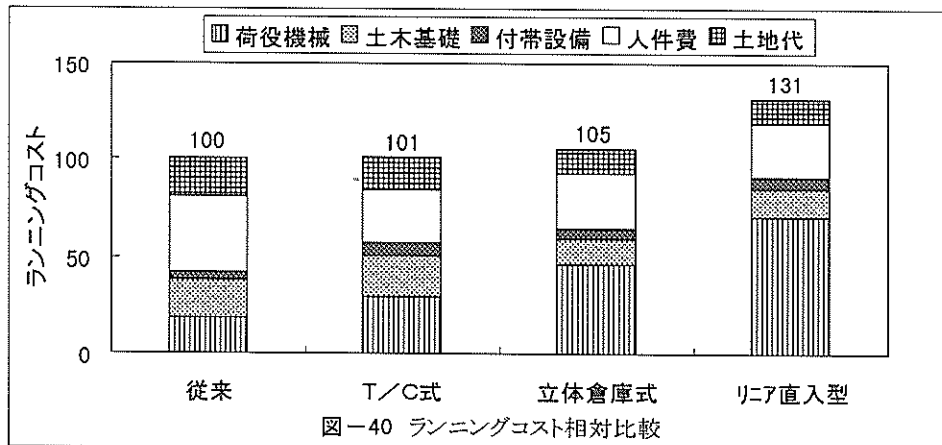




表-31 コンテナ1個当たりのコスト

	ランニングコスト	取扱量	コンテナ1個当たりのコスト
従来	6,669,825 千円/年	279716 個/年	23.8 千円 (100%)
T/C式	6,768,894 千円/年	同上	24.2 千円 (101%)
立体倉庫式	7,017,084 千円/年	279716*1.6=447546 個/年	15.7 千円 (66%)
リニア直入型	8,747,915 千円/年	同上	19.5 千円 (82%)

ところで、経済性評価のやり方としては、荷役能率が向上した分、コンテナ1個当たりのハンドリングコストが安くなるという考え方もあるので、この観点からの評価も行った。

まず、立体倉庫式とリニア直入型については、次節に示すように本船荷役時間が短縮されるので、停船時間の制約内で取扱量を増やすことができる。従来の本船荷役時間と同じになるように取扱量を増やすという考え方にすると、本船荷役時間は従来の63%に低減されることから、取扱量としては概ね  $1/0.63=1.6$  倍に増やすことができると考えられる。T/C式については、同様に本船荷役能率は向上するものの、配置替え荷役に1日平均7時間(最大12時間)も要する。配置替え荷役能率を向上できる可能性はあるものの、現状の運用方法では、配置替え荷役も含めた本船荷役時間で比較すると、従来の本船荷役時間よりもむしろ長い。つまり、荷役能率向上の面から取扱量を増やすという考え方はできない。

以上のことから、コンテナ1個当たりのコストは概ね表-31になり、この点からは立体倉庫式とリニア直入型に優位性があることが分かった。なお、3.6節(2)で述べたように、コストの絶対値は参考値であり相対的に評価すべきものである。

### 6.3 処理能力評価

#### (1) 本船荷役時間

本船荷役時間の比較を図-42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に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。なお、従来ターミナルについて、荷役機器であるRTGとヤードシャーシの速度を、各々T/C式のRMGとリニアの速度にまで上げて、荷繰りを強制的になしにすれば、リニアターミナルとほぼ同等になる。

#### (2) 搬出入所要時間

搬出入所要時間の比較を図-43と図-44に示す。搬入については、荷役機械の速度が速くかつ外来シャーシがヤードに直接進入できる、従来のケース2、従来の荷繰りなし、T/C式の荷役能率がよい。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荷役能率が落ちていと推測される。搬出については、従来のケース2は、荷繰りによって荷役能率が落ちていと推測される。なお、従来のケース1のグラフがないのは、シミュレーション途中でヤードシャーシのデッドロックが発生しデータが得られなかったためである。

#### (3) 配置替え荷役時間

バッファを有するT/C式は、本船荷役能率、搬出入

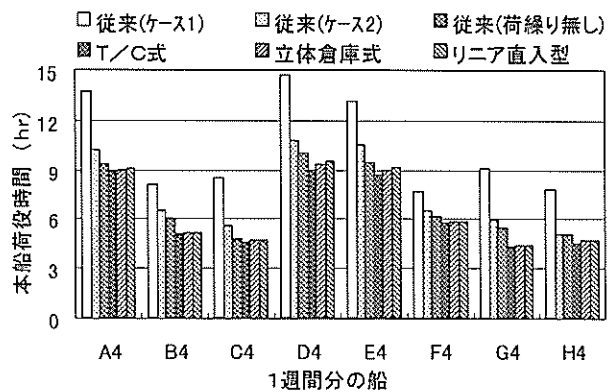


図-42 本船荷役時間の比較

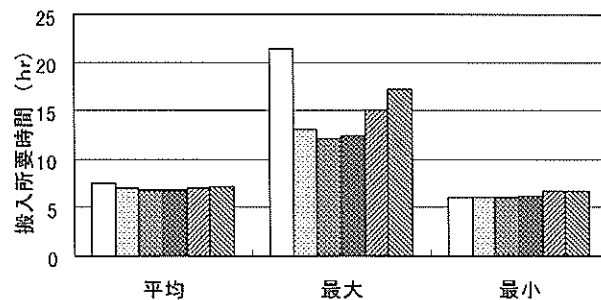


図-43 搬入所要時間の比較

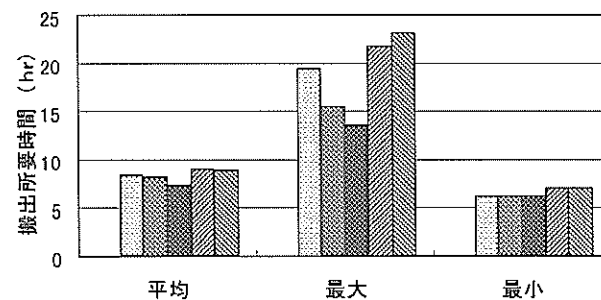


図-44 搬出所要時間の比較

荷役能率ともに良いが、一方で配置替え荷役が必要である。所要時間は図-15に示した通りであり、1日平均7.2時間を必要とする。将来24時間開門となった場合に搬出入禁止時間帯として設ける必要があるので検討が必要である。

## 7. 結論

リニア搬送台車を活用した自動化コンテナターミナルの試設計およびシミュレーション評価を行った。荷役方式としては、自動化によるコスト低減を目指して、本船荷役専用バッファを有するRMG方式とした。シミュレーションの結果、実現性については、リニア搬送台車の必要速度は7m/sで問題ないが、必要加速度は $1.5\text{m/s}^2$ と高加減速が必要であり検討を要することが分かった。経済性については、技術開発が支障なく行われた場合を想定すると、ランニングコストは従来の101%でほぼ同等になることが分かった。処理能力については、本船荷役時間が従来の61%に低減され、搬出入所要時間は平均7分程度で満足できるが、新たに必要となる配置替え荷役に平均7.2時間/日も要し課題であることが分かった。また、リニアの渋滞、コンテナクレーンへの到着順の入れ替わりといった課題を整理することができた。

次に視点を変えて、自動化による取扱能力増加を目指し、荷役方式を立体倉庫式とするリニアターミナルの試設計およびシミュレーション評価を行った。実現性については、台数はT/C式よりも10台増やす必要があるが、必要速度・加速度は同じでよく、つまりT/C式と同じ評価になった。経済性については、従来よりランニングコストが5%アップになることが分かった。処理能力については、本船荷役時間が従来の63%に低減され、搬出入所要時間は7~9分程度で満足できることが分かった。

さらに、リニアを最大限に活用したターミナルということで、九州大学で考案されたリニア直入型リニアターミナルの試設計およびシミュレーション評価を行った。実現性については、台数はT/C式よりも5台多く、立体倉庫式よりも5台少なくすむという結果になったが、必要速度・加速度は同じでよく、つまりT/C式や立体倉庫式と同じ評価になった。経済性については、主に駆動コイルを多く必要とするため、従来よりランニングコストが31%アップになることが分かった。処理能力については、立体倉庫式と同じ結果となり、本船荷役時間が従来の63%に低減され、搬出入所要時間は7~9分程度で満足できることが分かった。

本研究の成果は以下である。

- ①リニアへの要求仕様（速度7m/s、加速度 $1.5\text{m/s}^2$ ）を明らかにすることができた。
- 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、立体倉庫式、T/C式、在来式の順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じ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。なお、今回の推定に用いた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ている。
- ③処理能力評価の結果、T/C式、立体倉庫式、リニア直入型は、いずれも本船荷役能率、搬出入荷役能率ともに向上することが判った。ただし、T/C式は、負荷の大きい配置替え荷役が必要であり課題であることが分かった。

## 8. あとがき

港湾における自動化コンテナターミナルについては各所で様々な検討が行われているが、今回は自動化の1つのポイントとなる無人搬送台車にリニアモータを使った場合の自動化コンテナターミナルの試設計およびシミュレーション評価を行った。シミュレーションにおける省略事項としては、輸出入コンテナ以外の積替コンテナ・空コンテナ・リーファコンテナ・特殊コンテナ・検疫コンテナ等の取り扱い、コンテナサイズによる蔵置場所の区別、リニア用のセンサー等制御用機器や電源設備の配備、メンテナンスショップ等の建屋の配備、リニアの定期的なバッテリー給電の実行、自動化機器の故障時の待避と手動介入、コンテナクレーンのサイクルタイムの変動やゲート搬出入量の開門中の変動など、様々な項目を省略している。しかし、荷役システムの主要部分については、リニア搬送台車やRMG等の荷役機器を現実的かつ効率的に動かすための運行管理ロジック、コンテナ1個1個に独立な属性を付けたきめ細かな蔵置管理ロジック、実態をもとにした本船荷役スケジュールや搬出入パターン、搬出入順序はランダムとし長期間連続シミュレーションを可能としていることなど、実際を詳細かつ正確に模擬してシミュレーションを実施した。これにより、リニアへの要求仕様の明示、経済性評価、処理能力評価を行うことができ、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ができた。

(1999年11月26日受付)

## 謝辞

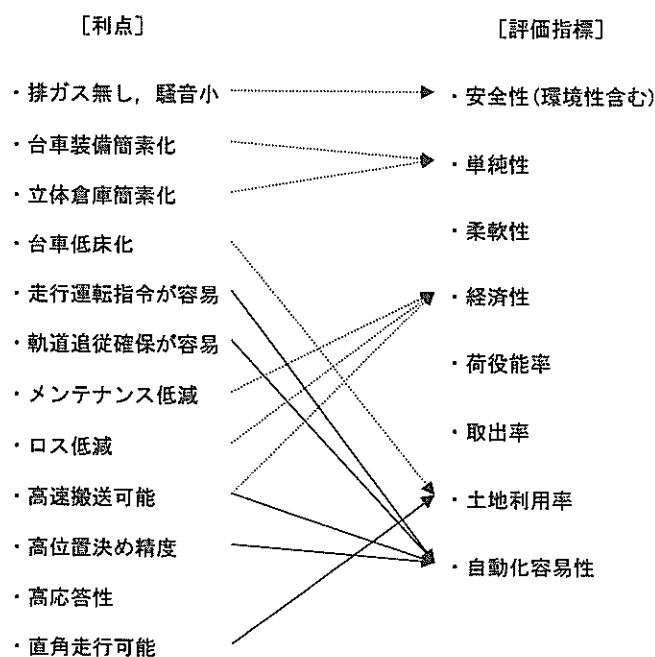
本研究は「運輸分野における基礎的研究推進制度」における採択課題である「コンテナターミナルにおけるコンテナ搬送システムの高度化に関する基礎的研究」において、運輸施設整備事業団のもとで九州大学と港湾技術研究所が共同で実施しているものであり、運輸施設整備事業団をはじめとする皆様にご支援・ご協力を頂いており、ここに深く感謝致します。

## 参考文献

- 1) 芳野昇：欧州のコンテナターミナル，港湾荷役，41巻4号，1996年7月，pp.403～417，港湾荷役機械化協会。
- 2) Frank J. A. M. Nooijen, Automated guided vehicle system for ECT's Delta/Sea-Land Terminal, 7 TH TOC, pp.73～77.
- 3) 竹原亨・星名博光：コンテナクレーンの電気式(フットバック式)振れ止め制御，港湾荷役，39巻5号，1994年9月，pp.515～521，港湾荷役機械化協会。
- 4) 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，1996年3月，pp.42～48。
- 5) Arne Wolper・Edgar Huth：INTRODUCING LINEAR MOTOR-BASED TRANSFER TECHNOLOGY TO A CONTAINER HANDLING ENVIRONMENT，TERMINAL OPERATIONS CONFERENCE 1997，1997年3月，pp.1～23。
- 6) 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年2～10月。
- 7) 沿岸開発技術研究センター：船舶用コンテナ自動立体格納装置の研究報告書，1995年3月，pp.105～119。
- 8) 運輸省港湾局技術課：次世代コンテナターミナル技術開発調査報告書，1998年3月，pp.10～19。
- 9) 亀田(抄訳)：ロボット化で飛躍的發展を狙って，港湾荷役，44巻2号，1999年3月，pp.254，港湾荷役機械化協会。
- 10) 山崎正敏他：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，1993年6月，pp.14～21。
- 11) 港湾荷役機械化協会：港湾荷役機械要覧，1996年5月，pp.98～103。
- 12) 星名博光：クレーンの自動運転における横行方向の振れ止め制御，クレーン，37巻5号，1999年5月，pp.2～7。
- 13) 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，1997年3月，pp.64～81。
- 14) 運輸省港湾局技術課：次世代コンテナターミナル技術開発調査報告書，1998年3月，pp.80～86。
- 15) 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，1997年3月，pp.8～32。
- 16) 運輸省港湾局技術課：次世代コンテナターミナル技術開発調査報告書，1999年3月，pp.6。
- 17) 福地信義：リニアモーター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・エキスプレス構想(Phase-2)に関する調査研究報告(平成8年度)，1997年5月，pp.11～22。
- 18) 吉田欣二郎・高見弘・孔小明：PM LSM モデル車の直角分岐制御の一方式，平成11年電気学会全国大会，No.1100，1999年3月。
- 19) 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，1997年3月，pp.17～20。
- 20) 水間毅：地下鉄・磁気浮上式鉄道に應用されたリニアモーター，機械設計，39巻18号，1995年12月，pp.46～50。
- 21) 荻田充二：リニアモーターの特徴とよりよい使い方，機械設計，39巻18号，1995年12月，pp.31～36。

## 付録1. リニアの利点整理の詳細

コンテナターミナルの評価指標としては、安全性、単純性、柔軟性、経済性、荷役能率、取出率、土地利用率が挙げられている<sup>6)</sup>。安全性はここでは環境性も含むとした。単純性は表には出てき難いが特に不具合頻度に関わる重要なものである。柔軟性は作業変更や故障等への対応の容易さを表すものである。経済性は投資コストおよび運用コストのことである。荷役能率は時間当りの処理能力のことである。取出率はコンテナ多段積み状態からの取出し易さを表すものである。土地利用率はターミナル面積に対するスロット数の割合である。また、今回は特に自動化を目指しているので、自動化容易性も評価指標に加えた。リニアの利点は、これらコンテナターミナルの評価指標の向上を図るもの、という観点から整理されるべきである。まずは文献調査等により、どの評価指標に対して効果があるのかという関連付けをしながらリニアの利点の洗い出しを行った。これを付図-1.1に示す。そしてこの中から、現実的な効果が得られるものということで利点を厳選し、実線の項目に絞り込んだ。



付図-1.1 リニアの利点の洗い出し

### (1) 排ガス無し、騒音小

リニアはシャーシトラックや AGV に比べてエンジンが無いので、排ガスが無く騒音も小さい。つまり、環境性が良く広い意味で安全性が向上する。しかし、コンテナターミナルは住宅地に建設されるものではないので、コンテナターミナルでの効果はあまり大きくない。また一方で、リニアの電磁音があり、危険因子として駆動コイルの高電流、温度上昇、洩れ磁束等が考えられる。これらは立入禁止とすべき項目であり、むしろ危険性も存在する。

このため、コンテナターミナルでの効果はあまり大きくない。また一方で、リニアの電磁音があり、危険因子として駆動コイルの高電流、温度上昇、洩れ磁束等が考えられる。これらは立入禁止とすべき項目であり、むしろ危険性も存在する。

### (2) 台車装備簡素化

台車装備簡素化は単純性に関わる。台車装備の概要を AGV との比較で付表-1.1 に示す。なお、AGV は各種方式の中の 1 例で<sup>4)</sup>、リニアは現段階での構想である。主に駆動系が永久磁石のみとなり、直角走行分岐のステアリングは、車輪が自由に回転する簡素なキャストを使って、浮上力を応用して行われる<sup>18)</sup>。しかし一方で、ヤード内設備として中央制御装置やリニア駆動用電源等が必要になる。

### (3) 立体倉庫簡素化

立体倉庫内でコンテナをラックに格納するのに、リニアの浮上力を利用して、浮上させてラックに挿入してその後下降させる、ということで格納機構が不要になる可能性がある。AGV を使った場合の立体倉庫案である沿岸開発技術研究センターの船舶用コンテナ自動立体格納装置の研究報告書<sup>19)</sup>との比較を付表-1.2 に示す。格納機構を別に容易する必要はなくなるが、駆動コイルを立体倉庫全階の全面に敷く必要がある。なお、ドリーとは吊具に設備されており、スプレッドを含むコンテナをラック内へ横移動させる特殊機構である。

### (4) 台車低床化

リニアを地下鉄に利用した場合、リニアの扁平形状により車両の低床化が可能になりトンネル断面積の縮小が可能である<sup>20)</sup>。コンテナターミナルにおいては、低床化できれば同じ立体倉庫高さで積段数を多くでき高密度集積になる。前述の AGV 立体倉庫案では、ドリー+スプレッド+コンテナ+余裕分の 4.4m を 1 ラック高さとしており、コンテナ高さを 2.9m とすると+1.5m が必要としている。リニア台車高が 1m で余裕分を 0.5m と仮定すると、1 ラック高さは同程度になる。

### (5) 走行運転指令が容易

2. 1 節(1)で述べた通り。

### (6) 軌道追従確保が容易

2. 1 節(2)で述べた通り。

(7) メンテナンス低減

リニアの浮上力を利用することで、タイヤ空気注入とタイヤ交換の頻度が減少し、またガソリン給油も必要なくなる。しかし一方で、バッテリー給電、駆動コイル面の清掃が定期的に必要なになる。

(8) ロス低減

直接直線駆動を与えるのでギヤやねじ等の慣性モーメントによるロスがなく、非接触駆動が可能であり浮上させた場合は摩擦によるロスがなくなる。しかし一方で、地下鉄に利用したリニアモータの報告書において、1次側と2次側のギャップが大きいことから回転型インダクションモータに比べ効率は60%程度との記述がある<sup>20)</sup>。

(9) 高速搬送可能

2. 1節(3)で述べた通り。

(10) 高位置決め精度

2. 1節(4)で述べた通り。

(11) 高応答性

工作機械における移動テーブルの高速位置決めへの適用事例において、回転型モータよりも速度閉ループの周波数応答がよいとの報告がある<sup>21)</sup>。しかし、コンテナターミナルにおいては数10Hzの応答レベルでの違いによる遅れはほとんど影響しない。

(12) 直角走行

2. 1節(5)で述べた通り。

なお、EurokaiとNoellは、1996年10月にドイツのハンブルク港のEurokaiContainerTerminalにリニアモータ式のコンテナ搬送システムを設置し実験を行ったが、九州大学で実験中のリニアとの違いは以下である。

- ①九大は反発型、ドイツは吸引型なので、九大方式は荷重低減(車輪荷重低減、浮上機能等)が可能である。
- ②九大方式は駆動コイルは縦横動線にかかわらず同一方向に設置するので、向きを変える必要のあるドイツ式よりも設置コストを低減できる。

付表-1.1 台車装備についての比較

	AGV	リニア
駆動系	ディーゼルエンジン-油圧駆動 ステアリング機構	永久磁石 -
検出器	位置センサ(磁気誘導板等)	位置センサ, 荷重センサ
制御装置	位置制御, ステアリング制御	-
無線発信器	位置センサ信号	位置センサ信号, 荷重センサ信号
無線受信器	走行指令信号	-
バッテリー	信号送信用	同左
衝突防止センサ	超音波センサ	同左

付表-1.2 立体倉庫の比較

	AGV 立体倉庫 (沿岸開発技術センター)	リニア立体倉庫 (九州大学)
巻上下	天井クレーン	リフト
走行	AGV, 天井クレーン	リニア, 駆動コイル
格納	ドーリ	

## 付録2. コンテナクレーンによる本船荷役について

コンテナクレーンのサイクルタイムは、荷役中に走行したりハッチカバーを開閉したりして平均30個/h程度で、連続運転すれば40個/h程度と言われている。コンテナクレーンを待たせないことが荷役システムの1つの目標であるので、コンテナクレーンの荷役速度は40個/hとした。

陸揚げと船積みの切り替わりに関しては、実際のターミナルでは、本船荷役中に走行頻度が少なくすむように、船のベイ単位で陸揚げと船積みが交互に行われる。コンテナ船の1ベイは、船のどの位置のベイであるかにもよるが、パナマックス型でデッキ上に13列×3~4段、ホールド内に10列×7~9段が一般的である。つまり、1ベイの個数はデッキ上約40~50個、ホールド内70~90個の合わせて130個程度である。しかし、必ず1ベイにコンテナが満載されている訳ではなく、必ず1ベイ全部を荷役する訳でもなく、また各ベイの積載容量も同じではないので、陸揚げと船積みの切り替え個数は一概には言えない。よって、実態をもとに陸揚げと船積みは各々40個荷役したところで切り替わるとした。

## 付録3. ヤード滞留個数の算出

船の入港スケジュール、各船の荷役個数、荷役コンテナの内の空コンテナの割合、トランシップの割合、ゲートでの搬出入パターンについては実態データがある。しかし、空コンテナやトランシップは滞留状況がよくわからないこと、特殊貨物は通常すぐに搬出されることから、リニアターミナルではこれらを除いた実入コンテナについて滞留状況を求め、これをもとに空コンテナやトランシップにはある仮定を設定して、ヤード滞留個数を算出することにした。まず、計算条件である実態データや仮定等を①~④に示す。

①1週間の船の入港スケジュールと各船の荷役個数については、現状の国内最大の約45万TEU(1997年実績, C. I. Yearbook1998)をもとに付表-3.1の通りとした。なお、空コンテナの割合は全船平均の実態データをもとに、クレーン荷役個数に対して陸揚げ10.5%、船積み18.8%とし、各船共通とした。トランシップの

割合は同様に20%とした。

②実入りコンテナのゲートからの搬出入パターンは、実際には航路特性や季節変動などの影響があるが、実態をもとに平均的なパターンとして付表-3.2とした。

③荷役される実入りコンテナの大きさの割合は、全船平均の実態データをもとに付表-3.3とした。

④トランシップコンテナのヤード滞留期間は、他文献をもとに3日とした。空コンテナについては、基本的にヤード内に保管しないことにする。しかし、輸出入のアンバランスのせいで、他ターミナルと空コンテナの個数を調整する必要がある。この調整は一般に船によって行われるので、少なくとも船が入港するまでにはヤードに蔵置しておく必要がある。しかし、空コンテナのヤードでの滞留期間についてのデータがないので、ここでは平均2日と仮定した。

上記①~④のデータをもとに、実入りコンテナについての蔵置シミュレーションを実施し、付表-3.4の結果を得た。平均滞留個数は2252個(3574TEU)となった。なお、定常状態の滞留個数の変化は付図-3.1に示した。

トランシップコンテナについては、①より荷役個数は全体の20%であること、④で滞留期間を3日と仮定したことから、平均滞留個数は以下となる。

$$279716 \text{ 個} \times 0.2 \div 365 \text{ 日} \div 2 \times 3 \text{ 日} = 230 \text{ 個 (365TEU)}$$

空コンテナについては、①より荷役個数は全体の10.5%または18.8%であること、④で滞留期間を2日と仮定したことから、平均滞留個数は以下となる。

$$(140095 \text{ 個} \times 0.105 + 139621 \text{ 個} \times 0.188) \div 365 \text{ 日} \times 2 \text{ 日} = 224 \text{ 個 (380TEU)}$$

以上より、平均滞留個数の合計は以下となる。

$$2252 + 230 + 224 = 2706 \text{ 個 (4319TEU)}$$

変動幅については、他資料によると平均滞留個数が2878個で標準偏差が344個とある。均滞留個数が今回の値に近いことから、この標準偏差をそのまま用いることとし、標準偏差の3倍までを考慮することにした。これにより最大滞留個数は以下とした。

$$2706 \text{ 個} + (344 \text{ 個} \times 3) = 3738 \text{ 個 (5957TEU)}$$

付表-3.1 各船の荷役個数

曜日		月	火	水	木	金	土	日	
船名		A	B	C	D	E	F	G	H
空コンテナ, トランシ ップを含む全荷役個数	船積	530	300	255	530	500	100	380	80
	陸揚	480	270	255	480	120	550	100	430
トランシ ップを含む実 入りコンテナ	船積	430	244	207	430	406	81	309	65
	陸揚	430	242	228	430	107	492	89	385
トランシ ップを除く実 入りコンテナ	船積	324	184	156	324	306	61	233	49
	陸揚	334	188	177	334	83	381	70	299

付表-3.2 搬出入パターン

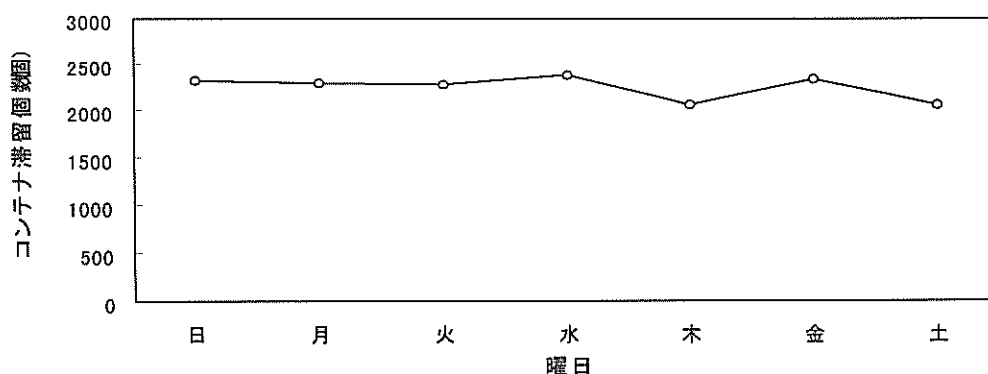
搬入の 割合 (%)	入港 7 日前	6 日前	5 日前	4 日前	3 日前	2 日前	1 日前	入港日
	5.2	3.0	3.5	7.5	12.0	22.5	46.3	0.0
搬出の 割合 (%)	出港日	出港 1 日後	2 日後	3 日後	4 日後	5 日後	6 日後	7 日後
	0.0	0.5	5.5	7.5	13.5	16.5	21.0	8.5
	8 日後	9 日後	10 日後	11 日後	12 日後	13 日後	14 日後	15 日以降
	7.0	5.0	3.5	3.0	2.0	1.0	1.0	4.5

付表-3.3 荷役コンテナの大きさの割合

	実入り		空	
コンテナの大きさ	20'	40'	20'	40'
割合 (個数%)	41.3	58.7	30.3	69.7

付表-3.4 実入りコンテナの蔵置シミュレーション結果

滞留個数 (TEU)	最大	最小	平均
	2389 (3791)	2063 (3274)	2252 (3574)
年間クルン荷役個数 (TEU)	陸揚げ	船積み	合計
	140095	139621	279716 (448385)



付図-3.1 コンテナ滞留個数の変化

付録4. リニアターミナルのレイアウト案の設計

リニアターミナルのレイアウトを設計するのに対し、白紙状態から設計するのではなく、

- (1) 現状最新のターミナルや各種報告書で提案されている次世代ターミナルに対して適用してみて、
- (2) リニアの特質を生かすための修正を必要に応じて加え、
- (3) こうして設計した複数のレイアウト案の中からリニアターミナルとして適切なものを選ぶ、

という攻め方を行った。リニアの特質を生かしたコンテナターミナルとは自動化実現と土地有効活用である、と判断しているので、

- (1) 機器の種類を極力減らして機器間の受け渡しを必要最小限にし、自動化が実現可能なものにする。
- (2) リニアの直角走行分岐を利用して動線の占有面積を減らし、蔵置面積を拡大する。

というのを特に念頭において、上記(2)の修正作業を行った。

リニアターミナルのレイアウトの設計において、ベ

ースとした現状最新のターミナルや各種報告書で提案されている次世代ターミナルを付図-4.1の左側に、これをもとに設計したリニアターミナルを付図-4.1の右側に示す。各リニアターミナルの説明を次ページ以降の(1)～(16)に、レイアウト及びコンテナの流れを付図-4.2～付図-4.17に示す。

まずは、トランスファークレーン式、天井クレーン式、立体倉庫式の各荷役方式の中から、代表ケースを選定することにした。トランスファークレーン式については、付表-4.1に示す比較表よりTC-2を選定することにした。天井クレーン式については、付表-4.2に示す比較表よりOHBC-3を選定することにした。立体倉庫式については、付表-4.3に示す比較表よりCSH-4とCSH-5を選定することにした。各代表ケースの比較を付表-4.4に示す。この中から、コスト低減を重視した場合のリニアターミナルとしてトランスファークレーン式リニアターミナル(TC-2)を選定し、取扱能力を重視した場合のリニアターミナルとして立体倉庫式リニアターミナル(CSH-4)を選定した。



付図-4.1 ターミナルレイアウト案



付表-4.1 トランスファークレーン式リニアターミナルの比較評価

評価指標		TC-1	TC-2	TC-3	TC-4	TC-5	TC-6
自動化	自動化率	△	△	○	○	×	△
	自動化容易性	△	△	×	×	○	△
	手動介入容易性	○	○	△	△	○	○
土地活用	土地活用率	○	○	×	△	×	○
荷役能率	係岸荷役	△	△	○	○	○	△
	搬出入荷役	×	○	△	△	○	○
経済性	荷役機器台数	○	○	△	△	○	○
	駆動コイル長さ	○	○	×	△	△	○
	特殊設備	○	○	○	○	×	×

付表-4.2 天井クレーン式リニアターミナルの比較評価

評価指標		OHBC-1	OHBC-2	OHBC-3	OHBC-4
自動化	自動化率	○	○	○	×
	自動化容易性	×	△	×	△
	手動介入容易性	○	○	○	○
土地活用	土地活用率	○	×	○	○
荷役能率	係岸荷役	○	△	△	△
	搬出入荷役	△	△	△	×
経済性	荷役機器台数	×	△	△	○
	駆動コイル長さ	○	△	○	○
	特殊設備	×	△	△	△

付表-4.3 立体倉庫式リニアターミナルの比較評価

評価指標		CSH-1	CSH-2	CSH-3	CSH-4	CSH-5	CSH-6
自動化	自動化率	○	○	○	○	○	○
	自動化容易性	×	△	△	△	○	○
	手動介入容易性	○	○	△	△	×	×
土地活用	土地活用率	△	△	△	△	△	△
荷役能率	係岸荷役	×	×	○	○	○	○
	搬出入荷役	×	×	○	○	○	○
経済性	荷役機器台数	×	△	△	△	○	○
	駆動コイル長さ	○	○	△	△	×	×
	特殊設備	△ 移載機+ スタッカクレーン	△ 移載 積付機	×	△ ・移載積付機 ・20'40'用2種 類リニアが必要	△ 積付機構付 き天井クレーン	△ 全階全面 駆動コイル

付表-4.4 各代表ケースの比較評価

評価指標		TC-2	OHBC-3	CSH-4	CSH-5
自動化	自動化率	△	○	○	○
	自動化容易性	△	×	△	○
	手動介入容易性	○	○	△	×
土地活用	土地活用率	×	△	○	○
荷役能率	係岸荷役	△	△	○	○
	搬出入荷役	○	×	○	○
経済性	荷役機器台数	○	△	△	△
	駆動コイル長さ	○	○	△	×
	特殊設備	○ なし	△ 天井クレーン	×	×

(1) TC-1

a) 概要

現状最新の川崎港東扇島では、現存する荷役機械の中では最も自動化が容易な RMG を採用し、本船荷役能率を重視して本船荷役専用バッファ(バッファ)を設けている。TC-1 は、この川崎港コンテナターミナルに対し、基本的に AGV をリニアにかえただけのものである。

本船荷役は、コンテナクレーンとバッファの RMG とその間を結ぶリニアで行う。搬出入荷役は、キオスクと呼ばれるヤード左端に外来シャシーが進入し、ヤードの RMG もキオスクに行き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、RMG が配置替え荷役を行う。

b) ターミナル配置と機器構成

ターミナルレイアウトを付図-4.2 の上側に示す。エプロン・バッファ・その間のリニア動線上・ヤードは無人領域であり、ヤード左端・ターミナル外回り・その他は有人領域である。リニアとバッファの RMG が無人で、コンテナクレーンが有人で、ヤードの RMG は外来シャシーとの受け渡しの際に手で遠隔操作する半自動である。

RMG は土地活用を考慮すると大型のものが望まれるが、自動受け渡しや高速化が困難になり荷繰りも増加することから、一般的な中で大きめの 5 段積み 1 段クリア、6 列 1 シャーシレーンとした。台数は各レーンにヤード用 RMG とバッファ用 RMG の計 2 台とした。ヤード用 RMG が搬出入荷役を行い、バッファ用 RMG が本船荷役を行う。配置替え荷役はバッファ用 RMG が単独で行うか、両方の RMG で行うかのいずれかである。両方で行うと荷役能率は良いが運用が複雑になる。なお、川崎港では両方で行うとし運用方法が学会発表されている。リニアは本船荷役のみを行う。

積み段数は、バッファでは荷繰りが必要ないため最大の 6 段積みとし、ヤードでは簡単のため輸出入共通で 3 段積みとした。

c) コンテナフロー

コンテナフローを付図-4.2 の下側に示す。

① 輸入コンテナ

本船 → コンテナクレーン → リニア → RMG → バッファ → RMG → ヤード

② 搬出コンテナ

ヤード → RMG → 外来シャシー

③ 搬入コンテナ

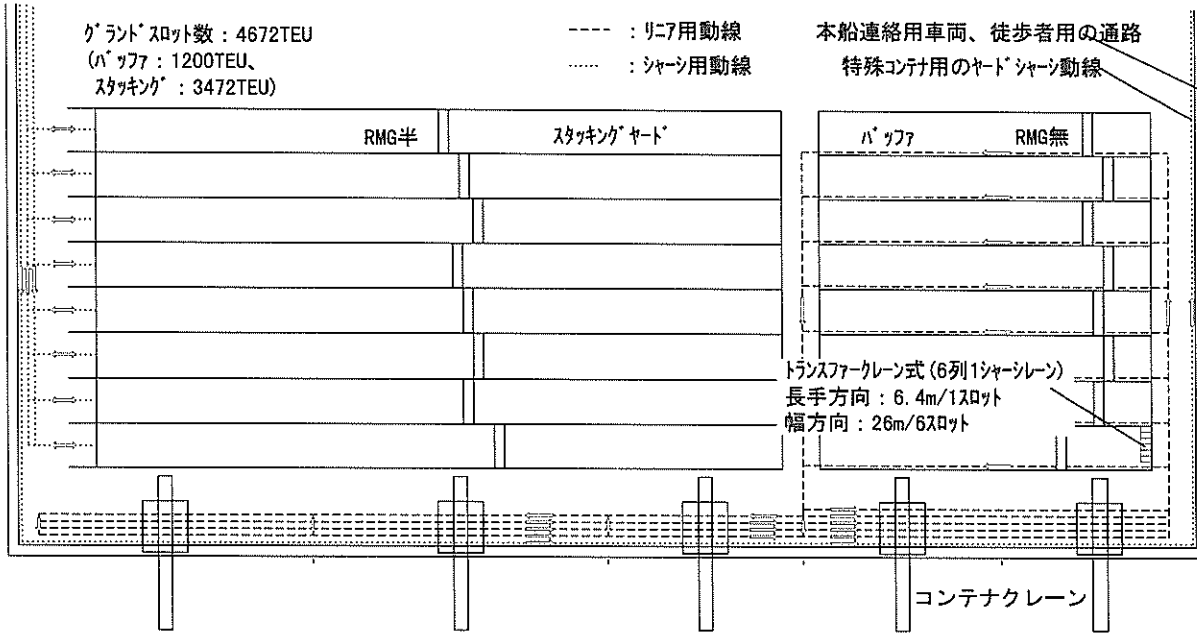
外来シャシー → RMG → ヤード

④ 輸出コンテナ

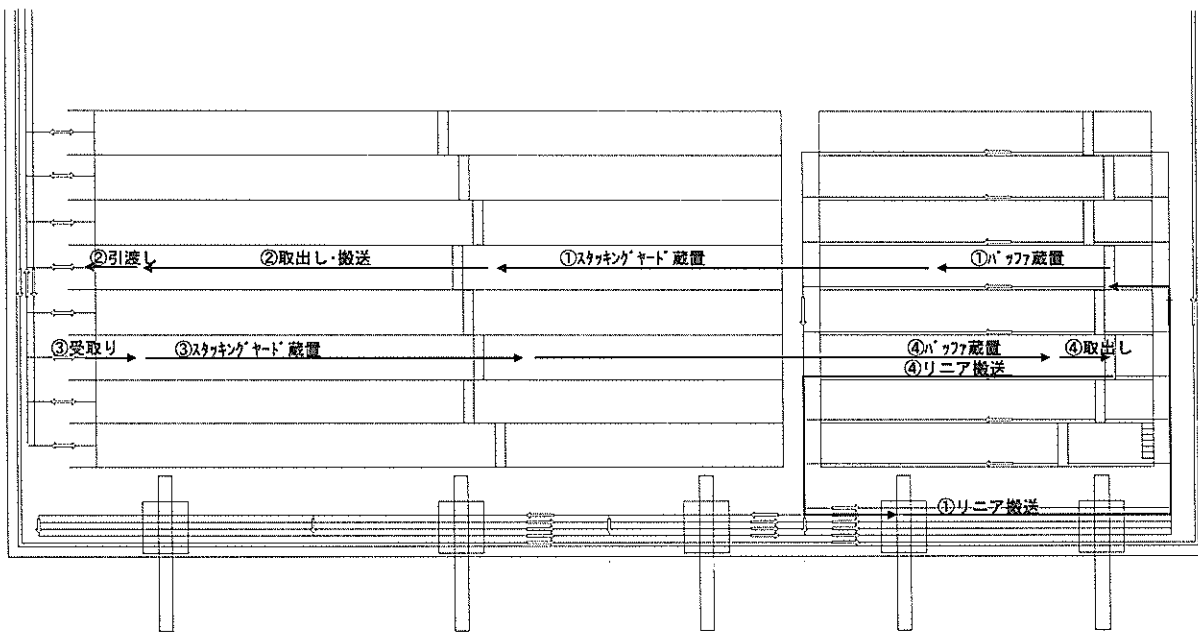
ヤード → RMG → バッファ → RMG → リニア → コンテナクレーン → 本船

d) 特徴

土地利用率が高く、駆動コイルも短くてすむ。しかし、RMG が駆動コイルを横切る点が問題である。また、搬出入荷役は RMG の長距離搬送が必要なため能率が悪いと推測される。また、高負荷な配置替え荷役が必要である。



無：無人 有：有人 半：半自動



①：陸揚げ ②：搬出 ③：搬入 ④：船積

付図-4.2 TC-1

(2) TC-2

a) 概要

TC-1 に対して、RMG が駆動コイルを横切らないようにリニア動線を変更し、搬出入荷役能率向上のため外来シャーンがヤード内に進入するように変更した。

本船荷役は、コンテナクレーンとバッファの RMG とその間を結ぶリニアで行う。搬出入荷役は、基本的に有人領域とするヤードに外来シャーンを直接進入させて、ヤードの RMG が外来シャーン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、RMG が配置替え荷役を行う。

b) ターミナル配置と機器構成

ターミナルレイアウトを付図-4.3 の上側に示す。エプロン・バッファ・その間のリニア動線上は無人領域であり、ヤード・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転のため無人領域とする。リニアとバッファの RMG が無人で、コンテナクレーンとヤードの RMG が有人である。

RMG の大きさ等は TC-1 で述べた通りであるが、配置替え荷役については、今回は簡単な運用とするため、バッファ用 RMG が単独で行うこととした。リニアは本船荷役のみを行う。リニア動線は駆動コイルを保護するため RMG が横切らないような経路とした。積み段数については TC-1 と同じである。

c) コンテナフロー

コンテナフローを付図-4.3 の下側に示す。

① 輸入コンテナ

本船 → コンテナクレーン → リニア → RMG → バッファ → RMG → ヤード

② 搬出コンテナ

ヤード → RMG → 外来シャーン

③ 搬入コンテナ

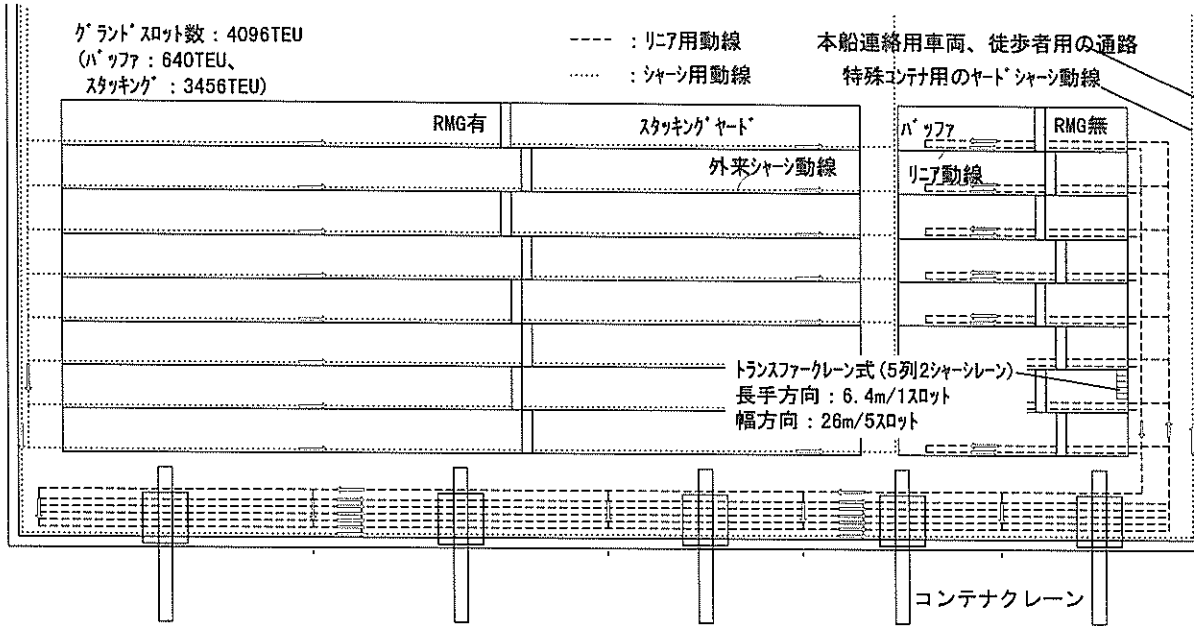
外来シャーン → RMG → ヤード

④ 輸出コンテナ

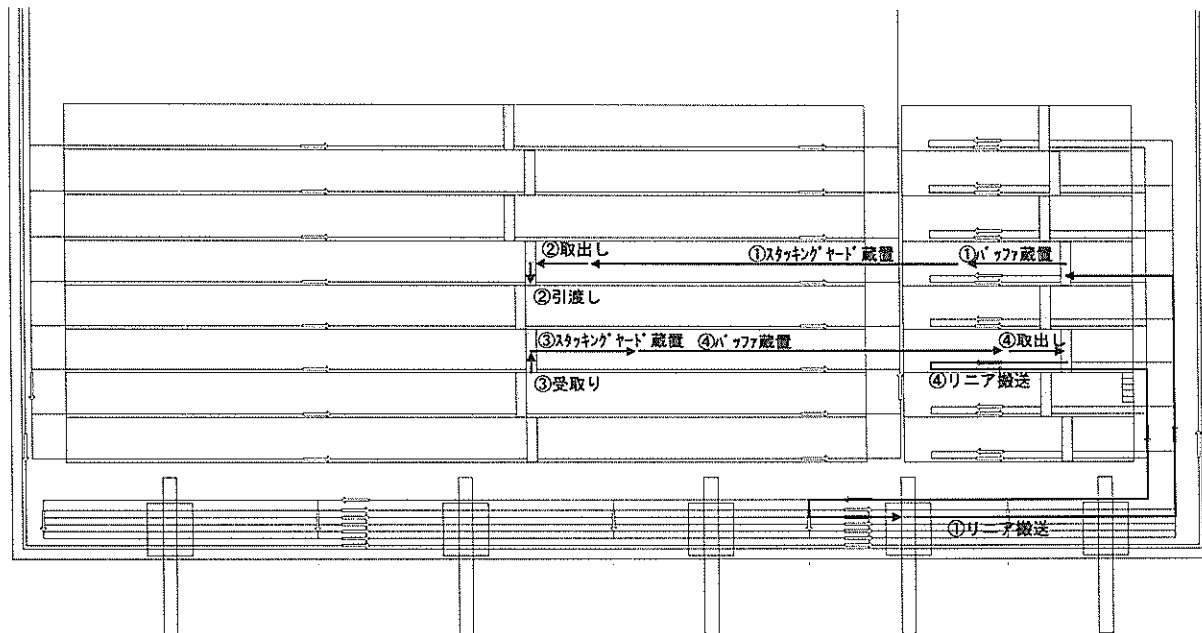
ヤード → RMG → バッファ → RMG → リニア → コンテナクレーン → 本船

d) 特徴

土地活用率が高く、駆動コイルも短くてすみ、また、RMG が駆動コイルを横切らないようなリニア動線とし、搬出入荷役能率向上のため外来シャーンがヤード内に直接進入するようにした。しかし、高負荷な配置替え荷役が必要であり、またこの間は搬出入禁止とする必要がある。



無 : 無人 有 : 有人 半 : 半自動



① : 陸揚げ ② : 搬出 ③ : 搬入 ④ : 船積

付図-4.3 TC-2

(3) TC-3

a) 概要

次世代コンテナターミナ技術開発調査で提案されたトランスファークレーン方式(標準型)は、現在広く採用されている RTG と AGV を組み合わせた方式である。ターミナル内側を無人領域とし、その領域内の搬送手段は AGV のみである。外来シャシーは無人領域のゲート側に設置した移載機まで進入し、移載機を介して無人領域側の AGV とコンテナの受け渡しを行う。TC-3はこのトランスファークレーン方式(標準型)に対して、基本的に RTG を RMG に、AGV をリニアにかえただけのものである。

つまり、本船荷役は、コンテナクレーンと RMG とその間を結ぶリニアで行う。搬出入荷役は、RMG がヤードから取り出し、リニアが移載機へ搬送し、移載機が外来シャシーとコンテナの受け渡しを行う。

b) ターミナル配置と機器構成

ターミナルレイアウトを付図-4.4の上側に示す。エプロン・ヤード・移載機下のヤード側・これらの間のリニア動線上は無人領域であり、ターミナル外回り・移載機下の陸側・その他は有人領域である。リニアと RMG が無人で、コンテナクレーンと移載機が有人である。

RMG は各レーンで2台としており、両者とも本船荷役と搬出入荷役の両方を行う。配置替え荷役はここでは必要ない。リニアも本船荷役と搬出入荷役の両方を行い、前者は RMG とコンテナクレーンの間を、後者は RMG と移載機の間を搬送する。リニア動線は安全面から一方通行とする必要があるため、各レーンに岸壁平行方向に本船荷役用と搬出入荷役用の2本の動線を設けている。積み段数は簡単のため輸出入共通でヤード全面を3段積みとした。

c) コンテナフロー

コンテナフローを付図-4.4の下側に示す。

① 輸入コンテナ

本船 → コンテナクレーン → リニア → RMG → ヤード

② 搬出コンテナ

ヤード → RMG → リニア → 移載機 → 外来シャシー

③ 搬入コンテナ

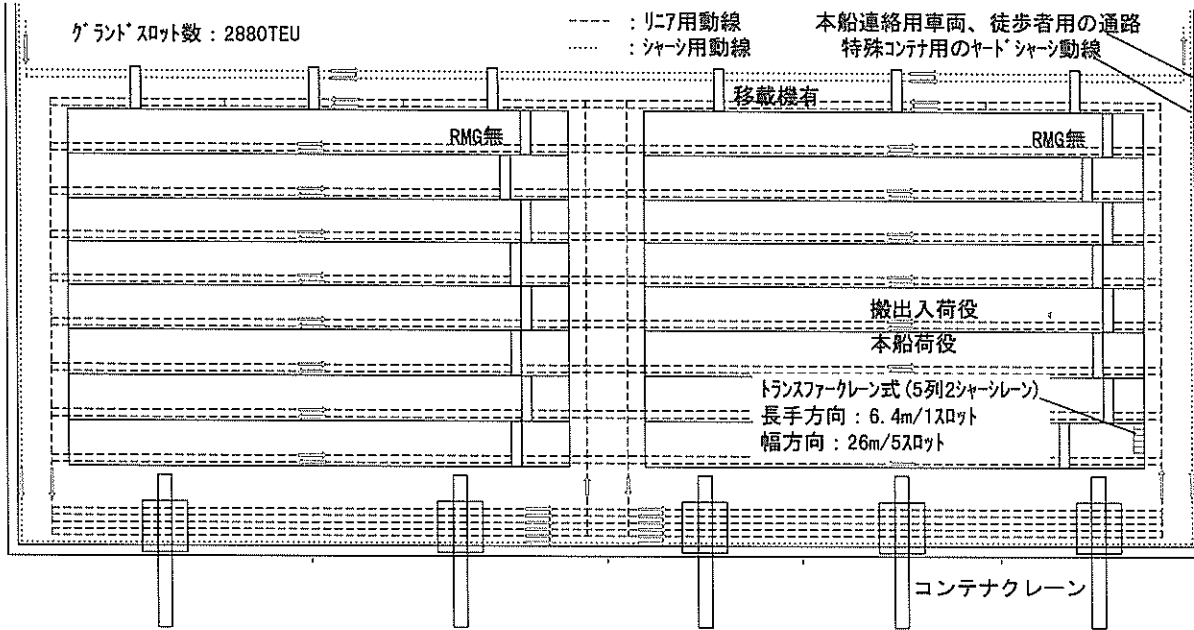
外来シャシー → 移載機 → リニア → RMG → ヤード

④ 輸出コンテナ

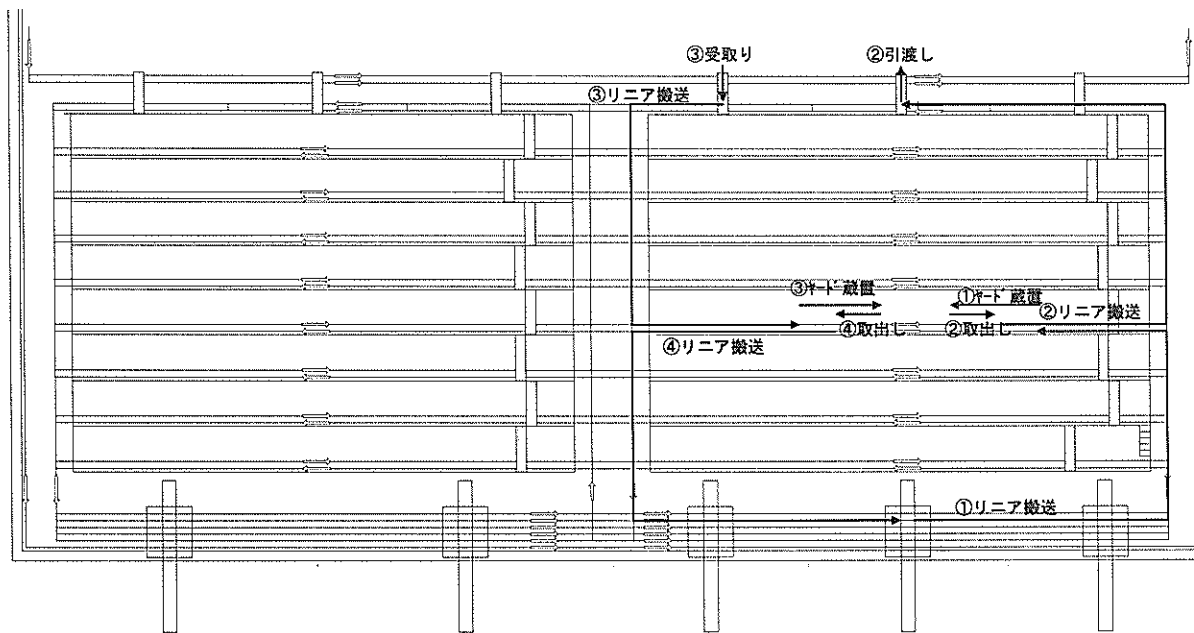
ヤード → RMG → リニア → コンテナクレーン → 本船

d) 特徴

高負荷な配置替え荷役が必要なく、自動化率も高い。しかし、配置替え荷役のかわりに本船荷役の船積み中に荷繰りを行う必要がある、または予め夜間マーシャリングを行う必要がある。また、駆動コイルをヤード全面に敷く必要があり、土地活用率が低く、コストも高い。



無: 無人 有: 有人 半: 半自動



①: 陸揚げ ②: 搬出 ③: 搬入 ④: 船積

付図-4.4 TC-3

(4) TC-4

a) 概要

TC-3に対して、リニア動線を変更することにより、土地活用率向上と駆動コイル短縮を狙ったものである。

TC-3と同様、本船荷役は、コンテナクレーンとRMGとそれを結ぶリニアで行う。搬出入荷役は、RMGがヤードから取り出し、リニアが移載機へ搬送し、移載機が外来シャシーとコンテナの受け渡しを行う。

b) ターミナル配置と機器構成

ターミナルレイアウトを付図-4.5の上側に示す。リニア動線は、岸壁平行方向には本船荷役用と搬出入荷役用を共通とし、かわりに岸壁直角方向に2本設けている。その他はTC-3と同じである。

c) コンテナフロー

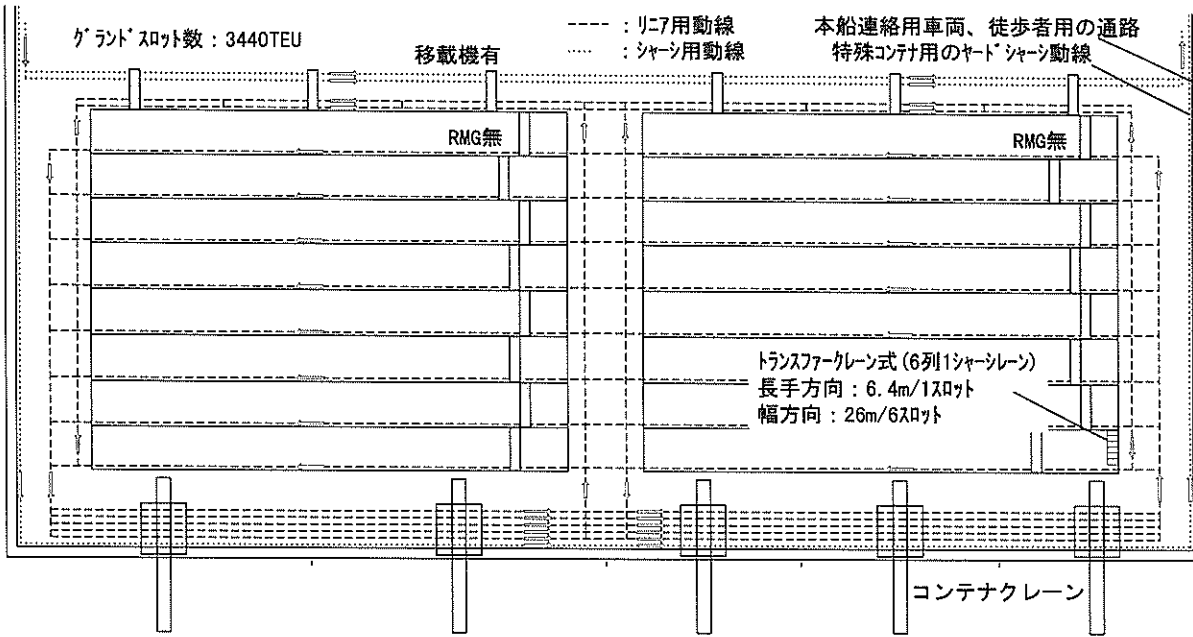
コンテナフローを付図-4.5の下側に示す。TC-3と同じである。

d) 特徴

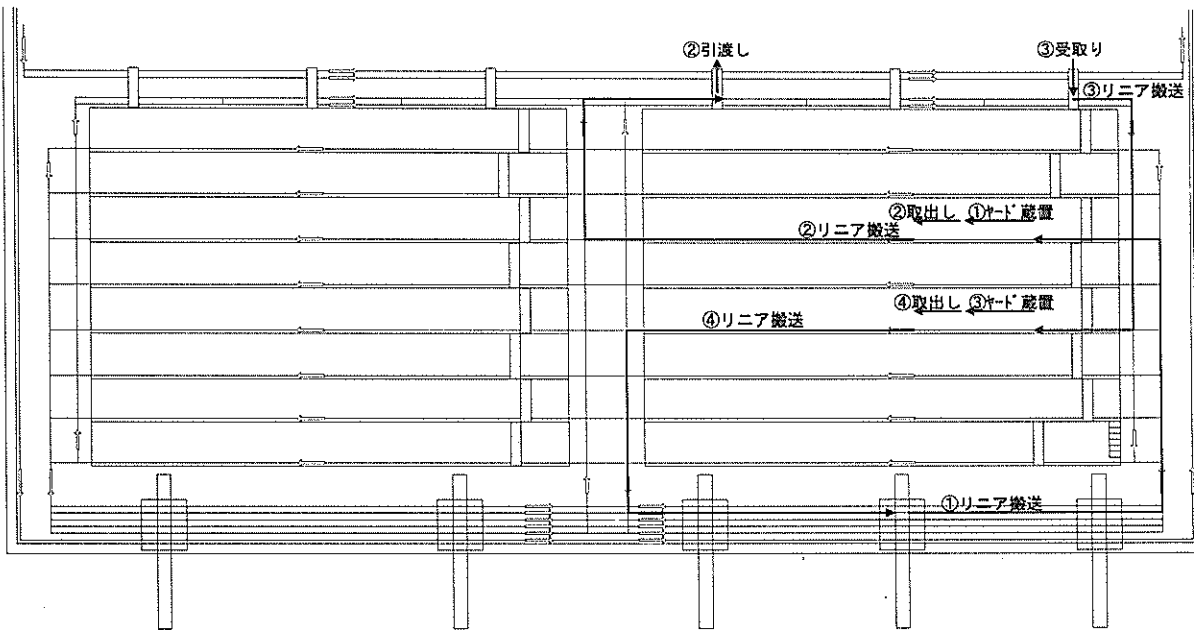
TC-3のリニア動線を改善したことにより、土地活用率は約20%増加、駆動コイルは30%短縮することができた。



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ターミナルシミュレーションによる評価



無 : 無人 有 : 有人 半 : 半自動



① : 陸揚げ ② : 搬出 ③ : 搬入 ④ : 船積

付図-4.5 TC-4

(5) TC-5

a) 概要

次世代コンテナターミナ技術開発調査で提案されたトランスファークレーン方式(高架走行型)は、AGVの走行路を高架にすることにより外来シャシーをヤード内に直接進入させ、無人のトランスファークレーン(RMG)の近くでコンテナの受け渡しを行う。これによりAGVの負担を軽減し、AGVの台数を少なくすることを狙った方式である。本船荷役は、コンテナクレーン・AGV・RMGによって行う。搬出入荷役は、外来シャシー・移載機・トラバーサ・RMGによって行う。移載機は有人であり、ヤード内の外来シャシー動線の上、リニア高架動線の下に配置され、外来シャシー・トラバーサ間のコンテナ受け渡しを仲介する。トラバーサはRMG下と移載機下の間を移動し、両者間の受け渡しを仲介する。詳しくは次世代コンテナターミナ技術開発調査を参照のこと。TC-5はこのトランスファークレーン方式(高架走行型)に対して、AGVをリニアにかえ、単純化のため移載機とトラバーサを省き、かわりにRMGを有人にしたものである。

つまり、本船荷役は、コンテナクレーンとRMGとその間を結ぶリニアで行う。搬出入荷役は、外来シャシーがヤードに直接進入してRMGと受け渡しを行う。

b) ターミナル配置と機器構成

ターミナルレイアウトを付図-4.6の上側に示す。エプロン・リニア高架動線上は無人領域であり、ターミナル外回り・ヤードの高架を除く地上部分・その他は有人領域である。リニアが無人で、コンテナクレーンとRMGが有人である。

単純化のため移載機とトラバーサを省き、ヤード荷役はRMGとリニアのみで行うとした。RMGは外来シャシーと直接受け渡しを行うので有人であり、本船荷役と搬出入荷役の両方を行う。リニアは全走行路が高架動線であり本船荷役のみを行う。外来シャシーはヤードに直接進入し、高架下を追い越し車線とする。積み段数は簡単のため輸出入共通でヤード全面を3段積みとした。

c) コンテナフロー

コンテナフローを付図-4.6の下側に示す。

①輸入コンテナ

本船 → コンテナクレーン → リニア → RMG → ヤード

②搬出コンテナ

ヤード → RMG → 外来シャシー

③搬入コンテナ

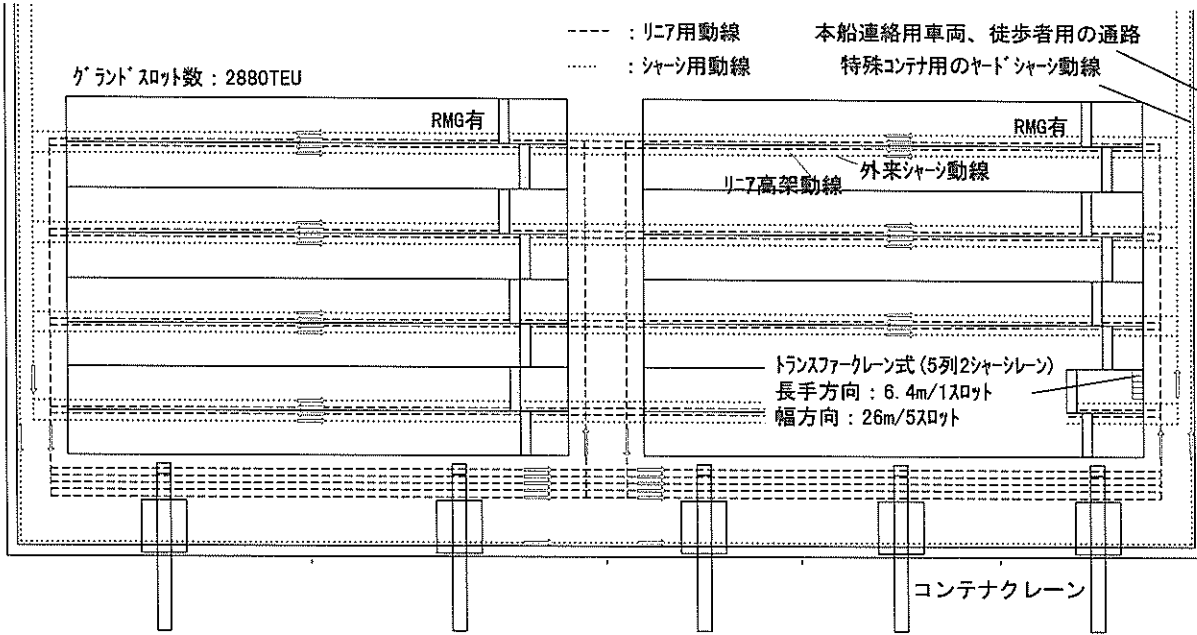
外来シャシー → RMG → ヤード

④輸出コンテナ

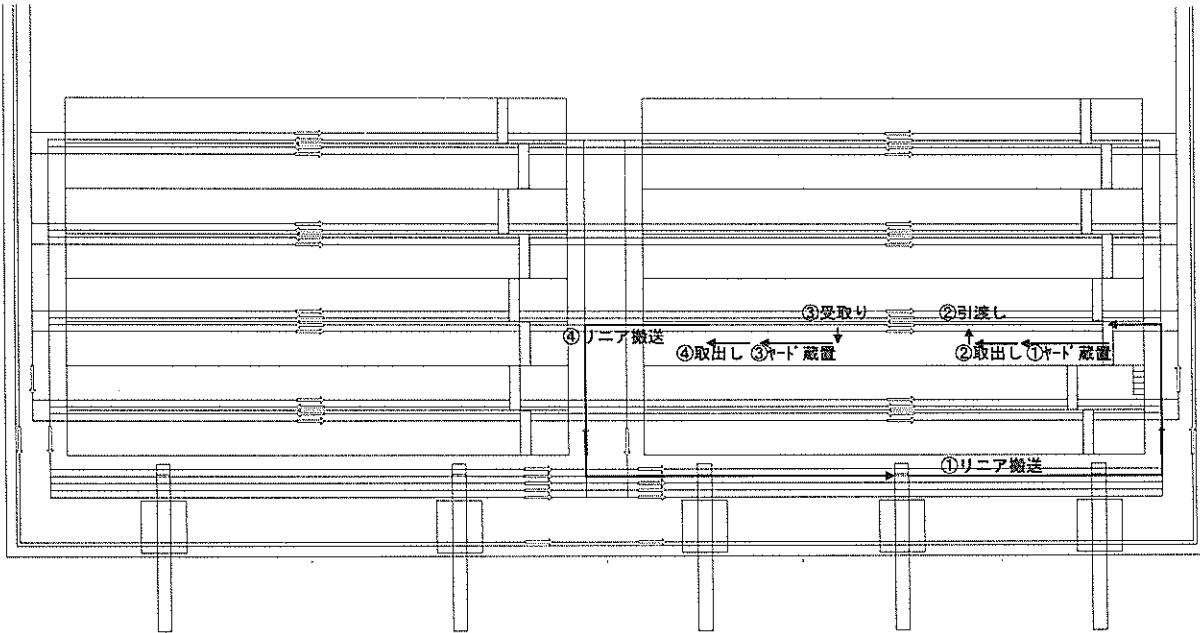
ヤード → RMG → リニア → コンテナクレーン → 本船

d) 特徴

荷役機械の構成要素が少なく持ち替え回数が少ないので、自動化が容易で、荷役能率も良い。また、高架により、リニアとコンテナクレーンまたはRMGの間の受渡距離が短くなるので、コンテナの位置決め精度が向上し自動化が容易になる。また、巻上下時間が短縮されて荷役能率が向上する。しかし、土地活用率が低く、有人RMGの台数が多いので省力化の効果が小さく、高架であるためコストも高い。



無：無人 有：有人 半：半自動



①：陸揚げ ②：搬出 ③：搬入 ④：船積

付図-4.6 TC-5

(6) TC-6

a) 概要

TC-2に対して、リニア動線を高架にすることにより、土地活用率向上、自動化容易性向上、荷役能率向上を狙ったものである。本船荷役、搬出入荷役、配置替え荷役の流れは、TC-2と同じである。

b) ターミナル配置と機器構成

ターミナルレイアウトを付図-4.7の上側に示す。リニア動線が高架になっただけで、その他はTC-2と同じである。

c) コンテナフロー

コンテナフローを付図-4.7の下側に示す。TC-2と同じである。

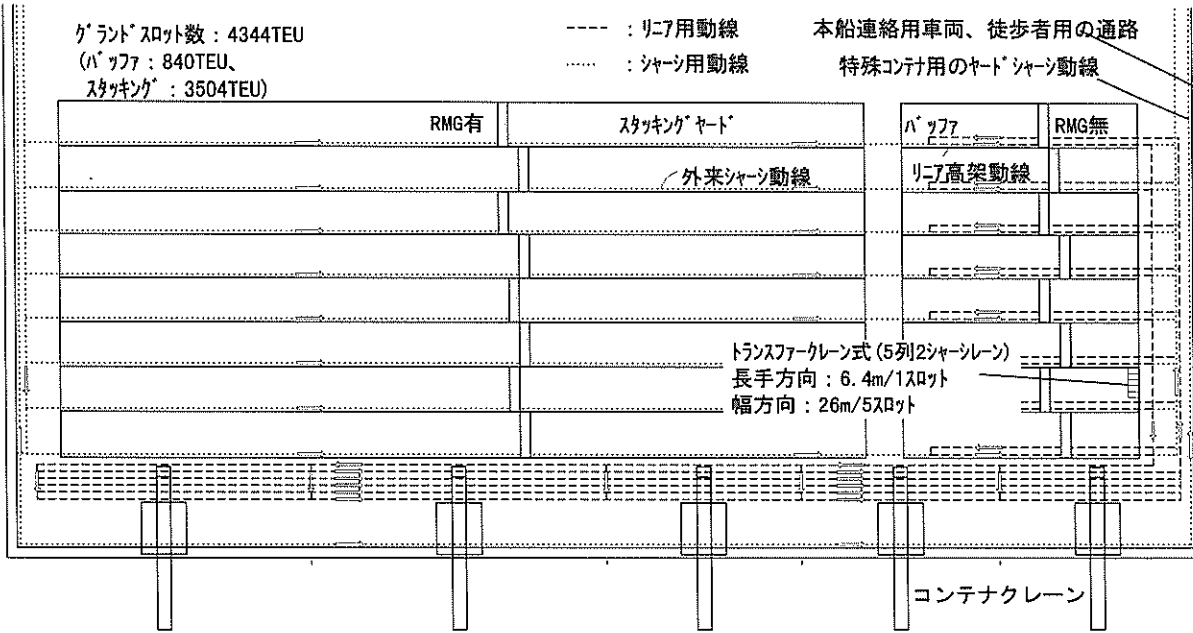
d) 特徴

TC-2に比べて以下の長所がある。

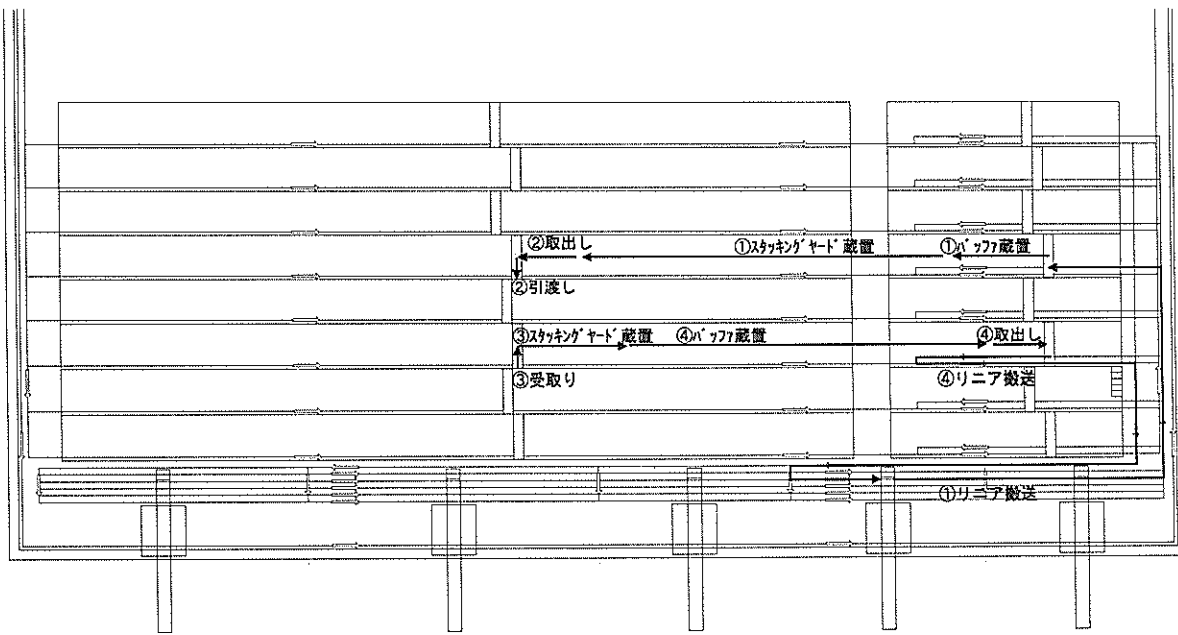
- ①土地活用率向上…高架下を手動介入時のヤードシャーシ動線に利用できるため土地活用率が向上する。
- ②自動化容易性向上…リニアとコンテナクレーンまたはRMGとの受け渡しが高い位置で行われるため、コンテナの位置決め精度が向上し、自動化が容易になる。
- ③荷役能率向上…コンテナの受け渡しが高い位置で行われるため、コンテナクレーンやRMGの巻上下時間が短縮され、荷役能率が向上する。

しかし、以下の短所がある。

- ①コストアップ…高架であるためコストが高い。またリニアのバッテリー給電の高所施設、リニアを高架に上げ下げするための設備も必要と考えられる。



無：無人 有：有人 半：半自動



①：陸揚げ ②：搬出 ③：搬入 ④：船積

付図-4.7 TC-6

## (7) OHBC-1

## a) 概要

次世代コンテナターミナ技術開発調査で提案された天井クレーン方式(全面蔵置型)は、トランスファークレーンのかわりに自動天井クレーンを採用したものである。トランスファークレーン方式のような走行路が不要で、蔵置密度を高めることができる方式である。RMG を天井クレーンの走行路(岸壁直角方向)の海側と陸側の両端に配備し、AGV との受け渡しを行う。RMG と天井クレーン間の搬送は、天井クレーン走行路の下を同じく岸壁直角方向に高速走行できるトラバーサにより行う。詳しくは次世代コンテナターミナ技術開発調査を参照のこと。OHBC-1はこの天井クレーン方式(全面蔵置型)に対して、AGV をリニアにかえ、単純化のためRMG を省いて天井クレーンが直接リニアと受け渡しするようにし、トラバーサの台数を半分に減らしたものである。

本船荷役は、リニアがコンテナクレーンから受け取って天井クレーンに渡し、天井クレーンは必要に応じてトラバーサともう1台の天井クレーンを介してヤードに蔵置する。搬出入荷役は、天井クレーンがヤードから取り出し、必要に応じてトラバーサともう1台の天井クレーンを介し、天井クレーンがリニアに渡し、リニアが移載機へ搬送し、移載機が外来シャシとコンテナの受け渡しを行う。

## b) ターミナル配置と機器構成

ターミナルレイアウトを付図-4.8の上側に示す。エプロン・ヤード・移載機下のヤード側・これらの間のリニア動線上は無入領域であり、ターミナル外回り・移載機下の陸側・その他は有人領域である。リニアと天井クレーンとトラバーサが無人で、コンテナクレーンと移載機が有人である。

天井クレーンは各レーンで2台としており、運用方法の1案として、ヤードの陸側を輸入コンテナの蔵置場所として海側を輸出コンテナの蔵置場所とすると、付図-4.8の下側に示すように、輸入コンテナと搬入コンテナは途中トラバーサを介して天井クレーンを2台とも使い、輸出コンテナは海側天井クレーンのみを使い、搬出コンテナは陸側天井クレーンのみを使う。トラバーサは、走行距離が長い場合に高速搬送させ、一方の天井クレーンから受け取り他方の天井クレーンへ引き渡す。リニアは本船荷役のためにコンテナクレーンと海側天井クレーンの間を搬送するものと、搬出入荷役のために移載機と陸側天井クレーンの間を搬送するものと2種類あり、両者のリニア動線は分離している。積み段数は、次世代コンテナターミナ技術開発調査で設定された最大6段積みとし、運用上は荷繰りを考慮して輸出入共通で3段積みとした。

## c) コンテナフロー

コンテナフローを付図-4.8の下側に示す。

## ① 輸入コンテナ

本船 → コンテナクレーン → リニア → 天井クレーン → トラバーサ → 天井クレーン → ヤード

## ② 搬出コンテナ

ヤード → 天井クレーン → リニア → 移載機 → 外来シャシ

## ③ 搬入コンテナ

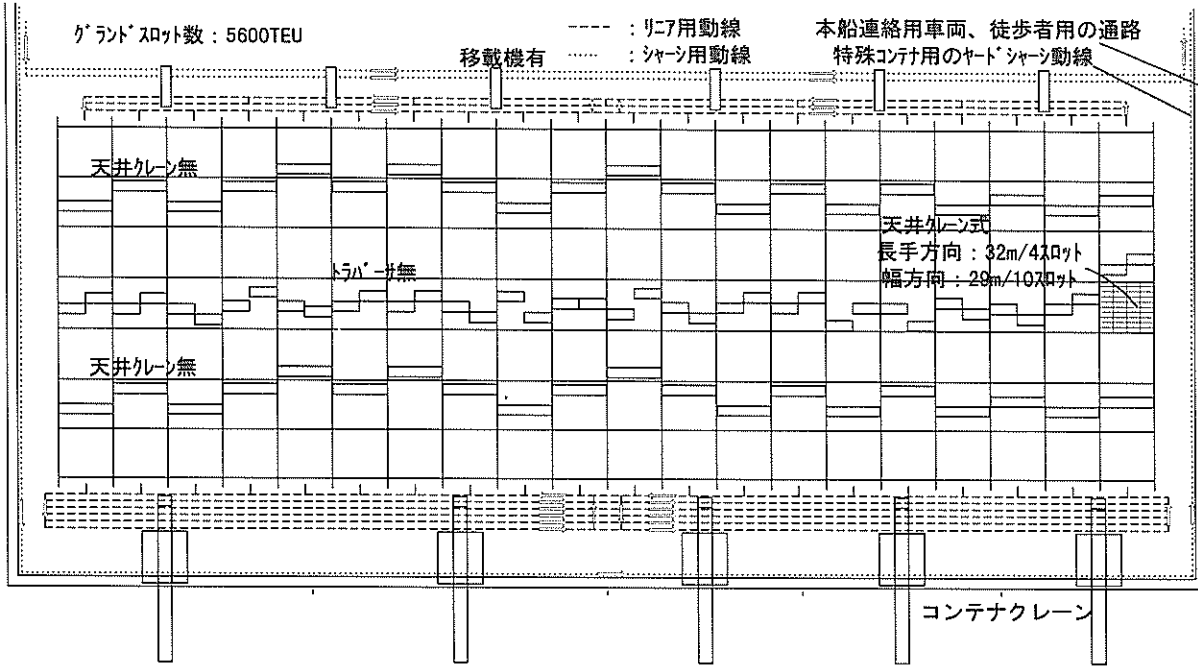
外来シャシ → 移載機 → リニア → 天井クレーン → トラバーサ → 天井クレーン → ヤード

## ④ 輸出コンテナ

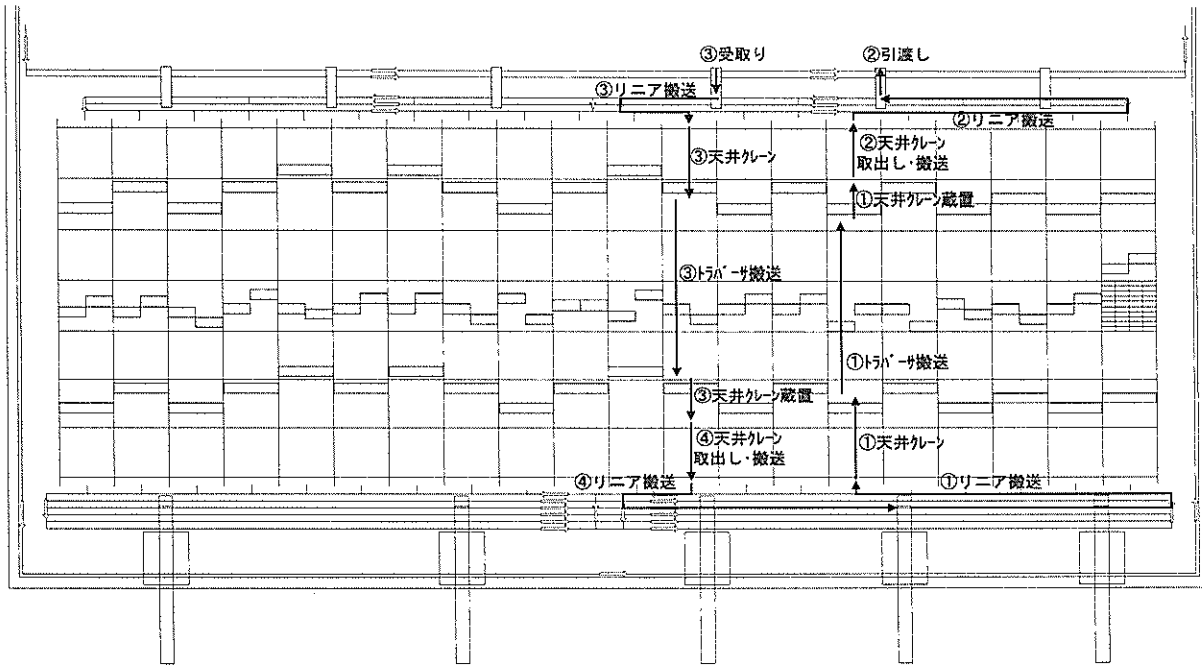
ヤード → 天井クレーン → リニア → コンテナクレーン → 本船

## d) 特徴

自動化が容易で、自動化率が高く、土地利用率も高く、駆動コイルも短くてすむ。これらは、天井クレーン式のほぼ全てに言える。天井クレーン式の中で比較すると、他ケースに比べてトラバーサがある分、天井クレーンの走行距離が短縮されて荷役能率が良いと思われる。しかし、コンテナ段積み上にトラバーサ走行路があり、さらにその上に天井クレーン走行路がある特殊設備となっており、トラバーサも40台必要でコストが高い。



無：無人 有：有人 半：半自動



①：陸揚げ ②：搬出 ③：搬入 ④：船積

付図-4.8 OHBC-1

(8) OHBC-2

a) 概要

次世代コンテナターミナ技術開発調査で提案された天井クレーン方式(中央分離型)は、基本的に全面蔵置型と同じであるが、トラバーサをなくして、そのかわりにAGVの動線を天井クレーン走行路と直角、つまり岸壁平行方向にヤードの中央にも設けた方式である。詳しくは次世代コンテナターミナ技術開発調査を参照のこと。OHBC-2はこの天井クレーン方式(中央分離型)に対して、AGVをリニアにかえただけのものである。

本船荷役は、コンテナクレーンと天井クレーンとその間を結ぶリニアで行う。搬出入荷役は、天井クレーンがヤードから取り出してリニアに渡し、リニアが移載機へ搬送し、移載機が外来シャシとコンテナの受け渡しを行う。

b) ターミナル配置と機器構成

ターミナルレイアウトを付図-4.9の上側に示す。エプロン・ヤード・移載機下のヤード側・これらの間のリニア動線上は無入領域であり、ターミナル外回り・移載機下の陸側・その他は有人領域である。リニアと天井クレーンが無入で、コンテナクレーンと移載機が有人である。

天井クレーンは各レーンで2台としており、運用方法の1案として、ヤードの陸側を輸入コンテナの蔵置場所として海側を輸出コンテナの蔵置場所とすると、付図-4.9の下側に示すように、輸入コンテナと搬入コンテナはリニアがヤード内の中央動線まで搬送し、各々、陸側の天井クレーン、海側の天井クレーンが受け取って蔵置する。輸出コンテナは海側天井クレーンが取り出し、搬出コンテナは陸側天井クレーンが取り出してリニアに渡す。リニアは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するものと、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ものと2種類あり、両者のリニア動線は分離している。積み段数は、最大6段積みで、運用上は輸出入共通で3段積みとした。

c) コンテナフロー

コンテナフローを付図-4.9の下側に示す。

①輸入コンテナ

本船 → コンテナクレーン → リニア → 天井クレーン → ヤード

②搬出コンテナ

ヤード → 天井クレーン → リニア → 移載機 → 外来シャシ

③搬入コンテナ

外来シャシ → 移載機 → リニア → 天井クレーン → ヤード

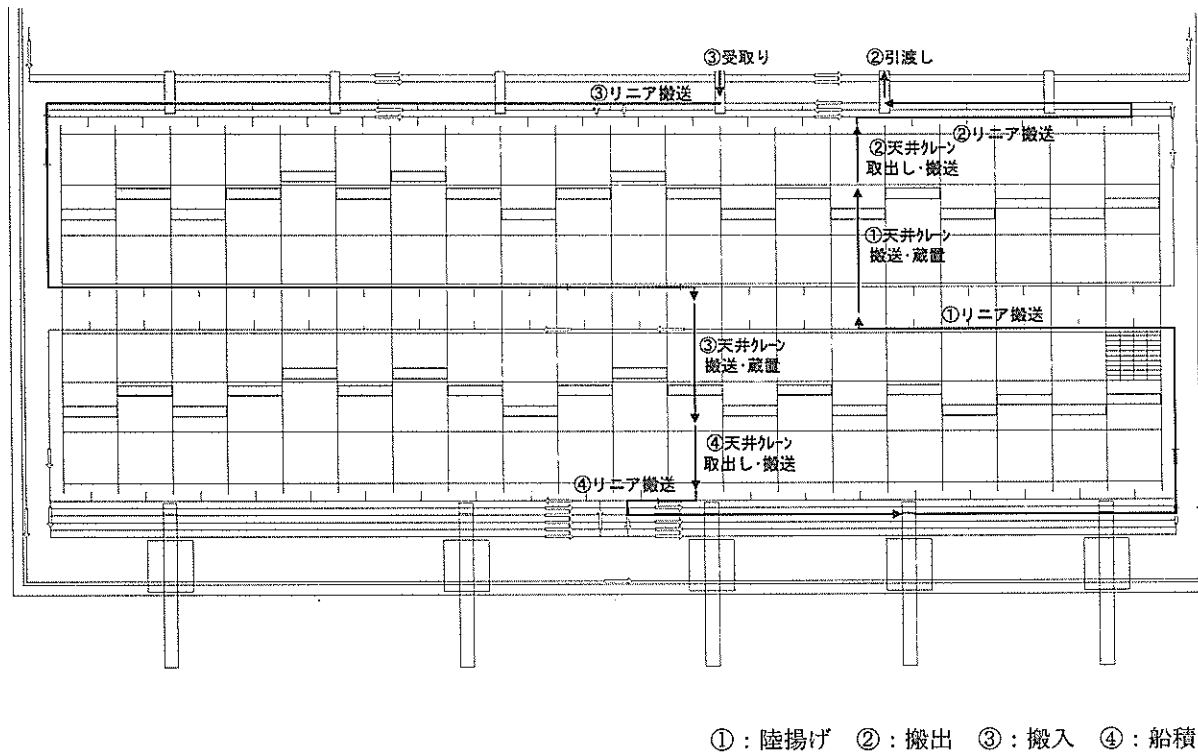
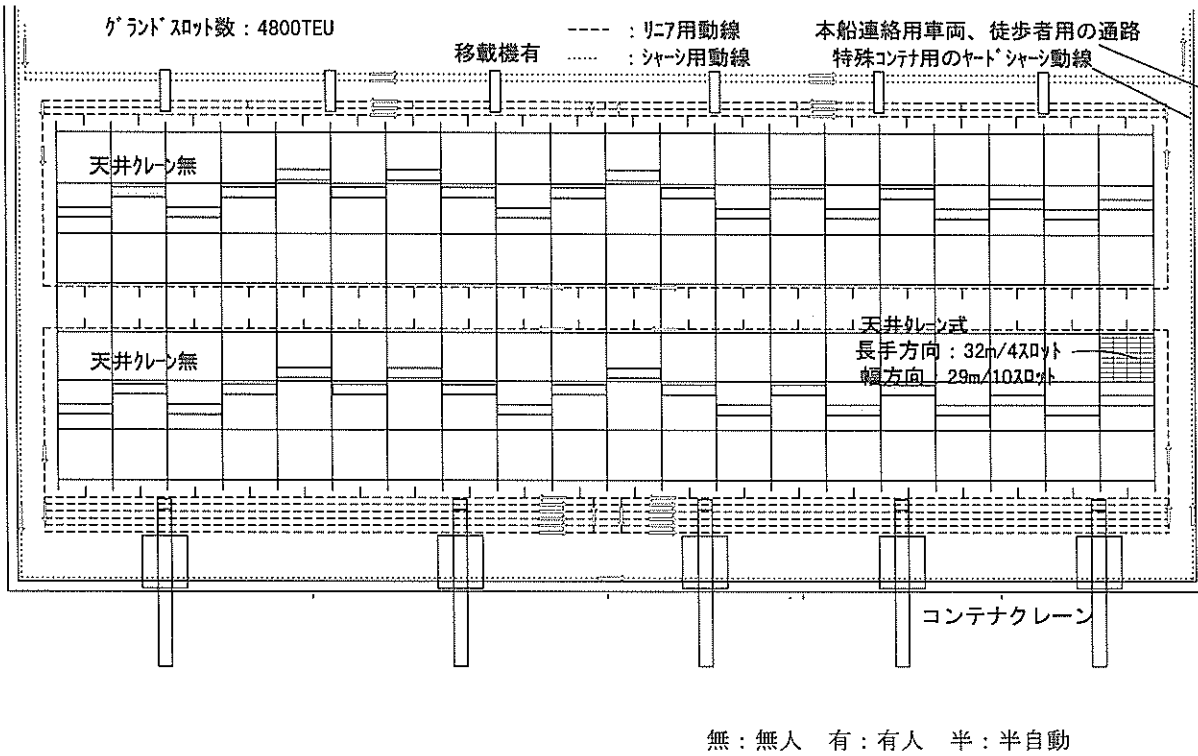
④輸出コンテナ

ヤード → 天井クレーン → リニア → コンテナクレーン → 本船

d) 特徴

ヤード中央に天井クレーン走行路と直角にリニア動線を設けることで、ヤード内へのリニア搬送を可能とし、これにより天井クレーンの走行距離を短くして、トラバーサを不要にしたものである。これにより、コストが低減し、持ち替え回数が減って自動化容易性が向上する。しかし、リニア動線の面積占有分だけ土地活用率が下がり、駆動コイルも長くなる。





付図-4.9 OHBC-2

(9) OHBC-3

a) 概要

OHBC-1 に対して、トラバーサを省き、そのかわりに本船荷役専用バッファを採用したものである。

本船荷役は、コンテナクレーンとバッファ(海側)の天井クレーンとその間を結ぶリニアで行う。搬出入荷役は、ヤード(陸側)の天井クレーンがヤードから取り出して、陸側リニア動線上まで搬送してリニアに渡し、リニアが移載機へ搬送し、移載機が外来シャ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、天井クレーンが配置替え荷役を行う。

b) ターミナル配置と機器構成

ターミナルレイアウトを付図-4.10 の上側に示す。海側と陸側に境界を設けて、バッファとヤードに分ける。エプロン・バッファ・ヤード・移載機下のヤード側・これらの間のリニア動線上は無入領域であり、ターミナル外回り・移載機下の陸側・その他は有人領域である。リニアと天井クレーンが無入で、コンテナクレーンと移載機が有人である。

天井クレーンは各レーン 2 台で両方とも無入であり、海側がバッファ用の天井クレーンで、本船荷役と配置替え荷役を行う。陸側がヤード用の天井クレーンで、搬出入荷役と運用方法によっては配置替え荷役も行う。配置替え荷役や搬出入荷役において、例えばヤード内の最も海側のコンテナを搬出する場合は、天井クレーンの長距離搬送が必要である。リニアは本船荷役のためにコンテナクレーンと海側天井クレーンの間を搬送するものと、搬出入荷役のために移載機と陸側天井クレーンの間を搬送するものと 2 種類あり、両者のリニア動線は分離している。積み段数は、バッファは荷繰りが不要なので最大の 6 段積みとし、ヤードは輸出入共通で 3 段積みとした。

c) コンテナフロー

コンテナフローを付図-4.10 の下側に示す。

① 輸入コンテナ

本船 → コンテナクレーン → リニア → 天井クレーン → バッファ → 天井クレーン → ヤード

② 搬出コンテナ

ヤード → 天井クレーン → リニア → 移載機 → 外来シャシ

③ 搬入コンテナ

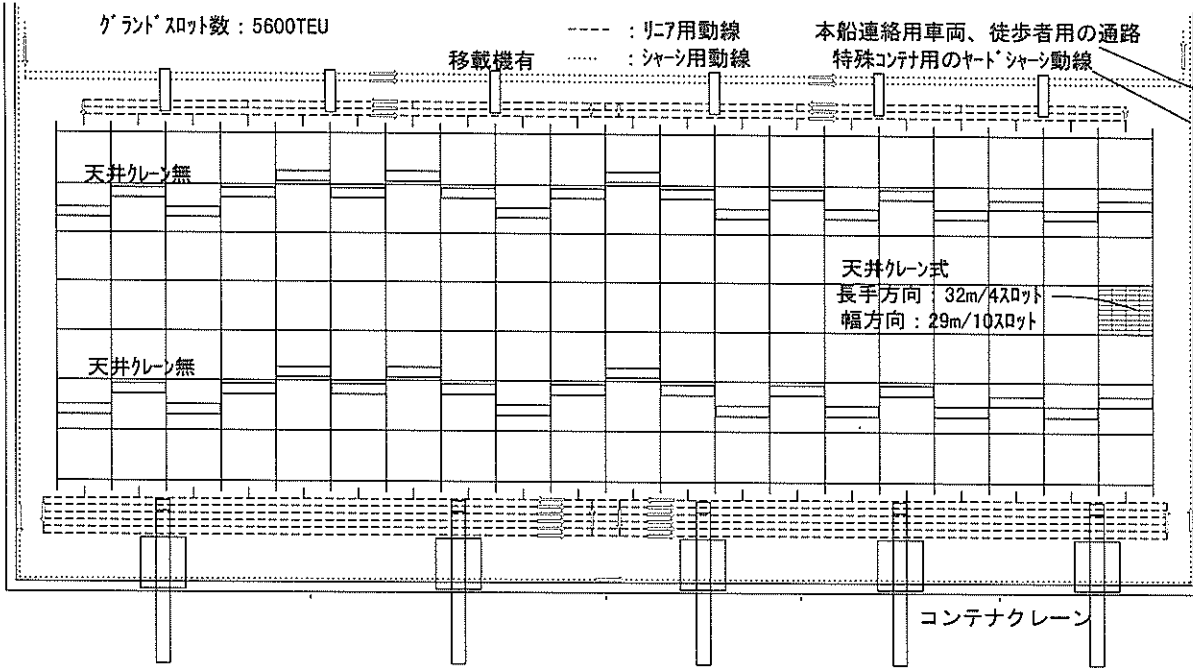
外来シャシ → 移載機 → リニア → 天井クレーン → ヤード

④ 輸出コンテナ

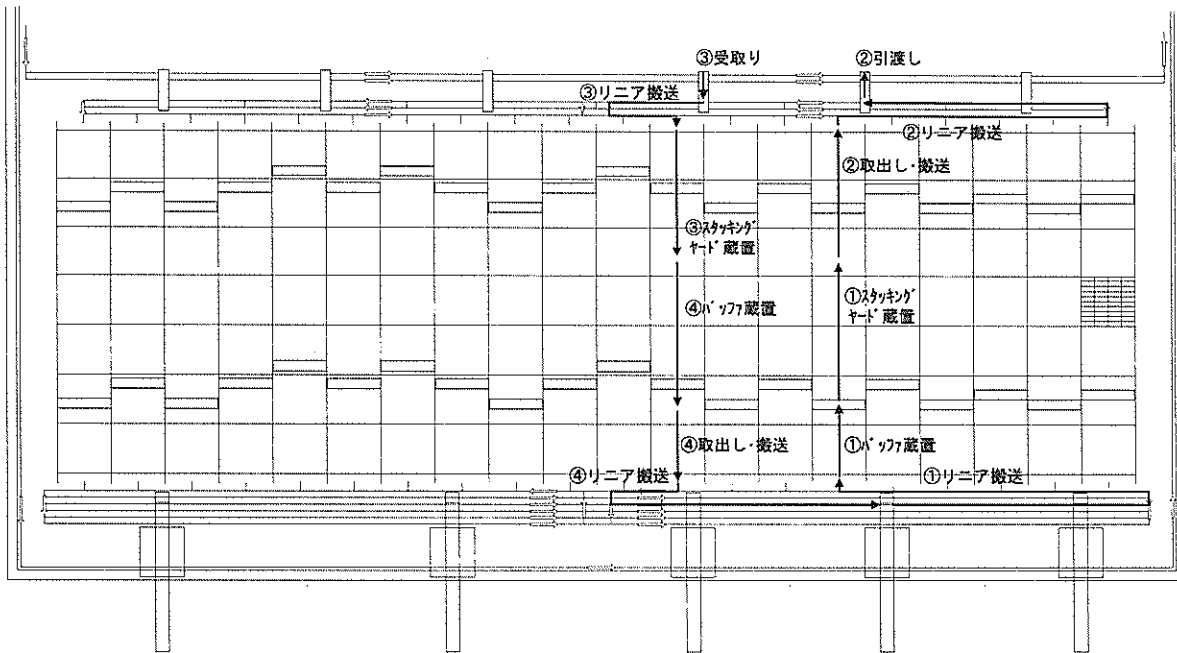
ヤード → 天井クレーン → バッファ → 天井クレーン → リニア → コンテナクレーン → 本船

d) 特徴

本船荷役における天井クレーンの搬送距離が短くてすみ、また船積み時に荷繰りが不要なので、本船荷役能率が向上する。しかし、新たに配置替え荷役が必要である。また、搬出入荷役や配置替え荷役では天井クレーンによる長距離搬送が必要である。また、バッファの分だけ土地活用率が下がる。



無 : 無人 有 : 有人 半 : 半自動



① : 陸揚げ ② : 搬出 ③ : 搬入 ④ : 船積

付図-4.10 OHBC-3

(10) OHBC-4

a) 概要

OHBC-3 に対して、移載機をなくし、かわりに陸側天井クレーンを有人にしたものである。

本船荷役は、コンテナクレーンとバッファ(海側)の天井クレーンとその間を結ぶリニアで行う。搬出入荷役は、ヤード(陸側)の天井クレーンと外来シャシの間で直接行う。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、海側天井クレーンが配置替え荷役を行う。

b) ターミナル配置と機器構成

ターミナルレイアウトを付図-4.11 の上側に示す。海側と陸側に境界を設けて、バッファとヤードに分ける。エプロン・バッファ・この間のリニア動線上は無入領域であり、ターミナル外回り・ヤード・その他は有人領域である。リニアとバッファ用天井クレーンが無入で、コンテナクレーンとヤード用天井クレーンが有人である。

天井クレーンは各レーン 2 台で、バッファ用天井クレーンが、本船荷役と配置替え荷役を行う。配置替え荷役は有人のヤード用天井クレーンとの干渉を避けるためゲート閉門中に行う。ヤード用天井クレーンが、搬出入荷役を行い、運用によってはゲート閉門後に無人化して配置替え荷役も行う。配置替え荷役や搬出入荷役において、例えばヤード内の最も海側のコンテナを搬出する場合は、天井クレーンの長距離搬送が必要である。リニアは本船荷役のみ行い、コンテナクレーンとバッファ用天井クレーンの間を搬送する。

c) コンテナフロー

コンテナフローを付図-4.11 の下側に示す。

① 輸入コンテナ

本船 → コンテナクレーン → リニア → 天井クレーン → バッファ → 天井クレーン → ヤード

② 搬出コンテナ

ヤード → 天井クレーン → 外来シャシ

③ 搬入コンテナ

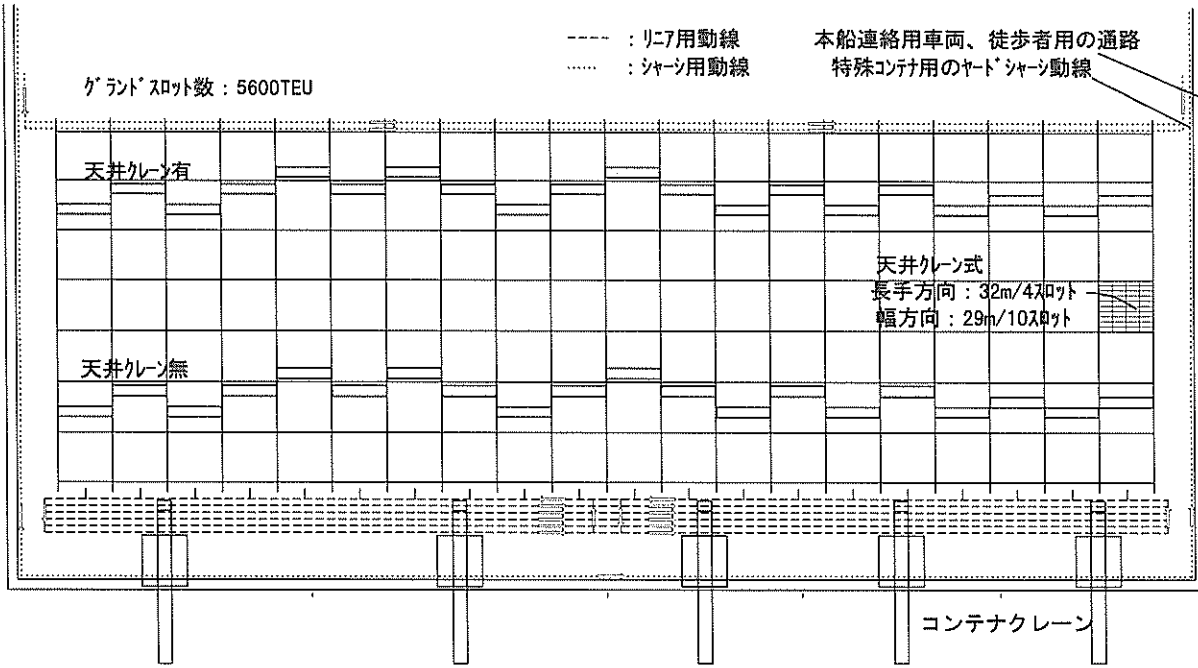
外来シャシ → 天井クレーン → ヤード

④ 輸出コンテナ

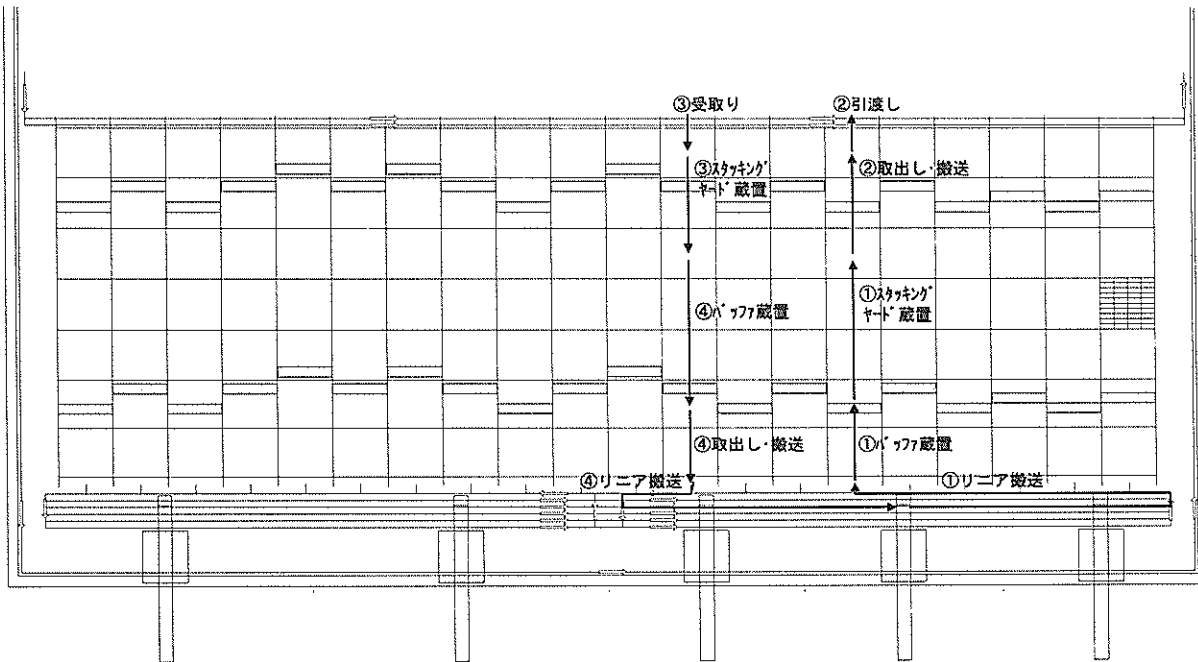
ヤード → 天井クレーン → バッファ → 天井クレーン → リニア → コンテナクレーン → 本船

d) 特徴

TC-3 に比べて、移載機を省いたのでコストが低減し、持ち替え回数が減って自動化容易性が向上する。しかし、有人化する天井クレーンが多いため省力化の効果が小さい。



無 : 無人 有 : 有人 半 : 半自動



① : 陸揚げ ② : 搬出 ③ : 搬入 ④ : 船積

付図-4.11 OHBC-4

(11) CSH-1

a) 概要

次世代コンテナターミナ技術開発調査で提案された立体格納方式(横手型)は、基本要素として、コンテナを格納する棚(ラック)とスタッカクレーンとコンテナ移載機を備え、コンテナ移載機は海陸両側に配備されるAGVと、立体倉庫内のスタッカクレーンの間を岸壁直角方向に走行する。陸側にはAGVと外来シャシーの間を介する移載機がある。詳しくは次世代コンテナターミナ技術開発調査を参照のこと。CSH-1はこの立体格納方式(横手型)に対して、基本的にAGVをリニアにかえただけのものである。

本船荷役は、例えば輸入の場合、コンテナクレーンからリニアそしてコンテナ移載機、そして仮置き棚を介してスタッカクレーンが受け取って棚に格納する。搬出入荷役は、例えば搬入の場合、外来シャシーから移載機そしてリニアそしてコンテナ移載機、そして仮置き棚を介してスタッカクレーンが受け取って棚に格納する。

b) ターミナル配置と機器構成

ターミナルレイアウトを付図-4.12の上側に示す。エプロン・立体倉庫・移載機下の立体倉庫側・これらの間のリニア動線上は無人領域であり、ターミナル外回り・移載機下の陸側・その他は有人領域である。リニアとスタッカクレーンとコンテナ移載機が無人で、コンテナクレーンと移載機が有人である。

コンテナ移載機は、走行と巻きだけで横行のない天井クレーンで、立体倉庫の屋上を岸壁直角方向に走行する。例えば海側のリニアから輸入コンテナを受け取り、所定の岸壁平行方向のスタッカクレーン走行レーンまで搬送して、立体倉庫屋上の仮置き棚に置く。または、陸側のリニアから搬入コンテナを受け取り、所定のスタッカクレーン走行レーンまで搬送して仮置き棚に置く。そして、スタッカクレーンが仮置き棚から取って、岸壁平行方向に搬送して所定の棚に格納する。棚は、スタッカクレーンの両側に奥行き1ラック分の棚が岸壁平行方向に並んでいる。リニアは本船荷役のためにコンテナクレーンと海側コンテナ移載機の間を搬送するものと、搬出入荷役のために移載機と陸側コンテナ移載機の間を搬送するものと2種類あり、両者のリニア動線は分離している。海側のリニア動線は次世代コンテナターミナ技術開発調査では高架となっている。CSH-1では一長一短があり地上動線とした。積み段数は、次世代コンテナターミナ技術開発調査で設定された9段積みとし、後述の立体倉庫も全て9段積みとした。

c) コンテナフロー

コンテナフローを付図-4.12の下側に示す。

①輸入コンテナ

本船 → コンテナクレーン → リニア → コンテナ移載機 → 仮置き棚 → スタッカクレーン → 立体倉庫

②搬出コンテナ

立体倉庫 → スタッカクレーン → 仮置き棚 → コンテナ移載機 → リニア → 移載機 → 外来シャシー

③搬入コンテナ

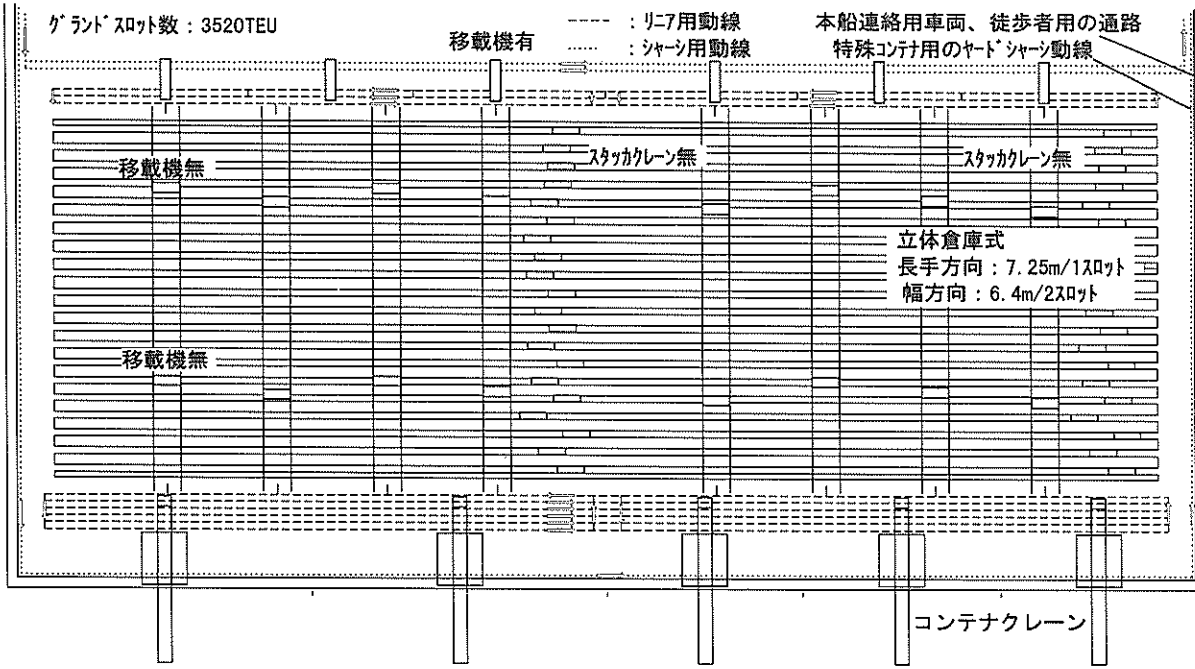
外来シャシー → 移載機 → リニア → コンテナ移載機 → 仮置き棚 → スタッカクレーン → 立体倉庫

④輸出コンテナ

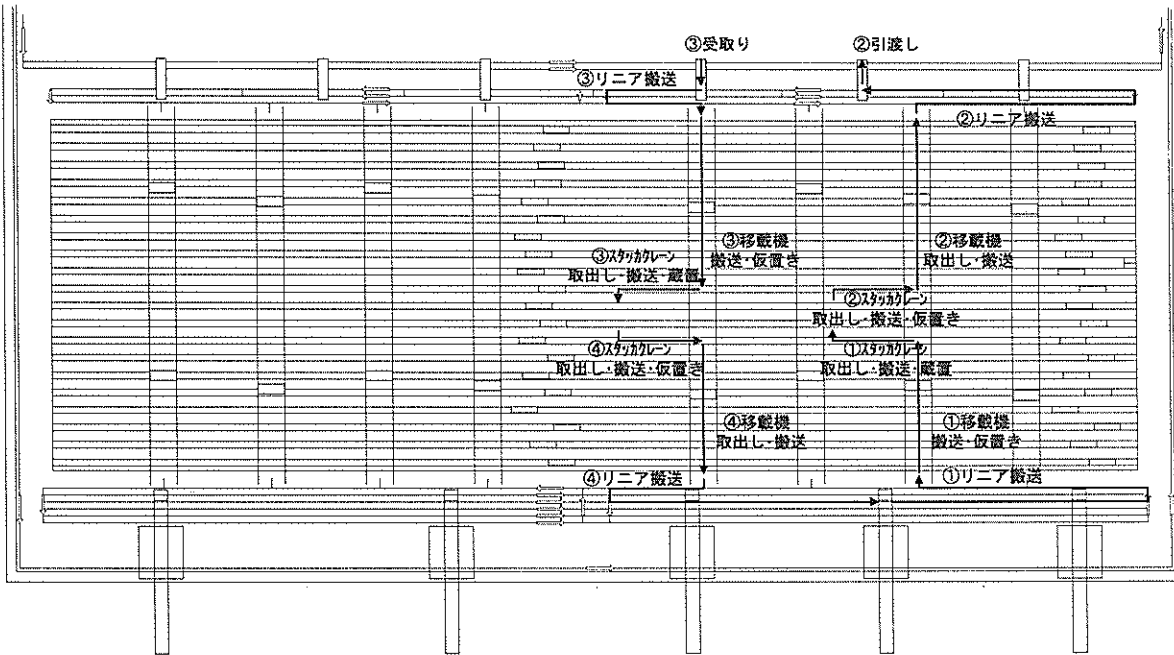
立体倉庫 → スタッカクレーン → 仮置き棚 → コンテナ移載機 → リニア → コンテナクレーン → 本船

d) 特徴

ランダムアクセスが可能で荷繰りが不要な立体倉庫式であるが、構成要素が多く持ち替え回数が多いので、自動化が容易でなく、荷役能率も悪いと思われる。立体倉庫式であり、コンテナ移載機が屋上を走行し、スタッカクレーンが各レーンに配備されるので、コストが高い。



無：無人 有：有人 半：半自動



①：陸揚げ ②：搬出 ③：搬入 ④：船積

付図-4.12 CSH-1

(12) CSH-2

a) 概要

次世代コンテナターミナル技術開発調査で提案された立体格納方式(縦手型)は、コンテナを棚に格納する方向が横手型と異なり、コンテナの長手方向に格納する方式である。基本要素は、コンテナを格納する棚と移載積付機(天井クレーン式スタッククレーンの1種)を備え、移載積付機は、海陸両側に配備されるAGVとコンテナの受け渡しを行い、立体倉庫屋上を岸壁直角方向に搬送して棚へ格納する。陸側にはAGVと外来シャシーの間を介する移載機がある。詳しくは次世代コンテナターミナル技術開発調査を参照のこと。CSH-2はこの立体格納方式(縦手型)に対して、基本的にAGVをリニアにかえただけのものである。

本船荷役は、コンテナクレーンと移載積付機とその間を結ぶリニアで行う。搬出入荷役は、移載積付機が棚から取り出し、陸側リニア動線上へ搬送してリニアに渡し、リニアが移載機へ搬送し、移載機が外来シャシーとコンテナの受け渡しを行う。

b) ターミナル配置と機器構成

ターミナルレイアウトを付図-4.13の上側に示す。エプロン・立体倉庫・移載機下の立体倉庫側・これらの間のリニア動線上は無人領域であり、ターミナル外回り・移載機下の陸側・その他は有人領域である。リニアと移載積付機が無人で、コンテナクレーンと移載機が有人である。

移載積付機は、立体倉庫屋上を岸壁直角方向に走行し、棚へ格納する積付機能を有する天井クレーンである。海側のリニアと立体倉庫の棚、陸側のリニアと立体倉庫の棚の間の、搬送と格納/取出を全て行う。棚は、移載積付機の両側に奥行き1ラック分の棚が岸壁直角方向に並んでおり、従ってコンテナを長手方向に格納する。リニアは、本船荷役のためにコンテナクレーンと海側移載積付機の間を搬送するものと、搬出入荷役のために移載機と陸側移載積付機の間を搬送するものと2種類あり、両者のリニア動線は分離している。

c) コンテナフロー

コンテナフローを付図-4.13の下側に示す。

① 輸入コンテナ

本船 → コンテナクレーン → リニア → 移載積付機 → 立体倉庫

② 搬出コンテナ

立体倉庫 → 移載積付機 → リニア → 移載機 → 外来シャシー

③ 搬入コンテナ

外来シャシー → 移載機 → リニア → 移載積付機 → 立体倉庫

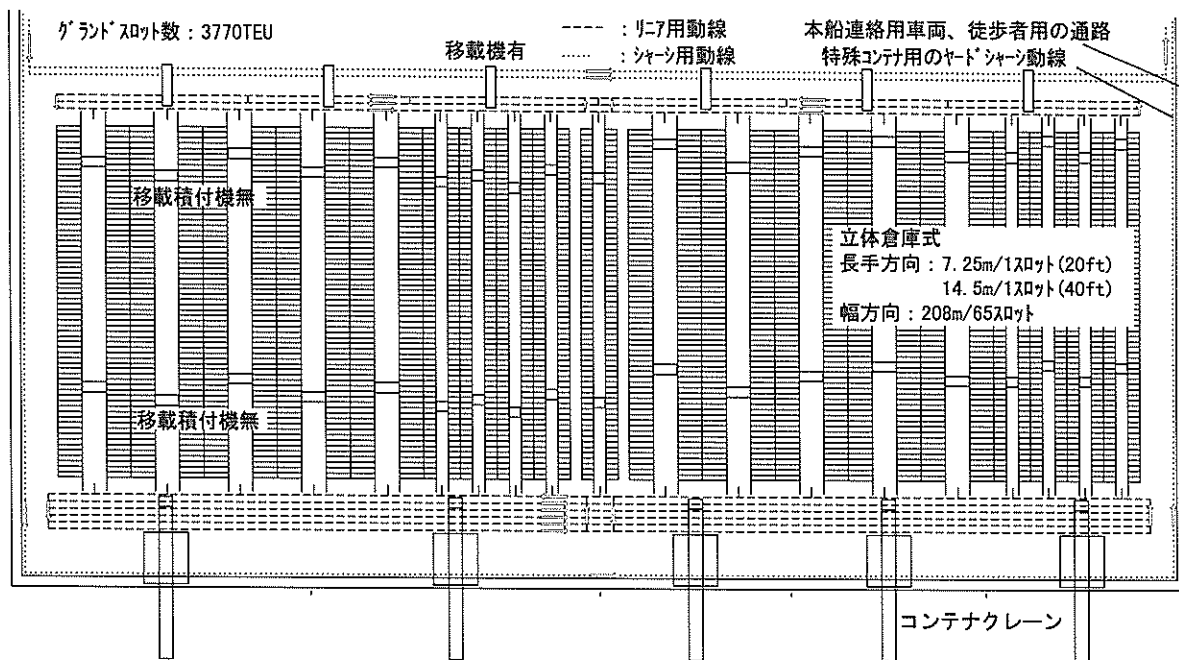
④ 輸出コンテナ

立体倉庫 → 移載積付機 → リニア → コンテナクレーン → 本船

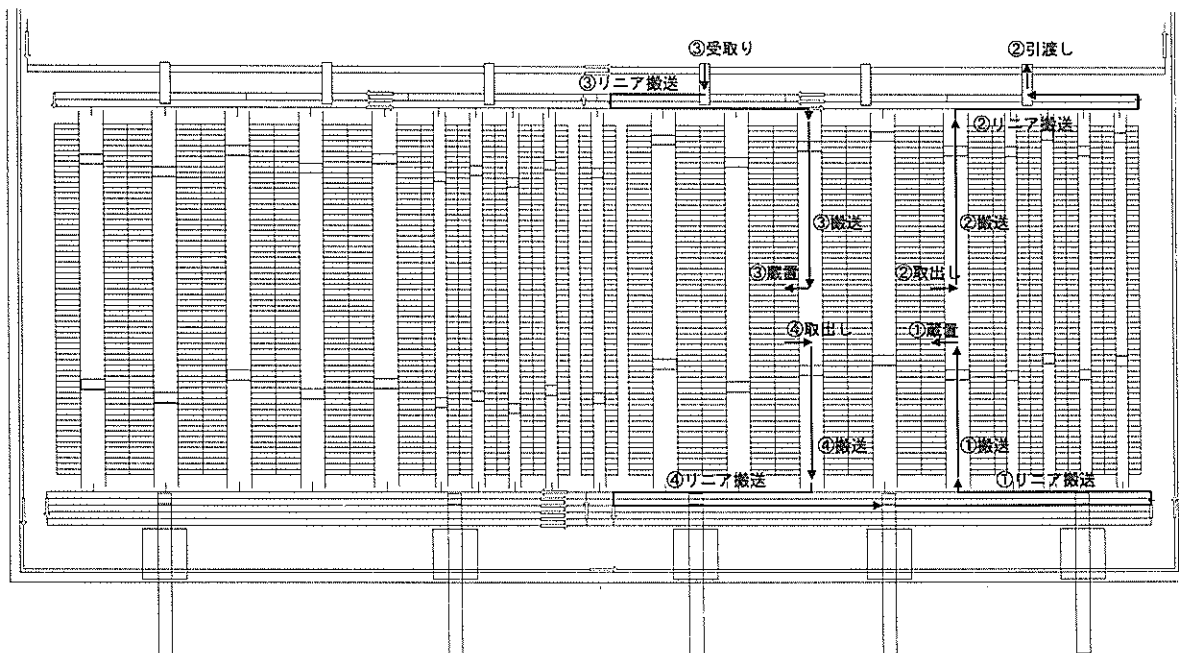
d) 特徴

CSH-1と比較すると、移載積付機がコンテナ移載機とスタッククレーンの両方の役割を果たすので、持ち替え回数が減り、荷役機器台数も低減される。コンテナを長手方向へ格納する積付機構の実現性や、本船荷役中に搬送と格納/取出の両方を行うための高速性などが技術的課題と思われる。移載積付機と棚は20'タイプと40'タイプの2種類が必要である。





無：無人 有：有人 半：半自動



①：陸揚げ ②：搬出 ③：搬入 ④：船積

付図-4.13 CSH-2

(13) CSH-3

a) 概要

CSH-2に対して、荷役能率を上げるため、立体倉庫内の地上に岸壁直角方向にリニア動線を設け、リニアが棚の位置まで進入できるようにしたものである。

本船荷役は、CSH-2と同様、コンテナクレーンと移載積付機とその間を結ぶリニアで行うが、リニアが立体倉庫内の所定位置まで搬送する。搬出入荷役は、移載積付機が棚から取り出してリニアに渡し、リニアが立体倉庫内から移載機へ搬送し、移載機が外来シャーシとコンテナの受け渡しを行う。

b) ターミナル配置と機器構成

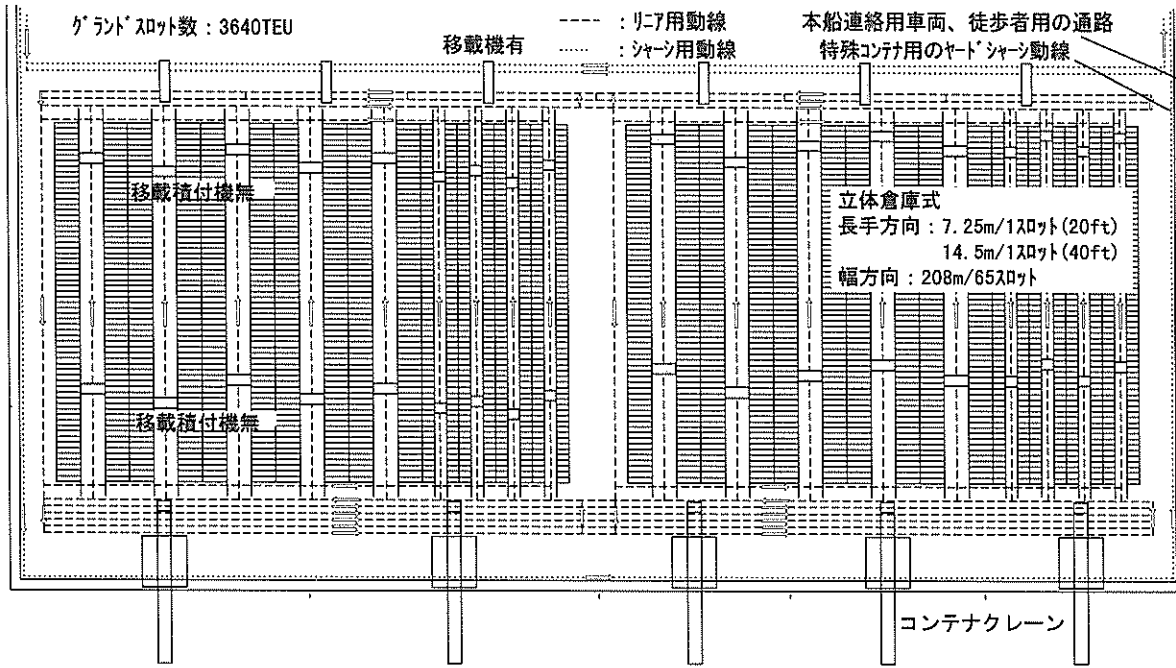
ターミナルレイアウトを付図-4.14の上側に示す。基本的にCSH-2と同じであるが、リニアが立体倉庫内を搬送できるので、移載積付機はコンテナを持って搬送する必要はなくなる。

c) コンテナフロー

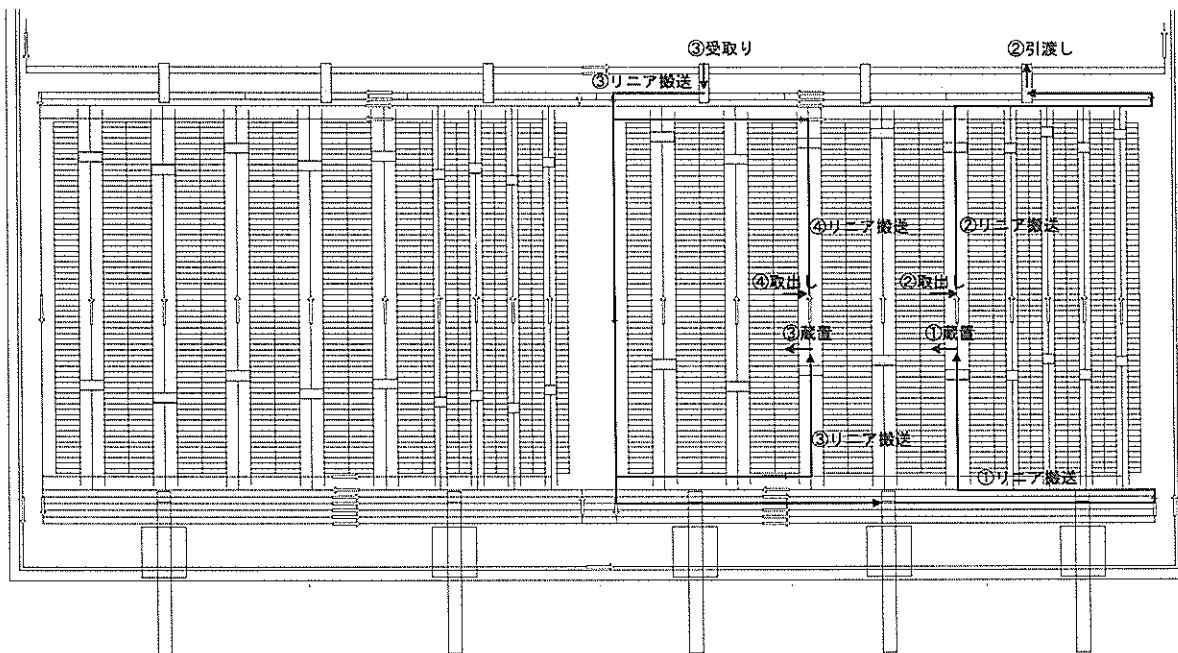
コンテナフローを付図-4.14の下側に示す。CSH-2と同じである。

d) 特徴

CSH-2に比べて、立体倉庫内にリニア動線を設けたので荷役能率が向上する。ただし、20'タイプと40'タイプの2種類のリニアが必要となり、駆動コイルも長くなる。



無：無人 有：有人 半：半自動



①：陸揚げ ②：搬出 ③：搬入 ④：船積

付図-4.14 CSH-3

(14) CSH-4

a) 概要

沿岸開発技術研究センターで提案されたコンテナ自動立体格納装置は、基本要素として、コンテナを格納する棚と特殊天井クレーンを備え、特殊天井クレーンは、立体倉庫屋上を搬送して棚への格納/取出も行う。CSH-3の移載積付機が岸壁直角方向に走行してコンテナの長手方向に格納するのに対し、方向を90°変えた形であり、天井クレーンは岸壁平行方向に走行してコンテナの幅方向に格納する。本船荷役におけるコンテナクレーンと天井クレーンの間の受け渡しは、AGVと海側移載機と親子台車を介する。搬出入荷役における外来シャシーと天井クレーンの間の受け渡しは、AGVと陸側移載機と親子台車を介する。詳しくは船舶用コンテナ自動立体格納装置の研究報告書を参照のこと。CSH-4はこの立体格納装置に対して、基本的にAGVと親子台車をリニアにかえ、海側移載機を省いたものである。

本船荷役は、コンテナクレーンと天井クレーンとその間を結ぶリニアで行う。搬出入荷役は、天井クレーンが棚から取り出してリニアに渡し、リニアが立体倉庫内から移載機へ搬送し、移載機が外来シャシーとコンテナの受け渡しを行う。

b) ターミナル配置と機器構成

ターミナルレイアウトを付図-4.15の上側に示す。エプロン・立体倉庫・移載機下の立体倉庫側・これらの間のリニア動線上は無人領域であり、ターミナル外回り・移載機下の陸側・その他は有人領域である。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。

天井クレーンは、立体倉庫屋上を岸壁平行方向に走行し、特殊吊具には車輪を有するスプレッドドーリが収納されており、ラック内に取り付られたレール上を横移動してラック内へ進入し、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同じく岸壁平行方向に走行し、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し、両者は共通のリニア動線を使う。リニアが所定の棚の所まで搬送するので、天井クレーンがコンテナを持って搬送する必要はない。棚は、天井クレーンまたはリニアの走行路の両側に、奥行き1ラック分の棚が岸壁平行方向に並んでいる。

c) コンテナフロー

コンテナフローを付図-4.15の下側に示す。

① 輸入コンテナ

本船 → コンテナクレーン → リニア → 天井クレーン → 立体倉庫

② 搬出コンテナ

立体倉庫 → 天井クレーン → リニア → 移載機 → 外来シャシー

③ 搬入コンテナ

外来シャシー → 移載機 → リニア → 天井クレーン → 立体倉庫

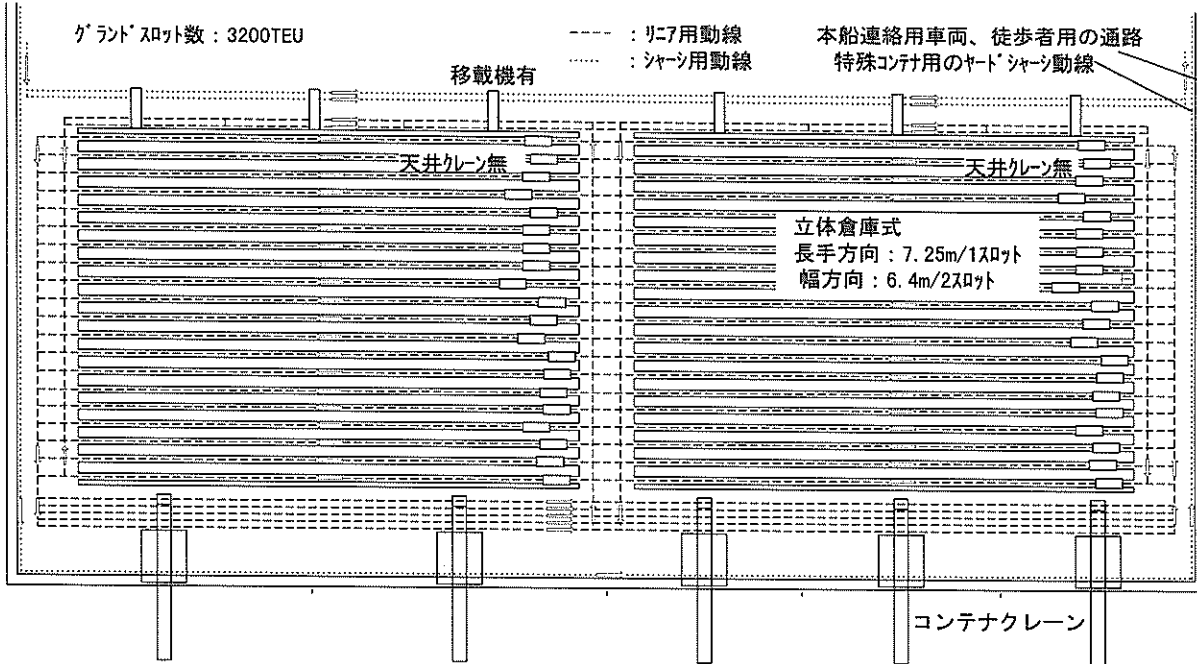
④ 輸出コンテナ

立体倉庫 → 天井クレーン → リニア → コンテナクレーン → 本船

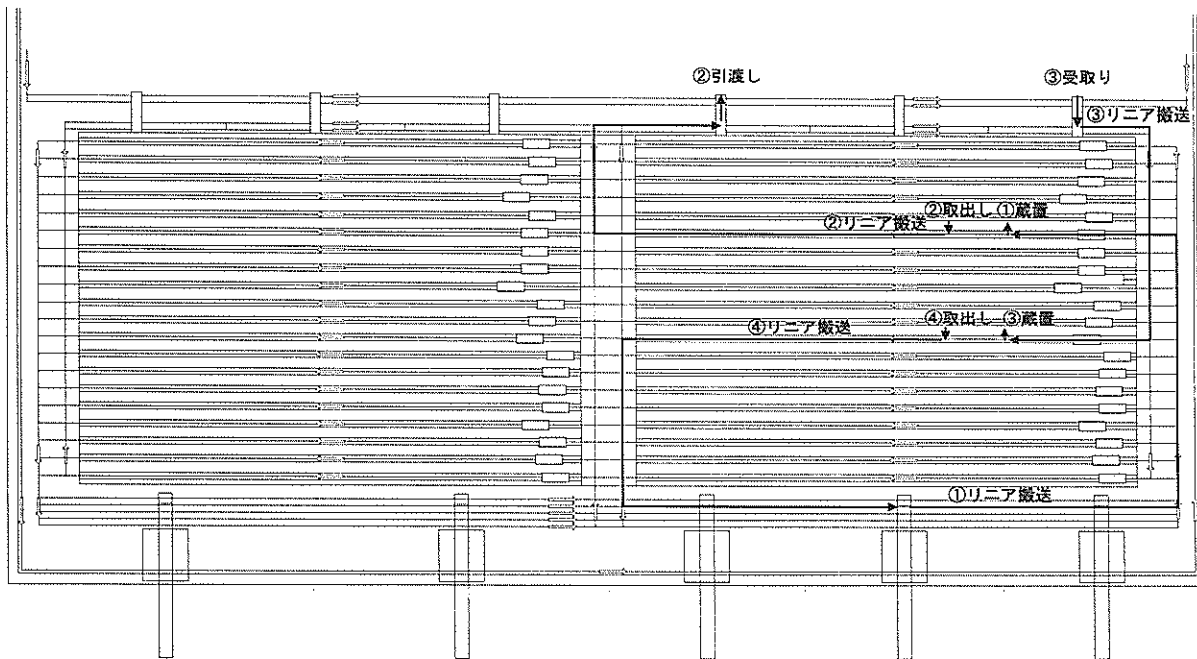
d) 特徴

沿岸センターの立体格納装置では、AGVの走行誘導や停止精度に課題があるとして、立体倉庫内の搬送には親子台車を用いている。リニアは前記課題に対応できると仮定し全面搬送としたので、構成要素と持ち替え回数が減って、コスト低減と自動化容易性が向上する。CSH-3と比較すると、土地活用率が若干下がり駆動コイルも若干長くなるが、20'タイプと40'タイプの2種類のリニアが必要なくなる。また、棚への格納/取出はコンテナの長手方向ではなく幅方向となり容易になると思われる。また、特殊天井クレーンは模型実験により動作確認されている。

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ターミナルシミュレーションによる評価



無：無人 有：有人 半：半自動



①：陸揚げ ②：搬出 ③：搬入 ④：船積

付図-4.15 CSH-4

## (15) CSH-5

## a) 概要

九州大学で提案されたリニア搬送台車を用いた立体倉庫は、全階全面にリニア動線(駆動コイル)の床を設け、リニアは、途中でリフト(エレベータ)にのって所定の階に上がり、ラックまで直接進入して、ラックへの格納/取出もリニアが浮上することによって行う。詳しくはマリーン・エクスプレス構想(Phase-2)に関する調査研究報告書(平成8年度)を参照のこと。CSH-5はこの基本構想を具体化したものである。

本船荷役は、コンテナクレーンと立体倉庫とその間を結ぶリニアが、途中リフトを経由して行う。搬出入荷役は、リニアが立体倉庫から取り出し、リフトで地上に降りて移載機へ搬送し、移載機が外来シャーンとコンテナ受け渡しを行う。

## b) ターミナル配置と機器構成

ターミナルレイアウトを付図-4.16の上側に示す。エブロン・立体倉庫・移載機下の立体倉庫側・これらの間のリニア動線上は無人領域であり、ターミナル外回り・移載機下の陸側・その他は有人領域である。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。

リニアは、立体倉庫の全階全面を岸壁平行方向に走行し、本船荷役においてはコンテナクレーンと所定ラックの間を搬送し、搬出入荷役においては移載機と所定ラックの間を搬送し、両者は共通のリニア動線を使う。棚は、リニアの走行路の両側に奥行き1ラック分の棚が岸壁平行方向に並んでいる。各ラックの床面には長手方向の前後に設置台を間隔を開けて取り付けており、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。

## c) コンテナフロー

コンテナフローを付図-4.16の下側に示す。

## ①輸入コンテナ

本船 → コンテナクレーン → リニア → リフト → リニア → 立体倉庫

## ②搬出コンテナ

立体倉庫 → リニア → リフト → リニア → 移載機 → 外来シャーン

## ③搬入コンテナ

外来シャーン → 移載機 → リニア → リフト → リニア → 立体倉庫

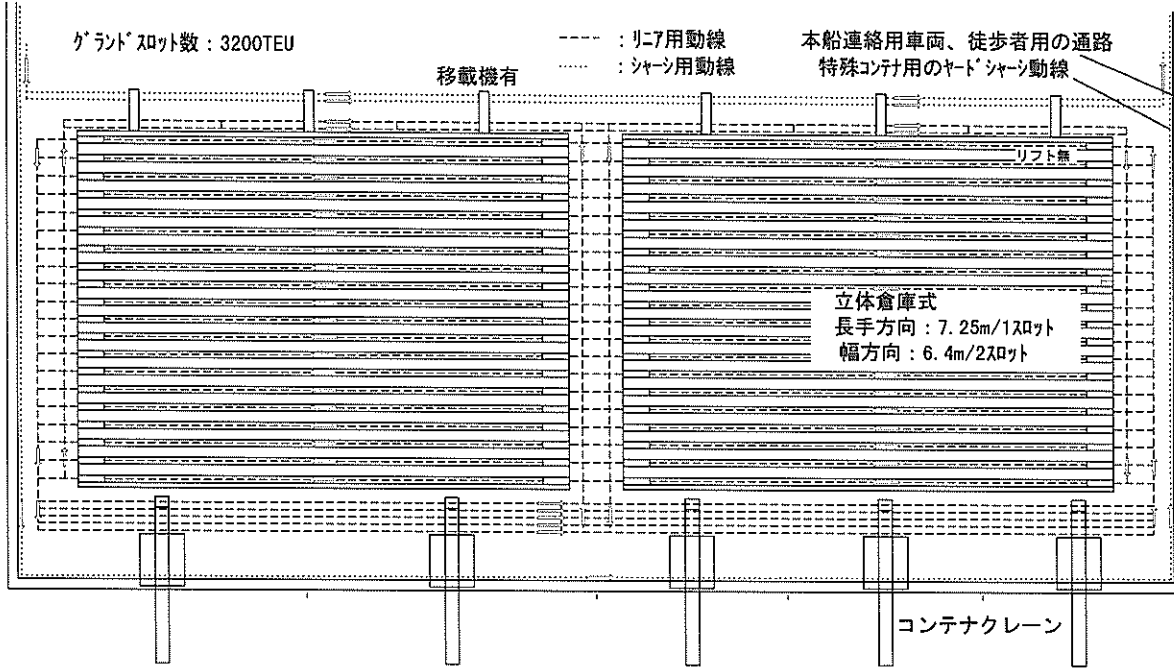
## ④輸出コンテナ

立体倉庫 → リニア → リフト → リニア → コンテナクレーン → 本船

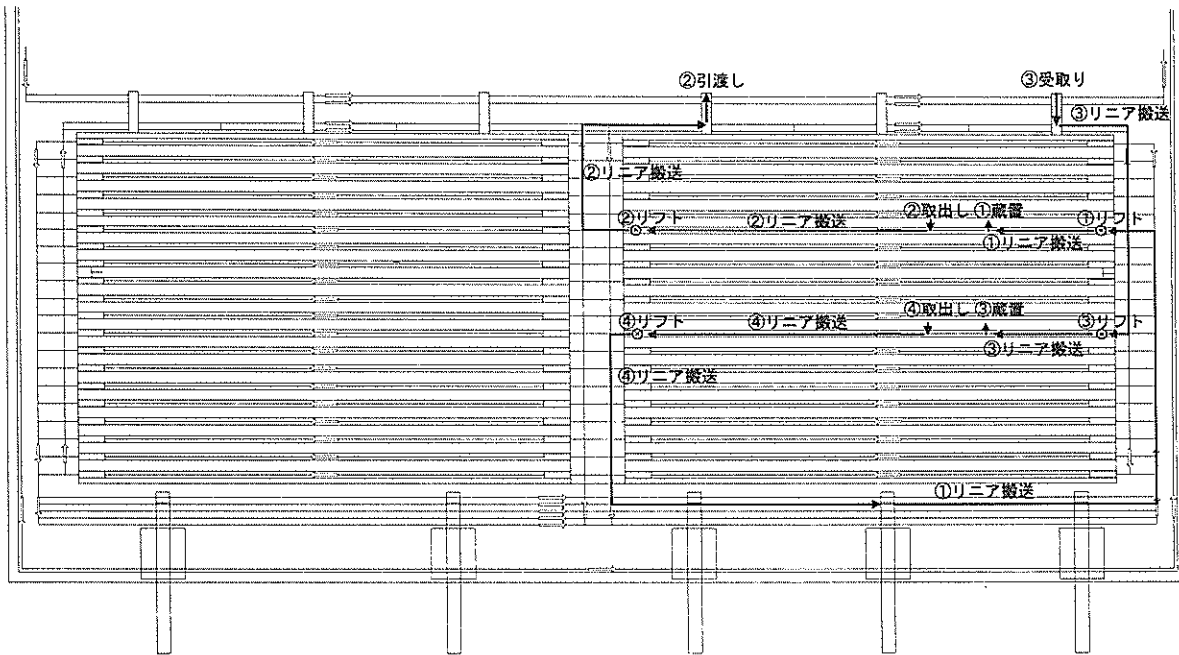
## d) 特徴

CHS-4とレイアウトはほぼ同じであるが、CSH-4に比べて、持ち替え回数が少ないので自動化容易であり、天井クレーンによる搬送と格納/取出はリニアが直接行うので高速化されて荷役能率が向上すると思われる。しかし、駆動コイルが立体倉庫の全階全面に必要なのでコストが高い。また、技術的課題としてリニアを浮上させる必要がある。

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ターミナルシミュレーションによる評価



無：無人 有：有人 半：半自動



①：陸揚げ ②：搬出 ③：搬入 ④：船積

付図-4.16 CSH-5

(16) CSH-6

a) 概要

九州大学で提案された立体倉庫の基本構想をもとにした、もう1つのレイアウト案である。CSH-5と比べて、リニアの走行方向を90°変えた形であり、走行方向は岸壁直角方向とし、ラックへの格納/取出はコンテナの長手方向に行うとしたものである。

本船荷役は、CSH-5と同様、コンテナクレーンと立体倉庫とその間を結ぶリニアが、途中リフトを経由して行う。搬出入荷役も、CSH-5と同様、リニアが立体倉庫から取り出し、リフトで地上に降りて移載機へ搬送し、移載機が外来シャシとコンテナ受け渡しを行う。

b) ターミナル配置と機器構成

ターミナルレイアウトを付図-4.17の上側に示す。エプロン・立体倉庫・移載機下の立体倉庫側・これらの間のリニア動線上は無入領域であり、ターミナル外回り・移載機下の陸側・その他は有人領域である。リニアとリフトが無入で、コンテナクレーンと移載機が有人である。

リニアは、立体倉庫の全階全面を岸壁直角方向に走行し、本船荷役においてはコンテナクレーンと所定ラックの間を搬送し、搬出入荷役においては移載機と所定ラックの間を搬送し、両者は共通のリニア動線を使う。棚は、リニアの走行路の両側に奥行き1ラック分の棚が岸壁直角方向に並んでいる。各ラックの床面には幅方向の前後に設置台を間隔を開けて取り付けており、その間隔はリニア幅よりも広く、コンテナ幅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。

c) コンテナフロー

コンテナフローを付図-4.17の下側に示す。

① 輸入コンテナ

本船 → コンテナクレーン → リニア → リフト → リニア → 立体倉庫

② 搬出コンテナ

立体倉庫 → リニア → リフト → リニア → 移載機 → 外来シャシ

③ 搬入コンテナ

外来シャシ → 移載機 → リニア → リフト → リニア → 立体倉庫

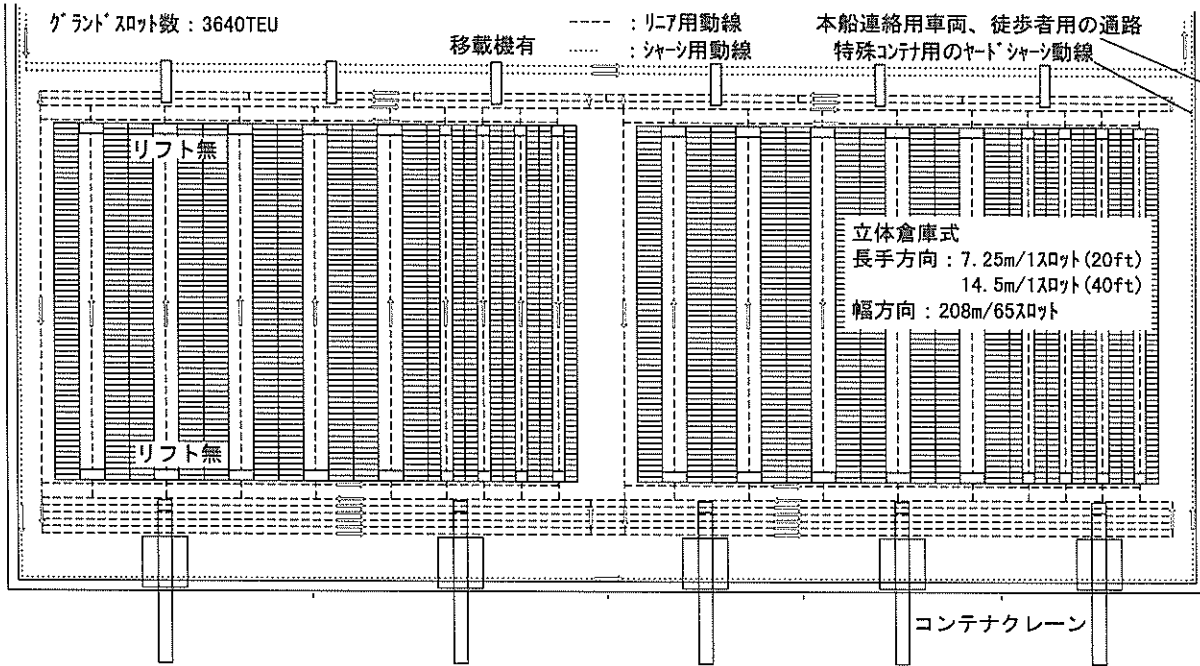
④ 輸出コンテナ

立体倉庫 → リニア → リフト → リニア → コンテナクレーン → 本船

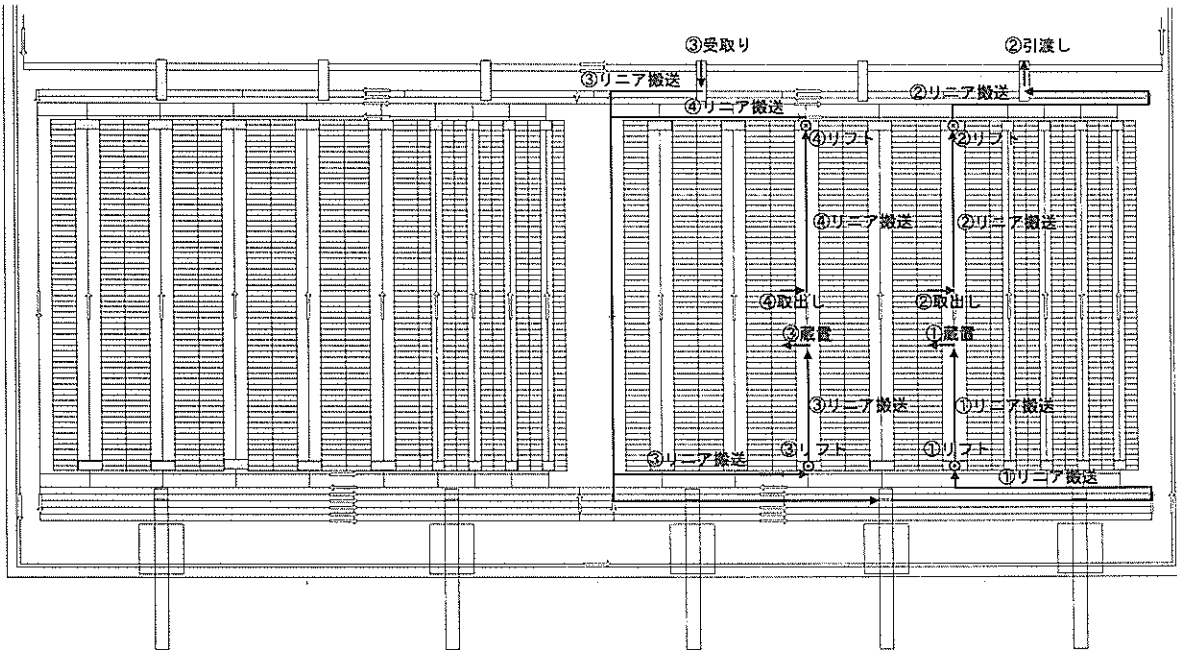
d) 特徴

CSH-5に比べて、土地活用率が若干向上し駆動コイルも若干短くなる。しかし、20'タイプと40'タイプの2種類のリニアが必要となる。





無：無人 有：有人 半：半自動



①：陸揚げ ②：搬出 ③：搬入 ④：船積

付図-4.17 CSH-6

## 付録5. 本船荷役専用バッファについての検討

本船荷役専用バッファとは、自動化を目指したイギリスのテムズ港や川崎港東扇島で採用されており、例えば海側から見て左側 80%位を通常のヤードとして使用し、右側 20%位をバッファとして使用するというもので、以下に述べるようなコンテナの一時保管場所である。

- ①輸出コンテナを、船積みの事前に、船積順序にもとづいて並べ替えて一時保管する場所である。
- ②輸入コンテナを、陸揚げ時に、矢継ぎ早に一時保管する場所である。
- ③ヤードとは分離した、外来シャーシや搬出入作業台車の進入のない場所である。  
これらにより、以下の利点が得られる。
- ①船積みの時に、荷繰りの必要がなく、外来シャーシや搬出入作業台車との混雑もないので、船積みを短時間で行うことができる。また、自動化も容易になる。
- ②陸揚げの時に、外来シャーシや搬出入作業台車との混雑がないので、陸揚げを短時間に行うことができる。また、自動化も容易になる。
- ③搬送台車の走行距離が短くてすむので、船積みや陸揚げを短時間で行うことができる。

つまり、本船荷役専用バッファの狙いは、本船荷役の効率向上および自動化容易性の向上であり、これにより、船社へのサービス向上および自動化実現による省力化を図ることができる。本船荷役前後にヤード・バッファ間の配置替え荷役が余分に発生することになるが、一般に存在する空き時間を利用することで、トータルでも効率化と省力化が図れるものと推測する。ただし、立体倉庫方式については、もともと荷繰りが必要ないことからバッファは必要ないと考える。

バッファの蔵置規模については、今回想定した付表-3.1に示した本船荷役スケジュールでは、木曜日の2船同時荷役日に必要容量が最大になる。蔵置量は、本船荷役開始前に2船分の船積みコンテナ全てが蔵置されて $530+500=1030$ 個となる。本船荷役はまず陸揚げから始まるので、付録3の仮定のもとでは40個×5基のコンテナが陸揚げされて計1230個となる。この後は、船積みと陸揚げが交互に繰り返されて蔵置量はほぼ一定状態が続き、最終的には陸揚げコンテナのみとなる。今回の想定では陸揚げコンテナ数よりも船積みコンテナ数の方が多いので、上記した1230個が最大蔵置量となる。実際にはバッファ内に偏りが生じて、あるブロックの容量

が足りなくなる等が考えられるので、10%の余裕を見込むものとし、 $1230/0.9=1367$ 個をバッファの必要容量とした。

## 付録6. ブロック分けについての検討

ブロック分けの仕方として、(1)~(3)の3つの案を検討した。

(1) 輸出入毎かつ各船毎でブロック分けし、各々の最大蔵置個数を確保する場合

各船の荷役個数は付表-3.1に示した通りである。また、搬出入パターンは付表-3.2に示した通りであり、荷役開始日の7日前からターミナルに搬入され始め、搬出は荷役終了日の15日後までかかるとしているので、搬入(輸出)コンテナは各船種毎に1~2隻分、搬出(輸入)コンテナは各船種毎に2~3隻分が蔵置される。従って、各々のブロックに必要な蔵置規模は付表-6.1となる。合計は2.2節(3)想定した蔵置規模5340個を大幅に上回り、実際の最大滞留個数の割合で評価すると28%となった。

(2) 輸出入毎ではブロック分けするが、各船毎にはブロック分けせず船種毎に一体とする場合

各船の蔵置量のピーク日にはずれがあるので、各船毎ではなく船種毎に一体にすれば、確保すべき領域は小さくてすむ。この場合の必要蔵置規模の計算結果を付表-6.2に示す。合計は2.2節(3)想定した蔵置規模5340個より約600個を大きくなり、実際の最大滞留個数の割合で評価すると63%となった。

(3) 輸出入毎でブロック分けせず、船種毎のみでブロック分けする方法

通常、輸出コンテナが増すと輸入コンテナが減る関係にあるので、輸出入を分離しなければさらに蔵置効率は向上する。この場合の必要蔵置規模の計算結果を付表-6.3に示す。当然、(1)や(2)に比べて少なくてすみ、実際の最大滞留個数の割合で評価すると78%となった。

以上により、最大滞留個数が70%となるように想定した必要蔵置規模5340個におさまるのは(3)のみであるが、一方で荷繰り回数が増加する等のヤードオペレーションの複雑化が予想される。そこで(2)を基本として、ブロック間の境界を一部不定にすることで70%をクリアする工夫を行った。内容は3.2節(1)で述べた通りである。

付表-6.1 各ブロックに必要な蔵置規模

船種	A	B	C	D	E	F	G	H	合計
輸出	530×2 =1060	300×2 =600	255×2 =510	530×2 =1060	500×2 =1000	100×2 =200	380×2 =760	80×2 =160	5350
輸入	480×3 =1440	270×3 =810	255×3 =765	480×3 =1440	120×3 =360	550×3 =1650	100×3 =300	430×3 =1290	8055

付表-6.2 各ブロックに必要な蔵置規模

船種	A	B	C	D	E	F	G	H	合計
輸出	530	300	255	530	500	100	380	80	2675
輸入	585	329	311	585	146	670	122	524	3272

付表-6.3 各ブロックに必要な蔵置規模

船種	A	B	C	D	E	F	G	H	合計
輸出	813	459	418	813	571	712	439	558	4783

## 付録7. 蔵置管理ロジック

蔵置位置の決定や取出位置の検索を行うための具体的なロジック案を作成した。

### ①ヤード管理データ

- ヤードの各スロットに以下の属性データを持たせる。
- ・船種(A~H)・種類(輸入/輸出)・コンテナ有無(有/無)
- ・船番号(1~\*)・コンテナ番号(1~\*)

船種と種類については、図-2のブロック分けに基づいて予めセットしておく。コンテナ有無、船番号、コンテナ番号については、蔵置や取り出しのつど書き換える。実際には、種類として輸出入以外に積替やリーファや特殊コンテナ等も追加する必要があるが、今回は考慮しなかった。

### ②バッファ管理データ

- バッファの各スロットに以下の属性データを持たせる。
- ・船種(A~H)・種類(輸入/輸出)・コンテナ有無(有/無)
- ・コンテナ番号(1~\*)

基本的にヤード管理データと同じであるが、同一船種内に異なる船のものは存在しないので、船番号の属性は必要ない。

### ③蔵置位置決定ロジック

ヤードに蔵置する場合はヤード管理データを、バッファに蔵置する場合はバッファ管理データを参照し、スロットの属性である船種が対象としているコンテナの属性(搬入または陸揚げ時に設定)と一致し、種類が例えば搬入の場合は輸出で、コンテナ無しのスロットのうち、不定境界から最も遠いベイ、ベイ内で最下段で最端(例

例えば最も陸側)、最端(例えば最も陸側)のレーンの優先順位で、蔵置するスロット位置を検索する。これにより3.2節(2)で述べた蔵置位置決定方法が実現できる。

### ④取出位置決定ロジック

ヤードから取り出す場合はヤード管理データを、バッファから取り出す場合はバッファ管理データを参照し、スロットの属性である船番号(バッファ管理データの場合は船種)が対象としている船のものであり、種類が例えば搬出の場合は輸入で、コンテナ番号が対象としているコンテナのものであるスロット位置を検索する。

付録 8. リニアターミナルの計測結果の詳細

付表-8.1 トランスファークレーン式リニアターミナルの計測結果の詳細

測定条件	測定項目				測定結果					
	パラメータ	単位	設定値	参考値	測定項目	単位	D4	E4	A4	
荷役機械	コンテナ	基数	5		コンテナ/クレーン	sec	0 (837)	--	0 (604)	
	クレーン	荷役速度	40		待ち時間	sec	0 (772)	--	0 (548)	
	リニア台車	台数	25	7/CC		CC1	sec	0 (683)	--	0 (528)
		速度	m/s	7	3.5or6	CC2	sec	--	125 (577)	--
		加速度	m/s <sup>2</sup>	1.5	0.5	CC3	sec	--	102 (516)	--
RMG	CC 毎設定台数	台	4/5		CC4	sec	1 (1318)	--	0 (1089)	
	走行速度	m/s	6	3	CC5	sec	88 (1298)	--	0 (1097)	
	走行加速度	m/s <sup>2</sup>	0.3	0.33	コンテナ/クレーン船積	sec	94 (1335)	--	0 (1087)	
	横行速度	m/s	2.5	2.5	待ち時間	sec	--	436 (2339)	--	
	横行加速度	m/s <sup>2</sup>	0.71	0.71	CC1	sec	--	795 (2763)	--	
	巻速度	m/s	2	0.95	輸入配置替え所要時間	hr	(C4) 2.4		(H3) 3.6	
	巻加速度	m/s <sup>2</sup>	0.8	0.38	輸出配置替え所要時間	hr	(D4) 9.2	(E4) 8.6	(A4) 4.4	
	外来シャシー	速度	km/h	35	30or35	平均	sec	410	421	417
		加速時間	sec	10		最大	sec	745	854	1018
		処理速度	min	2		最小	sec	366	380	366
ゲート	ゲート開門時刻		8:00~17:00		平均	sec	441	453	439	
	本船荷役開始時刻		9:00		最大	sec	810	671	860	
					輸出配置替え荷繰回数	回	366	380	364	
					搬出荷繰り回数	回	279	267	283	
					リニア走行頻度	回	447	107	435	
					平均	sec	177			
					最大	sec	447			
					最小	sec	107			
					リニア連続運転時間	hr	9.0		8.9	

※ 1 測定条件の参考値  
 リニア台数・速度・加速度の参考値はロッタルダ AECT の AGV より、6m/s は稼働予定のもの、RMG 走行速度の参考値は川崎港より、走行加速度の参考値は HIT より、RMG の横行・巻きの速度・加速度の参考値は HIT より、巻きの速度・加速度は 20t 吊り時のもの。  
 ※ 2 CC 待ち時間の測定結果  
 陸場または船積開始時の 1 台目のリニア到着待ち時間は含まない。カッポ内は 1 台目のリニア到着待ち時間も含まれたもの。  
 D 陸場：480 個、4.0H. E 陸場：120 個、1.5H. D 船積：530 個、4.4H. E 船積：500 個、6.3H.  
 ※ 3 外来シャシー搬入/搬出所要時間は、クレーン入口～出口ゲート到着までの時間のこと。  
 ※ 4 リニア走行頻度とは、ある点を 1 台目が通ってから、10 台目が来るまでの時間のこと。

付録9. 従来ターミナルの計測結果の詳細

付表-9.1 従来ターミナルの計測結果の詳細

測定条件		測定項目				測定結果							
荷役機械	パラメータ	単位	設定値		単位	ケース1				ケース2			
			ケース1	ケース2		D1	E1	A1	D4	E4	A4		
コンテナクレーン	基数	基	5	5	CC1	764 (1778)	-	0 (773)	115 (1118)	-	0 (822)		
	荷役速度	個/h	40	40	CC2	572 (1461)	-	41 (722)	88 (985)	-	0 (638)		
	台数	台	22	25	CC3	1486 (3205)	-	64 (778)	357 (1346)	-	0 (708)		
	速度	km/h	35	7	CC4	-	3 (543)	-	-	296 (812)	-		
	加速度	m/s <sup>2</sup>	0.97	1.5	CC5	-	24 (387)	-	-	200 (601)	-		
RTG	CC 毎設定台数	台	3/4	4/5	コンテナ/船積待ち時間	19044 (21073)	-	14990 (17866)	5453 (7303)	-	4266 (5543)		
	走行速度	m/s	2.25	6	コンテナ/船積待ち時間	17794 (20012)	-	15190 (17629)	6147 (7781)	-	3808 (5143)		
	走行加速度	m/s <sup>2</sup>	0.3	0.3	CC1	17433 (19512)	-	16351 (18488)	5255 (6735)	-	4401 (5965)		
	横行速度	m/s	1.17	2.5	CC2	-	15808 (19030)	-	-	6847 (9361)	-		
	横行加速度	m/s <sup>2</sup>	0.5	0.71	CC3	-	16157 (18736)	-	-	6173 (8856)	-		
外來シヤーン	巻速度	m/s	0.87	2	平均	445	430	394	415	457	405		
	巻加速度	m/s <sup>2</sup>	0.35	0.8	最大	1297	1145	690	789	1118	800		
	速度	km/h	35	35	最小	359	376	348	354	381	348		
	加速時間	sec	10	10	平均	-	-	-	490	526	466		
	処理速度	min	2	2	最大	-	-	-	1316	1104	963		
ゲート	ゲート開門時刻		8:00~17:00	最小	-	-	-	369	407	364			
本船荷役開始時刻	本船荷役開始時刻		9:00		外來シヤーン搬入所要時間								
					外來シヤーン搬出所要時間								

付録10. 見積り数値の詳細 (T/C式リニアターミナル)

付表-10.1 ランニングコスト (荷役機械)

大項目	小項目	単価 千円	償却年 年	従来ターミナル		リニアターミナル		備考	
				台数	年間償却費 千円/年	台数	年間償却費 千円/年		
償却費	コンテナクレーン	1,000,000	15	5	300,000	5	300,000	年間償却費は、購入価格より10%減じた額を償却年数で除した。 金利は利率5.5%とし、初年度金利と終年度金利の平均にした。	
	RTG	120,000	15	14	100,800	0	0	0	
	ヤードトラクタ	9,000	7	22	25,456	0	0	0	
	ヤードシャシ	3,000	7	22	8,486	0	0	0	
	RMG	300,000	15	0	0	12	216,000	RTGは、6列1シャシ、4段積+1段リフトを想定している。 ヤードトラクタの台数は裏カメラより	
	リニア台車	50,000	10	0	0	25	112,500	RMGは、6列1シャシ、5段積+1段リフトを想定している。	
大項目	駆動コイル	1,000/m	15	0	0	6.7km	402,000	リニア台車、駆動コイルの単価は暫定値。	
	小計				625,702		1,485,625	参考値としてAGVは50,000千円。	
保守費	小項目	単価 との 比率	保守費 千円 /台年	従来ターミナル 台数	総保守費 千円/年	リニアターミナル 台数	総保守費 千円/年	備考	
	コンテナクレーン	0.02	20,000	5	100,000	5	100,000	リニア台車や駆動コイルの比率はAGVと同じと仮定した。	
	RTG	0.02	2,400	14	33,600	0	0		
	ヤードトラクタ	[0.0333]	300	22	6,600	0	0		
	ヤードシャシ	[0.0333]	100	22	2,200	0	0		
	RMG	0.02	6,000	0	0	12	72,000		
	リニア台車	0.03	1,500	0	0	25	37,500		
	駆動コイル	0.03	30	0	0	6.7km	201,000		
	小計				142,400		410,500		
	電力	小項目	消費電力 kW/台	電力 料金 円/kWh	従来ターミナル 台数	稼働時間 hr/年	リニアターミナル 台数	稼働時間 hr/年	備考
		コンテナクレーン	500	20	5	12251	5	7465	コンテナクレーン、リニア、駆動コイルの稼働時間は、本船荷役時間。
		RTG	300	40(円)	14	56297	0	0	ヤードRMGの稼働時間は、ゲート開門時間。
		ヤードトラクタ	10(1/台)	40(円)	22	79772	0	0	ヤードRMGの稼働時間は、本船荷役時間+配置替え時間。
		ヤードシャシ	-	-	22	0	0	0	ヤードトラクタの稼働時間は、本船荷役時間。
RMG(ヤード)		300	20	0	0	6	28777	RTGの稼働時間は、ゲート開門~(ゲート閉門or本船荷役終了の早い方)。	
RMG(ヤード)		300	20	0	0	6	19710	リニア台車、駆動コイルの消費電力は暫定値。	
リニア台車		300	20	0	0	25	54698		
駆動コイル		300	20	0	0	6.7km	2188		
小計					492,201		706,888		
合計					1,260,303		2,603,013		

付表-10.2 ランニングコスト（土木基礎その他）

大項目	中項目	小項目	単価	償却		従来ターミナル		リニアターミナル		備考		
				年	数量	年間償却 千円/年	数量	年間償却 千円/年	金利 千円/年			
償却費	土木基礎	岸壁	15000千円/m	50	700m	189,000	288,750	700m	189,000	288,750	岸壁幅70m想定。レール込み。	
		地盤改良	32千円/m <sup>2</sup>	50	19.6ha	112,896	172,480	16.94ha	97,574	149,072	岸壁幅以外部分。	
		シャシ走行路	42千円/m	15	15400m	38,808	17,787	9500m	23,940	10,973	シャシ走行路は幅3.5mのASTM舗装。	
		リニア走行路	42千円/m	15	0	0	0	6700m	16,884	7,739	リニア走行路はシャシと同じと仮定した。	
		RTG走行路	1000千円/m	15	4102m	246,120	112,805	0	0	0	駆動軸以外に必要であろう舗装分のこと。	
		RMG走行路	1500千円/m	15	0	0	0	3780m	340,200	155,925	RTG走行路は幅2mのPC板、両側分。	
		コンテナ置場	240千円/TEU	15	3444TEU	49,594	22,730	3384TEU	48,730	22,334	RMG走行路は砂礫+コンクリート+ロック+鋼材。	
		簡易舗装	8千円/m <sup>2</sup>	25	165800m <sup>2</sup>	18,950	14,476	54600m <sup>2</sup>	15,725	12,012	コンテナ置場は両端部にPC板。	
		小計				1,284,396			1,378,858		4,400	荷重のかからない所はASTMで簡易舗装、簡易舗装は、ヤード外の陸側部とした。
		付帯設備				20	1	7,200	4,400	1	7,200	33,000
保守費	システム	管理システム	160,000千円	5	1	54,000	8,250	1	180,000	27,500	管理S：従来：300,000,リニア：1,000,000	
		制御システム	1,200,000千円	15	1	6,000	2,750	1	30,000	13,750	制御S：従来：100,000,リニア：500,000	
		モニタリングシステム	100,000千円	10	1	9,000	2,750	1	9,000	2,750		
		小計				82,750			263,000			
		土木基礎				1,527,210			1,801,922			
		付帯設備				0			0			必要なし。
		システム				1,600			1,600			ゲートにのみ必要、単価との比率0.01。
		小計				0			0			必要なし。
		電力燃料費				1,600			1,600			必要なし。
		付帯設備				0			0			必要なし。
システム				10,512			10,512			120kW, 20円/kWh, 4380hr/年より算出。		
小計										上記の照明その他に含まれると仮定。		
合計						1,539,322		1,814,034				
土地代						1,264,200		1,126,944				
合計（土地代含まず）				24.5ha		1,539,322		1,814,034				
合計（土地代含む）						2,803,522		2,940,978				

付表-10.3 ランニングコスト (人件費)

大項目	小項目	人件費 千円/年人	従来ターミナル		リニアターミナル		備考	
			人数	人件費 千円/年	人数	人件費 千円/年		
職員	ゲート受渡し		12		12			
	ゲート損傷フェック		8		8			
	ヤード管制担当		8		8			
	本船荷役計画担当		10		10			
	輸出入業務担当		9		9			
	輸出入業務担当		8		8			
	メンテナンス担当		16		16			
	商務・経理担当		7		7			
	小計		12,000	78	936,000	78	936,000	
	直接作業員	コンテナクレーン		67		67		クレーン運転...2人/基/台*3基*2/台=12人
	RTG		56		0		船内岸壁作業員...8人/基/台*3基*2/台=48人	
	ヤードトラクタ		44		0		シブ・サマツ...1人/基/台*3基*2/台=6人	
	RMG		0		24		ワダツ...1人/船*1船=1人	
	リレー		0		0		RTG...2人/台/台*14台*2/台=56人	
小計		10,000	167	1,670,000	91	910,000	ヤードトラクタ...1人/台/台*22台*2/台=44人	
合計				2,606,000		1,846,000	RMG...2人/台/台*6台*2/台=24人	



付表-10.4 イニシャルコスト

大項目	小項目	単価	従来ターミナル		リニアターミナル		備考	
			数量	費用 千円	数量	費用 千円		
荷役機械	コンテナクレーン	1,000,000千円/台	5	5,000,000	5	5,000,000		
	RTG	120,000千円/台	14	1,680,000	0	0		
	ヤードコッタ	9,000千円/台	22	198,000	0	0		
	ヤードシャシ	3,000千円/台	22	66,000	0	0		
	RMG	300,000千円/台	0	0	12	3,600,000		
	リニア台車	50,000千円/台	0	0	25	1,250,000		
	駆動コイル	1,000千円/m	0	0	6700m	6,700,000		
	小計			6,944,000		16,550,000		
	土木基礎	岸壁	15000千円/m	700m	10,500,000	700m	10,500,000	
		地盤改良	32千円/m <sup>2</sup>	19.6ha	6,272,000	16.94ha	5,420,800	
シャシ走行路		42千円/m	15400m	646,800	9500m	399,000		
リニア走行路		42千円/m	0	0	6700m	281,400		
RTG走行路		1000千円/m	4102m	4,102,000	0	0		
RMG走行路		1500千円/m	0	0	3780m	5,670,000		
コンテナ置場		240千円/TEU	3444TEU	826,560	3384TEU	812,160		
簡易舗装		8千円/TEU	65800m <sup>2</sup>	526,400	54600m <sup>2</sup>	436,800		
小計				22,873,760		23,520,160		
付帯設備		ゲート	160,000千円	1	160,000	1	160,000	
	管理棟	1,200,000千円	1	1,200,000	1	1,200,000		
	照明	250,000千円	1	250,000	1	250,000		
	受変電	500,000千円	1	500,000	1	500,000		
	その他	550,000千円	1	550,000	1	550,000		
	小計			2,660,000		2,660,000		
システム	管理シフトA		1	300,000	1	1,000,000		
	制御シフトA		1	100,000	1	500,000		
	モニタリングシフトA		1	100,000	1	100,000		
小計			500,000		1,600,000			
合計			32,977,760		44,330,160			

なお、駆動コイルを 100 万円/m，リニア 1 台当たりの電力消費量を 150kW と仮定した場合の経済性評価結果を付表 10.5 に示す。これによると、ランニングコストについて、自動化による人件費削減効果が 7.6 億あるものの、荷役機械償却費の増分が大きく、合計額で従来の 111%とコスト増となる。

付表 10.5 経済性評価

	項目	リニアターミナル	従来ターミナル	
ランニングコスト (千円/年)	荷役機械償却費	1,485,625	625,702	
	荷役機械保守費	410,500	142,400	
	荷役機械電力燃料費	706,888	492,201	
	土木基礎	1,378,858	1,284,396	
	付帯設備	172,176	172,176	
	システム	263,000	82,750	
	職員人件費	936,000	936,000	
	直接作業員人件費	910,000	1,670,000	
	土地代	1,126,944	1,264,200	
	合計	7,389,991	6,669,825	
	イニシャルコスト (千円)	荷役機械	16,550,000	6,944,000
		土木基礎	23,520,160	22,873,760
付帯設備		2,660,000	2,660,000	
システム		1,600,000	500,000	
合計		44,330,160	32,977,760	

付録 1 1. 立体倉庫式リニアターミナルの計測結果の詳細

付表 11.1.1 立体倉庫式リニアターミナルの計測結果の詳細

測定条件			測定項目			測定結果		
パラメータ	単位	設定値	参考値	測定項目	単位	D4	E4	A4
荷役機械								
コンテナ	基数	5		コンテナ→陸揚	sec	506 (1711)	—	0 (935)
クレーン	荷役速度	40		待ち時間	sec	48 (981)	—	0 (793)
リニア台車	台数	35	7/CC		sec	388 (1261)	—	0 (559)
	速度	7	3.5or6		sec	—	1110 (1673)	—
	加速度	1.5	0.5		sec	—	0 (428)	—
天井クレーン	CC毎設定台数	5		コンテナ→船積	sec	34 (1846)	—	0 (1105)
	台数	12		待ち時間	sec	37 (2261)	—	0 (986)
	横行速度	6.0	2.5		sec	142 (2089)	—	0 (837)
	横行加速度	0.71	0.71		sec	—	42 (2827)	—
	巻速度	2	0.95		sec	—	106 (3325)	—
	巻加速度	0.8	0.38	外来シャシ搬入	平均	423	424	422
	フックピッチ	10		所要時間	最大	901	768	685
移載機	台数	6			最小	397	397	397
	横行速度	2.5	2.5	外来シャシ搬出	平均	537	504	517
	横行加速度	0.71	0.71	所要時間	最大	1305	1189	1225
	巻速度	2	0.95		最小	412	412	412
	巻加速度	0.8	0.38	リニア走行頻度	平均	1131		
外来シャシ	速度	35	30or35		最大	2079		
	加速時間	10			最小	514		
ゲート	処理速度	2		リニア連続運転時間	hr	9.4	9.0	9.0
ゲート開閉時刻		8:00~17:00						
本船荷役開始時刻		9:00						

- ※ 1 測定条件の参考値  
 リニア台数・速度・加速度の参考値はロケットが ABCT の AGV より、6m/s は稼働予定のもの。天井クレーンと移載機の横行と巻きの参考値は RMG の実績値より。  
 フックピッチとは、フックへの格納またはフックからの取出に要する時間。外来シャシ速度の参考値は国内のターミナル規制速度の 1 例。
- ※ 2 CC 待ち時間の測定結果  
 陸揚または船積開始時の 1 台目のリニア到着待ち時間は含まない。カッポ内は 1 台目のリニア到着待ち時間も含まれたもの。  
 D 陸揚：480 個、4.0H、E 陸揚：120 個、1.5H、D 船積：530 個、4.4H、E 船積：500 個、6.3H。
- ※ 3 外来シャシ搬入/搬出所要時間とは、ターミナル入口～出口ゲート到着までの時間のこと。
- ※ 4 リニア走行頻度とは、ある点を 1 台目が通ってから、10 台目が来るまでの時間のこと。

付録12. 見積り数値の詳細 (立体倉庫式リニアターミナル)

付表-12.1 ランニングコスト (荷役機械)

大項目	小項目	単価 千円	償却年 年	従来ターミナル		立体倉庫式リニアターミナル		備考		
				台数	年間償却 千円/年	金利 千円/年	台数		年間償却 千円/年	金利 千円/年
償却費	コンテナクレーン	1,000,000	15	5	300,000	137,500	5	300,000	137,500	年間償却費は、購入価格より10%減じた額を償却年数で除した、金利は利率5.5%とし、初年度金利と終年度金利の平均にした。 RTGは、6列17台、4段積+1段クレーンを想定している。 ヤードトラクタの台数は実ターミナルより。 立体倉庫は、資材をともに4.5ton/トラック 50万円/ton、5400トラックより算出。 天井クレーン、移載機価格は、資材をともに設定。 リニア台車、駆動コイルの単価は暫定値。 参考値としてAGVは50,000千円。
	RTG	120,000	15	14	100,800	46,200	0	0	0	
	ヤードトラクタ	9,000	7	22	25,456	5,445	0	0	0	
	ヤードシャープ	3,000	7	22	8,486	1,815	0	0	0	
	立体倉庫	12,000,000	35	0	0	0	1	308,571	330,000	
	天井クレーン	100,000	15	0	0	0	12	72,000	33,000	
	移載機	80,000	15	0	0	0	6	28,800	13,200	
	リニア台車	50,000	10	0	0	0	35	157,500	48,125	
駆動コイル	1,000/m	15	0	0	0	10.6k	636,000	291,500		
小計					625,702			2,356,196		
大項目	小項目	単価 との 比率	保守費 千円 /台年	従来ターミナル 台数	総保守費 千円/年		立体倉庫式リニアターミナル 台数	総保守費 千円/年		備考
	コンテナクレーン	0.02	20,000	5	100,000		5	100,000		リニア台車や駆動コイルの比率はAGVと同じと仮定した。
保守費	RTG	0.02	2,400	14	33,600		0	0		
	ヤードトラクタ	[0.0333]	300	22	6,600		0	0		
	ヤードシャープ	[0.0333]	100	22	2,200		0	0		
	立体倉庫	0.01	120,000	0	0		1	120,000		
	天井クレーン	[0.03]	3,000	0	0		12	36,000		
	移載機	[0.025]	2,000	0	0		6	12,000		
	リニア台車	0.03	1,500	0	0		35	52,500		
	駆動コイル	0.03	30	0	0		10.6k	318,000		
小計					142,400		638,500			
大項目	小項目	消費 電力 kW/台	電力 料金 円/kWh	従来ターミナル 台数	稼働時間 hr/台/年	動力費 千円/年	立体倉庫式リニアターミナル 台数	稼働時間 hr/台/年	動力費 千円/年	備考
	コンテナクレーン	500	20	5	12251	122,510	5	7683	76,830	コンテナクレーンの稼働時間は、本船荷役時間。
電力 燃料費	RTG	300	40(円)	14	56297	337,782	0	0	0	RTGの稼働時間は、ゲート開門～(ゲート閉門or本船荷役終了の遅い方)。
	ヤードトラクタ	10(1/台hr)	40(円)	22	79772	31,909	0	0	0	ヤードトラクタの稼働時間は、本船荷役時間。
	ヤードシャープ	-	-	22	0	0	0	0	0	
	立体倉庫	-	-	0	0	0	1	0	0	天井クレーン、リニア、駆動コイルの稼働時間は、
	天井クレーン	300	20	0	0	0	12	40784	244,704	ゲート開門～(ゲート閉門or本船荷役終了の遅い方)。
	移載機	300	20	0	0	0	6	19710	118,260	移載機の稼働時間はゲート開門時間。
	リニア台車	300	20	0	0	0	35	118953	713,718	リニア台車、駆動コイルの消費電力は暫定値。
	駆動コイル	300	20	0	0	0	10.6k	3399	20,394	
小計					492,201		1,173,906			
合計					1,260,303		4,168,602			

付表-12.2 ランニングコスト(土木基礎その他)

大項目	中項目	小項目	単価	償却 年	従来ターミナル		立体倉庫式リニアターミナル		備考		
					数量	年間償却 千円/年	数量	年間償却 千円/年			
償却費	土木基礎	岸壁	15000千円/m	50	700m	189,000	288,750	700m	189,000	岸壁幅70m想定。レール込み。	
		地盤改良	32千円/m <sup>2</sup>	50	19.6ha	112,896	172,480	10.92ha	62,899	岸壁幅以外の部分。	
		基礎杭(-160t)	2100千円/本	50	0	0	0	400本	15,120	杭-160t : φ800*30m, -250t : φ900*30m	
		基礎杭(-250t)	2500千円/本	50	0	0	0	400本	18,000	材料,運搬,加工及び工事費等一切含む。	
		シャシ走行路	42千円/m	15	15400m	38,808	17,787	5600m	14,112	シャシ走行路は幅3.5mのASTマト舗装。	
		リニア走行路	42千円/m	15	0	0	0	10600m	26,713	リニア走行路はシャシと同じと仮定した。	
		RTG走行路	1000千円/m	15	4102m	246,120	112,805	0	0	RTG走行路は幅2mのPC板,両側分。	
		コンテナ置場	240千円/TEU	15	3444TEU	49,594	22,730	0	0	コンテナ置場は両端部にPC板。	
		簡易舗装	8千円/m <sup>2</sup>	25	65800m <sup>2</sup>	18,950	14,476	99400m <sup>2</sup>	28,628	荷重のかからない所はASTマトで簡易舗装。	
		小計				1,284,396			830,497	簡易舗装は,ヤード外の陸側部とした。	
付帯設備		ゲート	160,000千円	20	1	7,200	4,400	1	7,200	4,400	
		管理棟	1,200,000千円	35	1	30,857	33,000	1	30,857	33,000	
		照明	250,000千円	20	1	11,250	6,875	1	11,250	6,875	
		受変電	500,000千円	35	1	12,857	13,750	1	12,857	13,750	
		その他	550,000千円	20	1	24,750	15,125	1	24,750	15,125	
		小計				160,064			160,064		
		管理システム	(備考参照)	5	1	54,000	8,250	1	180,000	27,500	管理S:従来:300,000,リニアターミナル:1,000,000
		制御システム	(備考参照)	15	1	6,000	2,750	1	30,000	13,750	制御S:従来:100,000,リニアターミナル:500,000
		モ列ソグシステム	100,000千円	10	1	9,000	2,750	1	9,000	2,750	
		小計				82,750			263,000		
保守費	土木基礎	ゲート			1,527,210			1,253,561		必要なし。	
		ゲート			0			0		ゲートにのみ必要,単価との比率0.01。	
電力燃料費	土木基礎	付帯設備			1,600			1,600		必要なし。	
		システム			0			0		必要なし。	
		小計			1,600			1,600		必要なし。	
		付帯設備			10,512			10,512		120kW,20円/kWh,4380hr/年より算出。	
合計		照明その他								上記の照明その他に含まれると仮定した。	
		システム			10,512			10,512			
土地代		小計			1,539,322			1,265,673			
		土地代									
		合計(土地代含まず)			1,264,200			816,312			
合計		合計(土地代含む)			1,539,322			1,265,673			
		合計(土地代含む)			2,803,522			2,081,985			

付表-12.3 ランニングコスト (人件費)

大項目	小項目	人件費		従来ターミナル		立体倉庫式ターミナル		備考
		千円/年人	千円/年	人数	千円/年	人数	千円/年	
職員	ゲート受渡し			12		12		
	ゲート損傷フェック			8		8		
	ゲート管制担当			8		8		
	本船荷役計画担当			10		10		
	輸出入業務担当			9		9		
	輸出入業務担当			8		8		
	メンテナンス担当			16		16		
	商務・経理担当			7		7		
	小計		12,000	936,000	78	936,000	78	936,000
	コンテナクレーン				67		67	
直接作業員	RTG			56		0		クレーン運転...2人/基/シフト*3基*2シフト=12人 船内岸壁作業員...8人/基/シフト*3基*2シフト=48人
	ヤードトラクタ			44		0		シフト作業...1人/基/シフト*3基*2シフト=6人
	移載機			0		24		クレーン...1人/船*1船=1人
	クレーン			0		0		RTG...2人/台/シフト*14台*2シフト=56人
	小計		10,000	1,670,000	167	1,670,000	91	クレーン...1人/台/シフト*22台*2シフト=44人
合計			2,606,000		1,846,000		移載機...2人/台/シフト*6台*2シフト=24人	

付表-12.4 イニシャルコスト

大項目	小項目	単価	従来ターミナル		立体倉庫式ターミナル		備考
			数量	費用 千円	数量	費用 千円	
荷役機械	コンテナクレーン	1,000,000千円/台	5	5,000,000	5	5,000,000	
	RTG	120,000千円/台	14	1,680,000	0	0	
	ヤードトワカ	9,000千円/台	22	198,000	0	0	
	ヤードシャツ	3,000千円/台	22	66,000	0	0	
	立体倉庫	12,000,000千円	0	0	1	12,000,000	
	天井クレーン	100,000千円/台	0	0	12	1,200,000	
	移載機	80,000千円/台	0	0	6	480,000	
	リニア台車	50,000千円/台	0	0	35	1,750,000	
	駆動コイル	1,000千円/m	0	0	10600m	10,600,000	
	小計			6,944,000		31,030,000	
土木基礎	岸壁	15000千円/m	700m	10,500,000	700m	10,500,000	
	地盤改良	32千円/m <sup>2</sup>	19.6ha	6,272,000	10.92ha	3,494,400	
	基礎杭(-160t)	2100千円/本	0	0	0	840,000	
	基礎杭(-250t)	2500千円/本	0	0	0	1,000,000	
	シャツ走行路	42千円/m	15400m	646,800	5600m	235,200	
	リニア走行路	42千円/m	0	0	0	445,200	
	RTG走行路	1000千円/m	4102m	4,102,000	0	0	
	コンテナ置湯	240千円/TEU	3444TEU	826,560	0	0	
	簡易舗装	8千円/TEU	65800m <sup>2</sup>	526,400	99400m <sup>2</sup>	795,200	
	小計			22,873,760		17,310,000	
付帯設備	ゲート	160,000千円	1	160,000	1	160,000	
	管理棟	1,200,000千円	1	1,200,000	1	1,200,000	
	照明	250,000千円	1	250,000	1	250,000	
	受変電	500,000千円	1	500,000	1	500,000	
	その他	550,000千円	1	550,000	1	550,000	
	小計			2,660,000		2,660,000	
	システム			300,000		1,000,000	
システム	制御システム		1	100,000	1	500,000	
	モニタリングシステム		1	100,000	1	100,000	
	小計			500,000		1,600,000	
	合計			32,977,760		52,600,000	

なお、駆動コイルを 100 万円/m，リニア 1 台当たりの電力消費量を 150kW と仮定した場合の経済性評価結果を付表 12.5 に示す。

付表-12.5 経済性評価

	項目	立体倉庫式	従来ターミナル
ランニングコスト (千円/年)	荷役機械償却費	2,356,196	625,702
	荷役機械保守費	638,500	142,400
	荷役機械電力燃料費	1,173,906	492,201
	土木基礎	830,497	1,284,396
	付帯設備	172,176	172,176
	システム	263,000	82,750
	職員人件費	936,000	936,000
	直接作業員人件費	910,000	1,670,000
	土地代	816,312	1,264,200
	合計	8,096,587	6,669,825
	イニシャルコスト (千円)	荷役機械	31,030,000
土木基礎		17,310,000	22,873,760
付帯設備		2,660,000	2,660,000
システム		1,600,000	500,000
合計		52,600,000	32,977,760



付録 13. リニア直入型リニアターミナルの計測結果の詳細

付表 13.1 リニア直入型リニアターミナルの計測結果の詳細

測定条件	測定項目				測定結果				
	パラメータ	単位	設定値	参考値	測定項目	単位	D4	E4	A4
荷役機械	基数	基	5		コンテナ/陸揚	CC1	0 (1349)	—	0 (936)
	荷役速度	個/h	40		待ち時間	CC2	0 (1156)	—	0 (714)
リニア台車	台数	台	30	7/CC		CC3	79 (1072)	—	0 (553)
	速度	m/s	7	3.5or6		CC4	—	289 (1128)	—
	加速度	m/s <sup>2</sup>	1.5	0.5		CC5	—	0 (635)	—
	CC毎設定台数	台	4		コンテナ/船積	CC1	0 (2625)	—	0 (1284)
リフト	フックピッチ	sec	10		待ち時間	CC2	0 (2710)	—	0 (1115)
	台数	台	24			CC3	0 (2556)	—	0 (892)
	昇降速度	m/s	2			CC4	—	0 (3867)	—
	昇降加速度	m/s <sup>2</sup>	0.8			CC5	—	0 (3711)	—
	台数	台	6		外来シャージ搬入	平均	426	426	423
移載機	横行速度	m/s	2.5	2.5	所要時間	最大	1037	915	888
	横行加速度	m/s <sup>2</sup>	0.71	0.71		最小	397	397	397
外来シャージ	巻速度	m/s	2	0.95	外来シャージ搬出	平均	520	508	521
	巻加速度	m/s <sup>2</sup>	0.8	0.38	所要時間	最大	1384	1277	1331
	速度	km/h	35	30or35		最小	412	417	412
	加速時間	sec	10		リニア走行頻度	平均	1780		
ゲート	処理速度	min	2		最大	3065			
ゲート開門時刻			8:00~17:00		最小	1180			
本船荷役開始時刻			9:00		リニア連続運転時間		9.5	9.1	9.0

- ※ 1 測定条件の参考値  
 リニア台数・速度・加速度はロケットΔECTのAGVより、6m/sは稼働予定のもの。リフトと移載機の参考値はRMGの実績値より。  
 フックピッチとは、フックへの格納またはフックからの取出に要する時間。外来シャージ速度の参考値は国内のクレーン規制速度の1例。
- ※ 2 CC待ち時間の測定結果  
 陸揚または船積開始時の1台目のリニア到着待ち時間は含まない。かつ内は1台目のリニア到着待ち時間も含まれたもの。  
 D 陸揚：480個、4.0H. E 陸揚：120個、1.5H. D 船積：530個、4.4H. E 船積：500個、6.3H.
- ※ 3 外来シャージ搬入/搬出所要時間とは、ターミナル入口～出口ゲート到着までの時間のこと。
- ※ 4 リニア走行頻度とは、ある点を1台目が通ってから、10台目が来るまでの時間のこと。

付録 14. 見積り数値の詳細 (リニア直入型リアターミナル)

付表-14.1 ランニングコスト (荷役機械)

大項目	小項目	単価 千円	償却年 年	従来ターミナル		リニア直入型リアターミナル		備考					
				台数	年間償却 千円/年	台数	年間償却 千円/年						
償却費	コンテナクレーン	1,000,000	15	5	300,000	5	300,000	年間償却費は、購入価格より10%減じた額を償却年数で除した、金利は利率5.5%とし、初年度金利と終年度金利の平均にした。					
	RTG	120,000	15	14	100,800	0	0	0					
	ヤードトラクタ	9,000	7	22	25,456	0	0	0					
	ヤードシャシー	3,000	7	22	8,486	0	0	0					
	立体倉庫	12,000,000	35	0	0	0	308,571	330,000	RTGは、6列11ヤード、4段積+1段積を想定している。 ヤードトラクタの台数は実ターミナルより。 立体倉庫価格は、資料をもとに4.5ton/㎡、50万円/ton、5400㎡より算出。				
	リフト	30,000	15	0	0	0	43,200	19,800					
	移載機	80,000	15	0	0	0	28,800	13,200	移載機価格は、資料をもとに設定。				
	リニア台車	50,000	10	0	0	0	135,000	41,250	リニア台車、駆動コイルの単価は暫定値。				
	駆動コイル	1,000/m	15	0	0	0	40.2k	2,412,000	参考値としてAGVは50,000千円。				
	小計					625,702		4,874,821					
大項目	小項目	単価 との 比率	保守費 千円/台年	従来ターミナル		リニア直入型リアターミナル		備考					
				台数	総保守費 千円/年	台数	総保守費 千円/年						
				コンテナクレーン	0.02	20,000	5		100,000	5	100,000		
				RTG	0.02	2,400	14		33,600	0	0		
				ヤードトラクタ	[0.0333]	300	22		6,600	0	0		
				ヤードシャシー	[0.0333]	100	22		2,200	0	0		
				立体倉庫	0.01	120,000	0		0	1	120,000		
				リフト	0.03	900	0		0	24	21,600		
				移載機	[0.025]	2,000	0		0	6	12,000		
				リニア台車	0.03	1,500	0		0	30	45,000		
駆動コイル	0.03	30	0	0	40.2k	1,206,000							
小計					142,400		1,504,600						
大項目	小項目	消費 電力 kW/台	電力 料金 円/kWh	従来ターミナル		リニア直入型リアターミナル		備考					
				台数	稼働時間 hr/年	台数	稼働時間 hr/年						
				コンテナクレーン	500	20	5		12251	5	7716	77,160	コンテナクレーンの稼働時間は、本船荷役時間。
				RTG	300	20	14		56297	0	0	0	RTGの稼働時間は、ゲート開門～ゲート閉門or本船荷役終了の遅い方。
				ヤードトラクタ	10(1/台hr)	40(円)	22		79772	0	0	0	ヤードトラクタの稼働時間は、本船荷役時間。
				ヤードシャシー	-	-	22		0	0	0	0	
				立体倉庫	-	-	0		0	0	0	0	
				リフト	300	20	0		0	24	82006	492,036	
				移載機	300	20	0		0	6	19710	118,260	移載機の稼働時間はゲート開門時間。
				リニア台車	300	20	0		0	30	102508	615,048	リニア台車、駆動コイルの稼働時間は、
駆動コイル	300	20	0	0	40.2k	3417	20,502	ゲート開門～ゲート閉門or本船荷役終了の遅い方。					
小計						492,201	1,323,006	リニア台車、駆動コイルの消費電力は暫定値。					
合計							7,702,427						

付表-14.2 ランニングコスト(土木基礎その他)

大項目	中項目	小項目	単価	償却		従来ターミナル		リニア直入型ターミナル		備考			
				年	年	数量	千円/年	数量	千円/年		年間償却 千円/年	金利 千円/年	
償却費	土木基礎	岸壁	15000千円/m	50	700m	189,000	288,750	700m	189,000	288,750	岸壁幅70m想定。レール込み。		
		地盤改良	32千円/m <sup>2</sup>	50	19.6ha	112,896	172,480	10.92ha	62,899	96,096	岸壁幅以外の部分。		
		基礎杭(-)	2100千円/本	50	0	0	0	0	400本	15,120	23,100	杭-160t:φ800*30m,-250t:φ900*30m	
		基礎杭(+)	2500千円/本	50	0	0	0	0	400本	18,000	27,500	材料、運搬、加工及び工事費等一切含む。	
		シャーン走行路	42千円/m	15	15400m	38,808	17,787	5600m	14,112	6,468	シャーン走行路は幅3.5mのJ型舗装。		
		リニア走行路	42千円/m	15	0	0	0	40200m	101,304	46,431	リニア走行路はシャーンと同じと仮定した。		
		RTG走行路	1000千円/m	15	4102m	246,120	112,805	0	0	0	RTG走行路は幅2mのPC板、両側分。		
		コンテナ置場	240千円/TEU	15	3444TEU	49,594	22,730	0	0	0	コンテナ置場は両端部にPC板。		
		簡易舗装	8千円/m <sup>2</sup>	25	165800m <sup>2</sup>	18,950	14,476	99400m <sup>2</sup>	28,628	21,868	荷重のかからない所はJ型舗装で簡易舗装。		
		小計				1,284,396			939,276			簡易舗装は、ヤード外の陸側部とした。	
		付帯設備		ゲート	160,000千円	20	1	7,200	4,400	1	7,200	4,400	
				管理棟	1,200,000千円	35	1	30,857	33,000	1	30,857	33,000	
				照明	250,000千円	20	1	11,250	6,875	1	11,250	6,875	
				受変電	500,000千円	35	1	12,857	13,750	1	12,857	13,750	
その他	550,000千円			20	1	24,750	15,125	1	24,750	15,125			
小計						160,064			160,064				
システム		管理システム	(備考参照)	5	1	54,000	8,250	1	180,000	27,500	管理S:従来:300,000,リニア:1,000,000		
		制御システム	(備考参照)	15	1	6,000	2,750	1	30,000	13,750	制御S:従来:100,000,リニア:500,000		
		モニタリングシステム	100,000千円	10	1	9,000	2,750	1	9,000	2,750			
		小計				82,750			263,000				
保守費	土木基礎	付帯設備			1,527,210			1,362,340					
		ゲート			0			0			必要なし。		
電力燃料費	土木基礎	付帯設備			1,600			1,600			ゲートにのみ必要,単価との比率0.01。		
		システム			0			0			必要なし。		
		小計			1,600			1,600					
		照明その他			10,512			10,512			必要なし。		
合計		システム									120kW,20円/kWh,4380hr/年より算出。		
		小計									上記の照明その他に含まれると仮定した。		
土地代	土地代含む	合計			1,539,322			1,374,452					
		土地代	430円/月m <sup>2</sup>		24.5ha	1,264,200		15.82ha	816,312				
		合計(土地代含まず)			1,539,322			1,374,452					
合計(土地代含む)				2,803,522			2,190,764						

付表一14.3 ランニングコスト (人件費)

大項目	小項目	人件費 千円/年人	従来カミナル		リニア直入型リニアカミナル		備考	
			人数	人件費 千円/年	人数	人件費 千円/年		
職員	ゲート受渡し		12		12			
	ゲート損傷チェック		8		8			
	ゲート管制担当		8		8			
	本船荷役計画担当		10		10			
	輸出入業務担当		9		9			
	輸出入業務担当		8		8			
	メンテナンス担当		16		16			
	簡務・経理担当		7		7			
	小計		12,000	78	936,000	78	936,000	
	直接作業員	コテナクレーン		67		67		クレーン運転...2人/基シフト*3基*2シフト=12人
	RTG		56		0		船内岸壁作業員...8人/基シフト*3基*2シフト=48人	
	ゲートトラクタ		44		0		シグナリヤン...1人/基シフト*3基*2シフト=6人	
	移載機		0		24		クレーン...1人/船*1船=1人	
	リニア		0		0		RTG...2人/台シフト*14台*2シフト=56人	
小計		10,000	167	1,670,000	91	910,000	ゲートトラクタ...1人/台シフト*22台*2シフト=44人	
合計				2,606,000		1,846,000	移載機...2人/台シフト*6台*2シフト=24人	

付表-14.4 イニシャルコスト

大項目	小項目	単価	従来カーナル 数量	費用 千円	リニア直入型リニアカーナル 数量	費用 千円	備考
荷役機械	コンテナクレーン	1,000,000千円/台	5	5,000,000	5	5,000,000	
	RTG	120,000千円/台	14	1,680,000	0	0	
	ヤードトロッカ	9,000千円/台	22	198,000	0	0	
	ヤードシャシー	3,000千円/台	22	66,000	0	0	
	立体倉庫	12,000,000千円	0	0	1	12,000,000	
	リフト	30,000千円/台	0	0	24	720,000	
	移載機	80,000千円/台	0	0	6	480,000	
	リニア台車	50,000千円/台	0	0	30	1,500,000	
	駆動コイル	1,000千円/m	0	0	0	40200m	40,200,000
	小計				6,944,000		59,900,000
土木基礎	岸壁	15000千円/m	700m	10,500,000	700m	10,500,000	
	地盤改良	32千円/m <sup>2</sup>	19.6ha	6,272,000	10.92ha	3,494,400	
	基礎杭(-160t)	2100千円/本	0	0	0	840,000	
	基礎杭(-250t)	2500千円/本	0	0	0	400本	1,000,000
	パイプ走行路	42千円/m	15400m	646,800	5600m	235,200	
	リニア走行路	42千円/m	0	0	0	40200m	1,688,400
	RTG走行路	1000千円/m	4102m	4,102,000	0	0	
	コナ置場	240千円/TEU	3444TEU	826,560	0	0	
	簡易舗装	8千円/TEU	65800m <sup>2</sup>	526,400	99400m <sup>2</sup>	795,200	
	小計			22,873,760		18,553,200	
付帯設備	ゲート	160,000千円	1	160,000	1	160,000	
	管理棟	1,200,000千円	1	1,200,000	1	1,200,000	
	照明	250,000千円	1	250,000	1	250,000	
	受変電	500,000千円	1	500,000	1	500,000	
	その他	550,000千円	1	550,000	1	550,000	
	小計			2,660,000		2,660,000	
システム	管理システム		1	300,000	1	1,000,000	
	制御システム		1	100,000	1	500,000	
	モニタリングシステム		1	100,000	1	100,000	
	小計			500,000		1,600,000	
合計			32,977,760		82,713,200		

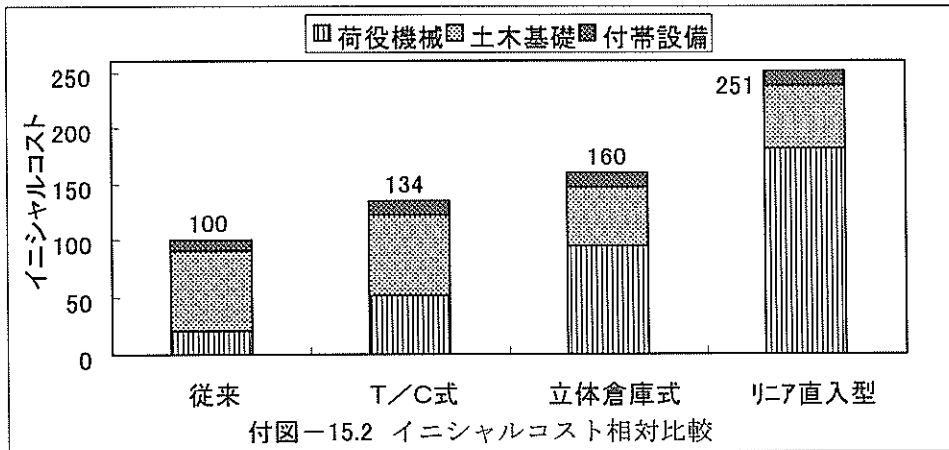
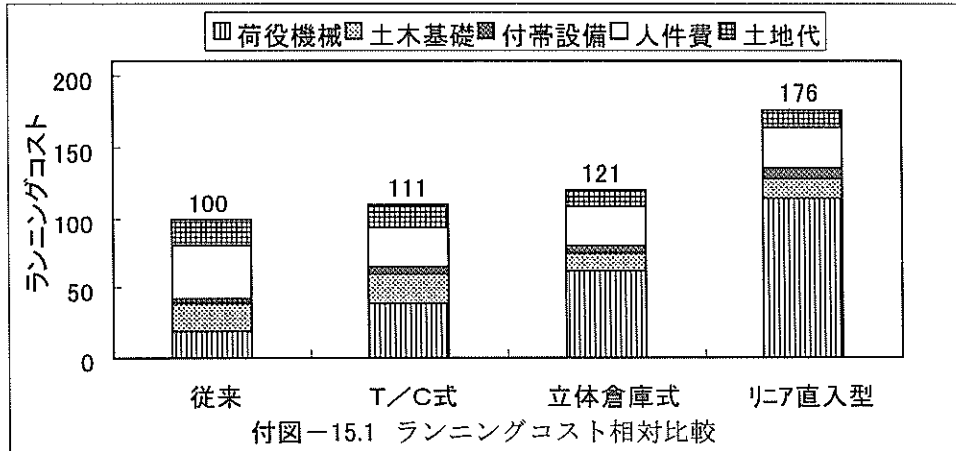
なお、駆動コイルを100万円/m、リニア1台当たりの電力消費量を150kWと仮定した場合の経済性評価結果を付表14.5に示す。

付表-14.5 経済性評価

	項目	リニア直入型	従来ターミナル
ランニングコスト (千円/年)	荷役機械償却費	4,874,821	625,702
	荷役機械保守費	1,504,600	142,400
	荷役機械電力燃料費	1,323,006	492,201
	土木基礎	939,276	1,284,396
	付帯設備	172,176	172,176
	システム	263,000	82,750
	職員人件費	936,000	936,000
	直接作業員人件費	910,000	1,670,000
	土地代	816,312	1,264,200
	合計	11,739,191	6,669,825
イニシャルコスト (千円)	荷役機械	59,900,000	6,944,000
	土木基礎	18,553,200	22,873,760
	付帯設備	2,660,000	2,660,000
	システム	1,600,000	500,000
	合計	82,713,200	32,977,760

付録15. 駆動コイルを100万円/m, リニア消費電力を300kWとした場合の経済性評価

駆動コイルを100万円/m, リニア消費電力を300kWとした場合のランニングコストを付図-15.1に, イニシャルコストを付図-15.2に示す. ①は従来ターミナル, ②はT/C式, ③は立体倉庫式, ④はリニア直入型である. 絶対値は付表-10.5, 付表-12.5, 付表-14.5を参照のこと. また, 荷役機械の単価をいくらに下げれば, 従来のランニングコストと同じになるかを調べた. 付表-15.1に示すように, T/C式では46%, 立体倉庫式では41%, リニア直入型では13%に下げれば, 従来のランニングコストと同じになることが分かった. 6.2節で示した経済性評価より大きくコストアップしており, 特に駆動コイルが全体コストに及ぼす影響が大きいことが分かる.



付表-15.1 従来と同等にするための単価

	T/C式	立体倉庫式	リニア直入型
コスト目標	46%	41%	13%
リニア台車	2300万円	2050万円	650万円
駆動コイル	46万円/m	41万円/m	13万円/m