

平成 19 年度

コンタクトミルにおける荷役システムの
高度化に関する検討業務

実験報告書

平成 20 年 3 月

飛島コンタクト株式会社

目次

第 1 部 自動搬送車と自動RTGのコンテナ受け渡し制御実験について

1. 概要	1
2. 実験実施場所	1
3. 使用荷役機械	2
4. 実験システム構成	2
5. AGVとRTG間のコンテナ受け渡し制御実証実験	7
5.1 AGV相対位置検出とコンテナ受け渡し制御の概要	7
5.2 予備実験	8
5.2.1 外乱に対するセンサ検出性能	8
5.2.2 振動実験	10
5.2.3 散水試験	11
5.3 コンテナ受け渡し制御実験	13
5.3.1 AGV相対位置検出機能の確認	13
5.3.2 AGV上への自動着床機能の確認 (AGVへのコンテナ積付け)	15
5.3.3 AGV上への自動着床機能の確認 (AGV上コンテナの掴み)	17
5.3.4 AGV上への自動着床機能の確認 (横行方向にずれていた場合の補正機能)	19
5.3.5 AGV上への自動着床機能の確認 (巻下げインターロック)	21
5.3.6 AGV上への自動着床機能の確認 (ハイパス運転)	24
5.3.7 AGV上への自動着床機能の確認 (のりあげ検知)	25
5.4 AGV誘導機能検証実験	27
5.4.1 機能の概要	27
5.4.2 試験内容	29
5.4.3 RTG側機能の確認	29
5.4.4 AGV側機能の確認	32
6. まとめ	34
7. 付録 1 その他の計測データ	35
8. 付録 2 用語集	40

第 2 部 シミュレーション検証について

9. 概要	42
10. 背景と目標	42
10.1 背景	42
10.2 性能目標	43
11. 実施内容の詳細	45
11.1 外来シャシの動線	45
11.2 ヤード全体レイアウト	47
11.3 荷役機器の運用	47
11.3.1 遮断機制御	48
11.3.2 AGVの運用	51
11.3.3 RTGの運用	52
11.3.4 レーン負荷平準化の改善	53
11.3.5 岸壁迂回路の考慮	54
11.3.6 RTGの運用（揚げ作業に特化した運用）	54
11.4 シミュレーション結果	56
11.4.1 遮断機の開閉制御ロジック	56
11.4.2 AGVの運行制御ロジック	60
11.4.3 AGV、RTGへの作業割当てロジック	67
11.4.4 揚げレーン専用化ロジック	79
12. まとめ	81
13. 今後の課題	81
14. 付録 3 シミュレーション条件	82
14.1 シミュレーション条件	82
14.2 荷役機器緒元	83
14.3 ヤード運用条件	84

第 1 部 自働搬送車と自働 RTG のコソテ受け渡し制御実験について

1. 概要

名古屋港における物流効率化を目指した取り組みとして、名古屋港では国内初となる自動化荷役システムについて、さまざまな調査・検討などがおこなわれてきた。飛島ふ頭南側コンテナターミナルでは徹底的な低コスト・高サービス・高効率のターミナルを目指し、平成 17 年 12 月に遠隔自働 RTG を採用した第 1 バースの稼働を開始し、さらに平成 20 年の第 2 バース供用開始時には RTG と自働搬送車 (AGV) を導入した自動化ターミナルを視野に置いて整備が進められている。本社会実験では自動化ターミナルの実現に向けて実際の RTG 及び AGV を使用した自働搬送の実験を行い、またこれらの荷役機器を適用したターミナルの運用が有効であることを検証する。

今回の実験実施内容には 2 項目あり、1 つは AGV-RTG 間の自働搬送実験、もう 1 つは外来シャシと AGV の遮断機による交差点制御のシミュレーション検証である。

本報告書は、前者の AGV-RTG 間の自働搬送実験に関するものとなる。

AGV-RTG 間の自働搬送実験では、コンテナの受け渡し時に RTG 側で AGV の位置をセンサにて直接検出するシステムを構築し、センサ精度、機械誤差或いは風等の環境要因による外乱の元でも確実にコンテナの受け渡しが実現出来る事を確認する。

なお、本文内の自働 RTG 特有の用語は付録 2 に添付した。

2. 実験実施場所

場所：飛島ふ頭南側コンテナターミナル第 1 期工事エリア

使用レーン：ガントリークレーンバックリレーン東側、および J~L レーン東側及びその付近

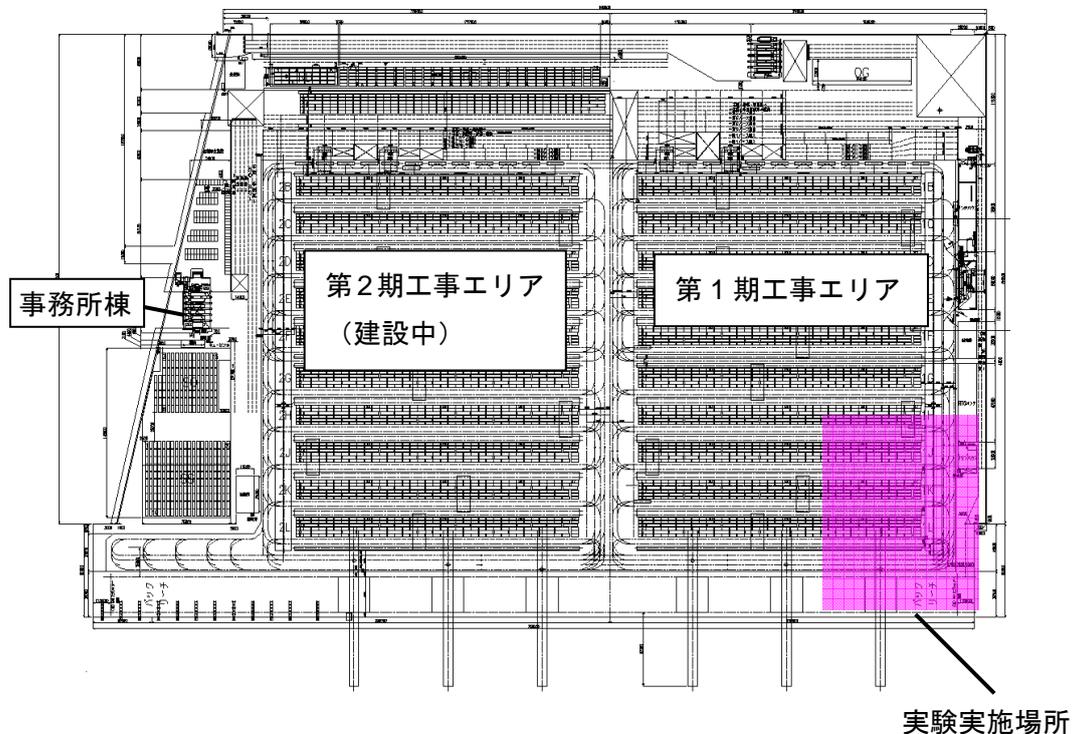


図 2-1 実験実施場所 1



図 2-2 実験実施場所 2

3. 使用荷役機械

- ・ RTG : 1 基
- ・ AGV : 1 台
- ・ ガントリークレーン : 1 基 (予備実験時のみ)

4. 実験システム構成

実験システム構成を 図 4-1 に示す。管理棟、RTG、AGVの各システムから構成され、各々を 図 4-2～図 4-4 に示す。

管理棟にある RGC (RTG 群管理コンピュータ) で、AGV とのコンテナ受け渡しコマンドを生成し、RCS (通信サーバ) を経由して、RTG に無線送信する。

RTG においては、MCC (機械制御コンピュータ) がコマンドを受信し、スプレッド (吊具) と AGV 間の相対ずれをゼロにしてコンテナを着床させるべく、横行、巻き、小旋回の制御指令を演算し、PLC に出力する。PLC は各インバータに出力し駆動する。ここで、スプレッドと AGV 間の相対ずれはスプレッド上のマジックアイセンサにて AGV 上に設置の LED 光源を直接検出して認識させている。

MCC は、マジックアイから受信した相対ずれ検出値、PLC から受信したフィードバック値、制御指令を、計測用 PC に出力する。計測用 PC は、チャート表示、ファイル保存を行う。

なお、計測用 PC は、電気室、管理棟のいずれにおいても接続可能な形とした。また、管理棟を切り離し、電気室の模擬 RGC・OPC からコマンド作成することも可能である。今回の実験では、基本的に管理棟の RGC、OPC (遠隔操作専用コンピュータ)、計測用 PC を使って、実験計測を行っている。

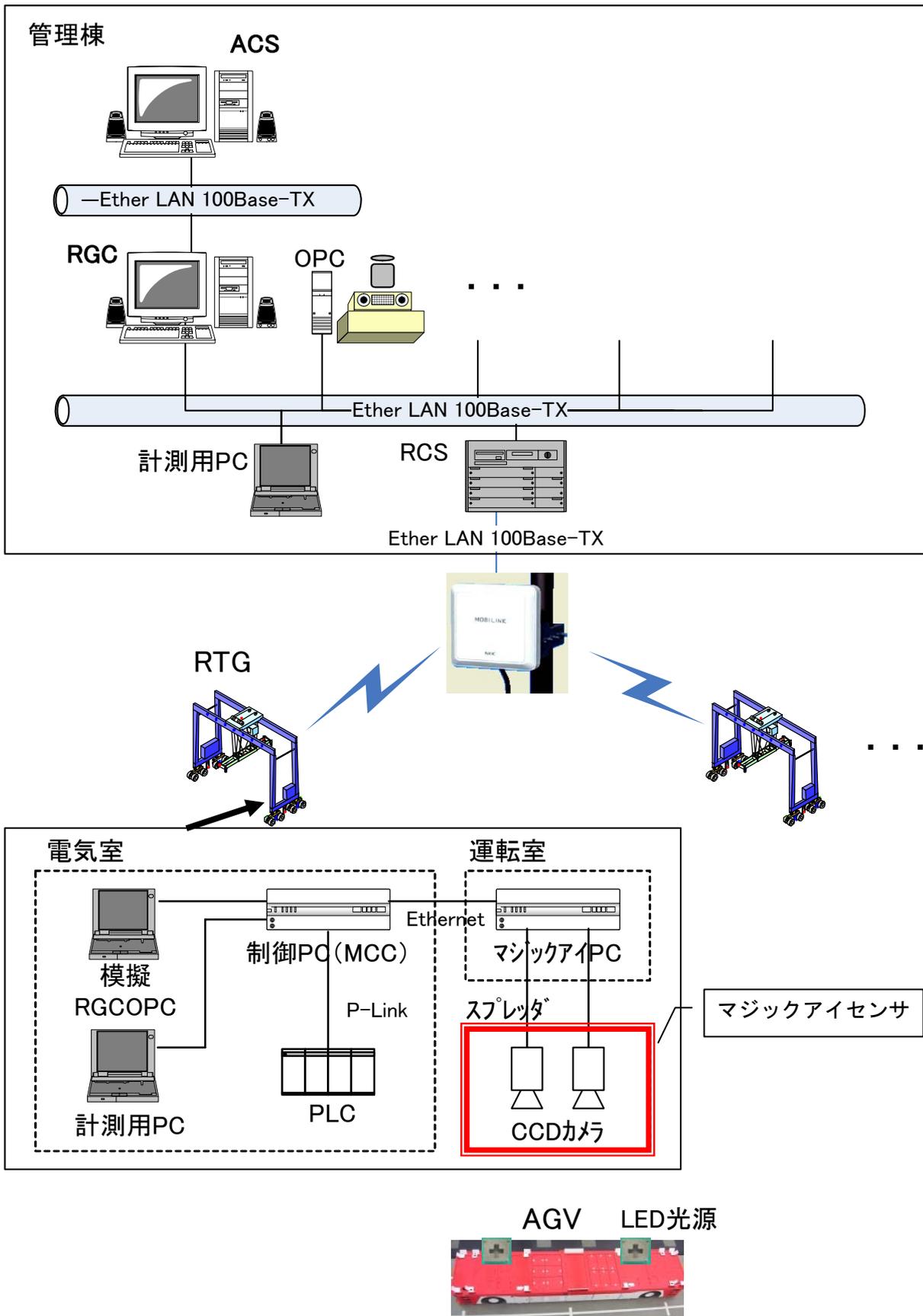
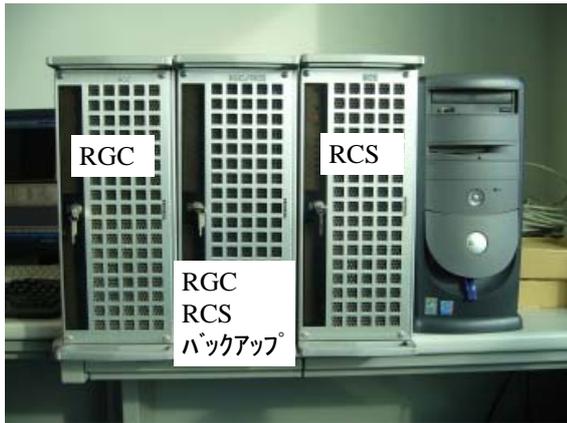


図 4-1 実験システム構成

RGC (RGT群管理コンピュータ), **RCS** (通信サーバー)

RGC画面



OPC (遠隔操作卓用コンピュータ)

OPC操作卓



計測用PC



図 4-2 管理棟の実験システム

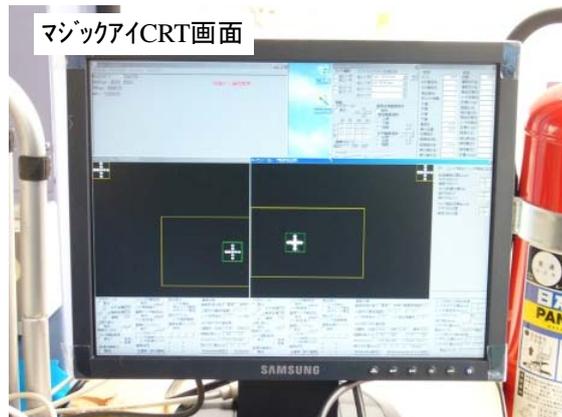
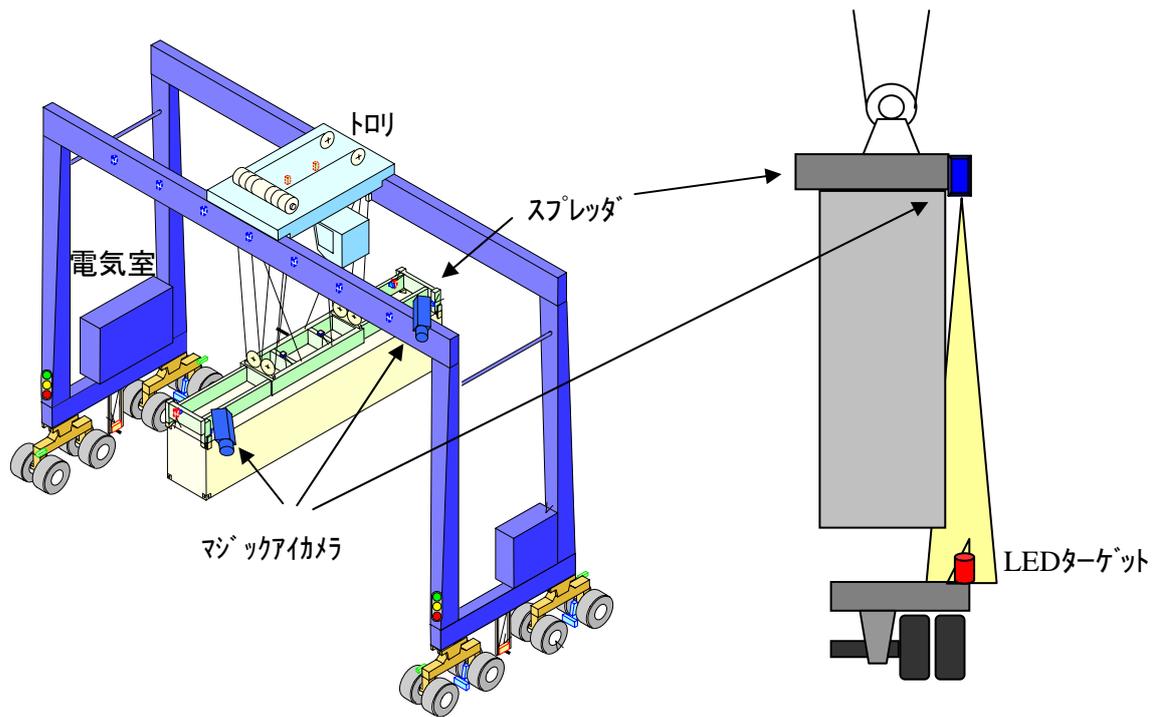


図 4-3 RTG の実験システム

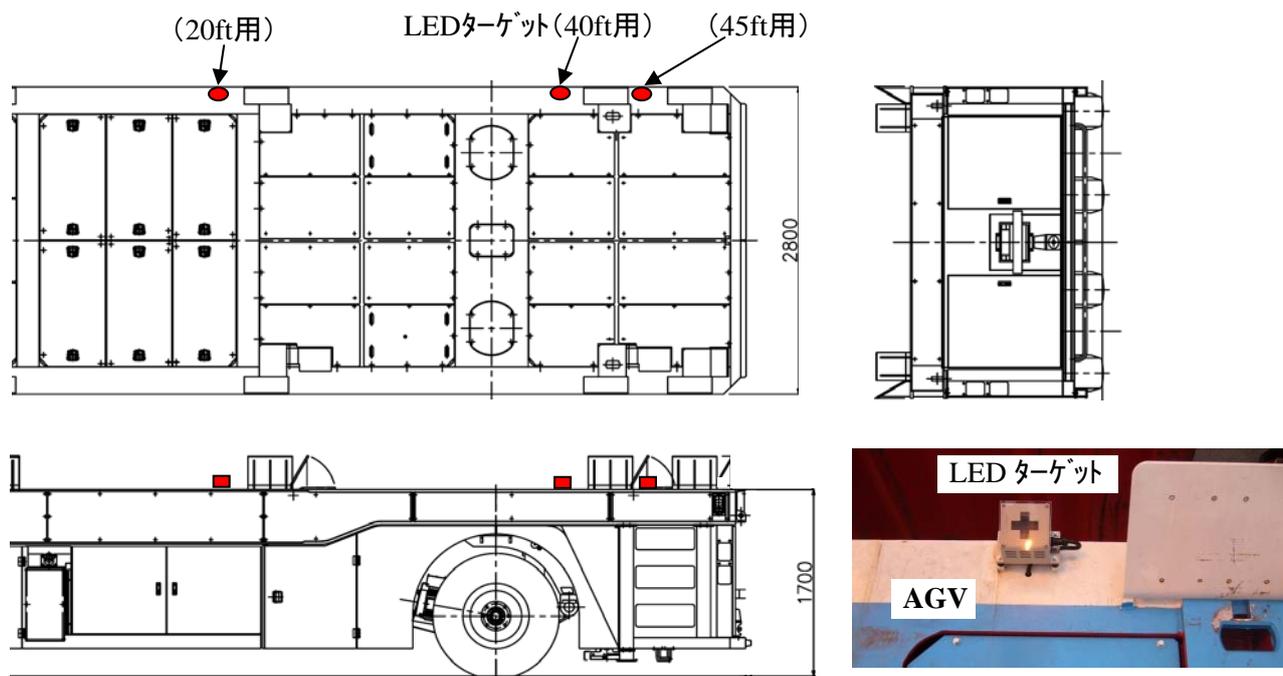


図 4-4 AGV 上の実験システム

5. AGV と RTG 間のコンテナ受け渡し制御実証実験

5.1 AGV 相対位置検出とコンテナ受け渡し制御の概要

(1) AGV 相対位置検出システム

AGV相対位置検出システムを図 5-1 に示す。十字マークのLED光源をAGV上に設置し、スプレッダ前側の左右端 2 箇所に取り付けられている既設のマジックアイ（CCDカメラによる画像処理装置）を利用し、LED光源位置を画像処理によって捉えて、RTGのスプレッダとAGV間の相対ずれを検出する。画像処理としては 2 次元相関（パターンマッチング）によって、屋外環境でも安定な画像処理検出を行う。

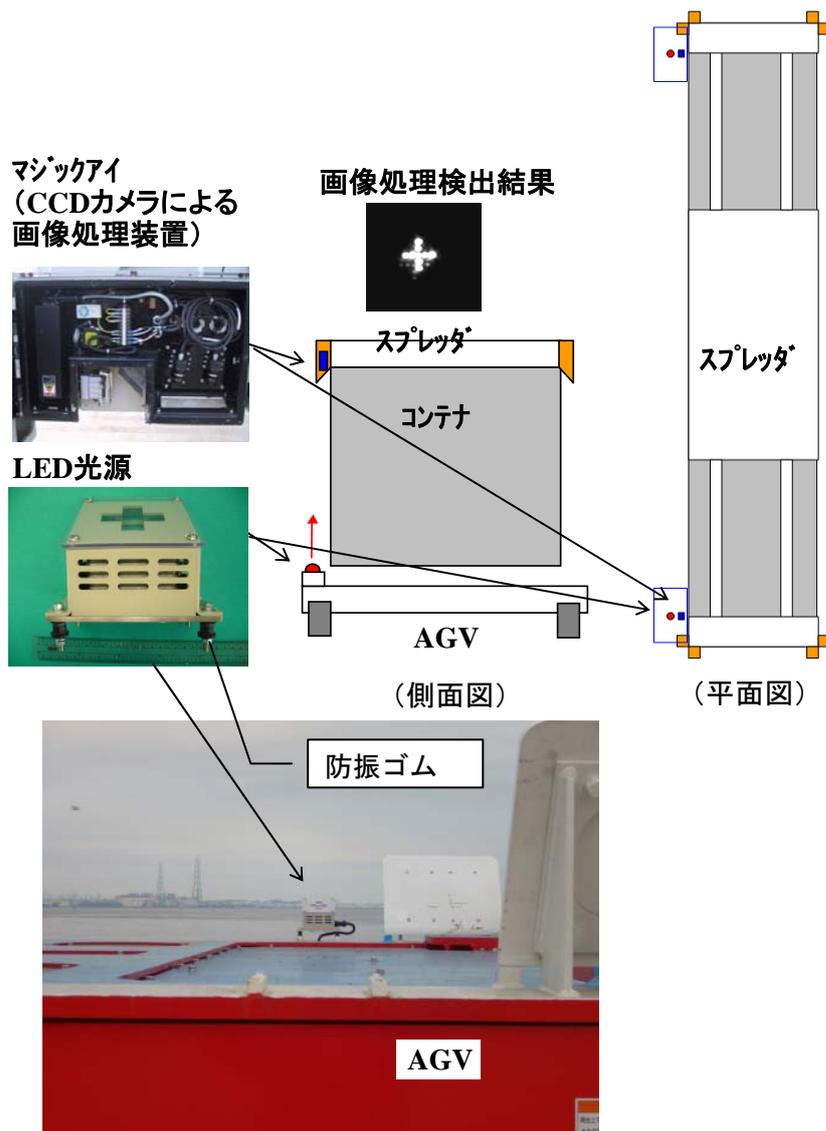


図 5-1 AGV 相対位置検出システム

(2) コンテナ受け渡し制御

スプレッダとAGV間の相対ずれをゼロにするべくトリ位置を制御し、相対ずれが許容範囲内であれば、巻下を指令し着床させる。詳細は、実験データと合わせて 5.3 節に説明する。

5.2 予備実験

RTG と AGV 間のコンテナ受け渡し機能の主要要素である AGV 相対位置検出機能に関して、実運用化における信頼性の評価を予備実験として以下のものを実施した。

(1) 外乱に対するセンサ検出性能の確認

LED 光源検出時の外乱要素になると予想される太陽光、雨による光の散乱及び AGV 上に設置される他光源（手動運転手用信号灯）の影響を確認した。

(2) 耐振動性能の確認

AGV 上にコンテナクレーン及び RTG にてコンテナを積み卸しする際の振動を実計測し、これに基づき加速試験を実施して LED 光源の寿命が実用に耐えうるものであることを確認した。尚、RTG 側のマジックアイに関しては既に現在の遠隔自動運用に於いて実績があることから試験は省略した。

(3) 防水試験

LED 光源に対して散水試験を行い、防水性能の確認を行った。(2) と同様の理由でマジックアイに関する試験は省略した。

5.2.1 外乱に対するセンサ検出性能

(1) 太陽光の外乱の影響

図 5-2 の様に AGV 上に光源を設置し、水溜りからの太陽光反射がある状況を作り、晴天の日中に十分な輝度が得られること、AGV 上の水面からの太陽光反射が外乱として入った場合も LED 光源が同等以上の輝度であることを確認した。但し、点光源では誤検出の可能性が高いことから、図 5-3 に示した十字形状によるパターンマッチングにより光源の認識をさせることで外乱光部分の影響を受けずに検出が出来る事を確認した。



図 5-2 太陽光外乱の影響試験



図 5-3 十字光源検出パターン画像

(2) 雨天時の検出状況確認

雨天時における、LED光源の画像処理結果（相関値：十字パターンに対するマッチング率）を計測した。雨天状況と計測結果を、図 5-4 に示す。

概略位置を特定するための間引き画像による相関値をピンク、最終位置を検出するための相関値を紺色で示す。最終的な判定を行う相関結果で、相関値 0.85 以上を確保できている。一方、太陽光反射外乱等で完全に十字パターンが見えなくなった場合の相関値は 0.6 以下である。相関値 0.6 をしきい値とすることで、外乱除去と雨天時の検出が可能であることを確認した。

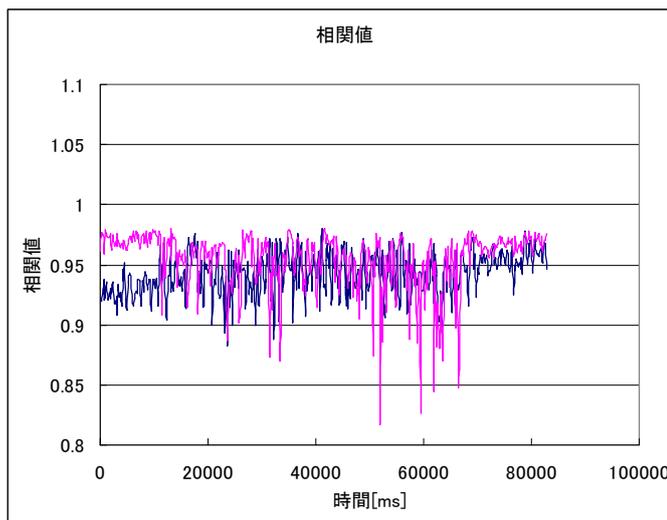


図 5-4 雨天時の検出実験

(3) AGV 上光源の影響確認

AGV でのコンテナ搬送において、コンテナクレーンとのコンテナ受け渡しは手動運転で行われる。その際にコンテナクレーンの運転手が AGV の状態を確認するために LED 光源が設置される事になっている。この光源を AGV 上に設置してマジックアイデンで誤検出の可能性が無いか確認した。

結果、マジックアイデンには、AGV 検出用 LED 光の波長付近のバンドパスフィルタが装着されており、手動用の光源からの入射光はフィルタでカットされ映像として映り込まない事を確認した

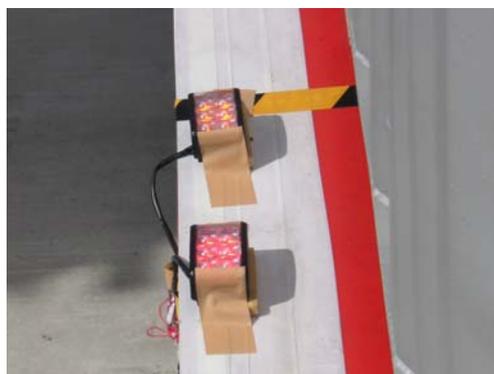


図 5-5 手動運転手用 LED 光源

5.2.2 振動実験

(1) 振動実験

AGV上のLED光源設置位置に、図 5-6 に示すように加速度計を取り付け、AGV上へのコンテナ着床、およびAGVコンテナ上への着床を行い、振動計測を実施した。

加速度計は、コンテナ 20ft、40ft 位置に各 1 台セットし前後、上下、左右の 3 方向のデータを計測した。計測は以下の運転条件の下で実施した。尚、計測は、最も条件の厳しいコンテナクレーンの手動運転で確認した。

[計測条件]

① 運転形態

- ・ AGV 上にコンテナを着床させる場合
- ・ AGV 上のコンテナにスプレッドを着床させる場合

② 外乱条件

- ・ AGV の真上から下ろす場合
- ・ AGV を横行方向，走行方向にいくらかずらした状態で下ろす場合

振動計測の結果、上下方向 27G、前後左右方向 12Gが得られた。一方、今回採用するLED光源の下に敷く防振ゴム(図 5-1 参照)によって、上下方向は 1/3、水平方向は 1/6 に減衰するので、振動実験の条件は下記の値に設定した。

(a) 上下方向：±9G 60Hz 8Hr(22年間相当)

(b) 前後方向：±2G 60Hz 8Hr(22年間相当)

本振動条件で加振試験を実施した結果、LEDの輝度の低下や電気部品の損傷(外観検査結果)は見られず、実機に適用可能であるとの結果が得られた。加振実験の構成を図 5-7 に示す。



図 5-6 AGV 振動計測

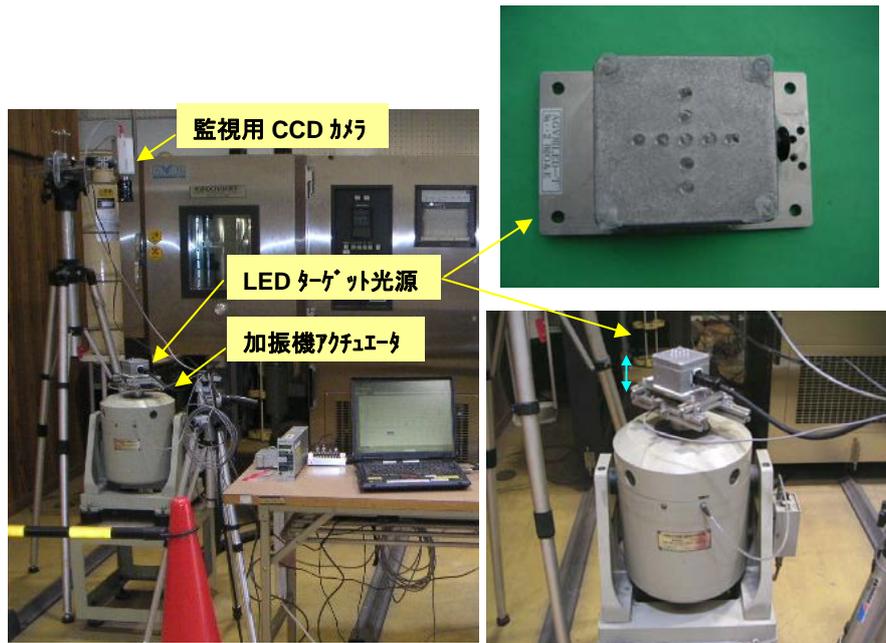


図 5-7 LED 加振実験

5.2.3 散水試験

(1) 試験方法

JIS C0920 (防水保護等級5) を参考にして、簡易試験を行った。試験条件を表 5-1に、試験状況を図 5-8に示す。水流、水量の条件がJIS C0920に対し異なるため、距離を短く、試験時間を長くして対応している。

表 5-1 防水試験条件

項目	試験条件	参考 (JIS C0920)
(1) ノズル径・形状	散水用シャワー	φ 6.3mm、指定形状
(2) 注水要領	下側を除く5方向から注水	全ての方向から注水
(3) ノズルと機器間の距離	約1m	2.5~3m
(4) 注水量	8 l/min	12.5 l/min±5%
(5) 水流の大きさ	約φ 500mm (ノズル先端から1m位置)	約φ 40mm (ノズル先端から2.5m位置)
(6) 試験時間	各方向3分 計15分	各方向1.5分



(横からの散水)



(上からの散水)

図 5-8 散水試験状況

(2) 試験結果

- ・ 散水試験後の開放点検の結果、内部に水の浸入はなかった。(図 5-9参照)
- ・ 散水試験後の点灯試験の結果、LEDの発光に問題はなかった。(図5-11参照)



図 5-9 内部浸水なし

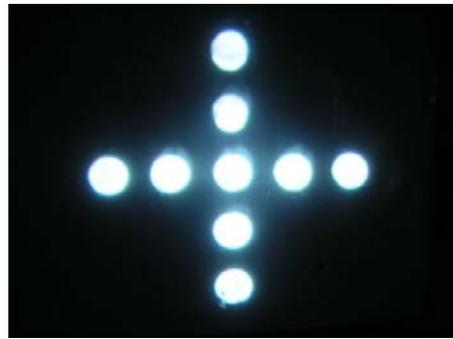


図 5-10 LED 発光問題なし

5.3 コンテナ受け渡し制御実験

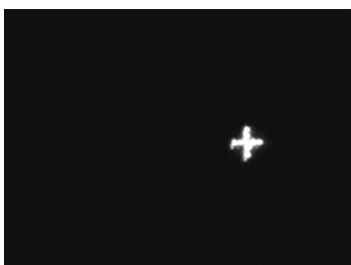
5.3.1 AGV 相対位置検出機能の確認

(1) LED 光源画像の確認

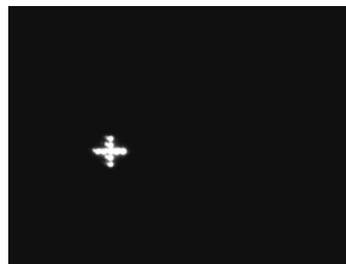
AGV 上にコンテナが着床する直前の最低巻高さ 4.5m から、相対ずれ検出を開始する巻高さ 7m の間 0.5m 刻みで LED 光源画像を取得し、全範囲でマシクァカメラにて十字パターンの映像が鮮明に得られることを確認した。

① 巻高さ 4.5m

左画像

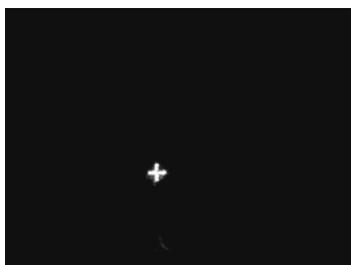


右画像



② 巻高さ 7.0m

左画像



右画像

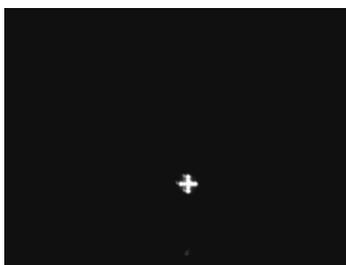


図 5-11 LED 光源画像の確認

(2) 相対位置検出機能の確認

マジックアイによりスプレッドとコンテナの相対位置が検出される事を確認するために AGV 上のスプレッドを揺らしてデータの記録を行った。

スプレッドでコンテナを掴んだ状態で、AGV 着床面から僅かに (100mm) 浮かした状態で、トリまたはクレーンを寸動させ、各々、横行方向、走行方向の吊荷振れを作った。

下図の上段に横行方向のマジックアイと振れセンサ、下段に走行方向のマジックアイと振れセンサの計測波形を示す。マジックアイによる相対ずれ検出値が、トリ上センサにて検出したスプレッド振れセンサからの変位出力値と同期することから、相対ずれ検出ができていることを確認した。

なお、マジックアイと振れセンサの両波形にオフセット差があるのは、マジックアイによる相対ずれ検出が、スプレッド (マジックアイ) から見た AGV (LED 光源) の変位であるのに対し、振れセンサ変位検出は、トリ (振れセンサ用 CCD カメラ) から見たスプレッド (振れセンサ用レーザー光源) の変位であり、両者のゼロ点が違うためである。

また、相対ずれ検出開始～終了とは、制御プログラムが AGV 着床の実行ステップに入ると相対ずれ検出開始となり、AGV 着床完了または手動介入 (自働運転停止) で相対ずれ検出終了となる。下段の走行方向計測時には、約 30 秒間、データ計測できたので、自働運転停止させた。

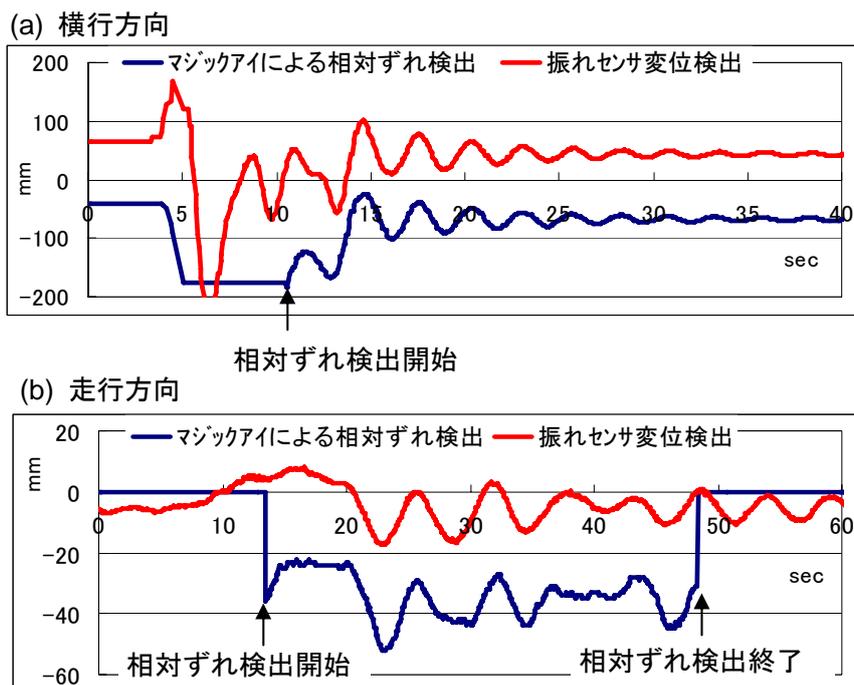


図 5-12 相対位置検出機能の確認

5.3.2 AGV 上への自働着床機能の確認 (AGV へのコンテナ積付け)

ここでは、AGV の位置ずれが無い状態で、通常の自働コンテナ積み付け動作が問題なく完了することを確認した。

まず、AGV へのコンテナ積付け (以降「ラント」と呼ぶ) の制御方法について説明する。

- ① マジックアイ検出可能距離は LED 光源から 5000mm なので、余裕を見て 4500mm とし、巻高さ 6360mm で校正処理を開始する。校正処理とは、マジックアイによる AGV・スプレッド間の相対ずれ検出値を基に、振れセンサ変位信号を校正する処理である。以降は、校正後の振れセンサ変位 (相対ずれ相当) を基に、スプレッドの位置合わせを行う。これにより、LED 光源が吊コンテナの下に隠れるようなことがあっても検出可能である。
- ② 校正処理に先立ち、検出準備時間を考慮して、巻高さ 7176mm でマジックアイ検出指令を ON する。
- ③ 9.5ft コンテナ下端が AGV ガイド上 300mm となる 5576mm を巻下停止目標高さとしている。(巻下：スプレッドの高さ方向の位置を重力方向に移動させる事。)
- ④ 校正処理開始からこの高さまで、2 秒間の余裕がある。この間に、校正処理 (1 秒) と位置合わせを行い、左右とも相対ずれとずれ速度が $\pm 100\text{mm}$ 以内、 $\pm 30\text{mm/s}$ 以内であれば、巻下停止させず、 150mm/s のクープ速度で着床させる。条件を満たさない場合にのみ、5576mm で巻下停止し、条件を満たした後、着床させる。

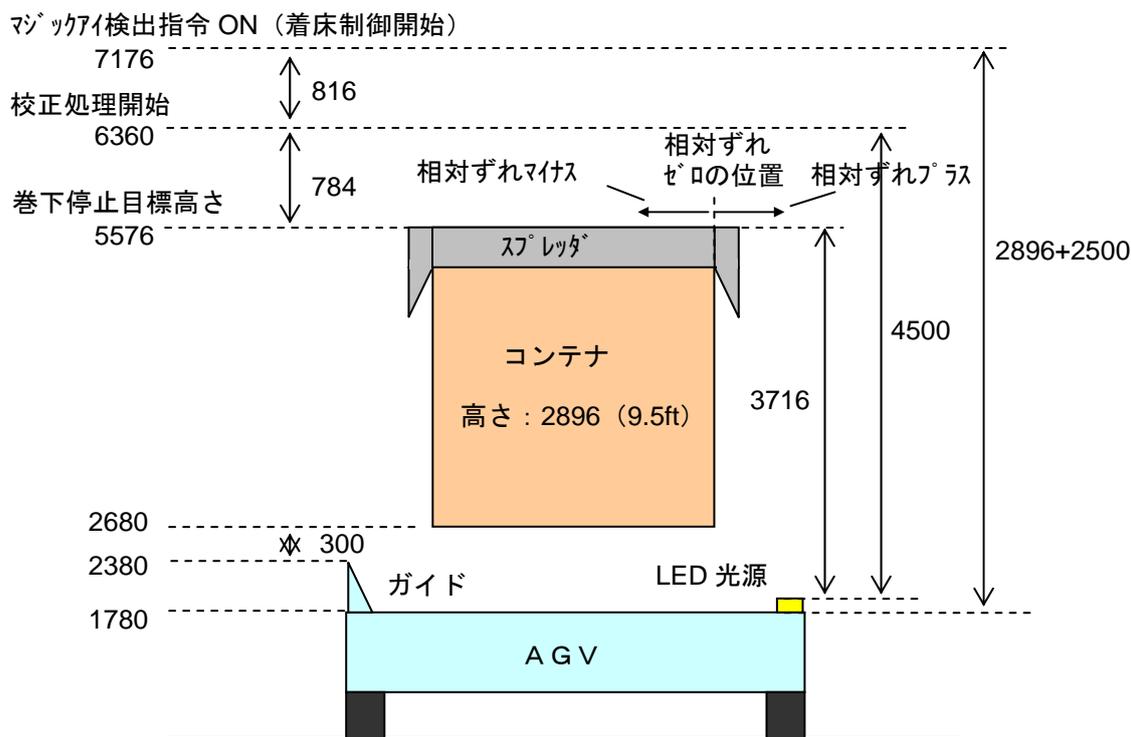


図 5-13 AGV ラント制御方法

下図に実験結果、実験状況写真を示す。

約 25 秒地点でトリを AGV のほぼ真上の位置にし、以降、巻下げを行い、約 37 秒地点でマジックアイ検出指令を ON し、校正処理、位置合わせ（トリの微小駆動）を行って、AGV 相対ずれを ±30mm 以下程度に収束させ、約 46 秒地点で着床させている。

なお、相対ずれとは、図 5-13 において、スプレッドが AGV に対して所定位置（真上）をゼロとし、向かって右（トリ運転手から見ると前）へずれたらプラス、向かって左へずれたらマイナスを出力するものである。手前（トリ運転手から見ると右）と奥の各々にマジックアイと LED 光源があり、各々、相対ずれ右、相対ずれ左である。約 37 秒地点で一瞬巻下速度指令が 0 になっているのは、巻下制御から着床制御への制御モード切り替え時に、巻下制御としては安全のために一旦ゼロにする終了処理を行ってから、着床制御へ移行するためである。1 サンプル 25ms の瞬間後に着床制御が起動されるので、実際の巻下速度としては減速することなく連続動作を実現している。

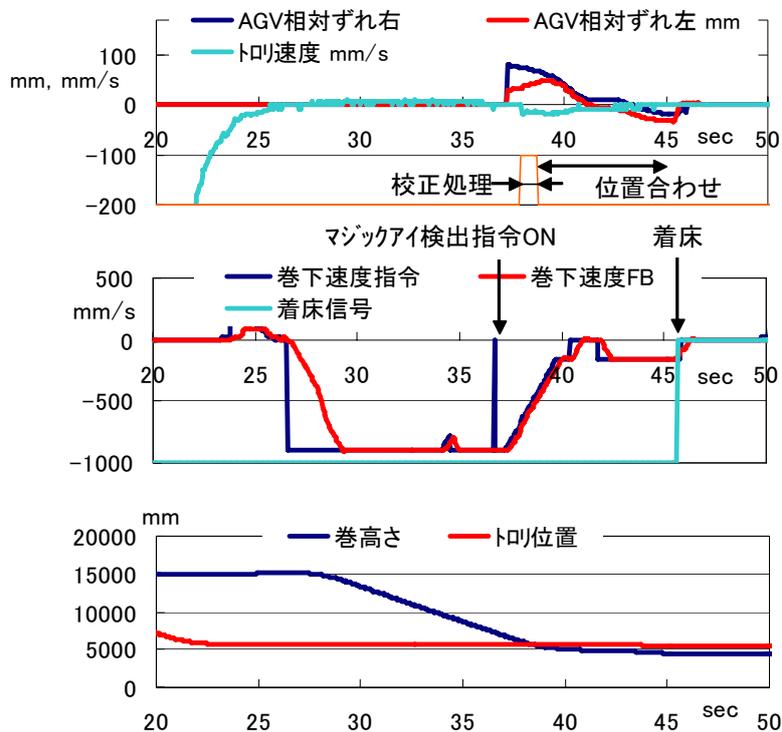


図 5-14 AGV グラント 実験結果

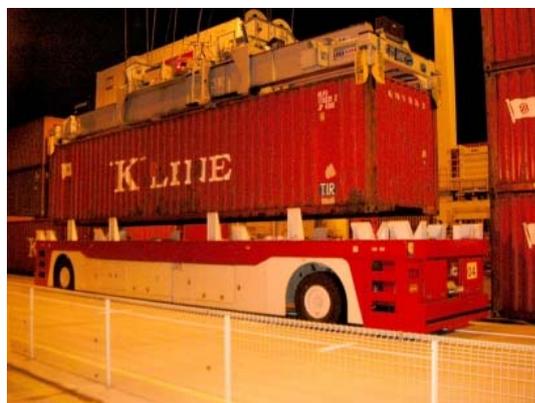


図 5-15 AGV グラント 実験状況写真

5.3.3 AGV 上への自働着床機能の確認 (AGV 上コンテナの掴み)

ここでは、AGV の位置ずれが無い状態で、通常 of 自働コンテナ掴み動作が問題なく完了することを確認した。

まず、AGV 上コンテナの掴み動作 (以降ピックと呼ぶ) の制御方法について説明する。

- ① フリッパ 下端から 300 mm 高さの 5306mm を、巻下停止目標高さとして巻下制御を行う。
- ② その 300mm 手前で着床制御を起動する
- ③ 着床制御は起動されると、スプレッドに既設のコンテナ干渉検出センサによりスプレッドと目標コンテナに間に干渉がないことを確認し、さらにマジックアイによる相対ずれ検出値をチェックする。
- ④ 条件を満足していれば 150mm/s の巻下速度指令を出力し、条件不満足なら巻下停止し、条件満足後に巻下げを再開する。

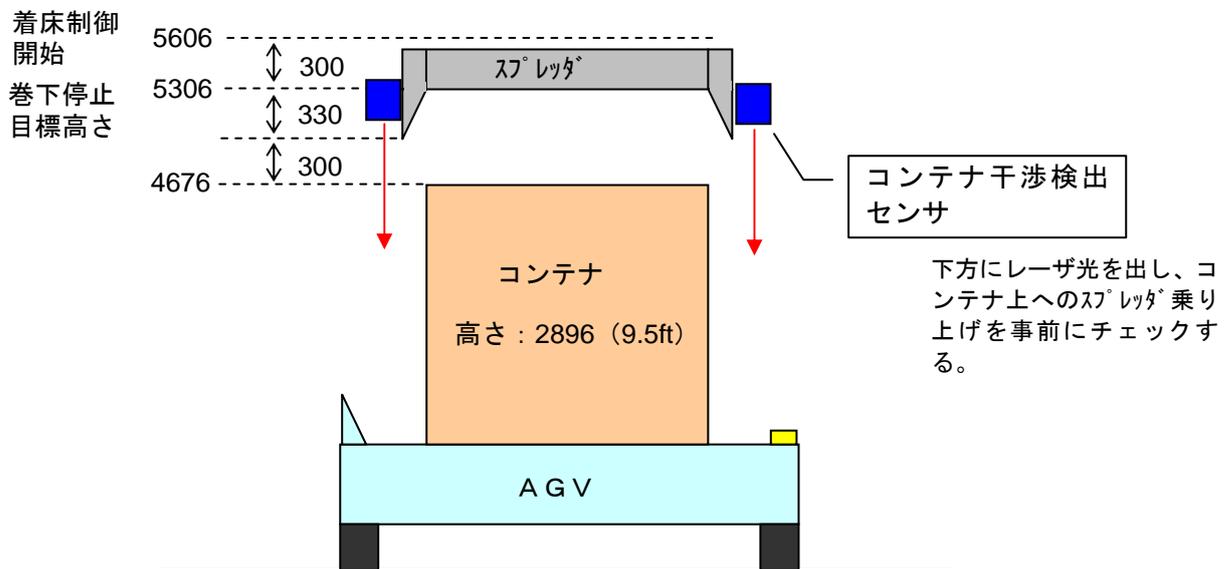


図 5-16 AGV ピック制御方法

下図に実験結果、実験状況写真を示す。

約 7 秒地点でトリを AGV のほぼ真上の位置にし、以降、巻下げを行い、約 20 秒地点で着床制御を開始し、ビームセンサによるスプレッド・目標コンテナ間の干渉チェック、相対ずれ検出値のチェックを行い、本ケースでは両者とも満足しているため、巻下速度指令を継続し、着床させている。なお、約 20 秒地点で一瞬巻下速度指令が 0 になっているのは、前節の AGV グラントで述べたのと同じ理由である。着床後、約 28 秒地点から巻上げ始めているのは、次の自動運転動作（この場合はヤードのコンテナを掴みに行く自動運転）の開始である。

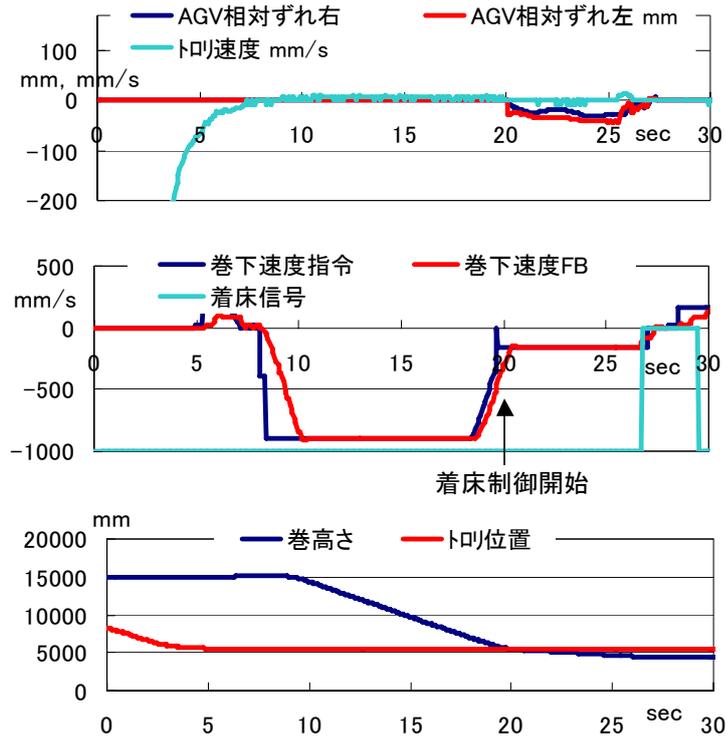


図 5-17 AGV ヒック実験結果



図 5-18 AGV ヒック実験状況写真

5.3.4 AGV 上への自働着床機能の確認（横行方向にずれていた場合の補正機能）

もしスプレッドに対して AGV が横行方向の前側または後側にずれていた場合、RTG 側はこのずれを検出し、トリ位置を自働補正して積付けを完了させる事になっている。ここでは、この自働補正機能により自働運転を停止することなくコンテナのハドリングが実現できることを確認した。

(1) RTG・AGV 間に横行方向のずれがあった場合（AGV グラント）

AGV を横行方向に 100mm、150mm、200mm 故意にずらして、コンテナ自働着床実験を行った。代表ケースとして、下図に示すように AGV を横行方向前側に 150 mm ずらした状態（相対的にはスプレッドが後側に -150 mm ずれた状態）からの AGV 着床の結果を図 5-19 に示す。

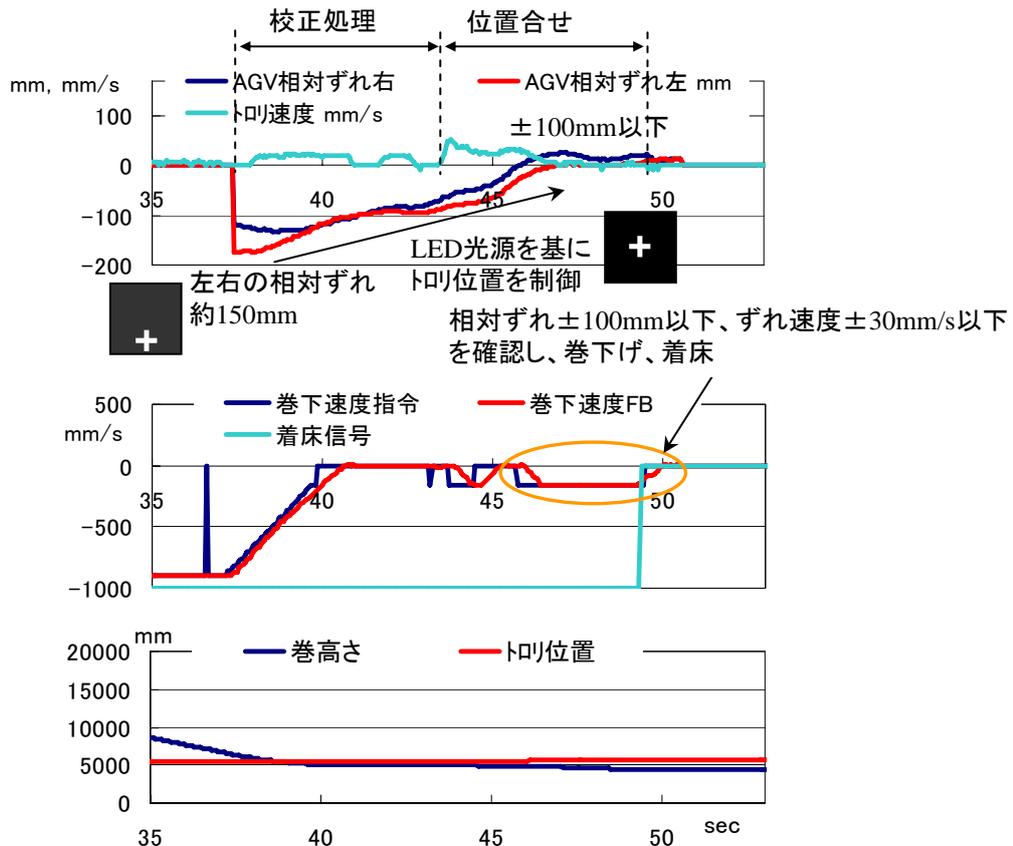
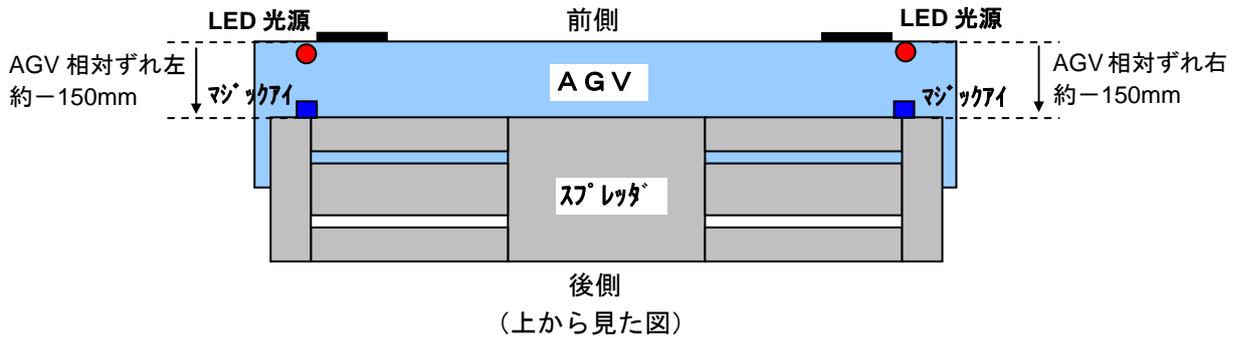


図 5-19 横行ずれがあった場合の AGV グラント

約 43 秒までは、十字マークが所定範囲内（±100 mm）になるようにトリ速度を 20mm/sで駆動して横行位置を補正し、校正処理を行っている。約 43 秒地点で校正処理を完了し、ここからは相対ずれ検出値を基に位置合わせを行っている。校正処理とは、5.3.2 節の①で述べたように、マジックアイによるAGV・スプレッド間の相対ずれ検出値を基に、振れセンサ変位信号を校正する処理である。位置合わせとは、振れセンサ変位（相対ずれ相当）を基に、スプレッドがAGVの真上となるようにトリを動かす処理である。

相対ずれとずれ速度が±100 mm以下、±30mm/s 以下の条件を満足したら、巻下速度指令を出力し、最終的には約 50 秒地点で、相対ずれを±30mm 程度に収束させ、着床させている。

十字マークはマジックアイ検出画像のイメージ図である。最初はずれた状態から位置合わせにより中央付近となることを示している。

(2) RTG・AGV 間に横行方向のずれがあった場合（AGV ヒック）

AGV を横行方向に 100 mm、150 mm、200mm 故意にずらして、AGV 上のコンテナを自働で掴む実験を行った。代表ケースとして、AGV を横行方向後側に 200 mm ずらした場合は結果を下図に示す。

約 21 秒から約 30 秒までコンテナ干渉検出センサ（ビームセンサ）が ON し、スプレッドと目標コンテナが干渉していることを意味する。これを回避するために、下図のトリ速度で示すように、トリを後方へ 30mm/s で約 7 秒間動かし、約 30 秒地点で干渉が無くなった後、巻下速度指令を出力し、着床させている事が確認できた。

なお、ビームセンサとは、スプレッド側面四隅に下向きに取り付けたレーザビームを照射し、反射光を検出する既存のセンサである。スプレッドがコンテナ真上であれば、ビーム反射光は返ってこない。しかし、もしスプレッドが後側にずれていたら、前側のビーム反射光を検知し ON する。制御としては前側が OFF するまで、トリを後ろへ下げて干渉をなくす。

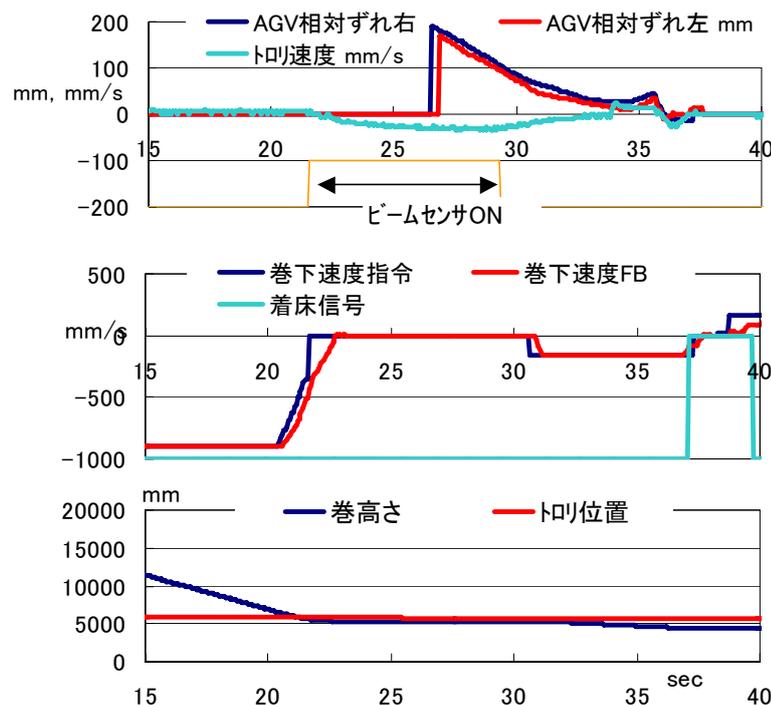


図 5-20 横行ずれがあった場合の AGV ヒック

5.3.5 AGV 上への自働着床機能の確認（巻下げインターロック）

5.3.4 節において AGV の横行方向のずれに関して RTG 側でトリ位置を自働補正して着床動作を完了させる機能を確認した。ここでは、AGV のずれが異常大きいケースでは、正常な運用の範囲外と判断してこの自働補正機能が中断されて自働運転がエラー完了となる事を確認した。更に LED 光源の玉切れ等によるハード的な故障時にもエラー完了となる事を確認した。

(1) RTG・AGV 間の横行方向のずれが過大の場合（AGV グラント）

AGV の横行方向への位置ずれが過大であった場合のインターロック確認を行った。実験結果を下図に示す。

マジックアイ検出指令を ON した時、相対ずれは -250 mm であり、位置合わせすべくトリを前進させている。ここで、安全のためトリ移動量制限として ± 150 mm 以内を設定している。そのため、150 mm 移動した所で停止し、左側が僅かに ± 100 mm 以内の条件を満足せず自働停止している。

なお、この安全のための移動制限機能は、移動量が必要以上に大きい場合なんか異常が発生している状態と考え動作を停止する目的で考慮している。 ± 150 mm という数値はパラメータとして変更可能である。今回の試験では、AGV、スプレッドの位置決め精度がそれぞれ $\pm 20 \sim 30$ mm 程度であることから 5 倍程度の範囲を設定してみた。安全を考慮すると、例えば、極端な場合で、1,000 mm も移動させると隣のレーンを走行するトレーにスプレッドが接触する危険が考えられそのような移動は禁止しなければならない。

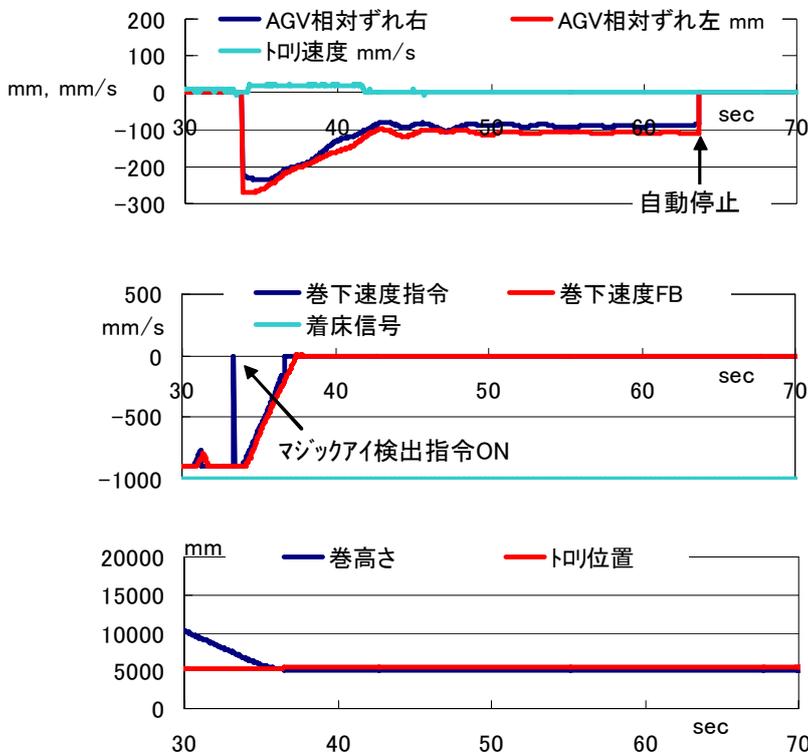


図 5-21 横行ずれ過大時の AGV グラント（インターロック）

(2) RTG・AGV 間の横行方向のずれが過大の場合 (AGV ヒック)

実験結果を下図に示す。

約 33 秒地点でヒームセンサが ON し、スプレッドと目標コンテナの干渉を回避するためにトリを動かしているが、約 45 秒地点でトリ移動量が制限値 300mm となり、トリを停止させている。(AGV ヒックではパラメータを 300mm としてみた)。それでもヒームセンサ ON が解除されないため、約 63 秒地点で自働停止している。

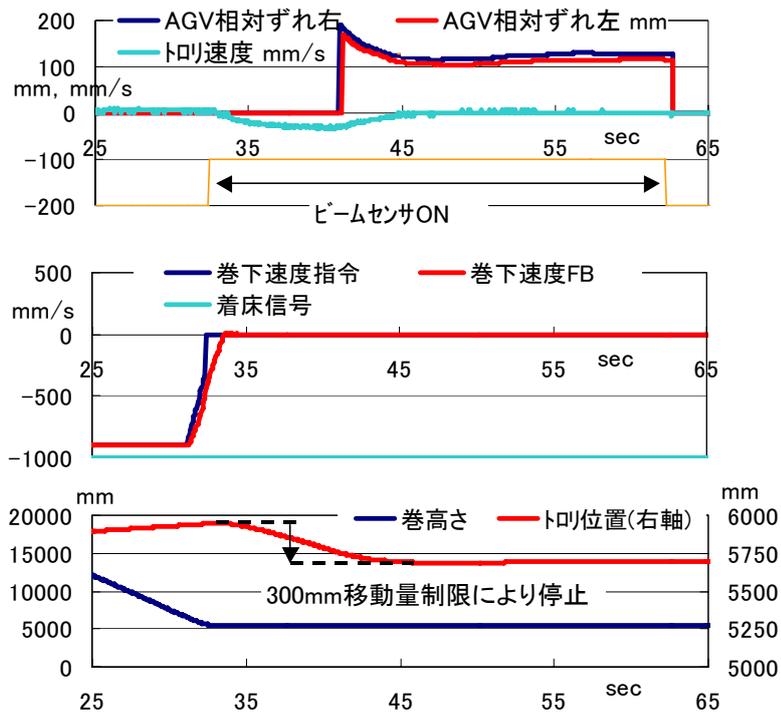


図 5-22 横行ずれ過大時の AGV ヒック (インターロック)

(3) LED 光源が消灯していた場合

右側 LED 光源を消灯させた場合、インターロック停止する機能の確認を行った。結果を下図に示す。

約 37 秒地点でマジックアイ検出指令を ON し、左側マジックアイ検出状態は正常状態を出力しているが、右側マジックアイは十字光源を検出できなかったことから検出不能を出力している。

着床制御は、巻下停止し、右側 LED 光源を見つけるために、トリを前後に±150mm 動かす。左側はこれに同期して相対ずれを検出できているが、右側は検出不能のままである。そのため、約 68 秒地点でマジックアイ検出タイムアウトとして自動停止させている。

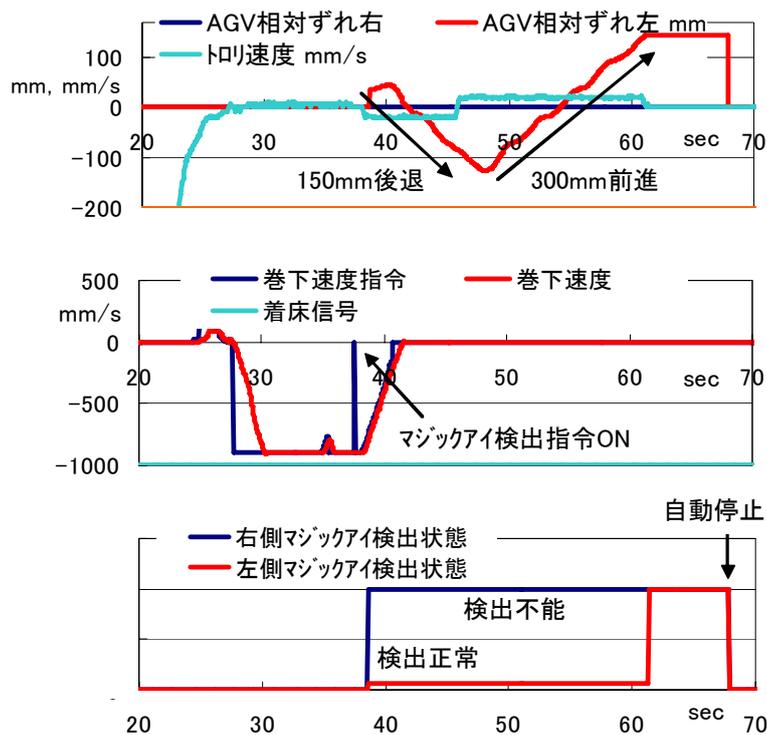


図 5-23 LED 消灯時の AGV グラント[®] (インターロック)

5.3.6 AGV 上への自働着床機能の確認 (バイパス運転)

本実験の主目的は、コンテナの受け渡し時に RTG 側で AGV 相対位置を直接検出する機能の確立を確認することである。しかしながら、AGV と RTG 間のコンテナの受け渡し機能においてこの AGV 位置の直接検知によるフィードバック信号無しで、お互いがそれぞれのセンサによって AGV またはスプレッドの位置を正として位置あわせを行う場合でも、通常の運用においてほとんどのケースでは問題なく荷役は可能である。

従って、フィードバック無しで、万一コンテナの乗り上げ等が発生してもそのような状態を早めに検知でき、適切な停止手段を講じることにより安全を確保できると判断される場合には、一時的に AGV 位置の直接検知を適用せずに運用するケースも考えられる。5.3.5 項の確認では、AGV 位置検出に異常な状態を検出した場合にエラーとして自働運転を停止出来る事を確認した。

この中で、例えば、LED 光源の故障による消灯時等では修理が完了するまでの間、都度エラーによる運転停止による運用効率の低下を避ける目的で一時的に AGV 位置直接検知機能をバイパスして運転出来る様にする運用が想定される。

この為、LED 光源を設置していない AGV に対して自働着床を行い、本機能の確認を行った。実験結果を下図に示す。

AGV 相対ずれを検出できない状況で、横行させず巻下げのみ行って、AGV 上にコンテナを自働着床させている。

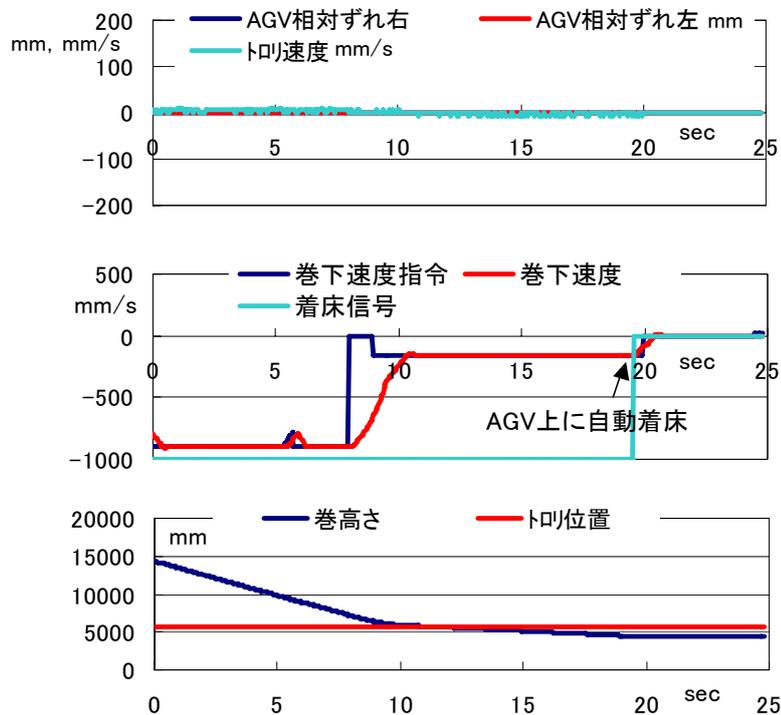


図 5-24 LED 消灯時の AGV グラント (バイパス運転)

5.3.7 AGV 上への自働着床機能の確認（のりあげ検知）

5.3.6にて確認したバース運転では、万一AGVとスプレッド間の位置ずれがありコンテナののりあげが発生した場合にでも早めの検出が出来、動作の停止が出来ることが前提であった。ここでは、この乗り上げ検出の判定基準の確認を実施し、有効な動作停止が実現できることを確認した。

(1) のりあげ時のデータ計測

遠隔手動運転であるが、自働運転の場合と同じ150mm/sでコンテナを巻下げ、AGV前側のガイトに故意にのりあげさせる実験を行った。

のりあげの状態検出には、既存のRTGに付属のスプレッド振れセンサを利用する事にした。この振れセンサは、先にも説明したとおり、スプレッド上にレーザ光源を配置してこれをRTGトリ上よりカメラで捕らえスプレッド位置を捕捉するしくみとなっている。

実験結果の図5-25では、着床信号ON前後でコンテナが倒れ込み、振れセンサ用レーザ光源位置が変化し、振れ変位の急峻な変化が発生している。着床信号ON前後（2.5秒前と0.5秒後）の振れ変位（左右平均値）の差をチェックし、通常着床では起こりえない200mm以上の変化があった場合、のりあげと判定出来る事を確認した。

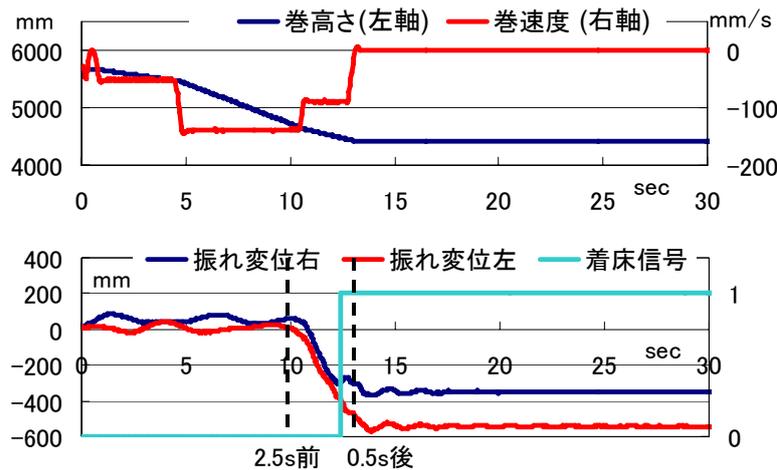


図 5-25 AGV のりあげ時の計測データ



図 5-26 AGV のりあげ時の計測データ

(2) のりあげ検知実験結果

上述ののりあげ判定ロジックを実装し、地面に 300 mm角の角材を後側左右 2 箇所を設置し、AGV 着床自働運転で強制的にのりあげさせた。下図右側ののりあげ状態の寸法比より、 $300\text{mm} / 2.44 * (2.59 + 1.88) = 550\text{mm}$ だけ振れセンサ用レーザーターゲットが変位する。計測データにおいても約 550 mmの振れ変位の変化が発生し、その結果、のりあげ検知のフラグが立ち、自働運転停止することを確認できた。

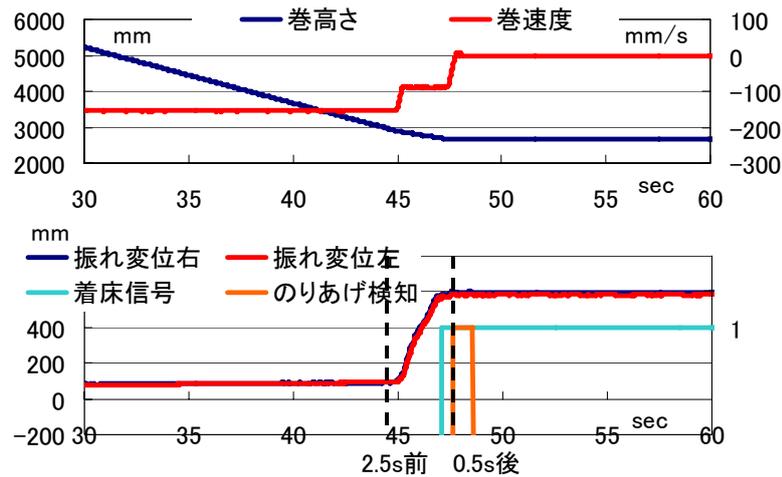
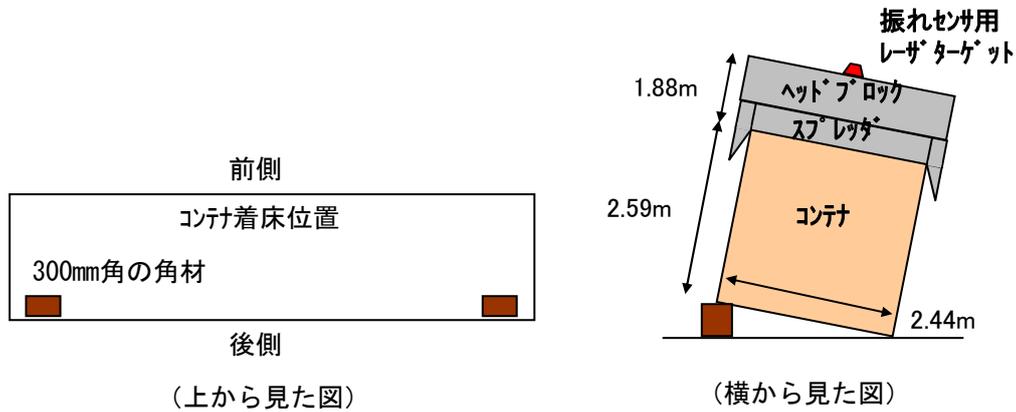


図 5-27 AGV のりあげ検知実験確認

5.4 AGV 誘導機能検証実験

5.3 節の コテナ受け渡し制御実験では、RTGによるAGV直接検知機能を適用して、コテナの受け渡しが可能な事、また横行方向のずれがある場合にはRTG側でトリ位置を自動的に補正して荷役の継続が出来る事を確認した。

ここでは、機能をさらに拡張し走行方向についても多少のずれがあっても自働補正によりエラー停止とせず運転の継続が可能となることを確認する。

走行方向にずれがある場合、横行方向と同様 RTG 側で走行動作を行い停止位置の補正を行うことも考えられるが、一般に RTG 側の走行位置合わせではトリの横行に比べて時間が掛かる。また、元々蔵置場所に対して位置合わせを完了しているものを AGV 側に合わせて移動しコテナの受け渡しをしても、再度蔵置場所に対する位置に戻す必要があり 2 回の位置あわせが必要となる。

この事から、走行方向の相対的な位置合わせでは、通常の手動荷役でも見られるように台車側 (AGV) を RTG 側から誘導して位置の補正をする仕組みによって実現させることを考え、これが可能であることを確認する。

5.4.1 機能の概要

AGV のガイトで吸収できるコテナずれ量は $\pm 150\text{mm}$ なので、余裕を見て $\pm 100\text{mm}$ 以内ならば自働着床を行う事を想定している。

AGV 誘導では、RTG 側で AGV 上の LED 光源の検出により走行方向に $\pm 100\text{mm}$ 以上ずれていた場合は、動作を一時停止し AGV に対し微小移動の要求を出力する。AGV がこれに応じて範囲内に入ると動作を再開し、コテナの受け渡しを完了させる。

ただし、横行方向と同様、ずれ量が異常に大きい場合にはエラー完了させ動作を停止させる。この異常と見なす判定値を $\pm 300\text{mm}$ に設定し、 $\pm 100\text{mm} \sim \pm 300\text{mm}$ の範囲の時、AGV に対し誘導による運転継続を行い、 $\pm 300\text{mm}$ 以上の場合はエラーによる自働停止とする事にした。尚、この数値はパラメタであり実運用では、各機器の許容誤差等を考慮して適切な値にセットすれば良い。

この AGV 誘導実現時の RTG 及び AGV の手順とインターフェイスの内容を下図に示す。想定されるシステムでは、AGV と RTG 機器間での直接の通信手段を持たない為、各管理システム (ACS 及び RGC) を経由してのインターフェイスが必要となっている。

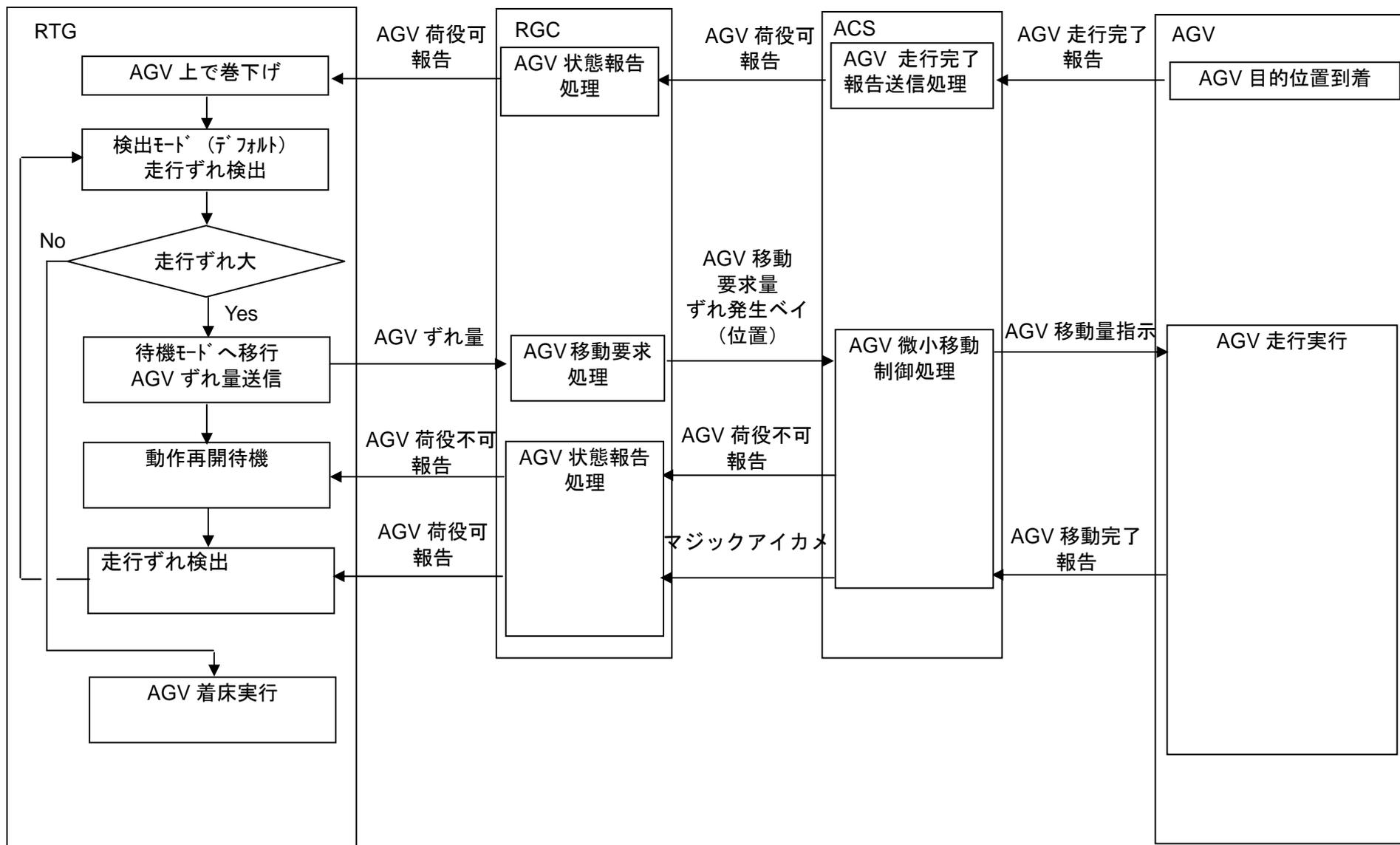


図 5-28 AGV 走行誘導時の手順フロー

5.4.2 試験内容

AGV誘導機能の確認では、試験の効率を考慮して 図 5-28 においてRTGとAGVのシステムに分割して確認試験を実施した。

分割点となる RGC と ACS 間のインターフェイス部分は、純粋にソフトウェアに関する内容であることから敢えて確認する必要は無く、相手側システムからの応答内容は、それぞれのシステムで模擬的な入力を可能とすることで十分に確認可能であるからである。

5.4.3 RTG 側機能の確認

図 4-1 の構成においてAGVは手動操作にて移動を行い、ACSの部分は模擬のPCを配置して必要な電文を状況に応じて手動で入力する構成にて試験を実施した。

試験内容は、誘導による運転継続可能なケースと何らかの要因で位置合わせが完了せずエラーとなるケースの確認を行った。

(1) 走行誘導により運転継続可能なケース

AGVを走行方向に 200mm故意にずらして、AGVカメラの実験を行った。結果を図 5-29 に示す。約 65 秒地点でAGV着床制御に入り、マジックアイ検出指令をONして、最上図に示すようにAGV相対ずれ検出値（走行方向）を取得している。±120mm以内を許容範囲としており、5 秒間継続を確認した約 70 秒地点で、AGV走行指示（走行指示移動量 約 200mm）を出力している。

これに対応して、約 120 秒地点で AGV が走行位置補正を開始し、約 155 秒地点で AGV 走行完了報告を受信している。AGV 着床制御は、AGV 相対ずれ検出値（走行方向）が±120mm 以内であることを確認し、巻下速度指令を出力し、AGV 上にコンテナを着床させている。

同様に AGV ピックの実験結果を、図 5-30 に示す。

AGVを走行方向に故意に 200mmずらした様子、電気室でのデータ計測の様子を図 5-31 に示す。

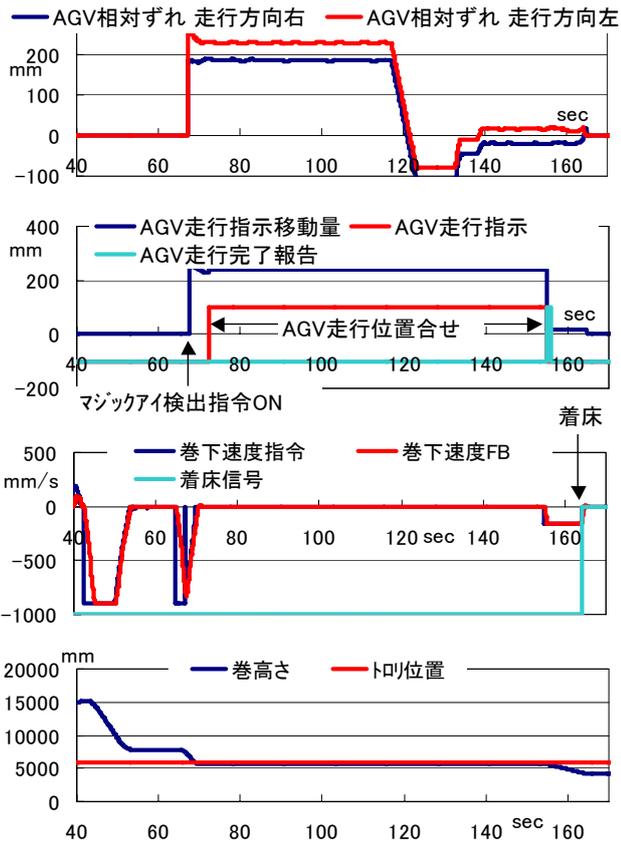


図 5-29 AGV 走行誘導機能確認実験 (AGVグランド)

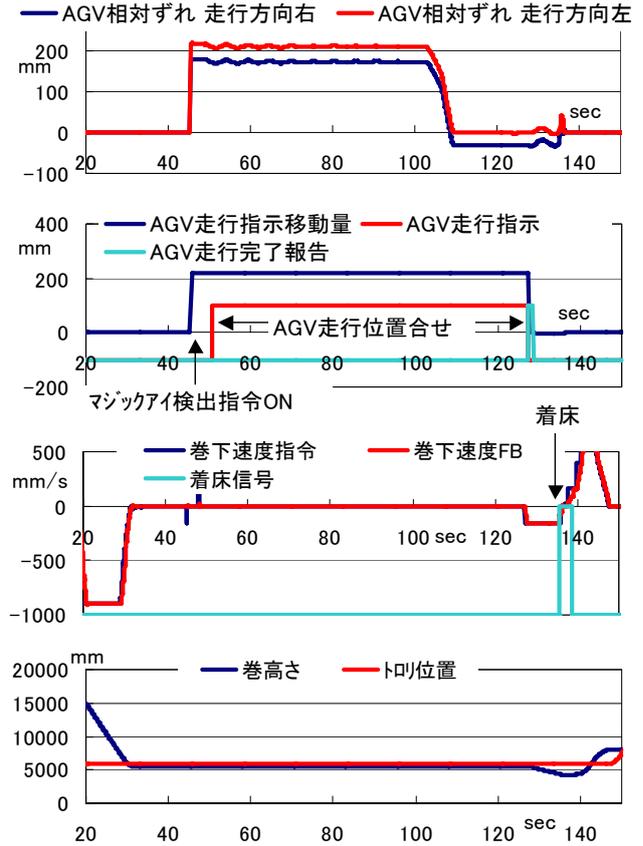


図 5-30 AGV 走行誘導機能確認実験 (AGVビック)



図 5-31 AGV 走行ずらし、および電気室で計測の様子

(2) 走行誘導が失敗するケース

AGVの走行ずれを検知してAGV走行指示を出力し、AGV走行完了報告を受信するが、実際にはAGV走行位置が補正されていなかった場合のインターロックの確認実験を行った。結果を図 5-32 に示す。

約 85 秒地点で AGV 走行完了報告を受信しているが、最上段の AGV 走行ずれは解消されていないので、AGV 走行指示を再度、送信している。約 120 秒地点で再び AGV 走行完了報告を受信しているが、ここでも AGV 走行ずれは解消されていない。そのため、インターロックを発動し、自働中断、遠隔操作卓割り付け（手動介入要求）となることを確認した。

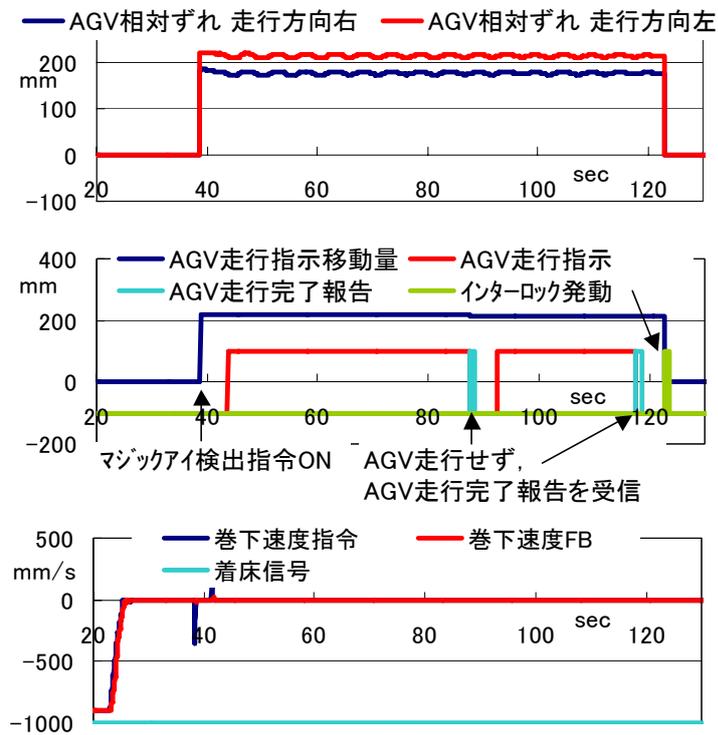


図 5-32 走行誘導機能のインターロック確認

5.4.4 AGV 側機能の確認

AGV機能の確認では、図 5-33 の構成においてACSからAGVに対して微小移動の指示を出し、これを実現出来るか確認した。ここでAGVに要求される最小移動距離は、60 mmとなっている。これは、下図右上に示すように、コテナ受け渡し時の機械的ながれ機能のうち最も条件の厳しいRTG側フリックのガト幅 120 mmに対して、余裕代を考慮しその半分を必要最小移動距離としている。また、目標の停止精度は、RTGが±20mm以内に位置決め制御できていることから、AGVも同様に 20 mmとした。

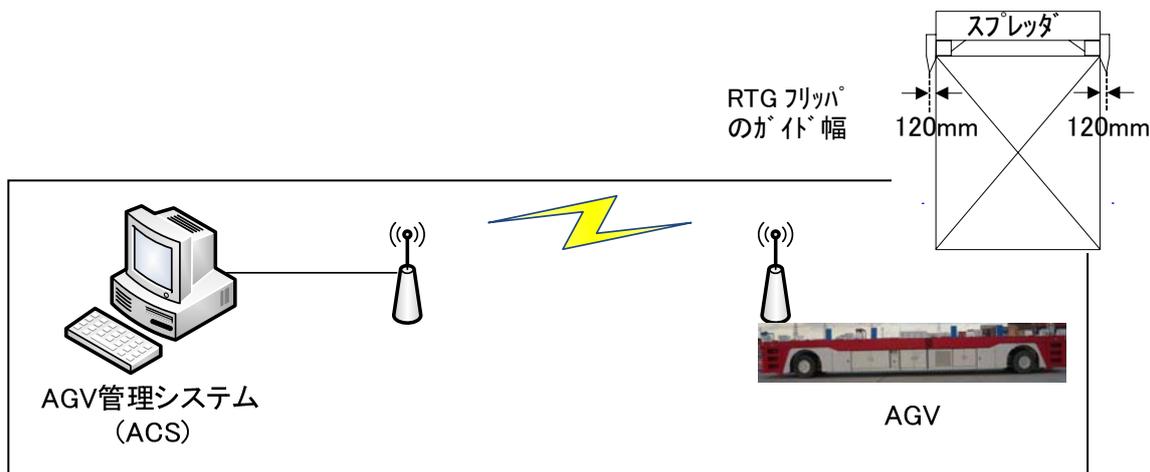


図 5-33 AGV 微小移動実験時の構成

試験は、空車時と 30 t の負荷積載の条件で実施した。試験結果を表 5-2、表 5-3 以下に示す。この結果より、要求仕様である最小移動距離 60 mm及び停止精度 20 mmは十分満足出来ることが確認出来た。

表 5-2 AGV 微小移動停止精度実験結果（空車時）

測定回数 各 5 回ずつ実施

移動指示量	前進		後進		備考
	停止誤差 範囲 [mm]	平均値 [mm]	停止誤差 範囲 [mm]	平均値 [mm]	
20	-0.49~+6.09	+2.8			前進のみ測定
30	-6.04~+1.24	+2.6			前進のみ測定
40	-0.96~+4.24	+2.6	-2.02~+4.82	+1.4	
60	-2.17~+8.57	+3.2	-2.08~+3.28	+0.6	
100	-2.95~+9.35	+3.2	-1.08~+4.28	+1.6	
400	-7.22~+8.42	+0.6	-8.35~+3.95	-2.2	
500	-3.08~+2.28	-0.4	-7.85~+3.05	-2.4	

表 5-3 AGV 微小移動停止精度実験結果 (30t 積車時)

測定回数 各 5 回ずつ実施

移動指示量	前進		後進		備考
	停止誤差 範囲 [mm]	平均値 [mm]	停止誤差 範囲 [mm]	平均値 [mm]	
20	-13.19~-5.61	-9.4	-18.95~-5.25	-12.1	
30	-8.67~-1.33	+2.6			前進のみ測定
40	-11.50~-7.30	+2.6	-10.15~-7.05	-8.6	
60	-8.28~-2.92	+3.2	-8.24~+0.24	-4.0	
100	-4.14~-1.46	+3.2	-6.04~-2.76	-4.4	
400	-4.02~+9.02	+0.6	-3.79~+7.19	+1.7	
500	-11.69~-3.11	-0.4	-14.50~-0.30	-7.4	

6. まとめ

本実験では、AGV と自働 RTG を組み合わせたターミナル運用において、RTG と AGV 間の自働コンテナ受け渡しを安全かつ確実に実現する手段として RTG に AGV 位置を直接検知する仕組みを組み込みその有効性を検証した。この仕組みでは、AGV 上に LED 光源を設置し、現在遠隔自働 RTG にて適用されているマッピングセンサー（スプレッドに設置されているセンサ）にて RTG 側で AGV との相対位置を直接測定する。

試験項目として、予備実験、コンテナ受け渡し制御実験及び AGV 誘導実験の 3 点に分けて実施した。

予備実験では、太陽光の外乱、雨による光の散乱及び、AGV 上への取り付け予定の他光源に対する LED 光源検出の安定性を確認した。太陽光の様な強力な外乱要素があっても、光源の輝度情報に加えて十字パターンとのテンプレートマッチングを取ることにより安定した検出の実現が可能であることを確認できた。また、想定される使用環境下において LED 光源の振動や雨に対する防水性能が十分あることも確認できた。

コンテナ受け渡し制御実験では、この LED 光源検出による AGV 相対位置検出システムを実機に組み込んで実運用相当の環境下で試験運転を実施した。通常の運転の他にも、横行方向の自働位置補正機能やセンサ故障時のインターロック機能の確認及びバイパス運転等、実運用を想定した際に必要と考えられる機能はすべて問題なく実現できることを確認した。

AGV 誘導実験では、走行方向に AGV がずれて停止した際に RTG 側から AGV を誘導する仕組みを想定し、この想定に基づいて誘導機能の実現性を確認した。この検証では、RTG 側と AGV 側でシステムを分けて確認を実施した。RTG 側の検証では、走行方向の AGV のずれを検出し、これに基づいた誘導が出来ること、誘導に従って AGV が移動し所定範囲内に入れば荷役の自働継続が出来る事を確認できた。一方、AGV 側の検証では、RTG 側からの誘導時の最小移動距離 60 mm を十分に満足できる微小移動が可能であることを確認できた。

以上の実験により、AGV を適用した運用の実現にあたって非常に重要となる AGV と自働 RTG 間のコンテナ受け渡し機能が実運用において問題なく機能する目処付けができた。

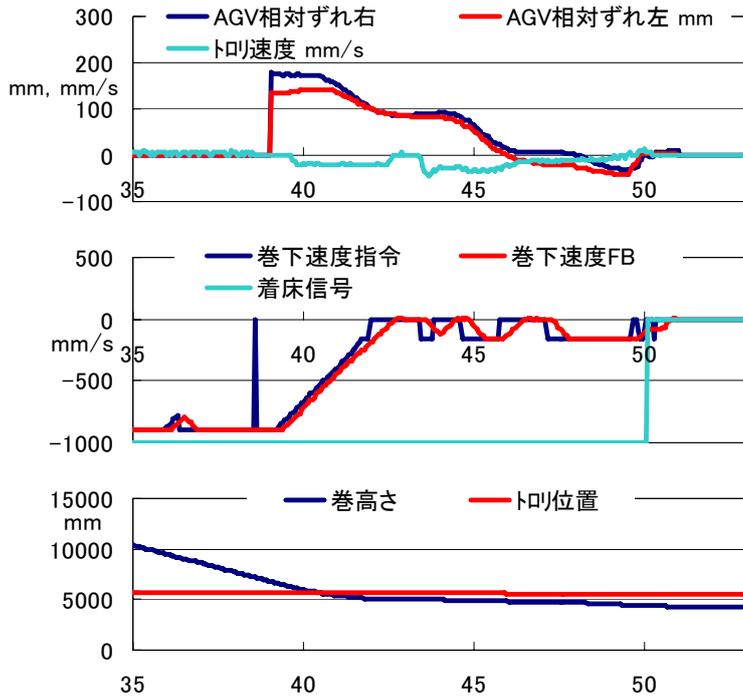
7. 付録1 その他の計測データ

本文に記載した代表データ以外の計測データを以下に添付する。

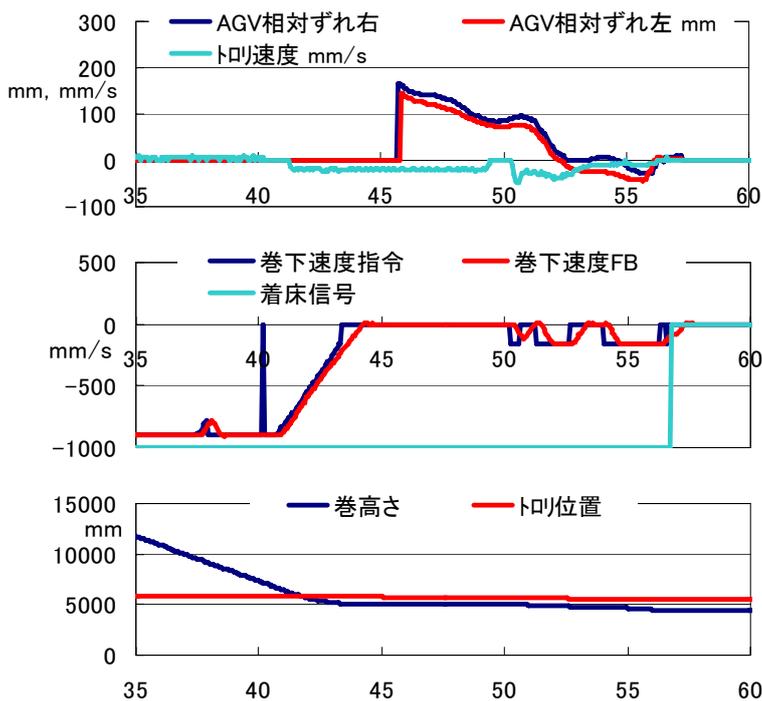
(1) AGV へのコンテナの積付け

① +150mm ずらした状態から AGV グラント

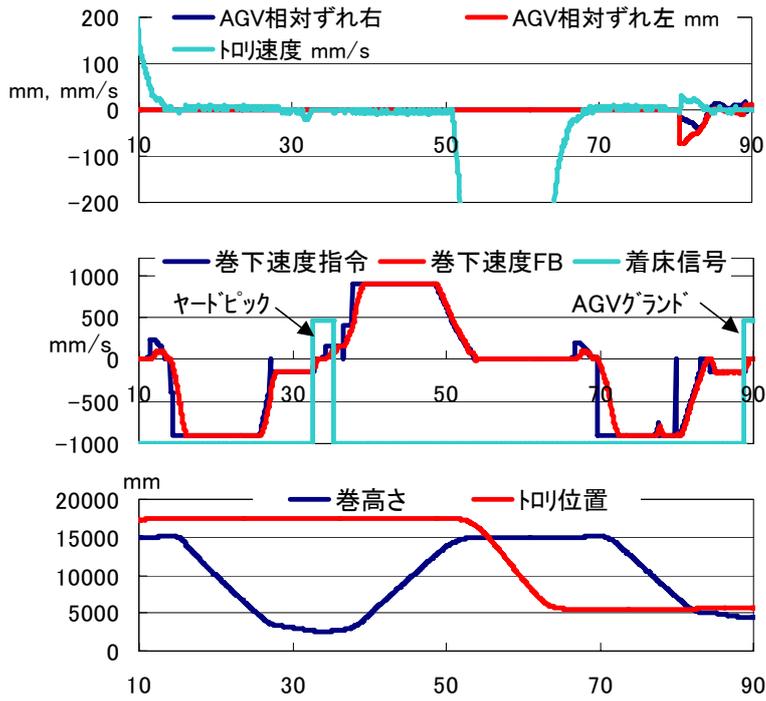
※ -150mm ずらした場合は、本文の図 5-19 に記載。



② +200mm ずらした状態から AGV グラント

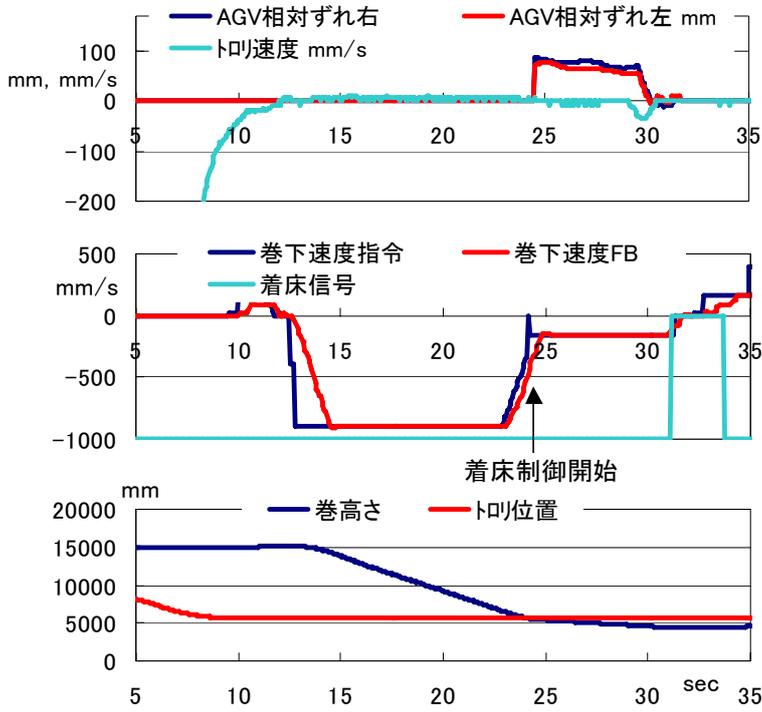


③ ヤードピックから AGV グラントまでの一連動作

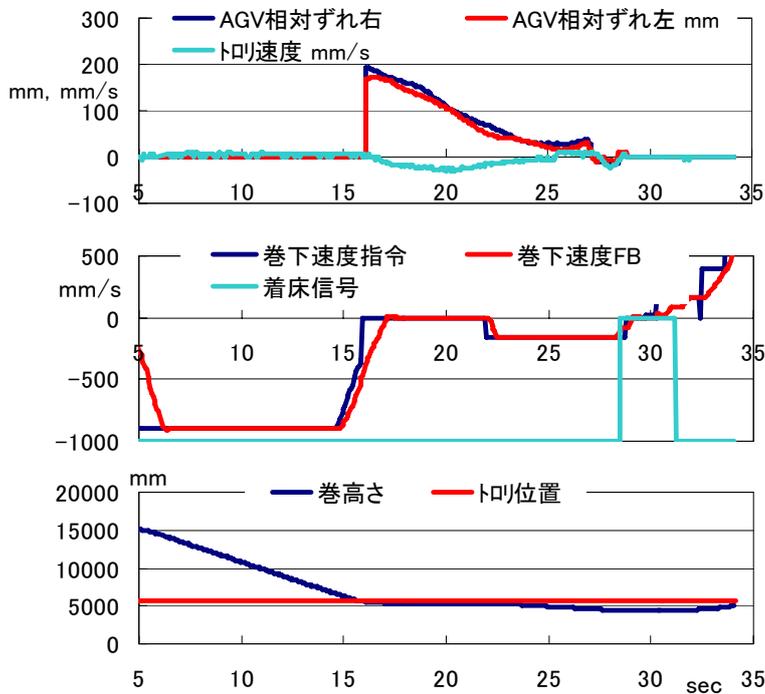


(2) AGV 上コンテナの掴み

① +100mm ずらした状態から AGV ヒック

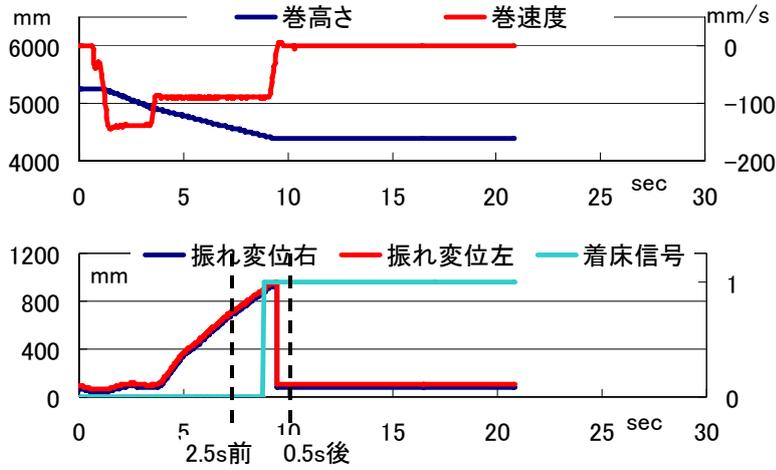


② +200mm ずらした状態から AGV ヒック

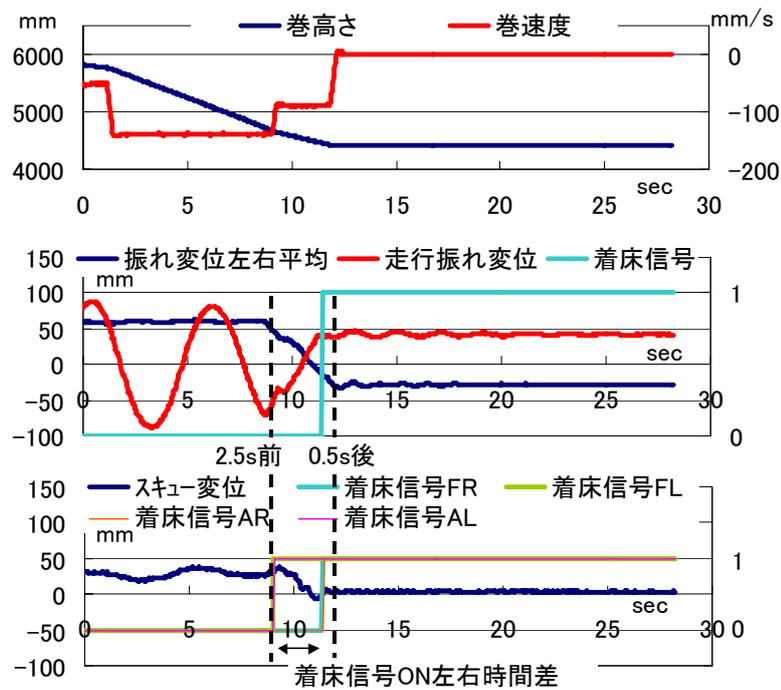


(3) AGVガイドのりあげ時のデータ

① AGV 後側ガイドに手動でのりあげさせた時のデータ

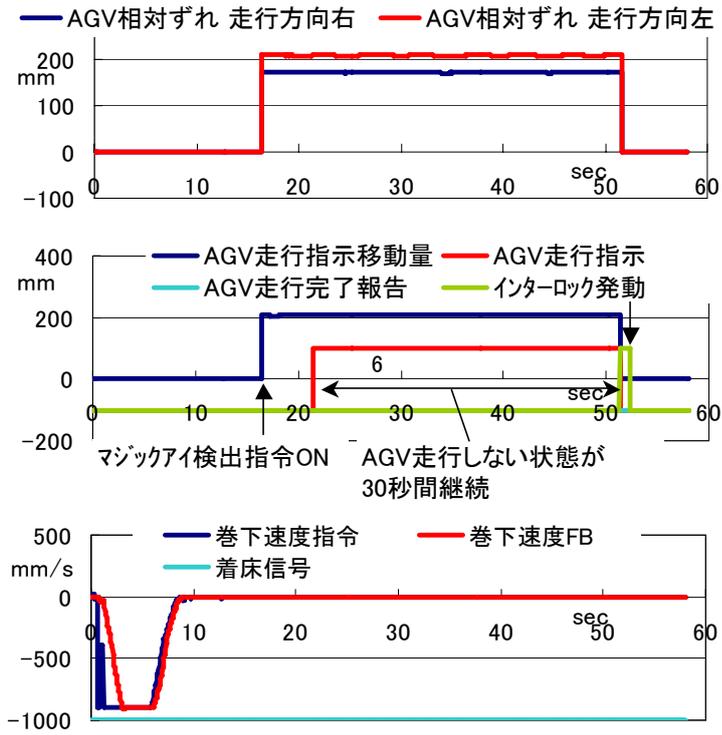


② AGV 左側走行ガイドに手動でのりあげさせた時のデータ



(4) 走行誘導機能もインターロック確認

(AGV から応答がなく、タイムアウトで自動停止の確認)



8. 付録2 用語集

本書にて使用する自働 RTG 特有の用語や造語などについて以下に解説する。

RTG	Rubber Tired Gantry Crane。クレーン本機。
RGC	RTG 群管理計算機 (RTG を統括管理する PC)。
OPC	遠隔操作卓コンピュータ (RTG を遠隔で操縦する為の PC)。
MCC	RTG に実装される自働制御コンピュータ。
ACS	AGV Control System (AGV を統括管理する PC)
トリ	横行 (Y 方向) 移動台車。RTG ガーター上横行レールに乗る。
スプレック	コンテナを掴む吊具。トリから巻きロープにより吊られる。 20' 40' 45' コンテナに対応する伸縮機構を持つ。
シャーシ	コンテナ搬送用トラック。
AGV	Automated Guided Vehicle。
巻き上げ	トリから吊り下げているスプレックを、トリ上のモーターで巻き上げること。
巻き下げ	トリから吊り下げているスプレックを、トリ上のモーターで巻き下げること
横行	トリがクレーンガーター上を移動すること。
走行	クレーン全体がヤードを移動すること。
小旋回	スプレックを水平面上で回転させること。
ベイ (BAY)	走行方向 (X 方向) のコンテナの列
ロウ (ROW)	横行方向 (Y 方向) のコンテナの列
ティア (TIER)	巻き方向 (Z 方向) のコンテナの列
ブロック (BLOCK)	走行方向に連続的に配置されるベイの集合を呼ぶ。
レーン (LANE)	走行方向に連続的に配置されるブロックの集合を呼ぶ。
自働モード	自働荷役が可能なモード
手動モード	すべて手動で荷役を行うモード
着床制御	自働でコンテナを積み付ける、またはコンテナを掴むための制御機能
スウェイ	スプレックのトリに対する横行方向 (Y 方向) の振れ
スキュー	スプレックの X, Y 平面における回転方向の振れ
マジックアイ	スプレックに設置されるカメラでコンテナ積み付け時の下側コンテナと 吊りコンテナとの相対ずれ量 (X, Y 方向) を検出する画像処理装置。
インターロック	誤った操作や機器の誤動作による事故を防止するための仕組み。
ガーター	クレーン最上部の梁。この上をトリが横行する。

第2部 シミュレーション検証について

9. 概要

名古屋港における物流効率化を目指した取り組みとして、名古屋港では国内初となる自動化荷役システムについて、さまざまな調査・検討などがおこなわれてきた。飛島ふ頭南側コンテナターミナルでは徹底的な低コスト・高サービス・高効率のターミナルを目指し、平成 17 年 12 月に遠隔自働 RTG を採用した第 1 バースの稼働を開始し、さらに平成 20 年の第 2 バース供用開始時には RTG と自働搬送車 (AGV) を導入した自動化ターミナルを視野に入れて整備が進められている。本社会実験では自動化ターミナルの実現に向けて実際の RTG 及び AGV を使用した自働搬送の実験を行い、自動化荷役システムが実用可能なことを検証する。

実施内容は 2 項目あり、1 つは AGV-RTG 間の自働搬送実験、もう 1 つは外来シャシと AGV の遮断機による交差点制御のシミュレーション検証である。本書では 2 番目の交差点制御のシミュレーション検証結果について報告する。

シミュレーション検証では、有人シャシをヤード内まで呼び込み、AGV との干渉防止を交差点に設置する遮断機によって実現するレイアウトを適用し、ターミナルレイアウトや各機器の運行ロジックを詳細にモデル化して、コンピュータ上に実現した。このモデルに実荷役を想定した運用条件を設定し、自動化ターミナルが目標とする取扱能力を有することを確認した。

10. 背景と目標

10.1 背景

飛島ふ頭南側コンテナターミナルでは、第 2 バース供用開始に合わせ RTG と自働搬送車 (AGV) を導入した自動化ターミナルの導入を計画している。これに関連してさまざまな調査・検討が行われているが、シミュレーションによるターミナルの取扱能力の評価もこの一環として行われてきた。

これまでの移載機を適用したヤード内完全自動化のシミュレーションにおいては、供用後の実荷役を想定した 1 週 12 船の負荷を与えた場合、本船作業はおおむね所定の能力で実施できる見通しを得られている。ただし、外来作業と本船作業の負荷が共に高くなる時間帯においては、外来作業の待ち時間が大幅に長くなるという課題が明らかになっている。図 10-1 はこの一例を示すものであり、外来シャシの待ち時間を時間帯別に平均した値を示している。外来シャシは終日作業しており、一方、比較的荷役量の多い本船作業を午前中に行っている。このケースでは、標準的な待ち時間 20 分に対し、外来と本船の重なる午前中に大幅に長くなっている。

外来作業の待ち時間が長くなる要因として、外来作業の負荷すなわち外来シャシの到着頻度が、移載機と AGV の計算上の能力上限値と拮抗していること、RTG における本船作業の優先処理により外来作業が待たされること、レーン入口の渋滞回避のため、外来 AGV のジョブ発行待ち、もしくは周回動作により能力が低下することなどが複合して作用しているためと考えられる。

AGV 台数を増やしても渋滞の増加により取扱能力が大きくは増えないことは、これまで

のシミュレーションで判明している。このため、外来作業には AGV を用いず、従来通りヤード内に有人のトレーを引き込むレイアウトの適用を計画した。これはボトルネックとなっている外来作業の AGV を外来シャシで置き換える、すなわち、外来シャシをレーン内に直接進入させ、AGV を介さずに RTG で荷役を行うレイアウトとするものである。

本レイアウトでは、外来シャシがレーンに進入するため本船作業を行う AGV と動線が交差する部分が生じる。このため安全対策として、交差部分には遮断機により外来シャシの管制を行う必要がある。このように大幅なレイアウト変更を伴う方法であるが、従来限られた台数の AGV で担っていた外来作業を多くの台数の外来シャシが直接レーンに到達することで外来作業の改善が期待できる。

本実験では、シミュレーションによりこのレイアウトでの運用の実現性を検証する。

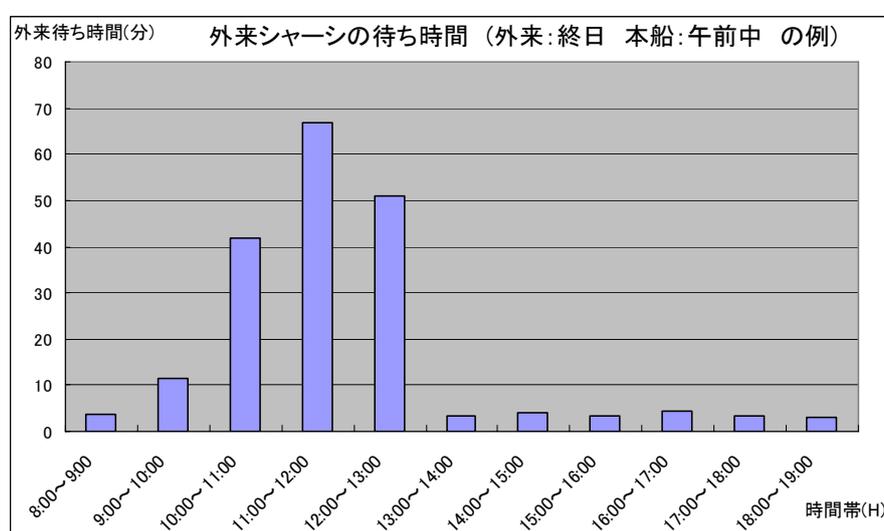


図 10-1 外来シャシと AGV の動線配置

10.2 性能目標

ヤードの取扱能力は RTG の時間当たりの取扱本数で評価することができる。

性能目標としては、時間当たりの取り扱い本数として、本船 150 本+外来 85 本を設定した。この目標値は次のようにして設定した。

まず本船作業であるが、GC の早いほうのサイクルタイム(デッキ)が 65 秒/本であり、このときの処理本数 55.4 本/h の 90% の能力に対応できるようにする。GC1 台あたりで 49.8 本/h となるため、これを 50 本/h として 3 台で 150 本/h の目標値とする。

第 1 バースで稼動している遠隔 RTG システムの実績値から、あたりの能力を 235 本/h に設定する。本船作業で 150 本/h を使用することから、外来作業では 85 本/h の能力を期待することになる。(移載機のサイクルタイムは 55 秒/本であり、このときの処理本数は 65.5 本/h、

移載機 2 台では 131 本/h となる。移載機単体では可能な能力となる。)

この 85 本/h について、荷繰り作業を含めた RTG の能力から見た妥当性を次に示す。

外来 85 本/h が搬出・搬入で同数とすると、それぞれ、42.5 本/h となる。

搬出については、荷繰りの有り・無しを同じ割合で想定しているので、荷繰り有り 21.25 本/h、荷繰りなし 21.25 本/h となる。

搬出の荷繰りありの場合を除く RTG の標準サイクルタイムは 144 秒/本を想定しており、1 時間あたりの所要時間の総計は次の値となる。

$$(150+42.5+21.25) * 144 = 30780(\text{sec})$$

RTG10 台の 1 時間の時間総計と上記の差から、搬出荷繰りありの場合に使える作業時間が計算される。

$$36000 - 30780 = 5220 (\text{sec})$$

荷繰りありの搬出において、 $5220/21.25=245.6$ 秒/本の所要時間であれば、RTG で実行可能と判断して外来 85 本/h の目標値とした。

RTG のサイクルタイムは 1 ベイ分の作業時間の計算結果(1 期工事の実績を反映したもの)から、揚げ・搬入で 105.1 秒/本、積み・搬出で 113.7 秒/本としている。

走行時間は作業種類がランダムな並びとすると、平均 52.6 秒の計算となるが、輸出エリア、輸入エリアでの作業が連続するとすれば、平均 36.1 秒の走行時間となる。

荷繰りについても想定している荷繰りパターンについて所要時間を計算すると、35.9 秒となる。

荷繰りのある搬出作業は、上記の結果から

$$113.7 \text{ 秒} + 52.6 \text{ 秒} + 35.9 \text{ 秒} = 202.2 \text{ 秒}$$

の所要時間となり、上記で設定した 245.6 秒/本を下回ることから、外来作業で 85 本/h の能力は目標値として妥当なものと考えられる。

上記の検討結果から、本年度の能力評価の目標値として、時間当たりの取扱本数：本船 150 本 + 外来 85 本を設定した。

11. 実施内容の詳細

本章では、外来シャシをゲートから各レーン内に進入させるレイアウトの概要、シミュレーション結果を示す。

11.1 外来シャシの動線

従来計画していたレイアウトでは、外来シャシは移載機において AGV へコンテナを受け渡していたが、本レイアウトでは移載機を廃止し、外来シャシをゲートから各レーンの入口まで走行させ、その後レーン内に進入させる。RTG は直接外来シャシとコンテナの受け渡しを行う。外来シャシはレーンから退出したのち、アウトゲートへ向けて走行する。

図 11-1 に外来シャシのレーン進入時の動線を示す。

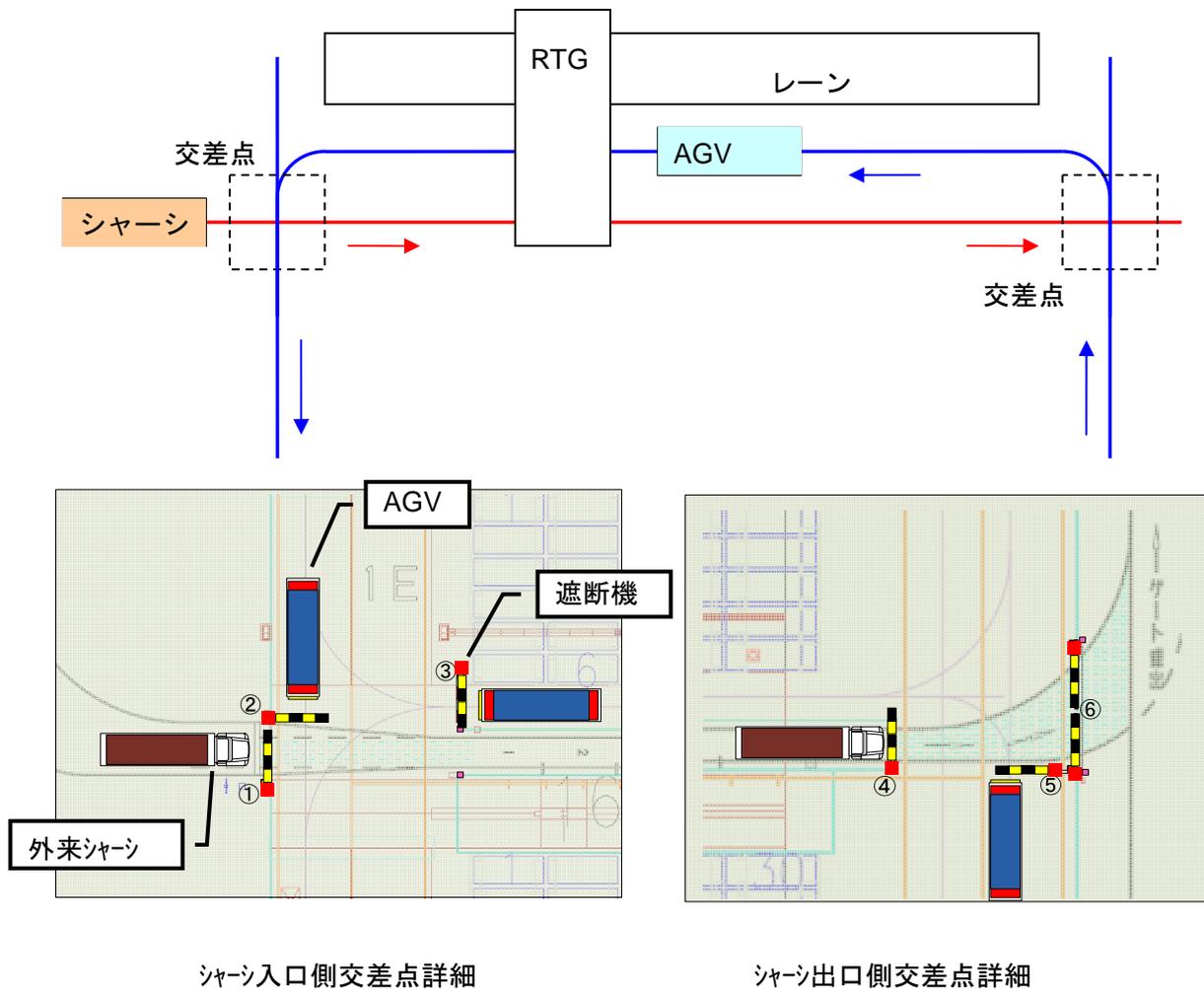


図 11-1 外来シャシと AGV の動線配置

本レイアウトにおいては、外来シャーンがレーン内に進入する際 AGV の動線と交差する部分が生じる。AGV 同士の交差点であれば、AGV 群管理システムにおいて交差点の排他制御を行う。しかし、外来シャーンは有人での運行となるため、システム側で直接走行を制御することができない。このため、AGV 通過中、あるいは接近中に交差点への進入を制限する仕組みが別に必要となる。このため、それぞれの交差点に遮断機（信号機）を設ける。遮断機を管理するシステムは AGV 群管理システムと連携して、各 AGV の位置・速度から当該交差点の AGV 通過が確実となった時点で、遮断機を閉じて外来シャーンの進入を制限する。

遮断機はレーン入口と出口に設ける。遮断機システムが遮断機を下ろすタイミングは、接近してくる AGV が交差点の手前、減速に必要な距離を通過した時点となる。また、遮断機システムは外来シャーンの交差点通過状況を監視し、シャーンが交差点を出ないうちに AGV が接近してきた場合には AGV 群管理システムに対して交差点手前で停止させる措置をとる。

また、レーンの AGV 出口側の交差点については、AGV の合流が生じるが、縦動線を下る（南下する）AGV をなるべく止めないようにするため、交差点進入に際しては縦動線の AGV を優先して進入させる。このため、縦動線の AGV が交差点を占有（進入予約）するタイミングは、合流 AGV が進入予約するタイミングよりも早くなるよう、判定位置の設定を行う。

また本レイアウトでは、有人の外来シャーンがレーン内に進入するが、安全上自働荷役機器の作動エリアと、外来シャーンが走行するエリアは厳密に分離する必要がある。このため、レーン内の経路は、1 本は本船 AGV 専用、1 本は外来シャーン専用として使用する。RTG は、2 本のレーンのうち、蔵置エリアに近いレーンで本船 AGV の荷役を行い、RTG の脚に近い側のレーンで外来シャーンの荷役を行う。AGV の荷役を行う場合は自働荷役となり、外来レーンに到着した外来シャーンの荷役を行う場合は遠隔自働による荷役となる。

尚、実運用において想定されている遮断機システムでは、交差点における遮断機の配置は、

図 11-1 に示す各シャーン入口及び出口交差点の詳細図のようになる。交差点においてミレージ上で必要となる遮断機は①と④であるが、その他に AGV 用の②、③及び⑤と外部の人などが自働領域内に誤って進入を防ぐ目的で設置される⑥の遮断機も設置される。

AGV 用の遮断機は、システムの不具合等の理由で万一 AGV がシャーン通過中に交差点内に進入しようとするようなことがあっても、遮断機バーにとりつけられたターゲットを AGV に設置されている衝突防止用のセンサが検知して停止が掛かる事を目的として設置される。

11.2 ヤード全体レイアウト

新しいレイアウトでは、外来シャシがゲート通過後、各レーンの入口まで移動し待機する為、移載機は必要無くなる。外来シャシのレーン入口にはAGVとの間で交差点の管制を行う遮断機が設置され、外来シャシのレーン内への進入を制限する。図 11-2 に本レイアウトの全体概要を示す（シミュレーション画面）。図中、赤で示されている台車は外来シャシでありゲートから入ったシャシは、各レーン西側の入口に走行し待機する。レーン左右にある色つきの○は遮断機の状態を表す信号である。上から、AGV側遮断機封鎖、シャシ側遮断機封鎖、AGV進入予約あり、の状態を表しており、西側のみAGV渋滞停止を左側に表示している。

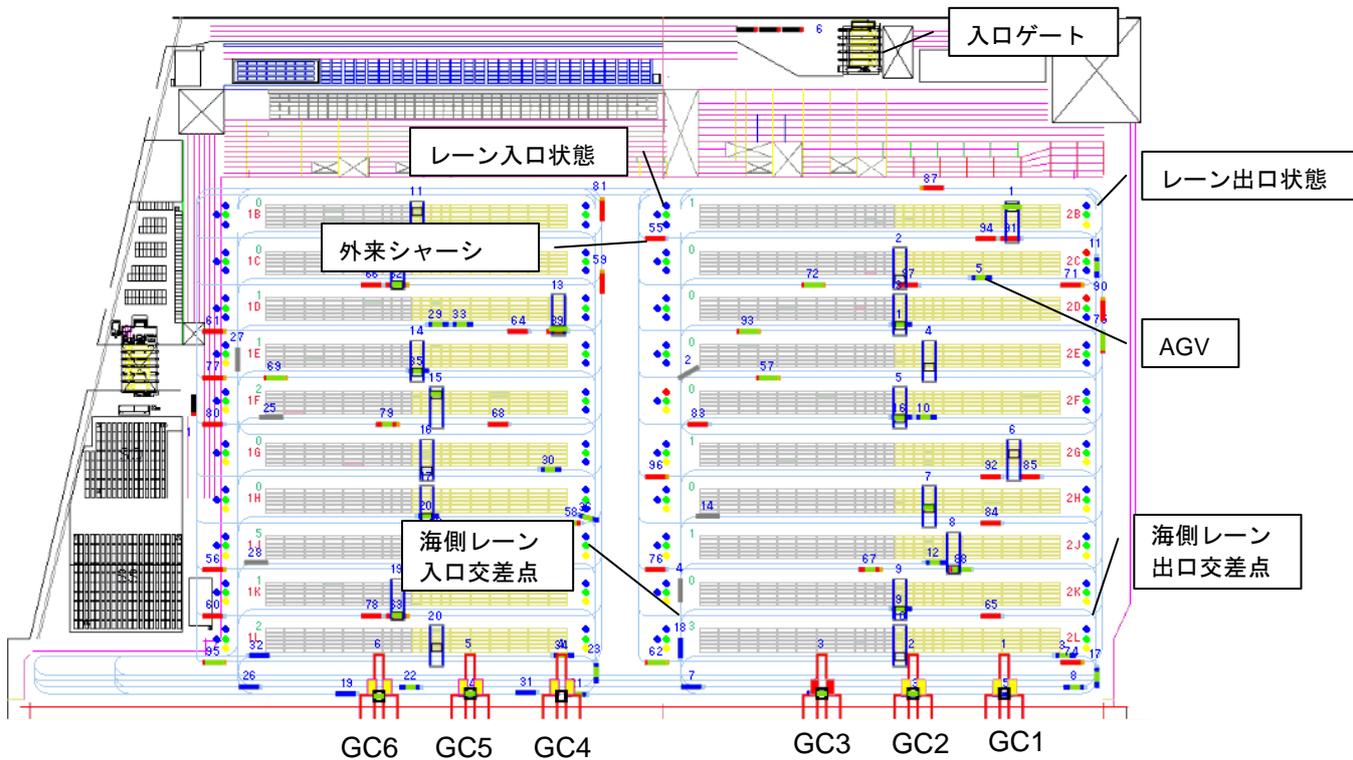


図 11-2 ヤードレイアウト（外来シャシヤード 進入形式）

11.3 荷役機器の運用

外来シャシのレーン進入レイアウトにおいては、遮断機の開閉ロジック、AGV の運行制御、RTG への作業割当ての各項目について適切なロジックを構築する必要がある。ここでは、運用ロジックの内容について示す。

11.3.1 遮断機制御

外来シャシはゲートでの受付時に行き先のバース・レーンを指示される。外来シャシは自走して、指示されたレーンの入口まで移動する。レーン入口となる交差点には遮断機があり、外来シャシのレーンへの進入を制限している。遮断機が外来シャシの進入を制限する、すなわち遮断機を閉じるのは次の場合である。

- (1) AGV が当該遮断機のある交差点に進入予約をしている場合。

縦動線を岸壁に向けて南下する AGV、もしくは当該レーンから縦動線に合流する AGV が、交差点に接近したとき、交差点に対して進入予約を入れる。進入予約が入ったら交差点は遮断機を閉じる。進入予約を入れた AGV が交差点に進入し、通過した後遮断機を開く。ここで、AGV が交差点を通過する前に、後続の AGV が進入予約を入れると、遮断機は開かずに閉じたままとなる。

- (2) 当該レーン内で、RTG による荷役中、もしくは荷役待ちの外来シャシが 2 台いる場合。

レーンに先行する外来シャシが 1 台の場合には、後続の外来シャシは進入できる。先行する外来シャシが 2 台いる場合には、AGV 接近による進入予約がなくても、遮断機は開かない。

このとき、RTG 荷役終了後まだレーンを出ていない外来シャシはカウントしない。

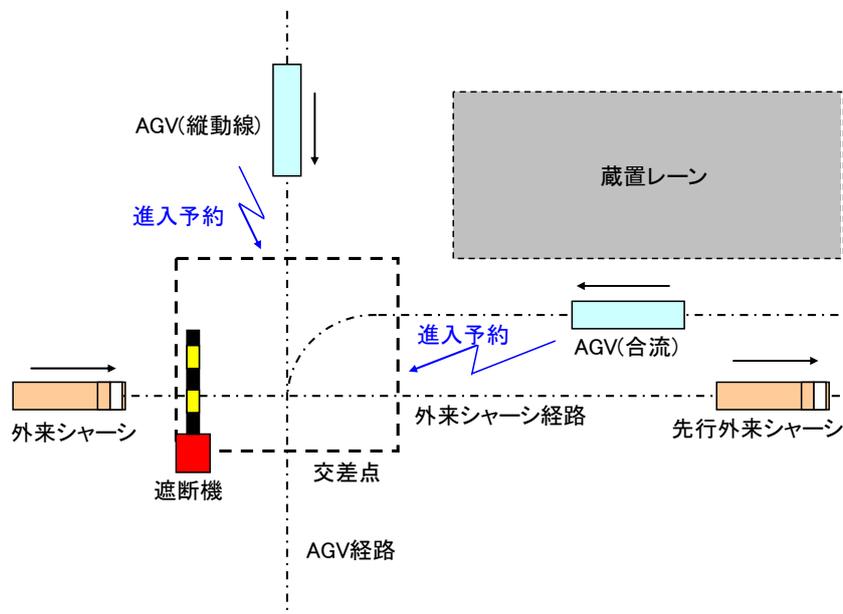


図 11-3 レーン入口交差点の遮断機

レーン出口の交差点にも遮断機は設置されている。レーン出口の交差点の場合には、次の条件で遮断機を閉じる。出口の場合には外来シャシの台数に関する条件はない。

(3) AGV が当該遮断機のある交差点に進入予約をしている場合。

縦動線を北上する AGV が交差点に接近したとき、交差点に対して進入予約を入れる。この場合の AGV は当該レーンに進入するものと、当該レーンを通して陸側のレーンを行き先とする二つの場合がある。進入予約が入ったら交差点は遮断機を閉じる。進入予約を入れた AGV が交差点に進入し、通過した後遮断機を開く。ここで、AGV が交差点を通過する前に、後続の AGV が進入予約を入れていると、遮断機は開かずに閉じたままとなる。

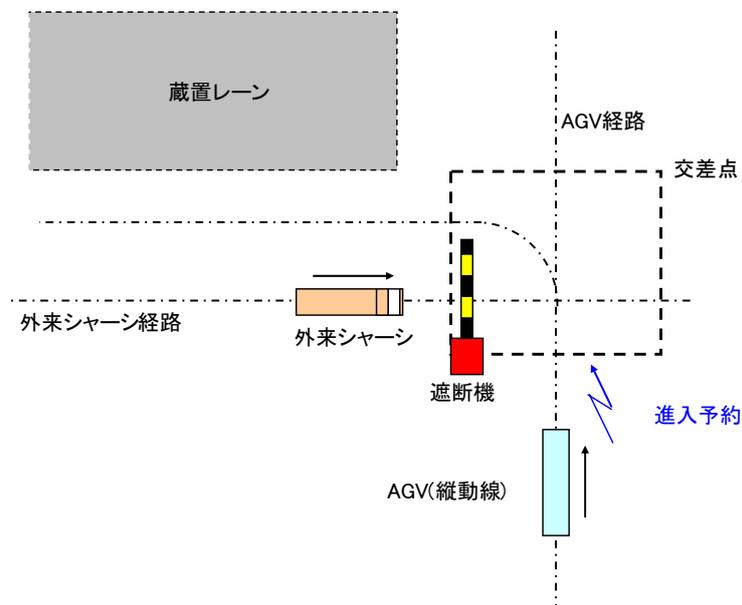


図 11-4 レーン出口交差点の遮断機

各レーンの出入口の交差点を通過する AGV の台数に注目すると、最も陸側のレーンの交差点はそのレーンを行き先とする AGV のみが通過するのに対し、最も海側のレーンの交差点はすべての AGV が通過することになる。

AGV の通過台数が多いと、次々と進入予約が入り外来シャシのために遮断機が開くタイミングが非常に少なくなる恐れがある。

このため、交差点を AGV が占有する割合をシミュレーションにより評価したところ、Lレーン（岸壁に最も近いレーン）の交差点については外来シャシの通過台数が期待よりも少なくなる可能性があることが判明した。（1時間あたり 10 回を下回る）

この対策として、遮断機において一定の時間間隔で、AGV の進入を制限（封鎖）する

時間帯を設ける仕組みを導入した。制限時間帯においては、AGV の進入予約はキャンセルされ、強制的に遮断機を開くことが可能になる。これにより時間当たりの処理本数として最小限必要な台数の外来シャシの通行を確保する。具体的には6分間隔で30秒の封鎖時間を設定し、少なくとも1時間当たり10台の外来シャシがレーン内に進入できるようにしている。

基本的に各レーンの遮断機は同じロジックで運用するが、今回のケースではLレーン（岸壁に最も近いレーン）についてのみ上記仕組みを導入した。

11.3.2 AGV の運用

AGVの運用に関しては、今回がントリークレーン（GC）単位に紐付けをしない運用方法を検討した。従来GC単位の紐付けでAGVの運用を検討していたが、GC間の負荷差に対応しにくいことと、設備として1台単位の増減を行いたいことから、紐付けをしない運用方法とする。図 11-5 に紐付けの考え方を示す。

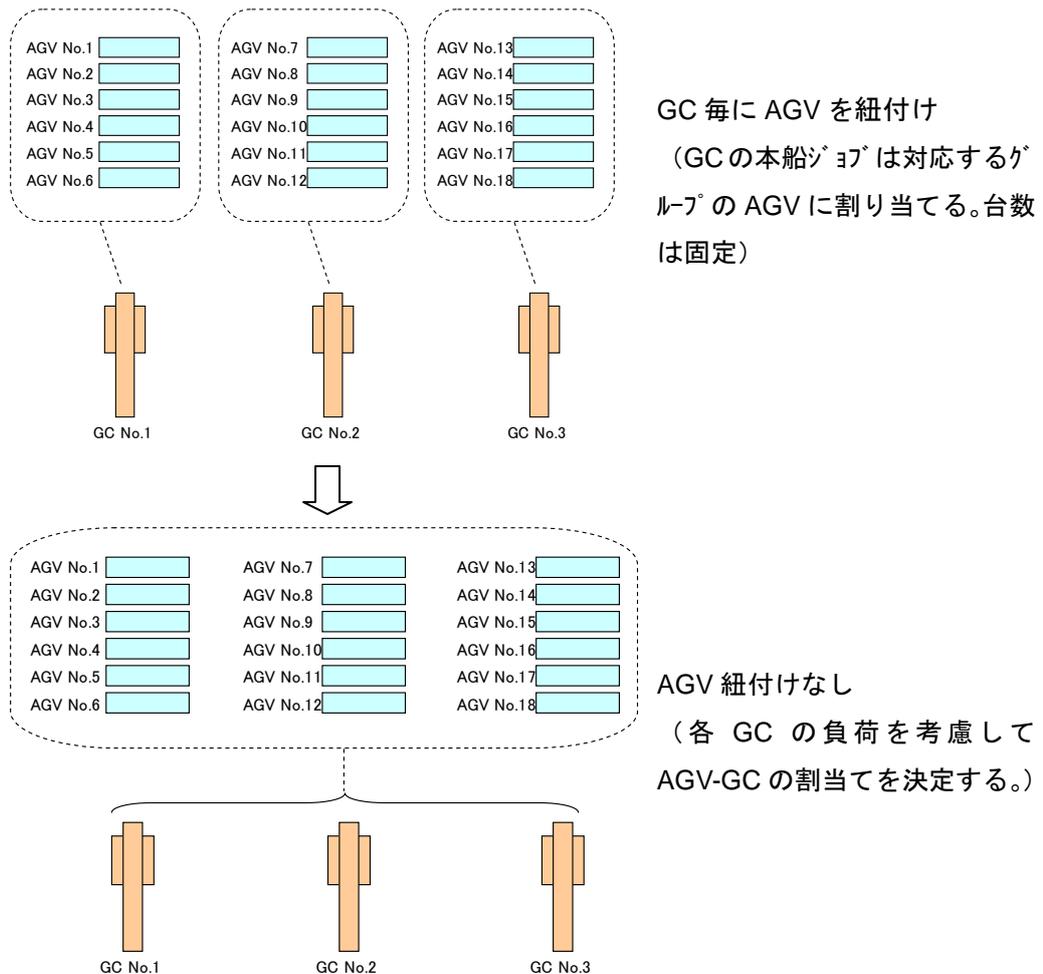


図 11-5 AGV の紐付けの変更

荷役を終了した AGV は、どの GC のジョブも受付可能な状態となる。

揚げが終了した AGV は、岸壁レーンに走行し岸壁入口の交差点に到着した時点で、各 GC のジョブの進行状況から最も早く揚げジョブに取り掛かれる GC に割り当てる。

各 GC が割当て済みの揚げジョブを 2 個持っている場合は、それ以上揚げジョブを割り当てず、積みジョブを持っている GC に割り付ける。

積みジョブが終了した AGV は、その GC で直後に揚げがある場合以外は次の積みジョブに割り当てる。候補となる GC が複数ある場合は、ジョブ数の少ない方の GC に割り付け

る。各 GC には 6 件以上のジョブを割り付けない。ジョブを割り付けられない場合に揚げジョブの割付を試みる。

積みジョブも揚げジョブも割り付けられない場合に待機位置へ回送する。

上記ジョブ割当ての判定内容と判定を行う位置を図 11-6 に示す。

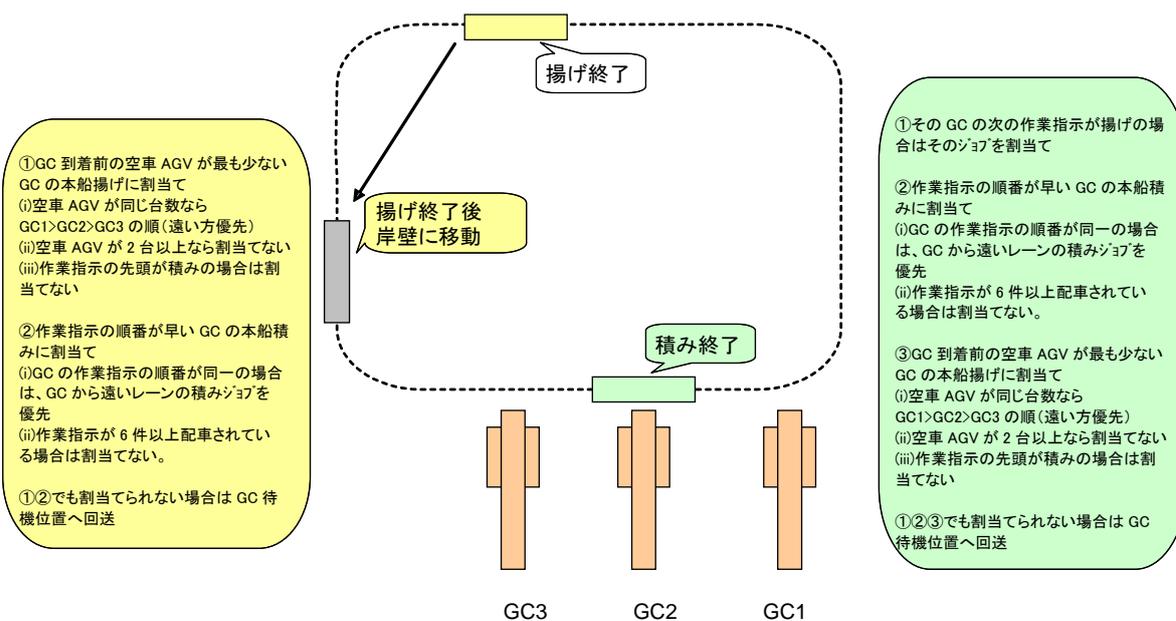


図 11-6 AGV の運用 (次ジョブの割当て判定)

11.3.3 RTG の運用

本船積み作業においては、RTG 下に AGV が到着してからコンテナが積載されるまでに待ち時間が長くなる。そこで、本船積み作業については、RTG へのジョブ発行タイミングを早める工夫をしている。従来 AGV がレーンの手前に接近した時点でジョブを発行していたが、これを前の積み作業で GC 下に到着した時点で早くすることで、待ち時間の低減を図った。

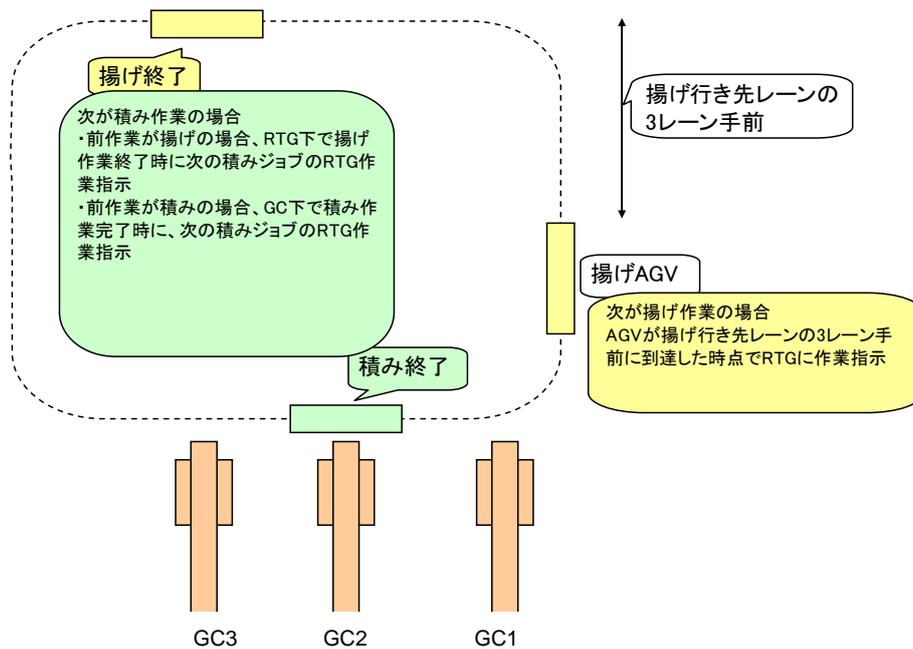


図 11-7 RTG へのジョブ発行タイミング

11.3.4 レーン負荷平準化の改善

本船揚げ作業において、コンテナの蔵置レーンの決定（アロケーション）は、コンテナクレーンにて AGV 上にコンテナが積載された時に決定される。この時に出来るだけ作業負荷の低いレーンにコンテナを蔵置することが基本となる。

従来のロジックでは、各レーンの RTG が作業指示を受けている数の少ないレーンを優先的に割り当てるようにしていた。ここで、RTG への作業は AGV が行き先レーンの 3 レーン手前に到達したときに出されるため、AGV が行き先レーンの 3 レーン手前に到達していないコンテナに関しては、行き先のレーンは既に確定されているにも関わらず、作業負荷のカウントに加えられない形となっていた。

これを改善する為に、AGV に積載されたコンテナで、RTG への作業が発生していないものもレーンの作業負荷としてカウントして評価するよう改善を行った。

11.3.5 岸壁迂回路の考慮

実運用において、本船のサイズや荷役対象のバイの位置によって、図 11-8 の①でのコンテナの受け渡しのように短経路での移動が可能である場合と、②のように迂回路をとる必要がある場合が考えられる。

今回の実験では、この経路の違いによる影響の評価も実施した。

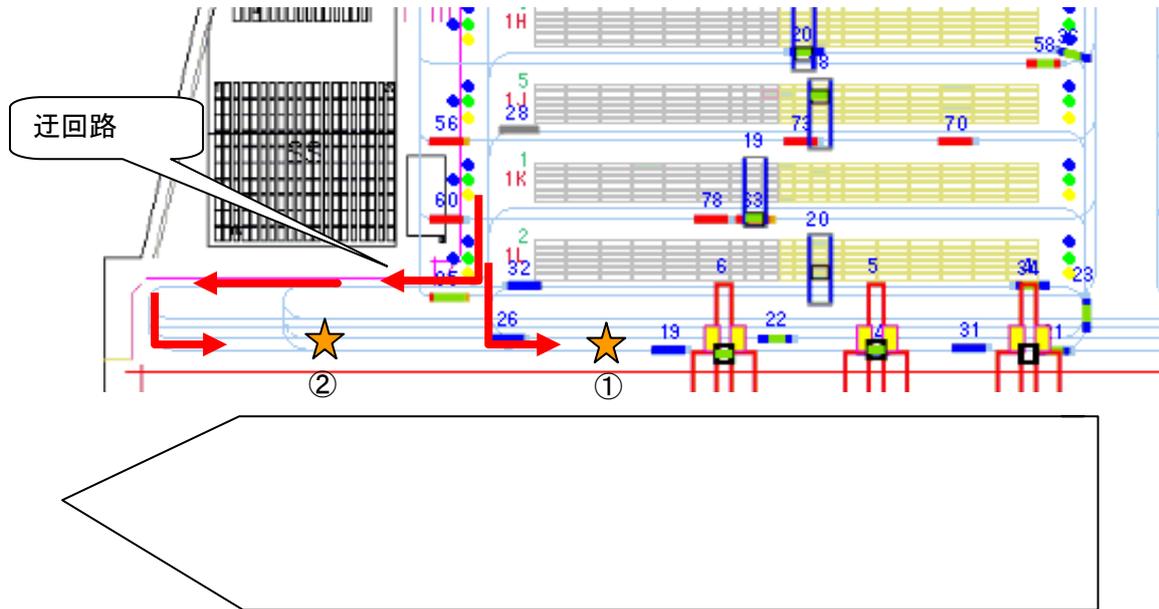


図 11-8 AGV の迂回経路

11.3.6 RTG の運用（揚げ作業に特化した運用）

本船作業における取扱本数増加策として、揚げ作業に特化した運用を検討した。これは RTG の走行時間を短縮することで、取扱本数の増加を図るもので、基本的な考え方は、揚げ作業と搬入作業を分離することにある。

具体的には、揚げ作業において揚げ対象レーンを限定し、搬入作業は揚げ対象レーン以外で行う。揚げ対象レーンにおいて搬入を行わないようにすることで、東西に分かれた輸出・輸入エリアを RTG が長距離にわたり走行することを防ぐ。

搬出はいずれのレーンでも処理するものとするが、揚げ作業対象レーンについては、処理頻度を少なくして揚げ作業が所定の本数処理できるように設定する。

積み作業については、ここでは考慮しない。これは本船作業では大抵の場合、揚げ作業を先に実施してから積み作業に移行するため、揚げ作業の時間帯に特化した運用

方法として評価する。

具体的には、次のレーン設定について評価した。図 11-9 に例を示す。

ただし、実運用においてそのまま、この様な極端なレーンの使い方をすると搬入したコンテナを後の積み作業での作業性を考慮して多くのシフト作業が必要となる事が予想される。この無駄な作業が許容できるかという問題はあるが、より高いパフォーマンスを引き出す可能性を探る目的でケーススタディとして実施した。

- ・ 外来（搬入・搬出） 3レーン、 揚げ・搬出 7レーン（搬出 3.5 本/h/レーン）
- ・ 外来（搬入・搬出） 4レーン、 揚げ・搬出 6レーン（搬出 1.0 本/h/レーン）

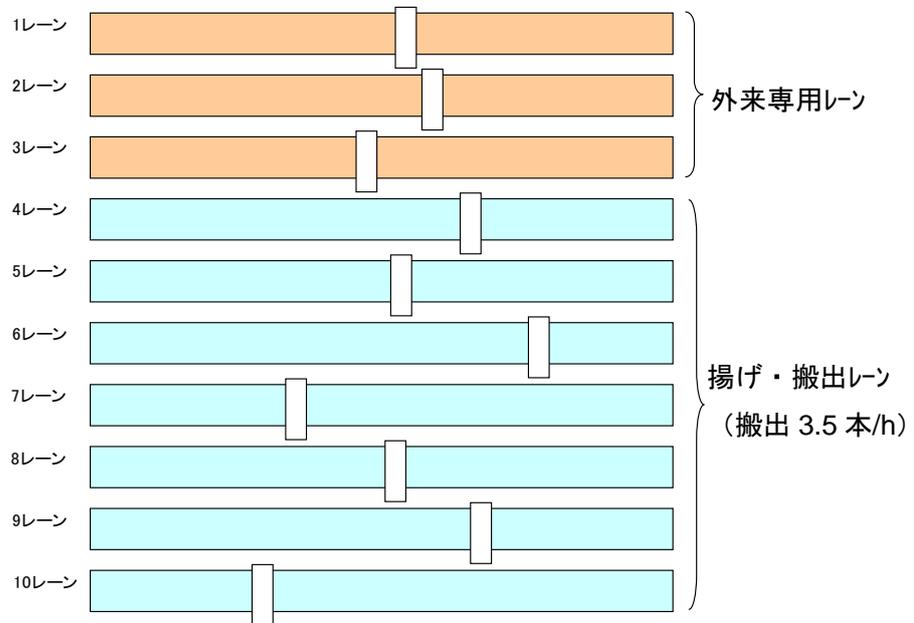


図 11-9 揚げレーンと外来専用レーンの割り振り（揚げ対象 7レーンの場合）

11.4 シミュレーション結果

前節で示した AGV 運用方法についてシミュレーションにより検証した。ここではその結果を示す。

11.4.1 遮断機の開閉制御ロジック

AGV と外来シャシの交差点に設置する遮断機の運用においては AGV を優先的に通過させるため、外来シャシの進入がある程度制限されることになる。このためシミュレーションにおいては交差点が空いている（外来シャシが進入可能である）時間の割合を評価した。

シミュレーションは、次表に示す 3 ケースを実施した。ケース 1 は初期の状態で、ここから検討を始めた。最初の検討として、実運用への適用を考慮して縦動線を走行する AGV の速度低下を防ぐ縦動線優先ロジックと外来シャシの進入台数を確保する交差点封鎖ロジックの 2 点を追加することを検討した（ケース 2）。前者は、ターミナル運用で本船作業を優先させる必要性から発生し、後者は本船作業の優先するあまり外来作業がまったく処理されなくなる状態を回避する目的で付加した。

ケース 3 で 11.3.3 節で示したジョブ割付ロジックの改善の条件を加えて AGV をより効率的に活用出来る様にして効果の具合を確認し、より良い条件を模索していった。

表 11-1 シミュレーションケース（遮断機の開閉制御ロジックの検討）

ケース番号	条件	備考
1	縦動線優先ロジックなし 交差点封鎖なし	初期状態
2	縦動線優先ロジックあり 交差点封鎖あり	
3	縦動線優先ロジックあり 交差点封鎖あり ジョブ割付ロジック改善	・積み作業のジョブ割付 AGV が目的レーンの 3 レン手前の タイミング から、GC 移載時に変更

AGV の通過台数が最も多くなる海側の交差点について、空いている時間の割合を次の図に示す。対象としている交差点は、図 11-2 において右側のバースの最も海側のレーンの入口と出口の交差点である。

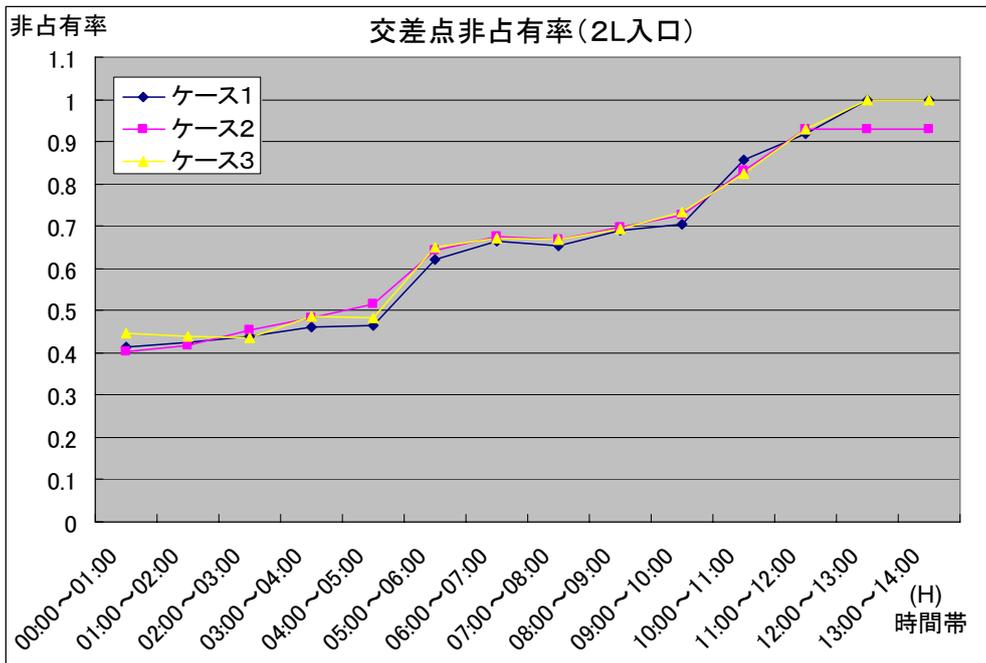


図 11-10 交差点非占有率 (Lレン入口)

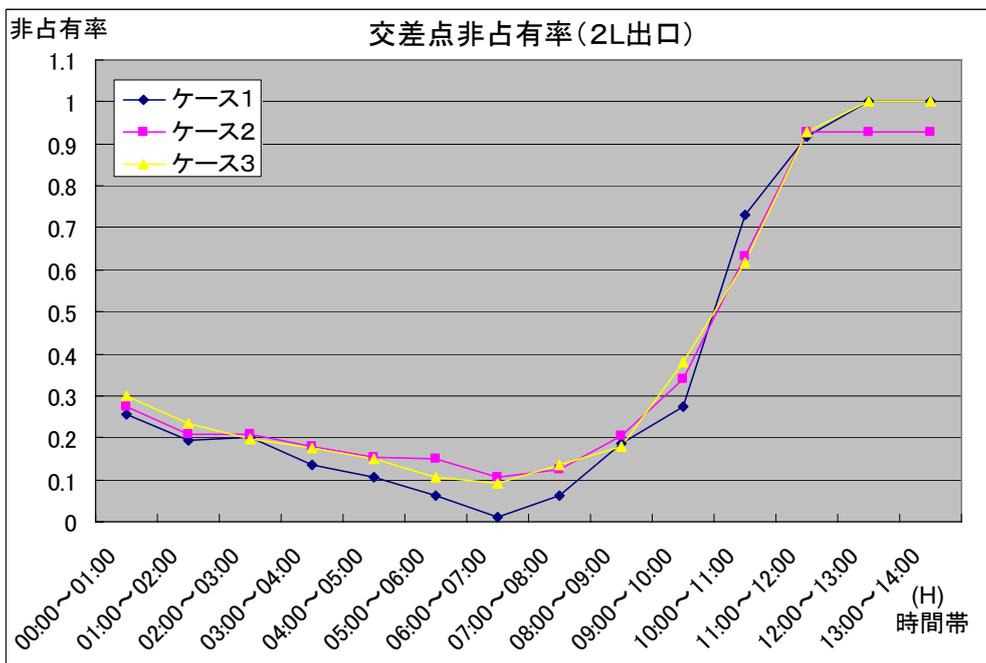


図 11-11 交差点非占有率 (Lレン出口)

図中、非占有率とは交差点の遮断機が開いており外来シャシが通過できる時間の割合を示している。AGV が交差点に接近すると外来シャシを制限するため遮断機を閉じるが、AGV の通過の頻度が上がると非占有率が下がり、外来シャシがレン内に進入する頻度が低

下する可能性がある。

本船作業を実施している 0:00~12:00 にかけて非占有率が低下する結果となる。本船作業の前半は揚げ、後半は積み作業が中心であり、揚げ作業のほうがサイクルタイムが短い
ため非占有率は低くなり、後半に積み作業が増えるにしたがって非占有率が高くなる
傾向を示す。

交差点封鎖無しのケースは交差点の空いている割合が低い傾向にあるが、図 11-11 (レーン出口) の 6:00~7:00 の前後の時間帯で顕著に現れている。

一定台数の外来シャシのレーンへの進入を確保するため、AGV の交差点への進入を制限する交差点封鎖を行ったのがケース2、3 であるが、ケース1 に比べて非占有率が高くなる結果となり最低限の外来作業を処理するという目的は達成出来ている。

ただし、GC能力に関しては、クレーン毎に増減はあるものの交差点封鎖ありとすることで、能力低下の傾向が見られた。このときのGC能力を 図 11-12 に示す。3 台のGC毎に一日の作業を単位時間当たりの取扱量で示している。

また、AGV稼働率は 図 11-13 のようになった。AGV稼働率についてはケースによる顕著な違いは見られなかった。

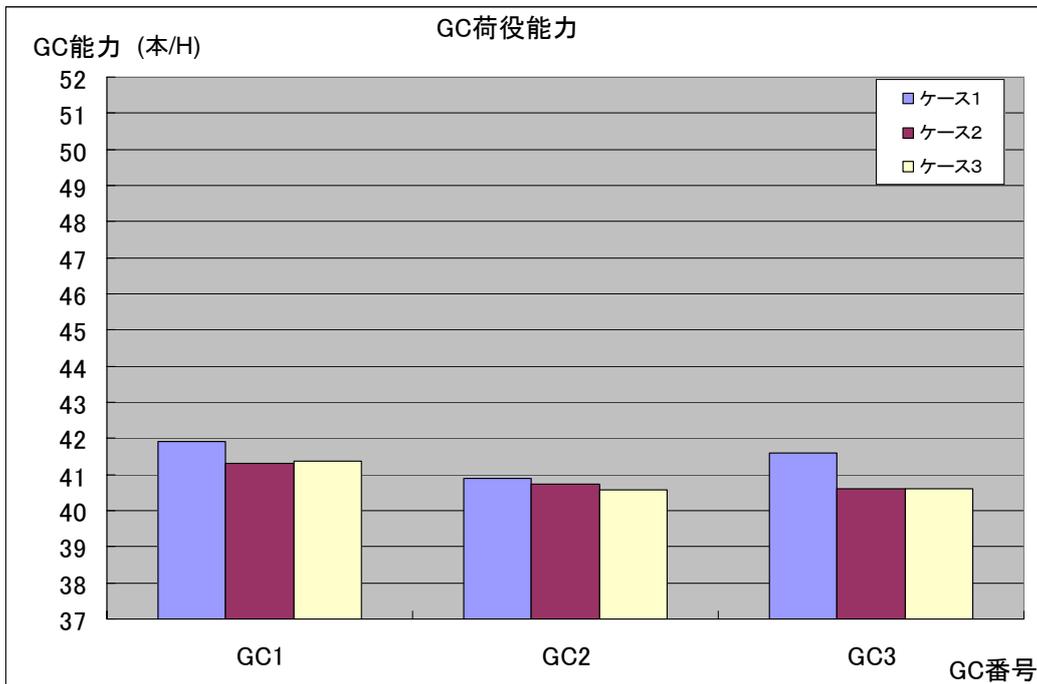


図 11-12 GC 能力

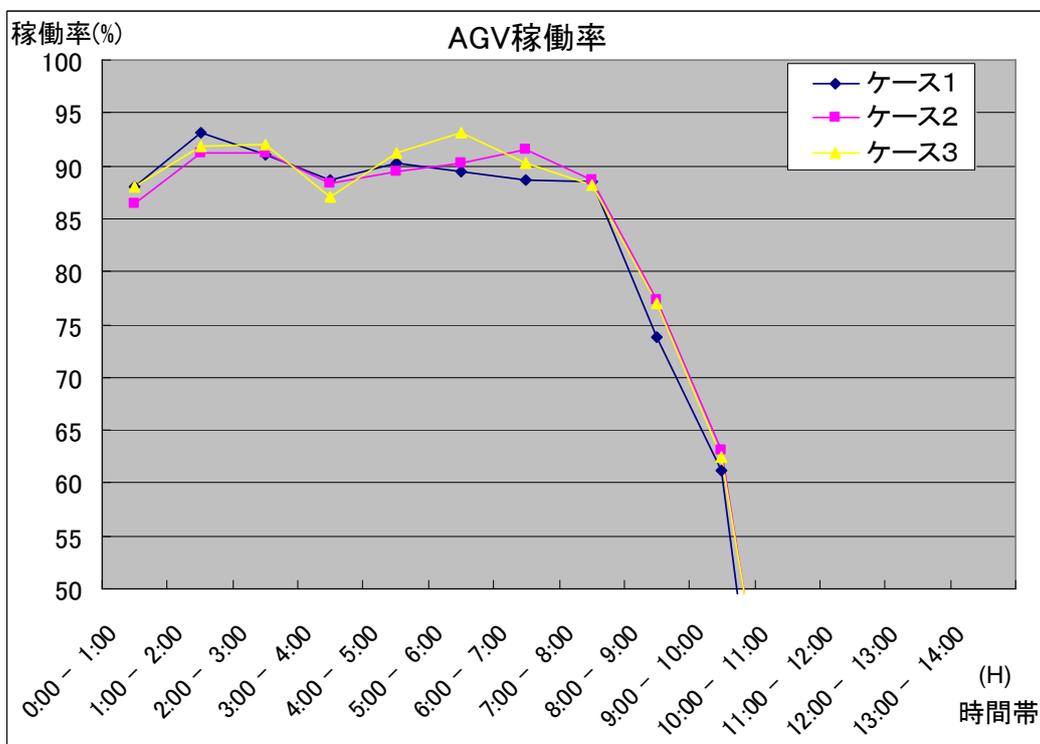


図 11-13 AGV 稼働率 (18 台の平均値)

11.4.2 AGVの運行制御ロジック

ここではAGV運行制御ロジックについて、従来検討していたGC単位に紐付けする方法からAGVをGCに紐付けしない方法に変更した場合のシミュレーション結果を示す。

AGV紐付けありの場合はGC3台にAGV6台ずつを割当てて合計18台で運用していたのに対し、紐付けなしのロジックでは、AGVをGC間で共用しAGVの有効活用による台数削減の可能性を考えた。全GCあたりのAGV台数を1台、2台減らした場合を考慮して、16台、17台、18台のケースを評価するものとした。また、紐付けなしのケースについて、能力改善策としてAGVへのジョブ割付タイミングを早めたケースを評価した。AGVへのジョブ割付タイミングは従来、目的レーンの3レーン手前の交差点を通過した時点としていたが、AGVが目的位置に到着したときのRTG待ち時間短縮のため、GC下でコンテナを移載された時点に早めることを試みた。シミュレーションは次の7ケースを実施した。

なお、紐付けなしのケース(2~7)では、実船データを考慮した運用条件とするため本船作業における揚げ作業の割合を増やしており、揚げ積みが同等の割合である紐付けありのケース1とは条件の一部が異なっている。この為、ケース1と他のケースでは厳密な比較は出来ないが、AGV紐付けなしでの結果を評価するための参考データとして入れておいた。

表 11-2 シミュレーションケース(遮断機の開閉制御ロジックの検討)

ケース番号	条件	備考
1	AGV紐付けあり	AGV18台
2~4	AGV紐付けなし (AGV16~18台)	ケース2: AGV16台 ケース3: AGV17台 ケース4: AGV18台
5~7	AGV紐付けなし (AGV16~18台) ジョブ割付タイミング改善	AGV目的レーンの3レーン手前 →GC移載時 ケース5: AGV16台 ケース6: AGV17台 ケース7: AGV18台

シミュレーション結果から得られた各ケースのGC能力を図11-14に、AGV稼働率を図11-15図11-16に示す。また、RTG能力を示す時間当たりの荷役実績を図11-17から図11-23に示す。

図11-14の結果からAGV台数が多いほどGC能力が高くなる傾向が見られた。このことから紐付けなしのロジックを導入することで、AGV1台単位での増減に対応した本船作業が行えることが確認できた。また、ジョブ割当てタイミングを改善したケースでは、改善しないケース

よりも全体に能力が向上する結果が得られた。これらの結果を通じて、本船作業に関してはGC側の能力ではなく、AGV側の能力が律速となっていることがわかる。

揚げ積み作業の割合が異なるので紐付けありのケース1とその他のケースの直接の比較はできないが、AGV台数18台のケース7ではケース1よりも全GCの能力が著しく向上していることから紐付けなしの運用でも従来と同等以上の能力が得られるものと推察される。

なお、図11-15のAGV稼働率の結果において、AGV紐付けなしのケースでは低い稼働率を示しているが、それでも同等の能力が得られていることから、AGV紐付けなしとすることで効率の良い運用となっているものと考えられる。言い換えると、AGV紐付けありでは、作業の割り当てはされるが、待ち時間が長くなっている事が伺える。

また、ヤード内の処理能力であるRTGの荷役能力に関してはいずれの場合においても時間当たり220～240本/Hの処理能力で推移しており顕著な違いは確認されなかった。

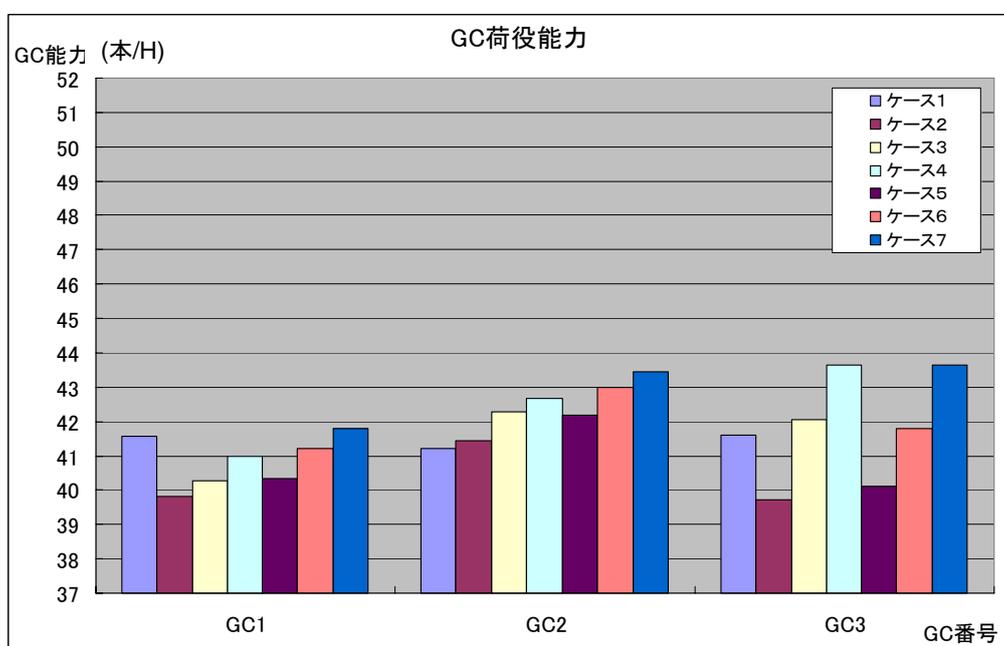


図 11-14 GC能力の比較 (ケース1～7)

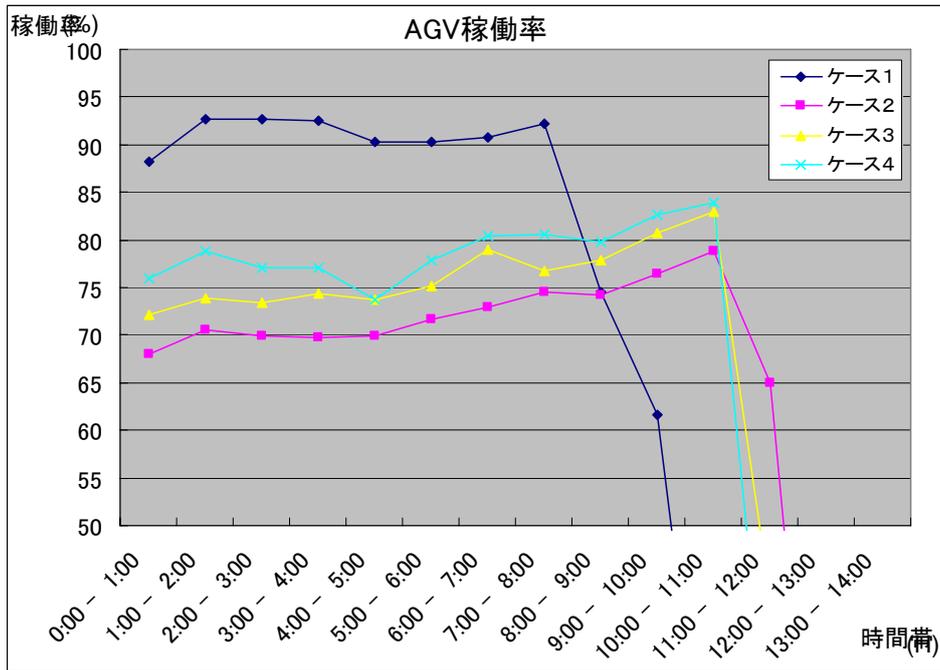


図 11-15 AGV稼働率の比較 (ケース1~4)

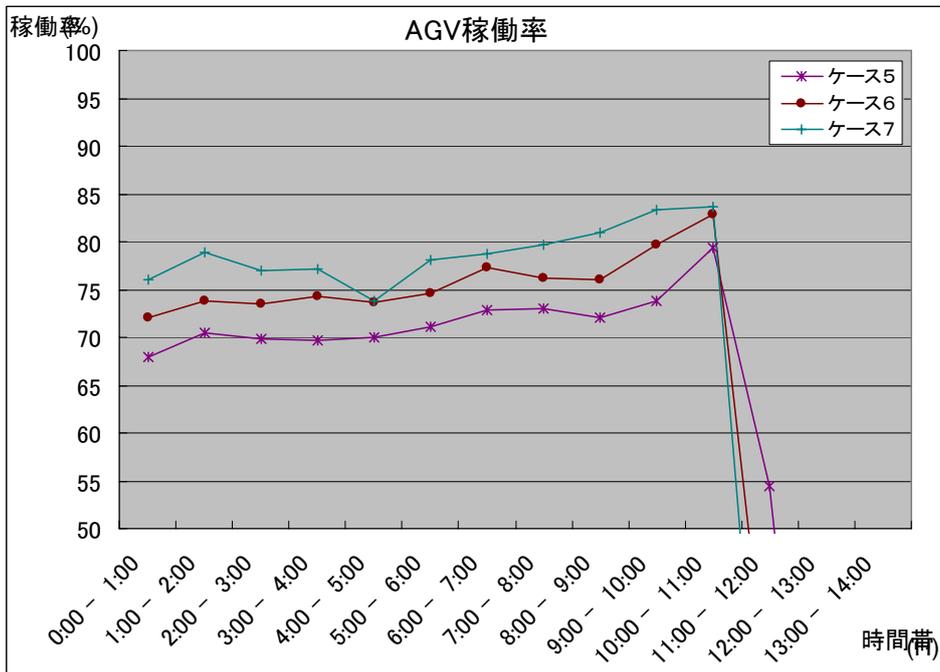


図 11-16 AGV稼働率の比較 (ケース5~7)

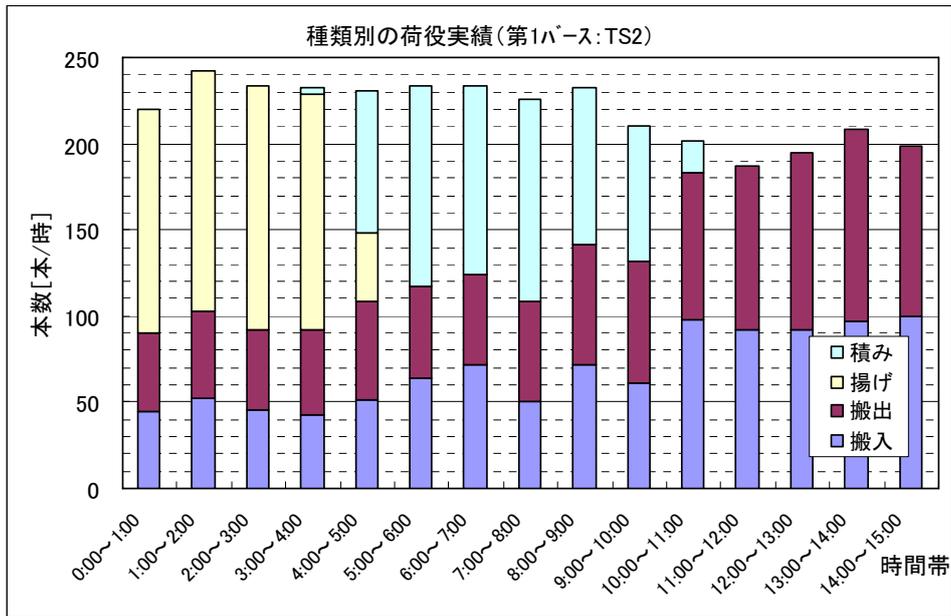


図 11-17 RTG 荷役実績 (ケース1)

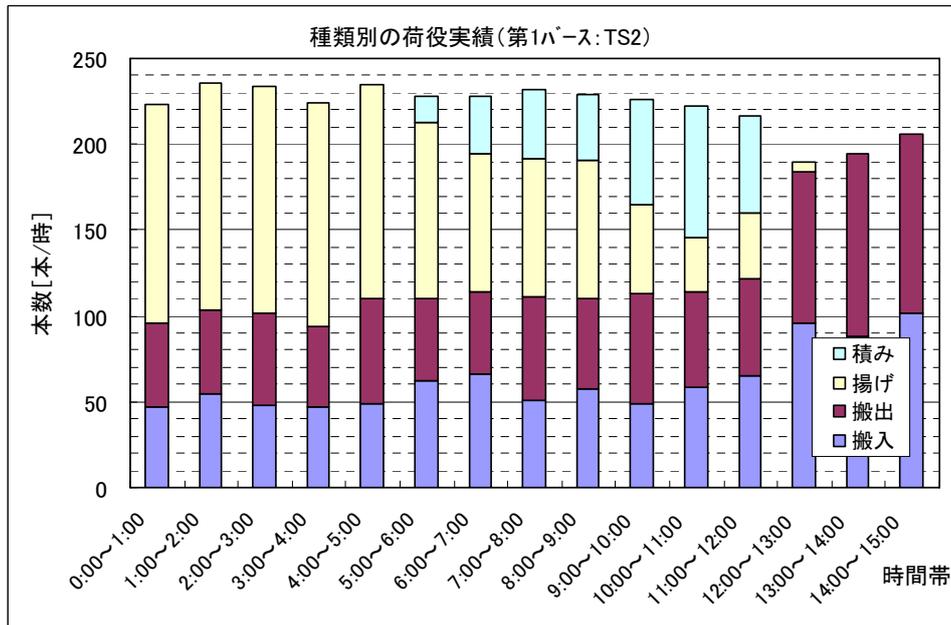


図 11-18 RTG 荷役実績 (ケース2 AGV 16台)

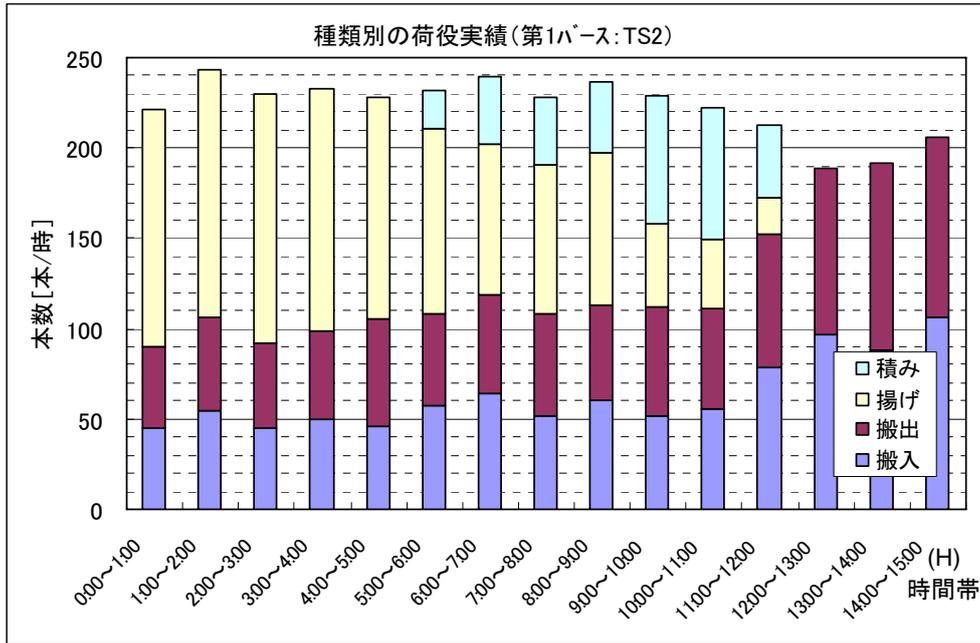


図 11-19 RTG 荷役実績 (ケース3 AGV 17 台)

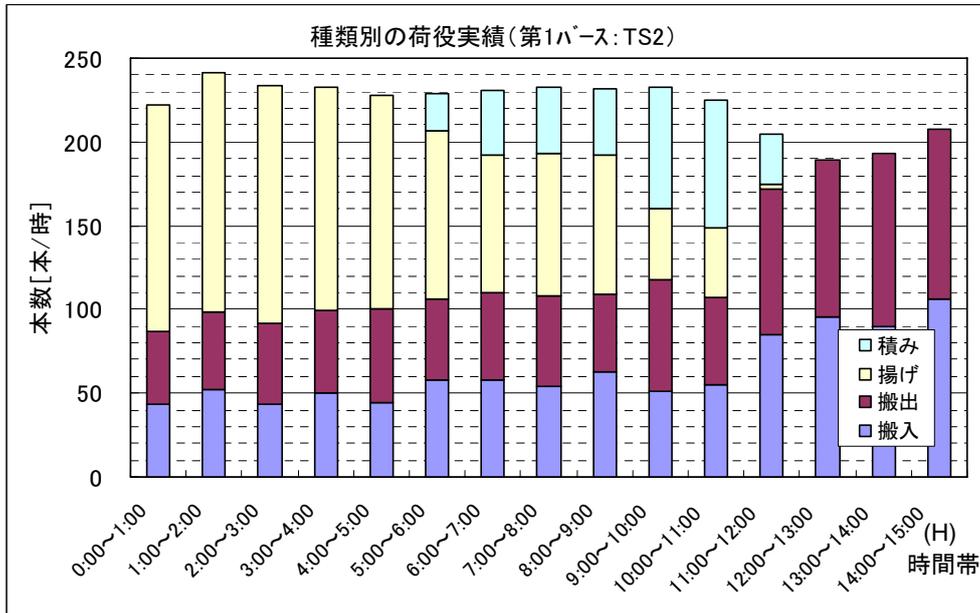


図 11-20 RTG 荷役実績 (ケース4 AGV 18 台)

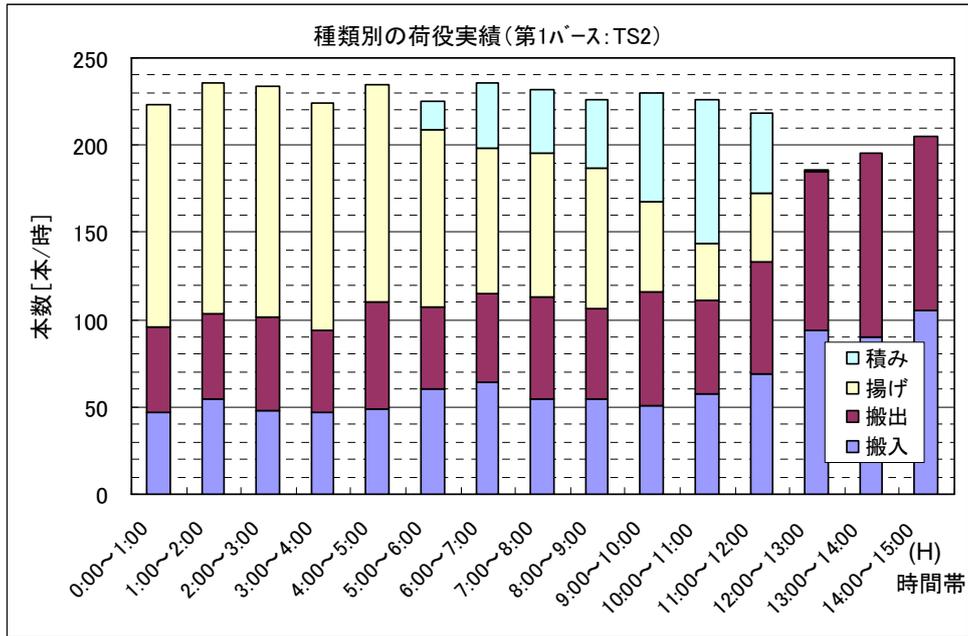


図 11-21 RTG 荷役実績 (ケース5 AGV 16 台)

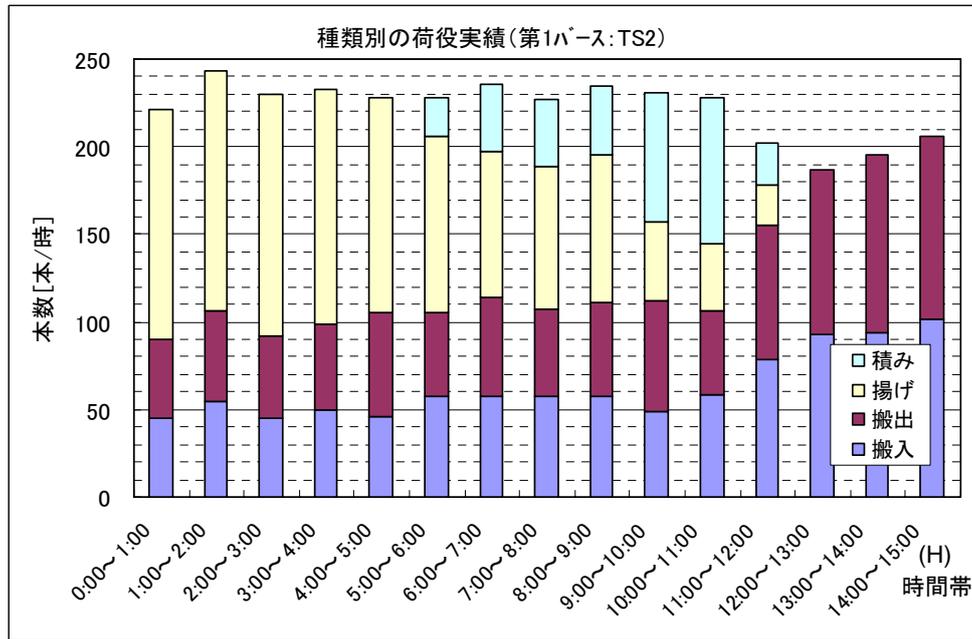


図 11-22 RTG 荷役実績 (ケース6 AGV 17 台)

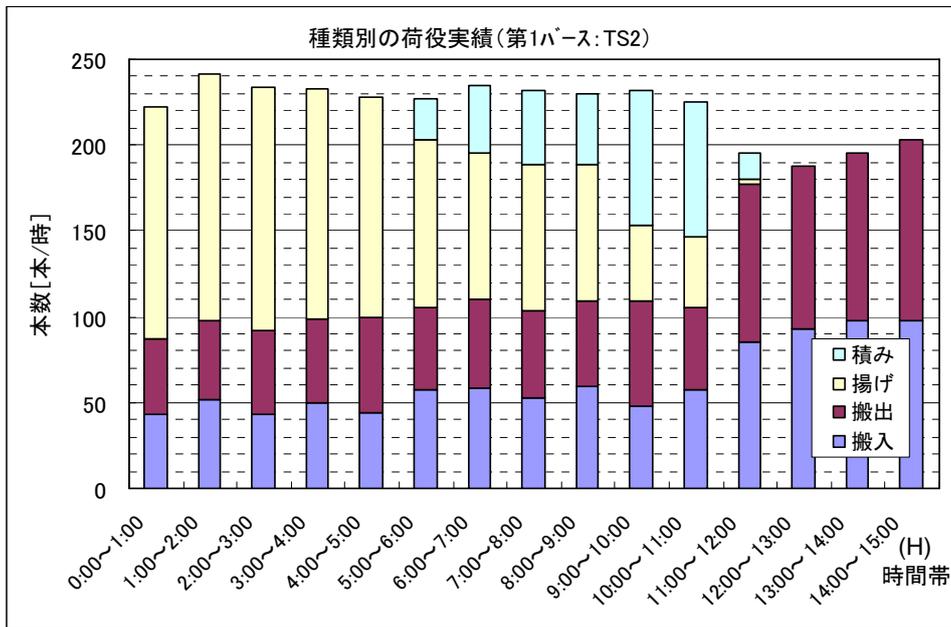


図 11-23 RTG 荷役実績 (ケース7 AGV18台)

11.4.3 AGV、RTG への作業割当てロジック

本船積み作業 RTG へのジョブ発行タイミングを早めることで RTG 待ち時間の低減を図った。ここではこのロジックのシミュレーション結果を示す。

シミュレーションケースを次に示す。作業指示タイミングは従来検討していた AGV 目的レーンの 3 レン手前の時点から、GC から移載を完了した時点に早めている。また、目的レーンに到着した時点で RTG が外来ジョブを実施している場合、RTG が走行中であれば当該ジョブをキャンセルして本船 AGV を優先処理するロジックを追加したケースを実施した。

さらに、11.3.4 に示したレーンごとの負荷平準化を改善したロジックを追加したケースについても評価した。

また、ここでは、ケース 13, 14 において岸壁西側にて AGV が迂回路を通行する場合の影響評価も実施した。

表 11-3 シミュレーションケース (AGV、RTG 作業割当てロジックの検討)

ケース番号	条件	備考
1～3	初期条件 (AGV 紐付けなし)	3 レン手前 ケース 1 : AGV16 台 ケース 2 : AGV17 台 ケース 3 : AGV18 台
4～6	作業指示タイミング改善 ・ 3 レン手前→GC 移載完了時	GC 移載完了時 ケース 4 : AGV16 台 ケース 5 : AGV17 台 ケース 6 : AGV18 台
7～9	作業指示タイミング改善 (AGV16～18 台) ・ 3 レン手前→GC 移載完了時 + 外来ジョブキャンセルあり	ケース 4～6 に外来ジョブキャンセル機能を追加 ケース 7 : AGV16 台 ケース 8 : AGV17 台 ケース 9 : AGV18 台
10～12	作業指示タイミング改善 (AGV16～18 台) ・ 3 レン手前→GC 移載完了時 + 外来ジョブキャンセル機能 + レン負荷平準化改善	ケース 7～9 にレン負荷平準化機能を追加 ケース 10 : AGV16 台 ケース 11 : AGV17 台 ケース 12 : AGV18 台
13～14	西側迂回路の影響評価 (AGV18 台) 岸壁西側の AGV 迂回路を使用した場合の GC 能力の評価	ケース 13 : 迂回路なし ケース 14 : 迂回路使用

シミュレーション結果から各ケースの GC 能力を次に示す。

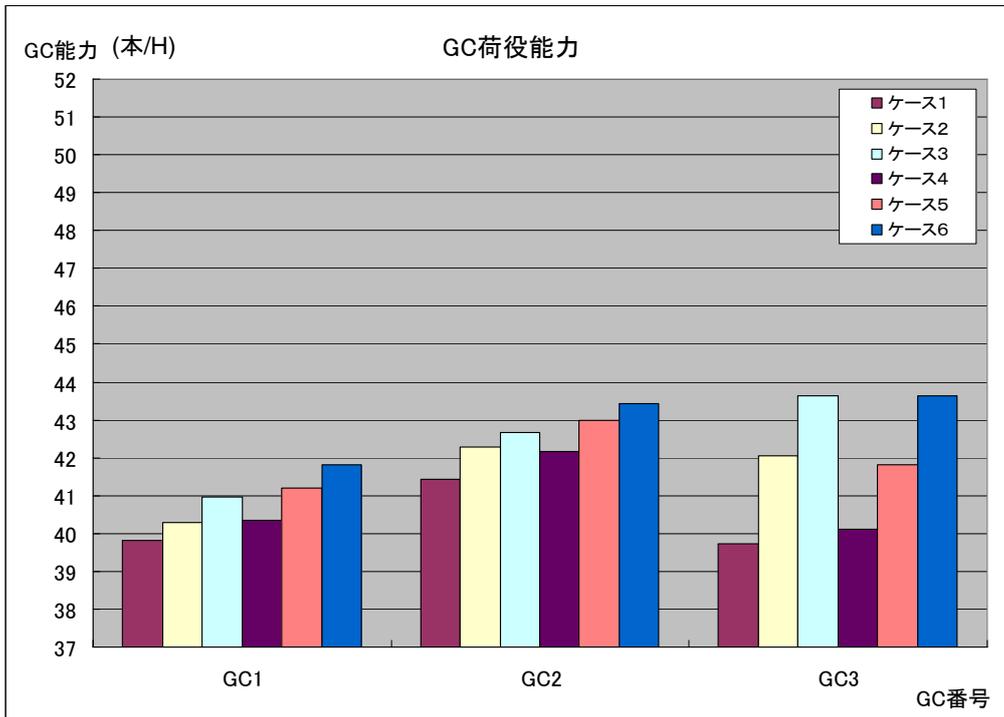


図 11-24 GC 能力 (ケース1~6)

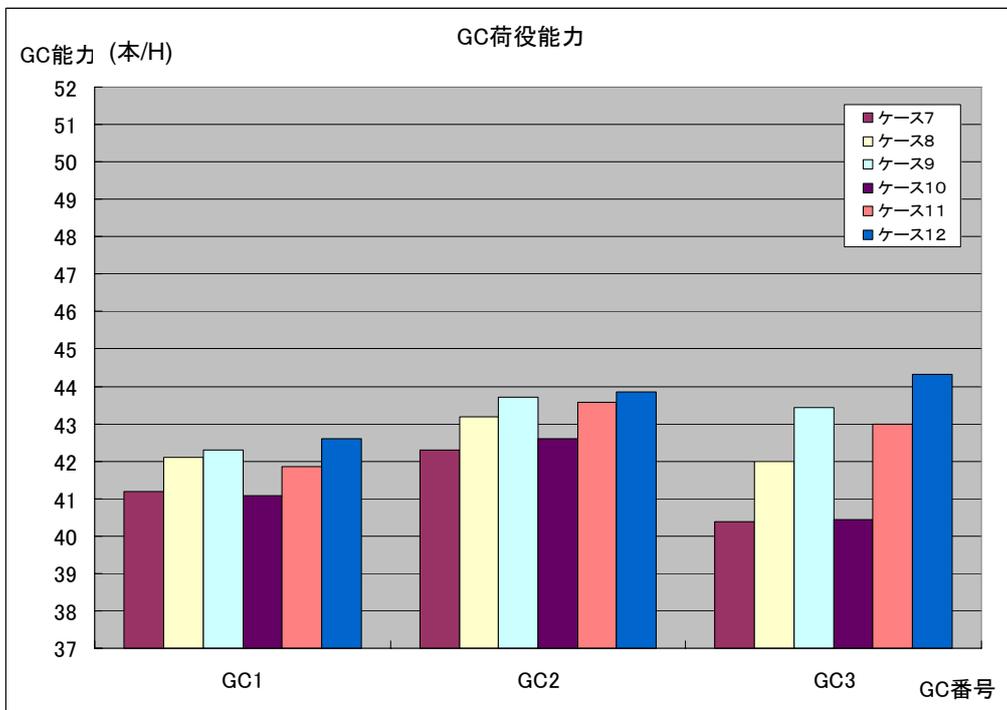


図 11-25 GC 能力 (ケース7~12)

GC 能力のグラフからは、これまでの結果同様、AGV の台数増加に応じてパフォーマンスが上がること、またロジックの改善を行うにつれて効果があらわれ処理能力の改善がされている状況が確認出来る。

次に、AGV 稼働率の結果を示す。AGV 稼働率は 70%から 80%の間で推移する結果となった。AGV 台数が増加するにつれ稼働率も増加し、ロジックの改善では明らかな違いは確認出来なかった。

端的には AGV 台数の少ないケースのほうが稼働率は上がりそうに思えるが、稼働の定義を搬送用の作業を実行中の時間としており、これには RTG や GC に作業してもらうための待ち時間も含まれる。

従って、十分に仕事がある状態では、AGV が多いほうが RTG や GC を待つ時間が長くなり、この冗長な部分が RTG や GC の作業効率を向上させる要因になっているものと考えられる。

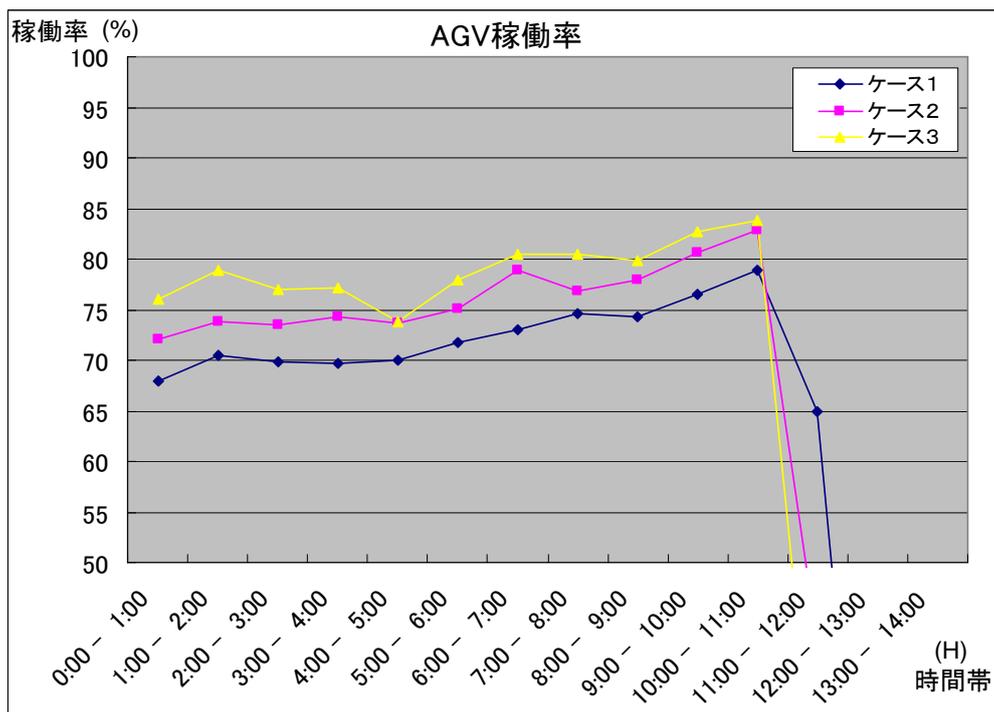


図 11-26 AGV 稼働率 (ケース1~3)

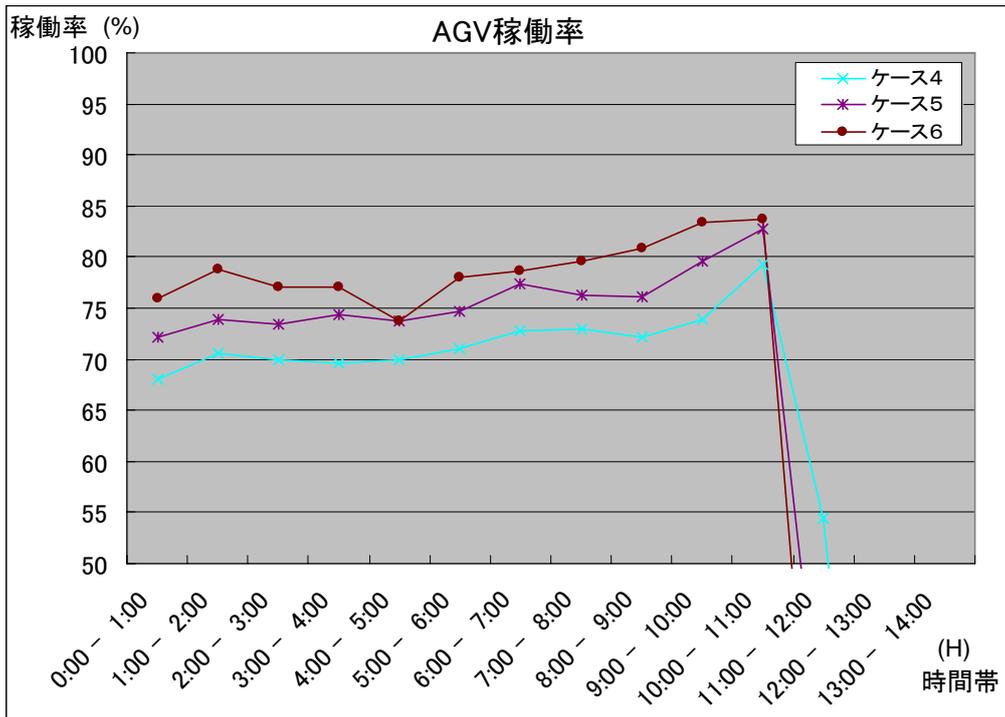


図 11-27 AGV稼働率 (ケース4~6)

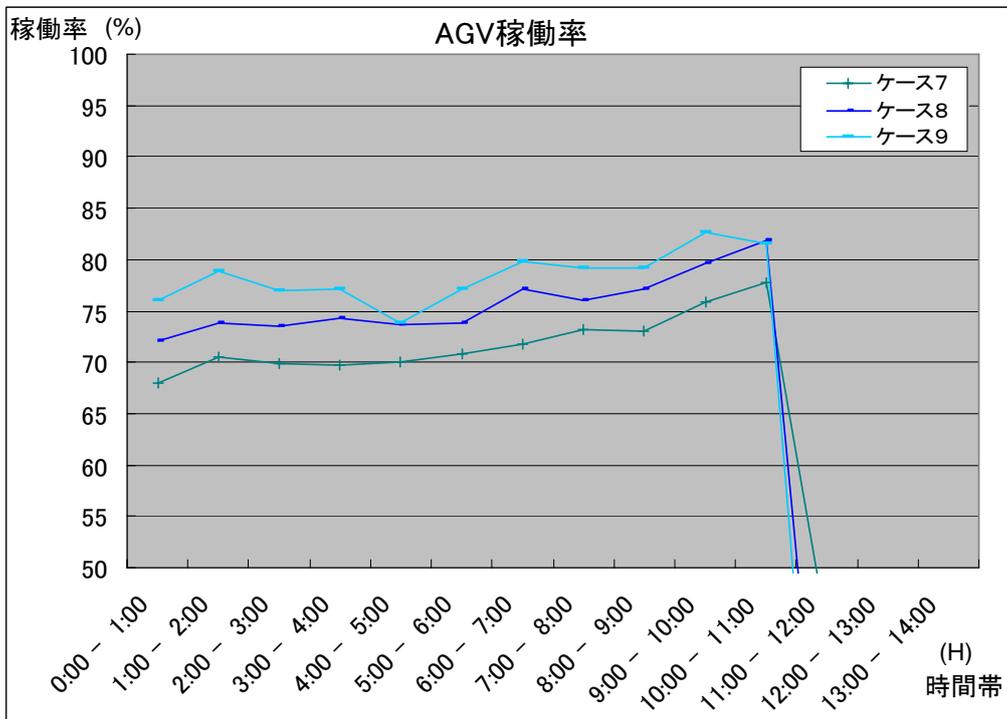


図 11-28 AGV稼働率 (ケース7~9)

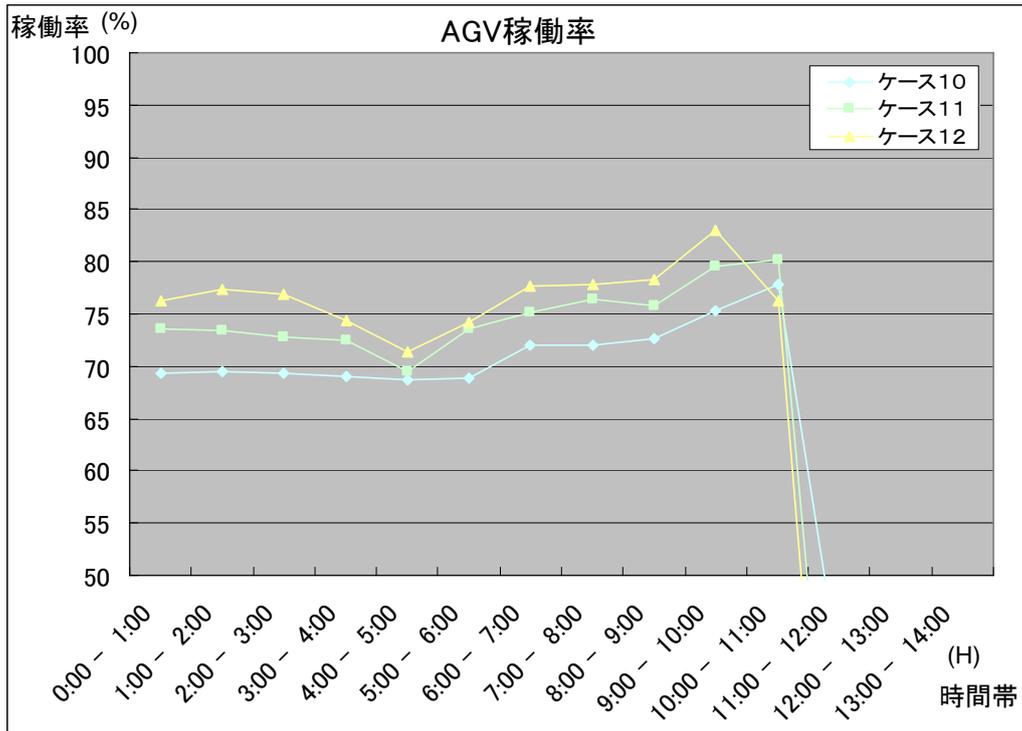


図 11-29 AGV稼働率 (ケース10~12)

次に RTG 荷役実績について示す。

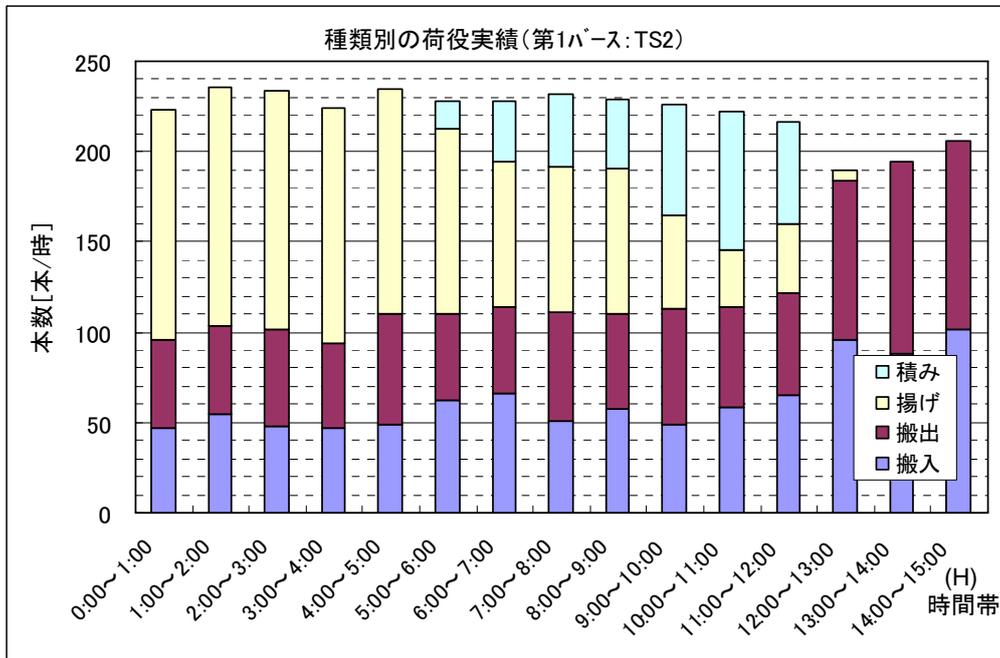


図 11-30 RTG 荷役実績 (ケース1 AGV16 台)

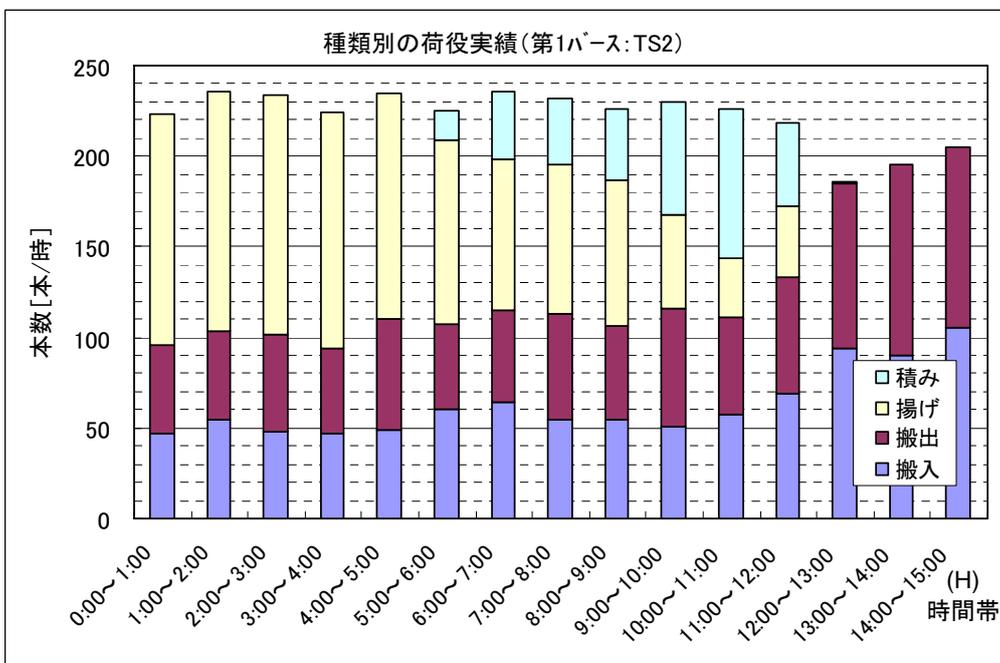


図 11-31 RTG 荷役実績 (ケース4 AGV 16 台)

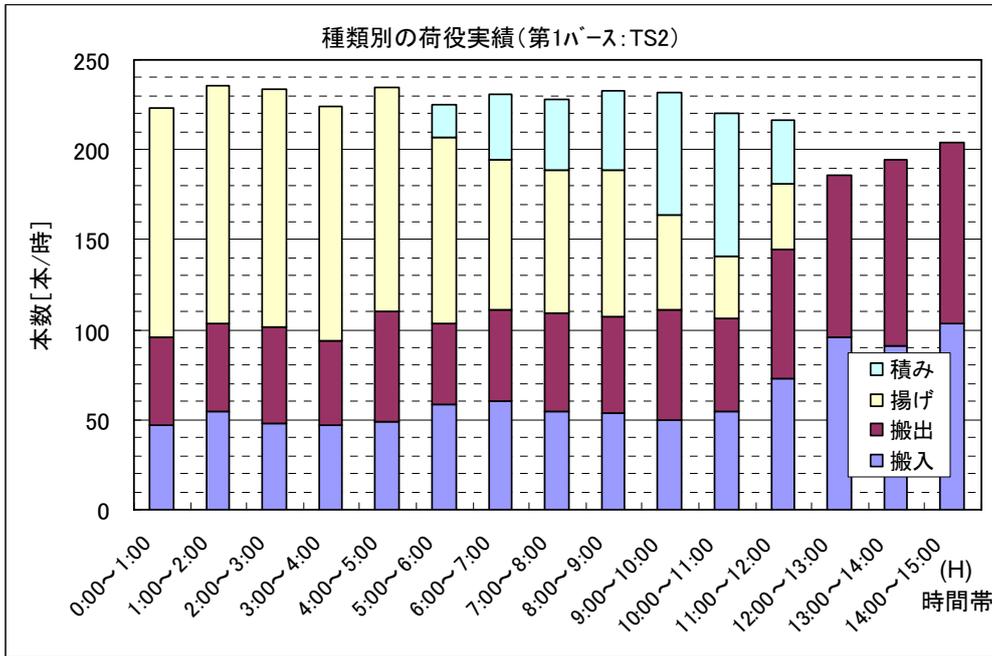


図 11-32 RTG 荷役実績 (ケース7 AGV 16 台)

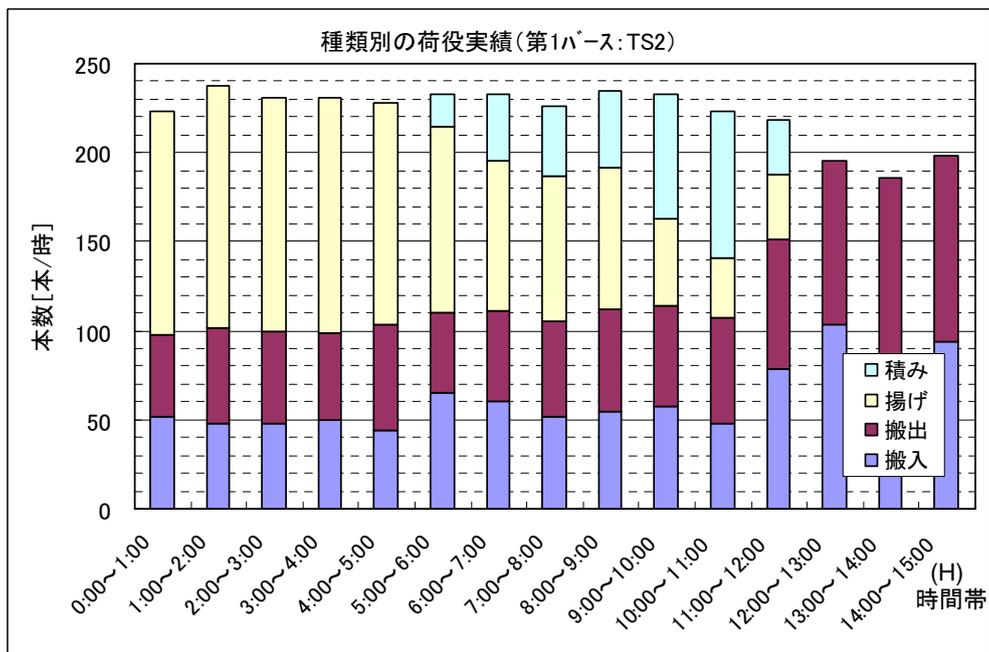


図 11-33 RTG 荷役実績 (ケース10 AGV 16 台)

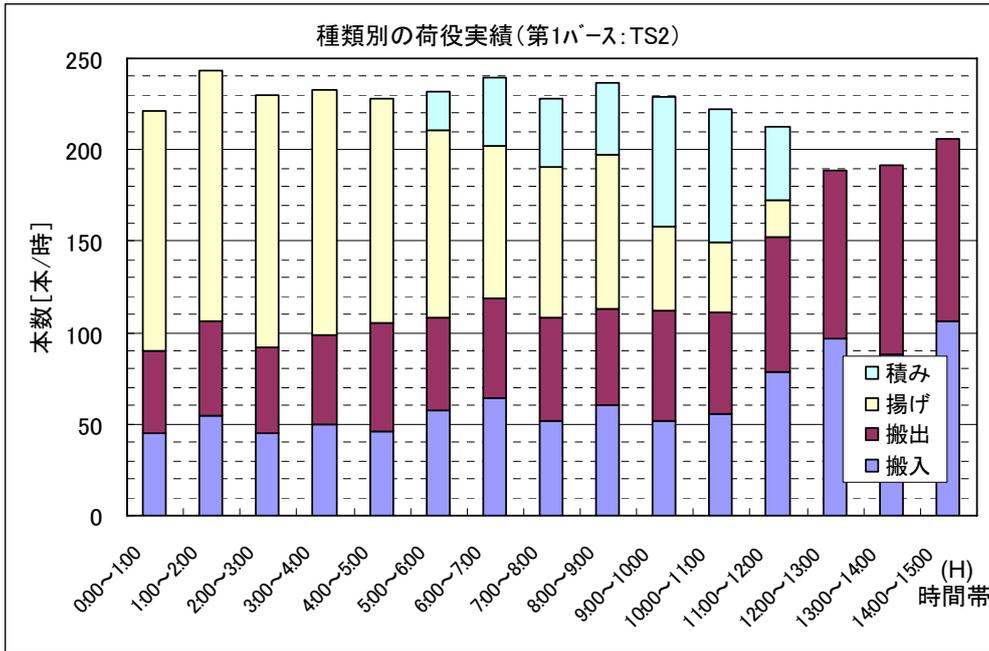


図 11-34 RTG 荷役実績 (ケース 2 AGV 17 台)

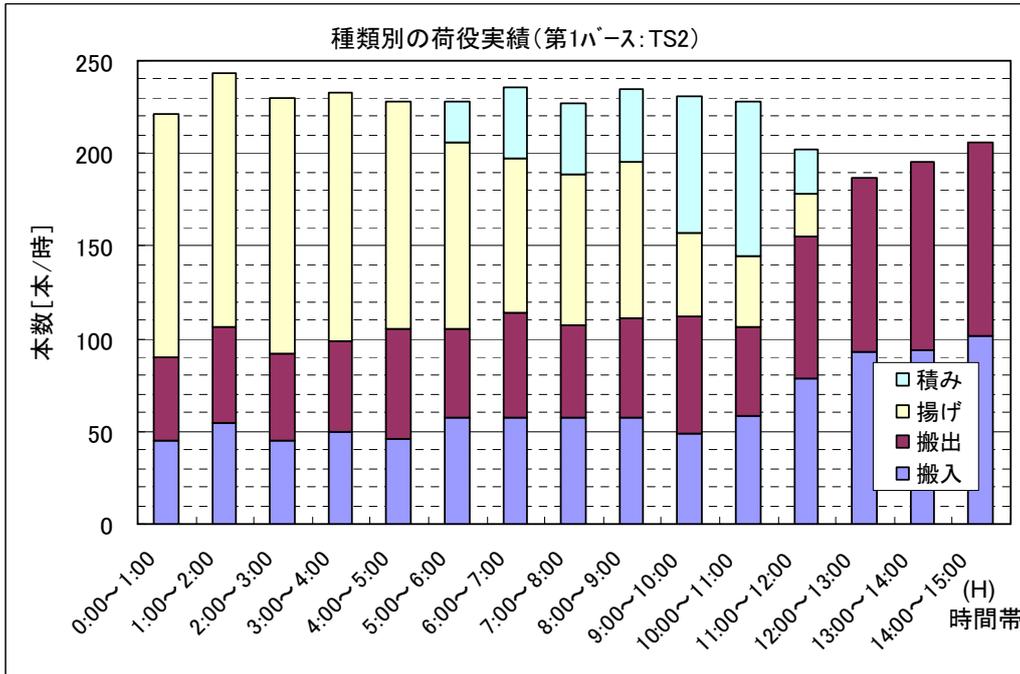


図 11-35 RTG 荷役実績 (ケース 5 AGV 17 台)

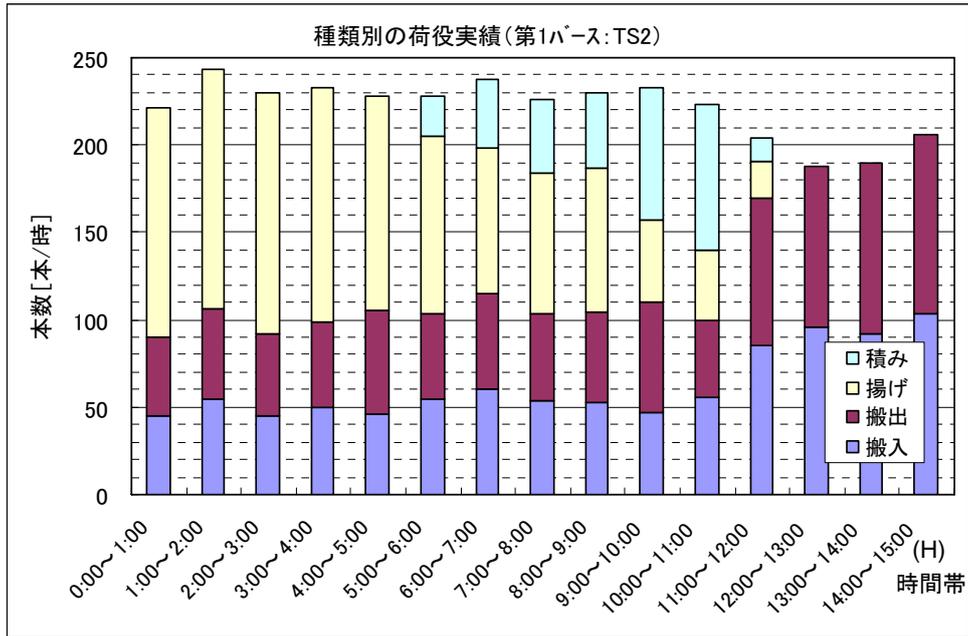


図 11-36 RTG 荷役実績 (ケース 8 AGV 17 台)

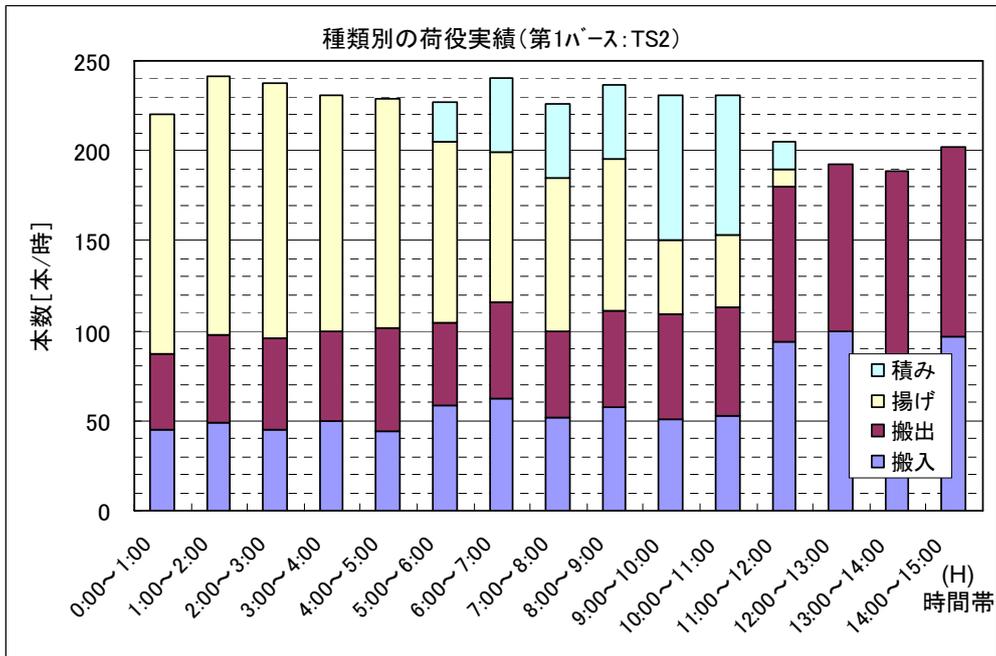


図 11-37 RTG 荷役実績 (ケース 11 AGV 17 台)

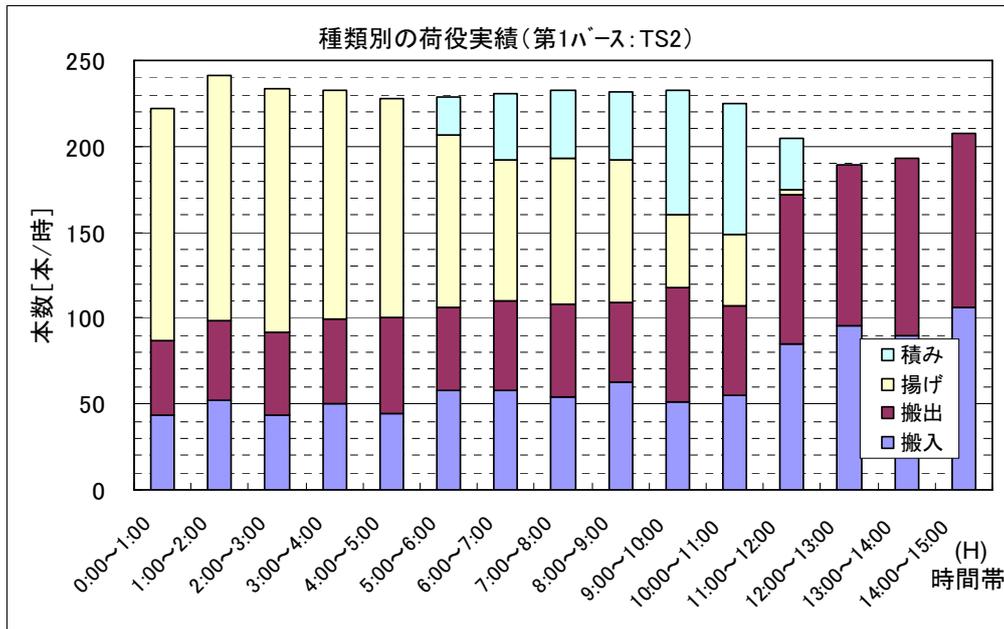


図 11-38 RTG 荷役実績 (ケース 3 AGV 18 台)

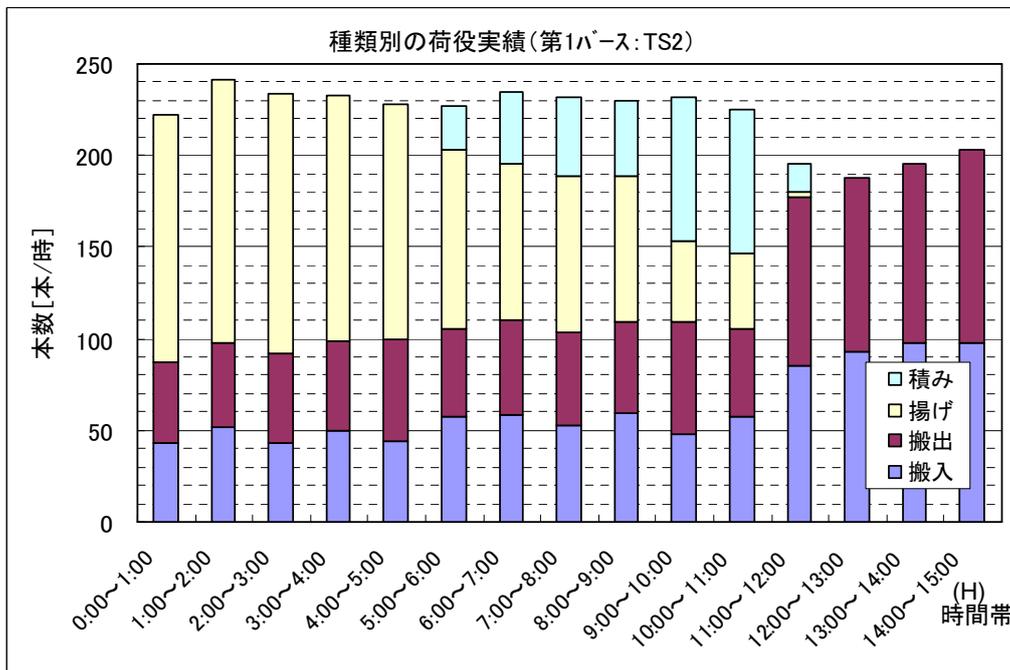


図 11-39 RTG 荷役実績 (ケース 6 AGV 18 台)

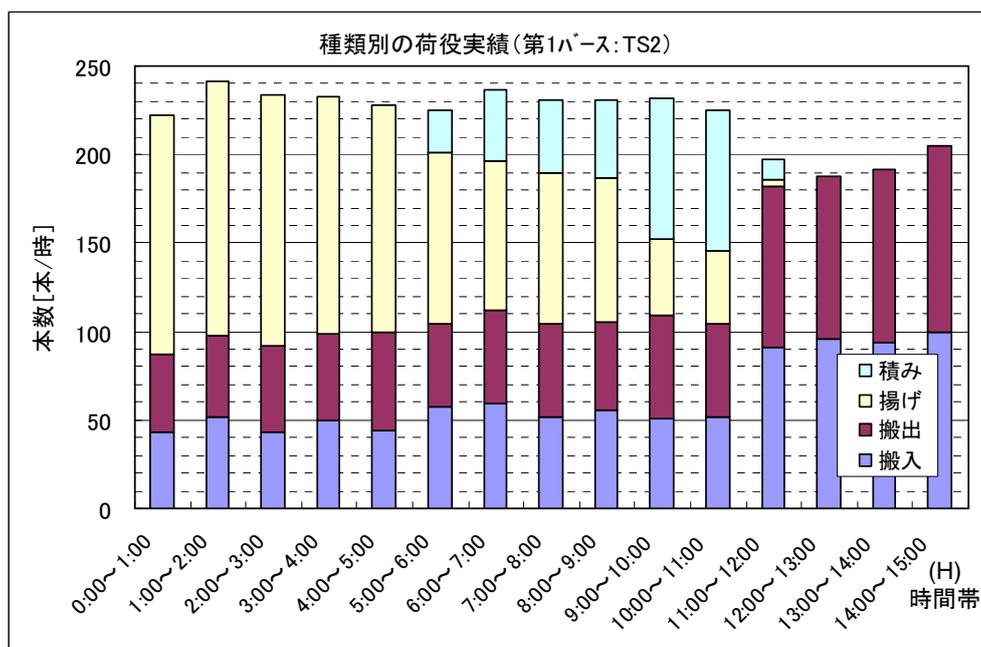


図 11-40 RTG 荷役実績 (ケース9 AGV 18 台)

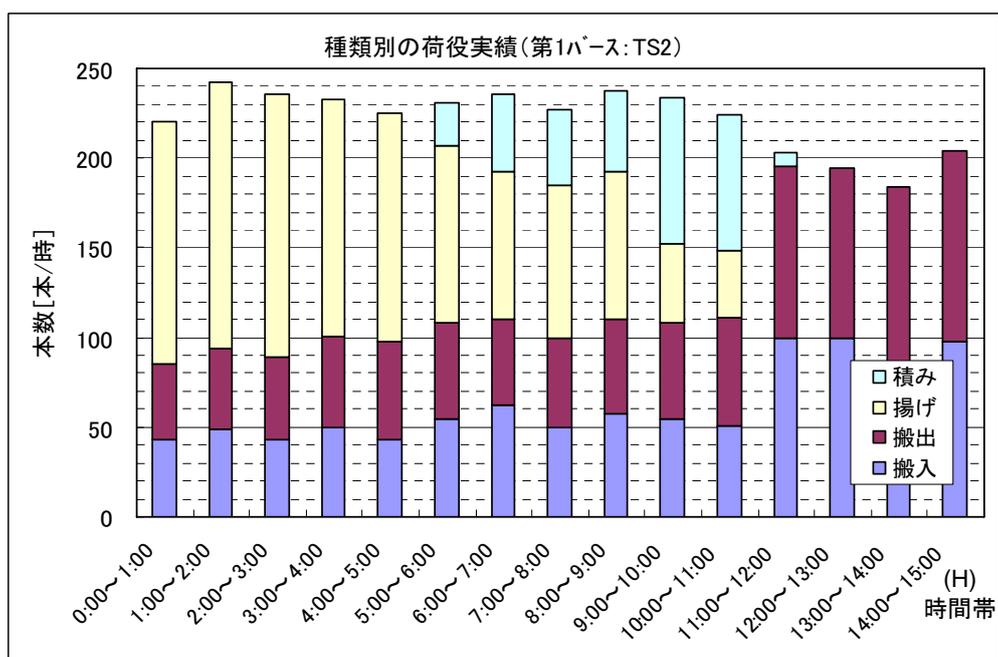


図 11-41 RTG 荷役実績 (ケース12 AGV 18 台)

これらの結果において、時間帯毎に処理本数の増減はあるものの、揚げ作業を行っている1:00~2:00の間に注目すると処理本数 235 本/h を超えており、本船作業と外来を合わせた能力としては目標能力を達成していることが確認できた。

ただし、本船と外来を個別に見てみると、外来については 85 本/h 以上であるが、揚げ作業については 150 本/h をわずかに下回っており、この点で改善が必要であることがわかった。

このため、次節で示す揚げ作業に特化した運用を試み、本船作業の能力向上を図った。

次に、AGV が西側迂回路を経由して走行する場合の評価結果を示す。次の図に GC 能力の比較結果を示す。ケース 13 は AGV が迂回路を使用しなかった場合であり、ケース 14 は迂回路を使用した場合である。

第 2 パース (TS1) において、GC4 が東側、GC6 が西側の GC となるが、AGV 迂回路を使用する GC6 では GC 能力が低下する結果となった。逆に中央にある GC5 は能力が向上する結果となっており、GC6 のジョブを行う AGV が迂回路の分だけ走行時間が長くかかるのに対し、GC5 のジョブを行う AGV は GC6 の荷役作業の影響を受けにくくなるため能力が向上したと考えられる。

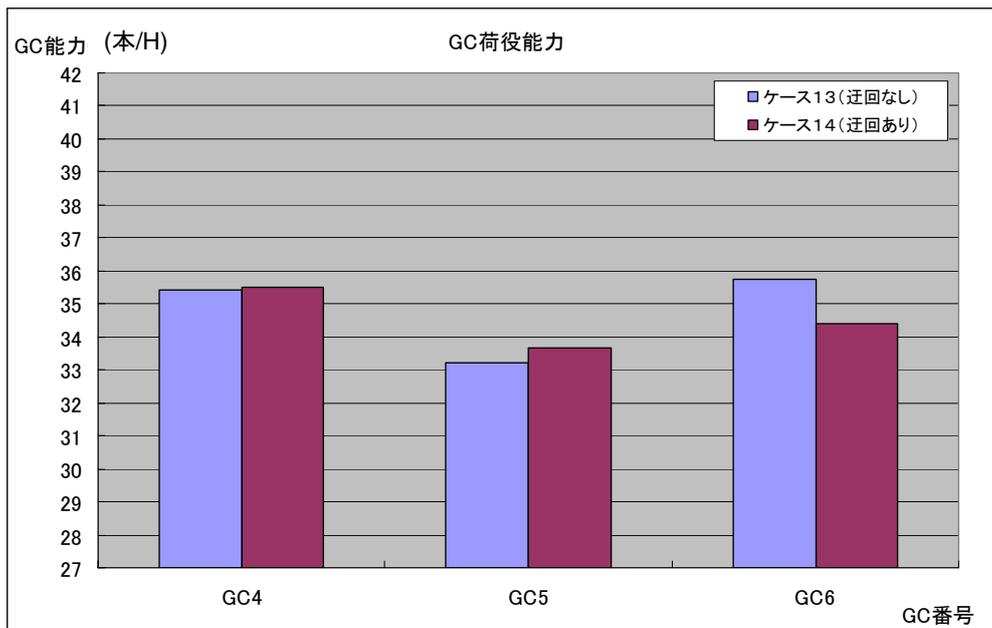


図 11-42 AGV 迂回路ありなしの比較 (ケース 13、14)

11.4.4 揚げレン専用化ロジック

ここでは 11.3.6 節で示したレン蔵置運用を揚げ作業に特化した運用についてのシミュレーション結果を示す。これまでの結果から、本船作業と外来を合わせた能力としては 235 本/h の目標能力が得られているものの、本船と外来を個別に見てみると、揚げ作業については 150 本/h をわずかに下回っていた。このため、揚げ作業に特化したロジックを適用することで本船の処理能力を確保し、本船作業と外来のバランスを取りながら全体能力を達成する運用方法を模索した。

シミュレーション結果から RTG の荷役実績を次に示す。図 11-43 は揚げ・搬出専用レンを 7 レンとし、搬出を 3.5 本/h の割合で実施したケースである。また、図 11-44 は揚げ・搬出専用レンを 6 レンとし、搬出を 1.0 本/h の割合で実施したケースである。また、図 11-45 にこのときの GC 能力を示す。

本シミュレーションでは、レン蔵置運用を揚げ作業に特化する運用とすることで本船作業の能力向上を図ったものであり、最も能力の大きかった 1:00～2:00 の間に注目すると、本船作業(揚げ)150 本/h 以上かつ外来作業 85 本/h となっており、10.2 節に示した目標性能を達成していることを確認できた。

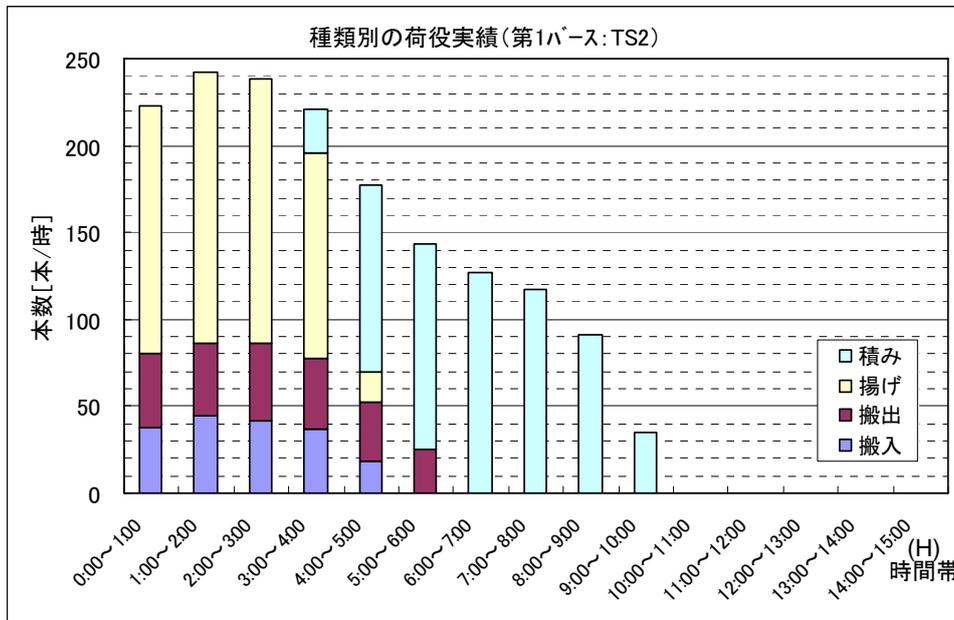


図 11-43 RTG 処理本数 (揚げフェースに特化した運用: 搬出 3.5 本/h)

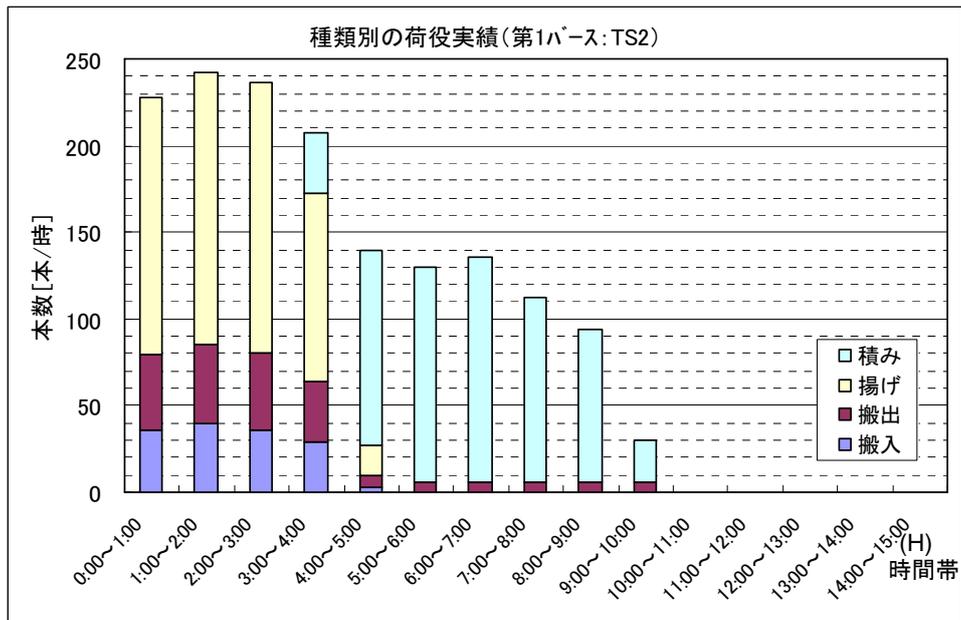


図 11-44 RTG 処理本数 (揚げフェースに特化した運用: 搬出 1.0 本/h)

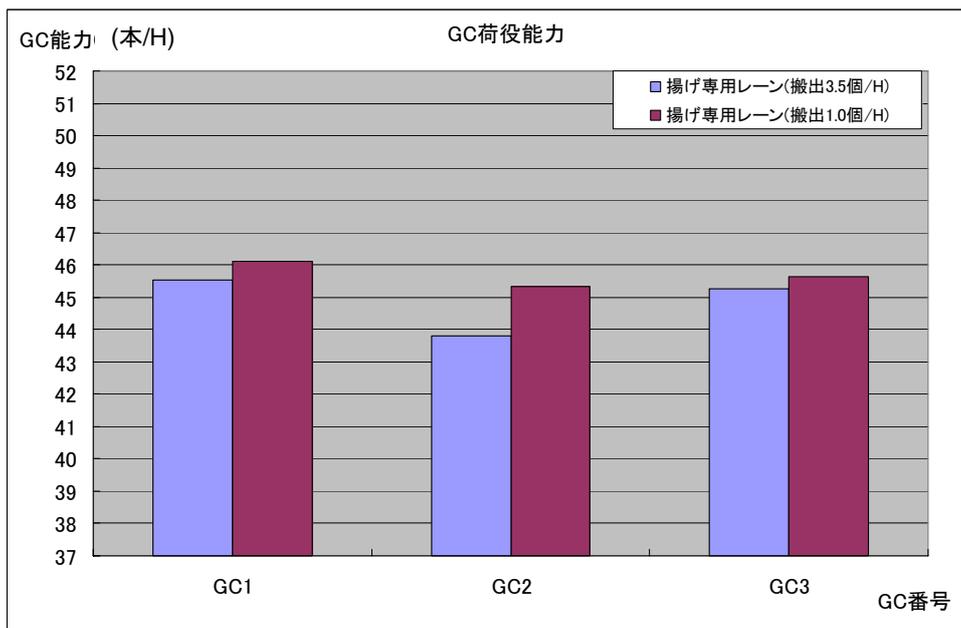


図 11-45 GC 能力 (揚げフェースに特化した運用)

12. まとめ

有人シャートをヤード内まで呼び込み、AGV との干渉防止を交差点に設置する遮断機によって実現するレイアウトでのシミュレーションを実施した。シミュレーションでは、ターミナル内外や各機器の運行ロジックを詳細にモデル化し、コンピュータ上に実現した。このモデルに実荷役を想定した運用条件を設定し、自動化ターミナルが目標とする取扱能力を有することを検証した。

遮断機の開閉制御、AGV の運行制御、RTG へのジョブ割り当て、揚げ作業に特化した運用について、それぞれロジックの改良検討を行いシミュレーションを実施した。その結果、世界でも初めての試みとなる AGV と遮断機を組み合わせた運用において厳しい目標性能である本船 150 本/h+外来 85 本/h を達成できる見通しが得られた。

ただし、今回のシミュレーションにおいて本船 150 本/h の条件を達成するには、揚げ作業に特化したレーン構成とする特殊な運用が必要であり、このような運用は先に述べたように、後で余分なシフト作業が必要となるので注意が必要である。最も、本船 150 本/h の能力が定常的に必要ものではなく突発的なトラブル等のおきのみ必要とされる能力であれば、一時的にこの様な運用に対応できるようなシステムしておく事は比較的現実的であると考えられる。

以上の事から、今回の実験により AGV と遮断機を適用したレイアウトでの運用の目処付けをするという目的は十分に達成できたと言える。

13. 今後の課題

今回のシミュレーションでは、実運用への目処付けが目標であったことから、簡略化した本船のプランニングロジック及びコンテナの蔵置決定ロジックにおいて 1 日の作業分の計算を実施した。

今後は、より詳細なコンテナの属性（コンテナの揚港、重量）を考慮した詳細な運用ロジック（本船のプランニングロジック及びコンテナの蔵置決定ロジック）を組み込むなど、より実運用に即した条件で検討を行うことなどが考えられる。これによりシミュレーションの精度を上げて評価が可能となり、また、稼動後に予定の能力が出ないような状況が発生したときにも運用ロジックの改善点を詳細に検討することが可能となる。

14. 付録3 シミュレーション条件

14.1 シミュレーション条件

表 14-1 外来シャトル進入レイアウトでの諸条件

No	項目	条件
1	蔵置エリア構成	<ul style="list-style-type: none"> ・ 2パース構成 ・ 10レーン/パース 横配置 ・ 37ベイ/レーン(TS1) 31ベイ/レーン(TS2) ・ 最大4段積
2	配置機器	<ul style="list-style-type: none"> ・ GC 6台 (3台/パース) ・ RTG 20台 (1台/レーン) ・ 移載機 なし ・ AGV 36台 シミュレーションパラメータとする。 ・ ゲート 搬入 INゲート (レーン数 4 処理時間 70秒) 搬出 INゲート (レーン数 2 処理時間 30秒) 搬出 OUTゲート (レーン数 6 処理時間 150秒)
3	AGV 動線配置、構成	<ul style="list-style-type: none"> ・ 2パース(TS1) 本船：反時計回り 1パース(TS2) 本船：反時計回り ・ GC 下動線 パクリチ下に4動線 (海側から：荷役用、走行・周回用、待機用、待機用) ・ RTG 下動線 海側に2動線 (海側：外来用1、陸側：本船用1) ・ 南北線 (以降北上する経路を上り、南下する経路を下りと定義) 2パース西側 本船(下り) 東側 本船(上り) 1パース西側 本船(上り) 東側 本船(下り) ・ 逆走レーン F, Gレーン間に1 (外来経路)

14.2 荷役機器緒元

荷役機器の主な性能緒元

表 14-2 GC、RTG、移載機、AGV の緒元

荷役機器	AGV 紐付け	AGV 紐付けなし																														
GC	サイクルタイム 65 秒 (55 本/h) (Deck/Hold 区分なし)	サイクルタイム 65 秒 (55 本/h) (Deck/Hold 区分なし)																														
RTG	主巻速度 33 [m/min] (荷有) 52 [m/min] (荷無) 主巻加速度 0.217 [m/sec ²] 横行速度 70 [m/min] 横行加速度 0.212 [m/sec ²] 走行速度 135 [m/min] 走行加速度 0.5 [m/sec ²] 外来シャーンでの安全経路、戻時間等を評価し平均サイクルタイムは、以下になると評価 揚げ：105.1 秒 積み：113.7 秒 搬入：103.5 秒 搬出：107.8 秒 その他 荷繰り：35.9 秒 (搬出 1 回当たり平均) 走行：52.6 秒 (ペイロードの場合)	主巻速度 33 [m/min] (荷有) 52 [m/min] (荷無) 主巻加速度 0.217 [m/sec ²] 横行速度 70 [m/min] 横行加速度 0.212 [m/sec ²] 走行速度 135 [m/min] 走行加速度 0.5 [m/sec ²] 外来シャーンでの安全経路、戻時間等を評価し平均サイクルタイムは、以下になると評価 揚げ：105.1 秒 積み：113.7 秒 搬入：103.5 秒 搬出：107.8 秒 その他 荷繰り：35.9 秒 (搬出 1 回当たり平均) 走行：52.6 秒 (ペイロードの場合)																														
移載機	移載機なし	移載機なし																														
AGV	<table border="0"> <tr> <td></td> <td>負荷</td> <td>無負荷</td> </tr> <tr> <td>直線</td> <td>: 20km/h</td> <td>25km/h</td> </tr> <tr> <td>カーブ</td> <td>: 7km/h</td> <td>7km/h</td> </tr> <tr> <td>加速度</td> <td>: 0.2m/s²</td> <td>0.55m/s²</td> </tr> <tr> <td>減速度</td> <td>: 0.3m/s²</td> <td>0.55m/s²</td> </tr> </table>		負荷	無負荷	直線	: 20km/h	25km/h	カーブ	: 7km/h	7km/h	加速度	: 0.2m/s ²	0.55m/s ²	減速度	: 0.3m/s ²	0.55m/s ²	<table border="0"> <tr> <td></td> <td>負荷</td> <td>無負荷</td> </tr> <tr> <td>直線</td> <td>: 20km/h</td> <td>25km/h</td> </tr> <tr> <td>カーブ</td> <td>: 7km/h</td> <td>7km/h</td> </tr> <tr> <td>加速度</td> <td>: 0.2m/s²</td> <td>0.55m/s²</td> </tr> <tr> <td>減速度</td> <td>: 0.3m/s²</td> <td>0.55m/s²</td> </tr> </table>		負荷	無負荷	直線	: 20km/h	25km/h	カーブ	: 7km/h	7km/h	加速度	: 0.2m/s ²	0.55m/s ²	減速度	: 0.3m/s ²	0.55m/s ²
	負荷	無負荷																														
直線	: 20km/h	25km/h																														
カーブ	: 7km/h	7km/h																														
加速度	: 0.2m/s ²	0.55m/s ²																														
減速度	: 0.3m/s ²	0.55m/s ²																														
	負荷	無負荷																														
直線	: 20km/h	25km/h																														
カーブ	: 7km/h	7km/h																														
加速度	: 0.2m/s ²	0.55m/s ²																														
減速度	: 0.3m/s ²	0.55m/s ²																														

14.3 ヤード運用条件

本船スケジュール、外来シャーン発生頻度の設定

表 14-3 荷役情報の設定

荷役作業	AGV 紐付け	AGV 紐付けなし
本船	表 14-4 GA_EURのデータを使用。(高負荷) 積みコンテナのレーンは GC 毎に固定とし、ベイ、ロウ、ティアはランダムに設定 (搬出入作業と座標のリンクは行わず)	[AGV 紐付けなしのケースでは下記本船スケジュールを使用] 80 個ごとのシーケンスでワーキングスケジュールを作成。 シーケンスにより Deck/Hold を変更
外来	時間当たり一定の発生頻度を設定。 搬入 : 90 台/h 搬出 : 90 台/h	時間当たり一定の発生頻度を設定。 搬入 : 90 台/h 搬出 : 90 台/h

