

セグメント自動搬送システムにおける セグメント管理と搬送運行管理

清水建設㈱ 正会員 ○鈴木 康正
同 上 正会員 菊池 雄一
同 上 正会員 松浦 幸彦

1. はじめに

シールド工事は、ニューフロンティアとしての地下空間を開発する技術として益々増加する傾向にある。しかし一方では、建設業は危険苦渋作業が多く環境も悪い等の理由によって若年層が建設業離れする傾向が強くなり、また熟練労働者の高齢化による作業員不足という深刻な問題も抱えている。このような社会的背景から、自動化・ロボット化による生産性の向上や労働環境の改善を目指し、各種シールド工事の自動化技術の開発がおこなわれている。

現状の技術開発の動向としては、掘削の無人化、泥水管理の自動化、セグメント組立のロボット化等について重点がおかれている感があり、施工サイクルのうち重要な役割を占める資機材を含むセグメントの搬送に関する例はあまり見当たらない。

シールド工事における最終的な無人化建設工法を目指すためには、これらいずれの技術も重要な要素技術であり、C I M (Computer Integrated Manufacturing/Management) を目指すためにも必要な技術である。

本事例は、立坑上のセグメント保管場所から立坑を経由して、シールド機後端のエレクター装置までのセグメント保管・搬送・供給作業を一連のシステムとして捕らえ、自動化したものである。以下、このシステムを『オートマチック・セグメント・キャリヤシステム』と呼び、現場適用例について述べる。

2. オートマチック・セグメント・キャリヤシステムの構成

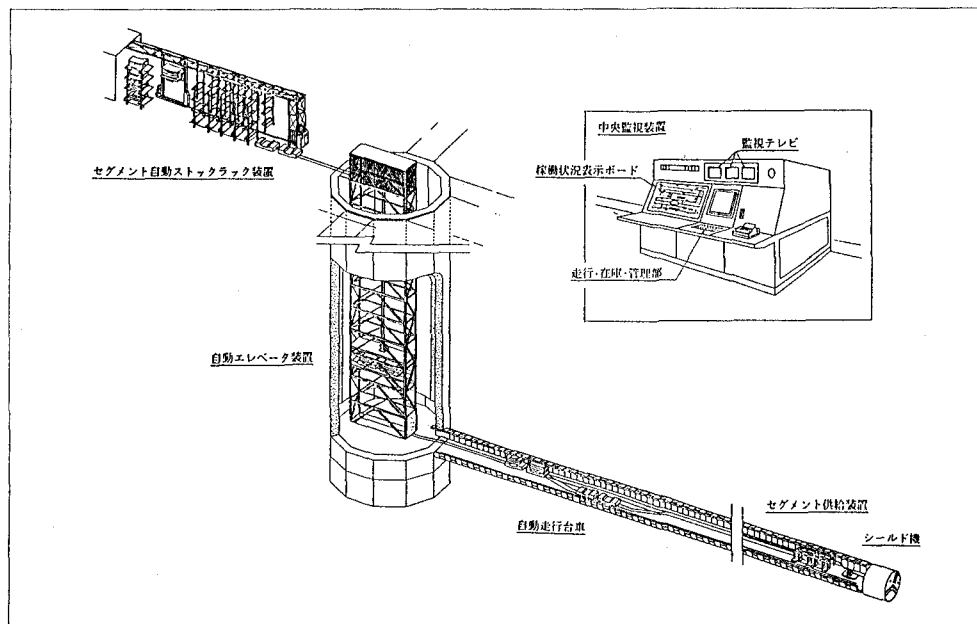


図-1 オートマチック・セグメント・キャリヤシステム全体図

本システムは、図－１に示す通りセグメントの保管・吊下ろし・運搬という搬送手段をすべて自動化したものであり、搬送経路に沿って順に、セグメント自動ストックラック装置、自動エレベータ装置、自動走行台車、セグメント供給装置とこれらを集中管理する坑外設置の中央監視装置から構成されている。

各構成装置は中央監視装置と光通信ケーブルによるＬＡＮ（ローカルエリアネットワーク）回線により接続され、中央監視装置からの光指令により制御されることに本システムの特徴がある。

２．１ セグメント自動ストックラック装置

実施例は、２行９列４段の７２ラックをもった自動倉庫であり、２ラック分でセグメント１リングを構成するように収納をおこなう。（写－１）

ラック行間中央には３段突出機構のフォークを有するスタッカークレーンが位置し、中央監視装置からの指令でセグメントの入出庫作業を行なう。また、クレーンの走行および昇降動作は１モーションで実施され、入出庫時間の短縮を計っている。

セグメント自動ストックラック装置への入庫作業は、地上作業員がセグメントを入庫台車上に積み込むことで開始される。入庫開始時に、自動走行台車で移送の際にセグメントの積みずれが生じないように、セグメントの荷姿を自動的にチェックしており、ずれ量が許容値以上のものについては自動的に積込位置に戻される。

２．２ 自動走行台車

自動走行台車はこのシステムの主要構成装置であり、地上のストックラック装置から立坑内を経由してシールド機後端のセグメント供給装置までのセグメント搬送を一手に担っている。写－２に３ｔ用２両重連の自動走行台車（１リング分のセグメントを搭載）を示す。

台車は、中央監視装置からの発進・停止、加速・減速、前進・後退の指令信号を坑内の所定の位置に設置された光指令装置から光信号にて受信し自動走行する。走行速度は６ｋｍ／ｈ、３．６ｋｍ／ｈ、２ｋｍ／ｈ、０．６ｋｍ／ｈの４速切替えが可能である。

無人走行のため安全対策上、

- ①自動運転表示灯
- ②発進警報器
- ③走行警報器
- ④異常警報器



写－１ 自動ストックラック内部



写－２ 自動走行台車

- ⑤非常停止ボタン
- ⑥走行方向障害物検知装置（非接触センサー）
- ⑦安全バンパー（接触センサー）
- ⑧荷崩れ検知装置

の安全装置を装備している。

走行方式は、レール方式のため、動力用バッテリーは従来程度の容量でよく、充電が必要になれば自動的に本線から自動分岐を介した支線上に設けた充電エリアまで走行する。自動走行台車は、セグメントのみでなく一般資材の運搬も可能であり、人車を接続しての自動運転モードも備えている。

2. 3 自動エレベータ装置

従来方法では、クレーン作業により地上から立坑下へセグメントを荷下ろしする方法が採られているが、立坑の大深度にともない玉掛作業の安全性が危惧されてきている。

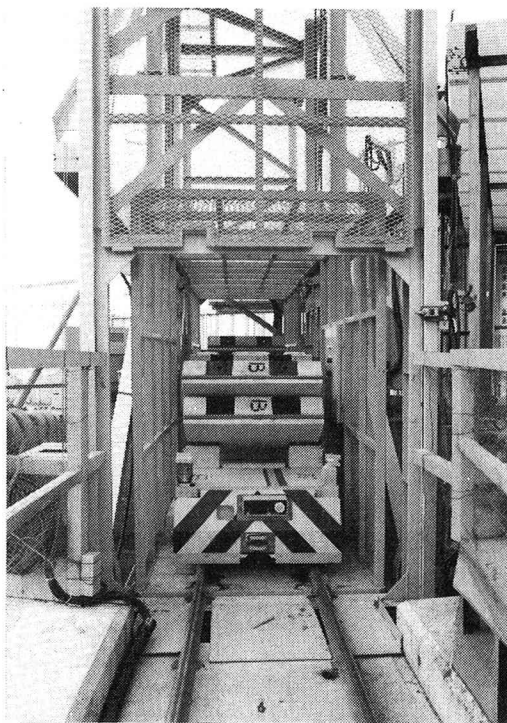
本システムでは、セグメントを搭載した台車ごと自動エレベータにより昇降させるので、立坑部での玉掛、吊り下ろし作業は全く行われず、安全性が向上した。

自動エレベータは、ウィンチによる巻上げワイヤーで昇降する。エレベータ昇降時には、昇降荷台と地上部、地下部の軀体間に隙間を必要とし、なおかつそこを自動走行台車が渡らなければならないので昇降荷台内に屈曲式の調整レールを設けている。さらに、荷台にはエレベータ昇降時の台車逸走防止装置として車輪ロック装置も備えている。荷台停止位置においては荷台固定装置が自動的に作動して台車の乗降時の荷台の停止精度を保ち、揺れを防いでいる。これらは、エレベータ停止および台車搬入後、中央監視装置からの指令により自動的に作動する。

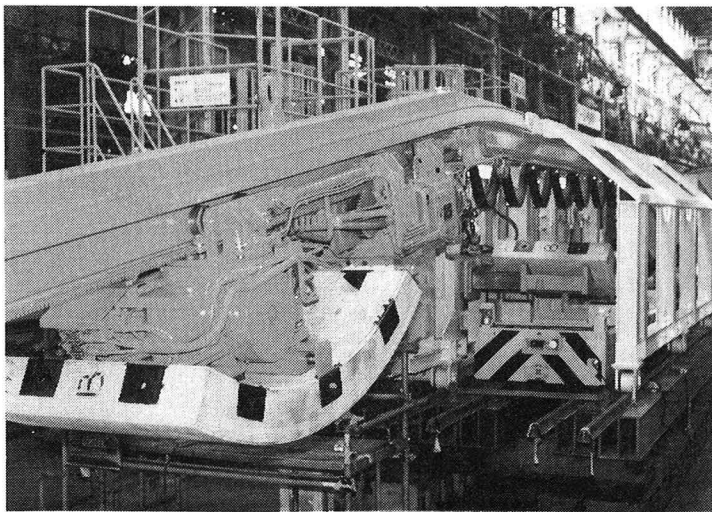
2. 4 セグメント供給装置

セグメント供給装置は、シールド機後端において、自動走行台車で運ばれてきた1リング分のセグメントを受取り、エレクター装置まで1ピースづつ順次供給する装置である。

供給装置は、セグメントを仮受した後、速やかに自動走行台車を後退させるためのリフター装置とエレク



写-3 エレベーター装置



写-4 セグメント供給装置

ターへセグメントを1ピースずつ供給するためのトロリーホイストから構成されている。トロリーホイストは、リフター装置とエレクター装置間をラックピニオン駆動方式で走行し、1ピースを組立サイクルに間に合うよう3～4分以内で供給する。ホイスト下部には、ボルトボックスを利用した特殊なセグメント把持装置を装備しており、走行途中でセグメントを組立方向に合わせるため±90°回転させる旋回装置も備えている。これら一連の供給作業は、すべて無線リモートコントロール方法で実施されるが、セグメント把持操作を除いた操作は全自動で行うことも可能である。

2. 5 中央監視装置

中央監視装置は、システム各種装置の制御をおこなう。自動走行台車の運転状況（進行方向、積荷、位置）を、写-5の左上のグラフィックパネルに、またセグメントの在庫状況をパソコン画面上に常時表示している。

自動走行台車の操作方法は、操作パネル上の起動ボタンを押すだけで自動で運行を開始するため、専用のオペレータを必要とせず、シールド機操作オペレータのみでワンマン管理することができる。

台車への積載物の選択、および出庫するセグメント種別については、操作パネル上のボタン選択により指示をおこない、一度設定しておけば、変更されるまで同じ動作を繰り返す。



写-5 中央監視装置

3. 管理制御方法

3. 1 セグメント管理

本工事で使用するセグメントは、リング6分割のRCセグメントであり、1リングはAセグメント3ピース、Bセグメント2ピース、Kセグメント1ピースで構成されており、搬入・保管・搬送にはAセグメントを3枚重ねたものを1組、Bセグメント2枚とKセグメント1枚を重ねたものを1組として取扱っている。

セグメント種類としては、標準・テーパ・蛇行修正用（右カーブ、左カーブ用）セグメントがある。従って、入庫に際しては4種類×2組の合計8種類の種別を、出庫に際しては4種類の種別分けをして入出庫時に種別を選択している。

セグメントの入出庫にともなう作業フローを図-2に示すが、この中で人間が操作する

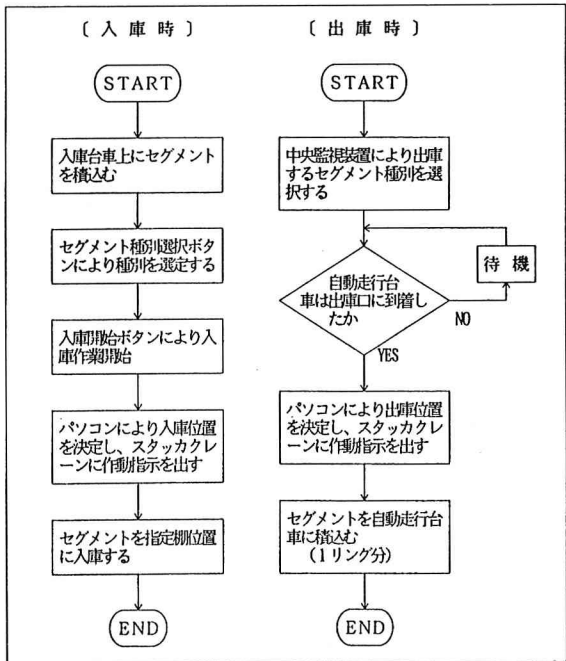


図-2 セグメント入出庫作業フロー

部分は、入庫時については入庫台車上へのセグメント積込とそのセグメントの種別の指示、出庫時においては出庫するセグメント種別の選択のみであり、これ以外の部分は自動制御される。

自動制御の方法は、中央監視装置に設けられたパソコンの指示によりおこなわれ、ストックラック装置内のセグメント在庫状況が一目で分かるように種別により区域分けして収納される。

(図-3) また、この区域分けは、入庫数に応じて適時変化する。入庫棚位置は種別ごとの区域内において下段から上段に向けて空き位置を検索し決定され、出庫については出庫指定種別にもとずき古いものから順次自動的に1リング分出庫される。

在庫管理は、パソコンでストックラックの制御をおこなっているため、個々のセグメントについて入出庫時の日時等の情報を自動的に記録することができる。これにより、セグメントの入出庫サイクルタイム(図-4)、入出庫累計表等の集計をおこなうことができ、在庫管理状況の把握を即座におこなうことができる。

3. 2 光通信システムによる自動走行台車の運行制御

中央監視装置からの自動走行台車への運行指令は、光通信ケーブルで結ばれた光指令装置(写-6)より赤外線を利用した光信号により送受信なされるため、台車の動作に制約を与えることがない。LAN回線全体構成を図-5に示す。

光指令装置が設置されるステーション数nは、自動走行台車が速度を変更する地点数であり、図-6に現場で適用した33地点の例を示す。

光指令装置から自動走行台車に送信される光信号の内容は、進行方向・走行速度・発進・停止等を含んでおり、台車はこの信号を受け取ると受け取った内容を光指令装置に返信する。個々の光指令装置にはマイクロコンピュ

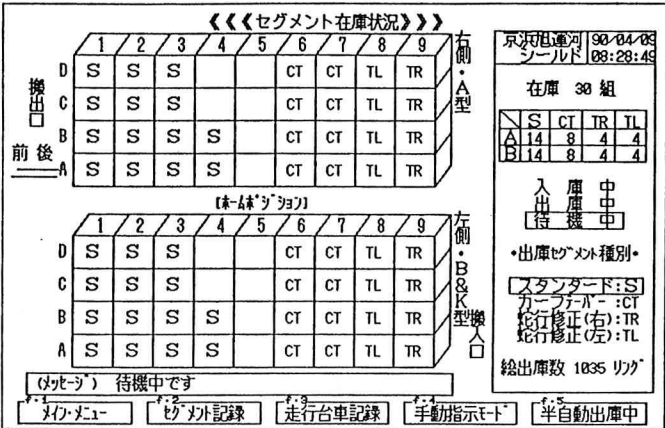
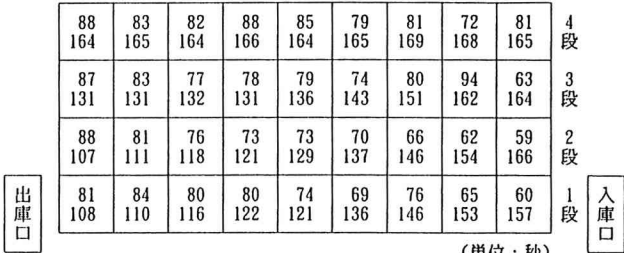
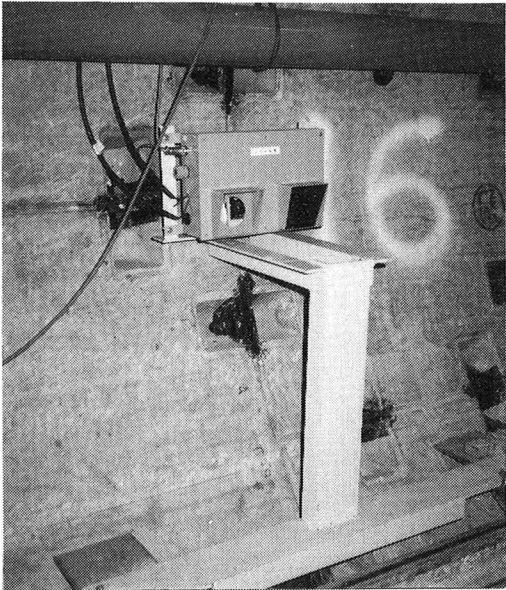


図-3 パソコン画面表示例



上段: 入庫サイクルタイム — ラックに収納するのに要した時間
下段: 出庫サイクルタイム — セグメント1リングを出庫するのに要した時間

図-4 セグメント入出庫サイクルタイム



写-6 光指令装置 (坑内)

ータが組み込まれており、返信された内容が送信したものと異なっていればその場で非常停止信号を台車に送信し、安全のため、台車を非常停止させてしまう。

当システム適用現場は、施工延長 2 km、シールド内径 2,800mm のため坑内軌道は単線である。台車の運行は、掘進延長が短い間は台車 1 編成による

搬送をおこない 1 km を越えた時点で坑内に固定レール分岐を設け、2 編成による搬送作業をおこなった。(写-7)

台車の運行制御の方法は、図-6 の光指令装置を地上 2 ブロックエレベータ部、坑内 2 ブロック、分岐 2 ブロック、計 7 ブロックに分割し、各ブロックの出入口で進行方向前方のブロックに台車がいれば必ず停止、いなければ直進という制御方法を取り、各ブロック内には必ず 1 台しか入れないようにしている。台車走行の基本パターンを図-7 に示す。

自動走行台車は、光指令装置間を無人で走行し、走行中異常が発生すれば前述の安全装置により検知した時点で非常停止するが、中央監視装置の非常停止ボタンが押された場合には、最寄りの光指令装置位置まで台車は走行し、そこで非常停止指令を受信して停止する。

台車の運行状況は、常に中央監視装置のグラフィックパネル上に表示され、同時にパソコンにも情

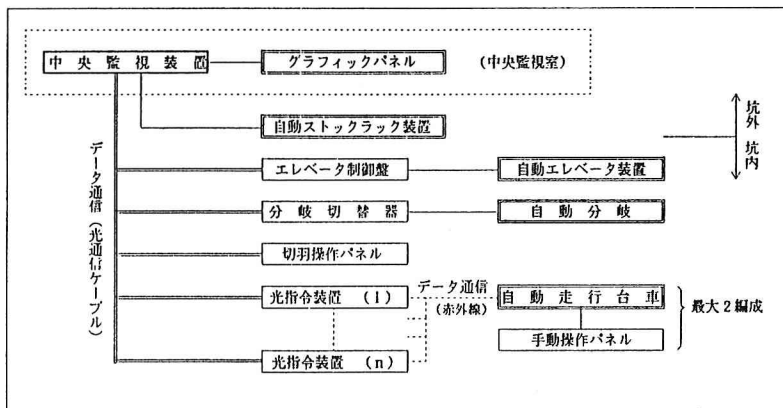


図-5 LAN回線システム全体構成

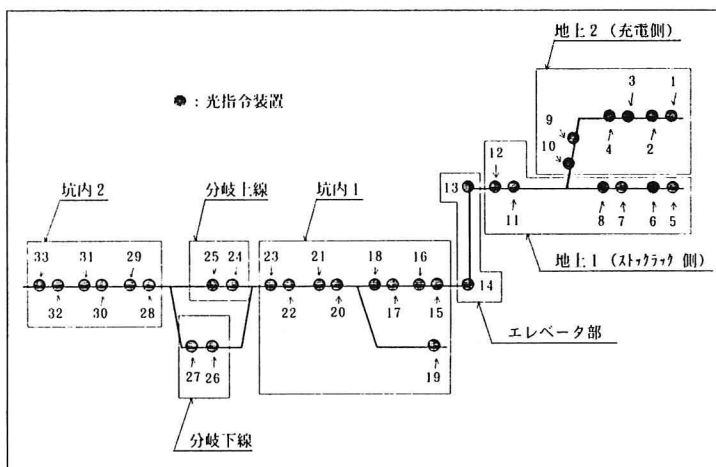
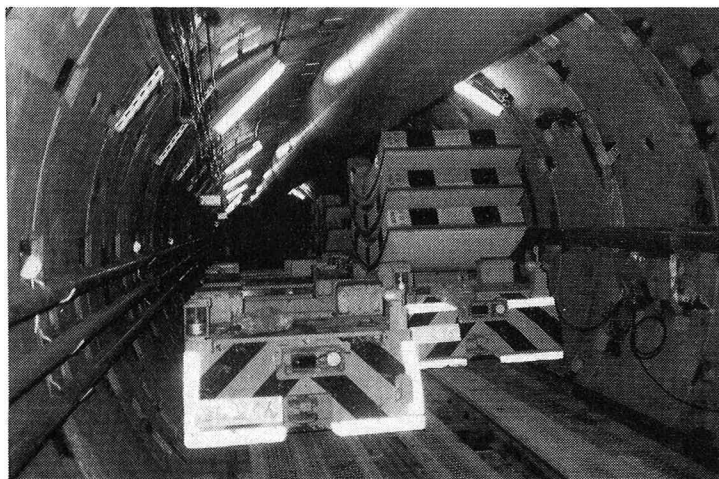


図-6 光指令装置配置および制御区分ブロック



写-7 坑内分岐における台車離合状況

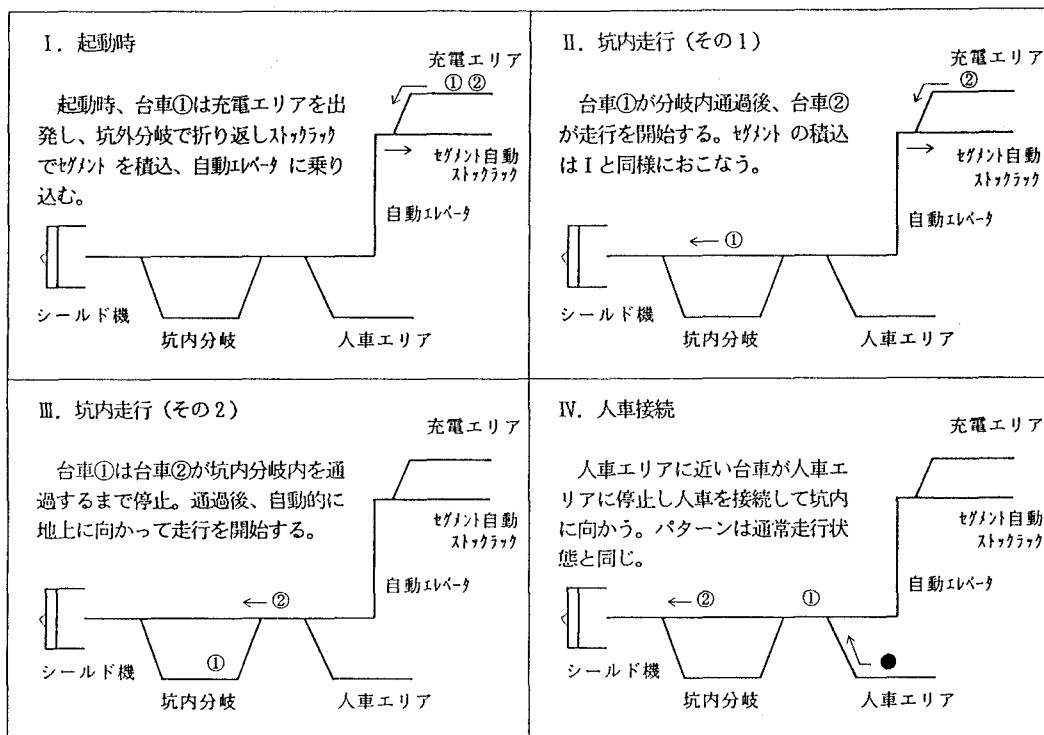


図-7 自動走行台車走行基本パターン

報が自動的に登録される。
記録された自動走行台車の運行記録例を図-8に示す。
表-1に、地上でセグメントを積み込み、坑内へ搬送し、再び地上に戻ってくるまでの搬送サイクルタイムの一例を示す。記録された自動走行台車の運行記録をもとに、900リング掘進時における台車1編成での切

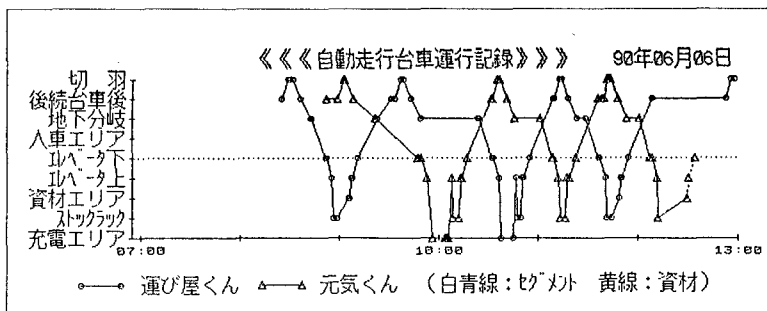


図-8 自動走行台車運行記録例

羽へのセグメント供給時間間隔を示したものを表-2(a)に、1,900リング掘進時に台車2編成による供給時間間隔を表-2(b)に示す。どちらの掘進距離の場合においても切羽へのセグメント供給時間間隔はシールド施工サイクルタイム（掘進約30分、組立約25分）に比べ、間に合うものである。また、この両者を比較した場合、1,900リング掘進時は900リング掘進時より搬送距離はほぼ2倍になっているにもかかわらず切羽へのセグメント供給時間間隔はほとんど同じとなっている。このことから、掘進距離が長くなった場合には台車編成数を増やすことで切羽へのセグメントの安定供給をすることができると言える。

4. おわりに

本システムは、京浜・旭シールドトンネル新設工事において平成元年12月より作動を開始し、平成2年8

月中旬にシールド一次覆工を終了するまで事故もなく順調に稼働した。

本システムの実証により、セグメントの無人搬送についての概念が確立できたものと思う。また、従来方法による地上でのクレーンオペレータ、バッテリーロコの運転手、セグメントをエレクターへ供給する作業員などの無人化が原則的に可能となり、さらに、従来作業員が行っていた積み・積替え作業がなくなるので安全性が飛躍的に向上した。

今後のシステムの展開としては、当社で開発中の自動測量運転システム、マルチセグメント自動組立システム等と結びつけて、シールド工事のトータル的な無人化施工を目指すものである。

表－1 自動走行台車運行サイクルタイム例

自動走行台車運行サイクルタイム					<セグメント搬送>	
日 付	発進時刻	走行経路	経過時間	待機時間		
90/06/04	07:52:12	エレベータ上 → 充電エリア	1分29秒	6分11秒		
90/06/04	07:59:35	充電エリア → エレベータ上	1分11秒			
90/06/04	08:00:29	エレベータ上 → ストックラック	0分52秒	2分12秒		
90/06/04	08:03:41	ストックラック → エレベータ上	0分59秒	0分51秒		
90/06/04	08:07:54	エレベータ上 → エレベータ下	3分22秒			
90/06/04	08:24:17	エレベータ下 → 後続台車後	15分22秒	0分04秒		
90/06/04	08:25:51	後続台車後 → 切羽供給装置	1分29秒	2分42秒		
90/06/04	08:33:03	切羽供給装置 → 後続台車後	4分29秒			
90/06/04	08:38:50	後続台車後 → 坑内分岐	4分46秒	19分02秒		
90/06/04	09:05:46	坑内分岐 → エレベータ下	7分52秒	0分52秒		
90/06/04	09:09:58	エレベータ下 → エレベータ上	3分19秒			
90/06/04	09:11:10	エレベータ上 → ストックラック	1分12秒			
往復走行時間			80分27秒	48分26秒	32分00秒	

表－2 切羽へのセグメント供給時間間隔

(a) 900リング掘進時 (台車1編成)

日 付	到達時間	台 車 番 号	積 荷	時間間隔
90/03/14	08:27:33	運び屋くん	セグメント	———
90/03/14	09:09:42	運び屋くん	セグメント	42分 8秒
90/03/14	09:51:20	運び屋くん	セグメント	41分38秒
90/03/14	10:53:52	運び屋くん	セグメント	62分 5秒
90/03/14	11:36:56	運び屋くん	セグメント	43分31秒

(b) 1900リング掘進時 (台車2編成)

日 付	到達時間	台 車 番 号	積 荷	時間間隔
90/07/06	09:16:08	元気くん	セグメント	———
90/07/06	10:00:57	運び屋くん	セグメント	44分48秒
90/07/06	10:48:54	元気くん	セグメント	47分57秒
90/07/06	11:34:06	運び屋くん	セグメント	45分11秒
90/07/06	12:22:17	元気くん	セグメント	48分11秒

<参考文献>

- 1) 菊池, 鈴木, 小原: セグメント自動搬送システムの開発
土木学会第45回年次学術講演会講演概要集 '89
- 2) 菊池他: セグメント自動搬送システム, 第1回建設ロボットシンポジウム '90
- 3) 鈴木, 松浦他: セグメント自動搬送システムの適用 その1, その2
土木学会第45回年次学術講演会講演概要集 '90