

セグメント自動搬送システムの適用

APPLICATION OF SEGMENT AUTOMATIC CARRIER SYSTEM FOR SHIELD WORKS

菊池 雄一*・鈴木 康正**・佐藤 等***・松浦 幸彦****

By Yuichi KIKUTI, Yasumasa SUZUKI, Hitoshi SATO and Yukihiro MATSUURA

This paper proposes the system in which the segments can be conveyed from the stock yard to the erector at the rear of the shield machine without manual operation. This system consists of the following components :

- 1) Battery-operated carriages controlled by the central control unit automatically
- 2) Automatic segment-stock-rack device
- 3) Elevator installed in the shaft
- 4) Segment-supplying device placed at the rear of the shield machine
- 5) Central control unit and optical fiber communication system

The construction sites that employed this system resulted in labor-saving and safety in work condition.

Keywords : shield work, auto carrier, segment carriage

1. はじめに

建設現場のFA(フィールドオートメーション)化は、深刻化する労働事情や他産業と比べて低い生産性の向上に対処する方策として、また安全作業環境の確保のためにも、今後とも積極的に取り組まなければならない最重要のテーマとなっている。

一方、シールド工法は狭い国土を有効に利用するジオフロント開発の先峰を担っており、ますます発展普及する傾向にある。

このような社会的背景からシールド工事の自動化が求められており、その技術開発は他工種工事と比べ比較的進んでいるようである。

しかし、開発動向としては掘削の自動化、セグメント組立のロボット化について視点が向けられている感があり、セグメントを含む資機材の搬送に関する例はあまり見当たらない。理想とする最終施工形態を完全無人化とするなら、上記の要素技術はどれも重要なものであると考えられる。

本適用事例は、セグメント保管場所から立坑を經由して、シールドマシン後端のエレクター装置までのセグメント搬送・供給作業を一連のシステムとしてとらえ自動化したものであり、建設業界初の試みである。

このシステムは、神奈川県京浜・旭シールド工事において平成元年12月より使用され、平成2年8月のシールド掘進が完了するまで順調に稼働し自動化に対する大きな成果を得た。

本報告は、この使用結果をもとにセグメント自動搬送システムの特徴について記述するものである。

2. 自動搬送システムの構成

本システムを最初に導入した京浜・旭シールドトンネルは、日本鋼管(株)京浜製鉄所から東京ガス(株)鶴見工場に至る延長1990mのガス導管布設トンネルであり、セグメント外径3.2mφの泥水式シールド工法で施工された。システムの構成は、図-1に示すとおりセグメントの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、自動走行台車、自動エレベータ装置、セグメント供給装置の各設備と、さらにそれらを集中管理する中央監視装置からなっている。

(1) 自動ストックラック装置

物流倉庫で多用されている立体自動倉庫をセグメント

* 正会員 清水建設(株)土木本部技術第一部

(〒105-07 港区芝浦1-2-3 シーパンスS館)

** 正会員 清水建設(株)土木本部土木第二部(同上)

*** 清水建設(株)技術開発本部機材技術開発部(同上)

**** 正会員 清水建設(株)土木本部技術第一部(同上)



写真-1 自動ストックラック内部

専用に応用開発したものである。写真-1にその内部状況を示す。施工例は、2行9列4層の72ラックのものであり、1ラック内に収納できる重量は3t(29.4kN)以下である。通常は2ラック分でセグメント1リングを構成するようになり、36リング分のストック量である。

本工事で使用したセグメントは、リング6分割のRCセグメントであり、1リングは、Aセグメントが3ピース、Bセグメントが2ピース、Kセグメントが1ピースで構成されている。

また、セグメントの種類として標準セグメント、テーパーセグメント、蛇行修正用セグメント(右カーブ用と左カーブ用)がある。搬入・保管には、Aセグメントを3枚重ねたものを1組、Bセグメントを2枚とKセグメントを重ねたものを1組として取り扱っており、各種類のセグメントの組は所定の場所にストックできる設備になっている。

ラック間中央には、3段突出機構のフォークを有するスタッククレーンが走行し、中央監視装置からの指令で昇降・走行および特定のセグメントの積み下ろしを行う。スタッククレーンの走行および昇降動作は同時に実施され、搬出入時間の短縮を計っている。

自動ストックラック装置へのセグメントの入庫は、写真-2に示すとおり地上作業員が入庫車に積み込んで行い、入庫途中ではセグメントの荷姿を自動的にチェックして許容寸法外の場合は積み込み位置に戻される。

従来の平面的なストック方法と異なり、多層階にセグメントをストックできるため地上の敷地面積を大幅に縮小できる。

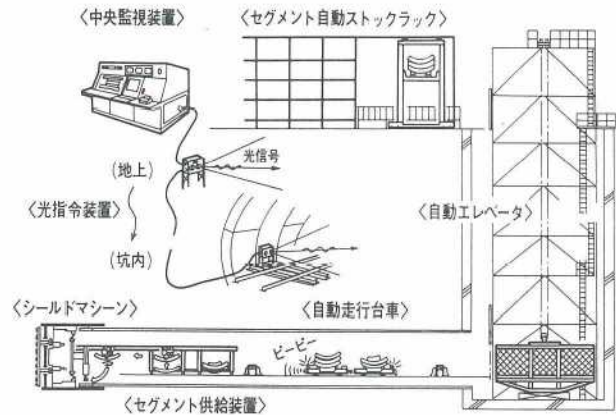


図-1 京浜旭シールドにおける自動搬送システム全体図



写真-2 セグメント入庫状況



写真-3 自動走行台車

(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經由して、シールドマシン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。写真-3に坑内走行中の3t(29.4kN)用2両連結の走行台車(1リング分のセグメントを搭載)、写真-4に2編成の走行台車が立坑底より700m付近の分岐部ですれ違う状況を示す。

自動走行台車は、中央監視室からの発進・停止、加速・減速、前進・後進、最大走行速度の指示信号を複数の定



写真-4 自動走行台車のすれ違い状況



写真-5 屈曲式調整レール（閉）

位置から受信して自動走行する。走行速度は6 km/h, 3.6 km/h, 2 km/h, 0.6 km/hの4速に切替えが可能である。

安全対策上、必要な以下の装置を装備している。

- a) 自動運転表示灯
- b) 発進警報器
- c) 走行警報器
- d) 異常警報器
- e) 非常停止ボタン
- f) 走行方向障害物検知装置（非接触センサー）
- g) 安全バンパー（接触センサー）
- h) 荷崩れ検知装置

非接触センサーには中距離用の超音波センサーと至近距離用の光センサーがある。たとえば走行経路中に障害物があれば、超音波センサーが検知して自動走行台車を減速させ、さらに接近して光センサーの検知範囲内までくると自動停止させる。万一障害物に接触すれば安全バンパーのスイッチにより急停止させるシステムになっており、坑内無人走行に対する十分な安全性を計っている。

レール走行方式のため、動力用バッテリーは従来程度の容量でよく、通常には片道2 kmの走行距離を1回の充電で4往復することができる。バッテリーの交換・充電場所を坑外の本線から自動分岐を介した支線上に設けており、自動走行台車が充電を必要になれば自動的に充電エリアまで走行する。

なお、セグメント以外のレール・枕木・配管材等の資機材を自動搬送することも可能である。ただし、台車上への積み込み作業は従来どおり人力で行う。

（3）自動エレベータ装置

従来は、クレーン作業により立坑上から立坑下へセグメントを荷下しする方法が採られているが、立坑の深度化に伴い玉掛け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ているので、玉掛け作業は全く行われない。



写真-6 屈曲式調整レール（開）

自動エレベータは、ウィンチによる巻上ワイヤで昇降し、その運行管理はすべて中央監視装置で実施される。

エレベータ昇降時に昇降荷台と、地上部や地下部の躯体間には隙間が必要であるが、そこを自動走行台車が渡るため、荷台内には写真-5, 6に示すように屈曲式の調整レールを設けている。さらに、昇降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を備えている。これらはエレベータ停止および台車搬入後、自動的に作動する。図-2にこれらの配置を示す荷台平面図を示す。荷台停止位置では荷台固定装置が自動的に作動して台車の乗降前後の荷台停止精度を保ち、揺れを防いでいる。

（4）セグメント供給装置

図-3、写真-7に示すセグメント供給装置は、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け取り、マシン後端のエレクター装置まで1ピースずつ順次供給する設備である。

この装置は、セグメントを仮受けした後は、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、エレクターへ1ピースずつセグメントを供給するためのトローリーホイストから構成されている。

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配備している。

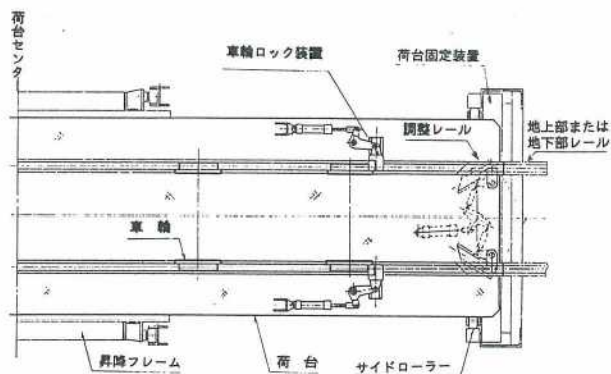


図-2 自動エレベータ荷台平面図

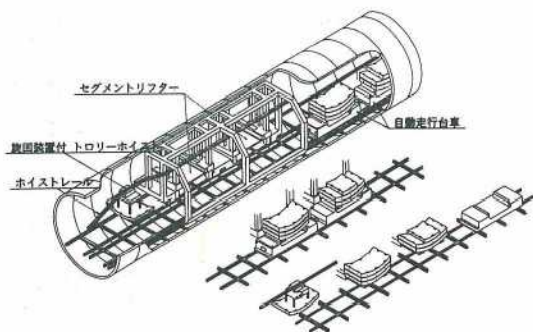


図-3 セグメント供給装置概略図



写真-7 セグメント供給装置

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、走行途中でセグメントを組立方向に合わせるために±90°回転させられる旋回装置も備えている。

1ピースの供給時間は、組立サイクルに間に合うように3~4分以内として設定してある。

これらの一連の操作は、切羽作業員の安全性を考慮して、通常は無線リモートコントロールで実施されているが、セグメントの把持操作を除いたホイスト操作を全自動で行うことも可能である。

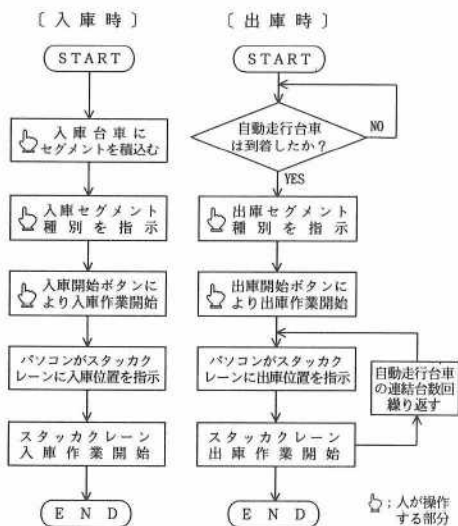


図-4 セグメント入出庫作業フロー

(5) 中央監視装置

中央監視装置は、自動ストックラック装置、自動走行台車、自動エレベータ装置およびレール分岐の制御を行う。

中央監視装置にはシステム全体の運転状況を表示するグラフィックパネルが設けられ、オペレータは走行台車等の管理をワンマンで行うことができる。

さらに、中央監視装置に設けたパソコンにより、自動ストックラックのセグメントの入出庫および在庫管理も自動的に行う。

3. 管理制御方法

(1) セグメント管理

セグメントの入出庫に伴う作業フローを図-4に示す。このフローの中で人間が操作する部分は、入庫時については入庫台車上へのセグメント積込みとそのセグメント種別の指示、出庫時においては出庫するセグメント

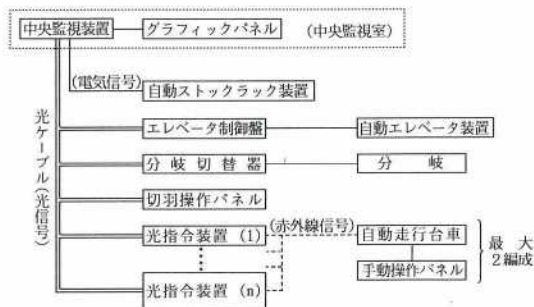


図-5 光通信システム全体構成

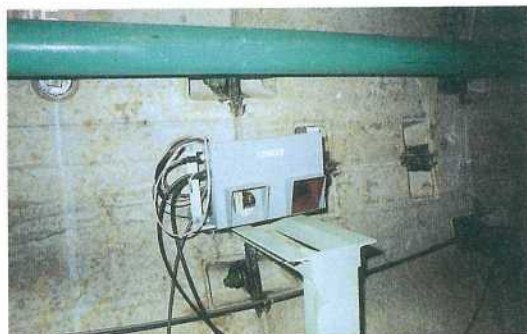


写真-8 光指令装置 (坑内)

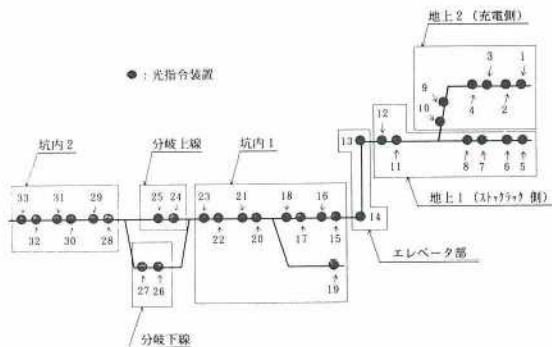


図-6 光指令装置配置例



写真-9 光指令装置 (台車)

種別と入出庫作業開始ボタン操作のみであり、それ以外の部分は自動制御される。出庫セグメント種別の切替は随時可能であるが、切替を行わない限り自動走行台車が到着するごとに同じセグメントの出庫を繰り返す。

セグメントの積み込みは、下段から上段へ向けて行い、出庫指示では古いものから順次自動的に出庫される。

セグメントの在庫管理はパソコンで処理しているため、入出庫の日時等の情報を自動的に登録できる。

(2) 光通信システム

光通信システムの全体構成を図-5に示す。

光通信システムは、光通信ケーブルを用いて中央監視装置をホストとし、複数個の光指令装置やエレベータ制御盤等の各端末器をLAN（ローカルエリアネットワーク）で結んだ情報伝達手段である。各端末器ではこの情報のうち、自らに与えられた指令のみを取捨選択し、これを一度電気信号に変換して、それぞれの設備を稼働させるものである。

光指令装置では、さらにこれを赤外線に変換し、至近距離から自動走行台車に再発信して非接触で走行台車の運行制御を行っている。光指令装置が発する赤外線には、自動走行台車の指定編成 No.、進行方向、指定速度等の運行に必要な情報がすべて含まれており、自動走行台車の現在位置とその状況から最適な指令がプログラム上から自動的に選択される。情報伝達頻度は、1秒間に

500回である。

走行台車側では、これらの同一信号を3回以上受信して初めて作動するようにプログラムされており、誤った情報伝達が行われる危険性をなくしている。情報伝達が行われれば、今度は台車側の光指令装置から同様の方法で中央監視装置へ受信情報を伝え確認する。

図-5に示す光指令装置が設置されているステーション数 n は、自動走行台車が速度変更しなければならない地点数であり、図-6には本工事で用いた33地点の例を示す。これらの地点は、地上部、坑内部、分岐部の各2ブロックとエレベータ部の1ブロックの計7ブロックに分割されている。自動走行台車の運行は、各ブロックの出入口で進行方向前方のブロック内に台車がいれば停止、いなければ直進するように制御されている。自動走行台車の通過沿線に設置された光指令装置と走行台車上の光指令装置をそれぞれ写真-8、9に示す。

4. 適用結果と考察

(1) 省人化

本システムの最大の目的である省人化は、従来方法によるデータとの詳細比較が困難であるため、明確に表わせない。しかし、本システムでは立坑吊り下ろし時に必要な玉掛け作業員やクレーンオペレータ、さらに坑内搬送時のバッテリー車の運転手、セグメントをエレクター

まで供給する作業員は明らかに不必要となるため、搬送作業のみについていえば50%以上、シールド掘進作業全体でみても従来方法による10人の作業員中3人、30

%程度の省人化が可能であったと思われる。

写真-10の従来方法による立坑搬入のための玉掛け作業状況と比較して、写真-11に本システムの場合の自動ストックラックから自動走行台車への移載状況を示す。



写真-10 従来方法による



写真-11



図-7 自動ストックラック装置内の在庫管理区画

(2) セグメント管理

自動ストックラック装置内では、同一種類のセグメントが隣合せとなるようにラック内の分けを行っている。また、セグメントの在庫状況が絶えず監視できるように中央監視装置のモニター上にそのモデル化した画面を表示する。

図-7には、ある日時の在庫管理画面を示す。この画面から、これまでの搬出リング数や、現状の作業状況がひと目でわかり、今後のセグメント搬入計画も立案できる。

さらに、これらのデータをもとに、ラック別の搬出入のサイクルタイムを自動的に計算し、表示することができ、セグメント種類別の累計表示も容易に行うことができる。

図-8にラック別の入出庫平均サイクルタイムを示す。出庫タイムは、スタッククレーンがラック間を2往復する時間であるので入庫タイムより時間がかかっているが、いずれも3分以内となっていることがわかる。

(3) 自動走行台車の運行管理

自動走行台車の運行記録例を図-9に示し、同一台車の搬送サイクルタイム例を表-1に示す。自動走行台車が通過する主要箇所における時刻からその経過時間を割り出したものであるが、台車が同一場所で待機している時間も算出している。

88	83	82	88	85	79	81	72	81	4
164	165	164	166	164	165	169	168	165	段
87	83	77	78	79	74	80	94	93	3
131	131	132	131	136	143	151	162	164	段
88	81	76	73	73	70	66	62	59	2
107	111	118	121	129	137	146	154	166	段
81	84	80	80	74	69	76	65	60	1
108	110	116	122	121	136	146	153	157	段

(単位: 秒)

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-8 ラック位置別セグメント入出庫平均サイクルタイム

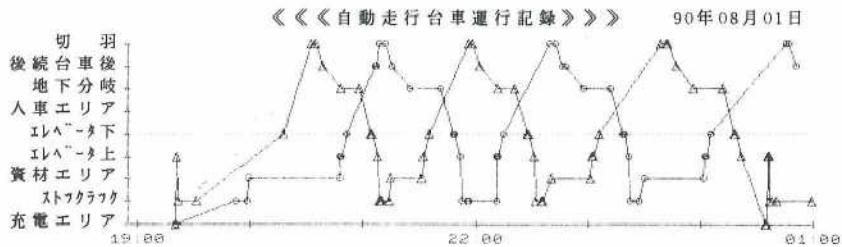


図-9 自動走行台車の運行記録例

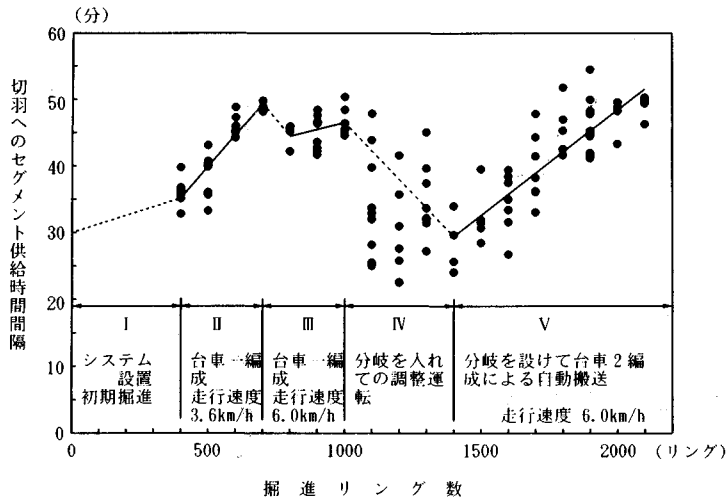


図-10 掘進リング数と供給時間間隔

表-1 自動走行台車走行サイクルタイム実績例

(施工延長約1900m時点：2編成状態)

日付	発進時刻	走行経路	経過時間	待機時間
90/08/01	09:09:38	エレベータ上 → ストックラック	1分03秒	
90/08/01	09:13:18	ストックラック → 資料エリア	0分57秒	2分36秒
90/08/01	09:28:20	資料エリア → エレベータ上	0分45秒	14分04秒
90/08/01	09:32:07	エレベータ上 → エレベータ下	2分42秒	3分02秒
90/08/01	09:34:50	エレベータ下 → 切羽供給装置	25分20秒	
90/08/01	10:01:43	切羽供給装置 → 後続台車後	4分36秒	1分32秒
90/08/01	10:11:04	後続台車後 → 坑内分岐	10分04秒	4分44秒
90/08/01	10:31:12	坑内分岐 → エレベータ下	6分22秒	10分03秒
90/08/01	10:38:22	エレベータ下 → エレベータ上	2分42秒	0分47秒
90/08/01	10:41:04	エレベータ上 → ストックラック	0分56秒	

往復走行時間 91分19秒 54分28秒 36分51秒

表-2 セグメント供給時間間隔

日付	到達時刻	台車番号	積荷	供給間隔
90/08/01	10:00:11	元気くん	セグメント	46分38秒
90/08/01	10:40:35	運び屋くん	セグメント	40分23秒
90/08/01	11:50:13	元気くん	資材	69分38秒
90/08/01	12:49:08	運び屋くん	セグメント	58分54秒
90/08/01	13:43:08	元気くん	セグメント	53分59秒
90/08/01	14:52:06	運び屋くん	資材	68分58秒

表-2には、システム先端のセグメント供給装置に自動走行台車が到達する時間と供給間隔を示し、掘進距離とともに変化する供給時間を管理することが可能である。この例ではセグメント供給時間間隔は40~58分であり、シールド施工サイクル(掘進約30分、セグメント組立て約25分)に見合ったものとなっている。

さらに、シールド掘進に伴う切羽へのセグメント供給時間間隔の推移を図-10に示す。図中の実線は、最小二乗法により供給時間間隔とリング数の相関を求めたものである。

供給時間間隔の上限は当現場では約55分であるため、750リング付近で分岐を設置し、台車を2編成としたのは適当であったといえる。

しかも、2編成であっても最終段階の2100リング付

近で上限値に達し、本システムの設計が妥当であったことを示している。

これ以上の延長の場合でも、列車編成数や待機場所を増すことにより、対応が可能であると考えられる。

(4) 本システムの今後の課題

本システムの中核は、無人走行台車の運行制御であるといえるが、設計計画時点では予測できなかったトラブル事例が生じた。それらを解決するための代表的な課題を以下に示す。

- 悪条件のレール面であっても停止精度を確立する。
- システムの無停電化の対策をする。
- 電装品の耐水性向上を計る。
- セグメント供給装置側でも全自動が可能な方法を確立する。

5. おわりに

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と確信する。

従来方法に比べて大幅な省人化が可能であったうえ、従来の作業員が行っていた積込み、積替え作業がなくなり、すなわち立坑内での重量物の積下ろしのエリアは完全無人化できるので安全性が飛躍的に向上した。また、自動ストックラックの使用により、セグメントの入出庫管理が中央のパソコンで容易に行え、現場の施工管理の省力化にも大いに寄与できた。

しかしながら、シールド工事の完全無人化を目指すには、さらに、掘削工の無人化(マシンの方向制御等)、覆工の無人化、ずり搬出の無人化(泥水シールド工法の場合では、配管の自動延長)、枕木、レール、風管設置の無人化等についてシステム化していく必要があると思

われる。

今後は、長距離化・大深度化するシールド工事における省力化・無人化を一層はかりながら、シールド工事全体としての CIM (Computer Integrated Manufacturing/Management) を進めて生産性の向上に寄与していく所存である。

なお、このシステムは、立坑が深くなった場合には一層の省スペース化をはかりながら、立坑内に 2 列のみの自動ストックラック装置を設けてエレベータ兼用で使用することも可能であり、現在次現場への転用を検討中である。

末筆ながら本システム採用にあたりご尽力下さった東京ガス(株)、日本鋼管(株)の関係各位に紙上を借りて厚くお礼申し上げます。

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 44 回年次学術講演会講演概要集，pp.10～11，1989.
- 2) 菊池・鈴木・小原・松浦・佐藤：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論文集，pp.235～242，1990.

(1990.9.26・受付)
