

パナマ運河向け曳船用機関車 (ウィンドラス装置)

Towing Locomotives for The PANAMA CANAL () (Windlass Unit)

The Panama Canal was returned to the Republic of Panama from the United States of America at the end of 1999. In order to take the burden of the new era, it was decided to purchase towing locomotives after an interval of more than 40 years. After a keen competition in international tender, Japanese group consisting of Mitsubishi Corp. Ltd., Toyo Electric Mfg. Co., Ltd., Kawasaki Heavy Industries, Ltd., and Mitsubishi Heavy Industries, Ltd. was accepted for 24 new proto-locomotives. The group has delivered first 8 locomotives this time.

The Japanese group delivered the towing locomotives, which are now working in the Panama Canal thirty-eight years ago. On the basis of the track record, the Japanese group proposed a high-tech towing locomotive which has been developed focusing on resource saving and reduction of maintenance producing new technologies. Among manufacturers, Toyo Electric Mfg. Co., Ltd. was allotted to manufacture the electrical equipment and the windlass, Kawasaki Heavy Industries, Ltd. the body, and Mitsubishi Heavy Industries, Ltd. the gear unit.

This report describes windlass units equipped on the towing locomotive. Former PCC (Panama Canal Commission) to which we deliver products is renewed and started as ACP (Autoridad del Canal de Panama) after the return.

岩崎 正廣 川端 一昭 小野田 博 鈴木 志津雄 小針 正喜 董 定
Masahiro Iwasaki Kazuaki Kawabata Hiroshi Onoda Shizuo Suzuki Masayoshi Kobari Dong Ding

1. まえがき (105号と重複)

パナマ運河は1914年に、米国により建設、開通された20世紀最大の建造物の一つであり、開通後は世界海運の要衝として機能している。パナマ運河はその建設時の背景から、米国が運河地帯の租借権を有していたが、カーター政権時代に締結した2国間の条約により1999年末をもってパナマ共和国に管理運営権が全面的に返還された。

この新時代を担うべく約40年ぶりに新曳船用機関車の導入が決定され、激しい国際入札の結果三菱商事(株)、東洋電機製造(株)、川崎重工業(株)、三菱重工業(株)の日本グループがプロト車両2両の受注に成功し、今回先行の8両を納入した。日本グループは、現在稼働中の曳船用機関車を納入しており、今回受注したものはこの実績をベースに新しい技術を導入した省資源、メンテナンス低減を重視したハイテク機関車である。製造メーカーは、東洋電機製造(株)が走行用電機品及びウィンドラス装置、川崎重工業(株)が車体、三菱重工業(株)がギア装置を分担した。

前回は走行用システム、電機品について報告したが、今回はウィンドラス装置(ウインチの一種)について報告する。

なお、納入先であるPCC(Panama Canal Commission)は返還後ACP(Autoridad del Canal de Panama)として新しく発足した。

2. パナマ運河の概要(105号と重複)

図1にパナマ運河の全体略図を示す。運河の構造は太平洋と大西洋間約62kmの中央に大人造湖であるガソン湖が位置し、この湖を水源とし海拔差約26mの区間を船の単独航行が可能となるよう、湖より太平洋側に二つの、大西洋側に一つの計3箇所(ロック Lock)を築いたものである。この堰の中は船1隻が入れる大きさの幾つかに分離したプール(チャンバ Chamber)から成り立っていて、1チャンバの大きさは長さ1000フィート(約305m)、幅110フィート(約34m)、深さ70フィート(約21m)である。水位の調整はチャンバの底にあるバルブを開いて上段の水を下段に落とすことにより高低差を調整する方式であり、平たく言えば大規模な水によるエレベータである。図2にその運河の断面図を示す。

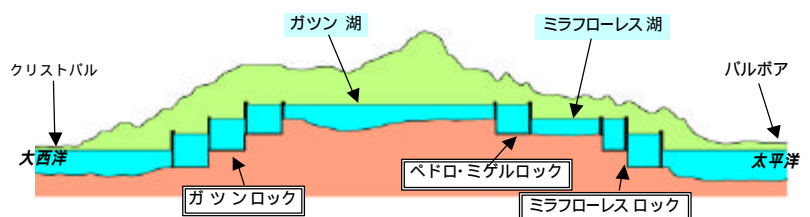


図1 パナマ運河地帯略図

Fig.1 Map of the Panama Canal

図2 パナマ運河の断面図

Fig.2 Sectional view of the Panama Canal

当然この部分は水路の幅が狭く、船と岸との隙間 500mm ぐらいになることもあり、船の航行に当っては両岸に位置した機関車に搭載されたウィンドラス装置の補助が必要になる。

すなわち、機関車はロープで船とつなぐことで、船が航行中には風や荷の影響で水門や両岸に衝突しないよう、また水位調整の際には激しい渦により流されないように、牽引、制動あるいは位置を保持する機能を果たしている。

これらのウィンドラス装置の操作や機関車の運転は船に乗っているパイロットの無線通信に従って行われている。

われわれ日本グループは、既存量産型機関車を納入しているが、これらの置換え及びパナマへの返還後の輸送力増強に備え、実に約 40 年ぶりに新設計の機関車を製作することになった。また、近年は船のサイズも最大規格となり、コンテナ船や自動車輸送船のように大型船の比重が増加し、新機関車の性能は既存車に比べ高性能化を要求されることとなった。図 3 はパナマ運河で機関車による曳船中の状況であり、図 4 は新機関車を示す。



図 3 パナマ運河での機関車による曳船状況
Fig.3 Towing a ship by the locomotives at the Panama Canal



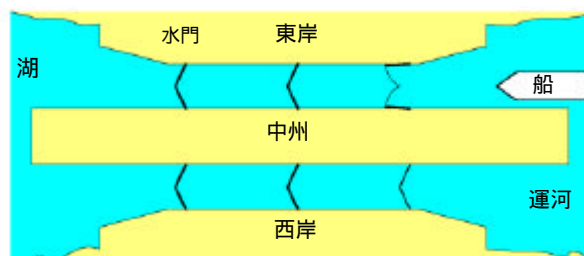
図 4 新型曳船機関車
Fig.4 New type towing locomotives

3. 曳船作業についての紹介

パナマ運河の概要は技報 38 号, 105 号に記載されているが、そこで行われる曳船作業とウィンドラスの操作(運転モード)の一例を示す。

1) 接岸

運河を上ってきた船は運河の真中につくられた中洲に接近してくる。下図(中洲の側面には木片が張ってある)



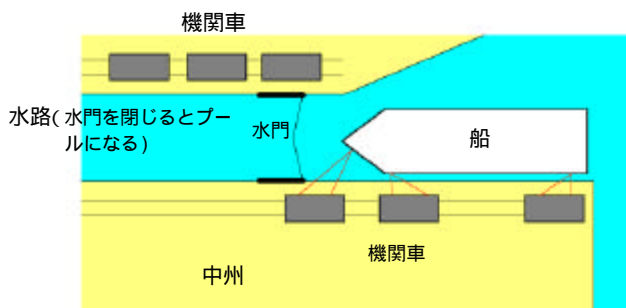
2) 曳船準備

中洲ではウィンドラスを搭載した機関車が船とともに進む。

ウィンドラスのケーブルは、船から投げられた案内ロープにより、船に引込まれ、船に引っ掛けられる。〔高速巻出〕。

オペレータは機関車を走らせながら、ウィンドラスのケーブルを張る。〔低速巻込〕。

対岸の機関車は船が水路に入ったところでケーブルを結ぶ。下図

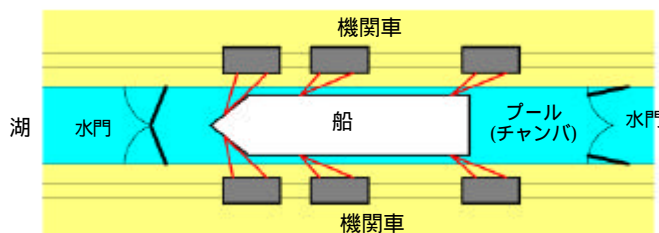


3) 曳船

船は機関車に案内されて狭い水路をゆっくり進む。

この時船は自力航行する。〔ニュートラル/ストール〕。機関車は一度止まり、制動位置に場所を変える。〔ドラムフリー〕。

機関車は、前方の水門の手前で船を止める。〔ニュートラル/スリップ〕。下図



4) 船の上昇（下降）

水路は、船の前後を水門で閉じれば、プール（チャンバ）となる。

船をプールに閉じ込めた後、湖からプールに水を導く。
プールの水位が上がり船は上昇する。

船が接岸しないよう、オペレータはウィンドラスを操作する〔低速巻込〕。

5) 曳船

プールの水位が上の段の水位と一致したら前方の水門が開き、船は次のプールまで機関車に案内され、自力航行でゆっくり進む〔ニュートラル〕。

6) 曳船終了

所定の段で水位が湖の水位まで上昇したら、船は走行中にケーブルを外し、湖へ進み入る。〔高速巻出、高速巻込〕。

船はこのような「エレベータ」を乗り継いで、丘を越えて行く。

4. ウィンドラス装置の紹介と駆動方式

ウィンドラス装置の駆動方式は、電動方式であったものを油圧駆動方式として、現在に至っている。

油圧駆動によればニュートラル状態で張力を保持することができ、巻込運転中でも、張力によりケーブルを停止（ストール）させたり、繰り出すことができる。

この間の状態変化は円滑で、張力の変化はわずかである。

また、ニュートラル状態の特性は、電源がない状態でも発揮できる。

5. ウィンドラス装置の性能、諸元

1) 低速巻込運転

ケーブル速度	0 ~ 20	ft/min	(6.1 m/min)
張力（最大）	35000	lbs	(155.5 kN)
ストール張力	35000	lbs	(155.5 kN)

スリップ速度	150	ft/min	(46 m/min)
スリップ張力	35000	lbs	(155.5 kN)

2) 高速運転

巻込・巻出速度	0 ~ 200	ft/min	(61 m/min)
張力（最大）	2500	lbs	(11.1 kN)
ストール張力	2500	lbs	(11.1 kN)

3) ニュートラル運転

ケーブル張力（最大）	35000	lbs	(155.5 kN)
ストール張力	35000	lbs	(155.5 kN)
スリップ速度	150	ft/min	(46 m/min)
スリップ張力	35000	lbs	(155.5 kN)

4) ドラムフリー

ケーブルは外力によって自由に繰り出す。

図5にウィンドラス装置の概観を、図6に低速重荷重運転時のウィンドラス装置の圧力設定値と張力の関係を示す。

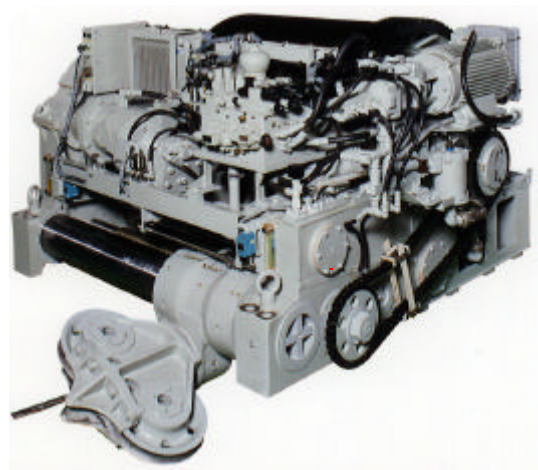


図5 ウィンドラス装置
Fig.5 Windlass unit

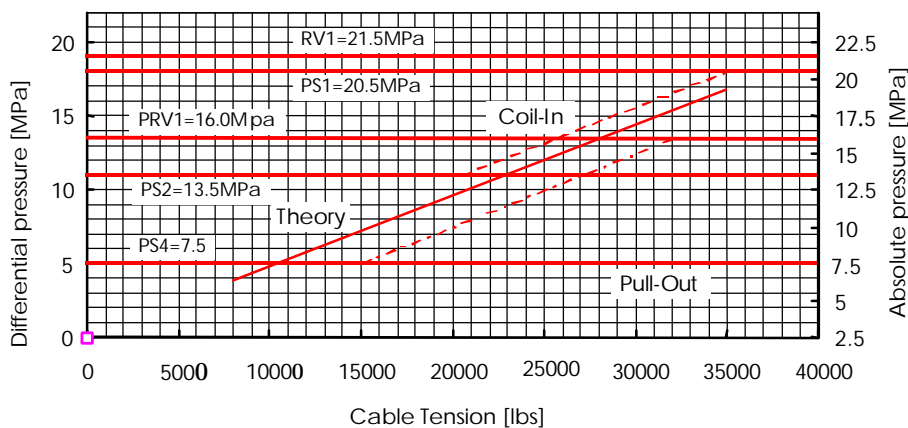


図6 ウィンドラス装置の圧力設定値と張力
Fig.6 Setting pressure and cable tension

低速巻込運転は船を岸に引寄せる時に使用される。
 ニュートラル運転は船を引く時に常用される。
 制動時もニュートラル運転として、過大張力が作用した時には、その張力でケーブルが繰り出す(スリップする)。
 高速運転は曳船準備のためのケーブルの巻出し、たるみ取り及びケーブルの格納時に使用される。
 ドラムフリーは機関車がケーブルを掛けたまま急勾配を登る時や、機関車が船に対して制動の位置に場所を変える時などに使われる。

6. ウィンドラスの運転

ウィンドラスのケーブル(ドラム)は減速歯車を介して油圧モータで駆動される。
 油圧モータは、インダクションモータに直結された可変流量ポンプにより駆動される。低速 高速の切り替えは油圧モータの容積を変えて行われる。
 運転モードの切り替えはマスタコントローラのハンドル操作で行う。
 そのハンドルを動かすと、巻出・巻込信号のためのスイッチが働き、ポテンショメータの回転角度に比例した電流が、コンバータからシーケンサに送られる。

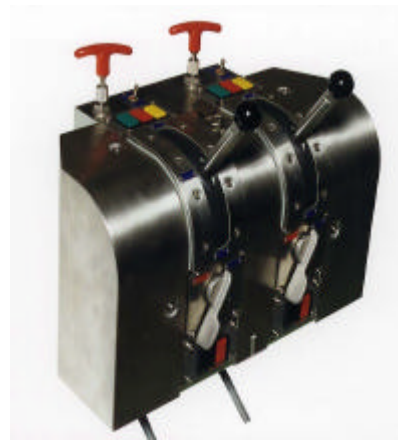


図8 マスタコントローラ
 Fig.8 Master controller

図7 に油圧回路を示す。
 図8 にマスタコントローラ, 図9 にウィンドラスコントローラを示す。

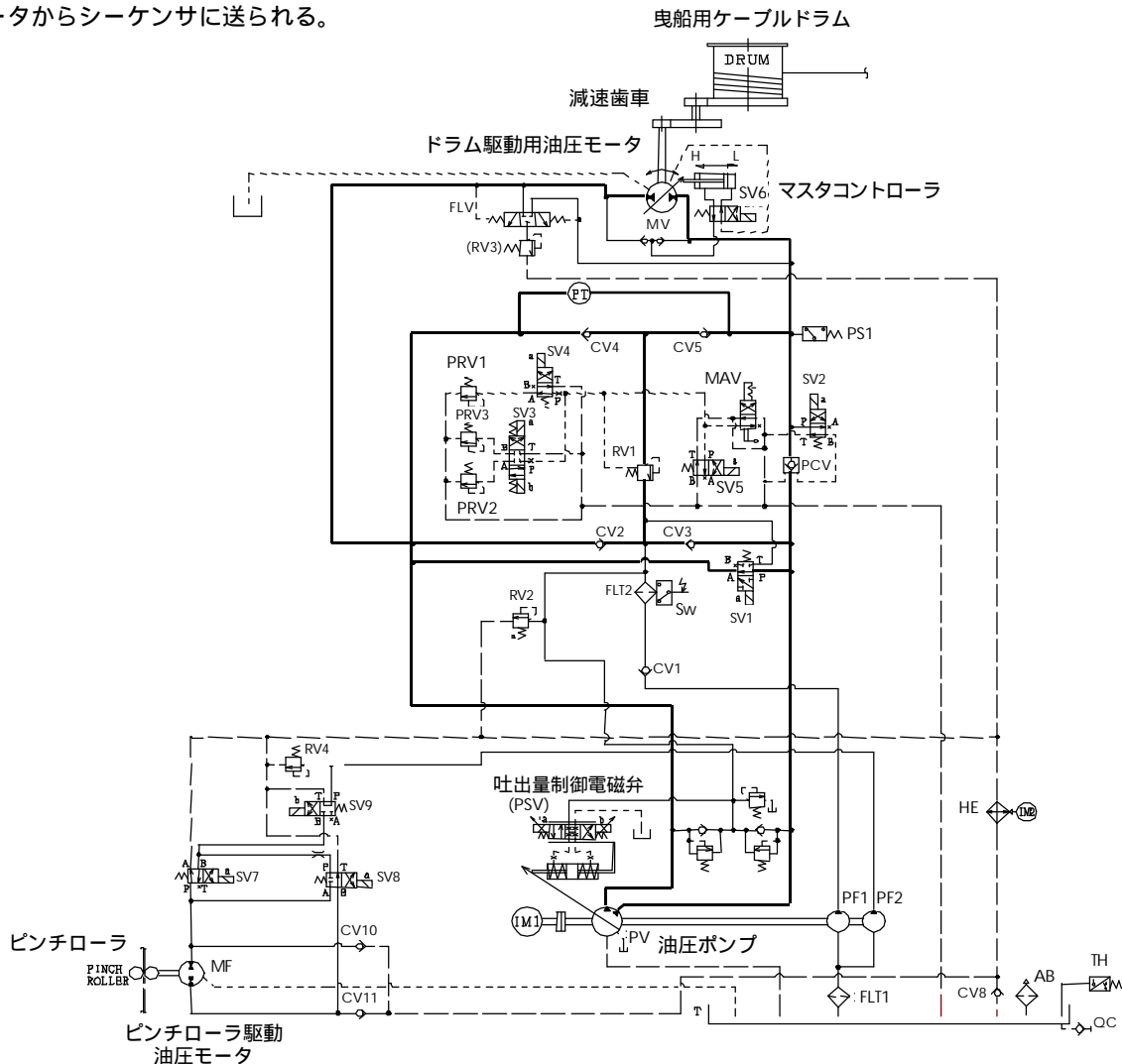


図7 油圧回路
 Fig.7 Hydraulic circuit for windlass operation

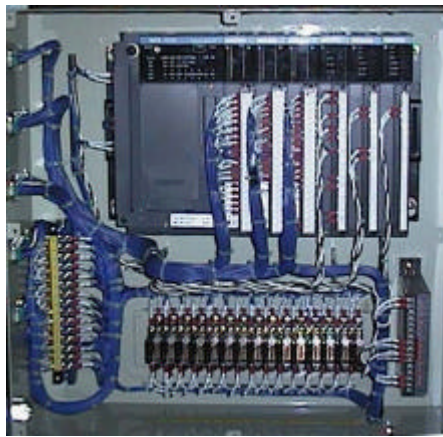


図9 ウィンドラスコントローラ
Fig.9 Windlass controller

1) 低速巻込運転

油圧モータが大容積となり、低速重荷重運転となる。
回路のプレッシャスイッチ PS1 は低速巻込時の最大張力を規制する。

2) 高速巻込・巻出運転

油圧モータが小容積となり、高速軽荷重運転となる。
回路のレリーフバルブ PRV2 は高速巻込時の最大張力を規制する。

3) ニュートラル運転

ニュートラル運転時も油圧モータは大容積とし、重荷重に耐える。回路のレリーフバルブ PRV1 は、ケーブルが繰り出されるときの最大張力を規制する。

4) ドラムフリー

バルブ SV5 を動作させると、ドラムは外力により自由に回転可能となる。
バルブ MAV は非常時にマニュアルドラムフリー動作ができ、ケーブルは外力により自由に巻出される。

7. 今回変更、追加された機能

今回製作したウィンドラスも性能は既納車と同一であり、主要な機械・部品は互換性を有している。
変更、追加された機能は次のとおり。

1) 油圧モータ

従来、一つの大歯車に大小二つの油圧モータを噛み合わせ、それらを使い分けていたものを、可変油圧モータ一つに変更し、バルブ SV6 により容積を切り換えるようにした。

2) 油圧ポンプ

油圧ポンプの吐出制御は、従来機械式であったが油圧ポンプに比例電磁弁 PSV をつけ、電流の大小で吐出量を制御するようにした。

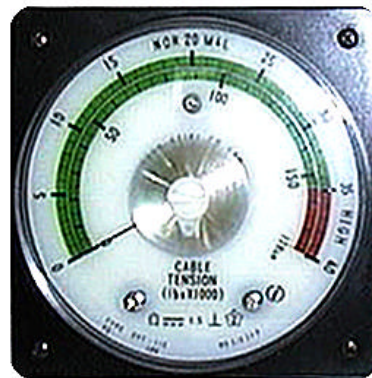


図10 張力計
Fig.10 Tension indicator

3) 張力表示

従来は圧力計の表示板に張力を記入した張力計を使用していたが、今回は油圧回路に差圧計を入れ、電気出力を換算して張力表示をするようにした。図10 に張力計を示す。

4) ピンチローラ駆動方式

ケーブルをドラムから巻出す時、ピンチローラは積極的にケーブルを巻出す。

ドラムにケーブルを巻込む時、ピンチローラはケーブルにブレーキを作用させる。

こうしてケーブルはドラムに整然と巻かれた状態を保つ。
このピンチローラを駆動するのに従来の機械式から油圧モータ方式とした。図11 にピンチローラ部、図12 にその駆動モータを示す。



図11 ピンチローラ部
Fig.11 Pinch roller



図12 ピンチローラ駆動油圧モータ
Fig.12 Hydraulic motor for pinch roller

5) ケーブルセット機能

新しいケーブルをドラムに巻込むとき、ドラムを回転させず、ピンチローラだけ回転させ、ケーブルを巻込ませるようケーブルセット機能を追加した。

6) ニュートラル状態でのノンクリーブ制御

エンコーダによりドラムの回転角度検知し、ニュートラル状態でケーブルに張力がある時、ケーブルが数 cm 繰り出されたら、数 cm 巻戻す、ノンクリーブ制御を追加した。図 13 にエンコーダを示す。



図 13 回転角度エンコーダ
Fig.13 Turning angle encoder

7) 異常表示機能

油圧フィルターの目詰り、油圧油の異常温度上昇、補助圧低下とワイヤーが緩んだ時、ウィンドラスの異常としてケーブル内の警報装置に信号を送り、表示する機能を追加した。

8. むすび

新機関車は、日本グループが約 40 年前に納入した既存機関車の実績を踏まえ、従来の技術の上に今日の技術を盛り込んで製作した。すでに、新型機関車は昼夜を問わず運行に供されている。今後、新しいパナマ運河の主役として活躍することを期待するものである。

終わりに今回の機関車の製作に当たり、多大なご指導とご協力をいただいた ACP (旧 PCC) と、日本グループの三菱商事株式会社、川崎重工業株式会社、三菱重工業株式会社及び関係者に厚く御礼申し上げます。

関連資料

東洋電機技報第 105 号、パナマ運河向け曳船用機関車 (機関車システム)

執筆者略歴



岩崎正廣

1966 年入社。油圧機器、数値制御部に従事。現在交通工場設計部にて車両設計に従事。
パナマプロジェクトサブリーダーを兼務。



川端一昭

1971 年入社。交通工場設計部にて車両用機器の構造設計に従事、現在に至る。



小野田博

1972 年入社。駆動装置の設計、品質保証に従事。現在、交通工場設計部に所属。



鈴木志津雄

1970 年入社。油圧装置の設計、工作部門、生産技術部門を経て、横浜工場鉄道設計部にて、車両用機器の設計に従事。現在、交通工場設計部に所属。



小針正喜

1965 年入社。油圧装置の設計、産業試験機装置の設計に従事。現在、交通工場設計部に所属。



董 定

1997 年入社。交通工場設計部にて車両用機器の設計に従事。