

同和鉱業株式会社 柵原鉱業所 納
800 kW 立坑巻上設備について
 800 kW Shaft Winding Equipment Delivered to the Yanahara
 Mining Plant, Dowa Mining Co., Ltd.

青 木 勝* 渡 部 富 治* 高 原 健*
 Masaru Aoki Tomiji Watabe Takeshi Takahara

内 容 梗 概

本立坑巻上設備は、800 kW 巻上機、スキップ、坑底積込設備、鉄塔、坑口放出設備などの諸設備から成るコンバインドスキップ巻上設備で、スキップによる鉱石巻上、ならびにケージによる人員昇降、器材運搬に使用するものである。

運転は坑底における鉱石積込から坑口での放出を終わってふたたび坑底に戻り(1サイクル)自動的に次のサイクルに移る一貫した全自動運転であって、全自動運転中は坑底の貯鉱ビン中の鉱石が完全にからになるまで巻上・巻下が繰り返えし継続される。

各部の設計製作にあたっては、種々の新機軸が採用され、それらは工場および現地試験で詳細に調査検討された。昭和36年1月より好調に続けられている営業運転においても、計画能力以上の巻上実績を得て所期の優秀性が実証された。

以下その全容と特に苦心を払った点を記してご批判を仰ぎたい。

1. 緒 言

この巻上設備は、同和鉱業株式会社柵原鉱業所との綿密な検討打合せに基づき、日立製作所の技術陣によって達成されたもので、12時間/日、25日/月の運転の下で、一月当り70,000 tの硫化鉱を巻き上げること为目标に製作され、スキップによる鉱石巻上のほか、ケージによる人員昇降および器材運搬にも使用される。

本設備は第1図に示すように、巻上機、坑口における鉄塔および鉱石放出設備、コンバインドスキップおよび坑底における積込設備から成り、積込・巻上・放出はすべて連動自動運転され、坑内の貯鉱ビンが完全にからになるまで繰り返えし、巻上運転を継続する全自動運転方式が採用されている。

これらの設計製作にあたっては、種々の新機軸を採用し、工場および現地において詳細な試験調査を行なって、各部の特性を確認した。さらに昭和36年1月より営業運転のスタートを切ったが、現在まで約20箇月余の実地運転の結果、計画を上回る巻上能力を示す優秀性が実証されている。

(なお巻上機用電気設備については稿を別にしている)

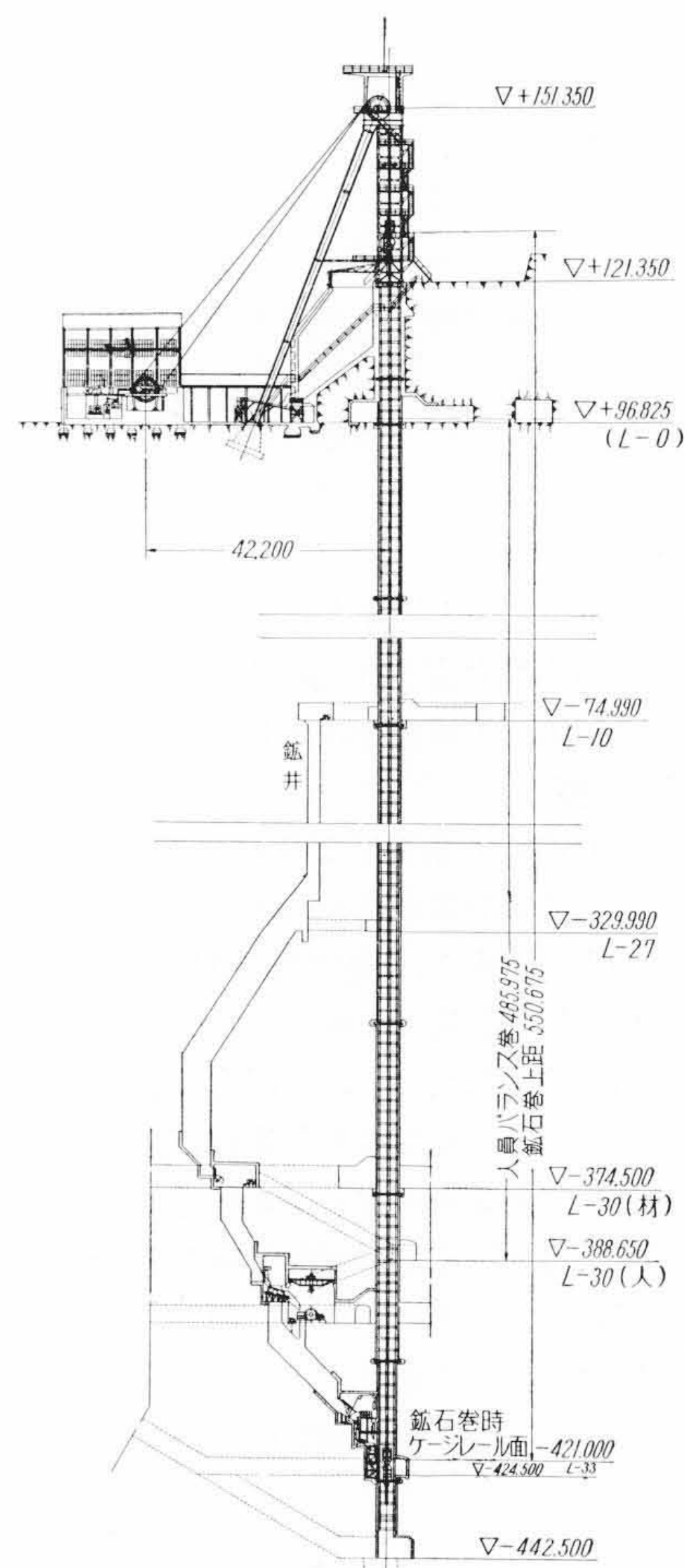
2. 巻 上 機

巻上機は坑外巻上機室2階の床面に設置され、ワードレオナード制御方式によって駆動され、ブレーキエンジンには日立速動形が採用されている。

本機の配置を第2図、外観を第3図に示す。巻上ドラム正面のデスクセットは、冷暖房装置付の運転室内に収められており、運転に必要な計器、ハンドルおよびスイッチ類を合理的にまとめている。

2.1 仕 様

形 式	SD-NPAP (単胴複巻式直流電動機直結)
鋼 索 張 力	13,800 kg
不 平 衡 張 力	8,800 kg
鋼 索 速 度	10 m/s
巻 胴 寸 法	直 径 4,000 mm 幅 2,300 mm つ ば 径 4,200 mm



第1図 800 kW 立坑巻上設備全体図

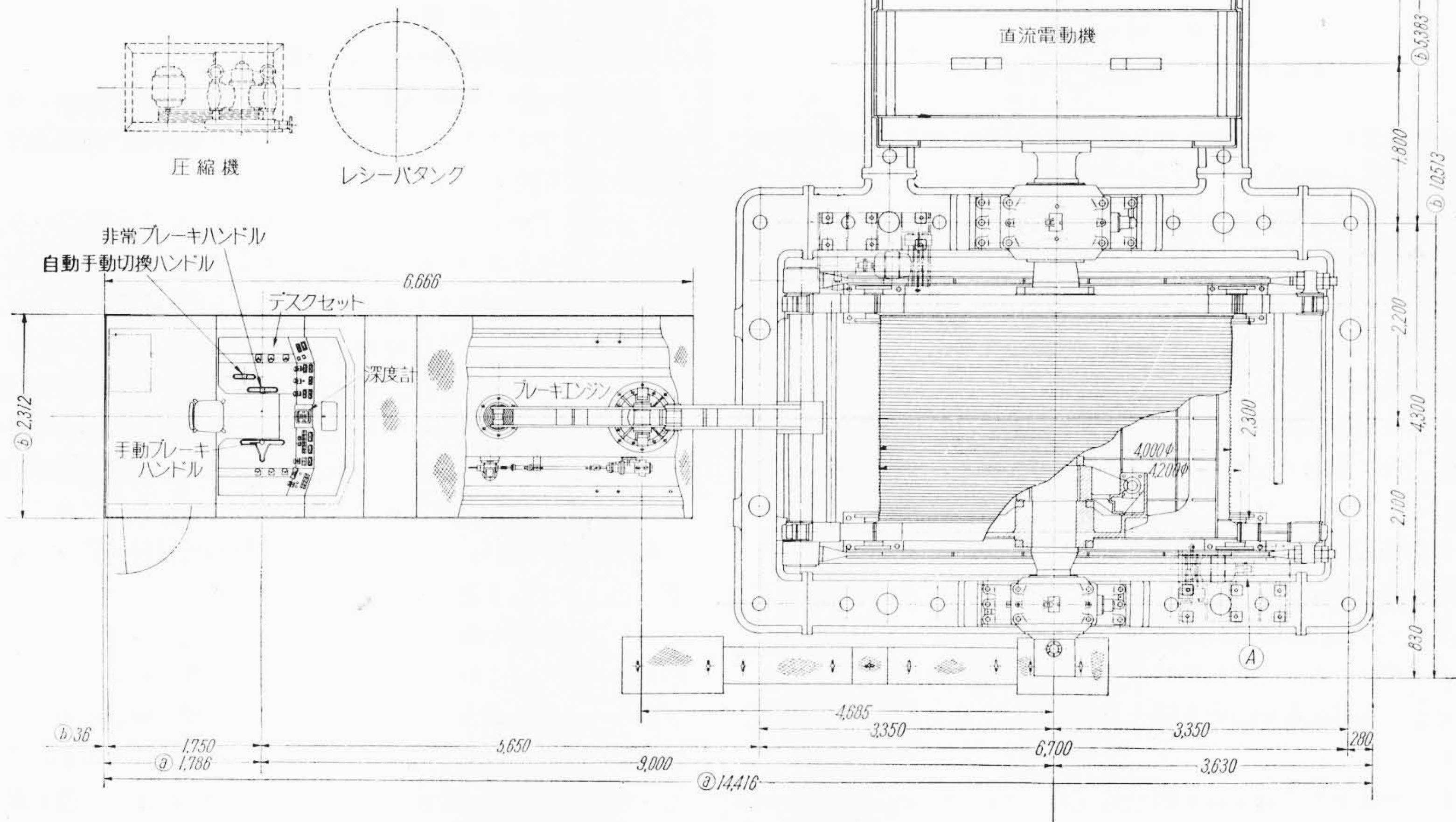
鋼 索 直 径	38 mm
種 類	6×F[(3×2+3)+12+12]
制 動 機	下方支点ポスト形圧気操作式
電 動 機	800 kW 直流電動機
回 転 数	0~±47.8 rpm

運転は前述の連続全自動運転のほかに、手動によっても行なうこ

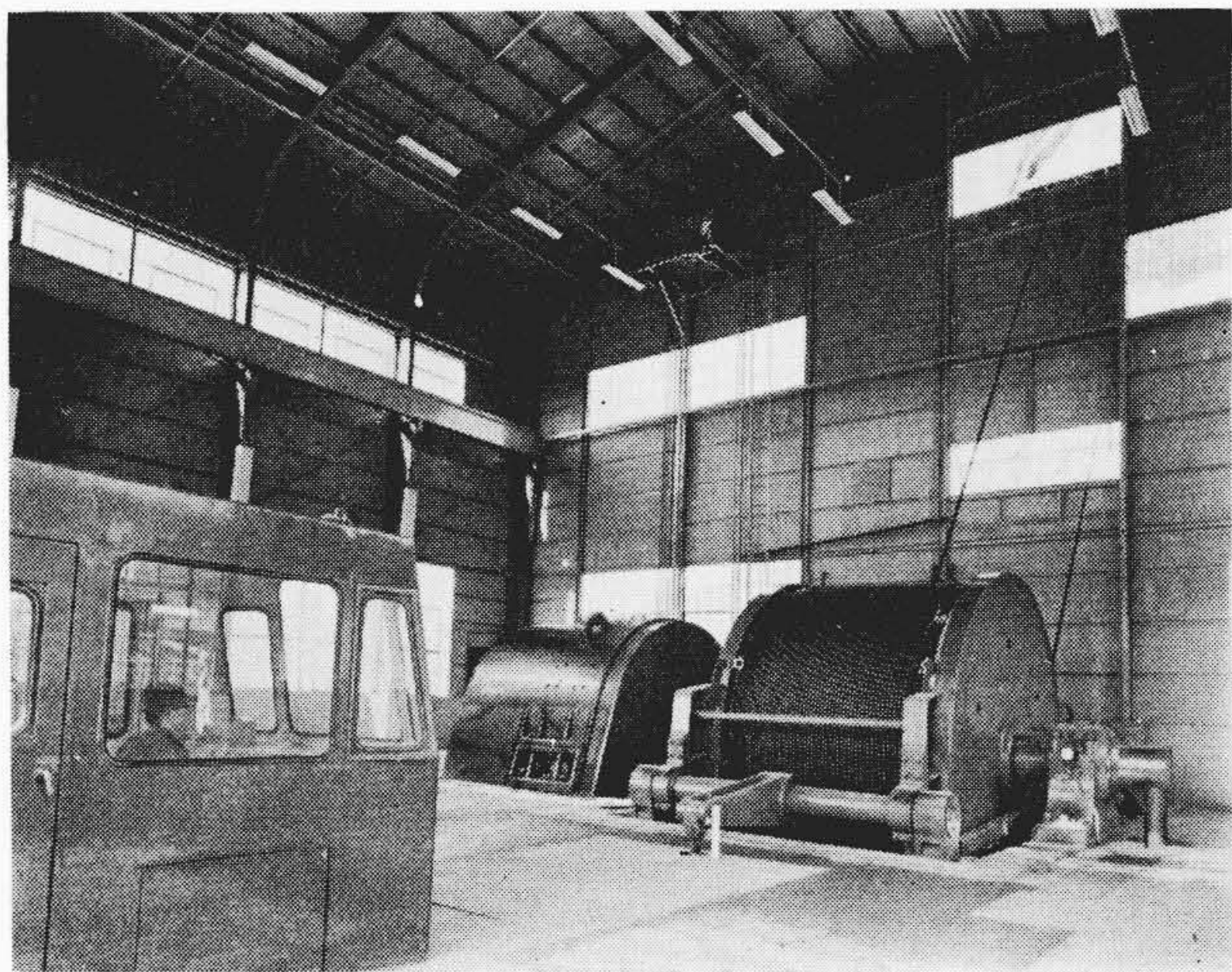
* 日立製作所 亀有工場

注：鎖線部はマガジンドラム駆動装置を示す

仕様	形式	SD-NPAB
巻上荷重		13,800 kg
不平衡荷重		8,800 kg
巻上速度		10 m/s
巻胴	直径	4,000 mm
	幅	2,300 mm
	つば径	4,200 mm
鋼索	径	38 mm
構成	巻上距離(最大)	565 m
電動機		6×F[(3×2+3)+12+12]
形式		800 kW±600V ±47.8 r/min
用途		EFUB ₁ L-SPKK
		坑外設置立坑スキップケージ巻



第2図 800 kW 巻上機平面図



第3図 800 kW 巻上機外観図

第1表 巻上機運転ケース

要目 ケース No.	運搬物種類	運転区間	巻上距離 (m)	運転方式	運転回数	巻上速度 (m/s)
1	鉱石	L ₀ -L ₃₃	550,675	自動および手動	連続	10
2	人員	L ₀ -L ₃₀	485,975	手動	連続	10
3	人員	L ₀ -L ₁₀	172,315	手動	連続	5
4	器材	L ₀ -L ₁₀	172,315	手動	1回/方	5
5	器材	L ₀ -L ₃₀	471,825	手動	1回/方	5

から二つ割りで製作され、現地で一体のものに組み立てられた。

ドラムの設計にあたっては、長年にわたる経験と多数の模型ドラムによる研究の成果⁽¹⁾を生かし、軽量でしかも必要十分の強度を持たせた。またロープのマガジンドラムへの巻込口には当社独特の設計を採用している⁽²⁾。

マガジンドラムはコンパクトな構造で、ドラム軸とブッシュを介して滑動する。マガジンドラムの駆動は外部より電動機によって行なわれるが、不要の場合には、駆動電動機およびプロケットホイールを取りはずしておくことができる。

ブレーキドラム部分は、ブレーキ時の発熱を考慮して、空冷フィンを多数設けて冷却効果を増し、外観もできるだけすっきりとしたものにするよう注意した。この結果現地で制動試験をひん繁に繰り返しても、ブレーキドラムの温度上昇は問題にならなかった。

ドラム軸は一体に鍛造されたフランジ部分を持ち、直流電動機軸とこのフランジ部分で、12本のリーマボルトで強固に結合され、その結合面にはさらにトルクを受け持つ半径方向のキーがそう入されている。

ドラム軸の回転中に生ずる両振れ応力について、現地でドラム軸

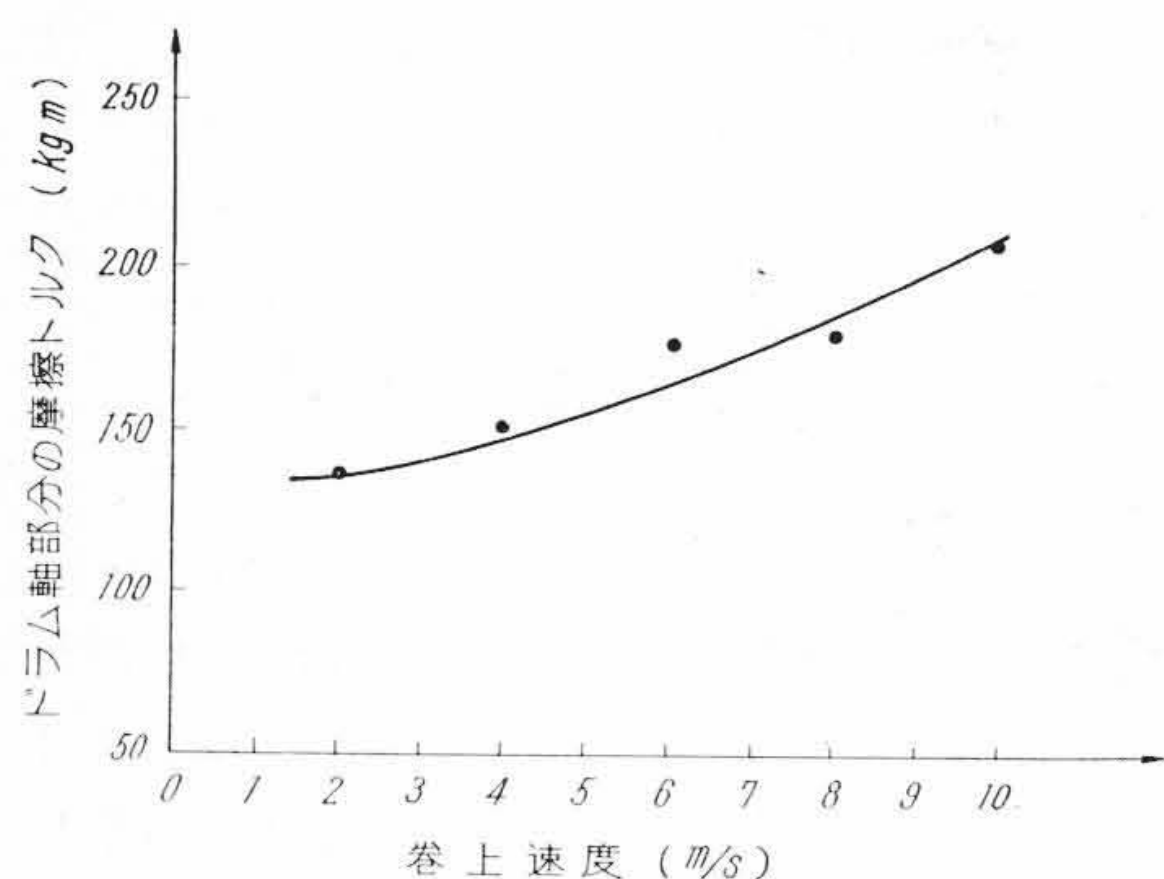
とができる。これらの運転のケースを第1表にまとめて示した。

2.2 本体

巻上機本体は直流電動機に直結されたドラム部分、ベアリング、ブレーキなどから構成されている。

ドラムは単胴複巻式で、ロープの調整に便利のように、ドラム内部に上巻ロープ用および下巻ロープ用の、おのおの一組のマガジンドラムが設けられている。

ドラムはドラムセンター、ドラムセル、ラッキングなどから成り、ドラムセンターは鋳鋼製、ドラムセルは鋼板製で、輸送の関係



第4図 ドラム軸部分の摩擦トルク

表面の数箇所について実測したが、きわめて低い 90 kg/cm^2 程度の値であることを確認した。

主軸受はできるだけ高さを低く安定な形状に設計されており、主軸受内部のメタルはスフェリカルタイプとしたので、十分な受圧面積を持っている。ドラム軸ジャーナル部は超仕上が施されているので、メタルと容易になじみ、運転中の摩擦が非常に少ない。主軸受の潤滑には、歯車ポンプによる強制給油のほか、低速回転においても確実な潤滑が期待できるオイルカラーが設けられている。さらに温度上昇を検出する温度計ならびに温度警報器を備えて万全を期している。

ドラム軸部分での摩擦トルクを実測した結果を第4図に示す。これによれば回転速度が上昇するにつれ、摩擦トルクがわずかに増加し、スピード 10 m/s のところで最大 210 kg-m (使用電動機定格トルクの 1.3%) であってきわめて小さい。この結果実負荷連続運転においても、軸受部分の温度上昇は 5°C 以内でまったく問題にならなかった。

ブレーキは下方支点ポスト形であって、ブレーキシューはケヤキ材にアスベストライニングを施してある。ケヤキ材は制動時それぞれ約 1.0 mm の弾性圧縮変形を生じ、急速制動を行なっても、適度のクッション作用を行なってショックの防止に有効であることが確認された。

ブレーキポストは鋼板溶接構造で、スマートな円板形ドラムとマッチするよう外形について考慮が払われている。ブレーキの各ピン

ジョイント部にはすべて高圧軸受メタルと、高周波焼入研磨ピンを使用し、潤滑は確実にこなわれている。

本ブレーキに採用したブレーキエンジンは日立速動形であって、その特性は非常にすぐれたものであるがこれについては別項⁽³⁾を参照されたい。

ブレーキ系統全体はできるだけ軽量でしかも十分な強度を持つよう検討のうえ設計されており、ブレーキピストンの押上力がタイロッド上に伝達されて締付力となる場合の、締付力の伝達効率は 90% 以上であることが実測されている。

2.3 制 御 装 置

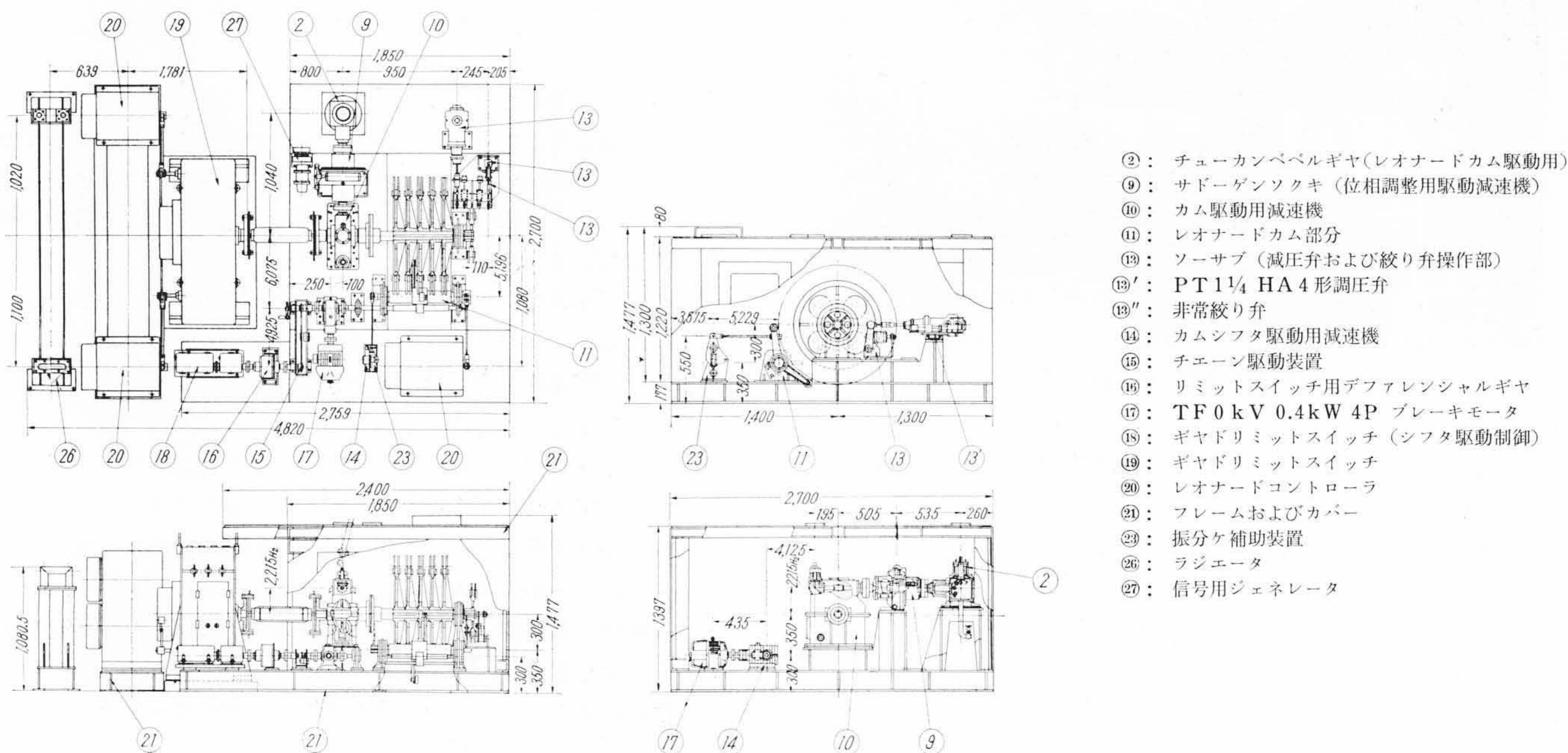
本巻上機用制御装置の配置図を第5図に示す。

制御装置の中で機械的部分は、自動運転および手動用レオナードカム群、ギヤドリミットスイッチ、これら制御部の駆動系などから構成されている。

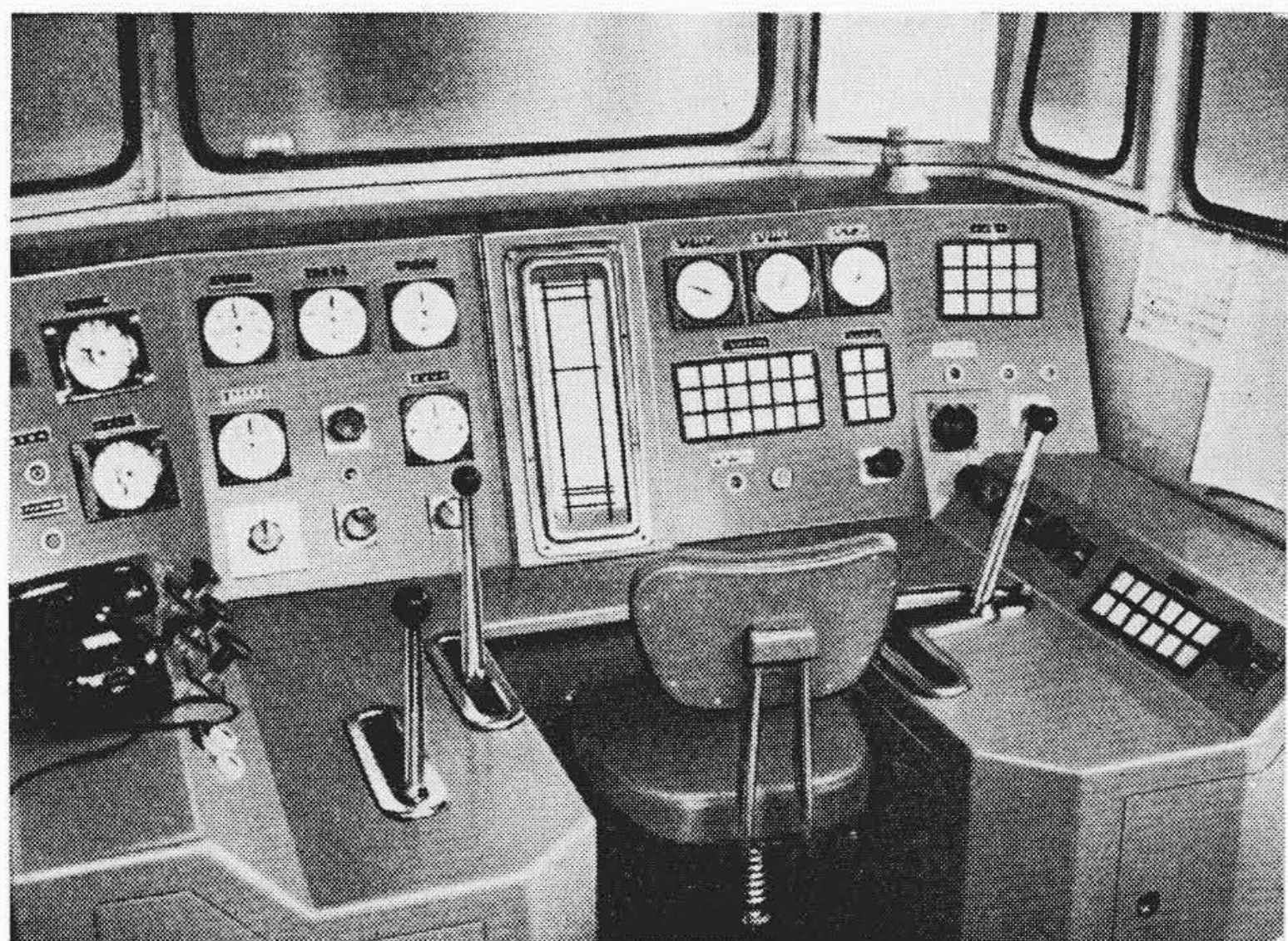
レオナードカムはベースサークル 800ϕ という大形のもので $1/20$ の微小スピードまで正確に制御できる。駆動系は、ドラム軸とレオナードカムおよびギヤドリミットスイッチ間の位相ずれがきわめて小さくなるよう、また各部のガタおよびたわみができるだけ小さくなるよう考慮されている。すなわち伝導歯車はすべて精密級であり、スパイラルベベルギヤや特別注文の丈夫な自動車用プロペラシャフトが採用されている。この結果駆動系の誤差の総合値は 800ϕ レオナードカム上切線方向に $\pm 30 \text{ kg}$ の負荷を加えた場合、実測値 $\pm 0.5 \text{ mm}$ 以下であった。またドラム軸端で制御装置を駆動するに要するトルクも非常に小さいことがわかった。

ロープの伸びを修正する場合、その作業を容易にするために一方のケージについてのみロープの切りつめ作業を行なうが、そのロープ切りつめ量は両方のケージの分の、ロープの伸びの和を一方で処理し、これによって生じた両ケージとレオナードカムとの位相ずれを、位相調整装置で修正すればよい。このためケーベ巻上機で使用するような深度計位相調整装置が備えられている。

レオナードカムは、自動運転用のほか、手動運転用として巻上区間に応じ、合わせて5組があり、運転区間切り換えにより、電動位置サーボが使用レオナードカムを自動的に選択し、デスクセットには選択された運転区間がランプに表示される。手動運転の場合は日立製作所特許の運転装置が働く⁽⁴⁾。これは起動時ハンドルをわずか



第5図 制 御 装 置



第6図 デスクセット

操作すれば、あとはバネが作用してハンドルを加速方向に操作し、そのままハンドルは全速、減速区間も自動的に制御され、運転者は着床の際にふたたびわずかにハンドルを操作するだけでよい。

2.4 デスクセット

第6図に示すデスクセットには、手動ハンドル、非常ハンドルおよび自動手動切換ハンドルの3本の運転ハンドルをはじめ、運転に必要な計器類、スイッチ、表示燈がまとめて組み込まれている。

デスクセット中央に深度計があり、ドラム軸端から位相調整装置その他を介して機械的に駆動される。深度計指針は投光式で、一本のスリット状の着色光が針のせん端から各巻上区間および過巻き区間が一目でわかるよう色分けされた表示板上に投光されており、夜間においても容易に深度を精密に読み取ることができる。また運転

中この光が何かの原因で突然消えても危険がないよう特に注意が払われている。現地での実運転の経験によれば、直接ロープの標識を用いなくとも、運転者はデスクセット上の深度計のみで実用上さしつかえない範囲内の着床精度が得られることがわかった。なお深度計指針の位相は、単独でも容易に調整ができる構造になっている。

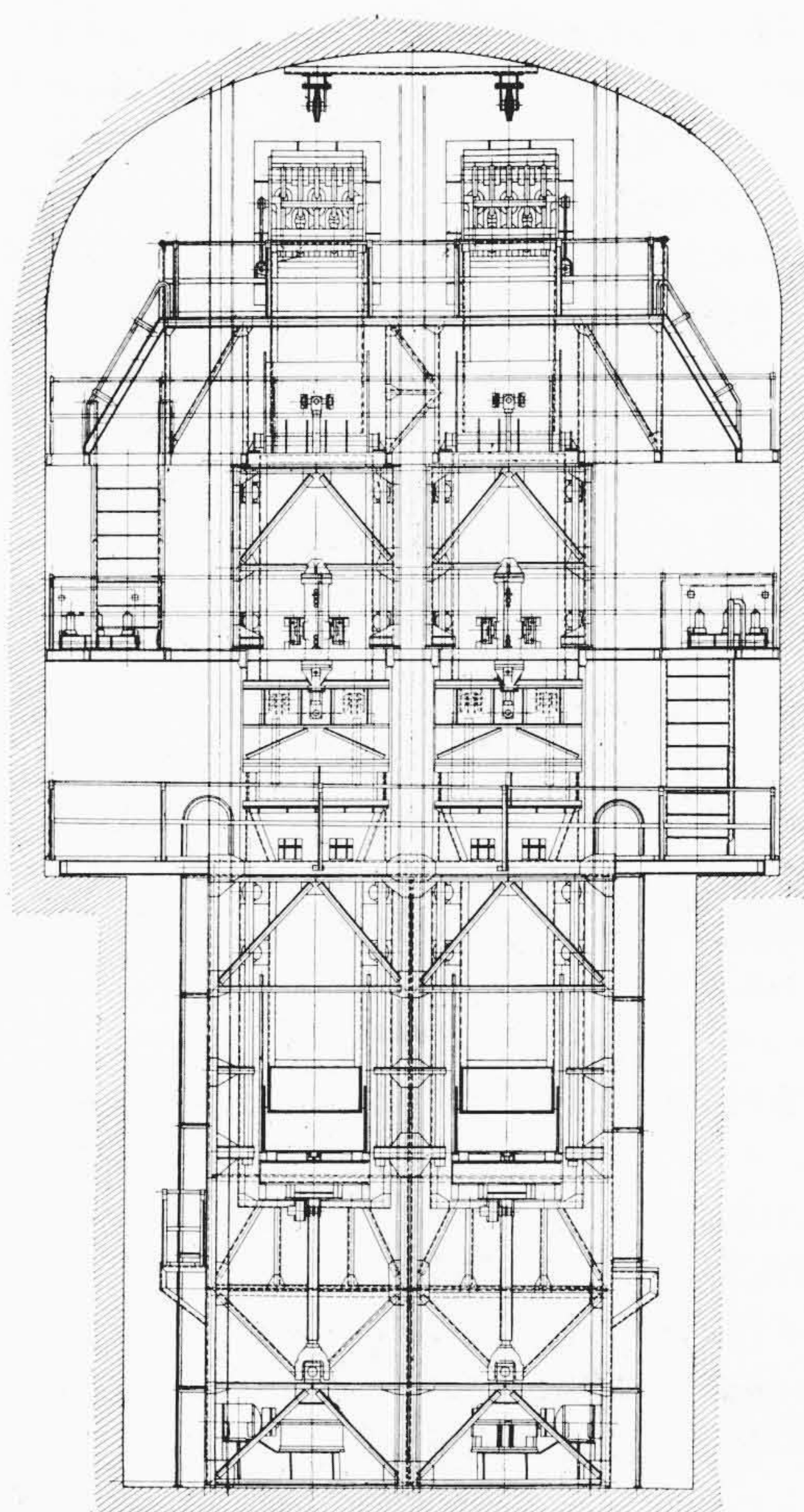
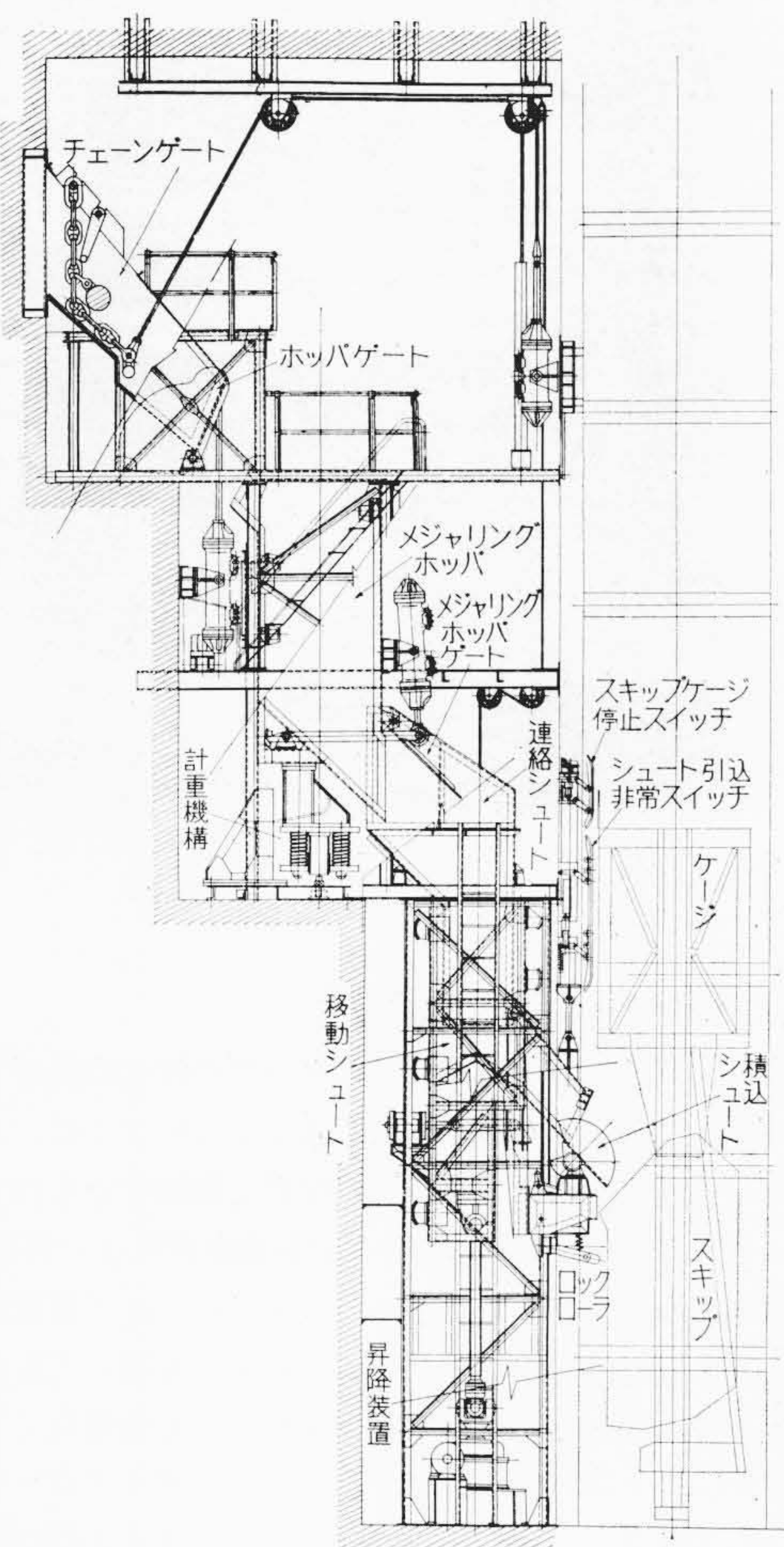
運転ハンドルは、1本ハンドル、非常ハンドルおよび自動——手動切換ハンドルの3種であって、1本ハンドルは手動運転の際に使用され、手動ブレーキ操作および巻上速度制御の2操作ができる⁽⁵⁾。これらハンドルの支持点や重要なピンジョイント部にはころがり軸受を採用するなどして操作時に軽く、しかもガタが少ないように考慮されている。ハンドルの操作に要する力は1kg以下である。そのほかこれらハンドル間には、保安用インターロックも完備されている。

3. 積込設備

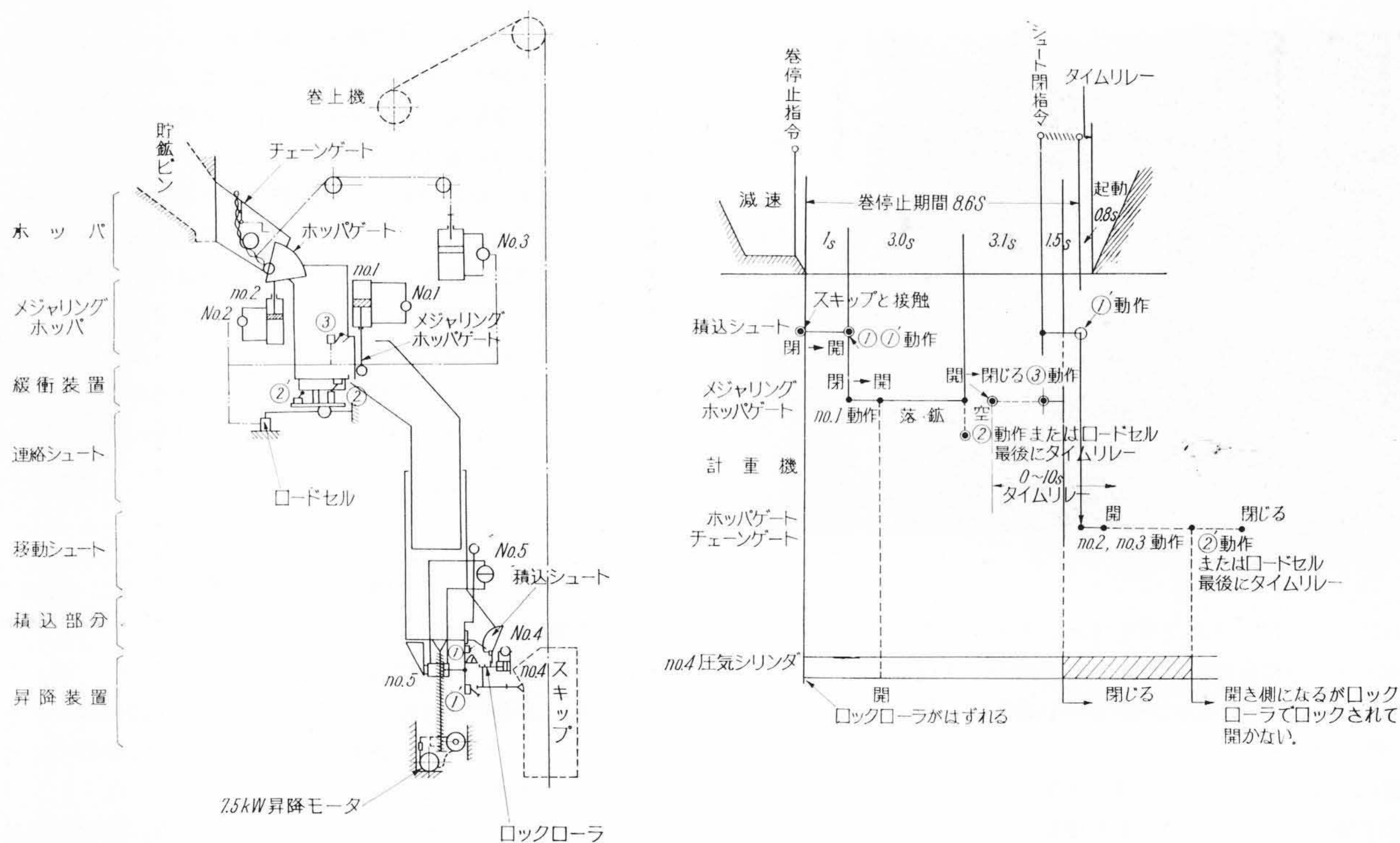
3.1 坑底積込設備

3.1.1 全体の構造および動作

坑底積込設備の全体配置を第7図に示す。本設備はビン下ホッパー、メジャリングホッパー、緩衝装置、連絡シュート、移動シュート、積込シュートおよび昇降装置から成る。各ゲートはリミットスイッチ、タイムリレー、マグネットバルブにより、設備自体および巻上機とのインターロックを保ちながら、圧縮空気（圧気）により操作される。鉱石の運搬容器はスキップとケージとを一体に組み合わせたコンバインドケージである。各積込機器は強固な鋼製わく組に支持されている。積込の動作は次の要領で行なわれ、繰返し全自動操作される。坑底の1,500トン貯鉱ビンに貯蔵された鉱石は、チェーンゲート、ホッパーゲートを開くことによりメジ



第7図 坑底積込設備の全体配置図

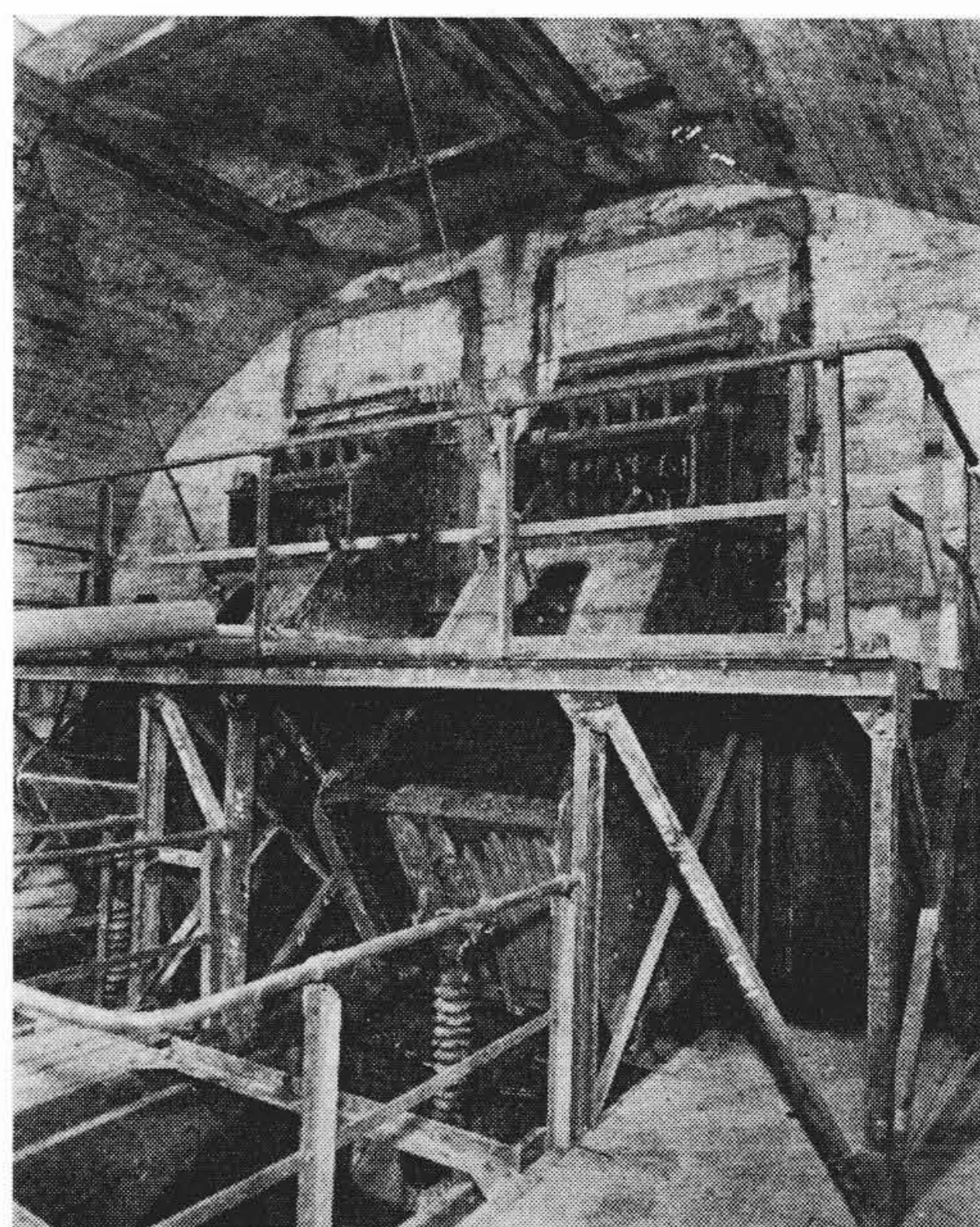


第 8 図 坑底積込設備の 1 サイクルのデューティ

ャリングホッパ内へ落下する。メジャリングホッパは計重機（ロードセルを利用）を備え鉱石を規定量だけ計重し、ホッパゲート、チェーンゲートを閉じる。スキップが下降し規定の積込位置にくると、積込シュートに取り付けられたロックローラ（積込シュートの閉鎖装置）をスキップによってはずし、積込シュートがスキップの受鉱口へ向って開くと同時に、メジャリングホッパゲートを開く。かくしてメジャリングホッパ内の鉱石は連絡シュート、移動シュートを通してスキップ内に積み込まれる。メジャリングホッパが空になったことを確認してメジャリングホッパゲートは閉じ、それから数秒間置いて巻上機に起動指令を与える。同時に積込シュートは閉鎖する。巻上機が起動すると、チェーンゲート、ホッパゲートが開いて、メジャリングホッパ内に鉱石が落下する。以上の動作が繰り返し自動的に行なわれるが、手動操作も、調整などのために各機器を単独に操作することも可能である。第 8 図は坑底積込設備の 1 サイクルのデューティを示す。各機器は緩衝器を備え、すべて防じんカバーによって保護されている。操作には坑内圧気を使用するとともに坑底設備専用のコンプレッサを設け、坑内圧気がなくなった場合に切り換えることができる。圧気系統には、オイル、フィルタをそう入し、圧気シリンダ内の潤滑を行なっている。各シュート、ホッパには、スキップや坑口荷明設備同様、全面的に低マンガン鋼の交換可能のライニングを施してある。

3.1.2 チェーンゲート、メジャリングホッパ

スキップに過不足なく規定量だけ鉱石を積み込むためには、チェーンゲート、メジャリングホッパ、計重機の関連動作が確実に行なわれなければならない。鉱石の塊度、湿りに影響されずに定められた時間内に計重できるように特に注意が払われている。メジャリングホッパは下部に緩衝器およびロードセルを備え、鉱石の満空をホッパの上下のストロークおよびロードセルのひずみにより検出している。鉱石の激しい落下に対しても計重機は確実に動作する。メジャリングホッパはわく組にベアリング入りガイドローラを介して支持されている。第 9 図にチェーンゲートおよび

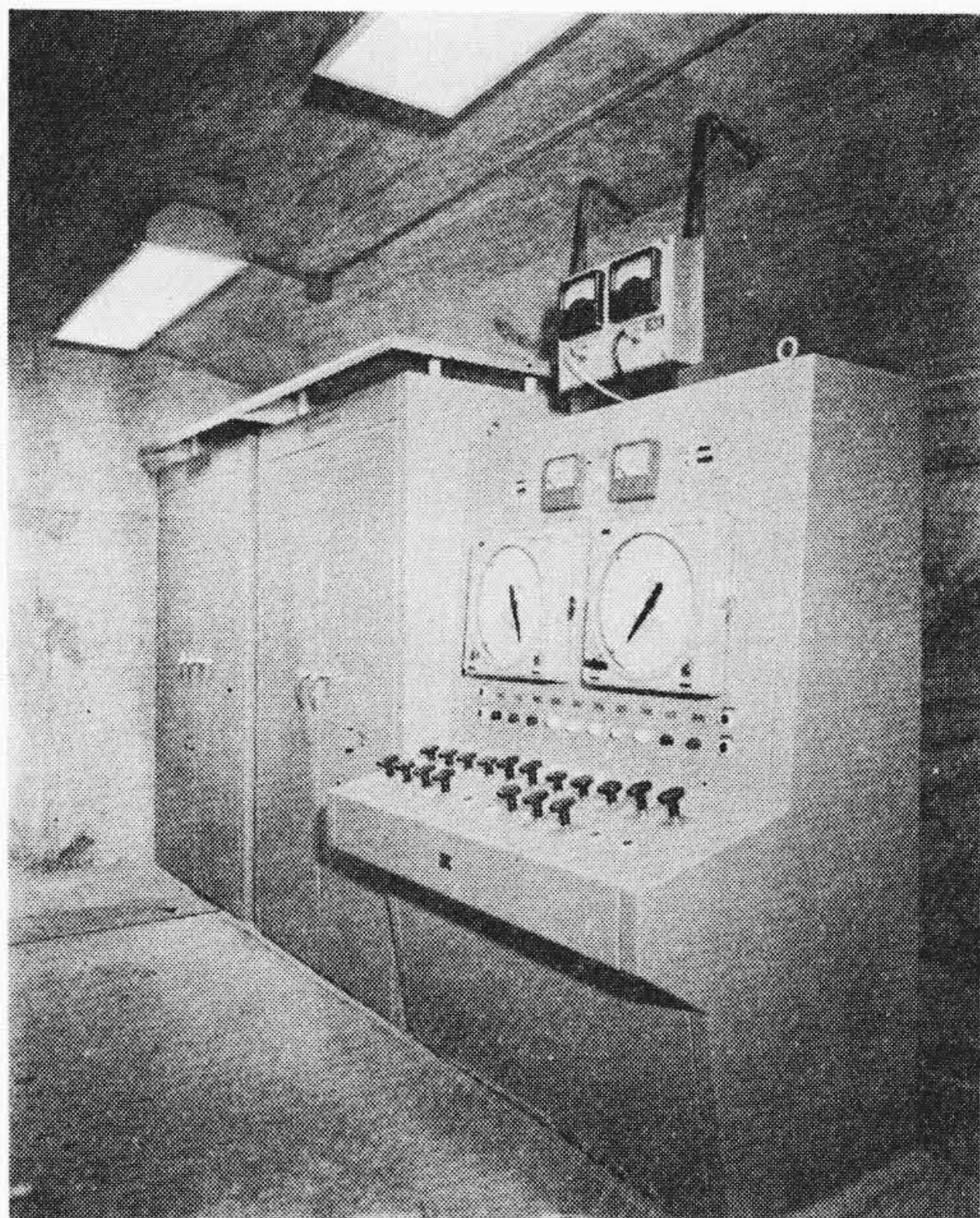


第 9 図 チェーンゲートおよびホッパゲート

ホッパゲートを示す。

3.1.3 移動シュート、昇降装置

本装置は、ロープが伸びてスキップの停止位置が下っても、積込シュートから鉱石が立坑内に落下しないように、スキップの受鉱口に合わせて積込シュートの位置を調節するものである。移動シュートは 7.5 kW モータおよび駆動装置により昇降される。駆動装置と移動シュートとはスクリュウによって連結されている。スクリュウにはユニバーサルジョイントを用いてあるので、駆動装置と移動シュートの中心が多少狂っても無理なく上下できる。移動シュートはわく組にベアリング入りガイドローラを介して支持されている。シュートの昇降は操作デスクまたは駆動装置部の両所で操作でき、セルシン発信器によりシュートの高さを操作デ



第10図 坑底積込操作デスク

スクに表示している。移動シュート昇降に伴い、移動シュートに取り付けられているスキップ停止リミットスイッチ、シュート非常引込スイッチ、ランディングマグネットスイッチ、積込シュートも昇降する。移動シュートは最大1,400 mmまで調整できる。

3.1.4 積込シュート

積込シュートは鉱石をスキップに積み込む部分と、スキップが過降状態になった際に積込シュートがスキップに当たるのを防ぐための非常引込装置から成っている。積込シュートは常に開き側に圧縮空気が通じているが、機械的なロックローラで押えられている。スキップが下降して、ロックローラを解除すると積込シュートを開く機構になっている。スキップが過降状態になる際は第6図に示すシュート引込非常スイッチにより、圧気作動の引込シリンダが働き、積込シュートを斜後方に逃がし積込シュートとスキップの接触を避けている。したがって、ロックローラの解除は行なわれず鉱石の積み込みも行なわれない。

3.1.5 操作デスク

坑底積込設備の操作は、すべてコンパクトに設計されたデスクセットでなされる。デスクセットには積込設備の自動運転、手動運転、調整運転別の切換スイッチ類および計重機用の各回重量指示器、計重回数計、移動シュートの位置指示器、スキップ位置表示器、ホッパ満空表示、シュート開閉表示ランプなどがまとめられている。第10図は坑底積込操作デスクを示す。

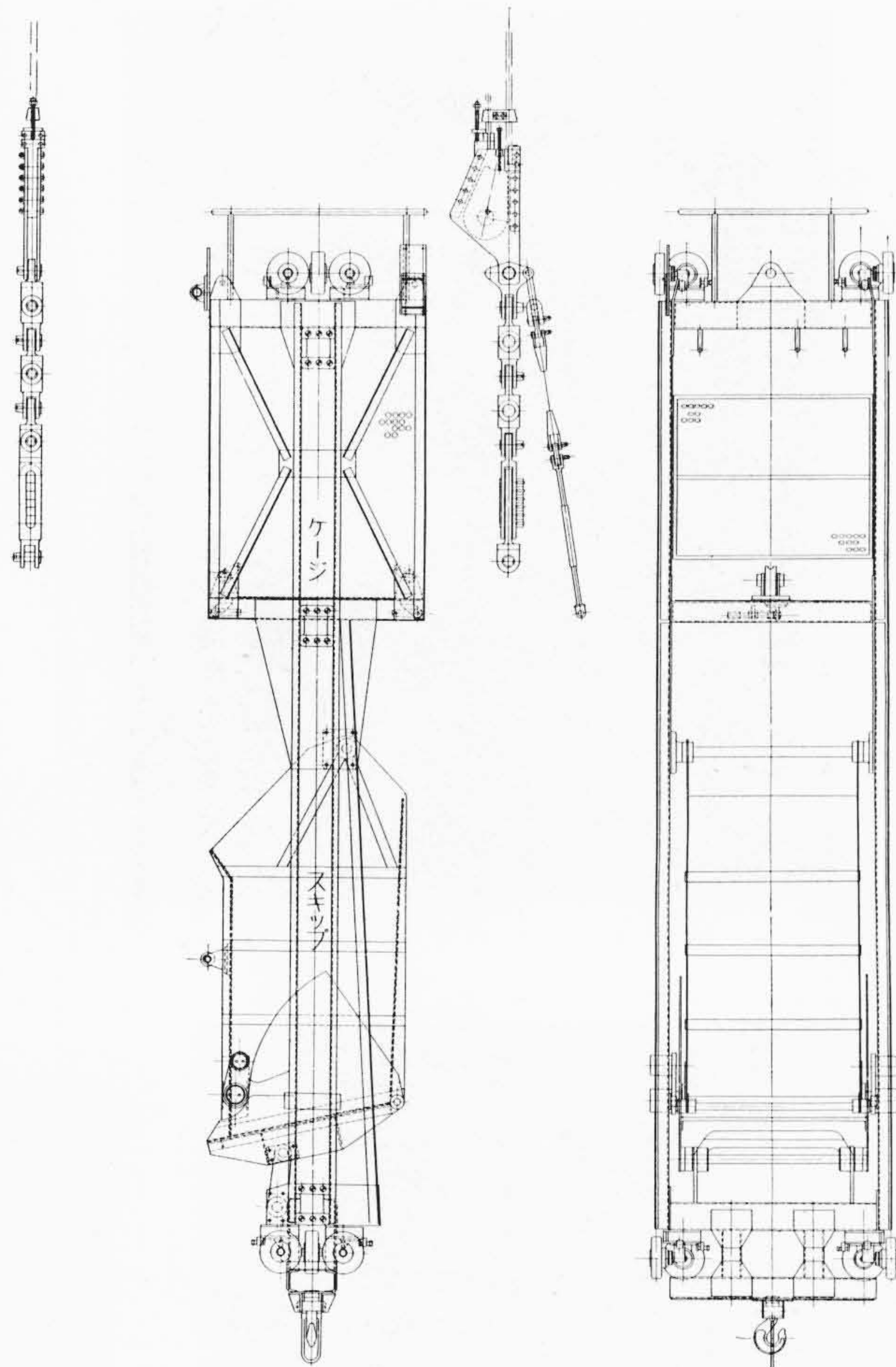
3.1.6 保安インタロック

(1) 積込設備のインタロック

- (a) スキップが下降し、積込シュートが開いたときのみメジャリングホッパゲートが開くが、このときは必ずチェーンゲート、ホッパゲートは閉じている。
- (b) メジャリングホッパが動作不良を生じた場合、鉱石がホッパから流出するので、チェーンゲート、ホッパゲートの復元はタイムリレーで後から追従する。
- (c) 圧気故障に対し、各圧気シリンダは重錘により閉口する構造である。

(2) 巻上機とのインタロック

- (a) 巻上機の起動指令はスキップが下降し、積み込みを行ない、積込シュートが閉じることによって始めて発せられる。



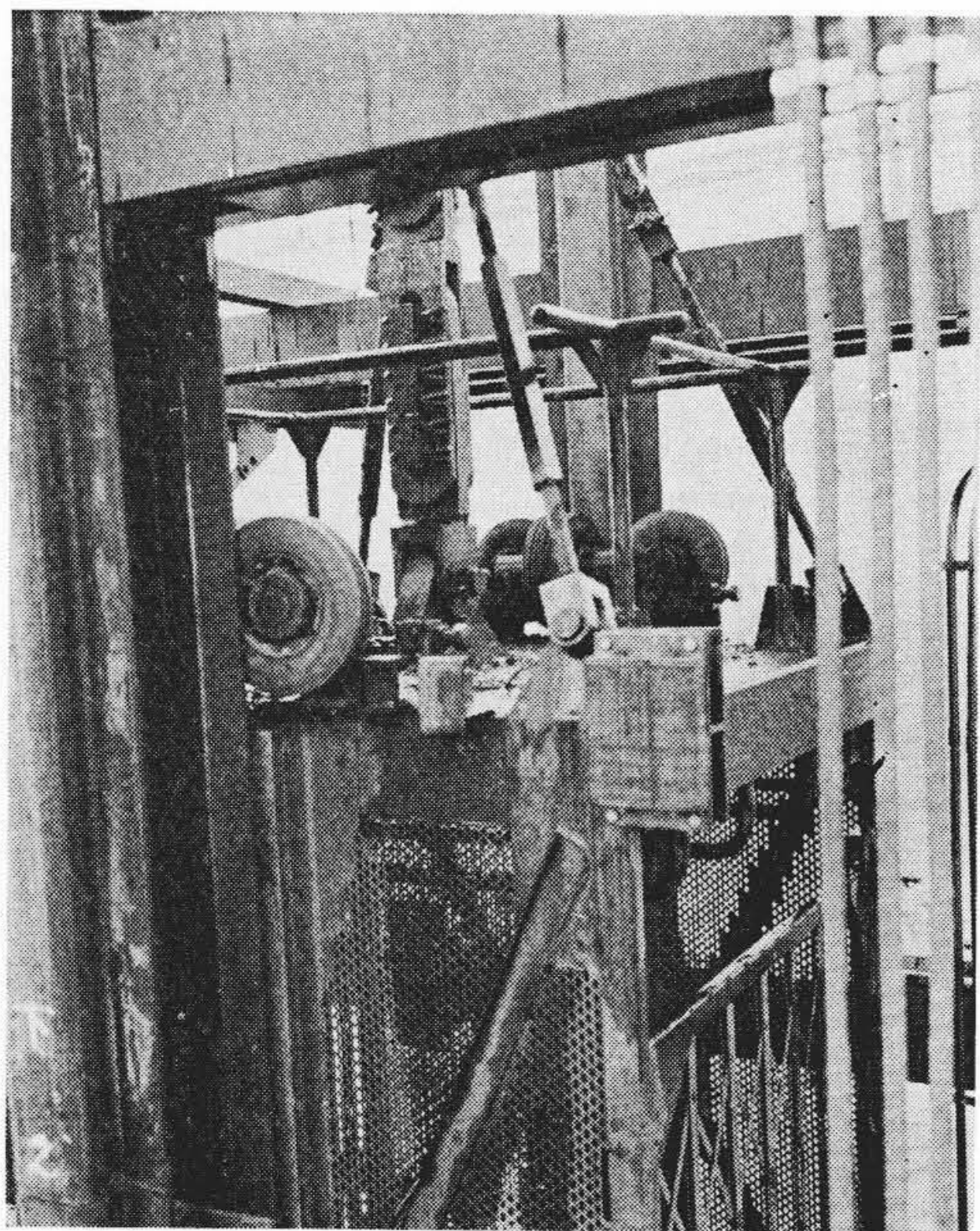
第11図 コンバインドスキップの構造図

(b) 過巻卸時の巻上機非常制動時のみ、坑底積込設備の非常停止が掛かる。

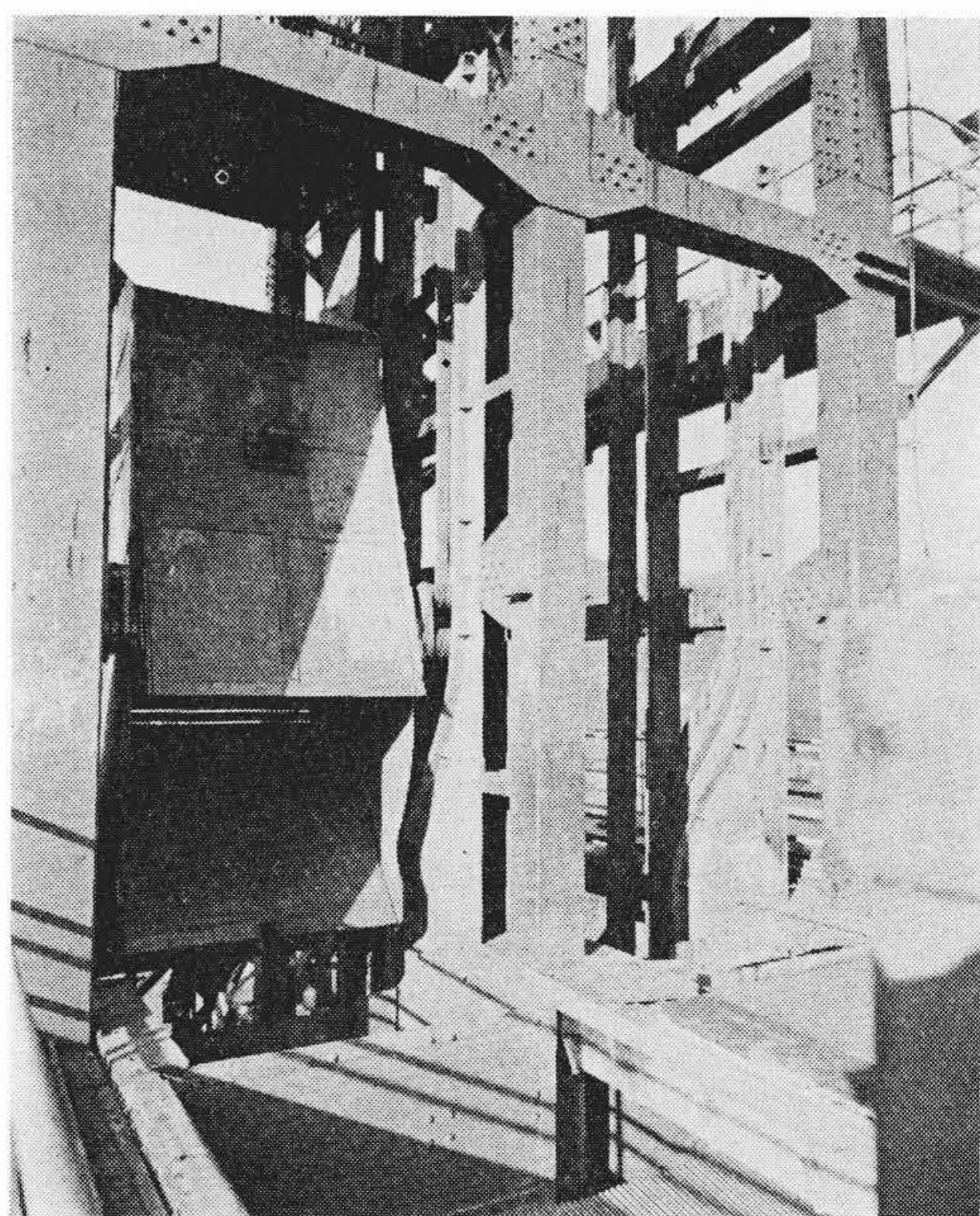
(c) 連続自動運転中、運転員が巻上機の停止指令の押ボタンを操作したときは、スキップは正規位置にきて止るが、このとき積込シュートは開くが、メジャリングホッパゲートは閉じたままで開かない。

3.2 コンバインドスキップ

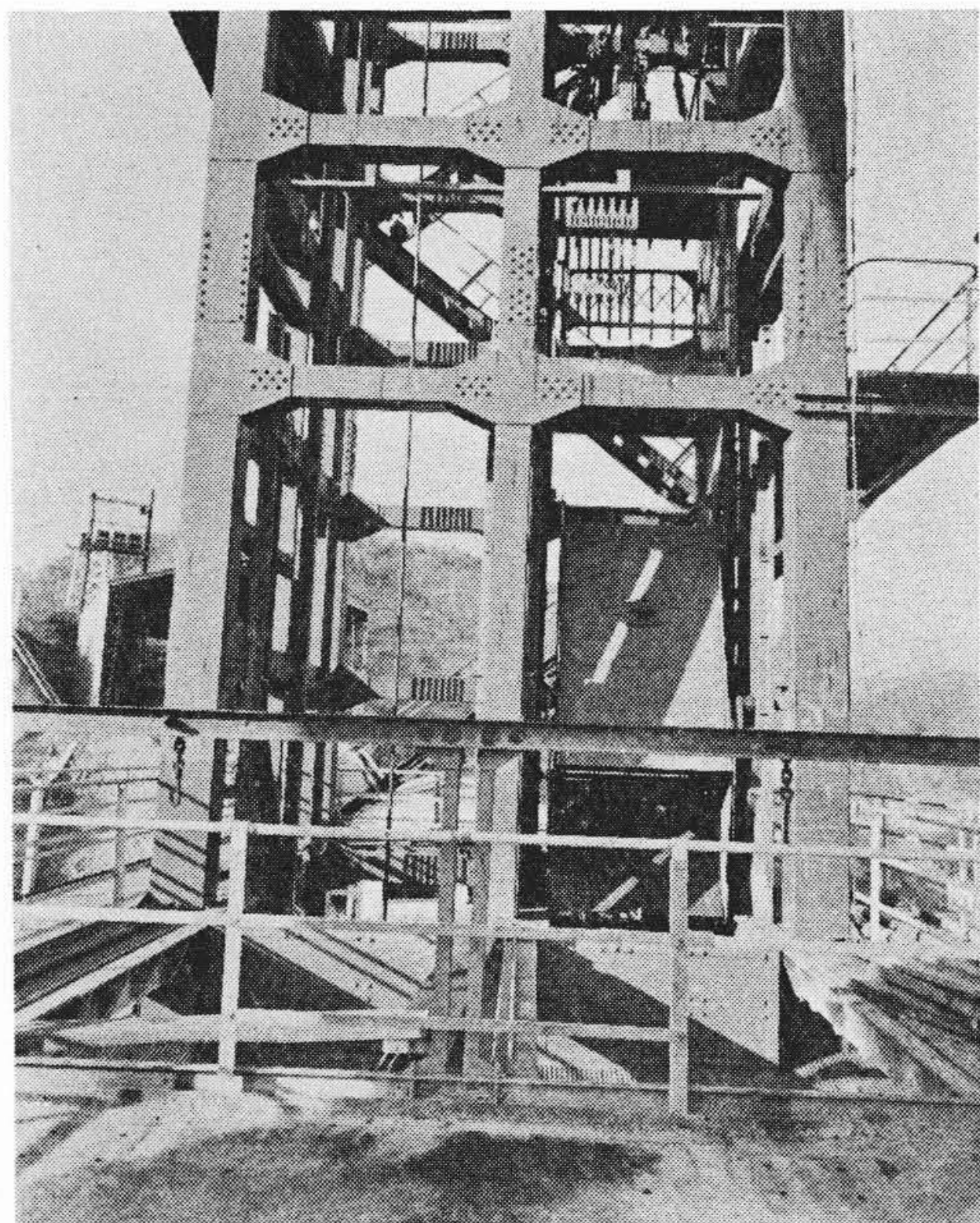
人員または鉱車を積載するケージと鉱石を積載するスキップとを一体に結合したものである。ケージは2.23 m³の鉱車または人員14人を積載しうる一段デッキケージで鉱車用ストッパおよび人員用安全ドアが付いている。安全ドアは左右に伸縮し、鉱車積載時はケージの内側へ折り込むようになっている。スキップは上積み込みで鉱石の放出は放出位置でのダンピングガイドによる底開き形で、容量は鉱石5,500 kgを積載する。スキップ内側には低マンガン鋼の交換可能な内張りを施してある。38 mm径のロープとケージはクレムカウシェ形ロープクランプによって連結されているほかチェーンによる補助つり具を備えている。ケージには停止指令リミットスイッチ用ストライカ、ランディングマグネットスイッチ用可動コア、停止位置表示用マグネットコアが取り付けられている。ガイドローラは、空気入航空機用ゴムタイヤとゼロプレッシャタイヤとの組み合わせにより構成され、ケージスキップの上下4箇所に付けてある。なお本立坑のガイドは特殊形鋼によるスチールガイドで、ケージは側面ガイドである。スチールガイドとゴムタイヤによるガイド方式は、直流巻上機の制御と相まって非常に良い乗心地を発揮している。スキップの下部には特殊材料や長物運搬にも便なるようにフックを設けてある。第11図にコンバインドスキップの構造図を、第12図にガイドローラの構造を示す。



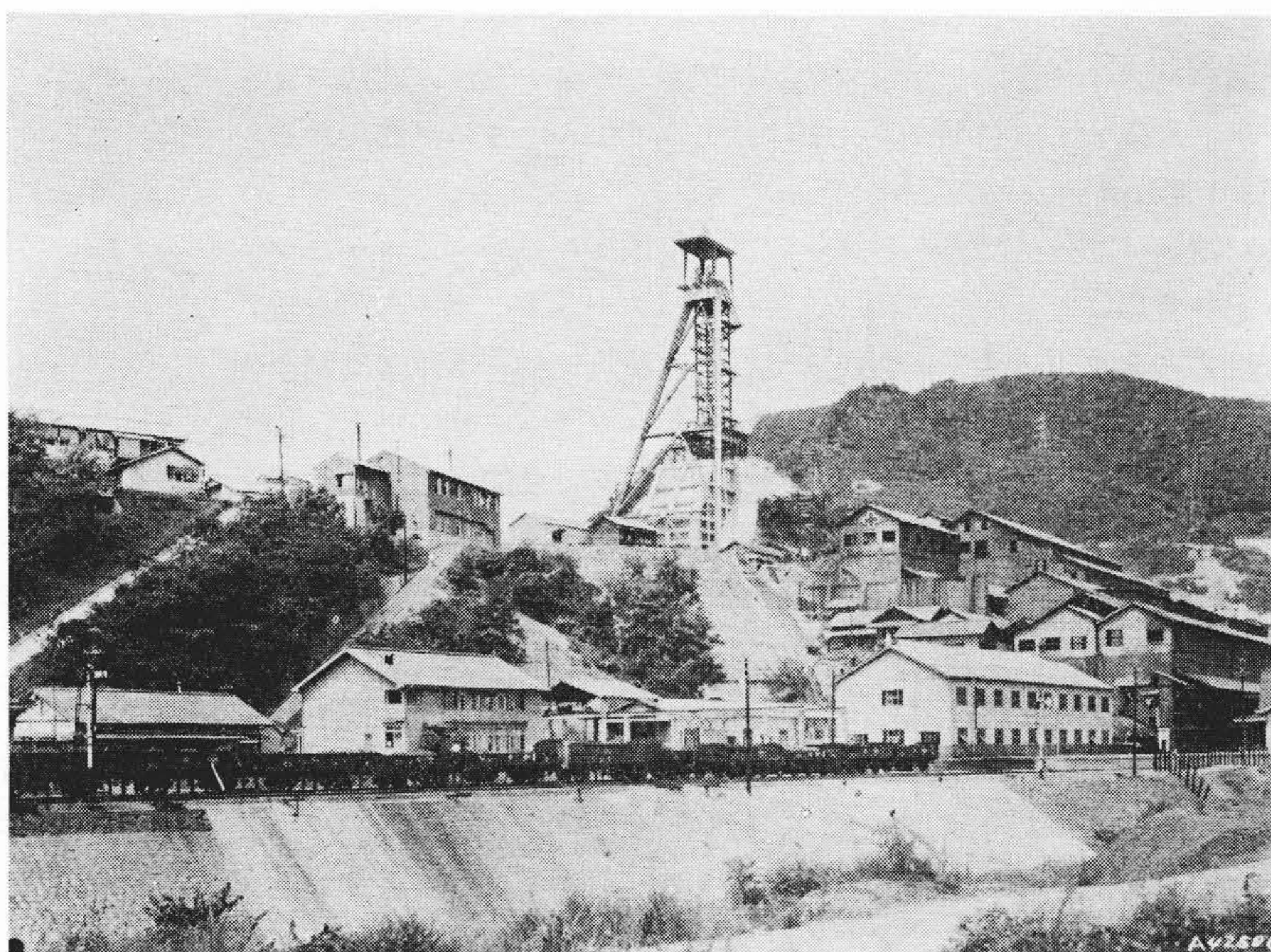
第 12 図 ガイドローラ構造図



第 14 図 スキップがダンピングガイドに入ったときの状態



第 13 図 スキップの鉱石放出後の状態



第 15 図 やぐらの全体

3.3 坑口荷明設備

坑口荷明設備は、ダンピングガイド、やぐら基部、ダンピングシュート、貯鉱ビンから成る。スキップが鉱石を積載して放出位置へ上昇してくると、スキップの底ぶた閉鎖装置のガイドローラが、やぐら基部に取り付けられたダンピングガイドにはいり込む。ダンピングガイドは、スキップの上昇とともにスキップの底部をダンピングシュート側へ押し出すと同時に底ぶた閉鎖装置を解放する。スキップの底ぶたは開いて積載している鉱石をダンピングシュートを通して 2,000 トン貯鉱ビンに放出する。放出が終わったスキップは下降しながらふたたびダンピングガイドに導かれて底ぶたを閉鎖して坑底へ下降していく。第 13 図にスキップが鉱石の放出が終わったときの状態を示す。第 14 図はスキップがダンピングガイドにはいった様子を示す。

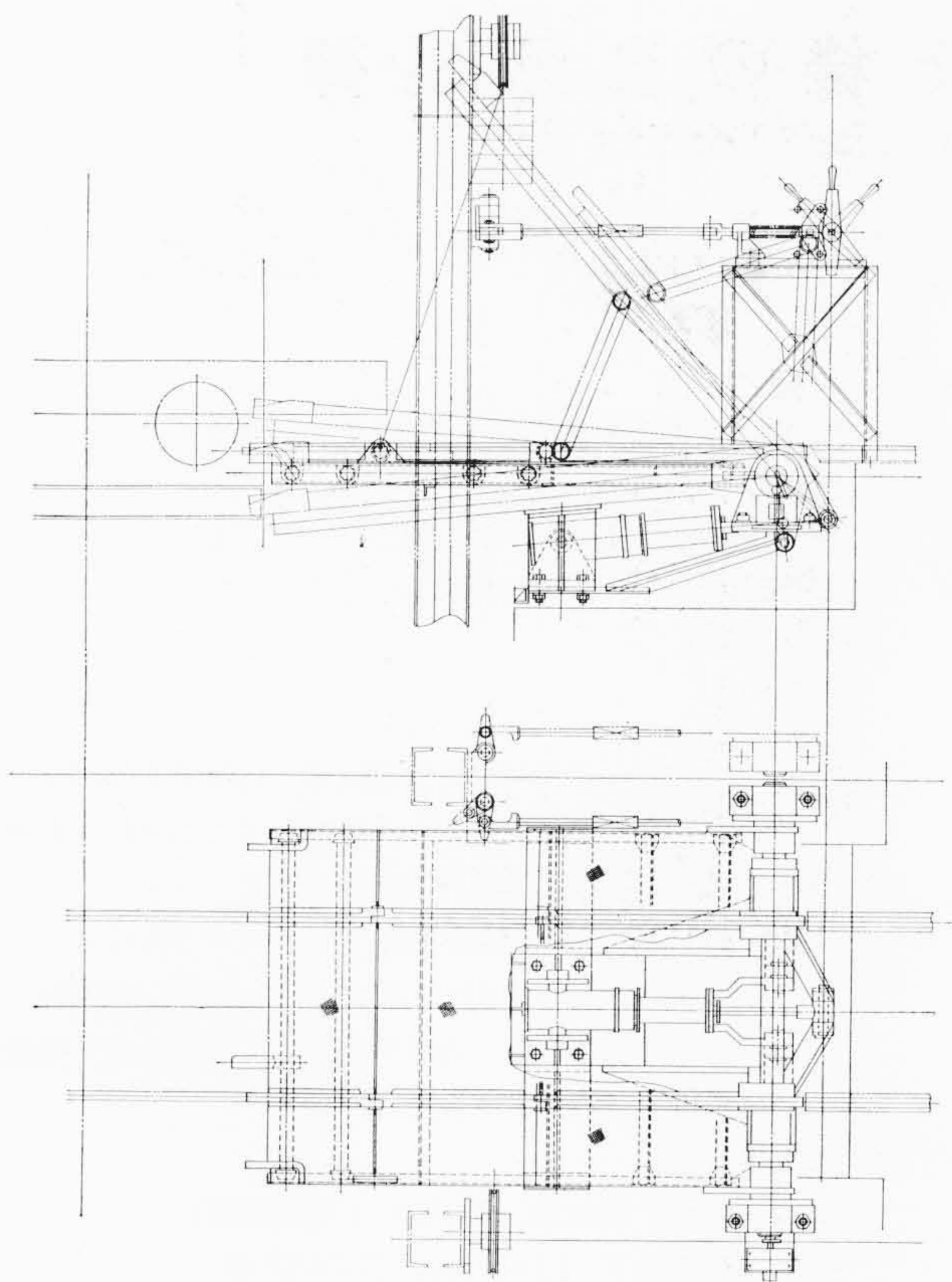
3.4 やぐら

銅板製 R 形やぐらでボックス構造を採用している。やぐらは直柱部、バックステー部、やぐら頂部より成り、直柱部、やぐら頂部の全

高は 37.3 m、バックステー部の高さは 53.8 m で基礎コンクリートに剛節固定されている。直柱部にはダンピングガイド、パフア、安全つかみなどを備え、やぐら頂部には、ヘッドシーブ、ヘッドシーブ軸受、ヘッドシーブ組立修理用架台、避雷針などが設けられ、やぐらの各部に至る階段足場を完備している。コンバインドケージの停止位置には、停止用リミットスイッチ、ランディングマグネットスイッチ、ケージ位置検出器が取り付けられている。夜間は水銀燈により照光される。なおこのやぐらは立坑掘進にも使用された。第 15 図はやぐらの全体を示す。

3.5 ジャンクションレール

坑口放出位置と坑底積込位置間には、立坑途中に 4 箇所の中段水平坑道があり、この部分には人員昇降および鉱車積み降しのためにジャンクションレールが設けてある。第 16 図は鉱車積み降し部に用いられるジャンクションレールの構造図である。ケージが側面ガイドを採用し、奥行寸法を鉱車全長より短く取って重量を軽くしたため、ジャンクションレールは鉱車の台車下側にすべり込むような構



第 16 図 ジャンクションレール構造図

造で、縮んだ場合にはジャンクションレールは折りたたまれている。伸縮操作は圧気シリンダと重錘によって行なわれる。

人員昇降部のジャンクションレールは簡単な手動操作のものとしてある。

4. 全自動運転

空スキップを坑底積込位置に着床させ、巻上機および積込装置を自動運転に切り換え、自動運転起動ボタンを押すと、スキップ内には計重された 5,500 kg の鉱石が自動的に積み込まれる。積み込みが完了すると巻上機には起動指令が発せられ、主電動機電流が一定値に達する頃ブレーキが解除され、巻上機はスムーズに自動起動し加速を開始する。一方積み込みを完了した積込装置は、巻上機起動後、すぐさま次の積み込みに備えて、5,500 kg の鉱石の自動計重を

開始する。

スキップは最高 10 m/s 一定速度で巻き上げられたのち、定められた位置から減速にはいり、ついに 0.5 m/s の微速にまで減速されて鉄塔のダンピングレールに導入されながら、スキップ底部のふたを開いて鉱石を放出し停止する。停止精度は非常に安定している。この間他方のスキップは坑底に達しており、ここでふたたび鉱石積み込みが行なわれ、以後前述の動作を繰り返す。

こうした鉱石巻上サイクルは坑底の 1,500 t ビン内の鉱石がからになるまで、自動的に連続される。

自動運転の 1 サイクル所要時間は、ドラムラッキングの平均摩耗量 14.5 mm (半径で) のとき、80.8 秒以内であった。この内訳は巻上時間 72.2 秒、積込時間 8.6 秒である。

ドラムラッキングの平均摩耗限度は 40 mm であるが、この場合は 1 サイクルの巻上時間が最大となり 73.1 秒になる。逆にドラムラッキングの摩耗がまったくない場合の 1 サイクル巻上時間は 71.7 秒となることが推定される。これから 1 箇月の巻上能力を計算すると、12 時間/日、25 日/月の運転で最大 73,800 t ～最小 72,700 t であって、計画時の巻上能力 70,000 t を常に上回ることが確認された。

5. 結 言

以上述べたように、この立坑巻上設備は、昭和 36 年 1 月納入以来順調な営業運転を続け、その巻上回数もすでに 20 数万回に達し、なお日夜稼働している。

本巻上設備の実績により、連続全自動運転方式は完全に実用期にはいったことを示し、今後の立坑運搬方式に方向を与へ、鉱山の運搬の合理化が進められるに伴い、こうした立坑巻上設備が次々に建設され偉力を発揮することが期待される。

現地据付調整試験は、かなりの長期にわたったが、その間同和鉱業株式会社柵原鉱業所の関係各位に、いろいろとご協力を賜った。これらの方々に対し厚く感謝する。

参 考 文 献

- (1) 種田：機械学会論文集 26 巻 164 号、552 (昭 35-4)
種田：日立評論、42, 5, 558 (昭 35-5)
種田：外圧を受ける補強薄肉円筒の破損圧力に及ぼす初期撓みの影響、材料試験協会第 9 期、通常総会講演会、昭 35 年 5 月 14 日
- (2) 実用新案第 387863 号
- (3) 青木、若森、渡部：日立評論、44, 1532 (昭 37-10)
- (4) 特許第 204599 号
- (5) 渋谷、若森：日立評論、34, 759 (昭 27-6)