U.D.C. 629.424-82-52:621.398::[658.286.2:669.16/.18.013]

製鉄所構内機関車用

遠隔操縦式自動列車運転装置(ATOR)

Automatic Train Operation Equipment Remote Control Type for the Shunting Locomotive in Ironworks

高岡　征*　*Tadashi Takaoka*
藤田茂惟**　*Shigenobu Fujita*
譲原荘次***　*Syôzi Yuzurihara*
森泉實夫****　*Mitsuo Morizumi*

For the purpose of labor saving in steel mills, Hitachi has developed a one-man train control system which consists of a 40 - 400 MHz band radio for remote control and an automatic train operation system. Intended for the switching of diesel locomotives in the steel mill compounds, this system enables its operator to carry out train operation and many switchyard chores by him alone, including track switching, coupling or uncoupling of wagons, etc. The automatic train operation system controls locomotive operation smoothly as if by a skilled operator.

The locomotive is provided at its both ends with a simple operator stand, where monitoring of engine water temperature and oil temperature is performed. Also, to facilitate automatic operation, power running and braking which have hitherto been performed by mechanical procedures have come to be carried out through electric commands. By these improvements the number of operating personnel for locomotive has been reduced from three to one.

1 緒　　言

製鉄所構内で運搬，入換作業に従事している液体式ディーゼル機関車(以下，ＤＨＬと略す)は通常の鉄道輸送とは異なり，溶銑やその製品などの重量物の構内輸送に使用されている。従って，その周囲条件及び使用条件は非常に過酷であり，装置の高信頼化，無保守化については格段の配慮を要する。塵埃や各種ガス，そして製鉄所の宿命ともいうべき高温，そのいずれをとっても電子機器にとり悪影響を多く与えるものばかりであり，且つ稼動の実態は24時間連続に近い現状である。しかも生産ラインの休停止は絶対に許されず，信頼度の確保は何にもまして優先保守されねばならない。

更に，従来熟練運転手が個人の名人芸で機関車の能力限度いっぱいの荷重を引き出しているが，遠隔操縦式自動列車運転装置(以下，ＡＴＯＲと略す)でもこれと同じ運転性能を実現しなければならない場合もあり，通常の鉄道車両の自動運転[1]とは別の高性能が要求されている。

本ＡＴＯＲは40～70MHz帯又は400MHz帯の電波を利用した携帯式微弱電界無線機の指令によるもので携帯送信機を従来の誘導連結手の位置で操作させ，運転手と誘導連結手及び転てつ手計３人の役目までを兼ねさせようとするものである。これにより，従来１列車の運転に３名の要員が必要であったものが１名で十分となり，１組に２名ずつ１日につき４組，計８名の省力化が可能となる(**図１**，**図２**)。このように従来

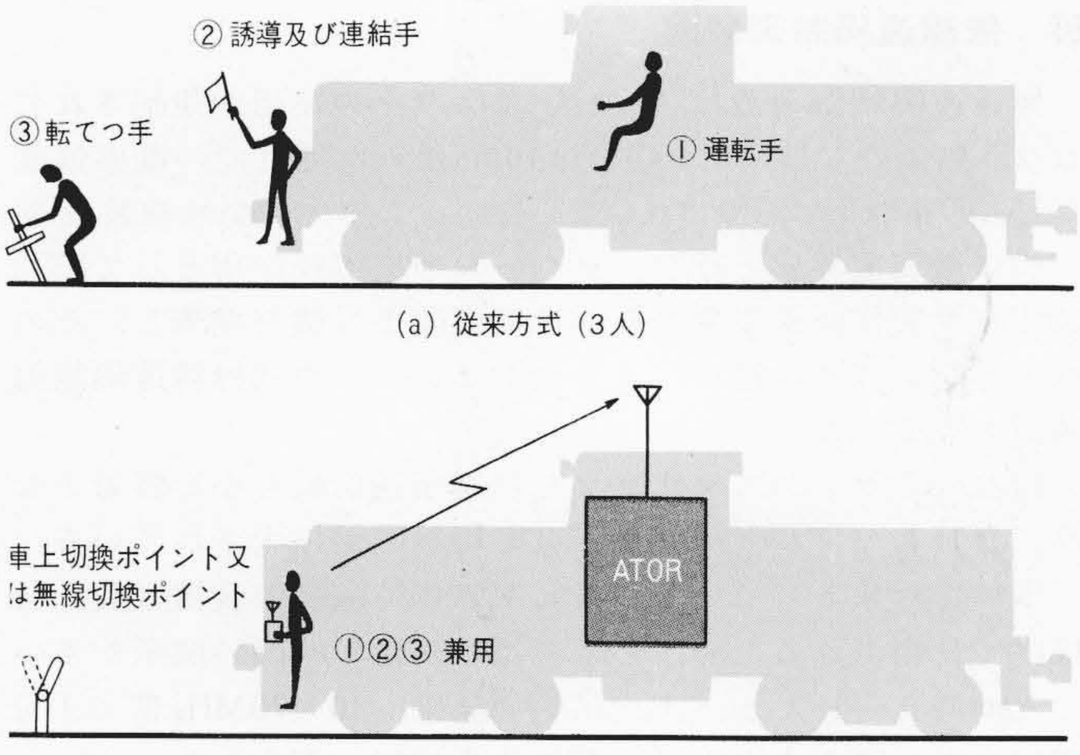

図１　ATOR使用による省力化　従来３名でDHL１両を操車していたが，ATOR採用によりワンマン化が可能となった。

Fig. 1 One-man Operation by ATOR

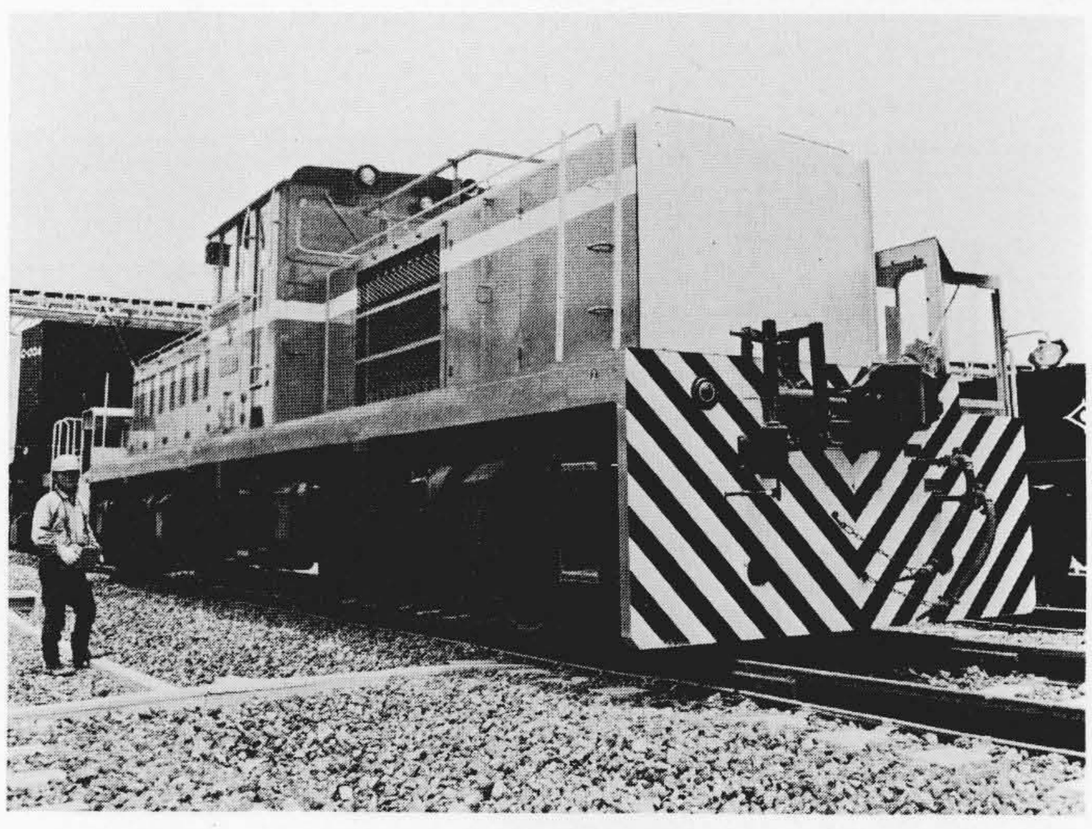

図２　ATORによるワンマン運転　運転室は無人となり，無線機を携帯した操作員によりワンマン運転が行なわれる。

Fig. 2 Operater and DHL

* 日立製作所水戸工場　** 日立製作所習志野工場　*** 日立製作所笠戸工場　**** 日立製作所機電事業本部

3名で処理してきた業務を一挙にワンマン化するためには，人間工学的考察が最も重要である。すなわち，車上制御では何を自動化し何を手動として残すか，またＡＴＯＲ以外の地上設備も同時に改善し，ワンマン化された操作手をどう補助するかなど検討を要する項目は多い。

本ＡＴＯＲは遠隔操縦用無線機と，その無線機の指令を受け車両を自動制御する自動列車運転装置及びＡＴＯＲ用に各種装備を行なったＤＨＬより構成される。以下これらの各部につき述べる。

2 ＡＴＯＲの概要

本装置は無免許で使える微弱電界無線機を使用している。ＤＨＬの運転室より離れた位置で携帯送信機から指令を発すると，車上に装備された受信機を経て自動列車運転装置に指令が伝達される。自動列車運転装置ではこの指令を受けＤＨＬを自動制御するが，その制御は大別して次の3種に区分される。

(1) 走行：定速運転制御
(2) 停止：一定ブレーキ力による停止制御
(3) その他の補助制御

これらの作業をワンマンで円滑に行なうために，これをどのように自動化するのか，その指令方法，制御方式，そしてハードウェアなどを全体として検討し，システムが合理的且つ有機的に構成されなければならない。以下，各作業の制御概要につき述べる。

2.1 走　　行

走行は定速運転制御によっている。もちろん，移動を一定の速度で行なう必要は必ずしもないが，自動化のためには定速運転制御を行なうことがむしろ容易であるため，あらかじめ定めた一定の速度範囲で走行し，移動を行なう。この定速走行方式には，目標速度と列車速度との速度偏差を検知し，この速度偏差に比例し力行ノッチを上げていく比例制御方式[2]と，一定速度まで加速すると力行をやめ惰行とし，速度が一定速度まで低下すると再力行するような速度バンド方式(**図3**)が代表的なものである。

本ＡＴＯＲでは後者の速度バンド方式を採用しており，簡易であると同時に荷重が大幅に変化しても安定であるなどの特長を有している。この速度バンドを変化させることにより，走行速度を変化させることができる。標準仕様としては約2km/hの低速度で走行する力行1指令と5～25km/hの範囲内の比較的高速の一定速度で走行する力行2指令とを有している。

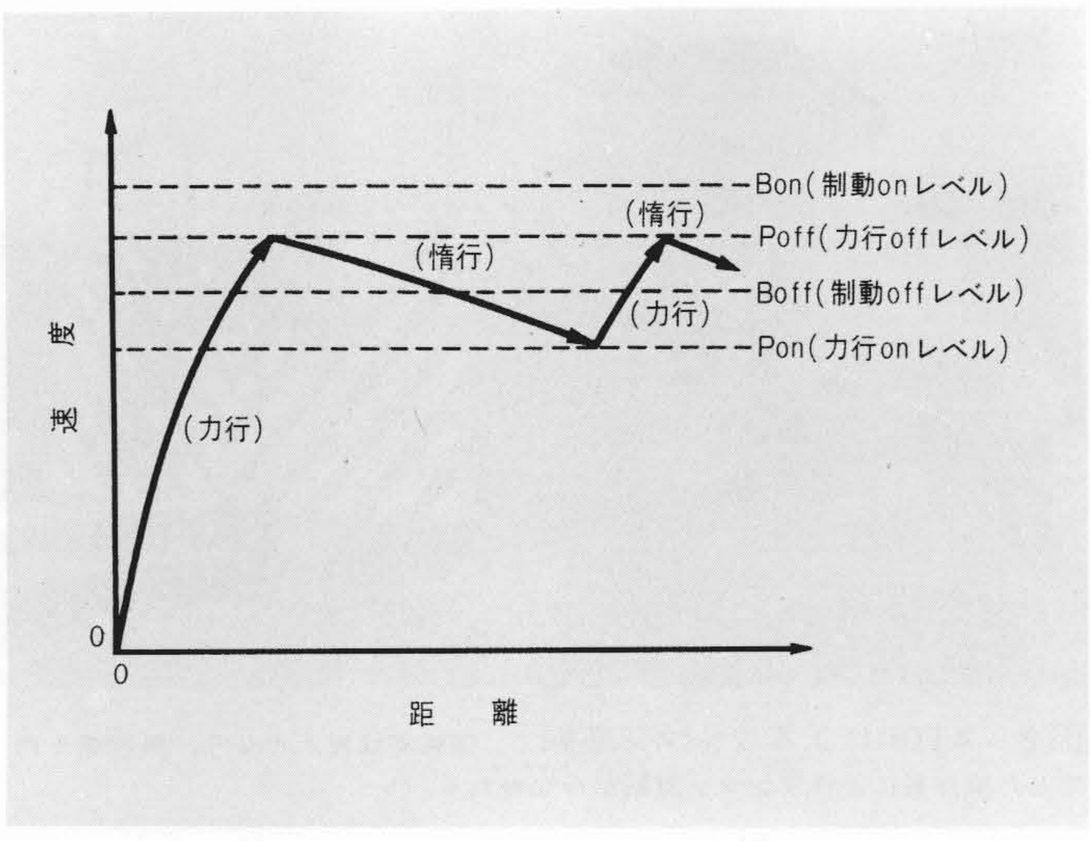

図3　速度バンド走行原理　車両は速度バンドの範囲内で定速走行する。
Fig. 3 Basic Mechanism of ＤＨＬ Speed Control

2.2 停　　止

停止は一定ブレーキ力制御によるものとし，標準仕様としてはブレーキ1(常用ブレーキ)とブレーキ2(非常ブレーキ)の2指令を有している。この両ブレーキ指令についてはフェイルセーフ化されており，異常時には確実にブレーキが作動するよう考慮されている。

2.3 その他の補助制御

走行及び停止指令を補助するため，次のような補助指令を有している。

(1) 逆転機切換指令
前進・後進切換のための1進指令及び2進指令並びに動力を車軸と切り離す逆転機中立指令とを有している。
(2) 中立(惰行)指令
エンジンをアイドルとし，惰行状態を指令する。
(3) 警音指令
(4) 砂まき指令
線路の状況や荷重により車輪の空転，滑走を起こしやすい場合に指令する。ほかに空転，滑走時及びブレーキ2指令時には自動的に砂まき指令が発せられる。
(5) ブレーキ保ち指令
停車時の車両転動防止とこう配で発進する場合，円滑に発進できるように自動パーキング ブレーキ指令を発する。
(6) 高加速及び重量設定指令
荷重の大小により主としてブレーキ力を変化させ，最適な制御を行なう。
(7) デッドマン(送信機傾倒)
不測の事故などで操作手が倒れたりすると危険なため，送信機に傾倒で作動するスイッチを内蔵し，これによるブレーキ2(非常ブレーキ)を作動させ，同時に砂まきと警音を行なう。

以上は標準タイプについて述べたものであり，現実にはこのほかにも種々の指令を有する。**表1**は指令一覧を示すものである。

3 無線遠隔制御装置

無線遠隔制御装置は「電波法」によりその使用が規制されており，無免許で使用する場合は100m離れた地点での電界強度が15μV/m以下にしなければならない。このような無線装置を一般に微弱電界式と称し，クレーンの遠隔操作用として昭和35年日立製作所が業界に先がけて国産1号機を発表し，その後トランジスタの進歩により全トランジスタ式無線遠隔制御装置を完成した。

機器のトランジスタ化とともに携帯送信機も小形軽量となり，ＤＨＬやブルドーザなどに応用範囲が拡大されている。

本稿で対象としているＤＨＬ用無線遠隔制御装置は製鉄所構内で使用されるため，外来の雑音の比較的高い個所が多いことが考えられたが，実地試験の結果，40～70MHz帯で十分実用に供し得ることが分かりこれを採用，製作した。

しかし，ＡＴＯＲの適用範囲が拡大するにつれて雑音源の近傍を走行したり，建屋間の見通しの悪い場所など周囲環境の悪い個所で使用される場合も生じ，雑音などにより安全回路が作動し作業能率低下の現象を示すものが現われてきた。そこで新たに400MHz無線機を開発し，これを実用化した。

雑音と周波数の関係は高周波帯になるにつれ，雑音は減少

表 I ATOR指令一覧 ATORの有する指令は，標準を12指令としている。

Table I List of ATOR

操作項目＼形式		ATOR-1 (標準仕様)	ATOR-10	ATOR-20	ATOR-40	ATOR-50	ATOR-110	ATOR-30	ATOR-60	ATOR-80	ATOR-70	ATOR-90	ATOR-120
力行指令	力行-1	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	力行-2	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	力行-3	—	—	—	—	—	○	○	○	—	○	—	—
	その他の力行指令	—	—	—	—	—	○	—	—	—	—	—	—
制動指令	ブレーキ1	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	ブレーキ2	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
逆転指令	1進	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	2進	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	逆転機中立	—	—	○		○	○	—	—	—	○	○	○
補助指令	中立(惰行)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	警音	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	砂まき	○	○	○	○	—	○	○	○	○	○	○	○
	ブレーキ保ち	○	○	○	○	○	○	—	○	○	○	—	○
	高加速・重量設定	○	○	○	○	—	○	—	○	○	○	○	—
	前照灯減光	—	—	○		○	○	—	—	—	—	—	—
	デッドマン(送信機傾倒)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	連結器解放	—	—	—	—	—	—	○	—	—	—	—	—
	その他の指令	—	—	○	—	○	○	—	—	—	—	—	—
無線機・使用周波数		—	40MHz	40MHz	40MHz	70MHz	40MHz	70MHz	70MHz	400MHz	70MHz	400MHz 40MHz	70MHz
納入台数		—	33	56	23	24	4	29	22	20	17	2	2

注：○は指令を有す。

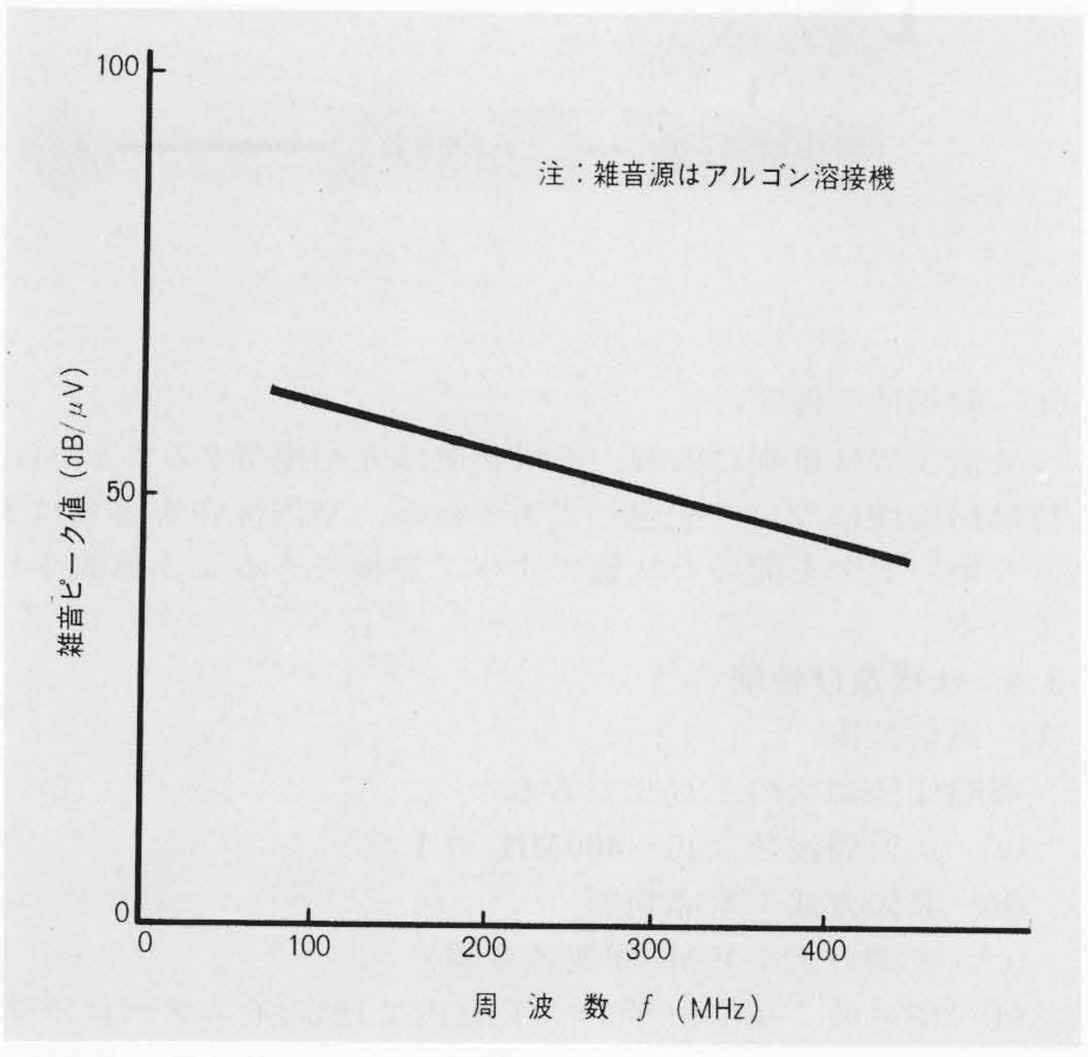

図4 雑音の周波数特性 外来雑音は周波数が高くなるにつれ，反比例して低下する。

Fig. 4 Relation between Noise-Level and Frequency

するのが一般的であり，現地で雑音源と考えられる溶接機より約5 m離れた地点で測定した結果，**図4**に示すように周波数が高くなるに従い雑音は減少することが確認された。

3.1 送信装置の概要

送信機のブロック図は**図5**に，外観は**図6**に示すとおりである。

電源スイッチを投入すると**図5**に示す水晶発振器(搬送波の原発振器)，低周波発振器(メカニカル発振器)がそれぞれ発振し，電力増幅器を経て搬送波がアンテナより輻射される。

操作スイッチを投入すると低周波発振器が接続され，信号波(f_1～fn)が低周波増幅器を経て周波数変調器に加えられ，搬送波に載せられて信号が送信される。

送信アンテナは，70MHz帯では**図6**に示す肩掛けバンドに沿わせているが，400MHz帯ではボディ効果のためヘルメットにアンテナを取り付けたヘルメット アンテナ方式を採用している。

3.2 受信装置の概要

受信装置のブロック図は**図7**に示すとおりである。

受信アンテナで受けた搬送波は，同図に示すように高周波増幅器で増幅され，周波数変換器で中間周波に低減し，ＩＦブロックで増幅，振幅制限などを行ない弁別器により復調する。更に低周波増幅したうえ，帯域ろ波器によりそれぞれの信号波を取り出す。

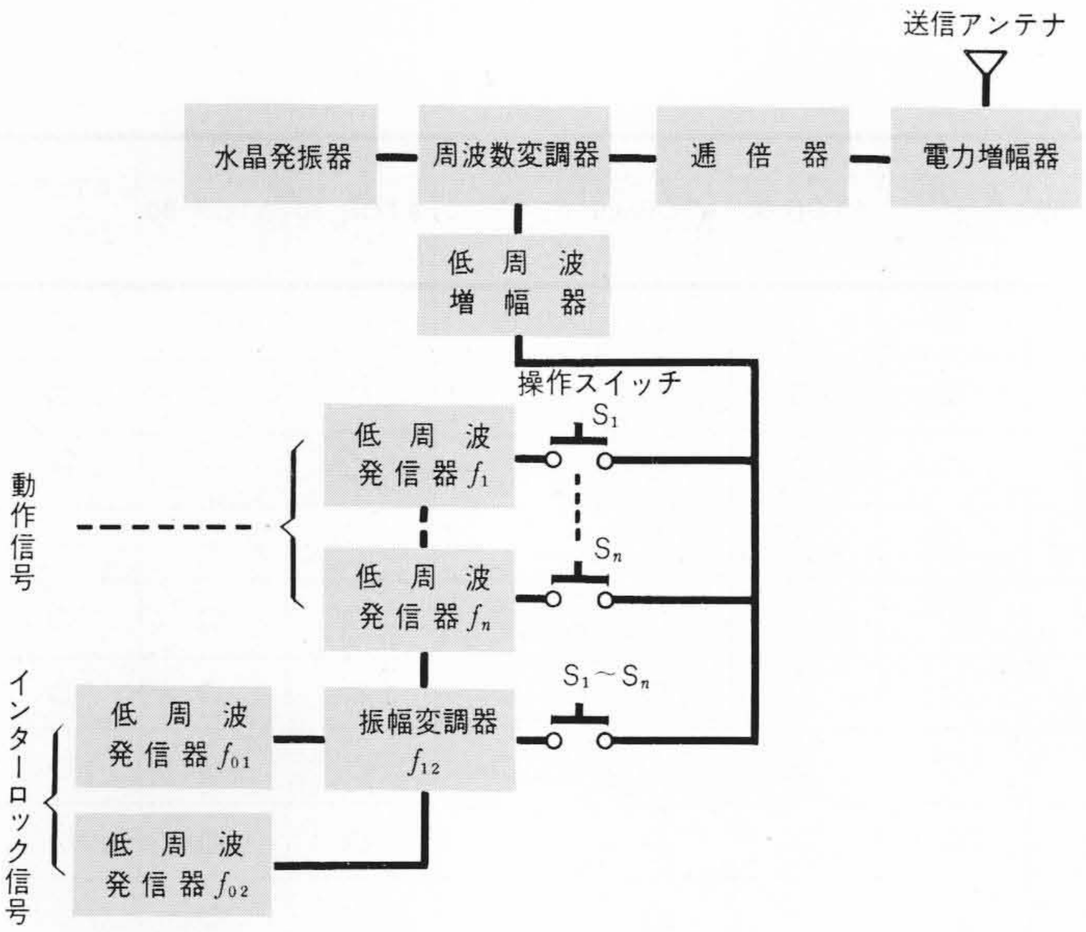

図5 送信機ブロック図 携帯送信機より標準12指令の指令を発する。

Fig. 5 Block Diagram of Transmitter

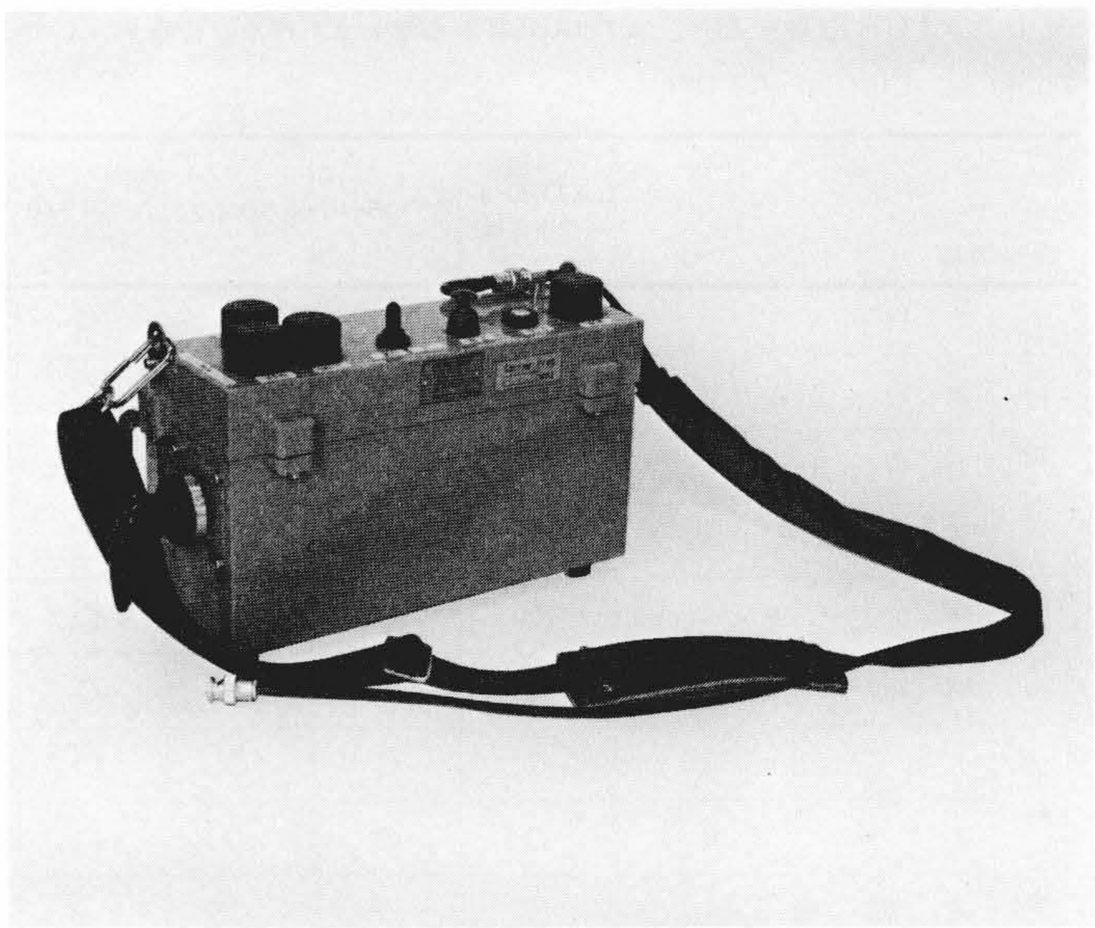

図6 送信機外観 本図の送信機を肩より下げ，DHLの操作信号を発信する。

Fig. 6 Outside View of Transmitter

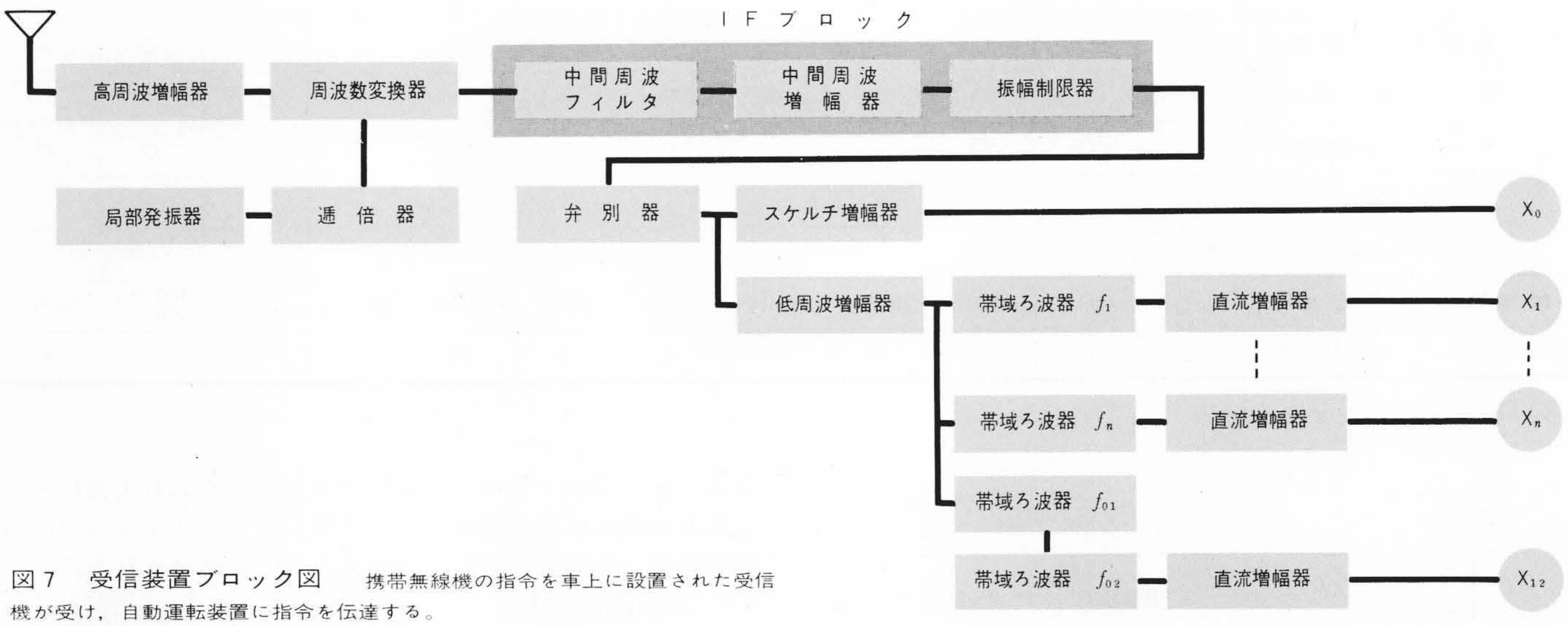

図7 受信装置ブロック図 携帯無線機の指令を車上に設置された受信機が受け，自動運転装置に指令を伝達する。

Fig. 7 Block Diagram of Receiver

3.3 特 長

(1) 雑音に対する安全性

高雑音を受信した場合，スケルチ回路が作動して非常停止するようになっているが，更にインターロック チャネルをA M-F Mの二重変調を行なったうえ，動作信号と同時に送信するようにしてあるため，3信号1動作式となり安全性が高められた。

(2) 転倒時の安全

操作者が運転中，過失又は異常を生じて転倒した場合DHLが非常停止するように，送信装置が所定の角度以上に傾倒した場合には傾倒で作動するスイッチを送信装置に内蔵している。

(3) 速応性

圧電音さを常時発振し，回路的に作動遅れを防止する一方，瞬間的な雑音に対して作動しないように0.2秒の遅れ時間を持たせている。

(4) 耐振性と保守

受信装置は車両に搭載，送信装置は人が携帯することから，特に耐振性について配慮してあるほか，車内保守を容易にするため，ドアを開いた状態ですべて点検できるよう構成されている。

3.4 仕様及び性能

(1) 送信装置

概略仕様は次のとおりである。

(a) 送信周波数：40～400MHzの1波

(b) 発振方式：水晶制御

(c) 変調方式：FM(周波数変調)

(d) 信号波：操作信号1～3kHz内で選定,インターロック信号42Hz，3,125Hz

(e) 信号波発振方式：メカニカル発振(圧電音さ)

(f) 電 源：DC 10V

(g) 周囲温度：－10～＋50℃

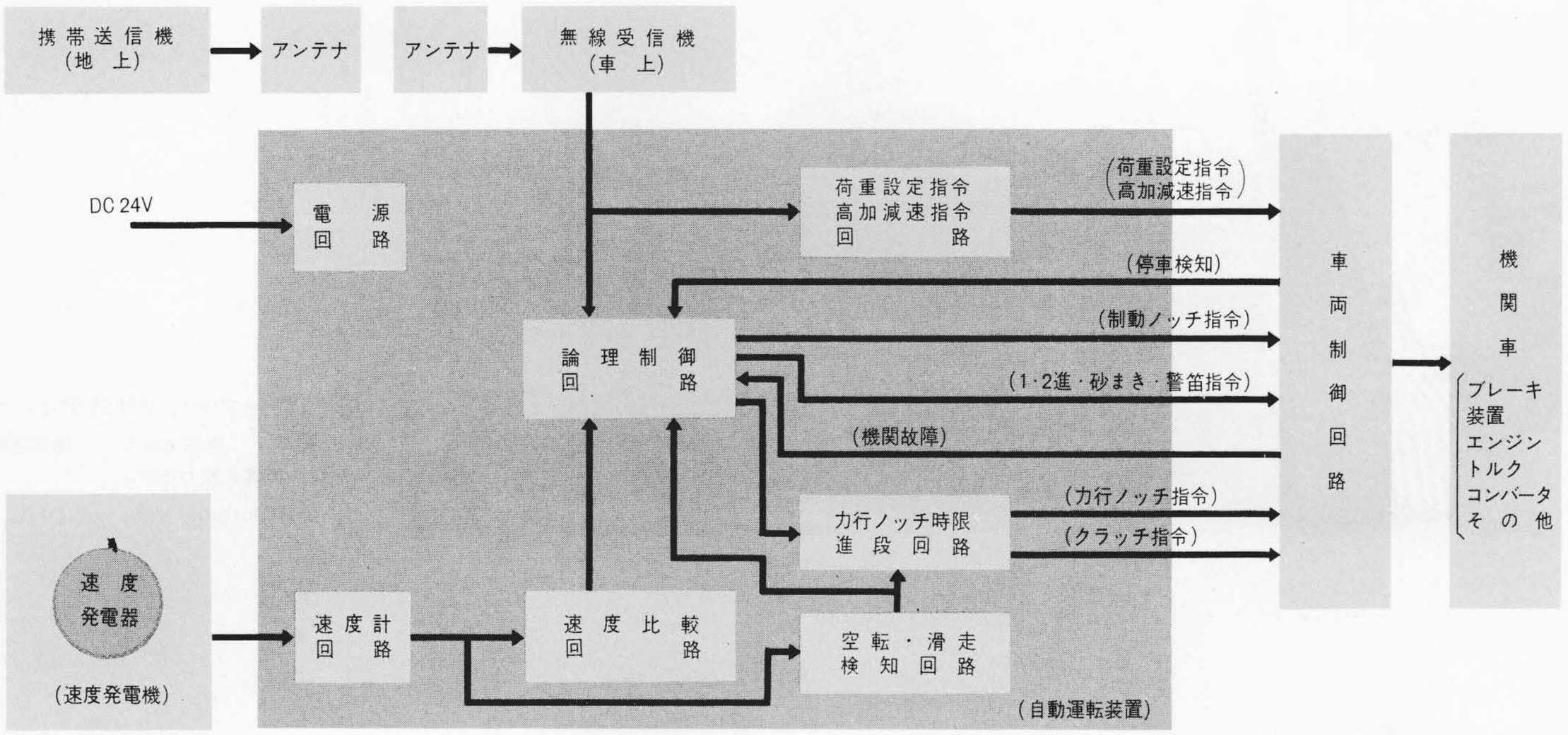

図8 自動列車運転装置構成図 自動列車運転装置は無線機より伝えられた指令により機関車を自動制御する。

Fig. 8 Block Diagram of ATO

(2) 受信装置

概略仕様は次のとおりである。

(a) 受信周波数：40～400MHzの1波

(b) 受信方式：水晶制御スーパーヘテロダイン方式

(c) 受信感度：入力1μVで雑音抑圧20dB以上

(d) 出力接点容量：DC 24V 0.2A

(e) 電源：DC 24～28V

(f) 周囲温度：−10℃～+50℃

4 自動列車運転装置

自動列車運転装置は，無線機より伝達された制御指令により車両を自動制御するものであるが，高信頼度とフェイルセーフを最重点として製作されている。その有する機能と制御内容については，**2**にて既述したので本章では機器の構成と仕様につき述べる。

図8は自動列車運転装置の構成図を示すものである。無線機を経て自動列車運転装置に到達した指令は論理制御回路に与えられ，そのときの列車速度，空転・滑走の有無，機関車故障の有無などを条件に力行ノッチの進段，ブレーキ指令及び補助制御指令を車両制御回路に与える。一方，自動列車運転装置は車両制御回路より機関車の故障情報，停車検知出力を受け，制御条件としている。特にこの停車検知は，車体側で機械的に停車検知を行なった出力と，自動列車運転装置内で電気的に検知したものの両者が一致することにより停車と判定するもので，走行中の逆転機の誤投入による逆転機の破損を防止するためのものである。**図9**は自動列車運転装置及び無線受信機を示すものである。

5 車体装置

遠隔操縦方式にて運転操作するための車体装置の内容について説明する。

ワンマン化を目標としている関係で，運転取扱いに対しては，運転手の負担を軽減するため操作内容を減少し制御の自動化，保安装置の設置による異常処理を考慮している。

また，運転手の乗車位置として車両先端に簡易席を設けており，けん引される各車両(製鉄所においては，トピード台車，なべ台車など)にも運転手乗車の便を図りステップの改良が施されている（**図10**）。

ATORの制御信号により，制御するため次の装置を電磁空気式にしている。

(1) エンジン燃料制御装置

(2) トルクコンバータ制御装置

(3) 逆転機切換制御装置

(4) 砂まき制御装置

(5) 警報制御

図9 自動列車運転装置及び無線受信機 自動列車運転装置及び無線受信機は，車上に装備されている。

Fig. 9 Outside View of Automatic Train Operation Eqiupment and Receiver

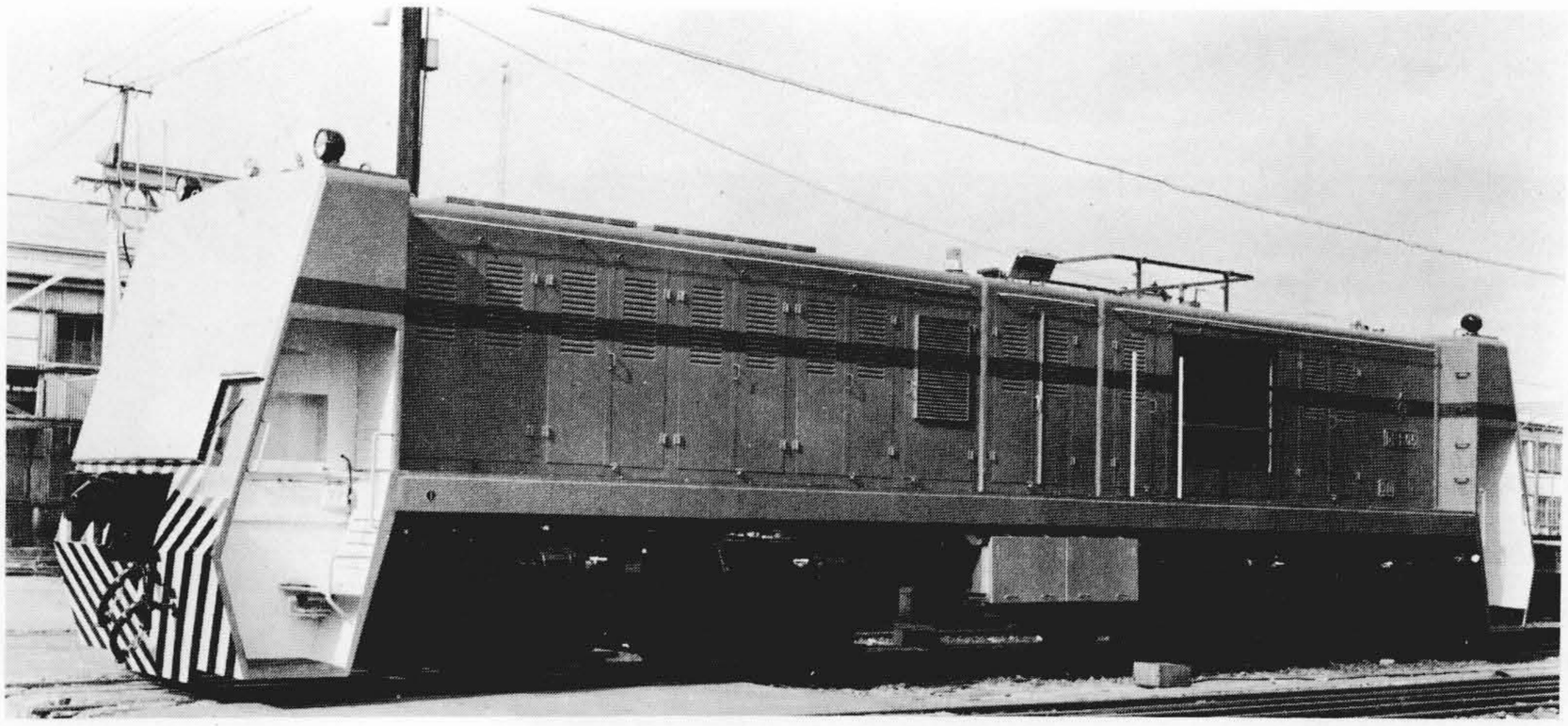

図10 ワンマン化液体式ディーゼル機関車 運転室はなく，簡易運転席がこれに置き換わった。

Fig. 10 Outside View of DHL

(6) ブレーキ制御

次に主要制御装置の概要につき述べる。

(1) エンジン燃料制御

ＡＴＯＲより与えられる組合せ指令により電磁弁を介して燃料制御レバーを駆動し，燃料供給量を増減する。運転手は無線送信機にて力行位置にハンドルを操作するだけで運転指令を与えることができる。

(2) トルク コンバータ制御

ＡＴＯＲからクラッチ指令が与えられると，電磁弁を介してトルク コンバータのクラッチが投入されて動力の伝達が行なわれ走行が可能となる。

(3) 逆転機制御

逆転切換時には，車両の停止状態を確認することと併せて停止検知装置を設け，インターロックしている。また，逆転切換の円滑化を図るため補助かみ合せ装置を設け，切換時に自動的にギヤ クラッチをわずかに回転させ切り換える方法を採用した。

逆転切換状態の外部への表示として，車側表示灯を設け運転手が逆転完了の確認を可能とした。

(4) 砂まき制御

ＡＴＯＲの制御により砂まき指令時及び空転・滑走及び非常ブレーキ時に自動的に砂まき作用が行なわれる。

(5) ブレーキ制御

ＡＴＯＲより与えられる組合せ指令により7段のステップ状のブレーキ圧力を発生する電磁空気式ブレーキ制御弁を設けた。

ステップ状圧力を速度により粘着係数に対応させ3段に切り換える方法で圧力変化を与え，ブレーキ作用を人為操作に近似させている。従って運転手は，常用，非常の指令位置にハンドルを置くことによりブレーキ操作ができるよう簡易化されている。

ブレーキ操作は，運転手の判断によりブレーキ指令，惰行指令の繰り返しにより行なわれるもので，停止位置は人為的となっているため，従来の手動操作に近い運転ができる。

(6) 非常ブレーキ回路

通常のブレーキ制御回路と併設して非常空気だめを装備し，元空気だめの空気圧が規定値以下に低下した場合，ブレーキ用空気を供給する回路を設けている。また，元空気だめ圧力が規定値以上に上昇しない場合には走行できないように保安回路を設けている。

(7) 保安装置

遠隔制御となるため，エンジン冷却水温・潤滑油圧・トルク コンバータ油温及び逆転機に異常が生じた場合，走行できないように保安回路を設けている。

(8) 速度発電機駆動装置

自動列車運転装置用速度発電機は，車両の動力伝達系の途中に設けられた回転軸により駆動される。

(9) 簡易運転席

運転手は送信機を携帯して車両の先端に乗車し，前方監視，転轍などの業務を兼ねるため，乗車の便を考慮して簡易運転席を設けている。

(10) その他

使用条件により，前照灯減光切換制御，連結器の遠隔解放制御，ブレーキ台車用ブレーキ回路などの装備をすることができる。

6 結 言

現在，微弱電界無線機を使用したＡＴＯＲも稼動台数約240台を数えるに至った。これら多数のＡＴＯＲは，全国の製鉄所において好調裏に稼動中であり，特にその高信頼性については予期した成果が得られている。

本稿ではワンマン化に対処するＡＴＯＲについて述べてきたが，更に本ＡＴＯＲは無人化に当たってもそのまま地上の電子計算機と結合し得るように設計されており，既に一部製鉄所では，本ＡＴＯＲと地上の制御用電子計算機による無人運転も実用されている。ＡＴＯＲによるワンマン化が本格的に採用されるに至った現在，複数の機関車をワンマンで制御することのできるいっそう省力化の進んだシステムへの発展を図らねばならないと考える。

終わりに本ＡＴＯＲの開発に当たっては国内主要製鉄所の輸送計画担当各位の御指導による点が極めて多かった。ここに深く謝意を表わす次第である。

参考文献

(1) 高岡，「列車自動運転の最近の傾向」日立評論 **54**，724（昭47-８）

(2) 高岡，譲原，「産業ＤＨＬ用自動運転装置」鉄道におけるサイバネティクス利用国内シンポジウム第６回予稿集（1969）