

ナ イ ジ ェ リ ア 国 鉄 納 1,500HP デ ィ ー ゼ ル 電 気 機 関 車

1,500 HP Diesel Electric Locomotive for Nigerian
Railway Corporation

玉 津 寿 之* 森 光 顕*
Toshiyuki Tamatsu Mitsunaki Mori
小 松 辰 作** 桑 原 清 輝*
Tatsusaku Komatsu Kiyoteru Kuwabara

要 旨

ナイジェリア国鉄納めディーゼル電気機関車は45ポンド(22.3 kg/m)レールの線区に使用できるよう1+C₀-C₀+1の軸配置とし動軸軸重を10.8 tに押え、曲線通過時の横圧軽減構造を採用した結果、構内試験において等価最大横圧を2 tに押えることができた。

また駆動軸系のねじり振動の解析と実測結果について説明し、さらに近年開発した再粘着装置ADDFについて述べている。

1. 緒 言

ナイジェリアはアフリカ西海岸に位置し、人口約5,700万人でアフリカ最大の人口を擁している国である。

この国では、鉄道用動力としてはディーゼル電気機関車が主力であるが、Kano-Nguru間は45 lb/yd (22.3 kg/m) レールで許容軸重がきわめて小さいため、軸重の小さい蒸気機関車が使用されていた。図1はナイジェリア国鉄の概略線路図である。

今度、この軽軸重線区のディーゼル化が計画され、日立製作所が初めて、この仕様に合致したディーゼル機関車を製作し納入した。したがって、この機関車の設計にあたっては、レールに及ぼす影響をできるかぎり小さくし、レールの許容応力の範囲内で粘着重量の向上を図った。

また、ナイジェリア奥地は、砂漠に近いので、ダストが多く、防塵(じん)についても、徹底した注意を払っているとともに、最高記録温度110°F (43.3°C)の下においても、じゅうぶん稼働可能なよう配慮した。

一方、本機関車はフード形機関車であり、台湾、コンゴBCK鉄道納の機関車と同一形式で、これらの機関車の経験を最大限に生かし、部品の信頼性を向上するとともに保守点検容易な機関車となっている。また、最近、開発された再粘着装置が装備されているので、従来の機関車に比べて、高い粘着性能が得られ、近代技術が結集されている。

ナイジェリア国鉄より与えられた条件は12.5‰のこう配を650 tの貨車を索引して、10 mph (16.1 km/h)で走行可能ということであるが、本機関車はこの条件をじゅうぶん上回る性能を有している。

2. 一般仕様および特長

図2は機関車の外観を、図3は機器配置を、表1は一般仕様を示したものである。

性能および構造上の特長を要約すると次のとおりである。

(1) 台車の軸配置を1+C₀-C₀+1とし、レールに生ずる応力を最小にするよう設計されているので、大出力の機関車にもかかわらず45 lb/yd (22.3 kg/m)の軽軸重線区にも使用可能である(A. R. E. A.の計導法による)。

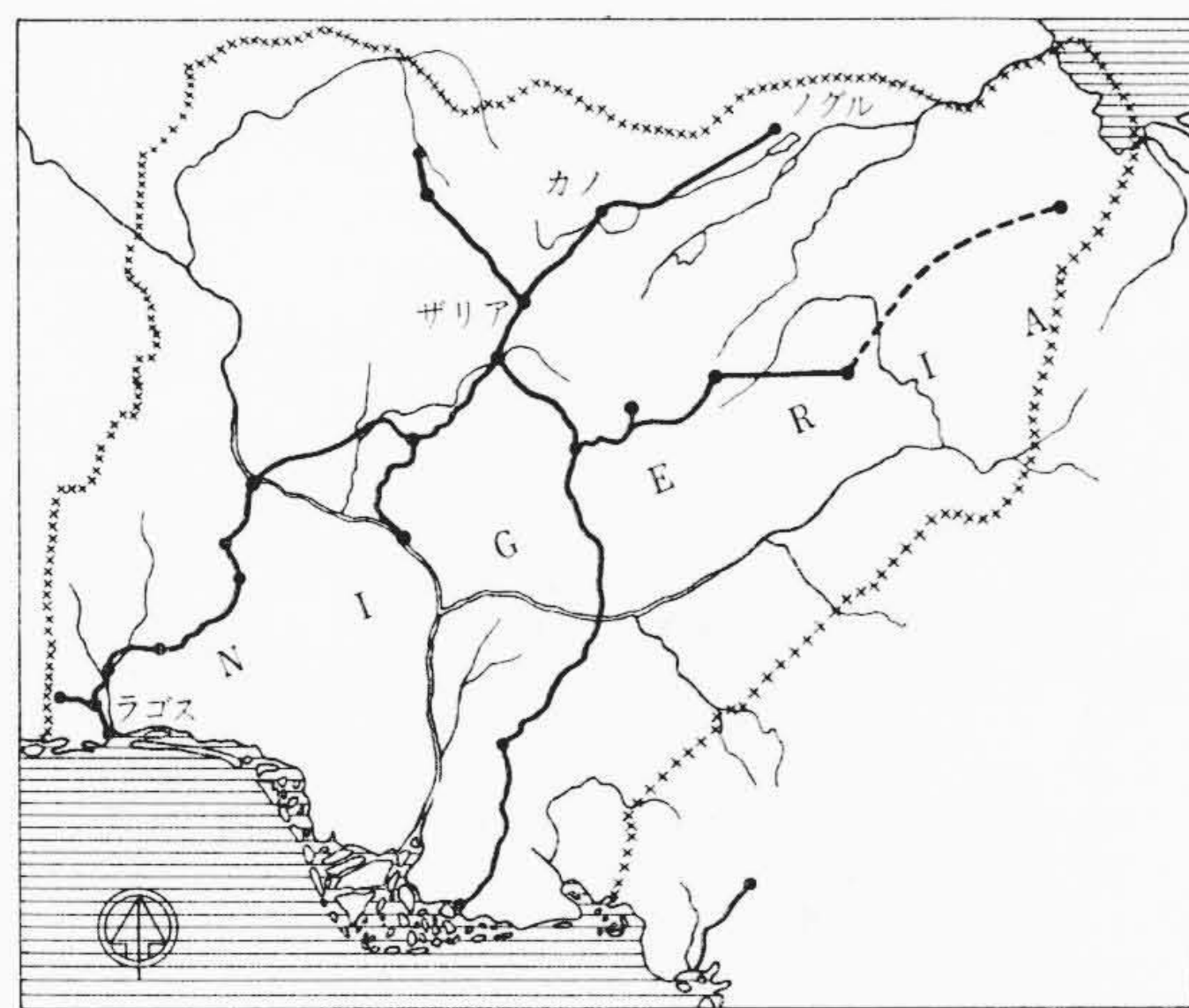


図1 ナイジェリア

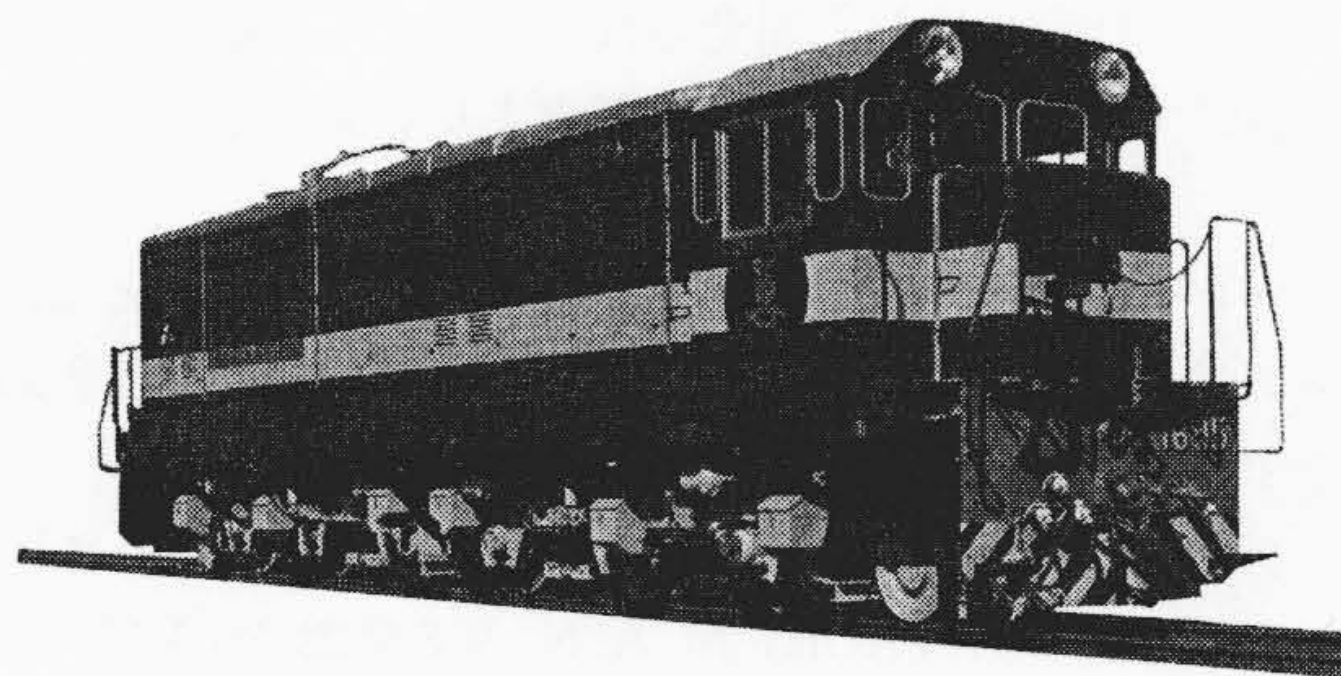


図2 1500 HP ディーゼル電気機関車

垂直荷重によるレール応力の計算結果は表2に示すとおりである。

(2) 曲線通過時、横圧によりレールに悪影響を与えないよう横圧軽減装置が取り付けられ、同時に、顧客指定の首振り量の少ないABCカプラを使用できるよう台車の回転中心は連結器寄りに移されている。

(3) 防じんに対してじゅうぶん考慮した設計となっている。

主電動機冷却用送風機、主発電機への吸気は車体側面のドアに取り付けられた50.8 mmのパネルタイプフィルタ2枚を通して行なわれる。

一方、エンジンへの吸気は50.8 mmの2枚のパネルタイプフィルタのほかに、さらにオイルバスエアフィルタを設けた2重フィルタ方式を採用し、防じんに対して万全を期している。

* 日立製作所水戸工場

** 日立製作所日立工場

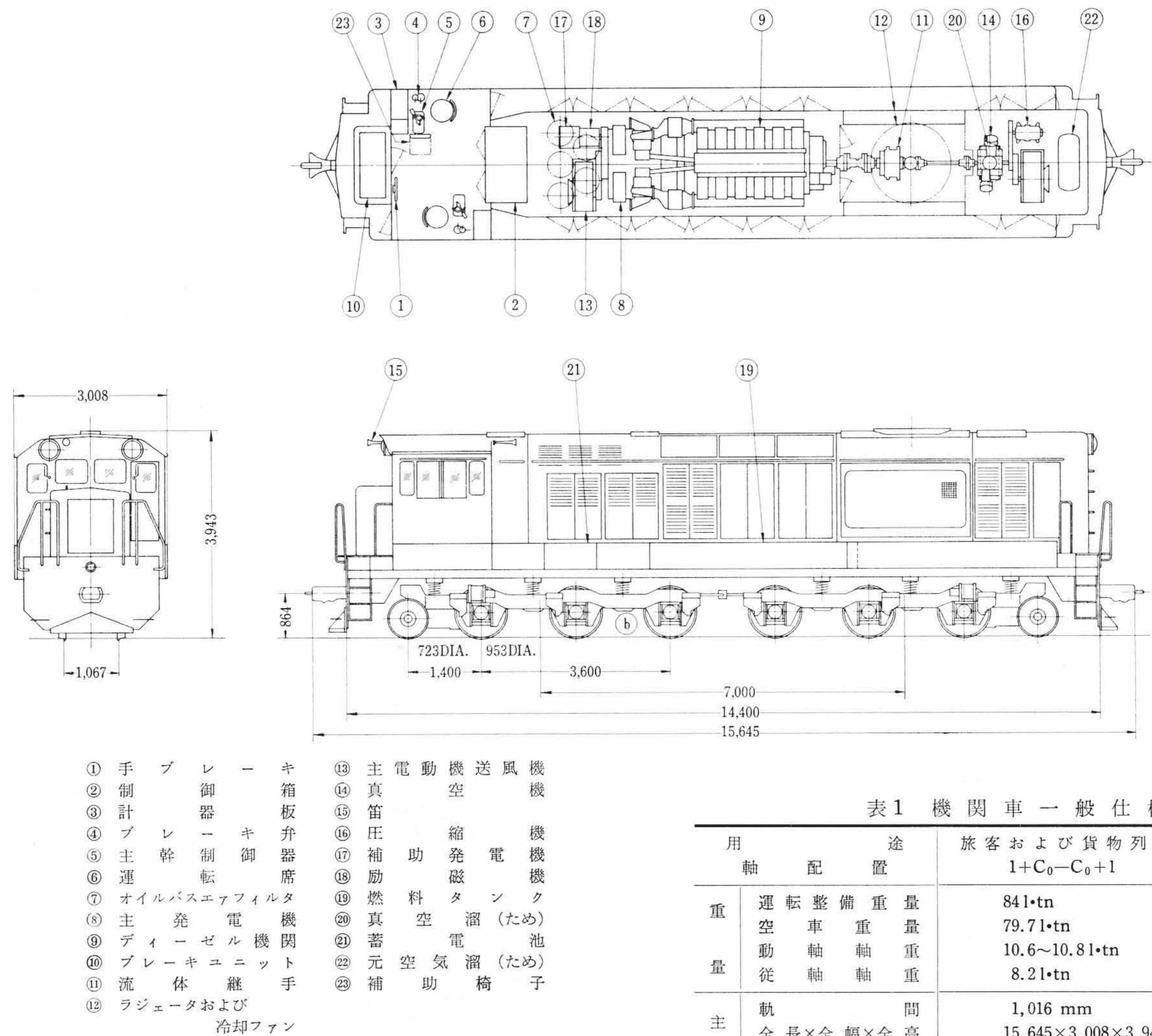


図3 外観および機器配置

(4) 日立製作所で新しく開発された電気式再粘着装置(ADDF)を取り付けているので、従来の機関車よりも高い粘着性能が期待できる。

(5) ブレーキは真空空気併用ブレーキで単弁、自弁とも、セルフフラップ式の28LV-1を使用しているので、運転操作がきわめてやりやすい。

(6) ディーゼルエンジンは他のDELにも数多く使用され、安定した実績を持つHITACHI-M. A. N. V 6 V 22/30 ATLである。現地条件を考慮して出力を1,500 HPに絞り、じゅうぶん余裕のある使い方をしている。

(7) ブレーキの弁類をユニット化して、運転室近くのショートフードに集中的に収容し、保守点検の便が図られている。また、水タンク、燃料タンク、圧縮機の水面計、油面計の配置、冷却系統、燃料系統のバルブコックの取付け場所にじゅうぶんな配慮が払われており、保守の容易な機関車となっている。

3. 台車の構造および特徴

図4は台車組立写真である。おもな特徴は、特殊な車体支持装置を有することである。

(1) 曲線走行中の台車の回転中心を台車の端側にするため、中心ピン位置では、左右方向に、自由に動ける構造とし、左右動ストッパを、第1・2軸の中間に設けている。この左右動ストッパの位置が、近似的に台車の長手方向の回転中心となる。

表1 機関車一般仕様

用途		旅客および貨物列車けん引用 1+C ₀ -C ₀ +1
重量	運転整備重量	841・tn
	空車重量	79.71・tn
	動軸軸重	10.6~10.81・tn
	従軸軸重	8.21・tn
主要寸法	軌間	1,016 mm
	全長×全幅×全高	15,645×3,008×3,943 mm
	固定軸距	3,600 mm
	動輪径	953 mm
	従輪径	723 mm
	連結器高さ	864 mm
性能	連続定格けん引力	14,150 kg
	連続定格速度	20.5 km/h
	最大けん引力	19,100 kg
	最高速度	80.5 km/h
燃料油		3,000 l 324 l
機器	・ディーゼル機関標準出力	V6V 22/30 ATL 1,870 PS/925 rpm
	・現地出力	1,500 HP/925 rpm
	・主発電機	1 台
	・連続定格	925 kW
	・主電動機	6 台
	・連続定格	135 kW
	・歯車比	70:16
	・補助発電機	1 台
	・連続定格	6 kVA
	・主電動機用送風機容量	2 台 175 m ³ /min
制御方式	・空気圧縮機容量	C-1200 1 台 1,240 l/min
	・真空ポンプ容量	3 CDV 10,000 l/min
	・蓄電池容量	アルカリ 72 セル 190 AH/5時間率
	ブレーキ装置	重連総括制御、電磁、電磁空気式制御、自動弱界磁切換、制御回路電圧 110 V
	台車様式	28 LV-1 真空、空気併用ブレーキ ねじ式手ブレーキ
車体様式	台車様式	1+C ₀ -C ₀ +1
	車体様式	鋳鋼ボギー側受支持方式 フード形単運転室

表2 垂直荷重によるレールの応力計算結果

	車輪位置, 軸距	1 (1,400 mm)	2 (1,800 mm)	3 (1,800 mm)	4 (2,000 mm)	5 (1,800 mm)	6 (1,800 mm)	7 (1,400 mm)	8
1	静輪重 (1・tn)	4.10	5.30	5.30	5.30	5.30	5.30	5.30	4.10
2	速度効果 (0.378×#1)	1.55	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	1.55
3	実輪重 (#1 + #2)	5.65	7.30	7.30	7.30	7.30	7.30	7.30	5.65
4	車輪 1 の影響	5.65	-0.208×5.65 =-1.18	-0.01×5.65 =-5.65					
	車輪 2 の影響	-0.208×7.30 =-1.52	7.30	-0.172×7.30 =-1.25	0.008×730 =0.058				
	車輪 3 の影響	-0.01×7.30 =-0.073	-0.172×7.30 =-1.25	7.30	-0.172×7.30 =-1.25	0.008×7.30 =0.058			
	車輪 4 の影響		0.08×7.30 =0.058	-0.172×7.30 =-1.25	7.30	-0.144×7.30 =-1.05	0.008×7.30 =0.058		
	車輪 5 の影響			0.008×7.30 =0.058	-0.144×7.30 =-1.05	7.30	-0.172×7.30 =-1.25	0.008×7.30 =0.058	
	車輪 6 の影響				0.008×7.30 =0.058	-1.25	7.30	-1.25	-0.073
	車輪 7 の影響					0.058	-1.25	7.30	-1.52
	車輪 8 の影響						0.0565	-1.18	5.65
5	等価輪重 (1・tn)	4.06	4.81	4.80	5.12	5.12	4.80	4.81	4.06
6	*設計輪重 (1・tn)	4.47	4.81	4.80	5.12	5.12	4.80	4.81	4.47
7	レール応力 (1・tn/in ²) (1.952×#6)	8.72	9.38	9.37	10.0	10.0	9.37	9.38	8.72

* 設計輪重は、第1, 第8車輪に対して等価輪重の 10% 増とし、他の車輪に対しては等価輪重を採用してある。

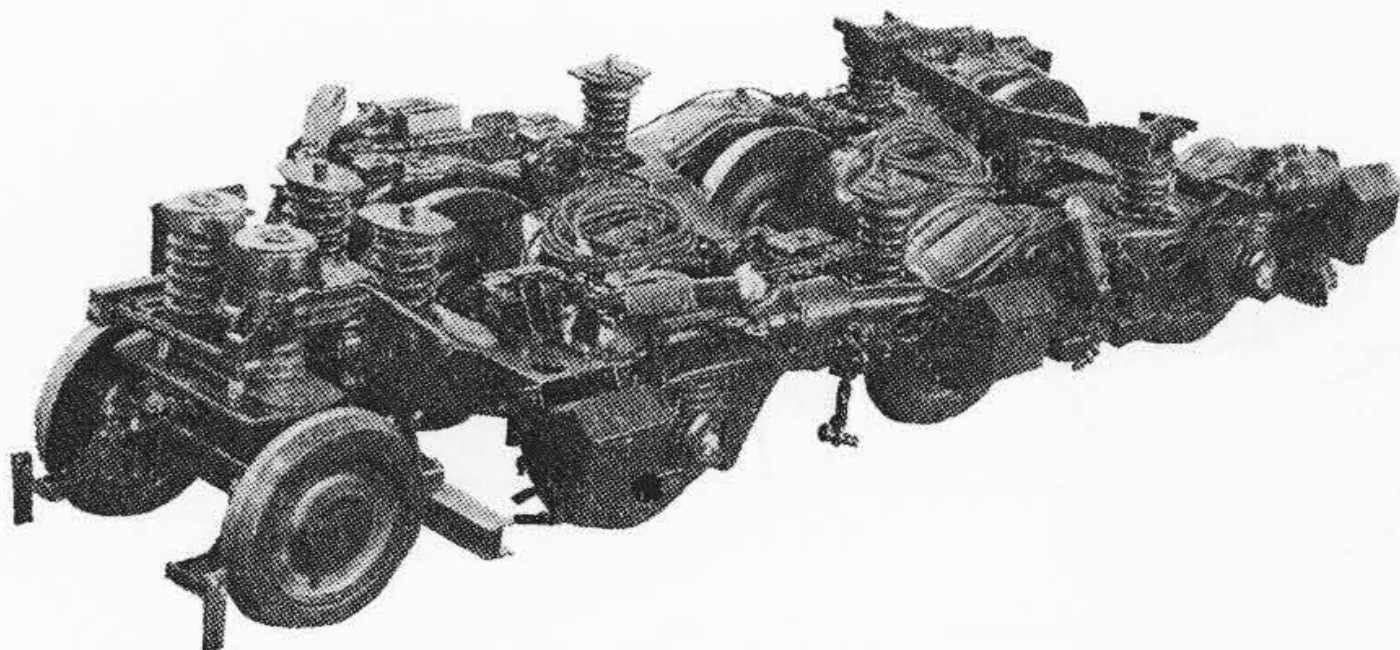


図4 ナイジェリア DEL 台車組立

(2) 台車の回転中心より最も離れた第3枕(まくら)バネ(1端側より第1・第2および第3枕バネと数える)では、曲線走行中の台車と車体間の変位が大きくなり、枕バネの横倒れでは吸収できないことがわかったため、枕バネ上にローラを設け、この変位を吸収することにした。このローラ軸の方向を、台車の回転中心に向かわせる場合には、枕バネは横倒れせず、ローラの転動のみで、変位を吸収するが、構造を簡単にするため、ローラ軸を車体の長手方向に一致させてあるので、ローラの転動と枕バネの横倒れが同時に起こるが、このときには枕バネの横倒れはわずかである。

(3) 第2枕バネでは、曲線における車体、台車間の変位は、バネの横倒れで吸収できる(変位量 100 mm)のでローラは使用されていない。横圧軽減のためには、台車の回転復元モーメントを小さくする必要があり、第2枕バネの上下にゴム座を置いて、枕バネの横剛性は0を目標として設計されている。

(4) 左右動ストッパを台車端側に設けたため、車体の左右荷重による影響を第2軸が大きいうけ第2軸の横圧が変動する。これは第1軸に、一定の横圧以上負担しない構造としたためである。第2軸の横圧の軽減のためには、左右動ストッパにかかる荷重を小さくすることが肝要で、このストッパには、通常のものより負荷重が大きく、厚いゴムを使用している。

カップラーの首振量を小さくするため、台車の回転中心を端側に配置したが、上記車体支持方式を採用することにより、台車の回転抵抗を減少させ、横圧を小さくすることができる。外国には、台車端側に心ざらを設けた例があるが台車の回転抵抗が大きい。

先台車の構造は図5に示すとおりである。台車わく下面にボルトづけされている向心棒受にピン球面軸受を介して向心棒が取り付けられ、軸箱にその他端が取り付けられている。向心棒のピンを中心として先軸は回転できる。垂直荷重は、台車わくより、軸バネ、バネ台を経て、ローラ受(上)、ローラ、ローラ受(下)軸箱、そして輪軸の順序で伝達される。ローラ受のこう配により誘発された左右方向の力は、バネ台より、アンカロッドを経て台車台わくに伝達される。EF 15 形電気機関車^(*)と同様のローラおよびローラ受を採用しているが、先軸の横圧を決定するローラ受のこう配は、EF 15 形が 1/3 であるのに対し、1/4.5 と小さくしてある。これは、最大横圧を小さくするため、第1軸と第2軸の横圧が等しくなるような条件を設け、車体の振動の影響、第1台車と第2台車間に設けた横圧軽減装置を考慮して計算した結果である。

計算に考慮した曲線通過時に台車の受ける力は図6に示すとおりである。計算の結果、第1軸、第2軸の横圧が、ともに 1.80 t であり構内試験線において、レール側で横圧測定を行なった結果、最大横圧は、第1軸で約 2.0 t である。横圧測定結果のオシログラム例は図7に示すとおりである。

4. 駆動系とねじり振動

4.1 駆動系

図3に示すように、機関室には共通台板上に組みたてられたディーゼル機関およびこれと直結された主発電機があり、補助発電機と励磁機および主電動機用送風機は主発電機のシャフトの延長軸よりベルトを経由してディーゼル機関から機械的に駆動されている。

(*) 日本国有鉄道の貨物列車用として長年にわたり標準的に製作された先台車付き 1+C₀-C₀+1 軸配置の直流電気機関車

一方、2端側はディーゼル機関の補機駆動軸よりプロペラ軸を介して流体継手に動力を伝達し流体継手内蔵のベベルギヤから垂直軸でラジエータファンを駆動している。

流体継手の入力軸はそのまま2軸側に貫通しており、この2端側出力軸からプロペラ軸を介して真空機が駆動されている。

真空機の反入力側にはVベルトプーリが取り付けられ、圧縮機と主電機用送風機を駆動している。

以上の駆動系のうち、ねじり振動に直接関係する駆動装置の相当振動系は図8に示すとおりである。

4.2 ねじり振動試験

4.2.1 測定方法

ねじり振動を駆動軸に生ずるトルクすなわち応力で測定したため、図9に示すFM式遠隔測定装置およびスリップリングを使用して、回転軸よりトルクの大きさを取り出した。これらの出力は電磁オシロおよびデータレコーダに導びかれ、トルクの大きさ、方向の確認および周波数分析に使用された。

測定点は図10に示すとおりである。

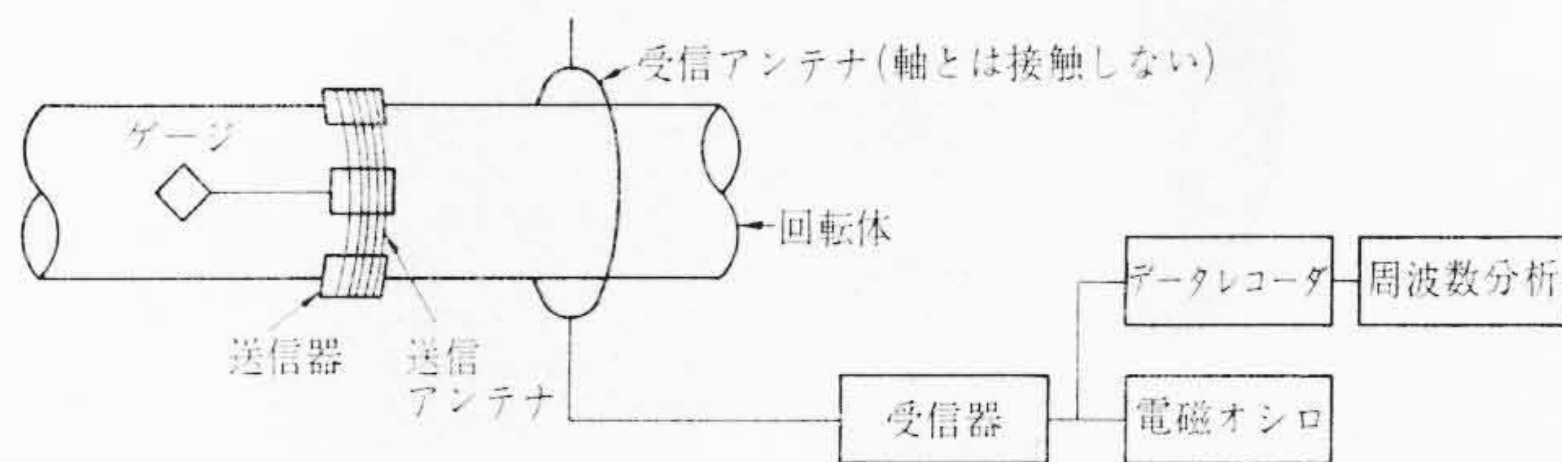


図9 FM式遠隔測定装置

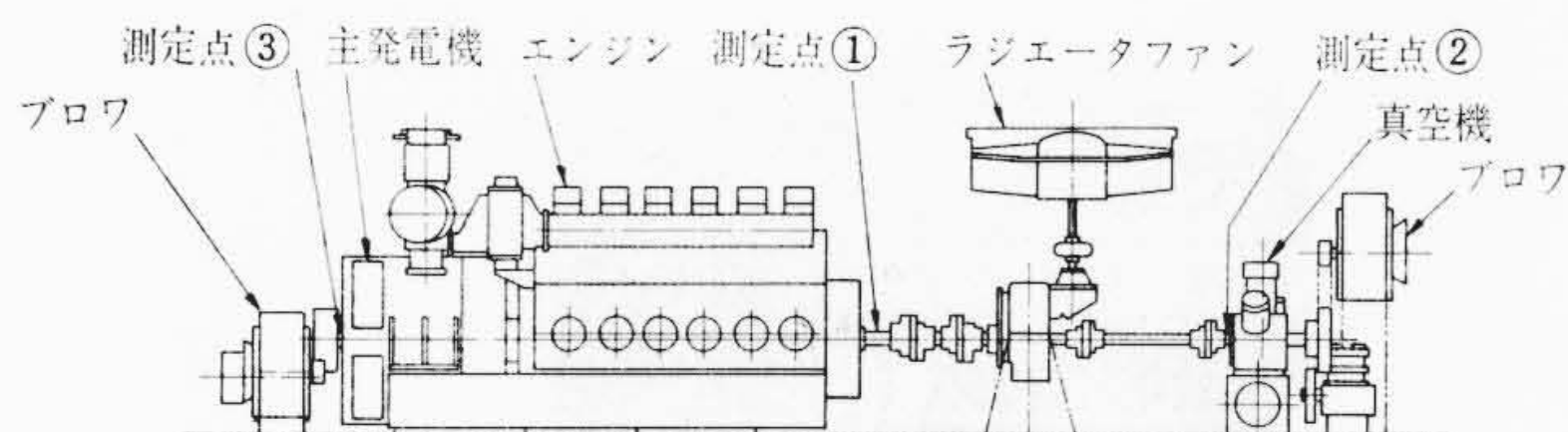


図10 ねじり振動測定点

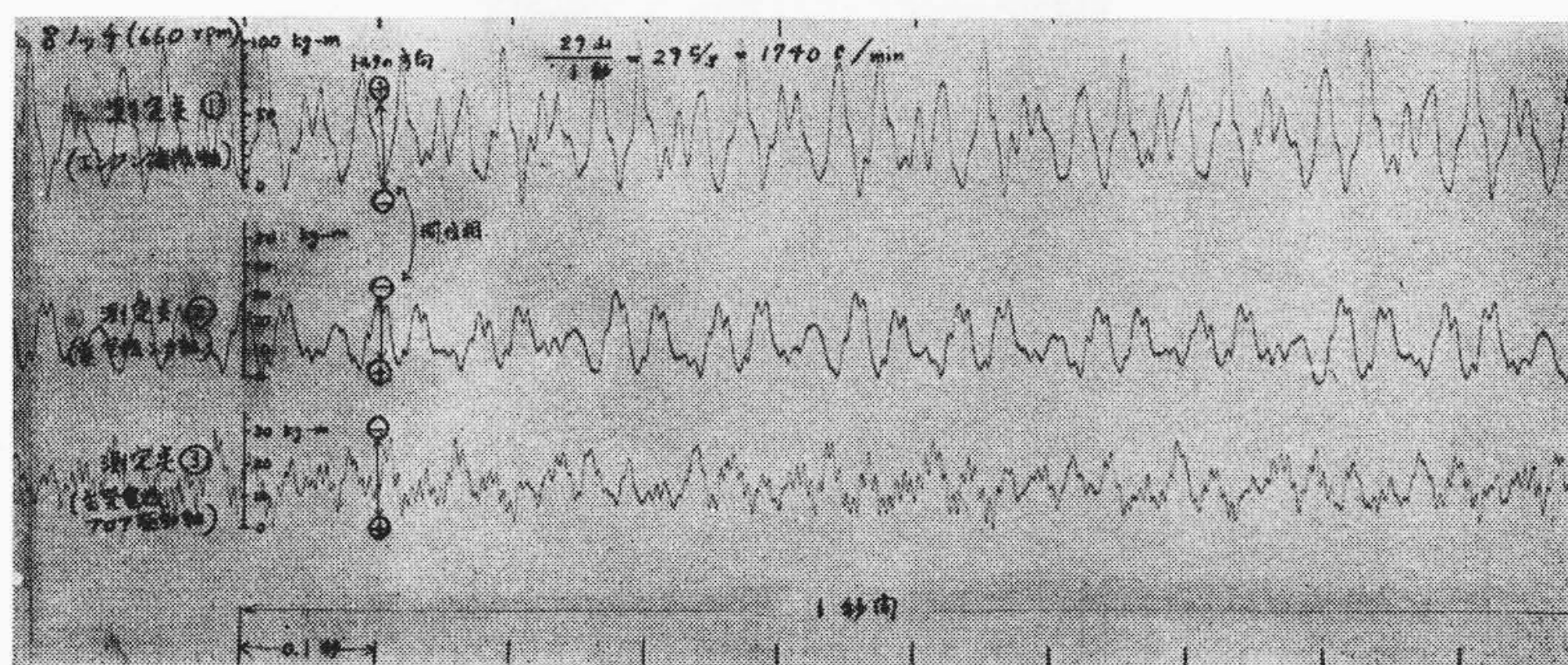


図11 ねじり振動測定オシログラム一例

4.2.2 ねじり振動試験結果と検討

図11は振動測定オシログラムの一例、図12は周波数分析結果を示したもので、8ノッチ 660 rpmで3節、2.5次に共振点があるが、減衰が大きいので実害がないことが判明した。この結果は電子計算機による計算結果とよく一致している。

5. ディーゼル機関

ディーゼル機関車は、HITACHI-M. A. N V 6 V 22/30 ATL 形である。表3は機関の一般仕様を、図13は主発電機と組合せた外観を示したものである。

機関冷却水系統は機関ならびに過給機を冷却するための主系統と過給空気ならびに潤滑油を冷却するための副系統とに分かれており、両系統に対してそれぞれ独立の冷却水ポンプを備えている。

冷却水温度は、温度スイッチにより、ラジエータファン駆動用流体継手の油を充排し、ファンの駆動を制御することにより自動的に調節される。

機関潤滑油系統は圧力計など一部の部品を除き、オイルフィル

表3 ディーゼル機関仕様

名称	HITACHI-M. A. N V 6 V 22/30 ATL
形式	水冷 4サイクル 排気ターボ過給機および過給空気中間冷却器付
燃焼方式	直接噴射式
シリンダ配列	2×6 45° V形
シリンダ数	12
シリンダ径 (mm)	220
ピストンストローク (mm)	300
シリンダ容積 (ltr)	137
標準定格出力	1,870 PS/925 rpm
現地定格出力	1,500 HP/925 rpm
平均有効圧力(標準定格) (kg/cm ²)	13.3
平均有効圧力(現地出力) (kg/cm ²)	10.7
ピストン速度 (925 rpm)	9.25 m/s
ガバナ	Wood ward PG-EV 形電磁油圧式
起動方式	主発電機を直流始動電動機として使用

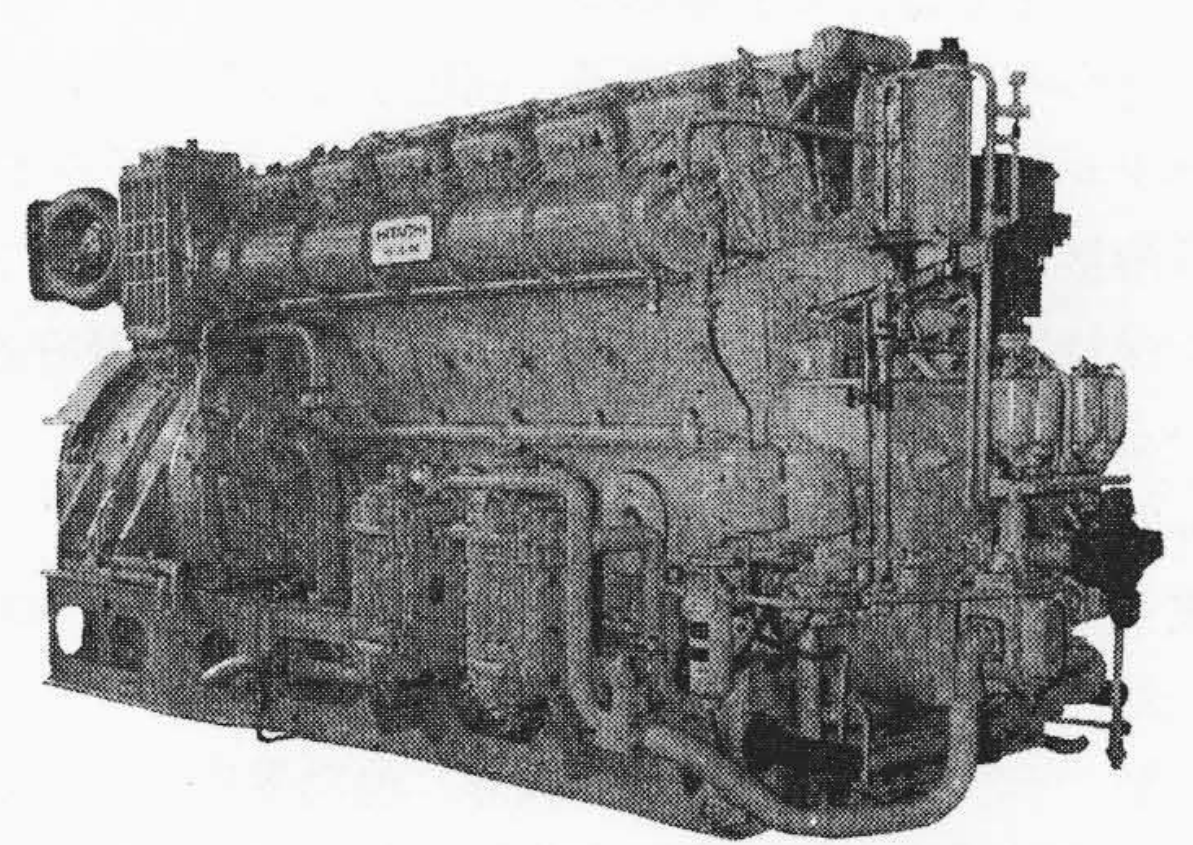


図13 HITACHI-M. A. N V 6 V 22/30 ATL 機関と主発電機組立

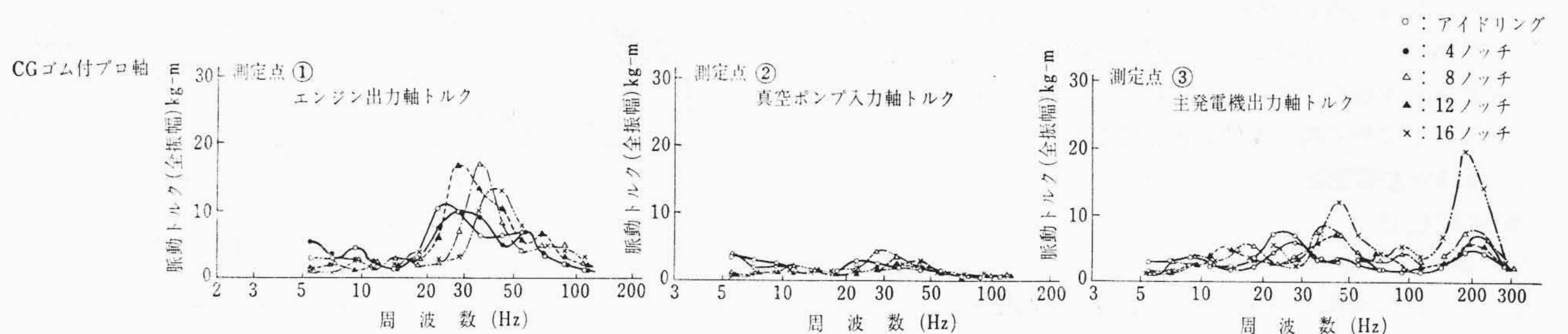


図12 周波数分析結果

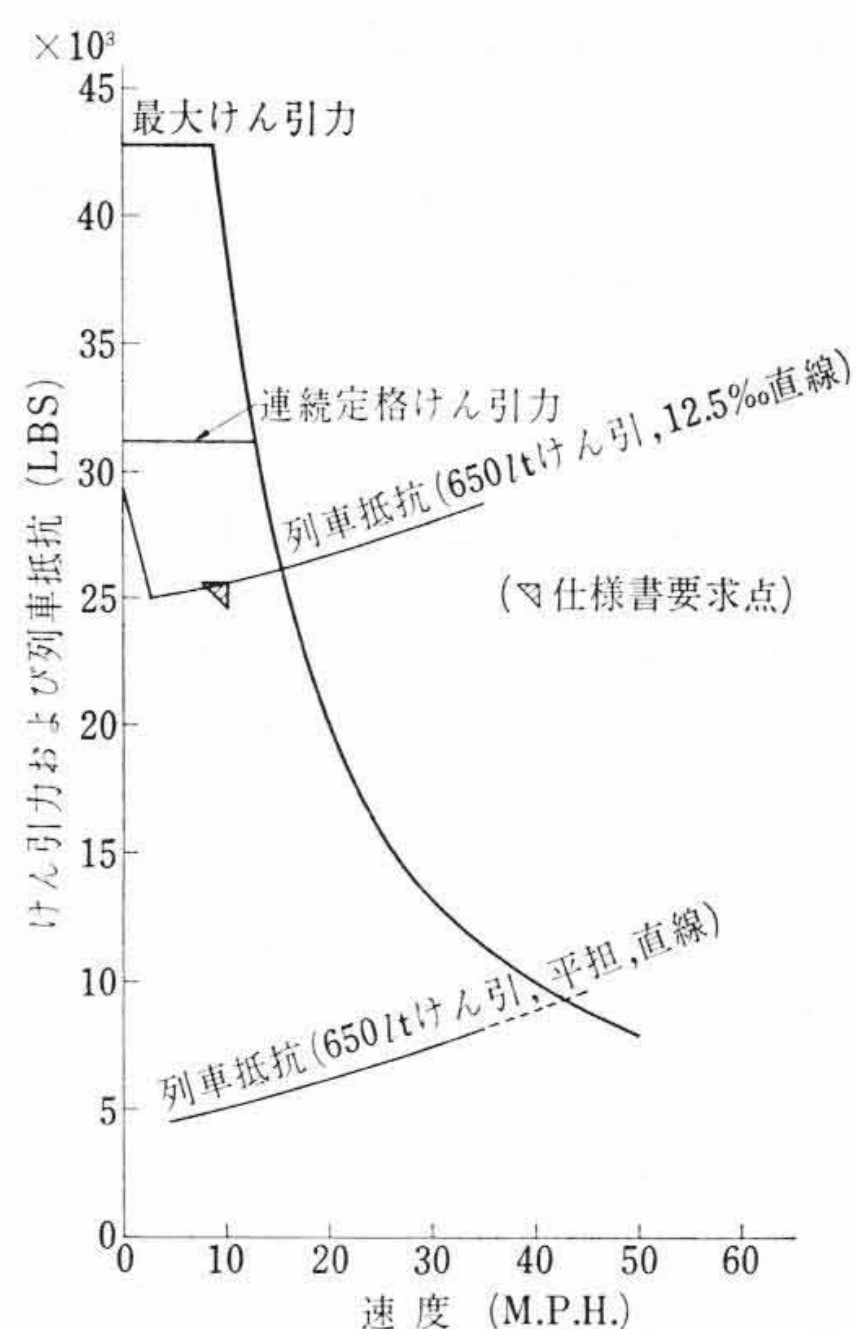


図14 機関車特性曲線

タ、オイルクーラなどの主要な機器はすべて共通台板まわりに取り付けられている。予潤滑は手動ポンプによって行なわれる。

6. 回 転 機

6.1 定格の選定

機関出力1,500 PSのときの機関車特性曲線を示したのが図14である。機関車特性はHITACHI-M. A. N標準形エンジンを使用することにより、顧客要求のけん引条件、すなわち12.5%区間を貨車650 t・tnをけん引し速度10 mph以上で走行可能の条件に対してじゅうぶんな余力を有している。

ナイジェリアは基準周囲温度が43°Cときわめて高く、主発電機と主電動機に対してはH種絶縁の指定があるため、H種フィルム絶縁を採用し、耐熱性の向上を図った。温度上昇限度は「BS-18 deg」(主発電機はさらに機関室の温度上昇を考慮して「BS-28 deg」)である。

以下に主発電機と主電動機について概要を述べる。

これらの回転機には電機子、固定子ともH種フィルムを使用したエポキシ樹脂絶縁とし、電機子コイルと整流子ライザ部の接続にTIG溶接を採用し、さらに、エポキシガラスバインド、エポキシブラシ保持器絶縁棒などを使用し、信頼度向上と保守の簡易化を図っている。

6.2 920 kW 主発電機

主発電機仕様

形 番 号 HI-506-Fr

形 式 開放自己通風形、他励界磁、起動直巻、補極付

連続定格 920 kW, 590 V, 1,560 A, 925 rpm

最高電圧 890 V, 最大電流 2,000 A

図15は主発電機の外観を示したものである。本機はコンゴK.D.L.(旧B.C.K.)鉄道納め1,500 PSディーゼル電気機関車用920 kW主発電機⁽²⁾を基本としたものであるが適正な補極形状、装荷配分などにより補償巻線を廃止するとともにロッカー装置のギヤ部分をテフロンベアリングに変え構造を簡易化してある。

6.3 135 kW 主電動機

主電動機仕様

形 番 号 HS-281-Ar

形 式 開放他力通風形、直巻界磁、補極付

連続定格 135 kW, 295 V, 520 A, 500 rpm (全界磁)

最弱界磁 30% F, 風量 55 m³/min

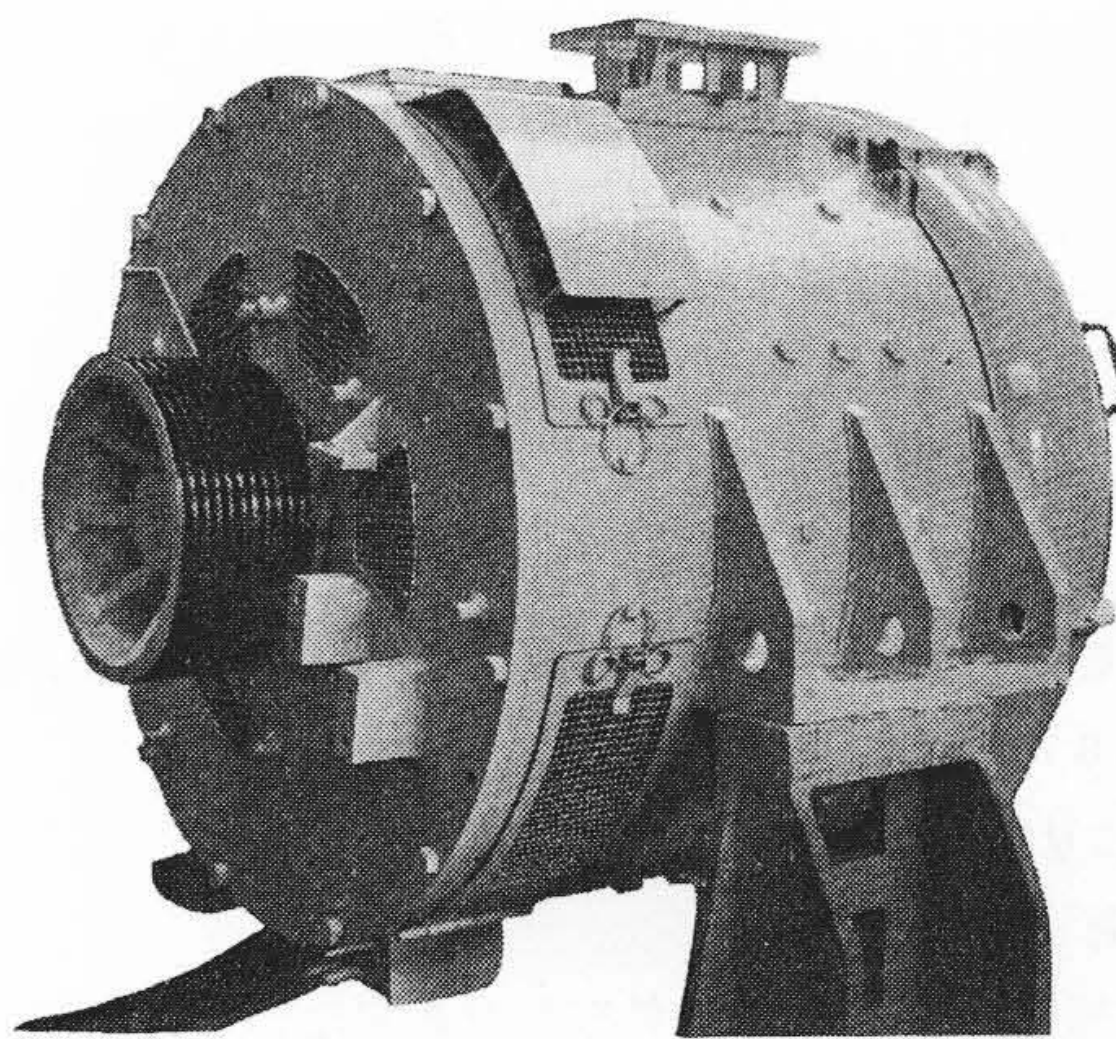


図15 920 kW 主発電機

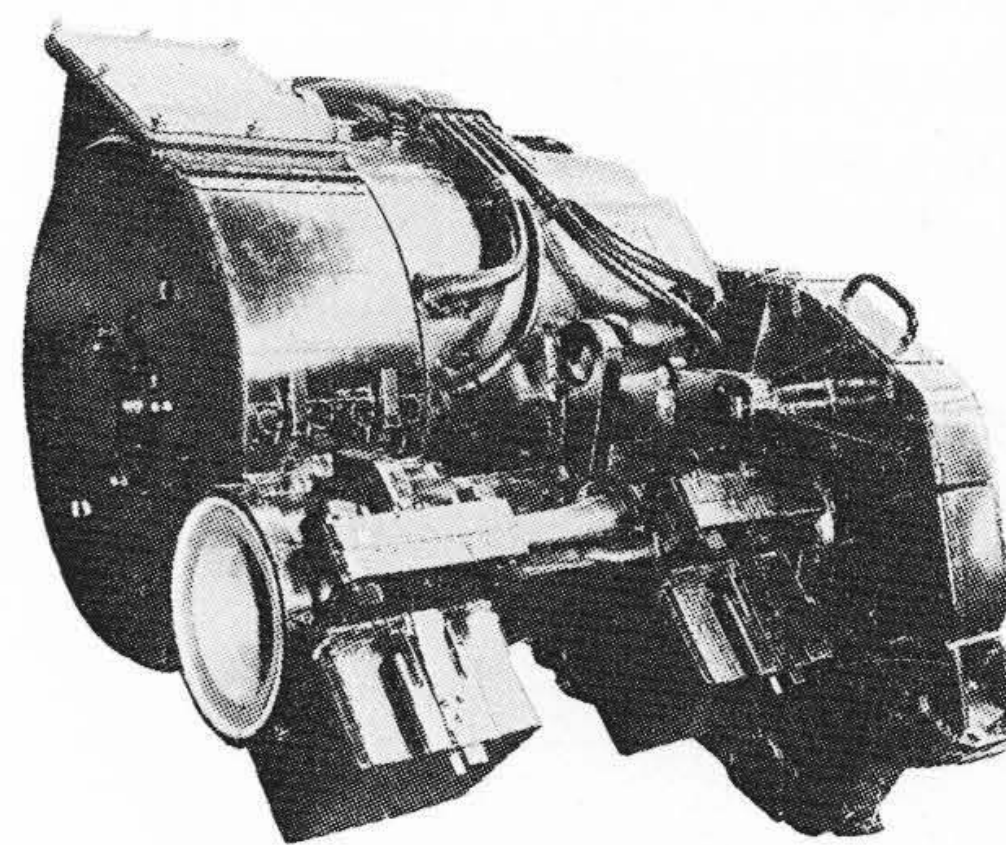


図16 135 kW 主電動機

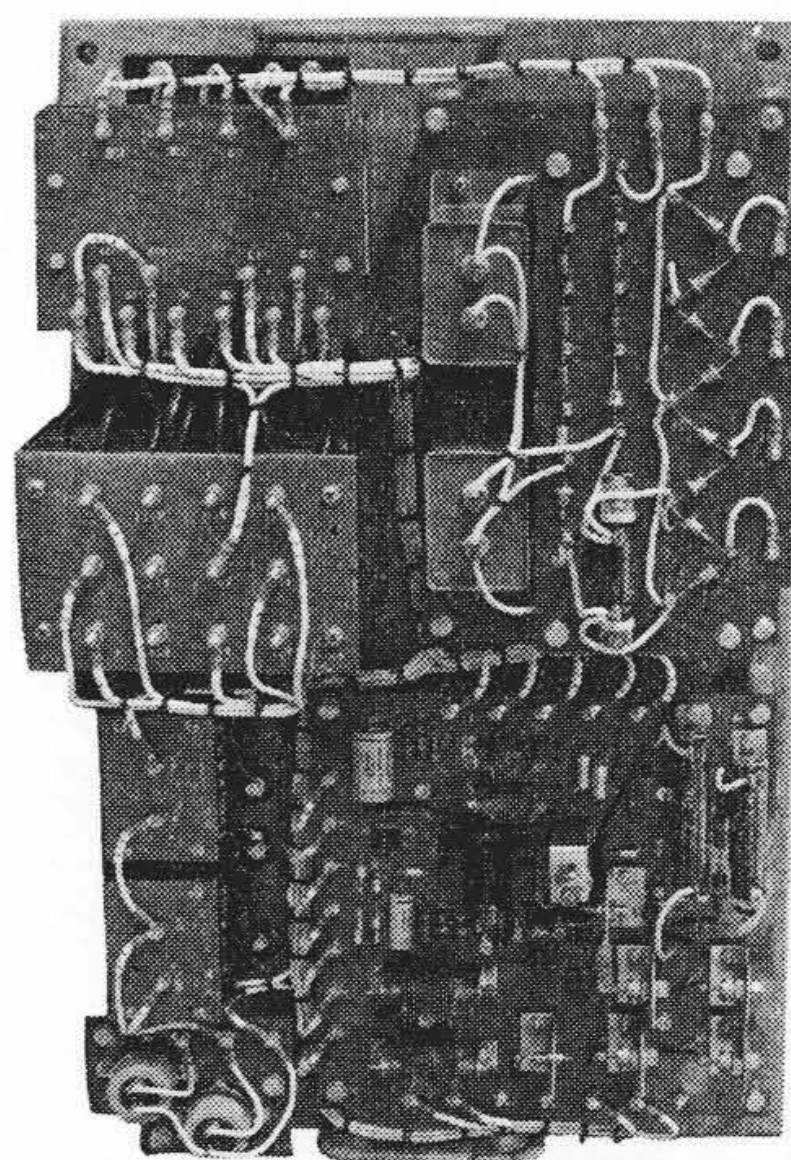


図17 空転再粘着装置

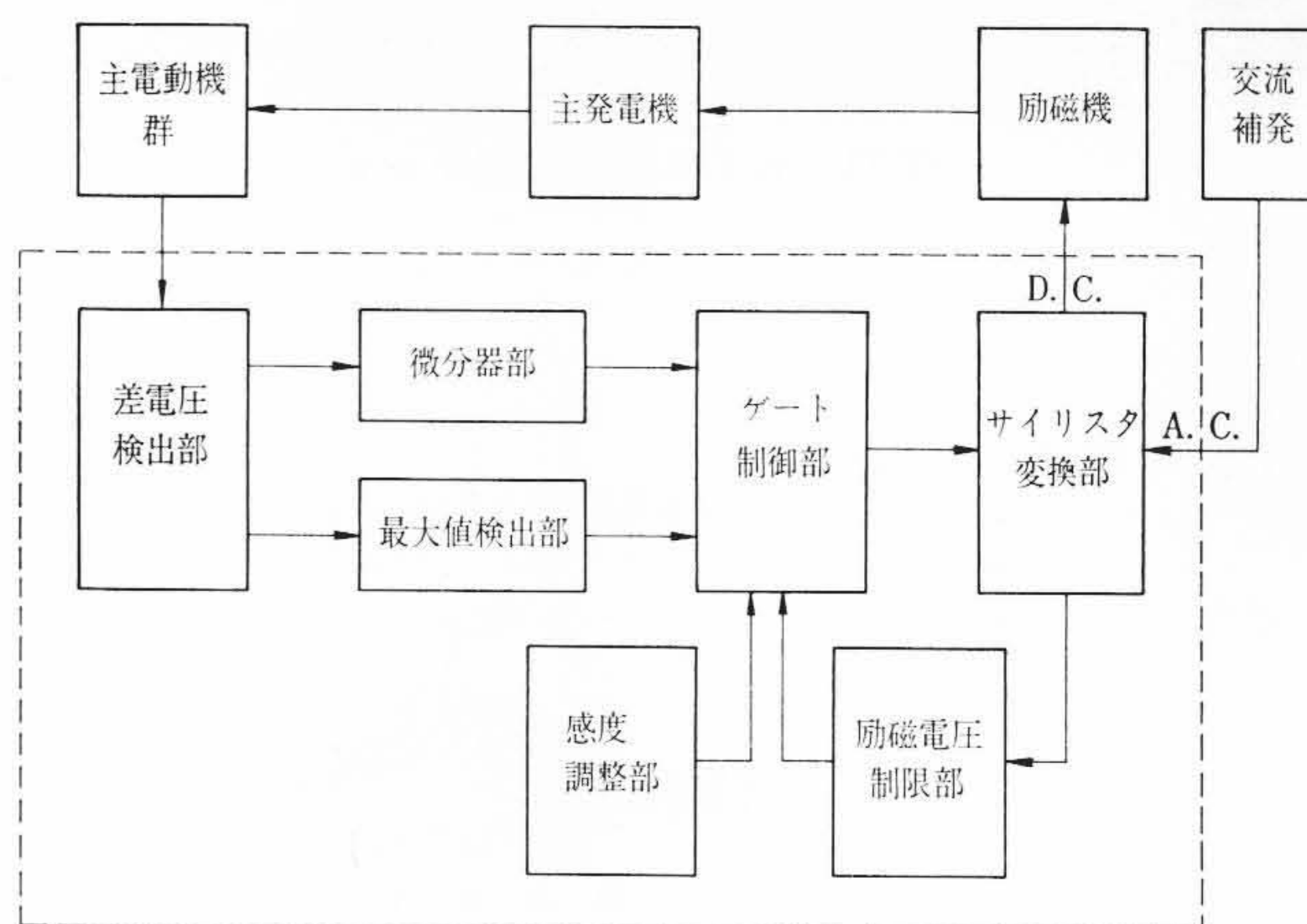


図18 ADDF ブロックダイアグラム

図 16 は本機の外観を示したものである。本機は防じん対策として負荷側軸受部を主電動機の冷却風の一部で加圧し、ギヤコンパウンドの侵入を防いでいる⁽²⁾。軸受部はパック式軸受構造^(*)とすることにより 3 年間無給油、無分解で運転可能である。また、アクスルメタルの給油装置としては従来から多く使用されているフェルト給油具はフェルト押し機構が複雑であり、長期間使用するとピン部の摩耗によりトラブルの原因となる場合があるので使用されずこの点を改良した WOOL PAD 式給油具を採用し給油具、アクスルボックスの構造を簡易化してある。

7. 制御保護装置

制御装置および器具は、多くの輸出車両ですでに実績のあるものが採用されている。しかし、目新しいものとしては次に述べる空転再粘着装置がある。

この装置は、ADDF (slip suppressor by Automatic Differential Difference Feedback method) の略称で呼ばれており、サイリスタなどの半導体を使用した高性能の再粘着装置である。

図 17 は、この装置の外観を、また図 18 は、このブロックダイアグラムを示している。

通常、この装置は、励磁機他励界磁に一定の電圧を供給しており、もし空転が発生すると、この供給電圧を絞り主発電機から主電

^(*) 特許、実用新案申請中

動機に与えられる電力を抑制し、空転を再粘着させる機能を持っている。

空転の検出は、6 個の主電動機の端子に現われる電圧の差の変化を微分することにより行なわれる。したがって、空転は、発生初期に素早く検知され、直ちに抑制されるので、空転によるけん引力の損失は最小に限定される。

実験データの検討結果、この装置は、従来方式に比べ、その期待粘着係数は 20% 増しとなることが推定されており、現地における機関車の営業運転にて、その再粘着性能が好評を博している。

8. 結 言

本機関車の図面承認、および検査はイギリスのコンサルタント会社クラウン・エイジェントによって行なわれ、その立会検査に合格したのち、46 年 4 月現地に向け船積みされた。

その後現地で調整も終わり、順調に稼働中である。ナイジェリアでは従来、アメリカおよびイギリスなどの機関車だけが使用されていたが、今度日本より現地条件をじゅうぶん満足する機関車が納入されたことは、今後ナイジェリア国鉄への車両進出に好結果を及ぼすものと期待する次第である。

参 考 文 献

- (1) 小泉ほか：日立評論 別冊 40 (昭 36-4)
- (2) 渡辺ほか：日立評論 51, 1106 (昭 44-12)



新 案 の 紹 介



登録実用新案 第 904596 号

六 反 弘 道・中 尾 敬

デ ィ ー ゼ ル 動 車 用 排 気 出 口 部

この考案は、排気ガスを屋根上に排気させるようにしたディーゼル動車における排気出口部に関するものである。

従来この種ディーゼル動車においては、ディーゼルエンジンの排気管は直立して屋根に貫通するように設けられており、したがって熱膨張による熱応力の発生、雨滴の排気ダクトへの侵入ならびに断熱効果の不良などの欠点があった。

この考案は、このような欠点を除去したもので、図 1 はその構造を示したものである。

排気ガスは実線矢印のように排気管 1、排気管受 5 および排気出口 8 を経て車両上部中央方向に排出される。この際排気管 1 上端は排気管受 5 にしゅう動可能になっているので熱膨張による熱応力は発生せず、幅(ふく)射熱は断熱材 3 により吸収され、かつ断熱材 3 と排気ダクトカバー 2 との間の空気は常時流通して点線矢印のように通路 4、10 を経て外部に排出されるので、排気ダクトカバー 2 外部表面上の温度は高くなることはない。また雨滴や洗車時の水などは排気管 1 にほとんど侵入することなく、排気出口 8 より侵入した雨滴はドレン抜 9 により下方に排出され、一方通路 10 にはいった雨滴は雨樋(あまどい) 11 から排出される。

この考案によれば、排気管に熱膨張により熱応力が発生するのを防止でき、排気管の断熱効果が向上し、かつ雨水が断熱材にかからないので断熱材の寿命が長くなるなどの効果がある。

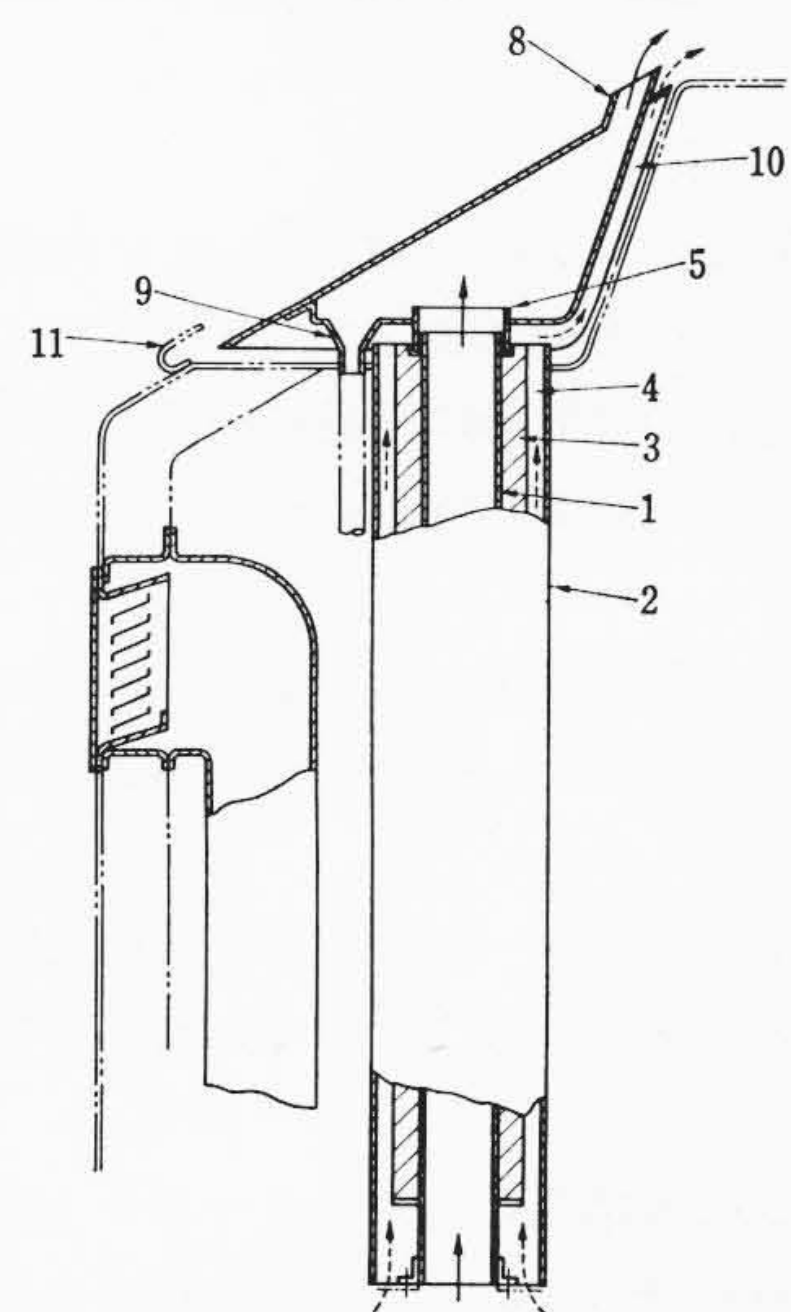


図 1