

# 日立路面電车用カルダン台車について

山 田 一 男\*

## Hitachi Cardan Trucks for Street Car

By Kazuo Yamada  
Kasado Works, Hitachi, Ltd.

### Abstract

On the basis of manufacturing experience with the Type KL-2b Vibration-free Truck supplied to the Yokohama Municipality some time ago, Hitachi, Ltd. has manufactured recently for the first time and on a trial scale the Type KL-4 Cardan Truck provided with the Cardan Drive Device to the order of the Nagoya City Communication Bureau, and successively the Type KL-5 Cardan Trucks to the order of the same Bureau and of the Tosa Dentetsu K.K.

The performance characteristics of Hitachi Cardan Trucks summarized from the test results of the Type KL-4 Trucks are as follows:

- (1) Acceleration rate is 2.6 km/h/s, 2-2.5 times as large as the value common to the conventional type.
- (2) Reduction in vibration is as follows:

In vertical direction .....	20% less
In transverse direction.....	50% less
In high frequency drive .....	30 to 45% less
- (3) Decrease in noise averages from 5 to 8 phons, it being particularly noticeable in outside-of-the body noise at high speed drive.

These figures satisfy to the full the present requirements for the levelling-up of the schedule speed, the improvement of riding quality, the noise prevention in city areas, promising thereby a bright future for its application.

### 〔I〕 緒 言

日立製作所が去る昭和 25 年, 横浜市交通局との共同研究によつて完成した KL-2b 型防振台車<sup>(1)</sup>は, 新しい路面電车用台車のあり方を方向づけるものとして, 斯界に貴重な一石を投じたが, われわれはさらに KL-2b 型の経験を基にして, 新しくカルダン軸駆動装置を採り入れたカルダン台車の研究に着手した。その目的とするところはつきのごとくである。

- (1) 高加, 減速度の採用による表定速度の向上
- (2) バネ下重量の軽減
- (3) 振動および騒音の減少

\* 日立製作所笠戸工場

- (4) 台車の軽量化
- (5) 保守維持費の逡減

しかして, 本台車で最も重要な部分は, 電動機および駆動装置である。したがつてこれが設計製作にあつては慎重を期し, 昭和26年8月以来, 日立製作所の総合技術を発揮すべく社内の各専門工場間で数次にわたつて検討が続けられた。この結果に基き, 27年3月名古屋市電を対象とした KL-4 型カルダン台車の設計に着手, 27年台車完成, 各種の工場内試験を経て翌 28 年5月名古屋市交通局に納入された。そして9月運輸技術研究所が中心となり, 各種の性能試験を実施した結果, 優秀な成績をおさめ所期の目的を達成することができた。

さらに10月, 土佐電鉄より KL-5 型カルダン台車1

輛を受注、29年5月完成納入された。また名古屋市交通局より KL-4 型の実績に基き、29年1月新車用台車として KL-5 型 10 輛の発注をみ、9月を納期に現在鋭意製作中である。ちなみに KL-4 型は、我国最初の路面電车用カルダン台車として、斯界の注目を浴び、さらに KL-5 型は路面電车用としては、始めての大量発注であり、これまた斯界注目のうちにその完成が待たれている。

本稿は KL-4 型、KL-5 型（土佐および名古屋）の構造を説明し、あわせて KL-4 型の性能試験の結果を述べたものである。

なお郊外電车用としては 75 kW カルダン軸式駆動装置の試作を完了したが、これについては稿を改めて発表することとする。

## 〔II〕 カルダン軸式駆動装置

### （1）釣掛式駆動装置

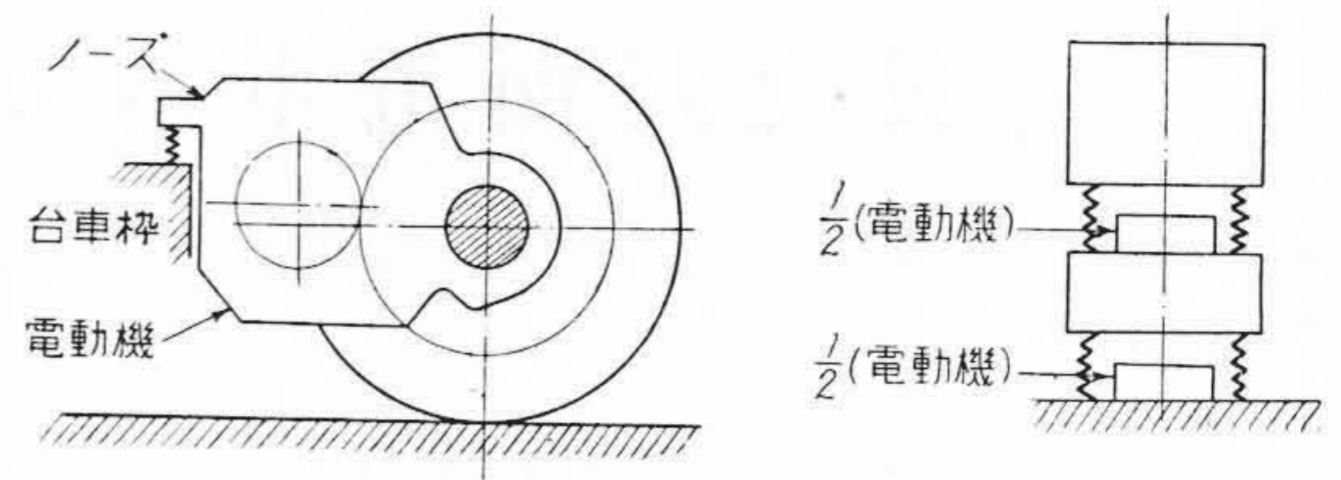
従来ほとんどの電車で採用されている駆動装置であつて、第1図に示すごとく、電動機の外枠の一端に軸受を備えて車軸を抱き、他端の突起（ノーズ）をバネを介して台車枠の一部に載せているものである。すなわち、電機子軸は車軸に平行しておかれ、電機子軸の一端に取付けられた小歯車から、車軸に取付けられた大歯車に動力を伝えるものである。この方式が広く採用されているのは、構造簡単で大型の電動機でも台車内に収められるからであるが一方、

- （1） 歯車の噛合が不正確になるためモジュールを大きくとらねばならないので、歯数の制限を受けると同時に歯車箱の軌条面との最小距離を保つため、大歯車の直径すなわち歯数の最大値が定められる。したがつて歯数比が高くとれないために、電動機が低速となり（1,000 rpm 程度）形状大きく重量が重くなる。
- （2） 歯車の噛合に無理な力がかかりやすいので、電機子軸を折損しやすい。
- （3） 電動機の約半分がバネ下重量となるので、運転速度が増すにしたがつて軌道に悪影響を与える。
- （4） 軌条による衝撃をそのまま受けるために、歯車や電動機を損傷しやすい。

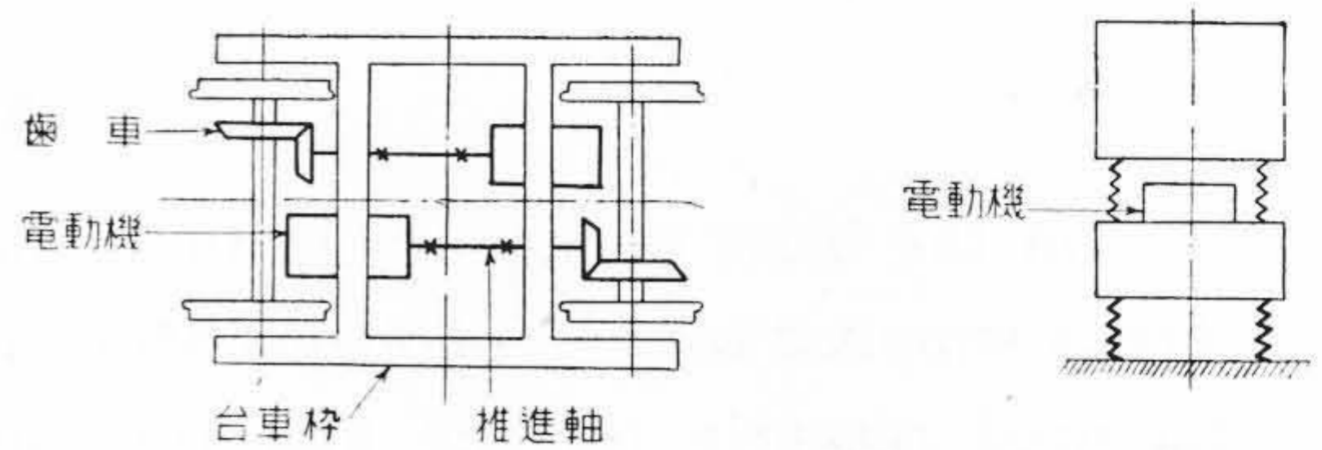
などの欠点を有している。

### （2）カルダン軸式駆動装置\*（カルダンドライブ）

カルダン軸式駆動装置は釣掛式が電動機を車軸と台車枠で支えているのに対し、台車枠に直接取付け、電機子軸と駆動歯車とを自在接手を有する推進軸で連結したものである。すなわち、第2図に示したごとく、台車枠に車軸に対して直角方向に取付けられた電動機から、推進軸歯車を経て車軸へ動力が伝えられる。この場合、歯車



第1図 釣掛式駆動装置  
Fig. 1. Nose-Suspension Type Driving Device



第2図 カルダン軸式駆動装置  
Fig. 2. Cardan Driving Device

としては直歯若くは捩れ歯傘歯車、またはハイポイドギヤが用いられている。

カルダン軸式駆動方式は、最初欧州において採用されたが、その後アメリカにおいて P.C.C. 車\*\*の台車に採用されてから広く使用されるにいたつた。我国でも最近軽量高速の電動機の採用が可能となり、電車にもこの方式が採用されるようになってきた。その特長はつぎの通りである。

- （1） 歯車は電動機自体の慣性力を受けないこと、歯の噛合が確実に保れるため、歯形が小さくなり歯数比が大きくとれる。
- （2） したがつて高速軽量の電動機の使用が可能となり、台車重量を増すことなく各軸駆動が可能となり、加速減速度が高くとれる。
- （3） 電動機は台車枠のみに支持されるため、釣掛式に較べてバネ下重量が減少し、台車および軌道の振動を緩和する。
- （4） 減速歯車として捩れ歯傘歯車、ハイポイドギヤなどを使用するから、噛合が円滑で騒音が小さくなる。

\* 自在接手を別名カルダン接手 (Cardan's Joint) ともいい、これからカルダンドライブの名が生れ、カルダンドライブを採用した台車をカルダン台車といつている。

\*\* この頃アメリカでは自動車の進出に、路面電車が圧倒されていたが、この対策として自動車に匹敵するような電車の出現が望まれ、関係者が委員会を作つて試作研究を続けた。この委員会の名称を The Electric Railway President Conference Committee といひ、その頭文字をとつて P.C.C. の名が生れた。

第1表 電動機重量比較  
Table 1. Comparison of Motor Weight between Nose-Suspension Type and Cardan Drive Type

	釣掛式	カルダン式
製造所	各社	日立
型式	SS-50	HS-503 Arb
用途	路面電車汎用台車	路面電車 KL-5型 カルダン台車
出力 (HP)	50	40
回転数 (rpm)	820	1,600
歯数比	4.2	7.86
重量 (kg)	900	320
馬力当り重量 (kg/HP)	18	8
馬力当り重量比	1	0.44

第1表は釣掛式とカルダン式の電動機重量の比較、第2表は台車重量の比較を示す。

(3) 起動加速度の向上

起動加速度および減速度は電気車輛の運転特性上重要な役割を占める。すなわち一般に高加速度、高減速度を採用することによつて表定速度を上昇し、ひいては電力消費量を減少し得るので、経営合理化上大なる利益がある。ことに駅間距離の短い場合および路線状況により最高速度が抑えられている場合に表定速度を上昇するためには特に高加減速度とする必要がある。

かかる見地より最近路面電車はもとより郊外電車においても次第に高加減速度が採用される傾向にあり、P.C.C. 車のごときは最高 7km/h/s であり、またニューヨーク地下鉄では 4 km/h/s と発表されている。

日立製作所においても平田氏がこの問題を探り上げられ、すでに本誌に論文を公表<sup>(2)</sup>されており、また前述の KL-2b 型防振台車を使用した横浜市電 1500 型電車もかかる観点から比較的高加速度を採用している。

しかして起動加速度の向上についてはいろいろの問題があるが<sup>(2)</sup>、今これを粘着重量および動輪滑動の点から考えてみると、路面電車の場合、横浜市電における実験によれば<sup>(3)</sup>、自重 17t、荷重 6t の車輛で 50 HP 電動機 2 箇の場合、2.9 km/h/s で車輪がスリップし始め 2.2 km/h/s までスリップし続けた。

すなわち安定な加速度は 2.2 km/h/s 以下であり、2.9 km/h/s 以上の加速度は得られない。これに対し、25 kW 電動機 4 箇では 3.2 km/h/s までスリップは全然なかつたが、これ以上の加速度は電動機容量上測定していない。

以上から起動加速度を上昇せしめるためには、電動機を各軸に設けて、粘着重量を増し起動牽引力を増加せし

第2表 台車重量比較  
Table 2. Comparison of Truck Weight

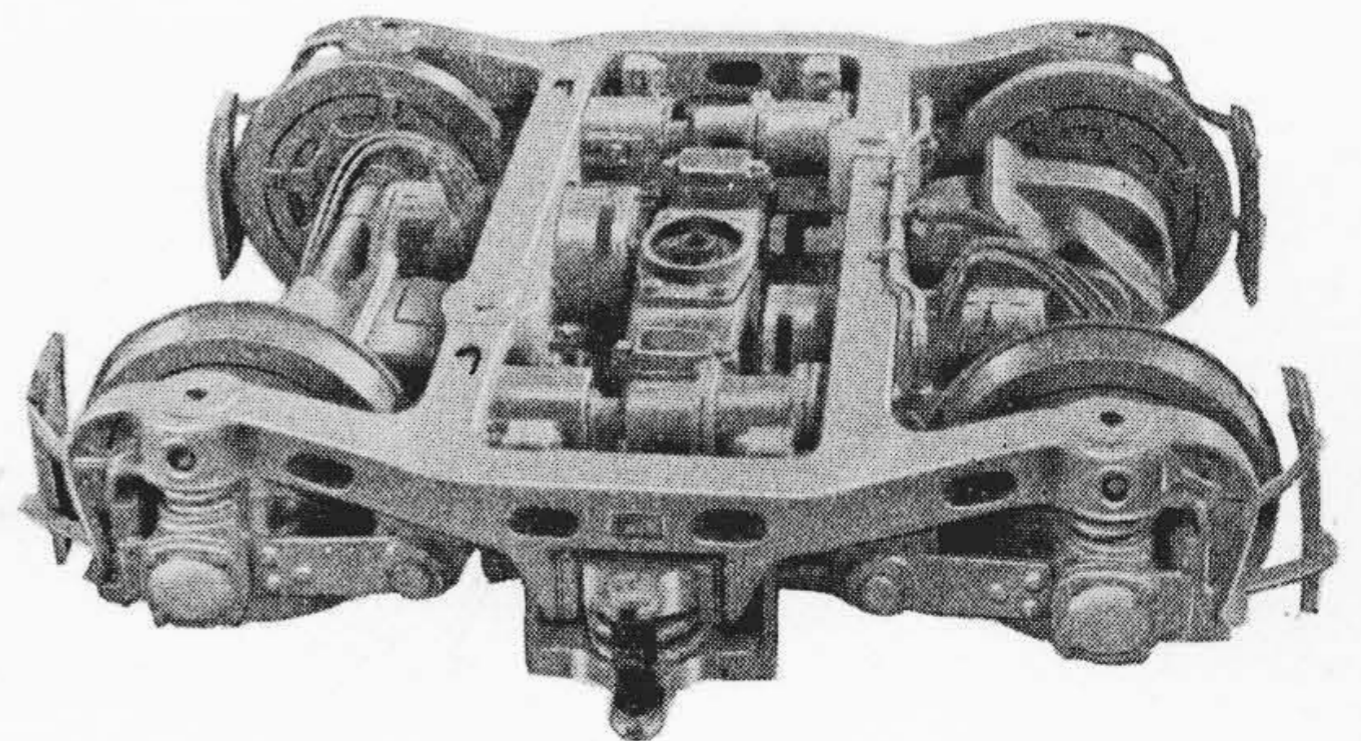
	釣掛式	カルダン式	重量比
台車	KL-2b 型 防振台車	KL-5 型 カルダン台車	—
要目	軌間 (mm)	1,372	1,067
	軸距離 (mm)	1,600	1,650
	車輪径 (mm)	660	660
台車本体 (kg)	3,200	2,650	0.83
電動機 (kg)	1,100	640	0.58
駆動装置 (kg)	—	400	—
総重量 (kg)	4,300	3,690	0.86
バネ下重量 (kg)	2,000	1,710	0.85

めることが必要であることがわかつたが、従来の釣掛式で各軸駆動を行うことは、重量が重くなり過ぎ電力消費量などの点から不利益をもたらすため、カルダン駆動方式のごとき高速軽量の電動機を使用することが必要となつてくるわけで、ここにカルダンドライブを採用する大きな特長がある。

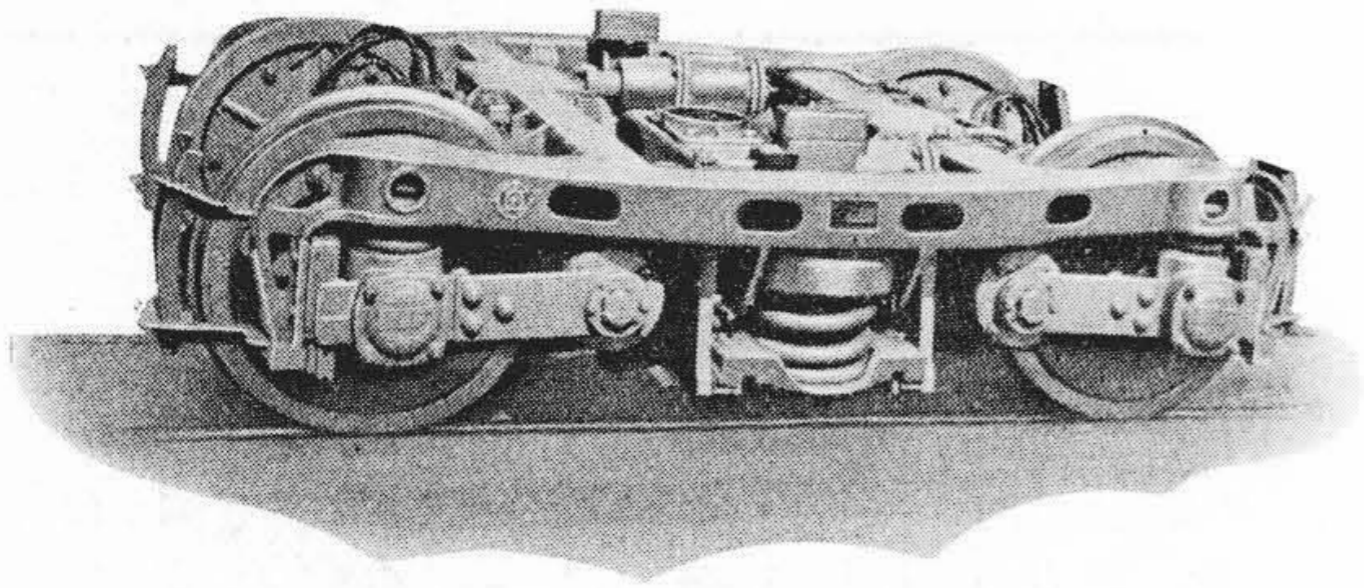
[III] 日立カルダン台車

日立製作所は前述のごとく路面電車用カルダン台車として、28年5月名古屋市電用 KL-4 型を1輛、29年5月土佐電鉄用 KL-5 型を1輛を製作納入し、29年9月再び名古屋市電用 KL-5 型を10輛納入するが、これらはいずれも KL-2b 型防振台車の成績に基き、同一構想の下に設計されたもので、構造様式はつぎのごとくである。

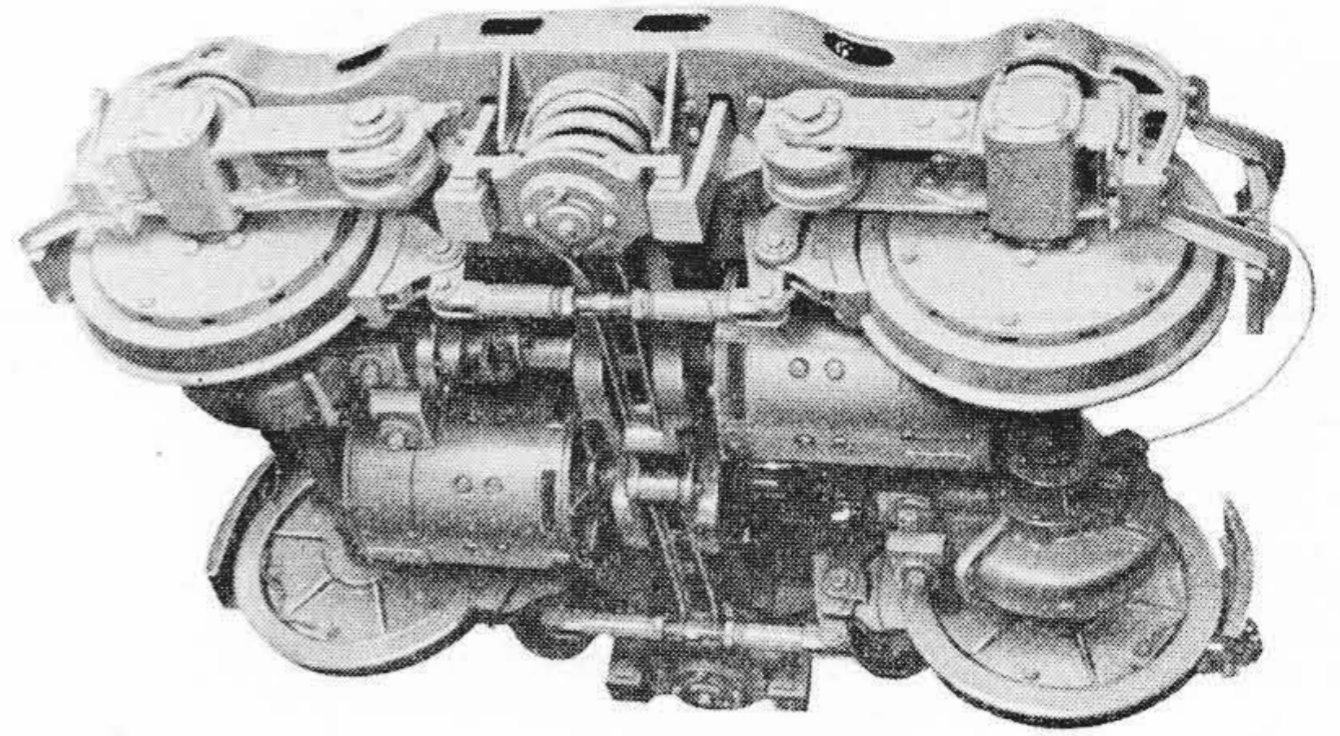
- (1) 駆動方式.....カルダン軸式駆動装置
- (2) 台車枠.....一体鋳鋼
- (3) 揺枕装置.....カム式吊リンク
- (4) バネ装置..全コイルバネ、オイルダンパ併用
- (5) 車輪.....弾性車輪
- (6) 軸箱....弾性軸梁式軸箱、ころ軸受使用
- (7) 制動方式.....台車制動筒



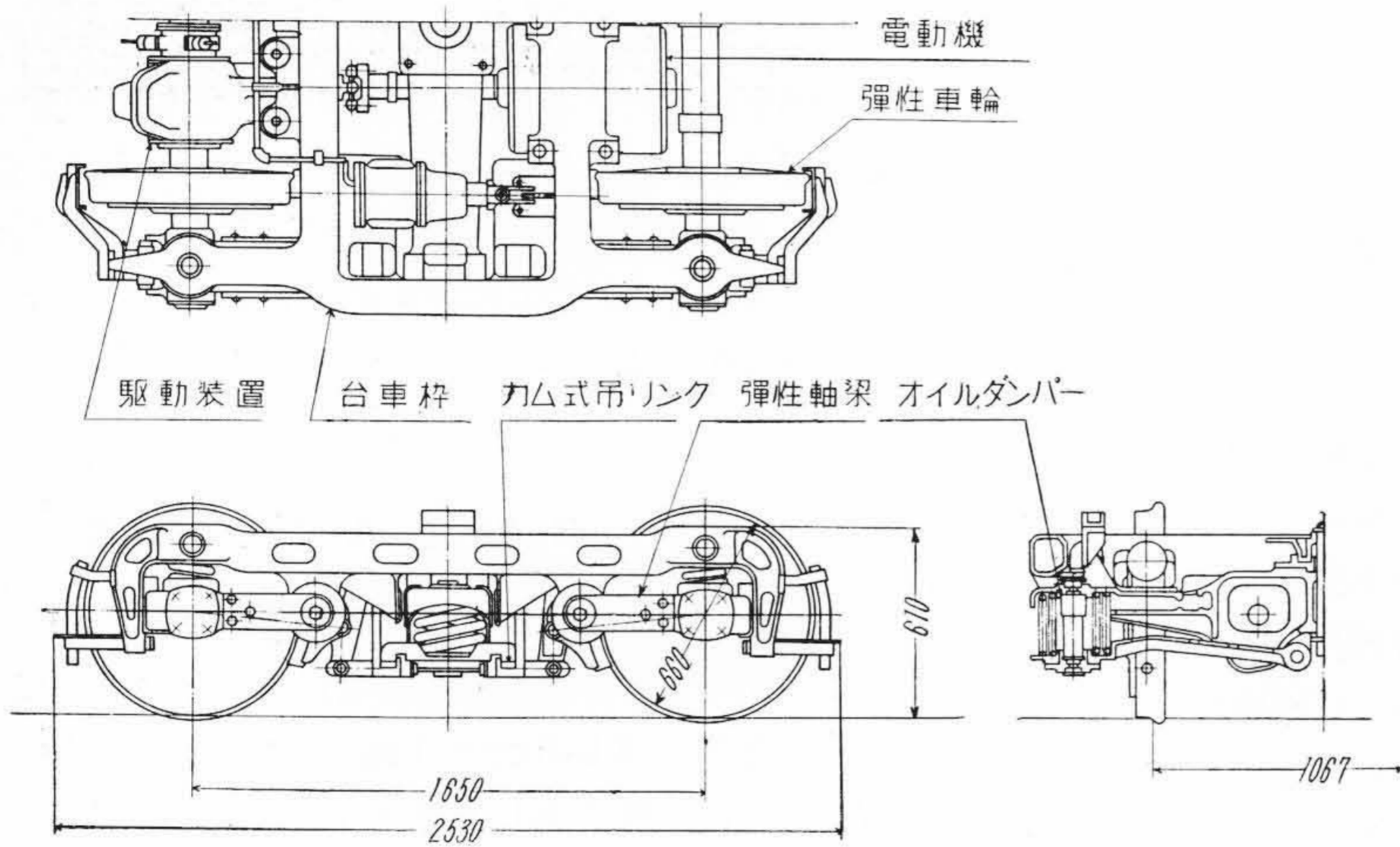
第3図 KL-4 型カルダン台車  
Fig. 3. Type KL-4 Cardan Truck



第 4 図(a) KL-5 型 カルダン 台車  
 Fig.4.(a) Type KL-5 Cardan Truck

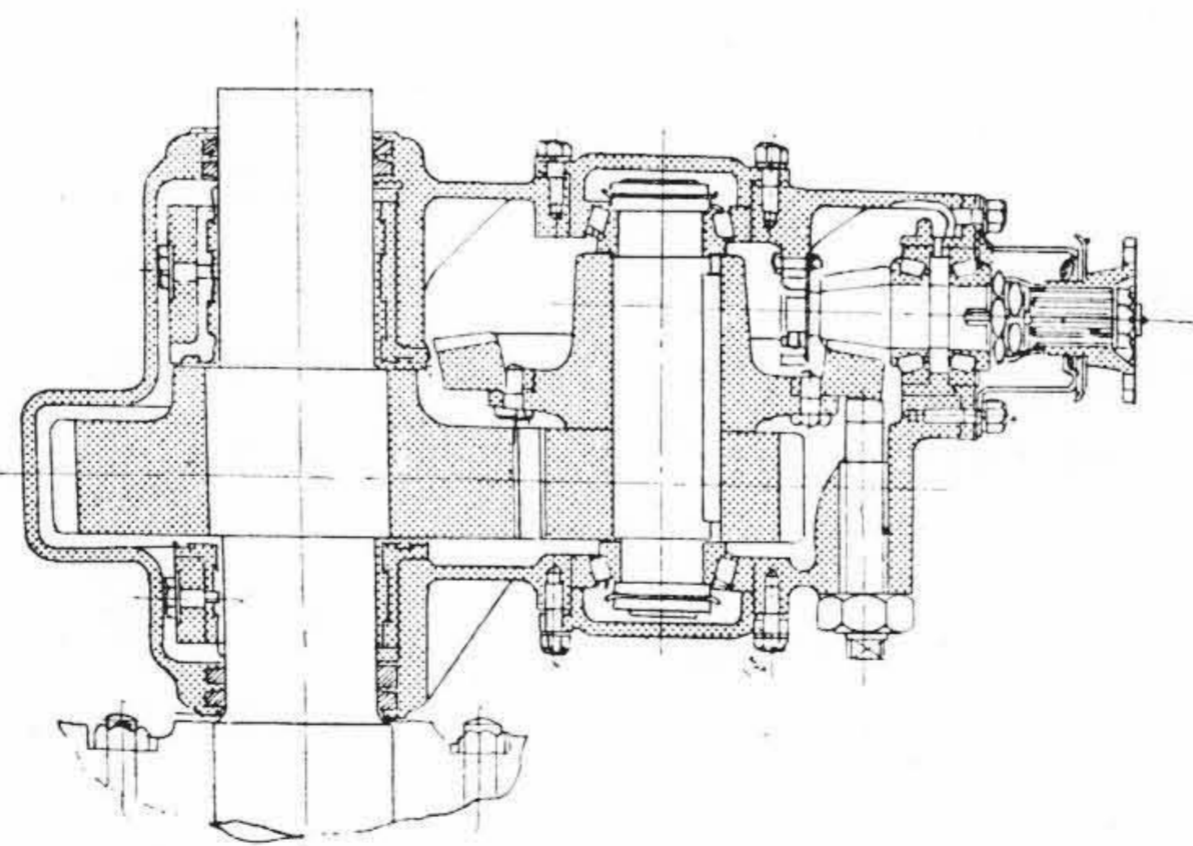


第 4 図(b) KL-5 型 カルダン 台車  
 Fig.4.(b) Type KL-5 Cardan Truck



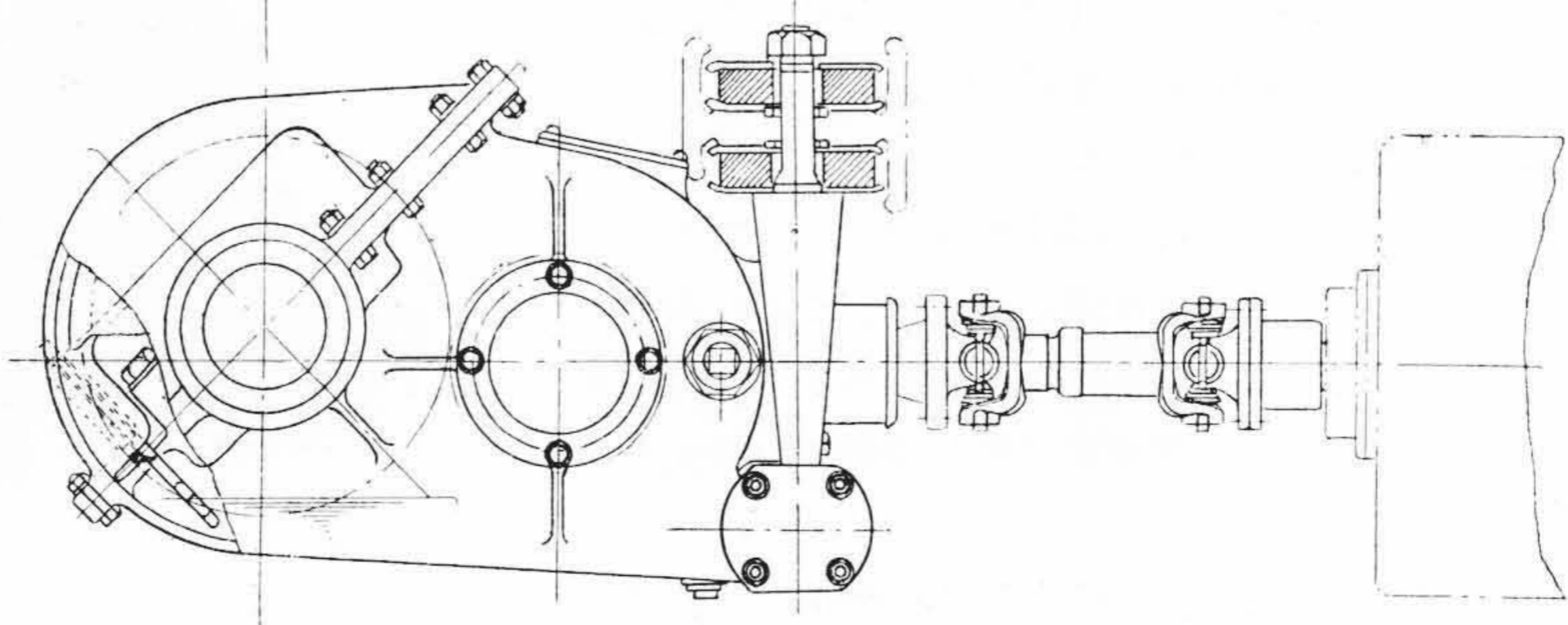
第 5 図  
 KL-5 型 カルダン 台車  
 (名古屋)

Fig. 5.  
 Type KL-5 Cardan  
 Truck (Nagoya)



第 6 図  
 カルダン軸式駆動装置

Fig. 6.  
 Cardan Driving  
 Device



第3表 カルダン台車要目  
Table 3. Specification of Cardan Truck

台車	型式	KL-4型	KL-5型 (土佐)	KL-5型 (名古屋)
	軌間 (mm)		1,067	1,067
軸距離 (mm)		1,650	1,650	1,650
車輪径 (mm)		660	660	660
電動機	型式	HS-512 Ab	HS-503 Arb	HS-503 Brb
	出力 (kW)	30	30	30
	回転数 (rpm)	2,000	1,600	1,600
駆動装置	歯車	振れ歯傘歯車 はずば歯車	振れ歯傘歯車	ハイポイド ギヤ
	歯数比	10.9 (6.14×1.78)	7.86	7.17

第4表 重量および荷重  
Table 4. Weight and Capacity

		KL-4型	KL-5型 (土佐)	KL-5型 (名古屋)
重量	台車本体 (kg)	2,650	2,650	2,700
	電動機 (kg)	590	640	640
	駆動装置 (kg)	500	400	400
	総重量 (kg)	3,740	3,690	3,740
荷客	定員 (人)	70	80	80
	満員 (人)	180	200	200
重心	空車時 (kg)	3,570	3,950	4,500
	定員時 (kg)	5,495	6,150	6,700
	満員時 (kg)	8,520	9,450	10,000

以下台車各部の構造について述べる。なお第3図および第4図はそれぞれ KL-4 型, KL-5 型(土佐)の外観, 第5図は KL-5 型(名古屋)の組立図を示す。

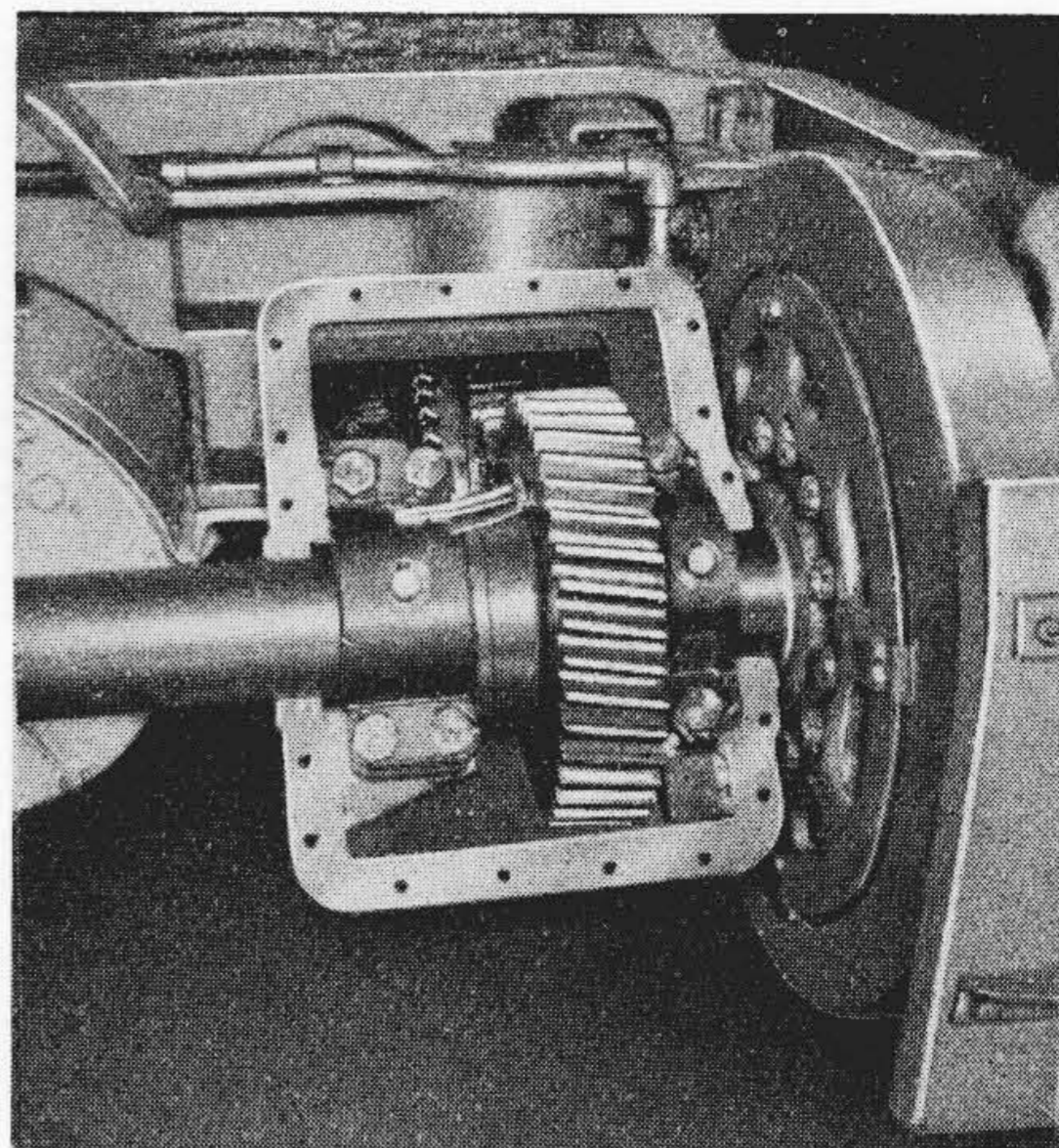
(1) 要目および重量

各台車の要目および重量を第3表および第4表に示す。

(2) カルダン軸式駆動装置

(A) KL-4 型

第6図に示すごとく, 減速装置は振れ歯傘歯車とはずば歯車とを用いた2段減速となつている。これは歯車の信頼度, 互換性などを考慮して, 荷重条件のほぼ等しいことから, 十分実績のある日産自動車後軸駆動用振れ歯傘歯車を使用し, これだけでは減速比が不足するため, はずば歯車を附加して2段減速としたものである。振れ歯傘歯車およびはずば小歯車はいずれもころ軸受によつて, 歯車箱に支持され, はずば大歯車は車軸に圧入している。また歯車箱は二つ割として一端は平軸受で車軸を抱き, 他端は吊棒で横梁にゴムを介して弾性的に支持されている。なお潤滑油としては鉄道技術研究所において検討され, 十分な油膜強度, 熱安定性を有すると認められた昭石特5号を使用し, 飛沫給油を行つている。



第7図 カルダン軸式駆動装置の一部  
Fig.7. Part of Cardan Driving Device

第5表 歯車諸元  
Table 5. Specification of Gear

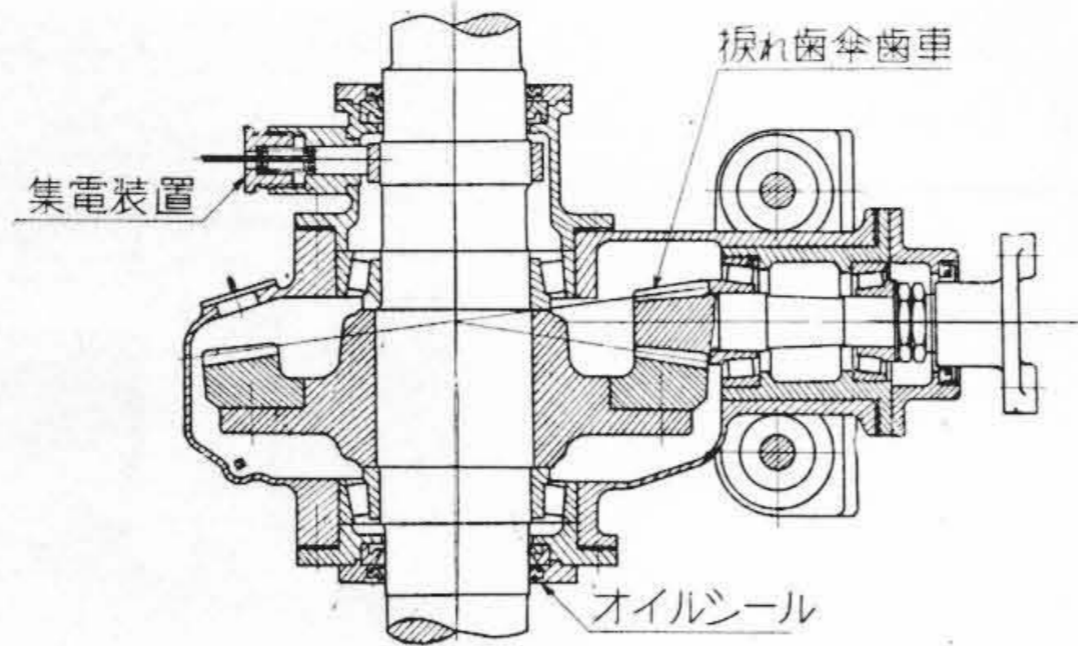
	振れ歯傘歯車		はずば歯車	
	小歯車	大歯車	小歯車	大歯車
モジュール	7.5		8	
歯数	7	43	23	41
刻円直径(mm)	52,732	323,862	186,838	333,062
歯幅(mm)	47,625		80	
圧力角	20°		20°	
振れ角	35° 左	35° 右	10° 左	10° 右
刻円錐角	91°15'	80°45'	—	—
材質	肌焼鋼	Ni-Cr 鋼	SH 80	SCM 90
熱処理	肌焼	油焼入	肌焼	高周波
歯面硬度	Hs 80	Hs 75	Hs 70~75	Hs 65~70

第7図は駆動装置の一部, 第5表は歯車諸元を示す。

(B) KL-5 型(土佐)

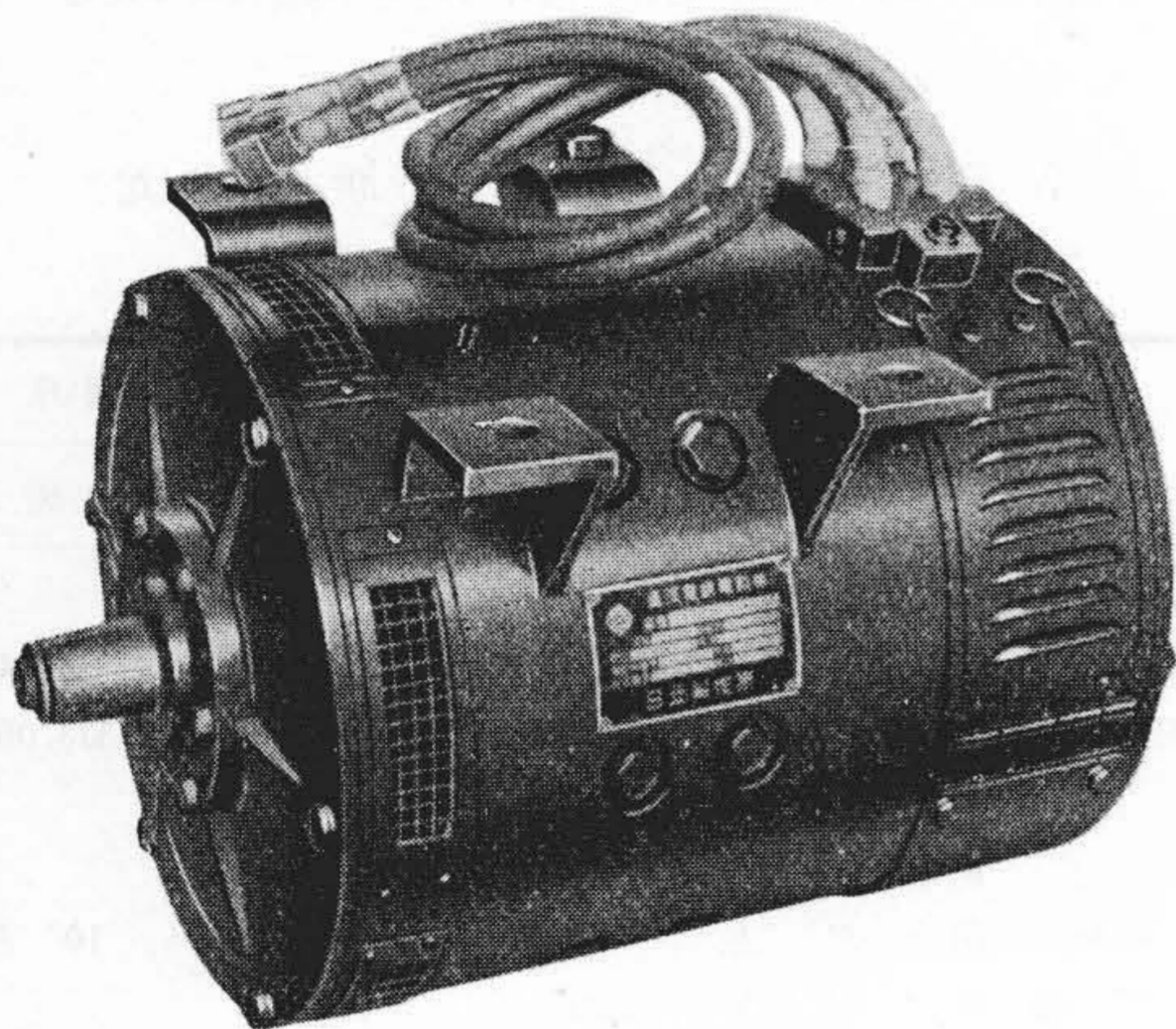
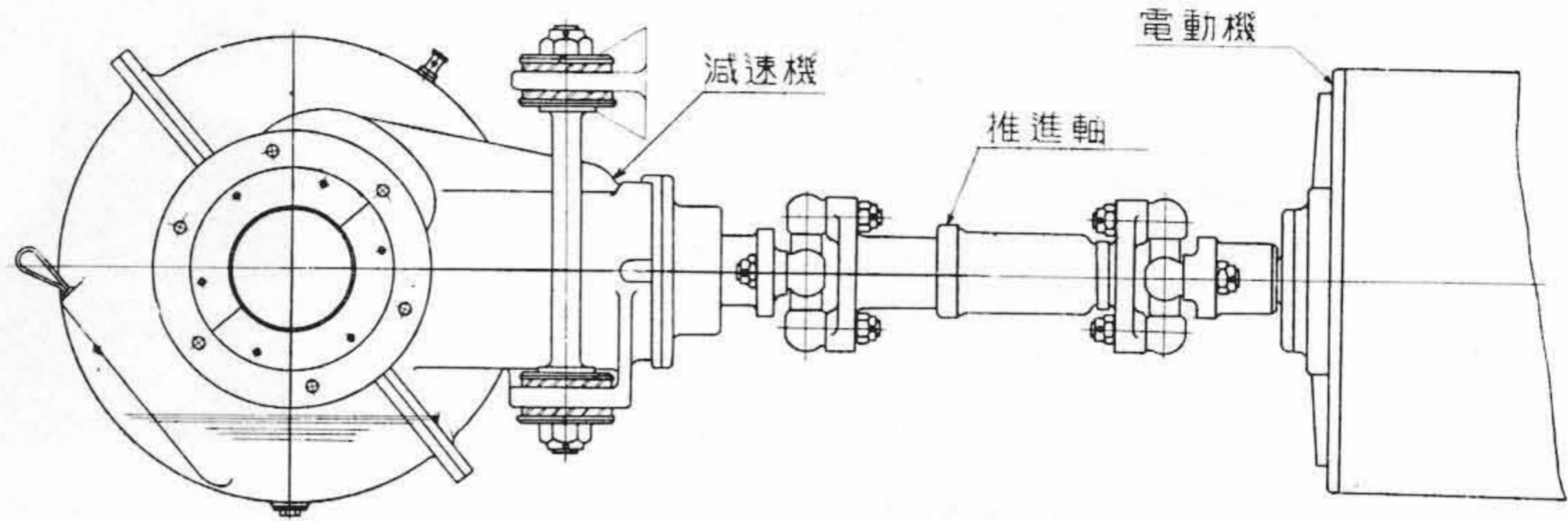
KL-4 型では減速比の関係から, やむを得ず2段減速としたが, これは構造的にも重量的にも1段減速とすることが望ましい。したがつて KL-5 型では1段減速として計画したが, この場合問題となるのは歯車である。幸にして日立製作所川崎工場の絶大な協力を得ることができ, 試作検討の結果, カルダン台車用として十分信頼できる振れ歯傘歯車を完成した。第8図(次頁参照)はこの歯車を基に設計した駆動装置である。

KL-4 型では歯車箱の支持は平軸受であつたが, KL-5 型では歯車の嚙合を正確に保つためころ軸受を使用した。ころ軸受は車輪を取外すことなしには交換は不可能であり, また歯車の嚙合に大きく影響するものであるためその精度, 寿命については軸受製造者とも十分連絡をとつて遺漏なきを期している。またころ軸受の接地電流

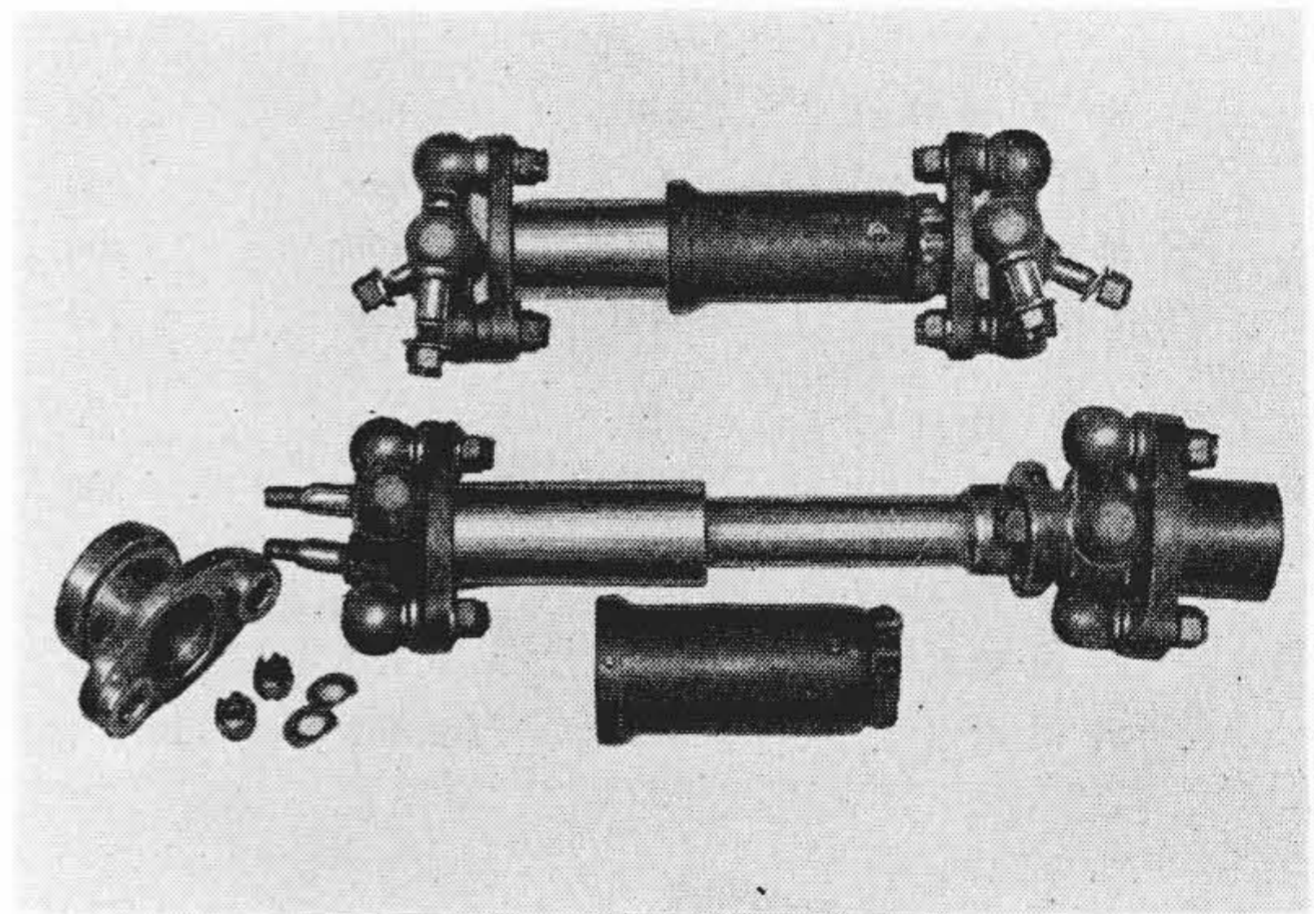


第8図  
カルダン軸式駆動装置

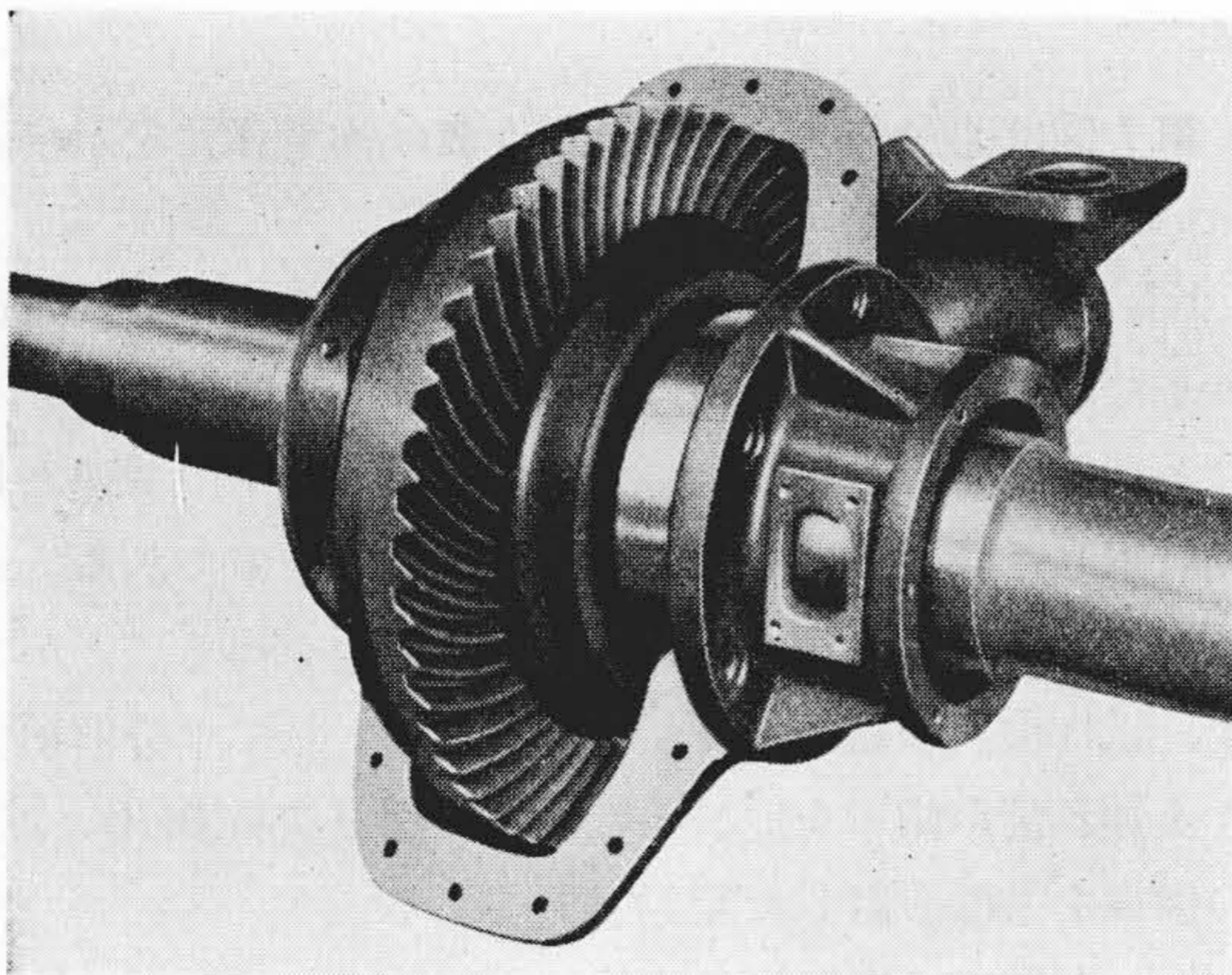
Fig. 8.  
Cardan Driving Device



第9図 カルダン台車用主電動機  
Fig.9. Main Motor for Cardan Truck



第11図 推進軸  
Fig.11. Propeller Shaft



第10図 カルダン軸式駆動装置の一部  
Fig.10. Part of Cardan Driving Device

による電蝕を防ぐため、歯車箱の一端に集電装置を設けている。潤滑油はKL-4型同様、昭石特5号を使用し、油止としてはすべてオイルシールを使用している。

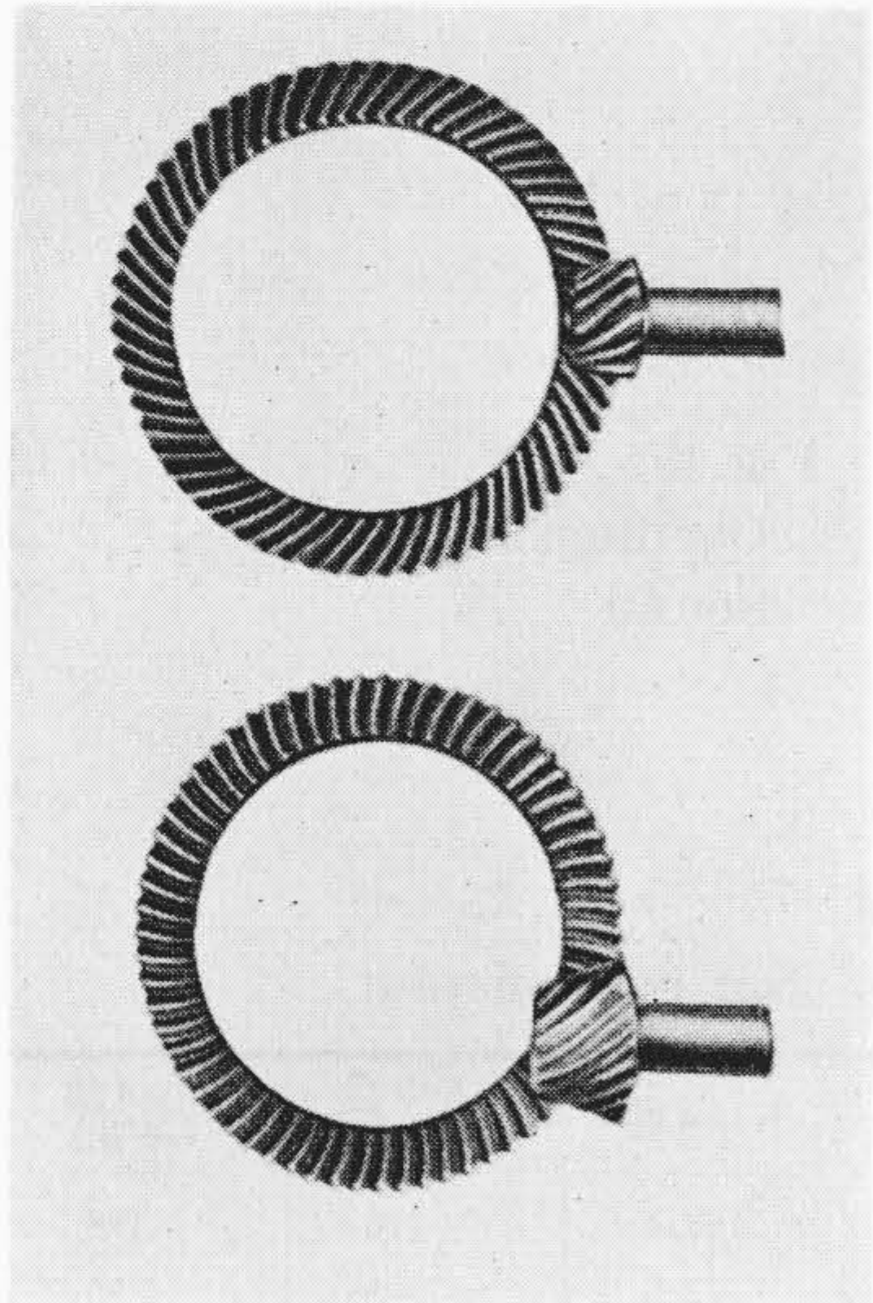
第6表 歯車諸元  
Table 6. Specification of Gear

	小 歯 車	大 歯 車
モ デ ュ ー ル	7.82	
歯 数	7	55
刻 円 直 径 (mm)	54,686	429,844
歯 幅 (mm)	65	
圧 力 角	20°	
振 れ 角	35° 右	35° 左
刻 円 錐 角	7°15'	82°45'
材 質	SH 100	SNC 2
熱 処 理	肌 焼	油 焼 入
歯 面 硬 度	Hs 65~70	Hs 60~65

なお第9図は本台車に使用した電動機第10図は駆動装置の一部、第11図は推進軸、第6表は歯車諸元を示す。

(C) KL-5 型 (名古屋)

名古屋市電用駆動装置は土佐交通用と構造的にはほとんど同じであるが、先方の要求もあつて歯車は P.C.C.



振れ歯傘歯車

ハイポイドギヤ

第12図 振れ歯傘歯車とハイポイドギヤ  
Fig.12. Spiral Bevel Gear and Hypoid Gear

車に使用されているハイポイドギヤを輸入して使用することになっている。

ハイポイドギヤは、たがいに噛合う歯車の刻円錐面が回転双曲線面をなすもので、傘歯車と異り二つの歯車の軸線が同一平面内で交らない。この軸線の位差をオフセットと称しハイポイドギヤの大きい特色である。このためハイポイドギヤは振れ歯傘歯車に比較して、同一ピッチ、同一歯数の歯車でピニオン直径が約30%<sup>(4)</sup>増大する。すなわちそれだけ強度が増加する。これは逆にいえば、ピニオン直径を等しくした場合は、歯数を小さくすることができ、振れ歯傘歯車よりさらに歯数比を大きくとることが可能となる。

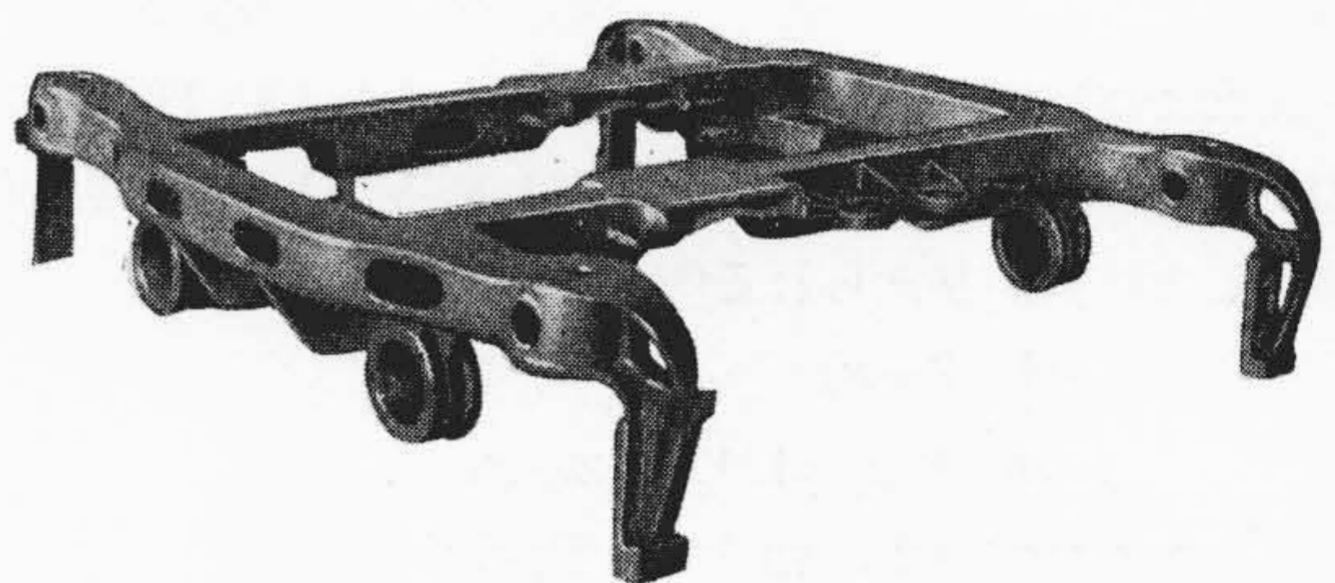
第12図は振れ歯傘歯車とハイポイドギヤとの比較を示したものでいずれもピッチ、歯数は同一である。

第7表は歯車の諸元を示す。

第7表 歯車 諸元

Table 7. Specification of Gear

	小 歯 車	大 歯 車
モジュール	9.23	
歯 数	6	43
刻円直径(mm)	—	396.24
歯 幅(mm)	79.375	63.5
圧 力 角	22°30'	
振 れ 角	49°13' 左	34°1' 右
刻円錐角	10°42'	79°38'
オフセット(mm)	44.45 (上)	
材 質	SAE 4820	SAE 4620
歯 面 硬 度	Rc 58~63	Rc 58~63



第13図 台 車 枠  
Fig.13. Truck Frame

(3) 台車構造

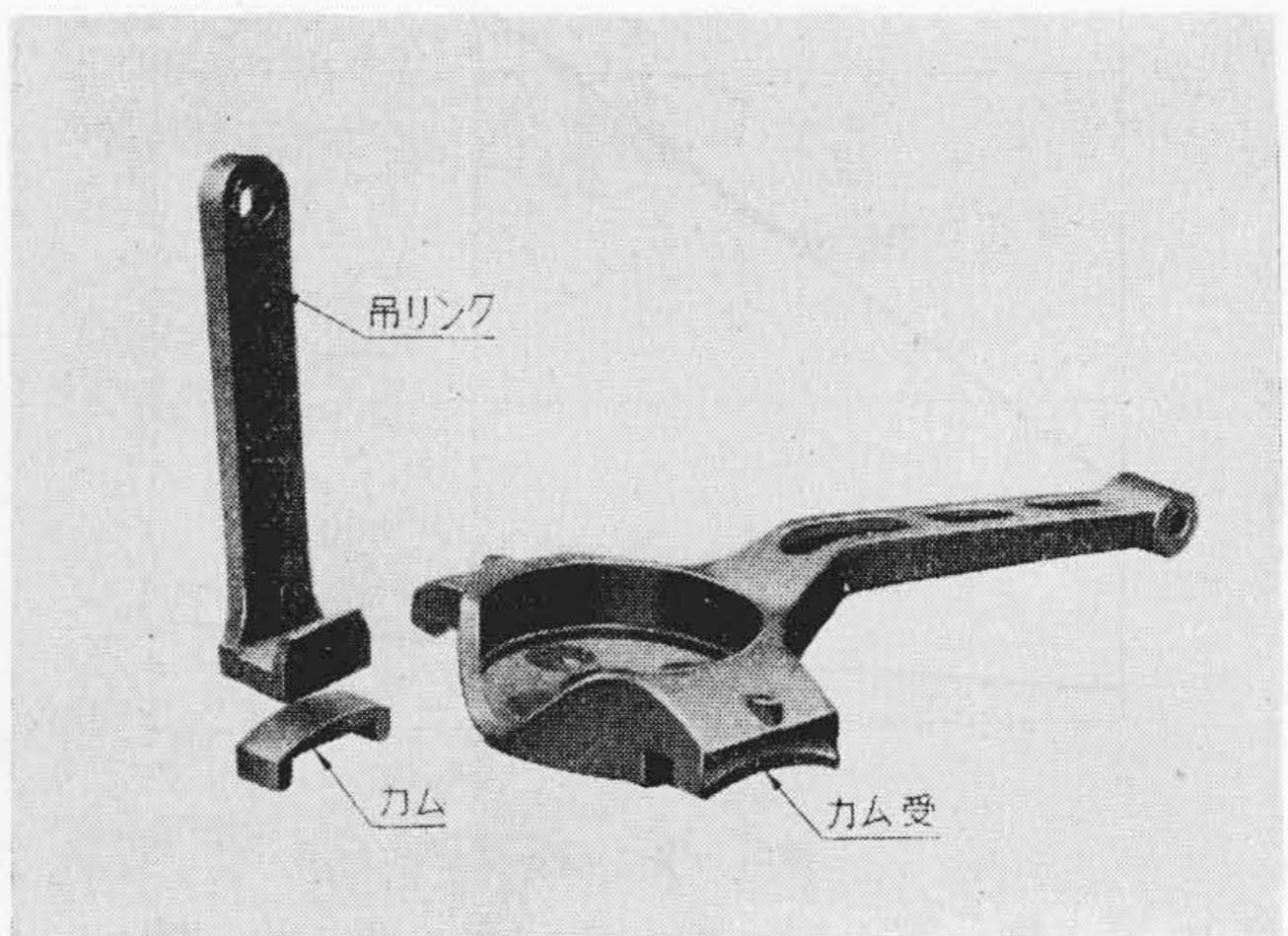
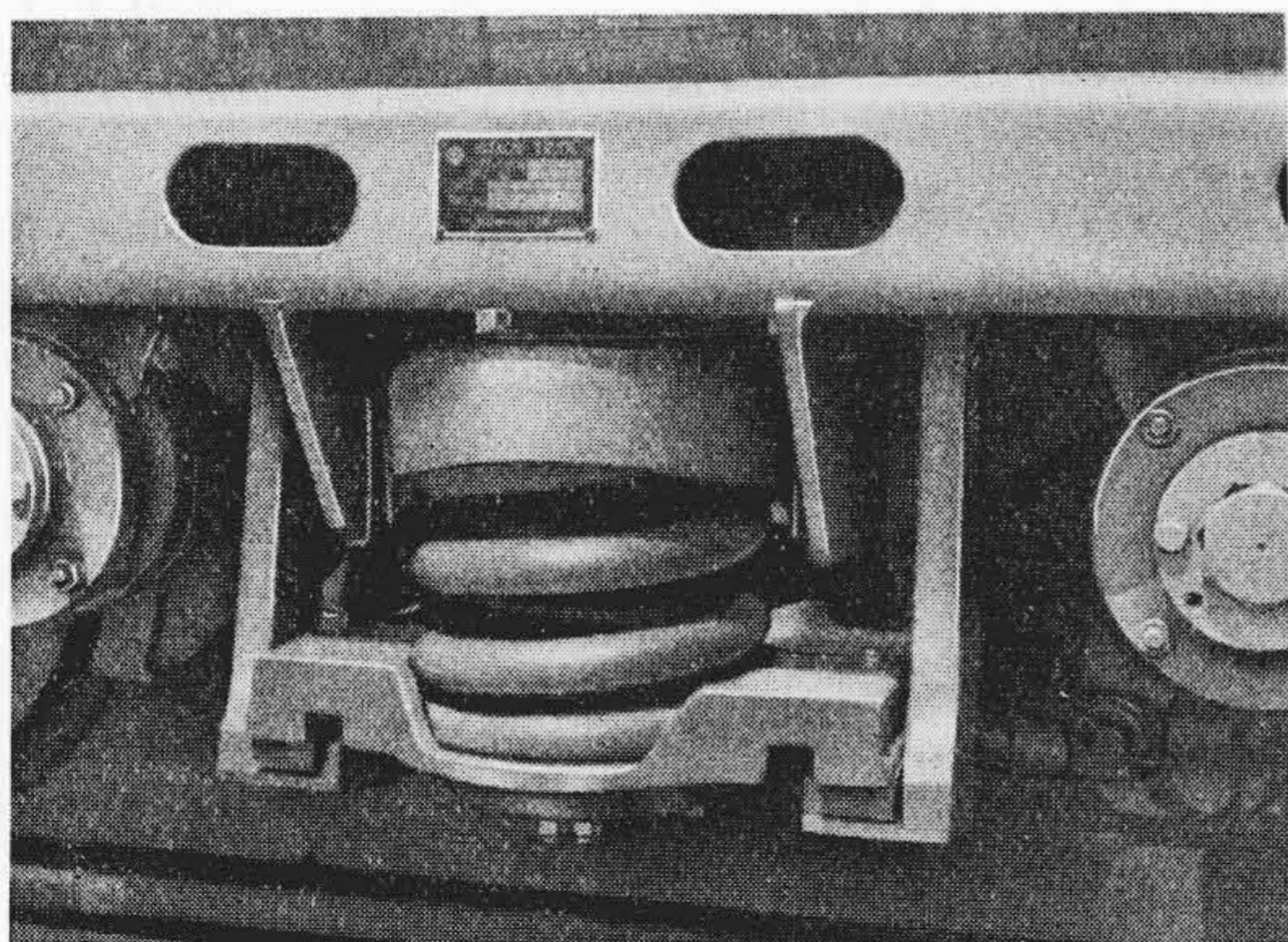
(A) 台車枠

台車枠は一体鋳鋼製として十分な剛性と強度を与え、かつ保守点検に便ならしめた。

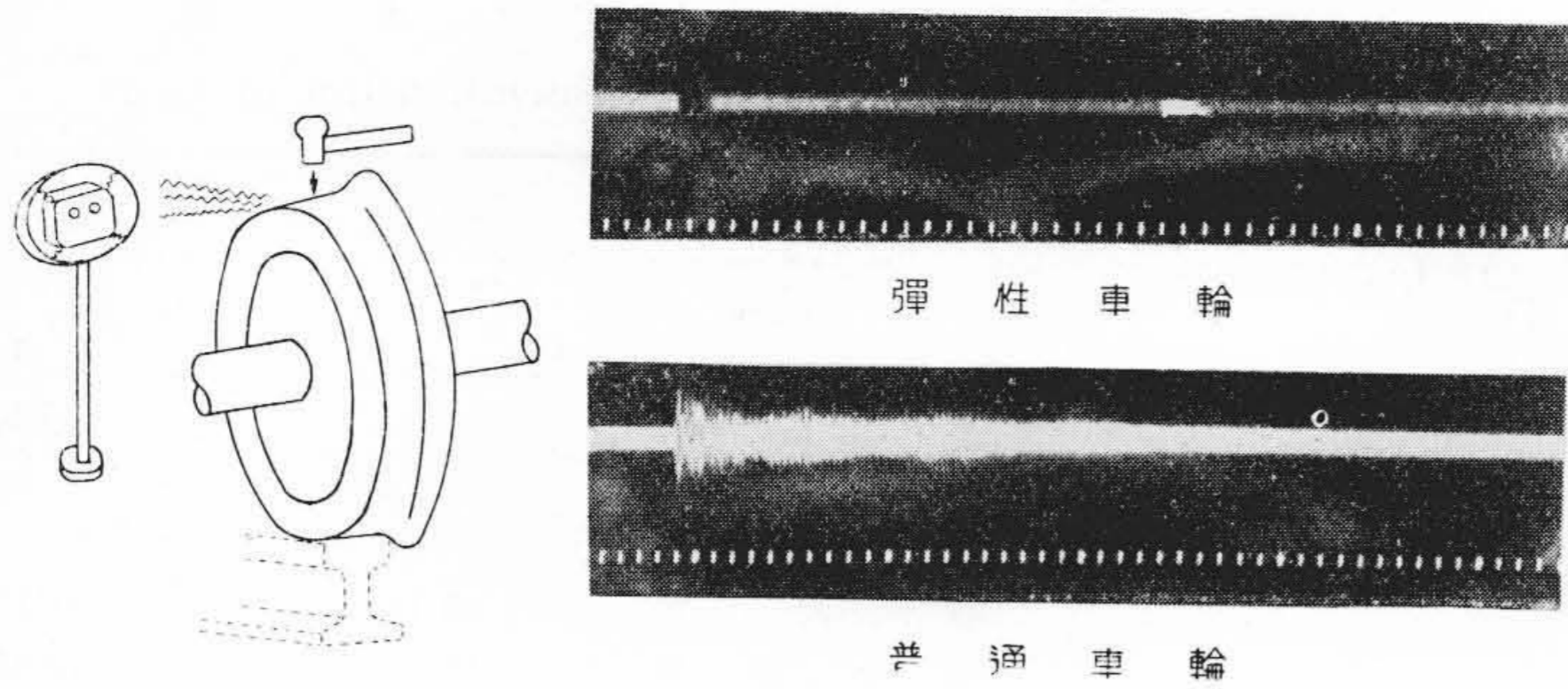
第13図にその外観を示す。

(B) カム式吊リンク

カム式吊リンクは日立独特の揺枕吊装置として、<sup>(5)</sup> 従来多くの台車に採用され、左右振動の改善に十分その効果を発揮しており、本台車でもこれを採用した。第14図はその構造を示したものである。



第14図 カム式吊リンク  
Fig.14. Cam Type Swing Bolster Hanger



第 15 図  
車輪打撃音のオッシロ  
グラム

Fig. 15.  
Oscillogram of Wheel  
Sound

(C) バネ装置

車輛振動改善のため、最近では軸バネ、枕バネともコイルバネを使用し、制振器としてオイルダンパーが使用されるようになって来た。この場合軸バネ、枕バネの剛性比および制振器の減衰率をいかにとるかという問題については、振動伝達率を最小ならしめることから、最適値として次式が与えられる<sup>(6)</sup>。すなわち、

$$K = 1 / (2 + \mu)$$

$$\epsilon = K / \sqrt{2} = 1 / \sqrt{2} (2 + \mu)$$

ただし  $K$  = 枕バネ、軸バネの剛性比

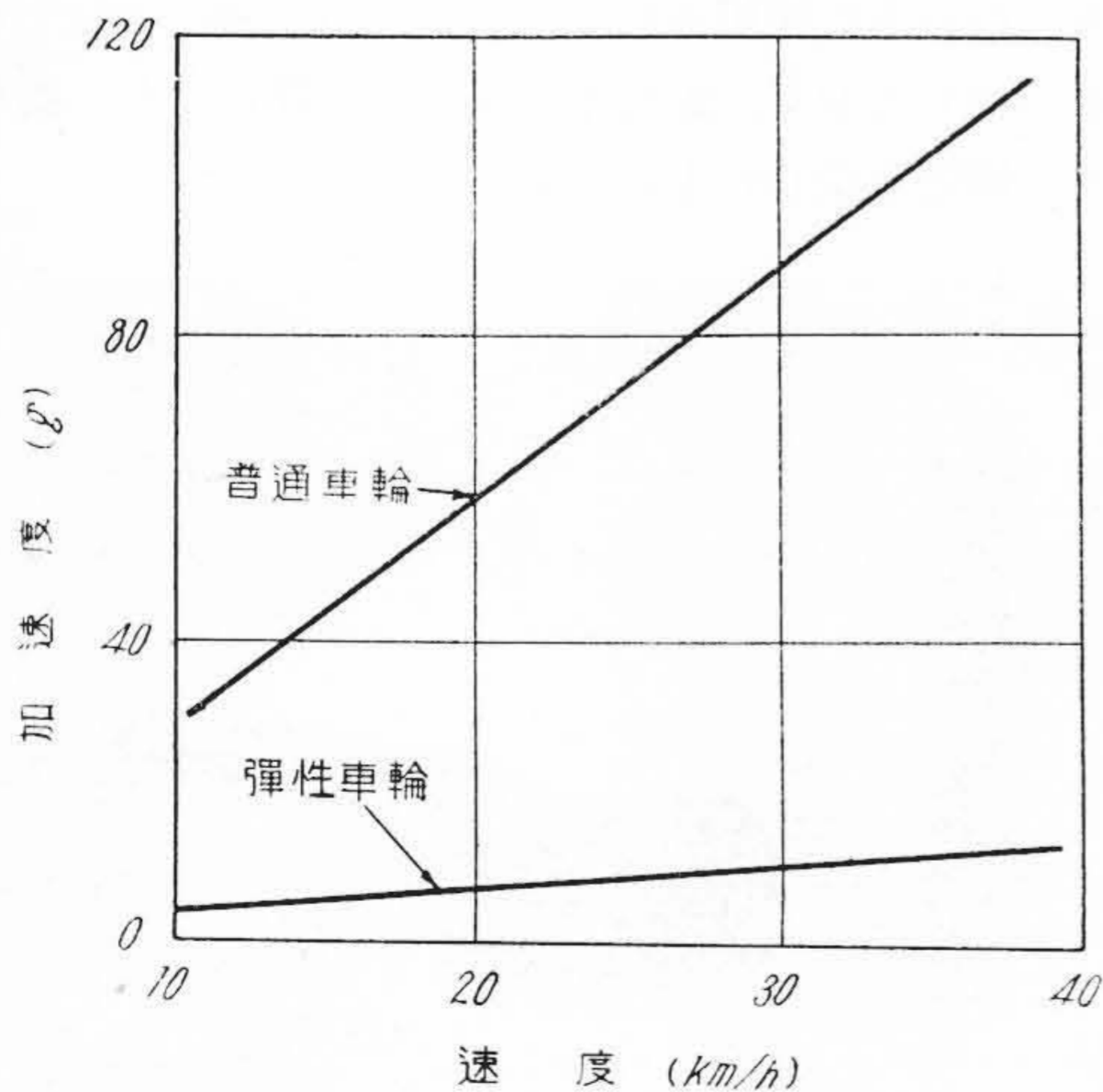
$\epsilon$  = 減衰値

$\mu$  = 枕バネ上と枕バネ、軸バネ間の質量比

本台車ではかかる観点から剛性比および減衰値を選んでおり、第 8 表にその値を示す。

(D) 弾性車輪

弾性車輪は輪心の中に防振ゴムを装着したもので、KL-2b 型防振台車に使用してその効果実用性が確認され、本台車にも使用している。弾性車輪の効果を騒音の面からみると、第 15 図のごとく普通の鋼製車輪では共鳴音が長く続いているのに対し、弾性車輪では音が瞬時に消滅



第 16 図 軸箱振動加速度比較  
Fig. 16. Comparison of Vertical Acceleration at Journal Box

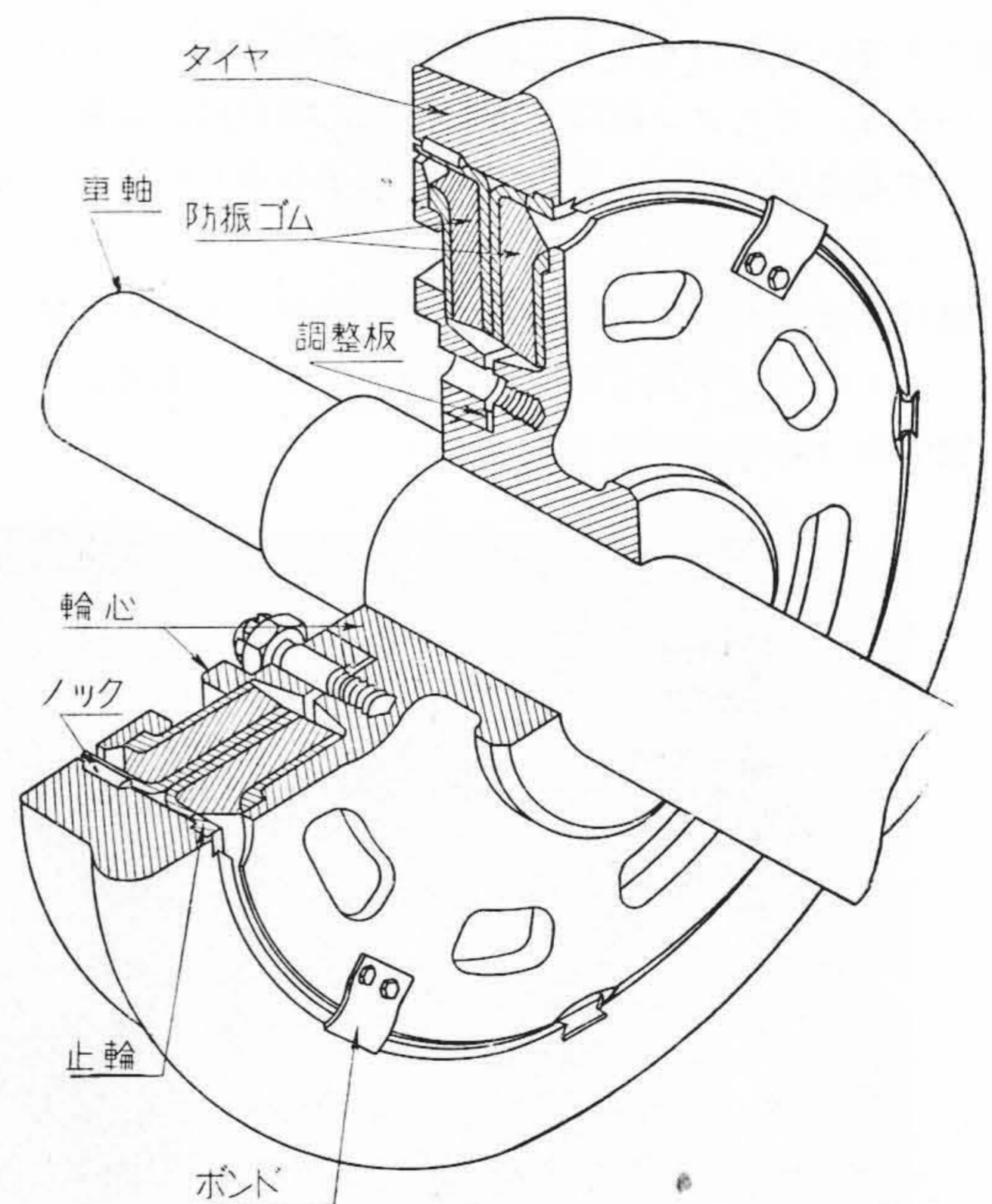
第 8 表 ばね剛性

Table 8. Spring Constant

	KL-4 型	KL-5 型 (土佐)	KL-5 型 (名古屋)
軸ばね (kg/mm)	168.4	176	188
枕ばね (kg/mm)	72.5	75.5	80
合成 (kg/mm)	50.5	52.5	56.
剛性比	0.431	0.429	0.425
オイルダンパー (kg-cm) 減衰係数 (/s)	30	36	36

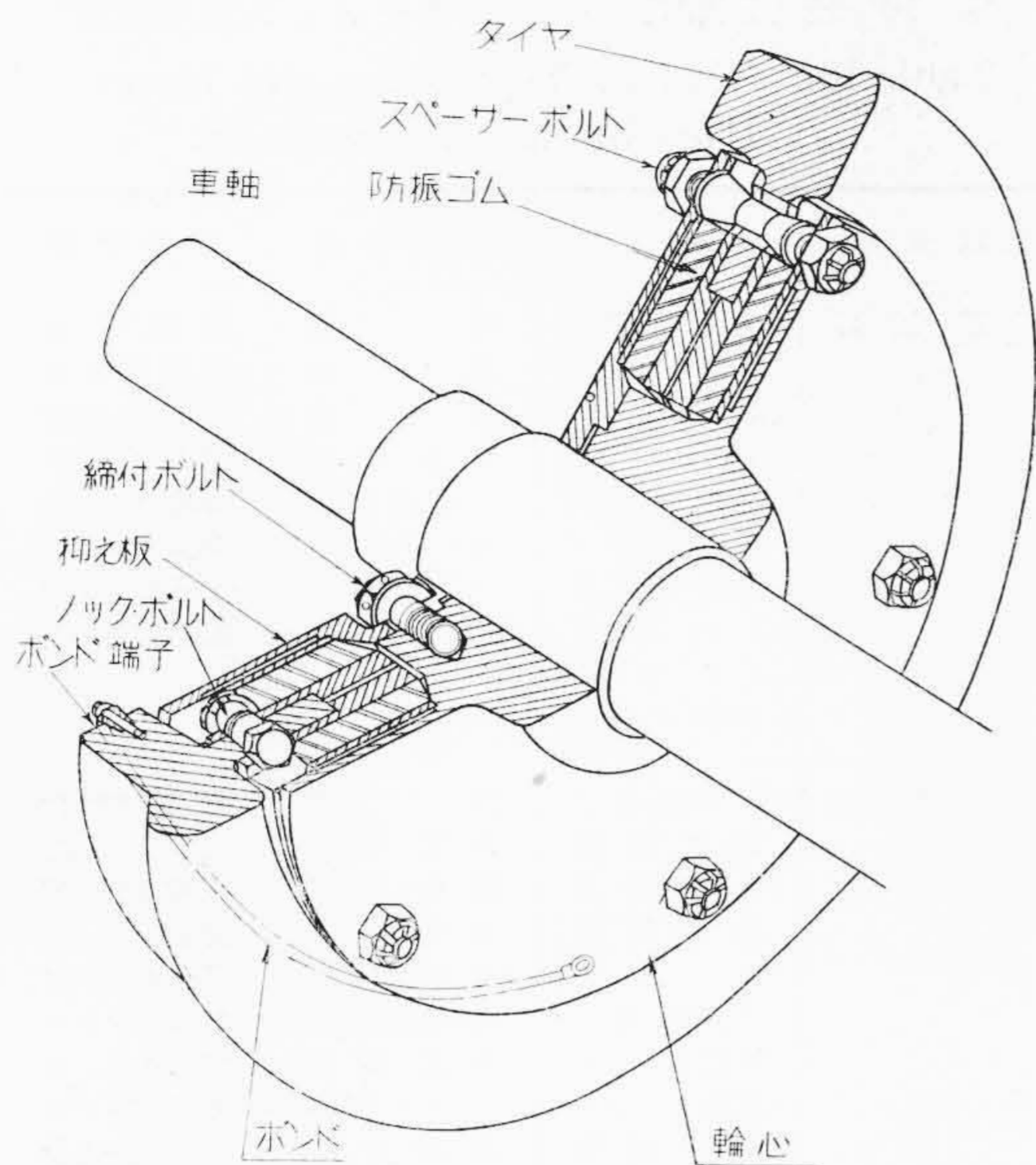
している。また衝撃に対しても、第 16 図<sup>(7)</sup>のごとく軸箱の振動加速度を比較すると、弾性車輪の方が遙かに小さくなっている。

KL-4 型では第 17 図のごとく、KL-2<sub>b</sub> 型と同じく圧縮部と剪断部とを組合した防振ゴムを使用し、普通タイヤを圧入しているが、KL-5 型では第 18 図のごとく防振

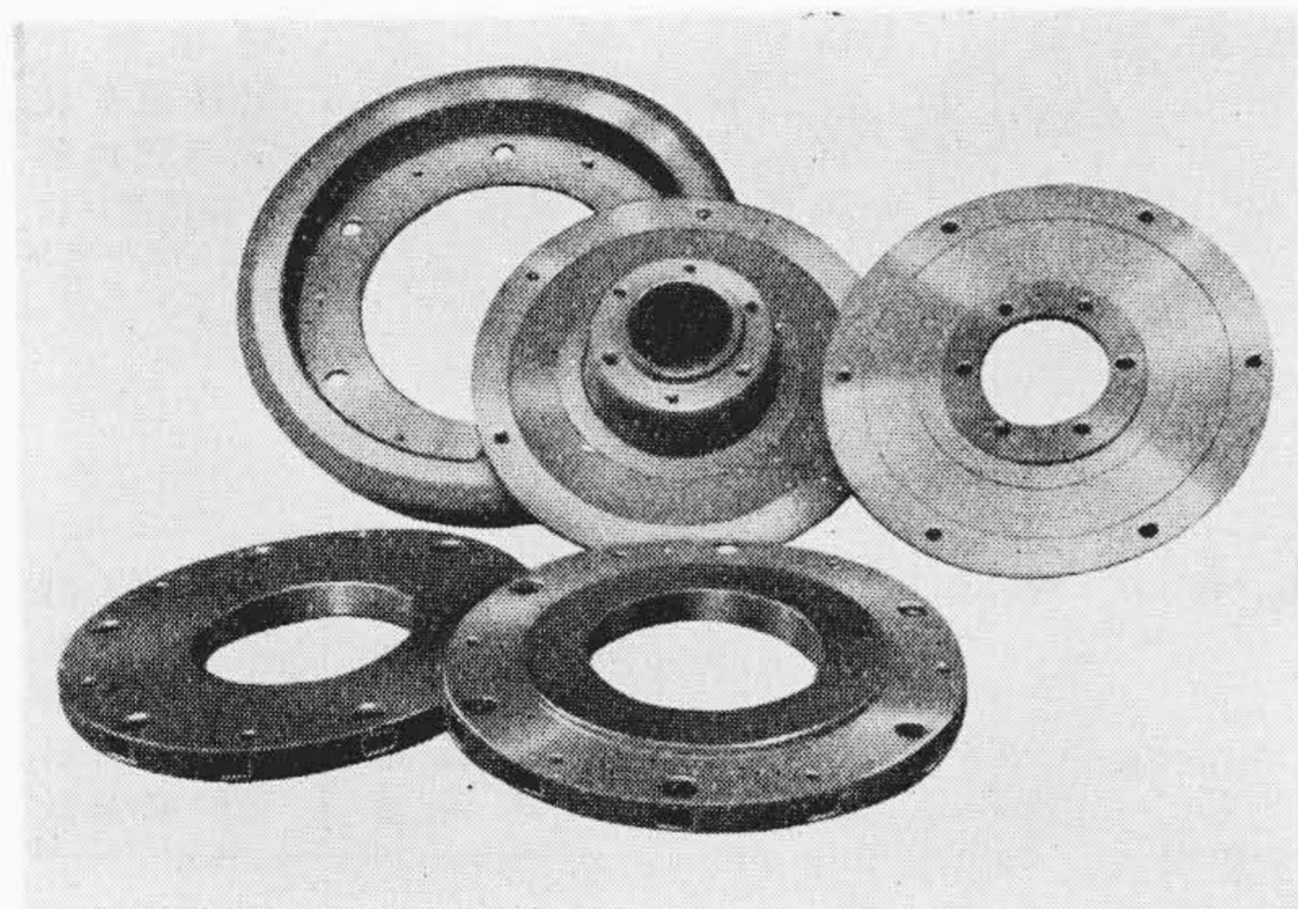


第 17 図 弾性車輪  
Fig. 17. Resilient Wheel





第18図 弾性車輪  
Fig. 18. Resilient Wheel

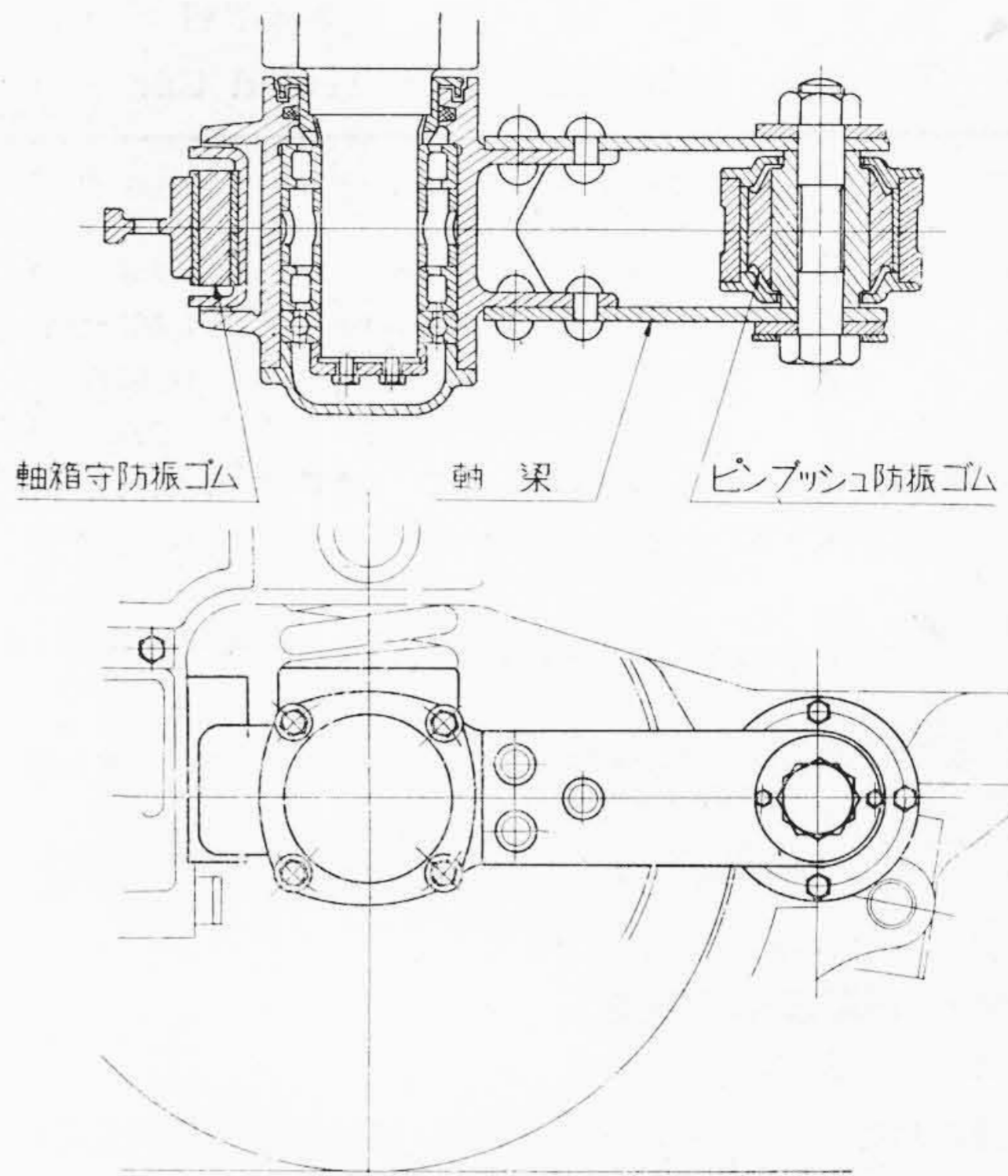


第19図 弾性車輪の主要部品  
Fig. 19. Main Parts of Resilient Wheel

ゴムは剪断型とし、タイヤはリブ付のマンガン鋳鋼製として構造を簡単にしている。なお第19図はKL-5型用の弾性車輪の主要部品を示す。

(E) 弾性軸梁式軸箱

一般に鉄道車輛では車輪踏面に附した勾配のため、蛇行動を余儀なくされ、それが左右方向の強制力となつて左右振動を増大せしめている。したがつて蛇行動による強制力はできる限り小さく、そのためには蛇行波長は可及的に大きくする必要がある。弾性軸梁式軸箱はかかる目的のために採用されたもので、両軸をお互に固定することによつて蛇行波長を長くし、さらに両端に設けた防振ゴムによつて、蛇行動によるタイヤとレールの衝撃を



第20図 弾性軸梁式軸箱  
Fig. 20. Journal Box with Flexible Radius Arm

緩和してタイヤの垂直磨耗を減少せしむるものである。

第20図にその構造を示す。

なお軸受としては、各台車ともころ軸受を用いている。

(F) 制動装置

制動装置としては空気制動および電気制動を併用している。空気制動としては第3図および第5図に示したごとく制動筒 (152×150 mm) を台車の両側に設けて制動機構を簡単にし、かつ制動効率を増大して迅速確実な制動がかかるようにしている。また自動心向装置を設けブレーキシューは常にタイヤに正確に接触せしめて、シューの偏磨耗を防いでいる。

〔IV〕 KL-4 型カルダン台車性能試験<sup>(8)</sup>

KL-4 型は名古屋市交通局において新造車 1800 型に装着され、28年9月29日から10月6日まで、運輸技術研究所が中心となつて在来車との性能比較試験が実施された。以下その報告の一部を転載させていただく。

(1) 供試車輛

第9表(次頁参照)に供試車輛の要目を示す。表中1810号および1540号は1815号との比較を行つたもので、台車はいずれも釣掛式であり、1810号は弾性車輪を使用している。

(2) 試験種別、測定事項および使用計器

第10表(次頁参照)にこれらを示す。

第 9 表 供 試 車 要 目

Table 9. Specification of Tested Car

型 式	1800 型	1800 型	1500 型
車 輛 番 号	1815	1810	1540
軌 間	1,067 mm	1,067 mm	1,067 mm
自 重	14,000 kg	14,000 kg	14,000 kg
定 員	70名	70名	70名
架 線 電 圧	D.C. 600 V	D.C. 600 V	D.C. 600 V
台 車	KL-4型カルダン台車弾性車輪	釣掛式台車弾性車輪	釣掛式台車鋼製車輪
電 動 機	HS-512Ab型 300V 30kW×4	SN-50 型 600V 38kW×2	600V 37.5kW×2
歯 数 比	10.9	4.5	4.5
制 御 装 置	日立MMD-LB4型間接制御装置	間接制御装置	直接制御装置
制 動 方 式	常用電気制動および制輪子空気制動	常用電気制動および直通式内括ドラムブレーキ	制輪子直通式空気制動

(3) 試験結果の概要

(A) 加速試験

起動状況については平均加速度（抵抗制御終了まで）は、1500型で 1~1.2 km/h/s, 1810号車で 1.6 km/h/s (2ノッチ) に対し、1815号車では 2.6 km/h/s (2ノッチ) であり、在来車の約 2~2.5 倍の大ききでカルダン台車の特性を十分示している。

(B) 制動試験

非常制動の場合、制動距離は 1815 号, 1810 号とも 30 km/h で約 30 m, 35 km/h で 35~40 m である。

(C) 振動試験

振動については高周波の振動（ビビリ振動）が在来車に比し 30~45%, 上下振動で 20%, 左右振動はほぼ半減している。また車輪から直接くるように感じられる硬い振動がなくなり、乗心地が良くなった。ただ前後方向は高速において身体に感ずる程度のものが現われた。

(D) 騒音試験

騒音については 1800 型は 1500 型に比し 2~8 ホーン減少している。特に車内騒音は低速において、車外騒音は高速において顕著であり、前者は 15~25 km/h で 1500 型 76~81 ホーンに対し約 5 ホーン、後者は 25~35 km/h で 1500 型 84~87 ホーンに対し約 7 ホーンの減少をみている。

窓の開閉による相違は、各車輛とも閉め切つた場合の方が小さく、35 km/h 付近では 1500 型で 1~2 ホーン、1800 型で 2~3 ホーンの差がある。

(4) 振動試験

(A) 車体振動加速度波形比較

第21図は速度 35 km/h における各車の上下振動加速度波形の一部を示したものである。これからわかるごとく、1540号では 2.6 c.p.s. の振動とともにビビリ振動が顕著にみられ、1810号は 2.1 ならびに 4.5 c.p.s. の振動が主に表われビビリ振動も若干含まれている。これに

第 10 表 試験種別, 測定事項および使用計器

Table 10. Kind of Test, Item and Meter Used in the Measurement

試験種別	試験項目	測定事項	使用計器
加速試験	1815号 2ノッチ 3ノッチ 2Aノッチ 標準ノッチ	時 間 速 度 距 離 架 線 電 圧 主回路電流 モーター電流	電 接 時 計 記 録 速 度 計 電 磁 記 録 計 電 磁 オ ツ シ ロ 電 磁 オ ツ シ ロ 電 磁 オ ツ シ ロ
	1810号 2ノッチ 3ノッチ 4ノッチ 標準ノッチ	ノッチ刻み 加 速 度	電 磁 オ ツ シ ロ 電 磁 オ ツ シ ロ 振 動 加 速 度 計
制動試験	1815号 電気制動 電空併用 空気制動	時 間 制 動 初 速 制 動 距 離 空 気 圧 力 架 線 電 圧 電動機誘起電圧	電 接 時 計 記 録 速 度 計 電 磁 記 録 器 記 録 圧 力 計 電 磁 オ ツ シ ロ 電 磁 オ ツ シ ロ
	1810号 制動2ノッチ 制動3ノッチ 空気制動	制 動 電 流 ノッチ刻み 制 動 合 図 衝 動	電 磁 オ ツ シ ロ 電 磁 オ ツ シ ロ 電 磁 記 録 器 振 動 加 速 度 計
走行抵抗試験	1815号 1810号	時 間 距 離 速 度	電 接 時 計 電 磁 記 録 器 記 録 速 度 計
振動試験	1815号 直 線 交 叉 点	時 間 速 度 電 柱 マ ー ク 振 動 加 速 度	電 接 時 計 記 録 速 度 計 電 磁 記 録 器 振 動 加 速 度 計 (梅北式)
	1810号 直 線 交 叉 点		
1540号 直 線 交 叉 点			
騒音試験	振動試験に同じ	時 間 速 度 電 柱 マ ー ク 車 内 騒 音 車 外 騒 音	電 接 時 計 記 録 速 度 計 電 磁 記 録 器 記 録 騒 音 計 記 録 騒 音 計

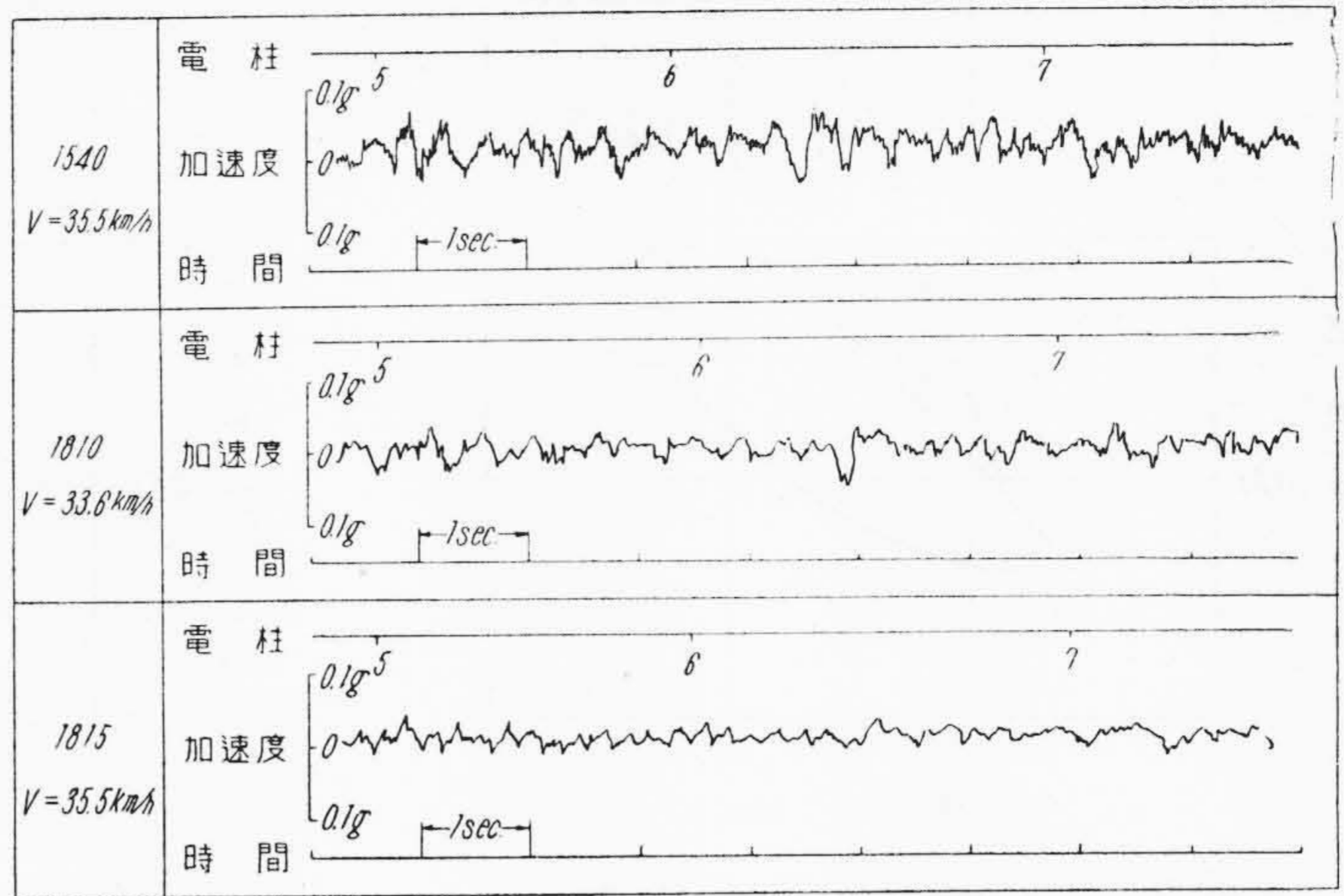
対し、1815号は 4.5 c.p.s. の振動が表われているほか、ビビリ振動はほとんどみられない。

第22図は同じく 35 km/h における各車の左右加速度波形を示す。すなわち、1540号は 1.2 c.p.s. の動揺が顕著に表われ、振幅も大きくまたビビリ振動もかなり含まれている。1810号は 1~1.6 c.p.s. の定常的な振動が現われており、1815号は定常的な振動は現われず、その振幅も前二者に較べて大幅に小さくなっている。

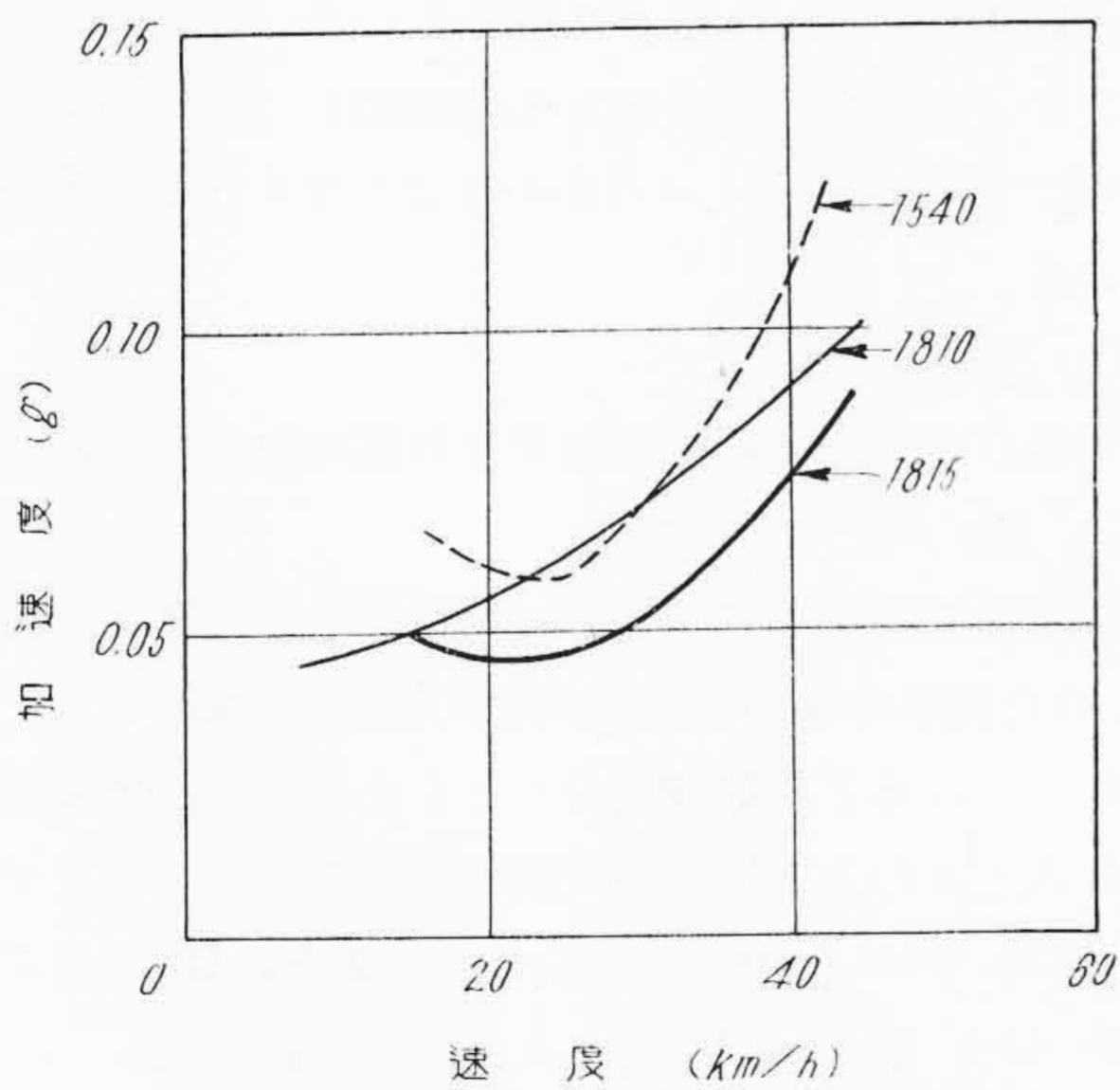
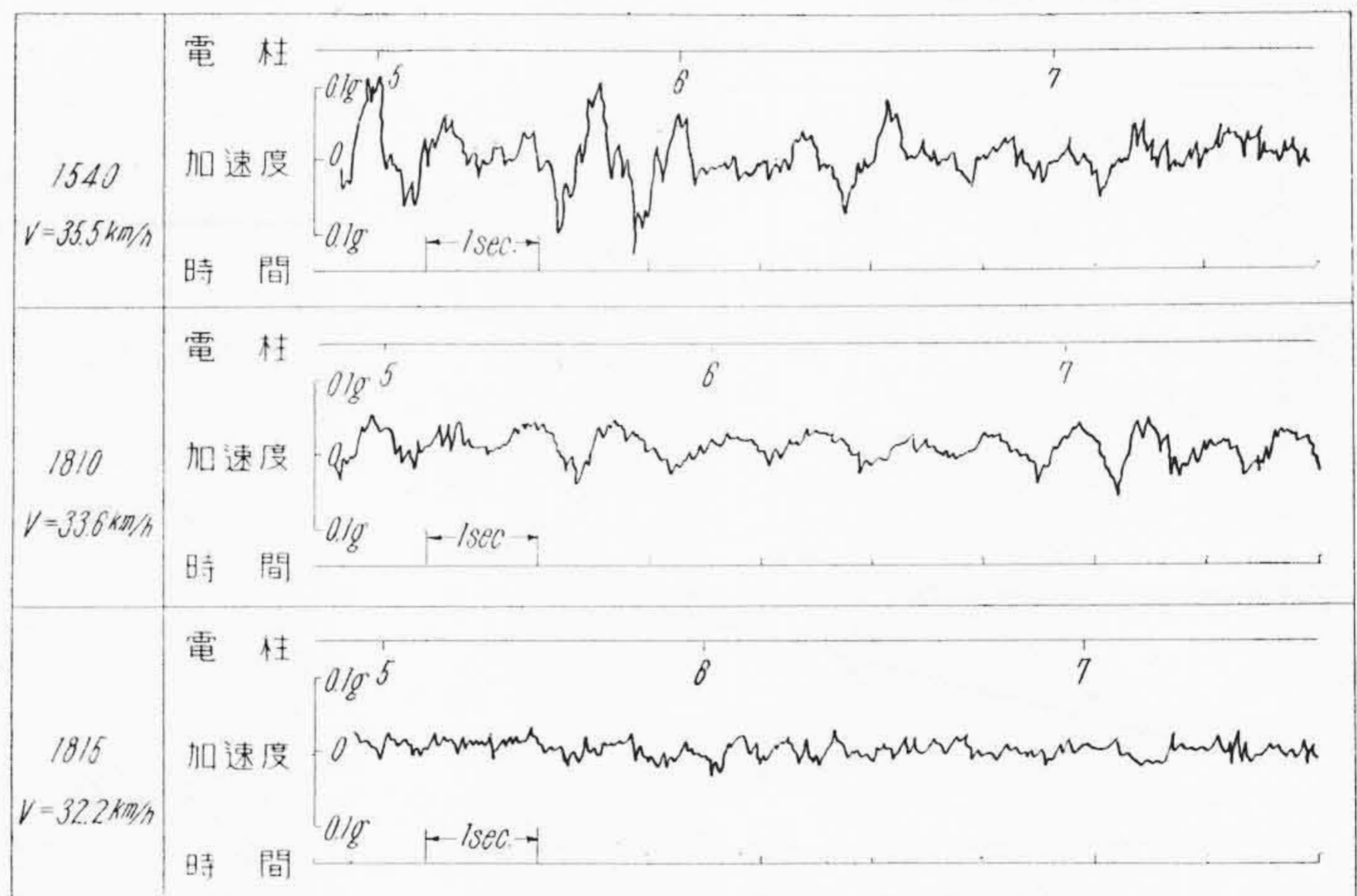
(B) 車体上下加速度比較

第23図および第24図に示すごとく、上下加速度の大きさは 1810号は 1540号より動揺で 10%, ビビリ振動で 30%減少しているが、1815号はさらにいちぢるしく動揺で 20%, ビビリ振動で 45%減少している。また 1810号と 1815号を比較すれば低速において大差ないが、高速において 1815号は動揺ビビリ振動ともほぼ 20%の減少を示している。

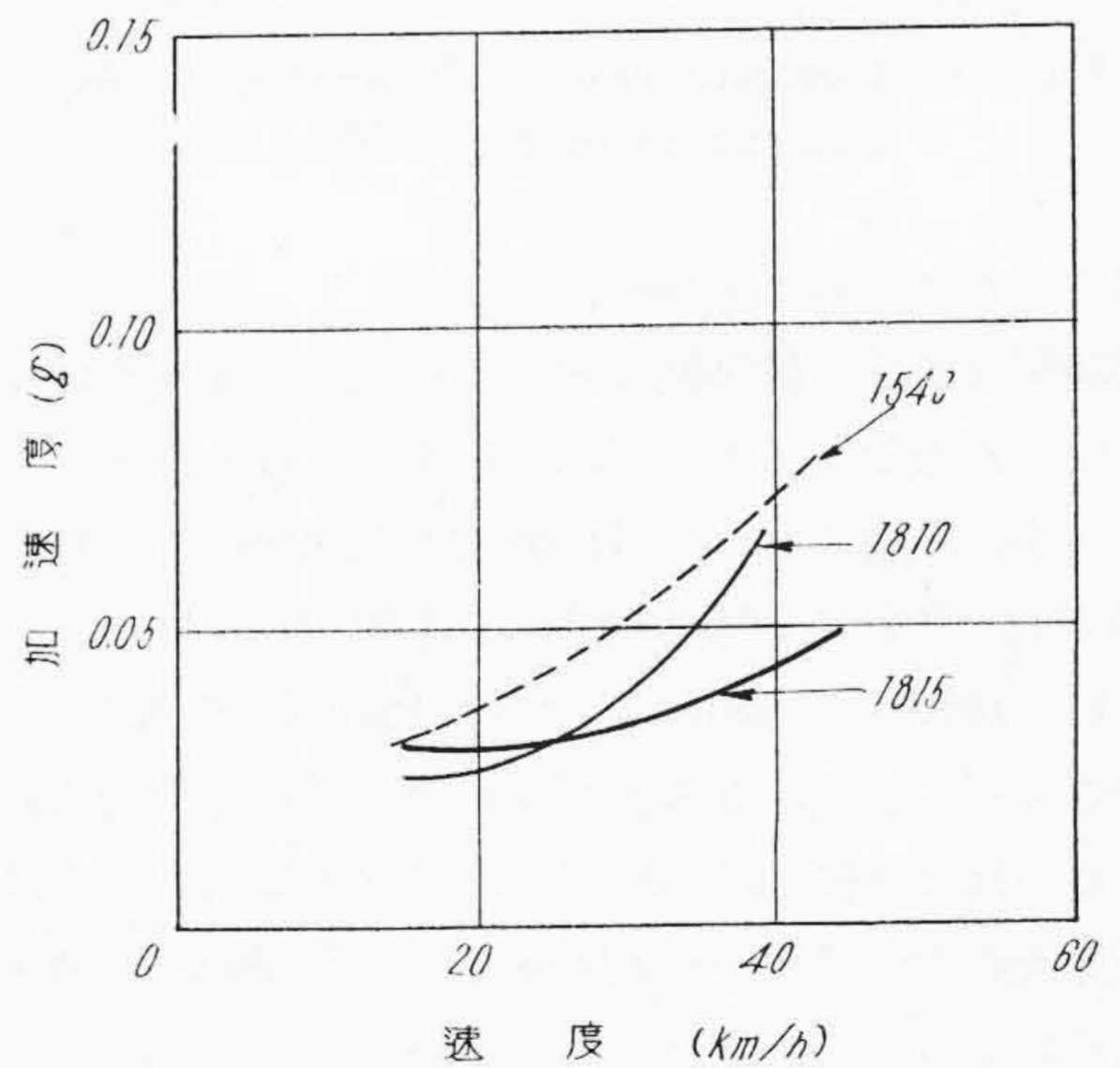
第21図  
上下振動加速度波形  
Fig. 21.  
Wave Form of Vertical  
Acceleration



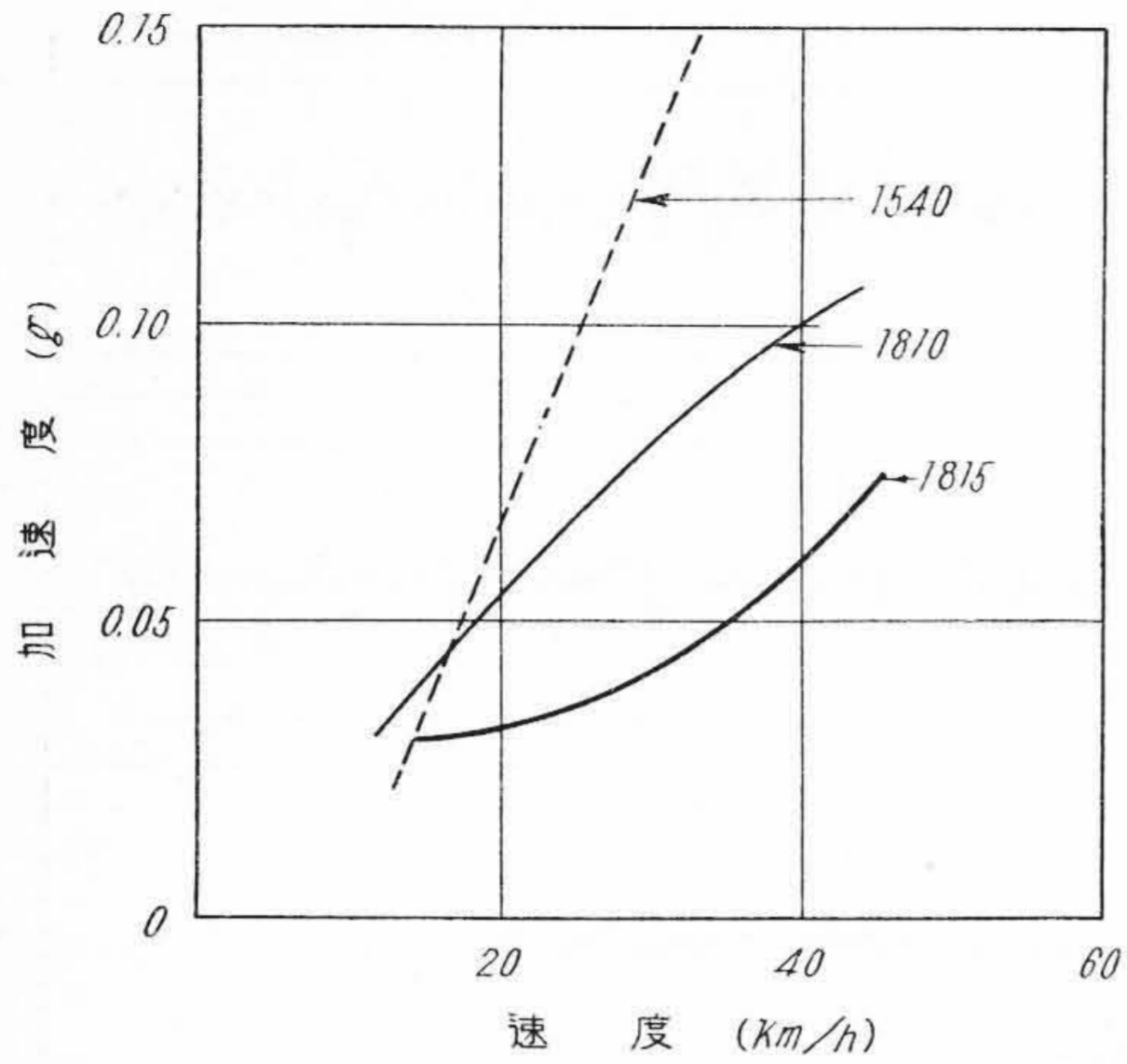
第22図  
左右振動加速度波形  
Fig. 22.  
Wave Form of Transverse  
Acceleration



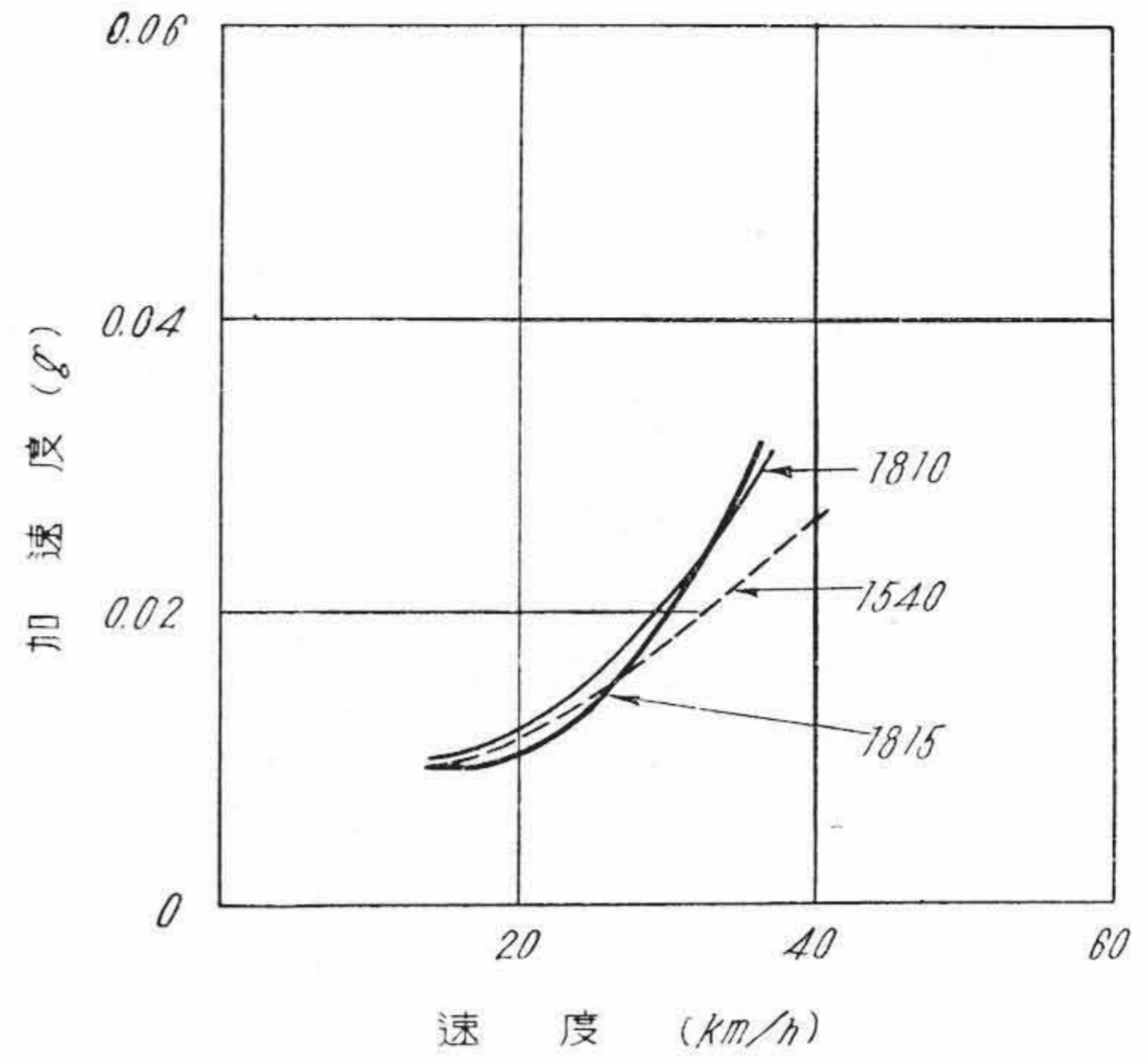
第23図 上下振動加速度比較  
Fig. 23. Comparison of Vertical  
Acceleration



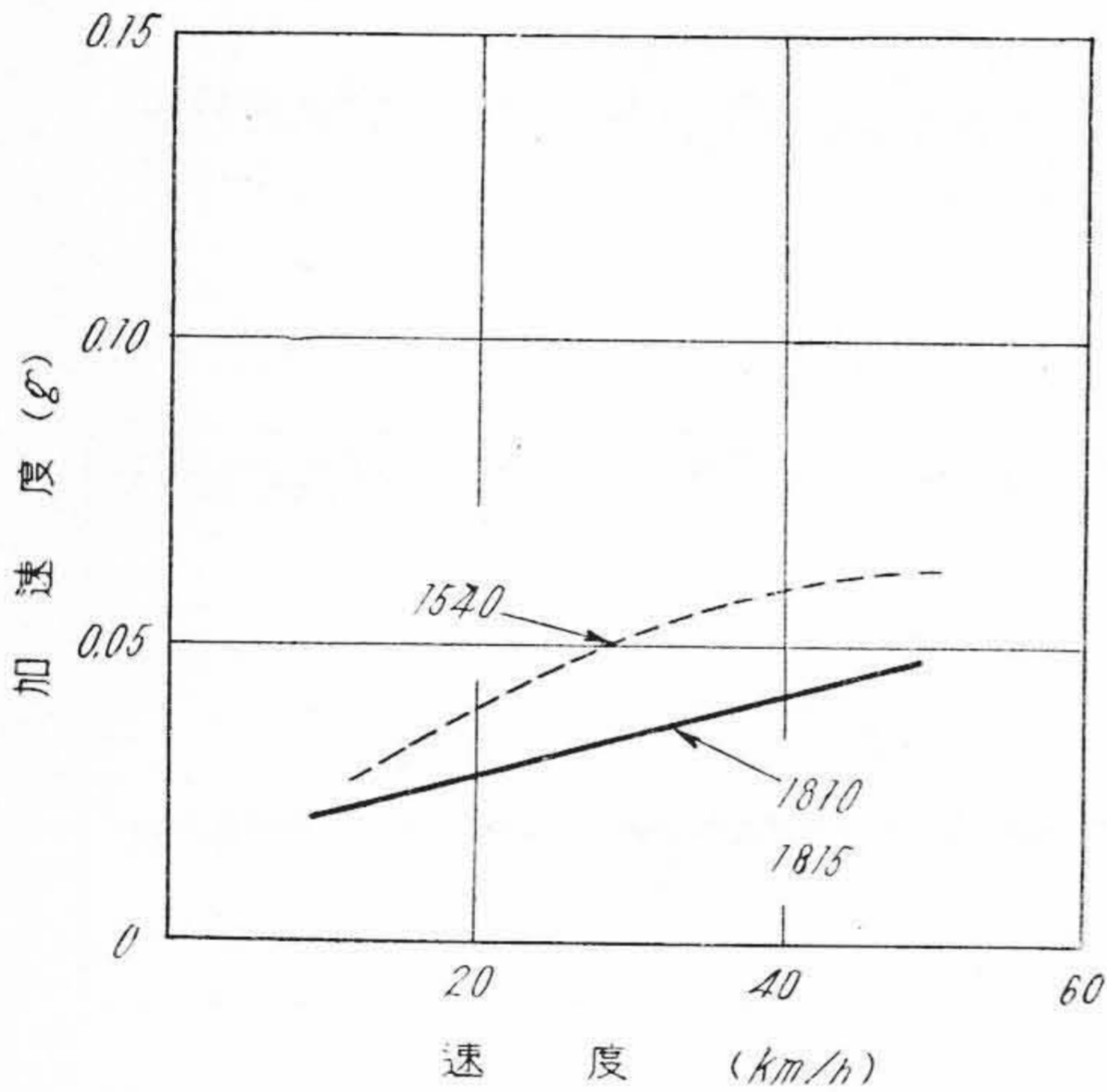
第24図 上下ビビリ振動加速度比較  
Fig. 24. Comparison of Vertical Acceleration of High Frequency



第 25 図 左右振動加速度比較  
Fig. 25. Comparison of Transverse Acceleration



第 27 図 前後加速度比較  
Fig. 27. Comparison of Longitudinal Acceleration



第 26 図 左右ビビリ振動加速度比較  
Fig. 26. Comparison of Transverse Acceleration of High Frequency

(C) 車体左右加速度比較

第 25 図は動揺、第 26 図はビビリ振動の加速度比較を示す。すなわち動揺については、低速では各車ほとんど差はないが、高速において 1810 号は 1540 号より 40%、1815 号は 70% と減少しており、特に 1815 号の減少は著しい。1810 号と 1815 号とでは 1815 号が 45% 小さな値を示しており、カム式吊リンクの効果が十分表われている。ビビリ振動については、低速ではあまり差はなく、高速において 1810 号 1815 号とも約 30% の減少を示している。

(D) 車体前後加速度比較

第 27 図に示すごとく、1810 号 1815 号 2 車は 1540 号に較べて若干大きい値を示しているが、これは弾性車輪

第 11 表 振 動 解 析

Table 11. Analysis of Vibration

	1815	1810	1540
上下固有振動数 (c.p.s.)	2.0	2.2	2.5
波 長 (m)	2, 6	2, 5	1.4, 3.1
上下ビビリ振動数 (c.p.s.)	17~20	19~20	約 22
左右固有振動数 (c.p.s.)	1.0	1.0~1.5	1.2~1.3
波 長 (m)	6.4	6, 9	8
左右ビビリ振動数 (c.p.s.)	10~11	10~11	10~11
前後固有振動数 (c.p.s.)	5	3.5~4	4~5

の偏心が影響しているものと考えられる。

(E) 交叉点試験

第 28 図は交叉点における各車の上下振動加速度波形を示したものである。1815 号と 1540 号は 0.2 g 程度であるが、1810 号では 0.35 g に達している。なお図には示さないが、左右方向は各車ともほぼ同じく、前後振動は 1815 号、1540 号は等しく 1810 号はかなり大きな値を示している。

(F) 振動解析

第 11 表は各車の振動解析結果を取纏めたものである。

(G) 乗心地

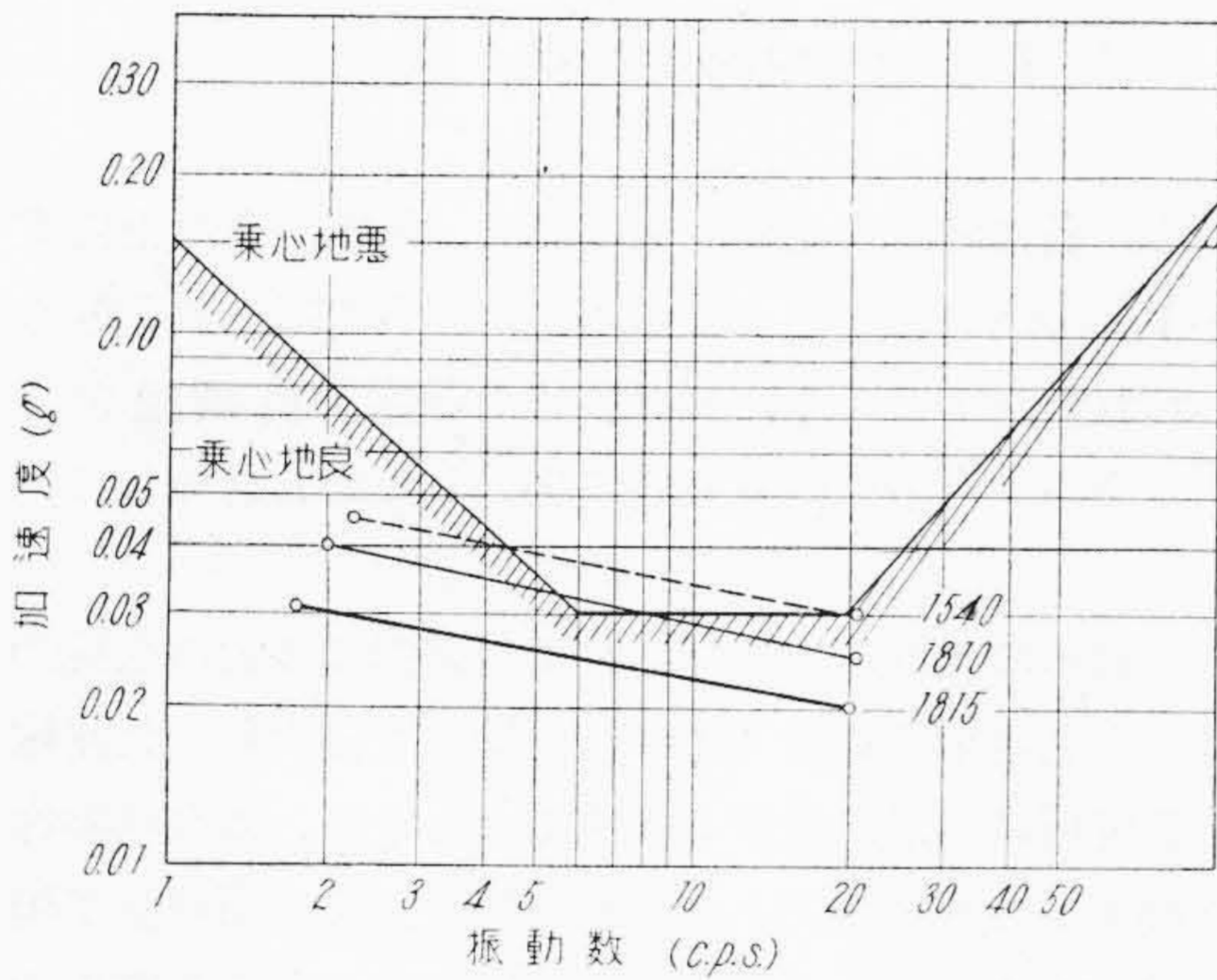
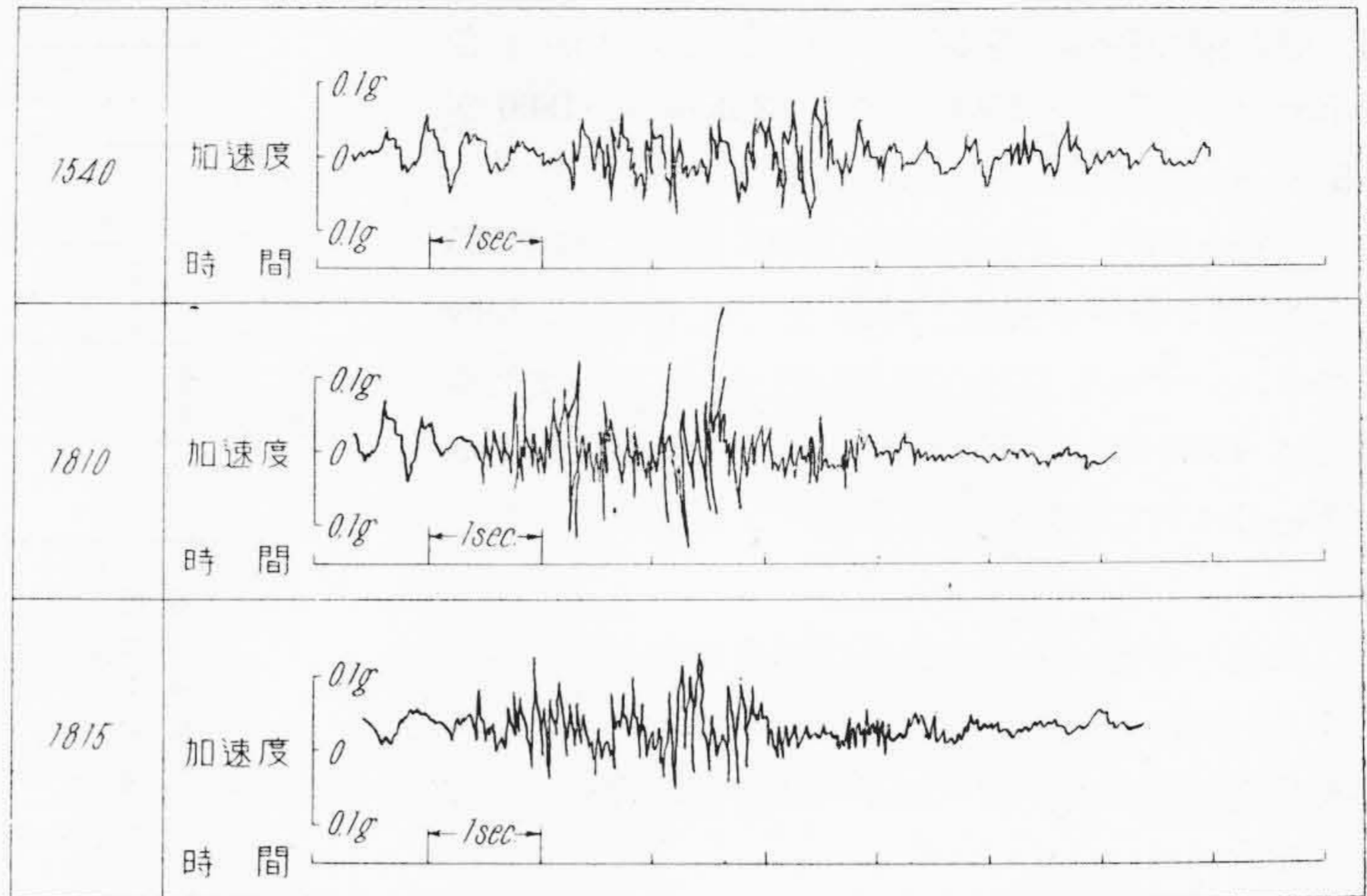
振動試験成績を判定する一つの目安として R.N. Jane-way の自動車の乗心地限界曲線に各車の試験結果をプロットしてみると、第 29 図のごとくなる。これは速度 35 km/h のときの上下振動最大値の平均を使用した。すなわち 1815 号は 1540 号に較べて約 30%、1810 号に較べて約 15% 乗心地が改善されたことがわかる。

(5) 騒音試験

(A) 試験方法

測定条件として、車内と車外、直線路 (280 m) と交叉

第28図  
 交叉点における上下振動加速度波形  
 Fig.28.  
 Wave Form of Vertical Acceleration at Crossing



第29図 乗心地曲線  
 Fig.29. Riding Quality Curve

点, 窓密閉と開放および速度 15, 25, 35 km/h (交叉点  
 は 15 km/h のみ) で行つた。

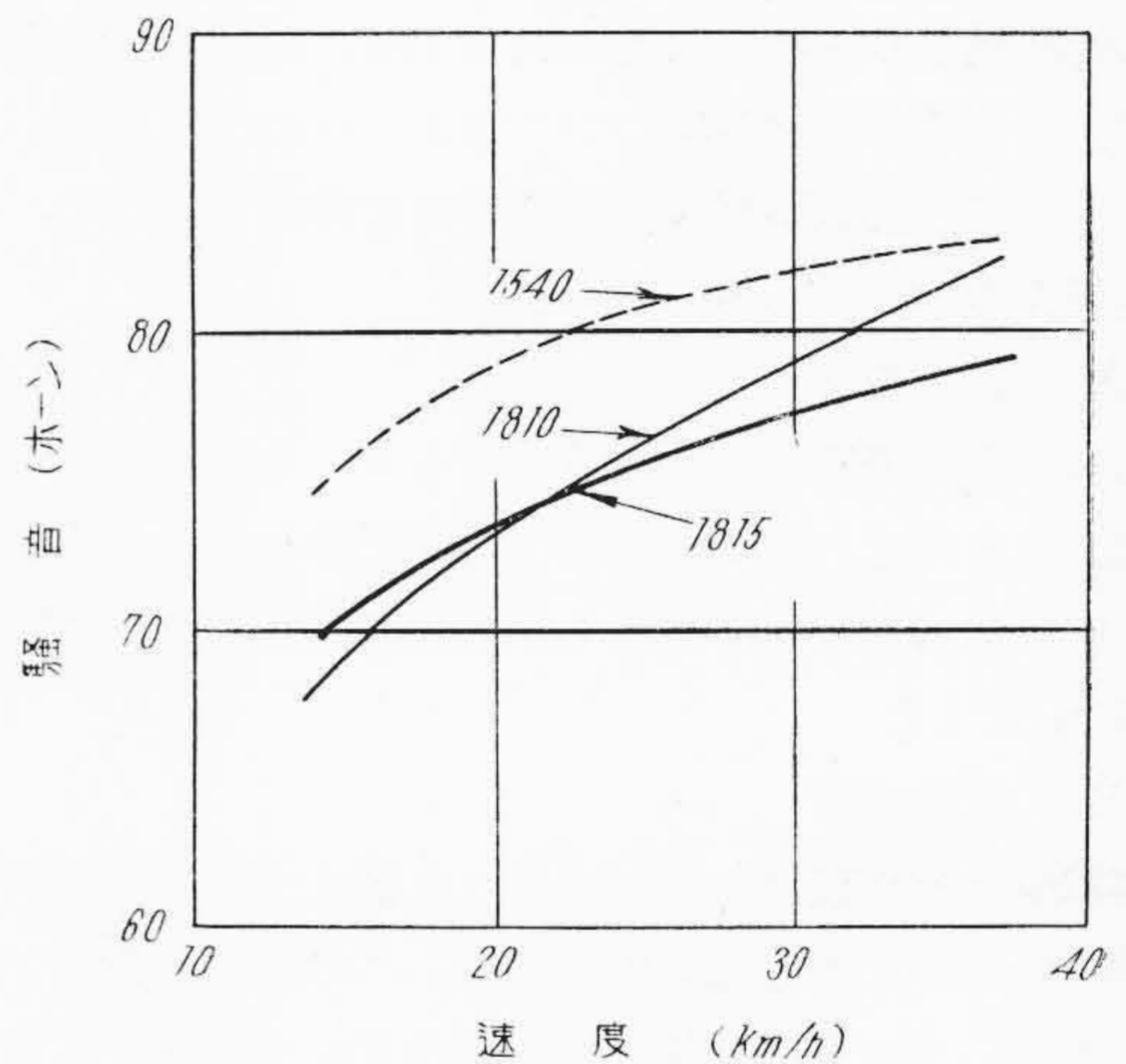
使用計器は記録式騒音計を用い, 車内はマイクロホンを車体中央床面上 1.8 m の高さに下向に吊り, 車外はマイクロホンを線路から 6 m 離れた位置に約 1 m の高さに設けた。なほ測定は外部騒音を避けるため深夜行つた。

(B) 試験成績

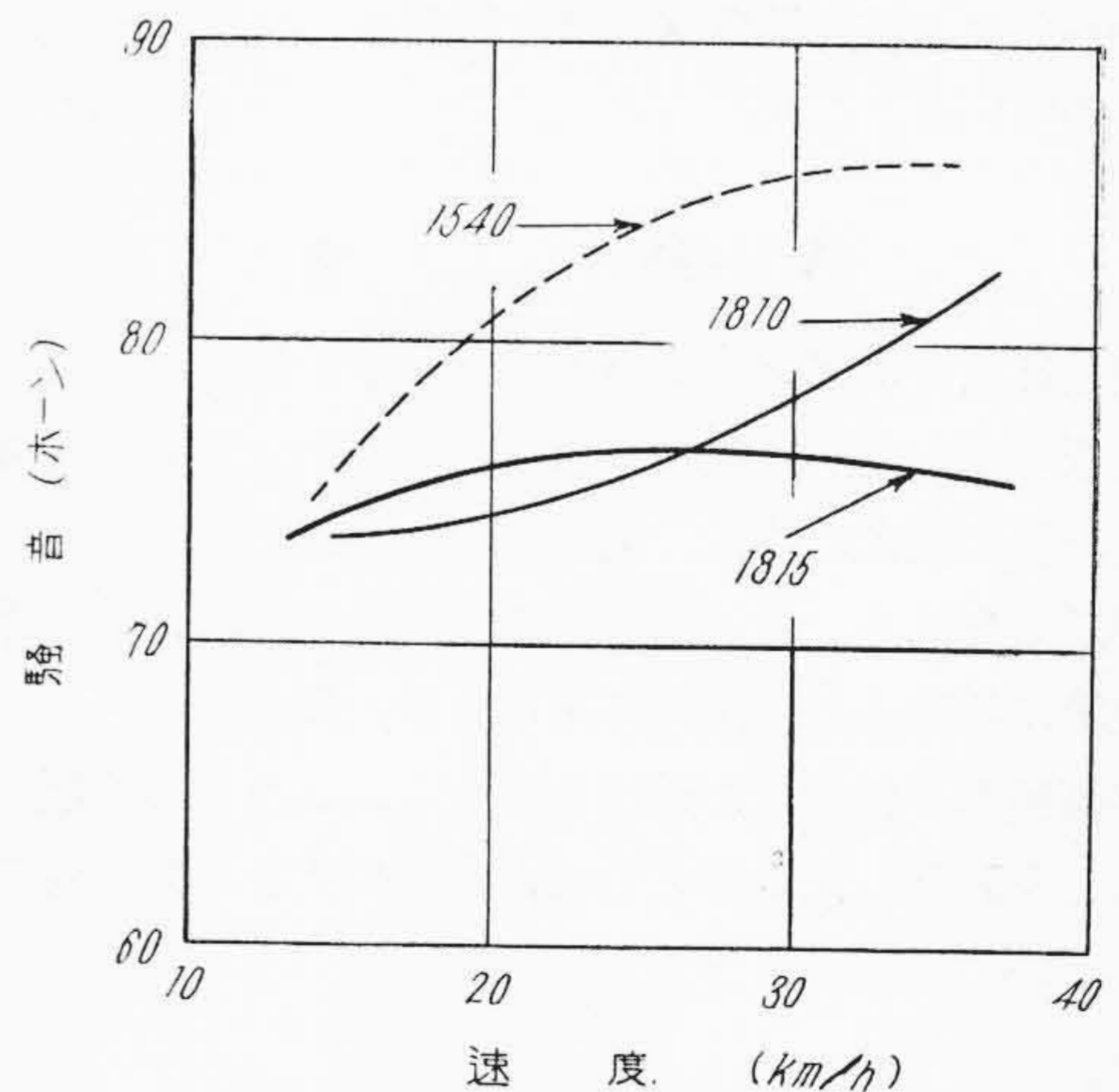
(i) 車内騒音 第30図は各車の車内騒音の比較を示す。1815号は1540号に較べ, 低速で6~7ホン, 高速で2~3ホン減少し, 1810号は低速で4~5ホン, 高速で3~5ホン減少している。

(ii) 車外騒音 第31図に示すごとく, 低速では各車とも大差はないが, 高速では1815号は1540号に較べ約10ホン, 1810号に較べ約5ホンと大きく減少している。

なお1815, 1810号とも1540号に較べ高音部がきわめて少なく軟い感じがしている。



第30図 車内騒音比較  
 Fig.30. Comparison of Indoor Noise



第31図 車外騒音比較  
 Fig.31. Comparison of Outdoor Noise

(iii) 窓開閉の影響 各車とも密閉した場合が小さく、35 km/h 附近では 1500 型で 1~2 ホーン、1800 型で 2~3 ホーンの差がある。

(iv) 力行と惰行 車内騒音は 1500 型では速度 35 km/h 附近で 3 ホーン程度、1800 型では 1 ホーン程度の差があり、いずれも力行の場合の方が大きい。また車外騒音では 1500 型は 35 km/h 附近で力行時が約 3 ホーン大きいのに対し、1800 型は 2 ホーン程度小くなっている。

(v) 軌道の影響 軌道の良否は騒音の大きさに著しく影響する。特に高速時においてその影響が大きい。試験の結果軌道状態により 2~3 ホーン騒音に差があることがはつきりした。

(6) 市街騒音

市街地電車の騒音の改善に当つては、当然それに相対的關係のある市街騒音について考えられねばならない。したがって性能試験終了後市街騒音を測定したので、その結果を簡単に述べる。

(A) 試験方法

市内の主要繁華街の交通量の最も多いと思われる時刻を選び、それぞれ約 5 分間ずつ連続記録した。マイクロホンの向きは交叉点では交叉の中心に向け、高さは路面上 1 m とした。

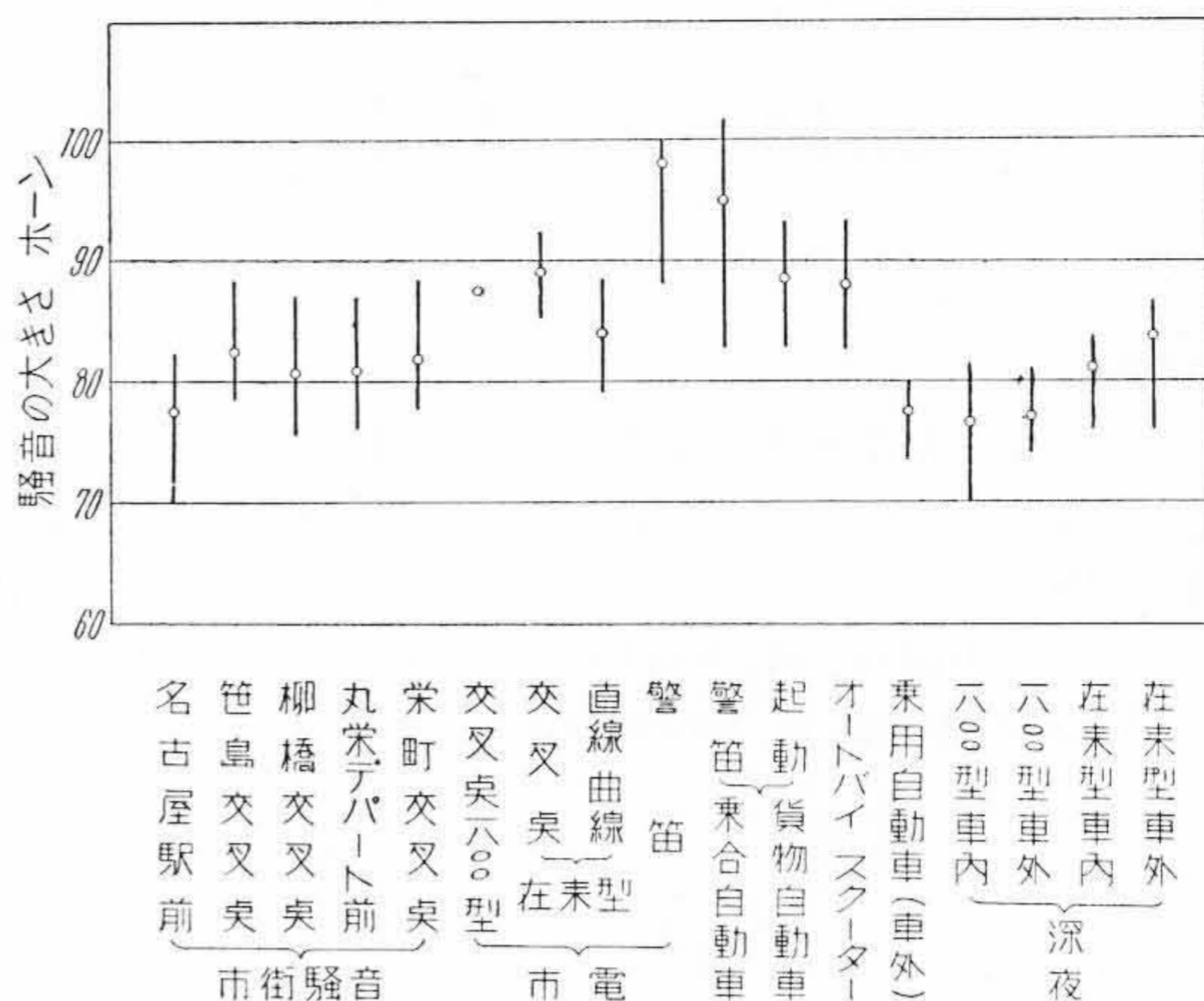
(B) 試験成績

第32図は市街騒音ならびにそれを構成するおもな交通機関の騒音を比較したものである。この図からみると、最も大きい音は各種警笛であり、つぎに市電が交叉点を通過する場合、貨物自動車、乗合自動車、オートバイおよびスクーター、市電（在来車）の順となつており、いずれも市街騒音の平均より大きい。

1800型および高級自動車は、繁華街では市街騒音以下になつている。

[V] 結 言

以上日立カルダン台車の構造および性能についてその概要を説明したが、高加減速度の採用による表定速度の向上、都市騒音の防止、乗心地の改善などに十分その効果が認められる。最近自動車の急速な発達に、路面電車が次第に圧迫される傾向にあるとき、日立カルダン台車は路面電車が自動車の進出を阻止し、よりよく発展できることを証明したのものとして、斯界の大きな関心を集め



第32図 市街騒音  
Fig. 32. Street Noise

ている。名古屋市交通局が引続いて 10 輛、また土佐電鉄が 1 輛発注されたのもこの表われとみてよいであろう。われわれとしても、関係各位の御協力御鞭撻を得て、さらに本台車の改良発展に努力したいと念願している。

稿を終るに当り、カルダン台車の試作に多大の御援助を戴いた名古屋市交通局および試験結果を提供戴いた運輸技術研究所に万腔の敬意を表するとともに、本台車製作の原動力となり推進力となられた現日立製作所日立工場青木機械検査課長、歯車の製作になみなみならぬ御努力を賜った日立製作所川崎工場花岡製造部長ほか関係各位に深甚の謝意を表する次第である。

参 考 文 献

- (1) 青木外：日立評論 33 403 (1951, 5)
- (2) 平田：日立評論 34 361 (1952, 2)
- (3) 秋山, 今橋：機械学会 鉄道部門委員会にて発表 (1950, 10)
- (4) Gleason: Bevel and Hypoid Gear Design 1951
- (5) 村田：日立評論 35 1225 (1953, 8)
- (6) 機械学会：機械振動とその対策 (1952, 5)
- (7) 青木外：日立評論 33 403 (1951, 5)
- (8) 名古屋市交通局, 運輸技術研究所：1800 型電車性能試験成績 1953, 10