

# 車 輦 の 軽 量 化 に 就 い て

藤 岡 多 喜 男\*

## Weight Reduction of the Rolling-Stock

By Takio Fujioka

Kasado Works, Hitachi, Ltd.

### Abstract

It is an established fact that service and maintenance costs are effectively decreased by reducing the car weight. In other words, the output per unit weight of the car is increased so much by the reduction of total car weight, and accordingly the performance characteristics are improved proportionately.

For the purpose of reducing the car weight, the study on the materials used for each part of the car and their combination in relation to the strength and rigidity should come first; use of strong, light materials for the car construction should be the matter of first consideration. On the other hand, the safety for passengers and the riding quality must not be sacrificed thereby but improved, in view of the fact that the railway vehicles are to serve for a long distance communication at a high speed.

With these points of view in full consideration, Hitachi, Ltd., has recently designed and completed light electric cars for the Keio Teito Electric Railway Co., Ltd., the weight of which has been cut by about 14% compared to the previous ones. The following are the features of these cars:

- (1) The steel with high tensile strength has been used for every member subject to high stress.
- (2) Torsional and bending rigidities have been improved in order to raise the natural frequency of car body.
- (3) Interior panels and parts have been made of the light metal alloy, in view of the fire prevention and the effective strength of their own.

### 〔I〕 緒 言

木造車より不燃性鋼製車へと進展した鉄道車輛は、今や軽量化への趨勢をたどつてその実現に絶大なる努力が払われている。即ち、大型化に伴う鋼製構造と不燃性とするための金属の利用は必然的にその重量を増加し、動力の消費も軽視出来ない状態となつた。これを車輛の自重軽減に依つて節減してゆこうとするものである。

今自重 44t 130 人乗の電車を 38t に軽減した場合を検討して見ると第 1 表(次頁参照)の如き運転重量の変化

を示す。又この結果単位重量当りの出力が増加し、従つて運転速度の増大と経費の節減に大いに寄与していることになる。

以上の観点より車輛の軽量化を有効に実施するため種々な方面から検討した場合、特定の部分のみを軽量化しても顕著な効果が期待出来ないことは第 2 表(次頁参照)の重量明細からもうなづけることで、各装置の機能を十分發揮出来る範囲に於てそれぞれ重量の軽減を実施しなければならないものである。本論文に於ては特に車体関係の軽量化に就いて記述した。先ず車体の構成部材より次の二つに分けて検討した。

\* 日立製作所笠戸工場



第 1 表 運 転 重 量 の 変 化

Table 1. Change of Operation Weight

| 運転状態  | 従 来 車  |         | 軽 減 車  |         | 軽 減 率<br>(%) |
|-------|--------|---------|--------|---------|--------------|
|       | 重量 (t) | 変化率 (%) | 重量 (t) | 変化率 (%) |              |
| 空 車   | 44     | 86      | 38     | 84      | 86           |
| 定 員 時 | 51     | 100     | 45     | 100     | 88           |
| 満 員 時 | 63     | 123     | 57     | 127     | 91           |

(備考) 定員時を 100% として変化率を示した。

第 2 表 重 量 明 細

Table 2. Weight and Weight Ratio of Each Car Component

| 装 置     | 重 量 (kg) | 重 量 比 (%) |
|---------|----------|-----------|
| 車 体     | 13,020   | 34.3      |
| 附 属 機 器 | 1,360    | 3.6       |
| 台 車     | 10,860   | 28.5      |
| 制 動 装 置 | 1,550    | 4.1       |
| 制 御 装 置 | 2,410    | 6.3       |
| 主 電 動 機 | 8,800    | 23.2      |
| 合 計     | 38,000   | 100.0     |

## (1) 強 度 部 材

## (2) 機 装 部 材

これ等各部材は強度/比重の値の大なる材料を利用することに依りその目的に近づくことも一方法であるが、更にその機能に応じた適切なる構造と設計に依り、重量軽減を果すことが出来るものと信ずる。

この度軽量化を図った第 1 図の如き電動車を完成したので、これを一例として車体軽量化の一端を述べてみたいと思う。

## 〔II〕 仕 様 の 概 要

主要寸法は第 2 図に示す通りで、主な仕様は次の如くである。

車 体.....全金属製二軸ボギー電動車  
(片運転室)

軌 間.....1,067 mm  
自 重.....38 t (第 2 表参照)  
定 員....130人 (座席 54人, 立席 76人)  
車 体 寸 法  
長さ 17,500×幅 2,700×高さ 3,590 mm  
電 気 方 式.....D.C. 1,500 V  
主 電 動 機.....142kW×4 台 (MT-40B)  
制 御 装 置.....多段式総括制御  
(MMC-H10C 型)  
集 電 装 置.....パンタグラフ  
制 動 装 置.....空気ブレーキ (AMA 型)  
及び 手ブレーキ  
戸 閉 装 置.....自動開閉式 (TK-4 DS 型)

## 〔III〕 強 度 部 材

強度部材の大部分を占める台枠、鋼体は一般構造用鋼材よりも強度/比重の値が大きな材料を使用することにより相当な軽量化が実施出来る。この目的に沿った材料として種々研究された高抗張力鋼を使用し、更に合理的な設計検討を加えて軽量化された車体構造を作ることが出来た。第 3 表は強度部材としての鋼材の強さを比較したものである。

## (1) 高 抗 張 力 鋼

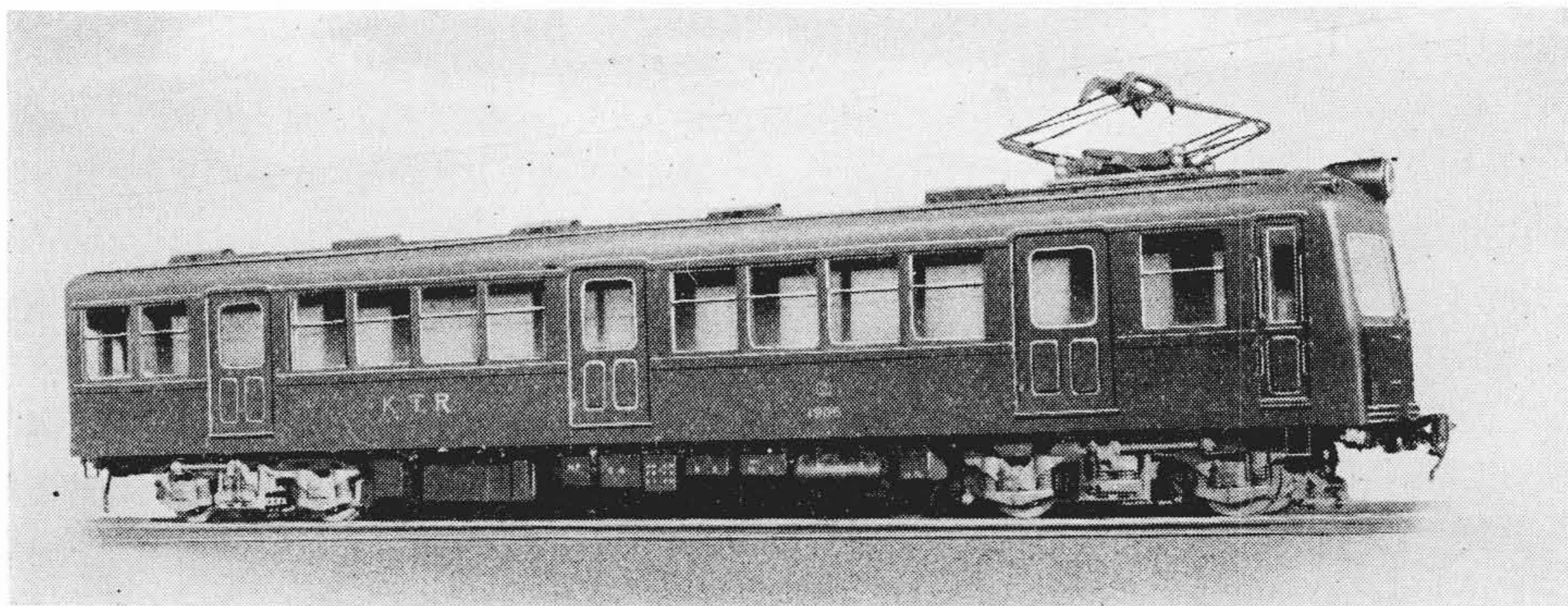
高抗張力鋼としては用途に応じ、機械的性質、化学的

第 3 表 鋼 材 の 強 さ

Table 3. Strength of Steel

| 名 称                           | 普 通 鋼              | 高 抗 張 力 鋼          |
|-------------------------------|--------------------|--------------------|
| 材 質 記 号                       | SS 41              | SHT-2              |
| 抗 張 力 (kg/mm <sup>2</sup> )   | 41~50              | 55~65              |
| 降 伏 点 (kg/mm <sup>2</sup> )   | 24~26              | 36                 |
| 疲 勞 限 (kg/mm <sup>2</sup> )   | 20                 | 25                 |
| 抗 張 力 / 比 重                   | 5.2~6.4            | 7.0~8.3            |
| 弾 性 係 数 (kg/mm <sup>2</sup> ) | 21×10 <sup>3</sup> | 21×10 <sup>3</sup> |

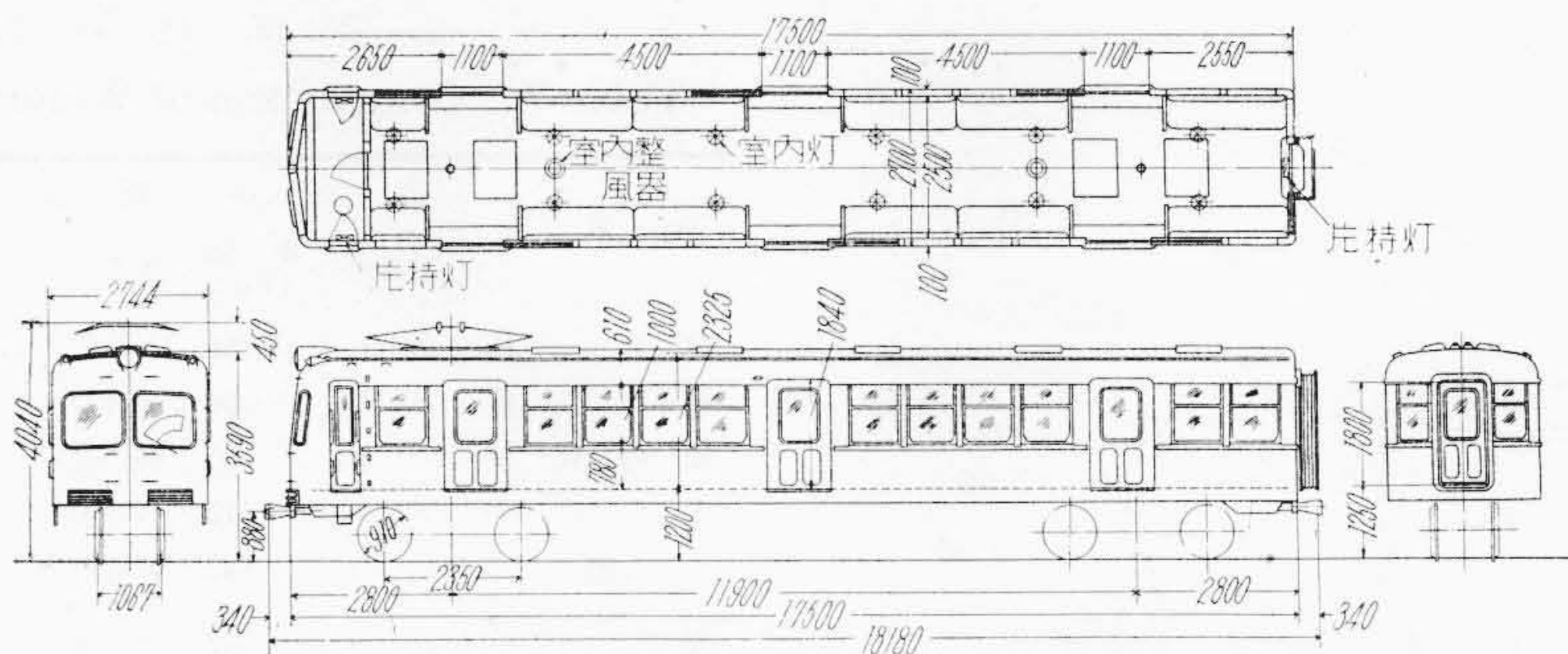
(備考) 比重は 7.85 とす。



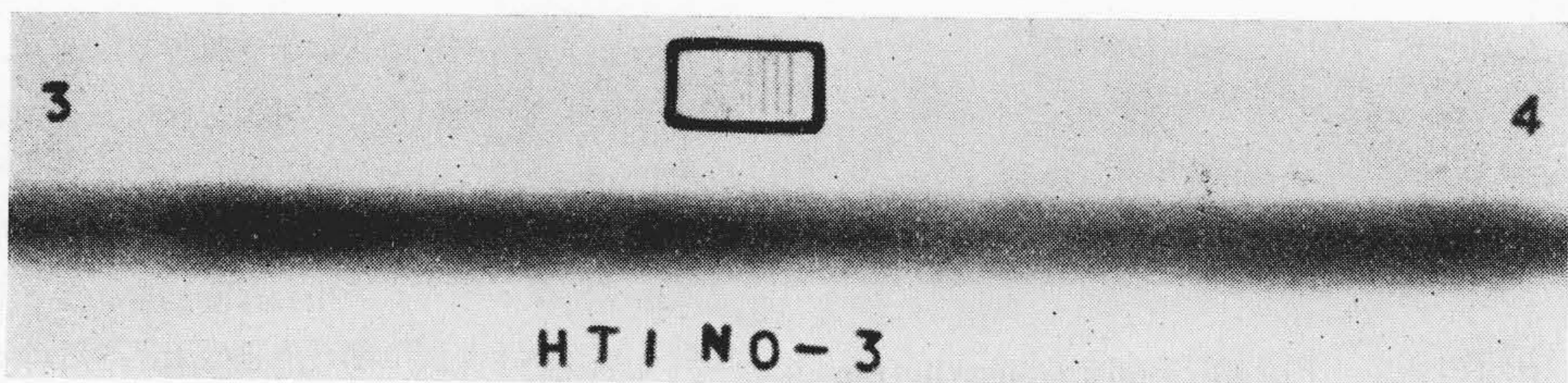
第 1 図 1900 型 二 軸 ボ ギ ー 電 動 車

Fig.1. Type 1900 Motor Car with 4 Wheel Trucks





第2図 1900型二軸ボキ一電動車外形図  
Fig.2. Overall Dimensions of Type 1900 Motor Car with 4 Wheel Trucks



第3図 ユニオンメルト溶接部のX線検査  
Fig.3. X Ray Examination of Union-melt Welded Part

性質、熔接性、加工性等を考慮し、いろいろな成分のものが製作されているが大別して**第4表**の如き系統のものに別けることが出来、一般に抗張力は  $50 \sim 65 \text{ kg/mm}^2$ 、降伏点は  $32 \sim 42 \text{ kg/mm}^2$  が目標となつている。車輛構造用としては特に熔接性を重視し、作業性を加味した場合 Mn 系のものが有利で**第3表**の如き強さのものを標準としている。**第5表**はこの度使用した高抗張力鋼の化学成分及び機械的性質を示す。

構造は殆ど溶接構造とし、溶接棒は低水素系の AWS,

第 4 表 高 抗 張 力 鋼 の 種 類  
Table 4. Kind of High Tensile Steel

| 主 成 分<br>(%) | C        | Mn      | Cu      | Cr      | Si        |
|--------------|----------|---------|---------|---------|-----------|
| Mn 系         | 0.1~0.2  | 1.0~1.6 | 0.2~0.6 | —       | 0.10~0.80 |
| Cu 系         | 0.1~0.2  | 0.5~1.0 | 0.5~1.2 | —       | 0.20~0.40 |
| Cr 系         | 0.1~0.18 | 0.5~0.8 | 0.3~0.5 | 0.5~1.5 | 0.15~0.25 |

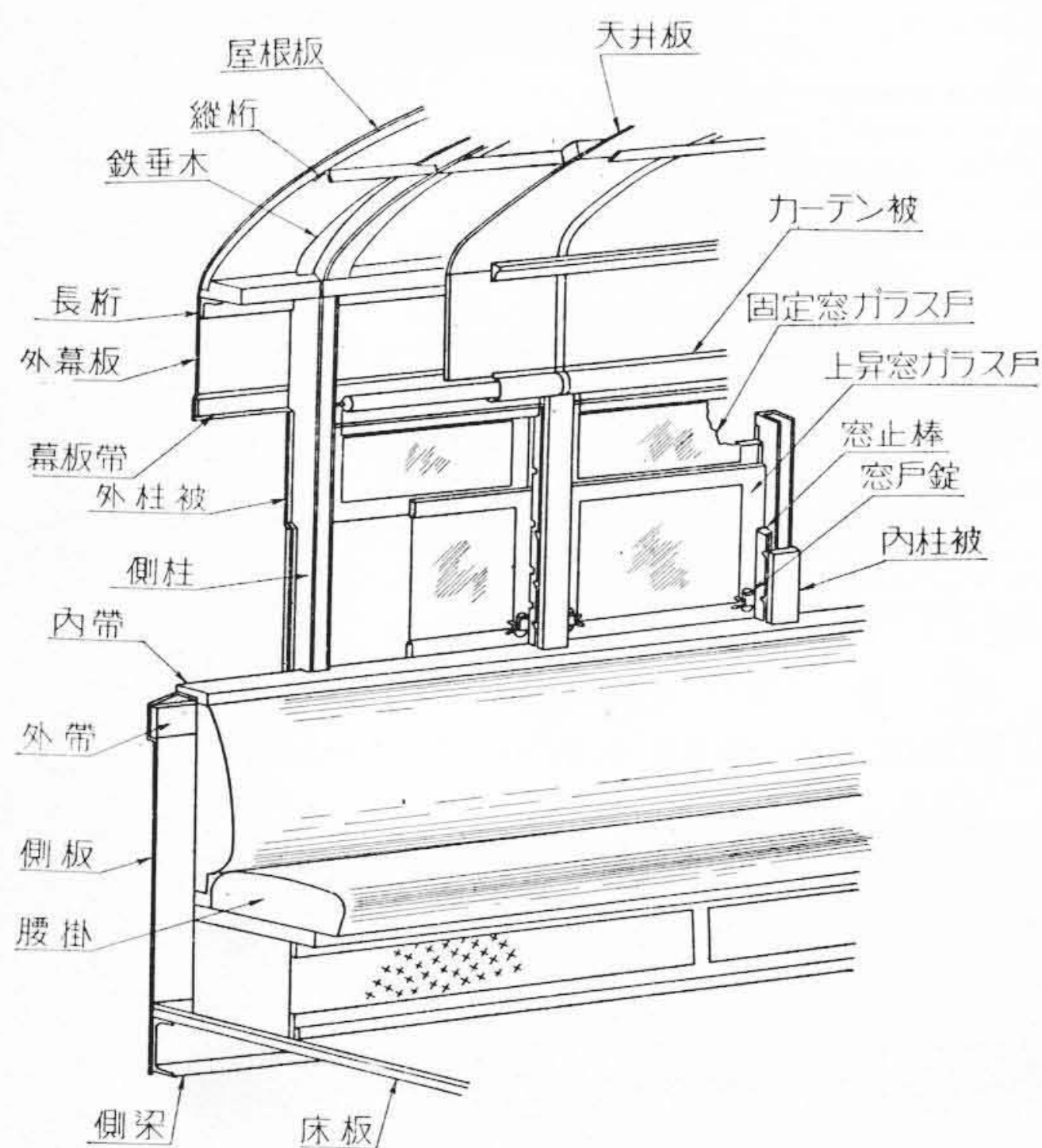
第 6 表 熔 接 部 の 強 さ  
Table 6. Strength of Welded Part

| 材 料 | 熔 接 法     | 抗 張 力<br>(kg/mm <sup>2</sup> ) |
|-----|-----------|--------------------------------|
| 形 鋼 | ユニオンメルト熔接 | 58.2                           |
| 銅 板 | ユニオンメルト熔接 | 56.6                           |
| 銅 板 | 手 熔 接     | 54.3                           |

第 5 表 使用材料の化学成分及び機械的性質  
Table 5. Chemical Analysis and Mechanical Properties of Materials

| 材 料 寸 法         | 化 学 成 分 (%) |      |      |       |       | 機 械 的 性 質                      |                                |         |
|-----------------|-------------|------|------|-------|-------|--------------------------------|--------------------------------|---------|
|                 | C           | Si   | Mn   | P     | S     | 降 伏 点<br>(kg/mm <sup>2</sup> ) | 抗 張 力<br>(kg/mm <sup>2</sup> ) | 伸 び (%) |
| 4.5 t 板         | 0.17        | 0.59 | 0.94 | 0.019 | 0.012 | 40.6                           | 58.2                           | 38.5    |
| 6.0 t 板         | 0.17        | 0.50 | 1.06 | 0.020 | 0.008 | 41.8                           | 57.8                           | 33.5    |
| 8.0 t 板         | 0.14        | 0.60 | 0.91 | 0.025 | 0.009 | 37.8                           | 54.1                           | 36.5    |
| 9.0 t 板         | 0.17        | 0.68 | 0.98 | 0.037 | 0.025 | 41.8                           | 59.5                           | 33.5    |
| 12.0 t 板        | 0.18        | 0.66 | 1.04 | 0.018 | 0.009 | 39.4                           | 58.7                           | 34.5    |
| └ 75×75×6 山 形 鋼 | 0.16        | 0.14 | 1.06 | 0.018 | 0.017 | 35.0                           | 57.2                           | 21.4    |
| 75×9 平 鋼        | 0.19        | 0.13 | 1.32 | 0.036 | 0.023 | 38.0                           | 57.0                           | 23.0    |
| 50×6 平 鋼        | 0.15        | 0.16 | 1.24 | 0.031 | 0.013 | 36.0                           | 56.0                           | 23.0    |





第 4 図 車体構造 Fig. 4. Body Construction

## (2) 構造の検討

車体の構造として、強度的に安全であり更に軽量であるために、車体全体が一つの梁として有効に働く如く各部材の大きさと、その配置を考慮し、運転に於ける振動に対して十分な曲剛性を確保すると共に、高抗張力鋼利用に依る許容応力の増加を十分に活用してその軽量化を図った。第 4 図は一般車輛の車体構造を示したものであるが、これに依り各部材の特性が検討出来る。

即ち、側梁は台枠の外形を保つと共に車体の垂直荷重に対して梁の外側の部材として最も大きな応力を必要とする梁であるから  $\angle 75 \times 75 \times 6$  の山形鋼を組合せて  $\square 150 \times 75 \times 6$  の溝形鋼に溶接組合せしたものを使用した。台枠の中梁にもこれと同形のものを使用して縦方向の主要部材とした。従来  $\square 180 \times 75 \times 7$  の溝形普通鋼を使用していたものと比較した場合、車端衝撃に対し直接静的な圧縮力に於て中梁と側梁が同時に働くとして降伏点迄に耐える力は  $\square 180 \times 75 \times 7$  溝形普通鋼の場合、降伏点  $24 \text{ kg/mm}^2$ 、断面積  $2,720 \text{ mm}^2 \times 4$  に於て  $261 \text{ t}$ 、 $\square 150 \times 75 \times 6$  溝形高抗張力鋼の場合、降伏点  $36 \text{ kg/mm}^2$ 、断面積  $1,746 \text{ mm}^2 \times 4$  に於て  $252 \text{ t}$  となり、両者殆ど大差ない強さを示している。この結果重量的には 35% の軽減が出来た。

横梁は床上、床下の荷重を均等に側構に伝える台枠の主要部材であり側梁、中梁と同じ形鋼を使用した。即ち床上荷重  $19,250 \text{ kg}$  (超満員時)、床下荷重  $5,320 \text{ kg}$  を各横梁が均等に分担し、従来の普通鋼に於て  $540 \text{ kg/mm}^2$  の曲応力が生じたものを高抗張力鋼使用のため  $940 \text{ kg/mm}^2$  迄高くして使用し、35% の重量軽減を図った。

第 7 表 主要部材軽減比較

Table 7. Comparison of Weight of Main Part

| 装置別    |    | 従来車   |         | 軽減車         |         | 軽減量     |         |
|--------|----|-------|---------|-------------|---------|---------|---------|
|        |    | 主要材   | 重量 (kg) | 主要材         | 重量 (kg) | 重量 (kg) | 軽減率 (%) |
| 台枠     | 枠  | SS41  | 3,300   | SHT         | 2,180   | 1,120   | 34.0    |
|        | 体  | SS41  | 1,298   | SHT         | 913     | 385     | 29.6    |
| 室内化粧天井 | 化粧 | 木材    | 303     | 軽合金         | 97      | 206     | 68.0    |
|        | 天井 | SS41  | 913     | 軽合金         | 236     | 677     | 74.2    |
| 窓      | 窓  | 木材    | 540     | 軽合金         | 500     | 40      | 7.4     |
|        | 掛  | バネ入木枠 | 647     | ラテックス入 SS41 | 563     | 84      | 13.0    |
| 機器取付金  |    | SS41  | 480     | SHT         | 378     | 102     | 21.3    |

外帯及び幕板帯は車体の中立軸近くにあり、応力も側梁、長桁程高くないため、外板を保持して側構を一体に仿かせるに必要な断面と剛性を有すれば十分であり、加工を容易にするため小型の高抗張力平鋼を使用した。

長桁は側梁と相対して相当な応力を必要とし、又室内化粧としての天井板下部、内幕板上部を受けるような断面にすれば強度的に有利であると共に、添木等の無駄がなく有効に仿かせることが出来る。この目的のため従来  $\angle 75 \times 75 \times 9$  の山形普通鋼に添木していたものを、高抗張力鋼板を溝形にプレスしこれを下向に設けることに依り添木の不要な構造とした。この部材は直接自体に荷重を受けないので応力の比較は困難であるが普通鋼の疲労限  $2,000 \text{ kg/cm}^2$  に対し、高抗張力鋼の疲労限  $2,500 \text{ kg/cm}^2$  は断面の減少を十分に補っており、又側構の構成部材として車体の剛性を確保している。

縦桁及び鉄垂木は屋根を構成すると共に、天井を受ける構造として兼用し、木垂木等添木を使用しない高抗張力鋼溝形プレスとし、屋根構の強度部材として十分に効果ある構造とした。又天井板は軽合金を使用するため 1 枚の板はその四辺を固定するだけで十分であり、長い 1 枚の中間は屋根板受の鉄垂木に小型の山形普通鋼を使用し、天井板とは全く無関係の構造として重量の軽減を実施した。

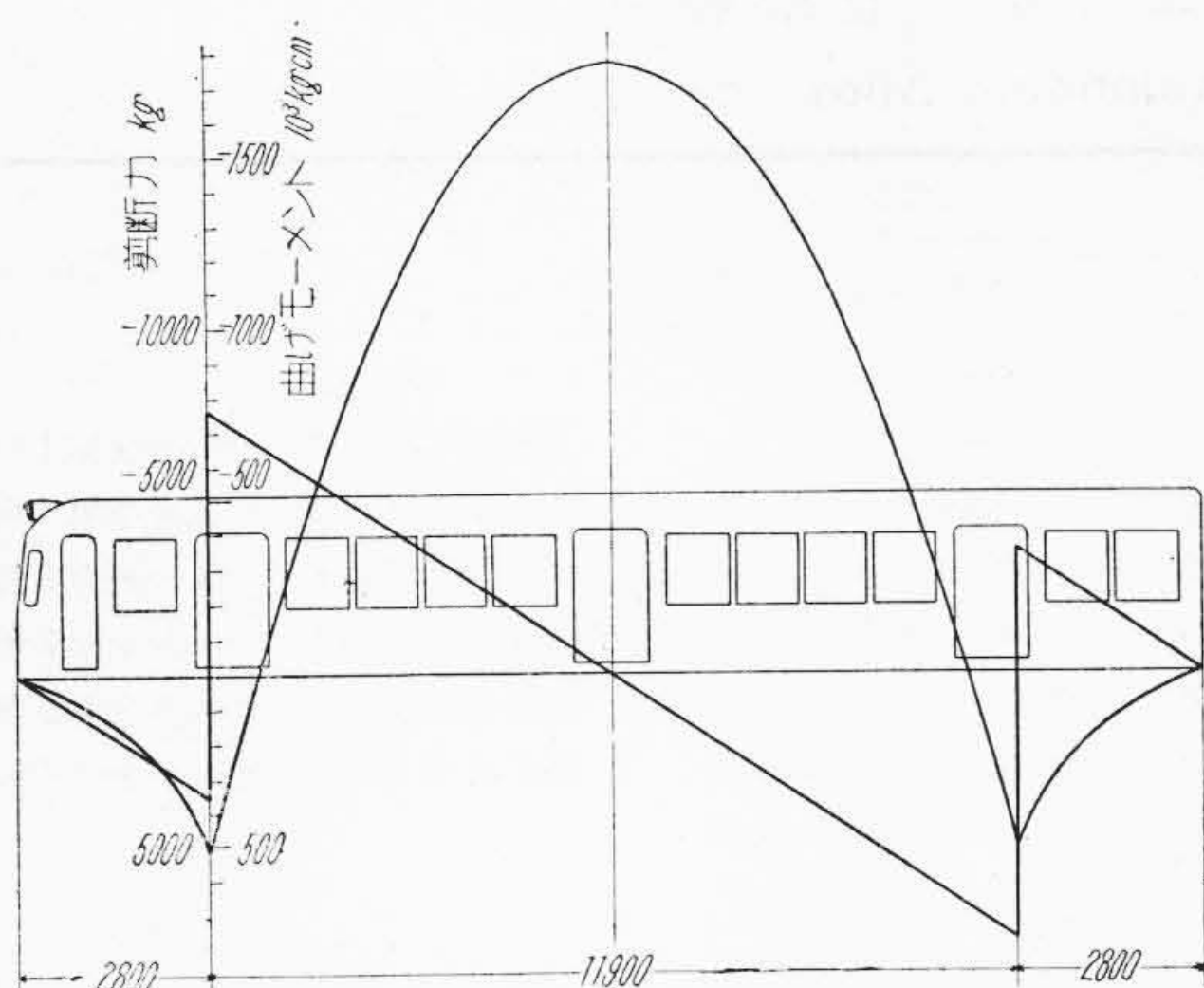
枕梁は車体の全荷重を台車に伝える最も重要な部材であり、高抗張力鋼板を使用して組合せに依る剛性を高くし、更に曲応力を高くして約 30% 軽量の構造とすることが出来た。

第 7 表は以上の結果を従来車と比較した場合の各部材の軽減量を示したもので、この関係だけで約 1.5 t の軽量化が実施出来た。

## (3) 側構の強さ

側構は台枠の部材の如く一つ一つに就いての強さの吟味は困難であるが、台車上の枕梁にて二点を支えられて全荷重を負担した一つの梁と考え構成された側構全体の強さを検討することが出来る。





第5図 曲モーメント及び剪断力線図  
Fig.5. Bending Moment and Shearing Force Diagram

この側構の慣性モーメントは計算の結果 $5.26 \times 10^5 \text{ cm}^4$ となつた。これに対し負担される荷重は、超満員時乗客350人を収容するとして、この荷重が車の全長に亘つて等分布するものと考えた場合、車体の曲モーメント及び剪断力は第5図の如くである。又側構は垂直荷重に依る曲モーメントの他に幕板部、腰板部それぞれの剛性に比例して受持つた剪断力に依る曲モーメントが作用し<sup>(1)</sup>、この二つの曲モーメントに依る応力を検討した結果最も大きな所で $1,500 \text{ kg/cm}^2$ を得た。側構の曲剛性は従来車の $I=7.35 \times 10^5 \text{ cm}^4$ に対しては低い値であるが、高抗張力鋼の利用に依り高い応力が許し得ることは、この車の軽量化に対する大きな特長であり、満員時の運転に於てもなお强度的に十分安全な構造であることが確認出来る。この結果側構部材の断面積は従来車に比し71%迄減少することが出来た。

腰板は曲モーメント線図に見る如く、腰板の殆どは引張側に作用するため、薄板であつても側構の曲応力には十分に仿くことがわかる。従つて剪断力に依る挫屈に耐える如く腰板の適当部を補強するならば、一般に使用されている2.3 mm厚の板は1.6 mm厚の板を使用しても十分でありこの結果更に200 kgの重量軽減が可能である。

#### (4) 固有振動数

応力には十分余裕があり、更に切詰めた希望が起るものであるが、乗客を安全に、楽しく輸送するという使命から、乗心地を考慮しなければならない。

車体の応力を許す範囲迄高くすることは、剛性を低下させる結果となり、固有振動数が少なくなつてビビリ振動を発生し、乗客に不快な感じを与えるものである。従つて応力より考え得る重量軽減は多少犠牲になつても、剛性を十分に取つて固有振動数を高くした構造にしなければ

ならない不利も、鉄道車輛に於ては無視出来ないことである。

これ迄国鉄技術研究所に於て実験された例を拝借し<sup>(2)</sup>この車体を比較してみると相当曲げ剛性は次の如くになっている。

|    |         |                                       |
|----|---------|---------------------------------------|
| サハ | 87..... | $1.63 \times 10^{12} \text{ kg-cm}^2$ |
| モハ | 72..... | $0.83 \times 10^{12} \text{ kg-cm}^2$ |
| モハ | 70..... | $0.84 \times 10^{12} \text{ kg-cm}^2$ |
| モハ | 63..... | $0.47 \times 10^{12} \text{ kg-cm}^2$ |
| 本車 | .....   | $1.10 \times 10^{12} \text{ kg-cm}^2$ |

この電車の運転中に起る強制振動として車輪の偏心に依るものを考えると、1回転に1回加振されるから、強制振動数は常用最大速度60 km/hrに於て7 c.p.s. 最高速度110 km/hrに於て12 c.p.s. である。これに対して車体の固有振動数は(1)式<sup>(2)</sup>にて与えられる。

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{\frac{\pi^4}{32} \cdot \frac{E \cdot I}{l_1^3} g}{w l_1 \left\{ \frac{1}{2} + \frac{\pi^2}{12} \left( \frac{l_2}{l_1} \right)^3 \right\}}} \dots \dots \dots (1)$$

但し  $f$  = 振 動 数 (c.p.s.)

$2l_1$  = 心 皿 間 長 さ (cm)

$l_2$  = 心 皿 車 端 間 長 さ (cm)

$E \cdot I$  = 曲 げ 剛 性 (kg-cm<sup>2</sup>)

$w$  = 単位長さ当り重量 (kg/cm)

$g$  = 重 力 加 速 度 (980 cm/sec<sup>2</sup>)

この車体に於ては(1)式より14 c.p.s. を得、最高速度に於ても共振しない乗心地よい構造を確保することが出来た。

#### [IV] 艤装部材

室内化粧材としては車体の振動に依る共振と、各部材の自重に依る撓みが起らない範囲に於て十分剛性があれば、比重の小さな材料を選択することに依り、十分な軽量化が実施出来るのであるが、一方不燃性車輛としての艤装も必要条件である。一般に用いられる室内化粧材の単位重量を比較すれば第8表の如くで、重量的に見た材料の特性がうかがわれる。

第8表 化粧材の単位重量(単位 kg/m<sup>2</sup>)  
Table 8. Weight of Inside Panel (unit: kg/m<sup>2</sup>)

| 使用厚さ | 鋼 板  | 軽合金  | ベニヤ板 | スタンド<br>ライト | デコラ張<br>ベニヤ板 | ガラス  |
|------|------|------|------|-------------|--------------|------|
| 1.6  | 12.6 | 4.28 | —    | 1.89        | —            | —    |
| 2.0  | —    | 5.35 | —    | 2.44        | —            | —    |
| 2.3  | 18.1 | —    | —    | —           | —            | —    |
| 3.0  | —    | 8.02 | —    | 3.60        | —            | 7.5  |
| 5.0  | —    | —    | 2.8  | 6.00        | —            | 12.5 |
| 6.5  | —    | —    | —    | —           | 4.6          | —    |
| 10.0 | —    | —    | 5.6  | —           | —            | —    |



第 9 表 鍛錬用アルミニウム合金の化学成分  
Table 9. Chemical Analysis of Aluminum Alloy

| 合 金 | 化 学 成 分 (%) |            |      |           |           |      |           |      | 備 考                 |
|-----|-------------|------------|------|-----------|-----------|------|-----------|------|---------------------|
|     | Cu          | Si         | Fe   | Mn        | Mg        | Zn   | Cr        | Ti   |                     |
| 2 S | 0.20        | Fe+Si<1.00 |      | 0.05      | —         | 0.10 | —         | —    | Al>99.0%            |
| 3 S | 0.20        | 0.60       | 0.70 | 1.00~1.50 | —         | 0.10 | —         | —    | JIS 耐蝕アルミニウム合金第 1 種 |
| 17S | 3.50~4.50   | 0.80       | 1.00 | 0.40~1.00 | 0.20~0.80 | 0.10 | 0.10      | —    | JIS 高力アルミニウム合金第 1 種 |
| 24S | 3.80~4.90   | 0.50       | 0.50 | 0.30~0.90 | 1.20~1.80 | 0.10 | 0.10      | —    | JIS 高力アルミニウム合金第 2 種 |
| 52S | 0.10        | Fe+Si<0.45 |      | 0.10      | 2.20~2.80 | 0.10 | 0.15~0.35 | —    | JIS 耐蝕アルミニウム合金第 2 種 |
| 56S | 0.10        | 0.30       | 0.40 | 0.05~0.20 | 4.90~5.60 | 0.10 | 0.05~0.20 | —    | JIS 耐蝕アルミニウム合金第 3 種 |
| 61S | 0.15~0.40   | 0.40~0.80  | 0.70 | 0.15      | 0.80~1.20 | 0.20 | 0.15~0.35 | 0.15 | JIS 耐蝕アルミニウム合金第 4 種 |
| 63S | 0.10        | 0.20~0.60  | 0.35 | —         | 0.45~0.85 | 0.10 | 0.10      | 0.10 | —                   |

(註) 成分中その他の不純物はおのおの 0.05% 合計 0.15% 迄とす。

第 10 表 鍛錬用アルミニウム合金の機械的性質  
Table 10. Mechanical Properties of Aluminum Alloy

| 合 金 と<br>その材質 | 抗張力<br>(kg/mm <sup>2</sup> ) | 耐 力<br>0.2%<br>(kg/mm <sup>2</sup> ) | 伸 び (%) 50mm |               | ブリネル<br>硬 度<br>(500kg/10mm) | 剪断力<br>(kg/mm <sup>2</sup> ) | 疲労限<br>5×10 <sup>8</sup> 回<br>(kg/mm <sup>2</sup> ) |
|---------------|------------------------------|--------------------------------------|--------------|---------------|-----------------------------|------------------------------|-----------------------------------------------------|
|               |                              |                                      | 板<br>1.5mm   | 丸 棒<br>12.5mm |                             |                              |                                                     |
| 2 S-O         | 9.1                          | 3.5                                  | 35           | 45            | 23                          | 6.6                          | 3.5                                                 |
| 2 S-H14       | 12.3                         | 11.2                                 | 9            | 20            | 32                          | 7.7                          | 4.9                                                 |
| 3 S-O         | 11.2                         | 4.2                                  | 30           | 40            | 28                          | 7.7                          | 4.9                                                 |
| 3 S-H14       | 15.1                         | 13.4                                 | 8            | 16            | 40                          | 9.8                          | 6.3                                                 |
| 17S-O         | 18.3                         | 7.0                                  | —            | 22            | 45                          | 12.7                         | 9.1                                                 |
| 17S-T4        | 43.6                         | 28.1                                 | —            | 22            | 105                         | 26.7                         | 12.7                                                |
| 24S-O         | 19.0                         | 7.7                                  | 19           | 22            | 47                          | 12.7                         | 9.1                                                 |
| 24S-T4        | 47.8                         | 33.7                                 | 20           | 19            | 120                         | 28.8                         | 12.7                                                |
| 52S-O         | 19.0                         | 8.4                                  | 25           | 30            | 45                          | 12.7                         | 12.0                                                |
| 52S-H34       | 26.0                         | 21.8                                 | 10           | 14            | 67                          | 14.8                         | 12.7                                                |
| 56S-O         | 29.5                         | 15.5                                 | —            | 35            | —                           | 18.3                         | 14.1                                                |
| 56S-H18       | 43.6                         | 40.8                                 | —            | 6             | —                           | 23.2                         | 15.5                                                |
| 61S-O         | 12.7                         | 5.6                                  | 22           | 30            | 30                          | 8.7                          | 6.3                                                 |
| 61S-T4        | 24.6                         | 14.8                                 | 22           | 25            | 65                          | 16.9                         | 9.7                                                 |
| 63S-F         | 15.5                         | 9.1                                  | 20           | —             | 42                          | 9.8                          | —                                                   |
| 63S-T6        | 24.6                         | 21.1                                 | 12           | —             | 73                          | 15.5                         | —                                                   |

(備考) 合金記号の次の記号は下記処理状態を示す。

- F 製出のまゝ
  - O 完全焼鈍状態
  - H1n 加工硬化のまゝ
  - H2n 加工硬化後不完全焼鈍
  - H3n 加工硬化後安定化処理
  - T4 溶体化処理後自然時効完了
  - T6 溶体化処理後人工時効
- } n=2 (1/4硬質), 4 (1/2硬質)  
6 (3/4硬質), 8 (硬質)

この電車に於てはすべて室内化粧材に軽合金を用い、使用箇所に応じて板材を加工すると共に、軽合金の一大特長である押出型材を利用して、均一な断面形状を材料のまゝ得ることが出来、しかもその断面に最適の肉厚を得て、材料の節減をはかることが出来た。第 7 表は主要部分を従来車と比較した場合の重量軽減量を示す。

#### (1) 軽 合 金

この車に使用した軽合金材料はすべてアルミニウム合金で、その規格は ALCOA 社の規格に適合したものである。

アルミニウム合金には強度を主体にした Cu 系のジュラルミンを初め、Mn 系、Si 系、Mg 系、Zn 系等のあるものがあるが、その代表的なものは第 9 表<sup>(3)</sup>に示す如き化学成分のものがあ、第 10 表<sup>(3)</sup>はこれ等合金の材質別機械的性質を示す。即ち Cu 系のものは強度的には優れているが耐蝕性に於て劣り、化粧材としては推奨出来ない。Mn 系の 3S は強度的には多少劣つても耐蝕性は他の追随を許さず化粧材として最も適した材料である。又 3S よりも更に強度を必要とする場合は Mg 系の 52S が板材として、56S が型材として適材である。

アルミニウム合金は製作後加工硬化、熱処理、焼鈍等の処理することに依り更にその機械的性質を変化させることが出来、合金の性質に適した処理が利用されている。第 10 表は処理状態に依る機械的性質を示したものである。この車に於ては加工性、耐蝕性を重んじ 3S-H14 と同質で更に伸率の多い 3S-H24 を採用した。

#### (2) 軽 合 金 押 出 型 材

軽合金の一大特長として、押出型材が任意に得られることが掲げられる。即ち軽合金を任意断面の型を通して押出すことに依り、必要な断面とその目的に適した肉厚が得られ、溶接、組合せ等に依る材料の重複と、不要の肉厚が節減出来る。しかも複雑な形状が材料のまゝ得られることは、工作費の節減と重量の軽減に大きな成果があるので積極的にこれが利用に努力した。この結果木材の利用を絶滅し、木材より比重の大きな材料を、木材より軽量化して使用することが出来た。

#### (3) 天 井 及 び 内 張

天井板としては従来一般にベニヤ板が使用されていたが、不燃性構造とするため殆ど薄鋼板に代つて来た。しかし第 8 表に見られる如く、5mm 厚のベニヤ板に対して、1.6mm 厚の鋼板では 4.5 倍の重量増加である。この車に於てはこれを軽合金にし 1/3 の重量にすることが出来た。

内張化粧材は従来ベニヤ板及び普通木材が適宜使用さ



れていたが、これも不燃性構造とするため薄鋼板に代つて来た。この車はこれを更に軽合金の利用に依り不燃性軽量車とすることが出来た。即ち化粧材として使用される 10 mm 厚のベニヤ板に対し、1.6 mm 厚の鋼板では約 2 倍の重量増加であるが、これを同じ厚さの軽合金にした場合 1/3 の重量となり、ベニヤ板の場合よりも 20% の重量軽減となる。又内柱等にはベニヤ板よりも大きな木組を使用するので、軽合金のプレスを利用した内張は、更に軽量化された構造となつた。

#### (4) 窓

この車の窓構造は、軽合金押出型材を利用した特長を遺憾なく発揮している。

第 6 図はこの窓の構造で、第 7 図の如く押出型材を組合せたものである。即ち窓縁型材を組合せて内帯、柱被を兼ねた窓縁とし、上部は軽合金板をプレスしたカーテン被にて接合している。この窓縁の中空孔の部分は、必要なだけ切削加工して固定窓ガラス取付溝、カーテン案内溝に使用することが出来る。大きな肉厚部は窓止棒を共に押出したもので、切欠ぎを付けるだけで窓戸錠の掛りとなり、従来の 1/3 の重量の窓止棒が、同時に製作されたことになる。

中央の大きな溝には第 7 図の如く溝型のビニルを入れて上昇窓の案内とし、この溝の中を窓枠用型材にて作られた上昇窓が、軽快に昇降する構造で、これに巻上カーテンを取付けて一つの窓を構成し、車体へはこの一窓を嵌込むだけで、複雑な窓構造と柱被、内帯等の化粧面迄完成するものである。

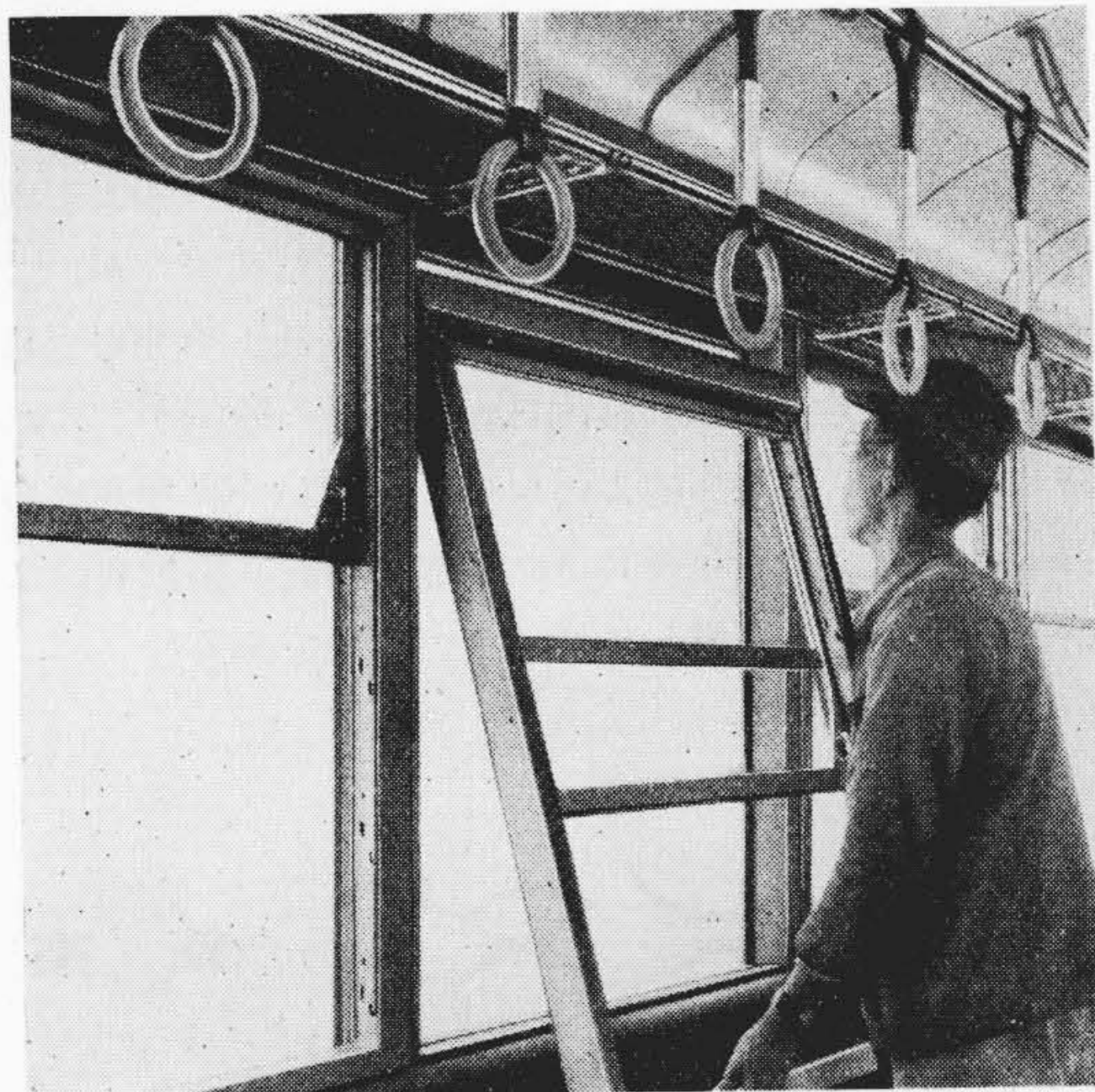
この結果、ガラスの有効面積は従来窓の大きさに対し 75% 程度であつたものが 93% に増加することが出来、室内の採光、眺望をこれだけ増加したことになる。又溝島、窓止棒は勿論、柱被、内帯迄も中空の一体型として得られたため、総合的に重量を比較した場合、ガラスの有効面積当り窓廻り重量は、従来車の  $19.3\text{kg/m}^2$  から  $18.6\text{kg/m}^2$  迄低減することが出来た。

(実用新案出願中)

#### (5) そ の 他

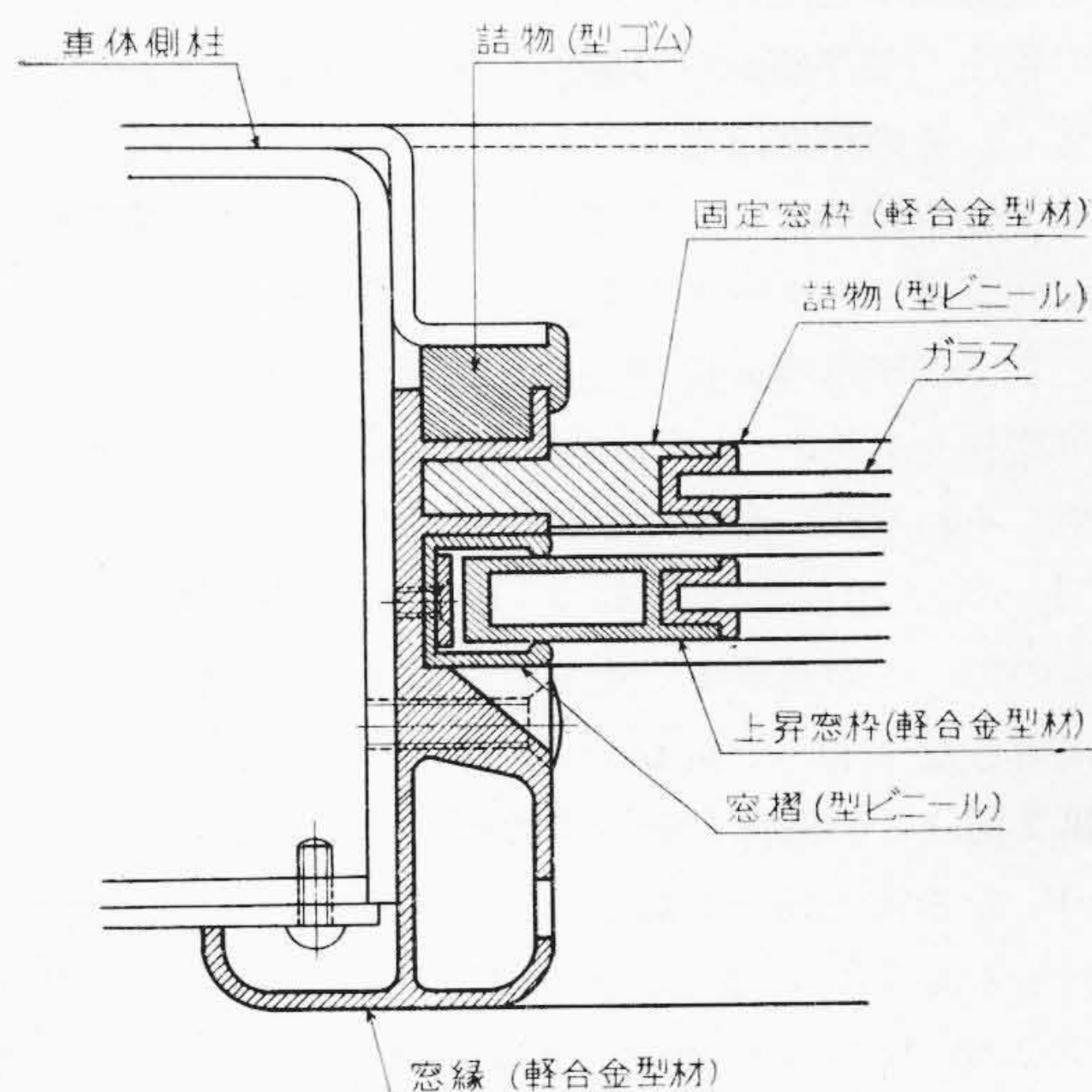
腰掛に於ては布団にクッションとしてバネに代つてラテックス・スポンジ及びヘヤー・ロックを使用し、バネ以上に良好な掛心地の構造とし、スポンジのクッションを有効に活用して重量の軽減をはかり、腰掛脚の組合せも小形の山形鋼に依り軽量な構造とした。

床板としては一般に木材が利用されているが、仕上りにリノリウム等を使用する場合、木材の磨耗は全く考える必要なく、防腐処理を十分に行えば薄板の利用で十分である。この材料として耐水ベニヤ板、キーストン・プレート等が使用出来、耐水ベニヤ板を使用した場合従来



第 6 図 窓 の 取 付 状 態

Fig. 6. Fixing of Pre-Fabricated Window



第 7 図 嵌 込 窓 の 断 面

Fig. 7. Section of Pre-Fabricated Window

の二重張床に於ては約 40% が軽減出来る。キーストン・プレート使用の場合は床自体の重量は大差ないが、車端衝撃に耐えるため、台枠の構造を変えて軽量化が出来る。

床下機器取付金は、主制御器を初め電動空気圧縮機、ブレーキシリンダ等相当な重量のものを取付け、しかもこれ等は常に運転しておりその振動も激しいため、それぞれの使用状態に依り、高抗張力鋼を使用し重量の軽減を図つた。



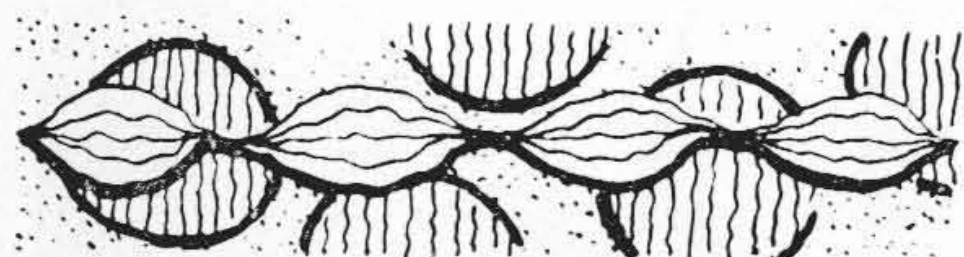
## 〔V〕 結 言

以上最近納入した京王帝都電鉄井之頭線納 1900 型電動車を一例として、車輛の軽量化に就いて述べたが、この他に台車に於ても、制御装置、主電動機に於てもそれぞれ軽量化の努力が払われ、日立製作所の総力がここに結集して、軽くて乗心地よい車輛の実現が一步押進められたものと信ずる。今後共更に構造の研究に精励し、より一層の軽量化を実現して行き度いものである。

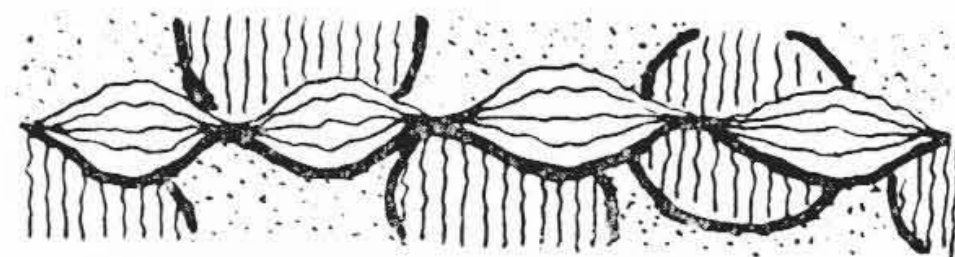
終りにこの電車の製作に当り、始終御指導下さつた京王帝都電鉄株式会社の関係各位に厚く御礼を申し上げて擲筆する。

## 参 考 文 献

- (1) 小坂：客貨車工学下 711 (昭 25)
- (2) 三木：交通技術 85 26 (昭 28-9)
- (3) 加藤：軽金属資料 116 2 (昭 26-9)



## 新 案 の 紹 介



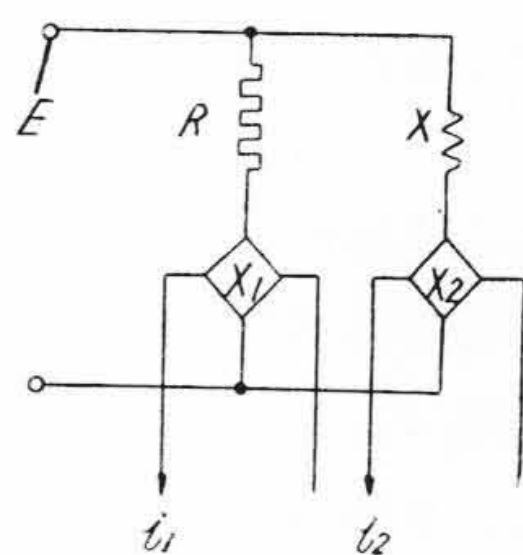
実 用 新 案 第 400287 号

今 尾 隆

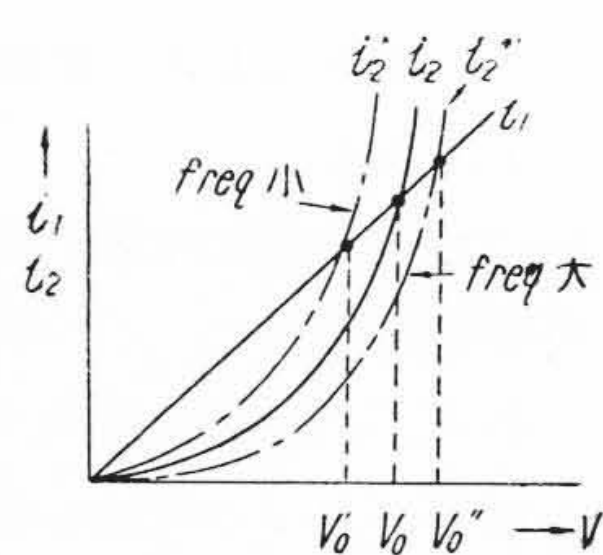
## 電 圧 変 化 検 出 装 置

発電機又は送配電線の電圧を自動的に調整する場合にその電圧の基準値からの偏差を検出する装置は敏感なる程良く、その精度は高きことを求められ、この要求に副うべく従来相当古くから賞用されているものに第 1 図に示す如きネットワークがある。即ち直線性インピーダンスとしての無誘導抵抗  $R$  と非直線性インピーダンスたる可飽和リアクトル  $X$  とを被調整交流電源  $E$  に並列に接続しそれぞれに直列に全波整流器  $X_1$  及び  $X_2$  を結び、 $X_1$  と  $X_2$  との出力電流  $i_1$  と  $i_2$  とを比較するようにしたもので、この両電流の差を電源電圧が基準値であるときに零となすものである。

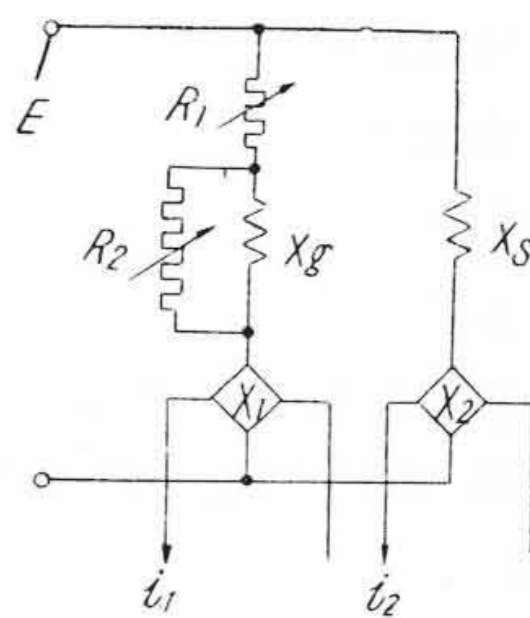
第 2 図はこの関係を示し電源  $E$  の電圧  $V$  に対し  $i_1$  と  $i_2$  が  $V_0$  なる値で同一であることを示している。この図からわかるように  $i_1$  と  $i_2$  とは  $V_0$  値が  $V_0'$  に減じ又は  $V_0''$  に増したときに相違し  $i_1$  或いは  $i_2$  が大となつて両者間に方向の異なる差電流を生ずるのであるが、他方  $V_0$  値は一定不変であるに拘わらず電源  $E$  の周波数が変つたために  $i_2$  が  $i_2'$  又は  $i_2''$  のように変る( $i_1$  は不変)ことから前同様に差電流が生じて紛らわしい欠点があつた。この欠点を少々緩和するものとして直線性インピーダンスとして誘導抵抗を使用したものがあるが結果は或程度緩和されるに過ぎなかつた。本案は上記の欠点を一掃するものであつてその接続は第 3 図に示す如くである。即ち誘導抵抗  $X_g$  に可変抵抗  $R_1$  を直列に又  $R_2$  を並列に接続しこれを  $X$  と同様の可飽和リアクトル  $X_s$  に並列としたものである。かくするときは  $X_s$  は飽和リアクトルであるからその動作点附近に於て一般にリアクタンス対抵抗値即ち  $Q$  の値は  $X_g$  のそれに比して低い



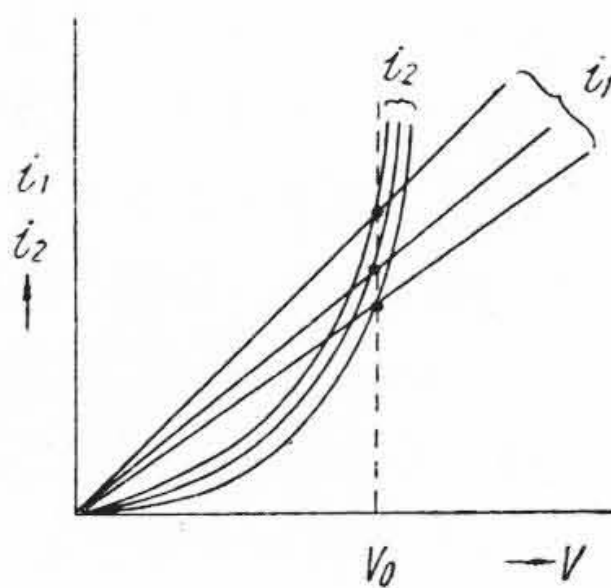
第 1 図



第 2 図



第 3 図



第 4 図

これは  $R_1$  により  $X_g$  の  $Q$  を略  $X_s$  のそれに合わせることができて、 $X_g$ ,  $X_s$  双方の周波数に対する応変態様を近似となすことができる。又一方に於て電圧整定点  $V_0$  のときに  $i_1 = i_2$  なる条件の充足には  $R_1$  と  $X_g$  の合成インピーダンスは  $X_s$  のそれに等しいことを要し、これは  $X_g$  の空隙調整によつても行い得るが  $R_1$  に加えるに更に  $R_2$  の併用を以てすれば空隙の調整等を要せずして簡単にその要求を満足せしめることができる。かくの如くして周波数の影響を完全に消去し得ることは第 4 図に見る如くである。

(宮 崎)