

自動車用エディカレントリターダの一考察

A Study of Eddy Current Retarder for Automobiles

村上 忠 雄*
Tadao Murakami

内 容 梗 概

近年、自動車の高速化、大形化につれて過酷な条件に耐える制動装置が急速に必要になりつつある。

現在一般に用いられているドラム式ブレーキは長坂路で連続して使用すると、いわゆるフェード現象によって不都合を生じ、緊急制動時に、しばしば、危険な状態に陥るので別系統の制動装置、すなわち、リターダを付加することが論議されている。

本論は、12～15 t 車用として開発した、最大制動トルク 90 kgm の空冷式エディカレントリターダについて記述したものである。

1. 緒 言

自動車用リターダは、一般に、次の形式のものが開発されている。

- (1) エクゾーストブレーキ式
- (2) ハイドロリック式
- (3) ディスクブレーキ式
- (4) エディカレント式

エクゾーストブレーキ式は、わが国でも早くから使われているが、大きな制動力が得られないとともに、クラッチを開放しているときには、制動力が発生しないという不都合がある。

ハイドロリック式は、アメリカなどで開発されたが、制動力の発生源に流体を使用しているため、その作動に時間を要し、構造が複雑になっている。

ディスクブレーキ式は、欧州で開発されたが、ディスクを摩擦させて制動力を発生させているため、摩耗する欠点がある。

以上のように現在使用されているリターダは、いずれも見落とせない欠陥をもっているため、その解決策としてフランスでは、10 年前からエディカレント式を研究してきた。

このエディカレント式は、電磁氣的結合の機械であるため、比較的、重量は重くなっているが、大きな制動力を発生することができ、摩耗する部分がなく、簡単な操作で制動力を瞬間的に断続できるという、すぐれた性能をもっている。

本論は、上述したエディカレント式について、12～15 t 車（大形トラック、大形バス）用として開発した、最大制動トルク 90 kgm の空冷式リターダの、制動力の解析と、箱根の国道 1 号線における実車走行について実験した結果を述べる。

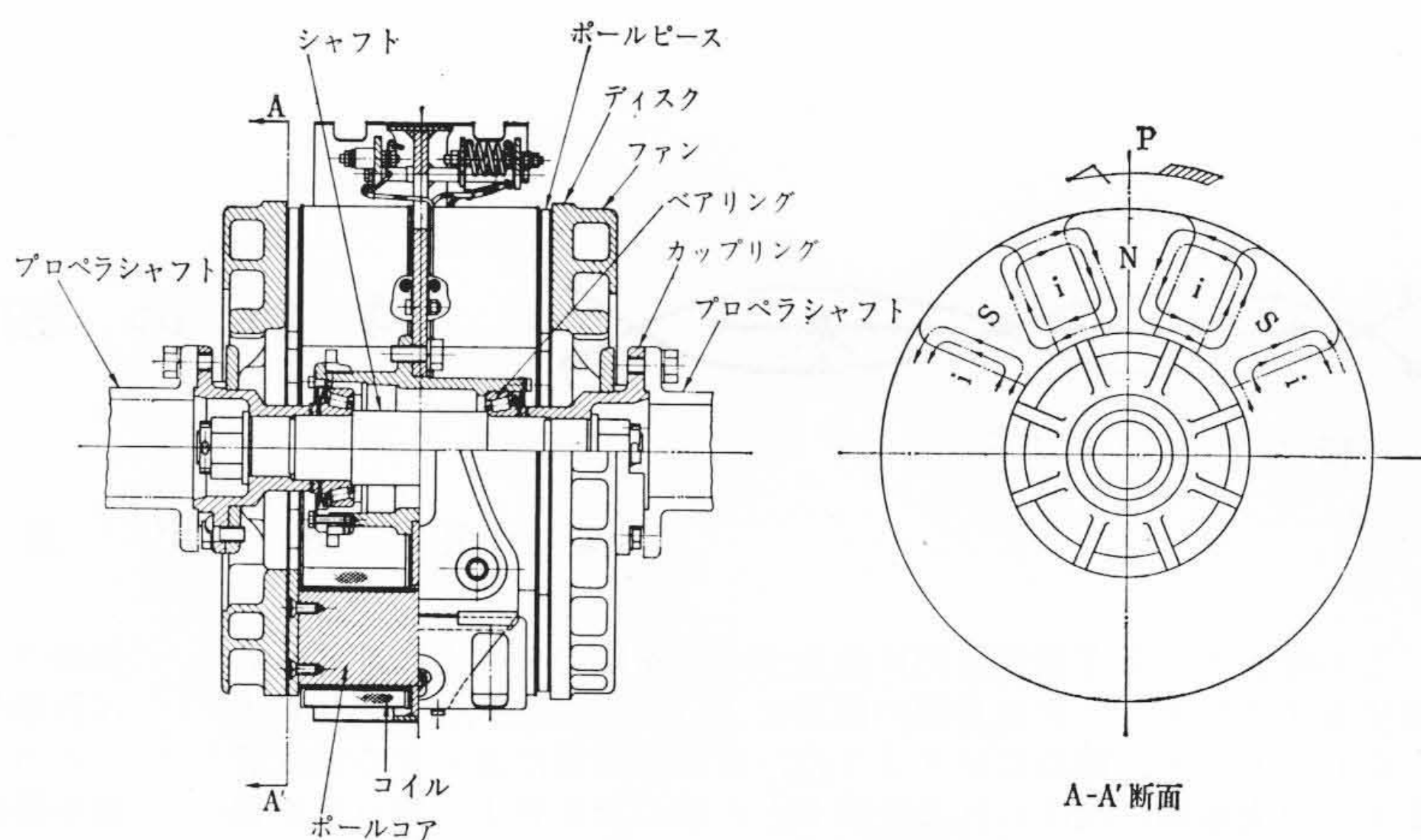
2. エディカレントリターダの構造と作動

まず空冷式エディカレントリターダの構造および作動について述べる。第 1 図はリターダ本体の構造図、第 2 図はリターダセットの外観写真、第 3 図は電気系統図である。

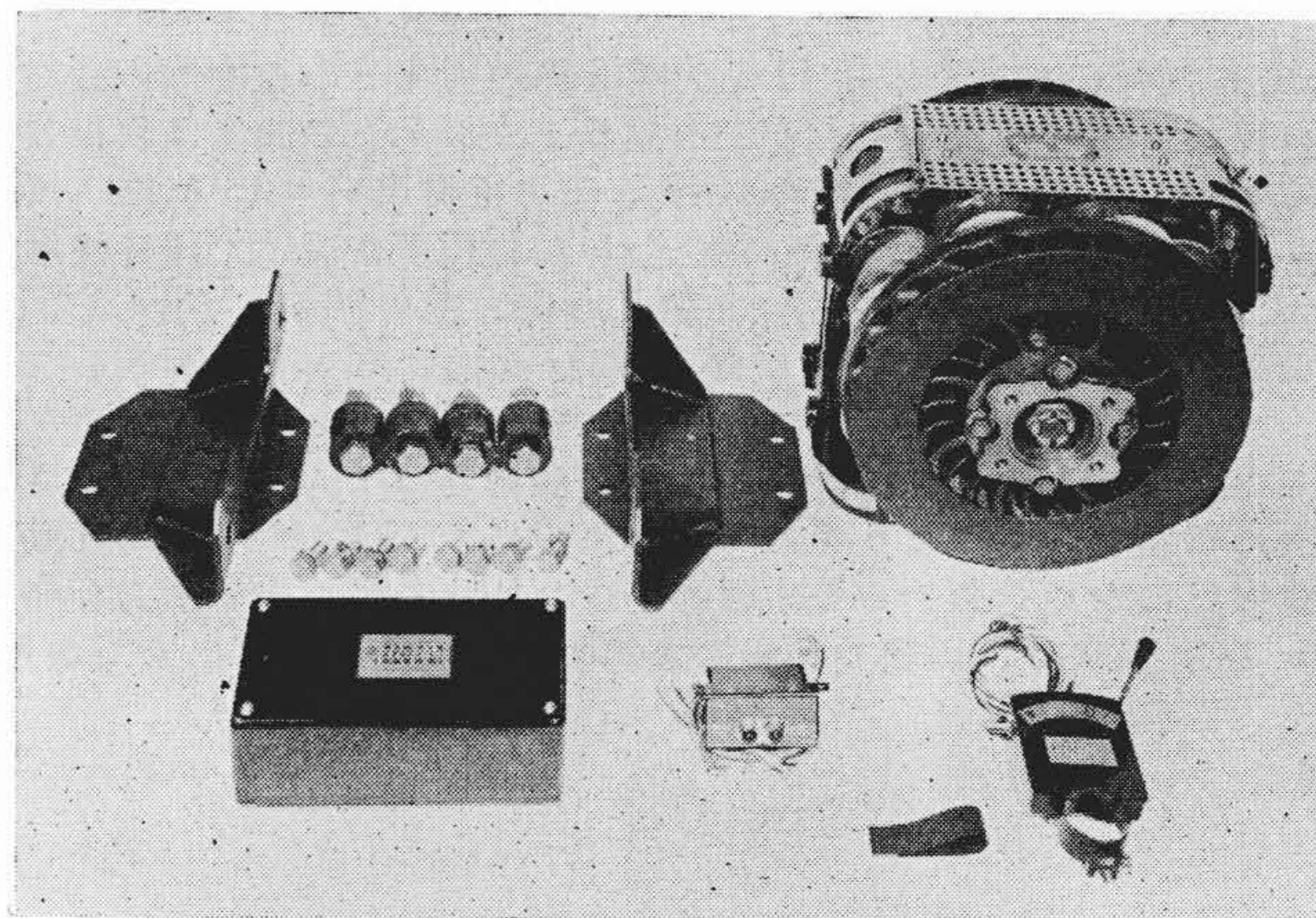
2.1 リターダ本体の構造と作動原理

第 1 図に示すとおり、ステータにポールコアが複数個配列しており、そのポールコアに対向してディスクが、カップリングを介してシャフトに固定し、シャフトはローラベアリングを介してステータに結合してある。

ポールコアに巻いたコイルを励磁すると A-A' 断面の N, S のように磁極が発生し、そのディスクを P 矢の方向に回転させると i の



第 1 図 エディカレントリターダの構造図



第 2 図 空冷式リターダセット

矢印に誘導起電力が生じ、その経路に沿って i なる渦電流が分布して流れる。

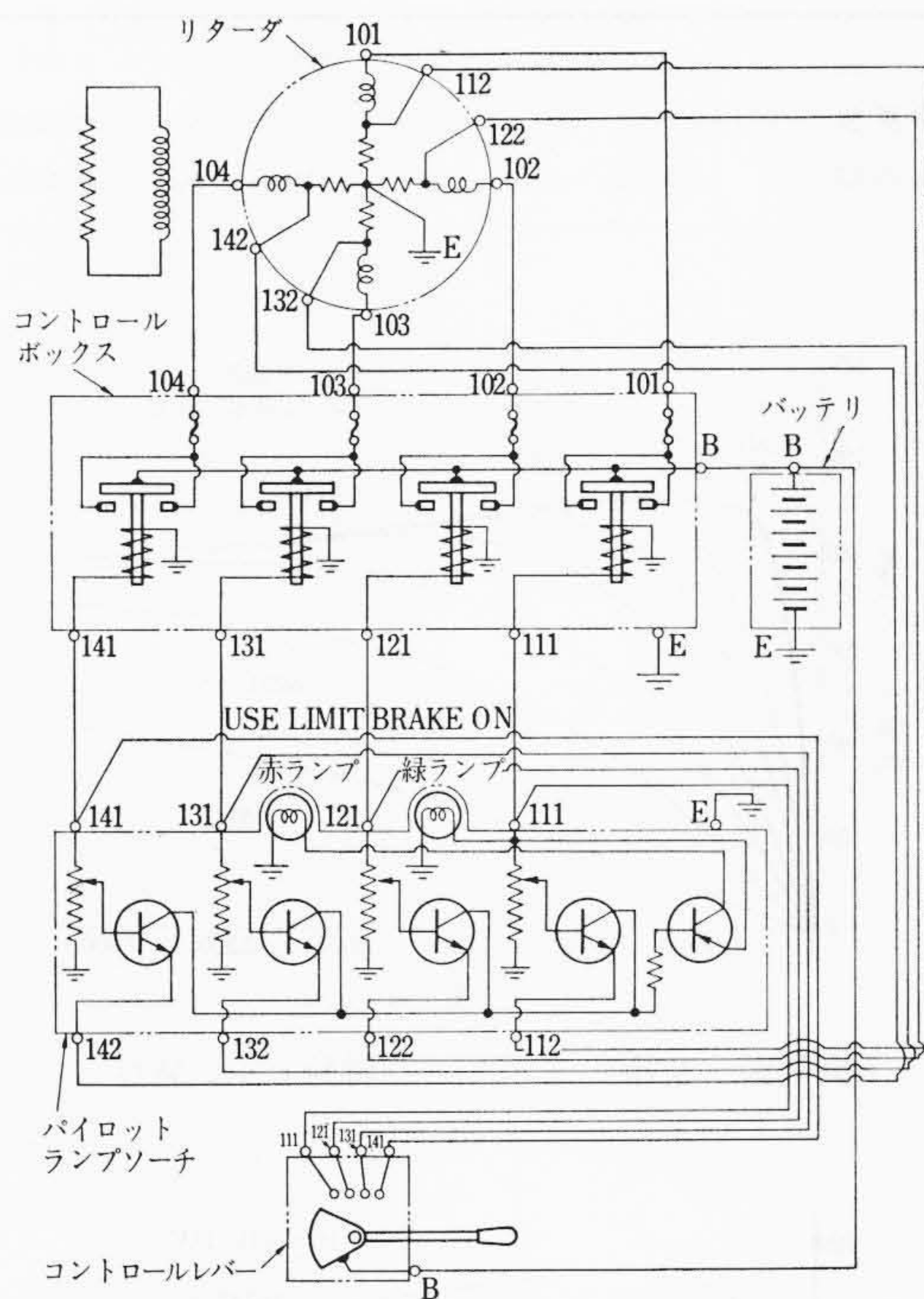
ディスクの両端のカップリングは、それぞれ、プロペラシャフトに結合し、制動力は、ディスクとポールピースとの間に生ずる。

2.2 リターダの付属品の構成

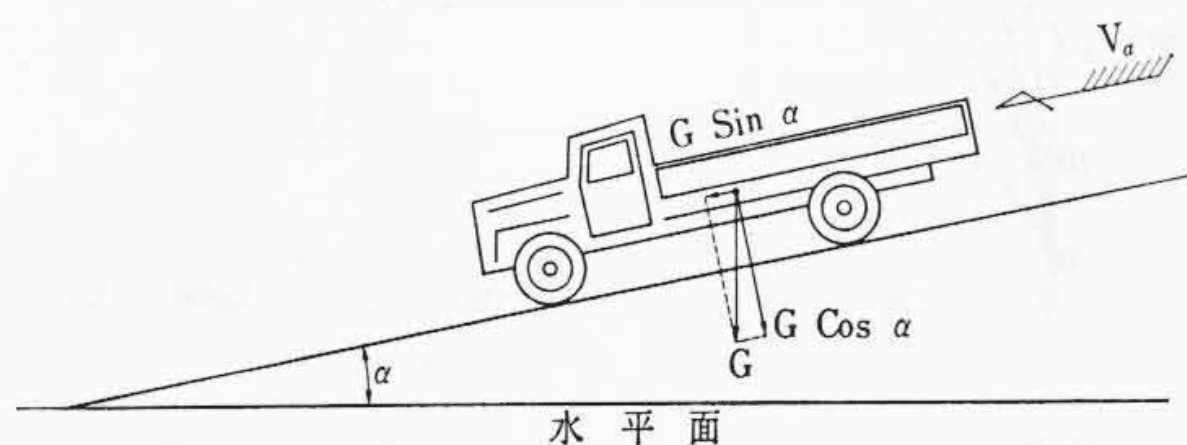
リターダには、本体のほか、操作のために必要なコントロールレバーと、リターダを制御するリレー部分を納めたコントロールボックス、リターダの作動状態を表示するパイロットランプ装置などがある。

パイロットランプ装置⁽¹⁾はリターダの励磁コイルが異状に高温になった場合や、励磁コイルおよび配線が切断したり、接続部分の接

* 日立製作所多賀工場



第3図 空冷式リターダの電気系統図



第4図 降坂する自動車の作動力原理図

触不良が発生した場合に運転者へ迅速に報知し、適切な処置を行なうための保護装置であり、赤ランプによって表示するようになっている。

3. エディカレントリターダの理論解析

3.1 自動車の所要制動トルク

第4図のように、全重量 G の自動車が、こう配 α の坂路を車速 V_a で安全に降坂するために必要な、所要制動トルク T を算定すると次式のようになる。

$$T = \frac{\eta_d D}{2 i_d} \{ G(\sin \alpha - \mu_r) - \mu_e F V_a^2 \} - \frac{i_m T_e}{\eta_m} \quad \dots\dots (1)$$

ここに、 G ：車両の全重量 (kg)

α ：水平面と坂路のなす面との角度 (rad)

V_a ：車両の降坂速度 (km/h)

μ_r ：路面に対する車輪のころがり抵抗係数

μ_e ：車両の空気抵抗係数

F ：車両の前面投影面積 (m^2)

D ：タイヤの有効直径 (m)

η_d ：デファレンシャルギヤのトルク伝達効率

i_d ：デファレンシャルギヤの減速比

η_m ：トランスミッションのトルク伝達効率

i_m ：トランスミッションの減速比

T_e ：エンジンプレーキの制動トルク (kgm)

いま、全重量 14 t の自動車が、こう配 0.2 の坂路を車速 35 (km/h) で安全に降坂するために必要な制動トルクは

$$\mu_r = 0.06$$

$$\mu_e = 0.004$$

$$F = 6.0 \quad (\text{m}^2)$$

$$D = 0.94 \quad (\text{m})$$

$$\eta_d = 0.95$$

$$i_d = 5.8$$

$$\eta_m = 0.95$$

$$i_m = 2.0$$

$$T_e = 35 \quad (\text{kgm})$$

として計算すると

$$T = 75 \quad (\text{kgm})$$

となる。

3.2 ディスク内の磁束分布と電流分布

一般に知られるように導体が線状でなく、広がりを持つ場合、磁界と電界の変化によって、その相互作用がはたつき、複雑になる。これらの関係をマクスウェルの電磁方程式により誘導すると次のようになる。

$$\nabla^2 \mathbf{B} = \kappa \mu \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} \quad \dots\dots (2)$$

$$\nabla^2 \mathbf{i} = \kappa \mu \frac{\partial \mathbf{i}}{\partial t} \quad \dots\dots (3)$$

ここに、 $\mathbf{E}$ ：電界のベクトル (V/m)

$\mathbf{B}$ ：磁束のベクトル (Wb/m^2)

t ：時間 (s)

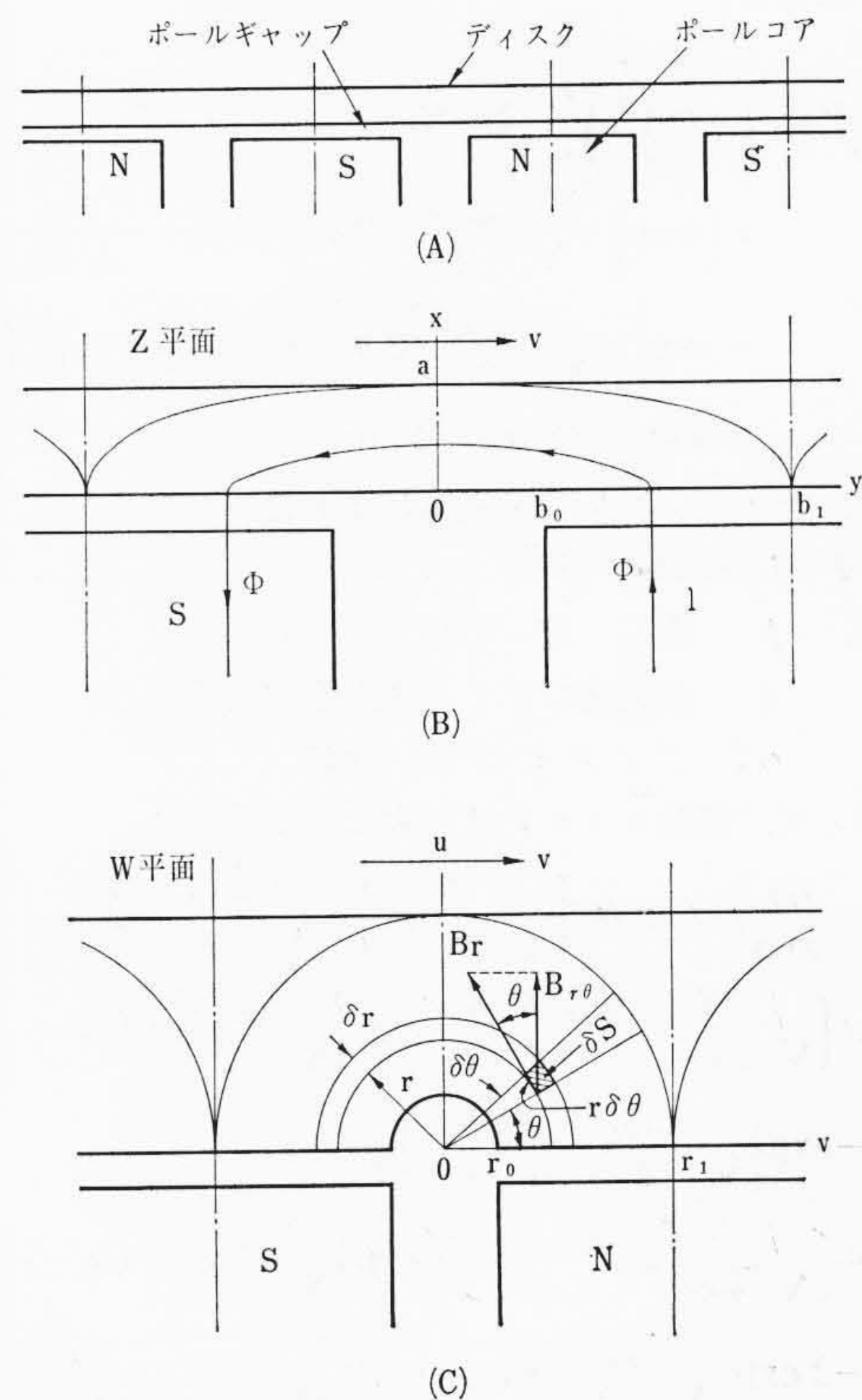
$\mathbf{i}$ ：電流のベクトル (A/m^2)

μ ：導体の透磁率 (H/m)

κ ：導体の導電率 (U/m)

次に第5図に示すような空気と導体とが平面で境されている場合について(2)式を考察する。

空気中の磁界の強さ H_z は、 z 方向をもった大きさ $H_0 e^{j\omega t}$ なる均一磁界と考えられる。



第6図 ソリッドロータマシンの原理図

導体の中でも磁界は、 z 方向のみであり、 y 方向、 x 方向に対しては均一であるから、 B_z は次式のようになる。

$$B_z = B_0 \exp\left(-\sqrt{\frac{\omega\kappa\mu}{2}}x - j\sqrt{\frac{\omega\kappa\mu}{2}}x + j\omega t\right) \dots\dots (4)$$

ここに、 ω : 磁界の角速度 (rad/s)

3.3 ディスク内の渦電流損と制動トルク

エディカレントリターダをソリッドロータマシンとして第 6 図 (A) のように考え解析する。

いま、ポールコア N からでた磁束 Φ は、ディスクの中を、 x を短軸、 y を長軸として、第 6 図 (B) のようにだ円の軌跡を描いて通るものとする。

等角写像法により、 z 平面上のだ円の軌跡を W 平面上の円の軌跡に写像すると第 6 図 (C) のようになる。

この関係は次式のようになる。

$$x = \frac{2a_1}{a_1 + b_1} r \dots\dots\dots (5)$$

ここに a_1 : ディスクの厚さ (m)

b_1 : 1/2 ポールピッチ (m)

第 6 図 (C) における磁束密度 B_r の v 方向に対する垂直成分 $B_{r\theta}$ は (4), (5) 式より次式のようになる。

$$B_{r\theta} = \sum_{n=1}^{\infty} B_0 \left[\exp\left\{-\sqrt{\frac{\omega\kappa\mu}{2}}\left(2na_1 - 2a_1 + \frac{2a_1}{a_1 + b_1}r\right)\right\} - \exp\left\{-\sqrt{\frac{\omega\kappa\mu}{2}}\left(2na_1 - \frac{2a_1}{a_1 + b_1}r\right)\right\} \right] \cos \theta \dots\dots\dots (6)$$

ゆえに、 W 平面に直角な w 軸方向の電界の強さ $E_{r\theta}$ および渦電流密度 $i_{r\theta}$ は次のようになる。

$$E_{r\theta} = v \cdot B_{r\theta} \dots\dots\dots (7)$$

$$i_{r\theta} = \kappa \cdot E_{r\theta} \dots\dots\dots (8)$$

δS 内の渦電流損 $\delta P_{r\theta}$ は

$$\delta P_{r\theta} = E_{r\theta} \cdot i_{r\theta} \cdot \delta S \dots\dots\dots (9)$$

単位ポール内、単位長さの渦電流損 $P_{r\theta}$ は (9) 式を積分して、次式のようになる。

$$P_{r\theta} = 2\kappa v^2 \int_0^{\frac{\pi}{2}} \int_{r_0}^{r_1} \sum_{n=1}^{\infty} B_0^2 \times \left[\exp\left\{-\sqrt{\frac{\omega\kappa\mu}{2}}\left(2na_1 - 2a_1 + \frac{2a_1}{a_1 + b_1}r\right)\right\} - \exp\left\{-\sqrt{\frac{\omega\kappa\mu}{2}}\left(2na_1 - \frac{2a_1}{a_1 + b_1}r\right)\right\} \right]^2 \times \cos^2 \theta r d\theta dr \quad (\text{W/m}) \dots\dots\dots (10)$$

ゆえに、ディスクの全渦電流損 P は次式のようになる。

$$P = 4p\xi LP_{r\theta} \quad (\text{W}) \dots\dots\dots (11)$$

ここに、 p : 極 対 数

ξ : 渦電流のディスク端部効果係数

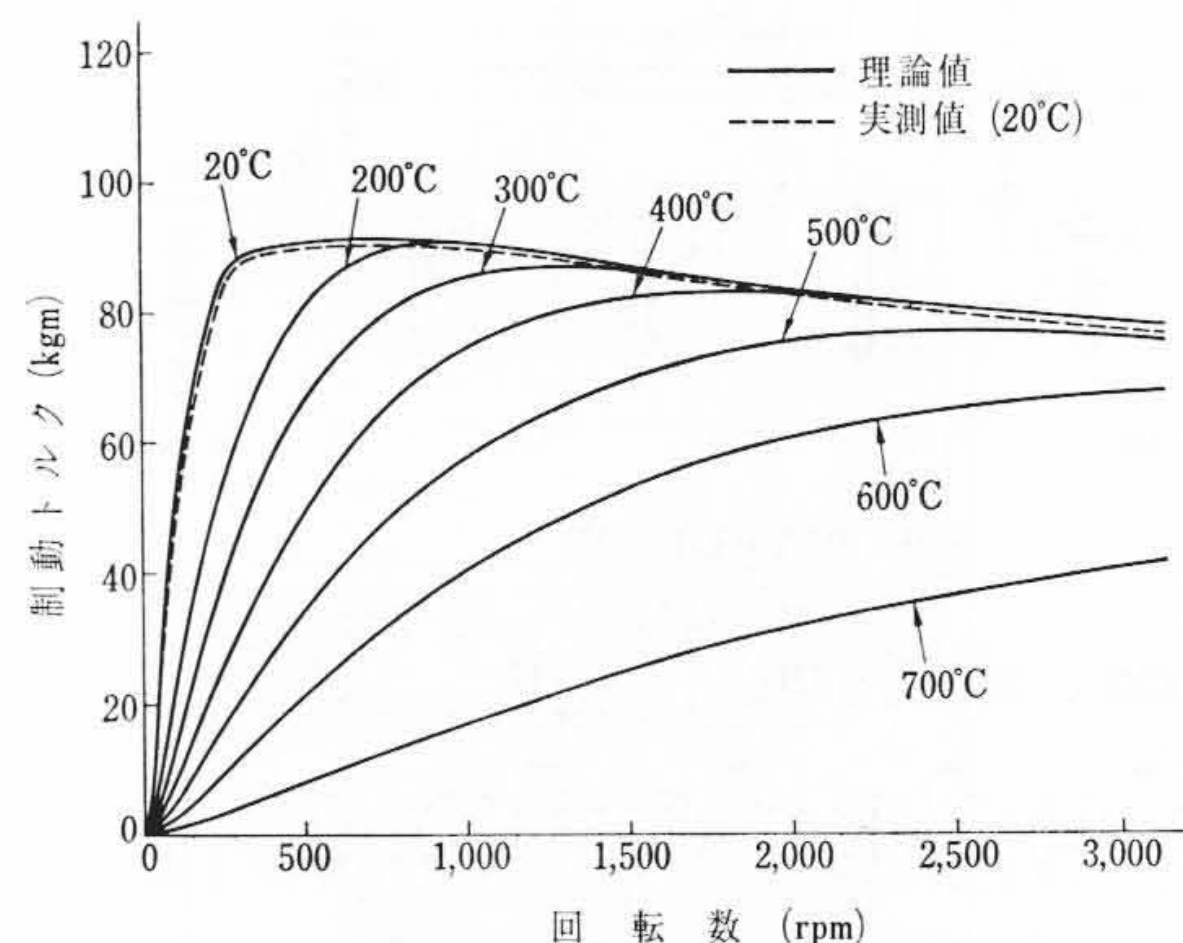
L : ディスクの幅 (m)

したがって、制動トルク T は次式のようになる。

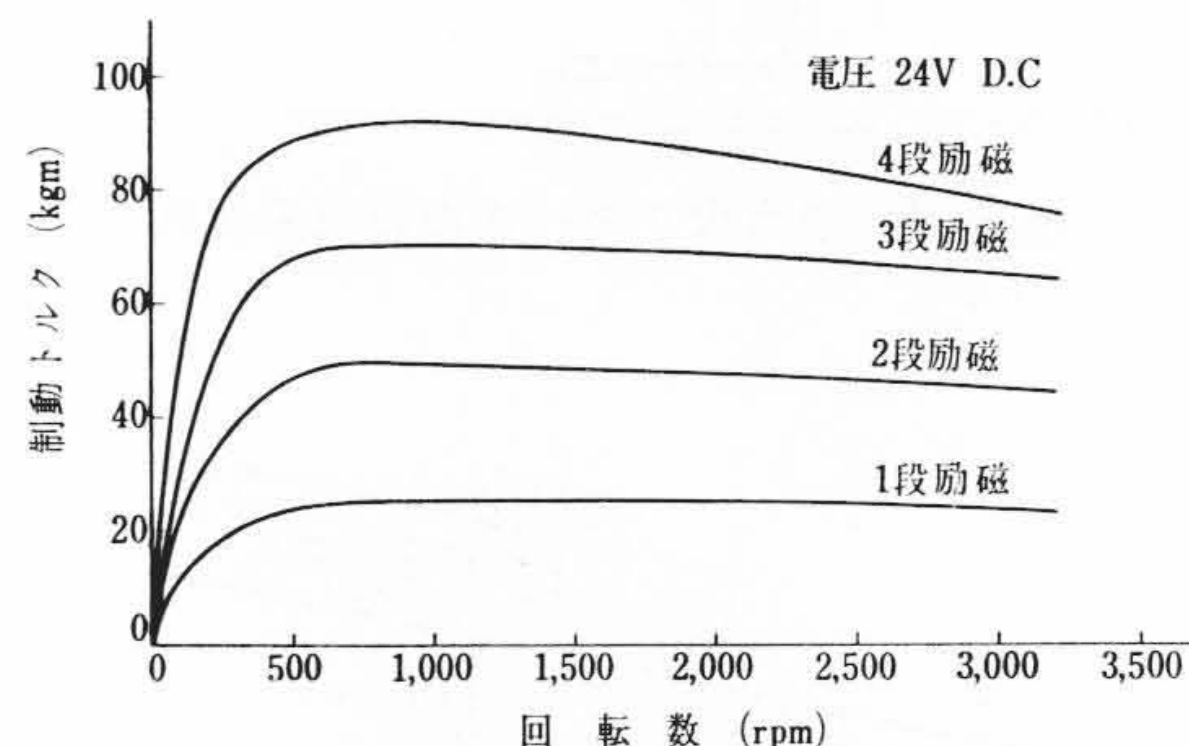
$$T = \frac{60}{g \cdot N} p \xi L \kappa v^2 B_0^2 \left[\sum_{n=1}^{\infty} \left\{ \exp\left\{-\sqrt{\frac{\omega\kappa\mu}{2}} \cdot 2na_1\right\} \right\}^2 \times \left[\sqrt{\frac{2}{\omega\kappa\mu}} \frac{(a_1 + b_1)b_0}{8a_1} \left\{ \exp\left\{\sqrt{\frac{\omega\kappa\mu}{2}} \left(4a_1 - \frac{2a_1b_0}{a_1 + b_1}\right)\right\} - \exp\left\{\sqrt{\frac{\omega\kappa\mu}{2}} \frac{2a_1b_0}{a_1 + b_1}\right\} \right\} + \left[\sqrt{\frac{2}{\omega\kappa\mu}} \frac{a_1 + b_1}{4a_1} \right]^2 \left\{ \exp\left\{\sqrt{\frac{\omega\kappa\mu}{2}} \left(4a_1 - \frac{2a_1b_0}{a_1 + b_1}\right)\right\} - 2 \exp\left\{\sqrt{\frac{\omega\kappa\mu}{2}} \cdot 2a_1\right\} + \exp\left\{\sqrt{\frac{\omega\kappa\mu}{2}} \frac{2a_1b_0}{a_1 + b_1}\right\} \right\} \right] \right] \dots\dots\dots (12)$$

第 1 表 90 kgm リターダの主要諸元

対 極 数 p	4 極	ディスクの厚さ a_1	0.017 (m)
端部効果係数 ξ	0.59	ポールピッチ b_1	0.0546 (m)
ディスクの幅 L	0.094 (m)	ポール間隔 b_0	0.0176 (m)



第 7 図 空冷式リターダの制動トルク特性



第 8 図 空冷式リターダの制動トルク特性

$$- \left[\left(\frac{a_1 + b_1}{2} \right)^2 - \left(\frac{b_0}{2} \right)^2 \right] \exp \left\{ \sqrt{\frac{\omega\kappa\mu}{2}} \cdot 2a_1 \right\} \quad (\text{kgm}) \dots\dots\dots (12)$$

ここに、 g : 重力の加速度 (=9.80) (m/s²)

N : ディスクの回転数 (rpm)

3.4 理論式の実験的考察

以上の考察により今回、開発した最大制動トルク 90 kgm のエディカレントリターダについて第 1 表の諸元により、電子計算機 HITAC 301C を用いて、制動トルクを計算すると第 7 図のようになり、破線で示した実測値とほとんど一致していることがわかる。

第 8 図は最大制動トルク 90 kgm の空冷式エディカレントリターダの制動トルク特性で、制動トルクを車両の走行条件に合わせて、90, 70, 50, 25 kgm の 4 段階に変化している。

4. 空冷式リターダの実車走行試験とその検討

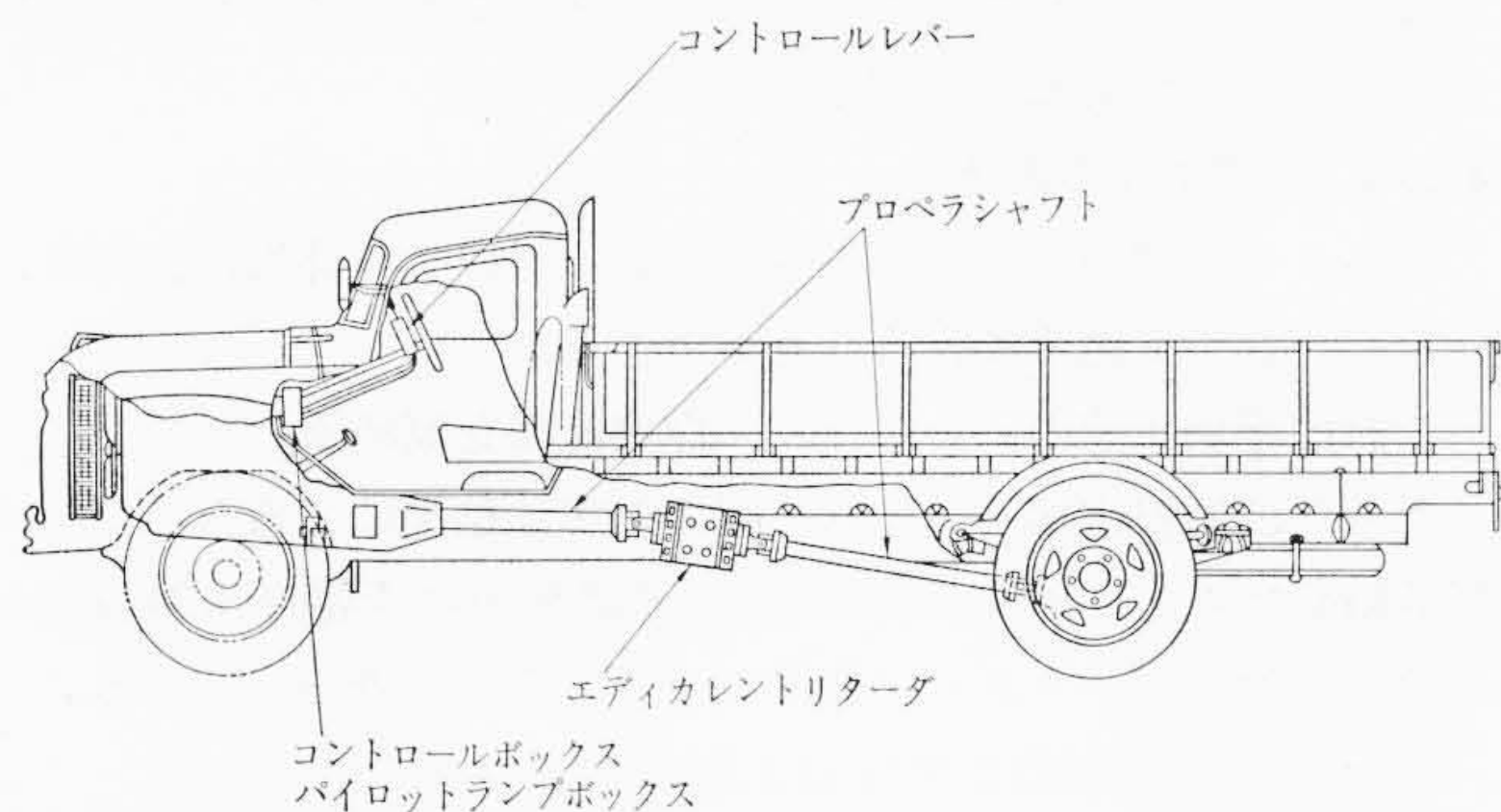
箱根の国道 1 号線において最大制動トルク 90 kgm の空冷式リターダを 8 t 積トラックに装着し、降坂試験を行なった結果について述べる。

4.1 空冷式リターダの実車装着

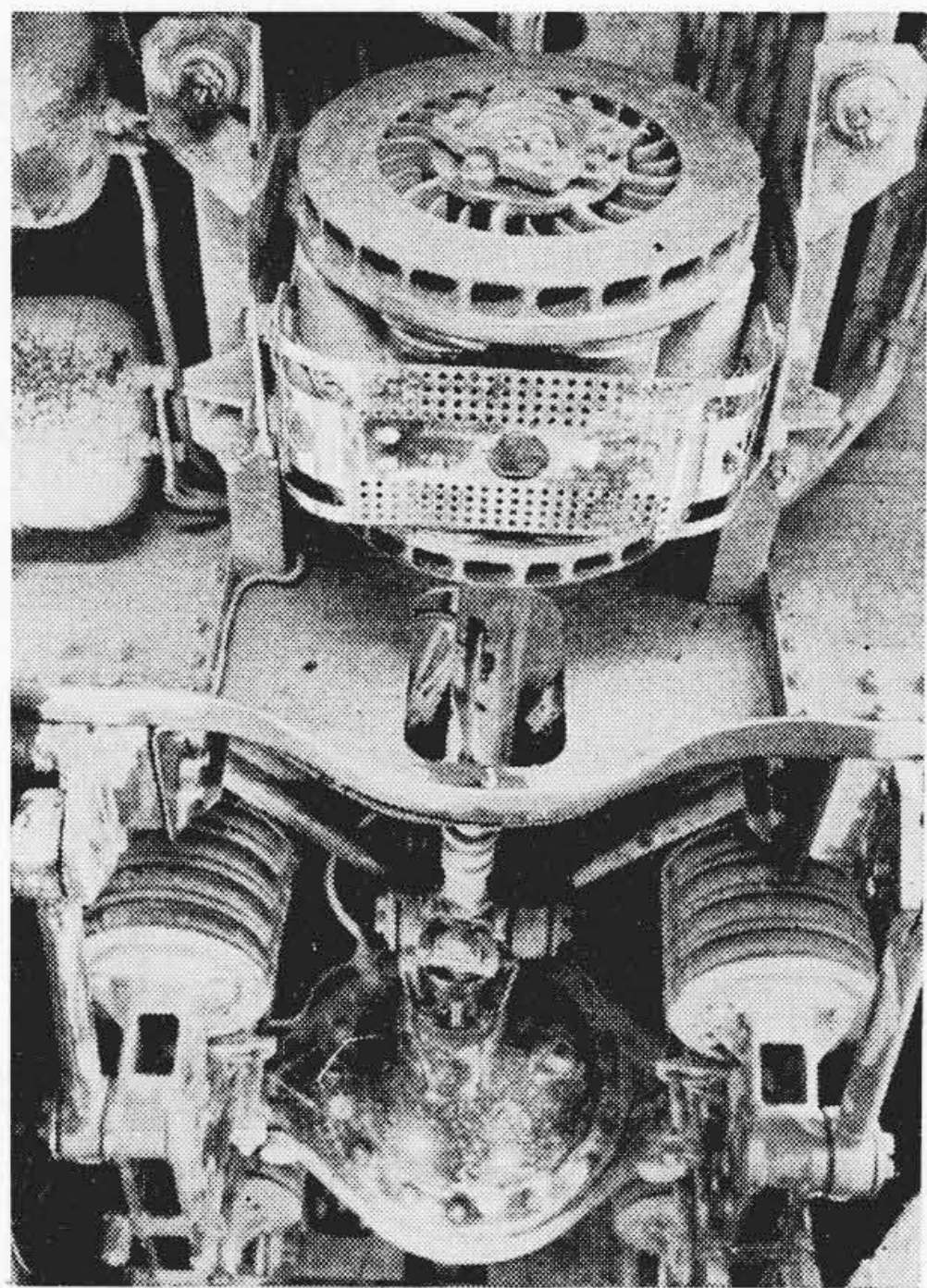
空冷式リターダをトラックに装着した外観図を第 9 図に示す。

フロントエンジンバスにリターダを装着するときは第 9 図と同様であるが、リヤーエンジンバスでは後車軸の差動装置よりエンジン側と反対に専用のプロペラシャフトを設けて、それにリターダのカップリングを結合し、走行中、差動装置のピニオンとともに回転する構造になっている。

第 10 図に空冷式リターダを装着した外観写真を示す。



第9図 空冷式リターダを装着したトラック



第10図 空冷式リターダを装着した外観写真

第2表 箱根降坂試験結果の一例

	リターダ使用せず	リターダ使用時
試験コース	箱根山頂—三島入口	箱根山頂—三島入口
エンジンブレーキ	3速ギヤ時	3速ギヤ時
フットブレーキ使用回数	240回	1回
フットブレーキ使用時間	810秒	10秒
降坂所要時間	34分	26.5分
降坂平均速度	27.5(km/h)	35(km/h)
リターダ電流消費量	—	13(AH)

4.2 箱根降坂試験

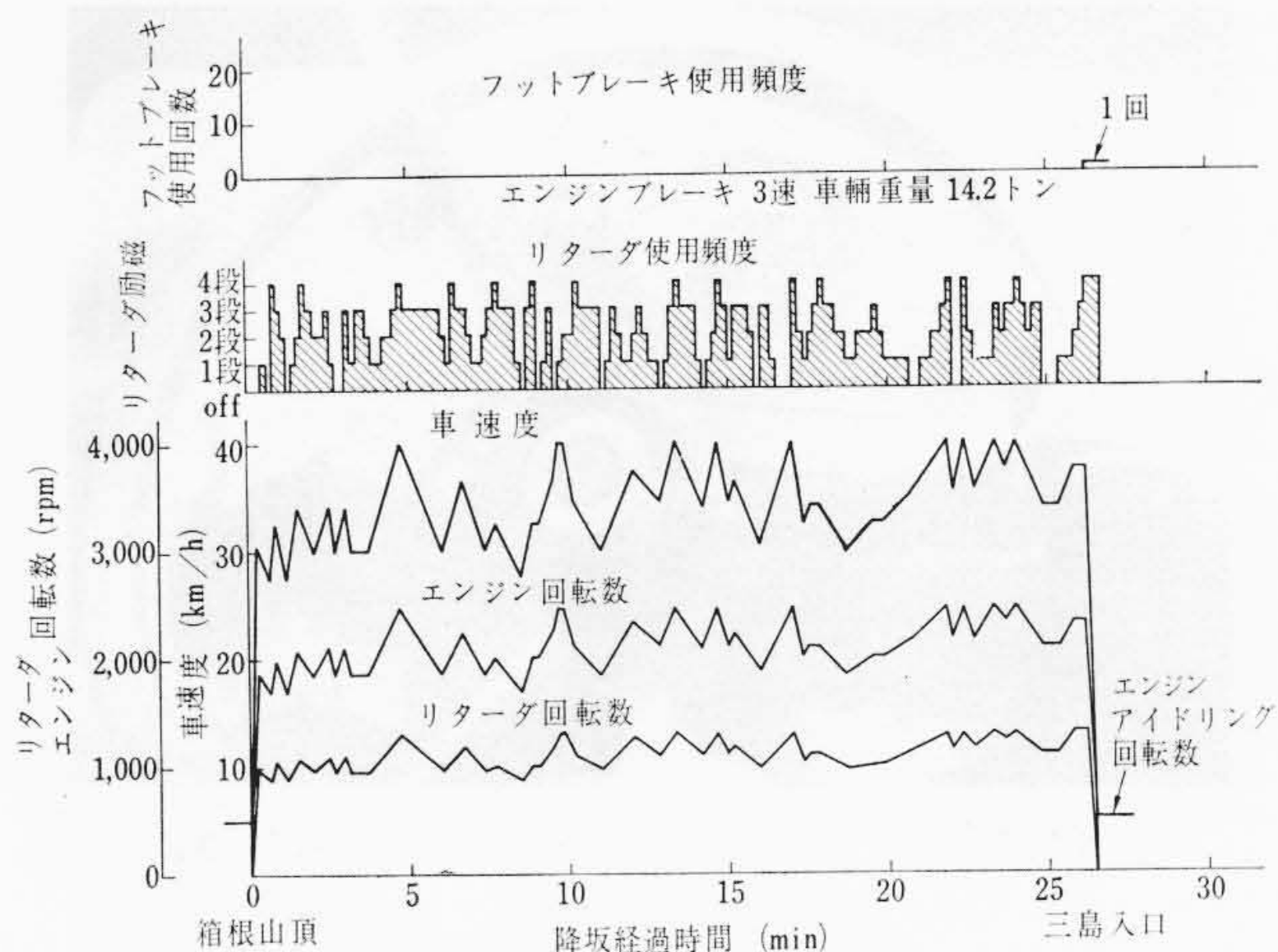
試験コースは箱根山頂—三島市入口 15.5 km, 箱根山頂—小田原市有料道路ゲート 16.5 km で8 t積トラックに積荷して, 車両総重量 14.2 t の状態で降坂試験を行なった。第2表は降坂試験データの一例である。

降坂試験データからもわかるように, リターダの使用によって次の利点があげられる。

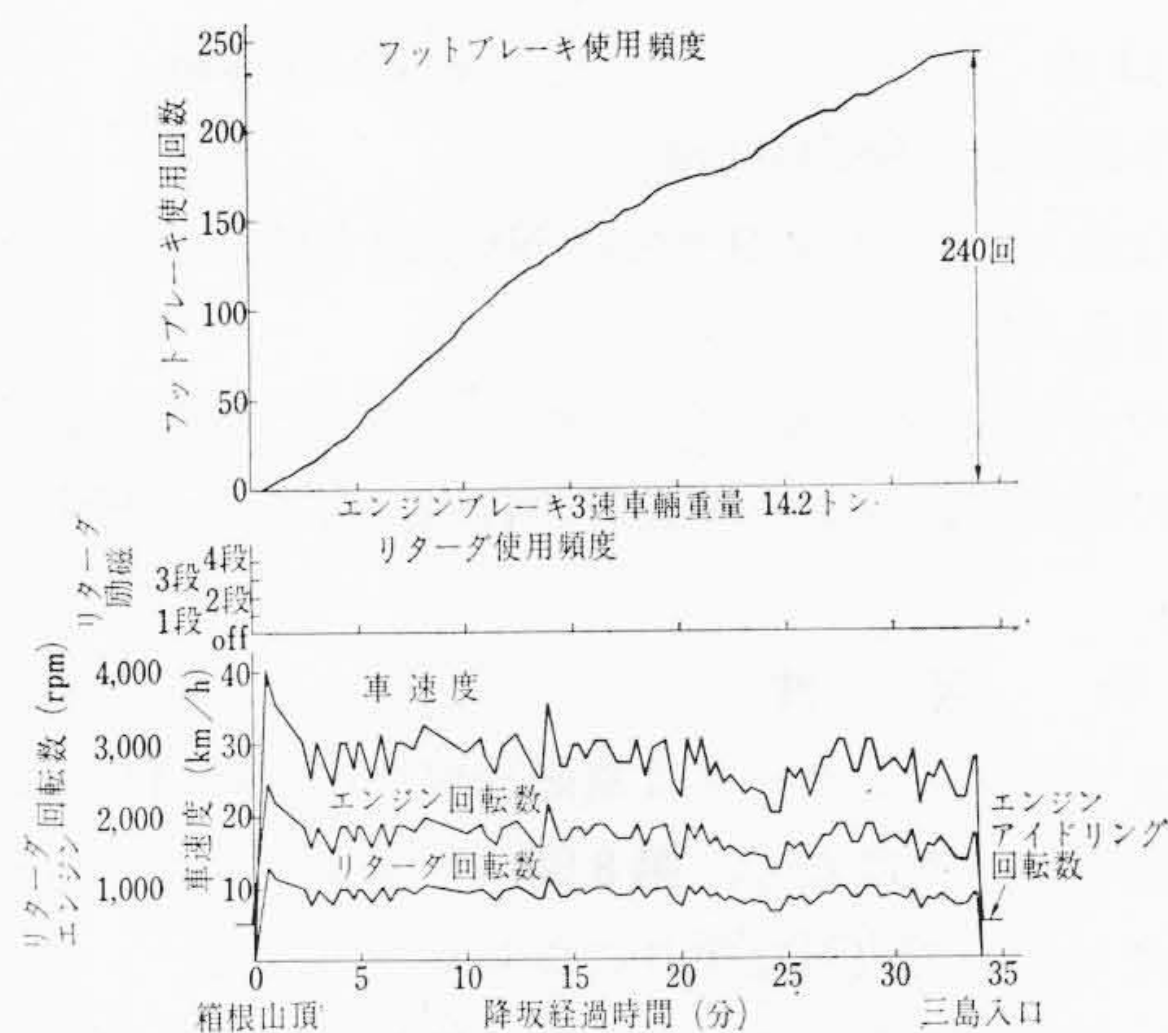
4.2.1 安全運転

前述のように, 従来のフットブレーキのみでは高速の重量車が, 長坂路を降坂する場合, たえず, ドラムやライニングの焼損に注意しなければならないが, リターダを使用するとフットブレーキの使用回数と時間を極度に減じて, これを保護できるので安全性が増大する。

また, 第11図に示すように, 箱根山頂—三島間, 箱根山頂—小田原間の箱根国道1号線において, リターダをトラックに装着して降坂した結果, 車速 30~40(km/h) で変速機は4速, または3速のままで安全に降坂できることが実車試験によって確認でき



第11図 リターダを使用した場合の箱根降坂試験



第12図 リターダを使用しない場合の箱根降坂試験

た。

これに対して, 第12図に示すように, 従来のフットブレーキのみによる降坂では, 車速 20~30(km/h) で, 変速機は3速でさえ, 運転上, 不安が感じられ, 三島および小田原付近に来るころはブレーキドラムは温度上昇し, フットブレーキの制動力の減少がみられた。

4.2.2 経済性

リターダを装着するためには設備費はかかるが, 装着したことによって, タイヤの寿命の延長, ブレーキの整備, 修理費の低減など, 経済的に有効な面が数多くある。

フランス ANTR 石油会社の実験例によると

(1) 使用車両 Bernard B8 と B10 形タンクローリ (容量 18,000 l)

(2) 走行距離 B 8: 160,000 km

B 10: 145,000 km

(3) サービスブレーキの整備

両者とも, この間に全然行なわなかった (通常は 60,000 km ごとに定期整備)。

したがって, 各車2回の再生費の節約, すなわち1台につき, 30万フランを節約した。

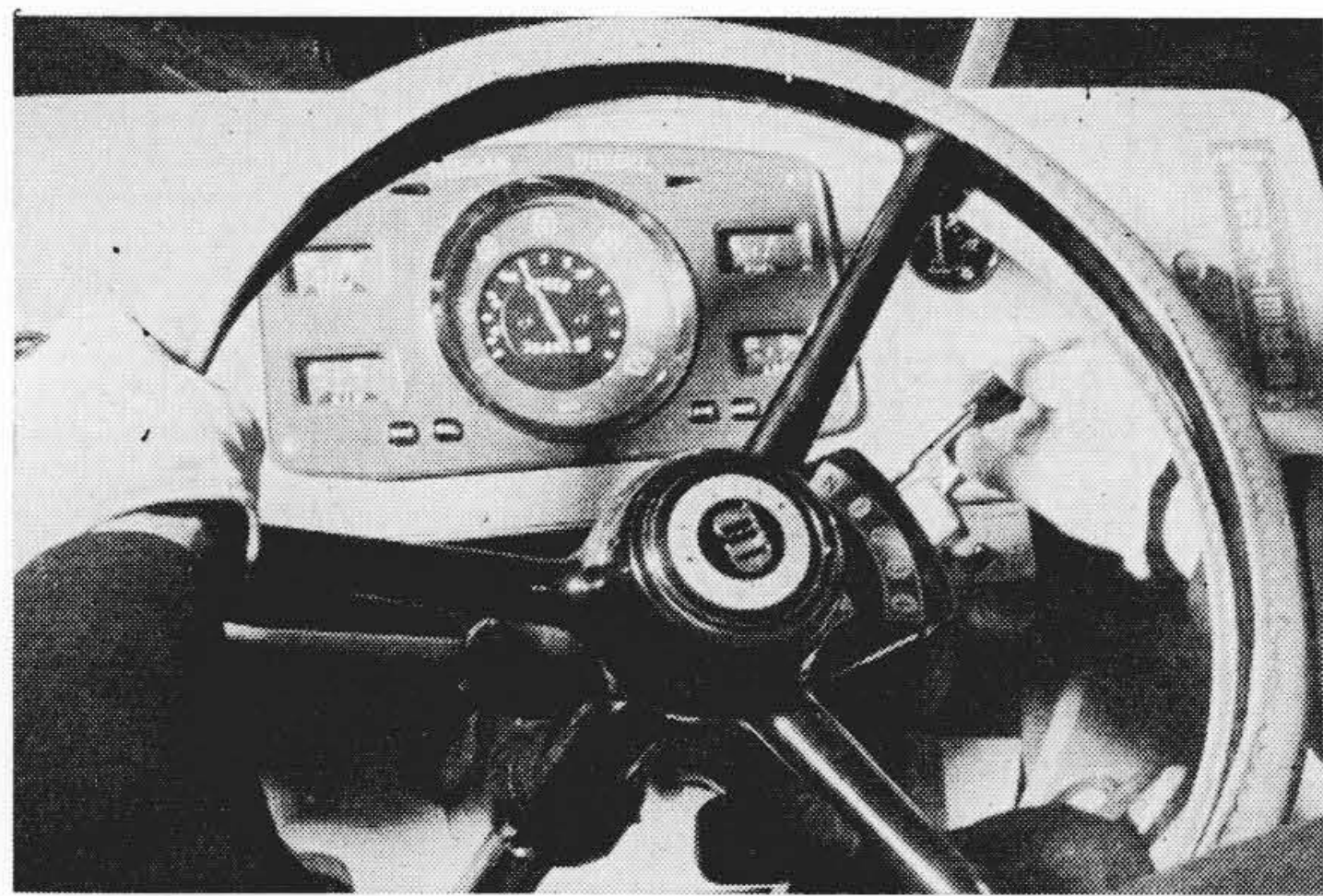
(4) タイヤ

従来のタイヤ寿命 60,000 km に対して B 8 において, 次の結果を得た。

2本……160,000 km で交換 320,000 km

1本……125,000 km で交換 125,000 km

3本……101,000 km で交換 303,000 km



第13図 リターダコントロールレバーの操作要領

2本…… 66,000 km で交換 132,000 km

2本…… 57,000 km で交換 114,000 km

1本…… 90,000 km で交換 90,000 km

計11本 総計 1,084,000 km

平均寿命=98,500 km

すなわち、タイヤの寿命は60%以上延長することになると報告されている。

以上のようなわけで、ブレーキの整備、修理費の低減とタイヤの寿命の延長で、リターダ装着の費用は容易に償却することができよう。

4.2.3 快適性

エディカレントリターダは電磁誘導作用を応用しているため、制動時のショックはなく、第8図に示すように、スムーズな作動経過をたどるので快適な乗りごちが得られる。

また、フットブレーキをひん繁に使用することは運転手の疲労を招くが、その点、リターダでは第13図のようにハンドルの下のレバースイッチを軽く操作するだけで確実な制動ができるので運転手の疲労は非常に軽減する。

このように運転手の疲労の軽減とともに、いつでも有効な制動ができるという安心感は、運転手の精神の緊張感をほぐして、常に心に余裕のある運転ができることになる。

自動車事故が疲労と、精神が一方に奪われて注意がおろそかに

なることによって起こることを考えると、このリターダの使用は安全性に対しても大いに寄与することになる。

4.2.4 作業能率の向上

リターダを使用すると、フットブレーキによる降坂に比べて、安全に、しかも迅速に下ることができる。

これは平均車速の向上になり、作業能率を高める。

たとえば箱根山頂—三島間の降坂の実験結果によると、コース15.5 kmをフットブレーキのみによる降坂では所要時間34分間かかるのに対して、リターダ使用による降坂では26.5分である。

すなわち所要時間は20%以上短縮することになる。

以上のように、燃料を使わず、安全に平均速度を高めることは、作業能率を高め、経済性に対して大いに寄与することになる。また、平坦路走行においても多少の起伏はあるもので、この間、起伏に関係なく速度を落とさず走れるので、長距離運行でも時間を安全に縮められる。

さらに、エンジンの馬力を強大にして、上り坂でスピードを出すという不経済な時間節約よりも、リターダを使用して重力を利用した経済的な時間節約を下り坂で実現したほうが合理的である。

5. 結 言

近年自動車の高速化、大形化につれ、第3のブレーキの要望があり、この対処策としてリターダがある。リターダにはエグゾーストブレーキ式など数種あるが、その中でエディカレント式がすぐれた性能をもっている。

今回、エディカレントリターダの制動トルクを解析し、12~15 t車用として開発した最大制動トルク90 kgmの空冷式エディカレントリターダについて、箱根の国道1号線で実車走行によって検討した結果、非常に優秀な成績を収めた。また寿命試験によって、その実用性のあることが確認された。

参 考 文 献

- (1) 特許出願中
- (2) H. M. McConnell: AIEE. Part I, 73, 226-235 (Jul. 1954)
- (3) A. J. Wood: AIEE. Part III, 78, 1657-1665 (Feb. 1960)
- (4) 竹山説三: 電気磁気学現象理論 (昭19, 丸善)
- (5) Fleet Owner: Fleet Owner, 56, 87-98 (1961)



特許第414653号

特 許 の 紹 介



高 谷 通・桑 山 越 夫
岡 崎 政 枝

球 状 重 合 体 の 製 造 法

イオン交換樹脂母体として使用される球状重合体の製造法に関する。

従来この球状重合体を製造する場合、重合しうる芳香族炭化水素を水に懸濁し、分散剤としてマグネシウム、カルシウム、バリウムの磷酸塩を加え、加熱して重合体をえていた。この場合懸濁安定性、凝固防止の機能にばらつきが多く、樹脂の粒度を均一にすることが

非常に困難であった。

これに対して本発明は、重合可能な芳香族炭化水素またはこの混合物を水中に懸濁し、これに分散剤として、磷酸ジルコンまたは磷酸モリブデン酸アンモニウムを添加して重合を行なうことが特長で、きわめて粒度の均一なものをえることができる。(松下)