

試験台による自動車の研究

—特に運動性能について—

平尾 収・中島 隆

自動車の性能研究においては、実走行による実験を行なうことが望ましいが、計測・施設・安全性等の面に多くの困難が伴う。このため、実走行の代用として自動車試験台を利用することが、従来より行なわれてきたが、その内容は動力性能・乗心地性能等が中心であり、自動車の高速化に伴って現在最も解明が望まれている運動性能の研究に利用された例は少ない。最近当所に運動性能研究のための自動車試験台が完成し、これを利用して系統的な研究を行なってゆく予定なので、その試験台の構造ならびに研究計画の概要を紹介する。

1. まえがき

自動車の性能研究において、実走行の代用として自動車試験台を用いる手法は広く知られている。自動車に限らず、およそ機械の性能を試験する場合には、その機械が実際に使用されるのと同じ条件下で行なうのが最も望ましいことは言をまたないが、自動車のように、非常に多くの自由度を持った複雑な運動をするものにおいて、その運動の様相を実走行中に正確に把握することは、非常に多くの困難を伴う。さらに、近年自動車の諸性能の著しい向上に伴って、高速度での試験ができる大規模な試験場の必要・試験実施に伴う危険の増大等、実走行試験における困難はいっそう大きくなっている。それにもかかわらず、開発面からは、より多様の、より精度の高いデータが要求されている。特に、来たるべき高速時代に対処すべく、当面の最重要課題になっている運動性能に関する研究は、この要求の中で最も大きな部分を占めている。

自動車試験台による性能の研究は、この難点のある程度解決する方法の一つである。従来、試験台を用いる研究は、直線走行性能（動力性能、制動性能）および乗心地性能（振動・騒音）等が中心になっていたが、前述の要求にこたえるためには、今後試験台上における運動性能の研究法を開発することが必要と考えられる。

当所では、麻布新庁舎への移転を機に、運動性能研究を主目的とした自動車試験台の設置を計画していたが、最近その主要部分が完成した。われわれとしては、これを十分に活用して運動性能の系統的な研究を進めてゆきたいと考えている。以下当所試験台の構造ならびに研究計画を紹介する。

2. 試験台と実走路の近似性について

周知のように、試験台の仮装走路には、ドラム式・ローラ式・ベルト式等があり、タイヤの対路面特性の点からは、平面で接するベルト式が最もすぐれているはずであるが、現実にはベルトの強度・剛性の不足・振動の発生等の技術的な問題があって、実用になるものを製作す

ることが非常に困難で、現状ではあまり用いられていない。またローラ式は、タイヤの対路面特性が実走行とあまりにもかけはなれているため、運動性能試験には適していない。したがって、ここでは性能試験用として最も多く用いられているドラム式走路のみについて検討を進めることにする（いうまでもなく、当所に新設された試験台もドラム式を採用している）。

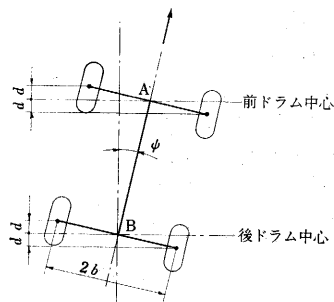
このような試験台では、完全に実走行と同一の状態を現出することは不可能と考えねばならない。ドラム式のものにおいては、走路の曲率半径が有限であること、止綱を必要とすることなどによって、タイヤの対路面特性のほか、以下に述べるいくつかの影響を生ずる。そこでこれらの影響を把握し、これをいくらかでも実走行に近づける工夫をする必要がある。運動性能に関連する諸点について、われわれとしてはつぎのように考えている。

(1) タイヤの対路面特性

ドラムの曲率半径が有限であることにより、タイヤの対路面特性に影響が現われ、近藤によれば、ドラム上におけるコーナリングパワは平面上の場合に比して若干減少する¹⁾。これは、自動車の運動特性に大きく影響し、実走行との差を生ずる最大の要因になると考えられるが、同じ文献によれば、タイヤの内圧の調整によってコーナリングパワが変化することが示されているから、これによって、ある程度実走行に近づけることができるであろう。

しかし、現在文献によって得られるタイヤ特性の多くは、ドラム上での試験によるものであるから、理論式の適合性を実験によって確認するような場合には、ドラム上であることがかえって好都合であることも考えられる。

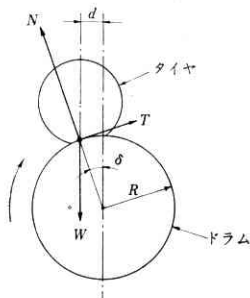
(2) ヨーイングによる負の複元モーメント



第 1 図

試験台上での操舵によって、自動車がヨー角を持ち、第1図に示すようにタイヤ中心とドラム中心がずれた場合を考えてみる。この場合、ヨー角 ϕ がそれほど大きくない場合には、近似的に前後輪の中心点A・Bはドラム中心上にあると考える。その場合、各輪のドラム中心からのズレ d はすべて等しく、

$$d = b \sin \phi \doteq b\phi$$



第2図

この状態で前輪の一方を水平方向から見ると、第2図のようになる。ここで W は一輪荷重、 $T \cdot N$ はおのおのタイヤに働く接線および法線力を示す。(実際にはタイヤ着力点は d よりもさらに若干ズレるが、その量は d に比してさらに小さいので無視する。い

ずれにせよこのズレは本節に述べるモーメントには影響しない。

いま第2図で、タイヤに加わる水平方向の合力を H_{11} とすると、

$$H_{11} = T \cos \delta - N \sin \delta$$

一方反対側のタイヤについて考えると、水平方向の合力 H_{12} は、

$$H_{12} = T \cos \delta + N \sin \delta$$

この結果、自動車には

$$M_1 = -2Nb \sin \delta$$

なる負の復元モーメントが発生する。

ここで、

$$\sin \delta = \frac{d}{R}$$

また $N \doteq W$

と考えると、

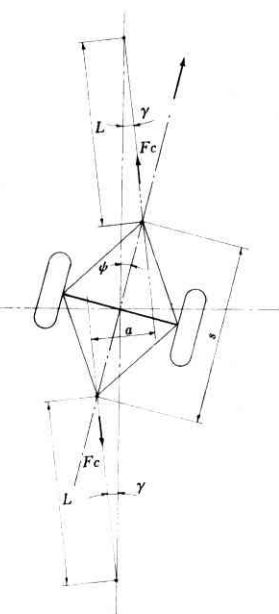
$$\begin{aligned} M_1 &\doteq -2Wb \frac{d}{R} \\ &\doteq -\frac{2Wb^2}{R} \phi \end{aligned}$$

後輪によって自動車に加わるモーメント M_2 も同じ仮定を行なうことにより、まったく同一の結果が得られる。したがって、自動車全体に加わる復元モーメント M は

$$\begin{aligned} M &= M_1 + M_2 \\ &= -\frac{4Wb^2}{R} \phi \end{aligned}$$

.....(1)

この状態で前輪の一方を水平方向から見ると、第2図のようになる。ここで W は一輪荷重、 $T \cdot N$ はおのおのタイヤに働く接線および法線力を示す。(実際にはタイヤ着力点は d よりもさらに若干ズレるが、その量は d に比してさらに小さいので無視する。い



第3図

このモーメントは、実走行時には生じないものであるから、これを打ち消す必要がある。

これには、車の止網の張力を利用すれば容易に目的が達せられる。第3図に示すように、前後の止網を後車軸にとりつけ、ヨーイング時に正の復元モーメントを持たせるようにする。今後車軸中心が常に前後の止網の固定点を結んだ線上にあるとすれば(この前提を成立させる方法については後述する)、このモーメント M' は、

$$M' = F_c \cdot a = F_c \cdot s \sin(\phi + \gamma) \doteq F_c \cdot s(\phi + \gamma) \quad \cdots (2)$$

ここで

$$L \sin \gamma = \frac{s}{2} \sin \phi$$

$$\frac{s}{2L} = \frac{\sin \gamma}{\sin \phi} \doteq \frac{\gamma}{\phi}$$

したがって

$$M' = F_c \cdot s \left(1 + \frac{s}{2L}\right) \phi \quad \cdots (2')$$

これが前述のモーメント M を打ち消すには

$$M + M' = -\frac{4Wb^2}{R} \phi + F_c \cdot s \left(1 + \frac{s}{2L}\right) \phi = 0 \quad \cdots (3)$$

これを解いて s を求めれば

$$s \doteq L \left(\sqrt{1 + \frac{8Wb^2}{LRF_c}} - 1 \right) \quad \cdots (4)$$

また L が非常に長い場合は $2L$ に対し s を無視して、

$$s \doteq \frac{4Wb^2}{F_c R} \quad \cdots (4')$$

試験車にこの対策を実施した状況を第4図に示す。

(3) 止網による横力

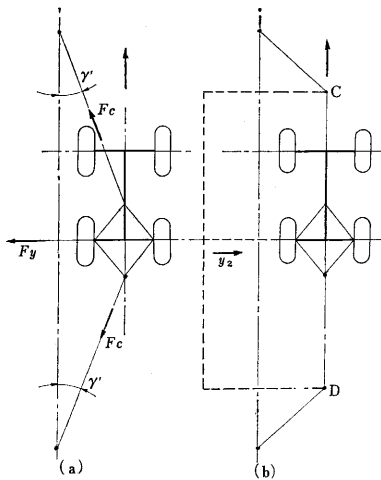
試験台におけるもう一つの重要な問題点は、操舵により自動車に横変位が生じた時、第5図(a)に示すように止網の張力によって

$$F_y = 2F_c \cdot \gamma' \quad \cdots (5)$$

なる横力を生ずることである。そこで、第5図(b)に示すように、後輪の横変位 y_2 を検出し、前後の止網上の点C・Dに常に y_2 に等しい横変位を与える。そうすれば、 γ' は常に0となり、 F_y を消すことができる。ま



第4図

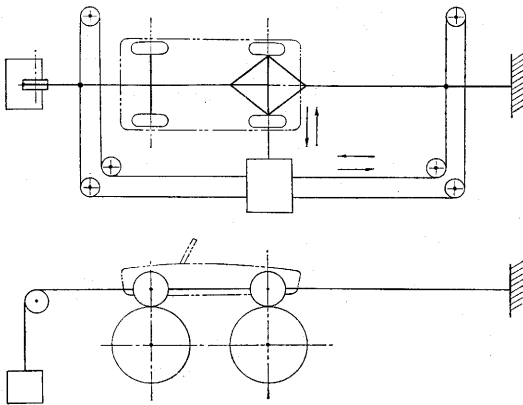


第 5 図

た、自動車がヨーイングした時にも、後車軸中心は常に C・D を結ぶ線上に保たれ、(2) 式が成立するための前提を満足させることができる。

この対策のために、現在油圧サーボ機構を使った装置を計画中である。

(1) 項および (2) 項を実施した場合の試験装置の見取図を第 6 図に示す。



第 6 図

(4) 操舵系に加わる負の複元トルク

試験台上で操舵を行なった場合、キングピンオフセットのため、ドラム中心と前輪中心とがずれて、(2) 項と同様な現象が生じ、これが操縦者には操舵トルクの減少として感じられる。これを打ち消すためには、操舵系内に適当な方法で複元バネを設け、このトルクを補償してやればよいと考えている。

3. 計測法について

試験台による研究の最も大きな利点は、実走行においては計測・記録が困難な諸量を、容易に、しかも正確に得られることである。たとえば、実走行時の水平面内における自動車の姿勢を連続的に計測するのに映画撮影を

用いることがあるが、地上に基準線を設ける等の事前準備、実験後のデータ解析等に多大の労力を要し、また時間記録を他の諸量と同時にとることが困難なこと等多くの欠点がある。さらにこれがロール角・ピッチ角等の立体的な量になると、困難はますます大きくなる。また計測が容易なものであっても、同時に多数の量を計測する場合には、記録のために必要な諸装置（増幅器・オシログラフ等）を多数積載する必要が生じ、スペース・重量・電源等に困難を生ずることが多い。最近では計測した諸量を無線搬送する手法が開発されているが、これとて送受信設備・電波法規の規制を考えると、かなりの面倒を伴う。

試験台上での実験は、こうした困難を、いっさい除くことができる。現在、実施または計画中の計測法および計測装置についての概略は、つぎのとおりである。

(1) 自動車の座標および姿勢角

試験台上においては、自動車は前進しないから、地上に設置した基準点に対する自動車の相対横変位を計ることによって、水平面内の運動を定量化化することができる。

いま前輪および後輪の横変位を y_1, y_2 とし、ホイールベースを l 、重心と後車軸の距離を l_2 とすれば、重心の横変位 y およびヨー角

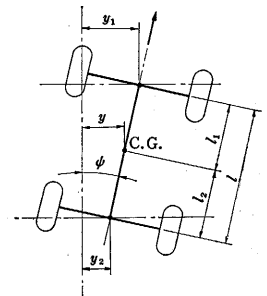
ϕ は、 ϕ が小さい場合、

$$y = y_2 + \frac{l_2}{l}(y_1 - y_2)$$

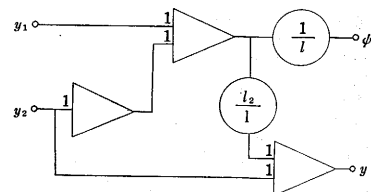
$$\phi = \frac{1}{l}(y_1 - y_2)$$

として求められる。(第 7 図)

そこで y_1, y_2 を変位計によって電圧変化として求め、第 8 図の演算回路によ



第 7 図



第 8 図

り y, ϕ を直接記録することができる。

またロール角・ピッチ角を得るには、同様に車体の 2 カ所に変位計を装置し、 ϕ と同一の演算回路を用いればよい。

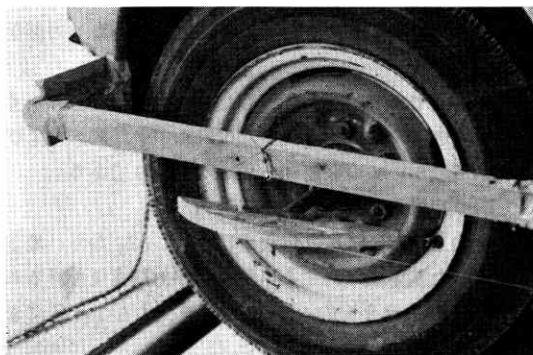
(2) 自動車の横方向速度および加速度、姿勢角角速度

前項により y, ϕ 等が求まれば、これを微分回路に入ればよいわけであるが、一般に微分回路を用いると、雑音による誤差が大きくなるので、前・後軸上にストレ

ーンゲージタイプの加速度計を装着して、 \ddot{y}_1, \ddot{y}_2 を求め、これを積分および加減算回路を通して $\dot{y}, \dot{\psi}$ 等を得る。

(3) 操舵系諸量

操舵角・操舵トルクは普通の操舵角・操舵力計を用いる。また実舵角は前車軸に装着した棒の先端の車体に対する相対変位を変位計によって求める。この際、変位計にとりつけた糸が常に直線運動をするように、棒の先端はキングピンを中心とする円弧にしてある(第9図)。



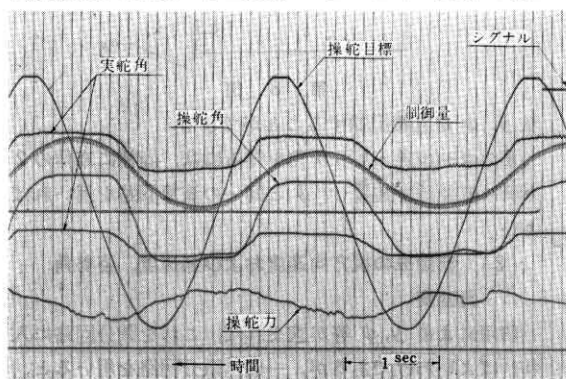
第 9 図

ヨー角と実舵角を加算回路に入ればタイヤすべり角を求めることができる。

(4) その他の諸量

以上述べた基本的な諸量のほかに、実験の内容により種々の計測すべきものが付加されてくる。たとえば後述の人間-機械系としての自動車の応答特性試験においては、人間が検出すべき目標値、それに対応させる制御量等を計測記録する必要がある。これらの量もおおむね変位計と演算回路の組合せによって直接記録ができると考えている。

以上述べたように、現在必要と考えられる計測量は、すべて電気的な変化に変換できるので、記録装置としては普通の多チャンネル電磁オシログラフによって共通の刻時マークとともに記録できる。なお、後述する長時間連続記録を必要とする実験には、スライス回路と計数



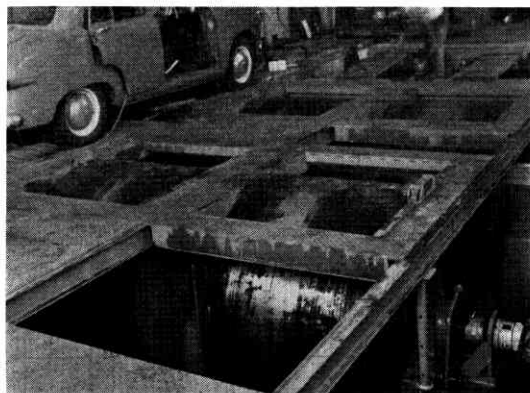
第 10 図

装置を組み合わせて用いることも考えている。第10図に計測記録の1例を示す。

4. 当所試験台の概要

試験台の計画に当たっては、研究機関としての当所の性格上、できるだけ広範な種類の自動車試験でき、また運動性能のみならず、動力性能・騒音・振動乗心地性能等、試験台上で行ない得る試験はすべて実施できるように考慮した。施工は2期に分けて行ない、現在完成しているのはその第1期分であるが、台上での運転に直接必要な装置はすべて設備され、たいいてい試験はすでに実施可能な態勢にある。

試験台の全景を第11図、その構造を第12図、被試験車の仕様を表に示す。図に示すように、前後輪とも直

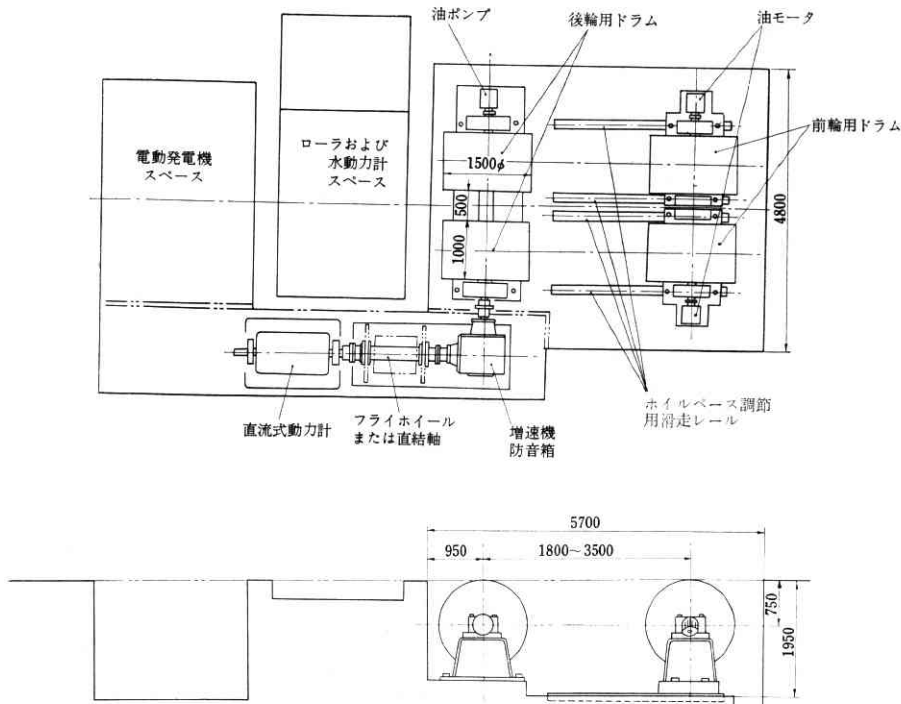


第 11 図

径1,500 mmのドラム式走路を使用し、装置全体はピットに収められて、車の搭載は極めて容易である(なお、特に必要な場合のため、ローラ式走路とその動力吸収用水動力計も設備されているが、ここでは説明を省略する)。ホイールベースの調節は、前輪ドラムを移動して行なうが、ドラム支台の締付ボルトを緩めると、支台全体がパネで押し上げられ、パネの下端につけられたローラと滑走レールによって容易に移動を行なうことができる。

後輪ドラムは自動車のエンジンから後輪を経て駆動され、増速機を経て200 PS 直流式電気動力計でトルクを吸収する。増速機はスパイラルベベルギヤを使用しているが、騒音には特に注意し、歯車精度を上げるとともに増速機全体を内張をほどこした防音箱で覆っている。また、動力性能試験を行なう場合には、増速機と動力計の間に、試験車の仕様に応じたフライホイールを入れて慣性補償が行なえるようになっている。

前輪ドラムの駆動は、騒音の減少とホイールベース調節を容易化するため、油圧方式を用いている。後輪ドラム軸端に接続された油ポンプにより、前輪ドラムの左右に各1個設けられた油モータを駆動する。第13図に油ポンプ、第14図に油モータの装着状況を示す。左右輪お

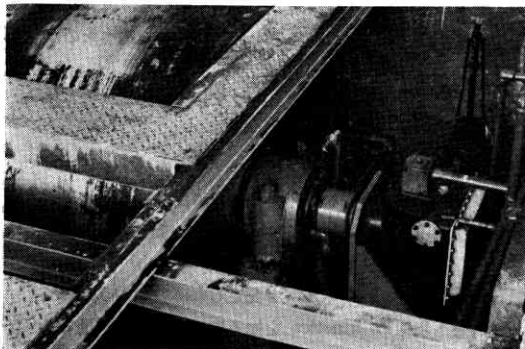


第 12 図

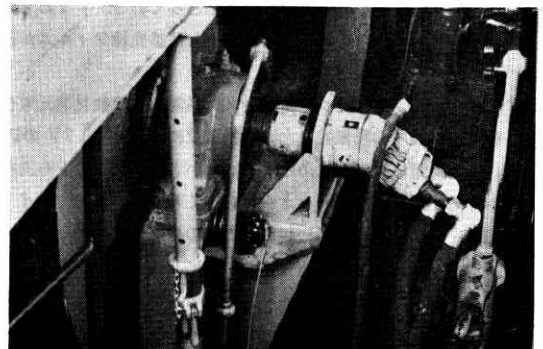
1. 車 種	一軸駆動 4 輪車
2. 最大軸荷重	1,500 kg
3. 速 度	最高 250 km/h
4. 吸 収 動 力	最高 200 PS
5. 寸 法	
全長	最大 5,500 mm
全高	最大 2,300 mm
全幅	最大 2,500 mm
軸距	1,800 mm~3,500 mm
輪距	1,100 mm~1,800 mm

および後輪との速度同期は、2 個の圧力調整弁によって行なう。長時間連続運転に備えて、圧力油冷却器が設けられている。

以上のほかに第 2 期工事として予定しているものは、けん引力・側力等の計測装置、エンジン冷却用コンプレッサなどがある。



第 13 図



第 14 図

第 15 図に試験車を搭載した状況を示す。

5. 当面の研究計画

(1) 操縦性能

操縦性能の試験としては、従来実走行により車線乗移り、スラローム・レムニスケット走行等が行なわれているが、自動車の運動を各自由度ごとに時間の関数としてとらえることが不可能であったため、単にその一部によって、あるいは体感によって相互比較を行ない、良否を論ずるに止まっている。

従来より近藤¹⁾、菊池²⁾、また最近は巨理³⁾によって運動性能の理

論的解析が行なわれているが、上述の理由によって実験的な裏付けが十分になされていないため、いまだ完全な体系をかたちづくるに至っていない。試験台ではこうした測定が容易にできるので、この特長を十分に活用して、運動性能理論の体系化を推進してゆく予定である。

さらに操縦性能研究の目的である人間の特性をも含めた人間-機械系としての自動車の特性解明の端緒として人間が視覚によって操舵目標を検出し、これに自動車の進路を合わせるような操舵を行なう場合の過渡応答・周波数応答を求め、この特性と自動車の設計諸元との関連を調べる実験、操舵系の特性を現在の比例型（ハンドル角と実舵角が比例）から、微分型（ハンドル角速度と実舵角が比例）に変えた場合の特性等に関する実験を準備中で、近く実施する予定である。

(2) 安定性能および保舵性能



第 15 図

走行中に外乱（たとえば横力）が作用した場合の自動車の運動、さらにその場合進路を一定に保とうとする操縦者の応答等は、一般に実走行では実験が困難なものである。こうした実験も試験台上では容易に行なえるので順次実施してゆきたいと考える。

（3）人間工学的実験

以上のほかに、自動車の性能とは別に、操縦者の人間工学的特性に関する研究をも実施する予定である。たとえば、道路区分線が現状のように自動車の両側にある場合と、区分線をまたいで走行する場合の比較、あるいは居眠り、めいてい運転時の操縦者の動作研究等が、実走行より能率的に、安全に実施できると考えている。

6. あとがき

自動車の各種性能の中で、運動性能は最も複雑なもの

であり、解明が将来に期せられるところの多い分野である。試験台の利用による実験手法の単純化はこの進歩に寄与するところが極めて大きいと考えられる。

もちろん、試験台による研究ですべてが解決されるものではなく、高速周回路による実走行試験の結果とあわせて解析を進めることも重要である。また、現在利用できる試験台で運動性能研究を行なう場合の問題点は、高速時における空気力の影響を入れることが困難なことであり、高速における運動性能の解明のためには、強力な風洞を備えたオールウェザーの試験台の設置が必要である。

しかし、現状では当所に設置された程度の試験台で実施できる範囲で、解明すべき問題は多く残されている。

試験台完成より日もおおしく、まだ本格的な研究を実施する段階に至っていないので、具体的な成果の報告は今後の機会にゆずることとする。（1963年10月1日受理）

- 1) 平尾 収・近藤政市ほか“理論自動車工学”Ⅱ、運動性能篇（山海堂）
平尾 収・近藤政市ほか“自動車ハンドブック”（朝倉書店）その他
- 2) 菊池英一“自動車の運動性能に及ぼす車体のロールとタイヤ横剛性の影響”自動車技術、Vol. 17, No. 2
菊池英一“ハンドル重さと操縦性”自動車技術論文集 6, 1959 その他
- 3) 互理 厚“自動車の操縦性安定性について”自技会講演会前副集, 37 年秋および 38 年夏

東京大学生産技術研究所報告予告

第 13 巻 第 4 号 菊池 真 一 著

LE MÉCANISME DU DÉVELOPPEMENT PHOTOGRAPHIQUE

「写真現像の機構」

写真現像の機構は著者の写真化学における研究の主要な部分を占めている。従来日本語で邦文の学会誌または一部は国際学会に発表したものをまとめ大系づけたものである。著者は亀山教授の指導を受け電気化学的研究方法を学んだので、写真化学の研究にも多く電気化学的手法をとっている。すなわち現像液の還元能力を酸化還元電位をもって測定している。露光し、または露光しないハロゲン銀結晶または感光性フィルムが還元される電位の貴の限界がどこにあるかということを開けたのは著者の最初の仕事であった。

ついでメトール、ハイドロキノン系現像液の酸化還元電位を測定して、その現像液により現像したフィルムの写真特性と比較した。実用の現像液は水素電極電位にて 0～-0.2V の辺の電位をもつものである。

著者は電極表面が清浄な状態にないと正しい電位を与え得ぬことを考え回転電極を考案した。またハイドロキノンモノスルホネートおよびジスルホネートをつくり、その電位がハイドロキノンよりも貴であることを確めた。著者は現像液の酸化還元電位を測定している間に現像液の中の白金極を浸漬したのでは実際の写真現像の状況と異なることに気がついてハロゲン銀と現像液共存系の電位を測定することにした。

また現像液中の亜硫酸イオンと銀との反応を電位的に研究した。最後に現像の活性化エネルギーを測定した。このようにして現像の酸化還元電位は現像の状況をおお程度正しく伝えることを知るけれども現像の kinetics を知るには、いまだ不足であって他の方法を併用しなければならないといっている。

(1963 年 12 月発行予定)