

タイヤ試験システムの開発（第1報）：主にデータ計測・処理系について

著者	佐藤 邦夫, 田尻 功郎, 伊佐 務
雑誌名	三重大學農學部學術報告 = The bulletin of the Faculty of Agriculture, Mie University
巻	65
ページ	51-64
発行年	1982-12-01
その他のタイトル	Development of the Tyre Testing System (1) : On the Data Measuring and Processing Systems
URL	http://hdl.handle.net/10076/3271

タイヤ試験システムの開発 (第1報)

—主にデータ計測・処理系について—

佐藤 邦夫・田尻 功郎・伊佐 務

Development of the Tyre Testing System (1)

—On the Data Measuring and Processing Systems—

KUNIO SATO, ISAO TAJIRI and Tsutomu ISA

1. 緒 言

車輪形トラクタの走行特性を定量的に解析する研究においては、基本的なタイヤ車輪特性を正確に把握する必要がある。このためにタイヤ試験機が用いられるが、農用トラクタに関するタイヤ試験は、主に土壌に対して行なうので、良く整備された土壌槽試験装置が必要である。またタイヤ作用力は分力計で測定するが、横すべり角を考慮した実験に対しては、主に6分力計を用いる。これには大きく分類して直接形と計算形があると考えられる。前者の出力は直接6分力を表示し、後者の場合はその出力に何らかの計算処理を施した後、6分力を表わす数値を得る。直接形はデータの処理は容易であるが、各分力の干渉を機械的に回避するなど機構が複雑であり、市販品は一般に高価で力学的容量にも制約がある。

このような情況に対し、本研究では複雑で多様なタイヤ特性の一端を明らかにするために、データの計測及び処理が容易で、汎用性を有するタイヤ試験システムを構築することを試みた。

ここでは土壌槽試験装置として、既存のレール設備¹⁾を利用したタイヤ試験用走行台車を製作し、これに供した。

また6分力計は、干渉の影響を軽減するために継目無し鋼管を使用して、L字形6分力計を製作した。これは基本的に計算形6分力計で、歪ゲージブリッジによる出力を得る。更にこの出力は、マイクロコンピュータを中心としたデータ計測装置により1次処理され、次段のデータ処理用マイクロコンピュータに伝達される。

以上のように、構成したタイヤ試験システムは、走行

台車、6分力計を中心としたタイヤ分力計測装置、マイクロコンピュータを用いたデータ計測装置などから成るが、基本的な性能試験の結果、転動車輪を扱う実験系の概要が確立したと判断されたので、ここに若干の走行試験の結果と合わせて報告する。

2. 走行台車

本研究では計測用タイヤを土壌槽上において、一定速度で走行させる必要がある。このための駆動装置は計測部への振動の影響が小さいものが望ましく、けん引台車と測定台車を分離することも考えられる。しかしこの方法は連結部に複雑な問題を有し、かつけん引台車の所要動力も大きくなり、装置全体が大掛かりになる。ここでは最大200〔kgf〕のけん引抵抗を、最大1〔m/s〕の速度でけん引可能とすることを目標に、サイリスタ制御式交流モータを動力とする、駆動部・計測部一体形の走行台車を製作した(写真1)。図1にその組立図を示す。

出力5.5kwのかご形誘導電動機(富士電機製VRKP



写真1 走行台車

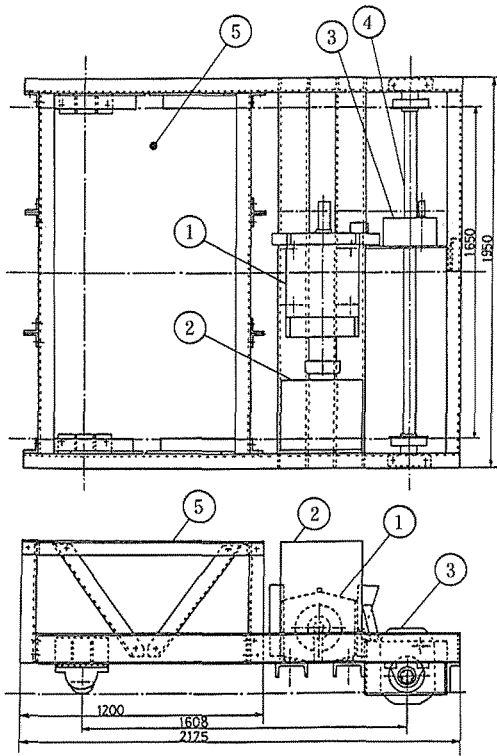


図1 走行台車

- 1. モータ 2. サイリスタ制御装置 3. 軸上減速機
- 4. 駆動軸 5. 計測部

1012-4) ①の回転数は、サイリスタ制御装置（富士電機製 PSR-L2F）②により140から1400 (r. p. m.) まで無段階に変速される。更に電動機回転出力はタイミングベルトにより、軸上減速機③を介して駆動軸④に伝達され、最終的に台車の速度を0.1から1.0 (m/s) の範囲で任意に設定することができる。後述のタイヤ分力計測装置は⑤に搭載する。

このような駆動・速度制御系は、エンジンや油圧システムのように往復運動部分がないので、振動が少なく制御も容易で高精度である。

また制動装置は電動機出力軸と、軸上減速機高速軸側に油圧ディスクブレーキを配し、電磁閉閉器の a 接点を利用した AC ソレノイドの ON-OFF により動作させる。

更に、台車側に前進用と後進用のリミットスイッチを取り付け、停止スイッチ ON、停電、リミットスイッチ ON のいずれかの条件が満たされた場合に制動装置が動作するようにして安全を計った。

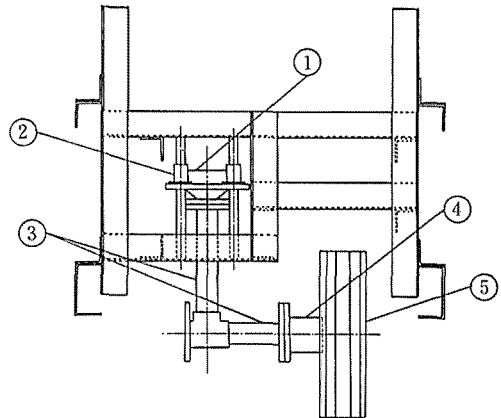


図2 タイヤ分力計測装置

- 1. 横すべり角設定装置 2. スライドベアリング
- 3. 計測部 4. タイヤ支持器 5. 供試タイヤ

3. タイヤ分力計測装置

3.1 概要

本研究では主に砂質土におけるタイヤの転動特性を調べるため、図2に示すようなタイヤ分力計測装置を製作した。特にタイヤの横すべり角設定装置①は角度設定を無段階とするため、トルクリミッターを流用した。またタイヤの上下方向の移動はスライドベアリング②によるが、構造上摩擦が避けられないので、計測時にはこれを固定し、路面の高さを調整して接地荷重を与える方式を採った。従って接地荷重一定の実験を行なう場合には、路面の平坦性が要求される。供試タイヤ⑤に作用する力、及びモーメントは、タイヤの支持を兼ねた計測部③の歪を検出し、計算することにより求める。④はタイヤを一定軸の回りに転動させるための支持器である。

3.2 計測原理

本計測装置の計測部は図3のように L 字形構造を有

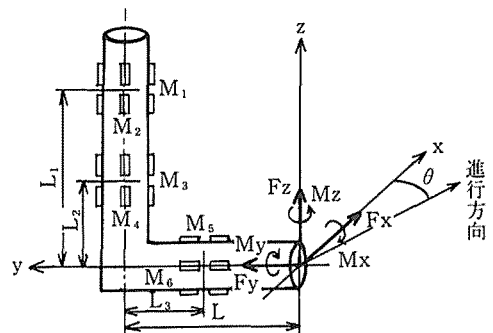


図3 計測原理

しており、タイヤは座標系 $O-x, y, z$ において O を中心として x, z 平面内で回転する。一般に進行方向と x 軸方向は一致せず、角度 θ は横すべり角と呼ばれる。

ここでは図のように4ゲージ法によるブリッジを6組構成し、番号(1~6)を付けた。各ブリッジの出力から曲げモーメント M_i ($i=1\sim 6$) (kgf・mm) が計算され、次式により転動タイヤのドラッグ F_x 、サイドフォース F_y 、接地荷重 F_z が求まる。

$$F_x = \frac{M_4 - M_2}{L_1 - L_2} \quad (\text{kgf}) \quad \dots(1)$$

$$F_y = \frac{M_1 - M_3}{L_1 - L_2} \quad (\text{kgf}) \quad \dots(2)$$

$$F_z = \frac{L_2 \times M_1}{L_3 \times (L_1 - L_2)} - \frac{L_1 \times M_3}{L_3 \times (L_1 - L_2)} + \frac{M_5}{L_3} \quad (\text{kgf}) \quad \dots(3)$$

ただし実測により $L_1=309.3$ (mm), $L_2=148.7$ (mm), $L_3=129.2$ (mm), $L=370.0$ (mm)

なお各軸のまわりのモーメントは着力点の考察などで重要であるが、ここでは特に考えない。

以上により、 M_i の値が分かればタイヤに作用する力を計算することは容易であるが、実際は干渉などにより M_i を正確に求めることは難しい。ここではねじれなどの干渉の影響をできるだけ小さくするため、計測部に継目無し鋼管(外径 60 mm, 内径 52 mm)を使用した。

これを較正するため、市販歪計と電磁オシログラフ(いずれも非直線性 $\pm 1\%$) を使用して、文献2)と同様な較正実験を行ない、最少2乗法により主感度係数²⁾ k_i (表1) を求めた。干渉係数を含む考察は実験精度を要するので本報では行わず、後述の計測系を使用して今後検討を行なう。

従ってここでは歪ブリッジ出力 ϵ_i (歪) を計測し、式

$$M_i = \frac{1}{k_i} \epsilon_i \quad (\text{kgf} \cdot \text{mm}) \quad \dots(4)$$

により各ブリッジにおける曲げモーメントを求めた。

4. データ計測装置

4.1 概要

一般にアナログデータの処理を計算機により行なうためには、処理の過程でアナログ・デジタル変換(以後AD変換と略す)が必要である。これを含む計算機処理においても比較的高度な処理、及び高速でコンパクトな媒体によるデータの保存を行なおうとすると、大きな計算処理系が必要となり、マイクロコンピュータを用いたものでも定置形とせざるを得ない。従って高価なテレメータなどを使わずに、データの取り込み、AD変換からデータ処理までをオンラインで行なうことができるのは定置形の実験系に限られる。

これに対し本研究では信号源が移動し、同一の計測システムで屋外実験を行なう場合も想定できるため、このような方法は採れない。図4は屋外など直接データ処理系を接続できない実験系における、一般的なアナログデータ処理の方法である。この場合、計測系から処理系へ引き渡されるデータはアナログ量であり、電氣的に精度の高いデータレコーダが必要である。また実験現場に電磁オシログラフ等、データが直視できる装置があれば一般の実験においてパラメータの設定などに不便は生じない。しかし、本研究のような計算形計測器を使う場合、個々のアナログ値だけを見ても得られた結果の概略値すら分からず、実験現場において適切なパラメータの設定を行なうことが困難な場合が起こる。

これを解決するためには計測系にある程度の計算能力を持たせる必要があるが、現段階において市販品に適当なものはない。そこで本研究では新たに実験の趣旨を満たす計測装置を製作し、基本的な性能試験を行なった。図5はここで構成した計測・処理系の概要である。

計測装置はCPUとして μ PD 8080 A, メモリ 13K

表1 主感度係数
($10^{-7}/\text{kgf} \cdot \text{mm}$)

i	k_i
1	2.050
2	1.976
3	1.898
4	1.918
5	2.047
6	1.842

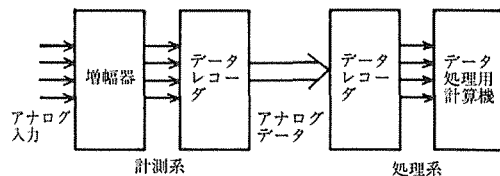


図4 一般的な計測・処理系

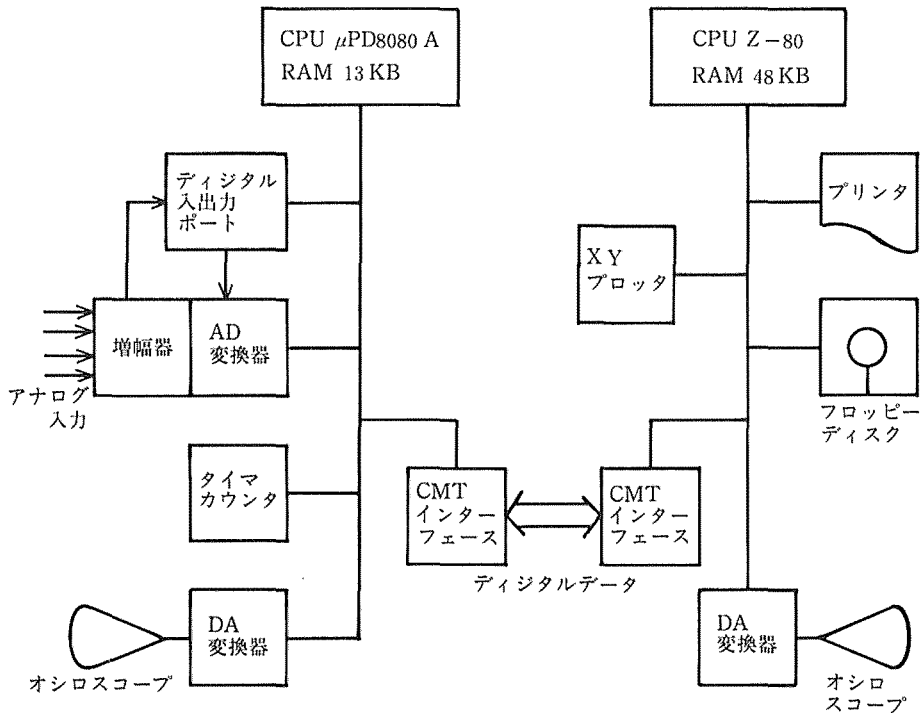


図5 構成した計測・処理系

Byte (RAM) を有するマイクロコンピュータシステム (NEC 製 TK-80, TK-M 20K) 及び 6 分力計の歪ゲージブリッジ出力を増幅する直流増幅器, 12 bit 分解能の AD 変換器などから成る。

またこれに対応する処理系 (シャープ製 MZ-80 C を中心としたシステム)⁴⁾ では, データの計算処理, プロッタによるグラフ化, フロッピーディスクによるデータの保存などを行なう。この場合, 計測系と処理系間のデータの伝達はデジタル値により行なわれ, オーディオ・カセット・テープレコーダ (以後 CMT と略す) 用インターフェース (北斗電子製 SC-3200)⁴⁾ を使用した。

なお図 5 において, タイマ・カウンタ (μ PD 8253) は AD 変換のタイミングを得るために, またデジタル入出力ポート (μ PD 8255) は計測装置の操作及び AD 変換器の制御用に, 更に, DA (デジタル・アナログ) 変換器 (AD 7524) はメモリに蓄積されたデータを, オシロスコープやペン書きオシログラフで見えるために付加した。

4・2 アナログ回路

4・2・1 増幅器

4 ゲージ法による歪ゲージ出力 e_0 (V) は歪 ϵ に対し,

$$e_0 = K_s \epsilon e_i \quad (V) \quad \dots (5)$$

ただし K_s : ゲージ率, e_i : ブリッジ入力電圧 (V)

で表わされる。今, ジュール熱の影響⁵⁾ を避けるため, $e_i \leq 2$ (V) とし, $K_s = 2$ の歪ゲージで 100 (μ strain) がフルスケールの歪を計測するために, 入力フルスケール ± 5 (V) の AD 変換器を使用する場合には, 約 20000 倍以上の増幅率が必要となる。

ここでは周辺回路の簡単な IC 形直流増幅器 (LH 0038) を主なる増幅器として採用した。一般に, 歪ゲージの直流増幅は熱起電力の影響を受ける欠点を有するが, これは 1 実験ごとに 0 点を補正することで避け得ると判断した。

図 6 は計測装置アナログ回路の概要である。増幅率は 2 段の増幅器により, 最大 40000 倍まで変化させることができる。

4・2・2 アナログ信号の周波数とローパスフィルタ

本計測系は, 微小アナログ信号とデジタル回路が, 図 4 の計測系のように分離しておらずに接近しているため, デジタル回路のノイズがアナログ信号に混入する

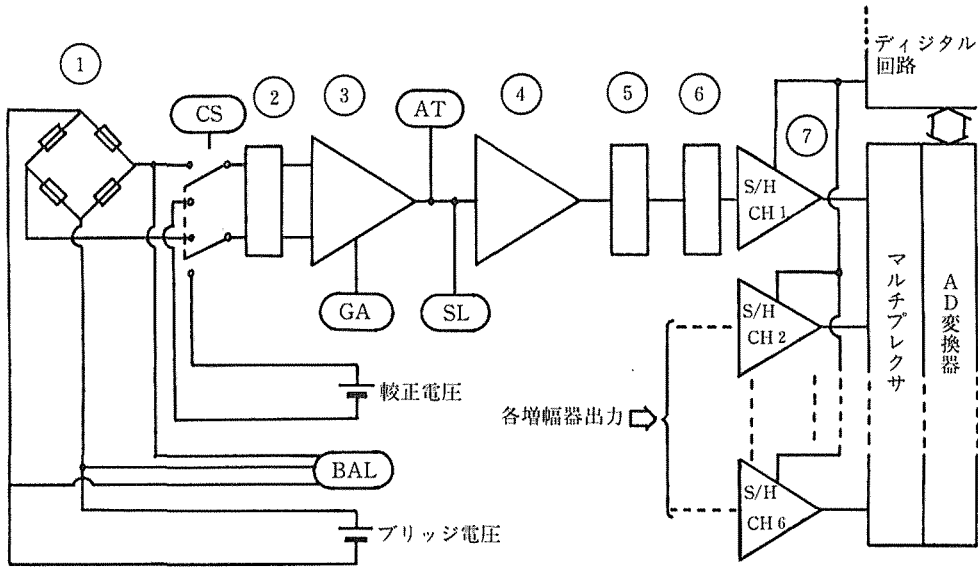


図6 アナログ回路概要

1. 歪ゲージ・ブリッジ 2. 1次 LPF 3. 直流増幅器 4. 演算増幅器 5. 4次 LPF
 6. 1次 LPF 7. サンプル/ホールド
 CS. 校正電圧切替 BAL. バランス調整 GA. ゲイン設定 AT. 減衰器 SL. ゼロ点調整

ことは避け難い。

またマイクロコンピュータ及びAD変換器の速度、更にメモリの容量などから標準化周波数 f_s (Hz) に制限が生じ、このとき標準化の定理により

$$f > \frac{1}{2} f_s$$

で表わされる周波数成分 f を含む波形は忠実に再現することができない。

以上2つの理由から本計測装置にはローパスフィルタ(以後LPFと略す)を必要とする。

本研究における信号計測には、1または2チャンネルの信号について周波数分析を行なう高速モードと、6チャンネルの信号に式(1)~(4)を適用して力学的特性を求める、多チャンネル低速モードが必要である。ここでは使用マイクロコンピュータシステムの処理速度、メモリの容量、製作すべきアナログ回路の簡潔性、及び処理データの多様性を考慮して、

高速モード： 6次、 $f_c = 1000$ (Hz)

低速モード： 5次、 $f_c = 100$ (Hz)

ただし f_c は遮断周波数(いずれも概略値)のLPFを、

スイッチで選択して使用することにした。

図6において、②は1次のRC形LPF、⑤は4次のアクティブLPF(AF100を2個使用)であるが、これらはスイッチにより両モードの切替えが可能である。また⑥は1次RC形LPFであるが、これは高速モードに固定した。

図7及び図8は、ブラウン管オシロスコープで計測した、高速モード及び低速モードにおけるゲイン-周波数特性である。減衰特性は高速モード約-33.0 (dB/oct)、低速モード約-27.0 (dB/oct)で、バターワース形LPFの理論値と一致しなかったが、いずれも通過域の特性は平坦で、遮断周波数(ここでは-3dB減衰する周波数とする)は高速モード約840 (Hz)、低速モード約100 (Hz)となった。以上の特性は増幅器のゲイン、アテネータを変えても変化しなかった。

本研究では増幅及びLPF回路を、安定性を考慮してプリントパターン化し、6組製作した(写真2)。

4.2.3 サンプル/ホールド回路

本計測装置において、1つのデータをAD変換してメモリに取り込むには、最小限次式で表わされる時間 t_s を必要とする。

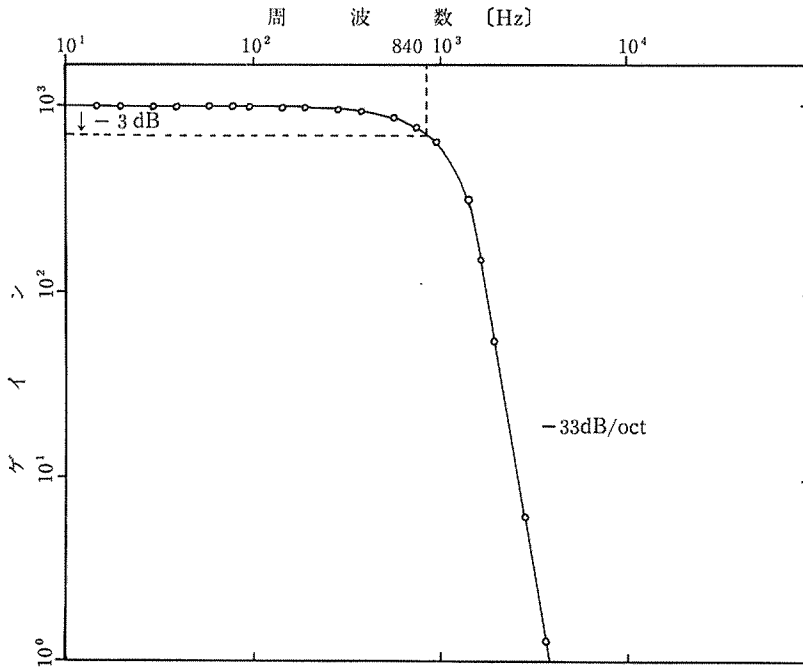


図7 高速モード ゲイン-周波数特性 (設定ゲイン 1000)

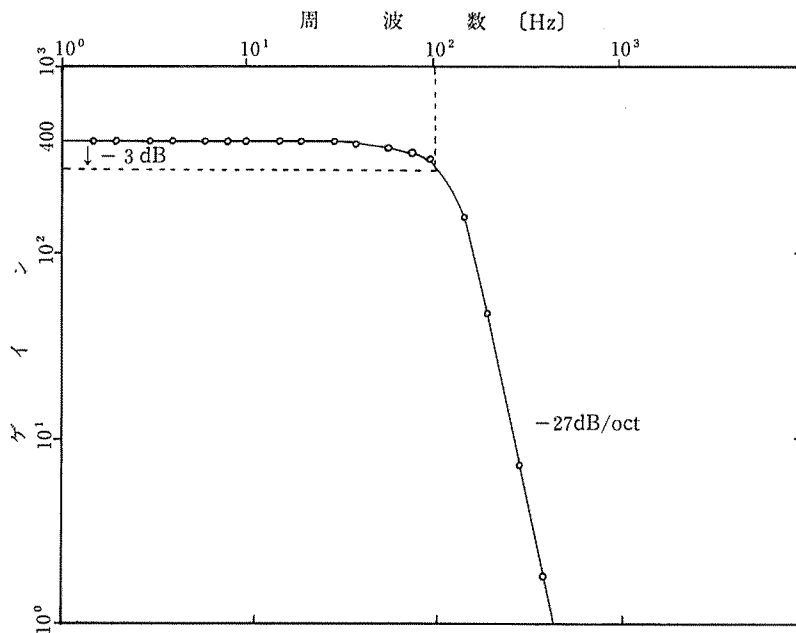


図8 低速モード ゲイン-周波数特性 (設定ゲイン 400)

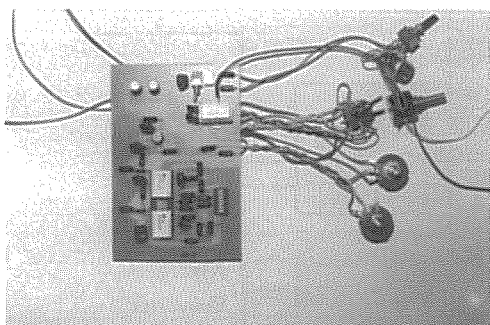


写真2 増幅及びLPF回路

$$t_s = t_M + t_{AD} + t_I \quad \dots(6)$$

ここで t_M : マルチプレクサ切換時間

t_{AD} : AD 変換時間

t_I : メモリへの取り込み時間

ただし、 t_M, t_{AD}, t_I はオーバーラップさせることも可能で、ここでは理想的な

$$t_s = t_I \quad \dots(7)$$

の場合について考える。

一般に計測に使用される AD 変換器は分解能 12 bit のものが多いが、8 bit CPU, μ PD 8080 A はこのデータを取り込むために、最低 30 (state) 程度の時間が必要である。またここで使用している TK-80 は CPU の動作速度が 2.048 (MHz) であるから

$$t_s = t_I \doteq \frac{30}{2.048 \times 10^6} \doteq 14.6 \times 10^{-6} \text{ (s)}$$

とすることができる。

今、図9のように、周波数 n (Hz) で AD 変換器のフ

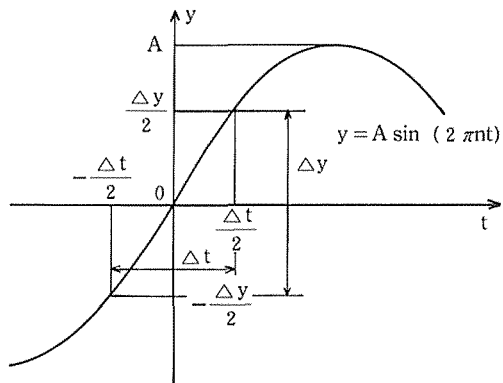


図9 標本化時間のずれ

ルスケールと同じ振幅 A (V) の正弦波が AD 変換器に入力すると考えると、微小時間 Δt (s) (ただし $\Delta t < 1/2n$) の間に変位が最も変化するのは本図の場合で、このとき

$$\Delta y = 2A \sin(\pi n \Delta t) \text{ (V)} \quad \dots(8)$$

となる。

ここで本計測系の高速モードにおいて、 $n=1000$ (Hz) の全く同一の2つの正弦波を、チャンネル1及びチャンネル2に入力すると、両者が標本化される時間に最小 14.6 (μ s) のずれが生じ、これは最悪の場合式 (8) により、 $\Delta y = 2A \sin(\pi \times 1000 \times 14.6 \times 10^{-6}) \doteq A \times 9.17 \times 10^{-2}$ (V) すなわちフルスケールの 9.17% の誤差を生じることになる。周波数分析などではこれを位相のずれ (この場合は約 4.59×10^{-2} (rad)) として補正することも可能であるが、低速モードにおける処理では多チャンネルに渡る標本化データの同時性を必要とする場合がある。

今、チャンネル1からチャンネル6まで、前例と同一の正弦波が入力している場合、これをフルスケールの k 分の1の精度で同一データと見なせる最低の周波数は、式 (8) より

$$n = \frac{1}{\pi \Delta t} \sin^{-1} \left(\frac{1}{2k} \right) \quad \dots(9)$$

$$\text{ただし } \Delta t = t_s \times (6-1)$$

$$= 73.0 \times 10^{-6} \text{ (s)}$$

従って

$$k=1000 \text{ のとき } n \doteq 2.18 \text{ (Hz)}$$

$$k=100 \text{ のとき } n \doteq 21.8 \text{ (Hz)}$$

となるが、実際は $t_s > t_I$ であり、更に低速モードにおいて $f_c = 100$ (Hz) であることを考えると、マルチプレクサ (multi plexer) の前段にサンプル/ホールド回路が必要であると判断される。

本計測装置では、図6のようにサンプル/ホールド (LF 398) を各チャンネル増幅回路の最終段に挿入し、1つのデジタル信号で制御することにした。

4.3 デジタル回路

4.3.1 AD 変換器

AD 変換器は CPU とのインターフェースの容易性、変換速度、計測精度等を考慮して、SDM 856 を採用した。これは 16 チャンネル・マルチプレクサを内蔵した 12bit 逐次比較形 AD 変換器で、12 bit 動作時のスルー

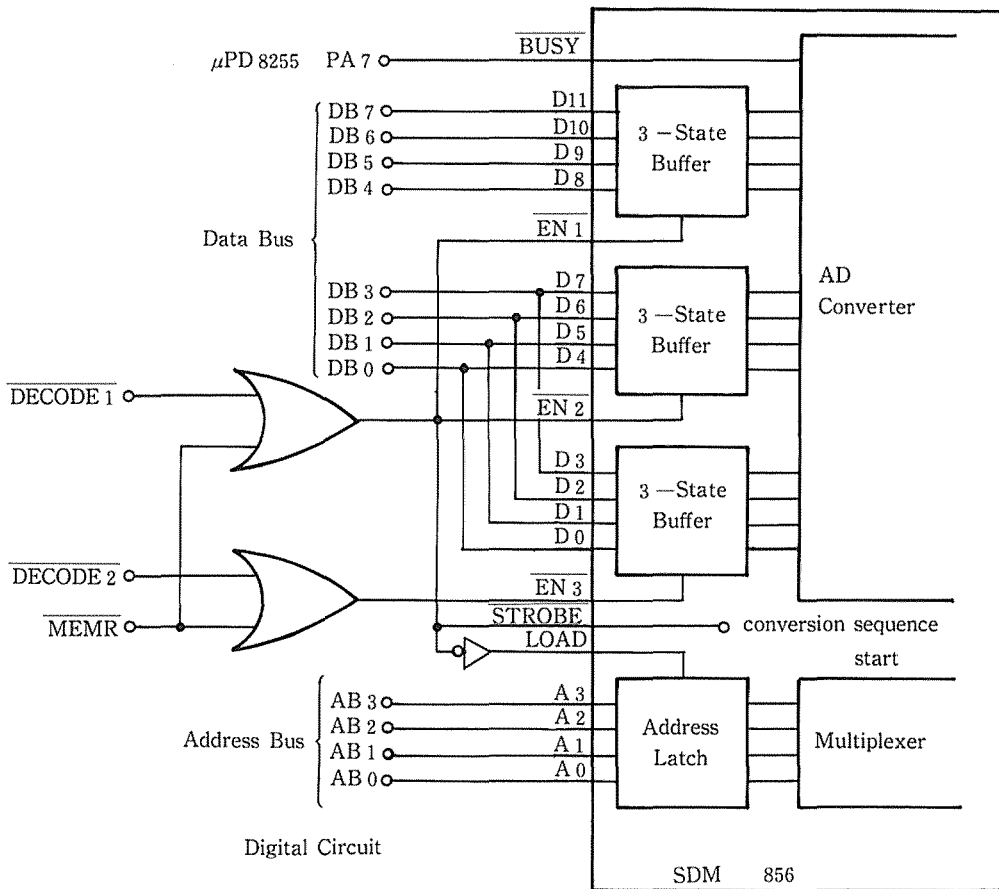


図10 AD変換器インターフェース

プットレイト (throughput rate) は約 30 [K Hz] である。なお入力電圧は $-5 \sim +5$ [V] のシングルエンド (single end), 出力は単極 2 進コードとした。

本 AD 変換器と CPU のインターフェースは多種考えられるが, CPU による取り込み時間を短縮するために, 図10のような回路とした。

指定チャンネルに READ 動作 (メモリマップ化 I/O としているので μ PD 8080A の LOAD 命令) を行なうことにより AD 変換が開始され, そのとき CPU に取り込まれるデータは, 前回の交換で得られたデータである。従って一番始めに取り込まれるのは無効データであり, 最後にはダミーの AD 変換を行なう必要がある。

CPU が 8 bit であるため, 9 bit 以上の分解能を得ようとする場合は, 指定チャンネルのほかに, 下位 4 bit のラッチ (固定番地) に対する READ 動作を続けて行なう必要がある。

また, 前述のサンプル/ホールド回路のホールド容量を 0.01 [μ F] とすると, 常温 (25°C) における出力ドロップ (droop) 比は約 4×10^{-2} [V/s] である⁹⁾。従ってフルスケール 10 [V] の 4096 分の 1 (12 bit の分解能) だけ電圧が低下する時間は約 61×10^{-3} [s] であり, これは本計測系で 6 チャンネルのデータを取り込む時間 (最大 0.5×10^{-3} [s] 程度) に比べて十分長い。

写真 3 はプリントパターン化して製作した, サンプル/ホールド回路と AD 変換器, 及びその周辺回路である。

4・3・2 ソフトウェア及びデジタル入出力

本計測系は, ハードウェア的には固定されたものでなく, 一般的で柔軟な使用も可能な様に製作した。従ってこれを動作させるためには, 比較的大規模なソフトウェアを必要とする。図11はタイヤ試験に関するソフトウェアの概要であるが, ここでは特に設定モードについて説

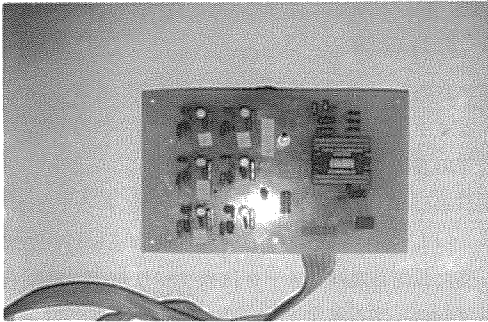


写真3 AD変換器及びその周辺回路

表2 校正用データ (i=1~6)

b_i	校正0値
c_i	校正値
a_i	$c_i - b_i$ に対応する歪の値
d_i	計測0値

明する。

表2は、本タイヤ試験において計測データを校正するために必要なデータである。校正0値 b_i が計測0値 d_i と異なるのは、校正回路が加算回路ではないからである。

一連の実験の最初には b_i, c_i, a_i を、また各実験の最初には d_i をメモリ内に記録し、各実験の終わりにはこれらを使い実験結果を確認した上で、計測データと共にCMTに書き出す。

設定モードは全チャンネルの増幅器のゲインを適当に設定し、 b_i, c_i, a_i, d_i を記録するモードであるが、これを行なうために表3に示すスイッチを用い、マン・マシン・インターフェースとしてのコンソールを構成した。MS, CHS, CAS はロータリスイッチ、S0, S1, S2 ははねかえり式スイッチであり、各スイッチは表のようなアナログ的機能、及びソフトウェア上の意味を持つ。これらはデジタル入力ポート (μ PD 8255) と図12のように接続されており、優先エンコーダ (74148) により表4に示すビット模様を与える。表において上位に記されている接点は下位のものに優先し、例えば CHS が OFF でない場合には S0 の ON は無効となるなど、有効に割り当ててソフトウェアの負担を軽減した。

またデジタル入力 PA7 は AD 変換器の変換終了信号、デジタル出力 PC7 はサンプル/ホールド回路の制御信号に割り当てた。

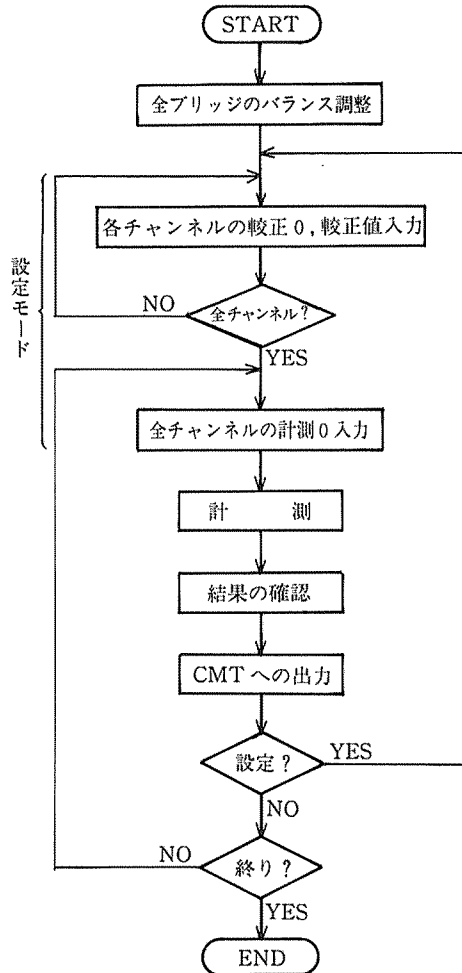


図11 計測装置ソフトウェア概要

表3 コンソールスイッチ

スイッチ	状態	アナログ的機能	ソフトウェア上の意味
MS 2回路 2接点	BAL	アナログ端子ON	バランス調整モードであることの指示
	M CAL	アナログ端子OFF	設定または計測モードであることの指示
CHS 2回路 7接点	i または OFF	アナログ端子の出力チャンネルを選択	チャンネルの指示
CAS 2回路 5接点	a_i または OFF	校正値の選択	a_i の指示
S0, S1, S2			タイミング指示

表4 優先エンコーダ出力

MS, S2, S1, CAS		CHS, S0	A2	A1	A0
MS	BAL	CHS (i)	6	0	0
S2	ON		5	0	0
S1	ON		4	0	1
CAS (a)	3,000		3	0	1
	1,000		2	1	0
	300	1	1	0	
	100	S0	ON	1	1
	OFF	CHS	OFF	1	1

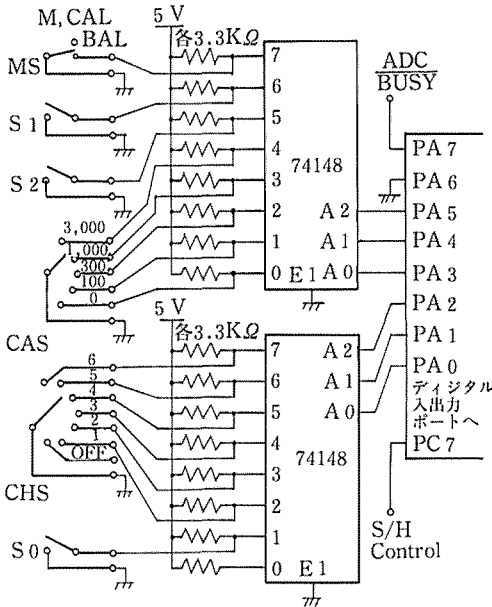


図12 コンソールスイッチのインターフェース

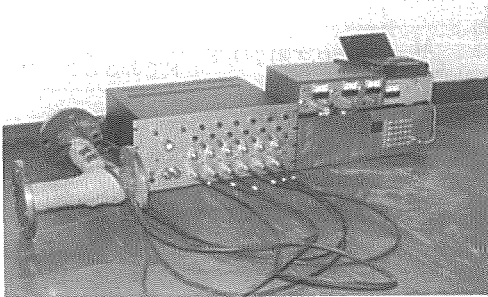


写真4 L字形6分力計及び計測装置

写真4はL字形6分力計及び計測装置である。

5. 走行試験

主に制作したデータ計測装置の有効性を検証するために、タイヤ試験における計測データの周波数分析, その他若干の基礎的な走行試験を行なった。

供試路面は含水率5.3%の乾燥砂, 供試タイヤは5.00-9, 4 PLY, トレーラー用タイヤで空気圧1.5気圧である。また設定したパラメータは横すべり角 θ [度], 沈下量 d (cm), 走行速度 v (m/s) である。

5.1 計測データの周波数成分

タイヤに作用する力を計測する場合, 計測装置のLPFは低速モードに設定するが, データ蓄積用メモリを節約するために, 標本化はなるべく低い周波数で行なう必要がある。標本化周波数を決定するためには原信号の周波数成分を知る必要がある。

そこでLPFを高速モード, 標本化周波数を2048(Hz)

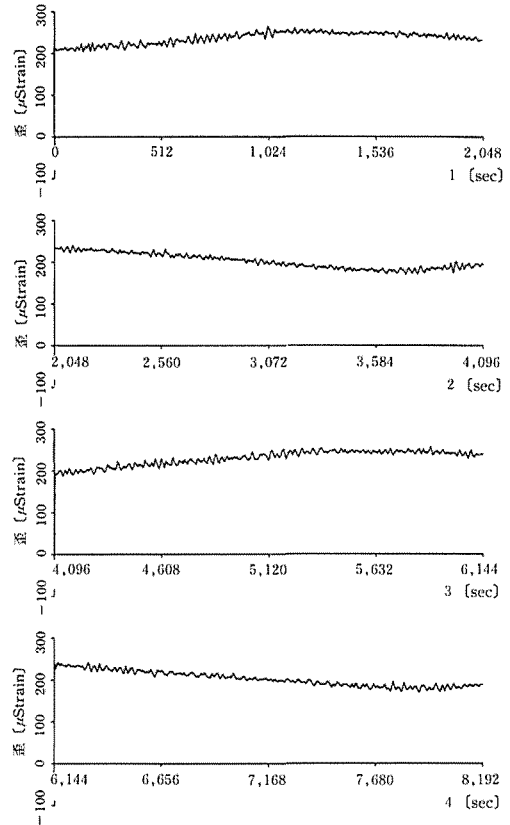


図13 標本化データの波形 (横軸はデータの番号) ($\theta=0$ [度], $v=0.8$ (m/s), $d=3$ (cm), $f_s=2048$ (Hz))

として、種々の条件における各歪ゲージブリッジの出力を計測し、データ処理用マイクロコンピュータにより、周波数成分を調べた。

図13は振動成分を多く含む例における波形である。ここでは4秒間のデータをメモリに蓄積するが、以下の処理では処理系の制約から最初の1秒間のデータのみを扱う。

図14は図13の波形をハミング窓 (window) を通過させた後、エネルギースペクトルを求め、デシベル値で表わしたものである。これによると、標準化にかかわる 512 (Hz) のノイズを除き、150 (Hz) 以上の周波数では直流成分に比較して -120 (dB) 以下となる。

次に図15は最初の1秒間のデータを1点おきに間引き、標準化周波数を擬似的に 1024 (Hz) とし計算したスペクトルで、速度を $v=0.2, 0.4, 0.8$ (m/s) と変化した場合の比較である。直流成分に大きな変化は無いが、速度の増加とともに 100 (Hz) 前後の振動が増加することが分かる。

図16は図13の例について更に処理データを間引き、標準化周波数を擬似的に 512 (Hz), 256 (Hz), 128 (Hz) と

したものである。これによると 512 (Hz) でもスペクトルの形が多少変化し、128 (Hz) では256 (Hz) 以上の例において低レベルの範囲も、別名現象により十分に低下していない。なお LPF を低速モードとした場合も、原信号の振動成分が 150 (Hz) 以下に偏っているため、以上の結果とほとんど変らなかった。

従って本計測装置を使用するにあたり、直流成分に近いデータを問題とする場合は 256 (Hz) 以上、周波数成分を調べる場合には 1024 (Hz) 以上の周波数で標準化すべきであると考えられる。

5・2 タイヤに作用する力の計測

前節の結果を考慮し、LPF を低速モード、分解能 10 bit、標準化周波数を 256 (Hz) とし 6 チャンネルのデータを計測し、式 (1)~(4) により計算処理を行なった。

本実験は主に計測系の問題点、及び今後の実験における速度パラメータの位置付けを検討することを目的として、タイヤ沈下量を 5 (cm) 一定とし、横すべり角を 0, 15, 30 (度) の 3 種、速度を 0.2, 0.3, 0.4, 0.5 (m/s) の 4 種について行なった。図17は実験結果を横す

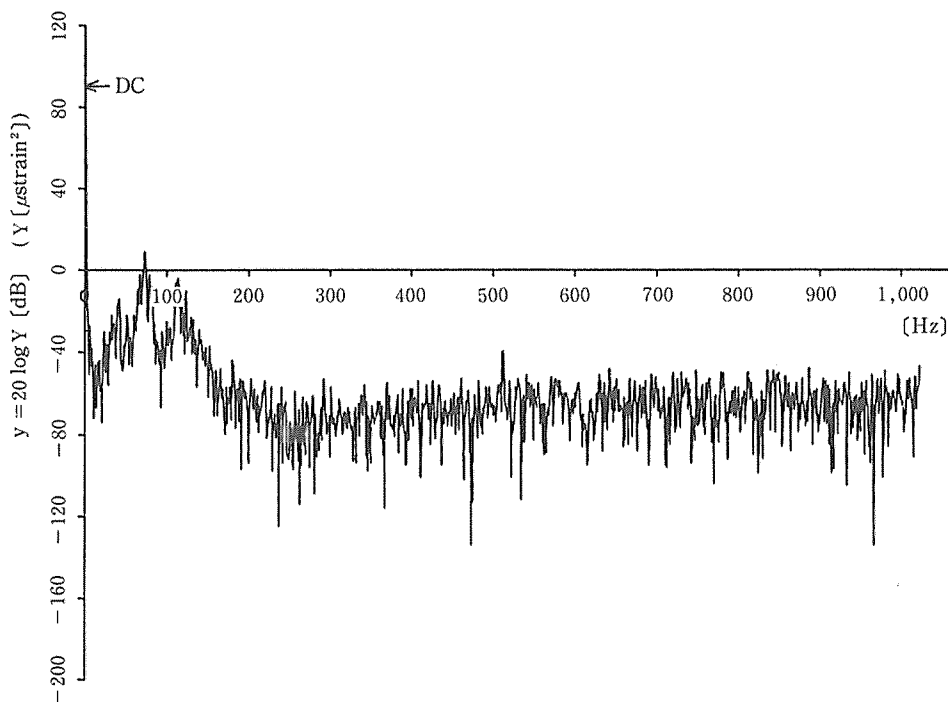


図14 エネルギースペクトル
 $(\theta=0$ (度), $v=0.8$ (m/s), $d=3$ (cm), $f_s=2048$ (Hz))

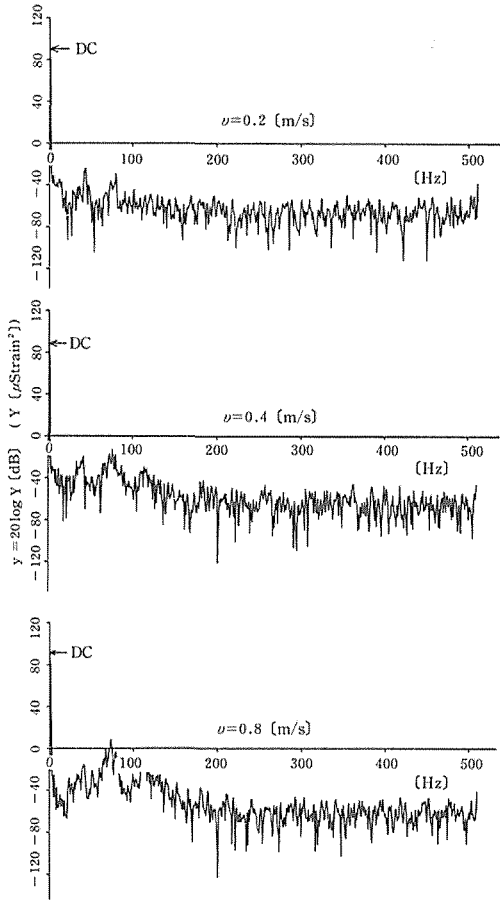


図15 速度によるスペクトルの変化
($\theta = 0$ [度], $d = 3$ [cm], $f_s = 1024$ [Hz])

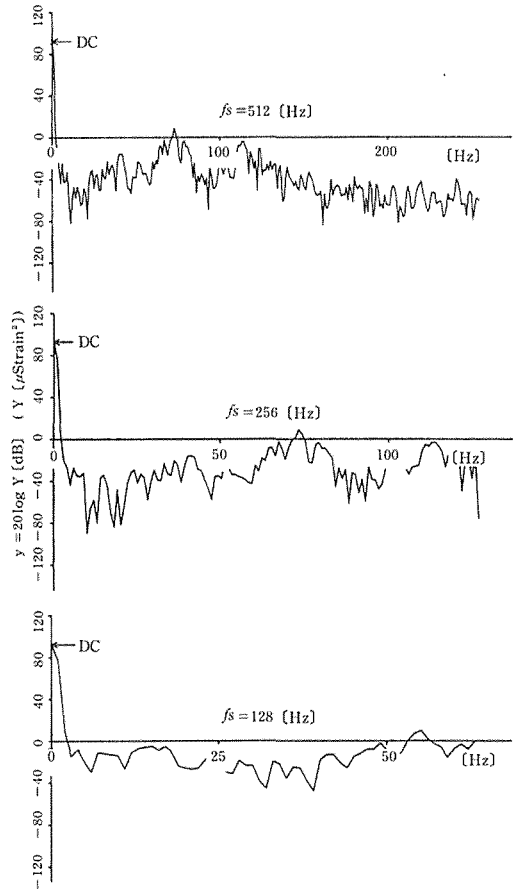


図16 標準化周波数によるスペクトルの変化
($\theta = 0$ [度], $v = 0.8$ [m/s], $d = 3$ [cm])

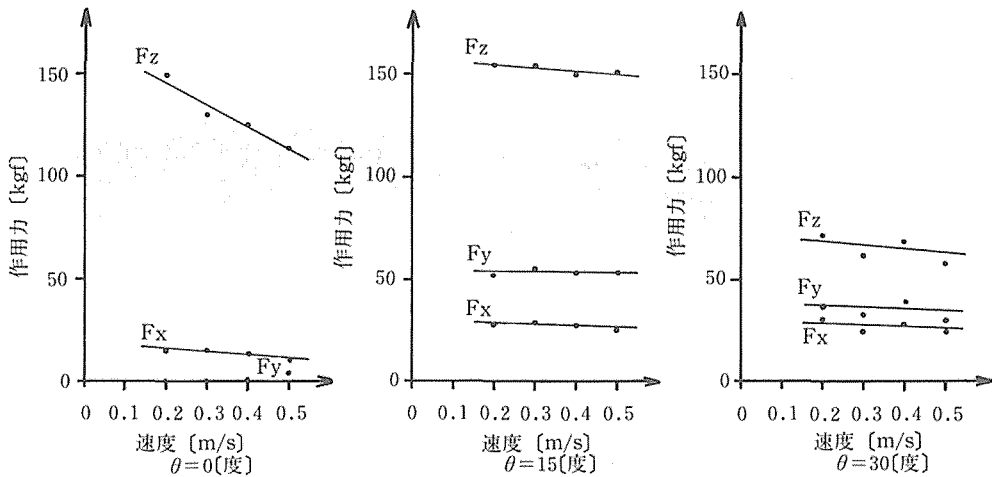


図17 タイヤに作用する力 (沈下量 5 cm)

べり角について整理したものである。

一般にコンクリート、またはアスファルトのように変形を考えない路面では、10 (km/hr) (約 2.8 (m/s)) 以下の速度におけるタイヤのころがり抵抗は非常に小さく、速度の影響も考えない場合が多い⁹⁾。

しかしここに示す実験結果のように、乾燥砂において沈下量が一定の場合、タイヤに作用する力は明らかに速度の影響を受けることが推定される。

ただし走行車両の解析で特に重要なのは、接地荷重一定の場合の速度の影響であり、また実験結果にもある程度のばらつきが出たので、本報ではこれ以上深く議論しない。

6. 考察及び今後の課題

種々の走行試験において、走行台車の速度は負荷に対して十分安定していた。また電動モータの回転及びレール走行による振動は、計測データ上で特定することはできなかったが、総じて計測に支障を生じない程度であった。

次にタイヤ作用力として得られた結果は実験により変動したが、最も大きな原因として路面の不均一性が挙げられる。現在は乾燥砂路面の表面を、均平板で平坦にして実験に供しているが、山中式硬度計で測定した表面硬度は0.05から0.3 (kg/cm²) まで変動した。従って今後、路面の物理特性を何らかの方法で管理する必要がある。

また図17、 $\theta=0$ (度)におけるサイドフォースは供試タイヤが左右対称で、キャンバ角0(度)であるから理論的には0 (kgf) となるべきである。このような誤差の原因として機械的な誤差及び6分力計の誤差が考えられる。このうち現状の6分力計は、構成した計測系の中で最も低い精度を有する。表1の較正值を求める実験の精度、計算に使用する6分力計製作データの精度、及び干渉の影響などについて、今後更に詳しい検討を行なう必要がある。

次に、本研究で製作したデータ計測装置は、目的上図5に示す計測、処理系において使用するが、このためデジタル回路のノイズ対策と、較正值入力などのソフトウェア作成に複雑な作業を要した。

特に大容量のオペレーティング・システムを含まないマイクロコンピュータシステムで、比較的複雑な計測系を構成するとき、操作する者とマイクロコンピュータ間の意志の伝達手段に適当な考察が欠けている場合には、

複雑で誤操作しやすく、一般の使用に耐え得ないものとなる可能性がある。この意味で、本報で製作したものはほぼ所期の目的を満たすものとなった。

また低速モードにおいて、6チャンネルのデータを256 (Hz) で標準化することの妥当性が確認されたが、現在12K Byteのメモリをデータ蓄積領域としているため、分解能を10 bit としても最大で6.4秒のデータしか蓄積できない。従ってメモリを増設することも考えられるが、データ処理用マイクロコンピュータのメモリ容量も関係するので十分な検討が必要である。本報で行なったデータ処理は、ベーシック・インタプリタ (BASIC interpreter, 容量約14K Byte) を使用したため、主に周波数分析においてメモリ容量が不足した。

7. 摘 要

基本的なタイヤの特性を定量的に研究するために、タイヤ試験システムを製作した。本システムは駆動台車、タイヤ分力計測装置、データ計測装置から成る。

製作した分力計は計算形であり、これを使用して実験する場合、計測装置も計算能力を有することが望ましい。そこで、計測装置は直流増幅器、AD変換器、データ蓄積用メモリなどより構成されるマイクロコンピュータシステム (CPU: μ PD 8080 A) とした。

基本的な性能試験の結果、計測系はほぼ所期の特性を有し、6チャンネルのデータを同時に256 (Hz) の周波数で標準化し、データ処理を行なうことが可能であった。

また変形しない路面と異なり、乾燥砂路面におけるタイヤ作用力の計測には、速度の影響を考慮すべきであることを確認した。

尚、本研究の遂行にあたり、本学専攻生桑原正和氏、近藤猛氏 (昭和55年度)、石川雅文氏、梅沢康裕氏、古屋敷佳久氏 (昭和56年度) より多大な御協力を得た。また本報で使用したXYプロッタは、岩崎通信機K.K.の御好意により貸与されたものである。合わせてここに記し、感謝の意を表する。

参 考 文 献

- 1) 木谷 収, 他: 油圧駆動式土壌槽試験装置の試作研究 (第1報), 農機誌, Vol. 34 (4), 327-333, 1972
- 2) 李 明珠, 他: L型6分力計の試作に関する研究, 三重大農学報, No. 64, 69-79, 1982
- 3) 端 俊一: モデルプラウの6分力測定, 農機学会第

- 38回総会講演要旨, 31, 1979
- 4) 佐藤邦夫, 他: 電動モデルトラクタにおける基本制御系の開発, 三重大農学報, No. 63, 257-266, 1981
- 5) 渡辺 理: ひずみゲージとその応用, 東京, 日刊工業新聞社, 1968
- 6) 長橋芳行: A-D/D-A 変換回路の設計, 東京, CQ 出版, 1980
- 7) Burr-Brown 社: 総合カタログ, 1979
- 8) National Semiconductor 社: Data Acquisition Handbook, 1979
- 9) 例えば 近藤政市: 基礎自動車工学, 東京, 養賢堂, 1965, など

Summary

A tyre testing system was developed for the quantitative investigations of fundamental tyre properties. This system consists of a driving car, a measuring device of forces which act on tyre and a data acquisition device.

The measuring device of forces which was manufactured for this paper is a calculating type; so it is desirable that the data acquisition device also should have calculating ability.

For that reason, a micro-computer system (CPU: μ PD8080A), which consists of DC amplifiers, an AD converter and data logging memory, was employed for the data acquisition device.

As a result of performance tests, it became clear that the measuring system satisfies the fundamental requirements, and is able to sample simultaneous data of six channels with the sampling rate of 256(Hz).

It was also ascertained that the effect of velocity should be considered in the measurement of force acting on tyre in case of dry sand road, unlike the case of hard surface road.