

197 二輪車における体感振動計測システムとその適用

Measurement System for Motorcycle Rider Vibration Perception and Its Application

田中 十四夫*
Toshio Tanaka古沢 政生**
Masao Furusawa

要 旨

二輪車の開発において、振動、特に体感振動は重要な項目のひとつである。ヤマハ発動機では、体感振動の評価に1974年より独自のVGL (Vibration Greatness Level: 振動の大きさのレベル) 測定システムを製作し、エンジン振動による体感評価に活用している。より正確な体感振動の計測、二輪車開発期間の短縮という目的に、昨今のミニコンピュータの進歩という背景も相まって新たな計測システムを製作した。その特徴を挙げると次の通りである。1) リアルタイム処理、2) 全回転域連続評価、3) 操作性、4) データベース化。本システムの導入は二輪車開発の効率向上に貢献している。

ここでは、システムの概要と実際の二輪車への適用例について述べる。

1. は じ め に

二輪車の振動、特にエンジン起振力によるものは二輪車開発時の重要な要素であり、商品性として大きなウェイトを占めている。

* MC事業本部 第4開発部

** 技術本部 要素研究部

Abstract

Vibration, especially with regard to rider perception, is of primary importance in motorcycle development. Since 1974, Yamaha Motor has utilized a Vibration Greatness Level (VGL) system to evaluate the effect of engine vibration on motorcycle ride and feel. To gauge vibration perception more precisely and shorten the motorcycle development period, a new VGL measurement system has been built incorporating mini-computer technology. The new system features the following:

- 1) real time VGL measurement;
- 2) continuous VGL measurement over a range of engine revolution speed;
- 3) simple operation procedures;
- 4) extensive data base control. Through the use of this new system, it has been possible to increase new motorcycle development efficiency. This paper presents an outline of this system and its practical application for motorcycle.

一方、人間が感じる振動の大きさ（以下、体感振動という）は、一般に計測される振動データとは必ずしも一致せず、その理由は、種々の文献^[1]に述べられている。ヤマハ発動機では、1974年より三輪の提唱する、VGL (Vibration Greatness Level: 「振動の大きさのレベル」) 評価法を基に、三方向加速度計、FFTアナライザ、ミニコンピュータよりなる独自の体感振動(VGL)計測シス

テムを製作し、二輪車開発と評価に活用してきた。

しかし、開発時期の短縮、実験精度の向上などの理由から、従来システムより効率的でさらに精度よく体感振動を計測できるシステムの開発が望まれるようになってきた。また、近年のミニコンピュータの進歩はめざましく、特色あるものが数多く現われてきている。これらの中に新システムに要求される条件を満たすものが登場してきた。

このような背景から、ミニコンピュータの持つ特徴を有効に活用した新たな体感振動計測システムを開発することができた。ここではそのシステムの概要と特徴、ならびに二輪車への適用例を紹介する。

2. システムの概要

2.1 ハードウェア

図1は本システムのハードウェアの構成である。二輪車の振動を人間が感じる部分、すなわち、ハンドルバー、フットレスト、タンク、シートなどの3方向の加速度がピックアップにより測定され、チャージアンプ、ローパスフィルタを経て、ミニコンピュータのアナログ入力部に取り込まれる。エンジン回転数は回転計から入力される。したがって、入力チャンネルは加速度用3チャンネル、

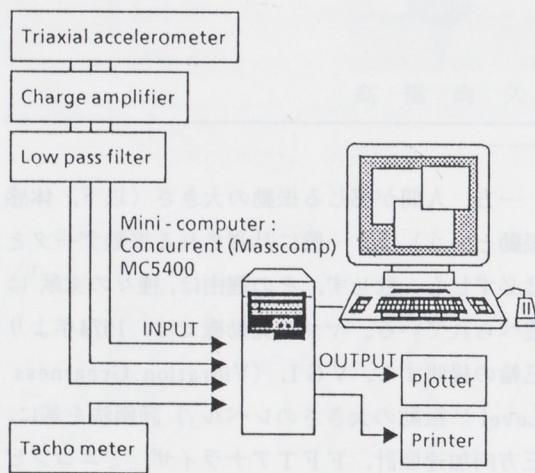


図1 System configuration

回転数用1チャンネルの計4チャンネルである。結果出力は、プリンタ、プロッタの両方を任意に選べるようになっている。

2.2 ソフトウェア

VGLの計算方法およびその考え方については、既に詳しく述べられている^[2]ので、ここでは図2に示す本システムの計算フローを基にその概略説明に留める。

入力された3方向の加速度 a_x, a_y, a_z と次式(1)により求まる a_v の4種のデータについて以下の計算が並行して処理される。

〔図2の①〕

$$a_v = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2} \quad (1)$$

まず、データをFFT演算により狭帯域パワースペクトルを計算し〔②〕、さらに1/3オクターブバンド内のスペクトル成分を積分して、1/3オクターブパワースペクトルとする〔③〕。

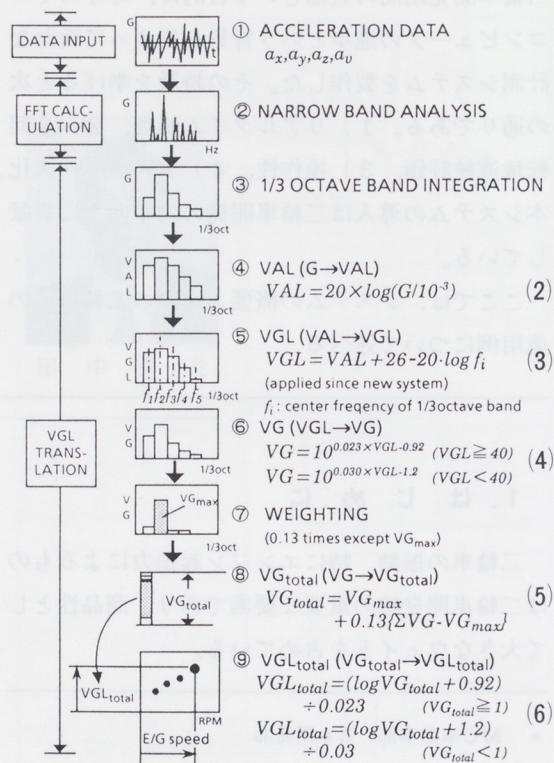


図2 Calculation flow

$10^{-3}G$ ($G=9.8m/sec^2$) を基準とした「振動加速度レベル」をVAL(Vibration Acceleration Level)と呼び、式(2)より加速度をVALに[④]、さらに式(3)よりVGLに変換する[⑤]。VGLは、加法則が成立しないため、式(4)に示す「振動の大きさ」VG (Vibration Greatness)に置き換える[⑥]。つぎに、 VG_{max} 以外は0.13倍の重みづけを行った後[⑦]、式(5)によって、VGの総和 VG_{total} を求め[⑧]、最後に式(6)よりVGL_{total}が算出される。

2.3 従来システムとの相違点

本システムは、従来システムを見直した上で、改良と新機能の追加を行った。両システムの代表的な相違点を表1に示す。この中から特に、1/3オクターブ分析については、新たに可変バンド方式を考案したので、以下に述べる。

表1 Difference between new system and previous one

	New system	Previous system
① Real time operation	Possible	impossible
② E/G speed control	Sweep	Hold
③ 1/3 octave band	Variable	Fixed
④ Data base management	Possible	Impossible
⑤ Manipulation device	Mouse/keyboard	Digital switch

測定条件を回転数固定方式から回転数スイープ方式に変更することにより、1/3オクターブ固定バンドのままでは不都合が生じる。例えば、一定加速度の正弦波信号をスイープした場合、図3(a)の

ように、1/3オクターブの各バンドの境界となる上限(下限)周波数に相当する回転数のところで、後で述べる理由からVGLの谷ができてしまう。そこで、1/3オクターブバンドの中心周波数 fi を連続可変とし、この問題を解消することにした。すなわち、 fi はエンジン回転数の一次基本周波数によって決まり、バンドの上・下限周波数 fh, fl は次の式(7)で求まる。

$$\text{上限周波数: } fh = fi \times 2^{1/6}$$

$$\text{下限周波数: } fl = fi \times 2^{-1/6} \quad (7)$$

また、これに伴い、VALからVGLへの換算を、従来システムの

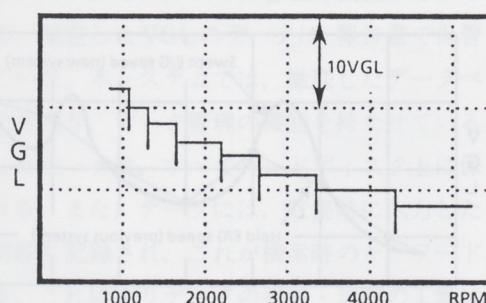
$$VGL_i = \begin{cases} VAL_i - 2(i-13) & (i \geq 12) \\ VAL_i + 2 & (i < 12) \end{cases}$$

(従来システムで採用)

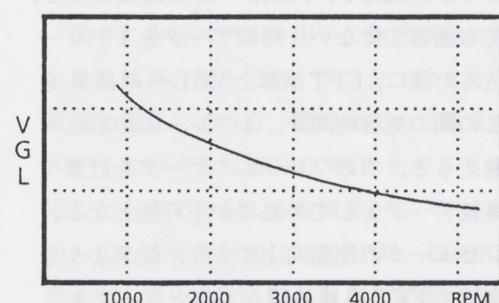
ただし、 i は1/3オクターブ(固定)バンドNo.から式(3)に変更した。

以上の変更により、図3(b)のように測定する回転域全体での滑らかな連続評価が可能となった。

さて、図3(a)の階段の間に現れる谷の原因は次のように考えることができる。図4(a)に示す様に離散型スペクトル処理ではリーケージによってスペクトルの裾が現れる。スイープによって周波数が変化し、狭帯域スペクトルのピーク成分が、丁度バンド間に来た時、図4(b)の様に二つの1/3オクターブ成分に割れ、図4(b)'のようにそのレベルは下がる。また、式(5)の荷重加算によって、レベルはさらに低下することになる。



(a) 1/3 octave fixed band



(b) 1/3 octave variable band

図3 VGL by fixed band vs. by variable band

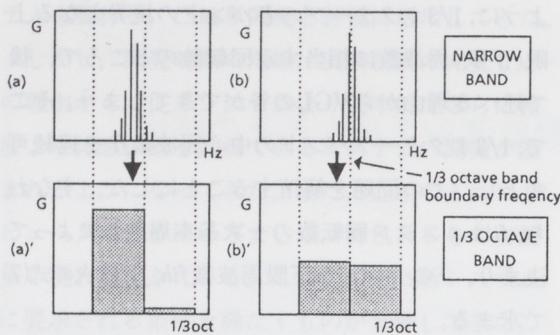


図4 1/3 octave band integration (fixed band)

3. システムの特徴

3.1 リアルタイム処理

本システムでは、エンジン回転と共に変化するVGLを測定を行いながらCRT画面で確認できるという、文字どおりのリアルタイム処理が可能である。従来のシステムでは、結果の出力がプリントされるまでVGLを確認することが出来ず測定中の不具合をチェックすることは不可能であった。リアルタイム処理の実現により、測定のやり直しを大幅に低減できた。また、結果出力・検討・対策・確認という一連の実験開発効率が向上した。

既に図2で示したように、本システムで行う計算処理は大別すると、「FFT演算」と「VGLへの換算」の二つである。(2)～(6)の計算式からわかるように、前者に比べ後者は処理にそれほどの時間を要しない。すなわち、リアルタイム処理を可能にするかどうかの鍵はFFT演算の処理速度による、といっても過言ではない。時間データを1フレーム取り込んだ後に、FFT演算とVGLへの換算を行う。この間の処理時間が、1フレームの取込み時間を越えると、次のフレームのデータを計算できず、連続データとしての処理が不可能となる。ミニコンピュータの性能向上により、従来よりもさらに高速のFFT演算処理が可能となってきている。本システムでは図5に示す通りデータの平滑化のため75%のオーバーラップをかけた。当然

ながら、これによってオーバーラップなしに比べ、さらに短い処理時間を要求されることになる。すなわち、1フレーム取込み時間の1/4以内で処理しなければならないことになるが、本システムではこれを可能としている。

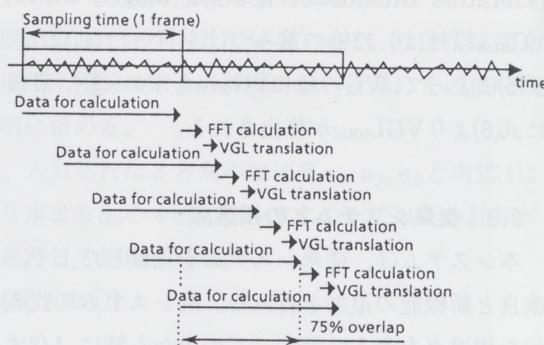


図5 Overlap processing

3.2 全回転域連続評価

回転数スイープ方式が可能となり、VGLの評価も全回転域で連続にできる。従来のエンジン回転数固定方式では、エンジン回転変動が大きい場合、計測されたVGLにバラツキが生じ、実走行による官能評価と必ずしも一致しないということもあった。また、計測可能な回転数の間隔には限界があるため、図6に示すように鋭いピークを持つ共振状態などの評価には適していない。全回転域連続評価により、これらの欠点を補うことが可能となっている。

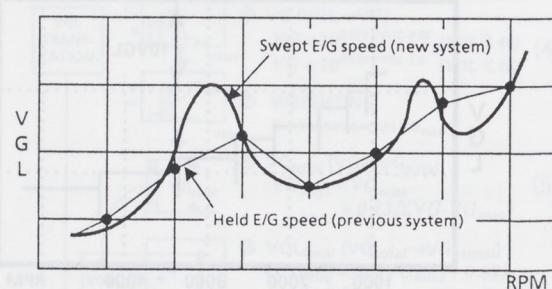


図6 Continuous VGL measurement

3.3 操作性

図7にシステム機能の構成を示す。各機能の実行はマウスあるいはキーボードによるメニュー選択で操作できるようになっている。また、取扱いに不慣れな者でもほとんどの操作をマニュアルなしで扱えるように配慮した。一例として、データ収集の画面を図8に示す。

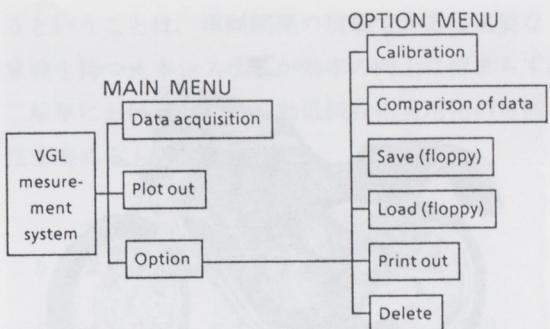


図7 Menu structure of system

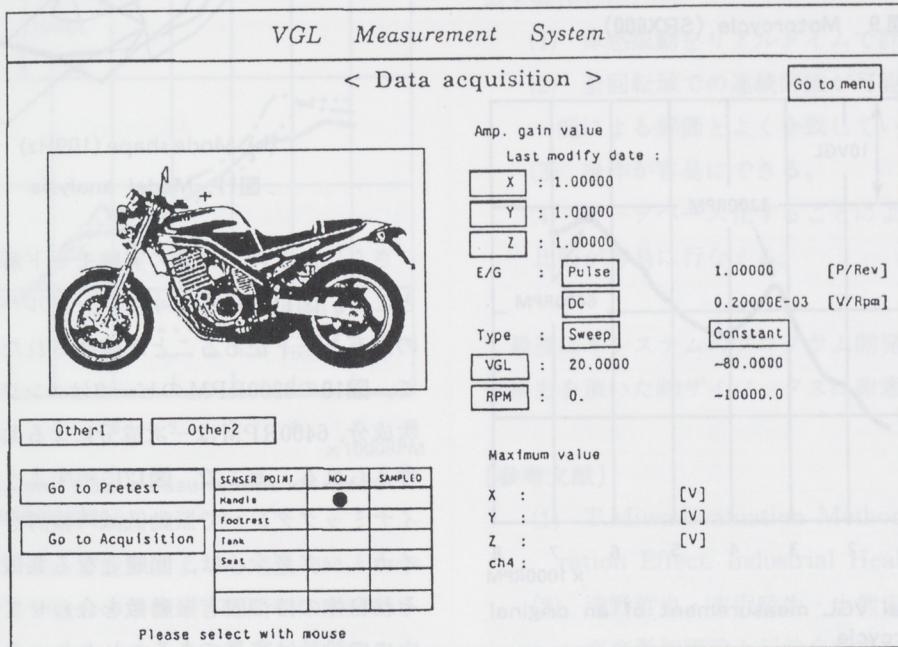


図8 Screen menu of a data acquisition task

3.4 データベース化

従来システムでは、データ管理の機能がなかったため、測定したVGLのデータは、報告書で保管されていた。本システムでは、徹底したデータベース化を図り、データ管理の機能を持たせている。収集したデータは、すべてハードディスク上に保存される。また、データには、収集時に入力した属性情報も記録され、これが検索時のキーワードとなる。これによりデータの検索・比較の工数は飛躍的に短縮でき、開発の効率を大幅に改善することが可能となった。

4. 適用例

図9に本システムを用いて体感振動の開発を行った二輪車の例を示す。エンジンは4サイクル単気筒を搭載している。図10はこの二輪車のハンドルバーにおける対策前のVGLを本システムで測定したものである。この結果から、ハンドルバーから伝わる体感振動は3200RPM, 6400RPMで大きくなっていることがわかる。実走行における評価でも、同様な傾向がみられることが指摘されていた。

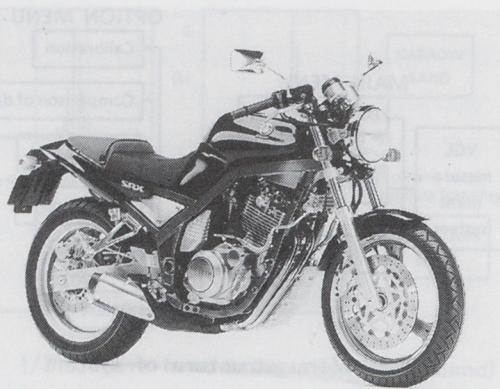


図9 Motorcycle (SRX600)

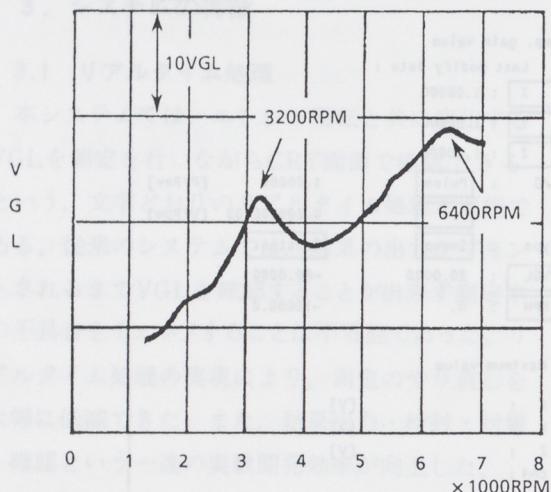
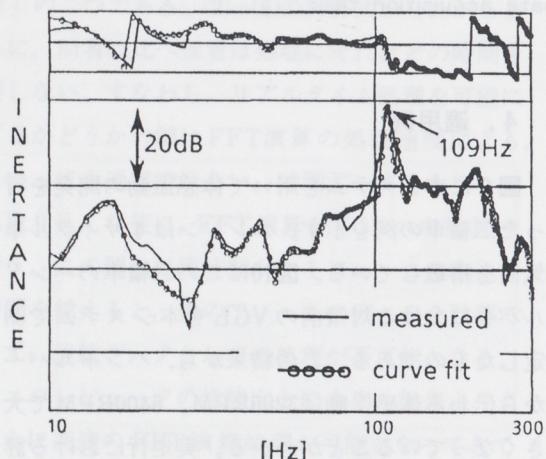
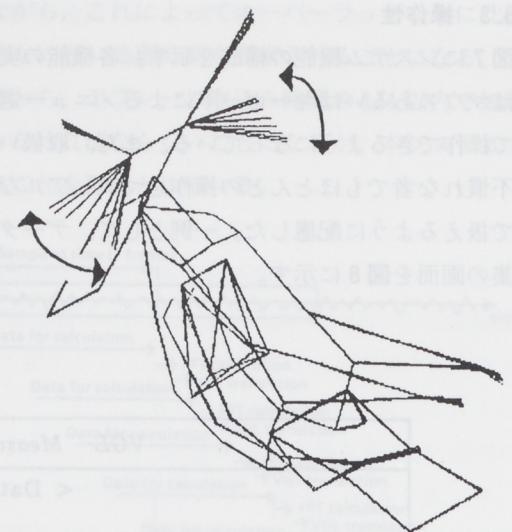


図10 Typical VGL measurement of an original motorcycle



(a) Frequency response function



(b) Mode shape (109Hz)

図11 Modal analysis

さらに、この二輪車の実験モード解析を行ったところ、図11に示すようにハンドルバーに109Hzの固有モードがあることが確認された。したがって、図10の3200RPMのピークはエンジン振動の二次成分、6400RPMは一次成分による共振であると考えられる。そこで、図12に示すような構造のダイナミックダンパーで振動低減の検討を行った。ダイナミックダンパーは、問題となる共振周波数に、それ自体の持つ固有振動数を合わせて用いれば良いので設計は容易である。しかし、ラバーの持つ振幅依存性などにより、実機運転時での固有振動数が微妙にずれるため、時として期待した程の効果が現れないことがある。したがって、設計値を中心と異なる固有振動数のダイナミックダンパーをいくつか用意し、実機でその効果を確認する必要

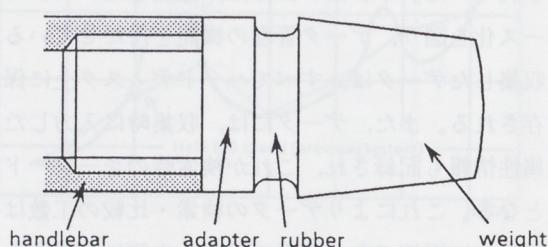


図12 Tuned damper(cross section)

がある。図13は、バネ定数、損失係数などのラバ一特性やウェイトの組合せが違う三仕様のダンパを取り付けた場合のVGL測定結果である。この様に仕様間の違いも素早く明確に判別することができるため、対策仕様の絞り込みも容易に行うことが可能である。検討の結果、エンジン回転と共に滑らかに体感振動が推移する仕様1のダイナミックダンパを採用する事が決定された。

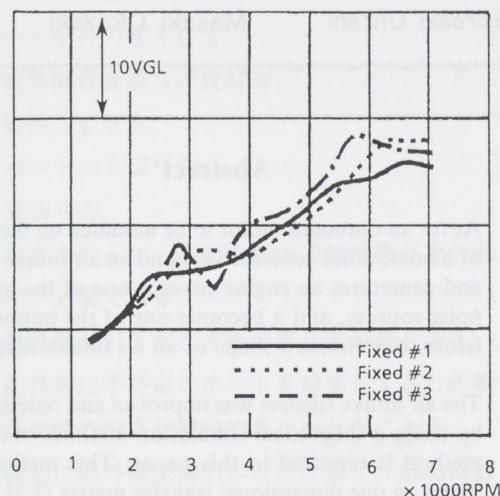


図13 Typical VGL measurement of fixed motorcycles

本システムは、官能評価よりも定量的に、かつFFTアナライザ並みの手軽さと時間で体感振動レベルを確認することができる。限られた日程の中で短時間にしかも容易に知りたい情報が確認でき

るということは、車両開発の現場で非常に重要な意義を持つ。本システムが効率の向上に留まらず、二輪車における新たな振動低減技術実用化の可能性を高めるものと考える。

5. まとめ

ミニコンピュータの持つ機能を有効に活用し、以下の特徴をもった二輪車の体感振動計測システムを製作した。

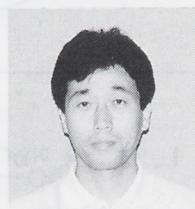
- (1) 体感振動をリアルタイムで計測できる。
- (2) 全回転域での連続評価が可能となり、官能による評価とよく合致している。
- (3) 操作が容易にできる。
- (4) データベース化することにより、検索・比較が容易に行なえる。

最後に本システムのプログラム開発にあたり、御協力を頂いた(株)ザイジックスに謝意を表す。

〔参考文献〕

- (1) T.Miwa:Evaluation Methods for Vibration Effect. Industrial Health. 1967.5.
- (2) 清野哲也・古沢政生・生熊宏行:エンジン直交懸架理論と二輪自動車への応用。自動車技術 Vol.36, No.12, 1982

■著者■



田中十四夫



古沢政生