

4ストロークVツインエンジンアメリカンタイプ モータサイクルのパルスフィーリング解析技術の構築

Establishment of Analysis Method for Pulse Feeling
of Four-stroke, V-twin Engine, American-type Motorcycles

長 田 邦 裕*

Kunihiro OSADA

下河辺 啓 吉*

Keikichi SHIMOKOBE

新 村 竜 太*

Ryuta NIIMURA

山 崎 五 郎*

Gorou YAMASAKI

要 旨

Vツインエンジンアメリカンタイプモータサイクルにおいて、パルスフィーリングは乗り味の重要な要素である。現状、パルスは官能評価であり、判定者によるバラツキが大きく仕様決定に時間が掛かるので、パルス定量評価手法を開発した。日本、アメリカのライダーを対象に、パルスの感じ方を明確にするため官能評価実験をおこなった。その結果、日本人、アメリカ人の感覚差は無く、シート振動に一番パルスを感じることがわかった。そこで、シート振動に着目し振動感覚の大小を判定する評価指標に、新たにパルス強さを表現する指標を加え、シート振動パルスを定量化することができた。また、完成車解析モデルにより、時間軸応答解析をおこなった。実車振動データとの相関性を検証したところ、良く一致した。解析結果からパルス強さ指標が求まり、図面段階でのパルス強さ予測が可能となった。

ABSTRACT

Pulse feeling is an important factor of ride comfort for V-twin engine, American-type motorcycles. Depending on sensory evaluation, the pulse feeling varies widely among estimators. Therefore, it takes much time to determine specifications. To solve this problem, a quantitative evaluation method was developed. In the development process, sensory evaluation testing for Japanese and American riders was conducted to verify how they feel the pulse. There was no significant difference between both riders. Both riders felt that the seat vibration made the largest contribution to the pulse feeling. In order to quantify the seat vibration pulse, a pulse intensity indicator was added to the previous sensual vibration indicator. Furthermore, time domain response analysis was applied to a complete motorcycle analysis model. The output showed good correlation with the actual data. The pulse feeling indicator was obtained from the analysis results. Consequently, the established method has allowed early prediction of the pulse intensity at design stage.

1. まえがき

パルスフィーリング(鼓動感)はアメリカンタイプモータサイクルにおいて、ライダーに心地よさと感動を与える性能の一つである。しかしながら、その評価は実走行による官能評価であり、社内のエキスパートにても判定バラツキが大きい。また、開発時にトライアンドエラーが多く、対策前後の評価も定量的にできないため仕様決定に時間がかかる。そのため、開発現場ではパルスを定量的に評価する指標が

望まれていた。本研究は日本・アメリカのライダーを対象に官能評価実験をおこない、感じ方の違い、パルスの構成要素を明確にする。被験者を振動発生機に座らせ官能評価をおこない、人体のパルスに対する感覚特性を求め、定量評価指標作成を目的とした。さらに、図面段階での予測手法確立のため、車体・エンジン・駆動系を解析モデル化し、時間軸応答解析をおこなった。本稿では、テストデータとの相関性および開発ツールについて報告する。

*朝霞研究所

2. パルスフィーリング指標化

2.1. パルスフィーリングの構成要素

パルス強さの定量化にあたり、まず、人はどの部位の何をパルスと感じているのかを明らかにする必要がある。そこで、日本人とアメリカ人を対象に、「パルスフィーリングを何で感じるか」についての調査をおこなった。異なる数台のアメリカンタイプのモータサイクルに乗車し、何をパルスフィーリングと感じたのかについてパルスフィーリングへの寄与率を返答してもらった。Fig. 1に2台のアメリカンタイプモータサイクルの結果を示す。Fig. 1から明らかな通り、日本人・アメリカ人ともにシート振動により最も多くパルスフィーリングを感じていた。

また、この調査と合わせて、「何でパルスフィーリングを感じたいか」についても調査をおこなった。Fig. 2に示す結果から明らかな通り、ここでもまた、日本人・アメリカ人ともに「シート振動をパルスフィーリングとして感じたい」という結果になった。

日本人もアメリカ人もパルスフィーリングを構成する最大要素はシート振動であり、また、それを望んでいることが明らかになったので、シート振動によるパルス強さを定量化することとした。

ここで、パルス強さに対する感覚に日本・アメリカで差があった場合、各国毎にテストをおこなう必要が生ずる。そこで、差の有無を確認するために、「パルスフィーリングをどれくらいの強さで感じるか」についての調査をおこなった。日本人・アメリカ人それぞれに同一条件にて同一車両の車速毎にパルスフィーリングがどの程度の強さであるかを

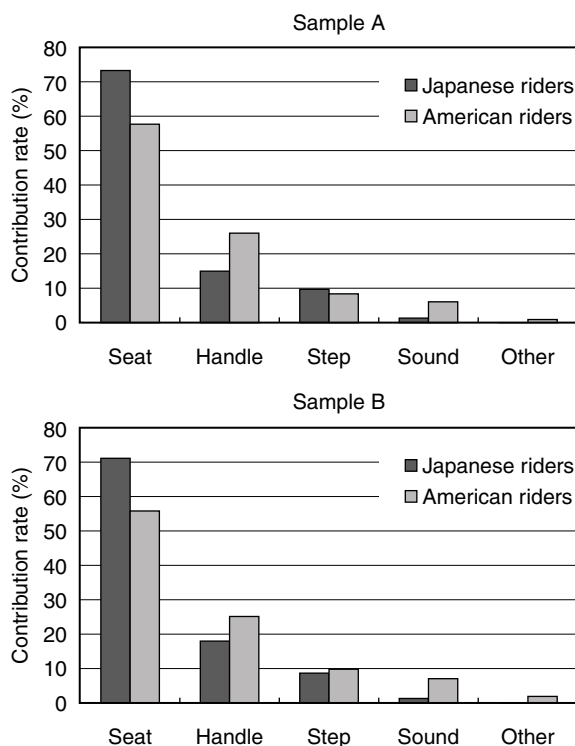


Fig. 1 Contribution to pulse feeling

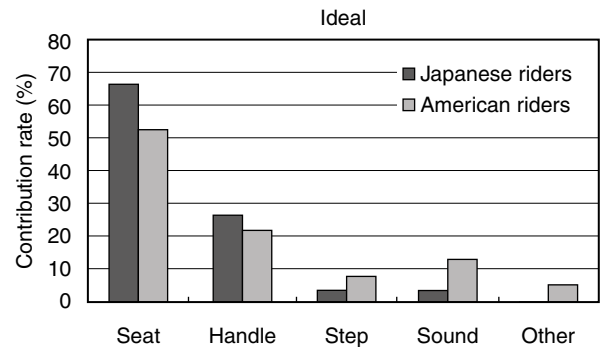


Fig. 2 Ideal contribution to pulse feeling

評価付けさせた。その結果を Fig. 3 に示す。日本人とアメリカ人のパルス強さの感じ方に有意差がないことがわかった。よって、日本人を被験者として、シート振動によるパルス強さの定量化を試みた。

2.2. 指標化のプロセス

2.2.1. シート振動強さの定量化

パルス強さの定量化をシート振動によりおこなうこととしたが、シート振動強さの定量化には従来から使用していた手法を用いることとした。

シート振動強さ定量化について説明する。シート振動強さとはシート振動をどれくらいの強さで感じるかということである。音響の分野では、物理量である音圧に対して人間が感じる音の大きさ Loudness が定義されている。同様に、物理量である振動加速度で人間が感じる振動強さ“Vibration Intensity Index”を定義する手法である。

振動強さの感覚量は、周波数や方向により異なることが知られており、振動加速度の感覚量への補正方法としては、ISO2631-1に音響分野での A-weight 等のような全身振動の周波数・方向による補正曲線が定義されている⁽¹⁾。Fig. 4に ISO 座位の全身振動の補正曲線を示す。

しかし、一律にこの ISO の補正を加えた振動加速度はシート振動の感覚的大きさは異なることが実験的にわかっている。これは、振動加速度の大きさにより周波数補正係数が異なることが主原因であると考えられている⁽²⁾。そこで、前後・左右・上下の各方向で周波数と振動加速度の大きさによりシート振動強さを定義できる曲面を作成するこ

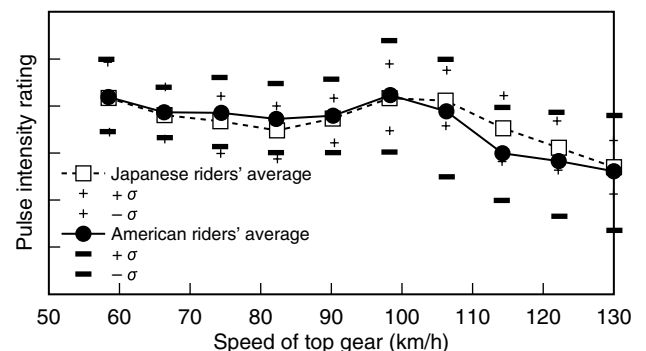


Fig. 3 Difference in pulse feeling rating

ととした。振動発生器により発生させた振動を乗車姿勢をとった人体に加え、官能評価実験⁽³⁾を繰り返しおこなった。官能評価は以下の4項目についておこなった。

(1) 閾値の調査

各方向・周波数による、振動加速度閾値の調査。

(2) 周波数違い等感度振動加速度の調査

一対比較法による、同一方向、周波数違いでの同じ振動強さだと感じる振動加速度の調査。

(3) 方向違い等感度振動加速度の調査

一対比較法による、同一周波数、方向違いでの同じ振動強さだと感じる振動加速度の調査。

(4) 主観的感覚量の調査

感覚的振動強さと振動加速度の関係の調査。

これらの調査の結果、得られた上下方向(Z軸方向)の曲面を Fig. 5 に示す。

これにより、前後・上下・左右の振動加速度を計測し周波数分析することでシート振動強さの評価が可能となった。

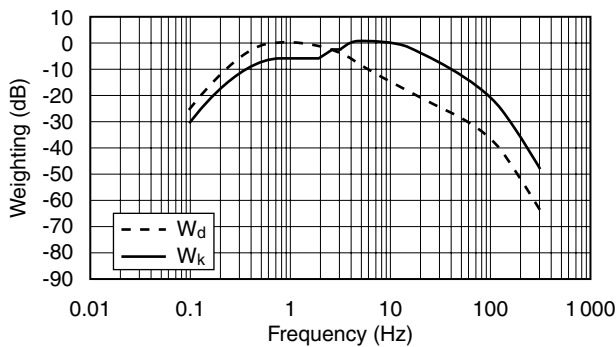


Fig. 4 Frequency weighting curves

Fig. 6に実車で計測された振動加速度の周波数分析結果から“VibrationIntensityIndex”を算出する概念図を示す。感度の異なる各方向ごとの感覚量曲面により各方向の振動加速度を補正した後、統合することにより、一つの“振動強さの値”として評価できる。

2.2.2. 振動とパルスフィーリングの切り分け

2.2.1項に述べた手法により、振動の感覚的大きさは定量化が可能となった。Fig. 7に、あるアメリカンタイプモータサイクルのエンジン回転数による“VibrationIntensityIndex”の変化を示す。ここで、とくに高回転域において、振動としての“VibrationIntensityIndex”は大きい、「それはもはやパルスフィーリングとは感じない」という問題が生じる。聞

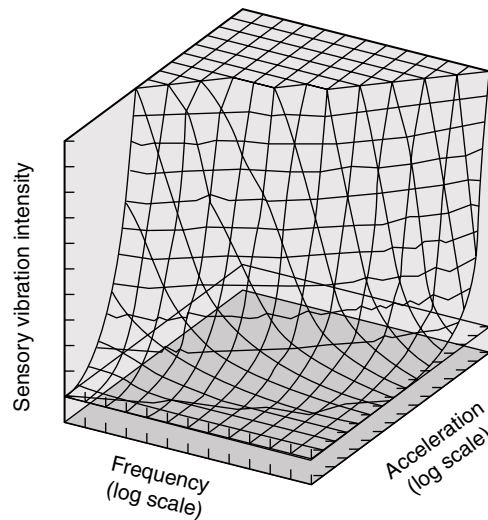


Fig. 5 Sensory vibration intensity curved surface for Z-axis

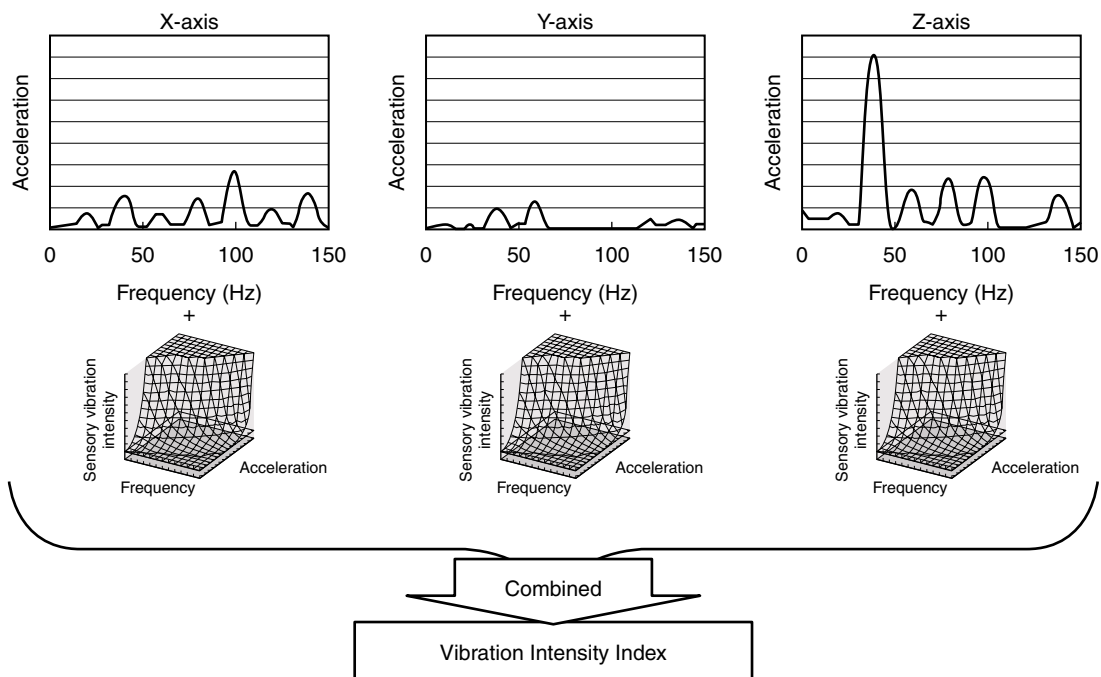


Fig. 6 Notion of “Vibration Annoyance Index” calculation method

き取り調査をおこなったところ、パルスフィーリングとは間欠的な刻みを持った振動に対する評価であり、高周波振動はパルスフィーリングとして評価していないことがわかった。また、振動発生器による実験の結果、パルスフィーリングとみなせるかどうかは、振動加速度の大きさに依存せず、周波数(すなわち、実車ではエンジン回転数)に大きく依存することがわかった。

そこで、新たに振動とパルスフィーリングを切り分ける指標を開発し、振動がどの回転数までパルスフィーリングと見なせるか調査した。アメリカンタイプモータサイクルが主に搭載する数種のV型2気筒エンジンの発生する振動をエンジン回転数ごとに用意し振動発生器により被験者に与え、振動がパルスフィーリングと見なせなくなったエンジン回転数を調査した。Fig. 8 に結果を示す。

Fig. 8 から明らかな通り、V型2気筒エンジンでは4000r/minを超えると、ほとんどの人が振動をパルスフィーリングだと見なさない。このパルスフィーリングとして見なせると返答した累積度数の逆数をV型2気筒エンジンの代表的パルスフィーリングフィルタとして採用した。このフィルタを“Vibration Intensity Index”に加重し高周波振動を除外したものを、パルス強さ“Pulse Beat Index”とした。

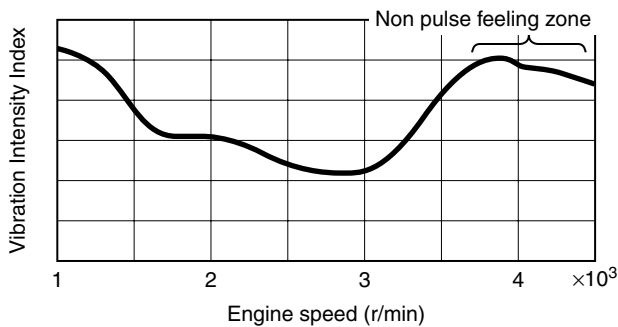


Fig. 7 “Vibration Intensity Index” alteration

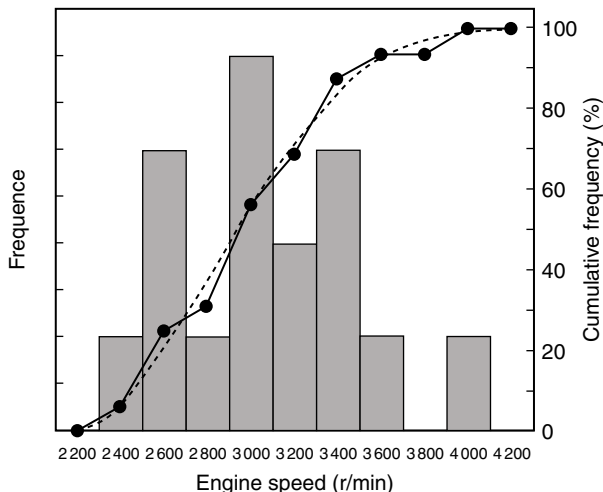


Fig. 8 Consciousness of pulse feeling

2.2.3. 指標の検証

Fig. 9, 10 に計測された加速度から算出した“Pulse Beat Index”と官能評価による評点を示す。算出されたパルスフィーリング“Pulse Beat Index”と評点は、車種違い(A車/B車)・運転条件(全負荷/部分負荷)違いを含め、実際の人間の評点と良く一致し、有効性が確認された。

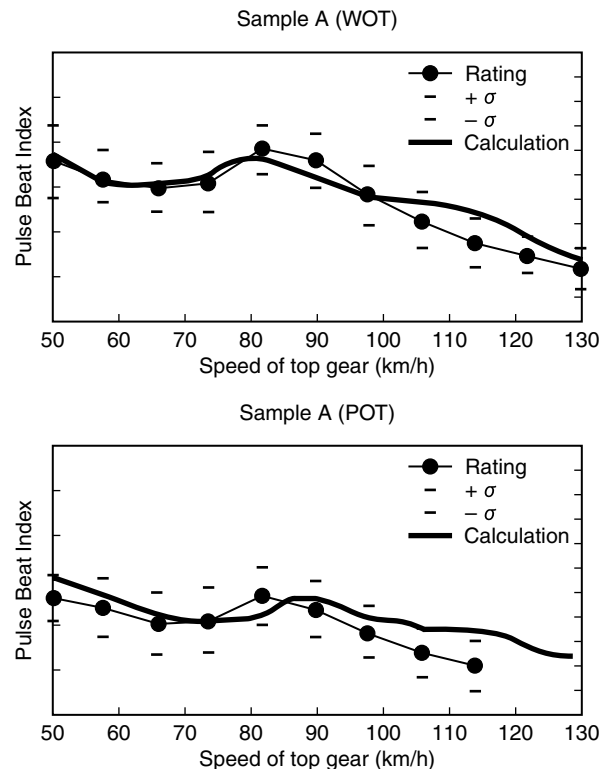


Fig. 9 “Pulse Beat Index” of sample A

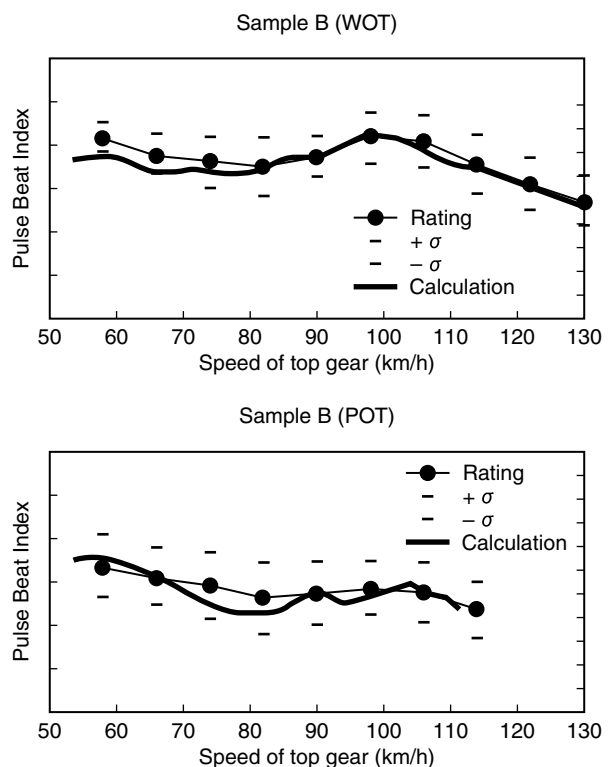


Fig. 10 “Pulse Beat Index” of sample B

3. 時間軸応答解析の適用

3.1. 解析概要

エンジンから発生する往復部慣性力に起因する振動については予測手法が確立しており、開発の有効なツールとなっている⁽⁴⁾。ただし、パルスについては燃焼によるトルク変動成分が重要であるため、従来の周波数応答解析では表現できず図面段階の予測ができなかった。そこで、機構解析ソフト(ADAMS)を利用し、固有値解析および静剛性解析結果から求めたクレイグ・バンプトンモデルとエンジン・駆動系モデルを結合して時間軸応答解析⁽⁵⁾をおこない、テストデータとの相関性を検証した。また、入力の実験より求めた燃焼指圧データを使用した。

3.2. 解析手順

Fig. 11 に時間軸応答解析の手順を示す。

3.3. 解析結果

3.3.1. 固有値解析モデルおよび周波数応答計算結果

時間軸応答解析をおこなうためには、精度の高い完成車FEモデルが必要となる。Fig. 12 に完成車解析モデル、Fig. 13 に周波数応答計算結果を示す。Fig. 13 は、固有値解析結果に実際のエンジン往復部慣性力を加えた場合の周波数応答計算結果であり、テスト結果は実車における周波数分析結果である。モデリングの精度検証は実車運転状態での比較が最善であり、時間軸応答解析モデルとして十分な精度と判断できる。



Fig. 12 Complete motorcycle FE model

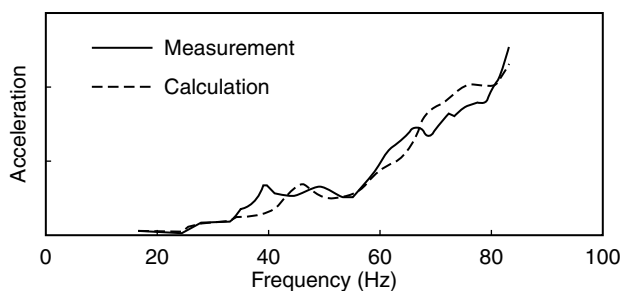


Fig. 13 Acceleration responses of complete motorcycle

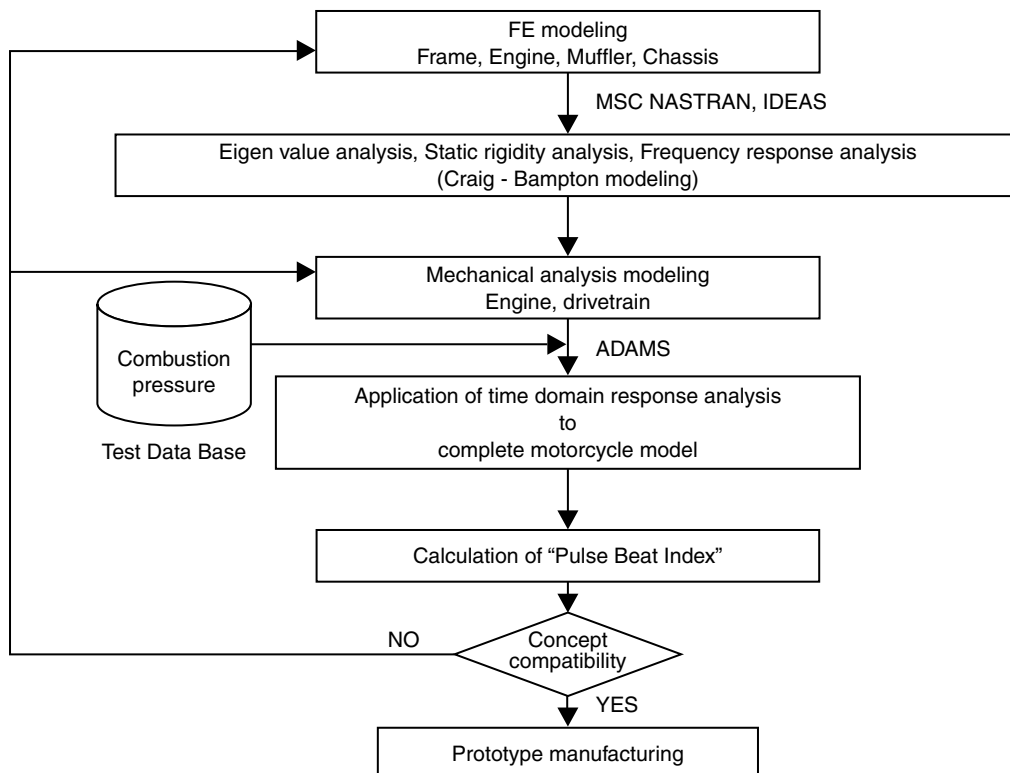


Fig. 11 Flowchart of time domain response analysis system

3.3.2. 時間軸応答解析モデル

エンジン・駆動系について、機構解析モデルを作成した。駆動系については、各ダンパ・ドライブシャフトなど細部についてモデリングをおこない、3.3.1項で得られた固有値解析および静剛性解析結果より求めたクレイグ・バンプトンモデルと合わせて完成車モデルを作成した。Fig. 14にエンジン・駆動系モデル、Fig. 15に完成車時間軸応答解析モデルを示す。



Fig. 14 Engine drivetrain model

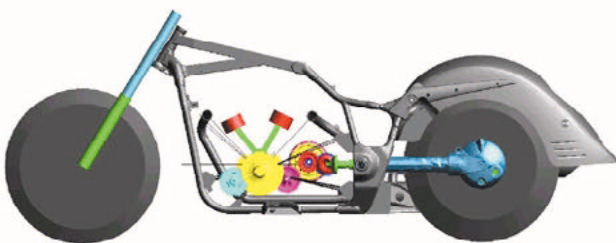


Fig. 15 Complete motorcycle time domain analysis model

3.3.3. 時間軸応答解析結果

Fig. 16 に入力(実車燃焼指圧)、Fig. 17, 18 に時間軸応答解析結果および周波数分析結果を示す。Fig. 17, 18の通り、時間軸計測データと計算結果は良好な相関が得られた、周波数分析結果も同様である。この結果から“Pulse Beat Index”が求められ、パルス強さの判定が可能となる。パルス解析ツールとして有効である。Fig. 19に開発手順の変化を示す。

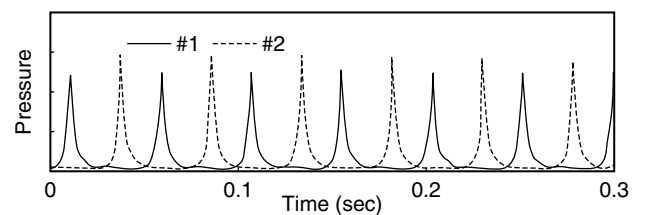


Fig. 16 Input data (Combustion pressure)

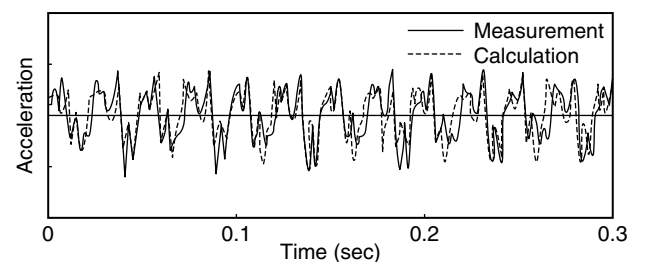


Fig. 17 Result of time domain response analysis

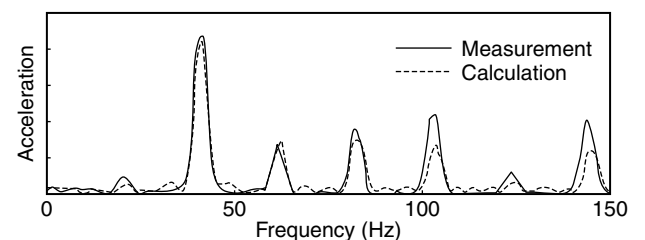


Fig. 18 Result of frequency response analysis

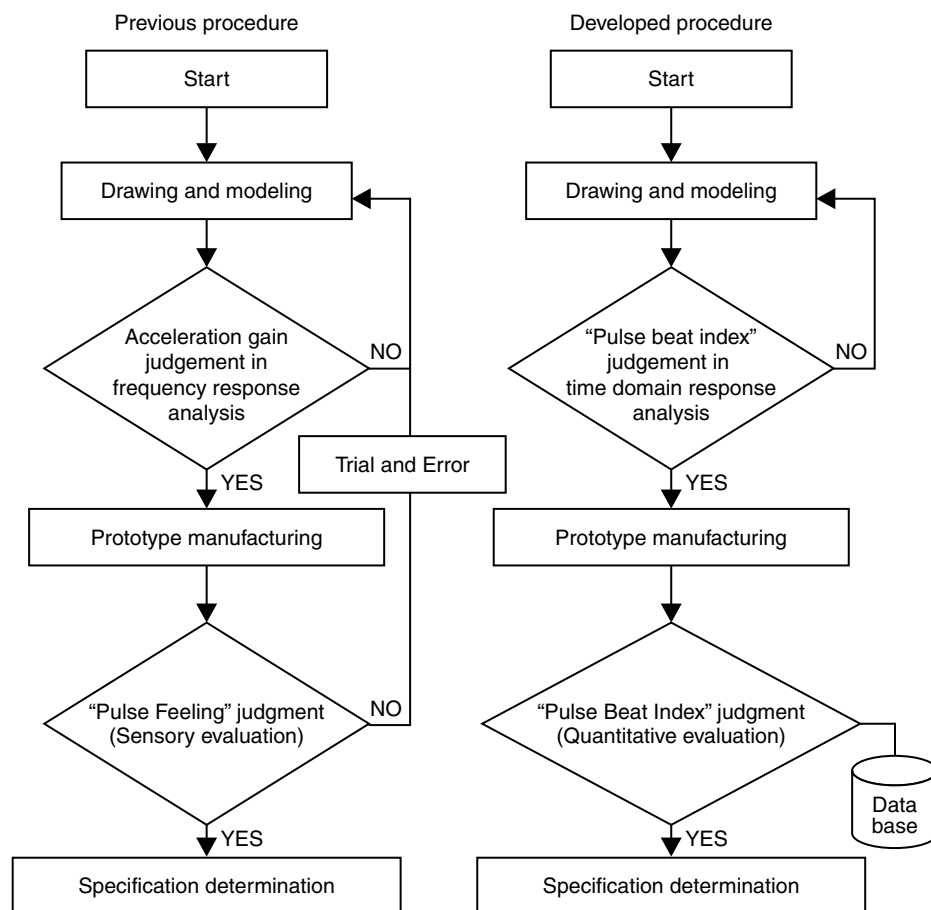


Fig. 19 Flowchart of development procedure

4. まとめ

参考文献

- (1) "Pulse Beat Index"の開発により，従来は定性的な評価であったパルスフィーリングが定量評価できるようになり，テスト車の判定・対策の効果確認が容易になった。
- (2) 完成車時間軸応答解析により，パルスに対する各部の寄与が明確になった。図面段階で"Pulse Beat Index"を予測することが可能となり，テスト工数・仕様決定工数の削減が達成できた。

本テーマはパルス強さに着目して定量化をおこなったが，パルスフィーリングの評価において“パルスの質”を問題とする場合がある。今後は，“パルスの質”について人間の感じ方の研究を進める。

- (1) ISO 2631-Mechanical vibration and shock –Evaluation of human exposure to whole-body vibration –Part 1: General requirements(1997)
- (2) Miwa, T.: Evaluation Method for Vibration Effect, The National Institute of Industrial Health(1962)
- (3) ISO 13090-Mechanical vibration and shock –Guidance on safety aspects of tests and experiments with people -- Part 1: Exposure to whole-body mechanical vibration and repeated shock(1998)
- (4) Kuwahara, H., et al.: Virtual Assessment of Motorcycle Vibrations, SETC 2001-01-1849
- (5) 山崎ほか：Residual Vector を適用した ADAMS 弾性体モデル構築手法の開発，MSC Software ソリューションフォーラム，2000

■ 著 者 ■



長田 邦裕



新村 竜太



下河辺啓吉



山崎 五郎