



# 2 輪車計測支援ロボット用 磁歪式荷重センサの開発

Development of Magnetostrictive Load Sensor for Motorcycle-  
Measurement Robot

水野 裕 Yutaka Mizuno 久保田 剛 Tsuyoshi Kubota  
研究開発 C. コア技術研究室エレクトロ Gr . / 研究開発 C. コア技術研究室マテリアル Gr .

技術論文

## Abstract

In order to improve the accuracy and efficiency of evaluation of increasingly high-performance motorcycles, we at Yamaha Motor have developed a control system for automated operation of motorcycles by human-shaped robots.

For the indispensable shift load sensor in the system, we had originally used a strain gauge type load cell but were unable to get satisfying results with it regarding sensor sensitivity when subjected to engine vibration conditions, strength and response. To solve these problems, we tried using a magnetostrictive sensor for the first time.

In tests in actual use we found that the magnetostrictive load sensor satisfied the requirements of operating conditions for a motorcycle operation control system and measurement system.

## 要 旨

高性能化するモーターサイクルの評価を、高精度かつ効率的に行うため、社内において人型ロボットを使用したモーターサイクルの自動運転用制御システムが開発されている。

その制御システムに不可欠なシフト荷重センサは、当初、歪みゲージ式ロードセルを用いていたが、エンジンの振動条件下で検出感度、強度および応答性を全て満足することはできなかった。そこで、この問題を解決するために、新たに磁歪式荷重センサの適用を試みた。

実機テストの結果、磁歪式荷重センサはモータサイクルの運転用制御システム及び計測システムの条件を満足することが分かった。

## 1 はじめに

近年、モーターサイクルは、益々高機能化・高性能化・高速化が進み、走行評価試験では、ライダーにより高い運転技量が要求されている。

そこで、こうした要求を満足しながら、開発の効率を向上させることを狙って、人型ロボットを使用したモーターサイクルの自動運転用制御システムが、社内において開発されている。これは、テストライダーのアクセル操作、シフト操作、クラッチ操作を人型ロボットに行わせることにより、自動運転による台上走行試験を可能にしたものである。ここでは、その制御システムに不可欠な磁歪式荷重センサについて述べる。

## 2 MC 走行性能計測システム

### 2.1 評価試験設備

図1は、ロボットを使用したモーターサイクルの計測システムの写真である。ロボットに装着されたアクチュエータにより、アクセル操作、クラッチ操作およびシフト操作を行い、自動運転による台上走行試験を可能にすると同時に、データの精度と再現性の向上が図られている。

図2は、テスト車両が評価される風洞を示したものである。車両は、シャーシダイナモにより車速に対応した負荷を与えられる。また、走行風に見立てた風は、車両前面の送風口から均一の風速で車両に向けて送風される。これらにより、風洞内において実走行に等しい状態で走行評価を行うことができる。

### 2.2 自動運転用制御システム

図3は、この自動運転用制御システムを表したものである。

組み込まれた走行プログラムにより、自動的に運転制御を行うことができるため、オペレータは、操作室にてスタートボタンを押すだけで良い。

制御情報は、入出力制御装置を経由して、ベンチ内部へ送られ、ロボットへの動作命令・環境設定・負荷設定を行う。同時に、ベンチ内部の各種センサの状況も、ここを経由してコントローラへ送られる。

コントローラは、制御盤に内蔵されており、運転状態の監視を行うとともに、センサからの計測値をロガーに記録する。



図1 ロボットを使用したモータサイクルの評価

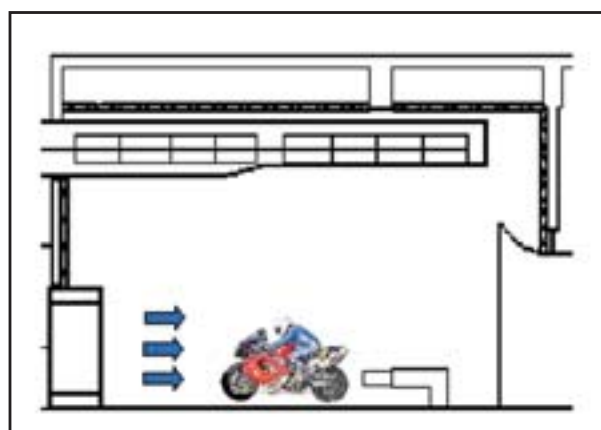


図2 風洞設備

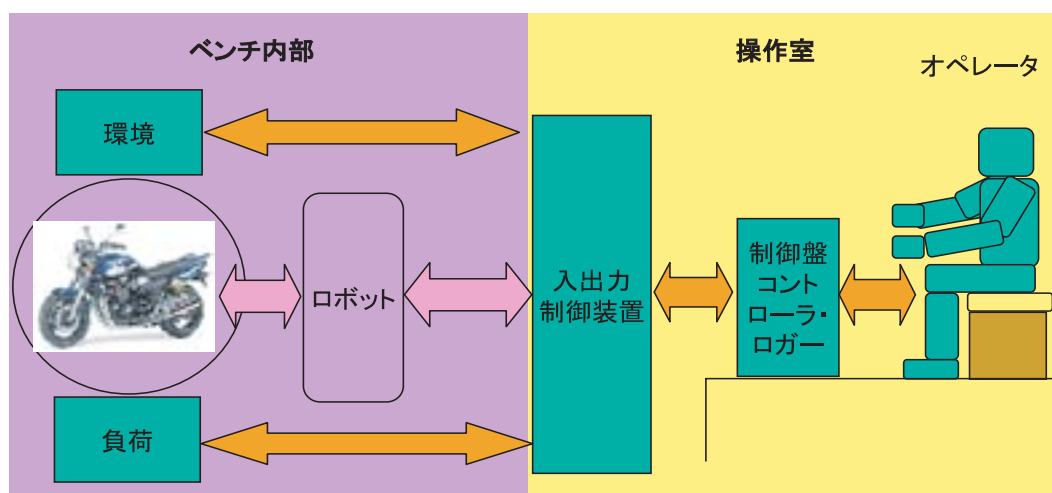


図3 モーターサイクル自動運転システム

### 3 計測支援ロボット用シフト荷重センサ

#### 3.1 計測支援ロボット

図4は、計測支援ロボットの制御ブロック図である。アクセル操作系、クラッチ操作系およびシフト操作系について、それぞれにアクチュエータとセンサが取り付けられている。

ロボットは、主に2つの役目を果たす。第一に、アクチュエータにより自動制御でシフトチェンジやアクセル調整を行って、モータサイクルの出力設定を行うこと。

第二に、その形状により、エンジン周辺の気流を人が乗車した時に合わせることである。

二輪車の走行評価では、人の体を含むエンジン周辺の空気の流れが問題となる。その場合、上半身はエンジン周辺の気流にはほとんど影響を与えないため、ロボットは下半身だけのものを採用している。

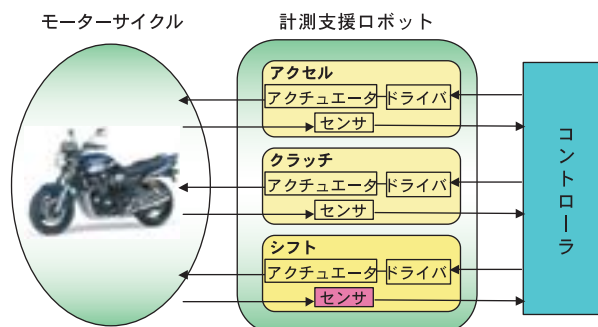
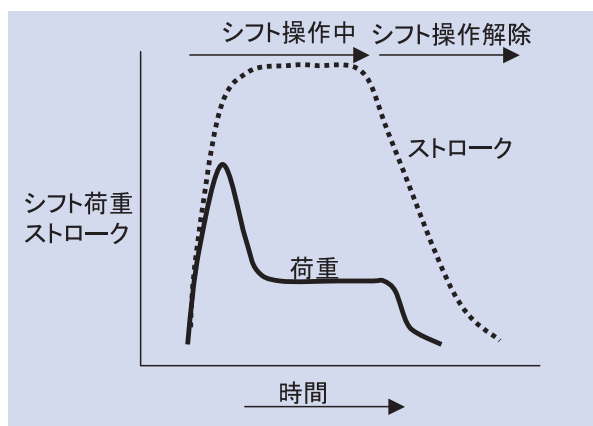


図4 計測支援ロボットの制御ブロック図

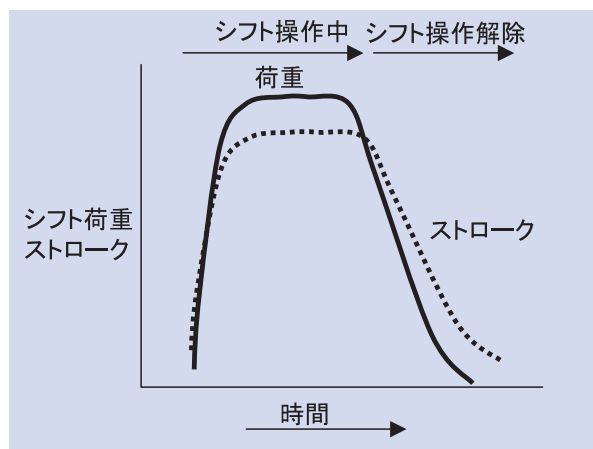
#### 3.2 シフトチェンジの判定

モーターサイクルの自動運転のために重要なことは、シフトチェンジが確実に行われたかどうかを正しく判定することである。単にシフトストロークを検出しただけでは、シフトが正しく行われたかどうかを判定できない。そのため、シフトストロークと同時に、シフト荷重の検出を行っている。

図5は、シフトペダル操作時のシフト荷重の変化を示したものである。一般に、シフトチェンジが成功した時は、シフト荷重の上昇途中で荷重の減少が見られる。しかし、シフトミス時にはシフト操作を解除するまで荷重が減少しない。よって、シフト荷重をシフトストロークと同時に検出することにより、シフトミスが発生したか否かを判別することが可能になる。そして、そのためには、エンジン振動下でシフト荷重の変化を検出できる精度の良いセンサが必要であった。



1)シフト成功時



2)シフトミス時

図5 シフト荷重の変化

#### 4 初期型シフト荷重センサ（歪ゲージ式）

シフト荷重センサは、シフトペダルを動作させるリニアアクチュエータとシフトペダルをつなぐ連結棒に取り付けられている（図6）。このセンサは、シフト荷重を検出すると同時に、リニアアクチュエータとシフトペダルを連結する部材の役目も果たしている。

当初、市販の歪ゲージ式ロードセルを使用して、シフト荷重の検出を試みた。しかし、このセンサは検出感度が低かったために、制御に必要な精度が得られなかった。そのため、シフトミスを検出できない場合があった（図7-1）。

一方、感度を高めた仕様では、強度が十分でなかったために、短時間使用した後に折損した（図7-2）。さらに、このタイプのセンサは、自動運転中に折損すると、アクチュエータとシフトペダルが分かれてしまい、エンジン制御不能になってしまうという欠点があった。

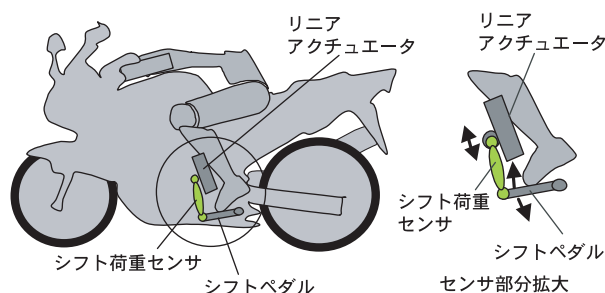
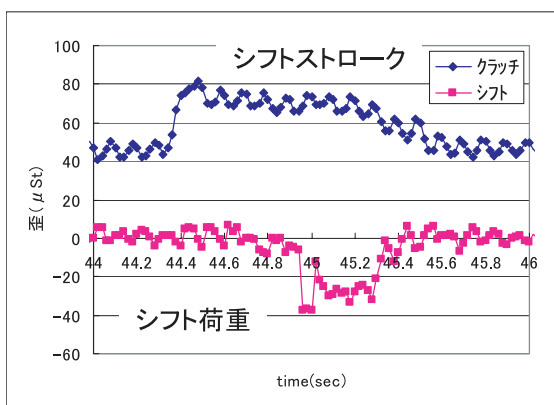
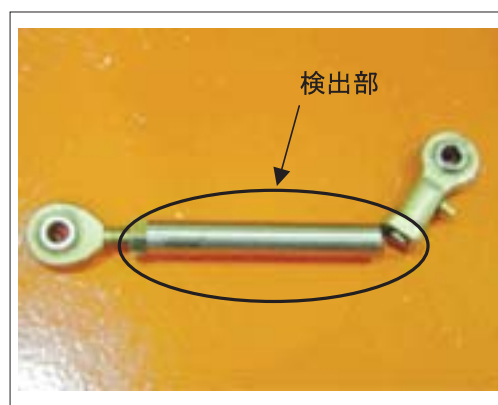


図6 シフト荷重センサのレイアウト



7-1 測定データ



7-2 破損した初期型センサ（約10時間使用後）

図7 初期型シフト荷重センサ（歪ゲージ式）

#### 5 新型シフト荷重センサ（磁歪式）

##### 5.1 磁歪式荷重センサ

歪ゲージ式センサの問題点を対策するため、新規に磁歪式荷重センサを開発した。図8は、新たに開発した磁歪式荷重センサの外観である。このセンサは、測定中の変位が極めて小さく応答性が良い。また、歪みゲージ式に比べてセンサ感度が高いため、耐荷重性に優れている。さらに、小型軽量であり、構造が簡単であるため低コスト化が可能である。

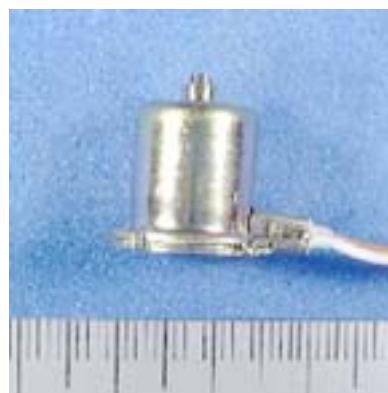


図8 開発された磁歪式荷重センサの外観



図9は、このセンサの荷重特性の一例を示したものである。この時のセンサの諸特性を表1に示す。

図 10 は、このセンサの耐久性を示したものである。センサに繰り返し一定の荷重を加えた場合、荷重が許容荷重以上の場合( A、B )には、センサ感度が繰り返し回数が増加するに連れて低下しているのに対し、許容荷重以下の場合( C、D )にはセンサ感度は、繰り返し回数  $10^6$  回まで低下は見られなかった。

表1 磁歪式荷重センサの諸特性

許容最大荷重	800N
非直線性	3%
ヒステリシス	5%
温度特性	0.25mV/

表1 磁歪式荷重センサの諸特性

許容最大荷重	800N
非直線性	3%
ヒステリシス	5%
温度特性	0.25mV/

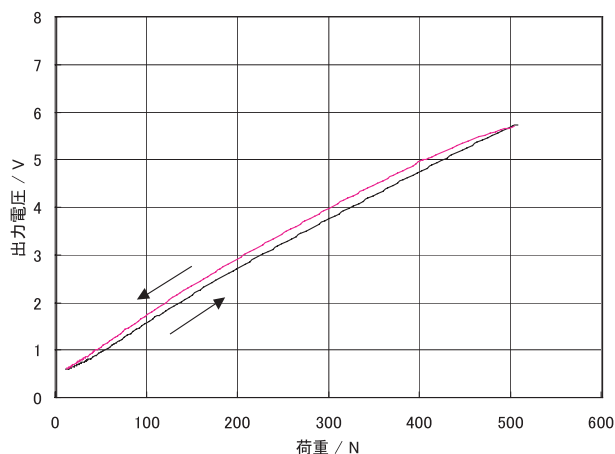


図9 荷重特性の一例

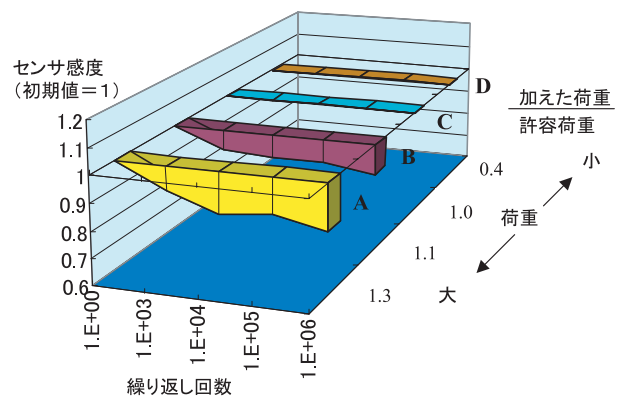


図 10 繰返し荷重試験結果

## 5.2 磁歪式シフト荷重センサユニット

我々は、このセンサを使用して新しいシフト荷重センサユニットを開発した。図 11 は、それを実機に取り付けた状態を示したものである。このシフト荷重センサは、初期仕様に比べて感度が高く、耐荷重性にも優れている。図 12 に磁歪式シフト荷重センサユニットの構造を示す。これは、磁歪式ロードセルをばねではさみ込んだ構造をしているため、衝撃や過荷重からセンサを保護できる。また、仮にセンサにトラブルが発生しても、センサホルダーが損傷することはないので、連結棒としての機能は維持される。よって、操作盤から手動モードでの遠隔シフト操作が可能である。



図11 新型シフト荷重センサ取り付け状態

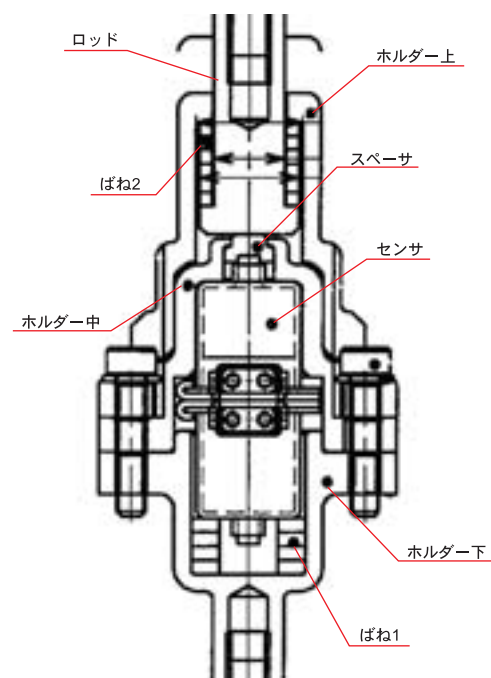


図12 センサユニットの構造

### 5.3 計測システムへの適用結果

図 13 は、新型荷重センサによって得られた荷重信号である。初期仕様と比較して、感度が向上したために、確実にシフトミスを検出できるようになり、この結果計測の自動化が可能になった。図 14 は、テストコース走行パターンの一例である。これまで、このシステムは、このような走行パターンの他、様々な走行パターンにおいても自動運転で使用され、現在も順調に運用されている。

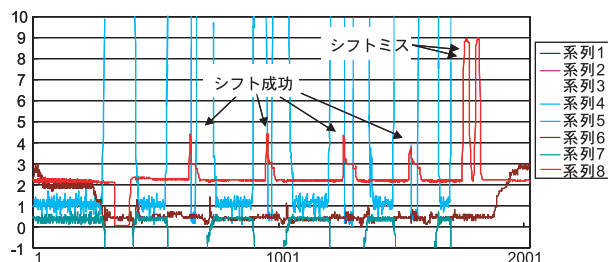


図 13 磁歪式シフト荷重センサの測定結果

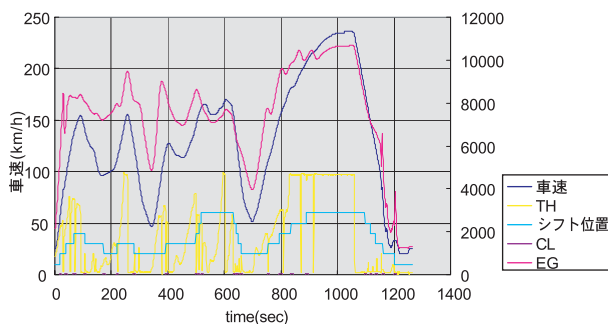


図 14 テストコース走行パターン

## 6 おわりに

磁歪式シフト荷重センサの開発により、計測支援ロボットを使用したモーターサイクルの自動走行評価システムにおいて、課題であったシフトミスの検出が可能になった。このセンサは、2 輪車に適用して、様々なパターンの走行評価に対応できており、制御に必要な感度と強度を備えていることを実証できた。

この計測システムは、商品化される計画もあり、今後、センサユニットの小型軽量化を進めていく。また、より信頼性を向上させてハードウェアとの互換性を高め、計測項目の多様化を図って行く予定である。

さらに、この磁歪センサは、小型軽量低コストであり、実用に十分な感度と強度及び応答性を兼ね備えており、本用途だけではなく、その他の制御システムに広く適用可能であると考えられる。よって、今後その可能性を追求していきたい。

### 参考文献

- 1) Yutaka Mizuno, Kubota Tsuyoshi : Development of Magnetostriction-type Load Sensor for Measurement System Using Motorcycle Testing Robot, Yamaha MotorCo., Ltd. SAE World Congress , 2002.03.
- 2) 藤本, 井上, 山崎 : 二輪車におけるシフトフィーリングの定量解析と改善技術 , 本田技研 , Honda R&D Tech Review , 1990 Vol. 2.
- 3) 須田秀夫 : 二輪車のシフトフィーリングの定量化 , スズキ(株), 自動車技術 , 1997 Vol. 51.