

二輪車用リバースコントロールシステム

Reverse System Design for a Motorcycle

大 田 淳 朗*	山 形 哲 雄*	伊 藤 俊 文*
Atsuo Ohta	Tetsuo Yamagata	Toshifumi Ito
根 布 秀 秋*	内馬場 孝 一*	藤 田 晴 康*
Hideaki Nebu	Kouichi Uchibaba	Haruyasu Fujita

要 旨

本論文では二輪車の後進挙動解析の結果と、量産車に搭載された二輪車後進装置の構造並びに制御方法の特徴について述べる。二輪車後進装置を開発するにあたり、まず、後進時の力学的挙動を調べるために、コンピュータシミュレーションと走行テストを行い、適切な後退速度領域の設定を行った。次に、その速度領域に二輪車を制御するために、制御性の良い電動モータを動力源として選択し、マイクロコンピュータで制御する方法をとった。制御項目は他に、モータ電流の切り換え、後進動作を制御する論理、フェールセーフである。

ABSTRACT

The results of analysis of motorcycles travelling in reverse are described here. The reverse system's structure and control system, as mounted on a production model motorcycle, is also described.

During development, travelling simulation and travelling experiments were performed to study the kinetic characteristics of reverse travelling. Hence, an appropriate range of reverse travelling speed was selected.

In order to easily control vehicle speed within these limits, an electric motor was chosen as the power source. The motor is controlled by a micro-computer. The control system also includes switching control of motor current, logical control of reverse travelling, and failsafe control.

1. ま え が き

主に米国で発達してきた長距離ツーリングモデルは、快適な走行を追求する中で、大型フェアリング、大容量トランク、ラジオ／カセット等を装備することにより、その重量は 300kg を越すまでになっている。

このような大型車は押して後進させるのが困難となり、駐車時などの取回しに制約を生じる場合があった。このため、四輪車と同じように動力で後進できる駆動装置が求められてきた。

二輪車の後進装置については、エンジンを動力源としたものが何例もあったが、一般化するには至らなかった。これは二輪車の後進が極低速度で

行う必要があるのに対し、従来の例では前進と同じようにクラッチとスロットルで速度を微調整するため、使いやすさを得られなかったことによる。

この要求に対し著者らは、まず二輪車が後進する場合の挙動を速度をパラメータとして解析し、後進動作に適切な速度領域の設定を行った。

次に、その速度領域に二輪車をコントロールするため、制御性の良い電動モータを動力源として選択し、マイクロコンピュータで制御する方法をとった。このような構成をとることによって、設定された速度領域に車速を制御するとともに、操作系も簡易にすることができ、安定した後進動作が可能となった。

* 朝霞研究所

本論文では、二輪車の後進運動解析、走行フィードリングのテスト結果、及び量産車に搭載された後進装置の例について、その構造と制御システムの特徴を解説する。

2. 二輪車の後進運動解析と後進速度の決定

二輪車後進装置を開発するにあたり後進時の運動特性についてコンピュータシミュレーションと走行実験を行った。

2.1 コンピュータシミュレーション

コンピュータシミュレーションに用いた数学モデルは R. S. Sharp⁽¹⁾ によって発表された前輪操舵二輪車の数学モデルと基本的には同じものである。すなわち、二輪車の力学状態を記述した線形微分方程式であり、その自由度はメインフレームの横変位、ヨー、ロール、及びメインフレームに対するステアリング角度の4つである。これを基に通常の二輪車の後進運動を表現するための改訂を行った。ここでは、運転者の操縦動作を考慮せず、二輪車後進時の基本的な運動特性を解析した。コンピュータシミュレーションは、この数学モデルの固有値を求めることにより後進時の二輪車の安定性を解析するものである。

前進時の二輪車の運動を表現するモードは、Sharp 等の研究により Capsize モード（非周期的モード）、Weave モード（1~4 Hz の周期的モード）、Wobble モード（6~9 Hz の周期的モード）の3モードに分類されており、ここで行った後進時の運動計算についてもこの3モードと対比して行った。

図1に速度25km/hまでの前進時と後進時の計算結果を示す。Capsize モードは、後進の場合も安定側にある。Weave モードは後進時に速度の上昇に伴い発散性が大きくなっていく。Wobble モードは後進時に速度の上昇に伴って極めて減衰が良くなる。これとは別に後進時に特徴的な非周期的モードが現れる。このモードは後輪操舵二輪車についての理論計算を行った研究報告⁽²⁾で Flop モードと称されたものである。この Flop モードは図1に示すように速度の上昇に伴って発散性が大きくなっていく。

以上、後進時の二輪車の運動は Flop モードと Weave モードから、速度の上昇に伴って不安定性が強くなることが理解できる。従って、二輪車の後進には何等かの方法で速度を抑える機構を設け、運転者によって二輪車のバランスが保たれることが必要である。

2.2 走行テスト

実機による走行テストでは後進の動力に電気モーターを用い印加電圧を変えて後進速度を可変できる車を使用した。安定性を観るパラメーターとしてハンドルトルク、ロールレイトを測定するとともに、その場合の安定性に対する評点を運転者から得るようにした。直立安定度の評価は以下を基準とした。

直立安定度 A: 全く安定している

直立安定度 B: バランスの乱れを感じる

直立安定度 C: 連続走行ができない

ハンドルトルク、ロールレイトは走行中の頻度分布を計算し、それらの偏差値を安定性の指標とした。図2にその解析方法の例を示す。

図3は速度1.0km/h~4.0km/hにおける後進時の安定性の測定結果である。ステアリングトルク

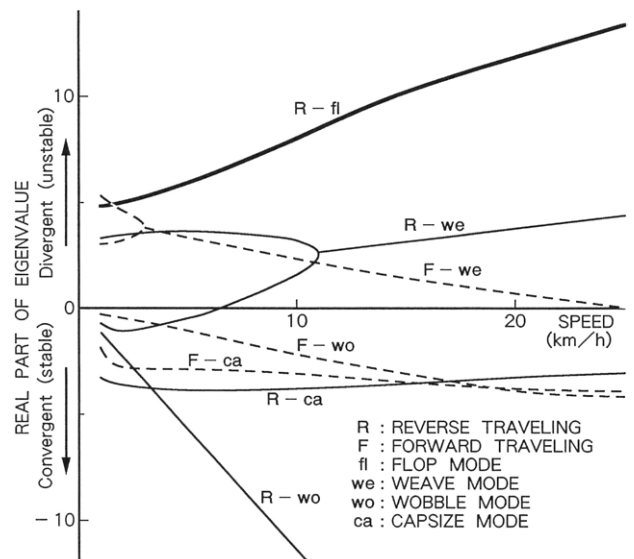


図1 前進及び後進時の固有値軌跡

の偏差値とロールレイトの偏差値は速度の上昇とともに大きくなり、前項での解析結果と一致する。ロールレイトの偏差値が速度 3.0km/h 以上で飽和しているのは運転者の対応能力の限界を示していると考えられる。

以上の測定結果から、後進走行が安定しているのはステアリングトルク偏差値 $0.13\text{kg}\cdot\text{m}$ 以下、ロールレイト偏差値 $1.5 \times 10^{-2}\text{rad/s}$ 以下である。

その時の速度は運転者の身長を考慮すると 1.8 km/h~2.2km/h であり、米国男性 95% に相当する

身長 165cm 以上の運転者についてみると後進速度は 1.8km/h 以下である。

3. 二輪車後進装置の搭載例

ここでは、以上の結果にもとづいた二輪車後進装置の搭載例について、车速の制御方法に関連したフェイルセーフ等の周辺の制御、及び操作系の構造を中心に紹介する。この装置は 1988 年より GL 1500 に搭載されたものである。

3.1 開発のねらい

この後進装置は前述した安定速度の制御を行うことと、二輪車の特質から次を目標とした。

- ①後進速度は 1.8km/h を超えないこと
- ②後進装置は、方向転換等で用いられ、前進後進を繰り返す場合が多いことから、前進後進の切り換えが容易にかつ確実にできる操作系であること
- ③二輪車搭載部品は容量、重量の制約が大きいことから軽量かつ小型であること

3.2 リバースシステムの概要

以上の目標に対してシステムの構成要素を次の様にした。動力源は、制御性の良い電動モータを用い、これを始動用モータと兼用させることにより軽量化を図った。動力の切り換えは車体左側に設けたリバースレバーで行い、動力は後進切り換えギヤを介してファイナル軸から後輪を駆動する構造とした。(図 4、5)

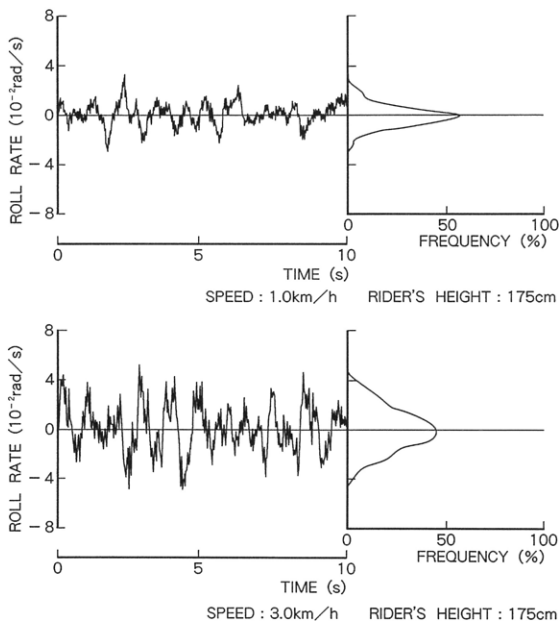


図 2 後進時の安定性解析例

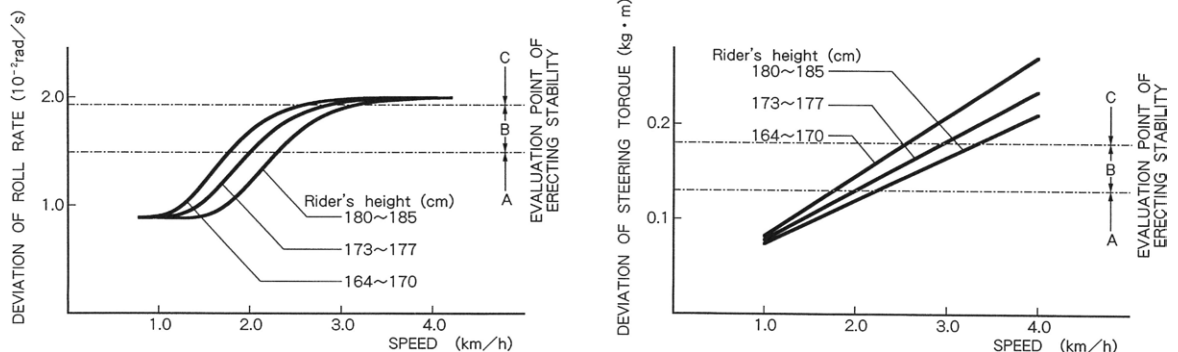


図 3 後進時の安定性

後進車速は一定に保つよう帰還制御を行った。
この制御は4bitマイクロコンピュータで行い、エンジン始動と後進作動とのモード検出とモータ電流経路の切り換え制御後進作動を制限する論理制御、フェールセーフ制御などをあわせて行う構成とした。(図6)

3.3 動力

動力源は次の条件を満たすことが必要である。

- ①必要な駆動力に対して十分なトルクがあること
- ②顧客が行う後進動作の繰り返しに対し十分な耐久性をもつこと

必要な駆動力はこの車の最大積載時の重量と、市場から得られた実用上の最大登坂斜度から求めた。本装置では、これらはそれぞれ580kg、12度でこの時の必要最大トルクは駆動輪で400Nmである。このトルクをスタータモータで発生させるため667.6:1の減速機構を設けその一部を図7のごとくスタータモータに内蔵させた。

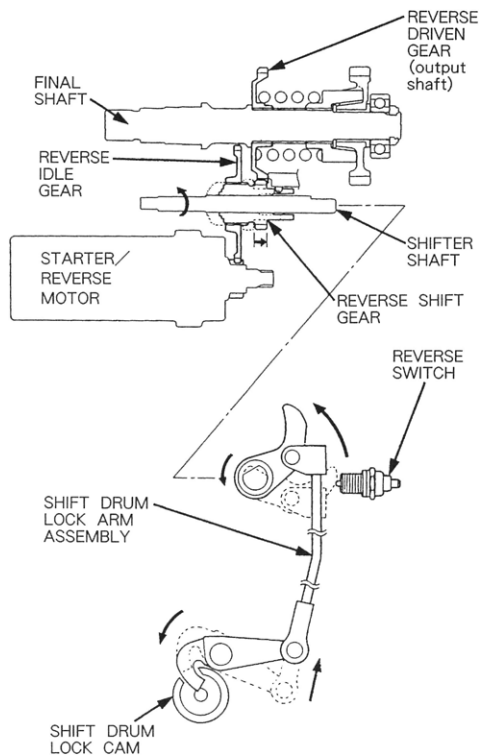


図5 動力伝達機構

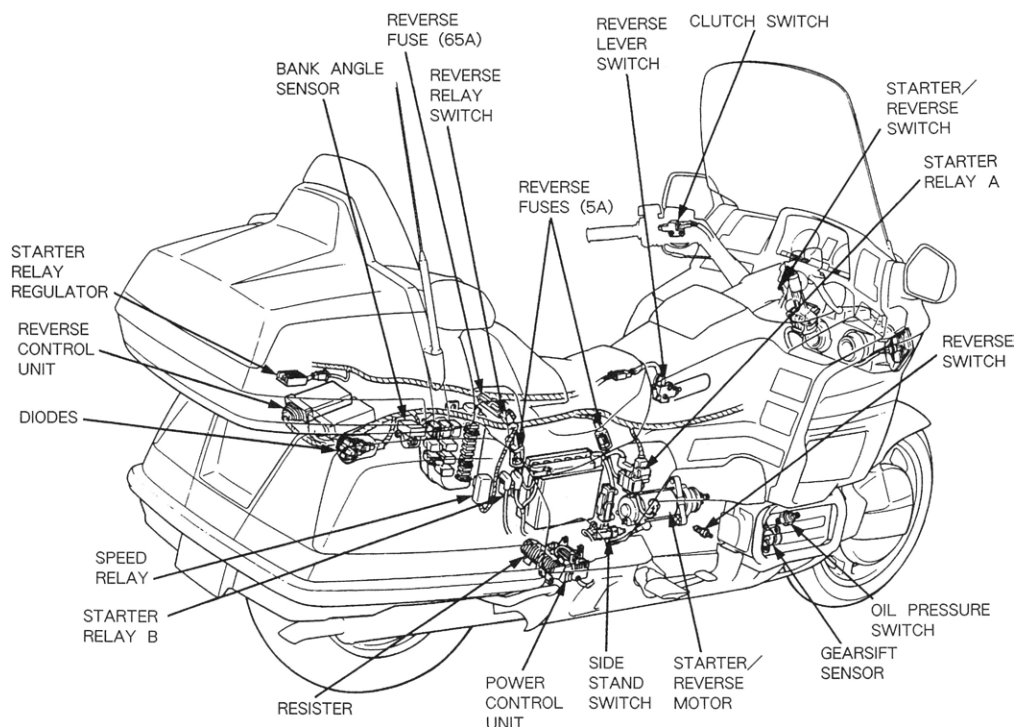


図4 始動/後進機構

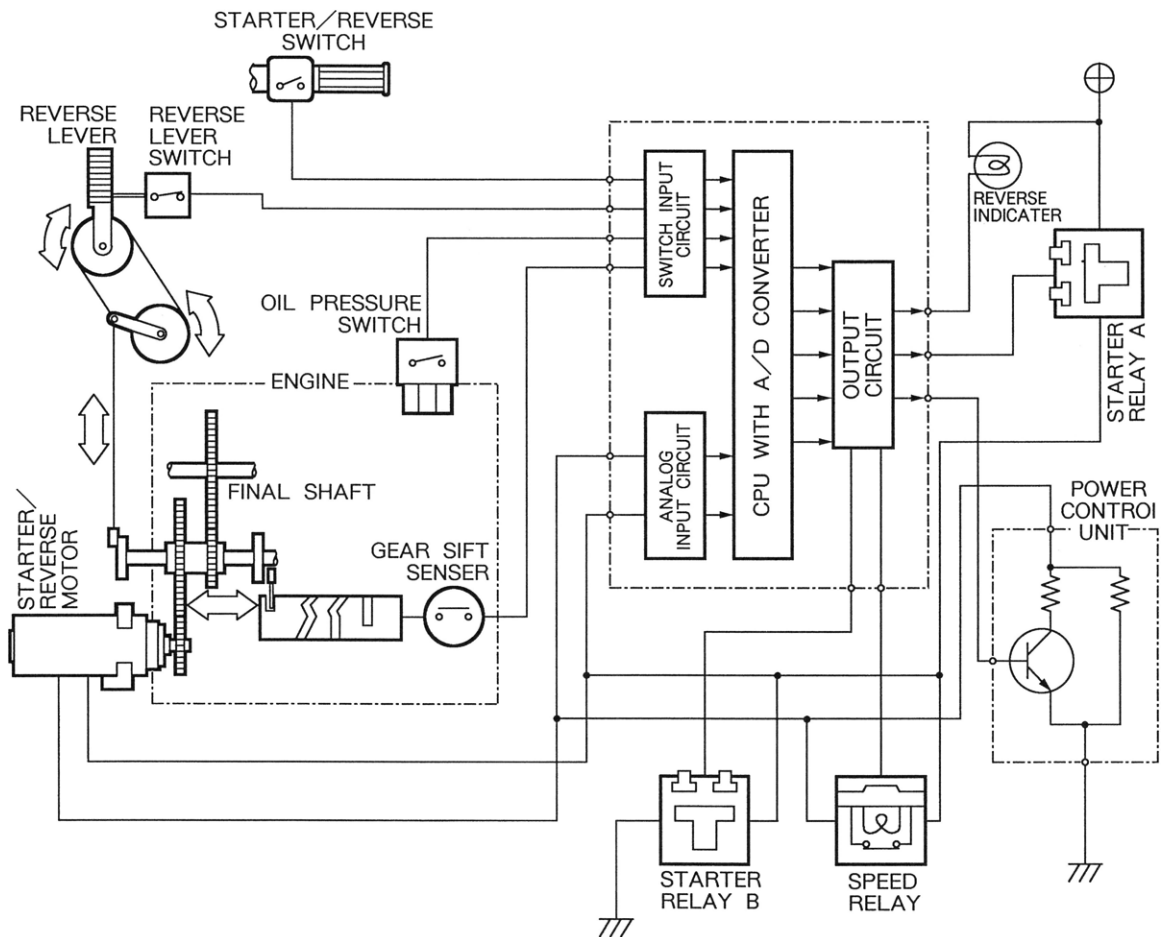


図 6 制御機構

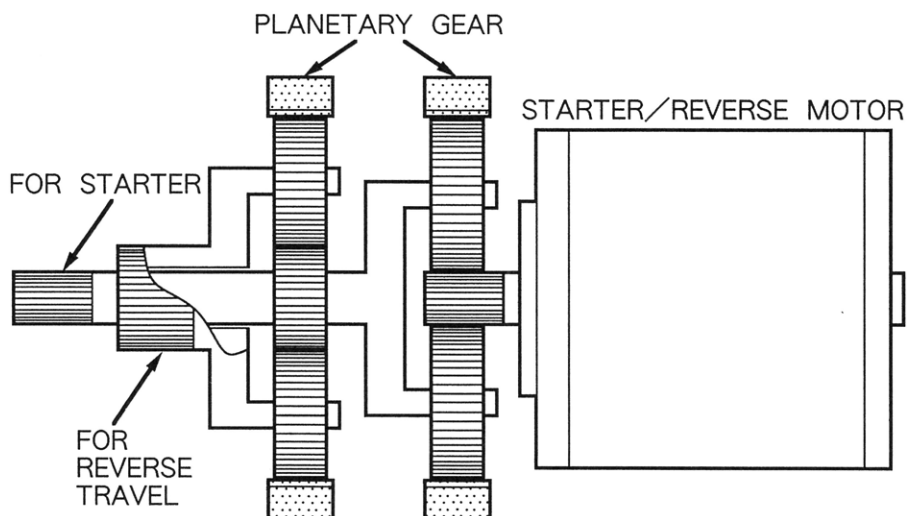


図 7 始動/後進用モーター

繰り返しの後進操作に対する耐久性は主にモータ電流と運転時間に関係する。図 8 はこのモータの特性である。ここにみるように始動時の運転域は 90～150A の範囲である。これに対し、後進時は 30～90A の範囲で必要なトルクを発生させることができこれは始動時に比べ約 30% と小さい。一方、二輪車の後進操作は始動回数より少なく、短時間であると推定できる。従って、このような構成では後進用動力を始動用モータで兼用することができ合理的な構成であるといえよう。

3.4 制御系

(1) 車速制御

後進時の車速は、路面の変化に対し設定した車速を越えないものでなければならない。本装置では車速を検出してモータ電流をトランジスタで断続制御することによって、これを実現している。

後進車速はモータ電圧で代表する。直流モータの端子電圧は式 (1) で表される。

$$V_M = V + R_M I_M \quad (1)$$

V_M : モータ端子電圧

V : モータ逆起電圧

R_M : モータ内部抵抗

I_M : モータ通電電流

ここでモータ内部抵抗は微小であるため近似的に

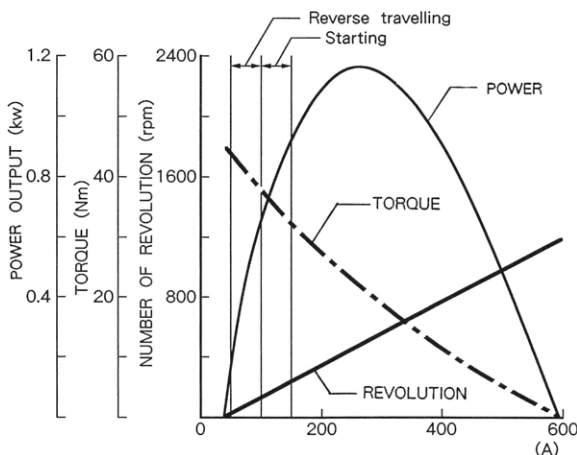


図 8 始動／後進用モータの出力特性

モータ端子電圧とモータ逆起電圧は等しくなる。モータ回転数 N と車速 v は式 (2) (3) となる。

$$N = a V \quad (2)$$

$$v = b N \quad (3)$$

N : モータ回転数

a, b : 定数

式 (1) (2) (3) より車速 v は式 (4) で表せる。

$$v = a b V_M \quad (4)$$

つまり a, b を予め測定しておけば近似的に車速をモータ端子電圧で代表することができる。図 9 に車速とモータ端子電圧の関係の測定値を示す。

車速の誤差を更に少なくするために、モータ通電電流が少ないパワユニット内のパワトランジスタが OFF の状態の時のみ、モータ端子電圧を検出することとした。これによって、モータの電圧降下 $R_M I_M$ をより少なくでき、検出精度があげられる。(図 10)

車速制御は帰還制御によりパワユニット内のトランジスタをチョッピング制御することで行い車速を 0.7～1.4 km/h に保っている。又、下り坂に対しては、車速が 1.8km/h 以上でモータの通電を停止し車速の増加を防いでいる (図 11)。図 12 はこれらの作動を示したものである。

モータの電流を制御するパワユニットは抵抗とトランジスタで構成されている。モータ電流は抵

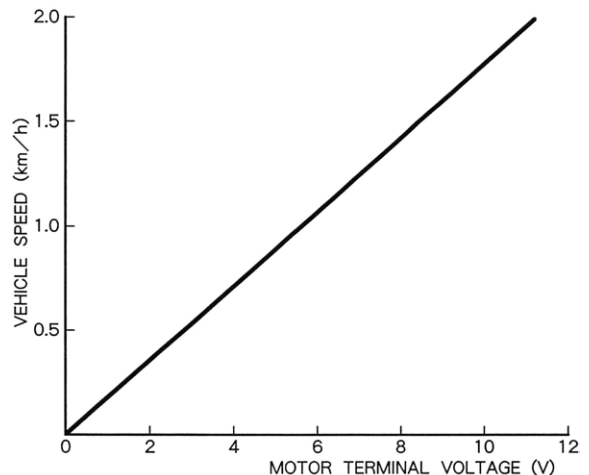


図 9 モータ端子電圧・後進速度特性

抗で二分割されたのち、一方をトランジスタでチョッピング制御する。このようにすることでモータ通電開始時の大電流を抵抗に流すとともに後進中のパワートランジスタの電流を押さえトランジスタの小型化を図っている。

(2) 起動制御

後進開始時のショックを緩和し発進をスムーズにすることは安定感に効果大きい。本装置では

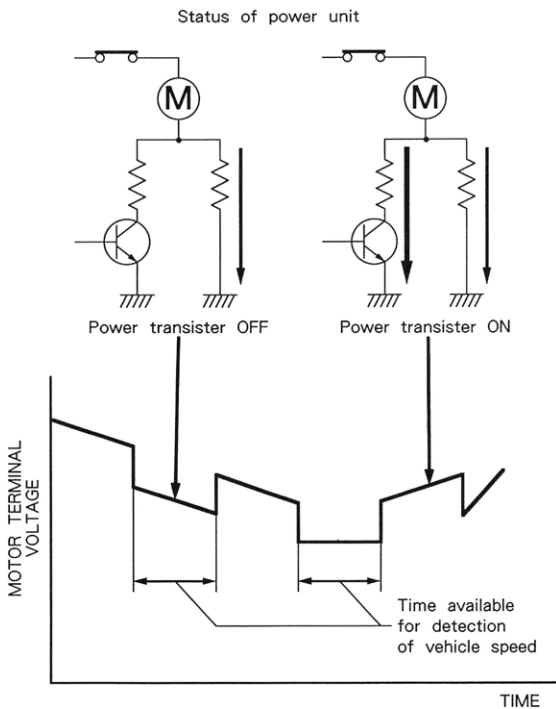


図 10 後進速度検出

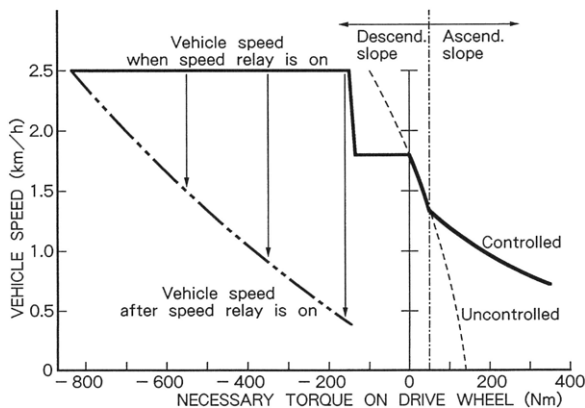


図 11 後進車速制御

図 13 に示したようにモータ ON から一定時間は抵抗のみに電流を流し、それ以後はパワートランジスタの電流を徐増するようにして起動時に過大なトルクが発生することを抑制している。

3.5 フェールセーフ

(1) 過負荷検出

急な上り坂や高い段差があった場合に後進を続けるとモータに大電流が流れ、パワユニットやモータを損傷させる可能性がある。これを防止するため、過負荷時モータ通電を停止し各ユニットを保護するようにした。

車速が 0.4km/h 以下になり、その状態が予め設定された時間継続するとコンピュータが過負荷と判定しモータの通電を停止する (図 14)。過負荷検出の設定時間を設けているのは、段差を乗り越す場合や起動時に一時的にモータ端子電圧が低下してもモータの通電を停止させないためである。

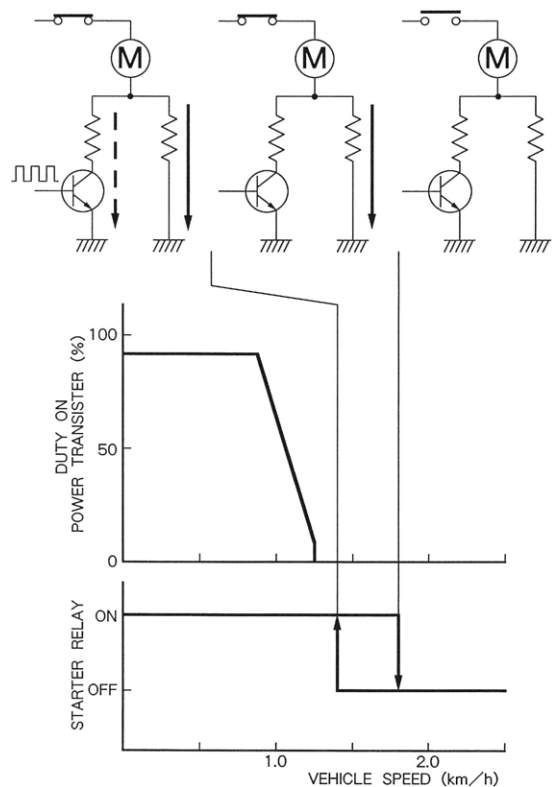


図 12 後進時のパワーユニット動作

(2) 過大車速検出

何らかの手段により車速を異常に増加させるとモータの破損を招く恐れがある。これに対し本装置は、速度を抑制する機能を備え、2.5km/h に車速が達するとモータを発電させ、その発電制動トルクにより車速を抑えるものである。

作動時の制動トルクは後輪軸で 800Nm となり、30° の下り坂でも車速は 2.5km/h 以内におさえられる。作動時の電流経路を図 15 に示す。

3.6 操作系

図 16 に示すように、後進の操作を簡単で分かり易いものとするため、操作箇所を 2 ヶ所のみとした。操作順序は、まず車体左側に設けたリバースレバーを引きギヤを切り換えメータパネル中のリバースインジケータが点灯することを確認する。次にスタータ／リバーススイッチを押すことによって後進が開始される。この時、後進作動条件が満たされない場合はリバースインジケータは点灯せず、後進は出来ない構造とした。

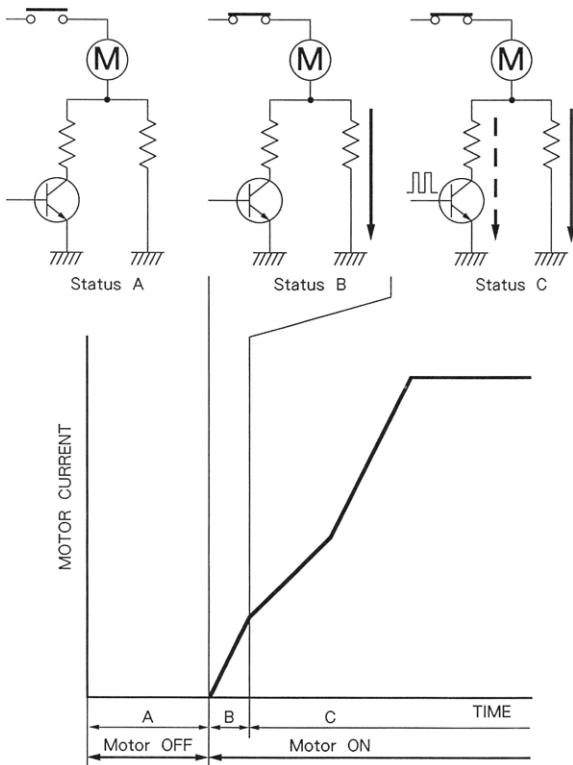


図 13 起動制御

尚、後進作動条件は次の 3 項目である。

- ① エンジンが始動していること
- ② サイドスタンドが収納されていること
- ③ ミッションシフトポジションがニュートラルであること

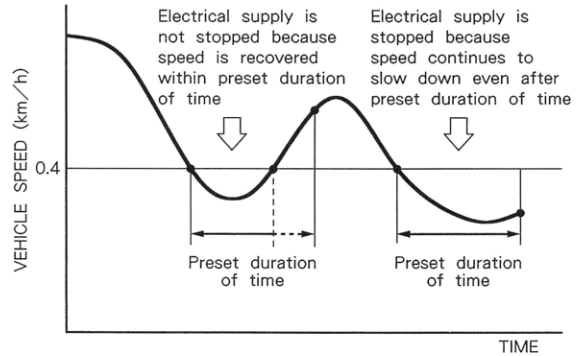


図 14 過負荷検出

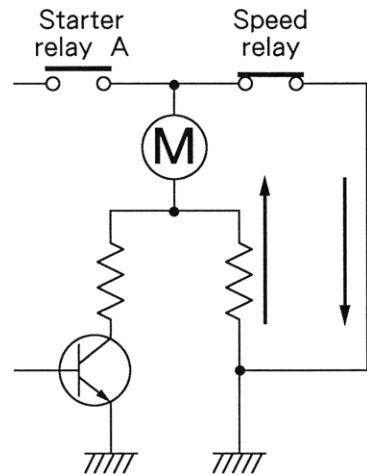


図 15 過大車速検出時の電流経路

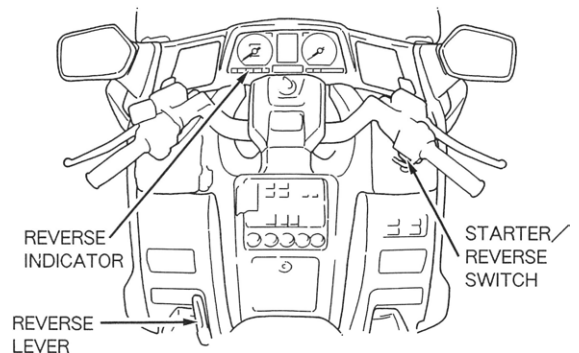


図 16 操作機構

又、スタータ／リバーススイッチはエンジンが停止している場合は通常の始動スイッチとして働くよう論理を構成している。このように、後進と始動の条件を集中制御することにより、シンプルで使いやすい操作系となっている。

3.7 消費電流

後進作動時の消費電流は図 17 に示すように駆動輪に必要なトルクで 30-90A である。バッテリーの充電量と放電量のバランスは実際に走行したモードで、1 時間に 1 回 12m の後進走行 (最大負荷 90A) を上限に設定した。この条件で充電量が放電量を上回るように発電容量を設定した。

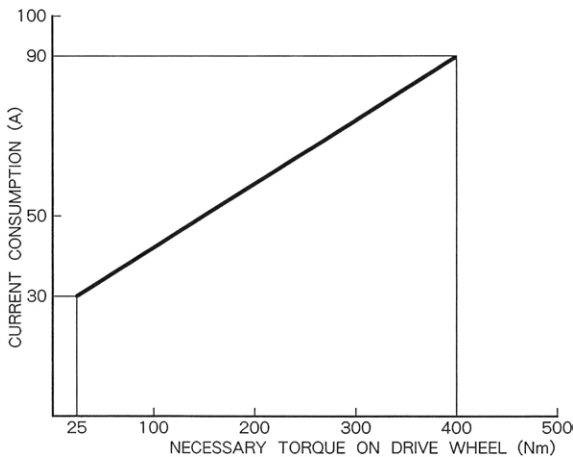


図 17 後進時の消費電流

4. まとめ

乗車状態で行う二輪車後進時の安定性の多くは車速に依存し、ある車速以下では安定した挙動を示す。このことから、この速度領域に車速を制御することが二輪車後進装置に最も要求される性能である。

本装置では動力源として電動モータを採用し、マイクロコンピュータ制御による速度制御機構を備え、この要求性能を達成した。更に電動後進装置はエンジン駆動後進装置に対し次のような長所がある。

- ①スロットル操作、クラッチ操作が不要であり操作系を簡単にできる
- ②車速や、フェールセーフ機能の構成が容易である

このような長所を活かすとともに、後進用モータと始動用モータの兼用による軽量化や十分な発電容量の設定により、安定性が良く操作のし易い後進装置が開発できた。

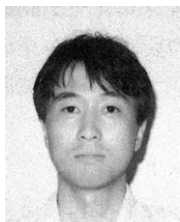
謝 辞

本論文の作成、及び二輪車後進装置の開発に対して御協力頂いた関係各位に深く感謝する。

参 考 文 献

- (1) R. S. Sharp: "The Stability and Control of Motorcycle" Journal of Mechanical Science, vol. 13 No.5, August 1971, pp.316-329
- (2) R. Shewarz: "Accident Avoidance Characteristics of Unconventional Motorcycle Configuration" Society of Automotive Engineers, 1979
- (3) 井口雅一: "二輪車の運動力学" 機械の研究 7-8 1962
- (4) 井口雅一: "前後輪操舵二輪車の操安性についての基礎的研究" 自動車技術会論文集 No.32 April 1986
- (5) 永井正夫: "人間—二輪車の制御特性" 第9回制御理論シンポジウム May 26-28 1980
- (6) 大川光吉: "永久磁石回転機" 総合電子 1975

■著 者■



大 田 淳 朗



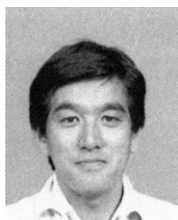
山 形 哲 雄



伊 藤 俊 文



根 布 秀 秋



内 馬 場 孝 一



藤 田 晴 康