

二輪車用電子制御ベルト式 CVT

“Honda S マチック”の開発

Development of Electronically Controlled Belt CVT “Honda S MATIC” for Motorcycles

阿 隅 通 雄*
Michio ASUMI
森 和 彦*
Kazuhiko MORI

石 川 秀 男*
Hideo ISHIKAWA
松 平 直 忠*
Naotada MATSUDAIRA

要 旨

2004 年モデルの FORZA において排気量 250 cm³ クラスのスクータで世界初の電子制御ベルト式 CVT システム（以下、Honda S マチックシステムという）を開発した。伝達系には摩擦係数の高いゴム製ベルトとアルミニウム合金プーリを採用し、従来のスクータと同一形態のユニットスイングエンジンに収納している。変速はドライブ側のプーリをモータによって駆動してドライブベルトのピッチ径を変化させておこなう。ライダーが選択できる変速モードを複数もたせることにより、平坦路、山岳路の走行に適應させた変速特性をもたせている。また、経年によるレシオ変化がないため、最高速度の低下が少ない、変速特性の変化がない、クラッチのつながりポイントの変化がないなどの利点もある。Honda S マチックシステムは、従来のベルト式 CVT では難しかった燃費、排気エミッション、静粛性と動力性能の両立を実現している。

ABSTRACT

World's first electronically controlled belt CVT System (hereinafter referred to as Honda S MATIC) for 250 cm³ class scooters has been developed in FORZA 2004 model. Honda S MATIC employed a rubber belt with a high friction coefficient and pulleys made of aluminum alloy. It was placed inside the unit-swing type engine, which is the same type as conventional scooters. For shift changing, pitch circle diameter of the driving pulley was adjusted by a motor. Preparing several selectable shift modes, suitable shifting characteristics could be obtained at flat road or mountain road. Furthermore, because of the elimination of ratio change due to aging, Honda S MATIC provides several advantages such as little reduction in maximum speed, no change in shifting characteristics, and no change in clutch connection point. Exceeding the conventional CVTs, Honda S MATIC has simultaneously satisfied low fuel consumption, low emissions, low noise and excellent engine performance.

1. まえがき

地球環境問題に対応して、排気エミッション低減、燃費向上の要求、及び上質感を得る静粛性向上の要求は年々高まっている。これらの要求と動力性能の向上は相反する傾向にあり、一つの変速特性のみが可能な従来のベルト式 CVT では限界があった。そこで、自由に変速特性を設定することができる電子制御ベルト式 CVT システム（以下、Honda S マチックシステムという）を開発した。Honda S マチックシステムを搭載するエンジンは、従来のスクータと同一形態のばね下ユニットスイングエンジンであり、軽量コンパクトに収め運動性能を損なわないようにしている。

本稿では、排気量 250 cm³ スクータ 2004 年モデルの FORZA に採用した Honda S マチックシステムの技術について紹介する。

2. 従来のベルト式 CVT 技術

スクータは以前からイーゼードライブを目的に、質量・性能・コストのトータルバランスが優れているベルト式 CVT を採用してきた。従来のベルト式 CVT の構造を Fig. 1 に示す。従来のベルト式 CVT はドライブ軸にあるウェイトローラにエンジン回転による遠心力が発生し、ムーバブルドライブフェースを軸方向に動かす推力に変換している。このドライブ側推力とドリブンプーリのスプリング荷重、及びトルクカムで発生するドリブン側推力のバランスによってベルトピッチ径が変化し変速する。これらの機械要素により変速特性は一義的に決定され、各スロットル開度に対するレシオを自由に設定することは困難であった。排気エミッション、燃費、静粛性向上にはエンジン回転が低い方が有利であるが、それでは動力性能には不利となる。

また、走行距離が増えるとベルトが磨耗しベルト幅が狭くなる。その結果ドライブ側ピッチ径は小さく、ドリブン側ピッチ径は大きくなり、レシオが低速側に変化するため、最高速度が低下してしまう。

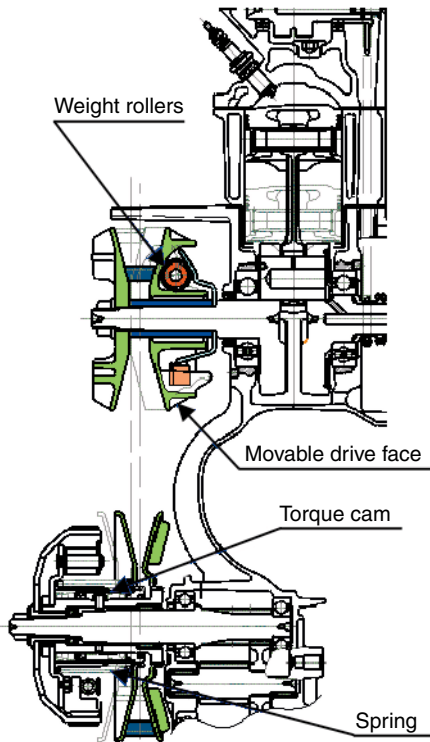


Fig. 1 Structure of conventional belt CVT

3. 基本構造と開発目標要件

Honda S マチックシステムを開発するにあたり、以下を目標にした。

- (1) 軽量コンパクトとすること。
- (2) 燃費、排気エミッション、静粛性と動力性能の両立した変速特性が設定できること。
- (3) 操作系が複雑にならないこと。

2004 年モデル FORZA ではオートマチックの 2 モードとマニュアルモードの合計 3 モードを持たせ、ライダーがスイッチを押すことにより、自由にモード切替えができ、走る楽しさを得られるように設定した。そのシステム概要を Fig. 2 に示す。ドライブ回転数、ドリブン回転数、プーリ位置、車速、及びスロットル開度を検出する各センサを備えており、レシオコントロールユニットがこれらのセンサ情報とスイッチ情報から制御目標を決定し、これに基づくモータ駆動でプーリ位置を制御している。機構全体の断面図を Fig. 3 に、ドライブ側変速機構部を Fig. 4 に示す。

モータに制御電流が流れ、モータが回転しリダクションギヤを介してムーバブルギヤまで伝達する。ムーバブルギヤの内径部には送りねじがあり、伝達された回転力を軸方向の力に変換し、ムーバブルドライブフェースを動かして変速させる。ムーバブルドライブフェースがスライドしながらエンジントルクを伝達する機構としてガイドキーを採用している。変速駆動部のギヤは無潤滑のため、ギヤ磨耗を考慮するとともに軽量化も兼ねて一部に樹脂ギヤを採用した。また、トルク伝達をするガイドキー部と送りねじ部はグリス潤滑とし作動性を確保している。

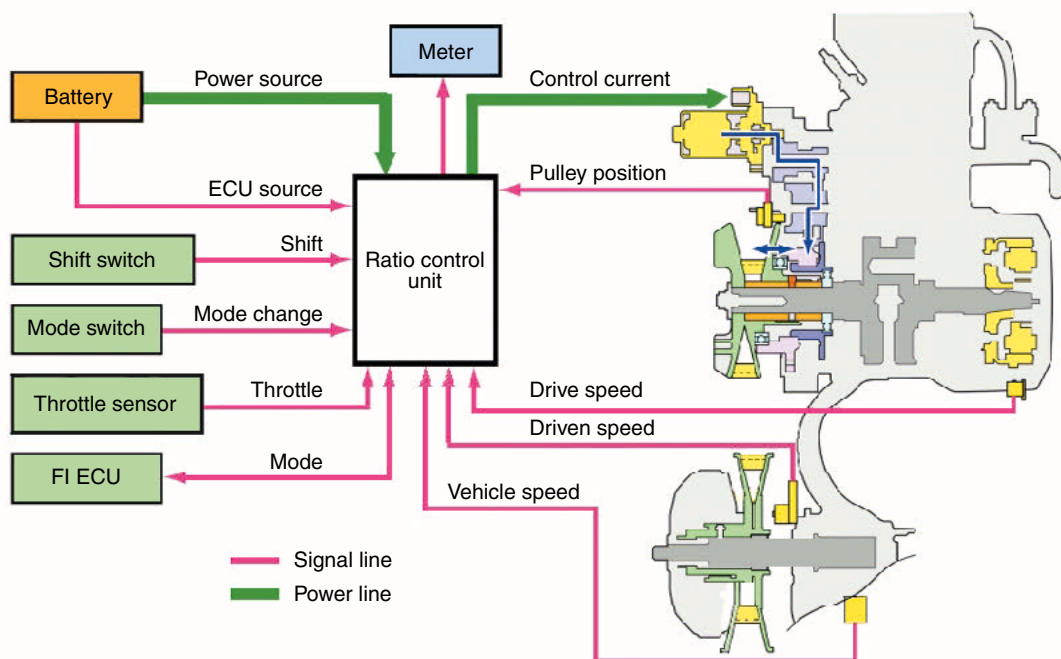


Fig. 2 Diagram of Honda S MATIC system

ベルト耐久性を考慮し、ベルト室の温度を下げるために外気を導入しており、水やダストの侵入があるので、その対策もおこなっている。ドリブン側の構造は基本的には、従来のベルト式CVTと同一構造であるが、プーリ回転数を検出するためのロータが追加されている。スクータはばね下のユニットスイングエンジンが一般的であるが、エンジンの重量は運動性能に影響するため軽いことが望まれる。従来のベルト式CVTの利点である小型軽量を維持するため、ゴムベルトを採用するとともにプーリはアルミニウム合金ダイカスト製とした。また、ムーバブルドライブフェースはボス部が鋼製でありアルミニウム合金のプーリに铸込んでピッチ径を小さく抑えワイドレシオとした。

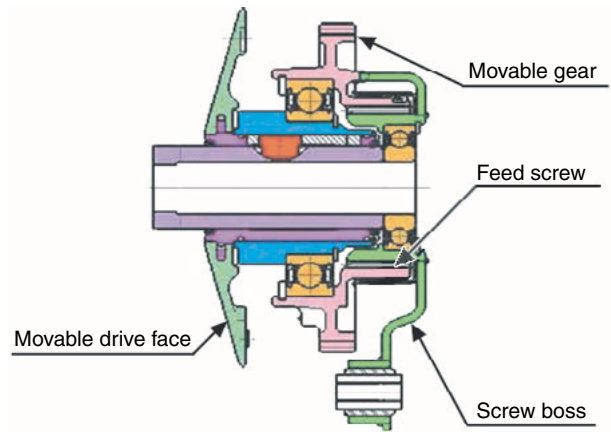


Fig. 4 Shift mechanism of drive side of Honda S MATIC

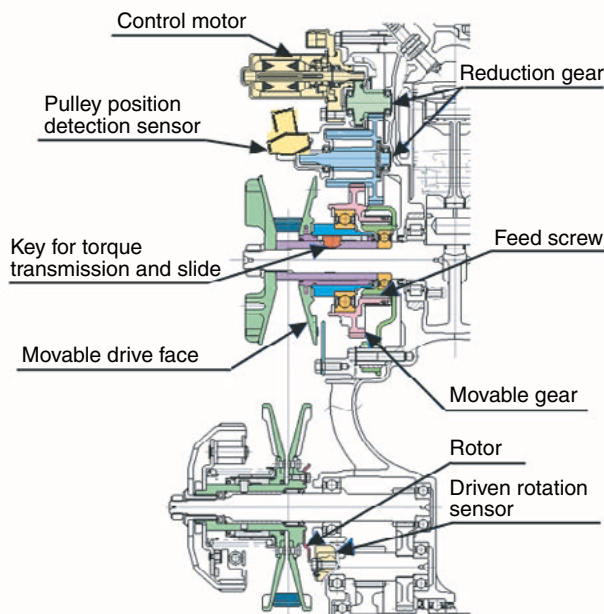


Fig. 3 Sectional view of Honda S MATIC mechanism

4. 各部仕様設定と性能

4.1. 制御に適したドライブベルトの選定

軽量コンパクトを達成するためにはドライブベルトの材質は、軽量で伝達できる摩擦係数の高いゴム製ベルトが不可欠である。ただし、レシオを制御する Honda S マチックシステムは従来のゴム製ベルトではスリップ率が大きく無負荷と全負荷のレシオ差が大きいため、制御を確実なものにするためにはゴム製ベルトのスリップ率を小さくすることが重要であった。Table 1 に 2000 年モデル FORZA と 2004 年モデル FORZA のドライブベルトの比較を示し、ドライブベルトの外観を Fig. 5 に示す。

Table 1 に示すように 2004 年モデル FORZA のドライブベルトは主に以下の三点を改良した。

(1) コグ形状の変更…シングルコグからダブルコグに変更

Table 1 Comparison of drive belt specifications

		2000 Model FORZA	2004 Model FORZA
Material of component	Upper canvas	Cotton canvas	Without canvas
	Upper rubber	Chloroprene rubber with thread	Chloroprene rubber with thread*
	Core wire	Polyester	Aromatic polyamide
	Bonding rubber	Chloroprene rubber	Chloroprene rubber
	Lower rubber	Chloroprene rubber with thread	Chloroprene rubber with thread*
	Reinforcements	With reinforcement	Without reinforcement
	Lower canvas	Polyamide canvas	Synthetic fabric mixed cotton canvas
Shape	Cog shape	Single cog	Double cog
	Upper width	Approximately 23 mm	Approximately 25 mm
	Thickness	Approximately 10.5 mm	Approximately 12.5 mm
	Angle	Approximately 30 degrees	Approximately 30 degrees
Ratio range		2.95	3.13

* : New compounded rubber which has two times strength of rubber elasticity rate for single cog

(2)心線の変更…ポリエステルから芳香族ポリアミドに変更

(3)上・下ゴムの変更…側圧強度を上げた配合ゴムに変更
ドライブベルトのスリップ率を代表的な LOW レシオと TOP レシオで比較したものを Fig. 6 に示す。2000 年モデル FORZA のシングルコグベルトでは LOW レシオで約 8% 以上のスリップ率があり TOP レシオで約 2% 以上のスリップ率がある。2004 年モデル FORZA は 2000 年モデル FORZA に対しドライブプリー側 LOW レシオのピッチ径を小さくし、レシオ幅を約 10% 広く設定しているのでスリップ率を少なくするには不利である。しかし、新構成材料と新形状のベルトを採用することにより、LOW レシオで約 4.5%，TOP レシオで約 1% のスリップ率が得られ、制御に適したベルトとすることができた。

4.2. 変速制御

2000 年モデル FORZA は、ベルト式 CVT(ハイパー V マチックシステム)を採用し、変速タイミングを二段階に変化させることで、それ以前のスクータに対し中速領域から高速領域へのつながりを改善していた。その結果、ス

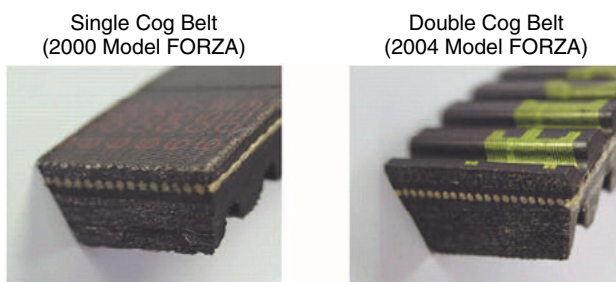


Fig. 5 External view of drive belt

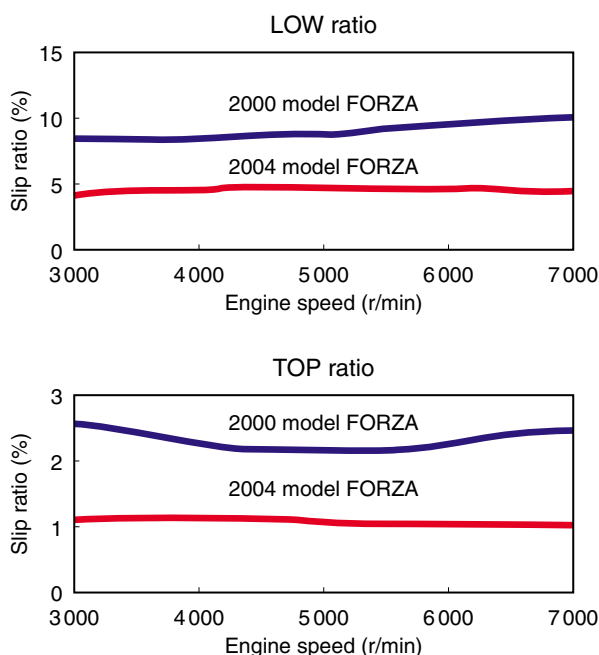


Fig. 6 Comparison of slip ratio of drive belt

ムースな加速により快適な走りを生み出していた。変速特性を Fig. 7 に示す。

さらに、2004 年モデル FORZA では走行モードにオートマチックの D モードと S モードの変速特性とマニュアルの M モードを設定することによって、使用できるエンジン回転数の領域を拡大し、よりスムーズな走りを得ることが可能となった。以下に各モードの特徴を説明する。

(1) D モード

D モードは変速域のエンジン回転数を低く抑えて燃費、排気エミッション、静粛性を向上させている。また、変速域を右上がり特性としスムーズな加速が得られるようにしている。変速特性を Fig. 8 に示す。D モードにおいて、ECE40 モード燃費は 2000 年モデル FORZA に対し約 10% 向上している。排気エミッションは国内規制値に対し、CO が 1/2, HC が 1/3 以下を達成している。モード燃費、排気エミッションのデータを Fig. 9 に示す。静粛性は、パーシャルスロットル開度でのエンジン回転を低く抑えることで 2000 年モデル FORZA に対し向上している。

(2) S モード

S モードも変速域を右上がり特性とし、Fig. 10 に示すように変速特性を D モードよりも LOW レシオをより大きく設定している。これにより、2000 年モデル FORZA に対し加速性能が Fig. 11 に示すように大幅に向上している。減速時は、レシオをより低速側に設定することにより、従来のスクータに対しエンジンブレーキの効果が出るようにしている。

(3) M モード

M モードは Fig. 12 に示すように六段階にレシオを固定できるマニュアルモードである。ライダーが自由に固定レシオを選択できることにより、登坂時の加速や、高速走行中での加速が容易に可能となった。また、シフトダウンすることによるエンジンブレーキの使用も可能である。

さらにライダーの使い勝手を考慮し制御面で、自動シフトダウン機能とシフト制限機能を持たせた。自動シフトダウン機能は、低い車速での走行快適性のために自動的に適したレシオにシフトダウンする機能であり、ライダーに違和感を与えない設定としている。シフト制限機能は、ライダーによるシフトアップ操作を制限するものと、シフトダウン操作を制限するものがあり、走行快適性が失われると推定される領域でシフト操作をおこなった場合には変速はおこなわれず、メータにシフト操作が制限中であることを液晶の部分点滅で知らせる。

4.3. レシオ変化

ベルトやプリー面が磨耗しても、その分プリー位置を変化させて設定したレシオになるように制御をおこなっている。その結果、ベルトピッチ径が変化しないので、プリー作動範囲に余裕がある限りレシオ変化はない。

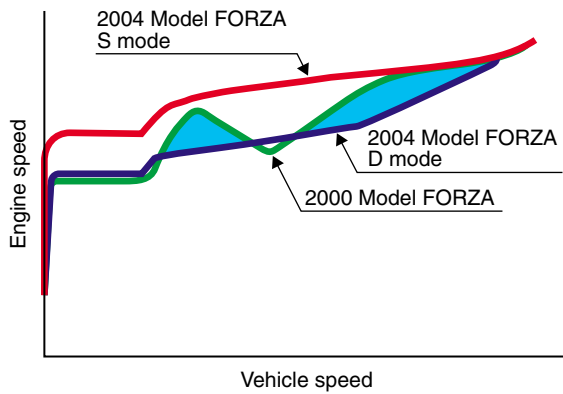


Fig. 7 Shift speed characteristics of HYPER V MATIC system

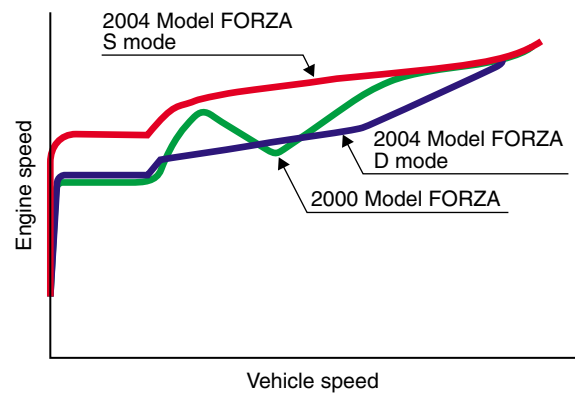


Fig. 10 Shift characteristics of S-mode

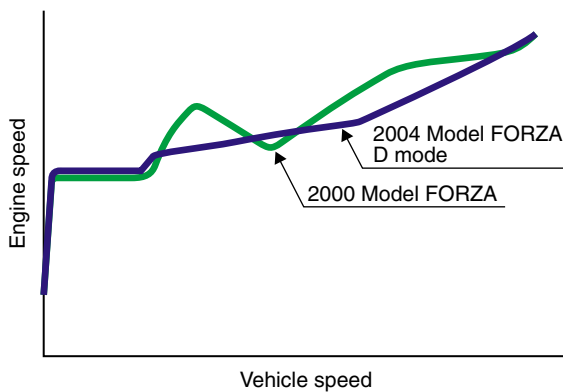


Fig. 8 Shift characteristics of D-mode

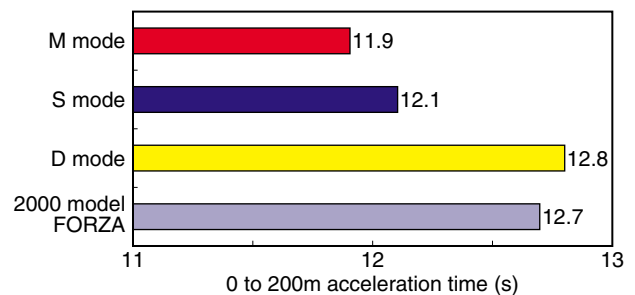


Fig. 11 Comparison of acceleration performances

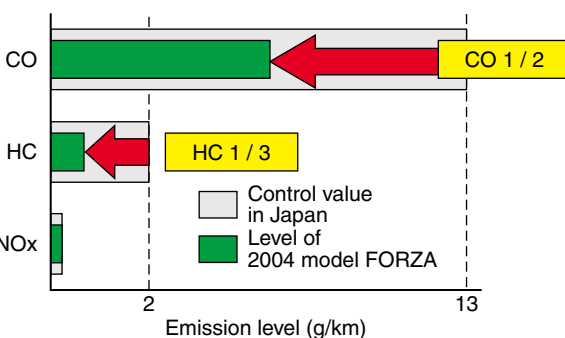
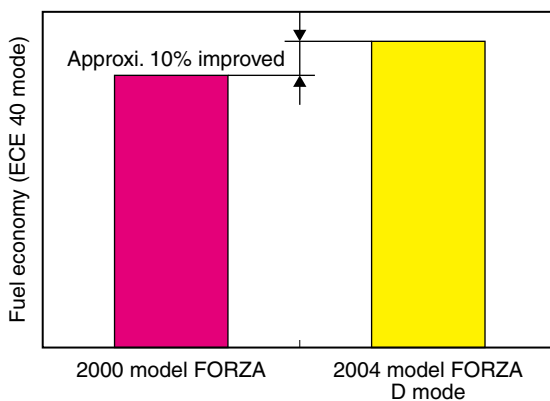


Fig. 9 Fuel consumption and exhaust emission during D-mode use

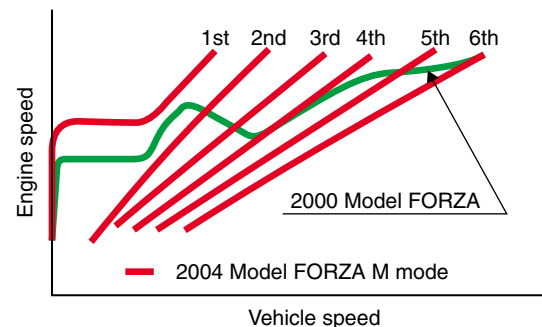


Fig. 12 Shift ratio of M-mode

4.4. 制御仕様

4.4.1. 制御の概要

基本的な制御の流れとしては、まずスロットルの開度及びその変位速度とドリブン回転数により目標ドライブ回転を算出する。次にこの値と現在のドライブ回転数との差分を求め、この差分からモータ制御指令値を決定しモータに対して通電制御をおこなっている。また、変速モードに応じたメータのインジケータ点灯及び、液晶にMモード時のシフトポジション表示をおこなっている。

変速モードそれぞれのねらいに最適化した燃料噴射・点火制御をおこなうため、レシオコントロールユニットからFIのECUに対して現在の変速モードを通知する機能を持っている。その他、ドライブプリーの可動範囲判定のためにプリー位置センサを使用している。Fig. 13に制御システムの概要図を示す。

4.4.2. 変速モードの切替え

変速モード切替え時、例えばDモードからSモードに切替える場合などの際の急激なレシオ変化がある場合に不快な変速ショックが発生する。これを防ぐため、レシオコントロールユニットではモード切替え時に緩やかにレシオを移行させる制御をおこなっている。Fig. 14に変速モード切替え時の制御概要を示す。

4.4.3. オートマチックからマニュアル切替

DモードまたはSモードからMモードに切替え時に最適なレシオを自動的に選択する機能を持っている。

4.5. Honda S マチックコントロール用スイッチ

スイッチ、レバー及びペダルなどの操作類は通常手元または足元で操作するが、Honda S マチックをコントロールするスイッチは操作性と足元の居住性を考慮して全て手元のハンドルに配置した。

Honda S マチック操作に要するスイッチは「オートマチックとマニュアル」を切替えるプッシュ式のモードスイッチ、Mモード時の「シフトアップとダウン」及びオートマチックの「DモードとSモード」を切替えるシーソー式のシフトスイッチの二つのノブ構成のシンプルなものにしてHonda S マチックシステムの魅力を簡単に引き出せるようにした。各スイッチを押したときの動作を Fig. 15 に示す。

各スイッチの配置は、運転中のライダーの視野に入るようにし、シフトスイッチは右手のスロットル操作と同時に操作しやすいように左側に配置し、シフトスイッチとの操作バランスを考慮して Fig. 16 に示すようにモードスイッチを右側に配置した。この配置によりウインカスイッチ等の既存スイッチの操作性を損なうことなくSマチックスイッチ自体の操作性を確保した。また、ハンドルスイッチの外観

形状を左右でほぼ同じサイズにすることが可能となりハンドルグリップ周りのデザイン性を向上させた。

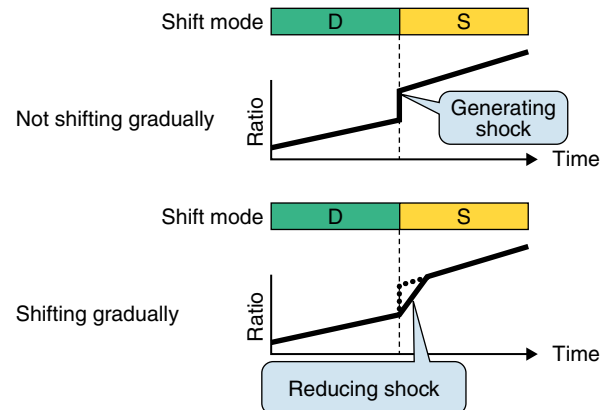


Fig. 14 Control concept of shifting modes

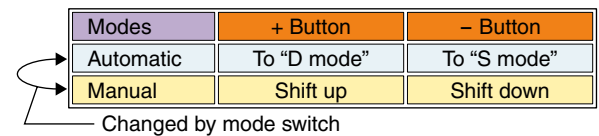


Fig. 15 Explanation of shift switch operation

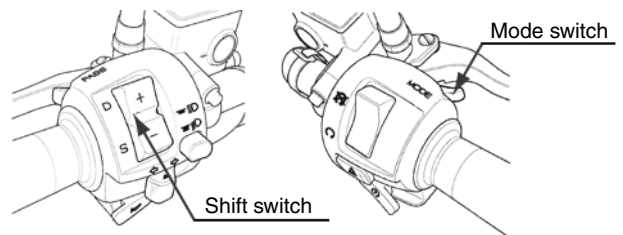


Fig. 16 Location of shift switch

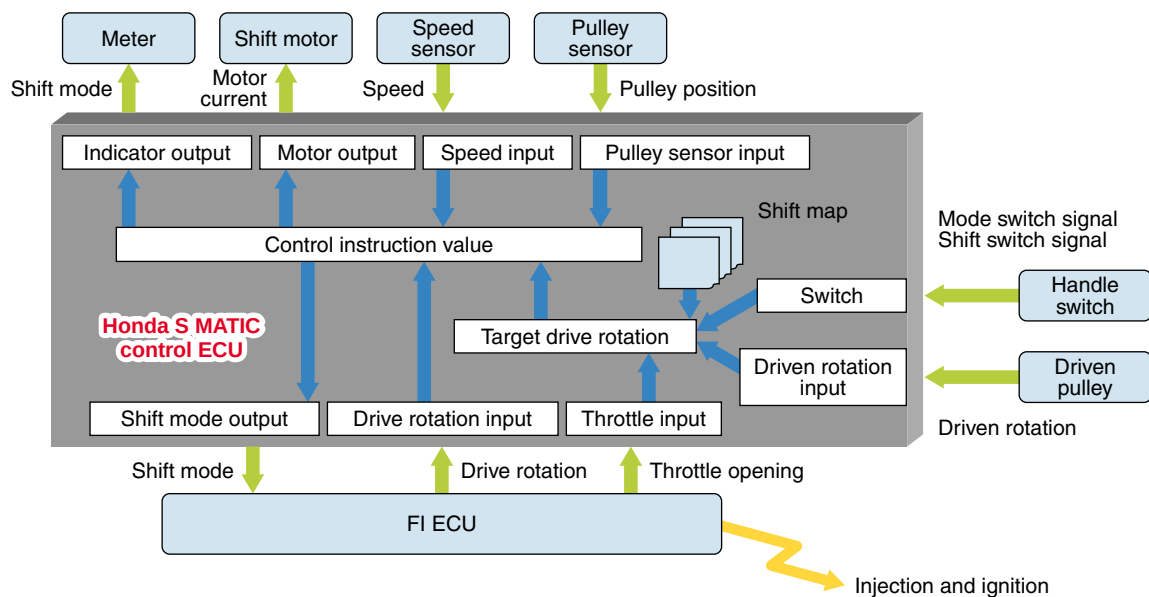


Fig. 13 Diagram of Honda S MATIC control flow

5. まとめ

従来のスクータと同一形態のばね下ユニットスイングエンジンに搭載した軽量な電子制御ベルト式CVTシステムを開発した。

- (1)ベルト式CVTを電子制御し、オートマチックの2モードを設定することにより、ライダーが状況に応じて変速特性を選択できるようになり、燃費、排気エミッション、静粛性など動力性能の両立が実現できた。
- (2)レシオが固定できるマニュアルモードを設定することにより、従来のスクータにはない加速性能とエンジンブレーキ性能を得ることができた。
- (3)走行モード切替え、及びシフト操作は全て手元でおこなえるようにして簡便な操作系を実現した。

謝 辞

本システムの成立に不可欠なドライブベルトがバンドー化学株式会社様のご協力のもとに開発できたことを感謝いたします。

■ 著 者 ■



阿隅 通雄



石川 秀男



森 和彦



松平 直忠