自動無段変速機「ECVT」*

岡村 實** 森本嘉彦**

Subaru ECVT (Electro Continuously Variable Transmission) /
Minoru OKAMURA and Yoshihiko MORIMOTO

Key words: continuously variable transmission, steel belt, electro-magnetic clutch, fuzzy control, hydraulic circuit

1. ま え が き

自動車用無段変速機 (CVT) は、古くから研究されてきたが、1979年に発表されたバン・ドールネ社のスチールベルト駆動方式を契機に、その開発が活発化し、あわせて近年のAT車の増加に伴い、「走り」と経済性を高いレベルでマッチングさせ得るシステムとして注目されてきた。

当社は、このバン・ドールネ社のスチールベルト駆動に、長年の技術蓄積をもつ電磁クラッチを組み合わせた「スバルECVT」を世界に先駆けて実用化し、1987年から「ジャスティ」、「レックス」に搭載し、市場導入を開始した。

本稿では、「スバルECVT」の構造とその技術的特長について概要を述べる。

2. 開発のねらい

スチールベルト式無段変速機の実用化にあたり、下記の項目を開発の目標とした。

- (1) MT車に近い動力性能と高い経済性を実現すること。
- (2) 滑らかな運転性と応答性の良い変速制御を得ること。
- (3) 軽自動車への搭載も前提に、かつ基本寸法をMT車と同一にし、車載互換性を持たせること。
- (4) 新機構であるベルト・プーリ部を含め、十分な耐久・信頼性を得ること。

これらの主要な開発目標を達成するために、全体レイアウトの検討を種々行った結果、電磁クラッチの選択、軽量、コンパクトなレイアウトの採用、燃費・動力性能に最も影響の大きい油圧制御機構の開発がポイントになった。

3. 構造と特長

3.1 全体構造

表1に主要諸元を示す。

ECVTは、電磁クラッチ、前後進切換機構、ベルト・プーリ機構、デフを含む減速装置、油圧制御装置の5要素より構成されている (図1)。

これらの要素を構成するに当たり設計上特に留意した点は、

- (1) 電磁クラッチは軽量化と放熱性を良好にするため、励磁コイルをドリブンメンバ側に配置した。

表1 ジャスティ ECVT 主要諸元

許容入力トルク	10 kg・m
クラッチ形式	電子制御電磁クラッチ
変速比	前進 2.503~0.497 (5.04:1) 後退 2.475
減速比	第1 1.275 第2 FWD: 4.352, 4WD: 4.666
オイルポンプ	外歯式インボリュートギヤポンプ
潤滑油	自動変速機油 (ATF)
セレクト方式	P-R-N-D-D _s 5ポジション直線フロアシフト方式

* 原稿受付 平成元年3月10日

** 富士重工(株) (三鷹市大沢3-9-6)

図1 スバル ECVT (4WD)

- (2) 変速比幅 5.0 以上の確保を前提に、クランク軸とアクスル軸間寸法 (図1の L) とクランク軸取付面とデフ中心間の距離 (図1の M) を MT と同一にした。
- (3) ベルト駆動部と減速機部を分離し、ベルト損傷時の2次故障に対処した。
- (4) オイルポンプ、コントロールバルブブロック、プライマリプーリ室を近接配置し、変速応答性の迅速化を図った。

ことである。

3.2 発進クラッチ

自動車 CVT のクラッチには、①軽量・コンパクト、②高い伝達効率、③良好な制御性、等が要求され、発進クラッチの選択は、CVT にとって重要な技術課題の一つであった。電磁クラッチは、これらの要件を満たし、かつ電流のオン・オフだけで動力の遮断機能と直結機能が得られるので、CVT 用の発進ク

ラッチとしての適合性は高い。

また、発進クラッチ制御と CVT 制御部を完全に独立することで、全体の信頼性向上が図れた。

3.3 ベルト・プーリ機構

パン・ドールネ社製のスチールベルトは、図2に示すように約 280 枚のブロックと 10 枚重ねの 2 組のスチールバンドより構成されている。

一般のゴムやチェーンのベルトが引張方式で動力を伝達するのに対して、このベルトの特長は、動力をリングによって支持されたブロック間の圧縮で伝えるため、チェーン方式のようにリンケージ部に伝達荷重が集中することなく、ブロック全体に分散されるため耐久上も有利な部品構成となっている。

スチールバンドは、耐摩耗性と耐強じん性が要求されるため高純度のマレージング鋼が使用され、ブロックは、動力伝達時に応力集中のない好ましい形状をしていることが FEM 解析により確認されている。

図2 スチールベルト

なお本ベルトは、運転中の入出力プーリ間における直進性の維持が重要で、従来の自動車部品に比し、より高い精度が要求されており、パン・ドールネ社の厳密な品質管理のもとに当社に出荷されている。

3.4 油圧制御機構

エンジンにより直接駆動されるオイルポンプを油圧源として、出力側プーリにライン圧を加えてトルク伝達に必要な張力を保ち、入力側プーリに変速制御用油圧（プライマリ圧）を加えて変速制御を行っている。

ライン圧制御バルブは、エンジンコントロールユニットからの信号を基に作動するソレノイドバルブを有し、エンジンの負荷に応じてライン圧を高圧・低圧の2段階に可変となる制御をしている。

図3 ECVT システムの構成

4. 制御システム

ECVT 制御システムの全体構成を図3に示す。

4.1 電磁クラッチ制御

電磁クラッチの伝達力は、励磁コイルに流す電流値により一義的に決まるとの特長を有している。この電流をエンジン回転数、車速、アクセルペダル操作等を入力信号とし、発進、停止、切換えの基本動作に、クラッチのロックアップと再結合等の過渡動作を織り込みマイクロコンピュータにより制御している。

発進時の伝達トルクは、下式に基づき制御される。

$$T \propto f_1(N, t) \times f_2(I) = f_1(N, t) \times f_2(N, dN/dt)$$

ここで、 T : 伝達トルク、 N : エンジン回転数、 I : 励磁電流、 t : 時間。

これによりチョーク作動時等のハイアイドル状態でのスムーズな発進も可能としている。

4.2 変速制御

アクセル開度とエンジン回転数を信号源にして、プ

図4 変速特性

ライマリプーリへのライン圧の流量を制御しながらプライマリプーリの可動シープの位置決めを行い、プーリ比を制御する。変速開始点はアクセル開度により決定され、図4に示す特性となる。

過渡応答のおもな具体例として、図中矢印で示すキックダウン (KD) (A 方向) および急ブレーキ時

図5 電子制御 CVT システムの構成

のダウンシフトスピード制御（B 方向）の2形態がある。KD時の変速速度（ di/dt ， i ：プーリ比）はプライマリプーリ室からシフトコントロールバルブへの排出流量（ dQ/dt ）により決まるが、変速過程でショックなくメリハリの効いた好ましい加速感を得るためには、目標変換比（アクセル開度）、エンジン出力、車体慣性などとのマッチングが必要となる。

一方、急ブレーキング時は車両停止までに確実にLowへの復帰が必要なため、最大変速速度が要求される。

5. CVTの電子制御

現在のECVTは、ハイドロメカニカル制御だが、電子制御について一言触れておきたい。

CVT電子制御システムの構成を図5に示す。発進装置である電磁クラッチ、ライン圧、及び、変速の3制御を8ビット系MPUにより行っている。プライマリ、セカンダリプーリ回転数、及び、スロットル開度を主な入力信号とし、さらに、ライン圧、変速制御用アクチュエータにデューティソレノイドを用いている。

CVTの重要な要素である「変速比をどういう速度で変化させるか」は電子制御においては必ず必要な項目であり、機械式制御に対し多くのメリットを持っている。当社はその1つの実現方法として、ファジィ推論を導入し、ドライバの加速要求の大きさ、車両状態を推論し、変速比の動きに変換させることにした。

変速比の変化量を、下式のように推論した（図6）。

$$\frac{di}{dt} = K_1 \times K_2 \times (it - i) + Kt \times \frac{dit}{dt}$$

図6 ファジィ推論のパラメータ

ここで、 it ：目標変速比、 i ：実変速比、 K_1, K_2 ：ファジィ推論係数、 Kt ：補正係数

これにより、滑らかさとレスポンスの両立を可能としドライバビリティの向上が実現でき、燃費、動力性能等の面でもこの電子制御によりかなり向上が期待出来るであろう。

6. あとがき

今後ともより高度な制御技術の導入を図りながら、CVTの有する高い技術ポテンシャルを更に生かすべく改良をつづけていきたい。

最後に ECVT を紹介する機会が得られたことにに対し深く感謝するとともに、本稿がお役に立てば幸いです。

参考文献

- 1) 高野俊夫，岡村 實：「スバル ECVT」自動無段変速機，内燃機関，26，9（1987）43。
- 2) 森本嘉彦：無段変速機用電子制御システムの開発，自技会動力伝達系シンポジウム前刷，12（1988）1。