

ハイブリッドカー「インサイト」用 コンパクト CVT の開発

Development of a Compact CVT for a Hybrid Car – Insight

太田 庄次*	國井 久史*	角 誠*
Shouji OHTA	Hisashi KUNII	Makoto SUMI
藤本 修一*	山口 徹朗*	
Shuichi FUJIMOTO	Tetsuro YAMAGUCHI	

要 旨

ハイブリッドカー「インサイト」に採用された CVT は当社の従来 CVT の基本構造を踏襲しながら軽量コンパクトおよび高効率をねらいとして開発されたものである。本 CVT はプーリー側圧ダイレクト制御システム、異径ドライブ・ドリブンプーリーピストンの採用によるライン油圧の最適化を行い、さらに潤滑圧制御等による各部フリクションの低減、レシオレンジの拡大とエンジン、モータとの協調制御により高効率化をはかった。またシングルピニオンプラネタリギヤによる前後進切り替え機構の採用等により、部品点数の削減もはかった。

ABSTRACT

The CVT used in a hybrid car – Insight was developed using the basic construction of this company's conventional CVT but with the aim of lighter weight, smaller size, and greater efficiency. This CVT optimizes line hydraulic pressure by utilizing a direct control system for pulley hydraulic pressures and differentiated drive-driven pulley pistons. The mechanism also uses such means as lubricant pressure control to reduce friction in each part, expand the ratio range, and improve the efficiency of engine-motor cooperative control. The utilization of such devices as a forward-reverse select mechanism that operates with a single-pinion planetary gear further served to reduce the number of parts.

1. はじめに

96 年モデルのシビックに搭載した CVT (以下従来 CVT と記す) はドリブンプーリー軸に発進クラッチを配置した独自の構造と、発進・変速・ベルト側圧の 3 要素を電子制御化することにより、ドライバビリティと燃費を両立させたオートマチックトランスミッションである⁽¹⁾。99 年モデルには登り降りの多い道でも最適な変速比を選択しコントロールするプロスマティックを採用してさらに商品性を向上させ、4WD もバリエーションとして追加した。

CVT は高い燃費性能を有しているが、更なるフリクションの低減、効率の向上とコスト低減に関してシビックの発売以降研究を続けてきた。

今回「インサイト」に搭載した本 CVT を開発するに当たりこれらの研究した成果である新技術を IMA (Integrated

Motor Assist) システム、低空力軽量アルミボデーと組み合わせて 32km/l という超低燃費を実現した⁽²⁾。本 CVT に関してはこれまでにいくつか紹介されているが^{(3)~(5)}本稿では従来 CVT からの変更点を中心に述べる。

2. 開発のねらい

今回 IMA システムと組み合わせて「インサイト」に搭載する本 CVT を開発するにあたり、ねらいは燃費の向上である。この燃費向上にはフリクションの低減とレシオレンジ拡大が有効である⁽⁶⁾。本 CVT はベルトフリクションの低減、オイルポンプ負荷の低減等による高効率化とレシオレンジ拡大による燃費向上に取り組むとともに、「インサイト」のために最適化した軽量コンパクト化も行った。また部品点数の削減による商品性の向上もねらいとした。

*栃木研究所

3. 基本諸元および基本構造

本 CVT の基本諸元を Table 1 に示す。従来 CVT に対して全長で 23mm 短く重量は 7% 軽くなっている。またレシオレンジは 5.5 から 6.0 としワイドレシオ化を図っている。

Table 1 CVT specifications

Transmission ratio		Insight	Current CIVIC
	Forward	2.441~0.407	2.466~0.449
	Reverse	4.401~2.441	2.466
	Final	5.688	5.809
Belt axis length (mm)		143	155
Transmission length (mm)		351	374
Transmission weight [wet] (kg)		72.3	79.5

本 CVT の主断面を Fig.1 に制御システムを Fig.2 に示す。まず Fig.1 をもとに構造の特徴について述べる。

3.1. 入力部

エンジンとモータの駆動トルクはロータに結合されたドライブプレートより入力されデュアルマスフライホイール

によってトルク変動を減衰され、インプットシャフトに伝達される。ドライブプレートにはモータの位相を検知するセンサプレートが結合されている。インプットシャフトは従来 CVT と同様にチェーンによりオイルポンプを駆動している。また従来インプットシャフトに結合されていた電気系故障時における発進クラッチ制御バックアップのためのピトーフランジは、後述する油圧回路内バックアップシステムに置き換えている。

3.2. 前後進切り替え部

インプットシャフトは前後進切り替え機構に結合されフォワードクラッチとリバースブレーキへの油圧の断続によりニュートラル、前進、後退を切り替える。前後進切り替え機構は今回、従来のダブルピニオンプラネタリギヤからシングルピニオンプラネタリギヤに変更しギヤの噛み合箇所を 2/3 にするとともに、かみ合周波数を 1/2 にすることにより高周波音を低減し後退時のギヤ音を低減し商品性を向上させた。またシングルピニオンプラネタリギヤの採用により減速比が 1.8 倍となるが、後述するエンジンとの協調制御と素早い変速により金属ベルトへの負荷を軽減し後退時のドライバビリティを向上させた。Fig.3 に従来 CVT との比較を示す。

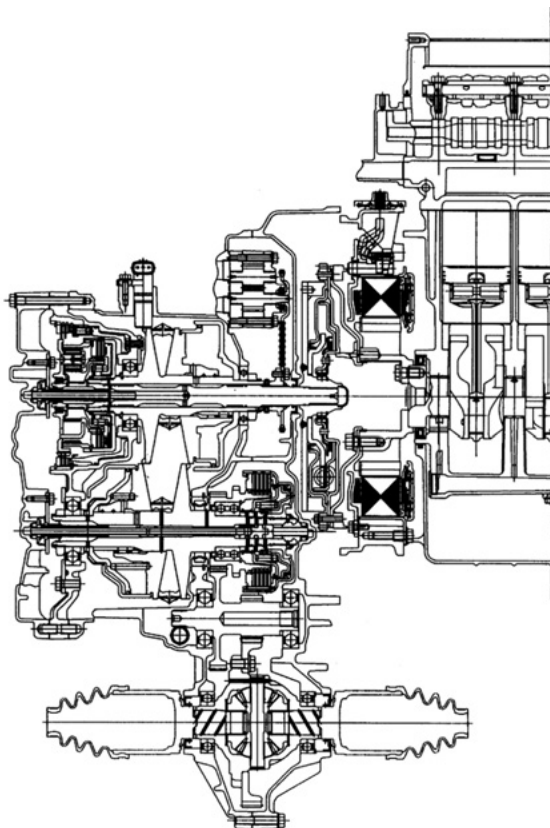


Fig.1 Insight CVT Main section

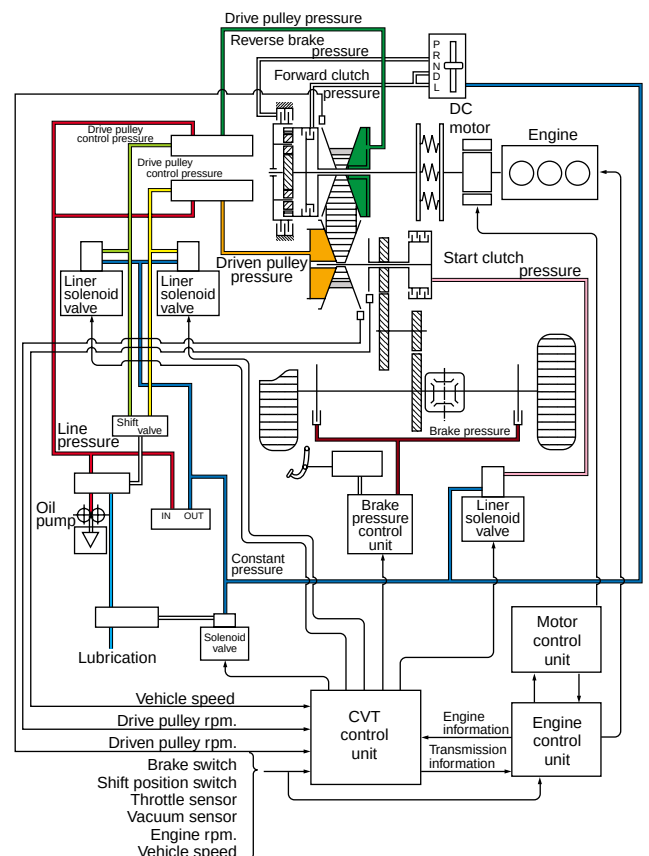


Fig.2 Insight CVT System drawing

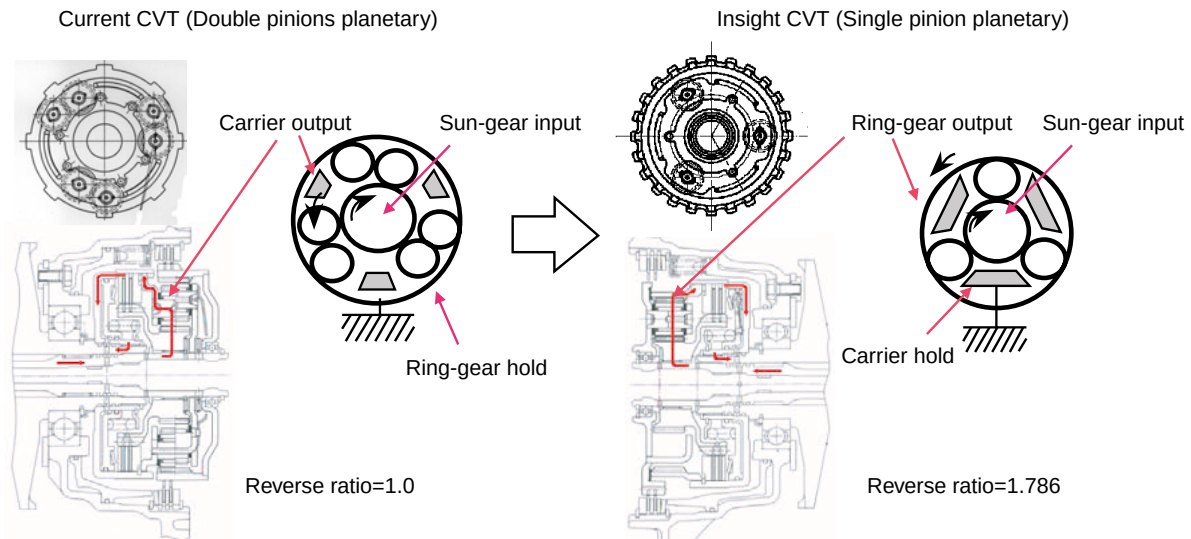


Fig.3 Reverse system comparison

3.3. 変速部

前後進切り替え機構を経た駆動トルクは金属ベルトによりドライブプーリーからドリブンプーリーに変速し伝達される。CVT の基本諸元となるプーリー軸間距離は従来シビックの 155mm に対して IMA の出力特性から最適値である 143mm とした。これによりハウジングとプーリー周りのコンパクト化と軽量化がはかれた。

金属ベルトは Van Doornes Transmission 社の新しいエレメントの形状で、リングを 2 列 12 枚から 2 列 9 枚に変更しフリクションを低減したものを採用した。ピストン形状はプーリー側圧ダイレクト制御システムを最大限に生かすためドライブとドリブンの外径を異なるサイズとし、通常軸推力が大きくなるドライブ側のピストンサイズを面積比でドリブン側の 1.3 倍としてクルーズ時のオイルポンプ負荷を低減した。(Fig.4 参照)

3.4. 発進クラッチ部

基本構造は従来 CVT を踏襲しているがアイドル停止からの再発進時に油圧が発生していない状態から素早く立ち上げ、発進可能な状態にする必要があり、バルブボデーのシール性向上や油圧経路の短縮によるデッドボリュームの削減と制御精度を向上させることにより素早くスムーズな発進を可能とした。

3.5. 最終減速部

セカンダリーギヤはねじれ方向を回転方向に対して従来 CVT と逆にして減速時のギヤのリード倒れ相対変位を減少させることにより、減速時のトルク変動によって生じるギヤ音の変化を低減させている。今回デファレンシャルギヤを小型化するとともに、デファレンシャルケースの FEM 解析により徹底的な軽量化を図り同クラスのデファレンシャルに対して約 5% の軽量化ができた。

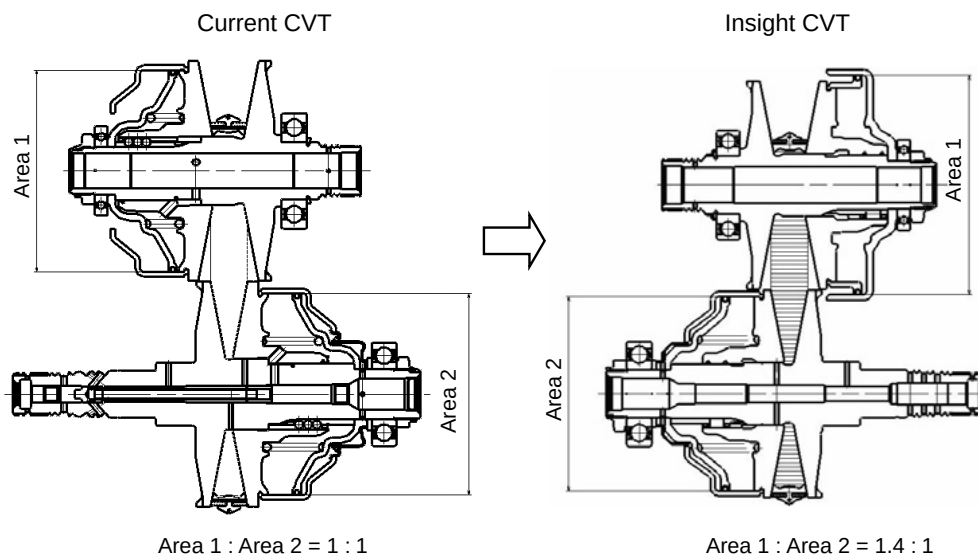


Fig.4 Pulley system comparison

3.6. 油圧制御システム

次に制御システムについて説明する。Fig.5に油圧回路図を示す。従来CVTではプーリ側圧を制御する側圧制御系とドライブ・ドリブン各プーリの軸推力を制御する変速制御系の構成となっていたが、今回ドライブ・ドリブン各プーリ側圧をおのおの独立して制御するプーリ側圧ダイレクト制御に変更している。これによりどのような走行状態においてもドライブ・ドリブンプーリ油圧を最適とすることが

でき、オイルポンプ負荷を大幅に低減できた。Fig.6に従来との比較を示す。

油圧制御システムは以下の構成となっている。

3.6.1. プーリ側圧制御系

従来 CVT の制御方式では四方弁により高圧、低圧の2系統の制御油圧を入力トルクと変速比に応じてドライブ・ドリブンプーリに分配していた。今回採用したプーリ側圧ダイレクト制御方式ではドライブ・ドリブンプーリの各側

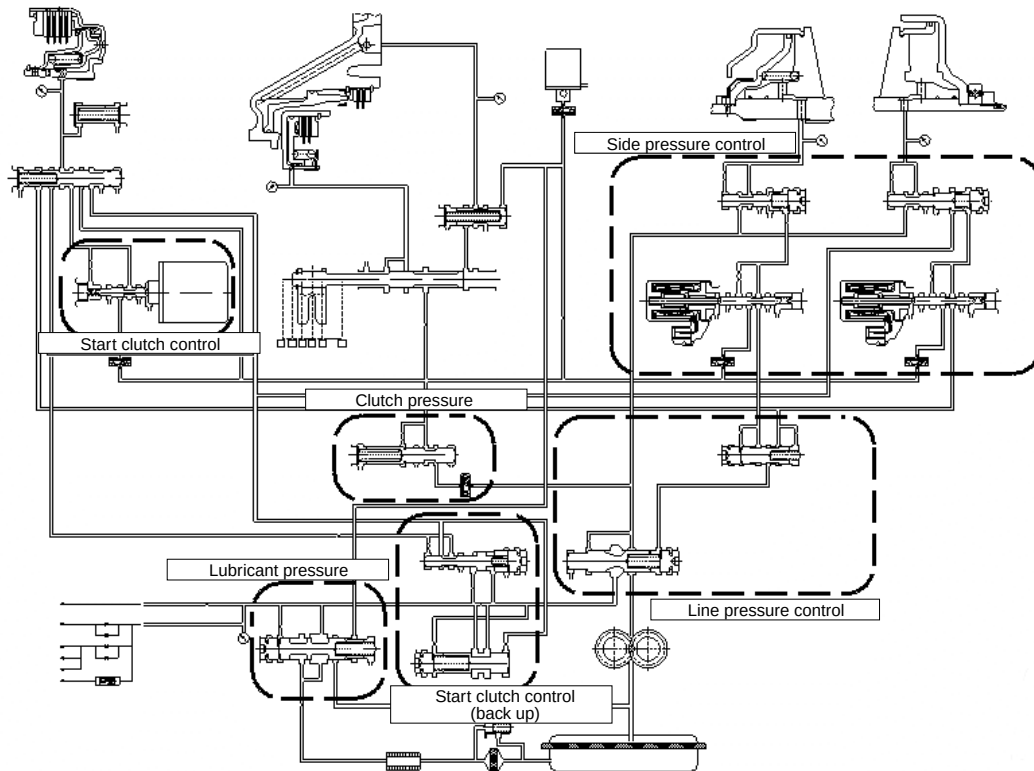


Fig.5 Hydraulic circuit

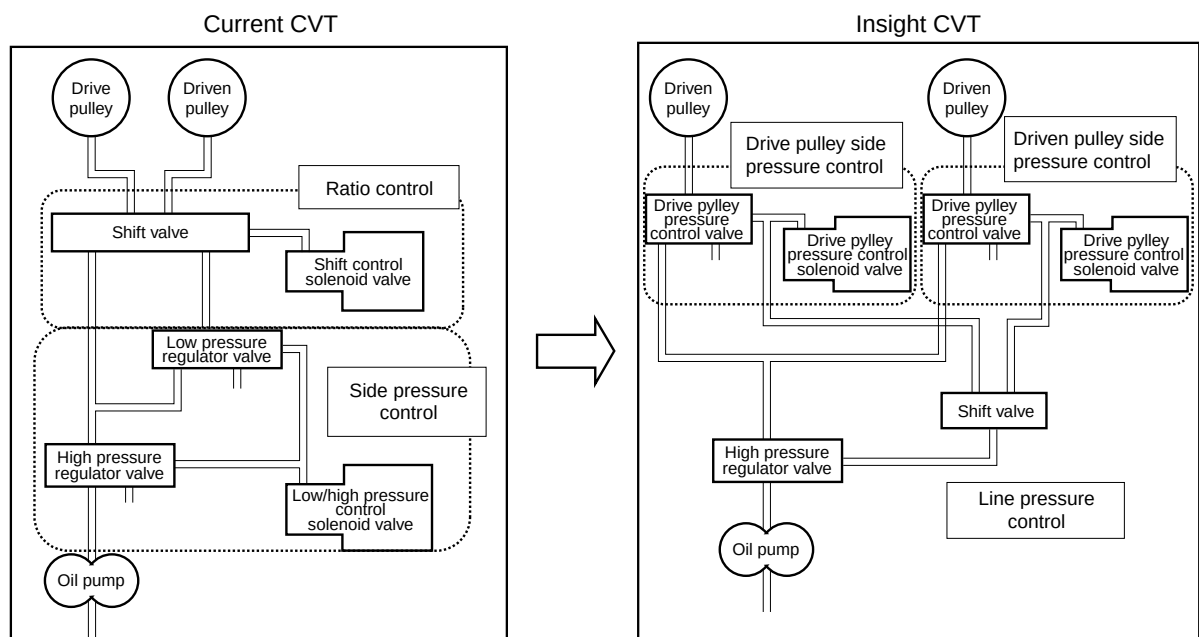


Fig.6 Pressure control system

圧はそれぞれ独立したリニアソレノイドバルブの信号圧によりライン圧を調圧し各々のピストンに供給される。

3.6.2. ライン圧制御系

従来方式では、プーリがトルク伝達するために必要な側圧である低圧と、これに変速に必要な差圧を加えた高圧をリニアソレノイドバルブの信号圧により制御する構造となっている。この差圧は急変速時に必要な油圧差であり、通常走行時では余剰油圧となっていた。今回オイルポンプからの油圧はレギュレータバルブによって調圧され、ドライブプーリコントロールバルブ及びドリブンコントロールバルブにそれぞれに供給される。レギュレータバルブはドライブ・ドリブンプーリそれぞれの油圧をコントロールするリニアソレノイドバルブ信号圧のいずれか高い方の圧力をシフトバルブによって選択し、制御信号圧としてライン圧を制御している。これによりライン圧はプーリ必要圧に最低限の余裕圧を加えたものとなり、余剰油圧を低減できた。(Fig.7 参照)

3.6.3. クラッチ圧制御系

クラッチ圧は、ライン圧を元圧としてモジュレータバルブにより減圧された油圧が供給されている。その油圧は

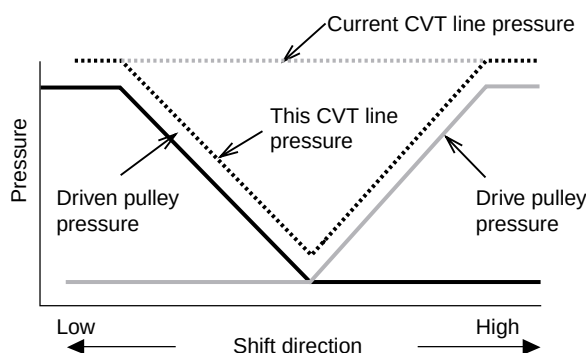


Fig.7 Pulley and line pressure

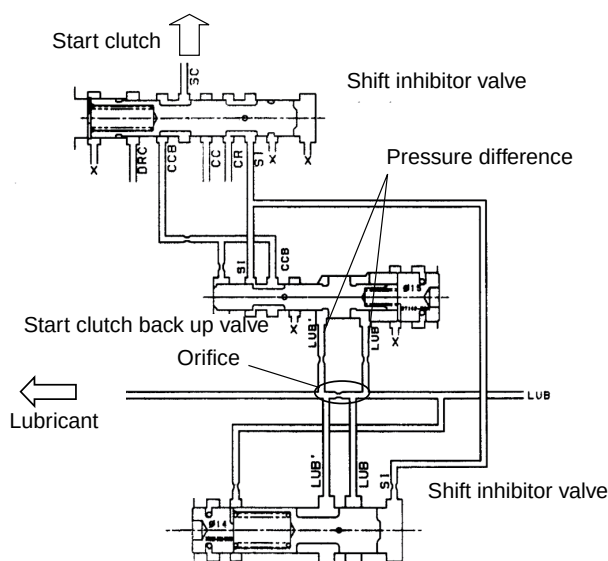
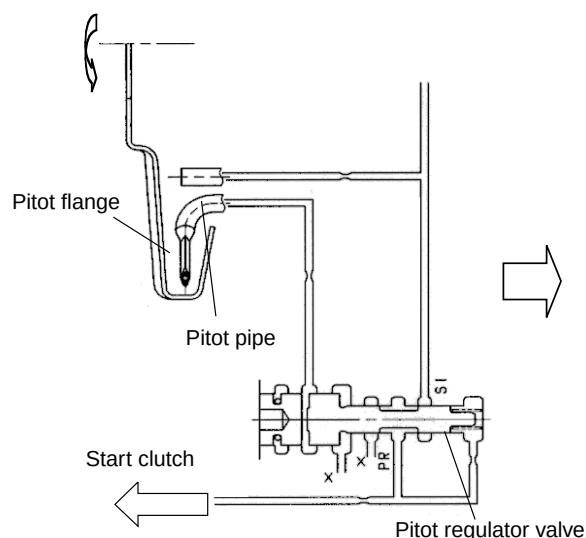


Fig.8 Starting clutch back up system

フォワードクラッチ、リバースブレーキおよび発進クラッチ制御用リニアソレノイドバルブの元圧として使用されている。

3.6.4. 発進クラッチ制御系

発進クラッチは従来 CVT と同様にリニアソレノイドバルブにより調圧し制御される。

3.6.5. 潤滑圧切り替え制御部

オイルのかくはん抵抗を低減するために潤滑圧切り替え制御を採用した。かくはん抵抗の低減にはトランスミッション内の油面高さを極力低くすることが有効である。油面高さは低温時にエアレーションが発生しないように決められるが、高温時には油面が高くなりかくはん抵抗が増加していた。そこで潤滑油圧を制御して潤滑流量をコントロールし油面高さを最適化することにより、かくはん抵抗を削減した。潤滑圧は油温、車速の条件によりソレノイドバルブを制御し潤滑圧制御バルブへの信号圧を切り替えることにより行う。本制御は従来リバースインヒビターソレノイドバルブの制御ロジックの組み合わせにより、デバイスを追加することなく実現している。

3.6.6. 発進クラッチバックアップ部

本制御部は電子制御系のバックアップ機能として、電子制御から油圧制御に切り替わり走行性能を保証するためのシステムである。従来CVTのバックアップシステムはインプットシャフトに設けられたピトーフランジに発生するエンジン回転数に応じた全圧を用いたガバナ回路により発進クラッチをコントロールしていた。ピトーフランジは常時回転しているためフリクションの原因となっていた。今回ピトーシステムと同機能のシステムを制御ボディ内に設けた。エンジンの回転数に応じ潤滑流量が変化することに着目し、Fig.8に示すように潤滑油がオリフィスを通過することによって生じた差圧を、バックアップ用クラッチ圧制

御弁の両端に加えることにより回転数に応じた発進クラッチ圧制御を行っている。これによりピトーフランジが不要になりフリクションを低減することができ部品点数の削減もできた。

3.7. 電子制御システム

CVTコントロールユニットは各種のセンサ及びエンジンコントロールユニットからのさまざまな入力信号を演算し、CVTを制御する三つのリニアソレノイドと一つのON/OFFソレノイドを駆動するとともに、坂道発進補助ブレーキシステム用の二つの ON/OFF ソレノイドを駆動する。またエンジンコントロールユニットと通信を行いアイドル停止関連の協調制御を行っている。以下にその機能について説明する。

3.7.1. 入力センサ

各部回転センサとしてドライブプリー回転センサ、ドリブンプリー回転センサ、車速センサ及びバックアップとしてスピードメータセンサを使用している。またエンジンからエンジン回転信号も得ている。トランスミッション側の回転センサは半導体方式のものに変更し、回転検出精度の向上をはかり極低速での検出を可能にしている。

操作系センサはシフトポジション信号、モードスイッチ信号、スロットル開度信号、ブレーキ信号を検出している。ブレーキセンサは、ブレーキが踏まれているか否かを判断し、後述するオートアイドルストップの判断やエンジン再始動の信号として使用されている。またエンジンの出力トルク推定用に、エンジン吸気管負圧を検出している。

3.7.2. 出力デバイス

出力デバイスとしてはドライブプリー圧、ドリブンプリー圧及び発進クラッチ圧をそれぞれコントロールする三つのリニアソレノイドと、リバースインヒビタ制御と潤滑圧切り替えを兼ねた一つの ON/OFF ソレノイドを CVT 内に備えている。これらに加え坂道発進補助ブレーキシステムを制御する二つの ON/OFF ソレノイドにより、ブレーキ油圧の保持と開放を行っている。アイドリング時に自動的にエンジンを停止するオートアイドルストップ中はクリープトルクが発生しないため、本システムによりブレーキ圧を一定時間保持しアイドル停止状態からの坂道発進においても従来同等の操作性を確保している。

3.7.3. 通信系

CVT コントロールユニットはエンジンコントロールユニットと種々の情報交換することにより協調制御を行っている。エンジンコントロールユニットからは吸気管負圧等の情報に加えてモータトルクの情報、CVTコントロールユニットからはシフト情報とリバース時のリタード要求をまた相互にアイドル停止信号をやり取りしている。

3.7.4. プリー側圧制御

従来制御は、入力トルクとレシオをパラメータとして目標側圧を演算しコントロールバルブを制御する側圧制御と目標エンジン回転数になるよう四方弁を制御する変速制御となっていたが、今回側圧制御システムは、プリー側圧ダイレクト制御を採用しドライブプリー圧・ドリブンプリー圧を独立して制御するために Fig.9 に示すような制御構成とした。

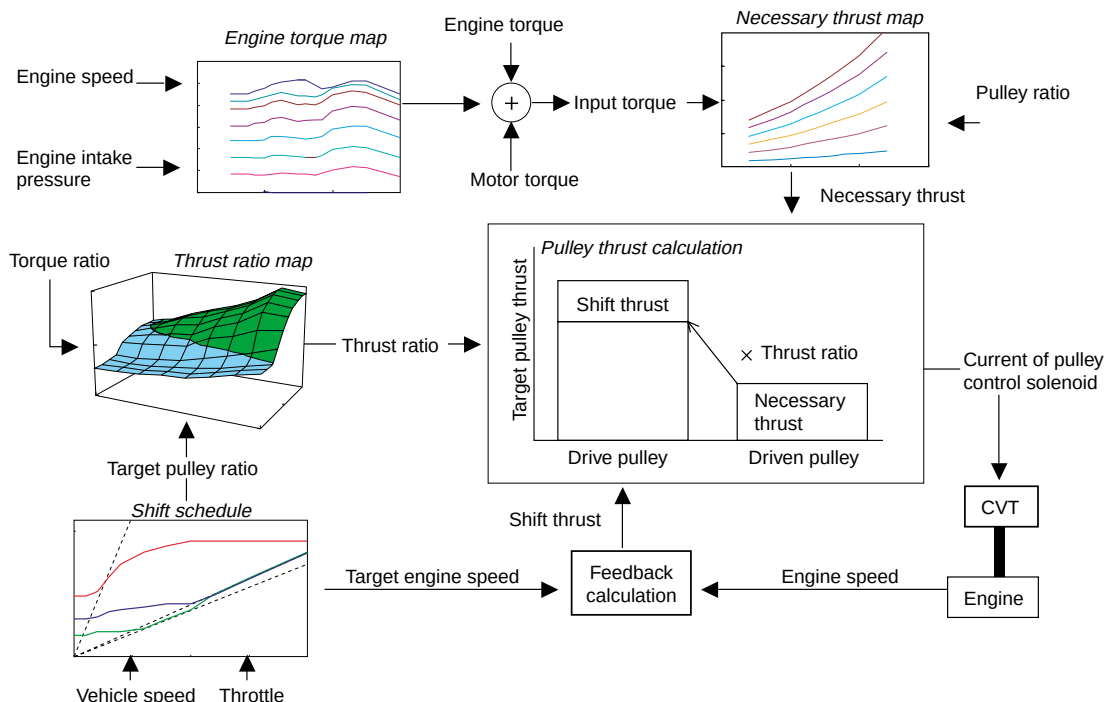


Fig.9 Pulley control block diagram

プーリレシオと入力トルク(エンジントルクとモータトルクの合計)から必要軸推力を演算する。シフトスケジュールにより車速とスロットル開度に応じて目標エンジン回転数を決定し、その制御に必要な軸推力比を推力比マップより設定する。目標エンジン回転数との誤差を修正するために変速推力をフィードバック演算する。以上より目標ドライブ・ドリブンプーリ推力を求めそれぞれのコントロールソレノイドの駆動電流を決定しプーリ側圧を制御する。

3.8. オートアイドルストップ時の CVT 制御

オートアイドルストップ時は CVT コントロールユニットからエンジンコントロールユニットに対してアイドル停止許可信号と、エンジンをスムーズに停止させるために強制回生許可信号を送っている。再発進時は発進クラッチの残留圧に対応したクラッチの係合圧をコントロールし、スムーズな発進フィーリングを得ている。

3.9. オイルフィルタ

油圧制御系のコンタミネーションに対する耐久性を向上させることは、アクチュエータを用いて高精度な電子制御を行っているトランスミッションの重要な課題である。本 CVT では不織布を改良しオイルフィルタのろ過性能を向上させた。通常ろ過性能を向上させるために、ろ材の密度を上げるなどの手法を取った場合には圧力損出の増加や早期目詰まりによる寿命の低下が課題であった。今回改良した点は 2 層構造になっている不織布の繊維の種類を従来の各 1 種から複数に増やすことにより繊維間のすき間を小さくしろ過性能を向上させた点と、ハウジングのリップ形状を最適化し不織布のはりつきを防いだ点である。これにより圧力損出の増加と寿命の低下も無く、ろ過効率を従来品に対し 1.5 倍から 2 倍に向上させた。Fig.10 に従来品とろ過効率の比較を示す。またハウジングを鋼板プレス製から樹脂に変更することにより従来品比 50% の軽量化ができた。

4. 採用技術

次に本 CVT に採用した三つの技術についてのべる。

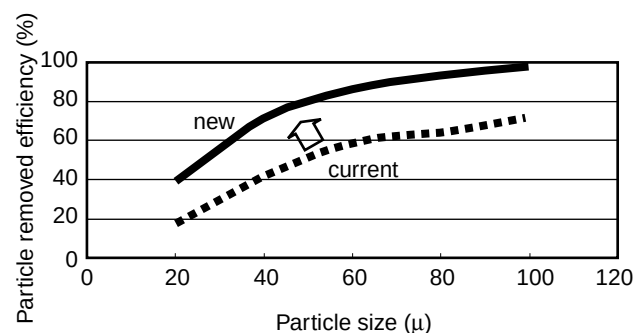


Fig.10 Oil filter efficiency

4.1. ワイドレシオ

レシオをよりハイレシオにすることはクルーズ時によりエンジンの回転数を低くでき、かつハイブリッド車では減速回生時の回転数もより低くできることにより燃費向上に非常に有利である。ローレシオは車重とタイヤ径とエンジン出力によって得られる登坂能力と発進商品性より決定され、トップレシオは燃費向上のためにハイレシオが要求されるため両性能の両立のためにはレシオレンジのワイド化が必要である。

有段変速機でのレシオレンジ拡大は、段間比が大きくなるため一般的には多段化することになる。そのための部品点数が増えトランスミッションも大型になり重量も増加する。金属ベルト CVT はそのベルト巻き付け半径を小さくすることで部品点数を増やすこと無くレシオレンジを変えることができるが、以下の理由により制限される。

- ・ベルト耐久性
- ・シャフト径が細くなることによるシャフト強度
- ・トランスミッション軸方向長さの増加

インサイト以前に市販されている 4 輪自動車用 CVT のレシオレンジは当社のものを含め 5 ~ 5.5 程度であった。

上記に関しては以下の対応を行い解決した。

ベルト耐久性についてはオーバードライブレシオを負荷により変えることで対応した。高負荷時は 0.450 までのレシオとし低負荷時クルーズ走行時と減速回生走行時には 0.407 までのハイレシオとした。Fig.11 に変速マップを示す。

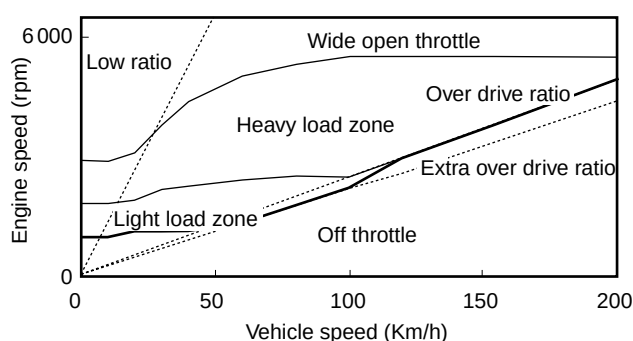


Fig.11 Shift limit lines

シャフト強度は FEM 解析を行い細径化を行った。またスライドスプライン部のボールをローラに置きかえることにより、伝達容量を確保しながらトランスミッション軸方向寸法を短くした。さらにこれにより伝達容量は大幅に向上したためスプラインの溝数を従来の 3 本から 1 本に減らした。

以上によりレシオレンジを従来 CVT の 5.5 より 6.0 に拡大し、クルーズ時の燃費向上を計った。

4.2. プーリ側圧ダイレクト制御

今回異径プーリピストンとプーリ側圧ダイレクト制御の採用による以下の課題を解決した。

4.2.1. 電流～油圧特性のヒステリシス低減

指令電流値に対するプーリ側圧のバラツキ幅を少なくすることは、実必要側圧に対する指示側圧のマージンすなわち余剰油圧を低減し、ベルトの回転フリクション低下をもたらす。またベルトの耐久性上も有利である。今回リニアソレノイドの磁性材を低ヒステリシス特性のものに変更することにより、指令電流値に対するプーリ圧のバラツキ幅を従来比約 30%低減している。

4.2.2. 油圧脈動低減

プーリ圧変動に対するパイロット圧の応答遅れから低周波の油圧脈動の発生が課題となった。低周波の油圧脈動はプーリ軸推力の変動に直接影響することから、ソレノイドバルブの応答を改善した。

手法として、ソレノイドバルブの流量特性向上とバルブ自励振動低減とのバランスの中で調圧端部の形状検討、及びスプリングのバネ定数最適化を行なった。

4.2.3. ライン圧サージ低減

プーリ側圧ダイレクト制御は2個のソレノイドで3つの油圧を制御する構成になっており、高い方のプーリ圧制御ソレノイドが同時にライン圧制御も行なう方式であるため、高圧側のライン圧変動に対する応答性遅れから低油温で連続サージの発生傾向が認められた。これに対しライン圧制御弁のダンピング特性の最適化を行った。

また本システムはフェールセーフ上制御電源が切れている状態で最大圧を発生する逆論理構造を採用しているため、エンジン始動時のバルブ作動遅れによるサージの発生も課題となった。これについては指令油圧を最適化することで低減をはかった。

上記の課題を解決することによりダイレクト制御の採用が可能となり、余剰油圧を低減することができ前述した潤滑圧切り替え制御やピトーフランジの廃止などにより大幅にフリクションを低減し伝達効率を向上した。Fig.12 にクルーズ時のフリクションの比較を示す。

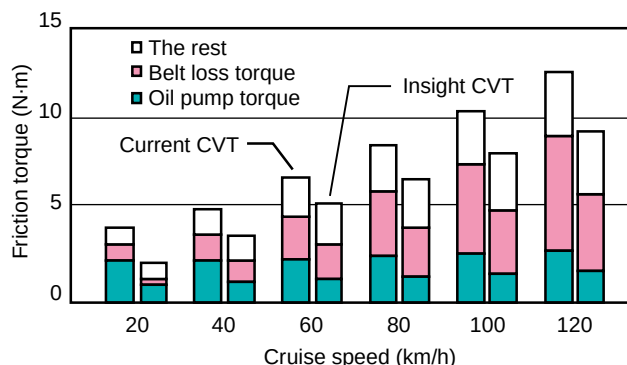


Fig.12 Transmission friction

4.3. シングルピニオンプラネタリギヤを使った前後進切り替え機構の制御

前後進切り替え機構として操作の容易性とスムーズな切り替え性を考慮して、プラネタリギヤを採用している。従来CVTでは側圧制御の容易性から、前進段と後退段の減速比を同じにできるダブルピニオンプラネタリギヤを採用していたが、部品点数が多いことによるコストと重量の増加という課題があった。本CVTでは、軽量化を主眼に、エンジンとCVTの協調制御を行うことで、シングルピニオンプラネタリギヤを採用できた。以下にその課題と解決手法を述べる。

本 CVT のシングルピニオンプラネタリギヤでは、後退段の形成はサンギヤ入力/リングギヤ出力を採用している。この場合後退段のレシオは前進段の 1.786 倍となり、後退時はトルクが増幅され側圧が不足となる。

後退時のインギア状態ではベルトのレシオは LOW の状態にある。アクセルペダルを踏むと必要側圧を下げるため、ベルトは目標レシオまで変速される。この時ベルトが LOW レシオから目標レシオまで変速するのに時間を要するため変速中に側圧不足が生じる可能性があることと、前進に対して駆動力が出過ぎてドライバビリティが悪化する課題があった。本CVTはドリブンプーリ側に発進クラッチを配置してあるため、この伝達容量を側圧不足の発生しないように前進時と同等に制御し、かつ協調制御でエンジン回転数の異常な吹きあがり感などが起きないように制御して発進時のドライバビリティを違和感の無いようにしている。

Fig.13 に後退発進時におけるエンジン/ CVT の協調制御時の制御ロジックを示す。後退段インギア状態からアクセルペダルを踏むと実レシオとエンジン回転数からトルクダウン量を算出する。それを現在のエンジントルクと比較し、トルクダウン率としてエンジンコントロールユニットへ通信する。エンジンコントロールユニットはトルクダウン率より点火時期のリタード量を決めエンジントルクを落とす制御を行う。これにより前進段と同等の発進性能を得ることになる。このときの各パラメータの変化を Fig.14 に示す。

上記のような協調制御を行うことにより従来システムを大幅に変更すること無く、シングルピニオンプラネタリギヤの採用による軽量化と部品点数の削減ができた。さらにメリットとして後退時のクリーブ力の増加と騒音の低下を実現した。

5. まとめ

プーリ側圧ダイレクト制御によるライン圧の低減、潤滑圧切り替え制御等による徹底的なフリクションの低減、ワイドレシオによる変速制御などの採用により 10-15 モードで 32km/l とオートマチック車としては国内トップレベル

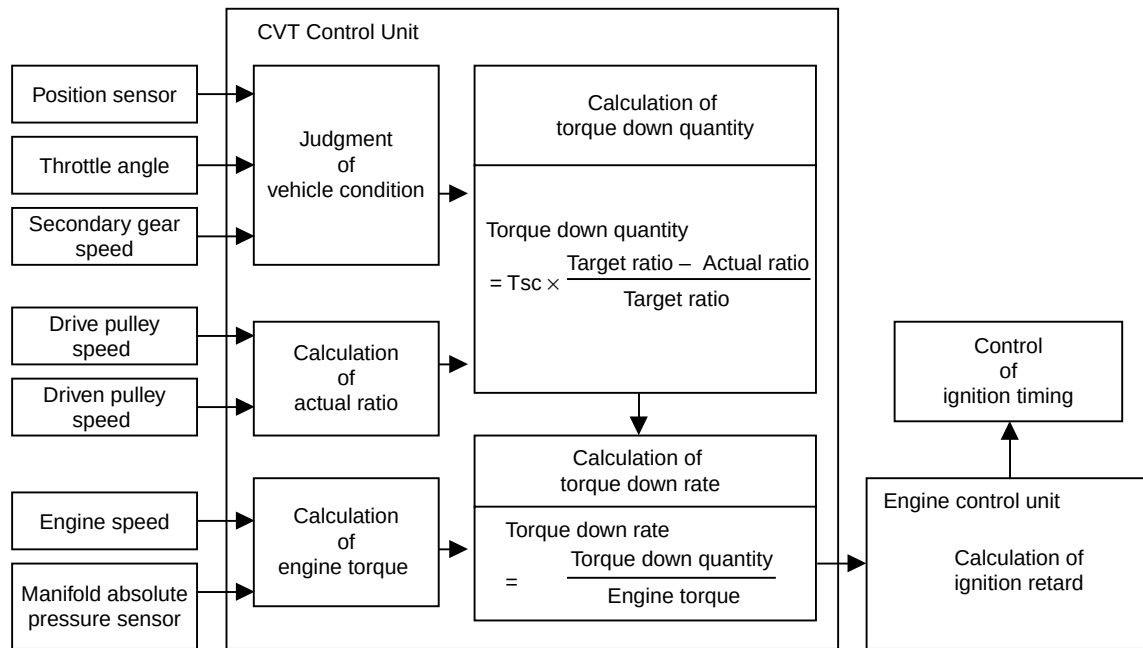


Fig.13 Control logic at reverse starting

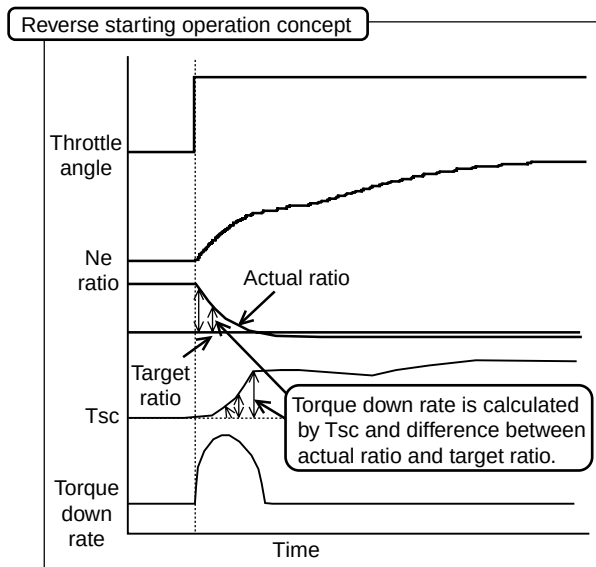


Fig.14 Reverse starting operation concept

参考文献

- (1) 大園耕平, 青木隆: 全電子制御金属ベルト CVT の開発, HONDA R&D Technical Review, vol.8, p.21-33 (1996)
- (2) 福尾幸一, 藤村章, 斎藤政昭, 角田和彦, 瀧口士郎: 超低燃費ハイブリッドカー「インサイト」の開発, HONDA R&D Technical Review, vol.11, No.2, p.1-8 (1999)
- (3) 山口徹朗: ホンダハイブリッド「IMA」における CVT 制御, No.9908 JSAE SYMPOSIUM 動力伝達の最新技術 99, p.37-40
- (4) 角誠, 藤本修一: ハイブリッド自動車用コンパクト CVT の開発, 自動車技術 vol.54, No.4, p.48-54 (2000)
- (5) 藤川敦司, 青木昌平: ハイブリッド自動車用 CVT の油圧, 電子制御システム, 自動車技術会, 学術講演会前刷集, No67-00, p.1-4 (2000)
- (6) 山本和久, 青木隆: CVTと自動MTが燃費に与える影響の解析と燃費向上予測, HONDA R&D Technical Review, vol.12, No.1, p.63-72 (2000)

の燃費の達成に貢献できた。

またシングルプラネタリギヤによる前後進切り替え等の採用により、従来 CVT 比で7%の軽量化と 12%の部品点数削減を行った。

本 CVT に採用された各技術はハイブリッド車用に開発されたものもあるが一般車両用 CVT にも採用可能であり、21 世紀の CVT の基本骨格となるコンパクトな新 CVT が開発できたと確信する。

■ 著 者 ■



太田 庄次



國井 久史



角 誠



藤本 修一



山口 徹朗