

報 文 2

ENEOS SUSTINA ATFおよびCVTFの開発

中央技術研究所 潤滑油研究所 駆動系油グループ たかはし かずとし
高橋 一聡



1. はじめに

昨今の地球温暖化問題、また世界的な原油価格の高騰を背景に、自動車の省燃費化に関する要求性能はかつてないレベルまで高まっている。環境省発表によると2011年度の日本国内のCO₂排出量である約12億トンのうち、運輸部門が18.6%を占めておりCO₂の排出量削減は喫緊の課題となっている¹⁾。

ここで現在国内にて販売される乗用車に目を向けると、ほとんどが多段自動変速機(Automatic Transmission、以下ATと略記)もしくは無段変速機(Continuously Variable Transmission、以下CVTと略記)搭載車である。とりわけ日本は加減速の繰返しといった変速頻度の多い運転を強いられる道路事情にあるため、効率の良いエンジン回転数に合わせて変速比を任意に変化できるCVT搭載車が主流となりつつある。

これらAT、CVTに使用されるフルードであるATF(Automatic Transmission Fluid、以下ATFと略記)、CVTF(Continuously Variable Transmission Fluid、以下CVTFと略記)については、省燃費化を目的とした開発・改良が日々進められているが、今般、当社は新規のベースオイルならびに添加剤配合技術の応用により、国内ほぼ全ての車種(一部車種除く)に適合し、かつ高い信頼性と省燃費性能を実現するSUSTINA ATFおよびCVTFを開発して市場投入するに至った。本稿ではこれら新ATF、CVTFの開発経緯とその性能について述べる。

2. 変速機の機構

2.1 ATの機構

SUSTINA ATFおよびCVTFの開発経緯を紹介する前に、ATおよびCVTの機構について述べる。

図1にATの機構を示すが、ATの主要な動力伝達機構はトルクコンバータ、プラネタリギヤ、変速クラッチから構成される。

トルクコンバータは、エンジンからの出力を変速機構へ伝達、増幅する装置であり、エンジン動力で回転するポンプインペラと、トルク増幅効果を持つステータ、変速機構へ回転力を伝達するタービンライナからなる。図2に示す

ようにポンプインペラの回転によってATFに流れが生じ、タービンライナがその流れを受けて回転することで動力伝達が行われるが、回転する際にATFから攪拌抵抗を受けてエネルギーロスが発生するため、両者には回転差が生じる。ここでトルクコンバータ内に湿式クラッチを設けたものがロックアップクラッチ機構であり、ポンプインペラ、タービンライナ間の回転差(入力側と出力側の回転差)が小さくなった時点で入・出力軸をクラッチで締結状態とし、伝達ロスをなくすものである。近年では省燃費化のため低速域からクラッチを滑らせながら締結する「スリップロックアップ制御」を行うことでトルクコンバータの伝達効率を向上させている²⁾。

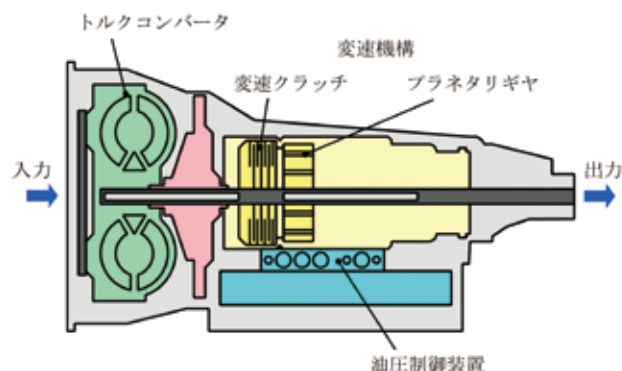


図1 ATの機構

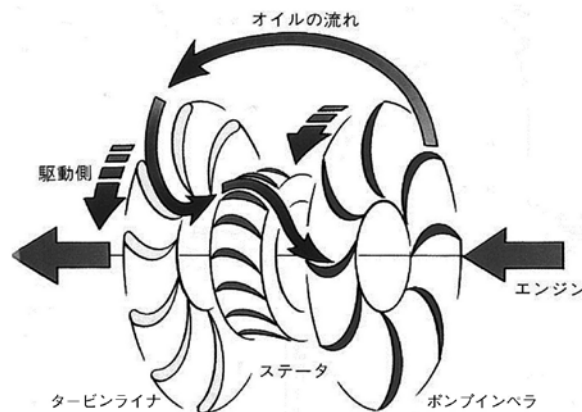


図2 トルクコンバータのメカニズム³⁾

プラネタリギヤとは図3に示すように中央のサン・ギヤ、サン・ギヤ周囲にかみ合うピニオンギヤとこれを保持するキャリア、ピニオンギヤとかみ合うリング・ギヤからなり、サン・ギヤ、キャリア、リング・ギヤのいずれかを固定し、残る二つのギヤを回転させることで、ギヤ比の変更が可能となる。また、変速クラッチは湿式クラッチを複数枚重ね合わせた多板機構であって、プラネタリギヤ機構において動力を伝達するギヤの切り替えや固定に用いられる。

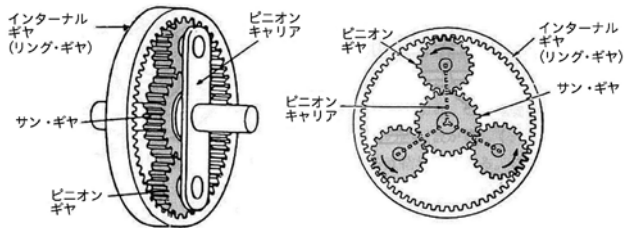


図3 プラネタリギヤの機構⁴⁾

2.2 CVTの機構

図4にプッシュベルト式CVTの機構を示す。プッシュベルト式CVTの主要な動力伝達機構はトルクコンバータ、金属製のベルトおよび1対の入出力軸プーリーからなる。図5に示すように金属ベルトは厚さ約2mmの金属製エレメントを数百枚連ねたものを、数枚重ね合わせたバンドで挟みこむ構造で、プーリーは油圧によって軸方向に移動する可動式プーリーと軸に固定されたプーリーで構成される。動力伝達はベルトエレメント側面にプーリーが押し付けられることで生じる摩擦力とエレメントの圧縮力が担い、ベルトがプーリーを押すことで、エンジン動力で回転する入力側プーリーの回転力を出力側プーリーに伝達する。なお、プッシュベルトの代わりにチェーンベルトを用い、その張力によって2対のプーリー間で動力を伝達するチェーンベルト式CVTも普及している。

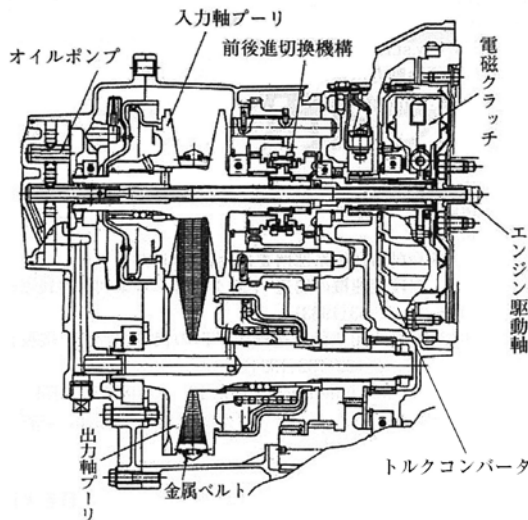


図4 プッシュベルト式CVTの機構⁵⁾

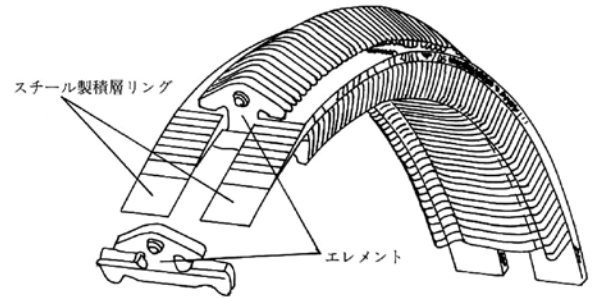


図5 金属ベルトの構造⁶⁾

ベルト/プーリー部では、油圧制御によりスライドプーリーを移動させることでプーリー径を変化させ、両者の回転数比、即ち変速比を連続的に制御している。図6に示すように、低速走行では入力側のプーリー径を小さくし、出力側のプーリー径を大きくすることで低回転となり、逆に高速走行では入力側のプーリー径を大きく、出力側のプーリー径を小さくすることで高回転とする。

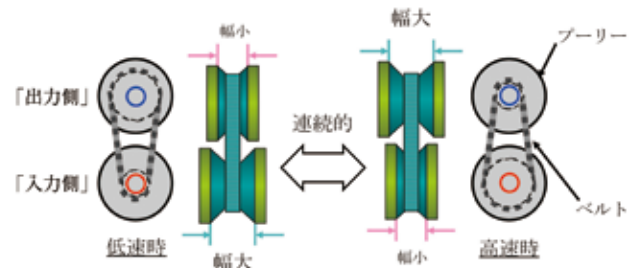


図6 プーリー径の変化による変速比の制御

昨今、AT、CVTでは部品の軽量化や、油圧ポンプの効率向上などにより省燃費化が図られているが、これらに用いられるATF、CVTFの省燃費化は、ハードの改良を伴わずにその効果を楽しむことから費用対効果の高い方策と考えられる⁷⁾。次章以降では、SUSTINA ATF、CVTFの省燃費技術について紹介する。

3. SUSTINA ATF および CVTF の開発

3.1 SUSTINA ATF の省燃費化手法

SUSTINA ATF に用いた低粘度化による省燃費性能向上について述べる。図7に示すように従来油から単純に低粘度化すると、高温での粘性も低下するため信頼性の低下を招く。

信頼性を確保した上で低粘度化を行うには、製品の粘度指数化を行う必要がある。粘度指数とは温度による粘度変化を指標化したものであり、粘度指数が高いほど粘度の変化度合いが小さいことを示す。高粘度指数化することで、高温領域での信頼性に必要な粘性を確保しつつも実用温度域の不要な粘性を低減でき、結果的にトル

クコンバータ等での攪拌損失を抑えることができる^{2) 8)}。とりわけATではトルクコンバータでの攪拌損失のみならず変速クラッチ部位でのひきずり抵抗が発生するため、特に低粘度化による省燃費化効果が高い。一般的なATFは、基油、粘度指数向上剤、性能添加剤から構成されているが、基油および粘度指数向上剤がATFの粘度指数に影響する。粘度指数向上剤には、ポリメタクリレート等の高分子量化合物が使用されるが、低粘度ATFにおいては、既に最適化された技術が構築されており、更なる高粘度指数化の余地は小さいことから、本開発においては、基油に着目した。

更なる高粘度指数化には、従来の基油よりも高粘度指数を有する基油を適用する必要がある。図8に当社が開発した合成ベースオイルであるWBASEと従来基油の粘度指数の比較を示す。WBASEの粘度指数は、既存の高粘度指数基油であるGr. III基油やPAO (Poly- α -olefin)よりも高いことから、SUSTINA ATFにはWBASEを適用し、高粘度指数化を図ることとした。

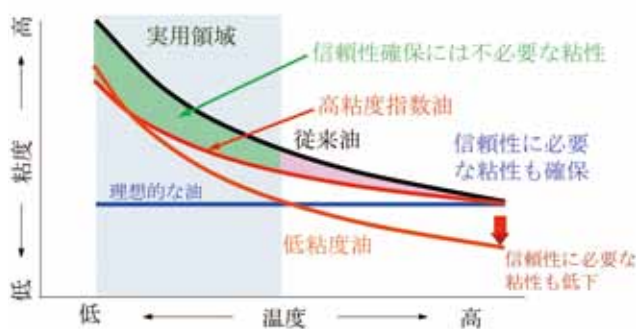


図7 高粘度指数化による実用領域での低粘度化

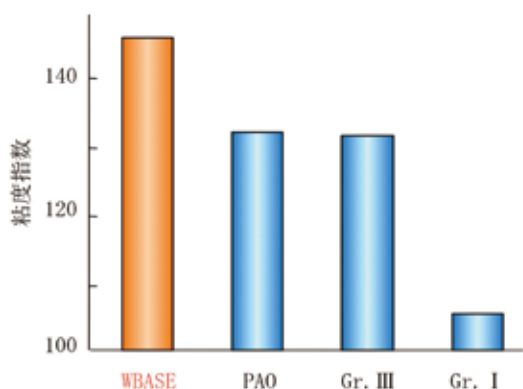


図8 基油の粘度指数

図9にWBASEを適用したSUSTINA ATFと市販油の動粘度の比較を示す。従来の低粘度化は40℃の動粘度の低下とともに100℃の動粘度も低下しており、信頼性の低下と引き換えに省燃費化しているといえる。一方でSUSTINA ATFは、WBASEの適用により大幅な高粘度指数化を達成し、信頼性に影響する高温領域(100℃)

では市販油以上の動粘度を確保しながら、燃費に影響の大きい実用温度領域(40℃)では、市場で最も低粘度なATFと同等の動粘度を有している。

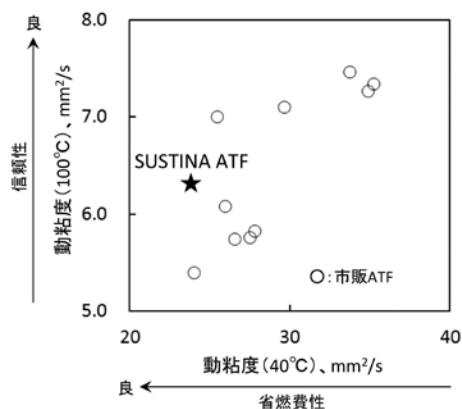


図9 SUSTINA ATFと市場油の粘度特性の比較

3.2 SUSTINA CVTFの省燃費化手法

CVTFの省燃費化手法としては、ATFと同様に低粘度化が挙げられる。CVTにおいては、ベアリング等の部材がATに比較し過酷な条件で使用されることから、SUSTINA CVTFでは信頼性を重視し、SUSTINA ATFに比べ高めの粘度設計を行うこととした。SUSTINA ATF同様にWBASEを適用し低粘度化したSUSTINA CVTFの粘度温度特性を市販油との比較で図10に示す。SUSTINA CVTFは、市販油と比較し大幅な低粘度化を実現した。

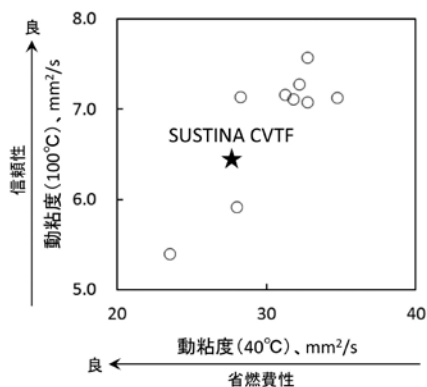


図10 SUSTINA CVTFと市場油の粘度特性の比較

しかしながら、CVTでの攪拌損失はトルクコンバータ部に限られることから、低粘度化だけでは大きな省燃費化効果は期待できない。このため、SUSTINA CVTFには当社独自の技術を導入して更なる省燃費性の付与を検討した。

CVTは前述の通り、金属製のベルト/プーリー間の摩擦により駆動力を伝達するため、ベルト/プーリー間の滑りが駆動力の伝達ロスに直結する。このことからCVTF

による更なる省燃費化を図るには、添加剤配合技術により金属間摩擦係数を高める、即ち伝達トルクの高容量化の実現によりベルト/プーリー間の滑りを抑制することが重要となる。一方、CVTには上述のとおりトルクコンバータを有しており、AT同様にトルクコンバータ内のロックアップクラッチは「スリップロックアップ制御」を行っている。スリップロックアップ制御作動時、使用する潤滑油がこの制御に適応した摩擦特性を有していないとシャッターと呼ばれる不快な車体振動が発生する。そのため、ATFやCVTFには、シャッター防止性能向上のために、摩擦調整剤(Friction Modifier 以下FMと略記)と呼ばれる添加剤を適用する。このFMは、CVTのベルト/プーリー間において金属表面に吸着し金属間摩擦係数を低下させる。従って、ベルト/プーリー間の伝達トルクの高容量化とシャッター防止性は背反性能の関係にある。

これら背反性能の両立にあたり、金属間摩擦係数の更なる向上を検討した。CVTFは、ATF同様に基油、粘度指数向上剤、性能添加剤で構成されているが、摩擦特性には性能添加剤が影響する。摩擦特性に影響の大きい性能添加剤としては、無灰分散剤、金属系清浄剤、摩擦防止剤、FMが挙げられるが、金属間摩擦係数の更なる向上検討では、潤滑被膜の形成に大きく影響する摩擦防止剤に着目した。図11に従来の当社CVTF(以下、従来CVTFと略記)に幾つかの摩擦防止剤適用時の金属間摩擦係数への影響を示す。摩擦防止剤Cの適用により、従来CVTF対比で15%近く摩擦係数を向上させることがわかった。次に、シャッター防止性の付与に必須であるFMの最適化を実施した。摩擦防止剤Cを適用した処方に、各種FMの金属間摩擦係数およびシャッター防止性におよぼす影響を評価した結果を図12に示す。FM-AおよびFM-Bが他FMに比べ金属間摩擦係数およびシャッター防止性の両立に有効であることがわかった。これら結果より、SUSTINA CVTFにおいては、摩擦防止剤CおよびFM-A、FM-Bを適用することとした。これら添加剤の最適化を図った結果、図13に示すように、SUSTINA CVTFは、市販油に比較して高い次元で金属間摩擦係数およびシャッター防止性の両立を達成した。

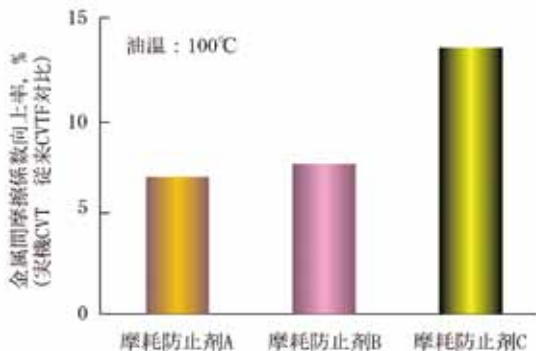


図11 摩擦防止剤が金属間摩擦係数におよぼす影響

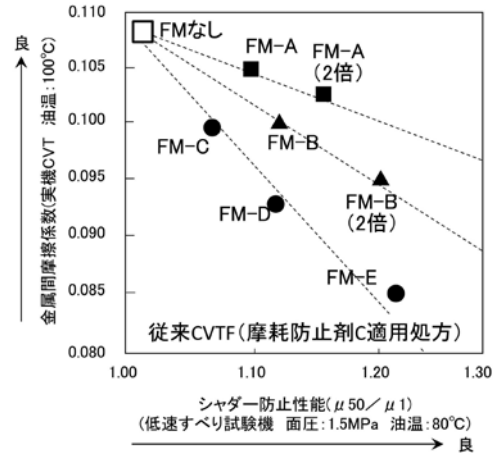


図12 FMが金属間摩擦係数とシャッター防止性におよぼす影響

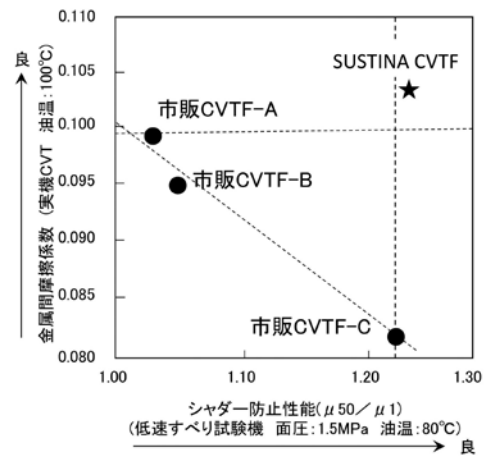


図13 市場油とSUSTINA CVTFの比較

4. 実車性能

上述の検討により開発したSUSTINA ATFおよびCVTFの省燃費効果を確認するため、当社シャシーダイナモにてJC08燃費試験を実施した。その結果、図14に示すようにSUSTINA ATFは従来の当社ATF(以下、従来ATFと略記)で2.0%の燃費改善効果を発揮し、SUSTINA CVTFは従来CVTFで1.1%の燃費改善効果を発揮することを確認した。

また、これら開発油の実車における加速性についてもシャシーダイナモにて実車試験を実施した。図15にSUSTINA CVTFの0°Cにおける0→40km/h加速性能の測定結果を示すが、従来CVTF対比で40km/hに到達するまでの時間を5%削減できることを確認した。低粘度化による摩擦損失の低減と伝達トルクの高容量化による伝達効率の向上によるものと推察される。なお、SUSTINA ATFについても同様に従来ATF対比で5%の加速性能向上を確認した。

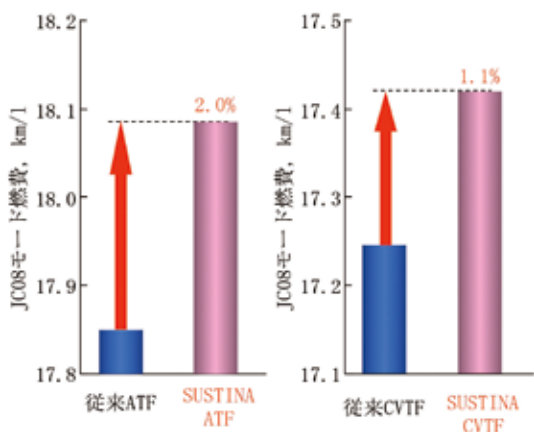


図14 SUSTINA ATF および CVTF の燃費測定結果

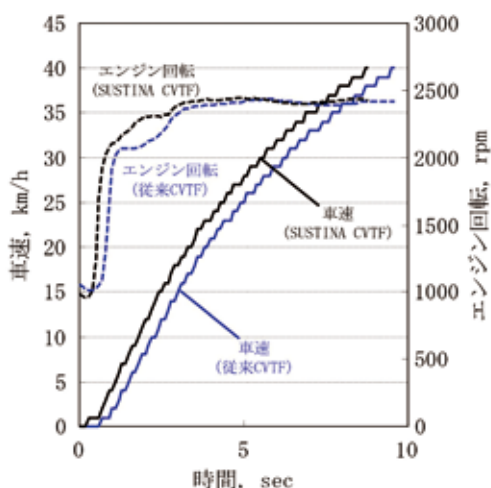


図15 SUSTINA CVTF の加速性能評価結果

5. まとめ

省燃費性能、信頼性に優れる SUSTINA ATF および CVTF を開発した。いずれのフルードも高性能の合成ベースオイルである WBASE を適用することにより、従来の当社油に比べ低粘度化を図った。また、CVTF に関しては、摩耗防止剤の最適化によるベルト-プーリー間の高トルク容量化で、伝達トルクの効率向上を図るとともに、高トルク容量化の背反性能であるシャグー防止性についても FM の最適化によって市場油最高レベルの性能を付与し、省燃費性能と信頼性の両立を達成した。

SUSTINA ATF および CVTF は、従来の当社油対比でそれぞれ 2.0%、1.1% の燃費改善効果を有するとともに、加速性能も約 5% 向上することが確認された。

6. おわりに

本稿では高い省燃費性能および信頼性を有し、国内ほぼ全ての車種（一部車種除く）に適合する SUSTINA

ATF および CVTF を紹介した。自動車の省燃費要望は今後も益々高まるものと予想される。潤滑油による新たな省燃費化技術を創出し、更なる省燃費化に貢献していきたいと考えている。

－ 引用文献 －

- 1) 2011 年度温室効果ガス排出量，環境省
- 2) 栗原功：トライボロジスト，第 54 巻，第 4 号，(2009) ,p242
- 3) 両角岳彦：自動車のテクノロジー，p86
- 4) 石神輝男：AT 車のすべて，p51
- 5) 富士重工，技術解説資料（1984）
- 6) 小林大介 他 自動車技術会学術講演会前刷集 No.9740208（1997）
- 7) Motor Fan illustrated Vol.59
- 8) 田中秀雄：トライボロジスト 第 52 巻 第 11 号（2007），p789