

# 欧州向け 世界初CVT用セーリングストップ開発

中野 諭\* 篠原 到\*\* 篠原 史\*\*\* 李 善濤\*\*\*\*

## 抄 録

今回、欧州向けJatco CVT-XにCVTとの組み合わせとしては世界初のセーリングストップ技術が採用された。セーリングストップ技術は、近年欧州メーカ、サプライヤより、CO<sub>2</sub>低減、燃費改善アイテムとして積極的に採用されてきた技術である。しかし、それらに貢献可能な技術である一方、再加速するシーンの運転性能が課題になる。

本稿では、Jatco CVT-Xの特徴を活かした世界初のセーリングストップ技術により、どのように再加速シーンの運転性能を達成させたのか、その詳細について解説する。

## 1. はじめに

昨今、カーボンニュートラル実現に向け電動化が進められる一方、ICEへも継続的なCO<sub>2</sub>低減が求められている。欧州のCO<sub>2</sub>低減目標は、排出ガス試験方法に基づき、2020年から2024年時点で95g CO<sub>2</sub>/kmとなり、超過時1g/km当たり95€と高い罰則がある。一方、CO<sub>2</sub>削減量を完全に実証することができない革新的技術搭載車両に対し、CO<sub>2</sub>の排出権を付与するエコ・イノベーションシステムという優遇措置が存在する。特に欧州メーカでは、DTCやATとの組み合わせによるセーリングアイドル採用車種が市販され、セーリングストップの開発ニーズも高まっていた。

CVTはセーリングストップでも自由度の高い無段階変速が出来るため、ドライバーの意図するきめ細かな駆動力をコントロールし安定した再加速性能を実現出来るという技術的価値がある。

本稿では、Jatco CVT-X (以下CVT-X) により欧州向けに開発したセーリングストップ技術について紹介する。

## 2. 概要

セーリングストップとは、走行中にエンジンを停止 (ストップ) し、エンジンとトランスミッション (以下T/M) 間のクラッチを切り離す (セーリング) 制御である (Fig. 1)。

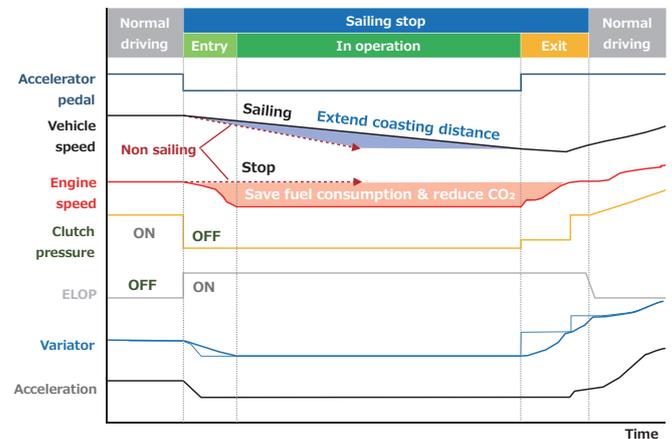


Fig. 1 Sailing stop control outline

セーリングは惰性走行距離を延ばす効果があり減速速度が緩やかになることでドライバーの不必要なアクセルペダル操作が減り、エンジン作動時間が低減出来る。

作動車速範囲は高速道路や市街地走行等、高速から低速と広範囲になりアクセルペダルを離すとセーリングストップが作動する。

セーリングストップ作動中はエンジンを停止するが、T/Mにはクラッチの解放とバリエータ変速が求められ、急減速や路面入力、再加速等の早い変速に備えたオイル流量が必要になる。CVT-XはTwin oil pump systemを採用しており、セーリングストップではエンジン停止中から再始動の間、流量を得られないメカニカルオイルポンプ (以下MOP) に代わって、電動オイルポンプ (以下ELOP) を用いる。

Twin oil pump systemは、従来CVTよりも小型のMOPとELOPを併用しメカロス低減を狙っている。セーリングストップに限らず車速を一定に保つ低流量シーンなどはMOPを用いメカロスを低減する。大流量を必要とする急減速や急加速シーンではELOPを併用している。また、アイドルストップや低速走行中エンジンが停止するコーストストップも、セーリングストップ同様、MOPに代わってELOPが作動する<sup>(1)</sup>。

次にセーリングストップを解除するには、アクセルペダル、ブレーキペダル、又はシフトレバーを操作することで通常走行に移行する。特に重視するのは、再加速になる。高速道路の追い越しシーンなど、加速要求が高いアクセルペダル操作時に、いかに通常走行に近い加速フィーリングに近づけるかが鍵になる。

次章よりその運転性能要求について解説する。

### 3. 運転性能要求コンセプト

運転性能とはドライバが自動車を運転し加減速操作する際のスムーズさやその安定性を示す性能であり、再加速シーンにはアクセルワークに見合ったリニアでスムーズな加速が求められる。セーリングストップを伴わない通常の再加速はCVTによる素早いダウンシフトをエンジン制御と協調し実現している。その際の性能指標としてはLagとResponse (Fig. 2) を用いており、セーリングストップの再加速も同様である。Lagはアクセルペダル踏み込みから初期反応までの時間を表し、Lagが長いと応答遅れや空走感につながる。Responseはアクセルワークに見合った加速が得られるまでの時間を表す。これら目標時間は、市場性を考慮し先行していたDCT車両のベンチマーク結果を踏まえ決定した。

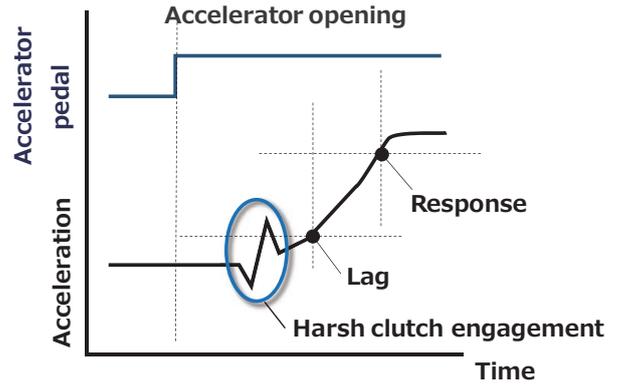


Fig. 2 Acceleration feeling index

セーリングストップ再加速 (Fig. 3) は、通常再加速シーンに相当するフェーズBの前に、フェーズAの動作が必要になる。フェーズAでは、クラッチは解放から締結スタンバイ状態とし、クラッチ回転数を同期させてから締結状態とする。この同期時間を短縮することでリニアな加速フィーリングを実現できる。そのためには、次の3要素のコントロールがポイントになる。

- エンジン回転数
- バリエータ変速による回転同期
- クラッチ締結タイミング

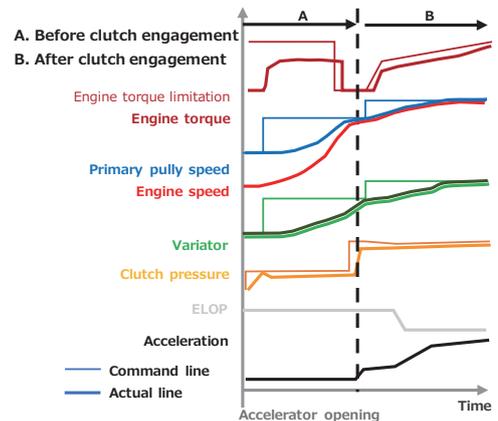


Fig. 3 Re-acceleration control concept

CVTは、有段変速のDCTと比べ変速比設定の自由度が高く、必要駆動力に応じた的確なダウンシフト量によって安定したLagとResponseを実現し易いという利点がある。しかしながら、クラッチ締結ショック (Fig. 2) を抑えたスムーズな加速を得るためには、前述の3要素が的確にコントロールされた高精度な適合(制御バランス)状態が求められる。

#### 4. 再加速抜けシーン方策

##### 4.1 Lag, Response の方策

アクセルペダルを深く踏み込む再加速シーンはLag, Response要求が高くなる。特にバリエータ変速比がHigh側になる中高速域はFig. 4のクラッチ締結前ダウンシフト機能 (以下Pre-low down shift) が鍵になる。例えば上記のままクラッチ締結させた場合、通常再加速に比べクラッチ締結時間分、加速応答が悪化する。その方策としてPre-low down shift機能を追加することでクラッチ締結後の必要駆動力を確保している。このダウンシフト量については、Lag, Responseとクラッチ締結ショックにトレードオフの関係がある。ダウンシフト量が大き過ぎると、変速比がLow側になりクラッチ締結ショックへの感度が高くラフな加速になり易い。また変速時間が長くなりクラッチ締結完了までの時間 (フェーズA) が遅れることでLagが悪化する。一方、ダウンシフト量が小さ過ぎると上記悪化は回避出来るが、クラッチ締結完了以降 (フェーズB) にダウンシフトすることになりResponse目標までの駆動力発生が遅くなる。そのため、Pre-low down shift量は、Lag, Responseの目標時間とクラッチ締結ショック感度のバランスをとった適合が必要になる。

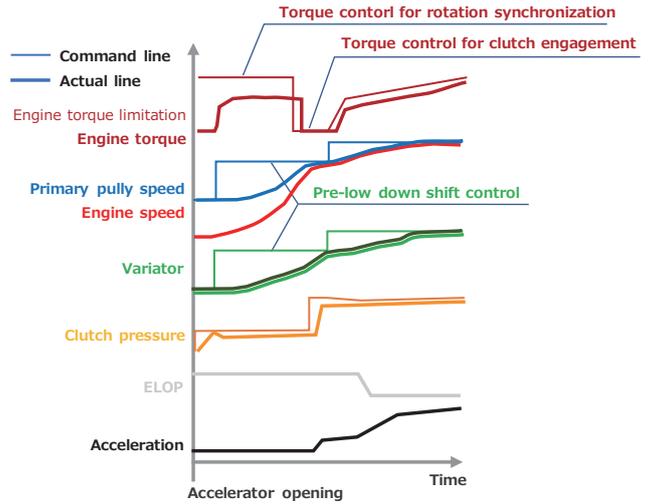


Fig. 4 Method of re-acceleration improvement

##### 4.2 クラッチ締結ショックの方策

クラッチ締結ショックを抑えたスムーズな加速性能の実現には、クラッチ差回転を目標差回転以内にコントロールし締結する必要がある (Fig. 5)。クラッチ入力回転はタービン回転になり、この時エンジン回転とロックアップにより同期している。クラッチ出力回転はバリエータのプライマリプリー回転になる。

$$\text{クラッチ差回転} = \text{クラッチ出力回転} - \text{クラッチ入力回転(1)}$$

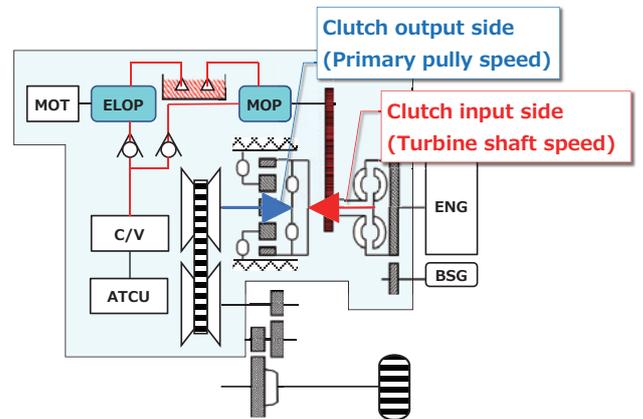


Fig. 5 CVT-X block diagram

クラッチ締結完了までの流れは以下になる (Fig. 4).

- 1)クラッチ入力回転数コントロール  
再始動後のエンジン回転を回転同期用トルク制御によって目標回転まで上昇させる。
- 2)クラッチ出力回転数コントロール  
Pre-low down shiftにより目標回転まで上昇させる。
- 3)クラッチ締結前入出力軸コントロール  
クラッチ締結用トルク制御により入出力軸を目標回転内にコントロールする。
- 4)クラッチ締結開始  
目標差回転以内に締結を完了する。

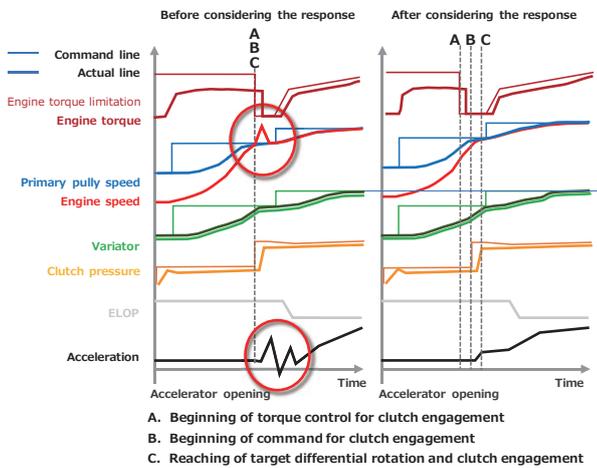


Fig. 6 Clutch engagement harsh optimization

- 3), 4)の開始タイミング (Fig. 6 A, B) は, 式 (1), (2)より判定する。  

$$\text{変速終了判定差回転} = \text{目標クラッチ入力回転} - \text{目標変速比} \times \text{セカンダリプリー回転} \quad (2)$$

3)トルク制御, 4)クラッチ締結開始タイミングは, 制御を指示してから実応答するまでの時間である応答遅れを考慮した適合が必要になる。例えば, それらを考慮せず単に目標差回転に設定すると突き上げショックが発生する (Fig. 6左図)。クラッチ締結指示後の実際の締結が間に合わずエンジン回転が吹け上がりクラッチ締結の際, イナーシャトルクによる突き上げが発生する。そのためFig. 6右図に示す様に, 開始タイミングは応答遅れを加味した適合をすることで, スムーズな加速を実現している。

### 4.3 エンジン制御協調

更にクラッチ締結ショック目標を満たすためには, CVTの特性に加えエンジン特性を捉えた適合が必要になる。特に影響の大きい特性として2点挙げられる。

#### 1)エンジン再始動性

セーリングストップが作動すると, エンジンは燃料を遮断後, 惰性で低下し完全停止する (以下停止中)。ドライバの解除操作タイミングによっては, エンジン停止中に再始動することになり, この時の回転数によって再始動方式がBelt-driven Starter Generator (BSG) 又は, Injection方式に切り替わる。この違いによって生じるエンジン回転の上昇速度差を回転同期用トルク制御により安定させることでスムーズな加速を実現している。

#### 2)エンジン再始動タイミング, 回転上昇ばらつき

ばらつきの要因としてはエンジン停止時のピストンサイクル状態, 吸入空気温度などがある。例えば, エンジンのピストンが圧縮行程で停止した場合, 再始動が遅れてしまう。エンジンの再始動制御は, 制御中はエンスト回避を優先するため, CVTからのクラッチ同期用トルク制御を受け付けず, エンジン回転が吹け上がり, クラッチ締結ショックが起きてしまう (Fig. 7)。

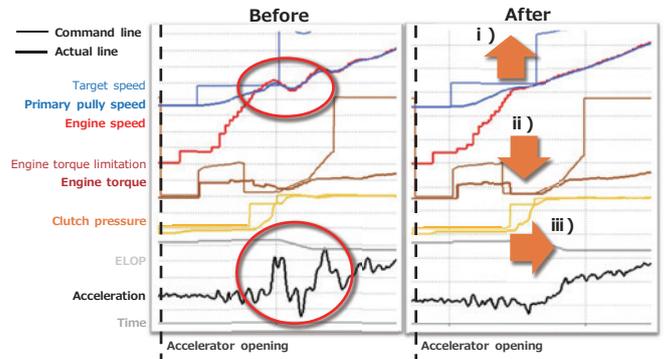


Fig. 7 Engine control interference and the measure

対策としては以下の方策により解決可能である (Fig. 7).

- i) Pre-low down shift量を上げ、クラッチ締結用トルク制御の開始タイミングを遅らせ再始動制御との干渉を避ける。
- ii) Low側へダウンシフトする分、クラッチ締結用トルク制御のトルク制限量を強め締結後の駆動力を調整しクラッチ締結ショックとのバランスを取る。
- iii) トルク制限量を強めると、制限後の回転上昇速度が遅くなる。クラッチ締結開始タイミングをその回転上昇速度に合わせて遅らせた設定にすることでエンジン制御、バラツキを見極めたスムーズな加速性能が実現出来る。

以上の様に、エンジン特性、制御を考慮したCVT適合によってドライバのアクセルワークに見合ったリニアでスムーズな加速を実現することが出来た (Fig. 8).

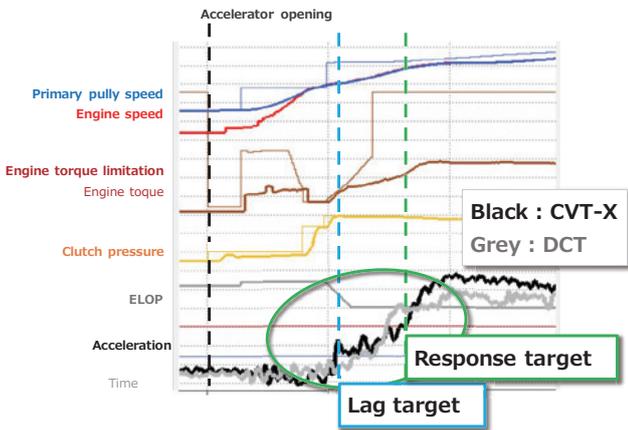


Fig. 8 Comparison CVT-X and DCT

5. 最後に

今回の開発で、DCTと比べCVTの利点である無段階変速により、安定したLag, Response性能を実現しやすいという技術的価値を証明することが出来た (Fig. 9).

DCTがクラッチスリップコントロールで対応しているクラッチ締結ショックは3要素 (エンジン回転数, バリエータ変速比, クラッチ締結) を理解した制御を構築し緻密に適合したことにより、競争力の高いリニアでスムーズな加速性能に上げることが出来た。本開発では、各機能への目標割り付けと、ばらつき着目点を事前に洗い出すことで、適合すべきポイントを事前に絞り込みLag, Response, クラッチ締結ショックの背反性能を満足することが出来た。本機能を実現したことでCVT-Xとしての魅力品質を向上することが出来た。

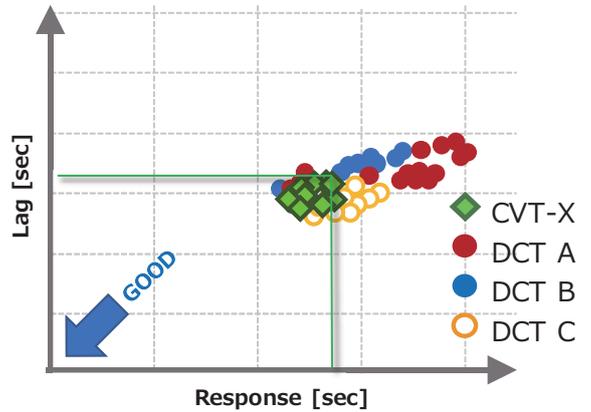
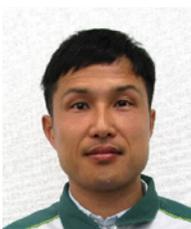


Fig. 9 Re-acceleration performance comparison with competitive DCT cars

6. 参考文献

- (1) 鈴木真悟, 豊原耕平, 小栗慎, 松村将矢: 高効率ワイドレンジ新型CVTの開発, JATCO Technical Review No.22, pp. 3 - 8.

■ 著者 ■



中野 諭



篠原 到



篠原 史



李 善澣