

# 第3期 Honda F1 ダイレクトプッシュクラッチ制御の開発

Development of Direct Push Clutch Control during Honda Formula One Third Era

岸 隆 行\*      永 利 嘉 記\*  
Takayuki KISHI      Yoshiki NAGATOSHI  
中 村 博 政\*      深 尾 洋 一 郎\*  
Hiromasa NAKAMURA      Yoichiro FUKAO

## 要 旨

第3期 F1 クラッチの主たる開発項目として、伝達トルク精度向上を目的として開発されたダイレクトプッシュクラッチ(Direct Push Clutch, 以下 DPC)が挙げられる。

従来のブルクラッチによる位置制御では、発進時におけるトルク伝達量を安定させることが困難であったため、DPC を油圧制御することでクランプロードの安定化をねらった。ハードウェアの持つ非線形特性に起因する油圧レスポンスに問題を抱えたが、これらを制御にて改善することで、実用上問題ないレスポンスを確保し、レース投入を実現した。

## ABSTRACT

One main development topic for the Formula One third era clutch was the direct push clutch (DPC), which was developed in order to increase the accuracy of transfer torque.

Conventional pull clutch position control could not readily stabilize the amount of torque transfer during standing starts, and therefore pressure control of the DPC was used in order to stabilize the clamp load. The non-linear characteristics of the hardware posed some issues with the hydraulic pressure response. However, these issues were addressed by control, and as a result response that had no issues in practical terms was able to be assured and the method was successfully deployed in racing.

## 1. まえがき

発進領域においては、初期のホイールスピンを極力抑制するためにクラッチ伝達トルクの推定精度を向上し、半クラッチスタートのパフォーマンス向上に開発の主眼を置いてきた。従来構造のクラッチではクランプロードと摩擦係数 $\mu$ の両方が不確定要素であり、トルクの推定は困難であった。そこで、油圧によりクラッチ伝達トルクを制御するDPCを2005年に開発したが、ギヤボックス開発時と同様に、ハードおよび制御が一体となり、求められる油圧制御性能を確保することが重要な開発課題となった。本稿では、DPCの油圧制御方式について紹介する。

## 2. 開発のねらい

DPCの開発においては、油圧でクランプロードを決定する機構を採用することで、伝達トルクの推定精度を向上さ

せた。しかし、フルディスエンゲージ状態からディスクを押し始めるバイトポイントまでとバイトポイントからフルエンゲージまでの油圧とピストン移動量の関係が異なるため、油圧制御性に課題があった。また、フルディスエンゲージ状態から油圧を上げようとする際に発生するピストンのスティックとスリップによる油圧振動も制御性を低下させていた。発進においては、タイヤが最大グリップ力を発生させるトルクを素早くかつ精度良く供給することが求められ、必要トルクを伝達するクラッチのレスポンスと収束性は重要であり油圧の制御性において下記目標を設定した。

- (1) 目標値までの油圧レスポンス 30 ms 以下
- (2) 油圧オーバーシュート 1 bar 以下

## 3. DPC の概要

Fig. 1 に DPC の構成を示す。Piston にかげられた力は、Pusher へ伝えられ、Fulcrum ring が支点、Pressure plate

\* 四輪R&Dセンター

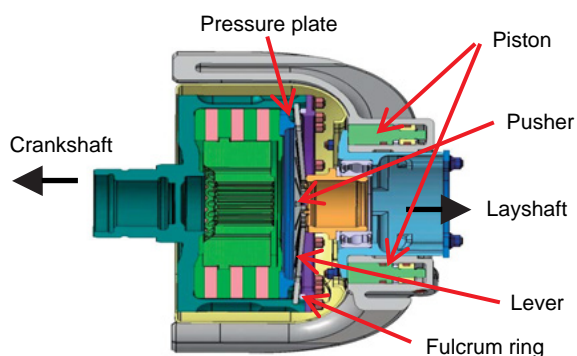


Fig. 1 Configuration of direct push clutch

が作用点となるレバー構造であり、Clutch Diskへクランプロードが伝達される。

よって DPC では、従来のブルクラッチと異なり、油圧にて直接クランプロードが制御可能である。

#### 4 . DPC の油圧制御性の確立

##### 4.1. DPC の油圧制御性の課題

Fig. 2 に油圧制御性低下の要因となっている、DPC のストロークと油圧の特性およびクラッチの状態を示す。

Fig. 2 において (A) の領域は、クラッチを完全に切断した状態 (Full Disengage) からクラッチが接続し始めるバイトポイントまでであり、油圧変化量に対してアクチュエータ移動量が大きい。

また、クラッチディスクの磨耗が進行すると、Pusher が Full Disengage 位置から Pressure plate に当たるまで移動する距離が伸びるため、図中 (A) の領域が拡大し、(A') となる。

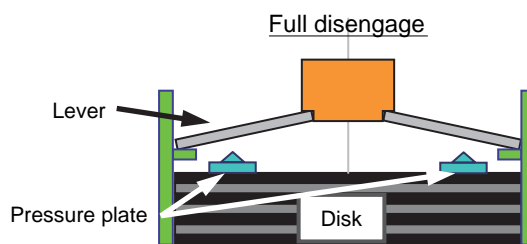
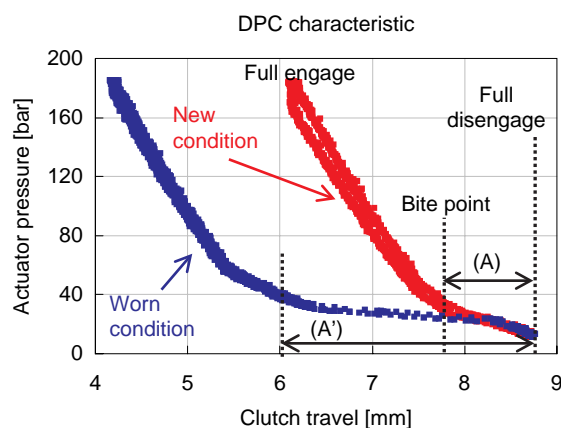
このような領域は、油圧制御時には不感帯となってレスポンスを妨げ、素早いクラッチ制御が必要となる、シフト、発進、アンチストール等の制御が成り立たないのみならず、FIA レギュレーションによって定められた、目標値到達までの応答時間制限 (50 ms) を満たすことができず、レギュレーション違反になる可能性が高かった。

これらを改善し、前述した目標値を達成するため、DPC 油圧制御で以下のような取り組みをおこなった。

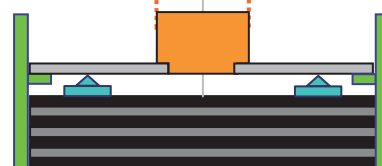
##### 4.2. DPC の油圧制御内容

###### 4.2.1. 可変 P 項ゲイン, 可変ローパスフィルタ

前述した油圧応答改善を目的とし、Fig. 3 の概念図に示す、可変 P 項ゲイン、可変ローパスフィルタ (以下 LPF) を適用した。これらのゲインおよび LPF カットオフ周波数は、油圧可変であり、ねらいとしては不感帯の低応答域の過渡状態にて P 項および LPF カットオフ周波数を高くし、油圧レスポンスの改善を図ることである。



Full disengage - Bite point



Bite point - Full engage

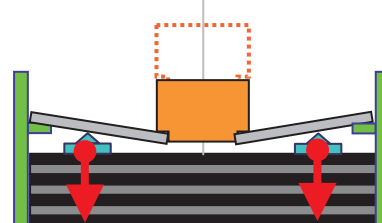


Fig. 2 DPC pressure-stroke characteristic

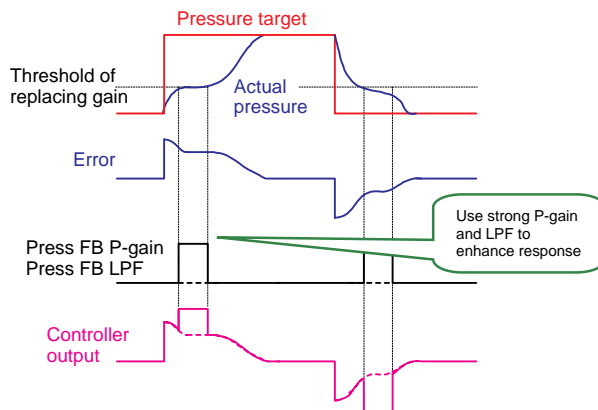


Fig. 3 Image of variable P control

4.2.2. 簡易状態予測 P 項制御

可変 P 項ゲインおよび LPF においては、ゲインおよびカットオフ周波数の切替油圧は不感帯の油圧に依存する。前述の通り、不感帯の油圧はクラッチ磨耗によって変化するため、可変制御のみではロバスト性を確保できない。

そこで、油圧の無応答時間(むだ時間)後の油圧を傾きから推定計算し、この予測値をフィードバックすることで P 項ゲインを上げつつ、オーバーシュートを防止することをねらい、以下のように予測制御をおこなった。Fig. 4 に概念図を示す。

- (1) 油圧の無応答時間を規定時間として規定する。  
規定時間後の油圧を現状の油圧の傾きから推定する。
- (2) 推定した予測値と目標値との差分に応じて操作量を計算する。
- (3) 予測値が目標を上回りかつ現在値が目標を下回っていた場合、差分をゼロとして操作量をゼロとする。
- (4) 予測値が目標を上回りかつ現在値も目標を上回っていた場合、目標との差分が小さい方に応じて操作量を計算する。

4.2.3. 変化量抑制型移動平均

実際のハードの有効応答周波数を考慮して実クラッチ圧に対して、変化制限を設けることで遅れを抑制し大きな減

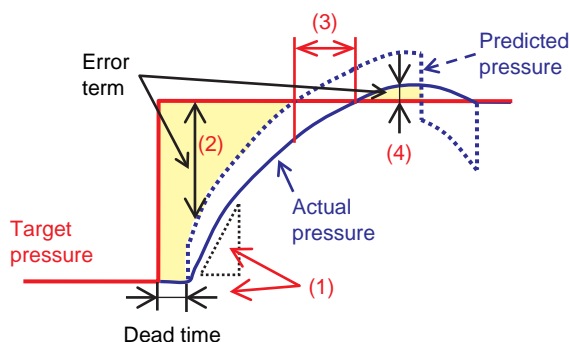


Fig. 4 Predictive P-term control

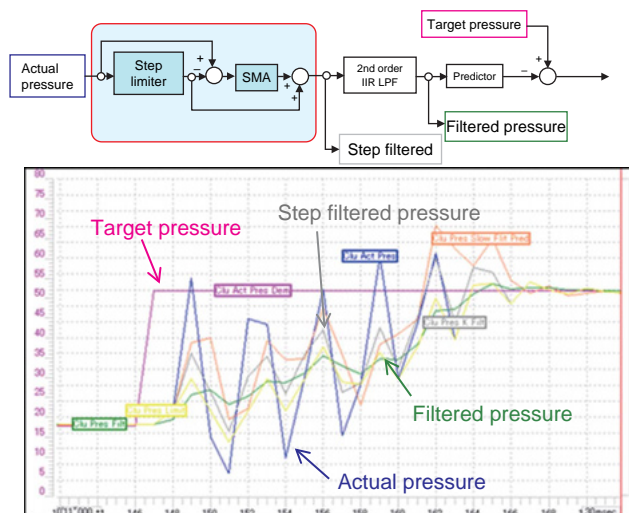


Fig. 5 Step limit moving average

衰特性を実現し、ピストンのスティックやスリップで引き起こされる振動を減衰した。Fig. 5 に概念図を示す。

4.2.4. Additive I 項制御

目標値に対する偏差と油圧の傾きからオーバーシュートとアンダーシュートを判定し、I 項をステップ状に変化させて収束性を向上させた。Fig. 6 に概念図を示す。

積分制御へは、前述のフィルタ値をフィードバックしている。これと目標値との誤差がある値より大きく、かつ傾きが小さい状態が一定時間継続した場合、オーバーシュートと判定し、I 項をフィードバックとは無関係に減らし、目標値への収束性を早めることをねらっている。

4.3. 結果

Fig. 7 に最終的な油圧制御器を示す。

Fig. 8 に標準的な PID 制御と前述した制御を適用した際の比較を示す。比較は、油圧応答の精度と速さが要求される発進時を想定したステップ応答にておこなった。また、クラッチ磨耗時においては、不感帯領域の拡大により、レスポンス低下が想定されることから、1 レースに相当する 3.0

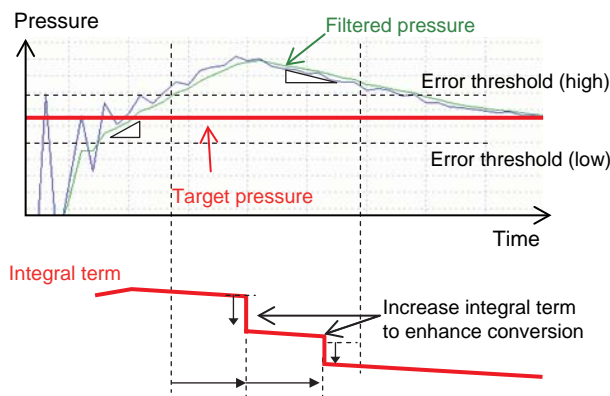


Fig. 6 Additive I-Term control

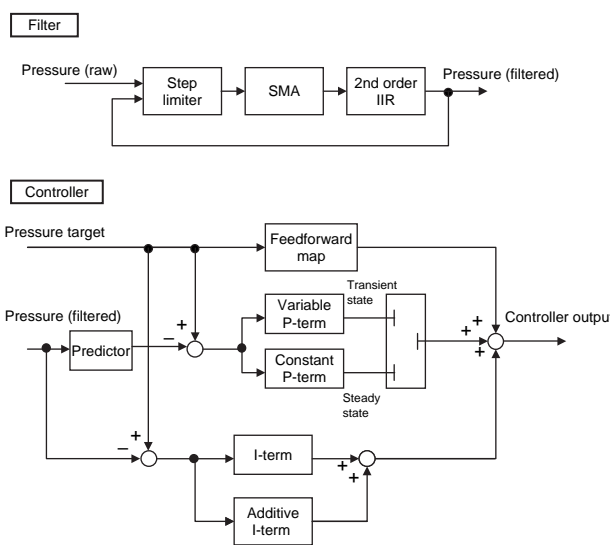


Fig. 7 Configuration of DPC pressure controller

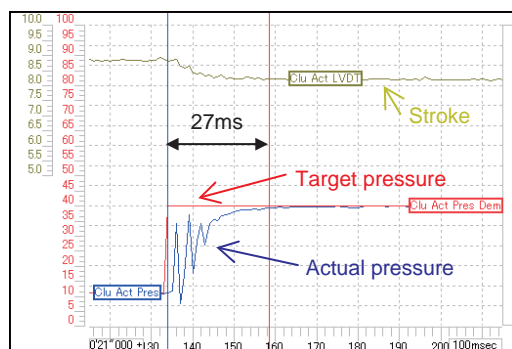
mm 磨耗時における比較もあわせておこなった。

磨耗の無い状態において44%，磨耗発生時においては71%，油圧応答時間をオーバーシュート無く短縮することができ，磨耗発生時においても発達性能の低下を最小限とした。

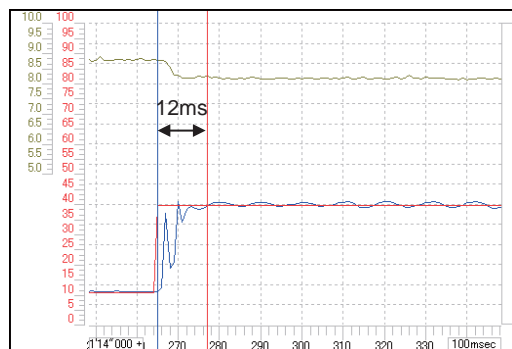
### 5. まとめ

DPC の油圧制御を確立することで，クランプロード(伝達トルク)の制御精度を向上させた。

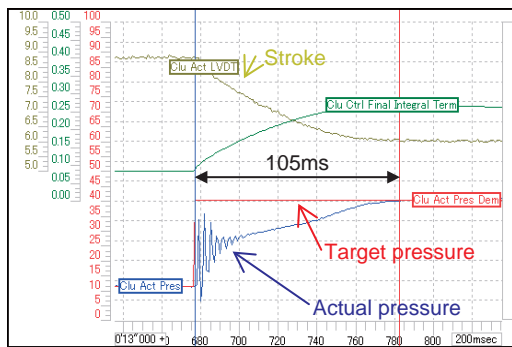
また，DPC は 2006 年よりレースに適用し，発達すべてを半クラッチスタートでおこなうことで，トルクフィードバック制御無しでの，スリップスタートを実現し，0 - 100 km/h 加速において，最大 0.46 秒短縮(距離では 11 m 手前)のアドバンテージを得ることができた。



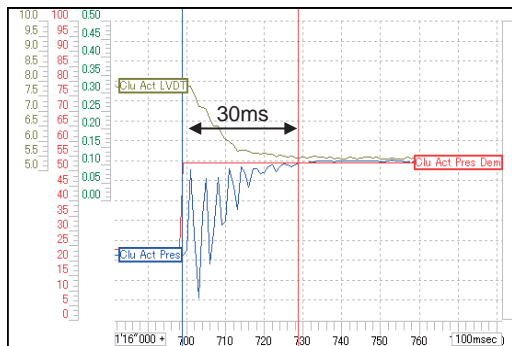
(a) Standard PID (no wear)



(b) New control (no wear)



(c) Standard PID (3.0 mm wear)



(d) New control (3.0 mm wear)

Fig. 8 Comparison of pressure control

著者



岸 隆行



永利 嘉記



中村 博政



深尾 洋一郎