

FR車用新型9速オートマチックトランスミッション 潤滑可変制御への外気温推定の適用

俵 裕貴*

兒玉 仁寿*

山本 雅弘*

抄 録

FR車用新型9速オートマチックトランスミッションでは、潤滑流量を独立でコントロールできるシステムを装備した。走行シーンに応じて潤滑流量を適正にするには、回路に流れる油の温度把握が重要であり、空冷クーラでの油温低下量を見積もる必要があった。そこでエンジン吸気温センサから外気温を推定することで、空冷クーラでの油温低下量の把握に繋げ、潤滑可変制御を実現した。

1. はじめに

オートマチックトランスミッションフルード(以下 ATF)は、様々な目的で使用されており、潤滑もその重要な機能のひとつである。従来ユニットでは、潤滑流量を独立で調整できないため、走行シーンによっては潤滑流量が過多となりフリクションの増大を招いていた。

FR車用新型9速オートマチックトランスミッション(以下 新型9AT)では潤滑流量を独立で制御することで、フリクション低減を図った。その際、潤滑流量は空冷クーラでの油温低下による圧力損失の影響を大きく受けるため、油温

低下量を考慮して制御する必要がある。新型9ATでは外気温推定を用いて空冷クーラでの油温低下量を把握し、潤滑流量を制御する手法を開発した。

2. 対象とするシステム

最初に、今回対象とするシステムの潤滑回路構成について説明する。Fig. 1に示すように、コントロールバルブで調圧されたATFがトルクコンバータ、ビルトインオイルクーラ(以下 BIOIC)へ流れる。BIOICでは、ATFとエンジンクーラントの間で熱交換をしており、BIOICは入口油温が低い

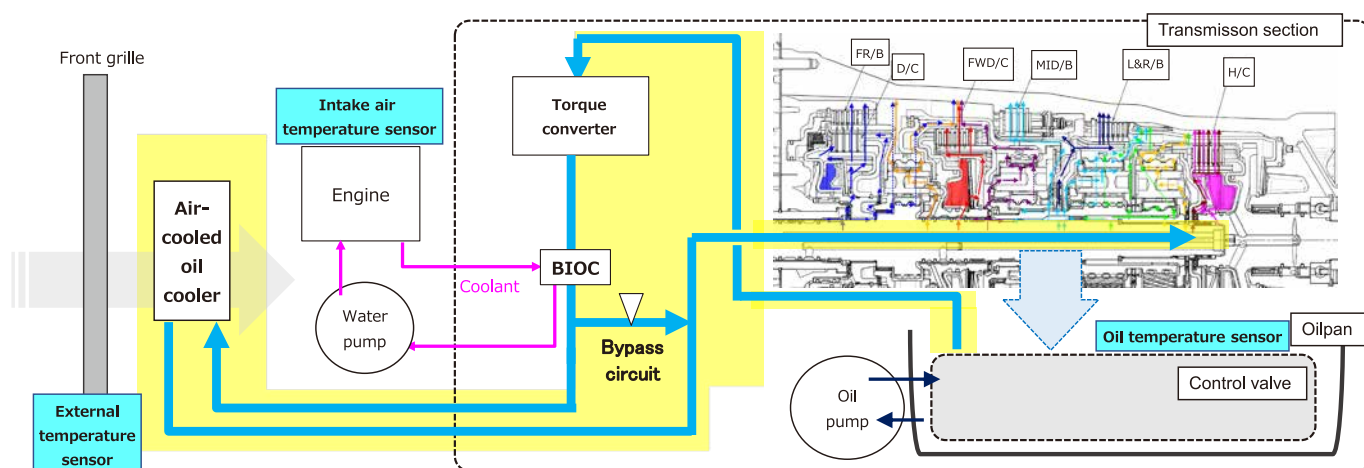


Fig. 1 Cooling and lubrication circuit

* 部品システム開発部

時は暖めるためのウォームとして働き、入口油温が高くなると冷却用のクーラとして働く。

BIOC直後にはバイパス機構が備わっており、温度により体積変化するワックスの特性を用いてバイパス回路を開閉する。バイパス回路を通過する油温が低い時はバイパス回路が開き、ATFは空冷クーラを介さずにトランスミッションに戻る回路構成となっている。油温が高くなるとバイパス回路を閉じて、空冷クーラにATFが流れる。空冷クーラは通過する空気と熱交換することでATFを冷却する。新型9AT搭載車両には北米向けピックアップトラックなどの大型車が想定されており、冷却性能が高い空冷クーラが必要となる。

潤滑油を供給する元圧（以下 潤滑圧）は、Fig. 2に示す通り、コントローラからの電流により作動する潤滑リニアソレノイドバルブと、その出力圧で作動する潤滑調圧弁によって生成される。

部品保護や冷却のために必要な潤滑流量は、伝達トルクや回転数が高いシーン（＝高負荷）では多くなるが、低負荷では少なくてもよい。そこで新型9ATでは、走行時の負荷に応じて潤滑圧を調整し、潤滑流量を適正にする潤滑可変制御の構築を進めた。

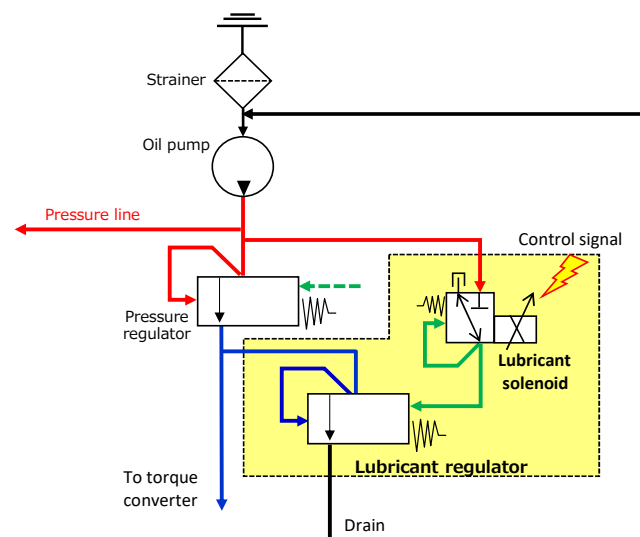


Fig. 2 Lubrication system in control valve

3. 対象システムでの課題

前章で述べたように、バイパス機構を通過するATFの温度が低い時はバイパス状態で空冷クーラを経由しないが、ATFの温度が高くなるとバイパス回路が閉じて空冷クーラに流れ始める。

ATFが暖められバイパス回路が閉じた後の潤滑回路と油温推移について、以下、Fig. 3に示す。赤線は高外気温でBIOCがクーラとして機能している状態を示す。青線は低外気温でBIOCがウォームとして機能し、ATFがBIOCで暖められることによりバイパス回路を閉じて、ATFが空冷クーラへ流れている状態を示す。

空冷クーラでの油温低下量は通過する空気の温度、つまり外気温に大きく左右され、高外気温よりも低外気温で油温低下量が大きくなる。特に大容量の空冷クーラの場合では、その傾向が顕著となる。

つまり潤滑可変制御においては、当初考慮した走行時の負荷だけでなく、空冷クーラでの油温低下量とそれに伴う圧力損失の影響も考慮する必要があることがわかった。なお、圧力損失が大きい低外気温条件にあわせた潤滑圧では、高外気温条件で潤滑流量が過多となるため、このような状態をなくす必要がある（Fig. 4）。

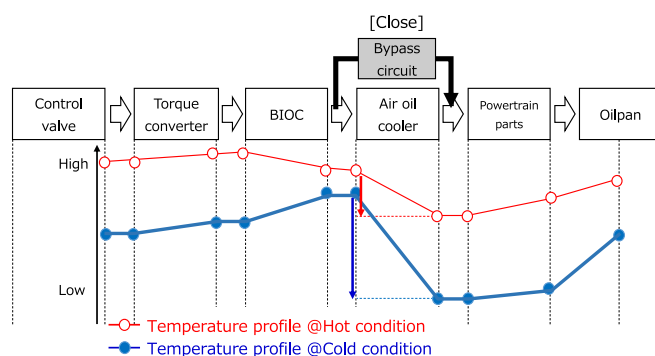


Fig. 3 Oil temperature fluctuation in lubrication circuit

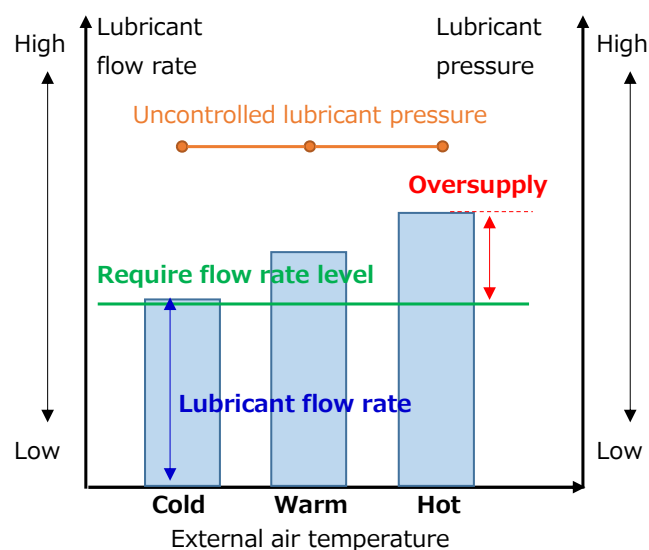


Fig. 4 Uncontrolled lubricant flow rate

Table 1 Decision analysis results

	Installation of new sensor	Diversion of existing sensor to estimate oil temp. at air-cooled oil cooler outlet	
	Proposal (1)	Proposal (2)	Proposal (3)
	Air-cooled oil cooler outlet oil temp. sensor	External air temp. sensor	Engine intake air temp. sensor
Accuracy	○	○	△
Difficulty of control	△	×	△
Sensor installation rate	×	△	○
Judgment	No GO	No GO	GO

4. 対策の実現

前述した課題に対して、外気温推定値を用いることで空冷クーラでの油温低下量と圧力損失増加代を把握し、その結果を潤滑可変制御へ反映することで、対策を実現する。

4.1 エンジン吸気温を用いた外気温推定

潤滑流量を適正にするために、空冷クーラでの油温低下量を制御へ反映する必要がある。空冷クーラ入口油温はバイパス機構の作動温度から見積もる。空冷クーラ出口油温の推定手段について、いくつかの案を検討した。

案①は油温センサを新設して直接測温する案である。案②,③は空冷クーラを通過する空気温度から空冷クーラ出口油温を間接的に推定する案になる。目的の油温を算出する上での“精度”，センサを使用する上での“制御構築の難易度”，全車へ適用していくための“センサの装着状況”の観点でDA表にて評価を実施した(Table 1)。

案①は“センサの装着状況”の観点から、案②は“制御の難易度”の観点で採用が困難であり、案③のエンジン吸気温センサを用いて外気温を推定し、そこから空冷クーラ出口油温を算出する方策で進めることとした。なお、精度の観点でエンジン吸気温と外気温には乖離が発生するシーンがあるが、これに対しては、制御側で補正を加えることで、乖離を最小限に抑えている。

4.2 空冷クーラでの油温低下量と圧力損失の関係

外気温を推定する方法は決定したが、空冷クーラ出口油温を推定するには、外気温と空冷クーラ通油量に応じて空冷クーラでの油温低下量と圧力損失がどのように影響を受けるか見積もる必要がある。なお、バイパス回路が閉じ

た状態では、空冷クーラ通油量と潤滑流量は同じになる。

- 1) 外気温による空冷クーラでの油温低下量を見積もる。
 - 2) 空冷クーラでの油温低下量に対する空冷クーラおよびその下流部の圧力損失増加代を見積もる。
- それぞれについて、以下に述べていく。

最初に、空冷クーラの熱交換特性を用いて、空冷クーラ通油量と油温低下量がどのような関係になるか整理する。

熱交換特性 $E[\text{kW}]$ は以下のパラメータにより決定される。

- ・空冷クーラ入口油温 $T_{IN}[\text{℃}]$
- ・空冷クーラ通油量 $Q_{OIL}[\text{L/min}]$
- ・空冷クーラ通過空気温度=外気温 $T_{AIR}[\text{℃}]$
- ・空冷クーラ通過空気速度 $V_{AIR}[\text{m/s}]$

空冷クーラ出口油温 $T_{OUT}[\text{℃}]$ は空冷クーラでの油温低下量 $\Delta T_{OIL}[\text{℃}]$ に対して以下の関係になる。

$$T_{OUT} = T_{IN} - \Delta T_{OIL} \quad (1)$$

また ΔT_{OIL} は油の比熱を $\eta[\text{kJ/kg K}]$ とした場合に以下の式で表現できる。

$$\Delta T_{OIL} = \frac{E(T_{IN}, Q_{OIL}, T_{AIR}, V_{AIR})}{\eta \times Q_{OIL}} \quad (2)$$

(1), (2)から空冷クーラ出口油温 T_{OUT} は以下の通り表現できる。

$$T_{OUT} = T_{IN} - \frac{E(T_{IN}, Q_{OIL}, T_{AIR}, V_{AIR})}{\eta \times Q_{OIL}} \quad (3)$$

式(3)に基づいて、空冷クーラ出口油温を計算した結果をFig. 5に示す。ここで、横軸は空冷クーラ出口油温 T_{OUT} 、縦軸は空冷クーラ通油量 Q_{OIL} である。なお、空冷クーラ入口油温 T_{IN} は最も低い条件として、バイパス回路が閉じる油温としている。また空冷クーラ通過空気速度 V_{AIR} は、高車速走行時を想定して算出している。

図中の青矢印が空冷クーラでの油温低下量 ΔT_{OIL} である。外気温 T_{AIR} が低い時や空冷クーラ通油量 Q_{OIL} が少ないほど空冷クーラ出口油温 T_{OUT} が低くなるのがわかる。

次に、空冷クーラの圧力損失特性から、潤滑圧と潤滑流量がどのような関係になるかを整理する。

潤滑圧 P_{LUB} に対して、潤滑流量 Q_{OIL} は以下の通り示すことができる。

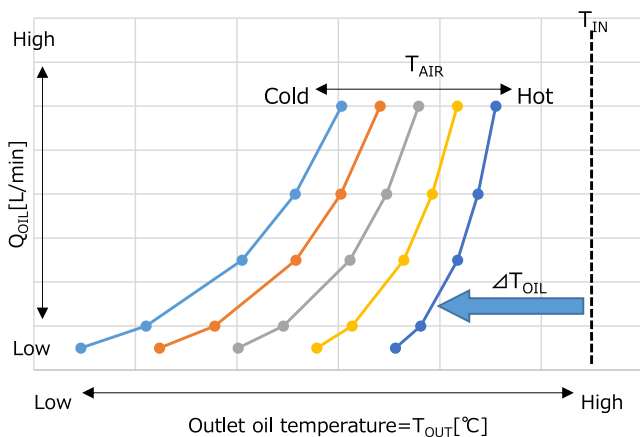


Fig. 5 Estimated oil temperature drop

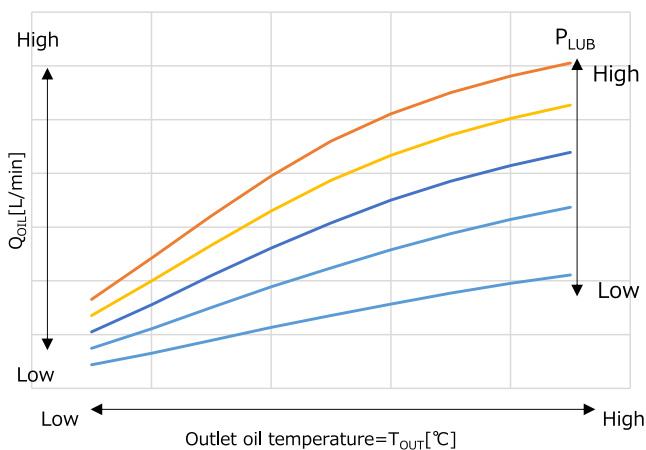


Fig. 6 Estimated oil flow resistance

$$Q_{OIL} = R_1(T_{IN}, T_{OUT})P_{LUB} + R_2(T_{IN}, T_{OUT})\sqrt{P_{LUB}} \quad (4)$$

ここで、 R_1 、 R_2 は潤滑回路の通油抵抗係数で、 T_{IN} 、 T_{OUT} に感度がある。

先ほどと同様に T_{IN} をバイパス回路が閉じる油温に固定すると、 Q_{OIL} は T_{OUT} と P_{LUB} の関数になり、その計算結果をFig. 5と同じ軸上に表すとFig. 6のようになる。 T_{OUT} が低いと潤滑回路の圧力損失が大きくなるので、同じ潤滑圧でも潤滑流量は少なくなる。

式(3)、(4)を見れば明らかなように、それぞれの式で算出される Q_{OIL} 、 T_{OUT} が他方の式のパラメータとなっているため、それぞれを単独に計算することはできず、2つの式を満足する(Q_{OIL} 、 T_{OUT})の組として解を求める必要がある。今回は数値計算によって各条件での解を求めてマップ化し、所望の潤滑流量から必要な潤滑圧を逆算することとした。

4.3 外気温推定による潤滑可変制御の実現

以上の開発により、外気温推定値に基づく潤滑可変制御を構築することができ、空冷クーラでの油温低下量と圧力損失増加代を見込んだ潤滑流量コントロールが可能となった。

Fig. 7にその効果を示す。潤滑圧を外気温推定値に応じて調整することで、外気温によらず必要な潤滑流量を適切に供給することが可能となり、外気温が高い環境でも潤滑流量が過多になることを防止できるようになった。

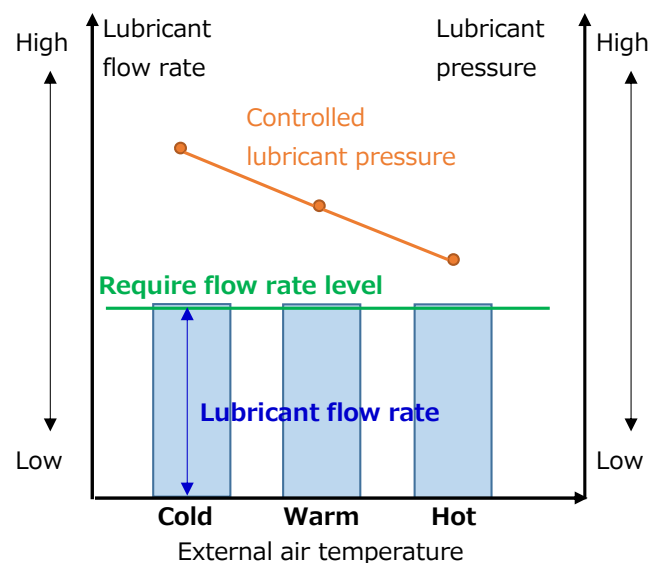


Fig. 7 Controlled lubricant flow rate

5. まとめ

- ・外気温推定値に基づく潤滑可変制御を構築し、外気温違いでの空冷クーラの油温低下を考慮した上で、潤滑流量を適正に制御し、耐久性とフリクション低減の両立を実現できた。
- ・外気温推定にエンジン吸気温センサという汎用性の高い既存のデバイスを用いたことで、今後適用車両が拡大しでも対応が可能となった。

■ 著者 ■



俵 裕貴



児玉 仁寿



山本 雅弘