

## 解 説

## 技術開発賞受賞について\*

安藤寛之\*\*

\* 平成 28 年 6 月 6 日原稿受付

\*\* 株式会社ジェイテクト，〒444-1323 愛知県高浜市田戸町 1-5-3

## 1. はじめに

このたびは、「高性能新電磁クラッチを用いた次世代電子制御四輪駆動車用カップリングの開発」について、本学会において高く評価され、技術開発賞を受賞したことは大変名誉なことである。本会誌をお借りして、学会員の皆様ならびに、本開発に関わっていただいた多くの社内外の仲間に、心より感謝を申し上げる。本稿では上記開発の概要について解説する。

## 2. 開発の概要

自動車用駆動部品の分野においては低環境負荷、低燃料消費に繋がる製品開発は重要な課題のひとつとなっており、なかでも図 1 に示す全輪駆動 (AWD: All-Wheel Drive) 車においては、ドライブラインの軽量化や効率向上による低燃費化が求められている。

このような背景の中、乗用車のシャシをベースにした SUV (Sports Utility Vehicle) が世界的に広く普及してきており、AWD システムとしては図 2 のような伝達トルクを完全に電子制御化できるカップリングの採用が拡大している。この電子制御 AWD カップリングは必要に応じて適切な前後輪のトルク配分ができる。通常走行は前輪駆動、雪道など低 $\mu$ 路面等で前輪がスリップする場合は、後輪に瞬時に適切な量のトルクを伝達することにより優れた AWD 性能と低燃費を両立している。

一方、電子制御 AWD カップリングの制御電流を印加しない場合 (クラッチ押付け無し) のクラッチの引きずりによるトルクおよび、制御電流を印加した場合 (クラッチ押付け有り) の制御トルクは、低温環境下において、必然的に潤滑油の粘度増加に起因して増大するが、この増加を抑制できればドライブライン全体の強度設計で見た場合、トルク増加分を考慮する必要がなくなり、さらなる軽量化が可能となる。AWD 性能を高いレベルで確保しながら、さらなる低燃費化を実現するために、温度環境変化に対する電子制御 AWD カップリングのトルク特性変化の改善に取り組んだ。

今回開発した次世代電子制御 AWD カップリングは、これらのニーズに対処するために電磁クラッチ表面の微視的な油圧反力に着目し、表面形状 (テクスチャリング) を工夫することにより、潤滑油の粘度が増加する低温域において、特別なアクチュエータや制御無しで、積極的にクラッチ間動圧を自己発生させることで、過大なトルクの増大を抑制した<sup>1)</sup>。これにより、ドライブラインの軽量化、低燃費化に貢献できる。下記に、このカップリングに用いられている電磁クラッチの高性能化技術について述べる。

## 3. 高性能化技術

## 3. 1 引きずりトルクの低減

電子制御 AWD カップリングは電磁クラッチ非作動時、図 3 に示すように必然的に低温環境下において潤滑油粘度の増大に伴い、引きずりトルクが増大する。電磁クラッチ周りにおける本検討の潤滑領域は図 4 に示す流体潤滑領域である。流体潤滑領域においては、クラッチ隙間を拡げることで、潤滑油の粘性によるせん断トルクの低減が可能となる。

そこで、図 5 のように、インナープレートの表面のランド部に巨視的な数十  $\mu\text{m}$  オーダのしゅう動面形状 (クラウニング) を付与した。これにより、図 6 のように、特に低温環境下において高粘度流体を積極的に利用し、クラッチを離間させる方向の油圧反力を発生させる。その結果、図 7 に示すようにクラウニング量

の増加に伴い、 $-40^{\circ}\text{C}$ における引きずりトルクが低減した。開発品ではクラウニングにより油圧反力を有効活用する一方、この油圧反力が背反とまらない範囲にて調整を行った。つまり、すべり速度増加に伴う、過剰な油圧反力の増大は $\mu\text{-}\nu$ （耐振性の指標：摩擦係数の速度依存性）負勾配につながり、シャダーを誘発するためである。

### 3. 2 低温トルク精度の向上

電磁クラッチ作動時においても、非作動時と同様、潤滑油の粘度増大に起因して、伝達トルクが増大する。しゅう動面は、図8に示すように境界潤滑領域にある。この境界摩擦を制御するため、電磁クラッチの微視的なしゅう動面形状の最適化を理論的および実験的に検討した。本しゅう動面の油中での摩擦は図9に示すイメージで表され、潤滑油のせん断抵抗による流体摩擦と固体接触による境界摩擦が混在すると考えられる<sup>2)</sup>。本検討ではアウタープレートとインナープレートの摩擦界面をモデル化し、油圧反力を考慮した境界摩擦と潤滑油のせん断抵抗による流体摩擦を含めた最適なトータル摩擦を検討した。

潤滑油粘度が増加する低温環境下では、積極的に油圧反力を利用して過剰な制御トルクの増大を抑制する。図10にアウタープレートに付与している微細溝の3次元イメージを示す。この微視的なしゅう動面形状により、境界摩擦を制御している。上記の理論解析により、最適なアウタープレートの微細溝ピッチを検討した。図11に微細溝ピッチと電子制御 AWD カップリングの $50^{\circ}\text{C}$ の制御トルクに対する $-40^{\circ}\text{C}$ の制御トルクの変化率を示す。実線が計算値であり、プロットが実験値である。計算値は実験値を精度よくシミュレートできており、アウタープレートの微細溝ピッチの増加に伴い、トルク変化率が減少し、 $50^{\circ}\text{C}$ と $-40^{\circ}\text{C}$ の制御トルクが等しく（トルク変化無し）なる微細溝ピッチが存在する。また、微細溝ピッチがさらに拡大すると、すべり速度に伴う巨視的な油膜厚さが過大となり、 $\mu\text{-}\nu$ 負勾配となることで、シャダーが発生する。更に、インナープレートに施した DLC-Si (Si 含有 Diamond-Like Carbon) 被膜<sup>3)</sup>の効果でクラッチの耐摩耗性が大幅に向上したために、微細溝ピッチの拡大が適用可能になっている。これらの結果より開発品では、アウタープレートの微細溝ピッチを拡大し、耐シャダー性能は維持しながらも、低温での制御トルクの増大を抑制し、低温から高温域まで安定したトルク精度が確保可能となった。

## 4. 開発品の効果

図12に従来品と開発品の AWD カップリングの電磁クラッチ非作動時の引きずりトルクの比較を示す。特に $0^{\circ}\text{C}$ 以下において、引きずりトルクがおおよそ50%低減可能となっている。インナープレート表面に付与したクラウニングにより、引きずりトルクを大幅に低減することが可能となった。

図13に従来品と開発品の AWD カップリングの $50^{\circ}\text{C}$ を基準にした際の各温度域の制御トルク変化率を示す。特に $0^{\circ}\text{C}$ 以下において、制御トルクの増大を大幅に抑制しており、 $-40^{\circ}\text{C}\sim 120^{\circ}\text{C}$ においてトルク温度依存性を従来品と比較すると約85%改善している。

## 5. おわりに

図14に従来品と開発品の電磁クラッチの表面形状の比較を示す。インナープレートでは、数十 $\mu\text{m}$ 単位の巨視的な形状であるクラウニングの付与、アウタープレートでは、数 $\mu\text{m}$ 単位の微視的な形状である微細溝のピッチ拡大により、低温引きずりトルクおよび低温トルク精度を大幅に改善した。

このように、電磁クラッチ表面の微視的な油圧反力に着目し、表面テクスチャーを最適化することで電子制御 AWD カップリングの性能を画期的に向上することが可能となった。

なお、本開発の次世代品はすでに量産を開始しており、電子制御 AWD 乗用車の安全性と更なる低燃費化の両立が可能な技術として地球環境保護に貢献している。

### 参考文献

- 1) J. Ando, H. Ando, T. Tsuda, K. Suzuki, Y. Niikawa : Development of Gen3 electronically-controlled AWD coupling with new high performance electromagnetic clutch, SAE Paper, 2014-01-1716 (2014)
- 2) 安藤淳二, 山口健, 堀切川一男 : DLC-Si 被覆電磁クラッチの表面粗さ制御と表面油溝付与による混合潤滑特性の向上, トライボロジスト, Vol.58, No.9, p.77-86 (2013)
- 3) J. Ando, T. Ohmori, A. Murase, N. Takahashi, T. Yamaguchi, and K. Hokkirigawa : Tribological Properties of

著者紹介



あんど ひろゆき  
安藤 寛之君

1980年8月1日生まれ。

2006年明治大学大学院理工学研究科博士前期過程修了。

同年(株)ジェイテクト入社，現在に至る。

電子制御 AWD カップリング等，自動車駆動部品開発に従事。

日本フルードパワーシステム学会，日本トライボロジー学会会員。

E-mail: hiroyuki\_a\_ando@jtekt.co.jp

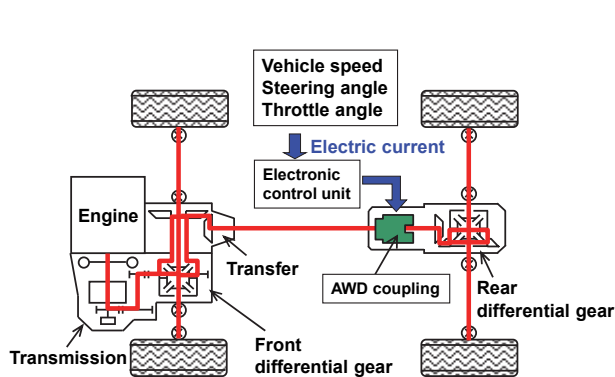


図1 電子制御 AWD カップリングの搭載例

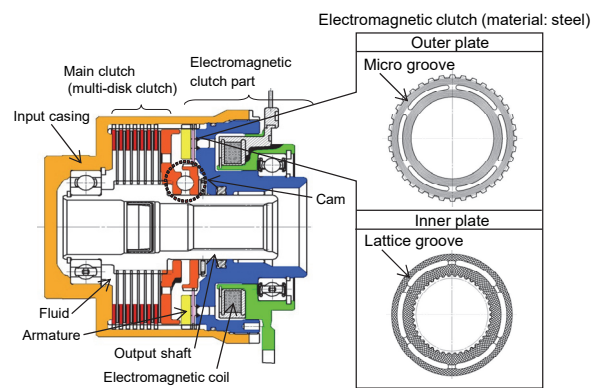


図2 電子制御 AWD カップリングの構造

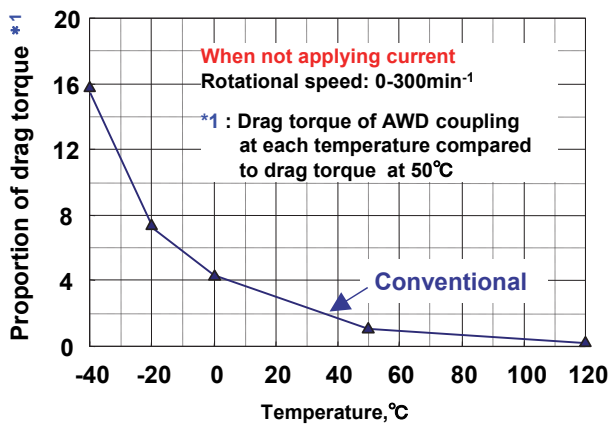


図3 電子制御 AWD カップリングの引きずりトルクの温度依存性

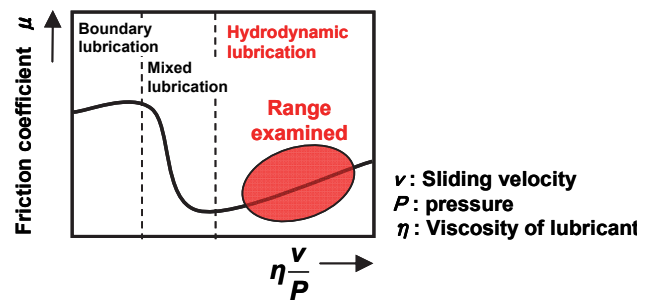


図4 ストライベック曲線による検討領域の説明

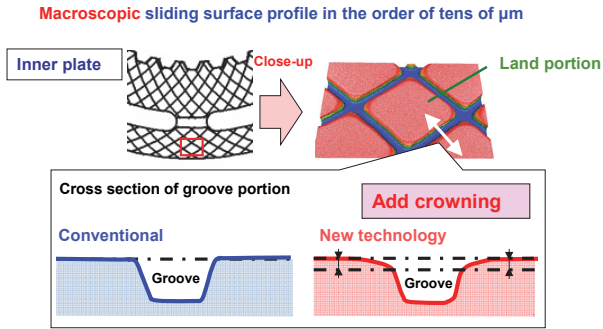


図5 巨視的しゅう動面形状（クラウニング）

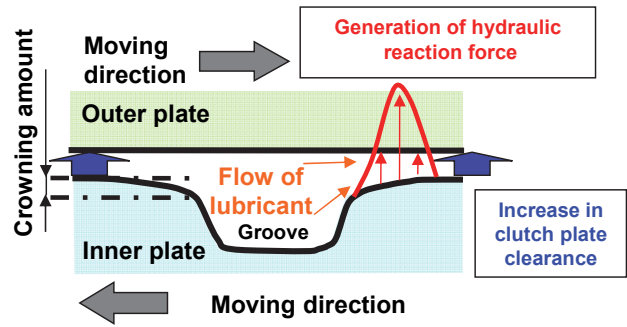


図6 クラウニングによる引きずりトルク低減のメカニズム

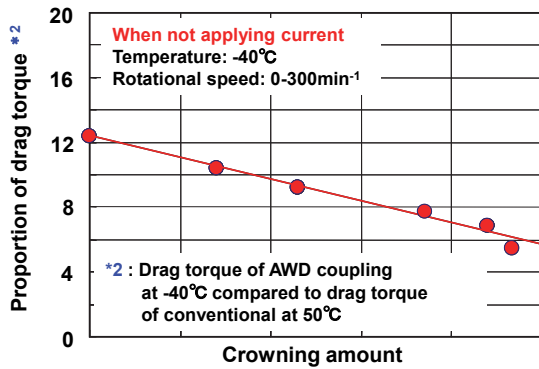


図7 クラウニングによる低温引きずりトルクの低減

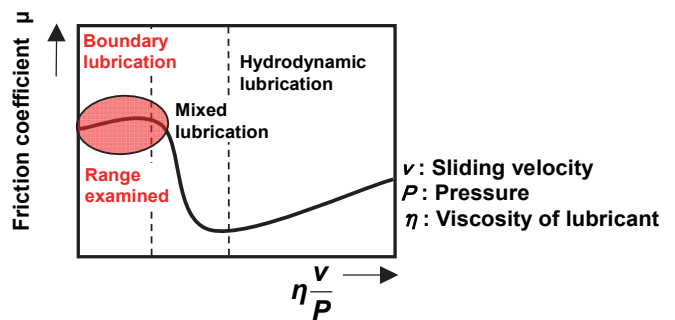


図8 ストライベック曲線による検討領域の説明

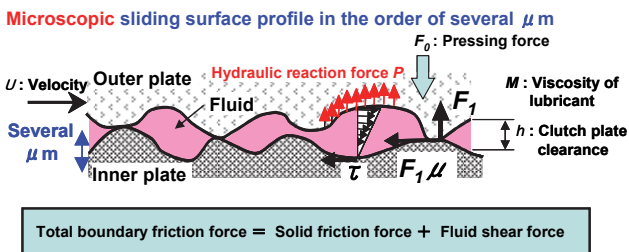


図9 微視的しゅう動面形状における境界摩擦の制御

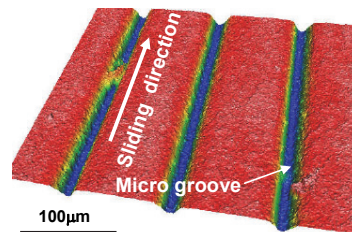


図10 微細溝の3次元形状測定結果

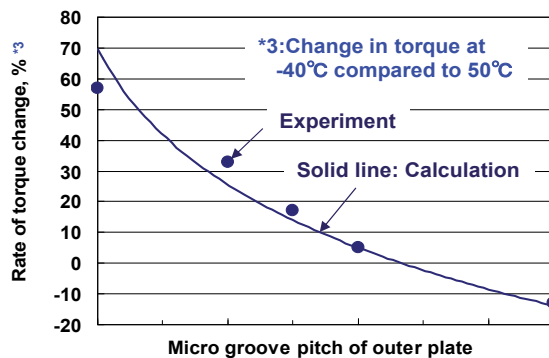


図11 トルク変化率に及ぼす微細溝ピッチの影響

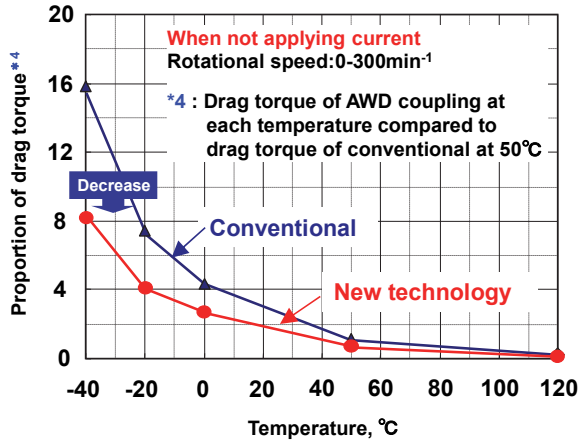


図 12 実機における引きずりトルクの温度依存性

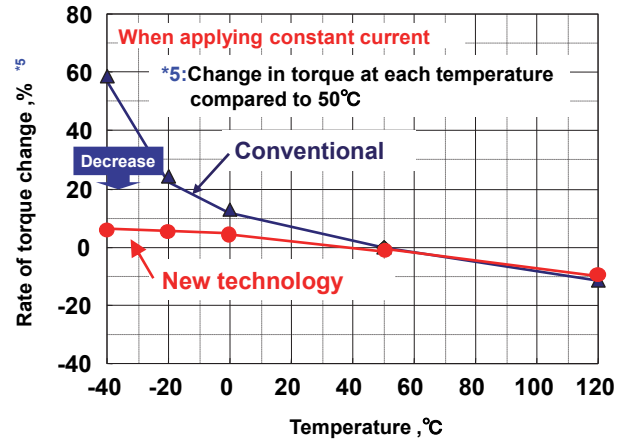


図 13 実機における制御トルクの温度依存性

	Appearance	Conventional	New technology
Inner plate			
		W/O crowning	With crowning
		Crowning: Macroscopic profile in the order of tens of μm	
Outer plate			
		Expansion of micro-groove pitch	
		Micro-groove: Microscopic profile in the order of several μm	

図 14 従来品および開発品の電磁クラッチ表面形状比較