

遊星歯車機構を用いた小型高効率1軸e-Axleの 低コスト潤滑システムの開発

長田 知大*

抄 録

近年普及が進む電動車両において e-Axle の小型化，低コスト化が求められている．小型化を実現するため減速機に遊星歯車機構を用いた 1 軸 e-Axle において，オイルポンプを使用しない低コストでシンプルな構造の潤滑システムを構築した．ユニット内のオイル流れを最適化し，潤滑性能と優れた伝達効率を両立した．

1. まえがき

電動車の普及拡大に向け，モータ・インバータ・減速機を一体化した e-Axle の小型化，高効率化が進められている．e-Axle を小型化することで，ラゲッジスペースや居住空間の確保，近年大容量化が進むバッテリー搭載スペースの確保，衝突安全空間の確保などパッケージングの向上や搭載性向上により車両組立にかかるコスト削減など多くの利点を得ることができる．遊星歯車機構を減速機として使用した 1 軸 e-Axle は，従来の 3 軸タイプに対し e-Axle の高さ・前後長さを抑え小型化することができる．

本稿では 1 軸 e-Axle に採用した低コスト潤滑システムを紹介する．

2. 1 軸 e-Axle の構造と潤滑システム

2.1 1 軸 e-Axle の構造

1 軸 e-Axle の構造を Fig. 1 に示す．1 軸 e-Axle は減速機に遊星歯車機構を用いており，モータの回転軸と減速機の出力軸が同一軸上に配置される．減速機内は潤滑用のオイルが封入されている．モータ室に減速機のオイルが侵入しないよう，減速機とモータの間はオイルシールでシールされている．中空のモータ軸内を出力軸が貫通する構造をもち，中空のモータ軸内は減速機と連通しているため，モータを隔てて減速機と反対側にも軸受とオイルシールが配置される．今回開発した 1 軸 e-Axle では上記軸受は車両左側 (Left Hand) に配置されるため，本稿では以下 LH 軸受と呼ぶ．この減速機から離れた LH 軸受とオイルシールにも潤滑を行う．

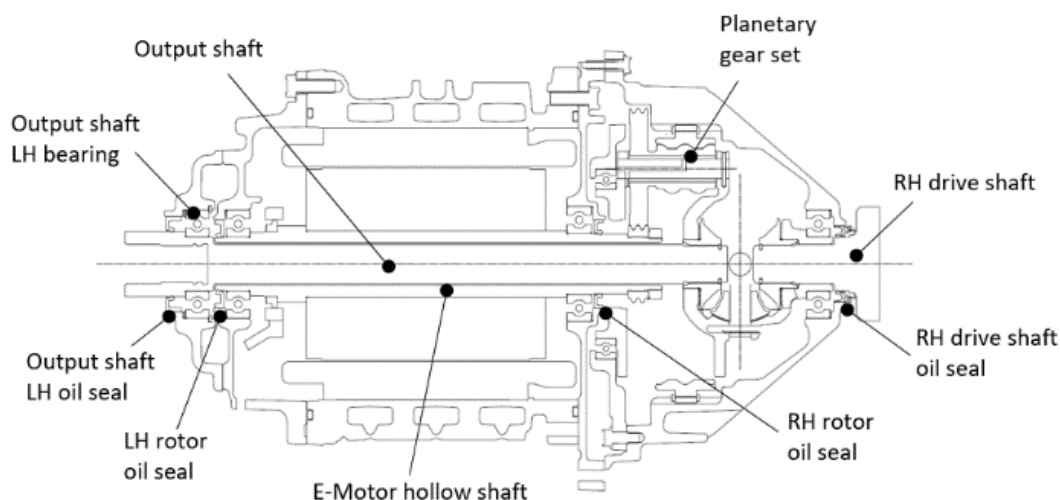


Fig. 1 1-axis e-Axle structure

* ユニットシステム開発部

2.2 潤滑システムの開発コンセプト

1 軸 e-Axle の潤滑システムの開発コンセプトとして以下の三点を狙いとした。

- (1) 遊星歯車機構は通常オイルポンプを用いて軸心へ強制的に潤滑するが、低コスト及び小型化実現のため、オイルポンプを使用しない潤滑方式とする。
- (2) 遊星歯車と LH 軸受にオイルを循環させるためオイルキャッチ構造を用いた潤滑方式を採用する。
- (3) オイル攪拌抵抗を最小限に抑え、高い伝達効率を両立させる。

2.2.1 オイルキャッチ構造を用いた潤滑方式

Fig. 2 にオイルキャッチ構造を用いた潤滑方式について示す。

遊星歯車機構の回転による飛沫油を、ケース上部に配置したオイルキャッチで捕捉する。オイルキャッチで捕捉したオイルは、e-Axle ケースの油穴を通して遊星歯車と LH 軸受へ分配される。

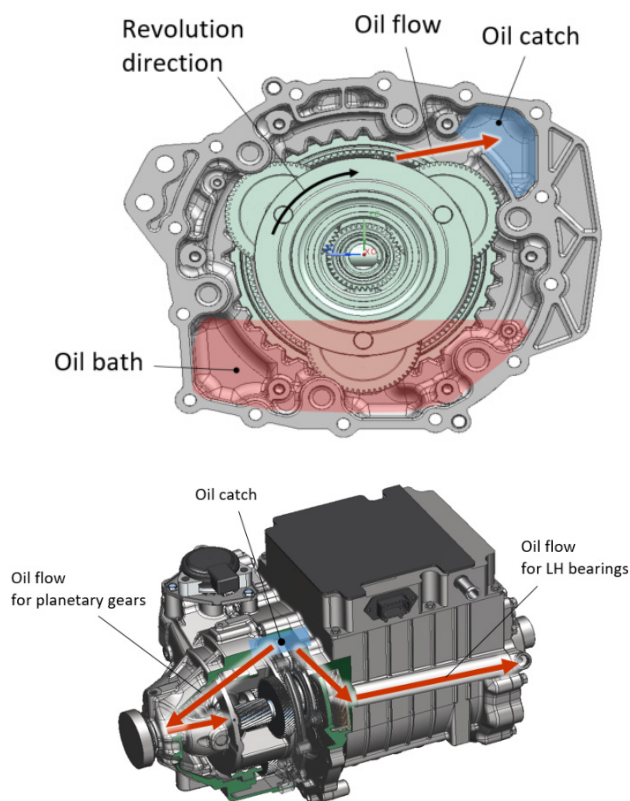


Fig. 2 Lubrication system for 1-axis e-Axle

2.2.2 遊星歯車機構の潤滑

遊星歯車機構はピニオンギヤが自転しながらサンギヤのまわりを公転する。Fig. 3 に示すように、低回転時にピニオンギヤが油没するようにオイルレベルを設定し、油没したピニオンギヤの自転により遊星ギヤの回転中心にオイルを掻きこむことで遊星歯車各部を潤滑できるようにした。

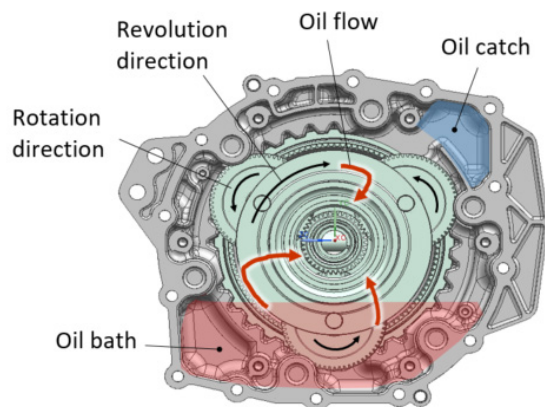


Fig. 3 Oil flow under low speed

回転数が上がると遠心力によりピニオンギヤの掻き込みによる潤滑は減少していくが、オイルキャッチへの飛沫油は増加するためオイルキャッチで捕捉したオイルをケースの油路を通して遊星歯車の回転中心へ供給するようにした。Fig. 4 に示すように、遊星歯車の回転中心に到達したオイルは、遠心力により遊星歯車各部位へ供給される。

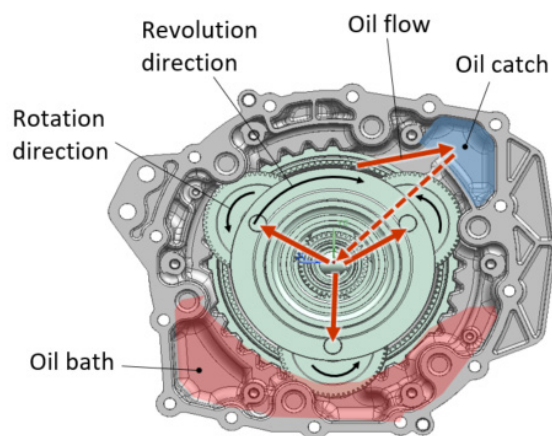


Fig. 4 Oil flow under high speed

2.2.3 LH 軸受の潤滑

Fig. 5 に LH 軸受の潤滑経路を示す。

LH 軸受には回転上昇とともにオイルキャッチからの潤滑が到達するが、回転開始直後は潤滑が不足する懸念がある。そのため、LH 軸受の下半分が停止時から油没するよう、LH 軸受側のオイルレベルを減速機側よりも高く設定した。オイルキャッチから供給されたオイルは、中空のモータ回転軸内を通して減速機へ戻すことで、オイルを循環させる構造とした。

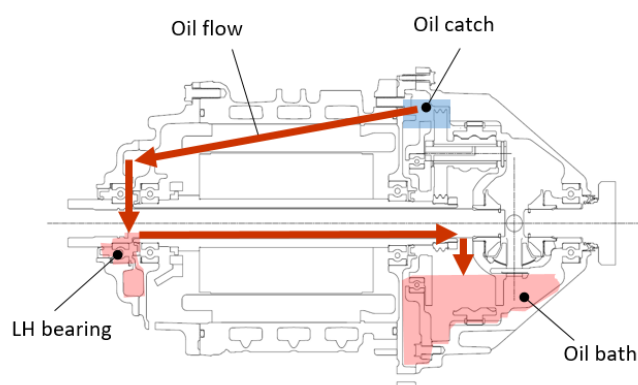


Fig. 5 Oil flow for LH bearing

3. 潤滑システムの課題と成立性

3.1 オイルキャッチ構造を用いた潤滑方式の成立性

オイルキャッチ構造を用いた潤滑方式を成立させるには、遊星歯車機構からの回転飛沫を効率良く捕捉できるオイルキャッチを設計する必要がある。

流体解析で減速機内部のオイルの流れをシミュレーションし、可視化実験により解析結果の妥当性を検証した。Fig. 6 にオイル流れの解析結果を、Fig. 7 に透明樹脂ケースを用いた可視化実験の外観を示す。解析結果を実機で検証することで、オイルキャッチを最適な位置と形状に配置することができた。

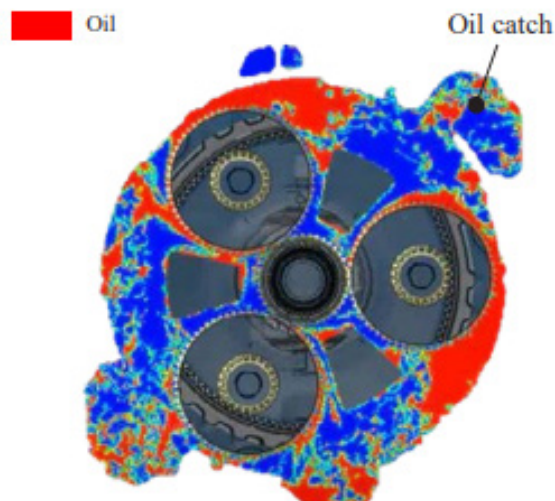


Fig. 6 Oil flow simulation

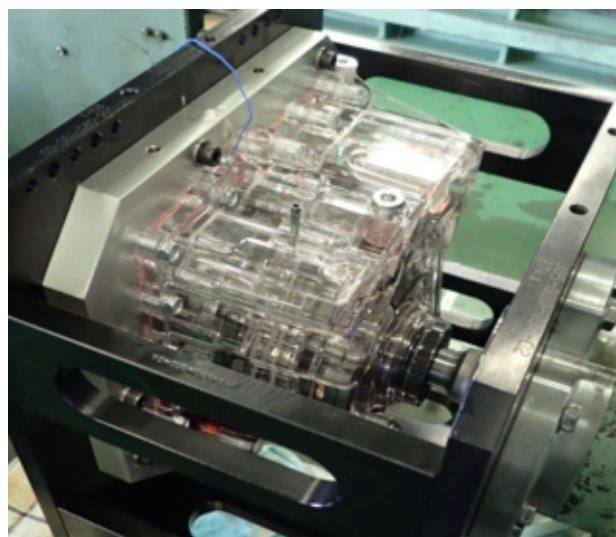


Fig. 7 Oil flow visualization test

3.2 遊星歯車機構の潤滑の課題と成立性

2.2.2 項で記載したとおり，停止～低速域で支配的となるピニオンギヤの掻き込み潤滑と，中高速域で支配的となるオイルキャッチ潤滑は，それぞれ回転数に対して背反する特性となっている．そのため全回転域で遊星歯車機構に必要な潤滑量を安定的に供給できるようにすることが課題となる．

ピニオンギヤの掻き込み潤滑とオイルキャッチ潤滑の潤滑量をそれぞれ実測し，遊星歯車機構の潤滑成立性を検証した結果を Fig. 8 に示す．ピニオンギヤの掻き込み潤滑とオイルキャッチ潤滑を組み合わせることで，全回転域で遊星歯車機構に安定的に潤滑を供給することができた．

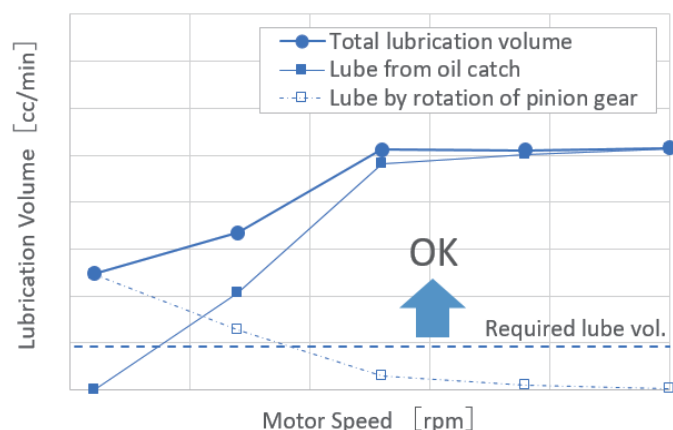


Fig. 8 Results of planetary gear lubrication volume measurement

3.3 LH 軸受潤滑の課題と成立性

2.2.3 項で記載したとおり，LH 軸受は停止時から油没しているため，オイル攪拌抵抗の増加が懸念される．

そこで，オイルキャッチ部にオイルを積極的に溜めて減速機側の動的オイルレベルを下げることで，オイル攪拌抵抗を低減させた．潤滑性能と動的オイルレベルを下げることによるオイル攪拌抵抗の低減が両立するように，オイルキャッチ容積を設計した．

オイルキャッチにオイルを溜めることによるオイルレベル低下の効果の検証のため，オイルキャッチ部の可視化実験，減速機のオイルレベル測定を実施した．また減速機の伝達効率測定を実施し，従来

3 軸タイプに対する優位性を確認した．

Fig. 9 にオイルレベル測定結果を示す．比較のためにオイルキャッチ構造を無効化したユニットも同様に測定した．可視化実験結果とオイルレベル測定結果より，想定通りに動的オイルレベルが低下することを確認できた．

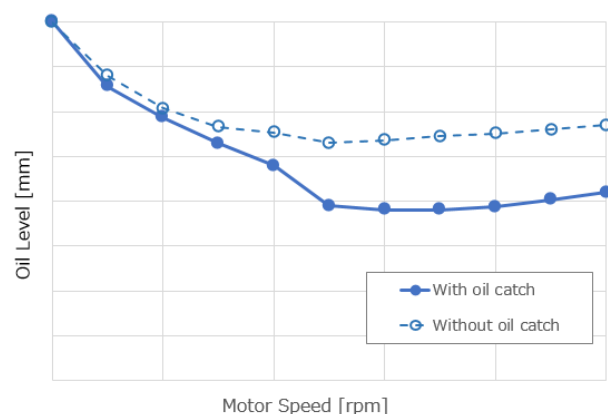


Fig. 9 Results of gearbox oil level measurement

Fig. 10 に 1 軸 e-Axle と従来の 3 軸 e-Axle の減速機のトルク損失を示す．オイルレベル低下によるオイル攪拌抵抗低減の効果，および円すいころ軸受を使用しない 1 軸 e-Axle の軸受構造による機械損失低減の効果により，3 軸タイプの減速機に対してトルク損失をほぼ半減することができた．

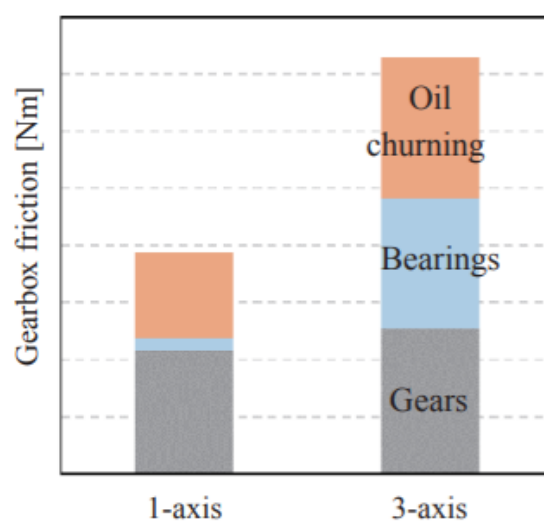


Fig. 10 Gearbox friction loss

4. まとめ

遊星歯車機構を用いた 1 軸 e-Axle において、オイルポンプを使わないシンプルな構造の潤滑システムを構築した。ユニット内のオイル流れを最適化し、潤滑性能と攪拌抵抗の低減を両立させ、低コスト小型高効率 1 軸 e-Axle を実現した。

5. 参考文献

- (1) 上原弘樹，及川翔太，横山和彦：遊星歯車機構を用いた小型高効率 1 軸 e-Axle, JATCO Technical Review No.21, pp.3-6 ,2022

■ 著者 ■



長田 知大