

# フェールセーフ機能付操舵用電動油圧アクチュエータの開発

車両構造技術研究部 走り装置研究室  
副主任研究員 梅原 康宏

## 1. はじめに

鉄道車両における操舵台車とは、曲線通過時に車輪の転動方向がその曲線の接線に沿うように輪軸を向ける台車であり、曲線通過時に発生する車輪 - レール間の横圧を低減するために、これまで様々な方式の操舵台車が研究・開発されてきた。その中でも車体 - 台車間の相対ヨー角（ボギー角）に応じて輪軸を操舵するボギー角連動操舵台車は、円曲線での横圧低減効果が大きいことに加えて、逆操舵動作が発生する危険性がほとんどないため、国内で既に実用化されている。しかし、ボギー角連動操舵台車には円曲線に比べて緩和曲線での横圧低減効果が得られにくいという課題が残されている。そこで、本研究では緩和曲線において、台車旋回方向に能動的な制御力を与え、さらなる横圧低減を行う操舵システムについて検討を行った。その中で、アクティブ方式の最大の課題である逆操舵動作を防止しながら緩和曲線における横圧を低減する操舵用電動油圧アクチュエータ（操舵用 EHA）を開発したので、その動作メカニズムやベンチ試験結果などについて紹介する。

## 2. ボギー角連動操舵台車と操舵用 EHA

ボギー角連動操舵台車の基本的な構造を図 1(a) に示す。台車枠と操舵バリの相対ヨー角に輪軸が連動するように操舵レバーと操舵リンクを構成することで、曲線通過時の台車旋回によって外軌側軸距を拡大し、内軌側軸距を縮小することができる（図 1(b)）。過去に実施した走行試験結果より曲線通過時の従来台車と操舵台車の外軌横圧波形を図 2 に示す<sup>1)</sup>。操舵台車は円曲線区間において大幅な横圧低減効果が確認できるが、緩和曲線区間では効果が少ない。そこで、緩和曲線区間で補完的な操舵力をアクチュエータにより付加するアシスト操舵システムの開発を行うこととした。

アシスト操舵システムの操舵用アクチュエータには、台車内の搭載スペースと必要な発生力を考慮し、応答特性が良好で、配線などの設置が容易な電動油圧方

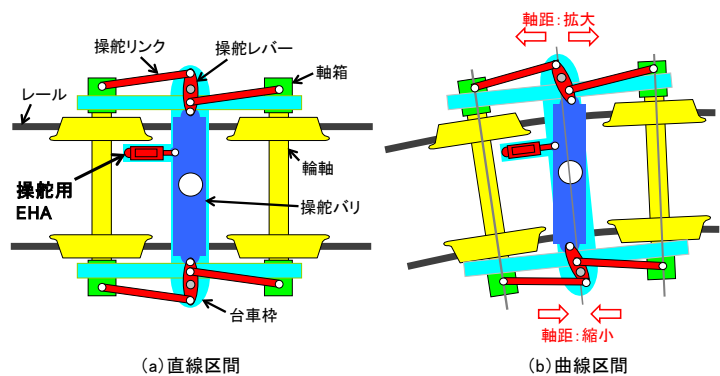


図 1 ボギー角連動操舵台車と操舵用 EHA

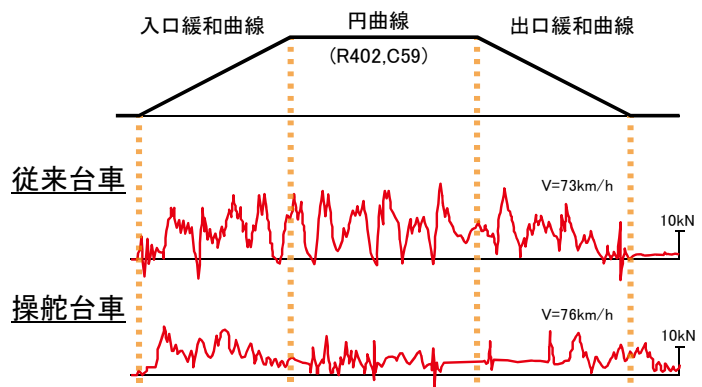


図 2 従来台車と操舵台車の外軌横圧比較

式を適用した。図 1 に示すように台車枠と操舵バリの間に操舵用 EHA を構成し、伸縮による推力を台車旋回トルクに変えて、側受すり板の摩擦力を打ち消して、台車が旋回し易くするよう制御を行う。台車に装備した操舵 EHA の外観および主要諸元を図 3、表 1 に示す。

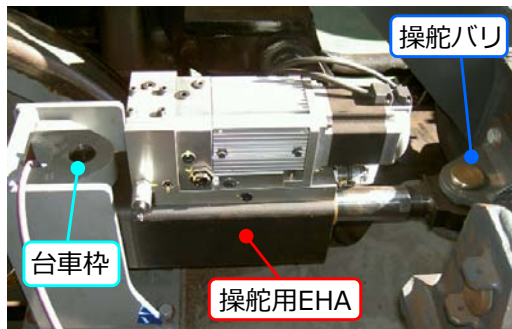


図 3 操舵用 EHA

表 1 操舵用 EHA 主要諸元

定格推力	±34kN
最大推力	±55 kN
最大ピストン速度	14 mm/sec
ストローク	81mm
最大操舵トルク	±21 kN・m

### 3. 所内走行試験による横圧低減効果

アシスト操舵システムを備えたボギー角運動操舵台車を試験車両に組み込み、所内試験線にて走行試験を実施した（図 4）。今回の試験では、原理実証用の操舵目標パターンとして、緩和曲線区間位置に合わせてランプ状に操舵力を上昇させ、緩和曲線中は操舵力を維持し、円曲線または直線の進入位置付近で圧力を低下させるパターンを採用した。シミュレーションで操舵力と横圧の関係性を把握し、走行試験時において安全性を確認しつつ徐々に操舵力を増加させてデータ取得を行った。操舵制御方法としては、制御付き振り子車両などで用いられている予見制御方式を採用し、必要となる車両走行位置は、地上側に設置した反射シートの検出位置を基準とし、速度発電機の発生パルスと車輪径より走行位置を算出した。

操舵 EHA 発生力（操舵力）を変化させた場合の入口緩和曲線における外軌横圧の平均値を図 5 に示す。加えた操舵力に比例して発生横圧が変化する効果が確認できた。最大操舵力（55kN）による操舵制御では、制御なし（0kN）に比べて横圧の平均値が 1/2 以下に低減されている。



図 4 走行試験状況（機関車＋試験車両）

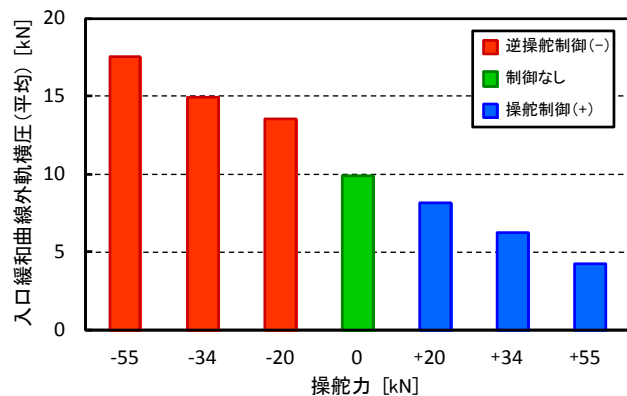


図 5 走行試験結果（操舵力付与による横圧の変化）

### 4. フェールセーフ油圧回路の開発

本アシスト操舵システムでは、車体 - 台車間にアクチュエータを設け緩和曲線通過時に台車の旋回方向に旋回を補助する力を加えることで横圧を低減させるため、万一アクチュエータが逆方向に力を発生（逆操舵）すると図 5 のように横圧が増大する。このため、実用化を目指すにはフェールセーフ対策が必要不可欠となる。フェールセーフ対策として、センサ等を活用してフェー

ル状態を検知して安全性確保する方法もあるが、本報告では機械的に逆操舵状態を回避する方法について示す。

操舵用 EHA のシリンダには、正常動作時に台車旋回を助ける方向に圧力が負荷されるが、異常動作時には台車旋回に逆らう方向に加圧されるためシリンダ内部が高圧となる。シリンダ内圧が規定圧を超えた場合に規定圧以上の圧力を逃がす弁（リリース弁）を用いることで制御圧を抑制し、異常動作時の影響を軽減することは可能であるが、この方法では異常動作時に負荷される圧力を正常動作時の最大圧力以下にすることができない。このため、異常動作時にはより低い圧力で加圧側シリンダ内の作動油を逃がしアクチュエータが発生する力を抑制し、正常時には作動油を逃がさない構造が必要である。そこで、制御方向と実際の伸縮方向の一致を判別する弁とリリース回路を組み合わせた油圧回路をポンプとシリンダの間に追加することでフェール動作を抑制する回路（フェールセーフ油圧回路）の開発を行った。

フェールセーフ油圧回路の概略図を図 6 に示す。フェールセーフ油圧回路は 6 ポートを有するスプール弁 2 個とチェック弁 4 個で構成され、油圧シリンダと電動式油圧ポンプの間を接続している。図 6(a) に示すように、ポンプによりシリンダ右側を加圧しピストンを左側に変位させ、これと同時に外部から左側にピストンを変位させる（制御方向と実際のアクチュエータ変位が同じ）場合には、ポンプから回路に供給される作動油は、スプール弁を経由してシリンダへ導入され、アシスト操舵力が発生する。これに対して図 6(b) に示すように、ポンプによりシリンダ右側を加圧しピストンを左側に変位させ、これと同時に外部から右側にピストンを変位させる（制御方向と実際のアクチュエータ変位が異なる）場合、逆方向の動作が発生することで設定以上にシリンダ右側の圧力が高くなると、スプール弁が動作し、シリンダ右側の作動油を逃がすリリース回路が構成される。同時にスプール弁ではバイパス回路が構成されるため、ポンプから供給される作動油は右側のスプール弁を経由してポンプ低圧側へと流れ、油圧シリンダへの供給圧が制御されることで逆方向動作が抑制される。なお、油圧回路は左右が同じ構成であるため、前記の動作例においてシリンダ加圧方向と外部変位の方向が逆転しても同様の動作をする。

次に、原理実証実験をもとに作成した油圧回路シミュレーションを用いて、フェールセーフ油圧回路の配管径、スプール弁内のオーバーラップ量等のパラメータ設計を行い、操舵用 EHA に内蔵可能なフェールセーフ油圧回路を製作した。図 7 に操舵用 EHA に内蔵した状態のフェールセーフ油圧回路の外観を示す。

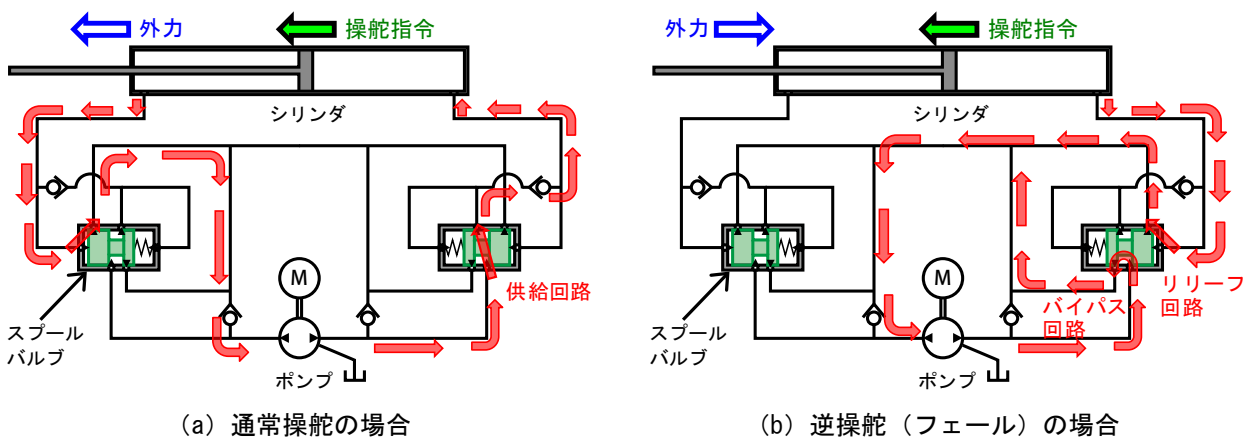


図 6 フェールセーフ油圧回路の動作メカニズム

ベンチ試験においては、操舵用 EHA と対向に曲線通過時のボギー角を模擬するアクチュエータを設け、基本性能およびフェールセーフ性能を確認した。図 8(a) に通常操舵制御時、図 8(b) に逆操舵制御（フェール）時の操舵用 EHA の変位および発生力を示す。図中の実線が伸び方向、破線が縮み方向の発生力である。図 8(a) では制御方向とボギー角によるアクチュエータ変位方向が同じであるため、フェールセーフ油圧回路が動作を阻害することなく操舵力が発生していることが確認できる。また図 8(b) ではボギー角によるアクチュエータ変位と反対方向に操舵用 EHA が力を発生するように指令が入力され、油圧ポンプが動作しているが、結果としてアクチュエータによる力は立ち上がり時にわずかに発生するだけで、全体を通して小さく、フェールセーフ性が確保できていることが確認できた。

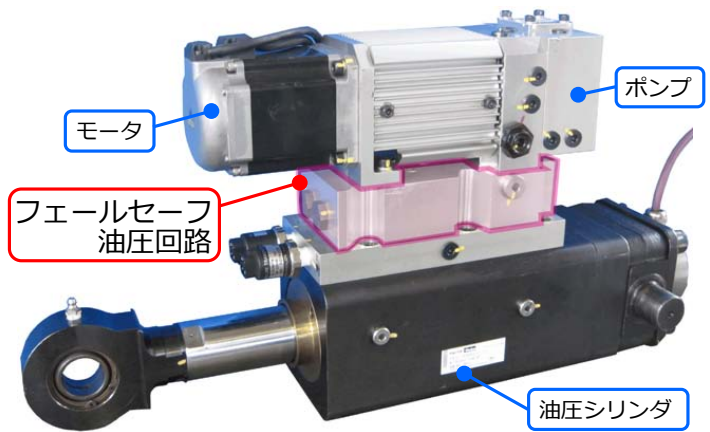


図 7 フェールセーフ油圧回路を内蔵した操舵 EHA

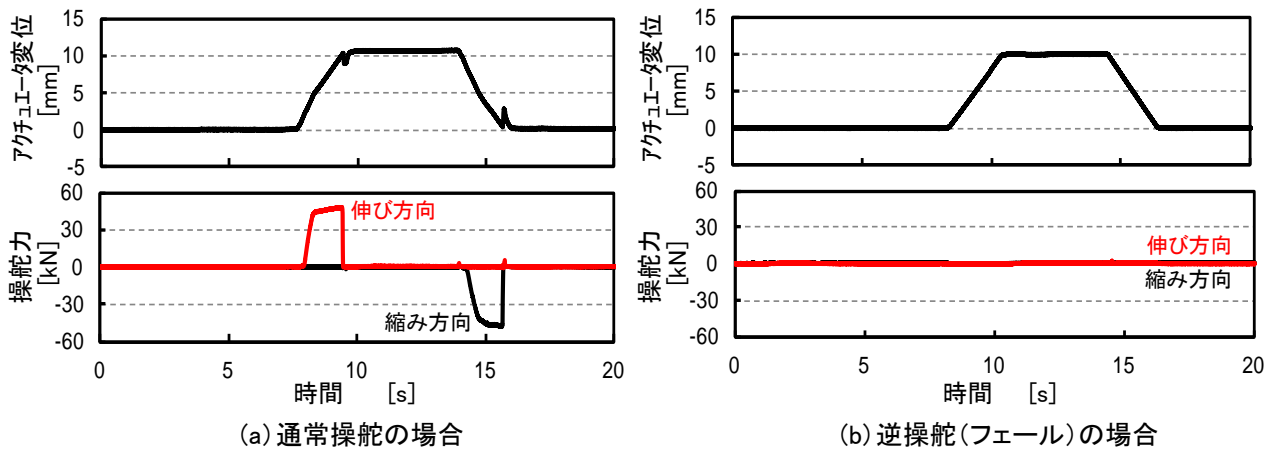


図 8 ベンチ試験結果

## 5. おわりに

ボギー角連動操舵台車に適用可能な操舵用 EHA を開発し、所内試験線での実車走行試験において、緩和曲線区間の横圧低減効果を確認した。また逆操舵制御などのフェール時を考慮し、機械的なフェールセーフ機能を備えた油圧回路を考案し、原理実証試験およびシミュレーションにより性能を確認した。油圧回路シミュレーションで求めた油圧回路諸元をもとに製作したフェールセーフ油圧回路を操舵用電動油圧アクチュエータに組み込み、ベンチ試験にて操舵性能を阻害することなく、フェールセーフ性を確保できていることを確認した。今後は実車両に装備しても同様な性能を確保していることを確認していく予定である。

## 参考文献

- 1) 小林, 秋山, 佐藤, 岡本, 手塚: 特急気動車用操舵付き振り台車の主な走行試験結果、鉄道総研報告, Vol.11, No.4, pp.25~30, 1997.