

博士論文の要旨及び審査結果の要旨

氏名 MYAT THIRI KO
 学位 博士 (工学)
 学位記番号 新大院博(工)第469号
 学位授与の日付 平成29年9月20日
 学位授与の要件 学位規則第4条第1項該当
 博士論文名 Robust control of the contact force of an active pantograph for high speed trains
 (高速鉄道車両用アクティブパンタグラフのロバストな接触力制御)

論文審査委員 主査 教授・安部 隆
 副査 教授・平元 和彦
 副査 教授・田邊 裕治
 副査 教授・鳴海 敬倫
 副査 准教授・横山 誠
 副査 准教授・坂本 秀一

博士論文の要旨

新幹線に代表される高速鉄道車両は、安全で高効率な移動を可能とする公共交通機関として発展し、現在も更なる高速化、安全性の向上が期待されているところである。本研究は、鉄道総合技術研究所との共同研究によって始まったプロジェクトの一部であり、新幹線のさらなる高速化に必要なパンタグラフの接触力制御問題を扱っている。

パンタグラフは、車両上方の架線に流れる電流を鉄道車両に取り込むための装置であり、いわば電車にとって生命線の一つである。一方、架線は重力によって弛まず、常に地面に対して平行を保つように、メッセンジャーワイヤ、ハンガー、ブラケットなどの部品によって支えられている。これらを総称してカテナリーシステムと呼び、一つの複雑な柔軟構造体とみなすことができる。電車への安定な電力供給のためには、パンタグラフと架線が常に接触していることが最も重要であることは明らかであるが、強く押し付け過ぎると、架線の磨耗を引き起こし、架線の交換時期を早め、最悪の場合は架線が破断する（実際に、このような事故が発生している）。反対に、押し付け力が弱い場合、離線を起し、不安定な電力供給に加えて、スパークの発生による架線の損傷を引き起こされる。

現在のパンタグラフは、上記のことを考慮しつつ、ばねと特殊なリンク機構によって、ほぼ一定の接触力を保持している。しかし、さらなる高速化に伴い、従来のパンタグラフでは離線などの問題が発生し易くなっていることが、数値シミュレーションによって分かっている（本論文でもこれを示している）。これは、カテナリーの等価剛性が電車の走行中に変動することに起因しており、従来の受動的なばね要素では解決できない問題である。そこで、本論文では空気圧アクチュエータを用いたアクティブパンタグラフの制御手法に関して検討している。

実際のパンタグラフでセンシングできる状態量は限られており、いわゆる全状態フィードバック制御器は現実的ではない。そこで、本論文ではまず、二つのセンサーだけを用いた、非線形オブザーバ（状態推定器）を提案している。このオブザーバ設計では、架線の等価剛性変動が状態推定を困難にしていることに着目し、この変動がいわゆるマッチング条件を満たすように、オブザーバゲインを設計し、ロバストな（精度の高い）推定を実現している。

さらに、この推定器を用いつつ、3種類の積分補償型（サーボ）の状態フィードバック制御器を提案している。一つ目の制御器は、線形フィードバックの構造を有し、パラメータの決定には最適サーボ設計理論を応用している。そして、数値シミュレーションによって、接触力変動が小さく制御されることを示している。しかし、さらなる向上を目指して、第二の制御器を提案している。その制御器は、オブザーバと同様にスライディングモード制御理論を応用しており、マッチング条件を満たす外乱や不確かさに対してロバストであることが示されている。しかし、設計パラメータの決定には、いわゆる最適レギュレータ理論をそのまま用いており、最適なサーボとはなっていないため、次の制御器を提案している。第3の制御器では、独自の理論によってスライディングモード状態のダイナミクスが詳細に解析され、最適なサーボ系として設計パラメータを決定する方法が提案されている。さらに、評価関数の中の重み変数を変えることによって、制御システム極がどのように変化するか解析し、重要な結果を得ている。それは、カテナリーシステムの固有モードと閉ループシステムの極が一致するように設計することで、接触力変動が大きく抑制されることであり、物理的にも説得力のある結果である。

審査結果の要旨

本論文は、新幹線等の高速電車に安定な電気を供給することを目的に、アクティブパンタグラフの制御器設計に関する問題を解決する手法を幾つか提案している。特に、スライディングモード制御と呼ばれる、発展的な非線形制御理論を巧みに応用し、カテナリーの等価剛性変動に対してロバストなオブザーバ（状態推定器）とフィードバック制御器を提案し、その有効性が数値シミュレーションによって示されている。数値シミュレーションにおいては、現実に使用を予定している空気圧アクチュエータの同定モデルを用いており、信頼性も十分にある。一方、最適制御理論を応用した詳細な解析によって、接触力変動を低減するための本質的な事実を指摘しており、過去の研究には見られない重要な設計指針を与えているとみなせる。

以上の結果は、機械工学を核とした制御工学に十分に寄与する内容である。よって、本論文は博士（工学）の博士論文として十分であると判定した。