

氏名(本籍)	熊谷則道 (東京都)
学位の種類	博士(情報科学)
学位記番号	情第33号
学位授与年月日	平成16年3月11日
学位授与の要件	学位規則第4条第2項該当
最終学歴	昭和51年3月 東北大学大学院工学研究科機械工学第二専攻 前期課程
論文題目	鉄道車両ブレーキシステムの性能向上に関する研究
論文審査委員	(主査) 東北大学教授 猪岡 光 東北大学教授 中野 栄二 東北大学教授 加藤 康司 (工学研究科)

論文内容要旨

1. ブレーキシステムの問題点

粘着ブレーキにおいては、雨、雪などの天候、落葉、レール騒音防止のために散布された油の介在などにより、制輪子・車輪間の摩擦力が低下し、あるいは車輪・レール間の粘着力が低下すると、列車の減速が不十分となり、ブレーキ距離が大幅に増加することになる。

このようなブレーキ力の不意の低下により、運転士は前方の信号現示で指示された制限速度を遵守できないことになり、列車の正常な運行に支障をきたす。さらに、ブレーキ距離の増加は、駅停止位置を超えた過走のみならず、分岐器の破損、行き止まり駅における車止めへの衝突、列車衝突など大事故の原因となりかねない。これまでもブレーキに関わる事故が多々発生してきた。かような列車の安全な運行を支障するブレーキ距離の増加は、鉄道輸送を扱う者にとって容認できない事象である。

粘着ブレーキにおいてブレーキ距離を短縮するため、制輪子押し付け力を増加し、車輪に付加する車輪ブレーキ力を大きくしたとしても、

車輪・レール間の粘着力以上の力をブレーキ力として利用することはできない。車輪ブレーキ力が粘着力より大きい値となると、車輪は滑走する。滑走とは、車両の走行速度より車輪の周速度が低くなる状態を表す。車輪滑走が起きてなお車輪ブレーキ力が減少しない場合には、滑走が継続し、ついには車輪の回転が完全に停止する固着状態となる。車輪が固着すると、車輪踏面に滑走痕（車輪フラットと言う）が生じる。車輪フラットは、騒音・車両振動の原因となるのみならず、車軸受けの破損、バラストの微粒化など軌道の劣化を引き起こす。

一方、車輪の固着を防止するため、車輪ブレーキ力を減じて車輪の再粘着を図る車輪滑走防止装置を導入した車両では、制御の良否によっては、過大にブレーキ力を減じるために、ブレーキ距離が大幅に増加する可能性が高い。

車両の安全性の維持に加えて、旅行時間の短縮のため、車両の運転最高速度を向上する方策が採られることがある。このような場合においても、速度向上後のブレーキ距離は在来線においては600m以下で停止することが義務付けられている。また、新幹線においては、地震などの異常時に脱線転覆等の機会を増加させることがないよう、速度向上後のブレーキ距離を速度向上前とほぼ同様のブレーキ距離とすることが求められている。

ブレーキシステムの性能を向上する際に、ブレーキ距離の増加に関する問題を看過することはできない。この問題の解決の手段として、制輪子・車輪間の摩擦係数および車輪・レール間の粘着係数を低下させないこと、粘着係数が低下した状態においても車輪滑走を発生させないことおよび車輪滑走を高度な技術により制御することに帰着する。車輪滑走を許容する場合には、滑走制御によるブレーキ距離の増加に対する問題の解決手段を講じなければならない。すなわち、滑走制御の有無に対応したブレーキシステムのあらたな評価、現象把握および高度な技術の導入が、安全の維持および速度向上に寄与する新しいブレーキシステムを構築するために、極めて重要なことと考える。

車輪滑走制御が行われない場合については、非常ブレーキを作用させる制御弁などの特性、あるいは制輪子・車輪踏面間の摩擦係数の低下現象、車輪フラットの発生要因把握などが課題としてあげられる。車輪滑走が行われる場合については、実車両における車輪・レール間の粘着状態の把握、より高度な滑走制御方法の導入などが解決されるべき課題として挙げられる。

列車を安全に運転することおよび列車のスピードアップを行うにあたっては、安全輸送の重要な一翼を担うブレーキシステムの安全性を高めるとともに性能を向上させねばならない。

2. 研究の目的

本研究においては、鉄道におけるブレーキの役割といえる「安全性が高いブレーキシステム」および「スピードアップを支援できるブレーキシステム」を創造することをねらいとする。

ブレーキシステムの性能を向上する際に、ブレーキ距離の増加に関する問題を看過することはできない。この問題の解決の手段は、主に、制輪子・車輪間の摩擦係数および車輪・レール間の粘着係数を低下させないこと、粘着係数が低下した状態においても車輪滑走を発生させないことおよび車輪滑走を高度な技術により制御することに帰着する。車輪滑走を許容する場合には滑走制御によるブレーキ距離の増加に対する問題の解決手段を講じなければならない。ブレーキシステムの新たな評価、現象把握および高度な技術の導入が、安全の維持および速度向上に寄与する新しいブレーキシステムを構築するために、極めて重要なことと考える。

よって、ブレーキ力低下によるブレーキ距離の増加を防止するために、車輪滑走に深く関与する車輪・レール間の粘着係数低下と車輪に付加するブレーキトルクの低下について、車輪滑走制御が行われない場合および車輪滑走制御が行われる場合に対し、新たな評価方法、現象把握、より高度な新しい制御方法の提案を行うことを研究の目的とする。

具体的には、滑走制御が行われない場合の粘着ブレーキシステムに対して、

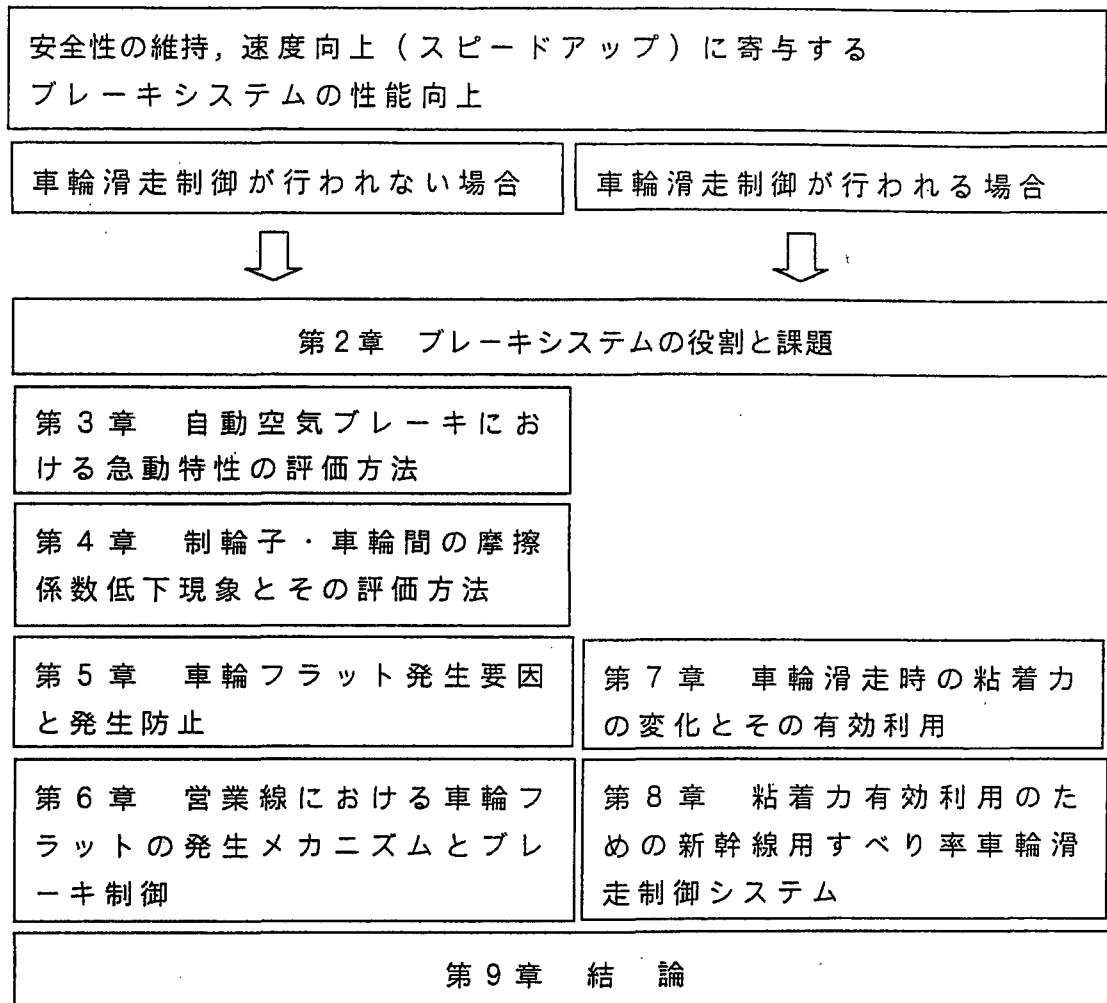
- (1)自動空気ブレーキシステムで車輪滑走を引き起こす急動作用（非常ブレーキ作用）を制御する制御弁などを対象に、従来には行われなかった新しい動作特性評価方法を提案し、その効果を検証する
- (2)低速時に常用ブレーキを繰り返し使用することにより、湿潤状態で制輪子の摩擦係数が大きく低下する現象を把握する。さらに、摩擦係数の低下を定量的に把握する新しい評価方法を提案して、その効果を室内実験により検証する。
- (3)ブレーキ制御方法、熱的影響など損傷の発生過程に言及した車輪踏面損傷の新たな分類を行う。制輪子材質、設定ブレーキ力、車輪踏面粗さなどの要因の車輪フラット発生への影響を定量的に把握し、車輪フラット発生防止方法を提案する。
- (4)車輪フラットの発生要因と発生率の定量的評価、ブレーキ制御方式に言及したフラット発生メカニズムを明らかにする。車輪・レール間の粘着状態を統計的に分析し、フラット防止する運転士のブレーキ扱いの提言を行う。

次に、滑走制御を行う粘着ブレーキシステムに対して、

- (1)車輪滑走時の車輪すべり率に対する接線力係数の変化を、全すべり率の範囲で計測する新しい方法を提案し、接線力係数の変化に関する現象の把握を行う。これらにより、滑走時に粘着力を有効利用するための滑走制御の新しい考え方を提案する。
- (2)粘着力を有効利用して車両の減速を高めるための滑走制御方法として、速度および減速度の演算を高精度にかつ短時間で行う新しい方法を提案する。さらに、この制御方法を新幹線車両、滑走時のブレーキ距離の増加を最小限に抑制する効果の検証と結果の考察を行う。

本研究の構成を下図に示す。

研究論文の構成



3. 結論

本研究により，次の結果を得た．

輸送モードの分類に基づいたブレーキシステムの役割とブレーキ性能を向上させるための課題の抽出を行い，本研究の位置づけを明示した．（第2章）

まず，滑走制御が行われない場合の粘着ブレーキシステムに対して，安全を阻害する現象の把握と新しい評価方法等を提示した．

(1) 自動空気ブレーキ方式で，非常ブレーキの動作を支配する制御

弁等の急動特性を評価する新しい方法を提案した。これにより、貨車用制御弁ではブレーキ管圧力が一定圧力以下に低下しないと急動作用が起きないことが明らかとなり、制御弁の設計に反映させることができた。また、長大編成列車の圧カシミュレーションは、実車試験を行わずにブレーキ性能を評価できる方法として試験コストの低減に寄与できた。（第3章）

- (2) 湿潤時における低速での制輪子の大幅な摩擦係数低下に関わる現象を把握し、散水繰り返し試験、散水量試験、踏面粗さ試験の三試験を組み合わせた摩擦係数低下を評価する新しい方法を提案した。これらの試験結果により制輪子の耐水性の相違点を明らかにでき、制輪子の材質改良に役立てることが可能になった。（第4章）
- (3) ブレーキ時の車輪滑走に着目し、ブレーキ制御方法、力学的、熱的影響など損傷の発生過程に言及した車輪踏面損傷の新たな分類表を作成した。制輪子材質のカーボン含有量が多い程、摩擦係数の減少量は大きいこと、非駆動車輪のフラット発生は駆動車輪の発生より早期であることなど、抽出された車輪フラットの発生要因と発生割合の程度を定量的に把握し、フラット対策のための基礎資料を得た。（第5章）
- (4) 、電気ブレーキのみでフラットが形成されること、フラットの消滅まで200日以上を要すること、営業線上で湿潤時の粘着係数は乾燥時に比べて約1/2であること、湿潤時での粘着係数の速度依存性など車輪フラット発生メカニズムを明らかにした。得られた知見を基に、車輪フラット防止策として、粘着低下箇所、低下時間帯にはブレーキ減速度を 0.14m/s^2 程度下げること等、運転士のブレーキ取扱いの指針を提示した。その結果、車輪フラット発生減少の効果が認められた。（第6章）

次に、ブレーキ滑走制御を行う粘着ブレーキシステムに対して、

- (1) 車輪・レール間の粘着力を連続的に測定する方法を提案し、本

方法を使用して、滑走制御時のすべり率と粘着力の関係を明らかにした。車輪滑走時の接線力係数は、すべり率が約 5% 以下の範囲で接線力係数はほぼ一定値かあるいは複数の極大値を示すこと、車輪固着時の接線力係数は、滑走開始時の接線力係数の約 1/2 であることが明らかとなった。滑走制御方法を適切に選定すれば、付加するブレーキ力が高い場合にも、すべり率を小さい範囲に維持することで、接線力係数が高くなった。得られた知見に基づき滑走時に車輪ブレーキ力を粘着力として有効利用するための滑走制御の新しい考え方を導いた。(第 7 章)

(2) ブレーキ距離の増大を抑制するため、粘着力有効利用の新たな考え方に基づいた、より高度なすべり率滑走制御方法を提案した。本方法で、速度演算を精緻に行う同期化パルス方式を考案し、速度誤差および減速度誤差を従来方式の 1/100 以下に低下させ、滑走検知時間を従来 of 1/3 以下に短縮した。

この結果、乾燥時に対する湿潤時の非常ブレーキ距離の増加分は 4.5% 以下となり、従来方法の 20% 程度に比べ増加が 1/4 に抑制された。新幹線と在来線を直通運転する車両の最高速度は 240km/h であったが、本装置が装備された E 3 系新幹線では 275km/h に速度向上された。本滑走制御方法は、速度向上によるブレーキ距離の増加を極力抑制できた点で、速度向上に寄与したと考えられる。さらに、在来線においては、本制御方法の採用により最高速度 140km/h に向上することが可能である。(第 8 章)

論文審査の結果の要旨

鉄道車両には粘着ブレーキシステムが装備されているが、ブレーキ力の不足や過剰なブレーキ力の付加が原因となり、車両過走による事故および車輪損傷の原因となる車輪フラットが少なからず発生している。本論文は、粘着ブレーキシステムの問題点を抽出し、車輪滑走に深く関与する車輪・レール間の粘着係数低下と車輪に付加するブレーキ力の低下現象を体系的に考察し、粘着力と摩擦力の新たな評価方法や高度な滑走制御法を提案したものであり、全編9章よりなる。

第1章は序論である。

第2章では、鉄道におけるブレーキシステムの問題点と課題について論じている。

第3章では、自動空気ブレーキシステムにおいて、ブレーキ力の過不足に影響する制御弁等の新しい動作特性評価法を提案し、制御弁等の設計に有効であることを示している。

第4章では、ブレーキ力を低下させる主因である制輪子・車輪間の摩擦係数低下現象を把握し、低下度合いを定量的に評価する方法を提案して、耐水性制輪子の設計に寄与できることを示している。

第5章では、ブレーキ時の車輪滑走現象把握と損傷の発生過程にもとづく車輪踏面損傷分類を行い、車輪フラット発生に影響する要因を定量的に把握し、車輪フラット発生の防止方法の策定に有効であることを示している。これは重要な知見である。

第6章では、車輪フラットの発生要因と発生率を把握し、フラット発生メカニズムを明らかにして、沿線環境、速度、気象などによって変動する車輪・レール間の粘着状態を統計的に分析している。これらの知見にもとづき運転士のブレーキ扱い法に関する提言を行い、車輪フラット発生防止に寄与できることを示している。これは、実用面において有用な成果である。

第7章では、微少な滑走から固着に至るすべり率と接線力係数の関係を測定する新しい方法を提案し、滑走時に粘着力を有効利用するための滑走制御法の指針を示している。

第8章では、第7章の指針にもとづき、速度および減速度の演算を高精度にかつ短時間で行う新しい車輪滑走制御方式を提案し、新幹線車両へ適用することで、ブレーキ距離の増加を最小限に抑制し、新幹線の速度向上に寄与できることを示している。これは実用上有効な成果である。

第9章は結論である。

以上要するに本論文は、高頻度で発生するブレーキ力低下によるブレーキ距離の増加を防止するために、車輪・レール間の粘着係数低下と車輪に付加するブレーキ力の低下現象を体系的かつ定量的に把握し、粘着力と摩擦力の新たな評価方法と制御法を提案することによりブレーキシステムの性能向上を実現したものであり、機械工学、電子工学および情報科学の発展に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は博士（情報科学）の学位論文として合格と認める。