

動的軸重移動補償を用いた空転頻度低減制御

車両制御技術研究部 (駆動制御)

主任研究員 山下道寛

1. はじめに

けん引力が大きな電気機関車では軸重移動量が大きく、軸重移動を補償するための方法として、最近のインバータ機関車では、メンテナンス軽減の観点から電氣的補償が主流となっている。電氣的補償では、回転モーメントによる軸重移動を考慮し、その補償量を実用的な範囲で各軸の引張力に配分している。

一方、空転時及び再粘着制御時においては、ある軸が空転すると、空転していない他軸の空転を誘発し、粘着力を有効に利用できなくなる場合がある(以下、空転誘発という)。この空転誘発について対策が求められていた。特に、電気機関車のように少ない駆動軸数で大きな引張力を必要とする場合には、粘着力の利用状況が起動加速度や貨物牽引トン数に影響を及ぼす。

上述した課題に対応するため、軸重移動を考慮した空転抑制制御を提案し、EH200 形式直流電気機関車(以下 EH200)を用いて走行試験を実施した。その結果について報告する。

2. 軸重移動とその補償

2.1 軸重移動

力行時の一車両内における各軸の軸重移動量の傾向としては、先頭軸、第2軸・・最後尾軸の順となるような軸重の値となる。一例として、各軸の起動引張力を 55,000[N]としたときの各軸の軸重移動量を図1に示す。最大軸重移動量は約 20,000[N]である。

図2は、図1の軸重移動量を考慮したときの各軸の「引張力/軸重」(μ)を表す。静止軸重で算出した「引張力/軸重」(μ)は 0.334 である(図中では点線で示す)。最大、最小の「引張力/軸重」(μ)は、静止軸重で求めた値に対して約 0.05 の増減が生じることが分かる。

よって、第1軸が一番滑りやすく後軸ほど滑りにくく(空転に至るまでに余裕がある)なる。各軸が滑らないぎりぎりまで引張力を出力することが、粘着力を有

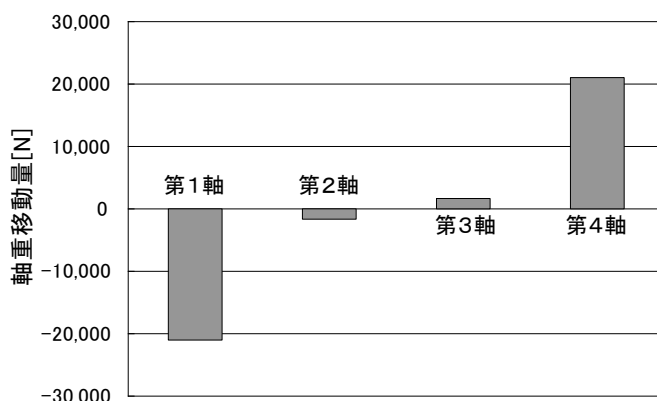


図1 各軸の軸重移動量

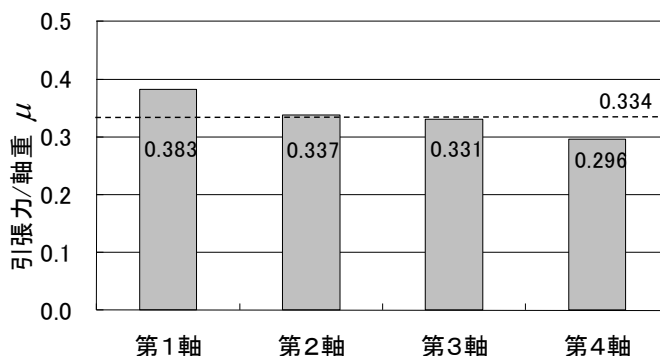


図2 各軸の「引張力/軸重」

効に利用することになる。そのため、各軸の滑りやすさが均等になるように各軸の電動機トルクを割り振ることができれば、粘着力の有効利用が図られる。よって、各軸の「引張力／軸重」が静止軸重で算出した値と同値となるように引張力を割り振ることが理想的である。ただし、車輪・レール状況によっては、粘着係数が 0.334 を下回る場合もあるため、この場合には、「引張力／軸重」(μ) 値を低く設定する必要がある。

2.2 空転誘発現象

台車内の空転誘発現象を再現させた試験結果を図 3 に示す。

第 1 軸が空転し再粘着制御が行われると、その直後に第 2 軸の空転が発生する。特に後軸の場合に誘発されやすい傾向がある。第 1 軸が空転したとき、台車・車体に働く回転モーメントが変化し、台車と車体の振動を引き起こしやすくなるので、空転・再粘着を繰り返すと軸重の変動が大きくなる。

図 4 は、第 1 軸が空転したときの一車体に働く回転モーメントの減少により、後軸の軸重が減少する様子を示したものである。この理由により、再粘着制御時には、各軸の空転が誘発されやすく、車両のけん引力が低下する。

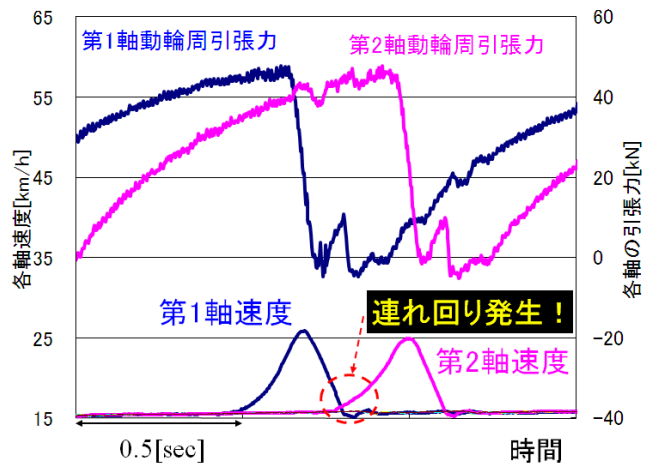


図 3 空転誘発現象の一例

2.3 空転誘発抑制制御

提案した空転誘発を抑制する制御系を図 5 に示す。

主幹制御器からのノッチ指令に応じて、各軸の「引張力／軸重」指令(μ^*)が出力される。「ノッチ電流指令演算器」では、 μ^* により起動時の各軸電流（トルク）の配分量を、一車両数式モデル¹⁾より演算する。これにより、各軸の滑りやすさを均等化できる。

速度・加速度の情報として各電動機の PG（パルス・ジェネレータ）信号から得られた各軸速度 $V1 \sim V4$ 及び、各軸速度から演算される各軸加速度 $a1 \sim a4$ が「再粘着制御器」に入力される。空転の検出は、各軸のうちの最低速度を基準速度とした値に対する各軸の速度差および加速度にしきい値を設けることで行われる。空転を検出した場合には、再粘着制御が実施される。

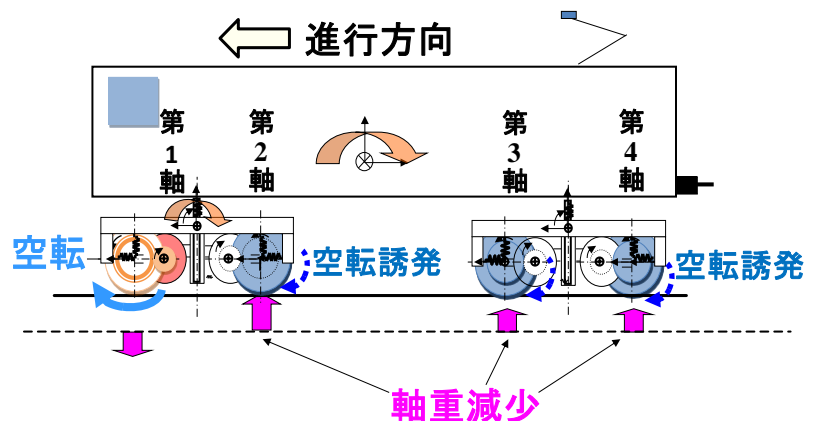


図 4 一車両での軸重移動のイメージ

図3で示したような台車内の前軸の空転再粘着制御が後軸の軸重を低下させる場合、後軸の軸重低下量は、前軸のトルク引下げ量にほぼ比例する。また、空転発生時に動輪周に印加される力とレールに伝わる接線力の差が空転軸の空転加速度に比例することから、トルク引下げ量は空転の度合いにほぼ比例する。そのため、空転軸の加速度に応じて健全軸トルクを微減することで、空転時の動的な軸重移動による影響を補償でき、空転誘発を抑制できる。図5内の「再粘着制御器」からの電流引下げ指令の後段に、「空転誘発抑制制御器（動的軸重移動補償器）」からの出力を加算することで、インバータの電流指令値を調整する。

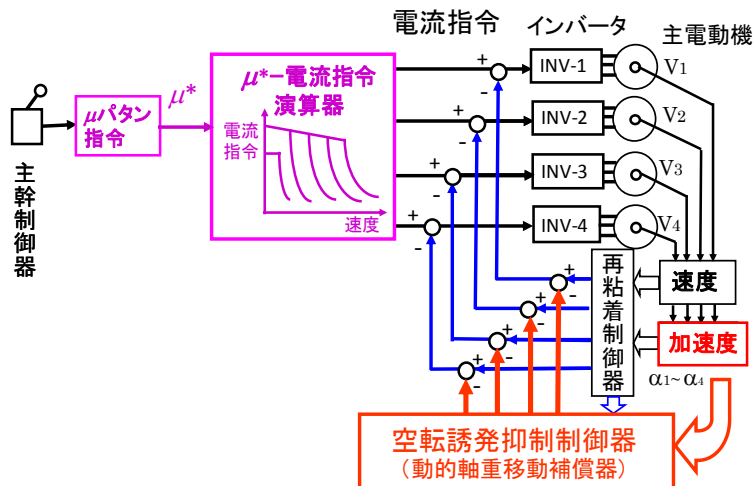


図5 空転誘発を抑制する再粘着制御系

3. 現車試験結果

3.1 試験条件

提案した空転誘発抑制制御の有効性を確認するためにEH200の前車体(4軸分)を用いて現車試験を実施した。貨車を模擬するため負荷機関車としてEF64形式直流電気機関車2両(以下EF64)を連結した。試験車両の概要を図6及び表1に示す。

提案した空転誘発抑制制御の有効性を確認するためにEH200の前車体(4軸分)を用いて現車試験を実施した。貨車を模擬するため負荷機関車としてEF64形式直流電気機関車2両(以下EF64)を連結した。試験車両の概要を図6及び表1に示す。

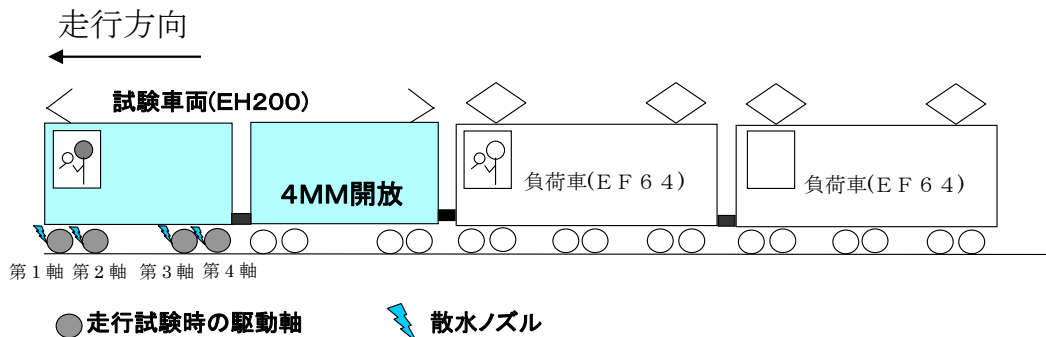


図6 試験用機関車EH200形式と負荷用機関車EF64形式重連

表1 試験車両概要

供試車両	試験車両EH200(1両)+負荷車両EF64(2両) 貨車650ton相当(自弁BC圧150kPa相当)
試験場所	高崎操車場駅構内の着発線(走行区間300m)
走行距離	300m(直線と曲線半径1200m区間を含む)
散水量	一車輪あたり 0.5l/min
起動けん引力	210kN

3.2 散水空転試験結果

空転誘発抑制制御の有り／無しの場合において走行試験を実施した。図7はその試験結果の一例である。図中には、第1軸～第4軸のトルク分電流と速度がそれぞれ示されている。トルク分電流に○を付けた箇所は、再粘着制御によるトルク分電流が引き下げられたポイントを示す。

空転抑制制御時の引下げトルクは、再粘着制御時の引下げトルクに比べて小さく、早目の小さなトルク引下げで空転誘発を抑え、空転してから大きく引き下げる無駄をなくしている。留意点として、空転再粘着制御により健全軸が常に空転誘発されるとは限らないこと、空転誘発されなかった場合には、けん引力損失に繋がることなどが挙げられる。

今回は、空転誘発抑制制御を行うことで良好な結果が得られた。

空転誘発抑制制御有り／無しの試験条件において、平均空転回数(空転制御実施回数)と平均けん引力を比較した結果を図8に示した。空転再粘着制御の実施回数は約20%減少し、平均けん引力は約4%増大することを確認した

4. まとめ

空転時及び再粘着制御時には、空転していない他の軸の空転を誘発し、粘着力を有効に利用できない場合があるため、その対策を検討した。今回、空転軸が引き起こす他軸の軸重移動を補償し、空転誘発の軽減を目指す制御方式を提案した。制御の有効性を確認するため、EH200を用いて散水空転試験を実施した結果、空転誘発の抑制と、けん引力の向上を両立させ得ることを確認した。今後、起動加速度の向上や撒砂量の低減、被けん引貨車両数の増加等への寄与が期待できる。

参考文献

- 1) 山下、添田：「電気機関車の空転頻度低減制御」、No.1404、p.109、Jrail2009

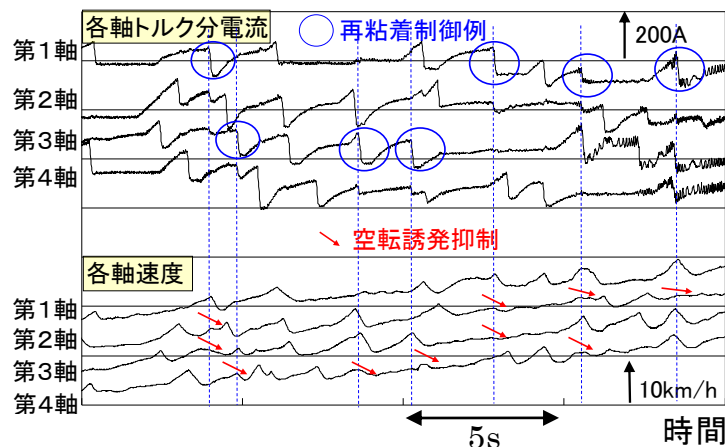


図7 空転誘発抑制制御の試験結果例

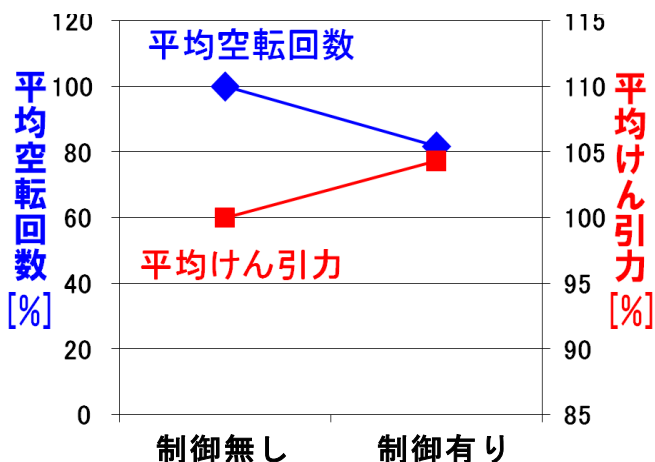


図8 平均空転回数と平均けん引力