

## 機関車のけん引力を向上させる主電動機制御方法を開発しました

平成 26 年 10 月 14 日  
公益財団法人鉄道総合技術研究所  
日本貨物鉄道株式会社

公益財団法人鉄道総合技術研究所（以下、鉄道総研）と日本貨物鉄道株式会社（以下、JR貨物）は、インバーター制御機関車のけん引力を向上する主電動機の新しい制御方法を開発しました。

鉄道貨物輸送は、環境負荷が小さく、運転士一人で10トントラック約60台分の貨物が輸送できる効率的な輸送手段です。一方、鉄道貨物輸送の主流である機関車けん引方式は、すべての動力を機関車が負担しているため、悪天候等により車輪-レール間の粘着力（摩擦係数）が低下すると、機関車の駆動軸が加速時に空転する頻度が高くなり、けん引力が十分に発揮できなくなるという課題があります。

そこで、鉄道総研とJR貨物は、悪天候時にも安定した加速性能を確保するため、インバーター制御機関車のけん引力を向上する主電動機の新しい制御方法（以下、新制御方法）を、株式会社東芝の協力により開発しました。新制御方法の要点は以下のとおりです。

- ① 空転収束検知：空転の収束を早期に検知することで、再粘着制御（車輪の空転を防止するトルク制御）による余分なトルクの引き下げを低減して、けん引力を向上させる。
- ② 空転誘発抑制制御：空転軸が引き起こす振動等によって、他の車軸に空転が誘発される現象を抑制して空転の頻度を低減し、けん引力の低下を防ぐ。

入換機関車による走行試験を行った結果、新制御方法を導入することで起動時（発車時）の平均けん引力が5%以上向上することが確認されました。この結果を受けて、JR貨物では、新制御方法をハイブリッド入換機関車HD300全機への導入を順次進めています。今後は、新製機関車や他形式機関車での使用を検討します。



HD300 形式ハイブリッド入換機関車の走行試験

## 参考資料

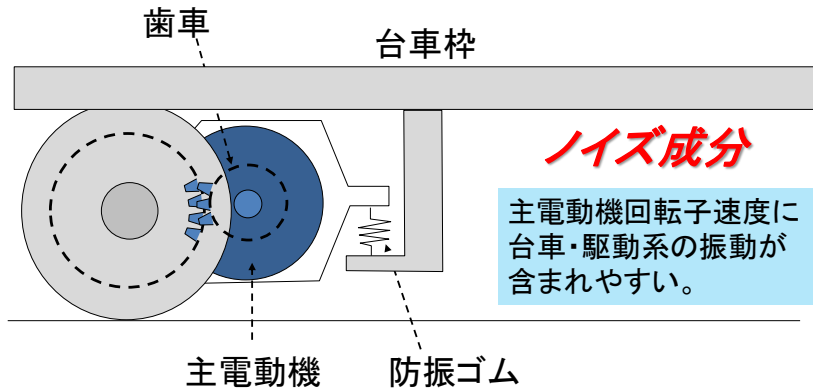
# インバーター制御機関車のけん引力を向上させる制御方法

新制御方法を用いることで、けん引力が5%以上向上する結果を得ました。以下では、新制御で提案しました空転収束検知と空転誘発抑制制御の特徴と、けん引性能試験結果について以下に述べます。

### 【空転収束検知の特徴】

一般的に、インバーター制御の電気機関車（電車）では、主電動機の回転加速度を見て空転を検知し、空転が大きくなる前に、電動機トルクを急激に減らし、加速度がほぼゼロ（走行中の車両の加速度と同じ）になると空転が収束（再粘着）すると判断でき、電動機トルクの復帰動作を開始します。

しかし、主電動機は台車に搭載されているため（図1）、走行中には台車枠や歯車同士の隙間（バックラッシュ）から生じた振動が主電動機を加振させてしまい、主電動機回転子速度に車輪の回転成分以外の振動成分（以下、ノイズ成分）が含まれます（図2）。回転加速度が振動的となると空転誤検知しやすくなるため、一般的には回転加速度信号に含まれるノイズ成分を減衰させる平滑化処理が必要です。ただし、平滑化時間幅を長くするとノイズ成分は大きく減衰して空転を誤検知し難くなりますが、実際の車輪の加速度変化に対して遅れが大きくなるため制御性能の低下につながります（図3）。



### ノイズ成分

主電動機回転子速度に台車・駆動系の振動が含まれやすい。

$$\text{主電動機回転加速度} = \text{車軸の回転加速度} + \text{機械系振動成分}$$

空転加速度算出に平滑化フィルタが必要

図1 電動台車の構造

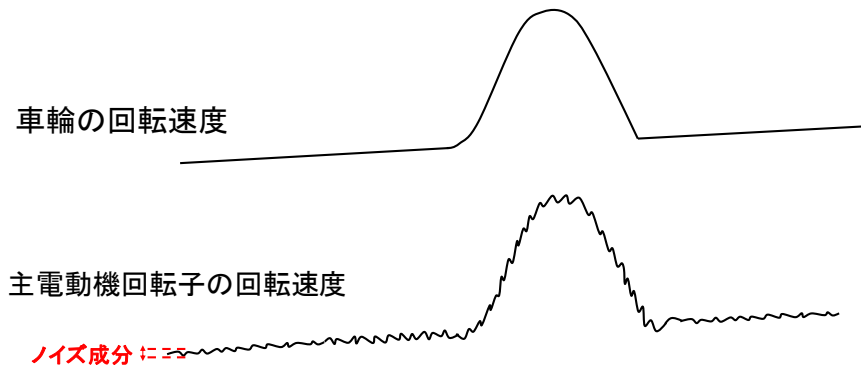


図2 車輪の回転速度と電動機回転子速度

主電動機の回転加速度A（平滑化時間幅が長い）  
 ・信号の遅れ大 ⇒ 車輪の回転加速度への追従性 遅  
 ・ノイズ成分 小 ⇒ 空転誤検知の頻度 小

主電動機の回転加速度B（平滑化時間幅が短い）  
 ・信号の遅れ小 ⇒ 車輪の回転加速度への追従性 速  
 ・ノイズ成分 大 ⇒ 空転誤検知の頻度 大

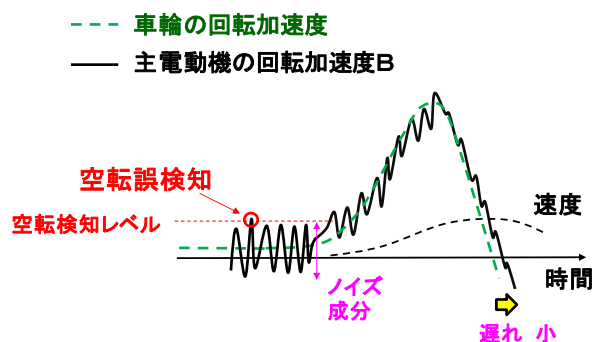
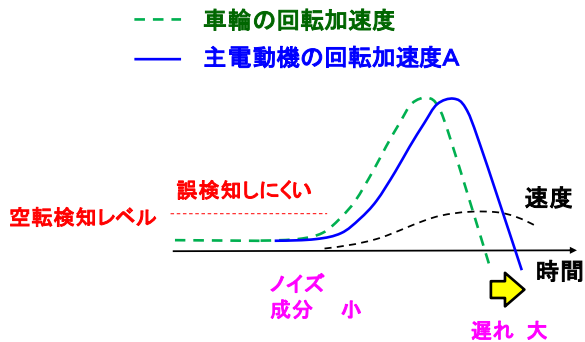


図3 車輪の回転加速度と主電動機の回転加速度信号の遅れ

以下では、平滑化処理を行う上で、平滑化時間幅の長い主電動機の回転加速度信号を「回転加速度A」、平滑化時間幅の短い場合を「回転加速度B」として略記します。

新制御では、空転収束検知に回転加速度Bを用いることを提案しました（図4）。主電動機の回転加速度に含まれる車輪回転成分と台車・駆動系からのノイズ成分の割合は、空転検知時と空転収束検知時で異なります。空転検知時にはノイズ成分の割合が大きく、空転収束検知時には、その割合が小さい傾向にあります。そこで、この知見を生かして、それぞれの用途に分けて適切な時間幅の平滑化処理を行うことで、従来よりも空転収束検知の遅れが改善でき、再粘着制御の余分なトルクの引き下げを防止（トルク引き下げ量30～50%低減）することで、けん引力の向上が望めます（図5、図6）

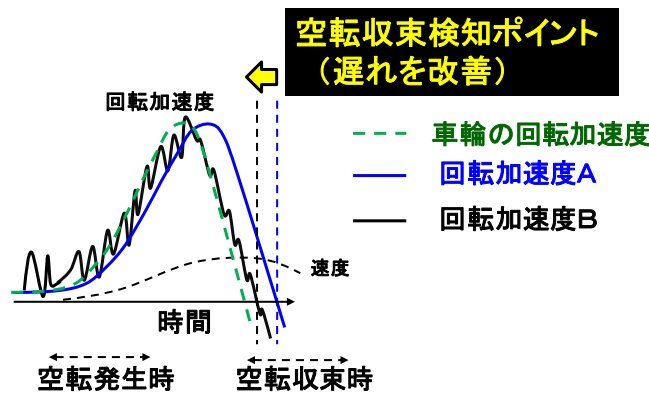


図4 早期の空転収束検知

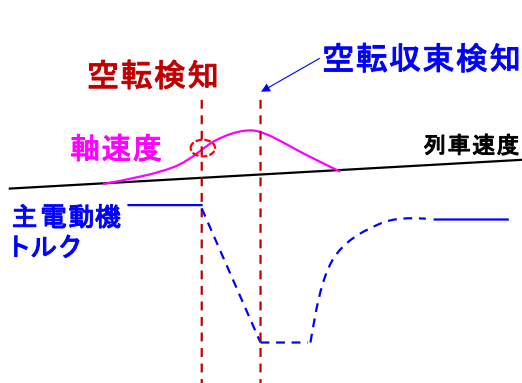


図5 従来の空転再粘着制御

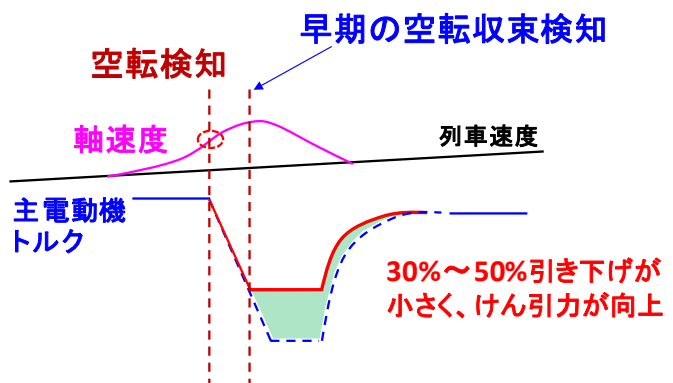


図6 新制御方式

## 【空転誘発抑制制御の特徴】

空転・再粘着制御により車体に振動が発生すると、他軸の空転を誘発し、けん引力が低下しやすくなります（図7、図8）。このため、ある軸に空転が発生すると、他軸を監視して必要により主電動機トルクを微減する「空転誘発抑制制御」を開発しました（図9）。これにより主電動機トルクを大きく保ちながらも空転発生頻度が少なくなり、けん引力向上が期待できます。

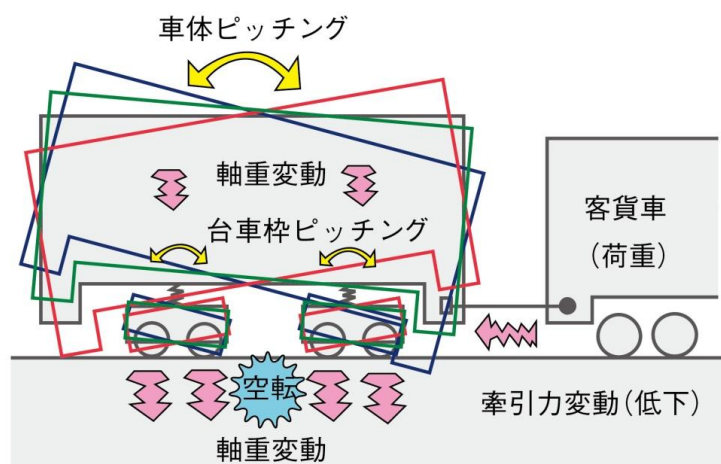


図7 空転したときの車両の挙動

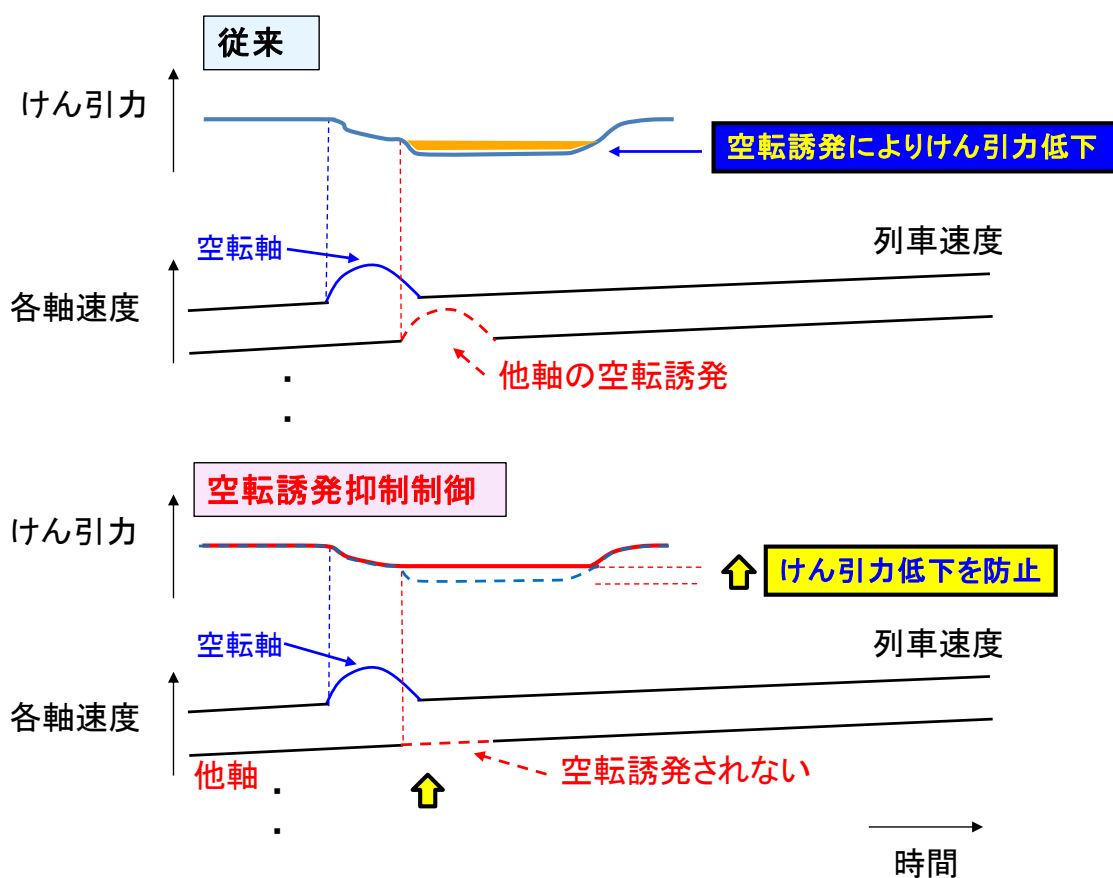


図8 空転誘発と空転誘発抑制制御

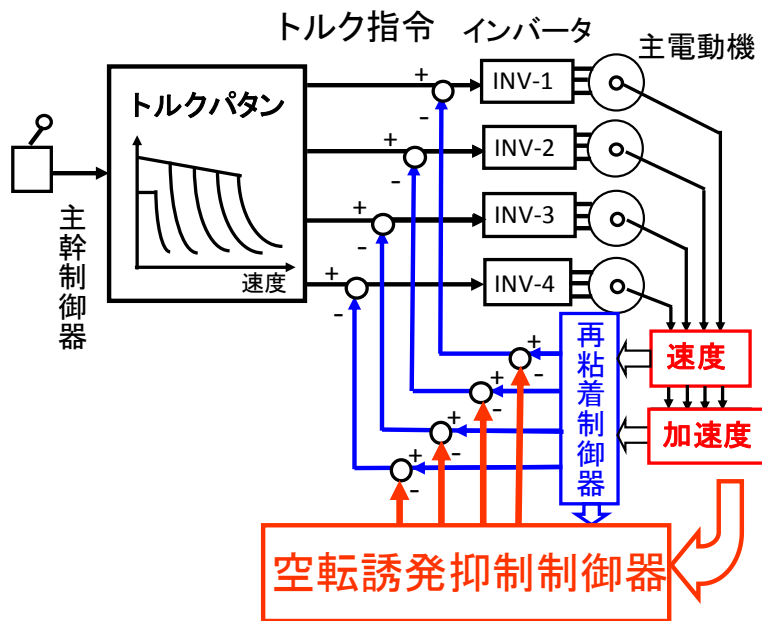


図9 再粘着制御と空転誘発抑制制御

### 【性能試験結果】

HD300形式ハイブリッド入換機関車に、負荷用にEF65形式機関車を2両連結して走行試験を実施しました。負荷貨車1,000ton相当を模擬するために負荷用機関車にブレーキ力を与えた状態で、HD300形式ハイブリッド機関車の各輪に散水し（悪天候を模擬）、けん引性能を確認しました（図10）。

その結果、従来制御に対して、起動時の再粘着制御の動作回数は約20%低減し、けん引力は5%以上向上しました（図11）。また、再粘着制御動作により散砂が行われるため、散砂量の低減効果も見込めます。



試験機関車	HD300形式
負荷車	EF65形式重連(1000トン相当)
散水量	各動輪に0.5ℓ/min

図10 散水空転試験風景

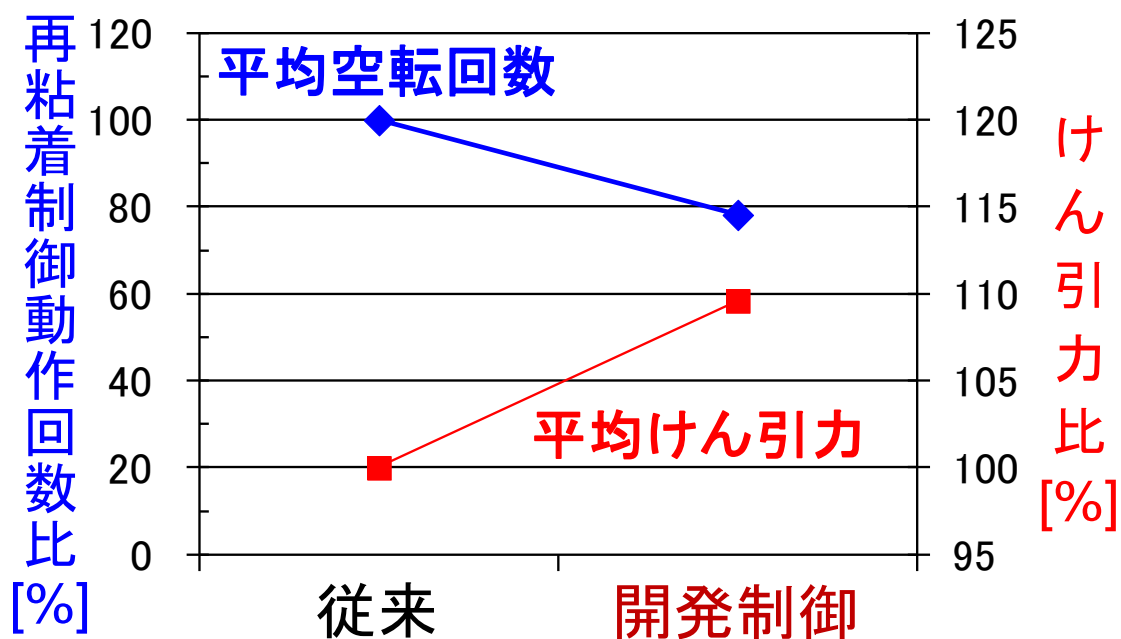


図 11 けん引力向上結果 (速度 0-5km/h 域)

【参考文献】

- [1] 山下、添田：「空転の収束を早期に検知する再粘着制御方法」、電気学会 リニアドライブ/交通電気鉄道合同研究会、LD-14- 72/TER-14-35、p. 41 2014/8/7
- [2] 山下、添田：「電気機関車の軸重移動を考慮した空転再粘着制御法の開発」、鉄道総研報告、Vol. 24, No. 6, Jun. 2010
- [3] 前橋、山下：「大きな牽引力を伝達して列車を走らせる」、研友社、RRR、2008. 8