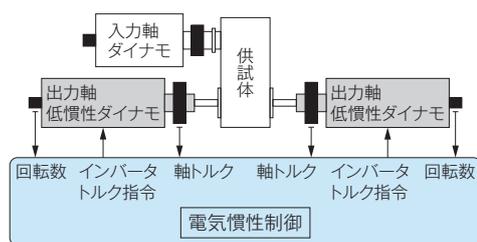


# ドライブトレインベンチのタイヤ軸向けダイナモメータ新システム

金子 諒 Ryo Kaneko  
宮崎 渉 Wataru Miyazaki

キーワード ドライブトレインベンチ, 低慣性型ダイナモメータ, 電気慣性制御

## 概要



ドライブトレインベンチのタイヤ軸システム構成

安全対応のための車両駆動制御技術の高度化に伴い、それを試験するためのドライブトレインベンチでは、タイヤ軸の動力計で様々な路面状況を模擬できることが要求される。これに応えるためには、ダイナモメータの制御応答を上げる必要があり、機械装置・制御技術の両面で新たな技術が必要となる。

今回、機械装置として、新しい低慣性型ダイナモメータを開発した。回転子鉄心外径を小さくし、低慣性化を実現した。また本動力計では、幅方向の小形化や補機類との取り合いの片側集約化によってレイアウト性を高めた。制御技術として、周波数特性を考慮した応答調整ができる制御方式を開発した。本制御方式では、従来方式よりも電気慣性制御の周波数特性が改善されている。これらによって、より一層実路に近い様々な路面状況の負荷を供試体にかけられるようになった。

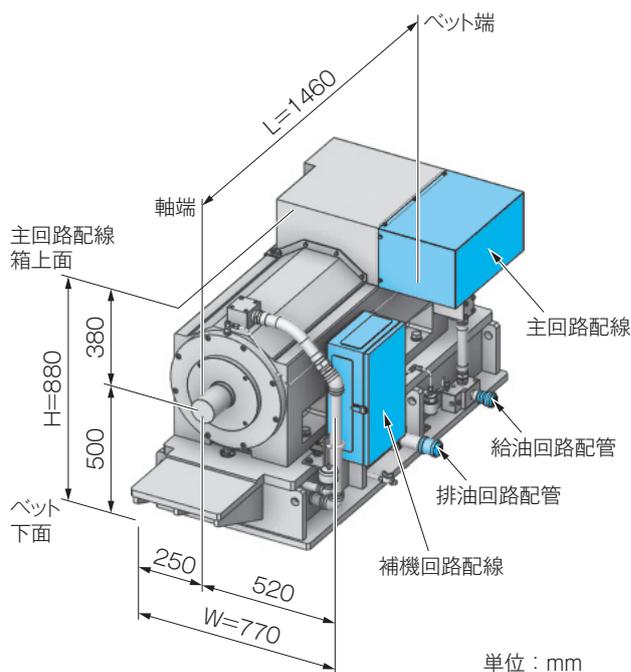
## 1 まえがき

近年の車両では、安全対応技術の高度化や車両操作性向上を目的として、車両駆動力の制御技術がますます高度化している。それに伴い、車両駆動装置の評価試験機（ドライブトレインベンチ）に対する要求も高度化している。

本稿では、ドライブトレインベンチのタイヤ軸に結合されるダイナモメータで、様々な路面状況・走行状態の模擬試験が行える新しい低慣性型ダイナモメータと、その制御技術を開発したので紹介する。

## 2 低慣性型ダイナモメータ PMDY-LV300の特長・仕様

第1図にPMDY-LV300 (Permanent Magnet Dynamometer-Low Velocity 300) の外観を示す。



第1図 PMDY-LV300外観

他機器取合を片側(図の右側)に集約したため、機器配置が容易となる。

**第 1 表 標準仕様**

PMDY-LV300の仕様で特長となるのは、低慣性である。

項目		PMDY-LV300
連続定格	吸収容量	300kW
	駆動容量	300kW
最大トルク	吸収トルク	3000N・m
	吸収トルク (最高回転速度時)	955N・m
	駆動トルク	3000N・m
	駆動トルク (最高回転速度時)	955N・m
基底回転速度		955min <sup>-1</sup>
最高回転速度		3000min <sup>-1</sup>
慣性モーメント (PMDY-LV300 単体)		0.8kg・m <sup>2</sup>
過負荷定格 at 955min <sup>-1</sup>	パーセント	150%
	時間	60s
	吸収容量	450kW
	駆動容量	450kW
	吸収トルク	4500N・m
	駆動トルク	4500N・m
最大加減速度	連続定格時	35,800min <sup>-1</sup> /s
	過負荷定格時	53,700min <sup>-1</sup> /s
外形寸法		W770 × H880 × L1460mm
センターハイト		500mm
概算質量		1700kg

**第 2 表 非標準仕様**

オプションとして、加振トルク仕様がある。

項目		PMDY-LV300	
加振性能 at 955min <sup>-1</sup>	加振周波数	加振トルク振幅	
	10Hz	± 3000N・m以下	
	20Hz	± 1500N・m以下	

PMDY-LV300は、以下の特長を持つ。

- (1) 回転子に永久磁石を使用した油浸式の交流電気ダイナモメータである。
- (2) 低慣性化によって、高応答化（加減速性能の向上）を実現した。各種路面状況・走行状態の模擬試験に対応できる。
- (3) 小形化（ダイナモメータ幅方向の小形化）及び他機器取り付け（主回路及び補機回路配線，給排油回路配管）を片側に集約し，機器配置を容易にした。

第 1 表にPMDY-LV300の標準仕様を，第 2 表に非標準仕様を，第 3 表にPMDY-LV300本体冷

**第 3 表 付属品（給油装置）**

PMDY-LV300は，給油装置によって本体冷却・軸受潤滑を行っている。

項目		給油装置
給油流量		80L/min
給油油圧		最大0.5MPa
冷却水	水温	32℃以下
	水圧	0.2～0.5MPa
	流量	100L/min
外形寸法		W1600 × H1250 × D380mm
概算質量		500kg

却及び軸受潤滑のための給油装置仕様を示す。加振性能は，波状路を走行した場合のタイヤのスリップ・グリップ現象によるドライブシャフト加振などを台上模擬するために必要となる。

### 3 PMDY-LV300の特長技術

#### 3.1 低慣性化

- (1) 本動力計は，永久磁石形回転子を採用して回転子鉄心の小形化を図りつつ，必要とされる電気特性及び機械強度を両立する形状にするため，綿密に電磁界解析と構造解析を実施した。この結果，回転子鉄心外径を小さくでき，低慣性化を実現した。
- (2) 開発目標である大トルクを発揮するためには，回転軸径は大きい方が有利であるが，低慣性化を実現するには，回転軸径は小さい方が有利である。目標とする最大トルクの発揮と低慣性化を両立する最適な軸径を選定し，第 1 表に示す最大トルクを実現した。

#### 3.2 小形化（ダイナモメータ幅方向の小形化）

- (1) 電磁界解析によって，電気特性及び巻線構造設計の要件を満足する形状とした。これにより，固定子鉄心外径の小形化を実現した。
- (2) 他機器との取り付け位置を片側に集約し，もう一方の幅方向寸法を小さくすることで，機器配置が容易となる外形寸法とした。他機器との主な取り付けは，主回路及び補機回路配線，給排油回路配管（給油装置に接続）である。

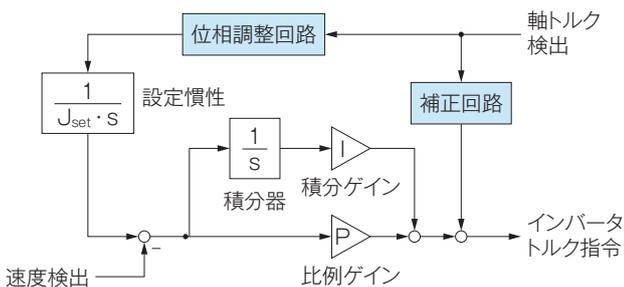
## 4 新制御方式の特長

従来の制御回路は、比例ゲインと積分ゲインを調整できるPI (Proportional Integral) 制御で構成されていたが、ゲイン調整の自由度に制限があり、目標とする制御応答に近づけるには難点があった。新しい制御方式は、従来のPI制御に補正回路と位相調整回路を追加することで、調整の自由度が向上した。第2図に本制御の構成を示す。

第3図に従来の方式と新方式の周波数特性比較を示す。制御特性を周波数特性で評価した場合、低周波帯域では模擬したい車両慣性やタイヤ慣性（以下、設定慣性）の特性が再現できるが、高周波帯域に近づくにつれ、ダイナモメータの慣性の特性に移行し近づく。従来の制御回路では、設定慣性からダイナモメータ慣性の特性に移行する帯域で「反共振点」

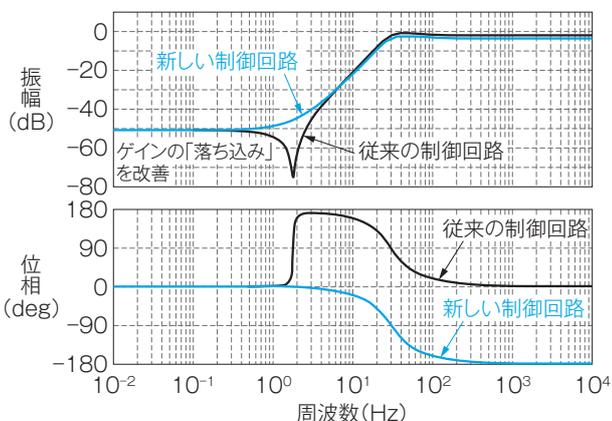
とも言うべきゲインの「落ち込み」が発生していたが、PIゲイン調整のみの制御回路では、この現象を補償できなかった。今回開発した新しい制御方式は、従来の制御回路に比べ調整要素を増やしたことで、理想的な周波数特性により近づける調整ができるようになった。新制御回路の周波数応答特性では、従来のPI制御方式で見られた「落ち込み」がなく、設定慣性からダイナモメータ慣性の特性にスムーズに移行していることが確認できる。

第4図に従来の制御方式と新制御方式のトルク波形比較を示す。評価対象のトルクは、エンジンとダイナモメータの二つの慣性体をドライブシャフトで連結した2慣性系におけるドライブシャフトトルクで、ダイナモメータ慣性を設定慣性として導出したものを目標トルク検出として評価の基準としている。従来制御方式の波形では、目標トルク検出と制御トルク検出の間に位相のずれを確認できるが、新制御方式では位相ずれが見られず、検出トルクが目標トルクに追従していることが分かる。このことは、新制御方式がエンジントルク波形、すなわちトルクが振動している状態をより実車の波形に近づけることができることを示している。また設定慣性から求められる目標速度と、速度検出の差である速度偏差を確認すると、従来制御方式に比べ新制御方式は偏差の増減が少なく、より安定して追従できていることが分かる。



第2図 新制御の構成

従来のPI制御に補正回路・位相調整回路を加えることで、調整の自由度を上げている。



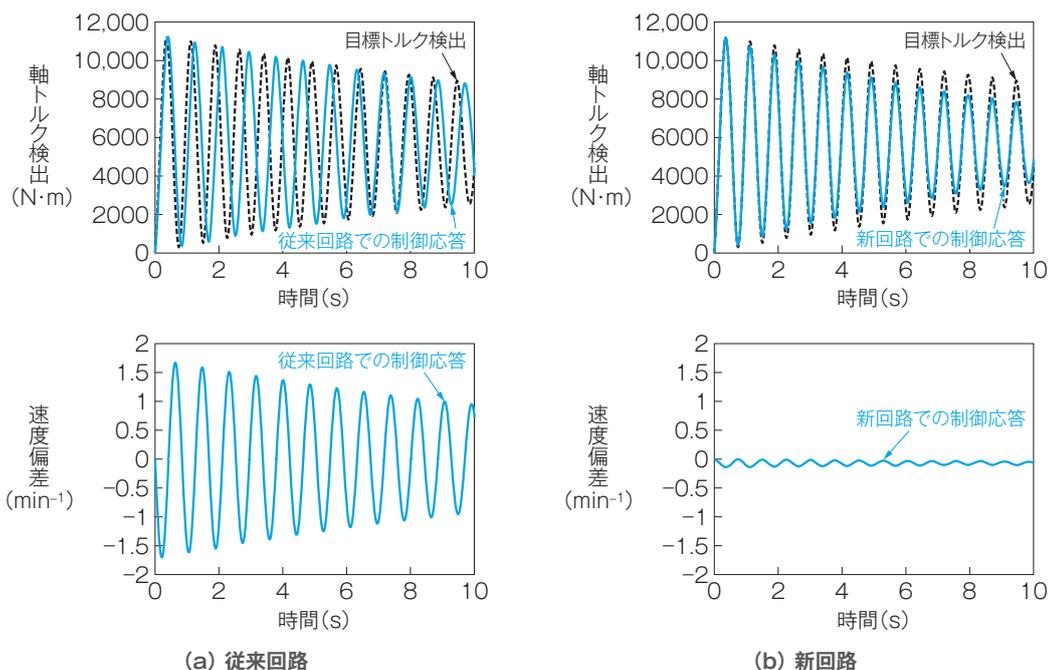
第3図 従来方式と新方式の周波数特性比較

低周波の設定慣性と高周波のダイナモメータ慣性に移行する際に、従来方式はゲインが大きく落ち込む帯域があるが、新方式はゲインの落ち込みもなくスムーズに移行できている。

## 5 路上再現の向上

本新制御方式では、滑りやすい路面やオフロードなどの路面を走行した場合のトルク変動を再現できる。タイヤが路面をグリップしている状態では、車両が発揮する加減速力の大きさは、車両慣性に応じた大きさになり、タイヤを介して路面に伝わるが、タイヤがスリップしているときは路面に伝わる力はなく、車両が発揮すべき力はタイヤの慣性モーメント量に応じた大きさとなる。

グリップ状態での車両慣性とスリップ状態でのタイヤ慣性では、慣性の値が大きく異なり、それぞれで制御ゲインを変更することや、回路構成自体を



第 4 図 従来方式と新方式のトルク波形比較

従来方式では、目標と位相がずれて速度偏差が大きい。新方式では、位相のずれが少なく目標によく追従し、速度偏差も少ない。

切り替える方式で対応することが多かった。今回の新制御方式では、路面とのグリップ・スリップ、すなわち車両慣性・タイヤ慣性の切り替わりが瞬時に行われても、制御が不安定になることがない制御回路構成を考案した。

本制御回路は、一つのダイナモメータに一つの制御回路で構成できるため、4台のダイナモメータによる四輪独立構成にも適用でき、四輪それぞれが別々の慣性制御が必要なオフロード走行の模擬を可能とし、シミュレーションでの走行も安定動作を確認している。

## 6 むすび

ドライブトレインベンチのタイヤ軸に結合される新しい低慣性型ダイナモメータの特長・仕様とその制御技術の概要を紹介した。車両駆動技術は、電

動化への対応のため、試験設備に求められる要件がますます高度化していくと予想される。

今後も当社では、高度車両制御技術の開発に貢献できる試験システムの開発・提供を続けていく所存である。

・本論文に記載されている会社名・製品名などは、それぞれの会社の商標又は登録商標である。

### 《執筆者紹介》



金子 諒  
Ryo Kaneko  
モビリティ T&S ユニット  
動力計測製品の機械装置の開発に従事



宮崎 渉  
Wataru Miyazaki  
モビリティ T&S ユニット  
動力計測製品の制御装置の設計に従事