

## 論文の要旨

題目：ダイナモメータシステムの高性能化制御に関する研究

(A Study on Advanced Control of Dynamometer Systems)

氏名：秋山 岳夫

ダイナモメータは、自動車及び、その構成部品（エンジン、トルクコンバータ、変速機等のパワートレイン系の部品）を供試体として、それら供試体の各種試験を行うときに、エンジン出力の吸収モータ、または、エンジン代替の駆動モータとして利用される装置である。従来は、回転数やダイナモメータトルクがほぼ一定となる制御状態で各種試験が実施されていた。一方、実路走行においては、走行状態に応じて、回転数、トルク等は常に変化する。各部品の完成度を高めるためには、車両搭載状態での組合せ試験前に、各部品のみで車両搭載時の走行負荷を模擬した負荷試験を行うことが有効である。そのため、近年、実路走行状態を模擬した負荷試験が可能となるダイナモメータシステムの要求が高まっている。

本論文では、エンジンベンチとドライブトレインベンチにおいて、供試体に実車搭載時相当の負荷を与えるためのダイナモメータ制御法の提案を行う。

第1章では、研究背景として、ダイナモメータシステム全般、本論文での研究対象としているエンジンベンチ、ドライブトレインベンチの用途や従来の制御法の課題について概説する。次に、本論文の目的について述べる。

第2章では、エンジンベンチのエンジン負荷トルク制御法について述べる。従来のエンジンベンチにおいては、ダイナモメータトルクを制御することで様々な試験が行われてきた。しかしながら、近年要求が高まっている実車搭載時相当のエンジン負荷試験では、実車におけるクラッチの接/断の状態を模擬するために、エンジンの負荷トルクを制御する必要がある。エンジンベンチの一般的な機械構成では、クラッチを結合シャフトの一部として利用しているが、そのクラッチはあくまでも結合シャフトとして利用されるため、常に接の状態を利用される。従って、仮想的にクラッチが断となった状態をダイナモメータ制御により実現する必要がある。クラッチのねじれ剛性は非線形特性を持つため、ねじれ共振周波数が数 Hz 程度から 20Hz 程度まで大きく変動する。従って、エンジンベンチでエンジン負荷トルクを制御するためには、共振周波数の変動に対して安定な制御を実現することが大きな一つの課題である。また、エンジンとダイナモメータ間のねじれトルクを計測するための軸トルクメータが設置される箇所は、エンジン出力端ではなく、ダイナモメータ出力端となっている。エンジン出力端とダイナモメータ出力端の間には、シャフト慣性が入るため、制御すべきトルク（エンジン負荷トルク）と計測されるトルク（軸トルクメータ検出トルク）が異なってくる。従って、これらのトルクの差異を補償するための慣性補償制御も必要となる。本章では、非線形ねじれ剛性を持つ場合にも安定な定常軸トルク制御法とエンジン負荷トルクと軸トルクメータ検出トルクの差異を補償するための慣性補償制御法を提案し、両制御法を組み合わせることで、エンジンを無負荷状態に制御することを可能とするエンジン負荷トルク制御法を実現した。提案法を、実機相当の機械的特性を持つ数値モデルを対象とした数値検証を行い、その有効性を確認した。

第3章では、ドライブトレインベンチの供試体入力軸の軸トルク加振制御法について述べる。従来のドライブトレインベンチ入力軸ダイナモメータでは、エンジンが発生する平均的なトルクを模擬することを目的としていた。しかしながら、実際のエンジンにおいては、気筒内での燃料の燃焼により、大きな変動トルクをも発生させている。従って、エンジンに接続される部品の各種試験を実エンジン接続時相当に行うためには、エンジンの平均トルクだけではなく、実エンジンが発生する変動トルク相当で供試体を加振する必要がある。ドライブトレインベンチの入力軸では、供試体特性による低域のねじれ共振点とダイナモメータ設備による高域のねじれ共振点が現れる。従って、ダイナモメータトルクをただ単に加振してしまうと、ダイナモメータと供試体の接続軸には共振点に応じた過大な振動トルクが発生し、最悪の場合、供試体の破損に至ることになる。本章では、これらの共振点による加振トルクの振幅変動を抑制し、所望の振幅で供試体を加振するためのダイナモメータ制御法を提案する。提案法では、低域の制御と高域の制御を分離して制御することで、供試体特性変動やダイナモメータ設備特性変動に対してロバストな軸トルク制御を構成した。低域の共振点は、非線形特性を持つ供試体内部のねじれ剛性に起因するため、第2章で提案したエンジンベンチの軸トルク制御法を適用した。また、高域の共振点は、低ダンピングと大きな位相遅れを持つことから、 $\mu$ 設計法を利用した共振抑制制御設計を行った。これらの低域の軸トルク制御と高域の共振抑制制御を組合せ、さらに、加振トルク振幅の自動調整法を組合せることで、所望とする軸トルク加振制御法を実現した。提案法を、実機相当の機械的特性を持つ数値モデルを対象とした数値検証を行い、その有効性を確認した。

第4章では、ドライブトレインベンチの供試体出力軸の低慣性化制御法について述べる。従来のドライブトレインベンチ出力軸ダイナモメータでは、車体相当の慣性模擬制御が行われてきた。これは、タイヤがスリップせずに走行している状態を模擬していることになる。しかしながら、実際の車両走行においては、路面状態、発進の仕方、ブレーキのかけ方等に応じてタイヤがスリップすることは多い。タイヤがスリップしていないときには、ドライブシャフトトルクが車体慣性を駆動しているが、スリップしたときにはタイヤ慣性を駆動することになる。ドライブトレインベンチの供試体出力軸に設置されるダイナモメータは、一般的には、タイヤよりも慣性モーメントが高い。そのため、スリップ状態時の供試体慣性負荷を模擬制御するためには、ダイナモメータ慣性をタイヤ相当に低慣性化する制御が必要であるが、従来の慣性模擬制御法では低慣性化制御が不安定となる。これは、ドライブシャフト剛性を主要因として、ドライブトレインベンチの出力軸はねじれ共振系になっているためである。本章では、まず、従来の慣性模擬制御法は、ねじれ共振系に対しては、ダイナモメータ慣性よりも低慣性化することが不可能であることを解析的に示す。次に、ねじれ共振系に対しても低慣性化制御が可能となる慣性模擬制御法を提案し、その安定条件を導く。提案した低慣性化制御法により、まず、ダイナモメータ慣性をタイヤ慣性相当に模擬制御し、さらに、タイヤと路面間の摩擦特性を反映したタイヤ駆動力演算モデルと、ブレーキトルク演算モデル、車体慣性モデルを組合せることで、通常のグリップ走行、低 $\mu$ 路でのスリップ走行、急ブレーキ時のホイールロック現象、急発進時のスリップ現象等の様々な走行状態での供試体負荷を模擬する実路走行負荷模擬制御法を実現した。提案法を、実機相当の機械的特性を持つ数値モデルを対象とした数値検証を行い、その有効性を確認した。

第5章では、本研究を総括するとともに、今後のダイナモメータ制御における本研究の有効性および課題について言及する。