K4-59 Electro-Mechanical Improvement of Control System for Active Vibration Isolation Table

○寺内 貴之 ¹, 小林 悠也 ¹, 植田 貴大 ², 渡辺 亨 ³, 背戸 一登 ⁴

*Takayuki TERAUCHI¹, Yuya KOBAYASHI¹, Takahiro UEDA², Toru WATANABE³, Kazuto SETO⁴

This paper deals with the control system design for active isolation table that loads a dynamical object. When elastic loads are put on the isolation table, vibration modes of the table are changed. Therefore, the controllers for the active isolation table should be designed taking account of elastic loads.

In this research, an experimental active isolation table with an elastic load is built. Its dynamical model is identified by using experimental modal analysis or FEM analysis. A controller is designed by using the model according to sub-optimal control theory, absolute velocity feed-back control theory and feed-forward control theory. In this study, the experiment system is revised and improved electro-mechanically to enhance performance. Property of the improved control system is qualified through computer simulations and control experiments.

1. 緒言

高精度の精密機器は微小な振動で,性能・精度が低 下する.この微小な振動対策として,除振装置の研究 が様々に行われている.その多くは地面からの振動絶 縁のみを考慮したものであるが,除振台に大型の精密 機器や縦長の形状をしているものを搭載したときには, 搭載物による連成振動がおき,除振台と搭載物が一体 となって揺れるような振動が生じ,問題となっている. 本研究では除振台のみの制御で振動絶縁と制振効果を 与えることを目指す.

2. 実験装置概要

本研究では、鉛直方向に高い電子顕微鏡を搭載する ことを想定している.テーブルはアルミ製である.搭 載物は2本の角柱と2つのブロックより構成される. Fig.1に実験装置の外観を示す.



Fig.1 Overview of the Isolation System

3. 実験装置の振動特性¹⁾

実験で得られる周波数応答を基に,実験モード解析 ソフト Me'Scope から実験装置のモード形を調べた. そのモード形を Fig.2 に示す.3つのモード形はすべ て x 軸方向のものであり左から順に,1次モードのピ ッチングモード,2次モードのテーブル部のスライデ ィングモード,3次モードの弾性曲げモードである. これら3つを制御対象とする.



Fig.2 Vibration mode shapes of isolation table

4. モデリング手法^{2,3)}

低次元化物理モデル作成法とは、構造物に無限に存 在する次数を求める振動を表すために必要な最小の次 数で近似し、集中定数系物理モデルを作成することで ある. 今回は3次モードまでを考慮するので、3質点 系モデルを作成した.



5. 実験装置の改良

昨年度の準最適フィードフォワード併合制御実験の 結果,シミュレーションで達成された振動低減効果を 実験では再現できなかった.その原因として実験装置 の制約が疑われたので入出力双方の改良を行った.

まず制御入力側は、アクチュエータ保護用のための 入力リミッターを外して制御実験を行ったが、アンプ が発熱し電流を増幅出来なくなってしまい、アンプの 容量不足が原因であると推定された.そこでアンプを エヌエフ回路設計ブロック社の高速バイポーラ電源 「HSA4051」に変更し、容量を増大させた.

一方,観測出力側は,変位センサを分解能と周波数 特性の高いものに更新した.

これらの改良により正確な制御が可能になった.

6. 準最適制御(sub optimal control)

一般に,状態フィードバック制御を行うには最適制 御理論を用いることが多い.最適制御を行うには全て の状態を観測する必要がある.しかしながら,多自由 度モードの全質点に全てのセンサを取り付ける事はコ ストの面から見ても一般的でなく,質点の多い場合は 全ての状態量を観測するのは困難である.そこで構造 制約のある場合の解決方法として知られている準最適 制御理論を用いる.今回は,中央部のセンサを無視し, センサ数を2つに減らしつつ3次モードまでを考慮す る事が可能である.

準最適制御において, Fig.4 に制御時と非制御時で の地面加振を行った場合の頭頂部観測の結果を示す. これにより,非制御時に比べ制振効果が表れることが 確認できる.



Fig. 4 Frequency response to ground disturbance at the point of installed object

 フィードフォワード包含絶対速度フィードバック 制御

現在の準最適制御系に対して、テーブルに関する除 振性能の向上を図るため、テーブルのみで速度フィー ドバック制御をおこなう.またフィードバック・フィ ードフォワード制御を組み合わせた結果を頭頂部観測、 テーブル部観測において、それぞれ Fig. 5、Fig. 6 に示 す.



Fig.5 Frequency response ground disturbance at the point of

installed object



Fig.6 Frequency response ground disturbance at the table

8. 準最適フィードフォワード併合制御

Fig. 4, Fig. 5 の結果をふまえて、準最適制御と速度
FB・FF 制御理論の 2 つを組み合わせた FF 併合制御実
験を行なう. その結果をグラフ Fig. 7, Fig. 8 に示す.



Fig.7 Frequency response ground disturbance at top point of install object



Fig.8 Frequency response ground disturbance at table

Fig7,8より,FF併合制御は良好な性能を示している.

9. 結論

センサを分解能の小さいものに変え,アンプを大容 量バイポーラ型に変えることで,目標とする制御力を 出力することができた.これより,準最適フィードフ オワード併合制御で1次モードの振動増幅率を大幅に 下げることができた.

しかしテーブル部において準最適制御を併合させた 場合,フィードフォワード包含絶対速度フィードバッ ク制御の結果と比較して除振性能は悪化してしまった. このことから除振性能と制振性能にはトレードオフの 関係があると推察された.以上の結果を踏まえ,今後 は上下方向(方向)の振動を同時に制御する「2方向 制御」の実現を目指す.

10. 参考文献

 [1]長松昭男 著 「モード解析入門」 コロナ社
 [2]背戸 一登・丸山 晃市 著 「振動工学 解析から 設計まで」 森北出版株式会社
 [3]背戸 一登 著 「構造物の振動制御」 コロナ社