

技術報文

機械の動的評価と信頼性技術に関する研究

搬送ロボット用アームの振動対策

竹保義博, 岡田芳雄, 宗広修興, 岡野 仁*1, 兼広二郎

Study on Dynamic Evaluation and Reliability Technology for Machine Elements

Vibration Reduction of Transferring Robot Arm

Yoshihiro TAKEYASU, Yoshio OKADA, Shuko MUNEHIRO, Hitoshi OKANO and Jiro KANEHIRO

We worked on the vibration reduction of the transportation robot to cope with the glass substrate which would enlarge in addition in the future. The frequency and the form of the vibration were clarified by using the experiment modal analysis for tip of parts in robot arm (end-effector). Moreover, the problem on the structure was clarified by using a structural analysis by finite element method (FEM). As the result of these analyses, we thought that the cause of the vibration was a bend of the end-effector when the operation stopped. Lightening by the optimization of shape to refer to the equal beam was chosen to be a method of the vibration reduction in consideration of the effect and the cost. Since end effector's shape was changed, the weight of the end-effector which caused the vibration was able to be reduced by 12%.

今後さらに大型化するガラス基板に対応するために、搬送ロボットの振動低減に取り組んだ。現状のアーム先端部品（以下エンドエフェクタ）に対し実験モード解析を使用して、振動の周波数と形態を明らかにした。また、有限要素法（FEM）による構造解析を使用して、構造上の問題点を明らかにした。これらの解析の結果、振動の原因は、動作停止時のエンドエフェクタのたわみであると考えた。振動低減方法に、効果とコストを考慮して、平等はりを参考にした形状の最適化による軽量化を選んだ。エンドエフェクタの形状変更を行った結果、振動の原因となるエンドエフェクタの重量を12%削減できた。

キーワード：ロボットアーム，振動，有限要素法，実験モード解析

1. 緒 言

液晶パネル製造工程で使用されるガラス基板搬送ロボット（写真1）は、25mm間隔で収納されたガラス基板の出し入れを行う。このため、25mmの隙間に入りガラス基板を持ち上げるエンドエフェクタは、薄い板状の片持はり構造をしている。しかし、この構造は剛性の確保が困難であるにもかかわらず、近年の液晶モニタ用ガラス基板の大型化に対応して、エンドエフェクタも大型化が進んでいる。その結果、重量増加と剛性不足に起因する振動が、ロボットアームの動作に悪影響を与える可能性

2000.5.31 受理 応用加工技術部

*1 産業デザイン部



写真1 ガラス基板搬送ロボット
（資料提供：ローツエ株）

が出てきた。今後さらに大型化するガラス基板に対応するためには、この振動問題を効率よく解決する手法の確立が、緊急の課題となっている。

現在でも多くの工業製品が、エンジニアの経験と勘により設計され、初期に発生する不具合は、試作とテストの繰り返しにより対策がとられている。しかし、今後さらに厳しくなる設計条件を満たし、なおかつ開発の効率化を進めるには、従来の開発手法では対応が難しくなることが予想される。

近年のコンピュータ及びソフトウェアの急速な進歩によって、設計段階における強度や振動のシミュレーション解析の利用が身近になりつつある。そこで、本研究では、ガラス基板搬送用ロボット振動対策を効率的に行う手段として、実験モード解析とFEMによる解析の利用を検討したので報告する。

2. 現状のエンドエフェクタの解析

2.1 現状のエンドエフェクタの概要

今回、振動対策の対象とした現状のエンドエフェクタは、500mm×600mmサイズのガラス基板搬送用である。図面は搬送装置メーカーであるローツェ株式会社より提供していただき、細かい形状を簡略化して製作した（以後、これを現状モデルと呼ぶ）。現状モデルのおおよその外形寸法と材質、重量を表1に、形状を図1に示す。

表1 現状モデルの概要

全長×全幅×厚さ(mm)	880×390×8
材質	アルミ合金
重量	3kg

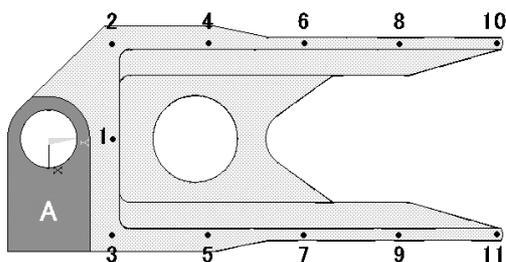


図1 現状モデルの形状

2.2 実験モード解析

これまで直感的に捉えていた振動の問題を、定量的に評価するために、現状モデルに対し実験モード解析を行った。解析の手順は、まず図1のAをテーブルに固定し、1の箇所をインパルス・ハンマで加振して、加振信号をFFTアナライザに入力した。このときの応答信号を、1から11の箇所について、それぞれ加速度センサを

移動してFFTアナライザに入力した。入力した2つの信号は、毎回フーリエ変換し、各位置での応答/加振の伝達関数として記録した。そして、記録した伝達関数をコンピュータに転送し、モード解析を行った。解析した1次の振動モードについて、アニメーション表示した例を図2に示す。また、1次から4次の固有振動数を表2の実験モード解析の列に示す。

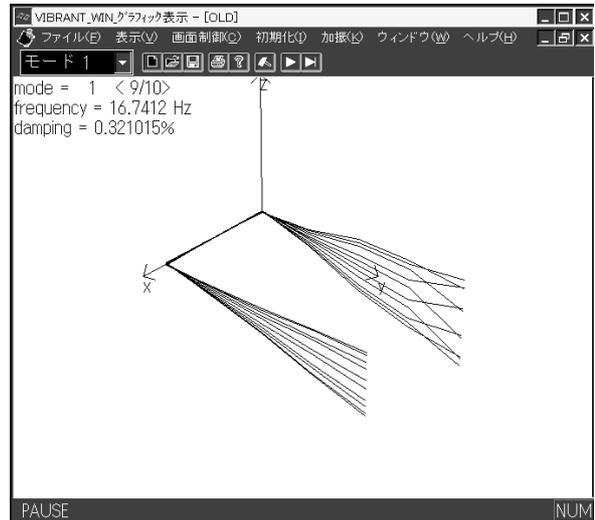


図2 振動モードの解析例

表2 現状モデルのモード解析結果

モード	固有振動数 (Hz)	
	実験モード解析	FEM解析
1次	16.7	19.0
2次	20.1	22.3
3次	60.3	71.6
4次	73.4	81.6

2.3 FEMによる解析

振動の原因となる構造上の問題点を把握するために、FEMによる構造解析を行った。解析の条件は、エンドエフェクタが静止している状態とし、解析結果の表示例を図3に示す。紙面では白黒でわかりにくいですが、モニタ上では応力分布がカラーでマッピングされている。また、シミュレーションの信頼性を評価するために、FEMによるモード解析を行って固有振動数を求め、実験モード解析結果との比較を行った。解析結果を、表2のFEM解析の列に示す。解析ソフトウェアは米国ANSYS社のANSYSを使用した。

2.4 現状モデルの問題点

モード解析により、ガラス基板搬送用ロボットで問題となるのは、動作停止時に発生する、振幅が大きく減衰の遅い低周波の振動であることが判明した。この振動は、ロボットアームの位置決め精度を悪化させるため、

エンドエフェクタと他の部位が干渉する危険性を高め、将来的には動作の高速化を妨げる原因となる。

この振動の発生原因は、ロボットアームの動作が停止する際の減速加速度によりたわんだエンドエフェクタが、動作停止後に復元することによると考えられる。さらに、振動の大きさは動作停止時のたわみ量で決定し、たわみ量は材質や形状で決定されるエンドエフェクタの剛性と作用する曲げモーメントの大きさによると考えられる。

図3で示したFEMによる構造解析の結果から、応力がエンドエフェクタの取り付け側に集中し、先端の応力は低く材料が遊んでいることが判った。片持ち梁のある

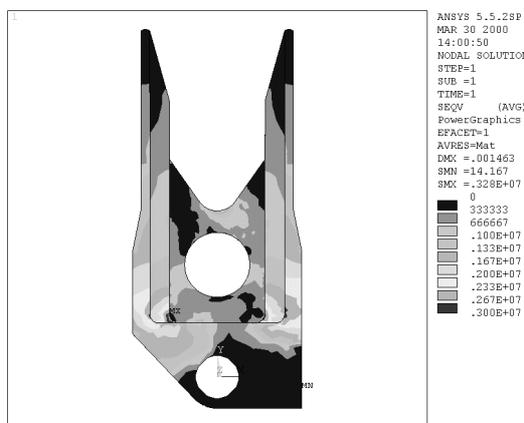


図3 現状モデルの応力分布

断面における曲げモーメントは、この位置より先端側にある単位長さ当たりの質量と距離の積の総和で求まる。つまり、先端付近で遊んでいる材料が、エンドエフェクタの固定側断面に働く曲げモーメントを大きくしており、結果的に振動を大きくする原因となっている。

3. 振動対策

3.1 設計の方向性

前章で考察した現状モデルの問題点に対し、振動対策の方法を決定するにあたり、以下の点を考慮した。

- (1) 形状は、他の部位との干渉を考慮し、現状の寸法内に納める。
- (2) 振動対策に係るコストと効果の関係を考慮し、今回は複雑な制振機構は用いない。

以上のことから、振動対策を行ったモデル(以後、これを改良モデルと呼ぶ)の設計の方向性として、現状モデルの形状を最適化することにより、剛性は落とさずに軽量化を行うことにした。

3.2 改良モデルの設計

改良モデルの設計にあたっては、材料の配置を最適化

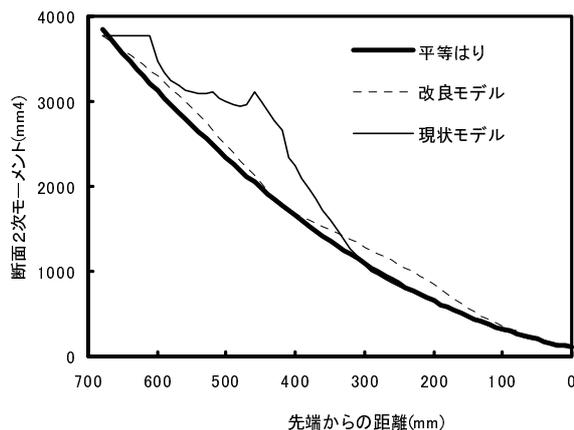


図4 断面2次モーメントの比較

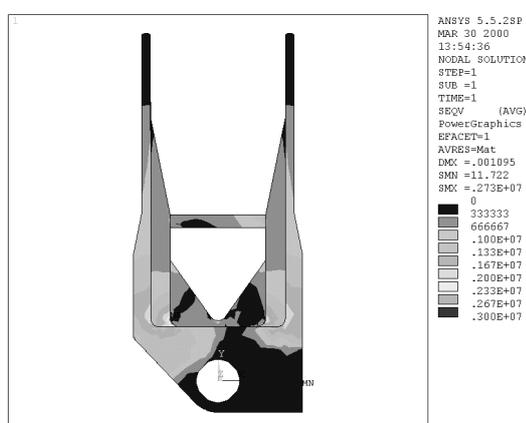


図5 改良モデルの形状と応力分布

することによって、軽量化を実現すると共に、応力が一様に分布することを目指した。応力が一様に分布する形状の決定に際しては、材料力学の平等強さのほりを参考にした。平等強さのほりとは、材料を有効に使うために、各断面における最大曲げ応力が一定となるような断面形状を持つほりのことである¹⁾。今回は、エンドエフェクタを想定し、一様分布加重が加わる高さ一定の長方形断面を持つ平等ほりの寸法を計算で求め、比較を行って形状を決定した。ここで、参考とした平等ほりと現状モデル、改良モデルのそれぞれの各断面における断面2次モーメントをプロットしたグラフを図4に示す。改良モデルの形状とFEMによる解析結果表示例を図5に示す。

4. 結果

改良モデルの試作を行い、重量を測定した結果、現状モデルと比較し、先端部分を中心に12%の軽量化を果たした。

振動対策の効果を確認するため、改良モデルの実験モード解析を行って、従来モデルとの比較を行った。そ

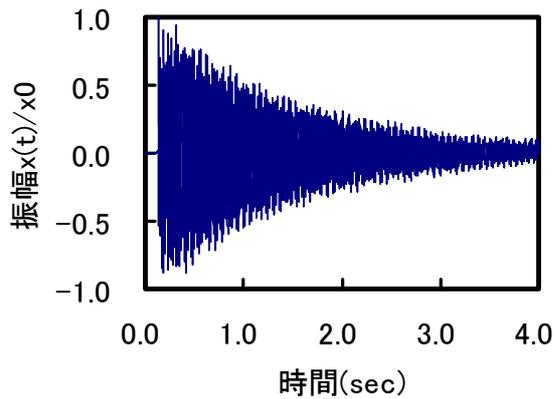


図6 現状モデルの振動波形

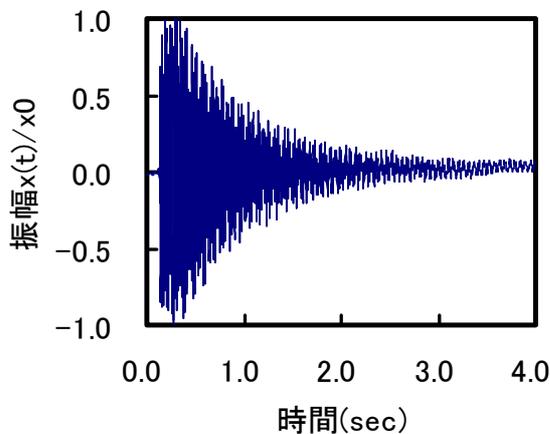


図7 改良モデルの振動波形

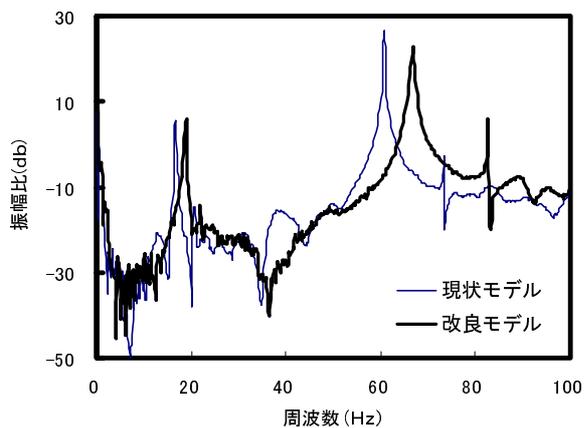


図8 伝達関数の比較

それぞれのエンドエフェクタについて 図1の1に対応する位置をハンマーで加振して、図1の10に対応する位置で計測した振動波形を図6、図7に示す。改良モデルの振動が、現状モデルに比べ短時間で減衰していく様子が分かる。

また、両者の伝達関数を計測し、比較した結果を図8に示す。軽量化によって改良モデルの固有振動数が現状モデルに比べ高くなっていることがわかる。

5. 結 言

ガラス基板搬送ロボットの動作に悪影響を与える振動の低減を目的に、エンドエフェクタの改良に取り組んだ。

- (1) 先端部分を中心に12%の軽量化を実現して、動作停止時に発生する振動の振幅を大きくする原因となる曲げモーメントを小さくすることが出来た。
- (2) 現状の問題点の把握や設計変更の手段として、FEM解析やモーダル解析を利用することが有効であることを確認した。

今回はコストを優先して軽量化による振動対策を行ったが、今後は材質の検討、さらには平成10年度の研究成果²⁾である振動吸収装置の付加を検討することも考えられる。

謝 辞

本研究を進めるにあたり、ローツエ株式会社より資料提供をいただいた。ここに深く感謝の意を表します。

最後に、本研究は平成10年度の日本自転車振興会の補助事業において、整備した動的評価システムを利用して実施した。

文 献

- 1) 太田友弥：材料力学，山海堂，1966，p107-115
- 2) 岡田芳雄，宗広修興，竹保義博，兼広二郎：広島県立東部工業技術センター研究報告，No.12，6-10 (1999)。