

情報機器における騒音評価と静音設計

Noise evaluation and noise reduction designs for business machines

牧野 徹 * 渡部 直樹 * 梅津 昌彦 * 井上 貞敏 *
Makino, Tohru Watanabe, Naoki Umetsu, Masahiko Inoue, Sadatoshi

The requirement for noise reduction is an extremely important consideration for a comfortable office environment.

As printers and copiers are in close vicinity, noise reduction is a key point for customer satisfaction. This paper describes noise evaluation and noise reduction designs for business machines such as write unit polygon mirror, paper handling unit and RADF (Reversing Automatic Document Feeders) by using NVH analysis system and other analytical devices.

1 はじめに

情報機器の騒音低減に対する要求は、快適なオフィス環境の実現のために、ますます強いものになっている。特に、プリンタや複写機は、人の身近な場所に設置されることが多く、顧客満足 (customer satisfaction) の観点から、静音化が商品の差別化をはかる一つのキーポイントになっている。

本報では、NVH解析システムをはじめ、各種解析ツールを用いて、(1)書き込みユニットのポリゴンミラー、(2)デジタル複写機の用紙搬送系、(3)デジタル複写機のRADF (Reversing Automatic Document Feeders) の騒音評価ならびに静音設計を検討した事例について報告する。

2 騒音解析システムについて

上記したように、情報機器において静音設計が重要視されることから、NVH (Noise Vibration Harshness) 解析システム (Fig.1) を導入し、これを騒音評価と静音設計に適用している。この解析システムの特徴は、従来のような音圧測定や周波数解析のみでなく、騒音の現象を時間-周波数空間でとらえることにより、対策の難易度が高い衝撃音などの瞬時的な変化を、視覚的にとらえることができることである。これにより、音源特定および対策立案プロセスの精度向上が可能となった。また、マイク以外のセンサ (加速度センサ、速度計等) とシーケンス情報との同時測定による音源特定や、時系列音圧データとデジタル録音された騒音の加工、再生による音源特定や、騒音の予測、効果の確認、心地よい音の創造等の音質評価が可能となった。

検討の中で、風の流れや構造等が関与していると考えられる問題については、流体解析、構造解析、モーダル解析や実稼働振動解析などを用いて、統合的に騒音解析、騒音評価および静音設計を行っている。

*CS 統括部 製品評価センター

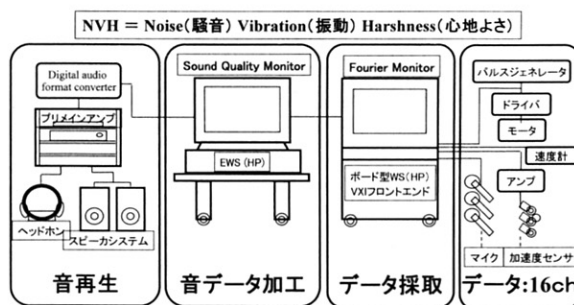


Fig.1 NVH 解析システム

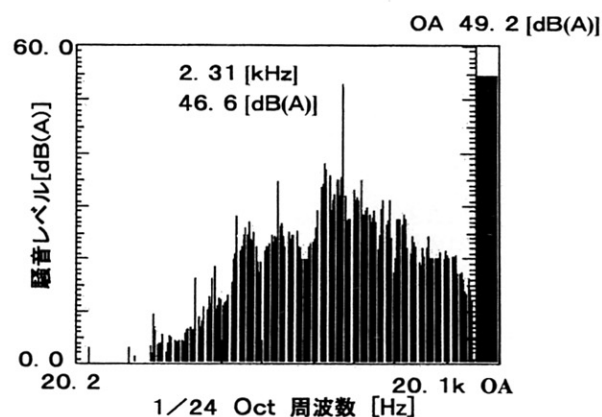


Fig.2 ポリゴンミラー騒音測定

3 静音設計事例 1 (ポリゴンミラーの静音化検討)

カラー・レーザビーム・プリンタの開発過程において、書き込みユニットのポリゴンミラー回転時に発生する音が問題となった。プリンタは、複写機と比較して、ユーザーに近い位置に設置されることから、騒音レベルのみでなく、音質についても特に注意する必要がある。Fig.2 は、ポリゴンミラーの騒音データを周波数解析した

結果である。2.3 [kHz] に鋭いピークを有する。このような卓越離散純音は、耳障りな音質であり、ユーザーに不快感を与える。

したがって、本章では、書き込みユニットのポリゴンミラー回転時に発生する騒音対策、特に卓越離散鈍音の低減対策について説明する。

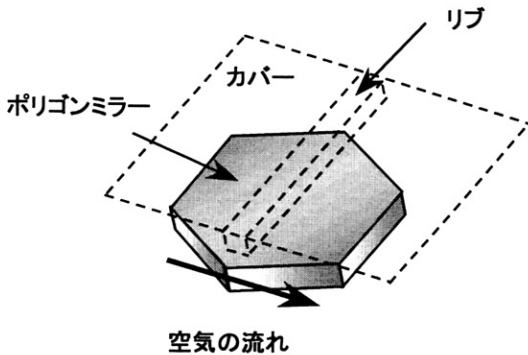


Fig.3 ポリゴンミラーとリップ配置

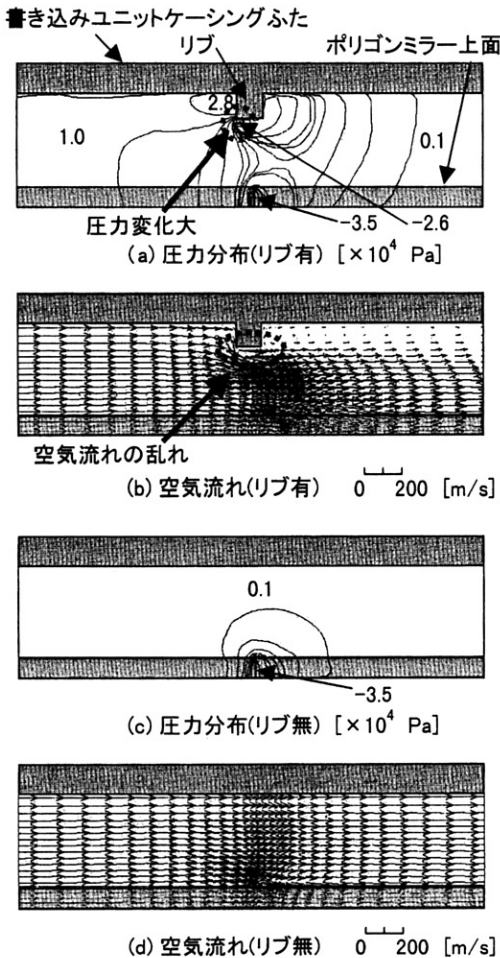


Fig.4 解析結果（数値流体解析）

3.1 音源探索

2.3 [kHz] の騒音は、ポリゴンミラーの1回転成分(385 [Hz])の6倍に相当し、ポリゴンミラーが6面体であることから、この騒音はミラーの風切り音と考えられた。ここで、ポリゴンミラーの代わりに、反射面を持たない円盤を書き込みユニットに組み込み、動作させたところ、2.3 [kHz] のピークが消滅した。以上のことから、騒音発生源はポリゴンミラーの角部であると推定した。

また、書き込みユニットケーシングのふたにはリップが設けてあり (Fig.3)、ポリゴンミラー近傍に位置するリップの周辺では、ミラーの回転により圧力変動が生じ、その圧力変動が騒音の発生原因になると考えられた¹⁾。このことから、ポリゴンミラー近傍の空気の流れをみるために数値流体解析を行った。Fig.4に解析結果を示す。リップのない場合は圧力分布が一定であるのに対し、リップがある場合はリップの前後で大きな圧力の変化が生じている。この結果をもとに、障害物の存在による圧力の急激な変動と騒音の関係を確認するため、ポリゴンミラーと障害物間の距離と騒音の関係を実験的に調べることにした。Fig.5は、距離が離れるほど騒音レベルは小さくなるが、ある距離を境に騒音レベルがほぼ一定になることを示している。

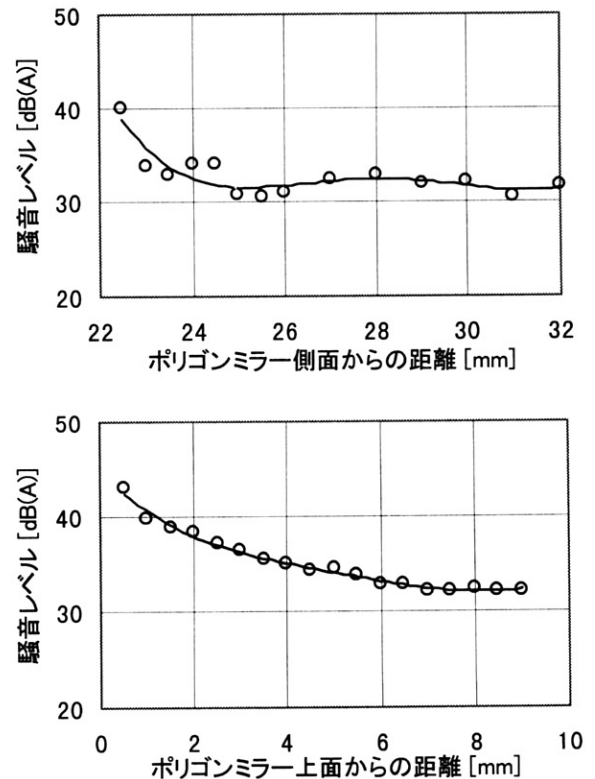


Fig.5 障害物との距離と騒音の関係

3.2 騒音対策

以上の結果から、ポリゴンミラー配置と書き込みユニット形状を変更することにより、ポリゴンミラーの風切り

音を約 14 [dB(A)]、オーバーオール値を約 6 [dB(A)]
低減することができた (Fig.6)。

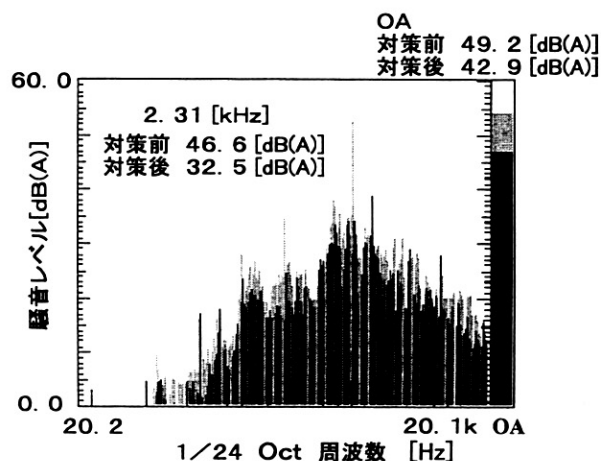


Fig.6 ポリゴンミラー騒音測定 (対策前後)

ンサー信号、タイミングチャートおよび騒音レベルの時
系列データを比較することにより、衝撃音の発生箇所を
特定した。また、駆動音など定常的に発生する音（定常
音）は、測定データを周波数解析することにより、音源
の特定を行った。

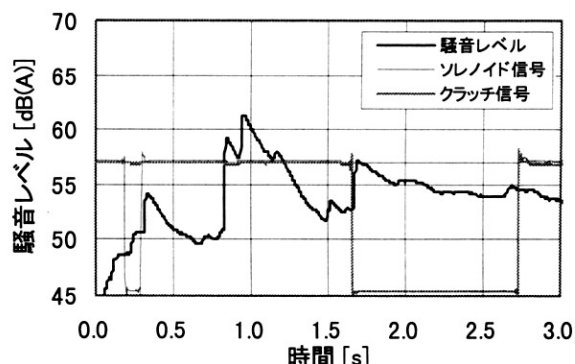


Fig.8 制御信号と騒音レベルの関係

4. 静音設計事例 2 (用紙搬送系静音化検討)

一般に複写機の騒音は、用紙搬送系とメイン駆動系の
寄与率が高いといわれている²⁾。Fig.7 はデジタル複写
機(試作機)の用紙搬送系について、騒音測定した結果で
ある。測定位置 (マイクの位置) は給紙経路がある本体
右側 1 [m]、測定モードは fast モードである。瞬時的に
発生する音 (衝撃音) のピークが複数個みられ、全体的
に騒音レベルが高いのがわかる。衝撃音は、その特性上、
impulse モード等において測定値全体のレベルを上昇さ
せる。このことから衝撃音の低減が必須となる。

したがって、本章では、デジタル複写機の用紙搬送系
の騒音対策、特に衝撃音の低減対策について説明する。

Fig.7 より、対象とした用紙搬送系の衝撃音は、主に 6
つあり、それぞれ A~F とする。制御信号と騒音レベル
を時系列で比較した Fig.8 より、衝撃音 A は給紙ソレノ
イド、F は電磁クラッチの作動音であることがわかった。
また、用紙の搬送速度測定データ、タイミングチャート、
機械構成と騒音レベルの時系列データ (Fig.9) を比較す
ることにより、衝撃音 B、C、D は用紙に作用する搬送抵
抗、搬送力、搬送速度の変動による用紙のばたつき、び
びり音と考えられた。更に、衝撃音 E はレジスト補正時
に発生する衝撃音と考えられた。

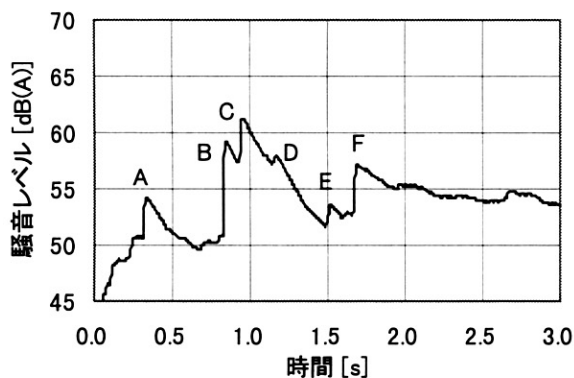


Fig.7 用紙搬送系の騒音測定

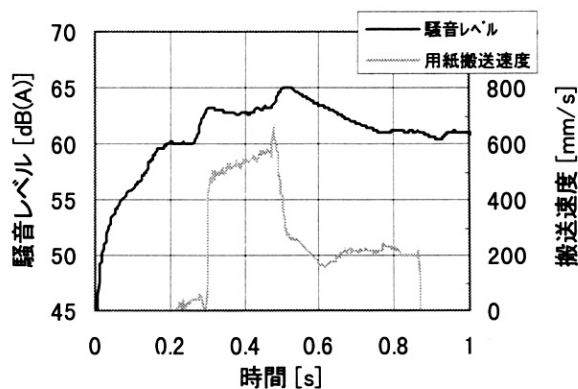


Fig.9 用紙搬送速度と騒音レベルの関係

4.1 音源探索

騒音対策を行うにあたって、騒音の発生源および伝搬
経路を特定する必要がある。ここでは、各制御信号、セ

給紙機構のみを駆動させた時の騒音測定データについ
て、周波数解析した結果を Fig.10 に示す。360 [Hz] 近傍
に突出した成分を有する。これは、伝達経路の過程で増

速を行っている歯車におけるかみ合い周波数の2倍に相当している。また、その他の成分についても、歯のかみあいにより発生する振動が原因であると考えられた。

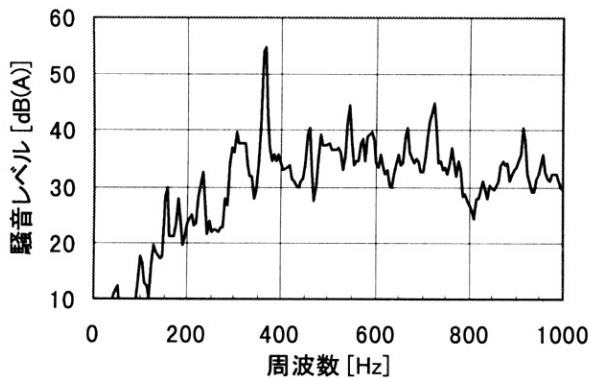


Fig.10 駆動部単体騒音の周波数解析

紙扉には、固体伝搬音を遮断するための防振材を設置し、本体内部から直接放射音が漏れないように密閉性を向上させるなどの対策も施した。その結果、Fig.13に示すように卓越成分を低減することができた。また、これらの対策により、オーバール値は約8[dB(A)]低減することができた。

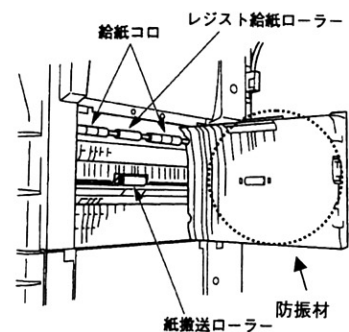
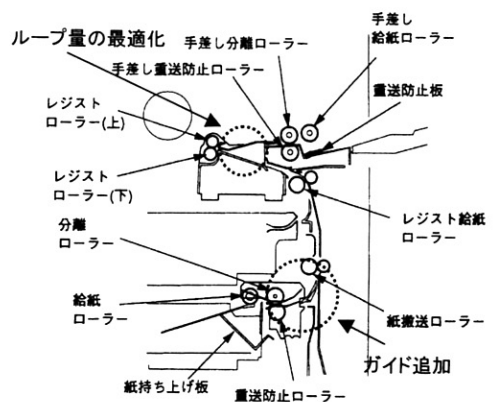
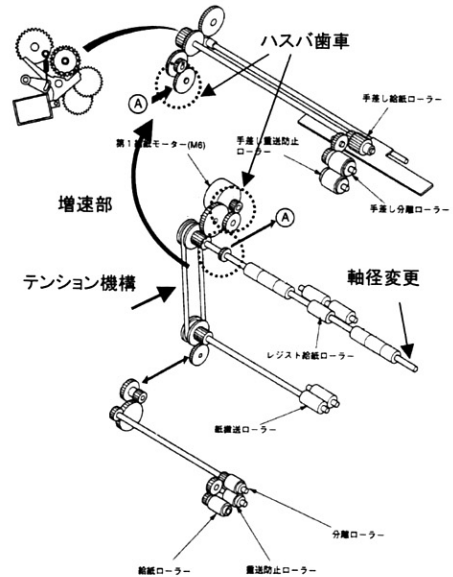


Fig.11 用紙搬送機構

4.2 騒音対策

衝撃音と定常音の騒音対策を以下に示す。

衝撃音A：給紙ソレノイドの作動音は、電磁ソレノイドが作動する際、ヒンジ部分で発生する衝撃音である。この衝撃音は、緩衝材を用いることにより低減することができた。

衝撃音B、C、D：給紙時の用紙ばたつき音やびびり音は、Fig.11に示す用紙搬送機構において、用紙に作用する搬送抵抗、搬送力や搬送速度が変化するため、用紙がガイドに衝突するなど、搬送経路に沿って円滑に搬送されない時に発生する。搬送経路に補助的なガイドの追加やベルト機構にテンションローラーを用いる等の対策を行うことにより、衝撃音の低減を図ることができた。

衝撃音E：レジストループ音は、用紙がレジストローラーに進入し、所定時間停止する間に形成される用紙のループと、ガイド板とが衝突することにより発生する。ループ量の適正化を図ることにより、衝撃音を低減することができた。

衝撃音F：レジストクラッチ音は、電磁クラッチ連結時に、ロータとアーマチュアが接触し、その際に発生する衝撃音が主な原因である。電磁クラッチに緩衝部材を設置することで、衝撃音を低減することができた。なお、レジストクラッチ音に関しては、詳細を4.3に記す。

以上の対策を施すことで、本体給紙部の衝撃音は、Fig.12に示すように低減することができた。

定常音に関しては、以下のような対策を施した (Fig.11)。まず、動力伝達系、特に歯車伝達機構の騒音に関しては、ほぼ歯車の採用やねじり振動を低減するために伝達経路の過程で増速を行っている軸の軸径を増やすことにより、歯車の振動成分を低減することができた。また、給

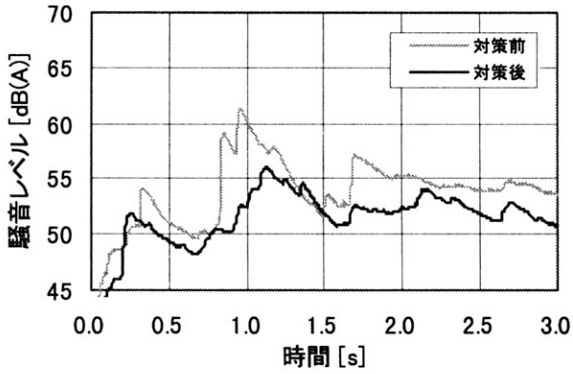


Fig.12 用紙搬送系騒音測定 (対策前後)

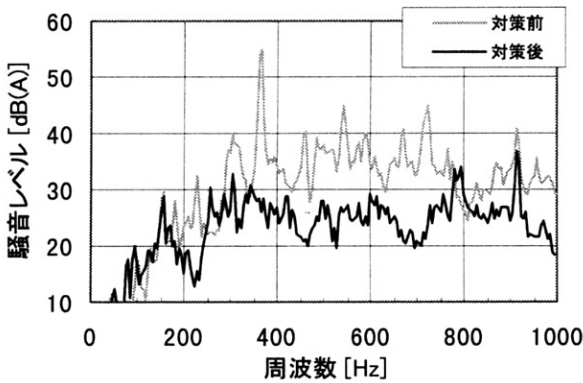


Fig.13 駆動部単体騒音の周波数解析 (対策前後)

4.3 動力伝達部（電磁クラッチ）の騒音対策

デジタル複写機から発生する衝撃音の中で、特に騒音レベルが高いレジスト部電磁クラッチの衝撃音の発生メカニズムは、Fig.14 に示すように、連結直後のギアのかみ合いにより発生する衝撃音、ロータ-アーマチュアが連結（衝突）する際に発生する衝撃音の2つに大別することができる。以下に、衝撃音の低減対策について順に説明する。

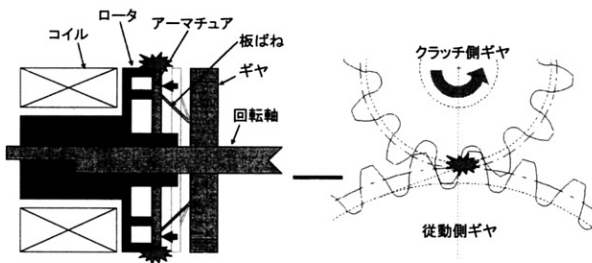


Fig.14 衝撃音の発生メカニズム

4.3.1 歯車かみ合い音対策

電磁クラッチが連結した直後に、動力が伝達された歯車の、急激なかみ合いにより発生する衝撃音の低減対策について以下に説明する。

まず、アーマチュア側歯車と対になる歯車内部にダンピング部材を介して動力を伝達する機構³⁾ (Fig.15) を設けることで、衝撃音を約3 [dB(A)] 低減することができた。

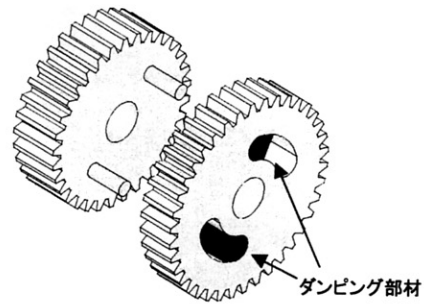


Fig.15 ダンピング歯車

次に、電磁クラッチをPWM制御により、円滑に連結することで、衝撃音を約4.5 [dB(A)] 低減することができた。

4.3.2 ロータ-アーマチュア衝突音対策

電磁クラッチ作動時に、ロータとアーマチュアが連結（衝突）する際に生じる衝撃音の低減対策について以下に説明する。

電磁クラッチ単体の作動音を周波数解析した結果をFig.16 に示す。可聴域の20 [kHz] に対し、特に人間の聴覚感度の高い約3~8 [kHz] の騒音レベルが高い。

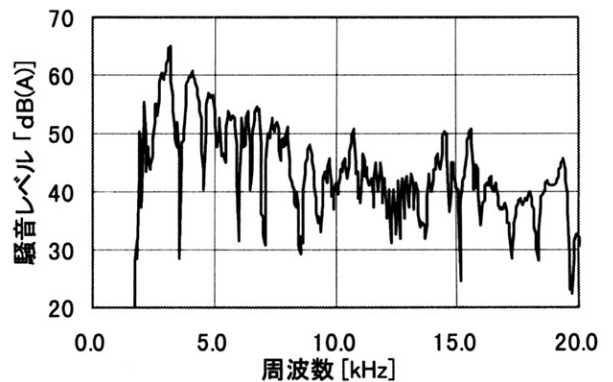


Fig.16 電磁クラッチ衝撃音の周波数解析

次に、被加振部位となるアーマチュア部板ばねとロータについて構造解析を行った。その結果、可聴域においては、Fig.17に示す板ばねの振動モード、Fig.18に示すロータ外輪がラジアル方向に変形する振動モードがあり、これらの変形部分に制振効果のある緩衝材を挿入することで振動、衝撃音を低減できると考えられた。

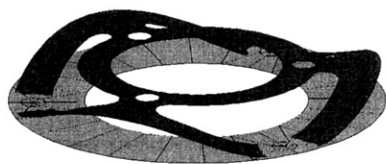


Fig.17 板ばねの振動モード

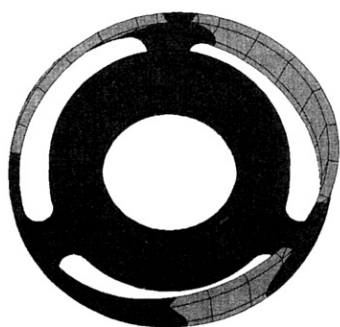


Fig.18 ロータの振動モード

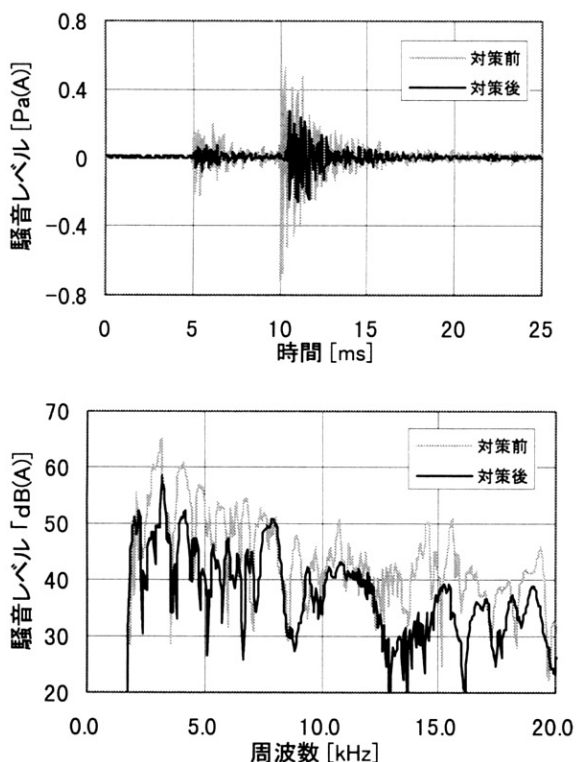


Fig.19 電磁クラッチの騒音測定 (対策前後)

これらの考察をもとに、板ばね部分に挿入する損失係数の大きい部材について検討した結果、低硬度、高圧縮率で密着性を確保できる発泡性EPDMを用いると衝撃音を約6 [dB (A)] 低減することがわかった⁴⁾。また、これらの対策により、可聴域の全周波数にわたって騒音レベルが低減していることがわかった (Fig.19)。一方、ロータ部空隙に損失係数の大きいシリコンゴムを挿入したところ約5 [dB (A)] の衝撃音低減がみられた。

5 静音設計事例3 (RADFの静音化検討)

デジタル複写機に搭載されているシートスルー方式RADF (Reversing Automatic Document Feeder) は、従来の複写機で用いられてきた送り込み方式と比較して、用紙搬送速度が低減可能であり、静音化に対して有利な構成となっている。

しかし、開発の過程で給紙送り込み時に発生する衝撃音やソレノイド作動音等が大きく、これらの騒音対策が必要となった。

騒音検討の結果、給紙送り込み音は、給紙立ち上げ時間を送り込み性能の限界近くまで延長することにより、衝撃音を約6 [dB (A)] 低減することができた。一方、ソレノイド作動音等には、緩衝材等の設置により、静音化を図った。

以上のように、RADFに関しても稼働時の衝撃音が極力発生しないように静音設計がなされている。

6 まとめ

NVH解析システムをはじめ、数値流体解析や構造解析等の解析ツールを用いた、(1)書き込みユニットのポリゴンミラー、(2)デジタル複写機の用紙搬送系、(3)デジタル複写機のRADFの騒音評価ならびに静音設計の検討事例について報告した。

今回の検討プロセスにより、音源特定と対策が容易ではなかった衝撃音に対しても、適切な技術手段の適用が可能になった。更に、騒音に関する対策時間が著しく短縮され、商品開発のスピードアップや短時間での品質向上が可能となった。

今後、機器の更なる静音化を図るために、開発の初期段階から静音化を見据えた最適化設計を行う予定である。

●文献

- (1) 藤本、"流体力学"、養賢堂、1972
- (2) 監修 田中、"エレクトロニクス機器における静音化技術"、ミマツ データ システム、1995、p.625.
- (3) 徳武他、"カラー情報機器における高精度駆動技術"、KONICA TECHNICAL REPORT Vol.10、1997、p.59
- (4) 振動工学ハンドブック編集委員会編、"振動工学ハンドブック"、養賢堂、1985、p.811、p.1200