

MFP動作音の静音化・快音化技術

Noise Reduction and Sound Quality Improvement Technologies for Operation Sounds Emitted by MFPs

山口 雅夫

■YAMAGUCHI Masao

MFP (Multifunctional Peripherals) は、コピーや、プリンタ、ファクシミリ、スキャナなどの複数の機能を一つの機器に統合した複合機で、多くのオフィスで使われている。近年、オフィス内は静寂化が進み、従来に比べ事務機器の動作音が耳につきやすくなってきている。より良いオフィス環境を提供するために、MFPはいつそう静かな動作音が要求されている。

東芝テック(株)は、MFP動作音を静かにする静音化技術と、聞き心地の良い動作音にする快音化技術を開発してきた。そのなかで、音響シミュレーションや構造解析などのCAE (Computer Aided Engineering) を活用した静音化と快音化の技術を開発した。これらの技術を適用することで、動作音が世界トップクラスの静音かつ快音のMFPを実現した。

Multifunctional peripherals (MFPs) integrating multiple functions including copying, printing, fax, and scanning functions in one unit are now widely used in offices. With the increasing quietness of offices in recent years, there has been growing demand for the operation sounds emitted by office equipment to be quieter and more pleasant. MFPs are no exception to this situation.

In order to offer a comfortable environment to office workers, Toshiba TEC Corporation has been developing noise reduction and sound quality improvement technologies aimed at making the sounds emitted by MFPs quieter and more pleasant, using computer-aided engineering (CAE) including acoustics simulation and structural analysis. Through the application of these technologies, we have launched the e-STUDIO™ 2050C/2550C/2051C/2551C MFPs with the world's best class of quiet and pleasant operation sounds.

1 まえがき

MFP (Multifunctional Peripherals) は、大量ドキュメントの印刷から文書作成、情報共有まで様々なシーンで利用されるため、多くのオフィスで使われている。MFPは高画質化や小型化などが望まれるため、部品点数の増大や、機構の複雑化、各部品の実装密度の増大などにより、その動作音が不快になる傾向にある。更に建築物の静音化技術の向上によりオフィス内の静寂化が進み、従来に比べオフィス内の事務機器の動作音が耳につきやすくなっている。

MFPは、より良いオフィス環境を顧客に提供するために、静かな動作音が要求されている。更に、世界的権威のあるドイツのBlue Angel Mark (BAM) やわが国のエコマークなど各国の環境ラベルを取得するためにも、動作音を静かにすることが必要である。ドイツでは、約38%の顧客はMFPなどの事務機器を購入する際にBAMラベルが付与されているかを強く意識しているとの報告がある⁽¹⁾。更に、近年ではマイナス要因の騒音を低減する静音化技術だけでなく、音を活用して新たな付加価値を付けるために、聞き心地の良い動作音にする快音化技術の開発及びその適用が望まれている⁽²⁾。

東芝テック(株)は、MFPの静音化と快音化の技術を開発してきた。ここでは、確立して製品開発に適用した快音化手法と、音響シミュレーションや構造解析などのCAEを活用し

た静音化・快音化技術について述べる。更に、開発した技術を適用することで、動作音が世界トップクラスの静音と快音を実現したMFPについても述べる。

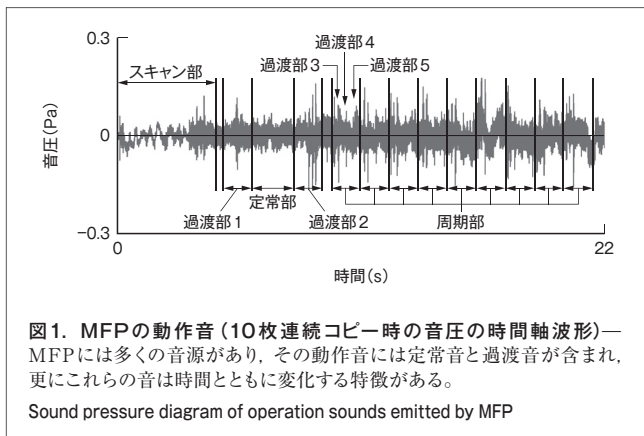
2 MFP動作音の特徴

MFP動作音は、他の機械音と異なる特徴がある。まず、複数のモータ、ファン、クラッチ、及び紙の衝突音や反り返り音など様々な音源がある。そして、定常音と過渡音(衝撃音)が含まれ、更にこれらの音は、時間とともに変化する非定常音である。

一方、MFPの構造的な特徴が、音の伝搬経路に影響を与える。MFPは部品点数が多く、複雑な経路で音が伝搬するため、音の伝搬経路を解明するのが他の機械製品に比べ難しい。また、音は媒質(空気中では空気)の振動であるが、MFPには、外装カバーや板金など面積が大きい板があり、これが振動板となり音を発生させることがある。

これらの特徴を考慮して、静音化や快音化の施策を講じる必要がある。

MFP動作音の例として、連続10枚コピー時の動作音を図1に示す。マイクロホンの位置は国際標準化機構の規格であるISO 7779に基づき、起立したオペレーター位置を想定した床から高さ1.50 m、MFP本体の前面から0.25 mに設置して、本体のスタートボタンを押した直後から測定した。動作音を現象



ごとに区切ると、コピー1枚目は、大きくスキャン部、過渡部1、定常部、及び過渡部2の四つの部分に分けることができ、コピー2枚目以降は、過渡部3、過渡部4、及び過渡部5を含む周期部が繰り返し発生する。

3 静音化・快音化技術

3.1 快音化手法

多くの音源があり、非定常音であるMFP動作音のどの音部分が音質に影響が大きいかを把握できれば、効率の良い快音化が可能になる^{(3), (4)}。当社は、以下に示すMFP動作音の快音化の手順を確立し、製品開発に適用している。

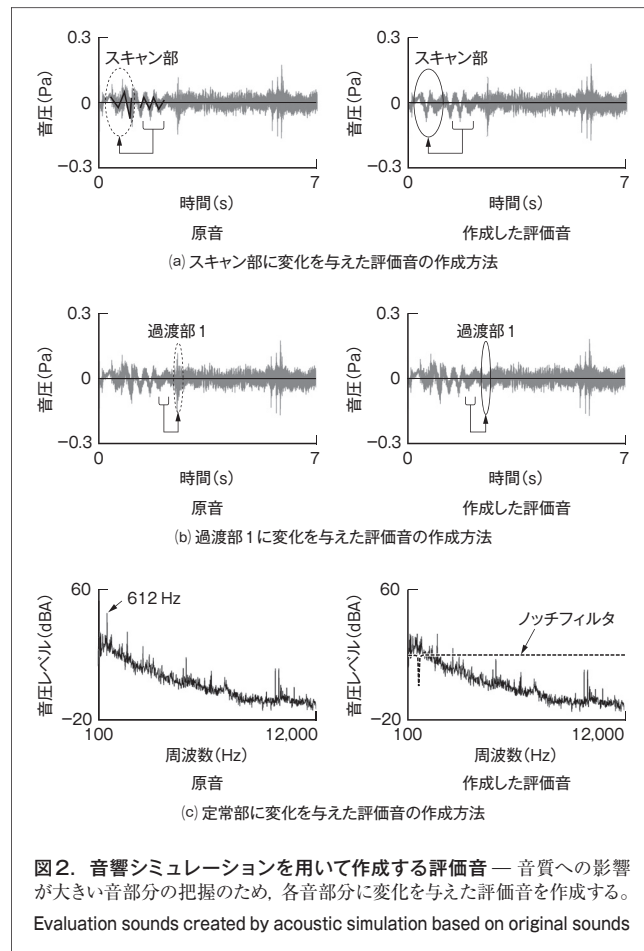
- (1) 動作音を測定し、測定した原音の各音部分に変化を与えた評価音を個別に作成する。
- (2) それぞれの評価音と原音との相対的な音質評価を行う。音質評価には、SD法 (Semantic Differential method) や、一対比較法、評定尺度法などを用いる。
- (3) 得られた音質評価の結果、聞き心地に変化をもっとも感じた音部分が音質にもっとも大きく影響しているとして、その音部分の音源を同定し変更する。

ここでは、音質への影響が大きい音部分の特定手法について、図1に示す動作音を用いて述べる。

3.1.1 音質評価のための評価音作成 まず、図1に示す測定した原音を基に、音響シミュレーションを用いて以下の作業を行い、図2に示すように、音質評価音を作成する。

- (1) 不規則に変化するスキャン部の音を規則的に変化する音部分に置き換える。
- (2) 過渡部1を定常音とみなせる音に置き換える。過渡部2～5も同様に定常音とみなせる音に置き換える。
- (3) 定常部の周波数分析から得られた612 Hzのピーク音を、特定の周波数帯域だけを下げるとノッチフィルタでカットする。

3.1.2 SD法による音質評価 次に、MFP動作音のどの音部分を変化させたときに音の印象が大きく変化するかを



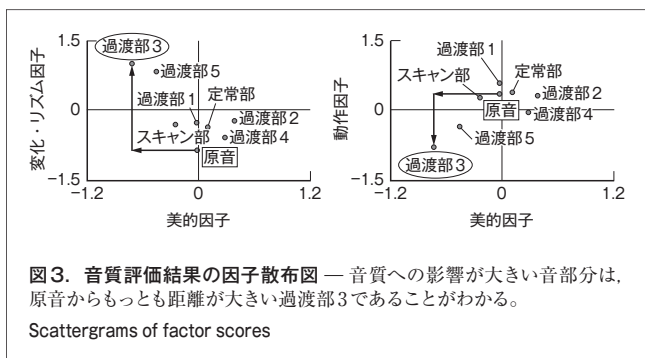
把握するため、音質評価を行う。この事例ではSD法を用いる。被験者は無響室内で椅子に座り、スピーカから評価音を聞き形容詞対から成る質問に回答する。被験者は16名で、評価は原音を基準として各評価音の音質を評価する。

SD法により得られた回答を因子分析した結果を表1に示す。第1因子から順に美的因子、衝突因子、動作因子、変化・リズム

表1. 音質評価の因子分析結果

Result of factor analysis of sound quality evaluation

変数名	美的因子	衝突因子	動作因子	変化・リズム因子
好き - 嫌い	0.80	0.19	0.14	0.12
癒 (いや)される - うっとうしい	0.77	0.09	-0.11	0.02
不快な - 心地よい	-0.74	-0.35	-0.18	-0.14
落ち着いた - ガチャガチャした	0.20	0.77	-0.30	-0.16
すっきりした - 濁った	0.28	0.70	0.03	-0.28
おとなしい - 激しい	0.20	0.69	-0.35	-0.27
動作感のある - 動作感のない	0.05	-0.08	0.68	0.29
印刷感のない - 印刷感のある	-0.14	-0.28	-0.61	-0.06
弱々しい - 力強い	0.01	0.05	-0.60	-0.27
印象が変わらない - 印象が変わる	0.08	-0.27	0.30	-0.74
変化がわからない - 変化がわかる	0.16	-0.26	0.44	-0.71
リズム感の悪い - リズム感の良い	-0.40	0.26	-0.25	0.51



ム因子と定義する。

因子得点の散布図を図3に示す。左図に示す美的因子と変化・リズム因子との関係を分析すると、過渡部3がもっとも原音から距離が離れ、原音との差が大きく音質への影響が大きい。したがって、この音源を変更することで音質を大きく変えることができる。ここで、美的因子に着目すると、因子得点が高いほど聞き心地の良い音になるので、過渡部3を定常音に変えた場合の評価音が聞き心地のもっとも悪い音となることがわかる。また、変化・リズム因子に着目すると、因子得点が高いほどリズム感が悪くなるので、過渡部3を定常音に変えた評価音がリズム感のもっとも悪い音であることがわかる。

更に美的因子と動作因子の関係を分析するため、それぞれの因子得点の散布図を図3の右図に示す。ここで、動作因子に着目すると、因子得点が小さくなるほど動作感が悪くなるので、音質への影響がもっとも大きい過渡部3を定常音に置き換えると動作感が低減し、聞き心地も悪くなることがわかる。よって、この事例の動作音では、音質への影響が大きい過渡部はリズム感や動作感に与える影響が大きく、過渡部をなくすことは必ずしも良い音質とは言えないことがわかる。

このように、測定した動作音の原音を基に音響シミュレーションを用いて評価音を作成して、音質評価を行うことで、効率の良い音質向上を行うことができる。更に、この手法のように音響シミュレーションを用いて評価音を作成することは、快音化だけでなく、静音化への適用も可能である。例えば、騒音対策を行ってある音源を低減したときの音圧レベルを予測でき、音源の対策効果を事前に把握できる。

3.2 CAEを活用した静音化及び快音化

静音化を実現するには、以下の三つの手段がある。

- (1) 騒音源の音を低減する。
- (2) 騒音の伝搬を低減する。
- (3) 発生した騒音を遮音又は吸音する。

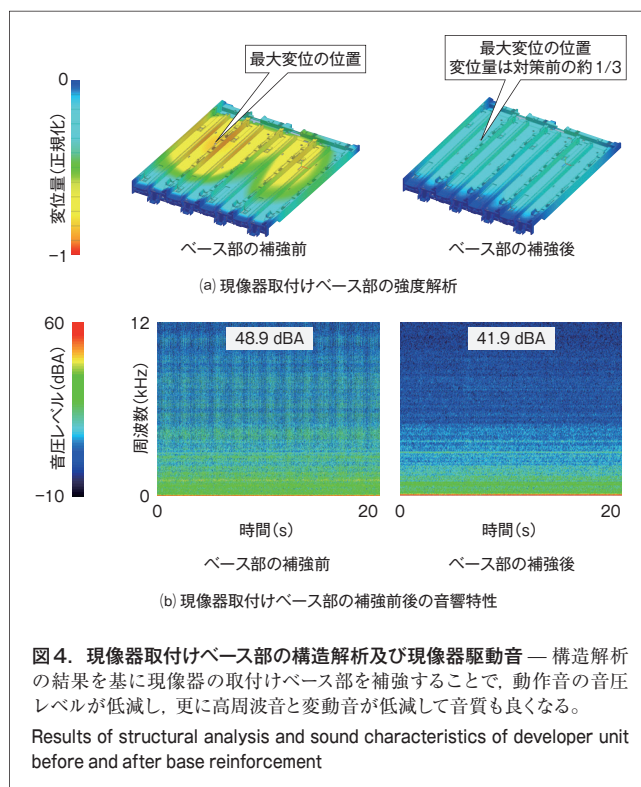
騒音源の音を低減するには、振動を低減することが必要である。振動を低減させる一つの方法は、各 부품の剛性を上げることであるが、部品のコストが大きくなる弊害がある。更に、MFPは機体の小型化が要求されているため高密度実装が必要になり、各部品は剛性を上げるために肉厚を厚くすることが

難しくなっている。このため、構造解析を行って必要な箇所だけの強度を上げる最適設計が重要になる。そこで、構造解析や音響シミュレーションによるCAEを活用して静音化と快音化をする技術を確認し、製品に適用して効果を確認した。

MFPで用いられる現像器は、現像ローラと感光体ドラムとの位置関係の精度を高くすることが必要である。現像器を感光体ドラムへ押圧して現像ローラと感光体ドラムの位置関係を確保している場合、現像器を保持するベース部の強度が不足すると、ベース部がたわみ現像器に位置誤差が生じる。その結果、モータ駆動部からのトルクを現像器に伝達するカップリング部に位置誤差が生じて、変動音が発生する。そこで、ベース部の必要な箇所だけの剛性を上げて、ベース部の変位量を低減させるために、構造解析を用いる。

ベース部の一部分の剛性を上げて補強した前後の変位量を、補強前の最大変位量を-1として正規化して図4(a)に示す。補強後は、最大変位量を対策前の約1/3にすることができる。そして、補強した前後の現像器の押圧力で、現像器を単体動作させたときの動作音の音響特性を図4(b)に示す。補強後は、音圧レベルが下がっていることがわかる。更に、聴感上の音質は、補強前は耳障りな高周波成分が多く含まれていることに加え、音が時間とともに変化する変動音になっている。人間は、変動音を耳障りと感じやすい。一方、補強後は高周波成分と変動音が低減しているので、聞き心地が良くなっている。

このように、構造解析で最適設計をして音響シミュレーションで音響特性を確認することで、コストを低減し、更に機体を小



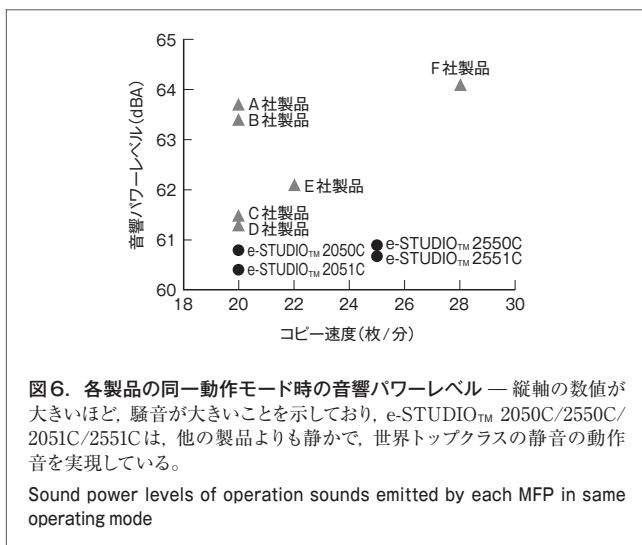
型化できる静音設計及び快音設計が可能になる。

4 静音化・快音化技術の製品への適用

開発した静音化・快音化技術を適用することで、世界トップクラスの静音で聞き心地の良い動作音のMFPを開発した。

e-STUDIO™ 2050C/2051Cは、A4ヨコ、同一原稿連続複写時で毎分20枚、e-STUDIO™ 2550C/2551Cは毎分25枚のプリント速度を提供するフルカラー MFPで、設置面積も世界最小クラスである(図5)。静かで聞き心地の良い動作音を実現するために、以下の施策を行った。

- (1) 効率の良い開発を行うために、設計上流で各ユニットの騒音の目標値を設定した。そして、ユニットごとに騒音の目標値を満たすように静音化の施策を行った。
- (2) 開発前に実施した音質評価から、駆動系が音質に影響が大きいとわかり、駆動系の音質を向上させるための



振動対策を行った。

- (3) CAEを活用して、部品強度の確保と振動の低減を図った。
- (4) 音響シミュレーションを活用して、騒音及び音質に影響が大きい音源を特定し、狙いどころを絞って効率の良い静音化と音質向上の施策を行った。

開発した技術を適用した製品と他製品の同じ動作モード時の騒音について、同一の測定環境で測定した結果を図6に示す。適用した製品は他製品よりも静かであることがわかる。更に、音質評価を行った結果、聞き心地の良い動作音であることを確認した。そしてこの製品は、ドイツのオフィス関連の業界紙から、動作音が静かであるとの高い評価を得た⁽⁵⁾。

5 あとがき

当社は、音響シミュレーションや構造解析などのCAEを活用した静音化と快音化技術を開発してきた。これらの技術を製品開発に適用することで、動作音が世界トップクラスの静音かつ快音のMFPを実現した。

動作音に付加価値のあるMFPは、今後いっそう望まれる。サウンドデザインは大きな可能性がある分野であり、MFP動作音は他の機械音にはない様々な特徴を持っている。当社は、新たな静音化技術と快音化技術の開発を行い、製品に適用して顧客の感性に応えられる製品を作り出していく⁽⁶⁾。

文献

- (1) Fabris, C. "Low noise requirements for office equipment with printing functions according to the blue angel environment-related label". Proceedings of the 39th International Congress and Exposition on Noise Control Engineering (INTER-NOISE 2010). Lisbon, Portugal, 2010-06, Inter-Noise, 2010.
- (2) 戸井武司. 音響利用による質感向上のための快音設計. 映像情報メディア学会誌. 66. 5. 2012, p.379 - 384.
- (3) 山口雅夫 他. "複数音源を有する精密情報機器における周期音の音質評価". 日本音響学会2007年春季研究発表会講演論文集. 東京, 2007-03, 日本音響学会. 2007, p.399 - 400.
- (4) Yamaguchi, M. et al. "Development of sound quality stabilization method of multi function peripheral". Proceedings of 24th International Conference on Noise and Vibration Engineering (ISMA 2010). Leuven, Belgium, 2010-09, ISMA, 2010, p.123 - 136.
- (5) TEST Toshiba e-STUDIO 2050c/2550c. FACTS. Germany, FACTS Verlag GmbH, 2012-07, p.2 - 3.
- (6) 山口雅夫 他. "MFP動作音のデザインの現状と今後について". 日本音響学会2011年秋季研究発表会講演論文集. 島根, 2011-09, 日本音響学会. 2011, p.1463 - 1466.



山口 雅夫 YAMAGUCHI Masao

東芝テック(株) 商品・技術戦略企画部 研究開発センター参事。
MFPの静音化及び快音化技術の開発に従事。日本音響学会、
日本騒音制御工学会、自動車技術会会員。
Toshiba TEC Corp.