

MFP 動作音の聞き心地を定量化し改善する手法

Method to Improve Operation Sounds Emitted by MFPs through Quantification of Sound Quality

山口 雅夫 YAMAGUCHI Masao

MFP (Multifunction Peripheral) は、コピーや、プリンター、スキャナー、ファクシミリなど、複数の機能を一つの機器に搭載した複合機で広くオフィスに普及しているが、高速化への対応などから動作音が不快になりやすい。

東芝テック(株)は、MFP動作音の聞き心地を改善する静音化・快音化技術の開発を進めてきた。そして、動作音の聞き心地を効率良く改善する手法を開発した。この手法は、動作音の快適性を表す数式を導出して感性を定量化し、音響シミュレーションを活用することで聞き心地の改善効果が大きい音を特定できる。これにより、試作機を製作する前に改善効果を把握できることから、試作回数や開発コストの低減が可能になる。

Multifunctional peripherals (MFPs) incorporating multiple functions in one unit, such as copier, printer, scanner, and fax, have become widely disseminated in offices. However, the increased speed of processing of these MFPs tends to cause them to emit uncomfortable operation sounds.

In order to provide comfortable work environments, Toshiba Tec Corporation has been developing technologies for MFPs to reduce noise and improve sound quality. We have now developed a method to efficiently make the operation sounds emitted by MFPs more pleasant through the use of the following techniques: (1) quantification of sound quality by means of calculations using an equation representing pleasant sounds and (2) identification of sounds having a major impact on the improvement of sound quality using acoustic simulations. This method is expected to contribute to reductions in the number of prototypes required and development costs by making it possible to predict the effects of such improvements in sound quality prior to prototype manufacturing.

1. まえがき

MFPは、省スペースに加え、パソコンを介さずにクラウドサービスとデータのやり取りができるなど業務の効率化に有用であることから、多くのオフィスで使われている。このMFPの動作音は、部品点数の増加、機構の小型化や複雑化、及び駆動部の高速化により、不快になりやすい。より良いオフィス環境を提供するため、MFPには聞き心地の良い動作音が要求されている。

また、人が満足して対価を払う商品やサービスの価値として、従来の高機能、高信頼性、価格の合理性に加えて、第4の価値軸として感性価値が提案されている⁽¹⁾。

東芝テック(株)は、感性価値として早くからMFPの動作音の聞き心地を良くすることに着目して、静音化・快音化技術を開発してきた^{(2), (3)}。そして、動作音を心地良くする技術を、製品の上流設計から盛り込んできた⁽⁴⁾。

ここでは、聴覚特性に基づく心理音響評価指標⁽⁵⁾を用いて、動作音の聞き心地を表す数式を導出し、音響シミュレーションを活用した感度解析を行うことで、聞き心地・音質を効率良く改善する手法について述べる。この手法を適用することで、聞き心地を簡単に定量化してその目標を明確

にすることや、試作する前に改善効果を把握することができるため、試作回数や開発コストの低減が図れる。

2. MFP動作音の特徴と、聞き心地の改善の問題

MFPの本体 (e-STUDIO™ 5015AC) と、本体にフィニッシャー (MJ-1110-BとMJ-6105) を装着したMFPを図1に示す。フィニッシャーは、本体でプリントされた用紙に対して、ソートや、ステイプル、ホールパンチ、中折り、中とし



図1. 本体とフィニッシャー装着時のMFP

高機能MFPでは、本体にフィニッシャーを装着できる。

MFP main body and main body with attached finisher

などの後処理を行う。

連続プリント時におけるMFP動作音の周波数特性を、**図2**に示す。(a)は本体だけの場合、(b)は本体にフィニッシャーを装着して、本体で連続プリントした用紙を2枚-2点ステイブルの後処理を行った場合のものである。マイクロフォンは、MFP本体の前面から1.0 mの位置に設置して測定した。**図2(a)**、(b)の縦筋が過渡音を、(c)のピーク音が定常音を、それぞれ示す。

MFP動作音は、定常音と過渡音を含んでいる。定常音の音源には複数のモーターや、ギア、ファンなど、過渡音の音源には用紙がローラーと衝突する際の用紙と部品との衝撃音や、クラッチなど、多くがある。更に、フィニッシャーを装着すると音源が増えて、音圧レベルは大きくなる。このような特徴を持つMFP動作音の聞き心地を改善する際には、どの音を対策すべきかを特定するのが難しいという問題がある。

3. 動作音の聞き心地を改善する手法

多くの音が含まれるMFP動作音の中で、どの音が聞き心地の改善に大きく寄与するかを把握して、その音への対策を実施することで、効率の良い動作音の改善が可能となる⁽⁶⁾。

この改善手法の手順を、以下の①～③に示す。

① 動作音の聞き心地を表す数式を導出する。これによ

り、人の感性である聞き心地を、簡単に定量化できる。また、音質の目標も明確になる。

② 聞き心地の改善に大きく寄与する音を特定するために、導出した数式と音響シミュレーションを活用して感度解析を行う。

③ ②で特定した聞き心地の改善に大きく寄与する音への対策を、設計変更のボリュームや、対策コスト、製品仕様への影響などを考慮して実施する。

3.1節、3.2節、及び4章で、①～③の手順に従って、適用例を述べる。

3.1 MFP動作音の聞き心地を表す数式の導出

3.1.1 動作音の音質評価

まず、聞き心地を表す数式を導出するために、SD (Semantic Differential) 法を用いた動作音の音質評価を実施した。評価に使用したMFPは、本体にフィニッシャーを装着した構成で、A4ヨコの場合のプリント速度が毎分47.5～60枚の5機種である。音質評価は、数式を導出することが目的であるため、音質の差が大きい機種を選定した。この5機種に2章と同じ動作をさせて、一連の動作音を同じように録音し、評価音とした。

被験者は、聴力が正常な20～50歳代の28名で、会議室で椅子に座ってスピーカーからの評価音を聞き、**図3**に一部を示すような対立する概念の修飾語対についての印象

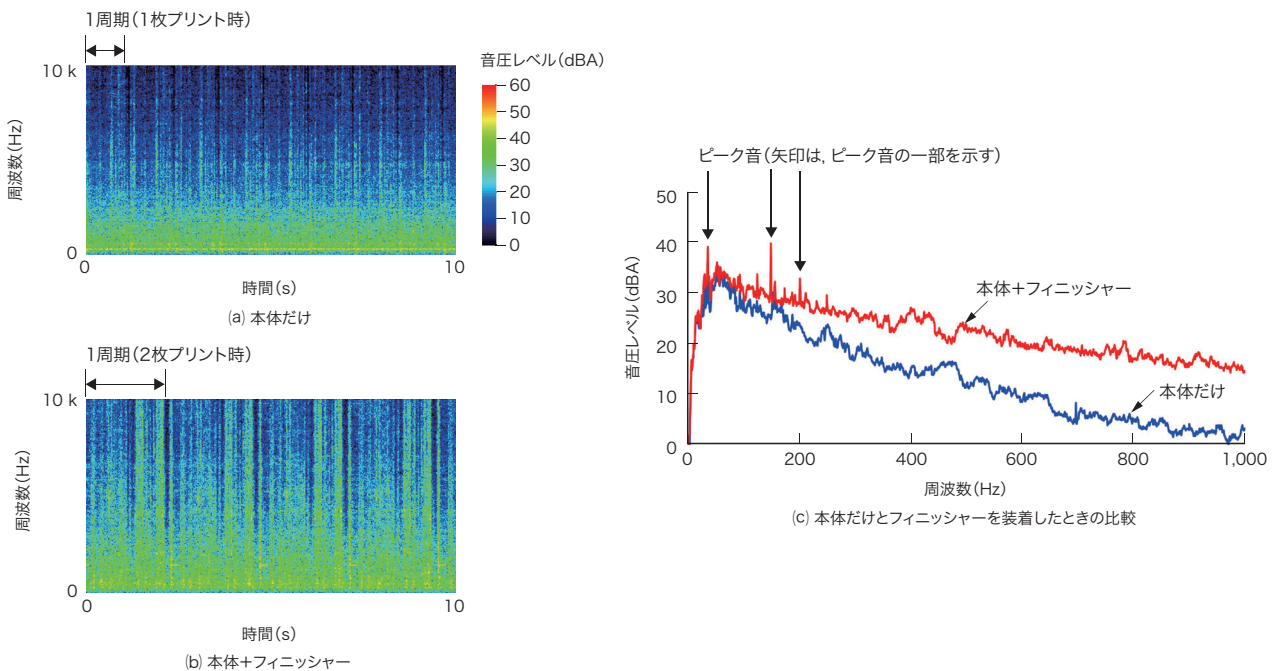


図2. 連続プリント時におけるMFP動作音の周波数特性

MFPには多くの音源があり、その動作音は定常音と過渡音を含む。

Frequency characteristics of operation sounds emitted by MFPs during continuous printing

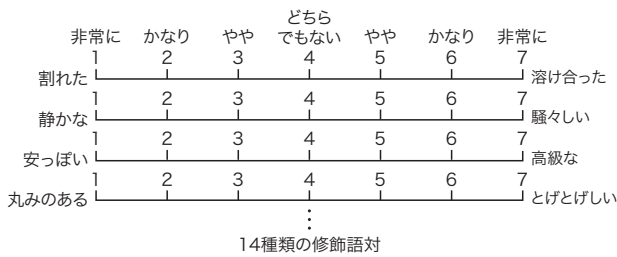


図3. SD法による音質評価で用いたアンケート用紙

14種類の修飾語対から成り、それぞれ7段階で評価を行った。

Questionnaire form for sound quality evaluation using semantic differential (SD) method

表1. 音質評価で得られた修飾語対と因子負荷量との関係

Relationships between pairs of adjectives and factor loading obtained by sound quality evaluation

修飾語対	快適因子	金属因子	迫力因子
心地良い - 鬱陶しい	-0.82	-0.30	-0.23
好き - 嫌い	-0.79	-0.34	-0.09
美しい - 汚い	-0.76	-0.32	-0.27
安っぽい - 高級な	0.70	0.41	0.01
静かな - 騒々しい	-0.68	-0.37	-0.37
せわしい - 落ち着いた	0.66	0.39	0.37
割れた - 溶け合った	0.63	0.49	0.17
丸みのある - とげとげしい	-0.57	-0.53	-0.17
金属のような - しっとりとした	0.35	0.78	0.16
粗い(ざらざらした) - 深みのある	0.50	0.74	0.20
硬い - 柔らかい	0.51	0.61	0.39
弱々しい - 力強い	0.37	0.30	0.77
寄与率	0.36	0.22	0.11
累積寄与率	0.36	0.58	0.69

を、7段階で評価した。

5機種の結果を用いて因子分析を行うことで、14種類の修飾語対の中から共通性の高い12種類を見つけ、それらに共通しているような要因(共通因子)を抽出し、その結果(因子負荷量)を表1に示す。因子負荷量は、各修飾語対が各共通因子でどの程度説明できるかを示し、絶対値が大きいほど共通因子の影響を大きく受けていることを示す。また、寄与率は、各共通因子が全体に対してどの程度寄与(影響)しているのかを示し、第1因子の寄与が最も高く、第2因子が次に高い。累積寄与率は寄与率を左から順に合計した値で、それまでの共通因子で全体をどれだけ説明しているかの割合を示す。

5機種の動作音から得た因子得点の散布図を、図4に示す。因子得点は、各機種が各共通因子に影響されている度合いを表す。横軸は“心地良い-鬱陶しい”などで代表される第1因子の快適因子で、数値が大きいほど快適なことを

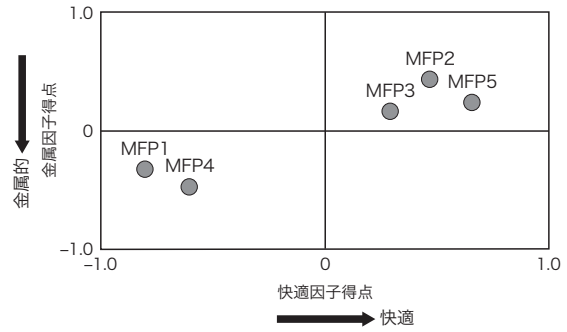


図4. 音質評価で得られた各MFPの因子散布図

動作音が金属的になるほど、不快に感じる傾向があることが分かった。

Scatter diagram of factor scores of individual MFPs obtained by sound quality evaluation

示す。縦軸は“金属のような-しっとりした”などで代表される第2因子の金属因子で、数値が大きいほど金属的な甲高さが無いことを示す。図4より、動作音が金属的になるほど不快に感じる傾向があることが分かる。

また、評価後に被験者から各動作音の印象をどのように判断したかについて、上位概念(価値)、中位概念(理由)、及び下位概念(知覚)を聞き、これらの関係を調査した。例えば、“快適(価値)-耳障りな音がない(理由)-金属的でない音(知覚)”などを示し、更に音源までひも付けた。そして、金属的な音は衝撃音とモーター音であることを把握した。

3.1.2 重回帰分析による快適性を表す数式の導出

次に、3.1.1項で得られた第1因子である快適因子の因子得点(目的変数)と各評価音の心理音響評価指標(説明変数)を重回帰分析して、MFP動作音の快適性PSIを表す数式(1)を導出した。PSIは、値が大きいほど快適であることを示す。

$$PSI = -0.358 \times Loudness - 1.364 \times Sharpness - 2.026 \times Roughness + 8.036 \quad (1)$$

ここで、心理音響評価指標は、聴感での音の大きさを表すLoudness (sone)、甲高さを表すSharpness (acum)、ざらつき感を表すRoughness (asper)を用いる。これらの計算値を表2に示す。

3.1.1の主観評価で得られた快適因子得点と、式(1)を用いて算出したPSIの関係を、図5に示す。両者の相関係数は0.99で、PSIの精度が高いことを確認した。

3.2 動作音の聞き心地の改善に大きく寄与する音の特定

動作音に含まれる各音が、聞き心地に与える影響を定量

化するために、以下の手順で感度解析を行った。ここでは、動作音の改善まで行って手法の有効性を検証するために、

表2. 各MFPの心理音響評価指標の計算結果

Calculated psychoacoustic parameters of individual MFPs

各MFP機種の動作音	Loudness (sone)	Sharpness (acum)	Roughness (asper)
MFP1	13.6	1.456	0.929
MFP2	11.8	1.182	0.870
MFP3	12.4	1.491	0.650
MFP4	13.1	1.599	0.912
MFP5	11.0	1.501	0.657

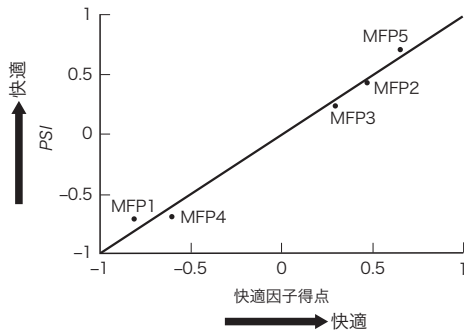
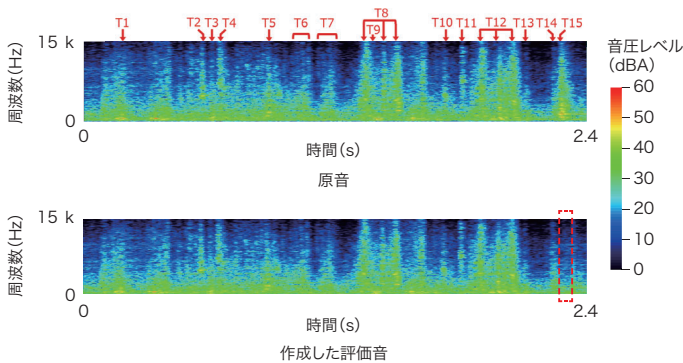


図5. PSIの計算値と主観評価値の比較

PSIと快適因子得点の相関係数は0.99と、極めて高いことが分かった。

Comparison of subjective evaluation value and calculated pleasant sound index (PSI) of individual MFPs



(a) 過渡音15(T15)に変化を与えた評価音の作成

PSIが低いMFP4を選定し、改善対象とする音は、フィンニッシャーと本体の音の中で最も大きい衝撃音とした。

3.2.1 感度解析の手順

まず、3.1.1項で録音した動作音(原音)を基に、動作音に含まれる音の要素に変化を与えた評価音を、音響シミュレーションを用いて複数種類作成する。次に、作成した各評価音のPSIを算出することで、音の要素の変化が音質に与える影響を把握し、聞き心地の改善に大きく寄与する音を特定できる。

図6(a)は、過渡音に変化を与えた評価音の作成例であり、原音の中の過渡音15(T15)を定常音とみなせる音部で置き換えて消去した。(b)は、定常音に変化を与えた作成例であり、ピーク周波数の音を、特定の周波数帯域の音圧レベルを下げるノッチフィルターでカットした。

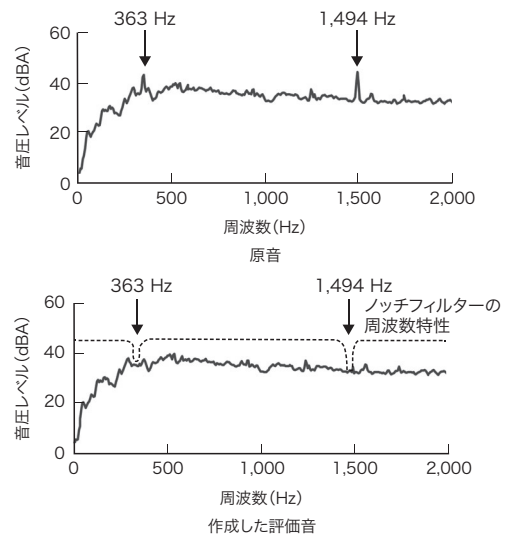
作成した各評価音の心理音響評価指標からPSIを計算して、原音のPSIを差し引くことで、それぞれの音の要素を消去したときにPSIがどの程度改善されるかを把握できる。

3.2.2 感度解析の結果

図7に示す感度解析の結果は、縦軸の値が大きいほどPSIの改善効果が大きいことを示す。改善効果が大きい音を対策することで、効率良く聞き心地を改善できる。

4. 動作音の聞き心地の改善事例

PSIが低いMFP4に対して、感度解析で得られた聞き心地の改善に大きく寄与する11の音(T1, T2, T5, T6,



(b) 定常音に変化を与えた評価音の作成

図6. 音響シミュレーションを用いた評価音の作成方法

音質に大きく寄与する音を把握するために、原音の要素に変化を与えて評価音を作成する。

Creation of evaluation sound based on original sound using acoustic simulations

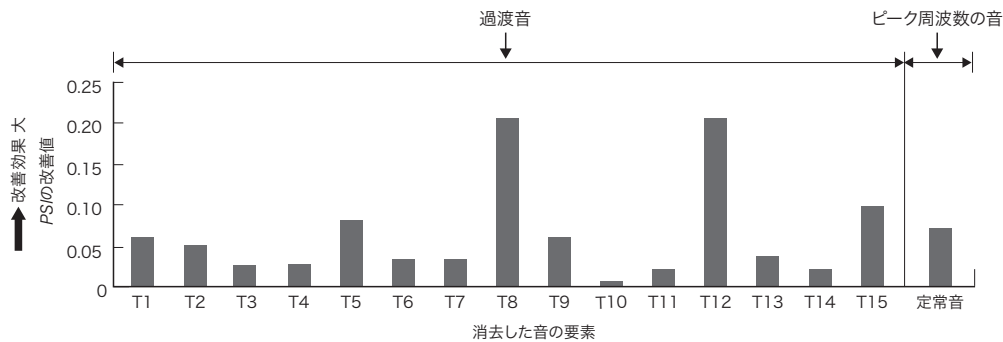


図7. 感度解析結果に基づくPSIの改善

PSIの改善に大きく寄与する音を把握して、対策を実施する。

Improvements in sound quality based on results obtained by sensitivity analysis

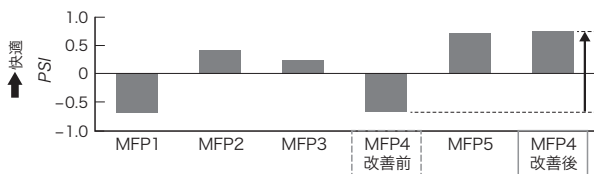


図8. MFP4の聞き心地の改善例

改善に大きく寄与する音を対策することで、PSIの低かったMFP4が大きく向上することを確認した。

Example of improvement in sound quality of MFP4 through application of sensitivity analysis

T7, T8, T9, T12, T13, T15, 及び定常音) について対策を実施した。具体的には、部品間の隙間の低減や、緩衝材や機構の変更による部品間及び用紙と部品との衝突力の低減、モーターの変更、音が漏れる隙間を塞ぐなどを行った。音質評価で用いた各MFPのPSIと、対策を実施したMFP4のPSIの比較を、図8に示す。図8より、PSIに大きく寄与する音への対策を実施することで、PSIは大きく向上したことが分かる。このように、開発した聞き心地の改善手法は、有効であることを確認した。

5. あとがき

MFPの動作音全体を効率良く改善する手法について述べた。

このほかに、MFPに含まれる各音について聞き心地を定量化し、各音の音質を個別に改善することも行っている。また、MFP動作音以外にも対象を広げ、オフィスだけでなくワークブースや在宅勤務などを含めたワークプレイスにおいて、人の快適性や集中力などを向上させて作業効率を改善する音環境を提供することを目指している。更に、生体情報を用いた音質評価手法も開発しており、人の生体にも良い

ワークプレイスの音環境を顧客に提供していく⁽⁷⁾。

文献

- (1) 経済産業省. 感性価値創造イニシアティブ—第四の価値軸の提案 感性☆21報告書. 経済産業調査会, 2007, 149p.
- (2) 山口雅夫, ほか. “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. (CD-ROM).
- (3) 岩宮眞一郎, 高田正幸監修. 製品音の快音技術～感性にアピールする製品の音作り～. S&T出版, 2012, 559p.
- (4) 山口雅夫. MFP動作音の静音化・快音化技術. 東芝レビュー. 2013, 68, 6, p.52-55.
- (5) Fastl, H.; Zwicker, E. Psychoacoustics: Facts and Models. 3rd ed. Springer, 2006, 475p.
- (6) Yamaguchi, M. "Sound quality improvement of operation sounds emitted by MFPs". Proceedings of 23rd International Congress on Acoustics. Aachen, Germany, 2019-09, ICA. 2019, p.8009-8016.
- (7) 山口雅夫. MFP動作音の快音化. 機械設計. 2019, 63, 7, p.43-47.



山口 雅夫 YAMAGUCHI Masao, Ph. D.

東芝テック (株) ワークプレイス・ソリューション事業本部 ハードウェア第一技術部 博士 (工学) 日本音響学会・日本機械学会・日本感性工学会・日本官能評価学会会員
Toshiba Tec Corp.