

# 製品音のデザイン

Design of Machine Sound Quality

大富 浩一 穂坂 倫佳 岩田 宜之

■ OHTOMI Koichi ■ HOSAKA Rika ■ IWATA Yoshiyuki

製品から発生する音の人にとってのここち良さは、単に音圧レベルだけで評価することができない。そこで、製品から発生する音とここち良さの関係を分析・評価することにより、音質性能の高い機器の設計手法を具体化する。製品から発生する音には、連続音や周期間欠音、不定期間欠音、突発音などがあり、音の種類によってアプローチは異なるが、実際の製品の音の分類と評価から、音質の定義や音質設計の具体的手法を開発する。

“製品音のデザイン”では、従来悪者としてとらえていた音（この場合は騒音と呼ぶ）を、視点を変えて、新しい製品価値を与えるものとしてとらえることを特徴とする。しかしながら、従来の低騒音化技術を否定するものではなく、より効率的に低騒音化を実現したり、低騒音化だけでは不十分な製品に対して指針や付加価値を与えるものである。

Sounds from electric appliances, such as vacuum cleaners, copiers, and so on, cannot be disregarded in the development of quality products. It is not easy to obtain pleasant mechanical sounds, however, especially when electric appliances are designed according to the conventional trial-and-error method.

Toshiba has developed a strategic design methodology to obtain pleasant mechanical sounds, and applied it to actual products. This methodology incorporates two evaluation methods. One is a sensory evaluation method employing the semantic differential (SD) technique, which determines psychological metrics to measure the level of pleasant sound. The other is a physical evaluation method to which Zwicker's sound quality metrics analysis can be applied, which determines physical metrics to measure the level of pleasant sound. Zwicker's analysis determines four metrics of sound quality: loudness, sharpness, roughness, and fluctuation strength. Using these four metrics, physical metrics are statistically defined. Finally, pleasant sound has to be expressed in physical metrics so that mechanical engineers and designers can understand what to do, although pleasant sound is substantially expressed in psychological metrics. Translation work from psychological metrics to physical metrics is therefore required.

## 1 まえがき

従来、製品から発生する音はすべて騒音であると考えられてきた。このため、騒音レベルが低い製品がユーザーにとって良い製品であると一般的には思われてきた。しかしながら、騒音レベルの低減化には限界がある一方で、音は感性情報として重要な要素である。このようなことから、製品音を騒音というネガティブな方向からとらえるのではなく、一つの音としてポジティブに考え、製品の価値を向上させようとする試みが一部の製品分野で行われている。すなわち、対象とする製品音がユーザーにとって、聴感上妥当なものであるかどうか、妥当でないとするどどのように改善したらいいのか、を考えることは重要である。

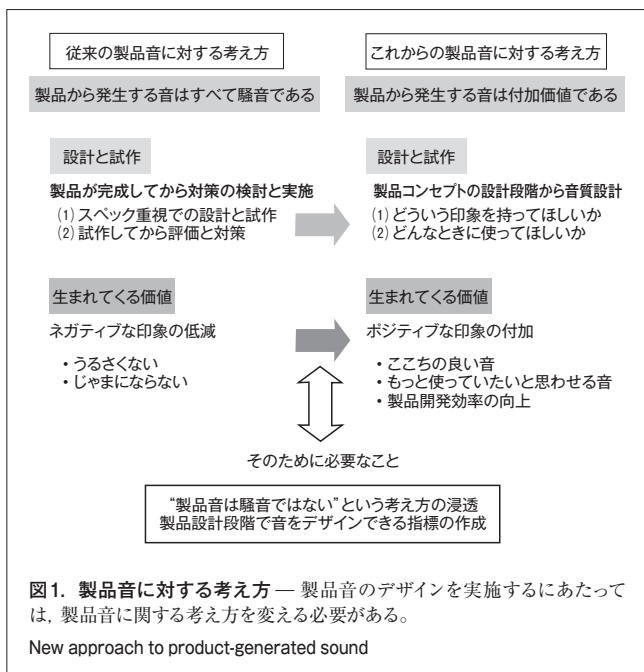
東芝グループが開発している家電製品や情報機器製品などの電気製品においても、製品の性能と音（騒音）が密接に結び付いている。例えば、クリーナーの場合、“ごみを吸う”ということと“音”は切り離せない。これら製品音に関しては、従来は騒音の視点から、低騒音化を中心に実施してきた。また、これら低騒音化はある程度製品ができてから実施

される場合が多かった。そこで、製品音を設計初期に設定し、この設定目標に従って音を作り込む“製品音のデザイン”を実施することにした。

ここでは、製品音に対する考え方の変遷を述べるとともに、従来の開発と製品音のデザインを取り込んだ開発の比較を行い、この結果を受けて製品音のデザインの手順を提案し、この手順を実際の製品に適用した事例を紹介する。また、製品音のデザインは緒についたばかりであり、今後の展望と課題についても考察する。

## 2 製品音に対する考え方

従来の製品音に対する考え方と、これからあるべき製品音に対する考え方を比較して図1に示す。従来の製品音は“製品から発生する音はすべて騒音である”という考え方のもと、騒音レベルをスペックとして設定し、これを満足するように設計されている。しかし、製品ができて初めて騒音レベルが測定できるため、対策が後手になっている。また、ここで発生する製品価値は、ネガティブな印象（騒音は悪者）を低減するに



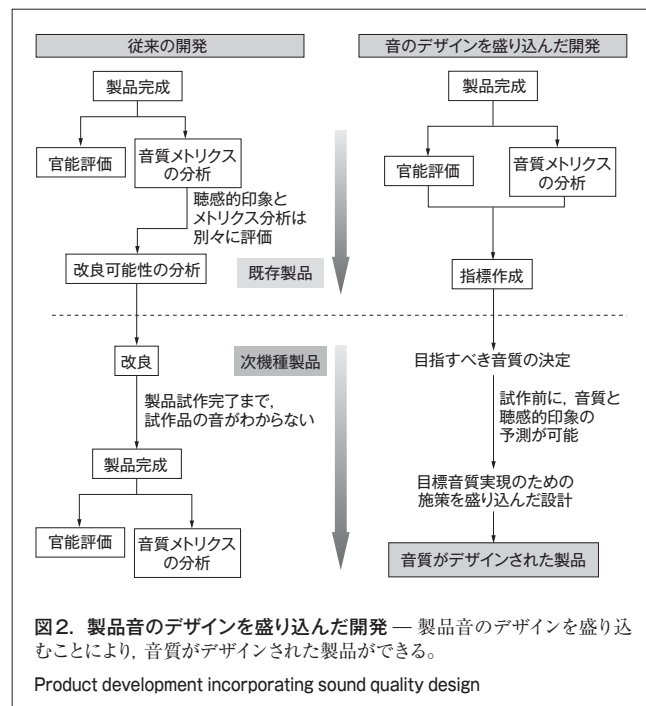
とどまっている。

これに対して、これからの製品音は“製品から発生する音は付加価値である”という考え方にのっとり、製品のコンセプト設計の段階から音質を考慮した設計を行う。そのためには、音に対するユーザーの要求を定義するとともに、これを具体化するための方策が必要となる。このようにして生まれてくる価値は、ポジティブな印象を付加することになる。ただし、これを実施するには、“製品音は騒音ではない”という考え方を浸透させるとともに、製品設計段階で音をデザインできる指標を定義する必要がある。

### 3 設計段階で音をデザインするには

製品開発における音の設計手順について考える。従来の開発手順を図2の左側に示す。既存製品の官能評価や音質メトリクス（指標）分析の結果により、次機種製品の改良案を決定する。この際、聴感的印象（官能評価）と音質メトリクス分析は別々に評価している。改良案を考慮した次機種製品に関しては、製品（試作品）が完成して初めて、音の評価が可能となる。完成後に、満足した音が得られていない場合には、限られた期間に、設計改良案の中で苦肉の対策をとることになる。

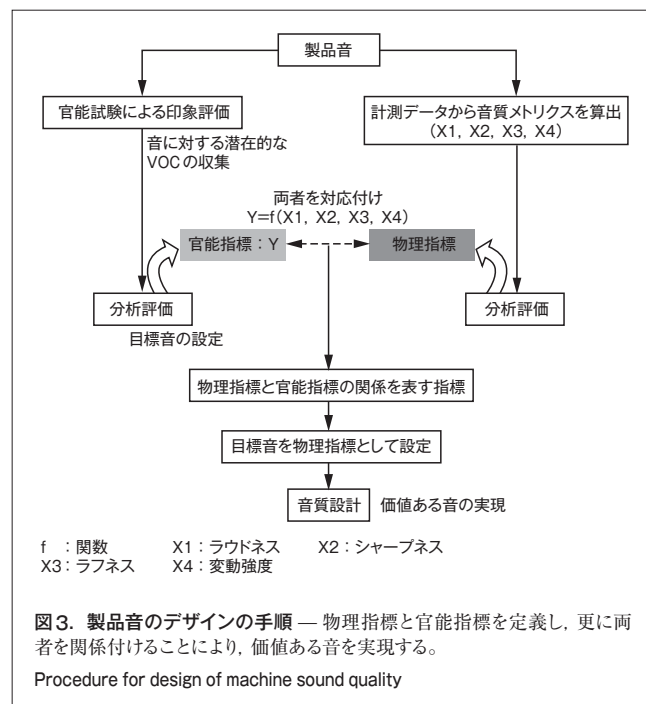
一方、音のデザインを盛り込んだ開発においては、既存製品で官能評価と音質メトリクス分析の結果を関連付けることにより、音の指標を作成する。次機種製品に関しては、この音の指標を用いて目指すべき音を決定する。この音は物理的に定義されているため、仮想的に音を作成することが可能であり、試作前に音の評価（聴感的印象と音質メトリクス）が可能となる。次に目標音具体化のための試作を盛り込んだ設計を経



て、試作を行う。

### 4 製品音のデザインの手順

製品音のデザインの手順を図3に示す。製品音のデザインを行うには二つの指標を定義する必要がある。まず、対象とする製品音を人（ユーザー）がどう感じるかを評価する官能試験による印象評価がある。印象評価は、複数の被験者



に対象とする複数の音を聴いてもらい、音に対する潜在的なVOC (Voice Of Customer) をSD法 (Semantic Differential Method) (注1)、一対比較法などで答えてもらう。回答結果は、多変量分析により指標に落とし込む。印象評価によって得られた指標をここでは官能指標と呼ぶ。

官能指標は、対象とする音に関しての人の感じ方を定量化する重要な指標ではあるが、これだけでは音質設計 (製品設計) に結び付けることは困難である。そこで、対象とする音を物理的に表現する必要がある。このための方法が客観評価である。幸いなことに、音質評価に関しては、音響心理学の研究成果としていくつかの基本指標が定義されている<sup>(1)</sup>。ラウドネス (音の大きさ)、シャープネス (甲高さ)、ラフネス (粗さ感)、及び変動強度 (変動感) がそれぞれであり、音質の4大基本指標と呼ばれている。これら基本指標は、音圧のように完全に物理的に定義されているわけではなく、多くの官能評価の結果を経て指標化されている点に注意する必要がある。これら指標をそのまま客観評価の指標として用いてもよいが、一般的すぎるので、これらの指標をベースに、多変量分析などにより新たな指標を定義する必要がある。また、製品音によっては、4大基本指標では定義できない場合もあり、この場合には、原理原則から指標を定義する必要がある。このようにして客観評価を指標化したものを物理指標と呼ぶことにする。

音質設計を行うには、官能指標を指針として用いるのが一般的である。しかしながら、官能指標から直接音質設計 (製品設計) を行うことは、目標が数値化 (物理指標化) されていないため困難である。そこで、物理指標を通して官能指標を音質設計に反映させることになる。そのためには、官能指標と物理指標の関係を表す指標が必要となる。官能指標と物理指標の対応付けができれば、次に、目標とする音を官能指標上で設定する。官能指標領域で設定した目標音は、物理指標領域に展開され、目標音が定義されるが、物理指標に展開された目標音は一つとは限らない。最終的に、その実現可能性 (容易性) を考慮して目標音を決定する。この目標音は、製品設計の最初に提示する、価値ある音を実現する音質設計のための設計仕様となる。

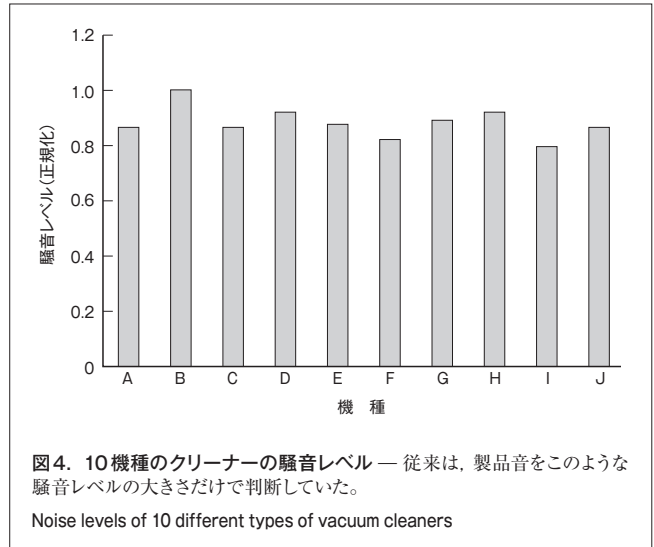
## 5 製品音のデザインのクリーナー開発への適用

製品音のデザインをクリーナー開発に適用した例を述べる。クリーナーは、通常使用時は連続音を発生する。製品音は一般に、連続音や周期間欠音、不定期間欠音、突発音などに分類される。連続音はこのなかでもっとも代表的なものであり、かつ、基本的であることから、事例として最適と考えた。ク

(注1) “好き-嫌い”などの反対語の対から成る評価尺度を複数用いて、対象の評価を行う測定法。

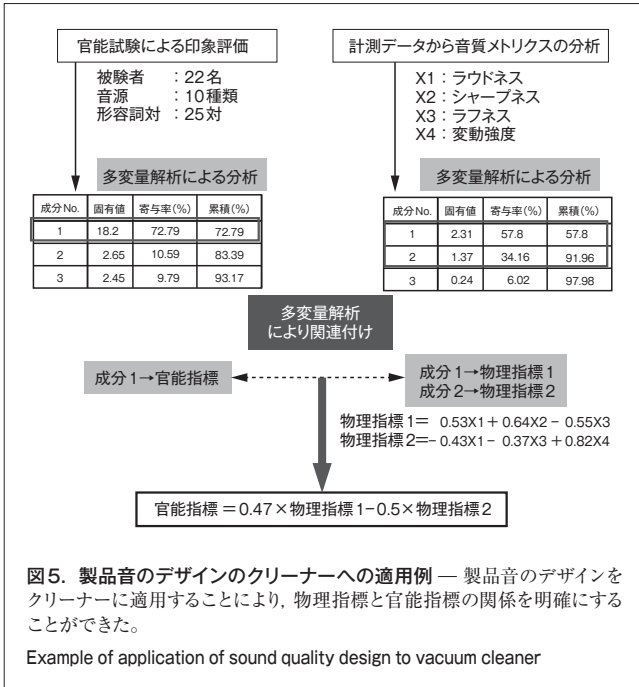
リーナー音のデザインに際して、もっとも考慮したのは“クリーナーらしさ”、“高級感”、“聞きやすい音”である。このようなあいまいな要求を最終的にどのような形で製品開発に盛り込んかが最終目標である。今回はそのための第1ステップである。

ここでは、10機種の製品音に関して印象評価と客観評価を行うとともに、これらから得られた官能指標と物理指標の対応付けを試みた。対象とした10機種のクリーナーの騒音レベルを図4に示す。従来は、ここに示す騒音レベルの大小で音のよしあしを判断していた。



印象評価は、10機種の音を被験者22名 (老若男女) に聴いてもらい、25形容詞対 (一般形容詞16対、製品固有形容詞9対) に7段階評価で答えてもらうSD法を適用した。SD法に関しては、形容詞対の選定方法がもっとも重要である。何を最終的に知りたいのかを最初に設定し、これを抽出するための形容詞対を選定した。得られた結果は、被験者22名の各形容詞対の標準偏差などから、異常なデータが含まれていないことを確認したうえで、10機種の音に関しての平均値を算出した。10機種の音に対して、25形容詞対の値 (22名の平均値) を用いて多変量解析を実施した。その結果、図5の左側に示す主成分が得られた。ここでは、主成分1の寄与率が他の2成分に比べて大きいため、主成分1をこの製品の官能指標と定義した。

客観評価として最初に、10機種の音を音質評価ソフト (ここでは、B&K社のSound Qualityを使用) で信号処理して、音質の4大基本指標であるラウドネス、シャープネス、ラフネス、及び変動強度を算出した。これら自体も物理指標となりうるが、指標の数が多いこと、必ずしも製品固有の物理指標となっていないことから、適切な物理指標とは言えない。そこで、10機種の音に対して、四つの基本音質指標を用いて多変量解析を実施した。その結果、図5の主成分が得られた。この結果



から、主成分1と主成分2の寄与率が大きく、かつ、両者で累積寄与率が90%を超えていることから、主成分1を物理指標1、主成分2を物理指標2と定義する。物理指標1、物理指標2と四つの基本音質指標との関係を次式で定義できる。

$$\text{物理指標1} = 0.53X1 + 0.64X2 - 0.55X3 \quad (1)$$

$$\text{物理指標2} = -0.43X1 - 0.37X3 + 0.82X4 \quad (2)$$

X1 : ラウドネス    X2 : シャープネス  
X3 : ラフネス      X4 : 変動強度

すなわち、物理指標1は、ラウドネス、シャープネス、及びラフネスが同程度に関係し(変動強度は無関係)、また、ラウドネスとシャープネスは同じように作用し、ラフネスはその逆に作用していることがわかる。従来は騒音レベルだけで評価していた音を、このように種々の性質の音質(4大基本音質指標)で複合的に定義できたことの意義は大きい。この物理指標1は対象としている製品の総合音とも言うべきもので、この値が大きいということは、音が大きく、甲高く、しかしながら、粗さ感は小さいことを意味する。この結果は、今後、この製品音の評価する際に重要な結果である。一方、物理指標2は変動強度の影響が大きく、ラウドネスとラフネスがこの半分程度の効果で、かつ逆に作用することがわかる。シャープネスは、物理指標2には関与していない。物理指標2は、対象としている製品の個性音とも言うべきもので、味付けに関する部分に相当する。

対象としている10機種の製品音に関して、主観評価と客観評価を実施し、官能指標と物理指標を定義できた。次に、官能指標と物理指標の対応付けが必要となる。官能指標と物理指標の関係を見るだけであれば、両者の相関を見ればよいが、

これだけでは定式化が困難である。そこで、多変量分析により、官能指標と物理指標の関係を調べた。その結果、官能指標と物理指標の間に、次式のような非常に有意な関係が存在することが明らかとなった。

$$\text{官能指標} = 0.47 \times \text{物理指標1} - 0.5 \times \text{物理指標2} \quad (3)$$

以上の結果を、10機種のクリーナーの音に関し、物理指標と官能指標を関連付けて示したのが図6である。

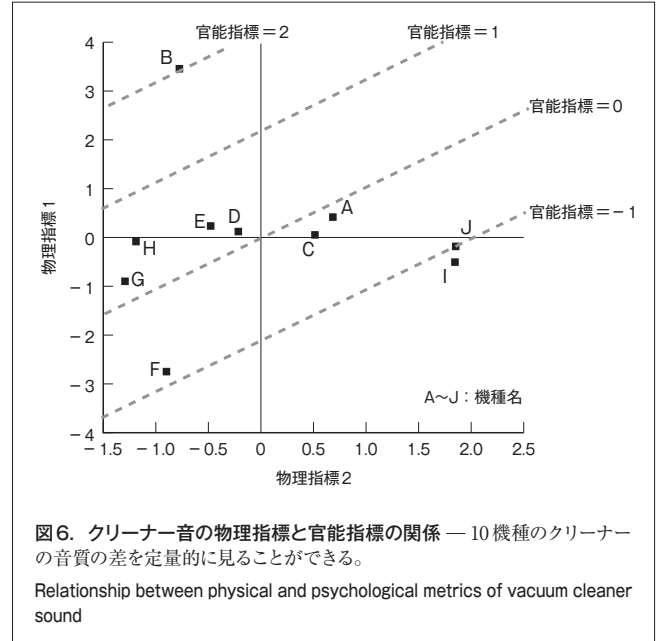
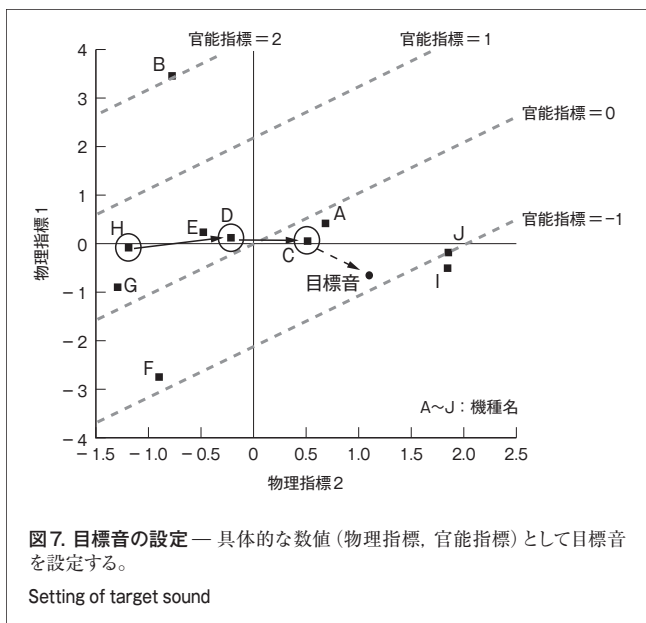


図6の結果から、10機種の音が物理指標領域にかなり広範囲にばらついて分布していることがわかる。当然のことながら、図6上で近辺にある機種の間では聴感上も似ている。物理指標は音質設計(製品設計)に直接結び付く要因であり、設計の可能性を多く秘めていることがわかる。通常の騒音レベルで10機種の音の評価した結果(図4)と図6を比較すると、例えば、騒音レベルでは機種A、E、J間にあまり差がないが、図6で見るとこの3者には大きな開きがある。また、図4の機種IとJ間には差があるが、図6のI、Jは比較的接近している。このように、従来の騒音レベルによる評価は、ある程度、人の聴感を考慮しているにもかかわらず、ここで扱っているような製品音の音質評価を行うには不十分で、4大基本音質指標などを駆使した音質評価が必要であることを意味する。

次に目標音を物理指標上に設定する。目標音設定の手順を図7に示す。図中のH、D、Cは類似機種で、この順に改良設計がなされている。また、官能指標は、被験者の意見を総合すると数値が小さいほど良いと判断された。このことから、従来の音質設計においても、結果として音質は改善されていることがわかる。この結果を受けて、現状の機種Cをベースに目標音を図のように設定した。現在、この目標音の物理指標を



満足すべく音質設計 (製品設計) を実施中である。

## 6 あとがき

製品音のデザインが目指すところとその手順について述べるとともに、製品音のデザインを実施する際に重要となる音の指標化に関して、現状の成果を述べた。限定した製品分野ではあるが、製品音を官能指標と物理指標に定義するとともに両者の関連付けに成功し、製品音のデザインの実現に向けて見通しを得た。今後、製品音のデザインを適用した製品開発を実施する。

## 文献

- (1) Zwicker, E. Psychoacoustics: Facts and Models, Springer, 3rd Edition, Springer-Verlag New York Inc., 2006, 462p.
- (2) 岩宮眞一郎. 音が魅力のモノづくり. 人間生活工学. 5, 4, 2004, p.2-6.



大富 浩一 OHTOMI Koichi, Ph.D.

研究開発センター 機械・システムラボラトリー 研究主幹, 工博。設計工学に関する研究・開発に従事。日本機械学会, 日本計算工学会, 日本設計工学会, ASME, Design Society 会員。Mechanical Systems Lab.



穂坂 倫佳 HOSAKA Rika

研究開発センター 機械・システムラボラトリー。製品音の低騒音化と音質改善に関する研究・開発に従事。日本音響学会会員。Mechanical Systems Lab.



岩田 宜之 IWATA Yoshiyuki

東芝家電製造 (株) 開発センター 開発部主務。家電製品の要素技術開発と設計に従事。Toshiba HA Products Co., Ltd.