

パソコン用フラットパネルスピーカの開発

Development of a flat panel speaker for the personal computer(PC)

佐藤 正宏 *Masahiro Sato*
津森 克彦 *Katsuhiko Tsumori*
黒崎 哲也 *Tetsuya Kurosaki*
加藤 茂樹 *Shigeki Kato*



要 旨

パソコンの省スペース化、ディスプレイの薄型化に伴い、スピーカに対してもデザインの統一感を出すため薄型化の要求が高まってきた。このため、日本電気、富士通では、'97年から英国のNew Transducers Limited社の技術ノウハウを応用し、薄型化を図ったNXT方式のパソコン用フラットパネルスピーカを製品化している。

当社では従来より蓄積してきた音づくりの技術を活かしながら、振動板として汎用材料の異方性をうまく活用した設計を行い、現行のパソコン用BOX型スピーカと比較して大幅な薄型化（奥行寸法1/3以下）と、従来のフラットパネルスピーカと比べて横幅寸法を13%削減し、よりスリムなデザインを実現した。

音質面では、振動板とイコライザの工夫により、小型のNXTスピーカとして今までで最良の音質を実現することができた。

以上によりパソコンの市場動向にマッチした音の良いスピーカを製品化したので報告する。

Abstract

As manufacturers develop space-saving PCs with thinner display panels, demand is also increasing for slimmed-down speakers, to unify the design and feel of the entire PC package. Together with NEC, Fujitsu began working on a thin-speaker solution in 1997. Applying technological expertise provided by the UK electronics firm New Transducer, the Fujitsu and NEC successfully developed and are now marketing NXT flat-panel speakers for the PC.

We took advantage of years of accumulated technology in quality sound reproduction - while also exploiting the anisotropic characteristics of materials from which the diaphragm is constructed - to design a speaker that satisfies both size and quality requirements. The super-slim design is less than one-third the depth of present box-shaped PC speakers, and realizes a 13% reduction in width compared to conventional flat-panel speakers.

At the same time, we have attained the best sound quality among small NXT speakers by improving the diaphragm and equalizer.

The following report presents in more detail this high quality sound reproduction speaker, which is capable of satisfying the requirements of today's PC market.

1. まえがき

インターネットやゲームソフトの普及に伴い、パソコンを使って音を出す場面が以前と比べて増加しつつある。これに伴ってパソコン用スピーカの使用頻度がますます高まって行くことが予想され、音質・デザイン・低コスト化の面でバランスのとれたスピーカ開発が要求されている。

現在、パソコン用スピーカはアンプ付のボックス型が主流であり、小型卓上用という制約の中で、優れた製品が開発されてきている。さらに近年、パソコンの省スペース化進展による薄型ディスプレイの普及に伴い、デザインの統一化を図るためスピーカの薄型化が要求されている。

一方、スピーカの薄型化技術としては、従来よりコーン型振動板を浅いコーン形状にするなど、種々の方策が試みられているが、音の歪み感が増したり、音圧が低すぎる等の弊害が生じ、音質を維持しながら画期的な薄型化を実現するのが難しかった。

その中で、1996年に発表されたNXT方式のスピーカテクノロジーは、振動板の振動モードに対する考え方が従来と異なり、振動モード分布を積極的に活かして平面振動板で良好な音響特性を得るという方式である。本方式を用いて日本電気、富士通では既に省スペースパソコン用スピーカとして製品化を行っているが、今回、形状のさらなるスリム化と音質向上に取組み製品化が実現できたので、その成果を以下に紹介する。

2. NXTスピーカについて

2.1. 特徴

NXT方式は、英国のNew Transducers Limited社が開発し技術ノウハウを所有する方式である。

NXT方式の特徴を述べる前に、従来のスピーカについて簡単に説明する。

従来のスピーカは、図-1に示すように振動板のピストン運動により空気を振動させて音波を発生させる方式であるが、振動板外周部を支持しながらダンパーと呼ばれるバネで支持された振動板中央部を駆動する構造になっている。また、振動板形状を維持しながらピストン運動させるために、一般的に振動板をコーン形状にして振動方向の剛性を維持する方策が採られている。

しかし、図-2に示すように指向性を持つため、スピーカ中心軸方向から傾いた方向で高域音圧が低下する。さらに、振動板がコーン形状であるため薄型化が困難である。

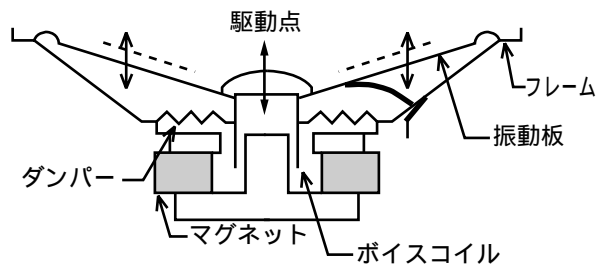


図-1 従来のスピーカ (断面図)
Fig.1 Conventional speaker (Cross Section)

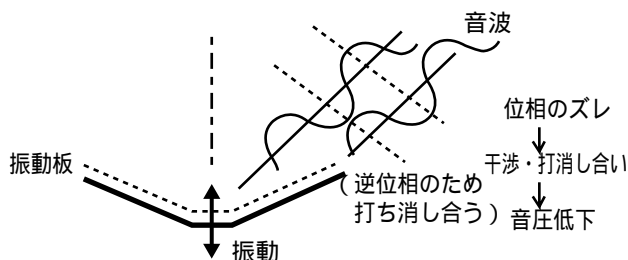


図-2 スピーカ指向性
Fig.2 Directivity

以上に述べたような従来スピーカのウィークポイントを無くし、振動板をフラットパネルとすることにより薄型化を実現させたのがNXT方式である。

NXT方式の特徴は、フラットパネル振動板の特定のポイントを加振することにより振動板に曲げ振動を励起し、どの周波数でも振動板全体にランダムな位相の多数の振動を分散させることである。言い換えると、振動板上に多数の点音源ができることになる。

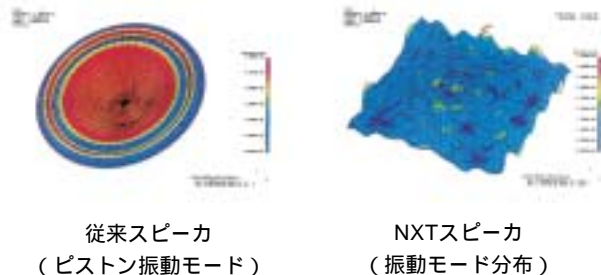


図-3 振動モード (シミュレーションデータ)
Fig.3 Vibration mode (Simulation)

加振点と振動板寸法・材質を最適に選定することにより、特定の周波数で共振点が生じることなくフラットパネル振動板の面上に、前述のような多数の点音源が存在する状態を得ることができる。各点音源の合成として得られる音圧は、点音源同士の位相干渉のため周波数特性上で細かなピークディップ（山と谷）が生じるが、特定の大きな共振点が無いため聴感上悪影響が無く、全体として平坦な音圧周波数特性が得られる。

また、図-2に示したような、傾いた方向での位相干渉による音圧低下が起きないため広い指向性が得られる。

さらに、振動板前面と背面の各々から放射される音は、従来型スピーカのように逆位相の関係になっていないため、打消しあいが起こらない。従って、スピーカボックスが不必要となり、薄型化を図ることができる。

このようにNXTフラットパネルスピーカは、従来のピストン運動による振動ではなく、振動板の振動モード分布を積極的に活用しフラットパネルで良好な音響特性を得ようとする方式である。

2.2. 構造・動作原理

NXTフラットパネルスピーカの構造図を、図-4に示す。

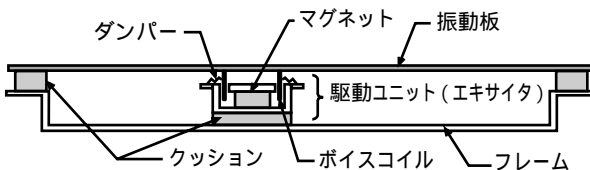


図-4 NXTフラットパネルスピーカ基本構造図（断面図）
Fig.4 NXT Flat Panel Speaker Structure (Cross Section)

振動板（フラットパネル）は外周部の4点でクッション材を介してフレームに接合されている。

振動板を加振するための駆動ユニット（エキサイタ）は振動板背面の加振位置に接着されている。加振位置は振動板に一樣な振動モード分布を発生させるために最適な位置になっており、New Transducers Limited社の開発した設計手法により算出される。

エキサイタ背面は、クッション材を介してフレームと接合されている。

エキサイタは従来のダイナミック型スピーカの磁気回路・ボイスコイルと同様の構造になっており、アンプの出力信号（音楽などのソース）がエキサイタに入力されると、フレミングの左手の法則に従い電磁力による駆動力をボイスコイルに発生させる。

駆動力は振動板に伝えられ、振動板に曲げ振動を起こ

す。その結果、（諸要件を最適に設定しておくことにより）前述のような振動モード分布を励起し空気を動かして音波を発生する。

3. 開発のねらいと課題

音質向上およびスリム化を開発のねらいとした。

(1) 音質向上について

本来NXTフラットパネルスピーカは、振動板サイズと加振点の位置を、NXT設計ノウハウにより決められた計算方法に従って設定すれば音響特性はほぼ決まってしまうが、今回の製品のように振動板面積が小さい場合は必ずしも上記ノウハウどおりの設計手法が当てはまらず、決められた方法に従って設計するだけでは所望の特性を得ることが困難である。

そこで、振動板材質・サイズ、振動板支持方法、電気回路による音質補正方法の最適化を課題として検討をすることとした。

(2) スリム化について

NXTフラットパネルスピーカでは、振動板表面に一樣な振動モード分布を発生させて良好な音響特性を得るために必要な振動板形状が、一定の法則により決められている。しかし、NXT方式推奨の考え方に従うと、振動板形状が細長くならないため、スリム化はできない。

そこで、スリム化により推奨振動板寸法から外れた寸法でも音質を確保することを課題として検討をすることとした。

(3) 開発目標値

開発のねらいを考慮して、次のように目標値を設定した。

- ・出力音圧レベル：75 dB/wm以上
- ・再生周波数帯域：200 ~ 20 kHz
- ・音質評価点：従来のパソコン用NXTスピーカーと比べて5段階評価で0.5点向上
- ・横幅寸法：100mm
- ・厚み寸法（フラットパネル部）：30mm以下

4. スピーカ仕様の検討

4.1. 性能に關与する項目

NXTフラットパネルスピーカの性能を決める主な要因を以下に示す。

振動板材料（曲げ剛性・面密度） 振動板サイズ（面積・縦横寸法比率） エキサイタを振動板へ接合する駆動点の位置 振動板外周部支持位置 支持クッションの硬さ エキサイタの重量 エキサイタの最低共振周波数

フレームの剛性 フレーム背面開口率

これらの中で、ねらいを実現するために重点的に検討した事項について以下に述べる。

4.2. 振動板材料

(1) 材料の種類について

NXTフラットパネルスピーカの振動板材料に要求される性能は、軽量であることと適度な曲げ剛性を持つことである。

音圧を得るためには振動板は軽い上に広い面積を持つ必要がある。また、再生周波数帯域を広く確保するためには振動板面積が広い方が有利である。

振動板材料の候補として考えられるものの種類とそれらの音の傾向を表-1に示す。

表-1 検討した振動板材料の例と音質

材料名	音質の一般的傾向	備考
発泡ポリスチレン	明るい音色。	安価で調達が容易
発泡PET	歪み感は少ないが音圧が低い。	-
発泡ポリプロピレン	質感は良いが、音の抜けがやや悪い。音圧が低い。	接着性悪い
ポリプロピレン	音圧不足。音が暗い。(使用不可)	#
ABS	音圧不足。(使用不可)	薄板は強度不足
グラスファイバー	やや音圧不足。	やや高価
カーボンファイバー	バランスの取れた音。	高価

振動板面積が0.5～1m²程度の大型サイズの製品であれば、表-1の中から音のねらいによって何通りかの選択の余地があるが、パソコン用スピーカでは振動板面積が100～150cm²程度と極端に小さい上、コスト制約が非常に厳しい。その中で製品化を実現するために使用できる材料としては自ずから絞られてくる。今回は、両面に上質紙を貼った発泡ポリスチレンを選定した。

選定のポイントは、軽量であるため(比重約0.05～0.1)、振動板面積が小さくても音圧が低くなりにくいことである。また、異方性(板の方向によって剛性が異なる)材料であることも、スリム形状とするために有効である。さらに、低コストで入手がしやすいことも理由の1つである。

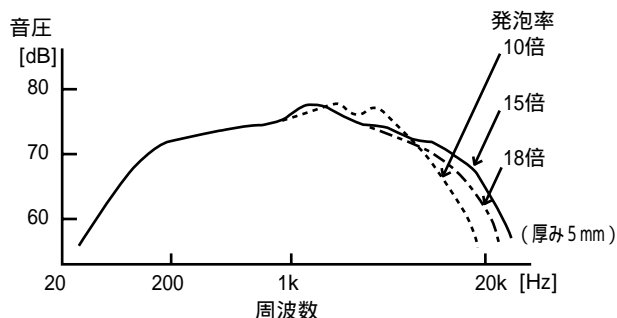
(2) 発泡ポリスチレンの検討

前にも述べたように、振動板に要求される性能は、軽量かつ適度な曲げ剛性である。発泡ポリスチレンにおいて、これらの要因に關与するのは、主に発泡率・厚みである。

軽量という観点から見れば、発泡率は高いほど良く、厚みは薄いほど良い。しかしこの場合、曲げ剛性は小さくなる。曲げ剛性が小さくなり過ぎると高音(高域周波数の音)の音圧レベルが低下するので、軽量化と曲げ剛性のバランスを取りながら、発泡率・厚みを設定する必要がある。

厚み一定の場合の発泡率違いによる音圧周波数特性の違いを図-5に示す。

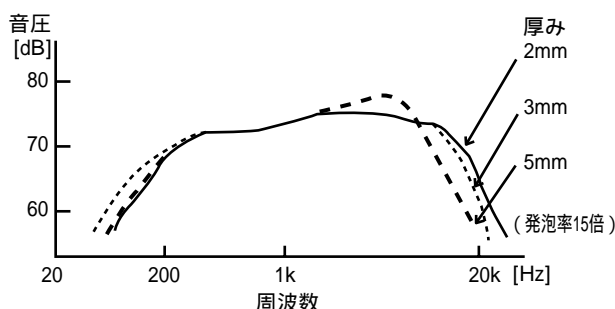
また、一定の発泡率での厚みの違いによる音圧周波数特性の違いを図-6に示す。



・発泡率15倍で高域特性の音圧定低下が少ない。10倍のものよりも軽いためであるが、18倍になるとさらに軽い反面剛性が低下するので、高域音圧が減少している。
 ・注：本図の傾向は発泡率以外の条件(振動板面積やエキサイター仕様等)が違くと変わる。

図-5 振動板発泡率と周波数特性の傾向

Fig.5 Relation between Diaphragm Foaming Ratio and Frequency Response



・厚みが少ないほど高域音圧の低下が少ない。厚み減少に伴う軽量化の効果が大きいと考えられる。(ただし、強度面で成立する2mmが下限)
 ・注：本図の傾向は厚み以外の条件(振動板面積やエキサイター仕様等)が違くと変わる。

図-6 振動板の厚みと周波数特性の傾向

Fig.6 Relation between Diaphragm Thickness and Frequency Response

図-5,図-6は、今回のように振動板面積が小さい(100～150cm²程度)場合の傾向である。

また、振動板表面の意匠性から、発泡ポリスチレンの表面に上質紙を貼り付けた材料を用いた。紙の貼り付けによる影響は、振動板面積や発泡ポリスチレン自体の仕様によっても変わってくるが、今回の場合は特に音質への悪影響は無かった。

以上のような関係をふまえて、既存の発泡ポリスチレンの中から最適品を選定した。

フラットパネルスピーカに適した振動板材料は、(既存の材料からの選択ばかりでなく)材料の新規開発まで視野に入れば、今後さらに音響性能・品質・コストの面で、より有効なものを検討する余地があると考えられる。

4.3. 振動板サイズ

NXTフラットパネルスピーカの振動板形状は一定の比率に決められており、その比率によると、ねらいとするスリム形状とはならない。NXT設計手法を守りながら横幅寸法を小さくすると、縦の長さも小さくなるため振動板面積が小さくなってしまい、前述のように必要な音圧と再生周波数帯域の確保が困難になる。現行のBOXタイプスピーカの性能相当を目標とするので、音圧レベルは75dB/wm以上、再生周波数帯域は200~20kHzが必要である。そのためには、今回採用予定の振動板材料とエキサイタの組み合わせでは、振動板面積は少なくとも100~150cm²が必要となる。横幅寸法を小さくする場合、縦横寸法比率を守った場合と面積を守った場合の特性変化の例を図-7に示す。この結果からも、縦横寸法比率の見直しが必要であることがわかる。

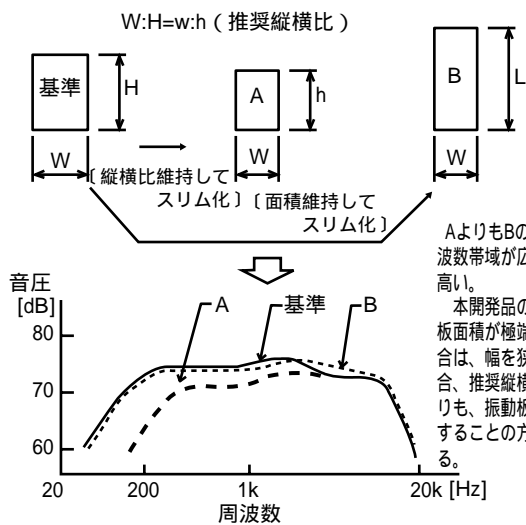


図-7 振動板サイズ
Fig.7 Diaphragm Size

パソコンディスプレイの幅と置かれるデスクの幅を考慮に入れると、スピーカ外形幅寸法を100mm以下とする必要がある。このことから、振動板横幅寸法は92mmと設定した。これは、現在製品化されている NXTフラットパネルスピーカ横幅寸法の 13% 削減にあたる。縦方向寸法は、現行製品よりもスリム感が得られる寸法として横幅の1.5~2倍の中から最適値を比較検討し設定した。

特に、縦寸法を長くし過ぎると音圧や再生帯域の他に聴感上の不自然感が現れる場合があり、聴感評価も重視しながら検討した。その結果、振動板の縦寸法は144.5mmとした。

4.4. 振動板外周部支持位置

NXTフラットパネルスピーカの振動板外周部の支持方法は、音質に影響を及ぼす。

NXTフラットパネルスピーカの設計手法によると、理論的に最良の支持位置が決められているが、本製品のように振動板面積が小さいものに対しては成立しない場合がある。また、構造面で支持強度を確保するための、位置に対する制約がある。

そこで今回は、振動板支持強度を確保しながら、音質面では特に低音感とナレーション再生時の声の質感を考慮しながら支持位置を設定した。

4.5. 電気回路による音質チューニング

前項で述べたように、振動板面積が極小な上にスリム形状を実現するという制約条件下で、スピーカの音質を左右する諸要因を最適に設定し音質確保を目指したが、これに加えて本機では電気回路(フィクストイコライザ)による音質チューニングも採用した。これは、組み合わせて使われるアンプにイコライザ特性を持たせ、スピーカでコントロールしきれなかった所望の周波数の音圧補正を行う方法である。

本スピーカにおける補正のポイントは、低音感を増すことと、中域の音が目立ちすぎているのを抑えることである。

パソコン用スピーカは、ナレーションの音質が重要視されるが、一方で音楽ソースも無視することはできない。今回はイコライザにより、これらのバランスをとりながらチューニングすることによりねらいとする音質を得ることができた。

5. 主要緒元

今回開発したパソコン用NXTフラットパネルスピーカの主要諸元を表-2に示す。また、外観を図-8に示す。

表-2 主な仕様

項目	仕様
1.方式	NXTフラットパネルスピーカ
2.外形寸法	W:100 H:185 D:78.7mm(フラットパネル部D:27.7mm)
3.振動板	サイズ:92 x 144.5mm / 材質:発泡ポリスチレン(両面紙貼り)
4.ボイスコイルインダクタンス	8
5.出力音圧レベル	75dB/Wm
6.再生周波数帯域	200 ~ 20k Hz
7.アンプ部	出力:1W x 2チャンネル / 電源スイッチ、ボリュームコントロール、パワーインジケータ付



図-8 製品外観
Fig.8 External Appearance

6. 音質評価

従来スピーカと比較した、NXTフラットパネルスピーカの指向特性データを図-9に示す。冒頭でも述べたようにNXTフラットパネルスピーカは、指向性が広いのが一つの特徴であり、データ上でスピーカ正面から傾いた方向でも高域の音圧低下が少ないことがわかる。特に、振動板正面から60°の方向までは音圧低下がほとんどなく、自然で拡がり感のある音を得られている。

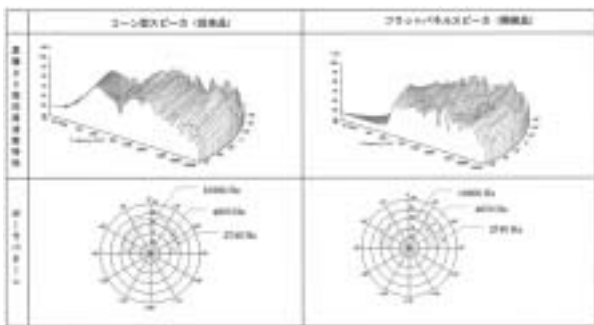


図-9 指向特性比較
Fig.9 Directivity Characteristics

本スピーカの音の特色としてはバランスのとれた音であり、また、アナウンスから各ジャンルの音楽まで、幅広いソースに対応できる音質であるため、今後予想されるパソコンの音源の多様化にも対応していくことが可能である。

音質評価点は、従来のパソコン用NXTフラットパネルスピーカと比べて、開発品は目標値どおり0.5点向上させることができた。(5段階評価)

7. あとがき

いままでどちらかというと使用頻度が低く補助的な存在であったパソコン用スピーカは、インターネットによる音楽の配信やDVD等の普及とともに高音質化要求が高まり、薄型化・省スペース化に進んで行こうとしている。その流れの中で、今回NXTフラットパネルスピーカの技術を応用して薄型かつスリム形状で音の良い製品を開発することができたことは大きな成果と考える。

本スピーカは富士通 '99年夏・冬モデルパソコン用スピーカとして発売された。

今後パソコン用スピーカは、従来のような低コスト化重視の一方で、新技術・新構想による付加価値の創出がより一層求められて行くと予想され、企画段階から円滑に開発が推進できるよう、今後も要素技術の開発・調査を推進したい。

最後になりましたが、本スピーカの開発にあたり、多大なご支援・ご協力を頂いた富士通株式会社並びにNew Transducers Limited社に対し、深く感謝の意を表します。

【参考文献】

NXTフラットパネルスピーカ技術資料
(New Transducers Limited社)

筆者紹介



佐藤 正宏(さとう まさひろ)

1979年入社。以来車載用およびパソコン用音響システムの開発に従事。現在AVC本部要素技術部SAプロジェクト在籍。



津森 克彦(つもり かつひこ)

1986年入社。以来車載用およびパソコン用音響システムの開発に従事。現在AVC本部要素技術部SAプロジェクト在籍。



黒崎 哲也(くろさき てつや)

1982年入社。以来車載用およびパソコン用音響システムの開発に従事。現在AVC本部要素技術部SAプロジェクト課長。



加藤 茂樹(かとう しげき)

1979年入社。以来車載用およびパソコン用音響システムの開発に従事。現在AVC本部要素技術部次長。