

空調ダクト系消音設計システム“CADDUS”

Computer Aided Noise Control Design Systems for Air-Conditioning Ducts

空調ダクト系の消音設計は、これまで、発生する騒音を予測した後、経験的に消音器を組み合わせて対応してきた。しかし、この方法では特に静寂な環境が要求されるオーディトリウム、スタジオなどの消音設計を的確に行なうことが困難であった。

そこで、従来の騒音予測の機能に加え、ダクト系騒音の伝搬性状計算結果から許容騒音値を満足するためのダクト設計、消音器設計、消音器レイアウト設計を行なえるソフトウェアCADDUSを開発した。

本論文ではCADDUSの消音設計方法と機能、及びホール空調設備への適用結果について述べる。

高橋 稔* Minoru Takahashi
 浅見欽一郎* Kin'ichirô Asami
 後藤 哲夫** Tetsuo Gotô
 矢作秋弘** Akihiro Yahagi

1 緒 言

静寂なオーディトリウム、スタジオ内の騒音レベルはほとんど空調設備からの騒音によって決定されるため、厳密な消音対策が必要である。既にオランダのBronswerk社¹⁾、オーストラリア住宅建設局²⁾及び国内数社では空調設備から発生する騒音の予測技術を確立し、各種条件下での騒音を予測できるようになっている。

日立プラント建設株式会社でも予測技術を確立したが、^{3),4)}これらの技術はいずれも発生する騒音の予測だけにとどまり、騒音制御のためのダクト設計や消音器位置、構造については、経験的に消音器を組み合わせて対応しているのが現状である。

そこで、従来の騒音予測計算の機能に加え、施主から要求された室内騒音許容値を満足するための消音設計計算までを一貫して処理する新しい設計システムCADDUS(Noise Control Computer Aided Design System for Air-Conditioning

Duct System)を開発した。

本論文では、このシステムを開発するに当たって検討した消音設計方法の基本内容とシステムの機能、及びホール空調設備への適用結果について述べる。

2 空調ダクト系騒音の予測方法

図1に基本的な空調設備の構成を示す。空調ダクト系は、送風機、吹出口(吸込口)など9種類のダクトエレメントによって構成されている。ダクト系での主音源は送風機であるが、空調機械室と室内までのダクト長さや管内流速によっては、ダンパ、分岐ダクトをはじめとする他のエレメントからの気流発生音もすべて音源として扱わなければならない。

そこで本システムでは、表1に示すように全ダクトエレメントの減音特性、気流発生音特性を計算するとともに、直管ダクトについては外部にある騒音源からの侵入音による音圧上昇や透過による減音についても計算を行なっている^{3),4)}。

3 消音設計方法

本システムでは原設計の消音性能が不十分な場合と過剰な場合のいずれに対しても対応が可能である。ここでは原設計が消音に対し不十分な場合の対策について述べる。これは与えられた室内騒音許容値を満足するための騒音対策方法を決

表1 ダクト騒音予測での計算項目 本システムでは、ダクト系を構成するすべてのダクトエレメントの減音、気流発生音特性を計算するとともに、直管ダクトについては外部騒音からの侵入音の影響や透過による減音についても計算を行なっている。

No.	ダクトエレメント名	音響特性計算項目		
		減音	気流発生音	透過音と侵入音
1	空調機	○	—	—
2	送風機	—	○	—
3	給気チャンバ	○	—	—
4	エルボ、バンド	○	○	—
5	ダンパ	—	○	—
6	分岐ダクト	○	○	—
7	直管ダクト	○	○	○
8	吹出口、吸込口	○	○	—
9	他のエレメント	○	○	—
10	室内	室内音場計算		

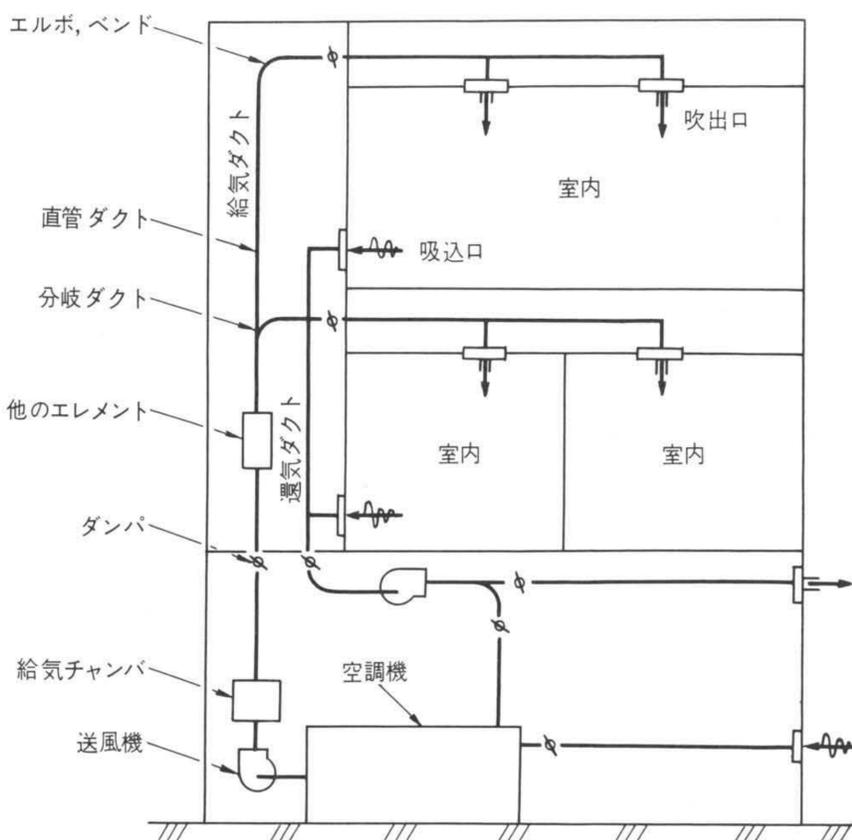


図1 基本的な空調設備の構成 空調設備での主音源は送風機であるが、ダクト系の長さ、管内流速によってはすべてのダクトエレメントを音源として扱う必要がある。

* 日立プラント建設株式会社研究所 ** 日立プラント建設株式会社

定する重要な部分であり、特に吹出口あるいは吸込口での騒音低減の目標パワーレベルの設定と対策音源の割出しを正しく行なうことが必要である。次にこれらの手順を示す。

3.1 吹出口(吸込口)の目標パワーレベルの設定

ホール内にはパワーレベル、距離減衰効果の異なる数多くの音源が点在しており、それからの到達音圧レベルが重畳され受音点の音圧レベルを形成している。そこで本システムでは、ホール内の全音源を(1)室内騒音許容値を上回り、受音点の音圧レベルに大きく影響している音源群、(2)許容値は下回っているがdB合成したときに影響している音源群、(3)受音点音圧レベルに影響しない音源群に分類し、下式で吹出口(吸込口)の目標パワーレベルを設定する方法を考案した⁵⁾。

$$PWL'_i = PWL_i - NR_i \dots\dots\dots(1)$$

$SPL_i > NC_f$ の場合

$$NR_i = SPL_i - NC_f + 10 \log_{10} S1 \cdot (S1 + S2) \dots\dots\dots(2)$$

$SPL_i \leq NC_f$ の場合

$$NR_i = 10 \log_{10} S2 \dots\dots\dots(3)$$

- ここに PWL'_i : 特定音源*i*の目標パワーレベル
- PWL_i : 現状のパワーレベル
- SPL_i : 特定音源からの到達音圧レベル
- NC_f : 検索周波数での許容音圧レベル
- $S1$: NC_f を上回っている音源数

$S2$: NC_f と同等か、下回っているが受音点の音圧レベルに寄与している音源数

3.2 ダクト系音源の割出しと消音対策

日立プラント建設株式会社がこれまで消音設計を行ってきた秦野市文化会館をはじめとするホール空調設備の実証結果から、吹出口あるいは吸込口から放射される空調騒音の主要因を次の3タイプに分類した。

- (1) 吹出口(吸込口)器具自体からの気流発生音
- (2) ダクト内部の特定エレメントの気流発生音
- (3) ダクト系各所で累積された騒音

そこでこれらの点に着目し、図2に示す消音対策設計法を開発した。ここでは消音対策を2段階に分けて進める。第1段階では、伝搬性状計算結果の中で卓越した音源に対する対策をする。すなわち、許容値を最も上回っている周波数を、伝搬性状計算結果のデータファイルの中から摘出し、対策検討のための具体的対策方法を決定する。第2段階では、吹出口(吸込口)から送風機側に向かって順番に対策エレメントを選択し、対策方法を決定する。これらの処理を中心にして複雑な空調ダクト系に対する騒音制御のためのダクト設計や消音器設計を可能にした。

4 設計システムCADDUSの開発

図3にCADDUSのソフトウェア構成を示す。ソフトウェア

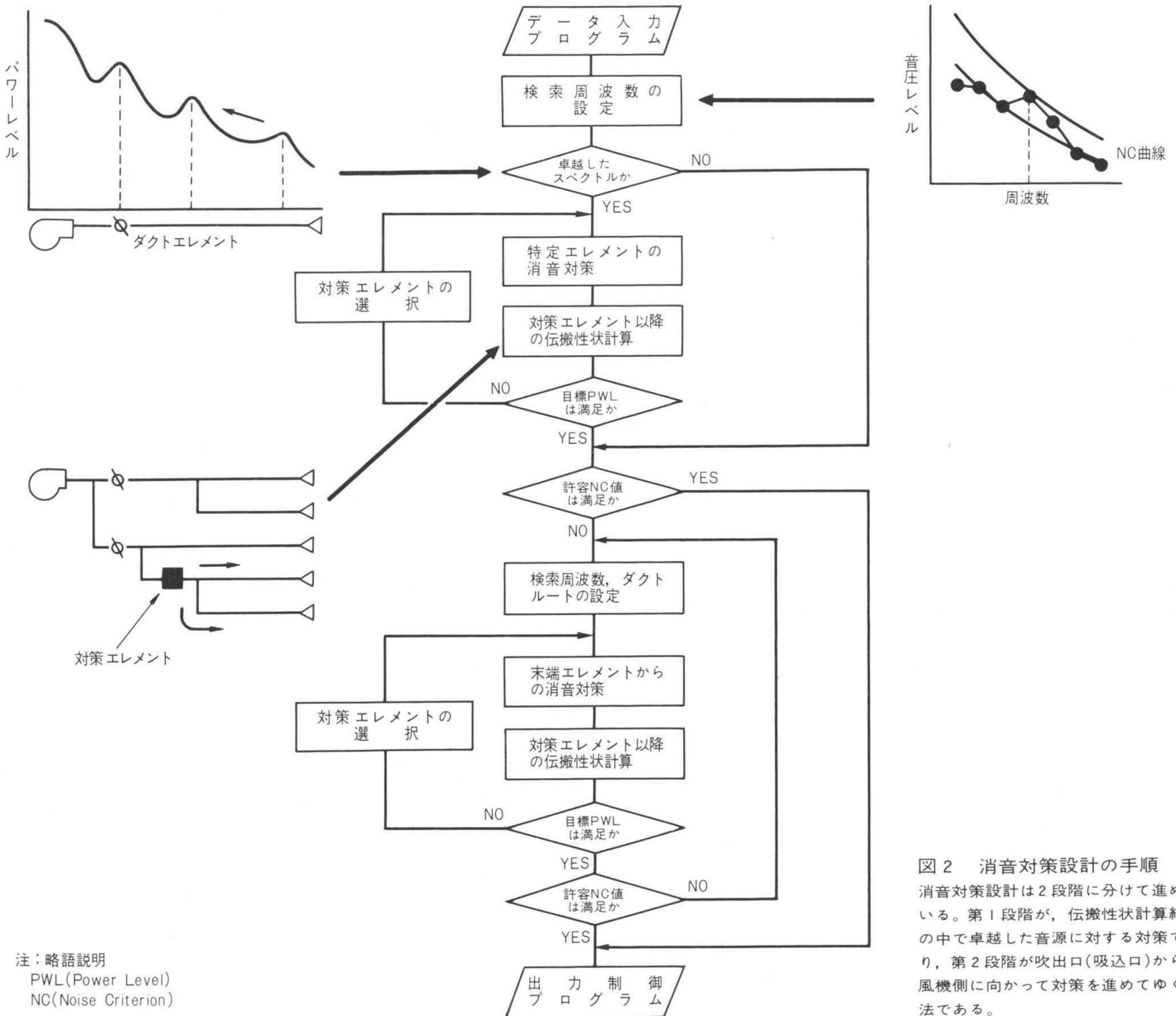


図2 消音対策設計の手順
消音対策設計は2段階に分けて進めている。第1段階が、伝搬性状計算結果の中で卓越した音源に対する対策であり、第2段階が吹出口(吸込口)から送風機側に向かって対策を進めてゆく方法である。

注：略語説明
PWL(Power Level)
NC(Noise Criterion)

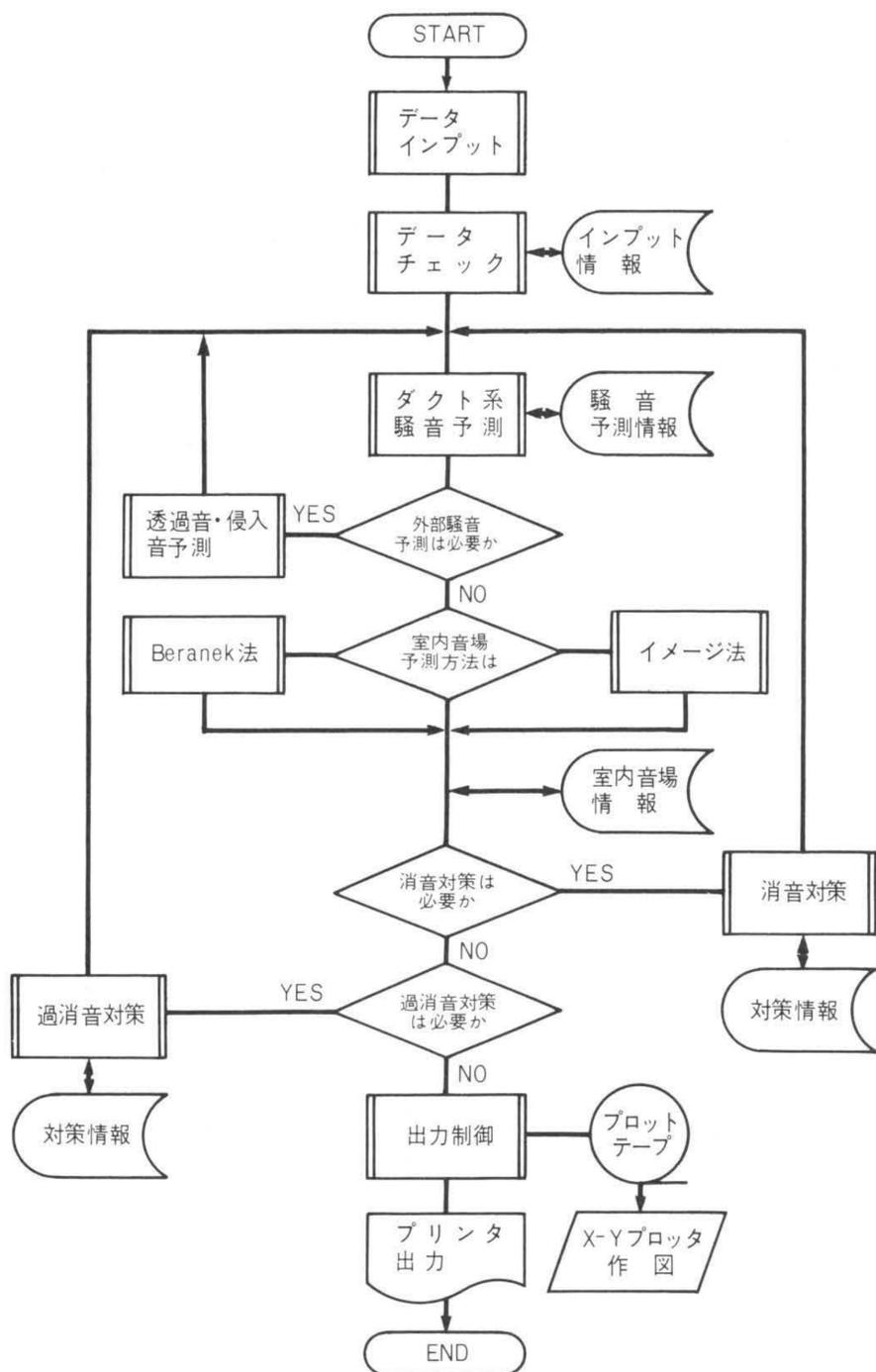
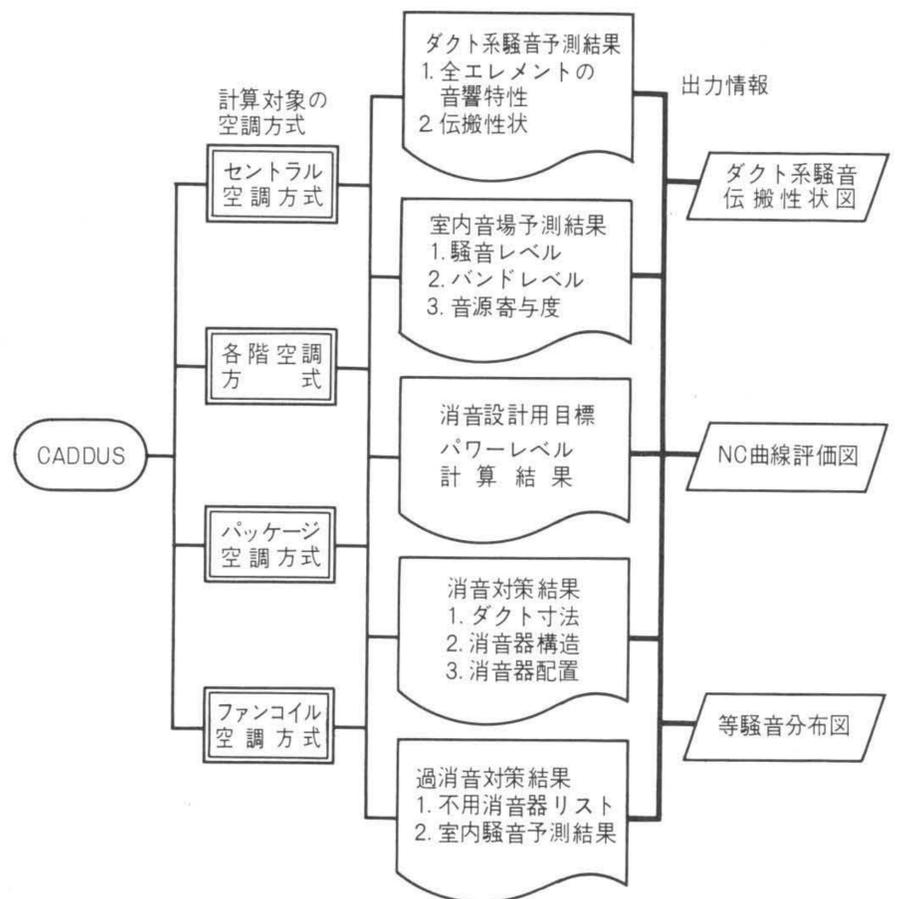


図3 CADDUSのソフトウェア構成 室内騒音予測値が許容値を満足していない場合には消音対策を、逆に満足している場合は過剰な消音設備を摘出できるように構成した。

開発に当たっては複雑なダクト系を入力するため、特にインプットデータのチェック機能を強化するとともに、近い将来、対話形システムに拡張することを考慮し柔軟性のあるソフトウェアにまとめた。CADDUSの機能構成は図4に示すとおりである。

5 清水市新庁舎議事堂空調設備への適用

図5に議事堂の全景を示す。収容人員は141人である。室内騒音許容値はNC-30であり、吹出口器具はアネモ形、ノズル形を併用している。原設計と消音設計(改良設計)時のダクト内の騒音伝搬性状予測結果の比較を図6に示す。横軸は送風機から吹出口までのエレメントのつながりを示している。本ダクト系では原設計で目標PWL27dBに近い値が得られたが、気流音対策のため更に2個の吸音エルボを加えることにより目標値以下になることが分かった。図7にこの対策を行なった後の床面から高さ1.5mの平面内での室内騒音分布曲線を示す。騒音レベルに大差はないが給気ダクト系の分岐点の下側と還気ダクト系の吸込口付近の騒音が高いことが分かる。騒音レベルの最大値は38.5dB(A)であり、NC曲線による評価結果でも許容値を満足できる予測結果を得た。完成後の騒音測定結果からも設計どおりNC-30を満足していることが実証できた。



注：略語説明
CADDUS(Noise Control Computer Aided Design System for Air-Conditioning Duct System)

図4 CADDUSの機能 CADDUSではダクト内部と室内での騒音予測だけでなく、室内騒音許容値を満足するためのダクト寸法の見直し、消音器設計、消音器の配置を自動的に算出し出力することができる。



図5 清水市新庁舎議事堂の全景 議員、傍聴者など合わせて141人を収容することができる。室内騒音許容値はNC-30であり、ホール天井内ダクトの気流音対策を重点的に行なった。

図8に実測値と消音設計予測値の比較結果を示す。期待どおり両者は63Hz～2kHzで±5dB以内で一致しており、OA(オールパス)値では±3dB以内で一致している。

CADDUSはこのほか、新橋演舞場、常陽第百文芸ホールなどの建設に適用し、同様な実証結果を得た。

6 結 言

従来の騒音予測計算機能だけでなく、消音設計までを一貫して行なえる新しい空調ダクト系消音設計システムCADDUSを開発し、次に述べるような効果を得た。

(1) 騒音制御のためのダクト設計、消音器設計、消音器レイアウト設計が可能になった。

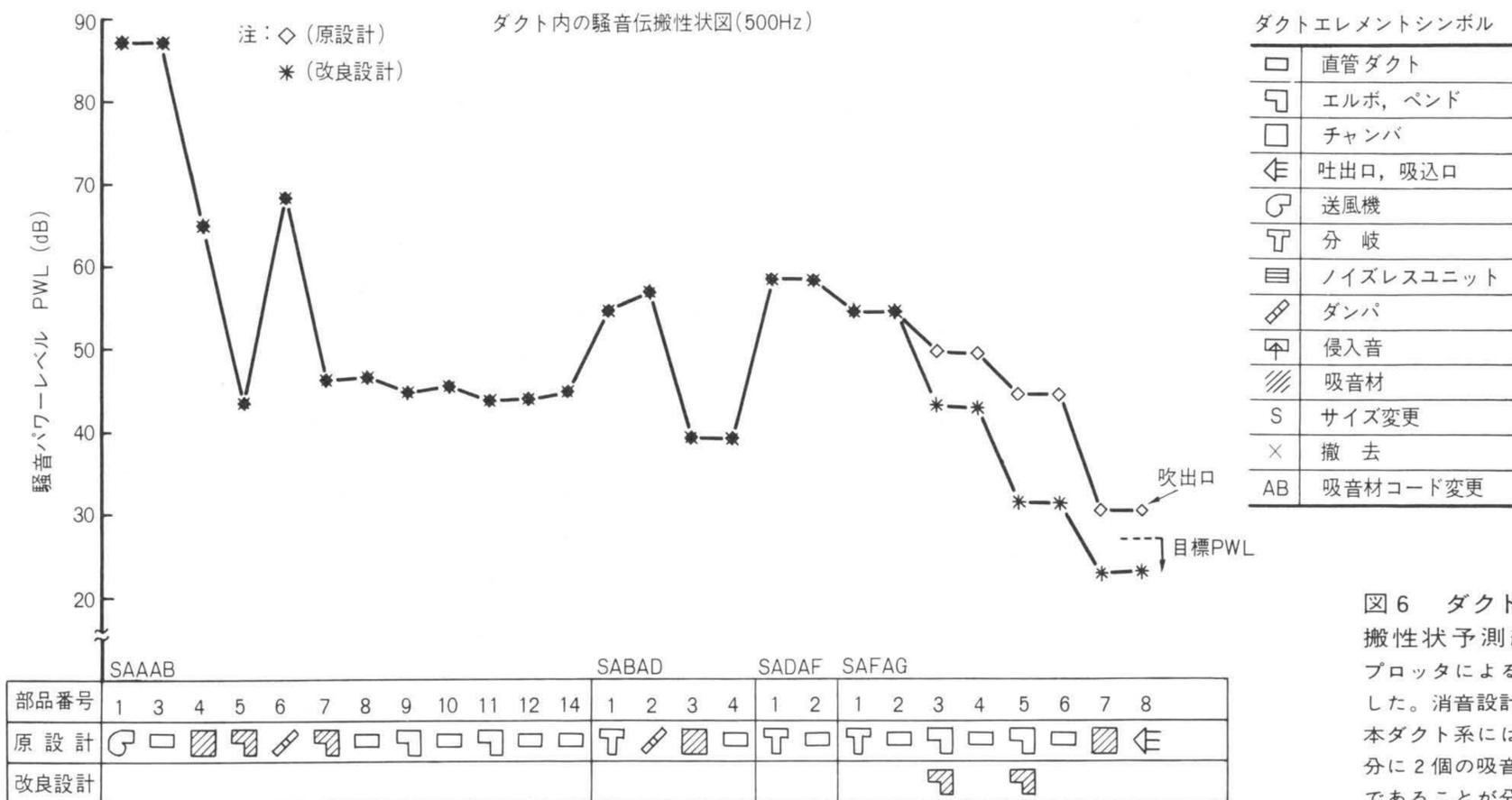


図6 ダクト内の騒音伝搬性状予測結果 X-Yプロッタによる作図結果を示した。消音設計計算の結果、本ダクト系にはダクト末端部に2個の吸音エルボが必要であることが分かった。

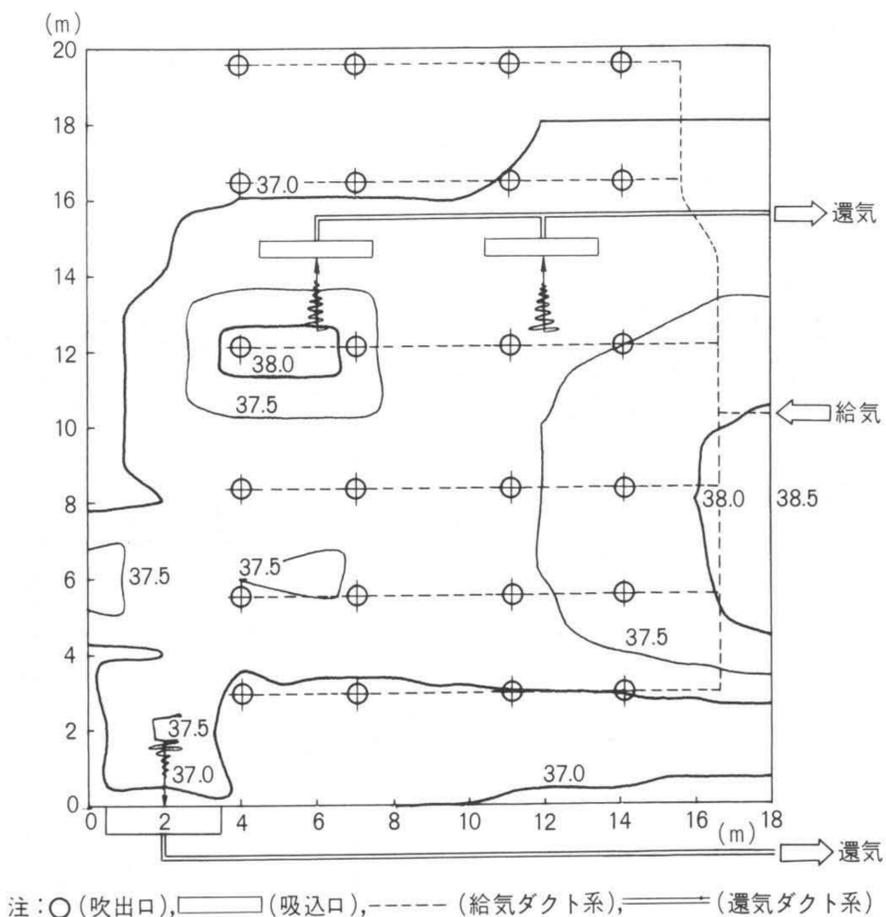


図7 議事堂内の等騒音分布曲線 静電プロッタによる消音対策後の室内騒音分布曲線[高さ：床面から1.5m, 単位：dB(A)]の作図結果を示す。

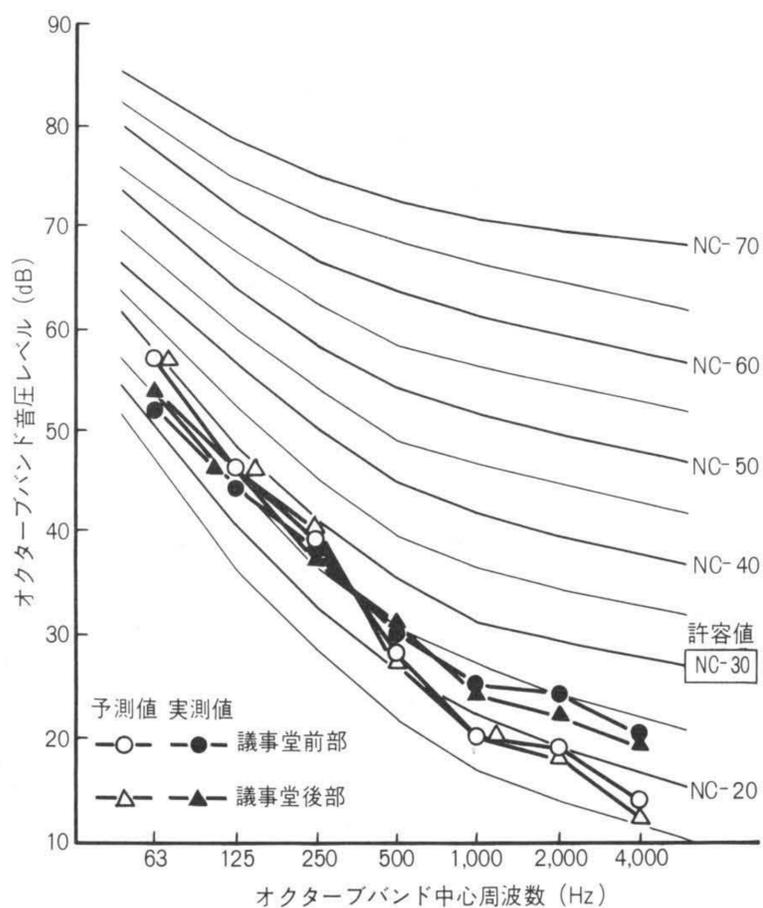


図8 清水市新庁舎議事堂での騒音予測値と実測値の比較 完成後、騒音測定を行なった。実測値と予測値を対比した結果、期待どおり両者は63Hz～2kHzで±5dB以内で一致し、許容値NC-30を満足していることが分かった。

- (2) バンドレベルで±5 dB以内、OA値で±3 dB以内の高い精度で消音設計が可能になった。
- (3) 清水市新庁舎議事堂, 新橋演舞場, 常陽第百文芸ホールの建設に適用し, いずれも施主の要求を満足した。

CADDUSは現在, 郡山市民文化センター(大ホール2,000人, 小ホール800人), 勝田市文化会館(大ホール1,400人, 小ホール400人)の建設に適用中である。

今後は本ソフトウェアを対話形のシステムに発展させてゆく予定である。

終わりに, 本システムの適用に当たり御協力をいただいた株式会社日本設計事務所, 株式会社佐藤武夫設計事務所, 三菱地所株式会社, 鹿島建設株式会社の関係各位に対し深謝の意を表わす次第である。

参考文献

- 1) S.G.F.Bendien, et al.: Calculating the Sound Production of an Air-Conditioning Duct System by Computer, The Heating Vent. Eng.(1975-11)
- 2) M.M.David: The Development of an Analytical Technique and Data for the Acoustical Analysis of an Air-Conditioning Duct System, The 10ICA Contributed Papers, C1-5.2 (1980)
- 3) 平田, 外: 空調用給排気ダクト系の騒音予測計算プログラムの開発, 日立評論, 61, 2, 131~136(昭54-2)
- 4) M.Takahashi, et al.: Noise Level Prediction Method for Air-Conditioning Duct System, Inter-Noise 81 Proceedings, 497~502(1981)
- 5) 高橋, 外: 空調ダクト設備のための動的消音設計システム, 日本音響学会講演論文集, 559~560(昭58-10)