

○関根秀久, 寺尾道仁(神奈川大・工)

1. はじめに

空気調和ダクトは多くのスペースを要するため、基本計画段階からこれを考慮しなければならない。そこで設計時点においてダクト網のダクト断面寸法計算、波動音響予測計算などを行い、その結果を 3D 可視化して様々な視点からの納まりの検討およびダクト各区間の圧力・風速、音圧レベルの検討を可能とするシミュレーションシステムを開発した。

2. 設計自動化と実行手順

図1にダクト経路単線入力から音圧レベル分布の画像処理までの各ルーチンを統括して構築したダクト自動設計 GUI を示す。各ルーチン(①単線入力, ②ダクト断面寸法計算, ③圧力・風速画像処理④音響予測計算⑤音圧レベル分布画像処理)を順にクリックすることにより、ダクト網の自動設計が進行する。GUI 上には自動作成されたダクト網の視覚的な把握・確認のため、単線入力, ダクト要素接続および音圧レベル分布画像を表示している。GUI の構築には C++, 画像処理には建築図面との連続性および開発言語 (AutoLisp) を考慮して AutoCAD を選択した。

2.1 単線入力 図2に単線入力例を示す。接点番号順にダクト経路の接続座標をマウスで入力する。次にダクトの各部品の種類(エルボ, 分岐, 吹出口など), 設計風量, 許容風速, 横走りダクト天井懐の制限高などを入力する。以上により接続関係を含む要素の接続配列, 画像処理のための座標リストが自動作成される。

2.2 ダクト断面寸法計算 ダクトの断面寸法計算には、1)等摩擦法, 2)定速度法のいずれも実行可能とした。いずれの計算法に

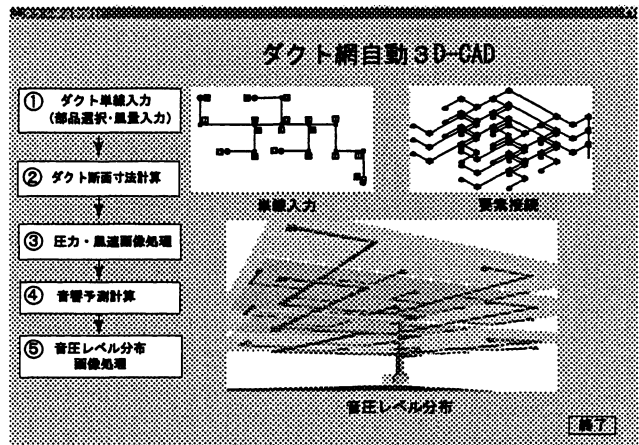


図1 ダクト自動設計 GUI

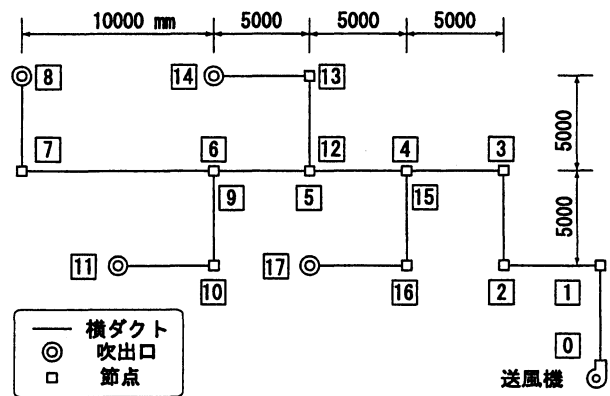


図2 単線入力例

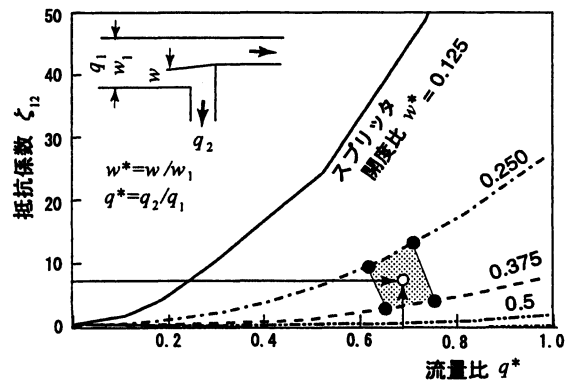


図3 開度の設定法(スプリッタ分岐の場合)

\* A 3D-CAD implementation for full wave simulations of duct networks.

By Hidehisa Sekine and Michihito Terao (Kanagawa university)

においても、全圧計算により各吹出口系統の圧力調整を行い、矩形ダクト断面寸法を決定する。各分岐での圧力一致条件については許容範囲のデフォルト値を 1mmAq とし、それを超える場合には、許容風速値（デフォルト値 4, 6, 8m/s）以内でダクト断面寸法を修正する。許容風速値を超えときはスプリッタ分岐やダンパで調整している。圧力調整時のスプリッタ開度設定は、図3に示すように所要の抵抗係数と流量比から、その近傍の離散データ4点の2次元1次要素の内挿により求めている。ダクト構成部品（エルボ、分岐、吹出口など）の形状抵抗はデータベース化し、スプリッタ分岐と同様の内挿補間またはラグランジェ補間により求めている。

**2.3 圧力・風速の画像** 図4にダクト区間の節点圧力の2次元出力図を示す。ダクトの断面寸法計算により得られた各ダクト区間の圧力・風速データを3D画像化し不具合箇所を視覚的に判別できるとともに、圧力および許容風速の確認を容易に行えるようにしている。なお、視点を変えて検討した3D画像を出力することも可能である。

**2.4 ダクト音響予測計算** ダクト網の音響予測計算は、反射波を考慮した波動法解析<sup>1)</sup>により行った。これにより、ダクト内の音圧レベル分布が得られる。また、反射率を0に設定すればそのままエネルギー法に相当する予測計算になる。ダクト要素の音響特性データは実験や境界要素法数値解析により求め、データベース化し、音響予測計算にはこれを用いている。その一例として図5に分岐要素の音響特性（透過率）を示す。

**2.5 ダクト網の画像処理** 以上のダクト各要素の音圧レベル分布を3D表示する。この画像を建築図面に挿入すれば、各階の平面図・断面図が画像化される。

**1) 部品形状のデータベース** 吹出口、エルボ、分岐および空調機の形状寸法をデータベース化（一部は、パラメトリック形状）し、

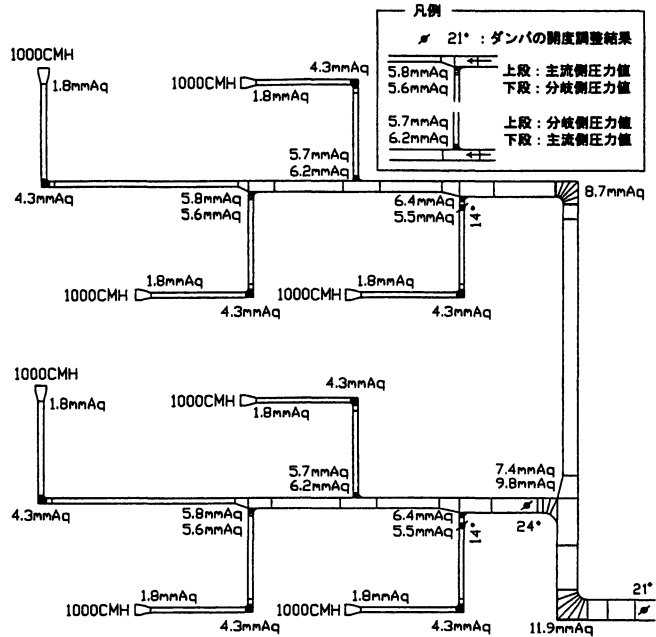


図4 ダクト網の圧力画像例

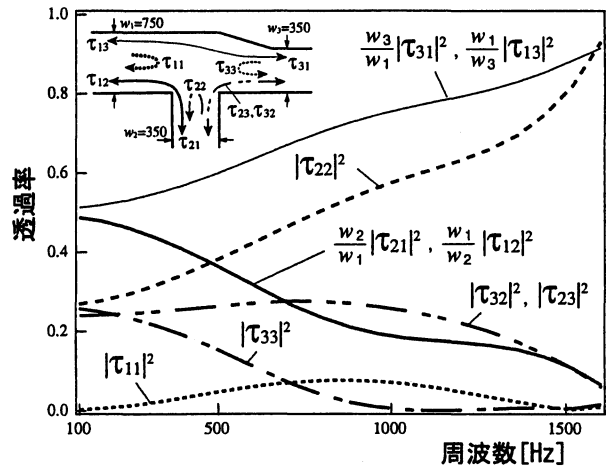
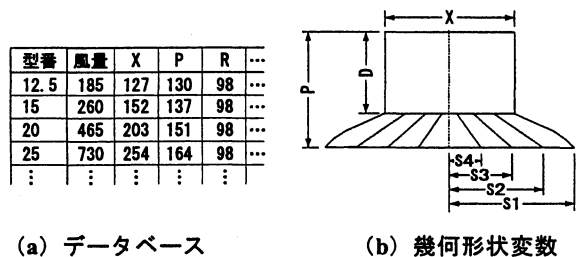
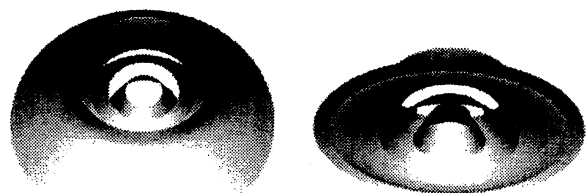


図5 分岐音響特性の例



(a) データベース

(b) 幾何形状変数



(c) レンダリング画像

図6 吹出口形状寸法データベース

画像表示している。図6は吹出口の出力例である。吹出口の型番は設計風量により(a)のデータから自動的に選定され、(b)の変数値が決まる。(c)は選定された吹出口のレンダリングした一例である。

**2) 経路の修正** 図7に経路変更を行った修正画像例を平面画像で示す。柱や梁との交差を避けるため経路の微調整をする場合に、ダクト経路の修正を可能にしている。点線は修正前の単線入力時の経路である。

**3. 音響予測結果**

図10に示すようなダクト網について、音響予測計算を行った。図10は送風機の駆動音圧レベル100dB、各吹出口風量1000 m<sup>3</sup>/hの場合である。

**3.1 エネルギー法と波動法の比較**

接続直管の減衰を0とみなした場合の計算結果例を図8a)に示す。ここでエネルギー音響計算による音圧レベルを波動法のそれ(カッコ(\*)内)と比較している。波動音響計算は分岐点毎にその端末側のインピーダンス、したがって、透過係数と透過係数の変化が反映され、エネルギー法と違って進行波の空間音圧分布が端末側に向かって一様に低減する傾向はなくなる。エネルギー法はスペクトルレベル評価(帯域幅1Hz)では場所により±10dB程度の違いが生じている。

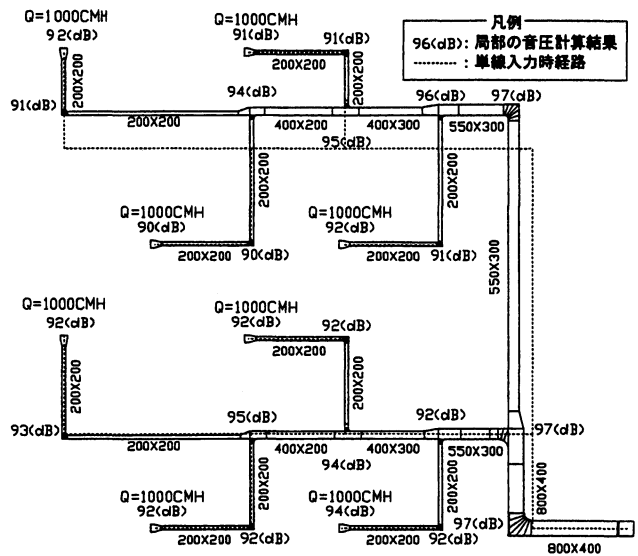
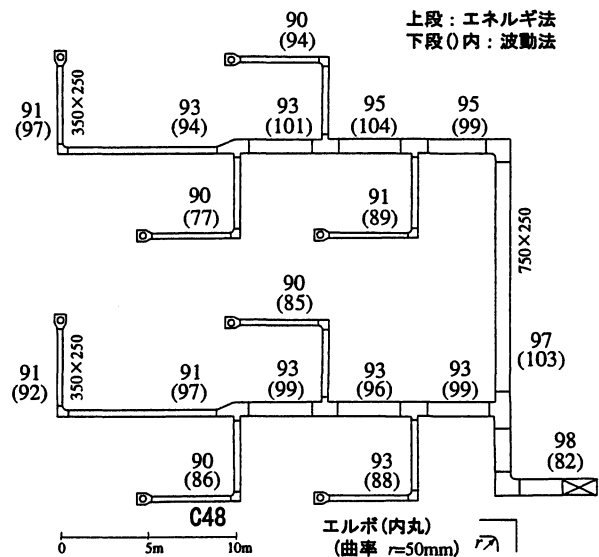
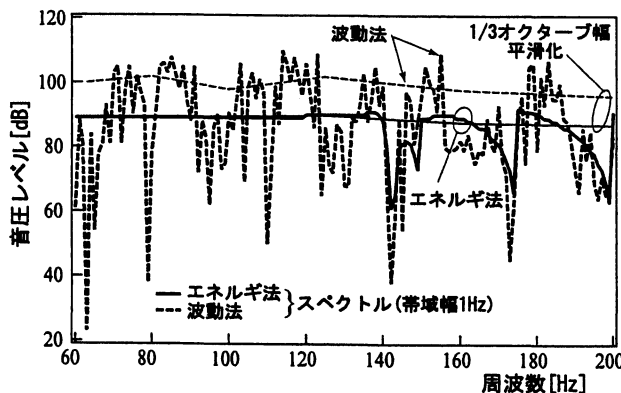


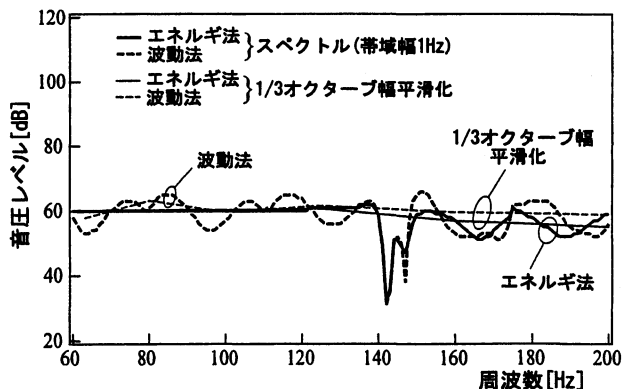
図7 経路の位置修正例(3F)



a) スペクトル音圧レベル分布の比較(3F)  
(直管ダクト減衰 0dB/m, 周波数 125Hz, dB)



i) 直管ダクト減衰 0 dB/m



ii) 直管ダクト減衰 0.3 dB/m

b) 音圧レベルの周波数分布 (a) の直管 C48)

図8 エネルギー法と波動法の比較

図 8b)は音圧レベルの周波数分布の比較例である。エネルギー法は、直管減衰が小さい場合(0dB/m)にはスペクトルレベル評価で $\pm 20\text{dB}$ (ノード点は除く)程度以上、1/3 オクターブバンド評価で 10dB 程度の違いがあるが、接続直管の減衰が 0.3dB/m の場合にはスペクトルレベル評価でも誤差は $\pm 7\text{dB}$ 程度に小さくなり、滑らかな周波数分布になる傾向がある。

### 3.2 エルボの違いによる比較

図9にエルボの違いによる波動音響計算結果を比較して示す。いずれも直管の減衰を0とみなし、1/3 オクターブバンド音圧レベルである。図9a)はすべてのエルボを直角エルボと丸曲りとしたときの結果である。直角エルボに比べ反射率の小さい丸曲りの場合は、全体的に5~10dB程度大きくなる。

図9b)は3階のエルボ部 C13 のみおよび C9 と C13 の2箇所 に吸音材内貼エルボとした場合である。吸音材内貼無しの場合にたいし、C13 を内貼エルボとしたときには、このエルボより端末側で 4dB 程度小さくなり、エネルギー的な予測に対応するが、C9 と C13 の2箇所 に内貼エルボとした場合には、波動音響計算による特徴が現れている。

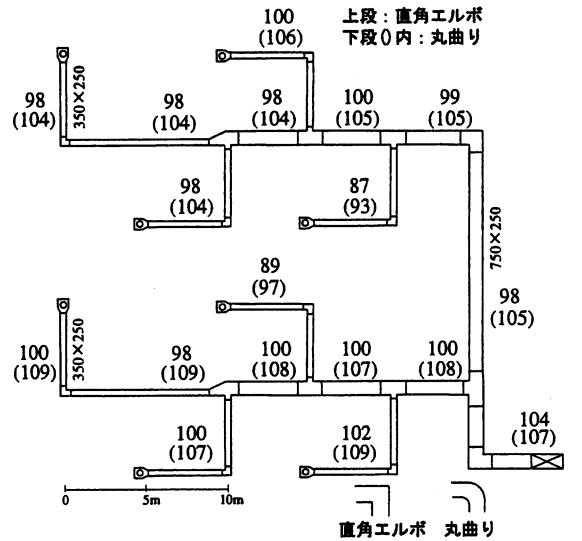
### 3.3. 音圧レベル画像

図 10 に音圧レベル分布 3D 画像の例を示す。ダクト網の音圧レベル分布がカラー表示され、計画段階における視覚的な音圧レベルの把握が可能となっている。

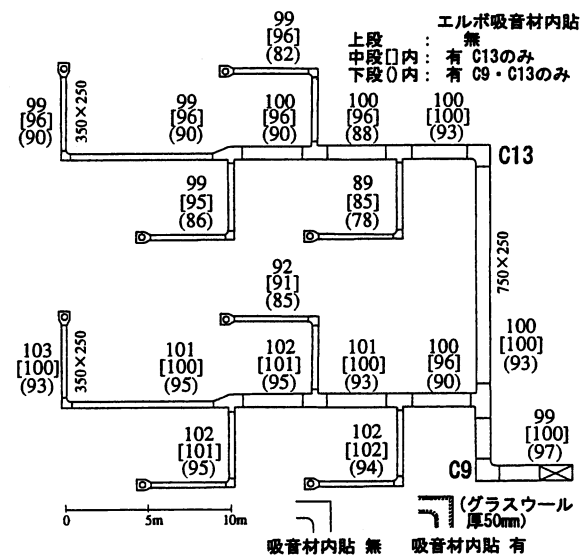
4. まとめ 単線入力からダクト網の設計・3D 表現および波動音響シミュレーション結果の可視化に至る一連の作業の自動化システムを構築し、その有効性を確認した。今後、ダクト構成部品の充実、形状抵抗および音響特性データの蓄積などをはかる必要がある。

### 参考文献

- 1) 関根, 寺尾ほか: 空気調和・換気ダクト網のエネルギー的音響予測精度について, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 1998 年.



a) 直角エルボと丸曲りの比較



b) 吸音材内貼の有無による比較

図9 エルボの違いによる1/3オクターブバンド音圧レベル (波動音響計算, 直管ダクト減衰 0dB/m, 3F, 中心周波数 125Hz, dB)

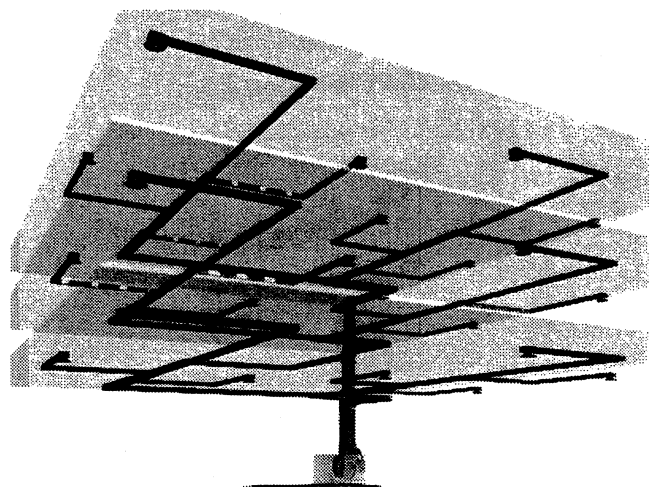


図 10 ダクト網の音圧レベル分布画像例