

金管楽器の音色と吹奏感の評価のための吹奏系のモデリング

はじめに

第四の課題として、形状の異なる代表的な3種類の唄口に対して、吹奏時のベル開口端の放射音の実測値から唄口端の入力特性を推定する。

まずマウスピースも含めた管体の伝達特性を算出して、一方、実際の吹奏音を分析して伝達特性との関連性を検討する。

次に吹奏時の定常状態の入力スペクトルを推定して、管体の伝達特性の特徴を入力に反映するようにモデル化して、これにより出力波形を再合成して入力スペクトルのモデル化の妥当性を検討する。

次に入力スペクトルのモデルを使って吹奏系のシミュレーションを行い、吹奏系モデルに適用した解析事例を示す。

最後に立上がり波形の実験式を示して、立上がりから定常状態に至るまでのシミュレーションを行って可聴化への可能性を示す。

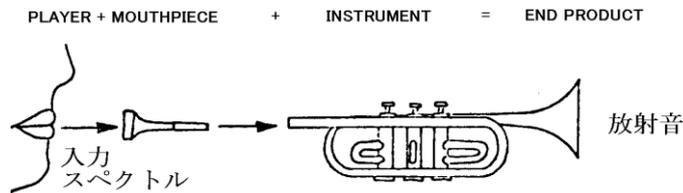
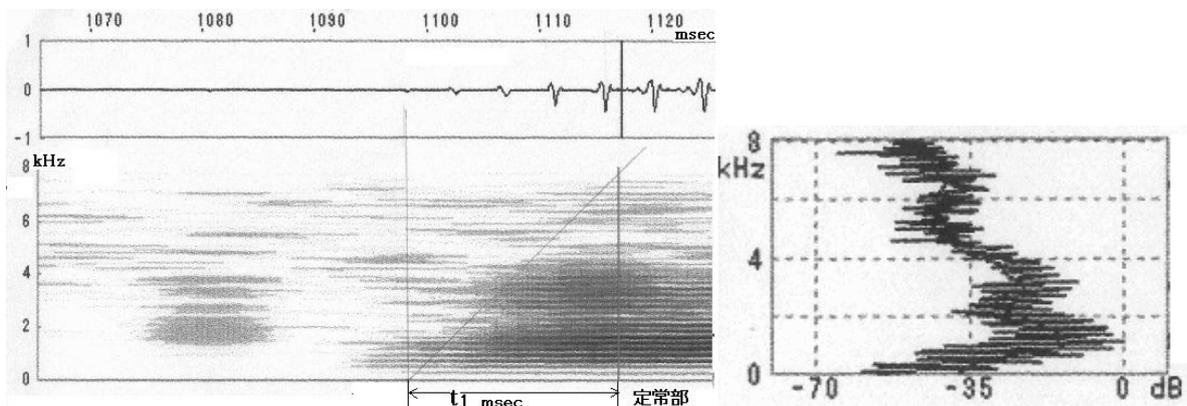


Fig. 1-2-3 第3吹奏系モデル

入力波形のスペクトルのモデル化と出力波形のスペクトルの推定と評価

前章では管体の伝達特性を解析したが、本章ではまず**実際の吹奏音を分析**して伝達特性との関連性を検討した。ここでは奏者は一人に限定して楽器はトランペットC管により、マウスピースは前出の3種類を使って、1番ピストン押さえ(1.0.0)の運指で標準的な奏法でやや強めに吹いた f_2 , f_3 , f_4 , f_5 , f_6 , f_8 の放射音を収録してFFT分析した。分析の条件は16kHz サンプリングでウインドウはハニングで行った。図に唄口9 E の f_2 の分析例を示す。上は立上がり波形を、下はスペクトログラムを示す。右は定常部のスペクトルを示す。この例では四周期で立ち上がり、定常部に至る。高次倍音成分ほど立ち上がりが遅れる。



立上がり波形(上)とスペクトログラム(下)

定常部スペクトル

Fig. 5-1 分析例; f_2 (M.P.は9 E); t_1 msec で立上りがって定常部に至る

出力スペクトルから入力スペクトルを推定する

ここでは定常音の放射音のスペクトルから、管体の伝達特性の線形性を前提にして入力
のスペクトルを推定してモデル化し、逆にその入力スペクトルから出力波形のスペクトルを算
出してモデル化の妥当性を評価する。

まず管体の音圧の伝達特性により、定常態の出力波形から吹奏入力波形を推定してそのモ
デル化を検討する。

入力スペクトルを $F(\omega)$ 、出力スペクトルを $P_o(\omega)$ とすると(4.1)式より次の関係となる。

$$F(\omega) = P_o(\omega) / G(\omega)$$

音圧の関係ではデシベル表記で、

$$\text{Log}(F(\omega)) = \text{Log}(P_o(\omega)) + \text{Log}(1 / G(\omega)) \quad (5.1)$$

となる。

次に3種のマウスピースの入力波形のスペクトルの
包絡線(スペクトルエンベロープ)を折れ線近似により設定する。

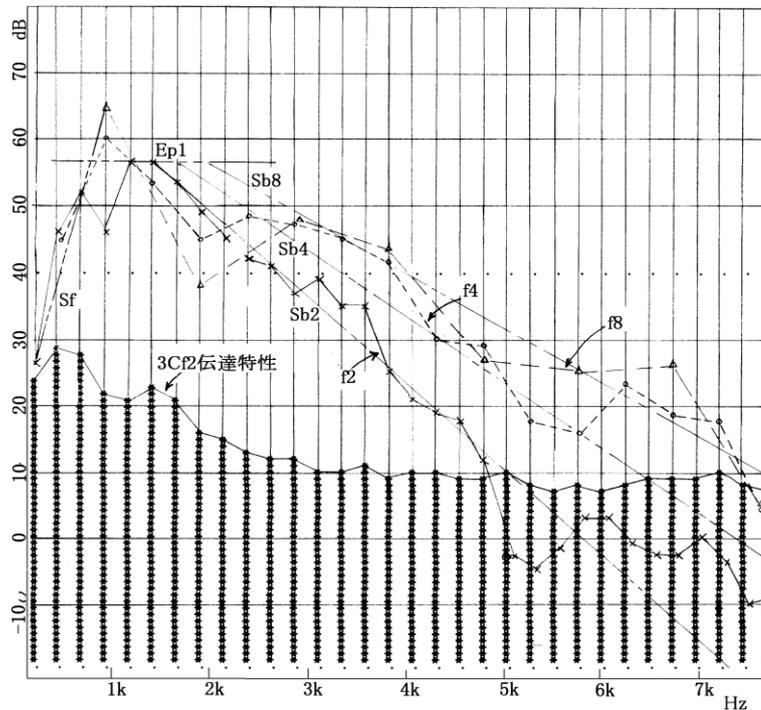


Fig. 5-2 入力スペクトルの推定 ; マウスピース 3 C

マウスピース 3 C の場合にこのようにして求めた f_2 , f_4 , f_8 の入力波形のスペクトル $F(\omega)$ を 3C の f_2 の伝達特性の上に重ねて示す。いずれも(5.1)式で出力波形の実測スペクトルに開口端から見た管体の伝達特性の音圧表記分を加えたものである。マウスピース 1A と 9E についても同様に解析した。これらから言えることは、

- ① 入力スペクトルの包絡線を低域、中域、高域の3つの周波数帯に分けてそれぞれ直線で近似して中域帯を $Ep1$ とする。
- ② 低域の傾斜(Sf)はほぼ一定(40dB/100~1000Hz.)で、高域の傾斜(Sb)は 5kHz までは直線近似でき、高次モードになるほど緩やかとなる。
($-60\text{dB}/2\sim 4\text{kHz} \gg -30\text{dB}/2\sim 4\text{kHz}$)。
- ③ 直線近似とのずれは伝達特性の反作用としての要素と、奏者の奏法入力の特徴による要素があると考えられる。

④ 以上はマウスピース 1 A と 9 E についても言える。

ただし Ep1 の周波数帯域はモードにより、またマウスピースにより異なる。

おわりに

ここではそのモデル化の過程は省くが、マウスピースを含む管体全体の伝達特性により、唄口端からの入力波形のスペクトルを 3 種のマウスピースごとにモデル化して、この入力モデルにより出力波形のスペクトルを推定算出する、吹奏系のシミュレーションの手法を示して、これを吹奏系モデルに適用してその有用性を示す。

この手法をマウスピースの評価に適用した。

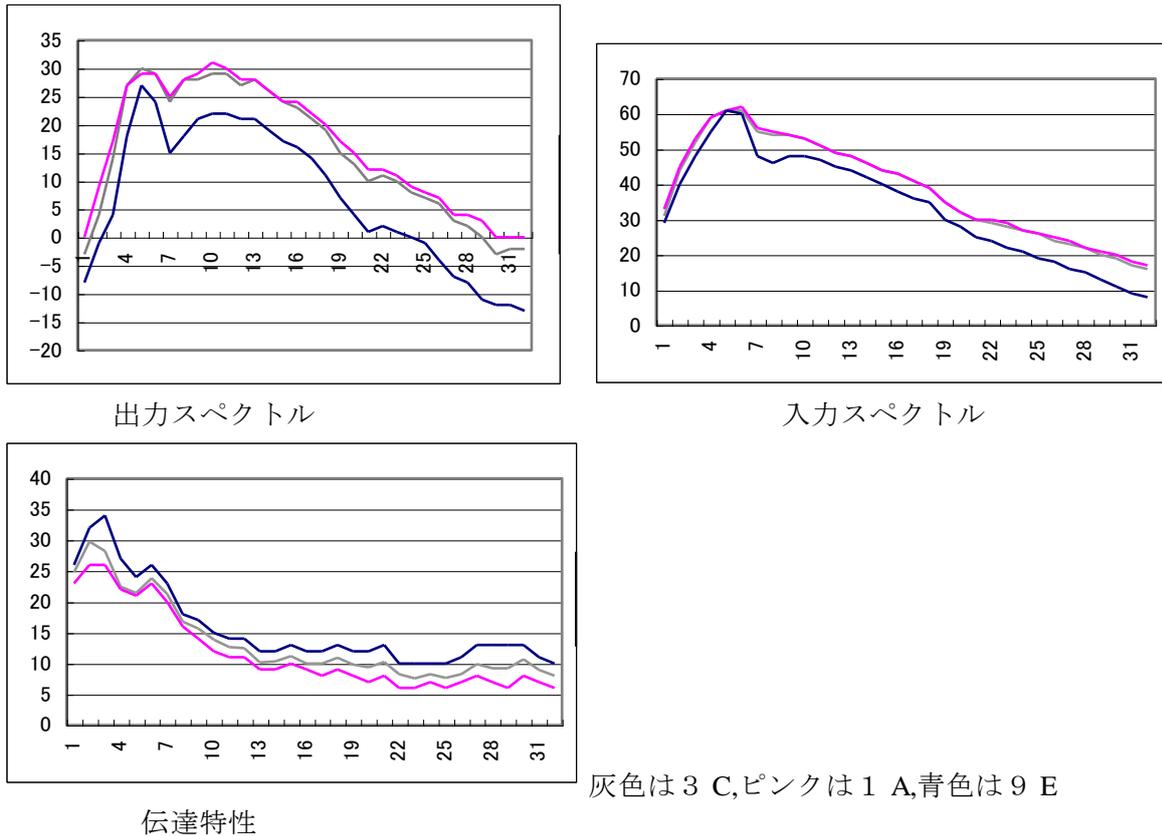


Fig. 5-3 伝達特性と入力スペクトルモデルと出力スペクトルの推定；f2 の場合

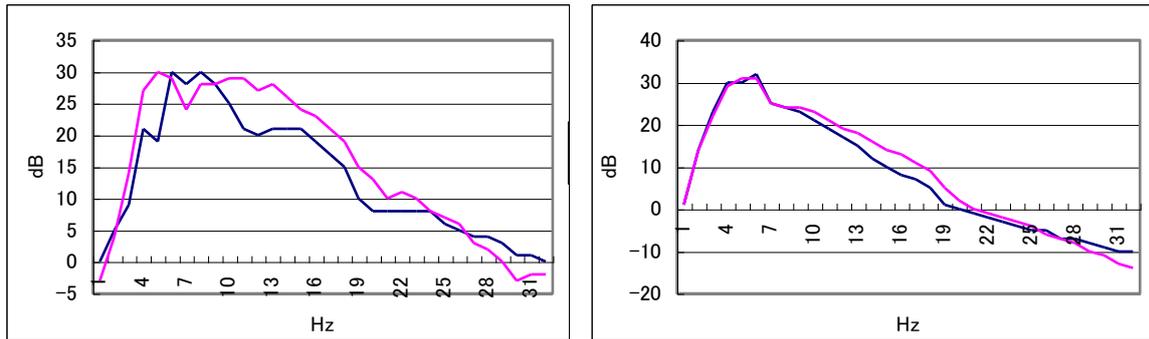
マウスピースを含む管体全体の伝達特性(左下)と唄口端からの入力波形のスペクトル(右上)とこの入力モデルにより推定した出力波形のスペクトル(左上)を示す。

マウスピースのカップ端面からの入力スペクトルは管体の伝達特性と相関があり、伝達特性の音圧が高いと反作用として入力スペクトルは低くなり、逆に伝達特性の音圧が低いと反作用として入力スペクトルは高くなる。

また入力モデルの特徴はマウスピースによる吹奏感の違いに良く対応する。入力スペクトルでは Ep1 の周波数帯域と Sb の傾斜により特徴付けられる。1 A は入力スペクトルレベルが高く唇への入力音圧の反作用も大きく広帯域に及んで抵抗感が増して詰まる感じになると考えられる。9 E は入力スペクトルのレベルは相対的に低く吹奏抵抗感は良好で音が良く抜ける。

また出力スペクトルは音質の違いに良く対応する。マウスピース 1 A は Ep1 の周波数帯域が広くて、柔らかい音質である。マウスピース 9 E は Ep1 の周波数帯域が狭くて低域と高域に比べてレベルが高いので明るく硬い音質となる。マウスピース 3 C は 1 A と 9 E の中間的な特性であるが 3 C に近いと言えよう。

この手法を実際の管体形状の違いの評価に適用した。



ピンクはC管，青色はBb管

Fig. 5-4 マウスピース3 CによるBb管 (Bb02) のオープン運指 (0.0.0) とC管 (C02) の1番ピストン押さえ(1.0.0)の運指のf2の出力スペクトル(左)と入力スペクトル(右)

マウスピースを例えば3 Cに固定することで管体形状の違いによる音響特性の差を明確に評価することができる。

- ・入力スペクトルでは高域でC管の方が高く，抵抗感があり詰まる感じ。
- ・出力スペクトルではC管は高域成分が高く，柔らかい音質。

Bb管は中域のレベルが高く硬い音で良く鳴る。

と予測される。これらの管体モデルは実在するので，実際にブラインドで吹奏テストを行って良く対応することを確認しており，この手法の有効性を確認している。

音色と吹奏感の評価のための吹奏系のモデリングの纏めとして，

- ・マウスピースも含めた管体の伝達特性を算出して，一方，実際の吹奏音を分析して伝達特性との関連性を検討した。
- ・吹奏時の定常態の入力スペクトルを推定して管体の伝達特性の特徴を入力に反映するようにモデル化した。
- ・入力スペクトルのモデルによりシミュレーションを行い，それを適用した解析事例を示してその有用性を示した。各マウスピースに対して求めた入力モデルはそれぞれの管体の伝達特性を反映しており，出力スペクトルは音質に対応し，入力スペクトルが奏者の吹奏感に対応する一つの要因になっていると言えよう。
- ・ここでは省略したが，立上がり入力モデルの実験式を示して，立上がりから定常状態に至るまでのシミュレーションを行って可聴化への可能性を示した。

本シミュレーションにより，音色も含めた吹奏感と音質と音量などの音響特性の評価への適用の可能性を示した。

また実際に吹奏した音を分析して，奏法入力の特徴を解析して奏法診断に適用することも可能であろう。