

## 金管楽器のマウスピースの形状が音響特性に及ぼす影響

はじめに

第三の課題として、管体形状のうち、特にマウスピースの形状が楽器の音質と音量に及ぼす影響についてインパルスレスポンス法の計算モデルを用いて解析する。

まず唄口からの入力として周期的パルス入力を仮定して、唄口を含む音響管全体をモデル化して音圧などの伝達特性を解析して、唄口の形状と吹奏感の対応を考察する。

次に唄口を含む管体形状と音質の形成過程を解析して、吹奏感との対応を考察する。

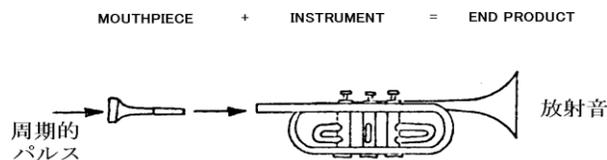


Fig.1-2-2 第2吹奏系モデル

ここで想定するモデルでは唄口端は例えばピストンホーンのような、振動し得る弾性薄板で閉じているとして、開口端の境界条件は無限大バツフル面内のピストン運動に仮定する。実際の吹奏系では入力の倍音成分は一定レベルではなく重み付けされていると考えられるが、ここでは正規化モデルとして一定レベルの入力モデルを仮定する。

ここではマウスピースの形状が楽器全体の音響特性に及ぼす要因を検討するにあたって、まず前記の3種類のマウスピースについて、その音色も含めた吹奏感の定性的な評価を検討した。吹奏感の要因として、音色と音量とレスポンスについて評価した。ここではマウスピースの設計者でもあるプレーヤが、標準値0を中心に±10点で評価して尺度上に示した。これを目安として吹奏感と音響特性との対応を検討する。

マウスピースの特徴を挙げれば、標準的な「3 C」に対して、カップの深い「1 A」は暗く柔らかい音色で、詰まり気味で鳴りにくく、レスポンスも立ち上がりが遅く、切れも悪い。カップの浅い「9 E」は明るく硬い音色で、音量が大きく良く抜ける。レスポンスは立ち上がりが速く、切れも良い。こうした特徴は管体本体によらず、主として唄口の形状に関連があると思われる。奏者は色々あるマウスピースの中から自分の奏法と演奏楽曲に合わせて選んで使っている。

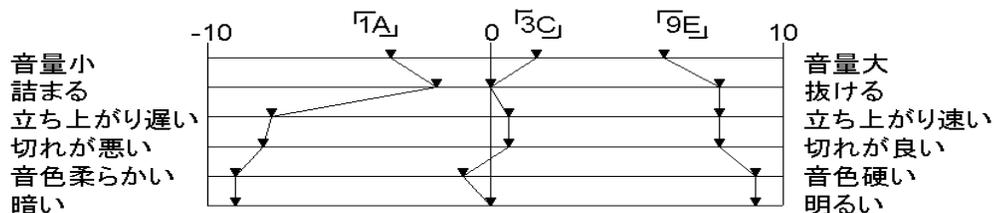


Fig. 4-1 3つのマウスピースの吹奏感評価

## 入力モデル設定と放射音スペクトル推定

唄口端からの入力  $Pin(\omega)$  に対して定在波が立っている状態の伝達特性は、開口端からの放射音レベルを  $P_0(\omega)$  とすると (2.10) 式より

$$G(\omega) = P_0(\omega) / Pin(\omega) \quad (4.1)$$

の関係となる。

周期的パルス入力をデルタ関数により

$$f(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta(t - nT)$$

とすると、フーリエ変換して

$$F(\omega) = \omega_0 \sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta(\omega - n\omega_0)$$

$$\omega_0 = 2\pi/T \quad ; T \text{ は周期的パルスのサンプリング間隔}$$

となる。従って、ここで

$$Pin(\omega) = F(\omega)$$

とすると開口端からの放射出力  $P_0(\omega) = H(\omega)$  として (4.1) 式より

$$H(\omega) = F(\omega) \cdot G(\omega) = \omega_0 \cdot \sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta(\omega - n\omega_0) \cdot G(n\omega_0) \quad (4.2)$$

となる。

### おわりに

楽器の音響管としての特性を解析するために、マウスピースを含む管体全体の伝達特性を算出した。1 番ピストン押さえ (1. 0. 0) の第 2 次モード (ピッチ 241Hz) に対する放射スペクトル  $H(\omega)$  を (4.2) 式により 8kHz まで算出した。

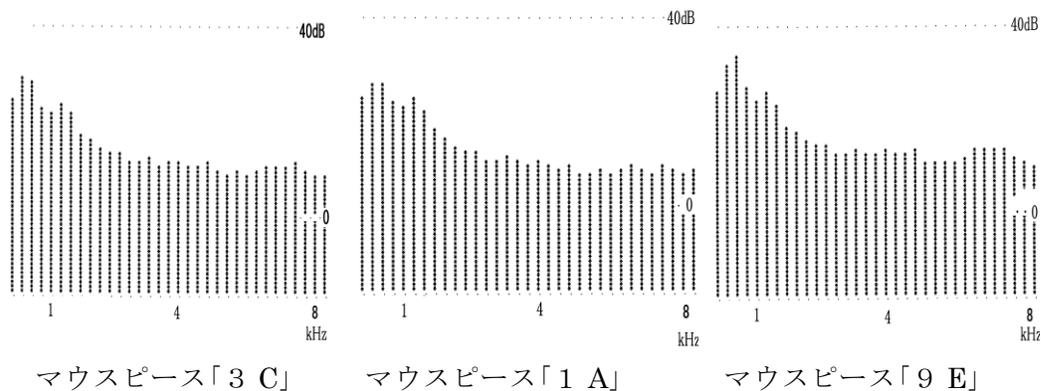


Fig. 4-2 1 番ピストン押さえ時 (1.0.0) の運指の第 2 次 ( $f_2$ ) のモードの開口端からの放射スペクトル

これは唄口端から周波数  $f_2$  の周期的パルスを一一定レベルで入力して、これが管内で減衰して開口端から放射される放射出力スペクトル、すなわち伝達特性を示している。管体本体は同じでもマウスピースを含む管体全体の伝達特性はマウスピースの形状の違いによって異なっている。2 kHz までのレベル(抱絡線)が特徴的である。2 kHz 以上の成分は「1 A」< 「3 C」< 「9 E」の順に高い。その差異は吹奏時の音色や音質の相対的な比較評価のために有効であると推測する。

Table 4-1 ベル開口端の放射スペクトルレベル  
(単位は dB)

マウスピース	「3 C」	「1 A」	「9 E」
成分(Hz)	$H(\omega)$	$H(\omega)$	$H(\omega)$
F1(241)	24.60	23.81	26.03
F2(482)	30.00	26.47	31.65
F3(724)	28.44	26.35	35.55
F4(964)	21.42	21.77	26.70
F5(1205)	20.96	21.62	24.21
F6(1446)	27.91	27.31	30.48
F7(1687)	49.06	40.98	48.64
F8(1928)	20.96	21.92	22.55

そこで  $H(\omega)$  の 1 次から 8 次の成分の音圧レベルを表に示す。第 2 次モードの F1~F8 の成分について示しているが、第 4 次モードは (F2, F4, F8) 成分から、第 8 次モードは (F4, F8) 成分から特徴を読み取ることができる。

吹奏感の要因のうち、音量は中・低域の成分のレベルが影響し、スペクトルの包絡線が音色の違いに影響すると言われる。今、仮に 1 kHz 以下を低域、1~2 kHz を中域、2 kHz 以上を高域とすると、放射出力  $H(\omega)$  は F1~F8 では総じて「9 E」のレベルが高く、音量が大きく良く鳴ることが推測される。また F1~F8 のピークの包絡線が音色の違いを特徴づける一つの要素になっている推測される。

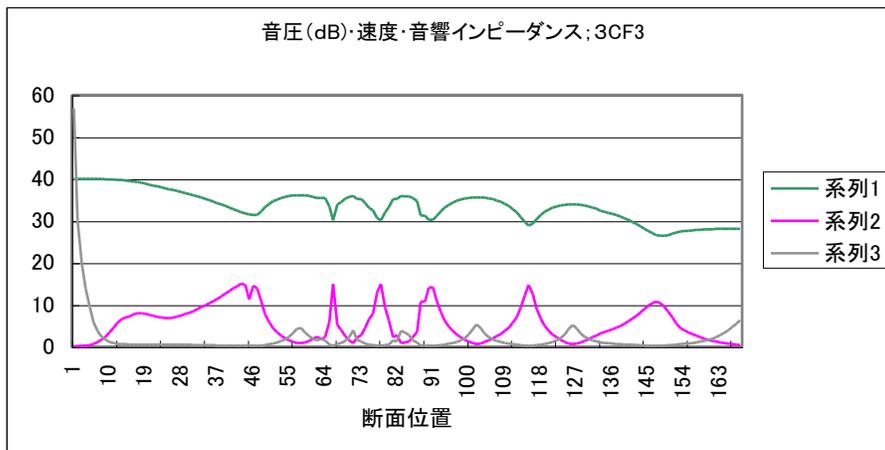


Fig. 4-3 「3 C」の F3 成分の音圧と速度と音響インピーダンスの分布

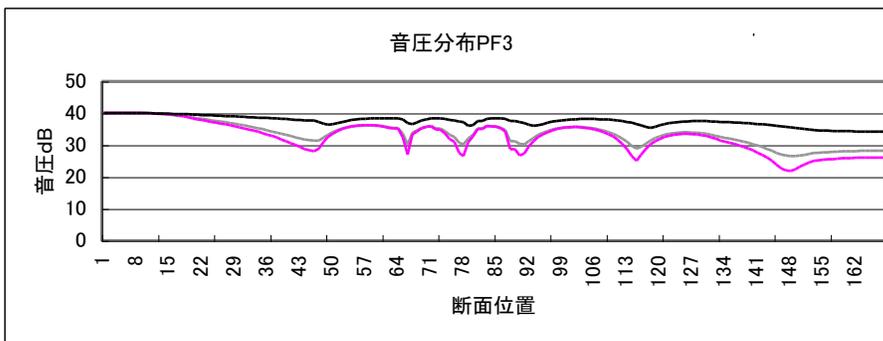
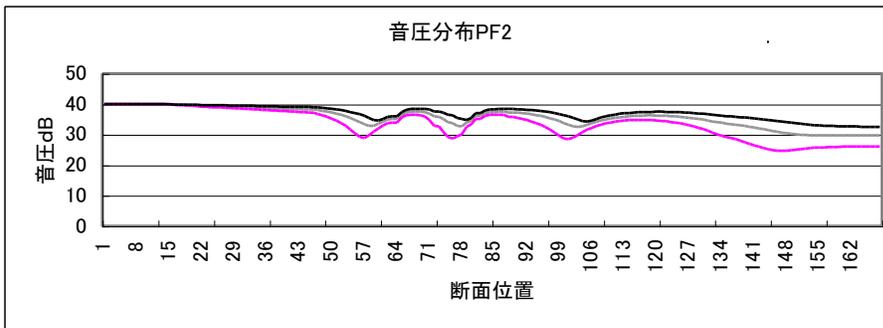
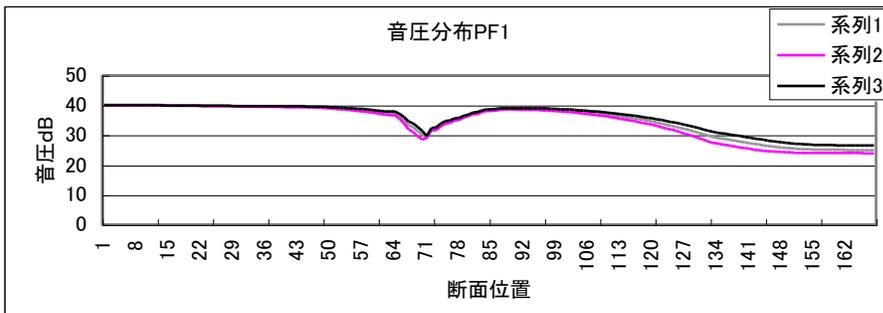
系列 1,2,3 は音圧と速度と音響インピーダンスに対応する。

マウスピースを含む全管長にわたって、各成分に対して各断面の音圧と速度と音響インピーダンスを算出した。図は「3 C」の場合の F3 成分の例を示す。音響インピーダンスは  $Z$  を  $\rho c$  で割った音響インピーダンス比の絶対値である。横軸は断面位置を示す。縦軸の目盛りは共通で、音圧の単位は [dB] である。

各マウスピースの唄口端とスロート入口の音響インピーダンスを表に示す。唄口端の音響インピーダンスは F1~F8 で  $9 E < 3 C < 1 A$  の順に高い。「9 E」の音響インピーダンスが低いということはこの帯域で唄口端部が振動し易いことになる。

音響インピーダンスは唄口カップ端面で最大で、断面積の減少とともに小さくなってスロート部で極小値となる。スロート入口での値は  $1 A < 3 C < 9 E$  の順である。「9 E」はスロート部で速度が小さく、音響インピーダンスが高くて吹奏抵抗が大きいことになる。

唄口端部の音響インピーダンスはカップの深さが浅くなるほど F4 と F2 の音響インピーダンスの比が高くなり音は明るくなる。これは Petiot の文献 (2005) と対応する知見である。



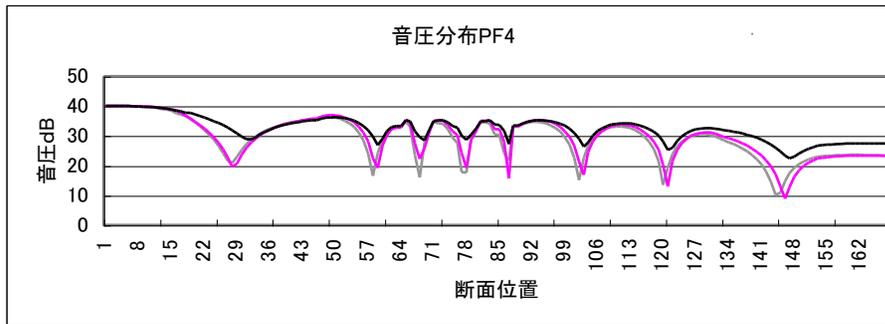


Fig. 4-4 F1, F2, F3, F4 成分の全管長にわたる音圧分布：  
 系列 1, 2, 3 はマウスピース「3C」, 「1A」, 「9E」に対応する

マウスピースによってどのようにして放射音のスペクトルの違いを生むかを見るために、各マウスピースに対してマウスピースを含む全管長にわたる軸方向の音圧分布を算出し音色形成過程の一端を探ることとする。F1, F2, F3, F4 成分の音圧分布を図に示す。マウスピース「9 E」の場合には特徴として、

① 各ピークが開口端側にずれる。

② F1~F4 に共通して開口端の音圧が高く、各山のレベルも高く、谷は浅いこと。

の 2 点が挙げられる。解析の過程は省くが、結論的には、

マウスピースごとのカップのテーパの違いが管内音圧の位相の進みの違いを生み、出口音圧の違いを生む。1 A や 3 C に較べてカップのテーパの急な 9 E で位相の進みが遅れ、音圧ピーク位置が開口端側に移動して出口音圧を上げている。

(パネル 3 8) 以上、マウスピースの形状が音響特性に及ぼす影響の纏めとして、

- ・楽器の音響管としての特性は、マウスピースも含めた管体の音圧に関する伝達関数としてとらえることができる。

- ・マウスピースの伝達特性の特徴はマウスピースによる音色や吹奏感の違いに良く対応する。

- ・マウスピースによる音色形成については、マウスピースごとのテーパの違いが管内音圧の位相の進みの違いを生み、出口音圧の違いを生む。

これらの要因を評価関数として実際の設計に適用していくことで、形状設計と音色も含めた吹奏感とを対応付ける設計理論を確立できるであろう。