

吹奏時に於ける金管楽器の実効入力インピーダンスの導出と音高設計への適用

第二の課題として、第 1 吹奏系モデルとして吹奏時の音高の実測値から唄口端の入力音響インピーダンスを推定する。

まず実際に吹奏する場合を想定して、唄口端の実効入力インピーダンスを算出し、唄口端の相対角の周波数特性に対して、吹奏時の音高に関する奏法の特徴を定量的に検討する。次に金管楽器吹奏系の共鳴周波数に関する線形モデルを示す。さらにこの吹奏法を考慮したトランペットの音高設計システムを構築して実際のトランペットの音高特性設計に適用した例を示し、システムの有効性と吹奏パターン設定の妥当性を検証する。

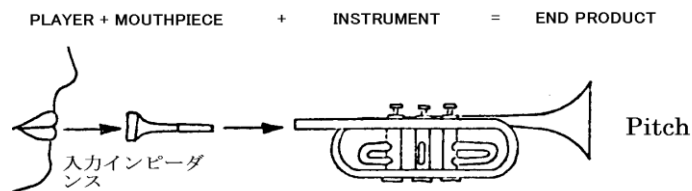


Fig. 1-2-1 第1吹奏系モデル

3. 1 唄口端実効入力インピーダンスと相対角の定義

そこで、まず吹奏時の音高に関する奏法の特徴を定量的に検討する。

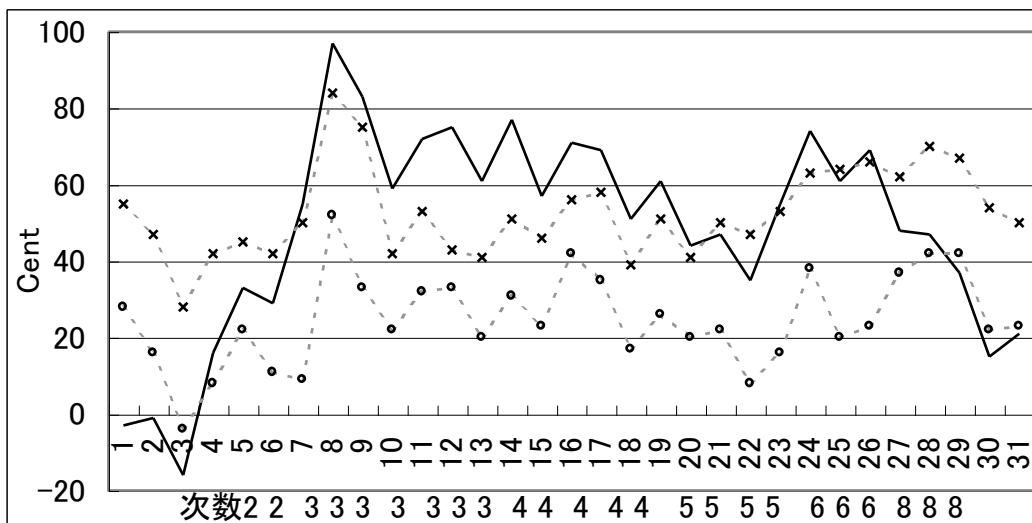


Fig. 3-1 A-Trumpet の場合の管体の共振特性と奏者T (○印) と奏者K (×印) の吹奏実測例

図で、管体の共振周波数の計算値を実線で示す。奏者 T と奏者 K が吹き易いピッチで吹いた場合の吹奏値を○印と×印で示す。横軸は半音階の音名(実音)を示し、1～31 が半音階の音名 E～Bb に対応する。共振モードの次数を併記する。縦軸は標準音高からのずれをセントで示す。半音が 100 セントである。各共振モードに対してある幅の音高で吹奏する

ことは可能であるが、管体の共振特性に逆らわずに、各奏者にとって最も吹き易い音高で、複数の奏者に吹いてもらおうと、図に示したように奏者により、低めの音高をとる場合と高めとなる場合の2つの奏法に分かれる。いずれもキャビティ・レゾナンスの手法により求めた共振周波数の計算値と吹奏値は数十セントずれる。その差は定在波の共振周波数の計算で唄口端の境界条件を閉端とするが、実際に吹奏する場合には完全な閉端ではないためと推測される。

ここで開口端からの放射音の周波数を吹奏値に設定して、開口端に共振条件 $[\theta_{out}=(0, j0)]$ を適用して、開口端から唄口端に向かって要素断面ごとの音響インピーダンスの計算を進めて要素が唄口端に到達したときの値を吹奏時の唄口端実効入力インピーダンス $[Z_{in}(eff.)]$ とする。このときの実効的複素位相を $\theta_{in}(eff.)=\pi\alpha-j\cdot\pi\beta$ とする。

その複素位相の虚数部 $\pi\beta$ を相対角と呼ぶことにする。以降、実効的複素位相は $\pi\beta$ を指すことにする。

この相対角は、ここでは示さないがその周波数特性において、共振点の前後で周波数が増加するに従ってマイナス零側から $-\pi/2$ となり、共振点で $\pi/2$ に反転して次第に零に近づく。すなわち吹奏時の音高では相対角 $\pi\beta$ は閉端条件である $\pm\pi/2$ とは限らずこれに近い値をとることになる。

3. 2 吹奏系の音高に関する線形モデル；吹奏パターンと吹奏推定値

ここでは低めのピッチで吹き、安定して再現性のある奏者Tを基準奏者として、その実測音高値に対する唄口端の相対角の計算値を、全音域に渡って平滑化して、これを吹奏パターン $[\theta_0(\omega)]$ とする。

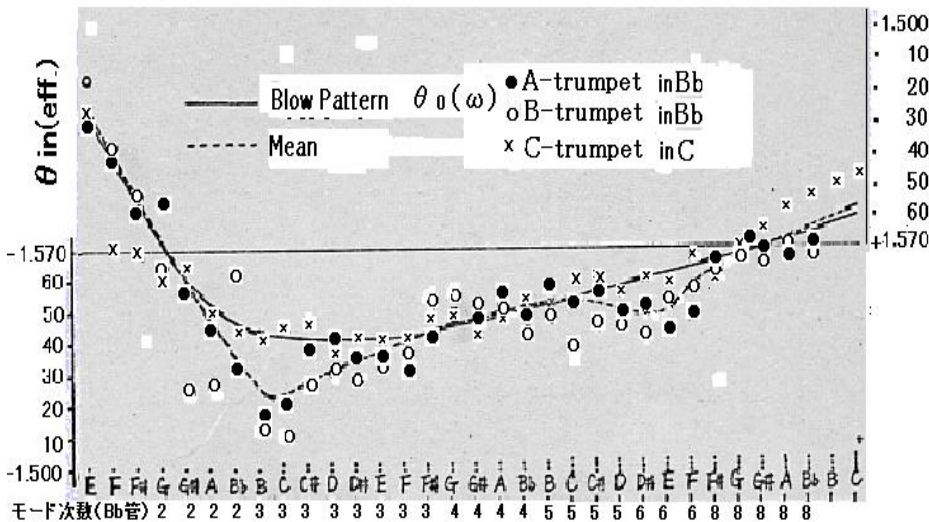


Fig. 3-2 吹奏時の実効入力インピーダンスの相対角 (奏者Tの場合)

縦軸に実効インピーダンスの相対角を $\pm\pi/2$ を中心に、横軸に音名(実音)をとって示す。Bb管2機種を夫々●印、○印で、C管1機種を×印で示す。破線はこれらの平均値を表わす。より連続的な特性のほうが人間にとって、より自然で吹き易いと想定して、連続的な

滑らかな曲線〔実線〕に設定する。

これは音高に関する奏法の特徴を表わしており、この吹奏パターンを唄口端の境界条件として共振周波数を算出すれば、実際の吹奏時に対応する音高特性が求まり、これを吹奏推定値とする。これにより音高設計システム(略)を構築することができる。

3. 3 金管楽器の音高設計への適用

ここでは音高設計の手順は示さないが、音高設計システムを適用して、新規に設計した、Trumpet-B2 の共振周波数特性(実線)と吹奏推定値(破線)を示す。

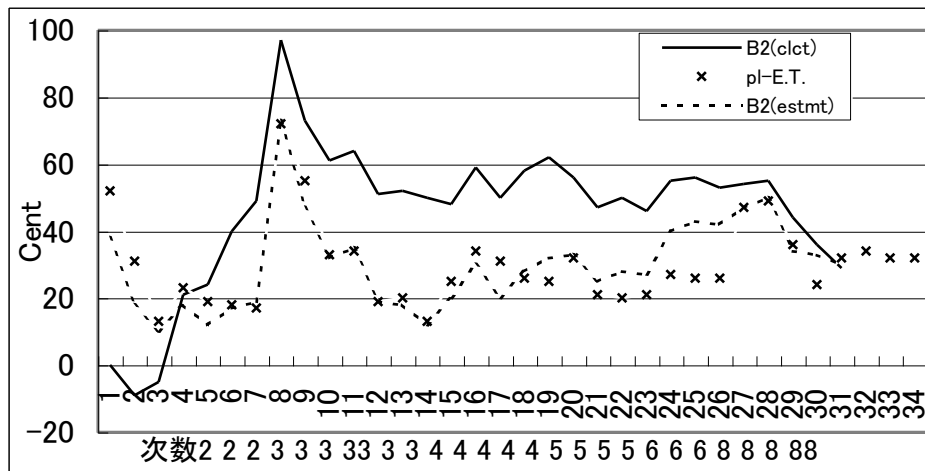


Fig. 3-3 試作モデル (B2) の共振特性と吹奏推定値と吹奏値例

実際に試作したモデル(B2)をバロックトランペットの名手、エドワード・タール氏が吹奏した例を×印で示す。できるだけ管体の共振周波数特性(実線)に逆らわずに、音程感で補正しないで、吹き易い音高で吹いてもらった。しかも音程感で補正されないようにランダムな順番で吹いてもらったものである。一部に多少のずれはあるものの吹奏推定値(破線)と吹奏値(×印)は良くあっていてほぼピッチが(30 中心±10 幅)セントに入っており、原モデルのピッチ(25 中心±20 幅)セントより改善されている。タール氏の奏法は基準奏者に近い奏法であると言える。吹奏パターン $\theta_0(\omega)$ の規定が妥当であると言える。

金管楽器の音高設計への適用の纏めとして、

- ・音高特性は低めのピッチ奏法と高めのピッチ奏法に分かれ、低めの奏法を基準奏法とした。
- ・基準奏者の吹奏パターンを吹奏時の唄口端の境界条件として、トランペットの新規設計に適用して有効性を示した。
- ・吹奏推定値はその管楽器の音高特性を規定するものであり、今まで曖昧であった金管楽器の音高の考え方について、ひとつの基準を与えるものである。
- ・基準奏者とは異なる奏者に対してピッチ設定とチューニングに適用できる。高めのピッチで吹く奏者は拔差管を適宜伸ばしてピッチを調整することになる。
- ・本手法は音高に関する奏法の解析評価にも適用でき、よりよい奏法への指導のために有効であろう。