

# チェロの音質向上のための真鍮製エンドピンストッパー

## Brass endpin-stopper for improving acoustical characteristics of cellos

続 裕樹<sup>\*1</sup> 鮫島 俊哉<sup>\*2</sup> 瀧上 貴之<sup>\*3</sup>  
Yuki TSUZUKI<sup>\*1</sup>, Toshiya SAMEJIMA<sup>\*2</sup> and Takayuki FUCHIGAMI<sup>\*3</sup>

\*1 九州大学大学院芸術工学府 〒815-8540 福岡市南区塩原 4-9-1

\*2 九州大学大学院芸術工学研究院 〒815-8540 福岡市南区塩原 4-9-1

\*3 瀧上溶接 〒839-0809 久留米市東合川 4-9-7

\*1 Graduate School of Design, Kyushu University 4-9-1 Shiobaru, Minami-ku, Fukuoka,  
815-8540 Japan

\*2 Faculty of Design, Kyushu University 4-9-1 Shiobaru, Minami-ku, Fukuoka,  
815-8540 Japan

\*3 Fuchigami Welding 4-9-7 Higashiaikawa, Kurume,  
839-0809 Japan

E-mail: \*1 kikkawa@design.kyushu-u.ac.jp, \*2 samejima@design.kyushu-u.ac.jp,  
\*3 fuchigami-youseu@hyper.ocn.ne.jp

**あらまし** 擦弦楽器の部品として使われるエンドピンストッパーの形態が、チェロのボディの振動特性および放射音に与える物理的影響を明らかにする。通常のプラスチック製のエンドピンストッパーと、瀧上によって提案・試作された真鍮製のエンドピンストッパーについて、その振動特性の測定および有限要素法による数値解析を行う。また、チェロ本体-エンドピン-エンドピンストッパー連成系の振動特性と音響放射特性の測定を行う。

**キーワード** 擦弦楽器, エンドピン, エンドピンストッパー, 有限要素法

### 1. はじめに

エンドピンは、チェロやコントラバスなどの大きな擦弦楽器を固定するために楽器下端に取り付けられる金属製・棒状の部品である。既往の研究では、エンドピンの素材の違いによって、楽器の音色の主観評価が変わることが報告されている[1, 2]。また、エンドピンの素材の違いが、チェロのボディの振動特性および放射音に与える物理的影響を明らかにするために、測定と音響-振動連成数値解析による検討も行われている

[3]。

エンドピンは、その先端を床板に突き刺して固定することが想定されているのだが、それが状況によって実現できない場合には、エンドピンストッパーと呼ばれる部品を床板の上に置き、それにエンドピンを固定して演奏することも多い。現状、このエンドピンストッパーは木製やラバー製、プラスチック製のものしかないが、エンドピンと同様に金属製とすることで、チェロの音質向



Fig. 1 Plastic endpin-stopper(top) and brass endpin-stoppers(bottom).

上が見込めるのではないかと推測し、真鍮製のエンドピンストッパーの試作が測上によって行われている。

本研究では、エンドピンストッパーの形態(形状要因と材質要因の両者を含む)が、チェロのボディの振動特性および放射音に与える物理的影響を明らかにすることを目的とする。そのため、(1)エンドピンストッパー単体の振動特性の測定と、有限要素法(FEM)による振動場数値解析、(2)チェロ本体-エンドピン-エンドピンストッパー連成系の振動特性と音響放射特性の測定、を行ったので、その結果を報告する。

## 2. エンドピンストッパー単体の振動特性の測定

Fig. 1 に、既往のプラスチック製のエンドピンストッパー、および試作した真鍮製のエンドピンストッパーを示す。真鍮製のエンドピンストッパーは、4種類の大きさのものを試作した。小さい順に、S, M, L, LL と呼ぶこととする。M が、既往のプラスチック製のエンドピンストッパーと同サイズのものである。まずは、エンドピンストッパー単体としての振動特性を把握するために、エンドピンを固定する点における、駆動点アクセラランス(加速度/力)を測定した。

### 2.1. 測定条件

Fig. 2 に測定システムを示す。ミニ・シェ

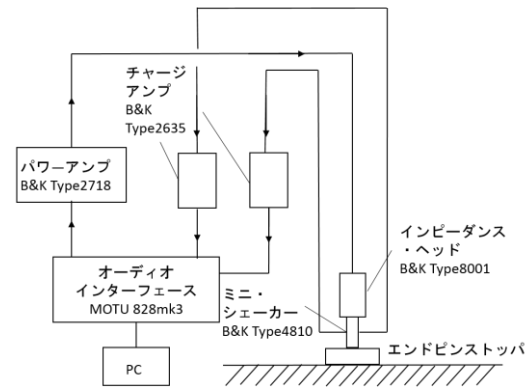


Fig. 2 Configuration of the measurement system for the endpin-stoppers.

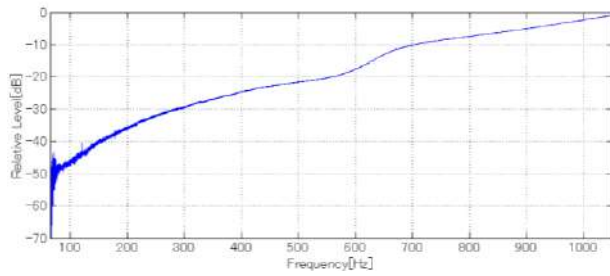
ーカーによって加振圧力を入力し、それに対する加振点における振動加速度のインパルス応答を、インピーダンスヘッドを用いて測定した。

### 2.2. 測定結果と考察

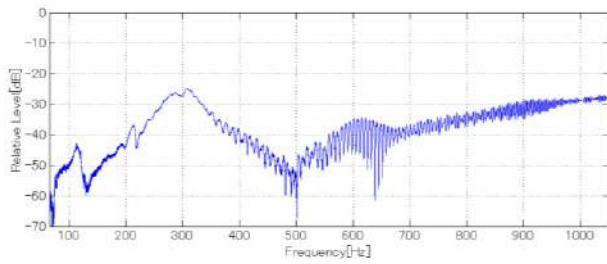
Fig. 3 にプラスチック製のエンドピンストッパーと、真鍮製のエンドピンストッパーのそれぞれについて、駆動点アクセラランスの周波数特性を示す。これらはチェロの演奏音域 C2(65[Hz])から C6(1047[Hz])の範囲における周波数特性である。この範囲において、全体的に真鍮製のエンドピンストッパーの方が、レベルが低くなっている。即ち、真鍮製の方が、振動が少ないことを表している。特に 300[Hz]以降は、それが顕著である。これは、エンドピンが床板に固定された状況に近く、チェロ本体が十分に振動できる状況を作り出していると考えられる。

## 3. エンドピンストッパー単体の FEM による振動場数値解析

エンドピンストッパーを、3次元弾性体振動場として物理モデル化し、3次元弾性体要素を用いた FEM[4, 5]によって、固有モード解析、および振動場の周波数応答関数を計算した。



(a) Plastic endpin-stopper



(b) Brass endpin-stopper

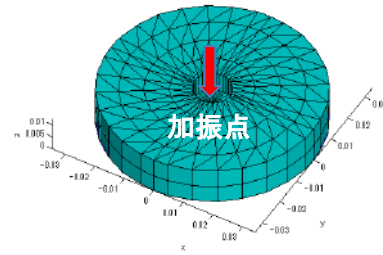
Fig. 3 Measured frequency characteristics of the driving point accelerance.

### 3.1. 計算条件

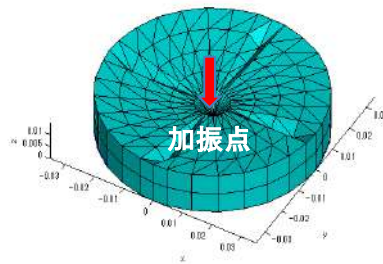
Fig. 4 に、プラスチック製エンドピンストッパーと、真鍮製エンドピンストッパー(L)のそれぞれについて、作成した FEM メッシュを示す。4 面体 2 次要素を使用し、プラスチック製エンドピンストッパーは 2979 節点、1632 要素、真鍮製エンドピンストッパーは 3301 節点、1728 要素で離散化した。Table 1 には、設定した物性値を示す。また、境界条件として、それぞれのエンドピンストッパーの底面を完全固定にしている。加振点は、それぞれのエンドピンストッパーの中心部を上から加振するように設定している。以上の条件で、まず、固有モード解析を行い、そして、Fig. 4 中の矢印で示した受振点(=加振点)における、周波数応答関数を計算した。

### 3.2. 計算結果と考察

Table 2 にプラスチック製のエンドピンストッパーと、真鍮製のエンドピンストッパ



(a) Plastic endpin-stopper



(b) Brass endpin-stopper

Fig. 4 Mesh models used for the FEM calculations.

ーについて、それぞれが持つ固有モードに対応する固有周波数を示す。Table 2 から解るように、計算上では、どちらのエンドピンストッパーにも可聴域に固有周波数が存在していない。このことから、エンドピンストッパーそのものの振動が演奏音に与える影響は少なく、チェロ本体の振動に影響を与えていると考えられる。

## 4. チェロ本体-エンドピン-エンドピンストッパー連成系の振動特性と音響放射特性の測定

### 4.1. 測定条件

Fig. 5 に測定システム、Fig.6 に受振/受音点の配置を示す。無響室内において、板厚 30mm パーティクルボード上にエンドピン

Table 1 Physical parameters for the calculations

Parameters	Values
for plastic endpin-stopper	
Density : $\rho$	1000 kg/m <sup>3</sup>
Young's modulus : $E$	3.0×10 <sup>9</sup> Pa
Poisson's ratio : $\nu$	0.34
for brass endpin-stopper	
Density : $\rho$	8730 kg/m <sup>3</sup>
Young's modulus : $E$	1.0×10 <sup>11</sup> Pa
Poisson's ratio : $\nu$	0.35

Table 2 Natural frequencies [Hz] of the endpin-stoppers

Modal index	plastic endpin-stopper	brass endpin-stopper
mode1	20085	35675
mode2	20085	35675
mode3	21035	35751
mode4	21826	37606
mode5	21835	38331
mode6	24747	41925
mode7	25095	42096
mode8	25095	42096

ストッパーを設置し、それにエンドピンを装着したチェロ(YAMAHA VC7SG)を固定した。チェロは、著者の一人が椅子にすわった状態で演奏時と同様に支えた。ミニ・シェーカー(B&K Type 4810)によって駒を加振し、それに対する加振点における振動加速度、ボディにおける振動加速度、および放射音圧を測定した。このとき、加振する際に使用した信号は2<sup>20</sup>tapのSwept-Sine信号である。Fig. 7には加振条件を示している。

#### 4.2. 測定結果と考察

Fig. 8 に、プラスチック製のエンドピンストッパーと、真鍮製のエンドピンストッパーのそれぞれについて、チェロの駒の部分の駆動点アクセラランスの周波数特性を示

す。Fig. 9 に、チェロのボディの振動加速度の周波数特性を、Fig. 10 に放射音の周波数特性を示す。これらは、チェロの演奏音域 C2(65[Hz])から C6(1047[Hz])までの周波数特性を表している。まず、Fig. 8 に着目すると、プラスチック製のエンドピンストッパーを使用した場合より、真鍮製のエンドピンストッパーを使用した場合の方が670[Hz]周辺で明らかに高いレベルを確認できる。次に Fig. 9 に着目する。Fig. 9 では Fig. 8 と同様に真鍮製エンドピンストッパーの周波数特性において、670[Hz]周辺に明らかに高いレベルが確認されるが、さらに、そこから 800[Hz]手前までの周波数帯域に

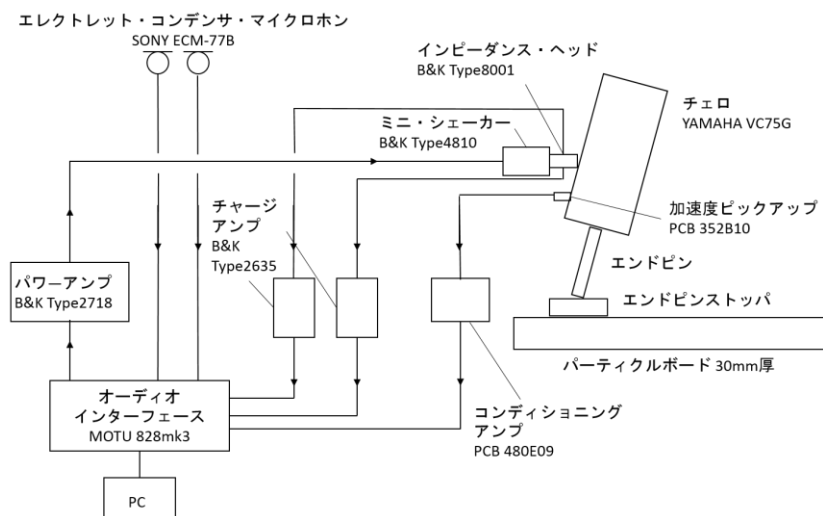


Fig. 5 Configuration of the measurement system for the cello-endpin-stopper.

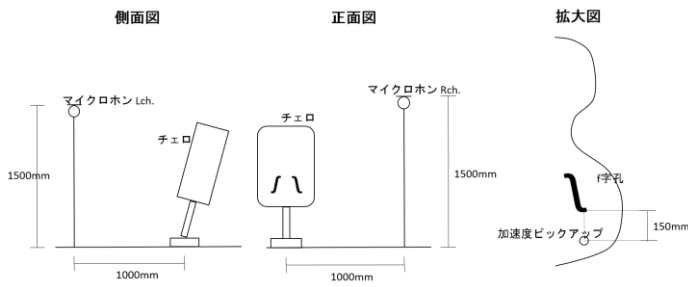


Fig. 6 Position of the receiving point and listening points.

おいても、レベルがやや高くなっている。Fig. 10でも、真鍮製エンドピンストッパーの周波数特性において、670[Hz]周辺に、より高いレベルが確認でき、さらに、700[Hz]手前にもやや高いレベルが確認できる。ここで、文献[6, 7]によれば、チェロにおいては、800[Hz]付近の周波数帯域が独奏音として重要な帯域であるとされている。ゆえに、真鍮製エンドピンストッパーは、この帯域に近い周波数成分を強調する効果を有していることが示唆される。

### 5. むすび

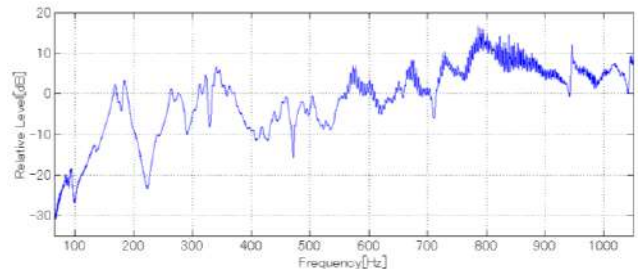
ここまでで、エンドピンストッパー単体の振動特性の測定実験と数値解析を行った。さらに、チェロ本体-エンドピン-エンドピンストッパー連成系の振動特性と音響放射特性の測定実験を行った。その結果、エンドピンストッパー単体では、直接的に演奏音に与える影響は少なく、エンドピンを固定する際の、エンドピンと床の境界条件としてふるまうことが解った。また、真鍮製エンドピンストッパーの優位性として、チェロの独奏音における重要な帯域に近い周波数成分を強調する効果を有していることが示唆される結果となった。



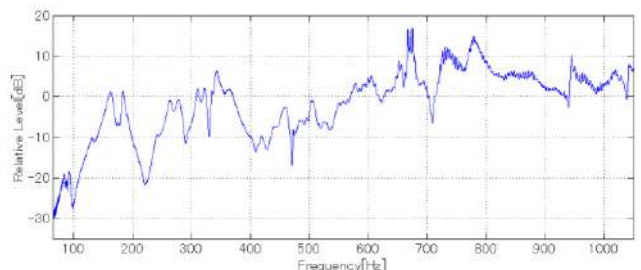
Fig. 7 Configuration of driving the bridge with a mini-shaker.

### 謝辞

本研究は、2019年度久留米市ものづくり支援事業の助成を受けて推進中である。

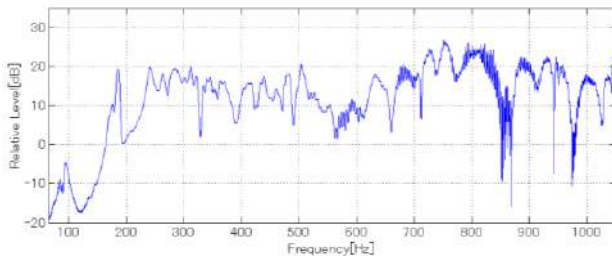


(a) Plastic endpin-stopper

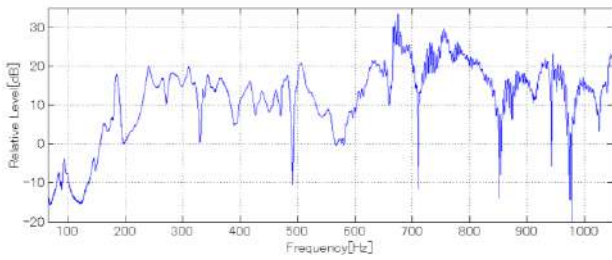


(b) Brass endpin-stopper

Fig. 8 Measured frequency characteristics of the driving point acceleration.

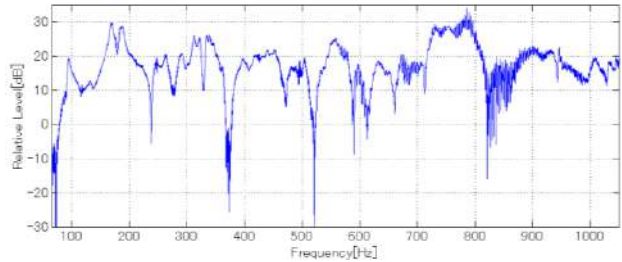


(a) Plastic endpin-stopper

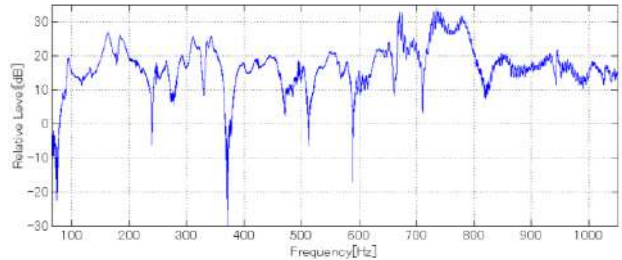


(b) Brass endpin-stopper

Fig. 9 Measured frequency characteristics of the vibrational acceleration at the body.



(a) Plastic endpin-stopper



(b) Brass endpin-stopper

Fig. 10 Measured frequency characteristics of the radiated sound.

## 文献

- [1] 山内勝也, 岩宮眞一郎, 甲斐安直, “フルートのクラウン, チェロのエンドピンの素材が楽器の音色に及ぼす影響,” 音講論集, pp. 579-580 (1999.3).
- [2] 山内勝也, 岩宮眞一郎, 甲斐安直, “チェロのエンドピンの素材が演奏音の音色に及ぼす影響 -弦ごとの検討-,” 音講論集, pp. 587-588 (2000.3).
- [3] 筒井健介, 鮫島俊哉, “チェロのエンドピンがボディの振動特性および放射音に与える影響について,” 音講論集, pp. 733-734 (2017.3).
- [4] 鷺津久一郎, 宮本博, 山田嘉昭, 山本善之, 川井忠彦, 有限要素法ハンドブック I 基礎編 (培風館, 東京, 1981).
- [5] O. C. Zienkiewics, The finite element

method in engineering science (McGraw-Hill, London, 1971).

- [6] 安藤由典, 楽器の音響学 (音楽之友社, 東京, 1996), 12.4 節.
- [7] J. Meyer, “Directivity of the bowed stringed instruments and its effect on orchestral sound in concert halls,” J. Acoust. Soc. Am., 51, 1994-2009 (1972).