

チェロのエンドピンストッパーの形態が 放射音に与える影響の解析

Influence of the form of endpin-stoppers of cellos on radiated sound

続 裕樹^{*1} 鮫島 俊哉^{*2} 淵上 貴之^{*3}

Hiroki TSUZUKI^{*1}, Toshiya SAMEJIMA^{*2} and Takayuki FUCHIGAMI^{*3}

*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 淵上熔接 〒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 cds18tsuzuki@design.kyushu-u.ac.jp, *2 samejima@design.kyushu-u.ac.jp,
*3 fuchigami-yousetu@hyper.ocn.ne.jp

あらまし チェロのエンドピンを固定するエンドピンストッパーは、従来、木材やラバー製のものが多く、ところで、チェロの音質向上を目的として、真鍮製のエンドピンストッパーが、著者の一人によって提案されている。エンドピンストッパーは、このような材質の工夫ばかりではなく、その大きさや形状についても様々なものが提案されている。そこで、エンドピン自体の振動特性の測定と、チェロのボディ-エンドピンストッパー-エンドピンストッパー連成系の振動特性・音響放射特性の測定と数値計算を行うことで、エンドピンストッパーの形態（形状・材質要因を含む）の違いが、チェロの放射音の物理特性に与える影響を明らかにする。

キーワード 擦弦楽器, エンドピン, エンドピンストッパー, 1/3 オクターブバンド分析

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



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

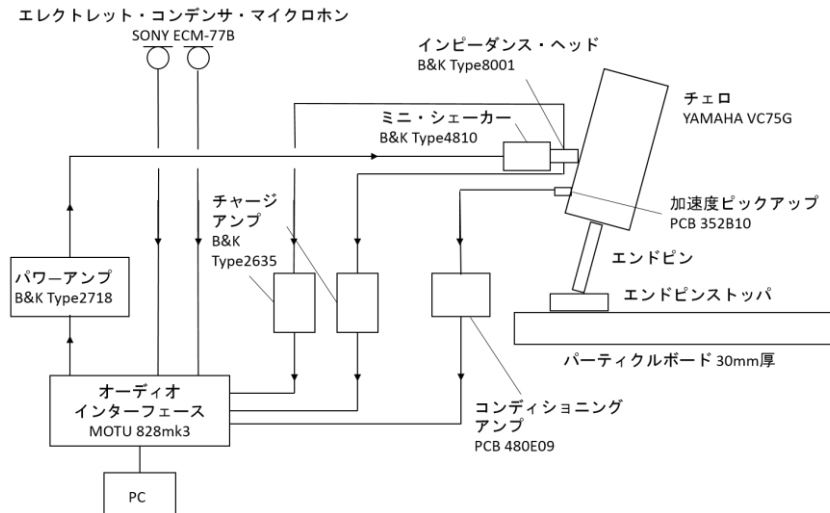


Fig. 2 Configuration of the measurement system for the cello-endpin-stopper.

こ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。文献[4]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べく、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、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。

本研究では、チェロ本体-エンドピン-エンドピンストッパー連成系の測定結果について、1/3 オクターブバンド分析による、周波数特性と立ち上がり時間の計算を行った。それらにより、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影響をさらに詳細に分析する。また、文献[4]では、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での比較を行い、材質の違いという点から考察を行ったが、本研究では、サイズの違う4つの真鍮製エンドピンストッパーを互いに比較し、大きさの違いという点からも考察を行う。

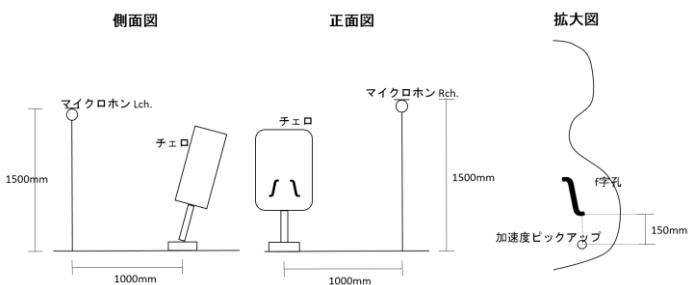


Fig. 3 Position of the receiving point and listening points.

2. チェロ本体-エンドピン-エンドピンス



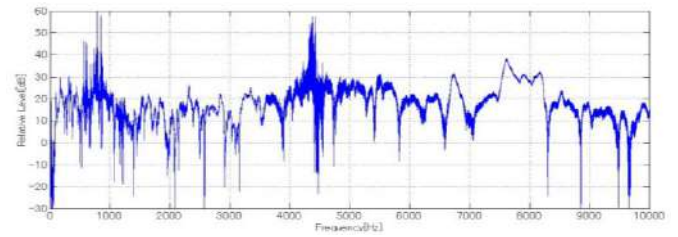
Fig. 4 Configuration of driving the bridge with a mini-shaker.

トッパー連成系の振動特性と音響放射特性の測定

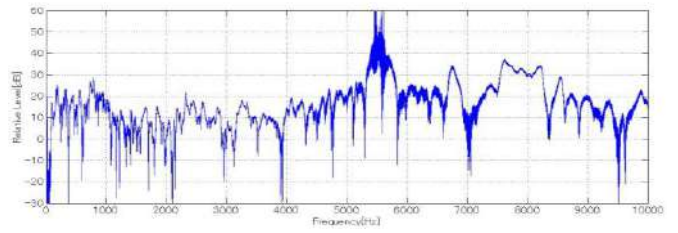
Fig. 1 に、既往のプラスチック製のエンドピンストッパー、および試作した真鍮製のエンドピンストッパーを示す。真鍮製のエンドピンストッパーは、4種類の大さきのものを試作した。文献[4]に従い、小さい順に、S, M, L, LL と呼称する。L が、既往のプラスチック製のエンドピンストッパーと同サイズのものである。

2.1. 測定条件

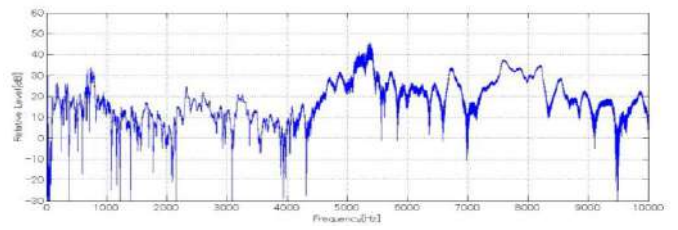
Fig. 2 に測定システム、Fig.3 に受振/受音点の配置を示す。無響室内において、板厚 30mm パーティクルボード上にエンドピンストッパーを設置し、それにエンドピンを装着したチェロ (YAMAHA VC7SG) を固定した。チェロは、著者の一人が椅子にすわった状態で演奏時と同様に支えた。ミニ・シェーカー (B&K Type 4810) によって駒を加振し、それに対する加振点における振動加速度、ボディにおける振動加速度、および放射音圧を測定した。このとき、加振する際に使用した信号は 2^{20} tap の Swept-Sine 信号である。Fig. 4 には加振条件を示している。



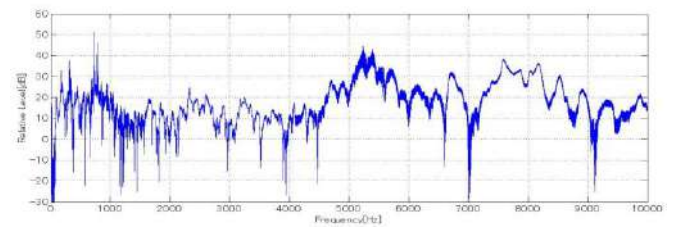
(a) Brass : S



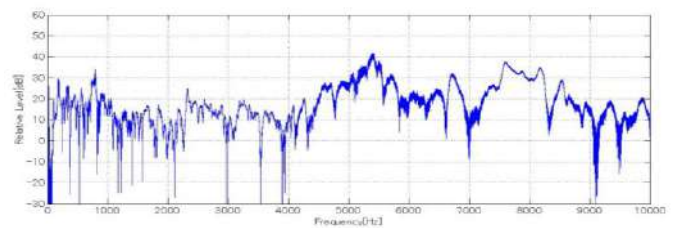
(b) Brass : M



(c) Brass : L



(d) Brass : LL



(e) Plastic

Fig. 5 Measured frequency characteristics of the radiated sound.

2.2. 測定結果と考察

Fig.5 は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、放射音の周波数特

性を示したものである。これらを元に、1/3 オクターブバンド分析を行う。Fig.5 のデータに対して 1/3 オクターブバンド分析を行い、計算した立ち上がり時間を Fig.6 に、周波数特性を Fig.7 に示す。

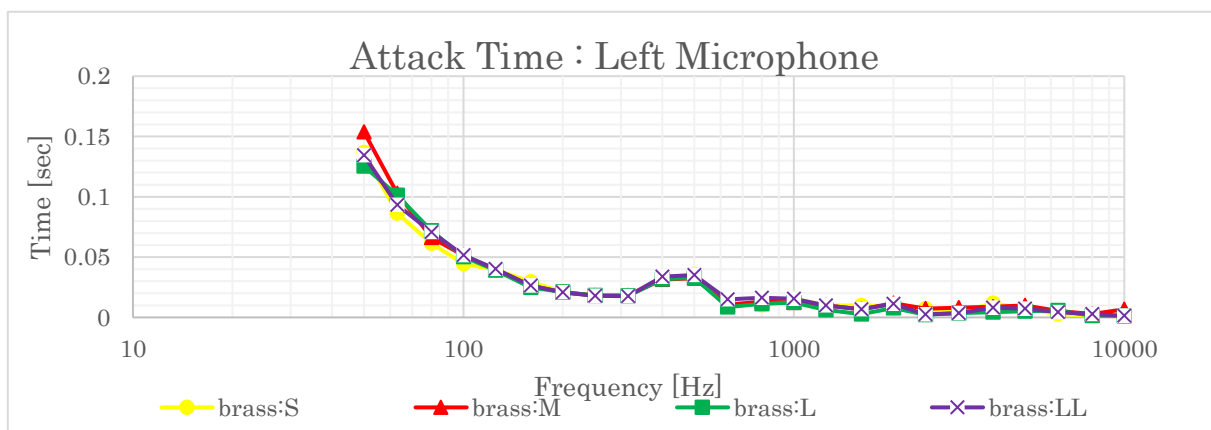
まず、Fig.6 に示す、立ち上がり時間について考察する。(a)の4つの真鍮製エンドピンストッパーを比較したグラフについて、100 ~ 800[Hz]の帯域ではほとんど立ち上がり時間に差がない。しかし、800[Hz]以降の帯域では、2~4[ms]程度の差が生じた。僅かな差ではあるが、数[ms]の差でも音色に影響を与えていると言われている[5]。(b)のプラスチック製エンドピンストッパーと真鍮製エンドピンストッパーの比較では、10[kHz]までの帯域において、ほぼ立ち上がり時間に差がない。以上のことから、立ち上がり時間については、エンドピンストッパーの材質よりも大きさの方が影響を与えることが推測される。

次に、Fig.7 の 1/3 オクターブバンドレベルについて考察する。これも、立ち上がり時間と同様に、サイズの異なる4つのエンドピンストッパーの比較と、真鍮製エンドピンストッパー(L)とプラスチック製エンドピンストッパーの比較を行っている。まず、サイズの異なる4つのエンドピンストッパーについて、全体の特性としては概ね一致した。しかし、1000~4000[Hz]の帯域においては、Sサイズのエンドピンストッパーが高いレベルを持つことが確認される。また、中心周波数5000[Hz]の帯域においては、Sサイズのエンドピンストッパーのレベルは相対的に減少し、L、LLサイズのエンドピンストッパーのレベルは高く、ピークが生じている。これらの結果には、差異はあった

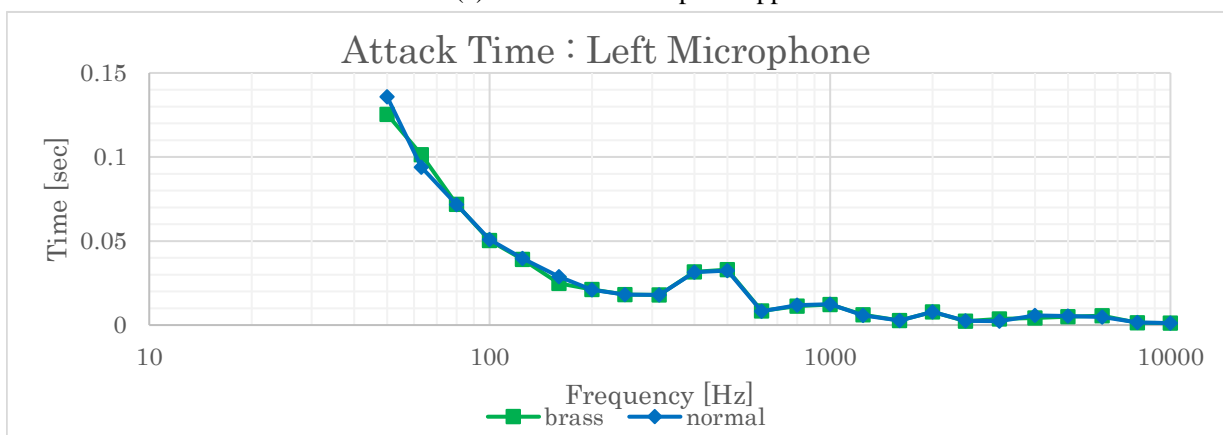
が、大きさの変化によって、周波数特性が単調に変化するわけではないことが解った。次に、真鍮製エンドピンストッパーとプラスチック製のエンドピンストッパーの結果に着目する。この二つのエンドピンストッパーの周波数特性については文献[4]でも比較を行っているが。ここでは、1/3 オクターブバンド分析を用いることで、より広い周波数範囲で考察する。まず、中心周波数630[Hz]の帯域において、真鍮製エンドピンストッパーの方が、約4.7[dB]高いレベルが確認される。文献[4]でも、670[Hz]周辺で同様の結果を得ている。ここで、文献[6, 7]によれば、チェロにおいては、800[Hz]付近の周波数帯域が独奏音として重要な帯域であるとされている。ゆえに、Fig.7 の分析結果からも、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。また、中心周波数4000[Hz]の帯域でも真鍮製とプラスチック製のエンドピンストッパーのレベルに約3.2[dB]差が見られた。これより、周波数特性という観点からは、材質の違いも音色に影響することが示唆される。

3. むすび

ここまでで、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い、その結果について、1/3 オクターブバンド分析を用いた立ち上がり時間と周波数特性について考察を行った。その結果、文献[4]でも述べられているように、真鍮製エンドピンストッパ



(a) 4 size brass endpin-stoppers



(b) Plastic and brass(L) endpin-stoppers

Fig. 6 Attack time of the radiated sound.

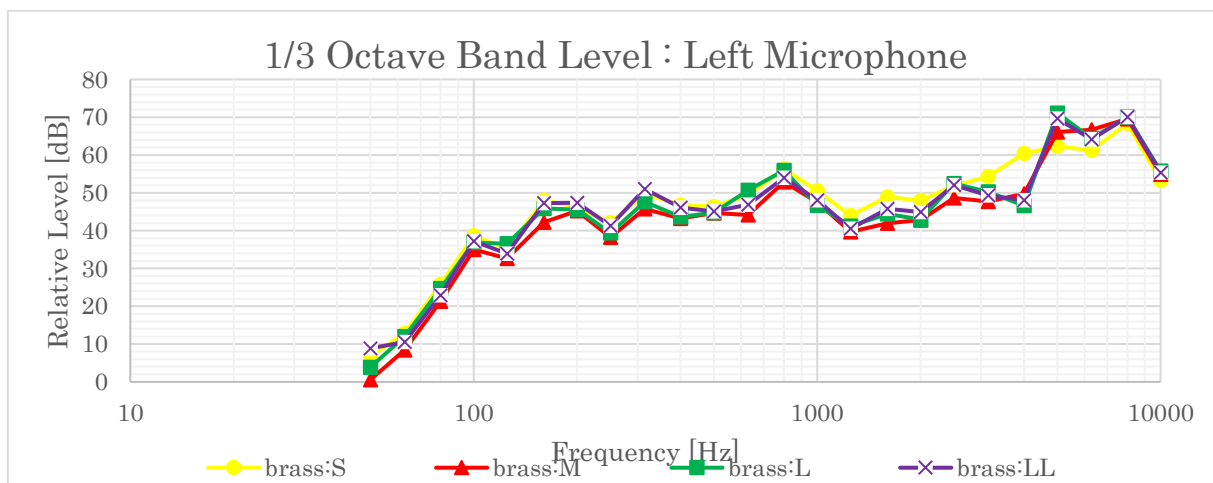
一の優位性として、チェロの独奏音における重要な帯域に近い周波数成分を強調する効果を有していることが示唆される結果となった。それに加え、周波数特性においては、材質の違いが高域の周波数成分にも影響すること、大きさの変化に対して、周波数特性も単調に変化するわけではないことが解った。さらに、立ち上がり時間については、エンドピンストッパーの材質の違いよりも、大きさの方が、より影響を与えることを示唆する結果となった。

謝辞

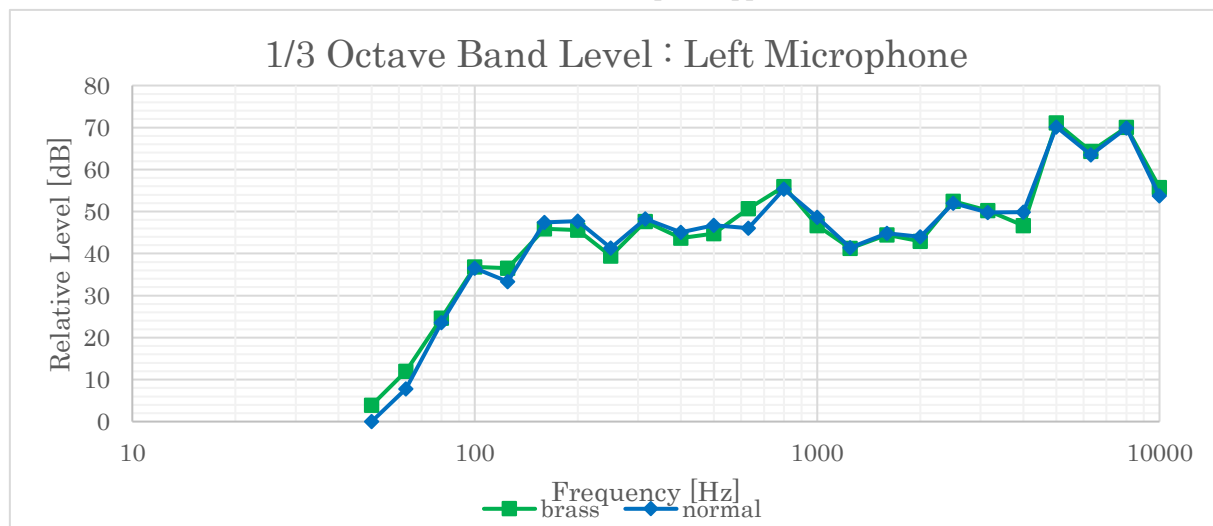
本研究は、2019年度久留米市ものづくり支援事業の助成を受けて推進中である。

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).



(a) 4 size brass endpin-stoppers



(b) Plastic and brass(L) endpin-stoppers

Fig. 7 1/3 Octave Band Level of the radiated sound

[4] 続 裕樹, 鮫島 俊哉, 淵上 貴之, “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”, 音楽音響研究会資料 vol. 38 No. 6, pp. 37-42(2019.10).

[5] 吉川 茂, 鈴木 英男, “音楽と楽器の音響測定”, コロナ社, 2007.

[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).