

# 高取焼を用いた陶器製スピーカーの開発

藤吉 国孝\*1 鬼丸 祐輔\*2 尾本 章\*3

## Development of Original Ceramic Speaker Used by the Technique of Takatori Yaki

Kunitaka Fujiyoshi, Yuusuke Onimarui and Akira Omoto

オーディオの分野では、強いこだわりを持つオーディオマニアと呼ばれる独特の愛好家が存在するが、オーディオマニアからは、一般的なシンプルなお観のスピーカーではなく、芸術性・審美性に優れたお観を有するスピーカーの開発が求められていた。そこで本研究では、オーディオマニアが満足する機能性（高音質）と、芸術性・審美性（高取焼伝統の技を活かした芸術品）を兼ね備えた、陶器製スピーカーを開発した。陶器製のエンクロージャーは焼成時に割れやすかったが、商品に直接火が当たらない構造の対流式薪窯を用いることで、割れの発生率を大幅に低減できた。また、開発した陶器製スピーカーの周波数特性は概ねフラットであり、音質は良好であった。

### 1 はじめに

高取焼は、文禄・慶長の役から帰国した黒田長政が陶工を渡来させ、福岡県直方市鷹取山麓に築窯させたことに始まる。その後、直方市や飯塚市、小石原へと変遷する中で、茶人小堀遠州の指導を得て茶器の製作をはじめ、遠州の美意識である「綺麗さび」による薄作りで優美な高取焼が生まれ、筑前黒田藩の御用窯となった。その後現在に至るまで、高取焼は、広く茶人に愛されている。

高取焼を製作している鬼丸雪山窯元では、代々引き継いだ「ものづくり」の姿勢や技術を基に、茶の湯の道具（茶入や水指、花入等）はもちろん、料亭で使用される和食器、海外のレストランでも使用されている洋食器など幅広いニーズに対応した商品を製作している。人工的なものではない自然の材料（地元小石原の土・釉薬）や製作方法（伝統の技に裏付けされた蹴ろくろによる成形と薪窯による焼成）にこだわって製作した、芸術性・審美性に優れた作品であることが人気が秘密であると言われている。

ところで、国内外の様々なメーカーから、多種多様なオーディオ用のスピーカーが販売されているが、一般的にシンプルなお観であり、エンクロージャー（筐体）は木製であることが多い。また、オーディオの分野では、強いこだわりを持つオーディオマニアと呼ばれる独特の愛好家が存在する。このオーディオマニア

からは、一般的なシンプルなお観のスピーカーではなく、芸術性・審美性に優れたお観を有するスピーカーの開発が求められていた。

そこで本研究では、オーディオマニアが満足する機能性（高音質）と、芸術性・審美性（高取焼伝統の技を活かした芸術品）を兼ね備えた、陶器製スピーカーを開発することを目的とした。

### 2 研究, 実験方法

#### 2-1 高取焼陶器製スピーカーの商品企画

鬼丸雪山窯元にて、オーディオマニアを対象に、スピーカーの音質とお観について調査を行った。その結果、開発する陶器製スピーカーは、図1に示した構造とすることとした。具体的には、オーディオマニアが満足する音質を実現するために、スピーカーユニットとしては、高音質と言われている市販品を購入して用いることにした。また、スピーカーに芸術性・審美性を付与するために、エンクロージャーとしては高取焼の陶器を用い、形状は欧米を中心に人気の高いひょうたん型とした（図2）。なお、陶器製エンクロージャーは焼き上がりの寸法に若干のばらつきがあり、スピーカーユニットへの連結が難しいことから、独自に設計したナラ材のアタッチメントを用い、このナラ材アタッチメントを削って微調整することで、スピーカーユニットと陶器製エンクロージャーを連結することにした。また、陶器製エンクロージャーに穴をあけ（図2）、木製のスタンドとボルトで固定し（図1）、自立性を持たせた。

\*1 化学繊維研究所

\*2 有限会社鬼丸雪山窯元

\*3 九州大学大学院芸術工学研究院

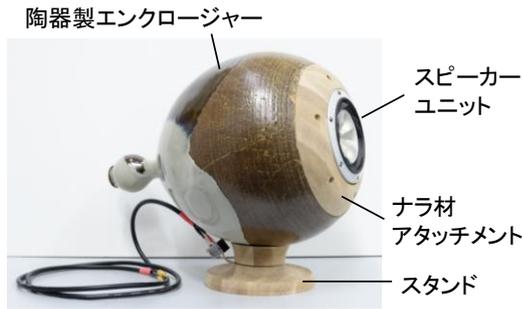


図1 陶器製スピーカーの外観写真



図2 陶器製エンクロージャーの外観写真

ここで、これまで高取焼では、食器、茶器や壺等の作製に関しては実績があるが、スピーカー用の陶器製エンクロージャーを製作したことが無かった。そこで、スピーカー用の陶器製エンクロージャーに適した材料や製作方法について検討することにした。

## 2-2 粘土の分析

本研究で用いた粘土には、一般的に壺用として高取焼で使用する粘土（2016年頃に小石原で採掘された土を、水簾等により粘土として精製したもの）を用いた。また、一般的に信楽焼で使用する粘土も比較のために用いた。

粘土を十分に乾燥させ、銅ターゲット、45 kV、40 mA の条件でX線回折（XRD：パナリティカル製 EMPYREAN）測定を行った。更に、蛍光X線分析装置（XRF：リガク製ZSX PrimusII）を用いて、ファンダメンタル・パラメータ法による半定量分析を行った。更に、粘土は長石（カリ長石（ $K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$ ）、ソーダ長石（ $Na_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$ ）、灰長石（ $CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$ ）、石英（ $SiO_2$ ）、カオリナイト（ $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$ ）から構成されると仮定し、ノルム計算<sup>1)</sup>により、それぞれの含有量を算出した。

## 2-3 エンクロージャーの成形

高取焼用粘土または信楽焼用粘土を用い、鬼丸雪山

窯元にて、蹴ろくろを用いて、ひょうたん型に成形を行った。なお、前面の大きな開口部分（ナラ材アタッチメント及びスピーカーユニットを接続する）と、音響効果を考慮して後方にも小さな開口部を設けた、一種の筒形構造とした（図2）。

## 2-4 エンクロージャーの焼成

成形したエンクロージャーは、日陰で乾燥させた後、高取焼で一般的に使用している釉薬をかけ、鬼丸雪山窯元所有の登り窯（図3(a)）もしくは、対流窯（図3(b)）を用い、最高到達温度約1,300℃で焼成することで、陶器製エンクロージャーを作製した。

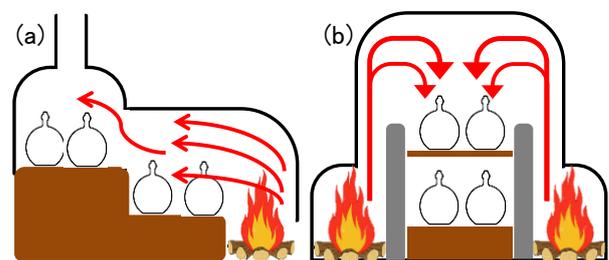


図3 使用した薪窯の概念図（(a)登り窯、(b)対流窯）

## 2-5 陶器製エンクロージャーの評価分析

焼成後の陶器製エンクロージャーについて、ひびや割れが無いかを目視により評価した。

更に、焼成により割れが発生したもの、および、割れのなかったものについて、釉薬を削って除去した後に、粉碎して粉末状にし、X線回折（XRD：パナリティカル製 EMPYREAN）測定を行った。

## 2-6 高取焼陶器製スピーカーの作製

スピーカーユニット（FOSTEX 製 MG130HR）をナラ材アタッチメントに取り付け、陶器製エンクロージャーと連結させた。更に、スタンドをボルトで固定し、高取焼陶器製スピーカーを作製した。

## 2-7 高取焼陶器製スピーカーの音質評価

九州大学の無響室内にて、高さ600mmのスピーカー一台上に、製作した高取焼陶器製スピーカー設置して、音質を評価した。測定のブロックダイアグラムを図4に示すが、マイクロホンはNTI Audio 製 MA220、アンプはAMCRON 製 Studio Reference1、オーディオインターフェースはRME 製 Babyface、インパルス応答測定ソフトにはONFTR 製 IR8を用い、音源としてのスピーカー前面から1m点に設置したマイクロホンまでのインパルス応答を測定し、得られた応答を周波数分析

することで、周波数特性を得た。なお、FFT分析は48,000点で行った。更に、1 kHzの純音を電圧1 Wで入力し、正面から1 m点における音圧レベルを測定することで、能率を得た。

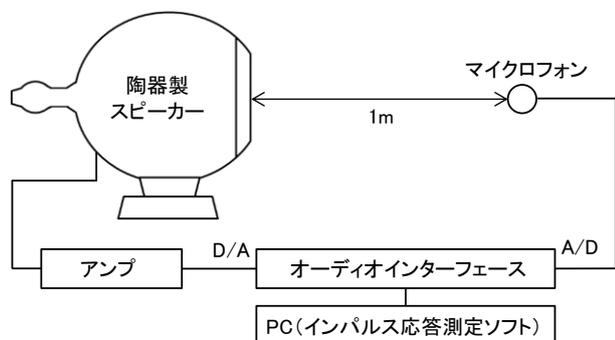


図4 音質評価のブロックダイアグラム

### 3 結果と考察

#### 3-1 粘土材料の検討

高取焼粘土及び信楽焼粘土について、XRDパターンを測定した。その結果(図5)、信楽焼粘土では、長石、カオリン、石英の3種が検出されたが、高取焼粘土では、長石のピークは見られなかった。

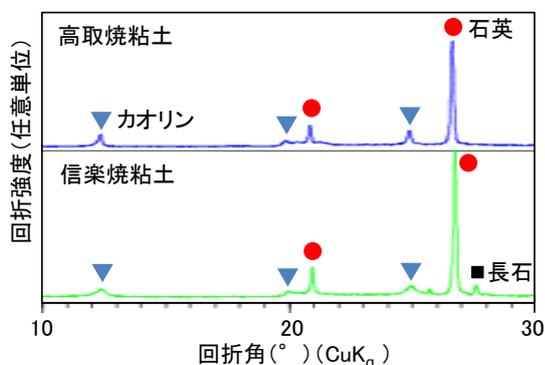


図5 粘土材料のXRDパターン

更に、XRF分析を行ったところ、高取焼粘土には、鉄が多いことが明らかとなった(表1)。ここで、一般的に、粘土の主要成分は長石、カオリン、石英の3種類であるとされている。そこで、表1の結果を用いたノルム計算<sup>1)</sup>により、長石、カオリン、石英の含有量を算出した。その結果(表2)、高取焼粘土には、石英が少なく、カオリンが多いことが明らかとなった。

次に、高取焼粘土を用いて成形後、登り窯で焼成した陶器製エンクロージャー(焼成時に割れたものと、

表1 粘土材料のXRF分析結果(重量%)

	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	CaO	MgO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
高取焼粘土	59	31	1.8	0.16	0.21	0.57	6.0
信楽焼粘土	69	26	1.7	0.22	0.26	0.30	1.2

表2 カオリン、長石、石英含有割合(重量%)

	カオリン	石英	長石
高取焼粘土	70	17	13
信楽焼粘土	55	32	13

割れなかったものの2種)について、XRD測定を行った。

その結果、ムライト、クリストバライトと石英の回折パターンが確認された。ここで、カオリンを約1,000℃以上の高温で熱処理すると、ムライトと二酸化ケイ素が生成することが知られている<sup>2)</sup>。更に、二酸化ケイ素には、クリストバライト、石英やトリジマイト等、種々の結晶系があり、クリストバライトは約200℃で非常に大きな体積変化を起こすことも知られている<sup>3)</sup>。そこで、クリストバライトの量をより正確に算出するため、XRDの標準添加法<sup>4)</sup>を用いて検量線を作成し、定量分析を行った。その結果、割れなしではクリストバライトが18%であるのに対し、割れたものは20%とやや多かった(図6)。ここで、クリストバライト含有量が約17%以上では磁器に割れが発生した例<sup>5,6)</sup>も報告されていることから、高取焼粘土を用いて焼成した陶器は、比較的割れやすい材質であると考えられる。

以上の結果から、陶器製エンクロージャーの焼成時の割れを抑制するには、カオリンの量が少ない粘土を用いるのが良いと考えられた。

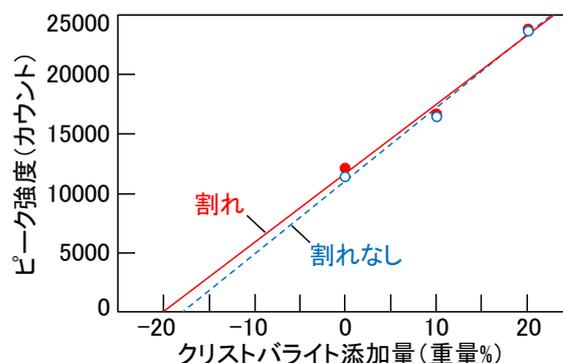


図6 陶器製エンクロージャーへのクリストバライト添加量とクリストバライト由来のピーク強度

### 3-2 焼成方法の検討

一般的な食器用の登り窯は、製品に直接火が当たる窯構造であることから（図3(a)）、焼成後の製品変形が大きく、また、製品割れも多く発生し（10個中6個に割れが発生）、歩留まりが悪かった。そこで、製品に直接火が当たらない構造の対流窯（図3(b)）を製作して焼成したところ、窯内の温度ムラも低減され、製品割れは発生せず（6個中割れ発生なし）、焼成後の変形も低減できた。上述したように、粘土組成を変えることで割れの低減も見込めたが、作風が変わることも懸念されるため、粘土組成は変えずに、対流窯で焼成することとした。

### 3-3 陶器製スピーカーの音質評価

九州大学にて、高取焼粘土から製作したスピーカー及び信楽焼粘土から製作したスピーカーの周波数特性を測定した。その結果（図7）、周波数特性は概ねフラットで良好であり、加えて低域（100～500 Hz）と比べて広域（1,000～4,000 Hz）での出力がやや大きいといった特徴があった。更に、信楽焼粘土の場合より

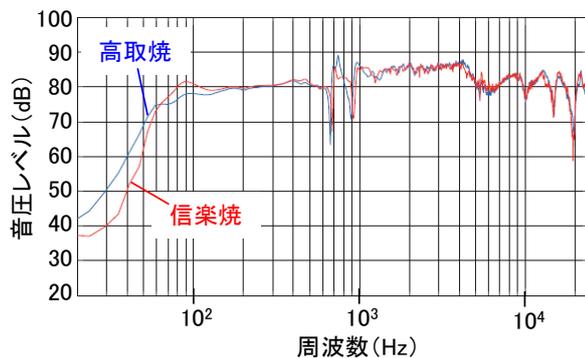


図7 陶器製スピーカーの周波数特性

も高取焼粘土の場合が100 Hz以下の低域での出力が大きく、スピーカー陶器製筐体の材質を変えることで周波数特性が制御できることが明らかとなった。

次に、感度を測定したところ87 dBであった。この値は、スピーカーユニット（FOSTEX製MG130HR）のカタログ値と一致したことから、陶器製エンクロージャーを用いたことによる感度の低減が無いことが明らかとなった。

## 4 まとめ

伝統的な高取焼の技法を用いることで、陶器製エンクロージャーを作製することができた。スピーカーユニットをナラ材アタッチメントに取り付け、陶器製エ

ンクロージャーと連結させ、更にスタンドをボルトで固定し、高取焼陶器製スピーカーを作製した。

本スピーカーの音質について評価したところ、周波数特性は概ねフラットであり、音質は良好であった。

開発したスピーカーは、機能性（高音質）と、芸術性・審美性（高取焼伝統の技を活かした芸術品）を兼ね備えた商品となった。

## 謝辞

本研究の一部は、平成28年度補正革新的ものづくり・商業・サービス開発支援補助金にて実施した。また、本研究の実施に際し、有益なご助言、ご支援を賜りました、長崎県窯業技術センターの関係各位に深く感謝致します。

## 5 参考文献

- 1) 五十嵐俊雄：地質ニュース，1月号，pp. 37-43(1984)
- 2) 高嶋廣夫：実践陶磁器の科学，pp. 39-40，内田老鶴圃(1996)
- 3) 文部科学省：セラミック工業，p. 114，p. 198，実教出版，(2013)
- 4) 加藤誠軌：X線回折分析，pp. 212-213，内田老鶴圃(1990)
- 5) 武内浩一：第54回セラミックス基礎科学討論会講演予稿集，p. 141(2016)
- 6) 日本セラミックス協会：セラミック材料，p. 235，技報堂，(1993)