

# 付加製造バイオリンの設計と製作

## Design and Fabrication of Additive Manufactured Violin

○横山 幸雄（都産技研）<sup>\*1</sup> 紋川 亮（都産技研）<sup>\*2</sup> 木暮 尊志（都産技研）<sup>\*2</sup> 大久保 智（都産技研）<sup>\*2</sup>

<sup>\*1</sup> Yukio Yokoyama, Jonan Branch, Tokyo Metropolitan Industrial Technology Research Institute,  
1-20-20 Minamikamata, Ota, Tokyo 144-0035, yokoyama.yukio@iri-tokyo.jp

<sup>\*2</sup> Headquarters, Tokyo Metropolitan Industrial Technology Research Institute,  
2-4-10 Aomi, Koutou, Tokyo 135-0064

キーワード: 3D プリンター, 弦楽器, リバースエンジニアリング, CAD, CAE

### 1. 緒 言

近年, 3D プリンターの通称とともに一般的な認知度を拡大した付加製造技術(Additive Manufacturing Technology)は, 直接的な製造手段への発展が期待されており, 適用の多様化に関する研究開発が盛んに行われている。この動向の一環として, 付加製造技術を活用した多種多様な楽器の製作が試みられ, 一部では実用化が始まっている。筆者らは, このような現況を鑑みつつ, 付加製造装置を製作手段とするバイオリンの設計に関する研究に取り組んできた<sup>(1)-(3)</sup>。

本報では, 新たな価値創造方法の一例として, 近年著しい発達を遂げた粉末床溶融結合 (Powder Bed Fusion, PBF) 方式の付加製造装置を用いて製作可能な付加製造バイオリンの設計・製作・評価の実施について紹介する。

### 2. 設計目標

付加製造バイオリンは, 主要部分がプラスチック製となるため, 既存の木工製バイオリンと較べて湿度変化による影響が少なく, 素材の均一性が確保されるため, 同一の品物を何度も製作できる, などの優位性を有している。しかしながら, 原材料となるプラスチックと木材とでは, 楽器の素材としての物性に差があるため, 付加製造装置を用いて製作することを前提とし, 様々な性能項目のバランスを考慮した各部の再設計が必要であると考える。そこで本報では, 以下の設計目標を掲げた。

- (i) 必要部品を含む合計質量は, 既存の木工製バイオリンと同等の 500g 以下であること。
- (ii) 既存の木工製バイオリンの外観形状を尊重し, 逸脱しないこと。
- (iii) 弦張力に十分に耐える丈夫さを有すること。
- (iv) 演奏可能であること。

### 3. プロセスの構築

図 1 に付加製造バイオリンの設計・製作・評価プロセスを示す。本報では設計目標(i)~(iv)を達成すべく, 図 1 のプロセスを構築, これを実施した。このプロセスには 3D ス

キャニング, 3D-CAD, CAE, CAT の使用が提案されている。

まず, 図 1 中の(A)では, 3D スキャナとして X 線 CT スキャナと光学式 3D デジタイザとを用いる。これらの装置は, 既存の木工製バイオリンを無理に分解することなく, 設計データの基となる STL データ群を採取可能である。つぎに(B)では, (A)で採取した STL データ群を基に, 各部寸法の設計変更の利便性を考慮したリバースエンジニアリングを実施し, バイオリンの 3D-CAD モデルを作成する。(C)では, CAE による構造解析を用いて付加製造バイオリンの設計最適化を目指す。(D)では, 3 機種の PBF 方式の付加製造装置を使用して楽器の部品群を生成する。生成した部品群には 2 次加工を施し, 楽器の完成に向けて組み立て作業を実施する。最後に(E)では, 製作過程における条件決定のための表面粗さ測定や, 完成品の丈夫さに関わる変形検査などを行う。

表 1 に本報で使用した設備とコンピュータプログラムの一覧を示す。

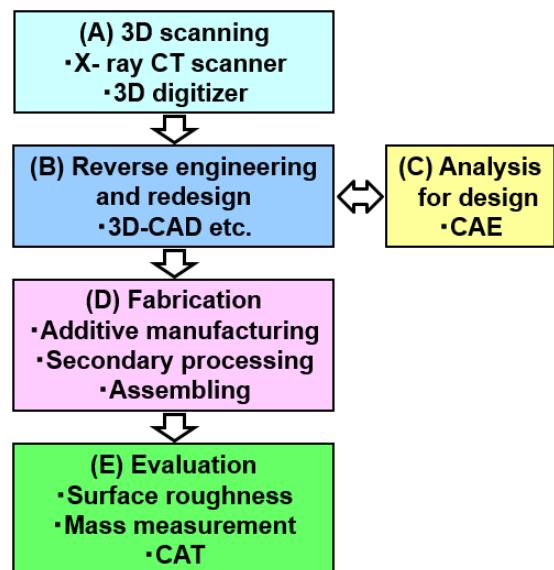


Fig.1 Process for design, fabrication and evaluation of the additive manufactured violins

Table 1 List of equipments and computer programs.

Usage	Classification	Product name (Trademark)	Manufacturer	Remarks
(A)	X-ray CT scanner	TOSCANER-30000μCM	Toshiba IT & Control Systems Corp.	3D scanning
	3D digitizer	COMET 5 11Ma	Carl Zeiss Optotechnik GmbH	3D scanning
(B)	3D-CAD programs	SolidWorks	Dassault Systèmes SolidWorks Corp.	3D design
		spScan	Armonicos Co., Ltd.	Reverse engineering
(C)	CAE programs	ANSYS	ANSYS, Inc.	Structural analysis
		WAON	Cybernet systems Co., Ltd.	Acoustic analysis
		TSV-PRE	TechnoStar Co., Ltd.	Preprocessing
		HiramekiWorks	Quint Corp.	Topology optimization
(D)	Additive Manufacturing systems	RaFaEl 550C	ASPECT Inc.	Material: Nylon 12
		RaFaEl 300F		Material: Nylon 11
		ProX 300	3D Systems Corp.	Material: 17- 4PH
(E)	White interferometer	Nexview	AMETEK, Inc.	Roughness measurement
	Inspection program	spGauge	Armonicos Co., Ltd.	Deformation inspecting

#### 4. プロセスの実施

図2にバイオリンの3D-CADモデルを示す。このモデルは、リバースエンジニアリングを経て、各部の設計寸法を3D-CAD内で変更可能なものとして構築されている。

図3にCAEによる構造解析の例を示す。(a)トポロジー最適化を利用した質量削減、(b)弦張力により楽器各部に発生する応力の分布、などに留意しつつ、設計の最適化を図った。その結果、設計目標を満たす設計形態のひとつを見出し、これに基づいて付加製造バイオリンを製作した。

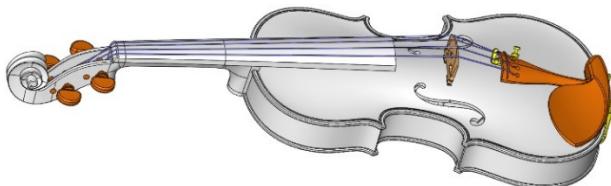
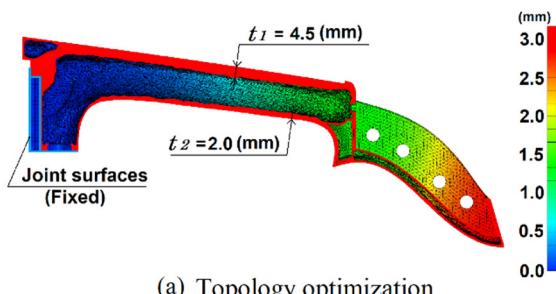
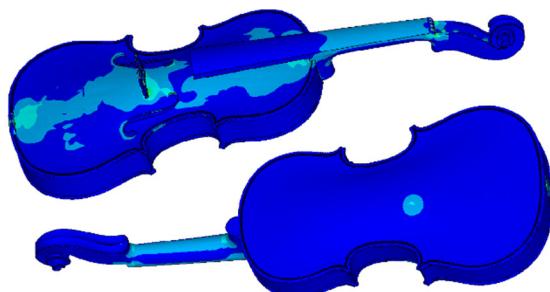


Fig.2 3D-CAD model of the violin



(a) Topology optimization



(b) Stress distribution

Fig.3 Examples of structural analysis with CAE



Fig.4 The additive manufactured violin

#### 5. 結 言

図4に完成した付加製造バイオリンを示す。このバイオリンは質量475g、かつ演奏可能であり、全ての設計目標を達成している。なお、本研究の内容理解の一助となる動画を公開している<sup>(4)</sup>。本報と併せての参照を願う。

#### 文 献

- (1) 横山幸雄、紋川亮、木暮尊志、大久保智：付加製造バイオリンの設計と製作（第1報 プロセスの構築と設計の実施），設計工学，J-STAGE 早期公開版，(2021) <https://doi.org/10.14953/jjsde.2020.2896> (参照日 2021年6月10日)
- (2) 横山幸雄、紋川亮、木暮尊志、大久保智：付加製造バイオリンの設計と製作（第2報 製作と評価の実施），設計工学，J-STAGE 早期公開版，(2021) <https://doi.org/10.14953/jjsde.2020.2897> (参照日 2021年6月10日)
- (3) 東京都立産業技術研究センター：弦楽器、弦楽器の製造方法及び弦楽器製造装置、日本国特許 第5632597号。
- (4) 東京都立産業技術研究センター：都産技研 3Dプリンターでバイオリン、その設計と製作 - Design and fabrication of 3D printed violin - , YouTube 動画, (2018) <https://youtu.be/eOO0zj1Pyxg> (参照日 2021年6月10日)