

PhysitalMeasure: 実採寸データをデジタルデザインに アサインするファブリケーション支援システム

竹腰 美夏^{1,a)} 馬場 哲晃^{1,b)}

概要: 3D プリンタを用いたデジタルファブリケーションは、低コストなオーダーメイド生産の新しいアプローチとして注目を集めている。しかしその活用にはデジタル技術への知識が必須であり、初心者にはやや困難である。本研究は、初心者のユーザへ向けたデジタルデザイン及びファブリケーションを支援するシステム PhysitalMeasure を提案する。本システムは、物体の実採寸データをメジャーインタフェースによってコンピュータへデジタル入力し、リアルタイムで 3D モデルに実寸反映させ、STL ファイルを生成するものである。ファイルを 3D 出力すると採寸物と同サイズのモノの造形が可能である。本稿では、デジタルファブリケーションを支援するためのシステム PhysitalMeasure の概念、プロトタイプシステムの設計及び実装について述べ、さらに今後の開発に向けての課題を考察する。

PhysitalMeasure: Fabrication Support System of Assigning Physically Measured Data to Digital Design

TAKEKOSHI MINATSU^{1,a)} BABA TETSUAKI^{1,b)}

Abstract: Digital fabrication using a 3D printer is attracting attention as a new approach to low-cost custom-made production. However in order to use it is essential to know the digital technology, somewhat laborious for novice. This research proposes PhysitalMeasure, a system to support the digital design and fabrication aimed to novice users. By using the measure interface, we can put a physically measured data to the computer, make actual size of 3D model in real time and then make a STL file for 3D printing. Printing the file, we can get a same size product as measurements. In this paper, we describe the concept of system "PhysitalMeasure" to facilitate digital fabrication, design or implementations of the prototype system, finally consider the development after this.

1. はじめに

デジタルファブリケーションの普及に伴い、個人のもののづくりが加速している。我々はパーソナルコンピュータ上でデータをつくり、デジタル工作機器で出力を行えば、自分の需要に合ったものを自分で簡単に手にいれることが出来る。デザイナーやエンジニア、職人でなくても、誰もがものづくりへ参加できる環境が今実現しつつあるのだ。

これまで、個人の需要に特化したものを生産する手法は、オーダーメイド法がメインであった。しかしオーダーメイド法

は専門メーカーに設計・生産を委託するために、既製品を購入するよりもかなり高額な費用がかかってしまう。それに対しデジタルファブリケーションによるものづくりプロセスは、低コストで個人に特化した生産が行える点でオーダーメイド法に代わる新たなアプローチとなるだろう。

しかしながら、これらデジタルファブリケーションの活用には、グラフィカルユーザインタフェース (GUI) を介したデータ入力、デジタル工作機器でのデータ出力のプロセスを踏むのが一般的であり、初めて利用するユーザにはやや複雑である。3D プリンタを例にあげると、3 次元 CAD ソフトウェアを用いてモデルをデザインし、STL ファイル形式のデータを作成、3D プリンタで出力というプロセスである。3D プリンタの機器自体の操作はあまり複雑では

¹ 首都大学東京大学院 システムデザイン研究科
Graduate School of Tokyo Metropolitan University

a) takekoshi-minatsu@ed.tmu.ac.jp

b) baba@tmu.ac.jp

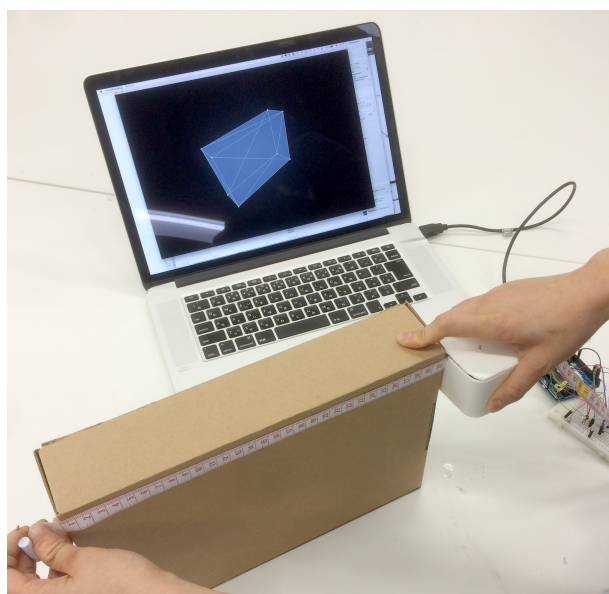


図 1 PhysitalMeasure
Fig. 1 PhysitalMeasure

なく、多くのユーザは一度扱い方を習得すれば家電製品同様に使いこなすことが出来るとされる。一方で、習得に時間を要する作業が、3次元CADなどのデジタルデザインソフトウェアを用いたデータ作成である。ユーザのつくりたい物体の形状・大きさの具体的なイメージがあったとしても、GUI上の3次元空間でイメージ通りの物体をデザインしデータ化することは、初心者にとっては至難の技となる。

これらの背景を考慮し本研究では、オーダーメイド生産で欠かせない、物体を採寸する行為に着目する。この行為と3次元デザイン機能を直接組み合わせれば、ユーザは複雑なGUIを操作することなく簡単に思い通りの物体のデジタルデータ作成が可能になると考える。本研究で提案するのは、実物体の採寸データをリアルタイムで3次元デジタルデータへ割り振ることで、3Dプリンタでのファブリケーションを支援するシステムPhysitalMeasureである(図1)。具体的には、日常生活で物体採寸時に用いる道具、メジャーをインタフェースとして拡張したシステムである。物体の縦、横、奥行きを測ると、メジャーに埋め込まれたセンサから採寸データがコンピュータに入力され、3Dモデルに実寸で反映する。3Dモデルの形状はディスプレイ上でリアルタイムで確認でき、採寸後にSTLファイルを生成する。それを3Dプリンタで出力すると採寸物と同じサイズの物体造形が可能である。

本稿では、デジタルファブリケーションを支援するためのシステムPhysitalMeasureの概念、プロトタイプシステムの設計及び実装について述べ、さらに今後の開発に向けての考察を行う。

2. 関連研究

近年のデジタルファブリケーション技術の発達に伴い、

デジタル環境でのデザインを支援するシステムは続々と提案されている。Project Shapeshifter [1] は、アプリケーション上の3Dジオメトリックモデルの形状やパターンをユーザがカスタマイズするサービスである。GUI上の複数のパラメータを操作することにより、簡単にオリジナル3Dモデルデータの作成が可能である。意匠面でのコンテンツが充実している点で今後参考にすべき要素を含むが、本研究では実世界の物体に基づいてデジタルデザインを行うことで、物体とデータとのサイズ感をマッチさせることにまずは注力する。実世界と3次元デジタルデータとのマッチングと言えば、Tactum [2] がある。肌の上でのジェスチャをインタフェースとして、ユーザの身体の周りに3Dモデルを生成する、ウェアラブルデザインを支援するシステムである。モデルを3Dプリンタで出力すると身体の形状・大きさに最適化したプロダクトの造形が可能である。本研究とはインタフェース構成が全く異なるものの、初心者ユーザへ向けた3Dデザイン支援としてコンセプトに関連が強く、デジタルファブリケーションのオーダーメイドへの活用の先駆となる研究である。

フィジカルな道具をインタフェースへ拡張させデジタルデザインへアサインするという文脈では、デジタルデータに物理的実体を与えることで直感的な認識や操作を可能にするタンジブルユーザインタフェース(TUI) [3] に本システムは関連する。実世界にある日常道具をTUIとしてデジタル技術へ拡張する研究に、dePEND [4] やCOMP*PASS [5] がある。これらは手作業をデジタル技術で制御することによりユーザの創作行為を支援している。AR-Jig [6] は、ヘッドマウントディスプレイ上の3次元デジタルデータをピンアレイを用いて操作する研究である。こちらは日常道具をインタフェースとして用いていないが、デジタルモデリングの初心者でもTUIによって直感的に3Dモデルの輪郭デザインが可能となっている。これらのように本研究ではTUIを用いてユーザの創作行為を支援すると共に、加えてデジタルファブリケーション技術を用いた出力を目標とする。

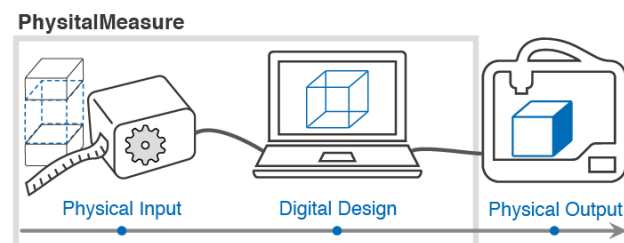


図 2 システム概念
Fig. 2 Concept of The System

3. PhysitalMeasure の提案

3.1 システム概念と概要

本研究では、3D プリントを活用したファブリケーション支援に焦点を絞り、実採寸データをデジタルデザインにアサインするシステム PhysitalMeasure (Physical-Digital Measure) を提案する (図 2)。ものを採寸するという行為は、今も昔も変わらず人々がものづくりをする際にする自然な行為である。そこで本システムは、日常的な採寸道具の 1 つであるメジャーに着目し、採寸データをデジタルへ拡張する為のインタフェースとした。ユーザが一般的なメジャーと同様に物体を採寸すると、メジャーに埋め込まれたセンサによって採寸データがコンピュータに入力され、3D モデルに実寸で反映する。3D モデルの形状はディスプレイ上に 3DCG がリアルタイム表示され、ユーザは目で確認しながら高さ、幅、奥行き、各方向の採寸を行うことが可能である。採寸終了後、デザインした 3D モデルの STL ファイルが生成され、素早く 3D プリント出力用のデータが完成する。それを実際に 3D 出力すると採寸通りの物体が造形される。

本稿で述べるのは、システム PhysitalMeasure の第一プロトタイプ的设计及び実装である。ボックスの寸法をカスタマイズデザインするシンプルなものであるが、このプロトタイプシステムの提案は、個人が自分の需要に合ったものをつくる、オーダーメイドとファブリケーションの融合への可能性を示すために価値あるものとする。

3.2 システム設計

本システムは、図 3 のように採寸距離を認識するためのロータリエンコーダ、採寸方向を識別するための 3 軸加速度センサ、マイコンボードで構成される。マイコンボードには Arduino Uno を使い、入力されたデータを openFrameworks へシリアル通信で送信する。筐体は 3D プリントで造形し、テープは採寸距離の精度調整の目安となるため、既存のメジャーに使われていたテープを本プロトタイプインタフェースでは採用した (図 4)。

プロトタイプインタフェースの構造は図 5 のように設計した。ロータリエンコーダのシャフト部分に歯車 (歯: 24 枚) の付いた円柱 (直径 28mm, 3D プリント出力, 表面素材: 軟質ゴムシート) を取り付け。同素材の円柱もう 1 つ備え付け、その間にテープを通して引くと摩擦で円柱が回転する。これがテープを引くとロータリエンコーダが回る仕組みとなっている。筐体サイドにあるタクトスイッチは、採寸方向の設定のために用いる。

3.3 システム実装

3.3.1 採寸距離の入力と算出

採寸データをマイコンに入力し距離を算出するシステム

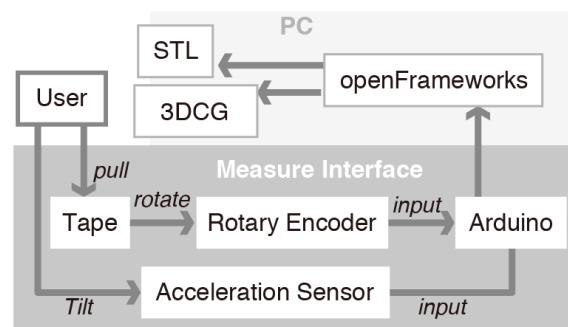


図 3 システム構成

Fig. 3 Configuration of The System

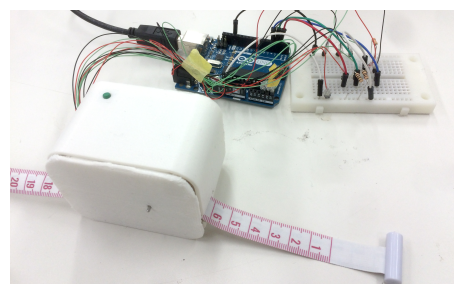


図 4 プロトタイプの外観

Fig. 4 The Appearance of Prototype

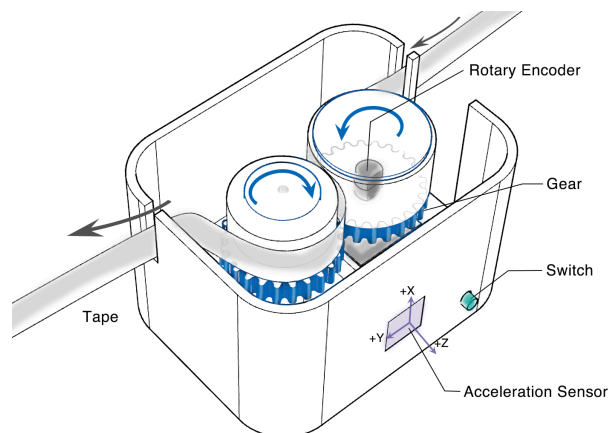


図 5 インタフェース設計

Fig. 5 The Interface Design

について述べる。本研究では、プロトタイプシステムとして 1 センチメートル単位の距離を検出すべく、2 つの手法を検討した。

【手法 1】メジャーテープに縞模様 (5mm 幅白黒線) を印刷し、フォトリフレクタ (TRP-105F, 反射タイプ, 測距範囲: 1 mm-10 mm) を通過した縞の数をカウントして距離を算出する。(図 6)

【手法 2】: ロータリエンコーダ (EC16B, インクリメンタルタイプ, 24 クリック, 24ppr) のシャフト部分に円柱を取り付け、一回転させたときのパルス数と円柱の円周の長さを用いて、テープを 1 センチメートル分引いた時の

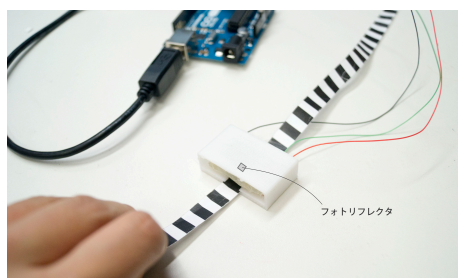


図 6 フォトリフレクタを用いた距離採寸の様子
Fig. 6 Measuring Using a Photo-Reflector

パルス数 P を求める。さらに、Arduino のアナログ入力は 1024 段階で示されることから、0-1023 までのパルス数（クリック数）を求めて値を P で割ると距離の算出が可能である。本システムの場合は、0-1023 間のパルス数は 516pulse であった。

手法 1, 2 は共にマイコンで距離の算出に成功し精度に大差はみられなかったが、本研究では手法 2 をシステム実装に採用した。その理由としては、ロータリエンコーダは消費電力を低く抑えられる点、フォトリフレクタはテープの汚れや劣化により検知結果に影響が出やすい点が挙げられる。

3.3.2 採寸方向の識別とスイッチ機能

本プロトタイプシステムは、直方体 3D モデルの 3 方向のスケールを採寸データによって編集が可能である。チップ型 3 軸加速度センサ（ADXL-335、測定レンジ $\pm 3g$ 、電源 3V 時の感度：300mV/g、0g 出力：1.5V）による採寸時の方向の検出機能と、幅、高さ、奥行き の 3 つの方向モード（Width Mode, Height Mode, Depth Mode）の実装について述べる。本システムは、メジャーインタフェースを持つ向きを図 7 のようにモードごとに変えることで、採寸方向の違いを識別する。尚、筐体への加速度センサの埋め込み方向は図 5 参照である。

まず初めに各モードの加速度センサの検出ベクトル値を調べるべく、水平な台の上でセンサを水平または垂直に固定し、電源 3.3V でそれぞれ測定した。下記にの測定結果を記す。

【Width Mode】: $(x, y, z) = (405, 335, 345)$

【Height Mode】: $(x, y, z) = (335, 266, 345)$

【Depth Mode】: $(x, y, z) = (335, 335, 415)$

これらの値を各モードの基準値とし、それ以外の数値を検出した場合はより近い基準値のモードに判定するプログラムをマイコンに実装した。具体的に述べると、検出値と各モードの基準値との差をそれぞれ算出し、XYZ 軸の合計がもっとも小さいモードに割り振るしくみである。

しかしながら常に方向の判定を行うということは、採寸途中で違うモードに切り替わってしまうリスクもある。そこで本システムにスイッチ機能を追加し、採寸途中は向きの判定を行わないようにした。さらに、モードを変更して

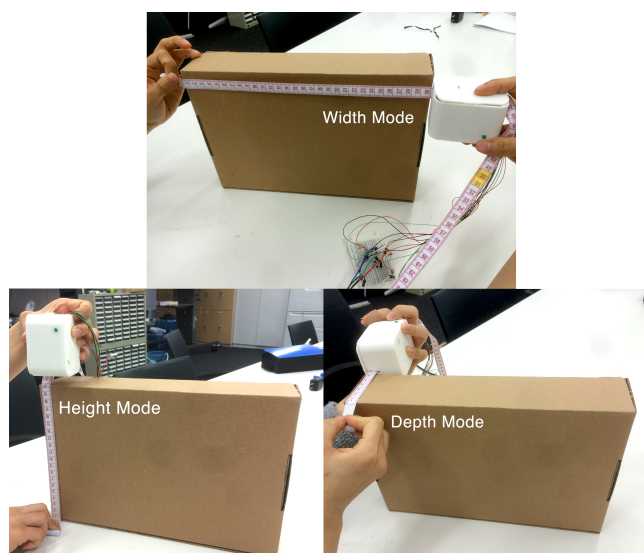


図 7 3 方向からの物体採寸の様子
Fig. 7 Measuring a Object from three directions

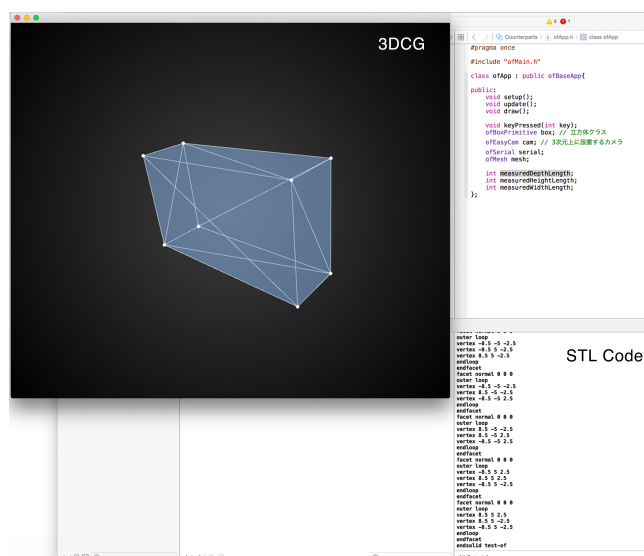


図 8 3DCG と STL ファイルの生成
Fig. 8 Generating of 3DCG and a STL file

も採寸データの保存が可能であるシステムにした。採寸手順は次のようになる。

- (1) スイッチを押し、方向モードを設定する
- (2) 物体を採寸する
- (3) スイッチを押し、方向モードをリセットする

3.3.3 3D モデル CG と STL ファイル生成

採寸データを 3D モデルに反映させ、3DCG としてリアルタイムで表示し、ASCII STL ファイルを生成するプロトタイプシステムについて述べる（図 8）。本研究では、Arduino で算出した採寸データをシリアル通信で openFrameworks に送信する。3 方向分の採寸データを用いると、各データを識別するための目印が必要となるので、ヘッダデータもそれぞれ作成し、採寸データとペアで送信するようにした。そのデータをトライアングルメッシュで生成された直

方体の3辺に実寸で割り振り、モデルの全体像を描写したCGを表示するプログラムを実装した。採寸を開始してから完了後スイッチを押すまで、採寸データは常に受信され続けるので、リアルタイムでモデルの形状を確認しながら採寸作業ができる(図1)。採寸が完了すると、3DモデルのASCII形式のSTLファイルが生成され、3Dプリンタで出力が可能である。

4. まとめと考察

本稿では、3Dプリンタを活用したファブリケーションに着目し、実採寸データをデジタルデザインにアサインするシステムPhysitalMeasureの提案について述べた。

今後の開発に向けてまず取り組むべき課題は、採寸距離の精度の向上である。本研究では24pprのロータリエンコーダを使用してセンチメートル単位の距離算出を行ったが、さらに細かい計測を可能にするべくパルス数の高いロータリエンコーダを検討する。加えて、プロトタイピング用として3Dプリンタで造形した筐体にやや歪みが生じており、それも影響していると考えられる。これからはより慎重な設計をした上で耐久性のある筐体をつくる必要がある。また、本研究ではプロトタイピング効率を優先し、メジャーテープの巻き取り機能を省いた設計のインタフェースを用いた。一般的なメジャーとしての操作性を落とさないうえ、デジタル機能を拡張するインタフェースが理想であり、改善の余地がある。

本システムはデジタルファブリケーション技術に対して初心者であるユーザに向けたものであるが、現段階では基本的な3Dコンテンツ、必要最低限度のインタラクションの設計及び実装のみを行った。今後は開発と並行してユーザに体験してもらう機会を設け、フィードバックを得ながら研究を進めたい。

本システムの提案をきっかけとし、これまでものづくりに参加してこなかった人でも、日常的に自分の需要に合ったもの創ることが出来るような、オーダーメイドとファブリケーションの融合へのアプローチとなることを期待する。

参考文献

- [1] AUTODESK Project Shapeshifter, <http://shapeshifter.io/> (2015年12月現在)
- [2] Gannon, M., Grossman, T., and Fitzmaurice, G.: Tactum: A Skin-Centric Approach to Digital Design and Fabrication, Design and 3D Object Fabrication CHI 2015, Crossings, Seoul, Korea
- [3] Ishi, I., and Ullmer, B.: Tangible Bits: Towards Seamless Interfaces between People, Bits and Atoms; Proc. CHI 1997, pp. 234-241 (1997)
- [4] Yamaoka, J., and Kakehi, Y.: dePENd: A Proposal for Augmented Handwriting System Using the Ferromagnetism of a Ballpoint Pen, IPSJ SIG Technical Report Vol.2013-MUS-98 No.25, Vol.2013-EC-98 No.25
- [5] Nakagaki, K., and Kakehi, Y.: COMP*PASS: Augment-

ing a Compass to Enable Drawing Various Figures and Duplicating Figures on Physical Papers, TVRSJ Vol.19 No.3pp.423 - 432, 2014

- [6] Anabuki, M., and Ishii, H.: AR-Jig: A Handheld Tangible User Interface for Modification of 3D Digital Form via 2D Physical Curve. In Proceedings of the 2007 6th IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality, ISMAR '07, ACM, 1 - 10.