

# 3D プリンターの特性に配慮した汎用ジョイント機構の提案

新山 大翔<sup>1,a)</sup> 沖 真帆<sup>1,b)</sup> 塚田 浩二<sup>1,c)</sup>

**概要:** 従来のジョイントは、金型を用いて工場で作られる高精度なワンオフの接合方法（例: 嵌め合わせ）が市販製品では多く見られる一方、個人レベルでは、接着剤などを用いて、外観や構造を気にせずに「とりあえずくっつけばよい」という刹那的な固定方法が一般的であった。このため、個人の作るプロトタイプと市販製品では、その外観や強度等に大きな差が出ていた。一方、近年の低価格な 3D プリンターの普及に伴い、個人レベルでも 3D モデルを設計／出力してワンオフのジョイントを出力できる環境が整いつつある。しかしながら、3D プリンターの特性を考慮しつつ、実用的なジョイントを設計することは一般の利用者には難しい。そこで本研究では、3D プリンターの利用を前提として、様々な部品や日用品同士を固定／調整可能なジョイント機構を設計、及びジョイントの調整が可能なシステムの構築を行い、ファブ時代の構造設計の効率化を目指す。

## Designing novel joints in consideration of characteristics of 3D printers

NIIYAMA HIROTO<sup>1,a)</sup> OKI MAHO<sup>1,b)</sup> TSUKADA KOJI<sup>1,c)</sup>

**Abstract:** Traditionally, there were much difference on appearance and robustness between mass products and personal prototypes. These difference mainly caused by joint techniques; that is, while mass products were made with accurate/original joints, personal prototypes were often made with ad-hoc/bothering joints (e.g., glue gun). Meanwhile, as 3D printers have become cheaper and more popular, common people can come to print original 3D models including joints. However, it is difficult for common people to design practical joints in consideration of characteristics of 3D printers. In this research, we propose versatile joints suited for 3D printers and develop joint prototypes and system to adjust their size and strength. We also perform preliminary evaluation to verify basic performance of the joints and system.

### 1. 背景

一般にモノづくりにおいては、細かい部品同士を接合して完成品を製作することになるため、部品同士をつなぐ「ジョイント」が重要な役割を果たす。市販製品のジョイントは金型を用いて工場で作られる高精度なワンオフの接合方法（例: 嵌め合わせ）が一般的であるが、個人レベルでは、ダクトテープや接着剤などを用いて、外観や構造を気にせずに「とりあえずくっつけばよい」という刹那的な固定方法が一般的であった。このため、個人の作るプロトタイプと市販製品では、その外観や強度等に大きな差が

出てしまっていた。しかし、低価格な 3D プリンターの普及によって、個人レベルでも独自に 3D モデルを設計／出力してワンオフのジョイントを出力できる環境が整いつつある。ただし、こうした 3D プリンターの多くは、樹脂素材を溶解／積層させて造形する方法（熱溶解積層方式）が一般的であり、既存の加工方法／形成方法を想定して設計されたジョイントでは、強度／精度が不十分となってしまう。こうした 3D プリンターの特性を考慮しつつ、実用的なジョイントを設計することは一般の開発者には難しい。本研究では、3D プリンターでの出力に適した新たなジョイント群を設計し、それらを調整可能な仕組みの構築を目指す。具体的には、3D プリンターの特性を整理した上で、既存のジョイント機構を参考に設計／出力する。さらに、これらのジョイントを手軽に調整して出力可能なシステムを構築し、実際に出力したジョイントについてその強度／

<sup>1</sup> 公立はこだて未来大学  
Future University Hakodate

a) p4416002@fun.ac.jp

b) oki@fun.ac.jp

c) tsuka@mobiquitous.com

実用性を検証する為の評価実験を行う。

## 2. 関連研究

本章では本研究に関連する研究事例として、「独自のジョイントを用いたインタラクティブシステム」「3D プリンターによるプロトタイピング支援」「3D プリンターを用いた新しいインタラクション」という領域から紹介する。

### 2.1 独自のジョイントを用いたインタラクティブシステム

3D プリンターを用いて設計と作成がされた研究事例を紹介する。Katsumotoら [2] は、形状と柔軟性が一転する構造体として、ニンジャトラックと名づけられた、3D プリンターで出力した独自のジョイントを縦横に連結し、形状と柔軟性を変化させられる機構を提案している。また、熊谷ら [10] は LEGO ブロックの形状と外観を保ちつつ、内部に電子基板を組み込めるブロックを 3D プリンターで出力し、新しいインタラクティブブロックとして LEGOrics を提案している。

本研究では、既存の規格も参考にしつつ、プロトタイピングに幅広く利用可能なジョイント群を設計し、それらを調整/出力できるシステムを構築する。

### 2.2 3D プリンターによるプロトタイピング支援

3D プリンターによるプロトタイピング支援の研究事例を紹介する。WirePrint[3]では、3D プリンターで出力するモデルをワイヤーフレーム状にして、形状を保ちつつ出力時間を大幅に縮小する手法を提案している。faBrickation[4]では、3D プリンターで出力するモデルの一部を市販の Brick (大型 LEGO) に置き換え、出力時間や素材を節約する手法を提案している。Platener[5]では、3D プリンターで出力するモデルの一部をレーザーカッターにより作成することで、出力時間や素材を節約する手法を提案している。Koyamaら [11] は、固定する物体と、その物体の固定先の 3D モデルを入力することで、それらをつなぐ為のジョイントを生成可能なシステムを提案している。

本研究ではモノづくりに欠かせないジョイントに着目し、3D プリンターでの出力に適したジョイントの設計とその調整システムを通して 3D プリンターによるプロトタイピングの効率化を行う。

### 2.3 3D プリンターを用いた新しいインタラクション

3D プリンターの出力物を用いたインタラクションの研究事例を紹介する。導電性フィラメントを用いて 3D プリンターで出力した物体を静電センサとして活用する研究として、高田ら [7] は、タップと四方向のスイープが認識可能なタッチセンサを提案している。また、吉田ら [8] は、ブロックを上下に積み重ねた個数を検出するシステムを提案している。高橋ら [9] は、3D プリンターでの造形中でも、

その未造形部分に対して編集を加え、リアルタイムに造形を変更可能なシステムを提案している。

本研究では、まずはジョイントを通して物理的な機構設計を支援するが、将来的には導電性フィラメント等を組み合わせた電気設計の支援も視野に入れたい。

## 3. 本研究の提案

本章では、3D プリンターの特性とジョイントの分類をまとめる。

### 3.1 3D プリンターの特性

一般的な熱溶解積層方式の 3D プリンターを用いてジョイントを作成する際に配慮すべき特徴は「1. 出力物の強度」「2. はめ合い公差」「3. サポート材の造形」の三点である。一点目として、出力物は、水平/垂直方向で強度が異なり(異方性)、水平方向の方が強い。そのため、力を受ける部分が平面方向になるよう、設計/出力時の配置に配慮する必要がある [6]。二点目として、機種やデータの形状によって、出力物のサイズが設計データと異なるため、はめ合い部分にはその差を考慮したクリアランス(隙間)を取る必要がある。三点目として、出力物の形状を維持するためにサポート部が造形されるが、データの形状や出力の向きによっては、サポート部が多く造形に時間がかかったり、造形後の除去が難しい場合がある。接合部にサポート材が残ってしまうと、はめ合わせが難しい等の問題が発生する。

### 3.2 ジョイントの分類

ジョイントの主な機能は「接合(固定)」だが、そこに取り付け位置/角度/幅等の「調整」機能を加えることで汎用性を高めることができる。たとえばミスミのアルミフレームシリーズ(図1)では、フレームの溝に専用のナットを通して、小型のボルトで締め込むことでフレーム上の任意の位置に固定できる\*1。そこに、I字/L字等のジョイント金具を介して、別のフレームを固定することで、フレーム同士を柔軟に接続することが出来る。本研究では、こうした既存の機構部品を参考にしつつ、「接合」と「調整」機構を備えた 3D プリンターに適したジョイントを提案する。

## 4. 汎用ジョイントの実装

本章では、実装した汎用ジョイント、および汎用ジョイント調整システムについて述べる。「接合」と「調整」機構を備えた 3D プリンターに適したジョイントとして、今回は「平面上の移動と固定」「角度の調整と固定」「幅の調整と固定」「機能拡張のための固定」の 4 種類を分類し、各ジョ

\*1 <http://jp.misumi-ec.com/vona2/maker/misumi/mech/M1500000000/M1501000000/M1501010000/>

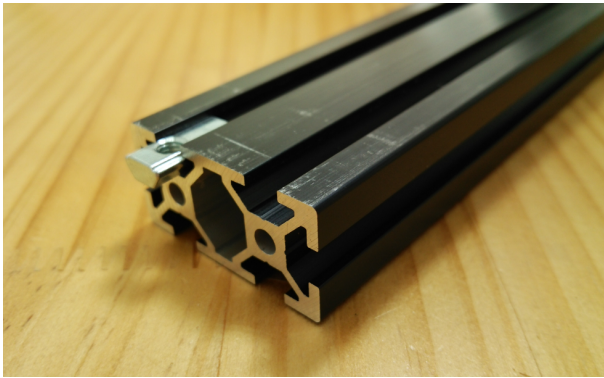


図 1 ミスミのアルミフレームとナットの一例

イントを Autodesk 社の 123D Design<sup>\*2</sup> という 3DCAD ソフトを用いて試作した。

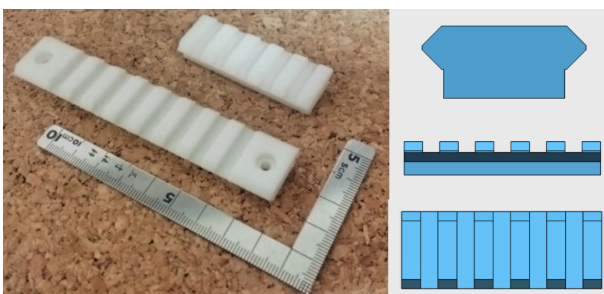


図 2 平面固定用のベースレール

#### 4.1 平面上の移動と固定

平面上の移動と固定の基本的な機構として、一定間隔で溝をつけたベースレールを土台とする(図2)。ベースレールの側面は図2右上のような形状をしている。この側面からジョイントをスライドして位置を調整し、溝を活用して固定することができる。ベースレールの幅は2cm、溝の間隔は0.5cmとして設計した。長さは、レールの用途に合わせて自由に設計することが出来る。本ベースレールはピカティニーレール<sup>\*3</sup>という標準化されたレールを元にモデリングした。ジョイントの固定方法として、今回は「レバー式」「松葉ばね式」「挟み込み式」の3種類を試作した。以下、それぞれについて説明する。

##### 4.1.1 レバー式

レバー式ジョイントは、ベースレール側面の形状に合致する溝が掘られたスライドパーツと、ベースレール上に設けられた溝に噛みこむように歯が設けられたレバーパーツから構成される。2つのパーツはネジによって片端が蝶番のように接続され、接続されていない端は固定用ネジがはめ込められている。ベースレールの端からジョイントを滑り込ませるように差し込み、任意の位置にてレバーパーツを降ろすことによってベースレールに固定する。レバー

<sup>\*2</sup> <http://www.123dapp.com/design>

<sup>\*3</sup> <https://ja.wikipedia.org/wiki/ピカティニー・レール>

パーツの突起部がスライドパーツの隙間に挟まれ、さらに固定用ネジを締めることでスライドパーツとレバーパーツを強固に固定が可能である(図3)。欠点としては、2種類のネジと、ネジ穴を切るためのタップが組み立てに必要な点がある。また、ネジ穴の配置上、ネジの締めすぎによる積層方向への割れが発生する可能性がある。

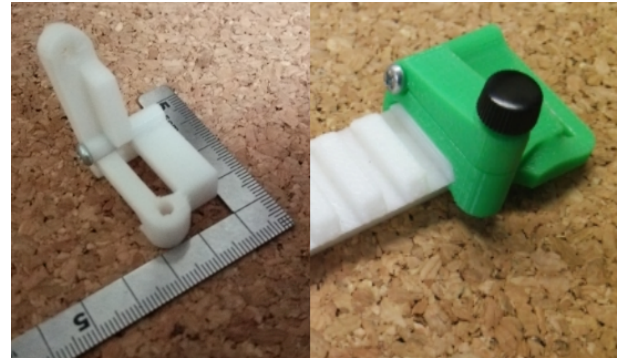


図 3 レバー式ジョイント。取り付け前(左)、後(右)

##### 4.1.2 松葉ばね式

松葉ばね式ジョイントは、松葉に良く似た外見のV字型スプリングとなる松葉ばねパーツと、ベースレール側面の形状に合致する溝が掘られたスライドパーツによって構成される。スライドパーツの中に差し込むようにしてばねパーツを取り付けて組み合わせる(図4左)。ばねパーツを押し上げつつベースレールの端からジョイントを滑り込ませるように差し込み、任意の位置にてばねパーツを放すことによってばねパーツがベースレール上の溝に入り込むことで固定する(図4右)。レバー式と比較して素早い固定が可能であり、かつネジ等外部パーツが不要な点が特徴である。ばねパーツは薄く作られており、負荷がかかる部分に使用されるため、破損しやすいという欠点がある。しかし、破損パーツは容易に交換/修理ができるため、壊れることを勘案したダメージコントロールの概念を導入した設計ともいえる。

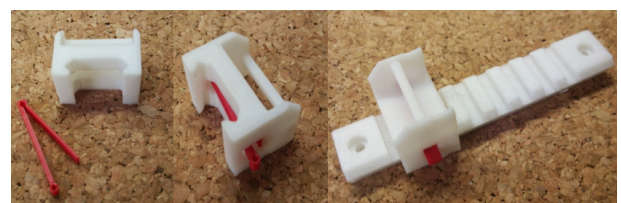


図 4 松葉ばね式ジョイント。取り付け前(左)、レールに取り付け後(右)

##### 4.1.3 挟み込み式

挟み込み式ジョイントは、ベースレール側面に合致する溝と上面に合致する突起を付けた一対の挟み込みパーツと、それらをまとめるバンドパーツで構成される(図5左)。挟み込みパーツには蓮根のように穴の開いた半円状のプレー



トが備えられており、ベースレール上の任意の位置に挟み込みパーツを両側面からはめ込み合わせ、バンドパーツを挟み込みパーツのプレートをもとめるように差込むことで固定する(図5右)。バンドパーツが挟み込みパーツを締めるようにまとめているため、ベースレール上では強固に固定される。一方、バンドパーツは挟み込みパーツの半円プレートを回るように設計されており、任意の角度で固定する為にはプレートに開いた穴にM3ネジを用いて固定する必要がある(図5)。このように、位置調整機構と角度調整機構を備える点が特長である。

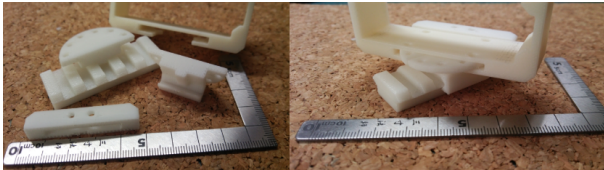


図5 挟み込み式ジョイント. 取り付け前(左), レールに取り付け後(右)

## 4.2 角度の調整と固定

角度の調整に使用できるようなジョイント群について説明する。

### 4.2.1 ダイヤルジョイント

ダイヤルジョイントは、クリック感を持たせた回転角の調整が可能なジョイントである(図6左下)。円柱の側面に一定間隔毎に丸い窪みを持つ溝が設けられたシリンダーパーツと、側面の一箇所にネジ溝付きの穴を備えた円環型のリングパーツ、円盤の中央に穴が開いた形状のプレートパーツを中心に構成されるジョイントである(図6右下)。別パーツとして、ボールベアリング、コイルスプリング、ネジが必要になる。リングパーツにシリンダーパーツを差し入れた後、プレートパーツをシリンダーパーツにボルトで留める。次に、リングパーツにボールベアリング、コイルスプリングの順にネジ穴に入れ、ネジで固定する。ここで、シリンダーパーツを持ちながらリングパーツをまわすと、一定角度毎に溝のくぼみの部分にボールベアリングが入り込み、カチツというクリック音とともに固定される。

クリック音で心地よいフィードバックを返しつつ、一定角度毎の固定が行える点が特長である。

## 4.3 幅の調整と固定

幅を調整することで挟むように固定ができるようなジョイント群について説明する。

### 4.3.1 スライド式ジョイント

スライド式ジョイントは、サイズの異なる物体を挟むように固定できるジョイントである。薄い板状の形をしたベースパーツと、ベースパーツの厚さに合わせた溝と物体を固定する為の爪を備えたキャッチパーツを中心に構成



図6 ダイヤルジョイント

され、さらに、別パーツとして輪ゴムを利用する。ベースパーツの両端からキャッチパーツをそれぞれ差し込んだ後、キャッチパーツを輪ゴムでまとめることで組み立てる(図7)。物体をキャッチパーツの爪にかかるようにはさむと、輪ゴムの伸縮力によって固定される。物体の大きさによっては輪ゴムの伸縮力不足によって十分な固定がなされない場合があるが、キャッチパーツの爪に輪ゴムを巻くことで摩擦力を高めることで改善される。なお、輪ゴムの代わりに引っ張りコイルばねを使用することで、入手性は劣るものの耐久性を高めることができる。

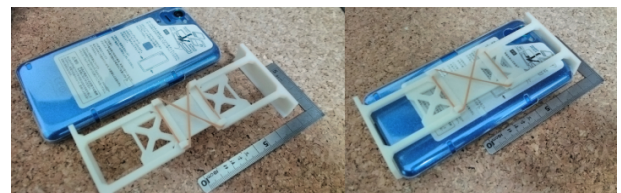


図7 スライド式ジョイントと使用例

## 4.4 機能拡張のための固定

家具や日用品に取り付けることで、その機能を拡張することができるジョイントについて説明する。

### 4.4.1 マルチクリップ

マルチクリップは、棒状/板状等の様々な物体を挟んで固定できる汎用性の高いジョイントである。C型のクリップの先端に内側に折り込むような第2クリップが取り付けられたダブルクリップと、様々な固定パーツを取り付けられるマルチマウントを一体化した設計である。家具や日用品等に対して、クリップ側を押し込むことで、くわえ込む様に固定する。マウント側は異なる固定パーツを取り付けることができる。たとえば、フックをつけて道具をつるしたり、マルチクリップ同士を連結させたりすることができ



る(図8)。既存のクリップは主に先端部の一点により固定するものであったが、本クリップは点ではなく面で固定を行うよう工夫がされている。クリップ内部にくわえ込むように固定することで、既存のクリップのように、先端部の摩擦力不足で弾け飛ぶように外れることが少ない。マルチマウントの仕様と合わせて、日常生活の中で手軽に利用できる点が特長である。

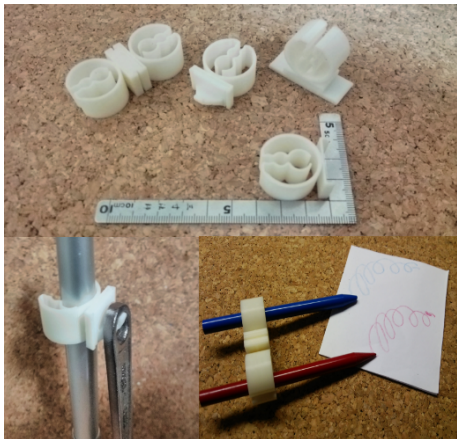


図8 マルチクリップ。フックマウントプレートを装着(左下)、ダブルプレートを装着(右下)

## 5. 汎用ジョイント調整システムの実装

本章では、前章で紹介したジョイントを、利用者が必要に応じて調整可能なシステムの実装について述べる。本システムでは、簡単な操作でジョイントの形状や外観に影響を与えずに強度や大きさを変化させることができる。システムの実装には OpenSCAD[1] を使用した。OpenSCAD は、スクリプト言語を用いて(そのまま 3D プリンターで出力可能な)ソリッドモデルを構築できる開発環境である。また、別の CAD ソフトでモデリングした部品を STL ファイルとして読み込み、部品の大きさ等を数値入力で調整することもできる。本実装では、前章で紹介したジョイントのデータを、強度等に影響する箇所毎に複数のパーツに分割し、STL ファイルとして OpenSCAD にまとめて読み込んだ上で、調整機能を実装した。

ここでは、ジョイント群のうち、「マルチクリップ」「平面ベースレール」「ダイヤルジョイント」の調整システムについて紹介する。

### 5.1 マルチクリップ調整システム

マルチクリップの対応径や強度を調整可能なシステムを実装した。調整可能な箇所を図9左に示す。調整可能な箇所は、(a) X 軸サイズ、(b) Y 軸サイズ、(c) 先端部サイズ、(d) 根元部サイズの四点である。ここで、(a)、(b) はクリップのサイズに影響し、(c) は中央の第2クリップの強度、(d) は周囲の第1クリップの強度に影響する。

各箇所は、オリジナル部品を1とした相対的な比率(スケール)を入力することで調整する。たとえば、(a) 3、(b) 2、(c) 1、(d) 4 のように指定すると、図9右のようなモデルが出力される。なお、調整には mm 単位の指定を使うことも可能だが、OpenSCAD の動作が非常に重くなる問題があったため、現在はスケール指定を利用している。

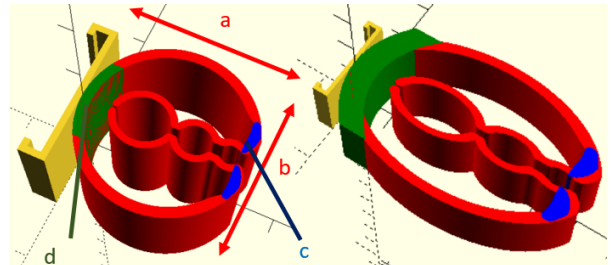


図9 マルチクリップの調整システム。(a) X 軸サイズ、(b) Y 軸サイズ、(c) 先端部サイズ、(d) 根元部サイズ。左: (a) 1、(b) 1、(c) 1、(d) 1、右: (a) 2.5、(b) 1.5、(c) 2.5、(d) 8

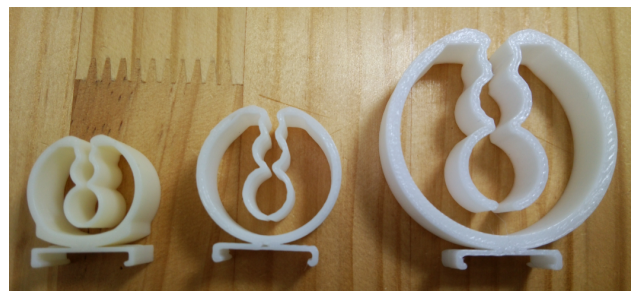


図10 調整システムを使用したマルチクリップの出力例。左: (a) 1、(b) 1、(c) 2.5、(d) 8、中央: (a) 1.25、(b) 1.25、(c) 0.1、(d) 1、右: (a) 2、(b) 2、(c) 1、(d) 1

### 5.2 ベースレール調整システム

ベースレールの長さ等を調整可能なシステムを実装した。一つの突起部と一つの溝を最小単位として、約 10mm 単位で長さを調整できる。また、両端に M3 ネジが留められるように穴を開けることができる。調整可能な箇所を図11左に示す。調整可能な箇所は、(a) X 軸長さ、(b) ボルト穴の有無である。BaseRail(1,true); のように入力し、この場合は数量 1、穴ありとなり、約 15mm 長の M3 ネジ穴ありのベースレールとなる(図11左)。(a) はレールの最小単位を 1 とした繰返し回数を、(b) は true か false で穴の有無を入力することで調整する。たとえば、(a) 5、(b) true のように指定すると、図11右のようなモデルが出力される。今後は、ネジ穴以外の固定オプション(例: ベルトクリップ)等への対応を進める予定である。

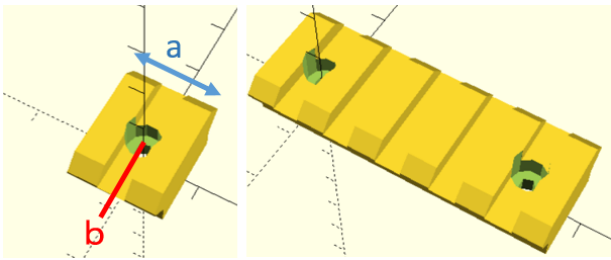


図 11 ベースレール調整システム. (a)X 軸長さ, (b) ボルト穴の有無. 左: (a) 1, (b) true, 右: (a) 5, (b) true

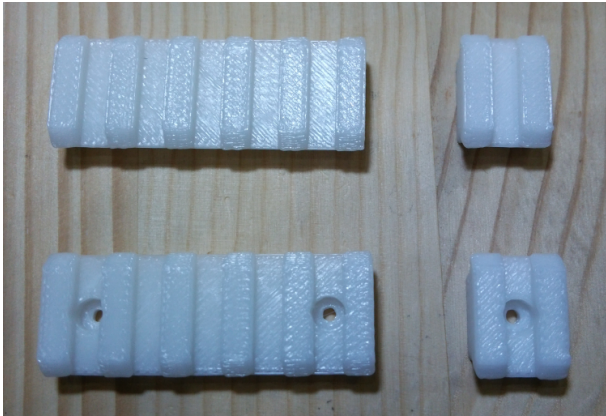


図 12 調整システムを使用したベースレールの出力例. 左上: (a) 5, (b) false, 右上: (a) 1, (b) false, 左下: (a) 5, (b) true, 右下: (a) 1, (b) true

### 5.3 ダイアルジョイント調整システム

ダイアルジョイントの固定角度を調整可能なシステムを実装した. 調整可能な箇所を図 13 左に示す. 調整可能な箇所は (a) 固定穴の数である. 固定穴は 360 度を数で分割して配置されるため, 数が固定角度を一意に決定する. 例えば, (a) 3 と指定することで 120 度毎にクリック感を持って固定されるジョイントを構築できる. 図 13 右は, (a) 12 と指定したダイアルジョイントの例である. 今後は, ダイアルジョイント自体のサイズも調整できるような機能を追加する予定である.

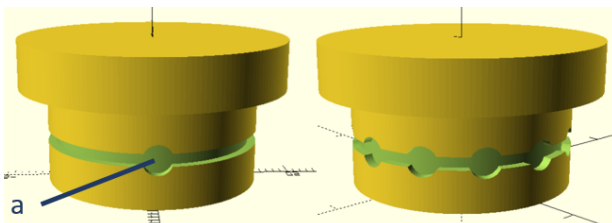


図 13 ダイアルジョイント調整システム. (a) 固定穴の数. 左: (a) 4, 右: (a) 12

## 6. 評価実験

試作した汎用ジョイントとジョイント調整システムに対し, 基礎的な性能評価実験を行った. 本章では, 各実験の

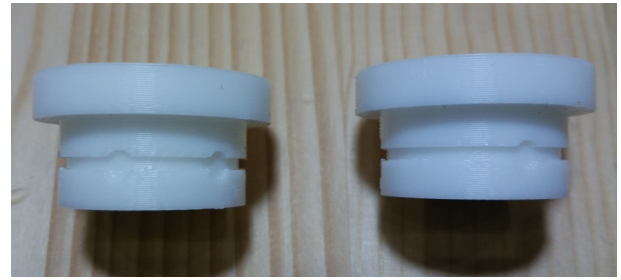


図 14 調整システムを使用して出力したダイアルジョイント. 左: (a) 6, 右: (a) 3

目的/手法を述べた後, 結果を元に考察する.

### 6.1 汎用ジョイントの強度評価実験

作成したジョイントモデルについての強度評価実験を行う. モデル出力に使用する 3D プリンターは UP Plus2 であり, 使用素材は ABS 樹脂である.

#### 6.1.1 手法

##### 平面上の移動と固定

ジョイントをベースレールに固定後, 垂直下向き方向でベースレールを固定する. ジョイントに錘を吊り下げ, ジョイントが破損しベースレールから脱落するまで錘を増加する. 錘は 1kg から最大 10kg まで 1kg 単位で追加し, 各重さでの加重時間は 10 秒とした.

##### 幅の調整と固定

板状の物体をスライド式ジョイントに装着した後, 物体が下向きになるようジョイント上部を固定する. 次に, ジョイントから物体が脱落するまで物体に錘を吊り下げる. 板状の物体は長さ 16cm とし, 輪ゴムの代わりに性能が明確な引っ張りバネ (バネ定数 0.264N/mm, 初張力 0.94N) を利用した. 錘は 0.1kg から最大 2kg まで 1kg 単位で追加し, 各重さでの加重時間は 10 秒とした.

##### 機能拡張のための固定

直径 1cm の円柱にマルチクリップを装着し, 円柱からマルチクリップが脱落するまで錘を吊り下げ, その数を増加させる. 錘は 0.1kg から最大 1kg まで 0.1kg 単位で追加し, 各重さでの加重時間は 10 秒とした.

#### 6.1.2 結果と考察

実験結果を以下の表に示す.

表 1 汎用ジョイントに対する強度評価実験結果

ジョイントの種類	許容荷重 (kg)
レバー式	10
松葉ばね式	10
挟み込み式	5
スライド式	2
マルチクリップ	0.8

挟み込みジョイントとマルチクリップを除く全てのジョイントが実験の荷重上限に達しており, 一般的なプロトタ

イピング用途では、十分な強度を持つことを確認した。挟み込み式ジョイントについては、5kg と一定の強度があるため、角度調整機能を生かした活用可能性がある。マルチクリップについては、0.8kg と強度がやや不十分であるが、5章で述べた調整システムを用いて強度を調整することで、性能を向上できる可能性があるため、今後検証を進めていく。

## 6.2 汎用ジョイント調整システムの評価実験

調整システムによって作成されたジョイントモデルが、3D プリンター（UP Plus2）で適正に出力されたかどうかを検証する基礎的な評価実験を行った。

### 6.2.1 目的・手法

様々な調整を施したジョイントモデルが3D プリンターで適切に出力可能かを検証する。入力数値の上限/下限は事前に予備実験を行い、適切な範囲を設定した。3D プリンターによって出力し、出力物がオリジナルのジョイントと概ね同様の機能を保持しているかを調査する。

### 6.2.2 結果

実験結果を以下の表に示す。

表 2 汎用ジョイント調整システム使用による適正出力評価実験結果

調整システムの種類	入力数値	出力結果
マルチクリップ調整システム	(a) 1, (b) 1, (c) 2.5, (d) 8	成功
マルチクリップ調整システム	(a) 1.25, (b) 1.25, (c) 0.1, (d) 1	成功
マルチクリップ調整システム	(a) 2, (b) 2, (c) 1, (d) 1	成功
ベースレール調整システム	(a) 5, (b) true	成功
ベースレール調整システム	(a) 5, (b) false	成功
ベースレール調整システム	(a) 1, (b) true	成功
ベースレール調整システム	(a) 1, (b) false	成功
ダイヤルジョイント調整システム	(a) 3	成功
ダイヤルジョイント調整システム	(a) 6	成功

調整システムを使用したことによる3Dモデルへの瑕疵は生じず、全てのモデルで問題なく3Dプリンターで出力することができた。今後は、調整システムを用いて出力したジョイントの強度の調査や、調整可能な項目の増加についても合わせて検証していく。

## 7. まとめと今後の課題

本研究では、3Dプリンターを用いたプロトタイピングを支援するために、その特性に配慮した上で、様々なジョイント機構を設計した。さらに、ジョイントの調整が可能なシステムを試作した。また、評価実験を通して、ジョイント群の耐久性や、ジョイント調整システムの基礎的な性能を調査した。

今後はジョイント群と調整システムの拡充を進めるとともに、様々なデバイスのプロトタイピングに活用を進める。さらに、調整システムをWebサービスとして公開し、多様なジョイント群を手軽に検索/調整して出力可能なシステムを構築したい。

## 参考文献

- [1] “OpenSCAD - The Programmers Solid 3D CAD Modeller.”, 入手先 (<http://www.openscad.org/>), [Jan. 29, 2016].
- [2] Katsumoto, Y., Tokuhisa, S., and Inakage, M. Ninja track: design of electronic toy variable in shape and flexibility. In Proceedings of TEI '13, pp.17-24, 2013.
- [3] Mueller, S., Im, S., Gurevich, S., Teibrich, A., Pfisterer, L., Guimbretiere, F., and Baudisch, P. WirePrint: 3D Printed Previews for Fast Prototyping, In Proceedings of ACM UIST 2014, pp.273-280, 2014.
- [4] Mueller, S., Mohr, T., Guenther, K., Frohnhofen, J., Baudisch, P. faBrickation: Fast 3D Printing of Functional Objects by Integrating Construction Kit Building Blocks. In Proceedings of ACM CHI 2014, pp.187-188, 2014.
- [5] Beyer, D., Gurevich, S., Mueller, S., Chen, H.T., and Baudisch, P. Platener: Low-Fidelity Fabrication of 3D Objects by Substituting 3D Print with Laser-Cut Plates. In Proceedings of CHI' 15, pp. 1799-1806 (Full Paper).
- [6] 神山 洋一. モノづくりの現在 -DIY から製造まで- : 2. 研究者のモノづくり -インタラクション研究のための段階別プロトタイピング-, 情報処理, vol.55, No.10, pp.1088-1095, 2014.
- [7] 高田 峻介, 志築 文太郎, 田中 二郎. MonoTouch : 複数ジェスチャ判別が可能な単一電極タッチセンサ, WISS2015 論文集, No.76, pp.91-96, Dec.2, 2015.
- [8] 吉田 有花, 志築 文太郎, 田中 二郎. CapacitiveBlocks: 静電容量に基づくブロックシステム, WISS2015 論文集, No.76, pp.1-6, Dec.2, 2015.
- [9] 高橋 治輝, 宮下 芳明. 3D プリンタの造形中モデリング可能なインタラクティブ・ファブリケーション, WISS 2015 論文集, No.76, pp.159-160, Dec.2, 2015.
- [10] 熊谷 明音, 沖 真帆, 塚田 浩二. LEGOrics: 外観を保ちつつ電氣的に拡張した LEGO ブロックの提案. インタラクション 2015 論文集, pp. 598-601, 2015.
- [11] Koyama, Y., Sueda, S., Emma, S., Igarashi, T., Ariel, S., and Wojciech, M. AutoConnect: Computational Design of 3D-Printable Connectors. ACM Trans.Graph. 34, 6, pp.231:1-231:11. (SIGGRAPH Asia 2015)