

2014 年度 卒業論文

RFID タグを用いたものと情報をつなぐ
パーソナル・ファブリケーション

慶應義塾大学 環境情報学部

田中浩也研究室

藤吉 賢

論文要旨

近年、デジタル・ファブリケーションとともに、デジタル工作機械を用いた、個人による個人のためのものづくり（パーソナル・ファブリケーション）が普及しつつある。パーソナル・ファブリケーションでは、従来の工業製品で重視されてきたような、価格や品質のみならず、その「もの」が持っているストーリーやコンテキストなども価値となる。

また、パーソナル・ファブリケーションの普及と並行し、そういった「もの」が持っている情報の中でも、図面やつくり方などのデータ化できる情報はウェブサービスを通じて誰でも利用な形でオープンに公開する、ものづくりデータのオープン化やシェアという文化も普及しつつある。

このような背景を踏まえ、本研究では、「もの」と「もの」が本来持っている情報とを結びつけるため、3D プリント物に RFID タグを自動的に埋め込むことで、物体と情報を、ひいては物体をインターネットと結びつけ、Internet of Things (IoT) 化する仕組み、Auto-ID プリンティングシステムを提案する。

本稿では、Auto-ID プリンティングシステムの設計と評価、そして未来に RFID タグによってすべての「もの」がその「情報」と結び付けられ、人々とのインタラクションの中でそのデータが利用・編集・改変されるようになったとき、どのようなサービス、プロダクトが考えられ、人々の生活に対して本研究で提案する手法がどのような影響を与えうのかを考察する。

キーワード

デジタル・ファブリケーション、Internet of Things、3D プリンティング、自動認識

目次

1. はじめに.....	1
1.1. 研究背景	
1.2. 関連研究	
1.3. 研究目的	
2. 設計・開発.....	10
2.1. 概要	
2.2. RFID	
2.2.1. RFID タグについて	
2.2.3. データの埋め込みについて	
2.2.2. 読み取り・書き込み用アプリケーションについて	
2.3. エクストルーダ	
2.4. 埋め込み用コマンド生成プログラム	
3. 実験・評価.....	26
3.1. 埋め込み用コマンド生成プログラムの動作評価	
3.1.1. 実験目的	
3.1.2. 手法	
3.1.3. 実験に用いたデータ	
3.1.4. 結果	
3.1.5. 考察	
3.2. RFID タグの読み取り試験	
3.2.1. 実験目的	
3.2.2. 手法	
3.2.3. 結果	
3.2.4. 考察	
4. 結論・展望.....	33
4.1. 総論	
4.2. RFID タグ	
4.3. ハイブリッド・プリンティング	
4.4. Auto-ID プリンティングシステムの未来	

5. 謝辞.....	37
------------	----

6. 参考文献.....	38
--------------	----

付録

付録1：読み取り・書き込み用アプリケーションインストール手順 + 使用方法

付録2：エクストルーダ図面+使用方法

付録3：埋め込み用コマンド生成プログラム使用方法

付録4：RFID タグでつくられたものが社会に普及した際に考えられるシナリオ例

1. はじめに

1.1. 研究背景

工業化に伴い、前近代から近代にかけて、人は大資本を用いた大量生産・大量消費の仕組みや機械をつくってきた。そういった「ものづくり」のための機械、工作機械、は21世紀までは効率化、高性能化のみが行われていたものの、徐々に小型化が行われ、一個人が所持可能なコストやサイズのものも登場してきた。その中でも、3Dプリンタに代表されるデジタル・ファブリケーション機材は同時期に普及したパーソナル・コンピュータを用いて制御を行うことで、より高い自由度と低価格を可能にしてきた。今後、より技術が集約されることで、家庭向けのデジタル・ファブリケーション機材のさらなる低価格化、高性能化が行われることは間違いないと考えられる。

そのような状況を踏まえ、デジタル・ファブリケーション機材が一般家庭に広がった際に、人々がどのようにものづくりを行っていくか、ということが重要なトピックとなりつつある。Neil Gershenfeld はデジタル・ファブリケーションがより身近になり、今までは個人では難しかったようなものづくりを行うことが可能になったとき、人々はより個人的な（パーソナルな）ものづくり、パーソナル・ファブリケーションを行う、と論じている[1]。Gershenfeld は自身の大学の講義内でさまざまなデジタル・ファブリケーション機材の使い方を教えたのちに、受講者がそれらの機材を創造的に用いてもものづくりを行う姿を著書内で描いているが、その姿は実に多様である。現在、氏はそういった「個別具体的な状況・問題を解決するようなものづくり」を実践できる場として FabLab と呼ばれるデジタル・ファブリケーションの機材を集めた市民工房を世界中で立ち上げるということを実践している。日本も例外ではなく、田中浩也氏が2011年に日本で最初の FabLab を立ち上げており、2015年1月現在で国内12箇所に FabLab が存在する¹。

FabLab の登場はデジタル・ファブリケーション機材の普及に貢献する一方で、デジタル・ファブリケーション環境のモデル形成も促進してきたと言える。Gershenfeld は Fab Inventory² と呼ばれる、FabLab で必要とされる機材、道具や材料などの一覧を作成し、各ラボでそれらのものを一式揃えることを推奨している³。すなわち、FabLab が新しくできる、

¹ <http://fablabjapan.org/>

² <http://fab.cba.mit.edu/about/fab/inv.html>

³ 義務ではないため、ラボによっては一部揃っていない物品がある場合もある

というのは世界の他多数の場所と同じ環境が新しくどこかの場所に増える、ということの意味しており、ある FabLab でつくられたものは他でも製作可能であるということの意味している。

デジタル・ファブリケーションを行うための環境が整備されつつある一方、デジタル・ファブリケーションで必要とされる、データを作成するためのツールもより使いやすく、よりすべての人が使えるように進化しつつある。デジタル・ファブリケーションではものデータが必ず必要とされるため、データをつくるのが最初の障壁となる場合が多いが、TINKERCAD⁴や Fusion 360⁵のような細かい寸法に従ったデータではなく、大体の寸法をもとに、簡単な手順で意図した形状を作り出すことのできる三次元 CAD ソフトウェアが増えている。また、世の中に今まで全くなかったものではなく、何かベースとなるようなものをつくる場合は、123D Catch⁶のように、写真から 3D データを作成できるようなアプリケーションを用いて 3D スキャンしたり、Thingiverse⁷や GrabCAD⁸のようなオンラインでものづくりのためのデータを共有するサービスを用いて、他の人がつくったデータをダウンロードしたり、必要であればさらにそこにアレンジを加えることもできる。

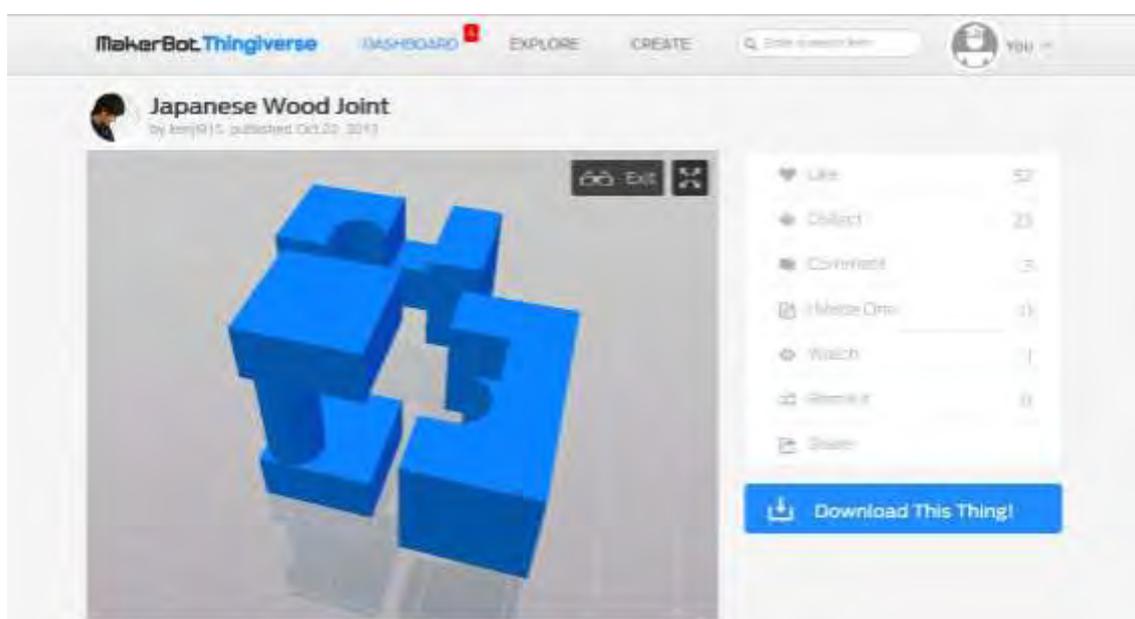


図 1 ものデータ共有ウェブサイト「Thingiverse」

⁴ <https://tinkercad.com/>

⁵ <http://fusion360.autodesk.com/>

⁶ <http://www.123dapp.com/catch>

⁷ <http://www.thingiverse.com/>

⁸ <http://grabcad.com/>

あるユーザにより作成された日本の伝統的な継手・仕口のデータが公開されている様子

<http://www.thingiverse.com/thing:169723>

Thingiverse のようなデータ共有サイトはデジタル・ファブリケーションにもうひとつ大きな意味を与えている。それは、ものの再生産性である。先に述べたとおり、FabLab ではどこでも同じ機材が使用可能であり、同じデータが入手できれば同じものを異なる場所でも生産可能である。常に使うような道具の類は環境や状況によって形状を多少変える必要もあると予想されるが、彫刻などの美術品はデータの変更がされることも極めて少ないと考えられる。事実、Thingiverse 上で公開されているミロのヴィーナスのデータをもとに、56 (2015 年 1 月現在) の他のユーザが全く同一のものを造形したということがウェブサイト上では分かる⁹。

このように、デジタル・ファブリケーションではデータが非常に重要となるが、一方でこれらのデータと実際のつくられたものが断絶されているという現状がある。つくる際に用いたデータとつくられたものとの間に相互参照性がないのである。すなわち、データを見ることで実際にそのデータを用いてつくられたものを参照することはできないし、たとえデータがインターネット上で公開されていたとしても、ものからその造形データを参照することもできない。このようなデータと実際のものの相互参照が不可能であるという事実はデジタル・ファブリケーションが本来可能にしたはずのものの複製やデジタルな補修などを難しくしている。さらには、ものによっては複数のパーツから構成されていることから、各部品の区別がつかない、組み立て手順で使う部品が分からないなど、組み立ての困難さも生んでいると考えられる。

1.2. 関連研究

上記の背景を鑑み、本研究ではものに情報を埋め込むことにフォーカスを当てる。そこで、本節では過去に行われてきたものを情報に埋め込むさまざまな関連プロダクトや既往研究の試みの紹介、並びにその位置づけなどについて説明する。

デジタル・ファブリケーションを用いて設計情報など、ものに情報を書き込むという研究として、Karl D.D. Willis らのテラヘルツ波を利用した手法は特によく知られている [2]。この研究では、情報を QR コードのようにビットへと変換したのちに二値画像へとマッピング

⁹ <http://www.thingiverse.com/thing:196037/#made>

ングしたデータを作成。それを 3D プリンタを用いて、対象となるものの中で白・黒の代わりにボクセルの空白・充填関係で表現し、それらをテラヘルツ波を用いて読み取ることで、物体の中に情報を貯蓄し、それを読み取るものである。

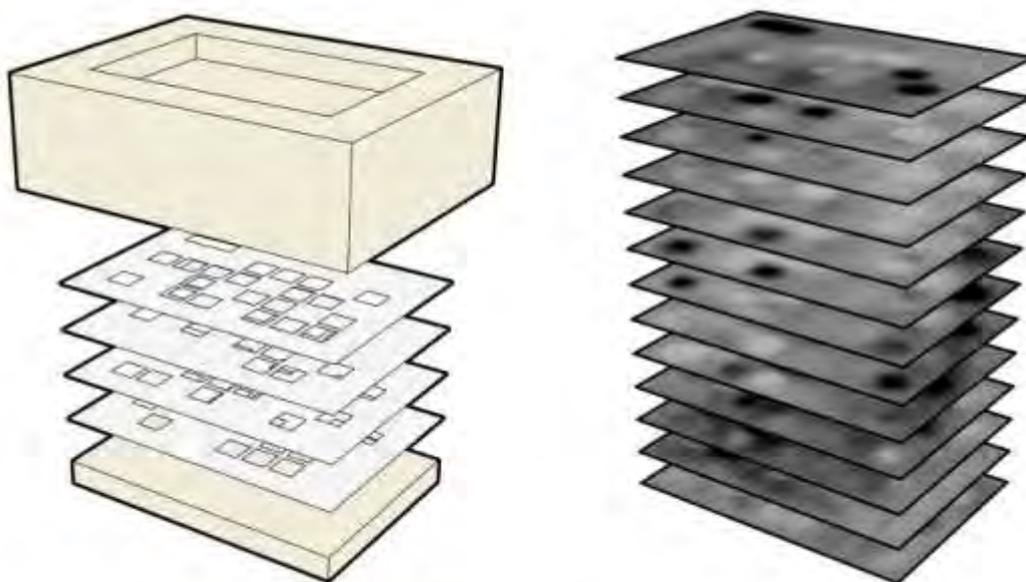


図 2 Infrastructs

ボクセルの空白と充填を多層的に物体の内部につくりだすことで、テラヘルツ波で読み取る際に QR コードのような二値画像としての読み取りを可能にしている

<http://www.karlddwillis.com/projects/infrastructs/>

一方、Neil Gershenfeld らはすべてのものがインターネットに直接つなげられるようなモジュールを搭載する、というアプローチでパーソナル・ファブリケーションによるものと情報の結び付けを提言している[3]。この研究では、ものに直接インターネットのノードとしての機能を付与し（論文内では TCP 上ではなく、ノード間を UDP 上の通信にし、パケットシグネチャの圧縮を行うことでこれを可能にしている）、直接ものがインターネットへと通信を行う I0（インターネット・ゼロ）のプロトタイプ、およびそのあり方が提示されている。具体的には、専用の物理層で通信を行うモジュール及びプロトコルを作成し、それを利用することでスイッチなどのセンサ類と LED やモータなどの出力の関連付けを行うような実装を事例のひとつとして提示している。

また、これはサービスの事例ではあるが、MAMORIO¹⁰というサービスでは、ユーザがものに特製のタグをつけることで、そのつけた対象がなくなった際に、その現在位置が分かる、という機能を Bluetooth Low Energy (BLE) を用いて提供しようとしている。これは、ものに内蔵するのではなくタグをものそれぞれに個別に取り付けることで、そのものの個別認識を可能にしている。また、そのものに関する情報はタグ自体に保存するのではなく、タグと関連付けたウェブ上のデータベースですべて管理する仕組みとなっている。

一方、Flow Powered by Amazon¹¹や Slyce¹²のように、ものに対して情報を参照可能な ID を割り振るのではなく、画像認識を用いて製品を認識し、データベース上の商品とのマッチングを行うような事例も存在する。これらのサービスの中には、monotag¹³のように、ユーザがデータベースで参照可能なデータを増やすことも可能なものも存在する。一方で、これらの画像認識を用いるソリューションは精度が低いことと、立体の場合は向きによっては認識が非常に難しいといったことが問題として挙げられる。

近年は上記のようなものと情報を結び付ける技術の中でも、特に情報がインターネット上に存在するものを Internet of Things (「もののインターネット」、以下 IoT) のための技術、と位置付けることが多い。Kevin Ashton[4]によると、「Internet of Things」という言葉が最初に使われたのは、Ashton が 1999 年に P&G 社に対して彼らが利用していた RFID タグを用いた在庫管理システムを当時流行しつつあったインターネットと結び付けることを提案したことに端を発する。当初は RFID 技術を用いて、ものがインターネットとつながり、もの自身が情報を提供したり、ものを通じて人が情報を参照することのできる社会を指していたが、現在ではアクティブ・パッシブ問わずものがインターネットにつながることを指すようになった。

RFID とは RF チップと呼ばれる固有番号を持つチップを用いて、無線通信でチップごとに個別認識を行う技術を指している。RF チップ単体でも通信は可能なものの、通常はより電波の受信・送信可能な範囲を広げるため、アンテナと一体になった形をしており、このアンテナと一体になった RF タグのことを RFID タグと呼ぶ。現在普及している RFID タグの多くは電磁誘導を用いて、無線でチップに対して電源供給ができ、その電源をもとにフィードバック通信を行う。このような電磁誘導式の RFID タグは動作のための電力を無線で供給することができることや比較的チップひとつ当たりの価格が安価であることから (市

¹⁰ <http://mamorio.jp/>

¹¹ <http://www.a9.com/whatwedo/mobile-technology/flow-powered-by-amazon/>

¹² <http://slyce.it/>

¹³ <http://techblog.yahoo.co.jp/lab/searchlab/monotag/>

販されているものであれば 100 円未満で購入可能)、在庫管理や物流の現場に多く使われてきた。

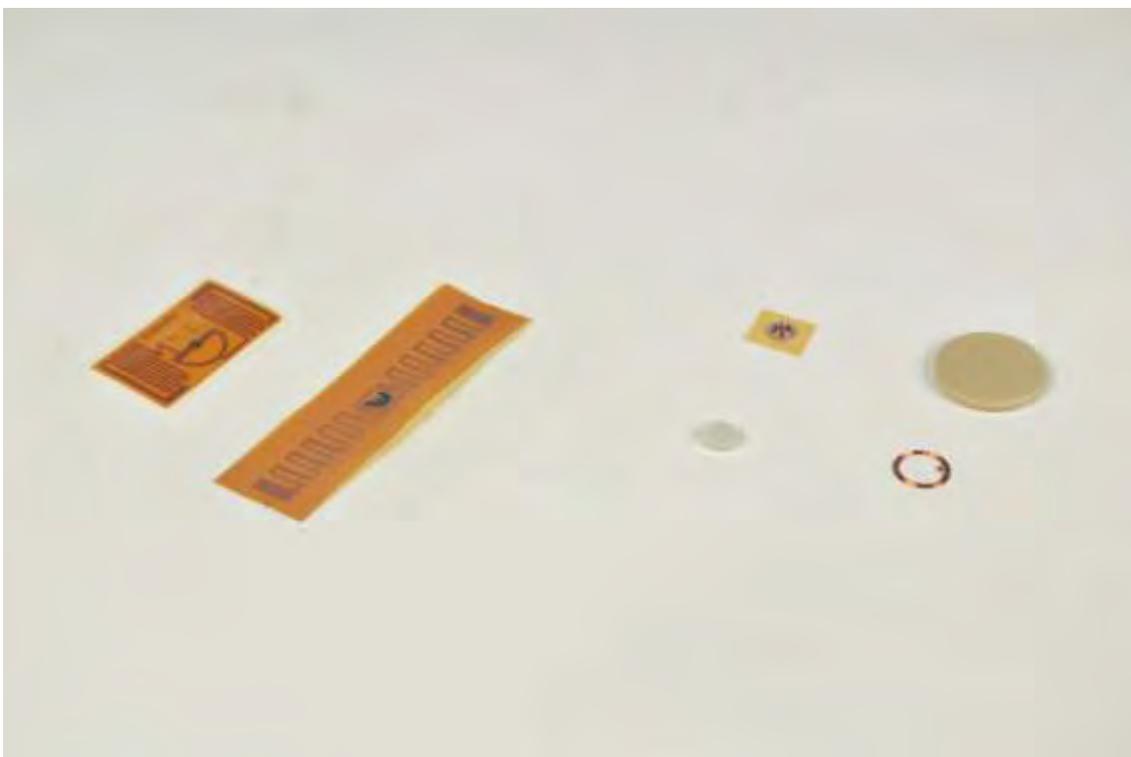


図 3 RFID タグ

用途に合わせ、規格、通信距離の遠近、サイズの大小が異なるさまざまな RFID タグが存在する

物流に限らず、RFID タグによるものと情報をつなぐ実装は 1999 年に Roy Want らによっていくつか提案されて以来[5]、何種類もの提案、社会実装が行われてきている。Want は、名刺、本、印、腕時計などに RFID を埋め込んだ場合にそれらの埋め込まれたものがいかに実世界で使われうるかについて論じている。Want らはただ情報を埋め込むだけではなく、それがいかに人の生活の中で利活用されるのかということにも着眼している。また、情報を埋め込むのではなく、情報を読み取るデバイスに注目した既往研究も存在する。Emmanuel Munguia Tapia らが開発した、MITes はさまざまなセンサー類を身につけられるような形で提供することで、常に周辺の情報を読み取ることを可能にする[6]。このデバイスは常に身につけるような形状へとデザインしたことで、センサーを用いた日々の行為や活動の記録ができるのではないかと期待されている。



図 4 印章に RFID タグを埋め込んだ例

Want らによって提言された RFID タグの実社会での利用例[5]



図 5 MITes の RFID リーダ

RFID リーダを使った MITes の例

加速センサを組み合わせたことにより、人の動作をトリガに読み取りを行うことができる

<http://alumni.media.mit.edu/~emunguia/html/mites.htm>

これらの実践的な提案や試みがなされる一方、ものに対してタグを利用する際の情報表示のための仕組みについても議論が進められている。RFID タグをはじめ、電子タグの国際規格標準を議論・推進する非営利団体 EPCglobal は WWW で利用されてきた DNS による名付けの仕組みを RFID タグにも適用した ONS (Object Name Service) という仕組みを提言している。ONS は EPC (Electronic Product Code : タグの ID など、タグに書き込まれている情報) を規定のサーバに対して送信することで、その EPC に該当する情報が掲載されている PML (Physical Markup Language) を参照できる、というものである。

本研究ではものに対してその元となったデータなどを関連させることを考えているが、現在ドイツで進められている、Industry 4.0 プロジェクトでは異なったアプローチで RFID タグを用いたものづくりのあり方を検討している。Industry 4.0 プロジェクトとはそもそも CPS (Cyber Physical System) を用いて生産システムを制御・運用することを目指しているもので、その一環として IoT 技術の導入も多く実験・検討されている。その Industry 4.0 の生産管理システムのための一提案として、RFID タグを用いることで工場での「個別生産」を行うことが Markus Weinländer によって明らかにされている[7]。これは単一の生産ライ

ン上ですべての製品に対して全く同じ加工を行うのではなく、加工対象に対して（実際には加工対象が載っている台に対して）RFID タグを付与し、「どのような加工をすればいいのか」といった加工手順の情報を書き込むことで、ひとつのライン上であっても異なる製品を需要に応じて逐次つくり出すことを可能にする、という仕組みである。詳細は後述するが、本研究では生産の過程で RFID タグを埋め込み、それ以降ユーザがその情報空間を使用可能にすることを構想しているのに対し、Industry 4.0 では製造のための工場内で用いるツールとして RFID タグを用い、そのために製造過程などの情報を RFID タグに記載することが特徴的であると言える。

1.3. 研究目的

本章 2 節で取り上げたものと情報を結び付けるさまざまな技術のうち、RFID タグは次の理由からデジタル・ファブリケーションによってつくられたものに対して用いる技術として最適であると考えられる：

1. デジタル・ファブリケーションの中でも、特に熱溶解積層法をはじめとする 3D プリンティングの場合はものをつくる際に内部形状まで定義することができる。この特徴を活かせば、充填しない空間を定義し、そこに RFID タグを埋め込むことが可能なのである。RFID タグは外界と接していなくても電波による電源供給さえ受けられればよいので、中に埋め込まれていたとしても通信を行うことができる。

2. デジタル・ファブリケーションの中でも、現在は個人によるデジタルなものづくり、パーソナル・ファブリケーションが盛んになりつつある。RFID タグは読み書きが可能であることに加えて比較的安価であるため、パーソナルな用途に合わせて情報をユーザが書き換え可能であり、個人がつくることのできるものの可能性を広げると同時に、RFID タグの新しい利用方法が生まれると考えられる。

一方で、これらのことはものを使用するユーザにとって有利となるだけでなく、今までの RFID タグが行ってきた流通情報の記録などの機能も引き継ぐことで、ものの作り手や、場合によってはデータの作り手にとっても非常に重要な価値を提供する。従来、RFID タグはものに対して「付与」するものにすぎなかったが、ものへ埋め込むことができるようになることで、ものがつくり出された瞬間からそれがつくられた環境や状況などの情報と結

びついたものと一体のものとなりうる。つまり、それをプリントした人の情報も、プリントされたデータを作った人の情報も、すべて最初からその「もの」と直接紐づけることができるようになるのである。その「もの」に人が新しく情報を書き込んだり、場合によって情報を読み取ったり、するたびにそれらがすべて記録され、「もの」の利用者の置かれている状況や利用の仕方などが作り手にフィードバックし、作り手と使い手の間に「もの」を通じた新しいコミュニケーションの形が生み出すことも考えられる。このように、RFID タグをものに埋め込むことはものをただ便利に扱えるようにするだけではなく、もの与人の、時にはものを介した人と人の新しいコミュニケーションを生み出すと考えられる。

これらのことを踏まえ、本研究では、デジタル・ファブリケーション機材によるパーソナル・ファブリケーションが一般的になった未来の社会において、いかにものやものづくりにパーソナルな付加価値や情報を与えることができるのか。そして、それらをインターネットにつなげることで生まれる、IoT 社会はどのようなものなのか。さらに、最終的にはそのようなものを通じて人と人をつながるような社会の一可能性について検討・考察を行う。具体的には、3D プリンティング中に RFID タグを埋め込む機能を備えた Auto-ID プリンタ、およびそのためのソフトウェアを含めた Auto-ID プリンティングシステムの開発、また、そのプロセスを通じてつくられたものに埋め込まれた情報を読み取るための手法についての検討・検証を行う。

2. 設計・開発

2.1. 概要

一般的なデジタル・ファブリケーションによる加工は大きく分けてデータの作成とデータの出力の二つのプロセスに分割され、以下のような手順で行われる（図 6）。まず、ユーザは目的の「もの」のデータを作成する。デジタル・ファブリケーションでは作成したデータを用いて加工や出力を行うが、通常の場合はユーザが作ったデータをそのまま機械への入力として使うことはなく、機械を制御するための命令文字列のデータ、もしくは加工のパスデータへと変換してから、機械へのインプットとして利用する。この機械のためのデータにはさまざまなファイル形式が存在するが、前者の命令文字列のデータには NC コードと G コードなどが存在し、後者の加工のパスデータには EPS や DXF など、さまざまな種類のパスデータが利用されている。3D プリンタでもさまざまな規格のファイル形式が利用されているが、特に安価な個人向け 3D プリンタでは G コードが利用されていることが多い。3D プリンタのためのデータ作成の場合、この機械のための実行コードへの変換プロセスをスライス、プログラムをスライサーと呼ぶ。最後に、機械に合わせて変換したデータを機械に入力し、加工を行う。

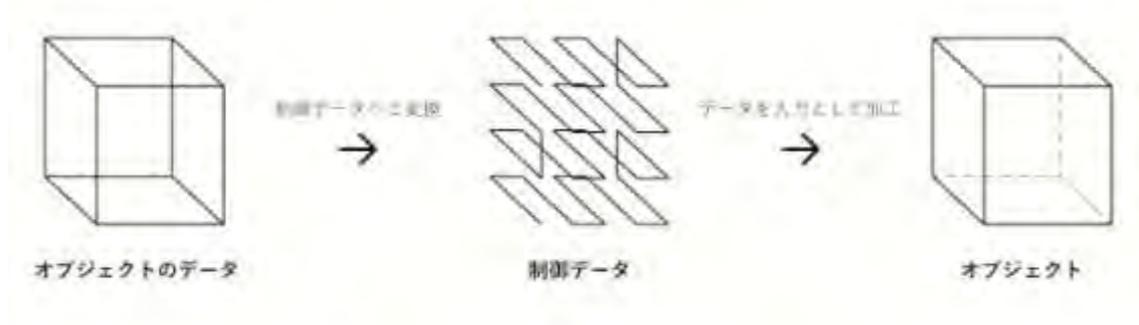


図 6 3D プリンティングのプロセス

ユーザによるデータの作成→機械に合わせた制御データの作成→加工という手順を踏む

本研究では 3D プリンティング中の RFID タグの挿入を目標としているため、まずはプリント中に RFID タグを挿入できるような機構・機能の 3D プリンタへの実装が必要とされる。この挿入機能の要件や実装については 2 章 3 節にて詳細を記述するが、あくまでも 3D プリンタへの追加エクストルーダとして設計したため、通常の 3D プリンタによるプラスチック

の出力と全く同様に行えるような実装となっている。当然、機械による自動挿入ではなく、次に説明する、G コードの編集ソフトウェアのみ使用し、プリント途中でタグを手動で挿入することも可能ではあるが、今後より汎用的に RFID タグの挿入を行うことを検討する場合、挿入に適したタイミングまで人間が 3D プリンタの前で待機することは現実的ではないため、機械による自動挿入機構は必須要件であると考えられる。

追加のエクストルーダを取り付けたあとも、そのエクストルーダは通常のエクストルーダとは異なる制御を行うため、当然ユーザの指定した箇所で RFID の適切な出力をするための G コードデータの補正・変更が必要となる。そこで、2 章 4 節では RFID を適切に挿入するための G コードの変更プログラムについて述べる。

最後に、RFID を埋め込んだ出力物を作成したとしても、それを読み取るための、特にユーザにとって身近で使いやすいリーダーが必要となる。2 章 2 節ではリーダーについての詳細を、そしてさらに上記事項すべてに関わる RFID タグの選定と仕様、実際のデータの書き込みについて述べる。

こうした Auto-ID プリンタを用いた 3D プリンティングのプロセスは最終的にすべて統合すると図 7 の通りとなる。ユーザは新たに G コードの変換を行うことで RFID タグの埋め込みを 3D プリンタに行わせることができ、出力後の物体は情報の読み取り・書き込みが可能になる。

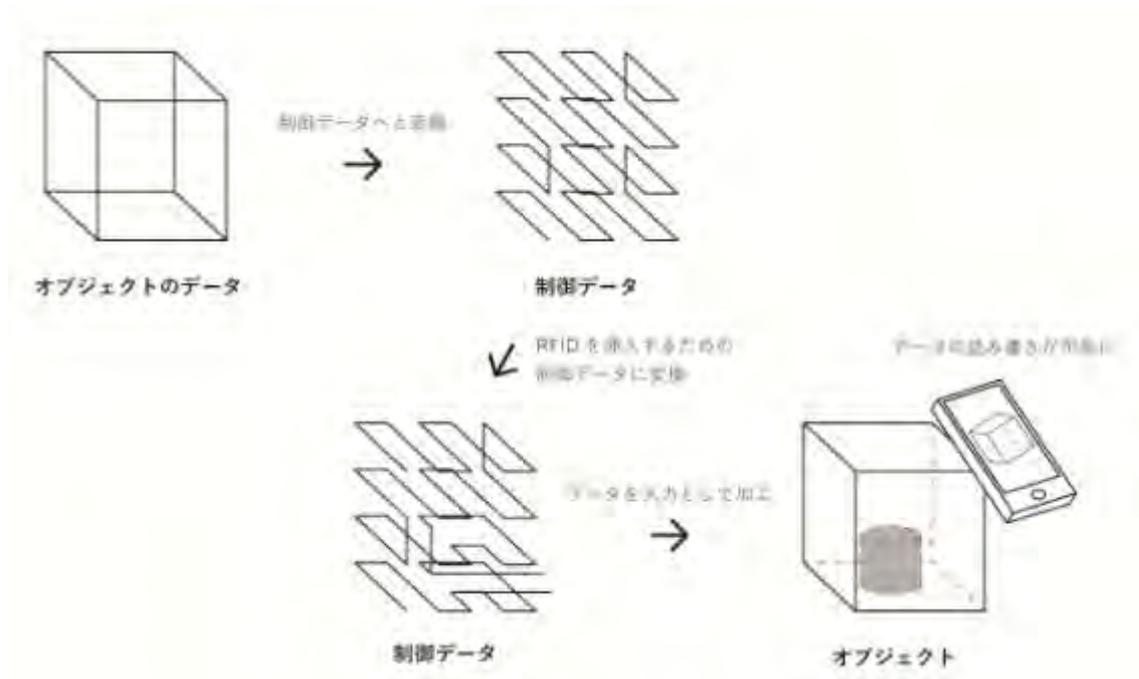


図 7 Auto-ID プリンティングシステム

図 6 と比較して、機械に合わせて制御データを作成したのちに、それを RFID 挿入のために変更する処理が増えている

なお、本研究ではベースとなる 3D プリンタとして、SeeMeCNC 社の ORION Delta¹⁴を用いた。ORION Delta はデルタ型と呼ばれる 3D プリンタの種類で、円形の加工平面に対して垂直な軸を円周上に等間隔に三本設け、さらにその軸からアームを伸ばし、アーム同士を中央のエクストルーダをマウントするパーツで連結することでエクストルーダの位置を規定する。デルタ型についての利点や技術詳細は RepRap Forum¹⁵に詳しいので、そちらを参照。作成したエクストルーダの仔細については 2 章 3 節にて詳細に記述するが、エクストルーダの動作要件はデルタ型だけに限られるものではないため、ORION Delta で利用されている Repetier や Marlin などと同種のファームウェアを使っている場合であれば、基本的には有効に動作すると考えられる。

¹⁴ <http://seemecnc.com/products/orion-delta-3d-printer>

¹⁵ <http://reprap.org/>

2.2. RFID

2.2.1. RFID タグについて

RFID とは、Radio Frequency タグ（通称 RF タグ）を用いて行う個別認識の技術を指している。通常、RF タグに対してアンテナを取り付け、受信機から発せられる電波を電磁誘導することによりタグに対して電源供給を行いつつ、フィードバック通信を行うものが多い。電波を利用するため、免許が必要なものもあるが、代表的な規格の多くは ISM バンドを利用しており、免許を取得しておらずとも、誰でも利用が可能になっている。RFID タグにはさまざまな種類が存在するが、ISO14443 (NFC-A、NFC-B)、ISO18092 (NFC-F)、ISO15693 (NFC-V) の三規格がよく知られており、実際に社会で利用されているのもこの三種類の規格に則ったものが多い。日本では、ISO18092 を踏襲している FeliCa がよく知られている。同じようによく使われている言葉に「NFC」があるが、NFC は近距離無線通信全般のことを指しており、RFID は NFC に含まれる。

電波を用いるため、さまざまな帯域の RFID タグが存在するが、多くは HF 帯域を使っており、先に挙げた三種類の規格も HF 帯域のものであり、13.56MHz を利用している。HF 帯域のものは比較的周波数が低いいため、波長が長く、アンテナのサイズと利用距離のバランスがちょうどよい。ISO14443 (通称 Type-A、Type-B)、ISO18092、ISO15693 などの規格が存在する。近年では HF だけではなく、900MHz など、UHF 帯の RFID タグも注目されている。

本研究ではユーザが入手可能な RFID タグを埋め込むこと、また 3D プリンタの造形サイズと比較して埋め込むのに適切なサイズであること、読み取りのための手段がユーザにとってアクセス可能なものであること、埋め込んだとしても読み取りが可能であることの四点を考慮し、ISO15693 規格の RFID タグを用いた。近傍型である ISO15693 は一般的に普及している近接型の ISO14443 や ISO18092 より通信距離が長く、埋め込む、という本研究の用途に最適だと考えられたため選定した。詳細は 2 章 2 節 3 項にて後述するが、近傍型の RFID タグは書き込み容量が少ないことが特徴として挙げられるものの、RFID タグには個別に認識するために最低限必要な情報のみを書き込むため、データ容量については問題はないと考えられる。特に ISO15693 規格の RFID タグの中でも、凸版印刷株式会社が製造している樹脂製 RFID タグはタグとアンテナを樹脂でコーティングしたタブレット状になっており¹⁶、3D プリンタのエクストルーダによる多少の摩擦にも耐えられるため、本研究で

¹⁶ <http://www.toppan.co.jp/news/2011/08/newsrelease1268.html>

はこれを利用した。

次節以降で具体的にタグを挿入するための機構やソフトウェアについて説明するが、RFID タグはアンテナを利用してデータの送受信を行う都合上、タグへの送電効率を上げるため、タグは加工平面に対して平行に配置し、RFID タグが入ったものの底面に対してアンテナを真っ直ぐ近づけた際に送電効率が最大になるように挿入の機構などを設計した。

2.2.3. データの埋め込みについて

前項で取り上げた RFID タグはフィリップス・セミコンダクターズ社（現・NXP セミコンダクターズ社）のチップを RF チップとして採用している。このチップにはメモリとして EEPROM 領域がひとつあたり 32 ビットのブロックが Block -4~Block 27 の 32 ブロック用意されており、合計 1024 ビットのデータが保存できる仕様となっている。

ISO15693 では、ブロック 4 つ分にあたる、128 ビットがタグのデフォルトリザーブ領域とされている。タグの ID 番号やアプリケーションの識別番号が書き込まれているこの領域は、一般ユーザの使うことのできないコマンドを利用しないと書き込みができない、もしくは出荷時以外は書き込みができない領域となっている。具体的には、Block -4 と Block -3 には UID（固有 ID）が、Block -2 には EAS（万引き防止システムなどの商品監視システム用にタグを運用する際に使う識別子）、AFI（タグを利用しているアプリケーションやシステムの種類を見分けるために用いる識別子）、DSFID（アクセス権限、データのフォーマットなどを記述する参照データ記憶形式識別子）の三種類の情報が、Block -1 には Block -2、Block 0 - 27 の書き込み権限が記述されている。

本研究では、この EEPROM 領域に対して読み取りのアプリケーション（詳細については 2 章 2 節 4 項を参照）にて読み取る URI（特に本研究ではウェブサイトを表示する仕様となっているため、URL）を Block 0 - 27 に対して書き込みつつ、タグが本来持っている固有の認識番号を用いた。書き込みのためのデータの処理手順は以下の通りとなる。

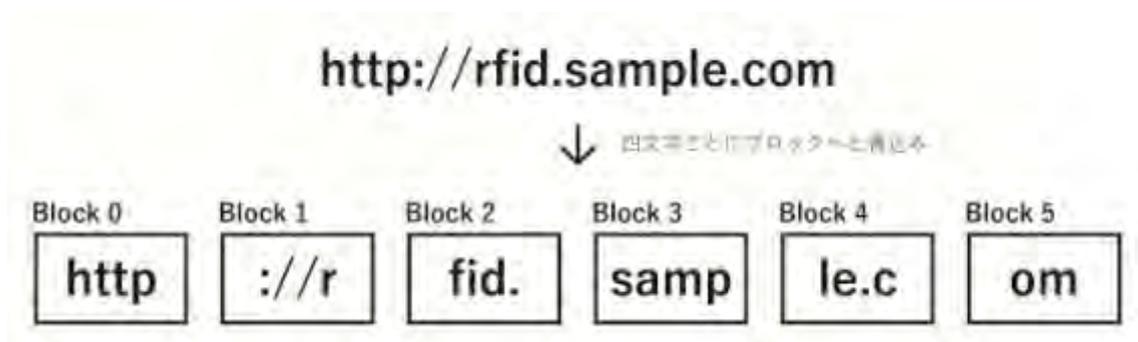


図 8 RFID タグへの URI の書き込み（ブロックの割り当て）

書き込みのための URI を四文字ずつに分割し、それを Block 0 から順番に書き込みを行う

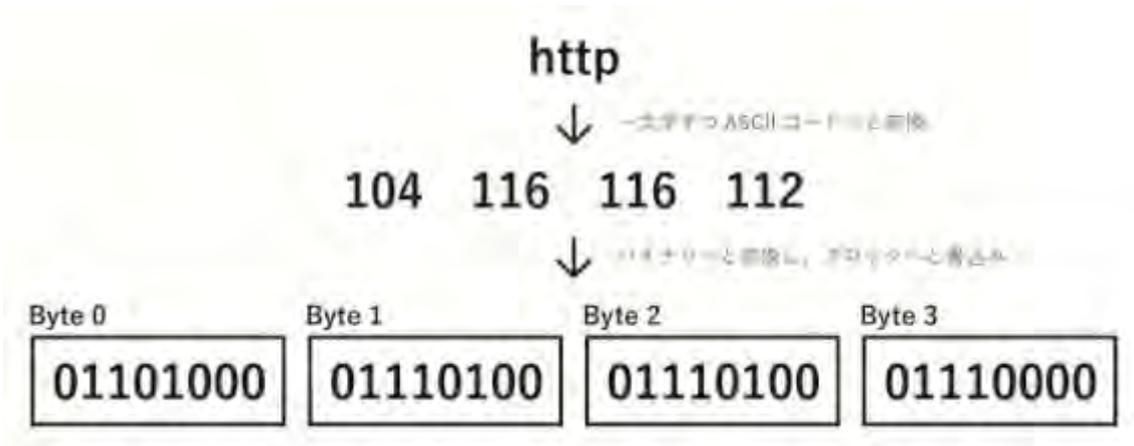


図 9 RFID タグへの URI の書き込み (バイトの割り当て)

ブロックを割り当てたのち、分割された文字列はさらに分割され、バイナリへと変換された上でそれぞれのバイトへと書き込まれる

上記のような手順で EEPROM 領域に URL が書き込まれているタグを、次項で紹介するリーダアプリケーションを用いて読み取ると、次のようなプロセスで転送先の URL を生成する。まず、RFID タグ内の EEPROM の全ブロックを 0x00 (すなわち、データが何も書き込まれていないバイト) が登場するまで読み取る。EEPROM を読み取ったのち、UID を読み取り、EEPROM より読み取った URL に対して uid という名称のパラメータで UID を添え、GET リクエストを送る。今回の場合は最終的には UID に応じた情報の埋め込まれたウェブサイトが表示されることになる (図 10)。

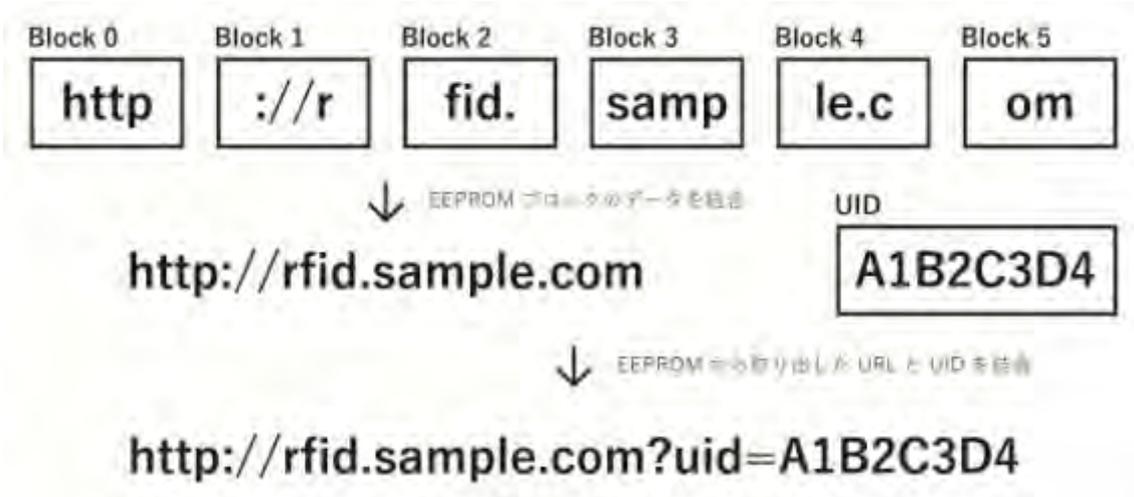


図 10 URI の解釈

上記のとおり、現在はテキストの URI を書き込むような仕様としているが、実際に運用を行うのであれば、書き込みのプロトコルは以下のように改善しうるのはないかと考えられる：

1. URI ではなく、IP 指定に

テキストで書き込むと、どうしても一文字当たり 1 バイト使うことになってしまう。現在、IPv6 プロトコルが普及しつつあることを加味すると、 2^{128} 個の URL が運用可能な IPv6 プロトコルでルーティング用の URL を指定し、その URL にルーティングサーバを用意し、UID によって指定された URL へとリダイレクトを行うことが理想的な環境であると考えられる。10 進数の数字は 1 バイト当たり 2 文字記述可能なので、データの圧縮にもなる。また、本来 http:などのスキームは通信の方式を規定するものであり、参照先を直接的に指示するためのものではないことを考えると、DSFID にフォーマットとして記述される方がより正確であると考えられる。

EPCglobal では URI¹⁷をタグに対して直接記述するのではなく、ONS を利用した転送をする仕組みを用いることが提案されているが、現在は ONS は通常のユーザでは設定が困難であるため、ここでは ONS を使うことは考えない。

2. AFI 領域への書き込み

今回は研究目的の実験的な利用だったため、Block 0 - 27 のみを利用したが、実際に運用する際には AFI の書き込みは任意となるはずである。そもそも、どのような用途・目的でその RFID タグを利用するのか、というのはユーザが選択することであり、場合によってはひとつのタグが複数の用途で使われる可能性がある。

より重要なのは、「誰の」タグなのか、である。本来 AFI はそのタグに対して干渉を許可するアプリケーションがタグがそのサービスで利用されているものか識別するために利用されているものだが、誰でも RFID タグを利用可能になったとき、その RFID タグの用途は多様であったとしても、使用用途を決定するユーザは限定されるべきである。つまり、Suica のように、ある程度所持者を特定できるような（当然、名前などではなく、ID などの間接的な個別認識のプロトコルを用いて）領域を用意し、その領域に一度書き込んだのちはロックして運用するべきだと考えられる。

2.2.2. 読み取り・書き込み用アプリケーションについて

読み取り・書き込み用アプリケーションを開発するにあたり、まずはどの OS や開発環境で開発を行うことができるのか、またそのどれを使用するのが Auto-ID プリンティングシステムにおいて最適であるかについて考える。

¹⁷ Unique Resource Identifier (統一資源識別子)

現在、RFIDをはじめ、NFCは非常に注目を浴びており、規格の策定・改定が頻繁に行われている状況である。たとえば、近年もっとも普及しているNFC技術のひとつである、Bluetoothは1998年に発表されたのち、実に16年間の間に8回も仕様書のバージョンアップがなされている。特に、最近では2009年にバージョン4.0が発表されたのち、2013年と2014年にその一部をアップデートしたバージョン4.1と4.2が公開されている。また、無線技術であることから、種類が非常に豊富であることもNFC技術全般の特徴として挙げられる。

これらの特徴があることから、「NFC対応」ということが謳われているデバイスであったとしても、すべてのNFCに対応しているわけではない、というのが現状である。特にスマートフォンの分野ではこのことが端末とOSの対応状況の差などもあり、顕著である。各種モバイル端末向けOSの現在のRFID規格への対応状況は以下の通りである。

表 1 モバイル向け OS の RFID 規格対応状況

2015年1月現在の各モバイルOSのRFID規格対応状況を独自に調べたもの

	Type-A	Type-B	ISO18092	ISO15693
iOS	×	×	×	×
Android	○	○	○	○
Blackberry OS	○	?	?	?
Windows Phone	○*1	○*1	○*1	○*1
Firefox OS	○*2	○*2	○*2	○*2

*1 NDEFフォーマットされたタグのみ読み取り可能

*2 APIは用意されているものの、現在は利用不可

上の表から分かるとおり、さまざまなOSでRFIDタグの利用が可能になりつつあるものの、実際は開発プラットフォームはまだまだ改善が必要な状況となっている。なお、上記の表はあくまでも、「最新版のOSが各規格に対応したAPIを提供しているか」を表しているに過ぎない。実際は読み取りのために使われる内臓のリーダーチップのベンダーや利用しているOSのバージョンなどによって微妙に異なる。具体的にどの端末がどのモジュールの読み取りに対応しているかについてはNFCworld¹⁸、RapidNFC¹⁹などに詳しい。

¹⁸ <http://www.nfcworld.com/nfc-phones-list/>

上記背景と IDC[8]による現在（2015 年 1 月時点）での世界でのスマートフォンのシェア調査結果を踏まえ、本研究では Android 端末を対象にリーダを開発した。テスト端末としては、Android 4.2.2 を搭載した Samsung 社製 Galaxy Nexus²⁰を利用した。また、開発にあたっては Kazz.satou 氏の nfc-felica ライブラリを利用した²¹。Android は API Level 9 より NFC の、API Level 10 より ISO15693 こと NFC-V のサポートをしているため、Android 2.3.3 以降の OS を搭載しており、ISO15693 の読み取りが可能な端末であれば、他の端末でも同様のプロセスが行えると考えられる。

具体的な読み取りアプリケーションの流れは次の通りである。Android には Intent と呼ばれる、アプリの呼び出しやアプリの状態変化のためのトリガの仕組みが用意されている。新しいデバイスを発見する、ボタンを押す、などのアクティビティが発生すると Intent が起動され、それに即した処理を行う。この場合であれば、NFC 機能をオンにした端末に RFID タグをかざすことで NDEF_DISCOVERED、TECH_DISCOVERED、TAG_DISCOVERED のいずれかの Intent が起動され、それに即したアプリケーションが起動される。アプリケーションのプログラムにおいて Intent-filter と呼ばれる、どの Intent に対してそのアプリケーションが反応するのか、ということを記述することで、Intent に対するフックを記述することができる。そのように RFID タグをかざし、Intent を起動して呼び出されたプログラムは端末が読み取ったタグの情報を渡されるので、それをタグの仕様に基づいてパースすると、必要としている情報を取得することができる（実際のアプリケーションの使い方については付録 1 を参照）。

2.3. エクストルーダ

前節で選択した RFID タグを実際に 3D プリンティングの最中に挿入するためには、プリンタのファームウェアと互換性のあるアクチュエータを利用していることが非常に重要になる。2 章 1 節で述べた通り、本研究では ORION Delta という機種種の 3D プリンタを利用したが、ORION Delta をはじめ、現在市場に流通している安価な 3D プリンタはファームウェアとして Repetier-Firmware、もしくは Marlin や Sprinter などのオープンソースのファームウェアを利用していることが多い。多くの 3D プリンタではステッピングモータを用

19 http://rapidnfc.com/nfc_enabled_phones

(※ Ultralight、Topaz、NTAG はすべて Type-A 準拠のタグの種類)

20 <http://www.samsung.com/jp/consumer/mobilephone/smartphone/docomo/SGH-N044TSNDCM>

21 <https://code.google.com/p/nfc-felica/>

いて機械の制御を行っており、これらのファームウェアも例にもれず、基本的にはステッピングモータの制御を主に行う。本節でも、エクストルーダの実装にはステッピングモータを用いて、通常のエクストルーダとの連動性を持たせる。

このエクストルーダが果たすべき機能は先のファームウェアの制御に合わせてタグを一つずつ挿入することにある。本研究では一つのタグに限定して実装を行うものの、前節で述べた通り、RFID タグには帯域や用途に合わせてさまざまなサイズのものがあり、実際の利用に際して、ユーザが前節では提示しなかったタグを利用することも十分に考えられる。それを考慮すると、タグのサイズに合わせ、ユーザが自由にエクストルーダを改変しやすい設計にしておく、ということが求められていると考えられる（なお、3D プリント中にエクストルーダに接触することで破損する恐れがあるので、本研究ではあくまでもすでにアンテナやチップに対して何らかのコーティングを行っているタグの利用を想定している）。

上記事項を踏まえ、RFID を一つずつ挿入するための機構として、RFID タグが一つずつ収まるような穴をつけたカムに対して、順々にタグを穴へと落とし、カムを回転させて、挿入のためのガイドがあるところまで RFID タグを移動させることで、個別に挿入することを可能にした（図 11）。

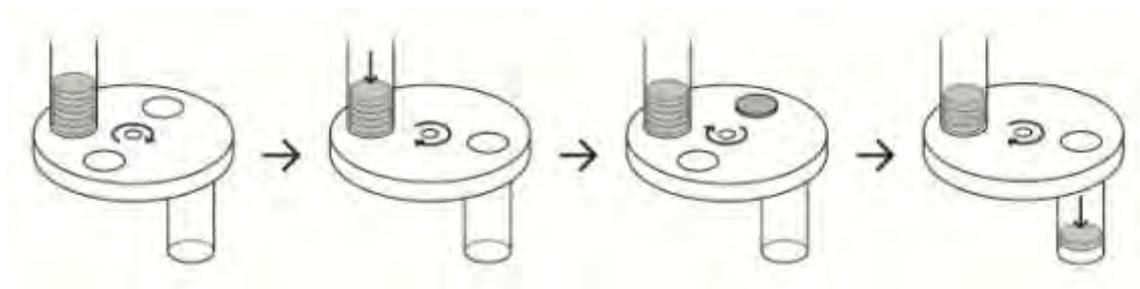


図 11 RFID タグの個別挿入機構

RFID タグのスタックから、カムの「穴」にタグが一つずつ個別に収まり、挿入のためのガイドまで移動される

エクストルーダは大きく分けて三種類のを試作した。最初は実際に落すことができるのか検証するため、また落すために採用しようとしていた機構が機能することを検証するために作成した（図 12）。ここでは、図 11 で提示した機能を究めてシンプルな実装で再現した。



図 12 エクストルーダ試作 1

図 11 の機構をベースに、機能が成り立つために最低限必要なパーツを取り付け、その上で挿入場所が通常のエクストルーダの先端の場所と同じ場所になるように設計

この試作で明らかになった問題は次の二点である。1. 二つ目のエクストルーダとして取り付けるのであれば、エクストルーダのマウントパーツにそのまま取り付けるための設計ではなく、マウント部に対して横から取り付けるような設計をしないといけない。2. カムパーツが必要以上に大きく、エクストルーダ全体が付属品としては大きすぎる。そこで、これらの点を考慮し、エクストルーダのマウントパーツの外側から取り付けるような形状をした第二の試作を制作した（図 13）。



図 13 エクストルーダ試作 2

試作 1 から機構は変更せずに、エクストルーダのマウントパーツに外部から取り付け可能な形状へ変更した

試作 2 で問題となったのは、斜めに固定したことで、RFID タグがカムに入らず、途中のガイドで止まってしまう、同じく斜めにしたことが原因で挿入時の位置精度が低くなったことなど、タグをエクストルーダの斜度によって摺動させようとしたことによるものが多かった。試作 1 と試作 2 を踏まえ、最終的に制作したエクストルーダが図 14 のものである（詳細は付録 2 の図録を参照されたし）。



図 14 エクストルーダ

試作 1 から利用していた挿入の機構を垂直に変更し、よりタグの状態を管理しやすい構造へと再設計した

加工平面に対して平行に設計していたカムを垂直に転換し、RFID タグのサイズに合わせ、カムに対して垂直に縦穴を設ける構造にした。これらのことを踏まえ、実際に 3D プリンタに二つ目のエクストルーダとして認識させた上で、RFID タグを 3D プリント中に挿入可能であり、カムの形状を変更することで、ユーザが任意の RFID タグの挿入を行うことを可能にしていることも確認された (図 15)。このとき、カムがエクストルーダの中に入る都合上、タグの寸法は短辺が 9.5 mm 以下、長辺が 15 mm 以下、高さが 10 mm 以下のものが使用可能となる (エクストルーダの設計を変更することで、これらのサイズ制限も任意に変更が可能)。

なお、エクストルーダはどの場合も Jameco Electronics 社のステッピングモータ、PF35T-48LA²²をバイポーラで駆動させたものをアクチュエータとして使用している (モータの設定方法の詳細については付録 2 を参照)。

²² <http://www.jameco.com/Jameco/Products/ProdDS/171601.pdf>

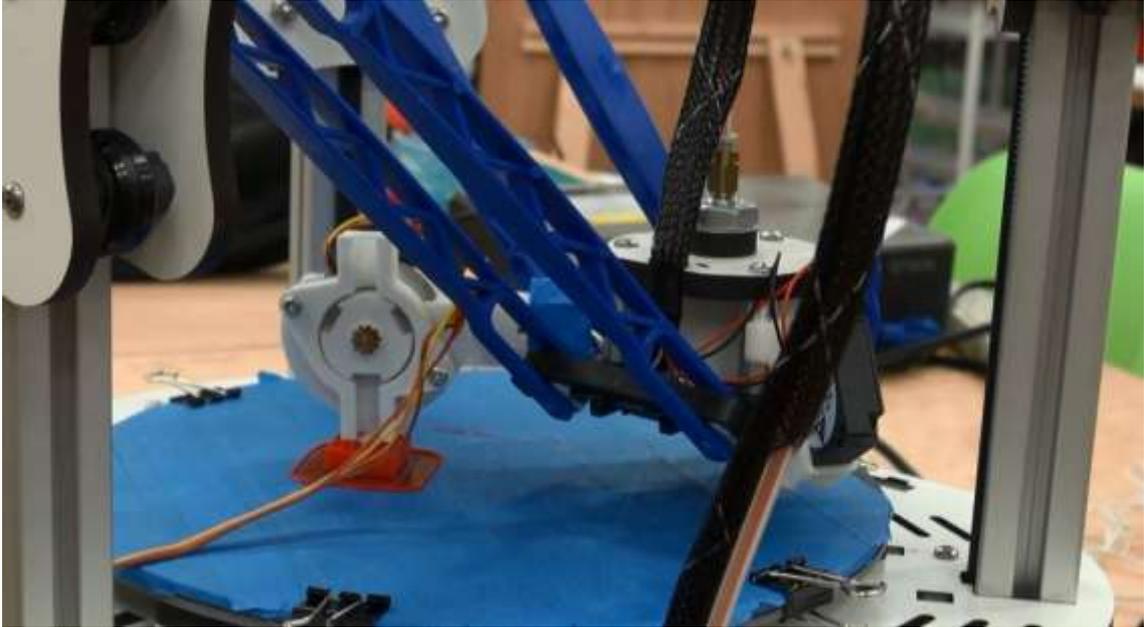


図 15 本研究で作成したエクストルーダを利用した 3D プリントの様子

2.4. 埋め込み用コマンド生成プログラム

2 章 1 節で述べた通り、本研究ではユーザーが一度 G コードへと変換した 3D の加工データを本節のプログラムを用いて RFID タグを埋め込むための穴と RFID タグを挿入するためのコードを含めたものへと改変する。そもそもなぜ G コードの状態で扱う必要があるのか、という理由については、次の二点が挙げられる。一つ目の理由はスライスにおいて、中空の部分などがあった場合にサポート材と呼ばれる、補強材を生成することにより、たとえスライス前のデータ上で中空の部分を造形したとしても、スライス後には埋められてしまうからである。二つ目の理由は、RFID タグの挿入のコマンド自体が通常のエクストルーダとは異なる制御を行うため、独自の G コードを挿入しなくてはならないことである。これらの理由から、G コードを入力として扱っている。

G コードは記述形式としては SSV (space-separated values) をとっており、コマンドの種類、引数の順番で記述を行う。原則として一度のコマンドで一つのアクチュエータ・センサの制御を行うものの、同一のコマンドを複数のアクチュエータに対して実行する場合は一度に同時に実行することもできる (斜めに移動するときなどもこのように一つのコマンドを複数のアクチュエータに対して同時に実行する)。

; Home all

G28

G1 Z0.300 F500.00

G1 X30.00 Y30.00 F1000.00

Gコードの記述例

上記の G コードの特性より、G コードを解釈すると、3D プリンタの移動軌跡が直線の連続として表現される。この三次元上で連続した直線の軌跡より、RFID タグと重複する箇所を取り除き、タグの頂点まで到達し次第、タグを挿入するコードを挿入する。処理のため、一旦は配列としてくり抜く形状の外形との線分交差判定を行い、置換が必要な場所のみ置換し、最後にもとの SSV の状態へと戻す。くり抜く形状と入力形状の交差判定の詳細は以下の図のように行う。具体的なプログラムの使い方は付録 3 に詳しい。

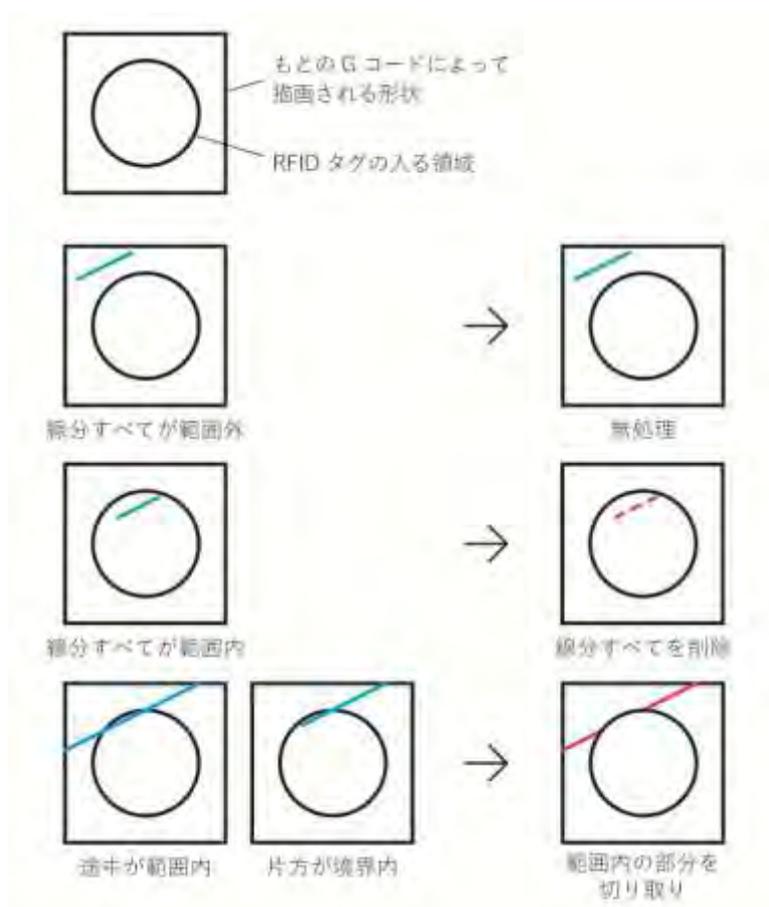


図 16 Gコードの解析と RFID タグ埋め込み用のコード生成のプロセス

なお、本プログラムを使用するにあたり、重要な注意点が三点ある。ひとつは、あくま

でも本節で紹介したプログラムは G コードを扱っているため、「目的としたもの」の範囲内でなくても G コードのくり抜きを行う可能性がある。すなわち、ユーザがもともと入力したの STL や OBJ などの三次元データとは異なるため、場合によってはサポート材や、中空の場所に対してくり抜き処理を行う可能性がある。このような場合、たとえ埋め込み用の G コードへの変換がうまくいったとしても、実際に出力してみるとうまく動かない、ということが大いに考えられる。また、このような場合でもプログラム上は処理できてしまうため、実際に出力してみればじめて失敗に気づく、ということが予想される。あくまでも、ユーザが G コードの状態を見た上で選んだ場所に対してタグの挿入が実行されるので、上記のようなエラーが発生する。

二つ目は、本プログラムでは、Z 値、つまり底面からどれくらい離れたところにタグを埋め込むのか、ということユーザが指定可能になっているが、これは 3 章で具体的に数値を紹介するが、スマートフォンのようなアンテナから発信する電力が少ないデバイスによる電磁誘導によって動作させる場合、デバイスからタグまでの距離が遠すぎると電力の供給が足りない、もしくはフィードバック通信を行うのに十分な電力は供給されたが、フィードバックの通信の電力が足りず、デバイスまで返ってこない、などのエラーが発生する。これは使用するデバイスやタグによって変動するものなので、一概には言えないが、基本的にタグは表面に近ければ近いほどよいと考えてよい。また、このことから、必ずしもどのような形状のものにでもタグの埋め込みが可能であるわけではない。たとえば、エッフェル塔のような細長く分岐した底面しか持たないような形状の場合、タグのサイズによっては埋め込むのに十分なサイズが確保できない可能性がある。

三点目は、RFID タグと全く同じ大きさの穴を作成してしまうと、確実にタグが入らないことである。熱溶解積層法は素材を溶かしながら目的の形状に合わせて素材の積層をする方式であるが、素材となる ABS や PLA などのプラスチック樹脂は温度によって膨張・収縮するため、厳密には寸法通りのサイズにはならない。また、RFID タグと 3D プリントされた穴が全く同一のサイズだったとしても、本研究で作成したエクストルーダで採用しているタグの埋め込み機構はあくまでも「落とす」ものにすぎず、タグを穴に押し込むことはできない。

以上のことを踏まえると、実際にはユーザは 2 章で紹介した図 7 で三次元データのスライシングを行っている際に、タグがどの位置に入るのか、タグがそもそも 3D データの形状内に収まりそうか、などをデータを見ながら検証する必要があると考えられる。

3. 実験・評価

3.1. 埋め込み用コマンド生成プログラムの動作評価

3.1.1. 実験目的

本実験では、前章で作成した G コードを RFID タグが埋め込めるように変換するツールを用いて、実際にどのようなプリント物に RFID タグを差し込むことが可能なかを検証する。

3.1.2. 手法

提案手法で用いる G コード変換プログラムを用い、何種類かの 3D データから RFID タグを挿入する部分を切り取ることを試みる。なお、あくまでも変換の手法は付録に記載しているとおりの手順を踏むものとし、本来はデータ内に RFID タグが収まるはずだったが、ユーザ自身の操作ミスによりはみ出す場合については考えないものとする。

また、どの場合も元のデータよりも拡大すれば確実にタグの入る断面積の面を構成可能なので、サイズに関しては元のデータのまま、拡大縮小せずに扱った。

3.1.3. 実験に用いたデータ

本実験では、Thingiverse 上で公開されているデータのうち、「Popular」でソートした際に上位に表示されており、以下の条件に当てはまる 5 つのデータを用いた。

- ・ダウンロード数が 20000 以上
- ・アップロードされているファイルが 3D プリント用のデータとして成り立っている（メッシュが破損していない）
- ・プリント後のアSEMBルが必要ない（プリントした状態で完成）

使用したデータは次の 5 つである。



データ 1 カエル

<http://www.thingiverse.com/thing:18479>



データ 2 ゾウ

<http://www.thingiverse.com/thing:257911>



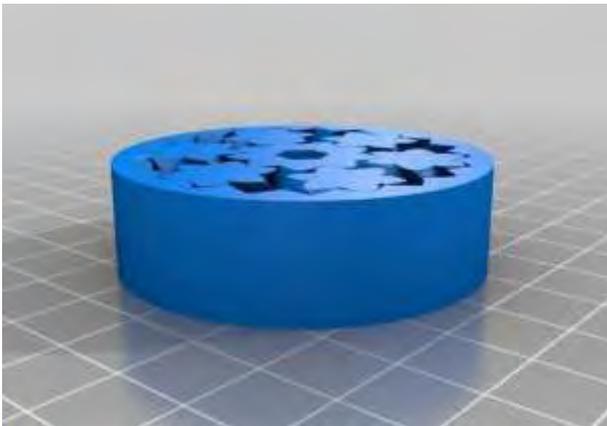
データ 3 ブレスレット

<http://www.thingiverse.com/thing:13505>



データ 4 ロボット

<http://www.thingiverse.com/thing:40212>



データ 5 ベアリング

<http://www.thingiverse.com/thing:53451>

3.1.4. 結果

どの場合も機械の移動範囲内には収まったものの、データ 3 のブレスレットとデータ 4 のロボット、データ 5 のベアリングの三種類は表面からタグがはみ出てしまうような形状でしか挿入する箇所をもうけることができなかった。

下に各データの RFID タグを挿入する部分を切り取ったあとの様子を順に記載する。なお、白い線が実際にプラスチックが出力される箇所、赤い線がエクストルーダがただ通過する箇所、青く表示されているのが挿入される RFID タグである。

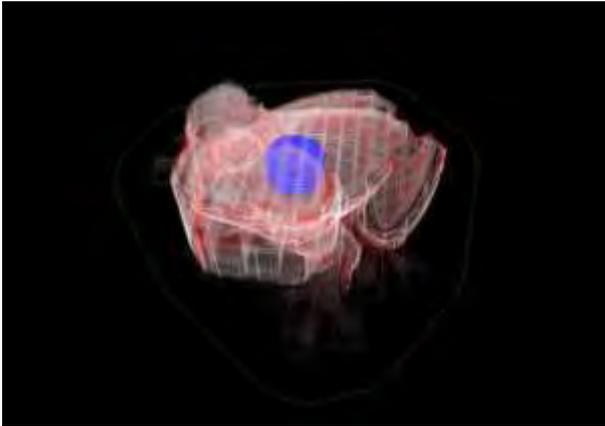


図 17 RFID タグを挿入したカエル

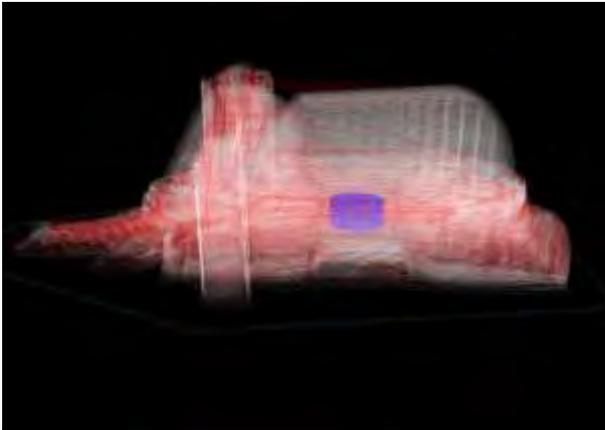


図 18 RFID タグを挿入したゾウ

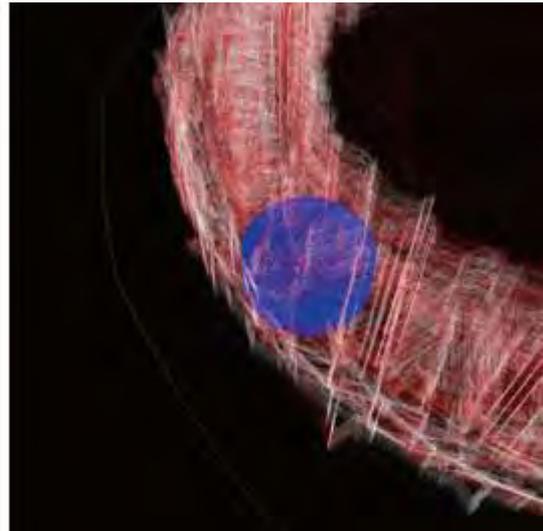
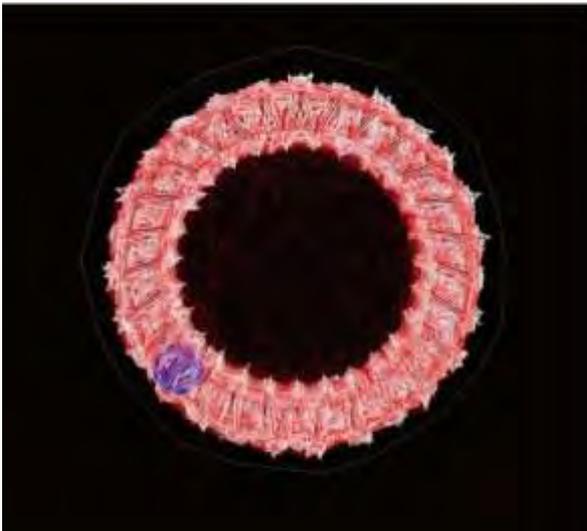


図 19 RFID タグを挿入したブレスレット

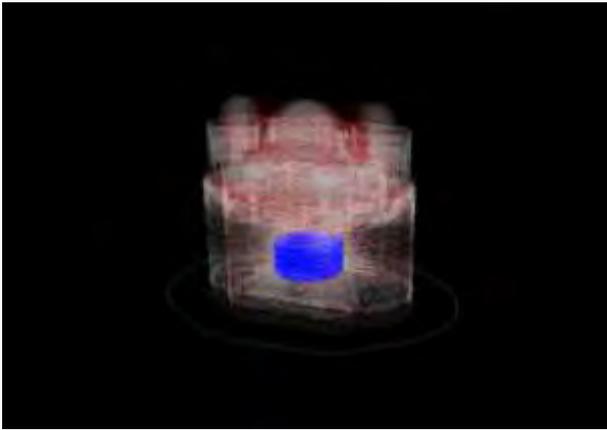


図 20 RFID タグを挿入したロボット

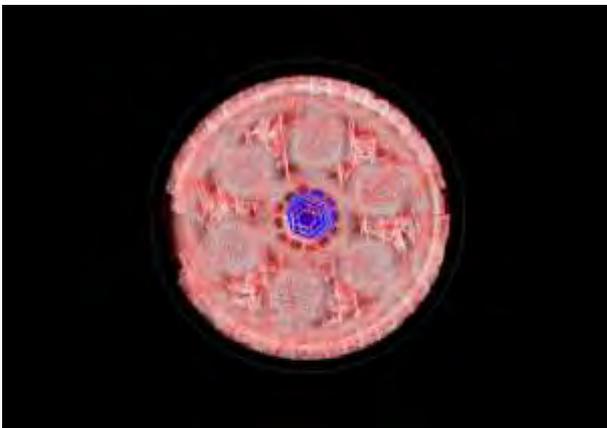


図 21 RFID タグを挿入したベアリング

3.1.5. 考察

本実験では具体的にどのような形状のものに対してであれば本提案手法を用いることができるのかについて実験を行ったが、小さすぎるもの（ロボット）、うすい膜のような形状をしているもの（プレスレット）、内部で複数のパーツに分かれており、それぞれのパーツが小さい（ベアリング）などはタグを埋め込むことが難しいことが観察された。小さいものについては、RFID タグにはさまざまなサイズや形状のものがあるため、それらをうまく使い分けることで対応可能なのではないかと考えられる。一方、今回扱ったデータの中ではプレスレットのような、うすい構造をしている物体への埋め込みは可能だったとしても、タグを垂直に立てるような埋め込みになるであろうことから、通常の RFID タグの形状や本研究でとっている埋め込みのアプローチでは埋め込みができないものと考えられる。

3.2. RFID タグの読み取り試験

3.2.1. 実験目的

前節で検証したプロセスを通じ、実際につくったものがきちんと読み取りが可能かどうか、は重要な問題である。本節では、RFID タグを埋め込んだ出力物から情報を読み取ることができるのか、また情報を読み取れるのはどれくらいの距離までなのかを検証する。

3.2.2. 手法

まず、本研究で提示したプロセス（図 7）を用いて、30 mm×30 mm×20 mm の立方体の底面から 5 mm のところに RFID タグを埋め込む（図 22）。その上で、読み取りのアプリケーションを起動したスマートフォンと立方体の間隔を変えながら、各間隔ごとにスマートフォンが RFID タグの UID を読み取った場合のうち、EEPROM の全ブロックの読み取りが成功した率を計測した。UID の読み取りを 20 回行えた時点で一回とし、各間隔ごとに 5 回まで計測を行った。また、読み取りを開始してから 10 分経過しても UID の読み取りが 20 回以上成功しなかった場合、途中で計測を打ち切り、10 分経過時点での UID 読み取り回数と EEPROM のブロック成功回数を記録した。なお、計測は読み取り精度が低下し始める 4.0 mm から開始し、読み取りが非常に困難になるまで、0.1 mm 間隔で続けた。

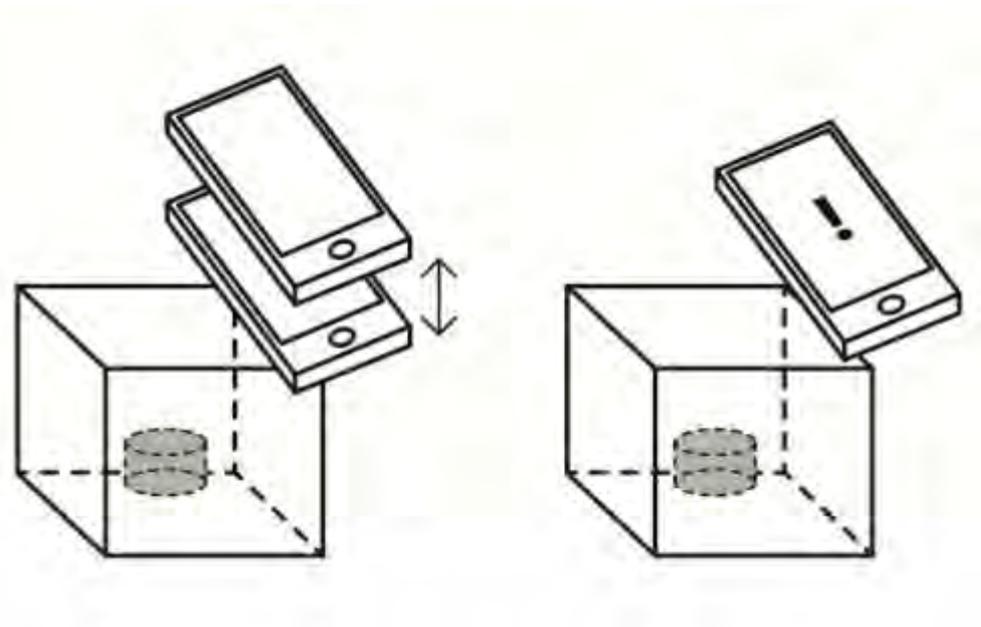


図 22 実験の様子

機械を用い、読み取る対象物との距離を変更しながら読み取りの回数を計測する

3.2.3. 結果

下記の通りである。

表 2 実験結果

	第一回	第二回	第三回	第四回	第五回
4.0 mm	06/20	08/20	07/20	04/20	05/20
4.1 mm	04/20	10/20	05/20	04/20	04/20
4.2 mm	02/20	08/20	03/20	02/20	03/20
4.3 mm	02/20	02/20	02/20	00/20	00/20
4.4 mm	00/14	00/12	00/13	00/13	00/10

3.2.4. 考察

本実験では本研究で提案した手法によって作成した物体がどれくらいの距離から読み取り可能なのかを調べた。その結果、約 9 mm 以内であれば読み取りが可能であることが分かった。近傍型の RFID タグを使っている場合だとしても、特に雑貨などの小さな出力物に対してタグを挿入する場合はものにリーダを接触させて読み取りを行うことが重要だと考えられる。

また、今回の実験では扱わなかったが、タグを埋める深さやプリントした素材、出力物の充填度（3D プリンタの場合は内部構造もユーザがデザイン可能であることから、充填度もパラメトリックであり、ユーザが自由に設定することができる）なども電波へ干渉している可能性がある。より小さなタグを埋め込む場合、ユーザがタグのデータを読み取れる範囲は非常に重要になるため、これらのパラメータについてはさらなる実験・検証が必要であると考えられる。

4. 結論・展望

4.1. 総論

本研究では3Dプリンタを用いてRFIDタグを出力物に埋め込む機能の実装とその有用性を検証すべく、二つの実験を実施した。その結果、本研究で作成した付属のエクストルーダとGコード改変ツールの有用性が示された。今後、よりデジタル・ファブリケーションや3Dプリンティングが普及していくにつれ、本研究のような、ものとその情報をリンクすることのできるツール・機械・環境が整っていくことが予想される。

4.2. RFID タグ

デジタル・ファブリケーションが急速にしつつある一方、RFIDやNFC技術の普及・発展はまだ十分とは言えない。まず、RFIDタグは従来は在庫管理など、法人向けビジネスで利用する技術、という側面が大きかったため、今後はあらゆるユーザが関与・利用可能な仕組みを構築していくことが課題となる。たとえば、さまざまなスマートフォンが「RFID読み取り可能」「NFC対応」を謳っているものの、実際にはそのほとんどは一部の規格のみの対応であったり、場合によってはソニー社のように自社のサービスに限定して利用を認めているなど、すべての規格をカバーできていないのが現状である。一方で、スマートフォンだけで直接RFIDタグを読み取るのではなく、Emmanuel M. Tapiaらのように[6]、スマートフォンやその他のIoTデバイスと連携可能なRFIDリーダーが普及することも考えられる。

また、タグ自体も今後さらに変化を遂げると言われている。2章でRFIDタグの紹介を行った際にも少々触れたが、現在UHF波をはじめ、マイクロ波(UFH、SHF、EHF)のRFIDが注目を浴びつつある。マイクロ波のRFIDタグは従来は電源供給を行って利用されていたが、近年はNear Field UHFと呼ばれる、電磁誘導できるタイプのタグも作り出されている。これは通常のRFIDよりも読み取り距離は近くに制限されてしまうものの、比較的金属や水の影響を受けづらいことや、波長が短いため回折が起こりやすく、私たちが日常生活で触れるくらいの物体は回り込んで通信することができることなどが特徴として挙げられる。

上記のような、汎用的なリーダーデバイスや今までとは異なった特徴を持つRFIDタグが登場することにより、一般ユーザの利用を前提とした規格の制定やRFIDタグの読み取り環境

のさらなる整備が進み、今後 RFID 技術が企業向けに留まらず、個人向けに普及することに期待したい。

4.3. ハイブリッド・プリンティング

現在 3D プリンタには従来は扱うことのできなかつた素材や複数の素材を組み合わせてプリントする技術や試み、ならびにその技術を搭載した機種が続々と登場している^{23,24}。これらの技術により、今後は構造的機能だけでなく、回路やアンテナ、簡易なセンサ類などをプラスチックと併せて「プリント」できるようになることも容易に想像される。事実、二次元上の回路印刷と 3D プリントを単一の機材で出力できる製品が先日公開（2015 年 1 月 5 日）されている²⁵。こういった、複数素材のプリンティング技術と RFID タグを組み合わせることで、パーソナル・ファブ리케이션のさらなる可能性が展開されると考えられる。特に、RFID タグのアンテナが行っているような電磁誘導による電源供給を行うことができるようになると考えれば、単純なパッシブ通信を行うデバイスであれば 3D プリンタですべてプリントできると考えられる（すでに女性向けのネイルとしてそのような商品も販売されている²⁶）。

また、本研究で提示した、「ものを埋め込みながら 3D プリントを行う」技術は RFID タグに限らず、従来とは異なる素材のプリント技術が今後さらに開拓されるにつれ、ますます重要になっていくと考えられる。現在 3D プリンタで新たに利用できるようになるとされている材料には、金属、砂糖など、さまざまなものがあるが、これらはすべて液状か粉末、もしくはフィラメントと呼ばれるひも状の形状をとっており、機械の内部で連続体の材料として扱えることが前提とされている。不連続な素材、たとえば機械の部品や磁石などの連続体としては扱えないものについては本研究で提示したような埋め込みの機能など、今までは利用されなかつたような造形手法を組み合わせることが必要とされるはずである。RFID タグに限らず、そのような不連続、連続を問わず、3D プリンタ向けの新しい素材が開拓されていくことでパーソナル・ファブ리케이션のさらなる可能性が開拓されるのではないかと考えられる。

²³ <http://the-sugar-lab.com/>

²⁴ <http://unfold.be/pages/ceramic-3d-printing>

²⁵ <http://www.voxel8.co/>

²⁶ <http://www.takaratomy-arts.co.jp/specials/lumideco/>

4.4. Auto-ID プリンティングシステムの未来

Auto-ID プリンティングシステムのような、RFID タグや NFC 技術を用いてもへの情報の記述を行う技術がより発展することで、具体的にどのようなことが起きるのだろうか。本節では Auto-ID プリンティングシステムをさらに発展させて考え、対象を問わず、あらゆるものに対して普遍的に情報が埋め込めるようになった社会のあり方について考えたい。また、その上で、そのためには RFID とデジタル・ファブリケーションの技術的な発達以外にどのようなことが検討されるべきであるかも考える。なお、これらの推論の結果としての未来にありうる、情報が埋め込まれたものと、その利用シナリオの詳細については付録を参照いただきたい。

ものに情報が埋め込まれるようになることで、人はそのものについてより詳しく知ることができるようになる。たとえば、それがいつ、どこでつくられたものなのか、誰がつくることを思いついたのか、誰が運んできたのか……など、ある「もの」について関連する事象をすべて情報だと考えれば、どんなものであったとしても実に多くの「情報」を持っていると言える。それらを人が知ることによって何が起きるのだろうか。

ひとつには、情報が透明化されることで安全や安心などが担保される、といったトレーサビリティに由来するものが挙げられる。宅配便の伝票のように、誰がいつ持ってきたのか分かれば、たとえば商品に欠損があったときにそれが誰の責任なのか、といったことも明示的に分かる。たとえば、食品の場合であれば、鮮度や賞味期限などの時間の情報が重要になってくるであろう。なお、1 章でも触れたが、このことはユーザにとって価値があるだけでなく、ユーザの利用状況を知ることができたり、ユーザともものを通じてコミュニケーションするすべが生まれる、という意味において、作り手にとっても意味があることであると考えている。

次に予想されるのは、人々のものへの愛着の醸成である。情報が埋まっているものはそうでないものと比べると、より「知っているような気分」になるはずである。そうやって、たくさんあるものの中のひとつ、といった抽象的かつ均質なものとしてではなく、ある固有なもの、として認識することで、そのものへの愛着がわくのではないだろうか。事実、何世代にも渡って受け継がれてきた、伝統的なものというのはその分だけその背景にあるコンテキストも深く、捨てづらい。そのようなことがすべてのもので起きるようになると想像される。

最後に考えられるのは、ものの価値基準が変わるのではないか、ということである。Hugh

McGuire と Brian O'Leary は本はつくられる過程でコンテンツによりコンテキストが締め出されてしまい、従来はそのコンテキストを司書や本屋が伝えてきたとしている[9]。これは本に限らず、すべてのものに言えることで、従来ものの価値とはいかにそれが機能的で、経済的で、場合によっては社会的であるか、ということであった。しかし、インターネット上ではものにコメントや意味を付与することが可能であり、そのコンテキストを価値として認めるような動きも見られる。たとえば、インターネットオークションサイトの「ヤフオク!」では、日々さまざまな物品の売買がユーザ間で行われているが、「彼女にサプライズで渡そうと思っていたプレゼント 2歳1か月」という名称でペンケースが2000円で出品された²⁷。この商品を投稿したユーザがそもそも自分が何のためにこの商品を購入したのか、といった商品の購入経緯とそれにまつわる話を赤裸々に記述したところ、最終的にこの商品は35,853円の価格が付けられて落札された。この現象は従来の価値基準である、製品の機能性や経済性、社会性などでは説明することができない。ここでは明らかにものに宿っている「物語」が価値とみなされているのである。

上記の三種類のことが起きると同時に、作り手と使い手、使い手と使い手など、人々の間でものを媒介とした新しいコミュニケーションもこれらの事象と同時に醸成されていくのではないかと考えられる。

RFID タグが埋め込まれたものたちが上記のような機能や価値を提供する一方で、パーソナル・ファブリケーションによって生み出されたものは、そもそも書きこまれる情報の種類や内容もものによって、さらにはユーザによっても異なるはずである。つまり、企業やサービス提供者はすべてを自分たちで設計するのではなく、情報空間の設計をユーザにゆだねたり、情報空間の設計を行うためのソフトウェアが生まれるような状況を設計する必要があると考えられる。今後はRFID タグを挿入する機構や、タグに対して情報を書き込むソフトウェアだけではなく、タグ内にいかにユーザの入力情報を記述するのか、それをどのような形でユーザに利用可能にするのか、さらにそれでユーザは何をつくるのかということが重要になるであろうと考えられる。

²⁷ <http://page6.auctions.yahoo.co.jp/jp/auction/f139847474>

5. 謝辞

学部二年生のときから二年間に渡り、田中浩也准教授にはデジタル・ファブリケーション技術から、研究に取り組む姿勢まで、実に多くのことをご指導ご鞭撻いただきました。この場を借りて深く感謝いたします。

大野一生さんと増田恒夫さんには研究の細かい技術的な話から、より広範な社会の話まで、数多くのアドバイスをいただきました。ここに感謝の意を表します。

また、研究会の学生でもない私にデザインのいろはやデザインの持つ社会的な可能性まで、数多くのことをご教授くださった水野大二郎専任講師にも、深くお礼を申し上げます。

山中デザイン研究室に半期しかまともに所属しなかった私に全く異なる視点から数々のご意見を下さった山中俊治先生、デザインのやり方にはじまり、デザインだけでなく人生との向き合い方を示して下さった江角一朗さんにもこの場を借りて深くお礼を申し上げます。

三次仁准教授、ならびに三次研の五十嵐祐貴さん、佐藤友紀さんはまったく自動認識技術のことを理解していない私に辛抱づよく RFID タグや無線の技術、プロトコルについて教えてくださいました。感謝の意を表します。

本研究の社会での実装を考えるプロジェクトとして共同で研究させていただいた凸版印刷株式会社の吉野弘一様、森本哲郎様、田邊集様には RFID に関わる技術の現況や社会での実例を数多くご紹介いただいた上、本研究についても多くのご助言をいただきました。ここに感謝の意を表します。

本研究を進めるに当たり、独立行政法人科学技術振興機構の実施する COI-T プログラム「感性に基づく個別化循環型社会の創造」の助成をいただきました。深くお礼を申し上げます。

本研究に協力して下さった深井千尋さん、綾田孝世さん、大庭広明さん、岡本そらさんをはじめ、田中研究室のメンバー、OBOG の方には公私ともに大変お世話になりました。研究会内外で日々交わされた議論がなければこの論文はありませんでした。感謝の意を表します。

最後に、日々私のことを叱咤激励してくれた家族に、この場を借りて深く感謝の意を表します。

6. 参考文献

- [1] N. Gershenfeld, *Fab: The Coming Revolution on Your Desktop--from Personal Computers to Personal Fabrication*, Basic Books, 2008.
- [2] K. D. Willis , A. D. Wilson, “InfraStructs: Fabricating Information Inside Physical Objects for Imaging in the Terahertz Region,” 2013.
- [3] N. Gershenfeld , D. Cohen, “Internet 0: Interdevice Internetworking,” *IEEE Circuits & Devices Magazine*, pp. 48 - 55, 2006.
- [4] K. Ashton, “That 'Internet of Things' Thing,” 22 7 2009. [オンライン]. Available: <http://www.rfidjournal.com/articles/view?4986>. [アクセス日: 13 1 2015].
- [5] R. Want, K. P. Fishkin, A. Gujar , B. L. Harrison, “Bridging Physical and Virtual Worlds with Electronic Tags,” 1999.
- [6] E. M. Tapia, S. S. Intille, L. Lopez , K. Larson, “The Design of a Portable Kit of Wireless Sensors for Naturalistic Data Collection,” 2006.
- [7] M. Weinländer, “Self-Organizing Production,” 03 2012. [オンライン]. Available: http://www.automation.siemens.com/wcmsnewscenter/details.aspx?xml=/content/10001666/en/gc/Pages/Adv123_S44_RFID.xml. [アクセス日: 18 01 2015].
- [8] “Smartphone OS Market Share, Q3, 2014,” IDC, 2014. [オンライン]. Available: <http://www.idc.com/prodserv/smartphone-os-market-share.jsp>. [アクセス日: 13 1 2015].
- [9] B. O. Hugh McGuire, *Book: A Futurist's Manifesto*, O'Reilly Media, 2012.

付録1:

読み取り・書き込み用アプリケーション
インストール手順 + 使用方法

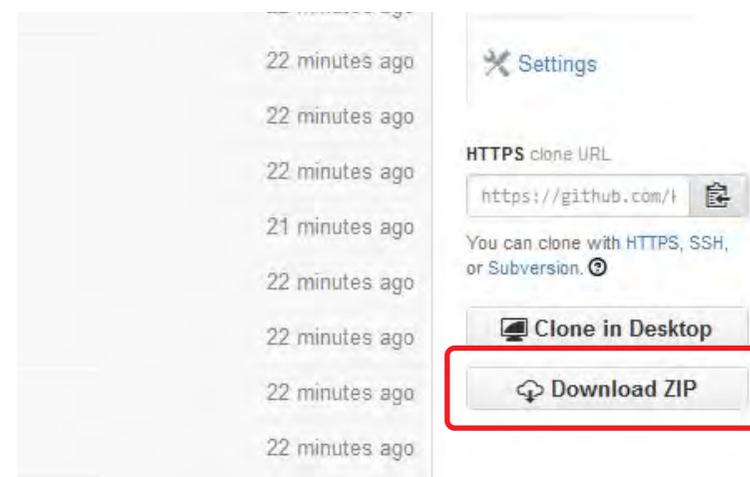
インストール手順—導入

ここでは開発環境のセットアップから、データの準備などを行う。本アプリケーションでは開発環境としてAndroid Studioを利用している。AndroidのようなJavaアプリケーションの場合、環境変数の多くが開発環境に依存しており、開発環境ごとにユニークなXMLを生成するため、他の環境で開発を行うことは可能ではあるものの推奨しない。



1. 前準備

公式ウェブサイト(<http://developer.android.com/sdk/index.html>)に掲載されている手順に従い、Android Studioのダウンロードを行う。この手順については利用しているパソコンの環境や、テスト端末の種類などに大きく左右されるので、具体的な説明は省く。なお、作成したアプリケーションはAPI Level 20を利用しているため、Android SDK ManagerからAndroid 4.4WのSDK Platformだけは最低限インストールしておく。



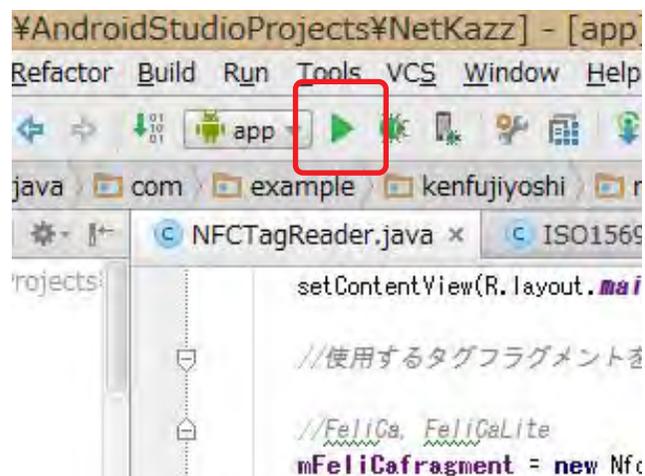
2. データの準備

本研究で作成したプログラムはgitのホスティングサービス、GitHub上で公開しているので、<https://github.com/klee-arc/rfid-reader>にアクセスし、ページの右下あたりに位置する、「Download ZIP」と書いてあるボタンを押し、ファイルをダウンロード・解凍する。

インストール手順—プログラムの実行

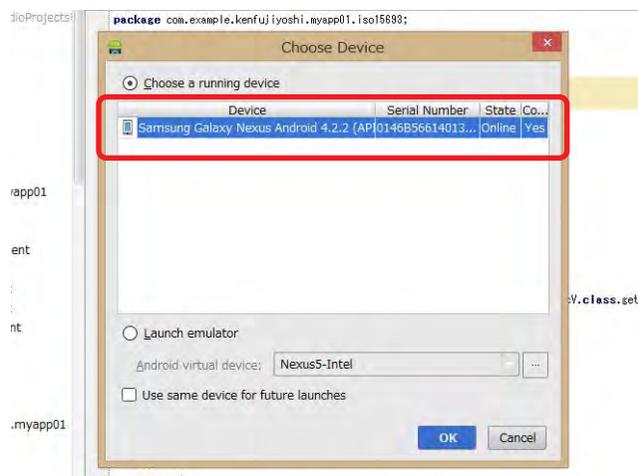
プログラムが動作する環境を整備したところで、実際にプログラムが動作することを確認する。環境の違いやバージョンの違いによって動かない場合は、設定を変更するだけでなく、多少プログラム自体を修正する必要もあるかもしれない。

プログラムがエラーを出してしまう場合は、画面下部のコンソールに表示されるので、それに従って修正を行う。ほとんどの場合、Android Studio自体が解決法を提示してくれるので、修正する必要があるときでも、それに従うだけでほとんどの場合は済む。



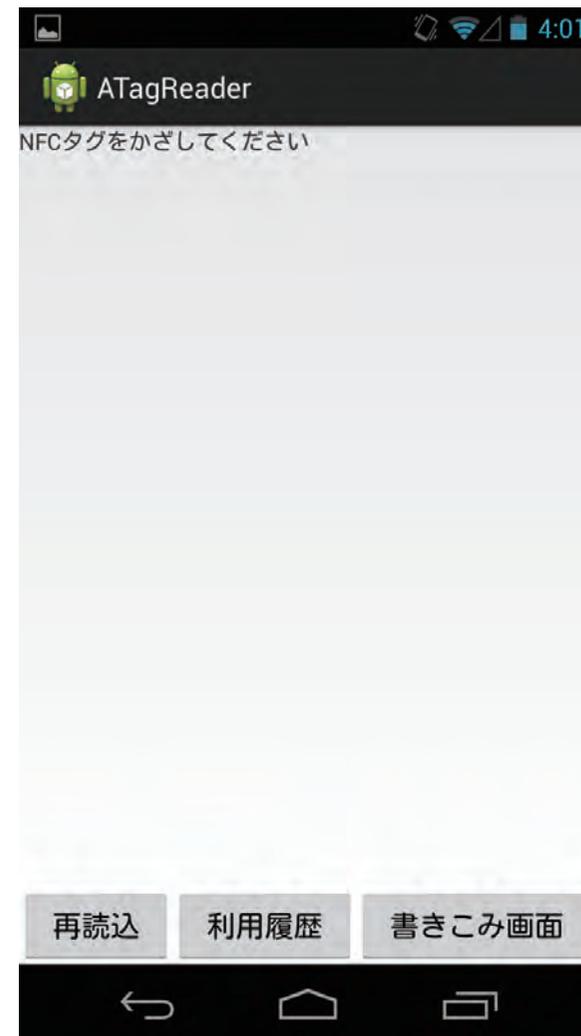
3. プロジェクトのビルド

GitHubからダウンロードしてきたデータを適当な場所に置き、Android Studioを立ち上げる。File → Openから、ダウンロードしてきたファイルが一覧あるところを参照すると、プログラムがすべて読み込まれる。この状態で、画面上部の、緑色の三角形のボタンを押すと、プロジェクトのビルドが実行される。



4. デバイスの選択

プロジェクトのビルドを実行した際、開発しているパソコンにAndroid端末が繋がっていると、そのAndroid端末がビルド先の候補にあらわれ、シミュレーションを端末自体で体験することができる。本アプリケーションはNFCを使うことが前提となっているため、デバイスなしで動かしても何も起きない。

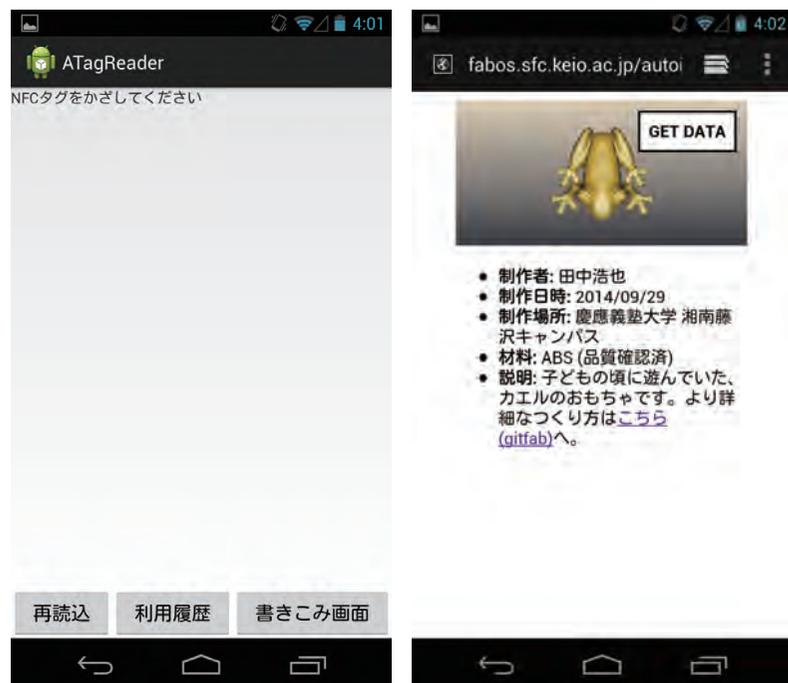


ビルドが成功した場合現れるアプリケーションの画面

アプリケーションの使用方法

アプリケーションが動くようになったら、今度はそれを動かしてみる。本研究ではISO15693 規格のタグを使っているが、本論でも述べた通り、端末によっては一部のRFIDタグの読み取りをサポートしていない場合もあり、そのような端末のエラーはこの段階で発生する。

タグの読み取り



アプリケーションを立ち上げ、何らかのURLを書き込んであるRFIDタグが入った「もの」に対して端末をかざすと、自動的に読み取りを行い、その「もの」が指しているURLを参照する。なお、URLはスキーム名も込みで、記述する必要がある。

タグへの書き込み

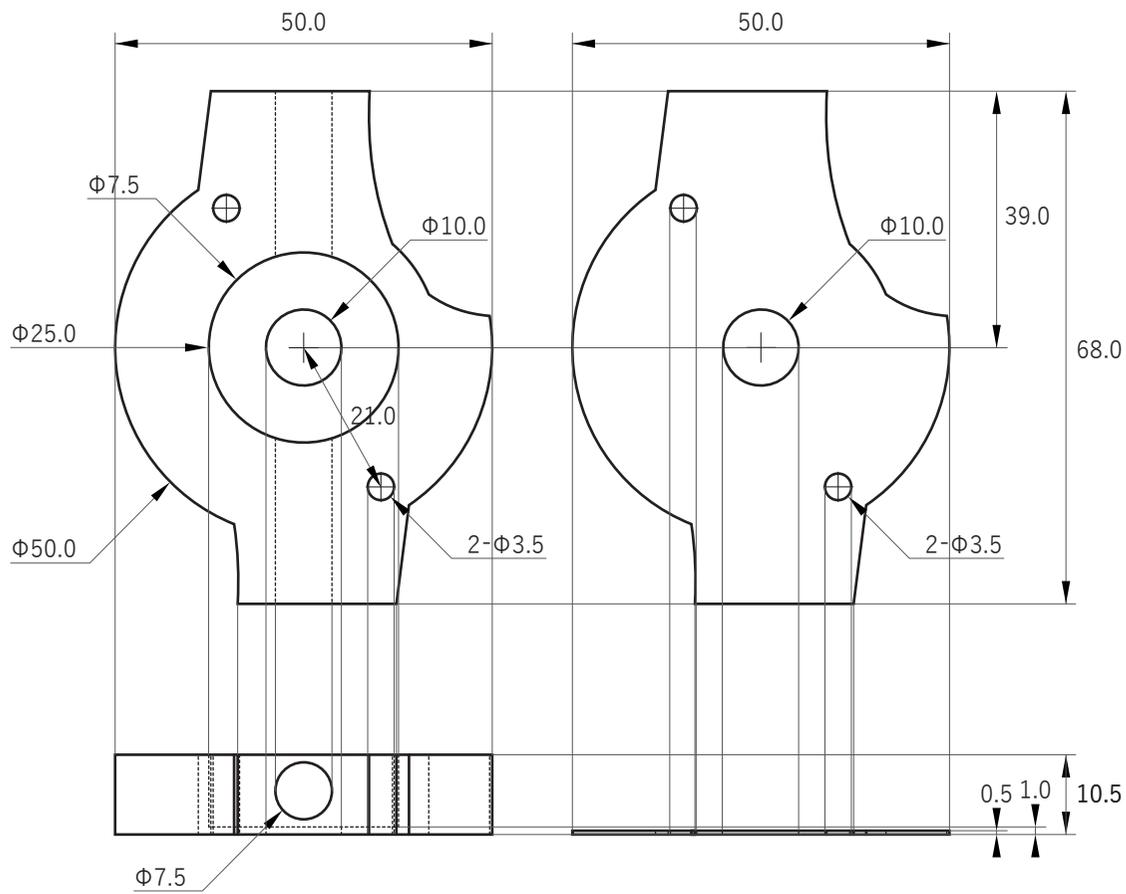


タグを読んだ状態で、そのまま画面の右下にある「書きこみ画面」のボタンを選択する。そうすると、どのブロックを利用するのか、というチェック欄と、下にアンロックしたブロックに対して書き込む文字列の入力欄が表示されるので、書き込みたいURLを入力し、URLの文字列長分だけブロックにチェックを入れたのち、「書きこみ」ボタンを押す。

※ 書き込みの途中でタグを離したり、ずらしてしまうときちゃんと書き込めない場合があるので注意

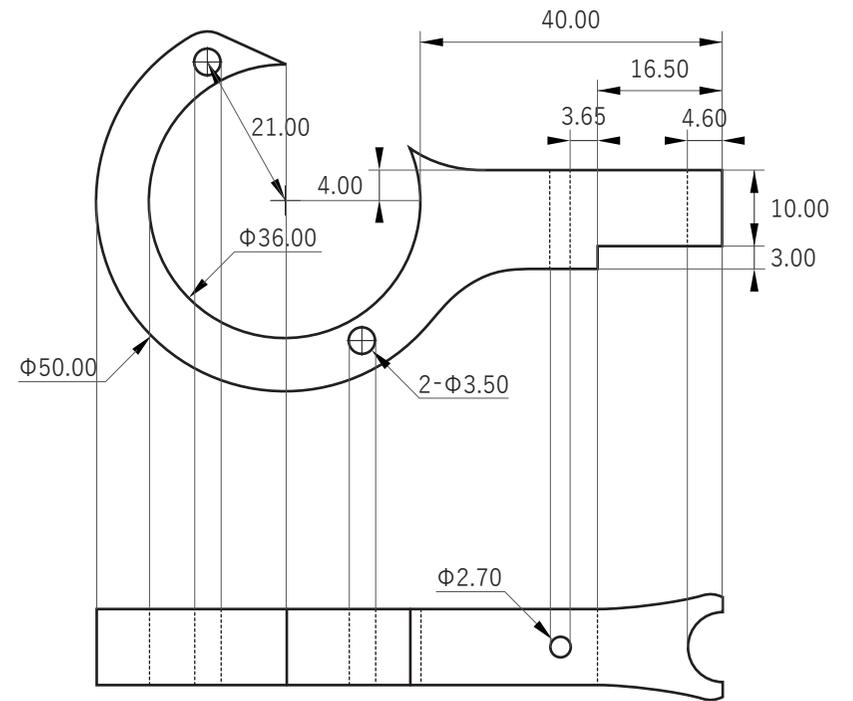
付録2:

エクストルーダ図面 + 使用方法



タグガイド

ガイドカバー



モータホルダ

エクストルーダ 詳細図 (1:1スケール)

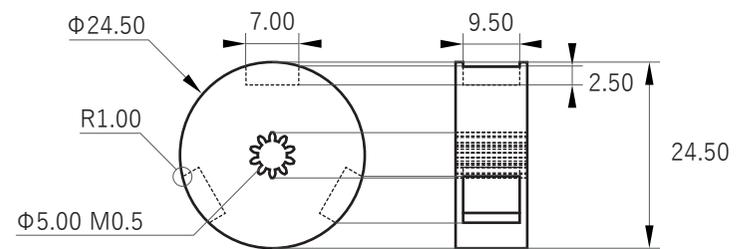
タグガイド : PLA、もしくは同等のプラスチック素材

ガイドカバー : アクリル

モータホルダ : PLA、もしくは同等のプラスチック素材

カムモジュール : PLA、もしくは同等のプラスチック素材

ステッピングモータ : PF35T-48LA



カムモジュール

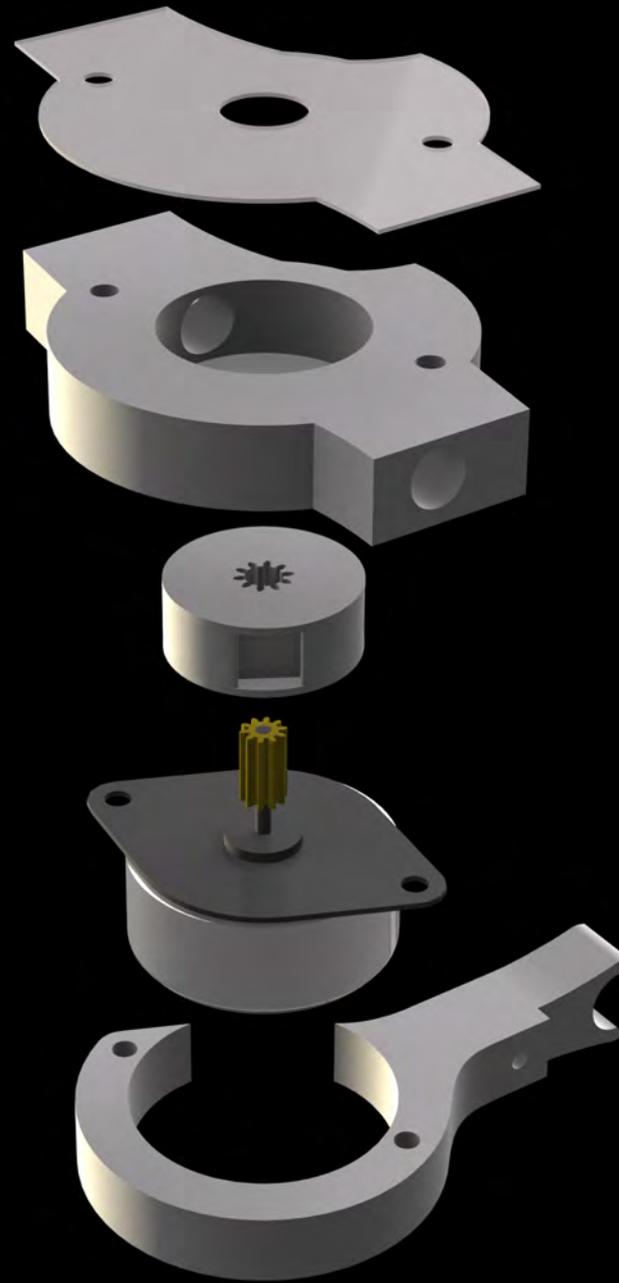
ガイドカバー

タグガイド

カムモジュール

ステッピングモータ

モータホルダ



エクストルーダ 構成図

ステッピングモータ設定方法

ここではステッピングモータをE1のエクストルーダとして使用するための手順を紹介する。

1. まず、液晶スクリーンを取り外し、RAMBOが見える状態にする。液晶スクリーンは裏に幅広のケーブルが取り付けられているので、断線しないように注意。



2. 上の図で赤い丸で囲った部分にE1の表示があり、その部分のハウジングが空いていることを確認。このあとコネクタを取り付けるが、万が一に備え、各ケーブルに上図のようにラベリングを行っておくとよい。

なお、図の左に見える白黒のケーブルは各稼働軸の原点設定をするディテクタスイッチのためのもの、中央右の白いケーブルはサーミスタのもの、下は左から、X軸、Y軸、Z1軸、Z2軸、E0、E1のステッピングモータ用のものである。

3. ステッピングモータのケーブルを準備する。RAMBOの基盤はバイポーラ用のものとなっているため、バイポーラはそのまま接続すればよい。ユニポーラ方式の場合は電源用のケーブル以外を用いて、バイポーラのように扱う。



どれが電源のケーブルであるかは、コイルごとに、三本のうちケーブルを二本ずつ選び、その抵抗を計ることで識別可能である。すべての組み合わせのうち、一番抵抗が高い二つのケーブルの組み合わせのとき、それ以外の一本を接続しなければよい。

RAMBOへの接続にはハウジングが必要となるが、これは2.54mmのピッチのものを使用すればよい。

4. 最後に、コネクタをE1のソケットへと差し、プリンタのファームウェアを書き換える。エクストルーダを動かすためには必ず対になるサーミスタを指定する必要があるが、configuration.hでCold ExtrudeをTrueに、E1のサーミスタの設定をすべてE0と同じにすることで、E0と同一のサーミスタを使いながら動かすことができる。

また、下のリンク*にアクセスし、「Steps permillimeter - leadscrew driven systems」の項目にモータの1ステップあたりの角度、使用しているRAMBOのステップ解像度(通常1/16)、一回転あたりのエクストルーダピッチ(通常M6)、ギア比(通常1)、を入力することで得られる値(本研究では192.0であった)をEEPROMのExtr.2 steps per mmに入力することでモータを動かすことができるようになる。

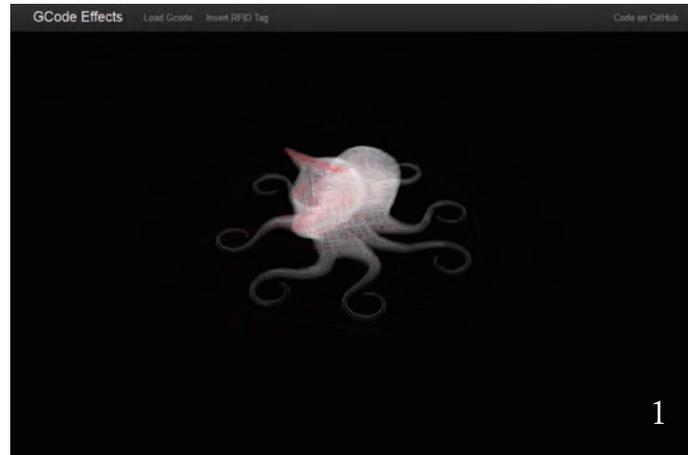
(*モータの設定計算アプリ:<http://prusaprinters.org/calculator/>)

付録3:

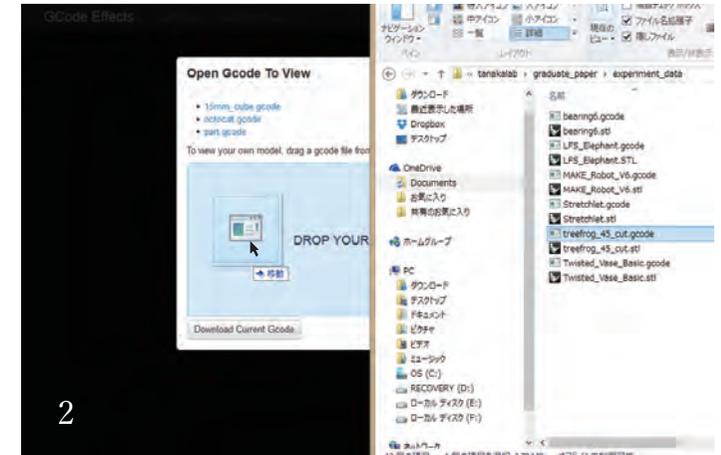
埋め込み用コマンド生成プログラム使用方法

データの取り込み

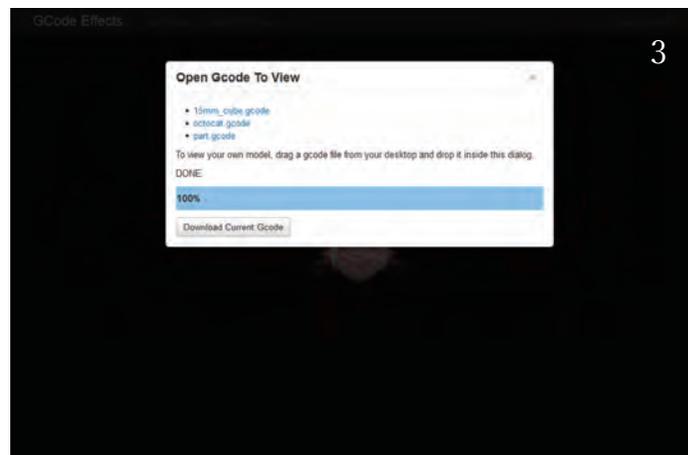
Gコードを変更するにあたり、まずは変更を行う元のデータを取り込む必要がある。ここでは、GCODEファイルの取り込み手順を紹介する。



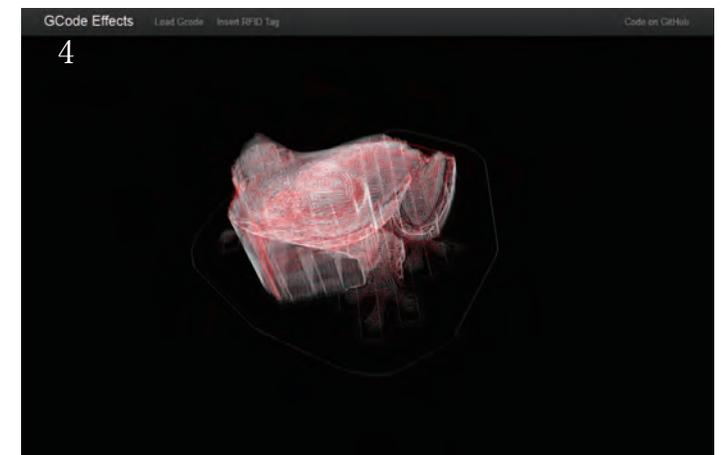
<http://klee-arc.github.io/gcode-effects/>にアクセスし、アプリケーションがきちんと動作することを確認する。動作しない場合、ブラウザのバージョンなどを確認する。



読み込みたいファイルを画面に対してドラッグし、水色に展開されたファイル置き場にドロップする。



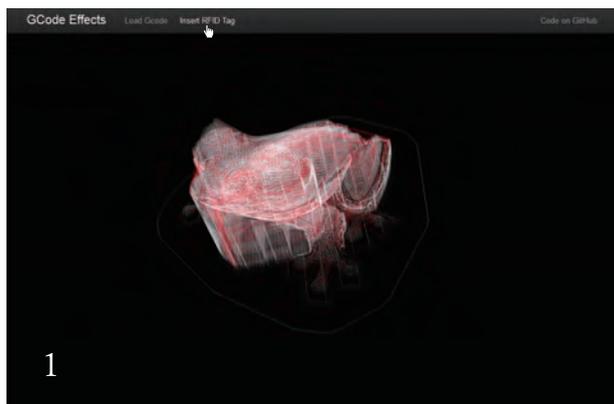
ドロップすると、ファイルの読み込みと描画が自動的に行われるので、完了するまで待つ。



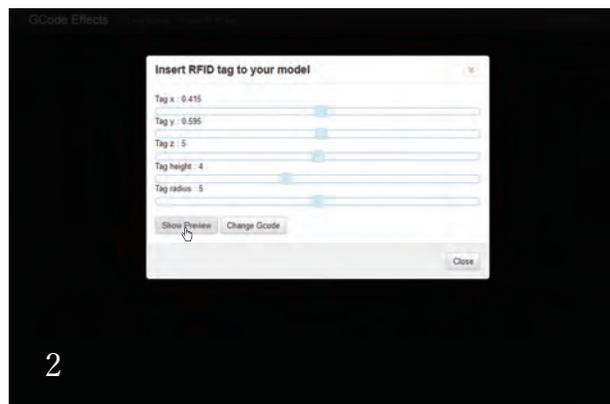
特にエラーなく読み込まれれば、Gコードによって生成される物体の様子が描画される。

RFIDタグ埋め込み部分の設定と切り出し

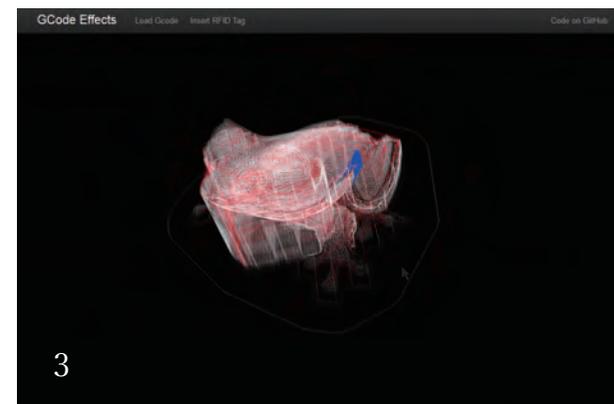
Gコードを読み込んだ後は、埋め込むタグのサイズなどを指定し、実際に埋め込む場所を指定したのち、該当箇所のGコードを切り取る。埋め込む場所はデフォルトでは物体のおよそ中央部分に生成されるが、場所を変更することもできる。なお、画面内では、左クリック+ドラッグで視点の回転を、右クリック+ドラッグで視座の移動を、スクロールでズームイン・ズームアウトを行える。



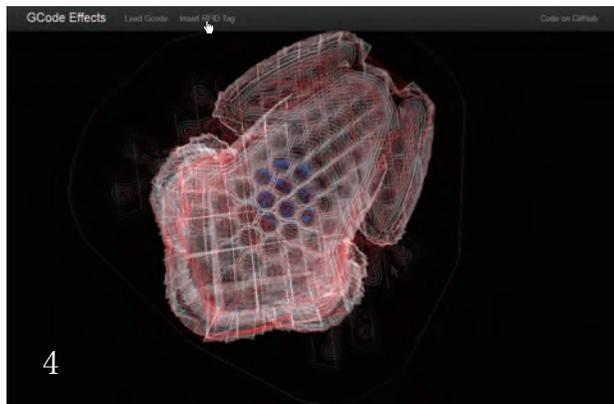
RFIDタグの挿入場所のプレビューを行うためには、画面左上の「Insert RFID Tag」と書いてあるボタンを押す。



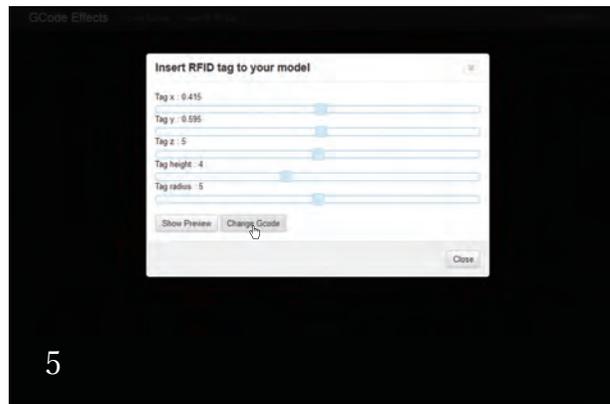
すると、タグの位置を指定するパラメータのスライダと二つのボタンが現れる。ここではプレビューを見たいので、「Show Preview」を押す。



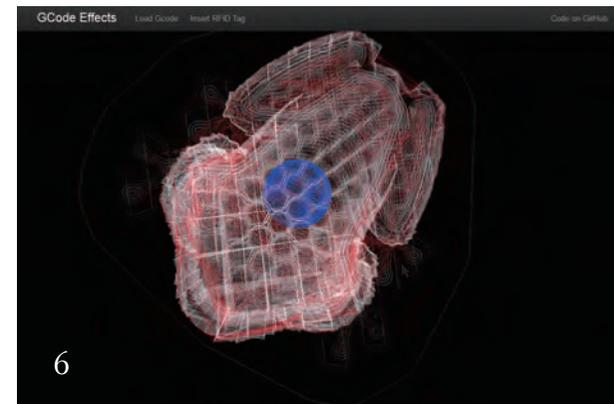
すると、計算が行われ、タグを挿入する場所に青いタグの形状が現れるので、青が出力物にすっぽり収まるように、タグのパラメータを調整する。



タグが出力物内にすっぽり収まるまで調整を繰り返す。調整が終わり次第、再度「Insert RFID Tag」を開く。



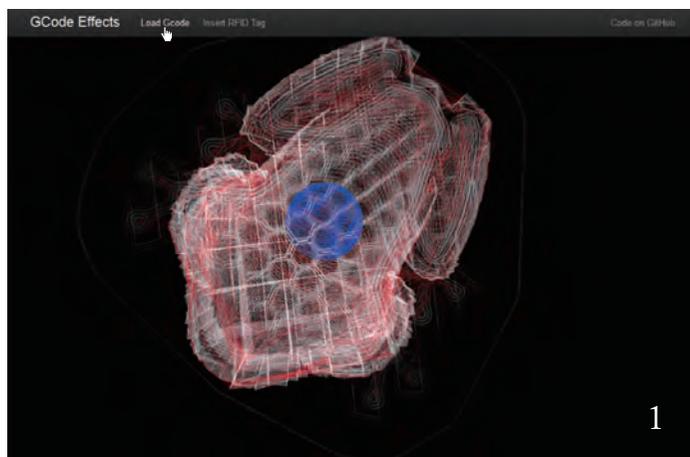
パラメータが正しいことを確認し、「Change Gcode」を選択すると、RFIDタグの分の穴を生成する。



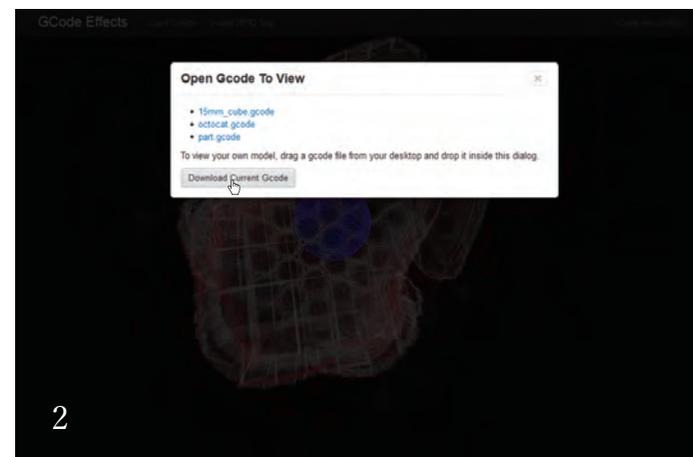
Gコードの書き換えが終わると、表示も更新され、RFIDタグの埋まっている箇所の部分がよりくっきり見えるようになる。

ファイルのダウンロード・仕上げ

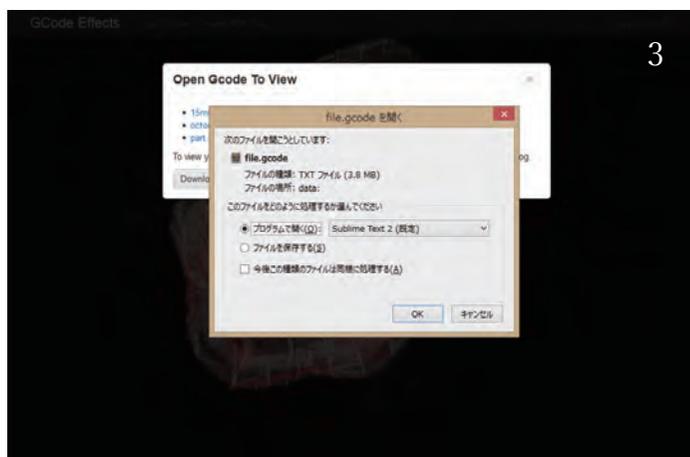
ここではRFIDタグ用の穴を生成し終えたファイルをダウンロードし、最終的にRFIDタグを埋め込む用のGコードとして完成させるプロセスについて解説する。



1
左上のメニューより、「Load Gcode」をクリックする。



2
ファイルを開くためのメニューが立ち上がるので、その一番下にある「Download Current Gcode」を選択すると、ダウンロードが開始される。



3
ファイルは元のファイル名に関わらず、すべてfile.gcodeという名称でダウンロードが開始される。

```
200768 G1 X-0.198 Y-21.217 E1.20121
200769 G1 X-0.555 Y-21.460 E1.20682
200770 G1 F6000.000 E0.20682
200771 G92 E0
200772 G1 Z9.090 F7800.000
200773 ; DROP TAG HERE
200774 G1 X0.800 Y-20.620 F7800.000
200775 G1 X0.905 Y-24.628 F7800.000
200776 G1 X0.000 Y-24.850 F7800.000
200777 G1 X0.000 Y-27.851 F7800.000
```

なお、RFIDタグの挿入コマンドはエクストルーダに大きく依存するため、

```
// DROP TAG HERE
```

とfile.gcode内に記述された場所に後から書き込む仕様となっている。

たとえば、本研究の場合、該当箇所へタグを挿入するにあたり、

```
T1
G1 X... Y...
G1 E...
T0
```

と記述する必要がある。

付録4:

RFIDタグでつくられたものが社会に普及した際に
考えられるシナリオ例



シナリオの構成について

本付録では、RFID タグが普及した際に登場しうるプロダクトやサービスを提示する。また、それらが具体的に RFID タグのどのような特徴を生かしているものなのか、それが人々の生活をどのように変えうるのかを考える。

なお、本付録の内容はすべて RFID が持つ技術的な特徴やエッセンスのみをベースとして記述しているため、実際に作ることができるか、ビジネスとしてうまく機能しうるか、ということについては一切考慮していない。

トレーサブルな食品

安全のためのRFID



- 材料のタマゴがどこのもなのか分かるサンドイッチ
- 製法やこだわりが分かるパスタ
- 農家の人が精米している様子が見える米
- 穀が現在どのように利活用されているかが分かるココナッツジュース

元来、RFID タグは物流、在庫管理などの用途で利用されてきたが、あくまでも工場や倉庫内で使用されているコンテナや容器に埋め込まれているものであり、ものに個別に付与することは行われてこ

なかった。

すべてのものに RFID タグが付与できるようになったとすると、それらが工場内外で経てきたプロセスを記録することで、ものの製造過程の透明化が行われるようになるはずである。

特にこのような「透明性」や「トレーサビリティ」が重視されるのは食の分野である。素材についても、最終的な料理についても、産地や加工手段、加工日などの情報が衛生面の理由から非常に重要視されている。

親から子へ、人から人へ

継承のためのRFID

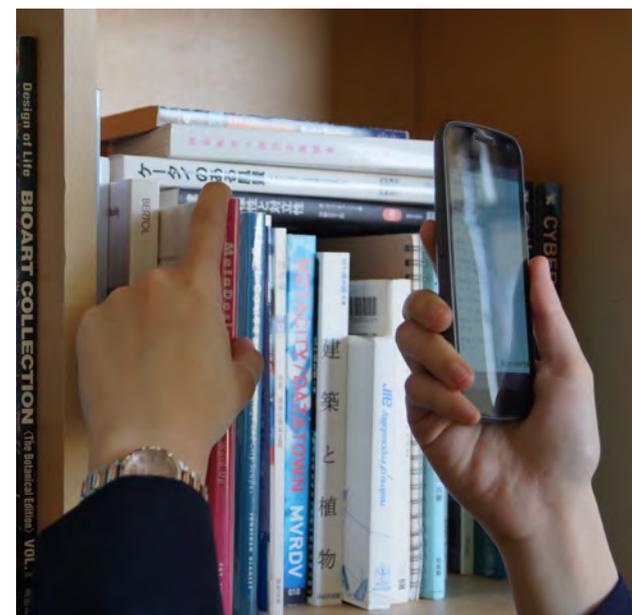
人々は日々さまざまなものを消費して生活しているが、一方で絶対に手放そうとしないものもある。たとえば、自分の家系が代々連綿と受け継いできた置物や家具などはその代表例である。しかし、引越など、そのような思い出のある品でもどうしても手放さなければならないときもある。

また、書籍のように、消費されてもただ捨てられるのではなく、中古品として販売され、再度誰かに

- 前の持ち主が他にどのような本を持っていたのか分かる古本
- 前の持ち主がどのような手入れを行っていたか知ることのできるアンティーク家具
- 先祖の名前が記録されているネックレス

消費されるようなものも存在する。

こういったものたちは私たちが普段触れているものの中でも、とりわけ思い出や愛着が強く、ものがたりも深いものとなる。それらを情報として付与することで、商品としての新しい価値を生み出すことも考えられる。



フィジカル・インタフェース

UI技術としてのRFID

- ・ 建物の情報を埋め込んだジオラマと、建物を読み取ることで、その建物の現在状況などが読み取れるアプリケーション

現在、情報と人が触れあうために数多くのデジタルデバイスが提供されているが、それらのデバイスの多くは現実世界の情報を取り込み、それらを解釈するすべを持たないため、結果的に人間の力によって動作していることが多い。たとえば、目の前にある商品が何かを検索しようと思っても、多くの場合は名称を知らなければ検索することはできない。

RFID タグを用いてもものに情報を埋め込むことでものと直接的な情報のやりとりを行うことができるようになるはずである。この事実は、ものがそれ自身と情報空間において触れ合うインタフェースを提供していると言える。



パーソナル・ファブリケーションが普及にするにつれ、ものをつくるという行為は工場や家に留まらず、FabLab のような市民工房のような場所でも行われるようになるはずである。そのようにものづくりの現場が広まる、ということは、工場ですべて使われていたような、在庫管理や加工手段を記録する道具としての RFID タグの利用法が

スマートなものづくり

ものづくり、管理のためのRFID

- ・ 組み立て手順が内蔵されている模型
- ・ 付属部品が組み込まれた金具

そのようなものづくりの場でも利用されるようになると思われる。

モジュールで扱うような商品や扱いが難しいような商品の場合、このような組み立て情報を RFID タグを通じて提供する可能性は大いに考えられる。