

# ブロックチェーンを用いた3Dプリントにおける製造情報保存システムの提案

阿部涼介\* (指導教員 村井純\*\*)

\*慶應義塾大学 総合政策学部4年 (2017年3月卒業予定)

\*\*慶應義塾大学 環境情報学部

\*s13033ra@sfc.keio.ac.jp, \*\*jun@sfc.keio.ac.jp

キーワード：デジタルファブリケーション, 3Dプリント, 製造責任, ブロックチェーン

## 1 イントロダクション

デジタルファブリケーションとは、3Dプリンタやレーザカッタといったコンピュータに接続されたデジタル工作機器を用いて3Dモデルから実際に物を整形する技術のことである。近年、コンピュータの普及とともに、3Dプリンタやレーザカッタといったデジタル工作機器が特許失効などの理由で安価かつ小型になり、3Dモデリングのソフトウェアもオープンソースのものが現れ、個人がデジタル工作機器を用いて手軽に製造が行える環境ができつつある。中でも、3Dプリンタの市場規模は2019年には26億ドル超となるとされ、急速な市場成長からもその普及が読み取れる[1]。しかし、現在のデジタルファブリケーションでは製造責任の追及可能性および知的財産権の保障は担保されていない。本研究では、ブロックチェーンを用いて3Dプリントの製造物の情報をP2Pアーキテクチャ上に保存し、製造責任の追及および知的財産権を保障できるシステムを構築する。

## 2 目的

本研究の目的は、3Dプリンタが一般化し、パーソナルファブリケーションと呼ばれる分散的なものづくり環境において、製造物の製造情報をP2Pアーキテクチャ上に保存し、製造責任の追及および知的財産権を保障できるシステムを構築することである。

### 2.1 パーソナルファブリケーション

デジタルファブリケーションの普及の中、3Dモデル共有サービスThingiverse[2]などインターネットを通じて“作る方法”の共有も進んでいる。単に製造するだけでなく、アップロードされている3Dモデルを自分の使用環境に合わせて改変し3Dプリンタで

製造することも可能となっている。そうした個人的なものづくりを行うパーソナルファブリケーションも急速に普及している[3]。

## 2.2 製造責任と知的財産権に関する法制度

### 2.2.1 製造責任

製造責任とは、製造物責任法第一条によれば“製造物の欠陥により人の生命、身体又は財産に係る被害が生じた場合における製造業者等の損害賠償の責任”のことである。この法律では製造物の欠陥が過失であるかに関わらず、製造物が危険なものであればその責任が問える無過失責任であるとしている。制定当時、その理由としては、以下の三点が挙げられた[4]。

- ・ 危険責任:製造物の情報を消費者より製造者は知り得るため
- ・ 報償責任:製造者は製造物により利益を得るためそこから生じる責任を負うべきである
- ・ 信頼責任:製造者は自己の製品の安全性をPRしており、消費者はその品質が担保されていると期待する

### 2.2.2 知的財産権

知的財産とは、知的財産権法第二条によれば“発明、考案、植物の新品種、意匠、著作物その他の人間の創造的活動により生み出されるもの(発見又は解明がされた自然の法則又は現象であって、産業上の利用可能性があるものを含む)、商標、商号その他事業活動に用いられる商品又は役務を表示するもの及び営業秘密その他の事業活動に有用な技術上又は営業上の情報”のことである。著作権法、特許法、実用新案法、意匠法などにより製造物の知的財産権は保障され、権利者に無断な複製および製造を制限している。

## 2.3 関連研究

製造責任法および知的財産権に関する法制度は、現在のパーソナルファブ리케이션のような、個人におけるものづくりに対してそぐわない面があると指摘されている[5].今後法制度の見直しを含めて検討する必要はあるものの、コンピュータを用いたものづくりである点を活用した“ものの製造過程・利用状況のトレース”による製造責任および知的財産権の明確化を行う必要がある.既存の集中生産ではなく分散的なものづくりに関する製造情報の管理が必要であり、そのためには生産者による集中管理ではなく、分散型の製造情報管理が必要である.

デジタルファブ리케이션における製造情報の管理手法として、3Dプリントを行う際に製造物にRFIDを埋め込む技術の研究が行われている[6].プリント中にRFIDを埋め込み、IDを製造物自体に付与することで、その製造情報を管理するサーバへ問い合わせる形で閲覧し、追跡可能性を担保する.こうした技術を用いることで製造物にIDを埋め込むことが可能であり、IDと紐付けられるデータを追跡可能な形で管理するかが課題である.

## 3 手法

パーソナルファブ리케이션環境における製造責任の追及および知的財産権の保障に必要な要求は以下である.

- ・ 分散性 分散的なものづくり環境に適した分散的なデータ管理
- ・ 追跡可能性 製造物からの製造情報の追跡可能性の担保
- ・ 完全性 製造情報の改ざんがされず完全性を保つデータ管理

これらを満たすことで個人がものづくりを行う環境で、個人だけにデータの管理を任せることなくP2Pアーキテクチャ上でデータの完全性を保ちつつ追跡可能性を保障したシステムを構築できる.

以上の要求を満たすシステム構築のために、本研究で用いるブロックチェーン技術を概説し、構築するシステムの概要を述べる.

### 3.1 Bitcoinとブロックチェーン技術

2008年にSatoshi Nakamotoによって発明されたBitcoin[7]は、P2Pネットワーク上で、権威を持つサーバを作らずに自分が保有する通貨の支払いを誰にも止めさせず、ブロックチェーンと呼ばれるP2Pネットワーク上で各ノードが唯一正しいと認める公開台帳を形成し、不正な二重支払いも行えないデジタ

ル通貨システムである(以下Bitcoinのシステム全体をBitcoin,Bitcoinで扱われるデジタル通貨についてBTCと示す).

ブロックチェーンの実態は、公開鍵暗号による電子署名で表現された2者間の取引データの集合をブロックとし、ブロックのハッシュ値を次のブロックに含めることで、ブロックを連鎖させたものである.Bitcoinにおいてはブロックチェーンに格納された取引データは承認済みとなり、承認された取引データに含まれるBTCは使用済みとすることで、二重支払いを不可能としている.また、Proof-of-Work(PoW)と呼ばれる仕組みで、計算パワーを投入し暗号パズルの解を求めなければブロックを生成できなくすることで、最長のチェーンが最も承認回数が多い信頼出来るものであるとしている.もし、攻撃者が取引データを改ざんし、新たなブロックを作成、チェーンを分岐させたとしても、改ざんした取引データを含むチェーンが既存の最長のチェーンを追い越し、最長のものとなるまでブロックの生成を行わなければならない.そのため、攻撃者がマイナー全体に対して過半数を占める膨大な計算パワーを投入しなければならず、改ざんは現実的ではない.

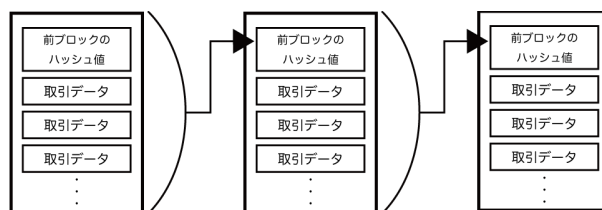


図1:ブロックチェーンの構造

### 3.2 ブロックチェーン技術の応用

Bitcoinのブロックチェーン上にスクリプトを埋め込むことで様々な応用が考えられている.Proof of Existence[8]は、文章ファイルのハッシュ値を取引データの中に書き込みブロックチェーンに格納することによって、取引データがブロックチェーンに格納された時に文章ファイルが存在していたことを証明できるサービスである.ブロックチェーン格納後にある時点で文章が存在を証明する際は、当該取引データが格納されているブロックを参照し、ハッシュ値を照合することで検証できる.

これは、Bitcoinの取引データの中に単なる取引情報の他に任意の短いデータを格納できることを利用したものである.しかし、Bitcoinブロックチェーンを用いた応用アプリケーションは、取引データ上に書き込めるスクリプトがチューリング完全性を欠

いていることから限界がある.そのため,ブロックチェーンを用いた高度なアプリケーションを開発するためには独自にブロックチェーンを構築する必要がある.

### 3.3 Ethereum

Ethereumは,ブロックチェーン上でチューリング完全なプログラム言語で書かれたプログラムを実行でき,アプリケーション毎にブロックチェーンを構築せずともブロックチェーンを用いた高度なアプリケーションを開発できるプラットフォームである[9].Ethereum上では外部所有アカウント(Externally Owned Account,EOA)とコントラクトアカウント(Contract Account,CA)と呼ばれる2つのアカウントが存在する.EOAは単に内部通貨ETHの残高を管理し,CAはアルゴリズムを記述するためのコードとその保存領域を持ち,各アカウントからメッセージを送信することでCA上のプログラムを実行できる.Ethereumでは主にSolidityというJavaScriptによく似たプログラミング言語が使われる.Solidityにより記述されたコードはコンパイルされ,CAが実行できる形として保存される.

### 3.4 提案システム概要

本研究では,本節冒頭で述べた分散性,追跡可能性,完全性を担保しつつ製造物の製造情報管理システムを構築する.そこでブロックチェーンを用いることで,P2Pアーキテクチャの分散性,また製造物と紐付けられたIDからブロックチェーンを参照することによる追跡可能性,ブロックチェーンによるデータ改ざんへの高耐性という完全性を実現できるだろう.具体的には,3Dプリンタと3Dプリンタ制御のため接続されたRaspberryPiを一つのブロックチェーンノードとすることで,3Dプリントを行う際に製造物のメタデータをブロックチェーン上に保存するという手法を用いる.製造されたものに埋め込まれたIDからブロックチェーン上のデータを読み出すことで,製造物の製造情報を参照することができる.

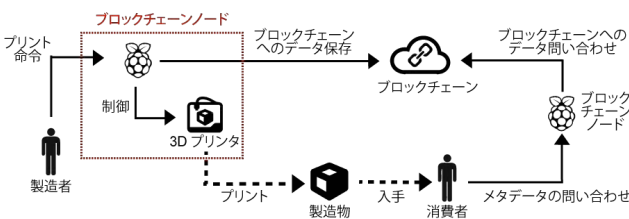


図2:システム概要図

## 4 実装

### 4.1 利用するソフトウェア

#### 4.1.1 3Dプリントの制御

本システムでは,3Dプリンタを制御するシステムとして,Octoprint[10]を用いる.Octoprintはオープンソースの3Dプリンタ制御ソフトウェアであり,RaspberryPiに導入し3Dプリントを行うことができる.3Dモデルの形式は,3Dプリント実行時のプリンタ制御コマンド体系のG-CODE形式で入力を行う.多くの機能がRESTfullなAPIで実装されており,3Dプリンタを制御しながら他のアプリケーションへ容易に連携させることが可能である.

#### 4.1.2 Ethereumへのデータ保存

本システムでは,ブロックチェーン上でメタデータを保存する方法として,Ethereum上のコントラクトとして保存する.Ethereumのクライアントとしては,Go言語で実装されたGeth[11]を用いる.GethはJSON-RPCによるAPIが実装されており,プログラムから制御できる.

### 4.2 データ登録システムの実装

ユーザが3Dプリントを行う際のシーケンス図を以下に示す.ユーザが3Dプリントを命令した際にJSON-RPCよりEthereum上にコントラクトをデプロイし,そのコントラクトアドレスをプリントされる製造物のIDとする.このIDを製造物の内部に埋め込まれたRFIDに記録することで,製造物からコントラクトを呼び出すことができ,追跡可能性を担保する.デプロイされたコントラクトは実際にブロックへ格納され検証済みとなることで,後日改ざんすることは困難になる.

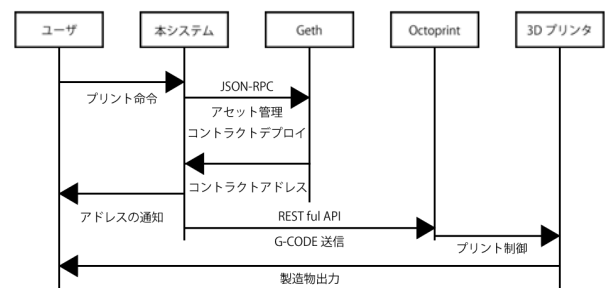


図3:システムのシーケンス

## 5 評価

今回の提案システムは,2.4節で述べた要件をそれぞれ単独の3Dプリンタ,RFIDを埋め込むことのできる3Dプリンタと定性的に比較を行うことで評価する.

## 5.1 分散性

単独の3Dプリンタについて考えると、プリントのログは3Dプリンタの内部もしくは3Dプリンタを制御するコンピュータに保存されるため、データの分散性は担保できない。また、RFIDを埋め込むことのできる3Dプリンタにおいても、メタデータの保存は分散的にはならず、単独の3Dプリンタと同様である。提案システムを用いた3Dプリンタは、P2Pアーキテクチャであるブロックチェーンにメタデータを保存するため、データの分散性が担保される。

### 5.2.2 追跡可能性

単独の3Dプリンタは、メタデータと製造物の紐付けは行われず、追跡可能性は担保されない。RFIDを埋め込むことで、メタデータと製造物のデータの紐付けが行われ、追跡可能性が担保される。本研究の提案システムにおいても、RFIDなどによってIDを付与し、ブロックチェーン上のデータを参照するため、データの追跡可能性が担保される。

### 5.2.3 完全性

単独の3Dプリンタ、およびRFIDを埋め込むことのできる3Dプリンタは、その保存されたデータの保存方法によってデータが完全性は影響を受ける。本研究の提案システムではブロックチェーンを用いるため、データを改ざんには不正な情報訂正を行わなければならない、参加ノードの50%以上の計算パワーを投入し、不正な情報訂正を認めない限り改ざんはできない。そのため、改ざんには十分な耐性を持っていると言える。

表1:各項目評価の比較

	分散性	追跡可能性	完全性
単独の3Dプリンタ	×	×	×
RFIDを埋め込む3Dプリンタ	×	○	×
本システム	○	○	○

## 6 結論

本研究では、デジタルファブリケーションの普及に伴い、既存のメーカーが大量生産したものを消費するモデルとは違う、個人的なものづくりを行うパーソナルファブリケーションが積極的に行われる分散的のものづくり環境において、製造責任の追及および知的財産権の保障を担保する3Dプリントシステムをブロックチェーンを用いて構築した。パーソナルファブリケーションにおける製造責任の追及お

よび知的財産権の保障を担保するには、分散的なデータ管理、追跡可能性、改ざんへの高耐性が求められる。P2Pアーキテクチャ上で高い改ざん耐性を持つブロックチェーン上に3Dプリント実行時にデータを保存することで、既存の単独の3Dプリンタ、RFIDを埋め込むことのできる3Dプリンタと比較して、要求を満たすシステムが構築できたと評価する。

## 7 参考文献

- [1] Worldwide spending on 3d printing forecast to grow at a compound annual rate of 27 <http://www.widc.com/getdoc.jsp?containerId=prUS40960716>, 2016.
- [2] Thingiverse. <http://www.thingiverse.com/>.
- [3] Catarina Mota. The rise of personal fabrication. Proceedings of the 8th ACM conference on Creativity and cognition, pages 279–288, 2011.
- [4] 消費者庁. 第13次国民生活審議会 消費者政策部会報告 製造物責任制度の在り方. [http://www.caa.go.jp/seikatsu/shingikai2/kako/spc13/houkoku\\_g/spc13-houkoku\\_g-4-1.html](http://www.caa.go.jp/seikatsu/shingikai2/kako/spc13/houkoku_g/spc13-houkoku_g-4-1.html), 1992.
- [5] 総務省. 「ファブ社会」の展望に関する検討会 報告書. [http://www.soumu.go.jp/main\\_content/000299339.pdf](http://www.soumu.go.jp/main_content/000299339.pdf), 2014.
- [6] Ken Fujiyoshi, Chihiro Fukai, Hiroya Tanaka, Jin Mitsugi, and Jun Murai. Rfid 3d printing objects that connote information. NIP & Digital Fabrication Conference 2014 1, pages 316–319, 2014.
- [7] Satoshi Nakamoto. Bitcoin: A peer-to-peer electronic cash system. <http://www.cryptovest.co.uk/resources/Bitcoin%20paper%20Original.pdf>, 2008.
- [8] Proof of existence. <https://proofofexistence.com/>.
- [9] Vitalik Buterin. "a next-generation smart contract and decentralized application platform." white paper. [https://www.weusecoins.com/assets/pdf/library/Ethereum\\_white\\_paper-a\\_next\\_generation\\_smart\\_contract\\_and\\_decentralized\\_application\\_platform-vitalik-buterin.pdf](https://www.weusecoins.com/assets/pdf/library/Ethereum_white_paper-a_next_generation_smart_contract_and_decentralized_application_platform-vitalik-buterin.pdf), 2014.
- [10] Octoprint. <http://octoprint.org/>.
- [11] geth. <https://github.com/ethereum/go-ethereum/wiki/geth>.