

# ブロックチェーンを利用した非集中型学習支援システムの 検証

堀 真寿美<sup>1,a)</sup> 小野 成志<sup>1,b)</sup> 山地 一禎<sup>2,c)</sup> 宮原 大樹<sup>3,d)</sup> 宮下 健輔<sup>4,e)</sup> 坂下 秀<sup>5,f)</sup>  
喜多 敏博<sup>6,g)</sup>

**概要:** インターネットは、その仕組み上、非集中型アーキテクチャの性格を強く有しているにも関わらず、今日ではアプリケーション層において集中管理の傾向が強く、誰もが何の束縛もなく自由に情報を発信できる機会を奪われているという批判がある。集中管理型アーキテクチャに起因する、多様性への対応、個人の自由度の低下に対して、ブロックチェーンに代表される非集中型アーキテクチャが今後のインターネットの重要な技術になるとみなされている。教育分野においても LMS(Learning Management System) などの学習支援システムは、集中型アーキテクチャが中心であり、我々はこれまでに、他に先駆けて、非集中型アーキテクチャを採用する学習支援システムである CHiLO(Creative Higher Education with Learning Objects) を開発してきた。本稿では、この CHiLO に、ブロックチェーンを採用することで、さらなる非集中型アーキテクチャ指向を実現し、電子書籍ストアなどの集中管理サーバーを必要としていた電子書籍の頒布、著作権に関する CHiLO Book の課題を解決するための概念実証システムを構築したことを報告する。

**キーワード:** ブロックチェーン, 学習システム, 電子書籍, オープンエデュケーション

## Verification Experiments for A Decentralized Learning Support System Using Blockchain

MASUMI HORI<sup>1,a)</sup> SEISHI ONO<sup>1,b)</sup> KAZUTSUNA YAMAJI<sup>2,c)</sup> HIROKI MIYAHARA<sup>3,d)</sup>  
KENSUKE MIYASHITA<sup>4,e)</sup> HIDE SAKASHITA<sup>5,f)</sup> TOSHIHIRO KITA<sup>6,g)</sup>

**Abstract:** Although the Internet originally has the characteristics of a decentralized architecture, today it is being operated as a centralized architecture. Because of this, criticisms are growing that people are being deprived of opportunities to transmit information freely without any constraints. The decentralized architecture represented by a blockchain is now considered to be an important technology for the Internet to restore the decline in degrees of freedom and capability in diversity which both were due to the centralized architecture. In the field of education, the main learning support systems such as learning management system (LMS) also have characteristics of centralized architecture. We have pioneered in developing a decentralized architecture based learning support system, CHiLO (Creative Higher Education with Learning Objects). In this paper, we will report the development of the proof of concept (POC) system which will further enhance the decentralized architecture of CHiLO with the adoption of the blockchain. The system solves problems regarding the distribution of ebooks without depending on the centralized management servers such as ebook stores and LMS, and the copyrights of CHiLO Books.

**Keywords:** blockchain, learning system, ebook, open education

<sup>1</sup> NPO 法人 CCC-TIES  
NPO CCC-TIES, Nara, Nara 631-0062, Japan  
<sup>2</sup> 国立情報学研究所  
National Institute of Informatics, Chiyoda, Tokyo 100-0003,

Japan  
<sup>3</sup> 山梨大学  
University of Yamanashi, Kofu, Yamanashi 400-8511, Japan  
<sup>4</sup> 京都女子大学

## 1. はじめに

インターネットは、その本来の性格においては分散処理アーキテクチャである。例えばネットワーク層の構造は、インターネット黎明期から現在まで、自律分散システムの協調動作を基本としている。しかしアプリケーションとしてインターネットを見たとき、これは集中管理型のアーキテクチャが主となってきており、その結果、個人が情報を発信する自由が奪われ、インターネットは本来の姿を見失っているという批判がある [1]。

Shrier David[2] によれば、集中型アーキテクチャは、政府や大企業により、18世紀の産業革命時代に整備された古い考え方であり、水道、ロジスティック、商取引、エネルギー、交通、医療、警察などの集中型アーキテクチャで構築されてきた社会インフラストラクチャは、現代の爆発的に拡大し多様化した産業活動にもはや耐えることができないと指摘し、これからの社会では、自律的で分散処理可能なインフラにとって代わるべきだとしている。

我々はこれまでに、非集中型アーキテクチャを採用する電子書籍をベースとした学習支援システムである CHiLO(Creative Higher Education with Learning Objects) を開発してきた [3]。CHiLO は、従来の集中型アーキテクチャを採用する LMS(Learning Management System) などの学習支援システムとは異なり、スケーラビリティが高く、日本版大規模公開オンライン講座 (JMOOC:Japan massive open online courses) の配信プラットフォームの一つである放送大学 MOOC (OUJ-MOOC) の学習支援システムとして、103 カ国の学習者へのオンライン学習提供を実現した。

しかし、CHiLO は、非集中型アーキテクチャであるものの、電子書籍を配布する際は、電子書籍ストアなどの何らかの集中管理サーバーを必要とするため、電子書籍の著者であっても、電子書籍配布サービスの管理者が許可した範囲内でしか配布先の情報を取得できない、突然のサービスの規約変更に従わざるを得ないなど、著作物配布の管理ができないという課題があった。また、インターネットに公開されているリソースであれば、電子書籍著者の判断により無制限で組み込めてしまうため、著作権上の問題が発

生する可能性があるといった課題もあった。

我々は、この課題を解決するため、ブロックチェーンを介したコンテンツ配布システムの開発研究に取り組んできた。その過程で、ブロックチェーンは、コンテンツ配布に留まらず、教育そのものに対して大きなイノベーションを引き起こす可能性のある仕組みであることに気がつき、ブロックチェーンによる学習支援システムの可能性を検討することとし、その最初の段階として、今回、概念実証システム (POC:Proof of Concept) を構築した。その構成を図 1 に示す。

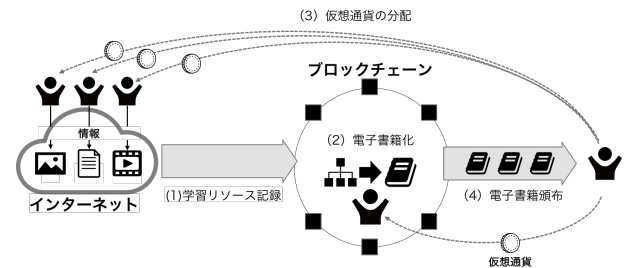


図 1: ブロックチェーンによる学習支援システム

本 POC のシステムでは、(1) インターネット上の学習リソースをブロックチェーンに記録し知的所有権を管理する (2) それらブロックチェーンで管理された学習リソースを組み立てて電子書籍を構成する (3) ブロックチェーンを介して電子書籍を配布する (4) 仮想通貨により電子書籍が取り交わされ、仮想通貨が権利者間で分配される、という 4 つの機能を実現している。

この POC により、我々は、ブロックチェーンによる P2P での CHiLO の電子書籍頒布の実現可能性を評価し、ブロックチェーン技術の教育への応用が、個々人に適応した学習環境を提供し、現代社会が求めている多種多様な生涯の学びを提供する可能性について検討を行った。

## 2. ブロックチェーンの教育分野への応用

### 2.1 ブロックチェーン

ブロックチェーンは、P2P で接続されたコンピュータが、互いに台帳を共有する非集中型アーキテクチャによる暗号化電子通貨の基盤技術である [4]。ブロックチェーンの最初の実装となった、仮想通貨基盤 Bitcoin は、2008 年 3 月から運用を開始して以来、改竄などの被害を受けることなく大規模に運用されており、この実績から、ブロックチェーンの改竄耐性、真正性、永続性、そして第三者機関を介さない通貨取引と言った特異な技術特性が注目を集めている。今日では、金融分野をはじめ、多くの分野で研究が進められている。

### 2.2 スマートプロパティ

ブロックチェーンのうち、最初に開発された Bitcoin の

Kyoto Womens University, Kyoto, Kyoto 605-8501, Japan  
5 (株) アクタスソフトウェア  
Acutus Software, Inc., Meguro, Tokyo 153-0064, Japan  
6 熊本大学  
Kumamoto University, Kumamoto, Kumamoto 860-8555, Japan  
a) hori@cccties.org  
b) ono@cccties.org  
c) yamaji@nii.ac.jp  
d) hmiyahara@yamanashi.ac.jp  
e) miyasita@cs.kyoto-wu.ac.jp  
f) ss@acutus.co.jp  
g) kita@rcis.kumamoto-u.ac.jp

プロトコルでは、利用者が所持している仮想通貨の残高と、仮想通貨の取引を記録することで、銀行などの第三者機関を介することなく、信頼性の高い仮想通貨の移転を実現している。一方、その後に登場したスマートプロパティというプロトコルでは、資産そのもの、あるいは資産を特定できるデータを台帳に記録し、データの所有者を書き換えることで、資産の所有権を移転を可能にする。スマートプロパティによる、株式、土地、貴金属などの価値の高い資産の第三者機関を仲介しない取引は、社会構造を大きく変換するとされている [5]。

### 2.3 教育分野への応用

教育の分野におけるブロックチェーンの応用は、MOOCs(Massive Open Online Courses)をはじめとした従来のオンライン教育の在り方を変えるだけではなく、特定の教育機関により教育を提供してきた、伝統的な学校制度に根本的な変革をもたらすといわれている [6]。现阶段では、教育でのブロックチェーンの利用は、Academic Credentials や Certification といった、信憑性を必要とする証明書の発行・管理の取り組みが先行的に行われている。サンフランシスコのコンピュータスクール Holberton School, シンガポールの職業大学 Ngee Ann Polytechnic では、Academic Credentials をブロックチェーンに記録し、学生が自らの学習成果として管理し、企業との人材マッチングに利用している [7]。MIT メディアラボも Learning Machine と共同で、Certification 管理システムを開発し、オープンソースとして提供している。

Academic Credentials や Certification は、学習の成果といった個人の資産に紐付く証明書である。教育機関が一旦発行した証明書は取得者の wallet 等に保管され、以後、それをどのように利用するか、教育機関は一切関わらない。そういった点で、この取り組みもスマートプロパティの応用であると言える。

また、IFTF (Institute for the future) は、10 年後の教育の姿として「Learning is earning」のアプローチのもと、ブロックチェーン上で「学び」の取引が行われ、公教育、インターネットの情報、SNS でのコミュニケーション、暮らしの中の体験など、あらゆるものから得られる「学び」を個人の資産とし、仮想通貨で取引されるという提案を行っている [8]。ブロックチェーンがもたらす教育の将来の姿を的確に描いていると考えられるが、しかし、IFTF の構想は、実現のための具体的な手法が示されていない。

## 3. CHiLO

### 3.1 CHiLO のアーキテクチャ

CHiLO は、利用者からは、EPUB3 フォーマットで記述された一冊の電子書籍に見える。しかし、その内部には、

学習リソースの実体は持たず、コンテンツカプセルと呼ばれる構造により、インターネットに分散するビデオ、クイズ、デジタルバッジ、ライブ機能など、学習に必要なツールやコンポーネントを集約して電子書籍に組み込むことができる。さらに、CHiLO 自身に電子書籍頒布の仕組みを持たせず、一般的な電子書籍ストアでの頒布、そして任意の Web サーバや LMS 等から配信し、Web ブラウザで直接、閲覧可能とするなど自由度の高い流通の仕組みをとる。この仕組みにより、CHiLO は LMS (Learning Management System) などの従来の学習支援システムのサービスの集中管理とコース中心のオンライン学習に縛られることなく、自由度の高いオンライン学習環境の構築を実現していた。

図 2 はコンテンツカプセル構造の概要である。CHiLO のコンテンツカプセル構造はメタデータ部とエンジン部から構成されている。メタデータ部は、学習リソースのメタデータとそのメタデータの構成に関するメタデータからなる。学習リソースのメタデータには、学習リソースの URL といった所在地情報やタイトルなど、学習リソースを特定できるデータが記載されている。構成に関するメタデータには、学習リソースの表示順やレイアウトなど、学習リソースが電子書籍のなかでどのように表示されるか記述されている。エンジン部には編集メソッドと表示メソッドが実装されている。編集メソッドは、メタデータ部のデータを EPUB3 フォーマットに変換する機能、表示メソッドは、電子書籍を Web ブラウザに表示する機能を提供している。

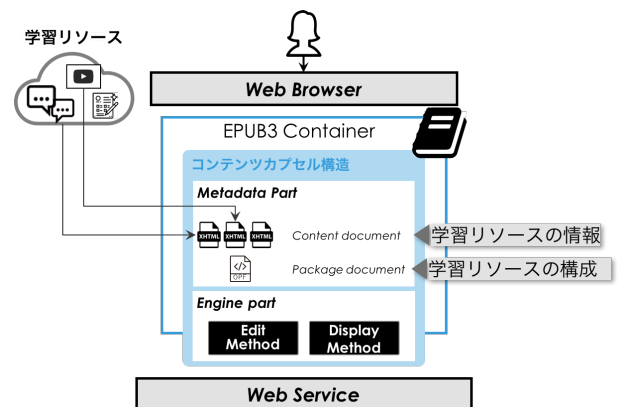


図 2: CHiLO のアーキテクチャ

### 3.2 CHiLO の実験と成果

我々は、日本版大規模公開オンライン講座 JMOOC の放送大学 MOOC (OUJ-MOOC) にて CHiLO の実証実験を行った。実証実験では、Facebook グループ上の学習コミュニティに対し、10 冊の電子書籍を Google play, iBooks Store, 独自の Web サーバの 3 チャンネルから OER (Open Educational Resources) として提供し、2014 年 4

月から約1年間で103カ国の受講者に延べ22,128冊の電子書籍を提供した[9]。これにより、特定のLMSを持たなくても、多様な国や地域の学習者にオンライン教育を提供できる事が確認できた。

### 3.3 CHiLOの課題

CHiLOの当面の課題は2つあった。

第一に、CHiLOは、電子書籍を配布する際、電子書籍ストアやWebサーバーなどの何らかの集中管理サーバーを必要とする。そのため、管理者である電子書籍ストアなどの意向に従わざるを得ない。例えば、IDPF(International Digital Publishing Forum)が提案するEPUB3は、動画やJavaScript等のコードの埋め込みが可能であるとされている。にも関わらず、電子書籍ストアによって、それらの機能は、制限されている。インターネットに接続していなければ、ローカルの動画の再生が禁止されている事例や、埋め込むことができるコードが制限されていたりする事態に、我々はしばしば遭遇した。また、ダウンロードの時系列の総数程度しか把握できず、電子書籍の著者といえどもダウンロードしたユーザーにコンタクトをとることができないといったケースもあった。

第二に、CHiLOは、インターネットに公開されているリソースであれば、電子書籍著者の判断により自由に学習リソースとして電子書籍に組み込むことができる。そのため、著作権上の問題が発生する可能性がある。現状は、電子書籍著者が、CCBYにより公開されているリソースのみを、学習リソースとして利用するよう、運用ルールを定め、提供しているが、システムとしての制限が必要となっていた。

## 4. 提案手法

### 4.1 提案手法

電子書籍の著者が、何の制限もなく自由に電子書籍配布を行うには、自らが管理する電子書籍サイトやWebサーバーにより、電子書籍を配布すれば良いが、流通力は限られたものにならざるを得ない。そこで、CHiLOの課題を解決するため、特定の管理者なしに自律的に動き続けるブロックチェーンに着目し、学習リソースの著作権管理と電子書籍をP2Pによる配布を実装するPOCとなるシステムを制作することとした。

### 4.2 POCのシステム

本POCのシステムは、Ethereumにより実装することとした。Ethereumは、オープンソースのパブリック型ブロックチェーンプロトコルの一つであり、EOA(Externally Owned Account)とCA(Contract Account)の2つのアカウントが実装されている。EOAは利用者がブロックチェーンに接続するためのアカウントであり通貨を管理すること

ができる。CAはプログラムコードとkey-valueストアを保持できるアカウントであり、プログラムコードを実行しkey-valueストアのデータを書き換えるなどして、契約自体の執行、管理、履行、支払いといった処理を行ういわゆるスマートコントラクトを実現できる[10]。CAのプログラムコードは、EOAもしくはCAから、メッセージを送ることで実行できる。また、CAが実行する処理は全てトランザクションとしてブロックチェーンに記録され、誰でも閲覧できるため、利用者は処理が実行された際に発行されるトランザクションIDをキーにして処理を監視することが可能である。

### 4.3 システムの概要

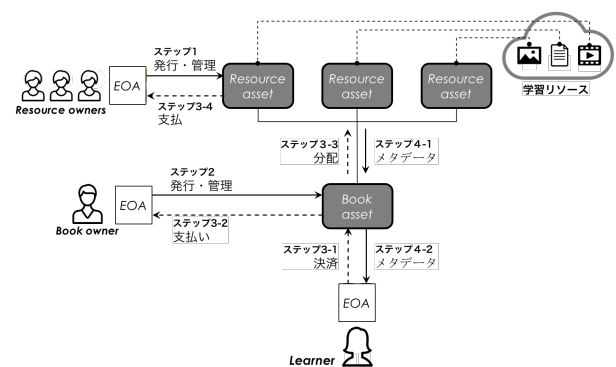


図 3: 提案システムの概要

電子書籍への学習リソースの組み込みを承諾する者は、学習リソースの著者自身のアカウントでCAのkey-valueストアに学習リソースのメタデータを記録し、利用条件をプログラムコードに記載することで、学習リソースの著作権管理が可能となる。

また、構造に関するメタデータを電子書籍の著者のアカウントでCAのkey-valueストアに記録し、その利用条件をプログラムコードに記載することで、ブロックチェーンを介しての電子書籍の発行と電子書籍の著者自身による配布の管理が可能となる。

さらに、本POCのシステムでは、ブロックチェーンの特性を活かし、学習リソース著者、電子書籍の著者がそれぞれ決定した価格で電子書籍を取引する機能を実装し、図3に示すCAの連携を行う。ここで、学習リソースのメタデータを記録するCAをResource asset、構成に関するメタデータを記録するCAをBook assetとしている。

ステップ1: 学習リソースのメタデータ:

学習リソースの所有者がEOAからブロックチェーンにアクセスし、Resource assetをデプロイし、インターネット上の学習リソースのメタデータと、電子書籍が売れた場合の学習リソースの著者の取り分を記録する。

ステップ2: 構成に関するメタデータ:

電子書籍の著者がEOAからブロックチェーンにアクセスし、Book assetをデプロイし、電子書籍に組み入れられる学習リソースのResource asset構成と電子書籍の価格を記録する。

ステップ3: 電子書籍の購入:

電子書籍の購入希望者が、閲覧したいBook assetにメッセージを送り、支払いのプログラムコードを実行して、電子書籍を購入する。仮想通貨は、学習リソースの所有者、電子の書籍作成者のEOAに配分される。

ステップ4: 電子書籍の表示:

電子書籍の購入者はBook asset, Resource assetに記録されているメタデータを取得し、電子書籍にコンテンツが表示される。

## 5. POCシステムの実装

### 5.1 Contract Accountの構造

CAのプログラムコードの記述は、Solidityと呼ばれるスクリプト言語を用いた。ソースコード1はSolidityにより記述したResource asset, Book assetのデータ構造である。Resource asset, Book assetのownerには所有者としてCAをデプロイしたEOAのアドレスmsg.senderを記録する。Book assetのResources, Descriptionsは、Book assetに組み込むResource assetの構成情報である。Resourcesは学習リソースの並び順をキーとしたResource assetのアドレスで構成されるkey-valueセット、Descriptionsは学習リソースの並び順をキーとした注釈で構成されるkey-valueセットである。bookLicenseesはBook assetを購入した電子書籍利用者のEOAのアドレスのkey-valueセットであり、ここに記録されたEOAのみがCAに記録されたデータを呼び出すことができる。

```

1 contract Resource_Asset{
2     address public owner = msg.sender; /*
      CA所有者のEOA */
3     string private resourceTitle; /* Resource
      assetのタイトル */
4     bytes32 private resourceURL; /* 学習リソース
      の実体のURL */
5     uint private resourcePropotion; /* Resource
      assetの所有者の取り分 */
6     ...
7 }
8
9 contract Book_Asset {
10    address public owner = msg.sender; /*
      CA所有者のEOA */
11    string private bookTitle; /* Book
      assetのタイトル */
12    uint private bookPrice; /* 電子書籍の価格 */
13    uint private numberOfResources; /* 組み込む
      学習リソースの総数 */
14    mapping (uint => address) private
      Resources; /* 組み込むResource
      assetのアドレス */
15    mapping (uint => string) private

```

```

      Descriptions; /* Resource assetの注釈
      */
16    mapping (address => uint) private
      bookLicensees; /* 利用許諾者 */
17
18    ...
19 }

```

ソースコード 1: CAの構造

## 5.2 CAのプログラムコード

### 5.2.1 Resource assetとBook asset

Resource asset, Book assetのデータは、プログラムコード経由でしかアクセスできないように、private宣言しているため、CAに記述したプログラムコードによりアクセスを制御することができる。CAの各データの更新はソースコード2のfunction set\_title()のBook assetのtitleを変更するプログラムコードと同様に、CAの所有者、つまりownerに記録されたEOAからのみ実行することができる。また、データの呼び出しはownerと、電子書籍の購入者のEOAが記録されるbookLicenseesに記録されたEOAからのみ実行ことができ、この仕組みにより学習リソースの著作者、電子書籍の著作者がそれぞれ決定した価格で仮想通貨を支払った者のみが電子書籍を利用できる。

```

1 /*タイトルの設定*/
2     function set_title(string title) {
3         if (owner != msg.sender) throw;
4         bookTitle = title;
5     }

```

ソースコード 2: CAのアクセス管理

### 5.2.2 電子書籍の仮想通貨による取引

電子書籍の取引は、Ethereumの内部通貨であるEtherは利用せず、独自トークンを導入した。電子書籍の売り上げは、Resource assetとBook assetの所有者に配分される。ここで、bookPriceはBook asset所有者が決定する電子書籍の価格、resourceProportionはResource asset所有者が決定する取り分である。本POCシステムでは、以下の式によって、仮想通貨をResource assetとBook assetの所有者に配分する。

$$b = (\text{bookPrice}), n = (\text{numberOfResources}),$$

$$1 \leq i \leq n$$

に対し、

$$P(i) = (\text{各 Resource asset}(i) \text{ が設定した resourceProportion})$$

とおくとき、

$$(\text{各 Resource asset}(i) \text{ の配分}) = \frac{b}{n} \cdot P(i)$$

となる。従って、

$$(\text{Book asset の配分}) = b - \sum_{i=1}^n \frac{b}{n} \cdot P(i) = b \left( 1 - \sum_{i=1}^n \frac{P(i)}{n} \right)$$

電子書籍の購入は、購入者の EOA アドレスから Book asset に直接メッセージを送信して実現する。function shareCoin() は Book asset に記述した決済に関するコードの一部である。key-value セット Resource から Book asset に組み込まれている Resource asset のアドレスを取得し、取得されたアドレスの Resource asset 所有者にトークンを分配している。さらに、決済が完了すると、key-value セット bookLicensees に、購入者の EOA アドレスが記述され Book asset のデータ呼び出しが可能となる(ソースコード 3)。

```

1 function shareCoin(uint resourceCount,uint
  pricePerResources) {
2     if(resourceCount > 0) {
3         address Licensee=msg.sender;
4
5         address R_Asset_address = Resource[
  resourceCount];
6         address R_Asset_owner = Resource_Asset(
  R_Asset_address).owner();
7         uint R_Asset_resourceProportion =
  Resource_Asset(R_Asset_address).
  resourceProportion ();
8
9         uint R_Asset_ownersShare =
  pricePerResources *
  R_Asset_resourceProportion;
10        uint B_Asset_ownersShare =
  pricePerResources -
  R_Asset_ownersShare;
11        coinSettlement (R_Asset_ownersShare,
  Licensee,R_Asset_owner);
12        coinSettlement (B_Asset_ownersShare,
  Licensee,owner);
13
14        resourceCount -= 1;
15        return shareCoin (resourceCount,
  pricePerResources);
16    }else {
17        bookLicensees[Licensee] = 1;
18    }
19 }

```

ソースコード 3: CA の決済

### 5.2.3 電子書籍の表示

Ethereum は、geth と呼ばれる CLI(Command Line Interface) によりブロックチェーンに接続する。geth のユーザーインターフェースは、Web アプリケーションにより構築できる。本 POC のシステムでは、利用者は、Web アプリケーションにアクセスして、CA のプログラムコードを実行できる。さらに、Web アプリケーションにコンテンツカプセル構造の編集メソッドと表示メソッドを組み込み、ステップ4で返却されたメタデータを電子書籍に変換し、Web ブラウザに表示する(図4)ことで電子書籍の頒布を実現した。

## 6. 評価実験

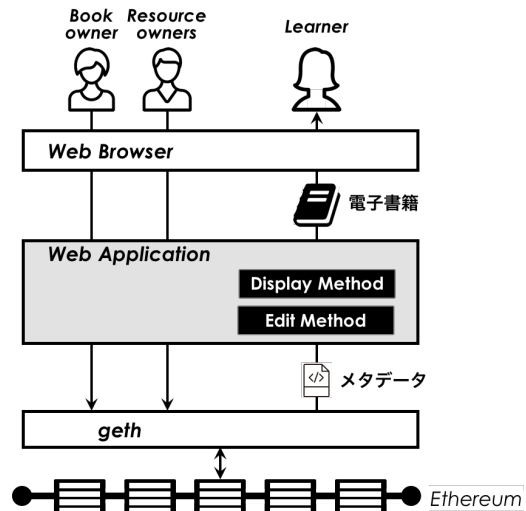


図 4: Web アプリケーションからブロックチェーンへのアクセス

評価実験では学習リソースの所有者、電子書籍の作成者、電子書籍の購読者に表 1 に示す 16 進数の文字列で構成される EOA アドレスを作り、Resource asset の発行、Book asset の発行、電子書籍の購入/閲覧の一連のプロセスを確認した。

表 1: EOA アドレスの例

利用者	EOA アドレス
学習リソース所有者	0x3274ced0e590a9e2945393f3977712f861e93a82
電子書籍作成者	0x56eb204bfb101e8a1395ad2519d6bfc1b450c4ff
電子書籍利用者	0x346d52abb01bfca5d2c489bc7d6945dbcc14dda6

### 6.1 Resource asset, Book asset のデプロイ

Youtube の映像を利用して、3 つの Resource asset をデプロイした。表 2 は Resource asset に記録された情報と、デプロイにかかる処理時間、処理の手数料に相当する Gas 量である。ここで、resourceProportion は、Resource asset 所有者が設定した電子書籍が売れた場合の取り分である。それぞれ、0.1, .2, 0.3 と設定した。また、Gas とは Ethereum の概念であり、プログラム実行に必要なトランザクションを送ったり、プログラムを実行するのに必要とされるもので、Gas Fee と呼ばれる手数料を必要とする。また、Gas Fee に対応して Gas Price と呼ばれる相場が存在する。これにより、ブロックチェーン全体のトランザクションの流通量がコントロールされる。

表 2: Resource Asset のデプロイ

記録内容	Resource asset1	Resource asset2	Resource asset3
owner	0x3274ced0e5...	0x3274ced0e5...	0x3274ced0e5...
resourceURL	https://youtu.be/ev3RTZF2nVQ	https://youtu.be/s0zkVT-4Idw	https://youtu.be/qs0Gvyanu0
resource Title	IP アドレス	IP アドレスにおける注意	オクテット表記
resource Proportion	0.1	0.2	0.3
Resource asset アドレス	0x93dbb8ad7d...	0x48a2b92b...	0xf3d46817a7...
Gas	899166	943802	900766
処理時間	14	18	18

表 3 は、表 2 の Resource asset を組み込んで作成した Book asset の情報と Resource asset 組み込みにかかった処理時間および gas 量である。ここで、bookPrice は電子書籍の著者が設定した電子書籍の価格である。900 トークンと設定した。また、Descriptions は変数 Descriptions に記述した文字のデータ量を記載しており、データ量により手数料である gas が大きくなることが確認できる。

表 3: Resource Asset の情報

記録内容	Book asset		
owner	0x56eb204bfb...		
bookTitle	ネットワーク論		
bookPrice	900 トークン		
numberOf Resources	3		
Book asset アドレス	0x7bf044ff7fe4642a4624440d6bde8bf58ce61396...		
Resources	0x93dbb8ad...	0x48a2b92...	0xf3d46817a...
Descriptions	978byte	586byte	199byte
Gas	2172360	1402829	579625
処理時間	37	60	7

## 6.2 電子書籍の仮想通貨による取引と閲覧

表 3 のとおり、Book asset には、電子書籍の価格 (bookPrice) を 900 トークンと設定した。実証実験では一つの EOA で 3 つの Resource asset をデプロイしたので、Resource asset の EOA に 180 トークン送金され、Book asset の EOA には 720 トークン送金されたことが確認できた。図 5 は、利用者が図 4 の Book asset に記述した電子書籍の取引に関するプログラムコードを実行し、電子書籍を購入した際にブロックチェーンにトランザクションとして記録されたレシートである。from として表 1 の書籍利用者の EOA アドレス、to に表 3 の Book asset のアドレスが記録され、だれがどの電子書籍を購入したかを記録されてい

る。このトランザクションのレシートは transactionHash に記録されているトランザクション ID により、永続的に管理することができる。

```

blockHash: "0xe8d6203b7fce6f3d2ac86dc8c0c68
abc34f0a077225f4c7dd43d7ae6c491aa1"
blockNumber: 914922
:
from: "0x346d52abb01bfca5d2c489bc7d6945dbcc1
4dda6"
gasUsed: 107885
:
to: "0x7bf044ff7fe4642a4624440d6bde8bf58ce61
396"
transactionHash: "0x0cd4e0b61c9936274c12706c4
4073f637222dc57cdb71de15e2625daf2e9ed3b"
:
    
```

図 5: トランザクションのレシートの例

なお、ブロックチェーンにおいて自らの紐付けを明かさな限り、EOA は個人を特定されない単なるアドレスである。従って、ブロックチェーンに記録されたトランザクションのデータは、匿名化された膨大な学習活動記録として、安心して学習解析を行い、個人にあった最適な学習を提供することも可能になると考えられる。

図 6 は、出力された電子書籍である。Resource asset として組み込んだ Youtube 映像が Book asset に設定した順と注釈とともに、電子書籍として出力されたのが確認できた。



図 6: 出力された電子書籍

## 7. 考察

### 7.1 POC で確認できたこと

本 POC において、トランザクションのレシートにより、電子書籍の取引が全て記録され、トランザクション ID をキーに誰でも閲覧できることが確認できた。また、取引条件として、電子書籍の著者が電子書籍の価格を設定することも確認できた。このことにより、ブロックチェーンにより特定のサービス提供者に管理されることなく、電子書籍の配布が可能となることが確認できた。

また、本 POC システムは、ブロックチェーンに記録された学習リソースからのみ電子書籍を制作する仕様として

いる。また、学習リソースを利用する条件として、電子書籍が配布された場合の取り分を設定できることが確認できた。これにより、CHiLOにおける著作権に関する課題が解決できた。

## 7.2 POCで明らかになった課題

本 POC システムにおいては、以下の 2 点の実装が実現できていない。一つは、Resource asset の登録者が本当に学習リソースの所有者であるかの真正性の確認までは行っていない点である。本 POC のシステムでは、Youtube に投稿された動画を Resource asset としてブロックチェーンに記録したが、他人の動画でも登録できてしまう。この課題は、リソースのキーワードやヘッダー部など所有者しか書き込めない領域に、所有者を特定できる EOA などを書き込み、ブロックチェーンに記録する際に付き合わせるなどの方法で防ぐことが可能であると考えられる。

もう一つは、ブラウザにキャッシュされる電子書籍ファイルの対応である。利用者は Web アプリケーションにより EPUB3 フォーマット変換された電子書籍ファイルを、ブラウザで閲覧するため、ブラウザには電子書籍ファイルがキャッシュとして残される。ブラウザにキャッシュされたファイルは比較的簡単に取り出せるため、厳密なコンテンツの著作権保護はできていない。この課題は、メタデータから電子書籍への変換をローカルアプリケーションにより行い、変換された電子書籍を取り出しにくくする工夫を施すことにより、ある程度防ぐことが可能であると考えられる。

## 8. まとめ

本 POC のシステムにより、ブロックチェーンを利用して、(1) ブロックチェーンへの学習リソースのメタデータの登録 (2) 登録されたメタデータを組み合わせた電子書籍の制作 (3) 電子書籍の仮想通貨による取引を実装した。このことにより、ブロックチェーンにより、電子書籍の配布が配信サービス提供者に管理されてしまっている、組み込む学習リソースに関して著作権上の問題が発生する可能性があるといった、CHiLO の課題を解決できることが確認できた。

Tapscott[11] は、非集中型アーキテクチャの教育の社会的基盤にもたらすインパクトについて次のように予想している。まず、第一段階は、ブロックチェーンを教育に取り入れることにより、教育コンテンツを仮想通貨で交換する“Content Exchange”が行われるようになる。次の段階では、教育コンテンツを共同作成したりコースウェアを作ったりする“Content Co-innovation”が起きる。最後に、高等教育機関が伝統的な教室や講義や入学、卒業といった枠を捨て、社会、政府、企業に教育を提供するノードになる“Global Network”が始まり、ついには、個々の大学の個性

を失って“Meta-University”になるとしている。

本研究の POC のシステムは、ブロックチェーンが、コンテンツ流通に大きな役割を果たすことが、実験的にはあるが、具体的な形で確認でき、Tapscott の予想する社会的基盤の第一段階を形成するための必要な要素の一つであることを検証することができた。

謝辞 本研究は、JSPS 科研費 JP7H01844 及び国立情報学研究所平成 29 年度共同研究戦略研究公募型課題番号 13 の支援を受けたものです。

## 参考文献

- [1] Tim Berners-Lee. “Keynote Address: Re-decentralizing the web – some strategic questions”. *Decentralized Web Summit. June 8, 2016*. [https://archive.org/details/DWebSummit2016\\_Keynote\\_Tim\\_Berners\\_Lee](https://archive.org/details/DWebSummit2016_Keynote_Tim_Berners_Lee) (accessed August 15, 2017), (2016).
- [2] David Shrier. *Alex Pentland, Frontiers of Financial Technology: Expeditions in future commerce, from blockchain and digital banking to prediction markets and beyond*. CreateSpace Independent Publishing Platform. ISBN-13 978-1537248899. (2016).
- [3] 堀真寿美, 小野成志, 小林信三, 山地一禎, 喜多敏博, 山田恒夫. 「再利用可能なマイクロコンテンツ学習基盤の開発」, FIT2016 第 15 回情報科学技術フォーラム, (2016).
- [4] Satoshi, Nakamoto. “Bitcoin: A peer-to-peer electronic cash system”. Bitcoin. org. [cit. 2014-11-13]. DostupnÁj z: <https://bitcoin.org/bitcoin.pdf> (accessed August 5, 2017), (2008).
- [5] Melanie Swan. *Blockchain: Blueprint for a new economy*. O’Reilly Media Inc., (2015).
- [6] Rebecca Campbell. “Holberton School Begins Tracking Student Academic Credentials on the Bitcoin Blockchain”. *Bitcoin Magazine*. <https://bitcoinmagazine.com/articles/holberton-school-begins-tracking-student-academic-credentials-on-the-bitcoin-blockchain-1463605176> (accessed August 5, 2017), (2016).
- [7] Nurfilzah Rohaidi. “Using Blockchain for student certificates slashes admin costs”. *GovInsider*. <https://govinsider.asia/digital-gov/patrice-choong-gee-ann-polytechnic-campus-ecosystem/> (accessed August 5, 2017), (2017).
- [8] Act Foundation. “Learning is earning 2026”. <http://www.learningisearning2026.org> (accessed August 5, 2017), (2016).
- [9] Hori M., Ono S., Yamaji K., Kobayashi S., Kita T. and Yamada T. “A Suitable m-Learning System using e-Book for Developing Countries”. *Proceedings of the 8th International Conference on Computer Supported Education. CSEDU 2016. 2*, pp.408-415. (2016).
- [10] Don Tapscott. “How the blockchain is changing money and business”. *TED*. [https://www.ted.com/talks/don\\_tapscott\\_how\\_the\\_blockchain\\_is\\_changing\\_money\\_and\\_business/transcript](https://www.ted.com/talks/don_tapscott_how_the_blockchain_is_changing_money_and_business/transcript) (accessed August 5, 2017), (2017).
- [11] Don Tapscott, Alex Tapscott. “The Blockchain Revolution and Higher Education”. *EDUCAUSE review*. <http://er.educause.edu/articles/2017/3/the-blockchain-revolution-and-higher-education> (accessed August 5, 2017), (2017).