

ブロックチェーンと電子書籍を用いた学習基盤の構築

堀真寿美¹⁾, 小野成志¹⁾, 山地一禎²⁾, 小林信三³⁾, 喜多敏博⁴⁾,
山田恒夫⁵⁾

1) NPO 法人 CCC-TIES

2) 国立情報学研究所

3) SmileNC & Co.

4) 熊本大学

5) 放送大学

hori@cccties.org

A Learning Support System Using Blockchain and E-books

Masumi Hori¹⁾, Seishi Ono¹⁾, Kazutsuna Yamaji²⁾, Shinzo Kobayashi³⁾, Toshihiro Kita⁴⁾,
and Tsuneo Yamada⁵⁾

1) NPO CCC-TIES

2) National Institute of Informatics

3) SmileNC & Co.

4) Kumamoto University

5) Open University Japan

概要

ブロックチェーンは、もともとは、仮想通貨のための技術であったものが、その仕組みの信頼性の高さから金融に留まらない広い分野での応用が期待されており、教育分野においてもオンライン教育に新たな潮流をもたらすといわれている。このブロックチェーンに、生涯の「学び」の記録を残すことができれば、知識やノウハウは多様化と深化を遂げ、今までにはない「学び」の形を実現する学習基盤となるであろう。その最初のステップとして、我々は、従来から我々が開発を進めてきた電子書籍を利用した学習支援システムに、ブロックチェーンを実装し、「学び」の記録と電子書籍の頒布を可能とするシステムを開発することとした。本稿では、その実装状況について報告する。

1 はじめに

人々は、日常生活の中で多くの知識やノウハウを習得していることに気付かされる [1]。しかし、そのような「学び」は、記録されることも無く人々のわずかな記憶の中に残されるにすぎない。もしも「学び」の記録を手軽に確実に残す手段があり、それを適切に利用する方法があれば、人々の知識やノウハウは多様化と深化を遂げ、今までにはない学びの形を実現することが出来るであろう。

このようなアイデアは、我々だけのものでは無く、すでに、IFTF(Institute for the Future) が、やや異なった観点ではあるが、やがては、日々の「学び」を記録することが出来るであろうことを「学びが報酬になる “Learning is Earning” 」というフレーズで予見している [2]。ここで想定されている技術がブロッ

クチェーンである。ブロックチェーン技術は、非集中型アーキテクチャの一つであり、決して失われることの無い分散型台帳に情報が記録されてゆく。ブロックチェーンに個人が習得した知識やノウハウを記録してゆくことが出来れば、人々はいつでも自ら習得した知識やノウハウを振り返り、それを社会に示す事が出来る。またそれを他者と共有し、新しい社会的なイノベーションを起こすことも出来るであろう。

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は、現代社会に不可欠の技術という意見もある。Shrier David 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集中管理のためのアーキテクチャを集中型アーキテクチャとし、このアーキテクチャは、水道、ロジスティック、商取引、エネルギー、交通、医療、警察などの社会インフラストラクチャに適用されているが、現代の爆発的に拡大し多様

化した産業活動には、もはや耐え得ることができないとしている [3]。それは、教育サービスにおいても、同様と考えることが出来る。従来の学習 (Teaching and learning) の欠点は、学校という集中型アーキテクチャに依存してきたことにある。教育のこの課題は、すでに 1970 年代にイリイチが「脱学校の社会」の中で学校が抱える問題として指摘していたことに一致する [4]。

オンライン教育においても集中型アーキテクチャは問題を抱えている。高等教育に大きなインパクトを与えた MOOC (Massive Open Online Courses) であるが、一方では、ナノデグリー (Nanodegrees), マイクロ単位認定証 (microcredential), マイクロ修了証 (MicroMasters) など、従来の単位制度に代わる認定システムが次々と提案されているものの、しかし、他方では、MOOC プロバイダーが提供する集中型アーキテクチャのもとでは、学部の在り方、研究者と学生のための学習の標準化 [5], 学習の価値判断基準 [6], 蓄積される個人データの管理、サービスのポリシー、そしてそのサービスに係る莫大な費用など、様々な課題が指摘されている。

これに対し、非集中型アーキテクチャであるブロックチェーン技術の教育への応用は、個々人に適応した学習環境を提供し新たなパラダイムシフトをもたらす可能性を持っている。現在、ブロックチェーン技術の教育への応用は、IT メディアラボ、オープンバジコミュニティ、英国オープンユニバーシティなど、複数の機関において進められている。英国のオープンユニバーシティの研究機関である KMi (The Knowledge Media Institute) は、教育機関において資格の授与が行われ、その検証が行われる仕組みは、すでに時代遅れで、ブロックチェーンの仕組みで置き換えられるとしている [7]。

我々は、2013 年以來ブロックチェーンとは異なったアプローチで非集中型アーキテクチャを指向する電子書籍を利用した学習支援システム CHiLO (Creative Higher Education with Learning Objects) を開発してきた [8]。ブロックチェーンと CHiLO は、非集中型アーキテクチャとして共通の面が多くあり、CHiLO にブロックチェーンを実装することで、生涯学び続け、そしてその記録を生涯蓄積できる学習基盤を構築できると考え、ブロックチェーンを利用した学習支援システム CHiLO Chain の開発を進めている。

本稿では、その最初の実装例として、ブロックチェーンを介した電子書籍の頒布の仕組みについて報告する。第 2 節で非集中型アーキテクチャとブロック

チェーンの特性について述べ、第 3 節で教育分野におけるブロックチェーンの利用の現状について述べる。第 4 節では、ブロックチェーンを実装する学習基盤となる CHiLO のアーキテクチャについて説明する。第 5 節で現在までの実装状況について述べ、第 6 節で得られた結果について考察を行う。第 7 節はまとめである。

2 非集中型アーキテクチャとブロックチェーン

2.1 非集中型ウェブ

非集中型ウェブ (Decentralized Web) は、セマンティックウェブの特徴の一つとして、Tim Berners-Lee 等によって提唱されている [9]。ここで、非集中型ウェブは、XMPP, Gnu Social, Git さらには、ブロックチェーンに代表されるような P2P によるサービスを指している。これに対して、Google, Facebook, Microsoft, Apple などが提供している中央管理サーバーを持つサービスは集中型ウェブサービスといえる。

Berners-Lee は、2016 年 6 月にサンフランシスコで開催された「非集中型ウェブサミット」において、今日のウェブは、もともと描かれていたウェブ技術の夢から遠ざかっているとし、集中型ウェブサービスの次の課題を指摘している [10]。

サイロ化 (Silos) : 特定の企業が独占的に提供しているサービスの中に個人のコンテンツが囲い込まれる。

プライバシー : 便利なサービスと引き替えに、個人情報マーケティングなどの企業目的に利用されてしまっている。

持続性 : 特定の企業がサービスを中止すると、そのサービスで利用されてきたデータは全て消える。つまり、持続性がない。

2.2 非集中型アーキテクチャとしてのブロックチェーン

ブロックチェーンは、先の「非集中型ウェブサミット」において Brewster Kahle が現在の集中型ウェブサービスの課題を解決する次世代ウェブのキーコンポーネントとして取り上げ、注目を集めた非集中型ウェブの実装例の一つである [11]。

ブロックチェーンのアイデアは Satoshi Nakamoto の論文ではじめて公にされ、分散型仮想通貨ビットコインにおいてはじめて実装された [12]。ブロックチェーンの技術的優位性は次の点にあるといえる。

透明性：台帳の記録は誰でも参照することが可能であり、台帳に記録されたトランザクション情報を時系列で追うことで、データの変更、追加を確認することが可能である。

匿名性：利用者のブロックチェーンへのアクセスは「アドレス」という固有の文字列で行われ、それは個人情報が必要としないため、本人がアドレスを開示しない限り、記録されたデータの個人を特定できない。

可用性：複数のコンピュータに分散的に保存される台帳システムは、たとえ一部のコンピュータが利用できなくなっても稼働し続ける。ビットコインのネットワークは運用開始以来、無停止で運用されている実績を持っている。

改竄耐性：ネットワーク内のコンピュータが合意形成を行い、台帳に記録される送金元、送金額、送金先、タイムスタンプなどのトランザクション情報が時系列的に一貫したものになるよう、常に整合性を保つように維持される。この仕組みにより、一度、記録されたトランザクション情報はいかなる人や組織においても書き戻すことができない。

本人性：暗号鍵によってトランザクションを発行するユーザーのアドレスが電子署名されるため、暗号鍵が盗まれない限りトランザクション実行者の本人性が保証されている。

3 教育分野におけるブロックチェーン

ビットコインは、2008年3月の運用開始以来、現在に至るまで改竄などの被害を受けることなく取引が継続されており、このことから、ブロックチェーン技術の信頼性は高く評価されている。さらに、取引情報以外の付加的データと契約を自動執行するスマートコントラクトの実装などの技術的進展により、社会インフラからIoTに至るまで、その適用範囲が拡大している [13]。教育分野においても、従来のMOOCをはじめとしたオンライン教育の在り方が根本的に変革されるのではないかと期待がある [14]。

3.1 ブロックチェーンの教育分野での利用

教育分野では、既にブロックチェーンによる信憑性を必要とする履修証明書類などの発行・管理が開始されている。

サンフランシスコのコンピュータスクール Holberton School では、履修証明をブロックチェーンに記録

しており、今後、企業との人材マッチングに利用するとしている [15]。

また、MIT メディアラボと Learning Machine は2016年7月に、ブロックチェーンプロトコルの一つ、Bit-coin コアを使用した履修証明システム Blockcerts を発表している。かれらは、これを教育におけるブロックチェーン導入の最初のバージョンだとしている [16]。

Blockcerts は、デジタル証明書にブロックチェーンで発行された署名を入れることで、発行元と発行内容を証明するシステムである。発行された署名入りの証明書は、取得者のウォレットに保存され取得者自身が管理することになる。これによって従来紛失したり改竄されたりする可能性のあった証明書を安全に保管できることになる。

ELI(EDUCAUSE Learning Initiative) では、ブロックチェーンによる証明書の発行は、複数の機関を跨いだ学習成果の蓄積とそれらをもとにした包括的な人材評価に有効であるとしている [17]。

ブロックチェーン技術によって発行された証明書は、ユーザーが自分自身でデータを管理・所有し、そのデータを共有する場合には、どのような相手と共有するかを自らが選択できる。さらに、ユーザーが、特定の教育機関を離れる時にも、そのデータをそのまま持ってゆくことができるのである。

3.2 教育基盤としてのブロックチェーン

オンライン教育の基盤そのもの、あるいは教育を基盤とした社会インフラにさえなり得るという構想も存在する。

KMi は、高等教育における OpenBlockchain 構想を発表している [18]。ブロックチェーンを単なる証明書の管理発行から構想を発展させ、学習者の学習成果物を蓄積し、ポートフォリオとして利用を行いたいとしている。また、レピュテーション用のトークンを使って、クラウドソーシングによる認証評価を行う構想も示している。

さらに、教育基盤へのブロックチェーンの適用に積極的な構想が、先に述べた IFTF と ACT Foundation の「学びは報酬である “Learning is Earning”」である [2]。彼らの予想によれば、今後10年の間に、ブロックチェーン上に学習用の仮想通貨を基軸とする「学習経済」ともいうべき社会が登場するとしている。ブロックチェーン上の仮想通貨は「学び」の価値交換媒体の役割を果たす。「学習経済」の中では、“Learning is Earning” のアプローチのもと、従来の教育そのもの

はもちろん、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」に対して仮想通貨が支払われる。人々は、「学び」を社会に伝え、還元することで仮想通貨を得ることができ、「学び」が社会を潤わせ、経済を発展させ、ついには生活を豊かにする社会構造が形成されるとされる。この予想は、”Learning is Earning 2026” と呼ばれている*1。

4 CHiLO Chain

我々は、2012 年以來、非集中型アーキテクチャに基づく学習支援システム CHiLO を開発してきた。CHiLO は、コアコンポーネントである CHiLO Book とそれを支えるコンポーネント群からなる。

我々は CHiLO Book のコンポーネントを、ブロックチェーンに搭載することを計画した。今回はその開発の最初のフェーズとして、CHiLO Book のメタデータをブロックチェーンに記録することで、ブロックチェーンを介して CHiLO Book を頒布する仕組みを実装した。

このブロックチェーンの仕組みを、本稿では CHiLO Chain と呼ぶことにする。

4.1 CHiLO Book

CHiLO のコアコンポーネントである CHiLO Book は、多様な学習者に柔軟に対応し、大規模オンラインコースにも対応できる、電子書籍をベースとした学習支援システムである。

CHiLO Book は学習者からは、講義ビデオや確認テストなどの学習リソースが埋め込まれた EPUB3 フォーマットの電子書籍に見える。しかし、その内部は、メタデータとエンジン部からなるコンテンツカプセル構造をとっている。また、電子書籍のファイルサイズが数 MB 程度で非常に小さく、SNS やブログなどの任意のウェブサービスに配置するだけでウェブブラウザで閲覧することができるといった特徴がある。

図 1 は、CHiLO Book の内部構造である。CHiLO Book は、一般の電子書籍のように、EPUB3 ファイルの内部にリソースの実体を持たず、代わりに学習リソースの所在情報 (URL) やタイトルなどのメタデータ、含まれる学習リソースの構成情報を記述したメタデータ、そして Edit method, Display method といっ

たプログラムコードだけを持っている。ここで、Edit method は、メタデータを EPUB3 フォーマットに変換するプログラムコード、Display method は外部プログラムをコールして、ウェブブラウザで電子書籍を表示するプログラムコードである。この構造を我々はコンテンツカプセル構造と呼んでいる。この構造により CHiLO Book は、自身を小さなサイズに保ちながら、LMS などの特定の集中管理型のサーバーを原則的に必要としない非集中型アーキテクチャによる学習支援システムを実現している。

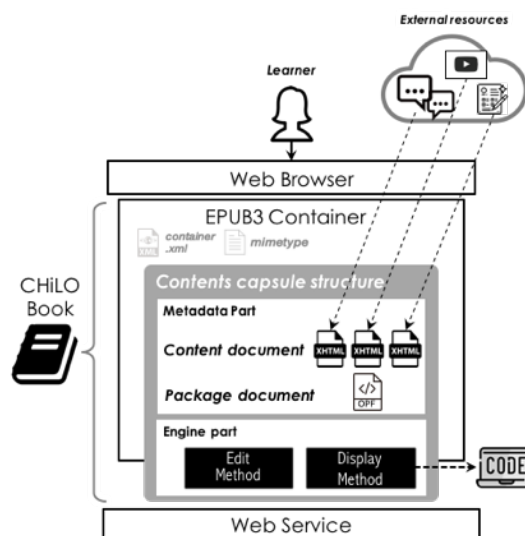


図 1 CHiLO Book の構成

このコンポーネントにブロックチェーンを導入することとした。

4.2 CHiLO Chain と CHiLO Book

Bitcoin のような伝統的なブロックチェーンは、レジジャーと呼ばれる分散型台帳に取引 (トランザクション) を記録する。しかし、Hyperledger Fabric や Ethereum などの比較的新しく開発されたブロックチェーンは、トランザクション以外のコンセプトを記述することができる。この仕組みは、トランザクションという表現に対応してコントラクトと呼ばれている。コントラクトをブロックチェーンに書き込むことが出来るようになったことにより、ブロックチェーンは、様々な分野へ応用できる可能性が、一気に広がった。コントラクトを実装したブロックチェーンは、ブロックチェーン 2.0 と呼ばれることがある [19]。

CHiLO Chain においては、学習リソースの所在情報 (URL) や構成情報といった CHiLO Book のメタデータをコントラクトとして記述することとした。一方、Edit method, Display method といった CHiLO

*1 この構想に基づくプロジェクトを以下の URL で見ることが出来る。
<http://www.learningisearning2026.org/> (accessed September 23, 2017)

Book のプログラムコードは、ユーザーのウォレットと呼ばれるアプリケーションに持たせることとした。

5 CHiLO Chain の実装

5.1 システム構成

本稿システムのブロックチェーンプロトコルは、Ethereum[20] を利用した。

図 2 は、本稿システム構成である。Ethereum は geth と呼ばれる CLI(Command Line Interface) により、Ethereum ネットワークにアクセスすることができる。本稿システムでは、geth のユーザーインターフェースとして、HTML, PHP, Javascript によるウェブアプリケーションを開発した。このアプリケーションがブロックチェーンにおけるウォレットとして、ブロックチェーンへのトランザクション発行と、ブロックチェーンから得られたデータの処理、保管を行う。

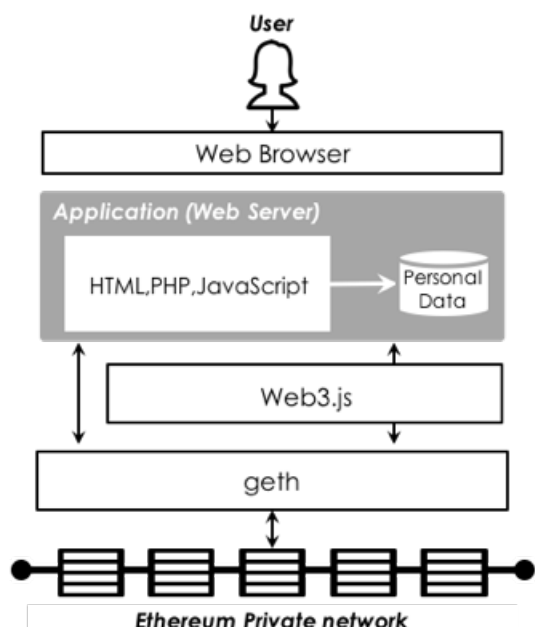


図 2 CHiLO Chain の構成

5.2 実装機能とブロックチェーンに書き込むデータ

本稿システムでは、次の 4 つの機能を実装した。

- (a) **学習リソースの記録機能**：学習リソースの所有者が、ウェブ上の学習リソースの所在情報 (URL) やタイトルなどのメタデータと、価格、利用可能期間などのライセンス情報を CHiLO Chain に記録する機能。
- (b) **CHiLO Book の記録機能**：CHiLO Book の作成者が、CHiLO Book に含める学習リソースの構成情報を記述したメタデータを記録し、さらに

CHiLO Book の価格、利用期間などのライセンス情報を設定する機能。

- (c) **CHiLO Book の購入機能**：購入者が支払う仮想通貨を??の学習リソースの所有者と b の CHiLO Book の作成者に配分し、購入者リストに購入者のアドレスを記録する機能。
- (d) **CHiLO Book の閲覧機能**：学習者が、購入した CHiLO Book を閲覧する機能。

5.3 コントラクト

ブロックチェーンには表 1 に示すメタデータ項目を記録した。Ethereum でのデータの保持と、プログラムコードの実行は、コントラクトと呼ばれるオブジェクトに記述することで実現できる。

表 1 コントラクトへのメタデータの記録

記録内容	学習リソースのメタデータ項目	CHiLO Book のメタデータ項目
所有者 ID	○	○
実体ファイルの URL	○	-
タイトル	○	○
初回登録日時 (タイムスタンプ)	○	○
変更日時 (タイムスタンプ)	○	○
構成情報 (学習リソースのブロックチェーン上のアドレス)	○	-
学習リソースの注釈	○	-
ライセンス情報 (価格等)	○	○

コントラクトは、登録する学習リソース、あるいは CHiLO Book 毎に発行し、学習リソースのメタデータが記録されたコントラクトを Resource asset, CHiLO Book に関するメタデータが記録されたコントラクトを Book asset と呼ぶこととした。

5.4 トランザクション

Ethereum ではコントラクトに記述されたプログラムコードから別のコントラクトを呼び出してトランザクションを実行することができる。ここでは、本稿システムの CHiLO Book 購入機能、CHiLO Book 閲覧機能のプロセスについて説明する。

5.4.1 CHiLO Book の購入機能

図 3 は、CHiLO Book を購入する場合のプロセスである。

- (1) CHiLO Book の購入希望者は Book asset に購入要求を送信する。
- (2) マイニングが開始されマイニングが成功すると、購入要求を受け取った Book asset は、以下のトランザクションを実行する。この時、購入希望者は、Ethereum においては、Gas Fee と呼ばれる手数料支払う。^{*2} マイニングが終了して、Gas Fee が

^{*2} Gas Fee に対応して Gas Price と呼ばれる相場が存在する。

支払われると、次の処理が行われる。

- i) 組み込まれている Resource asset から、Resource asset の価格を取得する。
 - ii) CHiLO Book 作成者および学習リソース所有者の配分を計算してそれぞれに仮想通貨を支払う。
 - iii) ライセンス購入者一覧に購入者のアドレスを記録する。
- (3) CHiLO Chain に記録されたトランザクションの ID を、レシートとして購入者のウォレットに記録する。

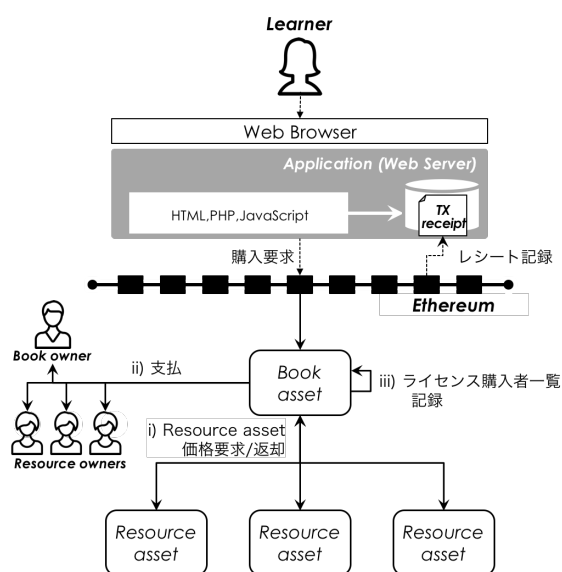


図3 CHiLO Book の購入処理

5.4.2 CHiLO Book の閲覧機能

図4は、CHiLO Book を購入した学習者がCHiLO Book を閲覧するプロセスである。この処理により、ライセンスの確認が行われ、学習記録がCHiLO Chain に記録される。

- (1) Book asset に対してCHiLO Book の閲覧要求を送信する。
- (2) マイニングが開始されマイニングが成功すると、以下のトランザクションが実行される。このとき、購入者は、マイニングの手数料、Gas Feeを支払う
 - i) 学習者のアドレスがライセンス購入者一覧に記録されているか確認する。
 - ii) CHiLO Book のタイトルや注釈などのメタ

マイニングにより、このGas Priceに相当するFeeを支払うことにより、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。

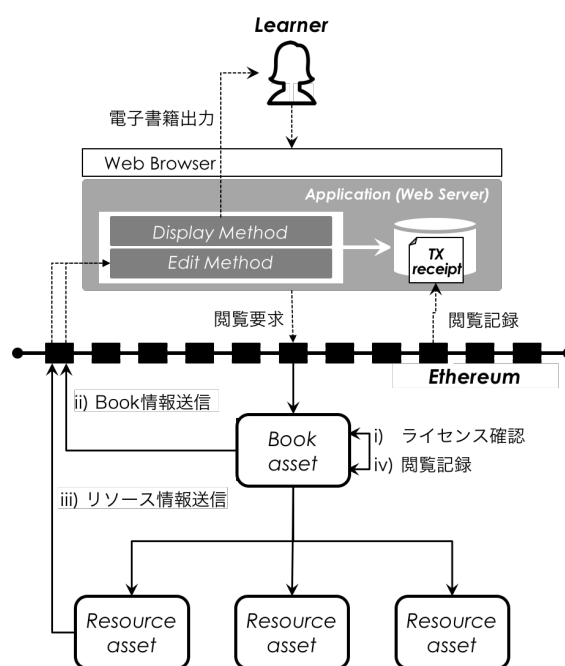


図4 閲覧処理

データをウォレットに送信する。

- iii) Book asset は構成情報のメタデータに基づき、Resource asset にアクセスし、学習リソースの所在場所をウォレットに送信する。
 - iv) 学習者の閲覧記録としてタイムスタンプをBook asset に書き込む。
- (3) ウォレットに組み込まれているEdit Methodが、データをEPUB3フォーマットに変換し、Display Methodがウェブブラウザに出力する。
- (4) CHiLO Chain に記録されたトランザクションのIDを、学習記録として学習者のウォレットに記録する。

6 考察

本稿システムではCHiLO Bookのコンテンツカプセル構造を応用することで、次のような一連の機能を実装することができた。(1) ウェブで公開されている学習リソースとそれらの構成情報といったコンテンツのメタデータをブロックチェーンに記録する、CHiLO Book 制作機能、(2) コインを支払い、記録されたメタデータから電子書籍を出力するCHiLO Book 購入機能、(3) ブロックチェーンが、電子書籍の購入履歴と閲覧履歴を記録するライセンス処理と学習履歴記録機能

この一連のプロセスにおいてブロックチェーンに記録されたデータは、コンテンツのメタデータと学習者

のコンテンツ利用履歴である。

6.1 デジタル資産としてのコンテンツ

Jacobsen らは、デジタル資産を digital “file plus the right of use” あるいは “digital file plus metadata” と定義している [21]。この定義に従うと、ウェブで公開されている無料のコンテンツであったとしても、ブロックチェーンに登録することでデジタル資産として管理することが可能となる。さらに交換の媒介物、価値尺度、価値貯蔵という通貨の3つの機能を勘案すると、本稿システムで実現した CHiLO Book のコインによる取引は、ウェブで公開されている OER 等の価値を明確にし、活用促進につながると考えられる。

また、本稿のシステムにおいて、学習者自身が、ウェブ上のコンテンツをブロックチェーンに登録し電子書籍を作成することにより、学習者が日常生活で得た知識やノウハウをデジタル資産化し、知の共有を行うことが可能になる。この場合、記録された情報はブロックチェーンの不正・改竄耐性、本人性といった特徴により、個々人の能力を評価する真正性の高い情報になると考えられる。さらに、コインによる取引は、学習者のモチベーションを向上させる手段になると考えられる。

6.2 コンテンツ利用履歴

ブロックチェーンに記録されるユーザーの活動の履歴データは、トランザクション毎に学習者のブロックチェーンアドレスで記録されてゆく。この情報自体は、学習成果とは言い難く、学習成果に結びつけるには、MIT や Open Badges が提案するように、修了証やデジタルバッジの発行にリンクしてゆくことが必要であろう。

しかし、学習者が意図的にこのアドレスを公開しなければ、学習履歴の匿名性を担保することができる。また、今回利用した、Ethereum のようにパブリックなタイプで運用されることを想定したブロックチェーンプロトコル^{*3}であれば、アクセスさえすれば、匿名化された情報を誰でも取得することができる。つまり、ブロックチェーンでは、個人情報の問題を回避しながら重要なビッグデータを得ることができる。

一方で、Ethereum の場合、マイニングによるトランザクションに時間がかかるため、細かい粒度でのトランザクション発行はそのたび毎に時間がかかる。

^{*3} ブロックチェーンには bitcoin や Ethereum に代表されるパブリックなタイプで運用を前提するものと Hyperledger に代表されるプライベートなタイプでの運用を想定しているものがある。

Ethereum で運用するのであれば、今後、この課題を解決する必要がある。同時に Hyperledger のようにマイニングを前提としないブロックチェーンでの検証も必要と考えている。

6.3 システムの可用性

本稿システムは、geth のユーザーインターフェースとして、1 台のウェブサーバーにウェブアプリケーションを構築したが (図 2), geth より下層のブロックチェーンの部分に関しては、複数台のノードで運用実験を行った。ブロックチェーン部分に関しては、仮に一台のノードを停止しても、他のノードと通信を行い、システムが稼働し続けることが確認できた。また、ノード用のマシンの入替も、ゼロダウンタイムで行うことが確認できた。つまり、従来の集中管理アーキテクチャでは必要であった、障害に備えたバックアップという概念が一切ない。ウェブアプリケーションをローカルアプリケーションで実現することで、可用性がさらに高まると考えられる。

7 結論

生涯学び続け、そしてその記録を生涯蓄積できる学習基盤の最初のフェーズとして、電子書籍のメタデータをブロックチェーンに記録することで、ブロックチェーンを介して電子書籍を頒布する仕組みを実装した。

今後、本システムの実装を進め、ブロックチェーンを利用したオンラインコースの受講システムの構築、ポートフォリオの作成などの実装により、「学び」に対して新たな価値観を形成する知識社会を発展させるシステムを目指していきたい。

謝辞

本研究は、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] Tuan, Yi-Fu. *Space and place: The perspective of experience*. U of Minnesota Press 1977.
- [2] IFTF, “Learning is Earning”. <http://www.iftf.org/future-now/article-detail/learning-is-earning/>(accessed September 23, 2017),(2016)
- [3] David Shrier. *Alex Pentland, Frontiers of Financial Technology: Expeditions in future commerce, from blockchain and digital banking to prediction markets and beyond*. CreateSpace In-

- dependent Publishing Platform. ISBN-13 978-1537248899.(2016).
- [4] Ilich, Ivan. *Deschooling society*. Harmondsworth, Middlesex, 1973.
- [5] Tanaka, A., and M. T. Tabucanon. "ProSPER. Net: transforming higher education and creating sustainable societies." (2014).
- [6] Ganzglass, Evelyn, et al. "Quality Dimensions for Connected Credentials." Washington, DC: American Council on Education (2016).
- [7] The Knowledge Media Institute, "WHAT ARE BLOCKCHAINS?". <http://blockchain.open.ac.uk/>(accessed September 23, 2017),(2016)
- [8] Hori, Masumi, et al. "Learner autonomy through the adoption of open educational resources (OER): Using social network services and multi-media e-textbooks". *Proceedings of the 28th Annual Conference of Asian Association of Open Universities*. Vol. 28. 2014.
- [9] Berners-Lee, Tim, James Hendler, and Ora Lassila. "The semantic web". *Scientific american* 284.5 (2001): 28-37.
- [10] Tim Berners-Lee. "Keynote Address: Re-decentralizing the web – some strategic questions". *Decentralized Web Summit*. https://archive.org/details/DWebSummit2016_Keynote_Tim_Berners_Lee (accessed August 15, 2017),(2016).
- [11] Brewster Kahle. "Locking the Web Open: A Call for a Distributed Web". <http://brewster.kahle.org/2015/08/11/locking-the-web-open-a-call-for-a-distributed-web-2/>(accessed September 23, 2017),(2015)
- [12] Satoshi, Nakamoto. "Bitcoin: A peer-to-peer electronic cash system". Bitcoin. org,[cit. 2014-11-13]. Dostupn z: <https://bitcoin.org/bitcoin.pdf> (accessed August 5, 2017),(2008).
- [13] Crosby, Michael, et al. "Blockchain technology: Beyond bitcoin." *Applied Innovation* 2 (2016): 6-10.
- [14] Swan, Melanie. *Blockchain: Blueprint for a new economy*. "O'Reilly Media, Inc.", 2015.
- [15] 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).
- [16] Nurfilzah Rohaidi. "Using Blockchain for student certificates slashes admin costs". *GovInsider*. <https://govinsider.asia/digital-gov/patrice-choong-ngee-ann-polytechnic-campus-ecosystem/>(accessed August 5,2017),(2017).
- [17] EDUCAUSE Learning Initiative, "7 Things You Should Know About Blockchain", <https://library.educause.edu/resources/2016/9/7-things-you-should-know-about-blockchain> (accessed August 15, 2017),(2016).
- [18] Allan Third, John Domingue, Michelle Bachler and Kevin Quick. "Blockchains and the Web Position Paper". *A W3C Workshop on Distributed Ledgers on the Web*.(2016)
- [19] Bheemaiah, Kariappa. "Block Chain 2.0: The Renaissance of Money". *Wired*,(2015).
- [20] Vitalik Buterif, "White Paper". <https://github.com/ethereum/wiki/wiki/White-Paper>(accessed September 23, 2017),(2016)
- [21] Jacobsen, Jens, Tilman Schlenker, and Lisa Edwards. *Implementing a digital asset management system: for animation, computer games, and web development*. CRC Press, 2012.