



分散型台帳技術による証券バリューチェーン構築の試み
— セキュリティトークンを巡る主要国の動向 —

日本銀行決済機構局
田中 修一
副島 豊

本稿の内容について、商用目的で転載・複製を行う場合は、予め日本銀行決済機構局までご相談ください。
転載・複製を行う場合は、出所を明記してください。

2020年8月
日本銀行決済機構局
田中 修一*
副島 豊†

分散型台帳技術による証券バリューチェーン構築の試み‡ — セキュリティトークンを巡る主要国の動向 —

■要 旨■

セキュリティトークンとは、分散型台帳技術（DLT）を用いたシステム上で発行・管理される電子的な証券の形態をとった証券である。証券取引やポストトレード処理、セキュリティレンディングなどのカスタディサービス、利払い・配当や償還、コーポレートアクションなど証券バリューチェーン全体を DLT を活用して構築することで、証券市場の効率性を高め、決済リスクを削減するほか、新しい証券市場の創造を目指すという実験的な試みが世界各地で始まっている。

DLT とともに登場した暗号資産では、ICO（Initial Coin Offering）を巡る問題が生じたが、証券規制の対応が進んだことでセキュリティトークン発行（STO）の素地が整備され、大規模金融機関や証券取引所、決済インフラ機関が実証実験や試験的発行に乗り出している。暗号資産やトークンの分散型取引市場（DEX）が登場したことや開発企業群の成長も、DLT 活用の動きを後押ししている。

こうした試みは端緒にあり、現在の証券市場や決済インフラを直ちに代替するものではない。また、システムの可用性やセキュリティなどが大規模かつ高負荷な環境下で試された経験もなく、投資家保護やインフラ提供の安定性、市場の健全性などで様々な問題が生じる可能性もある。しかし、金融システムの多様な可能性を探る挑戦となっており、その潜在力とリスクの両面をみていく必要がある。また、新しい市場や決済インフラの成長は、ホールセール CBDC を用いた資金決済や既存の RTGS との接続に対するニーズなど、資金決済インフラに新たな動きをもたらす可能性も有している。

* 日本銀行決済機構局（現 日立製作所）

† 日本銀行決済機構局 <E-mail: yutaka.soejima@boj.or.jp>

‡ 本稿の執筆に当たっては、日本銀行スタッフから有益な助言やコメントを頂いた。ただし、残された誤りは全て筆者らに帰する。なお、本稿の内容と意見は筆者個人に属するものであり、日本銀行の公式見解を示すものではない。

[目次]

1. なぜDLTが注目されるのか:エグゼクティブサマリー	3
2. 潮流の全体展望と「分散」概念の整理	10
(1)潮流の全体展望	10
(2)変貌するDLTの用途と「分散」概念	12
3. ICOからSTOへ	18
(1)セキュリティトークン	18
(2)ICOからSTOへ	19
4. DEXの技術発展	22
(1)集中型取引所	22
(2)DEXの特徴:様々な制度デザイン	23
5. 証券バリューチェーンへのDLT応用	28
(1)証券バリューチェーン	28
(2)DLTの部分活用	31
6. おわりに	33
補論1 トークンの定義とトークン化のメリット	35
補論2 ICOに対する欧米の規制展開	41
補論3 STOの規制上の扱い:日米欧	49
補論4 DEXの様々な市場制度デザイン	58

1. なぜDLTが注目されるのか：エグゼクティブサマリー

Bitcoin とともに登場したブロックチェーン技術や分散型台帳技術（DLT：Distributed Ledger Technology）は、暗号資産を支える基盤として発展を続け、近年では様々な社会インフラへの応用を試みる動きが活発となっている¹。金融サービスにおいては、DLT を活用した金融・決済インフラの構築技術や、パブリック型 DLT ネットワーク上に分散型金融（DeFi：Decentralized Finance）サービスを構築する技術が急速に発展しており、新たな金融市場やインフラを創る実験的な試みが行われている。

こうした動きの代表例として近年注目を集めているのが、セキュリティトークンの発行（STO：Security Token Offering）と、DeFi の一例として登場してきた分散型取引所（DEX：Decentralized Exchange）である。さらに、DLT を活用してセキュリティトークンとして発行された社債や株式等を保管管理するだけでなく、証券バリューチェーンを広くカバーする包括的なインフラを構築しようという試みも登場してきている²。セキュリティトークンの取引市場を創造し、ポストトレード業務、24/365 対応の即時決済、償還や配当・利払い、セキュリティレンディングなどのカスタディサービス、株式分割等のコーポレートアクション、コンプライアンス遵守、取引の監視など、広範な証券バリューチェーンを一体的に構築しようという試みである。

DLT を活用した証券バリューチェーンの構築は、3 つの可能性を有している。一つは、従来から取り組まれてきた証券市場インフラの STP 化（Straight-Through Processing 化）や効率化を一段と推進し、証券発行や取引のコストを削減するほか、決済期間の短縮化を通じて決済リスクを抑制し、自動化によってオペレーショナルリスクを抑制する可能性である。もう一つは、こうしたコスト削減や自動化により、従来では創造が困難であった新しい証券市場、特に小口投資・小口発行市場の発展や、多様な資産の証券化・市場化を促進する可能性である。さらには、こうした未来の可能性を探る挑戦が、伝統的な金融決済インフラに対して

¹ Bitcoin や Ethereum（イーサリアム）はブロックチェーンを用いて実装されているが、DLT にはブロックチェーンを用いないものや、ネットワークを構成する各ノードが同一の分散型台帳記録を持たないものもある。こうした広義の DLT がセキュリティトークンの基盤として活用されている事例も多い。したがって、本稿ではブロックチェーンという名称は用いず、DLT という広義名称を用いる。詳細は 2 節(2)を参照。

² Deloitte[2019]では、図表 1 のような証券のライフサイクルにかかる金融サービスの流れを「証券のバリューチェーン」と呼んでおり、証券会社のアニュアルレポート等の公表物で用いられるほどに一般化しているため、本稿もそうした表記を採用している。

IT システムや制度設計における新たな選択肢や再構築の可能性を示すことに繋がっていくことも考えられる。

以上のような試みは、世界各国で既に始まっており、社債や株式をセキュリティトークンとして発行する実験や、証券インフラへの DLT 活用が進み始めている。ICO (Initial Coin Offering) が引き起こした問題を契機に証券規制の整理・対応がなされたこともあって、セキュリティトークンの実験的発行が進展し、大規模金融機関や証券取引所、FMI (Financial Market Infrastructure : 集中保管振替機関<CSD : Central Security Depository>や、清算機関<CCP : Central Counterparty>など) がメインプレイヤーとして参入し始めている。図表 1 には、伝統的な証券インフラのバリューチェーンの各々において DLT 活用の R&D や実用化サービスが始まっている事例を示した。また、これらを支えるインフラ (DLT の高次レイヤー³) の開発企業も数多く登場している。日本においても、JPX や証券保管振替機構が証券会社等の参加を得て、既存の証券バリューチェーンの一部 (ポストトレード処理) に新技術を活用して業務の効率化等を図るという検証プロジェクトを開始している。また、国内の大手金融機関が新しい市場の創造を目指してセキュリティトークンの発行を含む証券バリューチェーンの構築に取り組む動きも現れている。

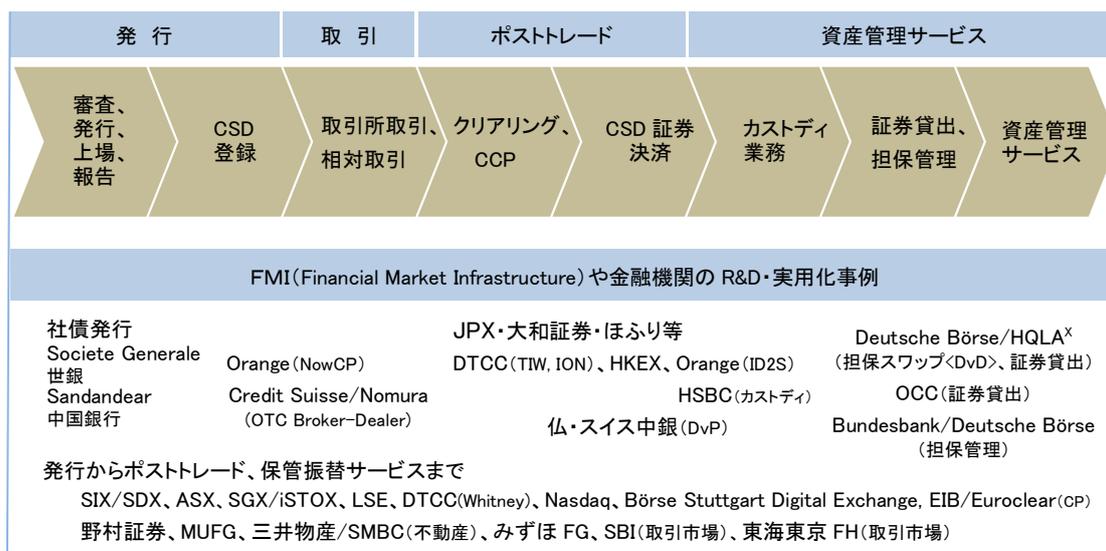
セキュリティトークンが証券の発行管理業務においてコスト抑制や業務効率化に繋がると期待されている理由として、DLT 上で提供されるスマートコントラクトの活用が挙げられる。日本銀行と ECB (欧州中央銀行) の共同研究 Stella プロジェクトのフェーズ 2 では、証券 DLT と資金 DLT 間での DvP 決済をスマートコントラクトの活用によって実現している (日本銀行・欧州中央銀行[2018])。また、ドイツ証券取引所と提携して担保スワップやセキュリティレンディングを開始している HQLA^X では、所有権の管理ほか利払いクーポン移転など証券管理に関する様々な業務もスマートコントラクトを用いて自動処理されるよう設計されている (Deutsche Börse[2019])。米国の証券決済インフラの中枢部を運営する DTCC (Depository Trust and Clearing Corporation) も、DLT とスマートコントラクトを活用することで、証券決済期間の短縮化 (同日決済) やリスク削減、担保やマージン、資金流動性の効率化などが実現可能であるかを検証する ION プロジェクトを実行中である (DTCC[2020b])。このほか DTCC は、規模が大きい

³ Ethereum のような DLT 基盤に対してオフチェーン (処理の高速化を図るためメインチェーンですべての処理を行わずに別システムで処理し、その結果を書き込むためのレイヤー、詳細は田中・菅山[2020]を参照、セカンドレイヤーとも呼ばれる) や、サービス・アプリケーションが別途実装されており、これらを高次レイヤーと呼んでいる。暗号資産ワレットや DEX など各種の Dapps も高次レイヤーに相当する (2 節を参照)。

い米国の未公開株式市場における非効率的な業務オペレーションを改革するため、株式をセキュリティトークンとして発行する Whitney プロジェクトを開始し、POC (Proof of Concept : 概念検証) の結果を公表している (DTCC[2020c])。

(図表 1) 証券のバリューチェーン : DLT 活用事例

伝統的な証券インフラのバリューチェーン



注) プレスリリース等の公開情報から筆者作成

セキュリティトークンの特性を踏まえると、その活用・普及が新しい金融サービスや関連市場の創出に繋がっていく可能性がある。セキュリティトークンでは、様々な証券業務をプログラム化し、トークンの中にコードやデータを組み込む手法が使われる。この特徴から「プログラマブルセキュリティ」と呼ばれることがある。取り込めるプログラムやデータは証券業務に必要な情報に止まらないため、セキュリティトークンは様々な情報を乗せるビークルとなりうる (補論 1(4)を参照)。こうしたプログラマブルセキュリティとしての機能を活かし、多様な情報を取り込むことで新しい機能やサービスが可能となり得ることが指摘されている。例えば、様々な株主間契約における契約違反行為を防止する仕組み (サンクションの自動実行) をプログラム化して組み込んだり、議決権行使の簡便化を通じて経営に対する株主エンゲージメントを高めることなどが考察されている (本柳[2020])。また、証券の私募発行において保有投資家数を制限したり転売を禁じる法域においては、こうした制約の実施を証券会社や CSD に依らず、発行時にプログラム化することで実現できるのではないかと指摘されている

(OECD[2020])。

新たな証券インフラや金融市場の可能性を試す動きは、資金決済インフラにも新しい動きをもたらしている。例えば、DLT 上で発行管理されるセキュリティトークンの資金決済レグに、DLT 上で発行されたペイメントトークンを使うというアイデアが登場している。このような金融取引・ホールセール資金決済向けのペイメントトークンを民間銀行やコンソーシアムが発行することも考えられるし、互換性のないペイメントトークンの乱立を防ぐために非競争領域における共通基盤として中央銀行がホールセール CBDC (中銀デジタル通貨) を発行するという選択肢もあることが議論されている。日本銀行が開催した「決済の未来フォーラム」では、同時担保受払決済 (DvP 決済) のような複雑な決済インフラの構築・維持に要していたコストが大きく改善される可能性や、セキュリティトークンやペイメントトークンに様々なデータを付帯させることで多様なサービスを行うことが可能となるとの意見が示されている (日本銀行決済機構局 [2020a])。

実際、一部の海外中央銀行では、セキュリティトークンの資金決済に中央銀行発行のペイメントトークン (CBDC) を用い、トークン間での DvP 決済を行う研究が進められている。スイス中銀は、BIS Innovation Hub やスイス証券取引所 (SIX) とパートナーシップを組んでホールセール CBDC の研究を行っており、SIX が開発中のデジタル資産取引プラットフォーム (SDX) における資金決済を DLT ベースのホールセール CBDC で行う実験を手掛けている (SIX[2019]、SNB[2019])。SIX によると、取引から決済までが 1 件ずつグロスベース DvP で高速リアルタイム処理される世界が展望されており、そうした環境下では、ネットィングやカウンターパーティリスクを管理していた CCP が原理的には不要となると指摘されている⁴。また、仏中銀は、公募で選定した大手金融機関、クリアリングハウス、IT 企業、デジタルアセットに特化したスタートアップバンクなどと提携し、インターバンク資金決済用の CBDC の共同実験を開始することを公表している

⁴ 一方で DTCC[2020]は、同日決済が可能となっても CCP によるネットィングサービスの有用性は大きいとして、カットオフタイムを自由に設定してリアルタイムネットィングを随時行えるような新しいネットィングエンジンの開発を行っている (詳細は公表されていないが、資金決済のハイブリッド RTGS<流動性節約機能>に類似した証券決済のネットィング機能だと推測される)。Bech et al.[2020]も、セキュリティトークンの DvP では複雑性を回避するために DvP モデル 1 (証券決済レグ、資金決済レグともにグロスベース) が採用されそうであり、その場合、決済資金需要を増大させてしまうことを指摘している。また、ホールセール用 CBDC のような共通ペイメントトークンでなく、各証券決済インフラが異なるペイメントトークンを利用した場合、資金流動性のフラグメンテーションが生じ、資金効率性が悪化するリスクも指摘している。

(Banque de France[2020])⁵。このプロジェクトでは、金融資産（除く暗号資産）の決済を中銀マネーで行う手法の検討や、クロスボーダー決済改善のための CBDC の活用といった実験が予定されている。一方で、英中銀が現在進めている RTGS システムのリニューアルプロジェクトでは、DLT のような新しい技術を用いた決済インフラと接続し、資金決済サービスを提供するプランが含まれている (Bank of England[2018/2020])。このように、中央銀行の間でも未来の決済インフラの様々な可能性を模索する様々な動きが始まっている。また、英中銀は RTGS システム更新プランの策定時に POC を行い、DLT をシステムの中核部に採用することは時期尚早という判断を下したが、オーストラリア証券取引所のように、従来の決済インフラ中核部の置き換えを DLT によって推進している先もある (ASX[2017/8])。

このように DLT の可能性に向けた動きが活発化する一方、留意点も存在している。DLT は既存の金融インフラを支えてきた技術と比べて歴史が浅く、大規模、高負荷、ミッションクリティカルな環境で試されてきた経験が少ない。エンジニアもまだ少なく、OSS (Open Source Software) やクラウドの活用、DevOps など開発運用体制においても、従来のウォーターフォール型大規模システム開発とは大きく異なる特徴がある。また、その導入に際しては証券バリューチェーンを担っている既存のシステムとの接続が必要となるが、決済インフラの設計・稼働検証を専門とする企業からは、既存技術に基づく決済インフラ間の接続検証に比べてより多くの検証点を抱えており、その安全性評価を踏まえたうえでの全体システムの実現には相応の時間を要するとの指摘がなされている (Exactpro[2019]、Coindesk[2019en])⁶。

また、証券インフラは、発行者と投資家の両サイドのユーザーにとって持続性があるサービスを提供することが求められ、システムの安全性や安定性のみならず、インフラ提供企業の経営やサービス提供の安定性、サービスを停止する場合の秩序だった対応も必要とされる。仮に、市場が成長し、金融システムにおける証券インフラとしての重要性が高まってくると、証券規制の遵守のみならず、

⁵ 2020 年 7 月に出された本プレスリリースに先立ち、仏中銀が個別行とトークン決済に関する実験を行ったとの報道がなされている。Ledger Insight[2020]は、同年 5 月、仏大手銀行発行のセキュリティトークン (カバードボンド) の取引を中銀発行のペイメントトークンで DvP 決済するテストが実施されたと述べている。

⁶ その理由としては、台帳の記録方法において①DLT でトークンを発行する場合と②口座残高を管理する場合に考え方に大きな違いがあり、伝統的な決済インフラが口座残高管理型として作られてきたことが関係していると考えられる。台帳記録方法の相違の詳細については補論 1 を参照。

FMI に求められる原則（国際基準）⁷が示しているようなインフラとしての安全性、効率性、頑健性の充足が求められるようになる可能性もある。

加えて、既存の IT システム技術でなく、発展途上の新技術である DLT を敢えて利用することの合理性は何か、そのメリット・デメリットの適正な評価に基づく IT システム選択も求められよう。決済・金融インフラという高可用性や強整合性（強い一貫性）⁸、セキュリティ耐性が求められるシステムにおいては、安全性や安定性と効率性・利便性を両立させねばならず、DLT という新技術の応用は、こうした決済・金融システムの必須要件のもとで模索されている途上にある。図表 1 には示されていない消滅プロジェクトが少なからずあるほか、図表中に示した多くのプロジェクトは POC（Proof of Concept、概念実証）やプロトタイプ実験環境下でのテスト発行に止まっており、本番環境でのテストやサービスインに至っている案件のほうが少ない。証券バリューチェーンに DLT を活用することの合理性や定量的な評価は、試行錯誤のなかで模索されていこう。その結果、DLT による証券バリューチェーンの構築が大きな潮流となるには至らない蓋然性も十分にある。

本稿は、DLT という新技術がもたらしうる決済・金融システムの未来とリスクの両面を考える手掛かりとして、その基礎となる技術やビジネスモデルの発展と、新しい動きに対応した証券規制の展開などを広く展望することを目的としている。時期的には ICO が隆盛し、DEX が登場してきた 2017 年から 2020 年 6 月までの 3 年半ほどの間であるが、各国の規制対応やエンタープライズ DLT の発展を含めて大きな展開があり、黎明期にある証券市場の新しい試みは、こうした流れの延長線上にある。本稿で示したような整理が定着しているわけではないが、全体の流れを展望するうえでの一つの視座となろう。

本稿の構成は以下のとおりである。まず 2 節では、ICO から STO への潮流変化が生じた経緯と、暗号資産の集中型取引所に対して分散型取引所（DEX）が登

⁷ FMI 原則は、清算機関や取引情報蓄積機関（トレードレポジトリ）を含む、支払、清算及び決済システムのための国際基準であり、証券の集中保管振替機関や清算機関も対象となる。

⁸ このほか、分散型システムの場合は、ネットワーク障害に対する分断耐性も求められる。なお、高可用性と強整合性、分断耐性を同時に保証することは難しいことが Brewer の定理（CAP 定理）として知られている。このトレードオフは IT 技術革新によって改善可能であり、クラウド DB サービスなど近年の技術革新により、分散型システムの決済インフラへの応用が進めやすくなっている（ラクシュナマン[2019]）。スマートフォンを用いた最近のキャッシュレス決済サービスでもクラウド上での分散型システムで提供されるものが増えてきているほか、邦銀のネットバンク勘定系システムをコンテナ等を活用したスケーラブルなクラウド分散型システムとして構築する動きも現れている。

場してきた経緯について概観する。また、DLTを巡る「分散」型という概念に関する整理を行う。DLTの特徴を巡る議論では、「システムの分散と集中」、「ガバナンスの中央集権と分権」が混乱しやすいため、これらがどのような関係にあり、ICOやDEX、STOがどのような位置取りにあるのかを解説している。3節では、セキュリティトークンの概念を説明したのち、ICOが証券規制の整理・整備を促したことによりSTOを実施しやすい素地が各国で整い、大規模金融機関や証券取引所、FMIがメインプレイヤーとして参入してきていることを、米国や欧州、日本での規制対応展開を踏まえて紹介する。4節では、まず、暗号資産やトークンの分散型取引所と暗号資産販売所・取引所との相違点を説明する。次に、取引市場の制度設計（マーケットマイクロストラクチャー）において様々なモデルが発案され、実際に利用され競争しあいながら、処理速度や市場濫用などの課題を克服していく試みが続いていることを解説する。5節では、FMIや大規模金融機関を中心にDLTを活用して証券バリューチェーンを構築する試みや、既存の証券インフラにDLTを応用することで効率性を高める試みがなされている世界の事例を紹介する。6節では、証券市場におけるDLT活用の今後を展望する。

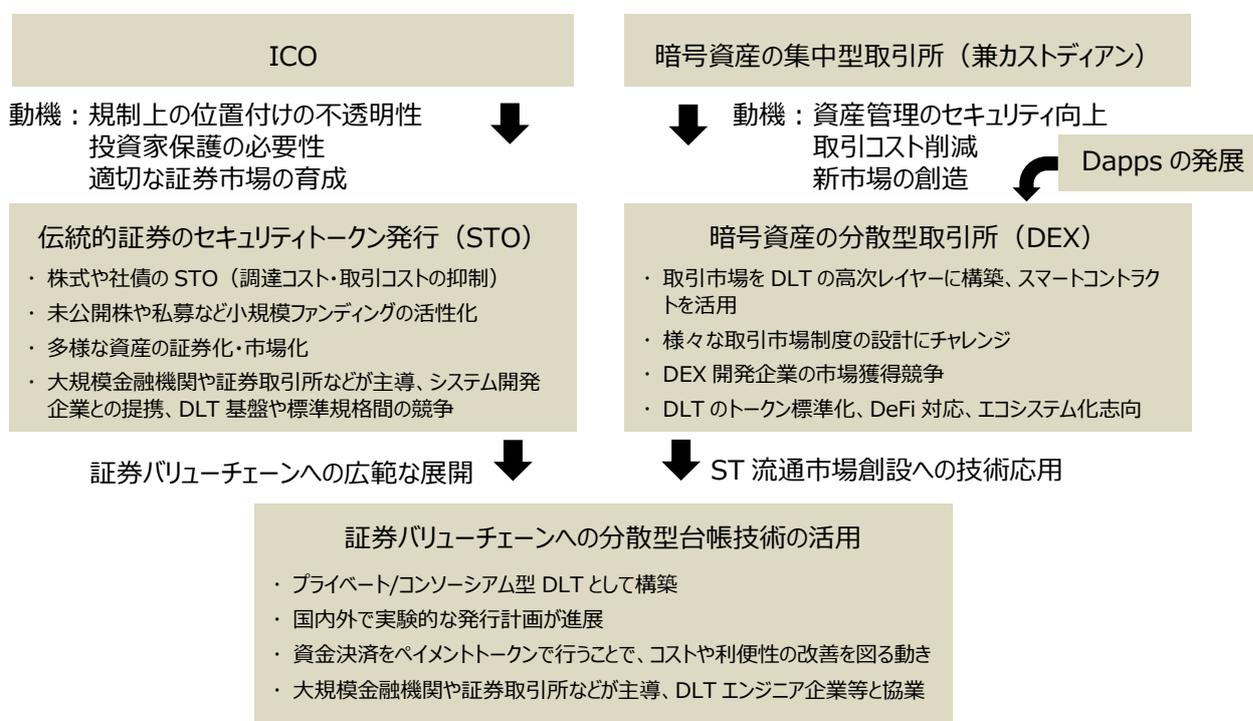
なお、補論では、分量の関係で2~5節に記述しなかった詳細を解説している。補論1では、証券をDLT上でトークンとして発行することのメリットが何に起因するのか定性的な考察を示した。その際、トークンの定義や情報処理上の特性を解説している。補論2では、ICOを契機に始まった暗号資産やトークンの証券性を巡る議論や、規制上の取り扱いに関する主要国の規制対応について解説した。補論3では、現在、セキュリティトークンがどのような証券規制や市場規制のもとで発行・取引されているか、議論が先行した米国と、金融商品取引法改正でその扱いが定まった日本、および、欧州規制・指令上の適合性を巡るEUという三法域における議論や規制対応を中心に解説した。補論4では特徴的なDEXを取り上げ、様々な市場制度のデザインを試しながら発展を続けている様子を紹介した。暗号資産やトークンの交換場であるDEXの市場規模は極めて小さい。しかし、セキュリティトークンの取引市場はDLT上に構築されるため技術面でDEXと同質的であり、それゆえセキュリティトークンの取引市場デザインの参考になり得ると考えられる。

2. 潮流の全体展望と「分散」概念の整理

(1) 潮流の全体展望

セキュリティトークンを用いて新しい証券市場を構築する試みが世界各地でなされている。これに先行する 2 つの流れがあり、そこでの技術発展やビジネス展開、証券規制の対応が、現在のセキュリティトークンを巡る動きに繋がっている（図表 2）。一つは、DLT を用いたトークン発行ファイナンスの端緒となった ICO が契機になっている。ICO は 2013 年に登場し 17 年後半に米国を中心に急増したが、詐欺や不正など様々な問題を引き起こし、証券規制上の対応がなされ、そこで整備された枠組みを踏まえて STO が登場してきた（図表 2 左）。2019 年には金融機関などによって自行社債をセキュリティトークンとして発行する試みが始まっており、発行体の企業グループや少数の関係者で保有したうえで、利払いや償還などのインフラが機能することを検証する試みが行われている。これらは各法域の証券規制や市場規制のもとで行われており、法規制への適合性の検証としても機能している。

（図表 2） 2 つの流れ：セキュリティトークンと分散型取引所



もう一つは、暗号資産の市場取引に関係するものである。暗号資産と法定通貨、あるいは暗号資産同士の交換・預かりサービスは、暗号資産販売所・取引所を運営する事業者によって提供されてきた。暗号資産はその発行基盤である DLT システムで管理されるが、暗号資産と法定通貨の交換にかかる業務は、事業者が自社システムで行っている。これは、銀行預金口座サービスを用いた法定通貨の受け取りや支払いと、顧客からの預かり暗号資産の内訳管理などを含んでいる。そのため、暗号資産販売所・取引所は、集中型取引所と呼ばれている。これに対し、顧客が自らアカウント (DLT 用語ではアドレス) や秘密鍵を管理し、秘密鍵を保有しているウォレット等から取次業者を経由せず取引注文を市場に出せるような取引所として分散型取引所 (DEX) が登場してきた。2017 年頃には多数の DEX が登場してきたが、その背景には主に Ethereum という DLT 基盤上での DeFi や Dapps (ディーアpps/ダpps:分散型アプリケーション) の発展があった (図表 2 右)。

DEX のような DeFi では、Ethereum 等の DLT ネットワークのノード上にアプリケーションが展開される。言い換えると、取引市場がアプリケーションサービスとして提供される。多くの人が日常的に利用している Web サービスでは、Web サーバ上に展開されたアプリケーションに URL アドレスを通じてブラウザからアクセスすることで、様々なアプリケーションサービスを利用している。こうした Web サービスと対比するとイメージが掴みやすい。DeFi におけるアプリケーションサービスが Dapps と総称されている⁹。

DEX 以外の DeFi/Daaps としては、極めて小規模なものながら、暗号資産レンディング市場、ファンド運営、保険、ID 管理インフラ、信用情報インフラ、予

⁹ 一般に、DeFi は DLT 上に展開された Dapps が提供する金融サービスとして定義されている。こうした狭義の定義以外に、DLT を利用してはいないが金融サービス提供システムが分散運営されている場合や、インフラの運営が分権化されている場合にも「分散型金融」という言葉を用いる場合がある。例えば、FSB[2019]では、Decentralised financial technologies を取り上げ、金融システムの安定や規制等へのインプリケーションを考察している。同レポートでは、システムではなく機能面に注目し、同技術を次の 3 つのような分散化形態をもつものと整理している。①金融取引を引き受ける意思決定が単一の信頼された金融仲介者やインフラ運営者から広範な利用者一般にシフトする、②金融仲介者がバランスシートを使ってリスクを引き受ける方法から利用者間での直接取引やサービスの提供にシフトする、③台帳管理が中央集権 (集中) から分権 (分散) にシフトする、という分散化である。このうち③は、機能だけでなくシステムにも関連する論点となっている。DLT 上でセキュリティトークンを発行する事例を分散型金融と呼ぶかどうかは定見がないようである。本稿では、DeFi との混同を回避するため、セキュリティトークンのインフラや金融サービスに対して分散型金融という呼称は用いなかった。

測市場などが登場し始めており、DeFiの揺籃期にある¹⁰。

STOは必然的に、トークンとして発行された証券のライフサイクル管理（発行、所有者移転、利払い、償還等）を伴う。また、流通市場の整備を通じて取引市場サービスやポストトレード処理サービスに繋がっていく発展性がある。これらをDLTシステム上に構築する際、DEXなどの技術が利用可能である。こうした展開が、DLT高次レイヤーの開発企業と、大規模金融機関や決済・市場インフラ企業との提携・協業を後押しし、証券バリューチェーンのインフラと証券ビジネスモデルという二つの面でのイノベーションに繋がっていった。

（2）変貌するDLTの用途と「分散」概念

DLTという名称中にある「分散」という言葉には多義性がある。分散が指す対象が、台帳を含むITシステムの中央集中・分散なのか、システムの所有や運用、ガバナンスにかかる中央集権・分権を指しているのか、明確に意識されずに用いられ、これがDLTの理解を難しくしている面がある。そこで、図表3では、ITシステムの分散と集中を横軸に、所有や運用、ガバナンスの中央集権・分権を縦軸にとり、暗号資産取引所やDEX、STO等におけるDLTの使われ方の整理を試みた。

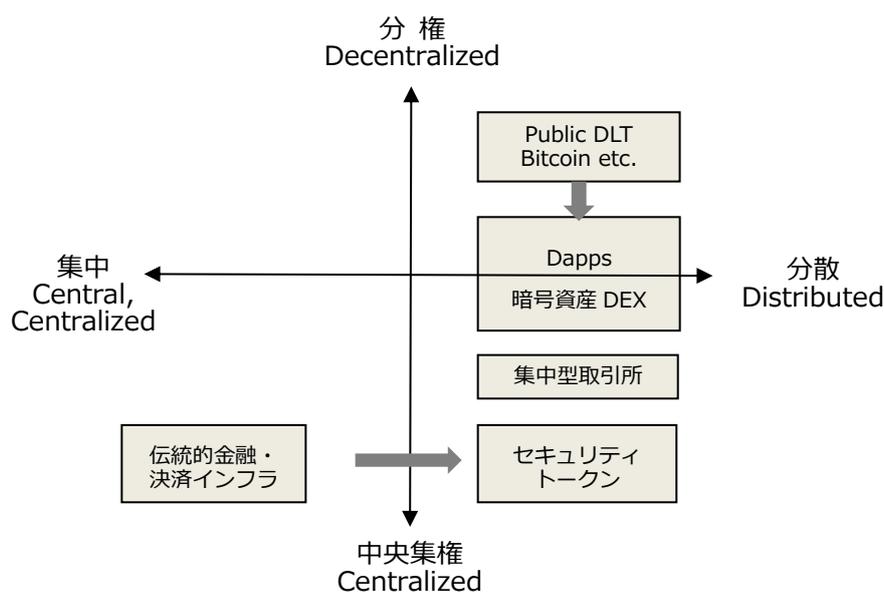
伝統的決済インフラは、その所有や運用において中央集権的であり、ITシステムや台帳はインフラ運営者によって集中管理される。バックアップを除けば台帳が複数作成されることはなく、単一の台帳をインフラ運営者が維持更新していく。その対極がBitcoinなどのパブリック型DLTであり、コア開発者コミュニティなどが存在する点を除けば¹¹、P2Pネットワークの運営は分権型である。

¹⁰ このため、ビジネスモデルの不安定性や事業破綻、預かり資産・担保保護、適合性原則などの利用者保護や、ネイティブトークン（DeFi運営用に発行された独自の暗号資産、ガバナンスに特化したものはガバナンストークンと呼ばれる）の極端な価格変動など、DeFiのサービス設計や運営において留意を要する点も多い。また、最近、暗号資産やトークンのレンディング市場が拡大しており、一部に取引額・件数や価格が急増・急騰する現象がみられている。暗号資産レンディングでは、ステーブルコインを用いた超過担保によるリスク削減策が採られているが、レバレッジ取引など（例えば、借り入れた暗号資産をステーブルコインに変換し、これを担保に更に暗号資産を借り入れる取引）により有効性が失われるなど、市場の不安定化要因を内包している。また、Etherなど高流動性の暗号資産によって超過担保を確保しているステーブルコインにおいても、暗号資産価格の暴落により機能不全に陥る事例が生じている（脚注66参照）。

¹¹ Ethereumの創設者であるButerin[2017]は、Architectural/Political/Logical(de)centralizationという三つの次元で整理を行っている。最初の二者は、それぞれ図表3の横軸と縦軸に相当するコンセプトである。Logicalについては、その構造自体が単一の物や集合体として機能するものかどうか、分割しても独立して機能しうるか、あるいは関係性を持つ（ため機能しな

ネットワークを構成するノードを立ち上げることや、アドレスを取得してネットワークに参加することに認可は必要なく（Permissionless）、認可を下す中央集権的運営者も存在しない。そもそも参加者の特定もなされておらず、参加者情報はアドレスのみである。台帳は、一般に、各ノードで維持され、これが同期をとって更新される。したがって、パブリック型 DLT は図表 3 の右上に位置している。

(図表 3) IT システムの分散と集中、運用の分権と集権



集中型取引所では、その仲介システムや顧客暗号資産の預かり高管理システムなどが事業者によって中央集権的に運営されているため、図表右下に位置付けている。これに対し、DEX などの Dapps は、パブリック型 DLT の上に作られたアプリケーションであり、その意味ではシステムは分散型である。一方、運営者の存在や、KYC (Know Your Customer、本人確認) の実施、取引システム運営への介入、情報の秘匿性など、制度設計上の様々な特徴点においては、中央集権型から分権型まで幅広い選択枝が存在している。そのため、図表 3 では右側の上下段に広くかかるよう位置付けている。

DLT による証券バリューチェーン構築の試みは、同図の右下に位置付けている。DLT 上でセキュリティトークンの発行や管理を行い、スマートコントラク

くなる) か、と表現している。言い換えると、システムがモノリシックに構築されているか否かの基準であり、Buterin[2017]は、Logical の観点からは暗号資産ネットワークは Centralized (モノリシック) であると分類している。なお、Bitcoin におけるトラストや中央集権の論点については樋口[2019a]が解説を行っており、本稿でも Buterin[2017]とあわせて参考としている。

ト等を活用して証券バリューチェーンの STP 化や高付加価値化を図ろうと試みているため、図の右側に位置する。一方で、システムの設計や運用は、企画者あるいは関係者において中央集権的に行われており、参加者の範囲や KYC などにも認可型・限定型として設計されているため、図の下方に位置するとみなせる。

DLT システムの設計・運用に限定しても、分散型と集中型を特徴づける切り口が様々に存在し、これも議論が混乱する原因となっているため、以下で特徴の整理を試みた。DLT が暗号資産を支える基盤から様々な社会インフラへの応用に広がっていく過程で、実現したいサービスに応じて DLT の利用方法やシステム基盤が様々に変容している。例えば、Bitcoin が注目された最大の理由の一つは、「信頼できる第三者を必要とせず直接取引が希望する二者間で可能となる、トラストに代わって暗号証明に依拠した電子的な支払いシステム」(Nakamoto[2008]) という点にあった。当初のパブリック型からプライベート型もしくはコンソーシアム型に運用方法が変わることによって、この特長は失われる。

伝統的な中央集権型の決済インフラでは、信頼できる第三者、一般にはインフラ運営者やインフラ参加者によって、台帳変更の際の検証や台帳維持更新がなされている。「信頼できる第三者を必要としない」というパブリック型の特長は特に必要とされず、パブリック型を選択する必然性は薄れる。また、参加者についても特定化されたメンバーに限定することに問題がなければ、あるいは、積極的にそうしたいのであれば、非認可制の特長を維持する必要もなくなる。したがって、プライベート型を選択する場合、インフラの効率性向上や台帳等の冗長化による可用性向上など、別のインセンティブが存在していることになる。

なお、参加者の匿名性が維持されなくなった場合には、台帳情報の参照可能性に関する扱いにも変更が必要となる。パブリック型では参加者の匿名性が保たれるため、台帳情報を参加者が制約なく参照できるという特長が維持できた。台帳の維持更新にかかる検証作業 (DLT のコンセンサス・アルゴリズム) に誰でも参加できるようにするためには、台帳の参照可能性が維持されねばならず、そのためにも匿名性は必須であったと考えられる¹²。一方、プライベート型やコンソーシアム型において参加者を限定するというパーミッション型のシステムにおいては、台帳情報へのアクセスを制限することで参加者のプライバシーを保つ必要がある。これも中央集権型システムが元来備えていた特長の一つであり、

¹² パブリック型 DLT において取引者の匿名性が保たれていたとしても、台帳情報を参照することで特定化が可能な場合があることは、当初より Nakamoto[2008]で指摘されている。Bitcoin におけるプライバシー問題 (匿名性を含む) については樋口[2019b]が解説を行っている。

プライベート型やコンソーシアム型は中央集権型と重複する特長を複数抱えている。

このほか、様々な DLT 基盤が登場する過程で、台帳の設計にも新たな応用形態が登場している。Bitcoin や Ethereum など同一な台帳を分散管理するシステムであった。これに対し、取引情報を分散化して台帳管理する DLT も考案されている。例えば、開発時から金融ビジネスへの応用が意識され、取引におけるプライバシーの確保を重視した設計がなされた Corda では、取引記録が一件ずつ一つのブロックに格納され、取引当事者のみが閲覧可能となっている。こうした設計のため、Bitcoin のようなブロックがハッシュ値の入れ子構造によって一列に繋がる全順序性は取らない構造（分岐がある半順序性構造）となっており、それゆえ同時並行処理が可能となっている。コンセンサスアルゴリズムの実装方法も、二重使用防止のためのノタリー（検証用ノード）を利用するという特徴がある。ノタリーの検証機能をシステム運営者やコンソーシアムメンバーが担うという設計は中央集権的な管理手法であり、システムは分散的だが管理運営は中央集権的という DLT も存在する一例となっている。エンタープライズ DLT と呼ばれるものはこうした特徴を持つものが多い。

同一の DLT 基盤を用いているとしても、ノードがどのように P2P ネットワークを形成しているかは実用化事例ごとに大きく異なりうる。ネットワークの構造特性は、システムの情報伝達効率性や可用性、悪意を持った攻撃に対する頑健性に関連する。その特性把握には伝統的な市場・決済インフラの取引・決済ネットワーク構造の研究に用いられてきたネットワーク分析が有用であると思われる¹³。

以上を図表 4・5 にまとめている。図表 4 では、ノードの運営や台帳情報へのアクセスなど DLT の特徴点について、中央集権型と分権・分散型を比較した結果を示している。図表 5 は台帳管理機能を持つ代表的な IT システムについて、図表 4 で取り上げた特徴点が中央集権型と分権・分散型のどちら側に寄っているかを整理している。セキュリティトークンの場合、ガバナンスや運営においては中央集権的であり（図表 5 中のシャド一部）、台帳形態などシステム面での分散特性のメリットを追求することを試みたものであると考えられる。

¹³ 本節で議論している IT システムの分散・集中概念は、ノード間を繋ぐネットワークの構造における集中と分散も含んでいる。集中型としてはハブ&スポークが典型例だが、分散には様々な分散構造の形態がありうる。その特徴を定量的に補足するにはグラフ理論の応用として発展しているネットワーク分析が有益である。詳細は、例えばバラバシ[2019]、増田・今野[2010]を参照。

(図表 4) システムの特徴 分散概念に関する特徴

	Centralized	⇔	Distributed, Decentralized
参加者	認可制	⇔	非認可制
検証者 (ノード運営者)	プライベート 単一	⇔	パブリック 任意
運営者	中央集権	⇔	非中央集権
台帳形態	単一	⇔	複数分散 (同一/非同一)
プライバシー確保	台帳アクセス制限	⇔	匿名・仮名
<div style="display: inline-block; vertical-align: middle; font-size: 2em;">{</div> 台帳情報参照	制限	⇔	閲覧可能
	匿名性	なし	⇔

(図表 5) 代表事例の特徴

	集中保管振替 機関(CSD)	Bitcoin	DEX(DeFi)	セキュリティ トークン
参加者	認可制	非認可制	様々	認可制
検証者 ノード運営者	プライベート 単一	パブリック 任意	様々	プライベート コンソーシアム
運営者	中央集権	非中央集権	中央集権	中央集権
台帳形態	単一	複数分散	複数分散	様々*
プライバシー確保	アクセス制限	匿名	様々	アクセス制限等*
<div style="display: inline-block; vertical-align: middle; font-size: 2em;">{</div> 台帳情報参照	アクセス制限	閲覧可能	閲覧可能	アクセス制限等*
	匿名性	なし	匿名	様々

注) DEX は適用法域の取引所規制で参加者の KYC や管理者責務などが求められるため法域や取引対象資産によって異なる。

*) セキュリティトークンに利用されることが多いエンタープライズ DLT では、Corda や Hyperledger Fabric のように全ての取引情報を記録する共通台帳を持たず、分割された台帳情報へのアクセスをコントロールする秘匿化手法や、Quorum (エンタープライズ Ethereum の一つ) のように暗号技術を用いて秘匿化を図る手法などが利用されている。詳細は、3 タイプの秘匿化技術 (PET: Privacy-Enhancing Technologies/Techniques) をサーベイした日本銀行・欧州中央銀行[2020]を参照。また、LayerX[2020]は、上記3つのエンタープライズ DLT について、詳細な特性比較を行っている。

システム選択については、ある開発事例に DLT を用いるのが適切なのか、クラウドサービスを含む既存の IT システム、例えば DB サーバやアプリケーションサーバからなる非 P2P のクライアント・サーバシステムで実装したほうが、パフォーマンスや可用性、コスト効率性などの面で優れているのではないかという論点がある（いわゆる Why Blockchain 問題）。例えば、松尾[2019]は、「信頼できる第三者の存在が不要」という特長が不要であれば、改竄耐性や他の特性は Bitcoin ブロックチェーンでなくとも達成可能であり、ブロックチェーン登場以前から存在している暗号技術を用いたタイムスタンプサービスで実現可能なことを指摘している。また、廣瀬[2020]は、DLT の選択が有益であるケースとして、①ビジネスプロセスが信頼できる境界域を越える場合、②複数の関係者が同一データを処理する場合、③信頼できる 1 つの情報源を中継しコントロールする場合、④低価値の手作業のデータ検証手順を伴う場合、の 4 タイプを挙げている。

セキュリティトークンを DLT で発行することの利点を、廣瀬[2020]の指摘に沿って挙げてみると、以下のような事由が考えられる。まず、①や④の事例として、証券台帳の中央集権的管理者が信頼できるとしても、ポストトレードの照合業務のように市場参加者が相対で確認しあう事務作業では、相手方の情報処理を検証なしに信頼することができない箇所が存在していることが挙げられる。スマートコントラクトを活用した自動化や、処理の Atomicity（不可分性）¹⁴ が信頼境界を超えた共同作業で実現可能となる。②の事例としては、セキュリティトークンの所有権の移転処理が第三者や中央集権的な台帳管理者に依らず、参加者間で実行可能なことが挙げられる。③の事例は、証券発行体が保有者リストの吸い上げを単一台帳に対する処理命令で入手できることがある。ただし、これらの利点は DLT 以外のシステムでも実現できると考えられるため、システムの効率性やコスト面での比較、可用性や永続性といった観点から比較衡量する必要があるだろう。

¹⁴ トランザクションに含まれる処理がすべて正しく実行されなかった場合には、どの処理も実行されないようにすることで、部分的な実行がなされることを回避する（一連の処理を不可分のものとする）性質。

3. ICOからSTOへ

本節では、最初にセキュリティトークンとは何かを解説したうえで、米国をはじめとする主要国でICOからSTOへの潮流変化が2018年から19年にかけて急速に進展していった事情を、その契機となった各国の証券規制の対応と合わせて解説する。なお、各国対応の詳細は、補論2(ICO)と補論3(STO)に別途まとめている。

(1) セキュリティトークン

セキュリティトークンの定義はまだ定着していないが、狭義には、DLT上で発行したトークンに証券の要件を持たせ、当該トークンの譲渡により権利移転を可能としたものをセキュリティトークンと呼称している場合が多い¹⁵。証券の無券面デジタル化や不動化¹⁶は、主にCSDやカストディ銀行を通じてなされてきた。既に無券面デジタル化はなされているので、セキュリティトークンはその電子的な記録や権利の証明、移転などの技術的な手法をDLTシステムに置き換えたものと理解できる。ただし、各国の証券法制や取引所規則などが特定の保管振替機関の利用指定や、特定の記録手法を指定している場合は、これに従う必要があるため、実用化にむけた可能性は国によって異なっている。

例えば、日本の場合、2009年に株券の完全無券面化(電子化)を進めた社株法(社債、株式等の振替に関する法律)により、上場会社の株式について株券が

¹⁵ アジア証券業金融市場協会(ASIFMA)は、トークン化証券に関するレポートで、暗号資産とデジタル金融技術に関するベストプラクティスの設定や普及を目指す非営利団体Global Digital Financeの定義を援用した整理を行っている(ASIFMA[2019])。同レポートによると、「トークン化証券」は伝統的な証券の所有権の管理や移転をDLTの活用によって効率的に行うことを目的としたものであり、証券の本体はDLTシステムの外部に存在すると定義している。これに対し、「セキュリティトークン」は、DLTシステムの外部には存在しえないDLT nativeなものであり、伝統的な証券の特性を有しているが、高次レイヤー構造を持たせることで効率性の可能性を一段と高めることが可能な、より自由度が高いものと定義されている。ただし、こうした峻別法は普及しておらず、両用語は特段の区別なく利用される場合が多い。日本の金商法改正(内閣府令含む)のもとでは、セキュリティトークンに相当しうるものとして、電子記録移転権利と電子記録移転有価証券表示権利等の2つが存在し、日本証券業協会の自主規制改正案では後者を「トークン化有価証券」と定義している(詳細は補論3(3)を参照)。

¹⁶ 不動化とは、証券保管を1つの保管機関に集約し、振替決済によって権利が移転するような効率的な保管手法を採ることを指す。無券面化は、物理的な券面をなくし、勘定経理上の記録として権利やその移転を管理することであり、定義としてはデジタル化と同じではないが、無券面化に際しては通常、勘定経理のデジタル化が同時に図られるため実体的には同一である。

すべて廃止され、証券保管振替機構と証券会社等に開設された口座で株主権利の管理（発生、移転および消滅）を電子的に行うようになった。上場株式は、証券保管振替機構の株式等振替制度を利用することが求められており、STOの対象とはならず、非上場の株式に限定される。非上場が中心の社債においては、株式より早くから電子化が進められてきたが、発行体が証券保管振替機構の一般債振替制度を利用しない場合、会社法上は社債原簿の管理媒体に関する特段の定めはなく、これを DLT で行う事例が試みられるようになっている¹⁷。また、2020 年 5 月に施行された金商法改正では、従来から規制対象であった有価証券のうち、DLT を用いたトークンに表示された権利のうち一部のタイプのものを「電子記録移転権利」と定義したうえで、その発行や取り扱いに関する規制整備を行っている（増田[2020a/b]）。

なお、資金決済用のペイメントトークンでは複数の異なる定義があり、セキュリティトークン以上に DLT を巡る議論を難しくしている。そこで補論 1 ではペイメントトークンの代表的な定義を整理したうえで、本節冒頭で示したようなセキュリティトークンに関する一般的な認識との比較を行っている。また、価値の管理方法に関するトークンの性質を明らかにすることによって、既に電子化されている通貨や証券との相違点や、電子トークン化することのメリット、トークン発行のインフラに DLT が選択される理由について考察を行っている。

（2）ICOからSTOへ

DLT 上でのトークン発行によるファイナンスとして最初に隆盛したのは ICO であった。事業資金を調達したい主体が、新規の暗号資産やトークンを発行し、購買者から対価として法定通貨や bitcoin や Ether のようなマーケットキャップが大きくて流動性が高く法定通貨に変換しやすい暗号資産を得るというスキームが考案された。Ethereum は、ネイティブトークンである Ether のほかに、標準規格に則って新たなトークンを発行して Ethereum 上で流通させることができたため、ICO に頻繁に利用された。また、独自の DLT システムを新たに構築し、そのうえで新しい暗号資産を発行し、これを ICO に用いることも多く行われた。ICO が隆盛した 2017 年上期から 2018 年にかけて数多くの暗号資産やトークンが登場しており、市場価値をもたず、流動性もないものが多く存在している。例

¹⁷ 野村ホールディングスと野村総合研究所の合弁子会社が中核となって進めている DLT プラットフォームを活用した国内初の社債が 2020 年 3 月に 2 種類発行されており、いずれも社債原簿の管理が DLT で行われている（野村総合研究所[2020]）。原則設置が義務付けられている社債管理者（通常、銀行等に委託される）と違い、社債原簿管理人は外部委託せずに発行体が管理することができる。本案件では、従来型の社債では困難だった発行者による社債権者の継続的な把握が可能ながメリットとして挙げられている。

例えば、Ethereum 上のトークンはテスト的なものまで含めてこれまで 27 万種類が発行されている。

ICO トークンは、将来の事業収益の分配を約束したものや、財・サービスなどの提供を約束したもの、発行者は特段の債務を負っていないものなど、様々なタイプがある。しかし、法規制対応に先行して ICO が広がりを見せた米国などでは、トークン保有者が有する権利内容や発行者が負う義務の履行に曖昧な点が多く、不履行や発行体の消滅、詐欺などの不正事件が相次いだ。

こうした ICO の隆盛や不正事件をうけて各国で規制対応が進められた。米国や欧州でまず焦点となったのは ICO トークンの経済的性質であり、投資性を持つ証券であるのか（セキュリティトークン）、何らかのサービス提供を約束した契約であるのか（ユーティリティトークン）、交換や支払いという決済機能を提供する媒体であるのか（ペイメントトークン）を明確化し、証券とみなされた場合、既存の証券規制に則った対応が発行体に求められるようになった。また、取引市場に関しても証券取引法制と同様の規制が適用されることになった。米国では、ICO 発行が多かったこともあって、こうした整理が早く進展しており、補論 2 で経緯を解説している。

投資家保護や市場濫用の防止などを備えた証券規制に従うことが求められるようになると、ICO の発行ニーズは急速に低まり、2018 年央をピークに発行額・件数ともに減少し、2019 年にはほぼ消滅した。その一方で、未公開株や私募の証券市場規模が大きな米国では、直接金融市場の活性化のために、証券発行の規制緩和策が早くから採られており（Regulation D や適格投資家の範囲の拡大など）、既存の証券法制の下で、こうした規制緩和措置を活用しながら社債や株式といった伝統的な証券をセキュリティトークンとして発行する動きが始まった（補論 3(1)を参照）。このように STO の隆盛には、証券規制緩和政策の活用、換言すれば規制対応コストの軽減という側面が存在している。社債や株式以外にも、不動産やファンドや様々な動産の証券化・市場化にセキュリティトークンを活用する試みも行われており、そこでも同様な意図が存在している。

米国に続いて EU においても、STO や発行後の取引所・相対取引、保管振替サービス等が EU の証券関連の規制でどう位置付けられるか議論が行われている（例えば AMF[2019]）。EU の証券規制の多くは EU 指令として定められており、各国の実情に応じた国内法制化が認められている（EU 規制の場合、こうした余地はなく同一の規制が適用される）。このため、EU 各国がセキュリティトークンの発行や取引に関する認可や免許を判断しているが、EU 証券規制のアップデートが必要であるとの認識のもとで欧州委員会が調査を進めている

(EU[2019])。

日本では、金融庁が 2018 年に開催した「仮想通貨交換業等に関する研究会」において暗号資産や ICO 等の規制に関する検討が行われ、2019 年に資金決済法や金商法の改正がなされた際にセキュリティトークンに関する規制が整えられた（施行は 2020 年 5 月）。株券や社債券といった伝統的有価証券（第一項有価証券等）をセキュリティトークンとして発行する場合、金商法改正では特別の規定は設けられず、発行や流通ともに第一項有価証券と同様な扱いがなされる。一方で、第二項有価証券（みなし有価証券）の一部をセキュリティトークンとして発行する場合には、電子記録移転権利という新たに導入された概念で定義されることになり、トークン化されたことで流通性が高まる可能性があるため、第一項有価証券として扱われることとなった。ただし、流通性その他の事情を勘案して内閣府令で定めたものについては電子記録移転権利から除かれるとされた（補論 3(3)を参照）。

このように、世界各国で ICO の問題点に対応するよう規制が整備されてきたことが、ICO から STO への急速なシフトをもたらし、また、メインプレイヤーに大規模金融機関や FMI が登場する流れを作り出したといえよう。

4. DEXの技術発展

ICOからSTOへの変化と同時期に生じたのが、暗号資産やDLTトークンの取引市場の発展である。従来の取引所は、暗号資産販売所・取引所が運営する集中型取引所であった。これに対して、DLT上のDappsとして分散型取引所(DEX)が2016年央に現れ始め、2018年には様々なDEXが登場し、市場参加者にとって利便性の高い取引市場のデザインを競い始めた。取引件数や金額は集中型取引所に比べると1%にも満たない僅かな水準であるが、DEXの取引マッチングや市場流動性の集約手法等の設計、システム実装面の工夫などは、今後、流通市場の育成を展望しているセキュリティトークンの流通市場にも影響を与えらると思われる。本節では、まず暗号資産の集中型取引所の仕組みから説明し、これと対比してDEXの特徴について解説する。なお、補論4では、DEX登場後のシェアの推移や特徴的なDEXを比較解説している。

(1) 集中型取引所

法定通貨と暗号資産の交換では、暗号資産の販売所・取引所がそのサービスを提供している。販売所では、その運営主体が顧客取引の相手方となる。一方、取引所では、運営主体が用意した注文板(Order book)の上で顧客の注文同士を付け合わせていく取引市場が提供される。前者は、気配駆動式市場(Quote driven market)と呼ばれ、ディーラーが自己ポジションで顧客の注文を受ける金融市場と同じであり、このためディーラー市場とも呼ばれる。後者は、注文駆動式市場(Order driven market)であり、オークション市場とも呼ばれる。暗号資産取引所では、注文板に指値注文によって市場流動性を提供する主体を(流動性)メイカー、注文板に存在する指値注文を指値注文や成行注文で消費する主体を(流動性)テイカーと呼んでいる。暗号資産同士のクロス取引においても、こうした販売所と取引所の二つが存在する¹⁸。

こうしたサービスを提供する販売所や取引所は、日本では暗号資産交換業者として登録された事業者が行っている。販売所と取引所のどちらか一方のみを運営する事業者と、両者を運営する事業者が存在しており、クロス取引の取り扱

¹⁸ 一般に、暗号資産のクロス取引は市場流動性が低いため、流動性が比較的高いbitcoinやEtherを交換相手としたクロス取引が多くなっている。また、市場流動性が低い取引所型では注文板が薄くなり、価格変動が大きく、約定成立もしにくくなる。一方で、販売所型(ディーラー型)では、売値買値を表示し、みずから顧客の売買相手方となるマーケットメイカー(ディーラー)のポジション管理負担や価格変動リスクが大きくなる。市場流動性が低いほど、その負担やリスクが大きくなるため、売値買値間のスプレッドも大きくなる筋合いにある。

いも事業者によって区々である。本稿では、DEX と対比するため集中型取引所（CEX：Centralized Exchange）と総称する。

暗号資産の販売所・取引所が、株式や債券などの金融資産の取引所と異なっていることの一つに、後者ではカストディ業務をCSDやカストディ銀行が担っている一方、前者では個々の取引所によって提供されている点がある。成立した暗号資産取引は、集中型取引所の運営者によって分散型台帳上で移転が行われるが、顧客からの預かり暗号資産の管理方法が分別管理か一括管理（混合管理）かによって手続きが異なる。集中型取引所における顧客からの預かり暗号資産は、分散型台帳レベルで顧客ごとに分別管理されているわけではない¹⁹。これを実現するには、顧客ごとに分散型台帳上のアドレス（口座アカウントに相当）とアドレスからの送金等を管理する秘密鍵を作成し、顧客別の秘密鍵を集中型取引所が適切に管理する必要がある（もしくは、顧客に管理を委ねる方法もあるが一般的ではない）。実際には、顧客預かり資産を同一アドレス上にプールして管理する方法が採られていることが多く、こうした混合管理を採る場合、取引所での顧客間取引であれば分散型台帳上で所有の移転を行う必要がなくなる。また販売所での相対取引であれば、運営者アドレスと顧客プールのアドレスとの間で暗号資産の移転をまとめて実行できる。少なくとも、日本ではそうした扱いが主流である（金融庁[2018]）。こうした場合、顧客間の暗号資産の分別管理は、分散型台帳でなく、集中型取引所の運営者が保有する別の管理システムで担われることになる²⁰。

（2）DEXの特徴：様々な制度デザイン

このような顧客預かり暗号資産の管理がなされている場合、集中型取引所に対するサイバー攻撃が成功すると、秘密鍵一つで大量の顧客資産が奪われることになりかねない。実際、そうした事件が世界各地で発生してきた。こうしたセキュリティ上の問題に対して、アドレスを取得している個人が秘密鍵をワレッ

¹⁹ なお、集中型取引所のアドレスと混合管理の顧客プールのアドレスは、顧客預かり資産の保護という観点から、分散型台帳レベルで分別管理されるようになっている。

²⁰ 伝統的なCSDは階層構造をとっており、中間段階では一括管理が活用されている。日本では、社債・株式等振替法（社株法）上、証券保管振替機構が備えている振替口座簿において、加入者である金融機関等（口座管理機関）の口座が自己口と顧客口の2つに区分され、顧客口は一括管理されている。しかし、顧客（投資家）ごとの預かり資産の内訳は口座管理機関において管理されているため、制度全体としてみれば顧客（投資家）からの預かり資産が適切に分別管理される設計となっている。なお、こうした階層型の管理構造を採る場合、株主・社債保有者の構成情報や市場参加者全ての口座情報を知るためには、証券保管振替機構と口座管理機関の全口座情報が必要となる。

ト等で管理し、取引市場に売買注文を直接出せる取引市場が 2016 年央に登場してきた。DLT ネットワークのノード上に、暗号資産やトークンを取引する市場を Dapps として構築する試みである。このような取引市場は、特定の事業者が運営する集中型取引所 (CEX) に対して、分散型取引所 (DEX) と呼ばれるようになった。DEX は DLT 基盤の高次レイヤーに Dapps を構築する技術の発展が背景にある。

DEX の運営自体は特定の事業者が行っており、以下のような「分散型」システムの特長を有している。

- ① Ethereum のようなパブリック型 DLT の分散システム上に Dapps として構築されている。
- ② 暗号資産の預かり管理者がおらず、市場参加者が自分で秘密鍵を保有してアドレス上の暗号資産を管理する²¹。
- ③ 取引参加に制約がないオープンシステムである²²。
- ④ パブリック型 DLT と同様、匿名性が維持されている (ただし、規制との対応関係が明確になるにつれ、DEX 運営者に対して KYC 要件が求められるようになっており、③についてもパーミッション型に変化しつつある)。
- ⑤ 取引内容やオーダーブック、流動性プールの情報が参加者全員に参照可能である。

上記①と②は DEX と集中型取引所を峻別するポイントになっているが、③～⑤に関するアクセスの自由度、匿名性、取引の秘匿性については様々な設定が可能であり、中央集権・集中型のように非匿名性や他参加者からの参照を不可とする設計も可能である。これらの設計は、DEX が各法域でどのような取引システムとみなされ、当該法域の規制に従う必要があるかによっても制限される。

²¹ このため、集中型取引所よりセキュリティ面で優れていると指摘されることがあるが、集中型取引所へのサイバー攻撃で被害が拡大したのは顧客資産を一括管理していたことによるものである。DEX においても市場参加者が個々に管理している秘密鍵が奪われるリスクは同じであり、資産管理義務を取引所が負わずに市場参加者に委ねているに過ぎないため、セキュリティ面の優劣比較は難しい (秘密鍵管理が分散しているので攻撃を受けにくいという側面は存在している)。なお、集中型取引所でも、顧客がアドレスを持ち、ウォレット等で秘密鍵を管理することは可能であり、こうしたサービスを提供している先も海外には存在している。また、国内の集中型取引所でも希望する顧客にアドレスを付与している。例えば、外部への暗号資産送付や外部からの受取りを行う場合、顧客プールのアドレスを顧客に使わせることはできないため、個々のアドレスを利用するサービスがある。

²² 後述するように、市場参加者の売り買いの相手方となるマーケットメイカーが存在する DEX では、マーケットメイカーとしての参加もオープン化されている。

売買のマッチング方法は、オーダーブックを用いた注文駆動方式と、マーケットメイカーによる気配駆動方式があるほか、市場流動性プールの売買バランスなどから価格を自動決定して約定させていくものや、仲介者（取引相手方とはならない主体）がオーダーブックを別々に立てるが市場参加者は横断的にアクセス可能という一種の分散型オーダーブック制など、様々な市場デザインが登場している。また、売買だけでなくマーケットメイク業務にも参加が自由である点や、オーダーブックを立てるのも自由という DLT のパーミッションレスの特徴を活用したものが多い。補論 4 ではこうした特徴の詳細を解説している。

集中型取引所では、運營業体に対する手数料やマーケットメイキングにおける売買スプレッド、暗号資産管理料などが発生しうる（料金体系は事業体によって様々に異なっている）。DEX では運営者に直接支払う手数料が存在しないものが多いが、必ずしも取引費用が安価というわけではない。取り扱う暗号資産やトークンの市場流動性が小さく、売買値のスプレッドが大きくなっている可能性がある。また、流動性テイカーのみならずメイカーにも手数料が生じる DEX があるほか、約定時だけでなく流動性提供時にも台帳への書き込みが必要になるという特性のため、取引費用が嵩む可能性がある。例えば、Ethereum の場合、システムのコアとなっている EVM (Ethereum Virtual Machine) を動かすためにガス代と呼ばれる手数料が必要となる。なお、新しく登場した DEX ほど、こうした課題を克服する制度設計や新しい技術の活用によって、取引費用が低下する傾向にある。

DEX の取引処理速度は、DLT 基盤の処理速度に制約されるため、マッチングをオフチェーン²³で行うといった工夫はされているものの、高速化が課題とされている。ただし、この点もオフチェーン処理を高速化する暗号技術が普及し、これを採用した DEX では高速大量処理が可能になった（手数料も大幅に低下した）と言われている²⁴。

このほか、DEX でよく指摘される問題点として、フロントランニングや価格操作などの市場濫用がある。金融市場一般に、情報の非対称性やシステムへのアクセスの非対称性などを悪用した種々の問題が発生しているが、DEX では構造的な要因からこうした問題が生じやすくなっている。自律型分散システムとしての DLT では、利用者が高い手数料やガス代を示すことでマイナーのインセン

²³ 処理の高速化を図るため、特定の処理を専門に担う台帳を DLT の高次レイヤーとして別途構築したもの。メインチェーン (DLT の中核となっている台帳) に対してオフチェーンと呼ばれる。

²⁴ 例えば、zk-SNARK というゼロ知識証明暗号技術をスケーラビリティ向上に利用した Loopring という技術があり、これを DEX のオフチェーン処理に応用した事例がある。

タイプを高め、オーダーの処理順番を引き上げることができる。このため、伝統的な金融商品の取引所における価格優先・時間優先の原則が DEX では必ずしも守られず、これがフロントランニングを容易化する一因となっている。また、DEX では、マーケットメイクや流動性メイカーなどへのインセンティブ付けや需給バランスの自律的回復手段として手数料設定が自由に行える場合が多いが、こうした自律型システムの設計にも価格操作などの市場濫用を引き起こしやすくなる要因が潜んでいる。こうした問題点についても、制度設計上の工夫によって改善する動きが進んでいる。

DEX の取扱高は集中型取引所に比べて極く僅かな水準にとどまっているが、これは、集中型取引所が先行発展したという歴史的経緯や、法定通貨との交換や暗号資産の預かり管理サービスなどを含めた総合的なサービス提供を行っている集中型取引所のほうが利便性が高いといった事情がある。また、DLT システム上の制約から、扱える暗号資産やトークンに制限があることが大きいと思われる。DEX は DLT ネットワーク上に構築されるため、ある DLT が取り扱える暗号資産は 1 つの場合が多い（下記 Box 参照）。トークン発行が可能な Ethereum では、トークンの標準化が進展したこともあって多数のトークンが発行されており、DEX ではこれらが取引されている。ただし、メジャーな暗号資産に比べてマーケットキャップや市場流動性は僅かなものに止まっている。

もっとも、暗号資産やトークンの DEX において開発された市場デザインやプロトコルは、セキュリティトークン市場の発展において活用される余地があるように思われる。そこで、補論 4 では 5 つの DEX について市場デザインの事例を紹介している。

Box DEX の制約

個々の暗号資産を支えるインフラは、異なる DLT ネットワークとして自律的に稼働している。例えば、暗号資産 bitcoin と Ether は Bitcoin ブロックチェーンと Ethereum ブロックチェーンという別々の分散型システムで稼働しているため、Ethereum 基盤上で直接 bitcoin を扱うことはできない（逆も同じ）。

現在登場している多くの暗号資産 DEX は、Ethereum 基盤上で ERC20 などの標準規格に沿って発行されたトークンを取扱対象として指定し（ユーザーが任意に持ち込むことも可能な DEX もある）、これを Ether や各 DEX が発行するトークン（ネイティブトークン）、あるいは ERC20 対応したステーブルコイン（USDC や DAI 等、補論 4 を参照）と取引するものが多い。

Bitcoin のような異なる DLT 基盤で動いている暗号資産を Ethereum 上の DEX で取り扱う、いわゆるクロスチェーン取引を行う技術も存在している。例えば、bitcoin を裏付け資産とする bitcoin 等価の ERC20 トークンを Ethereum 上で発行するラッピング技術が考案され、一部の DEX で利用されている。しかし、その他の手法はクロスチェーンの仕組みがより複雑になるため広く利用されてはいないようである。また、クロスチェーン取引の実現には、アトミックスワップを用いた PvP 決済もあるが、HTLC（Hashed Timelock Contracts）を用いているため決済履行が確約されないという問題もある²⁵。日本銀行・欧州中央銀行[2018]では、同技術を証券・資金決済での DvP 決済に適用しており、この問題についてもレポート中で解説している。

²⁵ 伝統的な決済インフラであれば、中央集権的な運営主体間で接続仕様や電文メッセージの内容・処理方法、セキュリティなど詳細を調整したうえでシステムが実装される。これに対し、自律分散型システムである DLT ネットワーク間で相互接続を実現するのは、可能ではあるが、容易ではないし制約もあることが日本銀行・欧州中央銀行[2018]で示されている。ただし、様々な手法が考案・検討されており、DLT 間のインターオペラビリティは改善が続いている。

5. 証券バリューチェーンへのDLT応用

セキュリティトークンを発行する DLT システムは、必然的に証券の保管や移転・償還を担うシステムと一体開発される。また、取引システムや約定照合等のポストトレード業務、クーポンや配当、議決権ほかコーポレートアクションなどに対応するシステム、セキュリティレンディングなど保管証券を活用するシステムへ拡張展開し、証券バリューチェーン全体を DLT を中心としたインフラで構築する動きに発展していく可能性もある。また、セキュリティトークンの発行は行わないが、現行の証券バリューチェーンを支えるインフラの一部を効率化・合理化する目的で DLT を活用する動きもある。このように DLT の活用対象で整理する見方があるほか、活用の目的が現在の証券ビジネスの効率化・合理化にあるのか、新しい市場の創造にあるのかという目的から全体の動向を展望する視点もある。

1 節の図表 1 では大手金融機関や FMI²⁶、中央銀行などが進めている DLT の活用プロジェクトを示した。本節では、これらを DLT の応用対象別に分けて、①セキュリティトークンの発行に始まり証券バリューチェーン全体を視野に入れたプロジェクトと、②DLT を証券バリューチェーンの一部に応用し、効率化やリスク改善を目指しているプロジェクト、セキュリティレンディング市場を新たに創造するプロジェクトを紹介し、証券市場関係者が DLT にどのような可能性を見出しているのかを知る手がかりとする。なお、情報入手が比較的容易な主要国を対象としており、新興国や小国のプロジェクトはカバーしていない。

(1) 証券バリューチェーン

DLT が登場する遥か以前から、無券面化や不働化、STP 化によって、効率性向上とコスト削減、および決済期間短縮による決済リスクの削減を目指した取り組みが続けられてきた。しかし、伝統的な証券決済インフラにおいては、証券バリューチェーンに数多くの主体が係わっており（具体的には市場参加者となる金融機関や顧客、市場・決済インフラの提供者、証券発行体、情報ベンダーや通信システム提供者、中央銀行など）、制度やシステム、プロトコルを変更する際の調整コストは非常に大きい。日本でも 2009 年の株式無券面化のような大きな市場制度改革の際にデジタル化・STP 化が進展してきたが、ポストトレード業務の効率化は現在においても課題となっており、海外では決済リスク削減や担保

²⁶ 本節や 1 節では主要国の様々な FMI に言及している。主要各国の決済インフラ構造とそれを構成している FMI については、やや古くなっているが BIS・CPMI (前 CPSS) がまとめた資料 (CPSS[2011/12]) が参考となる。

効率の改善のために決済期間の更なる短縮を課題としている FMI もある（山藤ほか[2016]、DTCC[2020b/c]、SIX[2019]、ASX[2017/8]）。

そこで、セキュリティトークンの発行を手掛かりに、既存の証券バリューチェーンを支えるインフラとは別途、DLT の特長を活用した新たなインフラを作り上げることで、効率性の大幅な改善を行うことを企図したプロジェクトが世界各国で立ちあがっている²⁷。また、技術的・コスト的制約から実現が難しかった金融市場や資産クラス、例えばリテール向け小口証券の発行や流通、あるいは流動性に乏しかった各種資産ファンドやローンアセットの発行・流通市場の立ち上げ、小規模企業の資金調達の円滑化など、新市場の創造を志向しているプロジェクトもある。

具体的には、スイスの証券取引所 SIX は、デジタルアセットの取引所 SDX を設立し、金融機関参加者向けに発行から資産管理まで証券バリューチェーンのインフラを End-to-End で提供することを試みている。参加金融機関は顧客に対して、セキュリティトークンを含むデジタルアセットのサービスを高い利便性と効率性をもって提供できるほか、即時決済により決済リスクを極小化し、リスクレス・トレーディングな環境を提供できると標榜している。SNB は 2019 年に国内に新設された BIS Innovation Hub Center（スイス）との共同研究で、DLT を用いた CBDC の研究と、トークン化資産の DvP 決済への応用を視野に入れた研究を進めており、SIX は SNB との間で後者の DvP 決済に関する POC を進めることを表明している（SNB[2019]、SIX[2019]）。

世界最大の証券保管振替機関や証券 CCP をグループ内に抱える米国の DTCC は、未公開株式市場について株式発行から取引までのインフラ構築に DLT の可能性を検証する Whitney プロジェクトを実施し、その POC 結果を公表している（DTCC[2020c]）。米国の株式市場は 1996 年をピークに上場企業数、IPO 件数が減少し、成長企業が未公開市場に長く止まる傾向が続いている²⁸。DTCC は、こうした状況のもとで一般投資家が成長企業にアクセスしづらくなっていること、

²⁷ 関係主体が多いことに伴う調整コストの大きさを回避するだけの目的であれば、新しいシステムが DLT である必要はない。DLT の潜在力を活用する目的と、新規バリューチェーンをフルセットで作り直すことで調整コストを回避するという目的が各々存在していると考えられる。

²⁸ その要因として、不正会計問題を受けて成立した企業改革法（SOX 法）や金融危機後のドッド=フランク法等による規制対応コストの増加に加え、ベンチャーキャピタルの拡大により新興成長企業の資金調達が容易になったことが指摘されている（齋藤・吉川[2018]）。補論 3(1)では米国での STO が証券規制の緩和策を活用していることを紹介しているが、これらの緩和策は、未公開株式への市場シフトに対応するために導入された経緯がある。

DLT を利用した証券インフラが IPO 以前のアーリーステージの企業に魅力的であること、未公開株式に関する業務オペレーションはコンプライアンスや適合性原則のチェックを含めて自動化や標準化が進んでおらず、効率化余地が大きいことを指摘し、DLT がその解決策になる可能性を秘めているとして、市場育成にも繋がるプロジェクトを開始している。テストシステムでは、Regulation D（補論 3(1)参照）にそって未公開株式を発行し、コンプライアンスや適合性原則のチェックをオフチェーンで外部オラクル²⁹を活用して行うシステムとなっている。

NASDAQ は、2020 年 6 月より、クラウド上に取引市場を構築するプラットフォームを Nasdaq Marketplace Service Platform として提供し始めている。株式市場に限らず、様々な資産の取引所や関連サービスを SaaS サービスとして提供するインフラビジネスである。同プラットフォームには、デジタル資産向けの Digital Assets Suite というサービスがありにおいては、トークン資産の発行、取引執行、市場監視、クリアリング、保管振替サービスなどを統合するインフラ基盤に DLT を活用している（Nasdaq[2020a/b]）。

SGX（シンガポール証券取引所）は STO インフラ開発のスタートアップ企業に出資しており、同社は規制当局 MAS のサンドボックスを利用して非上場株式や債券、ファンド、オルタナティブ商品の DLT プラットフォーム開発を進めていた。同社は 2020 年 2 月、市場運営者・証券保管管理サービス業者としての免許を MAS より取得し、実サービス開始に向けた準備を進めている。また、SGX と提携関係にある別のスタートアップ企業は、既に私設証券取引所の認可を得ており、セキュリティトークンの発行・取引サービスを開始している。LSEG（ロンドン証券取引所グループ）も、傘下の MTF（Multilateral Trading Facility）である Turquoise がセキュリティトークン発行のテスト環境を構築しており、そこで STO インフラ開発のスタートアップ企業が株式発行による資金調達を行う実験を行っている（規制当局 FCA のサンドボックス制度を活用）。シンガポールや英国と同様な動きは、香港やタイ、ドイツなどでも進行している。

これらは、伝統的な証券インフラの中核にある上場取引所や CSD が主導する

²⁹ 自律分散型システムとして構築された DLT においては、取引に関するデータの真正性は P2P ネットワークシステムの内部で検証される自己完結した仕組みとなっている。しかし、例えば、取引価格に外部のリファレンスマーケットの価格を参照するような市場を構築する場合や、取引・決済の認証に外部システムを利用するようなシステムを構築する場合は、スマートコントラクトの実行に外部情報を取り込む必要が生じる。システムの内部では検証しようがない外部由来の情報であるため、DLT ではオラクル（神の宣託）と呼称されている。アウトバウンドオラクルのように外部に情報を提供するものもオラクルと呼ばれる。

ものが多いが、金融機関が個別に推進するプロジェクトもある。世銀や、ソシエテジェネラル、サンタンデール、中国銀行（Bank of China）など金融機関が、DLT上で社債発行を実験的に行い、自社グループやプロジェクトのコンソーシアムメンバーで所有し、利払いや償還を行う検証を実施している。世銀のプロジェクトでは第二弾として流通市場を設置して売買を検証する試みが行われている。サンタンデールのプロジェクトでは、カストディ口座にある法定通貨と紐づけることで価値の裏打ちを行った ERC20 トークン（一種のステーブルトークン）を用いて資金決済を行っている。

日本でも DLT を活用したセキュリティトークンの発行や証券インフラの構築、流通市場の創設を目指す動きが、銀行や証券会社、金融機関等を中心としたコンソーシアムで複数現れている。具体例については、補論 3 の図表 A-3 で紹介している。

（2）DLTの部分活用

DLT の活用方法は、セキュリティトークンを用いた証券バリューチェーン全体の構築以外にもある。現在の証券インフラの一部に DLT を利用して、ポストトレード業務やコーポレートアクションの効率性を高めたり、セキュリティレンディングなど証券市場の発展を目指した動きが登場しており、一部にはサービスを開始している事例もある。以下では、セキュリティトークンの発行を前提としない DLT プロジェクトを紹介する。

ドイツ証券取引所は DLT 開発スタートアップ企業と提携し、証券貸出（担保スワップ）サービスを開始している。これは、クリアストリームやユーロクリアほかカストディ銀行が既存の証券カストディ業務を提供しながら、原証券のカストディアン間の移転を行わないまま所有の移転管理を DLT で行うものである（Deutsche Börse[2019]）。欧州の大手銀行が参加しており、2019年12月にはEurexレポ市場取引への証券決済サービス提供が始まっている。このほか、ドイツ証券取引所は独中銀と担保管理に DLT を活用する共同プロジェクトも進めており、コンセプト検討調査レポートが連名で公表されている（Deutsche Börse AG・Duetsche Bundesbank[2020]）。なお、米国取引所デリバティブ商品の独立系 CCP である OCC（Options Clearing Corporation、複数のオプション先物取引所に CCP サービスと決済サービスを提供）も、セキュリティレンディングのクリアリングインフラを DLT に置き換えるプロジェクトを 2020 年秋に着手する予定である。

ASX（オーストラリア証券取引所）では、クリアリングと証券決済を担っている現行インフラ CHESSE を DLT ベースの新システムに更新する検討を 2015 年に

開始した。業務要件や機能評価、市場参加者ほか関係者へのコンサルテーションを重ねたうえで実行を決定し、現在、システム構築を続けている³⁰。レガシー化したシステムの性能向上に加え、スマートコントラクトを活用したメッセージの標準化や、外部システムとの接続のモダン化・セキュア化、SDK (Software Development Kit) の提供によるアプリケーション開発の利便性向上を企図している³¹。HKEX (香港証券取引所) も、次世代ポストトレードプログラム (NextGen) で CCP や決済インフラの更新を進行中であり、マージン管理や清算基金などリスクモデルの高度化、参加者の担保繰り効率化、クライアント接続システムの高機能化とあわせて、中国本土の証券取引所との接続システムの改善に DLT を活用することを計画している (HKEX[2019a/b])。このほか、NASDAQ では、議決権行使サービスに特化した DLT の実装を既に行っており、議決権トークン資産を発行し、株主年次総会での行使に活用する eVoting サービスが始まっている (Lundell[2020])。

JPX では早くからポストトレード業務の効率化を目指した DLT の検証や実験がなされてきた (山藤ほか[2016]、近藤ほか[2017]、近藤[2019])。そのうち、約定照合業務やKYC業務に活用する検討では証券会社がイニシアティブをとっている (大和証券グループプロジェクトチーム[2018/2019]、Fintertech[2019/2020b])。この調査では、証券会社ほか 26 社が参加し、約定照合業務の課題を洗い出し、各社で異なるルールや規格を統一し、サービスプロバイダのシステムに DLT を活用することで、時間短縮や効率化が図れることを確認している³²。また、証券保管振替機構等との共同プロジェクト「B-POST」が立ち上がり、ファンド情報や法人情報などの共有・同期更新、株券貸借取引の貸借料情報などの統一フォーマット化と情報共有を、JPX が構築してきた業界連携型 DLT 実証実験環境で検

³⁰ セキュリティトークンというコンセプトが明確になる前に企画された更新プロジェクトであり、CSD 部分を含むため証券発行時点から DLT 上での管理となるが、開発 website にある過去ドキュメントにはセキュリティトークンという用語は用いられていないため、DLT 部分活用の(2)に分類している。

³¹ ASX は DAML というスマートコントラクト記述言語を採用している。同言語は、Hyperledger Fabric での利用から始まったが、2019 年に DAML 開発企業の Digital Asset 社が SDK を含めてオープンソース化したことを契機に、Corda や Hyperledger BESU といった他のエンタープライズ DLT 基盤でも利用できるよう拡張されつつある。このほか、PostgreSQL や AWS Aurora のような一部 RDBMS での利用も可能となっている。なお、DTCC の ION プロジェクトでも DAML が採用されている。

³² 具体的には、DLT 基盤が提供するライブラリによって、①DLT 上で扱うデータの標準化を行い、各社が利用するサービスプロバイダの相違を標準フォーマットで吸収するような連携をとる、②売り手買い手間に生じうる少額差異を許容される範囲内で調整対応できるようなマッチング機能を持たせ、自動化を促進する、③約定単価計算や手数料計算など各種計算ロジックの標準化を進めることなどが検討されている。

証するプロジェクトを進めている（日本取引所グループ・証券保管振替機構・日本電気[2020]）。

6. おわりに

本稿では、DLT を活用した証券バリューチェーン構築の試みが世界各地で生じていることを紹介した。こうした動きの背景には、暗号資産とともに誕生したパブリック型 DLT がファンディングに利用されるなかで ICO 問題が生じ、これに対して証券規制が整理・整備されたことがセキュリティトークン発展の可能性の素地を作ったという流れがある。また、暗号資産の分散型取引所が登場し、技術発展していることが、セキュリティトークンの発行・流通市場を支える技術の発展や、DLT 開発企業群の成長に繋がっている面もある。

証券インフラへの DLT 応用は黎明期にあり、既存の証券バリューチェーンに対して新たな選択肢となるまでには至っていない。これまでにみられた事例は、POC やセキュリティトークンの実験発行に止まっているものが殆どであり、セキュリティトークンの流通市場は殆ど存在していない。実務への利用を本格化しようとした場合、導入期におけるリーガルリスクやオペレーショナルリスクの増大、移行期の複雑な体制などの課題が指摘されている（DTCC[2020b]、Bech[2020]）。また、タイムスパンについても、Deutsche Börse AG・Duetsche Bundesbank[2020]のように、当面は、証券市場を支えてきた既存のインフラの役割が後退することはないと指摘する検討調査レポートもあり、今後、どれほど大きな証券エコシステムに成長していくか未知数である。実際、プロジェクトを進めている殆どの先では、既存のインフラの代替を目指すのではなく、伝統的なシステムとは別の新領域を狙ったもの、あるいは証券バリューチェーンの一部の効率化を図るものと位置付けている。

しかし、証券取引所や FMI、大規模金融機関といったビッグプレーヤーが新しい証券バリューチェーンや市場創造の可能性を模索するために参入してきており、DLT を活用した証券バリューチェーン構築の動きを加速させていく可能性がある。これらの先は、既に DLT 開発企業群と提携・協力して様々なプロジェクトを開始している。加えて、5 節でみたように、DLT の証券インフラとしての利用価値に注目し、これを証券バリューチェーンの一部に活用しようという動きもあり、実用化が始まっているものもある。

このように、セキュリティトークンや DLT の応用を巡る様々なチャレンジが世界各地で進行している。わが国においても、FMI や金融機関、中央銀行などの

幅広い主体にとって、DLT の発展動向やその応用事例を把握することは、証券システムや金融市場の未来像を考えていくうえで重要である。さらに、セキュリティトークン市場の成長は、新しい資金決済インフラの登場や既存の資金決済インフラの高度化に繋がっていく可能性もある。例えば、日本銀行決済機構局が開催した「決済の未来フォーラム」でも、非競争領域での共通基盤として CBDC が提供されることが選択肢の一つとして指摘されている（日本銀行決済機構局 [2020a]）。その一方で、新たな金融市場やそれを支える技術・インフラが登場する際には、見えにくいかたちで様々なリスクが内包されうることを幾多の金融システム危機を通じて経験してきた。金融システムの多様な可能性を探る試みの潜在力とリスクの両面を注意深くみていく必要がある。

以 上

補論1 トークンの定義とトークン化のメリット

暗号資産と DLT の登場以降、トークンという用語が様々な概念として用いられている³³。物理的なトークンの代表的な事例としては、バスの回数券、商品券、ゲームセンターのコインなど、財やサービスとの引き換えに用いられる代用貨幣や引換券が挙げられる。使用価値を限定した物理媒体だけでなく、現金のように交換対象が広範化し、価値保蔵機能も有するようになった物理媒体も含めてトークンと呼ばれている。CBDC を議論した BIS[2018]でも、現金はトークンに分類されている。

こうしたトークンが電子化された場合、どのような特徴を持つのであろうか。電子化されたトークンと、預金や無券面化証券のように既に電子化されている通貨や証券はどう異なるのであろうか。電子トークン化することによって、既に電子化されている通貨や証券以上に利便性や効率性が高まる理由があるとしたら何であろうか。また、トークン発行のインフラに DLT が選択される理由は何であろうか。補論1では、まずデジタル通貨におけるトークン（ペイメントトークン）の定義を整理し、これと対比させながらセキュリティトークンの特徴を考察する。そのうえで、トークン化のメリットを情報処理の観点から考察し、上記疑問への定性的な回答を示す。

そもそもトークンの一般的な定義は定まっておらず、以下の考察、特に（4）節は試論的なものに過ぎない。また、市場の誕生期であり、機能やコスト面での定量的な比較衡量が行えるだけの情報もない。DLT による証券バリューチェーン構築の可能性や、既存技術・インフラとの優劣の検証は、実用化検証を踏まえながらの模索のなかで見えてくるものと思われる。

（1）デジタル通貨におけるトークン

デジタル通貨を巡る議論では、トークンを以下の3つの意味で用いることが多いようにみうけられる。

- ① 分散型台帳技術によって発行管理されているものがトークン。
- ② ローカルな金銭的価値の記録媒体（オフラインのストアドバリュー型媒体）

³³ 情報セキュリティや暗号の文脈でも、ワンタイムパスワード等の認証用装置やその生成情報をトークンと呼ぶ場合がある。また、プログラミング言語を機械コードにコンパイルする際の字句解析でもトークンという用語を用いる。ここでは、ペイメントトークンとセキュリティトークンに関連した用語に限定する。

がトークン。

- ③ 金銭的価値の塊にユーザーを紐づけ、その塊に注目して台帳を記録管理する手法をとるものがトークン。

最初の定義は、トークンの機能ではなく「実装技術」に注目した定義であり、2番目は、台帳の「管理場所・媒体」に注目した定義である。3番目の定義は台帳の「記録管理手法」に注目したものであり、口座型管理手法との対比でトークンの特性を定義したものである。CBDCに関する中央銀行の議論ではこの定義に沿って整理されることが増えてきている³⁴。

口座型のデジタル通貨では、ユーザーに金銭的価値の総額（残高）を紐付けることで台帳の記録管理が行なわれる。これに対し、トークン型のデジタル通貨では、取引で利用される金銭的価値の塊（トークン）に注目し、トークン毎にユーザーを紐付けることで台帳の記録管理が行なわれる。前者においては、取引フロー情報によって残高の変化が引き起こされ、後者においては、ユーザーごとの残高がトークンの集合体から算出される（残高台帳がない）。決済の認証においては、口座型ではユーザーが口座の所有者であることを台帳管理者に示す必要があり、トークン型ではユーザーがトークンの所有者であること、トークンが正しいものであること、二重利用されていないことを台帳管理者に示す必要がある³⁵。

口座型の代表例が銀行預金であり、トークン型の代表例が **Bitcoin** である。**Bitcoin** では、価値の塊としてのトークンの所有や移転を DLT で管理する。送金は、相手方の口座に送るのではなく、トークンに紐づけられている所有者の情報を書き換えることで行われる。また、価値の塊を分割して利用する際に **UTXO**

³⁴ 例えば、CBDC を包括的に論じた BIS[2018]や BOE[2020]、Norges Bank[2020]、オフライン決済の課題を議論した日本銀行決済機構局[2020b]などでも同様な整理が行われている。BIS[2018]では、トークンか口座かという台帳管理手法の選択が決済の認証手法に影響することが指摘されている。また、Norges Bank[2020]では、トークン型を実現する場合、物理デバイス（例えばストアバリュー型の IC チップを埋め込んだカードやモバイルフォン）を使う方法と、ユーザーの手元にはない台帳、典型的にはオンラインで結ばれたサーバ上の台帳によって管理する方法があることが指摘されている。例えば **Bitcoin** は後者に相当する。

³⁵ 物理的なトークンでは、そのトークンを手にしていることが所有の証になり、真贋確認や利用済み・期限切れなどの印がないことの確認などで、トークンの正しさや二重利用でないことがチェックされる。こうしたトークンの性質ゆえに、現金では名前を明かさずに支払いを行うことができる。一方、預金マネーを用いた支払いでは本人であることを示す必要がある（ATM カードによる振り込み<カード所有とパスワードによる確認>や、定期振込・引落の申込時の本人確認など）。

(Unspent Transaction Output) という台帳記録管理手法が採用されている³⁶。ただし、暗号資産の DLT 基盤すべてがトークン型を採用しているわけではなく、目的に応じた設計方針が採られている。例えば Ethereum では口座型が採用されており、したがって UTXO も用いられていない。Ethereum の用語で表現すると、トランザクション（取引フロー）が、ステイト（状態：口座残高など）を遷移させていく方式を採っている。これは銀行預金と同じである。代表的なエンタープライズ DLT をみると、Ethereum を発展させた Quorum がステイトモデルであり、Corda が UTXO モデル（ステイトレスモデル）である³⁷。また、Hyperledger Fabric は、トークン型の UTXO モデルとアカウント型のステイトモデルの選択が可能となっている。

DLT の多くはトークンを発行できるよう設計されている（トークンを発行せずに台帳機能だけを利用する活用方法もある）。定義③に沿うと、トークンを発行する DLT であるが、金銭的価値の台帳管理手法はトークン型でなく口座型という場合も出てくる。トークンに情報やプログラム機能を持たせることが出来るという DLT のメリットに注目する場合、定義③は有用ではなく、むしろ DLT によって発行管理されるものがトークンという定義①のほうが使いやすい。

（２）口座型・トークン型の相違

口座型の場合、アカウントの状態把握が容易、取引フローにかかる情報を別管理することでデータ量が削減可能、システム実装が比較的簡便となる、といった利点がある。一方で、残高データと取引フローデータを管理し、両者の整合性を取る必要が生じる。Ethereum では、個々の取引にトランザクションナンスという通し番号を振ることで、整合性確保や二重使用の防止、取引の順序性の確保を

³⁶ UTXO を説明するアナロジーとして銀行券がある。一万円札を持っており、5千円を払いたいときに、一万円札を半分に破って渡すことはできない。5千円札2枚という別のトークンに変換したうえで、一つを相手に、もう一つを自分に渡すというのが UTXO の考え方である。現金両替の場合、1万円札は世の中から消えてなくなったりしないが、デジタルトークンを処理する UTXO では、1万円相当のトークンを消滅させ、5千円トークン2個を新たに作り出すという手法を採る。なお、残高を知るには全てのトークン（銀行券や硬貨）を数え上げるしかないという点にも、トークン型の価値管理手法の特徴が表れている。これに対し、預金というデジタル通貨では、1万円の口座残高から5千円を払い出し、残りの5千円が残金として残るという処理方法を採用する。

³⁷ UTXO も、トークンのステイトが更新されていくという観点からは、状態遷移モデル（ステイトモデル）である。何を状態変数としてモデル化するかによって呼び方が異なってくる。ここでは、状態変数を残高情報とした場合に、Corda はステイトレスモデルになると解釈している。

図っている。オフライン決済手段のように台帳の常時同期が不能な場合、二重使用の回避や両データの整合性を確保するための手続きが複雑となる。このため、定義②のように金銭価値の記憶媒体がユーザーの手元にあつて、かつオフライン処理を行うものでは、トークン型の管理手法の利便性が相対的に高まる。実務的には、元台帳では口座型管理を採用し、オフラインの記憶媒体に価値を移転した先においては、分割可能なトークン型として管理するハイブリッドな運用方法をとることが考えられる。このように、定義②と定義③は関連性を有しており、これもトークンの定義を巡る議論が混乱しやすい要因になっていると思われる。

口座型においては、銀行預金のように、ユーザーの ID（例えば口座番号）と本人情報（実名や住所等）を紐づけて管理することが一般的であるが、技術的には設計の自由度があり、ID と所有者であることを示す情報（例えばパスワードやカードほか電子デバイス）があれば運営は可能である。トークン型では、金銭的価値ごとにユーザーを紐付ける際、暗号技術によってユーザーを匿名化することが一般的である。これは、パブリック型 DLT では台帳情報がオープンになっていることも影響しており、台帳情報へのアクセスを制限すれば、プライバシー管理上、匿名化は必ずしも必要ない。このように、口座型、トークン型ともに、運用方針次第で匿名性や仮名性、様々な透明性の程度をもった制度を設計することが可能である³⁸。また、プライバシー全般のコントロールも、誰が、誰の、どのような情報にアクセス可能であるように設計するのか自由度がある。実際、様々な DLT の開発において、こうした設計上のバリエーションが試されている。中央銀行による CBDC の議論では、トークン型・口座型の選択は実装手法やシステム特性に相違をもたらすが、機能面での制約とはならないことが指摘されている（BOE[2020]や Norges Bank[2020]を参照）。

（3）セキュリティトークン

デジタル通貨におけるトークンの定義が複数存在しているのに対し、セキュリティトークンでは前述の定義①が一般的な認識となっている。すなわち、DLT 上で発行・管理される電子的な証券の形態をとった証券をセキュリティトークンと呼んでいる。定義②は、ポータビリティがある物理的なトークン（ペイメントトークンやバス回数券のようなユーティリティトークン）を電子化した際に派生した概念と考えられ、対面での引き渡しニーズが想定しにくいセキュリ

³⁸ 匿名性は本人特定不能なユーザー情報（ユーザーID 等）しかない場合に相当し、仮名性は追加情報がないと本人特定ができない場合にあたる。仮名や暗号をユーザーID 等に用い、これらと本人情報の紐づけを非公開情報として管理する場合は仮名性に相当する。

ティトークンには該当しない。

紙媒体として発行されていた証券は、資産的価値の塊（トークン）であった。これを不動化・デジタル化した際、塊としての意味が失われることや、当時、トークン型の台帳記録管理は一般的ではなかったため、銀行預金と同様、口座型で管理する発想が採られたものと考えられる。しかし、暗号資産の基盤として DLT が登場すると、①トークンとして発行管理する手法がありうること、②紙媒体においては分割不可能であったトークンが、電子化することによって分割可能となること、③資産的価値の管理手法が口座型であれトークン型であれ、スマートコントラクト機能を備えたトークンを DLT 上で発行することにメリットがあることが注目されたため、証券をトークンとして発行管理する手法が拡がり始めている³⁹。そのメリットについて次小節で解説する

（４）情報処理の高度化

従来、資金決済指示や付帯情報は、決済インフラ上を流通する情報であり、価値の保蔵手段・交換手段であるマネーとは独立していた。これは、銀行預金などデジタル通貨を管理する伝統的な手法が「口座型」であることと関係している。口座型では金銭的価値の移転を行うための決済指示情報と価値保蔵手段としての口座の残高情報は分離している。しかし、トークンとして発行されるデジタル通貨では、金銭的価値を表象している個々のトークンが管理対象とされ、決済指示（トークンの所有者情報の書き換え）はトークンの中に書き込まれる⁴⁰。すなわち、価値の保蔵・交換手段が決済指示等の情報と一体化している。また、トークンにはスマートコントラクトを実現するための情報やプログラムを持たせることが可能であり、これがプログラマブルマネーとしての潜在力に繋がっている⁴¹。このようにトークンが情報のビークルとなることの意義は、セキュリティ

³⁹ DLT を用いるとトークンに様々な情報や機能を持たせることができるが、これは DLT 以外の技術によっても実現可能であろう。この場合、セキュリティトークンの定義は、本補論(1)の冒頭定義の①、すなわち「分散台帳技術によって発行管理されているものがトークン」にすら当てはまらなくなる。本稿では、この問題は捨象して、現在の一般的な認識であろうと思われるセキュリティトークンの定義①に沿って解説しているが、実現したい機能を達成する技術が何であるかは不確定であり、変遷もしていくため、便宜上そうしているに過ぎない。

⁴⁰ Ethereum のようなステイトモデルでは価値の管理は口座単位となるが、トークンのなかに情報を含ませることは可能であり、むしろ Ethereum においては Bitcoin よりスマートコントラクトやトークン発行の自由度が拡張されている。本文 4 節 Box や補論 4(1)を参照。

⁴¹ 同様な機能は口座型でも実現可能である。ペイメントトークンとセキュリティトークンにおけるスマートコントラクトの応用事例として DvP 決済があるが、既存の決済インフラ

トークンにおいてもプログラマブルセキュリティの応用可能性として議論されている（本文1節参照）。

ただし、伝統的な口座型デジタル通貨である銀行預金においても、決済指示にそれ以外の情報を乗せることでスマートコントラクトと同様なサービスを提供することは可能であり、既実現されているものもある。例えば、全銀システムのZEDI(全銀EDIシステム)では、支払企業から受取企業に振込を行うときに、支払通知番号・請求書番号など、さまざまなEDI情報(商流情報)を付加できる。ZEDIの利用によって、請求書などの伝票情報と預金口座の決済記録の照合を自動化でき、企業経理を効率化することが可能となっている。また、クラウド会計サービスにおいては、口座の入出金データやクレジットカードの決済情報の取得や入力事務が自動化されるだけでなく、販売管理システムなど他の業務システムとも自動連携することで、顧客情報や売上、契約情報など企業経営に関する情報の統合的一元管理が可能となりつつあり、これを与信判断や融資の完全自動化といった金融サービスに拡張することも展望されている(日本銀行FinTechセンター[2019])。これらも、DLTを使わないスマートコントラクト類似の自動化の一種であるとみなすことができよう。

口座型にないトークン型のメリットとしては、情報やプログラム処理が金銭的価値や証券資産価値に一体化されていることが挙げられる。ただし、トークンに付随する情報の秘匿化が必要となることや、情報が不要となったのちも付随し続けるという不効率さを伴うこと、別システムで付随情報を管理する手法に比べて実装が複雑となることなどのデメリットもある。このためトークン型のメリットが発揮できるようなユースケースに応用していくことが重要となるが、セキュリティトークンがこれに相当するか否かは、今のところ明快な答えは出ていない。実証実験や運用テストが進むにつれ、スマートコントラクトの活用が証券バリューチェーンのSTP化などにどの程度有効か、徐々に明らかになっていくと予想される。

で実用化されているDvP決済は、決済指示の通信と処理に関するプロトコルを価値保蔵手段(口座残高台帳)の外部にシステムとして実装することで実現されている。スマートコントラクトやこれを活用したプログラマブルマネー、プログラマブルセキュリティの潜在力は、「旧来の技術に比べて、効率性や安全性、ビジネスの拡張性などにおいて、より大きなメリットが得られる可能性」にあると考えられる。

補論 2 ICOに対する欧米の規制展開

資金調達にデジタルトークンを活用した事例として最初に注目を集めたのは、2013年に米国で企画された Mastercoin プロジェクトであり、独自のトークンを発行することで bitcoin を調達するものであった⁴²。2015年に登場した Ethereum は DLT 基盤としてトークン発行機能を備えていたため、Ethereum ベースのトークンを発行して、bitcoin や Ether といった暗号資産、あるいは法定通貨を調達する ICO 案件が増加した。2017年後半には ICO の件数・金額が急激に増加し、この ICO ブームが 2018 年半ばまで続いた (図表 A-1)^{43,44}。bitcoin と Ether は発行時価総額 (マーケットキャップ) が暗号資産のなかで最大であり、市場流動性が高く、法定通貨への換金も容易であるため、DLT 上で発行されるトークンや新しい暗号資産によって調達される対象となりやすかった。

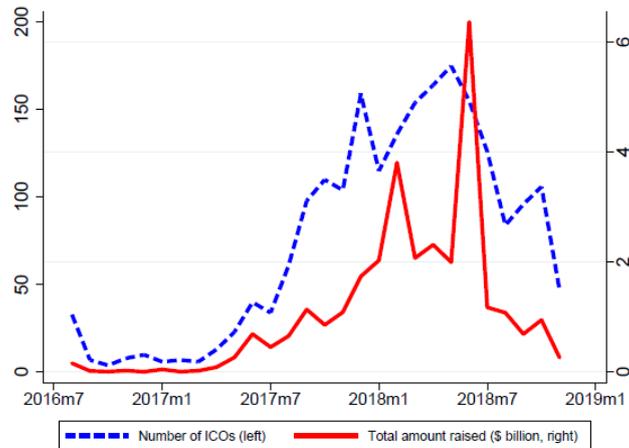
ICO が増加していくなかで、トークンがもたらす便益などに関する契約内容の不透明性や、詐欺・マネーロンダリング、トークン価値の相場操縦や価値の大幅な下落など様々な問題が発生した。規制当局は、投資家保護や市場整備の観点から ICO に関する規制適用の議論を深め、当局見解を示すことで、暗号資産やトークンなどのデジタル資産は証券であるのか、何が判断基準になるのか、証券であるとみなされた場合どのような規制が適用されるのかという議論が整理されていった。これは STO を巡る法的基盤や規制の整備にも貢献し、近年の STO の増加に繋がっていった。そこで、補論 2 では米国 SEC を中心に規制当局の ICO に対する取り組みを整理する。

⁴² 同プロジェクトは Bitcoin のブロックチェーン上に高機能なデジタル通貨の基盤を別レイヤーで追加しようというプロジェクトであり、bitcoin 調達の対価はその新しいデジタル通貨で bitcoin アドレスに対して送られた (Omni[2020])。

⁴³ 大規模な ICO としては、Tezos や EOS が知られている。EOS は 2018 年 6 月までの 1 年間に過去最大額となる数十億ドル規模の ICO (Ethereum 上での ERC20 トークン発行による Ether 調達) を行っている (SEC[2019b])。この時点で、米 SEC は ICO に関する規制を施行しており、EOS 開発・ICO 調達主体である企業が連邦証券法の登録・免除条項に違反していると判断して 2400 万ドルの罰金の支払いを命じ、和解支払いが行われている (SEC[2019b])。図表 A-1 中の 2018 年 6 月の急増は EOS 案件が押し上げたものと推測される。なお、Tezos のようにオリジナルな DLT 基盤と暗号資産を開発し、その暗号資産を発行することで調達を行う場合もある (2017 年 7 月に Tezos の発行により bitcoin と Ether を調達している)。

⁴⁴ 図表 A-1 のグローバル調査 (ICO に統計はなく出典元の研究論文ではサーベイ調査によって統計を作成している) では、2017 年 8 月から翌年 6 月までのピーク期までの 10 カ月間の累計調達額が 200 億ドルに上っている。米国ベンチャーキャピタルの投資額は、高水準となった 2018 年で 1,300 億ドルであり (グローバルでは 2,500 億ドル、KPMG[2019])、同年の米国 IPO が 550 億ドル規模であったことから、当該期の ICO 規模が相当な額であったことが判る。

(図表 A-1) 米国における ICO 調達額・件数



出典：Lyandres et al.[2019]

(1) 米国 SEC の対応

ICO で発行される暗号資産やトークンが証券であれば、その提供や販売は連邦証券法 (The Securities Act of 1933 および The Securities Exchange Act of 1934) の対象となる。その判断を巡って最初に注目されたのが「1934 年証券取引所法第 21 条 (a) に基づく調査報告書」、通称 DAO レポート (SEC[2017]) である。

ドイツのスタートアップ IT 企業が DAO (Decentralized Autonomous Organization、分散型自律組織) という事業体運営アイディア⁴⁵ に沿って投資ファンド組織 The DAO を立ち上げた。同組織は 2016 年 5 月、DAO トークンを発行し、約 1.5 億 US ドル相当の Ether をファンディングしたが、その翌月にプログラム上の不備を突かれ、調達した Ether の約 1/3 が流出する事件を起こした⁴⁶。DAO レポートでは、DAO トークンに対する連邦証券法の適用可能性が検討され、これを証券

⁴⁵ DAO では、出資参加者が投資対象となる事業プロジェクトの提案や、投票による決定を行い、資金プールから拠出がなされる。投資ファンドの運営者や管理者はおらず、投資契約内容や配当手続きはプログラムコードによって規定されるというバーチャルな組織で、出資や配当は DLT 基盤を通じて行われる。The DAO は事業には着手しておらず、それゆえ SEC[2017]では The DAO が投資会社であったかどうかは判断しないとされている。

⁴⁶ DAO トークンを Ether に変換できる仕組みのプログラム上の脆弱性を突かれたものであったが、転換された Ether は一定期間、別アドレスへの送金が制約される仕組みとなっていた。この間に Ethereum のコア開発者が中心となって対応を協議し、流出を無かったことにするブロックチェーンの巻き戻し (連続性のないブロックチェーンの新規創出、いわゆるハードフォーク) を実施した。一部の開発者らは、こうした対応は非中央集権という思想に反する行為だと反対し、Ethereum から分離して Ethereum Classic を新たに立ち上げている。

であると判断するに至った理由が示されている（後述）。以降、種々の ICO 事例について、証券発行に該当し、連邦証券法に沿った対応が求められるとの見解が SEC によって示され、詐欺行為などを伴う ICO に対する差止命令や関係者の資産凍結を求める提訴が行われるようになった⁴⁷。

DAO レポートの判断の背景には、1946 年に合衆国最高裁判所が投資契約の該当性に関して下した判決がある。同判決では、ある商品が投資契約であるかどうかを判断するための 4 つの判断基準が示され、その後、同要件は *Howey* テストとして参照され続けている（*BOX-A* 参照）。前出の DAO レポートでは、①DAO トークンの取得が *Ether* の出資によってなされ（出資金の形態は現金に限らない）、②共同事業への出資プロジェクトであり、③The DAO の投資プロジェクトの成否が（投資家にとっての）他者の努力に依存しており、④投資プロジェクトを通じて利益を得られるという合理的な期待が存在していたことから、連邦証券法の「投資契約」に相当するとの判断が下された。また、投資契約として募集・売出しが行われるデジタル資産については、当該取引の名称や用いられる技術にかかわらず証券であるとの認識も示されている。

一方で、暗号資産やトークン発行にかかるテクノロジー、あるいはこれらを活用した ICO を否定しているわけではなく、証券とみなされたものは、連邦証券法に沿って、登録もしくは登録免除規定に従い、適切な対応をとることを求めている。また、デジタル資産を *Howey* テストにかける際、形式要件でなく経済的な実態（どのような募集・販売がなされたか、購入者はどのような合理的な期待を持っていたか等）に注目するとし、暗号資産やトークンが常に証券であるとは限らないと指摘している⁴⁸。例えば、開発が完了している DLT で目的に沿って利用されている暗号資産やトークンは証券には当たらないとしている。逆に、ある暗号資産やトークンの発行によるファンディングが、投資事業、例えば暗号資産の DLT 基盤を発展させ、様々な収益事業に活用していく目的のためになされていけば証券発行に当たると判断されうる。また、財やサービスの保有・利用権などを示すユーティリティトークンであっても、財サービスの価値増加を図る投資プロジェクトが存在し、財サービスの消費でなく投資リターンを期待させ

⁴⁷ The DAO に関してはこうした措置は行われなかったが、直後の案件から行政対応が採られ始めているため、DAO レポートは重要な転機となっている。具体例については、SEC[2018a]を参照。

⁴⁸ 実態を重視するという考え方を典型的に表しているのが、SEC 議長が講演で言及したといわれている *Duck* テストである（Clayton[2017]、講演録には記載はない）。アヒルのように見えて、アヒルのように歩き、アヒルのように鳴くのなら、それはアヒルに違いない、という帰納的な推論法であり、言葉の用法としては、望ましがらざるものを識別し懲罰を与えることを正当化するケースにしばしば用いられると言われている。

のような販売方法を採れば、証券投資になりうるとの判断が示されている。

こうした考えは SEC の幹部講演などで示されてきた。例えば、Hinman[2018]では、暗号資産やトークンが機能するネットワークが十分に分権化され、(開発者などの)特定の主体がネットワークの維持発展のための管理努力や事業努力を行うことを購入者がもはや期待していない状況であれば、デジタル資産の購入は投資契約であるとは言えなくなり、(投資家保護の観点からの)情報の非対称性もなくなり、そもそも情報開示を行う主体を特定化することが困難かつ意義が薄れてくると指摘している。また、Bitcoin や Ethereum のネットワークがその事例である旨の発言を行っている。また、デジタル資産の取引が証券売出しを包含するものであるかという個々の問い合わせに応じて、公式な解釈もしくはノーアクションレターを出す準備をしていると述べている。その後、2019年4月からノーアクションレターが発行され始めている。

Peirce[2019]や Peirce[2020]では、必ずしも SEC の公式見解ではないとしつつも、さらに踏み込んだ見方が示された。同コミッショナーは、新しい産業に適合しているとは限らない連邦証券法、とくに Howey テストに沿って SEC が投資契約性の判断を行っているが、明瞭さに欠けており、同時期に SEC が公表したより詳細な「分析フレームワーク」(SEC[2019a]、BOX-A 参照)においてすら、数多くの検討項目が列挙されてはいるが、これに沿って判断を行うことは容易ではないと発言し、規制当局は何らかの対応をとることが必要だと指摘している。また、市場機能やカストディ機能を含むトークンの分散型ネットワークが構築される過程では、トークンを多くの参加者の手元に届ける必要があるが、その段階で証券投資とみなされ、連邦証券法の規制に沿うことが求められるならば、イノベーションを阻害してしまう危険性があることを指摘している。そのうえで、これを回避するための Safe harbor ルールの必要性を訴え、3年間の規制緩和対応をとる提案(コミッショナー個人名による素案)を示している⁴⁹。

上記「分析フレームワーク」が公表された2019年4月には、規制対応コストの大きさなどから ICO は既に下火となっており、DLT を活用したデジタル資産の発行は ICO から STO にシフトしていくことになる。ただし、現行の連邦証券法のもとで証券発行であると判断された ICO が、どのような規制に従うべきかが整理されたことは、証券発行であることを前提にした STO にとって有益で

⁴⁹ Peirce[2020]では、証券投資とみなされた ICO は規制対応として登録免除の選択を行っており、このため対象となる投資家に制限がかかる、もしくはビジネスの高コスト化を余儀なくされ、プロジェクトの制約となっていることが強調されている。また、連邦証券法の適用を回避するために海外に流出し、国民がアクセスできない、あるいは不確実性を伴ったアクセスルートが提供されるという問題も指摘されている。

あったといえよう。STO が SEC 登録あるいは免除規定のもとでどのように発行されるようになったのかは、補論 3 で後述する。

(BOX-A) Howey テストとデジタル資産「投資契約」分析フレームワーク

Howey テストとは、ある取引が証券を介した投資契約であるか否かを判断するテストであり、米国でのオレンジ果樹園の区画販売投資を巡ったハウエイ事件において最高裁判所が 1946 年に下した判例に基づくものである。投資契約性の判断においては、①資金の出資、②出資プロジェクトが共同事業、③他者の取り組みによって収益がもたらされる（出資者の関与がない）、④収益が出るという合理的な期待を出資者が有している、という 4 つの要件に注目する。

これをデジタル資産の証券性判断に適用するには、さらに具体的な着眼点が必要であり、DAO レポート以降で SEC が下してきた判断を整理したものが前出の Hinman[2018]などでまとめて示されている。特に、上記③④の他者の努力への依存と合理的な利益期待に関する判断には曖昧さが伴うため、その後、デジタル資産「投資契約」分析フレームワーク (SEC[2019]) を作成・公表し、ICO を計画する事業家や関与する弁護士に判断材料が提供されている。

例えば、③については「Active Participant（開発者やプロモーターなど）にデジタル資産の価値を上げるインセンティブがある、例えば報酬がデジタル資産で支払われる/保有している」、「同 AP がトークン生成・発行・買戻し・償還 (burning) などの権限を持ち、トークン市場や価格を支えている」といった 11 の項目と 11 の細目説明を挙げ、当てはまるものが多いほど他者の努力への依存が強い傾向にあるとしている。④についても「デジタル資産を暗号資産取引所などのセカンダリ市場で他の資産と交換できる/できるようになる」ことなど、16 の項目と 11 の細目説明を挙げている。また、これらの傾向がなくなった場合、判断を修正撤回する（すなわち、「投資契約」性が薄れたと判断する）場合、どこに注目して判断を行うか、その着眼点も示されている。

(2) 欧州 ESMA (European Securities and Markets Authority)

欧州証券市場監督機構である ESMA は、2017 年 11 月に ICO に関する 2 本の声明を出した。投資家に対しては、ICO 資金調達によるビジネスは規制下になく、詐欺や不正行為もあって、情報も不透明で、DLT にも技術的欠陥があるとして、ICO への投資は全額を失うリスクがある極めて危険で投機的なものであることを警告した (ESMA[2017a])。一方、ICO を行う企業に対しては、ICO が金融商品として適格であり、規制に沿った投資活動を行う場合、目論見書指令 (PD: Prospectus Directive) や金融商品市場指令 (MiFID: Markets in Financial Instruments

Directive framework)、オルタナティブ投資ファンド・マネージャー指令 (AIFMD: Alternative Investment Fund Managers Directive)、マネーロンダリング防止指令 (AMLD: Anti Money Laundering Directive) を含む法令遵守が必要と指摘した (ESMA[2017b])。

欧州委員会は、2018年3月に公表された FinTech Action plan において、ESAs (European Supervisory Authorities : 欧州監督当局、EBA、ESMA、EIPOA から構成) に対して、ICO と暗号資産に関する現行の欧州規制の適合性を評価することを求めた。ESMA は、ICO と暗号資産に関する「助言」を2019年1月に公表し、各国当局が行ったサーベイにおいて、収益に関する権利が付与されたような暗号資産は譲渡性がある証券 (transferable securities) もしくは MiFID 上での有価証券 (financial instruments) とみなされうるとした当局が多数派であったと紹介した (ESMA[2019])⁵⁰。

EU 規制と異なり、EU 指令 (Directive) は、指令が求める結果を達成する手段と方法は加盟国に一任される。また、既存の国内法で対応できない場合は、国内法の制定や追加・修正がなされる。このため、上記「助言」においても、何を有価証券とみなすかの判断は各国当局の責務であるとされた (そもそも、MiFID の国内法化において有価証券の定義が各国で異なっている)⁵¹。そのうえで、暗号資産が証券や MiFID 上での有価証券とみなされた場合、前出の4指令に加えて関連する2規制・5指令が、トークン発行体や投資サービス等を提供する企業に適用される可能性が高いことを指摘している⁵²。一方で、ESMA は、これら既存の規制の枠組みを暗号資産に適用するにはギャップや問題点が残されており、DLT 固有のリスクのうち幾つかへの対応が手つかずとなっているとも指摘しており、追加検討が必要としている。

欧州委員会は、「暗号資産市場に対する EU フレームワーク」に関するコンサ

⁵⁰ 同サーベイは、欧州で投資可能な暗号資産について、投資型、ユーティリティ型、投資・ユーティリティ・決済のハイブリッド型を調査対象とし、決済特化型は対象に含めていない。

⁵¹ 例えばフランスでは、AMF(Autorité des Marchés Financiers)が STO に関する自国規制適用のレビューと分析を行った結果を公表している (AMF[2020])。

⁵² 具体的には、透明性指令 (Transparency Directive)、市場阻害行為規則 (Market Abuse Directive)、空売り規制 (Short-Selling Regulation)、決済ファイナリティ指令・CSD 規則 (Settlement Finality Directive and the Central Securities Depositories Regulation)、証券の所有権とそれに付随する権利の保管と記録保持 (Safekeeping and record-keeping of ownership of securities and rights attached to securities)、投資家補償制度指令 (Directive on investor-compensation schemes) である。同レポートは、ICO や暗号資産が、各規制・指令とどう関連するかを解説している。なお、EU 規則の場合、EU 指令と異なり、同一の法として EU 加盟国に適用される。

ルテーションペーパー（実質的には質問型のアンケート調査）を 2019 年 12 月に公開し、2020 年 3 月まで回答を受け付けている（EU[2019]）。同調査では、STO やステーブルコインなどを含む暗号資産のエコシステムまで視野を広げたうえで、潜在的なユーザーである EU 市民や、開発・運営などにあたるステークホルダー、規制当局、暗号資産の市場参加者、金融市場の参加者など広範な関係者から、用意された質問に回答する形式でのフィードバックを求めている。例えば、現行 EU 法では、規制対象下にある暗号資産は、MiFID II に従う有価証券と EMD2（Electronic Money Directive）に従う e マネーがあるが、そもそも EU 全体で共有されている暗号資産の分類法がなく、これを整理することの是非や整理法から質問を始めている（EU の一部国では、経済的機能に着目して、ペイメントトークン、ユーティリティトークン、インベストメントトークン、あるいはハイブリッド型という区分けがなされている）。その際、概念の変化・拡大に対応できるよう、セキュリティトークンや e マネートークンという新しい名称を導入している。そのうえで、セキュリティトークンに現行 EU 法を適用する際の種々の問題を質問している⁵³。また、現行 EU 法では規制対象となっていない暗号資産（ステーブルコイン、グローバルステーブルコインを含む）やエコシステムの扱いを検討するために、それらの潜在的な便益を聞いたうえで、内在するリスクやこれを減じる方法、規制や監督対応の必要性について問うている。

このように ICO や STO を巡る欧州規制は、暗号資産や DLT が作る新たなエコシステムを広範にカバーすべく、暗号資産やトークンの概念整理をしたうえで、EU 規制・指令をアップデートするフェーズにある。しかし、証券インフラに DLT を活用する多数のプロジェクトが既に進行しており、各国当局は自国の環境に沿って EU 指令の適用を判断し、認可を与える動きが広まっている。EU や各国当局のレポートでは、金融市場の安全性・安定性が前提ながら、新技術を活用したイノベーションによる金融産業振興の重要性も指摘されており、実用化事例、成功事例が増えてくるほど後者が強く意識されるようになってくると推測される。一方で、消費者保護が意識されるようなイベントが生じると、規制強化への揺り戻しも生じうるであろう。

⁵³ 同コンサルテーションペーパーでは、未だ情報不足であるとの留保条件付きながら、パーミッション型の中央集権ネットワークで発行管理されるセキュリティトークンは、市場取引やポストトレード分野に関する既存の証券規制で概ね対応できるのではないかという考えが示されている。一方で、パブリック型の非中央集権ネットワークを活用したプラットフォームについては、既存の EU 法の修正対応が必要となるであろうと指摘している。

(3) スイス FINMA (Swiss Financial Market Supervisory Authority)

EUに属さないスイスでは独自の対応が進んでいる。FINMAは2017年9月にICOの規制上の取扱いに関するガイダンスを示し、AML/CFT規制や銀行法・証券取引法との関係（銀行免許や証券ディーラー免許の必要性）、集团的投資スキームへの対応などが関与しうることを指摘し、ICO実施の際には関連する法へ準拠せねばならず、ICOに関心がある先は事業内容にかかわる法令条項を承知しておくことを推奨している（FINMA[2017]）。

その後の問い合わせ増加を受けて、2018年2月に上記ガイダンスを補完するICOガイドラインを公表した（FINMA[2018]）。ガイドラインではICOトークンの機能に注目して、アセットトークン、ユーティリティトークン、ペイメントトークン⁵⁴に分類されること、機能が重複するハイブリッド型があること、投資目的をもったユーティリティトークンとアセットトークンは証券に該当し、証券規制下にあつて公募発行や引受業務にはライセンスが必要なこと、ペイメントトークンはマネーロンダリング防止規制の対象となることを示している。

⁵⁴ bitcoinやEtherのようなCrypto-currenciesはペイメントトークンとみなされている。なお、一般に、保有者はICO発行者に対するrepayment権がないため、トークンは預金ではないという判断を示している。ただし、投資リターンを保証するような借入資本性を持った負債であれば預金とみなされ、銀行法の適用がなされると指摘している。こうした分類法は、英国FCAや米国の議論でも登場しており、Payment tokenをExchange tokenと呼称したり、Asset tokenをCrypto assetと呼称したりしている。

補論3 STOの規制上の扱い：日米欧

証券の新たな発行形態である STO は、単なる資金調達に止まらず、流通市場での取引や転々とする保有者の記録管理、利払いや償還に伴う種々のオペレーション、株主権の行使など各種コーポレートアクションといった証券の固有業務が付随する。特に市場取引と証券決済にかかわる部分は、健全で安全な証券市場の育成と運営を巡って様々な規制が関与する。本補論では、STO が実施されている国の法規制でどのような対応が採られているかを整理する。

(1) 米国の動向

補論2で示したように、連邦証券法は証券発行に際して SEC への登録、もしくは証券法 1933 条に基づく免除規定に沿った対応を行うことを求めている。登録制の場合、調達上限がなく、適格投資家のみならず個人への販売も可能となり、広告の自由度も高まる一方で、公募には高額な費用がかかる。届け出に要する時間や労力、発行後の監査済財務諸表の作成と四半期報告など、通常の証券と同様な情報開示義務が求められる。そのため、2010 年代に資本市場の規制緩和の一環として整備された各種の免除規定が STO においては活用されている⁵⁵。これらの規制緩和策は米国のプライベートエクイティ市場を成長させており、こうした私募市場の拡大は STO の追い風となっている。

適用規制で分類すると、レギュレーション D のほか、ミニ IPO と呼ばれるレギュレーション A+、スタートアップ企業のシードマネーファンディングなどに利用されるレギュレーション CF、海外投資家向け発行のレギュレーション S がある。調達金額や販売可能な投資家、適格投資家であることの確認義務、販売勧誘の自由度、情報開示・報告義務などにグラデーションがあり、州法の適用にも扱いの差がある複雑な制度となっている（図表 A-2）。STO では調達額に制限がないレギュレーション D 506(c) が利用されることが多いと言われている⁵⁶。な

⁵⁵ 低迷する IPO 市場を活性化し、小規模成長企業に対するリスクマネーの供給促進を目指した資本市場の規制緩和政策として JOBS 法 (Jumpstart Our Business Startups Act) が 2012 年に成立した。その後、同法にそって様々な免除規定が拡充され、スタートアップ企業や中小企業、ベンチャーキャピタルのファイナンス、クラウドファンディングなどに活用されてきた (淵田[2013]、上野・鳥毛[2018]、若園[2019])。

⁵⁶ 506(c)では、販売先が適格投資家に限定される代わりに不特定多数への勧誘が認められている。なお、米国は適格投資家 (Accredited Investor) をストック資産もしくは年収で定義しているため、該当する個人が 1000 万世帯以上いると言われている。適格投資家の定義は、純資産が個人もしくは夫婦で 100 万ドル超、もしくは直近 2 年の年収が各年 20 万ドル超か

お、SEC は 2020 年 3 月にレギュレーション A や D の登録除外要件の緩和方向への見直し案を公表している。

STO の発行事例は米国で先行しており、株式を ERC20 トークンとして発行した事例や、ベンチャーキャピタルのファンディングに出資するトークン、不動産など所有権の分割保有・管理・売買に利用されるトークンなどが発行されている。こうした STO 関連のサービスや提供主体としては、①証券をセキュリティトークンとして発行し、セカンダリ市場で流通させるプラットフォーム基盤や規格を「開発する」主体、②これを利用して ST 発行サービスを提供する主体（法務、情報開示業務、販売広告等を含む）、③流通市場での取引サービスを提供する主体（ポストトレード・サービスを含む）、④カスタディサービスもしくは投資家が自ら管理する機能（ワレットサービス等）を提供する主体、⑤市場参加者に関する KYC 責務の履行、トークンの監視など、規制対応・コンプライアンスに関わるサービスを提供する主体、⑥配当や株主権行使などコーポレートアクションに関するサービスを提供する主体などがある。

狭義の STO はデジタル証券の発行にかかる②であるが、広義には証券のバリューチェーンに関わる上記の多様なビジネスを取り込んだ ST エコシステムを指す。各サービスを提供する種々の専門企業を集めるプラットフォームが発展しつつあり、これが ST エコシステムの中核となっている。上記①を起点とした STO プラットフォーマーの代表的な企業としては、Securitize、Polymath、Harbor などがあり、③の取引プラットフォームの開発運営を手掛ける先として tZERO や AIRSWAP、OpenFinance などがある。これらが④や⑤のサービスに事業を拡張したり、金融機関などと提携する動きも活発である。日本の金融機関がこれら新興企業に資本参加しているケースも少なくない。また、スイスやドイツの証券取引所、大手の暗号資産取引所など、既存ビジネス領域を抱えた先も STO 取引市場やカスタディサービス業に参入している（本文図表 1）。ST エコシステムの構築を目指した M&A も盛んであり、暗号資産取引所やカスタディ事業者がスタートアップである STO プラットフォーマーを買収し、発行・取引・カスタディ事業を一体化する動きもみられる。

取引プラットフォームを運営する場合、ATS（Alternative Trading Systems）としての取引所ライセンスや、業務内容によってはブローカーのライセンス、投資顧問ライセンスなどを取得する必要がある⁵⁷。例えば、セキュリティトークン

夫婦で 30 万ドル超）である。また、SEC は 2019 年 12 月に適格投資家の枠が広がる方向で定義の見直しに入ることをアナウンスしている。

⁵⁷ ATS は 1990 年代に発展した新しい電子取引システム、あるいは私設取引システム（PTS:

の取引所において、ブローキング業務（自己勘定を用いず売買注文の付け合わせを行う）やディーリング業務（自己勘定を用いて売買の相手方となる）を行う場合、SEC への登録や免除措置、自主規制機関 FINRA への所属が求められる可能性がある。また、投資ビークルの登録や規制を定めた投資会社法は、ICO のようなデジタル資産（当然 STO も含む）への投資についても適用され、投資会社法と投資顧問法に沿った登録や規制に従う必要があることが示されている（SEC[2018b]）。SEC は、DEX を運営する EtherDelta や、ICO トークンの販売やファンド公募を行っていた TokenLot、Crypto Asset Management などに対し、ATS の登録もしくは免除措置を受けずに取引市場の運営や、ブローカーディーラー業務、投資顧問業務を提供していたとして、民事制裁金の支払い命令などの措置を採っている（SEC[2018b]、Sun et al.[2109]）。

図表 A-2 SEC 登録免除の分類

	Regulation D (私募)			Regulation A+ (ミニIPO)	
	Rule 506(b)	Rule 506(c)	Rule 504	Tier 1	Tier 2
実施コスト		低			中
調達金額		小			中
年間調達上限額	上限なし	上限なし	500万ドル	2000万ドル	5000万ドル
投資家勧誘	不可	適格投資家のみ可 (事後確認)	不可		可能
投資家人数制限	適格投資家は制限なし、 非適格投資家は35名まで	適格投資家は制限なし (非適格投資家は不可)	なし	なし	非適格投資家は限 度額の範囲内まで
提出書類形式	Form D (募集通知書)			Forma 1-A (募集 届出書)、過去二 年の財務諸表	同左、過去二年の 監査済み財務諸表
継続開示義務		なし		なし	調達後発生
SECの審査		なし			あり
譲渡・取引制限	6カ月もしくは1年間の転売制限				なし

(出典) 山本[2019]、斎藤・吉川[2017/8]、上野・鳥毛[2018]より筆者作成

(注) 適格投資家は、銀行ほか機関投資家、一定値の資産を有する大企業、発行体の内部者（役員等）、富裕層・高額所得者、VC などである。富裕層は、主たる住居以外に 100 万ドル超の資産を有する個人、高額所得者は、過去 2 年連続で 20 万ドル超、または夫婦で 30 万ドル超の所得を得ており、当年も同等の水準が維持できる見込みがある個人である。いずれも、SEC が 4 年ごとに基準値を調整し、現在、引き下げに向けた議論が行われている。Rule506(b)では、非適格投資家も一定数まで許容するが、投資リスクを判断する知識と経験を有していると発行体が合理的に判断できなければならない。

Proprietary Trading Systems) を指す用語であり、証券取引所としての登録を受けるか、ブローカーディーラーとして登録したうえで、Regulation ATS に従うことが求められている。

(2) EUでのSTO規制

前述のようにESMA[2019]は、EU指令のもとでの暗号資産の分類（証券か否か）は各国当局の責務としている。フランスやドイツ、英国では実験的あるいは小規模なSTOが始まっており、各国が取引所等のライセンス取得に関する判断やEU規則が求めている目論見書の内容承認などを行っている。

仏当局のAMFは、セキュリティトークンへの規制適用に関するレビューを公表しており、目論見書指令など発行にかかる欧州規制は、セキュリティトークンの特性を踏まえた適用を行えば対応可能であり、資産運用に関する部分もAMFの認可で対応できそうであるという見通しを示している。その一方、セキュリティトークンの流通市場と証券決済インフラに関しては、既存の規制体系を適用するには問題が多く、EU規制の修正など何らかの対応を行う必要があると指摘している(AMF[2020])。具体的には、①セキュリティトークンの取引所はMTF (Multilateral Trading Facility) か、OTF (Organized Trading Facility) の認可を得る必要があり、これらの取引プラットフォームは規制対象者となる中央集権的運営者を必要とすること、②MTFでは直接注文を出すのではなくISP (Investment Service Provider) など適格性をもつ取引所メンバーを通す必要があること (OTFは債券しか扱えない)、特にハードルが高い規制としては、③Central Security Depository (集中保管振替機関) の利用義務、④証券決済インフラの中央集権的運営者の存在、⑤金融機関や投資会社のような証券決済インフラへアクセスできる主体の利用、⑥ブロックチェーンでなくカストディアン管理者による証券所有権の確認、⑦証券取引の資金決済レグにおける銀行預金マネーや中銀マネーの利用を挙げている。

AMFは、このままではセキュリティトークンのバリューチェーンにおいて伝統的な銀行システムや決済インフラの利用が不可避となり、黎明期にあるセキュリティトークンの市場規模やシステム的な重要性に鑑みて過剰な規制となってしまうことを指摘し、これを回避するために欧州レベルでのデジタルラボ (時限的な規制免除を行うサンドボックス制度) を立ち上げて、その経験をもとに欧州規制をどのように変えていけばよいか検討を進めていこうという提案を同レビューで行っている。

欧州でのSTO動向をみると、上記のような欧州規制の制約を反映してか、ソシエテジェネラルやサンタンデールのような大手金融機関や、ドイツ証券取引所、LSE/Turquoise (EU外ではスイスのSIX/SDX) など、既存の規制対応やイン

フラへのアクセス等を有している先が手掛けるプロジェクトが目立つ⁵⁸。なお、主要国で STO 関連のスタートアップ企業への規制対応が目立つのはドイツであり、Bafin が STO プラットフォームほかオンラインレンディング・プラットフォーム（DeFi の主要分野の一つ）の認可などを進めており、2019 年 3 月には社債の公募発行も認可されている。EU 域外でも FINMA が 2020 年 2 月にセキュリティトークンによる DEX での IPO を承認したといわれている。

（3）日本の STO 関連規制と動向

日本における ICO/STO 関連の規制は、暗号資産に関する資金決済法の改正と合わせて検討が進められ、金商法の改正によって対応がなされている。金融庁の「仮想通貨交換業等に関する研究会」の報告書（金融庁[2018]）では、ICO のうち投資性を有するものの特徴（流通性の高さ、発行者投資家間の情報の非対称の大きさ、インターネットで募集するため投資家が詐欺的事案等を判別しづらい）を指摘したうえで、以下のような仕組みが必要になるという考えが示された。

- ・ 発行者と投資家間の情報の非対称性を改装するための、継続的な情報提供（開示）の仕組み
- ・ 詐欺的事案等を抑止するための、第三者が発行者の事業・財務状況についてのスクリーニングを行う仕組み
- ・ 不公平な行為の抑止を含め、トークンの流通の場における公正な取引を実現するための仕組み
- ・ 発行者と投資家間の情報の非対称性の大きさ等に応じて、トークンの流通の範囲等に差を設ける仕組み

これを受けて、2019 年 5 月に成立（2020 年 5 月施行）した改正金商法では電子記録移転権利という概念が導入されたほか、セキュリティトークンとして発

⁵⁸ ソシエテジェネラルは 2019 年 4 月にカバードボンドを発行（1 億 1200 万ドルの債権担保付社債、自社グループ保有の実験的なもの）、サンタンデールは 2019 年 9 月に社債を発行（2 千万ドル、自行保有の実験的なもので資金決済にもペイメントトークンを利用して DvP も実施）。ドイツ証券取引所は、本論 1 節で紹介した HQLA^x をサービスインさせているほか、子会社の blocknox 社（同取引所の暗号資産取引事業にカスタディサービスを提供中）が機関投資家向けのプログラマブルセキュリティのカスタディ事業に参入していくことを公表している。また、米国ではボストン証券取引所がセキュリティトークン取引所（BSTX）の開設に向けて米 SEC と協議を続けている。米国では ATS ライセンスの下でのセキュリティトークン取引所はあるが、同証券取引所は全米市場システム NMS の銘柄としてセキュリティトークンの上場取引所の創設を目指しており、NASDAQ は取引所間で異なるシステムが採用され市場間競争に影響が及ぶことに懸念を表明している。

行される有価証券にかかる規制が明確化された。セキュリティトークンが株券や社債券といった伝統的有価証券（第一項有価証券および第二項有価証券のうち有価証券表示権利<第一項有価証券の権利が電子化されたもの、2009年の無券面化によりこちらが株式や社債の主流となっている>）の権利を表示するトークンである場合、改正金商法に特別の規定は設けられず、第一項有価証券と同様な扱いがなされ、既存の開示規制等が適用される。また、第二項有価証券（みなし有価証券）の各号に掲げる権利（信託受益権、投資集団スキーム持分など）については、「電子情報処理組織を用いて移転することができる財産的記憶価値に表示されるもの」を「電子記録移転権利」と定義した。そのうえで、同権利はトークン化によって流通性が高まる可能性があるため、第一項有価証券として扱われることとなった。ただし、流通性その他の事情を勘案して内閣府令で定める場合は電子記録移転権利から除かれる扱いとされた（改正金商法2条3項柱書）。

なお、第二項有価証券のうち第二項柱書にある有価証券表示権利（第一項有価証券の権利が電子化されたもの、つまり無券面化された株式や社債）がトークン化されたものは、電子記録移転権利有価証券表示権利等（*）と呼ばれる。また、従来の第一項有価証券がトークン化されたものについては特段の名称が定められなかったため、日本証券業協会の自主規制一部改訂案では上記（*）とあわせてトークン化有価証券と定義されており、本稿でもこの名称を用いる。増田[2020b]では、トークン化有価証券、電子記録移転権利、第一項適用除外の電子記録移転権利と各々が排他的になるよう3つのカテゴリーに分けた整理を行っている。

本論で示したようにSTOの主たる動機には、証券のバリューチェーンの効率化と、発行コスト削減による多様な金融商品、とりわけ小口の調達投資手段の開発・提供があった。このうち後者については、開示規制や金融商品取引業登録（第二種）が緩やかな第二項有価証券として扱われるかどうかことが重要となる。実際、第二項有価証券のうち集团的投資スキーム持分としてSTOが構成される例が多くなることを見込む指摘がなされている（河合ほか[2020a]）。また、第一項有価証券であっても、有価証券届出書の提出や目論見書の交付、有価証券報告書の継続開示が求められる公募ではなく、投資家の人数制限や転売制限が課される代わりに開示義務が一定事項の告知（有価証券届出書がなされていないことや転売制限の存在等）に止まる少人数私募や適格機関投資家私募（いわゆるプロ私募）が利用されることが多くなることを予想した指摘もある（河合ほか[2020a]）。一方、少人数私募では、保有人数の制限だけでなく投資勧誘にも人数制限が課されることからインターネットによる応募には適用困難であり、結局、公募が多くな

るのではないかという指摘もある（Fintertech[2020a]）。また、公募でも証券会社を引受人とせず発行体企業が自己募集を行うことでコストを抑制する（引受手数料等の回避）ことも想定される（参考：図表 A-3 の BOOSTRY/NRI の事例）。

2020 年 1 月に示された改正金商法にかかる内閣府令案（金融商品取引法第二条に規定する定義に関する内閣府令第 9 条の 2、金融庁[2020a]）では、電子記録移転権利の適用除外が示され、5 月から施行されている。保有者が限定されることで流通性が想定的に低いと評価できるものについては、利用者保護とイノベーションのバランスにも配慮し、適用除外とされている（金融庁[2020d]）。具体的な適用除外要件は、取得者要件と譲渡制限から成り、前者については、取得者が適格機関投資家と特定業務対象投資家（金商法施行令第 17 条の 12 第 4 項第 2 号柱書）に制限されている⁵⁹。譲渡制限に関しては、その都度、権利の保有者の申出と発行者の承諾がなければトークンを移転できないようにする技術的措置が求められている。

電子記録移転権利が第一項有価証券とされたことに伴い、業としてその売買や募集を行うためには、第一種金融商品取引業の登録を受けていることが必要となる。また、流通市場として PTS（Proprietary Trading System：私設取引システム）を営む場合にも同業の登録および PTS の認可が必要となる。今後は、勧誘に関する規則などが自主規制規則によって定められるが、日本証券業協会は電子記録移転権利を自主規制対象に含まないことを 2020 年 4 月に案として表明している（同月末までパブリックコメント実施）。また、2019 年 10 月に設置された日本 STO 協会が 4 月末に認定金融商品取引業協会として金融庁から認定を受け、自主規制機関となった。このため、電子記録移転権利以外の第一項有価証券扱いとなるセキュリティトークン（社債や株式のセキュリティトークン）と電子

⁵⁹ 法人や個人を含むが、資本金や投資性金融資産の保有額が要件として課されている。個人の要件（投資性金融資産の保有額が 1 億円以上かつ証券口座開設後 1 年以上経過）については、資産保有額に暗号資産も加算可能という変更がなされている（増田[2020a/b]）。補論 2(1)で前述したように、米国では適格投資家（Accredited Investor）をストック資産もしくは年収で定義しているため、該当する個人が 1000 万世帯以上いると言われており、近年、SEC は定義をさらに拡大させることを検討している。野村総合研究所[2018]のレポートでは、金融資産 1 億円以上の要件を満たす世帯は 127 万世帯と推計されており、今回のストック資産での定義では第 2 項有価証券扱いのセキュリティトークンは利用が限定され、また、少人数私募は勧誘者数の制約からネットでの募集が難しく、プロ私募も投資家が限定されるため、公募の利用形態が多くなるのではないかと予想する見方もある（Fintertech[2020a]）。なお、増田[2020b]によれば、政府が経済再生本部のもとに設置した未来投資会議において、プロ投資家（金商法上の特定投資家）の範囲を取引履歴データ等のビッグデータを活用することで金商法上の投資家区分を見直すという方向性が打ち出されたことにより、今後、金融庁の主導によって実証実験が進められる見通しがある、とされている。

記録移転権利で、自主規制団体が分かれることになる。同協会は、年初よりワーキンググループでの検討を進め、4月中に「電子記録移転権利等の発行市場を担う基幹システムのガイドライン」を策定公表している（日本 STO 協会[2020]）。流通市場の発展が想定されやすい株券や社債券のセキュリティトークン（前出のいわゆるトークン化有価証券）と第一項有価証券扱いの電子記録移転権利については、セカンダリ市場の整備が必要となる。このため、私設取引システムや店頭売買システムの運用にあたる規制上の扱いの整理が進むと思われる。

なお、電子記録移転権利の実体法上の権利移転については、集团的投資スキーム持分が法令に基づく契約上の権利であることから、契約上の地位を移転するには契約相手方の承諾が必要になり電子帳簿上での移転だけでは完結しないという問題を内包していることが指摘されていた（河合ほか[2020a]）。民法上の指名債権の譲渡の対抗要件を揃えるには確定日付の通知または承諾が必要と見込まれるが、これが求められる事例においては、電子帳簿上でトークンの移転と連動させるのは容易ではなく、このため、原簿管理を第三者対抗要件として整理できる社債や受益証券のトークン化が先行するのではないかと指摘されていた（周藤[2020]）。この点については、増田[2020a]が、政令・内閣府令に対するパブリックコメントへの回答（金融庁[2020b]、回答 177 番）を引きながら、権利移転に第三者対抗要件の具備を要求しているもの以外であれば、同要件を具備していない場合であっても電子記録移転権利に該当するという見方を示している。具体例として、匿名組合持分の譲渡を取り上げ、実体法上、契約上の地位の移転と解される（すなわち、その第三者対抗要件を具備するために確定日付のある通知または承諾を要すると考えられる）が、その具備の仕組みが備わっていないものであっても電子記録移転権利に該当しうるとしている。

日本銀行金融研究所が 2017 年に開催した法律問題研究会では、社債・株式等振替法のもとで振替機関と口座管理機関が作る階層構造型の証券決済ネットワークに DLT を適用した場合の法的・技術的問題点を検討し、DLT がもたらしうる新しい証券決済制度に関する試論が行われている（証券取引における分散型台帳技術の利用を巡る法律問題研究会[2018]）。また、増島・堀[2020]は、セキュリティトークンに関する金商法上の規制を包括的にまとめている⁶⁰。

⁶⁰ 同書は暗号資産にかかる法律や実務に関する論点を広範にカバーしたものである。セキュリティトークンについても、開示や勧誘募集など発行市場における規律、流通市場の業規制やインサイダー取引ほか市場モニタリング、預託に関する規制など、本稿では扱いきれなかった多くのトピックを解説している。

以上みてきたようにセキュリティトークンを巡る運用上の課題が残されているが、法規制や自主規制の整備が進むなかで、日本においても様々なイニシアティブが推進されている。図表 A-3 にこうした動きをまとめた。

図表 A3 日本の STO 動向

野村証券、BOOSTRY、野村総合研究所	本邦企業として初めて DLT を活用したデジタル債(野村証券が投資家を勧誘する引受会社)と、デジタルアセット債(利息の代わりにカフェ利用ポイントが付与、発行体がスマートフォンで自己募集し引受会社を用いない)を 2020 年 3 月に発行。発行体はいずれも NRI。原簿管理を DLT で行い、従来困難だった発行体による社債権者の継続把握が可能としている。DLT プラットフォームの ibet では金融商品以外のデジタル化された権利の発行取引を想定している。
MUFG(三菱 UFJ 信託銀行が中心)、LayerX	DLT 基盤 Progmatic(プログマ)を開発、発行から取引、ポストトレード業務までを自動化し、新規案件の組成から執行、取引・決済にかかるコストを大きく低下させるほか、決済期間の短縮・決済リスクの削減を図る。信託機能を内包しているため、様々な資産を裏付けとした商品が比較的汎用的に取り扱いやすく商品の一元性・一貫性が高いと謳っている。他金融機関・企業との協業を進めるため ST 研究コンソーシアムを設立。
三井物産、LayerX、SMBC 日興証券、三井住友信託銀行	発行体による効率的な資金調達、取引・管理・執行コストの削減、運用会社の透明性向上、ファンド設計の企画化・小口化・適切な流動性の付与、従来コスト面等で実現が難しかった資産の証券化を目指す。2020 年 4 月に三井物産デジタル・アセットマネジメントを設立し、まずは不動産をデジタル証券化する実証実験を開始(関西物流拠点の信託受益権を実証ファンド SPC を通じて運用・販売)。
みずほ FG	個人向けデジタル社債の発行とシステム基盤構築に向けた実証実験を開始。DLT 上での原簿管理で発行体が直接投資家の情報を取得し、接点を持つ。ポイント発行会社とのシステム連携で投資家へのポイント提供など特典提供を可能にする。小口でのオンライン販売で発行体や証券会社の新たな顧客層の獲得を目指す。大手コンビニ、家電店、ネット証券会社が参加した実証実験を 2020 年 2 月に実施している。
SBI ホールディングス	複数の証券会社とセキュリティトークンの私設取引所の設立構想を表明。金融庁の認可取得後、2020 年度内の設立と取引開始を目指すとしている。

(出典) 各企業のプレスリリース、インタビューほかメディア報道に基づくもの。

補論4 DEXの様々な市場制度デザイン

伝統的な市場制度に様々なデザインがあるように、DEXも多様な市場制度が考案されている。最新のIT技術（暗号技術、分散システム・通信ネットワーク技術等）を用いて、ゼロから制度設計するため様々なアイデアが試される実験場の様相を呈している。本補論では、最初にDEXを構成する要素を解説したうえで、特徴が異なるDEXの実例をいくつか取り上げて紹介する。なお、DEXは発展途上にあり、市場拡大の制約（後述）もあるため、取引高は集中型取引所の1%を下回る程度の規模に過ぎない。また、時々、主要な市場やプロトコルは変遷を続けている。しかし、暗号資産やICOトークンの市場設計技術は、セキュリティトークンの取引市場の発展に繋がっていく可能性があるため、本補論で取り上げている。

（1）DEXを構成する4つのレイヤー

DEXで暗号資産やトークンの市場取引を行い、その結果を台帳に反映させるためには、図表A-4に示した4つのインフラのレイヤーが必要となると言われている。

i) DLT基盤と、ii) 取引対象資産（暗号資産、トークン）

まずは、基盤となるDLTネットワークであり、そのうえで発行された暗号資産やトークンである。もともと、1つのDLTネットワーク上で1つの暗号資産が発行、取引、保管されていた（例えば、基盤としてのBitcoin上で暗号資産bitcoinが発行される、Ethereum上でEtherが発行される等）。Ethereumでは、Etherとは別のトークンを作成発行することができたが、ERC20によって標準フォーマットが整備され、これに準拠したトークンをEthereum上で取引できる基盤が整った。DLT上で発行されるトークンの多くがERC20に沿ったものだと言われている。オープン情報であるEthereum上の情報を集約検索するのに便利なEtherscanで確認したところ、現在27万種類のERC20トークンが発行されている（2020年5月現在）。ほとんどのトークンには流動性がなく、主要なトークンに取引は集中している。

一つの取引所で多様なトークン、例えばN種類を扱う場合、売買の組み合わせが $N*(N-1)/2$ も生じるため、基軸となるトークンが必要となる（外為市場におけるUSドルのような役割）。DEXによっては、採用しているDLT基盤上で発行できる独自のトークン（ネイティブトークン）を発行し、これを価値計測や交換のニューメレール（基準財）にしている先もある。また、市場流動性が高い暗

号資産である Ether や US ドルと価値をリンクさせたステーブルコイン（ハードペグの USDC やソフトペグの DAI、いずれも ERC20 準拠）を各トークンとの交換ペアとして集中的に取引する DEX もある。

bitcoin や Ether を ERC20 トークンと同じフォーマットにして、同一規格のもとで扱えるようにするためにラッピングを施すという手法も利用されている。Wrapped Bitcoin (WBTC) や Wrapped Ether (WETH) が ERC20 規格にラップされた暗号資産であり、暗号資産カストディアンに bitcoin や Ether を預託することで発行される。暗号資産市場におけるマーケットキャップが最大で市場流動性が高い bitcoin や Ether と等価性がある ERC20 トークンを発行し、これを DEX 上での各種トークンの取引相手方とするニーズが存在している。

トークンの利用目的に応じて様々な標準化が進展している。ノンファンジブル・トークン⁶¹の標準規格を提案した ERC721 や、発行量を追加することができる ERC621、トークンの受け渡しを第三者に委託できる ERC827 など、目的に応じて様々なバリエーションや拡張を施した標準規格が存在している。STO に用いられる標準規格として ERC1400⁶²が提案されており、これを拡張する ERC1410（証券化商品のトランシング⁶³に対応）や、ERC1643（文書を証券化トークンに添付する規格⁶⁴）が拡張整備されている。

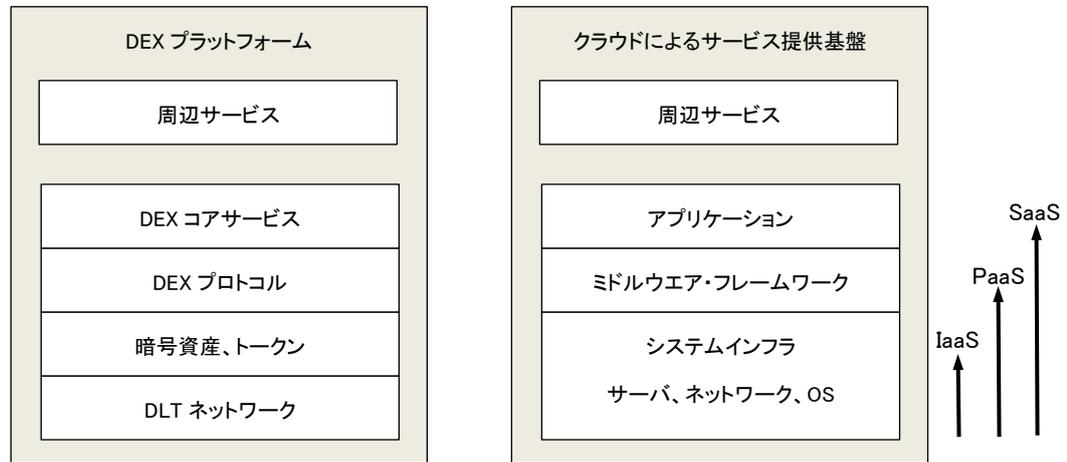
⁶¹ 現金千円札は別の千円札と同じ価値を持つ。預金口座の残高 2 千円を千円ずつ分けて認識しても、両者に違いはない。このようにマネーは一般に代替可能であり、ファンジブル（Fungible: 代替可能な）なアセットであるといえる。これはマネーそのものには価値がなく、交換手段となる、価値保蔵手段となる、価値尺度になるという機能によって価値を持つためである。一方、土地の利用権やコンサート会場席の使用権のように、同じ 1 坪や 1 席でも同質性がない資産も存在する。こうしたノンファンジブル（代替不可能）なアセットを DLT トークンで扱う場合、個別性を記録する規格が必要になる。トークンに固有 ID を割り当てた ERC721 は NFT (Non Fungible Token) を扱う標準規格として提供されている。

⁶² ERC1400 では、証券発行に必要な様々な機能が標準実装化されている。例えば、特定の権限を持つアドレスのみに発行権限を付与、保有可能者をホワイトリストで制限、投資家間での譲渡制限（ロックアップ期間対応を含む）、保有者の確認、アドレス（秘密鍵）紛失や法的措置等に対応するための強制譲渡、投資家の KYC 管理、証券ドキュメントの管理などである。ERC1400 は、STO プラットフォーム開発企業の Polymath の開発者が中心となって開発が進められている。

⁶³ 証券化商品ではトランシェと呼ばれる原資産プールの分割手法は ERC1410 ではパーティションと呼称されており、規格名も Partially Fungible Token となっている。もともとは、同一トークン内に取り扱いの異なる証券を複数設定する（同一証券だが譲渡制限等の細かい条件が異なるものを同一トークンとして扱う）ための仕様として策定され、パーティションという命名もこれに起因しているが、いわゆる証券化商品のトランシングにも応用可能な点が注目されたもの。

⁶⁴ 証券のバリューチェーンでは目論見書やコンファメーション、コンプライアンスなどで

(図表 A-4) DEX を構成するレイヤー、クラウドサービスとの対比



iii) DEX プロトコル、iv) DEX プラットフォーム

DEX プラットフォームを立ち上げる際に、DLT 基盤のうゑにゼロから作り上げるのではなく、汎用性を持った規格（プロトコル）として開発が行われているものをミドルウェアとして採用し、これを利用して具体的な DEX サービスをアプリケーションとして開発する場合があります（特定の DEX で使うことを前提として開発されたプロトコルもあり、その場合、両者は一体化している）。後出の 0x project はこうした DEX プロトコルの一例である。ブローカーやディーラーによる売買需要のマッチングか、オーダーブックを用いた売買の付け合わせかといった制度設計の大枠はプロトコルによって定められており、詳細な部分に開発者の自由度を残すことによって開発速度を上げることができる。パブリッククラウドサービスでいう PaaS に類似しているといえよう。

また、ミドルウェアの上に DEX というアプリケーションサービスをパッケージとして SaaS 的に一体提供するのではなく、DEX に必要なサービスの一部をコンポーネントとして OSS（オープンソースソフトウェア）として提供し、複数のコンポーネントを組み合わせることで市場を作る手法もある。これは、大手クラウドサービス事業者が提供するフルマネージドなミドルウェア（DB、ETL<Extract/Transform/Load>やその間のデータパイプライン、Web サーバ、スト

大量の文書の交換や流通が必要となる。リーガルサービスを DEX や STO のサービスコンポーネントに組み込む際にも文書の取り扱いが必要になるため、ERC1643 のような規格への需要が存在する。

レンジ、認証認可を含むユーザー管理、分析・ダッシュボード等)を組み合わせてユーザーにサービス提供するシステムを組み上げることに類似している。ただし、各クラウド事業者が開発したミドルウェア (OSS の自社仕様化取り込みを含む) は各クラウド内でしか機能しないが、DEX の場合は DLT 基盤のプラットフォームがエコシステムを区切る境界となる。ただし、マルチクラウド対応が進んでいるように、異なる DLT プラットフォーム間でのインターオペラビリティを確保する技術開発も進行している。

(2) DEX 市場の現状

DEX の市場規模は非常に小さく、発展の初期段階にあるが、どのようなプロトコルやプラットフォームが利用されているかを見るために、Ethereum を基盤とする 20 の DEX の定量調査を試みた Alehio[2020]を紹介する。なお、暗号資産集中型取引所の最大手 Binance が 2019 年 4 月に立ち上げた DEX の取扱件数・金額が最大規模であると指摘するメディア記事があるが、同 DEX は独自の DLT 基盤を用いているため上記の調査対象に含まれていない⁶⁵。

取引件数の内訳と推移を示した図表 A-5 からは、2017 年央に市場が立ち上がり、最初の DEX プラットフォームといわれている EtherDelta が半年ほど市場をリードし、その後登場した IDEX が現在まで過半の市場シェアを有していることがわかる。また、同図では 2019 年後半がカバーされていないが、最近では Uniswap のシェアが伸びてきているといわれている。図表 A-6 で 2019 年中の取引金額をみると (同調査では Ether ベースで計測)、IDEX は減少傾向にあり、Kyber と Uniswap が増加している。また、OasisDex も一定のシェアを有している。

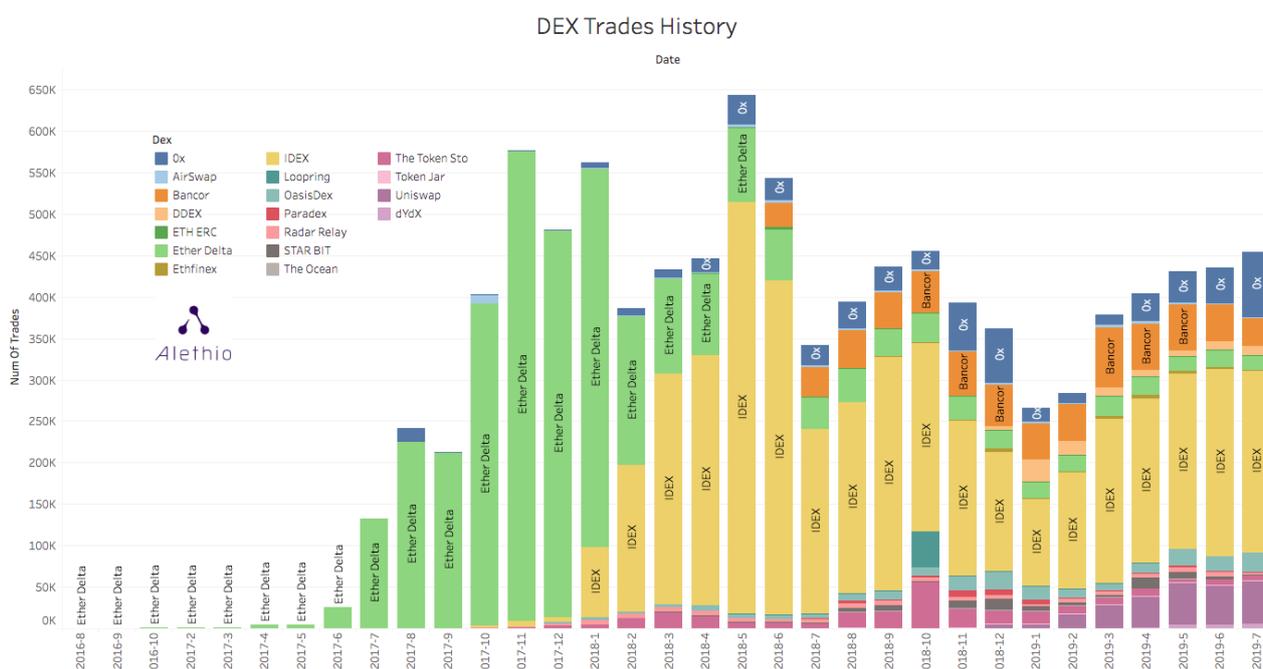
図表 A-7 で 2019 年中の取引額が多かったトークンをみると、多くの DEX で取り扱われている DAI Stablecoin v1.0 (現在は SAI に名称変更⁶⁶) が最も多かった。Bancor Network Token は Bancor のネイティブトークンであり、取引ペアに

⁶⁵ Binance は当初 ERC20 準拠のトークン BNB を発行 (2017 年 6 月に ICO) していたが、2019 年 4 月に独自の DLT 基盤 Binance Chain を立ち上げ、BNB を同基盤に移行している。このため本調査では対象とされていないようである。

⁶⁶ 図表中の DAI Stablecoin v1.0 (SAI) は、後述の DAI の前身であり、担保資産の受け入れ対象が Ether のみであった。2019 年 11 月に他の資産も受け入れるよう変更がなされ、区別するために従来のものを SAI (Single collateral DAI) と呼ぶようになった。なお、通年では DAI Stablecoin v1.0 の取引金額が最大であったが、2019 年 11 月以降の取引は新しい DAI に急速にシフトしている (Alehio[2020])。

使われることから Bancor での利用に集中している。このほか、Ether を担保資産として用いたステーブルコインの DAI⁶⁷や、その発行基盤である MakerDAO においてガバナンストークンとして利用される MKR（図表中の Maker）は、OasisDex や Uniswap、Kyber での取引が目立つ（Alethio[2020]のトークン別の DEX シェアの図表を参照）。なお、後述するように Uniswap は流動性プールを価格形成に利用するが、この流動性は Kyber と共有することができるため、両市場に共通して参加するユーザーが多い（Alethio[2020]の参加者ネットワーク分析図を参照）。

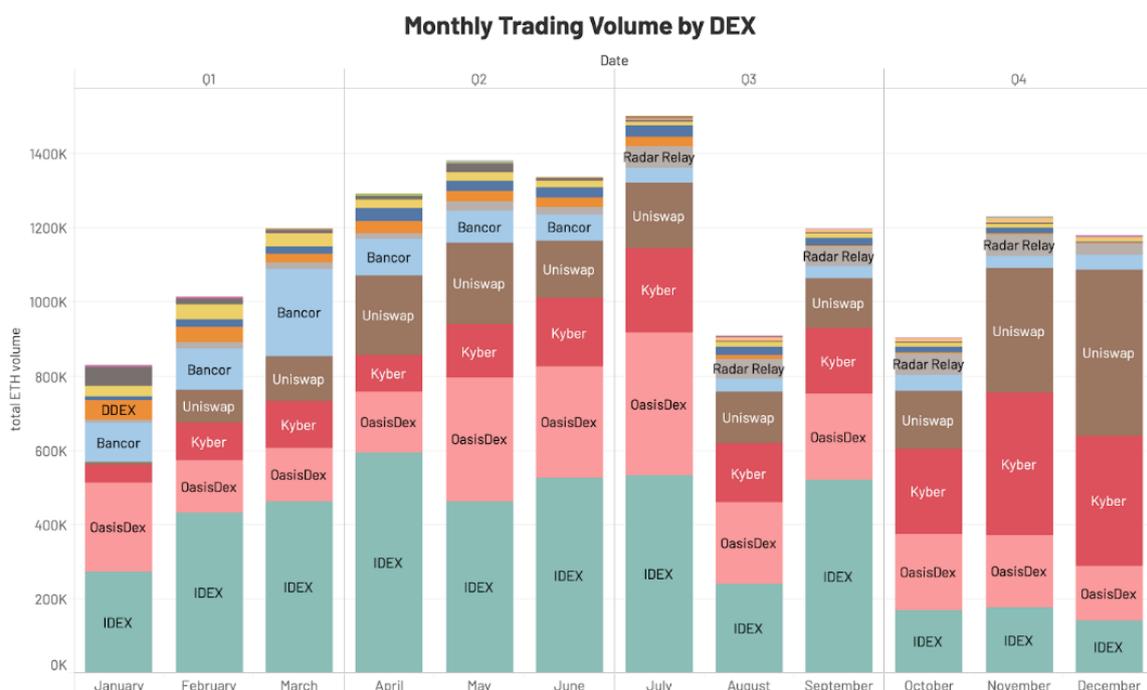
（図表 A-5）DEX の取引件数



（出典）Alethio[2020]

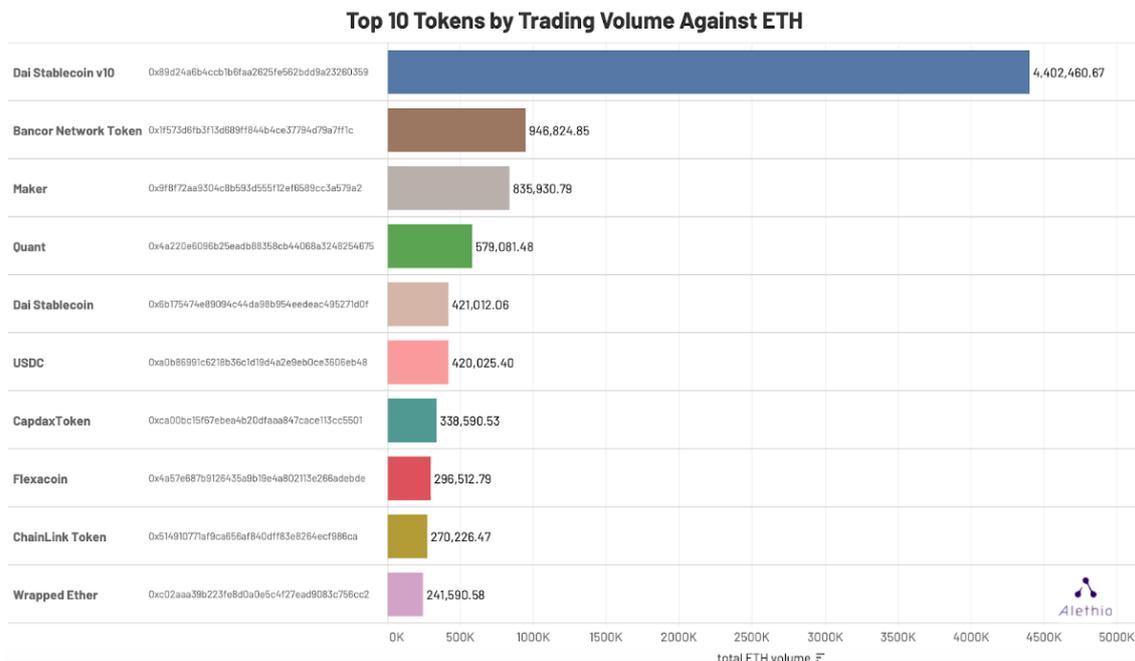
⁶⁷ 担保となる Ether の対 US ドルレートに大きな変動があるため、150%以上という超過担保率で Ether を預ける（ロックアップする）ことでステーブルコイン DAI が発行される。DAI を返済して担保の Ether を受け取る際に、手数料として MKR トークンを払う必要があり、このトークンも DEX の取引対象となっている。MKR トークンは MakerDAO のガバナンスに関する議決権としても機能している。なお、2020 年 3 月に Ether の対 US ドル価格が大幅に下落した際、150%の超過担保ではカバーできず、追加担保の差し入れが間に合わなかった参加者の Ether 担保が清算される事態が生じた。担保清算によってもカバーできない損失が MakerDAO に発生する一方で、ステーブルコインである DAI には（おそらくは逃避先として）大きな需要が生じた。しかし、Ether の価格下落により新規 DAI 発行が増えにくく、こうした需給のバランスの崩れからステーブルコインであるにもかかわらず対ドル価格がパリティより大きく上回る状態が続いた。この問題を解消するために、ステーブルコインである USDC を Ether 以外の担保として受け入れる対策が採られている。

(図表 A-6) DEX の取引金額



(出典) Alethio[2020]

(図表 A-7) 取引件数が上位のトークン



(出典) Alethio[2020]

(3) DEX プロトコルやサービス事例

本小節では、具体的な DEX の設計を紹介する。図表 A-8 は 6 つの DEX を 5 つの視点で分類したものである。まず、取引マッチングがオーダーブック型かマーケットメイカーによる相対取引かに分類される。また、オーダーブックや市場流動性プールでのマッチングや提示が、Ethereum のオンチェーンで行われているか高次レイヤーに作られたオフチェーン台帳で処理されているかという視点での分類もできる。価格決定方式は、注文駆動形式をとるオーダーブック型の場合にはマッチングと同時決定されるが、相対取引の場合、マーケットメイカーがプライスを提示する方法と、所与のアルゴリズムが価格を決定する方法がある。また、交換の媒介となったり DEX ガバナンス上の役割を持つネイティブトークンの発行を行うか否かという分類視点もある。

(図表 A-8) DEX の分類

	EtherDelta	Ox	IDEX	Kyber	Bancor	Uniswap
オーダーブック取引／相対取引	OB	OB	OB	OTC	OTC	OTC
オーダーブック(オン/オフチェーン)	On	Off	Off	—	—	—
流動性プール(オン/オフチェーン)	—	Off	—	On	On	On
価格(注文駆動/マーケットメイク)	OD	OD	OD	MM	自動	自動
ネイティブトークン	—	ZRX	IDEX	KNC	BNT	—

① EtherDelta

EtherDelta は、最初に利用が広まった DEX プラットフォームである。トークンごとにオーダーブックがあり、利用者はアドレスの秘密鍵を管理しているウォレットと EtherDelta を連携することで、売買注文をスマートコントラクトを介してオーダーブックに出すことができる⁶⁸。オーダーブック型の DEX では、オーダーブックに指値注文として市場流動性を供給する者をメイカーと呼び、同流動性を消費する者をテイカーと呼ぶ場合が多い⁶⁹。参加者はメイカーにもテイカーにもなることができる。また、ERC20 トークンであれば、誰でもリストに

⁶⁸ EtherDelta のスマートコントラクトは、Ethereum のスマートコントラクトをコーディングする言語のうち代表的な Solidity で書かれており、開発フレームワークとして OpenZeppelin が用いられている。

⁶⁹ テイカーの注文は成行と指値のいずれも実装可能であり、DEX の設計に依存する。また、メイカーとテイカー、成行と指値、ヘビーユーザーとライトユーザー等で手数料やリバートを様々なデザインする自由度がある。

上げて取引対象とすることができる。

リスト化された個別トークンのペアの流動性は非常に薄く、売買は Ether との間で行われる。Ethereum のオンチェーン上で、注文やキャンセル、決済などが処理されるため、取引執行速度が遅いほかガス代を要するという課題を抱えている。

なお、補論 2 で紹介したように 2017 年 7 月の DAO レポートでトークンが有価証券であることが明確化された後も、取引所登録等の対応を行わずサービスを提供し続けたため、SEC は EtherDelta の創業者に対して 2018 年 11 月に罰金処分を下している。ただし、そのころには図表 A-5 で示したように市場シェアは後発 DEX に奪われている。同創業者は EtherDelta を海外企業に売却しており、その後、同プラットフォームはネイティブトークン発行詐欺に利用されるという事件を引き起こしている。

② 0x(ゼロエックス)

0x はオーダーブック型であり、マッチング処理をオフチェーンで行い、約定結果のみを Ethereum のオンチェーンに書き込む (Warren and Bandeali[2017])。このためマッチングにおいてオンチェーンの速度やガス代に縛られることがなく、約定の効率化を図ることができる。また、一般に、即時執行性が優れているほどフロントランニングや市場操作の危険性を抑制することができるため、安全性も高まる筋合いにある⁷⁰。

EtherDelta と違って、取引を一か所に集中させるオーダーブックがあるわけではなく、リレイヤーと呼ばれる仲介役がマッチングを行う。メイカーは指値 (交換価格) と有効時間を含むオーダーを作成し、これをリレイヤーに対して送る。リレイヤーはこれらを集めることでオーダーブックを作る。テイカーはリレイヤーが提示するオーダーブックをみたうえでメイカーのオーダーをテイクする (具体的には、オンチェーン上での決済指示を出す)。リレイヤーは売買当事者

⁷⁰ DEX では、高いガス代を示すことで処理順番を引き上げることができるため、伝統的な取引所の価格優先・時間優先の原則が必ずしも守られない。これは、フロントランニングを誘発する弱点になっている。フロントランニングとは、他人の注文情報を見て、自己に有利となるような取引を組む手法である。例えば、買い成行注文が出ているのを見て、高いガス代を提示することで先に買い注文を約定させ、市場価格を引き上げながら、その成行買い注文に今度は売り注文をぶつけることで鞘を抜く行為などがある。DEX におけるフロントランニングやマーケットアビュース (市場濫用) の可能性があることを、裁定注文を行う bot を用いて分析したものとして、Daian et al.[2019]がある。なお、最終投資家の売買需要情報を濫用してブローカーやディーラーが収益を上げるフロントランニングは、伝統的な証券取引でも古くから存在している問題である。

にはならず、一見すると相対取引のブローカーのようにも見えるが、テイカーはオーダーブックを直接観察して取引執行できるので、ブローキング市場ではなくオーダーブック市場に分類される。

メイカーが出すオーダーには、リレイヤーが提示する手数料スケジュールに沿って、メイカーがリレイヤーに払う手数料とテイカーがリレイヤーに払う手数料が示される。誰でもリレイヤーになれるため（パーミッションレス）、リレイヤー間には自分を経由してオーダーブックに多くの流動性を呼び込むための手数料引き下げ競争が生じる（手数料スケジュールは随時、任意に変更してよい）。また、メイカーは自分の注文がオーダーブックに掲載されるかどうかをリレイヤーに委ねているため、リレイヤーの取り分となる手数料（メイカーが負担）を引き上げるインセンティブを持つ。また、テイカーの手数料負担を高めるとテイカーにヒットされにくくなるため、テイカーの手数料を安くするインセンティブも生じる。メイカーは、売買資産の取引希望価格（指値）と同様、即時執行の必要性を勘案しながら、これらの2つの手数料パラメータを決定する。

通常のオーダーブックであれば、多数のリレイヤーにメイカーのオーダーが分散し、個々の板の上の流動性が薄くなってしまいが、0xの場合、テイカーはどのリレイヤーのオーダーブックも観察でき、ベストレートや必要なボリューム、手数料を勘案して、オーダーをテイクできるので、流動性のフラグメンテーション問題は生じない。

0xはDEXのプラットフォームではなく、売買制度のデザインを提供するプロトコルである。メイカーがオーダーを出し、リレイヤーがこれを集めて板を形成するインフラにどのようなオフチェーンのシステムを作るかは、DEXプラットフォームに任せられており、取り扱い規模が大きい先としてはRadar Relayなどがある。また、P2Pレンディング市場や暗号資産のデリバティブ市場といったDeFiにも0xが利用されている。なお、ネイティブトークンとしてZRXを発行しており、システム開発のためのICOファンディングに利用したほか、当初はリレイヤーの手数料に利用されていたが、メジャートークンではないためDEXの使い勝手を悪くする制約になっており、その後、手数料支払いはEtherに変更されている。

③ KyberSwap, Kyber Network

Kyber Networkはトークンを交換するためのプロトコルとして開発され、これをDEXサービス化したものがKyberSwapである。KyberSwapは相対（OTC）取引のプラットフォームであり、市場流動性をオーダーブックに集めるのではな

く、流動性の提供主体（リザーブ・コントリビューター）が「リザーブ」に流動性をプールし、テイカーが流動性を消費する仕組みを採る（Kyber Network[2019]）。リザーブ・コントリビューターは、交換したいトークンをペアでリザーブに在庫として送りこむ。Kyber Network オペレーターが認めたトークンであれば、流動性が低いトークンの組み合わせも可能である。

個々のリザーブを管理するのはリザーブ・マネージャーであり、売値と買値を提示してリザーブ・コントリビューターやテイカーを呼び込むマーケットメイカーの役割を果たす。プライシングの方法はリザーブ・マネージャーに一任されており、自動化する機能も KyberSwap により提供されている（自分で作りこんでもよい）。

リザーブ・コントリビューターはリザーブ・マネージャーを兼ねることもできる。リザーブ・コントリビューターは当初、認可制であったがパーミッションレスに変更されている。このため多数のリザーブが存在するが、全体が統合管理されており、テイカーのオーダーによって横断的にクエリーがかけられベストレートが一括検索されるので、市場流動性の分断もない⁷¹。

取引処理はオンチェーンで行われ、ネイティブトークンの KNC を発行しており、リザーブ・コントリビューターは Kyber Network に対して KNC で約定手数料を支払う。リザーブ・マネージャーはスプレッドが収益源となる。テイカーには手数料は生じないが、売買スプレッドの分、実質的に取引コストを負っていることになる。なお、Uniswap など他の Ethereum ベースの DEX とリザーブを共有化することが可能となっている。また、Ethereum 以外の DLT 基盤とのクロスチェーン技術（Relay Bridge）の導入を進めており、EOS との接続開発を行っている。

④ Bancor

Bancor は、発行体が基軸となるアセット（当初は Ether）をリザーブしたうえでトークンを発行し、トークンの売買に合わせて発行数量とリザーブ額を調整する制約を課すことにより、トークンの価格を自動決定するようなプロトコル

⁷¹ 市場流動性の分断は、伝統的な株式市場で長らく課題であり続けた。日本のように少数の取引所に集中しておらず、重複上場もある米国では、各地の市場が分断されたなかで裁量執行義務を果たすための注文回送システムが NMS（National Market System）として構築された。その後、高速取引処理を伴う PTS/ATS の勃興と伝統的取引所への取り込み、取引所の会員制（パーミッション制）、注文情報へのアクセス、オーダーマッチング手法、取引戦略、自動執行アルゴリズム取引など、マーケット・マイクロストラクチャーを巡る様々な動きが生じており、これらは様々なかたちで DEX のデザインにおいて試されている。

である (Hertzog et al.[2017])。トークンが新たに需要されると対価分の Ether がリザーブされ、トークンが売却されるとリザーブから Ether を払い出し、当該トークンは償却される。同プロトコルに沿って最初に発行されたのが Bancor のネイティブトークン BNT であり、2017 年 6 月に ICO で Ether が調達されている。BNT のリザーブ率は 10% に設定され、残りは開発等プロジェクト資金に利用されている。

この BNT が次の基軸アセット (Bancor ではコネクタートークンと呼称) となり、BNT をリザーブすることで新しいトークン (スマートトークンと呼称) を Bancor Network 上で取り扱うことができるようになる (ERC20 トークンであれば DAI や BAT のような既存発行のトークンを Bancor Network 上でスマートトークンとして利用できる⁷²)。2 つのスマートトークンは BNT をコネクタートークンに設定しており、両者の対 BNT 価格は上述のように発行量やリザーブ率 (コネクタートークンと呼称) から所与であるため、これらの価格に基づいて交換可能となり、オーダーブックを利用せずにトークン交換サービス (取引市場) を作ることができる。このように Bancor は前述してきたような DEX とは異なる複雑な構造を抱えた取引市場となっている。また、リザーブされるコネクタートークンは BNT でなくともよく、Bancor プロトコルは他のトークンにも適用可能である。

リザーブ (コネクタートークン) の受け入れやスマートトークン間の交換 (コネクタートークン経由) は、オンチェーンで処理される。なお、コネクタートークン BNT の最近のマーケットキャップは ERC20 の上位 100 外にあり (2020 年 5 月時点)、図表 A-5 で見たように DEX の市場シェアも低下している。

⑤ Uniswap

2018 年 11 月に開始した後発の DEX だが、急速に市場シェアを伸ばしている。スワップの名前の通り、オーダーブック型でなくメイカーが市場流動性を提供し、テイカーがそれを消費する相対取引である点は KyberSwap と同様である。メイカーが提供する交換ペアは Ether と ERC20 トークンの組み合わせであり、ERC20 トークン同士の直接交換はなく、Ether が交換媒介となる。KyberSwap で

⁷² ERC20 以外のトークン、特にマーケットキャップが大きく流動性があるような暗号資産やトークンを Bancor Network にスマートトークンとして受け入れられるように、Bancor プロトコルを EOS のような他の DLT に移植 (ポーティング) し、EOS や EOS ベースのトークンの受け入れ、交換対象資産化することが行われている (BancorX プロジェクト)。EOS の処理速度は Ethereum より速く、Gas 代も不要なことから、EOS 上での Bancor プロトコルを用いた取引は Ethereum オンチェーン取引のデメリットを回避できるようになった。

は KNC を媒介とするため、流動性を提供するには KNC を保有する必要があったが、Uniswap では Ethereum のネイティブトークンに相当する Ether を交換対象としているため、流動性供給が容易になっている。

Uniswap の特徴点は、交換価格の決定方式であり、流動性プールに提供されている残高の積が一定値となるように価格が決定される。すなわち、一方の残高が少なくなると、その相対価格が上昇するため流動性を新たに呼び込む力が強まる（集中型取引所や他の DEX とのアービトラージも働く）。流動性が供給されるたびに価格が自動更新され、取引が成立せずとも価格は需給バランスに応じて調整され続ける。こうした自動価格決定方式のため、価格操作を行うマーケットメイカー (KyberSwap の場合、リザーブ・マネージャー) は存在しない。その分、手数料を安く設定できるため、Ether を仲介する二重手数料体系であっても、全体としての取引コストは抑制されているといわれている。

なお、2020 年 5 月にプロトコルのバージョンアップがなされている。ERC20 トークン間の直接交換が可能となり、その分、手数料が削減される (Adams et al.[2020])。流動性が薄くなることが予想されるため、Ether ではない仲介トークンを介する取引パスを探索し、経由取引を提供する RouterContract という仕組みが実装される。また、v1 の価格決定方式は、意図的に流動性プールのバランスを傾けることにより価格操作が可能となる弱点を有していたが、こうした攻撃に対する対抗策としてオンチェーン上にある過去の取引実績価格も参照して価格を決定する方式 (時間加重平均) が採用されている⁷³。

⁷³ 一般に、システムの外部にある情報 (特に価格情報) を採ってきて、これをシステム内部で利用する (例えば外部参照価格を約定価格とする) 場合、DLT の文脈ではオラクルを利用すると呼称する。このケースでは、Uniswap のシステム内部の記録であるが、過去の記録であるためオラクルと呼んでいると思われる。操作不可能な過去のブロックに書き込み済みの取引価格、具体的には各ブロックの最初の取引価格を対象として算出するため、攻撃者が多数のブロックに亘ってこれを操作し続けるのは困難もしくは高コストとなるため、攻撃耐性が高まる。なお、時間加重平均価格 (TWAP: Time-weighted Average Price) は、株式等の大口執行に伴うマーケットインパクトを回避するために、分割発注を繰り返す TWAP 戦略と同じコンセプトであり (VWAP と同様、1990 年代から存在)、その後、隆盛したアルゴリズム取引にも基本的な発注戦略として採用されている。

(4) まとめ

ここで紹介した DEX 以外にも、ダッチオークションを採用したものや、大口取引のマーケットインパクトを回避するためにダークプールを利用するもの、売買相手のマッチングを行い P2P 交渉・交換の場を提供するもの、その際、参照価格を提供するものなど、様々な取引市場のデザインが創造、実験されている。これらは ICO 隆盛期に登場し、暗号資産やトークンの売買において発展してきたが、セキュリティトークンの発行・流通市場や、中央集権的な取引市場を創造していく際の参考にもなると思われる。

また、伝統的な金融市場である株式取引所や相対の外為取引などの市場設計には、安全で効率的な市場をどのように形成していくか歴史的な知見が積み重ねられており、これらもセキュリティトークン流通市場の制度をデザインしていく際の参考となろう。例えば、株式市場のマイクロストラクチャーについては、膨大な研究が蓄積されており、市場実務と密接に関連した一つの学問領域となっている。さらには、セキュリティトークン市場が成長した場合、市場の分断化が課題になるかもしれない。その際には、伝統的な株式市場などで生じた様々な問題、例えば注文回送制度のデザインや、最良執行義務、高速取引、フロントランニング、ダークプールなどが同様な論点となる可能性がある。ここでも、既存の金融市場での経験がセキュリティトークンの市場設計の参考となろう。

【参考文献】

- 上野まな美、鳥毛拓馬、「米国の IPO に関わる規制見直しの動き」、大和総研レポート「証券・金融取引の法制度」、2018年3月2日
- 河合健、長瀬威志、波多野恵亮、「デジタルマネー・デジタルアセットの法的整理：第3回各論2「ノン・ファンジブル・トークン及びセキュリティトークンに係る法規制」」、*NBL (New Business Law)*、No.1161、2020年1月1日
- 、三宅章仁、青木俊介、田中智之、長瀬威志、林敬祐、「暗号資産・デジタル証券等に関する政府令案について」、Anderson Mori & Tomotsune、*Financial Services & Transaction Group Newsletter*、2020年2月
- 金融庁、「仮想通貨交換業等に関する研究会報告書」（研究会での報告資料<公表済>を含む）、2018年12月21日
- 、「令和元年資金決済法等改正に係る政令・内閣府令等の公表について」、2020年1月14日(a)
- 、「令和元年資金決済法等改正に係る政令・内閣府令等に対するパブリックコメントの結果等について」、2020年4月3日(b)
- 、「金融商品取引法等に関する留意事項について（金融商品取引法等ガイドライン）」、2020年5月1日(c)
- 、「金融庁広報誌アクセス FSA」、2020年5月号、2020年5月1日(d)
- 近藤真史、「証券業界におけるブロックチェーンの活用に向けた検討とオープンイノベーションの推進」、*JPX Working Paper*、Vol. 26、2019年2月19日
- 、保坂豪、土井惟成、山藤敦史、「金融市場における分散型台帳技術の活用に係る検討の動向」、*JPX Working Paper*、Vol. 20、2017年9月14日
- Coindesk、「弁護士が指摘するデジタル証券3つの法的課題—AMT 長瀬弁護士【セキュリティ・トークン】」、小西雄志ライター、2019年12月25日
- 、「なぜデジタル証券を「信託銀行」が主導するのか—MUFG の取り組み（上・下）」、小西雄志ライター、2019年12月26・27日
- 齋藤芳充、吉川浩史、「米国で活性化する株式投資型クラウドファンディング」、野村資本市場研究所、*野村資本市場クォーターリー*、2017年秋号
- 、——、「米国のスタートアップから注目される未公開株式取引プラットフォーム」、野村資本市場研究所、*野村資本市場クォーターリー*、2018年春号
- 山藤敦史、箕輪郁雄、保坂豪、早川聡、近藤真史、一木信吾、金子裕紀、「金融市場インフラに対する分散型台帳技術の適用可能性について」、*JPX Working Paper*、Vol. 15、2016年8月30日
- 周藤一浩、「証券トークン（Security Token）ビジネス参入の課題と展望」、野村総合研究所、*Financial Information Technology Focus*、2020年4月
- 証券取引における分散型台帳技術の利用を巡る法律問題研究会、「証券決済制度と分散台帳技術」、日本銀行金融研究所、金融研究、第37巻第3号、2018年7月
- 大和証券グループプロジェクトチーム、「約定照合業務におけるブロックチェーン（DLT）適用検討」、*JPX Working Paper*、Vol. 22、2018年1月18日
- 、「約定照合業務における DLT 適用検討フェーズ2」、*JPX Working Paper*、Vol. 22（追加）、2019年2月19日
- 大和証券グループ、クレディセゾン、Fintertech、「Fintertech、「デジタルアセット担保ローン」サービスを提供開始—暗号資産（仮想通貨）ビットコインを担保に法定通貨を融資—」、プレスリリース、2020年4月15日

- 田中修一、菅山靖史、「ブロックチェーン技術のスケーラビリティ問題への対応」、*日本銀行調査論文*、2020年1月
- 日本 STO 協会、「電子記録移転権利等の発行市場を担う基幹システムのガイドライン」、2020年4月23日
- 日本銀行 FinTech センター、「第8回 FinTech フォーラム：企業の決済・商流データの活用と未来展望」議事概要・プレゼン資料・パネルディスカッションの様式、2019年6月21日
- 日本銀行決済機構局、「決済の未来フォーラム」議事概要・論点整理、2020年4月17日(a)
- 、「中銀デジタル通貨が現金同等の機能を持つための技術的課題」、*決済システムレポート別冊シリーズ*、2020年7月2日(b)
- 日本銀行・欧州中央銀行、「Project Stella：日本銀行・欧州中央銀行による分散型台帳技術に関する共同調査報告書（第2フェーズ）、分散型台帳技術による DVP 決済の実現」、2018年3月
- 、「Project Stella：日本銀行・欧州中央銀行による分散型台帳技術に関する共同調査報告書（第4フェーズ）、分散型台帳環境における取引情報の秘匿とその管理の両立」、2020年2月
- 日本取引所グループ、「証券ポストトレード領域における DLT 情報共有基盤の実証実験プロジェクトについて」、*プレスリリース*、2020年3月6日
- 野村総合研究所、「野村総合研究所、日本の富裕層は127万世帯、純金融資産総額は299兆円と推計」、*News Release*、2018年12月18日
- 、「野村総合研究所、ブロックチェーン技術を活用した日本初の「デジタルアセット債」及び「デジタル債」を発行」、*NRI ニュースリリース*、2020年3月20日
- バラバン・アルバート-ラズロ、『ネットワーク科学：ひと・もの・ことの関係性をデータから解き明かす新しいアプローチ』、翻訳池田裕一ほか、共立出版、2019年
- 樋口匡俊、「ビットコイン論文からさぐる ブロックチェーンのヒント、第2回 トラストと非中央集権」、*オーグス総研*、2019年2月28日(a)
- 、「ビットコイン論文からさぐる ブロックチェーンのヒント、第10回 プライバシー」、*オーグス総研*、2019年11月27日(b)
- 廣瀬一海、「エンジニアのためのブロックチェーン超入門：ブロックチェーンとは」、日本マイクロソフト、IBM/MS/Oracle 共催「エンジニアのためのエンタープライズブロックチェーン超入門」講演資料、2020年4月22日
- Fintertech、「Why Blockchain 証券ポストトレードにブロックチェーンを適用する意味」、*Fintertech website (note)*、2019年10月30日
- 、「STO に関する内閣府令案（2020年1月14日公表）を分かりやすく解説します」、*Fintertech website (note)*、2020年1月15日(a)
- 、「続・Why Blockchain 証券ポストトレードにブロックチェーンを適用する意味」、*Fintertech website (note)*、2020年1月22日(b)
- 淵田康之、「リスクマネーの供給促進と投資者保護」、野村資本市場研究所、*野村資本市場クォーターリー*、2013年秋号
- 増島雅和、堀天子（編著）、『暗号資産の法律』、中央経済社、2020年7月
- 増田直紀、今野紀雄、『複雑ネットワーク—基礎から応用まで』、近代科学社、2010年
- 増田雅史、「セキュリティトークン・STO 規制の全体像」、*金融法務事情*、No.2137、2020年5月10日(a)
- 、「2020年5月1日施行改正筋層法上のセキュリティトークンとは」、*BUSINESS LAWYERS website*、セキュリティトークン・STO の法律実務、2020年6月18日(b)

- 松尾真一郎、「タイムスタンプの再発見と「いわゆるブロックチェーン」」、*Medium*、2019年11月4日
- みずほフィナンシャルグループ、みずほ銀行、みずほ証券、みずほ情報総研、Blue Lab、「ブロックチェーン技術を活用した「個人向けデジタル社債」の発行およびシステム基盤構築に向けた実証実験の開始について」、プレスリリース、2020年2月21日
- 三井物産オルタナティブインベストメンツ、「ブロックチェーン技術を用いた実証ファンドに参画」、プレスリリース、2020年5月1日
- 三菱UFJフィナンシャルグループ、三菱UFJ信託銀行、三菱UFJモルガン・スタンレー証券、三菱UFJ銀行、「「ST研究コンソーシアム」の設立およびブロックチェーンを活用した次世代金融取引サービスの開発について」、プレスリリース、2019年11月7日
- 本柳祐介、「株式関連事務におけるブロックチェーンの活用」、*NBL (New Business Law)*、No.1168、2020年4月15日
- 山本雅道、『アメリカ証券取引法入門（改訂版）』、第一法規、2019年7月
- ラクシュナマン・バリアップ、「スケーラブルデータサイエンス：エンジニアのための実践 Google Cloud Platform」、葛城美紀翻訳、中井悦司、長谷部光武監修、翔泳社、2019年6月
- LayerX、「エンタープライズ領域におけるブロックチェーン基盤分析フレームワークの提案：基礎編」、*LayerX Enterprise Blockchain Analysis Framework*、エンタープライズ向けブロックチェーン基盤比較レポート、2020年6月
- 若園智明、「米国における資本形成の変遷」、日本証券研究所、*JSDR Discussion Paper Series*、No.2019-01、2019年5月
- 、「Digital Asset と米国資本市場：Digital Token を巡る規制環境」、日本証券研究所、*JSDR Discussion Paper Series*、No.2020-01、2020年3月
- Adams, Hayden, Noah Zinsmeister and Dan Robinson, “Uniswap v2 Core,” Uniswap website, March 2020.
- Alethio, “Decentralized Exchanges in 2019 — A Recap by Numbers; How did the DEX ecosystem evolve in 2019? And how did the top 20 DEXes fare?,” *Medium*, January 10, 2020.
- ASIFMA (Asia Securities Industry and Financial Markets Association), “Tokenized Securities: A Roadmap for Market Participants and Regulators,” November 2019.
- ASX (Australia Stock Exchange), “ASX selects Distributed Ledger Technology to Replace CHES,” Media release, ASX CHES Replacement Website, December 7, 2017.
- , “CHES replacement: New Scope and Implementation,” Consultation paper, April 2018.
- AMF (Autorité des Marchés Financiers), “Review and Analysis of the Application of Financial Regulations to Security Token,” February 27, 2020.
- Bank for International Payments, Committee on Payment and Settlement Systems, “Payment, Clearing and Settlement Systems in the CPSS countries,” Volume 1, 2011.
- , “Payment, Clearing and Settlement Systems in the CPSS countries,” Volume 2, 2012.
- , Committee on Payments and Market Infrastructures and Markets Committee, “Central Bank Digital Currencies,” *CPMI Papers*, No.174, March 12, 2018.
- Bank of England, “RTGS Renewal Proof of Concept: Supporting DLT Settlement Models”, Press release, July 2018.
- , “RTGS Renewal Programme: Functionality of the new RTGS service,” Bank’s website, as of June 1, 2020.
- , “Central Bank Digital Currency: Opportunities, Challenges and Design,” *Discussion Paper*, March 2020.

- Banque de France, “Press Release -20 July 2020,” July 20, 2020.
- Bech, Morten, Jenny Hancock, Tara Rice and Amber Wadsworth, “On the Future of Securities Settlement,” *BIS Quarterly Review*, March 2020.
- Brown, Richard Gendal, “The Corda Platform: An Introduction,” R3 Corda White paper, May 2018.
- Buterin, Vitalik, “The Meaning of Decentralization”, *Medium*, February 6, 2017
- Clayton, Jay, “Governance and Transparency at the Commission and in Our Markets,” Remarks at the PLI 49th Annual Institute on Securities Regulation, New York, November 8, 2017.
- Coindesk, “Blockchain Financial Plumbing is still Years Away, Say LSE Spinoff Exactpro,” March 25, 2019.
- ConsenSys, “Analyzing Activities on Decentralized Exchanges,” *Medium*, Medium ConsenSys, June 19, 2018
- Daian, Phillip, Steven Goldfeder, Tyler Kell, Yunqi Li, Xueyuan Zhao and Iddo Bentov, Lorenz Breidenbach and Ari Juels, “Flash Boys 2.0: Frontrunning Transaction Reordering and Consensus Instability in Decentralized Exchanges,” arXiv:1904.05234v1, April 10, 2019.
- Deloitte, “Are Token Assets the Securities of Tomorrow?,” February 2019.
- Deutsche Börse AG and Deutsche Bundesbank, “How can collateral management benefit from DLT?,” Project BLOCKBASTER, January 2020.
- Deutsche Börse Group, “New DLT-Solution for the Securities Lending Market – The HQLAx Operating Model,” Roadmap 2020 insight, December 11, 2019.
- DTCC (Depository Trust and Clearing Corporation), “Study Results Demonstrating the DLT can Support Trading Volumes in the US Equity Markets,” October 2018.
- , “Security of DLT Networks – A Distributed Ledger Technology Security Framework for the Financial Services Industry,” February 2020a.
- , “Project ION Case Study,” May 18, 2020b.
- , “Project Whitney Case Study,” May 18, 2020c.
- EC (European Commission), “Consultation Document on an EU Framework for Markets of Crypto-Assets,” EC Directorate-General for Financial Stability, Financial Services and Capital Markets Union, December 19, 2019.
- ESMA (European Securities and Markets Authorities), “ESMA Alerts Investors to the High Risks of Initial Coin Offerings (ICOs),” ESMA50-157-829, November 13, 2017a.
- , “ESMA Alerts Firms Involved in Initial Coin Offerings (ICOs) to the Need to Meet Relevant Regulatory Requirements,” ESMA50-157-829, November 13, 2017b.
- , “Advice: Initial Coin Offerings and Crypto-Assets,” ESMA50-157-1391, Body report of ESMA announcement of “Crypto-Assets Need Common EU-Wide Approach to ensure Investor Protection”, January 9, 2019.
- Exactpro, “Exactpro Test Automation Solution for DLT-Based Post-Trade Infrastructure,” Whitepaper of the Test Automation Solution, April 9, 2019.
- FSB (Financial Stability Board), “Decentralised Financial Technologies: Report on Financial Stability, Regulatory and Governance Implications,” June 6, 2019.
- FINMA (Swiss Financial Market Supervisory Authority), “Regulatory Treatment of Initial Coin Offerings,” FINMA Guidance 04/2017, September 29, 2017.
- , “Guidelines for Enquiries Regarding the Regulatory Framework for Initial Coin Offerings,” February 16, 2018.

- , “Supplement to Guidelines for Enquiries Regarding the Regulatory Framework for Initial Coin Offerings,” officially called “Stable Coin Guidelines,” September 11, 2019.
- , “Libra Association: FINMA Licencing Process Initiated,” Press release, April 15, 2020.
- Hearn, Mike and Richard Gendal Brown, “Corda: A Distributed Ledger,” R3 Corda White paper, August 2019.
- Hertzog, Eyal, Guy Benartzi and Galia Benartzi, “Bancor Protocol: Continuous Liquidity for Cryptographic Tokens through Their Smart Contracts,” Bancor website, latest version, March 18, 2018.
- Hinman, William, “Digital Asset Transactions: When Howey Met Gary (Plastic),” Remarks Speech at the Yahoo Finance All Markets Summit: Crypto, US Securities and Exchange Commission, Director in Division of Corporation Finance, June 14, 2018.
- HKEX (Hong Kong Exchanges and Clearing), “Further Information on Next Generation Post Trade Program (NextGen),” June 14, 2019a
- , “Next Generation Post Trade Program Update,” May 15, 2019b
- KPMG, “Venture Pulse Q4 2018: Global Analysis of Venture Funding,” January 2019.
- Kyber Network, “Kyber: An On-Chain Liquidity Protocol,” Whitepaper v0.1, April 22, 2019.
- Ledger Insight, “Banque de France Tests Digital Euro CBDC for Bonds Issued on Public Blockchain,” *Media*, May 22, 2020.
- Lundell, Andrea, “Annual General Meeting Voting Goes Electronic with Blockchain,” Head of CSD Product Management, Market Technology, Nasdaq website, full article in *Global Custodian*, April 29, 2020.
- Lyandres, Evgency, Berardino Palazzo and Daniel Rabetti, “Do Tokens Behave Like Securities? An Anatomy of Initial Coin Offerings,” *SSRN Electronic Journal*, April 2019.
- Mendelson, Michael, “From Initial Coin Offerings to Security Tokens: A U.S. Federal Securities Law Analysis,” *Stanford Technology Law Review*, winter 2019, Vol. 22 Issue 1, pp.52-94.
- Nakamoto, Satoshi, “Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System,” October 31, 2008.
- Nasdaq, “Nasdaq Marketplace Services Platform: For New Markets,” Factsheet distributed in Nasdaq website, as of August 6, 2020.
- , “Nasdaq Marketplace Services Platform: Digital Assets Suite,” Factsheet distributed in Nasdaq website, as of August 6, 2020.
- Norges Bank, “Central Bank Digital Currencies: Second Report of Working Group,” *Norges Bank Papers*, No.2, June 27, 2019.
- Omni, “Omni Protocol Specification v0.6,” GitHub OmniLayer, commits on March 27, 2020.
- Peirce, Hester M., “How We Howey,” Commissioner of SEC, Speech at Securities Enforcement Forum in East Palo Alto, May 9, 2019.
- Peirce, Hester M., “Running on Empty: A Proposal to Fill the Gap between Regulation and Decentralization,” Commissioner of SEC, Speech in Chicago, February 6, 2020.
- Rosenfeld, Meni, “Fomulas for Bancor System,” mimeo, June 11, 2017.
- SIX (Swiss Stock Exchange), “SIX and the SNB Explore Technological Approaches for the Use of Digital Central Bank Money in the Settlement of Tokenized Assets,” Media release, SIX/SDX website, October 8, 2019.
- SNB (Swiss National Bank), “SNB and BIS Sigh Operational Agreement on BIS Innovation Hub Centre in Switzerland,” Press release, October 8, 2019.
- SEC (US Securities and Exchange Commission), “Report of Investigation Pursuant to Section 21(a) of the

Securities Exchange Act of 1934: The DAO,” Release No.81207, July 25, 2017.

———, “Securities and Exchange Commission v. REcoin Group Foundation, et al., Civil Action No. 17-cv-05725 (E.D.N.Y., filed Sep. 29, 2017,” Litigation Release No.24081, March 26, 2018a.

———, “Statement on Digital Asset Securities Issuance and Trading,” Division of Corporation Finance, Division of Investment Management and Division of Trading and Markets, November 16, 2018b.

———, “Statement on Framework for ‘Investment Contract’ Analysis of Digital Assets,” by Bill Hinman, Director of Division of Corporation Finance and Valerie Szczepanik, Senior Advisor for Digital Assets and Innovation, April 3, 2019a.

———, “Order Instituting Cease-and-Desist Proceedings Pursuant to Section 8A of the Securities Act of 1933, Making Findings, and Imposing a Cease-and-Desist Order,” Securities Act of 1933, Release No. 10714, Administrative Proceeding, File No. 3-19568, September 30, 2019b.

Sun, Weimin, Xun Brian Wu and Angela Kwok, *Security Tokens and Stablecoins Quick Start Guide*, Packt Publishing, April 2019.

Warren, Will and Amir Bandeali, “0x: An Open Protocol for Decentralized Exchange on the Ethereum Blockchain,” OxProject.com, Whitepaper, February 21, 2017.