

各国の CBDC に対するスタンスと技術面の現状

PBL 演習 3 班

内田海 押鴨叡 隈元鴻 萩原健太
担当教官 高橋大成

1. 背景・目的

CBDC(Central Bank Digital Currency : 中央銀行デジタル通貨)の技術的実現可能性が高まる現代において、多くの国々が CBDC の導入に向けた検討を進めている。ブロックチェーン技術やデジタル決済の進化により、中央銀行がデジタル通貨を発行し、金融システムを変革する可能性が広がっている。この背景から、各国は CBDC を導入するかどうか、またどのようなアプローチを取るかについて独自の戦略を検討している。

そこで、本研究では CBDC に関する日本を含む各国のスタンス、検討状況、および技術に対する期待、要件、課題、および制約を明らかにすることを目的とする。

2. CBDC とは

CBDC とは、日本銀行の定義によると次の 3 つの条件を満たすものとされている。(1)デジタル化されていること、(2)円などの法定通貨建てであること、(3)中央銀行の債務として発行されること¹⁾。簡単にいうと、国が発行する公的な電子マネーであり、そこには現在主として使用されている紙幣や硬貨と同じ価値、効力を持つ。CBDC はセキュリティが高く、即時決済が可能で、金融包摂を促進し、取引コストを削減することを可能とする潜在的な利点があるが、セキュリティリスクやプライバシーの問題も検討する必要がある。中央銀行や政府が検討し、適切なバランスを見つけるべきであるため、現在世界各国で CBDC 導入に対する検討が行われている。

3. 各国の CBDC に対するスタンスと展望

CBDC Tracker²⁾によれば、CBDC の現状は以下のように分類することができる。

Cancelled(中止) : CBDC の計画をキャンセルまたは廃止した国々

Research(研究) : 初期の説明的な CBDC 研究を行っている国々

Proof of Concept(実証) : 高度な研究段階にあり、CBDC のコンセプト証明を公表している国々

Pilot(実装) : 実際の環境で、限定的なパーティーまたは広範囲で CBDC をテストしている国々

Launched(運用) : 正式に CBDC を全面的に導入した国

(1) 日本 : Proof of concept

現在日本では、パイロット実験を行っている。中央システムから仲介機関ネットワーク、仲介機関システム、エンドポイントデバイスまで一体的に実装するものとして実験用システムを構築し、エンドツーエンドでの処理フローの確認や、外部システムとの接続に向けた課題・対応策の検討などを行っている^{3,4)}。

日本では CBDC の利活用方法として、一般利用型 CBDC の導入する場合を検討している。また、CBDC に期待する機能と役割として、以下の 5 つが考えられている。

a) 現金と並ぶ決済手段の導入

現金の流通が大きく減少し、民間のデジタルマネーが現金の持つ機能を十分に代替できない場合に一般利用型 CBDC を提供することが考えられている。

b) 民間決済サービスのサポート

現金の流通の減少が生じない場合においても、決済システム全体の安定性、利便性を高める観点で必要であれば、民間決済サービスをサポートするために CBDC を発行することが適切となる可能性があり、プラットフォームを跨ぐ個人間送金の実現のための橋渡し役となると考えられている。

c) デジタル社会にふさわしい安定的・効率的な決済システムの構築

民間事業者の創意工夫により安定的・効率的な決済システムの構築につながる可能性も考えられる(システムの通信障害に制約されない、また継続的な電力供給を必要としない、オフライン決済機能など)。

d) 個人間も含めた双方向の送金(P2P 決済)

CBDC の普及に伴い現金流通が減少した場合に、通信・電源の途絶への耐性を備えたオフライン P2P 決済機能がユニバーサルアクセスや強靱性に役立つ。

導入に対して日本は、現時点でCBDCを発行する計画はないが決済システム全体の安定性と効率性を確保する観点から、今後の様々な環境変化に対応できるよう、しっかりと準備しておくことが重要であると考えている。日本銀行としては、今後とも様々な環境変化に的確に対応できるよう必要な準備を進めていく方針である。このことから日本は実証フェーズに位置していると考えられる。日本では、実証実験、制度設計計画の検討、内外関係者との連携という順でCBDCに対する技術的な検討が行われている。実証実験に関しては、第4章で詳しく説明する。

(2) アメリカ : Research

連邦準備制度(以下、FRS)は米国のCBDCの利点と欠点を検討するための議論文を発行している。このプロセスの一環として、CBDCに関連する様々なトピックについて公衆からのフィードバックを求めている。FRSの公式サイト⁵⁾などではCBDCを導入するにあたっての段階を定義していないが、研究フェーズに位置していると考えられる。

アメリカにおけるCBDCの利活用方法や期待する機能、役割としては、以下の3つが挙げられている。

a) ドルの国際的プレゼンス維持または向上

世界中でドルは広く使用されている。しかし、外国がCBDCを導入し、それが既存の米ドルよりも魅力的であれば世界的なドルの使用が減少する可能性がある。米国のCBDCはドルの国際的役割を維持するのに役立つかもしれないと示唆している。

b) 金融包摂を促進する可能性

電子取引へのアクセスを容易にできるため、迅速かつ低コストで貸金、税金還付、及ぼしその他の連邦への支払いを可能にする。

c) 中央銀行の資金へのアクセス拡大の可能性

現金は現在、一般人が利用できる唯一の中央銀行通貨であり、依然として重要かつ人気のある支払い手段である。FRBは現金の継続的な安全性と利用可能性を確保することに尽力しており、安全な支払いオプションを削減したり、代替したりするのではなく、拡大する手段としてCBDCを検討している。

導入に対してアメリカは、最終的な決定を下しておらず、慎重な立場をとっている。技術的な研究や実験を通じて、CBDCの潜在的な利点とリスクを多角的に探求している。主な焦点は、すでに安全で効率的な米国の国内決済システムをどのように改善できるかに関してである。

(3) イギリス : Research / Proof of concept

イギリスは、デジタルポンドを導入するかどうかの決定をまだ下していない。2023年2月にイングランド銀行とHM財務省は、デジタルポンドに関する諮問文書を公開した。この文書は、デジタルポンドの設計に関する提案をまとめている。また、技術的な側面に関する技術ワーキングペーパーも公開されている。このフェーズの結果がデジタルポンドのケースが確立されたと結論づけられた場合、構築フェーズに移行する。このことからイギリスは、研究フェーズもしくは実証フェーズに位置していると考えられる⁶⁾。

イギリスにおけるCBDCの利活用方法や期待する機能、役割としては、以下の4つが挙げられている。

a) 決済サービスの進化

ライフスタイルや経済のデジタル化が進む中、民間セクターとの連携により、国内決済の革新、選択、効率化を促進し、英国経済の活性化、成長支援、金融包摂を実現することが期待される。

b) 民間企業のイノベーションの場

デジタルポンドは民間企業のイノベーションのための公的なプラットフォームを提供する。

c) 経済成長

デジタル経済の成長をサポートし、金融の安定と効率性を向上させる。

d) 現金の置き換え

店舗やオンラインでの支払いに使用することができる。デジタルポンドは銀行券と同じ価値を持ち、導入されれば場合、現金を置き換えるものではない。またデジタルポンドは暗号資産ではなく、イングランド銀行によって発行され、政府によってバックアップされるものとなる。

(4) その他の諸外国

その他の諸外国では、公開されている情報が少ない、導入段階が明確に定まらない等の事由から、まとめて紹介する。そのため、この章で紹介する各国の現状における情報は、信憑性が低いということに留意する必要がある。

EU : Research / Proof of concept

ユーロ圏内の誰もが利用できる電子的な支払い手段として提供される予定。現金のように安全でユーザーフレンドリーなものとなることが期待されている。ECBによって発行される中央銀行の通貨として、プライベートマネーとは異なる性格を持つ。そして、CBDCの導入に関して慎重な立場をとっている。CBDCの導入が経済や金融システムに与える影響を詳しく検討しており、その結

果をもとに導入の方針や計画を決定するとされている。研究フェーズおよび実証フェーズに位置している。European Central BankはCBDCに関する研究や検討を進めており、実際の取引環境でのテストや実験も行われているとされている。

中国 : Pilot

中国は、デジタル通貨(DCEP : Digital Currency Electronic Payment)の研究を進めることで現金取引の効率を向上させ、取引コストを削減し、経済の健全な発展を促進することを目指している。また、現金と同じように日常の取引に使用されることを目的としている。また、国際的な取引やクロスボーダーの支払いにも利用されう可能性があるとして期待している。デジタル通貨の導入に関して積極的な立場をとっており、現状としては実験フェーズおよび実装フェーズに位置している。デジタル通貨の実験をいくつかの都市で行っており、一部の地域では実際にデジタル通貨が利用されている⁷⁾。

インド : Pilot

インドでは、具体的な利用方法や目的に関する情報は現時点では公式サイトには明記されていない。デジタル通貨の導入に関して慎重な立場をとっていると考えられる。また、実装フェーズに位置しており、デジタル通貨の導入に関する研究や検討を進めている⁸⁾。

ナイジェリア : Launched

ナイジェリアは運用フェーズに位置しており、ナイジェリア中央銀行によりデジタル通貨「eNaira」が正式に発表され、導入を進めている。特に農村地域において銀行や金融サービスへのアクセスが限定的である。ナイジェリアのデジタル通貨であるeNairaの導入により、未銀行層に対しても金融サービスが提供され、金融包摂が進むと期待される。また、ナイジェリアはディアスポラ(歴史的、政治的、経済的な理由などで母国街に移住または離散した人々のコミュニティ、ディアスポラ送金とは、移住者が働いて得た収入の一部を母国に残る家族や親戚に送金すること)からの送金が多い国であるため、eNairaを利用することで国際送金コストが削減され、送金の効率が向上することが期待されている。

4. 日銀の実証実験から見るパフォーマンス評価

本章では、日本銀行(以下、日銀)が行なっているCBDCの本格導入に向けた実証実験の概略を紹介する。その上で、この実証実験から現時点で導き出されるCBDCを実現するための技術的パフォーマンスを考えていきたいと思う。



図-1 実証実験のフロー

日本が独自で定める実証実験のためのフローとしては図-1の通りである。基本的なシステムの検証を行う概念実証フェーズ1を2021年4月～2022年3月に実施し、その後付加的な周辺機能に対する検証である概念実証フェーズ2を2022年4月～2023年3月の期間で実施された。そして2023年度現在はパイロット実験として技術的な実現可能性を検証するためのパイロット実験が行われている⁹⁾。以下、順に説明していく。

(1) 実証実験

日本で行われている実証実験では、リサーチ中心の検討にとどまらず、実証実験の実施を通じて、より具体的・実務的な検討がなされている。まずは、「概念実証」(Proof of Concept)のプロセスを通じて、CBDCの基本的な機能や具備すべき特性が技術的に実現可能かどうかを検証がされる。そのうえで、必要と判断されれば、パイロット実験の要否について検討される。

a) 目的

CBDCシステムの基盤となる「CBDC台帳」を中心に、実験環境を構築したうえでCBDCに関する基本的な取引(発行、払出、移転、受入、還収等)を的確に処理することができるか検証を行う(実証実験フェーズ1)。

実証実験フェーズ2ではフェーズ1のシステムに周辺機能を追加した検証とフェーズ1で用いたシステムの一部を新たな技術に変更した検証を行う。

b) CBDC台帳の設計

実験での検証に用いるCBDC台帳の設計パターンが3つ用意された。いずれの台帳システムにおいてもCBDCは、中央銀行から仲介機関に対して「発行」され、仲介機関を通じてエンドユーザに「払出」される。払出されたCBDCはエンドユーザ間を「移転」する。CBDCは、仲介機関によってエンドユーザから「受入」られ、仲介機関を通じて中央銀行に「還収」される。図-2のように、CBDC台帳は3つのパターンが設計され、それぞれにおいて口座残高の管理者等が異なるものに設定されている。図-2において、それぞれの矢印は1:発行、2:払出、3,5:同一仲介機関の移転、4:仲介機関を跨ぐ移転、6:受入、7:移転を表している。

パターン1:

CBDCの保有状況を、仲介機関やエンドユーザが有する口座の残高として認識する「口座型CBDC台帳システム」。中央銀行が全ての仲介機関とエンドユーザの口座残高を記録する台帳を管理

パターン2:

CBDCの保有状況を、仲介機関やエンドユーザが有する口座の残高として認識する「口座型CBDC台帳システム」。中央銀行が仲介機関の口座残高を記録、仲介機関が自らの顧客ユーザの口座残高を記録する台帳を管理

パターン3:

一定額面の金銭データに固有の識別子(ID)を付与し、そうしたIDとユーザIDの紐付けにより、CBDCの保有状況を認識する「トークン型CBDC台帳システム」。

台帳システムは、パターン1,3は実機検証中央銀行分のみ、パターン2は中央銀行と仲介機関分を構築。ただし、パターン2では2: 払出、4: 仲介機関を跨ぐ移転、6: 受入の際に中央銀行台帳の口座残高も同時に増減する。3,5: 同一仲介機関の移転は中央銀行台帳に反映されない。

c) 概念実証フェーズ1(2021年4月-2022年3月)

システムのな実験環境を構築し、決済手段としてのCBDCの中核をなす、発行、流通、還収の基本機能に関する検証が行われた。日銀当座預金と引替えに発行されたCBDCは、仲介機関を通じて、ユーザーに払出される。払出されたCBDCは、ユーザー間を移転する。仲介機関が受入れたCBDCは、日銀当座預金と引替えに還収される。

この段階では、CBDCに求められる機能や役割を踏まえつつ、発行残高や取引履歴を記録する台帳の管理主体や記録の方法などについても、技術的な観点から実現可能性や課題を探っていく。CBDC台帳の基本的な設計についてはオンライン決済を前提に3つの設計パターンを構築し、相互に比較しながら検証作業を進める。

実験結果(図-3)を解説する。通常負荷では、全パターン問題が見られなかった。高負荷では、パターン2のレイテンシとCPU使用率増大がみられ、「口座残高データに対する処理の集中」の多数発生によるレコードロック(先着の処理が完了するまで後続の処理が実行されないよう、処理中のレコード(口座残高データ)がロックされてしまった。パターン3では、サーバのCPU使用率増大し、処理に必要なリソースが枯渇していることが明らかとなった。取引指図1件ごとに、複数のトークンについて保有者IDの更新処理が行われることや、一定の割合で両替処理が行われることにより、他のパターンと比

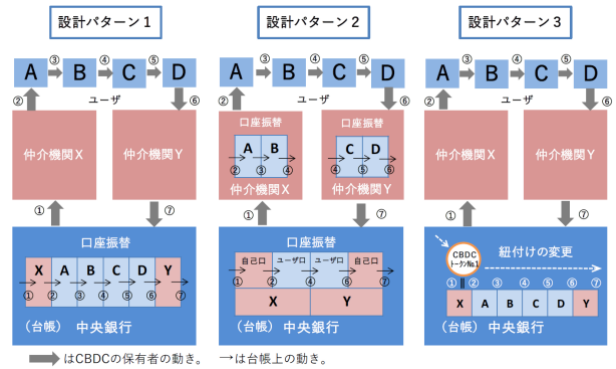


図-2 CBDC台帳の3つの設計パターン

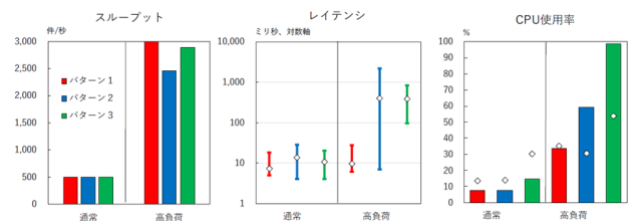


図-3 各設計パターンの実験結果

べて処理件数が大きく増加していることが主要な要因と考えられる。

d) 概念実証フェーズ2(2022年4月-2023年3月)¹⁰⁾

実証実験フェーズ1で構築した実験環境にCBDCの周辺機能を付加して、その実現可能性などの検証がされた。

経済的な設計の周辺機能として、銀行預金からCBDCへの急激なシフトを招かないようにするためのセーフガードとなるCBDCの保有額、取引額、取引回数に関する制限や保有額に対する利息を設ける。制限を超過した保有額を銀行預金などに変更するスウィング機能を追加した。さらに、決済におけるユーザの利便性向上に繋がるような機能として予約送金や複数取引の一括送金、受領側の指示による逆引送金を追加した。

概念実証フェーズ2で用いた実験環境用システムはフェーズ1で構築した台帳システムに加え、制限の際に参照する取引履歴管理システムや利便性向上の機能に用いる予約管理システム、各システムの処理順を制御するオーケストレーションシステムから構成されている(図-4)。その他の環境はフェーズ1と同様に設定してフェーズ1と同じ設定で通常負荷と高負荷について検証を行った。

実験結果(図-5)は、フェーズ1と比較して通常負荷と高負荷の両方で多少の劣化は見られたが大きなものではなかった。秒間の処理に関しては、取引のリクエスト件数と同じ件数が行われていることから、滞りなく取引が実行されていると考えられる。取引1件の処理に掛か

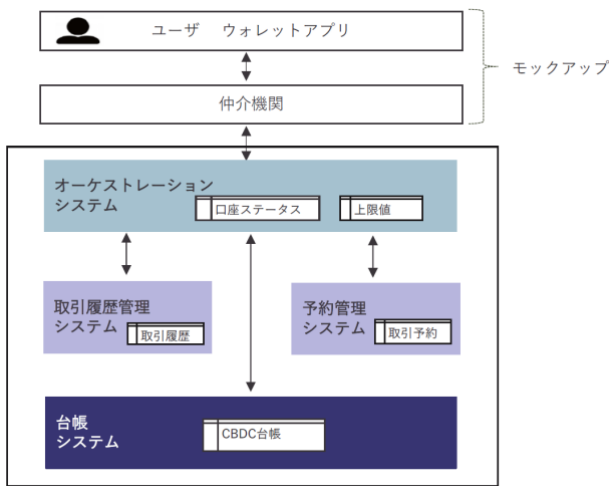


図-4 実験環境用のシステムの全体像

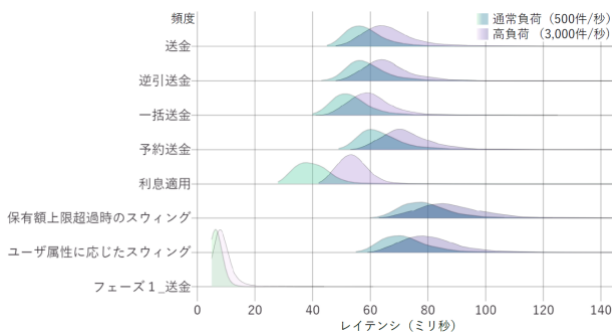


図-5 実機検証の実験結果

る秒数は、処理内容や経由するシステム数の増加によりフェーズ1から幾分増加したが、大きな性能劣化ではない。スウィング機能や利便性向上のための機能による送金に関しても、通常送金から多少の変化はあったものの、大きな性能劣化とはならなかった。

実験結果を踏まえて、社会実装する場合の課題について紹介する。仮に周辺機能の社会実装をする場合には、秒間数万～十万件といった大規模高頻度処理への対応や、膨大な口座情報管理を可能とするような性能拡張性が必要となる。実験環境用システムの性能拡張について、取引指図の処理を実行するアプリケーションサーバに関しては、同じサーバを複数配置して負荷分散および並列処理を行う。指図の処理結果を記録・保持するデータベースサーバに関しては、サーバのハードウェアの性能向上やサーバの複数設置による付加を抑制する。ただし、複数のサーバ間で整合性のとれた処理を実現する必要があるほか、サーバ内部に保持するデータ量やアクセス量に偏りが出ないよう、定期的なチューニングが必要になるなど、システム運行上の課題がある。

e) 概念実験フェーズ1・2まとめ

日銀の実証実験の概念実証フェーズ1では、基本的な取引の処理性能を通常負荷と高負荷の二種類の負荷で検証を行った。設計パターンによっては、高負荷ではレコードロックやリソースの消費量の増加が原因で性能が低下する場合があった。

概念実証フェーズ2では、社会実装の際に必要な周辺機能を追加した場合の通常負荷における処理性能を行った。周辺機能の追加では、銀行預金からCBDCへの急激なシフトを招かないための制限機能や利便性向上のための機能、連携機能について検証した。検証結果ではフェーズ1からの大きな性能劣化を招くことはなかったが、社会実装の際に必要な拡張性の確保のために対策が必要であることが示された。フェーズ1の検証とフェーズ2の計算の周辺機能についての検証で確認された問題点はサーバの性能向上や複数配置が対策として考えられる。

日銀の実証実験の概念実証フェーズ1,2によって基本的なアイデアが実現可能であることが確認された。現在行われているパイロット実験では、中央銀行以外のシステムも含めたシステムを構築することでエンドツーエンドでの処理フローの確認などの検証を行う。

f) パイロット実験 (2023年4月)

概念実証を経て、さらに必要と判断されれば、民間事業者や消費者が実地に参加する形でのパイロット実験を行うことも視野に入れて検討していく(一部検討テーマ)。既存の資金決済における本人確認手続きの方法やその留意事項の整理、CBDCの事務フローや特性を踏まえた本人確認手続きの高度化に向けた技術的な方法や事務運用面の提案。既存の資金決済におけるマネー・ローンダリング及びテロ資金供与対策の方法やその留意事項の整理、CBDCの事務フローや特性を踏まえたマネー・ローンダリング及びテロ資金供与対策の高度化に向けた技術的な方法や事務運用面の提案がなされる。

(2) 制度設計計画の検討

実証実験と並行して、「中央銀行と民間事業者の協調・役割分担のあり方」「CBDCの発行額・保有額制限や付利(ユーロ圏の民間銀行が一時的に過剰となった資金を中央銀行に預け入れる際の利子のこと)に関する考え方」「プライバシーの確保と利用者情報の取扱い」「デジタル通貨に関連する情報技術の標準化のあり方」などの点について、順次、検討を進めていく。

(3) 内外関係者との連携

引き続き、他の中央銀行と密接に連携しながら、CBDCの基本的な特性や実務面に及ぼす影響について理解を深め、自らの検討に活かしていく。CBDCの導入を検討する場合には、システム面や制度面にとどまらず、広範かつ大規模な取り組みが必要となる。このことを十分に認

識して、銀行やノンバンク決済事業者、IT や法律の専門家、関係当局などと協力し、様々な知見を今後の検討に活かすことを重視していく。

5. セキュリティ面の課題

CBDC の重要な要件は「偽造や不正の抑制」であり、偽造やサイバー攻撃への頑健性、スマートフォン等の媒体を含めたセキュリティの高度化が必要である。災害時に既存のインフラが壊れた状態でも、現金と同じように支払い・決済に使える必要があるという意見も根強いが、その点が技術的に確実かつ安価な形で実現できるかが重要である。これについては、IC カードの延長線で考えられるという指摘がある一方で、中央銀行が通貨として発行する以上は、より高いセキュリティや残高の齟齬を防ぐ仕組みを整え、物理的な破壊にも対応するべきで、それを考えると技術的なハードルが高くコスト増も懸念されている¹¹⁾。

(1) 個人情報・プライバシー保護

個人による少額決済も含め CBDC を用いたあらゆる取引の情報(いつ、誰から、誰に、いくら)の金額が移動したかを中央銀行や民間銀行が保有するような制度設計とした場合、それを税務当局などの行政機関が閲覧するか否かにかかわらず、国民のプライバシー権の侵害につながりかねない。CBDC の取引情報がなるべく一元管理されないようにすること、各エンティティが取引情報にアクセスできる条件を厳密に定めること、また CBDC に現金と同様な匿名性のある程度まで保証することが重要な課題となる¹²⁾。

(2) 停電や強靭性・セキュリティ・サイバー攻撃

停電時や通信障害時に、CBDC を用いた決済が不能となるリスクがあり、オフラインでも利用できる機能が重要な課題となる。また、(昨今の仮想通貨に対する攻撃のように)CBDC システムに対するサイバー攻撃が想定される。CBDC システムに関与するエンティティ数が増えるほど、システムの全体的セキュリティ水準は最も脆弱な参加エンティティに依存するため、大きな課題となりうる。CBDC の偽造などの不正利用に対するセキュリティ対策も CBDC への信頼を高めるために重要である¹³⁾。

6. まとめ

本研究では、主要各国の CBDC に対するスタンスと日本銀行の実証実験からわかる技術面における現状を論説

した。多くの国々では、CBDC に対して慎重な姿勢を見せている一方で、ナイジェリアなど、CBDC をすでに導入し積極的に活用していこうとする国が存在することもわかった。また、日本銀行が行なっている実証実験からは、日本では現時点で CBDC 導入の計画はないもののシステムの設計は着々と進んでおり、来たる導入に向けた技術的な検討が進められていることが窺えた。

7. 参考文献

- 1) 日本銀行：中央銀行デジタル通貨とは何ですか？、
<https://www.boj.or.jp/about/education/oshiete/money/c28.htm>.
- 2) CBDCTracker, <https://cbdctracker.org/>.
- 3) 日本銀行：「中央銀行デジタル通貨：基本的な原則と特性」エグゼクティブ・ペーパー, 2020年10月,
<https://www.boj.or.jp/paym/digital/data/rel201009f2.pdf>.
- 4) 日本銀行：「中央銀行デジタル通貨に関する日本銀行の取り組み方針」の公表について,
<https://www.boj.or.jp/paym/digital/rel201009e.htm>.
- 5) BOARD OF GOVERNORS of the FEDERAL RESERVE SYSTEM : Central Bank Digital Currency (CBDC), <https://www.federalreserve.gov/central-bank-digital-currency.htm>.
- 6) Bank of England, <https://www.bankofengland.co.uk/the-digital-pound>.
- 7) 中国銀行, <https://www.boc.cn/>.
- 8) Reserve Bank of India, <https://www.rbi.org.in/>.
- 9) 日本銀行：中央銀行デジタル通貨に関する実証実験について, 2023年2月17日,
<https://www.boj.or.jp/paym/digital/dig230217b.pdf>.
- 10) 日本銀行：中央銀行デジタル通貨に関する日本銀行の取り組み, 2023年2月17日, 日本銀行決済機構局,
<https://www.boj.or.jp/paym/digital/dig230217c.pdf>.
- 11) 野村総合研究所：日本における中央銀行デジタル通貨の展望とその課題, 2021/07/05,
<https://www.nri.com/jp/journal/2021/0705>.
- 12) 柏木亮二：デジタル決済の匿名性とプライバシー, *Financial Information Technology Focus*, 2022年6月.
- 13) 小泉雄介：中央銀行デジタル通貨における個人情報保護と日本での発行モデル, *日本セキュリティ・マネジメント学会誌 Vol.35, No.2*