



# 分散型台帳技術を用いたセキュリティ ファイナンス取引に関する実証研究

2023年5月30日

日本証券金融株式会社

国立大学法人東京大学大学院  
工学系研究科田中研究室

# 目次

1. 本実証研究の背景と目的 .....	3
(1) 分散型台帳技術とセキュリティトークン .....	3
(2) セキュリティトークンの検討・発行状況 .....	3
(3) 本実証研究の目的・対象 .....	4
2. セキュリティファイナンス取引について .....	7
(1) セキュリティファイナンス取引の概要 .....	7
(2) 市場規模 .....	8
(3) 信用リスクの管理 .....	9
(4) 決済リスクの管理 .....	11
(5) 実証研究の対象とするセキュリティファイナンス取引のスキーム .....	11
3. 実証研究のスキームと構築したブロックチェーン・スマートコントラクト .....	13
(1) 実証研究におけるセキュリティファイナンス取引のスキーム .....	13
(2) 全体のシステム構成 .....	14
(3) ブロックチェーンの構成 .....	16
(4) ブロックチェーン上の記録 .....	17
4. 検証結果 .....	24
(1) セキュリティファイナンス取引の実施に関する検証結果 .....	24
(2) 市場全体を想定したパフォーマンス検証結果 .....	28
(3) 担保銘柄の分散や閾値の設定による純与信額や所要流動性への影響に関する検証 .....	32
5. 実証研究から得られたインプリケーション .....	37
(1) 取引のフェージビリティ .....	37
(2) 決済リスクの削減とくに異種通貨建取引の同時履行 .....	37
(3) 信用リスクの削減や流動性節約の柔軟化 .....	37
(4) 事務の効率化 .....	38
(5) 流動性が低い資産の活用 .....	38
(参考) .....	40
(別紙) .....	44

## 1. 本実証研究の背景と目的

### (1) 分散型台帳技術とセキュリティトークン

分散型台帳技術（DLT）は、幅広く様々な産業分野で研究が進められているが、証券分野への応用についても、多くの試みを実施されている。とくに、どこか 1 か所の特定の施設に中央制御の仕組みを置いてシステム全体を運用することと比べ、分散的に拠点を設置して運用することによって、堅牢かつ業務継続面でも強力な台帳（ここではブロックチェーン上に構築される台帳を指す）管理を伴うシステムを構築できる可能性が注目されている。また、台帳の異動の元となる取引やその事務処理を自動的に処理するスマートコントラクトを結び付けることによって、DVP 決済の実施などのリスク削減や事務処理の効率化が図れるメリットも注目されている。

こうした DLT の有価証券業務への活用にあたっては、セキュリティトークンを活用することが増えている。セキュリティトークンとは、一般には DLT を用いて電子的に発行・管理される証票（トークン）の形態をとった有価証券であると理解されている。

セキュリティトークンについては、上記のようにスマートコントラクトを活用することにより、最終的に台帳で管理される情報処理を高度化することが可能になる。例えば、後述する証券と資金、または証券と証券の交換にあたって、それぞれをトークン化し、期間やレートなどの取引条件や、取引開始・終了時の決済時点など決済情報をスマートコントラクトを活用して処理することにより、最終的な台帳への記入・権利の移転までに要する事務処理の合理化・自動化や事務リスク削減が図れるほか、同時に交換して決済リスク削減を図ることもできる。そのほか、証券の償還や配当などの管理コストを削減できる、証券の小口化・流動化に利用できる、などの可能性があると言われている。こうした観点から、社債や不動産にかかる証券化商品などの分野で、実際にセキュリティトークンを発行する試みが行われている。

### (2) セキュリティトークンの検討・発行状況

セキュリティトークンの検討や発行は、国内外で活発に行われている。

まず、発行市場については、国内では 2020 年 5 月に施行された金融商品取引法の改正により、セキュリティトークンについて「電子記録移転有価証券表示権利等」という概念が金融商品取引法上設けられ、法的な整備がなされたことも契

機となり、実際にセキュリティトークンを発行する取組みが行われている。具体的には、国債や上場株式については、既に効率的かつ堅牢な清算・決済インフラが存在していることもあり、社債や不動産証券化商品などで国債等に比べれば流動性の低い証券を中心に、セキュリティトークンの発行が行われている。

海外でも、国際機関、中央銀行、証券取引所や大手金融機関などが中心となって、トークン化された有価証券の検討や発行が活発に行われている。

また、流通市場については、セキュリティトークンを円滑に取引する場として、流通市場の形成についても議論がなされている。

国内では、証券取引所関係を中心にデジタル証券市場構想やセキュリティトークンの流通市場構想などの動きがある。海外でも、証券取引所がセキュリティトークンを活用した流通市場の実現に向けた検討を続けている。

また、セキュリティトークンの発行・流通のインフラとして、DLT を活用した DVP 決済の仕組みが各国において中央銀行を中心とした各種の機関やそれらが連携することにより研究されている。最近では中央銀行デジタル通貨との関係でも議論が行われている。

### (3) 本実証研究の目的・対象

以上のとおり、我が国においても、セキュリティトークンに関する研究・検討は活発に行われているところであるが、本実証研究においては、次のような理由から証券の流通面で市場に流動性を供給する役割を担っているレポ取引や証券貸借取引（以下これらを総称して「セキュリティファイナンス取引」と呼ぶ）に焦点を当てて実験を行うこととした。

- ① 債券や株式を使用したセキュリティファイナンス取引を通じて、市場参加者は機動的に保有証券の運用や資金調達を行っており、調達された証券や資金は、流通市場での売買の決済、清算機関等に差し入れる担保、日々の資金繰り等に利用される。セキュリティファイナンス取引は、証券の流通市場における流動性を供給し、市場に不可欠なものとなっている。
- ② 実際に我が国のセキュリティファイナンス取引の規模を見ると、1日あたり約 56 兆円<sup>1</sup>の取引があるほか、残高としては債券を利用したもので約 295 兆円、株式を利用したもので約 18 兆円<sup>2</sup>と、大きな市場となっている。
- ③ 今のところ我が国においては、セキュリティファイナンス取引に焦点を当

---

<sup>1</sup> 日本銀行「FSB レポ統計の日本分集計結果」（2022 年 12 月平均）

<sup>2</sup> 日本証券業協会「公社債投資家別条件付売買（現先）月末残高」・「債券貸借取引残高等状況」・「株券等貸借取引状況表」（2022 年 12 月末）

てた研究はさほど見られていない。

本実証研究は、こうしたセキュリティファイナンス取引の分野について、DLTを活用することにより、例えば、①通常は時差を伴う外貨建の証券や担保の授受について、ファイナルではないものの当事者間では同時履行が可能になる、②システムの可用性拡大や事務処理の効率化などのメリットを享受できる、③こうしたメリットを背景に流動性の低い資産を含めた各種の資産を担保として活用できるようになる、といったメリットを得られる可能性があるかを探るものである。

その際、実証研究の対象としては、先端的な分野であって経験を積みながら進めていく性格のものでありフィージビリティにも配慮する必要があることから、次のようなアプローチをとることにした。

- ① 本実証研究は取引当事者間のバイラテラルな関係に焦点を当てるものであり、多くの参加者が利用する取引所や決済システムを構築することを狙いとしなない。したがって、既存の国債、株式その他の有価証券の取引・清算・決済のインフラストラクチャーを、DLTを使って新たなシステムに置き換えることを検討するものではない。
- ② 法令・規制等との関係、具体的にはトークン化の手法や権利の移転の法的構成・方法、業法上の免許や登録の要否といった点は、検討の対象外とし、専ら実務的なフィージビリティに焦点を当てる<sup>3</sup>。
- ③ セキュリティファイナンス取引にトークンを使用する場合、まずトークンの発行が必要であるが、この点についてはその法的な構成も含めて様々なスキームが提案・研究されている。そこで、本実証研究においては、トークンは既に発行されたものとしてセキュリティファイナンス取引そのものにおけるトークンの交換や移転のみを取り扱う<sup>4</sup>。

---

<sup>3</sup> セキュリティファイナンス取引の実施に当たっては、取引当事者は相手方と基本契約および付随する覚書等の契約を締結する。国内では、日本証券業協会が基本契約書の参考様式が広く利用されている。クロスボーダー取引においては、GMRA (Global Master Repurchase Agreement) や GMSLA (Global Master Securities Lending Agreement) などの国際的な標準ひな形が用いられている。このような基本契約および付随する覚書等において、セキュリティファイナンス取引にかかる基本事項・共通事項 (時価や貸借料の算出方法、担保が不足した場合の取扱い等) が定められている。

本実証研究では、こうした契約上の論点についても、検討の対象外とする。

<sup>4</sup> 通貨や証券をトークン化する方法としては、例えば受益証券発行信託のスキームを利用するなど、いくつかの選択肢があると考えられるが、トークン化の手法や裏付資産の移転・管理の方法、業法上の免許や登録の要否といった点も、検討の対象外としている。ま

- ④ 本実証研究においては、「トークンを利用したセキュリティファイナンス取引の決済」というとき、決済とはトークンとトークンを交換することを指しており、資金や証券といった裏付資産が移転することを指すものではない。裏付資産が移転するには、保管振替機関の証券決済システムや中央銀行の資金決済システムにおいてファイナルな決済が行われる必要があるが、これらを完了するには時差が伴い時間的ラグや決済リスクを排除できない。ここでは、取引当事者はあらかじめ「顔の見える」参加者に限ったうえで、当事者間でトークンを交換することにより決済が完了したものとみなして取扱い、裏付資産の管理はトークン管理会社において堅牢な信託等の管理がなされるといった趣旨の契約があらかじめ結ばれていることを前提とする。そのうえで、トークンとトークンを交換することで「取引の決済」として取扱う。

こうした問題意識の下で、日本証券金融株式会社と国立大学法人東京大学大学院工学系研究科田中研究室（以下「東京大学田中研究室」という）は、2021年4月、セキュリティファイナンス取引において、DLTの利用によりトークン化した証券や担保の円滑な取引が可能かについて、実証研究を実施することで合意し、以後共同研究を進めてきた。具体的には、日本証券金融株式会社は、主として実験コンセプトやスキームの立案、関係市場実務の調査、本報告書の取りまとめ、東京大学田中研究室は、データ分析やDLTに関する基本的な技術・システム面の検討を担当した。また、DLTやスマートコントラクトの開発については、株式会社USDに委託して行った<sup>5</sup>。

---

た、本実証研究において実際に裏付資産である通貨や証券の信託等を行っていない。

<sup>5</sup> 本実証研究に参加した各組織のメンバーは、別紙のとおり。

## 2. セキュリティファイナンス取引について

本章では、実証研究の対象としたセキュリティファイナンス取引について、概要を述べる。なお、セキュリティファイナンス取引は非常に多くの経済的・法的・実務的論点を含んでいるが、以下の記述は、本実証研究の対象となる論点に限定している。

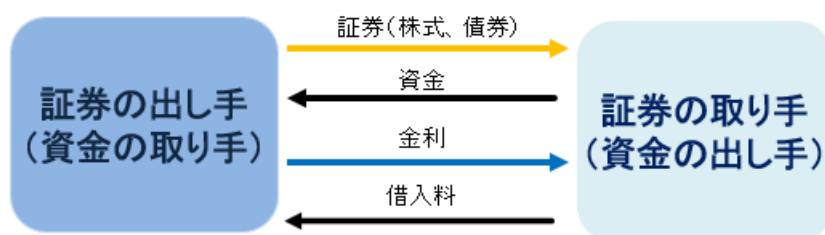
### (1) セキュリティファイナンス取引の概要

セキュリティファイナンス取引とは、一般には資金と証券を相手方と交換し、一定期間後に返還する取引（図表 2-1）であるが、近年ではここから派生し証券と証券を交換する取引（図表 2-2）も活発に行われるようになってきているため、これも含めてセキュリティファイナンス取引と呼ぶ。

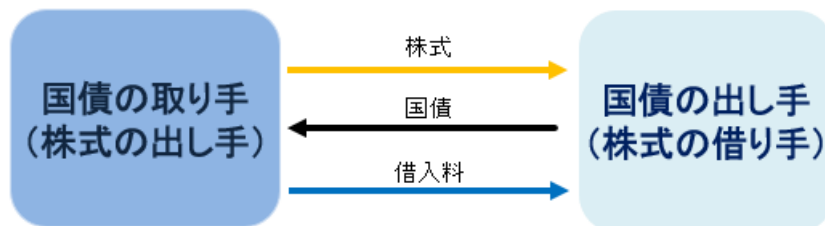
セキュリティファイナンス取引は、資金の貸借と証券の貸借の両面の性質を兼ね備えており、資金の運用・調達ニーズに力点がある場合もあれば、証券の運用・調達に着目する場合もある。近年では、各国で金融規制や清算・決済リスク管理の強化が図られたほか、金融緩和が長期にわたり、その一環として世界的に金融政策による資産買入が行われ各国国債等の信用力の高い証券の希少性が高まったことを背景に、証券の運用・調達ニーズに着目した取引も増加している。証券と証券を交換する取引は、このような背景の下で、例えば保有している株式を国債と交換し、そのうえで資金調達や清算機関への担保に活用するといった目的で行われる（いわゆるアップグレード・レポ）。

資金の運用・調達ニーズにより証券を担保として取引が行われる場合、このような資金貸借的な性格の取引を GC（General Collateral）取引と呼ぶ。一方、個別銘柄の証券に着目した運用・調達ニーズにより資金を担保として取引が行われる場合、このような証券貸借的な性格の取引を SC（Special Collateral）取引と呼ぶ。

（図表 2-1）証券と資金の交換



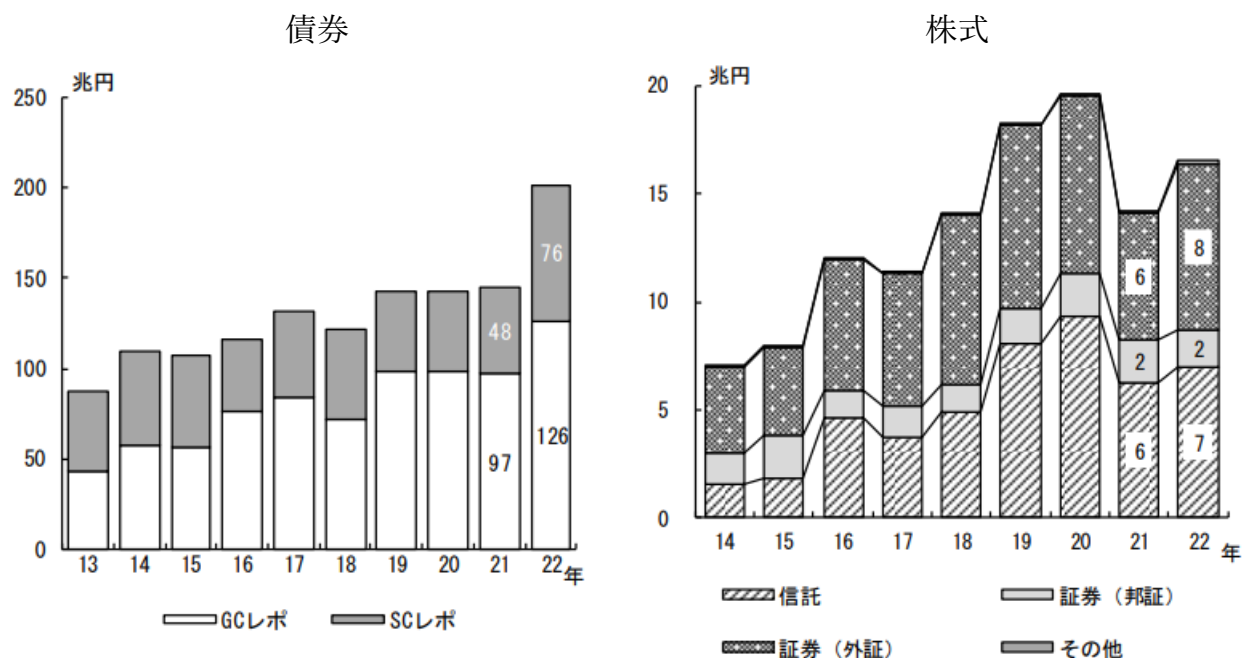
(図表 2-2) 証券と証券の交換



(2) 市場規模

セキュリティファイナンス取引の市場は世界的に拡大を続けている。資金調達面から見ると、有担保取引であり低利で安定的な調達が可能であることから、GC 取引が拡大してきており、2022 年末の我が国の GC 取引残高は 126 兆円に達している。また、上述の担保需要などを含む証券調達目的の SC 取引の増加も顕著になっており、2022 年末の我が国の SC 取引残高は 76 兆円となっている。このように、セキュリティファイナンス取引の市場は、各国の証券・金融市場にとって規模的にも極めて重要な市場となっている。

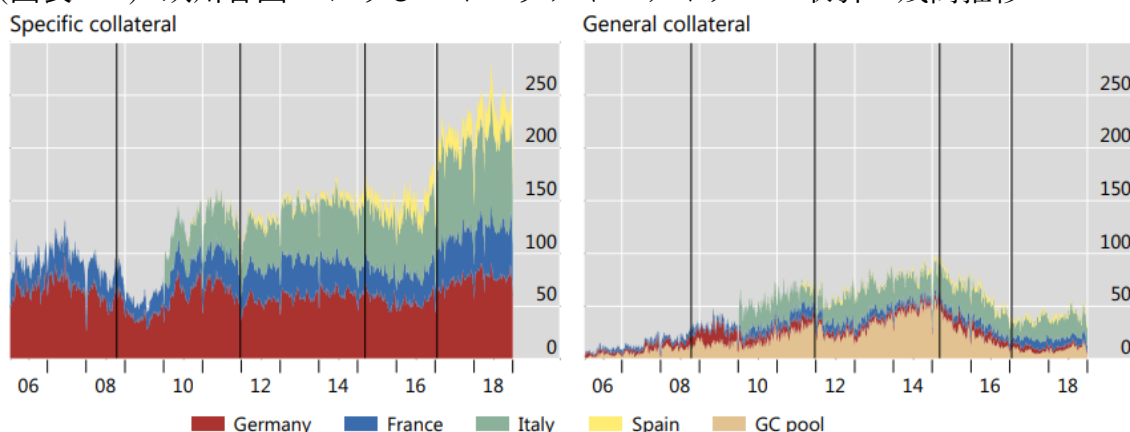
(図表 2-3) 日本におけるセキュリティファイナンス取引の残高推移<sup>6</sup>



<sup>6</sup> 日本銀行「わが国短期金融市場の動向 ―東京短期金融市場サーベイ (22/8月) の結果―」



(図表 2-4) 欧州各国におけるセキュリティファイナンス取引の残高推移<sup>7</sup>



### (3) 信用リスクの管理

セキュリティファイナンス取引は有担保取引であるため、信用リスクはもともと限定されているが、取引対象金額に対して、時価で評価した担保価額が変動することから、その差額が純与信額となり、信用リスク管理が必要となる。主な信用リスク管理手法としては、次の2つがある。

#### ① ヘアカット

セキュリティファイナンス取引において、証券の価格変動リスクや取引相手方の信用リスクを勘案して、証券の価値に一定の掛目を乗じて評価額を算出することをヘアカットと呼び、この掛目を算出する際に用いる率をヘアカット率と呼ぶ。

GC取引の場合は、証券を担保とした資金貸借的な側面を持つことから、ヘアカット率は資金の借り手がデフォルトした場合の担保を現金化した場合の目減りリスクに備えたものとなる。SC取引の場合は、資金を担保とした証券貸借的な側面を持つことから、ヘアカット率は証券の借り手がデフォルトした場合の証券の再購入コスト増に備えたものとしてとらえることができ、この結果、SC取引のヘアカット率はGC取引よりも小さく、場合によってはマイナスになる（取引金額を上回る）こともある。

#### ② マージンコール

セキュリティファイナンス取引のスタート時には、取引対象証券の評価額に

<sup>7</sup> BIS, "BIS Quarterly Review, December 2019, Euro repo market functioning: collateral is king"

上記のヘアカットを加味した額の資金または他の証券との交換が行われるが、取引期間中の価格変動に伴い、当初相手方に差し入れた資金または証券の価値と、相手方から受け入れた資金または証券の価値に乖離が生ずる（この乖離を計算することを値洗いと呼ぶ）。このとき過不足額を相手方に請求し純与信額をできるだけ縮小することで信用リスク管理を行う。これをマージンコールと呼ぶ。

値洗いは、一般的には、当日の証券の終値を基に実施する。値洗いの結果判明した過不足額についてマージンコールが行われるが、一定の閾値を設け過不足額がその範囲に収まっている場合にはマージンコールを行わない取り決めを当事者間で行う場合もある。マージンコールを受けた場合、相手方は内容を確認のうえ、追加の資金または証券の差入れを実施する。

標準的な取引については、マージンコールについても標準化が図られており、例えば日本国債のレポ取引については、買戻・売戻条件付売買取引（現先取引）の場合はマージンコールが行われた当日中、現金担保付債券貸借取引（現担取引）の場合はマージンコールが行われた日の翌日に、相手方は所要の資金の差入れを行う。

一方、クロスボーダーの取引においては、現地のカストディアン<sup>8</sup>を通じた資金・証券のやり取りや、時差が生じることなどから、マージンコールを行ってから実際の資金・証券の受渡までに相手方への途中確認も含めて数日を要するケースもある。こうした負担を軽減するものとして、いわゆるトライパーティ・レポにおいては、当事者間の間にトライパーティ・エージェント<sup>9</sup>が、取引

---

<sup>8</sup> カストディアンは、顧客からの依頼に基づき、証券の保管・管理・決済を行う。また、こうした基本的なサービスに加え、元利金・配当金の受領や、議決権の行使、コーポレート・アクション対応といった付加的なサービスを実施することも多い。

クロスボーダーの取引では、資金や証券はそれぞれの法域の決済機関で決済が行われるため、外貨や外国の証券の決済を行うには、現地の決済機関に口座を有している必要があることから、現地の決済機関に口座を有するカストディアンに決済を委託する。カストディアンは、顧客の代理人として、資金や証券の決済を行う。

顧客と、各国のカストディアンとの間に、グローバル・カストディアンという主体が入ることがある。グローバル・カストディアンは、各国のカストディアンとネットワークを構築し、顧客の証券の保管・決済を一括して取り扱う。グローバル・カストディアンを利用することにより、顧客は各国のカストディアンと個別に契約を結ぶ必要がなくなり、世界各国に投資した証券を一括して管理することができる。

<sup>9</sup> セキュリティファイナンス取引において、取引や担保の管理を行う第三者（カストディアンであることが通常）が取引当事者の間に入るケースがあり、この形態での取引をトラ

当事者に代わって取引・担保の管理を行う。

なお、本実証研究のマージンコールのスキームは、上記のような取引当事者間のバイラテラルなスキームを想定しているが、清算機関（Central Counter Party、以下「CCP」）が債務引受を行ったセキュリティファイナンス取引については、マージンコールについても、清算機関が全取引当事者の間に入って一括して行う<sup>10</sup>。

#### （４）決済リスクの管理

セキュリティファイナンス取引に伴う決済リスクについては、標準的な取引については、決済期間や清算集中によって対応が図られている一方、クロスボーダー取引等必ずしも標準化されていない取引については、トライパーティ・エージェントの利用等によりそうしたリスクの軽減を図っていく対応となる。

また、資金と証券との交換の決済において、時差などによって受払いのタイミングにラグがあると、取引当事者の一方は証券を引き渡したもののもう一方はその対価の資金を受け取れないリスクが生じる。こうしたリスクを削減するために、資金と証券の決済が同時に行われるような仕組み（DVP：Delivery Versus Payment）が重要となる。こうした仕組みは、我が国を含めて主要各国の国内では構築されているほか、これらをクロスボーダーで接続している場合もある。

一方、そうした標準化がなされていないクロスボーダーの取引などでは、決済時間帯が異なる世界各地の決済機関を通じて資金や証券の決済を行う必要があることから、それらが厳密には時差を伴っている場合も少なくない。

#### （５）実証研究の対象とするセキュリティファイナンス取引のスキーム

以上を踏まえて、本実証研究において念頭に置くセキュリティファイナンス

---

イパーティ・レポと呼び。この第三者をトライパーティ・エージェントと呼ぶ。トライパーティ・エージェントは、同社内に開設する担保提供者の口座と担保受領者の口座の間で、必要な担保の授受を、あらかじめ指示された条件に基づいて自動的に実施することで、取引当事者の担保管理に係る負担を軽減する役割を果たす。

<sup>10</sup> 清算機関は、取引当事者の間に入って、双方の債権・債務の取得・引受けを行い、自らが決済の相手方となる。清算機関が間に入ることにより、各参加者は取引相手方との受渡にかかるリスクを削減できるほか、ポジションまたは債権債務を相殺し、差額分のみを決済する差引計算（ネットティング）が行われることにより、決済件数を圧縮し、決済コストを削減することが可能となる。

取引の基本的な流れを概観すると、以下のとおりとなる。

① 約定

取引当事者のフロント部門同士で、金額・証券の銘柄・取引レート・期間等の取引条件に関する交渉・調整を経て、約定が成立する。交渉にあたっては、情報ベンダーのチャットツールなどが広く利用されるほか、電話やメールにより行われることもある。

② 照合

約定成立後、取引当事者のミドル・バック部門間で、約定段階で取り決めた事項を確認する照合が行われる。照合は、メールや FAX を用いて相対で実施されることもあれば、清算機関や証券保管振替機関（CSD）<sup>11</sup>等が提供する集中的な決済照合システムが利用されることもある。

③ 取引開始の決済

照合が完了した取引について、所定の期日に、資金と証券を交換・受渡する決済が行われる。国債や上場株式は、CSD で集中的に管理されているため、取引当事者は CSD に対して、証券の振替を指図する。

④ マージンコール

取引期間中は、証券の価格や為替相場の変動に伴って、当初相手方に差し入れた資金または証券の価値と、相手方から受け入れた資金または証券の価値に過不足が生じるため、値洗いと過不足を解消するためのマージンコールが行われる。

⑤ 取引終了の決済

取引終了日の前営業日に取引当事者のミドル・バック部門間で決済内容の照合を行い、終了日に取引当事者間で資金と証券の受払い（決済）が行われる。決済の実務は③と同様となる。

---

<sup>11</sup> CSD は、証券の保管・管理・決済のためのシステムを運営している。CSD は、証券を集中的に管理し、帳簿の記入による証券の決済（振替決済）を提供している。取引当事者は、それぞれの証券を管理する CSD に口座を開設して証券の振替を実施するか、CSD に口座を有するカストディアン等に決済を委託することとなる。

CSD は、証券の保管・管理・決済といった基本的なサービスのほか、照合や清算に係るシステムの提供や、証券貸借サービスの提供、他の CSD とのリンクによるクロスボーダー決済といった付加的なサービスを提供していることも多い。

### 3. 実証研究のスキームと構築したブロックチェーン・スマートコントラクト

本章では、前章で検討した実証研究の対象とするセキュリティファイナンス取引に即して、証券や資金をトークン化した場合の実証研究におけるセキュリティファイナンス取引のスキームを整理したうえで、これを実現するために構築したブロックチェーン・スマートコントラクトの構成について説明する。

#### (1) 実証研究におけるセキュリティファイナンス取引のスキーム

前章(5)で示した実証研究の対象とするセキュリティファイナンス取引をトークンによって行う場合のスキームとしては、次のようなものを想定した。

##### ① トークン化の対象

セキュリティトークン（以下「ST」）：日本、米国、ドイツそれぞれの国債、上場株式

キャッシュトークン（以下「CT」）：日本円、米ドル、ユーロ各通貨

##### ② トークンの時価の算定方法

ST：各国市場の当日の終値を取得し、これをもとに各国の通貨建で時価を算定。

CT：各国の通貨と同等。

##### ③ 純与信額の算出方法

以上により算定した各 ST、CT の時価をもとに、異種通貨建トークンの取引の場合は当日の米国市場終了後の為替相場を取得したうえで基準とする通貨を指定し当該通貨建に換算することで、すべてのセキュリティファイナンス取引の純与信額を日本時間翌日の市場開始前に算出。過不足額が生じている場合にはマージンコールを実施する（ただし、事前にマージンコールの閾値を設定している場合には当該閾値を超えている場合に限る）。

##### ④ 取引のフロー

前章(5)に記載した取引をトークンによって行う場合のフローは、次のとおり構成した。取引の過程におけるブロックチェーン上の記録の詳細な動きについては、本章(4)で述べる。

- ・ 取引当事者は、トークン管理会社からトークンの発行を受ける（前述のとおりシステム化の対象外）。
- ・ 取引当事者間で約定（マッチング機能はシステム化の対象外）がなされたのち、一方の取引当事者がシステムに取引情報（銘柄・数量・レート・取引期間等）を入力し、もう一方の取引当事者が承認する（現在の事務

の照合に相当)。取引対象の ST、担保の CT、ST ともに、複数銘柄のプールとすることも可能とした。

- ・ 承認が完了した取引については、上記で登録した取引開始時点（即時を含む）が到来すると、サービスサーバがブロックチェーンに対して定期的に行う実行要求する取引開始トランザクション処理<sup>12</sup>に当該情報が含まれ、スマートコントラクトが起動し、決済すなわちトークンの移転の台帳への記録が行われる。この際、取引当事者が決済に必要な量のトークンを保有していない場合は、決済自体が行われず、相手方のトークンも移転しない。
- ・ 取引期間中 ST および CT の時価変動に伴い、毎営業日各取引の値洗いとマージンコールを実施する。なお、マージンコールについては、一定の閾値（金額）を設定し、閾値を超過した場合にのみマージンコールを実施することも可能とした。また、CT のほか複数の ST プールによってもマージンコールが実施できるようにした。
- ・ 取引終了日が到来すると、自動的に取引が終了し、スマートコントラクトにより、相手方から借り入れていたトークンが自動で相手方に引き渡され、貸し付けていたトークンが返還され、その結果が台帳に記録される。この場合においても、取引当事者のどちらか一方が返済すべきトークンを有していない場合は、返済に係る決済は実行されない。
- ・ なお、貸借料や担保金金利の受払は、スマートコントラクトにより CT によって行うこととすればシステム上可能と考えられるが、システム要件簡素化の観点から今回の実証研究の対象外とした。

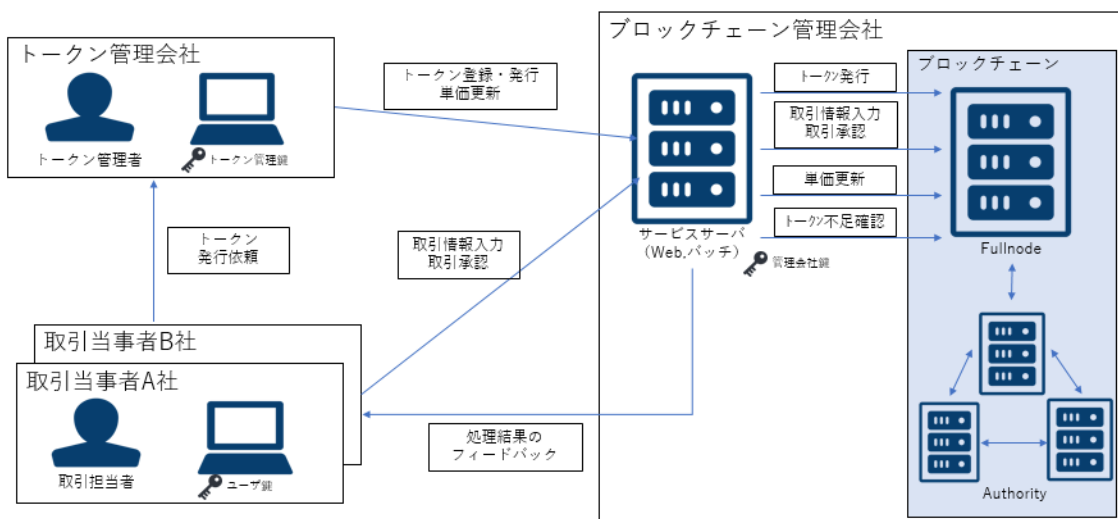
## （2）全体のシステム構成

上記のスキームに基づく実験を行うため、図表 3-1 のような構成のシステムを開発した。これを構成する各主体は、次のような機能を担う。

---

<sup>12</sup> トランザクション処理とは、ここではシステム内で実行される不可分な一連の情報処理をいい、ブロックチェーンがこれを行う。

(図表 3-1) システム構成



(ブロックチェーン内の Fullnode と Authority の区別については後述)

① トークン管理会社

- ・ 取引当事者 (A 社、B 社) の依頼に基づきブロックチェーン管理会社に対してトークン (ST または CT) の発行指示を行い、トークンを発行する<sup>13</sup>。
- ・ トークンの発行後は、日次でトークンの裏付資産の時価情報を取得し、ブロックチェーンに対してトークンの価格更新を指示する。

② 取引当事者 (A 社、B 社)

- ・ トークン管理会社からトークンの発行を受けただうえで、システムに取引情報やその承認の入力を行い、トークンを交換する取引を実施する。

③ ブロックチェーン管理会社

- ・ ブロックチェーン管理会社は、サービスサーバと、ブロックチェーンの双方を管理する。
- ・ サービスサーバにおいては、トークン管理会社や取引当事者から送信される情報の受付と、ブロックチェーンへのトランザクション処理を行う。またブロックチェーンにおける処理結果のトークン管理会社や取引当事者へのフィードバックを行う。トークン管理会社や取引当事者は直接ブロックチェーンにはアクセスできず、サービスサーバを経由する必要がある。
- ・ ブロックチェーンにおいては、サービスサーバから受信した指示に基づきスマートコントラクトによるトランザクション処理、ブロックの生成、取

<sup>13</sup> 本来はトークンの裏付資産を受け入れたうえでそのトークンとの紐づけを管理する必要があるが、このプロセスは前述のとおり開発対象外としている。

引の記録を行う。

### (3) ブロックチェーンの構成

#### ① ブロックチェーンの機能

ブロックチェーンにはスマートコントラクトを構築している。スマートコントラクトには、トークンの時価、所有者別の数量・金額の残高および取引情報（借手、貸手、担保に関する情報<銘柄・数量等>、取引条件<期間、ヘアカット、レート等>）を記録する。

これらの情報は、サービスサーバを經由したトークン管理会社や取引当事者からのトランザクション処理（例えば新たなトークンの価格の指示等）があった場合、履歴を保持する形で更新され、担保価額の再算出や、マージンコールなどを実施する。

#### ② ブロックチェーンの基盤

ブロックチェーン基盤としては Ethereum を利用した。Ethereum は、スマートコントラクトが実装可能なブロックチェーンにおいて、実証研究の実施時点では最も世界で利用されているブロックチェーン基盤であり、東京大学田中研究室における過去の実証研究でも実績があったことが背景となっている。

#### ③ ノードの配置

本実証研究では、図表 3-2 のようなブロックチェーンネットワークを構築した。参加した東京大学、株式会社 USD、日本証券金融株式会社の 3 者それぞれがサーバを構築のうえノードを設置し、トークンの内容、残高や時価等の記録されたブロックチェーンを同期した。

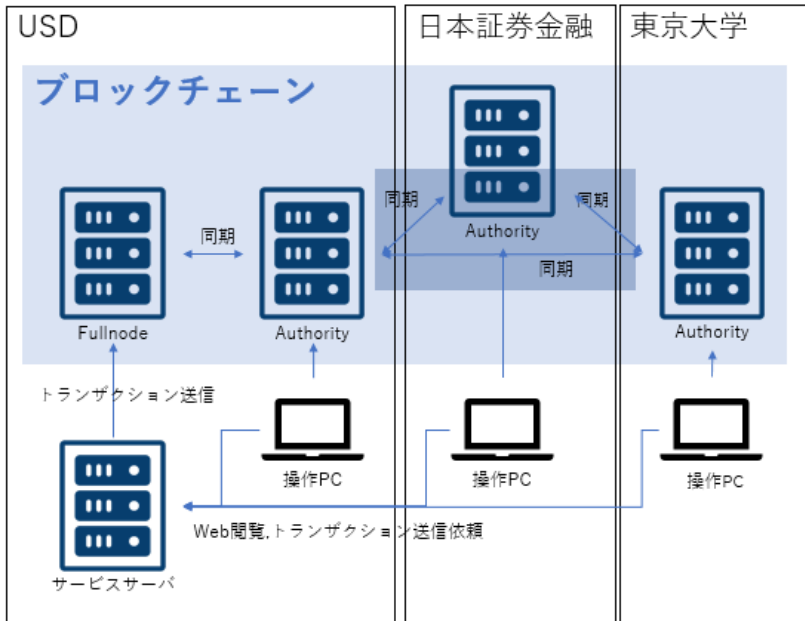
ノードを 3 個としたのは、a. 障害耐性の観点からはノード数は多いに越したことはないこと、b. プロジェクト管理の観点も必要であること、c. 多数決問題（ブロックチェーンが枝分かれした場合長いチェーンが優先されるが、同じ長さのチェーンが生じた場合、偶数だとどちらを優先するか決まらなくなる）への対応を考えれば奇数が望ましいこと、を総合的に勘案したものである。

ノードの構築に当たっては、負荷を分散させるため、ブロックチェーンのノードを Fullnode と Authority の 2 つに分けており、前者はサービスサーバから受信した約定や値洗いなどに関するトランザクション処理を行い、後者はブロックの生成やデータの書き込みなどを行っている。このうち Fullnode は株式会社 USD のみに、Authority は 3 者すべてに設置した。

なお、ブロックの作成は、OpenEthereum にてデフォルトとして採用されている 5 秒おきに行う仕様とした。



(図表 3-2) ブロックチェーンネットワーク



(4) ブロックチェーン上の記録

上記(1)で記載した取引の基本的なフローに基づいて、ブロックチェーン上の記録は、次のように行われる。

① トークンの発行

- ・ トークン管理会社は、取引当事者（A 社）からの依頼に基づき、ブロックチェーンに対して対象トークン・発行先・発行数量を示してトークン発行を指示する。
- ・ ブロックチェーン上に、A 社の残高として、トークンの銘柄名・数量が記録される。

(トークンの発行のワークフロー)

A 社	B 社	トークン管理会社	ブロックチェーン管理会社/ ブロックチェーン上の記録
<p>トークン発行依頼</p> <p>トークン付与</p>		<p>トークン発行指示</p>	<p>トークン発行</p> <p>&lt;トークン&gt; CT@1円</p> <p>&lt;保有トークン&gt; A 社：CT、g 口</p>

## ② 取引の約定・登録・承認

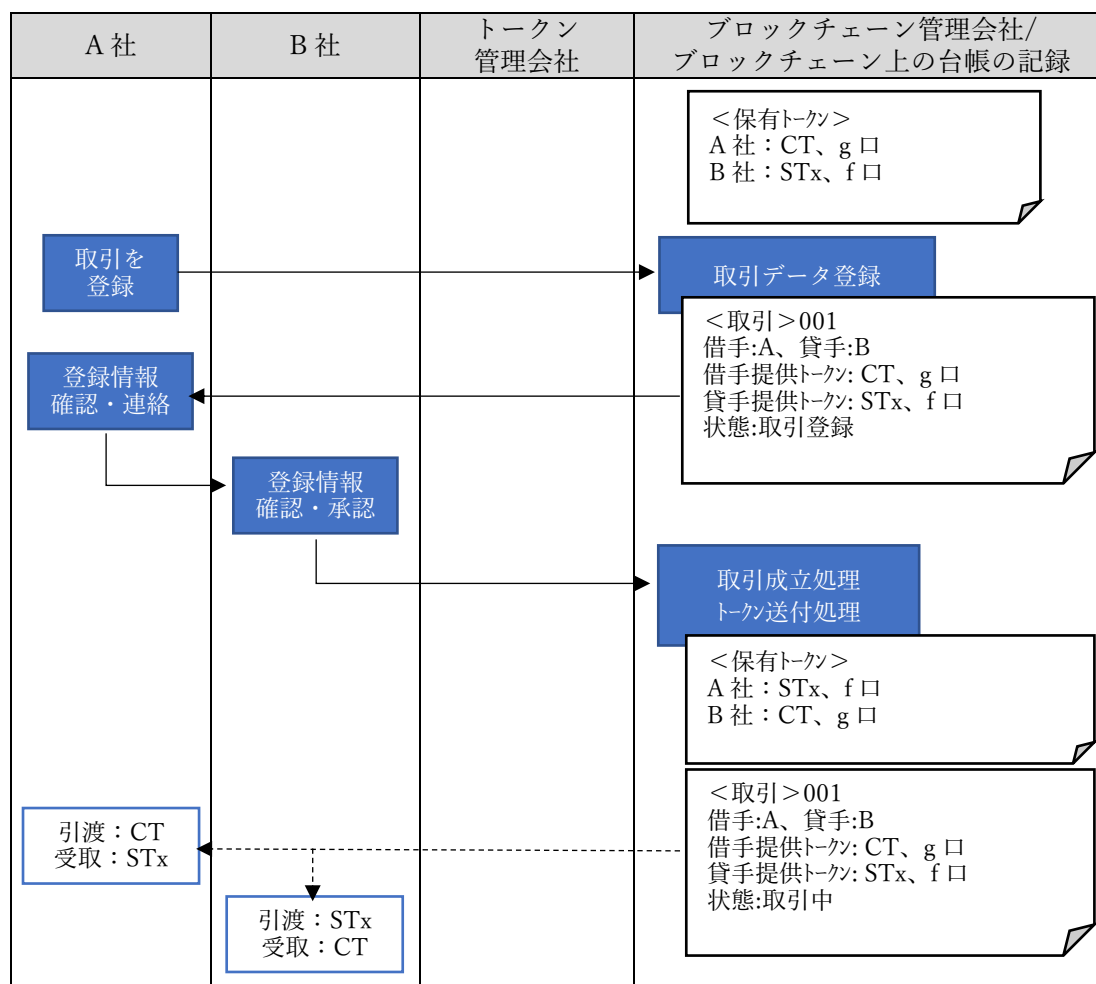
- ・ 取引当事者は、トークン管理会社からトークンの発行を受けたうえで、ブロックチェーン上でトークンを交換する取引を約定する。
- ・ 約定した取引内容に基づき、取引当事者の一方（A社）は、ブロックチェーンに取引情報（引渡す銘柄、数量、受入れる銘柄、取引条件（契約開始日、契約終了日、掛目、通貨、マージンコールの実施時の閾値））を登録する。
- ・ ブロックチェーン上では、A社が登録した取引情報が、【取引登録】のステータスで記録される。この段階ではA社・B社の所有するトークンは移転しない。
- ・ A社が上記の取引情報を入力したのち、取引相手方（B社）は、ブロックチェーン上に登録された取引情報をサービスサーバを通じて確認のうえ、取引の承認を行う。
- ・ B社が承認を行うと、ブロックチェーン上では、B社が承認した取引が、【取引中】のステータスとなり、取引の決済（トークンの移動）が行われる。

## ③ 取引の決済

- ・ 取引が承認されると、指定された取引開始日時が到来次第、取引内容に従って、A社が所有しているトークンがB社に、B社が所有しているトークンがA社に、ブロックチェーン上移転する。
- ・ なお、ブロックチェーン自体は特定の時間に自動的に処理を行なう機能を持たないことから、ブロックチェーン管理会社が、取引開始日時が到来した取引の有無をサービスサーバにて定期的に自動的に確認し、開始すべき取引に関して決済を行うトランザクション処理を行うことで、取引を自動的にスタートさせる。
- ・ 取引の登録・承認を実施したものの、取引開始時点において、一方（A社）のトークンが残高不足の場合には、取引の決済は実施されない。この場合、B社のトークンはA社に引き渡されない。
- ・ 決済が行われなかった取引については、A社が不足しているトークンをトークン管理会社に新たに発行依頼を行って手当てし、決済に必要な残高が充足された時点で、サービスサーバがブロックチェーンに対して定期的に送付する取引開始トランザクション処理に当該情報が含まれ、スマートコントラクトが起動し、自動的に決済が行われる。
- ・ 最終的にA社の残高不足が解消されない場合には、A社を当事者とする取引をすべて停止させる。その後は、状況に応じて損害賠償や保全手続

きに移行することになると考えられるが、その点は実証研究の対象外としている。

(取引登録～決済までのワークフロー)



④ 異種通貨建トークンの取引

- ・ 前述のとおり、日本のほか、米国、ドイツの通貨、国債および上場株式を裏付けとしたトークンを想定し、これら異なる法域の資産を裏付けとしたトークン同士を交換する取引が実施できる環境を構築した。例えば米国債と日本円のトークンの取引は、指定された取引開始日時が到来すると、自動的に決済され、双方のトークンが同時に移転する。
- ・ トークン管理会社は、日次で各国の裏付証券の時価、為替相場を取得し、基準となる通貨（円、ドル、ユーロ）に換算した価額を含めてブロックチェーンに記録する。
- ・ 取引当事者は、異なる通貨間の取引を実施する場合、取引ごとに基準と

する通貨（円、ドル、ユーロ）を指定する。担保価額は、日々更新される為替相場を基に、基準となる通貨で計算され、取引期間中、この通貨建てで値洗いとマージンコールが実施される。

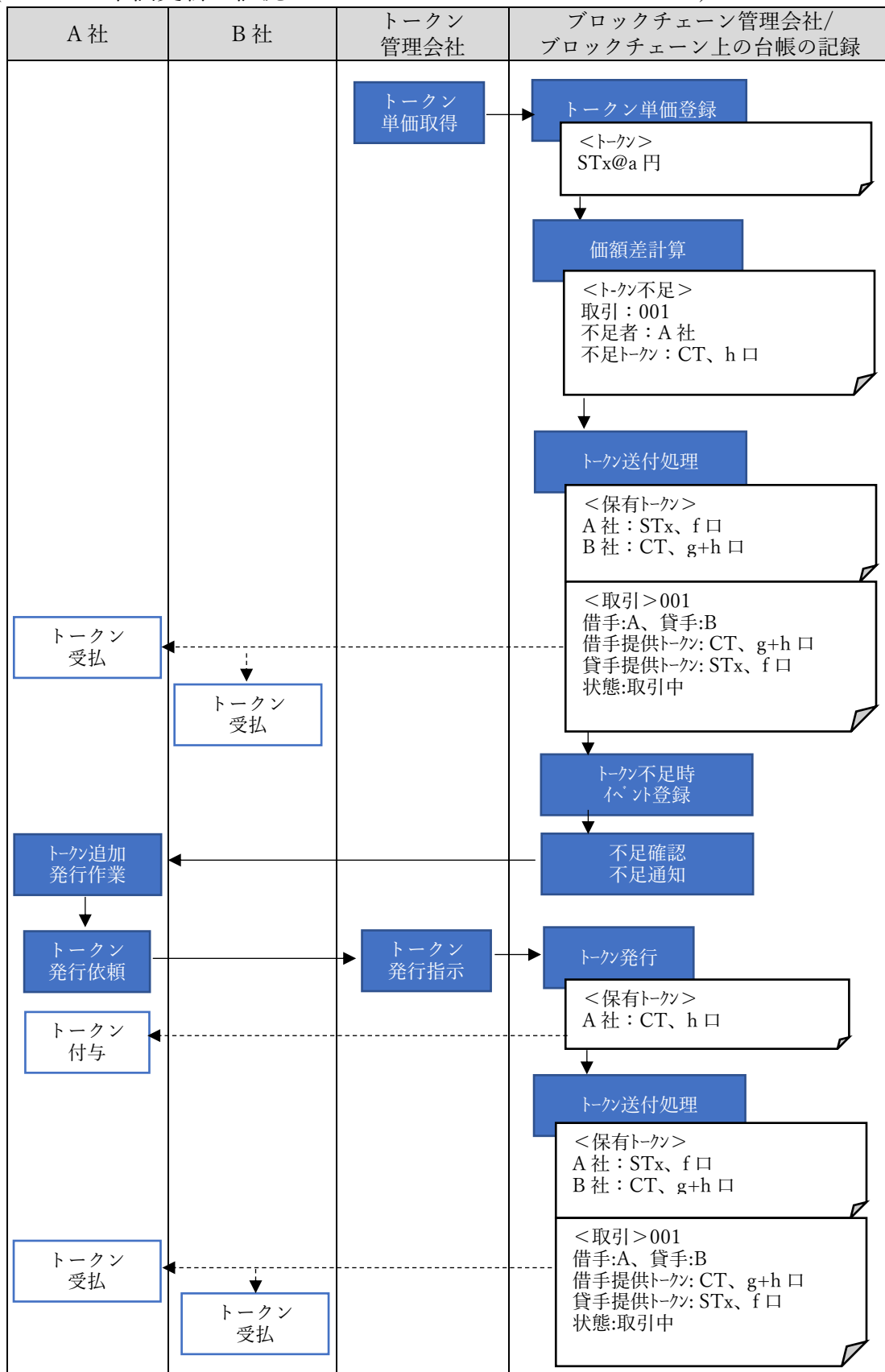
⑤ トークン価格の更新

- ・トークン管理会社は、裏付資産の種類ごとに株価・債券価格・為替相場の終値が公表された時点で価格を取得し、ブロックチェーンに対してトークンの価格の更新を指示する。
- ・ブロックチェーン上では、トークン管理会社から指示された裏付資産の価格に基づき、スマートコントラクトに記録されたトークンの価格が更新される。

⑥ 値洗い、マージンコール

- ・1日に1度（東京時間の市場開始前）、スマートコントラクトが取引の値洗いおよびマージンコールをするよう自動起動する。
- ・ブロックチェーン内において、前述⑤の「トークン価格の更新」プロセスで更新されたトークン価格に基づき、それまで各取引のトークン価額の再算定（値洗い）が行われ、値洗い後、取引当事者双方のトークン価額を比較する。
- ・スマートコントラクトは、トークン価額の差を認識すると、これを解消するオペレーションを自動で実施する。取引開始時に、取引当事者のどちらのトークンでマージンコールを実施するかを取り決めておき、仮に、A社が差し入れているトークンでマージンコールを行う場合には、B社が差し入れているトークンの価値に対して、A社が差し入れているトークンの価値が大きい場合、余剰となっているA社差入トークンがB社から引き戻される。
- ・この例でA社が複数のトークンを差し入れているとき、どのトークンで過不足の調整を行うかは、柔軟に設定できるようにした。例えば複数のSTを担保に一定額のCTを調達（GC取引）する場合、当該複数のSTで調整が可能であり、一方でCTを担保に特定のST調達（SC取引）する場合、CTで調整が可能である。また、複数のSTを担保に複数のSTを調達する場合、担保または取引対象STのいずれか指定された側の複数のSTで調整が可能である。
- ・マージンコールについて閾値が設定されていた場合、値洗い後の貸手・借手のST・CTの価額の差が、当該閾値を超過しない場合は、マージンコールは実施されない。
- ・マージンコール実施時の残高不足の取扱いは、上記③の決済の場合と同様。

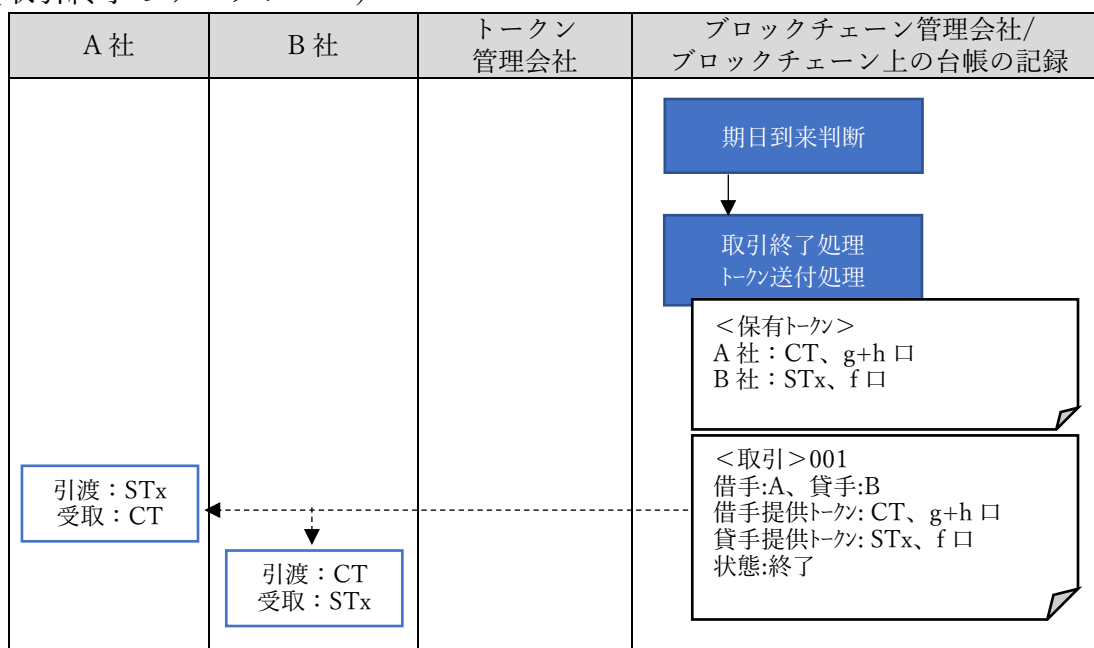
(トークン単価更新・値洗い・マージンコールのワークフロー)



⑦ 取引終了

- ・取引終了日時が到来すると、スマートコントラクト上の取引が【取引終了】のステータスに変わり、借り入れていたトークンが相手方へ引き渡され、貸し付けていたトークンが自動的に返還される。残高不足の場合の取扱いは、上記③と同様。

(取引終了のワークフロー)

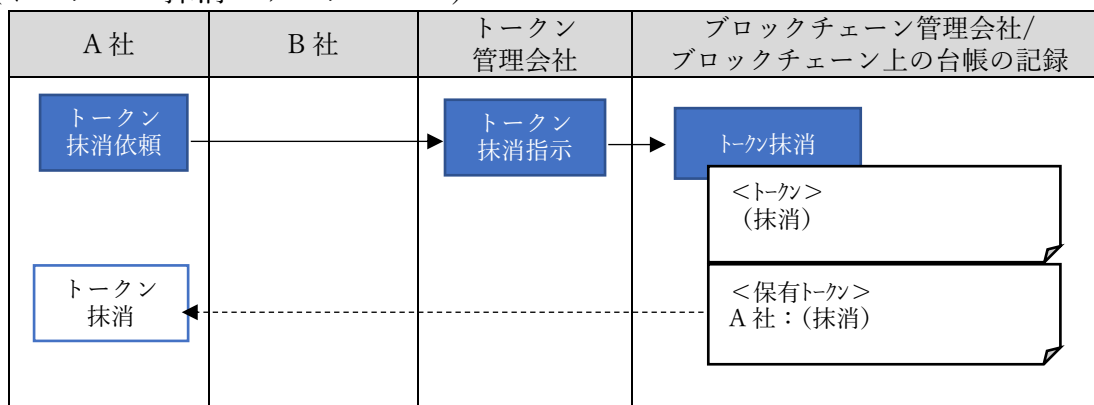


⑧ トークンの抹消

- ・トークン管理会社は、取引当事者（A社）からの依頼に基づき、ブロックチェーンに対してトークン抹消指示（対象トークン・抹消先・発行数量）を実施する<sup>14</sup>。
- ・ブロックチェーン上で、A社の残高から抹消されるトークンの銘柄名・数量が減少する。

<sup>14</sup> トークン抹消の前提として、トークンの発行時に預託していた裏付けの通貨や証券と引き換えに、トークンを抹消することを想定している。

(トークンの抹消のワークフロー)



## 4. 検証結果

### (1) セキュリティファイナンス取引の実施に関する検証結果

まず、トークンによる各種のセキュリティファイナンス取引をブロックチェーンの利用によって行うことが可能か、検証を実施した。検証の結果は以下のとおりである。

#### ① 検証した取引の種類

A社とB社の間で、次の種類の取引（例）を実行した。

- a. 同一の通貨圏の証券と資金を交換する取引
  - ・ 日本株または日本国債のSTを担保として円のCTを調達する取引、およびその逆の取引（CTを担保としてSTを調達する取引）
  - ・ 米国株または米国債のSTを担保としてドルのCTを調達する取引、およびその逆の取引
  - ・ ドイツ株またはドイツ国債のSTを担保としてユーロのCTを調達する取引、およびその逆の取引
- b. 異なる通貨圏の証券と資金を交換する取引
  - ・ 日本国債のSTを担保としてドルのCTを調達する取引
  - ・ 米国株のSTを担保としてユーロのCTを調達する取引
  - ・ ドイツ国債のSTを担保として円のCTを調達する取引
- c. 同一の通貨圏の証券と証券を交換する取引
  - ・ 日本株のSTを担保として日本国債のSTを調達する取引
  - ・ 米国株のSTを担保として米国債のSTを調達する取引
  - ・ ドイツ株のSTを担保としてドイツ国債のSTを調達する取引
- d. 異なる通貨圏の証券と証券を交換する取引
  - ・ 日本株のSTを担保として米国債のSTを調達する取引
  - ・ 米国株のSTを担保としてドイツ国債のSTを調達する取引
  - ・ ドイツ株のSTを担保として日本国債のSTを調達する取引

#### ② 取引期間

以上の各類型について、スタート日からエンド日までが次の期間となるマージンコールを伴う取引を行った。

日中、オーバーナイト、3日、1週間、2週間、3週間（月末を跨ぐもの）

#### ③ 検証の結果

##### a. 取引のスタート

取引のスタートに当たり、まずA社が取引の登録を行うとブロックチェーン上に取引情報の記録が行われ、相手方（B社）の画面に同様の取引情報



が表示され、B社がこれを承認できることを確認した。なお、登録や承認は、それぞれ数秒程度で完了した。

b. 取引期間中のマージンコール（この個所は現在進行中の実験結果に基づき最終化）

トークンの裏付資産の価格を外部から取得し、ブロックチェーンに記録することで、スマートコントラクトがあらかじめ記録された取引情報と結びつけ、取引ごとに両当事者の担保価値を計算して、両者の差額を調整するようトークンの授受を自動的に実施することができた。

具体的には、先述の ST（米国株）を担保に ST（ドイツ国債）を調達する取引を、A社とB社にて図表 4-1 の条件で 2023 年 4 月 19 日（水）に開始した場合、まず ST（ドイツ国債）について、4 月 19 日の終値が公表された時点で自動的に価格を取得のうえブロックチェーンに記録され、4 月 18 日の終値 98.811 が 4 月 19 日の終値 98.759 に変更される。その後 ST（米国株）について、終値が公表された時点で自動的に価格を取得のうえブロックチェーンに記録され、4 月 18 日の終値 161.01 が 4 月 19 日の終値 162.53 に変更される。

為替レート（この取引の場合ユーロ/米ドル）については米国市場終了後に自動的に取得のうえブロックチェーンに記録され、4 月 18 日の終値 1.09253 が 4 月 19 日の終値 1.09753 に変更される。

その後、1 日 1 度（東京時間の翌営業日取引開始前）時価総額を算定し、取引価値の差を解消する。図表 4-1 の例では、4 月 20 日（木）の取引開始前に、ST（ドイツ国債）の 4 月 19 日（水）の終値に基づく時価：50,000,000 口×98.7590 ユーロ÷100×1.09753=54,195,483 米ドルに一致するよう、担保の ST（米国株）の株数が 333,450 株と自動計算され、現在担保として受け入れている株数との差である 335,240 株－333,450 株＝1,790 口が A 社から B 社に自動的に返戻された。

（図表 4-1）ST（米国株）と ST（ドイツ国債）の取引例

	2023/4/19 取引開始時		→	2023/4/20 マージンコール実施後	
	B社借入 ST（ドイツ国債）	A社担保受入 ST（米国株）		B社借入 ST（ドイツ国債）	A社担保受入 ST（米国株）
口数	50,000,000	335,240		50,000,000	333,450
時価単価	98.8110	161.01		98.7590	162.53
ユーロ/米ドル	1.09253	-		1.09753	-
時価総額（米ドル）	<b>53,976,991</b>	<b>53,976,992</b>		<b>54,195,483</b>	<b>54,195,629</b>

※ドイツ国債の時価単価は、額面金額100ユーロあたり

c. 取引のエンド

取引のエンドについては、スマートコントラクトに記録された取引情報に従い、追加でのオペレーションを必要とせず、取引開始日時到来により自動的にエンドの決済（取引対象と担保の交換）を実行することができた。

④ トークンの交換の同時履行

レポ・証券取引において、両当事者の資金または証券の受払のタイミングにタイムラグがあると、一方を引き渡したもののその対価を受け取れないというリスクが生じる。

本実証研究では、約定・登録・承認が完了すると、スマートコントラクトにより自動的に決済が行われ、取引当事者双方のトークンが自動的に相手方の口座に移転される。このとき、取引当事者の一方が相手方に引き渡すべきトークンを用意できなかった場合は、決済が実施されず、相手方のトークンのみが引き渡されない仕組みを実現することができた。

例えば日本株の ST と円の CT の取引開始時に例えば CT が不足していた際は、ST も CT も決済が行われず、A 社がトークン管理会社に必要な CT の発行依頼し、発行後速やかに ST と CT が決済された。なお、決済そのものは、ST と CT の取引のみならず、ST と ST の取引、異種通貨建てのトークン間の取引など、様々なケースでいずれも数秒程度で問題なく実施できた。

⑤ 複数種類のトークンによる担保管理

スマートコントラクトの機能を利用して複数種類のトークン取引や担保管理が可能か、という点を検証した。

具体的には、B 社が担保として複数の ST プールを差入れ、A 社から ST または CT を借り入れる取引において、為替相場を含む ST の価値変動によってマージンコールが必要となった場合、B 社が差入れている複数種類の ST プールの中から、いずれか 1 種類又は複数種類の ST の追加差入れ・返戻を行うことでマージンコールを実施することを試みた。例えば、B 社が A 社から米ドルの CT を借り入れるにあたり、日本株の ST と日本国債の ST を担保として差入れ、これらでマージンコールを実施するという図表 4-2 の取引を 2023 年 4 月 20 日（木）に開始した。

その後、4 月 20 日（木）の終値が、ST（日本株）が 4,125.0 円、ST（日本国債）が 97.32 円、米ドル/円が 134.70 になった。このデータを基に 4 月 21 日（金）の午前 8 時に CT（米ドル）の時価：50,000,000 口×134.70＝6,735,199,500 円に一致するよう、担保の ST（日本株）が 1,000,000 株・ST（日本国債）が 2,682,079,223 口と自動計算され、ST（日本国債）の現在担保

として受け入れている口数との差である 2,633,730,485 口－2,682,079,223 口＝48,348,738 口が B 社から A 社に自動的に追加差入された。

(図表 4-2) CT (米ドル) と複数の ST (日本株および日本国債) の取引例

	2023/4/20 取引開始時			→	2023/4/21 マージンコール実施後		
	B社借入	A社担保受入			B社借入	A社担保受入	
	CT(米ドル)	ST(日本株)	ST(日本国債)		CT(米ドル)	ST(日本株)	ST(日本国債)
口数	50,000,000	1,000,000	2,633,730,485		50,000,000	1,000,000	2,682,079,223
時価単価	1	4,138.0	97.36		1	4,125.0	97.32
米ドル/円	134.04	-	-		134.70	-	-
時価総額 (円)	<b>6,702,200,000</b>	4,138,000,000	2,564,200,000		<b>6,735,199,500</b>	4,125,000,000	2,610,199,500
			<b>6,702,200,000</b>				<b>6,735,199,500</b>

※日本国債の時価単価は、額面金額100円あたり

この場合、A 社は、取引開始時に、実際に差し入れる ST のほか、将来差し入れる可能性のある ST を登録しておく。取引期間中、担保不足が発生した場合は、スマートコントラクトがあらかじめ登録された STの中から自動で追加担保を差入れる。担保となる ST は、銘柄が自動的に選定されるアルゴリズムを組み、既に入っている担保のうち最も時価総額の少ない銘柄を担保として受け入れるようにして、担保プールの中身はなるべく銘柄・時価総額が分散されるような設定とした。

なお、このような複数の ST をプールしたものを担保に他の資産を借り入れることは、証券金融会社の資金調達手段として利用されている短資取引担保株式預り証の仕組みを参考にしている。証券金融会社は保有する様々な株式を証券取引所に寄託し、証券取引所から短資取引担保株式預り証の発行を受け、これを資金調達時の担保として活用している。

## ⑥ 取引の停止

本実証研究においては、ブロックチェーン管理会社の権限で、特定の当事者が実施しているすべての取引を停止させることができるような設計とした。

この場合、特定の当事者が実施している取引については、新規取引、取引返済、マージンコール等が実施されないこととなる。

そのうえで、特定の当事者が実施していた取引について、取引先ごとに取引額が速やかに算定できることとした。

セキュリティファイナンス取引においては、一方の当事者にデフォルト等の債務不履行事由が発生した場合、個別取引の解除や、一括清算ネットティングによる債権・債務を一本化するといった清算手続きが進められる。本機能は、こうした取扱いを念頭に、緊急の場合において、システム上特定の取引当事者の

取引を停止し、かつ、取引額が計算されるようにした。

本実証研究の環境において、下記(2)のパフォーマンス検証において 8 万件の取引が行われている状況において上記の取引の停止および取引額の計算を試みたところ、正しく機能したことを確認した。

## (2) 市場全体を想定したパフォーマンス検証結果

上記(1)の実験においては、個別のバイラテラルな取引の実現可能性について検証したが、本項においては、一定の前提を置いてセキュリティファイナンス取引の市場規模を推計したうえで、市場全体で発生する取引をシステムに投入し、そのパフォーマンスを検証した。

この検証は、次の 2 つの観点から行った。

一つ目は、市場ストレス時や障害で停止していたシステムが復旧したときなどに取引が短時間に集中する可能性がある。こうしたことに、今回構築したブロックチェーンを活用したシステムがどの程度の耐性を有するかを検証することである。

二つ目は、個々の取引は通常時においては短時間に集中するものではない反面、セキュリティファイナンス取引の場合、取引期間中の全取引について必ず毎営業日値洗いとその結果に基づくマージンコールが発生し、その処理はシステムへの負荷が大きい。そのため、その負荷にシステムがどの程度耐性を有するかを検証する。

なお、仮想 CPU コア数：2、メモリ：8GB というスペックの外部クラウドサービスをマシンとして用いて実施した。

### ① 検証の内容・方法

検証内容としては、新規取引登録・承認と値洗い・マージンコール処理の 2 点についてパフォーマンスを計測した。

パフォーマンスは、処理時間により計測した。処理時間は、ある取引指図が送信された時刻と当該取引指図にかかる処理が実行され結果がブロックに記録された時刻の差分として計測した。なお、ブロックの作成は 5 秒おきに行う仕様のため、処理時間には最大 5 秒の誤差が生じることになる<sup>15</sup>。

なお、国内におけるセキュリティファイナンス取引の主要参加者として 20

---

<sup>15</sup> 例えば、ブロック T の作成直後に送信された場合と、次のブロック T+1 の作成直前に送信された場合では、最大 5 秒の差が存在するにもかかわらず、同じ時刻にブロック T+1 に記録されたとみなされるため。

社がこれらの取引を行う想定で、トークンの不足が生じないよう各社に十分なトークンを付与させたうえで検証を行った。

## ② 取引登録・承認についての検証

取引のスタートにおける登録・承認については、取引の集中度合いを3段階に分け、それぞれ取引登録・承認にかかる処理時間を実験した。取引件数については、国内のセキュリティファイナンス取引の規模などを参考に設定した（設定の詳細については参考参照）。

計測した時間は、毎分投入するデータの取引登録および承認プロセスについて、それぞれのデータ投入開始時刻とブロックチェーンへの記録の完了時刻の差とした。

検証結果は以下のとおり。

（図表 4-3）取引登録および承認の処理時間と計算量

取引件数/ 分	処理時間（秒）		計算量（Mgas）	
	取引登録	承認	取引登録	承認
400 件	4.09	7.86	358	285
200 件	5.86	7.98	149	113
100 件	5.85	3.10	87	76

ここで、1分あたり 200 件とは、日本の市場全体で1日で行われる取引が1時間に集中した場合の取引件数、400 件とはその2倍に相当する市場ストレス時を想定したものである。取引件数が増加すると、ブロックに記録するトランザクション件数が増加することから、取引件数の増加に比例して、ブロックチェーンにおける計算量も増加する。

一方で処理時間については、どの取引件数であっても、取引登録も承認も概ね8秒以内に完了した。計算量に必ずしも比例していない理由は、本実証研究で開発したシステムでは、5秒おきにブロックを作成する仕様としているため、トランザクションをブロックチェーンに記録するタイミングで最大5秒の計測誤差が生じたことが挙げられる。これを勘案すると、400件以内の取引であればいずれも実質的な処理時間に大きな差異はなかったと考えられる。

いずれも今回の実証研究環境における検証の結果であり、マシンのスペック等に大きく左右されると考えられる。

## ③ 値洗い・マージンコール処理についての検証

値洗い・マージンコール処理についても、取引期間中（エンド未到来）の取

引量（件数）を3段階に分け、これら全取引について値洗い・マージンコール処理を実施する際の処理時間を検証した。取引件数については、国内のセキュリティファイナンス取引の実施状況を基に設定した（設定方法の詳細は参考参照）。

計測した時間は、更新された裏付資産の時価および為替相場に基づいて各取引の担保価額の再算定（値洗い）を開始した時刻と、その後の取引当事者双方の担保価額の過不足算出および必要なトークンの移転（マージンコールの決済）がブロックチェーンに記録された時刻の差とした。

検証結果は以下のとおり。

（図表 4-4） 値洗い・マージンコール処理の処理時間と計算量

取引件数	処理時間（秒）	計算量（Mgas）
8万件	2,628	21,025
4万件	362	10,485
2万件	151	5,246

ここで、8万件とは、日本の市場全体のセキュリティファイナンス取引の1/3が一つのブロックチェーン管理会社に集中して処理されたと仮定した場合のマージンコール処理件数である。

2万件の処理に151秒、4万件の処理に362秒（約6分）、8万件の処理に2,628秒（約44分）を要した。8万件の処理については一定の時間（通常バッチ処理で想定される時間に比べれば短いとは言える）を要したものの、処理自体は最後まで実施することができた。

値洗い・マージンコール処理にあたっては、スマートコントラクトにおいて、①取引期間中の取引一覧から値洗い対象となる取引を検索し、②取得した取引で使われているトークンの情報をトークン一覧から検索したうえで、③両当事者のトークンの時価総額を算出し、④それらの過不足を埋め合わせる決済処理を行っている。今回の実証研究ではこの流れを取引ごとに実施したが、このようなやや複雑な計算プロセスに加え、特に①においてエンド未到来の取引数が増えるにつれて検索処理が増え、該当する取引を見つけ出すのに高い負荷がかかり、時間を要した。なお、これについても、パフォーマンスはマシンのスペックに大きく依存すると考えられる。

#### ④ パフォーマンス検証結果のまとめ

以上をまとめると、パフォーマンス検証により、次のような結果が得られたと考えられる。

- ・ 取引のスタートに関しては、一日に市場全体で行われる取引が1時間に集中して行われたり、その2倍となるような市場ストレス時を想定しても、登録・承認処理は円滑に実施された。
- ・ 値洗い・マージンコールの処理に関しては、市場全体に存在する取引期間中（エンド未到来）の取引の1/3が一つのブロックチェーン管理機関に集中するといった事象を想定しても、一定の時間はかかるものの処理可能であった。
- ・ 取引のスタートは平常時にはストレス時のような集中は生じない一方、値洗い・マージンコールについては、取引期間中毎営業日必ず生じる性格のものであることから処理が重く、この点は、マシンの性能に依存すると考えられる。

(3) 担保銘柄の分散や閾値の設定による純与信額や所要流動性への影響に関する検証

担保とするトークンの銘柄数や、マージンコールを実施する際に閾値を設定するかどうかにより、純与信額や所要流動性にどのような影響があるか、以下のとおりシミュレーションを実施した<sup>16</sup>。

① 設定したモデル

株式の ST を担保とした、通貨の CT 取引を行い、株式の ST の入れ替えによって、担保調整（マージンコール）を実施する。これを、リーマンショック前後（2008年10月～2009年8月）について4つの局面（シナリオ）に分けたうえで、実際の株価データを投入して次の6つのモデルに沿って行う。

・局面（シナリオ）

シナリオ 1. 担保資産価値に大きな変動なし（平常時）（2009/7/1～2009/8/31 の 62 日間）

シナリオ 2. 担保資産価値が急落（2008/10/1～2008/12/1 の 62 日間）

シナリオ 3. 担保資産価値が急騰（2009/3/1～2009/5/1 の 62 日間）

シナリオ 4. 担保資産価値が乱高下（2008/11/1～2009/1/1 の 62 日間）

・モデル

（モデル 1-1） 単一の ST と CT を交換する取引

（モデル 2-1） 複数（5 銘柄）の ST と CT を交換する取引（マージンコールは ST のうち 1 銘柄で実施）

（モデル 3-1） 複数（5 銘柄）の ST と CT を交換する取引（マージンコールは ST 5 銘柄が常に同額を保つよう実施）

（モデル 1～3-2） 上記各モデルにおいて、マージンコールを実施する際の閾値として 2% を設定

そのうえで、次の項目について検証する。

- ・マージンコール実施前の日々の純与信額
- ・マージンコール発生回数

---

<sup>16</sup> 以下の分析は、丸岡賢人「有価証券貸借取引における担保価値調整の自動化を目的としたブロックチェーンプラットフォームの研究」（2023年3月）を基礎としている。



- ・ マージンコール実施額
- ・ 入替を行ったトークン数

## ② 検証結果

検証結果は以下のとおり。なお、いずれのシナリオもモデル 1-1 の結果を 1.000 とした場合の値としている。

シナリオ1. 平常時	モデル1-1	モデル2-1	モデル3-1	モデル1-2	モデル2-2	モデル3-2
純与信額	1.00	0.96	0.96	1.23	1.11	1.14
マージンコール発生回数	1.00	1.00	1.00	0.21	0.20	0.20
マージンコール実施額	1.00	0.96	1.23	0.65	0.64	0.71
入替トークン数	1.00	0.95	0.56	0.65	0.65	0.37
シナリオ2. 急落	モデル1-1	モデル2-1	モデル3-1	モデル1-2	モデル2-2	モデル3-2
純与信額	1.00	0.94	0.95	0.99	0.95	0.97
マージンコール発生回数	1.00	1.00	1.00	0.49	0.54	0.56
マージンコール実施額	1.00	0.94	1.02	0.91	0.92	0.98
入替トークン数	1.00	0.93	0.61	0.91	0.90	0.60
シナリオ3. 急騰	モデル1-1	モデル2-1	モデル3-1	モデル1-2	モデル2-2	モデル3-2
純与信額	1.00	0.81	0.78	1.06	0.90	0.82
マージンコール発生回数	1.00	1.00	1.00	0.44	0.39	0.36
マージンコール実施額	1.00	0.81	0.99	0.90	0.70	0.72
入替トークン数	1.00	0.78	0.49	0.91	0.67	0.38
シナリオ4. 乱高下	モデル1-1	モデル2-1	モデル3-1	モデル1-2	モデル2-2	モデル3-2
純与信額	1.00	0.84	0.84	1.04	0.92	0.91
マージンコール発生回数	1.00	1.00	1.00	0.43	0.43	0.44
マージンコール実施額	1.00	0.84	0.96	0.85	0.78	0.86
入替トークン数	1.00	0.84	0.56	0.85	0.77	0.52

### a. 平常時

#### a-1 平常時で閾値を設けないケース

まず、シナリオ1の平常時について閾値を設けないケースをみると、純与信額については、担保が1銘柄であるモデル1-1と、担保が5銘柄であるモデル2-1・3-1を比較すると、担保が5銘柄の方が4%程度低下した。これは分散効果が働いたことによるものと考えられる。

マージンコールの発生回数は、少しでも純与信が発生すると直ちにマージンコールを行うため各モデルとも基本的に毎営業日マージンコールが発生しており、違いはなかった。

担保の分散を行った場合のマージンコールの実施額は、担保分散を行

純与信額の変動を抑制すれば理屈上は減少するはずで、現にモデル 2-1 においてはモデル 1-1 に比べ 4%程度低下している。一方モデル 3-1 においては逆に 20%程度増加しているが、これは、複数の担保銘柄が同額を保つようマージンコールを実施する場合、時価の上昇した銘柄と下落した銘柄を相殺できず各銘柄をそれぞれ調整する必要があることから、グロスではマージンコール実施額が増加したためであると考えられる。

入替トークン数については、担保が 1 銘柄であるモデル 1-1 と、担保は 5 銘柄だがうち単一銘柄のみで担保調整を行うモデル 2-1 を比較すると、入替トークン数は減少した。これは分散効果が働き、担保の価格変動が抑えられたためと考えられる。なお、単一銘柄により担保調整を実施するモデル 2-1 と、複数銘柄により担保調整を実施するモデル 3-1 を比較すると、後者の方が入替トークン数が少なくなっているが、これはモデル 2-1 にて担保調整に利用した単一銘柄の時価単価が小さく、一定金額を調整するのに多くのトークン個数を要した一方、モデル 3-1 は時価単価の高い銘柄も含まれて調整を行ったため、トークン個数としては少なくなったと考えられる。

#### a-2 平常時で閾値を設けたケース

一方閾値を設けた場合、純与信額は閾値を設けない場合に比べ 10~20% の増加となっており、純与信額が閾値に達してマージンコールが実施されるまで日数を要していたことがうかがえる。

マージンコール発生回数については、モデル 1-2・2-2・3-2 については、いずれもマージンコール発生回数が閾値がなかった場合と比較して 2 割程度まで抑制された。

マージンコール実施額については、どのモデルも閾値を設けたほうが小さくなる。

入替トークン数は、閾値を設けるとどのモデルでも減少した。

#### b. 市場急変時

平常時には担保銘柄の分散や閾値の設定が以上のような効果を持つことを踏まえ、市場急変時にこれがどのように変化するかについて以下分析する。

##### b-1 閾値を設けないケースで市場変動が生じた場合

純与信額は、担保価値が急落した場合でもマージンコールを実施することにより 5%程度減少している。担保価値が急騰すれば純与信額が 20%程度減少するのは直観的に自然で、乱高下した場合にも、比較的大幅に純与信額が減少している。

マージンコールの実施回数はどのモデルでも同じであるのは平常時と

同じであった。

マージンコール実施額は、モデル 2-1 の場合概ね純与信額と同じ動きをしており、急落した場合でも 5%程度、急騰した場合 20%程度、乱高下した場合その中間の 16%程度の減少がみられる。モデル 3-1 の担保銘柄を分散したケースにおいてかえってマージンコール実施額が増加する理由は、上記の平常時の場合と同様と考えられる。

入替トークン数は、モデル 2-1 においては、急落した場合でもわずかに平常時より減少しているほか、急騰、乱高下のケースではより明確に減少しているが、これは、純与信額やマージンコール実施額とほぼ同様の動きと考えられる。またモデル 3-1 では大きく減少しているが、この理由は平常時と同じと考えられる。

#### b-2 閾値を設けたケースで市場変動が生じた場合

閾値を設けた場合、まず純与信額は、平時には増加していたのに対して、担保価額が急落するケースでも減少する。特にモデル 2-2 では銘柄分散効果も加わって 5%程度の減少がみられる。これは、市場変動が急であることから平時に比べて短時間で純与信額が閾値を超えマージンコールが実施されることが多くなるためであると考えられる。

実際に、マージンコール発生回数は平時と比べて減少しているものの、平時では 2 割程度に減少するのに対して、市場急変時には半分程度に止まる。

またマージンコール実施額も、平時には大きく減少していたが、市場急変時には特に急落の場合、閾値を設けていないケースとほぼ同水準となっている。入替トークン数も同様の動きとなっている。

すなわち、市場急変時には、閾値を設けていても、マージンコールの与信リスク管理機能が発揮されて純与信額が減少するほか、銘柄分散効果も加えればマージンコール実施額すなわちマージンコールの差し入れ側の流動性も十分節約できるという結果となった。

### ③ 考察

セキュリティファイナンス取引において、担保を受け入れる側からすれば、流動性の向上や純与信額の低減の観点から、受け入れる銘柄はなるべく分散されている方が望ましい。一方で、銘柄が多数に及ぶと、現状の事務フローでは評価や管理、担保入替にかかる事務負担が増加する。

トークンであればこうした工程はすべて自動化されるため問題とならず、上記のように銘柄分散効果と閾値の設定を適切に組み合わせることにより、純与信額や所要流動性を抑制できる可能性が生まれると考えられる。

また、こうした効果は、平時、市場急変時を通して得られるものの、閾値と銘柄分散を組み合わせることによる与信リスクの削減や流動性節約の効果は、むしろ市場急変時にこそ見られるという結果となった。

## 5. 実証研究から得られたインプリケーション

本実証研究から得られたインプリケーションを改めて整理すると、次のとおりである。

### (1) 取引のフィージビリティ

各種のセキュリティファイナンス取引については、異種通貨建資産を交えたもの、証券のトークンと証券のトークンを含め、様々な取引期間を設定し、その間マージンコールを円滑に行うことができることを確認した。

### (2) 決済リスクの削減とくに異種通貨建取引の同時履行

ブロックチェーン技術を活用すれば、トークンとトークンを同時に時差なく交換できる。外貨や外貨建ての証券にかかる取引を実施する場合、資金や証券の振替にあたって現地振替機関において現地時間に実施する必要がある。このため、取引の決済完了やマージンコールの完了までに時差を生じるのが一般的である。例えば日本の金融機関が米国債を借り入れる場合、取引の約定および照合を行った後、基本的にはその翌営業日の米国時間すなわち日本時間の深夜に決済が行われるため、日本の金融機関が決済を確認できるのはそのさらに翌営業日の朝ということになる。マージンコールについても、例えば外貨で決済を行う場合は海外現地時間に決済されるため、日本の金融機関による決済確認は日本時間の夜間や翌朝となる。

本実証研究では、裏付資産が異なる通貨建の資産であっても、約定後に取引をブロックチェーンに登録・承認後は、ブロックチェーン上のトークンとトークンの交換としては自動的にリアルタイムで実施することができた。また、マージンコールについては、取引当事者のオペレーションを要することなく、1日1回、直近の時価の更新に伴って自動的に実施できた。

### (3) 信用リスクの削減や流動性節約の柔軟化

ブロックチェーン技術を利用してマージンコールを自動化して事務負担を軽減することによりマージンコールを行いやすくなり、結果的に信用リスクを削減できる可能性があることを確認した。

また、担保となるトークンの銘柄を分散したり、複数の銘柄でマージンコールにおける担保調整を行うことも、自動化によって事務負担をほぼなくした形で行うことが可能となる。その結果、担保価値については純与信額の変動が小さくな

り、信用リスク管理にポジティブな影響があると考えられる。また、マージンコールに伴う事務負担を軽減する意味合いもあってマージンコール実施のトリガーとなる純与信額に閾値を設けるケースにおいては、自動化により事務負担そのものは軽減できるため、閾値を設ける意味合いはむしろマージンコールの回数増加に伴うシステム負荷の抑制となる場合も出てくると考えられる。

また、閾値を設けるとその範囲内では純与信の発生を許容することから、その限りでは純与信額が増加するが、その効果は担保銘柄や担保調整に使用する銘柄を分散することにより軽減又は相殺することも可能であることが確認できた。

さらに、このように閾値と銘柄分散効果を組み合わせることによる与信リスクの削減効果や流動性節約効果は、市場急変時にこそ見られるという結果となった。

#### (4) 事務の効率化

セキュリティファイナンス取引にブロックチェーンを利用することで、約定後に取引をブロックチェーンに登録・承認した後は、取引の開始・終了に係る決済や、取引期間中のマージンコールについて、スマートコントラクトによってあらかじめ定めた条件に従って人手を介することなく自動的に実施することができた。

この結果から、ブロックチェーンを活用することでセキュリティファイナンス取引事務の STP 化・効率化、事務リスク管理が図れる可能性があると考えられる。特に、ブロックチェーンを利用した取引の登録・承認スキームを導入することにより、外国との取引情報のやり取りやステータス確認に要する事務・時間を大幅に削減し、取引の効率化が図れる可能性がある。

#### (5) 流動性が低い資産の活用

非上場株式などの一部の流動性の低い証券は、券面の移動や名簿の書き換えなどが必要となるなど、権利を移転させることに手間と時間を要するケースがある。

これら流動性が低い資産について、本実証研究のようなトークン化をすることにより容易に権利を移転することが可能となると考えられる。そのため、流動性の低い資産であっても保有するのみでなく、セキュリティファイナンス取引の担保として活用できる余地が生まれると考えられる。

例えば、今回の検証のように、CT と交換する ST について、流動性の低い資産を信託等を活用してトークン管理会社の管理下に置いたうえで発行すること

が考えられる。

また、STのみならず、CTについても、次のような方法をとれば、流動性の低い資産を含む企業の資産プールを裏付資産としたうえで、CTの価値は1CT=1円などに固定したうえで、セキュリティファイナンス取引に用いることができる。流動性の低い資産を含む裏付資産のプールの価値を常に一定の掛け目を加算した1を上回る価値にしておくように管理することによって、個々の低流動性資産の評価をCTと1対1対応させずとも、CTの価値を1円に固定することができる（前述の短資取引担保株式預り証と同様のスキーム）。

さらに、このように担保としての利用価値が向上することに伴って、原資産の評価価値自体が向上する可能性もあり得ると考えられる。

本実証研究においては、セキュリティファイナンス取引にブロックチェーンを結び付けることにより、以上のように様々な活用可能性があることが分かった。プロジェクト管理の観点から対象外とした論点も少なくないが、今後とも内外の技術革新動向に目配りしつつさらに研究を重ねていくこととしたいと考えている。

以 上

(参考)

パフォーマンス検証結果で用いた、1日あたりのセキュリティファイナンス取引の取引件数および1日あたりのセキュリティファイナンス取引の値洗い・マージンコール処理対象取引件数については、公表データおよび当社取引実績から、以下のように推計した。

1. 1日あたりのセキュリティファイナンス取引の取引件数  
(株式)

- ・清算取引と非清算取引のシェアは、前者 70%・後者 30%<sup>17</sup>

単位：億円

	残高	シェア
清算取引	67,983	70%
非清算取引	29,316	30%
全平均	96,534	100%

※株式vs現金の証券の受け月末平均残高（2019年1月～2021年12月の平均値）

- ・ほふりクリアリングの債務引受の状況（貸株分）における 2021 年度の清算取引銘柄数 3,726,272 および清算取引と非清算取引のシェアから、非清算取引銘柄数を 1,606,863 と試算のうえ、それらを営業日で除して合計することで、1日平均取引銘柄数を 21,857 と推計<sup>18</sup>

	年間合計			1日平均		
	銘柄数	数量(百万株)	金額(億円)	銘柄数	数量(百万株)	金額(億円)
2021年度清算取引	3,726,272	49,858	1,236,846	15,272	204	5,069
2021年度非清算取引(推計)	1,606,863	21,500	533,359	6,586	88	2,186
2021年度清算・非清算合計(推計)	5,333,135	71,358	1,770,205	<b>21,857</b>	292	7,255

※証券振替の実行（渡方DVP参加者からほふりクリアリングへの振替）に係る件数、数量及び金額を記載

営業日： 244

- ・GC取引とSC取引の割合は、前者 48%・後者 52%<sup>19</sup>

単位：億円

	GC取引	SC取引	全体
残高	47,469	50,615	98,084
シェア	48%	52%	100%

※株式vs現金の証券の受け月末平均残高（2019年1月～2021年12月の平均値）

<sup>17</sup> 日本銀行「証券金融取引におけるヘアカットの定量分析—国債レポ取引を中心に—」図表 10-1

<sup>18</sup> 証券保管振替機構「統計データ 一般振替DVP制度3 債務引受の状況（貸株分）その1」2021年度

<sup>19</sup> 前出注1図表 10-1



- ・ 当社実績（2022年4月～2022年9月）から、GC取引とSC取引の1約定の平均銘柄数は、前者24.55銘柄・後者4.05銘柄
- ・ 外貨と円貨の比率は、前者2%・後者98%<sup>20</sup>
- ・ これらの数値を基に、以下のとおり推計
  - 株のセキュリティファイナンス取引のGCの1日あたり取引件数 =  $21,857 \text{ 銘柄} \times 48\% \div 24.55 \text{ 銘柄} \times (98\% + 2\%) \div 98\% = 436 \text{ 件}$
  - 株のセキュリティファイナンス取引のSCの1日あたり取引件数 =  $21,857 \text{ 銘柄} \times 52\% \div 4.05 \text{ 銘柄} \times (98\% + 2\%) \div 98\% = 2,864 \text{ 件}$

#### （債券）

- ・ 現先取引（円貨）の1日あたり取引件数として、5,237件<sup>21</sup>
- ・ 現先取引（外貨）の1日あたり取引件数は、円貨88%・外貨12%<sup>22</sup>とすると、 $5,237 \times 12\% / 88\% = 714 \text{ 件}$
- ・ 現先取引と証券貸借取引の比率は、前者70%・後者30%<sup>23</sup>
- ・ 証券貸借取引（円貨）は、 $5,237 \times 30\% / 70\% = 2,244 \text{ 件}$
- ・ 証券貸借取引（外貨）は、円貨83%・外貨17%<sup>24</sup>とすると、 $2,244 \times 17\% / 83\% = 460 \text{ 件}$
- ・ これらを合計すると、債券のセキュリティファイナンス取引の1日あたり取引件数は、 $5,237 + 714 + 2,244 + 460 = 8,655 \text{ 件}$
- ・ 株式と債券を合計すると、1日あたりのセキュリティファイナンス取引の取引件数は、 $436 + 2,864 + 8,655 = 11,955 \text{ 件}$ （約12,000件）と推計
- ・ この取引が1時間にわたって集中的に取引される仮定し、その場合1分あたりに取引される取引件数を  $12,000 \div 60 \text{ 分} = 200 \text{ 件}$ とした。この200件を基に、市場ストレスが生じた場合として2倍の400件と、半分の100件の3パターンを、本実証研究のパフォーマンス検証で実施した。

---

<sup>20</sup> 前出注1図表10-1

<sup>21</sup> 日本銀行「FSBレポ統計の日本分集計結果」2022年8月末までのピーク（2022年7月1日）

<sup>22</sup> 前出注1図表6-1、図表7

<sup>23</sup> 前出注6

<sup>24</sup> 前出注1図表6-1、図表7

## 2. 1日あたりのセキュリティファイナンス取引の値洗い・マージンコール処理対象取引件数

### (株式)

- ・貸付期間の分布割合を以下のとおり算出<sup>25</sup>のうえ、株のセキュリティファイナンス取引のGCの1日あたり取引件数436件を、貸付期間の分布を基に分割し、それぞれの平均値洗い回数(=日数)を乗じて合計すると、1日あたりの株のセキュリティファイナンス取引のGCの値洗い・マージンコール処理対象取引件数として6,012件を推計

	オーバーナイト	2日以上	1週間超	1か月超	3か月超	オープンエンド	合計
割合	1%	3%	7%	2%	5%	81%	
1日あたり取引件数	5	13	32	10	22	353	436
平均値洗い回数	0	4	19	60	180	2	
1日あたり取引件数 ×平均値洗い回数	0	50	609	623	4,023	706	6,012

- ・同様に、株のセキュリティファイナンス取引のSCの1日あたり取引件数2,864件を、貸付期間の分布を基に分割し、それぞれの平均日数を乗じて合計すると、株のセキュリティファイナンス取引のSCの1日あたりのセキュリティファイナンス取引の値洗い・マージンコール処理対象取引件数として39,489件と推計。

	オーバーナイト	2日以上	1週間超	1か月超	3か月超	オープンエンド	合計
割合	1%	3%	7%	2%	5%	81%	
1日あたり取引件数	36	82	210	68	147	2,320	2,864
平均値洗い回数	0	4	19	60	180	2	
1日あたり取引件数 ×平均値洗い回数	0	330	3,998	4,093	26,428	4,641	39,489

### (債券)

- ・貸付期間の分布割合を以下のとおり算出<sup>26</sup>のうえ、債券のセキュリティファイナンス取引の1日あたり取引件数8,655件を、貸付期間の分布を基に分割し、

	オーバーナイト	2日以上	1週間超	1か月超	3か月超	合計
割合	37%	15%	29%	15%	4%	
1日あたり取引件数	3,201	1,300	2,505	1,336	315	8,655
平均値洗い回数	0	4	19	60	180	
1日あたり取引件数 ×平均値洗い回数	0	5,198	47,587	80,139	56,639	189,563

<sup>25</sup> 前出注1 図表 10-1

<sup>26</sup> 前出注1 図表 6-1、図表 7、図表 9

それぞれの平均日数を乗じて合計すると、債券の 1 日あたりのセキュリティファイナンス取引の値洗い・マージンコール処理対象取引件数として 189,563 件と推計。

- これらを合計し、1 日あたりのセキュリティファイナンス取引の値洗い・マージンコール処理対象取引件数は、 $6,012+39,489+189,563=235,064$  件（約 240,000 件）と推計。
- 本実証研究のパフォーマンス検証では、1 日あたりのセキュリティファイナンス取引の値洗い・マージンコール処理対象取引件数約 240,000 件の 1/3（80,000 件）、1/6（40,000 件）、1/12（20,000 件）の 3 パターンを実施。

(別紙)

本実証研究に参加した各組織のメンバー

(役職名は、現在もしくは実証研究に携わっていた当時のもの)

1. 日本証券金融株式会社

岡田 豊 (執行役専務)

下山田 守邦 (執行役専務、当時：執行役員 業務開発部長)

由元 裕二 (執行役員、当時：執行役員 業務開発部長)

石山 健司 (業務開発部長)

小野寺 哲也 (金融証券営業部 証券営業課長、当時:業務開発部 開発戦略課長)

玉井 優介 (業務開発部 企画役)

石山 卓実 (決済管理部)

2. 国立大学法人東京大学大学院工学系研究科田中研究室

田中 謙司 (東京大学大学院工学系研究科 技術経営戦略学専攻 准教授)

鈴木 亮太 (東京大学大学院工学系研究科 技術経営戦略学専攻 学術専門職員)

丸岡 賢人 (東京大学大学院工学系研究科 技術経営戦略学専攻)

松下 寛典 (東京大学大学院工学系研究科 システム創成学専攻)

3. 株式会社 USD

上原 正士 (代表取締役社長)

山崎 雄飛 (エンジニア)

大木 浩武 (エンジニア)