

シンガポールにおける官民連携の 金融資産トークン化プロジェクトの進展

北野 陽平

■ 要 約 ■

1. シンガポールでは昨今、シンガポール金融管理局（MAS）主導で 2022 年に開始された官民連携の金融資産トークン化プロジェクトである「プロジェクト・ガーディアン」が進展している。同プロジェクトの下では、伝統的な金融機関により、債券、資産運用、外国為替の 3 分野における資産トークン化のユースケースの開発・実験が進められている。
2. MAS は 2024 年 11 月、プロジェクト・ガーディアンの下で金融業界におけるトークン化の普及を促進すべく、債券と資産運用の各分野におけるトークン化の業界標準や最良慣行等を提供する枠組みを公表した。それらの枠組みは、国際的な業界団体の協力を得て策定され、トークン化のユースケースを拡充させる上で重要と考えられる。
3. 債券のトークン化に関する「ガーディアン・フィクスト・インカム・フレームワーク」では、トークン化のメリット、運用モデル、設計原則、リスク及びリスク低減等が提供されている。ケーススタディの 1 つとして、レポ取引（買い戻し条件付き売却取引）を用いたクロスボーダーでのトークン化債券の発行が取り上げられており、デジタル資産に関する法律や規制が異なる法域間でも円滑な取引が可能であることが示されている。
4. ファンド持分のトークン化に関する「ガーディアン・ファンド・フレームワーク」でも、トークン化のメリット、運用モデル、リスク等が提供されている。ケーススタディとして、マネー・マーケット・ファンド（MMF）持分トークン化のユースケースが取り上げられているが、既存のプロセスやワークフローの再設計が必要となる可能性も指摘されている。
5. 今後シンガポールが、これまでに実験されてきたユースケースのスケール化に加えて、決済等の時間短縮及びコスト削減やスマートコントラクトによるプロセス自動化以外の追加的なメリットが得られる新たなユースケースの開発を進めることで、金融業界における資産トークン化の普及を実現できるか注目したい。

野村資本市場研究所 関連論文等

- ・北野陽平「シンガポールで拡大するセキュリティトークン市場」『野村資本市場クォーターリー』2021 年春号。
- ・北野陽平「シンガポールで活発化する金融資産のトークン化－官民連携による資産トークン化プロジェクトを中心に－」『野村資本市場クォーターリー』2024 年春号。

I 官民連携で金融資産トークン化を推進するシンガポール

シンガポールでは昨今、金融資産等をブロックチェーン上でデジタルトークン¹に変換（トークン化）する動きが活発化している。その中核になっているのが、シンガポール金融管理局（MAS）主導で 2022 年に開始された官民連携の金融資産トークン化に係るプロジェクト、「プロジェクト・ガーディアン」である²。プロジェクト・ガーディアンは、金融業界における資産トークン化の経済的ポテンシャルと付加価値のあるユースケースの模索を目的としている。同プロジェクトが開始された背景として、当時シンガポールでは、セキュリティトークン（デジタル証券）の発行・流通プラットフォームがプレゼンスを高めつつあった一方、伝統的な金融機関によるセキュリティトークンの取り扱いが限定的であったことが挙げられる³。

プロジェクト・ガーディアンの下では、①オープンで相互運用可能なネットワーク、②トラスタンカー、③資産トークン化、④デジタル資産への分散型金融（DeFi）プロトコルの応用、の 4 分野におけるユースケースが開発・実験されている⁴。MAS は、いずれかの分野に関心のある金融機関の参加を歓迎してきた。同プロジェクトが開始されてから約 2 年間、各金融機関は MAS と連携して個別に資産トークン化のユースケースの開発・実験に取り組んでいた。MAS は、それらのユースケースを金融業界で展開していくため、2024 年 6 月に、債券（fixed income）、資産運用、外国為替の 3 分野のワークストリーム（作業部会）を立ち上げることを発表した⁵。各ワークストリームは、グローバル金融市場協会（GFMA）、国際資本市場協会（ICMA）、国際スワップ・デリバティブ協会（ISDA）等の国際的な業界団体と協力し、それぞれの分野における業界共通の枠組みを開発してきた。

その後、MAS は 2024 年 11 月、プロジェクト・ガーディアンの下で、金融業界における資産トークン化の普及を促進するための計画を公表した⁶。その中には、債券と資産運用の各分野における業界標準や最良慣行等を提供する業界共通の枠組み導入が含まれる。これらの枠組みは、金融業界における資産トークン化のユースケースを拡充させる上で重要な役割を担うと考えられる。

本稿では、プロジェクト・ガーディアンの下での金融資産トークン化の取り組みの進展を概観し、債券と資産運用の各分野における業界共通の枠組みの内容について整理する。

¹ デジタルトークンとは、暗号化により安全性が確保されており、保有者が便益を受けるまたは特定の機能を実行できる電子データユニットを指す。

² MAS によると、金融資産トークン化のメリットとして、金融仲介業者が不要となることで決済の時間短縮、コスト削減、リスク低減につながること等が挙げられている。

³ 詳細は、北野陽平「シンガポールで活発化する金融資産のトークン化—官民連携による資産トークン化プロジェクトを中心に—」『野村資本市場クォーターリ』2024 年春号参照。

⁴ DeFi とは、特定の仲介業者や管理者を必要としない金融サービスを指す。トラスタンカーとは、Defi のプロトコル（自律的に稼働するための取り決め）への参加者を選別・認証し、検証可能な資格情報を発行する役割を担う規制金融機関を指す。

⁵ MAS, “MAS Expands Industry Collaboration to Scale Asset Tokenisation for Financial Services,” June 27, 2024.

⁶ MAS, “MAS Announces Plans to Support Commercialisation of Asset Tokenisation,” November 4, 2024.

II プロジェクト・ガーディアンの進展

1. 金融資産トークン化に取り組む金融機関の増加

MAS が 2022 年 5 月にプロジェクト・ガーディアンを開始して以降、同プロジェクトの下で資産トークン化に取り組む金融機関は着々と増加しており、参加金融機関（取引所や決済機関を含む）は 2024 年 11 月時点で 27 社（グループ、以下同じ）となった。内訳を見ると、債券、資産運用、外国為替の各ワークストリームに参加する金融機関はそれぞれ 14 社、16 社、9 社であり、複数のワークストリームに参加する金融機関も多い（図表 1）。ユースケースとして、債券分野では資産担保証券のトークン化やレポ取引（買い戻し条件付き売却取引）を用いたトークン化債券の発行等、資産運用分野ではマネー・マーケット・ファンド（MMF）、変動資本金会社（VCC）ファンド、プライベート・クレジット・ファンドの持分のトークン化等が挙げられる⁷。

また、MAS は、プロジェクト・ガーディアンの下で、クロスボーダーでの金融資産トークン化の取り組みを促進すべく、他国の金融規制当局等との協力も拡大している。MAS は 2023 年 10 月、日本の金融庁、英国の金融行為規制機構（FCA）、スイスの金融市場監督当局（FINMA）と協力し、政策当局グループを立ち上げた。この目的として、①異なる法域間でのデジタル資産ネットワークの設計及び市場の最良慣行に関する共通基準の開発、②クロスボーダーでのデジタル資産の開発に資する相互運用性に係る高い基準の促進、等が挙げられている。2025 年 4 月現在、政策当局グループには、ドイツ連邦銀行、フランス銀行、国際通貨基金（IMF）、世界銀行も参加している。

⁷ VCC は、2020 年にシンガポールで導入された新たなファンド形態である。VCC の詳細は、北野陽平「新たなファンド形態の導入でさらなる発展が期待されるシンガポールの資産運用業界」『野村資本市場クォーターリー』2020 年秋号参照。

図表1 プロジェクト・ガーディアンに参加している金融機関の取り組み分野とユースケース

金融機関	ワークストリーム	ユースケース(要約)
ADDX	債券、資産運用	・コマーシャルペーパーのトークン化 ・証券及びプライベート市場ファンドの流動性供給と流通市場取引
アルタ・エクステンジ	資産運用	・プライベート・クレジット・ファンド持分のトークン化
アント・グループ	外国為替	・グローバル財務管理
アポロ・グローバル・マネジメント	資産運用	・変動資本金会社(VCC)ファンドを含むポートフォリオ管理の効率化
オーストラリア・ ニュージーランド銀行	債券	・コマーシャルペーパーのトークン化
バンク・オブ・ニューヨーク・メロン	外国為替	・クロスボーダーの外国為替決済
シティグループ	債券、資産運用、 外国為替	・ブロックチェーン上での値決め及び取引執行 ・マネー・マーケット・ファンド(MMF)持分のトークン化と外国為替 スワップ・ソリューション
DBS銀行	債券、外国為替	・レポ取引を用いたトークン化債券の発行 ・トークン化債券及び預金の売買と担保付き貸借取引
ドイツ銀行	資産運用	・ファンド持分をトークン化する資産運用会社向け資産サービシング
ユーロクリア	債券	・ローン商品のトークン化と標準化
フィデリティ	資産運用、 外国為替	・MMF持分のトークン化と外国為替スワップ・ソリューション
フランクリン・テンプレトン	資産運用	・VCCファンドのトークン化
ハミルトン・レーン	資産運用	・プライベート・クレジット・ファンドのトークン化
香港上海銀行 (HSBC)	資産運用	・仕組み商品のトークン化 ・VCCファンド持分のトークン化における資産サービシング
JPモルガン	債券、資産運用、 外国為替	・トークン化債券及び預金の売買と担保付き貸借取引 ・VCCを含むポートフォリオ管理の効率化
ムーディーズ	債券	・トークン化債券のリスク分析
ノーザン・トラスト	債券	・グリーンボンドの環境データのトークン化
OCBC銀行	外国為替	・クロスボーダーの外国為替決済
フィリップ証券	資産運用	・プライベート・クレジット・ファンド持分のトークン化
S&Pグローバル	債券	・デジタル資産市場における分析枠組み、評価、ベンチマーク提供
SBIデジタル・アセット ホールディングス、 SBIデジタル・マーケット	債券、資産運用、 外国為替	・レポ取引を用いたトークン化債券の発行 ・トークン化債券及び預金の売買と担保付き貸借取引 ・VCCファンド持分のトークン化における資産サービシング
シュローダー・ インベストメント・マネジメント	資産運用	・VCCファンド持分のトークン化
SGXグループ	債券	・トークン化債券の上場枠組み策定
スタンダードチャータード銀行	債券、資産運用	・資産担保証券のトークン化 ・VCCファンド持分のトークン化における資産サービシング
ティー・ロウ・プライス・ アソシエイツ	債券、外国為替	・ブロックチェーン上での値決め及び取引執行
UBS、 UBSアセット・マネジメント	債券、資産運用	・レポ取引を用いたトークン化債券の発行 ・VCCファンド持分のトークン化
ユナイテッド・ オーバーシーズ銀行	資産運用	・仕組み商品のトークン化

(注) 2024年11月時点。

(出所) MAS, “MAS Announces Plans to Support Commercialisation of Asset Tokenisation - Annex A List of Participants in Project Guardian Industry Group”より野村資本市場研究所作成

2. 金融業界における資産トークン化の普及促進

シンガポールでは、資産トークン化に取り組む金融機関が増加傾向にあり、ユースケースも広がりつつあるものの、業界全体で幅広く採用されている状況にはない。そこで、MASは2024年11月、プロジェクト・ガーディアンの下で、金融業界における資産トークン化の普及を促進するための計画を公表した。同計画は、以下の4点から構成されている。

1点目は、トークン化された資産を商用化及びスケール化するためのネットワーク構築を通じた流動性向上である。これまで資産トークン化の取り組みが個別に行われてきたことで、市場が分断され、結果的にトークン化のメリットが十分に顕在化してこなかった。そこで、MASは、資産トークン化の発行・流通市場における流動性向上に資する金融機関間のネットワーク構築を支援する方針である。

2点目は、円滑なクロスボーダー取引を促進するための市場インフラの開発である。トークン化資産を商用化するためのネットワーク構築やネットワーク間の取引を可能にするためには、基礎となるブロックチェーンベースのデジタルインフラが必要となる。そこで、MASは2023年、そうしたデジタルインフラの開発を目的としたグローバル・レイヤー・ワン（GL1）という取り組みを開始した。GL1の参加金融機関には、バンク・オブ・ニューヨーク・メロン、シティグループ、JPモルガン、三菱UFJフィナンシャル・グループ、ソシエテ・ジェネラル等が含まれる。MASは、今後GL1に参加する金融機関が増加し、デジタルインフラのエコシステム拡大につながることを期待している。

3点目は、金融資産トークン化に関する業界共通の枠組み導入である。MASは2024年11月、債券と資産運用の各分野における業界標準や最良慣行等を提供する業界共通の枠組みを公表した。それらの枠組みは、GFMAやICMA等の国際的な業界団体の協力を得て、各ワークストリームに参加する金融機関により策定された。債券分野の枠組みは「ガーディアン・フィクスト・インカム・フレームワーク（GFIF）」、資産運用分野の枠組みは「ガーディアン・ファンド・フレームワーク（GFF）」と呼ばれる。

4点目は、トークン化資産のための共通決済手段の開発である。MASは、トークン化された金融資産の安全な決済には、規制された信頼性の高いトークン化貨幣が必要と考えており、シンガポールドルのホールセール型中央銀行デジタル通貨（CBDC）⁸が共通決済手段の1つとなり得ると見ている。MASは、そうした共通決済手段への金融機関のアクセスを促進するため、既存の金融市場インフラとの相互運用性が確保された試験的なネットワークを導入する。

上記のうち、金融業界における資産トークン化のユースケース拡充という点で、業界共通の枠組みが広く認知・利用されることが特に重要と考えられる。そこで、次章以降では、GFIFとGFFの内容について説明する。

⁸ ホールセール型CBDCとは一般的に、金融機関間の取引やクロスボーダー決済に利用されるCBDCを指す。詳細は、北野陽平「中央銀行デジタル通貨で先行するアジア主要国の取り組みーシンガポール、タイ、インドの事例ー」 「野村資本市場クォーターリー」2024年冬号参照。

Ⅲ 債券トークン化に関する業界標準等を提供する GFIF

GFIF では、債券トークン化のメリット、運用モデル、設計原則（design principle）、リスク及びリスク低減策等についての業界標準や最良慣行が提供されており、ケーススタディも示されている。以下では、これらの点について整理する。

1. 債券トークン化のメリット

従来型の債券では、最低取引額の大きさを理由として、投資可能な投資家が限られているという状況も見られる。例えば、シンガポールで提供されている社債の大部分はホールセール債であり、最低取引額が 25 万シンガポールドル⁹となっている。トークン化により債券が効率的に小口化されることで、個人を含むより幅広い投資家によるアクセスが可能となる。また、トークン化された債券では、従来型の債券と比較して、発行・決済の時間短縮やコスト削減も可能となる（図表 2）。さらに、トークン化債券では、特定の条件が満たされた場合に決められた処理が自動的に実行される仕組みであるスマートコントラクトがブロックチェーン上で利用されることで、債券発行体が投資家への利払いや満期時の償還プロセスを自動化することもできる。

図表 2 債券のライフサイクルにおける従来型モデルとトークン化モデルの比較

段階	従来型モデルの概要・特徴	トークン化モデルの特徴・メリット
発行市場	発行	<ul style="list-style-type: none"> ・発行コストを削減 ・発行に要する時間を短縮 ・債券の条件(利払い等)をカスタマイズ可能
	所有	<ul style="list-style-type: none"> ・主に証券集中保管機関やカストディアンが所有権を記録 ・決済に数日を要する ・仲介業者が不要 ・所有権を即時移転 ・小口化が可能
	保管	<ul style="list-style-type: none"> ・カストディアンが集中的に保管 ・保管手数料が高い ・分散型の透明な保管 ・暗号化セキュリティにより安全性を向上
流通市場	トレーディング	<ul style="list-style-type: none"> ・市場の取引時間においてのみ取引可能 ・仲介手数料が高い ・24時間365日いつでも取引が可能 ・仲介業者なしでの取引が可能 ・流動性を向上
	決済	<ul style="list-style-type: none"> ・清算機関を通じた決済 ・複数の仲介業者が関与 ・決済が遅れる可能性 ・即時決済 ・決済の確実性を確保 ・決済コストを削減
	資産 サービシング	<ul style="list-style-type: none"> ・定期的な利息の支払い ・利息等の支払いが遅延する可能性 ・利息等の支払いを自動化 ・透明性のある支払いスケジュール
	規制及び コンプライアンス	<ul style="list-style-type: none"> ・規制対応へのコスト ・文書作業の負担が大きい ・要件が法域間で異なる ・規制遵守を自動化できる可能性
	報告及び監査	<ul style="list-style-type: none"> ・記録を集中管理 ・手作業での報告及び監査 ・仲介業者間の複雑な突合作業 ・改ざんできない記録 ・監査の自動化及びリアルタイムでの報告 ・突合作業を効率化
満期及び償還	<ul style="list-style-type: none"> ・仲介業者を通じた手作業での償還プロセス ・満期時に即時償還 	

（出所）MAS, “Guardian Fixed Income Framework”より野村資本市場研究所作成

⁹ 2025年4月11日時点の為替レートは1シンガポールドル=108.8円。

2. 債券トークン化のための運用モデルと設計原則

1) 債券トークン化のための運用モデル

債券のトークン化には2種類のプロセスがある。1つは、従来型の債券をブロックチェーン・ネットワーク上でデジタルトークンに変換するものである。もう1つは、債券が現実世界において存在せず、完全にブロックチェーン・ネットワーク上でデジタルトークンとして作成・発行・保管するものである。GFIFでは、前者はデジタルツイン、後者はデジタルネイティブと呼ばれるが、両者を一括りにしてトークン化債券と総称されている。トークン化債券の発行・流通・保管においては、従来型の債券とは異なる運用モデルを採用することが求められる。トークン化債券のための運用モデルとして、以下の4つが示されている。

1つ目は、デジタル証券集中保管機関（CSD）を設立するモデルである。これは、従来型のCSDがブロックチェーンベースのレジストリ（登録簿）に基づくCSDを個別に設立するものである。このモデルのメリットとして、①規制当局により監督され、コンプライアンスの確保とリスク低減が可能、②債券の発行毎に異なる保管プラットフォームが用いられる場合よりもコストが削減され、投資家にとっての利便性向上にもつながる、③確立された保管メカニズムにより資産管理ミスが生じるリスクが低減される、といった点が挙げられる。

2つ目は、従来型CSDを拡張するモデルである。これは、デジタル資産プラットフォームを従来型のCSDインフラと統合するハイブリッドモデルである。このモデルのメリットとして、①既存のシステムと新しいデジタルインフラとの相互運用性を確保できる、②トークン化の取り組みをコスト効率的にスケール化することが可能、③トークン化資産と従来型資産の両方の発行・決済・保管の柔軟性を確保することで、幅広い市場参加者のニーズに対応できる、といった点が挙げられる。

3つ目は、伝統的な金融機関がデジタル資産ネットワークを運営するモデルである。これは、各金融機関が独自のデジタル資産プラットフォームを開発・運用し、トークン化資産の発行・決済・保管という一貫したプロセスを提供するものである。このモデルのメリットとして、①資産の種類、発行手順、顧客の要件に合わせてプラットフォームをカスタマイズ可能、②プロセスを完全に監視・制御でき、透明性の確保やリスク低減が可能、③リスク管理やコンプライアンス等の他の内部システムと統合して円滑なネットワーク運用を実現可能、といった点が挙げられる。

4つ目は、サードパーティー（第三者事業者）がデジタル資産ネットワークを運営するモデルである。これは、サードパーティーが運営するオープンで相互運用可能なブロックチェーン・ネットワーク上で、トークン化資産の発行・決済がスマートコントラクトにより行われるものである。スマートコントラクトは、金融機関または発行体により管理される。このモデルのメリットとして、①決済、移転、コンプライアンスチェック等のプロセス自動化によりオペレーションコストを大幅に削減可能、②リ

アルタイムでの決済が可能、③発行体がビジネスニーズと規制遵守に適したネットワークを選択可能、といった点が挙げられる。

2) 債券トークン化のための標準化された設計原則

GFIF では、債券トークン化のための標準化された設計原則が提供されており、①発行体の存在の真正性、②トークン化債券の法的有効性、③監督・規制当局の認可及び同意、④トークン化プロセス、⑤台帳の条件、⑥スマートコントラクトの最低要件、⑦トークン化の条件、⑧トークン化債券の取引条件の公表、⑨台帳及びスマートコントラクトの機能に関する情報、⑩リスク管理、から構成されている（図表 3）。同原則は、デジタルツインとデジタルネイティブの両方を対象としており、法域、運用モデル、トークン化に関する技術に関係なく適用可能なものとなっている。

図表 3 債券トークン化のための設計原則

原則	概要
発行体の存在の真正性	<ul style="list-style-type: none"> ・トークン化債券の発行から償還までの期間中、発行体及び保証人（存在する場合）は、関連する法律または条約・協定の下で正式に設立され、存在が真正であること ・発行体及び保証人（同上）は、契約を締結する法的能力を有することを証明できる独立した法人であること
トークン化債券の法的有効性	<ul style="list-style-type: none"> ・トークン化債券は、正式に発行されること ・トークン化債券では、発行体の法的、有効かつ拘束力のある義務が明確化されること
監督・規制当局の認可と同意	<ul style="list-style-type: none"> ・トークン化債券の発行体、仲介業者、サービス事業者等は、関連する活動を行うために、監督・規制当局からライセンスを含む全ての認可と同意を取得し、維持すること
トークン化プロセス	<ul style="list-style-type: none"> ・トークン化プロセスでは、債券、台帳、発行体等に適用される法律や条約・協定に基づく関連規定が遵守されること ・取引文書にトークン化プロセスとその準拠法の遵守について記載がない場合、発行体はトークン化プロセスに関する明確に定義されたガバナンスの枠組みを構築すること
台帳の条件	<ul style="list-style-type: none"> ・トークン化プロセスでは、準拠法が遵守されるとともに、業界団体によって開発された、または市場で広く採用されている原則・基準・最良慣行に即した台帳が用いられること
スマートコントラクトの最低要件	<ul style="list-style-type: none"> ・トークン化債券で利用されるスマートコントラクトは、明確な権利を持つ関係者（発行体、カストディアン、投資家等）の観点からガバナンスが構築されること ・関係者は、スマートコントラクトのリスクを低減するために、技術・オペレーショナルリスクに関する既存の枠組みの活用を努めること
トークン化の条件	<ul style="list-style-type: none"> ・トークン化債券の取引文書は準拠法を遵守しており、同文書内の条件は準拠法の関連規定と整合的であること ・ブロックチェーンやスマートコントラクトを利用することで投資家にリスクが生じる場合、当該リスクは取引文書に明確に記載されること
トークン化債券の取引条件の開示	<ul style="list-style-type: none"> ・トークン化債券の発行体は、取引条件に関する重要な情報を投資家に開示すること ・発行体は、当該情報を投資家に開示するに当たり、ブロックチェーンを用いてもよい
台帳及びスマートコントラクトの機能に関する情報	<ul style="list-style-type: none"> ・トークン化債券の発行体は、①利用する台帳及びスマートコントラクトの機能に関する重要情報、②台帳及びスマートコントラクトの機能と完全性を保護するための重要な技術的及び組織的措置に関する説明、を投資家に提供すること
リスク管理	<ul style="list-style-type: none"> ・スマートコントラクトが利用される場合、その開始と更新に関する厳格なガバナンスの枠組みが整備されること ・ブロックチェーン固有及びより広範なサイバーセキュリティのリスクに対処できるように、効果的な制御メカニズムが整備されること

（出所）MAS, “Guardian Fixed Income Framework”より野村資本市場研究所作成

3. 債券トークン化に係るリスクとリスク低減策

1) 債券トークン化で考慮されるべきリスク

債券のトークン化においては、従来型の債券にはない追加的なリスクを考慮することが求められる。GFIF では、債券の発行・流通・保管におけるブロックチェーン及びスマートコントラクトの利用に関するリスクが、技術、法律及び規制、オペレーション、流動性、開示の5分野で示されている（図表4）。

図表4 債券取引におけるブロックチェーン及びスマートコントラクトの利用に関するリスク

分野		主なリスク
技術	新興技術とスマートコントラクト	<ul style="list-style-type: none"> プラットフォームやスマートコントラクトの機能不全、コーディングエラー（コンピュータプログラム作成中に生じるアルゴリズムのミス）、予期せぬ機能に関するリスク ブロックチェーン上で実行された売買取引を取り消しできない技術的なリスク
	サイバーセキュリティ	<ul style="list-style-type: none"> 悪意のある個人やグループによりネットワークが操作されるリスク プロトコルまたはネットワーク更新時の障害によりハッキングされるリスク 暗号技術を含む技術の進歩により、時間の経過とともにリスクが増大する可能性
	データの完全性と一貫性	<ul style="list-style-type: none"> パブリック型ブロックチェーンに分岐（fork）、障害、中断が生じるリスク ノードの誤動作や基になるソースコードのエラーによりデータが侵害されるリスク
	データのプライバシーとアクセス	<ul style="list-style-type: none"> デジタルウォレット（デジタル資産を保管するためのウォレット）所有者の秘密鍵の侵害や紛失等、デジタル資産へのアクセスに関するリスク 特定のパブリックアドレスに関連したデジタルウォレット所有者が特定されるリスク
法律・規制	法域間の相違	<ul style="list-style-type: none"> トークン化債券に関する法律・規制が法域間で統一されていない可能性
	規制の進化	<ul style="list-style-type: none"> 規制の急速な進化に伴うセキュリティやプライバシー等への影響により、ブロックチェーン・ネットワーク等に変化をもたらす可能性 将来の規制変更により、ブロックチェーン・ネットワークと参加者に新たなコストが生じる可能性
オペレーション	支払い・決済相互運用性	<ul style="list-style-type: none"> トークンの支払い・決済や法定通貨との交換に関するリスク 異なるプラットフォーム間の相互運用に関するリスク
	サードパーティー事業者	<ul style="list-style-type: none"> クラウドサービス事業者等のサードパーティーによる障害に関するリスク
流動性	社会的な信認の欠如	<ul style="list-style-type: none"> 基盤となる技術に対して社会的な信認が十分に得られないことでトークン化債券の流動性に影響が及ぶリスク
	法的な制限	<ul style="list-style-type: none"> 特定の法域においてトークン化債券の上場及び売買が認められないリスク
	既存の活発な市場	<ul style="list-style-type: none"> トークン化債券を取引するための活発な市場が欠如していることに伴うリスク
開示	仲介業者の役割	<ul style="list-style-type: none"> 本人確認手続き（KYC）、マネー・ローンダリング対策、制裁チェック等を行う主要な仲介業者の役割
	プラットフォームの種類	<ul style="list-style-type: none"> トークン化債券の発行に利用されるブロックチェーン・プラットフォームの種類及び機能
	事業の継続	<ul style="list-style-type: none"> 事業継続計画の透明性
	環境インパクト	<ul style="list-style-type: none"> 基盤となる技術の環境負荷の懸念

（出所）MAS, “Guardian Fixed Income Framework”より野村資本市場研究所作成

2) 債券トークン化におけるスマートコントラクト利用に関するリスクの低減策

GFIF では、債券のトークン化におけるスマートコントラクト利用に関するリスクの低減策も示されている。具体的には、①内部リスク管理及びコンプライアンス機能の開発、②インシデント（システムの正常な運用を妨げる予期せぬ出来事）対応メカニズム及びポリシーの策定、③スマートコントラクト監査のための標準化要件の設定、④スマートコントラクトのコード確認、⑤スマートコントラクト展開前の広範なテスト実施、⑥強力なアクセス制御の実装、⑦スマートコントラクトと既存ワークフローの統合によるセキュリティ強化、⑧関連当事者間の契約上の義務の合意、が挙げられている（図表5）。

図表5 スマートコントラクトの利用に関するリスク低減策

リスク低減策	業界の最良慣行やリスク低減戦略の例
内部リスク管理及びコンプライアンス機能の開発・強化	<ul style="list-style-type: none"> ・リスク評価、リスク許容度の特定、リスク低減のための適切なリスク管理ポリシーと手順を実施し、維持すること ・コンプライアンスリスクを監視、特定、低減、対処するための効果的なコンプライアンス機能を実施し、維持すること ・最高リスク管理責任者と最高コンプライアンス責任者を任命し、関連する委員会を設置すること
インシデント対応メカニズム及びポリシーの策定	<ul style="list-style-type: none"> ・インシデントを特定、追跡、記録、分類するための手順や、インシデントの根本原因を特定、分析、解決するための手順を策定すること ・最新のスマートコントラクトのインベントリ（資産台帳）、情報通信技術（ICT）システム、デバイス、データベースを維持し、異なるICT資産間の相互関係を文書化すること ・データ及びシステムのバックアップと復元の手順を定義・実装し、定期的にテストを行うことで回復可能性を確認すること
スマートコントラクト監査のための標準化要件の規定	<ul style="list-style-type: none"> ・重大なリスクに対処するための監査と必要なリスク低減手順がガバナンスプロセスに含まれていること ・ブロックチェーンとスマートコントラクトに関する十分な知識、スキル、専門性を持つ独立した監査人による監査が実施されること ・定期的な監査ではなく、自動化された恒常的な監査の実施を検討すること
スマートコントラクトのコード確認	<ul style="list-style-type: none"> ・十分にテストされたプログラミング言語、ライブラリ（汎用性のある複数のプログラムやコードをまとめたもの）、確立された業界標準を使用すること ・最新版のコンパイラ（プログラミング言語で書かれたソースコードをコンピュータが直接実行できる機械語に変換するプログラム）を使用すること ・コードを読みやすくするため、意味を持つ変数名、関数名、明確なロジック構造を可能な限り使用すること
スマートコントラクト展開前の広範なテスト実施	<ul style="list-style-type: none"> ・全てのコードが、サードパーティーにより適切に評価、テスト、監査されること ・スマートコントラクトを展開する前に最良慣行に基づいて評価すること
強力なアクセス制御の実装	<ul style="list-style-type: none"> ・スマートコントラクトのセキュリティ監査と機密性の高い機能の検証を含む、標準化された安全なソフトウェア開発のライフサイクルを実装すること ・各ユースケースのリスクを把握、伝達、修復するために、スマートコントラクトに焦点を当てた脅威モデリング（脅威を特定して緩和策を検討するプロセス）を定期的に行うこと
スマートコントラクトを既存ワークフローと統合する際のセキュリティ強化	<ul style="list-style-type: none"> ・台帳のセキュリティに対する監視及びアラート機能を実装すること ・誤った取引や詐欺・盗難を検出するためにブロックチェーン上とブロックチェーン外の記録を突合するための手順を実装すること
関連当事者間の契約上の義務への合意	<ul style="list-style-type: none"> ・準拠法と法域の規定に関する契約上の合意を行う前に契約法の原則を考慮すること ・全ての当事者が有効なスマートコントラクトを特定していること ・法的契約の要件を満たす有効なスマートコントラクト作成を許可する契約条項を規定すること

（出所）MAS, “Guardian Fixed Income Framework”より野村資本市場研究所作成

4. 債券トークン化のケーススタディ

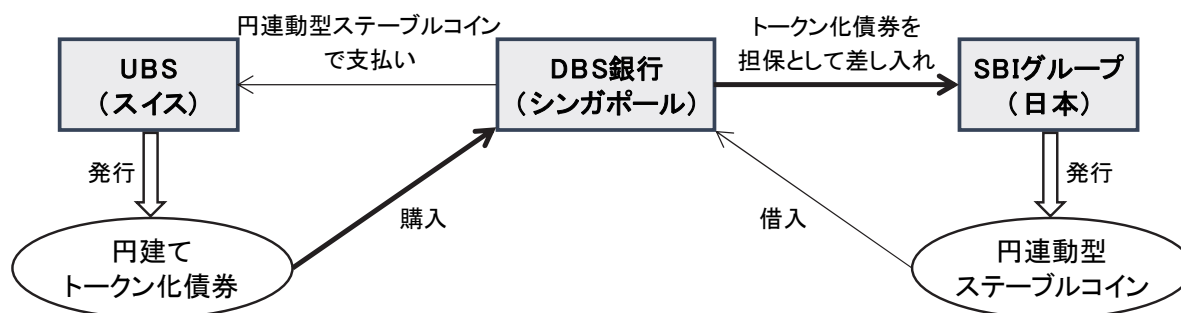
GFIF では、債券トークン化のケーススタディも示されており、そのうちの 1 つがレポ取引を用いたクロスボーダーでのトークン化債券の発行である。この試験的な取り組みでは、UBS（スイス）がトークン化債券の発行体、DBS 銀行（シンガポール）がトークン化債券の投資家及びレポ取引の借り手、SBI グループ（日本）がレポ取引の貸し手及びステーブルコイン¹⁰の発行体・管理者としての役割を担う。

UBS はパブリック型ブロックチェーン上でトークン化した円建て債券を発行し、DBS 銀行は当該債券を購入するが、リスクを低減したリアルタイムでの決済を目的として、円連動型ステーブルコインで UBS に支払う。DBS 銀行は、当該円連動型ステーブルコインを調達するために、同時並行で SBI グループとの間でレポ取引をブロックチェーン上でを行い、UBS から購入するトークン化債券を担保として差し入れる（図表 6）。こうした仕組みにより、トークン化債券の発行とレポ取引の両方の即時決済が可能となる。

トークン化債券の満期時には、UBS により償還プロセスが開始される。同プロセスでは、ブロックチェーン上でスマートコントラクトにより償還条件が自動的に実行される。SBI グループは、ステーブルコインの発行体・管理者として、DBS 銀行のために円連動型ステーブルコインを円の法定通貨に変換し、償還プロセスを完了する。

この試験的な取り組みの成果として、①デジタル資産に関する法律・規制が異なる法域間でも、各法域の法律・規制を遵守する形で取引を行うことが可能、②トークン化債券とステーブルコインを組み合わせることで、異なる地域の参加者による円滑なクロスボーダー取引が可能、③全ての取引がブロックチェーン上で行われることにより、決済時間の短縮、コスト削減、取引の透明性及び安全性の確保が可能、ということが確認された。

図表 6 UBS、DBS 銀行、SBI グループによるレポ取引を用いたトークン化債券の発行（概略図）



（出所）MAS, “Guardian Fixed Income Framework”より野村資本市場研究所作成

¹⁰ ステーブルコインとは、ブロックチェーン上で利用できる、法定通貨と完全に連動した暗号通貨を指す。

IV ファンド持分トークン化に関する業界標準等を提供する GFF

GFF では、ファンド持分トークン化のメリット、運用モデル、リスク等についての業界標準や最良慣行が提供されており、ケーススタディも示されている。以下では、これらの点について整理する¹¹。

1. ファンド持分トークン化のメリット

既存のファンド構造の課題として、①ファンド規模が小さい場合に手数料が高水準となること、②取引の透明性が十分に確保されていないこと、③ファンドの種類によっては投資家のアクセスが制限される場合があること、等が指摘されている。ファンド持分のトークン化により、仲介業者やサービス事業者が不要となることで、ファンドのライフサイクルにおけるワークフローの時間短縮やコスト削減等が可能となる。

GFF では、ブロックチェーン上でのファンド持分の購入及び解約に関して、3つのモデルが示されている（図表 7）。1つ目のモデルでは、購入時と解約時の両方において法定通貨が用いられる。2つ目のモデルでは、購入時に法定通貨、解約時にトークン化預金、ステーブルコイン、CBDC 等のデジタル通貨が用いられる。3つ目のモデルでは、購入時と解約時の両方でデジタル通貨が用いられる。1つ目のモデルでは従来のワークフローに影響がなく、2つ目のモデルではファンドの解約時に投資家がより迅速に資金を受け取ることができ、3つ目のモデルでは購入時と解約時の両方で即時決済が行われるため、資産運用会社がキャッシュフロー予測を行いやすくなる。いずれのモデルでも、スマートコントラクトが利用される場合、投資家のデジタルウォレットへのデジタル通貨の自動送金が可能となる。

図表 7 ブロックチェーン上でのファンド持分の購入及び解約における3つのモデル

	モデル1	モデル2	モデル3
購入時に用いられる通貨	法定通貨	法定通貨	デジタル通貨
解約時に用いられる通貨	法定通貨	デジタル通貨	デジタル通貨
潜在的な影響	<ul style="list-style-type: none"> 従来のワークフローに影響なし スマートコントラクトの利用によりワークフローの自動化が可能 	<ul style="list-style-type: none"> 投資家はより迅速に資金を受け取ることが可能 スマートコントラクトの利用によりワークフローの自動化が可能 	<ul style="list-style-type: none"> 資産運用会社によるキャッシュフロー予測が容易化 投資家はより迅速に資金を受け取ることが可能 スマートコントラクトの利用によりワークフローの自動化が可能

（出所）MAS, “Guardian Funds Framework”より野村資本市場研究所作成

¹¹ ファンド取引におけるブロックチェーン及びスマートコントラクトの利用に関するリスクは、債券取引における同リスクと共通しているため、本稿では説明を割愛する。

他にも、ファンド持分をトークン化するメリットとして次の点が挙げられている。1 点目は、小口化である。オルタティブ資産ファンドを中心とする最低取引額が大きいファンドの場合、投資可能な投資家が限られていることもある。ファンド持分のトークン化により効率的に小口化されることで、個人を含むより幅広い投資家のアクセス向上につながり得る。2 点目は、流動性の向上である。従来型のファンドの場合、投資家は取引可能日（期間）にのみ売却することができるが、ファンド持分がトークン化される場合には、柔軟なタイミングで持分の売却が可能となる。3 点目は、価格発見機能の強化である。流通市場におけるトークン化されたファンド持分の取引は透明に記録されるため、売り手と買い手の間の情報の非対称性が緩和され、より効率的な価格発見が可能となる。

2. ファンド持分トークン化のための運用モデル

GFF では、ファンド持分のトークン化において受益者名簿を管理するための3つのモデルが示されている。1 つ目は正式な（authoritative）受益者名簿をミラーリング（同じデータを同時に2か所に反映）するモデル、2 つ目はブロックチェーン上で正式な受益者名簿を部分的に保持するモデル、3 つ目はブロックチェーン上で正式な受益者名簿を完全に保持するモデルである（図表8）。

1 つ目のモデルは、正式な受益者名簿が保持されているブロックチェーン外で変更が行われた場合、ブロックチェーン上で保持されている受益者名簿のコピーがそれをミラーリングするものである。もしブロックチェーン上の記録が直接変更されても、当該変更は直ちに法的に正式なものとはならない。資産運用会社は、このモデルを採用することで、既存の法的・規制・ライセンス要件に準拠しながら、既存プロセスの見直しを行うことなくコスト効率的にブロックチェーンを活用することができる。

これに対して、2 つ目と3 つ目のモデルでは、正式な受益者名簿がブロックチェーン上で保持されており、その名簿が変更された場合、当該変更が即時に正式なものとなる。これらのモデルでは、法的・規制・ライセンス要件への影響や新たなリスクを考慮することが求められる。しかし、資産運用会社や販売会社は、これらのモデルを採用することで、これまで外部委託していた受益者名簿の管理及び受益者への支払いを含むファンド管理業務を内製化できるようになる可能性がある。

図表8 ファンド持分のトークン化における3つの受益者名簿管理モデル

モデル1	モデル2	モデル3
正式な受益者名簿の ミラーリング	正式な受益者名簿の 部分的な保持	正式な受益者名簿の 完全な保持
ブロックチェーン上 受益者名簿のコピーを保持	ブロックチェーン上 正式な受益者名簿を保持	ブロックチェーン上 正式な受益者名簿を保持
ブロックチェーン外 正式な受益者名簿を保持	ブロックチェーン外 正式な受益者名簿を保持	ブロックチェーン外 受益者名簿のコピーを保持

(出所) MAS, “Guardian Funds Framework”より野村資本市場研究所作成

3. ファンド持分トークン化のケーススタディ

GFF では、ファンド持分トークン化のケーススタディとして、トークン化 MMF (MMF トークン) のユースケースが示されている。MMF 持分をトークン化するための主なアプローチとして以下の2つが挙げられている。

1つ目のアプローチは、最終段階 (last mile) のトークン化である。ファンドの原資産は従来通りに管理され、投資家が MMF 持分を購入する時点でのみ所有権を表すトークンが発行され、解約する時点でのみ当該トークンが焼却 (burn) される。このアプローチでは、既存のファンドの構造とオペレーションを活かすことが可能である。

2つ目のアプローチは、エンドツーエンドのトークン化である。MMF のライフサイクルにおけるより多くのプロセスでブロックチェーンが活用され、スマートコントラクトによりオペレーションが管理される。このアプローチでは、投資家や規制当局によりファンドのパフォーマンス、純資産総額 (NAV)、原資産がリアルタイムで把握され、透明性が確保される。

GFF のユースケースでは、1つ目のアプローチに基づく MMF 持分トークン化のプロセスが示されている (図表 9)。このうち、投資家の購入注文と MMF トークン作成のプロセスを図示すると、図表 10 の通りである。

MMF トークンのメリットの1つとして、従来型の MMF とは異なり、担保としての利用が可能であることが挙げられている。他方、MMF トークンに関する課題としては、以下の4点が指摘されている。

1 点目は、大部分の伝統的な金融機関やカストディアンがデジタル資産の保管業務を提供していないことである。これは MMF に限られないが、ファンド市場の参加者は安全なデジタル資産の保管場所がなければ、トークンの受け取りや保管を行うことができない。

2 点目は、既存のプロセスやワークフローの再設計が求められる可能性である。投資家による MMF トークンの即時購入・解約を実現するためには、資金の迅速な移動、リアルタイムでの資産評価、注文の即時実行が必要となるが、いずれも既存のプロセスやワークフローでは対応できない可能性がある。

3 点目は、MMF トークンをクロスボーダーで24時間365日取引できるようにする上で、既存の銀行システムにおける清算・決済の締め切り時間が制約条件となる可能性である。こうした締め切り時間があることで、MMF トークンの移転が遅れ、異なるタイムゾーン間での円滑な取引実行の障壁となり得る。

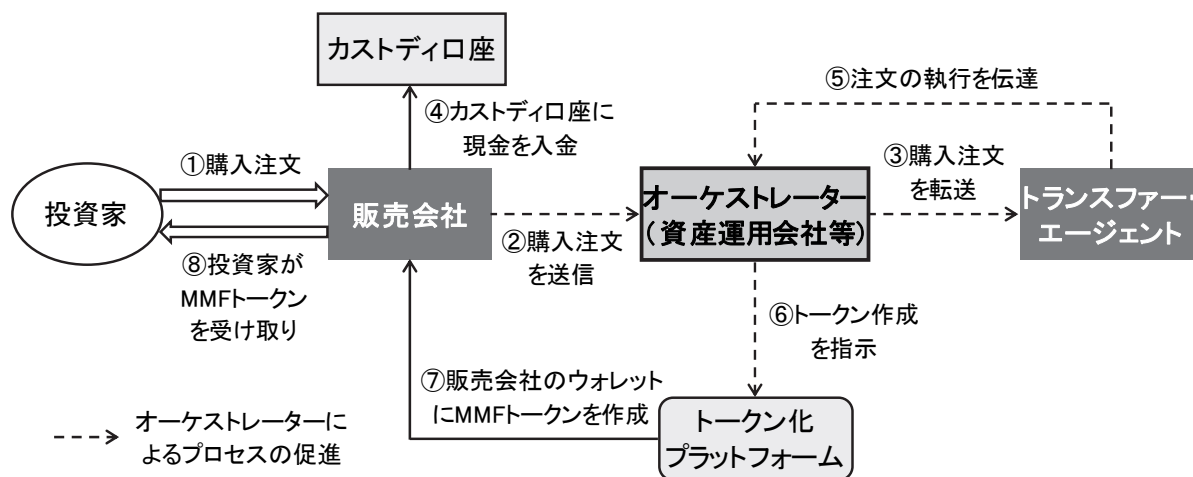
4 点目は、流動性の確保である。流通市場において MMF トークンの流動性を維持できるディーラーとマーケットメイカーの存在が必要となる。

図表 9 MMF 持分トークン化の主なプロセス

段階	主なプロセス
MMFの設定	<ul style="list-style-type: none"> 発行体はMMFをユニットトラストまたはVCCとして設定し、受託会社やカストディアンを任命 ファンド事務管理者は、ファンドのNAVを日次で計算
投資家の購入注文とMMFトークン作成	<ul style="list-style-type: none"> 投資家に代わって販売会社が購入注文を送信 販売会社から購入注文を受け取ったオーケストレーター(資産運用会社等、一連のプロセスを促進する役割を担う事業者)は、注文を執行するトランスファー・エージェント(受益者名簿の管理等を行う事業者)に転送 トランスファー・エージェントは、オーケストレーターに注文の執行を伝達 オーケストレーターは、スマートコントラクトをアクティブ化してトークン化プロセスを実行
MMFトークンの流通と保管	<ul style="list-style-type: none"> 販売会社は、作成されたMMFトークンを、単一のオムニバス・ウォレット(複数の投資家のデジタル資産を一括管理するためのウォレット)で管理するか、従来型の会計帳簿システム上で帳簿入力して管理するかを選択 別の選択肢として、規制されたデジタル取引所が提供する投資家毎のウォレットでMMFトークンを保管 流通しているMMFトークンの数が、トランスファー・エージェントのレジストリで保持されている残高口数の合計と一致することを確認
MMFトークンの解約注文と焼却	<ul style="list-style-type: none"> 投資家に代わって販売会社が解約注文を送信 販売会社から解約注文を受け取ったオーケストレーターは、トランスファー・エージェントに転送 トランスファー・エージェントによる注文の執行後、オーケストレーターはMMFトークンの焼却を実行 販売会社は、投資家が現金または等価資産を受け取ったことを確認 解約時に焼却された全てのトークンが台帳に正確に記録されており、ブロックチェーン上とブロックチェーン外の記録が一致していることを確認

(出所) MAS, “Guardian Funds Framework”より野村資本市場研究所作成

図表 10 投資家の購入注文と MMF トークン作成のプロセス (概略図)



(出所) MAS, “Guardian Funds Framework”より野村資本市場研究所作成

V おわりに

ここまで見てきた通り、プロジェクト・ガーディアンの下で 2024 年 11 月に策定された債券と資産運用の各分野における資産トークン化に関する業界共通の枠組みでは、業界標準、最良慣行、ケーススタディ等が提供されている。今後、これらの枠組みが金融業界において幅広く認知・利用されることで、これまでに実験されてきたユースケースのスケール化につながることを期待される。

他方、資産トークン化のメリットとして、決済等の時間短縮及びコスト削減、取引の透明性及び安全性の向上、小口化による投資家のアクセス向上、スマートコントラクトの利用によるプロセス自動化等が挙げられているが、これらのメリットは、効果・程度の差はあれ、従来型の資産や運用モデルでも実現が可能とされている。加えて、前述の通り、トークン化においては、従来型の資産や運用モデルでは生じない様々なリスクを考慮することが求められる。これらの点を勘案すると、金融業界における資産トークン化の普及を促進していくためには、追加的なメリットが得られる新たなユースケースが開発されることも重要と考えられる。

この点に関して、プロジェクト・ガーディアンの下では、革新的なトークン化の取り組みも見られる。具体的には、シンガポール国立大学（NUS）は 2025 年 1 月、米金融サービス会社のノーザン・トラスト、シンガポール地場大手銀行のユナイテッド・オーバーシーズ銀行（UOB）と連携し、環境・社会・ガバナンス（ESG）報告の透明性向上のためにブロックチェーンを活用すべく、グリーンボンドの環境データを試験的にトークン化することを発表した¹²。作成されるトークンは、グリーンボンドの環境インパクト報告用データをブロックチェーン上で記録するものであり、「グリーンボンド報告トークン（green bond reporting token）」と呼ばれる。対象となる債券は、NUS が 2023 年に発行した 3 回目となるグリーンボンドである。ノーザン・トラストは、デジタル資産プラットフォームでグリーンボンド報告トークンを作成し、それを保有する。UOB は、トークン化されたデータが ESG 報告の慣行をどのように向上させるかについて、投資家からフィードバックを得る役割を担う。このように、トークン化、すなわちブロックチェーンの活用は、グリーンボンドの透明性向上を通じてグリーンファイナンス慣行を改善する上で重要な役割を担い得ると期待されている。

今後シンガポールが、これまでに実験されてきたユースケースのスケール化と新たなユースケースの開発を進めることで、金融業界における資産トークン化の普及を実現することができるか注目したい。

¹² 日本においても類似したトークン化の取り組みが見られる。例えば、2022年6月に日本取引所グループ、2023年12月に日立製作所が発行したグリーン・デジタル・トラック・ボンド（デジタル環境債）が挙げられる。