

香港におけるグリーンファイナンスの促進に向けた ブロックチェーン技術の活用

北野 陽平

Ⅰ 要 約 Ⅰ

1. アジアを代表する国際金融センターの 1 つである香港は近年、グリーンファイナンスの促進に向けて、公的部門主導でブロックチェーン技術の活用を強化している。背景には、香港が同地域におけるグリーンファイナンス及びデジタル資産（トークン）のハブになる目標を掲げていることがある。
2. 香港金融管理局（HKMA）と国際決済銀行（BIS）イノベーション・ハブは 2021 年、個人向けグリーンボンドをブロックチェーン上でデジタル資産に変換するトークン化の概念実証を実施した。その結果、個人投資家によるグリーンボンドへの投資の利便性及びグリーンボンドの調達資金の利用に関する透明性を向上させることが可能であることが確認された。
3. 両組織は 2022 年、国際連合気候変動グローバル・イノベーション・ハブと連携し、グリーンボンドの緩和成果利益（MOI）に焦点を当てた実現可能性調査を行った。MOI としてカーボンクレジットが用いられ、ブロックチェーンやスマートコントラクト等のテクノロジー活用により、グリーンウォッシングのリスク低減等につながり得ることが示された。
4. 香港政府は 2023 年 2 月、政府として世界初となるトークン化グリーンボンドを試験的に発行した。発行額は 8 億香港ドル（2023 年 11 月 15 日時点の換算レートで約 155 億円）であり、機関投資家向けに販売された。同債券は、パーミッション型ブロックチェーン・プラットフォーム上で発行され、値決めから 1 営業日で決済が完了した。
5. 今後、香港において、①環境改善効果をリアルタイムで把握できる仕組みの実用化、②香港政府による個人向けトークン化グリーンボンドの発行、③グリーンボンドの MOI として用いられるカーボンクレジットに対するテクノロジー活用のさらなる検討、の進展が注目される。

野村資本市場研究所 関連論文等

- ・ 富永健司「香港のカーボンニュートラルへの取り組みと個人向けグリーン政府債」『野村サステナビリティクォーターリー』2022 年夏号。
- ・ 北野陽平「香港取引所によるカーボンクレジット市場の創設ーグレーターベイエリア統合カーボン市場構築への一歩ー」『野村サステナビリティクォーターリー』2023 年冬号。

I グリーンファイナンスとデジタル資産のハブを目指す香港

アジアを代表する国際金融センターの1つである香港は近年、グリーンファイナンスの促進に向けて、公的部門主導でブロックチェーン技術の活用を強化している。背景には、香港がアジアにおけるグリーンファイナンス及びデジタル資産（トークン）のハブになる目標を掲げていることがある¹。

香港金融管理局（Hong Kong Monetary Authority、HKMA）と国際決済銀行（Bank for International Settlements、BIS）イノベーション・ハブは2021年、個人向けグリーンボンドをブロックチェーン上でデジタル資産に変換するトークン化の概念実証（proof of concept）を実施した。両組織は2022年、その延長線上で、グリーンボンドに紐付いたカーボン（炭素）クレジット²に対してブロックチェーンやスマートコントラクト³等を活用する新たな取り組みの実現可能性調査（feasibility study）を行った。その後、香港政府は2023年2月、政府として世界初となるトークン化グリーンボンドを試験的に発行した。

本稿では、香港におけるグリーンファイナンスの促進に向けた革新的な取り組みとして、個人向けグリーンボンドのトークン化、グリーンボンドに紐付いたカーボンクレジットに対するテクノロジーの活用、香港政府によるトークン化グリーンボンドの発行について紹介する。

II グリーンボンド発行におけるブロックチェーン技術の活用

1. 個人向けグリーンボンドのトークン化の概念実証

HKMA と BIS イノベーション・ハブは2021年8月、グリーンファイナンスの促進を目的として、個人投資家によるグリーンボンドへのアクセス及びグリーンボンドの調達資金の利用に関する透明性を向上させるためのデジタル・プラットフォームのプロトタイプ（試作品）を開発する概念実証を開始した。この取り組みは、プロジェクト・ジェネシスと呼ばれる。プロジェクト・ジェネシスの下では、ブロックチェーン、スマートコントラクト、モノのインターネット（IoT）等のテクノロジーを組み合わせたデジタル・プラットフォームを活用して、個人向けグリーンボンドをトークン化することが追求された。

HKMA と BIS イノベーション・ハブは、プロジェクト・ジェネシスの実施に当たり、デジタルインフラを設計する6社のパートナー企業と協力した。当該6社は、①ブロックチェーンに関するソリューションをグローバルに提供するデジタル・アセット、②ドイツ

¹ 詳細は、北野陽平「香港取引所によるカーボンクレジット市場の創設ーグレーターベイエリア統合カーボン市場構築への一歩ー」『野村サステナビリティクォーターリー』2023年冬号、及び北野陽平・王月「国際金融都市シンガポールと香港における暗号通貨の規制整備」『野村資本市場クォーターリー』2023年春号参照。

² カーボンクレジットとは、温室効果ガス排出削減・吸収プロジェクトを通じて生成される排出削減・吸収量を価値化したものを指す。

³ スマートコントラクトとは、ブロックチェーン上で契約を自動的に実行する仕組みを指す。

に本拠を置くテクノロジー企業である GFT テクノロジーズ、③英国に本拠を置くグローバル銀行であるスタンダードチャータード銀行、④同行のイノベーション部門である SC ベンチャーズ、⑤資産トークン化事業を手掛けるシンガポールのシェアラブル・アセット、⑥サステナビリティ関連のソフトウェアを開発する香港のオールインフラである。

HKMA と BIS イノベーション・ハブは 2021 年 11 月、プロジェクト・ジェネシスの成果として、上述の目的に資するデジタル・プラットフォームの 2 つのプロトタイプを開発したことを発表した。1 つ目のプロトタイプは、参加者が限定されるパーミッション型（permissioned）ブロックチェーン・プラットフォーム上で、債券の組成、募集、決済、流通市場取引を含む一連のプロセスをシミュレーションしたものであり、デジタル・アセットと GFT テクノロジーズにより共同開発された。2 つ目のプロトタイプは、中央集権的な管理者が存在しないパブリック型ブロックチェーン・プラットフォーム上で同じプロセスをシミュレーションしたものであり、スタンダードチャータード銀行、SC ベンチャーズ、シェアラブル・アセットの 3 社から構成されるリバティ・コンソーシアムにより開発された。

パーミッション型ブロックチェーンは、不特定多数の合意形成が不要であり、より迅速な処理が可能であるといった長所がある一方、管理者が攻撃されることで取引を維持できなくなる可能性があるといった短所がある。これに対して、パブリック型ブロックチェーンは、中央集権的な管理者の許可が不要といった長所がある一方、取引全ての情報を記録するのに多くの処理と時間を要するといった短所がある（図表 1）。

このように、パーミッション型ブロックチェーンとパブリック型ブロックチェーンには各々長一短があり、どちらが優れているとは一概に言えない。但し、一般的に債券は相対で取引されることが多く、取引のプライバシーが重視される。また、債券の発行においては、プロセスの迅速性も考慮されるべき要素の 1 つとなっている。これらを踏まえると、債券のトークン化においては、パーミッション型ブロックチェーンの方が適している可能性がある。実際に、後述する香港政府のトークン化グリーンボンドは、パーミッション型ブロックチェーン・プラットフォーム上で発行された。そこで、以下では、パーミッション型ブロックチェーン・プラットフォームが活用された 1 つ目のプロトタイプに焦点を当

図表 1 パーミッション型ブロックチェーンとパブリック型ブロックチェーンの主な長所と短所

	長所	短所
パーミッション型 ブロックチェーン	- 取引が外部に公開されないため、プライバシーが保たれる - 不特定多数の合意形成を行う必要がなく、より迅速な処理が可能である	- 管理者が攻撃されることで、取引を維持できなくなる可能性がある - 外部に対する透明性が低い
パブリック型 ブロックチェーン	- 中央主権的な管理者に許可を取る必要がない - 透明性が高い - セキュリティが強い	- 取引全ての情報を記録するために多くの処理と時間を要する - プライバシーが保たれない

（出所）各種資料より野村資本市場研究所作成

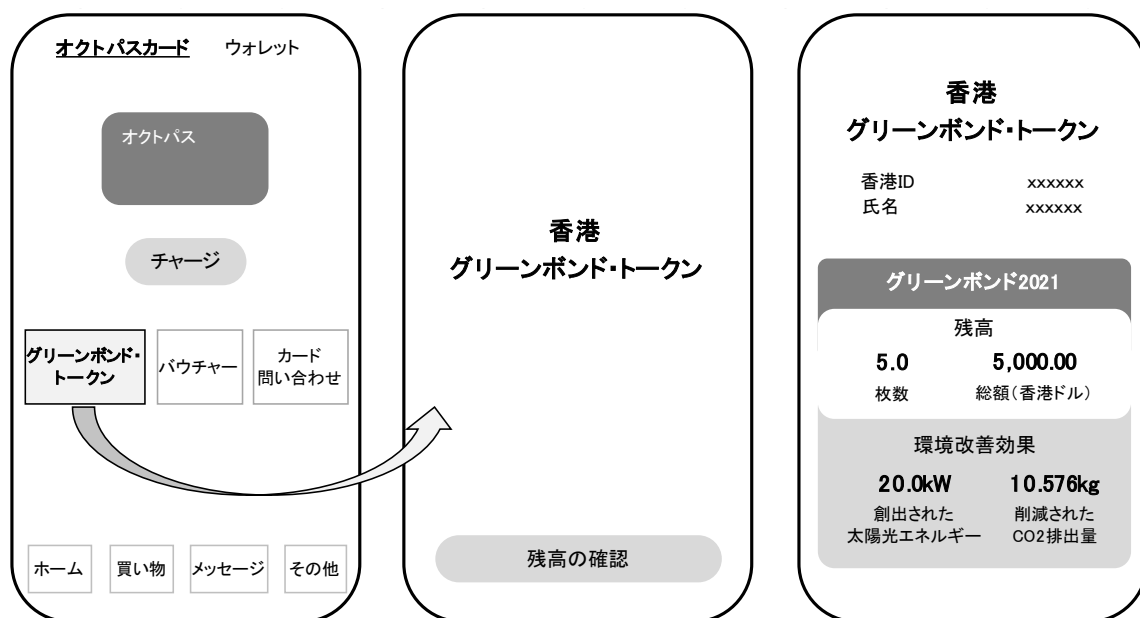
てて、個人向けグリーンボンドをトークン化することの利点について整理する。

第1に、個人投資家によるグリーンボンドへの投資における利便性の向上である。例えば、香港政府が個人投資家のグリーンファイナンス市場への参加を促すことを目的として2022年から発行している個人向けグリーンボンド⁴は、証券会社や銀行等を通じて販売されており、最低投資額が1万香港ドル⁵である。これに対して、トークン化されたグリーンボンドの場合、個人投資家は専用のモバイルアプリ上で100香港ドルから購入することが可能になるとともに、同アプリ上で容易に売却できるようになる。

第2に、環境改善効果の把握が可能になることである。グリーンボンドの調達資金が充当されるプロジェクトにおいてクリーンエネルギーがどのくらい創出されており、二酸化炭素(CO2)削減にどの程度貢献しているかについて、リアルタイムの追跡データが上述のオールインフラにより提供される。そうした情報にアクセスしやすくするため、香港で普及している電子マネーであるオクトパス(八達通)のアプリとの接続が図られた。これにより、個人投資家は同アプリ上で、保有しているグリーンボンドの環境改善効果をリアルタイムで把握することが可能になる(図表2)。

以上の通り、グリーンボンドのトークン化の概念実証を通じて、個人投資家によるグリーンボンドへのアクセス及びグリーンボンドの調達資金の利用に関する透明性が向上され得ることが確認された。

図表2 オクトパス・アプリにおけるグリーンボンドの環境改善効果を示す画面のイメージ図



(注) kWはキロワットの略。

(出所) HKMA、BISイノベーション・ハブより野村資本市場研究所作成

⁴ 詳細は、富永健司「香港のカーボンニュートラルへの取り組みと個人向けグリーン政府債」『野村サステナビリティクォーターリー』2022年夏号参照。

⁵ 2023年11月15日時点の為替レートは1香港ドル=19.39円。

2. グリーンボンド関連カーボンクレジットへのテクノロジー活用

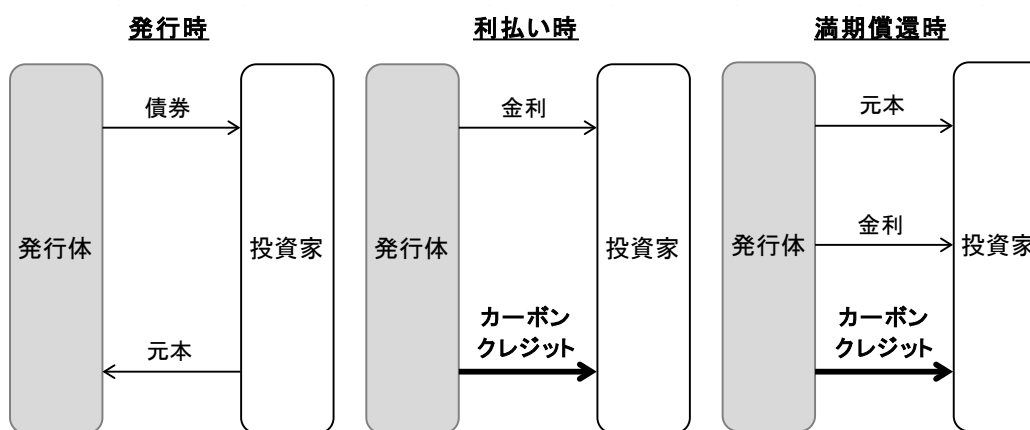
HKMA と BIS イノベーション・ハブは、プロジェクト・ジェネシスを成功させたことを踏まえて、その延長線上で、グリーンボンドのグリーンウォッシングと追加性（additionality）⁶に関する課題に対応し、グリーンボンド市場の透明性・客観性・健全性を向上させることにも取り組んだ。その取り組みは、プロジェクト・ジェネシス 2.0 と呼ばれ、国際連合気候変動グローバル・イノベーション・ハブ（UN Climate Change Global Innovation Hub）と連携して実施された。当該 3 組織は 2022 年 10 月、以下の点に関する実現可能性調査を完了したことを発表した⁷。

プロジェクト・ジェネシス 2.0 の下では、グリーンボンドの環境改善効果を定量的に可視化するため、緩和成果利益（mitigation outcome interest、MOI）に焦点が当てられた。MOI とは、グリーンボンドの発行体が投資家に支払う金利とは別に、調達資金が充当されるプロジェクトの成果として投資家に還元されるものである。MOI を用いる主な利点の 1 つとして、資金調達コストの削減が挙げられている。グリーンボンドの発行体は、金利とは別に MOI を投資家に提供することで、金利の支払いを低く抑えることができる可能性がある。MOI の具体的な形態として、カーボンクレジットを用いることが提案された（図表 3）。

プロジェクト・ジェネシス 2.0 では、MOI として用いるカーボンクレジットに対して、ブロックチェーン、スマートコントラクト、IoT ソリューションが活用された。その利点として、以下の 3 点が挙げられた。

第 1 に、環境改善効果の追跡である。これらのテクノロジーを活用することにより、グリーンボンドの調達資金が充当されるプロジェクトの環境改善効果をリアルタイムで追跡

図表 3 グリーンボンドの MOI としてカーボンクレジットを用いる取引のイメージ図



（出所）HKMA、BIS イノベーション・ハブより野村資本市場研究所作成

⁶ 追加性とは、グリーンボンドの調達資金で新たな投資が行われることによる追加的な環境改善効果を指す。

⁷ プロジェクト・ジェネシス 2.0 が開始されたことに伴い、個人向けグリーンボンドのトークン化の概念実証はプロジェクト・ジェネシス 1.0 と呼ばれるようになった。

することが可能になる。第2に、カーボンクレジットの効率的な受け渡しである。スマートコントラクトの活用により、利払い時及び満期償還時にカーボンクレジットを自動的に投資家に移転することが可能になる。第3に、カーボンクレジットのダブルカウント（二重計上）の防止である。ダブルカウントとは、カーボンクレジット市場に共通の登録場所が基本的に存在しないことに起因して、単一のカーボンクレジットが複数の主体に発行・提供され、使用されることを指す。ブロックチェーンの活用により、カーボンクレジットの所有者が明確化されることで、ダブルカウントの回避が可能になる。

以上の通り、プロジェクト・ジェネシス 2.0 を通じて、グリーンボンドの MOI としてカーボンクレジットを用いた上で、ブロックチェーンやスマートコントラクト等のテクノロジーを活用することは、グリーンボンド市場及びカーボンクレジット取引の透明性を向上させ、グリーンウォッシングのリスク低減等に資する可能性が示された。他方、カーボンクレジット等の MOI を組み入れる債券は、香港においては新たな形態の資本市場商品であるため、今後さらなる検討を進めるに当たって、規制や制度の整備が必要となることが指摘された。

III 香港政府によるトークン化グリーンボンドの発行

1. 政府として世界初となるトークン化グリーンボンドの概要

香港では、プロジェクト・ジェネシスの下での概念実証と実現可能性調査に続けて、政府が機関投資家向けにトークン化グリーンボンドを発行することが 2022 年に検討され始めた。これは、政府が同年 10 月に公表した香港における仮想資産⁸の発展に関する施政方針（Policy Statement on Development of Virtual Assets in HK）で示された試験的プロジェクトの1つであり、後にプロジェクト・エバーグリーンと名付けられた。同プロジェクトの目的として、①政府がグリーンボンドを発行する際の一連のプロセスにおけるブロックチェーン技術活用のための金融インフラ及び法的規制環境を試すこと、②将来的に他の発行体が類似したグリーンボンドを発行する際の指針としての役割を担うこと、が挙げられた。

その後、香港政府は 2023 年 2 月、HKMA の支援を得て、トークン化グリーンボンドを発行した。発行額は 8 億香港ドル、償還期間は 1 年、利率は 4.05% である。同債券は、2018 年に導入された政府グリーンボンド・プログラム（Government Green Bond Programme）の下で発行された。同プログラムの目的として、①政府による持続可能な開発への支援及び気候変動に対応する決意を明確に示すこと、②グリーンボンド市場におけるベンチマークを設定すること、③他の潜在的なグリーンボンド発行体にとっての模範となること、④グリーンファイナンスに対する意識向上及び香港の同分野における国際的な認知度向上を

⁸ 仮想資産（virtual asset）とは、価値をデジタルに表象したものを指し、暗号通貨やセキュリティトークン等を含む。詳細は、前掲脚注 1 参照。

促進すること、が挙げられている。同プログラムは、従来の政府債プログラムとは独立して管理されており、発行残高の上限が 2,000 億香港ドル（または相当額）と定められている。

また、香港政府のトークン化グリーンボンドは、2019 年に策定、2022 年に更新された政府グリーンボンド・フレームワーク（Government Green Bond Framework）に基づいて発行された。同フレームワークは、環境の改善、気候変動への対応、低炭素経済への移行に資するプロジェクト向けの資金調達を目的としたグリーンボンドの発行に係る要件を記載しており、国際資本市場協会（ICMA）のグリーンボンド原則（GBP）と整合的な内容となっている⁹。資金使途の適格プロジェクトの分野は、①再生可能エネルギー、②エネルギー効率及び省エネルギー、③汚染防止及び抑制、④廃棄物管理及び資源再生、⑤水資源及び廃水管理、⑥自然保全及び生物多様性、⑦クリーン輸送、⑧グリーンビルディング、⑨気候変動への適応である。香港政府が 2023 年 8 月に発行したグリーンボンド報告書（Green Bond Report 2023）によると、トークン化グリーンボンドの実際の資金使途は、グリーンビルディングが全体の 69.5%、水資源及び廃水管理が同 30.1%、気候変動への適応が同 0.3%、汚染防止及び抑制が同 0.1%という内訳となっている。

本債券の幹事会社を務めたのは、中国銀行（香港）、クレディ・アグリコル・コーポレート・アンド・インベストメント・バンク、ゴールドマン・サックス（GS）、HSBC の 4 社であり、投資家への販売は当該 4 社により行われた。投資家に関する詳細な情報は公表されていないが、HKMA のプレスリリースによると、機関投資家から同債券に対して強い関心が示されたようである¹⁰。

2. 政府のトークン化グリーンボンドの発行・決済プロセス

香港政府のトークン化グリーンボンドは、GS が開発したパーミッション型ブロックチェーン・プラットフォームである GS デジタル・アセット・プラットフォーム（GS DAP）を活用して発行された。前述の通り、パーミッション型ブロックチェーン・プラットフォームでは、参加者が限定される。同プラットフォームの参加者には、発行体である香港政府、HKMA により運営される中央証券預託機関であるセントラル・マネーマーケッツ・ユニット（CMU）、発行体の代理で投資家への金利の支払いと元本の返済を行う支払代理人（paying agent）、発行体の代理でトークン化債券とトークン化香港ドル（以下、キャッシュトークン）の移転指示を承認する等の役割を担う発行体代理人（issuer agent）、販売金融機関、債券を保護預かりする保管機関であるカストディアン、流通市場取引のトレーダーが含まれる。トークン化グリーンボンドの最終受益者である投資家は、ブロックチェーン・プラットフォームの参加者ではなく、カストディアンを通じて同債券に対する持分を所有する形となっている。

⁹ 同フレームワークは、フランスの評価機関であるヴィジオ・アイリスより、ICMA の GBP と整合的であるとのセカンドパーティ・オピニオンを得ている。

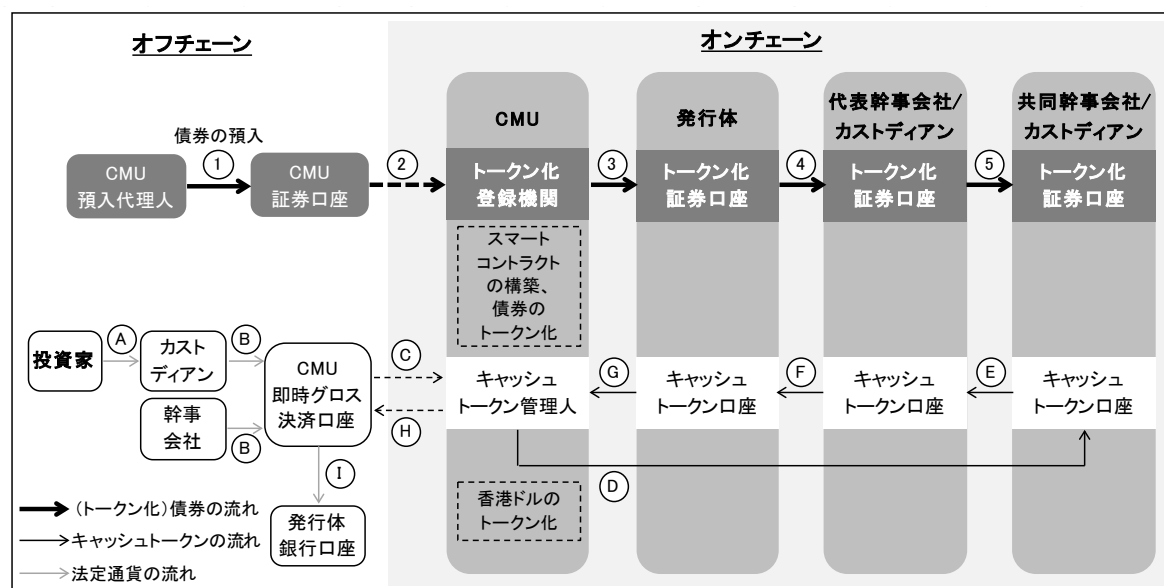
¹⁰ Hong Kong Monetary Authority, “HKSAR Government’s Inaugural Tokenised Green Bond Offering,” February 16, 2023.

トークン化債券の発行においては、一般的に、ブロックチェーン・プラットフォーム上（以下、オンチェーン）で直接債券を発行する方法と、ブロックチェーン・プラットフォーム外（以下、オフチェーン）で債券を発行した後にオンチェーンでトークン化する方法がある。香港政府がトークン化グリーンボンドを発行するに当たっては、後者の方法が採用された（図表4）。

発行プロセスに関して、まずオフチェーンで、通常の債券発行と同様にブックビルディング方式で値決めが行われた。値決めの1営業日後に、CMUのシステム上の証券データベースにおいて債券が発行された。他方、オンチェーンでは、当該債券の値決め日に、CMUにより当該債券と決済用の香港ドルをトークン化するためのスマートコントラクトが構築された。幹事会社は、トークン化証券口座間で債券を移転させる指示を承認する役割を担った。

決済プロセスに関しては、オフチェーンで、幹事会社が値決めの1営業日後に、募集額相当の法定通貨をCMUの即時グロス決済¹¹口座に移転した。オンチェーンでは、CMUが作成した同額のキャッシュトークンが幹事会社のキャッシュトークン口座へ移転され、その後、オフチェーンの発行体の銀行口座へ移転された。トークン化債券とキャッシュトークンの間ではDVP決済¹²が行われ、債券の値決めから1営業日で決済が完了した。なお、当該取引では、香港の決済システム及び保存型デジタル決済に関する条例（Payment System and Stored Value Facilities Ordinance）に基づいて決済完了性¹³が付与された。

図表4 香港政府のトークン化グリーンボンドの発行から決済までの流れ



（出所）HKMAより野村資本市場研究所作成

¹¹ 即時グロス決済（real time gross settlement）とは、中央銀行の当座預金振替によって行われる金融機関同士の資金取引や国債などの決済システムの手法の1つで、各取引を個別に即座に行う仕組みを指す。

¹² DVP（Delivery Versus Payment）決済とは、代金の支払いが行われることを条件に証券の引き渡しを行う方法を指す。

¹³ 決済完了性（settlement finality）とは、決済が無条件かつ取消不能となり最終的に完了した状態を指す。

IV 今後の注目点

本稿で紹介した通り、香港においては近年、グリーンファイナンスの促進に向けて公的部門主導でブロックチェーン技術を活用する取り組みが相次いで推進されている。このうち、香港政府による機関投資家向けトークン化グリーンボンドは実際に発行されたが、まだ実現に至っていないものもある。今後、以下3点の取り組みの進展が注目される。

第1に、グリーンボンドの環境改善効果をリアルタイムで把握できる仕組みの実用化である。プロジェクト・ジェネシス 1.0 では、この点に関する概念実証が行われたものの、実用化には至っていない。もし投資家が環境改善効果を定量的にリアルタイムで把握できるようになれば、グリーンウォッシングのリスクを気にせずに安心してグリーンボンドに投資することが可能になる。また、そうした仕組みが民間部門におけるグリーンボンド発行でも活用されるようになれば、中長期的にグリーンボンド市場の発展につながる可能性がある。

第2に、香港政府による個人向けトークン化グリーンボンドの発行である。前述の通り、同政府は個人投資家のグリーンファイナンス市場への参加を促すために個人向けグリーンボンドを発行しているが、個人向けトークン化グリーンボンドは発行していない。プロジェクト・ジェネシス 1.0 を通じて、トークン化グリーンボンドは個人投資家による投資の利便性及び調達資金の利用に関する透明性を向上させ得ることが確認された。これを踏まえて、もし個人向けにもトークン化グリーンボンドが発行されれば、例えば、テクノロジーに精通した若年層等からの関心を喚起することが期待され、グリーンボンド市場に参加する個人投資家層の裾野拡大につながる可能性がある。

第3に、グリーンボンドの MOI として用いられるカーボンクレジットに対するテクノロジー活用のさらなる検討である。プロジェクト・ジェネシス 2.0 では、グリーンボンドに紐付いたカーボンクレジットに対して、ブロックチェーンやスマートコントラクト等のテクノロジーを活用することにより、グリーンボンド市場及びカーボンクレジット取引の透明性の向上につながり得ることが示された。カーボンクレジット取引に関して、香港取引所は 2022 年 10 月にボランタリー・カーボンクレジット市場を創設し、取引の拡大に取り組んでいる¹⁴。将来的に、グリーンボンド投資家が MOI としてカーボンクレジットを受け取る仕組みが確立すれば、カーボンクレジット市場の参加者の増加を通じて、同市場の拡大につながる可能性がある。

今後、香港が以上のような革新的な取り組みを通じて、グリーンファイナンス市場の拡大と高度化を図ることで、国際金融センターとしてのさらなる地位向上につなげることができるか注目したい。

¹⁴ 詳細は、前掲脚注 1 参照。