

metaBox を例とした XR 空間における exUI プロダクトの提案と試作

千葉 裕斗¹ 傳田 隼稀¹ 三浦 晴大² 渡邊 恵太¹

概要：exUI は、ハードウェアからインタフェースを外在化することで、ハードウェアの価値や機能をソフトウェアから再定義可能とする手法である。exUI プロダクトの metaBox は、白い箱状の本体と鍵のみで構成されたプロダクトである。既存の exUI プロダクトのアプリケーションは、スマートフォンでの操作を想定して作られていた。しかし、ヘッドマウントディスプレイの進歩により、XR 空間を用いた新たな体験を提供できる可能性がある。そこで本研究では、metaBox を例とした XR 空間における exUI プロダクトを提案する。試作として、Apple Vision Pro と metaBox を用いたアプリケーション例を 3 つ制作した。

1. はじめに

exUI は、ハードウェアからインタフェースを外在化することで、ハードウェアの価値や機能をソフトウェア上から再定義可能とする手法である [1]。特に exUI プロダクトの一つである metaBox は、白い箱状の本体とスマートフォンで操作可能な鍵のみで構成されている (図 1 の左上)。スマートフォンを用い、アプリケーションで使い方を定義することで、様々な用途に使用できる [2]。metaBox を含む exUI プロダクトのアプリケーションは、スマートフォンでの操作を想定して作られていた。スマートフォンは誰もが手に持っているモバイル端末であるため、exUI の操作デバイスとして指定していた。しかし、exUI プロダクトの操作デバイスはスマートフォンに限定されていない。

一方、XR (Extended Reality) の分野において、現実空間と仮想空間を結びつけるインタラクション手法が提案されてきた [3][4]。また、Apple 社が開発したヘッドマウントディスプレイ (以下、HMD) の Apple Vision Pro [5] は、視線トラッキングを用いたオブジェクト操作や、オブジェクトトラッキングを用いた物体認識など、XR 空間における新たなインタフェースを提示した。HMD[5][6] の進歩により、XR 空間を用いた新たなユーザ体験を提供できる。よって、オブジェクトトラッキングやハンドトラッキングなどの XR 技術を exUI プロダクトに取り入れることで、スマートフォンの平面 UI では実現が難しい直感的なインタラクションを実装できる可能性がある。



図 1 提案システムの動作イメージ。XR 空間において metaBox にインタフェースやテキストを表示し、ハンドジェスチャを用いてアプリケーションを操作する。画像は左上から、通常の metaBox、フリマ Box、対話 Box、宝箱 Box

そこで本研究では、metaBox を例とした XR 空間における exUI プロダクトの提案をする。試作として、Apple Vision Pro と metaBox を用いたアプリケーション例を 3 つ制作した。

2. 関連研究

2.1 exUI

exUI は、既存のハードウェアから物理的インタフェース

¹ 明治大学 総合数理学部 先端メディアサイエンス学科

² 明治大学大学院 先端数理科学研究科
先端メディアサイエンス専攻

を排除し、インタフェースをスマートフォンやその他の外部デバイスに外在化する仕組みである [1]。物理的なインタフェースを排除することで、プロダクトの価値を外部から再定義し、UI や機能を後から柔軟に変更できる。特に、ハードウェア本体の構造を簡略化することで、UI のデザインや機能をソフトウェアで定義でき、プロダクトの機能や体験に柔軟性を与える。また、外装を用途によって再定義できるように、全てのプロダクトの外装を白で統一した。

2.2 metaBox

metaBox は、exUI 設計の箱型 IoT プロダクトである [2]。インターネット経由で制御可能な電子錠を備え、スマートフォンを用いて使い方を設定する。ユーザは筐体前面に付いている QR コードをスマートフォンで読み取り、設定された宅配ロッカーや物品共有などのアプリケーションを使用する。一方、metaBox は、全てスマートフォンを介したアプリケーションで操作する設計である。そのため、外装の変更が難しく、直感的な操作性が制約されていた。

本研究では、XR 空間を活用し、exUI における価値の幅をより広げ、ユーザに新たな体験を提供する。具体的には、HMD を通してハードウェアの外装の変更や、ハンドジェスチャ、接触トラッキングによる直感的な操作を実装した。

2.3 その他の exUI プロダクト

AirSketcher は、渡邊らが提案し [7]、金子らが後に改良した扇風機型の exUI プロダクトである [1]。スマートフォンのカメラと AR マーカを用いて、風向きを個人の好みや用途に応じて調整可能な扇風機である。このほか、金子らは見た目を自由に変えられるスピーカー「Stone」や、パーソナライズした UI を提供する自動販売機「AnoHako」といった exUI プロダクトを提案した。

高橋らは metaLock という南京錠型の exUI プロダクトを提案した [8]。metaLock を鍵として使用することで、道具箱などの小さなものや、家屋などの大きなものまでも exUI プロダクトとしてソフトウェアで制御可能にした。

これらのプロダクトは、metaBox と同様にスマートフォンで操作する設計である。

2.4 XR 空間でオブジェクトトラッキングを利用した研究

Chang らは、スマート家電の相対位置に基づく空間認識システムと家電認識システムを提案した [4]。このシステムでは、AR グラスとオブジェクトトラッキングを使用し、視線操作によって IoT デバイスを制御した。Ahmadyan らは、オブジェクトトラッキングを用いて、外装を変更する手法を提案した [9]。このシステムでは、スマートフォンを利用し、AR 空間で靴の外装を変更した。これらの研究は、オブジェクトトラッキングを用いてデバイスとインタラクションしているが、exUI のようにハードウェアそのもの

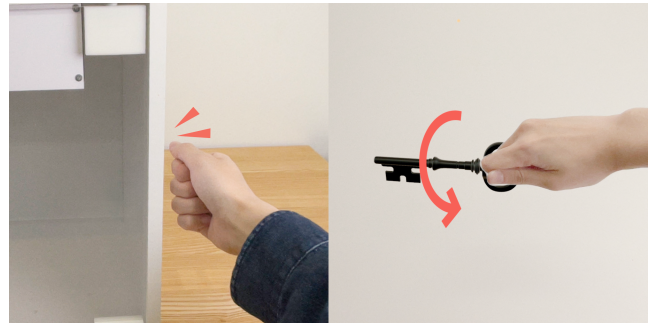


図 2 本システムで用いたジェスチャ。左：接触インタラクション。ノックする動作をトリガーとした。右：掴む・動かす・回す動作を用いたジェスチャ。鍵を回す動作をトリガーとした。

の価値は再定義していない。

本研究では、オブジェクトトラッキングを用いて実世界のオブジェクトとインタラクションを行い、リアルタイムでハードウェアの機能を変更する。

3. XR 空間における exUI システム

3.1 XR を用いた exUI プロダクトの利点

XR を用いることで、従来のスマートフォンを介した平面 UI では実現が難しい機能が実現できる。たとえば、ハードウェアの外装変更、実物体との接触インタラクション、ハンドジェスチャによるインタラクションがある。オブジェクトトラッキングを用いた例として、XR 空間におけるハードウェアの外装の変更がある。実世界の exUI プロダクトに仮想の形状やテキストなどを付与し、広告表示やパーソナライズ、周囲の環境に応じた外装の変更などの柔軟な表現を実現できる。

ハンドトラッキングを用いた機能の例として、ハンドジェスチャの利用がある。ハンドジェスチャにより、仮想オブジェクトを掴む、手を振る、ピンチ操作などを用いたインタラクションを実現できる。実際に Aladin らは、ハンドトラッキングを活用したカスタムジェスチャや、仮想オブジェクトとの接触を用いた操作手法を提案し、XR 空間におけるインタラクションの可能性を示した [3]。オブジェクトトラッキングとハンドトラッキングを用いることで、実物体との接触インタラクションができる。たとえば、物体をノックする、なぞるといったインタラクションをトリガーにしたアプリケーションの開発ができる。

本システムではアプリケーションを試作する際に、叩く動作の接触インタラクションによるノックする動作（図 2 左）と、掴む、動かす、回すといったハンドジェスチャによるオブジェクトの操作（図 2 右）を用いた。

3.2 システムの実装

本システムは HMD デバイスの Apple Vision Pro 上で動作し、開発環境として Xcode 16.0 と Swift 6.0 を用いた。オブジェクトトラッキングやハンドトラッキングの実装の



図 3 制作したアプリケーションのキャプチャ．metaBox の機能を変更し、適切な外装を付与した．（左: フリマ Box, 中央: 対話 Box, 右: 宝箱 Box）

ために ARKit および RealityKit, 箱前面に表示するインタフェースの実装のために SwiftUI を導入した．RealityKit の SpatialTrackingSession を用いることで、両手の指関節や手首関節を正確に取得し、XR 空間での物体操作やカスタムハンドジェスチャを用いたインタラクションを実装した．この際、physicsSimulation を .none に設定することで、他エンティティとの衝突判定が可能となり、物理的接触に伴うインタラクションを実現した．

また、実世界の metaBox をリアルタイムで取得するために ARKit の ObjectTracking を用いた．本機能は、事前に取得した 3D モデルと類似する実世界の物体の位置と方向を正確に特定できる．内部的には、RealityComposer を用いて 3D スキャンした usd ファイルを、CreateML による機械学習処理へ渡し、参照オブジェクトを作成する．本機能により、metaBox に対する外装の付与や、物理的接触に基づくインタラクションを行える．

4. アプリケーション

本研究では、XR 空間において metaBox の使い方を定義する 3 つのデモアプリケーションを制作した (図 1)．

4.1 フリマ Box

フリマ Box は、metaBox に商品を入れることで、販売者や購入者がそばにいらなくても物品の売買ができるシステムである (図 3 の左)．オブジェクトトラッキングを用いて metaBox の前面に商品情報を出して、他のデバイスを用いることなく、商品情報の視覚的な確認や受け取りができる．また、設置場所を選ばず、物品の情報と値段の設定のみで簡単に取引ができるため、少量の物品のやり取りに優れている．実際の利用場面では、metaBox を大量に並べた無人商店やフリーマーケットに応用できる．フリーマーケット用のアプリケーションを載せた metaBox を出品者に提供し、出品者が簡単にカスタマイズできるフリマスペースを

作成できる．さらに、事前に商品のスキャンをして手元に立体のモデルを出すことで、実際の商店と同様に商品を購入する前にサイズや見た目を確認できる．

4.2 対話 Box

対話 Box は、接触インタラクションを用いた音声対話による施錠システムである．ユーザが metaBox をノックすると、システムが音声で合言葉の入力を要求する．ユーザが正しい合言葉を発声すると、metaBox が解錠する (図 3 の中央)．部屋の扉をノックするように、metaBox を 2 回ノックすることで、手と metaBox の衝突を検出して音声認識機能を起動する．応用として、LLM を用いた対話による Box の操作や、Box 上で指をなぞる操作による電子署名機能を用いた認証 Box といったプロダクトがあげられる．

4.3 宝箱 Box

宝箱 Box は、宝箱の前で仮想の鍵を回すことで、metaBox が解錠するシステムである (図 3 の右)．手の回転を取得するカスタムハンドジェスチャを作成し、ハンドトラッキングで腕の回転を認識することで metaBox が解錠する．また、オブジェクトトラッキングを用いて実世界の metaBox の上に宝箱のテクスチャを付与し、exUI プロダクトの外装変更を実現した．応用として、Box と接触している物体のテクスチャや、部屋の明度に応じた外装変更といった、動的に Box の外装が変化する機能を搭載できる．

5. 議論

本研究では、metaBox 用のアプリケーションを開発した．しかし、今回の XR 技術は、他の exUI プロダクトにも応用できる．例えば、AirSketcher の気流方向をジェスチャなどを用いて制御することで、従来のスマートフォンでの制御に比べて直感的に操作できる．このためには、オブジェクトトラッキングの精度の改善によって、複雑な形

のオブジェクトや、変形するオブジェクトのトラッキングができるようになる必要がある。

また、カスタムハンドジェスチャ機能には、複雑なジェスチャを認識できないことや、動作範囲に限界があるという課題がある。将来的には、アルゴリズムやハンドトラッキング機能の改善により、様々なジェスチャを実装できる可能性がある。

さらに、空間音響や疑似触覚の活用により、ハードウェアの形状に囚われない外装の表現を実現できる可能性がある。たとえば、実物体の表面や仮想オブジェクトの表面に触れたときに、聴覚や視覚によるフィードバックをすることで、オブジェクトに触れたことを示せる。

6. おわりに

本研究では、exUI の概念を XR 空間へと拡張し、新しいインタラクションの可能性を探究した。具体的には、metaBox を対象として、オブジェクトトラッキングとハンドトラッキングを活用した3つのアプリケーション（フリマ Box, 対話 Box, 宝箱 Box）を実装した。これらのアプリケーションを通じて、従来のスマートフォンベースのインタフェースでは実現が困難だった、直感的な操作や動的な外装の変更が可能となった。一方で、複雑な形状のオブジェクトトラッキングの精度の問題や、より多様なジェスチャの認識、空間音響や疑似触覚といった多感覚フィードバックの実現が今後の課題である。今後は、metaBox 以外の exUI プロダクトへの応用や、AR や VR の特性を活かした新しい exUI プロダクトの創出が考えられる。これらの取り組みを通じて、より自然で直感的なプロダクトの設計を目指す。

参考文献

- [1] 金子翔麻, 中里健也, 高田一真, 渡邊恵太. exUI: ユーザインタフェースを外在化する手法とプロダクトデザイン. WISS 2018, 2018.
- [2] 中里健也, 金子翔麻, 神山洋一, 渡邊恵太. metaBox: 使い方を定義可能な exUI 設計の IoT box. インタラクション 2020, March 2020.
- [3] Mohamad Yahya Fekri Aladin and Ajune Wanis Ismail. Designing user interaction using gesture and speech for mixed reality interface. *Int. J. Innov. Comput.*, Vol. 9, No. 2, November 2019.
- [4] Hua-En Chang and Xin-Mao Huang. Utilizing AR glasses for identifying smart appliance based on appliance relative locations within smart home. In *2024 International Conference on Consumer Electronics - Taiwan (ICCE-Taiwan)*, pp. 513–514. IEEE, July 2024.
- [5] Apple Vision Pro. <https://www.apple.com/jp/apple-vision-pro/>. Accessed: 2024-12-21.
- [6] Meta Quest 3. <https://www.meta.com/jp/quest/quest-3/>. Accessed: 2024-12-21.
- [7] 渡邊恵太, 神山洋一, 門城拓, 松田聖大, 稲見昌彦, 五十嵐健夫. AirSketcher: 扇風機の直接的な風の教示手法. *Konpyūta sofutowea*, Vol. 29, No. 4, pp. 4.316–4.323, November

2012.

- [8] 高橋和也, 渡邊恵太. 南京錠を例とした figma を用いた exui 設計手法の検討. WISS 2022, 2022.
- [9] Adel Ahmadyan, Tingbo Hou, Jianing Wei, Liangkai Zhang, Artsiom Ablavatski, and Matthias Grundmann. Instant 3D object tracking with applications in augmented reality. *arXiv [cs.CV]*, June 2020.