

## 画像処理を用いたセルフレジ不正検知技術の開発 ～セルフレジ素通り不正の自動検知～

### Development of a self-checkout fraud detection using image processing

#### ～Automatic detection of self-checkout pass-through fraud～

佐藤 拓斗<sup>1</sup> 斎藤 淳哉<sup>1</sup> 高橋 潤<sup>1</sup> 山本 琢磨<sup>1</sup> 横尾 郁<sup>1</sup>  
Takuto Sato Junya Saito Jun Takahashi Takuma Yamamoto Kaoru Yokoo

### 1. はじめに

2030年までに、世界のセルフレジ市場は104.9億ドルまで達すると予測されている[1]。利用者が商品の登録と支払いを自身で行うフルセルフレジ（以降、セルフレジと呼称）は、スーパーマーケットなどの小売業における慢性的な人手不足やコスト削減の解決策として急速に普及している。一方で、セルフレジ利用環境では、セルフレジの不正利用による万引き被害が問題となっており、レジの半数以上をセルフレジに置き換えた店舗において、万引き被害が30%増加した調査結果も示されている[2]。セルフレジの不正に対して従来は、店員の目視による対策が行われてきたが、ICT技術の活用により不正を自動で検知することで、万引き被害の防止と店員への負担を解消することが必要である。

セルフレジの不正の一つとして、商品をセルフレジエリアに持ち込んだ顧客がレジを素通りして未会計商品を持ち出す不正（以降、レジ素通り不正と呼称）がある。既存技術では、カメラやセンサを用いて人物や商品をトラッキングし、セルフレジエリアの出口を通過する人物の精算情報の有無によってレジ素通り不正を自動で検知する。しかし既存技術では、家族や友人などの同伴者を連れて買い物をする場合、同伴者のような精算が不要な人物（精算不要者）が出口を通過すると精算情報がないため、過検知される可能性があることが課題である。実店舗では、過検知による顧客・店員への誤った通知により心理的負担が増すことから、検知漏れを抑えつつ、過検知が極めて少ないセルフレジ不正検知技術への要望が高い。

そこで我々は、画像処理を用いてセルフレジエリアを利用する人物のインタラクションを検出することで、精算が必要な人物（精算必要者）を特定し、精算不要者の過検知を排除しながらレジ素通り不正を自動で検知するセルフレジ不正検知技術を開発した。はじめに、カメラ映像を用いてセルフレジエリアを利用する人物を検出し、人物の行動認識によって、セルフレジや買い物カゴ、他の人物とインタラクションを検出する。次にこれらインタラクション検出結果に基づいて、セルフレジエリアを退場する人物の中で精算必要者をアサインする。最後に、精算必要者と特定された人物の精算情報の有無からレジ素通り不正を自動で検知する。

スーパーマーケットのセルフレジ利用環境を再現した設定で行った実環境における評価実験では、Recall : 0.88、Precision : 1.0 を達成し、提案手法により検知漏れを抑えつつ、精算不要者の過検知がなくなることを確認した。加えて、提案手法の検知結果から今後の課題を明らかにし、提案手法の運用について議論した。

本研究の貢献は下記の2点である。

- 画像処理を用いたセルフレジエリア周辺の人物のインタラクション検出により精算必要者をアサインするモデルの構築
- 実環境における評価実験において、検知漏れを抑えつつ、既存手法よりも精算不要者の過検知が排除されることを確認し、提案手法の実用性を証明

### 2. 関連技術

#### 2.1 セルフレジ不正の概要とその対策

セルフレジにおける不正対策に関する先行研究[3]では、セルフレジの不正を下記の3種類に大別している。

- **商品のスキャン漏れ**：バーコードを隠しながら商品をセルフレジのスキャン領域に通過させる、カゴやカートに商品を残したまま精算プロセスに進む など
- **商品のスキャンミス**：単価の高い商品のバーコードを単価の安い商品のバーコードで覆ってスキャンする（ラベルスイッチ）、バーコードのない生鮮食品について、異なる価格の商品をセルフレジの画面で選択する（バナナトリック） など
- **レジ素通り不正**：商品が入ったカゴ・カートを持ったまま、セルフレジを素通りし、未会計商品を持ち出す

先行研究では、店員への教育や適切な店員の配置によるホスピタリティの向上[4]、データマイニングを用いた不正行為の予測分析[5]など、店舗戦略によるセルフレジ不正対策が提案されている。また、今日の小売店舗では、ICT技術の活用により不正を自動で検知するセルフレジ不正検知技術の導入が進んでいる。セルフレジ上部に設置されたAIカメラやセルフレジ台に設置された重量センサにより、商品のスキャン漏れや商品のスキャンミスを検知することができる[6][7]。一方で、これらセルフレジ本体に設置されるデバイスだけでは、レジ素通り不正を行う人物の検知が難しいことから、レジ素通り不正を対象としたセルフレジ不正検知技術が少ないことが現状である。セルフレジエリア出口にゲートを設置することで、レジ素通り不正を防止する方法[3]があるが、これはレイアウトやコストの制限により店舗への負担が大きいために問題である。そこで、本研究ではセルフレジエリア全体を撮影するカメラのみでレジ素通り不正を検知するセルフレジ不正検知技術の開発を行う。

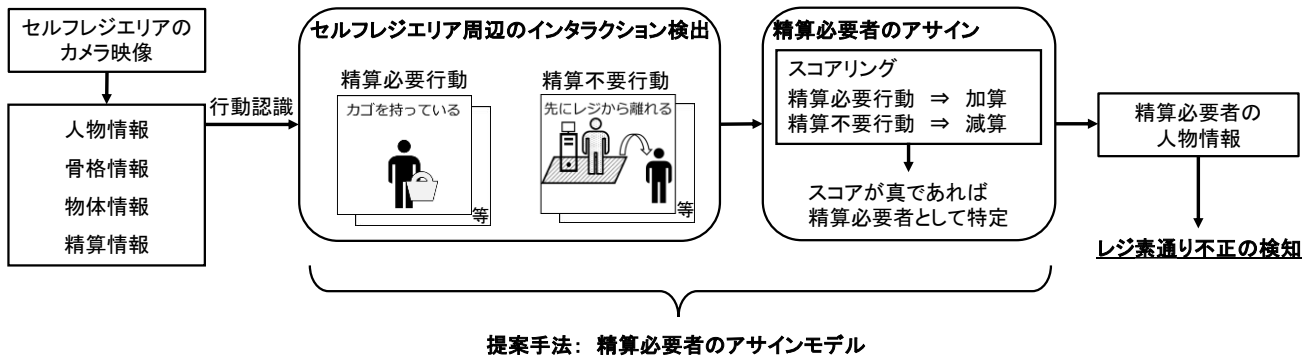


図1 提案手法を用いたセルフレジ不正検知技術の概要

## 2.2 レジ素通り不正検知技術の検討

レジ素通り不正を自動で検知するセルフレジ不正検知技術として、無人店舗の要素技術の活用が考えられる。例えば、Amazon Go[8]では、店舗に大量に設置されたカメラやセンサで商品や買い物カゴ、人物をトラッキングすることで、手に取った商品を認識し、出口を通過する人物に紐づけられた精算情報の確認を行う。このような既存手法をセルフレジ利用環境に応用することで、レジ素通り不正を自動で検知できると期待される。一方で、セルフレジエリア内に設置されたカメラやセンサで単純にカゴや人をトラッキングするだけでは、カゴが隠れてトラッキングに失敗し検知漏れが増大する可能性や、家族連れや友人連れなどの複数人で買い物をを行う場合に同伴者などの精算不要者が過検知となる可能性があることが課題となる。セルフレジ不正検知技術を実店舗で運用する場合、過検知による顧客や店員への心理的負担を考慮し、検知漏れを抑えつつ、過検知を限りなく減らすことが必要である。

これら関連技術を踏まえ、本研究では、セルフレジエリア全体を撮影するカメラでも十分にトラッキング可能な人物のトラッキングにより、トラッキングの失敗による検知漏れを抑える。さらに、セルフレジエリアを利用する人物から精算必要者をアサインするモデルを提案し、精算不要者の過検知を排除したセルフレジ不正検知技術を開発する。

## 3. 提案手法

提案手法を用いたセルフレジ不正検知技術の概要を図1に示す。提案する精算必要者のアサインモデルは、人物の行動認識結果を用いてセルフレジエリアを利用する人物のインタラクションを検出する手段と、インタラクション検出結果から精算必要者をアサインする手段から構成される。入力セルフレジエリア全体を撮影できる位置に設置されたカメラによる映像データである。

### 3.1 セルフレジエリア周辺のインタラクション検出

#### 3.1.1 行動認識手法

本研究では、画像処理により単純な基本動作の組み合わせから複雑な行動を認識する行動認識技術[10]を用いる。提案手法で認識する基本動作を以下に示す。

#### 1 特定領域との関係認識

画像中の人物領域から骨格位置座標を検出し、事前に設定した画像内のROI(Region of Interest)との位置関係から「足が「特定領域」に入っている」ことを認識する。

#### 2 物体の把持認識

画像中の人物領域から骨格位置座標を検出し、さらに物体検出モデルを用いた物体領域の検出により、「手が「物体」を持っている」ことを認識する。

これら基本動作の組み合わせで構成される認識ルールを事前に作成し、認識ルールを基本動作認識結果に適用して新たな行動を認識する。認識ルールでは、組み合わせの要素となる動作について、発生期間に関する時間制約や、動作主、動作対象といった条件を記述することで、新たな行動の内容を定義する。

#### 3.1.2 インタラクション検出

本研究では、セルフレジエリアを利用する人物について、カゴ・カート、セルフレジ、他の人物とのインタラクションに着目し、インタラクションの検出によって精算必要者を特徴づけることを考える。そこで、人物が「カゴ・カートを把持している」、「セルフレジの前に滞在している」、「他の人物からカゴ・カートを譲受した」行動を認識した場合は、セルフレジでの精算につながる特徴であると考え、精算必要行動として検出する。また、精算必要行動とは対照的な精算から遠ざかる行動を認識し、精算必要者をより特徴づけることを考える。そこで、人物が「他の人物にカゴ・カートを譲渡した」、「他の人物より先にセルフレジ前を退出した」行動を認識した場合は、精算不要行動として検出する。これらの行動は、3.1.1節で述べた行動認識手法を用いて、それぞれ認識ルールを作成することで認識する。例えば、カゴの把持を認識するために、複数フレームの処理結果から、「同じ人物が同じカゴを持っている」という基本動作の「継続」を認識する認識ルールを作成する。また、カゴの譲受・譲渡を認識するために、異なる2人の人物について、カゴの把持行動の「開始」と「終了」に対する発生期間の条件を記載した認識ルールを作成する。

表1 精算必要者のアサインモデル

行動名	カテゴリ	判定スコアの計算
カゴ・カートの把持	精算必要行動	+1
セルフレジ前の滞在	精算必要行動	+1
カゴ・カートを手渡す	精算必要行動	渡し手のスコアを譲受
カゴ・カートを手渡す	精算不要行動	受け手にスコアを譲渡
セルフレジ前を先に退出	精算不要行動	スコアの削除・加算停止

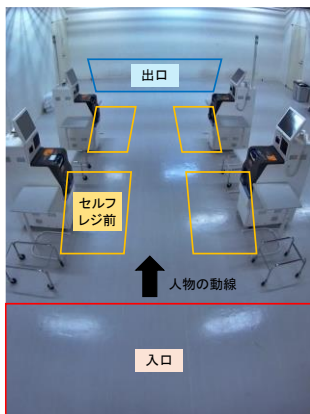


図2 実験環境

### 3.2 精算必要者のアサイン

インタラクション検出結果に基づいて、精算必要者をアサインするスコアリングを行う。そこで、表1に示す精算必要者のアサインモデルを作成し、精算必要行動を検知した場合は人物に紐づけられた判定スコアを加算し、精算不要行動を検知した場合は判定スコアを減算する処理を行う。インタラクション検出とスコアの計算は、人物がセルフレジエリアに入場してから退場するまでの入力フレーム毎に行い、退場時のスコアの真偽によって、精算必要者を特定する。人物によってセルフレジエリアの利用時間が異なることから、退場時のスコアをセルフレジエリア入場から退場までのフレーム数で正規化する。精算必要者と特定された人物について、精算情報の有無に基づいてレジ素通り不正を検知する。

## 4. 評価実験

### 4.1 実験設定

実環境にてセルフレジにおける複数の購買シーンを撮影した計測実験を行い、提案手法を実装したセルフレジ不正検知技術の性能を評価した。実験環境を図2に示す。実験環境は一般的なスーパーマーケットのセルフレジ利用環境を想定し、セルフレジエリア内に4台のセルフレジを設置した。カメラにAXIS社M1065-L Network Cameraを利用し、1台のカメラを高さ2.5mの位置に三脚で固定してセルフレジエリアの入口側から実験環境全体を撮影した。また、カ

表2 検知結果のPrecision、Recall、F1 scoreの比較

	Precision	Recall	F1 score
カゴトラッキング方式	1.0	0.31	0.48
人トラッキング方式	0.85	0.94	0.89
精算必要者のアサイン (提案手法)	1.0	0.88	0.93

表3 検知結果の内訳の比較

	TP	TN	FP (過検知)	FN (検知漏れ)
カゴトラッキング方式	10	87	0	22
人トラッキング方式	29	83	5	2
精算必要者のアサイン (提案手法)	28	87	0	4

メラの解像度はフルHD(1920×1080)、フレームレートは25fpsである。評価データは、レジ素通りの有無、商品数、商品の持ち込み方法(買い物カゴ利用、カート利用)、レジ利用台数、同伴者の有無などを変化させた全76パターンの購買シーンを男女4名の被験者に再現させた119人分の購買映像である。

3.1節で述べた行動認識技術には、行動分析技術Actlyzer[10]を用いた。あらかじめ学習させた人の基本動作モデルにより、約100種類の基本動作を映像データから認識できる。Actlyzerで買い物カゴ・カートを検出するために、自前の学習データを用いてカゴ・カート検出モデルを作成、Actlyzerに設定した。

評価実験では、精算が完了したレジに割り振られたレジIDと精算が完了した時刻を記録したダミーのPOS情報を利用し、精算が完了した時点で、セルフレジ前領域に滞在している人に精算情報として付与した。実店舗での運用時は、提案するセルフレジ不正検知技術と店舗のPOSシステムを連携させて、POSシステムからレジごとの精算情報を取得する必要がある。

### 4.2 評価方法

評価指標には、検知結果から計算したPrecision、Recall、F1 scoreを用いる。比較対象は2.2節で述べた無人店舗の要素技術であるカゴもしくは人をトラッキングする手法を採用し、インタラクションの検出によって精算必要者をアサインする提案手法と比較する。

- ① カゴトラッキング方式：カゴをトラッキングし、出口通過時に精算情報の有無を判定する。
- ② 人トラッキング方式：人をトラッキングし、出口通過時に精算情報の有無を判定する。

これら既存手法について、提案手法と同様に[10]を利用してトラッキング処理を行った。

### 4.3 実験結果

実験結果を表2、検知結果の内訳を表3に示す。提案手法のPrecision、Recall、F1 scoreはそれぞれ、1.0、0.88、

0.93 であった。カゴのトラッキング方式よりも、Recall が高く、人のトラッキング方式よりも Precision が高いことがわかる。また、各手法に比べて F1 score が高いことから、提案手法を実装したセルフレジ不正検知技術が既存手法よりも性能が向上したことが分かる。

## 5. 考察

評価実験の結果をふまえ、提案手法における検知漏れの要因を考察し、提案手法を用いたセルフレジ不正検知技術の今後の展望について議論する。

### 5.1 検知漏れの考察

提案手法における検知漏れ 4 件のうち 2 件は、セルフレジエリアの混雑により、人物がカメラから見え隠れしてトラッキングに失敗したことが原因である。一度見失っても人物をトラッキングし続けられるようなアルゴリズムの導入により改善が見込める。また、提案手法は既存手法である人トラッキング方式よりも検知漏れが 2 件増加した。これは被験者が、カメラから隠れるようにカゴを体の手前で把持したため、カゴの把持を全く認識できずスコアが加算されなかったことが原因である。これにより、精算必要者を特定できなかった。一方で、カゴトラッキング方式よりも検知漏れが低減していることから、提案手法は検知漏れに対して一定の頑健性を有しているといえる。セルフレジエリア周辺に設置するカメラ数の増加や全方位カメラの利用によって、これら検知漏れのさらなる改善が見込めるが、コストや性能への影響調査は今後の課題である。

### 5.2 実店舗における運用に関する展望

評価実験では、提案手法によるセルフレジ不正検知技術が既存手法よりも性能が向上したことを確認した。さらに、カメラ 1 台による画像処理のみでもリアルタイムにレジ素通り不正を検知できた。提案する精算必要者のアサインモデルについて、Precision と Recall のバランスが取れたモデルを構築できたと考える。したがって、実店舗での提案手法の運用により、店員・店舗への負担を減らしつつ、ロバストに低コストでレジ素通り不正を検知することが期待できる。

また、評価実験では、スーパーマーケットにおける購買シーンを想定し、セルフレジを利用する人物がカゴもしくはカートで商品を持ち運ぶことを想定したが、実際の環境では商品を手持ちで運ぶ人物、商品を持たずに空のカゴを持つ人物などがセルフレジエリアを通過することが想定される。したがって、実店舗での運用を想定する場合、高解像度カメラの利用による商品手持ちや空カゴの検出、カゴ置き場設置による運用ルールの限定などで対策する必要がある。実店舗運用に向けた評価データの拡充は今後の課題である。

## 6. むすび

本研究では、画像処理に基づいて精算が必要な人物のレジ素通り不正を検知するセルフレジ不正検知技術を開発した。提案手法では、セルフレジエリアを撮影するカメラ映像から精算必要行動と精算不要行動を認識するインタラク

ション検出により精算が必要な人物をアサインし、精算が必要な人物の精算情報の有無からレジ素通り不正を検知する。提案手法を実装して行った評価実験では、既存手法よりも性能が向上することを確認した。また、提案手法の運用について議論し、今後の課題を明らかにした。

## 参考文献

- [1] "Global Self-checkout Systems Market Size Report, 2030", *Grand View Research*, Available: <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/self-checkout-systems-market>, Accessed: 14 Apr. 2024.
- [2] Adrian Beck "Self-checkout in Retail: Measuring the Loss", *An ECR Research Paper*, Oct. 2018.
- [3] Gamman, Lorraine, Paul Ekblom, and Jeffrey Doruff. "Self-Checkout Loss: Increasing Participation and Scan Accuracy Through Design", *An ECR Research Paper*, Oct. 2020.
- [4] 大久保智生, 徳岡大, "ホスピタリティに着目したセルフレジ不正対策-セルフレジサポーター導入による効果の検証-", *HOSPITALITY: 日本ホスピタリティ・マネジメント学会誌*, Vol.33, pp.24-33, Mar. 2023.
- [5] H. Y. Putra, "Fraud Detection at Self Checkout Retail using Data Mining," *2020 International Conference on Information Technology Systems and Innovation (ICITSI)*, Bandung, Indonesia, 2020, pp. 211-216.
- [6] "Walmart is using AI-powered cameras to prevent theft at checkout lanes", *The Verge*, Jun. 2019, Available: <https://www.theverge.com/2019/6/20/18693324/walmart-ai-camera-computer-vision-tracking-theft>, Accessed: 15 Apr. 2024.
- [7] "セルフレジ不正行為の効果的な対策を解説!", 株式会社 TOUCH TO GO, Jul. 2023, Available: <https://ttg.co.jp/media/%E3%82%BB%E3%83%AB%E3%83%95%E3%83%AC%E3%82%B8%E4%B8%8D%E6%AD%A3%E8%A1%8C%E7%82%BA%E3%81%AE%E5%8A%B9%E6%9E%9C%E7%9A%84%E3%81%AA%E5%AF%BE%E7%AD%96%E3%82%92%E8%A7%A3%E8%AA%AC%EF%BC%81/>, Accessed: 2024/04/15.
- [8] K. Wankhede, B. Wukkadada and V. Nadar, "Just Walk-Out Technology and its Challenges: A Case of Amazon Go," *2018 International Conference on Inventive Research in Computing Applications (ICIRCA)*, Coimbatore, India, 2018, pp. 254-257.
- [9] 高橋悟, 齋藤孝広, 高橋佑, 伊海佳昭, "人の複雑な行動を映像から認識する技術とその認識ルールについて", *人工知能学会第二種研究会資料*, 2022, 2022 巻, SWO-056 号, p. 11-, Mar. 2022.
- [10] 杉村由花, 内田大輔, 鈴木源太, 遠藤利生, "映像から人の様々な行動を認識する「行動分析技術 Actlyzer」", 第 34 回人工知能学会全国大会, Jun 2020.