視覚言語・行動モデルを活用した次世代AIリサイクルロボット
―― 開発と廃棄物処理現場への社会実装





小林 均
（株）イーアイアイ
常務執行役員

森 和秀
（株）イーアイアイ
企画営業部
マネージャー

胡 浩
（株）イーアイアイ
代表取締役

1. 背景と社会的ニーズ

わが国の廃棄物処理および資源循環分野は、少子高齢化に伴う深刻な人手不足と、過酷かつ危険な作業環境（熱中症リスク、破片や重量物によるケガ、リチウムイオン電池（LiB）等に起因する火災リスク）に直面している。一方で、循環型社会（サーキュラーエコノミー）の実現に向け、資源物の回収精度向上や徹底した異物除去、分別品目の多角化など、現場に求められる要求水準は年々高度化している。

しかしながら、既存のリサイクル施設における選別工程は、磁力選別機（鉄回収等）、渦電流選別機（アルミ回収等）、あるいは近赤外線等を用いた光学選別機（単一素材のプラ選別等）といった物理的・光学的な機械選別に依存してきた。

これらの既存設備では、例えば飲料容器リサイクルにおいて、びんの色選別（茶、無色、ミックス）、潰れた缶やPETボトルの選別漏れ、柄付き・色付きPETボトルの素材判別不可、容器内の残液やタバコ吸殻といった異物混入の検知が困難であり、最終的には多大な手選別要員を配置して対応せざるを得ないのが実態である（**図1**）。

こうした課題に対し、政策面でも大きな動きがある。政府の「第五次循環型社会形成推進基本計画」や関係府省による「AIロボティクス戦略」では、需要のある18分野の一つとして【廃棄物処理業】が明記され、DX・ロボティクス技術の徹底活用が掲げられている。

さらに、経済財政運営と改革の基本方針2026（骨太方針2026）における「フィジカルAI」投資枠の創設や、環境省の「循環経済行動計画」に基づくフィジカルAI実証支援など、AIロボティクスを資源循環インフラへ実装するための環境整備が急速に進んでいる。

図1 飲料容器リサイクルにおける標準的な機械選別フローとAIロボット適用領域

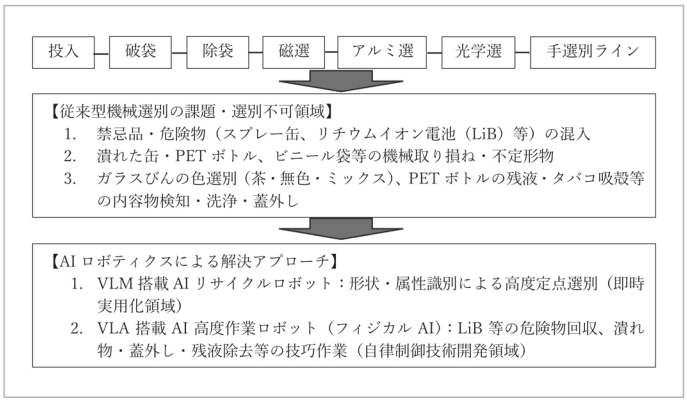


表　手選別、従来型AI（深層学習）、VLM活用型の比較

要素	手選別	従来型AI（深層学習）	VLM活用型（生成AI）
判断の中心	経験・目視・触覚	学習済みの視覚特徴	視覚情報と文脈・意味の統合理解
汚れ・潰れへの対応	○	△	○～◎
複合状態の認識	◎	△	◎
照明・環境への耐性	○	△	○
未学習対象への対応	○	×～△	△～○
長時間の安定稼働	△	◎	◎
複雑作業への対応	◎	×	判断・指示まで
主な評価指標	作業品質・処理量	認識精度	認識精度・未知対象への汎化性能
認識精度	（疲労、個人差、見落としあり）	85～90%程度（複合状態はより減少）	95～99%

本稿では、AIロボティクス開発事業者の観点から、従来の深層学習が抱える限界を突破する技術として、大規模視覚言語モデル（VLM：Vision Language Model）および視覚言語行動モデル（VLA：Vision Language Action）を統合した「次世代AIリサイクルロボット」の技術的構造、および民間・自治体施設での社会実装事例（現場実証含む）について解説する。

2. 従来型AI選別の課題とVLM導入の優位性

従来のAI自動選別ロボットの多くは、YOLO（You Only Look Once）に代表されるCNN（物体検出・深層学習）アルゴリズムを採用してきた。これらのモデルは「パターン認識（いわば反射神経）」に特化しており、ミリ秒単位での高速処理を得意とする反面、事前に膨大な学習データを付与した特定の物体形状しか認識できない。

そのため、廃棄物特有の「多様で複雑なコンベヤ状態」、「選別対象物の重度の汚れ・ラベルの剥がれ・激しい潰れ・変形」といった過酷な環境下では認識精度が85～90%程度に低下し、未学習の物体に対しては一律に判別不能となる課題があった。

この限界を解決するのが、生成AI技術の発展によってもたらされたVLMである。VLMは画像情報と言語（文脈・一般常識）を同時に理解する多次元構造（Transformer系アーキテクチャ）を持ち、物体の形状だけでなく「素材・用途・汚れ・変形状態・文脈的意味」を総合的に推論・判断（思考回路）することができるため、表のとおり、複合状態の認識や、未学習対象への対応において従来技術と大きく一線を画する。

当社の開発した「VLMを用いた高精度AIモデル」は、位置指定と高度な判定を兼ね備え、搬送コンベヤ上のリアルタイム性（選別スピード：1ピック/秒）を損なうことなく、過酷な現場環境下においても95～99%という極めて高い認識精度を達成している。

3. VLM搭載「飲料容器AIリサイクルロボットCIRVANTOR（サーヴァンタ）」の実用化と現場実証

（1）システム概要と製品仕様

本技術を実装した商業化製品「飲料容器






写真　「ロボット作業」コンベヤの複合状態におけるびんの色選別（茶、透明、ミックス）／（左）横浜市の実証現場（設置済み）、（右）いわき市の実証現場（設置済み）

AIリサイクルロボット」は、使用済み飲料容器の手選別ライン等において、既存ラインを含むコンパクトな設置を低価格で行え、作業の自動化・省人化に貢献する。ロボット機構としては、現場条件に応じて「パラレルリンク式（稼働直径1300㎜）」および「アーム式/垂直多関節式（稼働直径800㎜）」の2タイプを展開している。

選別対象は飲料容器8分類（PETボトル：ラベル有/無/把手付き、缶：飲料缶/スプレー缶、ガラスびん：茶/無色/ミックス）を基本とし、さらに飲料用以外のPET、化粧品びん、残液等入り容器などの異物・危険物を精緻に識別して選別回収を行うこともできる。

（2）破片・カレット混入下における掴み（把持）技術

ガラスびん選別現場では、破砕されたガラスくず（カレット）がコンベヤ上に多量に散乱し、びん本体と視覚的特徴が類似するため画像認識を阻害する。また、割れた口元など不定形な破断状態は把持失敗や吸盤のエア漏れを引き起こす。

これに対し、VLMによる境界・閾値判断に加え、ハードウェア側では「複数の吸盤を組み合わせたマルチサクションカップ機構」および「迅速な垂直引き上げ制御」の開発を進めている。掴んだ瞬間に垂直方向へ素早く持ち上げることで、隣接するびんやカレットとの干渉リスクを最小化し、高い把持成功率を担保するものとなる（**写真**）。

（3）民間・自治体施設での社会実装（現場実証含む）事例

①ウム・ヴェルト（株）加須第3リサイクルセンター（民間初号機）

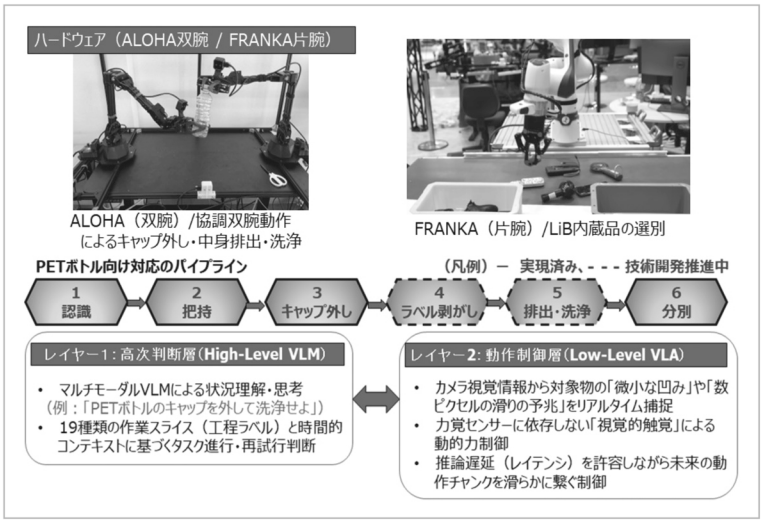
東京都・東京都環境公社の「DX推進事業補助金」に採択され、ガラスびんの色選別を主目的として第一号機を納入（2026年1月プレスリリース）。VLMの汎用性を生かし、今後は複数用途への拡張運用を計画予定である。

②横浜市金沢資源選別センター（自治体実証1）

環境省「環境研究総合推進費（次世代事業）JPMEERF20253J01 研究代表者：小野田弘士」のもと、早稲田大学、イーアイアイ、伊藤忠マシンテクノス（株）、横浜市資源循環局が連携。

家庭系資源ごみ（混合飲料容器）のびん選別ライン直近スペースにロボットを移設し、AI認識精度90～95%以上の検証および自治体向け実用化パッケージの確立を進めている。

図2　VLAによる高度作業ロボットの制御階層構造



③福島県いわき市クリンピーの家（自治体実証2）

福島県「地域復興実用化開発等促進事業（地域連携：いわき市）」のもと、いわき市リサイクルプラザのびん手選別ラインに垂直多関節アームロボット2台を実機導入。

割れびんやキャップ有無の識別、複数台アームの同期稼働、耐久性・省人化・経済性評価を行う。将来的にいわき市でのAIリサイクルロボットの製造・量産化拠点の計画を通じた地域復興モデルとしても期待されている。

4. フィジカルAI：VLAによる高度自動作業への拡張

現行の産業用ロボットアーム（VLM+定点ピッキング）では、コンベヤ上の定形物を掴んで分別する作業は可能だが、「潰れたPETボトルや缶の掴み」、「キャップ取り外し」、「内部残液の排出・洗浄」、「多様な形状のLiB内蔵品の選別」といった非定型かつ力学的協調を要する高度作業には対応できない。

これらを自動化するため、当社では認識・理解だけでなく直接的なロボットのアクション（動作指令）をEnd to Endで生成する「VLAモデル」を中核としたフィジカルAIの研究開発を推進している。

本システムでは、低コストで模倣学習に強みを持つ双腕ロボット「ALOHA」や7軸協働ロボット「FRANKA」を用いて遠隔操作データを収集し、学習プラットフォームを構築している。従来の力覚センサーに過度に依存せず、カメラ映像を用いることで、潰れた容器や発火リスクを持つリチウムイオン電池（LiB）内蔵品に対し、繊細な力加減でのピッキングを可能にしている。

現状では、「実行しながら次の動作を思考する」リアルタイム制御を行うアーキテクチャーの構築を優先し、VLAモデルの課題である推論レイテンシ（遅延）に対しては、将来のオープンモデルの活用を見通している（**図2**）。

5. 資源循環分野におけるVLM/フィジカルAIの展開可能性

VLMおよびフィジカルAIの「文字・意味・視覚の統合理解」は、飲料容器選別にとどまらず、循環経済の多様な素材ストリームへ適用可能である。当社が開発した汎用画像認識システム「RecycleMind™」では、各種検証や製品化を行っている。

(1) 生活系廃プラスチックの高度分別・水平リサイクル支援

日用品パウチやボトルのカメラ画像から、OCR文字認識とバックエンドDBを連携させ、「メーカー名・製品名・用途・単一素材（ポリエチレン等）構造」を瞬時に特定する。これにより、従来難しかった特定詰め替えパウチのみを分類・回収し、水平リサイクル（フィルムtoフィルム）へ回す

高度選別が可能となる開発を進めている。

(2) 小型家電およびリチウムイオン電池（LiB）の安全分別

処理施設での発火事故が頻発しているLiB内蔵製品（電子タバコ、シェーバー、モバイルバッテリー等）に対し、外観および型番推論からLiBの有無や発火リスクを判定する。

VLAによる繊細な力制御と組み合わせることで、LiB内蔵製品を対象とした事前選別（LiB含有有無、製品種類別、処理方法別）や、製品解砕（LiB取り外し）後のLiB単体の自動選別を対象に、電池を破損させずに安全にピックアップ・分離するシステム開発を進めている。

(3) 都市鉱山・電子基板（PCB）の貴金属品位AI判定

家電製品やデータセンター由来の廃プリント基板に対し、VLMを用いた「ベクトル類似度検索」を適用。

基板全体の部品配置や金のメッキ（金足）CPU数を認識・類似照合することで、従来の文字認識ルールベース（正解率約65%）を大幅に超える精度で基板グレード（金・銀・パラジウム含有量に基づく付加価値評価）を全自動判定する製品化を行った。

(4) ごみピット・ヤードにおける火災（煙）の早期検知

ごみピットおよびヤードにおける火災は、廃棄物の自然発火やリチウムイオン電池などの不適切な廃棄物混入を起因とし、施設全体への延焼リスクを伴う重大事故につながる可能性がある。煙検知器では検知までに要する時間が長く即時性に課題があり、サーモグラフィーは積層された廃棄物の内部で発生する火災の初期段階を検知することは困難である。

また、従来のAI検知システムは煙や炎の視覚的特徴をリアルタイムに検出できる一方、粉塵や水蒸気を煙と誤検知しやすく、ごみピット特有の過酷な環境下における信頼性に課題がある。

これに対し、VLMを活用し、複数のデータを時系列的に統合して推論することで、粉塵や水蒸気による一時的な変化と火災由来の異常を区別することが可能である。これにより誤検知率を低減しつつ、積層された廃棄物内部における火災の早期段階を高精度に検知するものである。

6. 課題と将来展望

VLM搭載選別ロボットは、飲料容器AIリサイクルロボットを対象に、即戦力となる実用化段階（認識精度95～99%）に達しており、すでに民間工場等への社会実装が開始された。今後は、各種現場データを活用したAI Ready化や、多様な現場でのロボット実装、最新モデルの再実装を可能とするモデル基盤の構築が必要となる。

また、より複雑な作業を自律的に行うVLA高度作業ロボットについて、排出・処理現場のニーズを踏まえたユースケースの見極めを行い、技術面ではエッジ環境での推論高速化、不定形物に対する広範なデータセット構築、粉じんや光変動に対する環境耐性の強化、人とロボットが安全に協働するための作業標準・調達要件の整備に取り組む必要がある。

当社は、骨太方針2026の「AIロボティクス戦略」における「廃棄物処理」分野の中核企業として、「強く豊かな日本」投資枠の提案に向けた政府連携を進め、学術機関、自治体、事業者および、AIロボティクスに係る技術共創パートナーと連携した共同研究・社会実装を進め、静脈産業全体のDX・フィジカルAIインフラ基盤の構築を通じたAX（AI Transformation）化や、持続可能な循環型社会の形成に貢献していく所存である。

【問い合わせ】
（株）イーアイアイ
担当部署:企画営業部
TEL：03-3518-9797
solution@eii-net.co.jp