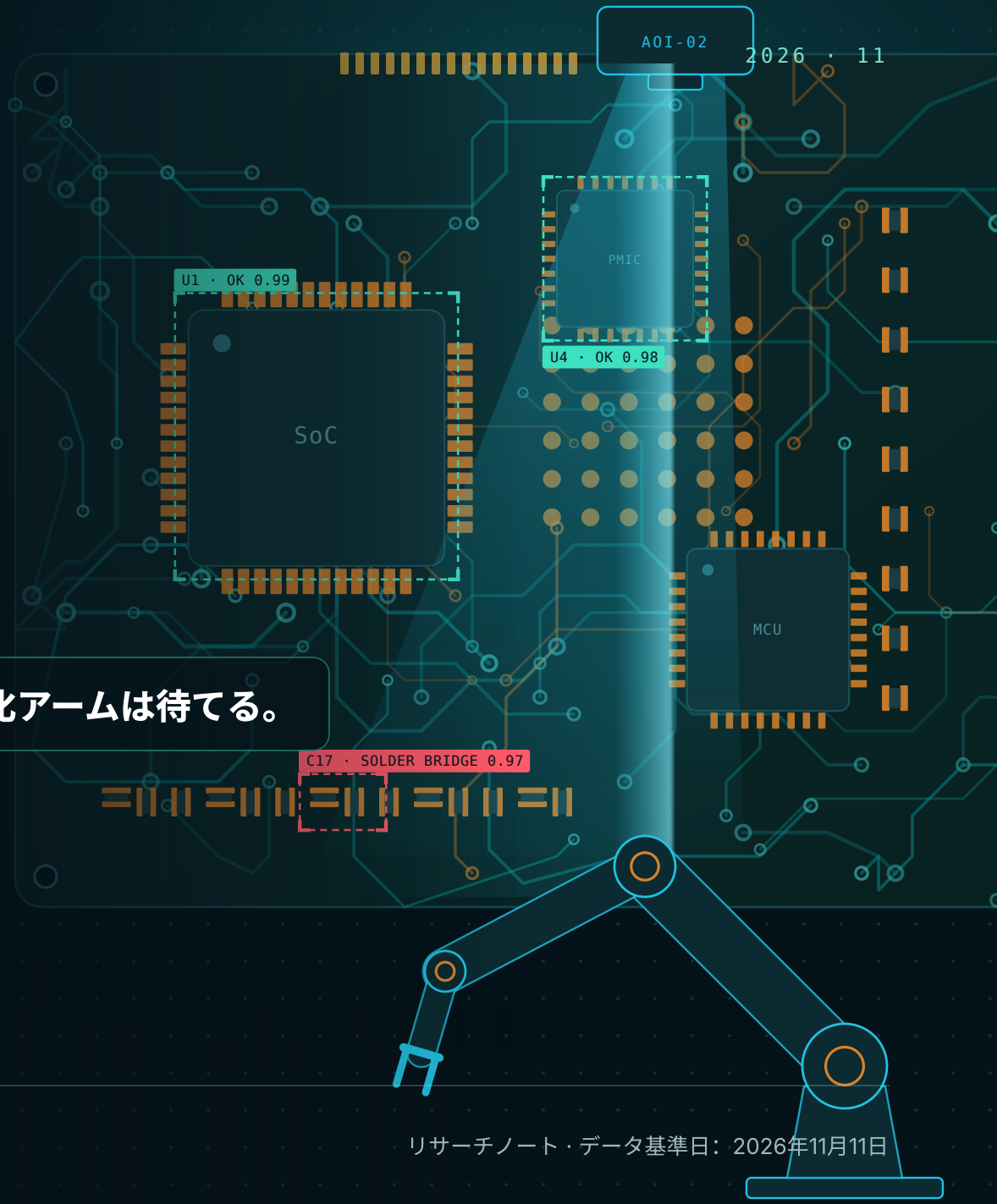
独立調査 · 公開版



電子機器製造 · AI検査 × ロボティクス

SMTライン上のAI:

2026年に回収できるもの

電子機器工場におけるAI外観検査とロボットアーム

Mainland China · Taiwan · Southeast Asia · United States

主要な発見 **AI再判定は、限定的にだが取り組む価値がある。具現化アームは待てる。**

Tan Shuai
tanshuai.comi@tanshuai.com

リサーチノート・データ基準日：2026年11月11日

取り組む価値がある。ただし限定的に、今、パートナーと共に。

主要な発見

2026年に成熟し、工場が支払うのは、AOI画像でのAI再判定とニッチ検査、それにプログラムされたロボット機械搬入出であり、「基板を見る大規模モデル＋それを取り出す具現化ロボット」ではない。

0.46–0.65 yr
RMB 50k/ラインでのAI再判定の回収期間（US、Taiwan、Shenzhen）

≥95% · <20 PPM
大手EMSの内製AI再判定：ティア1 EMSへ販売するための基準

100–700 RMB M
Mainland Chinaにおけるサードパーティ後付け対応市場（一括、≈5年の期間）

0 scores
2026年11月の最上位モデルの産業欠陥ベンチマークスコア

1.1–1.5 yr
協働ロボット機械搬入出セルの回収（2シフト）

0.003–0.14 FTE
ピックアウト用ロボットアームがシフトごとに削減する労力：回収は不可能

出典：レポートのエグゼクティブサマリーと第4〜5章。回収と市場の数値は筆者の推定。

6つの問い、6つの答え

① 工場が動かすもの

3D SPI、リフロー前後のAOI、抜取X線、ICT/FCT。各AOIの後ろでは人が再判定を行う。タクト≈13〜22秒/基板。

② 技術はどこまで進むか

検査は「検出器＋AI再判定＋少数の人」として産業グレードであり、いくら金を積んでもゼロ人にはならない。Mainland China：国産モデル。Taiwan：顧客が決める。US：関税と認証。

③ オンプレミスとエアギャップ

実用的。制約は手続き面にある。ラインには≤100 Wのファンレスボックス、サーバーはサーバールーム、デフォルトは8-bit。

④ 教師と生徒

検査：最前線モデルがプリラベル、人が裁定、ゴールデンセットがゲート。アーム：教師は依然として人のデモとシミュレーション。

⑤ コストと回収

AI再判定はUS、Taiwan、Shenzhenで1年以内。協働ロボット搬入出は1.1〜1.5年、Southeast Asiaは2〜6年。ピックアウトアームは回収不能。

⑥ 今か待つか

需要は実在、供給は混雑。OEMのAIは≈5年の後付け期間を残す。検査は今、限定的に。具現化AIは2027〜28年のデータ後。

出典：レポートのエグゼクティブサマリー。

今日の工場現場で AI が入り込む場所

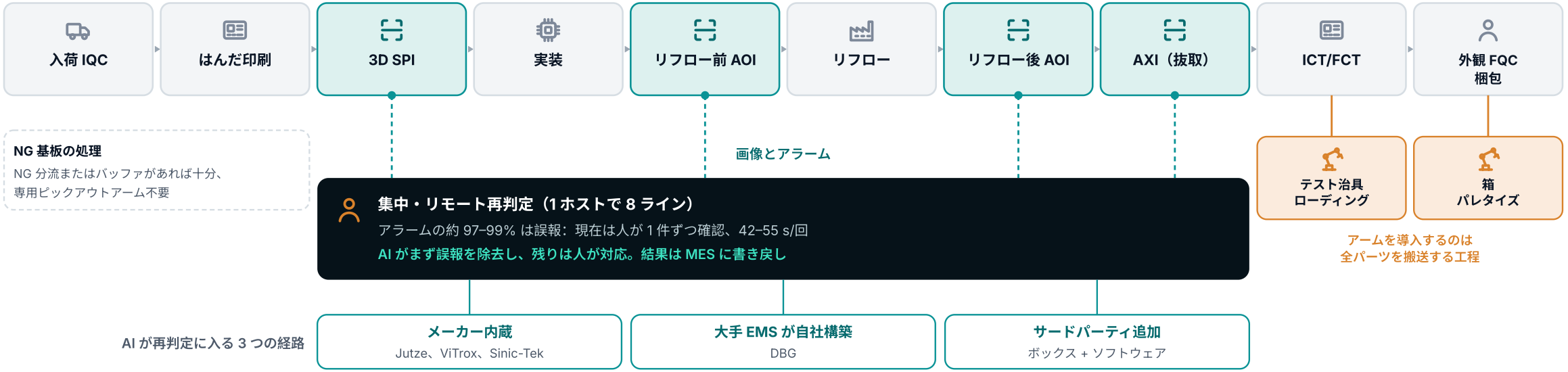


出典： 回収は筆者のモデル（第 4 章）；成熟度軸は筆者の判断。

人はAOIの後ろに座っている。そこにAIが入り込む。

量産 SMT ライン

タクト約 13–22 s/枚 · ラインあたり 3–5 台の AOI



出典： 公開資料とベンダー資料（Huaqin、DBG、Sinic-Tek ほか）；筆者作成。

AOI アラームの約 97–99% は誤報

AOI のアラーム 100 回ごとに

約 97–99 回は誤報：基板は実際には良品

真の不良 1–3 回

現在：人が 1 件ずつ再判定

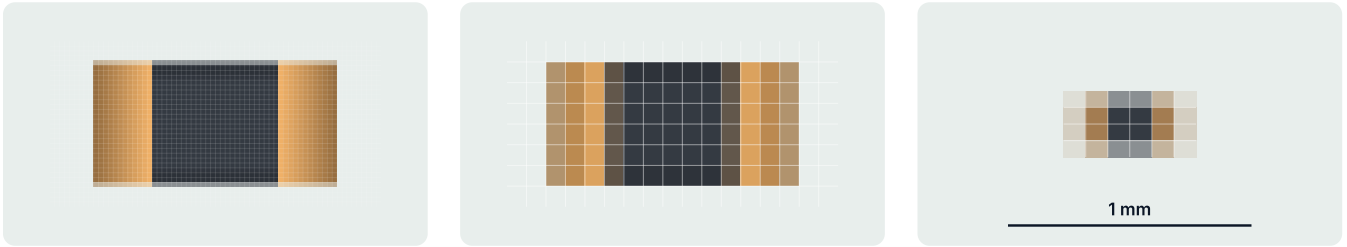
1 回あたり 42–55 s
高稼働ラインではシフトあたり約 448 回の誤報
→ シフトあたり 5.2–6.8 h ≈ 常勤再判定者 1 名
事例の人員配置：シフトあたり 2 名

AI 再判定：まず誤報を除去し、残りは人へ

誤報・再判定工数を 60–90% 削減（ベンダー主張）
大手 EMS 自社ベンチマーク：フラグ部品の ≥95% をカバー、
流出 <20 PPM、人による再判定 ≥85% 削減
障害時は人へフェイルオープン、ラインは停止しない

出典： Siemens 事例、iFactory（ベンダー主張）、DBG 2025 年次報告；再判定工数は筆者推定。

汎用カメラは AOI ではない



AOI：8–20 µm/px
0402 は約 100×50 px

4K カメラで 300 mm 基板全体：約 78 µm/px
0402 は約 13×6 px に縮小：有無と大きなズレのみ判定可能

同じカメラで 01005 を見る
約 5×3 px：事実上見えない

- **AOI：** 8–20 µm/ピクセル、多角度・多色照明と構造化光
- **300 mm基板全体を4Kで撮影：** ≈78 µm/ピクセル。0402は≈13×6ピクセルとなり、有無は判定できるが接合部は無理。
- **01005：** ≈5×3ピクセル、事実上見えない
- **つまり：** AIはAOI自身の画像で動作し、光学系を置き換えるわけではない

出典： Circuits Assembly；300 mm 基板・4K センサーでの筆者計算。ピクセルグリッドはイメージ。

エアギャップ展開：ボックスが判断し、サーバールームが応答する



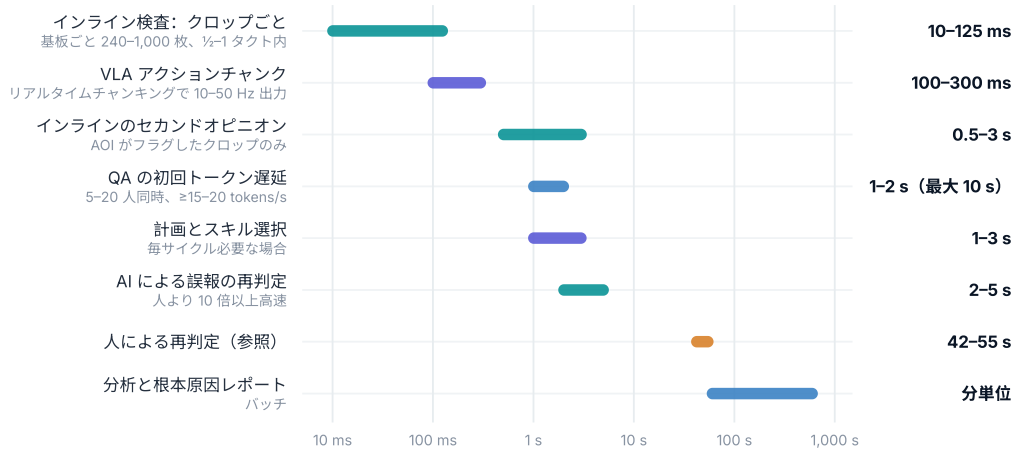
出典： 筆者の総合（第 2 章）。

クリーンゾーンとESDゾーンが計算機の設置場所を決める。速度の限界は用途による。

清浄度 →

通常の SMT/PCBA ホール	クリーンルーム ISO 7–8	局所ミニ環境 ISO 5–6	ファブ、ISO 5 以上
ESD 保護区域（約 ISO 8） 湿度 40–60%	医療、カメラモジュール、EV クリーンルーム + ESD	ベアダイ、ワイヤボンド、光学工程 ミニ環境	SEMI E78 ESD · E187/E188 サイバー ファブ専用プラン
ライン側コンピュート 接地金属筐体のファンレスボックス、AOI または再判定席の近く	**ライン側コンピュート** ファンレス、IP65/66 密封、拭き取りやすさ；ISO 14644-14 データを要求	**ライン側コンピュート** カメラと光源のみ設置、処理ボックスは外部	**ライン側コンピュート** 装置統合型・ファブ認定コントローラーのみ使用
GPU/NPU サーバー サーバールームまたは空調付き IT ラック	**GPU/NPU サーバー** クリーンルーム外、ネットワークは内部へ	**GPU/NPU サーバー** サーバールーム	**GPU/NPU サーバー** サブファブの液冷ラックまたはデータセンター

タスクごとの許容処理時間（対数目盛）



主要ポイント 通常のSMTホールは格付けクリーンルームではなくESD保護区域である。接地した金属筐体のファンレスボックスをAOIまたは再判定席に置き、GPUサーバーはラインには置かない。

出典： ANSI/ESD S20.20、IEC 61340-5-1、ISO 14644、SEMI 標準とベンダー資料；筆者作成。 筆者の総合（第 1–2 章）。

ベンチマークより先に、輸出規制がハードウェアの候補を絞る



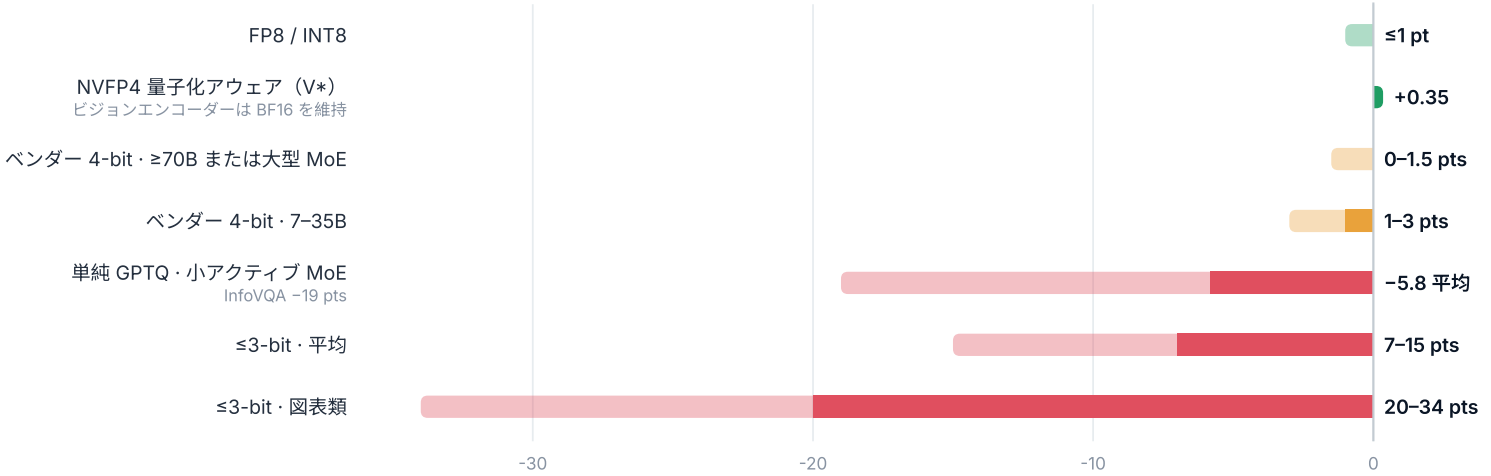
- **Jetson Thor：** 128 GB、40–130 W。AOIクロップに2–8Bのビジョンモデル、3B級VLAをリアルタイムで。ChinaでRMB 59,104。
- **Mac Studio 512 GB：** DeepSeek 671Bを4-bitで、1〜3ユーザー向け
- **DGX Station：** 5A992.z、Mainland China向け不可。743Bモデルでは32ユーザーで各≈4 tokens/s。
- **国産アクセラレータ：** フルサイズのマルチユーザーQ&Aには8カードのAscendサーバー2台

出典： NVIDIA 輸出区分、Apple、RS China、JD.com とレビュー価格（2026 年 11 月）。 StorageReview（2026 年 8・10 月）；ServeTheHome。単一ソースの独立テスト。

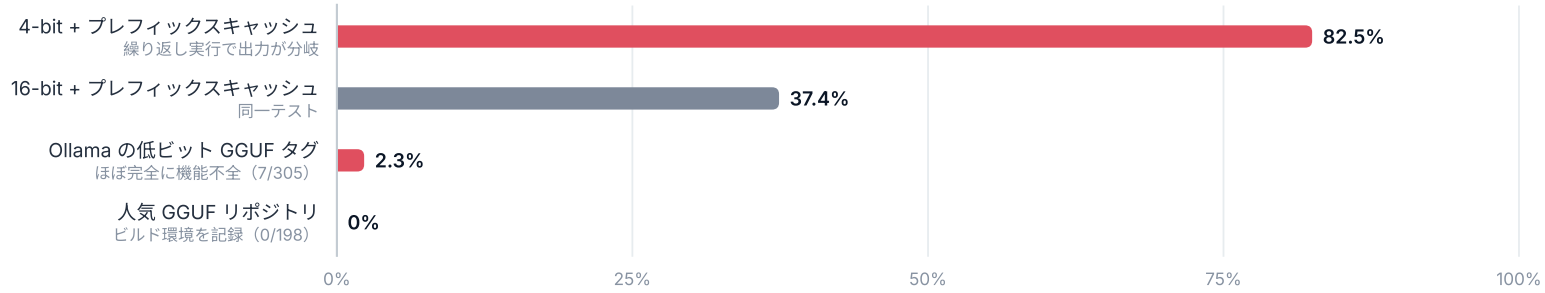
量子化：8-bit は安全、4-bit はレシピ次第、3-bit 以下は失格

精度：8-bit は安定、4-bit はレシピ次第、≤3-bit は失格

全精度に対するスコア変化（ポイント）



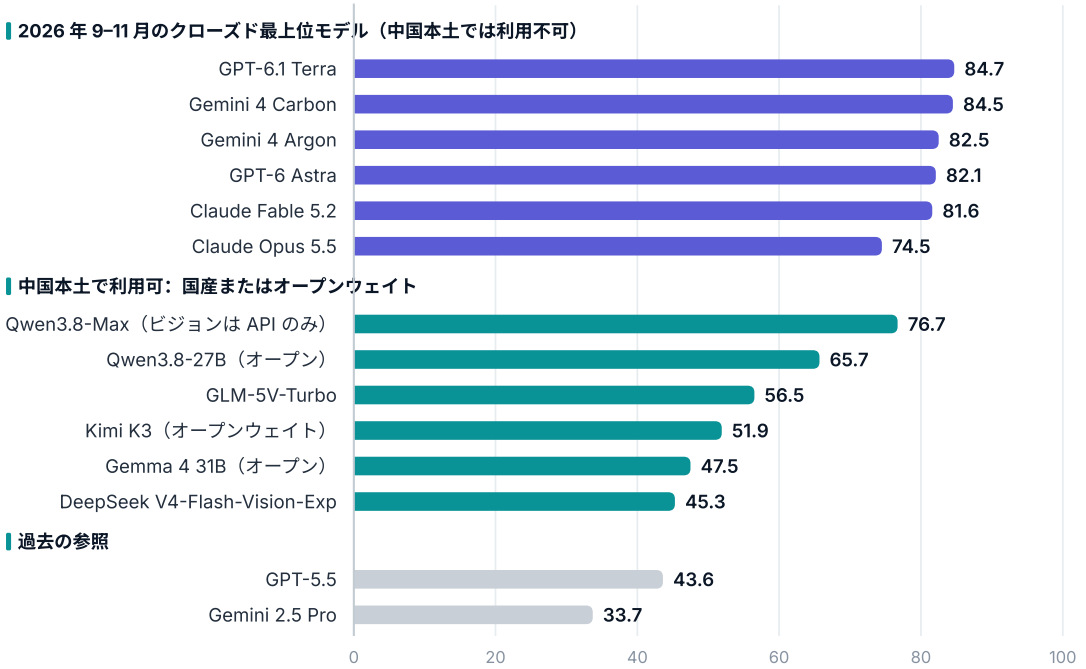
量子化誤差より大きいのはエンジニアリング事故



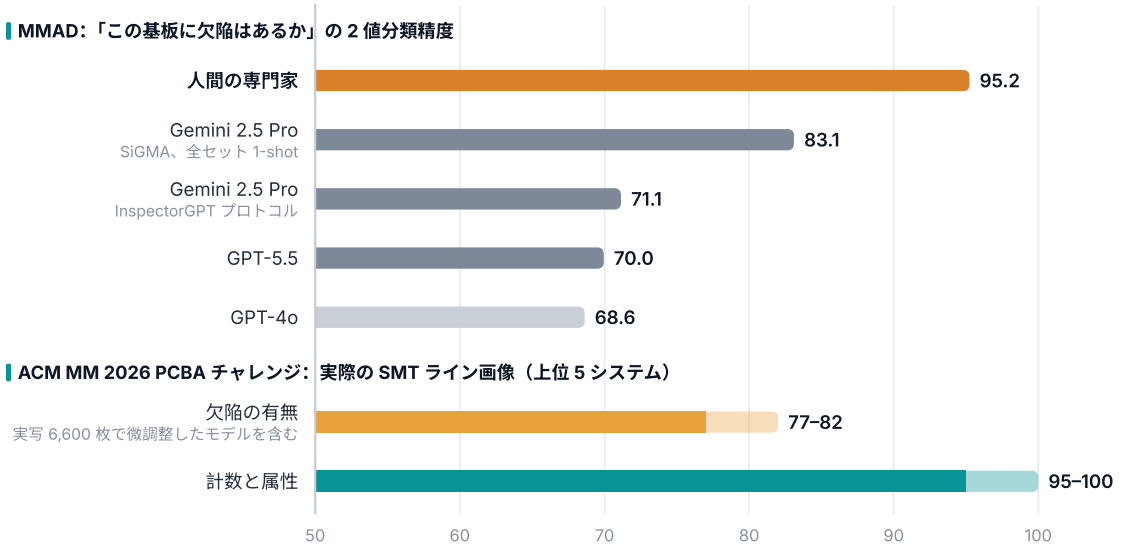
出典： NVIDIA Nemotron モデルカード、VLMQ、VEQ、arXiv 2609.05881、2610.19498、2609.04748 ほか。

汎用ビジョンは一世代で倍増したが、産業欠陥のスコアは存在しない

Roboflow 汎用検出 mAP@50



精度またはスコア（%）



産業欠陥ベンチマーク（MMAD、MVTec AD 2、VisA、Real-IAD、UniPCB）：これら 2026 年最上位モデルの公表スコア 0 件
汎用検出スコアは一世代で倍増したが、欠陥判定の代わりにはならない。自社のゴールデンセットで実測すべき

出典： Roboflow Vision Evals；モデルリリースノート；MMAD、MVTec AD 2 ほか（2026 年 11 月 11 日時点）。 MMAD；SiGMA；InspectorGPT；ACM MM 2026 PCBA チャレンジ。

最前線モデルがプリラベルし、人が裁定し、ゴールデンセットがゲートとなる

検査：最前線モデルがプリラベル、人が裁定、ゴールデンセットがゲート

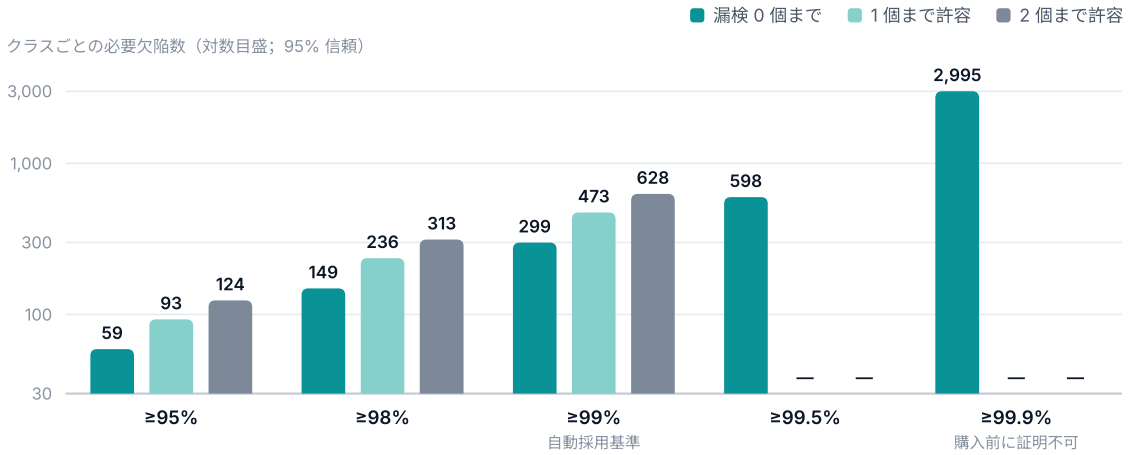


教師ラベルを自動採用する基準

クラスごと：欠陥 ≥299 個かつ漏検ゼロ（95% 信頼で再現率 ≥99%）、モデルと真値の一致は人同士以上。それ以外はプリラベルのみ

アーム制御：教師は依然として人のデモ、実機 RL、シミュレーション

最前線モデルはオフラインのプログラミング・段取り替えのみ支援

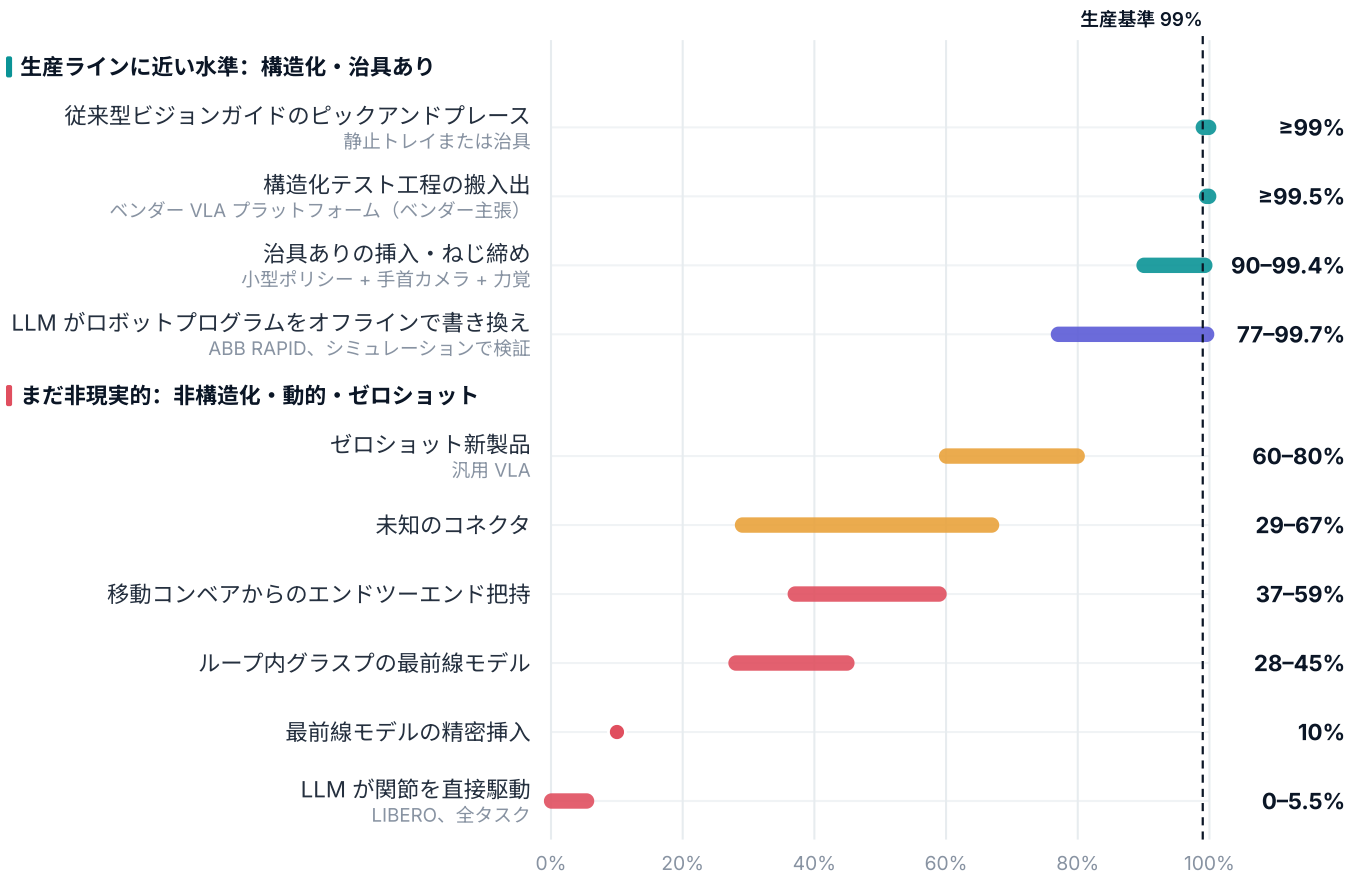


主要ポイント 教師のラベルを自動採用するのは、≥299個のゴールデン欠陥で漏検ゼロ（95%信頼で再現率99%）のクラスに限る。短絡、部品欠落、極性などの重要クラスはさらに多く必要。

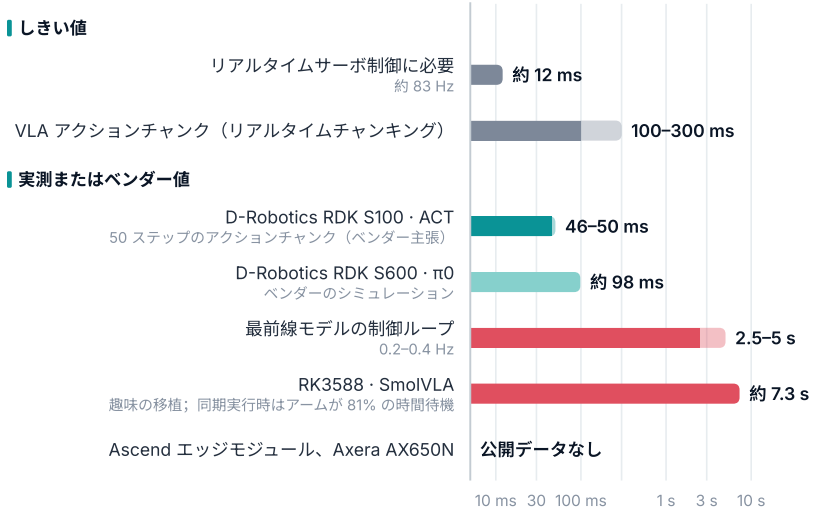
出典： 筆者の総合（第 3 章）；コストとサンプル数は推定。 正確な二項信頼区間（95%）。

ロボット生徒：構造化された工程でのみ生産級に近づく

タスク成功率

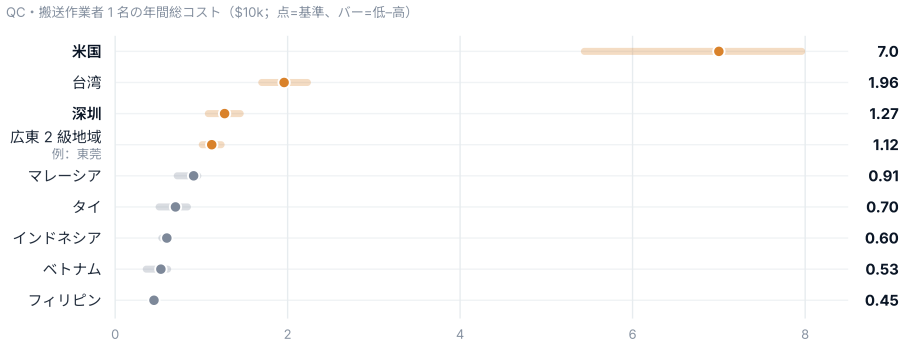


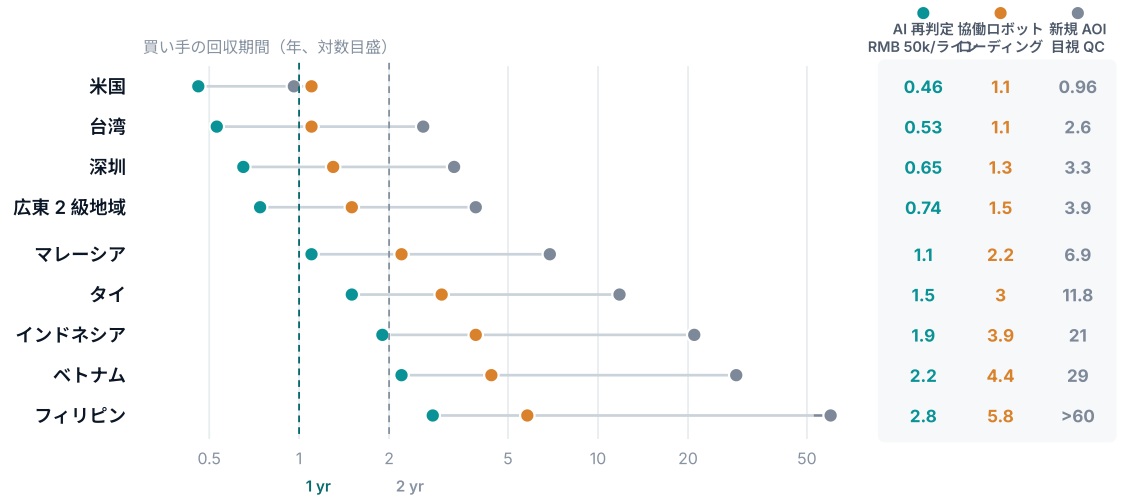
アクションチャンクまたは制御サイクルあたりの推論遅延（対数目盛）



出典： 第 3 章の論文・ベンダー資料；一部はベンダー主張。 D-Robotics 文書とフォーラム（ベンダー値）；GitHub コミュニティ移植；Anthropic 研究。

AI再判定は数か月、機械搬入出は約1年で回収



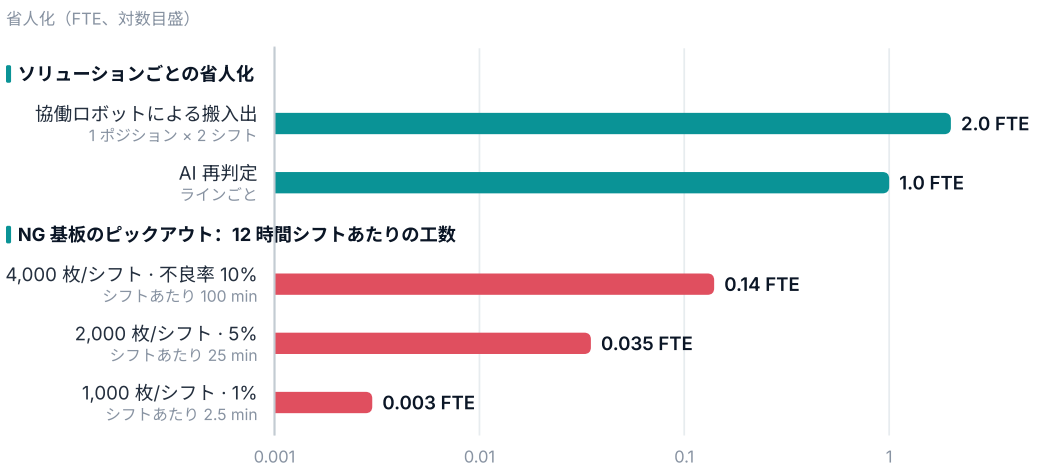


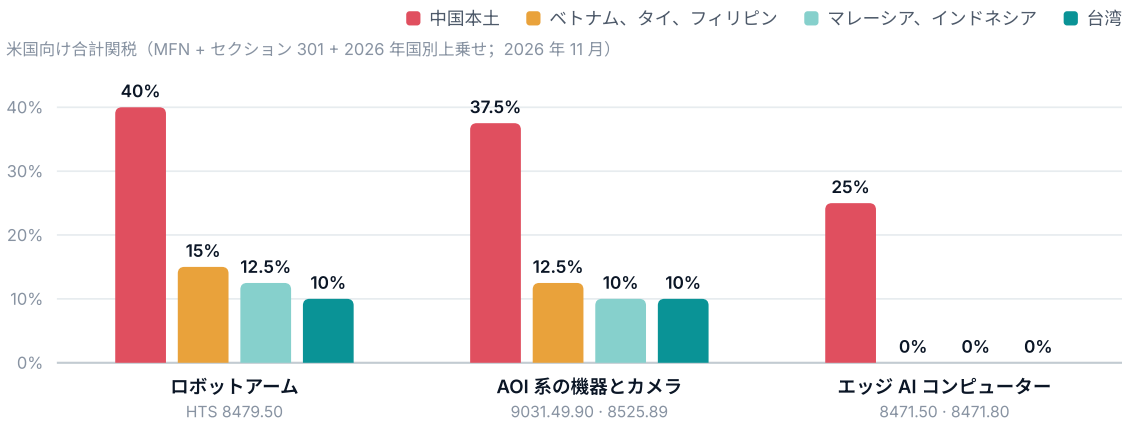
不良板ピックアウト専用アーム：どの地域でも元が取れない
直通率 90% 超ではピックアウトはシフトあたり 0.003–0.14 FTE のみ

主要ポイント RMB 50,000/ラインでは、AI再判定の回収はUSで0.46年、Taiwanで0.53、Shenzhenで0.65、Vietnamで2.2年。2シフトの協働ロボット搬入出セルは1.1〜1.5年 [estimates]。

出典： 深圳公式賃金指針、台湾労働部、JETRO、BLS；筆者推定。 筆者モデル：AI 再判定ボックス RMB 50k/ライン；協働ロボットセル RMB 200k または $140k、2 シフト。

ピックアウトアームは回収できない。アームの製造地によってUS関税が変わる。





主要ポイント 直通率90%を超えると、NG基板の取り出しはシフトあたり0.003〜0.14人分にすぎず、NG分流装置またはバッファで足りる。Mainland China製アームはさらに約40%のUS合算関税がかかる。

出典： 筆者推定。 USITC 関税率表第 99 章；Federal Register；USTR（2026 年 11 月）。

実在するが小さい：対象16,000ライン、一括≈RMB 320M、5年の期間

中国の SMT ライン
40,000 行
35k–46k

× 80% × 50%
AI なし：75–85%
リーチ可能：40–60%

対象ライン
16,000 行
10.5k–23.5k

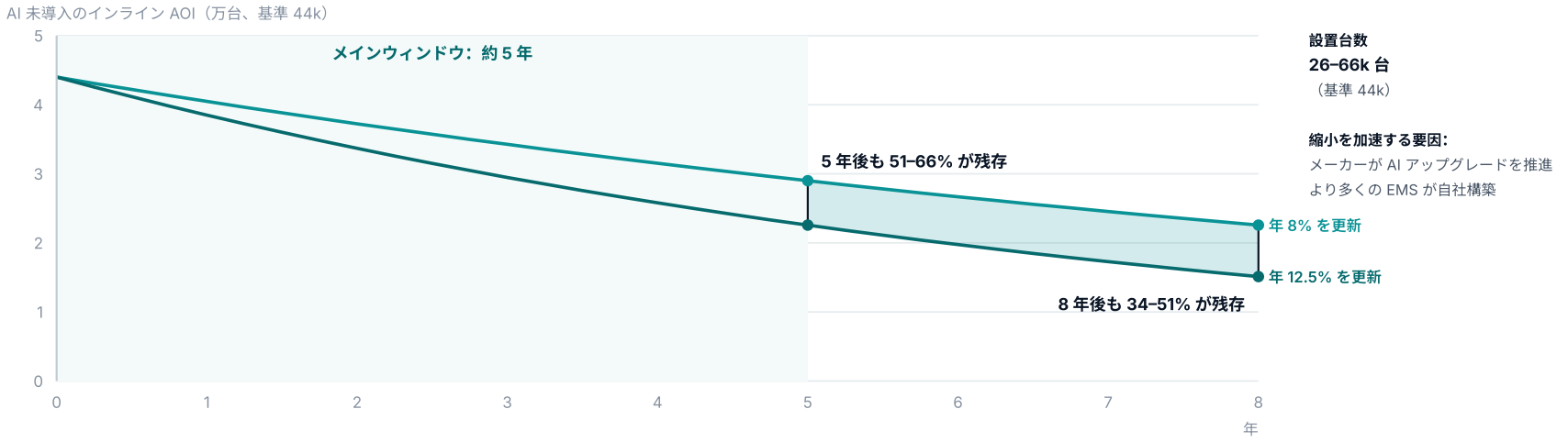
× RMB 20k
RMB 10–30k 一括

一括の既存市場
RMB 320M
RMB 105–705M

÷ 約 5 年
年 8–12% 縮小

5 年ウィンドウ
RMB 64M/yr
RMB 21–141M

新規参入者が 3 年で対象ラインの 2–5% を獲得：約 320–800 ライン、年約 RMB 2–5M
サブスク（ライン・年あたり RMB 5k）では RMB 1.6–4M の経常収益、IDC の中国産業 AI 検査予測のわずか 0.3–2.3%



出典： NVR（2020 基準）；筆者推定。 筆者推定；設置台数とシェアは独立検証なし。

再判定の楔は包囲されている。利益は製品化されたハードウェアにある。

大手 EMS が自社構築

DBG（2025）：フラグ部品の ≥95% をカバー
流出 <20 PPM、人による再判定 −85%
これがティア 1 EMS に売るための基準

AOI メーカーが AI を内蔵

Jutze の AI 3D AOI が量産、「検査段階で人の再判定を排除」
ViTrox V510Ai；Sinic-Tek が Tencent と共同開発
新機は AI 搭載、既存機はアップグレード

サードパーティ AI 再判定

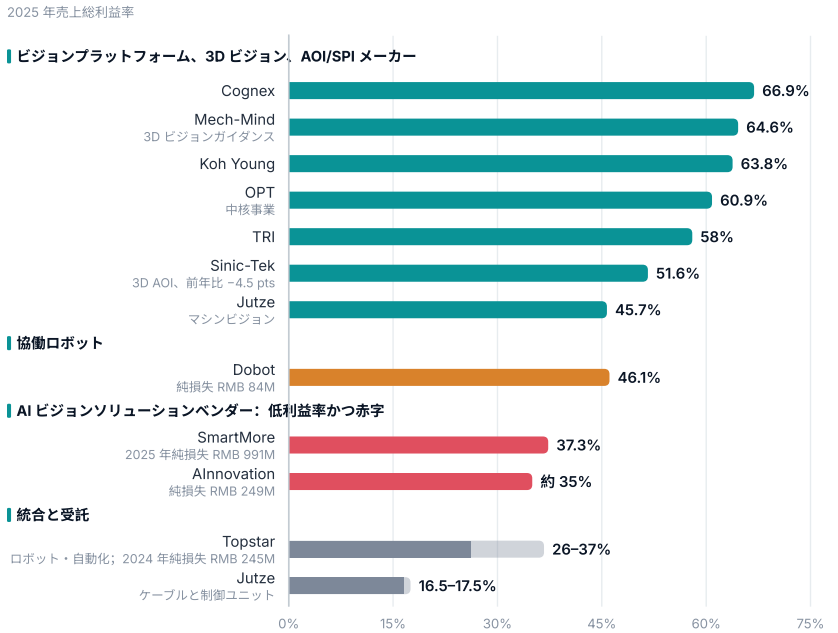
既存 AOI に後付けするボックス + ソフトウェア

プラットフォームベンダー

Hikvision Guanlan と SmartMore IndustryGPT が販売中
大手 AI ベンダー：2025 年売上 RMB 1.086B
純損失 RMB 991M：価格競争

サードパーティに残る余地

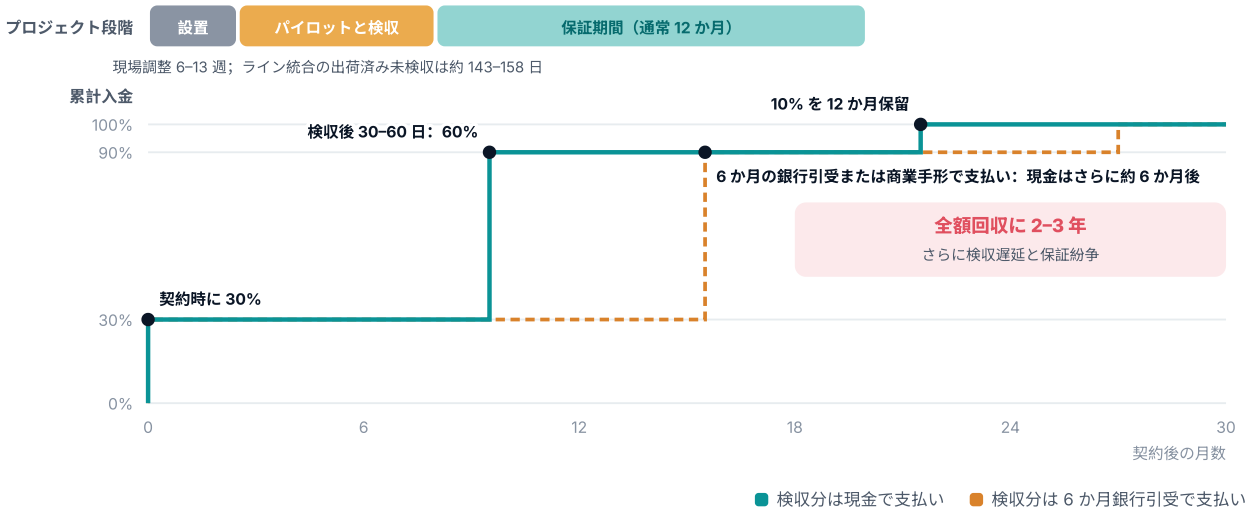
旧型・複数ブランドの AOI を持ち、メーカーが AI アップグレードを提供しない中堅 EMS（約 10–40 ライン）
AOI が苦手なニッチ検査：THT と手はんだ、コンフォーマルコーティング、ケーブル/コネクタ/FPC、完成品の外観とネジ

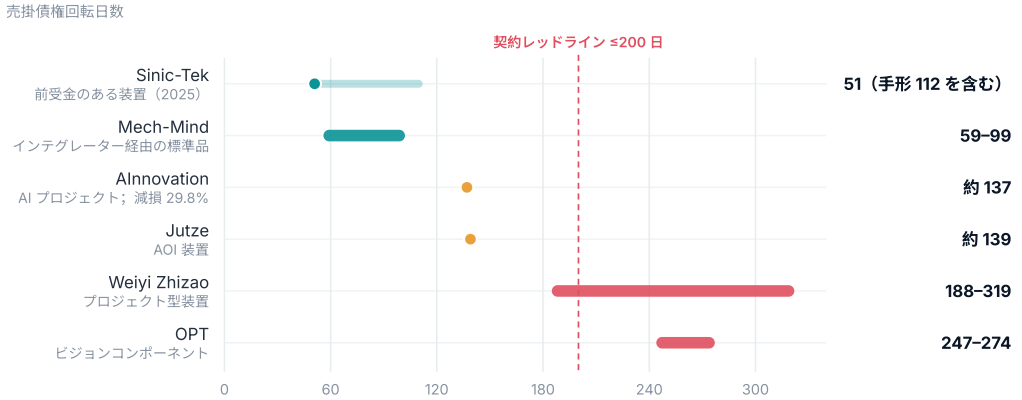


根拠 大手AIビジョンベンダーの2025年売上はRMB 1.086B、純損失はRMB 991M。最も近い上場比較企業の3C売上は2026年1〜5月に前年比79.9%減少した。

出典： Jutze、Sinic-Tek、DBG の年次報告；Hikvision・SmartMore の公開資料；筆者作成。 2025 年年次報告または目論見書。

買い手は30/60/10で支払う。全額回収には2〜3年かかる。





主要ポイント 30%は発注時、60%は約4〜9か月後、最後の10%は約16〜21か月後に支払われる。大手EMSでの最初のパイロットから全額回収までには2〜3年かかることがある [estimate]。

出典： Sinic-Tek 質問回答、Mech-Mind、GKG、JT ほか；一般的条件の概略、時期は推定。 企業資料；売掛債権（契約資産含む）÷ 売上 × 365。

オフラインで計画し、小型ポリシーで動作させ、モーションと安全は決定論的に保つ

レイヤー	何をするか、証拠はどこまでか	時間スケール・誰が握るか
計画 L4	**最前線モデル（オフライン）** ロボットプログラムのオフライン作成・変更、段取り替え、異常説明 ABB RAPID プログラムを 77–99.7% で書き換え、シミュレーション検証後に配信 制御ループは 0.2–0.4 Hz のみ：リアルタイムには入らない	秒から分 モデル大手
スキル / ポリシー L3	**ACT、拡散ポリシー、小型 VLA** 治具ありの構造化工程 90–99.4% エッジチップ：Jetson Thor、D-Robotics RDK、Ascend、Rockchip	アクションチャンク 100–300 ms チップベンダー・ロボットメーカー
モーション制御 L2	**ロボットコントローラー** 軌道、サーボ、力制御、衝突検知 決定論的コード；学習ポリシーは目標のみ設定	ミリ秒単位（リアルタイムには 83 Hz 超が必要） ロボットメーカー
安全 L1	**安全 PLC、スキャナー、力と速度の制限** ISO 10218-1/-2:2025 および現地規則で認定 安全機能に ML を入れない：EU は 2027 年 1 月 20 日から公認機関の審査が必要	ハードリアルタイム 認定ロボット + インテグレーター

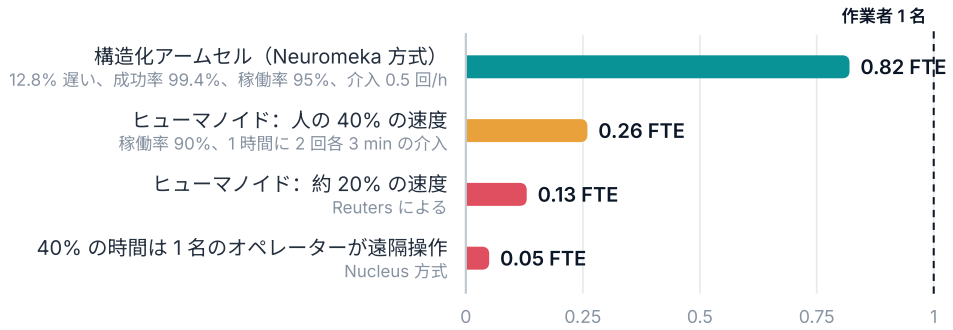
中小企業の好機は統合とセンシングハード：学習型知覚と小型ポリシーを認定ロボットセルに組み込み、1 工程ずつ導入

	成功率	タクト	介入 / 遠隔操作	稼働率 / 故障	量産稼働
Figure 02 @ BMW	目標のみ >99%/シフト	目標のみ 84 s	目標のみ 0 回/シフト	非開示	1,250 h
Agility Digit @ GXO	非開示	非開示	非開示	非開示	100,000 個の通い箱
Apptronik Apollo @ Mercedes	非開示	非開示	非開示	非開示	非開示
Agile ONE @ Audi	非開示	非開示	非開示	非開示	非開示
Nucleus（工場名非公表）	非開示	非開示	約 40% 遠隔操作*	非開示	約 2 h の動画
AgiBot G2 @ Longcheer	99.99%	1 工程あたり 18–20 s	非開示	故障 1 回あたり 2 min	64+ h
Neuromeka ハイブリッドセル	322/324	12.8% 遅い	非開示	非開示	324 サイクル
π0.6 @ 顧客現場	—	—	96.4% 自律	非開示	1 シフト

* 計算方法は非開示

開示済み（多くはベンダー主張）　目標のみ公表　非開示

ロボット 1 台・シフトあたりの純代替人員



出典：筆者の総合（第3章、第6章）と推定。ISO 10218:2025。EU機械規則。BMW、Figure、Agility、Mercedes-Benzなどの公開資料。

限定的に作り、工場自身の画像で実証し、その後スケールする

作る

旧型または複数ブランドのAOIを持ち、AOIメーカーからのAIアップグレードがない中堅EMS向けの、AOI画像でのAI再判定と欠陥分類。AOIが苦手とする検査。全パーツを搬送する協働ロボットセル。

作らない

汎用の「AI＋アーム」プラットフォーム、主検査器としてのLLM、SMTラインのピックアウトアーム、ヒューマノイドとロボット・アズ・ア・サービス、制御ループや安全機能に入る最前線モデル

パイロット

1. **第0〜2週：** データ契約、欠陥クラス、ベースライン
2. **第1〜4週：** ゴールデンセット、ブラインドでラベル付けし裁定
3. **第2〜4週以降：** シャドウモード、クラスごとに比較
4. **第4〜8週：** 合格したクラスのみで補助運用
5. **その後：** 書面での受け入れ、ラインごとの段階的拡大、変更のたびの再検証

安全 安全機能に機械学習を入れない。EUは2027年1月20日から公認機関による評価を義務付け、AI認証の道筋は2027〜2029年まで定まらない。

出典：レポート第6〜7章とエグゼクティブサマリー。 ISO、IEC、UL、EUR-Lex、SAC と各国規制データベース。

著者について

Tan Shuai

テクノロジスト、創業者、チップ、ハードウェア、システムソフトウェアにわたる20年以上の経験と、取得済み特許20件を有する。その歩みはSilicon Valley、New York、Chicago、Taiwan、Greater Bay Area（ShenzhenおよびHong Kong）、Vietnam、Malaysiaに及び、長年にわたり先端製造とサプライチェーンに注力してきた。現在はAI研究者・開発者として、AIが生産現場でどのように使われるかに集中して取り組んでいる。

完全版レポート（全図表と出典）と記事はtanshuai.comに掲載。製造業でAIに取り組む人々との対話を歓迎する：
i@tanshuai.com

