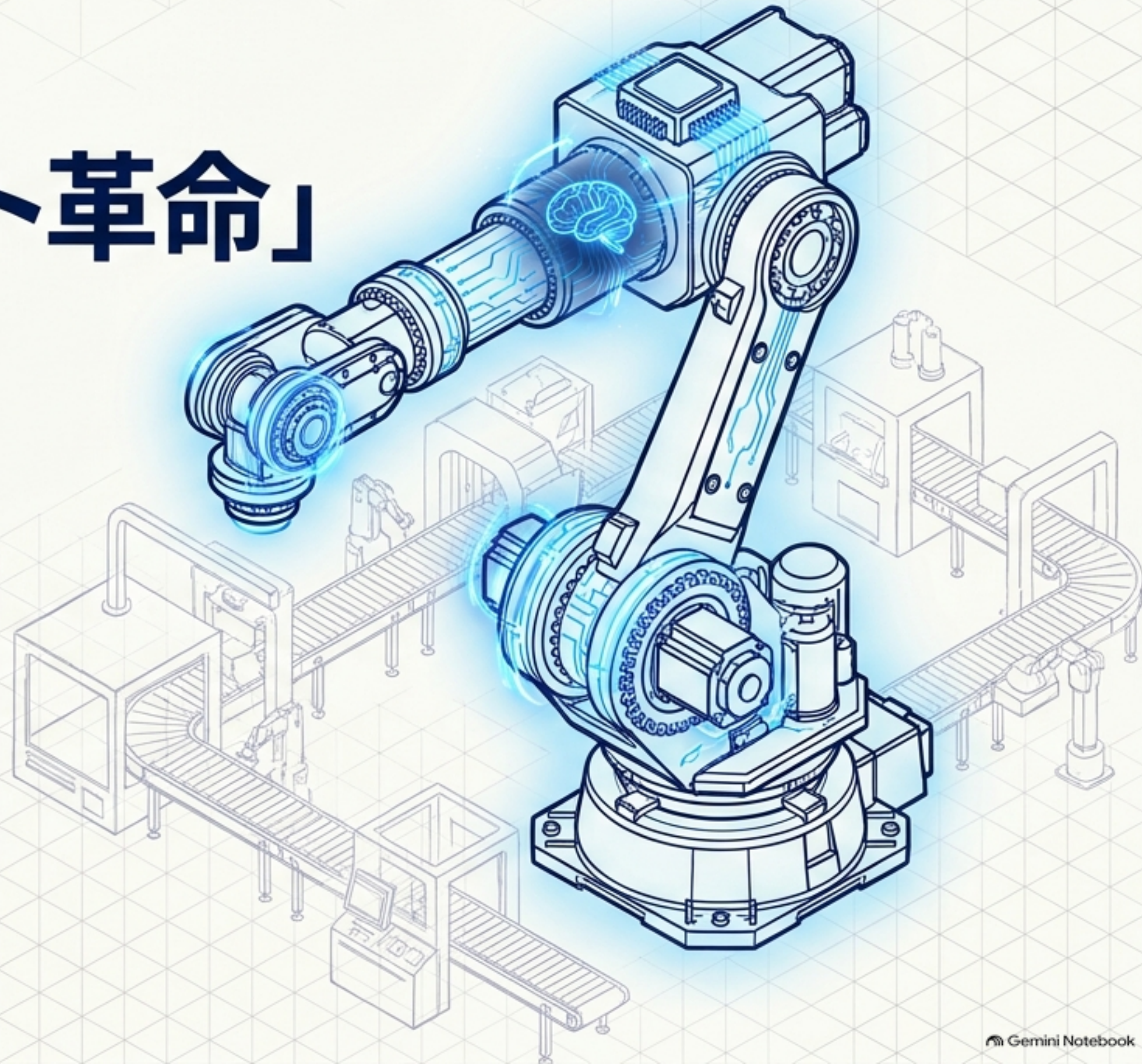
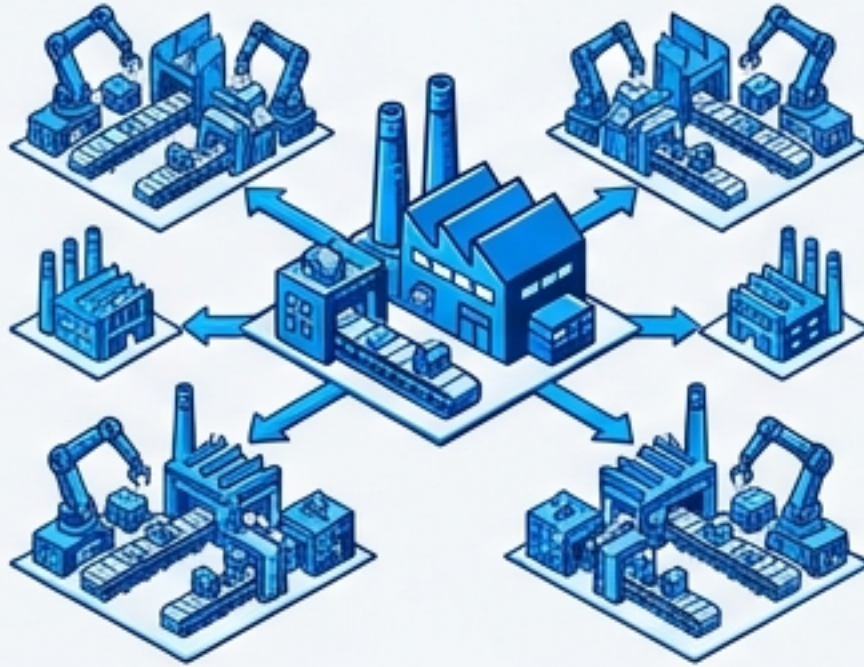


トヨタが仕掛ける 「40万台のロボット革命」

フィジカルAIによる
製造産業の構造転換と、
極限の工学的実利主義



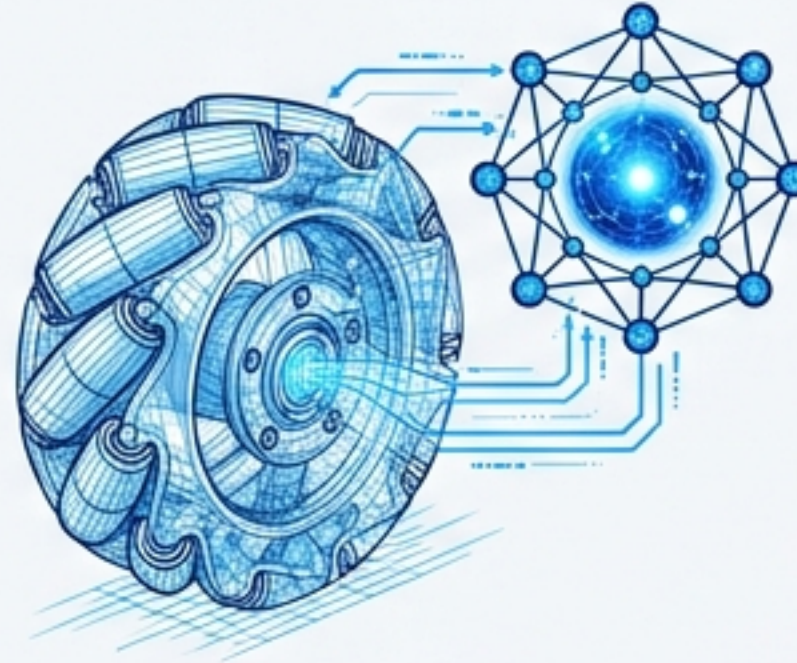
The Scale (衝撃の規模)



- 2028年以降、年間1兆円の巨大投資
- 世界60カ所の拠点とサプライチェーンへ計40万台配備

1兆円 / 40万台

The Technology (実利の技術)



- 二足歩行を捨てた「全方向車輪+QDD」の極限の実用性
- 「大規模行動モデル(LBM)」と拡散政策による自律制御

FA 3.0

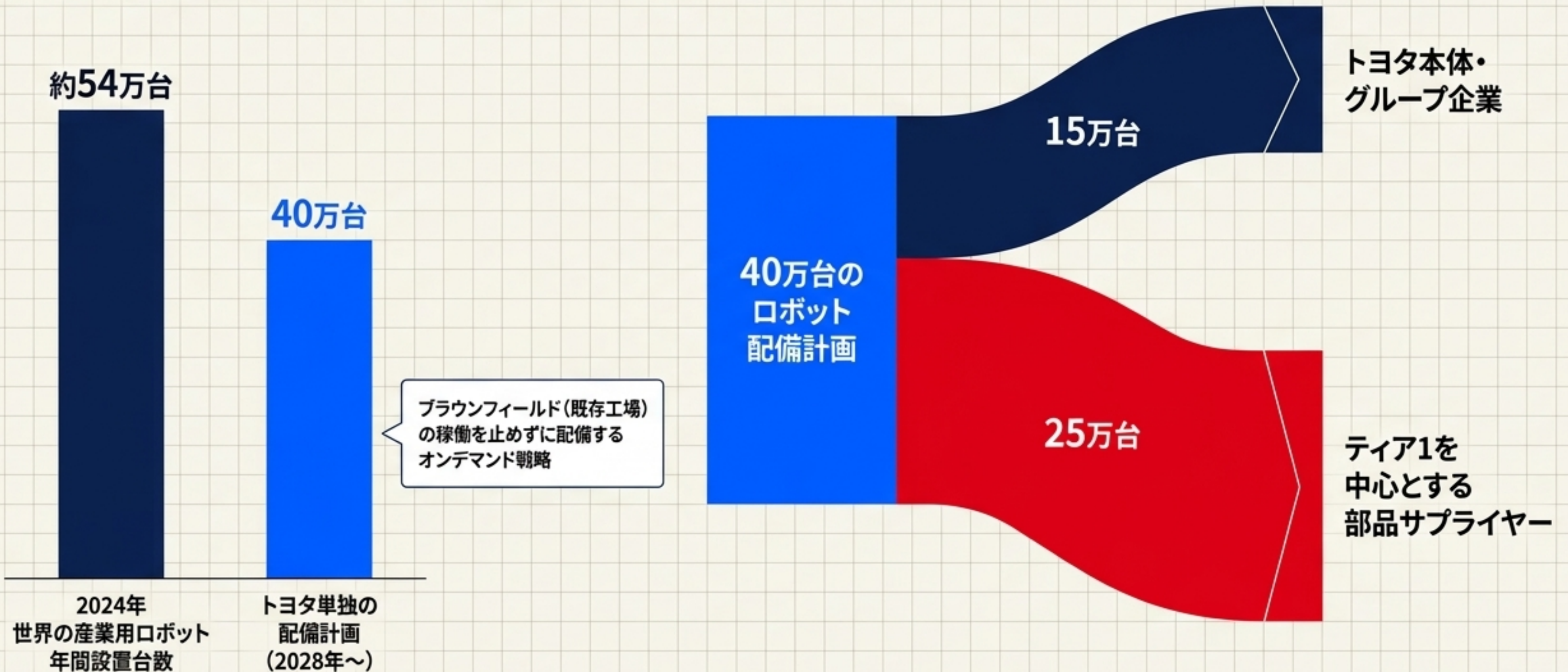
The Impact (構造の転換)



- 「匠の技」のデジタル資産化とRaaSモデルでの系列変革
- 自動車メーカーから「フィジカルAIプラットフォーマー」へ

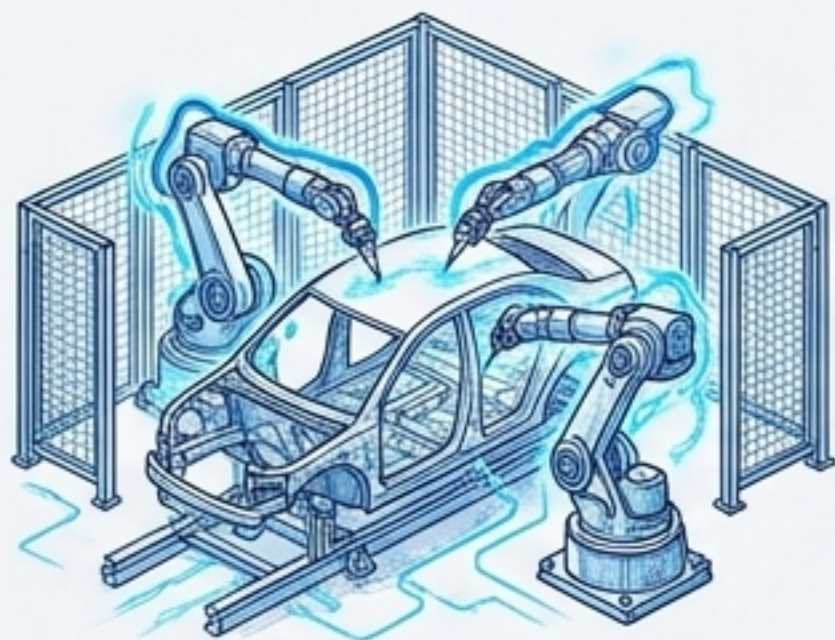
AI Platformer

単一企業グループによる、 製造業史上類を見ない実装スケール



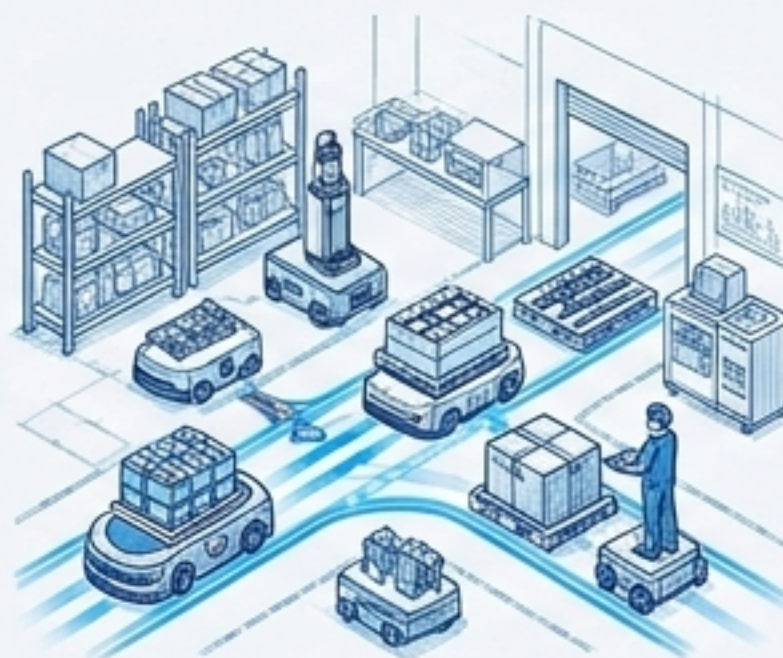
Factory Automation 3.0: 「ジャスト・イン・タイム」と「自働化」の拡張

FA 1.0 (高速化)



専用機・大型ロボットによる
固定作業の高速化
(車体溶接・プレス)

FA 2.0 (物流自動化)



AGVやAMRによる
工程間物流の自動化

FA 3.0 (知能化協働・能動的自働化)



LBM搭載のロボットが
人間と同空間で
混流生産に柔軟対応。

進化する自働化:
異常停止だけでなく、
自ら良品条件を検知・
補正し、ラインを止め
ずに維持・回復する
車載OS「Arene」と
デジタルカンバンによる
60工場のE2E接続

The ELEY Architecture:

理論的万能性より「現場への即時適合」を極める

ブラウンフィールド
適合性

ベース機構 (全方向車輪)

自重わずか50kg。静止時のエネルギー消費ゼロ、転倒によるライン停止リスクの極小化。

昇降機構 (939mm~1,619mm)

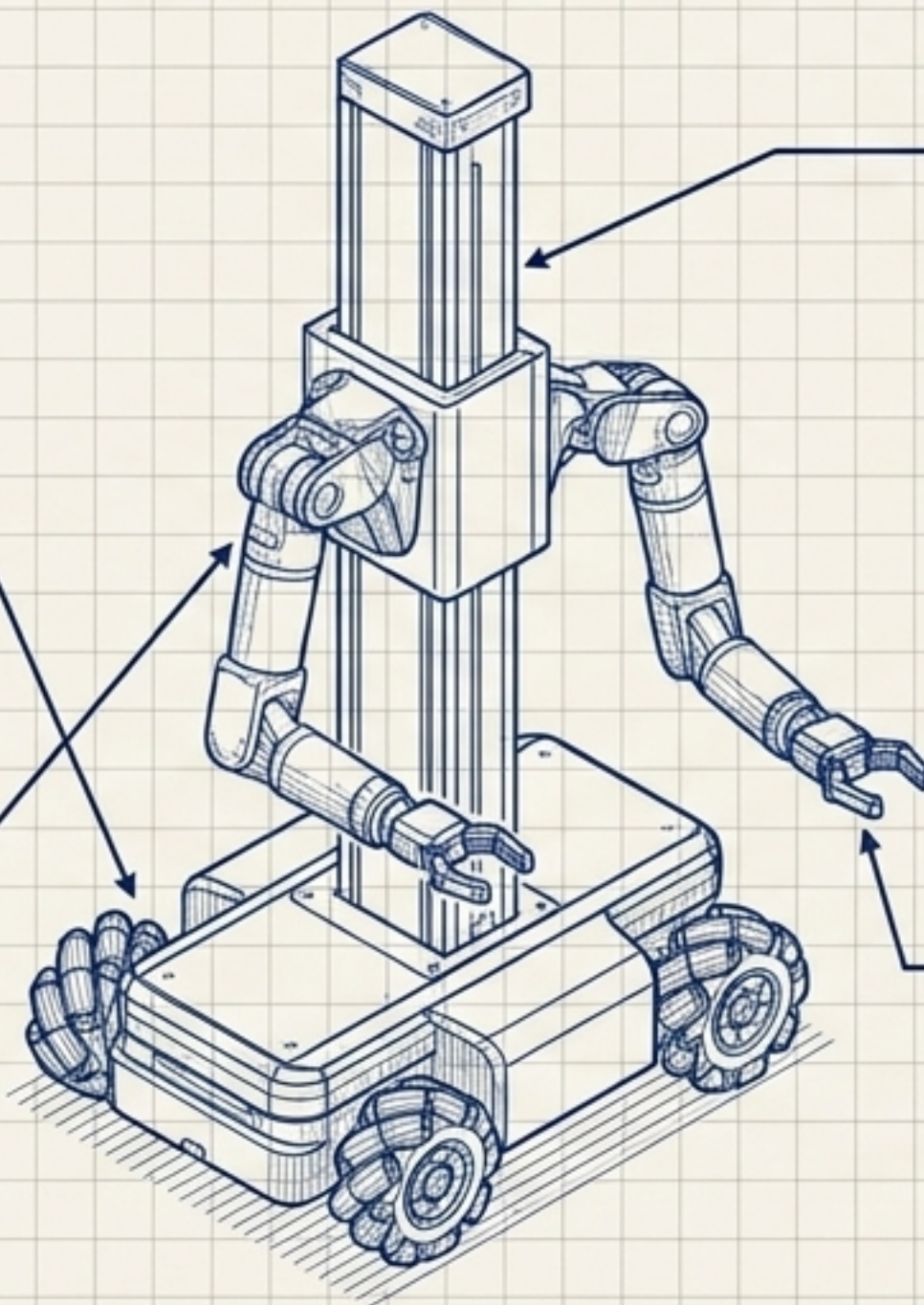
床面のトレイから胸元の作業台まで、既存の治具・設備を一切改造せずにアプローチ可能。

腕部関節 (肩甲骨軸)

人間の肩甲骨軸を組み込み、狭い車内空間での回り込み動作を再現。

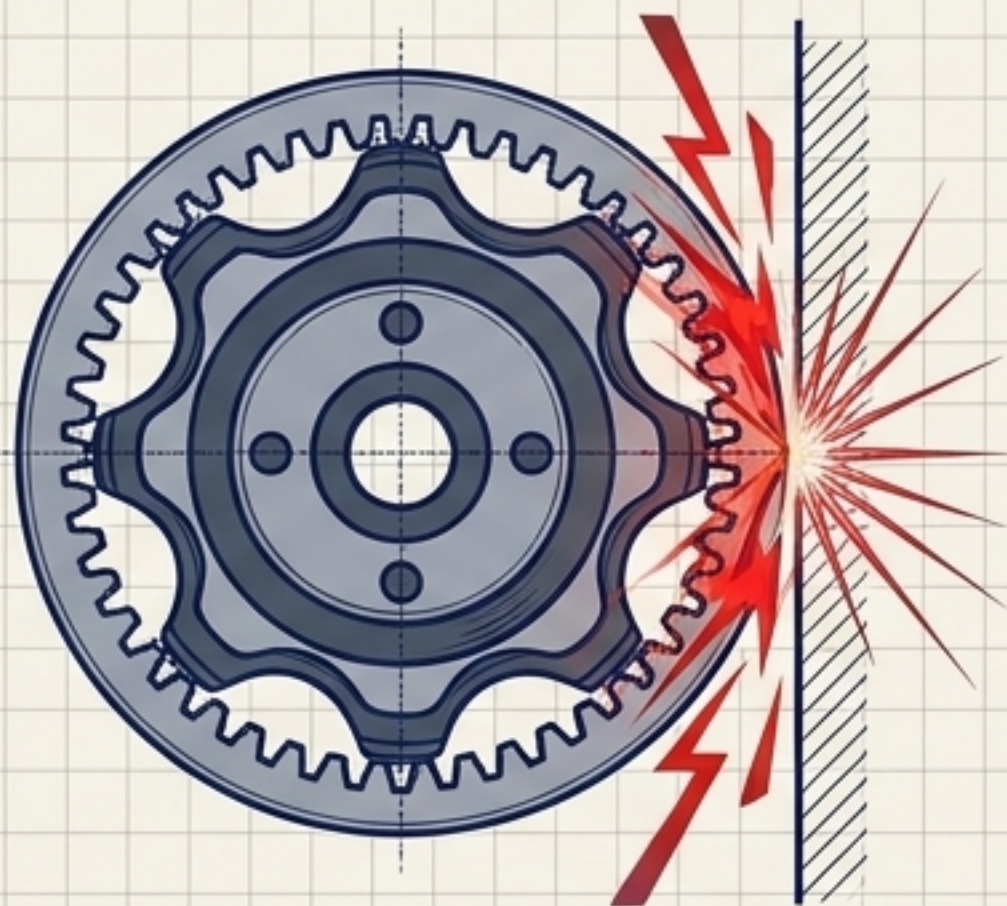
手先機構 (2本指ハンド)

故障点が多く制御が複雑な多指ハンドを避け、堅牢性を最優先。



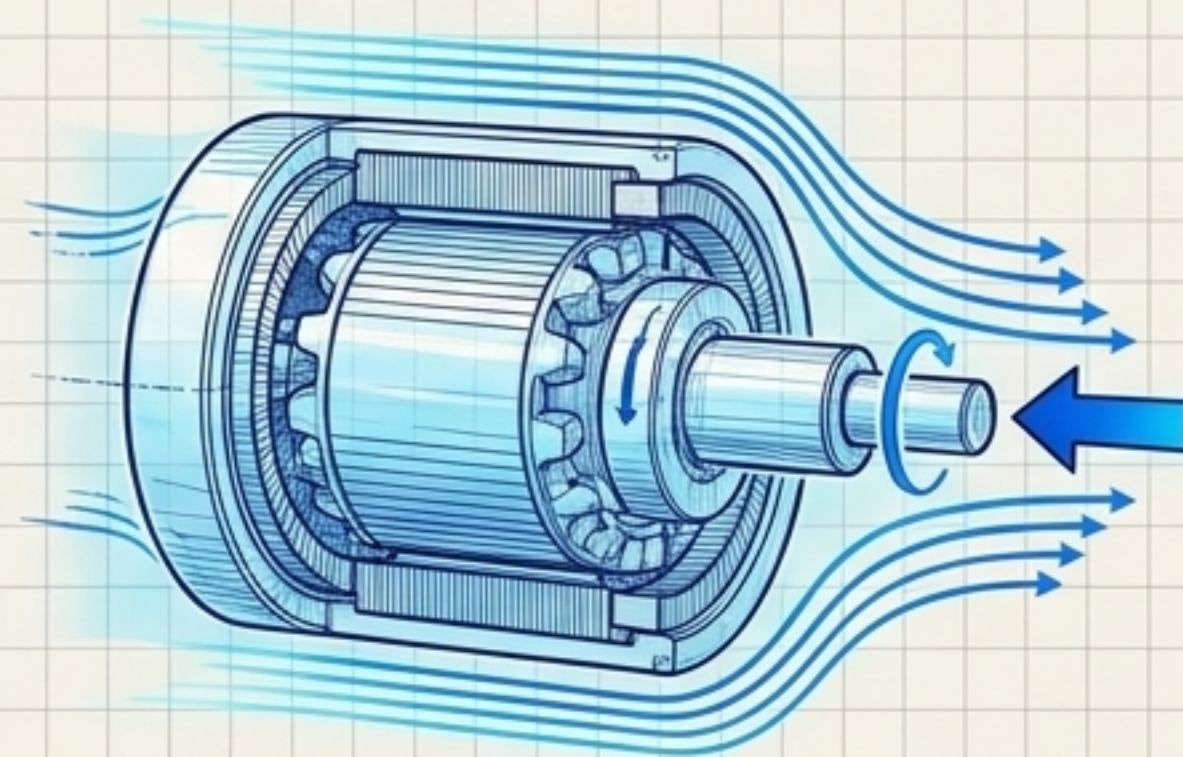
アクチュエータのパラダイムシフト：本質安全と高バックドライバビリティ

従来型（高減速比 100:1以上）



- 剛性は高いが、外部からの逆駆動が困難。
- 衝突時に過大な衝撃力が加わり、安全柵が必須。
- トルクセンサによる「事後停止制御」。

ELEY (QDD / 減速比 10:1以下)



- 高トルクモータと低減速比の組み合わせ。
- 物理的な「しなやかさ（機械的コンプライアンス）」を持ち、接触力150N以下を実現。

Result: 人と接触しても力を逃がし、部品干渉時も演算を待たず機械的に力をいなく（安全柵なしでの協働の前提条件）。

思想の分岐点:フィジカルAI実装アプローチの徹底比較

	ELEY (トヨタ / 実利主義)	Optimus (テスラ / 汎用性)	従来型産業用ロボット
【移動機構】	全方向車輪+昇降 (転倒リスクゼロ)	二足歩行 (バランス演算依存)	床面・架台固定
【アクチュエータ】	全軸QDD (減速比10:1以下)	リニア / ロータリー アクチュエータ	高減速比 (調和・サイクロイド)
【接触安全性】	機械的バックドライバビリティ (本質安全)	ソフトウェア力学制御	センサ検知による事後停止
【手先機構】	2本指高剛性グripper	多指ハンド (11~22自由度)	専用エンドエフェクター
【動作生成】	大規模行動モデル(LBM) / 拡散政策	大規模ニューラルネットワーク 遠隔操作	ティーチングペンダント による教示
【工場適合性】	既存設備改修不要 (ブラウンフィールド適合)	段差対応だが 転倒・振動リスク内包	専用セル・安全柵必須

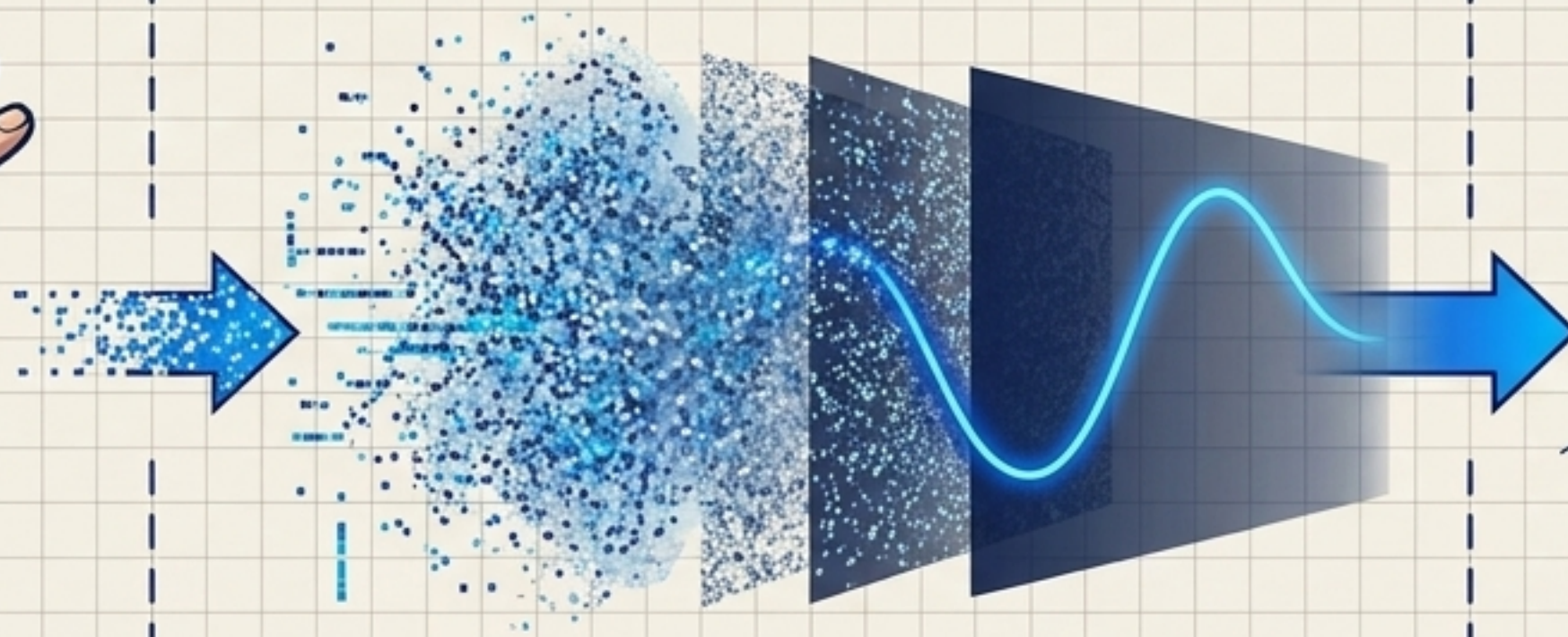
The Intelligence Stack: 大規模行動モデル(LBM)と拡散政策

Input (多峰性入力)



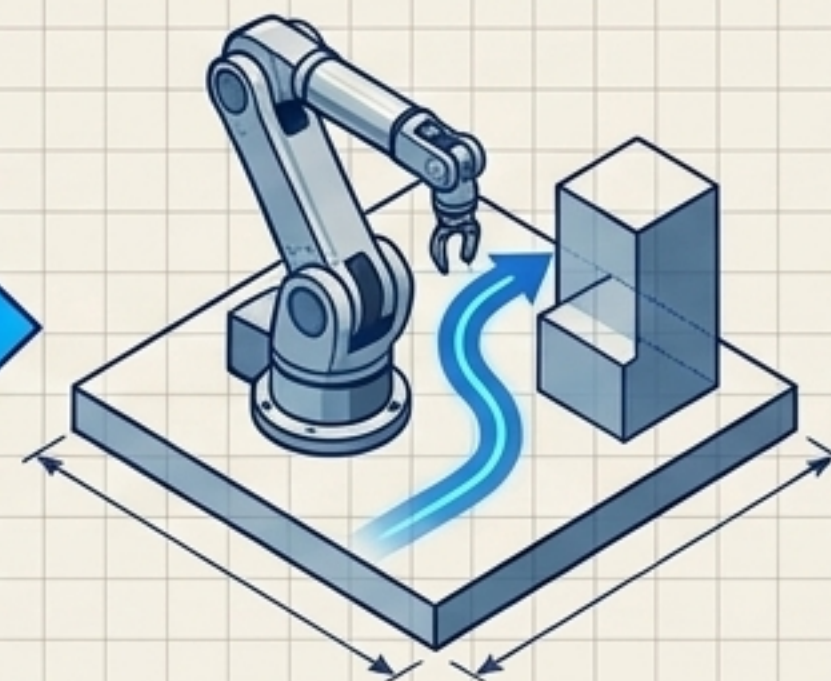
人間の作業デモ(カメラ画像、手先センサ、関節エンコーダ)をUMIデバイスで抽出。

Process (Diffusion Policy)



画像生成AIのノイズ除去プロセスを応用。ガウスノイズから一連の連続関節軌道をサンプリングし、マルチモーダルな行動分布を滑らかに生成。

Output (自律動作)



ティーチングペンダントを完全排除。状況に応じた柔軟な自律動作の生成。



Proof Point: 「柔軟物(Tシャツやワイヤーハーネス)への適応」をわずか2週間・1500回の実機学習で実現。従来プログラムでは不可能だった領域への即応性。

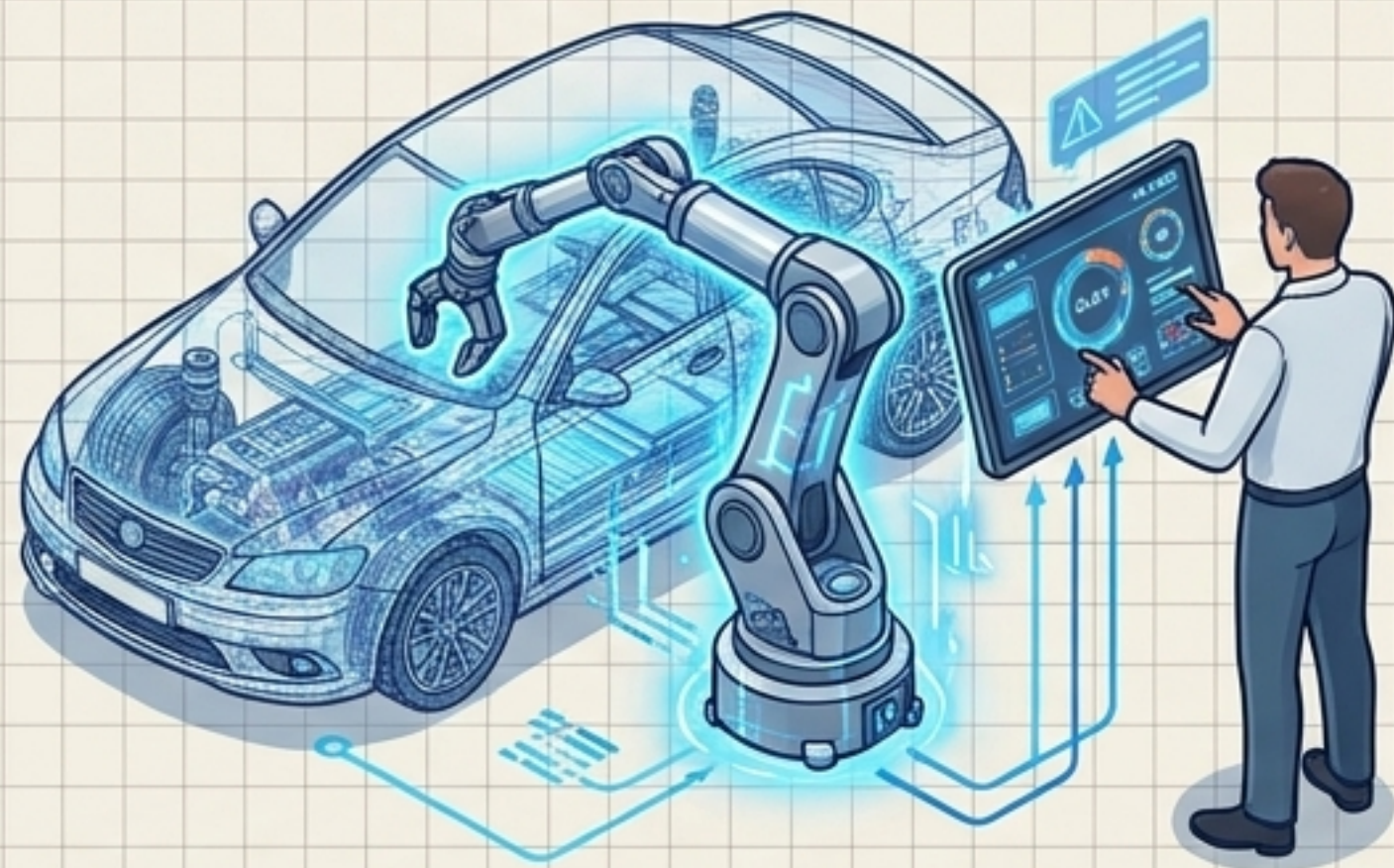
労働環境の変容: 身体的摩耗からの解放と役割の高度化

Before (肉体的摩耗のボトルネック)



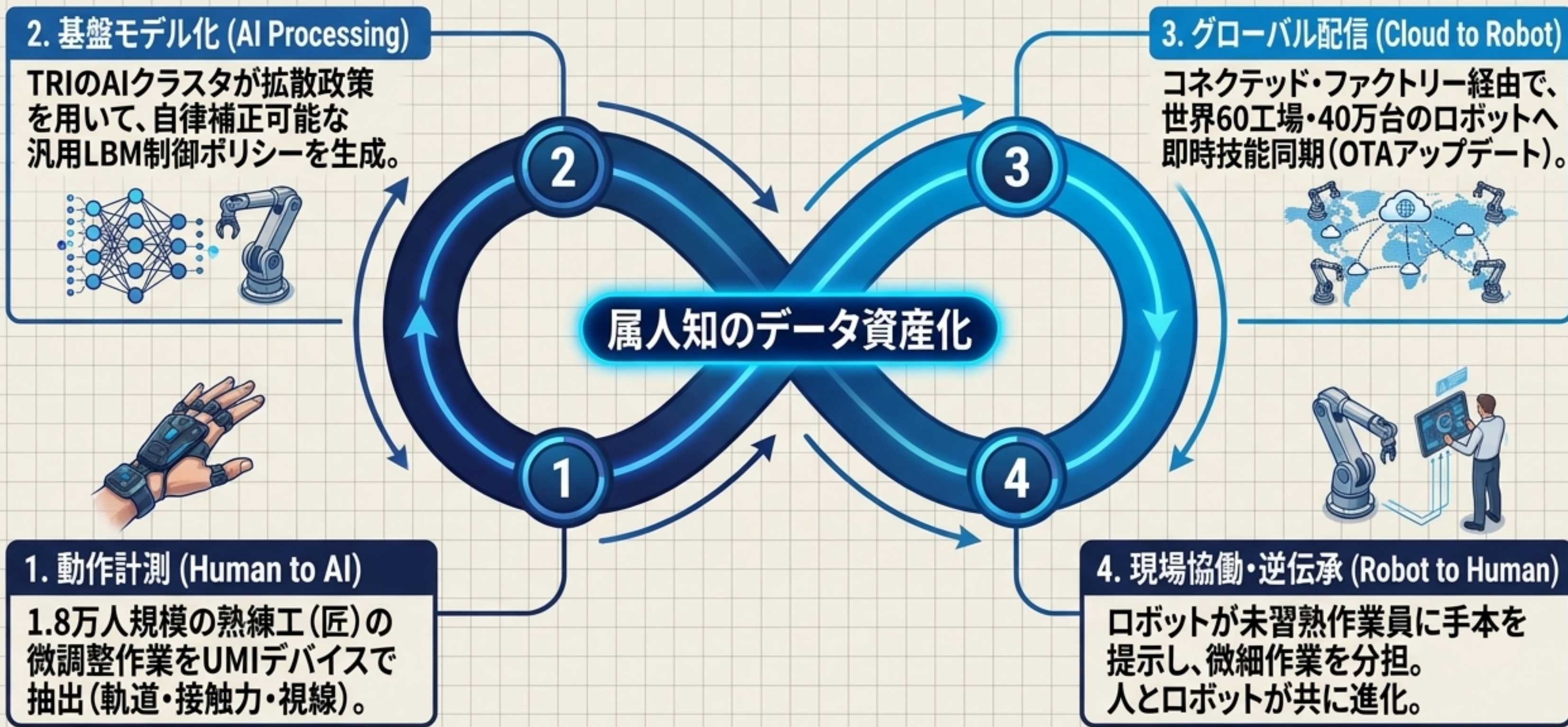
- フロア下部でのグロメット挿入、ワイヤーハーネス引き回し。
- 数十kgのEVバッテリーのキッティングによる腰痛・関節障害。
- 塗装補修やシーラー塗布による化学物質吸入リスク。

After (知能化と多様性の拡大)



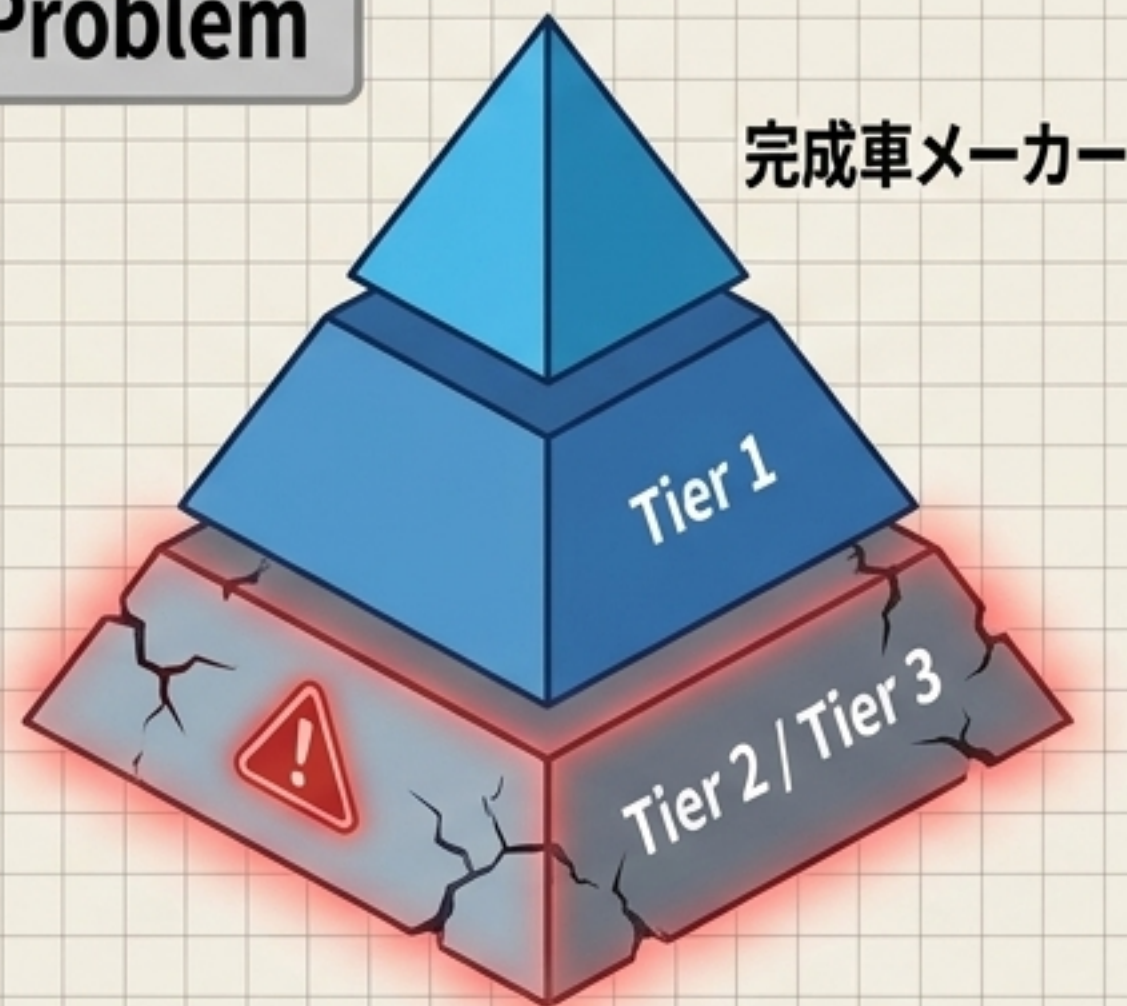
- 重作業とエルゴノミクスリスクをELEYへ完全オフロード。
- 高齢者や女性の就労可能範囲が劇的に拡大。
- 作業員の役割シフト: 「マニュアル作業の実行者」から「良品条件を設計するカイゼン・ファシリテーター」へ。

技能伝承の閉ループ: 「属人知」から「グローバルなデータ資産」へ



Supply Chain Shockwave: 25万台の水平展開とRaaSモデル

The Problem



- 中小サプライヤーは設備投資余力がなく、若手不足により生産ライン維持が限界。
- 上流工程の精度低下が、完成車組み立ての歩留まり低下へ直結するリスク。

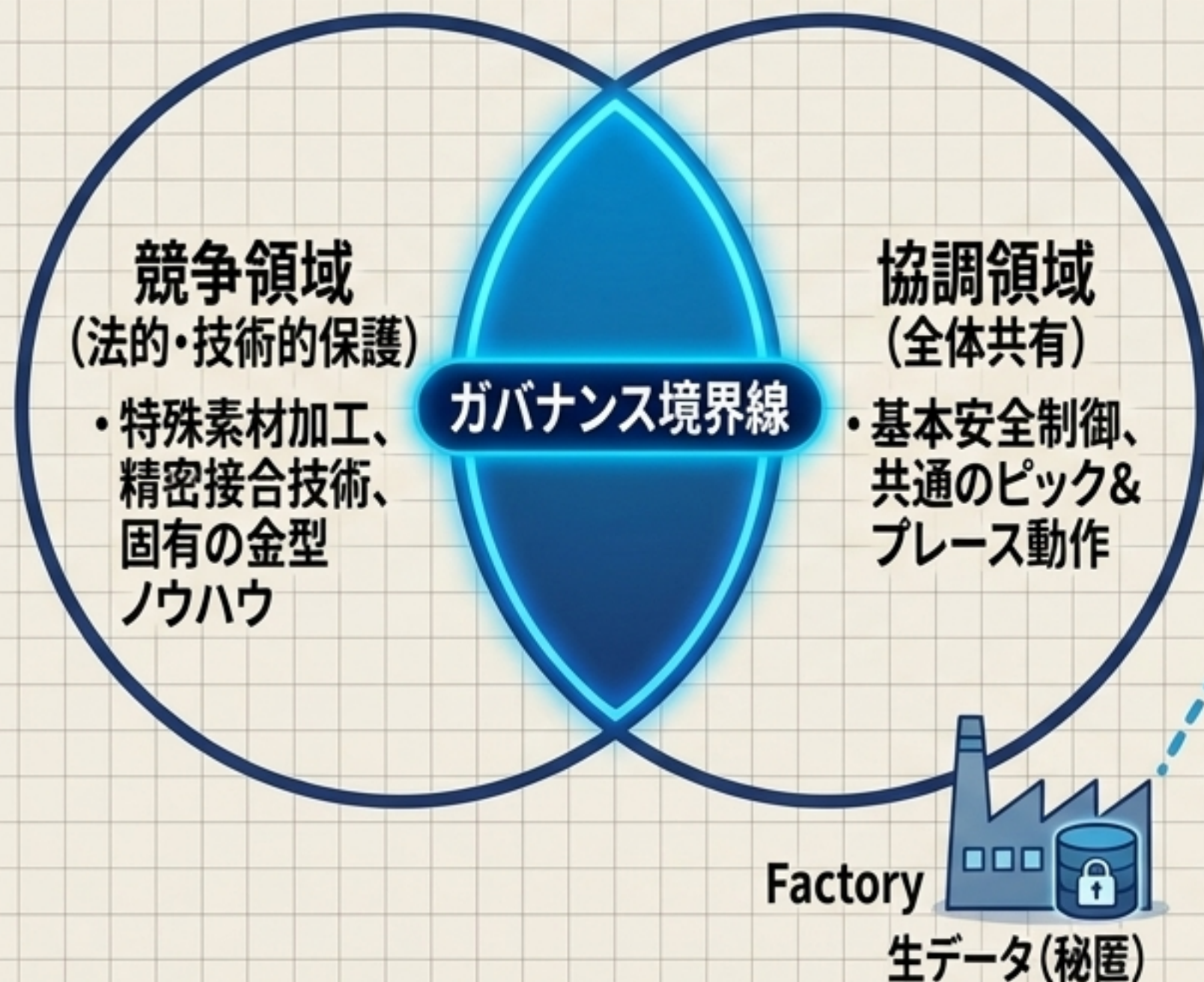
The Solution



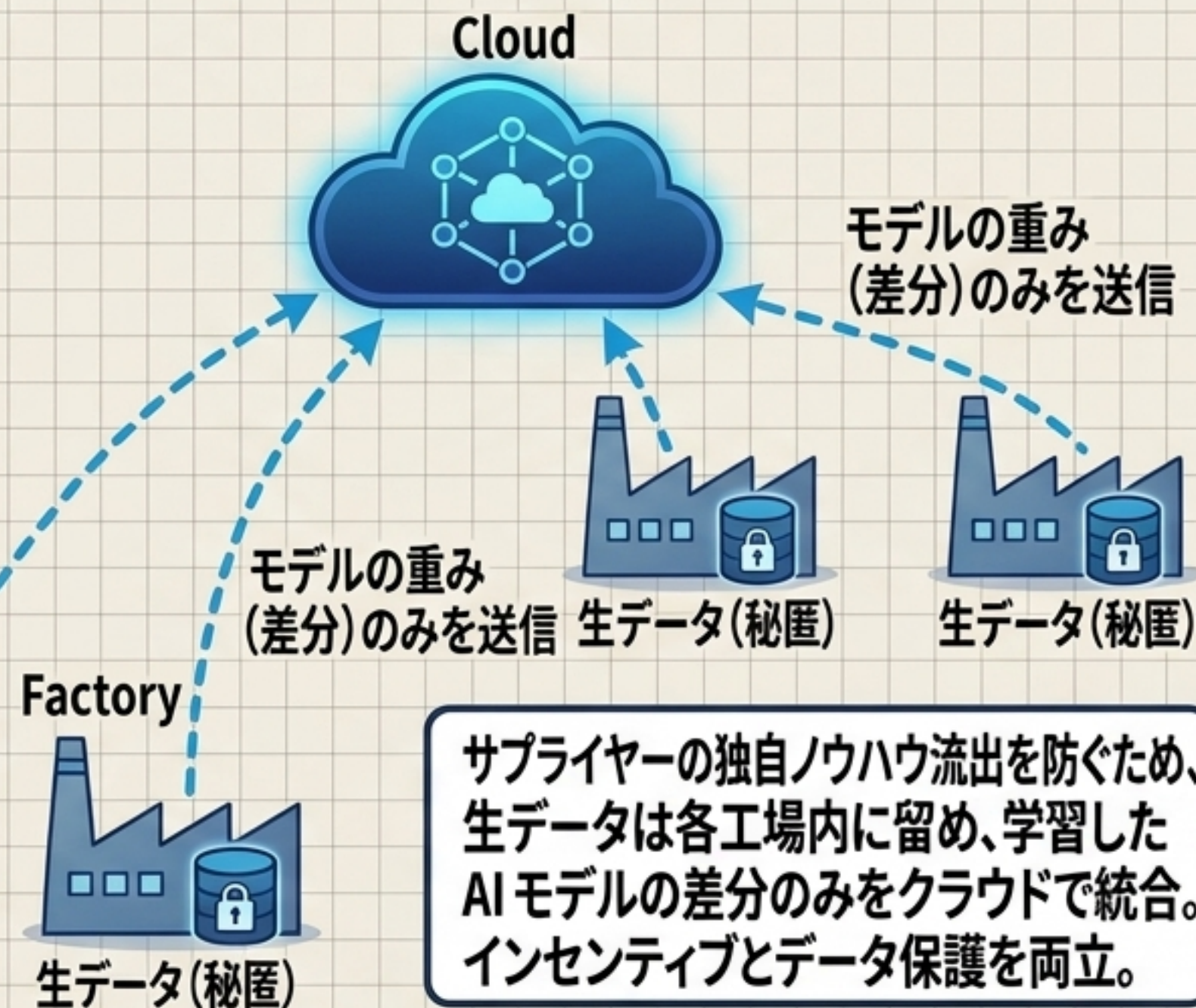
- 巨額のSI費用なしにFA 3.0基盤をサプライチェーン全体で共有。
- 導入総額数千億円の負担を軽減するため、稼働時間従量課金や残価設定リースを提供。
- 上流での公差管理を底上げし、系列全体の品質保証能力を極大化。

データ主権の境界線：ガバナンスと連合学習 (Federated Learning)

The Governance Structure



Technical Solution:



40万台構想の死角：実装における工学的・経営的ボトルネック

リスク領域		想定事象 (The Risk)	回避メカニズム (The Mitigation)
	[物理的制約] タクトタイムと エッジ推論	45～60秒のタクトタイム中、 拡散モデルの反復演算遅延 によりライン同期が崩壊。	ポリシー蒸留による軽量化。 定常ルーチンと外乱補正推論の ハイブリッド制御アーキテクチャ。
	[資本規律] 巨額投資の持続性	年間1兆円は営業利益の甚大 な割合を占める。景気後退局 面での維持負担リスク。	既存設備を流用するブラウン フィールド戦略によるCAPEX 抑制と、RaaSモデルの導入。
	[環境・規格] 国際安全規格と 過酷環境	粉塵・油煙による劣化や、ISO 協働ロボット規制との不適合 リスク。	IP65相当の防塵構造。全軸 QDDによる物理的接触力 (150N以下)のハードウェア制限。

The Global Triad: 三つ巴のフィジカルAI覇権競争

米国 (汎用・ゼロショット)

テスラ / Figure AI。二足歩行ヒューマノイドと巨大ニューラルネットによる最大公約数アプローチ。実務ハードル (転倒リスク・電力) が課題。

中国 (物量消耗戦)

Unitree / UBTECH。強固なサプライチェーンを活かし、1~2万ドル台の破壊的低価格でハードを大量投入する物量戦モデル。

日本/トヨタ (実利主義とグラウンド・トゥールース)

二足歩行を切り捨てた極限の工学的実用性 (車輪+QDD)。世界60工場と数万人の熟練工から得られる「高品質な正解作業データ」の垂直統合という絶対的優位性。



The Endgame: ハードウェア専業から「AIプラットフォーム」へ

現在: 完成車ハードウェア企業

- 自動車ハードウェアの大量生産
- メカニカルな繰返し精度 ($\pm 0.01\text{mm}$) への依存
- Sierによる個別専用プログラム

未来: ソフトウェア&AIプラットフォーム

- 最適化された「生産システム自体」の配信・稼働
- QDDとソフトウェア制御によるハードウェア依存からの脱却
- 既存のロボット専業メーカーをコモディティ化させる基盤

少子高齢化という日本の構造的弱点を、
現場データ駆動のAI進化エンジンへと反転させる歴史的転換点。