

# リチウムイオン電池リサイクルの新戦略

「資源回収」から「機能循環」へ：リパーパスによる日本の主導権奪還

---

# 世界動向：材料循環を主導する 中韓と、資源回収に留まる日本

- 中国・韓国：電池・材料メーカー主体の「材料循環型」。市場性と経済性が高い。
- 欧米・日本：製錬会社主体の「資源回収（廃棄物処理）型」。高品質を狙うが市場規模は小。
- 結果：2025年のLiB生産シェアは中国が約80%を占め、日本は数%へ後退。

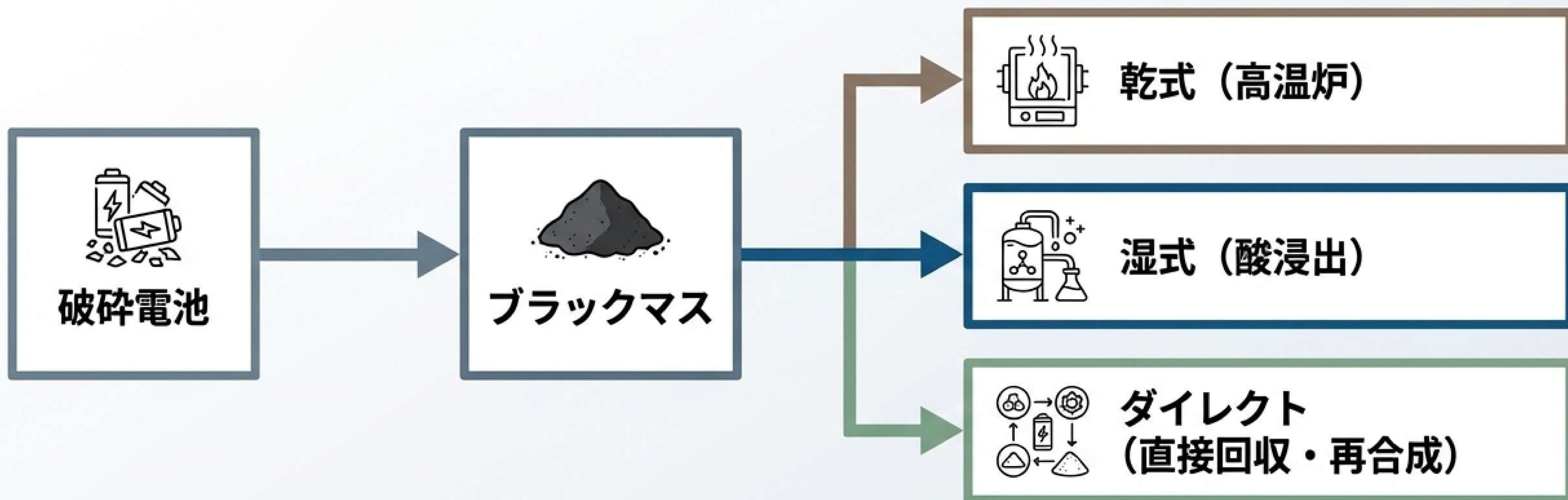
## 中国・韓国モデル

## 欧米・日本モデル

主体	電池・材料メーカー	製錬会社
目的	原材料利用	廃棄物処理（汎用金属回収）
対象	工場屑・使用済	使用済メイン
市場性	大	小

# LiBリサイクルの3大アプローチ：中間資源「ブラックマス」の生成が鍵

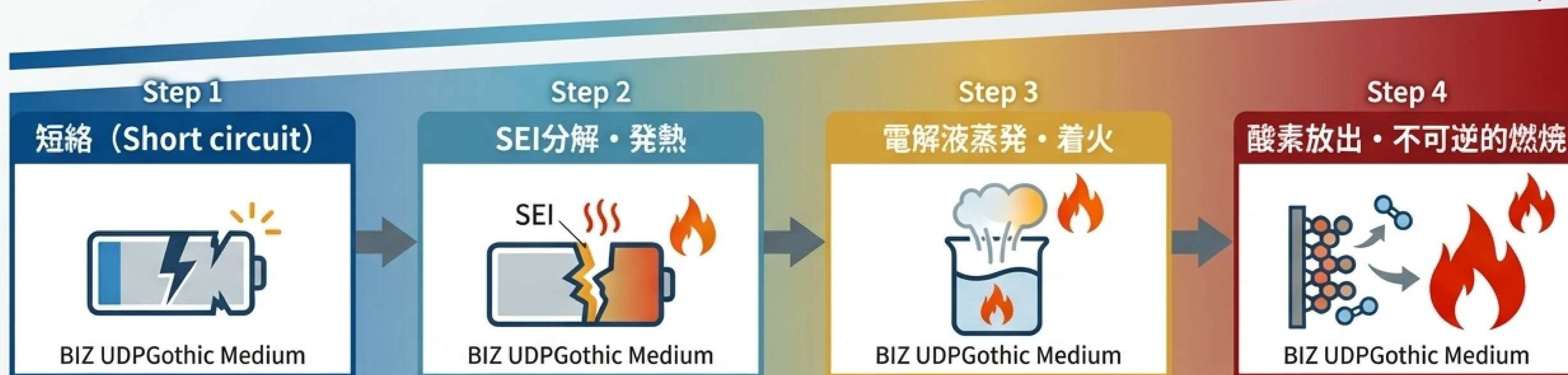
- 湿式（主流）：酸で溶解し、化学的に元素を分離（回収率80-95%）。
- 乾式：高温炉で溶融し、合金化（Li回収は困難）。
- ダイレクト：結晶構造を維持し、材料として再活性化（次世代技術）。
- いずれの方式も、前処理による「ブラックマス（正極負極混合粉）」の抽出が起点となる。



# 最大の障壁：内部高エネルギーが引き起こす「熱暴走（Thermal Runaway）」

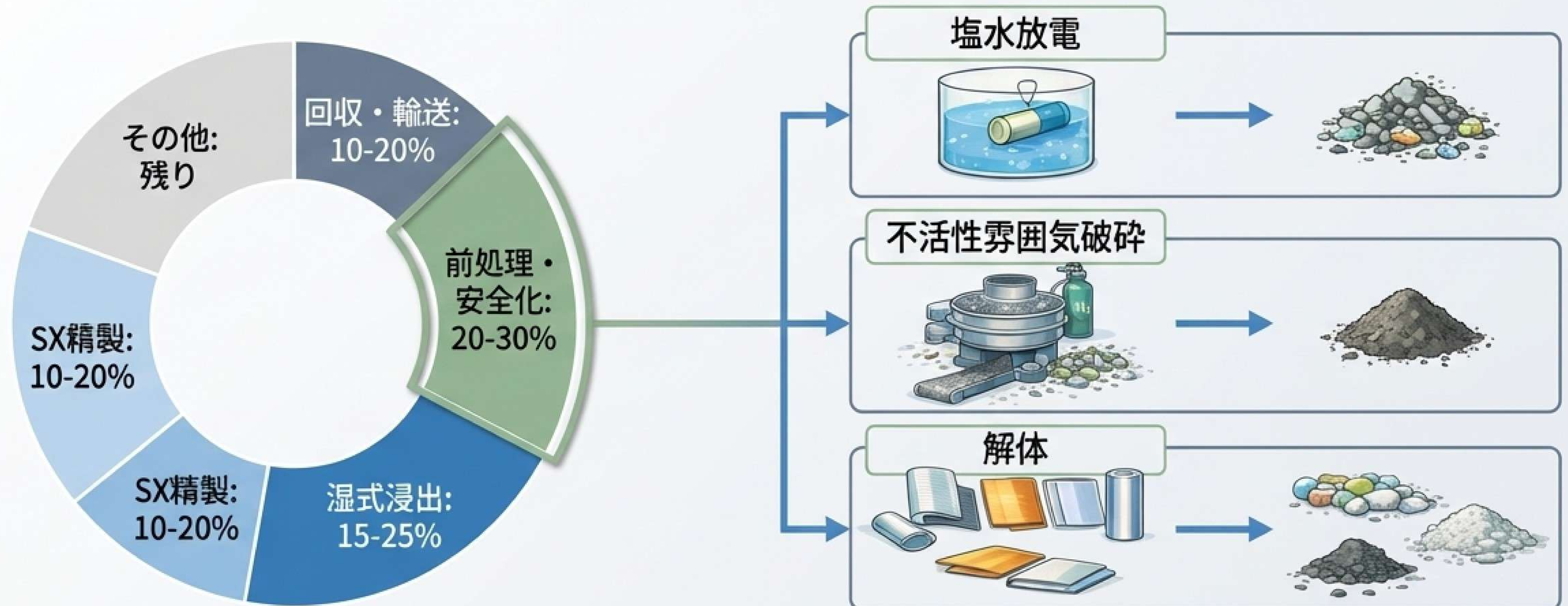
- 使用済LiBは高エネルギーを保持した「動的危険物」である。
- 破砕時の内部短絡が引き金となり、発熱反応が自己加速する。
- SEI（保護膜）の分解 → 電解液の蒸発 → 正極からの酸素放出 → 発火。
- リサイクルは化学精錬の前に「エネルギー制御工学」としての安全化工程が必須となる。

$\Delta T$  (温度上昇)



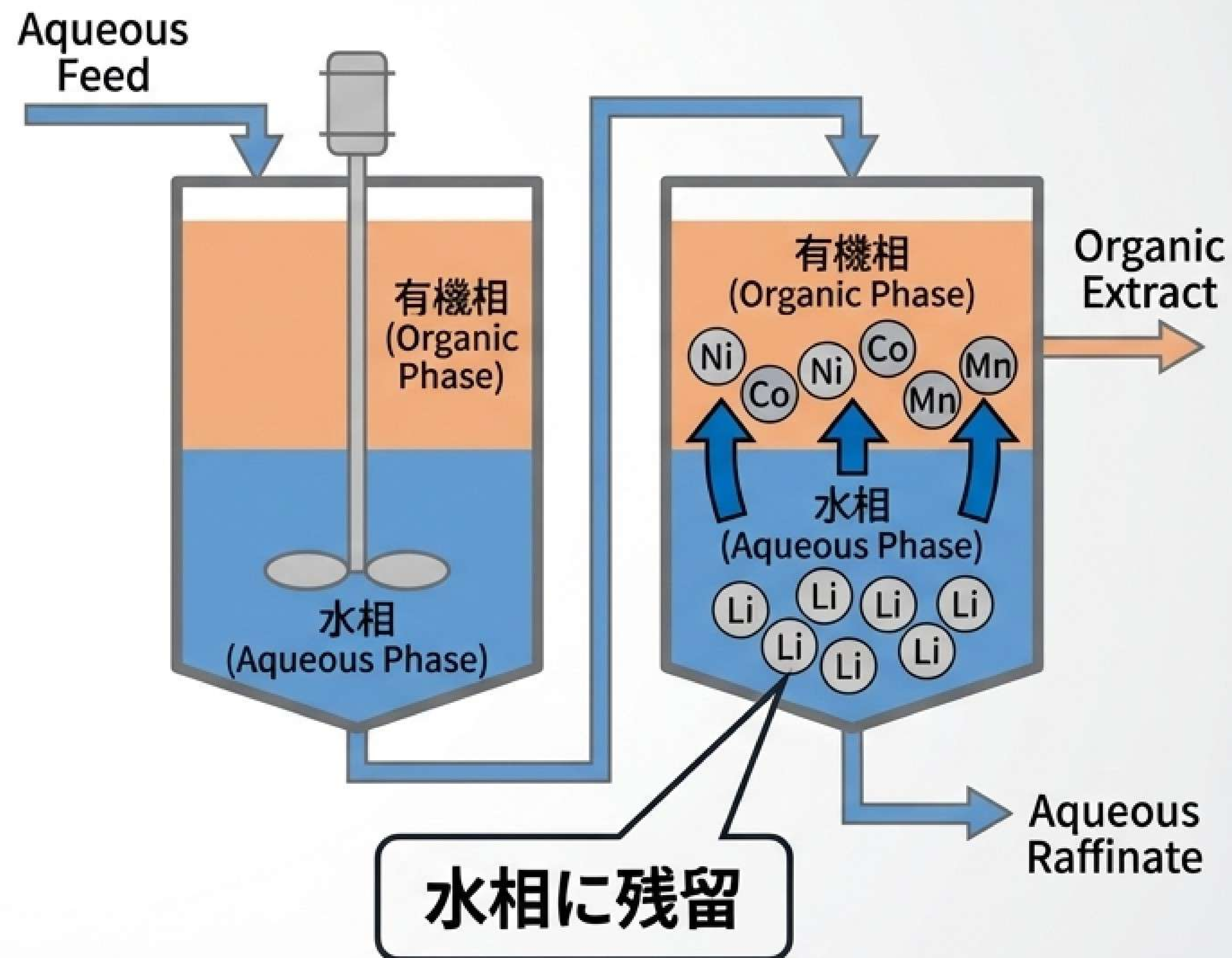
# コスト構造の現実：収益を圧迫する「前処理・安全化」工程

- 発火防止のため、塩水放電や不活性雰囲気（窒素/アルゴン）下での破砕が不可欠。
- 処理コスト（EV電池1トンあたり1,200～2,500 USD）の大部分が前処理に集中。
- 回収・物流（10-20%）と前処理（20-30%）だけで、全コストの半分近くを占める。
- 湿式精錬の化学的コストよりも、物理的な安全確保が経済性の足かせである。



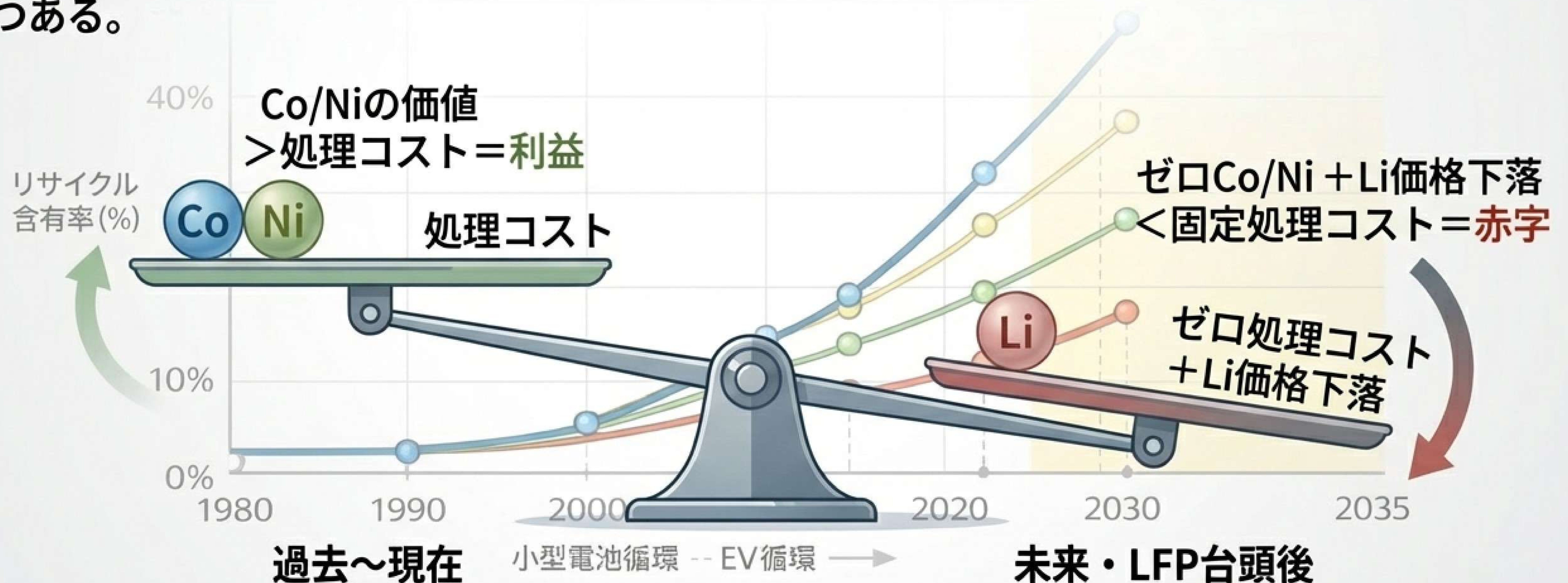
# 金属回収（湿式）の限界：リチウム抽出の原理的困難と高コスト

- Liは水和エネルギーが大きく、溶媒抽出（SX）で有機相へ移行しにくい。
- NiやCoが抽出される中、Liは最後まで水相に残留する。
- 最終的な $\text{Li}_2\text{CO}_3$ 沈殿にはppmレベルの純度管理が必要であり、極めて多大なエネルギーを消費する。
- リチウム単独の価値に対し、回収コストが上回る構造的赤字。



# 経済合理性の崩壊：LFP普及による有価金属モデルの終焉

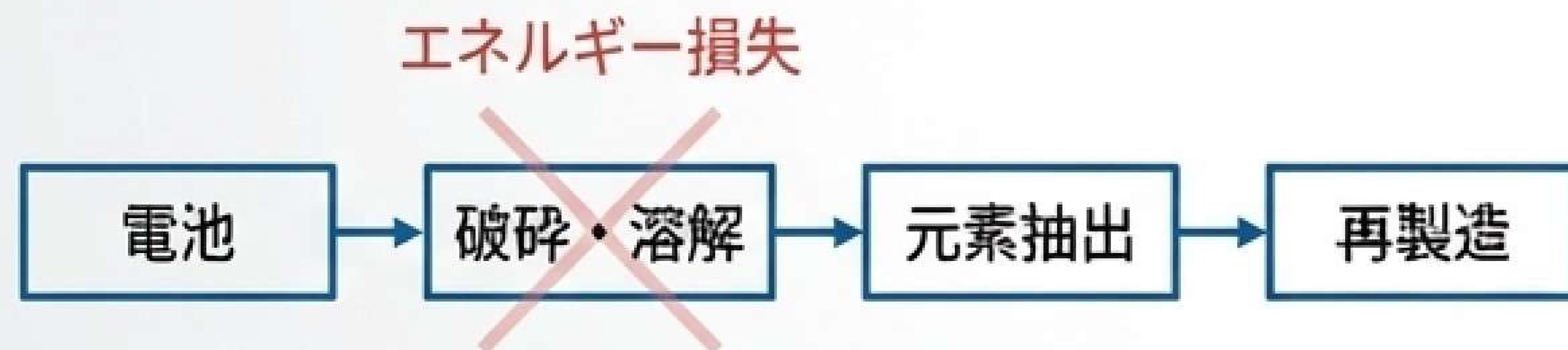
- 従来のリサイクルは、高価なCoやNiの回収利益に依存。
- EV市場の拡大に伴い、安価なリン酸鉄（LFP）電池の比率が急増。
- LFP電池にはCo/Niが含まれず、現行の湿式ブラックマス再生は完全に「逆ざや」となる。
- 「高価な金属を売って処理費を稼ぐ」という資源回収モデルは、システムとして破綻しつつある。



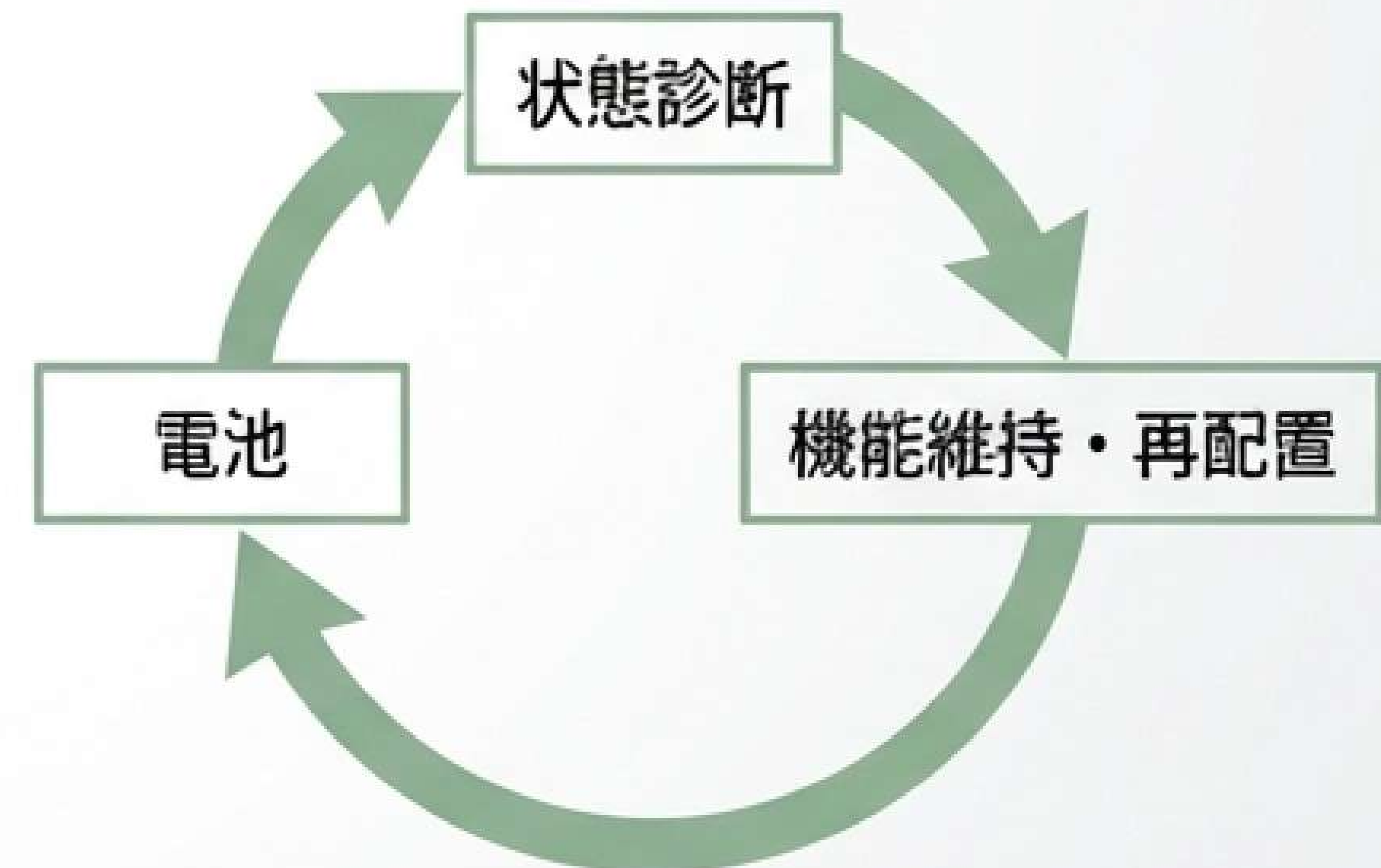
# パラダイムシフト：「廃棄物処理」から「機能のサーキュラーエコノミー」へ

- 現行の「電池を壊して元素に戻す」資源回収は、投入された製造エネルギー（履歴）をすべて破棄する行為である。
- 脱炭素と資源安全保障を両立するには、価値を最大化した状態での循環が不可欠。
- 求められるのは、単なる「元素の回収」ではなく、高度に構造化された「機能の再構築」である。

## 旧パラダイム：資源回収

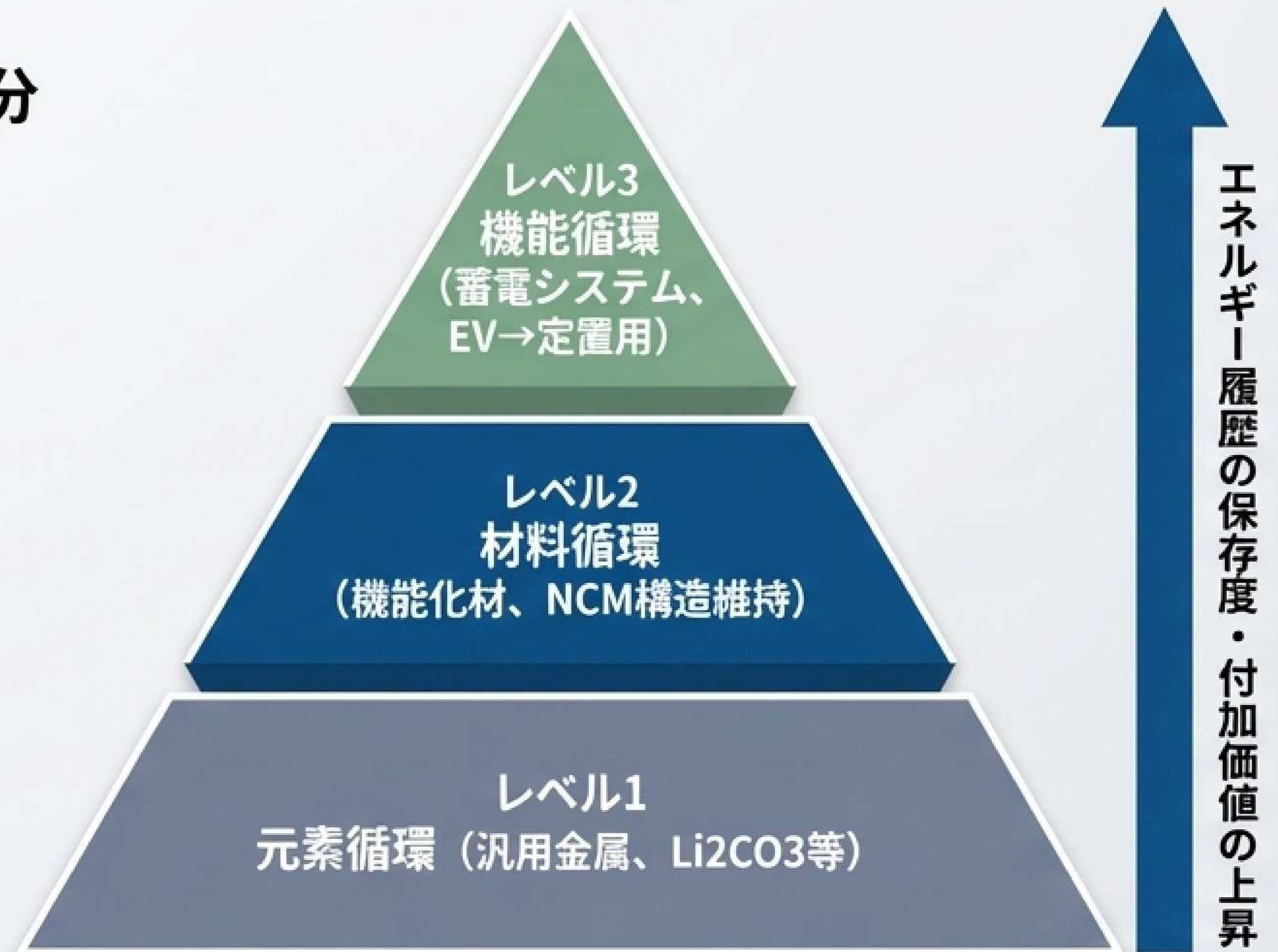


## 新パラダイム：機能循環



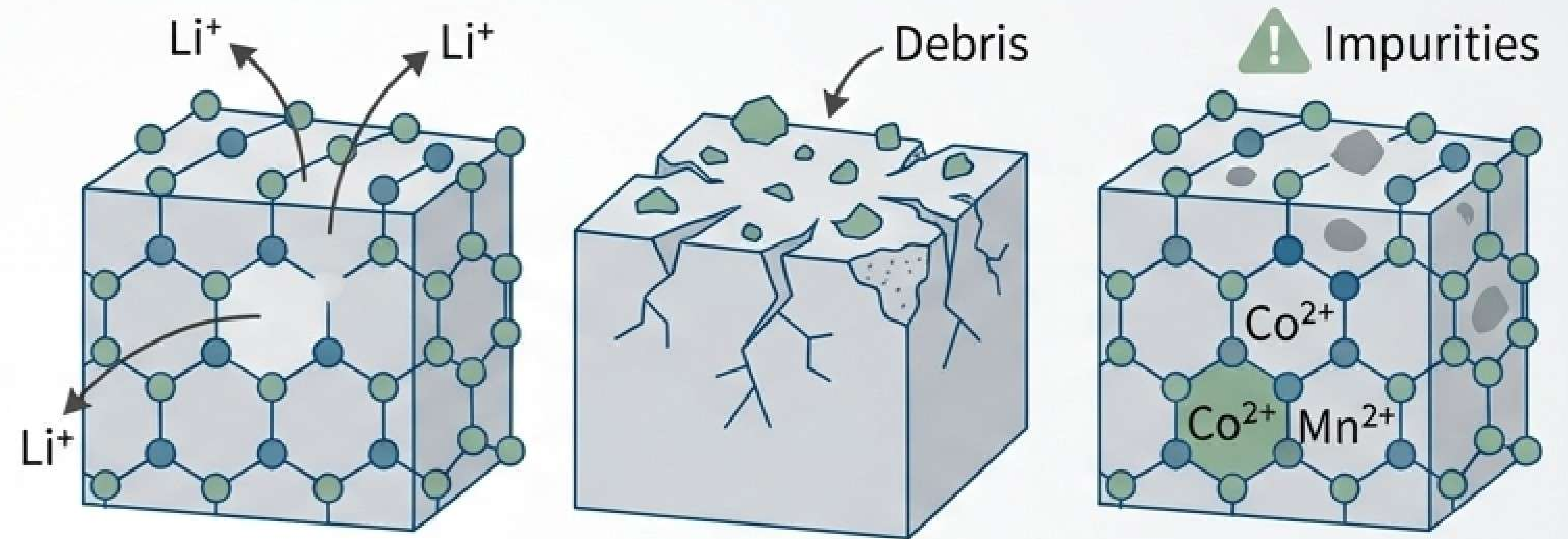
# 循環の階層シフト：元素から、材料、そして機能へ

- レベル1【元素循環（湿式/乾式）】：完全に分解し、汎用金属として回収。価値の損失大。
- レベル2【材料循環（ダイレクト）】：正極材料の結晶構造を維持し、再活性化。
- レベル3【機能循環（リパーパス）】：電池を分解せず、別の用途で蓄電機能そのものを使い切る。
- 階層が上がるほど、保持されるエネルギー履歴と経済的付加価値が高まる。



# 材料再生（ダイレクトリサイクル）： 結晶構造の保存と再活性化

- 材料を元素レベルまで分解せず、劣化した正極の結晶構造を直接修復する技術。
- リチウム欠損の補填、カチオン混入の再秩序化、表面劣化層の修復を行う。
- 製造時の多大なエネルギー履歴を保存できるため、大幅なCO2とコストの削減が期待される。
- 課題：組成の混在や微量の不純物に対する許容度が極めて低い。



リチウム欠損

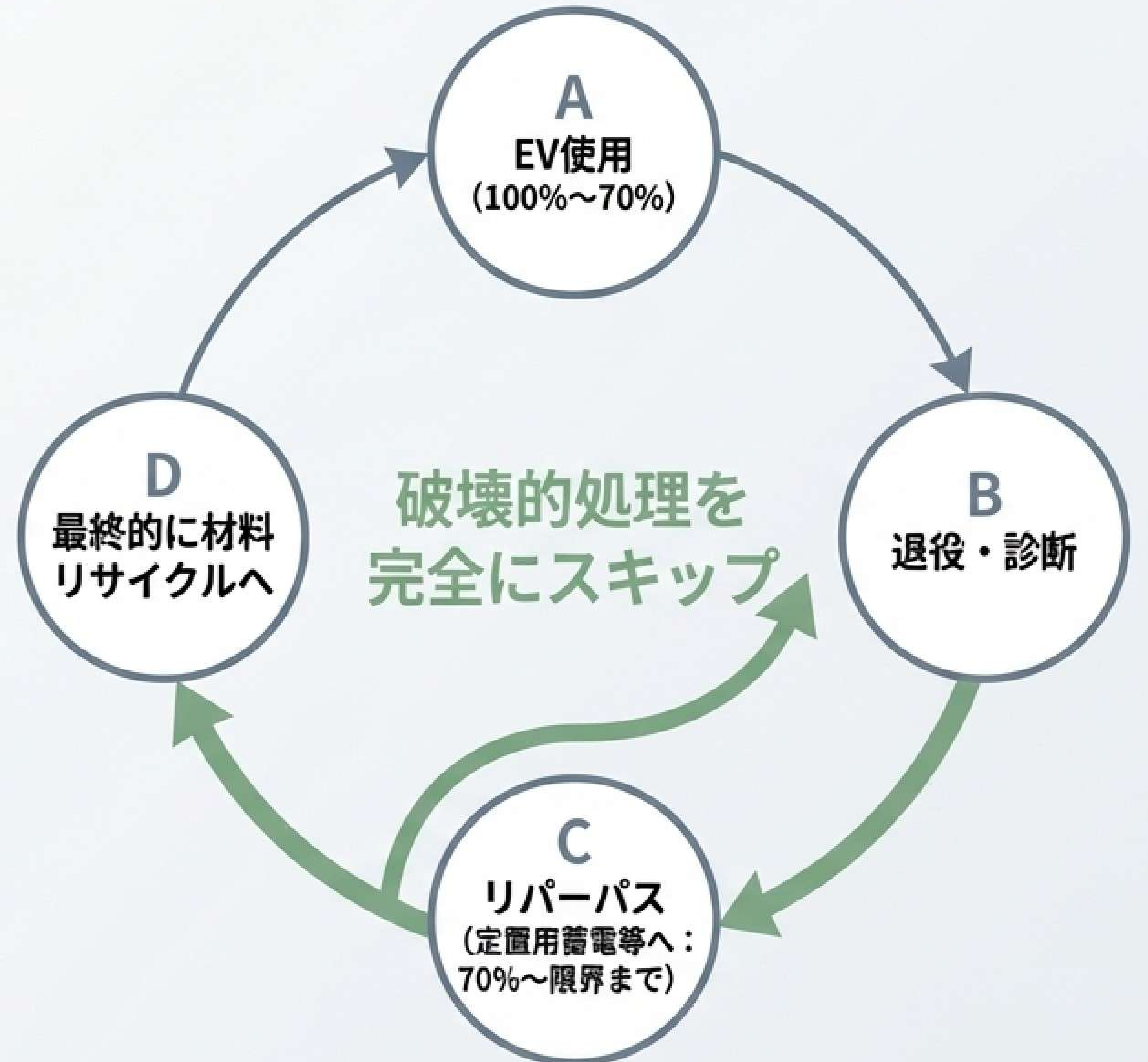
表面劣化層

カチオン混入

物理・化学的アプローチによる直接修復  
(非溶解ルート)

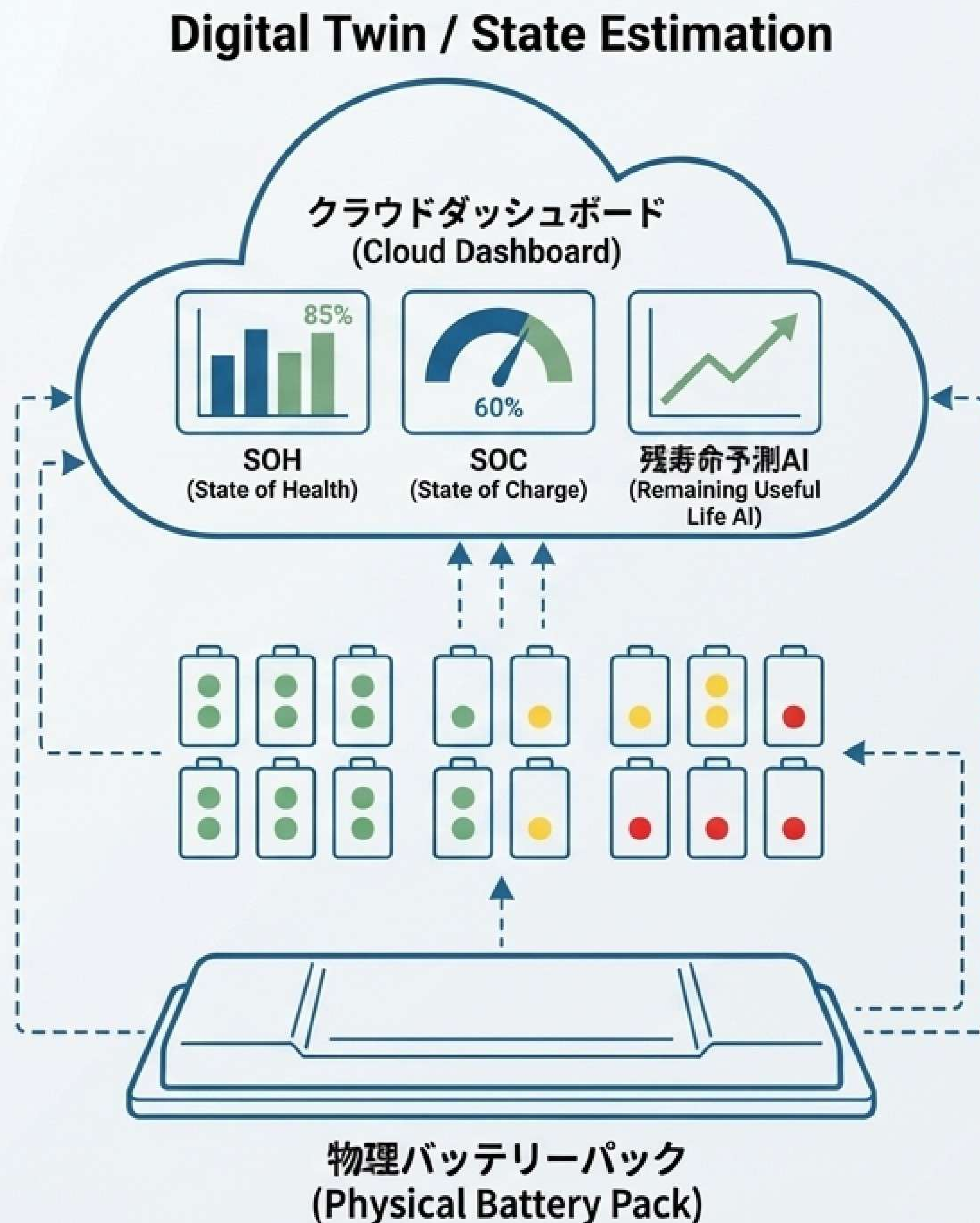
# リパーパスの核心：分解せず、用途を変えて寿命を最大化する

- 容量が70-80%に低下したEV退役電池は、定置型蓄電など別用途で十分な機能を発揮する。
- 破壊的処理（破碎・溶解）を完全にスキップするため、前処理コストや発火リスクを根本から回避。
- 2035年には、退役EV電池の20～25%がリパーパス市場へ流入すると予測される。
- 「モノの移動」ではなく、電池の状態を再配置する高度なシステム管理である。



# リパーパスを成立させる技術要件： 高度な状態管理システム

- 高精度SOH診断：容量・内部抵抗・劣化モードを非破壊で短時間に評価。
- セルばらつき制御：不均一な状態のセルを組み合わせるモジュール再構成設計。
- データ基盤（BMS連携）：充放電や温度の履歴データをAIで解析し、残寿命を予測。
- リパーパスは「材料技術」ではなく、「診断・情報・制御技術」の体系化によって成立する。

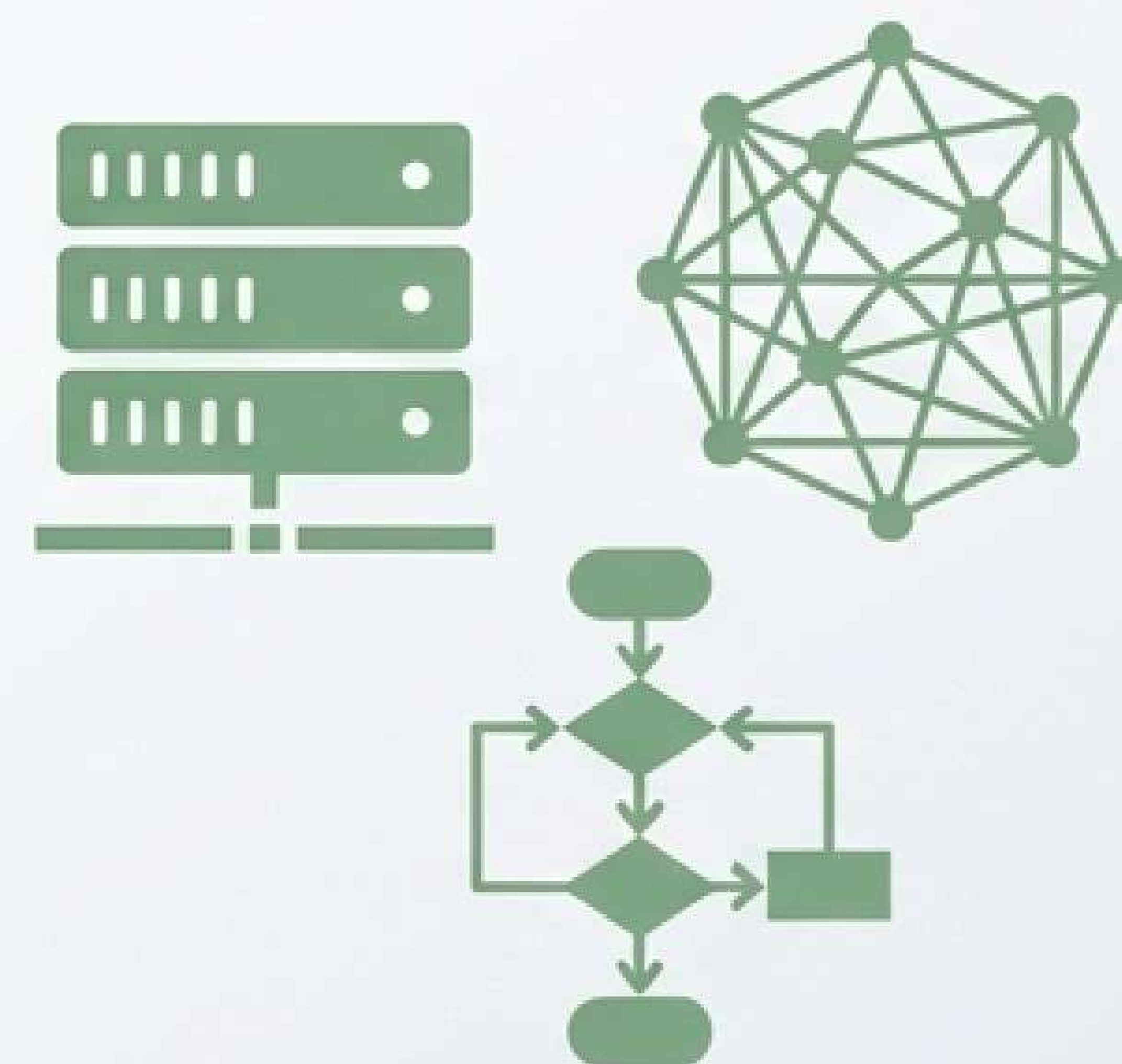


# ビジネスモデルの転換：「モノ」の処理から「情報と制御」の産業へ

## 過去：モノの処理



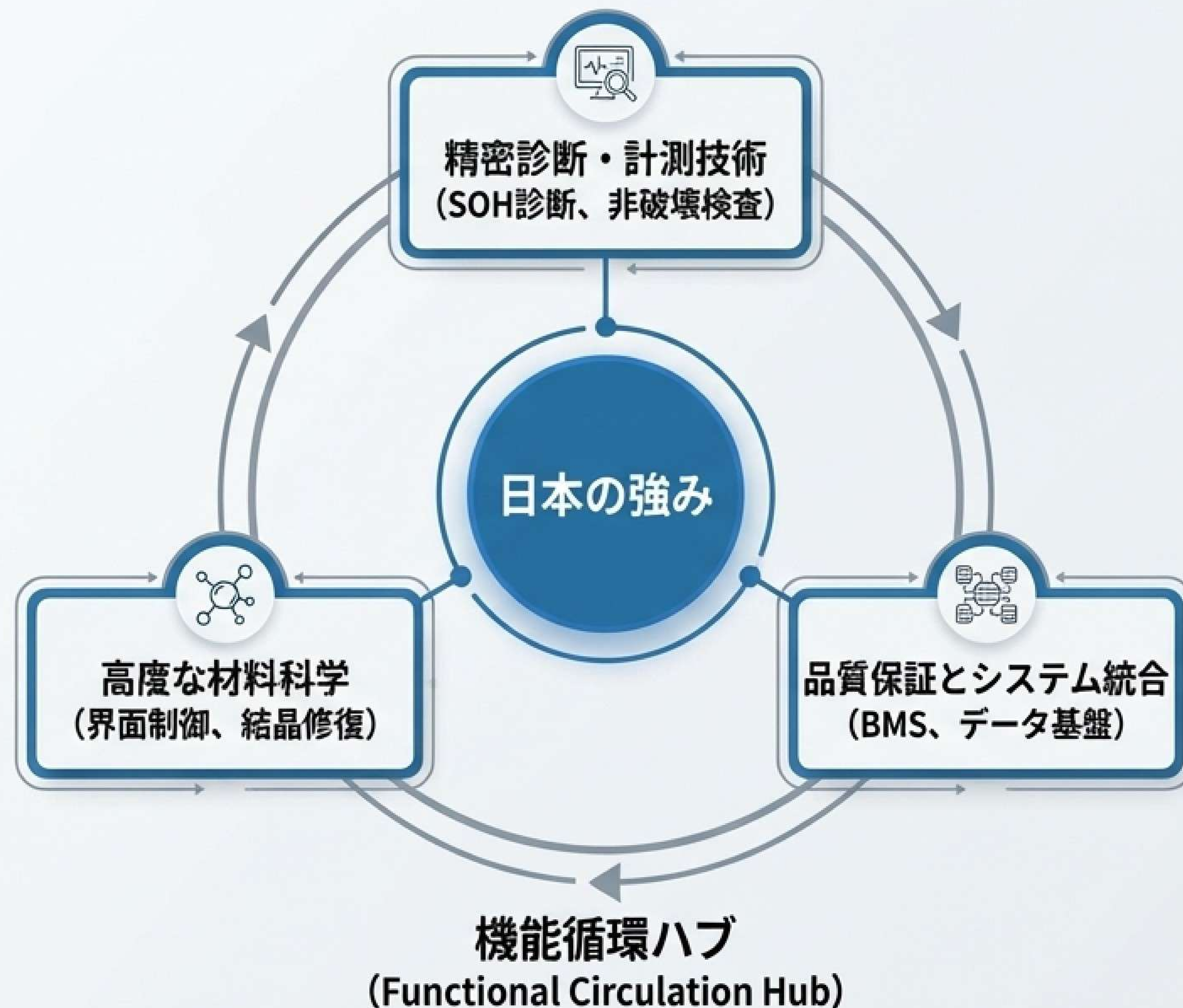
## 未来：情報と制御の産業



- **従来型リサイクル**：巨大な化学プラントで電池を破砕し、有価金属（ハード）を抽出する重厚長大産業。
- **次世代循環ビジネス**：電池履歴と診断データ（ソフト）を活用し、最適な市場へ価値を再構成する情報産業。
- 電池そのものではなく、「電池の状態情報」と「最適配置アルゴリズム」が新たな付加価値の源泉となる。

# 日本の戦略的優位性：「機能管理」による主導権奪還

- 日本は「材料科学」「精密診断」「電気化学」の深い蓄積を持つ。
- 資源の量ではなく「劣化状態を正確に読み解き、修復する力」が核心となる。
- 金属回収の量では中韓に劣後するが、電池のライフサイクルを最適化する機能管理（質）において日本は世界をリードできる。
- グローバルな電池データのハブ機能と、安全・品質の標準化を主導する。



# 結論：日本発「機能循環型システム」の構築へ

- 現状のまま資源回収競争を続ければ、高い前処理コストとLFP台頭により経済性を失う。
- ゲームのルールを「資源回収」から「機能管理とリパーパス」へ転換せよ。
- 電池の劣化状態をデータで管理し、再用途化・材料再生を統合するインフラを国家戦略として構築する。
- 「廃棄大国」から、知とデータで循環を制御する「機能循環のトップランナー」へ、日本再浮上の好機が到来している。

