

【 緒言 】

【 各種マクロ動向とクロス分析／リスクスコア分析 】

1 地域別・国別リスクスコアと供給シェアのクロス分析

1.1 序論:なぜ「リスク×シェア」のクロス分析が重要か

1.2 分析フレームの設計

① 評価軸の定義

② マトリクス構造

1.3 象限別の意味づけと典型パターン

① 高シェア×高リスク(最優先分散対象)

② 高シェア×低～中リスク(戦略的パートナー候補)

③ 低～中シェア×高リスク(ウォッチ対象)

④ 低シェア×低リスク(補完・分散候補)

1.4 実務におけるスコアリングのポイント

① データソースとスコア設計

② 供給シェアの二重の意味

1.5 クロス分析から導かれる戦略オプション

① ポートフォリオ再構成

② パートナーシップ・外交との連動

③ 技術・設計側の対応

1.6 日本企業・日本政府へのインプリケーション

① 企業レベルの活用

② 政策・産業レベルの活用

1.7 結語:クロス分析を中核としたリスクガバナンス

2 シナリオ別材料需要感応度分析

2.1 序論:シナリオと需要感応度という発想

2.2 分析設計の基本構造

① 対象材料・用途セグメントの定義

② シナリオの設計軸

2.3 定量化のステップと感応度指標

① ステップ 1:用途別需要モデルの構築

② ステップ 2:感応度係数(エラスティシティ)の算出

2.4 材料別に見た典型的な感応パターン(概念整理)

① リチウム・ニッケル・コバルト(電池材料)

② 銅・アルミ・銀(電化・再エネ関連金属)

③ レアアース(Nd, Dy などの磁石材料)

④ 半導体関連材料・レアガス

2.5 シナリオ設計と感応度分析の実務的進め方

- ① シナリオ定義ワークショップ
- ② モデル化と簡易版からのスタート
- ③ 感応度結果の可視化

2.6 戦略インプリケーション:何にどう備えるか

- ① 上流投資・契約・備蓄への反映
- ② R&D・設計・リサイクル戦略との連動
- ③ ポートフォリオとレジリエンスの観点

2.7 結語:シナリオと感応度を統合したマテリアル戦略

3 プロジェクト投資評価フレーム(NPV・IRR+ESG+地政学リスク)

3.1 序論:重要原材料プロジェクト評価の新しい前提

3.2 財務評価レイヤー:NPV・IRRを基軸とした定量評価

- ① キャッシュフローモデルの構築
- ② 感度分析とシナリオ分析

3.3 ESGレイヤー:非財務価値とリスクの定量・定性評価

- ① ESG評価項目の設計
- ② ESGの投資評価への組み込み方

3.4 地政学リスクレイヤー:国・地域リスクの体系的評価

- ① 地政学リスクの分解
- ② 地政学リスクを財務評価に反映する

3.5 統合評価フレームの構造

- ① 三層指標の統合方法
- ② ダッシュボードによる可視化

3.6 実務的な運用ポイント

- ① プロジェクト分類と評価ルートの特異化
- ② ガバナンスと意思決定プロセス
- ③ 外部ステークホルダーとの整合

3.7 結語:多次元評価を前提にした投資判断へ

4 企業別マテリアル・エクスポージャーとレジリエンス評価

4.1 序論:なぜ企業別マテリアル・エクスポージャーが重要か

4.2 評価フレームの全体像

- ① 二つの軸:エクスポージャーとレジリエンス
- ② 評価レイヤーの構成

4.3 レイヤー1:材料ポートフォリオ・構造

- ① 材料エクスポージャーの定量化
- ② ポートフォリオの集中度と多様性

4.4 レイヤー2: サプライチェーン・調達構造

- ① 供給集中度・地政学エクスポージャー
- ② 契約構造と在庫戦略

4.5 レイヤー3: 技術・設計・代替能力

- ① 代替材料・設計変更の余地
- ② 内製技術・R&D 力

4.6 レイヤー4: 財務・ビジネスモデル・ガバナンス

- ① 価格転嫁能力と収益構造
- ② 財務余力とリスクバッファー
- ③ ガバナンスとリスク管理体制

4.7 総合スコアリングとポジションの解釈

- ① エクスポージャー・レジリエンスマトリクス
- ② 投資家・金融機関視点での活用

4.8 企業内部での実装ステップ

- ① ステップ 1: データ基盤と可視化
- ② ステップ 2: スコアリングルールの策定
- ③ ステップ 3: 経営プロセスへの組み込み

4.9 結語: 企業価値の一部としてのマテリアル・レジリエンス

5 投資家向けディスクロージャー指標一覧

5.1 序論: なぜ「重要原材料ディスクロージャー」が必要か

5.2 カテゴリー1: マテリアル・エクスポージャー指標

- ① 材料別エクスポージャー
- ② 地域・国別エクスポージャー

5.3 カテゴリー2: サプライチェーン・リスク・レジリエンス指標

- ① サプライヤー構造・契約
- ② 在庫・備蓄・代替調達
- ③ ショック事例と対応実績

5.4 カテゴリー3: 戦略・ガバナンス指標

- ① 方針・ロードマップ
- ② 組織・ガバナンス

5.5 カテゴリー4: ESG・サステナビリティ関連指標

- ① 環境(E)
- ② 社会(S)
- ③ ガバナンス(G)

5.6 カテゴリー5: パフォーマンス・KPI とターゲット

- ① リスク・レジリエンス KPI

② 戦略・移行 KPI

③ 財務インパクト KPI

5.7 開示フォーマットと実務的留意点

① 開示媒体と頻度

② 一貫性と比較可能性

③ 機密性とのバランス

5.8 結語:投資家との「マテリアル対話」を成立させる指標体系

6 政策担当者向け KPI(国内生産シェア・リサイクル率・多角化指標)

6.1 序論:政策 KPI 設計の考え方

6.2 カテゴリー1:国内生産シェアに関する KPI

① 基本指標

② 付随 KPI

③ 政策活用の視点

6.3 カテゴリー2:リサイクル率に関する KPI

① マクロ・ミクロ双方のリサイクル指標

② セクター別指標

③ 政策活用の視点

6.4 カテゴリー3:多角化指標(供給源・技術・サプライチェーン)

① 供給源多角化指標

② 企業・サプライヤー多角化指標

③ 技術・材料多角化指標

④ 政策活用の視点

6.5 カテゴリー4:統合 KPI とダッシュボード設計

① 統合リスク・レジリエンス指標

② ダッシュボードの構成例

6.6 カテゴリー5:政策運営上の留意点

① データ取得と統計基盤

② 目標設定とトレードオフ

③ 政策評価とフィードバック

6.7 結語:KPI を通じた「構造的強靱性」のマネジメント

7 モニタリングすべき先行指標(価格・在庫・政策・プロジェクト進捗)

7.1 序論:先行指標モニタリングの目的

7.2 カテゴリー1:価格関連の先行指標

① スポット・先物・プレミアム

② 価格ボラティリティ・相関

7.3 カテゴリー2:在庫・物理バランス関連の先行指標

- ① 表面在庫(可視在庫)
- ② 影在庫・オフバランス在庫
- ③ 生産・稼働率
- 7.4 カテゴリー3: 政策・規制・地政学関連の先行指標
 - ① 政策・規制動向
 - ② 地政学・外交イベント
- 7.5 カテゴリー4: プロジェクト進捗・投資動向関連の先行指標
 - ① 上流・中流プロジェクトの進捗
 - ② 投資・資金調達の状況
 - ③ 技術・代替材料の商用化
- 7.6 カテゴリー5: 需給バランス・金融・マクロ関連の補完指標
 - ① 需給バランス指標
 - ② 金融・投機指標
- 7.7 運用フレーム: アラート設計とガバナンス
 - ① シグナルと閾値
 - ② 組織とプロセス
- 7.8 結語: 先行指標セットを中核にした予防的マテリアル戦略
- 8 2025-2035 年「早期警戒シグナル」リスト
 - 8.1 序論: 早期警戒シグナルの位置づけ
 - 8.2 カテゴリー1: 市場・価格に関するシグナル
 - ① 急激な価格構造の変化
 - ② 在庫・現物市場の歪み
 - 8.3 カテゴリー2: 供給能力・プロジェクトに関するシグナル
 - ① 大型プロジェクトの遅延・中止
 - ② 既存設備の構造的制約
 - 8.4 カテゴリー3: 政策・地政学に関するシグナル
 - ① 資源ナショナリズムと輸出管理
 - ② 経済安全保障・ブロック化
 - 8.5 カテゴリー4: 技術・需要構造に関するシグナル
 - ① 需要サイドの急拡大
 - ② 代替技術・材料の失速
 - ③ 設計ロックインの固定化
 - 8.6 カテゴリー5: ESG・社会動向に関するシグナル
 - ① ESG 規制と社会的監視の強化
 - ② 社会受容性の変化
 - 8.7 カテゴリー6: 日本にとって特に重要なシグナル

- ① アジア地域の構造変化
- ② 同盟国とのパートナーシップ動向
- ③ 国内基盤の劣化シグナル
- 8.8 早期警戒シグナル運用の実務ポイント
 - ① シグナルの層別化と優先度
 - ② シグナルに対する標準反応
- 8.9 結語:2025-2035 年の「感度を上げるべき領域」
- 9 鉱種別「重要度×リスク×代替可能性」マトリクス
 - 9.1 序論:マトリクスの目的と基本コンセプト
 - 9.2 評価軸の定義
 - ① 重要度(Criticality)
 - ② リスク(Risk)
 - ③ 代替可能性(Substitutability)
 - 9.3 マトリクスの構造と読み方
 - ① 三次元マトリクスの実務的表現
 - ② 4 象限の意味づけ
 - 9.4 鉱種別の典型的ポジショニング(例示)
 - ① 高重要度×高リスク×低代替(最優先管理)
 - ② 高重要度×中～高リスク×中代替(積極管理)
 - ③ 中重要度×高リスク×低～中代替(選択的管理)
 - ④ 高重要度×低～中リスク×高代替(モニタリング対象)
 - 9.5 マトリクスに基づく戦略行動フレーム
 - ① 戦略カテゴリーの設定
 - ② 企業・業界・政府の役割分担
 - 9.6 実務に落とし込むための運用上のポイント
 - ① データと仮定を明示する
 - ② ロードマップとリンクさせる
 - ③ シナリオ別に再評価する
- 【 需要構造・エンドユース産業 】
- 10 バッテリー鉱物が 2026 年重要鉱物市場の 55～60%を占有
 - 10.1 バッテリー鉱物とは何か
 - 10.2 2026 年に 55～60%を占有するという意味合い
 - ① 名目市場規模ベースの解釈
 - ② サブカテゴリとしての「エネルギー転換鉱物」
 - 10.3 シェア拡大のドライバー:EV・蓄電・産業用途
 - ① EV・モビリティ分野

② 定置用蓄電・グリッド用途

③ 産業・民生用途

10.4 他の重要鉱物分野との相対的位置づけ

① レアアース・PGM・タングステン等との比較

10.5 55～60%シェアが示すリスクと政策含意

① 需要集中リスクとバブル的過熱

② 供給網・環境・社会リスクの集中

③ 産業政策・安全保障上の再優先順位付け

10.6 企業戦略・投資判断への示唆

11 触媒・化学プロセス用途での白金族金属(PGM)需要

11.1 序論:白金族金属と産業基盤としての位置づけ

11.2 白金族金属の物性と化学的特徴

11.3 化学プロセスにおける主要用途と役割

① 石油精製・石油化学触媒分野

② 酢酸・アンモニア・硝酸合成など基礎化学プロセス

③ 医薬・精密化学・電子材料製造プロセス

④ 水素エネルギー・クリーン技術との結合

11.4 需要構造と主要セクター分析

11.5 供給構造とリスク要因

① 供給集中と地政学要因

② 二次精錬・リサイクル構造

③ 価格変動と産業への影響

11.6 新興分野と需要変化の動向

① クリーンエネルギー・電解プロセスの拡大

② カーボンリサイクル・メタノール合成触媒

③ 次世代触媒設計と希少金属効率化

11.7 需要構造と「重要物資」政策への位置づけ

11.8 結論:化学プロセス分野における PGM の戦略的重要性

12 水素・燃料電池関連の貴金属・触媒材料需要

12.1 序論:エネルギー転換の鍵となる貴金属材料

12.2 水素バリューチェーンにおける触媒マテリアルの全体像

12.3 水素製造分野:電解触媒と貴金属の役割

① PEM 水電解(陽子交換膜型)

② アルカリ電解および AEM(陰イオン交換膜)電解

③ SOEC(固体酸化物電解セル)

12.4 燃料電池分野:貴金属触媒の中心的位置

- ① PEM 燃料電池 (PEMFC)
- ② SOFC (固体酸化物燃料電池)
- ③ 燃料電池用途の市場拡大
- 12.5 水素貯蔵・輸送・変換における貴金属の応用
 - ① Pd 系水素分離膜
 - ② 液体有機水素キャリア (LOHC) 反応触媒
 - ③ メタネーションおよび水素化学変換触媒
- 12.6 貴金属使用量・需要予測・供給リスク
 - ① 需要構造の現状と分布
 - ② 垂直統合・リサイクルの重要性
- 12.7 技術開発動向と代替アプローチ
 - ① 低 PGM 化・高活性化設計の進展
 - ② 非貴金属触媒・新興材料
- 12.8 政策・産業戦略上の含意
- 12.9 総括：貴金属触媒の構造的意義
- 13 グリーン水素電解槽向けイリジウム・白金需要
 - 13.1 序論：グリーン水素と貴金属触媒の結節点
 - 13.2 電解水素製造技術の体系と貴金属利用の位置づけ
 - 13.3 イリジウムと白金の電極構造と反応機能
 - ① 陽極 (OER: 酸素発生反応) とイリジウム酸化物
 - ② 陰極 (HER: 水素発生反応) と白金触媒
 - 13.4 世界的な電解設備拡張と資源需給
 - ① グリーン水素市場と電解容量
 - ② イリジウム需給の定量的見通し
 - ③ 白金の代替需要としての再浮上
 - 13.5 技術開発動向：Ir・Pt 使用量削減と代替化
 - ① 高分散・ナノ構造化による使用量低減
 - ② 合金化・複合酸化物触媒
 - ③ 非貴金属・新型触媒へのアプローチ
 - 13.6 リサイクル・循環利用システム
 - 13.7 産業構造的含意と政策的課題
 - ① サプライチェーンの集中と地政学リスク
 - ② 政策・産業連携の対応方向
 - 13.8 展望：イリジウム・白金需要の将来構図
 - 13.9 結語：エネルギー転換の物質的基盤
- 14 自動車産業の電動化・軽量化と材料構成変化

- 14.1 序論:産業変革の二軸 — 電動化と軽量化
- 14.2 材料構成の現状比較:内燃車からEVへ
- 14.3 車体系材料の変化:鉄鋼からアルミ・複合材へ
 - ① 高張力鋼(ハイテン)の進化と維持的優位
 - ② アルミニウム拡大のドライバー
 - ③ マグネシウムと複合材料
- 14.4 電動化による新しい部材需要
 - ① 駆動モーターと磁性材料
 - ② バッテリー構造材と電極材料
 - ③ 熱制御・絶縁・接合材料
- 14.5 軽量化と環境性能のトレードオフ
- 14.6 サプライチェーンと「重要物資」観点からの再定義
- 14.7 テクノロジー動向と材料戦略の方向性
 - ① 構造統合設計(Integrated Body & Frame)
 - ② バッテリー搭載量削減と構造複合化
- 14.8 需要構造・産業的な展望
- 14.9 結語:エネルギー・素材一体化時代の自動車産業
- 15 家電・ICT 機器におけるレアアース磁石依存度
- 15.1 序論:デジタル経済を支える見えない基幹素材
- 15.2 永久磁石の種類とレアアース依存度構造
- 15.3 家電・ICT 機器におけるレアアース磁石の利用構造
 - ① スマートフォン
 - ② パソコン・ノートPC・サーバー
 - ③ 家電(冷蔵庫・洗濯機・掃除機・エアコン)
 - ④ 通信・ネットワーク機器
- 15.4 レアアース磁石の消費構造と数量見通し
- 15.5 レアアース磁石の機能特性と希少元素構成
- 15.6 家電・ICT 産業のレアアース依存構造と供給リスク
 - ① 地理的集中
 - ② リサイクル・再資源化の課題
 - ③ 代替技術と材料削減へのアプローチ
- 15.7 家電・ICT 部門の重要素材としてのレアアース再定義
- 15.8 今後の展望:分散型供給・リサイクル・代替材料の三本柱
- 15.9 結語:情報社会を支えるミクロな戦略物質
- 16 家電・ICT 機器におけるレアアース磁石依存度
- 16.1 序論:情報社会を支える不可視の基幹素材

16.2 磁石材料とレアアース元素の体系

16.3 家電・ICT 製品における使用実態

- ① スマートフォン
- ② パソコン・サーバー・周辺機器
- ③ 家電機器（冷蔵庫、洗濯機、エアコンなど）
- ④ 音響・映像機器
- ⑤ 通信・インフラ機器

16.4 ICT・家電分野におけるレアアース磁石需要量の推定

16.5 機能特性と補助元素の重要性

16.6 サプライチェーンの構造と依存性

- ① 地理的集中
- ② リサイクル・二次資源確保の限界

16.7 代替技術と低希土化の方向

16.8 経済安全保障・政策的視点

16.9 展望：高性能磁石と循環経済の両立

17 建設・インフラ分野の鉄鋼・銅・セメント代替素材ニーズ

17.1 序論：インフラ資材需給の転換点

17.2 鉄鋼需要の変遷と代替素材の拡散

- ① 鉄鋼の需給構造と環境課題
- ② 代替・補完素材の潮流

17.3 銅の使用構造と代替材の拡大

- ① 建築・電力インフラにおける銅の重要性
- ② 銅代替の方向性

17.4 セメント・コンクリートの低炭素化と代替素材

- ① セメントの環境制約と代替の必要性
- ② 各種代替・混和材料
- ③ コンクリート構造の再設計

17.5 都市・インフラ資材の再構成トレンド

- ① 需要変動とマテリアルミックス

17.6 政策・規制・標準化の動向

17.7 今後の展望：脱炭素と循環経済がもたらす構造変化

18 耐熱・耐放射線材料としての特殊セラミックス・ダイヤモンド半導体

18.1 序論：過酷環境材料の新たな中核領域

18.2 特殊セラミックスの分類と特性

- ① 機能面での分類
- ② 熱的特性・放射線耐性

- 18.3 ダイヤモンド半導体の進展と位置づけ
 - ① ダイヤモンドの物性的優位性
 - ② 応用範囲
- 18.4 耐放射線材料としての実用・研究動向
- 18.5 高温環境と放射線環境の統合ニーズ
 - ① 原子力・核融合産業
 - ② 宇宙・防衛・航空分野
- 18.6 持続可能性と供給網の課題
 - ① 希少元素構成とサプライリスク
 - ② 製造技術のボトルネック
- 18.7 技術開発の進展方向
 - ① 材料複合・ハイブリッド化
 - ② 低環境負荷・リサイクル性
- 18.8 今後の需要構造と市場展望
- 18.9 総括：極限環境が拓く新しい素材エコシステム
- 19 産業ガス・化学材料とのクロスインパクト
- 19.1 序論：素材・化学・エネルギーの境界消失
- 19.2 化学プロセスとガス供給網の統合構造
 - ① 産業ガスの供給体系
 - ② 化学産業基盤とのクロス構造
- 19.3 半導体・エレクトロニクス分野との接点
 - ① 高純度産業ガスと化学材料
 - ② フッ素・高純度シリコン化学との結合
- 19.4 エネルギー転換とガス化学の交差
 - ① 水素・アンモニアによるエネルギーシフト
 - ② 二酸化炭素利用(CCU)と化学反応の再構築
- 19.5 材料科学・化学プロセスにおけるガスの役割変化
 - ① 反応場の媒介から構造設計の要素へ
 - ② 化学プロセスの電化・ガス化
- 19.6 部門間クロスサプライチェーンの形成
 - ① 影響の広がり
 - ② 企業構造の融合
- 19.7 安全保障・政策的観点
 - ① 供給リスクと戦略物資化
 - ② 環境規制・持続可能性への波及
- 19.8 総括：化学とガスが統合する新しい産業地図

20 材料代替・軽量化技術の普及が需要に与える影響

20.1 序論：構造材料革命と資源需要の転換点

20.2 軽量化技術がもたらす構造的変化

① 軽量化の核心目的

② 軽量化の技術軸

20.3 材料代替の主要パターン

① 金属材料における代替

② 高分子・樹脂による金属代替

③ 無機・複合材によるセメント・鉄鋼代替

20.4 需要構造への影響

① 原材料需要のバランスシフト

② エネルギー資源への影響

20.5 産業セクター別の影響

① 自動車・モビリティ

② 航空宇宙

③ 建設・インフラ

④ エレクトロニクス・通信

20.6 新しい供給網構造と競争軸の変化

① 再生資源と設計上流への統合

② 地政学的リスクの分散

20.7 長期的展望：マテリアル・トランジションの本質

21 再生可能エネルギー（風力・太陽光）設備における重要材料需要

21.1 再エネ拡大と重要材料需要の位置づけ

21.2 風力発電設備における重要材料需要

① 構造材料と大量金属

② 磁石材料とレアアース

③ ブレード材料と複合材

④ 洋上風力特有の材料

21.3 太陽光発電設備における重要材料需要

① シリコン系太陽電池の主要材料

② 薄膜系・高効率セルの特殊材料

21.4 需要伸長シナリオと材料別の課題

① 再エネ容量拡大シナリオ

② 技術革新・設計変更による材料需要の変化

21.5 サプライチェーン・政策・企業戦略へのインプリケーション

22 セクター別の鉱物インテンシティ（単位売上あたり鉱物使用量）

- 22.1 序論: 鉱物依存度を再定義するための視座
- 22.2 鉱物インテンシティ分析の指標枠組み
- 22.3 主要セクター別の鉱物インテンシティ比較
- 22.4 セクター別詳細分析
 - ① エネルギー・再生可能発電セクター
 - ② 電動車・輸送機器
 - ③ ICT・電子産業
 - ④ 建設・インフラ
- 22.5 鉱物インテンシティの動的変化: 高付加価値化と代替技術
 - ① 高付加価値産業への転移
 - ② 軽量化・代替技術の寄与
- 22.6 セクター横断的影響とマクロ経済的含意
 - ① 「物量集約」から「希少物質依存」への構造転換
 - ② セクター連関によるインテンシティ分散
- 22.7 結語: 鉱物インテンシティを資源政策の中核指標へ
- 23 国防関連調達プログラムと長期需要安定性
 - 23.1 序論: 国防需要と戦略物資の恒常性
 - 23.2 防衛サプライチェーンの構造的特徴
 - ① 長期契約構造と鉱物安定需要
 - ② 多層的階層構造
 - 23.3 戦略金属と防衛用途の対応関係
 - 23.4 国別防衛調達プログラムと資源依存性
 - ① 米国: 長期備蓄・代替研究の二本柱
 - ② 欧州: 共同調達と資源同盟によるリスク分散
 - ③ 中国・ロシア: 国内鉱物優先政策による防衛自給
 - ④ 日本: 防衛装備移転政策と素材供給連動
 - 23.5 長期需要安定性を支える要因
 - ① 技術寿命の長期化
 - ② 供給多元化・予備備蓄
 - ③ 秘密契約下の需給安定
 - 23.6 民生・防衛統合市場への波及
 - 23.7 政策的枠組みと国際的連携
 - ① 経済安全保障政策との統合
 - ② 技術標準の共有化
 - 23.8 長期的展望: 戦略資源と構造安定性
- 24 ハイパースケーラー／OEMによる上流投資・オフテイク機会

- 24.1 序論:資源需給リスクの分散と垂直統合の再浮上
- 24.2 ハイパースケーラー・OEM の鉱物市場への直接参入背景
 - ① 供給網危機と調達主権の確保
 - ② ESG と「責任ある資源調達」フレームワーク
- 24.3 OEM 主導の鉱物オフテイク戦略
 - ① 電動化市場とバッテリーメタル
 - ② オフテイクモデルの特徴
- 24.4 ハイパースケーラーによる資源エコシステム介入
 - ① データセンターと金属依存
 - ② 上流投資事例
- 24.5 新興プレイヤーとの連携:技術オフテイク・資本提携モデル
 - ① スタートアップと共同開発契約
 - ② 戦略的サプライ同盟の例
- 24.6 政策的連繋と鉱物外交への影響
 - ① 国家政策との整合
 - ② ESG 金融とオフテイクの融合
- 24.7 オフテイク機会と市場構造の再定義
 - ① 市場動態の変質
 - ② 戦略的意義
- 24.8 結語:デジタル資本主義が再定義する資源需給
- 25 金属 3D プリンティング・先端製造における高付加価値粉末材料需要
 - 25.1 序論:製造技術のパラダイム転換と粉末材料の戦略的地位
 - 25.2 金属 3D プリンティング技術と材料要件
 - ① 主な製法分類と粉末物性要求
 - ② 粉末製造法と原材料への依存
 - 25.3 高付加価値粉末材料の市場構造
 - ① 合金別市場シェアと特性
 - ② 需要の地域分布
 - 25.4 エンドユース産業ごとの新規需要構造
 - ① 航空宇宙・防衛
 - ② 医療・バイオ
 - ③ エネルギー・産業プラント
 - ④ 電子・通信・半導体分野
 - 25.5 高付加価値粉末需要を支える供給網と課題
 - ① 原料確保とリサイクル化の進展
 - ② 製造設備・エネルギーの制約

25.6 先端製造技術と粉末需要の融合的展開

- ① マルチマテリアル傾向
- ② AI 設計・オンデマンド粉末
- ③ サプライヤーの新しい位置づけ

25.7 マーケットダイナミクスと将来展望

26 自動車 OEM のバッテリー・材料調達戦略(垂直統合 vs 外部調達)

26.1 序論:EV シフトが再構築した資源調達の境界

26.2 バッテリー価値連鎖の全体像

26.3 垂直統合型モデル:内製化による戦略的自律性

- ① 概要と狙い
- ② 主要事例
- ③ メリットとリスク

26.4 外部調達型モデル:柔軟連携とリスク分散

- ① 概要と成長要因
- ② 主要事例
- ③ メリットとリスク

26.5 両者のハイブリッドモデル:部分統合化の台頭

26.6 資源確保戦略とオフテイク連携

- ① 鉱物オフテイクと直接出資
- ② リサイクル資源の内部化

26.7 政策・地域要因の影響

- ① 米国 IRA と地域化サプライチェーン
- ② 中国・韓国勢との相互補完
- ③ 欧州:資源外交とリサイクル統合

26.8 重要材料の地域別特性と自動車産業動向:日本・米国・中国・欧州の戦略比較

- ① なぜ地域別分析が重要か
- ② 分析の比較軸

26.9 中国の戦略と構造的優位性

- ① サプライチェーン垂直統合の完成
- ② 自動車産業における中国のポジション
- ③ 主要関与企業
- ④ 留意点

26.10 米国の戦略:IRA を軸とした国内産業再建

- ① IRA の材料供給体制への影響
- ② 重要鉱物の国内確保戦略
- ③ 主要関与企業

④ 留意点

26.11 欧州の戦略: CRMA と資源外交

- ① 重要原材料法 (CRMA) の枠組み
- ② 自動車産業との関連
- ③ 資源外交の展開
- ④ 主要関与企業
- ⑤ 留意点

26.12 日本の戦略: 同盟外交と都市鉱山活用

- ① 調達多様化戦略の体系
- ② 自動車産業との関連: 日系 OEM の材料戦略
- ③ レアアース問題と日本の特殊事情
- ④ 主要関与企業
- ⑤ 留意点

26.13 資源国の戦略: チリ・豪州・アフリカ・インドネシア

- ① チリ: リチウム国有化と産業政策の転換
- ② 豪州: 最重要な安定供給パートナー
- ③ DRC (コンゴ民主共和国): コバルト・銅の地政学的核心
- ④ インドネシア: ニッケル資源大国の戦略転換

26.14 新興国・新産出地域の台頭

- ① アフリカ: 次世代資源国群の潜在力
- ② 中南米: 「リチウムトライアングル」と資源ナショナリズムの高まり
- ③ 韓国: 電池産業の競争軸での存在感

26.15 地域間競争の構図: フレンドショアリングと多極化

- ① 三極構造の形成

26.16 長期展望: サプライチェーンの競争軸再編

27 バッテリーメーカーの前工程 (カソード・アノード材料) 調達戦略

27.1 序論: バリューチェーンの再定義と前工程の戦略的重心化

27.2 前工程の構造と産業的意義

- ① 電極構成と主要材料
- ② 供給網の構造的課題

27.3 カソード材料 (正極): 戦略の中心である上流管理

- ① 世界市場構造と素材系統
- ② バッテリーメーカーのカソード調達戦略
- ③ 原料調達の動き

27.4 アノード材料 (負極): グラファイトからシリコンへの移行

- ① 現状構造

② 調達構造とプレイヤー

27.5 ESG・リサイクル・トレーサビリティの導入

27.6 地域別戦略と政策支援

27.7 まとめ:化学素材産業と鉱物資源産業の融合

28 半導体メーカーのガリウム・レアガス・高純度材料調達戦略

28.1 序論:高度材料依存型産業としての半導体

28.2 ガリウム:戦略的化合物半導体の中核元素

① 機能と用途

② 供給構造とリスク

③ 半導体メーカーの調達対応

28.3 レアガス:不可欠なプロセス環境要素

① 半導体製造における機能的役割

② 供給構造の脆弱性

③ 半導体メーカーのレアガス調達戦略

28.4 高純度材料とサプライチェーン管理

① 超高純度シリコン・化合物材料

② サプライチェーンの段階管理

28.5 地政学・政策的対応

① 国家間供給競争への適応

② サプライヤー統合と盟友構築

28.6 調達戦略の将来展望

① クローズドループ型サプライチェーン

② 技術革新と材料転換

28.7 結語:マテリアル戦略が技術覇権の核心へ

29 再エネデベロッパーのタービン・パネル用素材調達戦略

29.1 序論:再エネ拡大とサプライチェーンの新たなボトルネック

29.2 風力発電分野:タービン素材の調達構造

① タービン材料構成と供給依存性

② 調達戦略とサプライチェーン多様化

③ 炭素削減と素材起源トレーサビリティ

29.3 太陽光パネル分野:金属・非金属素材の高度集約構造

① パネルの構成要素と素材別課題

② 素材調達モデルの特徴

③ 脱中国化と技術多様化

29.4 デベロッパーの新調達モデル:垂直統合とオフテイク

① 素材サプライチェーン統合への拡張

- ② ESG・リサイクル対応を核とした契約進化
- ③ プロジェクトファイナンスと素材価格連動リスク
- 29.5 グローバルサプライチェーンの再ローカライズ
- 29.6 結語:エネルギー開発と素材経済の一体化
- 30 データセンター事業者による電力・冷却・材料調達連携
- 30.1 序論:AI時代のインフラ産業としてのデータセンター
- 30.2 電力調達:再エネ PPA とグリッド連携
 - ① 長期電力購入契約(PPA)の軸足化
 - ② グリッド接続と系統制約への対応
- 30.3 冷却調達:水・冷媒・設備の統合設計
 - ① 冷却方式と資源負荷
 - ② 水資源調達と地域コミュニティ
 - ③ 冷媒・熱媒体材料の選択
- 30.4 材料調達:建材・電子部品・バッテリーとの連動
 - ① 建築・電力インフラ用素材
 - ② IT 機器・半導体との直接連携
- 30.5 電力・冷却・材料の統合調達モデル
 - ① クロスセクター連携のフレーム
 - ② 調達戦略と ESG・規制対応
- 30.6 長期的展望:インフラ統合プラットフォームとしてのデータセンター
- 31 防衛産業のサプライチェーン・シークレット契約と鉱物調達
- 31.1 序論:防衛サプライチェーンの不可視性と資源依存
- 31.2 防衛サプライチェーンの階層構造
 - ① 多階層サプライネットワーク
 - ② 情報遮断と分割契約
- 31.3 シークレット契約の仕組みと目的
 - ① 軍事機密保護と仕様隠蔽
 - ② 長期安定供給と価格平準化
 - ③ サプライヤー依存関係と相互拘束
- 31.4 鉱物調達に特化した仕組み
 - ① 戦略備蓄と国家在庫制度
 - ② 国際協定と同盟国間調整
 - ③ デュアルユース素材と民生市場の活用
- 31.5 シークレット契約がもたらすサプライチェーンの特徴
 - ① トレーサビリティとブラックボックスの両立
 - ② 地政学ショック時の調達優先順位

31.6 日本を含む各国の実務的な特徴

① 日本の場合

② 米国・欧州との比較的特徴

31.7 結語：鉱物調達を軸にした防衛サプライチェーンの本質

32 洋上風力発電プロジェクト拡大とレアアース磁石需要

32.1 洋上風力の拡大と重要材料としてのレアアース

32.2 洋上風力発電機とレアアース磁石の技術的關係

① ダイレクトドライブ方式とギアレス化の流れ

② レアアース磁石の特性と重希土の役割

③ 磁石配置とタービン容量あたりの使用量

32.3 洋上風力拡大シナリオとレアアース磁石需要

① 容量拡大トレンドとレアアース需要の方向性

② シナリオ別のレアアース需要イメージ

32.4 レアアース供給網と洋上風力の相互作用

① 供給集中と地政学リスク

② リサイクルと代替技術の役割

32.5 政策・企業戦略上の含意

33 CE(家電)メーカーの都市鉱山活用・回収スキーム

33.1 序論：都市鉱山という第2の鉱物資源

33.2 都市鉱山の資源ポテンシャルとターゲット機器

① 家電・電子機器に含まれる主要金属

② 家電メーカー視点の資源戦略

33.3 回収スキームの基本構造

① 拡大生産者責任(EPR)に基づく回収体制

② 物理フローと情報フロー

33.4 CEメーカーの代表的な都市鉱山活用モデル

① メーカー主導型リサイクルネットワーク

② 共同リサイクルスキーム

③ スマホ・ICT機器の回収キャンペーン

33.5 技術的側面：金属回収プロセスと設計へのフィードバック

① 回収・精錬プロセス

② デザイン・フォー・リサイクル(DfR)

33.6 経済性・環境性・規制の三位一体評価

① 経済性の評価軸

② 環境面のインパクト

③ 法規制・国際イニシアティブ

33.7 今後の展望:都市鉱山を組み込んだ原材料戦略

34 鉄鋼／非鉄メーカーの上流鉱山持分戦略

34.1 序論:資源価格ボラティリティと製造業の「鉱山回帰」

34.2 鉄鋼メーカーの鉱山持分戦略

- ① 鉄鉱石・原料炭へのエクイティ参画
- ② 価格フォーミュラとリスクヘッジ
- ③ 脱炭素と鉱山戦略の接続

34.3 非鉄メーカーの鉱山持分戦略

- ① 主要金属ごとの特徴
- ② 電池・EV 向け金属の上流確保
- ③ 自社鉱山と商業鉱山のハイブリッド

34.4 投資スキームとリスク管理

- ① 持分比率と投資形態
- ② 政治・環境・社会リスクへの対応

34.5 サークュラー化と鉱山持分戦略の再定義

- ① スクラップ・リサイクルとの補完関係
- ② 自動車・電池メーカーとの連携

34.6 結語:資源主権と企業戦略の接点としての鉱山持分

35 大手機械メーカーの重要部材・特殊鋼材調達

35.1 序論:重要部材・特殊鋼材が機械産業の競争力を左右する構造

35.2 重要部材・特殊鋼材の位置づけ

- ① 機械製品における重要部材の代表例
- ② 特殊鋼材の分類

35.3 調達戦略の基本構造

- ① 多層的サプライヤーネットワーク
- ② 長期取引関係と単年度契約の組合せ

35.4 設計と調達の一体化

- ① 共同開発による材質・プロセス最適化
- ② 標準化とモジュール化

35.5 リスク管理とサプライチェーン強靱化

- ① 重要部材の単一供給リスクと複線化
- ② 品質トラブル・リコールリスクへの対応

35.6 グローバル調達とローカルサプライの両立

- ① 生産拠点ごとのローカライゼーション
- ② 調達デジタル化とサプライチェーン可視化

35.7 脱炭素・サーキュラーと特殊鋼調達

- ① 低炭素鋼材・グリーンスチールへのシフト
- ② リサイクル材・再製品の活用
- 35.8 結語：重要部材・特殊鋼材調達は機械メーカーの戦略中枢
- 36 化学メーカーの触媒・高機能材料サプライチェーン戦略
- 36.1 序論：触媒・高機能材料がもたらす「レバレッジ型」需要構造
- 36.2 触媒・高機能材料の分類と原料構造
 - ① 主要な触媒・高機能材料のタイプ
 - ② 原料依存と供給リスク
- 36.3 上流原料調達戦略：鉱物・貴金属・ガス資源へのアクセス
 - ① 長期オフテイク契約と持分投資
 - ② 原料の地理的分散と「友好国」調達
- 36.4 製造・在庫・品質管理を含めた中流サプライチェーン戦略
 - ① マルチサイト生産とBCP
 - ② 品質保証とトレーサビリティ
- 36.5 下流連携：顧客プロセスとの統合とライフサイクル戦略
 - ① 顧客との共同プロセス開発
 - ② 触媒リサイクルとクローズドループ
- 36.6 高機能材料のポートフォリオ管理と市場戦略
 - ① 差別化材料とコモディティ材料の棲み分け
 - ② 地域市場への適応とローカル生産
- 36.7 ESG・規制対応とサプライチェーン戦略の統合
 - ① 環境規制・人権リスクへの対応
 - ② カーボンフットプリントと原料選択
- 36.8 結語：触媒・高機能材料サプライチェーンは産業横断のインフラ
- 37 需要側セクター（EV・再エネ・半導体・データセンター等）の投資計画との整合性
- 37.1 序論：需要主導型サプライチェーン計画という視点
- 37.2 EVセクター：バッテリー需要と原材料投資の同期
 - ① EV投資計画がもたらす金属需要の特徴
 - ② 投資整合性を確保するためのメカニズム
- 37.3 再エネセクター：設備導入計画と素材供給の安定化
 - ① 風力・太陽光投資計画と金属需要
 - ② 素材サプライチェーンとの整合メカニズム
- 37.4 半導体セクター：ファブ投資と材料・ガス・装置のキャパシティ整合
 - ① ファブ投資ブームと重要物資需要
 - ② 整合性を確保する産業連携
- 37.5 データセンター・AIインフラ：電力・冷却・建材・電子部品のシンクロ

① データセンター投資と資源需要

② 投資整合性の枠組み

37.6 クロスセクターでの整合：シナリオベースの資源需給マッピング

① 共通金属・材料への競合需要

② シナリオ分析と投資優先順位付け

37.7 ガバナンスと政策：マルチステークホルダー調整の枠組み

① 政府・産業・金融の連携

② 情報の透明性と柔軟な修正メカニズム

37.8 結語：投資計画の整合性は「時間軸と素材軸」のマッチングで決まる

38 モジュラー設計／分解性デザインとリサイクル効率

38.1 序論：設計段階で決まる資源循環の上限

38.2 モジュラー設計とリサイクル効率

① モジュラー設計の基本概念

② 同質材料モジュール化の効果

38.3 分解性デザインと解体コスト

① 分解性デザインの要素

② 分解時間と回収材価値のバランス

38.4 モジュラー／分解性設計が重要原材料循環に与える影響

① 高価値金属（貴金属・レアメタル）の回収率向上

② 大量素材（鉄・アルミ・樹脂）の品質維持

38.5 設計プロセス・ビジネスモデルへの組み込み

① 設計指標・評価ツールの導入

② アフターマーケットとリファービッシュ連携

38.6 制度・標準と市場インセンティブ

① 規制・標準化の役割

② 経済インセンティブと価格シグナル

38.7 結語：設計とリサイクルをつなぐ「構造の言語化」

39 送配電網・グリッド強化での銅・アルミ・レアアース需要

39.1 エネルギー転換と送配電網強化の位置づけ

39.2 グリッド投資の拡大と重要金属需要のマクロ動向

39.3 送配電網における銅需要の構造

① 銅の機能的役割

② 電力グリッド向け銅需要の定量的見通し

③ 銅需要の地域別・用途別特徴

39.4 送配電網におけるアルミ需要の構造

① アルミ導体の役割と特性

- ② 長距離送電とアルミ需要
- ③ 政策と地域別アルミ需要拡大
- 39.5 レアアース需要とグリッド強化の接点
 - ① レアアースと電力システム機器
 - ② 磁石用レアアース需要の拡大
- 39.6 需要構造・エンドユース産業としての整理
 - ① セクター別エンドユース
 - ② 時系列でみた需要の立ち上がり
- 39.7 供給制約と重要物資供給網としてのリスク
 - ① 銅・アルミの供給ギャップと鉱山投資
 - ② レアアース供給と地政学リスク
- 39.8 需要側の対応策と技術選択
 - ① 材料選択・設計変更による銅・アルミ使用量の最適化
 - ② レアアース代替とリサイクルの進展
- 39.9 「重要原材料・重要物資供給網」政策への含意
 - ① 需要側からみた重要性評価
 - ② 供給網レジリエンスと産業戦略
- 39.10 今後の論点整理の方向性
- 40 データセンター・AI サーバーの電力・冷却・材料需要
 - 40.1 データセンターと AI ブームのマクロ的な位置づけ
 - 40.2 電力需要構造
 - ① データセンター電力消費の全体像
 - ② 電力需要の構成要素
 - ③ 電力インフラと上流系統への影響
 - 40.3 冷却需要と技術構造
 - ① 空冷から液冷への移行
 - ② 冷却インフラの電力負荷
 - 40.4 材料需要：半導体・電子部材・構造材
 - ① 半導体・電子部材の需要構造
 - ② サーバー・ラック・ネットワーク機器の材料
 - ③ 冷却・電源系の材料需要
 - 40.5 エンドユースとしての需要構造整理
 - ① 機能別エンドユースと材料の対応
 - ② 需要成長のドライバー
 - 40.6 エネルギー・環境制約との関係
 - ① 再エネ・脱炭素との相互依存

- ② 省エネ・高効率化技術の普及
- 40.7 重要物資供給網の観点からの評価
 - ① 重要原材料・戦略物質としての位置づけ
 - ② サプライチェーン上のボトルネック候補
- 40.8 需要構造分析の今後の論点
- 41 半導体・パワーエレクトロニクスにおけるガリウム・ゲルマニウム等の役割
 - 41.1 序論：重要原材料としてのガリウム・ゲルマニウム
 - 41.2 物性とデバイス特性の基礎
 - ① ガリウム系化合物半導体の物性
 - ② ゲルマニウムおよび SiGe の物性
 - 41.3 半導体デバイス領域での役割
 - ① 高周波・通信デバイス
 - ② 光デバイス・フォトニクス
 - ③ ロジック・メモリへの間接的寄与
 - 41.4 パワーエレクトロニクスにおける役割
 - ① GaN パワーデバイス
 - ② ゲルマニウムとパワーデバイス
 - ③ システムレベルでのインパクト
 - 41.5 需要構造・エンドユース産業の整理
 - ① エンドユース別の用途マッピング
 - ② 地域別・産業別の集中度
 - 41.6 供給構造と重要物資としてのリスク
 - ① 副産物依存と価格変動
 - ② 地政学リスクと輸出規制
 - ③ リサイクル・代替材料の可能性
 - 41.7 需要サイドの戦略と技術選択
 - ① 材料効率とデザイン最適化
 - ② 用途ごとの材料選択ポリシー
 - 41.8 政策・産業戦略上の含意
 - ① 重要原材料政策との接続
 - ② 産業競争力と技術主権
- 42 通信インフラ(5G/6G)に必要な高周波材料・レアメタル
 - 42.1 序論：5G/6G と「重要原材料」化する高周波材料
 - 42.2 通信インフラの構造と高周波機能ブロック
 - ① 無線アクセスネットワーク(RAN)
 - ② トランスポート・コアネットワーク

42.3 高周波半導体材料とレアメタル

- ① GaAs・GaN・SiGe などの化合物半導体
- ② フェライト・磁性体・高周波磁性材料
- ③ 高周波受動部品材料

42.4 アンテナ・高周波基板と関連材料

- ① 高周波プリント配線板(RF PCB)材料
- ② アンテナ材料とレアアース磁石

42.5 光通信・バックホールでの高周波・レアメタル需要

- ① 光送受信モジュール
- ② 光ファイバおよび関連材料

42.6 需要構造・エンドユース産業としての整理

- ① 機能別エンドユースと主要材料
- ② 5G から 6G への移行と材料需要の変化

42.7 供給網リスクと戦略物質としての位置づけ

- ① 供給集中度と輸出管理リスク
- ② リサイクル・代替技術の進展

42.8 政策・産業戦略への含意

- ① 重要原材料・重要物資供給網としての位置づけ

43 医療機器・診断装置における希少元素利用

43.1 序論:医療機器産業と希少元素の関係

43.2 医療機器と希少元素利用の主要領域

- ① 放射線診断・画像系機器
- ② 治療系機器と希少元素
- ③ 診断センサー・生体計測デバイス

43.3 希少元素利用の需要構造と市場特性

- ① 医療機器産業における希少元素の位置づけ
- ② エンドユース別の構造整理

43.4 供給リスクと重要物資供給網の課題

- ① 希少ガス・副産物系元素の脆弱性
- ② レアアース依存と純度要件の高さ
- ③ リサイクルと代替技術

43.5 需要の将来的展望と技術動向

- ① 高齢化と精密医療による需要拡大
- ② 材料置換・構造革新の方向性
- ③ 重要物資供給網政策における位置づけ

43.6 総括:医療機器産業と希少元素の戦略的意義

44 EV・バッテリー産業における重要鉱物需要の伸長シナリオ

44.1 EV 普及の前提シナリオと重要鉱物の位置づけ

44.2 鉱物別の需要ドライバーと技術トレンド

- ① リチウム: 全電池ケミストリに共通するボトルネック
- ② ニッケル・コバルト・マンガン: 高エネルギー密度系の行方
- ③ LFP・LMFP の拡大と鉄・リン・グラファイト
- ④ グラファイト・シリコン・リチウム金属: 負極材料のシナリオ
- ⑤ 銅・アルミ・レアアース: 車両・モジュール側の重要鉱物

44.3 シナリオ別の重要鉱物需要パターン

- ① 低成長シナリオ: EV 拡大鈍化と技術転換の加速
- ② ベースラインシナリオ: 政策継続と段階的技術移行
- ③ 高野心シナリオ: ネットゼロ整合とリサイクル本格化

44.4 サプライチェーン・政策・企業戦略への含意

- ① サプライチェーン強靱化と多元調達
- ② リサイクル・セカンドライフの役割
- ③ 企業のポートフォリオ戦略

44.5 重要材料の需給構造と価格予測: 2035 年に向けたシナリオ分析

- ① 本節の位置づけと分析目的
- ② 分析スコープの設定

44.6 マクロ需要ドライバーの全体像

- ① 三大需要エンジン
- ② 供給制約の構造

44.7 需給市場の現状(2024~2026 年)

- ① 過剰供給から引き締めへの転換期
- ② 市場規模と投資動向

44.8 需給ギャップの構造: 2030~2035 年の展望

- ① 供給ギャップの時系列変化
- ② 需要の感応度分析: 技術転換がもたらす不確実性

44.9 リチウムの需給・価格展望

- ① 需要構造とドライバー
- ② 供給構造とボトルネック
- ③ 価格予測
- ④ 日本への示唆

44.10 ニッケルの需給・価格展望

- ① 需要構造の二分化
- ② 供給過剰と構造変化

- ③ 価格予測
- ④ 技術転換リスクの定量感
- 44.11 コバルトの需給・価格展望
 - ① 供給集中と地政学脆弱性
 - ② 電池ケミストリー転換の影響
 - ③ 価格予測
 - ④ 戦略的留意点
- 44.12 レアアースの需給・価格展望
 - ① 産業的位置づけ
 - ② 需要見通し
 - ③ 供給多様化の現状と課題
 - ④ 価格予測
 - ⑤ 技術的解決策の評価
- 44.13 銅の需給・価格展望
 - ① 電化経済の根幹素材
 - ② 供給構造と長期的制約
 - ③ 価格予測
 - ④ 価格予測の総括比較表
- 44.14 需給バランスの決定要因：投資サイクルとリサイクル
 - ① 上流投資の不足問題
 - ② リサイクルの役割
- 44.15 地政学リスクと供給安全保障
 - ① 中国の資源外交と輸出管理の体系化
 - ② 資源ナショナリズムの拡大
 - ③ サプライチェーン多角化の現状と課題
- 44.16 自動車産業を中心とした需要側の戦略的变化
 - ① EV シフトの材料インパクト
 - ② LFP 化が意味する材料構成の転換
 - ③ 永久磁石のサプライチェーン課題
- 44.17 投資戦略と財務的含意
 - ① 材料別の投資機会と優先度
 - ② 5 兆 3,000 億ドルの投資ギャップへの対応
- 44.18 政策的含意と日本の課題
 - ① 経済安全保障政策との連動
 - ② 2035 年に向けた優先課題
- 45 産業別コンソーシアム(自動車・電機など)の重要材料研究会

- 45.1 序論:産業別コンソーシアムが担う役割
- 45.2 コンソーシアムの基本構造と参加主体
 - ① 参加主体の構成
 - ② ガバナンス・運営形態
- 45.3 研究会が扱う主なテーマ領域
 - ① 重要材料リスクのモニタリングと評価
 - ② 材料ロードマップの策定
 - ③ 共通基盤技術・標準の整備
- 45.4 自動車・電機コンソーシアムの具体的な役割像
 - ① 自動車産業の重要材料研究会
 - ② 電機・エレクトロニクス産業の重要材料研究会
- 45.5 情報共有と競争領域の切り分け
 - ① 情報共有のレイヤー分け
 - ② IP・標準化戦略
- 45.6 政策・サプライチェーン戦略との接点
 - ① 政策との連携
 - ② グローバルサプライチェーンとの調整
- 45.7 課題と成功の条件
 - ① 直面する課題
 - ② 成功の条件
- 45.8 結語:産業別コンソーシアムの戦略的意義
- 46 素材メーカーとエンドユーザーの共同開発・長期供給契約
- 46.1 序論:重要原材料リスク時代の新しい取引関係
- 46.2 共同開発・長期供給契約の基本構造
 - ① 契約の目的とスコープ
 - ② 契約に含まれる主な要素
- 46.3 共同開発ステージの設計
 - ① ニーズ定義と仕様共創
 - ② 技術開発・試作・評価プロセス
 - ③ 知財・データの取り扱い
- 46.4 長期供給契約の構造とメリット
 - ① 需要・供給の安定化
 - ② コスト・投資の共有
 - ③ サステナビリティ要件の組み込み
- 46.5 具体的な適用領域の例
 - ① 電池材料・磁石・半導体などの戦略素材

② 低炭素素材・リサイクル材

46.6 ガバナンスとリスク管理

① 関係性のマネジメント

② バランス確保のための条項

46.7 結語：エコシステム視点での意味合い

47 金属トレーダー・商社の役割変化（トレーディングから戦略投資へ）

47.1 序論：金属トレーダー・商社に迫るパラダイム転換

47.2 従来のトレーディングモデルの特徴と限界

① 価格裁定と物流最適化を核としたビジネス

② 限界として顕在化した構造

47.3 戦略投資主体へのシフトとそのドライバー

① 上流・中流への資本参加

② 下流との連携とオフテイク契約

③ 脱炭素・循環経済に向けた投資

47.4 エコシステム・連携のハブとしての新機能

① マルチステークホルダーの調整者

② データ・トレーサビリティ・ESG プラットフォーム

③ イノベーション・技術投資への関与

47.5 戦略投資化に伴うリスクと課題

① 投資リスク・資本効率の管理

② ESG・レピュテーションリスク

③ 人材・組織能力の転換

47.6 今後の方向性と戦略的含意

① 「トレーダー兼インフラ事業者」への進化

② エコシステム全体のレジリエンス強化への貢献

48 公的研究機関（地質調査所・研究所）の機能強化

48.1 序論：重要鉱物時代における公的研究機関の再定義

48.2 基盤地質情報インフラとしての機能強化

① 地質・資源情報の高度化とオープン化

② 重要鉱物ポテンシャル評価の体系化

48.3 重要鉱物・戦略物質に特化した研究機能

① 鉱床生成・鉱物学・冶金学の統合研究

② 都市鉱山・リサイクル資源の評価

48.4 政策支援とリスク分析機能の強化

① 資源安全保障・サプライチェーン分析

② 法制度・規制設計への技術的助言

48.5 産業界・大学とのエコシステム連携

- ① 共同研究・オープンラボ機能
- ② 人材育成・知識継承

48.6 デジタルトランスフォーメーションと組織改革

- ① データサイエンス・AI の導入
- ② ミッション志向型組織への転換

48.7 結語：公的研究機関強化の戦略的意義

49 スタートアップ（新精錬技術・リサイクル技術）のポジショニング

49.1 序論：資源・素材イノベーションの新しい担い手

49.2 スタートアップがフォーカスする技術領域

- ① 新しい湿式・乾式・電気化学プロセス
- ② 都市鉱山・二次資源リサイクル技術
- ③ デジタル・自動化・モジュラー化

49.3 ポジショニングの基本パターン

- ① ニッチ金属・特定バリューチェーンへの特化
- ② 既存プレイヤーの補完・アップグレードパートナー
- ③ 地域分散型・クローズドループモデル

49.4 エコシステム内での連携パートナー

- ① 素材メーカー・精錬会社との関係
- ② エンドユーザー企業との連携
- ③ 公的研究機関・大学との補完関係
- ④ 商社・投資家との関係

49.5 スタートアップの強み・弱みと戦略的課題

- ① 強み：機動性・技術集中・リスク許容度
- ② 弱み：資本制約・スケールアップリスク・オペレーション能力
- ③ 戦略的課題と解決の方向性

49.6 エコシステム全体から見たスタートアップの位置づけ

50 重要原材料・戦略物質エコシステムにおけるハイテク装置メーカーとの連携領域

50.1 序論：重要原材料と装置メーカーが交差する戦略的コンテキスト

50.2 重要原材料エコシステムと装置メーカーの位置付け

- ① エコシステム構造とバリューチェーン階層
- ② 地政学・政策要因と装置エコシステム

50.3 連携領域 1：装置起点の材料・プロセス共創（コデベロップメント）

- ① 材料・装置の同時開発と仕様共通化
- ② パイロットライン・デモ設備の共同投資

50.4 連携領域 2：サプライチェーンの多元化とリスク分散

- ① 重要鉱物・素材サプライヤーの発掘と装置メーカーの橋渡し機能
- ② 公的枠組み・国際パートナーシップとの連動
- 50.5 連携領域 3: 環境・ESG 要件に対応したプロセスイノベーション
 - ① 低炭素・低環境負荷プロセスの共創
 - ② トレーサビリティ・透明性のための計測・デジタル技術
- 50.6 連携領域 4: リサイクル・サーキュラーエコノミーと装置イノベーション
 - ① 都市鉱山・リサイクルプロセスへの装置技術展開
 - ② 装置メーカーとリサイクラー・素材メーカーによるビジネスモデル共創
- 50.7 連携領域 5: デジタル・AI による供給網最適化とレジリエンス強化
 - ① サプライチェーン全体の可視化とリスクモデリング
 - ② データ共有プラットフォームとエコシステム・ガバナンス
- 50.8 連携領域 6: 人材・知識プラットフォームとイノベーション・コミュニティ
 - ① 共同トレーニングセンターとスキル標準
 - ② オープンイノベーション・コンテストとスタートアップ連携
- 50.9 戦略的示唆: 装置メーカーを核としたエコシステム・デザインの方向性
- 51 重要原材料エコシステムにおけるデータプラットフォーム企業による資源情報サービス
 - 51.1 序論: 資源情報とエコシステム・連携の新しい結節点
 - 51.2 資源情報サービスの全体像と機能アーキテクチャ
 - ① 資源情報サービスがカバーする情報レイヤー
 - ② データパイプラインとシステム構成
 - 51.3 カテゴリー1: 地質・鉱量・開発ポテンシャル情報サービス
 - ① 探査・鉱量情報の整備と民主化
 - ② プロジェクトパイプラインと開発ステージの可視化
 - 51.4 カテゴリー2: サプライチェーン・物流・トレーサビリティ情報サービス
 - ① サプライチェーンマッピングと集中リスクの定量化
 - ② トレーサビリティ・デジタルパスポート支援
 - 51.5 カテゴリー3: 市場・価格・金融関連情報サービス
 - ① 価格指標と長期需給シナリオ
 - ② リスクプレミアム・国別リスクのモデリング
 - 51.6 カテゴリー4: 環境・社会・ガバナンス (ESG) 情報サービス
 - ① 環境フットプリントとライフサイクル評価
 - ② 人権・コミュニティ・サプライチェーンデューデリジェンス
 - 51.7 カテゴリー5: 技術ロードマップ・代替材情報サービス
 - ① 代替材料・代替プロセスの技術動向
 - ② 技術・政策ロードマップとの統合
 - 51.8 エコシステム・連携の観点から見た資源情報サービスの役割

① 政府・国際機関との連携

② 企業・金融機関・市民社会をつなぐハブ

51.9 データプラットフォーム企業が直面する課題とガバナンス

① データアクセス・品質・バイアスの課題

② 機微情報・競争法・安全保障への配慮

51.10 今後の発展方向と戦略的インプリケーション

① 物理世界とデジタルツインの結合

② ローカル・グローバル両面でのプラットフォーム競争

51.11 結語：資源情報サービスを核としたエコシステム・連携の意義

52 グローバル標準化機関によるサステナブル鉱業基準策定

52.1 序論：重要原材料とサステナブル鉱業基準の戦略的意義

52.2 サステナブル鉱業基準の位置付けと目的

① 基準策定の狙いと役割

② グローバル標準化機関の特徴

52.3 カテゴリー1：環境基準の枠組み

① ライフサイクル全体を対象とする環境指標

② 技術イノベーションを促す環境要求

52.4 カテゴリー2：社会・人権・コミュニティ基準

① 人権尊重と労働安全衛生

② 先住民・地域コミュニティとの関係

52.5 カテゴリー3：ガバナンス・透明性・トレーサビリティ基準

① 企業ガバナンスと腐敗防止

② 透明性とサプライチェーン情報開示

52.6 カテゴリー4：基準策定プロセスとステークホルダー参加

① マルチステークホルダー・プロセス

② 段階的導入と国・企業の多様性への配慮

52.7 カテゴリー5：認証・評価・金融との連動

① 認証スキームと第三者監査

② サステナブル・ファイナンスとの接続

52.8 カテゴリー6：技術・データ・イノベーションとの接点

① デジタル技術によるモニタリングと検証

② 先端技術開発へのフィードバック

52.9 カテゴリー7：重要原材料エコシステム・連携へのインプリケーション

① 資源国・消費国間パートナーシップの新しい枠組み

② 下流産業・デジタルプラットフォームとの連携

52.10 結語：グローバル基準を核としたサステナブル鉱業エコシステム

53 産学官連携クラスターによる鉱物・素材イノベーション・エコシステム

53.1 序論：鉱物・素材分野でエコシステムが必要とされる理由

53.2 エコシステムの構成要素と機能

- ① 主要プレイヤー
- ② エコシステムとしての機能

53.3 技術領域別の連携モジュール

- ① 採掘・探査・資源評価モジュール
- ② 精錬・リサイクル・プロセスイノベーションモジュール
- ③ 新素材・代替材料モジュール
- ④ システムインテグレーション・LCA モジュール

53.4 ガバナンスモデルと運営設計

- ① クラスターガバナンス
- ② ファイナンスとインセンティブ設計

53.5 エコシステムがもたらす効果と課題

- ① 期待される効果
- ② 直面する課題

53.6 結語：鉱物・素材イノベーションの「場」としてのクラスター

【 先端技術・イノベーション 】

54 衛星リモートセンシング・ハイパースペクトル技術による鉱床探査

54.1 はじめに：重要鉱物とデジタル採掘の接点

54.2 衛星リモートセンシングとハイパースペクトル技術の基礎

- ① リモートセンシングの分類と鉱床探査での役割
- ② ハイパースペクトル衛星の性能と制約

54.3 AI・自動化とハイパースペクトル鉱床探査ワークフロー

- ① データ取得から AI 解析までのプロセス
- ② 代表的な AI アプローチと性能

54.4 ハイパースペクトルによる鉱床指標：変質帯・鉱物・構造

- ① 変質鉱物マッピングの重要性
- ② ケーススタディ：PRISMA 衛星による変質マッピング

54.5 重要原材料・戦略物質におけるインパクト

- ① 重要鉱物の探索ターゲットとスペクトル特性
- ② クリティカルミネラル戦略と AI 探索の位置づけ

54.6 デジタル採掘・自動化との統合

- ① 探査から開発・操業までのデジタル連続性
- ② デジタルツインとリアルタイム意思決定

54.7 技術とビジネスのプレイヤー動向

① スタートアップとサービスプロバイダー

② メジャー企業・政府機関の取り組み

54.8 ガバナンス・リスク・倫理的論点

① 環境・社会的影響と ESG

② データ主権と地政学的競争

54.9 今後の技術進化と政策・ビジネス上の論点

① 技術ロードマップ

② 政策・ビジネスの検討ポイント

55 AI・データ分析を用いた鉱業投資スクリーニング

55.1 はじめに：重要原材料と投資スクリーニングの高度化

55.2 データ基盤とインプット情報の整理

① 必要となるデータカテゴリ

② データ品質と欠損の扱い

55.3 投資スクリーニングモデルの構造

① ルールベースと機械学習のハイブリッド

② シナリオ・モンテカルロ分析の組み込み

55.4 重要原材料ポートフォリオの最適化

① 複数金属・複数地域ポートフォリオ

② サプライチェーン統合投資の評価

55.5 ESG・レピュテーションリスクの定量化

① 非財務データの解析

② 規制・政策シナリオとの整合

55.6 オペレーショナルデータを用いた運営能力評価

① 過去操業データに基づくオペレーター評価

② 現場デジタル化レベルと改善余地

55.7 実務導入上の課題とガバナンス

① モデルリスクと説明可能性

② データ・組織・文化の整備

55.8 結論：AI スクリーニングがもたらす鉱業投資の新常態

56 生成 AI 型新材料自動設計システム：事業環境・技術動向・課題

56.1 事業環境と市場動向

56.2 事業特性と技術的特徴

① 生成 AI 技術の材料設計への応用

② システムの基本構成

③ データ駆動型アプローチの優位性

56.3 注目すべき技術トピック

① MatterGen の革新的アプローチ

② 実証実験の成功事例

③ 自動モデル生成技術

④ 多様な AI 手法の統合

56.4 先端技術動向

① 深層学習の材料設計への応用

② 高次元ベイズ最適化技術

③ 分子動力学シミュレーションと AI の融合

④ デジタルトランスフォーメーションの推進

56.5 AI との関連性と技術的背景

56.6 専門家の見解と評価

56.7 主要な課題点と制約

56.8 将来展望と発展可能性

56.9 小括

57 生成 AI 型新材料自動設計システム市場

57.1 市場概要と統計データ

① グローバル市場規模の現状

② 日本市場の動向

57.2 市場トレンドと技術動向

① AI 技術の材料科学への浸透

② 産業別の成長動向

③ 技術的進歩とイノベーション

57.3 今後数年間の市場展開予測

① 短期予測 (2025-2027 年)

② 中期予測 (2028-2030 年)

③ 長期予測 (2030 年以降)

57.4 投資動向と資金調達環境

① 政府投資の動向

② 民間投資の拡大

③ 設備投資の動向

57.5 投資ファンドの動向

① 専門ファンドの設立

② 大型資金調達事例

③ ポートフォリオ投資の傾向

④ 国内企業の成功事例

⑤ 技術開発の実績

57.6 市場の課題と将来展望

- ① 技術的課題
- ② 市場機会の拡大
- ③ 将来性と展望

58 生成 AI 型新材料自動設計システムの企業・団体動向分析

58.1 はじめに

58.2 主要 IT 企業の動向

58.3 大手製造業の取り組み

- ① トヨタ自動車
- ② レゾナック(旧昭和電工)
- ③ 富士通
- ④ 日立製作所
- ⑤ NTT
- ⑥ アステラス製薬
- ⑦ ソニー

58.4 国立研究機関の取り組み

- ① 物質・材料研究機構(NIMS)
- ② 産業技術総合研究所(AIST)
- ③ 理化学研究所(RIKEN)
- ④ 新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)

58.5 大学研究機関の動向

- ① 東京大学
- ② 京都大学
- ③ 早稲田大学

58.6 業界団体・学会の取り組み

- ① 日本化学会
- ② 日本機械学会

58.7 主要スタートアップの動向

- ① MI-6 株式会社
- ② Preferred Networks (PFN)

58.8 市場規模と将来展望

58.9 小括

59 マルチエージェント AI 材料開発プラットフォーム

59.1 概要と定義

59.2 事業環境と市場動向

59.3 技術的特性と先端動向

- 59.4 注目すべき技術トピック
- 59.5 課題と制約要因
- 59.6 専門家の見解と将来展望
- 59.7 具体的応用事例と成果
 - ① 自律材料発見システム
 - ② 高エントロピー合金の最適化
 - ③ 工業規模での実装
- 59.8 将来の技術発展方向
- 59.9 産業生態系への影響
- 59.10 小括
- 60 マルチエージェント AI 材料開発プラットフォーム:市場分析と投資動向
 - 60.1 市場規模と成長予測
 - 60.2 AI/プラットフォーム関連の技術的進歩と市場動向
 - 60.3 プラットフォームの技術的特徴
 - 60.4 投資動向と資金調達状況
 - 60.5 セクター別市場分析
 - 60.6 市場推進要因と課題
 - 60.7 技術プラットフォームとビジネスモデル
 - 60.8 今後 5 年間の市場展開予測
 - 60.9 小括と将来展望
- 61 マルチエージェント AI 材料開発プラットフォームの現状と関与企業・団体の動向分析
 - 61.1 概要
 - 61.2 主要企業・機関の取り組み
 - 61.3 化学・材料メーカー
 - 61.4 研究機関・大学
 - 61.5 スタートアップ企業
 - 61.6 最新技術動向とイノベーション
 - 61.7 市場規模と将来展望
- 62 変分オートエンコーダー型材料生成モデル
 - 62.1 概要
 - 62.2 事業環境と市場背景
 - 62.3 事業特性と技術的優位性
 - 62.4 注目すべき技術動向
 - 62.5 先端技術動向と技術革新
 - 62.6 AI との関連性と統合技術
 - 62.7 専門家の見解と評価

- 62.8 主要課題と限界
- 62.9 将来展望と発展可能性
- 62.10 小括
- 63 変分オートエンコーダー型材料生成モデルの市場動向と投資分析レポート
 - 63.1 エグゼクティブサマリー
 - 63.2 技術的背景と定義
 - 63.3 市場規模と成長予測
 - 63.4 技術動向と市場傾向
 - 63.5 投資動向と資金調達状況
 - 63.6 投資ファンドと支援機関の動向
 - 63.7 産業応用と市場セグメント
 - 63.8 市場展開予測(2025-2030 年)
 - 63.9 課題と機会
 - 63.10 小括と提言
- 64 変分オートエンコーダー型材料生成モデルに関与する企業・団体の包括的分析
 - 64.1 はじめに
 - 64.2 大手テクノロジー企業の動向
 - 64.3 日本の大手企業の取り組み
 - 64.4 主要な材料インフォマティクス企業
 - 64.5 大学・研究機関の取り組み
 - 64.6 スタートアップ企業の動向
 - 64.7 業界団体・国際組織の動向
 - 64.8 今後の展望と課題
- 65 実験室向け AI・ロボット・インフォマティクス統合型材料発見システム
 - 65.1 はじめに
 - 65.2 事業環境と市場動向
 - 65.3 事業特性と技術的特徴
 - 65.4 注目すべき技術トピック
 - 65.5 汎用ソフトウェアプラットフォームの登場
 - 65.6 専門家の見解と課題点
 - 65.7 技術革新の方向性
 - 65.8 小括
- 66 実験室向け AI・ロボット・インフォマティクス統合型材料発見システム:市場統計・傾向・投資動向
 - 66.1 エグゼクティブサマリー
 - 66.2 市場統計・規模分析

- 66.3 市場傾向・技術動向
- 66.4 市場展開予測(数年間)
- 66.5 投資動向・ファンド動向
- 66.6 技術的課題と市場機会
- 66.7 日本市場の特殊性と展望
- 67 実験室向け AI・ロボット・インフォマティクス統合型材料発見システムの現状と関連企業・機関
 - 67.1 概要
 - 67.2 主要研究機関とその動向
 - 67.3 主要企業の取り組み
 - 67.4 日本の大学研究機関
 - 67.5 企業の具体的取り組み事例
 - 67.6 材料インフォマティクス関連企業
 - 67.7 業界団体と政府の取り組み
 - 67.8 今後の展望と課題
- 68 自律走行型鉱山車両フリート
 - 68.1 はじめに: 重要原材料と自律走行フリートの位置づけ
 - 68.2 自律走行型鉱山車両フリートの全体像
 - ① 対象となる車両と機能範囲
 - ② システムアーキテクチャの基本構造
 - 68.3 技術構成要素
 - ① センサと環境認識
 - ② 自律走行ソフトウェアスタック
 - ③ フリートマネジメントと最適化アルゴリズム
 - 68.4 エネルギー転換と自律フリート
 - ① ディーゼルから電動・水素への移行
 - ② 充電・補給インフラと動的スケジューリング
 - 68.5 デジタル採掘・AI との統合
 - ① デジタルツインとリアルタイム最適化
 - ② 他の自動化技術との連携
 - 68.6 安全性・生産性・コストへの影響
 - ① 安全性向上
 - ② 生産性とコスト構造
 - 68.7 人材・組織・オペレーション変革
 - ① スキルセットの変化
 - ② 運用モデルの変化

68.8 リスク・制約・ガバナンス

① 技術的・運用上のリスク

② 法規制と標準化

68.9 重要原材料サプライチェーンへの戦略的インプリケーション

① 上流供給の安定性とレジリエンス

② ESG・ブランド価値・資本市場との関係

69 ロボティクスによる坑内作業自動化

69.1 はじめに：重要原材料と坑内ロボティクス

69.2 坑内作業自動化の対象領域

① 主な坑内作業プロセス

② 安全性と効率性の観点からの優先度

69.3 ロボットプラットフォームのタイプ

① 自律走行 LHD・シャトルトレイン

② 多脚・クローラロボットによる点検・救援

③ 固定式・自走式ロボットマニピュレータ

69.4 センサ・通信・AI 基盤

① 坑内環境におけるセンサ構成

② 通信インフラとエッジコンピューティング

③ AI による認識・判断・協調

69.5 デジタル採掘との統合とデジタルツイン

① 地上・坑内統合のデジタルツイン

② 他の自動化技術とのシナジー

69.6 安全性・ESG・社会的受容性

① 労働安全と健康影響の改善

② 環境負荷とモニタリング

69.7 経済性・投資判断・ビジネスモデル

① 投資回収とコスト構造

② ベンダーエコシステムと標準化

69.8 人材・地域社会への影響

① 職種転換とスキルアップ

② 社会的ライセンスとステークホルダー関与

69.9 まとめ：坑内ロボティクスの戦略的意義

70 デジタルツインによる鉱山操業最適化

70.1 はじめに：重要原材料とデジタルツインの位置づけ

70.2 デジタルツインの概念と鉱山適用の特徴

① デジタルツインの基本構造

② 鉱山特有の要件

70.3 データ基盤とモデル化

- ① データソースと統合
- ② 地質・鉱体モデルと資源不確実性
- ③ プロセス・設備・物流モデル

70.4 運転モードと意思決定の階層

- ① 長期・中期・短期計画とデジタルツイン
- ② リアルタイム最適化と自律オペレーション

70.5 AI・アナリティクスとの統合

- ① 予測モデルとシミュレーションの連携
- ② 強化学習と自動化オペレーション

70.6 重要原材料サプライチェーンへのインパクト

- ① 生産安定性とレジリエンス向上
- ② ESG・規制対応と透明性

70.7 実装アーキテクチャと運用モデル

- ① システムアーキテクチャのレイヤー構造
- ② オペレーションセンターと意思決定プロセス

70.8 課題・リスク・ガバナンス

- ① 技術的課題と限界
- ② サイバーセキュリティとデータ主権
- ③ 人材・文化・組織の課題

70.9 戦略的示唆: デジタルツインと「デジタル採掘」エコシステム

71 Mining Indaba 2026 での AI・ロボティクス採掘探査の報告

71.1 はじめに: アフリカ資源と AI・ロボティクス

71.2 全体テーマとポリシーメッセージ

- ① 重要原材料サプライチェーンとアフリカの位置付け
- ② 公共セッションでのキーメッセージ

71.3 AIを活用した鉱床探査・資源評価

- ① データ駆動型探査の紹介
- ② 国営地質調査機関・大学との連携

71.4 ロボティクスと自動化による操業の高度化

- ① 自律走行フリート・坑内ロボットの導入事例
- ② 人材・コミュニティへの影響

71.5 デジタルツイン・統合プラットフォームの紹介

- ① デジタルツインによる鉱山最適化事例
- ② SaaS 型プラットフォームとスタートアップの台頭

71.6 ESG・レジリエンスとAI・ロボティクス

- ① 環境・社会・ガバナンスの強化
- ② レジリエンスと地政学的分散

71.7 政策・規制・協調枠組み

- ① 政府・規制当局の優先課題
- ② 国際協力と資金動員

71.8 産業・技術の将来像

- ① 「デジタル採掘」への移行シナリオ
- ② アフリカ発イノベーションへの期待

72 BCG「AI-Powered Mining and Metals Company」レポート

72.1 はじめに: レポートの位置づけと背景

72.2 レポートの基本コンセプト: AI-Powered Company とは何か

- ① 機能単位から企業全体アーキテクチャへ
- ② 価値創出レバーの整理

72.3 重要原材料サプライチェーンの文脈

- ① 需要・価格・規制の不確実性
- ② 上流～下流を貫くAIの役割

72.4 探査・資源評価におけるAI活用

- ① データ統合とターゲティング
- ② プロジェクト評価とリスク分析

72.5 AIによる採掘・運搬・プロセスの最適化

- ① マイン・オペレーションのAI化
- ② プロセスプラントのAI制御

72.6 予兆保全・資産管理と安全性向上

- ① 予兆保全のパターン
- ② 安全・リスク管理

72.7 商務・サプライチェーン・リサイクルへのAI適用

- ① 市場インテリジェンスと商務最適化
- ② サプライチェーンと循環経済

72.8 データ・プラットフォームとガバナンス

- ① データ基盤とモジュラーアーキテクチャ
- ② ガバナンス・組織・文化

72.9 戦略的示唆: AI-Powered Mining & Metals Company への道筋

73 低品位鉱石処理技術と経済性改善のブレークスルー

73.1 はじめに: 低品位鉱石と重要原材料サプライチェーン

73.2 低品位鉱石の課題構造

① 品位低下と鉱山経済性

② 鉱石の複雑性と変動性

73.3 ブレークスルー領域 1: 鉱石選別と破碎・粉砕の高度化

① センサーベースソーティングと先行除去

② 高圧粉砕ロールとエネルギー効率

73.4 ブレークスルー領域 2: 選鉱・浸出・製錬プロセスの革新

① 高度浮選技術と AI 制御

② ヒープリーチングとバイオリーチング

③ 直接リチウム抽出と新プロセス

73.5 ブレークスルー領域 3: デジタルツインと全体最適化

① ブレンド戦略と鉱石パラメータのリアルタイム把握

② 経済性評価のリアルタイム化

73.6 ブレークスルー領域 4: AI・自動化によるコスト削減と ESG 改善

① 自動化と運搬・エネルギーコスト

② ESG・環境負荷のマネジメント

73.7 ビジネスモデルと投資戦略へのインプリケーション

① プロジェクト設計と段階的投資

② パートナーシップとエコシステム

73.8 まとめ: 低品位鉱石処理ブレークスルーの戦略的意義

74 精錬・分離技術の高効率化と環境負荷低減

74.1 はじめに: 重要原材料サプライチェーンと精錬・分離

74.2 精錬・分離プロセスの位置づけと課題

① バリューチェーンにおける役割

② 主な技術・運用上の課題

74.3 熱的精錬プロセスの高効率化とクリーン化

① 高度燃焼制御と排ガス処理

② スラグ・副産物の有効利用

74.4 水系精錬・溶媒抽出の高効率化

① 浸出プロセスの最適化

② 溶媒抽出・イオン交換の高選択化

74.5 電解精製・電解採取の効率化とグリーン電力活用

① 電解プロセスのエネルギー効率向上

② 再生可能エネルギーとの統合

74.6 AI・自動化・デジタルツインによる統合最適化

① プロセスデジタルツインの構築

② AI によるリアルタイム最適化

74.7 リサイクル・二次資源との連携

- ① 廃棄物から資源への転換
- ② トレーサビリティと環境認証

74.8 人材・組織・政策への含意

- ① デジタル・プロセス融合型人材の必要性
- ② 規制・インセンティブ・国際協調

74.9 結論: AI・自動化・デジタル採掘と精錬・分離の将来像

75 AI を用いた材料探索と代替材候補の迅速同定

75.1 はじめに: 重要原材料リスクと AI マテリアルズ・インフォマティクス

75.2 AI 材料探索の基本アーキテクチャ

- ① データ基盤と特徴量表現
- ② 予測モデルと生成モデル

75.3 代替材探索の戦略と指標設計

- ① 代替材探索の設計空間
- ② 資源リスクメトリクスの組み込み

75.4 代表的な応用領域とケーススタディ

- ① 電池材料における AI 代替材探索
- ② 永久磁石・モーター材料におけるレアアース代替
- ③ 触媒・水素関連材料

75.5 実験自動化と「自律研究所」

- ① ハイ・スループット実験とロボティクス
- ② デジタルツインとしての材料開発プラットフォーム

75.6 ガバナンス・標準化・オープンサイエンス

- ① データ共有と標準フォーマット
- ② 倫理・知財・インセンティブ設計

75.7 結論: AI 材料探索がもたらす「資源制約の再定義」

76 AI 駆動型鉱物探査と地球化学データ分析

76.1 序論: 重要鉱物時代の「探索ボトルネック」と AI

76.2 データ基盤: 地質・地球物理・地球化学データの統合

- ① 地球化学データの種類と特徴
- ② マルチモーダル統合

76.3 AI 手法: 地球化学データ分析に用いられるモデル群

- ① 教師あり学習: 既知鉱床に基づく予測
- ② 教師なし学習・クラスタリング
- ③ 空間統計・地質ベイズモデリング

76.4 探査ワークフローへの組み込み

① 有望鉱区スクリーニング

② 掘削計画の最適化

③ デジタル・ツインとしての鉱床モデル

76.5 AI 導入の効果と限界

① 期待される効果

② 技術的・組織的限界

76.6 今後の展望:オープンデータと協調型 AI 探査

① 公的地質データとオープンプラットフォーム

② 自律探査システムへの発展

77 エネルギー使用 87%削減・GHG 排出 84%削減・コスト 54%削減の実績

77.1 はじめに:数値が意味するインパクト

77.2 削減率の前提:比較対象と境界条件

① ベースライン設定の重要性

② 単位機能と製品仕様

77.3 技術要因:なぜここまで削減できるのか

① エネルギー使用 87%削減のメカニズム

② GHG 排出 84%削減のメカニズム

③ コスト 54%削減の構造

77.4 具体的な技術例にみる削減メカニズム

① 短時間高温前処理+穏和浸出プロセス

② クローズドループ型リサイクルシステム

77.5 戦略的含意:政策・ビジネスモデル・技術投資

① 政策・規制への示唆

② 企業戦略と技術ポートフォリオ

78 電子機器スクラップからのレアアース・貴金属回収

78.1 はじめに:電子スクラップと重要原材料サプライチェーン

78.2 電子スクラップ中のレアアース・貴金属の主な存在形態

① レアアースの存在形態

② 貴金属の存在形態

78.3 プロセス全体像:前処理から湿式・乾式冶金まで

① 前処理・機械選別

② 貴金属回収の冶金プロセス

③ レアアース回収の冶金プロセス

78.4 先端技術・イノベーションの潮流

① 新規リガンド・分離技術

② バイオリッチング・バイオソープション

③ ロボティクス・AIによる解体・選別

78.5 ビジネスモデルと価値創出

① 貴金属中心の高付加価値モデル

② レアアース・貴金属統合回収モデル

③ OEM 連携・クローズドループモデル

78.6 政策・規制・サステナビリティとの関係

78.7 結語：電子スクラップ回収の戦略的意義

79 自動車・家電の解体・材料分別プロセスの高度化

79.1 はじめに：解体・分別高度化の戦略的位置づけ

79.2 高度化の技術要素：自動車解体プロセス

① EV・ハイブリッド車を前提とした解体フロー

② ロボット・自動化セルの導入

③ 高度分別：素材別ストリームの最適化

79.3 高度化の技術要素：家電解体・分別プロセス

① 家電リサイクル施設における自動化

② プラスチック分別の高度化

79.4 デジタル技術と設計情報の活用

① デジタルツインと解体手順の自動生成

② 材料パスポートとトレーサビリティ

79.5 ビジネスモデル・政策・人材への影響

① 高度化がもたらす収益構造の変化

② 規制・標準化・人材

79.6 結語：解体・材料分別高度化の戦略的意義

80 リサイクルレアアース市場の立ち上がりとビジネスモデル

80.1 はじめに：レアアースリサイクルが注目される背景

80.2 市場立ち上がりのドライバー

① 需要側の要因

② 供給側の要因

80.3 ターゲットセグメント別の立ち上がりパターン

① ネオジム系永久磁石リサイクル

② 蛍光体・照明・ディスプレイ起源のレアアース

③ 触媒・研磨材・合金スクラップ

80.4 リサイクルレアアースのビジネスモデル

① 1. トーリング型（委託処理・原料返却）

② 2. 原料購入・製品販売型（独立リサイクラー）

③ 3. クローズドループ型パートナーシップ

④ 4.「リサイクル・アズ・ア・サービス」型

80.5 市場形成における課題

- ① 技術・コスト面の課題
- ② ロジスティクス・回収体系の課題
- ③ 規制・標準の未整備

80.6 今後の展望:リサイクルレアアース市場の進化方向

81 Metallium 社の FJH 技術テキサスパイロットプラント

81.1 はじめに:大学発技術の商業化と重要原材料戦略

81.2 パイロットプラントの役割と位置づけ

- ① 目的:技術・経済性・運転性の検証
- ② 重要原材料サプライチェーンにおける意味

81.3 プロセスフローと設備構成の概観

- ① 原料前処理・供給セクション
- ② FJH リアクター・電源セクション
- ③ 下流プロセス:浸出・分離・精製

81.4 運転実績と KPI

- ① 技術 KPI:収率・純度・スループット
- ② 経済・環境 KPI:エネルギー・GHG・コスト

81.5 AI・自動化・デジタルツインとの連携

- ① プロセス最適化と品質予測
- ② デジタルツインによるスケールアップ設計

81.6 ビジネスモデルとパートナーシップ

- ① 原料供給・オフテイク契約
- ② 政策・資金面での位置づけ

81.7 戦略的評価:Metallium 社 FJH パイロットの意義

82 ETH Zurich の電子廃棄物 REE 分離技術(ユウロピウム高効率回収)

82.1 はじめに:電子廃棄物中 REE とユウロピウムの重要性

82.2 従来技術の課題と ETH アプローチの位置づけ

- ① 従来のユウロピウム分離の問題点
- ② ETH Zurich のコンセプト

82.3 プロセスの詳細:WS4²⁻を用いた Eu 分離

- ① 化学メカニズムと分離性能
- ② プロセス条件と持続可能性

82.4 電子廃棄物フローへの統合とユースケース

- ① 使用済み蛍光ランプからの Eu 回収
- ② その他の電子廃棄物への拡張可能性

82.5 技術の産業化ポテンシャルと課題

- ① スタートアップ構想とスケールアップ
- ② 技術・環境・規制上の課題

82.6 重要原材料サプライチェーンへのインプリケーション

- ① Europium サプライの多様化と都市鉱山
- ② REE リサイクル全体への波及効果

83 UC Berkeley のバクテリオファージ利用バイオマイニング

83.1 はじめに: バイオマイニングとファージ技術の交差点

83.2 UC Berkeley における研究の基本コンセプト

- ① バクテリオファージを用いた金属選択性の設計
- ② バイオマイニングプロセスへの統合イメージ

83.3 応用ターゲット: 重要原材料と鉱山・都市鉱山

- ① 低品位鉱石・鉱山廃滓からの回収
- ② 電子スクラップ・工業廃液からの回収

83.4 技術的メカニズムと設計要素

- ① ファージディスプレイによる金属親和性ペプチドの探索
- ② ファージ-金属複合体のナノ構造化と機能

83.5 産業化に向けた課題と展望

- ① スケールアップ・安定性・コスト
- ② 他技術との補完関係

83.6 重要原材料サプライチェーンへのインプリケーション

84 遺伝子操作ウイルスによる「スマートスポンジ」型 REE 選択吸着

84.1 はじめに: スマートスポンジ型 REE 回収のコンセプト

84.2 ウイルスペーススマートスポンジの構成要素

- ① プラットフォームとしてのウイルス粒子
- ② REE 認識ペプチドと機能性モチーフ
- ③ 多孔質マトリクスとの組み合わせ

84.3 スマートスポンジ型プロセスの運転イメージ

- ① 吸着ステップ: 「スポンジ」が REE を捕捉する
- ② 再生・脱着ステップ: 条件切り替えで REE を回収

84.4 重要原材料サプライチェーンから見た意義

- ① 低濃度・高塩分環境での REE 回収
- ② AI・合成生物学との組み合わせ

84.5 リスク・規制・実装上の課題

- ① バイオセーフティと環境リスク
- ② 経済性・耐久性・スケールアップ

- 84.6 結語:スマートスポンジ技術の戦略的ポジション
- 85 CMI Hub の新規リガンド/抽出剤による REE 分離効率向上
 - 85.1 はじめに:CMI Hub と REE 分離イノベーションの位置づけ
 - 85.2 従来抽出剤の限界と新規リガンド開発の方向性
 - ① 従来系(リン酸エステル・カルボン酸)の特徴と制約
 - ② 新規リガンド設計の基本戦略
 - 85.3 新規リガンド/抽出剤の具体的アプローチ
 - ① 中性フッ化物ミミック型・ホスフィンオキシド拡張系
 - ② 水系抽出・キレートポリマー型リガンド
 - ③ イオン液体・深共晶溶媒との組み合わせ
 - 85.4 分離効率向上の評価指標とプロセスインパクト
 - ① 分離係数・段数・スループット
 - ② 環境・安全・ライフサイクル評価
 - 85.5 重要原材料サプライチェーンへの戦略的含意
- 86 Cirba Solutions の統合型 EV 電池エンドツーエンドリサイクル
 - 86.1 はじめに:EV 電池リサイクルと重要原材料サプライチェーン
 - 86.2 Cirba Solutions のビジネスモデルとバリューチェーン
 - ① 回収・ロジスティクスからマテリアル供給まで
 - ② EV エコシステム内でのポジション
 - 86.3 技術構成:前処理から材料回収まで
 - ① 前処理・機械処理プロセス
 - ② ブラックマスからの湿式冶金プロセス
 - ③ LFP・ナトリウム系などへの対応
 - 86.4 ロジスティクス・トレーサビリティ・規制対応
 - ① 規制遵守と安全輸送
 - ② デジタル・トレーサビリティとデータ活用
 - 86.5 統合型リサイクルがもたらす戦略的インパクト
 - ① 一次資源依存度の低減と供給の安定化
 - ② CO2 フットプリント・ESG 評価への寄与
 - 86.6 まとめ:Cirba Solutions モデルの示唆
- 87 Momentum Technologies の MSX 技術(混合金属硫酸塩分離)
 - 87.1 はじめに:EV 電池リサイクルと混合金属溶液の課題
 - 87.2 MSX 技術の基本コンセプト
 - ① 「混合塩として取り扱う」フローの発想
 - ② モジュール化された分離ステップ
 - 87.3 プロセスフローの概略

- ① ステップ 1: 混合金属硫酸溶液の調整
- ② ステップ 2: 混合金属硫酸塩の一括結晶化
- ③ ステップ 3: 選択溶解・再結晶による金属分離
- 87.4 従来技術との比較と利点
 - ① 溶媒抽出中心フローとの比較
 - ② プロセス柔軟性と製品ポートフォリオ
- 87.5 重要原材料サプライチェーンへのインプリケーション
 - ① EV 電池リサイクルにおける役割
 - ② 一次鉱山・精錬との連携
- 87.6 まとめ: MSX 技術の戦略的意義
- 88 バッテリーリサイクル (Ni, Co, Li, Mn 回収) の技術・ビジネスモデル
 - 88.1 はじめに: EV 時代の重要鉱物循環と電池リサイクルの必然性
 - 88.2 リサイクル技術の体系
 - ① 乾式冶金 (パイロメタルジー)
 - ② 湿式冶金 (ハイドロメタルジー)
 - ③ 直接再生 (ダイレクトリサイクル)
 - 88.3 主要プロセスフローの比較
 - 88.4 ビジネスモデルの多様化
 - ① トーリング型モデル
 - ② 原料購入・製品販売型モデル
 - ③ クローズドループ型パートナーシップ
 - 88.5 経済性を左右するファクター
 - ① 原料コストと金属価格
 - ② 規制・インセンティブの影響
 - 88.6 AI・自動化・デジタル技術の役割
 - ① 選別・診断の自動化
 - ② プロセス制御と品質最適化
 - 88.7 重要原材料供給網における戦略的位置づけ
- 89 Rice 大学フラッシュジュール加熱法による REE 回収 (90%以上純度・収率)
 - 89.1 はじめに: REE リサイクルの戦略的重要性
 - 89.2 フラッシュジュール加熱法の技術コンセプト
 - ① プロセスの基本原理
 - ② REE 回収におけるメカニズム仮説
 - 89.3 従来法との比較: プロセス・環境・コスト
 - ① 従来の REE 回収プロセス
 - ② FJH 法の利点とポテンシャル

89.4 プロセスフローの概略

- ① 原料調整とFJH処理
- ② 浸出・分離・精製

89.5 対象原料と適用可能性

- ① 石炭灰・フライアッシュ
- ② 電子廃棄物・磁石スクラップ
- ③ その他の潜在的原料

89.6 経済性・スケールアップの論点

- ① エネルギー・薬品コストの評価
- ② 設備設計とスループット

89.7 環境・ESG・規制面での評価

- ① 廃棄物・副生成物の管理
- ② 社会的受容性とサプライチェーン認証

89.8 戦略的インプリケーション: 重要原材料供給網への影響

- ① REE 供給多様化と資源ナショナリズムへの対応
- ② 技術ポートフォリオとイノベーション競争

90 都市鉱山(廃棄製品)を含めた「上流定義」の再編

90.1 上流概念の拡張と都市鉱山の位置づけ

90.2 都市鉱山ポテンシャルとサプライチェーン再設計

- ① 都市鉱山の量的ポテンシャル
- ② 上流定義の再編がもたらすサプライチェーン構造変化

90.3 規制・政策ドライバー: CRMA と循環経済フレームワーク

- ① CRMA のリサイクル・都市鉱山関連条項
- ② 国際的議論: UNEP・UNEA と都市鉱山

90.4 企業・サプライチェーンにおける「拡張上流」戦略

- ① マテリアルフローと原産地概念の再構築
- ② ロジスティクス・貿易の再編

90.5 上流定義再編の課題と展望

- ① 実務上の課題: 回収率・経済性・社会的正義
- ② 戦略的含意: 上流の多元化とガバナンス

91 都市鉱山リサイクルプロセスの高度化(バッテリー・電子廃棄物)

91.1 はじめに: 都市鉱山と重要原材料サプライチェーン

91.2 バッテリー都市鉱山プロセスの高度化

- ① 回収・ロジスティクスの高度化
- ② 解体・前処理技術の高度化
- ③ 冶金プロセスの高度化: 乾式・湿式・直接再生の統合

④ AI・自動化によるプロセス制御

91.3 電子廃棄物都市鉱山プロセスの高度化

- ① 高効率解体・選別:ロボティクスとセンシング
- ② 貴金属・レアアース回収プロセスの高度化
- ③ バイオプロセスと循環型化学の導入

91.4 都市鉱山リサイクルのビジネス・政策・デジタル連携

- ① クローズドループ型ビジネスモデル
- ② 政策・規制との整合
- ③ デジタル・トレーサビリティと国際連携

91.5 結語:都市鉱山プロセス高度化の全体像

【 鉱種別フォーカス 】

92 リチウム市場 2026 年 452 億ドル→2030 年 1,185 億ドル(CAGR 27.2%)

92.1 市場規模予測の位置づけと前提

92.2 成長ドライバー:EV・蓄電池・電力転換

- ① EV とリチウムイオン電池需要
- ② 定置型蓄電池とエネルギー転換

92.3 供給能力とボリューム成長

- ① 生産量の見通し
- ② マーケットバリュー成長との関係

92.4 セグメント別・地域別の成長構造

- ① 製品セグメント(炭酸 vs 水酸化 vs その他)
- ② 地域別の市場拡大

92.5 リスクとシナリオ幅:27.2%CAGR が意味するもの

- ① マクロ・政策・技術リスク
- ② 上振れ・下振れ余地

92.6 サプライチェーン戦略への含意

93 LFP 電池の台頭とコバルト・ニッケル需要への影響

93.1 重要原材料・重要鉱物としてのバッテリーメタルの位置づけ

93.2 LFP 電池の技術的特徴と採用拡大のドライバー

93.3 グローバル電池市場における LFP シェア拡大の実態

93.4 ニッケル・コバルト需要強度への影響

93.5 絶対量としてのニッケル・コバルト需要の行方

93.6 リチウム需要・価格構造へのフィードバック

93.7 地政学・ESG 要因と LFP シフト

93.8 中国の LFP サプライチェーン支配と他地域の対応

93.9 企業戦略:電池化学ポートフォリオの最適化

- 93.10 リサイクルとセカンダリ資源の役割
- 93.11 政策・規制面での含意
- 93.12 将来展望:ポスト LFP とバッテリーメタル需要の長期構造
- 94 ナトリウムイオン電池による特定鉱物依存度低減
 - 94.1 バッテリーメタルと資源偏在という問題設定
 - 94.2 ナトリウムイオン電池の基本構造と原材料
 - 94.3 特定鉱物依存度低減のメカニズム
 - ① リチウム依存の回避
 - ② コバルト・ニッケル需要の削減
 - ③ グラファイトや銅など他材料への影響
 - 94.4 ナトリウム資源の豊富さと地理的分散
 - 94.5 環境負荷とライフサイクル影響
 - 94.6 コスト構造と価格競争力
 - 94.7 市場適用領域とリチウムイオン電池との役割分担
 - 94.8 サプライチェーン多様化と地政学的含意
 - 94.9 技術的課題と制約条件
 - 94.10 政策・産業戦略へのインプリケーション
- 95 コバルト市場と倫理調達・ESG リスク(DRC 集中リスク)
 - 95.1 コバルト市場構造と DRC 集中リスクの概観
 - 95.2 ASM と児童労働・人権侵害リスク
 - ① ASM のシェアと実態
 - ② ESG・レピュテーションリスク
 - 95.3 規範・フレームワーク:OECD ガイダンスと RMI・業界イニシアティブ
 - ① OECD デューディリジェンス・ガイダンス
 - ② Responsible Minerals Initiative (RMI) と Cobalt Institute
 - ③ 企業の先行事例
 - 95.4 DRC の規制強化とサプライチェーンへの影響
 - ① DRC 側のガバナンス強化の動き
 - ② 小規模採掘のフォーマル化と企業の役割
 - 95.5 企業向け倫理調達・ESG リスク管理の実務ポイント
- 96 コバルト市場 2026 年 158 億ドル→2030 年 284 億ドル
 - 96.1 市場規模シナリオの位置づけ
 - 96.2 需要側の前提:EV・電池・産業用途
 - ① 需要量成長と用途構成
 - ② セグメント別寄与
 - 96.3 供給側の前提:生産能力と地域構造

- ① 生産量・産地の見通し
- ② 価格サイクルとマーケットバリュー
- 96.4 CAGR の含意とシナリオ比較
 - ① 6～7% vs 約 15%の差
 - ② リスク要因と下振れシナリオ
- 96.5 サプライチェーン戦略への示唆
- 97 ニッケル(バッテリーグレード)市場 386 億ドル→723 億ドルの成長ダイナミクス
 - 97.1 バッテリーメタルとしてのニッケル位置付け
 - 97.2 市場規模 386 億ドル→723 億ドルという前提
 - 97.3 成長ドライバー:EV と再エネ蓄電の拡大
 - ① EV 需要とニッケルリッチ正極
 - ② グリッド規模蓄電と産業用途
 - 97.4 重要原材料・戦略物資としての政策文脈
 - ① クリティカルミネラル指定と供給安全保障
 - ② インドネシア依存と地政学リスク
 - 97.5 市場構造:原料タイプ・製品形態・用途別
 - ① 原料タイプ別:硫化鉱 vs ラテライト
 - ② 製品形態別:硫酸ニッケル・水酸化ニッケルなど
 - ③ 用途別:EV、定置用蓄電、その他
 - 97.6 価格動向と収益性
 - ① ニッケル価格のボラティリティ
 - ② マージン構造と下流の価格転嫁
 - 97.7 代替技術・競合材料の影響
 - ① LFP・LMFP などニッケルフリー正極
 - ② リサイクルと二次資源
 - 97.8 サプライチェーンと ESG 要件
 - ① ライフサイクル CO2 と「グリーンニッケル」
 - ② トレーサビリティと規制動向
 - 97.9 投資・ビジネス機会
 - ① 上流:鉱山・精錬プロジェクト
 - ② 中流・下流:精製、前駆体、リサイクル
 - 97.10 リスク要因とシナリオ
 - ① 成長シナリオの上振れ・下振れ
 - ② サプライチェーン断絶と地政学ショック
 - 97.11 戦略的インプリケーション
 - ① 政策当局・国際機関の観点

② 企業・投資家の観点

98 グラファイト(天然／合成)の供給構造と中国依存

98.1 バッテリーメタルとしてのグラファイトの位置付け

98.2 天然グラファイト供給構造

① 生産量と主要産出国

② 球状化・精製による付加価値化

98.3 合成グラファイト供給構造

① 合成グラファイトの特徴と原料

② 合成グラファイトにおける中国の支配

98.4 バッテリー負極サプライチェーン全体における中国依存

① 負極活物質まで含めた支配構造

② 中国の輸出規制とサプライチェーンへのインパクト

98.5 需要見通しと潜在的な供給ギャップ

① EV・蓄電需要の急拡大

② 供給不足シナリオと価格影響

98.6 地政学と経済安全保障の文脈

① クリティカルミネラル指定と政策対応

② 中国の戦略と輸出規制の意味合い

98.7 中国以外の供給源開発の動き

① 新規鉱山・加工拠点のプロジェクト

② 政策支援と経済性の課題

98.8 技術トレンドと中国依存度への影響

① 負極材料の多様化

② リサイクルと二次資源活用

98.9 戦略的インプリケーション

① 政策当局にとっての含意

② 企業・投資家にとっての含意

99 グラファイト市場 284 億ドル→521 億ドルの成長ダイナミクス

99.1 グラファイト市場 284 億ドル→521 億ドルという前提

99.2 市場規模の内訳:用途別・製品別構造

① 用途別:バッテリー、耐火物、その他工業用途

② 製品別:天然グラファイト、合成グラファイト、高純度・高機能グレード

99.3 地域別市場動向と成長センター

① アジア太平洋:最大かつ最速の市場

② 北米・欧州:ローカルサプライチェーン構築による成長

99.4 成長ドライバー:EV 革命とエネルギー転換

① EV・電池産業の爆発的成長

② 既存工業用途の底堅い需要

99.5 価格動向と収益性の前提

① 各種レポートにみる価格トレンド

② ESG・環境コストを織り込んだ価格構造

99.6 グラファイト市場のサプライチェーンと中国依存

① 生産構造と中国の圧倒的シェア

② ローカルサプライチェーン構築の動き

99.7 代替材料・技術トレンドと市場への含意

① シリコン系負極・次世代バッテリーの影響

② リサイクルと循環型サプライチェーン

99.8 投資・戦略的インプリケーション

① 企業にとってのビジネス機会

② 政策・金融プレーヤーにとっての含意

100 バッテリーメタルとしてのマンガン市場 145 億ドル→259 億ドル

100.1 重要原材料・戦略物質としてのマンガン位置付け

100.2 マンガン市場 145 億ドル→259 億ドルという前提

① 市場規模レンジの解釈

② 成長率イメージ

100.3 需要ドライバー:EV・ストレージと電池化学

① 三元系・LMFP 系カソードの動向

② 高純度マンガン化合物(HPMSM)の重要性

100.4 供給構造と地政学リスク

① 鉱石資源と精錬能力の地理分布

② 供給制約と環境・社会要件

100.5 バリューチェーン別の成長セグメント

① 上流:採掘・精錬・HPMSM

② 中流:カソード材料・前駆体

③ 下流:電池セル・EV・ストレージ

100.6 「重要物資供給網」としての政策・規制のインパクト

① クリティカル・ローマテリアル政策

② サステナビリティ・トレーサビリティ規制

100.7 価格・投資・ビジネスチャンス

① 価格ダイナミクスと投資インセンティブ

② 事業機会の方向性

100.8 他バッテリーメタルとの比較とポートフォリオ戦略

- ① ニッケル・コバルト・リチウムとの相対位置
- ② 投資家・政策当局にとっての示唆
- 101 コバルトフリー・高マンガン系バッテリーの材料インパクト
 - 101.1 コバルトフリー・高マンガン系バッテリーの概念
 - 101.2 材料インパクトの俯瞰
 - 101.3 カソード化学と性能への影響
 - ① 高マンガン系層状酸化物と NMA 系
 - ② LMFP などリン酸塩系高マンガンカソード
 - ③ 電解液安定性と Mn 溶出の課題
 - 101.4 原材料市場へのインパクト
 - ① コバルト需要の抑制とリスク低減
 - ② マンガン・鉄・リンなど代替元素への需要シフト
 - ③ サプライチェーン多様化と地政学
 - 101.5 セル設計・システムレベルでのインパクト
 - ① エネルギー密度とパック設計
 - ② 安全性・熱暴走リスクと補機材料
 - 101.6 リサイクル・サーキュラーエコノミーへのインパクト
 - ① リサイクル価値の変化
 - ② 規制・トレーサビリティとの連関
 - 101.7 経済性・ビジネスモデルへの示唆
 - ① コスト構造と価格戦略
 - ② 投資・パートナーシップ戦略
 - 101.8 まとめとしての戦略的含意
- 102 固体電池用リチウム系新材料の鉱物インパクト
 - 102.1 序論:固体電池とバッテリーメタルの位置づけ
 - 102.2 固体電池におけるリチウム系新材料の類型
 - ① 固体電解質の主要ファミリー
 - ② 電極材料との組合せ
 - 102.3 鉱種別インパクト:主要バッテリーメタルへの影響
 - ① リチウム:量的増加と質的多様化
 - ② コバルト・ニッケル:一部軽減される依存
 - ③ 希土類・ジルコニウム・その他新規元素
 - 102.4 重要原材料リストと政策枠組みへの影響
 - ① クリティカルミネラルの定義と更新
 - ② 重要物資供給網の設計と評価指標
 - 102.5 サプライチェーン構造の変容

- ① 上流: 鉱山開発と精製能力
- ② 中流: 材料製造とセル生産
- ③ 下流: リサイクルと都市鉱山
- 102.6 地政学的・安全保障上の含意
 - ① 資源ナショナリズムと供給制約シナリオ
 - ② エネルギー安全保障と産業戦略
- 102.7 サステナビリティと環境影響
 - ① ライフサイクルで見た環境負荷
 - ② 低レアメタル化と地殻豊富元素へのシフト
- 102.8 技術シナリオと鉱物需要の将来像
 - ① 複数技術の併存シナリオ
 - ② クリティカリティ評価へのインプリケーション
- 102.9 まとめ: 戦略的含意と今後の論点
- 103 リチウム市場構造(塩湖 vs ハードロック、精錬拠点、価格動向)
 - 103.1 世界リチウム需給と主要プレーヤー
 - 103.2 塩湖 vs ハードロック: 供給構造と特性
 - ① 塩湖(ブライン)系の特徴
 - ② ハードロック(スポジューメン)系の特徴
 - ③ 経済性とリスクプロファイルの比較
 - 103.3 精錬拠点と国際貿易構造
 - ① 中国の精錬支配と豪州との相互依存
 - ② その他の精錬拠点の台頭
 - 103.4 価格動向: バブル・調整・新均衡
 - ① 2021～2023 年の高騰とその後の調整
 - ② 2025～2026 年の地域価格差
 - 103.5 リスク要因と中長期展望
 - ① 需給タイト化と投資ギャップ
 - ② 技術・政策変化の影響
- 104 銅市場 2026 年 1,650 億ドル→2,980 億ドル
 - 104.1 銅・基盤金属市場の規模感と前提
 - 104.2 市場規模拡大のドライバー: 数量面
 - 104.3 市場規模拡大のドライバー: 価格面
 - 104.4 需要サイドの内訳: エネルギー転換による上乗せ
 - 104.5 供給サイドの制約と投資ギャップ
 - 104.6 銅市場拡大と他金属・代替技術の関係
 - 104.7 リサイクルの寄与と循環経済のインパクト

- 104.8 銅市場拡大のマクロ・投資インプリケーション
- 104.9 戦略物質としての銅と政策対応の方向性
- 105 銅市場と電化・再エネへのレバレッジ
 - 105.1 銅・基盤金属としての戦略的重要性
 - 105.2 電化・再エネがもたらす銅需要の新しい波
 - 105.3 銅需要構造の変化と「電気強度」
 - 105.4 銅市場の供給構造と制約要因
 - 105.5 銅価格と投資サイクルに対するエネルギー転換のレバレッジ
 - 105.6 再エネ技術別の銅使用特性
 - 105.7 電気自動車・充電インフラと銅需要
 - 105.8 代替材料と技術革新の影響
 - 105.9 リサイクルとセカンダリ供給の役割
 - 105.10 政策・規制と銅へのレバレッジ
 - 105.11 投資家・企業にとっての含意
- 106 送配電網・グリッド強化での銅・アルミ需要
 - 106.1 エネルギー転換と送配電網投資の拡大
 - 106.2 銅・アルミの材料特性と役割分担
 - ① 銅の特性と用途
 - ② アルミニウムの特性と用途
 - 106.3 再生可能エネルギー拡大と系統接続ニーズ
 - ① 太陽光・風力の系統接続
 - ② 分散電源・マイクログリッドの拡大
 - 106.4 老朽化インフラ更新とグリッド信頼性強化
 - 106.5 グリッド強化シナリオにおける銅需要
 - ① 送配電網 1 単位当たりの銅使用量
 - ② 再エネ・電化シナリオと銅需要の連動
 - 106.6 グリッド強化シナリオにおけるアルミ需要
 - ① 長距離・大容量送電の拡大
 - ② 既設送電線の容量増強
 - 106.7 銅・アルミの相対価格と代替関係
 - 106.8 重要原材料・戦略物質としての位置づけ
 - ① 銅・アルミのクリティカル性
 - ② 供給網多様化とリサイクル
 - 106.9 送配電網・グリッド強化による銅・アルミ需要の整理
- 107 レアアース／レアメタル／貴金属の分類と境界領域
 - 107.1 レアメタルの定義と分類体系

- ① 日本における定義
- ② レアメタル概念の国際的位置づけ
- ③ 中国の独自分類体系

107.2 レアアースの定義と分類

- ① 元素の範囲
- ② 軽希土類と重希土類
- ③ レアアースの主要鉱物と鉱床

107.3 貴金属の定義と分類

- ① 化学的定義
- ② 白金族元素(PGM)

107.4 3 概念の重複構造と境界領域

- ① 包含関係の基本構造
- ② 境界に位置する元素群
- ③ 分類軸の整理

107.5 参考文献

107.6 参照サイト

108 レアアース 17 元素ごとの需要・供給リスクマッピング

108.1 レアアース 17 元素とマッピングの考え方

108.2 軽希土元素の需要・供給リスク

- ① ランタン(La)とセリウム(Ce)
- ② プラセオジウム(Pr)とネオジウム(Nd)
- ③ サマリウム(Sm)
- ④ プロメチウム(Pm)

108.3 重希土元素の需要・供給リスク

- ① ジスプロシウム(Dy)とテルビウム(Tb)
- ② ガドリニウム(Gd)とホルミウム(Ho)
- ③ エルビウム(Er)、ツリウム(Tm)、イッテルビウム(Yb)、ルテチウム(Lu)

108.4 イットリウム(Y)とスカンジウム(Sc)

108.5 需要・供給リスクマップの概念整理

109 レアアース市場 CAGR 18.7%(2026～2030 年)という指標の位置づけ

109.1 他ソースの予測との比較と 18.7%の位置

109.2 成長ドライバー: 永久磁石・EV・風力・防衛

- ① 永久磁石用途の拡大
- ② EV と風力発電
- ③ 防衛・航空宇宙・エレクトロニクス

109.3 サプライチェーン構造と地域的集中

- ① 中国の支配的地位
- ② 代替供給源の拡大
- 109.4 他の CAGR レンジとの整合性と感度
- 109.5 重要原材料サプライチェーンへの含意
- 110 中国のレアアース採掘 70%・精錬 85%シェアの戦略的重要性
- 110.1 グローバルな重要鉱物・戦略物質の文脈
- 110.2 中国のレアアース採掘・精錬シェアの実像
- 110.3 トレンド指標としての意味合い
- ① シェア水準の解釈
- ② 時系列トレンド
- 110.4 市場規模と経済的インパクト
- 110.5 統計数値と供給集中度指標
- ① HHI(ハーフィンダール・ハーシュマン指数)の示唆
- ② 埋蔵量と生産のギャップ
- 110.6 サプライチェーン構造とボトルネック
- ① バリューチェーンの各段階
- ② エコシステム・ロックイン
- 110.7 政策・地政学的リスクの文脈
- ① 輸出管理と供給途絶リスク
- ② 他国の政策対応
- 110.8 重要物資供給網としての脆弱性評価
- ① ダウンストリーム産業への波及
- ② リスクマトリクスで見た位置付け
- 110.9 データ・統計の留意点
- ① 年次・定義の違い
- ② 埋蔵量とリソースの概念差
- 110.10 他の重要鉱物との比較視点
- 110.11 企業・投資家にとってのインプリケーション
- 110.12 重要原材料・重要物資供給網分析における位置付け
- 111 中国のレアアース採掘・分離技術輸出禁止(2023 年 12 月)
- 111.1 1 概要と位置づけ
- 111.2 2 規制の内容:対象技術と禁止の射程
- ① 2.1 対象となった技術カテゴリー
- ② 2.2 技術輸出の範囲
- 111.3 3 背景:安全保障・環境・産業政策の三位一体
- ① 3.1 安全保障・対外圧力への応答

② 3.2 環境規制と資源保護

③ 3.3 産業競争力と付加価値の国内取り込み

111.4 4 国際的な影響:レアアースサプライチェーン再編

① 4.1 中国外レアアースプロジェクトへの制約

② 4.2 技術多元化とイノベーションの加速

③ 4.3 企業コンプライアンスと投資判断

111.5 5 日本・EU・米国などへの含意

① 5.1 デリスキングと友好国連携

② 5.2 リサイクル・代替設計の重要性

111.6 6 結語:技術輸出禁止が示す「見えない境界線」

112 中国レアアース輸出管理第 61 号公告(2025 年 10 月)の詳細

112.1 前提と位置づけ

112.2 想定される公告の構成要素

① 対象品目と HS コードの指定

② 輸出ライセンス制の導入・強化

③ 用途別・国別の審査強化

112.3 国内産業政策・環境政策との連動

① 資源保護と環境負荷管理

② 付加価値の国内取り込み

112.4 国際的反応とサプライチェーンへの影響

① 需要国側の懸念とデリスキング加速

② 紛争化リスクと WTO ルール

112.5 制度的・戦略的含意

① レアアースの「フルスペクトラム管理」への一歩

② 需要国にとっての戦略的教訓

113 中国のレアアース域外適用規制(中国起源材料・技術の規制拡張)

113.1 域外適用規制とは何か

113.2 法制度上の位置づけ

① 輸出管理法・国家安全法・データ関連法との連関

② 行政公告・許認可制度による具体化

113.3 中国起源材料・技術に対する規制拡張の具体像

① 中国起源レアアースを含む製品の再輸出管理

② 技術・ノウハウの越境移転制限

③ 海外子会社・合併会社への波及

113.4 地政学・国際枠組みにおける含意

① 「規制の競争」と多重コンプライアンス

- ② 供給網のブロック化と脱中国依存の加速
- 113.5 企業・政策担当者にとっての論点
- ① デューデリジェンスとトレーサビリティ
- ② 国際ルール形成と協調の必要性
- 113.6 結語：レアアースをめぐる主権と相互依存
- 114 日本のレアアースショック以降の調達多角化施策の評価
- 114.1 レアアースショックの概要と問題認識
- 114.2 調達多角化政策の全体フレーム
- ① 四本柱の整理
- ② 政策実施主体とツール
- 114.3 供給源多角化の具体的取り組み
- ① オーストラリア・ライナス社案件
- ② インドなど他地域との連携
- ③ 国内精製・加工能力との連結
- 114.4 中国依存度の推移と効果測定
- 114.5 最近の政策強化とJOGMECの役割拡大
- ① 重要鉱物全般への政策拡張
- ② JOGMECの投資機能強化
- 114.6 調達多角化施策の評価
- ① 成果面の評価
- ② 制約・課題面の評価
- ③ 総合的な評価
- 114.7 今後の展望と戦略的示唆
- 115 豪州レアアース開発企業と日本企業の長期オフテイク事例
- 115.1 豪州レアアースと日本の長期オフテイク契約の位置づけ
- 115.2 ライナス社と日本のオフテイク事例の概要
- ① 契約の基本構造
- ② プロジェクトファイナンスへの寄与
- 115.3 日本側の参加主体の役割
- ① 商社・素材メーカー
- ② 政府系機関の関与
- 115.4 契約の特徴とリスク分担
- ① 価格メカニズムと数量コミットメント
- ② 品質・供給安定性条項
- 115.5 日本のレアアース戦略における意義
- ① 対中依存低減への貢献

② 技術・産業連携の強化

115.6 豪州側から見た長期オプティクの意義

115.7 今後の展望と他鉱物への展開可能性

116 レアアース鉱滓・副産物処理と環境規制

116.1 レアアース鉱滓・副産物とは何か

116.2 鉱山・選鉱段階での鉱滓と環境負荷

① 採掘・選鉱に伴う固体廃棄物

② 表土剥ぎ取りと生態系影響

116.3 化学処理・分離精製段階での廃液・鉱滓

① 浸出・中和プロセスでの廃液

② 溶媒抽出に伴う有機廃棄物

116.4 放射性副産物(トリウム・ウラン)の管理

① 放射性元素の共存とリスク

② 規制枠組みと実務対応

116.5 鉱滓・副産物の資源化と循環利用

① レアアース再回収と他金属回収

② 建材利用・封じ込め技術

116.6 各国・地域の環境規制の方向性

① 中国における規制強化と鉱山統合

② 豪州・北米・欧州の ESG 重視型規制

116.7 規制が供給・コストに与える影響

① 実効供給量の制約

② コスト構造と価格への転嫁

116.8 今後の技術・政策課題

117 レアアースベースの新素材・新機能材料の市場潜在

117.1 レアアース新素材の位置づけとマクロトレンド

117.2 磁性材料領域:高機能磁石とスピントロニクス

① 高耐熱・高周波対応磁石

② スピントロニクス・磁気メモリ

117.3 光学・フォトンクス材料:発光・レーザー・光変調

① 高効率固体レーザー・光通信

② 発光・ディスプレイ・センシング

117.4 触媒・環境材料:脱炭素・環境修復

① 自動車・産業用触媒からパワー・ケミカルへ

② 吸着材・イオン交換材・水処理

117.5 エネルギー貯蔵・変換材料:電池・水素・熱エネルギー

① 二次電池・固体電解質

② 水素吸蔵合金・水素関連材料

③ 熱エネルギー変換・冷却材料

117.6 バイオメディカル・セキュリティ・先端機能材料

① 医療イメージング・ドラッグデリバリー

② セキュリティ印刷・偽造防止

117.7 市場潜在の評価軸とビジネス機会

① 需要成長性と資源制約の二面性

② 価値創造のポイント

117.8 総括:レアアース新素材の戦略的意義

118 磁性レアアース(Nd, Pr, Dy, Tb 等)とモータ・発電用途

118.1 磁性レアアースの位置づけと特徴

118.2 Nd・Pr を中核とするネオジム系磁石

① 組成と磁気特性

② EV・ハイブリッド車駆動モータ

③ 産業モータと家電・ICT 機器

118.3 Dy・Tb による高温特性補強

① ジスプロシウム役割

② テルビウム役割

118.4 モータ・発電用途における磁石方式の比較

① 永久磁石同期モータと他方式

② 風力発電機における適用

118.5 需要拡大と供給リスク

① EV・再エネによる構造的需要増

② 供給集中と地政学的リスク

118.6 技術的対応:重希土削減と代替

① 粒界拡散技術と高性能焼結磁石

② 熱マネジメントと磁石レスモータ

118.7 磁性レアアースと重要物資供給網

119 重希土類(Dy, Tb 等)の供給制約と代替技術

119.1 重希土類を取り巻く地政学・市場コンテキスト

119.2 供給構造の特徴とボトルネック

① 中国依存と輸出管理の影響

② 地質学的制約と環境規制

③ 非中国資源開発の動向

119.3 需給見通しと価格動向

119.4 需要側の脆弱性:モータ・発電機・高温用途

① NdFeB 磁石と重希土添加の役割

② 産業別の依存度

119.5 代替技術の全体像

119.6 重希土フリー・低減磁石材料の進展

① 組成設計と微細組織制御

② Sm 系・ボンド磁石などの代替磁石

③ Dy 削減合金と局所拡散技術

119.7 モータ構造・電磁設計による代替

① 重希土フリー磁石前提のモータ設計

② 磁石レスモータ・代替アクチュエータ

119.8 リサイクルと都市鉱山の活用

① 重希土回収技術の進展

② リサイクルの制約と政策的課題

119.9 供給リスクマネジメントと産業戦略への含意

① 多層的なリスク分散アプローチ

② グリーンマイニングと環境制約への対応

119.10 代表的な参考文献

120 ネオジム・プラセオジムの輸出管理対象外措置と産業影響

120.1 レアアース政策と Nd・Pr の位置づけ

120.2 輸出管理対象外措置の具体的な輪郭

① 対象品目の線引き

② 量的管理との関係

120.3 産業サプライチェーンに対する直接的影響

① EV・再エネ産業への安堵効果

② 価格ボラティリティの抑制

120.4 間接的・中長期的な産業影響

① 供給多様化と投資インセンティブへの影響

② 下流産業の設計・材料選択への影響

120.5 主要プレーヤー別の影響評価

① 中国国内産業への影響

② 日本・韓国・欧州産業への影響

120.6 税関・通関実務と企業行動

120.7 まとめとしての戦略的含意

121 レアアースマグネットチェーン(鉱石～酸化物～金属～磁石)

121.1 レアアースマグネットチェーンの全体像

121.2 鉱石段階: 鉱床タイプと採掘

- ① 主要鉱床タイプ
- ② 採掘・選鉱プロセス

121.3 酸化物・塩への化学処理と分離精製

- ① 混合レアアースから単一酸化物へ
- ② 酸化物・塩の製品形態

121.4 金属・合金への還元・溶解プロセス

- ① レアアース金属製造
- ② NdFeB 磁石用合金

121.5 磁石製造: 焼結磁石・ボンド磁石

- ① 焼結 NdFeB 磁石の製造フロー
- ② ボンド磁石とフェライト磁石

121.6 モジュール化と最終製品への組み込み

121.7 チェーン各段階の地理的偏在と支配構造

121.8 リサイクルとサーキュラーエコノミー

121.9 政策・規制とチェーンへの影響

121.10 企業戦略とチェーンマネジメント

122 ランタン・セリウムによる Nd 部分代替と「ギャップ磁石」機会

122.1 軽希土類 La・Ce の位置づけと資源制約

122.2 NdFeB 磁石における La・Ce 部分代替の基本概念

- ① 組成設計の考え方
- ② 物性面の特徴とトレードオフ

122.3 「ギャップ磁石」コンセプトと市場ポジショニング

- ① 高性能 NdFeB とフェライトの間の空白
- ② ギャップ磁石の特徴

122.4 La・Ce 代替がもたらすサプライチェーン上の意義

- ① レアアースバランス問題の緩和
- ② 中国依存と多元化の観点

122.5 技術課題: 磁気特性と信頼性の最適化

- ① 磁気性能確保のための工夫
- ② 耐熱性・耐食性・加工性

122.6 需要セグメント別の適用可能性

- ① 自動車・モビリティ分野
- ② 産業機械・家電・IT 機器

122.7 経済性評価とビジネスモデル

- ① コスト構造の変化

- ② ギャップ磁石をめぐる競争軸
- 122.8 レジリエンス・脱炭素・産業戦略との接続
- 123 レアアース精製能力の脱中国化プロジェクト(豪州・米国・EU)
- 123.1 レアアース精製の地政学的背景
- 123.2 豪州のレアアース精製プロジェクト
 - ① 豪州政府の政策枠組み
 - ② 代表的プロジェクトの方向性
- 123.3 米国のレアアース精製能力再構築
 - ① 冷戦期からの歴史と再起動
 - ② 現行・計画中プロジェクトの特徴
- 123.4 EUにおけるレアアース精製脱中国化の動き
 - ① クリティカルローマテリアルズ法と政策枠組み
 - ② 欧州プロジェクトの特徴と課題
- 123.5 プロジェクト類型とビジネスモデル
- 123.6 技術・環境面の課題
 - ① 溶媒抽出プロセスの高度化
 - ② 重希土類の分離と歩留まり
- 123.7 需要側との連携とオフテイク契約
- 123.8 豪州・米国・EU 協調の可能性と限界
- 123.9 今後の展望と評価軸
- 124 レアアース・レアメタル価格サイクルと投機資金の影響
- 124.1 レアアース・レアメタル価格サイクルの基本構造
- 124.2 サイクル上昇局面:供給ショックと政策ショック
 - ① 供給面の要因
 - ② 政策・安全保障要因
- 124.3 サイクル下降局面:過剰投資と代替技術
 - ① 新規供給のラグと過剰能力
 - ② 需要側の代替と節約
- 124.4 投機資金の流入メカニズム
 - ① 現物市場とデリバティブ市場
 - ② コモディティ指数・ETF・ファンド
- 124.5 在庫・裁定取引と価格スパイク
 - ① 商社・トレーダーの行動
 - ② 地域間裁定とシャドー在庫
- 124.6 実需家・サプライチェーンへの影響
 - ① 調達コストと価格転嫁

② 在庫戦略と原材料ポートフォリオ

124.7 価格サイクルと投機のマクロ的含意

① 投資シグナルとミスアロケーション

② 政策対応のジレンマ

124.8 まとめ:長期トレンドと短期ノイズの見極め

125 レアアース市場 125 億ドル→248 億ドル(CAGR 18.7%)の戦略的重要性

125.1 レアアース市場拡大の前提条件

125.2 重要原材料・重要鉱物としてのレアアース

125.3 18.7%CAGR シナリオの数量的イメージ

① 成長率と期間の関係

② 他の市場予測との比較

125.4 需要サイドの構造変化

① EV・再エネによる構造的需要

② デジタル・防衛用途の底堅い需要

125.5 供給サイドと地政学リスク

① 中国依存と集中リスク

② 供給多様化と政策的な介入

125.6 重要物資供給網の観点から見たレアアース市場

① 供給網の階層構造

② リサイクルと循環経済

125.7 政策・ビジネス機会としてのレアアース市場

① 資源国・加工国のビジネス機会

② 需要家産業の戦略的対応

125.8 レアアース市場シナリオの整理

126 高純度アルミナ・シリコン・石英の供給構造

126.1 先端半導体における三素材の役割

126.2 高純度アルミナ(HPA)の供給構造

① 原料・製造プロセスと品質要求

② 生産地域と企業集中

③ 需給リスクと中長期動向

126.3 シリコンの供給構造

① 金属 Si から半導体グレードへ

② 地域別供給と企業構造

③ 供給ショックとレジリエンス

126.4 石英(高純度シリカ)の供給構造

① 用途と品質要件

- ② 天然石英と合成石英
- ③ サプライチェーンと地政学的要因
- 126.5 三素材の比較と供給リスク評価
- 127 SiC(炭化ケイ素)・GaN(窒化ガリウム)パワー半導体材料
- 127.1 SiC・GaN パワー半導体の位置づけ
- 127.2 材料物性とデバイス構造の違い
 - ① 物性比較: Si vs SiC vs GaN
 - ② デバイス構造の特徴
- 127.3 結晶成長・ウェハ供給構造
 - ① SiC ウェハチェーン
 - ② GaN 基板・エピ成長
- 127.4 主要用途と市場構造
 - ① SiC パワーデバイスの用途
 - ② GaN パワーデバイスの用途
- 127.5 コスト構造と量産課題
 - ① SiC のコストドライバー
 - ② GaN のコストと信頼性
- 127.6 サプライチェーンと地政学的リスク
- 127.7 技術ロードマップと今後の展望
- 128 ダイヤモンド半導体用高純度炭素ソースと成長装置市場
- 128.1 ダイヤモンド半導体の位置づけと要求特性
- 128.2 高純度炭素ソースの種類と要求仕様
 - ① CVD 用炭素源ガス
 - ② 固体・液体炭素源と前処理
- 128.3 高純度炭素ソース市場とサプライチェーン
 - ① 供給プレーヤーとグレード分化
 - ② 原料・精製プロセスとボトルネック
- 128.4 ダイヤモンド成長装置技術の全体像
 - ① CVD 成長方式の分類
 - ② 成長装置の構成要素
- 128.5 成長装置市場の構造とプレーヤー
 - ① 研究・試作段階の装置市場
 - ② 量産を見据えた装置開発
- 128.6 高純度炭素ソースと装置の相互依存性
 - ① プロセス窓と材料仕様のすり合わせ
 - ② エコシステムとしての市場形成

129 レアガス(ネオン等)供給ショックと半導体産業

129.1 半導体製造におけるレアガスの役割

129.2 ネオン供給ショックの発生メカニズム

- ① 産業ガスとしてのネオンの供給構造
- ② 地域集中と地政学リスク

129.3 過去の供給ショックと半導体への影響

- ① 価格急騰とスポット市場の混乱
- ② 生産へのボトルネックと在庫戦略

129.4 産業ガス企業・半導体メーカーの対応

- ① 供給多様化と地理的分散
- ② ガス使用効率の向上と代替技術

129.5 ネオン以外のレアガスとリスク分散

- ① クリプトン・キセノン・ヘリウム
- ② レアガス全体のポートフォリオ管理

129.6 政策・安全保障の観点から見たレアガスショック

- ① 重要物資としての位置づけ
- ② 国際協調と輸出管理

129.7 半導体企業の戦略的インプリケーション

130 半導体チェーンの重大ボトルネックとしてのガラスクロス

130.1 ガラスクロスの機能と半導体サプライチェーンにおける位置づけ

130.2 ガラスクロスの製造プロセスと品質要求

- ① 製造プロセスの概要
- ② PCB・パッケージ基板向けの品質要求

130.3 供給構造とボトルネック化の要因

- ① 生産能力の地域・企業集中
- ② 設備増設のリードタイムと投資負担
- ③ 原料ガラス・エネルギー・物流の影響

130.4 半導体パッケージ・基板への具体的影響

- ① パッケージ基板・高多層 PCB の制約
- ② パッケージング技術の高度化と需要増

130.5 ボトルネックリスクへの対応と今後の展望

- ① 基板メーカー・半導体企業の調達戦略
- ② 代替材料・技術の模索
- ③ 総括: 見えない基盤材としての戦略的重要性

131 ガリウム・ゲルマニウム等の戦略的輸出管理と半導体

131.1 ガリウム・ゲルマニウムの戦略物資としての位置づけ

131.2 戦略的輸出管理の目的と枠組み

- ① 安全保障・先端技術支配の観点
- ② 国際枠組みとの連動

131.3 ガリウム関連輸出管理と半導体への影響

- ① GaAs・GaN デバイスチェーンへの波及
- ② LED・ディスプレイ・光デバイス分野

131.4 ゲルマニウム関連輸出管理と半導体への影響

- ① 光ファイバー・光学素子
- ② SiGe・ストレインド Si 技術

131.5 サプライチェーン構造と地域別脆弱性

- ① 副産物依存と精製集中
- ② 半導体産業クラスターごとの影響

131.6 各国・企業の対応戦略

- ① 供給多様化とリサイクル
- ② 材料・デバイス設計の多様化
- ③ 政策・規制対応と産業政策

131.7 戦略的含意と今後の展望

132 銀の重要鉱物指定と戦略備蓄ポテンシャル

132.1 銀の機能的特性と産業用途

132.2 供給構造: 副産物依存と地理的分散

- ① 鉱山生産の特徴
- ② リサイクルと二次資源

132.3 重要鉱物指定の背景と評価軸

- ① 銀が「重要鉱物」とみなされる理由
- ② 他の貴金属・PGM との比較

132.4 戦略備蓄ポテンシャルの分析

- ① 銀の備蓄メリット
- ② 備蓄の目的とシナリオ
- ③ コスト・リスク・副作用

132.5 産業政策・企業戦略への含意

- ① 政府の役割
- ② 企業の対応とビジネス機会

132.6 総括: 銀の戦略資源化に向けた視座

133 銀の 2026 年 1.18 億オンス供給不足予測

133.1 1.18 億オンス供給不足という数字の意味

133.2 2. 供給側要因: 鉱山生産・リサイクル・在庫

① 鉱山生産の制約

② リサイクルとスクラップ供給

③ 在庫の役割

133.3 3. 需要側要因: 工業需要・投資需要・新興用途

① 太陽光発電とエレクトロニクス需要

② 投資需要とマクロ環境

③ 新興用途と構造需要

133.4 4. 価格・市場構造への影響

① 価格上昇圧力とボラティリティ

② サプライチェーンへの波及

133.5 5. 政策・企業戦略の視点から見た対応

① 政府・公的機関の役割

② 企業の材料戦略とリスクマネジメント

133.6 結論的整理

134 宝飾・資産保全用途としての金・銀・プラチナ市場

134.1 金・銀・プラチナの基本的性格と共通点

134.2 金市場: 準通貨としての地位と宝飾需要

① 資産保全・投資としての金

② 宝飾市場としての金

134.3 銀市場: 工業金属と貴金属のハイブリッド

① 宝飾・銀器・投資としての銀

② 工業需要との連動がもたらす特徴

134.4 プラチナ市場: 希少性と産業用途、宝飾ニッチ

① 宝飾用プラチナの位置づけ

② 自動車触媒・水素関連と価格の関係

134.5 資産保全・ポートフォリオの観点からの比較

① 価値保存・安全資産としての序列

② ジュエリーと投資の境界

134.6 長期トレンド: 脱炭素・デジタル化・金融環境との関係

135 イリジウム・プラチナの水素電解槽用途

135.1 水素電解技術と PGM の位置づけ

135.2 イリジウムの役割と技術要件

① PEM 陽極触媒としての Ir

② イリジウム供給制約と使用量削減

135.3 プラチナの役割と特性

① PEM 陰極と他方式での Pt 利用

- ② Pt の供給とリサイクル
- 135.4 電解槽設計と Ir・Pt 使用量の関係
 - ① MEA・電極構造と PGM 負荷
 - ② スタックスケールと材料需要
- 135.5 代替技術・リスク分散の方向性
 - ① PGM 依存度低減に向けた技術オプション
 - ② リサイクル・サーキュラーエコノミー
- 135.6 戦略物質としての Ir・Pt と産業・政策的含意
- 136 白金族金属 (PGM) と自動車触媒・水素関連需要
 - 136.1 PGM の特性と需要構造の全体像
 - 136.2 自動車排ガス浄化触媒における PGM 需要
 - ① ガソリン車・ディーゼル車の触媒システム
 - ② 排ガス規制強化と PGM 負荷量
 - ③ 電動化と PGM 需要のトランジション
 - 136.3 水素関連技術における PGM 需要
 - ① 水電解によるグリーン水素製造
 - ② 燃料電池 (PEMFC・SOFC 等) と PGM
 - ③ その他の水素関連用途
 - 136.4 需給・価格ダイナミクスとリサイクルの役割
 - ① PGM ごとの需給バランス
 - ② リサイクルと二次資源循環
 - 136.5 戦略物質としての PGM と産業・政策的含意
- 137 タングステンの戦略的重要性と輸出管理
 - 137.1 タングステンの物性と基礎的特徴
 - 137.2 主要用途: 民生産業と軍需の二面性
 - ① 超硬工具・産業用途
 - ② 軍需・戦略用途
 - 137.3 供給構造: 資源集中とリサイクル
 - ① 鉱山生産と地域分布
 - ② 精錬・粉末・超硬製品までのバリューチェーン
 - 137.4 戦略的重要性の背景
 - ① 代替困難性と産業基盤への影響
 - ② 地政学的観点と重要鉱物指定
 - 137.5 輸出管理と国際ルール
 - ① 中国の輸出管理・政策
 - ② 多国間輸出管理・各国の制度

- 137.6 供給リスク低減と産業・政策対応
 - ① 供給多様化と上流投資
 - ② リサイクル・材料効率化・代替技術
 - ③ 戦略備蓄とリスク管理
- 137.7 総括：タングステンを巡る戦略的視座
- 138 高純度グラファイト電極・負極材市場
 - 138.1 高純度グラファイトの機能と用途
 - 138.2 電気炉用高純度グラファイト電極市場
 - ① 製鋼業との連動と供給構造
 - ② グローバルプレーヤーと価格ダイナミクス
 - 138.3 リチウムイオン電池向けグラファイト負極材市場
 - ① 天然グラファイトと人造グラファイト
 - ② EV・蓄電池市場の拡大と需要構造
 - 138.4 技術トレンドと競合材料
 - ① 高容量負極とグラファイトの位置づけ
 - ② 全固体電池・ナトリウムイオン電池との関係
 - 138.5 サプライチェーン・環境・政策的観点
 - ① 原料調達と地政学リスク
 - ② リサイクルと循環型ビジネス
 - 138.6 高純度グラファイト電極・負極材市場の戦略的重要性
- 139 チタン・ジルコニウム（航空宇宙・原子力用途）
 - 139.1 チタン・ジルコニウムの物性と戦略的特徴
 - 139.2 航空宇宙分野におけるチタン
 - ① 航空機・宇宙機の構造材
 - ② エンジン・高温部材と加工技術
 - 139.3 原子力分野におけるジルコニウム
 - ① 被覆管・構造材としてのジルコニウム
 - ② 原子炉その他の用途
 - 139.4 チタン・ジルコニウムのサプライチェーンとリスク
 - ① 鉱石・精錬段階の特徴
 - ② 加工・最終製品段階の集中
 - 139.5 規制・輸出管理と安全保障上の含意
 - ① デュアルユース性と輸出管理
 - ② 産業・政策面での対応方向
- 140 バナジウム・モリブデン等の特殊鋼添加元素
 - 140.1 特殊鋼添加元素の位置づけ

140.2 バナジウムの役割と用途

- ① マイクロアロイ鋼と高張力鋼
- ② 工具鋼・耐熱鋼でのバナジウム

140.3 モリブデンの役割と用途

- ① 耐熱鋼・圧力容器用鋼
- ② ステンレス鋼と耐食性

140.4 その他の特殊鋼添加元素との関係

- ① Nb・Ta・W などとの比較
- ② 合金設計とマルチエレメント戦略

140.5 供給構造と資源・地政学リスク

- ① バナジウムの供給構造
- ② モリブデンの供給構造
- ③ 重要鉱物としての評価

140.6 産業・政策的含意と今後の方向性

141 タンタル・ニオブなどエレクトロニクス向けレアメタル

141.1 エレクトロニクス向けレアメタルの位置づけ

141.2 タンタル：高誘電・高信頼コンデンサの中核

- ① タンタルの物性とコンデンサ用途
- ② 高信頼デバイス・軍需用途

141.3 ニオブ：超伝導・誘電体・高耐熱合金

- ① 超伝導材料としてのニオブ
- ② コンデンサ・誘電体・エレクトロニクス材料

141.4 タンタル・ニオブの資源・供給構造

- ① 鉱床の特性と地理的偏在
- ② 精錬・粉末・コンデンサメーカーまでのチェーン

141.5 紛争鉱物・ESG・輸出管理の観点

- ① 紛争鉱物規制と責任ある調達
- ② 輸出管理・安全保障との関係

141.6 エレクトロニクス産業のリスクと対応

- ① 供給ショックと代替技術
- ② リサイクルとサーキュラーエコノミー

141.7 総括：エレクトロニクス向けレアメタルとしての戦略的重要性

142 超電導材料用レアメタルと医療・電力応用

142.1 超電導材料とレアメタルの関係

142.2 金属系超電導材料とレアメタル

- ① Nb-Ti 合金超電導線

② Nb₃Sn など化合物超電導

142.3 高温超電導材料とレアアース・銅系酸化物

① Bi 系・REBCO 系高温超電導体

② 高温超電導の電力応用

142.4 医療応用: MRI・NMR と加速器治療

① MRI と医療画像診断

② 粒子線治療・加速器医療

142.5 電力・エネルギー応用: 送電・蓄電・安定化

① 超電導送電ケーブル・変圧器

② SMES・限流器・回転機

142.6 資源・サプライチェーン・政策的含意

143 超合金用レニウム・ハフニウム

143.1 レニウム・ハフニウムの物性と超合金における役割

143.2 ニッケル基超合金とレニウム

① レニウム添加の効果

② レニウムの課題: 高価・レジウムバイオサイド相・供給制約

143.3 ハフニウムの役割: 粒界強化とコーティング界面制御

① 単結晶・一方向凝固合金における Hf

② ハフニウムの供給と他用途との競合

143.4 ガスタービン・航空宇宙・防衛へのインパクト

① 熱効率向上と CO₂ 削減

② 軍事・宇宙用途での戦略性

143.5 資源・供給リスクと産業・政策的対応

① レニウム・ハフニウムの資源制約

② リサイクル・材料設計・代替技術

③ 政策的視点: 重要鉱物・輸出管理

144 ウラン・原子力燃料サイクル関連材料

144.1 ウランの基本的性質と資源的特徴

144.2 ウラン鉱石から濃縮まで: 上流工程の材料

① 採鉱・精錬とイエローケーキ

② UF₆ 転換と濃縮プロセス材料

144.3 燃料加工と炉心関連材料

① UO₂ ペレットと被覆管材料

② 制御材・構造材・冷却材

144.4 再処理・廃棄物管理と関連材料

① 再処理プロセスと溶解・抽出設備

② 廃棄物固化・貯蔵・処分

144.5 原子力燃料サイクルと戦略物資としての位置づけ

145 フッ素化合物(バッテリー電解質向け)

145.1 バッテリー電解質におけるフッ素化合物の位置づけ

145.2 主なフッ素系電解質塩と添加剤

① LiPF₆ とその特性

② LiFSI・LiTFSI など新世代フッ素系塩

③ フッ素系添加剤(FEC, LiDFOB, LiBOB など)

145.3 フッ素化合物電解質の安全性と環境面

① 分解・ガス発生・毒性

② PFAS 規制と新規フッ素化合物設計

145.4 サプライチェーンと資源・地政学リスク

① フッ素原料と無機フッ化物

② 有機フッ素中間体・合成技術

145.5 技術トレンド: 次世代電解質とフッ素の役割

① 高濃度電解質・局所高濃度電解質

② 固体電解質・ゲル電解質とフッ素

145.6 戦略物資としてのフッ素化合物と今後の論点

146 フッ素化合物(バッテリー電解質向け)

146.1 バッテリー電解質におけるフッ素化合物の位置づけ

146.2 主なフッ素系電解質塩と添加剤

① LiPF₆ とその特性

② LiFSI・LiTFSI など新世代フッ素系塩

③ フッ素系添加剤(FEC, LiDFOB, LiBOB など)

146.3 フッ素化合物電解質の安全性と環境面

① 分解・ガス発生・毒性

② PFAS 規制と新規フッ素化合物設計

146.4 サプライチェーンと資源・地政学リスク

① フッ素原料と無機フッ化物

② 有機フッ素中間体・合成技術

146.5 技術トレンド: 次世代電解質とフッ素の役割

① 高濃度電解質・局所高濃度電解質

② 固体電解質・ゲル電解質とフッ素

146.6 戦略物資としてのフッ素化合物と今後の論点

147 アンチモンの軍需・難燃剤用途と供給リスク

147.1 アンチモンの特性と主要用途

147.2 軍需用途におけるアンチモンの役割

- ① 鉛合金・弾薬・兵器材料
- ② 軍需電子部品・赤外線検出器

147.3 難燃剤用途におけるアンチモン

- ① 酸化アンチモンとハロゲン系難燃剤
- ② 環境規制と代替動向

147.4 供給構造と地政学的リスク

- ① 産出国の集中と精錬能力
- ② 環境・労働規制と非公式生産

147.5 軍需・難燃剤用途から見た供給リスクの評価

- ① 軍需セグメントの特性
- ② 代替可能性と在庫戦略

147.6 政策・産業戦略上の含意

148 MP Materials(米:マウンテンパス REE 鉱山)

148.1 企業概要とマウンテンパス鉱山の位置づけ

148.2 マウンテンパス鉱床の資源特性

- ① 地質学と鉱物組成
- ② 選鉱・コンセントレート生産

148.3 分離・精錬への垂直統合

- ① Stage II:米国内での分離能力構築
- ② Stage III:NdFeB 磁石への進出

148.4 環境・規制・コミュニティとの関係

- ① 過去の環境問題と再発防止
- ② 規制環境と政府支援

148.5 競争環境と戦略的意義

- ① 中国レアアース企業との関係と競争
- ② 日米欧のサプライチェーン戦略における役割

148.6 ケーススタディとしての示唆

149 レアアース・レアメタルを含む ETF・指数商品と資本市場

149.1 レアアース・レアメタルと資本市場の接点

149.2 ETF・指数商品の分類と代表的な構成パターン

- ① 資源株型 ETF・指数
- ② 現物連動型・ETC 的商品

149.3 ETF と基礎資産の相関・リスク特性

- ① 価格サイクルとレバレッジ
- ② 為替・地域分散・規制リスク

149.4 ESG・サステナビリティと指数設計

- ① ESG 評価の組み込みと「責任ある資源 ETF」
- ② グリーンテクノロジーとのリンク

149.5 投資家・資源企業・政策当局への含意

- ① 投資家視点：分散・ヘッジ・戦略配分
- ② 資源企業視点：資本コストとマーケットアクセス
- ③ 政策当局視点：資本市場を通じたサプライチェーン強靱化

149.6 ケーススタディとしての総括

150 レアメタル在庫戦略(企業・国家レベル)の構築

150.1 レアメタル在庫戦略の位置づけ

150.2 レアメタルの特性と在庫設計上の論点

- ① 供給集中度と地政学リスク
- ② 需要側の不可欠性と代替可能性
- ③ 物性・保管性・規格

150.3 企業レベルのレアメタル在庫戦略

- ① 在庫ポリシーの基本設計
- ② ファイナンス・リスク管理手法との組み合わせ
- ③ サプライヤーポートフォリオと在庫の相互補完

150.4 国家レベルのレアメタル備蓄戦略

- ① 国家備蓄の目的と対象
- ② 運営主体とガバナンス
- ③ 企業との連携と共同備蓄

150.5 在庫戦略と補完施策の統合

- ① リサイクル・代替技術との組み合わせ
- ② 情報インフラと早期警戒システム

150.6 総括：レアメタル在庫戦略の設計原則

151 レアアース長期オフテイク契約の条件とリスク配分

151.1 レアアース長期オフテイク契約の位置づけ

151.2 典型的な契約条件(コマーシャルターム)

- ① 期間・数量・テイクオアペイ
- ② 品位・仕様・デリバリー条件
- ③ 価格フォーミュラ

151.3 リスク配分の主要論点

- ① 価格リスク
- ② 供給リスク・フォースマajeール
- ③ 需要リスク・テイクオアペイ

- ④ ESG・コンプライアンスリスク
 - 151.4 契約交渉のポイントとバランス
 - ① プロジェクト段階別の交渉力
 - ② マルチバイヤー・コンソーシアム構造
 - 151.5 レアアース長期オフテイク契約の戦略的含意
 - 152 レアアース・レアメタルと炭素フットプリント評価
 - 152.1 炭素フットプリント評価の意義と枠組み
 - 152.2 バリューチェーン別の排出源
 - ① 採鉱・選鉱段階
 - ② 製錬・精製段階
 - ③ 物流・製品化・リサイクル
 - 152.3 炭素フットプリントに影響する要因
 - ① 鉱山立地と電源構成
 - ② プロセスルートと技術選択
 - ③ 歩留まり・共生元素利用
 - 152.4 炭素フットプリント評価の実務と課題
 - ① データの不足・不確実性
 - ② 国際標準・認証スキームの整備状況
 - 152.5 企業・政策・投資家への含意
 - ① 企業戦略としての「低炭素レアメタル」
 - ② 政策・規制の役割
 - ③ 投資家・金融機関の視点
 - 153 温度・圧力センサー用の特殊材料需要
 - 153.1 温度・圧力センサー市場の拡大と位置づけ
 - 153.2 センサー原理別に見た主要材料
 - ① 温度センサー:RTD、熱電対、サーミスタ、半導体
 - ② 圧力センサー:ピエゾ抵抗、ピエゾ電気、静電容量など
 - 153.3 用途別に見た特殊材料需要のドライバー
 - ① 自動車・モビリティ
 - ② 産業・プロセス・エネルギー
 - ③ 医療・ヘルスケア・ウェアラブル
 - 153.4 高温・過酷環境向け特殊材料のニーズ
 - ① ワイドバンドギャップ半導体(SiC、GaN)
 - ② 高温セラミックス・単結晶
 - ③ 高性能合金・金属材料
 - 153.5 将来動向とサプライチェーン上の示唆

154 放射線・宇宙用途向け耐環境材料と希少元素

154.1 放射線・宇宙環境と材料要件の全体像

154.2 構造材料: 超合金・高融点金属・先進複合材

- ① ニッケル基・コバルト基超合金とレニウム・ハフニウム
- ② 高融点金属: タングステン・モリブデン・タンタル・ニオブ
- ③ セラミックス・C/C・C/SiC 複合材

154.3 機能材料: 電子デバイス・光学・磁性体の耐放射線化

- ① 放射線耐性半導体とワイドバンドギャップ材料
- ② 光学材料と希土類・重元素
- ③ 磁性材料・高性能モーター

154.4 放射線遮蔽材・検出材と希少元素

- ① 高Z遮蔽材: 鉛代替としてのタングステン・ビスマスなど
- ② 中性子吸収・制御材: ホウ素・ガドリニウム・ハフニウム・カドミウム

154.5 宇宙・放射線用途に特有のサプライチェーンとリスク

- ① 需要の特徴: 少量高付加価値・軍民両用
- ② リサイクルと代替材料の役割

154.6 戦略的含意: 耐環境材料と希少元素の位置づけ

155 レアメタル二次資源のトレーサビリティ確保技術

155.1 レアメタル二次資源とトレーサビリティの必要性

155.2 情報トレーサビリティ: デジタル技術による履歴管理

- ① シリアル化・ユニークID付与
- ② ブロックチェーン・分散台帳
- ③ 既存認証・報告枠組みとの連携

155.3 物質トレーサビリティ: 分析・タグ付けによる実体追跡

- ① 元素・同位体指紋分析
- ② ナノタグ・トレーサー添加
- ③ バルク材・スクラップの識別技術

155.4 プロセス・サプライチェーン設計によるトレーサビリティ確保

- ① クローズドループ・デザインとリサイクル優先ルート
- ② 契約とインセンティブ設計
- ③ 法規制・拡大生産者責任(EPR)

155.5 技術・実務上の課題と展望

- ① データ品質・標準化・プライバシー
- ② 中小事業者・途上国への負担
- ③ 経済性とスケーラビリティ

155.6 戦略的含意: レアメタル循環経済とトレーサビリティ

156 Albemarle Corporation(リチウム最大手)

156.1 企業概要とポートフォリオ

156.2 資源基盤:チリ・米国・オーストラリア

- ① チリ・サラール・デ・アタカマ
- ② 米国・シルバーピークと新規開発
- ③ オーストラリア・ハードロック資産

156.3 下流精製・加工能力と顧客との関係

- ① 炭酸リチウム・水酸化リチウムの生産体制
- ② 電池メーカー・自動車メーカーとのパートナーシップ

156.4 ESG・環境・社会的課題への対応

- ① 水資源・環境負荷の低減
- ② コミュニティとの関係と社会的ライセンス

156.5 市場環境と戦略的課題

- ① 価格サイクルと投資タイミング
- ② 競合他社と新興プレーヤー

156.6 ケーススタディとしての意義

157 Ganfeng Lithium・Tianqi Lithium(中国リチウム大手)

157.1 両社の概要とポジショニング

157.2 資源ポートフォリオと鉱山投資

- ① Ganfeng Lithium:分散型資源戦略
- ② Tianqi Lithium:Greenbushes 集中と戦略的権益

157.3 精製・電池材料ビジネス

- ① 炭酸リチウム・水酸化リチウムの製造
- ② 先端材料・金属リチウム・固体電解質

157.4 バリューチェーン統合と下流展開

- ① Ganfeng の垂直統合:電池・リサイクル・ESS
- ② Tianqi の焦点:上流～中流の強化

157.5 中国国内・海外市場における役割

- ① 中国 EV・電池産業との結節点
- ② 海外パートナーシップと地政学的視点

157.6 ESG・リスク・今後の論点

158 New Pacific Metals(銀プロジェクト 1,860 万オンス/年目標)

158.1 企業概要と戦略的ポジション

158.2 主力銀プロジェクトの資源・生産コンセプト

- ① 資源量と品位のイメージ
- ② 採掘・選鉱フローの想定

158.3 ボリビアという立地要因とリスク・機会

① 資源ポテンシャルと既存インフラ

② 政治・規制・社会リスク

158.4 銀市場と 1,860 万オンス/年プロジェクトの意味

① 銀需要構造と戦略物資としての性格

② プロジェクト規模の市場インパクト

158.5 プロジェクトファイナンス・パートナーシップ・リスクマネジメント

① 資金調達とオフテイク戦略

② 建設・操業リスクとヘッジ

158.6 ケーススタディとしての含意

159 CMOC Group (コバルト・モリブデン)

159.1 企業概要と資源ポートフォリオ

159.2 モリブデン事業: 中国拠点からの基盤収益

① モリブデンの用途と CMOC の位置づけ

② 技術・環境対応

159.3 コバルト事業: コンゴ民主共和国での大型プロジェクト

① 銅・コバルト鉱山への参画

② サプライチェーンと価格への影響

159.4 ESG・人権・サプライチェーンリスク

① DRC での社会・人権課題

② 環境負荷とエネルギー転換とのジレンマ

159.5 戦略的意義: 重要原材料・供給網の観点から

160 Glencore (コバルト・銅・亜鉛大手)

160.1 企業概要とビジネスモデル

160.2 銅・コバルト事業: エネルギー転換の中核

① DRC 銅・コバルト鉱山の戦略的重要性

② 銅事業とグリーンエネルギーとの関連

160.3 亜鉛事業: インフラ・防錆の礎

① 亜鉛鉱山・製錬拠点

② 亜鉛とグリーンインフラ

160.4 トレーディング事業と市場影響力

① 生産者でありトレーダーであることの意味

② 透明性・規制との関係

160.5 ESG・人権・気候変動対応

① コバルトと人権問題

② 気候変動とポートフォリオ転換

- 160.6 戦略的意義: 重要原材料供給網の中で
- 161 The Metals Company(深海採掘先行企業)
 - 161.1 企業概要とビジネスコンセプト
 - 161.2 資源ポテンシャル: クラリオン・クリッパートン帯(CCZ)を中心に
 - ① マンガン団塊の金属含有と地理
 - ② 島嶼国とのパートナーシップ
 - 161.3 技術コンセプト: 深海採鉱・リフトシステム・陸上処理
 - ① 採鉱システムと海底環境
 - ② 陸上処理と金属回収
 - 161.4 規制・ガバナンス・社会的論争
 - ① 国際海底機構(ISA)の役割とルール策定
 - ② ESG 評価と投資家・顧客の反応
 - 161.5 経済性と戦略的含意
 - ① コスト構造と金属価格前提
 - ② 資源安全保障と地政学
 - 161.6 ケーススタディとしての位置づけ
- 162 Metallium Ltd.(フラッシュジュール加熱 REE リサイクル)
 - 162.1 企業概要と技術コンセプト
 - 162.2 フラッシュジュール加熱の原理とプロセス特徴
 - ① 電気パルスによる瞬間高温処理
 - ② REE 含有廃棄物への適用
 - 162.3 環境・エネルギー・コスト面のポテンシャル
 - ① エネルギー効率と CO2 排出
 - ② 廃液・薬品使用量の削減
 - 162.4 サプライチェーン・戦略的意義
 - ① 都市鉱山としての REE 供給源
 - ② OEM・磁石メーカーとの連携
 - 162.5 技術・事業化上の課題
 - ① スケールアップとプロセス制御
 - ② 経済性と市場競合
 - 162.6 ケーススタディとしての意義
- 163 ニッケル・コバルト市場と ESG リスク(鉱区所在地リスク)
 - 163.1 ニッケル・コバルト市場の構造と地理的偏在
 - 163.2 環境(E)リスク: 採掘・製錬と生態系・気候への影響
 - ① ラテライトニッケルと高圧酸浸出(HPAL)の環境負荷
 - ② 硫化鉱ニッケル・銅コバルト鉱山の酸性坑水と廃棄物

- ③ エネルギー消費とカーボンフットプリント
- 163.3 社会(S)リスク:人権・労働・コミュニティ
 - ① DRCにおける児童労働・ASM リスク
 - ② 土地権・先住民・地域コミュニティとの関係
 - ③ 労働安全・健康被害
- 163.4 ガバナンス(G)リスク:政治・規制・腐敗
 - ① 資源ナショナリズムと政策変動
 - ② 腐敗・コンプライアンス・制裁リスク
- 163.5 企業・投資家・政策サイドの対応方向
 - ① デューディリジェンスとトレーサビリティ
 - ② 代替技術・材料・リサイクル
 - ③ 政策・国際枠組み
- 163.6 まとめ:鉱区所在地リスクを織り込んだニッケル・コバルト戦略
- 164 Lynas Rare Earths(豪:非中国レアアース最大手)
 - 164.1 企業概要とポジショニング
 - 164.2 マウント・ウェルド鉱山の資源特性
 - ① 鉱床の地質学的特徴
 - ② 採掘・選鉱と中間製品
 - 164.3 マレーシア LAMP と精錬・分離ビジネス
 - ① LAMP の役割とプロセス
 - ② 環境・規制上の課題と対応
 - 164.4 多拠点化戦略:豪州・米国での新プロジェクト
 - ① カルグーリー精錬プラント(豪州)
 - ② 米国での分離・加工プロジェクト
 - 164.5 ビジネスモデルと競争優位性
 - ① 一貫バリューチェーンと顧客基盤
 - ② コスト構造とリスク
 - 164.6 戦略物資・供給網の観点から見た意義
- 165 ナトリウムイオン電池の商業化と鉱物需要変動
 - 165.1 序論:脱炭素と「ポスト・リチウム」の文脈
 - 165.2 ナトリウムイオン電池の技術的特徴
 - ① セル構造と材料構成
 - ② 性能面の比較
 - 165.3 商業化の進展と適用領域
 - ① 中国を中心とした量産化
 - ② 既存 LiB とのハイブリッド化

165.4 材料別に見た鉱物需要への影響

- ① リチウム・ニッケル・コバルト
- ② ナトリウム
- ③ 鉄・マンガン・バナジウムなどの遷移金属
- ④ カーボン材料・グラファイト
- ⑤ 銅・アルミニウム・その他材料

165.5 供給網・地政学リスクの再構成

- ① リチウム集中リスクの緩和
- ② 新たなクリティカルマテリアルの浮上

165.6 長期的シナリオと鉱物需要構造

- ① シナリオ 1: 定置用中心の普及
- ② シナリオ 2: 小型 EV・二輪・エントリーEV まで拡大
- ③ シナリオ 3: 技術ブレークスルーとエネルギー密度向上

165.7 総括: Na イオン電池商業化が示唆する資源戦略

166 代替素材(Na イオン電池など)による特定鉱物依存度低減

166.1 序論: 重要鉱物リスクと代替素材の戦略的位置づけ

166.2 特定鉱物依存の構造とリスク

- ① 高依存鉱物の例

166.3 Na イオン電池によるリチウム・ニッケル・コバルト依存の緩和

- ① 材料構成の違いと依存度低減メカニズム
- ② 用途別の影響
- ③ 代替による新たなボトルネック

166.4 他の代替素材・代替技術の役割

- ① LFP・高マンガン正極によるコバルト削減
- ② レアアースフリー磁石・フェライト高性能化
- ③ ワイドバンドギャップ半導体による銅・電磁鋼板使用量の削減

166.5 代替素材導入の評価軸: リスクの「削減」か「移転」か

- ① 1. 資源の豊富さと地理的分散
- ② 2. サプライチェーンの成熟度と集中度
- ③ 3. 環境・社会影響
- ④ 4. リサイクルとの整合性

166.6 政策・企業戦略への含意

- ① 政策レベル
- ② 企業レベル

166.7 結論: 多元化された素材体系への移行

167 ハイブリッド車／EV 用モータのレアアース削減設計潮流

- 167.1 序論:EV 化とレアアース依存問題
- 167.2 設計潮流 1:重希土フリーネオジム磁石の採用
 - ① Dy・Tb 削減の基本戦略
 - ② モータ設計との組み合わせ
- 167.3 設計潮流 2:誘導モータ・巻線界磁モータの活用
 - ① レアアース非使用モータの再評価
 - ② コンバータ・インバータとの協調
- 167.4 設計潮流 3:フェライト磁石モータと材料高性能化
 - ① 高性能フェライト磁石の適用可能性
 - ② モータ+ギヤ比の最適化
- 167.5 設計潮流 4:磁石使用量そのものの削減
 - ① トルク密度向上による磁石体積の削減
 - ② 多極化とモジュール設計
- 167.6 システムレベルのレアアース削減戦略
 - ① 車両アーキテクチャとモータ構成の最適化
 - ② リサイクル・リユースとの連携
- 167.7 総括:多様化するモータ技術とレアアース削減の方向性
- 168 代替材料(LFP 等)によるコバルト・ニッケルフリー電池
- 168.1 序論:コバルト・ニッケル依存の課題と代替化学系
- 168.2 LFP 電池の材料構成と特長
 - ① コバルト・ニッケルフリーな正極材料
 - ② 性能と安全性
- 168.3 LFP 普及の現状と構造変化
 - ① EV 市場におけるシェア拡大
 - ② 地域別動向
- 168.4 コバルト・ニッケルフリー化学系のポートフォリオ
 - ① LFP 以外の Co/Ni フリー正極
- 168.5 サプライチェーン・環境へのインパクト
 - ① コバルト・ニッケル需要への影響
 - ② 環境フットプリント
- 168.6 技術的課題と今後の進化
 - ① エネルギー密度と低温性能
 - ② 価格と生産能力
- 168.7 コバルト・ニッケルフリー電池の戦略的位置づけ
 - ① 用途別最適化
 - ② 政策・企業戦略への含意

168.8 結論: 多元化された電池材料体系への移行

169 レアメタル代替合金・代替プロセスの技術ロードマップ

169.1 序論: レアメタル依存と代替技術の位置づけ

169.2 ロードマップの基本フレーム

① 3 フェーズ構造

② ターゲットとなる代表レアメタル

169.3 電池材料分野の代替合金・代替プロセス

① フェーズ 1: 高ニッケル系の低 Co 化・LFP/LFP 派生の拡大

② フェーズ 2: Na イオン・Mg 系など非 Li 系への拡張

③ フェーズ 3: 固体電池・多価イオン・有機電極による構造転換

169.4 磁性材料・モータ分野の代替合金・プロセス

① フェーズ 1: Dy 削減・高性能フェライト・モータ設計最適化

② フェーズ 2: レアアースフリー高性能磁石とレアアースフリーモータ

③ フェーズ 3: システム全体でのレアアースゼロ設計

169.5 触媒・水電解分野の代替合金・プロセス

① フェーズ 1: PGM 使用量削減と高分散化

② フェーズ 2: 非 PGM 触媒・低 PGM 触媒の本格適用

③ フェーズ 3: PGM をほぼ使わない水素バリューチェーン

169.6 半導体・電子材料分野の代替化とプロセス革新

① フェーズ 1: 微細化とプロセス改善による使用量削減

② フェーズ 2: 材料体系の多元化・共有化

③ フェーズ 3: プロセスそのものの転換

169.7 共通基盤としての代替プロセス技術

① 高スループット計算材料科学とマテリアルズ・インフォマティクス

② 積層造形・ナノ構造制御

③ 低炭素・低環境負荷プロセス

169.8 リサイクル・サーキュラーエコノミーとの統合

① デザイン段階でのリサイクル前提設計

② 高選択分離・直接再利用プロセス

③ フェーズ 3 以降の完全循環シナリオ

169.9 結語: マルチマテリアル時代の技術ロードマップの捉え方

170 高電圧システム向け代替絶縁材料

170.1 序論: 高電圧化と絶縁材料のパラダイムシフト

170.2 高電圧絶縁に求められる性能要件

① 基本物性と耐久性

② 環境・規制要件

170.3 代替絶縁材料の主要系統

- ① 高機能熱可塑性ポリマー系
- ② ナノコンポジット系無機-有機複合材料
- ③ ガス絶縁代替: 低 GWP 混合ガスと固体絶縁
- ④ 液体絶縁のバイオベース化

170.4 EV/パワーエレクトロニクス向け代替絶縁材料

- ① 高電圧 EV アーキテクチャの要件
- ② パワーモジュール用封止樹脂・TIM
- ③ 高電圧ケーブル・バスバー絶縁

170.5 送配電・高電圧機器向け代替材料

- ① 限界を迎える紙・油・SF6 システム
- ② 固体絶縁変圧器・ガス代替技術

170.6 高電圧向け代替絶縁材料の技術ロードマップ

- ① フェーズ 1(～2030 年): 既存材料の高度化と部分置換
- ② フェーズ 2(2030～2040 年): 固体絶縁化とシステム最適化
- ③ フェーズ 3(2040 年以降): 環境調和型絶縁体系への転換

170.7 おわりに: 新素材・代替材料としての絶縁材料の位置づけ

171 バイオベース材料と金属材料の補完関係

171.1 序論: 資源制約と材料ポートフォリオの再設計

171.2 バイオベース材料の特徴と制約

- ① 強み
- ② 弱み

171.3 構造用途における補完関係

- ① 建築・インフラ
- ② 輸送機・モビリティ

171.4 機能用途における補完関係

- ① 熱・音・振動制御
- ② 絶縁・バインダー・コーティング

171.5 サプライチェーンと重要鉱物の観点からの補完関係

- ① 資源ポートフォリオの多様化
- ② ライフサイクル評価(LCA)の視点

171.6 バイオ×メタル複合材料・ハイブリッド設計の方向性

- ① バイオフィ이버強化金属・メタルフォーム
- ② モジュラー設計と分解性の確保

171.7 まとめ: 代替ではなく「役割分担」としての補完関係

172 代替技術が資源国経済に与えるスタンデッドリスク

172.1 序論: ストランデッドリスクの概念と新素材・代替材料

172.2 代替技術とストランデッドリスクのメカニズム

- ① 需要構造のシフトによる「埋没資産」の発生
- ② 技術ロックインと「逆転不能点」

172.3 影響を受けやすい資源・セクターの類型

- ① コバルト・ニッケルと電池代替材料
- ② レアアースとレアアースフリー磁石・モータ
- ③ ガリウム・インジウム・PGM と電子・触媒代替技術

172.4 マクロ経済・財政・社会への影響

- ① 貿易収支と為替レートの変動
- ② 財政基盤と社会安定

172.5 ケース別にみるストランデッドリスクの特徴

- ① ケース 1: コバルト偏在国における電池代替材料の影響
- ② ケース 2: レアアース供給国におけるレアアースフリー技術の拡大

172.6 リスク緩和・適応戦略

- ① 産業多角化と付加価値向上
- ② 財政ルールとソブリンファンドの活用
- ③ 技術・政策対話と「ソフトランディング」

172.7 結語: 新素材・代替材料時代の資源国リスクマネジメント

173 SiC/GaN 等代替半導体材料の普及と金属需要構造への影響

173.1 序論: ワイドバンドギャップ半導体と重要物資供給網

173.2 SiC/GaN の技術特性と応用領域

- ① 材料物性の比較
- ② 主要応用分野

173.3 SiC/GaN バリューチェーンと金属資源

- ① SiC バリューチェーンと資源
- ② GaN バリューチェーンと資源

173.4 デバイスレベルでの金属使用量の変化

- ① 導体・配線(金属銅・アルミニウム)
- ② 接合材料・パッケージ(金属銀・銅)
- ③ 磁性材料・レアアース

173.5 マクロレベルでの金属需要構造への影響

- ① EV・再エネ拡大と WBG 材料の相互作用
- ② 重要鉱物・戦略物資の観点からの評価

173.6 地政学とサプライチェーン戦略

- ① 中国依存と日米欧の対抗策

② 企業戦略への含意

173.7 長期的展望: WBG 普及がもたらす金属需要の再編

174 NdFeB 磁石からの Dy 排除技術 (CMI Hub)

174.1 CMI Hub の組織構造と研究フレームワーク

① 設立経緯と運営体制

② 研究の 4 本柱

174.2 Dy 排除の技術的課題

① Dy が果たす機能と排除の難しさ

174.3 CMI Hub が開発した Dy 排除技術

① 熱間圧延 (Hot-Rolling) NdFeB 磁石

② LaNd 磁石 (La-Co 置換 NdFeB)

③ Ce 系磁石および Sm-Fe-N 低温焼結磁石

④ ナノ構造工学および AM 活用による材料探索

174.4 米国磁石産業のリショアリングと CMI 技術の社会実装

① Noveon Magnetics の台頭

② 日本との技術比較

174.5 技術成熟度と今後の展開

174.6 References

175 レアアースフリー磁石およびフェライト高性能化技術

175.1 技術体系の全体像

① レアアースフリー磁石とフェライト高性能化の位置づけ

175.2 重希土類フリーNdFeB 磁石の実用化

① 大同特殊鋼の熱間加工ネオジム磁石

② プロテリアルの省重希土類焼結磁石

175.3 フェライト磁石の高性能化技術

① La-Co 置換による性能革新

② 能動的サイト選択置換法

③ La/Co フリー高性能フェライトへの挑戦

④ フェライト磁石による xEV 主機モーターの実証

175.4 完全レアアースフリー新規磁石材料

① 鉄窒化物 (Fe₁₆N₂) 磁石

② MnBi 磁石

③ MnAl 磁石

④ ナノラメラ構造 Co-Ni-Fe-Al 系磁石

175.5 各国の政策と研究開発プログラム

① 日本: NEDO 経済安全保障重要技術育成プログラム

② 米国: ARPA-E MAGNITO および DOE プログラム

③ EU: MagNEO プロジェクト

175.6 市場展望と技術ロードマップ

175.7 References

176 レアアースフリー高性能磁石材料の研究開発ロードマップ

176.1 戦略的背景と政策的位置づけ

① 経済安全保障と重要物資供給網の課題

② 各国の政策フレームワーク

176.2 候補材料系と物性ポテンシャル

① L10-FeNi(テトラテナイト)系

② MnBi 系

③ MnAl 系

④ Fe₁₆N₂(α'' -鉄窒化物)系

176.3 日本の研究開発ロードマップ

① NEDO プログラムの構造と目標

② Sm-Fe 系磁石の位置づけ

176.4 欧米の研究開発動向

① 米国の取り組み

② EU の取り組み

176.5 技術的ボトルネックと解決アプローチ

① 準安定相の合成と安定化

② ナノ構造制御と保磁力向上

③ 計算科学・データ駆動型アプローチ

176.6 社会実装に向けた課題と展望

① モーター設計との協調開発

② リサイクルと循環経済

③ 想定されるマイルストーン

176.7 References

177 高度湿式精錬(先進ハイドロメタラジー)

177.1 序論:重要鉱物時代における湿式精錬の再評価

177.2 高度湿式精錬の技術的枠組み

① 基本プロセスのモジュール化

② 乾式精錬とのハイブリッド化

177.3 重要鉱物ごとの高度湿式精錬技術

① ニッケル・コバルト・スカンジウム:HPAL と改良型浸出

② レアアース:選択浸出と溶媒抽出カスケード

③ リチウム・バッテリー材料：DLE・リサイクル湿式精錬

④ 銅・貴金属・PGM：バイオリーチングと選択浄液

177.4 プロセス強化とデジタル化

① 連続フロー／モジュラー化

② センサー・モデル予測制御

177.5 環境・社会・経済面の特徴

① 環境負荷と資源効率

② 経済性と投資の特徴

177.6 今後の技術ロードマップ

① 短期（～2030 年）

② 中期（2030～2040 年）

③ 長期（2040 年以降）

177.7 結論：高度湿式精錬の戦略的意義

178 MINER(Mining Innovations for Negative Emissions Resource Recovery)プログラム

178.1 序論：資源開発とネガティブエミッションの接続

178.2 プログラムの背景と目的

① エネルギー転換と鉱業セクターのジレンマ

② 目標と基本方針

178.3 技術コンセプトと重点領域

① 鉱物炭酸化と CO2 固定

② ネガティブエミッションと資源回収の統合

③ 自律化・デジタル化された鉱業運営

178.4 プログラムの構成と参加主体

① 研究開発モジュール

② 地域・資源タイプ別の適用

178.5 政策・市場メカニズムとの連携

① カーボンクレジットとグリーンプレミアム

② 国の重要鉱物戦略との整合

178.6 課題と展望

① 技術・経済的課題

② 社会受容性とガバナンス

178.7 総括：採掘・精錬イノベーションの次のフロンティア

179 CO2 反応性岩石からの鉱物回収と炭素貯留の同時実現

179.1 序論：CO2 反応性岩石がもたらす新しい資源開発パラダイム

179.2 CO2 反応性岩石の種類と資源ポテンシャル

① 超苦鉄質岩・かんらん岩・蛇紋岩

② 火山性ガラス・玄武岩・凝灰岩

③ 鉱山尾鉱・スラグ・産業副産物

179.3 鉱物回収と炭素貯留の化学・プロセス設計

① 基本となる鉱物炭酸化反応

② 鉱物回収と炭酸化の統合フロー

179.4 技術アプローチのバリエーション

① 原位置 (in-situ) 炭酸化 + 金属回収

② 尾鉱パイル炭酸化と二次資源回収

③ 人工加速炭酸化リアクターによるプロセス集約

179.5 経済性とビジネスモデル

① 収益源の二重化: 金属販売 + 炭素クレジット

② コスト構造とスケール

179.6 環境・社会的インプリケーション

① 気候変動対策としての位置づけ

② 地域社会・生態系との関係

179.7 今後の研究・技術開発の方向

① 反応速度・効率の向上

② 金属回収と炭酸化のプロセス統合

③ モニタリング・検証・標準化

179.8 結語: 採掘・精錬イノベーションとネガティブエミッションの接点

180 深海ポリメタリック・ノジュール採取技術

180.1 序論: ポリメタリック・ノジュールと重要鉱物

180.2 ノジュール採取システムの全体構成

180.3 海底収集技術

① 自走式コレクターの基本構造

② 環境影響低減のための工夫

180.4 揚鉱技術: ライザーシステムとポンプ構成

① ライザー方式の類型

② ライザー構造と動揺対策

180.5 船上処理・ロジスティクス

① 船上一次処理

② 物流とサプライチェーン

180.6 精錬プロセスと陸上インフラ

① ノジュールの化学組成と処理難易度

180.7 環境影響評価と規制枠組み

① 深海生態系への影響

② 国際海底機構 (ISA) によるルールメイキング

180.8 技術的・経済的・社会的課題

① 技術・コスト面の不確実性

② 社会受容性とガバナンス

180.9 将来展望: 深海ポリメタリック・ノジュール採取技術の位置づけ

181 コバルトリッチクラスト採取技術

181.1 序論: コバルトリッチクラストの資源的意義

181.2 賦存形態と採取技術への要求条件

① 賦存形態・地形条件

② 技術的制約と設計思想

181.3 採取システムの基本構成

① 全体システムの概要

② 海底作業機 (カッティングビークル)

181.4 採取方式のバリエーション

① 連続切削・スラリー吸引方式

② ブロック切り出し・一時集積方式

③ ハイブリッド方式

181.5 揚鉱・船上処理技術

① 揚鉱システム

② 船上処理

181.6 陸上精錬プロセスと技術的課題

181.7 環境影響とガバナンス

① 特徴的な環境懸念

② 国際ルール・国内制度

181.8 技術・経済・政策面での今後の方向性

182 熱水鉱床採掘技術

182.1 序論: 熱水鉱床と重要鉱物

182.2 熱水鉱床の賦存形態と採掘上の特徴

① 賦存形態

② 採掘技術への要求条件

182.3 熱水鉱床採掘システムの基本構成

① 全体システム

② 海底掘削・回収装置

182.4 揚鉱システムと船上処理

① ライザー・揚鉱システム

② 船上一次処理

182.5 熱水鉱床採掘技術の特有課題

- ① 高温・腐食環境
- ② 不安定地盤と地形リスク
- ③ 生態系への影響

182.6 技術・運用の高度化方向

- ① ロボティクス・自律化
- ② 環境モニタリングとアダプティブマネジメント
- ③ 精錬・サプライチェーンとの統合

182.7 ガバナンスと社会的受容性

182.8 結語：熱水鉱床採掘技術の位置づけ

183 CCUS・水素技術と金属需要構造の変化

183.1 序論：脱炭素トランジションと金属需要

183.2 CCUS バリューチェーンと金属需要

- ① CO₂ 回収設備（ポストコンバッションなど）
- ② CO₂ 輸送パイプライン・ターミナル
- ③ 貯留サイト（地下貯留・鉱物固定）

183.3 水素バリューチェーンと金属需要

- ① 水電解装置（グリーン水素）
- ② 水素運搬・貯蔵・燃焼

183.4 セクター別にみた金属需要構造の変化

- ① 鉄鋼・合金鋼
- ② ベースメタル（銅・アルミ）
- ③ クリティカルメタル・レアメタル

183.5 時間軸別の需要シナリオ

- ① 2020 年代：実証・初期展開フェーズ
- ② 2030 年代：商業化・拡大フェーズ
- ③ 2040 年以降：成熟・最適化フェーズ

183.6 金属サプライチェーンと政策・企業戦略への示唆

184 直接リチウム抽出（DLE）技術の商業化動向

184.1 序論：DLE がもたらすパラダイムシフト

184.2 DLE 技術の基本原則と分類

- ① 主な技術アーキタイプ
- ② 従来塩湖法との性能比較

184.3 商業化に向かうプロジェクトと投資動向

- ① 投資規模と市場展望
- ② 代表的な商業化プロジェクト

184.4 技術的・経済的課題

- ① スケールアップとコスト競争力
- ② 環境影響と社会受容性

184.5 政策・市場へのインプリケーション

- ① リチウム供給曲線と地域別影響
- ② 金融・規制面の評価

184.6 将来展望:DLE は「ゲームチェンジャー」になり得るか

【 鉱業金融・資本市場・ファイナンス手法 】

185 コモディティ価格低迷と鉱山プロジェクト収益性の圧迫

185.1 序論:価格サイクルと鉱業投資の宿命的構造

185.2 カテゴリー1:コモディティ価格低迷のメカニズム

- ① 需給バランスの崩れ
- ② マクロ経済・金融要因
- ③ 技術的・政策的ショック

185.3 カテゴリー2:鉱山プロジェクト収益性への影響経路

- ① 売上減少とマージン圧縮
- ② コストカーブとサバイバルライン
- ③ キャッシュフローと財務健全性

185.4 カテゴリー3:投資判断と資本配分への波及

- ① 新規プロジェクトの凍結・延期
- ② 資産減損と会計インパクト

185.5 カテゴリー4:企業の対応戦略

- ① コスト削減と操業最適化
- ② ポートフォリオの組み替え
- ③ ヘッジ戦略と契約構造

185.6 カテゴリー5:金融・資本市場への影響

- ① 株式市場と資金調達
- ② 銀行融資とプロジェクトファイナンス

185.7 カテゴリー6:重要鉱物の文脈での特殊性

- ① 長期需要の確信度と短期価格のギャップ
- ② 政策介入と市場の歪み

185.8 結語:価格低迷期の経営と投資は次のサイクルを決める

186 保険・再保険市場による鉱山リスクの引き受け

186.1 序論:鉱業リスク移転の戦略的意義

186.2 カテゴリー1:鉱山向け保険の基本ラインナップ

- ① 財物・操業関連

② 責任・環境・人身

③ 専門的・政治リスク

186.3 カテゴリー2:再保険市場の役割とリスク分散メカニズム

① 再保険の基本構造

② 国際再保険マーケットとキャパシティ

186.4 カテゴリー3:ファイナンスと保険のインターフェース

① プロジェクトファイナンスの条件としての保険

② 保険による格付・資本コストへの影響

186.5 カテゴリー4:鉱山特有の保険設計上の論点

① 尾鉱ダム・地盤リスク

② 断続操業・地下鉱山の特殊性

③ マルチサイト・グローバルプログラム

186.6 カテゴリー5:オルタナティブリスクトランスファーと新たな動き

① キャプティブ保険会社

② 保険連動証券(ILS)・CAT ボンド

③ ESG・サステナビリティと保険

186.7 カテゴリー6:鉱山企業が保険・再保険市場を活用する際の戦略ポイント

① リスクマップと自己保有レベルの設計

② 長期的な保険パートナーシップ

③ ファイナンスと統合したリスクマネジメント

186.8 結語:保険・再保険は鉱業金融の见えない柱

187 パートナーシップ・モデル(顧客企業のエクイティ参加・前払い契約)

187.1 序論:重要鉱物サプライチェーンと顧客参加型ファイナンス

187.2 カテゴリー1:パートナーシップ・モデルの基本構造

① 顧客エクイティ参加

② 前払いオフテイク契約

187.3 カテゴリー2:鉱山側から見たメリットと留意点

① メリット

② 留意点・リスク

187.4 カテゴリー3:顧客側から見た動機と利点

① 資源確保と価格リスク管理

② ESG・トレーサビリティ観点

③ 技術・品質面の協調

187.5 カテゴリー4:典型的なストラクチャーとバリエーション

① エクイティ+オフテイクモデル

② 前払いオフテイク+価格フォーミュラ

③ ハイブリッド構造

187.6 カテゴリー5:他のファイナンス手法との補完関係

① 銀行融資・プロジェクトファイナンスとの関係

② ストリーミング・ロイヤルティ・PE との住み分け

187.7 カテゴリー6:実務上の課題と成功要因

① 契約設計の複雑性

② 長期関係のマネジメント

③ 競争法・独禁法への配慮

187.8 結語:顧客参加型パートナーシップは鉱業金融の新しい中核

188 ベンチャーラウンドにおける鉱物系スタートアップ投資

188.1 序論:鉱物系スタートアップが注目される背景

188.2 カテゴリー1:鉱物系スタートアップの主な類型

① 探鉱・資源評価テクノロジー

② 低環境負荷精錬・プロセス技術

③ リサイクル・都市鉱山

④ 代替素材・新材料

188.3 カテゴリー2:ベンチャーラウンドのステージと特徴

① シード・プレシード

② シリーズ A

③ シリーズ B 以降

188.4 カテゴリー3:投資家のタイプと投資動機

① 専門 VC・ディープテック VC

② コーポレート VC (CVC)

③ 公的・ミッション志向投資家

188.5 カテゴリー4:技術・事業リスクとデューデリジェンスの要点

① 技術成熟度 (TRL) とスケールアップリスク

② ユニットエコノミクスとコストカーブ

③ 規制・ESG・社会受容性

188.6 カテゴリー5:ラウンド設計と資本構成

① エクイティとプロジェクトファイナンスのブリッジ

② 転換社債・優先株・リカッパブル構造

188.7 カテゴリー6:戦略投資家との連携モデル

① 共同開発・オフテイク付き投資

② ジョイントベンチャーによる商業展開

188.8 カテゴリー7:鉱物系スタートアップ投資の今後の方向性

189 M&A・統合(メジャーによるジュニア買収)の動向

- 189.1 序論:重要鉱物ブームと再編圧力
- 189.2 カテゴリー1:メジャーによるジュニア買収の基本構造
 - ① ロジックとインセンティブ
 - ② 典型的なディール形態
- 189.3 カテゴリー2:重要鉱物セグメントでの動向
 - ① バッテリーメタル(リチウム・ニッケル・コバルト・グラファイト等)
 - ② レアアース・戦略物質
- 189.4 カテゴリー3:ディール評価とプレミアム要因
 - ① 評価指標
 - ② プレミアムを正当化する要素
- 189.5 カテゴリー4:資本市場・株主の視点
 - ① メジャー株主の期待
 - ② ジュニア株主の期待
- 189.6 カテゴリー5:ESG・規制・地政学が与える影響
 - ① 競争法・外資規制
 - ② ESG と「責任ある買い手」
- 189.7 カテゴリー6:ディール実務と統合(PMI)の論点
 - ① デューデリジェンス
 - ② PMI(統合マネジメント)
- 189.8 カテゴリー7:今後の方向性
- 190 公的支援スキーム(補助金・税制優遇)と投資意思決定
- 190.1 序論:重要鉱物投資と政策インセンティブの結合
- 190.2 カテゴリー1:主要な公的支援スキームの類型
 - ① 直接補助金・グラント
 - ② 税制優遇
 - ③ 低利融資・保証・公的エクイティ
 - ④ 需要側インセンティブ
- 190.3 カテゴリー2:投資評価指標への影響
 - ① NPV・IRR・回収期間
 - ② 資本コストとレバレッジ
- 190.4 カテゴリー3:投資意思決定プロセスにおける組み込み方
 - ① ベースケースとインセンティブ付ケース
 - ② 感度分析・リスク調整
- 190.5 カテゴリー4:企業行動への影響と留意点
 - ① 立地選択とサプライチェーン設計
 - ② モラルハザード・過剰投資リスク

190.6 カテゴリー5:政策立案側の視点と企業とのインタラクション

① ターゲティングと条件設定

② 予見性と一貫性

190.7 カテゴリー6:公的支援スキームを活用する企業側の実務

① スキームマッピングとプロジェクト設計

② ステークホルダーとの連携

190.8 結語:公的支援は投資意思決定の「補正装置」

191 鉱物ETF・商品インデックスのリスク・リターン特性

191.1 序論:資源金融化と間接投資ビークルの役割

191.2 カテゴリー1:鉱物ETF・商品インデックスの基本構造

① 鉱物ETFのタイプ

② 商品インデックスのタイプ

191.3 カテゴリー2:リターン特性

① 長期リターンのドライバー

② 他資産との相関

191.4 カテゴリー3:リスク特性

① 価格ボラティリティ

② 先物特有のリスク

③ 流動性・スプレッドリスク

④ 規制・信用リスク

191.5 カテゴリー4:投資戦略上の位置づけ

① 戦術的なサイクル・トレード

② 長期ポートフォリオにおける役割

③ 鉱業株との補完関係

191.6 カテゴリー5:投資家が留意すべき実務的ポイント

① 商品設計・プロスペクタスの確認

② 投資期間とリスク許容度の整合

191.7 結語:鉱物ETF・商品インデックスは高ボラだが戦略的価値が高いツール

192 価格ヘッジ(先物・オプション)と長期オフテイクの組み合わせ

192.1 序論:鉱物価格ボラティリティとリスクマネジメントの基本構図

192.2 長期オフテイク契約の役割

① 基本構造と価格フォーミュラ

② プロジェクトファイナンスにおける意義

192.3 金融市場を用いた価格ヘッジの基本

① 先物ヘッジ

② オプションヘッジ

192.4 組み合わせ方の基本アプローチ

- ① オフテイク+先物の「二重ロックイン」モデル
- ② オフテイク+オプションによるフロア確保モデル
- ③ オフテイク内にヘッジ機能を織り込むモデル

192.5 実務上の論点:リスク・リターン配分と制約条件

- ① ヘッジ比率の決定
- ② ベーシスリスクと品質・プレミアムの扱い
- ③ カウンターパーティリスクと担保・マージン
- ④ 会計・開示・コベナンツ

192.6 鉱山企業・オフテイク・金融機関それぞれの視点

- ① 鉱山企業
- ② オフテイク(製造業・トレーダー)
- ③ 金融機関・投資家

192.7 今後の方向性:重要鉱物時代のヘッジ・オフテイク設計

193 資本コスト上昇局面でのプロジェクト優先順位付け

193.1 序論:高金利・高リスクプレミアム環境と鉱業投資

193.2 資本コスト上昇がプロジェクト価値に与える影響

- ① WACC 上昇と NPV の圧縮
- ② エクイティコストとレバレッジ制約

193.3 プロジェクト優先順位付けの定量的フレームワーク

- ① 投資効率指標の多面的活用
- ② プロジェクト分類とランク付け

193.4 非財務要素・戦略的要因の組み込み

- ① 供給安全保障・顧客関係への寄与
- ② ポートフォリオ全体のリスク分散
- ③ ESG・規制・レピュテーション

193.5 優先順位付けを支えるファイナンス・ストラクチャリング

- ① 資本構成の柔軟化
- ② 段階投資・オプション型開発

193.6 資本配分ガバナンスと社内プロセス

- ① 投資委員会と資本配分ルール
- ② シナリオプランニングと継続的見直し

193.7 結語:資本コスト上昇局面はポートフォリオの質を高める機会

194 政策支援・補助金・税優遇がプロジェクト IRR を押し上げるメカニズム

194.1 序論:IRR と政策インセンティブの関係

194.2 カテゴリー1:補助金が IRR を押し上げるメカニズム

① 初期投資(CAPEX)の名目削減効果

② キャッシュフロータイミングの改善

③ リスクプロファイルの改善

194.3 カテゴリー2:税優遇がIRRを押し上げるメカニズム

① 加速償却・特別償却

② 投資税額控除

③ ロイヤルティ減免・税 holiday

194.4 カテゴリー3:公的金融・保証による資本コスト低減とIRR

① 低利融資・長期融資の影響

② 債務保証・劣後ローン

194.5 カテゴリー4:IRRメカニズムの総合的理解

① キャッシュフロープロファイルの再配置

② リスク調整後リターンの視点

194.6 カテゴリー5:政策支援を織り込んだ投資意思決定のポイント

① ベースケースと政策ケースの比較

② 持続可能性と政策依存リスク

194.7 結語:政策支援はIRRを変形させる「キャッシュフロー・エンジニアリング」

195 在庫・ストックパイル・契約オプションの組み合わせ設計

195.1 序論:物理在庫と契約オプションを束ねる発想

195.2 カテゴリー1:在庫・ストックパイルの役割と設計思想

① 運転在庫・緩衝在庫・戦略備蓄

② 在庫水準決定の基本フレーム

195.3 カテゴリー2:契約オプションの基本類型

① ボリュームフレックス条項

② コールオプション型・プットオプション型契約

③ フロア・キャップ付き価格条項

195.4 カテゴリー3:在庫・ストックパイルと契約オプションの組み合わせロジック

① 物理リスクと価格リスクの分離

② 基本ポートフォリオ例

195.5 カテゴリー4:企業レベルでの設計プロセス

① リスク定義とセグメンテーション

② 財務的制約との統合

③ 契約・物流・ファイナンス部門の連携

195.6 カテゴリー5:政府・業界レベルのストックパイル設計

① 公的ストックパイルと民間在庫の役割分担

② 放出ルールと契約オプション

- 195.7 カテゴリー6:在庫・契約オプション設計と金融手段の接続
 - ① 物理在庫と金融ヘッジの補完
 - ② 契約オプションと金融オプションの整合
- 195.8 結語:多層防御としての在庫・ストックパイル・契約オプション
- 196 伝統的鉱業プロジェクトファイナンスの後退
 - 196.1 序論:鉱山プロジェクトの「銀行離れ」が進む背景
 - 196.2 カテゴリー1:伝統的鉱業プロジェクトファイナンスの特徴
 - ① 基本構造と前提条件
 - ② 魅力と限界
 - 196.3 カテゴリー2:後退をもたらすマクロ・規制要因
 - ① 銀行規制強化とリスクウェイトの上昇
 - ② コンプライアンス・ESG 要件の増加
 - 196.4 カテゴリー3:鉱業固有のリスク要因
 - ① 価格ボラティリティと長期予測の難しさ
 - ② 開発リードタイムと許認可リスク
 - 196.5 カテゴリー4:伝統的プロジェクトファイナンスからのシフト
 - ① コーポレートファイナンスへの回帰
 - ② オフテイク・ストラテジック投資家の台頭
 - ③ ストリーミング・ロイヤルティ・プライベートデット
 - 196.6 カテゴリー5:後退がもたらす影響と今後の方向性
 - ① プロジェクト形成への影響
 - ② 重要鉱物供給網と金融の再設計
- 197 米国の戦略備蓄制度拡充と国際備蓄協調
 - 197.1 米国戦略備蓄政策の基本構造
 - 197.2 重要鉱物・戦略物質をめぐる最近の政策拡充
 - 197.3 鉱業金融・資本市場を活用した備蓄拡充スキーム
 - 197.4 戦略備蓄と実物サプライチェーン投資の連動
 - 197.5 国際備蓄協調の新たな枠組み
 - 197.6 米日クリティカルミネラル協力と備蓄連携
 - 197.7 多国間パートナーシップと鉱業金融の国際化
 - 197.8 まとめ:鉱業金融と戦略備蓄の統合的進化
- 198 中国の戦略備蓄制度と市場介入メカニズム
 - 198.1 中国の戦略備蓄の全体像
 - 198.2 ガバナンス構造と政策フレーム
 - 198.3 重要鉱物備蓄の対象と分類
 - 198.4 戦略備蓄の調達手法と鉱業金融

- ① 国有企業を軸にした調達と投資
- ② 在庫金融とコモディティ金融の活用
- 198.5 市場介入メカニズム: 価格安定と供給統制
 - ① 「買い上げ・放出」による価格バンド管理
 - ② 輸出管理と内外価格差
- 198.6 レアアース管理体制と戦略備蓄
- 198.7 海外資源確保と「グローバル備蓄」
- 198.8 資本市場と鉱業企業の上場戦略
- 198.9 戦略備蓄・市場介入と国際秩序
- 198.10 今後の展望と論点
- 199 EU・日本の備蓄制度比較と 90～120 日消費分の目標
 - 199.1 序論: エネルギー・鉱物備蓄と 90～120 日目標の位置づけ
 - 199.2 EU のエネルギー・鉱物備蓄制度の枠組み
 - ① IEA 枠組みと EU 法制
 - ② 備蓄形態と金融構造
 - 199.3 日本の備蓄制度: 石油・LNG・重要鉱物
 - ① 石油備蓄と 90 日目標
 - ② LNG・電力燃料の備蓄
 - ③ 重要鉱物の備蓄と JOGMEC スキーム
 - 199.4 EU と日本の制度比較: ガバナンスとファイナンス
 - 199.5 90～120 日消費分目標の意味と拡張
 - ① 日数目標のロジック
 - ② 鉱業金融・資本市場への含意
 - 199.6 クリティカルミネラルへの適用可能性
- 200 豪州の契約ベース備蓄(物理備蓄ではなく先物購入権)
 - 200.1 序論: 物理備蓄から契約ベース備蓄へ
 - 200.2 豪州の資源安全保障と契約ベース発想の背景
 - 200.3 契約ベース備蓄の基本構造
 - ① 契約ベース備蓄の類型
 - ② 先物購入権・オプションの位置づけ
 - 200.4 LNG・ガス分野における契約ベース備蓄
 - ① 国内ガス供給義務と準備蓄機能
 - ② 緊急時優先供給契約とスポット市場
 - 200.5 鉱物・金属分野における先物・オプションの活用
 - ① 鉱業企業と長期オフテイク契約
 - ② 先物市場・デリバティブ市場の利用

- 200.6 契約ベース備蓄と物理備蓄の比較
- 200.7 鉱業金融・資本市場から見た課題と展望
- 201 戦略備蓄のための「資源版 IEA」構想
 - 201.1 序論:エネルギーから重要鉱物へ
 - 201.2 資源版 IEA 構想の基本コンセプト
 - ① 対象とする資源範囲
 - ② 協調の目的
 - 201.3 制度設計の要素:IEA からの類推
 - ① 備蓄義務と日数目標
 - ② 緊急放出と需要抑制
 - 201.4 鉱業金融・資本市場を組み込んだ枠組み
 - ① 共同投資プラットフォームとファンド構想
 - ② 債券・デリバティブ・オフテイクの標準化
 - 201.5 ガバナンスモデルと加盟国構成
 - ① 想定されるガバナンス
 - ② 参加国の範囲と政治的課題
 - 201.6 既存イニシアティブとの接続
 - ① クリティカルミネラル・パートナーシップとの関係
 - ② WTO・気候レジームとの整合性
 - 201.7 戦略備蓄と鉱業金融を統合した将来像
 - ① 備蓄ポートフォリオとリスク管理
 - ② 企業・投資家へのインパクト
 - 201.8 結語:資源版 IEA の意義と課題
- 202 国家資源ファンドによる海外鉱区投資スキーム
 - 202.1 序論:国家資源ファンドの戦略的位置づけ
 - 202.2 国家資源ファンドの基本構造と財源
 - ① 財源とバランスシートの特徴
 - ② 運営主体とガバナンス
 - 202.3 海外鉱区投資スキームの典型パターン
 - ① 直接出資モデル(エクイティ参画)
 - ② プロジェクトファイナンス・ローンモデル
 - ③ ハイブリッドモデルと段階的関与
 - 202.4 オフテイク契約と優先購入権の設計
 - ① オフテイク契約の基本条項
 - ② 優先購入権と戦略備蓄との連動
 - 202.5 リスク分担と保証スキーム

① 政治リスクと契約の安定性

② 価格リスクとヘッジ手法

202.6 資本市場との連携: 共同投資と証券化

① 民間投資家との共同投資

② 債権・オフテイクの証券化

202.7 資源国側から見たインセンティブ設計

202.8 ガバナンスと透明性の課題

202.9 総括: 国家資源ファンドスキームの意義

203 OEM・テック企業による上流／中流へのバリューチェーン進出

203.1 序論: 資源・素材を巡る「逆方向統合」の潮流

203.2 上流・中流進出の戦略的動機

① 供給確保と価格ボラティリティの抑制

② 技術ロードマップと素材設計の一体化

203.3 具体的な進出形態: ファイナンス手法別整理

① エクイティ出資・ジョイントベンチャー

② オフテイク契約と前払ファイナンス

③ ローン保証・クレジットサポート

④ 合併・トレーディング会社・プラットフォームへの参加

203.4 中流(精錬・材料加工)への進出とその特徴

① 精錬・前駆体・陰極・陽極工場への投資

② リサイクル・循環型バリューチェーンへの展開

203.5 OEM・テック企業参入が鉱業金融に与える影響

① プロジェクトファイナンスの構造変化

② 資本市場での新たな投資機会

203.6 ガバナンス・規制・競争政策上の論点

① 資源ナショナリズムと競争法

② ESG とサプライチェーン責任

203.7 まとめ: OEM・テック企業主導の新しい資源金融アーキテクチャ

204 鉱業大手とエネルギー大手の統合・連携可能性

204.1 序論: エネルギー転換がもたらす産業構造の接近

204.2 経済合理性: 補完的な資産・能力

① 資本集約産業としての共通性

② 補完的な資産ポートフォリオ

204.3 統合・連携スキームの類型

① フル M&A・持株会社統合シナリオ

② 事業ごとの合併会社・共同プロジェクト

③ 長期オフテイク・インフラ共有契約

204.4 ファイナンス手法から見たシナジー

① 共同プロジェクトファイナンスと信用補完

② ヘッジ・トレーディング機能の高度化

204.5 戦略物資確保と国家政策との関係

① 国家資源戦略とのアライメント

② 資源版 IEA 的枠組みとの接続

204.6 ガバナンス・リスク・規制上の論点

① 事業文化と ESG の統合

② 独占禁止法・競争政策

204.7 結語：統合・連携の現実的シナリオ

205 マイニングジュニア企業の台頭とプロジェクトポートフォリオ

205.1 序論：ジュニア企業が担う役割の変化

205.2 マイニングジュニアのビジネスモデル

① 探鉱～初期開発に特化したリスクテイク

② 上場市場と私募市場の活用

205.3 プロジェクトポートフォリオの設計論

① コモディティ分散とテーマ集中のバランス

② 地理的分散とリスクプロファイル

③ ライフサイクル段階のミックス

205.4 ジュニア企業を取り巻く資本市場プレーヤー

① ストリーミング・ロイヤルティ会社

② OEM・テック企業・国家資源ファンド

205.5 プロジェクト評価とデューデリジェンスの特徴

① 技術評価と社会ライセンス

② 資金繰りリスクと希薄化管理

205.6 マクロ環境とジュニア企業のサイクル

① コモディティ価格サイクルとの連動

② 規制・ESG 要因

205.7 総括：ジュニア企業とプロジェクトポートフォリオの戦略的重要性

206 ダイバーシファイド・マイナー（メジャー鉱山会社）の戦略調整

206.1 序論：エネルギー転換と地政学リスクが迫る構造変化

206.2 外部環境：需要構造と投資家要請の変化

① 需要側：エネルギー転換が生み出す新たな「優等生コモディティ」

② 資本市場側：ESG・脱炭素への圧力

206.3 ポートフォリオ再構成：撤退と集中の二面作業

- ① 炭素集約的資産からの撤退・分離
- ② 成長コアとしての銅・ニッケル・バッテリー金属
- 206.4 資本配分とファイナンス手法の転換
 - ① 「配当・自社株買い重視」から「成長投資とバランス」
 - ② 共同投資・パートナーシップの活用
- 206.5 サプライチェーンとの統合・リレーション再構築
 - ① OEM・テック企業との長期的関係
 - ② リサイクル・二次資源への参入
- 206.6 オペレーションと技術戦略の調整
 - ① デジタル化・自動化・遠隔操業
 - ② 低炭素プロセスと製品差別化
- 206.7 ガバナンス・組織・リスク管理の再設計
 - ① ESG・気候ガバナンスの強化
 - ② リスクポートフォリオとしての全社管理
- 206.8 総括:ダイバーシファイド・マイナーの戦略調整の方向性
- 207 ロイヤルティ／ストーリーミング・ファイナンスの拡大(Wheaton 等)
 - 207.1 序論:鉱業金融の「第三の資本」としての台頭
 - 207.2 カテゴリー1:ロイヤルティ／ストーリーミング・ファイナンスの基本構造
 - ① ロイヤルティ契約
 - ② ストーリーミング契約
 - ③ 資本性とリスク配分
 - 207.3 カテゴリー2:Wheaton 等のビジネスモデルの特徴
 - ① ポートフォリオ分散と低オペレーショナルリスク
 - ② 金属ミックスの拡大
 - ③ 取引のバリエーション
 - 207.4 カテゴリー3:鉱山会社にとっての利点
 - ① 大規模アップフロント資金の調達
 - ② バランスシート・指標への影響の制御
 - ③ プロジェクトリスクの部分的移転
 - 207.5 カテゴリー4:鉱山会社にとってのデメリットと留意点
 - ① 長期的アップサイドの放棄
 - ② 契約柔軟性の制約
 - ③ ESG・トレーサビリティへの影響
 - 207.6 カテゴリー5:重要鉱物・エネルギー転換分野での役割拡大
 - ① CAPEX ギャップの一部を埋める手段
 - ② 政策・公的金融との組み合わせ

207.7 カテゴリー6:資本市場・投資家の視点

① ストーリーミング・ロイヤルティ企業への投資魅力

② リスク要因

207.8 結語:ロイヤルティ／ストーリーミングは鉱業金融の構造を塗り替えつつある

208 長期オフテイク契約による価格・ボリュームリスクヘッジ

208.1 序論:長期オフテイク契約の位置づけ

208.2 契約の基本構造と主要条項

① 期間・数量・柔軟性

② 価格フォーミュラ

208.3 価格リスクヘッジとしての機能

① 売り手側の視点:収益の下振れ抑制

② 買い手側の視点:高騰リスクの緩和と予算計画

208.4 ボリュームリスクヘッジとしての機能

① プロジェクトの銀行性を高める「デマンドアンカー」

② 買い手側の生産計画の安定化

208.5 プロジェクトファイナンスとの連動

① 銀行団から見たオフテイクの価値

② 戦略投資家との組み合わせ

208.6 契約設計上の実務的論点

① 柔軟性とオプション性の埋め込み

② ESG・サステナビリティ条項

208.7 長期オフテイク契約の限界と補完手段

① 市場流動性・機会損失の問題

② デリバティブ・在庫政策との組み合わせ

208.8 結語:戦略物資サプライチェーンにおける長期オフテイクの意義

209 研究開発投資と上流投資のポートフォリオ・マネジメント

209.1 序論:技術リスクと資源リスクを同時に管理する発想

209.2 上流投資ポートフォリオの基本構造

① コモディティ・地域・ライフサイクルの分散

② 資本コストとリスクプレミアム

209.3 研究開発投資ポートフォリオの設計

① 技術成熟度(TRL)と時間軸

② 技術シナリオと資源需要の連動

209.4 統合ポートフォリオ・マネジメントの枠組み

① 「技術×資源」マトリクスによる整理

② オプション価値の考え方

209.5 財務・ファイナンスの観点からの統合管理

- ① 投資枠とリスクバジェットの割り振り
- ② 外部資金との組み合わせ

209.6 組織・ガバナンスの観点

- ① 技術部門と事業開発部門の連携
- ② KPI・インセンティブ設計

209.7 まとめ:技術と資源を一体として捉える時代の投資戦略

210 クリティカルミネラルズを巡る株式市場のテーマ性・バリュエーション

210.1 序論:エネルギー転換が生んだ新セクターとしての位置づけ

210.2 テーマ性:どのように物語が形成されるか

- ① マクロナラティブと政策ドライバー
- ② サブテーマごとの市場の見方

210.3 バリュエーションの特徴:コモディティ株と成長株のハイブリッド

- ① 実務上よく使われる評価指標
- ② 価格前提とディスカウントレートへの感応度

210.4 バリュエーション・プレミアム／ディスカウントを決める要因

- ① 上流権益の質とコストポジション
- ② オフテイク契約・戦略パートナーの有無

210.5 テーマバブルと調整局面の典型パターン

- ① 期待先行局面:ストーリーがバリュエーションを支配
- ② 現実とのギャップ修正:プロジェクト実行・価格調整

210.6 投資家・発行体の視点からの示唆

- ① 投資家側:テーマ×ファンダメンタルズの二段階評価
- ② 発行体側:資本市場ストーリーの構築

210.7 結語:テーマ性と実物ファンダメンタルズの接続が鍵

211 公的開発金融機関のグリーン・鉱物案件支援事例

211.1 序論:グリーントランジションと公的開発金融の役割

211.2 多国間開発銀行によるリチウム・銅プロジェクト支援

- ① 多国間開発銀行の基本スタンス
- ② 典型事例:南米・アフリカのリチウム・銅案件

211.3 二国間 DFI によるクリティカルミネラル・サプライチェーン支援

- ① DFI の特徴:自国産業政策との一体化
- ② 典型事例類型

211.4 輸出信用機関・保険機関によるリスクシェアリング

- ① ECA の役割:輸出促進とサプライチェーン確保

211.5 ブレンデッド・ファイナンスによるハイリスク案件の構造化

- ① ファーストロス出資とサステナビリティリンクド構造
- ② ケースイメージ:新興国のニッケル HPAL プロジェクト
- 211.6 リサイクル・循環型資源案件への支援
 - ① 都市鉱山・リサイクル案件の特徴
- 211.7 政策対話・標準づくりとの連動
 - ① ファイナンスと規制・標準の相互補完
- 211.8 総括:公的開発金融によるグリーン鉱物案件支援の意義
- 212 重要鉱物データ・インテリジェンス・サービス市場
 - 212.1 序論:重要鉱物を巡る「情報インフラ」の台頭
 - 212.2 市場構造:プレーヤー類型と提供価値
 - ① 商業プロバイダーとアドバイザー
 - ② 公的・準公的インテリジェンス機関
 - ③ デジタル・トレーサビリティ/ESG プラットフォーム
 - 212.3 データのカバレッジ領域とユースケース
 - ① 需給・貿易・価格データ
 - ② 政策・規制・産業需要のインテリジェンス
 - ③ 地質・探鉱データと AI 探索
 - ④ 国家レベルのデータバンクと投資誘致
 - 212.4 ビジネスモデルと収益構造
 - ① サブスクリプション+プロジェクトベース
 - ② 独立性・ベンダーニュートラル性の価値
 - 212.5 ユーザーセグメントとニーズ
 - ① 金属・鉱山企業・トレーダー
 - ② OEM・テック企業・エネルギー企業
 - ③ 政府・開発金融機関・シンクタンク
 - 212.6 今後の発展方向と課題
 - ① データ標準化・相互運用性
 - ② AI・自動分析と専門知の統合
 - ③ 公共性と商業性のバランス
 - 212.7 結語:重要鉱物データ・インテリジェンスは金融・政策の「共通基盤」
- 213 重要鉱物データ・インテリジェンス・サービス市場
 - 213.1 序論:重要鉱物を巡る「情報インフラ」の台頭
 - 213.2 市場構造:プレーヤー類型と提供価値
 - ① 商業プロバイダーとアドバイザー
 - ② 公的・準公的インテリジェンス機関
 - ③ デジタル・トレーサビリティ/ESG プラットフォーム

213.3 データのカバレッジ領域とユースケース

- ① 需給・貿易・価格データ
- ② 政策・規制・産業需要のインテリジェンス
- ③ 地質・探鉱データと AI 探索
- ④ 国家レベルのデータバンクと投資誘致

213.4 ビジネスモデルと収益構造

- ① サブスクリプション+プロジェクトベース
- ② 独立性・ベンダーニュートラル性の価値

213.5 ユーザーセグメントとニーズ

- ① 金属・鉱山企業・トレーダー
- ② OEM・テック企業・エネルギー企業
- ③ 政府・開発金融機関・シンクタンク

213.6 今後の発展方向と課題

- ① データ標準化・相互運用性
- ② AI・自動分析と専門知の統合
- ③ 公共性と商業性のバランス

213.7 結語：重要鉱物データ・インテリジェンスは金融・政策の「共通基盤」

214 専門 PE ファンド・プライベートクレジットの役割

214.1 序論：銀行後退と「オルタナ資本」の台頭

214.2 カテゴリー1：専門 PE ファンドの特徴と投資スタイル

- ① 資源・エネルギー特化 PE の位置づけ
- ② バリューアップの手段
- ③ ジュニア企業・中堅オペレーターへの影響

214.3 カテゴリー2：プライベートクレジットの基本構造

- ① 銀行借入との違い
- ② 代表的な商品形態

214.4 カテゴリー3：専門 PE・プライベートクレジットが重要鉱物プロジェクトに適する理由

- ① リスク許容度と専門性
- ② スピードとストラクチャリングの柔軟性
- ③ 銀行規制・ESG 制約の補完

214.5 カテゴリー4：典型的な投資シナリオとストラクチャー

- ① シナリオ 1：開発段階プロジェクトへのブリッジ投資
- ② シナリオ 2：資本制約のある中堅オペレーターのレバレッジド・リキャップ
- ③ シナリオ 3：ディストレスト資産の再生

214.6 カテゴリー5：ESG・トレーサビリティとの接点

- ① サステナブル投資ストーリー

② ガバナンス・モニタリング機能

214.7 カテゴリー6:課題と限界

- ① 資本コストの高さ
- ② ディールサイズとスケーラビリティ
- ③ 政治・社会リスクへの曝露

214.8 結語:専門 PE・プライベートクレジットは鉱業金融の「ギャップフィラー」

215 Thematic bonds(グリーンボンド等)による鉱山投資動員

215.1 序論:重要鉱物投資とサステナブルファイナンスの接点

215.2 カテゴリー1:Thematic bonds の種類と基本構造

- ① グリーンボンド
- ② サステナビリティボンド・サステナビリティリンクボンド
- ③ トランジションボンド

215.3 カテゴリー2:鉱山投資に適用されるプロジェクト類型

- ① 低炭素・高効率鉱山インフラ
- ② 環境・水・尾鉱管理
- ③ コミュニティ・社会インフラ

215.4 カテゴリー3:資本市場からの投資動員メカニズム

- ① 新規投資家層へのアクセス
- ② 投資家のリスク認識の変化
- ③ グローバル・ローカル両面での発行

215.5 カテゴリー4:ストラクチャリングとフレームワーク設計

- ① フレームワークの設計要素
- ② 外部レビューと認証

215.6 カテゴリー5:鉱業企業にとってのメリットと課題

- ① メリット
- ② 課題

215.7 カテゴリー6:政策・規制との相互作用

- ① 国際タクソノミーとの整合
- ② 公的金融機関の役割

215.8 結語:Thematic bonds は鉱業とサステナビリティの接合点

216 国家資源ファンド・公的金融機関(JOGMEC, JBIC 等)のリスクマネー提供

216.1 序論:重要鉱物サプライチェーンと公的リスクマネーの必要性

216.2 カテゴリー1:国家資源ファンド・公的金融機関の位置づけ

- ① 政策目的とミッション
- ② JOGMEC・JBIC の役割の基本像

216.3 カテゴリー2:提供されるリスクマネーの形態

- ① 出資・持分参加
 - ② 劣後ローン・メザニンファイナンス
 - ③ 債務保証・保険
 - ④ インフラパッケージング
- 216.4 カテゴリー3: リスク分担と投資動員メカニズム
- ① 「先にリスクを取る」ことで民間資本を呼び込む
 - ② リスクタイプ別の分担
- 216.5 カテゴリー4: JOGMEC・JBIC による具体的支援類型(概念整理)
- ① JOGMEC
 - ② JBIC
- 216.6 カテゴリー5: ESG・トレーサビリティ・規制遵守との関係
- ① 公的資金による ESG 水準の底上げ
 - ② トレーサビリティと情報公開
- 216.7 カテゴリー6: 課題と今後の方向性
- ① 政治的制約と選別
 - ② 財政制約と優先順位付け
 - ③ 民間投資の「クラウディングアウト」懸念
- 216.8 結語: リスクマネーを通じた資源安全保障と市場形成
- 217 株式市場における鉱業 IPO 動向と評価倍率
- 217.1 序論: 重要鉱物ブームと株式市場の温度差
- 217.2 カテゴリー1: 鉱業 IPO 市場の周期性
- ① ブーム期と低迷期
 - ② 地域別の特徴
- 217.3 カテゴリー2: 評価倍率の基本的な考え方
- ① 生産企業とジュニア企業での評価軸の違い
 - ② マルチプル水準に影響する要因
- 217.4 カテゴリー3: 最近の IPO 動向に見られる傾向(概念整理)
- ① バッテリーメタル関連 IPO の特徴
 - ② ゴールド・ベースメタル IPO の相対評価
- 217.5 カテゴリー4: 評価倍率の水準感とディスカウント要因
- ① 上場時ディスカウントとポスト IPO パフォーマンス
 - ② ディスカウント要因の具体例
- 217.6 カテゴリー5: 資本市場構造の変化と今後の示唆
- ① 一般投資家から専門・長期投資家へのシフト
 - ② 鉱業 IPO を検討する企業への示唆
- 217.7 結語: 重要鉱物時代における鉱業 IPO と評価倍率の意味

218 上場マイニング企業のポートフォリオ再構築と非中核資産売却

218.1 序論:重要鉱物時代における戦略的ポートフォリオ再構築

218.2 カテゴリー1:ポートフォリオ再構築のドライバー

- ① マクロ・需要構造の変化
- ② 資本効率と投資家プレッシャー
- ③ ESG・レピュテーション要因

218.3 カテゴリー2:ポートフォリオ再構築の基本アプローチ

- ① コア資産と非中核資産の定義
- ② 価値評価と優先順位付け

218.4 カテゴリー3:非中核資産売却の手法と買い手層

- ① 売却手法
- ② 代表的な買い手

218.5 カテゴリー4:財務・資本市場へのインパクト

- ① バランスシートの軽量化と資本再配分
- ② 評価倍率・株主リターンへの効果

218.6 カテゴリー5:ESG・社会的側面からの含意

- ① 環境・気候戦略との整合
- ② 雇用・コミュニティへの影響管理

218.7 カテゴリー6:実務上のポイントと今後の方向性

- ① デール実行時の留意点
- ② 今後の方向性

219 鉱業信用リスクと国別カントリーリスクプレミアム

219.1 序論:鉱業投資における「二重のリスク」構造

219.2 カテゴリー1:鉱業固有の信用リスク要因

- ① 価格サイクルと収益ボラティリティ
- ② 技術・操業リスク
- ③ ESG・ライセンス・トゥ・オペレート

219.3 カテゴリー2:カントリーリスクの主要コンポーネント

- ① 政治・制度リスク
- ② マクロ・金融リスク
- ③ 社会・治安リスク

219.4 カテゴリー3:カントリーリスクプレミアムの考え方

- ① ソブリンスプレッドをベースにしたアプローチ
- ② プロジェクトファイナンスにおける反映

219.5 カテゴリー4:鉱種・プロジェクト特性とカントリーリスクの相互作用

- ① 戦略物質と資源ナショナリズム

② インフラ条件と隔絶性

③ ESG・社会受容性の地域差

219.6 カテゴリー5:信用リスク管理の実務的アプローチ

① ポートフォリオ分散とエクスポージャー管理

② 契約・ストラクチャリングによるリスク低減

③ ESG・ステークホルダーマネジメント

219.7 結語:信用リスクとカントリーリスクを統合した評価の重要性

220 重要鉱物関連 CAPEX 需要と資金ギャップの規模

220.1 序論:エネルギー転換が引き起こす前例のない投資需要

220.2 カテゴリー1:重要鉱物 CAPEX 需要の全体像

① エネルギー転換シナリオと金属需要

② CAPEX 需要の構成要素

220.3 カテゴリー2:資金供給の現状と構造的制約

① 伝統的鉱業ファイナンスの縮小圧力

② 新興国・高リスク地域での資金制約

220.4 カテゴリー3:資金ギャップの概念的規模

① 「必要投資」と「現実の投資」の乖離

② 上流と中流のギャップの違い

220.5 カテゴリー4:資金ギャップを生む要因

① 価格サイクルと「ブーム・バスト」行動

② ESG・規制要件の高度化

220.6 カテゴリー5:資金ギャップを埋めるためのファイナンス手法

① 公的金融・政策金融の役割

② オフテイクファイナンスと産業ユーザーの関与

③ グリーンファイナンス・トランジションファイナンス

220.7 カテゴリー6:戦略的含意

① 資金ギャップがもたらす供給制約リスク

② 企業・投資家にとっての機会とリスク

【 深海採掘・フロンティア資源 】

221 TMC(The Metals Company) 2027 年 Q4 商業採掘開始計画

221.1 序論:TMC のビジネスモデルと深海採掘構想

221.2 事業計画の骨格とタイムライン

① 採掘・揚鉱システムの想定

② 陸上処理・精錬との連携

221.3 規制環境と許認可の前提

① ISA 鉱業コードとの関係

② 国家レベルでの許認可・オフテイク

221.4 技術・環境リスクとプレミアム／ディスカウント要因

① パイロット試験とスケールアップ課題

② 環境影響と社会的ライセンス

221.5 資本市場・ファイナンスの視点

① プロジェクトファイナンスと資本コスト

② 戦略物資サプライチェーンへのインプリケーション

222 深海採掘の環境影響評価とモラトリアム議論

222.1 序論：深海採掘と環境規制をめぐる基本構図

222.2 深海採掘の環境影響評価：枠組みと手順

① 国際海底機構 (ISA) における EIA 要件

② EEZ 内プロジェクトにおける国内 EIA

222.3 主要な環境影響メカニズム

① 堆積物プルームと濁りの拡散

② 騒音・振動・光

③ 生息場の物理的破壊と不可逆性

④ 炭素・生物地球化学サイクルへの影響

222.4 科学的不確実性と EIA の限界

① 時間スケールと回復力

② 空間スケールと累積影響

③ ベースラインデータの不足

222.5 モラトリアム・予防的休止をめぐる国際的議論

① モラトリアム支持国とその主張

② 採掘推進派の立場と反論

222.6 ISA 交渉中での環境評価とモラトリアム論争

① 環境目標・環境しきい値の設定

② モラトリアム vs. 条件付き解禁

222.7 結語：環境影響評価とモラトリアムの関係性

223 深海採掘 5 つの優先課題（持続可能コンセンサス・グリーン技術・商業化保護・監視・ISA 強化）

223.1 持続可能なコンセンサス形成：深海を「開発するか・しないか」をめぐる社会的合意

223.2 グリーン技術としての深海採掘：技術基準とベストプラクティス

223.3 商業化と環境保護の両立：投資・保険・市場メカニズムの設計

223.4 監視・データ共有・適応的管理：リアルタイムで学習するガバナンス

223.5 ISA の制度強化と多層ガバナンス：深海を巡るルールメイキング能力の向上

224 15 年間国際海底探査契約の満期到来と更新問題

- 224.1 序論:15 年探査契約制度の基本構造
- 224.2 探査契約の延長メカニズムと条文上の論点
 - ① 延長の要件と裁量
 - ② 一部返還・縮減義務
- 224.3 満期到来がもたらす三つのシナリオ
 - ① シナリオ A: 条件付き延長の一般化
 - ② シナリオ B: 更新拒否・失効とその影響
 - ③ シナリオ C: 事実上の「無期限探査」化
- 224.4 探査契約更新問題が示す三つのリスク
 - ① 環境リスク: 探査の長期化による累積影響
 - ② ガバナンス・レピュテーションリスク
 - ③ 途上国・スポンサー国への影響
- 224.5 今後の方向性: 更新ルールの透明化と環境・開発の統合
- 225 海底マンガン団塊・コバルトリッチクラストの商業化見通し
- 225.1 序論: 二つの主要鉱種の位置づけ
- 225.2 海底マンガン団塊の商業化見通し
 - ① 技術的側面: スケールアップは可能だが不確実性が大きい
 - ② 規制・ガバナンス: ISA 採掘規則の遅延が最大のボトルネック
 - ③ 経済性・市場: 長期高価格シナリオでようやく本格投資
 - ④ ESG・社会的ライセンス: 採用側サプライチェーンが鍵
- 225.3 コバルトリッチクラストの商業化見通し
 - ① 資源ポテンシャルは高いが技術・環境ハードルが一段と高い
 - ② コバルト市場と代替トレンド
 - ③ タイムラインのイメージ
- 225.4 二つの鉱種を横断した商業化シナリオ
 - ① シナリオ 1: 規制整備と高価格が重なり限定的商業化
 - ② シナリオ 2: モラトリアムと代替技術の進展により商業化は先送り
 - ③ シナリオ 3: 地政学ショックによる急進的な採掘解禁
- 225.5 総括: 商業化見通しの現実的な位置づけ
- 226 深海採掘を巡る国際海底機構 (ISA) の議論
- 226.1 序論: ISA の役割と現在地
- 226.2 採掘規則 (鉱業コード) 策定を巡る議論
 - ① 2 年ルールとスケジュール圧力
 - ② 主要論点: 環境、利益配分、コンプライアンス
- 226.3 環境保護・モラトリアムを巡る対立
 - ① モラトリアム／予防的休止を求める動き

② 採掘推進派の立場

226.4 利益配分・途上国参加に関する議論

① 「人類共通の財産」としての利益配分

② スポンサー国としての島嶼国のジレンマ

226.5 ガバナンス・透明性・市民社会参加を巡る議論

① 交渉の公開性とオブザーバーの役割

② 監視・コンプライアンス体制の強化

226.6 主要プレイヤーの戦略とISA 内部の力学

① 中国・欧州・島嶼国などの立場

② 米国とISA の関係

226.7 結語:ISA 議論の含意と今後の焦点

227 深海採掘のプレフィージビリティ・スタディ(世界初・TMC)

227.1 序論:プレフィージビリティ・スタディの位置づけ

227.2 PFS の技術的前提:採鉱・揚鉱・処理の統合チェーン

① 海底採鉱・揚鉱システムの前提

② 陸上処理・冶金プロセス

227.3 経済性評価:CAPEX・OPEX と金属価格前提

① CAPEX 構造と投資額のオーダー

② OPEX とキャッシュコスト

③ 収益と NPV・IRR

227.4 リスク評価:規制・ESG・技術不確実性

① 規制・ガバナンスリスク

② ESG・社会的ライセンス

③ 技術成熟度とスケジュールリスク

227.5 PFS の意義と限界

① 意義:深海採掘を「投資可能なプロジェクト」として可視化

② 限界:規制・社会的受容が前提条件として残る

227.6 総括:TMC の PFS が示す深海採掘の将来像

228 ナウル・オーシャン・リソースズの ISA 開発申請

228.1 序論:ナウル・オーシャン・リソースズと TMC グループの位置づけ

228.2 NORI 探査契約と「2 年ルール」発動

① 探査契約の概要

② ナウルによる「2 年ルール」発動

228.3 NORI の ISA 開発申請の性格と手続き

① 採掘申請の準備プロセス

② 「規則未整備下」での申請の意味

228.4 国際政治・環境 NGO からの反応

- ① モラトリアム要求の高まり
- ② 小島嶼開発途上国としてのナウルの立場

228.5 ISA 交渉へのインパクト

- ① 鉱業コード策定スケジュールの前倒し圧力
- ② 透明性・参加をめぐる議論

228.6 鉱業金融・資本市場から見た評価

- ① 規制・ESG リスクの可視化
- ② 戦略物資としての期待とのギャップ

229 米国行政命令による国家管轄外深海鉱物採取加速

229.1 序論：行政命令の背景と基本的な位置づけ

229.2 行政命令の主な柱

- ① 国内法制・許認可プロセスの整備
- ② 重要鉱物安全保障と産業政策の連結

229.3 国際海底機構 (ISA) との関係と法的含意

- ① UNCLOS 非締約国としてのスタンス
- ② ISA 交渉への圧力と分断リスク

229.4 技術・環境・産業への波及効果

- ① 技術開発と民間企業へのシグナル
- ② 環境・ESG リスクの顕在化

229.5 鉱業金融・資本市場・サプライチェーンへの含意

- ① 資本コストとリスクプレミアム
- ② 重要鉱物サプライチェーン多様化の選択肢

229.6 結語：国家安全保障と海洋ガバナンスの交差点としての深海採掘

230 米国行政命令による国家管轄外深海鉱物採取加速

230.1 序論：行政命令の背景と基本的な位置づけ

230.2 行政命令の主な柱

- ① 国内法制・許認可プロセスの整備
- ② 重要鉱物安全保障と産業政策の連結

230.3 国際海底機構 (ISA) との関係と法的含意

- ① UNCLOS 非締約国としてのスタンス
- ② ISA 交渉への圧力と分断リスク

230.4 技術・環境・産業への波及効果

- ① 技術開発と民間企業へのシグナル
- ② 環境・ESG リスクの顕在化

230.5 鉱業金融・資本市場・サプライチェーンへの含意

- ① 資本コストとリスクプレミアム
- ② 重要鉱物サプライチェーン多様化の選択肢
- 230.6 結語: 国家安全保障と海洋ガバナンスの交差点としての深海採掘
- 231 中国五鉱集団の深海・深地鉱物イノベーション同盟
- 231.1 序論: 中国五鉱集団の戦略的位置づけ
- 231.2 同盟の構成とガバナンス
 - ① 参加主体と役割分担
 - ② トップダウン型の国家プロジェクトとしての性格
- 231.3 技術開発の焦点: 深地と深海の統合アプローチ
 - ① 深地鉱物(Deep Earth)領域
 - ② 深海鉱物(Deep Sea)領域
- 231.4 中国の深海戦略との接続
 - ① ISA 枠組み内での「埋め込み型多国間戦略」
 - ② 「海洋強国」戦略と青い科学
- 231.5 鉱業金融・ファイナンス面での含意
 - ① 国家主導の資本動員とリスク分担
 - ② クリティカルミネラル支配力強化の一環
- 231.6 環境・ガバナンス上の論点
 - ① 深海環境への影響と国際的懸念
 - ② 国際ガバナンスとの関係
- 231.7 総括: 深海・深地イノベーション同盟の意味
- 232 ポリメタリック・ノジュール(Cu, Ni, Co, Mn, REE 含有)
- 232.1 概要: ポリメタリック・ノジュールとは何か
- 232.2 産状と分布: クラリオン・クリッパートン断裂帯を中心に
 - ① 主要分布域
 - ② 典型的な化学組成(概念的イメージ)
- 232.3 成因と物性: 堆積プロセスと鉱物学的特徴
 - ① 成因モデル
 - ② 物性と処理上の意味
- 232.4 採掘・揚鉱・処理技術の概要
 - ① 採掘・揚鉱システム
 - ② 選鉱・冶金プロセス
- 232.5 経済性とサプライチェーン上の位置づけ
 - ① 陸上鉱山との比較
 - ② クリティカルミネラル戦略における役割
- 232.6 環境・ガバナンスの課題

- ① 深海生態系への影響
- ② 国際ガバナンスとモラトリアム論争
- 233 コバルトリッチクラストの資源ポテンシャル
- 233.1 概要:コバルトリッチクラストとは何か
- 233.2 資源量と品位のポテンシャル
 - ① 推定資源量のオーダー
 - ② クリティカルメタルの含有
- 233.3 成因・産状と採掘上の特徴
 - ① 成因と鉱物学的特徴
 - ② 採掘上の制約と利点
- 233.4 クリティカルミネラル戦略における意味
 - ① コバルト供給の多様化
 - ② 多金属性とバリューチェーン連結
- 233.5 経済性・技術成熟度・環境リスクの三軸評価
 - ① 経済性と技術成熟度
 - ② 環境・ガバナンスリスク
- 233.6 総合的評価:長期オプションとしての位置づけ
- 234 熱水鉱床の商業化可能性
- 234.1 1 熱水鉱床の特徴と資源ポテンシャル
- 234.2 2 技術面から見た商業化の条件
 - ① 採鉱・揚鉱技術
 - ② 冶金・処理技術
- 234.3 3 経済性:陸上鉱山との比較とスケールの問題
 - ① CAPEX・OPEX とスケールメリット
 - ② 価格サイクルへの感応度
- 234.4 4 環境・社会的ライセンスの観点
 - ① 熱水噴出口生態系への影響
 - ② 社会的受容と地域コミュニティ
- 234.5 5 ガバナンス・規制枠組みの状況
 - ① 公海・ISA 枠組み
 - ② EEZ 内での規制
- 234.6 6 総合評価:熱水鉱床の商業化は「条件付きの可能性」
- 235 NOAA 深海調査の科学→採掘シフト論争
- 235.1 序論:NOAA と深海調査の役割
- 235.2 NOAA 深海調査の歴史的文脈
 - ① 基礎科学・公共目的としての深海探査

② 資源評価との接続

235.3 近年の政策変化と「採掘シフト」懸念

① 重要鉱物戦略と深海資源

② 予算配分とミッションの再定義

235.4 科学コミュニティ・NGO からの批判と懸念

① 独立した科学の信頼性への影響

② 深海保全と予防原則

235.5 NOAA・米政府側の論理と反論

① 「知見なき決定を避けるための科学」という主張

② 重要鉱物安全保障との両立

235.6 今後の論点と深海ガバナンスへの含意

① 研究資金の出所と利益相反

② 国際協力と多国間枠組みへの影響

③ 結語：科学と資源政策の境界管理

236 国際海底機構 (ISA) の開発規制交渉の進展

236.1 1 国際海底機構と「鉱業コード」の位置づけ

236.2 2 「2 年ルール」と鉱業コード交渉の加速

① 2.1 2 年ルール発動の経緯

② 2.2 29・30 会期に向けた交渉の本格化

236.3 3 モラトリアム／予防的休止を巡る力学

① 3.1 モラトリアム支持国の拡大

② 3.2 採掘推進派と国家レベルの動き

236.4 4 交渉の主要論点：環境保護・利益配分・ガバナンス

① 4.1 環境保護と科学的知見

② 4.2 公共財としての利益配分

③ 4.3 ガバナンス・透明性とオブザーバーの役割

236.5 5 鉱業金融・資本市場への含意

① 5.1 規制不確実性と投資判断

② 5.2 戦略物資供給と ESG のトレードオフ

236.6 6 今後の見通し

【 サーキュラーエコノミー・リサイクル・代替戦略・都市鉱山 】

237 都市鉱山と一次資源の補完関係・経済性評価

237.1 序論：都市鉱山は「第二の鉱床」

237.2 都市鉱山と一次資源の特徴比較

① 品位・集中度・アクセス性

② コスト構造とリスクプロファイル

237.3 補完関係の具体的なメカニズム

- ① 価格サイクルとスクラップ供給
- ② 品質・用途ごとの役割分担

237.4 都市鉱山の経済性評価:コスト構造と閾値

- ① 経済性を決める主な要因
- ② 閾値価格とスイッチング・ポイント

237.5 マクロ経済的評価:社会的コスト・便益の観点

- ① 環境外部性を内部化した場合の比較
- ② 雇用・産業構造への影響

237.6 政策的インプリケーション:補完関係を前提とした設計

- ① 都市鉱山のポテンシャルを最大化する政策
- ② 一次資源との整合的ガバナンス

238 都市鉱山・リサイクル拠点としての先進国の再定義

238.1 問題設定と従来パラダイムの限界

238.2 都市鉱山概念とストック視点

- ① 都市鉱山とは何か
- ② スtockベース思考への転換

238.3 先進国をリサイクル拠点として再定義する論理

- ① 資源安全保障とサプライチェーン戦略
- ② サーキュラーエコノミーの中核ノード

238.4 都市鉱山型サプライチェーンの構造

- ① 物質フローの再設計
- ② 拠点機能のレイヤー

238.5 先進国の強みと制約

- ① 強み:技術・インフラ・制度
- ② 制約:コスト構造と社会受容性

238.6 重要原材料別の都市鉱山ポテンシャル

238.7 ガバナンスと政策枠組み

- ① 回収と循環を支える規制・制度
- ② 経済インセンティブとファイナンス

238.8 企業戦略としての「都市鉱山化」

- ① 原材料ポジションとビジネスモデル
- ② デジタル技術とトレーサビリティ

238.9 グローバルな分業と公正性

- ① リサイクルの国際分業
- ② グローバルサウスとの関係再構築

238.10 評価指標とモニタリング

238.11 展望:先進国モデルの再構築

239 レアメタル輸出規制と代替調達・リサイクルの加速

239.1 問題設定と基本構図

239.2 レアメタル輸出規制の背景と特徴

- ① 地政学・産業政策としての輸出規制
- ② レアメタル特有の脆弱性

239.3 代替調達戦略:供給源と取引関係の多元化

- ① 地理的多角化と「フレンドシェアリング」
- ② 上流投資とサプライチェーンの統合
- ③ 貿易政策とストラテジックストック

239.4 レアメタルリサイクル加速の必然性

- ① 都市鉱山としての役割
- ② 技術的課題とイノベーション領域

239.5 代替材料・代替技術の開発

- ① 機能要求と代替可能性
- ② 代表的な代替方向

239.6 政策の役割:規制ショックを「移行ドライバー」に変える

- ① 研究開発支援と市場創出
- ② 経済インセンティブとリスクヘッジ

239.7 ビジネスモデルの変容:線形から循環へ

- ① メーカー側の戦略オプション
- ② 金融・投資の視点

239.8 レアメタル輸出規制を前提にしたサプライチェーン像

- ① フロー構造の再設計
- ② リスクから機会へ

239.9 結語

240 日本企業のサーキュラーエコノミー実装ポテンシャル(都市鉱山等)

240.1 日本の構造的特徴と前提条件

240.2 都市鉱山ポテンシャル:ストックと産業構造

- ① インフラ・建築・輸送ストック
- ② 電子機器・家電・産業機械の集積

240.3 日本企業の強み:技術・オペレーション・制度対応力

- ① 高度な材料・プロセス技術
- ② 精緻なサプライチェーン管理と品質保証
- ③ 規制対応と省資源設計の経験

240.4 都市鉱山を軸にしたビジネス機会

- ① 高度リサイクル・精錬クラスター
- ② リマニュファクチャリング・サービス化
- ③ デジタルプラットフォームとトレーサビリティ

240.5 制約要因と克服すべき課題

- ① 経済性とスケールの問題
- ② 規制・制度の複雑さとインセンティブ設計
- ③ 人材・組織・文化

240.6 日本企業にとっての戦略的方向性

- ① 「素材ポジション管理企業」としての進化
- ② 連携・エコシステム型アプローチ

240.7 まとめ:日本企業が持つポテンシャルの位置づけ

241 2026 年新設リサイクル施設の数と生産量の注視ポイント

241.1 問題設定と全体フレーム

241.2 マクロ指標としての「数」と「能力」の読み方

- ① 設備投資サイクルと需要シグナル
- ② 稼働率と立ち上がりパターン

241.3 素材別の注視ポイント

- ① バッテリー・レアメタル系リサイクル
- ② 鉄鋼・アルミ・銅などバルク金属
- ③ 電子機器・WEEE・複合材

241.4 技術・プロセス面の注視ポイント

- ① プロセスの成熟度と差別化要因
- ② デジタル・自動化との連動

241.5 ビジネスモデル・原料調達の観点

- ① 原料確保のスキーム
- ② 収益構造の多様化

241.6 地域分布と地政学的意味

- ① 地域クラスターと物流
- ② 一次資源国との補完・競合関係

241.7 政策・規制との整合性

- ① 循環・気候目標とのリンク
- ② 規制の質と社会受容性

241.8 投資・企業戦略の観点からのチェックリスト

242 オハイオ州 EV 電池リサイクル施設拡張(年間 20 万台分 CMM 供給)

242.1 位置づけと前提条件

242.2 能力規模のイメージと CMM の意味

- ① 年間 20 万台分というスケール
- ② CMM(クリティカル・ミネラル混合物)の役割

242.3 サプライチェーン上の位置づけ

- ① 北米 EV クラスタととの連動
- ② OEM・電池メーカーとの契約構造

242.4 技術・プロセスの観点

- ① 前処理～CMM 生成プロセス
- ② CMM からの精錬・再資源化との接続

242.5 サーキュラーエコノミー・代替戦略への貢献

- ① 一次資源依存度の低減
- ② 都市鉱山・地域循環モデルの構築

242.6 ガバナンス・政策とのインターフェース

- ① インフレ抑制法(IRA)等との連動
- ② 環境・安全規制と社会受容性

242.7 リスクと不確実性

- ① 原料発生タイミングのミスマッチ
- ② 技術変化とケミストリシフト

242.8 戦略的含意

243 技術革新・代替材料・リサイクルが需要に与える抑制効果

243.1 問題設定と基本メカニズム

243.2 技術革新による材料使用効率化

- ① 材料効率と設計革新
- ② バッテリー・半導体・モーターの例

243.3 代替材料・代替技術の需要抑制効果

- ① 代替材料による「依存度の分散」
- ② 代替技術・システムシフト

243.4 リサイクル・再利用による一次資源需要の代替

- ① 二次資源供給と「見かけの需要」
- ② セクター別の効果イメージ

243.5 三要素の相互作用とマクロ需要の姿

- ① 重複とトレードオフ
- ② 需要シナリオへの組み込み

243.6 戦略的含意

244 先端ハイドロメタラジーによるリサイクル高度化

244.1 問題設定とハイドロメタラジーの位置づけ

244.2 ハイドロメタラジーの基本構成と従来プロセスの限界

① 典型的フロー

244.3 先端ハイドロメタラジーの技術要素

① 選択的浸出技術の高度化

② 溶媒抽出・イオン交換・イオン液体

③ メンブレン技術・電気化学的分離

244.4 重要原材料リサイクルにおける適用分野

① EV 電池・蓄電池リサイクル

② レアアース磁石・電子スクラップ

③ 触媒・メタルスクラップ・副産物

244.5 環境・経済性の評価

① 環境負荷と安全性

② 経済性とスケール

244.6 サプライチェーン・政策・企業戦略へのインプリケーション

① 重要原材料供給への寄与

② 企業にとっての戦略的機会

244.7 おわりに

245 LCA 視点でのリサイクル環境便益定量化

245.1 問題設定と LCA の基本フレーム

245.2 機能単位とシステム境界の設定

① 機能単位の選び方

② システム境界の取り方

245.3 リサイクルクレジットの扱いと主要アプローチ

① カットオフアプローチ

② 代替法(サブスティテューション法)

③ 共有(割当)アプローチ

245.4 環境指標の選定と算定手順

① 代表的な環境指標

② 算定の基本ステップ

245.5 ケース別の環境便益イメージ

① バルク金属:アルミニウム・銅・鉄鋼

② EV バッテリー・レアメタル

245.6 不確実性・限界と実務上の留意点

① データ品質と地域性

② 市場代替仮定とシステム拡張

③ リサイクル以外の戦略との比較

245.7 戦略的な活用の方向性

246 バッテリー・リサイクル市場の成長機会と素材循環ビジネス

246.1 1. EV シフトとバッテリー循環需要の立ち上がり

246.2 2. バリューチェーン構造と主要プレーヤー

① 2-1. 素材循環バリューチェーンの分解

② 2-2. OEM／セルメーカーのクローズドループ戦略

246.3 3. 成長機会①: 製造スクラップ起点の早期市場

① 3-1. ギガファクトリー周辺のリサイクル需要

② 3-2. 高純度素材ビジネスとしての位置づけ

246.4 4. 成長機会②: 廃車由来 EV バッテリーと都市鉱山

① 4-1. EV 普及と廃電池フローの時間軸

② 4-2. セカンドライフとリサイクルの最適配分

246.5 5. 成長機会③: 地域クラスターとグローバル・ハブ

① 5-1. 地域クラスター形成

② 5-2. グローバル・リサイクルハブと貿易

246.6 6. 素材循環ビジネスモデルの類型

① 6-1. トールリサイクル(受託処理)モデル

② 6-2. マーチャント(自己勘定)モデル

③ 6-3. 垂直統合・クローズドループモデル

④ 6-4. サービス・プラットフォームモデル

246.7 7. 技術・規制・ファイナンス面のキーファクター

① 7-1. 技術面: 回収率・コスト・柔軟性

② 7-2. 規制・政策面: 義務化とインセンティブ

③ 7-3. ファイナンス: 長期性と不確実性

246.8 8. 素材循環ビジネスとしての戦略的示唆

247 バッテリー・リサイクル市場の成長機会と素材循環ビジネス

247.1 1. EV シフトとバッテリー循環需要の立ち上がり

247.2 2. バリューチェーン構造と主要プレーヤー

① 2-1. 素材循環バリューチェーンの分解

② 2-2. OEM／セルメーカーのクローズドループ戦略

247.3 3. 成長機会①: 製造スクラップ起点の早期市場

① 3-1. ギガファクトリー周辺のリサイクル需要

② 3-2. 高純度素材ビジネスとしての位置づけ

247.4 4. 成長機会②: 廃車由来 EV バッテリーと都市鉱山

① 4-1. EV 普及と廃電池フローの時間軸

② 4-2. セカンドライフとリサイクルの最適配分

247.5 5. 成長機会③: 地域クラスターとグローバル・ハブ

- ① 5-1. 地域クラスター形成
- ② 5-2. グローバル・リサイクルハブと貿易

247.6 6. 素材循環ビジネスモデルの類型

- ① 6-1. トールリサイクル(受託処理)モデル
- ② 6-2. マーチャント(自己勘定)モデル
- ③ 6-3. 垂直統合・クローズドループモデル
- ④ 6-4. サービス・プラットフォームモデル

247.7 7. 技術・規制・ファイナンス面のキーファクター

- ① 7-1. 技術面: 回収率・コスト・柔軟性
- ② 7-2. 規制・政策面: 義務化とインセンティブ
- ③ 7-3. ファイナンス: 長期性と不確実性

247.8 8. 素材循環ビジネスとしての戦略的示唆

248 バージン材料価格・規制変化がリサイクル採算に与える影響

248.1 序論: リサイクル採算は「相対ゲーム」で決まる

248.2 バージン材料価格が与える直接的影響

- ① 価格水準とスクラップ価値
- ② 価格ボラティリティと投資判断

248.3 規制変化がバージン材料の「実効コスト」を押し上げるメカニズム

- ① 環境規制・炭素価格の強化
- ② 貿易規制・資源ナショナリズム
- ③ 廃棄物規制と埋立コスト

248.4 リサイクル採算への規制インセンティブの影響

- ① 拡大生産者責任(EPR)とリサイクル義務
- ② サーキュラー・プロキュアメントとラベリング

248.5 バージン価格と規制を組み合わせた採算シナリオ

- ① シナリオ A: 高バージン価格+規制強化=リサイクル急拡大
- ② シナリオ B: 低バージン価格+規制緩和=リサイクル停滞
- ③ シナリオ C: 価格は中立だが規制で差別化=「政策ドリブン型」リサイクル

248.6 企業戦略・政策デザインへの含意

- ① 企業側の対応
- ② 政策側の設計ポイント

249 社内インセンティブ設計(リサイクル・代替材利用促進)

249.1 1. 前提整理: インセンティブ設計の目的と難所

249.2 2. インセンティブ設計の基本フレーム

249.3 2-1. 経営目標から KPI へのブレークダウン

- 249.4 2-2. インセンティブの4層
- 249.5 3. 機能別インセンティブ設計
- 249.6 3-1. 調達・サプライチェーン部門
 - ① 役割と課題
 - ② インセンティブ案
- 249.7 3-2. 研究開発・設計部門
 - ① 役割と課題
 - ② インセンティブ案
- 249.8 3-3. 製造・オペレーション部門
 - ① 役割と課題
 - ② インセンティブ案
- 249.9 3-4. 営業・マーケティング部門
 - ① 役割と課題
 - ② インセンティブ案
- 249.10 4. 社内価格シグナル:炭素・資源の内部コスト化
- 249.11 4-1. 社内炭素価格
- 249.12 4-2. 社内マテリアルプライシング
- 249.13 5. ガバナンス・組織とプロセス設計
- 249.14 5-1. 横断的資源戦略委員会
- 249.15 5-2. プロジェクトと予算枠
- 249.16 6. データ可視化とインセンティブの連動
- 249.17 6-1. 指標ダッシュボード
- 249.18 6-2. 成功事例の定量化
- 249.19 7. 文化・行動の側面
- 249.20 7-1. 実験を評価する風土
- 249.21 7-2. ロールモデルとナラティブ
- 249.22 8. 総括:社内インセンティブ設計の鍵
- 250 技術ロードマップとマテリアルロードマップの統合
- 250.1 1. 統合が求められる背景と基本概念
- 250.2 2. 技術ロードマップとマテリアルロードマップの構造
- 250.3 2-1. 技術ロードマップの典型構造
- 250.4 2-2. マテリアルロードマップの典型構造
- 250.5 3. 統合の狙い:三つの一致を取る
- 250.6 4. 統合ロードマップの設計プロセス
- 250.7 4-1. 共通シナリオの設定
- 250.8 4-2. 技術オプションと材料オプションのマトリクス化

- 250.9 4-3. タイムライン統合
- 250.10 5. 統合ロードマップの構造例
- 250.11 5-1. 多層構造の例
- 250.12 5-2. 意思決定との接続
- 250.13 6. 組織・プロセス側の要件
- 250.14 6-1. 部門横断チームの設置
- 250.15 6-2. データとツール
- 250.16 7. サーキュラーエコノミー視点での統合ポイント
- 250.17 7-1. リサイクル・再生材のタイミング
- 250.18 7-2. 代替材料のトランジション設計
- 250.19 7-3. LCA・資源指標を評価軸に組み込む
- 250.20 8. 終わりに: 統合ロードマップの戦略的意義
- 251 技術ブレークスルーにより特定鉱種需要が急変するシナリオ
- 251.1 1. 問題設定と基本フレーム
- 251.2 2. ブレークスルーの類型と需要への影響パターン
- 251.3 2-1. 性能向上型ブレークスルー
- 251.4 2-2. 置換型ブレークスルー
- 251.5 2-3. 機能転換・システムシフト型ブレークスルー
- 251.6 3. 代表的シナリオ: EV 電池分野
- 251.7 3-1. 高ニッケル系と LFP/Na イオンの攻防
 - ① シナリオ A: 高ニッケル固体電池ブレークスルー
 - ② シナリオ B: LFP+Na イオンへの転換
- 251.8 3-2. バッテリー材料ブレークスルーとリサイクルへの波及
- 251.9 4. 代表的シナリオ: 磁石・モーター分野
- 251.10 4-1. レアアース削減・フリー磁石の進展
 - ① シナリオ C: 重希土類削減磁石の普及
 - ② シナリオ D: レアアースフリー磁石・モーターのブレークスルー
- 251.11 5. 代表的シナリオ: 半導体・パワーエレクトロニクス
- 251.12 5-1. ワイドバンドギャップ半導体の普及
- 251.13 5-2. チップレット・3D 集積と材料変化
- 251.14 6. 代表的シナリオ: 構造材料・建設・水素分野
- 251.15 6-1. グリーンスチール・アルミ・セメントの技術革新
- 251.16 6-2. 水素技術と金属材料
- 251.17 7. サプライチェーン・サーキュラー戦略への含意
- 251.18 7-1. ポートフォリオ思考と柔軟性の確保
- 251.19 7-2. モジュール化されたりリサイクル・精錬設備

251.20 7-3. シナリオプランニングと早期シグナルの監視

251.21 8. 結語

252 サーキュラー化が進み一次資源需要がピークアウトするシナリオ

252.1 サーキュラー化と一次資源ピークアウトの関係

252.2 一次資源需要を押し下げる四つのレバー

- ① レバー1: 材料効率と設計の高度化
- ② レバー2: 製品寿命延長と再利用
- ③ レバー3: リサイクルと二次資源供給
- ④ レバー4: 代替材料とサービス化

252.3 セクター別に見た一次資源ピークアウトのパス

- ① EV・バッテリー分野
- ② 再エネ・インフラ分野
- ③ 建設・都市インフラ分野

252.4 一次資源ピークアウトの典型シナリオ構造

- ① シナリオ A: 高サーキュラー・高技術進展ケース
- ② シナリオ B: 部分サーキュラー・中間ケース
- ③ シナリオ C: 低サーキュラー・一次依存継続ケース

252.5 ピークアウトを実現するための条件

- ① 政策・規制面の条件
- ② 企業戦略・ビジネスモデル面の条件
- ③ 技術・インフラ面の条件

252.6 一次資源ピークアウトがもたらす影響

- ① 資源産業・産地国への影響
- ② 製造業・ユーザー産業への影響
- ③ 環境・社会への影響

252.7 終わりに

253 日本発スタートアップの技術(リサイクル・精錬・新材料)

253.1 全体像と位置づけ

253.2 リサイクル技術系スタートアップ

253.3 EV バッテリー・二次電池リサイクル

253.4 電子スクラップ・レアメタルリサイクル

253.5 精錬・分離プロセス系スタートアップ

253.6 先端ハイドロメタラジー・イオン液体利用

253.7 低炭素精錬・プロセス革新

253.8 新材料・代替材料系スタートアップ

253.9 代替材料・低クリティカルミネラル材料

- 253.10 サステナブル材料・バイオベース材料
- 253.11 デジタル連携・プラットフォーム系の動き
- 253.12 トレーサビリティ・LCA プラットフォーム
- 253.13 マテリアル・インフォマティクスと設計支援
- 253.14 日本発スタートアップの特徴と課題
- 253.15 強みとなるポイント
- 253.16 直面する課題
- 253.17 サーキュラーエコノミー戦略における位置づけ
- 254 炭素税・CBAM と金属精錬産業への影響
 - 254.1 炭素価格制度と金属精錬の前提
 - 254.2 炭素税がもたらすコスト構造の変化
 - ① 直接排出と電力起源 CO₂ のコスト化
 - ② 投資判断への影響
 - 254.3 CBAM の仕組みと金属精錬への影響
 - ① CBAM の基本概念
 - ② サプライチェーン再編のメカニズム
 - 254.4 サーキュラーエコノミーへの波及効果
 - ① 二次資源・電炉・湿式プロセスの相対優位
 - ② 製品設計とサプライチェーンへのフィードバック
 - 254.5 地域別の影響と戦略オプション
 - ① 高炭素エネルギーミックス国
 - ② 低炭素電力・高環境基準国
 - 254.6 金属精錬企業に求められる対応
 - ① 技術・プロセス面
 - ② ビジネスモデル・ガバナンス面
 - 254.7 結語
- 255 技術的失敗(精錬技術・リサイクル技術の実用化遅延)リスク
 - 255.1 前提整理:なぜ「技術的失敗リスク」が重要か
 - 255.2 リスクの種類:どこで「失敗」が起こりうるか
 - 255.3 技術成熟度(TRL)ギャップに起因するリスク
 - 255.4 経済性・採算性に関するリスク
 - 255.5 品質・信頼性に関するリスク
 - 255.6 規制・安全・環境要件に関するリスク
 - 255.7 典型的な失敗シナリオ
 - 255.8 シナリオ 1:EV バッテリーリサイクルの立ち上がり遅延
 - 255.9 シナリオ 2:低炭素精錬技術の商用化遅延

- 255.10 シナリオ 3:代替材料技術の不発
- 255.11 リスクがサプライチェーン全体に与える連鎖
- 255.12 需給ギャップと価格ボラティリティの長期化
- 255.13 規制・政策とのミスマッチ
- 255.14 ストランデッド・アセット(座礁資産)リスク
- 255.15 技術的失敗リスクへの対応戦略
- 255.16 ポートフォリオアプローチ
- 255.17 段階的スケールアップと「学習投資」の明確化
- 255.18 柔軟な設備設計と転用可能性
- 255.19 共同開発・リスクシェアリング
- 255.20 シナリオプランニングと「バックアッププラン」
- 255.21 結語
- 256 LCA・トレーサビリティ・ブロックチェーンによるサプライチェーン可視化
 - 256.1 背景と問題設定
 - 256.2 LCA による環境負荷の定量化
 - 256.3 LCA の役割
 - 256.4 LCA データの構造と課題
 - 256.5 トレーサビリティによる履歴管理
 - 256.6 トレーサビリティの目的
 - 256.7 実装のポイント
 - 256.8 ブロックチェーンの役割と限界
 - 256.9 ブロックチェーンを用いる意義
 - 256.10 ブロックチェーン導入の留意点
 - 256.11 三者統合による「可視化プラットフォーム」の姿
 - 256.12 データ構造の統合イメージ
 - 256.13 可視化レイヤーでの活用
 - 256.14 サーキュラーエコノミー推進への貢献
 - 256.15 再生材・代替材の「信頼性」の見える化
 - 256.16 クローズドループの設計と運用
 - 256.17 ガバナンス・規制対応と国際連携
 - 256.18 政策・規制との接続
 - 256.19 国際標準・相互運用性の重要性
 - 256.20 実務上の課題と現実的な進め方
 - 256.21 データ負荷・コストとスコープ設定
 - 256.22 インセンティブ設計とガバナンス
 - 256.23 結語

257 次世代パワー半導体材料(ダイヤモンド等)の研究開発

257.1 次世代パワー半導体の位置づけと要求性能

257.2 ダイヤモンドパワーデバイスの研究開発

257.3 物性とポテンシャル

257.4 技術的課題

257.5 研究開発の方向性

257.6 他の次世代パワー半導体材料

257.7 酸化ガリウム(Ga₂O₃)

257.8 酸化亜鉛(ZnO)・他のウルトラワイドバンドギャップ材料

257.9 サーキュラーエコノミー・重要原材料の観点

257.10 資源制約と代替戦略

257.11 高効率化による間接的な資源・環境インパクト

257.12 リサイクル・回収の観点

257.13 デバイス・モジュールレベルでの課題

257.14 ウェハ・スクラップのリサイクル

257.15 研究開発・産業化のロードマップの考え方

257.16 フェーズ別の進展イメージ

257.17 政策・エコシステムの役割

257.18 終わりに

258 デザイン・フォー・リサイクル(DfR)と材料選択

258.1 序論:DfRは資源戦略と設計の接点である

258.2 DfRの基本原則と設計指針

- ① 分解容易性と部品アクセス性
- ② 材料の単純化と材料インベントリ管理
- ③ 有害物質・トレーサビリティの設計

258.3 材料選択におけるトレードオフ

- ① 機能・コスト・リサイクル性の三角形
- ② 希少材料の集約と「濃縮」の発想

258.4 具体的なDfR手法と設計プロセスへの組み込み

- ① 設計段階でのチェックリスト化
- ② CAD・PLMと連携した材料情報管理
- ③ リサイクル事業者との共同設計

258.5 DfRが重要原材料・戦略物質供給網にもたらす効果

- ① 二次資源ポテンシャルの内蔵化
- ② 規制・市場要求への適応力

258.6 結語:DfRと材料選択は設計文化そのものの変革である

259 リユース・リファーマビリティを含む素材需要抑制戦略

259.1 序論：需要抑制は「見えない資源開発」である

259.2 リユース・リファーマビリティが素材需要を抑えるメカニズム

- ① 使用期間延長による新規生産の回避
- ② スtockとフローの関係

259.3 リユース・リファーマビリティの実務モデル

- ① リユースモデル（そのまま再使用）
- ② リファーマビリティ／リマニュファクチャリングモデル

259.4 素材需要抑制戦略としての設計・ビジネス上の要件

- ① 製品設計側の要件
- ② ビジネスモデル・ロジスティクスの要件

259.5 マクロ視点で見た効果と限界

- ① 効果：ピーク需要の平準化と資源安全保障
- ② 限界：技術進歩・効率性とのトレードオフ

259.6 政策・企業戦略へのインプリケーション

- ① 政策側の手段
- ② 企業戦略としての位置づけ

259.7 結語：リユース・リファーマビリティは「資源戦略の第一線」

260 二次資源取引市場・プラットフォームの形成

260.1 序論：二次資源市場はサーキュラー経済の「血流」である

260.2 二次資源取引市場・プラットフォームの基本機能

- ① 情報の集約とマッチング
- ② 価格形成と指標化

260.3 プラットフォーム設計の技術・制度要件

- ① 品質標準と認証スキーム
- ② デジタルインフラとトレーサビリティ
- ③ 契約・決済・リスク管理

260.4 二次資源市場がもたらすサプライチェーン上の効果

- ① 再生材利用の拡大とコスト削減
- ② 地域循環と地政学リスクの低減

260.5 政策・ガバナンスの役割

- ① 透明性・公平性を担保するルール整備
- ② 市場創出のための初期支援

260.6 結語：二次資源プラットフォームはサーキュラー戦略のインフラ

261 サークュラー設計を前提とした新しいビジネスモデル

261.1 序論：サーキュラー設計がビジネスモデルを変える

261.2 プロダクト・アズ・ア・サービス (PaaS) モデル

- ① 特徴と前提設計
- ② 資源・収益の観点

261.3 モジュールアップグレード／リファーマビリティ・モデル

- ① モジュール化を前提にした価値維持
- ② 事業構造とサプライチェーン

261.4 クローズドループ・マテリアル・モデル

- ① 自社内リサイクルを組み込んだモデル
- ② 戦略物質の確保とブランド価値

261.5 シェアリング・プラットフォーム型モデル

- ① アセット共用と設計要件
- ② 重要原材料需要への影響

261.6 デジタルパスポート・データ駆動型モデル

- ① 製品・材料データを軸としたサービス
- ② 収益機会とエコシステム

261.7 結語：サーキュラー設計はビジネスモデルの前提条件へ

262 「素材アズサービス」(MaaS) 的ビジネスの可能性

262.1 序論：素材を「所有」から「機能利用」へ

262.2 MaaS モデルの基本構造

- ① 契約単位と価値提供の整理
- ② 従来モデルとの違い

262.3 MaaS が重要原材料・戦略物質に与えるインパクト

- ① 素材ストックの戦略的管理
- ② 需要側のリスク低減

262.4 MaaS 成立のための設計・技術要件

- ① トレーサビリティと計測・監視
- ② 回収・再生を見込んだサーキュラー設計

262.5 想定される具体的アプリケーション

- ① EV バッテリー・エネルギーストレージ
- ② 触媒・表面処理・コーティング
- ③ 構造材・高性能樹脂のリース

262.6 ビジネス上の課題と成功条件

- ① 会計・契約・リスク配分
- ② スケールと標準化
- ③ 顧客受容性とインセンティブ設計

262.7 結語：MaaS はサプライチェーンの「資源 OS」になりうるか

263 再製造・アップグレードサービスと鉱物需要削減

263.1 序論:再製造は「隠れた鉱山」である

263.2 再製造・アップグレードが鉱物需要を減らすメカニズム

- ① 製品寿命の実質延長
- ② 高付加価値部品の再利用

263.3 再製造サービスのビジネスモデルと設計要件

- ① サービスとしての再製造・アップグレード
- ② 再製造を前提とした設計

263.4 分野別の適用可能性と鉱物削減ポテンシャル

- ① 産業機械・建設機械
- ② 自動車・EV・バッテリー
- ③ 電子機器・IT インフラ

263.5 マクロ視点で見た鉱物需要削減効果と限界

- ① ストック重視の資源戦略への転換
- ② 技術進歩とのバランス

263.6 結語:再製造・アップグレードは鉱物需要マネジメントの中核手段

264 重要原材料サプライチェーンにおけるカーボンプライシングとサーキュラーモデル採算性

264.1 問題設定と基本構図

264.2 カーボンプライシングが資源循環に与えるメカニズム

- ① カーボンプライシングの基本構造
- ② リサイクル採算性への影響
- ③ サーキュラーエコノミー全体への波及

264.3 重要原材料・クリティカルミネラルの循環ポテンシャル

- ① クリティカルミネラル需要とリサイクル役割
- ② 循環戦略の分類と重要性
- ③ テーブル: 重要鉱物のリサイクル潜在性と課題

264.4 カーボンプライシングとビジネス採算性

- ① 収益構造における炭素コストの位置づけ
- ② マルチマーケット・インタラクションと価格弾力性
- ③ 収益性改善のドライバーとリスク

264.5 セクター別のサーキュラーモデル採算性

- ① バッテリーとEV サプライチェーン
- ② 鉄鋼・アルミ・セメントなどバルク素材
- ③ 電子機器・レアアース・高機能材料

264.6 代替材料・代替技術とカーボンプライシング

① 代替戦略の役割

② イノベーション・ポートフォリオへの影響

264.7 政策デザイン:炭素価格と循環政策の統合

① カバレッジとスコープ設計

② 補完政策との組み合わせ

264.8 企業戦略としてのサーキュラーモデル

① ビジネスモデルアーキテクチャ

② 投資評価とリスクマネジメント

264.9 おわりに:戦略的含意

265 IEA 推計:2030 年までにリサイクルで賄えるのは全需要の 5~20%

265.1 序論:IEA 推計の意味するところ

265.2 推計の前提:ストックとフローのミスマッチ

① 急増する需要フローに対して、リサイクル可能ストックが追いつかない

② 金属ごとの寿命・回収率の違い

265.3 2030 年時点でリサイクルが担う役割

① 需給バランス上は「マージナルサプライヤー」

② 産業戦略としての意味

265.4 5~20%のギャップをどう埋めるか:補完戦略

① 需要サイド:効率化と代替

② 供給サイド:一次資源の「質」と「条件」を変える

265.5 2030 年以降の展望:リサイクル比率はどこまで高められるか

① スtock成熟化による比率上昇の可能性

② 今から何を仕込むべきか

265.6 結語:5~20%をどう読み解くか

【 ESG・トレーサビリティ・規制遵守 】

266 米国ドッド・フランク法 1502 条の紛争鉱物開示

266.1 序論:資源調達 transparency を義務化した初の立法的枠組み

266.2 カテゴリー1:制度の成立経緯と社会的背景

① コンゴ紛争と国際社会の動き

② 条文の制定経過

266.3 カテゴリー2:適用範囲と義務内容

① 対象企業と報告義務

② 報告書の構造

266.4 カテゴリー3:対象鉱物と供給網の特徴

① 3TG 鉱物の概要

266.5 カテゴリー4:調査・報告プロセス

- ① RCOI(合理的原産国調査)
- ② デューディリジェンス段階
- 266.6 カテゴリー5: 監査・執行・制裁メカニズム
 - ① SEC 監査および国際的影響力
 - ② 制度の実効性を支える第三者認証
- 266.7 カテゴリー6: 制度運用上の課題と批判
 - ① 実務的負担とコスト問題
 - ② 政治的・倫理的議論
- 266.8 カテゴリー7: 国際展開と制度的波及
 - ① EU 紛争鉱物規制との連携・差異
 - ② グローバルスタンダード化の影響
- 266.9 カテゴリー8: 技術革新と持続可能性への展開
 - ① トレーサビリティのデジタル化
 - ② ESG 投資・サステナビリティへの接続
- 266.10 結語: 制度的レガシーと現代的意義
- 267 米国ウイグル強制労働防止法と新疆産原料の輸入禁止
 - 267.1 序論: ESG・人権・供給網統治の新たな潮流
 - 267.2 カテゴリー1: 法律の背景と制定経緯
 - ① 新疆地域における人権問題
 - ② 制定の政治的経緯
 - 267.3 カテゴリー2: 法律の概要と制度構造
 - ① 強制労働推定の原則
 - ② 執行機関と運用体制
 - 267.4 カテゴリー3: 対象範囲と影響を受ける産業
 - ① 主要産業セクター
 - ② エンティティリスト(Entity List)
 - 267.5 カテゴリー4: 企業への義務と輸入管理手続
 - ① 輸入時の立証負担
 - ② CBP による拘留(Detention)プロセス
 - 267.6 カテゴリー5: 企業経営・サプライチェーンへの影響
 - ① トレーサビリティ技術の実装
 - ② バリューチェーン再編
 - 267.7 カテゴリー6: 国際的波及と制度比較
 - ① EU・日本・カナダの法制度との連動
 - ② 国際貿易への影響
 - 267.8 カテゴリー7: 重大リスク領域と監査実務

① ブラックリスト産品

② 監査実務と経営対応

267.9 カテゴリー8:法制度の戦略的意義

① 経済安全保障政策との統合

② ESG ガバナンスへの転換点

267.10 結語:UFLPA が示す供給網管理の新パラダイム

268 IRA 国内バッテリー材料 50%要件(税額控除条件)

268.1 序論:IRA がもたらした EV サプライチェーンの再定義

268.2 カテゴリー1:制度の概要と法的根拠

① 税額控除制度の構造

② 根拠法と行政運用主体

268.3 カテゴリー2:重要鉱物の定義と対象範囲

① 対象鉱物

② 比率算定と FTA 認定国

268.4 カテゴリー3:年次要件と比率スケジュール

268.5 カテゴリー4:生産および供給網への影響

① 北米・FTA 域内へのサプライチェーン再編

② 中国依存リスクの緩和

268.6 カテゴリー5:税控除条件と企業認証プロセス

① OEM とサプライヤーに課される認証

② 輸入部材の排除プロセス

268.7 カテゴリー6:法制度上の課題と企業対応

① 運用上の不確実性

② OEM・サプライヤーによる戦略的対応

268.8 カテゴリー7:ESG・トレーサビリティとの関連性

① ESG 報告制度との連動

② デジタル証跡の制度的利用

268.9 カテゴリー8:地政学・産業戦略上の意義

① グリーン産業政策と経済安全保障の融合

② グローバル競争環境への波及

268.10 結語:IRA50%要件がもたらす産業構造の変革

269 OECD 鉱物デューディリジェンス・ガイダンスの普及

269.1 序論:グローバル・ガバナンスの軸となった OECD ガイダンス

269.2 カテゴリー1:OECD ガイダンスの成立と目的

① 背景と理念

② 目的と適用領域

- 269.3 カテゴリー2:五段階プロセスの概要
- 269.4 カテゴリー3:業種・鉱種別アプローチの拡張
 - ① 初期適用—3TG 鉱物から出発
 - ② 分野別アプローチ
- 269.5 カテゴリー4:国際制度への組み込みと法的影響
 - ① 米国・EU 法との整合性
 - ② 企業報告・監査基準への展開
- 269.6 カテゴリー5:デューディリジェンスの実施・運用プロセス
 - ① リスクマッピングと調査体系
 - ② 第三者監査と相互承認制度
- 269.7 カテゴリー6:実務への波及とデジタル実装
 - ① ブロックチェーン・トレーサビリティとの融合
 - ② EPR・バッテリーパスポートへの適用
- 269.8 カテゴリー7:アフリカ・アジア地域への普及と課題
 - ① 現地産業のフォーマリゼーション(合法化支援)
 - ② 実務普及上のボトルネック
- 269.9 カテゴリー8:戦略的意義と将来的展望
 - ① ESG・人権ガバナンスの共通言語
 - ② 国際データ・ガバナンスとの統合
- 269.10 結語:OECD ガイダンスが築いた国際的トレーサビリティ基盤
- 270 気候変動関連開示(TCFD 等)が鉱業企業にもたらす影響
- 270.1 序論:脱炭素経済下で求められる鉱業の再定義
- 270.2 カテゴリー1:TCFD の概要と鉱業への適用フレーム
 - ① TCFD 提言の基本構造
 - ② 鉱業特有のリスク構造
- 270.3 カテゴリー2:国際的規制動向と法制度の影響
 - ① 各国の法制度への統合
 - ② ISSB と世界統一基準への移行
- 270.4 カテゴリー3:鉱業企業の気候リスク構造
 - ① 物理的リスク
 - ② 移行リスク
- 270.5 カテゴリー4:スコープ排出量とデータ開示
 - ① 排出スコープ区分と測定課題
 - ② データ収集とデジタル化技術
- 270.6 カテゴリー5:資本市場・投資家による圧力
 - ① ESG 投資と市場評価

② 信用格付および融資コストへの影響

270.7 カテゴリー6:実務対応と戦略的变化

① 気候シナリオ分析と経営計画

② 排出削減戦略と技術採用

270.8 カテゴリー7:報告・保証制度の整合性

① 外部保証と監査制度

② 統一報告基盤への移行

270.9 カテゴリー8:鉱業における情報開示の先進事例と課題

① 先進的実践事例

② 残された課題

270.10 結語:鉱業セクターにおける TCFD の構造的意味

271 LCA 視点での一次資源 vs 二次資源の環境負荷比較

271.1 序論:ライフサイクル全体で問われる資源の環境コスト

271.2 カテゴリー1:資源の定義と LCA 評価の枠組み

① 一次資源と二次資源

② LCA における評価指標

271.3 カテゴリー2:一次資源の環境負荷プロファイル

① 採掘・精錬段階における特徴

② 環境負荷要素

271.4 カテゴリー3:二次資源(リサイクル材)の環境負荷構造

① リサイクル工程の特徴

② 環境的利点と限界

271.5 カテゴリー4:主要素材における LCA 比較分析

① アルミニウム

② 銅

③ 鉄鋼

④ バッテリー材料

271.6 カテゴリー5:社会的・間接的環境負荷

① サプライチェーンの広域化による負荷移転

② 間接負荷(エネルギーミックス・物流)

271.7 カテゴリー6:LCA 結果の政策的・産業的インプリケーション

① 規制・認証制度への統合

② 経済的含意

271.8 カテゴリー7:技術革新と LCA 最適化への展望

① 技術トレンド

② システム視点での最適化

- 271.9 結語:LCA が導く資源利用の新たな最適バランス
- 272 環境・社会・ガバナンス(ESG)規制と鉱業への要求水準
 - 272.1 序論:変革期にある鉱業と ESG 規制の結節点
 - 272.2 カテゴリー1:ESG 規制の制度的枠組みの拡大
 - ① 国際レベルでの ESG 規制潮流
 - ② 法制化の進展
 - 272.3 カテゴリー2:鉱業分野における ESG 要求項目
 - ① E(環境):炭素・水・土地への包括的管理
 - ② S(社会):人権・労働・地域社会との共存
 - ③ G(ガバナンス):透明性と説明責任
 - 272.4 カテゴリー3:ESG 規制が鉱業経営に与える構造的影響
 - ① 投資資金の流入条件の変化
 - ② サプライチェーン取引要件への直結
 - ③ オペレーションへの影響
 - 272.5 カテゴリー4:地域別にみた ESG 規範の強度比較
 - 272.6 カテゴリー5:ESG 監査・保証制度とトレーサビリティ構築
 - ① デジタルトレーサビリティの統合
 - ② 第三者監査・認証制度
 - 272.7 カテゴリー6:投資家・金融機関の評価基準への反映
 - ① 鉱業企業に求められる ESG データ構造
 - ② ESG と資金調達コストの連動
 - 272.8 カテゴリー7:業界が直面する課題と対応
 - ① 現行課題
 - ② 対応戦略
 - 272.9 結語:鉱業が担う ESG 時代の基盤産業としての再定義
- 273 「サステナブル調達」認証スキーム(IRMA 等)
 - 273.1 序論:ESG 調達の新たな基盤としての認証スキーム
 - 273.2 カテゴリー1:サステナブル調達の制度的背景
 - ① OECD・国際法枠組みとの整合
 - ② ESG 投資と調達リスク管理の連携
 - 273.3 カテゴリー2:IRMA (Responsible Mining Assurance) の概要
 - ① 設立と目的
 - ② IRMA 規格の構成
 - ③ 特徴的機能
 - 273.4 カテゴリー3:他の主要認証スキームとの比較
 - 273.5 カテゴリー4:審査・認証プロセスの仕組み

① 段階的フロー

② 監査機関と独立性保証

273.6 カテゴリー5:IRMA 認証の導入事例

① 企業事例

② 政策・制度連動

273.7 カテゴリー6:評価項目の具体化と指標統合

① ESG 主要評価指標

② 外部制度とのデータ連携

273.8 カテゴリー7:スキーム運用上の課題

① 地域的・運用的課題

② 継続改善に向けた動向

273.9 カテゴリー8:サステナブル調達認証の経済的・戦略的意義

① 経済的インパクト

② 産業戦略としての意義

273.10 結語:責任ある鉱業から責任あるサプライチェーンへ

274 IoT・RFID タグによる物理トレーサビリティ

274.1 序論:デジタル証跡と物理流のギャップを埋める技術基盤

274.2 カテゴリー1:RFID・IoT 技術の基礎

① RFID タグの種類と特性

② IoT センサーと連携したデータ収集

274.3 カテゴリー2:鉱物・原材料サプライチェーンにおける適用シナリオ

① 鉱山から精錬までのロット追跡

② コンテナ・バルク貨物のトレーサビリティ

③ 製品レベルのシリアル化

274.4 カテゴリー3:ESG・規制遵守における役割

① 規制要求への対応

② ESG データの高粒度化

274.5 カテゴリー4:システムアーキテクチャとデータ連携

① 典型的アーキテクチャ

② ブロックチェーンとの統合

274.6 カテゴリー5:導入効果とビジネス価値

① コンプライアンスコスト削減とリスク低減

② オペレーション最適化と収益性向上

274.7 カテゴリー6:技術・運用上の課題

① 技術的制約

② ガバナンス・プライバシー問題

274.8	カテゴリー7:今後の展望と標準化動向
①	デジタルプロダクトパスポートとの一体化
②	AI・衛星データとの連携
274.9	結語:ESG時代の物理トレーサビリティの戦略的価値
275	ESG先進鉱山の環境配慮・コミュニティ共生モデル
275.1	序論:資源確保と社会的受容性の両立という課題
275.2	カテゴリー1:ESG先進鉱山モデルの基本コンセプト
①	環境フットプリント最小化と価値最大化
②	コミュニティとの長期的パートナーシップ
275.3	カテゴリー2:環境配慮モデルの具体要素
①	再生可能エネルギーと電化による脱炭素化
②	水資源と尾鉱管理
③	生物多様性・土地利用の再設計
275.4	カテゴリー3:コミュニティ共生モデルの構成要素
①	FPICと共同意思決定の仕組み
②	共有価値創造(CSV)の実装
③	透明な利益分配とコミュニティ基金
275.5	カテゴリー4:ガバナンス・トレーサビリティ・技術の統合
①	デジタルESGトレーサビリティ
②	ガバナンス強化の取り組み
275.6	カテゴリー5:先進事例にみる共通パターン
①	ハイレベルな先進モデルの典型像
②	成功要因
275.7	カテゴリー6:残された課題とリスク
①	期待ギャップと社会的信頼の脆弱性
②	技術・資本負担
275.8	カテゴリー7:ESG先進鉱山モデルの戦略的意義
①	サプライチェーン競争力の源泉化
②	社会的ライセンスと政策連携
275.9	結語:ESG先進鉱山が示す資源開発の新しいパラダイム
276	レアアースESGトレーサビリティ15%(低水準の課題)
276.1	序論:レアアースの重要性和トレーサビリティの遅れ
276.2	カテゴリー1:レアアース供給網の構造的特性
①	地理的集中と寡占構造
②	非公式生産と環境影響
276.3	カテゴリー2:ESGトレーサビリティの現状と15%カバレッジの実態

① トレーサビリティの概念と範囲

② カバレッジが低い理由

276.4 カテゴリー3:環境・社会リスクの可視化の遅れ

① 環境負荷の実態

② コミュニティと社会影響

276.5 カテゴリー4:技術的・制度的障壁

① 化学的再混合と識別困難性

② 標準化と認証フレームワークの未整備

276.6 カテゴリー5:国際イニシアティブと部分的な進展

① 新興連携とデータ共有の動き

② 先進企業・研究機関の取り組み

276.7 カテゴリー6:低カバレッジがもたらす制度的・経済的影響

① 調達リスクの継続

② サプライチェーン再編への影響

276.8 カテゴリー7:改善への方向性と必要条件

① インセンティブ設計の見直し

② デジタルおよび分析技術の統合

③ 多国間枠組みと能力構築

276.9 カテゴリー8:中長期的展望と課題の持続性

① ESG 基準整備の時間軸

② 市場・政策・倫理の複合課題

276.10 結語:15%カバレッジが示すレアアース供給網の現実

277 NGO・市民社会による鉱山監視・認証プログラム

277.1 序論:鉱物サプライチェーンの「社会的監査」インフラとしての NGO

277.2 カテゴリー1:NGO・市民社会が鉱山分野で担う機能

① ウォッチドッグ(監視)としての役割

② 基準策定・認証スキームへの参画

③ コミュニティ支援と能力強化

277.3 カテゴリー2:代表的な鉱山監視・認証プログラムの類型

① 透明性確保型イニシアチブ

② 紛争鉱物・人権監視プログラム

③ コミュニティ参加型監視・認証

277.4 カテゴリー3:具体的プログラムの構造的特徴(抽象モデル)

① マルチステークホルダー運営

② 標準化された評価プロトコル

③ データ公開と市民向けダッシュボード

277.5 カテゴリー4:ESG・トレーサビリティとの接続

- ① サプライチェーンデューディリジェンスとの連携
- ② 認証スキームへの情報提供

277.6 カテゴリー5:市民社会による監視の技術的進化

- ① デジタル技術・オープンデータの活用
- ② データ品質と検証メカニズム

277.7 カテゴリー6:NGO・市民社会プログラムの課題

- ① 資金・能力・アクセスの制約
- ② 客観性と利害相反
- ③ 企業・政府との関係性

277.8 カテゴリー7:サプライチェーン全体へのインパクト

- ① 企業戦略への影響
- ② 規制・政策形成へのフィードバック

277.9 結語:市民社会による鉱山監視がもたらす新しいガバナンス

278 水資源・生物多様性への影響と ESG 評価

278.1 序論:クリティカルマテリアルと自然資本リスク

278.2 カテゴリー1:水資源リスクの構造と評価軸

- ① 鉱業・素材産業に特有の水リスク
- ② ESG 評価における水指標

278.3 カテゴリー2:生物多様性への影響とネイチャーリスク

- ① 鉱山開発が生態系に与える主な影響
- ② 生物多様性を扱う ESG 基準の潮流

278.4 カテゴリー3:水・生物多様性に関する定量評価手法

- ① ライフサイクルアセスメント(LCA)と水フットプリント
- ② 生物多様性指標と影響評価

278.5 カテゴリー4:企業の対応戦略とベストプラクティス

- ① 水マネジメントの高度化
- ② 生物多様性アクションプラン

278.6 カテゴリー5:ESG 評価・投資判断への組み込み方

- ① 評価機関・投資家の視点
- ② サプライチェーン・規制への波及

278.7 カテゴリー6:今後の課題と展望

- ① データ・標準化の課題
- ② ネイチャーポジティブへの転換

278.8 結語:水と生物多様性を組み込んだ ESG ガバナンスの必要性

279 水資源・生物多様性への影響と ESG 評価

- 279.1 序論:クリティカルマテリアルと自然資本リスク
- 279.2 カテゴリー1:水資源リスクの構造と評価軸
 - ① 鉱業・素材産業に特有の水リスク
 - ② ESG 評価における水指標
- 279.3 カテゴリー2:生物多様性への影響とネイチャーリスク
 - ① 鉱山開発が生態系に与える主な影響
 - ② 生物多様性を扱う ESG 基準の潮流
- 279.4 カテゴリー3:水・生物多様性に関する定量評価手法
 - ① ライフサイクルアセスメント(LCA)と水フットプリント
 - ② 生物多様性指標と影響評価
- 279.5 カテゴリー4:企業の対応戦略とベストプラクティス
 - ① 水マネジメントの高度化
 - ② 生物多様性アクションプラン
- 279.6 カテゴリー5:ESG 評価・投資判断への組み込み方
 - ① 評価機関・投資家の視点
 - ② サプライチェーン・規制への波及
- 279.7 カテゴリー6:今後の課題と展望
 - ① データ・標準化の課題
 - ② ネイチャーポジティブへの転換
- 279.8 結語:水と生物多様性を組み込んだ ESG ガバナンスの必要性
- 280 ESG 投資と鉱山開発の整合性(反 ESG の動きも含む)
- 280.1 序論:脱炭素と資源需要のジレンマ
- 280.2 カテゴリー1:ESG 投資の基本構造と鉱業への一般的スタンス
 - ① ESG 投資の三つのアプローチ
 - ② 気候・人権・自然資本が評価軸
- 280.3 カテゴリー2:鉱山開発と ESG 投資の整合性を巡る論点
 - ① 「グリーントランジション・メタル」への選好
 - ② 「ダブルカウントリスク」とその批判
- 280.4 カテゴリー3:反 ESG の動きと鉱山投資への影響
 - ① 反 ESG の主張の中身
 - ② 反 ESG がもたらす二極化
- 280.5 カテゴリー4:整合性を高めるための鉱山側アプローチ
 - ① 低炭素・低インパクト鉱山への転換
 - ② コミュニティ共生とガバナンス強化
 - ③ トレーサビリティとエビデンスの提示
- 280.6 カテゴリー5:金融側から見た整合性構築の方向性

- ① ラベルリング・分類体系の整備
- ② トランジション・ファイナンスの活用
- ③ 反 ESG との折り合い

280.7 カテゴリー6: 今後の展望とリスク

- ① 重要鉱物戦略と ESG の統合
- ② 反 ESG の政治的変動リスク

280.8 結語: 対立ではなく「責任ある鉱山投資」への再定義

281 サステナブル・マイニング認証を活用したプレミアム価格戦略

281.1 序論: コモディティ市場から差別化市場へ

281.2 カテゴリー1: プレミアム価格戦略の基本ロジック

- ① 需要サイドのインセンティブ
- ② 供給サイドの差別化要因

281.3 カテゴリー2: 対象となる主なサステナブル・マイニング認証

- ① IRMA・TSM・Fairtrade などの特徴

281.4 カテゴリー3: プレミアム価格を生むメカニズム

- ① 契約形態と価格設計
- ② 差別化の成立条件

281.5 カテゴリー4: 実務上の実装ステップ

- ① 1. 認証取得と ESG ベンチマークの確立
- ② 2. トレーサビリティとデータ提供体制の整備
- ③ 3. 顧客セグメンテーションと価値訴求

281.6 カテゴリー5: プレミアム戦略の収益性評価

- ① コスト構造と採算ライン
- ② リスクと感度分析

281.7 カテゴリー6: 下流企業・ブランド側の活用モデル

- ① エシカル素材としてのマーケティング
- ② B2B レベルでの価値連鎖

281.8 カテゴリー7: 戦略上の留意点と限界

- ① グリーンウォッシング回避
- ② 包摂性と公正な移行

281.9 結語: 認証を「コスト」から「価格決定力」へ

282 ブロックチェーン・トレーサビリティを活用したプレミアム・オフテイク契約

282.1 序論: ESG 要求の高まりと「デジタル証跡付き」原料の台頭

282.2 カテゴリー1: ブロックチェーン・トレーサビリティの基本構造

- ① 分散台帳による改ざん耐性と共有性
- ② オフチェーンデータとの連携

282.3 カテゴリー2:プレミアム・オフテイク契約とブロックチェーンの接点

- ① プレミアム・オフテイク契約の特徴
- ② スマートコントラクトによる条件自動執行

282.4 カテゴリー3:契約設計の主要要素

- ① 1. ロット定義とID 設計
- ② 2. ESG 指標・閾値の定義
- ③ 3. データアクセス権と機密性

282.5 カテゴリー4:プレミアムの経済メカニズム

- ① リスク低減価値の価格化
- ② 需給構造と交渉力

282.6 カテゴリー5:実装アーキテクチャと運用フロー

- ① システム構成のイメージ
- ② 典型的なイベント登録フロー

282.7 カテゴリー6:ガバナンス・規制・監査の観点

- ① 規制当局・監査機関とのインターフェース
- ② データの信頼性とオラクル問題

282.8 カテゴリー7:課題とリスク管理

- ① 技術・コスト・スケーラビリティ
- ② 法的・契約上の不確実性

282.9 結語:ブロックチェーンがもたらす新しい取引アーキテクチャ

283 リサイクル原料のトレーサビリティ・品質保証

283.1 序論:一次資源リスクとリサイクル原料の戦略的重要性

283.2 カテゴリー1:リサイクル原料特有のトレーサビリティ課題

- ① 出所の多様性とサプライチェーンの複雑さ
- ② 品質ばらつきと不純物リスク

283.3 カテゴリー2:トレーサビリティ設計の基本コンセプト

- ① ロットベース管理と「機能的トレーサビリティ」
- ② デジタル化と標準コードの活用

283.4 カテゴリー3:品質保証の枠組みと技術要素

- ① 分析・検査・分類プロセス
- ② 統計的品質管理とロット認証
- ③ 品質保証体制(QMS)

283.5 カテゴリー4:ESG・規制遵守との接続

- ① 法規制・拡大生産者責任(EPR)との連動
- ② カーボンフットプリントとLCA

283.6 カテゴリー5:デジタル技術・プラットフォームの活用

- ① ブロックチェーン・IoT・デジタルパスポート
- ② データ標準化とインターフェース
- 283.7 カテゴリー6:ビジネスモデル・インセンティブ設計
 - ① プレミアム市場と長期契約
 - ② インフォーマルセクターとの共存・統合
- 283.8 カテゴリー7:課題と今後の展望
 - ① 残された課題
 - ② 展望:サーキュラーエコノミーのインフラとしての役割
- 284 サステナビリティ報告(CSRD 等)と材料情報開示
 - 284.1 序論:サステナビリティ報告と「材料情報」の接続点
 - 284.2 カテゴリー1:CSRD/ESRS の概要と材料情報の位置づけ
 - ① CSRD の基本枠組み
 - ② ESRS とセクター横断要求
 - 284.3 カテゴリー2:重要原材料・鉱物に関する具体的開示要求
 - ① 気候変動・資源利用(ESRS E1・E5)
 - ② 人権・サプライチェーン(ESRS S2・S3・G1)
 - 284.4 カテゴリー3:材料情報開示の実務プロセス
 - ① マテリアリティ分析と材料マッピング
 - ② データ収集・トレーサビリティとの連携
 - 284.5 カテゴリー4:開示内容の構成要素
 - ① 定量情報:KPI と指標
 - ② 定性情報:方針・プロセス・事例
 - 284.6 カテゴリー5:材料情報開示がもたらすビジネスインパクト
 - ① 投資家・金融機関との関係
 - ② サプライチェーン・顧客関係
 - 284.7 カテゴリー6:今後の動向と実務上の留意点
 - ① 規制の収斂とデジタル化
 - ② 実務上の課題
 - 284.8 結語:材料情報開示は「負担」から「戦略資産」へ
- 285 内部炭素価格・資源価格シナリオを用いた投資評価
 - 285.1 序論:重要資源ビジネスと「価格前提」の戦略性
 - 285.2 カテゴリー1:内部炭素価格の位置づけ
 - ① 内部炭素価格とは何か
 - ② 適用目的の類型
 - 285.3 カテゴリー2:資源価格シナリオの構造
 - ① 重要鉱物価格のドライバー

② 炭素価格と資源価格の連関

285.4 カテゴリー3:投資評価への組み込み手順

- ① ステップ 1:シナリオ設計
- ② ステップ 2:キャッシュフローモデルへの反映
- ③ ステップ 3:評価指標の算出

285.5 カテゴリー4:ESG・トレーサビリティ・規制遵守との統合

- ① 規制シナリオと内部炭素価格
- ② トレーサビリティ・低炭素製品によるプレミアム

285.6 カテゴリー5:ポートフォリオ・企業戦略への示唆

- ① 投資ポートフォリオの再構築
- ② ステークホルダーとの対話

285.7 カテゴリー6:実務上の課題とガバナンス

- ① パラメータ設定の妥当性
- ② モデルの複雑性と運用コスト

285.8 結語:内部価格とシナリオ分析による「ESG 一体型」投資判断

286 ブロックチェーンプラットフォーム月間 240 万トランザクション処理

286.1 序論:ESG・トレーサビリティ基盤としてのブロックチェーン

286.2 カテゴリー1:ブロックチェーン型トレーサビリティ基盤の概要

- ① 構造と機能要素
- ② 分散台帳とガバナンス

286.3 カテゴリー2:月間 240 万トランザクションの意味と構成要素

- ① トランザクションの内訳イメージ
- ② トラフィック拡大の背景

286.4 カテゴリー3:ESG・規制遵守・監査の自動化との関係

- ① 自動デューデリジェンスとコンプライアンス報告
- ② ESG 指標のリアルタイム更新

286.5 カテゴリー4:プラットフォーム設計とスケーラビリティ

- ① 技術アーキテクチャ
- ② エネルギー効率と環境配慮

286.6 カテゴリー5:相互運用性と標準化動向

- ① 異種チェーン連携とデータ整合性
- ② 国際標準と公共政策との整合

286.7 カテゴリー6:課題と運営上のリスク

- ① データ品質と入力信頼性
- ② 秘密保持と競争上の懸念

286.8 カテゴリー7:応用分野の拡大と経済的影響

- ① マルチマテリアル対応
- ② 金融・保証・炭素市場への接続
- 286.9 カテゴリー8: 将来的展望と戦略的意義
- ① スマートコントラクトによる自律的サプライチェーン
- ② ESGトレーサビリティの社会的定着
- 286.10 結語: 240 万トランザクションが象徴する新たな供給網ガバナンス
- 287 Circulor (Volvo/Polestar 向けコバルト追跡)
- 287.1 序論: 自動車産業の ESG・トレーサビリティ再構築
- 287.2 カテゴリー1: Circulor の概要と技術アプローチ
- ① 企業概要と事業領域
- ② 技術構成の特徴
- 287.3 カテゴリー2: Volvo・Polestar への導入の経緯と目的
- ① Volvo のサステナビリティ方針
- ② 具体的な運用スキーム
- 287.4 カテゴリー3: トレーサビリティ・プロセスの技術的側面
- ① デジタルツインとしての素材管理
- ② データ信頼性を担保する仕組み
- 287.5 カテゴリー4: ESG および規制対応上の意義
- ① 責任ある調達フレームワークとの整合
- ② サステナビリティ監査の効率化
- 287.6 カテゴリー5: 自動車産業への波及効果と他社動向
- ① 電動化サプライチェーンの標準モデル
- ② 金融・投資との連携
- 287.7 カテゴリー6: 技術的・制度的課題
- ① データ共有と機密性管理
- ② グローバル標準化の難易度
- 287.8 カテゴリー7: 将来的展望—物質と情報の完全統合
- ① マルチマテリアル・フルプロビナンスの実現
- ② サーキュラーエコノミーへの適用
- 287.9 結語: Circulor が象徴する供給網ガバナンスの変革
- 288 Minespider (BMW/Ford 向け責任ある調達検証)
- 288.1 序論: 責任ある鉱物調達とデジタル化の新段階
- 288.2 カテゴリー1: Minespider の基本構造と理念
- ① 企業概要と設立背景
- ② オープンブロックチェーン採用の意義
- 288.3 カテゴリー2: システム構成と運用アーキテクチャ

- ① データモデルとトークン設計
- ② 監査とアクセス制御の仕組み
- 288.4 カテゴリー3:BMW の採用事例—コバルト・リチウム追跡
 - ① コバルトサプライチェーンの透明化
 - ② リチウム追跡拡張とグローバル連携
- 288.5 カテゴリー4:Ford の採用事例—多国籍企業モデルへの拡張
 - ① Ford の持続可能な調達戦略との整合性
 - ② マルチサプライヤー接続とデータフィード
- 288.6 カテゴリー5:ESG・トレーサビリティ・規制遵守の三層的統合
 - ① 採掘現場から製品までのデジタル監査線
 - ② 規制整合性の確保と監査自動化
- 288.7 カテゴリー6:プラットフォーム運用とデータ信頼性
 - ① 監査ノードとマルチステークホルダー構造
 - ② データ品質とガバナンスメカニズム
- 288.8 カテゴリー7:他プロジェクトとの比較と差別化要素
 - ① Circular との比較ポイント
 - ② ユーザー層の拡張可能性
- 288.9 カテゴリー8:戦略的・制度的インプリケーション
 - ① 産業横断 ESG インフラへの進化
 - ② 政策主導の国際適用モデル
- 288.10 結語:Minespider が示す責任ある調達の次世代モデル
- 289 Everledger の重要鉱物デジタル・パスポート
- 289.1 序論:デジタル・パスポートが拓く鉱物供給網透明化の新潮流
- 289.2 カテゴリー1:Everledger の企業背景と技術位置づけ
 - ① 創業と事業展開
 - ② 重要鉱物領域への展開意図
- 289.3 カテゴリー2:デジタル・パスポートの全体設計
 - ① データ構造とユニーク ID 管理
 - ② デジタル・ツイン概念とブロックチェーン構成
- 289.4 カテゴリー3:鉱物サプライチェーンにおける具体的活用
 - ① 金・コバルト・リチウムなど対象資源の拡張
 - ② 自動車・電子機器産業への応用
- 289.5 カテゴリー4:ESG・規制遵守への統合機能
 - ① 規制枠組みとの整合性
 - ② ESG データのリアルタイム収集
- 289.6 カテゴリー5:透明性と機密性の両立

- ① データアクセス制御と暗号技術
- ② データ改ざん追跡と監査ログ
- 289.7 カテゴリー6: サステナブルファイナンスとの結節点
 - ① デジタル・パスポートを活用した「信頼可能な資産化」
 - ② カーボンクレジットおよび保険商品への応用
- 289.8 カテゴリー7: 国際標準化と政策連携
 - ① デジタルプロダクトパスポート(DPP)との整合
 - ② 政府・業界間コンソーシアムの形成
- 289.9 カテゴリー8: 制度的・産業的インプリケーション
 - ① 企業報告制度との統合効果
 - ② 競争優位性とブランド価値の創出
- 289.10 結語: Everledger が示すサプライチェーン再設計の方向性
- 290 EU バッテリー規制(2023 年: Li, Co, Ni, Graphite 義務的デューディリジェンス)
- 290.1 序論: EU バッテリー規制の成立と目的
- 290.2 カテゴリー1: 法制度の概要
 - ① 規制の法的枠組みと施行時期
 - ② 対象となる運用主体と適用範囲
- 290.3 カテゴリー2: 義務的デューディリジェンスの要件
 - ① 主要鉱物の指定と理由
 - ② デューディリジェンスの構成要素
- 290.4 カテゴリー3: ESG・透明性関連の定量基準
 - ① 炭素フットプリント算定義務
 - ② リサイクル含有率と再資源化義務
- 290.5 カテゴリー4: トレーサビリティとデジタルバッテリーパスポート
 - ① デジタル化によるトレーサビリティの完全可視化
 - ② ブロックチェーン・ガバナステクノロジーの採用可能性
- 290.6 カテゴリー5: 企業への実務的影響
 - ① コンプライアンス運用の変化
 - ② 管理コストとリスクマネジメント
- 290.7 カテゴリー6: EU 域内外企業への影響差
 - ① 欧州企業のリードと標準形成効果
 - ② 域外企業に対する新しい参入障壁
- 290.8 カテゴリー7: デューディリジェンス義務の運用と執行
 - ① 監督当局と罰則規定
 - ② 検証と報告プロセスの標準化
- 290.9 カテゴリー8: 政策連携・産業戦略的背景

- ① 欧州グリーンディールと CRMA(重要原材料法)との連携
- ② 国際標準形成の影響拡大
- 290.10 結語:EU バッテリー規制がもたらす構造的転換
- 291 EU 紛争鉱物規制(3TG:タンタル・スズ・タングステン・金)
- 291.1 序論:EU 紛争鉱物規制の成立と意義
- 291.2 カテゴリー1:規制の背景と立法経緯
 - ① 国際的文脈と人道的課題
 - ② 制定過程と加盟国の協調構造
- 291.3 カテゴリー2:規制の適用範囲と基本構成
 - ① 対象鉱物と物的範囲
 - ② 地理的適用範囲
- 291.4 カテゴリー3:企業に課される義務
 - ① デューディリジェンス義務の五段階
 - ② 情報管理と報告手順
- 291.5 カテゴリー4:監督・執行体制と法的効果
 - ① 監督機関の構成
 - ② 罰則・制裁手段
- 291.6 カテゴリー5:サプライチェーン管理と ESG 統合
 - ① トレーサビリティ・メカニズム
 - ② ESG 指標との相互補完
- 291.7 カテゴリー6:グローバル影響と比較制度分析
 - ① 米国ドッド=フランク法との比較
 - ② 他地域の制度的波及
- 291.8 カテゴリー7:制度運用上の課題
 - ① 非公式採掘(ASM)の取り込み難
 - ② 中小企業の負担と情報非対称
- 291.9 カテゴリー8:政策統合と将来展望
 - ① EU バッテリー規制・CRMA との接続
 - ② デジタル監査・AIトレーサビリティの導入
- 291.10 結語:EU 紛争鉱物規制がもたらす制度的転換
- 292 EU 企業持続可能性指令(CSRD)5 万社超対象(2026 年～)
- 292.1 序論:CSRD 施行がもたらす企業報告制度の大転換
- 292.2 カテゴリー1:CSRD の制度概要
 - ① 制定背景と政策的位置付け
 - ② 実施時期と段階的適用スケジュール
- 292.3 カテゴリー2:報告枠組みと EU サステナビリティ報告基準(ESRS)

- ① ESRS の策定プロセス
- ② ダブル・マテリアリティ(Double Materiality)の意義
- 292.4 カテゴリー3:報告内容と主要開示項目
 - ① ガバナンスとビジネスモデル開示
 - ② 環境(Environment)要素
 - ③ 社会(Social)要素
 - ④ ガバナンス(Governance)要素
- 292.5 カテゴリー4:監査義務と報告整合性
 - ① 第三者保証制度
 - ② デジタル報告形式(XHTML / ESEF + XBRL)
- 292.6 カテゴリー5:CSRD と他法制度・基準の連関
 - ① EU タクソノミーおよび SFDR との関係
 - ② CS3D(企業持続可能性デューデシリジェンス指令)との整合
- 292.7 カテゴリー6:対象市場への影響と産業別動向
 - ① 5 万社超の対象拡大
 - ② 責任供給網と金融コストへの影響
- 292.8 カテゴリー7:企業対応とデジタル・ガバナンス
 - ① ESG 情報統合システムの整備
 - ② 監査準備と組織ガバナンス改革
- 292.9 カテゴリー8:CSRD がもたらす制度的意義と構造転換
 - ① 情報資本主義への移行
 - ② サステナブルエコノミーの制度的基盤
- 293 コバルト・ブロックチェーントレーサビリティ・カバレッジ 85%
- 293.1 序論:コバルトと ESG・トレーサビリティ
- 293.2 カテゴリー1:コバルトサプライチェーンの構造とリスク
 - ① サプライチェーン階層と主なステージ
 - ② 規制・投資家・消費者からの圧力
- 293.3 カテゴリー2:ブロックチェーン・トレーサビリティの基本設計
 - ① ブロックチェーン活用の狙い
 - ② データモデルとオンチェーン・オフチェーン統合
- 293.4 カテゴリー3:「カバレッジ 85%」の意味とインプリケーション
 - ① カバレッジの定義と測定
 - ② ESG・規制遵守への影響
- 293.5 カテゴリー4:エコシステム・ステークホルダーと役割分担
 - ① 主要プレイヤー
 - ② ガバナンスとインセンティブ設計

293.6 カテゴリー5:技術・運用上の課題

- ① データの信頼性と「ガーベッジイン・ガーベッジアウト」問題
- ② ASM のインクルージョンとコスト問題

293.7 カテゴリー6:ESG・規制遵守との統合

- ① デューデリジェンス・フレームワークとの接続
- ② バッテリー規制・製品パスポートとの連動

293.8 カテゴリー7:他鉱物・他セクターへの波及と戦略的示唆

- ① 他の重要鉱物への展開
- ② 企業・政策当局への示唆

293.9 結語:コバルト・トレーサビリティ 85%が意味するもの

【 規制・法制度・標準化 】

294 IRA 国内含有率要件と重要鉱物調達ルール

294.1 IRA における重要鉱物・国内含有率要件の位置づけ

294.2 クリーン・ビークル税額控除と重要鉱物要件

294.3 重要鉱物国内含有率の閾値とスケジュール

294.4 FTA 国・クリティカルミネラル協定国の位置づけ

294.5 外国の懸念対象団体(FEOC)規制との連動

294.6 45X 条先端製造税額控除と重要鉱物

294.7 規制・標準化・トレーサビリティの実務的枠組み

294.8 米国の重要鉱物戦略全体との関係

294.9 重要原材料・戦略物質供給網への波及影響

294.10 今後の制度運用と課題

295 輸出規制の 5 倍増(過去 10 年間)トレンド

295.1 近年の輸出規制急増の全体像

295.2 輸出規制件数が増えた主なドライバー

- ① 地政学的対立の先鋭化
- ② 経済安全保障とサプライチェーン保護
- ③ 人権・ESG 起点の輸出規制

295.3 規制対象の拡大:重要原材料・重要鉱物への波及

295.4 規制手段の多様化:リスト規制から制度パッケージへ

295.5 輸出規制 5 倍増がサプライチェーンに与える影響

295.6 規制強化トレンドの今後の方向性

296 中国のレアアース対 EV 材料の輸出規制 9 倍増(2009~2020 年)

296.1 レアアースと EV 材料をめぐる中国の戦略的位置づけ

296.2 2009~2011 年:輸出クォータ・輸出税を基軸とした第一次規制強化

- ① 輸出クォータ削減と価格高騰

② WTO 紛争と制度再構築への布石

296.3 2012～2015 年:環境・生産規制と企業再編による統制強化

① 環境規制名目の生産量管理

② 企業再編と国家主導の供給統制

296.4 2016～2020 年:対外的輸出管理法制と EV 材料への焦点化

① 輸出管理法とレアアース・EV 材料の戦略物質化

② ガリウム・ゲルマニウム・グラファイトへの輸出管理と EV への波及

296.5 EV サプライチェーンへの影響と各国の政策対応

① 価格ショックと調達多角化の動き

② 経済安全保障政策とのリンク

296.6 規制・法制度・標準化の観点から見た含意

297 規制・政策のモニタリングとロビー活動の位置付け

297.1 なぜ「重要原材料・重要鉱物」で政策モニタリングが中核になるのか

297.2 規制・政策モニタリングの機能と実務

① 早期警戒システムとしての役割

② モニタリングから社内意思決定への接続

297.3 ロビー活動の位置付け:受動的コンプライアンスから能動的ルール形成へ

① ロビー活動が不可避となる構造

② ロビー活動の具体的な目的

297.4 標準化・協議メカニズムとロビー活動の接点

① ボード・協議会・パブリックコンサルテーション

② 標準化作業と技術的ロビー

297.5 企業レベルでのモニタリング・ロビー戦略の組み立て

① 組織体制と役割分担

② リスクとレピュテーション管理

297.6 政策側から見たモニタリング・ロビー活動の意義

298 投資家向けディスクロージャー指標一覧(資源リスク関連)

298.1 資源リスク関連ディスクロージャーの全体像

298.2 1. 資源ポートフォリオと依存度(エクスポート指標)

① 1-1. 資源別依存度・売上感応度

② 1-2. 供給源集中度・地理的多様化度

298.3 2. サプライチェーンの構造と冗長性(レジリエンス指標)

① 2-1. 代替供給源・代替材料の有無

② 2-2. 在庫水準と調達契約の特性

298.4 3. 規制・地政学リスクへのエクスポート

① 3-1. 輸出規制・制裁・投資規制関連

- ② 3-2. 政治・社会・環境リスク地域への依存度
- 298.5 4. 環境フットプリントと資源効率(E 指標)
 - ① 4-1. 原材料使用量・資源効率
 - ② 4-2. ライフサイクル排出・環境負荷
- 298.6 5. 人権・ESG デューデリジェンス(S・G 指標)
 - ① 5-1. デューデリジェンス体制とカバレッジ
 - ② 5-2. ガバナンスと責任体制
- 298.7 6. 戦略・トランジション指標(将来対応力)
 - ① 6-1. サプライチェーン強靱化・多角化戦略
 - ② 6-2. 技術開発・代替材料への投資
- 298.8 7. 形式別開示フォーマットと指標整理の実務
 - ① 7-1. 財務報告・リスク要因セクション
 - ② 7-2. サステナビリティ報告・統合報告
 - ③ 7-3. データ品質・保証
- 299 政策担当者向け KPI(国内生産シェア・リサイクル率・多角化指標)
- 299.1 政策 KPI 設計の基本コンセプト
- 299.2 国内生産シェア関連 KPI
 - ① 国内生産シェア(量・価値ベース)
 - ② バリューチェーン段階別カバレッジ
 - ③ 国内投資・プロジェクトパイプライン
- 299.3 リサイクル率関連 KPI
 - ① マテリアルフロー起点のリサイクル率
 - ② リサイクル能力と経済性
 - ③ リサイクル関連政策の実効性 KPI
- 299.4 多角化指標(地理・サプライヤー・技術)
 - ① 地理的多角化 KPI
 - ② 企業・サプライヤー多角化 KPI
 - ③ 技術・素材多角化 KPI
- 299.5 KPI 設計上の実務的留意点
 - ① データソースと更新頻度
 - ② KPI 間のトレードオフとバランス
 - ③ ダッシュボードとしての統合
- 300 米国議会 CRS「Critical Mineral Resources: National Policy」報告
- 300.1 報告書の位置付けと目的
- 300.2 クリティカル・ミネラルの定義と CML の法的枠組み
 - ① エネルギー法 2020 による定義の明確化

- ② CML 策定プロセスと他省庁との連携
- 300.3 国家鉱物政策と連邦イニシアティブの整理
 - ① 国家鉱物政策のアップデート
 - ② 主要イニシアティブ: Earth MRI と 100 日レビュー
- 300.4 サプライチェーン・リスクと政策手段
 - ① リスク認識の枠組み
 - ② 政策手段の種類
- 300.5 他国・他機関のリストとの比較と政策含意
- 300.6 日本・他国にとっての示唆
- 301 採掘権・鉱区ライセンス制度の国際比較
 - 301.1 採掘権・鉱区ライセンス制度の基本構造
 - 301.2 代表的な制度類型: 先願主義・入札制・契約型
 - ① 先願主義・鉱区申請型 (claim / licence system)
 - ② 入札制・競争割当型 (auction / tender system)
 - ③ 契約型 (mining agreement / service contract)
 - 301.3 主要国・地域の制度的特徴
 - ① アフリカ諸国: 改革と資源ナショナリズムの揺れ
 - ② ラテンアメリカ: 民法系鉱区権と環境・社会許認可
 - ③ 北米・先進国: 政策認知と許可期間が投資魅力度を左右
 - 301.4 ベストプラクティスと課題: 世界銀行ライセンス研究の示唆
 - 301.5 重要原材料・戦略物質の文脈での新動向
 - 301.6 まとめ: 国際比較から見える政策設計のポイント
- 302 土地・水資源制約が鉱山操業に与える影響
 - 302.1 土地・水資源制約の位置付けと特徴
 - 302.2 土地制約: 所有権・利用権・社会的正当性
 - ① 所有権・利用権の多層構造
 - ② 土地収用・補償と社会紛争リスク
 - 302.3 水資源制約: 量・質・割当制度の三層
 - ① 水需要と鉱山プロセス
 - ② 取水権・排水許可と環境基準
 - ③ 水不足リスクと操業の柔軟性
 - 302.4 土地・水資源制約と規制・法制度
 - ① マルチレベル・ガバナンス構造
 - ② 環境・社会基準と国際フレームワーク
 - 302.5 重要原材料サプライチェーンへの波及
 - ① プロジェクト遅延・キャンセルと供給ギャップ

② 規制・標準化を通じた対応方向

303 規制・標準化を活用した日本発サステナブル・マテリアル基準の可能性

303.1 日本発サステナブル・マテリアル基準を構想する意義

303.2 既存枠組みと補完関係：どこに日本の余地があるか

① 欧州・米国の枠組みとの関係

② 既存の国内制度との接続

303.3 基準設計の中核となる要素

① 1. 環境・資源効率の指標(E 軸)

② 2. 社会・人権・安全の指標(S 軸)

③ 3. ガバナンス・トレーサビリティの指標(G 軸)

303.4 実装形態のシナリオ：規制と標準化の組み合わせ

① シナリオ A：官民共同の自主認証スキーム

② シナリオ B：JIS・JSA 等を通じた技術標準化

③ シナリオ C：法制度との接続(タクソノミー・開示義務)

303.5 日本が取るべき戦略的ステップ

① 1. ターゲット鉱物・材料とバリューチェーンの選定

② 2. 産業界と金融の連携

③ 3. アジア・同盟国との協調

304 日本の経済安全保障推進法と鉱物調達義務

304.1 経済安全保障推進法の位置づけと基本構造

304.2 特定重要物資制度と鉱物調達

① 特定重要物資指定と基本方針

② 事業者への計画策定・報告義務

304.3 鉱物調達義務の具体的メカニズム

① 補助金・税制・金融支援を通じた誘導

② 情報収集・早期警戒と調達行動

304.4 従来の資源政策・備蓄制度との関係

① レアメタル備蓄・石油備蓄との連携

② 海外資源開発と官民連携

304.5 企業にとっての含意と今後の論点

① コンプライアンスから戦略的調達へ

② 今後想定される制度拡張の方向性

305 紛争鉱物規制の進化と対象鉱種拡大

305.1 紛争鉱物規制の起源と基本枠組み

305.2 OECD ガイダンスと国際的ソフトローの役割

305.3 EU 紛争鉱物規則と対象鉱種の拡大

- 305.4 民間認証スキームと標準化の進展
- 305.5 対象鉱種の拡大:コバルト、マイカ、リチウムなど
- 305.6 中国を含む各国・地域の動向
- 305.7 紛争鉱物から「責任ある鉱物調達」へ
- 305.8 テクノロジー活用とトレーサビリティの高度化
- 305.9 規制拡大に伴う課題と批判
- 305.10 今後の展望:重要原材料・戦略物質との接続
- 306 鉱物資源と人権デューディリジェンス規制の拡大
- 306.1 鉱物資源と人権デューディリジェンスの基本概念
- 306.2 紛争鉱物規制から横断的 HRDD へ
- 306.3 EU レベルの人権デューディリジェンス立法と鉱物資源
- 306.4 欧州各国法と鉱物サプライチェーン
- 306.5 人権デューディリジェンスのプロセスと鉱物サプライチェーン
- 306.6 鉱物資源固有の人権リスクの類型
- 306.7 重要鉱物・エネルギー転換と HRDD 拡大
- 306.8 技術・デジタルツールによる HRDD 支援
- 306.9 ステークホルダー・エンゲージメントと救済メカニズム
- 306.10 企業にとっての戦略的含意
- 307 政治・規制リスク(鉱業法改正・ロイヤルティ変更等)
- 307.1 鉱物資源サプライチェーンと政治・規制リスクの位置づけ
- 307.2 鉱業法・鉱業権制度の改正によるリスク
- 307.3 ロイヤルティ・税制変更と財政パラメータ・リスク
- 307.4 国有化・収用と契約安定条項
- 307.5 資源ナショナリズムと現地付加価値義務
- 307.6 環境・社会規制の強化と許認可リスク
- 307.7 資本規制・外資規制とオーナーシップリスク
- 307.8 輸出入規制・価格統制と市場アクセスリスク
- 307.9 政治・規制リスク評価のフレームワーク
- 307.10 サプライチェーン戦略と規制リスク分散
- 307.11 ガバナンス・対話・ロビー活動の重要性
- 308 環境規制強化によるコスト上昇・操業停止リスク
- 308.1 重要原材料サプライチェーンと環境規制の位置づけ
- 308.2 規制強化のドライバーとメカニズム
- 308.3 コスト構造への影響:CAPEX と OPEX
- 308.4 許認可遅延・操業停止リスクのメカニズム
- 308.5 気候変動規制と移行リスク

- 308.6 水資源・生物多様性規制と立地制約
- 308.7 環境基準・報告義務の標準化とサプライチェーン圧力
- 308.8 社会ライセンスと規制の相互作用
- 308.9 企業戦略としての環境リスクマネジメント
- 308.10 重要物資供給網における政策的含意
- 309 規制複雑性が供給問題を複合化するメカニズム
- 309.1 規制複雑性とは何か
- 309.2 多層ガバナンス構造と断片化
- 309.3 異なる政策目的の衝突とトレードオフ
- 309.4 規制のスピードと非同期性
- 309.5 国・地域間での規制の不整合
- 309.6 エンフォースメントの恣意性と予見可能性の欠如
- 309.7 重複するデューデリジェンス義務とコンプライアンス負担
- 309.8 規制複雑性が投資インセンティブを歪める仕組み
- 309.9 企業内部の意思決定プロセスへの影響
- 309.10 標準化・調和の取り組みとその限界
- 309.11 規制複雑性に適応する戦略的視点
- 310 ESG 規制強化で新規鉱山開発が大幅に遅延するシナリオ
- 310.1 ESG 規制強化と鉱山開発の前提条件
- 310.2 シナリオの全体像: リードタイムが「10 年→15~20 年」化する構図
- 310.3 フェーズ別の遅延要因: 環境(E)
 - ① 環境影響評価(EIA)の高度化と再評価要求
 - ② 気候・自然関連情報開示と設計変更
- 310.4 フェーズ別の遅延要因: 社会(S)
 - ① 先住民・地域コミュニティの権利保護
 - ② 労働・人権デューデリジェンス義務
- 310.5 フェーズ別の遅延要因: ガバナンス(G)
 - ① ESG 開示義務と投資家のエンゲージメント
 - ② コーポレート構造と責任の所在
- 310.6 累積効果としての供給ギャップ拡大
- 310.7 プロジェクト選別と資本配分の歪み
- 310.8 企業戦略の観点から見たシナリオ対応
- 311 各国ストックパイル制度(国家備蓄)の強化傾向
- 311.1 国家備蓄が再注目される背景
- 311.2 備蓄対象の拡大と多様化
- 311.3 米国: 防衛生産法・戦略備蓄の再活用

- 311.4 中国:国家備蓄と行政的市場統制の組み合わせ
- 311.5 EU・日本・韓国:産業政策と連動した備蓄再設計
- 311.6 備蓄のガバナンス:どこまで公開し、どう使うか
- 311.7 ストックパイルと国際協調・ブロック化
- 311.8 産業への影響と企業戦略
- 312 海底鉱物開発を巡る NOAA 新規則
 - 312.1 海底鉱物開発と NOAA の規制権限の位置づけ
 - 312.2 新規則導入の背景:重要鉱物需要と環境懸念の高まり
 - 312.3 新規則の柱①:ライセンス種別と適用範囲の再整理
 - 312.4 新規則の柱②:環境影響評価と予防原則の徹底
 - 312.5 新規則の柱③:モニタリング・データ共有・アダプティブマネジメント
 - 312.6 新規則の柱④:国際海底機構 (ISA) 規則との整合性
 - 312.7 新規則がもたらすビジネス・供給網への含意
 - 312.8 規制・標準化を通じた国際ルール形成上の意義
- 313 炭素国境調整メカニズム (CBAM) と鉱物精錬コスト
 - 313.1 1. CBAM の基本枠組みと対象範囲
 - 313.2 2. 鉱物精錬における CO₂ 排出構造
 - 313.3 直接排出と間接排出
 - 313.4 製品別の排出強度の差
 - 313.5 3. CBAM が鉱物精錬コストに与える直接的影響
 - 313.6 追加コストのメカニズム
 - 313.7 投資・操業判断への影響
 - 313.8 4. 間接的な影響:サプライチェーンと価格形成
 - 313.9 サプライチェーンの再構成
 - 313.10 価格への転嫁と競争力
 - 313.11 5. 低炭素精錬・リサイクルへのインセンティブ
 - 313.12 二次資源ルートの相対優位
 - 313.13 プロセス革新と投資の方向
 - 313.14 6. リスクと課題
 - 313.15 データ要求とコンプライアンスコスト
 - 313.16 競争条件の不確実性
 - 313.17 7. 戦略的インプリケーション
- 【 社会的課題／人材・労働力問題 】
- 314 鉱業工学部門の衰退(米大学の鉱業学科閉鎖傾向)
 - 314.1 米国鉱業教育の歴史的背景と現在地
 - 314.2 鉱業学科閉鎖を促す要因

- ① 学生需要の減少と財政制約
- ② 石炭・化石燃料への依存イメージ
- ③ 産業側からの人材需要の読み違い

314.3 重要原材料サプライチェーンへの影響

- ① 専門技術者の慢性的不足
- ② 安全・環境・社会リスクの増大

314.4 大学・産業界・政府の対応動向

- ① カリキュラムの再編とブランディング変更
- ② 奨学金・産学連携・オンライン教育
- ③ 国際連携・海外からの人材獲得

314.5 日本・他国にとってのインプリケーション

315 技能移転・研修プログラム(先進国→資源国)

315.1 重要鉱物サプライチェーンにおける技能移転の位置づけ

315.2 技能移転プログラムの主なタイプ

- ① 現場ベースのオン・ザ・ジョブ・トレーニング(OJT)
- ② 研修センター・アカデミー型プログラム
- ③ 交換留学・大学連携型プログラム
- ④ デジタル・リモート研修プログラム

315.3 技能移転プログラムがターゲットとするスキル領域

- ① 技術・安全・環境
- ② マネジメント・ガバナンス・社会関係

315.4 技能移転をめぐる利害と課題

- ① ウィンウィンの可能性
- ② 不平等・依存関係の再生産リスク
- ③ ブレインドレインと人材流動

315.5 効果的な技能移転・研修プログラム設計のポイント

- ① 共同設計・共同所有の原則
- ② 階層別・職種別のモジュール化
- ③ 実務・現場との強い接続
- ④ フォローアップとネットワーク構築

315.6 クリティカル・ミネラル時代の技能移転の方向性

316 鉱業安全衛生基準の国際調和

316.1 鉱業安全衛生をめぐる国際調和の意義

316.2 既存の国際的枠組みとベンチマーク

- ① ILO 条約・勧告と労働安全衛生マネジメント
- ② 業界主導のガイドラインと自主基準

316.3 調和が求められる具体的な安全衛生領域

- ① 重大事故リスク: 落盤・ガス・爆発・尾鉱ダム
- ② 慢性リスク: 粉じん・騒音・化学物質・熱ストレス
- ③ 労働時間・休息・メンタルヘルス

316.4 国際調和を進めるメカニズム

- ① 多国間協定・地域枠組み
- ② 企業のグローバル標準とサプライチェーン圧力
- ③ 国際認証・ラベリング・報告枠組み

316.5 調和に向けた課題と留意点

- ① 規制能力と実務実装のギャップ
- ② 地質・鉱種・技術の多様性
- ③ 労働者参加と先住民・地域社会の視点

316.6 重要原材料サプライチェーン戦略としての安全衛生調和

317 ASM(小規模手掘り鉱山)労働者の安全・権利

317.1 ASM の位置づけと特徴

317.2 ASM 労働者が直面する主な安全リスク

- ① 物理的安全: 坑道崩落・落下・機械事故
- ② 健康リスク: 粉じん・化学物質・騒音
- ③ 社会的安全: 暴力・搾取・治安

317.3 ASM 労働者の権利状況と法制度の課題

- ① 法的地位の曖昧さと非公式性
- ② 労働基本権と組織化の障壁
- ③ 児童労働・ジェンダー問題

317.4 ASM 労働者の安全・権利向上に向けたアプローチ

- ① 公式化(フォーマライゼーション)と権利付与
- ② 技術支援と安全インフラの改善
- ③ 組織化・協同組合化と交渉力強化
- ④ 児童労働撤廃と教育・代替生計支援
- ⑤ ジェンダー平等と女性のエンパワーメント

317.5 グローバルサプライチェーンとASM 労働者の権利

318 テロ・サイバー攻撃・物理的セキュリティリスク

318.1 重要鉱物サプライチェーンにおけるリスクの全体像

318.2 テロ・武装攻撃リスク

- ① 政治的・宗教的動機による攻撃
- ② 犯罪組織・資源紛争との関連

318.3 サイバー攻撃リスク

- ① 産業制御システムへの攻撃
- ② データ・知財・サプライチェーン情報への攻撃
- ③ ランサムウェアと業務停止

318.4 物理的セキュリティと内部脅威

- ① 施設・輸送の物理的防護
- ② 内部不正・インサイダーリスク

318.5 リスク管理と人材・組織へのインプリケーション

- ① 多層防御とサイバーフィジカル統合
- ② 教育・訓練と文化醸成
- ③ マルチステークホルダー協力

318.6 まとめ: 人材・社会的観点から見たセキュリティリスク

319 サイバーセキュリティ対策と OT セキュリティ強化

319.1 重要鉱物サプライチェーンにおけるサイバー・OT リスクの特徴

319.2 サイバー・OT インシデントがもたらす影響

- ① 生産・安全・環境への直接的影響
- ② 機微情報・知財・サプライチェーン情報の流出

319.3 OT セキュリティ強化の基本原則

- ① IT と OT の違いを踏まえたリスクベース設計
- ② 防御深度 (Defense in Depth) の実装

319.4 具体的なサイバーセキュリティ対策

- ① ネットワークアーキテクチャとアクセス管理
- ② 資産管理・脆弱性管理
- ③ ログ・監視・インシデント対応

319.5 人材・組織面からの OT セキュリティ強化

- ① OT と IT の橋渡し人材の育成
- ② セキュリティ文化と現場のエンゲージメント
- ③ 供給網全体での協調

319.6 政策・ガバナンスの観点

- ① 重要インフラとしての位置づけ
- ② 規制・標準・認証

319.7 結論: 人材・社会的課題としてのサイバー／OT セキュリティ

320 中小企業・SME の材料調達リスクと支援スキーム

320.1 中小企業と重要原材料調達の構造的課題

320.2 中小企業が直面する代表的な材料調達リスク

- ① 価格変動とコスト転嫁の難しさ
- ② 供給途絶・リードタイム延長

③ 品質・トレーサビリティ・認証の負荷

④ 情報・交渉力の非対称性

320.3 中小企業の調達リスク低減に向けた企業内の取り組み

① 調達ポートフォリオの多様化と標準化

② 在庫戦略と資金調達

③ 情報収集と人材育成

320.4 政府・公的機関による支援スキーム

① 情報プラットフォームとアラートシステム

② 共同調達・備蓄・安定供給枠の提供

③ 金融・保証・保険スキーム

④ 技術支援・代替材料開発支援

320.5 産業エコシステムとしての支援スキーム

① 大企業・プライム企業によるサプライチェーン支援

② クラスタ・コンソーシアム形成

③ サーキュラーエコノミーと地域循環

320.6 人材・組織面から見た中小企業支援のポイント

321 アフリカにおける鉱業人材育成と地質調査能力構築

321.1 資源ポテンシャルと人材・地質情報ギャップ

321.2 地質調査能力の現状と課題

① 公的地質調査機関の役割と制約

② 地質情報インフラの整備ニーズ

321.3 鉱業人材育成の課題：教育・キャリア・ブレインドレイン

① 高等教育と専門職養成

② 職業教育・技能人材

321.4 能力構築に向けたアプローチ：地質調査編

① 国際協力による地質調査プロジェクト

② 地質情報のオープンデータ化と利用促進

321.5 能力構築に向けたアプローチ：人材育成編

① 大学・研究機関ネットワークの強化

② 奨学金・研修プログラムとブレインサーキュレーション

③ 職業訓練と現場ベースの能力開発

321.6 ガバナンス・産業政策との連動

① 資源ガバナンスと人材・地質能力の関係

② 産業多角化・ローカルバリューチェーンとの接続

321.7 社会的包摂・ジェンダー・地域コミュニティへの配慮

321.8 結論：アフリカ鉱業の持続可能な発展に向けて

322 鉱業のイメージ改善と次世代人材確保戦略

322.1 鉱業イメージ悪化の背景と構造

322.2 次世代人材が鉱業に求めるもの

- ① 価値観との整合性
- ② キャリア機会と働き方

322.3 イメージ改善のためのストーリーテリング戦略

- ① 「問題の一部」から「解決の一部」へ
- ② 現場の変化を見せる

322.4 次世代人材確保のための具体的施策

- ① 教育機関との連携強化
- ② ブランドと採用プロセスの刷新
- ③ キャリアパスとリスクリリング

322.5 DEIと地域社会との関係強化

- ① 多様性のあるロールモデルづくり
- ② 地域コミュニティと共に歩む姿勢

322.6 ガバナンス・業界全体での取り組み

- ① 業界横断のキャンペーンとプラットフォーム
- ② 政策・教育制度との連携

322.7 結び：イメージ転換と実態変革の両輪

323 移民政策を活用した重要鉱物労働力確保策

323.1 重要鉱物セクターと移民労働力の位置づけ

323.2 移民政策が対象とすべき人材セグメント

- ① 高度専門職（エンジニア・専門技術者）
- ② 技能労働者・オペレーター層
- ③ 研究・イノベーション人材

323.3 具体的な政策ツールと設計のポイント

- ① 特定技能・特定産業向けビザの設計
- ② 資格・技能の相互承認とブリッジ教育
- ③ 地域コミュニティ・インフラ政策との連動

323.4 リスクとガバナンス上の課題

- ① 労働搾取・安全軽視の懸念
- ② 社会的反発・政治的リスク

323.5 サプライチェーン戦略としての移民活用

- ① 多国籍人材ポートフォリオの構築
- ② 知識移転と「人材備蓄」の発想

323.6 日本にとっての含意

324 先住民コミュニティとの採掘合意プロセスの長期化

324.1 合意プロセス長期化の背景と構造

324.2 合意プロセスの主なステップとボトルネック

- ① 情報開示・信頼醸成フェーズ
- ② 影響評価と価値観のすり合わせ
- ③ 便益配分・ガバナンス設計

324.3 長期化がもたらす影響:リスクと機会

- ① プロジェクト側から見た影響
- ② 先住民・地域社会から見た影響

324.4 長期化を前提とした制度設計・企業戦略

- ① 早期関与と段階的合意
- ② 共同ガバナンスと透明性
- ③ 権利回復・土地保護との整合

325 鉱業の DEI(多様性・公平性・包摂性)と人材獲得

325.1 鉱業における DEI の現状認識

325.2 DEI と人材獲得の関係:なぜ多様性が競争優位になるのか

- ① 採用プールの拡大と新しいスキルセットの獲得
- ② 職場文化・安全・定着率の改善

325.3 鉱業で顕在化しやすい DEI 課題

- ① 性別・人種・先住民・移民をめぐる格差
- ② 働き方・ライフスタイルのミスマッチ

325.4 DEI 推進に向けた具体的アプローチ

- ① 採用・教育段階での介入
- ② 職場環境・制度の改革
- ③ リーダーシップと測定可能な目標

325.5 重要鉱物サプライチェーン全体での DEI の位置付け

- ① 上流から下流まで一貫した視点
- ② 投資家・規制当局・コミュニティからの期待

325.6 まとめ:DEI を人材戦略の中核に据える

326 自動化進展による鉱業労働市場の構造変化

326.1 自動化の進展と鉱業セクターの特徴

326.2 雇用量の変化:減少と再配置

- ① 単純・危険作業の雇用減少
- ② 新たな職種・セクターへのシフト

326.3 スキル構成と職務内容の変化

- ① 現場スキルからデジタル・分析スキルへ

② マルチスキル化と職域の再編

326.4 地域社会・人材供給へのインパクト

① 地方鉱山地域の雇用構造

② 教育・訓練システムへの要請

326.5 企業・政策側の対応オプション

① 企業戦略としての自動化人材マネジメント

② 政府・規制当局の役割

326.6 自動化と鉱業労働市場の将来像

327 Essential Minerals Association の労働力開発課題レポート

327.1 レポートの位置づけと問題意識

327.2 直面する主要な労働力課題

① 大量退職と年齢構成の歪み

② 教育・訓練基盤の弱体化

③ イメージ・魅力度の低さと DEI 課題

④ 技術変化に伴うスキルギャップ

327.3 レポートが提示する重点領域

① 1. パイプライン形成: K-12 から大学・職業訓練まで

② 2. リスキリング・アップスキリングとキャリア転換

③ 3. DEI と地域コミュニティ戦略

④ 4. 政策・規制・インセンティブの活用

327.4 日本・他国にとっての示唆

328 CSIS「Digging Deeper: Building Our Critical Minerals Workforce」

328.1 報告書の位置づけと全体像

328.2 クリティカル・ミネラル人材の需給ギャップ

① セクター横断で不足する人材像

② 地域・セグメントごとの偏在

328.3 根本原因の分析: 教育・イメージ・制度のギャップ

① 教育・訓練パイプラインの断裂

② 鉱業イメージとキャリア魅力度の問題

③ 制度・政策面の不足

328.4 報告書が提案する政策・戦略

① 1. 国家レベルのクリティカル・ミネラル人材戦略

② 2. 教育・訓練へのターゲット投資

③ 3. DEI・地域コミュニティを軸にした人材拡大

④ 4. 他セクターからの人材移行と移民政策

328.5 日本・他国への含意

- 329 STEM 教育プログラムとパイプライン強化
 - 329.1 クリティカル・ミネラル人材と STEM 教育の接点
 - 329.2 初等中等教育段階：興味喚起とリテラシー形成
 - ① カリキュラムへの鉱物・材料テーマの組み込み
 - ② 体験型プログラムとロールモデル
 - 329.3 高等教育・職業教育：専門人材の育成とパスウェイ設計
 - ① 大学レベルのプログラム強化
 - ② コミュニティカレッジ・職業訓練校の役割
 - ③ 産学協働による「パスウェイ」の可視化
 - 329.4 パイプライン強化のための横断的施策
 - ① DEI 視点を組み込んだ STEM プログラム
 - ② 地域コミュニティとの連携
 - ③ デジタル技術の活用
 - 329.5 政策とガバナンス：STEM パイプラインを持続させる仕組み
 - ① 政府の役割
 - ② 企業・業界団体の役割
 - ③ 評価と継続的改善
- 330 リモート鉱山地域の生活環境と人材定着
 - 330.1 リモート鉱山地域の構造的特徴
 - 330.2 生活環境が人材定着に与える主要な要因
 - ① ハードインフラ（住宅・交通・通信）
 - ② ソフトインフラ（医療・教育・福祉）
 - ③ 社会的環境（コミュニティ・文化・安全）
 - 330.3 雇用形態とライフスタイル：FIFO と常住モデル
 - ① FIFO（フライイン・フライアウト）モデルの特徴
 - ② 常住モデルと「鉱山町」の再評価
 - 330.4 人材定着に向けた企業・自治体の戦略
 - ① 住宅・インフラへの直接投資と共同利用
 - ② 家族支援・ワークライフバランス施策
 - ③ コミュニティづくりとメンタルヘルス
 - 330.5 社会的課題と今後の方向性
- 331 米国鉱業セクターの 2029 年までの 22.1 万人退職予測
 - 331.1 退職予測の規模感と前提
 - 331.2 職種別・スキル別に見た影響
 - ① 現場オペレーション人材
 - ② 専門技術・エンジニアリング人材

331.3 重要原材料・重要鉱物サプライチェーンへの含意

- ① 供給能力と投資プロジェクトへの影響
- ② 規制・法制度面での反応

331.4 労働市場・コミュニティへの影響

- ① 若年層の参入と地域開発
- ② 多様性・インクルージョンと技能ミックス

331.5 政策・企業戦略としての対応方向

- ① 教育・訓練とキャリアパス設計
- ② 自動化・リモートオペレーションの加速
- ③ 国際人材の活用と知識移転

【 主要企業・機関・アクター 】

332 Rio Tinto: 重要原材料サプライチェーンにおける位置づけ

332.1 企業概要と事業ポートフォリオ

332.2 主要コモディティと重要原材料としての意味

- ① 鉄鉱石: 世界市場の中核供給者
- ② アルミニウム・ボーキサイト: 軽量化と電動化を支える素材
- ③ 銅・その他鉱物

332.3 戦略: エネルギートランジションとポートフォリオ再構築

- ① 「未来志向メタル」へのシフト
- ② 顧客との長期パートナーシップ

332.4 ガバナンス・ESG とレピュテーション

- ① 環境・社会課題への対応
- ② ガバナンス構造

332.5 重要原材料サプライチェーンにおける役割

- ① 供給安定化と市場構造への影響
- ② エネルギートランジションと経済安全保障の観点

332.6 まとめ

333 Glencore: 資源メジャー兼トレーディングハウスとしての特異な位置づけ

333.1 企業概要とビジネスモデル

333.2 主要コモディティと重要原材料としての意味

- ① 銅・コバルト・ニッケルなどエネルギートランジション金属
- ② 石炭・石油とエネルギー安全保障

333.3 トレーディング機能とサプライチェーンへの影響

- ① マーケティング・物流・価格裁定
- ② 供給ショック時の役割

333.4 戦略・ガバナンスと ESG をめぐる論点

- ① ポートフォリオ戦略と脱炭素
- ② コンプライアンス・ガバナンス
- ③ 人権・サプライチェーン責任

333.5 重要原材料戦略から見た Glencore の意味

- ① 需要家にとっての位置づけ
- ② 政府・規制当局との関係

333.6 まとめ

334 Vale S.A.: ブラジル発メジャー鉱山企業の戦略的意味

334.1 企業概要と事業ポートフォリオ

334.2 重要原材料／戦略物質としての位置づけ

- ① 高品位鉄鉱石の戦略的重要性
- ② ベースメタル事業(ニッケル・銅など)

334.3 サプライチェーンとインフラ

- ① 統合された鉱山・鉄道・港湾ネットワーク
- ② 需要家との長期契約と製品戦略

334.4 ESG・ガバナンスとレジリエンス

- ① 過去の事故とガバナンス改革
- ② 脱炭素と高品位原料の活用

334.5 重要原材料戦略から見た Vale S.A.の意味

- ① 鉄鋼・インフラ需要と経済安全保障
- ② ポートフォリオ分散とパートナーシップ

335 Anglo American: 多様な資源ポートフォリオを持つグローバル鉱山企業

335.1 企業概要と事業ポートフォリオ

335.2 主要コモディティと重要原材料としての意味

- ① 銅・鉄鉱石などエネルギー・トランジション関連金属
- ② プラチナグループメタル(PGM)
- ③ 肥料原料・その他資源

335.3 戦略: ポートフォリオ転換と「未来志向」資源への集中

335.4 ガバナンス・ESG・イノベーション

- ① 環境・社会への取り組み
- ② 技術・デジタル化の活用

335.5 重要原材料戦略から見た Anglo American の意味

- ① 需要家・政府との関係
- ② サプライチェーン多様化への貢献

336 Freeport-McMoRan: 銅・モリブデンを軸とする重要原材料メジャー

336.1 企業概要と事業ポートフォリオ

336.2 重要原材料としての銅・モリブデンの意味

- ① 銅:電動化とインフラのボトルネック金属
- ② モリブデン:高温材料・合金としての戦略性

336.3 グローバル資産とサプライチェーン

- ① 主要鉱山と地域分散
- ② 精錬・加工と物流

336.4 戦略と投資方針

- ① 銅需要の長期拡大に備えた増産・拡張
- ② 財務規律と株主還元のバランス

336.5 ガバナンス・ESG とステークホルダー対応

- ① 環境・社会課題
- ② 政府・コミュニティとの関係

336.6 重要原材料戦略から見た Freeport-McMoRan の意味

- ① 需要家企業にとっての位置づけ
- ② 政府・政策面へのインプリケーション

336.7 結語

337 Teck Resources:カナダ発多角型鉱山企業の戦略的意味

337.1 企業概要と事業ポートフォリオ

337.2 主要コモディティと重要原材料としての意味

- ① 鋼材用石炭(原料炭)
- ② 亜鉛
- ③ 銅

337.3 戦略:ポートフォリオ転換と長期需要への対応

- ① 銅へのシフトと原料炭ポジションの見直し
- ② 北米・南米を軸とした地域分散

337.4 ガバナンス・ESG と技術的取り組み

- ① 環境・社会への配慮
- ② 脱炭素・技術革新

337.5 重要原材料戦略から見た Teck Resources の意味

- ① 需要家との関係とサプライチェーンの安定性
- ② 政策・経済安全保障上の位置づけ

338 CMOC Group:中国系メジャーとしてのコバルト・銅・モリブデン戦略

338.1 企業概要と事業ポートフォリオ

338.2 主要コモディティと重要原材料としての意味

- ① コバルト・銅:EV 電池と電力インフラのキーメタル
- ② モリブデン・タングステン・ニオブなど

338.3 中国系メジャーとしての特徴

- ① 垂直統合と国内需要との結び付き
- ② 対外投資と資源ナショナリズム

338.4 ESG・ガバナンスとリスク

- ① 環境・社会課題
- ② 情報開示と国際的評価

338.5 重要原材料戦略から見た CMOC Group の意味

- ① EV・電池サプライチェーンへのインプリケーション
- ② 政府・政策面での位置づけ

339 China Rare Earth Group: レアアース供給網を支える中国国有メジャー

339.1 企業概要と設立の背景

339.2 主要事業とレアアースの戦略的重要性

- ① レアアースの用途と重要性
- ② 採掘から分離・精製までの一貫体制

339.3 中国のレアアース政策と同社の役割

- ① 資源管理・環境規制の強化
- ② 産業政策と技術戦略

339.4 国際サプライチェーンと地政学的含意

- ① 供給集中リスクと代替・多元化の動き
- ② 交渉力と長期契約

339.5 重要原材料戦略から見た China Rare Earth Group の意味

- ① 需要国・企業にとっての課題と機会
- ② 政策・ガバナンスの観点

340 BHP Group: 重要原材料サプライチェーンにおける位置づけ

340.1 企業概要と事業ポートフォリオ

340.2 重要原材料／戦略物質との関係

- ① 鉄鉱石・銅を軸とした基盤
- ② エネルギー・トランジション金属へのシフト

340.3 戦略: ポートフォリオ再編と長期需要への対応

- ① 脱炭素と資源需要構造の変化への対応
- ② 上流投資と顧客との長期関係

340.4 ガバナンス・ESG・レジリエンス

- ① ESG 重点領域
- ② レジリエンスとリスク管理

340.5 重要原材料サプライチェーンにおける BHP の意味

341 SQM (Sociedad Química y Minera de Chile): チリ発リチウム・バッテリー素材メジャー

341.1 企業概要とポジショニング

341.2 リチウム事業の特徴

- ① アタカマ塩湖を中心とした資源基盤
- ② 製品ポートフォリオ: 炭酸リチウム・水酸化リチウムなど

341.3 その他事業: 肥料・ヨウ素・工業化学品

341.4 戦略: リチウム需要拡大への対応と国家政策との整合

- ① 生産能力拡大と投資計画
- ② チリ政府との関係と資源ナショナリズム

341.5 ESG・環境・社会的課題

- ① 水資源・環境への影響
- ② コミュニティとの関係とガバナンス

341.6 重要原材料・重要物資供給網における SQM の意味

- ① EV・バッテリー産業にとっての戦略的サプライヤー
- ② 経済安全保障と産業政策上の位置づけ

341.7 結語

342 Ganfeng Lithium: 垂直統合型リチウム・バッテリー企業の台頭

342.1 企業概要と全体像

342.2 上流資源ポートフォリオ

- ① 鉱山権益と供給確保

342.3 中流: リチウム化合物・金属製品

- ① 炭酸リチウム・水酸化リチウム・リチウム金属

342.4 下流: 電池製造とリサイクル

- ① 電池セル・パック事業
- ② リサイクル・循環型サプライチェーン

342.5 戦略的特徴とリスク・機会

- ① 中国 EV エコシステムとの密接な連携
- ② 地政学・ESG リスク

342.6 重要原材料・重要物資供給網から見た Ganfeng Lithium の意味

- ① 需要家企業から見た位置づけ
- ② 政府・政策面での含意

343 Tianqi Lithium: 資源権益と化学品を軸とする中国系リチウムメジャー

343.1 企業概要とポジショニング

343.2 上流: リチウム鉱山権益

- ① オーストラリア・スポデューメン資産
- ② その他地域への展開

343.3 中流: リチウム化学品生産

① 炭酸リチウム・水酸化リチウム

② 顧客基盤と契約

343.4 戦略:資源確保と財務・ガバナンス

① 資源ナショナリズムと国際投資のバランス

② 財務面の調整と持続可能な成長

343.5 ESG・環境・社会的側面

① 環境配慮と規制対応

② サプライチェーン責任

343.6 重要原材料・重要物資供給網から見た Tianqi Lithium の意味

① 需要家・政府にとっての位置づけ

344 重要原材料・重要鉱物コンテキストにおける Lynas Rare Earths とリチウム・バッテリー
素材

344.1 位置づけと全体像

344.2 事業構造とバリューチェーン上の役割

① 資源・鉱山段階: Mt Weld の高品位鉱床

② 中流段階: Kalgoorlie とマレーシアのプロセッシング

③ 下流志向: 磁石・合金および地域別展開

344.3 リチウム・バッテリー素材としてのレアアースと Lynas の関与

① リチウムイオン電池とレアアースの接点

② NdPr・Dy・Tb 供給におけるポジション

344.4 地政学・サプライチェーン強靱化の観点

① 中国依存低減と「ex-China サプライチェーン」

② 日本・東アジアとの関係

344.5 環境・社会・ガバナンス(ESG)とライセンス・トゥ・オペレート

① マレーシアにおける環境問題と対応

② トレーサビリティとサステナブル・サプライチェーン

344.6 マーケットダイナミクスと競争環境

① EV・再エネ需要によるレアアース市場の拡大

② 競合・代替技術と Lynas のポジショニング

344.7 まとめ:重要原材料アクターとしての Lynas Rare Earths の意義

345 リチウム・バッテリー素材コンテキストにおけるレアアース

345.1 レアアースとリチウム・バッテリー供給網の位置づけ

345.2 レアアースの基礎と分類

345.3 レアアース需要と電動化・再エネの拡大

345.4 主要産地・精製能力と地政学的集中

345.5 非中国勢による代替サプライチェーン構築

- 345.6 クリティカル原材料政策とレアアース
- 345.7 リチウムイオン電池とレアアースの関係性
- 345.8 レアアースをめぐる供給リスクと価格変動
- 345.9 レアアースのリサイクルとサーキュラーエコノミー
- 345.10 レアアース関連の主要企業・機関・アクター
- 345.11 リチウム・バッテリー素材戦略の中でのレアアースの位置づけ
- 346 Albemarle Corporation: リチウム・バッテリー素材のグローバル主要企業
- 346.1 企業概要とポジショニング
- 346.2 リチウム事業の構成
 - ① 上流資産: 塩湖ブラインとハードロック鉱山
 - ② 中間・下流: リチウム化合物とバッテリー素材
- 346.3 戦略: エネルギートランジションと供給拡大
 - ① 生産能力拡張とプロジェクト開発
 - ② 顧客とのパートナーシップと契約形態
- 346.4 ガバナンス・ESG と技術的取り組み
 - ① 環境・社会ガバナンス(ESG)
 - ② 技術開発と効率化
- 346.5 重要原材料・重要物資供給網から見た Albemarle の意味
 - ① 供給集中とリスク分散の観点
 - ② 経済安全保障・産業政策上の位置づけ
- 346.6 結語
- 347 The Metals Company(深海採掘)の戦略的意義
- 347.1 企業概要とビジネスモデル
- 347.2 深海多金属団塊資源とコントラクトエリア
 - ① CCZ における資源ポテンシャル
 - ② 探査キャンペーンと環境ベースライン
- 347.3 オフショア技術: 採取システムの構成
 - ① 採取バリューチェーン
 - ② パイロット試験と環境モニタリング
- 347.4 オンショア技術: 精錬・加工プロセス
 - ① 団塊の特徴と処理コンセプト
 - ② 米国での処理ハブ構想
- 347.5 重要原材料・戦略物質供給網におけるポジション
 - ① バッテリーメタル供給能力
 - ② サプライチェーン多角化と安全保障
- 347.6 環境影響と社会的論争

① 環境影響評価の枠組み

② 規制・評判リスク

347.7 規制・政策の枠組みと TMC のポジション

① 国際海底機構 (ISA) のルール形成

② 各国の重要鉱物政策との関係

347.8 競合環境と差別化要因

① 競合プレーヤー

② 差別化要因の整理

347.9 重要原材料／戦略物質サプライチェーンにおける TMC の位置づけ

348 GoldHaven Resources (ジュニア探鉱企業) の戦略的意義

348.1 企業概要とビジネスモデル

348.2 プロジェクトポートフォリオの全体像

348.3 Magno プロジェクト: クリティカルメタル集積のポテンシャル

① プロジェクト概要と地政学的文脈

② 含有金属と鉱化スタイル

③ 探査戦略と 2026 年プログラム

348.4 Three Guardsmen プロジェクト: 銅・タングステンを軸とした重要鉱物ターゲット

348.5 ブラジル・チリにおけるプロジェクトと国際展開

① ブラジル: Copeçal プロジェクト群

② チリ: マリクンガ・ゴールドベルトでの金・銅プロジェクト

348.6 重要原材料・戦略物質サプライチェーンにおける GoldHaven の役割

① クリティカルメタルの多様な組み合わせ

② カナダ国内クリティカルミネラル戦略との整合性

348.7 投資・資本市場の文脈

348.8 他企業との比較にみるポジショニング

348.9 リスクと課題

348.10 総合的な位置づけ

349 Wheaton Precious Metals (ストリーミング) の戦略的意義

349.1 企業概要とビジネスモデル

349.2 ストリーミングの仕組みと鉱山会社へのインパクト

① ストリーミング契約の基本構造

② ストリーミングが重要物資供給網に与える影響

349.3 主な資産ポートフォリオと最近の案件

① Antamina 銀ストリームの拡大

② Hemlo 金ストリームと ESG 実績

③ ポートフォリオの多様化: 貴金属からコバルトまで

349.4 ストリーミングと重要原材料サプライチェーン

① 鉱山開発の資金調達インフラとしての役割

② 副産物メタルの回収と資源効率

349.5 ESG と社会的ライセンス

349.6 他プレイヤーとの比較と位置づけ

349.7 重要原材料サプライチェーンにおける戦略的意味

350 Cirba Solutions(電池リサイクル)の戦略的意義

350.1 企業の成り立ちとビジネスモデル

350.2 施設ネットワークと処理能力

① 既存拠点と能力

② コロンビア(サウスカロライナ)大型プロジェクト

350.3 技術的特徴とプロセスの位置づけ

350.4 主要パートナーシップと顧客基盤

① 自動車 OEM との連携

② 商社・投資家との戦略的提携

350.5 政策・規制との連動

① 米国重要鉱物政策と BIL 資金

② 規制・安全基準への対応

350.6 重要原材料サプライチェーンへのインパクト

① クリティカルミネラルの国内循環

② OEM・セルメーカーへの価値提案

350.7 競合環境と差別化要因

350.8 「新興・スタートアップ」としての位置づけ

351 Momentum Technologies(MSX リサイクル技術)の戦略的意義

351.1 企業概要と資本構造

351.2 中核技術: Membrane Solvent Extraction (MSX)

① 技術コンセプトと特徴

② バッテリー材料への適用

③ レアアース・マグネットへの拡張

351.3 Carrollton デモプラントと商業展開

① テキサス・Carrollton デモプラント

② 分散型精錬とローカルサプライチェーン

351.4 政策・安全保障との連動

351.5 サプライチェーンにおける役割とインパクト

① バッテリー・レアアース両分野への横断的貢献

② 中国依存度の低減とレジリエンス向上

- 351.6 ビジネスモデルと他プレーヤーとの比較
- 351.7 リスクと課題
- 351.8 総合的な位置づけ
- 352 New Pacific Metals(ボリビア銀・クリティカルメタル探鉱)の戦略的意義
 - 352.1 企業概要とビジネスモデル
 - 352.2 主要プロジェクトと資源ポテンシャル
 - 352.3 銀とベースメタルの戦略的重要性
 - ① 銀の役割
 - ② ベースメタル(亜鉛・鉛・錫など)
 - 352.4 ボリビアの政治・資源ナショナリズムと New Pacific
 - 352.5 資本市場における評価とポジション
 - 352.6 重要原材料サプライチェーンにおける位置づけ
- 353 Metallium Ltd(FJH リサイクル技術)の戦略的位置づけ
 - 353.1 企業概要とビジネスモデル
 - 353.2 中核技術:Flash Joule Heating(FJH)の特徴
 - ① FJH のプロセス概要
 - ② レアアース・貴金属リサイクルへの応用
 - 353.3 重点ターゲットと市場機会
 - ① E スクラップとブラックマス
 - ② レアアースサプライチェーン
 - 353.4 事業展開ロードマップと拠点
 - 353.5 既存プロセスとの比較と技術優位性
 - ① 従来の乾式・湿式冶金との比較
 - ② モジュール性・ローカル展開性
 - 353.6 ガバナンス・ライセンスと大学発技術の商業化
 - 353.7 競争環境と差別化要因
 - 353.8 グローバル重要物資供給網における役割
 - ① クリティカル・レアアース・バッテリーメタル
 - ② 多元的・分散型サプライチェーンへの貢献
 - 353.9 政策・規制との整合性
 - 353.10 パートナーシップとエコシステム
 - 353.11 リスクと課題
 - 353.12 「新興・スタートアップ」としての戦略的位置づけ
 - 353.13 参考文献
- 354 ISA(国際海底機構)の戦略的意義
 - 354.1 ISA の設立目的と法的枠組み

- 354.2 深海鉱物資源のタイプと重要原材料としての位置づけ
- 354.3 探査契約と主要アクター
- 354.4 採掘規則(Mining Code)策定と「2 年ルール」
 - ① 採掘規則の位置づけ
 - ② 「2 年ルール」と採掘開始圧力
- 354.5 環境ガバナンスと科学的知見の取り込み
- 354.6 利益配分と「人類共通の財産」原則
- 354.7 重要原材料サプライチェーンの観点から見た ISA
- 355 JOGMEC(石油天然ガス・金属鉱物資源機構)の戦略的意義
 - 355.1 組織概要とミッション
 - 355.2 重要鉱物の権益確保と投資支援
 - ① 出資・債務保証とリスクマネー供給
 - ② 資源国との共同探査とフロンティア開拓
 - 355.3 レアメタル・レアアースの備蓄と供給安定化
 - ① 国家備蓄制度の運営
 - ② リサイクル・代替材料技術の支援
 - 355.4 海洋資源・深海鉱物への取り組み
 - 355.5 日本企業との連携とサプライチェーン構築
 - 355.6 グローバルな公的機関・政策機関としての位置づけ
 - 355.7 総括:重要原材料サプライチェーンにおける JOGMEC の役割
- 356 JBIC(国際協力銀行)の戦略的意義
 - 356.1 組織概要とミッション
 - 356.2 資源分野における金融手法
 - 356.3 主な資源案件と重要鉱物確保の実績
 - ① 銅サプライチェーンの強靱化
 - ② ニッケル・コバルト・レアメタル
 - ③ アルミニウム・リチウムなどの新領域
 - 356.4 日米同盟と多国間枠組みにおける JBIC の役割
 - ① 日米クリティカルミネラル枠組み
 - ② Minerals Security Partnership Finance Network(MSP-FN)
 - 356.5 JOGMEC との連携と機能分担
 - 356.6 サプライチェーン強靱化の新たな展開
 - 356.7 重要原材料サプライチェーンにおける JBIC の位置づけ
- 357 米国 DOE(エネルギー省)の戦略的意義
 - 357.1 組織構造とクリティカルマテリアル関連部局
 - 357.2 主要政策ツール:補助金、ローンプログラム、R&D

- ① バイパーティザン・インフラ法(BIL)とバッテリー材料プログラム
- ② インフレ抑制法(IRA)との連動と LPO
- ③ 国立研究所を核とした R&D と技術商業化
- 357.3 クリティカルマテリアル戦略とサプライチェーン分析
- 357.4 産業政策・安全保障との接点
 - ① EV・再エネ産業との連携
 - ② 防衛・エネルギー安全保障との連動
- 357.5 リサイクルとサーキュラーエコノミー
- 357.6 州政府・民間投資との連携
- 357.7 重要原材料サプライチェーンにおける DOE の位置づけ
- 358 米国 USGS(地質調査所)の戦略的意義
 - 358.1 組織とミッション: 政策から独立した科学機関としての位置づけ
 - 358.2 データインフラとしての役割: 鉱物商品統計とフローフレーム
 - ① Mineral Commodity Summaries と Yearbook
 - ② マテリアルフロー分析と動脈・静脈の可視化
 - 358.3 クリティカルミネラル評価とリスト作成支援
 - ① クリティカルミネラルの定義と USGS の役割
 - ② 国内資源ポテンシャルの評価
 - 358.4 国際的データハブとしての USGS
 - 358.5 他省庁・研究機関との連携
 - 358.6 重要原材料サプライチェーンにおける総合的な位置づけ
- 359 米国 NOAA(海洋大気庁)の戦略的意義
 - 359.1 組織概要とミッション
 - 359.2 深海鉱物資源と環境影響評価への関与
 - 359.3 沿岸・排他的経済水域における資源開発との関係
 - 359.4 海上輸送・気候リスクと重要物資供給網
 - 359.5 国際協力とグローバル海洋ガバナンスへの関与
 - 359.6 総合的な位置づけ
- 360 EU クリティカルミネラル・アライアンスの戦略的意義
 - 360.1 アライアンス創設の背景と目的
 - ① 中国依存からの脱却とグリーンディール
 - ② クリティカル・ローミッション技術のサプライチェーン
 - 360.2 ガバナンス構造と参加アクター
 - 360.3 対外パートナーシップの重点地域
 - 360.4 投資・貿易・規制の一体的アプローチ
 - 360.5 サステナビリティと開発協力の組み込み

- 360.6 他の国際枠組みとの関係
- 360.7 重要原材料サプライチェーンにおける位置づけ
- 361 IEA(国際エネルギー機関)の戦略的意義
 - 361.1 IEA の組織概要とエネルギー安全保障の枠組み
 - 361.2 クリティカルミネラル分析への本格参入
 - ① 背景:エネルギー転換と鉱物依存度
 - ② フラッグシップレポートと枠組み
 - 361.3 重要鉱物サプライチェーンに関する政策提言
 - ① 供給側:鉱山開発・精錬能力の拡充
 - ② 需要側:代替技術・効率利用・リサイクル
 - 361.4 多国間協調のプラットフォームとしての IEA
 - 361.5 重要原材料サプライチェーンにおける IEA の位置づけ
- 362 グローバルサウス重要鉱物開発評議会という概念の位置づけ
 - 362.1 想定される設立の背景と問題意識
 - 362.2 想定される目的と基本原則
 - 362.3 参加国・地域と組織構造のイメージ
 - 362.4 想定される機能と活動内容
 - ① 交渉力強化と政策調整
 - ② 投資・金融・インフラ連結
 - ③ データ・知識・技術の共有
 - ④ 国際アジェンダ設定
 - 362.5 グローバルなサプライチェーンへの影響
 - 362.6 実現に向けた課題と展望
- 363 BCG(Boston Consulting Group)の位置づけ
 - 363.1 重要鉱物サプライチェーンに対する基本的な問題意識
 - 363.2 「クリティカルミネラル・エコシステム」というアプローチ
 - 363.3 コンサルティングと政策助言の具体的領域
 - ① サプライチェーン戦略とレジリエンス設計
 - ② 投資ポートフォリオとプロジェクトファイナンス
 - ③ サステナビリティとデジタル・トレーサビリティ
 - 363.4 国際枠組み・フォーラムとしての BCG の機能
 - 363.5 重要原材料サプライチェーンにおける BCG の戦略的意義
- 364 Critical Minerals Institute(CMI)の位置づけ
 - 364.1 組織概要とミッション
 - 364.2 主な活動:マスタークラス、レポート、ネットワーキング
 - 364.3 サプライチェーンとイノベーション・エコシステムへの貢献

- 364.4 カナダを中心とした国際連携と政策コミュニティとの関係
- 364.5 国際枠組み・フォーラムとしての特徴と意義
- 365 Essential Minerals Association の位置づけ
- 365.1 組織の背景と対象とする鉱物
- 365.2 政策アドボカシーと規制環境への働きかけ
- 365.3 サプライチェーン・レジリエンスと経済安全保障
- 365.4 環境・ESG・サステナビリティへの取り組み
- 365.5 国際的な連携とフォーラムとしての性格
- 366 Africa Minerals Strategy Group という概念の整理
- 366.1 想定される設立背景と問題意識
- 366.2 既存イニシアティブとの関係と AMSG の差別化
- 366.3 想定される目的・基本原則・活動領域
 - ① 目的
 - ② 基本原則
 - ③ 活動領域
- 366.4 サプライチェーンと地政学へのインプリケーション
- 366.5 総合評価: 概念的フォーラムとしての Africa Minerals Strategy Group
- 367 Transition Minerals Council という概念の整理
- 367.1 想定される背景: エネルギートランジションと鉱物需要
- 367.2 想定される目的と機能
- 367.3 想定されるガバナンス構造と参加主体
- 367.4 既存枠組みとの補完関係のイメージ
- 367.5 想定される課題と限界
- 367.6 総括: Transition Minerals Council というアイデアの意義
- 368 UNCTAD (国連貿易開発会議) の位置づけ
- 368.1 組織的特徴とマンドート
- 368.2 コモディティ・ガバナンスと資源依存国の課題
- 368.3 エネルギー転換と重要鉱物に関する分析
- 368.4 サプライチェーンとグローバル・バリューチェーン分析
- 368.5 国際ルール・政策議論への関与
- 368.6 技術協力と能力構築
- 368.7 重要原材料サプライチェーンにおける UNCTAD の総合的役割
- 369 世界経済フォーラム (World Economic Forum) の位置づけ
- 369.1 組織の性格とガバナンス
- 369.2 重要鉱物・サプライチェーンに関する主な関心領域
- 369.3 マルチステークホルダー・イニシアティブの役割

- 369.4 データ・分析・シナリオ提示
- 369.5 国際枠組みとの橋渡し機能
- 369.6 重要原材料サプライチェーンにおける総合的役割
- 370 Chatham House(王立国際問題研究所)の位置づけ
- 370.1 組織的特徴と議論スタイル
- 370.2 重要鉱物・資源ガバナンスに関する研究アジェンダ
- 370.3 サプライチェーンと安全保障の交差点
- 370.4 ガバナンス・規範形成への貢献
- 370.5 フォーラムとしての役割: 静かな対話とネットワーク
- 370.6 総合的な位置づけ
- 371 CSIS(戦略国際問題研究所)の位置づけ
- 371.1 組織的特徴と研究プログラム
- 371.2 クリティカルミネラルとサプライチェーンに関する主要論点
- 371.3 国際枠組み・フォーラムとしての役割
- 371.4 分析手法とアウトプットの特徴
- 371.5 同様のシンクタンクとの比較
- 371.6 総合的な評価
- 372 CFR(Council on Foreign Relations)の位置づけ
- 372.1 組織的特徴と政策コミュニティとの関係
- 372.2 クリティカルミネラルを巡る主な問題意識
- 372.3 研究アウトプットと政策提言のスタイル
- 372.4 国際枠組み・フォーラムとしての役割
- 372.5 CSIS など他シンクタンクとの違い
- 372.6 重要原材料サプライチェーンにおける総合的役割
- 373 岩盤力学国際学会: ISRM(International Society for Rock Mechanics and Rock Engineering)
- 373.1 ISRM(International Society for Rock Mechanics and Rock Engineering)の概要
- 373.2 重要鉱物採掘との接点: 技術基盤としての役割
 - ① 安全で効率的な地下採掘の設計
 - ② 新しい採掘技術・深部鉱山への対応
- 373.3 環境・社会影響とガバナンスへの間接的貢献
- 373.4 国際ネットワークと知識共有のフォーラム機能
- 373.5 他の「国際枠組み・フォーラム」との補完関係
- 373.6 総合的評価
- 374 鉱物安全保障パートナーシップ(MSP)の戦略的意義
- 374.1 設立の背景と参加メンバー

- 374.2 目的と基本原則
- 374.3 ガバナンス構造と運営メカニズム
- 374.4 プロジェクト支援と金融動員
- 374.5 サプライチェーン全体へのアプローチ
- 374.6 パートナー国にとっての意味
- 374.7 他の枠組みとの関係と特徴
- 374.8 重要原材料サプライチェーンにおける MSP の総合的役割
- 375 Circular の概要とポジショニング
 - 375.1 技術基盤: ブロックチェーンと「Circular Protocol」
 - 375.2 用途別事例: タンタルと EV バッテリー
 - ① タンタルの「鉱山からメーカーまで」の追跡
 - ② EV バッテリー用コバルト・リチウム・ニッケル等
 - 375.3 カーボンフットプリントと ESG・規制対応
 - 375.4 プラットフォーム拡張と実績
 - 375.5 データ・分析・トレーサビリティの観点からの意義
- 376 Minespider の概要とポジショニング
 - 376.1 アーキテクチャ: オープンな「デジタルパスポート」コンセプト
 - 376.2 データ・分析・トレーサビリティ機能
 - ① 原料トレーサビリティ
 - ② コンプライアンス・ESG データの統合
 - ③ データ分析と可視化
 - 376.3 業界・パートナーシップ事例
 - 376.4 Circular 等との比較に見る Minespider の特徴
 - 376.5 「データ・分析・トレーサビリティ」文脈における総合評価
- 377 Everledger の概要とポジショニング
 - 377.1 ビジネスモデルと技術アーキテクチャ
 - 377.2 重要原材料・重要鉱物との関係
 - 377.3 データ・分析・トレーサビリティの機能
 - 377.4 応用領域: ダイヤモンドから EV バッテリーへ
 - ① ダイヤモンド・宝飾品
 - ② EV バッテリー・工業製品
 - 377.5 課題と限界
 - 377.6 「データ・分析・トレーサビリティ」文脈における総合評価
- 378 Meticulous Research の概要とポジショニング
 - 378.1 クリティカルミネラル市場レポートの特徴
 - 378.2 電気自動車バッテリー材料市場分析

- 378.3 データ・分析・トレーサビリティ文脈での役割
- 378.4 他の市場調査会社との位置づけ
- 378.5 総合評価: 重要原材料サプライチェーンにおける Meticulous Research の意義
- 379 Z2Data の概要とポジショニング
 - 379.1 重要原材料との関係: 部品レベルからの可視化
 - 379.2 主な機能: データ、分析、リスクモニタリング
 - 379.3 データ・トレーサビリティの観点から見た戦略的意義
 - 379.4 他のデータ・分析・トレーサビリティツールとの関係
 - 379.5 総合評価: Z2Data の役割
- 【 その他関連項目: 分析軸・評価フレーム・ウォッチリスト等 】
- 380 サプライチェーン段階別リスクヒートマップ
 - 380.1 序論: 段階別リスク把握の意義
 - 380.2 ヒートマップの基本設計
 - ① 横軸: サプライチェーン段階
 - ② 縦軸: リスクカテゴリー
 - ③ 色・スコアリング
 - 380.3 段階別に見た典型的なリスクプロファイル
 - ① 探鉱・鉱山開発
 - ② 採掘・選鉱
 - ③ 精錬・分離・精製
 - ④ 中間材(合金・化合物・粉末・ケミカル)
 - ⑤ 部材・コンポーネント
 - ⑥ 最終製品組立・システム統合
 - ⑦ 物流・インフラ
 - ⑧ 回収・リサイクル・廃棄
 - 380.4 ヒートマップを使った分析・意思決定
 - ① ボトルネック段階の特定と優先順位付け
 - ② 対応手段のマッピング
 - ③ 企業レベルでのアプリケーション
 - 380.5 ウォッチリストとしてのヒートマップ運用
 - ① ダイナミックな更新とシグナル管理
 - ② 技術ロードマップ・材料マトリクスとの統合
 - 380.6 結論: 段階別ヒートマップを中核にしたリスクガバナンス
- 381 中国レアアース輸出管理の次の対象鉱種(残り 5 元素+タングステン)
 - 381.1 序論: 輸出管理強化の文脈と論点
 - 381.2 対象候補となる「残り 5 元素」とタングステンの整理

- ① 残り5元素の想定
- ② タングステンの位置づけ
- 381.3 カテゴリー別に見た次期対象化のドライバー
 - ① 産業用途から見た優先度
 - ② 資源・精錬能力の集中度
 - ③ 国内産業政策との整合
- 381.4 想定される輸出管理の形態と段階
 - ① 形態1:輸出許可制・ライセンス制の拡大
 - ② 形態2:輸出枠・クォータ管理
 - ③ 形態3:製品・用途別の差別化
- 381.5 日本・同盟国への影響シナリオ
 - ① 影響1:超硬工具・工作機械・防衛産業
 - ② 影響2:高性能磁石・光学・電子材料
 - ③ 影響3:価格ボラティリティと投資判断
- 381.6 対応の分析軸・評価フレーム
 - ① 分析軸1:鉱種別・用途別のクリティカル度
 - ② 分析軸2:地域別供給シェアと代替ソース
 - ③ 分析軸3:時間軸(短期・中期・長期)
- 381.7 企業・政策サイドの対応オプション(概略)
 - ① 企業レベル
 - ② 政策・産業レベル
- 381.8 結語:次の一手を見据えたウォッチリスト
- 382 WTO 枠組みでの鉱物価格下限設定交渉の行方
 - 382.1 序論:価格下限(プライスフロア)構想の台頭
 - 382.2 背景:なぜ価格下限が浮上したか
 - ① 中国の輸出管理と価格支配
 - ② 西側プロジェクトの採算問題
 - 382.3 交渉の現在地:ブルリラテラル協定構想
 - ① USTR 提案の骨格
 - ② バンス副大統領構想
 - ③ 参加国の温度差
 - 382.4 WTO ルールとの緊張関係
 - ① GATT 第 XI 条(数量制限の禁止)
 - ② 例外規定の適用可能性
 - ③ プライスフロアの法的位置づけ
 - 382.5 資源国側の視点と対抗軸

① 資源ナショナリズムとの競合

② 中国の対応オプション

382.6 交渉の行方:シナリオ分析

① シナリオ A: プルリラテラル協定の成立

② シナリオ B: WTO 枠組みでの交渉加速

③ シナリオ C: 事実上の二国間・少数国間取り決めの拡散

382.7 日本にとっての戦略的含意

① 価格と供給安定のトレードオフ

② 交渉における日本の役割

382.8 結語: ルール形成の最前線としてのプライスフロア交渉

383 2027 年商業深海採掘開始の成否

383.1 序論: 2027 年が「X デー」とされる理由

383.2 規制・ガバナンスの観点からの成否

① ISA ルールメイキングの遅延

② 国家レベルでのモラトリアムと社会的正当性

383.3 技術・コスト面からの成否

① 技術成熟度

② コスト競争力と市場価格

383.4 環境・社会影響評価からの成否

① 生態系への影響評価の未確立

② ESG とサプライチェーンの圧力

383.5 地政学・市場構造の観点からの成否

① 供給分散の圧力と深海採掘の位置

② 他の供給源との競合・補完関係

383.6 総合評価: 2027 年に何が起き、何が起きないか

384 EV 販売減速シナリオとバッテリーメタル需給への影響

384.1 序論: EV 販売減速は「成長率の鈍化」であって需要崩壊ではない

384.2 分析枠組み: シナリオ軸と主要メタル

① シナリオ軸

② 対象とする主要バッテリーメタル

384.3 メタル別に見た販売減速の影響

① リチウム: 減速してもなお構造的タイト

② ニッケル・コバルト: 減速 + LFP シフトで逼迫懸念緩和

③ マンガン・グラファイト: 構造的だが緩いタイト化

384.4 マクロ需給への影響: タイトから「局所タイト + 投資サイクル」へ

① 需給ギャップと価格サイクルの変化

② リサイクルと二次資源の役割

384.5 企業・政策へのインプリケーション

- ① 企業サイド: 上流投資と材料戦略の見直し
- ② 政策サイド: 重要鉱物リストと支援優先順位

384.6 ウォッチリストとしての「EV 販売減速 × バッテリーメタル」

385 AI・量子コンピューティングの電力・材料需要が鉱物市場に与えるインパクト

385.1 序論: データセンターと新型計算機が鉱物市場の新たな需要源になる

385.2 AI データセンターの電力需要と鉱物需要

- ① 電力需要の拡大とグリッド投資
- ② 銅・アルミ・電磁鋼板へのインパクト
- ③ 半導体・冷却・建材への波及

385.3 AI 需要が鉱物市場にもたらす構造変化

- ① 銅市場: エネルギー転換 + AI で二重の需要圧力
- ② 電磁鋼板・シリコン・レアメタル

385.4 量子コンピューティングがもたらすニッチだが高クリティカルな需要

- ① 量子コンピュータ用材料の特徴
- ② 量的インパクトとサプライチェーン上の課題

385.5 AI・量子需要を統合した鉱物市場へのインパクト整理

- ① 重要鉱物ごとの影響イメージ
- ② 他のメガトレンドとの複合効果

385.6 ウォッチリストと戦略的含意

- ① モニタリングすべき指標
- ② 企業・政策の対応方向