

CNに向けたエネルギートランジション

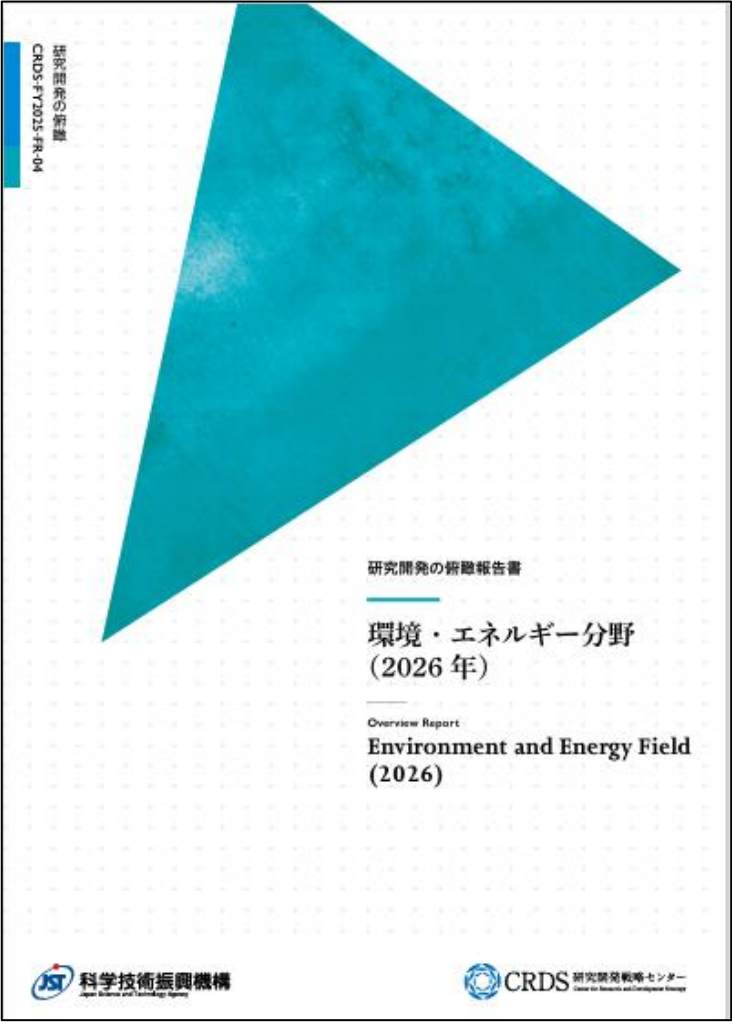
研究開発法人 科学技術振興機構 研究開発戦略センター

上席フェロー/東京科学大学名誉教授

花村克悟

研究開発戦略センター(CRDS) 環境・エネルギーユニット

調査報告書



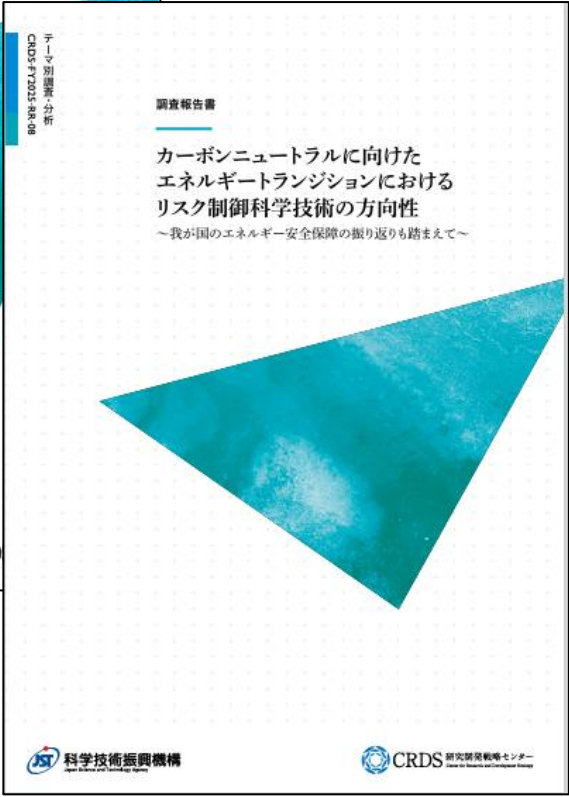
俯瞰報告書2026年版



戦略プロポーザル



戦略プロポーザル

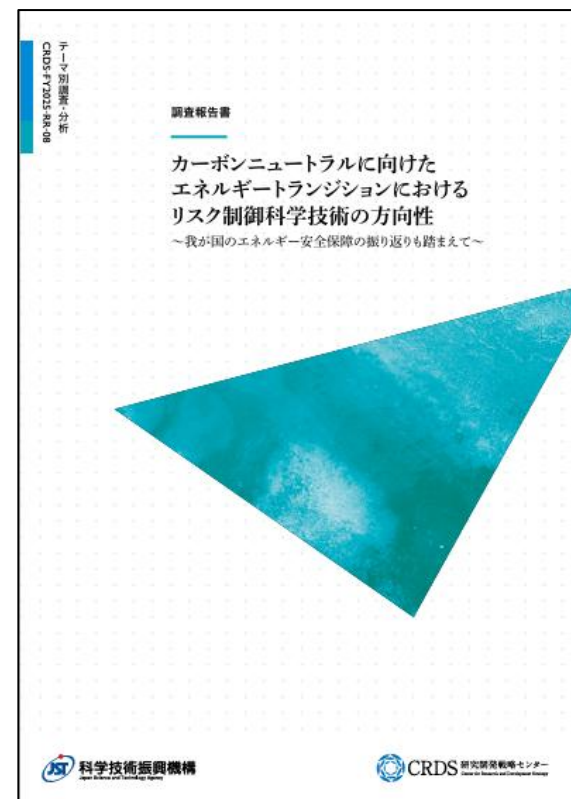
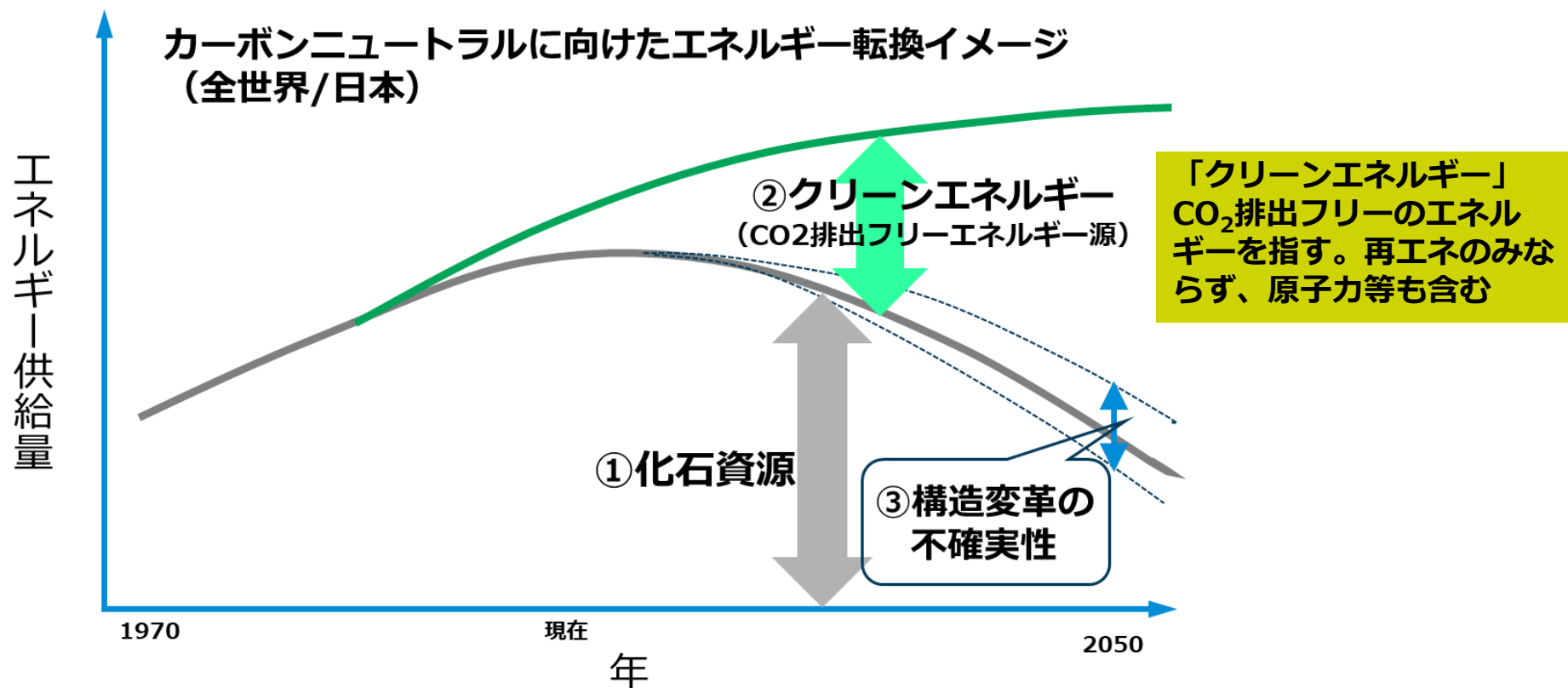


調査報告書

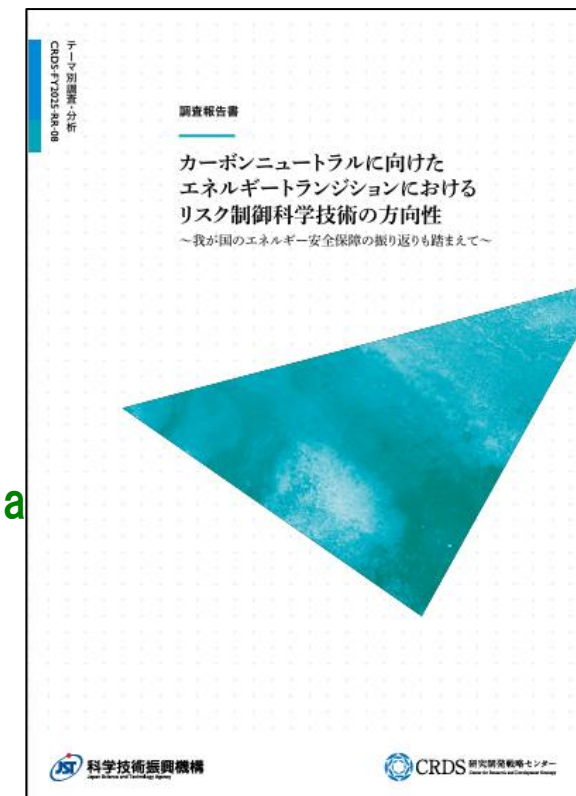
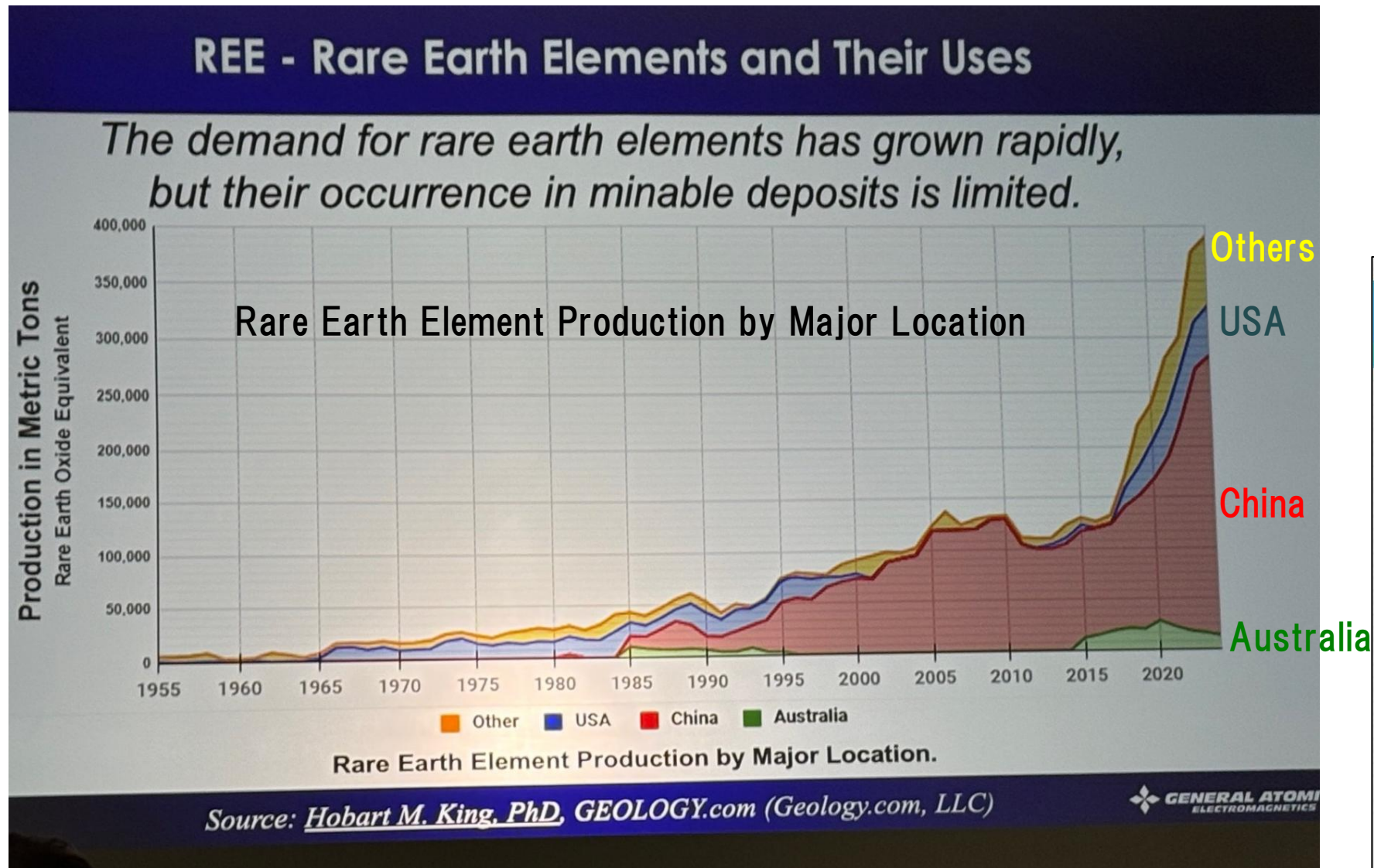
カーボンニュートラルに向けたエネルギー転換における リスク制御科学技術の方向性

● CNに向けたエネルギー転換の課題

- ①従来の化石資源の供給リスクの課題（減らしながらも安定的確保）
- ②クリーンエネルギーは供給のみならず需要リスクも課題（普及・拡大の道筋明確化）
- ③エネルギー構造変革における転換速度やその見通しの不確実性から生じる課題（社会実装のタイミング予測）



カーボンニュートラルに向けたエネルギーtransitionにおける リスク制御科学技術の方向性



Keynote address in ARPA-E, San Diego, US, 2026, April 7.

カーボンニュートラルに向けたエネルギーtransitionにおける リスク制御科学技術の方向性

- エネルギーtransitionに向けて、3つのリスクを最小限に制御する科学技術について具体的な精査が必要

- (1) 省資源・省エネ技術の更なる強化、
- (2) 鉱物等の資源代替技術、
- (3) 資源循環(精錬時の随伴元素回収含む)、
- (4) 温暖化対策としての適応策、
- (5) GHG削減以外の緩和策、
- (6) ゲームチェンジな科学技術など

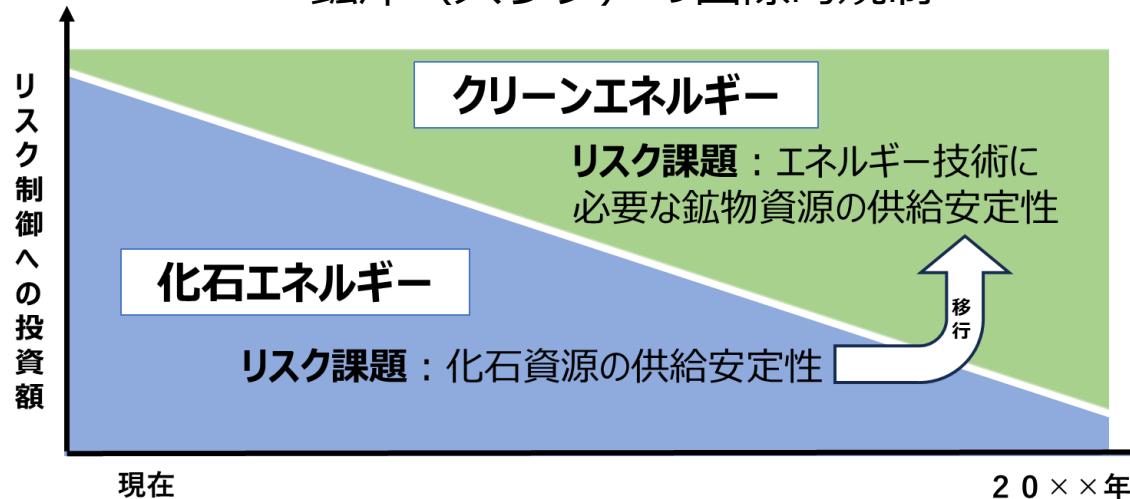
- 特にCNへのエネルギーtransitionにおける不確定性リスクを最小限に抑える戦略

⇒ 例えば、日本の高い精錬技術は未利用随伴元素の回収も含めて「資源循環」を支え、新たな元素再創出戦略と為り得ると考える。

☆ 希少元素や貴金属などのサプライチェーンはすでに構築済み。

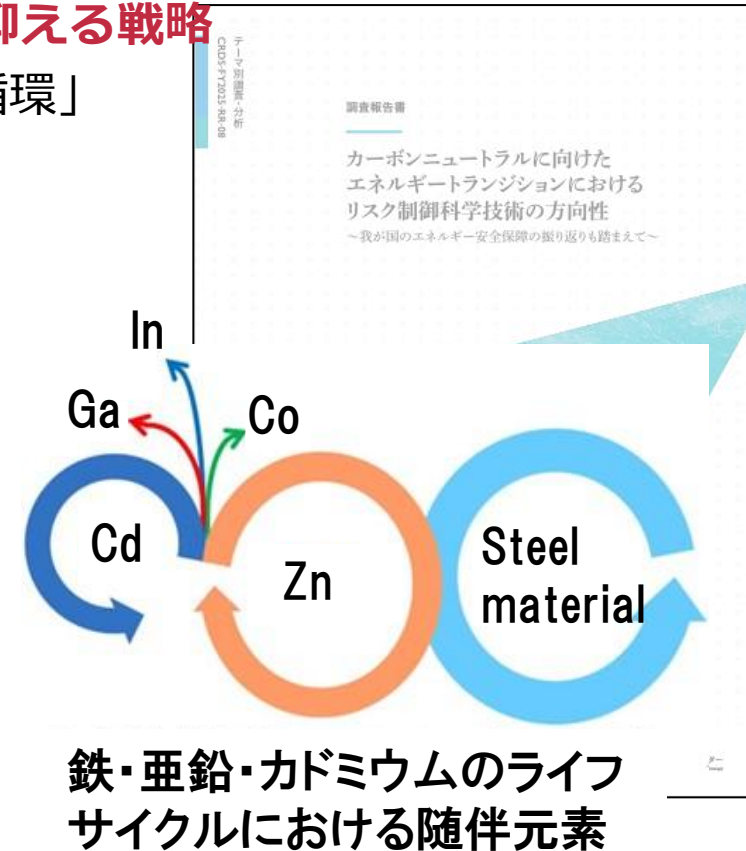
☆ 採掘元素と競合できる低コスト分離回収手法の研究開発が鍵。

⇒ 鉱滓（スラグ）の国際的規制へ



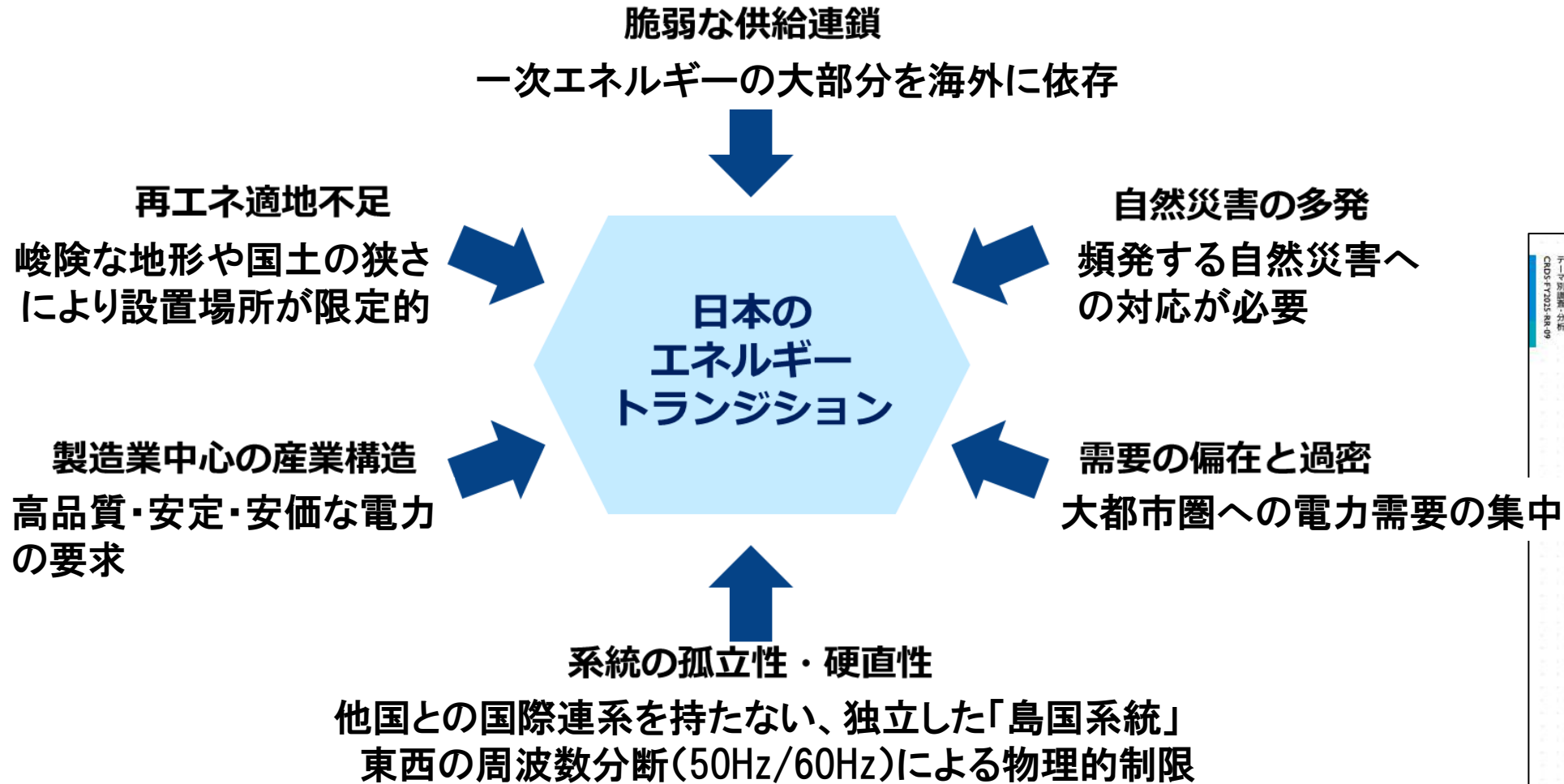
例1) 石炭灰からのバナジウムなどの回収

例2) 鉄鉱石からの亜鉛、ガリウム（現在は廃棄）などの回収

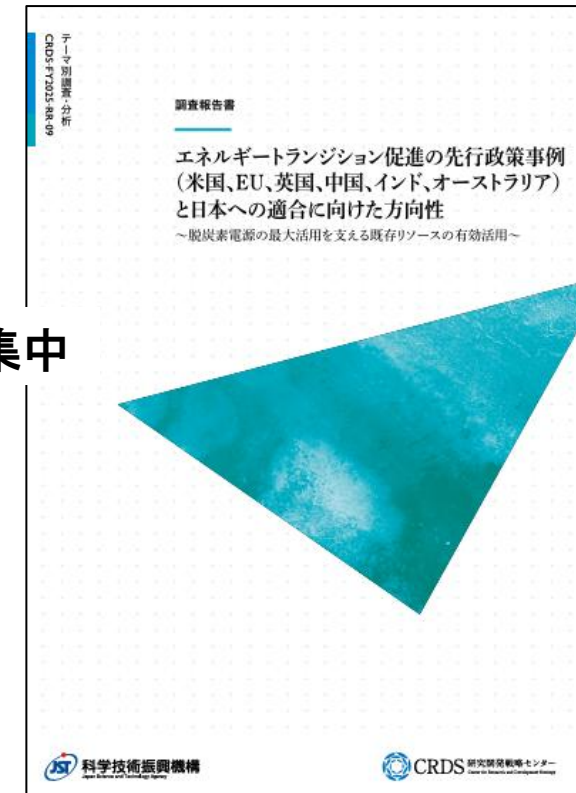


エネルギーtransition促進の先行政策事例と日本への適合に向けた方向性

わが国の「6つの構造的特徴」



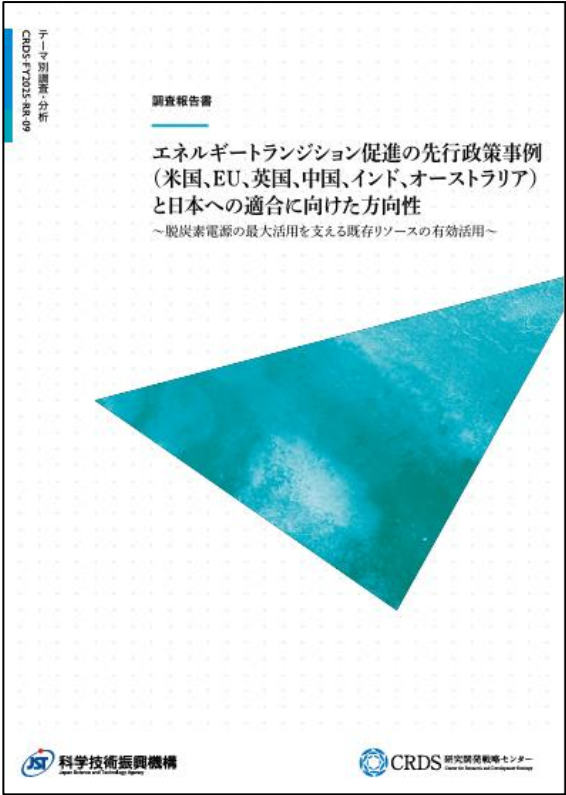
送電網の増強や大規模電源の新設は、エネルギー政策の根幹として引き続き重要
多大な投資コストに加え、用地確保や許認可等のリードタイムを要するため、
限られた時間軸では ハードウェアのみで全課題を解消することには困難が伴う



エネルギーtransition促進の先行政策事例と日本への適合に向けた方向性

国・地域	主要な先行事例（推進主体）	先行事例の特性
米国	GRIPプログラム / GMI (エネルギー省)	・ 広域な 冗長性の確保 と 全方位的なエネルギー資源 (All-of-the-above) の供給最適化
英国	Virtual Energy System (独立系統運用機関 NESO)	・ エネルギー資産をデジタル上で複製する「 デジタルツイン 」基盤
EU	Gaia-X / エネルギーデータスペース (欧州委員会等)	・ 「データ主権」を前提とした、 業界横断的で安全なデータ共有基盤
中国	UHV(超高電圧) プログラム (国家电网有限公司)	・ 大規模なハードウェア新設 による送電網の抜本的強化
インド・豪州	RDSS / NEM DER プログラム (印 電力省 / 豪 AEMO)	・ 2.5億地点のリアルタイムデータ による送配電損失の極小化・省エネ化 (印) ・ 個人の太陽光・蓄電池を市場に統合 するVPPモデル (豪)

先行事例	わが国への適合性と構造的乖離	適合化（アダプテーション）の方向性
GRIPプログラム / GMI	・ 広大な国土による「冗長性」が基本 ・ 日本は 設備増強の空間的余地が限定的	・ 密集都市部の「 マイクログリッド単位の需給バランス数理モデル 」適用 ・ 「高密度型レジリエンス」に向けた 自律分散型制御 の確立
Virtual Energy System	・ 欧州大陸と連系 ・ 日本は「 完全な孤立系統 」	・ 「 ベースロード+再エネ協調型需給最適化モデル 」への高度化 ・ 再エネ変動に対する需要側柔軟性 による 緩和 アルゴリズムの確立



エネルギーtransition促進の先行政策事例と日本への適合に向けた方向性

- エネルギーシステム的全階層を俯瞰し、わが国固有の「**6つの構造的特徴**」に対して、**どこがボトルネックとなっているか**を精査

階層	主な構成要素	関連する「6つの」特徴	ボトルネック
物理層 (インフラ)	資源調達 大規模電源 再エネ設備 送配電網 蓄エネルギー	(2) 土地の狭隘性・適地不足 (6) システムの孤立性・硬直性	供給・送配電 既存システムの受入容量限界
	系統運用 需給調整 リソース活用 各市場制度	(3) 都市需要の高密度性 (5) 製造業中心の産業構造	
運用・市場層 (マネジメント)			需要 需要の時間的・空間的偏在
基盤・情報層 (インテリジェンス)	気象・地理データ 稼働データ 予測・最適化 セキュリティ	(1) 脆弱な供給連鎖 (海外依存) (4) 自然災害の多発	基盤情報 不確実性の定量的評価不足



エネルギートランジション促進の先行政策事例と日本への適合に向けた方向性

着実なインフラ整備を前提としつつ、
高精度な実測データと数理モデルを活用する（数理・データ運用基盤を構築する）ことにより、
既存資産の運用能力を最大限に有効活用

ボトルネック	技術開発の方向性と狙い	主な研究開発・技術要素（例）
供給・送配電 既存系統の受入容量 限界	リアルタイムデータと物理特性を考慮した数理モデルにより、既存インフラの運用余力を実質的に拡大	- デジタル増強：動的線路定格（DLR）と確率論的潮流計算を統合し、送電容量を動的に評価する - 広域需給最適化：異周波数（50/60Hz）や孤立系統間を跨いだ制御アルゴリズムを確立する
需要 需要の時間的・空間的偏在	製造プロセスの熱慣性等を活用し、生産性・品質を維持しながら、系統安定に寄与する柔軟性を創出	- 高付加価値DR：製造プロセス連動型デジタルツインを構築し、生産サイクルに即した需給調整を行う - マルチエージェント協調：高密度需要部における複雑なリソース群の協調制御を実現する
基盤情報 不確実性の定量的評価不足	いろいろな階層でのデータを統合し、意思決定の高度化とEBPMの基盤となる連携環境を構築	- 予測精度の高度化：3D地理空間データと高精度気象予測を統合し、需要・供給を予測する - 日本型データスペース：秘匿性と安全性を担保しつつ、企業・業界を跨ぐエネルギーデータ連携を実現する



エネルギーtransition促進の先行政策事例と日本への適合に向けた方向性

日本固有の制約への適合:

日本特有の構造制約を考慮し、先行政策事例を**国内の実情に合わせて適合化**することが不可欠

データと数理モデルによる運用高度化:

物理インフラの整備と並行して、データと数理モデルの統合運用によって
現行系統の能力を最大限に引き出す

制度と技術の同期:

既存の**政策・制度と数理的知見を密接に連携**させ、エネルギーtransitionの実効性を高める

