

## 事業事前評価表

国際協力機構

社会基盤部資源・エネルギーグループ

### 1. 案件名（国名）

国名： カザフスタン共和国（カザフスタン）

案件名： スマートマイニング+による環境破壊を引き起こさない持続可能な  
環境調和的鉱山開発システムの構築

The Project for Next-generation Smart Mining Plus for Sustainable  
Resources Development

### 2. 事業の背景と必要性

（１）当該国における鉱物資源セクターの開発の現状・課題及び本事業の位置付け

現代において、鉱山開発は２つの側面から地球規模課題の論点となっている。１つは、脱炭素社会の実現のために電池材料となるコバルトやリチウムといったレアメタルをさらに採掘していかなければならないという側面である。レアメタルはロシア、中国、中央アジア諸国およびアフリカ諸国に偏在しているが、ロシア、中国からのレアメタルの輸送や供給が不安定化している昨今、地政学的にも中央アジアでのレアメタル採掘が我が国を含む西側諸国の注目を集めており、中央アジアにおける安定的なレアメタル採掘は地球温暖化に歯止めをかける脱炭素社会への大きな第一歩となりうる。もう１つは、その鉱山開発活動による地球規模の環境汚染を抑制しなければならないという側面である。

カザフスタン共和国（以下「カザフスタン」という。）は、中央アジアで最大の国土面積を有する大国であり、エネルギー資源の他、クロム、亜鉛、鉛といった鉱物資源にも恵まれた資源大国である。一方で、旧ソ連時代のままの生産を最優先した政府方針により鉱山周辺地域の環境は著しく汚染され、その改善が大きな課題となっている。2021年7月1日に「カザフスタン共和国環境法(新環境法)」が施行されたが、GDPの約１割を金属鉱業が占めるカザフスタンではいまだ生産を優先し、環境に配慮した開発方法がとられていないのが現状である<sup>1</sup>。

そこで、人工知能やデジタルツイン技術等の先端技術の活用により、汚染を抑制しつつ経済成長を伴う持続的な新しい鉱山開発方法を構築し、カザフスタンで環境保全に貢献する。我が国では、国内の鉱山開発の経験を踏まえて鉱山環境管理技術が蓄積されており、これまでもODAで海外鉱山に日本の中和処

<sup>1</sup> JOGMEC「世界の鉱業の趨勢 2021 カザフスタン」（2022年）

[https://mric.jogmec.go.jp/wp-content/uploads/2023/03/trend2022\\_kz\\_data.pdf](https://mric.jogmec.go.jp/wp-content/uploads/2023/03/trend2022_kz_data.pdf)

理技術を社会実装した実績がある。今後さらに活発となるレアメタル採掘では、鉱山開発→環境汚染→事後対策(100年規模)という世界で起きている負の連鎖を一刻も早く断ち切ることがより重要となる。これまで狭い国土で鉱山由来の環境汚染と戦ってきた我が国だからこそ、環境汚染の被害を最小限に抑えた持続可能な鉱山開発に資する高度な先端技術とその考え方を構築できる。これは産業振興およびカザフスタンにおける国民生活の質向上にも不可欠である。

本事業は、鉱山開発の上流（探査や採掘）のための概念「スマートマイニング」を鉱山環境管理にまで拡張した「スマートマイニング+」として、持続可能な鉱山操業モデルを構築・体系化し、鉱山開発に伴う環境負荷を未然に防ぐことを目的としたもので、人工知能とデジタルツイン技術を核とした取組みである。現在、カザフスタン等の中央アジア諸国におけるレアメタルや重要鉱物採掘が我が国を含む西側諸国の注目を集める一方で、鉱山開発・地下資源の採取に伴う炭素排出、粉塵、水域汚染といった環境破壊は深刻な問題となっている。カザフスタン政府も資源採掘や外国からの投資促進を進める一方で、2060年までのカーボンニュートラルの達成を目指しており、主要産業でもある資源採掘分野における脱炭素化の貢献への期待は大きい。

(2) 鉱物資源セクターに対する我が国及び JICA の協力量針等と本事業の位置付け、課題別事業戦略における本事業の位置づけ

我が国の対カザフスタン国別開発協力量針（2017年）においては、重点分野（中目標）として「環境保全・気候変動対策」が位置づけられており、地下資源の採取に伴う環境破壊等に対し、我が国の技術の活用を図りながら課題解決に貢献する旨明記されており、本事業は同方針に合致する。

また、JICA グローバル・アジェンダ「資源・エネルギー」分野においては「エネルギートランジション」と「資源の絆」の2つのクラスター事業戦略を策定し、エネルギートランジションを効果的に推進するための戦略策定や案件形成を進め、長期研修「資源分野の人材育成プログラム（資源の絆）」の実施を通じて当該分野の人材育成、日本との関係強化を進めている。本事業は持続可能な新しい鉱山開発手法の構築によってエネルギートランジションの推進にも資するものであり、「資源の絆」で産業建築省やナザルバエフ大学からも研修員の受け入れ実績があることから、同事業戦略とも整合している。また、2024年度には「環境調和型持続的鉱業とリサイクリング（課題別研修）」を実施中であり、当該分野の人材育成や環境汚染対策の理解醸成において、本事業との相乗効果も期待される。

(3) 他の援助機関の対応

2020年、当国外務省傘下の ODA 実施機関として設置されたカザフスタン国際開発庁「KazAID」は、中央アジアの近隣諸国に対する開発援助を実施する方針を

明らかにしている。本事業をモデルとして、その後中央アジア地域に普及させることにより地域横断的な支援が可能となる。

### 3. 事業概要

#### (1) 事業目的

本事業は、カザフスタンにおいて、鉱山開発に関する上流（探査や採掘）の生産性や安全性の向上に加え、下流における環境管理まで拡張した新しい概念を「スマートマイニング+」として、持続可能な鉱山操業モデルの構築・体系化を行うことにより、鉱山開発に伴う環境負荷を未然に防ぐシステムの社会実装を図り、もって同システムのカザフスタンやその他中央アジア諸国、資源産出国への普及に寄与するもの。

#### (2) プロジェクトサイト／対象地域名

ナザルバエフ大学 鉱山地質学部／School of Mining and Geosciences,  
Nazarbayev University

外部協力者（AltynGold PLC）の新規地下鉱山（Glubokoye 地区 Sekisovskoye 鉱山）

#### (3) 本事業の受益者（ターゲットグループ）

直接受益者：ナザルバエフ大学の研究者、外部協力者（AltynGold PLC）の鉱山技術者

最終受益者：カザフスタン国民（人口約 1,960 万人、2023 年）

#### (4) 総事業費（日本側）約 3.5 億円

#### (5) 事業実施期間

2025 年 4 月～2030 年 3 月を予定（計 60 カ月）

#### (6) 相手国実施機関

ナザルバエフ大学 鉱山地質学部／School of Mining and Geosciences,  
Nazarbayev University

#### (7) 国内協力機関

研究代表機関：北海道大学大学院工学研究院

共同研究機関：北海道大学スラブ・ユーラシア研究センター、秋田大学大学院国際資源学研究科、筑波大学計算科学研究センター、産業技術総合研究所、日本原子力研究開発機構、

協力機関：エクシオグループ株式会社、JX 金属株式会社

#### (8) 投入（インプット）

##### 1) 日本側

① 在外研究員派遣：（鉱山工学、採鉱工学、資源情報学、資源開発工学、計測工学、資源地質学、環境地質学、情報地質学、土壌科学、環境化学、環境工

学、大気水圏科学、地球資源工学、岩盤力学、地盤工学、情報工学、知能情報学、計算科学、環境リスク評価政治学、資源経済学、地政学等報学、資源経済学)

② 招へい外国研究員受け入れ：(資源開発工学、環境工学、情報学、資源経済学)

③ 機材供与：(主な機材内容は以下)

- ナザルバエフ大学に導入予定：EPMA<sup>2</sup>、カメラ 各 1 台、VR シアターシステム 1 式
- 対象鉱山に導入予定：無線通信システム 1 式、スマートセンサ機器 1 式、小型・汎用廃水処理装置 1 式

2) カザフスタン国側

① カウンターパートの配置

② 案件実施のためのサービスや施設、現地経費の提供

(9) 他事業、他開発協力機関等との連携・役割分担

1) 我が国の援助活動：上述の長期研修プログラム「資源の絆」の同国出身研修生・卒業生とも連携しつつ、プロジェクトの実施促進を図る。

2) 他の開発協力機関等の援助活動：本事業の実施機関および関係機関の他ドナーによる重複事業は無い。

(10) 環境社会配慮・横断的事項・ジェンダー分類

1) 環境社会配慮

① カテゴリ分類 (C)

② カテゴリ分類の根拠：本事業は、「国際協力機構環境社会配慮ガイドライン」(2022 年 1 月公布)に掲げる影響を及ぼしやすいセクター・特性及び影響を受けやすい地域に該当せず、環境や社会への望ましくない影響が最小限かあるいはほとんどないと考えられるため。

2) 横断的事項：本事業による地下水対策や新規掘削技術の導入により、社会実装段階で温室効果ガスの排出抑制が見込まれるため、気候変動(緩和策)に資する。

3) ジェンダー分類：(GI) ジェンダー主流化ニーズ調査・分析案件

＜分類理由＞

調査にて社会・ジェンダー分析がなされたものの、ジェンダー平等や女性のエンパワメントに資する具体的な取組や指標等の設定に至らなかったため。ただし、事業実施にあたっては、女性研究者の積極的な参加を促すとともに、本邦研修等においても男女比に留意して実施する。

---

<sup>2</sup> Electron Probe Micro Analyzer(電子線マイクロアナライザ)

(11) その他特記事項：特になし。

#### 4. 事業の枠組み

(1) 上位目標：本プロジェクトで開発された“スマートマイニング+”のシステムが、他の中央アジア並びに資源産出国に広く共有され、広域展開が促進される。

指標及び目標値：

指標1：カザフスタン及び他国における“スマートマイニング+”システムの導入検討状況

指標2：研究成果（論文等）の公開状況

(2) プロジェクト目標：地下鉱物資源開発に起因する環境破壊を引き起こさない持続可能な環境調和的鉱山開発システムが開発され、そのシステムの社会実装とその方法論が提言される

指標及び目標値（下記の成果1～4に対応）：

指標1-1：ドローン技術による撮影・モデリング手法の確立の有無

指標1-2：地質状況、地下水流動系の解明の有無

指標1-3：AIによる岩種・環境汚染状況判別手法の確立の有無

指標1-4：マルチモーダル（MM）計測技術の実現の有無

指標1-5：環境評価の実施の有無

指標2-1：環境汚染ホットスポット探索のための デジタルツイン・インターフェース（IF）技術の開発の有無

指標2-2：技術者養成および遠隔情報共有のバーチャル・リアリティ（VR）/アグメンティッド・リアリティ（AR）技術および設備の構築の有無

指標2-3：AIプラットフォームの構築の有無

指標2-4：環境リスク評価手法の確立の有無

指標3-1：ドレーン処理手法・プレ/ポストグラウチング技術・坑道セメント充填法を開発・実装し、耐久性とその効果の実証の有無

指標3-2：現場から有害な汚染物質を一切地下水脈に還流させない仕組みの開発および発生源対策の試行の有無

指標3-3：採掘シーケンスの変更による、処理効果の検証の有無

指標4-1：CO<sub>2</sub>を含む環境汚染物質排出の極限削減を目指した導入コストと効率的運用の経済学的評価の有無

指標4-2：“スマートマイニング+”導入・管理・運営企業設立の有無

指標4-3：“スマートマイニング+”設備導入の為の資金調達スキーム及び認証制度の設計を含む提案書の有無

指標4-4：鉱山操業による環境リスクと社会受容性評価による問題点の明確化の有無

指標 4-5 : ステークホルダーとの対話を通じた協働関係の構築の有無

指標 4-6 : 見本市の開催の有無

指標 4-7 : 継続的教育スキームの構築の有無

(3) 成果 :

成果 1 : 鉱山および周辺地域の基礎的情報が整理され、環境を継続的にモニタリングするシステムが構築される。

成果 2 : 鉱山現場で計測したデータをサイバー空間に反映させるデジタルツインを構築・実装が行われる。

成果 3 : デジタルツインを用いて同定された鉱山現場の汚染モデルに基づく汚染対策案が整備され、新たな採掘方法を即時処理・対応として鉱山現場に適用した際の効果が検証される。

成果 4 : 情報工学と鉱山工学を融合し、鉱山開発探査や採掘のみならず鉱山環境管理までに拡張した“スマートマイニング+”の普及の為の制度設計（資金調達スキームを含む）が行われ、社会認知と理解醸成が促進される。

(4) 主な活動 :

活動 1-1 : 露天・坑内におけるドローン撮影・モデリング技術の開発

活動 1-2 : フィールド・ボーリング調査による地質・地下水流動系の解明

活動 1-3 : リモートセンシング（ハイパースペクトル）による広域環境評価と AI による岩種・環境汚染状況判別手法の確立

活動 1-4 : マルチモーダル計測技術の実現

活動 1-5 : 現場における環境評価の実施

活動 2-1 : デジタルツイン・インターフェース (IF) の開発と評価

活動 2-2 : バーチャル・リアリティ (VR) / アグメンティッド・リアリティ (AR) 技術の開発と導入

活動 2-3 : デジタルツインに接続する AI プラットフォームの開発

活動 2-4 : 資源循環および環境リスク評価の確立と実施

活動 3-1 : 地下水流路制御技術の導入・廃水処理装置・発生源対策の導入

活動 3-2 : 新規採掘技術の対象鉱山への導入、その操業性、経済性、公害発生抑制性の検証

活動 4-1 : 鉱山操業による環境破壊の社会生態学的評価、及び CO<sub>2</sub> を含む環境汚染物質排出の極限削減と経済学的評価

活動 4-2 : “スマートマイニング+” 導入・管理・運営企業設立および設備導入の為の資金調達スキームの設計、認証制度設計とその提案

活動 4-3 : 鉱山操業による環境リスクと社会受容性の評価

活動 4-4 : 現地での“スマートマイニング+” 導入に関するステークホルダ

## 一との対話

### 活動 4－5：実験鉱山見本市開催および VR/AR による継続的教育

#### 5. 前提条件・外部条件

- (1) 前提条件：特になし。
- (2) 外部条件
  - ・ カザフスタン及びその近隣諸国において、国際関係が良好であること。
  - ・ カザフスタン政府の鉱物資源政策が大きく変更されないこと。

#### 6. 過去の類似案件の教訓と本事業への適用

インド国「インドにおける低炭素技術の適用促進に関する研究」（技術協力、評価年度：2018 年）において、1）機材によっては据え付け後に設置者が製造者とともに様々な調整を要する機材があること、2）本邦/第三国調達品の場合、現地でのスペアパーツの入手が困難な機材もあるため、代理店など実施機関がコンタクト可能なルートを確保すること、3）事業終了後も機材が有効活用されるためには運転・維持管理が容易な機材を選定することが重要であるという教訓を得ている。本事業では本邦機材調達の予定があるため、機材設置後に問題なく機材が使用できるように留意する。

#### 7. 評価結果

本事業は、カザフスタンにおける持続可能な鉱山開発に資する高度な先端技術とその考え方の構築により、これまで事後的に対策を行われていた鉱害の予防に取り組むものである。今後鉱業開発が益々必要となる社会情勢において極めて重要なテーマであり、持続可能な開発目標（SDGs）の目標 12「持続可能な生産消費形態を確保する」、目標 6「すべての人々の水と衛生の利用可能性と持続可能な管理を確保する」、「目標 7：すべての人々の、安価かつ信頼できる持続可能な近代的エネルギーへのアクセスを確保する」にも貢献すると考えられることから、事業の実施を支援する必要性は高い。

#### 8. 今後の評価計画

- (1) 今後の評価に用いる主な指標
  - 4. のとおり。
- (2) 今後の評価スケジュール
  - ・ 事業開始 2 年半後：JCC における相手国実施機関との合同レビュー
  - ・ 事業完了半年前：終了時 JCC における相手国実施機関との合同レビュー

以 上