

# Society5.0 時代の資源開発学

川村 洋平 \*

秋田大学大学院国際資源学研究科

## Mining Engineering in the Age of Society5.0

Youhei KAWAMURA\*

Graduate School of International Resource Sciences, Akita University

### 1. はじめに

更新性資源の積極的利用が望まれる現代ではあるが、非更新性資源への需要は依然高い。このような限りある鉱物資源を安全・効率的に採掘（開発）する技術の開発が世界的に求められている（World Economic Forum, 2017）。また、採掘対象の鉱床はより深いものもしくはより低濃集なものだけが残ることからも、技術革新による可採埋蔵量の増加が必要不可欠となっている。また、SDGsの観点から鉱業は2050年のCarbon Freeを目指している。まとめると今後の鉱業の目標は以下のように集約される；

- より深くなる鉱山で安全に操業する（無人化・自動化）
- より低濃集な鉱山でも利益を上げる（効率化・最適化）
- ゼロエミッションで鉱山操業（技術革新・プラットフォーム）

このような目標を達成するためには既存の採鉱学では対応できない状況となっている。つまりは本稿の主題である、採鉱学と ICT との融合が期待を集めている。

採鉱学は地質学、岩盤力学（工学）、土木工学、防災工学、機械工学の融合領域にある学問および技術体系であり、独自の発展を遂げてきた。一方で我が国では ICT（ソフトコンピューティング、人工知能、ビッグデータ、データマイニング等）が目覚ましい発展を見せている。この技術は汎用性および他技術との親和性が非常に高く、様々な分野がその応用に注目している。著者は、我が国の強みであるこれらの技術を学際的アプローチにより採鉱学に適用し、世界で通用する（求められる）新たな資源開発技術（これをスマートマイニングと名付け

る）を創出・構築することに取り組んでいる。これはまさに“Society5.0 時代の資源開発学”と呼べるものである。ちなみに Society5.0 は日本の取り組みであるが、Industry4.0 のように全世界的に同様のトレンドが存在している。

### 2. スマートマイニング (Smart Mining)

Fig. 1 にスマートマイニングの概念図を示す。鉱山の開発（掘削）そのものは機械により行われるが、その意思決定 (Decision), 操業 (Operation) および計画 (Planning) は人により行われている。スマートマイニングは、鉱山開発（鉱山）、鉱山操業（人）および ICT を結合するものである。つまり、スマートマイニングとは、個別の具体的な研究を指すものではなく、今後、鉱業界でますます必要とされるであろう高効率で安全性を保障する「ICT と採鉱学の融合複合技術」である。世界では同様の概念が別の名称で表現されることもある。ドイツでは

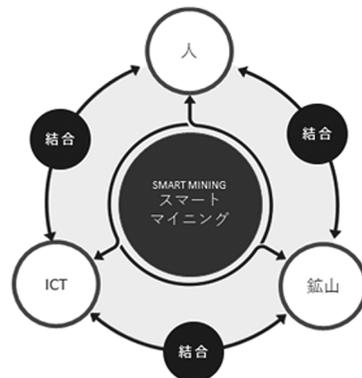


Fig. 1 Concept of Smart Mining

Table 1 Example of Smart Mining Activities in Mining Majors

Mining	脱炭素	スマートマイニング	目標
Rio Tinto	太陽光発電所とリチウムイオンバッテリーによるエネルギー貯蔵施設を建設、カーボンフリーのアルミニウムの生産や、中国Baowu Steel Group及び清華大学との鉄鋼生産時のCO <sub>2</sub> 排出量削減に向けた研究開発事業への投資	Mine of Future 鉱山自動化システム (MAS)、自律型トラック、自律列車、自律ドリル、遠隔操作車両、3D視覚化	2030年までに排出原単位を2018年に比べ30%削減、2030年までに絶対排出量を2018年に比べ15%削減
Vale	湿式洗浄塔、超大型鉱石運搬船、クリーン大気排出削減プロジェクト (CleanAER)、ディーゼルから電力自動車へ (PowerShift; LHDのバッテリー化など)、ペレット化、バイオディーゼル、硫黄分が0.5%以上の燃料を国際水域で航行する船で使用する禁止、植林	スマートエネルギー導入、自律トラック	2020年までにGHG直接排出を5%削減、2030年までに再生可能エネルギーで100%自給自足
BHP	低排出技術 (LET) への投資、輸送LNG燃料船導入、海洋バイオ燃料の試験、CCS (北京大学メルボルン大学、ケンブリッジ大学、スタンフォード大学共同)、大気からCO <sub>2</sub> を除去するDirect Air Captureの開発を加速、製鉄における高品位石炭の使用、再生可能エネルギー由来の電気の使用、ディーゼル車を電気自動車に、メタンを食べるバクテリア、船舶のGHG排出量測定	自律発破孔掘削、運搬自動化、自律トラック、自動鉄道スケジューリングシステム、LIDARテクノロジー	2022年度排出量を2017年度以下
Glen Core	廃炭石炭鉱山ガスの使用、レアメタル生産	自動運転、VR	GHG排出原単位を2020年までに2016年から5%削減目標、2035年までにGHG排出量が3分の1に減少すると予測
Anglo American	CCS、Maas、自動触媒、油媒ぶろ料・還元鉄のアーキ炉、粒子を通常の2.5倍に粉砕し、エネルギー消費量と粉砕時間・水の利用を削減、超微粒子の回収、再生可能エネルギーの使用、内部エンジンの小型化・省エネ化、バイオマスをを使用した鉄生産	Future Smart Mining (電気油圧ドリル、continuous rock-cuttingの自動化、Intelligent Mine、予測管理モデル、機械学習を利用した遠隔工場の最適化)	2020年GHG排出量22%削減
Fortescue	Pilbara Energy Connect Program (電力化)、水素技術の開発と商業化、アンモニアから高純度の水素を抽出するための金属膜 (メンブレン) の開発、Green Hydrogen Consortium (再生可能エネルギーを製造源とする水素)、水素燃料供給施設 (Hydrogen Fuelling Facilities) の設立	自律型トラック (無人トラックを世界で最初に商業的に導入した鉱山会社)、鉱山操業管理サービス [Cat Minestar]、Future of Mobility Centreの設立	今世紀の後半までにGHG排出量を正味ゼロ、短期的目標は、鉱山の操業や鉄鉱石供給の際に発生するGHG (Scope1,2) を削減する
Codelco	環境へのCodelcoの投資額は9億8,600万ドル、パイロットエレクトロモビリティプロジェクト、全カソードの内5%を追跡可能、二重吸収硫酸プラントの建設、自溶炉の拡張、2020年までに、処理される1トンあたりの淡水の消費量を10%削減する、チリ北部の固有で脆弱な植物種であるワイルドトマティロ (Solanum sitiens) の保護	自律トラック	マスターサステナビリティ計画
Antofagasta	Centinela銅鉱山は、EngieEnergiaChileと再生可能エネルギーの電力契約を締結、再生可能エネルギー、サーモゾーンプラント、植林	自律ドローン地図描写	2022年までにGHG排出量をCO <sub>2</sub> の300,000トン削減する

Mining4.0 もしくは Industry4.0 for Mining, 南アフリカでは DigiMine, ロシア系では Intelligent Mining とも呼ばれている。特に南アフリカでは、世界的な鉱山学を有する University of Witwatersland (通称ヴィッツ大) が Wits Mining Institute を設立し、その中心的な研究分野として DigiMine を推し進めている。

1章でも述べたとおり近年では脱炭素のための技術革新もこの分野の要素となってきた。やはり、大資本を有する資源メジャー・準メジャーの旗振りによる取り組みが実用化を見越したものとなっている。これら企業が方策を打ち出し、現場を提供して関連企業 (IT, 通信, 機械, 電力, 鉄道等) とともにそれぞれの目標達成を目指している。以下の Table 1 にそれらの取り組みをまとめる。

このような背景のもと、著者らは露天採掘・坑内採掘に関わらず様々なスマートマイニング技術を開発してきた (情報地質, 2018; 池田・川村ら)。Fig. 2 に研究プロジェクトの一例を示す。特に鉱山操業の上流に位置する現場での採掘プロセスに対して一連サイクルのスマートマイニング技術を実現してきた。人工知能, ビッグデータ, ネットワーク, 3次元モデリングといった ICT 技術を積極的に活用した次世代鉱業技術の在り方を提唱している。

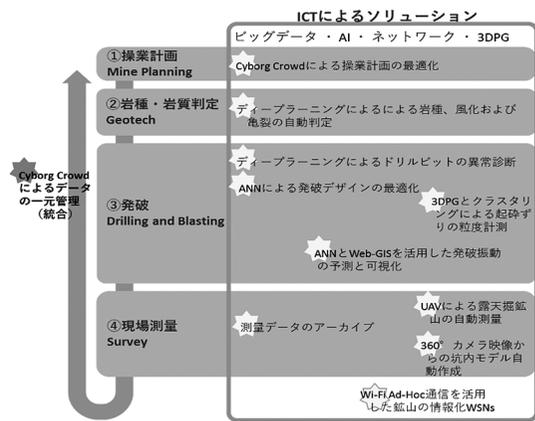


Fig. 2 Example of Ongoing Research Projects

### 3. Cyber-Physical Implementation

本章では Fig. 2 の要素技術を複数個含む Cyber-Physical Implementation について記述する。Cyber-Physical Implementation とは現場である Physical World と情報計算領域である Cyber World を繋ぎ、デジタルツイン等によって作業の効率を上げる方法論である。Fig. 3 の例では発破起砕物の粒度分布を非接触にて正確に計測すること、および損結果に基づいて発破パラメータを最適化 (発破デ

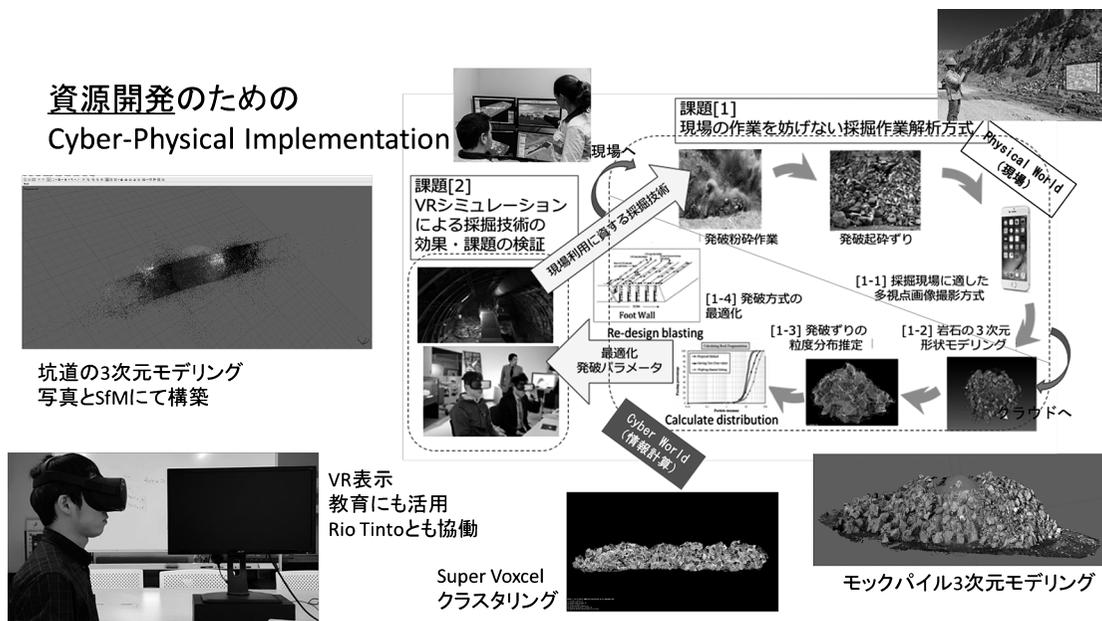


Fig. 3 Cyber-Physical Implementation for Mine Site

デザイン自体の最適化) することを目的としている。発破後の発破起砕物を多視点から撮影し (Physical World)、フォトグラメトリーにより3次元モデル化する (Cyber World)。モデル化された発破起砕物から Super Voxel クラスタリングによって個々の破砕岩を特定してその粒度を自動計算する。その際に人工知能による粒度分布カーブを得る。さらに人工知能にその粒度分布カーブ (発破結果) と発破デザインを入力することにより最適な発破デザインを導く。フォトグラメトリーによりポリゴン化された Physical World は Cyber World で多くの活用方法がある。バーチャルリアリティ (VR) によって教育に導入することやデジタルツインによって現場理解およびAR (Augmented Reality: 拡張現実) に発展させることも可能である。現在、地下坑道で現場作業員が見えないはずの岩盤応力を可視化するシステムにも利用している。

#### 4. おわりに

低濃集・深部化が進む鉱山開発において効率性および安全性の向上は急務であり、その実現のためのDXが加速している。また、2050年の目標である“ゼロエミッシ

ン鉱山操業”の流れも後押しして他分野 (特に情報工学) との融合複合が不可避な状況となっている。“Society5.0時代の資源開発学”の登場は必然である。

#### References

1. Digital Transformation Initiative: *Mining and Metals Industry*. World Economic Forum (2017)
2. 池田啓, 川村洋平, トンゴル ゼドリック, 伊藤豊, ジャン ヒョンドゥ: スマートマイニングのためのWi-Fiアドホックによる地下坑内通信技術, 情報地質, Vol. 29, No. 1, pp. 3–11 (2018)
3. Y. Kawamura and A.M. Dewan: *Using GIS to develop a mobile communications network for disaster-damaged areas*. International Journal of Digital Earth, Vol. 7, No. 4, pp. 279–293 (2014)
4. M.A. Moridi, Y. Kawamura, M. Sharifzadeh, E.K. Chanda and H. Jang: *An investigation of underground monitoring and communication system*. Tunnelling and Underground Space Technology, vol. 43, pp. 362–369 (2014)
5. J.X. Diao, G. Zhang, H. Hu, Z. Zou and B. Zhang: *Design and application of electrical fire monitoring system in mining industry*. International Journal of Mining Science and Technology, vol. 25, no. 2, pp. 305–310 (2015)