

鉱業技術のイノベーションの変遷と今後の方向性 (提言)

Changes in Mining Technology Innovation and Future Direction (Suggestion)

境 大学
SAKAI Daigaku

鉱業技術のイノベーションは手作業から機械化、大型化、自動化へと生産性を向上し、これまで培ってきた岩盤エンジニアリングは地下空間利用に応用され、また、海底鉱物資源開発へのチャレンジへと進展してきている。今回、この変遷のいくつかの事例紹介と今後の方向性について考察した。

Mining technology innovation has improved productivity from manual work to mechanization, larger size, and automation, and the rock engineering we have cultivated so far has been applied to the use of underground space and has progressed to the challenge of developing submarine mineral resources. This time, I introduced some examples of this transition and considered the future direction.

キーワード：鉱業技術，イノベーション，機械化，大型化，自動化

1 はじめに

第1次産業革命はモノ造りが人の手から機械へ移っていったことが最大の特徴で、第2次産業革命は電力の導入により大量生産が可能となった。第3次産業革命はコンピュータの導入による自動化があげられる。

現在は第4次産業革命の真ただ中にありIoT (Internet of Things)、ロボット、AI (Artificial Intelligence) 等によるイノベーションは、これまでにないスピードで進行している。世界の鉱業技術もこの波に乗って高効率化され、産業システム全体のパラダイムシフトが必須といわれている。

2 歴史的イノベーションの例

2.1 明治時代と現在の採炭技術の比較

国内炭鉱でのイノベーションの例として明治時代の筑豊(九州)と現在の釧路コールマイン(北海道)を比較してみる。

図1は「筑豊炭鉱絵物語」からの抜粋で明治時代の九州筑豊炭鉱坑内での採炭切羽(きりは)で「つるはし」による手掘り作業の様子が描かれている。坑内作業は人力作業で、掘った石炭は籠に積み込まれ、人力で坑外に搬出された。環境は劣悪で高温で蒸し暑く、災害件数も多かった。



図1 山本作兵衛「筑豊の炭鉱画」
(仁多英夫氏 提供、資源工学部会講演資料)



写真1 釧路コールマイン坑内採炭状況
(松本裕之氏 提供、資源工学部会講演資料)

写真1は現在の北海道釧路コールマイン(前、太平洋炭鉱)の坑内採炭切羽の様子を示しており、作業環境が大幅に改善、整備され、省力化・機械化が進んだ状況が伺える。

この炭鉱では電動によるコールカッターを導入し、このカッターを回転させながら左右に移動させて炭層を削っていく方法で採炭している。大量生産化・自動化が図られている例である。天盤部の支保工は、木製の木枠や打柱で施工していたが、自走で動く自走枠にとって代わり、より安全性が確保されている。災害件数も激減している。

2.2 鉱山技術の応用による価値創造

岩盤に削岩機で穿孔し、その孔に爆薬を装薬、発破により硬い岩盤を開削する技術は、これまで培ってきた鉱山技術で、図2に示す地下宇宙素粒子研究施設など地下空間利用で活かされ、岩盤エンジニアリングとして新たな用途を導いた。その結果、鉱物資源を産出する鉱山から、宇宙素粒子研究の最先端の鉱山へと生まれ変わった。

この他にも原油備蓄の地下岩盤タンク建設工事でも大いに発揮された。

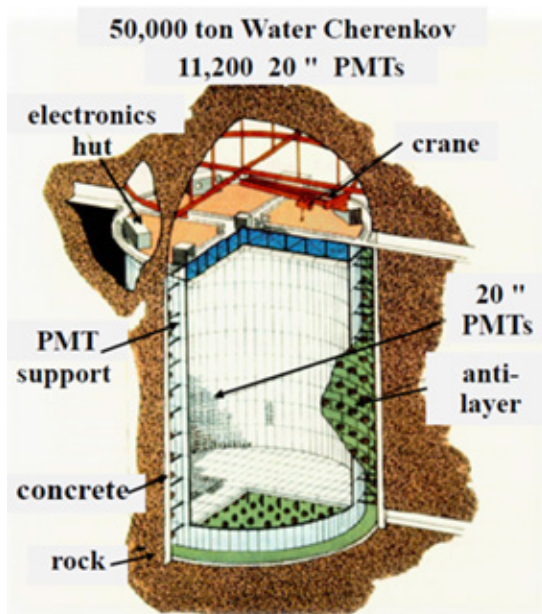


図2 地下宇宙素粒子研究施設概略図
空洞寸法 40.0 mφ×57.7 mH
水槽寸法 39.3 mφ×42.5 mH

3 最近の鉱山技術のイノベーション

最近の鉱山技術のイノベーションは、「自動化」「遠隔化」「大型化・省力化」「IoT化」といったキーワードを元に、より効率的で安全な鉱山を目指して進んでいる。

3.1 自動化

一般に鉱山は僻地にあり、居住環境が必ずしも良くないため、労働力が集まりにくい。この問題を解決するため、従来、人が運転していた採掘機械を無人機で代替しようとする動きが進んでいる。例えば無人運転のダンプトラックは鉱山労働者の人件費高騰が著しい豪州の鉱山を中心に導入され始めている。



写真2 無人運転席のないダンプトラック
(コマツの2016年ニュースリリースに掲載)

3.2 遠隔化

坑内等、労働環境の厳しい現場での運転や監視作業を、環境の整った離れた場所で行おうとするものである。写真3は坑内掘鉱山で使われるロードホールダンプの遠隔運転の様子である¹⁾。



写真3 遠隔LHD Caterpillar

3.3 大型化・省力化

近年の鉱山機械の大型化により省力化を図る動きは眼を見張るものがあり、例えば大型露天掘鉱山向けに300 t積みのダンプトラックが実用化され、近い将来500 t積も登場するといわれている。ちなみに、陸上を自走する世界最大の機械は、石炭鉱山の表土除去に用いられるバケットホールエクスカベータ(写真4)で車両重量13 000 t、全長240 m、掘削能力は240 000 m³/dayに達する。



写真4 バケットホールエクスカベータ Krupp²⁾

3.4 鉱山のIoTプラットフォーム

IoTプラットフォームは、各工程・部門の操業データに横串を通し、これらを統合・分析することで重要業績指数(KPI)を見える化し、意思決定の効率と精度を上げるというものである。

さらに、AIによる運転・制御の最適化や原位置品位分析や穿孔機による岩盤力学データ等によって、選鉱工程を迅速に変更、最適化することができれば、低品位鉱の処理や繰返し処理によるエネルギーや薬剤の消費抑制、人員削減に繋がる。これによって、鉱山の競争力の構造も今とは大きく変化していくことになると思われる³⁾。

4 海底鉱物資源開発へのチャレンジ

資源ナショナリズムの台頭もあって、世界各国の金属資源への関心が高まり、公海底の鉱物資源への鉱区申請数が10年間で3倍以上になっている。

日本では排他的経済水域(EEZ)内において海底熱水鉱床を対象に、広域海底地形調査から有望海域の絞り込みが実施されている。

国、JOGMEC((独)石油天然ガス・金属鉱物資源機構)が海底資源開発への取り組みを開始して10年が経過した。2017年度には、沖縄近海において、水深1 600 mの海底で掘削・集積した鉱石を水中ポンプおよび揚鉱管を用いて海水とともに連続的に洋上に揚げる世界初の「採鉱・揚鉱パイロット試験(写真5)」を実施し、成功をおさめ、海底鉱物資源開発に関する技術が大きく進展した。



写真5 採鉱試験機 JOGMEC HP⁴⁾

主要な海底資源はマンガン団塊(主要金属資源: ニッケル, 銅, マンガン, コバルト), コバルトリッチクラスト(主要金属資源: コバルト, ニッケル, マンガン, 銅), 海底熱水鉱床(主要金属資源: 銅, 亜鉛, 鉛, 金, 銀)である。海底熱水鉱床とコバルトリッチクラストは重要な金属を多種類含む多金属資源であり、経済的ポテンシャルが高い。海底資源開発はまだビジネスになっていないが、いったん採掘技術と環境ガイドラインが確立すれば、一気に開発が加速される可能性がある。

5 今後の方向性(提言)

5.1 世界の鉱業技術イノベーションへの貢献

現在、世界のあらゆる産業において、情報・通信技術の急速な進歩を取り入れるインダストリー4.0の動きがある。日本は、コンピュータ、通信技術、画像認識等の技術分野で先頭グループに位置しており、いずれAIを搭載した機械やシステムが出現するであろう。鉱山現場においてもこの動きは例外ではない。

現場に機械やシステムを導入するためには、「すり合わせ」が必要であり、この点は日本人の得意とするところである。

日本を代表する鉱山機械メーカーは機械製作と自動制御の両方の技術を持っており、大きなビジネスチャンスを迎えている。

5.2 資源の安定供給の確保と国際貢献

鉱物資源の対外依存度が高い日本にとって、輸入される鉱物資源の安定的供給確保の観点から資源開発に係る協力は重要であり鉱業分野のODAが資源の安定供給確保の一助になっている。

日本としては、国際的に真の相互依存関係が成立するように、これまでに経験してきた技術、熟練技術者、資金を投入し、IoT、AI、鉱害防止技術等、日本の技術で相手国のリクエストにこたえていく必要があると思われる。

5.3 環境調和型循環社会の構築

第一次石油危機以後、資源の節約・有効利用が推進され、産業構造面でも、資源多消費型から資源寡消費型へ産業の中心が移行している。今後、持続的に社会が発展していくために、環境調和型循環社会の構築が世界的にも喫緊の課題となっている。

日本では1970年代以降、廃棄物処理、資源循環関係の法律が整備され、この分野で最も進んだ国となっており、環境分野や休廃止鉱山の管理技術と共に世界に貢献できると思われる。

5.4 技術者の確保・育成

技術者の確保・育成はイノベーションを推進するために必須の要素である。これからの技術者教育は、座学だけではだめで日本においては国内外鉱山での坑内掘りや露天掘り技術の実習やOJTがあげられる。

プロジェクト管理・監督、外国人技術者を指揮管理する能力を養うためには、若いうちから海外プロジェクトに参加させ、国際的に通用する技術者の育成拡充を提言する。

6 おわりに

人類の金属資源利用はBC3500年頃からの青銅器時代以降長い歴史があり、銅の需要は今後も増加すると予測されている。

現在、月資源の試掘権争いが取りざたされる時代になっており、資源確保のための宇宙開発も単なる夢ではなくなってきた。

最後に、イギリスの経済学者が提唱した法則で、経済の発展に伴い、国民経済に占める第1次産業の比重は低下し、第2次産業、次いで第3次産業の比重が高まっていくという、産業構造における法則がある。日本でも第1次産業である鉱業、農業や水産業などでは、後継者不足など、産業の衰退が問題となっている。

しかし、これからの社会を生き抜くためには、こうした産業にも更なるイノベーションが必要となっている。

<参考文献>

- 1) HÅKAN SCHUNNESSON et al.: Performance of Automated LHD machines: A Review Luleå University of Technology, Sweden
- 2) 岡本直樹：建設機械のモンスター達，建設機械施工，Vol 67，2015年1月号
- 3) 日立総合計画研究所：鉱山開発におけるIoT推進による生産性・安全性向上策に関する基礎調査報告書，NEDO成果報告書，平成28年度
- 4) 石油天然ガス・金属鉱物資源機構（JOGMEC）：JOGMECの取り組み状況／海底熱水鉱床 http://www.jogmec.go.jp/about/about_jogmec_10_000009.html

境 大学（さかい だいがく）

技術士（資源工学部門）

境 技術士事務所 代表

e-mail : daigaku.s6703@gmail.com

