

マイニング機械の変遷と 電動化における今後の展開

Developments in Field of Mining Machinery and Future Outlook for Electrification

宇野 桂一郎
Uno Keiichiro
グレッグ スミス
Greg Smith

今家 和宏
Imaie Kazuhiro
巢山 綾子
Suyama Ayako

前川 清明
Maekawa Kiyooki
羽鳥 洵也
Hatori Junya

21世紀に入り、新興国市場、とりわけ人口大国である中国とインドの急速な工業化を受け、石炭や鉄鉱石などの資源鉱物需要は拡大の一途をたどっている。こういった新興国の経済成長が続く限り、今後も資源需要の伸びは常態化するという見方が一般的である。この市場環境を背景に、日立建機はマイニング製品の開発、市場投入を順次進めてきており、特に、先進技術を駆使したAC駆動式ダンプトラックの開発を日立製作所と共同で推進している。また、環境に配慮したトローリー式ダンプトラックや自律運転ダンプトラック、電動式ショベルも本格的に開発し、市場投入していく予定である。

1. はじめに

日立建機株式会社は、1979年に鉱山用超大型油圧ショベル「UH801」(運転質量157 t)を北米に投入し、本格的にマイニング(鉱山)市場に参入した。その後、鉱山の大型化に伴い、現在では「EX8000-6」(運転質量811 t)に至るまで、超大型油圧ショベルのラインアップを充実させてきた。鉱山で主流となっている200 t以上の超大型油圧ショベル市場では、日立建機が高い市場シェアを維持している。

一方、ダンプトラックについては、日立建機は後発メーカーであり、本格的な市場参入は2008年に日立AC(Alternating Current)ドライブの「EH3500ACII」(積載質量190 t級トラック)を市場投入してからのことである。トラックについては、市場地位を確保するため、他社との技術的な差異化が急務であり、そのため、先進のIGBT(Insulated Gate Bipolar Transistor)インバータ技術を駆使した高度車体制御機能を開発し、2012年以降に順次市場投入していく計画である。

現在、世界的な資源需要の伸びを受け、機械運転者の慢性的な不足が生じており、また、経験不足による事故対策として安全性への取り組みも重要視されている中で、ダンプトラックの自律運転(無人運転)のニーズも高まってき

ている。各社ともダンプトラックの自律運転の実現に向けて開発を進めており、日立建機も日立製作所と共同で開発を推進している。また、環境保護の視点から、CO₂低減のための電動ショベルのシリーズ化、ダンプトラックではトローリー式ダンプトラックの製品化にも取り組んできた。

ここでは、日立建機のマイニング機械の歴史と、近年の開発状況、およびこれからのマイニング機械について述べる。

2. マイニングの市場動向

坑内掘り工法(トンネル工法)が主であった鉱山開発において、1960年以降、露天掘り工法が資源大消費地であるアメリカ大陸から世界へ普及した。露天掘り鉱山で使用される全製品市場規模は、2011年度で約1兆円である。今後10年間で世界資源生産量は倍増すると予想されている(図1参照)。

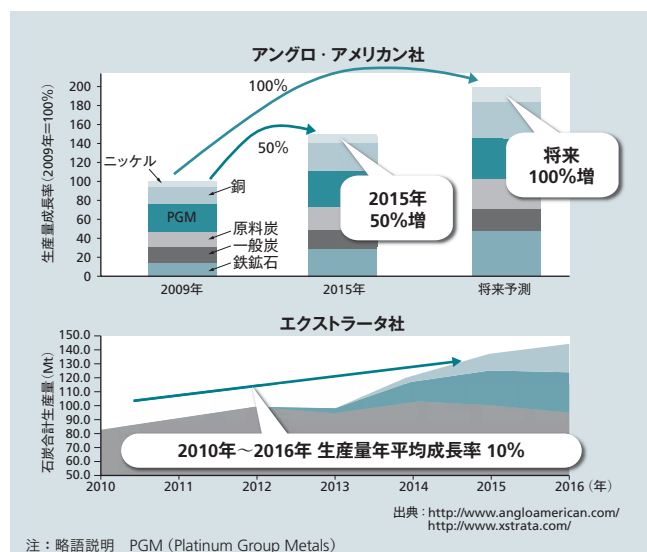


図1 | 大手資源会社の増産計画

大手資源会社のアングロ・アメリカン社とエクストラータ社における今後の増産計画を示す。

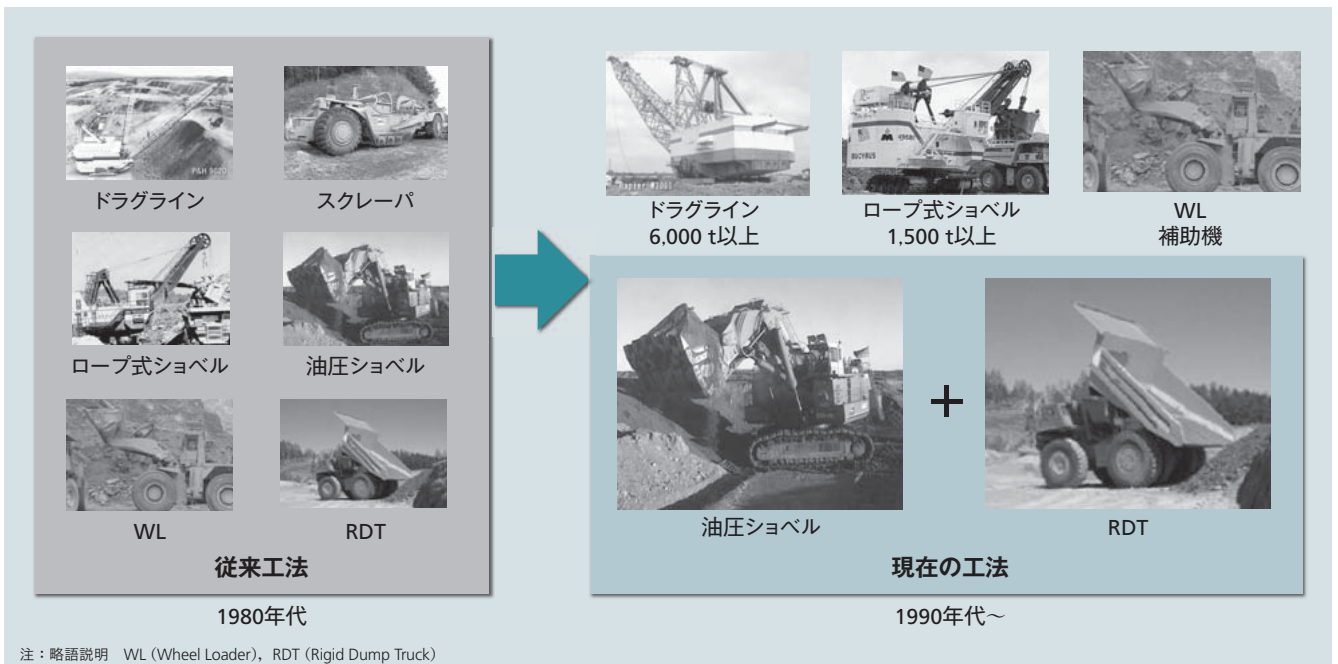


図2 | マイニング工法の変化

油圧ショベルの性能と信頼性の向上により、露天掘り工法は、油圧ショベルとダンプトラックの組み合わせ（ショベル／ダンプ工法）が主流となってきた。

2.1 露天掘り鉱山の歴史

ドラグライン、機械式ショベルなど、効率的な露天掘り工法に必要な大型掘削機械が登場してから、露天掘り鉱山が多く開発されるようになった。今日の露天掘り工法での生産量は、全資源産出量の約45%（The Freedonia Group, Inc.の調査に基づく推計）を占めている。施工法のニーズとともに、鉱山用の大型機械類は主に米国で開発されてきたが、1970年代に登場した大型油圧ショベルは、施工法に革新をもたらし、現在では油圧ショベルとダンプトラックの組み合わせ（ショベル／ダンプ工法）が主流となっている。20年超の長期償却を前提としたドラグラインなど高価な機械類では、資源市場の変動に柔軟に対応できず、また、1年ごとの短期売買契約、グローバルな資源価格（生産コスト）競争、新規鉱山開発スピードなどへの適合で、今後もショベル／ダンプ工法への市場ニーズは高まると予想される（図2参照）。

2.2 資源ブームと鉱山会社の動向

1990年代から2000年初めにかけてのマイニング不況時に、苦しい経営の舵（かじ）取りの中で鉱山会社の合併寡占化が進んだ。その後の中国や新興国の急激な資源需要から資源価格が高騰し、鉱山会社は大きな利益を得るようになり、さらなる積極投資、新規鉱山開発の動きが世界的に起きている。そのため世界的に人材不足が起きており、鉱山会社は製品の製造・供給者に対し、鉱山運営に共同で関わり、機械運行や維持保全などへのソリューションを提供することを要請するようになっていく。

3. マイニング機械の歴史

3.1 油圧ショベル

油圧ショベルは1950年代に欧州で開発されたのが最初である。国内においては、日立グループが1965年に純国産技術による初の油圧ショベル「UH03」（総質量8.7t、バケット容量0.35m³）を発売した（図3参照）。

1979年に発売したUH801（運転質量157t、ローディングバケット容量8.4m³）以降、順次大型化して2005年発売のEX8000-6（運転質量811t、ローディングバケット容量40m³）までの間、およそ25年を要した。この間、作業性能と信頼性の開発時の作り込みはもちろんのこと、市場からの情報をフィードバックして製品に反映させることを重視してきた。多くの改良を重ねた結果、特に信頼性の面で高い評価を受け、高いシェアを獲得している。マイニン

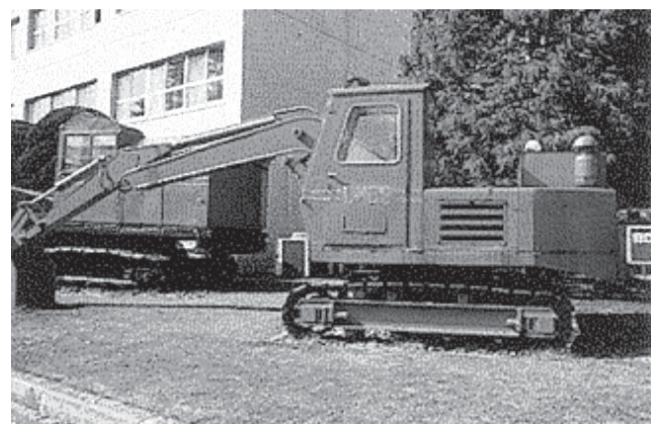


図3 | 純国産技術によるわが国初の油圧ショベル「UH03」

1965年に開発された、純国産技術によるわが国初の油圧ショベルUH03を示す。現在、日立建機土浦工場に展示されている。

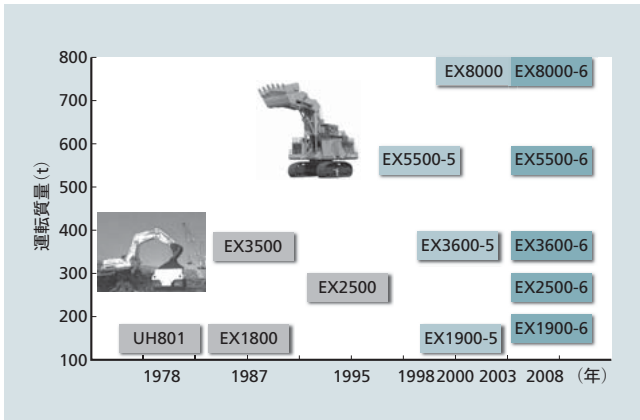


図4 | 油圧ショベルの開発経過と製品ラインアップ
1970年代に開発されたUH801を最初として、現在では運転質量800 tクラスのEX8000まで、マイニング用油圧ショベルの製品ラインアップがそろっている。

グ用油圧ショベルの開発の歴史と製品ラインアップを図4に示す。

UH801を含め同図に示す各機種は世界72か国で活躍し、累計出荷台数は約1,500台となっている。後述する電動ショベルについては、日立建機は1970年代に開発し、その後2001年のタイでの大量受注を契機に出荷台数を伸ばしており、累積出荷台数は45台に達している。

3.2 ダンプトラック

ダンプトラックは、1971年にカナダのユークリッド社（現Hitachi Construction Truck Manufacturing Ltd.：日立建機トラック社）によって積載質量190 t級の機種が開発されて以降、シリーズ化されてきた。その後、マイニングダンプトラックの開発拠点を日立建機に移し、日立製作所製の最新型IGBT式AC電気駆動装置を搭載した積載質量190 t級ダンプトラックEH3500ACIIを2008年に発売した。さらに2010年には、シリーズ機として220 t級ダンプトラックEH4000ACIIを発売した（図5参照）。

他社は1970年代からマイニング用ダンプトラックを発



図5 | 稼働中の「EX5500-6」と「EH4000ACII」
オーストラリア東部の石炭鉱山で稼働するEX5500-6とEH4000ACIIを示す。

売しているが、駆動方式は自動変速機を用いた機械式か、エンジンで発電機を駆動し、発電機からの交流出力を整流して走行モータを駆動するDC (Direct Current) 方式の電気式が主であった。日立建機は後発であるが、鉄道車両などで電気駆動装置の開発に長い経験と実績を有する日立製作所とダンプトラック用AC電気駆動装置を共同開発することにより、車体と電気駆動装置のベストマッチを可能にした。その結果、高い走行性能と操作性能を実現している。

EH3500ACIIとEH4000ACIIは発売以来、すでに世界11か国で100台以上が稼働しており、稼働時間は最長で20,000時間を超えたものもあり、高い稼働率を維持して活躍している。

マイニング用の油圧ショベルとダンプトラックのラインアップによって顧客へのセット販売も可能となり、今後は顧客の鉱山運営がさらに効率的になるよう、より総合的なサポートを提供していく必要がある。

4. ダンプトラックの開発

日立製作所との共同開発で生まれたEH3500ACIIとEH4000ACIIの2機種は、エンジンで発電機を駆動し、発電機からの電力を日立製作所の最新型IGBTインバータで制御して走行用の電気モータ (AC) を駆動させるAC電気駆動式である。その仕様を表1に、車体のAC電気駆動の構成を図6にそれぞれ示す。

日立製作所との共同による車体と電気駆動装置の開発の目的は、次のとおりである。

- (1) 車体と電気駆動装置のベストマッチによる高い走行性能と操作性能の実現
- (2) 国産化による品質の向上
- (3) 超大型油圧ショベル技術の踏襲による製品力の強化

ダンプトラックメーカーの老舗であるユークリッド社の技術も踏襲し、超大型ショベルで培った信頼性設計を採用するとともに、事前保証の実施を行った。ダンプトラック

表1 | 「EH3500ACII」と「EH4000ACII」の仕様
ダンプトラックEH3500ACIIとEH4000ACIIの仕様を示す。

	EH3500ACII	EH4000ACII
公称積載量 (t)	168	222
積載容量 (m ³)	111	153
空車質量 (t)	141	162
目標車両質量 (t)	309	384
エンジン	カミンズ社製 QSKTA-50CE	カミンズ社製 QSKTA-60CE
エンジン出力 (kW)	1,491	1,864
全長 (m)	13.51	14.28
全幅 (m)	8.99	9.54
全高 (m)	6.77	7.36
最高速度 (km/h)	56	56
タイヤサイズ	37.00R57	46/90R57

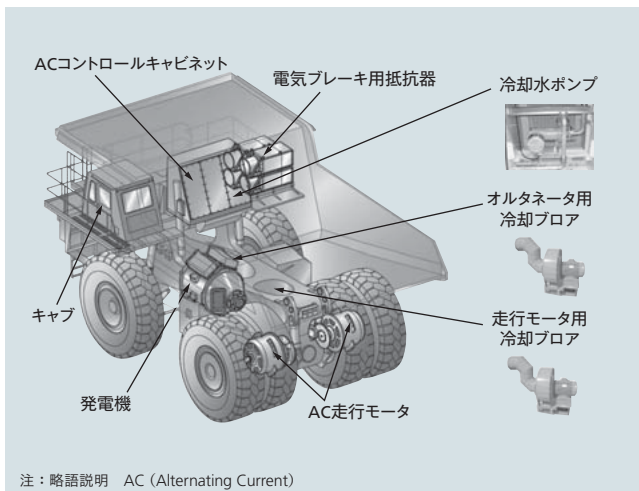


図6 | AC電気駆動式ダンプトラックの構成
ダンプトラックEH3500AC IIのAC電気駆動システムの部品構成を示す。

の根幹となる要素技術については、設計の初期段階から最終評価までを日立製作所と連携して共同開発したことで、独自技術を確認できた。この技術を車格の違うダンプトラックに水平展開することで、同じ思想の機械を開発した。構成している主要部品のほとんどを独自設計して内製化することにより、稼働現場情報の製品への反映と部品供給の迅速化が可能となり、部品の共通化も進んだ。

車体の優位性としては、鉄道制御で使用している日立製作所製の高压IGBTモジュールを使用することで、クラス最大級のブレーキ性能と登坂能力を実現した。一方、車体制御とACドライブ駆動制御を日立製作所と日立建機が共同で開発することにより、ACドライブの高速制御特性とセンサー技術を生かして、きめ細かな車体制御が可能となった。これは車体の安定化制御として開発されたものであり、ダンプトラックの安全走行をアシストしたり、オペレータの負担低減、また、車体へかかる負荷の軽減を図ることができる制御である。

開発時間を最も費やしたのが、車体とACドライブ駆動制御とのチューニングであった。机上シミュレーションと実機調整を重ねながら、チューニング作業自体をパターン化することができ、今後の開発効率が大きく向上すると考える。また、車体全体の制御を日立グループで確立することにより、オプション対応や次世代モデルに向けての開発対応能力が広がった。日立製作所との共同開発により、開発スピードの改善も図ることができた。

フレーム構造については、キャブサポートの取り付けを従来の溶接式からボルト締結に変更した。それまで、この部分は稼働現場での溶接作業が必要であったが、この変更によって現場での溶接作業がなくなり、締結部の信頼性向上と現地組立作業の工程短縮が図られた(図7参照)。

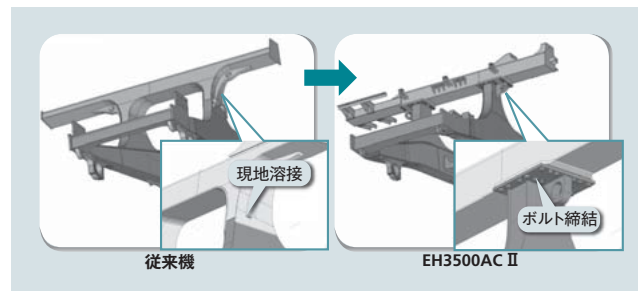


図7 | フレーム分割構造(ボルト締結構造)
ダンプトラックEH3500AC IIの分割可能なフレーム構造を示す。これにより、信頼性の向上と現地組立作業の工程短縮が図られた。

5. これからのマイニング機械

石油価格の高騰を背景に、よりいっそうの生産性(コスト/ト)向上が求められ、マイニング機械の電動化がその解決手段の一つとして注目されている。環境への配慮という観点からも電動化は重要であり、ダンプトラックのトロリー化と油圧ショベルの電動化に積極的に取り組んでいる。

トロリー式ダンプトラックは、荷を積んで登坂するときだけ架線から電力の供給を受けて、車載のディーゼルエンジンを使わずにACモータを駆動する。これによって燃費は大幅に改善され、登坂時のスピードはディーゼルエンジン式に比べて速くなり、生産性が向上する。

一方、電動式油圧ショベルは、通常搭載するディーゼルエンジンを電動モータに変更し、ケーブルから電力の供給を受けて、駆動のすべてを電動モータで賄う。一般に鉱山はすでに電気のインフラがあるところが多く、電動油圧ショベルを採用することでランニングコストは大幅に向上し、CO₂の排出量も抑制されるという大きな利点がある。

5.1 トロリー式ダンプトラック

トロリー式ダンプトラックは、車体上部に搭載されたパンタグラフにより、登坂路に設置された架線に流れる電力を取り込む。その電力でACモータを駆動させるため、電力供給時にはエンジンをアイドリング状態に保つことが可能となる。また、車体右側に搭載されたトロリーボックスでトロリーモードとディーゼルモードの切り替え制御を行っている。放土現場、積み込み作業現場、および下り坂などの架線が設置されていない部分では、標準機と同様にエンジンで発電した電力で走行可能である(図8参照)。

現在までのところ、トロリー式ダンプトラックはアフリカ南部を中心に稼働実績がある(図9参照)。

従来のトロリー式ダンプトラックには、電動モータなどの主要電機品にシーメンス社(Siemens AG)製やGE社(General Electric Company)製が使用されることが多く、また、パンタグラフにはローカルメーカーのものが搭載されるなど、車体として信頼性のあるベストマッチングのシ

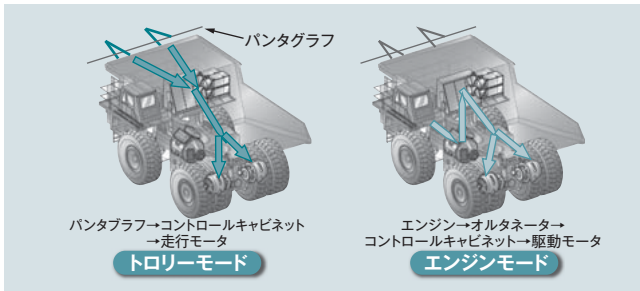


図8 | トロリー式ダンプトラックの動力の流れ

トロリー式ダンプトラックEH3500ACIIのトロリーモードとエンジンモードの動力の流れを示す。



図9 | トロリー式ダンプトラック「EH3500ACII」の外観

アフリカのザンビア共和国にある銅鉱山に納入されたトロリー式ダンプトラックEH3500ACIIの外観を示す。

システムを提供することへの制約があった。これに対して、日立建機はトロリー式ダンプトラックのすべてを日立グループ各社とともに共同開発し、信頼性の高いトロリー式ダンプトラックを市場に投入することができた。また、現場ごとに適切なチューニングを実施でき、サービスやサポート面でも窓口を一本化できることで迅速な対応が可能となったことがその他の利点として挙げられる。

このような日立グループのシナジー効果を集約したことで、ザンビア向けのトロリー式ダンプトラック24台を受注し、現在、初号機が顧客現場で稼働準備中である。

標準機と比較した場合、トロリー式ダンプトラックの利点は以下のとおりである。

- (1) 燃料消費量の低減
- (2) 登坂能力の向上
- (3) エンジンメンテナンス費用の低減
- (4) CO₂排出量の低減

例えば、燃料消費量について、仮に勾配10%の登坂路を往復した場合、標準機と比較してトロリー式ダンプ

トラックは燃料消費量を半分程度に低減することができる。また、勾配10%の登坂路で荷を積載した状態で走行する場合は、エンジン式トラックの走行速度は約11 km/hであるが、トロリー式ダンプトラックはその約2倍のスピードでの走行が可能である。これは荷の積み込み場所から放土現場までの移動時間が短縮されることになり、標準機と比較してトラック1台当たりの生産量の向上につながる。

メンテナンス費用に関しては、前述のようにトロリーモード時にエンジンをアイドリング状態に保つことができるため、エンジン負荷が低減される。それにより、一般的な例として稼働時間を60,000時間まで想定すると、標準機では3回のエンジンオーバーホールが必要となるところが、トロリー式ダンプトラックでは2回で済むことになる。環境負荷についても、エンジン負荷を低減できることにより、機械自体からのCO₂排出量が抑制される。

つまり、トロリー式ダンプトラックの導入により、生産面と環境面の双方において大きなメリットを得ることができる。

5.2 電動式油圧ショベル

マイニング用電動式油圧ショベルの市場は、現時点でマイニング用油圧ショベルの出荷台数のうち10%に満たないが、直近の2年から3年で電動式の引き合い数は約2倍に増加し、今後も電動式油圧ショベルの需要は拡大するものと見込まれている。

エンジン式と比較し、電動式油圧ショベルは以下の利点がある。

- (1) 消費電力が軽油に比較して安価である。
- (2) オーバーホール費用を低減できる。
- (3) ショベル本体からは排ガス(CO₂)が出ない。
- (4) エンジンオイルやフィルタなどの廃棄物が発生しない。
- (5) 低騒音・低振動である。

エンジン式に比較し、電動式のトータルランニングコストは $\frac{1}{2}$ 程度であることから、特に燃料価格の高い国・地域においては、顧客側のコスト削減に貢献できる。電動式ショベルの稼働現場の例を図10に示す。

電動式油圧ショベルは、常にプラグインした状態で使用される。したがって、送電設備を必要とし、ケーブルがあることによって長距離の移動に手間がかかるなどのデメリットもある。

しかし、環境問題とトレードオフの関係にある鉱山開発において、電動式油圧ショベルは環境負荷低減という面で優位性があり、さらに電源供給のためのインフラが整った鉱山では、ランニングコスト面において顧客に極めて有益なメリットを提供できる製品である。

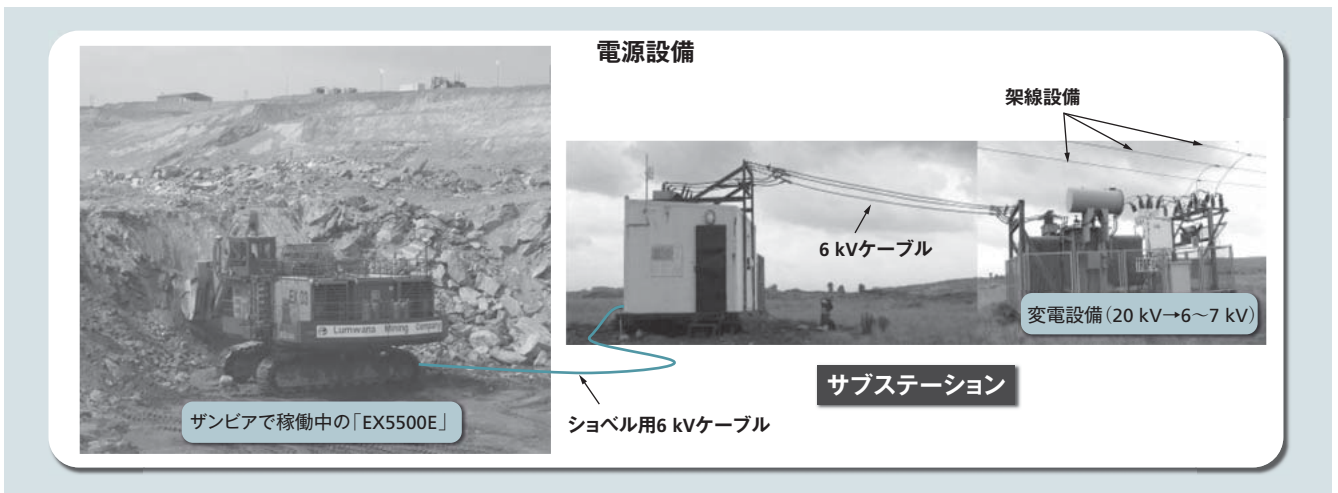


図10 | 電動式ショベルの稼働現場

発電所から供給される電気は、変電設備で6~7 kVまで落とされ、電動式油圧ショベルに供給される。

2011年末までの納入先はアジア・アフリカ・ロシア・CIS (Commonwealth of Independent States: 独立国家共同体) 地域が大半を占めているが、排ガス規制が厳しくなるにつれ、今後はアメリカ地域からも需要が増えてくものと考えられる。

世界各地の鉱山は気温や標高の面で油圧ショベルにとって過酷な稼働現場が多いが、多地域に拡販する際の課題をクリアし、いっそうの実績を作っていきたいと考えている。

6. おわりに

ここでは、日立建機のマイニング機械の歴史と、近年の開発状況、およびこれからのマイニング機械について述べた。

一方、市場からは鉱山の生産効率の向上を強く要求されており、機械の信頼性のみならず、納入後の盤石なサポート体制の構築による高稼働率の維持が求められている。

日立建機は、従来の機械品質の向上に加え、鉱山で稼働する機械のサポート体制の強化にも積極的に取り組んでいる。マイニングICT (Information and Communication Technology) により、機械に組み込んだ各種センサーから機械状態をいち早く読み取って故障を予知することで、機械のダウンタイムの低減や予防保全をめざしている。

今後は機械単体の提供からさらに進化し、鉱山全体の効率運営に寄与する提案を行っていく。

参考文献

- 1) 藤田, 外: 大規模露天掘り鉱山向け超大型油圧ショベル, ダンプトラック, 日立評論, 93, 2, 236~239 (2011.2)
- 2) 山本, 外: 新興国で需要が高まる電動式大型油圧ショベルの開発と市場開拓, 日立評論, 91, 6, 506~509 (2009.6)
- 3) 岡部: 油圧ショベル大全, 日本工業出版 (2007.10)

執筆者紹介



宇野 桂一郎

1980年日立建機株式会社入社, 営業統括本部 マイニング事業本部 技術サポート部 所属
現在, マイニング事業の営業技術サポートに従事



今家 和宏

1990年日立製作所入社, 電力システム社 電機システム事業部 発電機システム本部 発電機システム技術部 所属
現在, 建設機械向けACドライブシステム, 自然エネルギーを使用した発電システムのシステム開発・事業計画作成・遂行に従事
工学博士



前川 清明

1978年日立建機株式会社入社, 営業統括本部 マイニング事業本部 所属
現在, マイニング事業の営業技術サポートに従事



グレッグ スミス

2003年Hitachi Construction Machinery (Australia) Pty Ltd.入社, Hitachi Construction Machinery (Europe) N.V. International Sales, Sales & Service Division 所属
現在, マイニング機械の営業業務に従事



巢山 綾子

2007年日立建機株式会社入社, 営業統括本部 マイニング事業本部 販売戦略部 所属
現在, マイニング用超大型油圧ショベルの輸出販売業務に従事



羽鳥 洵也

2007年日立建機株式会社入社, 営業統括本部 マイニング事業本部 販売戦略部 所属
現在, ダンプトラックの輸出販売業務に従事