

■特集 建設のフロンティア

## 超高地における建設機械

玉根 敦司

世界に点在する大きな金や銅などの鉱山は標高3,000 mを超える高地に位置するものも多く、中には4,000 mを越えるものもある。近年、これらの鉱山では鉱石の掘削積込み機が機械式ショベル（ドラグライン）やホイロロードから大型油圧ショベルに移行してきており、顧客からは空気密度が薄く、気圧が低い高地でも機械の耐久性を落とさず、作業効率が落ちないようにすることが求められてきている。

日立建機株式会社では油圧ショベルの高地稼働における問題点とその対応策を検討し、種々の改良を加えたことによって、超高地での超大型油圧ショベルの稼働率を標準仕様機と同じく高くすることが出来た。

キーワード：油圧ショベル、高地稼働、エンジン、耐久性、作業効率

### 1. はじめに

南米には世界でも有数の大きな金、銅などの鉱山が多数あり、中でもペルー、チリ、アルゼンチンなどのアンデス山脈に点在する鉱山は主に標高3,000 m以上の高地にある。ペルー北部の標高4,000 m～4,200 mにある北米・南米大陸で一番大きな金鉱山では日立建機株式会社（以下、当社）のEX 5500が5台稼働している。

また、アジアでもインドネシアのイリアンジャヤ島の金と銅の採掘鉱山は標高4,100 m程度に位置し、EX 3500が3台とEX 1800が3台稼働している。

中国では青海省とチベット自治区を結ぶ青蔵鉄道（総延長1,956 km）など内陸部での鉄道建設を強化しているが、この青蔵鉄道の大部分は標高4,000 m以上の高地を通り、最高で5,000 mを越える箇所もある高山鉄道で、この鉄道建設現場でもEX 220-5、EX 300-5、EX 400-5をはじめ、他社の40 tクラスまでの中型油圧ショベルが稼働している。

### 2. 高地稼働における性能面の問題点と対応策

前述したような超高地では、標高が高いために空気が薄く、気圧も低く、かつ気温も低い場合が多く、機械にとっても機械の操作やメンテナンスをする人間にとっても過酷な現場である。このような現場だからこそ故障せず高い安定した稼働率と作業量を維持することが顧客から求められる。

近年、世界中の大規模な鉱山では機械式ショベル（ド

ラグライン）やホイロロードから大型油圧ショベルに掘削積込み機が移行してきており、中でも油圧ショベルの心臓とも言えるエンジンとポンプの耐久性を落とさず、かつ作業量を落とさないようにすることは非常に重要なことである。

大規模な鉱山では掘削積込み機は鉱石処理のプラントと同様に設備機械であり、一日で機械が止まるのは朝晩のシフトチェンジと給油時のみで、1日に22時間以上稼働する。また、250時間毎（約2週間毎）あるいは500時間毎の油脂類、フィルタ類の交換と数千時間毎の定期的な点検・部品交換を行い、年間で6,000時間以上稼働することが要求される。

表一に超高地における問題点とそれらに対して考えられる対応策を示す。

エンジン始動性については、一般に平地に比べて、大気圧が低いため始動性は悪化すると考えられるが、-20℃程度までは実用上問題なく始動出来ると考える。これ以下の極低温時でもエンジンブロック、オイルパンヒーターなど予熱を行い、低粘度のエンジンオイルを使用することや、大容量バッテリーを使用するなどして対応可能であると考えられる。

実際のエンジンでは耐久性を確保するためにターボの回転数、ターボ入口での排気温度、吸気負圧（抵抗）、排圧で制限がある。エアクリーナ目詰まりによる吸気抵抗の増大、排気ガス濃度、ターボの赤熱、バックファイヤの発生など実機の状況によって耐久性を確保するためにエンジン出力や負荷トルクの低減が必要である。

エアクリーナの目詰まりの進行具合によって吸気抵抗が変化していくので、エンジン出力や負荷トルクの低減

表一 超高地における問題点と対応策

環境条件	現象	問題点	対応策
空気が薄い (酸素濃度が低い)	エンジン着火遅れによる排気ガス温度の上昇	ターボ破損	・エンジン出力を絞る ・ポンプ吸収馬力を下げる
	排気ガス中の黒鉛増加	エンジンオイルの劣化が早い	・エンジンオイルおよびフィルタの交換インターバルを短縮する
気圧が低い	背圧低下によるターボの過回転	ターボ破損	・エンジン出力を絞る ・ポンプ吸収馬力を下げる
	ポンプ自吸性低下	キャビテーションによるポンプ破損	・作動油タンク加圧 ・エアブリーザ設定圧力変更
	沸点低下	オーバーヒート発生	・エンジン出力を絞る ・ポンプ吸収馬力を下げる ・ラジエータ加圧 ・ラジエータキャップセット圧変更 ・冷却水濃度変更
気温が低い	低温時の始動性悪化		・エンジンプレヒータ装着 ・大容量バッテリー装着
その他	砂塵によるエアクリナーの目詰り	吸気抵抗の増加	・目詰りインジケータの作動圧を下げる ・こまめな清掃

をする場合にはエレメントの交換を知らせるインジケータの設定を標準仕様に対して低く変更してエレメントの交換を早める必要がある。

また、排気ガス濃度の悪化により、エンジンオイルが早く悪化するので、オイルとフィルタの交換インターバルを標準仕様よりも短くする必要がある。さらに燃料やオイルの性状が悪い場合には更なる交換インターバルの短縮が必要であるので現地での調査を行う必要がある。

気圧が低いことによって沸点が下がることからオーバーヒートが発生する可能性が出てくるので、ラジエータキャップのセット圧を変更したり、冷却水濃度の変更を行うことも必要である。

さらにポンプの自給性が低下するので、作動油タンクの加圧を考える必要もある。

作業量に対しては、エンジンの耐久性を確保するためにエンジン出力あるいはポンプの吸収馬力を下げると機械のスピードが遅くなり、サイクルタイムが遅くなるなどの影響が出る。例えばポンプの吸収馬力を下げた場合、掘削や旋回ブーム上げなどの作業時に影響が出てサイクルタイムが遅くなる。機械の能力や作業内容によって、この影響の大きさは異なる。

大規模な鉱山では先に述べたように設備機械と同列の位置付けで、稼働率保証を要求される場合がほとんどであり、中にはサイクルタイムについても契約上、数値が規定される場合もある。

表一の内容は一般に考えられる問題とその対応策であって、車体の能力や各限界値に対する余裕度、あるいはエンジンの性能/制御方法によっては必ずしも全てについて対応しなければならないものではない。当然のことながら、高地仕様機と標準仕様機との違いは少ないほうがサービス面や稼働現場が変更になる場合などを考えると、顧客・ショベルメーカー双方にとって好ましいが、

リスクを冒しても顧客に迷惑をかけるだけである。あらかじめこれまでの実績を踏まえて対策を施し、顧客にその内容を納得していただき、実際に車体の技術者とエンジン技術者が現地に出張して測定・調整を行い、その環境下でのベストの状態にして納入するのが最善の対応だと考える。

### 3. 超高地への納入実績

#### (1) ペルー金鉱山での実績

先に述べたペルー北部カハマルカのヤナコチャ金鉱山に2年前にEX 5500の最初の2台を納入した際には筆者が品質保証担当者、プロダクトサポート員、組立て指導員と共に出張し、エンジンメーカーのカミンズ社および、その現地代理店の技術者と協力して測定・調整を行って顧客に納入した。

この顧客との間にはアベイラビリティ（稼働率）に関して契約が交わされており、契約値を下回った場合にはペナルティ（罰金）を支払わなければならないが、1、2台目は順調に稼働し、その後3台の受注を得た。表二にこの現場における現在までの5台の稼働状況を示す。これらの機械は平地の標準仕様機と同じ高い稼働率を保持している。

表二 EX 5500 稼働状況 (2002年6月)

	納入時期	稼働時間
1台目	2000年6月	16,000
2台目	2000年6月	16,000
3台目	2001年7月	8,445
4台目	2001年7月	8,146
5台目	2001年11月	4,500

このヤナコチャ金鉱山へは飛行機の便の関係で最寄の町カハマルカには日本からアメリカ経由で3日かかる。帰りは時差の関係で4日かかる。カハマルカは首都リ

マから北に約 500 km離れた標高 2,800 m の町で、宿泊施設がある鉾山に一番近い町である。ここから車で 1 時間半走ると鉾山の入口ゲートがあり、稼働現場までは更に 30 分以上車で上る。リマの港から組立て現場までは通常のトレーラにて搬入することが出来たが、途中重量制限のために分割した本体を載せたトレーラが通ることが出来ない橋があり、迂回して川を渡らなければならない箇所があった。雨季は川の水量が多く渡れないので、5 月以降の乾季の間に搬送しなければならない。乾季でも水の流れがあるためトレーラをブルドーザで引張る必要があった（写真—1）。



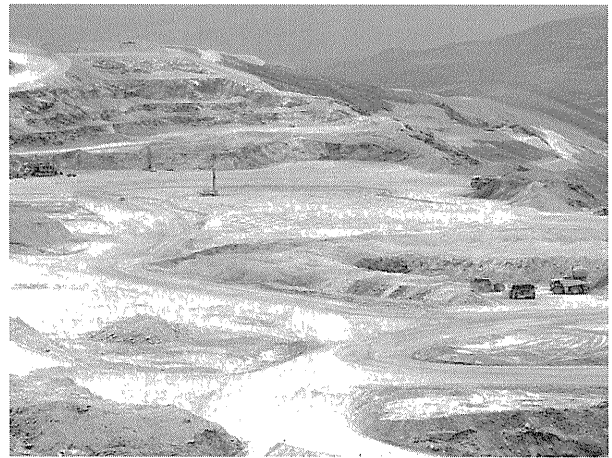
写真—1 川を渡るトレーラ

この鉾山は南緯 7 度に位置しているが、標高が高いために年間の気温は -4℃ ~ 26℃ 程度である。出張した 5 月の気温は朝、夜は 0℃ 近くまで下がり、昼間晴れば 16℃ 程度まで上がったが、雨が降ると日中でも 3℃ ~ 4℃ までにしかならなかった。3 週間ほど滞在したが、幸い標高 4,000 m でも高山病にならずに済んだ。しかし、測定のため計測器など重量物を持って車体の上がりすると血液が脳に行かずに頭が痛くなることがあった。機械だけではなく、人間の耐久試験のようなところであった（写真—2、写真—3）。

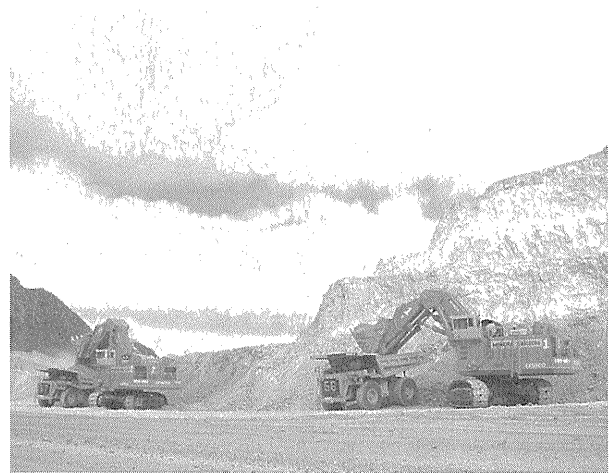
当社ではこの顧客とフルメンテナンスサービス契約を交しており、現場に交代で常駐し、5 台の定期メンテナンスと突発的に発生する不具合に対応している。

## (2) インドネシアでの実績

港の近くにある空港から山岳ロードを車で 2 時間以上走ったところに鉾山会社のベースキャンプがある。鉾山での作業者はこのキャンプで寝泊りをする。このベースキャンプは標高 1,600 m にあり、ここから車で 30 分走るとロープウェイの始発駅に到着する。全長 1,800 m のロープウェイで標高 3,500 m まで一気に上がり、終点



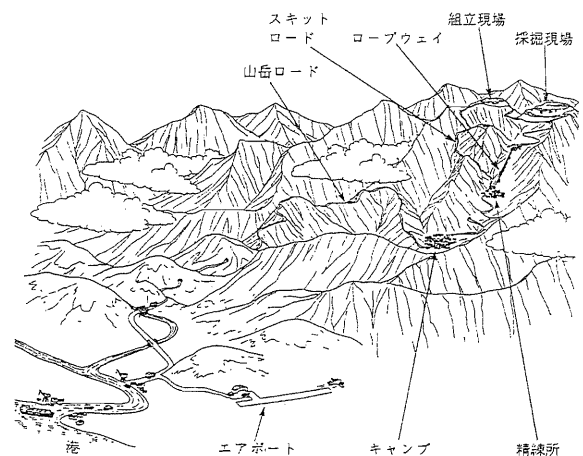
写真—2 稼働現場



写真—3 稼働中の EX 5500

から更に車で 30 分走って上がり、4,200 m にある稼働現場に到着する。帰りはこの逆を毎日通勤する。道路は砂利道で振動が激しく乗り心地は良くない。高地ではなくとも具合の悪くなるような場所である。

本体部品を組立て現場に上げるには、先に述べたペルーの鉾山とは異なり、ロープウェイ吊上げ許容範囲内の質量、大ききまで分解するか、スキッドと呼ばれる「そり」



図—1 稼働現場



図-2 稼働現場（詳細）

に載せてブルドーザで組立て現場までひきずり上げなければならない（図-1，図-2）。

最初に EX 1800 を 3 台納入した時には設計者、品質保証担当者、組立て指導員が出張し、測定、調整などを行い顧客に引渡した。この鉱山は南緯 4 度に位置しているが、前述のペルー同様、年間の気温は $-4^{\circ}\text{C}$ ～ $24^{\circ}\text{C}$ 程度である。

#### 4. おわりに

最近のエンジンはエンジン自体に気圧センサや各種温度センサを搭載し、設定条件以上の標高では出力を自己制御（低減）出来るものもあり、平地の 100% 出力を保証する標高も高くなってきている。顧客や車体設計者からすれば標高 4,000 m までは 100% 出力が出来るエンジンが望まれる。

今後はエンジンの制御コントローラと車体制御コントローラとをつないで、衛星通信を利用したモニタリングシステムを活用して超高地のような隔地での稼働機についてもエンジンや車体の状態をモニタしながら故障が発生しないように予防保全の管理を強化する予定である。

世界中の鉱山ではまだ掘削積み込み機として大型油圧ショベルが使われていないところがたくさんあるように聞いている。南米のように高地にある鉱山に対しては、ペルーやインドネシアでの実績を活かして今後に対応して行こうと考えている。

また、超高地では、エンジンなどの車体性能に関わる検討だけではなく、インドネシアの鉱山のように通常よりも小さな大きさに分解しなければならないなど、輸送に関する検討も行う必要がある。

JCM A

#### 【筆者紹介】

玉根 敦司（たまね あつし）  
日立建機株式会社  
資源開発システム事業部  
開発設計センター  
超大型ショベルグループ  
主任技師

