Technical Report

超大型油圧ショベル EX8000 による オイルサンド鉱床開発*

斎藤 敏夫¹ 相原 三男² 吉井 勝敏³

Super large Size Excavator EX8000 in Development of Oil Sand Deposit

by Toshio SAITOH^{a*}, Mitsuo AIHARA^a and Katsutoshi YOSHII^b

- a. Engineering Center Mining & Heavy Equipment Div., Hitachi Construction Machinery Co.,Ltd., Tsuchiura Works 650, Kandatsu-machi, Tsuchiura-shi, Ibaraki-ken 300-0013 Japan
(*Corresponding author: FAX +81-29-832-7352 / E-mail t-saitou91@hitachi-kenki.co.jp)
- b. Sales Promotion & Technical Support Dept, Mining & Heavy Equipment Div., Hitachi Construction Machinery Co.,Ltd., 5-1, Koraku 2-chome, Bunkyo-ku, Tokyo 112-8563 Japan

The major mines around the world are taking the steps for enlargement of the dump truck size to improve the efficiency, and the yearly demand for the 300ton class dump trucks is increasing year by year.

About 25% of the total world demand for such 300 ton class dump trucks is predicted to be the demand for the oil sand mines where the demand for the hydraulic shovels looks promising as well.

The super large size excavator EX8000 was developed to meet such demand for the matching shovels for the 300 ton class dump trucks.

The development was carried out based upon the experience from the existing super large size excavators, and emphasized on achieving the unsurpassed reliability and availability that is the absolute necessity for the loading machines in the mines.

Both the first machines, the second machines of EX8000, and the third machines are delivered to the oil Sand mine in Alberta state in Canada. These machines are engaged in digging up the topsoil layer and the oil sand.

KEY WORDS: Excavator, Oil Sand, Mining Machinery, Reliability, Monitoring

1. はじめに

今や、鉱物資源に関する話題にはことかない。世界経済、中でも中国、インドをはじめとするアジア諸国の発展を背景に資源需要が高まり、世界の鉱山では増産が続いている。特にエネルギー資源がクローズアップされ、これまで生産コストが高いため、さほど注目されなかったオイルサンドにも関心が集まっている。これは、最近の原油高もあって、長期的な安定したエネルギー源としての期待が高まってきているためであると考えられる。オイルサンドの推定可採埋蔵量は、約 3,000 億バレル (48 兆リットル) と言われ、サウジアラビアを上回る埋蔵量である。

鉱山業界の活況に伴い鉱山機械の需要が急速に伸びている。

2005 年は 2003 年に比べほぼ倍増する勢いである。主要鉱山で稼働する主な機械の稼働台数を Fig. 1 に示す。露天掘りが普及した 1960 年代は超大型のドラグラインや電気ショベルを用いた工法がほとんどであったが、1980 年代以降は次第に大型化したホ

Fig.1 The main machines used in the major mines.
(Total number:27206)

イルローダや油圧ショベルなどの積込機とダンプトラックの組合せが主流となった。

オイルサンドの採掘も他鉱山と同様で、石炭と同じような露天掘り工法が主である。最近の掘削運搬機械は従来のドラグラインやベルトコンベアシステムに変わり、膨大な広さと量を効率的かつ経済的に採掘運搬できる機動性のある超大型のダンプトラック

* 2006 年 8 月 8 日受付 11 月 13 日受理

1. 日立建機(株)資源開発システム事業部 開発設計センタ超大型ショベル G

2. 日立建機(株)資源開発システム事業部 開発設計センタ超大型ショベル G

3. 日立建機(株)資源開発システム事業部 技術部

[著者連絡先] FAX: 029-832-7352

E-mail: t-saitou91@hitachi-kenki.co.jp

キーワード: 油圧ショベル, オイルサンド, 鉱山機械, 信頼性, モニタリング

Fig.2 Distance between dump truck and EX8000 turning end radius at dump side loading.

Fig.3 Working ranges.

Table 1 Numbers of bucket loading per truck.

		EH 3000	EH 3500	EH 4500	EH 5000
Max. Pay Load	ton	157	193	255	293
Capacity	m ³	83	102	134	154
Model	Bucket Capacity	Numbers of bucket loading per truck			
EX3600	20.0 m ³	4.1	5.1	6.7	
EX5500	27.0 m ³	3.1	3.8	5.0	5.7
EX8000	40.0 m ³			3.4	3.8

と油圧ショベルが中心となっている。

こうした背景から超大型ショベルの開発が必要になり、開発に着手した。本報では、開発した超大型ショベルの詳細と超大型ショベルによるオイルサンド鉱床開発について報告する。

2. 超大型ショベルの開発

開発の狙いは鉱山用積込機として最も望まれる卓越した信頼性を確保するために下記に示す通りとした。

- ① オイルサンドの運搬の主力である 300ton 級ダンプにマッチングするバケット容量，作業範囲とする。
- ② 車体搭載が可能で大作業量を達成できる新油圧システムを構築する。
- ③ 車載ネットワークを用いたコントローラシステムとし，予防保全実現のためのモニタリングシステムを構築する。

2・1 ①ダンプとのマッチング

Table 1 に EX8000 及び当社超大型ショベルのマッチングするダンプへの積込み杯数を示す。

Fig.4 Hoses between the main frame and the front attachment of EX5500.

ダンプの運用効率から 1 台への積込杯数は 4～5 杯がベストと考えられ，EX8000 は当社 300ton 級のダンプ EH5000 とのマッチングも考慮し，約 4 杯で積込みできるよう，バケット容量を 40m³ とした。

Fig. 2 にダブルサイドローディング時の，ダンプ積込時のベッセル端部と EX8000 の旋回後端半径との距離 A を示す。この Fig. 2 はリアバケットを鉛直にし，リアバケット下端がダンプ中央部の位置において，旋回後端半径とベッセル端部との距離を見たものである。当然のことながら，ダンプ積込時にダンプとショベルとの車間をある一定距離とる必要がある。この距離が小さいとダンプ中央部よりリアバケット下端位置がショベル側に近くなり，実質の積込性に支障をきたすことになる。当社 300ton 級のダンプ EH5000 との距離 A は 2.3m と十分なレベルになるように，また，Fig. 3 に示すようにダンプの積込みに適切な作業範囲となるよう最大掘削半径は 18.5m，後端半径は約 8.3m とした。

さらに，ダンプへの積込みを楽に行なうためには適切なアイレベル（地上からの運転者の目視高さ）の確保も必要であり，ダンプのベッセルを見渡せるようにアイレベルを 9m とした。

2・2 ②新油圧システム

これまで超大型ショベルは機械の大型化に伴い，コントロールバルブ数を増やして対応してきたが，配置上 EX5500（全装備質量 518ton，バケット容量 27m³）搭載のコントロールバルブ数 6 ケが限界となっていた。同様の考え方では EX8000 の場合，コントロールバルブ数は 8 ケ，スプール数で 32 本となり，これまでのようなバルブ数の増加による対応では 800ton 級ショベルのシステム開発は困難となった。

Fig.4 に EX5500 の本体ーフロント間ホースを示す。

大作業量を達成するために，既存機と同等の掘削，旋回，放土といったサイクルタイムを実現したいという狙いも本システム開発の目的である。

そこで，システムの構想として，コントロールバルブの搭載が困難な問題については，本体回路の簡素化を図ることとした。コントロールバルブシステムとは別の供給ラインを備え，流量をアシストする分散メータインと呼ぶシステムを構成した。Fig. 5 に構成を示す。

また，サイクルタイムを速くするためにシリンダからの戻り流量を再生し高速化を図った。フロント自重により出口ポート側に高圧が立つシリンダの場合，その圧油を再生することで大流量化が図れる分散メイクアップと呼ぶシステムを構成した。メイクアップは自己の保持圧より流量を再生していることから動力を必要とせずエネルギー的にも好適である。Fig. 6 に分散メイクアップ

Fig.5 Constitution of Meter-In valve system.

Fig.6 Constitution of Make-up valve system.

Fig.7 Proportional seat valve.

プの構成を示す。

以上のようなシステムを流量応援型分散バルブシステムと呼んでおり、このシステムは比較的簡単な構成のバルブをフロントアタッチメントに分散配置し、流量をアシストすることが大きな特徴である。

メータイン及びメイクアップバルブは、シリンダポートに備えられ、Fig. 7 に示す比例シート弁を開発した。この比例シート弁は、メインとなる主弁とそれを制御する制御弁とからなっており、制御弁の制御量に応じて主弁が制御されるポペット型の大流量を供給できるバルブである。

2・3 ③モニタリングシステム

超大型ショベル等マイニング機用モニタリングシステムは、Fig. 8 のモニタリングシステム開発フローに示すように最終的には予防保全実現を目標に開発を進めている。

Fig.8 Development flow of monitoring system.

Fig.9 Controller Network.

これまでの当社における超大型ショベルシリーズでは、D.L.U（データロギングユニット）を標準搭載し、車体の運転状態の監視を行ってきた。EX8000 では、監視をさらに進め、例えば、エンジンの各気筒毎の排気温度やポンプやモータ等の油圧機器のドレン圧といったセンシング項目を大幅に増やし、車体の健康状態監視と故障診断の迅速化を狙った。

データ量の増大に対応するため、Fig. 9 に示すようなコントロールエリアネットワーク（CAN）を構築した。

機能毎にコントローラを割り当て、車体上に分散して配置した。各々のコントローラは、CAN の通信ラインで接続されており、センシングデータをネットワーク上に流す構成となっている。さらに、故障診断の迅速化のためには、ビジュアル表示が不可欠となるため、Fig. 10 及び Fig. 11 に示す 10.4 インチの液晶ディスプレイを表示器に採用した。

Fig.11 に液晶ディスプレイの通常のメータと警報ランプ表示を示す。警報ランプ点灯時は、表示モードを切り換えることにより、Fig. 12 に示すような故障箇所をビジュアル表示することができ、故障詳細部位及び対処方法も合わせて表示できる。

このような機能により、故障診断を迅速に行うことができる。以上の狙いを実現して EX8000 を開発した。

EX8000 の主仕様は下記に示す通りである。

・バケット容量	40m ³
・全装備質量	805ton
・最大掘削半径	18,500mm
・エンジン出力	1400kw × 2 基
・本体 全高	9,900mm

Fig.10 Liquid crystal display in driving room

Fig.11 Liquid crystal display screen. (Meter and warning lamp display)

Method of measures

Breakdown details part

Fig.12 Liquid crystal display screen. (Visual display of locating fault)

Fig. 13 に EX8000 外観写真, Fig. 14 に EX8000 全体図を示す。

3. 超大型ショベルによるオイルサンド鉱床の開発

EX8000 の稼働地はカナディアンロッキーなどのあるアルバータ州の北東に位置するフォートマクマレーのオイルサンド鉱床である。アルバータ州のオイルサンドは世界最大の石油埋蔵量を誇っており、石油が砂と水、粘土の混合物の中に含まれている。Fig. 15 にアルバータ州のオイルサンドの分布を示す。

このような膨大な資源ができたことを説明する最も有力な理論は、ロッキー山脈を形作ったものと同じ圧力が、アルバータ州南部にあった原油を北東に向けて流し込んだものと言われている。

Fig.13 Photograph of EX8000.

Fig.14 EX8000 scale.

Fig.15 Distribution of oil sand of Alberta.

長い年月の間、水と細菌が作用し合い、それが砂とタールが混じりあった形のピチュメン（瀝青、れきせい）という非常に重くそして炭素分を含有するきわめて粘性の高い原油に変わっていった。太古の川の砂にしみ込んで残された石油は各地域に堆積された。オイルサンドに含まれるピチュメンの割合は約 1 ～ 20% である。

Fig. 16 にオイルサンドから石油が精製される概略過程を示す。抽出は、オイルサンドに熱湯を注ぎ砂と石油を分離させるという方法である。

オイルサンドに熱湯を注ぐとドロリとした懸濁液となる。懸濁液は分離管に送られ、そこで砂、水、ピチュメンの 3 層に分けられる。ピチュメンは上層に浮かんでくるためすくい取られ、不純物の除去と改質が行なわれる。

From Oil Sands → To Bitumen → To Synthetic crude oil

Fig.16 Outline process before becoming oil from oil sand.

Fig.17 EX8000 which is operating in the oil sand spot.

小さな炭化水素分子と違ってビチューメンには炭素が多く水素がわずかしき含まれていない。改質とは、この分子の中の炭素をいくらか取り除き、水素を加えることによって価値のある炭化水素製品を作ることである。工程の最後には合成原油（Synthetic Cyude Oil）という製品になる。この原油は、2 トンのオイルサンドからドラム缶約 1 本分が抽出される。

フォートマクマレー近郊の大規模な鉱山は幾つかありその主たる鉱山及び鉱山会社は下記の通りである。

- ・ Albion Sands ～日産 16 万バレル
- ・ Syncrude ～日産 35 万バレル
- ・ CNRL (Canadian Natural Resource Limited) ～今後 9 千億円の投資予定。2010 年までに日産 30 万バレルを予定。
- ・ Koch Oil ～日産 13.5 万バレル
- ・ Suncor ～日産 23 万バレル⇒2008 年までに 40 万バレルに増産予定。

オイルサンド採掘の工程は樹木の伐採、表土剥ぎ、そしてオイルサンドの掘削運搬と進行する。EX8000 は約 10m の表土層と約 90m のオイルサンド層の掘削、積み込み作業を行っている。この掘削機械には、真冬はマイナス 40 度になる極寒の寒さとコーラルのような粘っこい重質な原油を含んだ砂の掘削作業に耐えられる強靱さがもとめられる。Fig. 17 にオイルサンド現場で稼働中の EX8000 を示す。

採掘は休みなく 1 年中昼夜を通して行われ、稼働体制は 2 シフト・23 h/日である。オイルサンドの運搬は 300 ～ 350t 級のダンプトラックが主力で使われている。掘削積み込み作業は超大型油圧ショベルで主に行っている。先に納入した EX5500（運転質量 518 t、バケット容量 27m³）は上記 Albion Sands で稼働中であり、EX8000 の 1 号機も Albion Sands、2 号機及び 3 号機は CNRL で稼働中である。

4. あとがき

2006 年 9 月現在、EX8000 の 1 号機及び 2 号機はカナダのオイルサンド現場で稼働中であり、稼働時間はそれぞれ約 10000 時間と約 3000 時間に達する。3 号機も同現場にて 2006 年 9 月初めから稼働を開始している。

今後、定期的なフォローアップを行い、鉱山機械に求められる高い信頼性の確保を図っていくことが重要である。

また、本文で記載したモニタリングシステムは、鉱山機械に要求されるライフサイクルコスト低減のために非常に有効な手段であるが、まだ完成したものとは考えていない。実機データの蓄積を継続し、予防保全の確立を図っていく所存である。

References

- 1) Manual issued at oil Sand discovery center by community development of Alberta.