

# 地下空間

特集写真

## 地下鉄建設工事における環境負荷低減の取組み —電動式建設機械の開発と導入—

田邊 滋・川上 和孝・内田 正明

帝都高速度交通営団建設本部は、自治体を除く公共工事発注団体としては初めて平成11年3月にISO14001を認証取得し、様々な環境負荷低減活動を積極的に推進している。

現在施工中の地下鉄13号線（池袋～渋谷間）建設工事「駅部開削工事」においては、工事用車両や建設機械に起因する排出ガスや騒音の低減を図ることとし、第1弾として2トン積みトラックを「CNGエンジン」仕様に、4トン積みトラック（ディーゼルエンジン式）に対しては「粒子状物質減少装置」を装着、主に有害ガスや有害物質の排出量低減を実現している（両車両は各工区に1台ずつ導入）。

今回その第2弾として10トン積みダンプトラックについては都環境確保条例の排ガス2次規制（平成17年10月施行）に適合するものを前倒しで採用すると共に、建設機械（テレスコピッククラムシェルおよびバックホウ）についてはその一部を電気駆動式に替えることによって排出ガスをゼロにすると同時に、大幅な騒音低減も実現した。

本報文では電気駆動式建設機械（主にテレスコピッククラムシェル）開発・導入の背景や、仕様、環境負荷低減の効果などについて報告する。

キーワード：地下鉄建設、開削工事、環境負荷低減、テレスコピッククラムシェル、電動式建設機械、電気駆動

### 1. はじめに

21世紀に入り国や地方自治体による環境に関する規制が強化され、これに呼応し各所において積極的な取組みがなされている。

国においては、環境への負荷が小さな物品を優先購入しつつこれらの開発を促進することにより持続的発展が可能な社会の構築を目指した「グリーン購入法」や、建設工事に起因する廃棄物の量を減らし、資材を可能な限り再資源化することを目指した「建設リサイクル法」などが施行されている。また東京都においては、ディーゼル車の排出ガスに関する規制を盛り込んだ「環境確保条例」が施行されている。

このような状況下、地下鉄事業の持つ社会的使命や地域特性などに鑑み、その建設工事においては積極的に環境負荷の低減に取り組むことが責務と考えられる。

地下鉄建設は都市部においての大規模工事であり、長期間にわたり多数の機械や車両を使用し、夜間作業も多いため都市環境に大きな負荷を与えていることも事実である。

帝都高速度交通営団（以下、営団と略記）は真に「人と地球に優しい地下鉄」を目指す立場から、地下鉄13号線建設工事における工事用車両や建設機械に

起因する排出ガスや騒音の低減を実現することとし、建設機械（テレスコピッククラムシェルおよびバックホウ）については、その一部を従来のエンジン駆動式から電気駆動式に替えて導入した。

本報文では電気駆動式建設機械の開発・導入の背景や、その仕様、効果などについて述べる。

### 2. 電気駆動式テレスコピッククラムシェル

表紙に示すテレスコピッククラムシェル（以下、テレスコクラム）は駅部開削工事において路面を覆工した後、地下掘削によって生じた土砂を地上まで持ち上げ、ダンプトラックに積込む機械であり、バケット容量が0.7m<sup>3</sup>、地下約18mの深さまで対応可能なものである（主要な仕様は表-3を参照）。

一般的にはディーゼルエンジンで駆動する機械であるが、上述のごとく排出ガスを無くし周囲騒音を低減すべく電気駆動式を開発し導入することとした。

因みに、電気駆動式テレスコクラムの開発は世界でも初めての試みである。

#### （1）基本構造、主要仕様の検討

電気駆動式テレスコクラムの開発は前例がないため、その基本構造や主要な仕様をどのように設定すべきか、

営団とメーカーが中心となりユーザ側へのヒアリングを繰返しながら検討を行った。以下にその一部を述べる。

(a) 作業性能 (掘削能率)

駅部開削工事においてテレスココラムが担当する掘削 (揚土) 作業は全体工程の中で大きなウェートを占めるため、その作業性能 (掘削能率) は一般的なエンジン式に対し同等以上のものが要求された。

事前に機械の信頼性やその他の理由から電動機の回転速度は一定 (1分間に1,500回転) とする方針で臨んだため、エンジン式に対し機関回転速度が大幅に低下する問題を抱えることになったが、その中で如何に作業能率の低下を抑えるかを主体に検討を行った。

結果的には、一般的なエンジン式が搭載している油圧ポンプに対し二回り程度大型のポンプを採用し、ポンプ1回転当たりの油圧吐出量を増やすことにより所定の動作速度を確保した。

電動機については前出のポンプ性能を十分に発揮できる大出力のものを採用した (写真-1)。

(b) 集電装置

電気駆動式テレスココラムは車両外部から商用電源

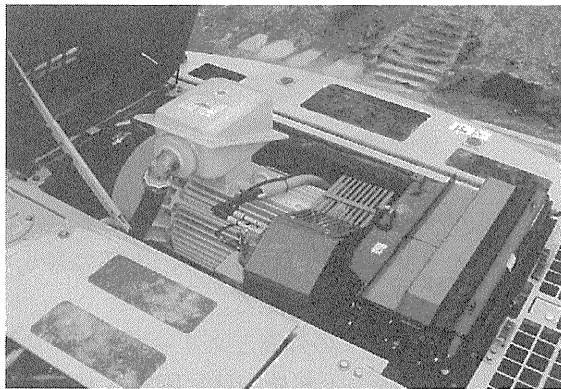


写真-1 大型電動機

(3相, AC 400V) の供給を受け、電動機を回し油圧ポンプからの油圧によって稼働する機械で、この電源を車両に導入・投入するのが集電装置である。

テレスココラムはそれ自体路上 (覆工板の上など) に設置され、開口部からバケットを差込み地下部の土砂を搬出するが、一般的に1台が複数開口部を担当するため、これらの間を行ったり来たりする必要がある。

また、駅部開削工事は道路の中央部に作業帯を設け、その狭い領域の中で各種建設機械や車両が錯綜しながら作業することが多いため、互いに作業の邪魔をしないようにする必要もある。

これらのことから表-1のごとく複数の集電方式について比較検討を行い、構造が複雑になりコストが高くなるものの、安全性や使い勝手の良さ、移動の容易さなどを評価し、下部走行体にケーブルリールを配する「A」方式を採用することとした。

また、ケーブルリールが巻取ったり繰出したりできる電源ケーブルの長さは、開口部や電源設備の配置計画との関係から40mとした。

(2) 新技術の開発

下部走行体にケーブルリールを搭載しようとする、そのスペースは上下左右から圧迫された非常に狭いものとなる。左右にはクローラがあり、天井からは上部旋回体 (カウンタウェートなど) が迫り、下方は車両としての「最低地上高」を確保する必要もある。

このスペースにうまく納まり、長さ40mのケーブルが巻取れるコンパクトなリールが必要となるが、この類の商品は市場に存在しないため、今回新規に開発することとした。

また、下部走行体にケーブルリールを設ける場合、電動機などの主要な電気機器が搭載されている上部旋

表-1 集電方式の比較検討

比較項目	集電方式 A	B	C
ケーブルの損傷 安全性	○ <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 回転してもケーブルは静止安定。</li> <li>・ 前後進してもケーブルは踏付けられない。</li> </ul>	× <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 回転するとケーブルが振られる。</li> <li>・ ハンガ部が引っ掛かる恐れがある。</li> <li>・ 作業機とレールが干渉する。</li> </ul>	× <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 回転するとケーブルが振られる。</li> <li>・ 後退時にはケーブルを踏み付ける。</li> </ul>
地上側設備 ケーブルをさばく要員	○ <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 地上側には電源以外の設備は不用。</li> <li>・ ケーブルをさばく要員は不要。</li> </ul>	△ <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 稼働・移動したい全域にわたり、ケーブルを懸架するレール、ハンガ等の設備を要す。</li> </ul>	× <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 地上側には電源以外の設備は不用。</li> <li>・ 後退時にはケーブルをさばく要員が必要。</li> </ul>
稼働可能な範囲	○ <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 面状の広い範囲にわたり稼働できる。</li> </ul>	× <ul style="list-style-type: none"> <li>・ レールの下でしか稼働できない。</li> <li>・ ハンガが引っ掛かる恐れがあり、距離は延ばせない。</li> </ul>	△ <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 面状の範囲で稼働可能だが、ケーブルのさばきの問題から距離は延ばせない。</li> </ul>
構造のシンプルさ コスト	× <ul style="list-style-type: none"> <li>・ リールの他、回転中心にスリップリングも必要で、構造は非常に複雑。</li> <li>・ コストも高い。</li> </ul>	○ <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 構造は最もシンプル。</li> <li>・ コストも低い。</li> </ul>	○ <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 構造はB方式に次いでシンプル。</li> <li>・ コストも低い。</li> </ul>

回体まで電気を伝えようとすると、途中で回転する箇所があるため回転しながら電気を伝える装置（スリップリング）が必要となる。

しかし、この回転する箇所には走行モータなどに油圧を供給する油圧回路も通っているため、電気と油圧の両方を同時に、一つの回転軸の上で回転しながら伝える回転継ぎ手が必要となる。これについても新規に開発することとした。

#### (a) コンパクトなケーブルリール

偏平なスペースに納めるために、鉛直軸を中心に薄型のドラムが水平に回転する形式とし、スリップリングや駆動モータなどの主要なコンポーネントは小型化し、ドラムの内部空間に押込むことにより全体の高さを低く抑えた。

また、電源ケーブルはドラムに対し多列・多層巻きとし、40 m のケーブルを搭載しつつもコンパクトな外形（外径）を達成した。

しかし一方で、多列巻きとしたことによりケーブルの乱巻きや、最悪は「からみ」「ひきちぎり」などのトラブルも想定されたため、試作品により先行研究を実施した。

テストの結果、若干の乱巻きは生じるものの大きなトラブルに至る恐れは無く、十分実用に耐え得るレベルと判断された。図-1 に水平巻取り型ケーブルリールの概形を示す。

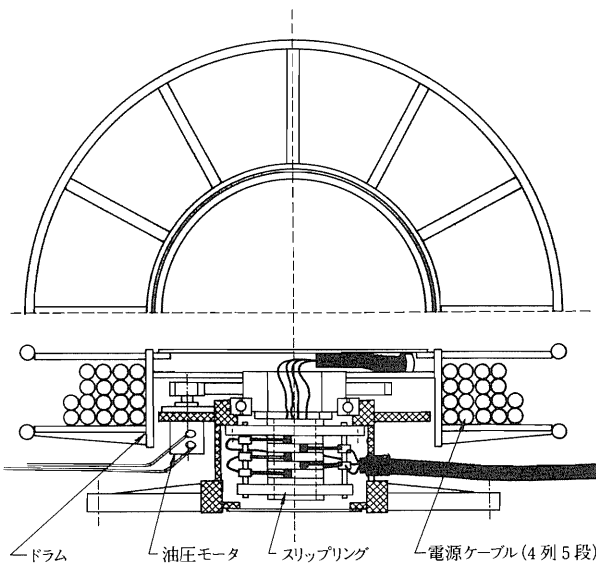


図-1 水平巻取り型ケーブルリールの概形

#### (b) 電気・油圧複合回転継ぎ手

車両旋回中心部において、電気（3相電源，アースの計4系統）と油圧（左右走行モータ，ケーブルリール駆動モータ，ドレインの計7系統）を同時に一軸上で、互いに絡みあわないよう回転しながら伝える必要

がある。

このため、油圧回転継ぎ手（スイベルジョイント）を下方に、電気回転継ぎ手（スリップリング）をその上に設け、双方の軸を連結した電気・油圧複合型の回転継ぎ手を開発した（図-2）。

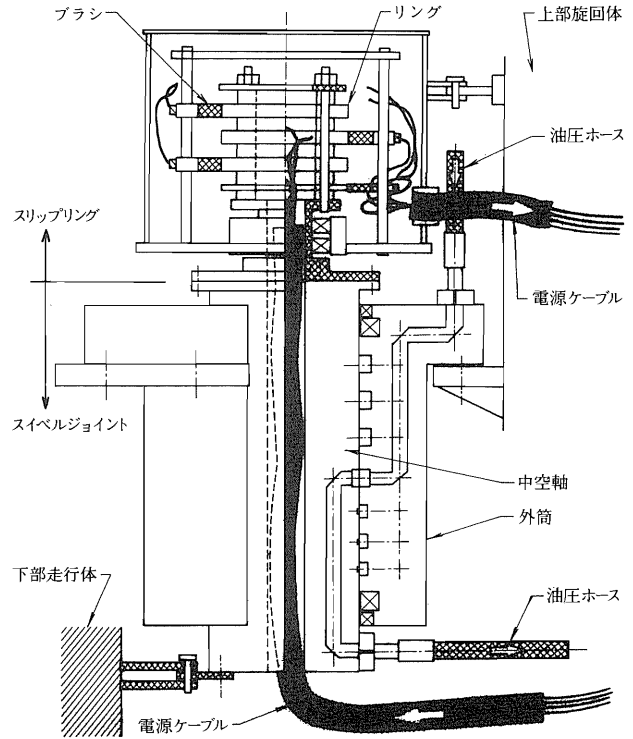


図-2 電気・油圧回転継ぎ手の概形

スイベルジョイントの軸は中空となっており、この内部を電源ケーブルが下方から入り、上部のスリップリングの軸側（リング）に至る。

スイベルジョイントの外筒とスリップリングの外枠（ブラシ側）は車両の上部旋回体に固定され、双方の軸（互いに連結）は下部走行体に固定されている。

### (3) 特長

電気駆動式テレスコプラムは「電気駆動式」としての特長の外に、ケーブルリールを下部走行体に搭載したことによって得られる特長を併せ持っている。

#### (a) 電気駆動式としての特長

- ① NO<sub>x</sub>（窒素酸化物）、CO（一酸化炭素）、HC（炭化水素）などの有害ガスや、黒煙、PM（粒子状物質）などの有害物質を一切排出しないため、周辺住民や作業員の健康を害する恐れも、建物や洗濯物などを汚す恐れもない。
- ② 騒音が低いため、周辺の住環境への影響を小さく抑えられる。エンジン式との周囲騒音値の比較を表-2に示す。

表-2 駆動方式別周囲騒音値の比較 (周囲 7m 地点)

電気駆動式	65 dB(A)
エンジン駆動式	76 dB(A)

(b) リールを下部走行体に搭載する形式の特長

- ① 車両が旋回しても、電源ケーブルはそれとは無関係に安定し振回されることがないため、ケーブルの損傷や電気事故発生の恐れが少ない。
- ② 車両が前後に走行しても、電源ケーブルはリールによって巻取られたり繰出されたりするため、これを踏付けたり引きちぎったりする恐れが少ない (写真-2)。



写真-2 下部走行体に搭載したケーブルリール

程度の深さ範囲を掘削し、そのままダンプトラックに土砂を積込む作業を行う。

今回導入した電気駆動式バックホウ (写真-3) は、本プロジェクトが始まる以前に開発・実用されていた機械で、電源ケーブルのコネクタ形式を電動テレスコグラムに合わせるなど若干の変更を加えて投入した。

なお当該機械はオリジナルのディーゼルエンジンを残したまま電動機を追加したもので、現場の条件や運転内容などにより電動機あるいはエンジンのいずれかの機関を選択し駆動・運転できるものである (メーカーの呼称は「ハイブリッドユンボ」)。



写真-3 電気駆動式バックホウ

(4) 主な仕様

表-3 に電気駆動式テレスコグラムの主要な仕様を示す。

表-3 電気駆動式テレスコグラムの仕様

車両型式名称	コマツ PC 200 SC-6 電動テレスコピックグラムシェル
バケット容量/形式	0.7 m <sup>3</sup> /ツース, スクレーパ付き
機械質量	27,940 kg (履板ゴムパッド, 電源ケーブルを含む)
最大掘削深さ	20.4 m (開口部の寸法, 形状により変動)
電源	3相 AC 400 V/50 Hz
電動機出力/回転速度	90 kW/1,500 min <sup>-1</sup> (同期回転)
集電方式	リールによるケーブル拾い巻取り
ケーブルリール	油圧駆動, 水平多列・多層巻き
ケーブル巻取・繰出長	40 m (有効長さ)
リール搭載位置	下部走行体の後方, 左右履帯間
電源ケーブル形式	PNCT-100 mm <sup>2</sup> ×3c, 14 mm <sup>2</sup> ×1c
電源ケーブル 外径, 質量	φ53 mm, 5.3 kg/m
ケーブルコネクタ	単極コネクタ, 防水型, 色分け (4色)

3. 電気駆動式バックホウ

バックホウは前述の路面覆工の後、数 m から 5 m

(1) 開発の経緯

前述のとおりこの機械は本現場とは無関係に企画・開発され、防音ハウス内やトンネル内などの閉鎖空間でのノンエミッション化や、住宅地での工事、夜間工事における騒音低減などを狙ったものである。

また、電動機だけでなくエンジンも併設することによって、色々な現場条件に適応させレンタル商品としての稼働率を高めるとともに、現場間の移動を容易にしている。

(2) 特長

(a) 電気駆動式としての特長

前述のテレスコグラムと同様に、下記の特長がある。

- ① NO<sub>x</sub> や黒煙その他の有害ガス, 物質を一切排出しない。
- ② 周囲騒音が低い (周囲 7m の値は前出の表-2 の電気駆動式テレスコグラムと同レベルである)。

(b) 電動機とエンジンを併設した形式の特長

ディーゼルエンジン, あるいは電動機のいずれかの機関を選択・運転できることから、以下の特長を有している。

- ① 電源設備がない場所でも自力で走行できるため、

トレーラで搬送する場合も簡単に積み下ろしができ、発電機を準備する必要もない。

- ② もし、電気系統にトラブルを生じた場合でも、エンジン駆動に切替えて稼働したり、あるいは緊急脱出することができる（当該機の場合、エンジン駆動時と電気駆動時の作業性能はほぼ同一）。

### （3） 主な仕様

表—4 に電気駆動式バックホウの主要な仕様を示す。

表—4 電気駆動式バックホウの主仕様

メーカー名称	レンタルのニックン
車両型式名称	ハイブリッドユンボ 0.7
ベースマシン	コベルコ SK 200-6
バケット容量	0.8 m <sup>3</sup> (山積)
機械質量	20,500 kg
駆動方式	電気・エンジン選択駆動 (ハイブリッド駆動)
電源	3相 AC 400 V/50 Hz
電動機出力/回転速度	合計 125 kW/1,500 min <sup>-1</sup> (同期回転)
エンジン型式	三菱自工 6D34-TE1 ディーゼルエンジン
エンジン定格出力	121 kW/2,500 min <sup>-1</sup>
集電(給電)方式	上部旋回体に電源ケーブルを直に投入

## 4. プロジェクトへの導入

### （1） 検討会、ワーキングでの検討

営団では、平成 13 年 2 月に 13 号線建設工事に関する「環境負荷低減検討会」および、その下部組織としての「ワーキンググループ」を立上げ、どの機種に対しどの程度の改善を折込むべきかなど、環境負荷低減の具体策を検討することとした。

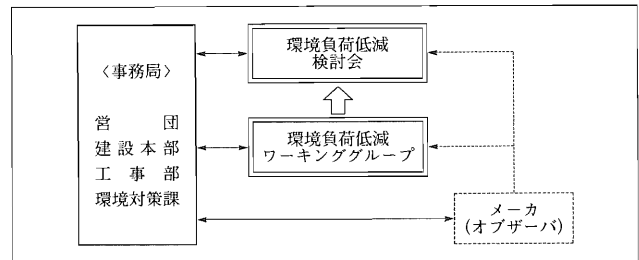
検討会は営団の建設本部工事部長を会長に、各工事請負企業の土木部長を委員として数ヶ月に 1 回、ワーキンググループは営団の工事部環境対策課長を座長に、各 JV の現場代理人を委員として毎月 1 回程度の頻度で開催した（メーカーは必要の都度、オブザーバとして参画）。

発注者である営団と受注者が同じテーブルで検討し、意見を述べ合うことによって、環境負荷低減の必要性や課題などを認識し合うことができ、相互に協力して取組んで行ける素地ができたと考える。

図—3 は検討会やワーキンググループなど環境負荷低減活動の推進に関わる組織体系を示したものである。

### （2） コスト負担

一般的に実効ある環境負荷低減を実現しようとする



図—3 環境負荷低減活動の推進に関する組織体系

と相当のコストが掛かり、これを誰が負担するのかはなかなか決まらず、電動建設機械などの採用計画が頓挫してしまうことも多い。

これは、まず発注者がコスト（アップ分）を発注金額に折込もうとしないことに端を発し、請負業者は電動建機などの使用を要請されても費用の裏付けがないとして採用せず、リース業者や施工業者などはこれを保有する気にならず、メーカーも売れないから開発しない、世の中に機械が無いから積算関係資料にも掲載されない、積算ができないから、…といった具合に「負の連鎖」が出来あがり、環境負荷低減に効果のある機械・車両がなかなか普及しないのが現実である。

基本的には発注者が率先して取組む必要があると考えられ、全事業費を増加させる事なく、どのようにして上述の環境負荷低減に要するコストを捻出するのが重要な課題である。

13 号線建設工事においては、駅部の土木工事発注に際して新技術の開発や施工方法の工夫などによっておよそ 5% のコスト低減を達成した。

このコスト低減分の一部を電動式建設機械の採用など環境負荷低減のためのコストに振当てることにより、立ちちはだかる大きな壁「負の連鎖」を乗り越えることができた。

## 5. 電気駆動式建設機械導入の効果

これまで電気駆動式のテレスコグラムは 6 台、同バックホウは 2 台導入された。

これらは、それぞれ全投入台数の一部ではあるが、すべてをエンジン駆動式とした場合に比較し、図—4 のごとく工事期間中の CO<sub>2</sub>（二酸化炭素）排出量を 1,660 トン削減することができる。

この 1,660 トンの CO<sub>2</sub> を吸収・浄化するには東京ドーム約 220 個分の森林面積が必要となり、「地球温暖化」の抑止に対し微力ながら貢献しているものと考えられる。

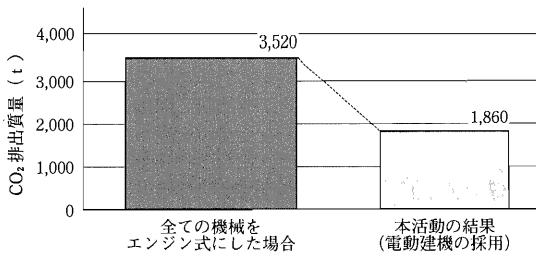


図-4 CO<sub>2</sub>排出量の低減効果

また同時に、PM<sup>すす</sup>や煤、NO<sub>x</sub>、CO、HC など健康被害をもたらすとされる有害ガス・物質の削減も実現している。

地下鉄13号線はその大部分が明治通りの下を通るが、この道路は比較的昔に作られたこともあり車道、歩道は共に狭く、周辺にはマンションや商店、ビジネスビルなどが立並んでいる箇所も多い。

したがって、機械と建物、機械と人間との距離が近く、これらに対し環境負荷を及ぼす可能性が非常に高い現場である。

このような状況の中で、今回一部の機種、一部の台数とはいえ電気駆動式建設機械を採用したことによって、排気ガスの低減や夜間の工事騒音低減など、都市部の地下鉄建設工事における環境負荷を多少なりとも低減できたものとする。

## 6. おわりに

今回の取組みは鉄道はもとより他の公共工事に先駆け営団が発注者として率先して行ったものであり、建設工事が都市部あるいは地球レベルの環境に対し、可

能な限り負荷を与えないようにと考えてのことである。

今後、各種工事で電気駆動式の建設機械を採用する機会も増えるものと考えられるが、本報文がそれらの企画選定や、導入の理論構築などの参考となれば幸甚である。

末筆ながら、電気駆動式建設機械の企画検討、開発導入など、環境負荷低減の取組みに関し、ご指導、ご協力を戴いた関係各位に対し心から感謝申し上げます。

J C M A

### ＜参考文献＞

田邊 滋：地下鉄工事における環境対策；JREA，2003年 Vol.46，No.9。

### 【筆者紹介】



田邊 滋(たなべ しげる)  
帝都高速度交通営団  
建設本部  
工事部  
環境対策課  
課長補佐



川上 和孝(かわかみ かずたか)  
帝都高速度交通営団  
建設本部  
工事部  
環境対策課  
副主任



内田 正明(うちだ まさあき)  
株式会社小松製作所  
営業本部  
市場開発部  
油圧ショベル・ワーキングギアグループ