

線路直下での円形大断面トンネルの施工

—HEP & JES 工法による「りんかい線第2 広町トンネル工事」—

荒川 栄佐夫・桑原 清・永井 正

近年、社会基盤整備が進められている状況下においては、交通施設相互の交差は避けることができず、鉄道線路下、道路下を横断する構造物が必要となる場合が増えてきている。このことを受けて、重要構造物下の横断工事において、既存交通を妨げることなく、非開削で、施工の速度および精度の向上を図ることによって短期間かつ低コストで本体構造物を安全に構築できる新しい合理的な立体交差工法である「HEP & JES 工法」を開発した。このたび、線路直下で107 m という円形大断面（外径 ϕ 11.8 m）トンネルを施工したので、ここに報告する。

キーワード：トンネル、HEP & JES 工法、立体交差、非開削

1. はじめに

りんかい線は、東京都で進められている臨海開発を推進する一翼を担うと共に、東京圏の新しい鉄道ネットワークの形成による鉄道の混雑緩和や利便性の向上、沿線地域の活性化など様々な効果が期待されている路線であり、新木場駅を起点として、東京テレポートタウンを経てJR 山手線大崎駅に至る延長約12.3 km の鉄道新線である。

りんかい線第2 広町トンネル工事（以下、当工事）は、大井町駅から大崎駅に至る路線最後のトンネルが地下から地上へ顔を出す部分に当たり、JR 大井工場を起点とし、JR 大崎駅の手前までの、路線延長約512 m の区間

を施工するものである。

工事はJR 大井工場内を発進した後、直ちにJR 大崎支線の直下に入り、そのままJR 大崎支線直下を深度を浅くしながら並行して進み、途中大崎支線を左右に振りながら地上に出てくる計画である（図-1）。

このため、大崎支線直下にあたる部分では極めて土被りの小さい状態での施工となり、他のりんかい線工事で採用されているシールド工法を採用することが出来ないことから、小断面の鋼製台形エレメントを地中に順次けん引し、特殊なJES継手により円形トンネルを形成し、エレメント内をコンクリートで充填して本体トンネルとして利用する、High Speed Element Pull & Jointed Element Structure（以下、HEP & JES 工法¹⁾）を採用した。

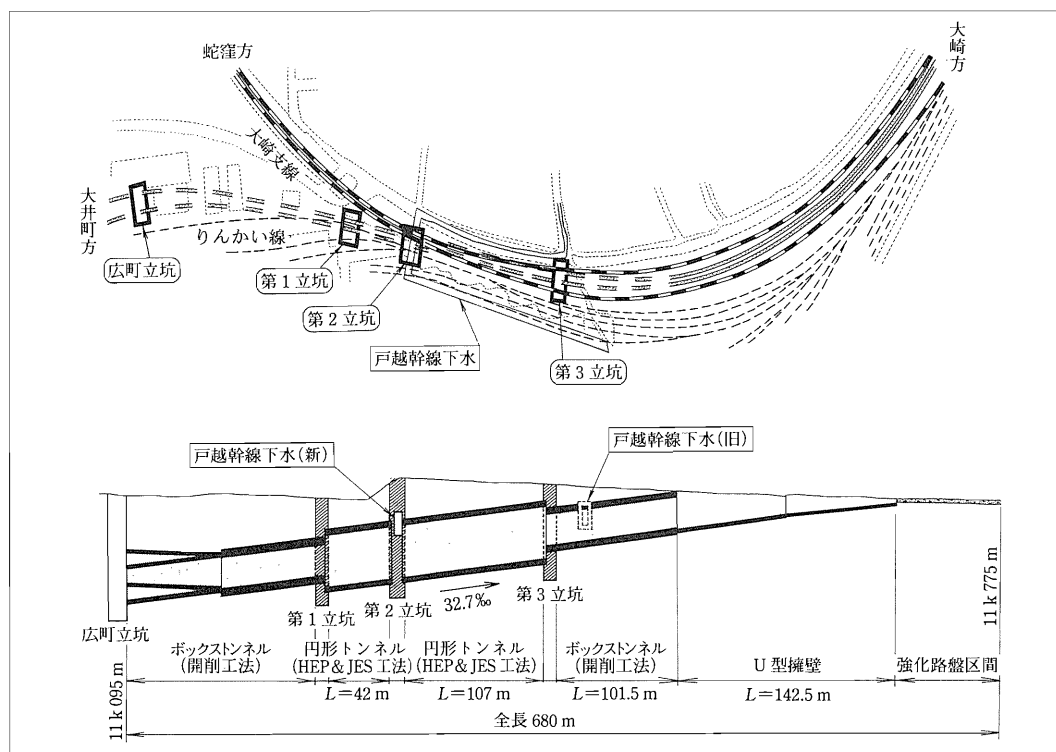


図-1 路線平面図・断面図

2. 工事概要

りんかい線第2広町トンネル工事の工事内容は以下のとおりである。

工区延長 $L=512.2\text{ m}$

- ・ HEP & JES 工法発進, 到達立坑 3箇所
 - ・ HEP & JES 工法トンネル
 - 第1トンネル $L=42\text{ m}$
 - 第2トンネル $L=107\text{ m}$
- (トンネル外径 $\phi 11.8\text{ m}$, $A=109\text{ m}^2$)

3. 地質概要

工事区間の地質は、大井町駅付近の地形である目黒台地から、目黒川低地帯へ順次高度を下げていく地域にあたり、基盤である新第三紀鮮新世～洪積世の上総層群と、これを覆っている洪積世のローム層、武蔵野礫層、東京層、東京礫層および沖積世の有楽町層および埋土が分布している。

当該工事区間は、このうち東京層である粘性土層(Dc層)、有楽町層(Ag, Ac, Ap層)および埋土層(F層)に位置し、非常に多種の地層を通過した(図-2)。

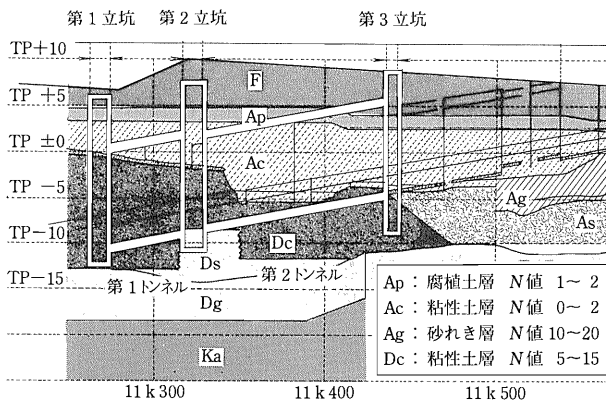


図-2 地質縦断面図

4. 工法の概要

HEP (High Speed Element Pull) & JES (Jointed Element Structure) 工法は、線路(道路)下横断工事を速く、精度良く安全に施工するための新しい工法である。本工法では、構造物は小さな単位(以下、エレメント)を連結して構築することを考えて、エレメント間は十分な強度を有する特殊な継手で連結し、中空のエレメントにコンクリート充填することで構造部材を構築すること、また、エレメントの設置はけん引を用いることとした。

HEP 工法は、エレメントを発進側から推進機によって挿入する従来の方法に代わって、到達側からPC鋼より線でエレメントを牽引するため、高速で精度良く施工できる工法である。

また、JES 工法は、牽引するエレメントの軸直角方向に力を伝達することが可能な継手部を有する「コ」の字形の鋼製エレメントを用い、線路や道路などの下に箱形ラーメン形状や円形状などの構造物を延長に制約されずに構築できる工法である。

HEP & JES 工法は、これら二つの工法を組み合わせ、双方の利点を生かした合理的な施工技術である。

また、本工法は、軌道面や舗装面の防護工と本体構造物の構築工とを同時に行うため、軌道面や舗装面に陥没や沈下などを発生させる危険が少なく安全な施工が可能であること、さらには工期を短縮できる等の優れた特徴を有している。

5. りんかい線工事への適用

今回の工事では、円形断面では初施工であることをはじめ、従来施工されてきた HEP & JES 工法と比較すると多くの特徴があり(表-1)、それに対し様々な工夫を検討し実施したが、主なものを以下に述べる。

表-1 標準的な HEP & JES 工法との比較

項目	従来の実績	今回の諸元
トンネル延長	最大 $L=27\text{ m}$	$L=42\text{ m}$ (第1T) $L=107\text{ m}$ (第2T)
トンネル形状	矩形	円形
線路交差状況	線路下横断	線路下縦断
施工条件	上床は線路閉鎖作業	24時間、無徐行作業
使用目的	道路	鉄道複線トンネル

(1) 円形断面への対応

HEP & JES 工法では初めての円形大断面(外径 $\phi 11.8\text{ m}$)トンネルの施工であった(図-3)。このため、

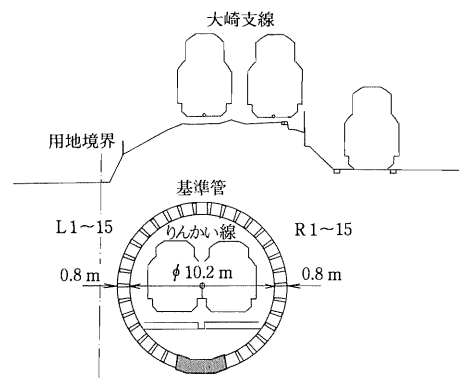


図-3 トンネル断面図

上下のフランジの長さを変えた台形エレメントを使用した。エレメントは施工性を考慮して、フランジ部分にプレス加工を施し、約11度の角度を持たせ、JES 継手同士は直線状に噛み合う形状とした（図-4）。

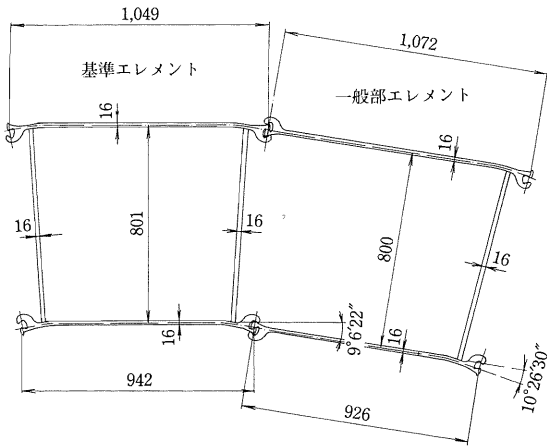


図-4 エレメント詳細図

また、立坑内での作業効率向上と施工精度確保のため次の対策を講じた。

- ① 一般部エレメントは、基準エレメントを挟んで左右同時施工することとし、そのため立坑内に左右独立式の昇降作業床設備を設置した（図-5）。

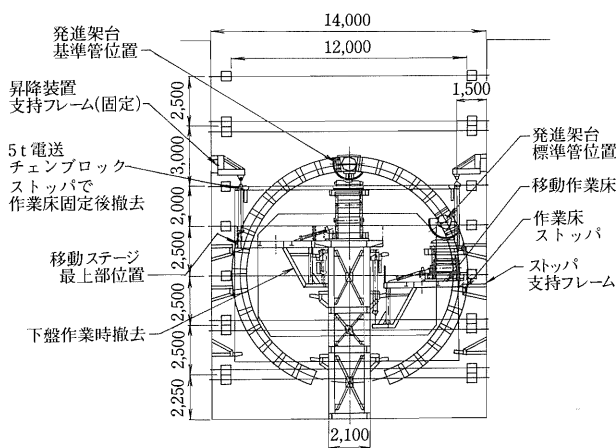


図-5 立坑作業床構造図

- ② 掘削機は油圧モータ作動の開放型メカニカル掘削マシンで、カッターヘッドで掘削された土砂は、機内のリボンスクリューに排土され、マシン後方に配置された6インチ吸引排土ホースにてプラントへ流体輸送される。

通常、マシン本体はエレメントの先頭にあり、外殻共々回収して転用するが、当工事の場合にはマシン本体を抜取る際に、牽引するスペースと時間を短縮するために、先頭エレメントとマシン外殻を兼用

し、工程の短縮と施工性の向上を図った（図-6、写真-1）。

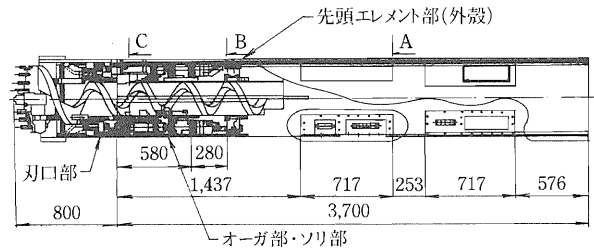


図-6 掘進機



写真-1 掘進機

- ③ 掘削土砂の排土は、円形構造物施工によって、施工部位によって角度が変化するため、どの角度でも排土可能な吸引排土方式を採用した。また、吸引延長が長くなるため、添加剤により泥土状にして排出した。添加剤は、現地の土砂を用いて事前の試験を行い、種類、配合を決定した（写真-2）。



写真-2 吸引排土装置

- ④ 円形施工であるため発進架台および牽引装置の架台は角度・上下左右の勾配等を自由に調整可能な回転式架台を考案した（写真-3）。



写真-3 発進架台

(2) 工期短縮への対応

第2トンネルの施工延長は、107 m とそれまでの本工法による最大実績の約4倍の長距離施工となること、さらに開業までの工事期間が短く、施工効率の向上、工期短縮のため、以下の対策を講じた。

- ① 第2立坑を第1・第2トンネルの到達・発進立坑で兼用し、第1・第2トンネルを同時施工した。
- ② 牽引延長が長くなると、PC鋼より線の伸びによるロスが大きくなることから、PC鋼より線の緊張を緩めずに連続でジャッキ伸縮動作が可能なHEP専用連続牽引ジャッキを開発した(写真-4)。

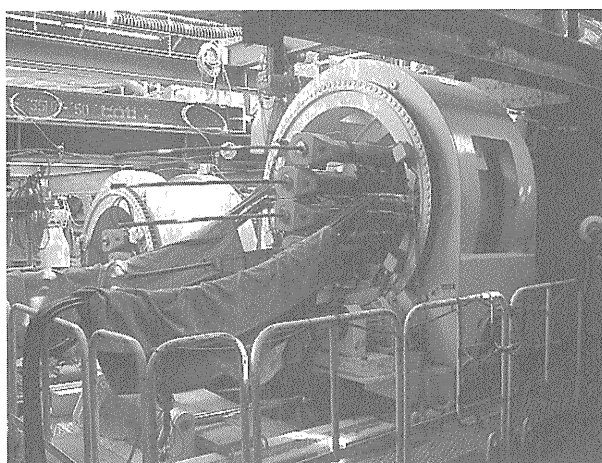


写真-4 連続牽引ジャッキ架台

- ③ 前後のエレメント接続時間を短縮するために、PC鋼棒によるほぞ付きボルト接合方式を採用し、その接続部には専用の止水シール材を開発した。
- ④ 大崎支線の自動連続計測と監視をはじめ入念な軌道変状対策を実施し、通常どおりの列車運行のもとで24時間作業を行った。

6. 施工結果

施工開始当初は、盛土部、特に第2トンネル上部5エレメントの施工において多数の支障物(玉石、木くず)が出現し、それを狭いエレメント内から撤去しながらの作業となったため極めて困難な掘進となった。しかし地盤が安定し支障物の出現が無くなってからは計画どおりの進捗を見ることができた。主な施工実績を以下に示す。

(1) 牽引力

第1トンネル($L=42\text{m}$)の計画牽引力は $P=1,420\text{ kN}$ で、計算上はPC鋼線の本数は2本でまかなえる計画であるが、深度が大きいことから切羽抵抗が計画値より大きく出る可能性があることから、第2トンネルと同じ設備で4本のPC鋼線にて施工を行った。

また、第2トンネルの計画牽引力は $P=2,704\text{ kN}$ であり、当初計画どおり4本のワイヤにて牽引を行った。第2トンネルの上部5エレメント(左右とも)付近までは軌道面からの土被りが小さく、盛土層であることから地中障害物が非常に多く出現したため、一部牽引力が計画値を超過し補助ジャッキ($500\text{ kN}\times 2$ 台)を併用して牽引した区間もあったが、概ね計画牽引力以内で牽引が可能であった。

また、第1トンネルは予想通り牽引力が計画値の約1.5倍程度になるエレメントが多く、 $2,200\text{ kN}$ 程度まで作用させたエレメントも多数発生した。以下に第2トンネルの代表的な牽引力のデータを示す(図-7)。

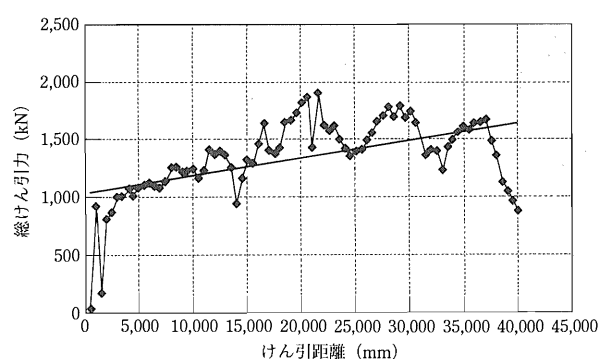


図-7 第1T牽引分布図

(2) 施工精度

エレメントの出来形精度については、通常の場合、施工延長の1/500以内を目標としているが、本工事では、用地に余裕がないことと延長が107 mと長いことから施工延長の1/1,000(約100 mm)以内を目標とした。施工に際しては先頭エレメント(マシン)に方向修正用

スタビライザを装備し、方向修正を行いながらの施工となった。図-8、図-9に各トンネルの基準管の出来形(変位)を示す。

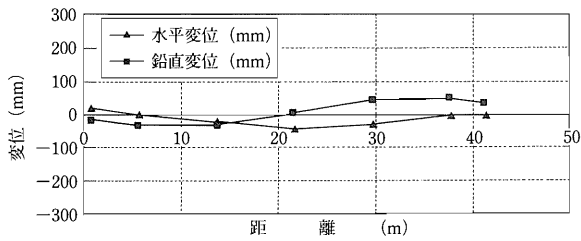


図-8 エレメント出来形図 (第1T基準管)

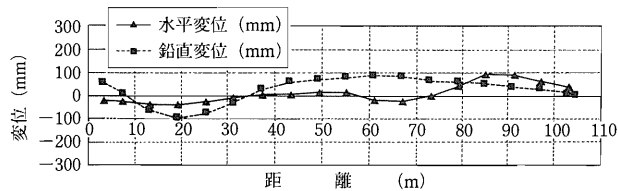


図-9 エレメント出来形図 (第2T基準管)

(3) 閉合部の施工

トンネルの閉合部は、メッセル工法による底設導坑施工後、場所打ち鉄筋コンクリートにより閉合した。最終となるR15・L15エレメントにあらかじめ機械式継手(FDグリップ)を上下2箇所ずつ工場にて溶接、牽引し底設導坑施工完了後、鉄筋組立てを行った。コンクリート強度は 27 N/mm^2 とした(写真-5)。

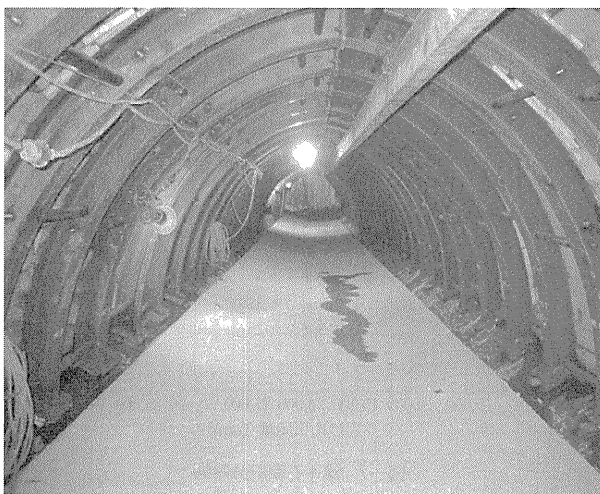


写真-5 閉合部の施工

(4) 本坑掘削

掘削は 0.2 m^3 バックホウを使用した。掘削に多くの時間を要する第2トンネルは工期短縮のため、メッセル掘削を第2・第3立坑から同時に先行して進め、ストラット(H390×300, 2.0 m ctc)による仮閉合が完了後、

上半掘削を開始した。底設導坑内での鉄筋コンクリートによる閉合が完了した時点で下半掘削を行った(写真-6)。



写真-6 閉合部(コンクリート打設後)

掘削土搬出は、第2立坑での戸越幹線下水の施工と競合するため、第1トンネル内をベルトコンベヤで第1立坑に集積のうえ搬出した。

JESエレメント構造体によって構築された大断面円形トンネルは、二次覆工を施工、さらには軌道、電気設備が装備されて、無事に施工が完了した(写真-7)。

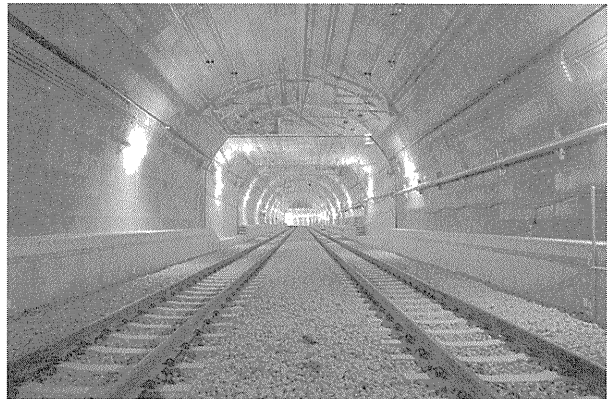


写真-7 完成状況

7. おわりに

りんかい線第2広町トンネル工事は、HEP & JES工法としては初めての円形トンネルで、かつ107 mという同工法の従来の実績の約4倍の長距離牽引を施工した。また、非常に厳しい工程および線路方向直下の牽引を無徐行での施工で行ったが、上部の軌道に大きな影響を及ぼすことなく牽引を完了した。

HEP & JES工法の基本的な技術開発は完了しているが、まだまだ変化する施工条件に迅速に対応することが

望まれ、さらには本工法の機能を高め、完成度の向上を目的とした新たな技術開発を推進中である。

今後は、より複雑な施工条件や環境に対応しながら、鉄道のみならず道路相互の立体交差構造物等の構築工法として、都市部の非開削による地下空間の創造に役立つと考えている。

最後に、本工法の施工にあたり、関係各位より貴重なご意見をいただくことができた。誌面を借りて厚くお礼を申し上げる次第である。

JCM/A

《参考文献》

- 1) 先端建設技術・技術審査証明報告書「HEP & JES 工法」：財団法人先端建設技術センター、平成 12 年 11 月
- 2) 無徐行（徐行速度向上）のための構造物の設計・施工の手引：東日本旅客鉄道株式会社（平成 9 年 4 月）
- 3) HEP & JES 工法技術資料：鉄道 ACT 研究会 平成 13 年 1 月

【筆者紹介】

荒川栄佐夫（あらかわ えさお）
東日本旅客鉄道株式会社
東京工事事務所東海道・総武副課長



桑原 清（くわばら きよし）
東日本旅客鉄道株式会社
東京工事事務所工事管理室副課長



永井 正（ながい ただし）
鉄建建設株式会社
東京支店大崎作業所
機電主任



建設工事に伴う 騒音振動対策ハンドブック

「特定建設作業に伴って発生する騒音の規制に関する基準」（環境庁告示）が平成 8 年度に改正され、平成 11 年 6 月からは環境影響評価法が施工されている。環境騒音については、その評価手法に等価騒音レベルが採用されることになった等、騒音振動に関する法制度・基準が大幅に変更されている。さらに、建設機械の低騒音化・低振動化技術の進展も著しく、建設工事に伴う騒音振動等に関する周辺環境が大きく変わってきている。建設工事における環境の保全と、円滑な工事の施工が図られることを念頭に各界の専門家委員の方々により編集し出版した。本書は環境問題に携わる建設技術者にとっては必携の書です。

■掲載内容：

- 総論（建設工事と公害，現行法令，調査・予測と対策の基本，現地調査）
- 各論（土木，コンクリート工，シールド・推進工，運搬工，塗装工，地盤処理工，岩石掘削工，鋼構造物工，仮設工，基礎工，構造物とりこわし工，定置機械（空気圧縮機，動発電機），土留工，トンネル工）
- 付録 低騒音型・低振動型建設機械の指定に関する規程，建設機械の騒音及び振動の測定値の測定方法，建設機械の騒音及び振動の測定値の測定方法の解説，環境騒音の表示・測定方法（JIS Z 8731），振動レベル測定方法（JIS Z 8735）

■体 裁：B5判，340頁，表紙上製

■定 価：会 員 5,880円（本体 5,600円） 送料 600円

非会員 6,300円（本体 6,000円） 送料 600円

・「会員」 本協会の本部，支部全員及び官公庁，学校等公的機関

社団法人 日本建設機械化協会

〒105-0011 東京都港区芝公園 3-5-8（機械振興会館） Tel. 03(3433)1501 Fax. 03(3432)0289