

トンネル 特集

インターネットを活用した TBM 掘進管理 支援システム

— 第二名神高速道路甲南トンネル上り線工事 —

戸田 浩

日本道路公団甲南トンネル上り線工事では、TBM 工事の掘進管理システム（TBM 状況の表示、TBM 位置データの表示、掘削土量データの表示、掘進状況の画像表示）を採用して、掘進管理に必要な情報を入手し、施工管理を実施している。

さらに、掘進管理システムからの各種計測データや画像を、逐次 Web サーバにアップロードすることで、インターネットに接続できるパソコンであれば、どこでも簡単に計測データ、画像データの閲覧や帳票印刷及び解析用データのダウンロードが可能なシステムを導入している。

本報文は、システムの概要及びその取組みについて紹介するものである。

キーワード：トンネル、TBM、インターネット、リアルタイム、掘進管理、データ共有

1. はじめに

山岳部でのトンネル掘削工事において、自動化、省力化、急速施工化、作業環境の改善、また振動・騒音等の環境問題という観点から TBM 工法が採用される例が多くなっている。

そうした中、TBM の掘進管理に必要な情報を提供する掘進管理システム（TBM 状況の表示、TBM 位置データの表示、掘削土量データの表示、掘進状況の画像表示）が開発導入され、事務所でリアルタイムに TBM の運転状況（施工データ）が監視できる等、施工管理に貢献している。

しかしながら、現場で各種の計測を行いその計測データを監視したり、また監視カメラにより映像を監視する場合、従来は現場計測室か専用回線で接続した事務所で、専用パソコンや専用モニタを使用している。

本システムは、現場に設置する専用アップロードサーバにより、計測データや映像（静止画）データを逐次 Web サーバ（インターネット用のコンピュータ）にアップロード（データをサーバに複写）することで、インターネットに接続できるパソコンで、通常の Web ブラウザ（Internet Explorer などのホームページを見るためのソフト）がインストールされていれば、どこでも簡単に計測データや画像を見たり帳票印刷ができる。

ハードウェアおよびソフトウェア（ブラウザ）を構

成するにあたっては、従来のインターネットの基盤をそのまま利用することができるため、きわめて汎用性の高いシステムとなり、どの現場でも採用することができる。

本システムは、このようなネットワーク技術を利用することで、建設現場での自動監視および施工データの収集を省設備、低コストで実現したものである。

以下、工事概要、システム概要および実施例について報告する。



写真-1 TBM 全体

2. 工事概要

第二名神高速道路は愛知県名古屋市を起点に三重県亀山市、滋賀県土山町、大津市、京都府城陽市、大阪府高槻市、兵庫県川西市を経て、神戸市に至る総延長約 174 km の高速自動車国道である。

「第二名神」は現名神高速道路と一体となって、第四次全国総合開発計画で提唱されている「交流ネットワーク構想」を推進するための、「高規格幹線道路網」の根幹として、将来における一層の高速交通機能を確保しようとするものである。

掘削断面積は従来の2車線トンネルの80m²に比べて約2.5倍の190m²という大断面で計画されている。

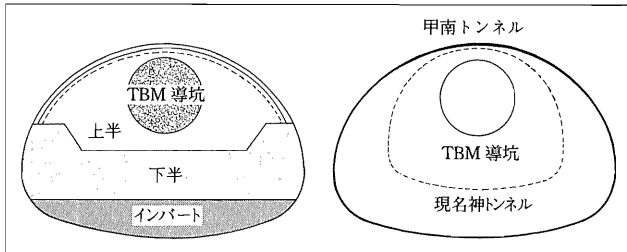


図-1 甲南トンネルの掘削断面積 TBM 導坑先進切掘げ工法

道路規格は第1種第1級A規格で、設計速度は120km/h、最小曲線半径は3,000m、最急縦断勾配2.0%、片側3車線(3.75m×3の幅員)の断面で、安全性および補修時の作業スペース、走行空間の確保のため、両サイドに2.5mと1.25mの路肩を設けている。

大断面トンネルの施工に当たっては十分な配慮が必要であり、当トンネルではTBM導坑先進切掘げ工法を採用している。この工法の目的を以下に示す。

- ① 確実な地質状況の把握
- ② 水抜きによる地山の改良効果

- ③ 切掘げ時の先行補強
- ④ 切掘げ時の爆破効果の向上
- ⑤ 切掘げ時の抗内環境(換気効率)の向上

3. 地形・地質概要

甲南トンネルは、^{たなかみ}田上・^{しがらき}信楽山地と称され標高200~600m程度の山地が広がり、全体に開折が進み、入り組んだ地形である。山腹斜面は30°~40°の急峻な山地で、トンネル西側坑口付近の山麓は20°以下の緩い地形を呈しており、トンネルはこの山地を東西に横切る谷筋(国道307号線および信楽高原鉄道)とほぼ平行に計画されている。当地はこの谷間を流れる滝川(野洲川支流)、隼人川(大戸川支流)の分水嶺に当たる。

山地構成岩体としては花崗岩類が分布し、その被覆層として崖錐性堆積物、現河床堆積物が分布している。当地の花崗岩類は中生代白亜紀後期の貫入岩体であり、田上花崗岩と呼ばれている。花崗岩は沢部や深部では硬質な岩盤として分布しているが、屋根や斜面部では表層から数m~十数m程度風化が進み、マサ状の脆弱な岩盤である。また西側坑口周辺には、熱水貫入による変質を受けたと推定される変質花崗岩が分布し、全体に圧砕されたような状態で、軟質で脆弱な岩盤である(図-2)。

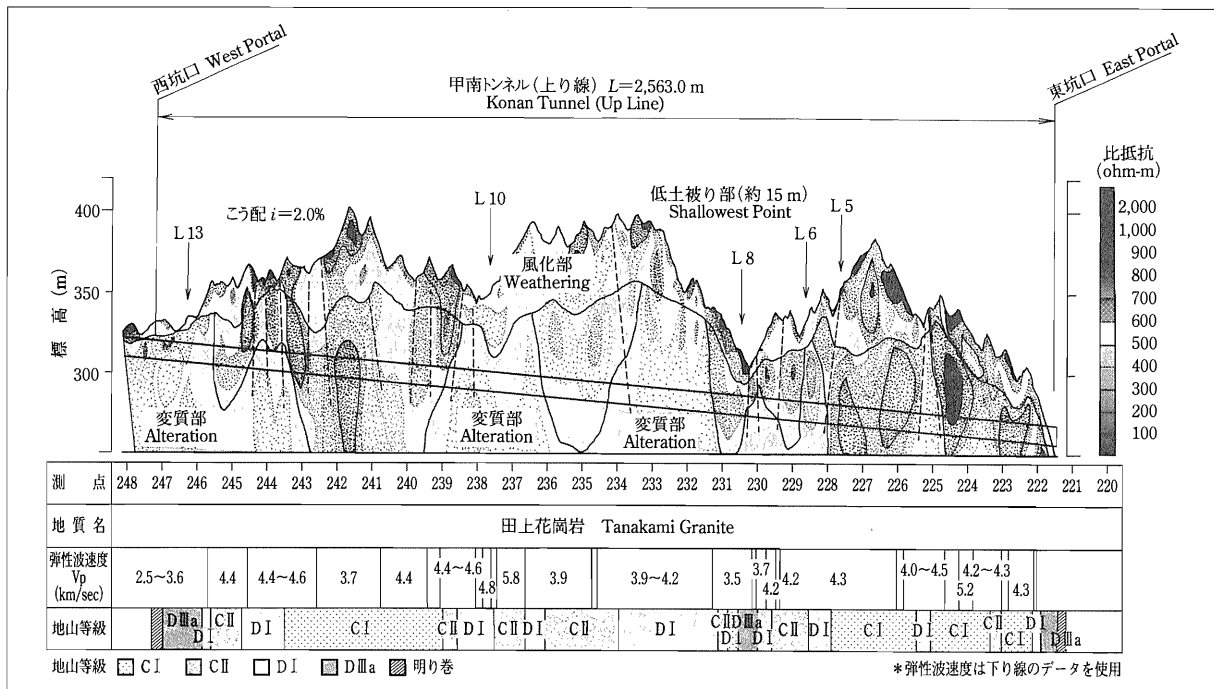


図-2 縦断面図

付け回転することにより岩盤を圧砕。

4. TBM 概要

今回使用した TBM の主な仕様を表-1 に、また本体全体図を図-3 に示す。

- ① 甲南トンネルでは、硬岩に適するオープンタイプのトンネルボーリングマシンを使用。
- ② 掘削径 $\phi 5.0$ m, カッタヘッドには 17 インチのローラカッタ 38 個を装備し、これを岩盤に押

表-1 主な仕様

掘削径	$\phi 5.0$ m
機長	15.4 m
総重量	355 t
推進ストローク	1,500 m
総スラスト力	最大 932 t
補助推進力	最大 400 t
ローラカッタ 38 個	17 inch ($\phi 432$ mm)
カッタ回転数	8.2/4.1 rpm
電動機出力	1,400 kW
ベルトコンベヤ	ベルト幅: 600 mm 運搬能力: 250 m ³ /h

5. システム概要

(1) システム構成

今回 TBM の掘進管理に適用したシステムは、TBM 掘進管理システム（一般計測システム、自動測量システム、排土量計測システム）とインターネットを利用した Web 利用監視システム（WiC: Watcher on internet for Construction）から構成されている。各システム間は、イーサネットにて接続されている。図-4 に実施したシステムの概要を示す。

(2) 一般計測システム

本システムは、TBM マシン制御盤からの出力信号を計測用サーバ上に取込み、TBM の状況を表示し、更に計測した各種データから様々な分析、解析（地山の状況等）を瞬時に行的確な掘進を可能にするもの

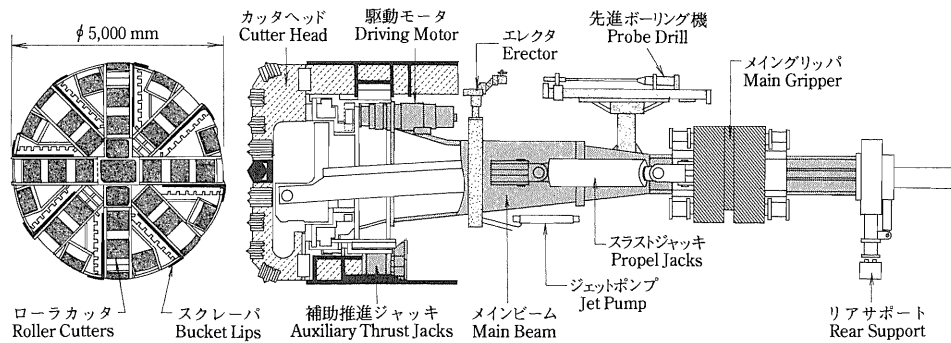


図-3 TBM 全体図

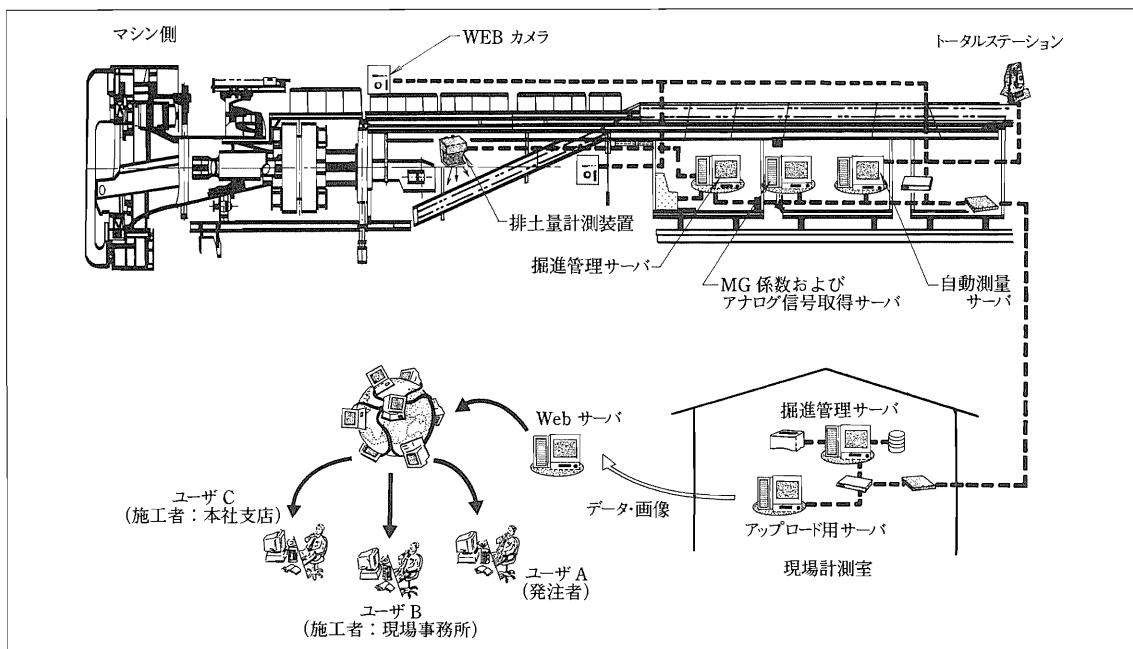
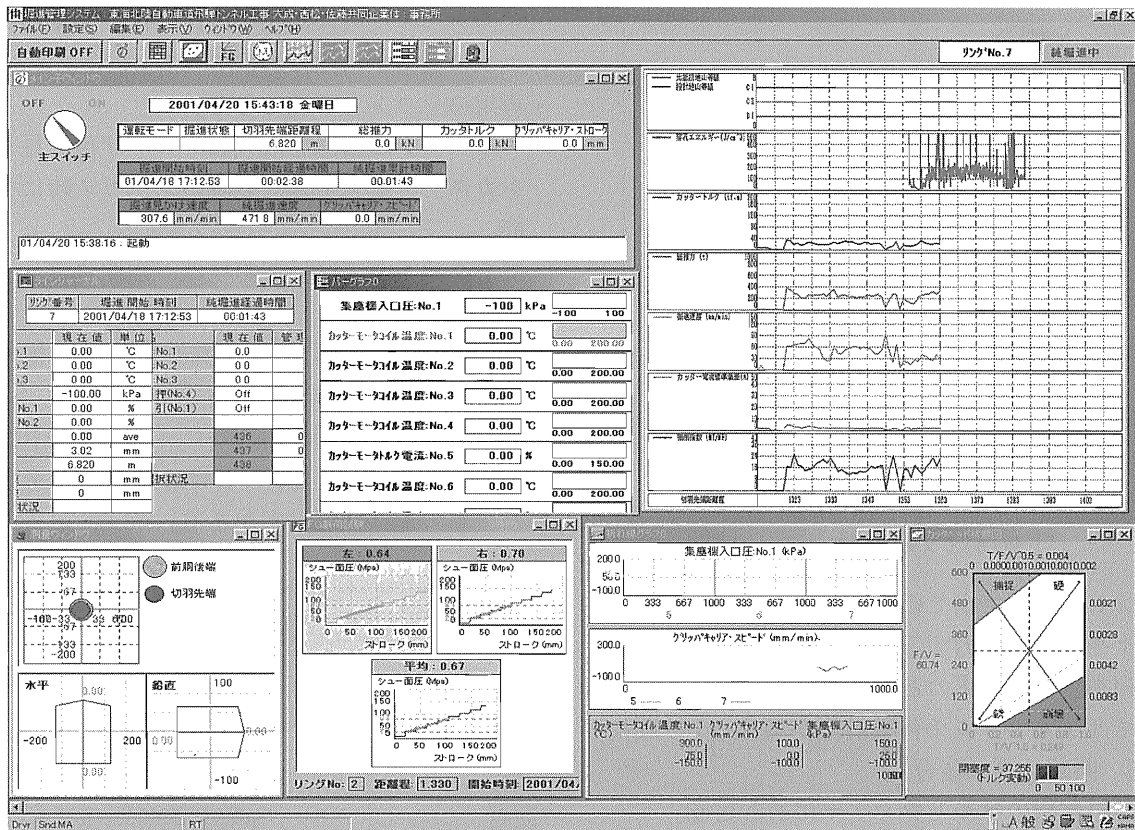


図-4 システム概要図



図一五 監視モニタ画面 (マルチウインドウ)

である。

TBM 制御盤からの各種信号を約 2 秒間隔で計測用サーバに取込み、そのデータを処理し、その結果を監視モニタ画面上に表示する (図一五)。またデータはリアルタイムにハードディスクに記録する。計測した結果は 1 リング毎 (1,000 mm) に自動的に印刷する。

過去の計測データも随時読出して各種処理が可能である。同様に計測したデータから日報を自動作成することも可能である。

データは坑内信号線で坑外の管理室まで転送し表示、印刷を行うことができる。更に後述する Web 利用監視システムにより、現場から離れた工事事務所等で遠隔監視が可能である。

カッターモータ電流値等をアナログデータとして高密度で取得し、電流値の偏差を監視したり、また MG 係数 (メイングリッパを張出したときの面圧力とグリッパ変位より取得する岩盤の変形係数) の取得も実施している。

(3) 自動測量システム

本システムは、TBM の位置を自動追尾型トータルステーション等を用いてリアルタイムに測量し、TBM の計画線からの離れを常に計算、表示することで掘進方向を正確に修正することが可能である。

TBM の後方に自動追尾型トータルステーションを設置し、その更に後方に設置している座標既知の後方基準点を視準することによりトータルステーションの座標を決定し、次に TBM 上に設置されたターゲットを自動追尾してその座標を決定する。その座標と TBM に設置された傾斜計、各種ジャッキのストローク計等からのデータを融合して TBM の位置、姿勢を瞬時に計算し、リアルタイムに運転席や事務所に表示する。計画路線の座標はあらかじめパソコン上に登録しておき、計測されたデータと比較することにより計画路線と TBM とのずれを計算表示する。

データはリアルタイムに傾向がわかるトレンドグラフとしての表示も可能であり、TBM の進行状態を監視することができる。

(4) 排土量計測システム

本システム (図一六) は、レーザ測距スキャニング装置 (LMS) により非接触で高速にベルトコンベヤ上の運搬積載土量を連続的に体積測定するシステムである。

ベルトコンベヤ上に LMS を取付け、ベルト移動速度をエンコーダまたはベルトコンベヤ起動スイッチ等で検出する。ベルト移動速度には関係なく毎秒約 20 回の断面を測定して体積計算する。

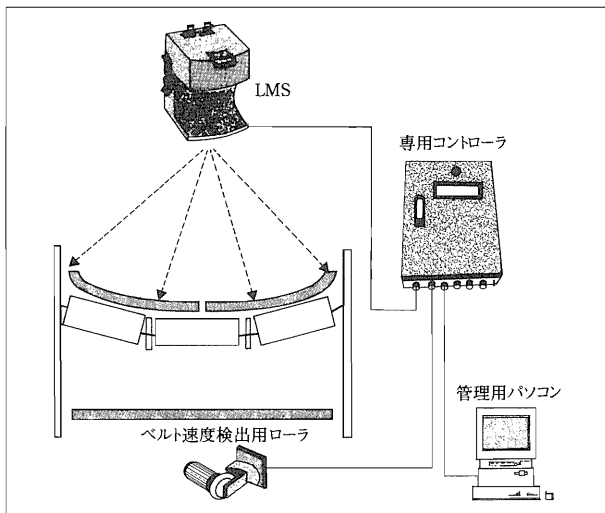


図-6 システム概念図

専用コントローラで全ての設定や表示および現在の計測データを外部へ出力する事も可能である。

特長を列挙すると以下のとおりである。

- ・高精度でリアルタイムの体積計測が可能（1秒間に約20回、断面計測・積分）。
- ・ほとんどの種類のベルトコンベヤに対応可能。
- ・計測データの外部出力端子を有し、標準で2kmまでデータ転送が可能。
- ・ベルトの蛇行や、積載物がベルト幅をはみ出しているも測定可能。

(5) Webカメラ監視システム

本システムは、切羽、坑口等にWebカメラ（カメラ映像をネットワークを通じてパソコンで見ることが出来るカメラ）を設置し、構内ネットワークに接続することにより、一般的なWebブラウザが動作するコンピュータであれば機種やOSの種類を問わずWebカメラにアクセス、モニタ監視が可能である。

甲南トンネルにおいては、マシン操作室、坑口計測室および離れた場所にある工事事務所等で坑内作業状況、ベルトコンベヤによる土量搬出状況等を監視している。

(6) Web利用監視システム（WiC：Watcher on internet for Construction）

本システム（愛称：WiC）は、掘進情報を現場内でリアルタイムに収集し、ISDN回線を用いてホームページが存在する外部サーバへ計測データや画像データをアップロードする機能により、特定ユーザは掘進情報をホームページ上でリアルタイムに閲覧することが可能とするものである。

WiCの特長は以下のとおりである。

- ・インターネットに接続可能ならば、閲覧場所やパソコンの機種が自由に選択できる。
- ・専用のソフトも不要である。
- ・マイページの概念を取入れ、ユーザ毎に見たい画面をカスタマイズでき、以降のアクセス時にも保存可能。
- ・ブラウザを常時開いておけば、画像やデータは自動更新可能。

ホームページ（図-7）上に公開する情報には、一般向けとして、「事業概要」、「工事概要」、「TBM工法」があり、工事関係者向けに「掘進情報」がある。「掘進情報」には、工事における機械データや映像、また工事の進捗状況などがある。

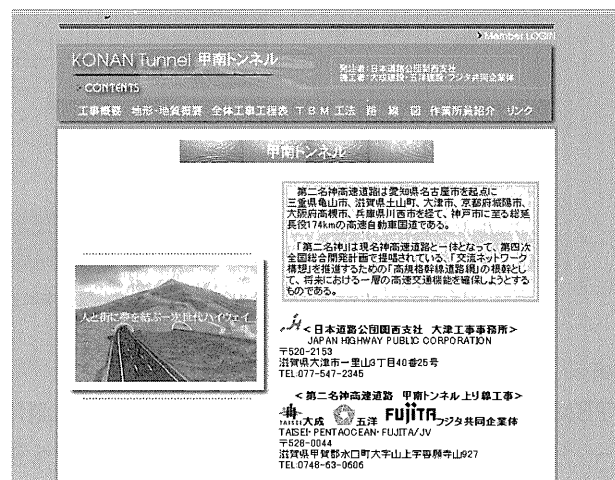


図-7 ホームページ閲覧画面（一般情報）

ここでアップロード用パソコンの機能概要について簡単に説明する。

掘進管理計測システムより渡される「掘進情報」をホームページで閲覧できる形に加工し、ホームページが存在するサーバへアップロードする。

アップロードにはISDNの回線を介して、FTP（File Transfer Protocol）で転送する。



図-8 ホームページ閲覧画面（カメラ画像）

アップロードデータには以下のものがある。

- カメラ映像（切羽付近，TBM 後部，後続台車後方の3映像；図-8）
- 掘進管理データ（施工データの値；図-9）

工事進捗状況		
Webカメラ画像		
掘進管理データ		
---編集---		
リング番号	掘進開始時刻	純掘進経過時間
62	00:01:02	00:00:00
センサー名		
カッターモーター総合電力	0.000000	kW
No.1モーター電流	0.010000	A
No.2モーター電流	0.012500	A
No.1モーター回転速度	0.000000	m/min
P1モーター電流	0.000000	A
P2モーター電流	0.000000	A
P1モーター吐出圧力	0.000000	kg/cm2
泥水吐出量	756.437500	mm
カッターヘッド回転速度	0.012500	RPM
カッター油圧ラッチ・アキウムレター圧力	66.062500	kg/cm2
カッター油圧ラッチ作動圧力	1.550000	kg/cm2

図-9 ホームページ閲覧画面（施工データ）

6. おわりに

TBM 施工において、その真価は急速施工にあるとされているが、掘削の線形管理、マシン本体等の管理もこの進行に追従させなければならない。

そのような状況の中で、発注者や施工者および専門業者間における施工状況報告のタイムラグが、施工管理に支障をきたす恐れがある。

今回開発、適用したホームページを利用した本システムにより、リアルタイムに情報の共有化が図られ、共通した認識に基づいた迅速な指示、対応が可能となつて、不測の事態にもその威力を発揮するものと思われる。

最後に、本システムの採用にご協力を頂いた関係者各位に感謝の意を表するとともに、本報文が安全かつ円滑な TBM 工法の確立に向けて、参考となれば幸いです。

J C M A

【筆者紹介】

戸田 浩（とだ ひろし）
大成建設株式会社
土木本部
機械部
機械技術室
課長



大深度地下空間を拓く 建設機械と施工技術

最近の大深度空間施工技術について取りまとめました。

主な内容は鉛直掘削工，単円水平掘削工，複心円水平掘削工，曲線掘削工等の実施例を解説，分類，整理したものです。

工事の調査，計画，施工管理にご利用ください。

定価 2,310 円（本体 2,200 円） 送料 500 円

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