

煙突自動除染れんが解体ロボットの開発

—「スウィンパーロボ」の実用化—

西山桂司・小林啓二・柳楽毅

煙突の内面に付着したダイオキシン類を均一に効率よく除染できる「煙突自動除染レンガ解体ロボット」（通称：スウィンパーロボ、Swinper Robo=Swing Sweeper Robot）を戸田建設株式会社が開発した。ロボットは噴射ノズルが煙突内径の変化に追従できる構造とすることで噴射距離を一定に保ち、煙突の構造や汚染状況に応じて降下速度や回転速度を制御プログラムにインプットして自動運転で除染する。また、解体用アタッチメントを装着し、ロボットに備え付けたテレビカメラの映像を確認しながら、遠隔操作により煙突内部のれんがを解体する。本報文はロボットの概要と、国内の2箇所の煙突解体現場に適用して実用化した内容について述べる。

キーワード：解体、高圧洗浄、ダイオキシン類、煙突、れんが解体、自動化、遠隔操作

1. はじめに

焼却施設の解体工事は、有害なダイオキシン類をとる作業となる。そのため新しい基準¹⁾（基発第401号）が平成13年4月に公布され、解体作業を行う前にダイオキシン類を含む付着物を除染することが義務づけられた。除染を必要とする設備の中でも特に煙突はダイオキシン類濃度が高く、また高所作業をとるため、安全に効率よく工事を進める必要がある。

解体されるような古い煙突は、通常コンクリート躯体の内面にれんがを積んだ構造で、まずれんが内面を除染し、れんがを解体した後、再びコンクリート内面を除染して、ダイオキシン類を完全に除去してからコンクリート躯体を解体する。従来、煙突頂部から吊るしたゴンドラでの人力作業が主であったが、最近では煙突内を噴射ノズルが回転しながら昇降する機械除染

（回転ノズル式、写真-1）が一般的になってきた。

しかし回転ノズル式は、煙突の下部に行くにしたがい、内径の拡大によりノズル先端と内壁との距離（噴射距離）が大きくなるため、除染効率が落ちるという問題点があった。

そこで戸田建設株式会社は、噴射ノズルが煙突内径の変化に追従できる構造とすることで噴射距離を一定に保ち、煙突の構造や汚染状況に応じて降下速度や旋

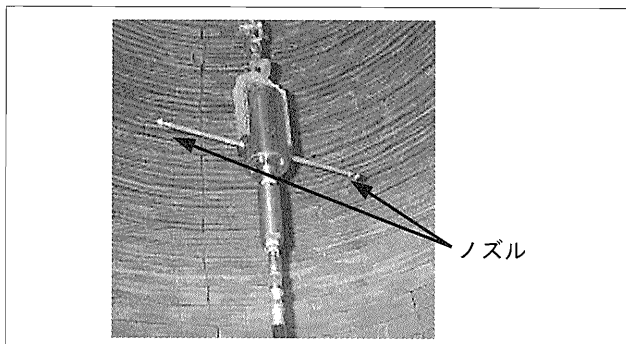


写真-1 回転ノズル式

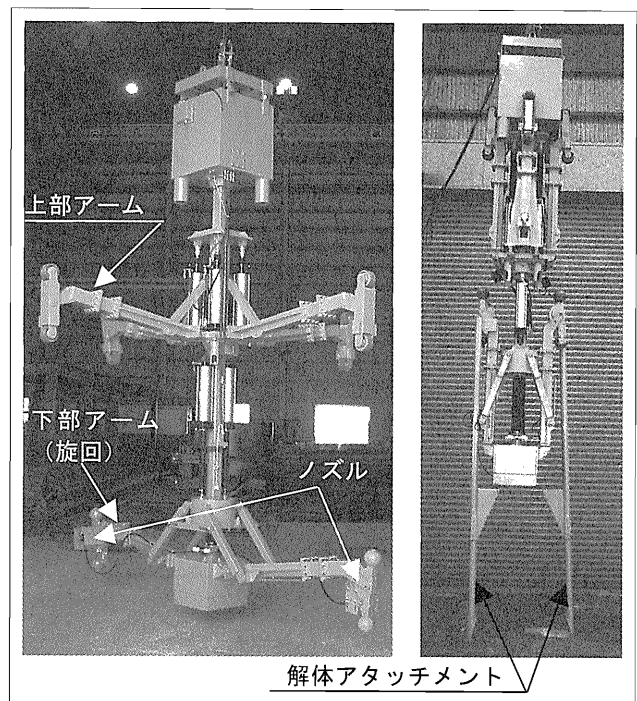


写真-2 「煙突自動除染レンガ解体ロボット」(スウィンパーロボ)

回速度を制御することで、均一に効率よく除染できる「煙突自動除染レンガ解体ロボット」(写真-2)を開発した。さらにロボットは、煙突の除染だけでなく、アタッチメントを交換することで、レンガの解体を行うこともできる。

2. ロボットの概要

(1) 構造

ロボットの構造を図-1に示す。ロボットには開閉式の4本の上部アームと2本の下部アームを持ち、煙突内で上部アームを突っ張ることでロボットの安定を保ち、噴射ノズルや解体アタッチメントを装着した下部アームが回転して除染およびレンガの解体を行う。

ロボットの仕様を表-1に示す。

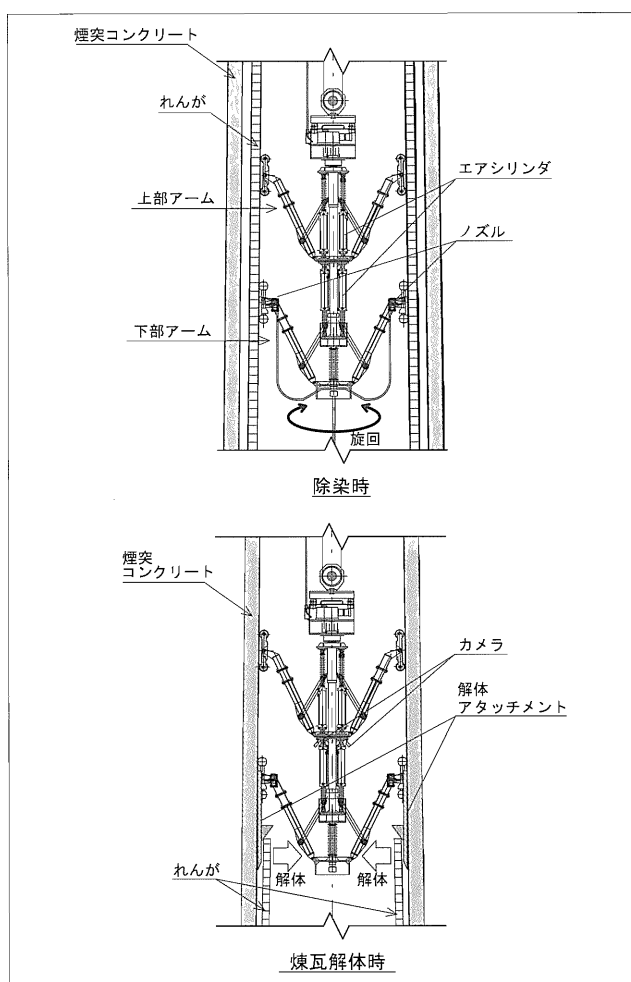


図-1 構造概要

表-1 ロボットの仕様

ロボット高	3.78 m
ロボット重量	1.0 t
煙突適応内径	0.88~3.2 m
噴射圧力	20~60 MPa
回転速度	0.2~2.0 rpm
降下速度	4.0~20.0 m/min

(2) 全体システム

ロボットは煙突頂部からウインチにより吊下げ、ロボットの設置撤去時以外はクレーンを必要としない。除染方法は一定の幅(約100mm)を除染しながら180°回転して降下、反転して180°回転して降下を繰り返しながら、煙突頂部から下部に向けて除染する。

制御方法はあらかじめ降下速度や降下時間、回転速度と回転時間を制御プログラムにインプットし、自動で除染を行う。また、ロボットに備えつけた2台のテレビカメラの映像を確認しながら、地上の操作盤からの遠隔操作も行うことができる。全体システムを図-2に示す。

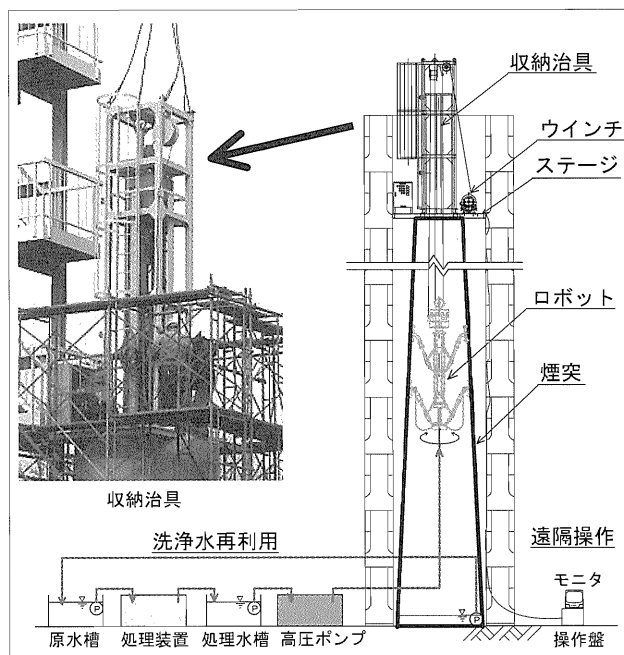


図-2 全体システム

なお、除染によって発生する洗浄排水は、煙突下部に設置したポンプで水槽に送り、洗浄水再利用装置を用いて処理し、循環再利用する。

(3) ロボットの設置方法

ロボットの煙突頂部への設置は、収納治具と一体で行う。収納治具はロボットの保管時、搬送時にロボットを保護するとともに、設置・撤去時間の短縮にも寄与している。さらに、収納治具はロボット初期降下時に、煙突最上部から除染作業が可能となる。煙突頂部の状況を図-3に示す。

ロボットの総重量は高圧ホース等の付属品も含めて約1tとなり、動滑車を用いて吊り荷重を1/2とし、ステージに設置するウインチは1t吊りを採用している。

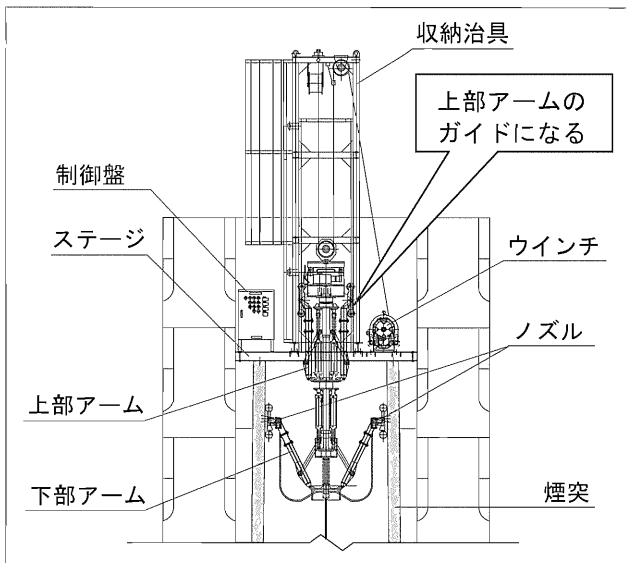


図-3 煙突頂部への設置状況

3. 施工状況

(1) ロボットの開発から現場適用

ロボットは平成15年から開発²⁾を始め、平成17年3月に当社つくば技術研究所にて模擬煙突を製作して性能確認実験を行った。そして同年9月に千葉県内の焼却炉煙突（高さ21m）に初めて適用し、続いて福岡県内の焼却施設の煙突（高さ45m）に適用した。以下、施工状況について述べる。

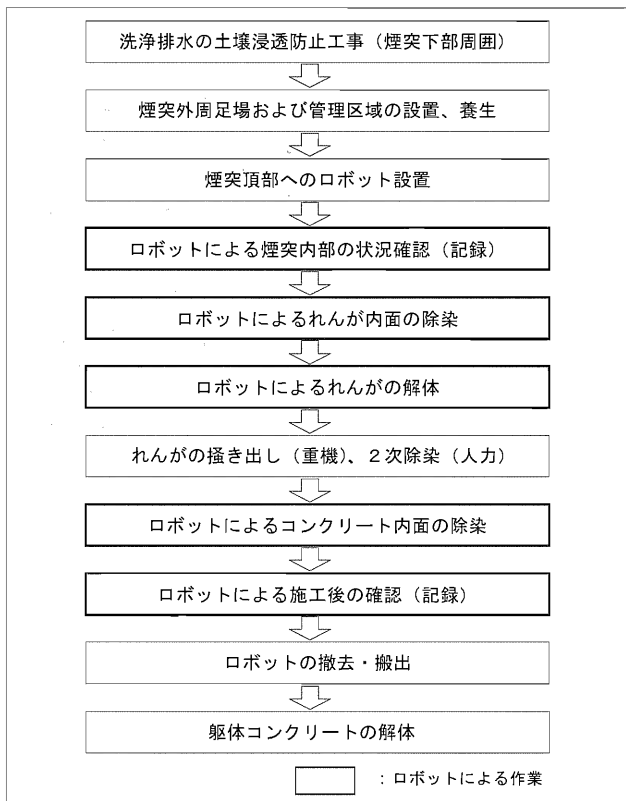


図-4 煙突解体の施工手順

(2) 施工手順

施工手順を図-4に示す。ロボットのカメラ映像を録画機器に記録するため、除染・れんが解体作業だけでなく施工前後の確認作業なども監督員や作業員が煙突内部に入ることなく行うことができる。

(3) ロボットの搬入および設置

ロボットは収納治具に納めた状態で、4tトラックで搬送（写真-3）できる。

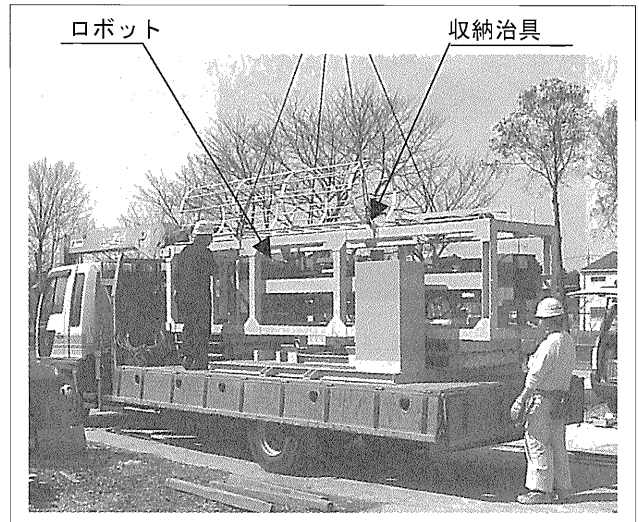


写真-3 ロボットの搬入

煙突頂部へのロボット設置は、まずステージを吊上げ煙突天端にアンカーで固定し、続いて収納治具に納めたロボットをステージにボルトで固定する。次にウィンチを設置後、ロボットを介して収納治具にワイヤを固定し、ケーブル類を配線してセット完了となる。

今回、ロボット+収納治具重量2.0t、必要揚程52m、作業半径15mの条件から揚重機は60t吊りラフタークレーンを使用した。通常、煙突上部に櫓を組む場合は、設置撤去で4日程度を必要とするが、収納治具を用いることで、設置1日、撤去1日の計2日で作業を完了した。

(4) れんが内面の除染

除染はあらかじめ設定値を制御プログラムにインプットして自動で行う。ノズル先端と内壁との距離（噴射距離）を大きくすると、高圧水のエネルギーは大きく減少し、確実に除染することが困難になる。逆にノズルを内壁に可能な限り接近させることで、付着物を効率よく除去できる。ロボットは噴射距離を常に100mmと一定に保つことで、効率のよい除染を可能にしたが、ノズルを内壁に接近させることで除染対象面に高圧水の当たる幅が狭くなり、時間あたりの除染面

積が小さくなることが予想される。

そこで、ノズルを内壁に接近させても単位時間あたりの除染面積を確保できるよう、エアモータによりノズルを上下に揺動させている。ノズル揺動角は±10°、ノズル揺動回数は毎分200回、噴射圧力は20MPaである。高圧水の噴射状況を写真-4に示す。

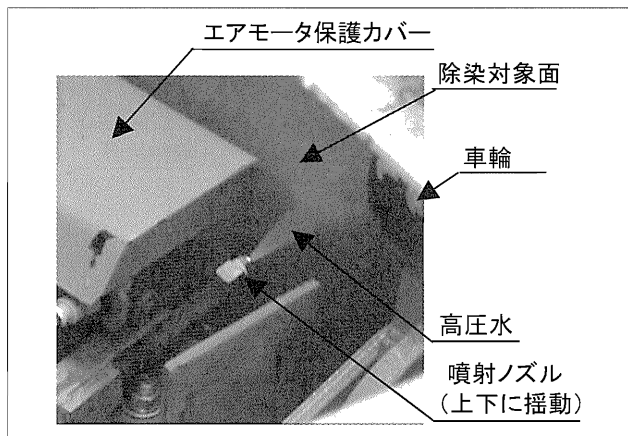


写真-4 高圧水噴射状況

ロボットは旋回・降下を自動で行うため、除染開始後は運転監視員が煙突頂部に1人、ポンプ管理および水替え作業員が煙突下部に1人の計2人で作業を行うことができた。

また、高さ45mの煙突では1日でれんがの内面の除染を完了し、除染効率は210m²/日を達成した。れんがの内面の除染完了後の状況を写真-5に示す。

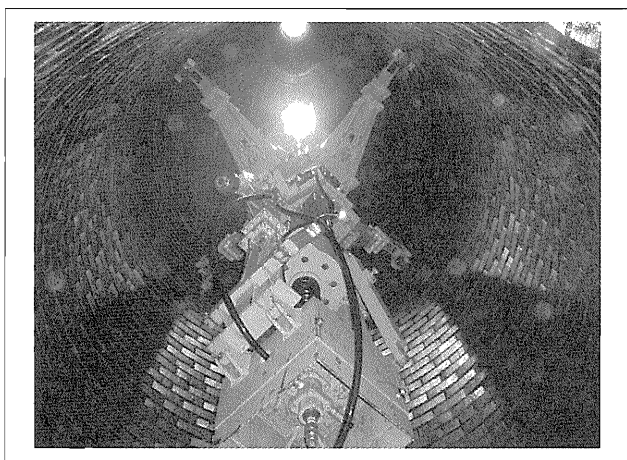


写真-5 れんがが内面除染完了（煙突下部から上部を望む）

(5) れんがの解体

内部れんが積みコンクリート構造の煙突は、通常れんがとコンクリートとの間に10cm程度の空間がある。れんがの解体は上記の空間に解体アタッチメントを差込み、パールの原理でれんがを煙突内に解体落下させる。操作手順は、常に上部アームを開いた状態で、

- ①下部アームを旋回し位置決定→
 - ②下部アーム開く→
 - ③ロボット降下→
 - ④下部アーム閉じる、
- となる。

このとき③と④の動作により、れんがは解体され煙突内部に落下する。

オペレータはロボットの動作や解体状況をモニターを確認しながら操作する。操作状況を写真-6に、れんが解体状況を写真-7に示す。解体効率は1日あたり高さ約15m（70m²/日）を達成できた。

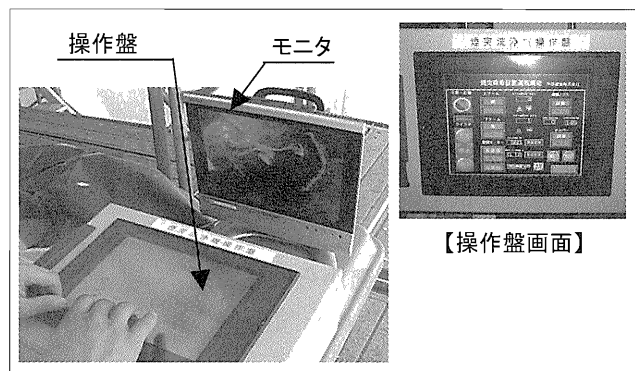


写真-6 ロボット操作状況

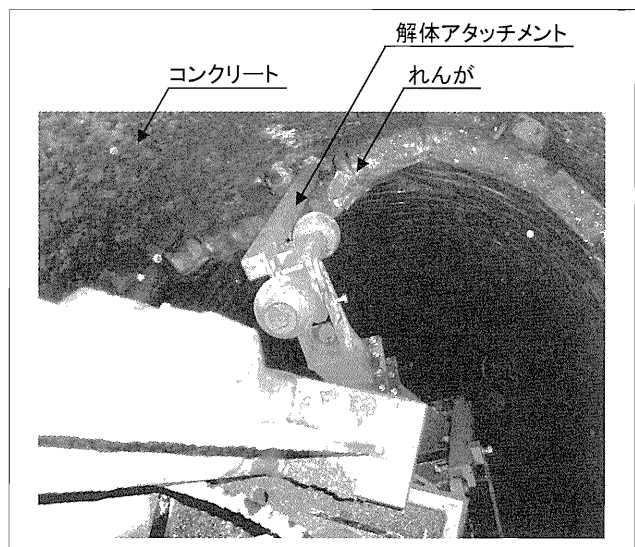


写真-7 れんがが解体状況

解体したれんがは煙突下部開口部からバックホウで掻き出し、ハンドガンにより人力で2次除染する。これら作業は、煙突上部と下部での上下作業にならないよう、作業手順を徹底する。

(6) コンクリートの除染

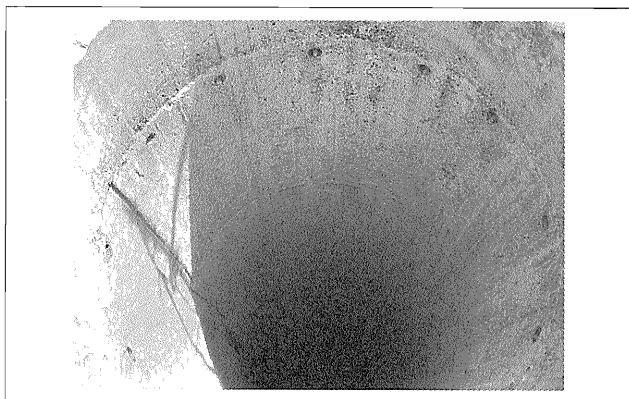
れんがを解体後、再びノズルを装着してコンクリート内面を除染する。これにより、ダイオキシン類に汚

染された付着物は完全に除去されることになる。

除染後のコンクリートのダイオキシン類の濃度が3,000 pg-TEQ/g未満（公定法による分析値）になれば、ダイオキシン類の管理区域の解除が可能となり、後工程になるコンクリート解体作業効率の向上に繋がる。

コンクリート除染完了後の状態を写真—8に示す。写真よりコンクリート表面の付着物が完全に除去されていることが分かる。

なお、除染完了後のダイオキシン類濃度は7.9 pg-TEQ/g（事前調査では140,000 pg-TEQ/g）となり、確実に除染できていることが定量的にも確認された。



写真—8 コンクリート除染完了

4. おわりに

ロボットを適用した二つの現場で、施工効率は実績ベースで除染1日あたり210 m²、れんが解体1日あたり70 m²を達成した。高さ45 mクラスの煙突であれば、れんが除染1日、れんが解体3日、コンクリー

ト除染1日で施工できることが実証できた。従来の方法（除染：回転ノズル式、れんが解体：ゴンドラによる人力作業）と比較して、施工効率は約40%向上し、施工費は同様に約20%低減できた。

国内には休止中の焼却施設は地方自治体の一般廃棄物焼却炉だけで約600箇所になり、解体を待っている状態である。今後はロボットの実用化により煙突の除染およびれんが解体の汎用機として、焼却施設の解体現場に適用していく予定である。

JCMA

《参考文献》

- 1) 厚生労働省労働基準局：「廃棄物焼却施設内作業におけるダイオキシン類ばく露防止対策要綱」（基発第401号），2001.4.
- 2) 西山桂司・安田好伸・柳楽毅・稲井伸介：清掃工場解体工事における煙突自動除染装置の開発，戸田建設技術研究報告，vol.29, 2003.

【筆者紹介】



西山 桂司（にしやま けいし）
戸田建設株式会社
環境ソリューション部
環境チーム
主管



小林 啓二（こばやし けいじ）
戸田建設株式会社
環境ソリューション部
環境チーム
主管



柳楽 毅（なぎら たけし）
戸田建設株式会社
環境ソリューション部
環境チーム
主管

建設機械図鑑

本書は、日本建設機械要覧のダイジェスト版として、写真・図版を主体に最近の建設機械をわかりやすく解説したものです。建設事業に携わる方々、建設施工法を学ばれる方々、そして建設事業に関心のある一般の方々のための参考書です。

A4判 102頁 オールカラー 本体価格2,500円 送料600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