

厚生労働科学研究費補助金（健康安全・危機管理対策総合研究事業）
分担研究報告書

デジタル技術を活用した建築物環境衛生管理基準の達成等に向けた検証研究
貯水槽清掃並びに水関連設備点検に活用できるロボットに関する技術調査

研究分担者 三好 太郎 国立保健医療科学院 生活環境研究部 主任研究官
研究分担者 阪東 美智子 国立保健医療科学院 生活環境研究部 上席主任研究官
研究協力者 徳安 真理奈 国立保健医療科学院 生活環境研究部

研究要旨

建築物衛生法によって管理される建築物における水の衛生管理では、貯水槽の清掃や貯水槽本体、マンホール等をはじめとする水関連施設の点検を定期的実施することが定められている。これらの定期清掃、定期点検に活用できるデジタル技術として、貯水槽清掃に関連する技術としては水中で稼働する清掃ロボットの、水関連設備定期点検に関連する技術としてはカメラ等により収集した情報に基づき、施設における以上の有無を検知することのできる点検支援技術の開発、販売動向を調査した。水中清掃ロボットに関しては、水道用配水池、養殖地、排水処理施設などへの適用を想定した技術がすでに複数実用化に至っていた。一方で、販売されている製品では手動操作を念頭に置いた製品が主流であり、自動・自立型で清掃を完結させることを念頭に置いた製品は認められなかった。点検支援技術についても、床下などの建築物内狭小空間や可燃物が充満する可能性のある空間などでの点検を支援する技術が複数実用化されている。調査対象とした製品の中では、カメラによる画像、動画の撮影に加え、サーマルセンサーや集音装置なども搭載し、これらの装置から収集した情報を以上診断に活用できる製品も存在した。一方で、点検支援技術についても、手動操作を前提とした製品が多かった。以上から、貯水槽の定期清掃や水関連設備の定期点検の代替として適用可能なデジタル技術に関しては、要素技術の開発は進展しているものの、定期清掃、定期点検の代替に至るまでには多くの技術的課題が残っていると見える。

A. 研究目的

本研究課題においては、特定建築物における水関連の衛生管理のうち、貯水槽等の定期的な清掃並びにマンホール、配管等の水関連設備の定期的な点検に適用可能なデジタル技術に関して、調査を行う。清掃に関しては、室内や建築物内で使用される自動清掃ロボット等が実用化されているが、これらの技術は陸上での稼働を前提としているものが多い。一方で、貯水槽の清掃に関しては、水中で稼働させることのできる自動清掃ロボットが必要となる。水中での動作が可能な自動ロボットの開発がどの程度進展しているかを調査す

るとともに、既存開発技術において想定されている適用先を考慮したうえで、特定建築物内の貯水槽の自動清掃に活用できる可能性のある技術の有無を調査の対象とした。

もう一方の施設・設備点検技術に関しては、近年ではドローン等の新技術を活用した点検支援技術の開発が活発化している。国土交通省事業では、道路橋及び道路トンネルの点検要領において、近接目視による点検に加え、「近接目視による場合と同等の評価が行える他の方法」により必要な情報を収集することが認められており^{1) 2)}、ドローンをはじめとする新技術の活用が進んでい

る。また、プラント分野においても、総務省消防庁、厚生労働省、経済産業省の3省により「プラントにおけるドローンの安全な運用方法に関するガイドライン」(平成31年3月初版策定、令和4年4月改定)³⁾が策定され、事業者によるドローンの活用が進展している。これらの事例にて活用が想定されている技術は、適切な調整を行うことによって、特定建築物における設備点検にも活用できるようになる可能性が高い。本調査では、ドローン等を活用した点検支援ツールの開発動向に関する情報を収集すると同時に、現在想定されている適用先並びに運用方法を精査し、特定建築物における水関連の定期的な設備点検の代替とすることができる可能性の有無に関して調査を行うことも目的とした。

B. 研究方法

特定建築物における貯水槽の清掃並びに貯水槽、マンホール等の水関連設備の点検に活用できる可能性のある自動化技術として、水中で稼働できる清掃ロボット並びにドローン等を活用した施設・設備点検支援技術について調査を行った。関連すると思われる技術について、インターネット上で公開されている情報に基づき、現状の製品開発状況、実用化状況を取り纏めた。

本調査における調査対象は、特定建築物に限定していない。水中清掃ロボットに関しては、水道用の配水池や浄水処理設備内、さらには水道以外で利活用される貯水設備を想定した技術も調査対象とした。点検支援技術については、建築物の劣化状況を点検するための技術に加え、道路、橋梁といった土木構造物や各種工場のような製造設備での適用が想定されている技術についても取り纏めの対象とした。特定建築物の衛生管理において想定される状況で活用するためには技術的な対応が必要な余地が残っていたとしても、適切な調整、設計変更を通じて適用できる可能性のある要素技術を取り纏めることを本調査における主眼とした。

また、上述した背景から、費用に関しても、取りまとめる技術を選定する段階においては考慮の対象としなかった。各種技術の導入を検討する際に

は導入に係るコストと、導入したことによる労務費等の削減効果を検討することとなるが、これらは事案によって大きく異なることが想定されるため、今後、具体的な建築物への導入を計画する段階で詳細に検討されるべき課題である。

C. 研究結果

C1. 貯水槽清掃技術

表1に国内で販売されている水中用清掃ロボットの一例を示す。水道用配水池、養殖水槽、排水処理施設などで適用できる技術がすでに複数の製造者より市販されていることがわかる。調査対象とした機器の範囲では、給電方式はすべての製品において有線ケーブルによるものとなっていた。水中で、稼働不能となった場合に機器を回収するために陸上施設とワイヤー等で接続することが望ましいことも考慮すると、水中ロボットに関しては、電源供給や操作信号にバッテリーや無線通信を活用して稼働可能範囲を拡大するという要求は大きくないものと推察される。なお、調査対象とした製品のうち、1番及び2番の製品については、一般社団法人日本水中ロボット調査清掃協会が定める「水中調査清掃ロボットの認定に関する規定」に基づく型式認定を受けており、審査過程において日本水道協会が定める浸出試験方法(JWWA Z108: 2016)の水質基準51項目の判定を受けている⁴⁾。これらの製品は水道施設で使用しても水質へ影響しないロボットとして販売されている。

配水池の清掃に関しては、資格を持った作業員が清掃、点検作業を行うことと定められている機器が複数確認された。これは、清掃、点検作業の良否が水道水の安全性に直結することから、作業員の操作技術を一定の水準に保つことが必要であると判断されているためであると考えられる。養殖水槽、排水処理施設などに適用される製品の中には、事前に点検軌道を設定することによる自動軌道制御装置を搭載している機器もあった。このような機材を活用できる場合、清掃、点検の現場に作業員が立ち会

うことが必須ではなくなる可能性も考えられる。

C2. 水関連設備点検技術

貯水槽やマンホールといった水関連の設備の点検に活用できる可能性のある技術についても調査を行った。結果を表2に示す。設備点検技術に関しては、建築物関連でも床下や煙突などの狭小空間での点検を支援することを目的に開発された製品がすでに複数市販されている。また、可燃性ガスが充満する可能性があるなど、点検作業に危険が伴うことが考えられる場合に適用されることを想定した製品も販売されている。これらの製品は、作業員との距離が離れた状態で運用されることを想定しているものが多く、無線通信による遠隔操作が可能なものが多い。また、事前に設定された巡回スケジュールに従う、自動巡回点検が可能となっている製品も存在している。

登載されているセンサー等については、カメラによる画像撮影が主流であり、調査対象としたすべての製品に搭載されていた。これに加えて、可視カメラでは判別が困難な異常を検知するためにサーマルカメラやガス検知器、集音装置、打診システムなどが搭載されている製品も販売されている。これらのセンサー等については、建築物内の水関連設備の異常検知においても活用できる可能性が高い。さらには、AI等を活用した撮影画像解析システムを活用可能な製品もすでに販売されている。

調査対象とした技術にはドローンも含まれている。ドローンを活用することで、陸地走行ロボットでは点検が不可能な貯水槽の壁面なども点検が可能となる可能性がある。一方で、連続飛行可能時間などは制限が生じるため、点検作業計画の際に留意が必要となる可能性がある。表2に取りまとめた製品の中には、壁面を走行し、タイルの劣化などを検知することのできる製品も含まれていた。貯水槽壁面の点検などにおいては、このような技術も活用できる可能性が考えられる。

D. 考察

D1. 貯水槽清掃技術

水中で動作する清掃ロボット自体としては、多くの製品がすでに市販されており、技術的開発動向としては成熟した段階と判断することができると考えられる。一方で、水道用配水池へ適用される機材に関しては、有資格者による操作によって運用されることとなっており、清掃、点検作業者の業務負担の低減には資する技術であると考えられるものの、定期的な点検、清掃の必要性を排除することのできる技術ではないといえる。

養殖水槽や排水処理施設に適用される機材の中には、自動軌道制御装置を搭載した機材もあることから、水中清掃ロボットの自動運転自体は技術的には選択肢となるものと考えられる。例えば、配水池清掃ロボット操縦資格を有する作業者が清掃作業中に下している各種判断の根拠を学習させたAIシステムなどを構築した場合、当該AIによる自動運転により清掃、点検を実施することも技術的には可能となる可能性が考えられる。しかし、調査を実施した範囲ではそのような取り組みは認められず、実現に向けては相当な技術的障壁を克服することが必要であるものと推察される。また、点検を実施しない期間中の保管方法についても、留意が必要である。飲料水と接触し続ける状態での保管は適当ではないことから、清掃、点検終了後は貯水槽外で保管することが必要となる。定期的な清掃、点検の代替技術とするためには、貯水槽外で保管されている水中清掃ロボットを、清掃が必要な時期に自動的に貯水槽内に移動させるとともに、清掃終了後に貯水槽から清掃ロボットを回収する設備も必要となる。これらのことを考慮すると、特定建築物における定期的な貯水槽の清掃、点検作業をデジタル技術で代替するのは現段階では現実的ではないものと考えられる。上述した技術、設備の開発が進んだ際には、現実的な選択肢となる可能性もあるため、技術開発動向に関する調査の継続が必要であるといえる。

D2. 水関連設備点検技術

近接目視と同等の評価を行うために必要な画像情報を取得できる技術として、点検ロボットや点検用ドローンなど多くの製品が開発、販売されていることが明らかとなった。調査対象とした製品の中にはサーマルセンサーやマイク等の集音装置を搭載した製品も存在しており、これらの装置から収集される情報も活用しながら点検を行うことで、異常検知の精度を向上させることが可能となっているものと考えられる。

また、点検支援技術についてはAIの活用に向けた技術開発も進展しており、一部の製品においては点検用ロボットで撮影された画像から異常箇所を検知することのできるシステムが実装されている。このような技術においては、上述したサーマルセンサーや集音装置等で収集された情報もAIの学習方法次第では活用することが可能となると考えられるため、今後は様々な点検項目において、異常の有無を判別できるAIが開発されていく可能性が期待される。

一方、現状においては、調査対象とした製品の大半が手動運転での運用を想定したものであった。すなわち、これらの技術を活用する場合においても、点検作業者が定期的に点検作業を実施するという状況が継続することとなる。そのため、現段階においては、デジタル技術の活用を通じた定期検査の見直しを実施できる段階にはないものと判断される。自走式の点検ロボットを自動型、もしくは自律型として運用できるようになった場合においても、点検経路の確保や異なる階への移動手段の確保などが課題として残るものと考えられる。建築物利用者の活動区域に侵入する必要性が生じる場合においては、利用者との接触事故等が生じないような対策も必要となるものと考えられる。また、ドローンを活用する場合においては、飛行計画の通報や飛行日誌の記載など、法的な対応が必要となる場合も想定される。建築物衛生へのデジタル技術の活用の一環として自動点検

ロボットの活用を検討する際には、これらの点に関しても留意が必要である。

E. 結論

特定建築物における水の衛生管理に活用できるデジタル技術として、水中で稼働できる清掃ロボット並びに貯水槽等水関連施設の点検に活用できる可能性のあるロボット等に関して調査を行った。水中で稼働できるロボットとしては、多くの製品が開発、販売されており、ロボットの技術水準としては活用可能な段階に到達しているものと考えられた。一方、現在販売されているロボットにおいては、点検作業者が手動で操作する製品が中心であり、デジタル技術による定期点検の代替手法として活用されることが想定されている製品は調査した範囲においては見つけられなかった。水関連設備点検技術に関しても、カメラに加え、サーマルセンサーや収音装置などを搭載した点検ロボットや点検ドローンが販売されていることが確認できた。しかし、これらの点検ロボット、点検ドローンにおいても、手動での操作が前提とされているものが主要であった。定期点検、清掃の代替手法としてこれらの製品を活用するためには、現段階では多くの障壁が残されているものといえる。

F. 研究発表

1. 論文発表

なし

2. 学会発表

なし

G. 知的財産権の出願・登録状況（予定を含む）

1. 特許取得

なし

2. 実用新案登録

なし

3. その他

なし

<参考文献>

- 1) 道路橋定期点検要領（技術的助言）、令和 6 年 3 月、国土交通省 道路局
- 2) 道路トンネル定期点検要領（技術的助言）、令和 6 年 3 月、国土交通省 道路局
- 3) プラントにおけるドローンの安全な運用方法に関するガイドライン Ver3.0、令和 4 年 4 月、石油コンビナート等災害防止 3 省連絡会議（総務省消防庁、厚生労働省、経済産業省）
- 4) 一般社団法人日本水中ロボット調査清掃協会ホームページ、URL:
https://jwrca.or.jp/events/20190604_robot_nintei.html、令和 6 年 5 月 13 日閲覧

表1 水中清掃ロボットの例

No.	名称	メーカー	自動/手動	適用先	給電方式	備考
1	水中底面掃除ロボット CUV-40	広和株式会社	手動(有線遠隔 操作)	配水池など	有線ケーブル (AC 100 V)	有資格者が操 作
2	クリア A-1型	株式会社ア ークエンジ ニアリング	手動(有線遠隔 操作)	配水池など	有線ケーブル (AC 100 V)	有資格者が操 作
3	"ドルフィン バイオスター (バキューム式対応型)、ド ルフィン ジャイロ DX(低 水深プール対応型)、ドル フィン マクロ LED(壁面 清掃特化型)	株式会社ジ エイ・シ ー・イー・ オーバーシ ーズ	自動/手動(無 線遠隔操作)	流水地、養殖 水槽、排水処 理施設の貯水 槽など	有線ケーブル (AC 100 V)	自動起動制御 装置搭載 壁面清掃も可 能
4	水中調査清掃ロボット 水 中エニー	トピー工業 株式会社	手動(有線遠隔 操作)	配水池など	有線ケーブル (AC 100 V)	有資格者が操 作
5	水中清掃ロボット The Bull、Mini Bull	千代田商事 株式会社	手動(無線遠隔 操作)	土砂が堆積し た水中部分、 暗渠水路内、 水中構造物内	記載なし	
6	水中ドローン アクアブル ーH01	中里建設株 式会社	手動(無線遠隔 操作)	配水池、浄水 池をはじめ、 開口 60cm 以 上あるほとん どの施設	有線ケーブル	点検用の機材 (清掃機能な し) 複数のセンサ ー、カメラ等 を搭載
7	貯水槽清掃ロボット	株式会社 興和	手動(無線遠隔 操作)	配水池など	有線ケーブル	発電機でも起 動可

表 2 設備点検技術の例

No.	名称	メーカー	手動/自動	適用先	備考
1	床下・設備点検ロボット エニーライト	トビー工業株式会社	手動遠隔操作(有線/無線)	瓦礫などの不整地、床下や設備内部など	
2	プラント自動巡回点検防 爆ロボット EX ROVR "ASCENT"	三菱重工	自動(巡回スケジュールに従う)	主に可燃性ガスがある危険場 (Zone1)、石油プラント	可視カメラ、熱画像カメラ、ガス検知器、マイク等を搭載
3	超狭小空間点検ドローン IBIS2	株式会社 Liberaware (リ ベラウェア)	手動遠隔操作(無線)	下水道、煙突内部、ボイラー、蒸留塔内部など	狭小空間への進入が可能 電波が届かない場所への対応技術あり 最大飛行時間は 11 分
4	点検・測量ドローン ELIOS 3	ブルーイノベーション株式会社	手動遠隔操作(無線)	プラント施設、インフラ施設、工場、船舶のドックなど	4K カメラ、サーマルカメラ、距離センサーを搭載、暗闇の中でも人による目視点検と同等の検知が可能
5	アミューズワンセルフ社製 「GLOW.H (グロウ、エイチ)」、 「GLOW.L (グロウ、エル)」	ソフトバンク株式会社	手動遠隔操作(無線)	マンションや商業ビル、高所ビル、森林(現況点検)、鉄塔や煙突、架橋など	導入前のサポートからドローン機器の手配、飛行の申請、取得したデータの AI 自動分析やレポート管理を受託
6	プラント点検用ドローン Rangle 5	ドローンスポーツ株式会社	手動遠隔操作(無線)	プラント、工場など	点検に必要な機能を厳選して搭載(低コスト化) 熟練技術者による現場点検、現場管理、報告書作成の受託も可能
7	壁面走行ロボットによる 外壁点検システム	高松建設株式会社、青木あすなろ建設株式会社、非破壊検査株式会社	有線で運用	ビルなどの建築物	壁面を走行し、タイルの劣化、損傷を検知 カメラユニットと打診システムを搭載
8	インフラ用狭小空間点検 ロボット moogle evo (モーグルエヴォ)	大和ハウス工業株式会社	手動遠隔操作(無線)	住宅等の狭小空間、橋梁、共同溝など	クラック幅自動判定機能搭載