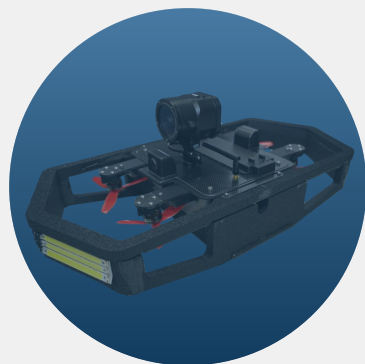


ドローンを活用した 下水道管渠の点検調査技術

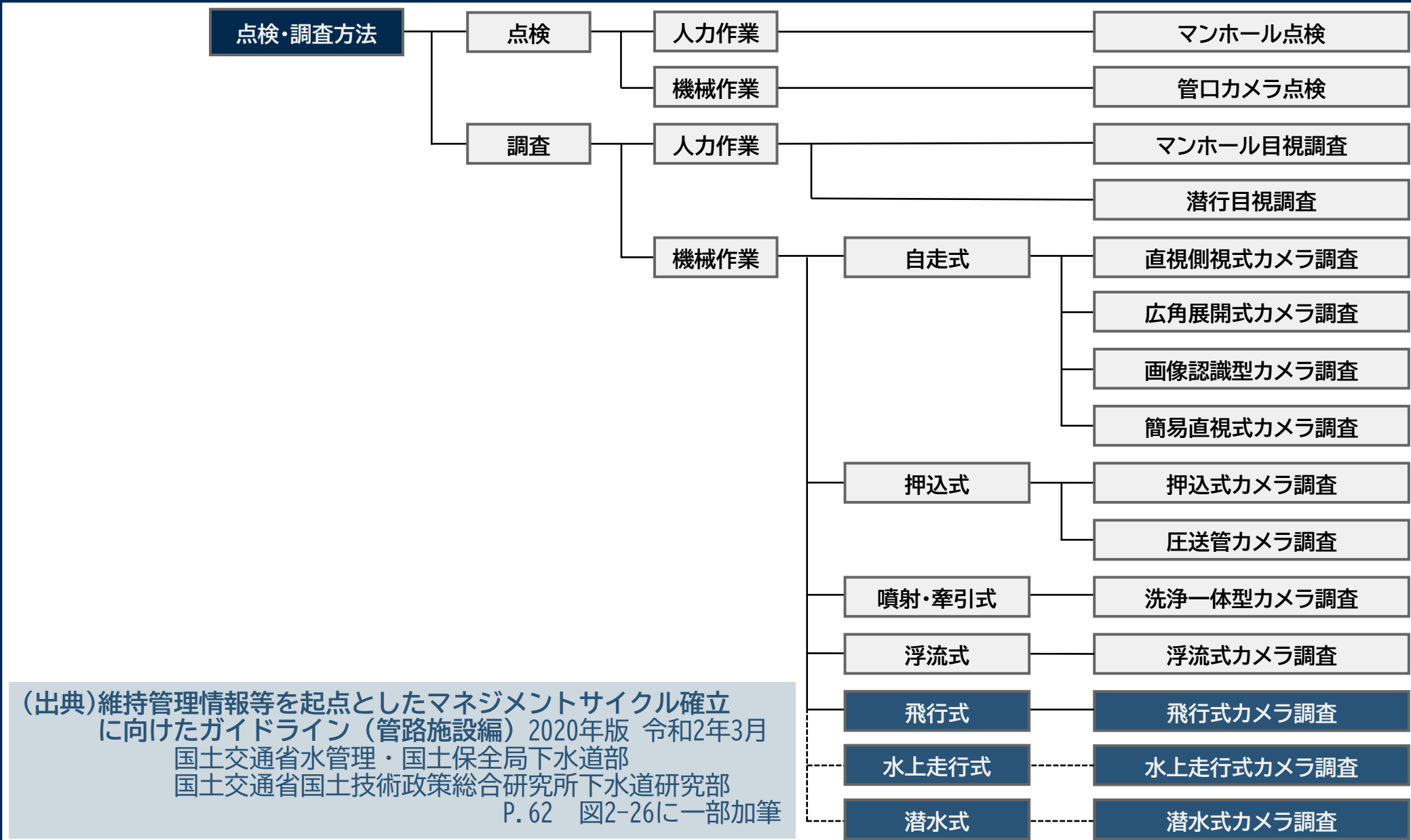


オペレーションズ本部
インスペクション部

大友良介

目次

- 1 下水道管渠の点検・調査技術
- 2 調査用機体
- 3 飛行型ドローン
- 4 水上走行式ドローン
- 5 潜水式ドローン
- 6 事例紹介



(出典)維持管理情報等を起点としたマネジメントサイクル確立
に向けたガイドライン（管路施設編）2020年版 令和2年3月
国土交通省水管理・国土保全局下水道部
国土交通省国土技術政策総合研究所下水道研究部
P. 62 図2-26に一部加筆

飛行式



UAV(Unmanned Aerial Vehicle)

AirSlider® Fi4



管渠などの閉鎖空間

水上走行式



USV(Unmanned Surface Vehicle)

Water Slider® W4



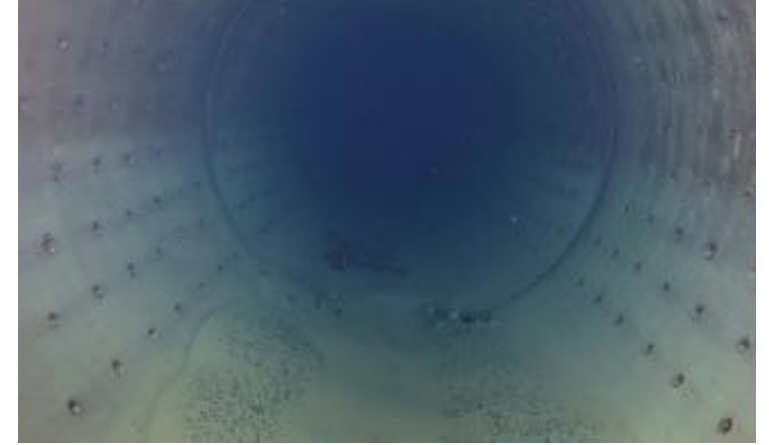
管渠などの気相部(水上)

潜水式



ROV(Remotely Operated Vehicle)

WATERi® FF2



管渠などの液相部(水中)及び気相部(水上)

AirSlider® Fi4



飛行時間
5分



適用管径
Φ400mm
～1,500mm



重量
2.4kg



通信方式
無線通信



飛行可能距離
150m程度



高画質撮影
4K撮影可能

Water Slider® W4



連続稼働時間
1時間



適用管径
Φ600mm
～5,000mm



重量
7.5kg



通信方式
無線通信
有線通信
切り替え可能



最長到達距離
無線時: 1,200m
有線時: 600m



高画質撮影
4K撮影可能

WATERi® FF2



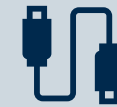
連続稼働時間
1時間～4時間



適用管径
Φ600mm
～5,000mm



乾燥重量
約24kg
水中ではほぼ0kg



通信方式
有線通信



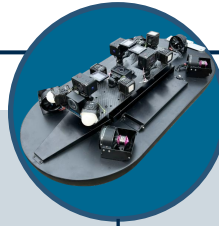
最長到達距離
600m



高画質撮影
4K撮影可能



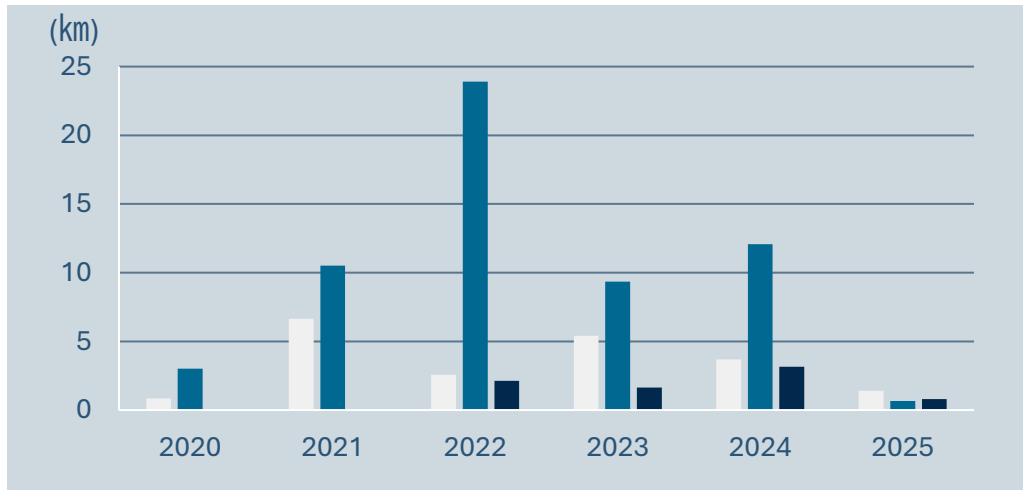
年	実施延長
2020	0.8km
2021	6.6km
2022	2.6km
2023	5.4km
2024	3.7km
2025	1.4km



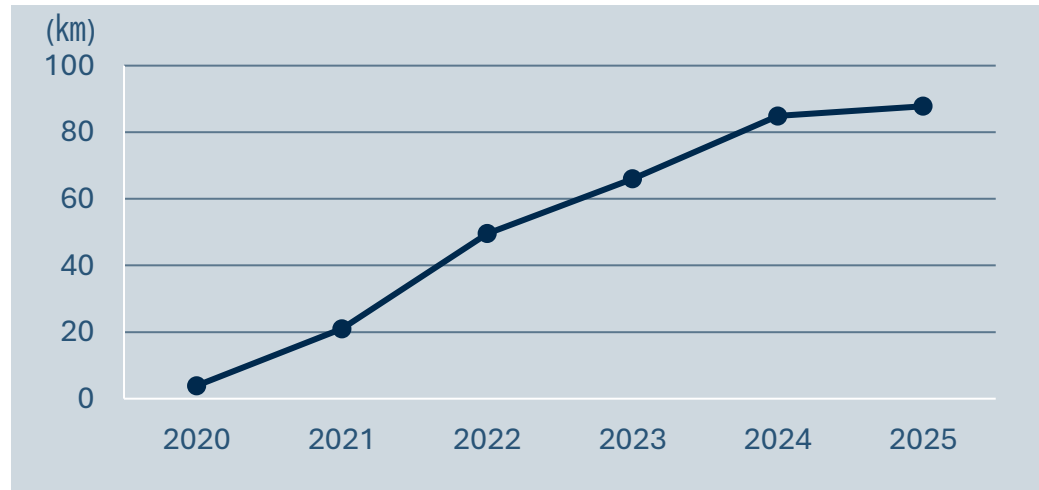
年	実施延長
2020	3.0km
2021	10.5km
2022	23.9km
2023	9.3km
2024	12.0km
2025	0.6km



年	実施延長
2020	0.0km
2021	0.0km
2022	2.1km
2023	1.6km
2024	3.1km
2025	0.8km



機体毎の年間実施延長数



総実施延長数

※下水道管渠以外の管渠も含む、NJSグループ内のみでの実績を集計した値

AirSlider® Fi4 性能

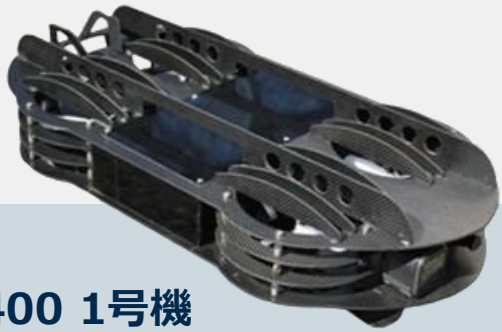
下水道管路調査機器カタログに掲載の機体(※)

構造		性能	
長さ	610mm	最大飛行速度(水平方向)	3m/s
幅	290mm	最大飛行時間	約5分
高さ	145mm(機体の上面) 260mm(調査用カメラの上面)	防塵防水性能	IP55
重量	1.6kg(機体重量) 2.4kg(バッテリー重量含む)	通信方式	無線通信
プロペラ数	4枚	操縦	マニュアル操作※ ※管径700mm以上の場合、飛行補助機能あり
プロペラサイズ	5インチ	適用条件	400~1,500mm※ ※上限は機体搭載の照明による。 照明を追加搭載した場合は1,500mm 以上での適用も可能
コアフレーム	カーボンファイバー		
ボディフレーム	発泡ポリプロピレン(EPP)	管径	400~1,500mm※ ※上限は機体搭載の照明による。 照明を追加搭載した場合は1,500mm 以上での適用も可能
バッテリー		水位	飛行空間が400mm程度確保できる水位
バッテリー	Li-po 4S 5,200mAh	風速	影響あり
調査機器		人孔深	中間スラブが無い7.5mまでの人孔であれば、 発射台を用いることにより入孔不要
操縦用カメラ	1,920×1,080画素 2台(前後)	進行方向	上下流方向それぞれ可能
LEDライト	前面6灯、後面6灯		
撮影用カメラ	1,920×1,080画素(標準搭載) 3,840×2,160画素(変更)		

- ・管渠内や閉鎖性空間の飛行に特化した機体構造のため、管渠内でも安定した飛行が可能
- ・毎秒0.5~1.5mの速度で飛行し、映像を取得
- ・調査員がマンホールに入ることなく、安全かつ容易に点検調査が可能
- ・管渠構造物の劣化、損傷、異常の把握に最適

※「下水道管路調査機器カタログ」令和6年7月

国土交通省 国土技術政策総合研究所 上下水道研究部 下水道研究室



AS400 1号機
2017 年

- ・フレームをカーボンで成形



AS400 5号機 前期モデル
2019 年

- ・フレームを3Dプリンターで
一体成型



Fi4
2021 年

- ・フレームをカーボンと発泡素材で
成形
- ・製品としてリリース

AS400 4号機
2018 年

- ・プロペラをインチアップ



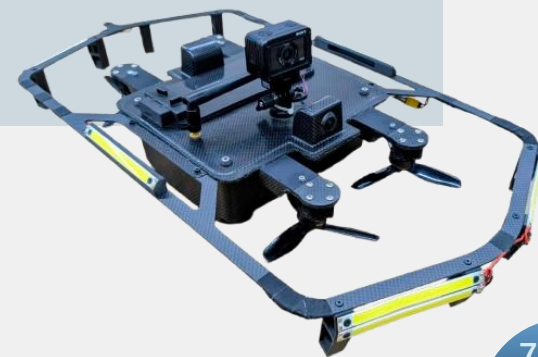
AS400 5号機 後期モデル
2019 年

- ・ジンバル搭載のカメラを専用開発



Fi4 6インチモデル
2023 年

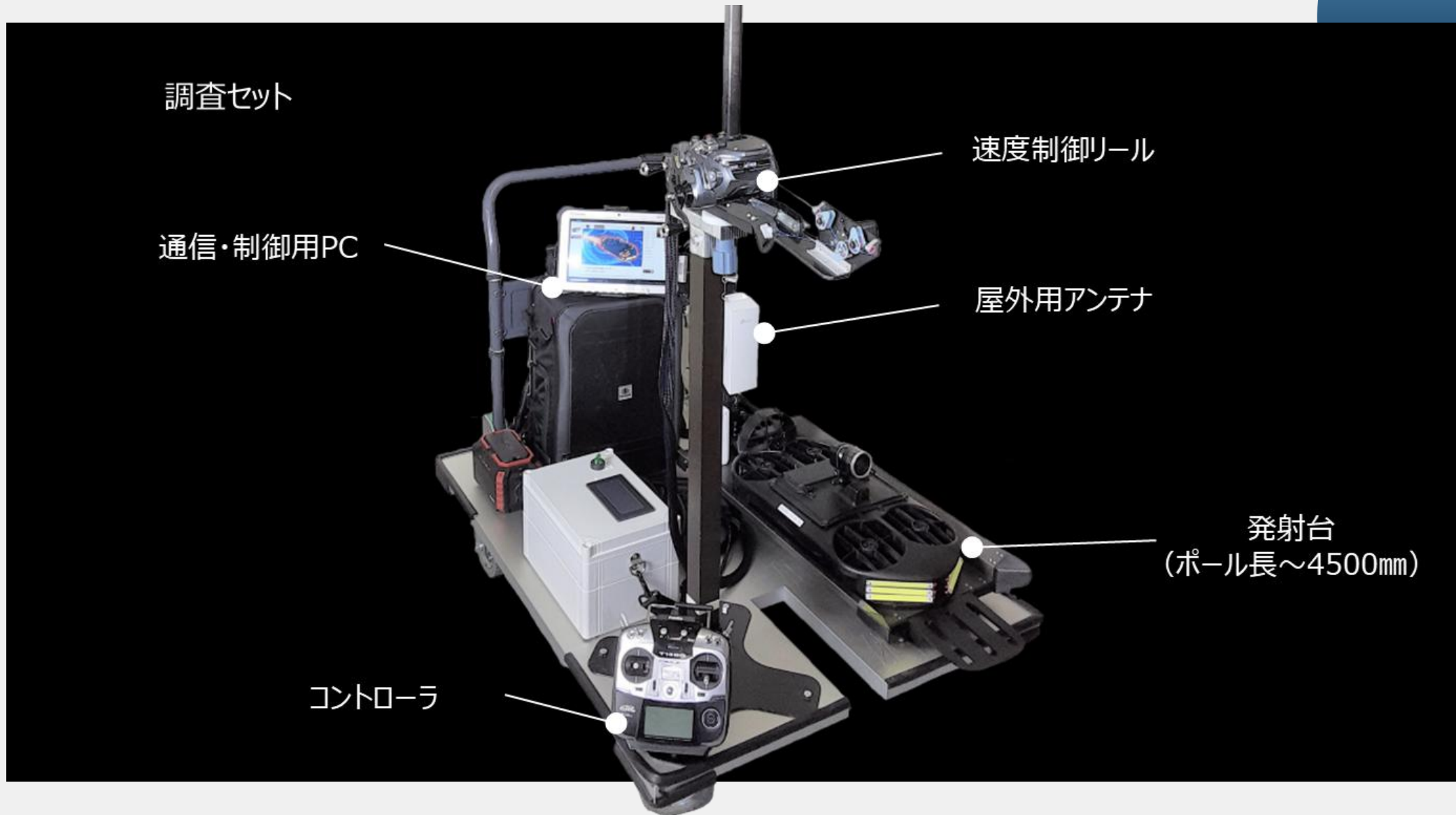
- ・カーボンフレームのみとし機体を軽量化、
プロペラをインチアップし、飛行時間を
延長



AirSlider® Fi4

- 重量：2.3kg（バッテリー1本含む）
- 飛行時間：約5分
- モーター：ブラシレスDC 200W
- プロペラ：直径5インチ





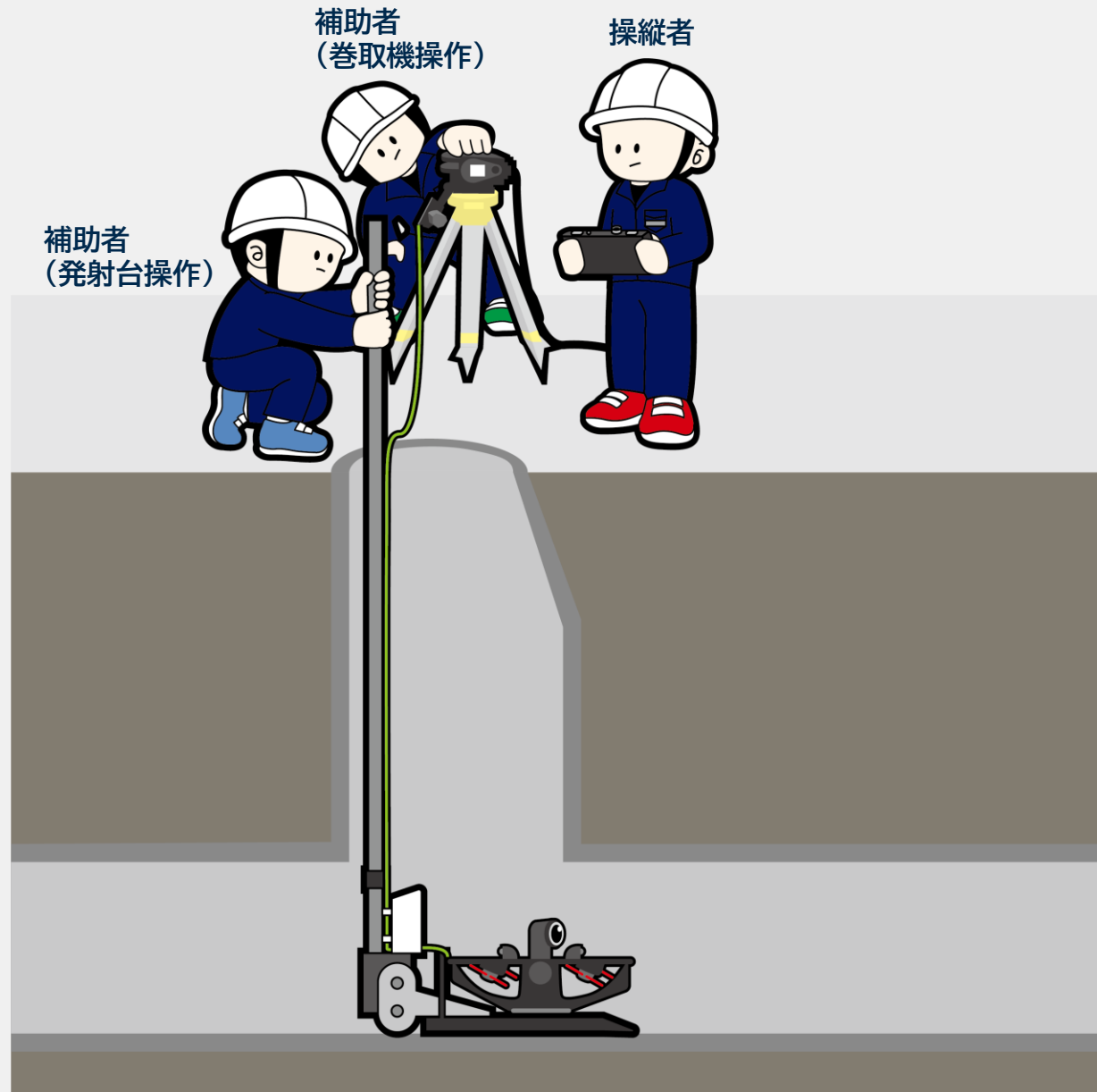
着水しても再浮上が可能



搭載したセンサーにより管の中央で高度を維持しながら飛行が可能

(水圧鉄管: $\Phi 1,600\text{mm}$ L=150m)





作業員がマンホール内へ入孔せずに作業可能

①機材の投入

- ・地上から機体及びWi-Fiアンテナを搭載した発射台をマンホール内に投入し、点検調査対象の管渠の管口に設置する

②管渠内を飛行・映像の取得

- ・操縦者が地上からスマートコントローラーに送信されるFPV(一人称視点)映像を確認しながら、機体を操縦し、次のマンホールまで飛行する
- ・機体後部に安全対策及び距離計測用のラインを設置し、地上部の巻取機で距離を計測し、映像に付与する

③機体の回収

- ・機体に取り付けた距離計測用のラインを自動巻取りし、開始地点まで機体を自動で引き戻し回収する

マンホール1箇所に対して上下流方向へそれぞれ飛行が可能であり、点検調査の効率化を図れる

従来調査手法との撮影映像の比較

高解像度(最大4K)動画撮影により視認性の高い調査が可能



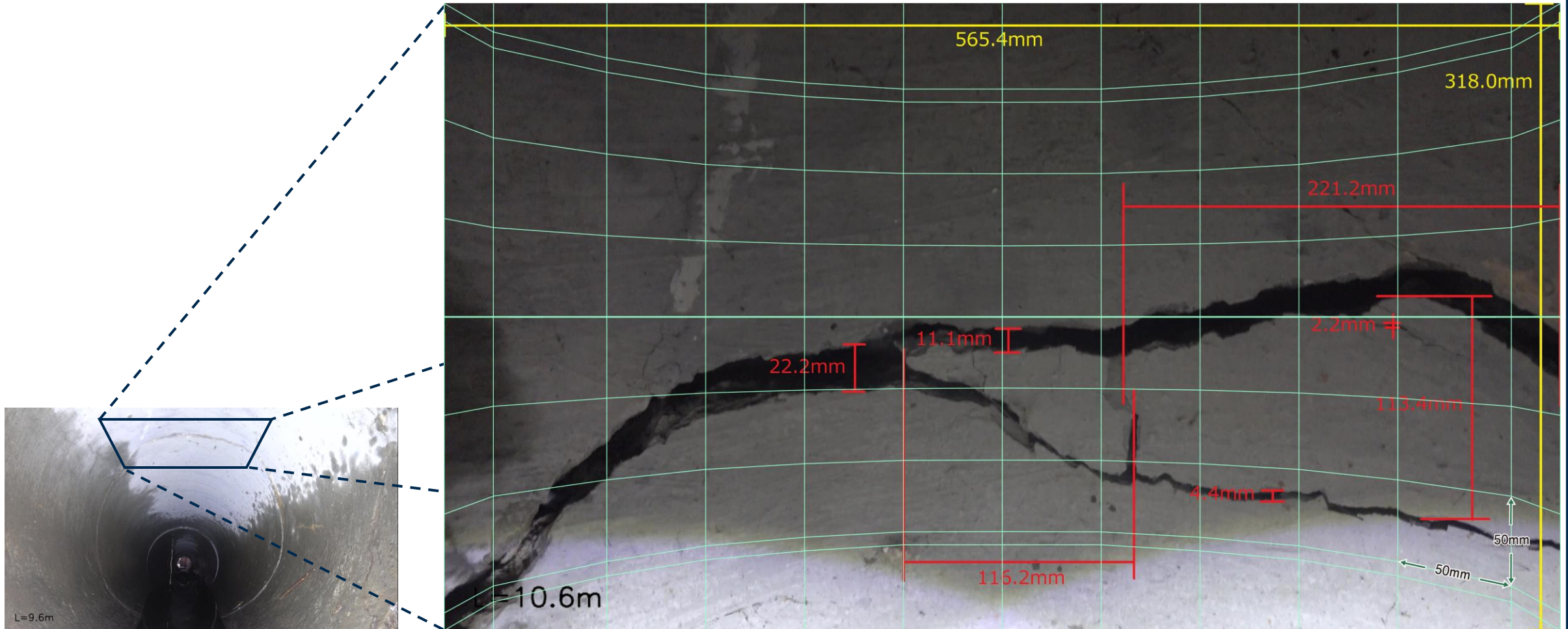
従来調査手法による映像



AirSlider®による調査映像

損傷箇所に正対して撮影することで、ひび割れ幅を計測することが可能

(雨水管: $\Phi 700\text{mm}$ L=25m)



流域下水道の幹線管渠では飛行式ドローンが飛行困難となる環境が多い

①水位が高く、流速が早い箇所での点検調査映像の取得が困難

- ・飛行中に流速の早い水面に機体が接触すると、バランスを崩しそのまま下流へ流されてしまう

②滞水している箇所の点検調査映像の取得が困難

- ・機体は水面に浮き、再浮上できる構造ではあるが、水しぶきを巻き上げてしまい、映像に水滴が多く映り込むため、鮮明な映像とならない

③路線延長が150mを超える箇所では、全線の点検調査が困難

- ・マンホール間毎に調査を行い、都度バッテリー交換を行うコンセプトで設計しているため飛行時間が5分と短い
- ・飛行速度を上げると点検調査に適した映像とならない

④路線に曲部が複数箇所ある場合、全線の点検調査が困難

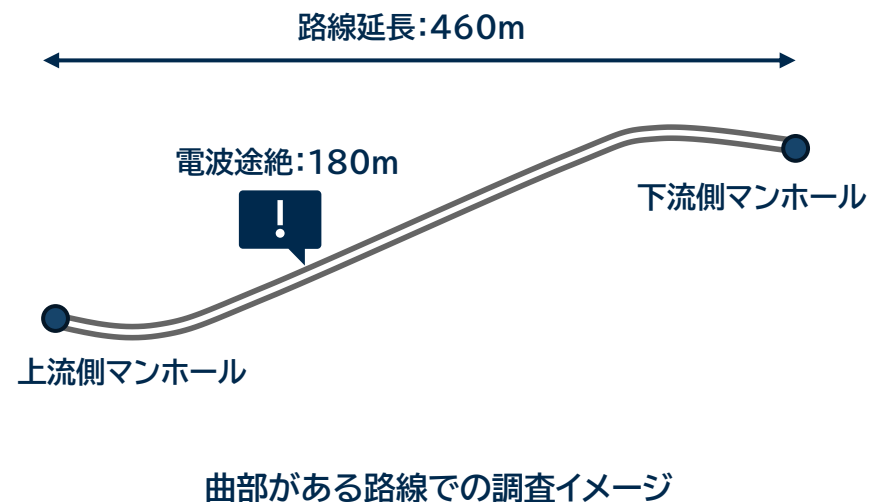
- ・機体を無線通信により操縦するため、電波の直進性を阻害する曲部があると電波が途絶し操縦ができない
- ・上下流から区間を分けて点検調査をする必要がある



点検調査が困難箇所のイメージ



浮上時の水しぶき



曲部がある路線での調査イメージ

流域下水道の幹線管渠では水上走行式ドローンの方が優位性が高い

①流速が早い箇所でも、より良い点検調査映像の取得が可能

- ・機体後部に取り付けた距離計測用のラインは速度制御機能も兼ねているため、流速の早い環境下でも一定の速度(0.5~1.5m/s)でラインを送り出すことが可能であり、機体の走行スピードを制御することができる。その結果、動きを抑えた鮮明な映像を取得可能
- ・複数台のカメラを搭載することにより、同時に各面に正対した映像を取得可能
- ・路線に曲部がある場合や堆積物があり流れが変則的な場合、機体は管の左右のいずれかに寄ってしまうが、左右方向の移動を可能な機体としたため、管の中央を維持して点検調査を行うことが可能

②滞水している箇所でも、点検調査映像の取得が可能

- ・ファンの取り付け位置を調整し、水しぶきの巻き上げを抑えるように工夫し、映像への水滴の映り込みを抑えた

③バッテリーの稼働時間が長く、管路延長が長い箇所にも対応し点検調査が可能

- ・飛行式ドローンに比べ走行時の電力消費を抑えることができるため、最長1時間稼働でき、長距離の点検調査に適している
- ・有線通信時は600m巻きのケーブル、無線通信時は1,200m巻きのラインにより、機体を流されることなく安全に長距離の点検調査が可能

④有線通信により路線に曲部がある場合でも、電波途絶なく点検調査が可能

- ・有線通信により映像の遅延が少なく鮮明な画像を受信し、操縦することができるため、安全に点検調査をすることが可能



左右移動ができない場合、曲部で片側へ寄ってしまう

水上走行式ドローン

WaterSlider® W4 性能

下水道管路調査機器カタログに掲載の機体(※)

構造		性能	
長さ	800mm	最大走行速度(水平方向)	1.5m/s
幅	400mm	連続稼働時間	1時間
高さ	176mm(機体の上面)	防塵防水性能	IP55
	280mm(調査用カメラの上面)		
重量	5.8kg(機体重量)	通信方式	無線通信と有線通信の切り替え可能
	7.5kg(バッテリー重量含む)	操縦	マニュアル操作
ローター	ダクトドファン型	適用条件	
ファンの数	6発	管径	600~5,000mm
コアフレーム	カーボンファイバー	水位	水位100mm以上～、 気相部空間が400mm程度確保できる水位
ボディフレーム	発泡素材	風速	影響あり
		人孔深	中間スラブが無い場合は、入孔不要
バッテリー		進行方向	上流から下流方向
バッテリー	Li-po 3S 9,000mAh × 2本	最長到達距離	無線通信時:1,200m 有線通信時:600m
調査機器			
操縦用カメラ	1,920×1,080画素 1台(正面)		
LEDライト	複数搭載可能		
撮影用カメラ	3,840×2,160画素 最大6方向同時撮影可能		

- ・中大口径管渠の供用中に止水することなく、点検調査が可能
- ・毎秒0.5～1.5mの速度で水上を走行し、管渠内の映像を取得
- ・複数台のカメラを搭載することでより確実な管渠内の映像取得が可能
- ・中大口径の供用中(流水がある状態で)の管渠、導水渠、開水路等の劣化、損傷、異常の把握に最適

※「下水道管路調査機器カタログ」令和6年7月

国土交通省 国土技術政策総合研究所 上下水道研究部 下水道研究室



WS 1号機

2020 年

- ・AS400をベースに製作



WS 3号機

2023 年

- ・フロート部分を改良



WS 2号機

2021 年

- ・Fi4をベースに改良



W4

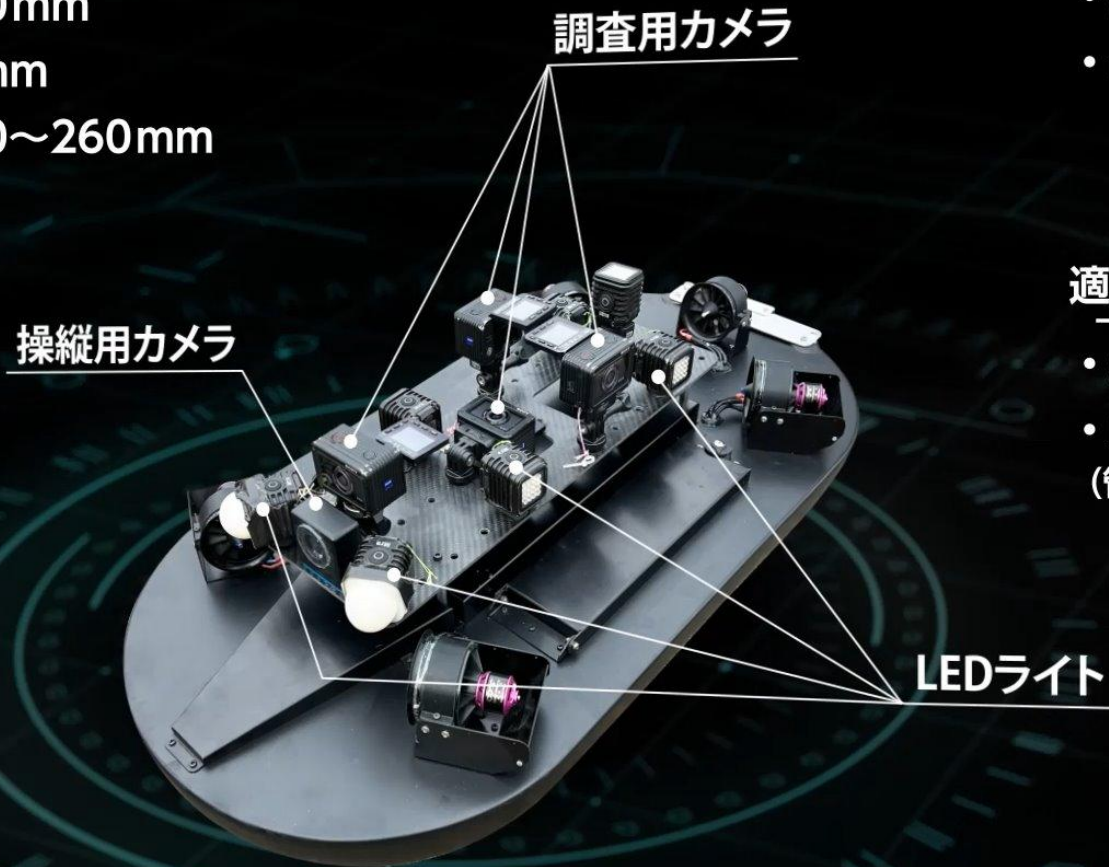
2024 年

- ・左右移動が可能なように船体の形状を変更、
駆動部をダクトファンに変更



Water Slider® W4

- 長さ：800mm
- 幅：400mm
- 高さ：180～260mm

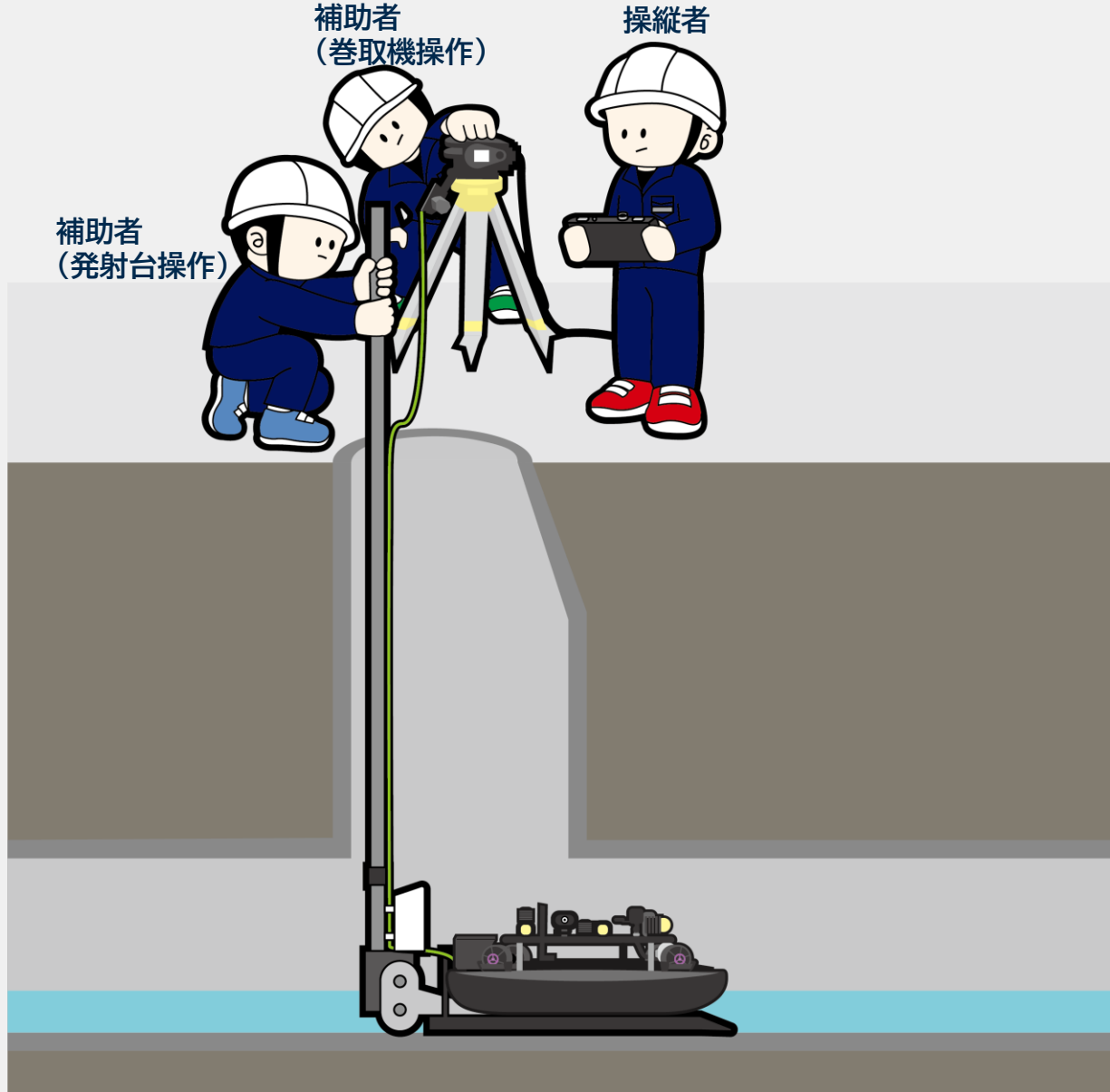


調査用カメラ

- 搭載可能数：6台
- 最大解像度 (1台あたり)
 - 動画：4K
 - 静止画：1,500万画素

適用範囲

- 適用管径：φ600mm～
- 対応延長：～1,200mm
(管径、構造が影響する電波状況による)



作業員がマンホール内へ入孔せずに作業可能

①機材の投入

- ・地上から機体及びWi-Fiアンテナを搭載した発射台をマンホール内に投入し、点検調査対象の管渠の管口に設置する

②管渠内を走行・映像の取得

- ・操縦者が地上からスマートコントローラーに送信されるFPV(一人称視点)映像を確認しながら、機体を操縦し、次のマンホールまで走行する
- ・機体後部に安全対策及び距離計測用のラインを設置し、地上部の巻取機で距離を計測し、映像に付与する

③機体の回収

- ・下流のマンホールで機体を回収し、機体に取り付けたラインを取り外し、ラインを自動巻取りし、回収する

上流側マンホールから下流側マンホールに向かって点検調査を行う

WATERi® FF2 性能

構造

長さ	612mm
幅	478mm
高さ	374mm(機体の上面) 400mm(調査用カメラの上面)
乾燥重量	約24kg(バッテリー重量含む)
モーター数	8発
メインフレーム	ポリアセタール、アルミニウム

バッテリー

バッテリー	Li-ion 4S 15,600mAh × 3本
-------	-----------------------------

調査機器

操縦用カメラ	1,920×1,080画素 3台(正面、下部、気相部)
LEDライト	12,000ルーメン
レーザースケイラー	10cmレーザースケイラー
音響ソナー	360度全周ソナー
慣性航法装置	音響ドップラーセンサー
撮影用カメラ	3,840×2,160画素 最大3方向同時撮影可能

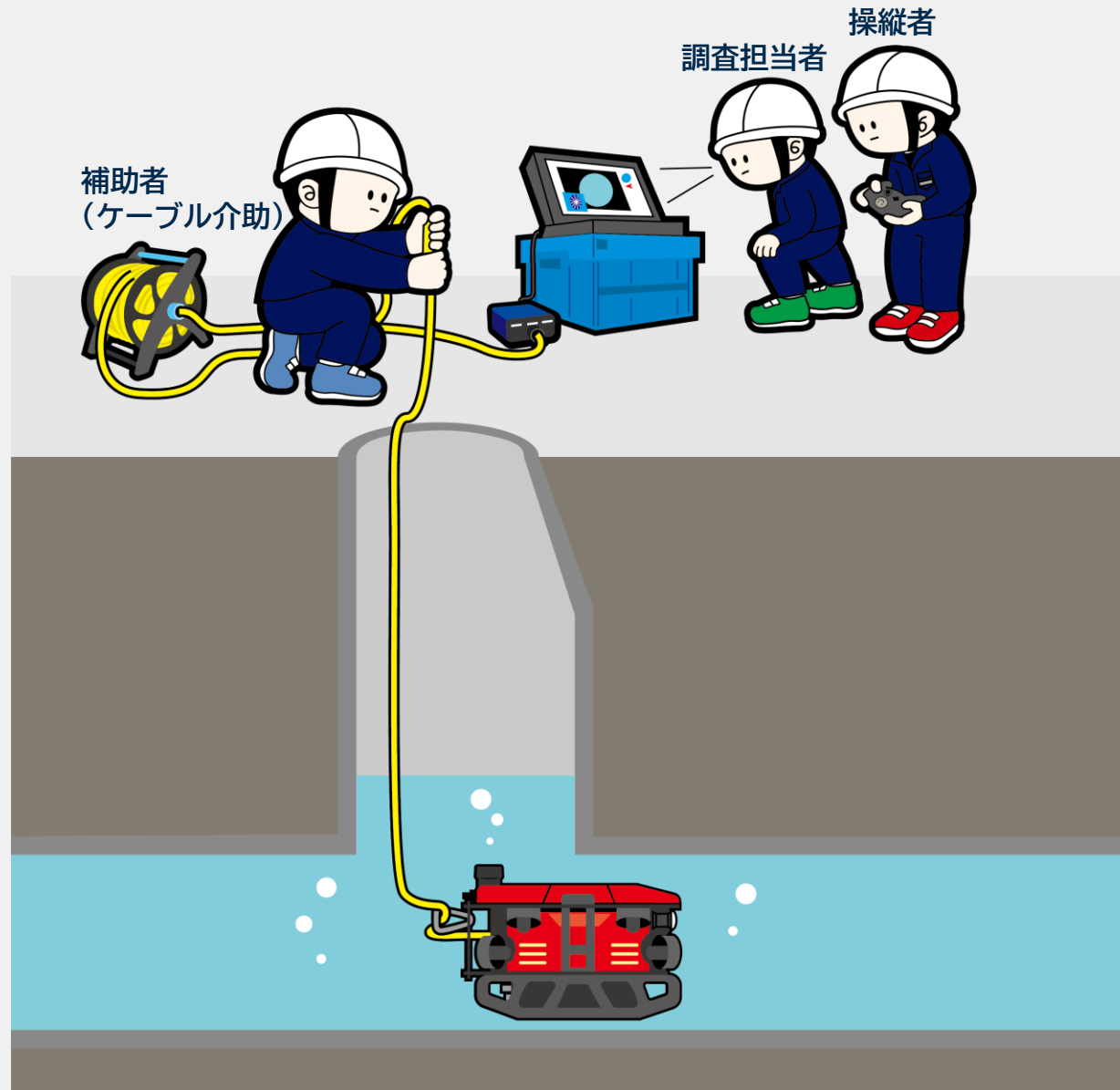
性能

最大水深	300m
最大速度	2.1m/s(全方向)
遡上可能最大流速	1.5m/s
搭載可能重量	最大4kg
連続稼働時間	1時間～4時間
有線ケーブルの破断強度	155kgf
通信方式	有線通信
操縦	マニュアル操作

適用条件

管径	600～5,000mm
水位	水位320mm以上～、 気相部空間が200mm程度確保できる水位
人孔深	中間スラブが無い場合は、入孔不要
進行方向	原則、上流から下流方向
最長到達距離	有線通信ケーブル:600m

- ・潜水式ドローンを用いることにより、空水状態にしなくても点検調査が可能
- ・最大3ノットの推進力で水中を潜水し、搭載したソナーやカメラを用いて施設内部の対象部位や対象設備の定期的な点検が容易に可能
- ・水道施設の構造物の劣化状態の把握、配管の劣化や損傷の把握に最適



作業員がマンホール内へ入孔せずに作業可能

①機材の投入

- ・地上から有線の通信ケーブルを繋いだ機体をマンホール内に投入し、点検調査対象の管渠の管口に設置する

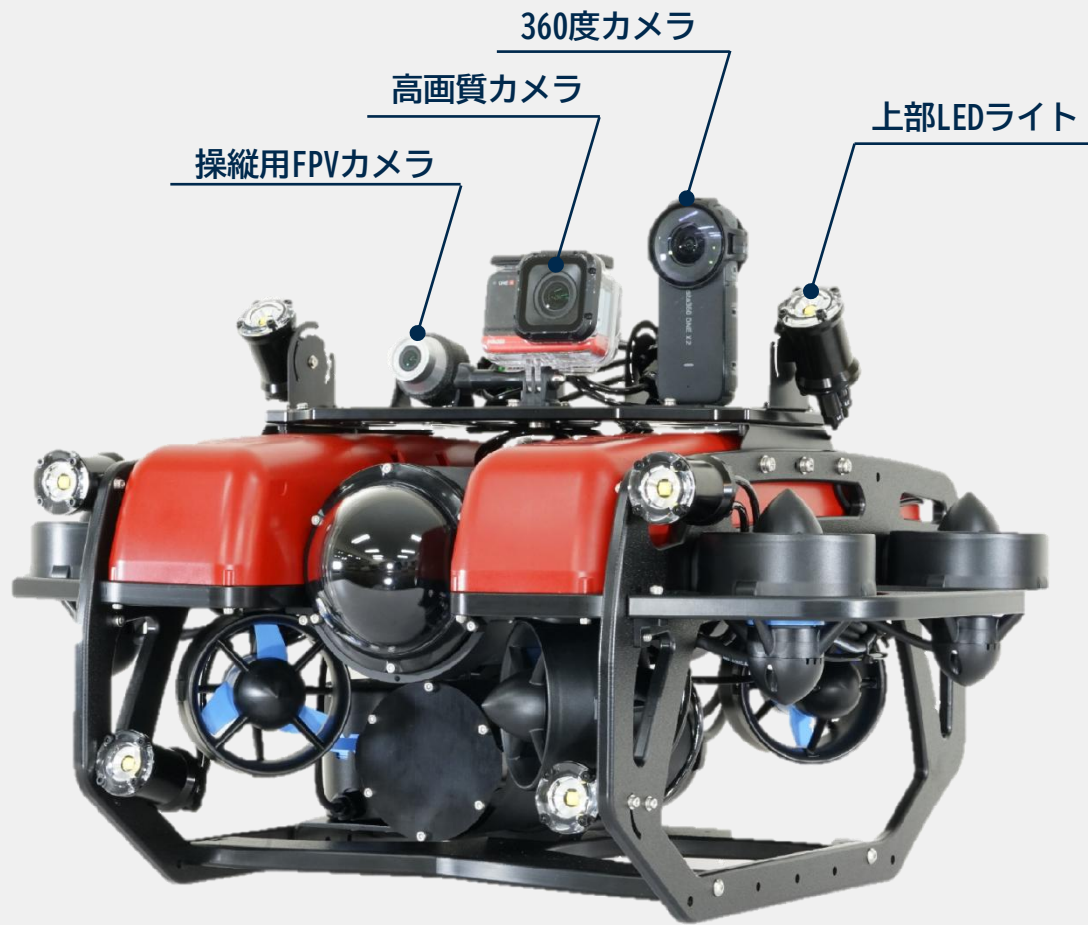
②管渠内を飛行・映像の取得

- ・操縦者が地上からFPV(一人称視点)映像を確認しながら、機体を操縦し、次のマンホールまで潜水する

③機体の回収

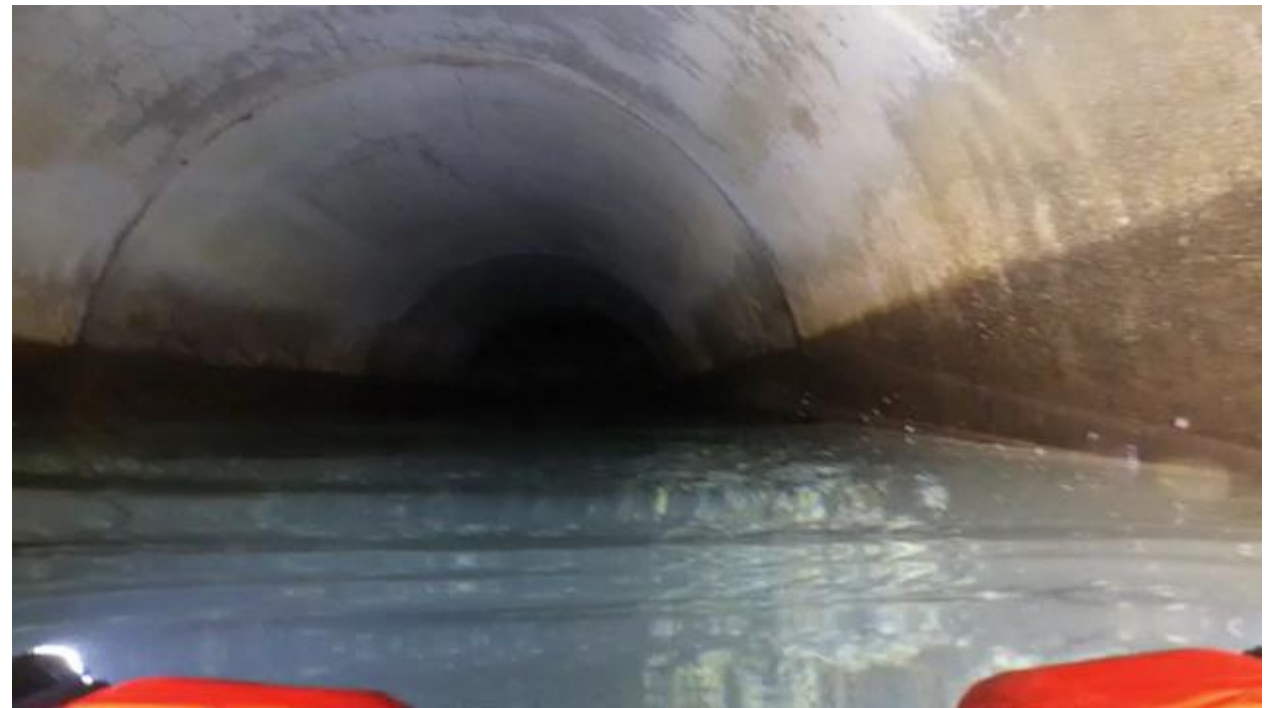
- ・機体が自力で上流側まで遡上できる場合は、投入したマンホールまで引き返し、補助者がケーブルを引き上げ機体を回収する
- ・流速が早く遡上できない場合は、下流側マンホールで機体を引き上げ、機体に接続しているケーブルを取り外し、管渠内のケーブルを上流側マンホールで巻き取る

水中は電波が通じないため有線による通信を行う
通信ケーブルは引張強度が強く投入・回収時の牽引ロープを兼ねている



- ・潜水式ドローンでは殆ど不可能であった気相部撮影にも対応
- ・気相部撮影時に状況を確認しながら操縦できるよう、気相部用の操縦用FPVカメラを設置
- ・複数台カメラを搭載でき、同時に複数方向撮影可能
- ・カメラ角に合わせLEDライトの照射角を調整可能

(雨水管 放流渠: $\phi 1,800\text{mm}$ L=50m)



管渠内の状態の確認には引き戻し時の映像を活用

(汚水管: $\Phi 400\text{mm}$ L=40m)



マンホール間の管路延長が長い箇所の調査

(汚水管:シールド管 内径1,500mm L=460m)



硫化水素濃度が高く入孔できない路線の調査

(汚水管: $\Phi 900\text{mm}$ L=140m)



重量物を搭載した車両が頻繁に行き交う工場敷地内の雨水管調査

(雨水管: $\Phi 600\text{mm}$ L=42m)

調査箇所: MH#32~MH#33

調査方向: 上流から下流

管種: HP

管径: $\Phi 600\text{mm}$

延長: 42.2m



L=11.4m

海水により水位が高い路線をダイバーに代わり調査

(雨水管: $\Phi 1,650\text{mm}$ L=75m)



ソナーを用いて管渠の継手ズレ・漏水の調査

(最終沈殿池から塩素混和池までの導水管: $\Phi 800\text{mm}$ L=74m)

