

下水管路内検査のための浮流式全方位カメラシステムの検討

前田拓磨¹ 林 友貴¹ 澤野弘明¹ 石原 進²

概要：全国の下水管は老朽化の問題を抱えており、検査と整備が急務である。下水管の検査は危険であり、さらに時間と費用もかかるため、安全かつ低コストな検査方法が求められている。筆者らは、下水管路内の検査にかかる労力と作業時間の軽減を実現する手法として、無線通信でデータの転送が可能な浮流型ネットワークシステムを提案している。浮流型ネットワークシステムは、水で浮流移動する観測ノードを下水管路内に投入し、観測ノードとマンホールに設置したアクセスポイントと無線でデータを転送して作業者が地上から検査を行う。無線でデータを転送することで、観測ノードを回収することなくデータを回収できるうえ、観測中に映像を確認して問題に対応することが可能となる。本稿では、浮流型ネットワークシステムで用いる観測ノードの設計、映像に発生する水平方向の回転の補正手法ならびにこれらの実験結果について報告する。

1. はじめに

平成 25 年度末時点での下水道の管路延長は約 46 万 km であり、日本国内普及率は全国平均で 77.6%(福島県を除く)である [1]。このうち約 1 万 km は 50 年の耐用年数を経過しており、老朽化による損傷事故が起きやすくなっている [2]。日本全国における下水管の損傷事故は平成 25 年度では約 3,500 件発生している。地方自治体は下水管路内の検査と整備を進めているが、全国を網羅して解決できているとはいえない。その主たる原因は下水管路内の検査に要する時間と費用の問題が大きいことである。

下水管路内の検査方法として、作業者による目視 [3]、TV カメラ [4]、自走ロボット (例: ハイパーもぐりんこ [5]、KANTARO [6])、浮流式カメラシステム [7] などが挙げられる。目視による検査は、下水管路内に進入した作業者が傷やひび割れなどを診断する。作業者が検査可能な下水管は人の進入可能な口径のものに限定される。下水管路内には有毒ガスが発生している場合があり、昭和 58 年から平成 11 年の 17 年間で 573 人が中毒死している [8]。TV カメラによる検査は、人の進入が困難な小さい口径の下水管で実施される。TV カメラを下水管路内に入れた後、カメラケーブルを押し出してカメラを移動させながら検査を行う。作業者は下水管路内の奥深くまで行かないため、有毒ガスによる中毒死の危険性が低くなる。一方で、下水管路

内を止水し、洗浄作業が必要となる場合もあり、準備に長い時間を要することもある。自走ロボットによる検査は、TV カメラと同様に下水管路内に検査用ロボットを投入する。下水管路内の止水や洗浄が必要ないロボットやリモコンによる遠隔操作可能なロボットがあり、TV カメラや目視での検査と比較して作業者の負担が少ない。

浮流式カメラシステムによる検査は、カメラを取り付けた小型の船を上流の下水管から投入して実施される。機材コストを抑えるために自走機能を持たない船を利用する。しかし、撮影された映像をカメラから取り出し、持ち帰ってから確認を行う必要があり、状況確認をする時間を要する。

筆者らは、安全かつ低コストに下水管路内の状況を即時に確認可能な方法として、無線通信でデータが転送可能な浮流型ネットワークカメラシステム [9] [10] を提案している。浮流型ネットワークカメラシステム (以下、観測ノード) は、浮流可能な観測ノードを下水管路内に投入し、観測ノードからマンホールに設置したアクセスポイントに無線でデータを転送することで観測ノードを回収することなく下水管路内の映像を確認することができる。映像を作業現場で確認することにより、緊急を要する状況においてもその場で迅速に対応することが可能になる。このような観測を実現するため、観測ノードは、作業者の操作を要することなく、下水の流れによって移動可能な構造であることに加え、下水管路内を死角なく撮影可能なカメラと照明、無線通信デバイスの積載が求められる。

筆者らはこれまでに文献 [11] で筐体に全方位カメラを格納した観測ノードの設計を提案している。文献 [11] で設計

¹ 愛知工業大学
Aichi Institute of Technology
² 静岡大学
Shizuoka University

した観測ノードは、内部に水平方向に 360 度撮影可能な全方位カメラと、広範囲を照らす照明をもつ。この設計に基づくプロトタイプによる実験では、カプセル内のカメラのレンズと照明がカプセルと密着していないときに、カプセル内の光の反射によってカプセル内側が映像に映り込むことが確認されている。そのため、光の反射が起きづらい位置にカメラと照明を配置できるような構造が必要である。カプセル型の観測ノードで撮影された映像は、観測ノードの構造上、水平方向の回転が発生してしまう。回転が発生している映像は、ひび割れなどの障害の特定を困難にする。そのため、回転の影響を補正する必要である。

本稿では、観測ノードの物理的な設計および画像処理による映像補正手法についてのこれまでの検討状況を報告する。以下、2 節で筆者らの目指す観測ノードの概要と要件を説明する。3 節では改良した観測ノードの設計を説明し、実験用下水管での撮影実験結果に基づいて映像を評価する。また、回転を補正するための映像補正手法を提案し、その実験結果を示す。最後に 4 節で本報告をまとめる。

2. 観測ノードの概要と要件

本研究で想定する浮流式観測ノードの使用例を図 1 に示す。本研究で提案する検査方法は、作業者が下水管路内に観測ノードを投入し、マンホールごとに設置されたアクセスポイントに撮影された映像を転送することで実時間で映像を確認する。撮影された映像が逐一転送されることで、作業者は下水管路内に入ることなく、地上で即時検査を行うことができる。下水管を上流から下流まで検査するには、堆積した土砂や汚物、管のつなぎ目による段差に関係なく観測ノードが進行可能な構造が必要である。さらに観測ノードを回収するコストを抑えるために、使い捨て可能な材料を用いることが望まれる。

観測ノードの外側の形状は、堆積物に関係なく進行可能な構造にする必要がある。また、水流がない場合においても、作業者が下水管路内に進入して対応する必要がないように傾斜と下水の流れのみの力で移動可能であることが求められる。

観測ノードには、下水管路内を撮影するためのカメラを格納する。名古屋市水道局への取材により、下水管路のひび割れや管のずれなどの障害箇所は一般に管の半分の高さより上部で発生することが情報提供されている。管路内の傷を見逃さないために、カメラの撮影方向は下水管路内において傷が存在する可能性のある領域(管路の上側)を撮影し続ける必要がある。

下水管路内は自然光が全く入らない環境であるため、カメラによる映像撮影には十分な光量の照明が必要である。照明の設置場所としては、マンホールの底に静止させたもの、観測ノード上、観測ノード以外の移動型の照明(とうろう流しのようなもの)などが考えられる。また照明のバッ

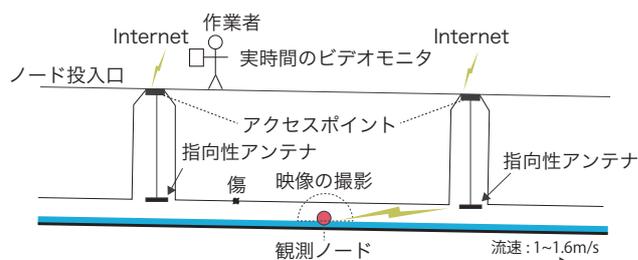


図 1 浮流式観測ノードの使用例



図 2 ビン型の観測ノード

テリは、下水管路内の検査が終了するまで給電できる必要がある。照明を観測ノードに積載する場合や移動型の照明を使う場合は、バッテリーの重量が大きいと水で浮流できないため、軽量のバッテリーが求められる。

最後に観測ノードの内部には、無線通信するためのアンテナやセンサ(温度計や硫化水素計)などの機材を積載する必要がある。撮影を阻害せず、アクセスポイントと十分な無線通信距離を確保できる位置にアンテナを配置する必要がある。

3. 観測ノードの設計

3.1 これまでの検討内容と課題

2 節の要件を満たすために筆者らはこれまでにビン型、船型、カプセル型の観測ノードの構造を検討してきた。これまでの検討内容を以下に示す。

ビン型の観測ノード(図 2)

材料費を抑えながら浮流して撮影できるように、ビンやタッパーなどの市販の商品を用いた試作を行った。カメラのレンズの光軸は、進行方向もしくは真上に向けた。水に流す実験をビン型の観測ノードで行った結果、浮流移動で進行するに従ってビンが垂直方向にも水平方向にも回転するため、カメラの撮影方向の制御が困難であった。また、水流がない場合においては、ビンの向きによっては傾斜で移動できないという課題が確認された。

船型の観測ノード(図 3)

ビン型では解決できなかった撮影方向の固定を行い、傾斜と水流で移動可能とするため、船型の観測ノード(図 3)

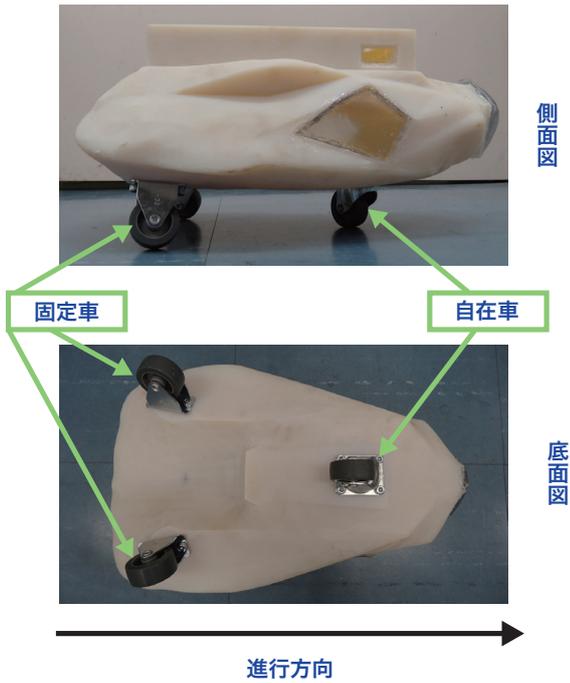


図 3 船型の観測ノード



図 4 カプセル型の観測ノード

を 3D プリンタで制作した。このノードは底面にタイヤが取り付けられており、下水管路内の傾斜により移動し、進行方向に設置したカメラで撮影することができる。ただし、段差や曲がり角、汚物などの堆積物にタイヤが引っかかり停止する恐れがある。また、段差による振動で撮影方向の光軸がずれて検査する箇所が安定しないことが実験によって明らかになった。さらに、3D プリンタで造形した船型の観測ノードは、約 10 万円と材料費が高いという課題があり、この製造方式では大量に生産することが困難である。

カプセル型の観測ノード (図 4)

コストを抑えつつ撮影方向を固定して撮影できるように、カプセル型の観測ノード (図 4) を設計した。ビン型と船型の課題は、堆積物に引っかかりやすい構造とカメラの撮影方向が制御できないことであった。そこで、堆積物に引っ

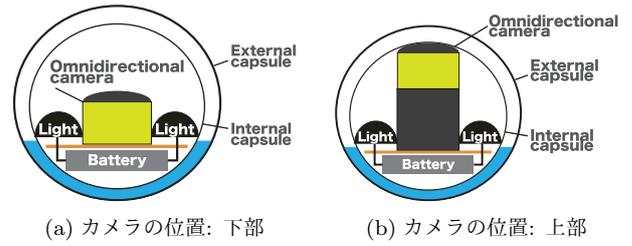


図 5 観測ノードの構造

かかりにくく、汚水により浮流し、かつ回転方向を限定しやすいカプセル型を採用した。カプセルの重心を下部に設計することで、浮流しているカメラの回転を水平方向のみに抑制する。しかし、水で浮流できない場合には、球状のカプセルは傾斜によって回転移動するため、環境によっては回転方向の制御ができないという課題があった。

カプセル型の観測ノードの課題であった、水流がない場合においてカメラの撮影方向を制御するために、カプセルを二重構造にする改良 [11] を行った。図 5(a) に文献 [11] で報告したカプセル型の観測ノードの構造を示す。観測ノードの内部には、外側のカプセルの回転を内側のカプセルと分離させるために水を入れた。また、下水管路内の真上と側面を同時に撮影するために水平方向に 360 度の撮影可能な全方位カメラ [12] を採用した。観測ノード内部には、下水管路内を照らすために照明とバッテリーを配置した。

照明の設置場所の候補として、カメラを積載した観測ノードの他に、照明専用のカプセルを用いる方法も検討した。この方法では、観測ノードと照明カプセルが離れて移動する可能性があるため、カメラの撮影範囲を常時照らすことが困難である。また、マンホールの下部から照射する方法も同様の問題を持つ。そのため、照明の設置場所はカメラと共に移動できるカプセルの内部とした。使用する照明には広範囲かつ光量の強い LED ライトを採用した。照明に使用するバッテリーは撮影を阻害しない内側のカプセルの底に配置した。また、下水管路内を照射するためには、十分に広い配光角度が求められるため、検討課題の一つとなる。

図 4 の観測ノードの構造的な問題として、配置したカメラのレンズと照明がカプセルと密着しないことが確認されている。図 6 に示す撮影例のように、カプセル内部での光の反射によって、カプセル外部の映像を鮮明に得ることが困難であった。そのため、カメラのレンズをカプセルに密着させた構造の見直しが必要である。

内側のカプセルを防水するため、カプセルのつなぎ目を防水テープで目張りしたが、少量の浸水が確認された。防水テープは少量の水滴からは中身を保護できるが、水中での耐久性は低いため、つなぎ目から浸水したと考えられる。カプセルの防水を十分なものにするためには、最終的には密閉性の高いカプセルに変更する必要がある。

最終的な観測ノードの設計では、無線通信のためのアン

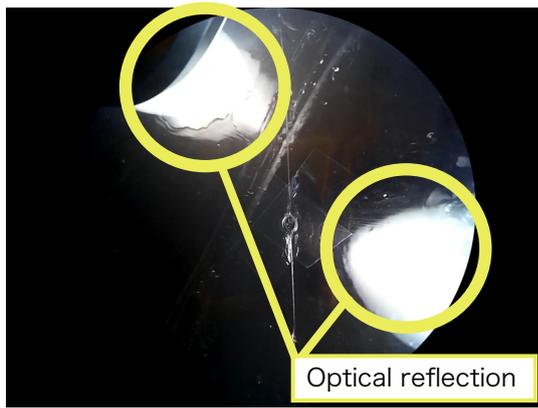


図 6 図 5(a) での撮影結果

テナやセンサ (温度計や硫化水素計) を積載するが、まず撮像系センサの位置を決定するためにこれまでの試作ではアンテナやセンサを積載していない。

3.2 観測ノードの改良と試作

3.1 節でこれまで検討した構造的課題として、カメラと照明の配置と、照明の配光角度があることを述べた。これらの課題を解決するために内部カプセルの形状の変更と照明について検討する。

3.2.1 内部カプセルの半球化

文献 [11] の観測ノードで光の反射が発生していた原因は、カプセル内に配置したカメラのレンズと照明がカプセルに密着していないためであった。そのため、カメラのレンズと照明の位置は内部カプセルの上部に密着している必要がある。球状のカプセルの上部にカメラのレンズを配置すると (図 5(b))、カメラの重量によりカプセルが傾くため、カメラの光軸の変化が大きいことが確認されている。そのため、カプセルを半球状にすることでカメラのレンズと照明を内部カプセルに密着したまま重心のバランスを調整する。図 7(a) に内部カプセルを半球化した観測ノードの構造を示す。半球状にしたカプセルの上部には防水のために、透明度の高いラップフィルムを採用する。

設計段階で、半球状にしたカプセル (図 7(a)) を水に浮かべたときに内部カプセルに浸水が確認された。そこで、簡易的に防水性を向上させるために下部のカプセルを二重構造、すなわち外部からは三重構造 (図 7(b)) にした。二重構造にすることで、水に対しての内部カプセルのつなぎ目の位置が高くなり、二重カプセルの外側から侵入するため、内部のカプセルには浸水しにくい構造になっている。

3.2.2 観測ノードの試作

観測ノードの試作において、照明の配光角度とバッテリーの重量は安定した撮影を行うために重要となる。そこで配光角度及び光量 (ルーメン)、そして照明の仕様に対応したバッテリーについて調査した。使用した照明とバッテリーの仕様を表 1 に示す。それぞれの照明とバッテリーを積載した観

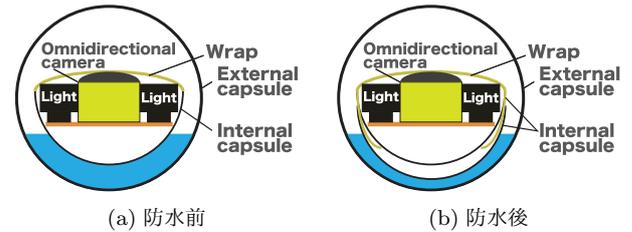


図 7 内部カプセルの半球化

表 1 使用した照明とバッテリーの仕様

タイプ	配光角度 (deg)	照明の種類	ルーメン値 (lm)	バッテリー (一個あたりの重量)
A	30	LED 電球	10 以下	単四乾電池 (12g)
B	180	LED 電球	120	モバイルバッテリー (68g)
C	240	LED 電球	17	コイン型リチウム電池 (2.9g)
D	360	白熱電球	10 以下	単四乾電池 (12g)

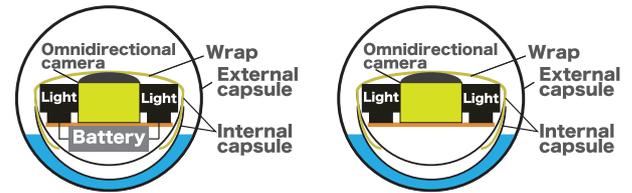
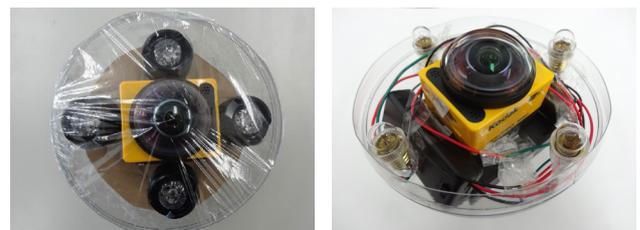


図 8 バッテリーによる構造の違い



(a) タイプ A

(b) タイプ B



(c) タイプ C

(d) タイプ D

図 9 観測ノード

測ノードの構造と試作品を図 8, 9 に示す。

3.2.3 撮影映像の評価

3.2.1, 3.2.2 節で試作した観測ノードで撮影された映像における下水管路内の状態の視認性の評価のため、塩化ビニル管 (3m) と付箋を使用した実験を行った。図 10 に示すように塩化ビニル管の内側上部に 15 枚の付箋を均等に配置し、観測ノードを投入して撮影を行った。また、塩化ビニル管には蓋を取り付けることで自然光が入らないようにする。撮影された映像を目視で確認し付箋の数を数え上げる。

実験環境と撮影結果を図 11, 12 に示す。実験では下水管

表 2 塩化ビニル管 (3m) での付箋 (15 枚) の確認結果

ノードのタイプ	A	B	C	D
目視可能な付箋 (枚)	9	0	13	14

路内を想定し、塩化ビニル管の傾斜角を 1.5 度とした。撮影された画像のサイズは 1,440×1,440 pixels である。目視での付箋の確認結果を表 2 に示す。目視可能な付箋の数が多い結果は、タイプ C の観測ノードが 13 枚、タイプ D の観測ノードが 14 枚であることが確認された。筆者らが目視で確認した結果に対する考察を以下に示す。

タイプ A

画像中の一部しか照らせず、外側のカプセルに光が反射し、確認できる付箋の数が少ない

タイプ B

光量が強いため、外側のカプセルに光が反射し、付箋がを全く観測できない

タイプ C

画像中央の視認性は高いが、光が届いていない側面では付箋の確認ができない

タイプ D

画像全体を照らしているが、照明とバッテリーの熱が原因による曇りで付箋の確認がしづらい

付箋の確認可能な数が異なる要因として、図 13(a) のように配光角度の広い照明を用いた場合は画像全体を照らすことができているが、図 13(b) のように配光角度が狭い照明を用いた場合、画像中央部を照らしていない。また撮影された映像の共通課題として、水滴 (図 14(a)) やカプセルのつなぎ目 (図 14(b))、映像のブレ (図 14(c))、バッテリーの熱による内部の曇り (図 14(d)) による視認性の低下が確認された。また、全ての撮影結果で外側のカプセルによる光の反射と水平方向の回転が映像に発生していることが確認された。そのため、現状の映像の品質では、作業者が下水管路内のひび割れなどの傷の視認は困難である。

さらに、図 15(a) に示すように、内側でカプセルの上下が反転した後に元に戻らない事例が確認された。解決案として図 15(b) に示すように水かさを増やし、内側のカプセルの底に重りを取り付けることで反転を防止する方法を検討している。

実験結果から、図 16 に示すように内外のカプセルがフィルタとなって下水管路を照らすだけの光量を確保できていないことが確認された。今後の課題として、透明度の高いカプセルを用いて視認可能な範囲を広くすることやカプセルの構造の変更では除去が困難なノイズの除去手法、半球状のカプセルが反転せずに観測ノードの移動を妨げない重りを取り付けることが今後の課題である。また、実際の下水管で撮影することで下水管の検査になる品質の映像が得られるかの評価を行う必要がある。

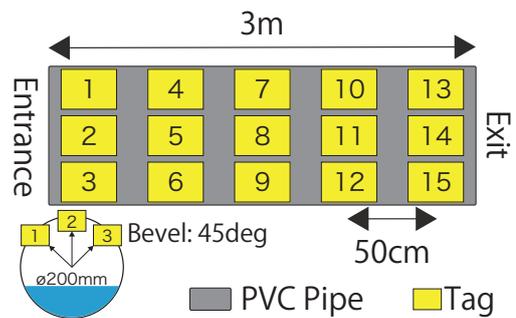


図 10 付箋の配置図



図 11 使用した塩ビ管

3.3 画像処理による映像補正

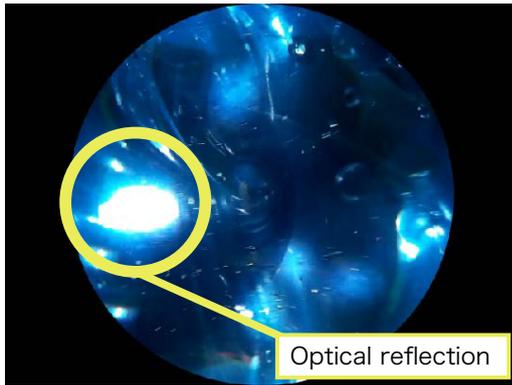
内部カプセルが水平方向と垂直方向に回転するために 3.2.3 節で撮影された映像も水平方向と垂直方向に回転する。このような回転は、ひび割れなどの障害箇所の特定、観測ノードの進行方向の推定を困難にするほか、映像を視聴する作業者が酔う恐れもある。そこで、映像から回転角度を推定し、映像を補正すれば、常に進行方向を一点に固定した映像を生成することで、下水管路内の障害箇所の特定を正確に行うことができると考えられる。ここでは水平方向の回転に対しての補正を検討する。

3.3.1 水平方向回転角度推定手法

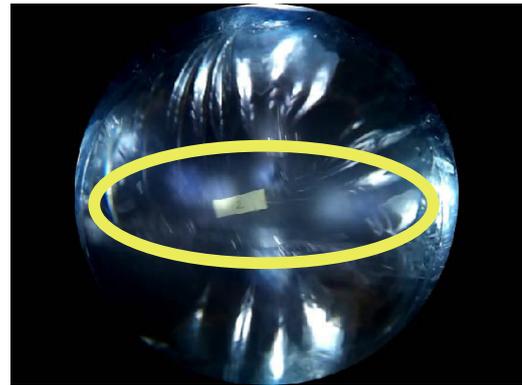
全方位カメラで撮影された画像は、円状に表示されるため、作業には検査しにくい画像である。そのため、下水管路内の検査をする作業者が見やすいように下水管内を見上げた画像となるパノラマ展開を行う。パノラマ展開には図 17 のように極座標系の全方位画像から直交座標系のパノラマ画像に変換する。パノラマ展開した画像を図 19 に示す。次に、対象フレームと 1 フレーム前の画像との位置合わせを行う。各フレームのパノラマ画像を判別分析法を用いて二値化し、図 18 に示すように x 軸座標を階級、同一 x 座標での白色画素数を度数とするヒストグラムを作成する。ヒストグラムの横軸は画像幅の方向の位置、縦軸は画像の高さに存在する白色画素数の量と対応する。隣接フレーム間におけるヒストグラムの階級のずれ幅 d を求め、これを角度に変換して推定方向の回転角度とする。全方位カメラで撮影された映像に、求めた回転角度で補正することで水平方向の回転が軽減された映像を生成する。

3.3.2 実験と考察

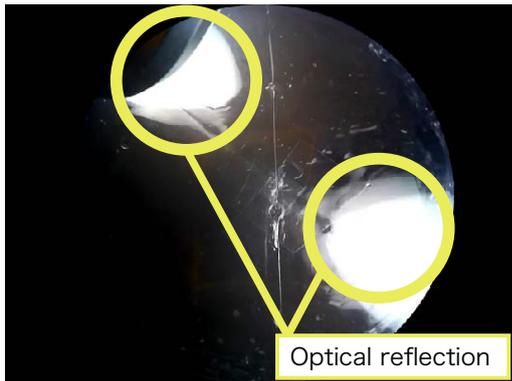
浮流式全方位カメラシステムで撮影された映像には、図 20 に示すような水平方向と垂直方向の回転が発生していることが確認されている。そのため、本実験ではまず全方位カメラで撮影された映像に対して、映像補正手法を用



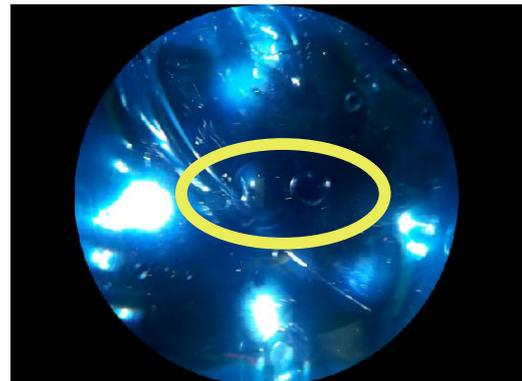
(a) タイプ A



(a) 広い

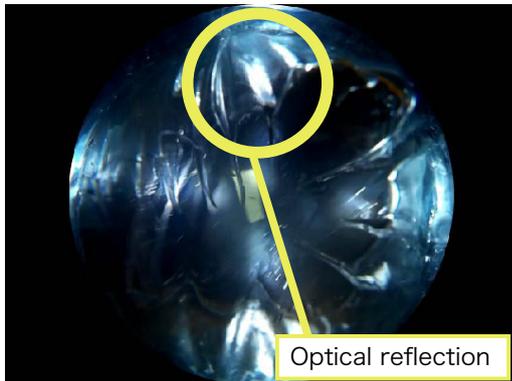


(b) タイプ B

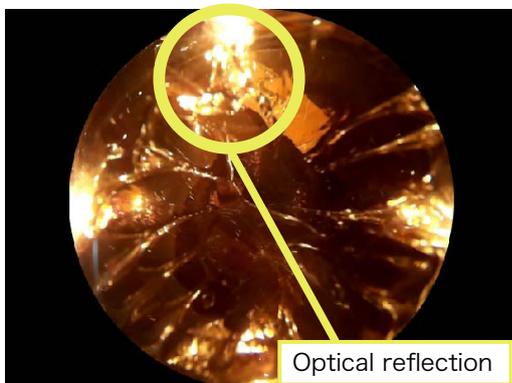


(b) 狭い

図 13 視認可能な範囲



(c) タイプ C



(d) タイプ A

図 12 観測ノードでの撮影画像

いて水平方向の回転角度を推定した。画像処理ライブラリには OpenCV Ver. 2.4.11 を用いた。実験にはカメラの直進移動速度が 0.20, 0.25, 0.33, 0.50, 1.00m/s となるように手で移動させた 5 本の映像を用いた。また、全ての映像は画像処理を用いて映像の中心から円周方向に回転を付与し、擬似的に水平方向に回転している映像を生成した。擬似的に付与した回転速度は 1 フレームあたり 6 度である。擬似的な回転と推定した水平方向の回転角度を 1 フレームごとに比較した。

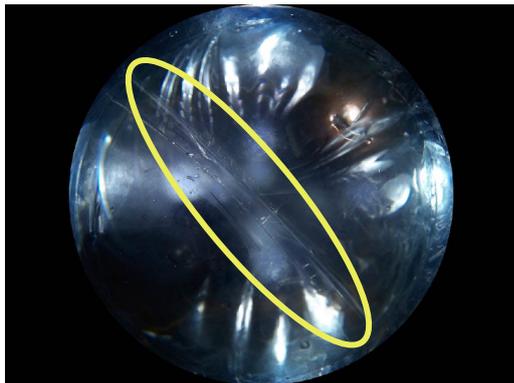
40 フレームの平均誤差を表 3 に示す。5 本の映像の推定回転角度の 1 フレームあたりの平均誤差は 0.19 度となった。直進速度が速い場合ほど誤差が大きい。観測ノードが用いる全方位カメラの画像端は、水平方向にある下水管路の側面に対応する。直進速度が大きい場合、この部分のフレーム間画素値変化が大きくなった。つまり、直進速度が高いと歪曲収差が大きい部分で画素値の変化が頻繁に起きるので、角度推定の誤差が生じやすくなっていると考えられる。そのため、移動速度の影響が少ない歪み補正方法の検討が必要である。さらに、提案手法では誤差が蓄積していくことが考えられるため、長時間の映像に対応可能なアルゴリズムの検討が必要である。

4. おわりに

本稿では、下水管路内検査のための浮流移動する観測



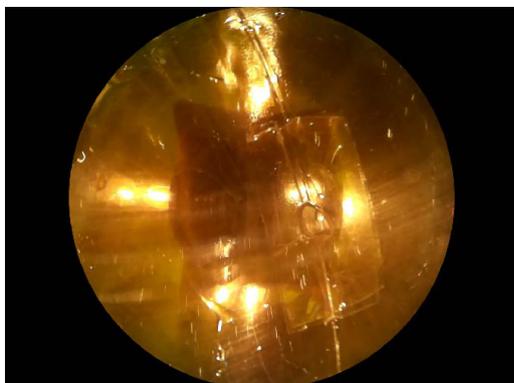
(a) 水滴



(b) カプセルのつなぎ目

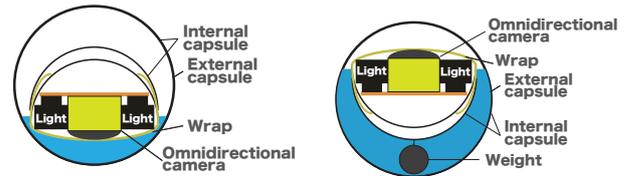


(c) 映像のブレ



(d) 曇り

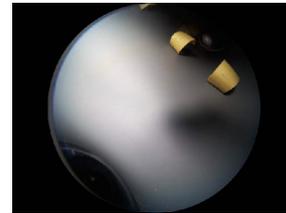
図 14 映像に発生した問題点



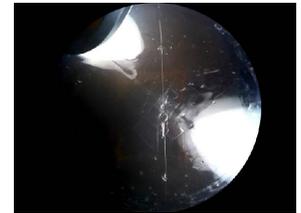
(a) 反転した状態

(b) 解決案

図 15 半球状のカプセルの反転について

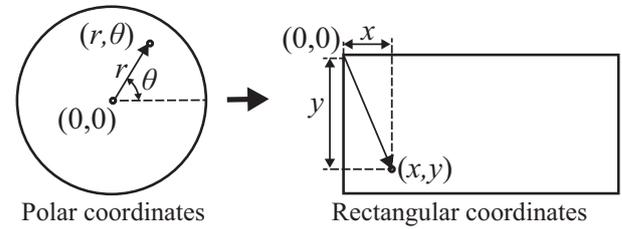


(a) カプセル無し



(b) カプセル有り

図 16 カプセルの有無による映像の違い



Polar coordinates

Rectangular coordinates

図 17 パノラマ展開

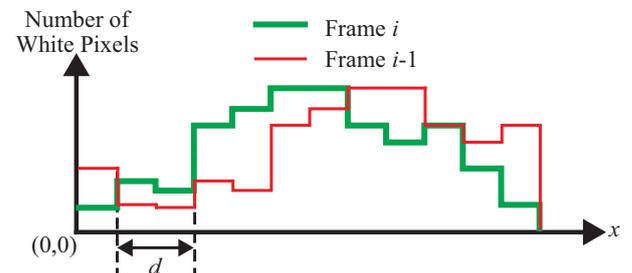


図 18 ヒストグラムの比較方法



図 19 パノラマ画像

表 3 回転角度の推定結果

映像時間 (sec)	0.20	0.25	0.33	0.50	1.00
回転角度の誤差 (deg)	0.01	0.05	0.05	0.70	0.14

ノードの設計と画像処理による映像補正の提案を行った。下水管路内を浮流しながら検査可能な観測ノードの構造、照明、撮影された映像に対する考察と水平方向回転角度推定手法について述べた。観測ノードの構造はカプセル型を



(a)1 フレーム目



(b)6 フレーム目



(c)11 フレーム目



(d)16 フレーム目

図 20 映像に発生する回転

採用し、カプセルを二重構造にすることで、カメラの撮影方向を制御した。今後の課題として、照明の光の反射を解決するために透明度の高いカプセルの使用や水滴などのノイズ除去手法の検討、長時間の映像に対応可能な映像補正手法のアルゴリズムの検討が挙げられる。

謝辞

本研究は JSPS 科研費 16K16177, 26330118 の助成を受けたものです。

参考文献

- [1] 公益社団法人日本下水道協会: “下水道処理人口普及率”, 入手先 (<http://www.jswa.jp/rate/>) (参照 2016-05-11)
- [2] 総務省行政評価局: “総務省社会資本の維持管理及び更新に関する行政評価・監視結果報告書”, 入手先 (http://www.soumu.go.jp/main_content/000144888.pdf) (参照 2016-05-11)
- [3] 株式会社東利: “工事事例 調査・分析”, 入手先 (<http://www.tohri-net.co.jp/works/>) (参照 2016-05-11)
- [4] 中根進: “テレビカメラ調査診断結果による下水管きよの劣化予測”, 下水道協会誌. 論文集 44(539), pp.115-122 (2007)
- [5] 株式会社石川鉄工所: “ハイパーもぐりんこ”, 入手先 (<http://mogurinko.com/s-hypermog.html>) (参照 2016-05-11)
- [6] A. A. F. Nassiraei, Y. Kawamura, A. Ahrary, Y. Mikuriya and K. Ishii: “Concept and Design of A Fully Autonomous Sewer Pipe Inspection Mobile Robot “KANTARO””, *Proc. 2007 IEEE Int'l Conf. on Robotics and Automation*, pp. 136-143 (2007)
- [7] 大幸道路管理株式会社: “浮流式テレビカメラ (ストリームカメラ) 概要”, 入手先 (http://daikou-douro.co.jp/kouhou/stream_camera.html) (参照 2016-05-11).
- [8] 下水道管きよ内作業安全管理委員会: “下水道管きよ内作業の安全管理に関する中間報告書”, 入手先 (<http://www.mlit.go.jp/common/000109958.pdf>) (参照 2016-05-11)
- [9] Susumu Ishihara and Daisuke Sato: “Active Node Selection in Flowing Wireless Sensor Networks”, *The 6th Int'l Conf on mobile computing and ubiquitous networking, ICMU2012*, pp. 123-128 (2012)
- [10] 石原進, 長島大貴, 田中悠大, 林友貴, 前田拓磨, 澤野弘明: “下水管路検査のための浮流型ネットワークカメラシステムの開発,” 信学技研, 知的環境とセンサネットワーク研究会, Vol. 115, No. 467, ASN2015-106, pp. 123-128 (2016)
- [11] 前田拓磨, 林友貴, 澤野弘明, 石田進: “下水管路内検査のための浮流式全方位カメラの提案と撮影結果に対する考察”, 平成 27 年度東海連大講演論文集, Po1-47 (2015)
- [12] 山澤一誠: “ミラーを用いた全方位カメラの原理と特徴”, 情報研報, CVIM, Vol. 2000-CVIM-125, pp. 155-160 (2001)