

## 1. 共同研究の目的

我が国の下水道普及率は2014年度末で77%を越え、下水道管きよの総延長は46万kmとなっている。下水道管きよは長期の使用に伴い老朽化が進行し、道路陥没や管きよ閉塞等の問題が顕在化しているため早急に点検調査を行い、個々の管きよの劣化状態を把握し、適正な維持管理（補修・改築）を行う必要がある。一方、管きよを管理する地方自治体は厳しい財政状況におかれ、既存の点検調査技術は、現場での作業拘束時間が長い、調査機材や調査費が高額で専門的知識が必要などの解決すべき課題が存在していることから、全国における点検調査実施率は極めて低い状況にある。国総研では、より簡単かつ効率的な点検調査技術の開発を官民共同で進めるため、「下水道管きよの効率的な点検調査技術に関する共同研究」の研究相手先を公募し、管清工業(株)及び(株)カンツールと共同研究を実施した（平成23～24年度）。本共同研究では、新たな点検調査技術を提案するとともに、必要な調査機材の機能や仕様の検討、今後の実用化にあたり定めるべき規格・仕様、調査方法や判定基準について検討し、実証実験の結果を含めて技術資料を作成することとした。

## 2. 共同研究の概要

一般の研究開発では、開発するテーマに具体的な達成すべき性能指標や要求品質を明示する。本共同研究では「効率的な点検調査技術の実現」をテーマとしたうえで、その実現に必要な具体的な指標と目標値を設定し、開発した機械の性能を実フィールド等において確認した。

### 2-1 対象とする管きよの設定

近年、φ600mmまでの小口径管きよの多くは塩化ビニル管が採用されるが、現在、老朽化が問題となっているのは、供用後30年以上経過した鉄筋コンクリート管である。また、点検が困難な管きよは、作業員が入ることのできない小口径管であり、本研究で開発の対象とする下水道管きよはφ250mmの鉄筋コンクリート管と設定した。

### 2-2 下水道管きよ点検調査手法の変遷過程及び現在の状況について

下水道管きよの点検調査手法の主な種類として、(1)TVカメラ（側視機能付き）、(2)管口カメラ（簡易カメラ）、(3)広角直視カメラがあり、変遷過程や現況の概略を以下に説明する。

#### (1) TVカメラ調査業務（側視機能付き）

下水道管きよ内のTVカメラ調査業務は、白黒カメラの直視による方法が1975年頃には開始されている。管口からカメラがどの程度の距離にあるかを計測するエンコーダは、この頃には実用化されていたものの、距離の数値は画面上に表示されず、映像のみを撮影する単純なシステムであった。そのため、オペレータはTV画面を見ながらカメラの位置や管内の状況をテープレコーダに録画し、あとでテープを再生しながら報告書をまとめた。その後80年代に入ると、画像のカラー化が実現し、真空管による撮像管から、電荷結合素子（CCD）を用いた、撮像素子CCDセンサーが実用可能となりカメラの性能も向上し小型化が実現した。さらに、ワイヤーによる牽引式から自走式に変わっていったのもこの時代であり、防水型の電動モータでゴム製の車輪を駆動させ、前進・後退ができ、同時にケーブルを送り出したり巻き戻したりする装置も開発された。当初は一般に使用されているビデオ録画装置を使用して管きよ劣化度の評価判定結果等をインポーズした撮影画像をVHSビデオテープに記録して提出するのが一般的であった。その後は、DVDを媒体としたり、最近ではUSBメモリや

HDD を媒体とするようになってきている。これらの進歩変遷の背景にはデジタル技術の発達と半導体メモリや電子機器の驚異的な低価格化がある。

現在主流となっている側視機能付きの小口径下水道管きょ内調査用TVカメラの構成要素は次の表 2-1 のようになっている。

表 2-1 現在主流の小口径下水道管きょ内調査用TVカメラ構成要素\*1

対象	項目 レンズ 種類	カメラ仕様	照明方式	走行制御 方式	進入距離 (コード長)	モニター機能	映像記録 劣化度判定	電源
下水道管きょ内 TVカメラ	標準 90°	CCDカメラ 側視機能付	LED照明	電動自走 車のリモコン ケーブル制御	300m ～ 500m	モニター有り	随時評価判 定し動画の 画像に記録	電源ケーブルによる 外部供給

\*1: 参考文献「最新鋭・管内調査用TVカメラの実力」JASCOMA Vol.17No.33

## (2) 管口カメラ (簡易カメラ)

マンホール内に入ることなく管内の状況を簡易に調査するカメラとして管口カメラがある。長さ5m程度のポールの先端にズーム機能付きのカメラヘッドと管きょ内部を照らす照明装置から構成される。マンホールの上からカメラヘッドをインバートに設置し、管口から管きょの内部を撮影し、録画記録する。問題点としては評価判定基準が自治体毎に様々でオーソライズされたものが無いことが挙げられる。管口カメラの主なものは国内外あわせて現在4種類程度を数え、下表にその仕様を示す。

表 2-2 管口カメラの仕様 (その1)

機種名	カメラ仕様	光度・光源種類	パン・フリット	本体寸法	ポール長	本体質量
国内メーカー①	CCD1/4 38万画素 10倍(光学)×4倍 (デジタル)	ハロゲンランプ 35W×1 (2段階切換式)	○	220×135 ×120	5.4m (延長含)	2.2kg
国内メーカー②	CCD1/4 41万画素 16倍(光学)×8倍 (デジタル)	高出力クセノン 球×2 (電池式)	×	不明	4.0m	1.0kg
海外メーカー①	CCD1/4 38万画素 18倍(光学)×12倍 (デジタル)	HIDランプ 10W×2 (1灯、2灯切換式)	×	220×120 ×250	7.2m	1.8kg
海外メーカー②	CCD1/4 38万画素 36倍(光学)×12倍 (デジタル)	HIDランプ 14W×1 (カメラ全周よ り照射)	×	300×160 ×250	7.2m	3.2kg

(寸法): 縦 mm×横 mm×奥行 mm

表 2-3 管口カメラの仕様（その2）

機種名	記録媒体	音声入力	電源	市場価格	備考
国内メーカー①	SD または Hi8	SONY の Hi8 のみ可	発電機 バッテリー (OP)	120 万円	モニタ付き
国内メーカー②	—	—	バッテリー	60 万円	同上
海外メーカー①	—	—	バッテリー	190 万円	モニタ（録画器） は別途購入。
海外メーカー②	microSD	なし	バッテリー	190 万円	同上

### （3）広角カメラ

管きょ内部を正面から捉える直視のみの撮影で、管きょ壁面の詳細な展開画像を作成し、1日当たり調査量の大幅な向上を目指そうというアイデアから生まれた最新の TV カメラシステムである。

画角 190° の超広角レンズと高輝度白色 LED6 灯を装着したカメラヘッドを用いることで、側視による異常箇所の詳細な確認をしなくても、管内状況を正確に把握することが可能である。また異常箇所ですべて停止する必要がないため、これまでのカメラ調査と比較して日進量を増加することができる。

## 2-3 現行点検調査技術の標準的な実施能率

点検調査業務の作業効率・能率に関し、現時点で通常使用されている標準的なものを表 2-4 に示す。

表 2-4 標準的な実施能率\*2

点検調査技術	項目	作業効率・能率を表す指標とその値	
		設定指標	標準値
(1) TVカメラ ※側視機能付き	1日当たり調査延長(m)		300m
	m当たり単価		1600~1800円
(2) 管口カメラ ※別名：簡易カメラ	1日当たり調査箇所数(箇所)		40箇所
	1箇所当たり単価		6400円
(3) 広角カメラ ※別名：展開カメラ	1日当たり調査延長(m)		500m
	m当たり単価		1600~1800円

\*2：田中修司、「下水道管路管理新技術の動向」、下水道管路管理セミナー資料、2012年1月

## 2-4 研究フロー

図 2-1 に示すフローで研究を実施した。

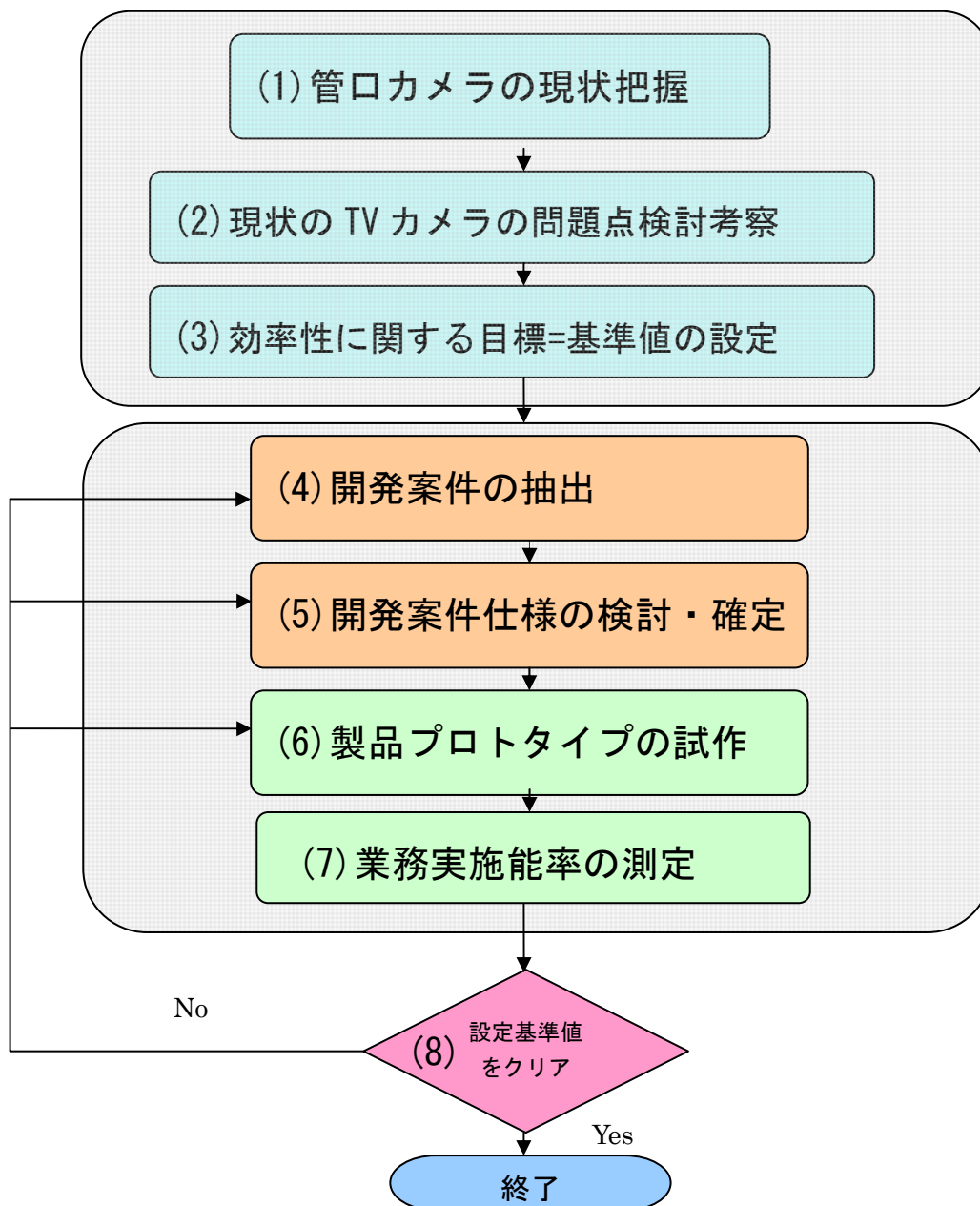


図 2-1 共同研究業務全体のフロー

## 2-5 共同研究の主な内容

### (1) 管口カメラの現状把握

市販されている管口カメラについて、試験管路で走行型カメラとの比較実験等を行った結果、以下の理由からその使用に限界があるものと判断した。

- ・管口カメラは管きょ内部の障害物等の状況把握にはその効果を発揮するものの、管きょの表面(壁面)の劣化の程度を正しく把握することはその原理上難しい\*3。
- ・管口からカメラのズーム機能を利用して管の表面上の劣化を見ようとしても、わずかの操作で視界から対象箇所がずれてしまい、対象箇所にあわせるためには、相応の熟練が必要である。
- ・管口カメラのカメラヘッドは遠方まで照らすための照明と一体になっていることもあり大きいため、管きょ内部に進入させるには不向きである。

\*3：宮本豊尚、深谷渉、横田敏宏、「管口カメラの性能とスクリーニングへの適用性」、第49回下水道研究発表会

### (2) 現状のTVカメラの問題点検討考察

下水道管きょ内調査用のTVカメラは国内外の製造元により、相当数の製品が製造販売され、下水道管きょの維持管理業者はそれらの製品を使用し調査業務を行っている。各製品それぞれに特徴があるが、最近のビデオカメラや電子機器の進歩を勘案したとき、更なる改善・改良の余地があると考えられる。現状のTVカメラの問題点を検討することにより、新たな点検調査手法や機器に関しての実現可能な着想が生まれる。

<主な下水道管きょ内調査用TVカメラ及びカメラ車の特徴>

- ・調査対象管きょ内径としてφ150mmからφ600mm迄を適用範囲として汎用性を重視した製品が多く、一台で様々な管径に適用できるようにして製品の付加価値を高めている。
- ・マンホール開閉作業を減らすため、管きょに落差や曲がりがない限り調査が可能となる(ケーブル長300m~500m)ようにして調査の効率を高めるようにした製品が多い。
- ・TVに写る映像をモニターしながら走行台車の前進・停止・後退や速度の制御、劣化度の評価・判定を行いその都度評価・判定の結果を記録するために、ケーブル接続のリモートコントロール方式のものがほとんどである。
- ・ケーブルは映像音声信号、走行台車の走行制御信号、照明や走行のための電力供給の機能を持つ多芯のものであり、相応の引張り強さを有するものでなければならず、軽くするには限度がある(最も軽いケブラーケーブルであってもm当たり45g程度)。またケーブルには、管口からカメラの走行位置の距離を測定する目的もあり、測定値は撮影画面内に表示できる。
- ・重量の嵩むケーブルを引張るには、管きょ内でタイヤがスリップしないようにするため、摩擦力を増やす必要がある。このため、走行台車車輛の重量を大きくする必要が生じ、走行するためのモータが大きくなるとともに、必要電力も大きくなる。
- ・調査の長距離化が可能となると、ケーブルを巻き取るためのドラムも大きくなり、これらを収納し運搬するための車両が必要となる。映像を映すTVや映像記録に文字を入れるなど報告書作成に便利なPCやオペレータの作業用の机・椅子を備える必要もあり、対応できる車種は荷台の広い、ワンボックスカーやトラックとなり、調査機材1式の総額は1000万~1600万円となる。

### <問題点と解決策>

現行の TV カメラの問題点は、製品価格が高価なため機械損料が高いこと、現行で使用されている評価・判定基準では劣化箇所毎に機器を停止させ詳細な調査を実施する必要があること、実施調査距離に限度があることなどから、調査延長 1 m 当たりの単価が割高になることがあげられる。

製品価格が高価となる理由は以下の通りである。

- ①ケーブルが長く重いため TV カメラ機器の重量も嵩み製品が重厚化している
- ②小口径～中口径迄の内径に幅広く対応しているため構造が複雑になっている
- ③収納・運搬のために専用の車両が必要である。

効率化を達成するための解決策を以下のように考える。

- ①軽量化を達成するために電源ケーブルを必要としない装置とする。例えば、カメラ、照明、走行台車の電源用バッテリーを走行台車の内部に搭載したり、ケーブルの送り出しによる距離測定を行わないなど。
- ②小口径管きょ（主として  $\Phi 250\text{mm}$ ）を対象とする。
- ③早急に対処する必要がある箇所を特定することを目標として、現行のものよりも簡易で、かつ明快な評価・判定基準を設定する。

### （3）効率性に関する目標の設定

点検調査業務の効率化を表現する指標として 1 日当たり調査延長を選定した。目標値は、現行の TV カメラ調査日進量の倍以上となるよう、次のように設定した。

#### 【目標設定】

目標値設定	1 日当たり調査延長 (m)	1000 (m/日)
-------	----------------	------------

#### (4) 開発案件の抽出

点検調査の能率・効率性の向上に貢献する事項を表 2-5 に示すように分類し達成手段を検討した。表中、実現が比較的容易と考える達成手段には着色している。その中で、走行台車車輛の軽量化、カメラや照明装置などの装備をいかに安価にするか、及び早急に対処する必要がある箇所を特定するための簡易な判定・評価基準を策定することに主眼を置いた。

表 2-5 点検調査の能率・効率を決める項目

項目	細目	効率性を表現する指標	達成手段
日進量	点検・調査量	一人一日点検・調査可能距離 点検・調査可能箇所数	電源ケーブルをなくし軽量化 複数スパンを一度で実施
単価	準備作業	作業に必要な準備工	整備・組み立て時間の短縮
	前処理工 後処理工	前処理工としての清掃・洗浄作業量	未洗浄・未清掃時の判定基準の作成
	所要人数	点検・調査要員数 交通誘導員人数	機器の自律・自走機能強化
	点検調査機器	一定の品質を確保した上での機械損料	市販製品を使用
	報告書	判定基準	新しい簡易な判定・評価基準
報告書		報告書の作成	報告書作成のシステム化 写真の自動取り込み

#### (5) 開発案件仕様の検討・確定

ビデオ信号伝達及び照明や走行台車への電源供給、前進・後退などの制御を実現するためのケーブルを使用せず、市販されているビデオカメラを台車に固定することにより、管きょ内部の映像を半導体メモリに記録・回収し、事務所内で画像を見て判定する方式を開発案件の基本仕様とした。

表 2-6 現行 TV カメラ機器と開発案件点検調査機器の仕様

項目 対象	カメラ仕様	照明方式	走行制御 方式	走行距離 記録方式	進入距離 (コード長)	モーター機能	映像記録 劣化度判定	電源
現行 TV カメラ	CCD カメラ 側視機能付	LED 照明 電源ケーブル 利用	電動自 走車のリ モコンケーブル 制御	ケーブル長 の測定と エンコーダ 記録方式	300m ～ 500m	有	随時評価判 定し動画の 画像に記録	電源ケーブルによる 外部供給
開発案件	市販ビデオ カメラ	懐中電灯 電池使用	人力及 び RC 制御 方式の 利用	距離測定 機能なし	安全索 として 200m 程 度	無	カメラ内の メモリに記 録	内部バッテ リ電源

市販されているビデオカメラのうち、以下の表並びに写真に示すビデオカメラ、照明機器を使用して管きよ内撮影の効率化についての実証実験を行った。

これらの機器は、バッテリーによる稼働であり外部電源から電気を供給する必要のないものである。また、管きよ内の画像データを録画し蓄積するのに十分な容量の外部メモリを装着できる仕様となっており、価格も比較的安価で一般に市販されている製品である。

表 2-7 実証実験にて使用した機材の仕様

	仕様 1	仕様 2				操作方法など
ビデオカメラ (市販品)	寸法：42D×30H×60Wmm 重量：141g 記憶容量：32GB SDHC 電池寿命：4 時間 防水：水深 60m 迄	モード	解像度	視野角(°)	フレームレート	マニュアルで録画モードに設定して管きよ内撮影を開始し撮影終了もマニュアルでスイッチを OFF にする
		1080P	1920×1080	127・170	30	
		960P	1280×960	170	30, 48	
		720P	1280×720	170	30, 60	
		WVGA	848×480	170	60, 120	
照明 (懐中電灯)	パワーチップ型 LED×1 寸法：Φ47×205mm 重量：383.5g 主要素材：アルミニウム 電池：アルカリ単 3×4	最長照射距離：約 280m 最大光束：約 210 ルーメン 点灯時間：パワーモード(100%点灯時)約 5 時間				プッシュスイッチを押して明かりをつける。小口径管きよ内部を照らすには十分である



写真 2-1 使用したビデオカメラ製品



写真 2-2 使用した照明装置 (LED ライト)



### (6) 製品プロトタイプの試作

管きよの内部を撮影しメモリに記録させて回収するためには、(5)で述べたカメラや照明機器を搭載して管きよ内を走行させ、回収する手段、すなわち走行台車が必要となる。走行方式としてはいくつかの方式が考えられ、検討し、試作した走行台車を方式別に表 2-8 に分類した。

走行方式毎のビデオカメラ搬送用の走行台車の特徴及び効率性等は、表 2-9 にまとめた。

表 2-8 走行台車と実証実験

		走行方式	仕様	実証実験の有無
走行台車	車輪式台車	ボートにキャスター型車輪	通線後ロープで引っ張る・イエローケーブルで押し込み	現場実証実験実施
	そり式台車	そりで滑らせる方式	走行方式は上記と同じ	一部スパンで実施
	船体型台車	管きよ内浮上式	管きよ内汚水の流れて流下する方式	現場では非実施
	電動 RC 制御	内部バッテリーで走行	前進・後退・停止の動作を RC 制御にて実現	現場実証実験実施

### (7) 業務実施能率の測定














4 種類の走行台車を利用した業務実施能率を表 2-10 に示す。効率性の検証のための現場での実証実験は、車輪式台車やそり式台車を人力で押す方法を手始めに実施した。

人力による通線とロープによる牽引方式では効率性が良くないため、イエローケーブルで押し込む方式で現場にて効率性の検証を行った。しかしながら目標を満たさないことが判明したため、改善策として電動 RC 制御の台車を考案し試作品を作製して現場に持ち込み、実証実験を行った。

表 2-10 実証実験で達成した効率性

		実証実験	効率性の検証結果	効率性について
走行台車	車輪式台車	現場実証実験実施	Max800m/日	通線した後引っ張る方式では効率性は良くないためイエローケーブルで押し込む方式を実施した。
	そり式台車	一部スパンで実施	—	イエローケーブルで押し込む方式では、そりがうまく管きよ内で滑らず効率性は良くなかった
	船体型台車	一部短スパンのみにて実施	—	管きよ内の流水がある程度無いと走行は難しく、小口径管内の場合には通常流量が少ないため実証実験は実施しなかった
	電動 RC 制御	現場実証実験実施	Max600m/3hr	イエローケーブル回収の手間が不要で効率的な点検が可能である。ある程度の土砂堆積、滞留水があっても走行できることを実証した。

表 2-9 点検カメラに使用する各種の台車一覧表

点検カメラ方式 概要	車輪付き台車	そり方式台車	船体型_1	船体型_2	電動自走台車_1	電動自走台車_2
外観写真	 	  	 	 	 	 
動力源	人力	人力	水車	水車	バッテリー(7.2V) 10マニター	バッテリー(7.2V) 10マニター
走行制御	人力制御	人力制御	無	無	無	無
安全策 (命題)	イエローコープとセンサーによる障害検知、又は 距離センサーによる障害検知	イエローコープとセンサーによる障害検知、又は 距離センサーによる障害検知	タイロンコープによる障害検知	タイロンコープによる障害検知	タイロンコープによる障害検知	タイロンコープによる障害検知
省き上内提案画像 モニター機能	無	無	無	無	無	無
特徴	センサーによる障害検知、又は 距離センサーによる障害検知	センサーによる障害検知、又は 距離センサーによる障害検知	無	無	無	無
実証実験実施実績	4号、5号、6号、7号	5号の1号にて実施	6号にて実施	6号にて実施	6号にて実施	6号にて実施
実証実験結果	滑動方式では滑動時の摩擦係数が高い ため、滑動時の摩擦係数を抑えることが 難しい	滑動方式では滑動時の摩擦係数が高い ため、滑動時の摩擦係数を抑えることが 難しい	水車による動力伝達による摩擦係数の 低下が確認された	水車による動力伝達による摩擦係数の 低下が確認された	水車による動力伝達による摩擦係数の 低下が確認された	水車による動力伝達による摩擦係数の 低下が確認された
効率性に関する評価	イエローコープとセンサーによる障害検知、 又は距離センサーによる障害検知	そりの摩擦係数が大きく滑りにくい ため、滑動時の摩擦係数を抑えることが 難しい	水車による動力伝達による摩擦係数の 低下が確認された	水車による動力伝達による摩擦係数の 低下が確認された	水車による動力伝達による摩擦係数の 低下が確認された	水車による動力伝達による摩擦係数の 低下が確認された
改良・改善 着目点	センサーによる障害検知、又は 距離センサーによる障害検知	滑動時の摩擦係数を抑えることが 難しい	水車による動力伝達による摩擦係数の 低下が確認された	水車による動力伝達による摩擦係数の 低下が確認された	水車による動力伝達による摩擦係数の 低下が確認された	水車による動力伝達による摩擦係数の 低下が確認された