

水力発電所水圧鉄管内面の簡易調査用ロボットの開発

Development of robot for simple investigation in penstock of hydroelectric power plant

北海道電力（株）総合研究所 ○正 員 坪田 則行（Noriyuki Tsubota）
北電総合設計（株） 佐藤 希久（Marehisa Sato）

1. まえがき

電力会社が保有する発電設備のうち、「水力」は数少ない純国産エネルギーであると同時に、再生可能なエネルギーであり、地球温暖化問題の観点からも極めて貴重なエネルギー源といえる。

将来、水力発電所の新規計画については、電力需要、適地の減少等により少なくなっていることから、今後、既設水力発電所の重要性は更に高まると考えられる。

また、水力発電設備が効率良く、安定的に稼動するためには、日常からの巡視、点検、修繕等の維持管理を確実に実施することが重要となる。その中で水圧鉄管は、発電機・水車へ直接導水するための高圧力が作用する重要な鋼構造物であることから、鉄管母材の腐食、塗装状態等を確認することが必要となる。

水圧鉄管外面は日常点検の中で塗装状態を全線に亘り確認することは簡単に実施できるが、内面に関しては、通常、充水状態であること、さらに設置箇所が急傾斜地となっていることから、内面の状況を確認することは難しくなっている。さらに近年、電力の自由化を契機に、効率的な維持管理計画の立案、効果的な投資計画が重要となり維持管理技術の高度化が求められているのが現状である。

このような背景から、北海道電力（株）総合研究所では水圧鉄管内面状況を安全かつ効率的に把握することを目的に、水圧鉄管内部の写真・ビデオ撮影、塗膜厚測定が可能な簡易調査ロボットを製作し、当社水力発電所において現地実証試験を実施してきた。

ここでは、簡易調査ロボットと、現地実証試験の概要について紹介する。

2. 当社水力発電所の現状

北海道電力（株）では 52 箇所（内 49 箇所）で鉄管を有するおり年間約 33 億 kWh（平成 16 年実績）の電力供給に貢献している。水圧鉄管の現状を表-1 に示す。

これら水力発電所の設置年数は図-1 に示すとおり、5 年後には 50%以上の設備が建設後 30 年を越える状況になっている。

表-1 水圧鉄管の現状

発電所数	52 箇所（内 49 箇所）で鉄管を有する）
経過年数	8～64 年
板厚	6～32 mm
総延長	14,496.7 m
内径	0.3～7.1 m

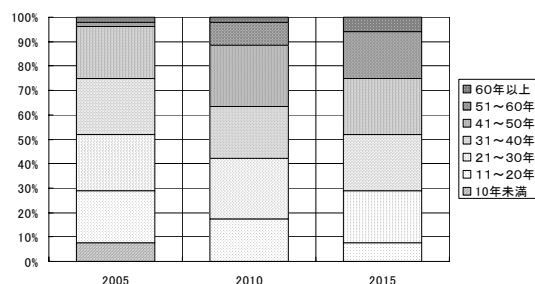


図-1 水力発電所の設置経年推移

3. 簡易調査用ロボットの概要

3.1 簡易調査用ロボットの全体システム

簡易調査用ロボットの全体システムは、簡易調査用ロボット本体をマンホール（350×450、楕円形）から挿入し、水圧鉄管の傾斜による落下力を利用してロボットを連続的に送り込む原理となっている。全体システムは、ロボット本体、電動ウィンチ、距離計、ワイヤーガイド冶具等から構成されている。全体システムを図-2 に示す。

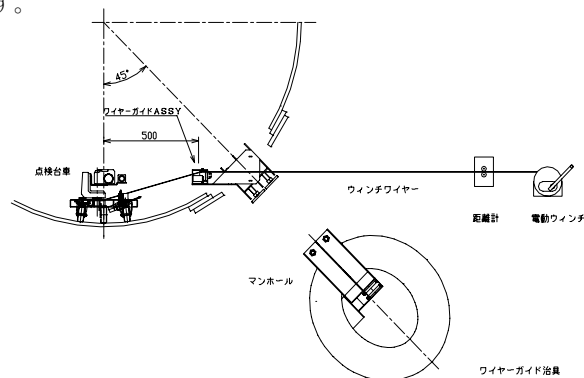


図-2 全体システム

3.2 簡易調査用ロボット仕様

簡易調査用ロボット本体は、キャスター車輪付台車、電動雲台、デジタルカメラ、ビデオカメラ、無線装置、膜厚計、照明装置、バッテリー等の機能を搭載している。このうち、電動雲台、デジタルカメラのシャッター、塗膜厚計等は、シーケンサーに組み込まれたプログラムにより一定間隔で制御し、画像撮影と塗膜厚測定を行う。

塗膜厚測定は電磁式膜厚計を使用しており、測定原理は交流電磁石のコイル両端にかかる電圧が磁性金属の距離によって変化することを利用したものであり、センサー部を測定箇所を押当てて塗膜厚を測定するものである。

簡易調査用ロボットでの膜厚の測定方法は、測定箇所
に到達後、シーケンサーからの信号を受け、膜厚計を
50mm 鉛直方向に押し込み、測定箇所に接触させ膜厚を
計測する。膜厚計の測定データはメモリー機能が無いこ
とから、膜厚計液晶表示部をビデオカメラで画像とし
て撮影記録したものをデータに変換した。

簡易調査用ロボットには、駆動装置は無くウィンチお
よび自重により水圧鉄管内を移動する。

簡易調査用ロボットの仕様および測定項目を表－2、
3に、簡易調査用ロボット本体を写真－1～8に示す。

表－2 簡易調査用ロボット仕様

項 目	仕 様
台車	キャスター付、B35×L71×H31cm
デジタルカメラ	市販品、400 万画素、電動雲台
ビデオカメラ	市販品、108 万画素
調査用カメラ	市販品、ズーム、パン、チルト機構、42 倍ズーム
膜厚計	電磁式、0～1500 μ m
無線装置	2.4GHz
照明装置	36W×3 個、バッテリー

表－3 測定項目

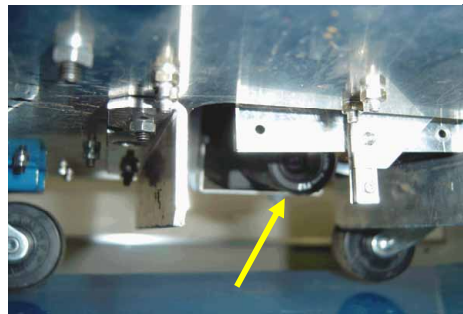
測定項目	使用機材
水圧鉄管内事前調査	ネットワークカメラ＋無線機能
水圧鉄管内写真撮影（定点）	デジタルカメラ
水圧鉄管内写真撮影（連続）	ビデオカメラ
塗膜厚測定	電磁式膜厚計



写真－3 ビデオカメラ



写真－4 調査用カメラ



写真－5 膜厚計用カメラ



写真－1 ロボット本体外観



写真－6 膜厚計



写真－2 デジタルカメラ



写真－7 無線用アンテナ



写真－8 走行車輪

4. 水圧鉄管内面調査の事例

4.1 水圧鉄管の諸元

今回調査した水圧鉄管の諸元を表－4に示す。

表－4 水圧鉄管諸元

項 目	諸 元
設 置 年	昭和 54 年（更新）
型 式	露出管
条 数	1 条
延 長	267.844 m
内 径	1.40～2.00 m
厚 さ	9～19 mm
使 用 水 量	9.2 m ³ /s

4.2 調査結果

(1) 簡易調査ロボットによる水圧鉄管内面調査準備

今回の調査は、水圧鉄管最上部のマンホールから簡易調査ロボットを挿入し調査することとした。

調査箇所への取付け道路がないことから調査に必要な資機材については、高低差 110m の場所まで人力により写真－9に示す水圧鉄管路階段を利用し運搬した。

水圧鉄管全景およびマンホールを写真－9～10に示す。



写真－9 水圧鉄管全景



写真－10 マンホール

(2) 簡易調査ロボットによる水圧鉄管内面調査

・デジタルカメラによる写真撮影

今回、写真撮影は約 2 m 間隔で 100 箇所の測定断面において、正面、左面、右面、上部（写真－11～14）の計 4 枚を撮影した。

その結果、照明の届く範囲の撮影となったが、ピンツのズレもみられず、水圧鉄管内の状態が明瞭に写り、画像の解像度にも問題は無く、設備点検画像として十分に使用できる結果を得ることができた。



写真－11 水圧鉄管内面（正面）



写真－12 水圧鉄管内面（左側）



写真－13 水圧鉄管内面（右側）



写真－14 水圧鉄管内面（上部）

・ビデオカメラによる画像撮影

ビデオカメラで撮影した水圧鉄管内面の画像は、デジタルカメラで撮影した写真よりも画質は落ちるが、水圧鉄管内面の状態を認識できる結果が得られた。従って、定点撮影であるデジタルカメラの補完情報としての有効性が実証された。画像を写真－15に示す。

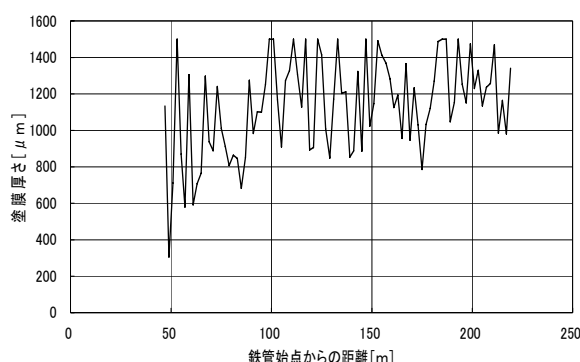


写真－15 ビデオカメラ画像

・塗膜厚測定

今回、87 地点において塗膜厚測定を行った。その結果、測定値にばらつきが見られるものの、全線の傾向を確認することができる結果が得られた。

測定値のばらつきの要因としては、水圧鉄管表面の塗膜および付着物等の影響が、膜厚計の測定に影響していると思われる。測定結果を図－3に示す。



図－3 塗膜厚測定結果

・無線機能

水圧鉄管内部における無線伝播特性は、画像データを無線送信した場合、ノイズが乗りやすく良質な画像を連続的に得られないといわれている。当所における、これまでの実証試験の実績においても低品質な画像等、同様な結果が得られていた。したがって、これまで 1.2GHz の無線周波数（特定小電力）で実施してきたが、今回 2.4GHz に変更し実証試験を行った。

その結果、延長 210m の傾斜部において全線に亘りノイズの極めて少ない良質な画像を得ることができた。

また、無線によるカメラの操作（ズーム、チルト、パン機構）についてもスムーズに動作することを確認することができた。無線により得られた画像を写真－16に示す。



写真－16 無線による動画からの写真

5. あとがき

当所では、人間に代わる水圧鉄管内面の点検手法として簡易調査ロボットの製作・改良を進め、道内の発電所において実証試験を実施してきた。

いくつかの課題点はあるものの、得られた結果は以下のとおりである。

- ① デジタルカメラおよびビデオカメラにより得られた画像データは、点検データとして十分活用できた。
 - ② 水圧鉄管全線の連続した塗膜厚データを得ることができた。
 - ③ 照明についても、撮影に支障が無いことを確認できた。
 - ④ 水圧鉄管全線に亘り、支障なく走行できることを確認できた。
 - ⑤ 無線による水圧鉄管内の画像は、良質な画像であり調査データとして十分活用できる結果となった。
 - ⑥ 表－3に示す測定項目を、従来の方法である人力による調査と比較すると、調査日数の削減、安全の確保等に繋がることを実証試験を通して確認した。
- また、課題点については以下のとおりである。
- ① 伸縮継手部の走行能力。
 - ② リアルタイムの画像監視（無線技術の向上）
 - ③ 距離計の精度。
 - ④ 劣化箇所の寸法の読み取り。

今後は、得られた課題点の改良および実証試験等の実績を積みながら、水圧鉄管調査技術の向上を図りたい。

なお、これまで簡易調査ロボットの製作・改良を当所で行ってきたが、実証試験で得られた結果から課題点の改良は必要であるが、事業化を目指した新たなステップアップが必要と判断し、平成 17 年 10 月より簡易調査ロボットの実用化に向けた共同研究を北海道電力（株）グループ会社である北電総合設計（株）と進めている。

参考文献

- 1) 福澤修一郎、林透、横辻幸：関連技術調査（土木）のうち水圧鉄管点検装置の開発、北海道電力株式会社総合研究所 技術レポート 2003－95
- 2) 佐々木範雄、御供輝充、千葉二郎：「導水路トンネルのマイクロ波帯における減衰乗数の実験式」、電気学会論文誌（C）Vol. 121-C、N0-2