

水力発電所での遠隔絶縁診断データ伝送システムの構築

Construction of Remote Insulation Diagnosis Data Transmission System in Hydraulic Power Plant

金子 正光 ・ 竹之内 修

ユビキタス社会の実現に向けて通信技術は急速な進歩を遂げ、インターネットのブロードバンド（超高速大容量通信）がオフィスや家庭までも普及している。全ての設備機器は何らかの形でネットワークに繋がる、ユビキタスネットワークシステムが出現している。著者らは、電力供給を停止することなく、水車発電機固定子巻線の絶縁劣化の異常兆候を診断・監視する診断技術の確立を目指し、音響的検出法に着目して研究を行っている。現在、宮崎県企業局所有の水車発電機オンライン絶縁診断に関する研究が、宮崎公立大学との産学共同研究で行われている。遠隔地にある水車発電機の部分放電信号を長期間観測するためにも、遠隔地の水力発電所で測定した信号を随時確認できるデータ伝送システムの構築が望まれている。

本研究は、電力機器の絶縁診断に用いる機器で、安価で誰でも利用できるLocal Area Networkを構築し、インターネット回線を使用して伝送することで個々のデータの時間的変化を観測・閲覧可能なシステムの構築を行った。以下に、このデータ伝送システムの詳細と利点や問題点について述べる。

キーワード：インターネット、データ伝送、水車発電機、オンライン絶縁診断、Local Area Network

目 次

- I はじめに
- II ネットワークシステムの構築
 - 1 システムの概略
 - 2 通信用サーバ
 - 3 伝送対象データ
 - 4 インターネット接続回線
 - 5 データ伝送方法
- III 伝送データの処理
- IV 利点と問題点

V まとめ

参考文献

参考ホームページ

謝辞

I はじめに

宮崎県は、山間部の割合が高く、豊富な降水量を生かして、多くの水力発電所を有している。そのため、宮崎県の電気事業は小丸川をはじめとする5つの河川の総合開発(11の発電所)で、最大出力合計15万5,300kWと、全国の公営電気事業の中で有数の規模を誇っている。また、電力会社の管理する発電所数も27あり、水力発電による電力供給量は九州1位である。水力発電は環境にやさしく温室ガス削減に繋がる重要な発電方式で、宮崎県の地域経済の活性活動の一つとして注目されている。しかし、宮崎県内の水力発電所は1950年代に建設されたものが多数を占め、また規制緩和の進展や景気の低迷、産業構造の変化など、社会経済情勢の大きな変化の影響を受け、水力発電所の管理・運営における近代化・合理化の中で、水車発電機の寿命限界利用や維持管理コストの低減が社会的課題となり、水車発電機の巻線更新の要否判断が重要な課題となっている。そのため、老朽化した水車発電機固定子巻線の効率的かつ経済的な運用の観点から、オンライン水車発電機余寿命予測評価システムの構築が急務となっている。

著者らは平成18年度から宮崎公立大学と宮崎県企業局との産学共同研究において、宮崎県企業局が所有する水力発電所の水車発電機オンライン絶縁診断について研究を行っている^{(1)~(3)}。この研究において、著者らはオンライン絶縁診断に使用している機器に対してLAN(Local Area Network)を構築し、さらにインターネットを利用して伝送することでオンライン絶縁診断に必要な個々のデータの時間的変化を観測・閲覧できるシステムの構築を行った。

インターネットを利用したデータ伝送には社会的な通信基盤整備が整っていることが必要であり、当初対象としてきた水力発電所は携帯電話の電波がかろうじて届く地域にあり、これを利用した無線によるデータ伝送を考えていた。しかし、宮崎県企業局では、水力発電所について都城ケーブルテレビ会社のテレビサービスの利用が平成20年3月から可能となった。これに伴い同ケーブルテレビ会社のインターネット接続サービスが用意できることになった(参考ホームページ(1)参照)。ケーブルテレビ会社が提供するインターネット回線は光ケーブルを利用したものであるため、高速で安定的にデータを伝送できることが期待された。本論文では、このデータ伝送システムの構築等について述べる。

II ネットワークシステムの構築

1 システムの概略

図1に遠隔地絶縁診断データ伝送システムの概略図、図2に宮崎県企業局岩瀬川水力発電所内(宮崎県都城市高城町)に設置したデータ伝送システムに利用した機器の配置写真を示す。

水力発電所内のLANは、ルータ(サンコミュニケーションズ社製、SC-RS601GK)を用いて構築した。これをケーブルテレビ会社が提供するモデムに接続し、インターネット接続とした。ルータにはパケットフィルタリング機能があるため、データ伝送で必要となるFTP(File Transfer Protocol)を含むいくつかの必要最小限のネットワークポートを開放するように設定した。発電所内のLANはTCP/IPによるネットワークとし、データの伝送を行う上述した各機器にはプライベートアドレスを割り当てた。このためルータのNAT(Network Address Translation)機能を利用し、プライベートアドレスからケーブルテレビ会社が配布するグローバルアドレスへの変換を行った。

図3に、音響・電気信号ハイブリッド方式による運転中水車発電機の絶縁劣化診断法の研究に使用している実験装置の概略図を示す。水力発電所内には水車発電機近くに絶縁診断のための計測用パソコンが2台設置されている。1台はAE(Acoustic Emission)センサのデータを処理するパソコン(以下、AEパソコン)であり、5つのAEセンサによるデータ5チャンネル分を処理する。もう一台は漏れ電流を計測するパソコン(以下、CTパソコン)で、水車発電機の中性点接地線電流をCTセンサで計測し、このデータを処理する。いずれのパソコンもカテゴリ-5のツイストペアケーブルで水力発電所内の制御室に設置したルー

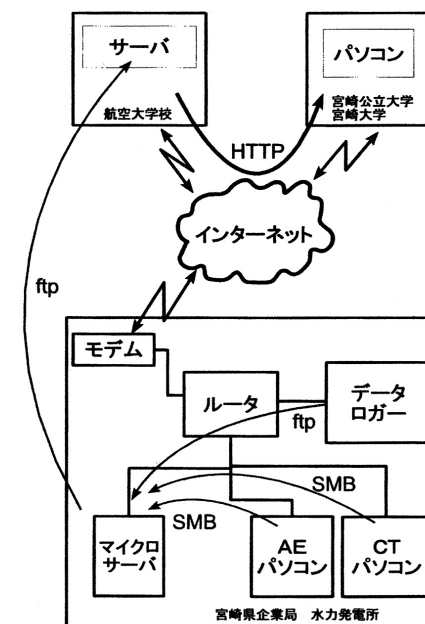


図1 遠隔絶縁診断データ伝送システムの概略図



図2 宮崎県企業局岩瀬川水力発電所内(宮崎県都城市高城町)に設置した遠隔絶縁診断データ伝送システムに利用した機器の配置写真

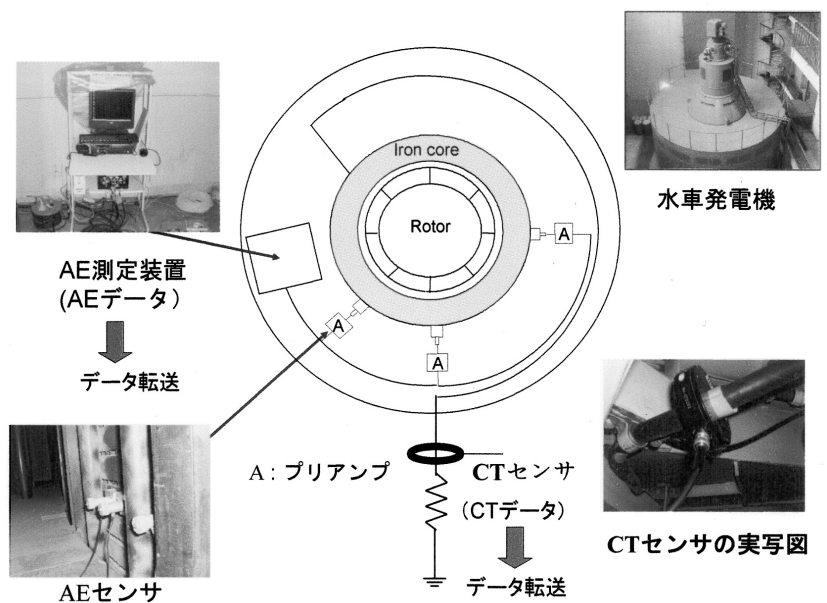


図3 音響・電気信号ハイブリッド方式による運転中水車発電機の新絶縁劣化診断法の研究に使用している実験装置の概略図

タに接続している。ルータにはこのほか、水車発電機出力と水車発電機固定子巻線温度を計測記録するデータロガー (日置電機株式会社製、8420-50) を接続した。

2 通信用サーバ

図1に示すように発電所内で計測・処理されたデータは、同LANに接続されたマイクロサーバ (プラットホーム社製、OpenBlockS266) に集めた。データの収集方法として、AEパソコン、CTパソコン、データロガーからのデータ伝送にはSMB (Server Message Block) やFTPを使用した。

表1 利用したマイクロサーバの仕様

製品名	OpenBlockS266
型番	OBS266/128/16R
CPU	IBM PowerPC 405GPr 266MHz
MEMORY	128MB (PC133 SDRAM)
FLASH ROM	16MB (ユーザーエリア約3.6MB)
Network I/F	10/100BaseTX × 2ポート
内蔵ストレージ	IDE 2.5" HDD (UDMA100) 20Gbyte

SMBを利用するためにマイクロサーバにはsamba (参考ホームページ(2)参照) を利用し、AEパソコンとCTパソコンにマイクロサーバの記憶領域をネットワークドライブとして提供させ共有接続した。このためAEパソコンやCTパソコンに使用しているWindows OS が標準で持っているファイル共有機能が利用でき、AEパソコンやCTパソコンの計測処理プログラム (ナショナルインストルメンツ社製、Labview 利用) を大きく改造することなく使用できる利点を有する。本研究で利用したマイクロサーバの仕様を表1に示す。

この発電所内のサーバは、小型・省電力であり、必要であれば内蔵ストレージ (以下、ハードディスク) なしでも可動させることができる。

ハードディスクのような電子機械部品は取り扱いに注意を要する必要があることから、サーバにこれを必要としないということは導入後のメンテナンス等を考えた場合、大きな利点となる。しかし、本研究では将来大量の計測データの蓄積を行うことも視野にいられたため、ハードディスクを利用した。

3 伝送対象データ

データ伝送の対象とした計測データは、AEパソコンによる信号波形処理データ (以下、「AEデータ」と略する)、CTパソコンによる中性点接地線電流強度データ (以下、「CTデータ」と略する)、ロガーによる水車発電機出力値および水車発電機固定子巻線温度データ (以下、「ロガーデータ」と略する) である。それぞれの伝送データの概要を表2に示す。

表2 伝送データの概要

データ	1ファイルのサイズ	転送するファイル数
AEデータ	55 バイト	60 個
CTデータ	11 バイト	60 個
ロガーデータ	10k バイト	1 個

AEデータはAEセンサ5台分のデータであり、処理されたAEセンサ強度のピーク値はCSV形式で保存されたテキスト形式のファイルである。CTデータはCTセンサ1台分のデータであり、処理されたCTセンサ強度のピーク値はCSV形式で保存されたテキスト形式のファイルである。データロガーのデータは水車発電機出力値および水車発電機固定子巻線温度データの2つであり、機器製造会社の独自形式で保存されたバイナリ形式のファイルである。

4 インターネット接続回線

水力発電所からのデータ伝送用としてケーブルテレビ会社のインターネット接続サービスを利用した。データ伝送速度は、公称上り256kbps、下り3Mbpsである。

マイクロサーバに保存されたデータは毎時定刻に大学に設置したサーバにデータが伝送されるように設定を行った。データの伝送は1時間ごとに行われた。AEパソコン、CTパソコンのデータは1分毎にデータの書き込みが発生するため、データファイル数は120個となる。また、ロガーについては1分間隔で記録をしているが、データは1時間毎にマイクロサーバへ伝送するように設定したため、マイクロサーバへ書き込まれるファイル数としては1個である。従って、マイクロサーバから大学側サーバに送られるファイル数は毎時総計121個となる。

伝送すべきファイルサイズの合計は毎時約13kバイトと小さいが、ファイル数が121個となるため、伝送時間が必要で、全てのデータを伝送するためには約1分の時間が必要であることがわかった。

5 データ送信方法

データの送受信方法には、水力発電所からデータを送る方法(内部から外部へ)と大学からデータを取りに行く方法(外部から内部へ)の2つがある。今回の伝送システムでは、安定した接続および水力発電所内部の安全性を確保するため水力発電所からデータを送る方法とした。

水力発電所から大学へ定期的にデータを伝送するためにFTPを利用した。具体的には、伝送するためのデータをマイクロサーバ内の1つのディレクトリ内に集めておき、定時になったらマイクロサーバのOSがもつスケジュール管理コマンドによりディレクトリ内のデータ全てを伝送する。伝送には上述したように約1分の時間が必要なため、その間に計測パソコンによるデータが書き込まれる可能性がある。このため、データを集めたディレクトリのコピーを行い、これを伝送すべきデータのあるディレクトリとして伝送した。なお、コピーについては5秒ほどで完了するため、このコピーの動作中に1分間隔で計測されるデータが書き込まれる可能性を排除した。

図4にマイクロサーバがデータ伝送に利用しているシェルスクリプトを示す。伝送動作では伝送すべきデータが書き込まれているかどうかを始めに判断し、伝送を行うかどうかを決定させた。伝送を行うと判断した場合には、OSが作成するログファイルの1つ(図4ではmessages ファ

```
#!/bin/sh
# dataフォルダのファイルを取得 ls -l,head -lでファイルが1つでもあるかチェック
nna='find /home/data/AE -name 'AEmax*' | wc -l'
nnc='find /home/data/CT -name 'CTmax*' | wc -l'

if [ $nna -ne 0 -o $nnc -ne 0 ] ; then

# messagesファイルを転送するための準備
`cp -p /var/log/messages /home/ae/`

# ユーザaeでitubonにftpできるか調査。ネットが切れていなか、messagesファイル送付
check='/usr/local/bin/wput -t 0 /home/ae/go ftp://***:*****@202.145.16.41/ | grep failed | wc -l'

# ftpできた場合 (checkが0のとき) データ転送を行う。
if [ $check -eq 0 ] ; then

# データの移動(1分以内で終了させること)
if [ $nna -ne 0 ] ; then
mv /home/data/AE/* /home/data2/AE
fi
if [ $nnc -ne 0 ] ; then
mv /home/data/CT/* /home/data2/CT
fi

# ftpで転送
/usr/local/bin/wput /home/data2/ ftp://***:*****@202.145.16.41/

# 転送済データを消去
rm -f /home/data2/AE/*
rm -f /home/data2/CT/*

# ログ一用
num = `find /home/ae -name 'HIOKI*' | wc -l`
if [ $num -ne 0 ] ; then
/usr/local/bin/wput /home/ae/HIOKI* ftp://***:*****@202.145.16.41/
rm -f /home/ae/HIOKI*
fi
fi
fi
```

図4 データ伝送シェルスクリプト (マイクロサーバで動作)

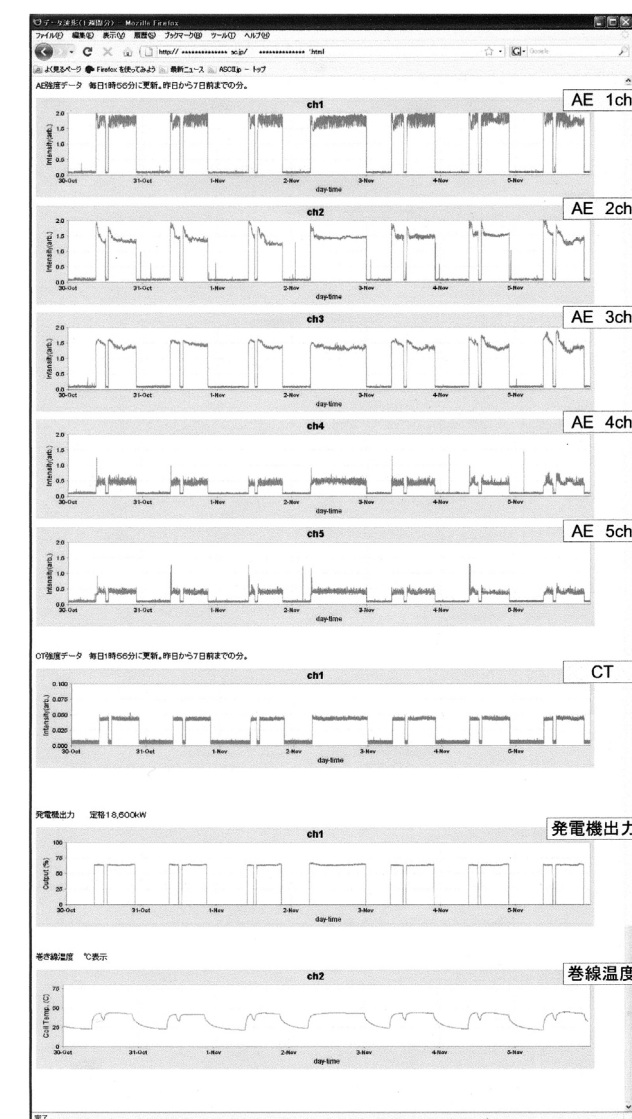
イル)の伝送を試みて、ネットワークが接続可能な状態であるかどうかを判断させた。そして、接続可能な状態であればデータを伝送し、伝送完了後にデータを消去するという動作とした。伝送にはwputコマンドを利用した。なお、FTPを利用するためユーザ名とパスワードが必要となるが、この部分は図4では***:*****と表記している。

III 伝送データの処理

水力発電所から伝送されたデータは大学に設置したサーバ(以下、「監視サーバ」と略する)で受け取り、またインターネットを利用して波形を監視できるように処理を行った。

図5に監視サーバにブラウザソフトを利用して表示される波形監視画面の一例を示す。図は上からそれぞれAE強度(5チャンネル分)、CT強度、発電機出力、巻線温度である。監視サーバにはブラウザを使用してデータを閲覧できるようにWWWサーバの機能を持たせ、WWWサーバソフトにはApache(参考ホームページ(3)参照)を使用した。監視サーバではマイクロサーバから1時間毎に送られてきたデータをjava言語を利用したプログラムで処理をさせグラフを描かせた。なお、java言語を利用してグラフを作成するために、フリーのグラフィックスライブラリJFreeChart(参考ホームページ(4)参照)を使用した。波形監視画面を作成するための処理は、データが伝送されてから約10分の時間間隔を

図5 監視サーバにブラウザソフトを利用して表示させる波形監視画面の一例



おき実施する。この処理は、1時間毎に1回行われる。また、これ以外に、1週間分のデータと1ヶ月分のデータについても同様な処理が行なわれ、1日に1回、日付が変わった深夜に、同様の処理が実施される。図5は1週間分のデータを表示した画面の一例である。

IV 利点と問題点

これまでは、データを現地まで回収にでかけ、回収したデータを事後処理することによってデータの様子を知ることができたが、本システムを構築したことにより1時間程度のずれは生じるものの、リアルタイムでデータを時系列で監視することができるようになった。

オンライン絶縁診断では長期間データの変化を監視する必要があるが、短期のデータを監視することが診断に効果的とは言えないものの、突発的な変動を捉えることができ、また、長期観測では見落としがちな短期的な要因（温度や湿度などの急変や計測システムのトラブル）の影響などを、関連づけて分析することが可能となった。さらに、これらの要因との関係を明らかにすることができるとともに長期観測と合わせてオンライン絶縁診断の精度を高めることが可能となった。

また、これら短期的な要因と観測データとの関連を残すために、ブログシステムを監視サーバ上に構築し、記録を取るようにした。ブログシステムは日記の形でログを残せるもので、波形の日々の観測を記録する上で有効な手段と考えた。なお、ブログシステムにはP_BLOG（参考ホームページ(5)参照）を使用した。

一方、本システムを構築した上での問題点を列記すると次の通りである。

- (1) インターネットを利用していることからセキュリティを高める必要がある。発電所—大学の経路のデータは暗号化されていないため、この点を改良する必要があると思われる。本システムは研究段階であるためセキュリティについてはあまり重要視していないが、製品として考えた場合は監視システムを構築する場合においては必須と言える。
- (2) サーバなどの機器が健全に動作しているか監視診断を行う必要があるため、セキュリティを確保した上で外部から内部への接続ができるようにネットワークを構築する必要がある。現在は内部から外部への、一方向伝送システムで、双方向の通信が可能なインターネットのメリットがセキュリティの問題から制限されている。
- (3) リアルタイムにデータを監視するにはインターネット回線の速度の影響により限界がある。システムが正常に動作しているか監視するという点からは、リアルタイムデータの観測ができれば信頼性の向上と異常を検出した場合の即応性につながる。このためにはデータ伝送時間とデータ量との関係を明らかにするとともに伝送すべきデータについても検討する必要がある。
- (4) インターネットの接続回線の速度については一般的には向上する方向にあるため、そのようなサービスの向上に期待することもできるが、現時点でも送信すべきデータと研究目的との関係からリアルタイム性がどこまで必要かを明らかにする必要がある。

V まとめ

ユビキタス社会の実現に向けて通信技術は急速な進歩を遂げ、インターネットのブロードバンドがオフィスや家庭にまでも普及している。全ての設備機器は何らかの形でネットワークに繋がる、ユビキタスネットワークシステムが出現している。

著者らは、電力供給を停止することなく、運転中水車発電機固定子巻線の絶縁劣化の異常兆候を診断・監視する診断技術の確立を目指し、音響的検出法に着目して研究を行っている。現在、宮崎県企業局が所有する水力発電所の水車発電機オンライン絶縁診断に関する実用化研究が、宮崎公立大学との産学共同研究で行われている。遠隔地にある水力発電所内の水車発電機の部分放電信号を長期間観測するためにも、遠隔地の水力発電所で測定した信号を随時確認できるデータ伝送システムの構築が望まれている。

本研究において運転中水車発電機の絶縁診断に用いる部分放電のデータを、インターネット回線を使用して伝送し、個々のデータの時間的変化を観測・閲覧可能なシステムの構築を行った。その結果、本遠隔地絶縁診断データ伝送システムを構築したことにより1時間程度のずれは生じるもののリアルタイムで絶縁診断に必要な処理結果を時系列で監視することができるようになった。また、遠隔地絶縁診断データ伝送システムをWWWサーバ技術と組み合わせることにより、オンライン絶縁診断の研究に寄与することができた。

最後に、今回構築した遠隔絶縁診断データ伝送システムは運転中水車発電機の絶縁診断のみに適用されるものではなく、遠く離れた測定箇所からインターネット回線を活用して電気信号データを、いつでもどこでも把握することができ、将来、超高齢化時代の在宅介護サービスにもその適用が期待される。

参考文献

- (1) 平谷龍一、金子正光、竹之内 修、他：「音響・電氣的測定法を用いた運転中水車発電機の長期部分放電特性」、平成20年3月、宮崎大学工学部紀要、第37号、pp. 163～168
- (2) 平谷龍一、金子正光、竹之内 修、他：「音響・電気信号ハイブリッド検出方式による運転中水車発電機の部分放電特性(2)」、平成19年9月、電力エネルギー部門大会、173
- (3) 前田育也、金子正光、竹之内 修、他：「電氣的・音響的測定法による実機水車発電機固定子巻線と室内実験の部分放電特性」、平成19年度 第60回連合大会 電気関係学会九州支部連合会、01-2A-13、p. 256

参考ホームページ

- (1) ビーティージャーケーブルテレビ株式会社：<http://www.btvn.ne.jp/>
- (2) samba：<http://http://us1.samba.org/samba/>
- (3) Apache：<http://httpd.apache.org/>
- (4) JFreeChart：<http://www.jfree.org/jfreechart/>
- (5) P_BLOG：http://pbx.homeunix.org/p_blog/index.php

謝辞

本研究の一部は宮崎公立大学と宮崎県企業局の産学共同研究（研究題目：超音波センサを用いた水車発電機固定子巻線の余寿命診断の研究）と、宮崎公立大学と㈱興電舎の産学共同研究費（研究題目：音響・電気信号ハイブリッド方式による運転中高圧回転機の新絶縁劣化診断法の開発）によって行われたことを記し、関係者各位に謝意を表す。また、本研究の一部は、平成20年度宮崎公立大学理事長・学長特別配当枠研究事業（研究事業名：超音波法と中性点電流法による発電機絶縁劣化診断技術の開発）の支援を受けたことを記す。

最後に、本研究に対してご助言を頂いた宮崎大学工学部大坪昌久教授、迫田達也准教授、そして実験の遂行に協力した宮崎大学の三宅琢磨技官ならび前田育也君、庄内隆弘君そして日高 徹君に感謝する。

竹之内 修（航空大学校 教授）