

被災時に迅速に復旧する省スペース・省電力・ 低コストの水位観測設備の開発について

栗 将倫¹・橘 智洋²

¹和歌山県 県土整備部 建築住宅課 (〒640-8585和歌山県和歌山市湊通丁北1丁目2-1)

²和歌山県 総務部 和歌山県税事務所 (〒640-8585和歌山県和歌山市湊通丁北1丁目2-1)

現在、水位情報は自らの水防活用に利用するだけでなく、色々な機関と共有し利用されている。また公表についてもインターネットを始め携帯電話、地上デジタル放送のデータ放送など、情報があるのが当たり前の状況となっている。
しかし、それを支える通信設備は無線が中心であり、設備費が高額で更新にも多額の費用が掛かる。また、一度障害が発生すると、復旧に時間が掛かる。
そこで低価格で安定・高機能の設備の開発を行うことにした。

キーワード 水位観測設備、通信設備、災害復旧、携帯通信

1. 開発の経緯について

和歌山県では平成 15 年から一部の水位観測設備を超短波無線通信から NTT ドコモの Dopa 回線 (mova と同じ周波数帯) を利用した通信に変更していた。その理由は、当時一部の地域で超短波無線の通信障害が発生した為です。その障害対策として候補に挙がったのが Dopa 通信でした。

Dopa 通信設備は、県南部を中心に 35 局 (水位観測所の約半数) ほどに導入され、通信の安定に貢献しました。

しかし 5 年後、Dopa サービスの終了に伴い、通信設備の改造が余儀なくされました。NTT ドコモは、FOMA サービスへの切替を勧めていましたが、元々 Dopa 用に基板を作り込んでいることに加え、FOMA と Dopa のエリアが微妙に違うことや、Dopa 利用を始めてわずか 5 年での終了連絡でもあり、NTT ドコモへの不信など FOMA サービスへの切替には慎重な意見が相次ぎました。しかし、超短波無線の設備が高額であることや Dopa 切替の発端となった通信障害の対策も考慮すると、県内を幅広くカバーしている FOMA サービスに変わる物を見つけるのも難しい状況でした。

そこで単なる Dopa 回線から FOMA 回線の切替ではなく、障害対策や通信対策、監視機能など全てを一から構想し直した新しい形での水位観測設備の構築に取り組むことにしました。

2. 仕様の検討について

仕様で最も注意したのは、何かあった時に迅速に復旧する仕組みを作ることでした。
その上で以下の点を特記することにしました。

(1) 基板の組み合わせ構造の導入

今まででよくあったのが、故障の大小に関わらず、「一部が故障したら基板ごと引き上げてしまうため、しばらく利用できない」事例です。

これは全てを一体の基板で作成するために起こります。また、基板が特化してしまうため、特定の業者しか保守できなくなります。

そこで、機能別に 3 層の構造にすることで、特定箇所だけの交換で復旧できます。また、他の設備との交換修理も容易に行えます。図-1、図-2



図-1 テレメータ装置外観

(2) 民間携帯キャリアの利用

超短波無線を利用するのか，民間携帯回線を利用するのかは議論になりました．しかし，超短波無線設備は高額で予備品を持つ余裕がなく，使用周波数も免許により割り当てられています．もし，中継設備などが故障したら，広範に欠測が起こるだけでなく，復旧に数ヶ月は掛かります．自治体の体力では維持が困難であるため，民間携帯回線を利用することにしました．

民間携帯回線であれば他の設備を代替機に利用するのに問題もありませんし，中継部分などは民間で復旧してくれます．また，衛星中継車など高度な応急復旧が可能となります．図-3

(3) 設定切替機能

超短波無線の場合，総合通信局から周波数が割り当てられているため，代替機を用意するのに時間が掛かる．通信データに箇所番号を入れておくのは普通に行われているが，その変更到手間の掛かることが多い．変更を容易に出来るようにすることで，迅速な代替設備の設置を行うことが出来ます．

(4) 汎用パーツ等の利用によるコスト削減

機器構成には出来るだけ汎用のパーツを利用するようにしました．メーカー保証切れで保守できない等の事例を減らしたかったのと，コストを押さえるためです．コストは超短波無線に比べ半分以下に削減することが出来ました．

(5) 省電力化

災害時は商用電力が復旧する見込みは低い上，観測設備の所まで復旧すると考えると，かなりの日数が掛かる可能性があります．最低限の備えとして，7日分のバッテリーと太陽電池の利用としました．

(6) 省スペース化による可搬性の向上

実際の被災はどのような規模になるかわかりません．設備が全て使えなくなる可能性もありますし，設置箇所が限定される可能性もあります．そこで，非常に省スペースで設置でき，ライトバンで運搬できるサイズにすることにしました．図-4

(7) カメラ機能の追加

水位の状況は数値でわかりますが，実際その周辺がどのような状況になっているかは目で見ないとわかりません．そこで，カメラ機能を追加することにしました．

上記の仕様を満たした上でのカメラ機能の追加の為，機能は最低限にすることにしました．

特に消費電力の問題が大きいため，旋回，ズームの機能を無くし，上下流に1個ずつ固定カメラを設置することで，消費電力を押さえることにしました．

図-5



図-2 3層構造で構成



図-3 FOMAの通信ユニットを利用(左下)



図-4 非常に省スペースで設置可能



図-5 上下流撮影用のカメラ(ドームタイプ)

3. システムの開発について

実際の開発において、以下の点を採用しました。

1. OSはLinux
2. 拡張バスにPC104バス（ISAバス）を採用
3. テレメータ基板にはFPGAを実装し、各インターフェイスが変化してもFPGAのプログラム変更にて対応が可能
4. 太陽電池だけで動作可能なシステム構成
5. アナログ水位計のA/D変換器に16bitを採用
6. シンプルで高機能な水位計を採用

以下簡単に説明をします。図-6

(1) OSはLinux

まずOSを採用する事により、より汎用性を得られ、開発工数の削減に寄与しました。

OSはLinuxとしました。

TCP-IP, UDP, FTP, PPP, TELNET, mgetty, CFカード, FLASHメモリ等を使用します。

苦労したのはLinuxの再構築です。組み込みLinuxの場合、プログラムメモリの制約から最小限のLinuxを利用しますが、それには着信に使用するmgetty等がなく、意外にLinuxの再構築に手間が掛かりました。

(2) 拡張バス

機能毎に、プリント基板を縦に積み重ね、CPU基板、テレメータ基板、BCD基板の3枚構成にしました。

一番上がテレメータ基板です。FOMAモジュール、アナログ水位計用入力、液晶表示スイッチ入力等、電源制御を行う基板です。

次がCPU基板です。ARM7のリナックスボードです。下がBCD基板です。デジタル入出力基板ですが、今回は横河のBCD出力用のパラレルインターフェイス基板として使用しています。

1枚基板の構成では、変更や修理の場合、全てやり直しをする必要がありましたが、複数枚の構成では、変更の必要な基板のみ行えば良い事になります。

いずれもPC104のバスで接続されています。

PC104規格は、従来のパソコンで使用されていたISAバスと同じ信号で上下にスタック可能な構成で組み込み機器用に規格化されたものです。さらに一番大きなメリットとして各社がPC104規格製品を多種販売されていて必要に応じて、それらを使用する事により代替が可能ですし、息の長い製品にすることができます。

(3) FPGAを実装

FPGAはField-Programmable Gate Arrayの略で回路をプログラムすることができます。拡張性と機能がメリットです。

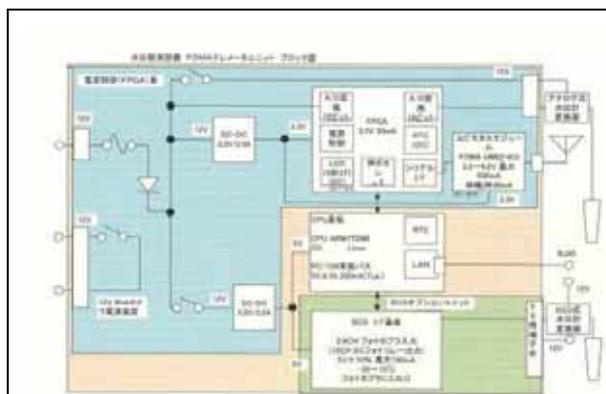


図-6 ブロック図

機器	状態	数量	電圧 (V)	電流 (A)	使用時間 (分)	1時間当りの消費電力
DC/DCコンバータ	待機時	1	12	0.00700	48	0.06720
DC/DCコンバータ	通信時	2	12	0.00700	12	0.03360
FPGA	待機時	1	3.3	0.07400	48	0.19536
FPGA	通信時	1	3.3	0.07400	12	0.04884
ユビキタスモジュール	待機時	1	3.3	0.01680	48	0.04435
ユビキタスモジュール	通信時	1	3.3	0.30500	12	0.23100
CPU通リ	通信時	1	5	0.22100	12	0.22100
充電コントローラ	常時	1	12	0.01000	60	0.12000
水圧計	常時	1	12	0.00900	6	0.03600
				平均負荷消費電力	合計	0.99735

太陽電池容量 $\frac{\text{平均負荷消費電力} \times \text{使用時間} \times \text{地区補正係数}}{24} = \frac{0.99735 \times 24 \times 1.3}{24} = 12.96 \text{ (Wh)}$

バッテリーの容量 (無日照7日間) $\frac{\text{平均負荷電流} \times \text{最大無日照継続時間}}{\text{容量補正係数}} = \frac{0.083 \text{ (A)} \times 24 \text{ (h)} \times 7 \text{ (日)}}{0.8} = 17.45 \text{ (Ah)}$

表-1 消費電力計算表

PC104バス制御、液晶表示、SW入力、電源制御、通信モジュール制御を1個のFPGAにより制御します。省電力への貢献、異常時のリカバリ（例えばCPU暴走時でも通信モジュールから着呼があれば、CPUを再起動するウォッチドッグ機能）等、今までのハードウェアでは、回路設計時検討しておかなければいけない内容が、開発途中でも必要に応じ機能追加する事ができました。

また、現在はNTTドコモのFOMAユビキタスモジュールを使用していますが、他のキャリア例えばAU、ソフトバンクの通信モジュールも、コネクタの物理的な変更することにより、また信号処理はFPGAのプログラムを変更する事により簡単に対応ができます。

(4) 太陽電池だけで動作可能なシステム構成

テレメータ部は太陽電池13W、バッテリー12V 24Ahで天候不良で全く発電されなくても7日間以上動作するように設計しました。

しかし、より確実な動作を確保するため、太陽電池だけの動作を可能にするようにしました。これは、あらゆる設備の省電力化だけでなく、新しい動作プログラム、「動作時のみ電源が入り、次の観測まで電源が切れる」プログラムを作ることで、可能となりました。消費電力の削減を図るための電源回路やLANの停止機能などを盛り込む所が苦労しました。特にDC/DCの効率CPUも遅いクロックのARM7を採用、パーツひとつひとつ消費電力が少ないものをさがしました。表-1

(5) アナログ水位計のA/D変換器に16bitを採用
 水位計のアナログ入力は16ビットA/D変換器を使用して精度を高めました。A/D変換器はTIのもので、秒128サンプリングのゆっくりとしたサンプリングで16ビット精度あり、出力の直線性および精度が良いです。
 また、消費電力も0.72mWと少なくて済みます。

(6) シンプルで高機能な水位計を採用
 水位計についても以前から検討を重ねていました。今回採用した水位計の特徴は以下の通りです。
 変換部が不要。小型でケーブルも細く持ち運びがしやすい。コストが安い。こわれにくい。安価なわりに精度がいい(FS.0.1%)。

4. 紀伊半島大水害からの奇跡の復旧

(1) 水害の概要

台風第12号の大雨により、県内14河川で氾濫危険水位を超過し、うち熊野川をはじめとする5河川で氾濫し、浸水、土砂災害が多発しました。特に、熊野川では基本方針流量を超える(国交省速報値による)洪水により、多数の全半壊被害が発生しました。また、那智川においては土石流と洪水により、多数の死者と建物被害が発生しました。表-2

詳細については、他の文献を参考にして下さい。

(2) 設備の被害

県の水位観測局は、水位計の流出や通信設備の水没などで最大14箇所が欠測状態となりました。

多くが護岸に設置していた観測設備で、いずれも故障の原因は完全水没によるものでした。図-7、図-8

(3) 復旧方針・作業

通常の復旧作業では、機器の準備なども含めて早くて1.5ヶ月は掛かると言われていました。しかし、職員のほとんどが道路啓開や施設の応急復旧に出回っている状況の上、水位監視が機能しない状態では、人命に大きな影響が出るため、緊急の復旧を余儀なくされました。

そこで、既設の観測設備のうち、県北部にある補助観測用の設備や臨時観測用の設備など比較的優先度の低い設備を被災箇所に応急移設することにしました。

移設作業は保守業者を中心にあたりました。移設はBOXの取り外し後ポールごと外せばいいので、迅速に取り外すことが出来ました。また、設置は逆の手順で出来るのでスムーズに作業を行うことが出来ました。

この仕組みのおかげで1箇所当たり2日で移設を行うことが出来ました。複数の部隊で対応したため、2週間後の台風15号の襲来前に水位観測を復旧することが出来ました。図-9、図-10

農林水産業関係	農地、農業用施設被害	10,814 箇所
	林業関係被害 農産、畜産、水産、その他被害あり	2,645 箇所
公共土木施設	河川被害	1,041 箇所
	道路被害	659 箇所
	橋りょう	38 箇所
	海岸(その他)	1 箇所
	砂防設備	36 箇所
	港湾 その他公共土木施設被害あり	4 箇所
商業関係	商業、工業等	454 箇所
文教施設	小学校、中学校、高等学校等	41 施設
文化財	熊野那智大社、熊野参詣道等	26 箇所
ライフライン関係	停電	112,560 戸
	電話(NTT)	34,140 回線
	断水	34,000 戸

表-2 台風12号の主な施設被害



図-7 洪水により被災した水位観測所(那智川)



図-8 洪水により被災した水位観測所(日高川)



図-9 水位観測設備の応急復旧作業(那智川)

わずか2週間での観測復旧には、水防経験の長い人や業者ほど「とても信じられない。絶対出来ないと思ってた」と驚いていました。

(4) 衛星携帯電話の活用

しかし、復旧箇所で1箇所、肝心の衛星中継車が来ない地域がありました。それは元々周辺に住居が少なく、携帯電話の復旧優先度の低い箇所でした。こちらが要望しても、復旧優先度が低いいため、対応できないとのことでした。

そこで、衛星携帯電話を使って通信を行うことにしました。幸い NTT ドコモの FOMA と衛星携帯電話のワイドスターは通信方式にほとんど違いがないことから、わずかなプログラムの変更で対応することが出来ました。設置には外部アンテナを使って接続を行いました。

その箇所は山間部にも関わらず安定した通信環境で、設置後1度も通信エラーが起こることなく観測データを送ることが出来ました。

5. 新たな取り組みと課題

開発したシステムは災害に間に合い、その機能を発揮することが出来た。しかし、課題もありシステムはこれで完成とは言えません。以下に列挙します。

(1) 防水対策

台風12号で局舎が水没した経験から、水没時でも出来るだけ設備が故障しない対策、バッテリーやテレメータ装置の防水、あるいは収容盤の完全防水仕様についても検討しています。

(2) 他通信キャリア対応

台風12号で欠測したもののうち約半分は、水没はしていないが FOMA 基地局がダウンしたために通信出来なくなったものでした。いずれも衛星中継車が到着すれば復旧しました。折角太陽電池で水位観測テレメータ装置が動作しても、基地局の停電や水没などが起こればダウンします。

これは超短波無線には無い欠点と言えます。

しかし、今回は通信メーカーの対応により数日で復旧しました。

今後は、他キャリア対応や VPN など使用した回線の冗長化が必要だと考えます。

既に他のキャリア対応を進めています。



図-10 応急復旧した水位観測設備（那智川）

(3) 衛星携帯電話の常備

台風12号の対応に利用した衛星携帯電話は、NTT ドコモの協力で用意して貰いました。おかげで非常に短期間でソフトウェアを開発して、準備後1日で緊急復旧することができました。

ランニングコストの問題もありますが、緊急時使用に限定した衛星通信端末テレメータ装置を各振興局に配備する等の必要性を感じました。

(4) 技術ノウハウの開示について

ハード担当者が苦労したのは、FOMA ユビキタスモジュール（通信装置）の技術開示が限定的で詳細を調べるのに時間がかかりました。通信モジュール等は大企業等数量のまとまったお客を対象にしているようで、技術資料がなかなか入手できませんでした。

細部の仕様の違い等は FPGA で吸収して対応しました。

6. おわりに

災害時の緊急復旧を目指して構築してきたシステムではあるが、今回の台風ではその構想が見事に功を奏したと言える。もし、このシステムでなかったら復旧が遅れ、台風15号の襲来時には、人を動員して量水標監視を行わせる必要があった。その様なことになれば人命を危険にさらすだけでなく、情報連絡の遅れからさらなる被害の拡大に繋がる可能性があります。

自治体は自分たちの体力や特性を考えて仕組みを考え選択していく必要があると思います。

今後取り組んでいく時の参考になれば幸いです。

この論文は、旧所属である河川課の河川監視設備に関するものです。