

センサネットワーク実験

山本伸一 川崎和義

技術試験衛星VIII型（ETS-VIII）を用いて、センサネットワーク実験を行った。ETS-VIIIはS帯大型展開アンテナを搭載しており、小型で簡易な地球局との通信に適している。低消費電力の小型端末と無指向性アンテナを用いた実験では、センサ情報を衛星回線で伝送できることを確認し、基本的な特性としてフレームエラーレート、水面からの反射波によるレベル変動などの基礎データを取得した。また、海上ブイからデータ伝送を行い、津波の早期検出に有効なシステムとなることを実証した。

1 まえがき

近年、豪雨による土砂崩れ、想定を超える津波など自然災害によって大きな被害が発生している。これらの災害を早期に発見できれば、早期の避難指示や的確な救援を行うことができ、被害を軽減できると期待される。しかし、災害が発生、あるいは発生する恐れがある場所から情報を収集しようとするのが困難な場合がある。原因の1つは、収集した情報を伝送するための通信手段の確保、もう1つは電源の確保である。通信手段に衛星回線を用いれば、日本全国及び日本近海を広範囲にカバーする衛星のサービスエリアで情報の収集を行うことができ、例えば、津波の早期検出では、津波検出に適した岸から遠く離れた沖合にブイを設置することも可能になると考えられる。

一方、収集した情報を伝送するための端末は、必要な場所に簡便に設置できるよう、小型軽量で取扱いが

簡単であること、また、商用電源の確保が困難な場所でも、長期間運用できることが求められる。

このため、小型で低消費電力の端末を開発し、ETS-VIIIを用いて通信実験を行った。

実験では小型端末から基地局への伝送特性、端末の省電力化のための機能の試験及び水面からの反射波による信号レベルの変動の測定、並びに津波の早期検出を目指して、海上に浮かぶブイに端末を設置し、波の高さ情報を衛星回線で伝送する実験を行った。本稿では、これらの実験結果について報告する。

2 衛星センサネットワークの概要

センサネットワークとは、様々な情報を測定するセンサを測定したい場所に多数設置し、測定した情報を有線や無線で収集するシステムである。例えば、日本各地で測定された気温や気圧などの気象情報を収集し、

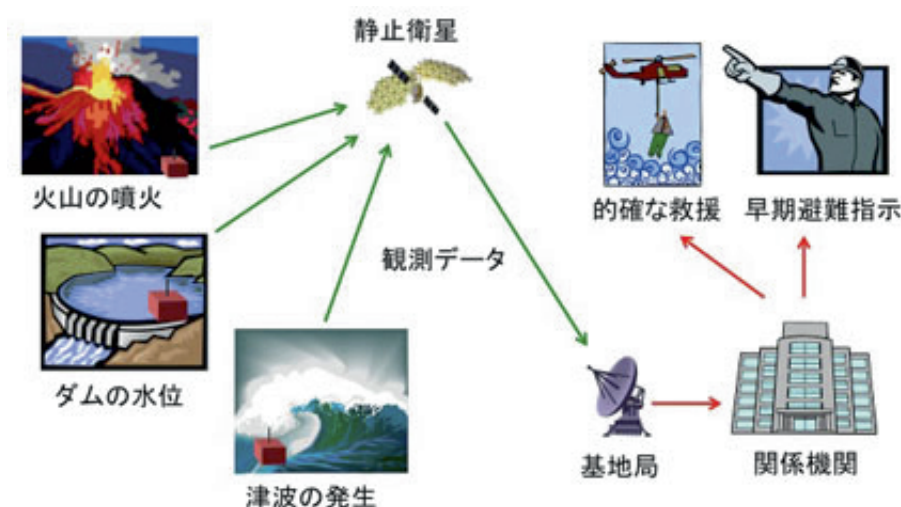


図1 衛星センサネットワークの概要

4 通信応用実験

天気予報等に利用しているシステムもセンサネットワークの1つである。

ここでは、測定された情報の伝送に衛星回線を用いるセンサネットワークを、衛星センサネットワークと呼ぶことにする。図1に衛星センサネットワークの概要を示す。

衛星センサネットワークは、地上の通信回線や商用電力の供給を得ることが難しい場所に小型端末を設置し、必要な情報を収集し、その情報を衛星回線を用いて基地局に伝送するシステムである。図のように、人が簡単に立ち入れない火山活動の観測や火山ガスの発生状況、山間部の土砂崩れでできた堰止め湖や河川の水位、さらに津波の早期検出のための岸から遠く離れた沖合に設置されるブイで観測される情報など、災害を早期に検出するために重要な情報の収集に有効と考えられる。衛星経由でこのような情報を防災機関などに設置した基地局に伝送し、収集された情報から災害の発生、あるいは発生の予兆を早期に検出し、的確な避難指示や救援等の指示を行うことで、被害を少なくすることが可能と考えられる。

表1は本実験で用いた小型端末（以下、センサ局と呼ぶ）の主要諸元である。

アンテナには方位角方向が無指向性で、仰角方向には利得半値幅が約20°のヘリカルアンテナを用いている。日本国内であれば、衛星の仰角については約45°でほぼ一定であることから、アンテナの設置時に衛星方向をあまり意識せずに、簡単に設置することができる。

送信電力は0.8W、回線の伝送速度は250bpsである。センサ局は低消費電力が求められることから、センサ

局の通信用出力電力は極力抑える必要があり、これに伴って、基地局で受信される信号レベルは低くなるため、基地局において低S/N（信号対雑音電力比）でも復調が可能なように変調方式には二相位相偏移変調方式（Binary Phase Shift Keying: 以下BPSK）を用いており、さらに二次変調にスペクトラム拡散を行うことで基地局での受信信号の同期を容易にしている。通信方式にはTDMA（時分割多重接続）を用いており、TDMA信号における1キャリア当たりの多重数は2回線、1回線の信号フレーム長は2秒である。ガードタイムやプリアンプ等の同期用のビット、誤り検出のためのCRC（Cyclic Redundancy Check）符号並びに誤り訂正用の畳み込み符号化のためのビット等を取り除いた伝送可能な情報用のビット数は、1回線のフレーム信号長である2秒間で184bitが割り当てられており、1回線当たりの平均的な情報速度は184bit/2秒/2回線=46bit/秒である。また、信号の送受信には、TDD（時分割複信）方式を用い、フレーム信号の送信と送信の間で、基地局からの制御信号を受信している。これにより、アンテナ共用器（ダイプレクサ）には、大きな送受信信号の分離度が不要でなくなり、結果として装置の小型化を実現している。今回は、設置の容易さからアンテナに送受信一体型のものを使用したが、送受信分離型の小型アンテナを用いれば、ダイプレクサも必要でなくなり、さらに装置の小型化が期待できる。

一方、基地局は、センサ局に対して制御信号を送信し、センサ局から衛星を経由したフレーム信号を受信する。基地局は自局が送信した制御信号の、衛星を経由した折り返し信号を受信し、この受信信号の受信周波数を基に送信周波数に対してAFC（Auto Frequency Control: 自動周波数制御）を行っている。これは、伝送速度が低速な場合、基地局がセンサ局からの信号を受信するときの周波数偏差の許容値が狭くなるための対策である。さらに、センサ局は基地局からの制御信号を受信し、受信した信号の周波数に対してAFCを行うことで基地局が受信する信号の周波数偏差を許容値内にしている。センサ局は、基地局から送信されて衛星を経由した制御信号を受信することで、フレーム信号の送信タイミングの情報を得ると同時にセンサ局を制御する情報を受け取り、それに従ってデータの送信を行う。

表2に、システムの回線設計例を示す。表は、センサ局から送信し、衛星経由で基地局にて受信する場合の通信（リターンリンク）における設計例である。ETS-VIIIはS帯の大型展開アンテナを搭載しており、軌道上で13mφパラボラアンテナと同等の性能を提供することができ、小型で簡易な地球局を用いるセンサ

表1 小型地球局（センサ局）の主要諸元

使用周波数	送信2.6GHz帯／受信2.5GHz帯
送信電力	0.8W
変調方式	BPSK+SS (32kcps)
変調速度	250bps
通信方式	TDMA (2多重／キャリア)
誤り訂正方式	畳み込み符号化 (符号化率R=1/2 拘束長=9) ビタビ復号
送信フレーム長	2秒
電源	DC 12V (蓄電池+太陽電池)
大きさ	160×240×100 (mm)
重量	1.5kg (アンテナは含まない)
アンテナ	ヘリカルアンテナ 利得 送信：6.9dBi 受信：6.5dBi 指向性 水平面内無指向性 偏波 左旋円偏波 (送受共)

ネットワークに適した衛星であるが、打ち上げ当初より、受信系の不具合により受信用大型展開アンテナが使用できない状態にある^[1]。このため、衛星側の受信アンテナにはバックアップ用の直径1mのパラボラアンテナを用いている。表より、実験システムで想定されるリターンリンクのC/No（信号電力対雑音電力密度比）の値は、約30.6dBであるが、フレーム信号の誤り率が 1×10^{-2} 、すなわち、フレーム信号のスループットが99%のとき、センサ局の装置劣化を2dBと見込むと、必要なC/No値は約30.0dBで、回線マージンがほとんど無いシステム設計となっている。

図2に本実験で用いたセンサ局の外観を示す。大きさは160×240×100 (mm)、重さは約1.5kgと小型軽量を目指した設計となっている。

図3にセンサ局の構成を示す。センサ局は、モデム、アップ/ダウンコンバータ、低雑音増幅器からなる衛星通信部、電力増幅器、フィルタ、アンテナ共用器及

び制御ボード等で構成されている。制御ボードは衛星通信部の制御、センサからのデータの収集と確認及び収集したデータを記録できるメモリを装備している。また、衛星通信部及び電力増幅器の電源制御を行い、消費電力を削減する機能を有している。データの収集及び送信を行う時間間隔はそれぞれ1分刻みで設定できる機能があり、時間間隔は予め制御ボードのソフトウェアに設定する。信号を伝送しないときは、衛星通信部並びに電力増幅器の電源をオフの状態（スリープ状態）とし、信号伝送が必要な時にのみこれらに電源を投入することが可能である。スリープ状態での消費電流は約5mA、信号伝送時の消費電流は約740mA、衛星通信部及び電力増幅器の電源を投入して信号の伝送を待機している状態では約220mAとなり、スリープ状態では、信号伝送を待機している状態と比べても、わずか3%程度の消費電力で済む。

3 センサネットワーク実験

3.1 伝送特性の測定

図4はセンサネットワーク実験の構成図である。基

表2 回線計算例

Satellite: ETS-VIII	センサ局→基地局	
	センサ局 → ETS-VIII Uplink	ETS-VIII → 基地局 Down Link
Frequency (GHz)	2.65	2.50
Transmission power (dBW)	-0.97	-20.95
feed loss (dB)	2.20	1.80
TX Antenna Gain (dBi)	6.90	43.80
EIRP (dBW)	3.73	21.05
pointing loss (dB)	3.00	3.00
Propagation loss (dB)	192.38	192.38
Polization loss (dB)	1.00	0.00
Rain Margin (dB)	0.30	0.30
Fading loss (dB)	0.00	0.00
RX Antenna Gain (dBi)	24.80	34.54
pointing loss (dB)	0.00	1.00
feed loss (dB)	2.80	0.80
RX Power (LNA in) (dBW)	-170.95	-141.89
System noise temp. (K)	510.70	361.83
System G/T (dBK)	-5.08	8.10
C/No (dBHz)	30.57	61.07
2way C/No (dBHz)		30.56



図2 センサ局の外観

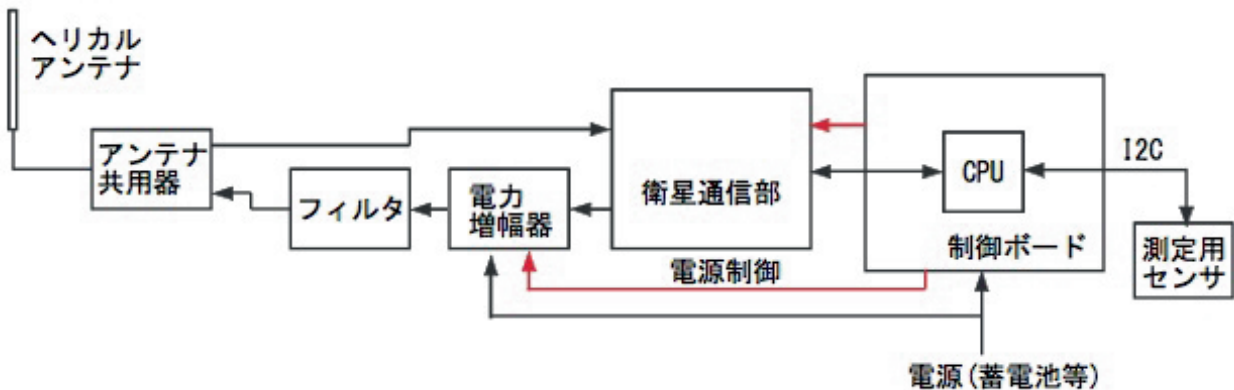


図3 センサ局構成図

4 通信応用実験

地局は、鹿島宇宙技術センターに設置されているS帯基準局に140MHz帯の中間周波数(IF)で接続し、センサ局に対して制御信号を送信する。一方、センサ局から送信するTDMA信号はETS-VIIIを経由して基地局で受信される。

基地局でセンサ局からのフレーム信号を受信したとき、フレーム信号に付加されているCRC符号により受信したデータに誤りが検出された場合、フレームエラーとして破棄する。また、受信時に同期不良などによりフレーム信号を正常に復調できなかった場合もフレームエラーとする。

実験ではセンサ局の送信電力を可変し、基地局で受信する信号のC/Noをパラメータとしてフレーム誤り率(FER: Frame Error Rate)を取得した。送信電力の可変は、送信用のフィルタとアンテナ共用器の間に実験用の可変減衰器を挿入して行った。これは、実際の運用では、センサ局からのフレーム信号を基地局で受信した場合、受信する信号の強度が変化するため、基地局側で実際の運用と同じ状況になるように、センサ局側の送信信号レベルを可変減衰器により変化させて模擬し、フレーム信号の伝送特性を取得するため

ある。

図5は測定結果である。最大送信電力(0.8W)のとき、基地局で受信される信号のC/Noは約31dBHzとなり、このときのFERは 7×10^{-3} 程度が得られている。

伝送特性の測定結果から、表2に示した回線設計結果とほぼ一致しており、本試験により、実験システムが所期の性能を有した動作をしていることが実証された。

3.2 反射波による影響

センサ局は様々な場所に設置されることが想定される。周辺に建物などの建造物がある場合、それらからの反射波による影響を受け、本実験で用いたセンサ局のように無指向性アンテナを用いる場合はその影響が大きくなると考えられる。陸上では地面や建物などの固定したものからの反射波と考えられるため、影響を受けにくいように設置することが可能である。しかし、河川、湖及び海岸など衛星の方位角方向に水面が広がっている設置環境では、水面からの反射波や散乱波による干渉の影響が、水面の波の大きさや周期によって刻々と変化することにより、信号レベルの変動となって現れると考えられる。衛星が低仰角の場合、直接波と反射波がほぼ同じ方向から到来するため、反射波も強く受信される。このため、信号に大きなレベル変動が発生し、通信に障害を与えることが知られている^[2]。

本実験で用いたETS-VIIIは、実験を行った時期には軌道の南北制御を行っていなかったため、衛星の仰角は約 $48^\circ \pm 3^\circ$ 程度の変化が発生していた。しかし、その角度は比較的高く、水面からの反射波等は水平よりかなり下方から到来するため、直接波に対して大きな角度を持つ環境になる。

実験では、この様な高仰角の衛星を用いた場合の水面からの反射波等の影響についてデータを取得するため、NICT鹿島宇宙技術センターのS帯基準局からCW信号を送信し、ETS-VIIIからのダウンリンク信号を移動局のアンテナで受信し、受信電力を測定した。

図6は実験システムの構成である。移動局を衛星の方位角方向に水面が広がっている湖畔(霞ヶ浦)に設置し、アンテナには、水平面内は無指向性、垂直面内は仰角約 50° 方向に半値幅約 30° のビームパターンを持つヘリカルアンテナを使用した。図7に実験に用いたヘリカルアンテナの受信アンテナパターンを示す。

測定したときの水面の状態は、1つは風がほとんどなく水面は風の状態、もう1つは毎秒数メートルの風が吹き湖面に波が生じている状態である。沿岸からの波浪の観測については、例えば、気象庁ではレーダーや超音波を使って有義波高を測定しているが、ここで

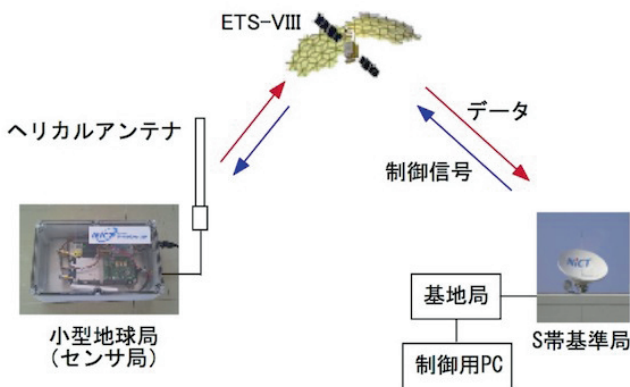


図4 実験構成図

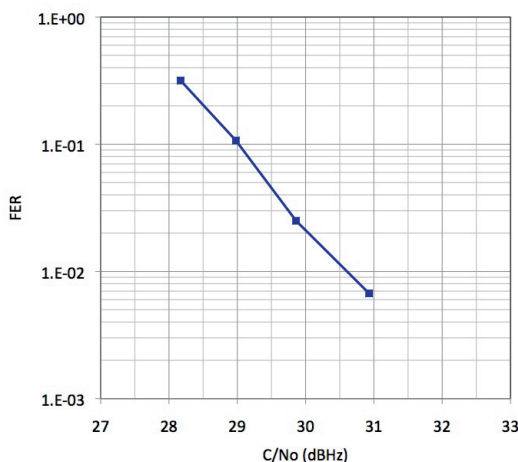


図5 センサ局からの伝送特性

は簡易的な方法として、湖岸から、物差しを用いて水面の高さの変化幅を目視によって計測した。風の状態では、水面の変化幅は1 cm 程度まで、また、波が生じている状態では、約10cmであった。以後、本稿では、風の状態を「波なし」、波が生じている状態を「波高10cm」と呼ぶことにする。図8は10秒間の受信電力の変動の様子を示している。水面に波が有る場合と無い場合で平均的な受信電力にやや差が見られるが、

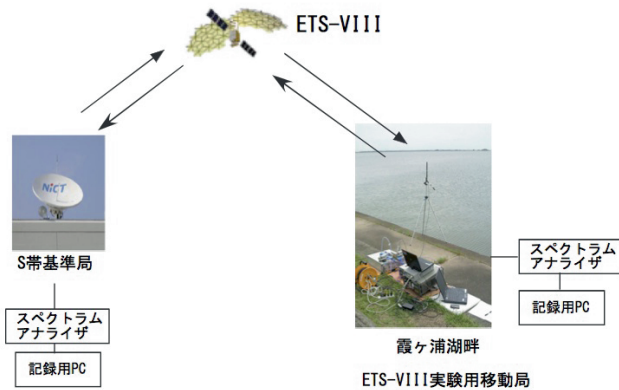


図6 実験構成図

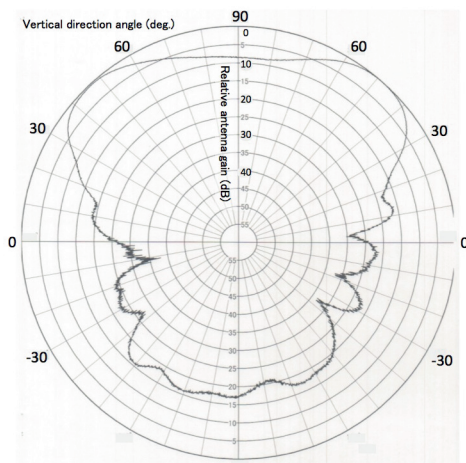


図7 受信アンテナパターン

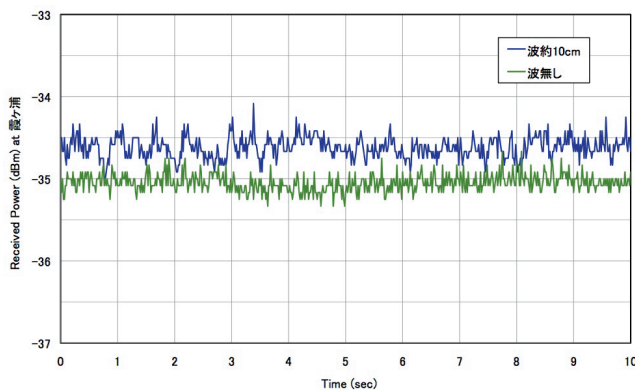


図8 移動局の受信レベルの変動

これは異なった日時に測定したため、衛星仰角にやや違いがあったためと考えられる。また、湖面の水位の変化によって、反射波の影響が変化したとも考えられる。

図より、湖面に波がある場合は、無い場合と比較して受信電力の変動がやや大きくなっており、水面からの反射波等による干渉の影響と考えられる。受信電力を約1時間スペクトラムアナライザで計測し、取得した受信電力のデータについて変動の大きさを標準偏差で比較すると、波が無いときは0.25dB、波が有るときは0.88dBとなり、波が有るときは変動の幅が大きくなっている。スペクトラムアナライザで測定したときの信号のC/Noは約30dBであり、測定に十分なC/No値が確保されている。

反射波が到来する方向は、衛星仰角が 50° とすると、湖面が静かであれば水平から -50° の方向と考えられる。使用したヘリカルアンテナの受信パターンから、衛星方向の利得に対して反射波の到来方向の利得は約15dB程度低くなっており、反射波の信号は直接波に対して弱く受信されるため、受信レベルの変動があまり大きくならないと考えられる。なお、「波なし」においては、水面からの反射は、鏡面反射に近い状態であり、水面からのアンテナの高さに応じて信号レベルが変化する、いわゆる「ハイトパターン」が存在していることも観測された。センサ局の設置にあたっては、アンテナの高さにも留意する必要がある。

3.3 海上ブイからのデータ伝送実験

衛星センサネットワークの実証実験として、津波の早期検出を目指した海上ブイからのデータ伝送実験を行った^[3]。本実験は、海上に設置されるブイという特殊な環境から衛星回線を用いたデータ伝送の実証及び衛星通信のための基礎データの取得を目的としている。実験に使用したブイは高知県が所有しているもので、室戸岬の南の沖合約35kmの海上に係留されている。

実験に用いるブイは係留されているが、潮流等によって一定の範囲で移動し、さらに波によって動揺する。このため、センサ局をブイへ固定すると、センサ局から見た衛星の方向は刻々と変化する。センサ局から見た相対的な衛星の仰角は、波によるブイの動揺の大きさで変わるが、おおむね、 40° から 56° の間で変動する。一方、相対的な衛星の方位角は、ブイが左右に回転するために、全方位（ 360° ）にわたって変化する。本実験で用いたセンサ局のアンテナはヘリカルアンテナを用いており、方位角方向が無指向性、仰角方向では送信は約 40° 方向が最大利得の方向、受信は約 50° 方向が最大利得の方向になっており、ビーム半値幅がそれぞれ約 20° の特性を持っていることから、ブイの

4 通信応用実験

動揺に起因した伝送信号のレベル変動としては、受信では約 1 dB 程度、送信では約 5 dB になると推定される。ブイに設置するセンサ局等の機器の電源は、ブイに搭載している蓄電池から供給される。蓄電池への充電は太陽電池によって行われ、ブイには海上の波高や周期などの波浪情報を検出する目的で GPS 津波計^[4]、並びにブイの動揺のデータを計測するための傾斜計が設置されている。

図 9 に海上ブイ実験の概要図を、図 10 に実験構成図を示す。東日本大震災の教訓から、ブイからのデータを被災地以外の場所に伝送すること、また、伝送されたデータをリアルタイムで配信することが求められるため、ブイに設置してある GPS 津波計で測定し、取得した波高(短時間内の波の高さ方向の相対変化)のデータを、茨城県の NICT 鹿島宇宙技術センターに設置した基地局に ETS-VIII 経由で伝送し、基地局で取得したデータはインターネット回線で高知高専(高知工業高等専門学校)のデータサーバにリアルタイムで伝送する構成とした。通常は室戸岬の高台にある地上基地局との間で地上無線により情報の伝送を行っており、地上基地局で取得されたデータは、インターネット回線で高知高専のデータサーバに転送されている。これらのデータについては、本実験でも、衛星信号が伝送されているときの状況を把握するために用いた。

図 11 はヘリカルアンテナの設置状況である。ブイは直径 8 m の円形をしており、ヘリカルアンテナは、ブイのタワー上部、ブイのプラットフォームからの高さが 6 m の位置に固定した。図 12 にヘリカルアンテナの送信アンテナパターンを示す。

ブイから基地局へのデータ伝送を行ったときの伝送

特性としてフレーム信号のスループットを求めた。

図 13 はデータ伝送実験を実施した期間で、海上の波の状況が特徴的だった日のスループットの 1 時間毎の変化である。グラフの各マーカの時刻は、収集した 1 時間のデータの中央の時刻である。また、図 14 は、同じ日に取得された海上の波の有義波高*の時間変化である。有義波高は 20 分間の波高の測定結果から求めており、横軸は有義波高を決定した時刻 (JST) である。

図 13 における # 2 のスループットを示すデータは、図 14 の # 2 に示すように有義波高が約 1m 程度で 1 日を通じてほとんど変化が無く、比較的海上が穏やかな

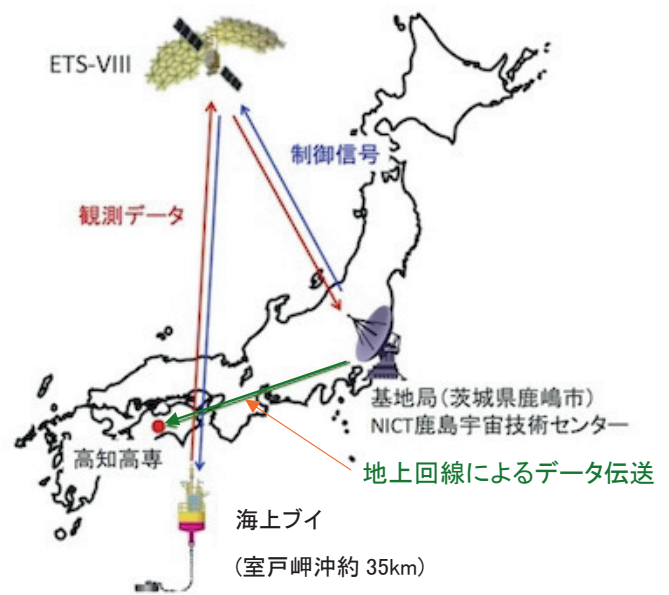


図 9 海上ブイ実験概要

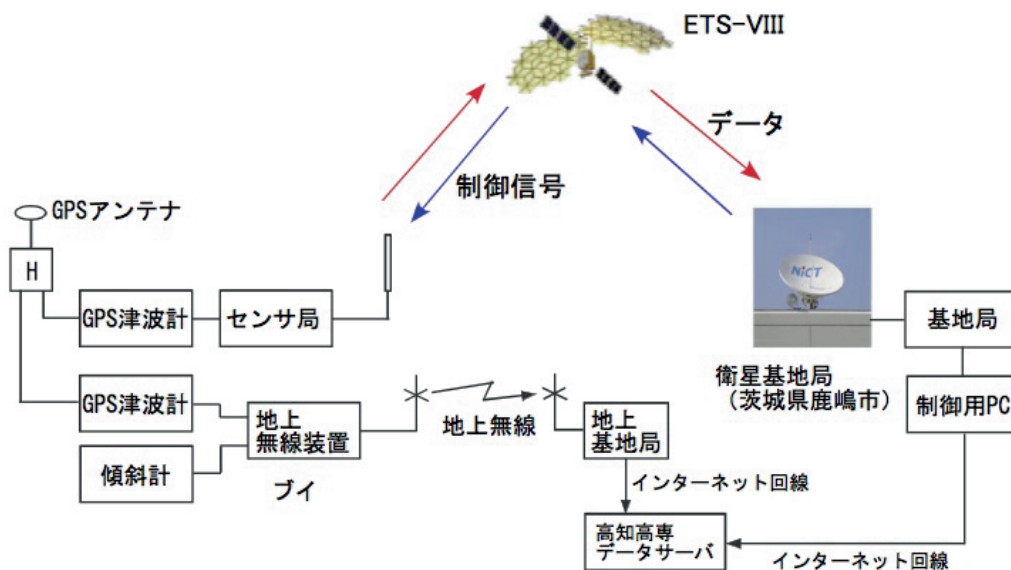


図 10 実験構成図



図 11 海上ブイ外観及びアンテナ取付け状況

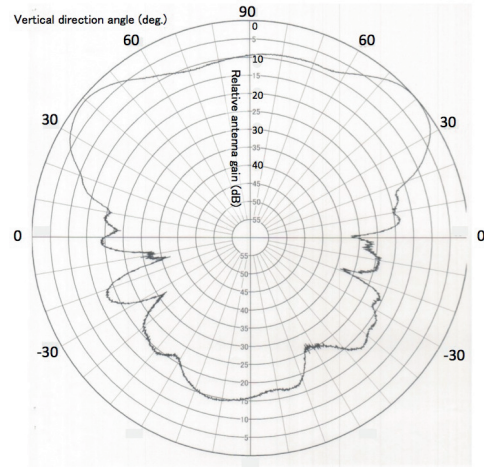


図 12 送信アンテナパターン

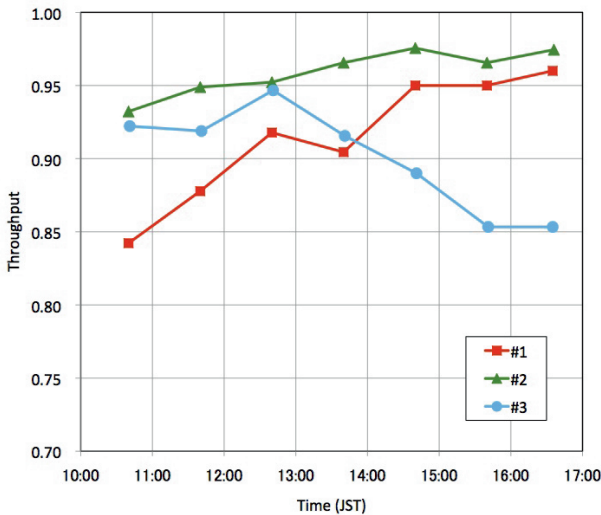


図 13 海上ブイからのデータ伝送時のスループットの時間変化

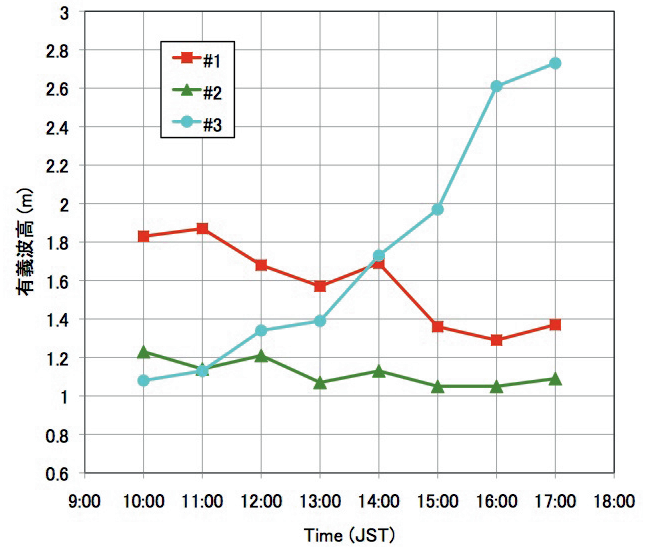


図 14 有義波高の時間変化

状態で取得したものである。時間の経過と共にスループットが大きくなっている。これは、海上が穏やかでブイの動揺が小さいこと、データ伝送に用いている ETS-VIII が軌道制御のうちの南北制御を中止しているために、衛星軌道が静止軌道から少し変化しており、本実験を行った期間では夕方になると衛星仰角が低くなり、ヘリカルアンテナの送信アンテナパターンの最大利得方向に近づくためと考えられる。

#1 のデータは 10 時から 12 時までスループットが 0.85 ~ 0.90 程度と小さいが、その後は 0.96 程度まで大きくなっている。#1 の有義波高は 12 時くらいまで約 1.8m と高く、12 時以降は次第に低くなっている。さらに、#3 のデータは、13 時頃からスループット及び有義波高が大きく変化しており、有義波高が大きくなるに従ってスループットが低下する様子が良く現れている。これらのデータから、有義波高の大きさとスループットには、顕著な相関があることが分かる。海上の波が大きくなるとブイが大きく動揺し、センサ局

の衛星方向における EIRP (等価等方輻射電力) 値が変動して、結果的に基地局が受信する信号の C/No の変動も大きくなり、伝送特性を劣化させると考えられる。

ブイの動揺の大きさはブイに搭載した傾斜計を用いて測定しており、そのデータからセンサ局から見た相対的な衛星の仰角の変動を計算すると、有義波高が 2m を超えるときの変動の幅は 40.5° ~ 56.2° となり、有義波高が 0.6m 程度では 43.9° ~ 52.6° と小さくなる。

今回の実験では、開発したセンサ局を海上ブイに搭載し、波浪によるブイの動揺に伴う伝送信号への影響について調べた。観測された波の周期は数秒から十数

* 有義波高、有義波周期

通常、海には高い波や低い波が混在しており、複雑な波の状態を簡単に表す方法として統計量を用いる。ある地点で連続する波を観測したとき、波高の高いほうから順に全体の 1/3 の個数の波を選び、これらの波高及び周期を平均したものを有義波高、有義波周期と言う。

秒で、波浪による波の高さの変化、すなわちブイの高度の変化は、おおむねこの周期に従う。一方、津波の場合は、その周期は短いもので数分、長いもので1時間を超えるため、波浪による高度の変化と津波による高度の変化はデータから容易に見分けがつく。したがって、本システムのように、数秒程度の間隔でブイの高度データを伝送できれば、波浪による高度変化の詳細は把握できなくても、津波の検出には十分である。しかしながら、伝送データの欠損が連続して起きると、津波の検出にも支障を及ぼす事態も考えられることから、データをより確実に伝送するシステムを構築することが、今後の課題となると考えられる。

4 むすび

ETS-VIIIを用いてセンサネットワーク実験を行った。小型で低消費電力のセンサ局を用いて、伝送特性等の基礎データを取得した。本実験で用いたシステムを用いた場合、基地局で受信されるセンサ局からの信号のC/Noは約31dBHzとなり、FERとして 7×10^{-3} 程度が得られることを確認した。これは、約10分に1回のフレームエラーが発生し、データが欠損することを示すが、観測するデータに急激な変化が無いものであれば大きな支障にはならない。また、センサ局を湖畔に設置し、水面からの反射や散乱のある環境での受信電力の変動について測定を行った結果、高仰角の衛星を用いる場合でも、水面からの反射波等により、波が有る場合は信号の受信レベルの変動が大きくなることを確認した。実験に用いたヘリカルアンテナは水面方向からの反射波等を受信しにくいアンテナパターンであったため、その影響は小さいが、水面近くにセンサ局を設置する場合は、使用するアンテナによっては水面からの反射波等による信号のレベルの変動について考慮する必要がある。さらに、津波の早期検出を目的として海上ブイにセンサ局を設置し、ブイからのデータ伝送の実証及び基礎データの取得を行った。ブイの動揺と搭載したヘリカルアンテナの送信アンテナパターンから、ブイの動揺が、ブイから基地局への伝送特性を劣化させる主な原因であることをデータから示した。本実験で海上ブイという特殊な環境下から、衛星回線を用いてデータを伝送する場合の基礎データを取得でき、ブイに搭載する衛星通信システムについて、多くの知見を得ることができた。

衛星を用いたセンサネットワークは、災害の早期検出に有効なシステムと考えているが、システムの構築には、様々な設置環境について検討を行い、確実にデータを伝送できるシステム設計を行う必要がある。実施した実験の結果及び得られた知見がシステム設計に役

立つと考える。

謝辞

海上ブイからのデータ伝送実験は、高知工業高等専門学校、東京大学地震研究所、宇宙航空研究開発機構(JAXA)及び日立造船株式会社との共同研究で実施した。本実験により将来の津波の早期警戒システム構築のための多くの知見を得ることができた。ここに深謝する。また、実験システムの運用に関する助言及び実験の遂行に多大なご協力を頂いた、富士通ワイヤレスシステムズ株式会社 青田正広氏及び富士通マイクロソリューションズ株式会社 井上武志氏に感謝します。

参考文献

- 1 田中正人, 浜本直和, 平良真一, 鈴木良昭, 大森慎吾, “ETS-VIII受信給電部の不具合,” 第51回宇科連, 1J13, 2007.
- 2 今井哲朗, “11-3移動体衛星通信の伝搬,” 電子情報通信学会「知識ベース」, 電子情報通信学会 2013.
- 3 山本伸一, 寺田幸博, 橋本剛正, 加藤照之, 林 稔, “衛星センサネットワーク -災害の早期検出を目指して-,” 第57回宇宙科学技術連合講演会講演集, 3D09, 2013年10月.
- 4 加藤照之, 寺田幸博, 木下正生, 柿本英司, 一色浩, 森口寿久, 神崎雅之, 高田美津雄, James M. Johnson, “GPS津波計の開発 -大船渡市沖実用化実験-,” 信学論B, Vol. J84-B, No. 12, pp 2227-2235, 2001年12月.



山本伸一 (やまもと しんいち)

ワイヤレスネットワーク研究所宇宙通信システム研究室主任研究員
移動体衛星通信



川崎和義 (かわさき かずよし)

ワイヤレスネットワーク研究所宇宙通信システム研究室主任研究員
衛星通信