様　式　C－１９、F－１９、Z－１９　（共通）

科研費
KAKENHI

科学研究費助成事業　　研究成果報告書

平成 ２７ 年　 ６ 月 １８ 日現在

機関番号：５３２０３
研究種目：挑戦的萌芽研究
研究期間：2012～2014
課題番号：２４６５１１８２

研究課題名（和文）中距離インテリジェンス環境情報取得システム

研究課題名（英文）intelligence environment information acquisition system for medium-range data transmission

研究代表者
水本　巖（Mizumoto, Iwao）

富山高等専門学校・電子情報工学科・教授

研究者番号：４０２３９２５７

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費）　　3,000,000円

研究成果の概要（和文）：海沿いや山間部での商用電源が容易に取れない観測拠点にも設置が可能なセンサー網システムを開発した。開発したセンサーは、光通信用近赤外半導体レーザーと受光素子を利用して、水分に対する吸光度の違いから雪・雨・みぞれの観測が可能なセンサーであり、これらは雪質まで判別することができる。得られたデータは、近距離センサー通信網を通して数km離れた所用電源が使用でき、インターネットが使える拠点まで伝送可能である。これらを組み合わせることにより、広域にわたるセンサーネットワーク網の構築が可能になった。

研究成果の概要（英文）：A middle range transmission system for environmental monitoring will be constructed with Xbee (or Zigbee) and packet data transmitted radio system. Xbee provides high-speed, two-way communications between the sensor node and sub host station. The communication distance of Xbee performs about 400m. As the power consumption of xbee is very less, a self electric power supply by a lead-acid storage battery and solar cell are employed. The sub host station acquires two-dimensional weather information by Xbee networks. The host station connected an internet terminal was about 10 km ~ 30 km away from the sub host station. The host station constructed with commercial power supply and high gain antenna is available for continuously measurement and data processing. The host station is available for automatically delivering information of an avalanche and snow conditions via internet. This system will be useful for environmental measurement and disaster control.

研究分野：光分光応用

キーワード：近赤外域　２波長差分吸収　インテリジェントセンサー

１．研究開始当初の背景

地球温暖化が身近に感じられる近年において人工衛星等を用いた地球的規模の観測網から、アメダスによる日本列島規模および各都道府県エリア規模での観測システムがそれぞれ整備されている。一方、都道府県単位での地域に目を向けると、例えば富山県のローカル地域では、北アルプス山間部における雪霙の観測や富山湾にみられる「寄り廻り波」の観測等が挙げられる。これらは近年の地球温暖化の影響を受けて、自然環境の変化に伴う災害や変動が多発しており、その対策が必要とされている。特に降雪量の変化はもとより、山間部と平野部、都市部における雪と霙の降雪境界に着目され時には峠に差し掛かる一般道や高速道路では、氷雪で路面状況が著しく変わり、従来の道路情報での範囲では危険予測困難なことがしばしば挙げられる。このような狭い地域での詳細なスポット的気象情報はドライバーの安全確保の為にも重要な情報になりつつある。近年、ホワイトアウトやゲリラ豪雨が多発する中、爆弾低気圧と深く関連した「寄り周り波」の発生予測が期待されている。富山湾は独自の「あいがめ」と呼ばれる海岸の浅瀬が非常に狭く、急に深くなる海底地形による影響で北東からの波のエネルギーを減衰させることなく侵入を許してしまう。この侵入したうねり性の波浪のことを富山湾の「寄り回り波」と古くから呼ばれている。寄り回り波は、低気圧が通過して風も収まり海面が静かになっているときに突如として周期 10 秒以上の波浪が富山湾に来襲する現象である。この寄り回り波による被害は年に数回程度起こっており、多数の人的被害だけでなく港湾施設や漁業施設にも被害をもたらしている。この波の被害を事前に防ぐためには、うねり性波浪の事前予測が必要である。そのため、システムとしては海岸沿いに設置し、海洋情報の取得を可能にするセンサ網が必要である。センサからの情報は、リアルタイムに送信される必要がある。また到達地点の予測のためにはシステム全体が小型可搬性であることが必要である。また寄り回り波到来予測のためには、海洋情報を取得し寄り回り波の周期をフーリエ変換によってスペクトル強度を調べる必要がある。海洋情報は大きく分けて潮位と波高に分けられる。しかし、これまでに作られてきた従来のシステムでは波浪計を用いて予測を行っているが、年々変化する対馬海流の流れを考慮することが難しくまだ正確な予測は行われていない。そこで今回は海流の流れの影響をあまり受けることのない潮位情報を取得するセンサを使用した。

このように環境災害が起こるメカニズムはアメダスや気象衛星などによって観測され、研究が行われている。しかし、気象衛星などを用いて、気象、環境、波浪計測などを大規模に行うには、観測地点の変更や常時運用、測定対象による必要とされる測定精度などへの対応が難しく、汎用性に欠ける。また、コスト的にも効率的であるとは言えない。カメラや各種センサに加えて、何らかの通信手段を持つフィールドセンサのようなモニタリングデバイスを使用して環境計測を行うにしても、沿岸地域や山頂付近など、電源や有線通信などの環境の確保が困難である地域での観測は難しいと言える。そこで、観測地点で自動的に環境情報の取得・送信を行うシステムを開発することが必要とされる。開発したシステムによって得られた環境情報が重要であると判断された場合には、二次観測として恒久観測設備の導入や、大規模観測施設の導入を検討するための１次基礎観測情報を取得するためのシステムの検討を行う必要がある。これらの研究背景の下、本研究が遂行された。

２．研究の目的

気象衛星や固定型フィールドセンサによる定点観測では、特殊地域の遠隔監視及び多点観測による環境情報の取得は、即時性やコストパフォーマンス、一過性の面で必ずしも使用できない場合がある。そのため、簡易的に観測地点で自動的に環境情報の取得・送信を行うシステムを開発することを本研究の目的とした。これまでの VHF 帯の無線機を使用したセンサネットワークには、例えば商用無線もしくは実験局としてのアマチュア無線機などを通信媒体として使用したセンサネットワーク網の例がある。しかし市販の無線機を使用してセンサネットワークを構成することを考えると、センサ端末１台に掛かるコストが高くなる他、センサ端末の増設も運用上（開局免許上）は、容易では無い。また消費電力の観点からも、これらを二次電池だけでの長期的な運用は難しいと考えられる。そこで本研究では、センサ端末自体が低コストで、端末の増設や素子変更、カメラなどのモジュールによるセンサの拡張が容易であり、二次電池での稼働が期待できる省電力なセンサ端末を制作する。また、遠隔地でセンサ端末のデータを監視するため、複数のセンサ端末からのデータを中継してホスト局へ送信する中継機を制作し、その動作を確認する。これら近距離センサーネットワーク網と結びついた中距離データ伝送システムを構築し、寄り廻波観測システムと雪霙判別センサーを開発する。

３．研究の方法

図 1 にシステムの構成を示す。システムは、センサやカメラから自動的にデータを取得し、送信を行う複数のセンサ端末、各センサ端末からのデータを受信し、遠隔地にあるホスト局に送信を行う中継機、観測データの保存・グラフ化を行うホスト局から構成される。ホスト局からのデータ要求命令を受け取った中継機は各センサ端末にデータ要求命令を２秒間隔で送信し、センサデータを受信す

る。全ての端末からセンサデータを受け取った中継機は、ホスト局にセンサデータを送信する。中継機は、データ要求から受信までの一連の流れをホスト局からの終了命令を受け取るまで、設定した時間毎に繰り返し行う。

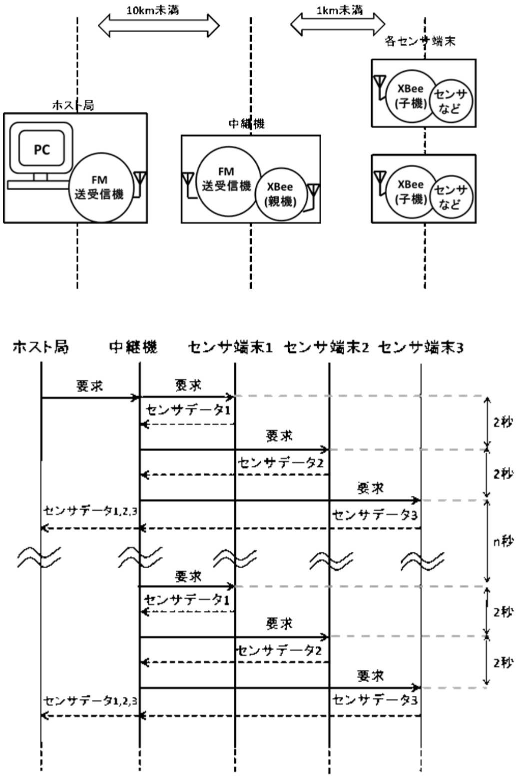

図１　通信センサーネットワークシステム

センサ端末が持つ役割は、センサから電圧値を取得し、AD 変換による観測データのデジタル化を行うこと、また取得したデータを中継機に送信することである。センサ端末は通信・制御用モジュールと、計測用センサから構成される。センサ端末の外観と子機センサシステムのブロック図（図 2）を示す。また、通信・制御用モジュールとして、XBee を使用した。

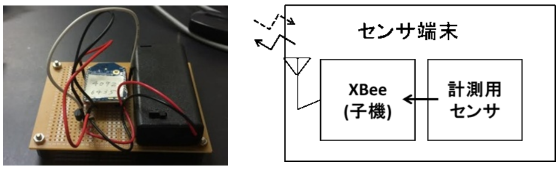

図 2 センサモジュールおよびブロック図

XBee は、Bluetooth や Wi-fi 等と並ぶ通信規格の一つであり、電気的な基礎部分は IEEE802.15.4 で規格化されている。XBee の特徴として、低消費電力であることやローコストであること、また大規模なネットワーク容量を持つことなどが挙げられる。XBee は Bluetooth や Wi-fi などの他の近距離無線通信の規格と比較すると、消費電流が小さく、電池などによる長期稼働が可能な代わりに、通信速度が遅く、センサや計測制御のような、小さなデータを長期的に観測することに適している。また、同時接続台数も 65,536 台と他の規格よりも遥かに多いため、大規模な観測が可能である。XBee は 1 対 1、もしくは 1 対 n の多点通信が可能である。また独自のルーティング機能によりマルチホップ通信が可能であるため、中継ノードを設けることにより、通信距離を延長することができる。送信出力は 10mW であり、環境によっても異なるが、屋内で約 60m、屋外で約最長 1500m の通信伝達距離を有する。また使用可能 I/O ポート数はデジタル入出力 10 ピン、アナログ入力 4 ピンであり、センサ端末では最大 4 つのセンサからの電圧データを取得することができる。

本システムにおける中継機は、各センサ端末からの観測データを受信すること、また遠隔地のホスト局に受信した観測データを送信することである。中継機は通信モジュールと制御用マイコンから構成される。通信媒体として、センサ端末と中継機との間の通信に XBee を使用し、中継機とホスト局との間の通信に、パケット機能（TNC）を有した UHF 帯無線機を使用している。TNC ユニットと XBee の制御を行うマイコンとして複数のシリアルポートを持つ ArduinoMega を使用している。図 3 に中継機の外観、図 4 にブロック図をそれぞれ示す。

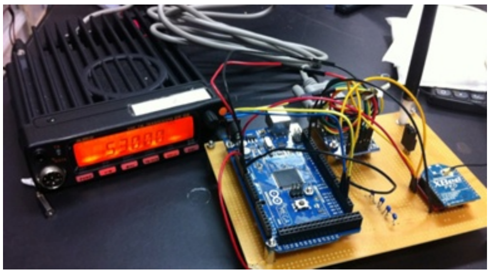

図 3　中継機の外観

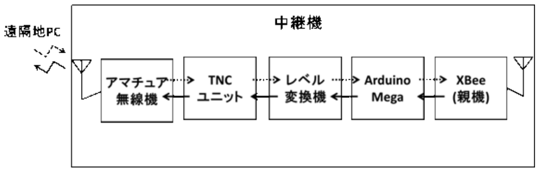

図 4　中継機のシステムブロック図

ホスト局は、中継機からのデータを受信しデータをパソコン上に保存･表示することである。ホスト局では、通信用媒体として、中継機と同じパケット受信可能な UHF 帯無線機を使用し、ている。受信用ソフトウェアとしては Processing ソフトウエアを使用して、センサデータのグラフ化･保存を行っている。図 5 に温度センサから成る測定ノード 3 点から、中継機を経てホスト局で得られた受信例を示す。温度センサを窓際、部屋中央、窓の外（屋外）に設置して、それぞれの温度データを XBee 経由で中継機に送り、それをホスト局で受信したものである。室内（屋内）、屋外ともに比例して温度が推移して行く様子が確認できる。

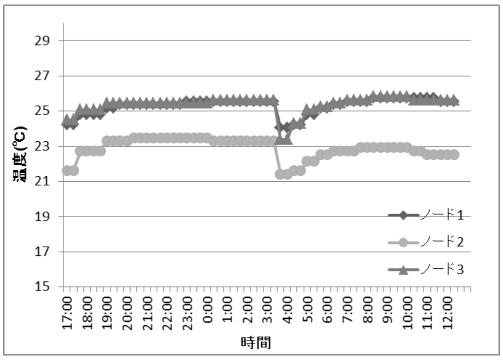

図５　温度センサの遠隔データ取得

４．研究成果

本システムを用いて雪、霙、雨判別センサを構築した。検出原理は、波長 945nm では水の吸光度が約 0.05 であり、波長 1450nm では約 1.3 である。この 2 波長での水成分による吸光度が著しく異なるため、各波長における光透過率が異なる。そのため、二波長差分吸収分光法を用いることで，雪と霙の判別ができる。

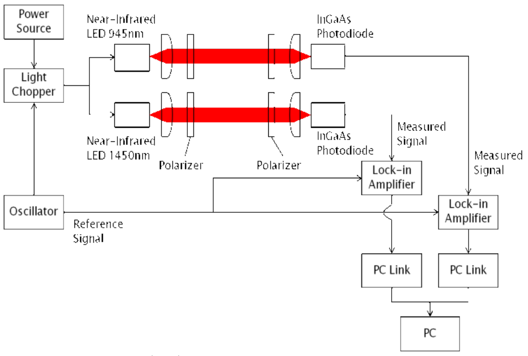

図６　雪霙雨センサシステム

光源には波長 945nm（浜松ホトニクス製 L2388-01）と 1450nm の近赤外 LED(L10660-01)を 250Hz のパルス電流駆動で用いた。受光部には 900～1700nm 帯の近赤外波長域に感度を有する InGaAs PIN フォトダイオード（浜松ホトニクス製、G8370-81）を用い、ロックインアンプと組み合わせて高感度な透過型光学系を構築した。LED 光は直径約 10mm の平行ビームに拡張した後、偏光子を通し、雪片による散乱に対して敏感になるようにした。また偏光面を合わせることにより、太陽光等の外乱光の侵入を軽減した。光源と受光器の間は約 1000mm の間隔があり、測定時光路内に雨滴・雪片・霙粒が入った場合は、光強度が変化するため、ロックインアンプの出力は変動する。このロックインアンプ出力に変動があった場合をイベント発生とした。ロックインアンプの時定数は 1ms に設定し降雪による反応を維持した。観測データは、1 時間あたり約 10000 点を取得し、このデータのうち，ロックインアンプからの出力の変動値が最大のものを 1 として、他のロックインアンプからの出力の変動を規格化した。規格化後、ロックインアンプ出力の変動値が 0.2 以上でイベント発生とした。雪および霙状態の天候によらず、波長 1450nm でのイベントは、波長 945nm でのイベント発生数より常に多かった。これは、波長 1450nm の方が水成分の吸収が強く、透過光強度が弱まるからだと考えられる。降雪状態を図 7 に降雨状態を図 8 に霙状態を図 9 にそれぞれ示す。

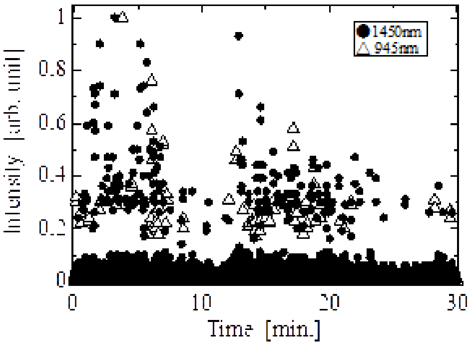

図７　降雪状態の結果

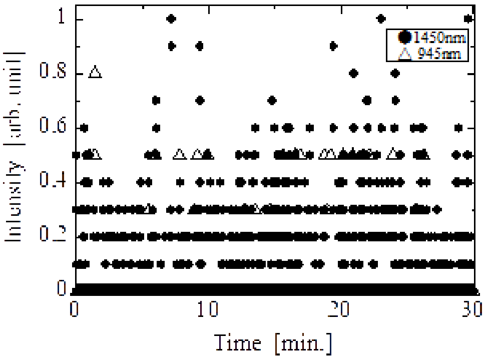

図８　降雨状態の結果

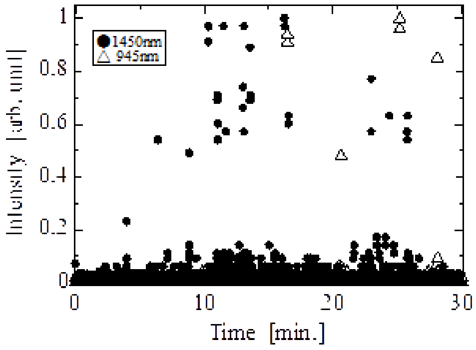

図９　霙状態の結果

降雪状態では 945nm でのイベント、1400nm でのイベント数とも多い。一方、霙状態では 945nm でのイベント数はまばらである。そのため判別比を次式とした。

判別比＝（1450nm events）／（945nm events）

今回の測定で得られたイベント発生数を上記判別式に代入すると，判別比は降雪状態で 2、霙状態で 6 が得られた。同様な測定を何度も行ったところ、雪の判別比は約 2～4 程度になることが分かった。目測と富山地方気象台の観測データと照らし合わせたところ、

計 4 回の霙の測定ができた。図 10 に霙状態での判別式を水分含有量の比較を行った。霙の判別比は 5～25 であることが分かる。霙の判別比にバラつきがあるのは、霙状態によって雨成分と雪成分の割合が異なるからであると考えられる。雪の判別比はほぼ 2～4 であったことから、霙の判別比が約 5～9 程度であれば雪成分を多く含んだ霙が降り、判別比が 20～25 程度であれば雨成分の比率が大きい霙が降ったと推測できる。本データは冬季 12 月下旬から 1 月にかけて霙および降雪状態が交互に来る頃に観測されており、得られたデータは判別比が 5～25 の範囲であることからも霙が降っていたとみなすことができる。

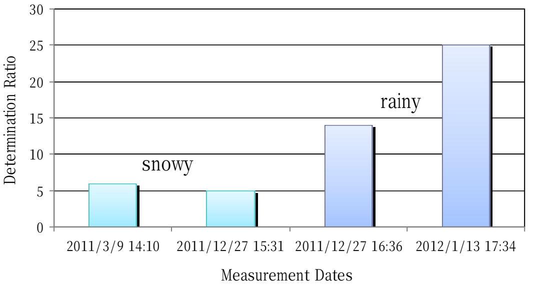

図 10　霙状態の区分

４．　まとめ

近赤外域二波長差分吸収計測による装置で観測を行った結果、降雪時の水分含有量の差から霙と雪の判別比が異なることから、光学系のみで雪と霙の判別が可能になった。また霙状態での雨成分量についても、定性的ではあるが測定可能であった。今後は感雨センサや温度センサの情報も合わせて、雪と霙を判別する精度をさらに高める。また今回は定点観測であったが、今後はエリアセンサ網としての運用を行い、地球温暖化の観測に役立てる。

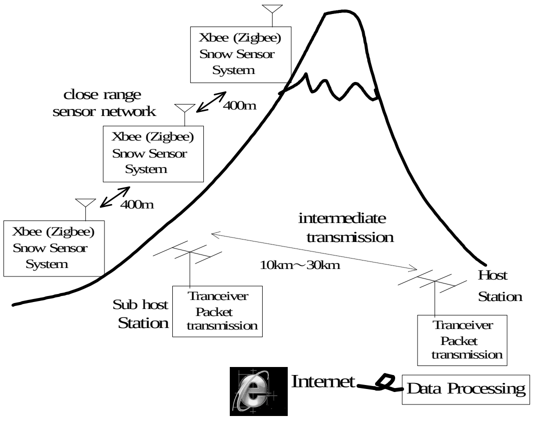

図 11　降雪降雨観測システム

５．主な発表論文等

〔査読有雑誌論文〕（計 3 件）
① I.Mizumoto, et al
Weather measurement system using near-infrared differential spectroscopy
Electronics Letters, **49**, p.900-901(2013).
② I.Mizumoto, et al
“Weather measurement system using near-infrared differential Spectroscopy, J. of Eco-technology Research, **17**[2], pp.85-88(2014).
③ 水本　巌、小熊博　他
可搬可能な FRP 製水車発電システム,科学・技術研究, Vol.3, 6 月号,pp.49-54 (2014)
〔査読なし学会発表〕（計 6 件）
① 小熊　博、水本　巌　他
Xbee を用いた中距離無線センサネットワークの開発,平成 26 年度電気関係学会北陸支部連合大会, H-4 (2014).　9 月 1 1 日～12 日, 富山高等専門学校本郷キャンパス（富山県）
② 水本　巌　他
電荷蓄積型微弱光検出システムの温度依存性,平成 26 年度電気関係学会北陸支部連合大会, H-5 (2014).　9 月 1 1 日～12 日,富山高等専門学校本郷キャンパス（富山県）
③ 由井四海、水本　巌、久世宏明
光通信デバイスを利用した酸素ガス計測システムの開発、平成 25 年度電気学会，電子・情報・システム部門大会　GS11-5 (2013), 9 月 4 日～7 日,北見工業大学（北海道）
④ 小熊　博、水本　巌
スペクトラム拡散方式を用いたロックインアンプの提案,平成 26 年度電気関係学会北陸支部連合大会, H-6 (2014).　9 月 1 1 日～12 日,富山高等専門学校本郷キャンパス（富山県）
⑤ 山本桂一郎、水本　巌他
ピコ水力発電のための発電機の機能性評価
品質工学研究発表大会論文集 20 巻, pp.42-45,(2012)．6 月 26 日～27 日,品川区立総合区民会館（東京）
⑥ 水本　巌、小熊　博　他
FRP 製水車を用いた小型水力発電システム
平成 24 年度電気関係学会北陸支部連合大会, H-14 (2012).　9 月 1 1 日～12 日,富山県立大学（富山県）

〔産業財産権〕
○出願状況（計 1 件）
名称：微弱信号検出装置及び微弱検出方法
発明者：水本　巌、小熊　博、由井四海
種類：特開，　番号：特願 2012-140567
出願年月日：平成 24 年 6 月 22 日
国内外の別：国内

６．研究組織

(1)研究代表者　水本　巌（MIZUMOTO Iwao）
富山高等専門学校・電子情報工学科・教授
　研究者番号：40239257
(2)研究分担者　小熊　博（OGUMA Hiroshi）
富山高等専門学校・電子情報工学科・准教授
　研究者番号：40621909
(3)研究分担者 古山彰一
（Furuyama　Shouichi）
富山高等専門学校・電子情報工学科・准教授
研究者番号：90321421