

圃場モニタリングのためのフィールドサーバの開発

深津時広・平藤雅之

独立行政法人・農業技術研究機構・中央農業総合研究センター
〒305-8666 茨城県つくば市観音台 3-1-1

要旨

農業分野において圃場における環境情報や作物の生育情報、生産管理のための作業情報などを知ることは、生産性の向上を目指すうえで重要である。本研究では、安価で設置や使用が容易なフィールドサーバ(センサ・コンピュータ・通信機能をモジュール化した小型モニタリングロボット)の開発を行い、これを圃場に多数設置することで圃場からの情報をリアルタイムにモニタリングし、その情報を元にさまざまな作業や結果を返すことができる圃場モニタリングシステムを構築した。

本システムでは、Internet Explorer や Netscape といった Web ブラウザを用いて簡単に情報収集や遠隔操作などを行うことができる。フィールドサーバを実際に圃場に設置し、長期運用実験を行うことで圃場モニタリングシステムの実現性を示した。また本システムを活用することで、圃場の計測や遠隔操作だけでなく農村地域の通信インフラや新たな農業形態への活用としても利用できる可能性を示した。

キーワード

フィールドサーバ, 圃場モニタリングシステム, インターネット, 無線 LAN, 自動計測, 遠隔操作

はじめに

気温・湿度・日射量などの環境情報や画像などで得られる作物の生育情報、灌水・農薬散布などの作業情報といった圃場における現場情報の収集は、農業生産性の向上および高品質化・高付加価値化を目指すうえで重要な要素である。このような圃場情報の収集は、主に現場の作業者が作業日誌を作成したり AMeDAS などの気象情報を入力したりすることでこれまで行われてきた。特に気象情報に関しては、観測メッシュの粗い AMeDAS データを 1km メッシュに細分化(清野 1993)しての利用や、気象観測ロボットを導入して気象情報を提供する取り組み(高谷ら 1998)などが行われて来た。気象情報は生産計画の検討や生育・収量の予測、農業災害の防止などさまざまな場面で用いられており、農業気象の重要性を示している。最近では、作物の育成シミュレーションや出穂時期の推定(高橋ら 1998)、病害虫の発生予察(Ohtani *et al.* 2001)などの農業生産を支援するさまざまなアプリケーションも研究されており、それらのソフトに自らの圃場データを用いてカスタマイズし活用したいという要望も高まっている。

しかしながら、中山間地域に代表されるように日本の地形は複雑であるため、数百 m 移動しただけで圃場条件が異なる場合が多い。AMeDAS による推定メッシュデータをさらに細かくする研究なども行われているが誤差は大きく、月平均、旬平均といった長期間での使用が主であり、リアルタイムでの取り扱いは難しい(高山ら 2002)。また AMeDAS データは、日射量・土壌水分・地表面温度といった作物生育に大きな影

響を与える要素について計測が行われていないため、農業用としては不十分である(高倉 1997)。市販の農業気象観測装置を設置してデータの収集を考えた場合でも、観測点1ヶ所あたり数百万円の初期コストがかかるほか、計測データの通信費や維持費なども定期的にかかるため、数百 m 間隔といった密な計測は困難である(町田 1990)。作業日誌による記録も、圃場作業の合間に作業者が定期的に記録をつけるのは負担が大きい。

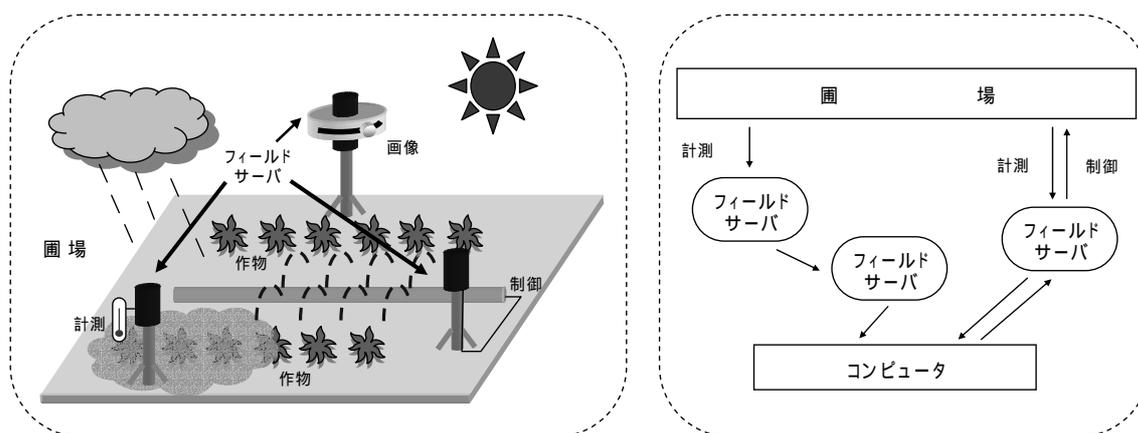


図 1 圃場モニタリングシステムの概念図

そこで本研究では、圃場の気象データや作物の生育画像といったさまざまな現場情報を安価かつ簡便にリアルタイムで計測し、同時に機器の制御も行うことができる圃場計測ロボット「フィールドサーバ」の開発を行った。また、これを複数用いた圃場モニタリングシステム(図 1)の構築を行った。フィールドサーバはセンサ・コンピュータ・通信機能を一つのモジュールにしたシステムであり、これを圃場に多数設置することで内蔵の無線 LAN を用いた無線ネットワークが形成される。この無線ネットワークシステムを基幹的な通信回線として利用することで、それぞれの地点で計測したデータをリアルタイムに収集する圃場モニタリングシステムが構築される。圃場モニタリングシステムは、遠隔操作、圃場監視、トレーサビリティなどにも利用することができる。また一端をインターネットに接続することで、無線ネットワークシステム全体がインターネットに接続されるため、より高度な農業生産活動や農村生活を行うことが期待できる(平藤ら 2001)。

圃場モニタリングシステムでは、通信手段や電源供給が乏しい圃場において、いかに多くの場所でさまざまな情報を安価で簡単に収集できるかが重要となる。本論ではこれらを実現するフィールドサーバの開発技術を述べるとともに圃場モニタリングシステムとしての実現性を示す。

フィールドサーバ

基本構造

圃場モニタリングシステムを構築するにあたり、普及を妨げる主な要因となるのが、観測装置の設置コスト・通信などの維持費・計測ソフトの利便性などである。観測装置を設置する場合、電源の供給や電話線などの通信回線を確保するために大掛かりな施工が必要となる。そのため設置コストがかかるとともに装置を自由に移動することも難しく、季節や作物の状態の応じて自由に計測箇所を変更するといった利便性も損なわれる。最近では携帯電話の普及に伴い、携帯電話を通じて自由に圃場データの交換する研究も行われているが(菅原 2001)、農村部の圃場では通信圏外のところが少なくない。また有線・無線に関わらず、公衆電話回線を用いた通信システムでは定常的に通信費用がかかるため、その費用の捻出が大きな足枷となる。計測されたデータは最近ではコンピュータへの取り込みやデータ処理が行えるよう考慮されているが、計測装置に依存する専用ソフトを必要とするため、さまざまな種類の計測装置を混在して使用するの難しく利便性が低い。また別のソフトや新しいコンピュータへの移行が難しいといったレガシー化の問題もある。圃場モニタリングシステムを構築するには、これらの問題を考慮した圃場計測装置の開発が重要となる(図 2)。

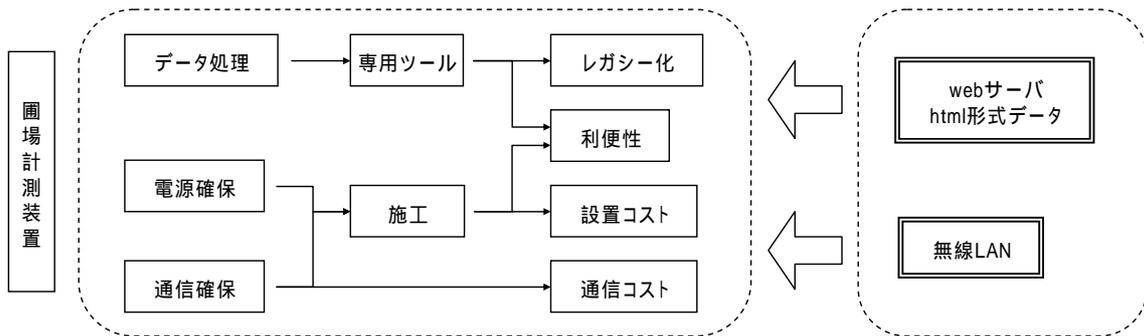


図 2 圃場モニタリングにおける機器，設置，利用における様々な問題

その一方、IT（情報通信技術）の進歩に伴い、ムーアの法則を裏付けるように近年のコンピュータは高性能・低価格化が進んでいる。また、ブロードバンド普及の一端を担っている無線 LAN (IEEE802.11b,a,g)の普及に伴って、11Mbps およびそれ以上に高速な無線通信回線を配線工事なしに無料で利用できるようになってきた。無線 LAN を用いてネットワークを構築した場合、どこか一端を外部に繋げることで全体をインターネットに接続でき、ローカルクライアント間でのデータの交換には通信費を支出することなく使用できる。この無線 LAN を計測データの通信に用いることで、設置の手間やコスト、通信費をかけず容易に高速な通信回線を確保できる。

またデータ処理における利便性の向上やレガシー化の防止に対しては、計測用コンピュータに Web サーバを内蔵し、計測データを HTML 形式で送信することを考えた。Web サーバを内蔵することで、計測データを Internet Explorer や Netscape といった Web ブラウザを利用して見ることができる。そのため専用のソフトをインストールし

たり操作を覚えたりする必要がなくなり、機種に依存せずに計測データを扱うことができ、レガシー化も避けることができる。また Web 上でデータを扱うことができるため、汎用性の高い XML や Java を用いたデータベースやアプリケーションを簡単に作成できる。このようなアーキテクチャによって、これまでの圃場計測装置におけるさまざまな問題を解決し、操作が容易で安価なフィールドサーバの制作を試みた。

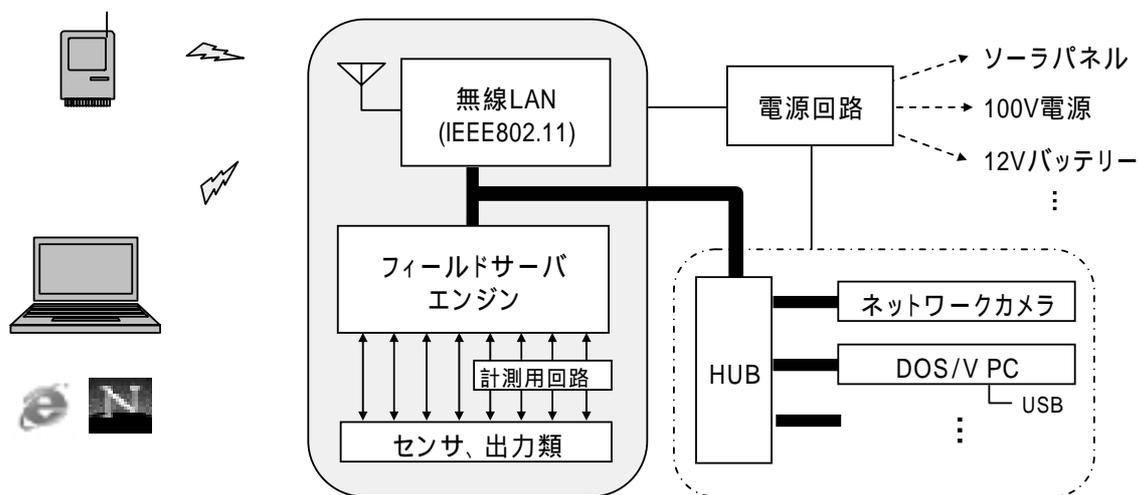


図3 フィールドサーバのシステム構成

フィールドサーバのシステム構成を図3に示す。フィールドサーバの内部は大きく分けて、計測制御用コンピュータであるフィールドサーバエンジンと通信部分の無線LANアクセスポイント基板とに分かれる。通信部分については近年の技術革新はめざましく、高性能・低価格な最新の無線LANがいつでも使えるように別構成としている。フィールドサーバエンジンは、内部に計測や遠隔操作などを行うためのWebサーバを内蔵し、PDAやPC内のWebブラウザといった外部からのアクセスに応じてHTMLデータの送受信を行う。またアナログポートからセンサの値を取り込む機能、デジタルポートから制御信号を入出力する機能、データやプログラムを保管する内蔵メモリ、インピーダンスなどの周波数計測を行うためのDDS (Direct Digital Synthesizer)なども備えている。このため温度・湿度・日射量といった圃場計測を行うだけでなく、制御出力に灌水弁や暖房機などのスイッチをつなげることで遠隔操作や環境制御を行ったり、土壌水分やECといった計測の難しい要素を簡単に測定したりできる。

フィールドサーバ内部のモジュール間はEthernetで接続することでレガシー化を避けるとともに、Hubで分岐して、ネットワークカメラを接続して現場の画像を得ることや、PCを接続してさまざまなプログラムやアプリケーションを実行することができるようにした。また、電源には風力やソーラパネルなどの自家発電や100V商用電源からの供給、自動車などの12Vバッテリーなどで稼働できるようにし、用途や設置条件に応じて使い分けるようにした。

フィールドサーバへのアクセスは、無線LANや外部ポートなどでネットワークに繋

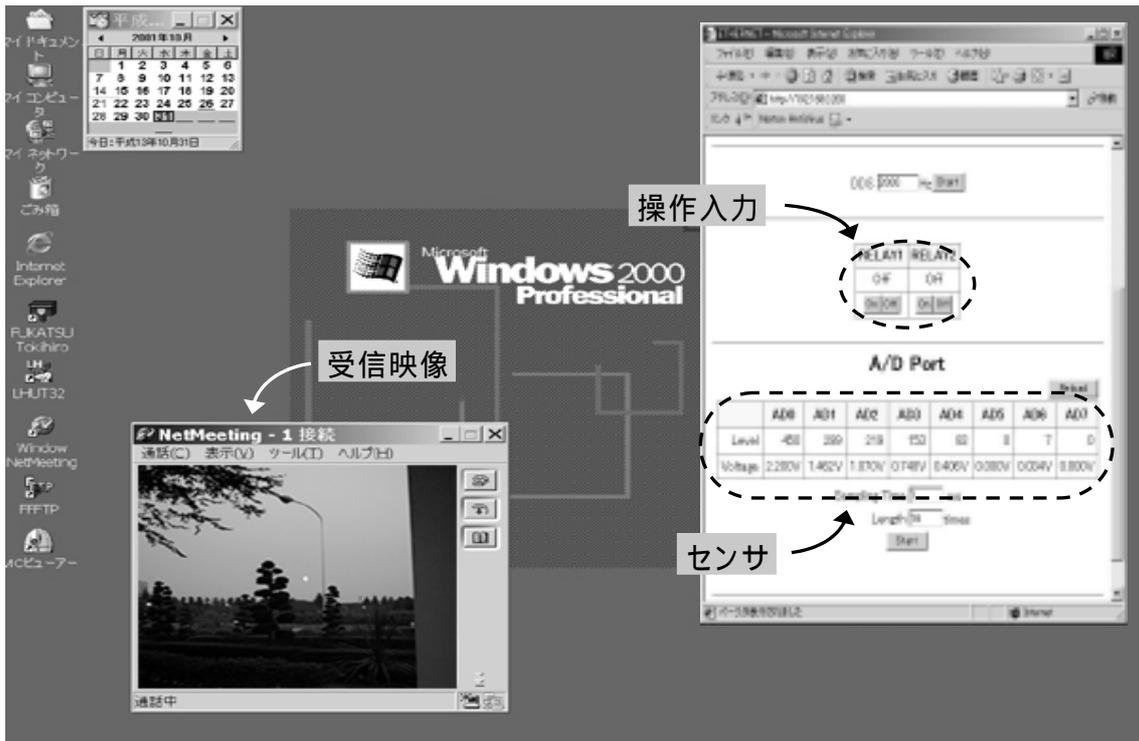


図4 フィールドサーバへのアクセス

がっている PDA や PC などの Web ブラウザを用いて、図 4 のように通信を行う。フィールドサーバ内部の Web サーバの URL を入力することで、Web ページを閲覧する。このページには計測結果の現在値および、遠隔操作などを行う入力ボタンが表示される。各センサの値は 0V から 5V の電圧で表示され、操作入力は On/Off ボタンをクリックすることで行う。またネットワークカメラをフィールドサーバに接続している場合には、その画像を見ることが出来る。このようにして得られるフィールドサーバのリアルタイムデータは、フィールドサーバ同士が作り出す無線ネットワークおよび外部のインターネットからアクセスすることができる。そのため、遠隔地にある PC 上のエージェントプログラムがデータの自動収集や制御を行うことで、圃場モニタリングシステムが容易に構築される。

仕様

本研究では、これらのシステム構成を満たすフィールドサーバを製作し、これをもとに圃場モニタリングシステムの構築とその検証を行った。ここで、実際に製作したフィールドサーバについてその仕様を示す。各フィールドサーバは基本構成が同じだが、計測項目や使用目的、設置状況などでその仕様は柔軟に変更される。標準的なフィールドサーバの外観と、そのハードウェアの仕様を図 5 および表 1 に示す。

フィールドサーバのケースは市販のソーラ庭園灯(Solite:SW-137A)を流用し、内部に無線 LAN や Web サーバなどを収め一体化されている。これをそのまま圃場の一角



図5 フィールドサーバ

表1 ハードウェアの仕様

無線 LAN	Planex 製 GW-AP110 11Mbps アクセスポイント
Web サーバ	TriState 製 PICNIC (PIC16F877)
主なセンサ	温度センサ(LM35DZ) 湿度センサ(CHS-UPS) 日射センサ(ソーラパネル)
外部ポート	Ethernet, D/A port

に置いたりポールを用いて地表面に立てたりすることで、容易に設置することができる。無線 LAN アクセスポイント基板にはリピーティング機能によって LAN 間を中継し通信を行うことができるものを標準装備とし、ホットスポットなどが必要な場所ではさらに小型の無線 LAN アクセスポイント基板を追加した。Web サーバには 10bit の A/D コンバータが備えられ、これに各種センサを取り付けることで温度や湿度などの計測を行っている。外部接続端子として LED の点灯や灌水弁や暖房機などのスイッチ操作を行うためのデジタルポートおよびパワーフォト MOS リレー、デジタルカメラなどを接続するための Ethernet ポートが備えられている。

またこのタイプでは、電源は外部より交流 100V または直流 12V の供給により駆動することができ、消費電力は 5W 程度となった。電源供給できない場所での利用のためソーラパネルを用いて自家発電にて駆動するタイプ(図 6-a)や無線回線の中継を行わないクライアントモードで稼働する小型化省電力タイプ(図 6-b)、景観に考慮した陶器製筐体タイプ(図 6-c)などもあわせて製作した。費用は標準タイプでおよそ 6 万円程度の材料費で製作することができ、その製作方法などについてはホームページで公開している(<http://model.narc.affrc.go.jp/FieldServer/>)。



a. ソーラ型



b. 省電力型



c. 景観配慮型

図6 各種フィールドサーバ

実験

標準タイプのフィールドサーバでは，作物の生育を考えるうえで基本的な要素となる気温，湿度，光合成有効光量子束密度(PPFD)について計測が行われている．気温，湿度は市販の半導体センサを使用し，PPFD はフィールドサーバ上部に備えられているソーラパネルを使用し，事前に市販の光量子センサ(小糸工業製 IKS-27-10)で校正を行って換算式を算出した．図 7 にフィールドサーバによる気象計測結果の一例を示す．

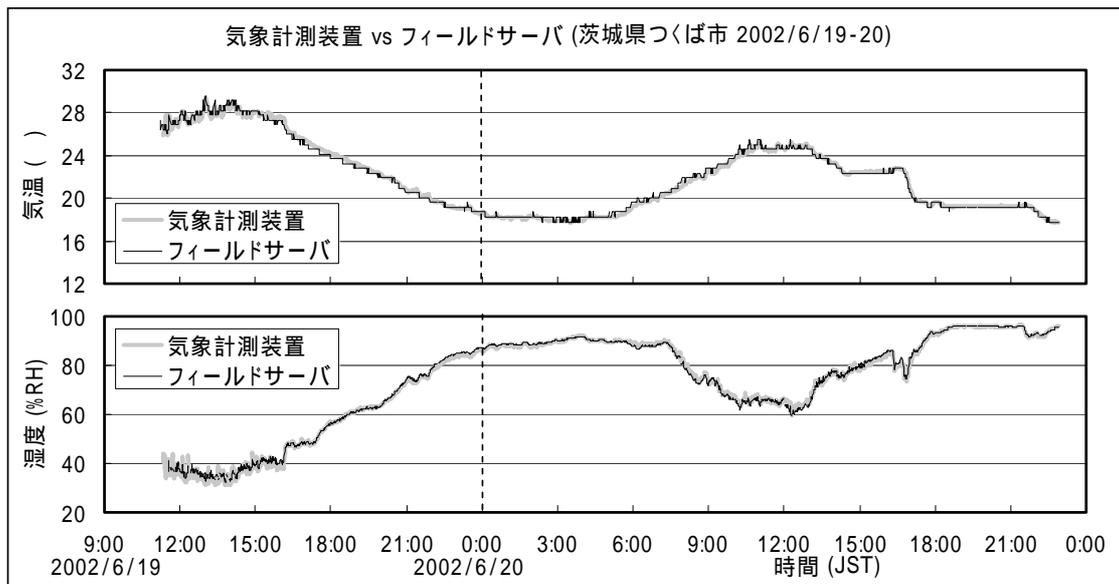


図 7 フィールドサーバによる気温・湿度の計測と気象計測装置との比較

ここでは 2002 年 6 月 19 日から 2 日間，茨城県つくば市にて計測した結果を示しており，このとき同時に市販の気象観測装置(横河電子機器製)や光量子センサ(小糸工業製)でも計測を行い，比較することでその性能について検討を行った．このときの天候は 19 日が晴れ，20 日の午前中は曇りで午後から雨が降り始め，夕方から本格的な降雨となった．グラフの上段は気温を，下段は湿度を示しており，細線がフィールドサーバで計測した結果を，太線が市販の装置で計測した結果である．

フィールドサーバによる気温の結果が A/D コンバータの分解能のため 0.5 ほどの階段状になっているものの，気温，湿度ともに市販の気象計測装置とほぼ相違ない結果を得た．このときの計測結果におけるそれぞれの相関は図 8 のようになった．横軸にフィールドサーバで計測した値を，縦軸に市販の計測装置で測定した値を表し，左から気温，湿度，PPFD の相関を示した．相関係数は全てにおいて 0.99 以上を示しており，相関式を用いて求めたフィールドサーバの値と市販の計測装置との値との標準偏差は，気温:0.26，湿度:0.92，PPFD:38 と農業分野において環境計測を行うには十分な性能を示すことが確認された．

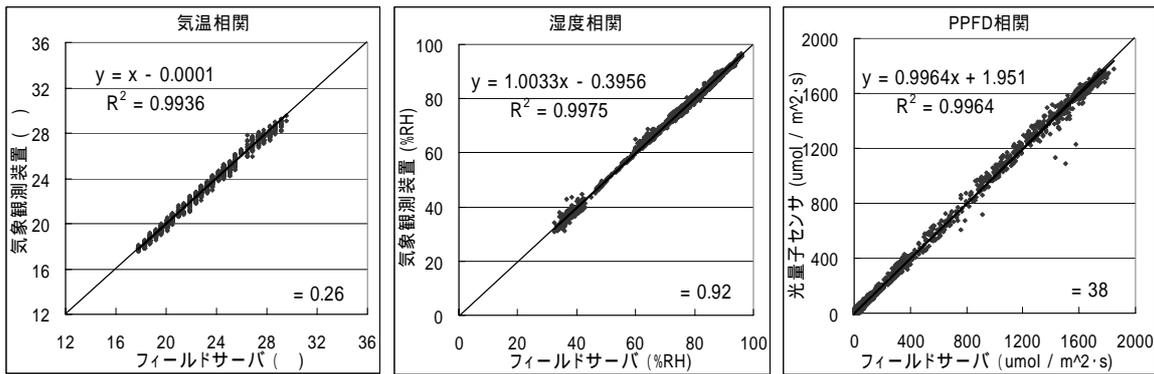


図 8 フィールドサーバによる計測データの精度評価

また、フィールドサーバ同士における通信能力についての検討を行うため、通信距離と中継回数について実験を行った。フィールドサーバ間の距離における通信速度の変化についての実験結果を図 9 に示す。グラフの実線は屋上に装置を設置して装置間に障害物がない状態での計測結果であり、点線は防風林を挟んで計測を行ったときの結果である。障害物がない場合では、通信距離が離れるにつれて電波が減衰し通信速度が下がるものの、600m 以上離れた場所でも十分な通信速度を保つことが確認された。また見通しが良く高い場所に設置した場合には、1km 以上離れた場所からでも十分に通信できており、さらに専用の指向性アンテナを使用すれば数 km まで通信することが可能と考えられる。しかしながら防風林といった障害物が存在する場合は、電波が吸収・反射されるため通信速度が急激に下がるといった結果が得られており、このような場所では複数のフィールドサーバを設置して、中継を行うことで通信回線を確認することが重要となる。

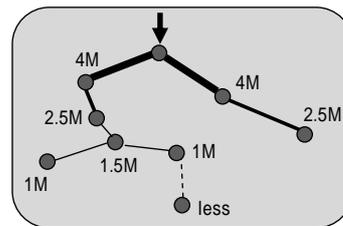
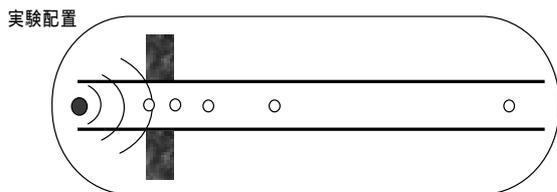
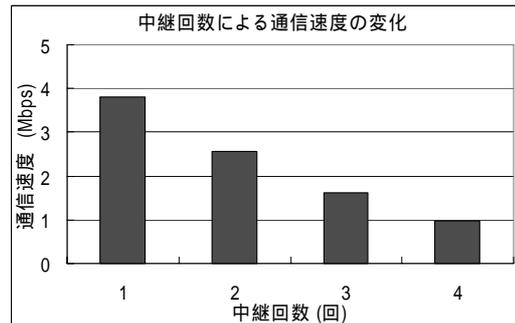
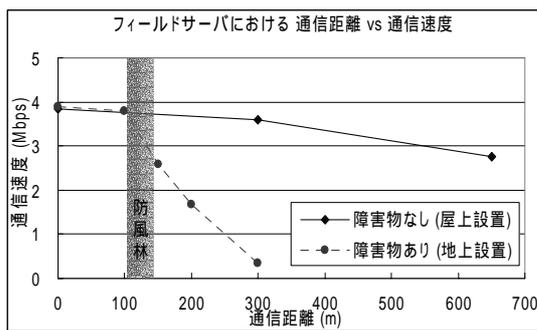


図 9 通信距離による通信速度の変化

図 10 中継回数による通信速度の変化

図 10 は、フィールドサーバの中継回数(ホップ数)に応じた通信速度の変化について計測した結果を示しており、中継回数が増えるにつれ通信速度が低下することが確認された。多数のフィールドサーバを圃場に設置する場合、距離の近いものを順に接続すると末端で通信速度が著しく低下してしまうため、中継回数が多くならないよう、フィールドサーバ間の通信経路の構造(ネットワークトポロジ)の設計が重要である。

圃場モニタリングシステム

システム構築

圃場モニタリングシステムを構築するにあたり、フィールドサーバの設置台数や機能によって以下のようなシステム構成を選択することができる。

(1) フィールドサーバ 1 台による最小構成

フィールドサーバによる圃場モニタリングシステムの最小形態は、1 台のフィールドサーバとそれに無線または有線で接続する 1 台の PC という構成である。この場合、コンピュータはフィールドサーバと通信可能な範囲に存在しなければならず、設置の際に制限が生じる。

(2) 複数のフィールドサーバによる構成

フィールドサーバを複数設置したときは、フィールドサーバ内の無線 LAN によって圃場にネットワークが形成される。そのためどこか 1 ヶ所のフィールドサーバにアクセスできれば、ネットワーク内全てのフィールドサーバにアクセスでき、無線 LAN 単体の電波到達範囲以上に広域のエリアをカバーすることができる。

(3) ホットスポット機能を用いた構成

(2)においてフィールドサーバにホットスポット機能を内蔵した場合、フィールドサーバ群が基幹通信回線となり、圃場のいたるところで農業者または訪問者が無線 LAN でインターネットを利用できるユビキタスな通信環境になる。そのエリアでは、無線 LAN 内蔵のネットカメラを設置するだけで動画や静止画の撮影を容易に行うことができる。

いずれのケースでも、ネットワーク内の PC に一定時間ごとにデータや画像の収集やセンサ値に応じて制御を行うエージェントプログラムを稼働させることで、圃場情報のデータベース化や作物の生育状態の観察、圃場の監視、機器の制御などを行うことができる。さらに、デスクトップコンピュータ用の周辺機器やアプリケーションを利用して簡単に機能を拡張することができる。これにより、高機能な圃場モニタリングシステムを安価に構築することができる。

図 11 に、圃場モニタリングシステムの一般的な構成を示す。実際にネットワークを構築する場合、大きな課題となるのがセキュリティの問題である。本研究では圃場モニタリングを行う主な部分はローカル IP で構成し、データの公開や外部へのアクセスなどを行う部分に関してはグローバル IP を使用するローカル/グローバルネットワーク構成を用いた。フィールドサーバによって作られた圃場ネットワークは、ローカ

値で表示される。HTML ファイルは携帯電話の i-mode にも対応し、気軽に現在の圃場の様子を確認するといった使い方もできる。XML 形式のデータは分散データベースとして Web サーバに保存され、過去のデータを参照したい場合にはブラウザで閲覧できる。また、これらのデータは気象データベース・アクセス支援ミドルウェアである MetBroker (Laurenson *et al.* 2000)を経由して、アメダスなどの他の気象データベースとまったく同じ手続きで種々のアプリケーションから利用することができる。

エージェントプログラムは、ネットワークカメラの画像も定期的に保存すると同時に、Web サーバに現在の画像の転送も行っている。この機能により、インターネットを通じてさまざまな場所から圃場の様子を確認できる。また、圃場にいる者たちとコミュニケーションを取るといったさまざまな活用が可能である。本研究ではフィールドサーバへの接続機器として、市販のネットワークカメラ(Panasonic 製 KX-HCM130)とデジタルカメラ(RICOH 製 RDC-i500 および RDC-i700)を用いた。

さらに、取り込んだセンサ値に応じてフィールドサーバに接続された装置を動作させ、圃場の監視や環境制御も行うことができる。その一例として、今回は距離センサの値に応じてライトを点灯させる圃場監視のプログラムを作成した。これらのエージェントプログラムは全て Java アプリケーションで作成し、ホストコンピュータ上で実行することで複数のフィールドサーバの計測と制御を行った。

長期運用実験

圃場モニタリングシステムの有効性を確認するため、複数のフィールドサーバを圃場各地に設置し、エージェントプログラムを用いて運用実験を行った。フィールドサ



図 13 圃場モニタリングシステムの実施例

サーバは中央農業総合研究センター(茨城県つくば市)の試験圃場にて複数台(最多時 10 台)設置し, DOS/V PC 上(OS:Windows2000)で走らせたエージェントプログラムによってこれらの管理を行った. 図 13 にその一例を示す.

フィールドサーバの設置およびエージェントシステムの稼働は2002年2月から継続中である. これまでに冬期の低温, 春期の砂塵, 梅雨期の降雨と高湿度, 夏期の高温(2002/8/11 最高気温 36 度), 台風(2002/7/10 台風 6 号, 2002/10/01 台風 21 号)などを経験し, さまざまな気象条件下において安定的に稼働することが確認された. また, 圃場モニタリングシステム運用時における各フィールドサーバへの長期間のデータ収集および XML によるデータ蓄積も, 前述のエージェントプログラムによって容易に行うことができた.

考察

本研究では, これまで実現が難しかった圃場における高度なモニタリングを行うシステムの構築を安価かつ容易に実現するため, センサ, 無線 LAN, Web サーバの機能を内蔵したフィールドサーバの開発を行った. また, これを実際に圃場に多数設置して圃場モニタリングシステムを構築し, さまざまな気象条件の下で長期間稼働できることを実証した. 今後はさらに多くの地域で運用実験を行うとともに, 農業生産の効率化・高度化に向けた新しいセンサの開発と実装, トレーサビリティシステムとしての活用などを図る予定である.

フィールドサーバは単に圃場モニタリングシステムにおける計測装置というだけでなく圃場全体の通信インフラとしても活用できるため, 新しい農業形態への発展が期待される(Hirafuji 2000). 例えば, 圃場でユビキタスにインターネットが利用できるようになるため, 作業を行いながら遠方の消費者, 近隣の住民や農業者とコミュニケーションを行うことや, 病害虫を発見した際には農業指導員や研究者に対して直接, その場でデジタル画像を送信しながら相談することができる. インターネットで検索や診断を行うシステム(儘田ら 2001)なども簡単に利用できるようになり, さらに有用性が増すと考えられる.

また, 圃場において画像データを容易に記録できることに関しても, 多様な用途が考えられる. インターネットカメラで定期的に画像を収集することで作物の生育などを知るだけでなく, 圃場全体を撮影することで「誰がいつどのような作業を行ったか」を画像で記録して作業日誌と連携させることができる. 圃場の実作業の様子を完全に記録・公開することで, トレーサビリティシステムの信頼性を向上させることができる. また, 最近問題となっている圃場への不法投棄などへの対応や農作業事故の発見・警報など, さまざまな応用が考えられる.

しかしながら, 現時点での圃場モニタリングシステムにはまだ多くの点において改良の余地がある. フィールドサーバのさらなる小型化と高機能化, 開発途上国での利用も考慮した低コスト化, フィールドサーバの増加に伴うシステム管理の簡便化, エージェントプログラムの高機能化とスケラビリティの確保, 無線 LAN およびネッ

トワークのセキュリティの堅牢化，蓄積された巨大なデータの解析と迅速な利用，ADSL や CATV によるインターネットへの常時接続回線が利用できない地域における対策など，実用化に向けてさまざまな課題を克服しなければならない．

ハードウェアとコストに関する問題は，LSI のコストダウンと高集積化によってかなりの部分が解決可能と考えられる．ソフトウェアに関する問題に対しては，ネットワークアプリケーションとしての汎用性を考慮して Java および XML による分散オブジェクト技術の利用をさらに進めるほか，VPN (Virtual Private Network) や IPv6 などのネットワーク技術を利用することで解決を図る予定である．また，MetBroker などの仲介システムとの連携を強化することで，ハードウェアおよびソフトウェアの開発の効率化を図るとともに，一度開発されたシステムが資産として長期間にわたって利用できるようにしたいと考えている．

謝辞

本研究は，農林水産省委託研究「データベース・モデル協調システム」プロジェクトの一課題として実施されたものである．本研究において多くのご意見や助力を頂いた関連・共同プロジェクトの方々に心から謝意を表します．

引用文献

Hirafuji, M.(2000)Creating Comfortable, Amazing, Exciting and Diverse Lives with CYFARS (CYber FARmerS) and Agricultural Virtual Corporation. Proc. of the Second Asian Conference for Information Technology in Agriculture. 424-431.

平藤雅之・木浦卓治・谷脇憲・二宮正士(2001)超分散圃場モニタリングサーバの基本構想．農業環境工学関連 4 学会 2001 年合同大会講演要旨：186 ．

Laurenson, M., T.Kiura and S.Ninomiya (2000) Accessing online weather database from Java. In Proc. Internet Workshop 2000. 193-198.

町田武美(1990) コンピュータと通信．システム農学 6 (別 1)：45-58 ．

儘田雄一郎・町田武美・河野司(2001) PDA 病害虫診断支援システムの開発．農業情報研究 10(1)：13-24 ．

Ohtani, T., K.Sugahara, K.Tanaka, M.Laurenson, T.Watanabe, and S.Umemoto (2001) Web based IPM system for Japanese pear diseases in Japan. III. Weather data acquisition system to estimate leaf wetness duration and scab infection severity. The 2001 KSPPI International Conference and Annual Meeting. Plant Disease Forecast: Information Technology in Plant Pathology. Program and Abstracts 63.

清野裕(1993) アメダスデータのメッシュ化について．農業気象 48(4)：379-383 ．

菅原幸治(2001) インターネット対応携帯電話を利用した圃場情報入力システムの開

発．農業環境工学関連 4 学会 2001 年合同大会講演要旨：334．

高橋渉・長谷川利拡・田中慶（1998）窒素の影響を考慮した水稻生長モデルの GUI の開発とその検証．日本作物学会紀事 67（別 2）：126-127．

高倉直（1997）農業気象情報の今後．農業気象 53(3)：227-231．

高谷悟・能登正之（1998）気象情報農業高度利用システムの概要．農業気象 54(3)：283-287．

高山成・早川誠而・小野本敏・辻多聞（2002）九州における冬季の夜間最低気温の 1km メッシュ推定値と実測値の関係．農業気象 58(2)：79-92．