

農業生産におけるフィールドサーバの活用

平藤 雅之

フィールドサーバは、計測用 Web サーバ、無線 LAN、複数のセンサ、カメラ、LED 照明、太陽電池等を耐候性の高い筐体に格納した Web ベースのセンサノードである。フィールドサーバの周囲には Wi-Fi ホットスポットが生成され、屋外にユビキタスなインターネット環境が構築される。データはデータ・グリッド (MetBroker) で統合され、Web で公開されている。現在、米国、中国、デンマーク等十数カ国で運用実験が行われており、農業及び環境研究、トレーサビリティシステム、砂漠の緑化等で活用が始まっている。

キーワード：センサネットワーク、Wi-Fi、フィールドサーバ、環境、農業

1. はじめに

農業生産は生態系を人工的に制御して生物を生産物として生産する技術であり、生物、生態系、気象、土壌の複雑さが重畳した極めて複雑なシステムを対象としている。

このシステムに関して、現在、入手可能な最も詳細なリアルタイムデータはアメダス (AMeDAS) の気象データである。しかし、アメダスはもともと雨量測定が目的であり、日射量、湿度、CO₂ 濃度、土壤水分などの環境データは計測されていない。収量予測には日射量 (光の強さ) のデータが必要であるが、アメダスは日照時間 (晴れている時間) しか観測していない。作物や病害発生等に関するデータはほとんどなく、圃場実験やフィールドワークでたまたま収集されたデータ程度しかない。しかも、こういったファクトデータは研究者のリタイアとともに散逸してしまっている。ゲノム系サイエンスに比べてフィールドにおける研究や技術開発が非常に遅れて見えるのは、決定的な情報不足にある。

フィールド用センサネットワークは情報不足を解決するブレイクスルーになりうると考えられる。フィールドサーバは農場や森林などのフィールドで長期定点観測し、得られた情報をインターネット経由で自動収集する多機能なセンサノードであり、蓄積されたデータは Web 上で皆が共有できる [1]。

フィールドサーバの基本コンセプトは 10 数年前に遡る。しかし、当時の技術では、無線機 (業務用また

は CB 無線用トランシーバ)、TNC (パケット無線用ターミナル・ノード・コントローラ)、ネットワーク用サーバ (パソコン通信ホスト局)、電話回線からなる大規模なシステム構成となり、農業者がポケットマネーで多地点に設置することは困難であった。

その後の IT の大幅な進歩によって、はるかに高性能なセンサノードを安価に製作できるようになった。機能を絞れば、SmartDust のようにホコリ程度のサイズにまで小さくすることさえ可能である [2]。ただし、屋外に設置するセンサノードは極端に微小化する必要はなく、むしろプライバシー保護やメンテナンスのため、ある程度の大きさを有する必要がある。そのため、フィールドサーバの内部に、センサ、カメラ、画像認識チップなどを多数搭載し、高機能化しやすい。

2. フィールドサーバの機能

2.1 屋外用のセンサノード

屋外では、豪雨、台風 (ハリケーン)、砂嵐、昆虫等小動物の侵入、紫外線や微生物による浸食に長期間耐えなければならない。概して電子回路は高温に対して弱い。-60°C ~ 80°C の気温変動に対して安定的に稼働できるようにする必要がある。そのため、フィールドにおける長期定点観測は、現地にエアコン、商用電源、データ通信のための公衆電話回線、観測装置を備えたプレハブの観測小屋を建てるのが常套手段であった。

フィールドサーバはこれらと同等の機能を直径 200 mm の耐候性筐体に詰め込んだものであり [3]、冷却用ファン、無線 LAN 基板、計測用 Web サーバ基板 (フィールドサーバ・エンジン)、ネットワークカメラ、LED 照明、太陽電池等が搭載されている (図 1)。セ

ひらふじ まさゆき

(株)農業・食品産業技術総合研究機構

〒305-8666 つくば市観音台 3-1-1

オペレーションズ・リサーチ



図1 フィールドサーバ (標準型)

ンサは、気温、湿度、日射量、CCD/CMOSカメラを標準実装し、土壌水分、葉の濡れ、CO₂濃度、紫外線強度、3次元風向・風速等のセンサを追加できる。

2.2 屋外に設置するPC

フィールドサーバは屋外に設置するPCでもある。フィールドサーバのために新たに開発したオリジナル・パーツは、筐体、フィールドサーバ・エンジン、超高輝度LED照明モジュールだけであり、できるだけ市販パーツを活用することをポリシーとした。とくにPC用パーツは途上国で入手しやすく、フィールドサーバの海外展開が容易になる。

必要に応じて画像認識基板、小型PC基板、液晶ディスプレイ、熱画像カメラ等を搭載可能であり、機能を大幅に拡張できる。ただし、こういった高機能なモジュールは暴走しやすく、消費電力も大きい。そのため、フィールドサーバ・エンジンによってON/OFF制御される。

2.3 ユビキタス・ネットワーク

電波法は国によって大きく異なるが、無線LANはWi-Fiによる標準化が進み、ほとんどの国で利用可能である。そのため、海外での展開を考慮すると現状ではWi-Fiが最適である。無線LAN機器は現在、進歩が極めて早く、製品サイクルも短い。そのため、市販の無線LANカード、アクセスポイント基板、Ethernetコンバータ等を適宜組み合わせで搭載している。

無線LANの通信可能な距離はアンテナによって大きく異なるが、数100m～数kmである。メッシュネットワーク[4]またはWDS (Wireless Distributed System) によって多段中継すると広域をカバーする

ことができる。基幹回線を構成するフィールドサーバは常時稼働するため、外部電源または大型太陽電池で駆動される。

フィールドサーバの周囲数100mの範囲にWi-Fiホットスポットが生成され、インターネットをフリーで利用できる。Wi-Fiホットスポット内には、内蔵の小型太陽電池のみで稼働する間欠動作するフィールドサーバを高密度に設置することができる[5]。

農林地は人目がほとんどなく、通学路の近くに畑や林があると児童にとって極めて危険なエリアとなる。また、農産物の盗難も相次いでいる。農林地にフィールドサーバを設置すると、消費者に農業の生産現場を見せることができると同時に防犯にもなる。また、溪流釣りやキャンプをしながらインターネットを楽しむことができる。フィールドサーバによって、「ITの便利さ」、「田舎暮らしのスローライフ」および「自然の快適さ」の相乗効果が生まれ、グリーンツーリズムやエコツーリズムの魅力アップにも寄与すると考えられる[5]。

3. フィールドサーバをサポートするソフト

3.1 フィールドサーバ・エージェント

フィールドサーバは計測データをWebで表示するWebサーバであり、ブラウザで操作できる。世界各地のフィールドサーバからデータを収集しデータベース化する作業は人間の代わりにフィールドサーバ・エージェント (一種の人工知能ソフト) が自動的に行う。エージェントは各地のフィールドサーバを一定周期で巡回し、あらかじめ入力したルールに従ってデータ収集やフィールドサーバのLEDライトのON/OFF、カメラの撮影など一連の作業を行っている[6]。収集されたデータは農林水産計算センター (電農館) のデータストレージ・サーバにアーカイブされ、Webで公開されている (図2)。現在、エージェントは中央農研のPCクラスタ上で稼働しており、フリーのネットワーク・サービスとして運用されている[7]。

ただし、インターネットに接続できない地域や接続が不安定な場合には、超小型PCにエージェントをインストールした「エージェント・ボックス」を用いてローカルにデータ収集を行っている。

3.2 MetBroker

フィールドサーバが収集するファクトデータは生態系・地球環境に関する一種の知的資産である。こうい

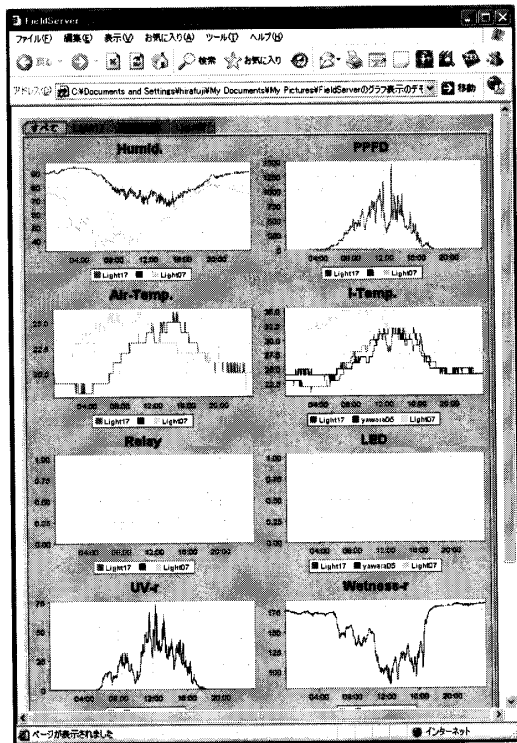
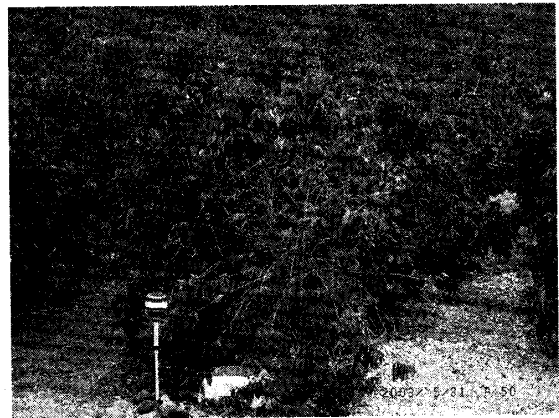


図2 データビューアソフト (AppletまたはServletとして無償提供) によって各地のフィールドサーバが収集したデータを表示した例



海外の農場 (ハワイ島 UCC コーヒー農園)



みかん農園 (静岡県)

図4 生産現場の画像の例

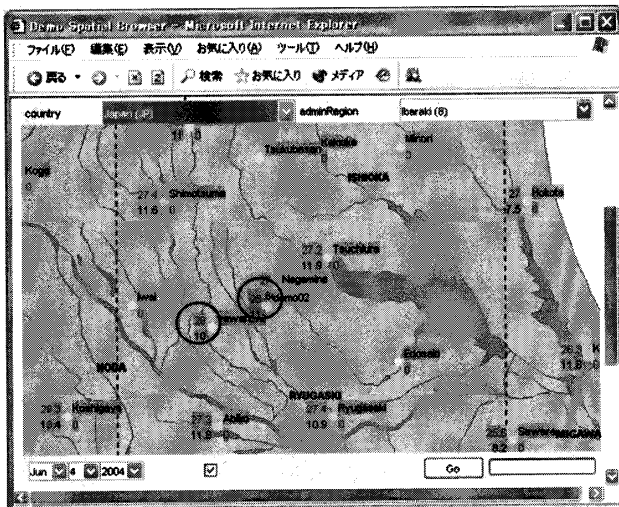


図3 MetBrokerによる気象データベースの統合利用 (円内がフィールドサーバ, それ以外は AMeDAS)



図5 野菜集荷場の無農薬野菜 (埼玉県)

ったファクト・データベースを仮想的な一つの巨大データベースとして利用することができるネットワークサービス「MetBroker」が開発されている[9, 10]. MetBrokerによってフィールドサーバや AMeDAS 等の様々な形式のデータベースの入出力が統合され、データ・グリッドとして総合的に利用することができる (図3).

4. アプリケーション

フィールドサーバが収集したデータは MetBroker 経由で病害虫や霜害等気象災害の発生予測, 生育管理等の様々なアプリケーション (Applet) で利用されている[11]. また, 画像データは作物の生長モニタリング, 防犯に利用されている. また, 農作業事故の早

期発見、台風や地震等災害時の現況モニタリング等にも活用できる。消費者は生産現場の履歴画像を見て農薬散布の頻度等を確認できる(図4)。また、消費者が購入した農産物が食卓に届くまでの履歴を消費者自らが見ることができる(図5)。従来のトレーサビリティシステムはRF-IDのすり替えに対して脆弱であったが、クローズアップ画像が撮影されていると農産物の形状の違いを生体認証として利用できる。

5. 現在の研究課題

5.1 センサおよびインタフェース回路

花粉、鳥インフルエンザウイルス、病害孢子、河川の水質、有害物質、放射線廃棄物など、屋外におけるリアルタイム・モニタリングへのニーズは増える一方である。また、新しいセンサが追加されるだけで目的が達成されるケースも多い。例えば、土壌水分センサで土壌水分を計測すれば、降水量のデータから土壌水分を推定するモデルは不要になる。

フィールドサーバのA/Dコンバータは当初、4chであり、利用できるセンサは最大で4種類だった。最新のフィールドサーバ・エンジンは16chのA/Dコンバータを有し、3年で4倍になったが、近いうちに24chに拡充する予定である。その次のフィールドサーバ・エンジン(図6)は50chとなるが、さらに100ch、200chと増えていくかもしれない。画像を計測するイメージセンサは一足先に30万画素から300万画素、800万画素と増えている。

センサ数が増えるに従ってセンサとのインタフェース回路は極めて複雑なものとなる。しかも、いったんフィールドサーバを屋外に設置してしまうと、回路の調整や変更のために現場を訪れるのは非常に大変である。この問題を解決するため、FPAA(Field Pro-

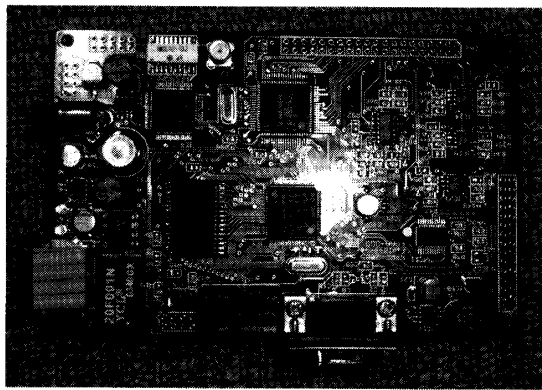


図6 FPAA搭載型フィールドサーバ・エンジンのプロトタイプ

grammable Analog Array)を使ってインタフェース回路をソフトウェアで動的に変更できるフィールドサーバ・エンジンを開発している(図6)。

5.2 フィールドストレージサーバ

各地で発生する大量のデータはその近くで蓄積し、インターネットで共有する方が効率的である。データストレージを設置する家屋やビル等が周囲にない場合や中国の極寒地や砂漠などでデータを長期間安定的に保存するため、フィールドストレージサーバ(FSS)を開発している(図7)。現在のところ、FSS1台あたり最大で1TBのデータを記録できる。

生産現場の監視や防犯などの用途にフィールドサーバが使われると、証拠隠滅のため犯罪者によってストレージが攻撃される危険性があるが、遠隔地のFSSにデータを分散保存することで攻撃からデータを守ることができる。FSSは屋外に設置できる分散型汎用ストレージサーバであり、容量に余裕があれば一般商用利用にも活用できる。

風力や水力、太陽エネルギーなどの自然エネルギーは広い空間に薄く分布しており、これを送電線で都市まで運んで利用すると大きな送電ロスが発生する。小型風力発電機や小水力発電で得られた電力はその場でFSSに消費させれば、エネルギー利用効率は飛躍的に高まると考えられる。

5.3 低コスト化

現在、フィールドサーバはイーラボエクスぺリエンス社[12]から研究者向けに発売されている(1台23万円)。また、松下電工(株)が一般向けのフィールドサーバ(図8)の市販を計画している[13]。センサネットワークを構築するためには、フィールドサーバを多数設置する必要があるが、少しでも安価であることが望ましい。低コスト化のためには量産規模を大きくする必要があるが、在庫リスクが大きくなるため、一度にたくさん製造するのは現段階では困難である。

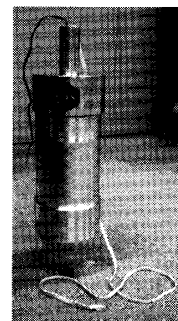


図7 フィールドストレージサーバのプロトタイプ



図8 松下電工製フィールドサーバのプロトタイプ (つくばスタイルフェスタ会場)

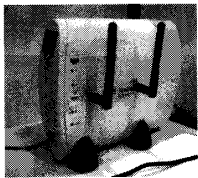


図9 Wi-Fi メッシュネットワークルータと高機能フィールドサーバのプロトタイプ

そのため、小ロット生産でフィールドサーバを様々な用途に利用できるようコストを抑えながら少しずつ高機能化する一方、ニーズにあわせて機能を選択できるようにしてローエンドからハイエンドまでの様々なフィールドサーバを提供できるようにしつつある[14].

5.4 高機能化

フィールドサーバの画像モニタリング機能は通学路の安全確保や不法投棄の防止など、都市エリアにおける人目のないエリアを守るために活用できる。他方、Wi-Fi メッシュネットワークの中継ノードを広域で確保するためには市街地でもフィールドサーバを設置したくなる機能が必要であり、需要の限られた農村エリアだけでなく都市エリアにも設置できると、量産効果によってフィールドサーバの価格は大幅に下がることが期待される。

そこで、Wi-Fi メッシュネットワーク、最新のフィールドサーバ・エンジン、多数のセンサ/カメラ、顔認識 LSI、液晶ディスプレイ等を搭載した都市エリア用の高機能フィールドサーバを開発中である (図9)。小型 PC 基板を追加すると、Windows-XP,

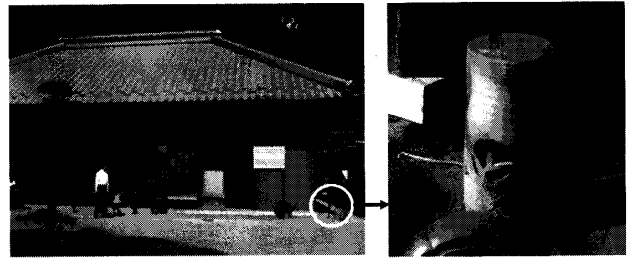


図10 陶器製筐体のフィールドサーバ

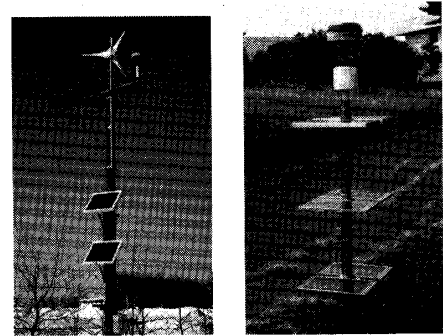


図11 太陽電池・風力発電による電源供給の例

Linux, Skype, 動画通信ソフト等を走らせることもできる。これにより、将来の超小型センサノードが備える高度な機能を今すぐ活用出来る。

5.5 安全・安心のためのアプリケーション

画像認識技術や画像表示技術と組み合わせて、不法投棄防止や通学路等の安全を見守るフィールドサーバによるセンサネットワーク・システムも並行して開発されつつある[15].

つくばエクスプレス開業記念イベント「つくばスタイルフェスタ」(2005年10月1日~31日)の会場に、古民家にマッチしたデザインのフィールドサーバ(図10)やハイビジョンカメラによる全方位動画撮影を行うフィールドサーバなど様々なタイプのフィールドサーバを8台設置し、実証実験を行った。これによって都市エリアに必要な機能が明らかとなってきた。

5.6 自然エネルギーの利用

太陽電池1Wあたりのコストは1,000円を割っているが、大型の太陽電池や風力発電とフィールドサーバ(図11)の施工は非常に面倒である。そこで、大型太陽電池をフィールドサーバと一体化させつつある。

自然エネルギーで駆動されるフィールドサーバをビルの屋上、庭園、農村、砂漠等に設置することによって、企業や個人でも地球環境問題に対して直接あるいは間接的に寄与することが出来る。

5.7 国際的な連携・協調

地球観測データの収集のためにはフィールドサーバ



図12 フィールドサーバの実験サイト

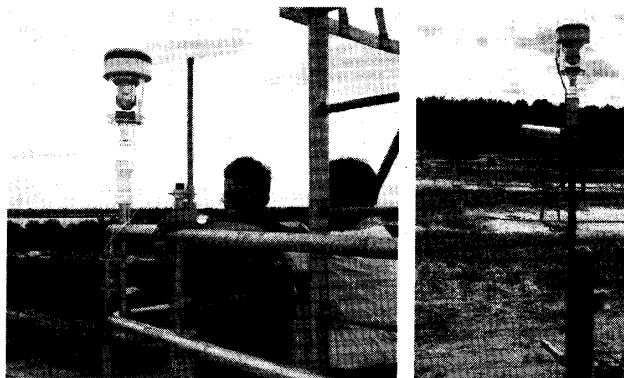


図13 フロリダ大に設置されたフィールドサーバ

を世界各地に大量に設置しなければならない。一方、アフリカ等の内陸部には未だに気象観測ステーションがなく、WMO（世界気象機関）からは低コストの農業気象観測ステーションとしてフィールドサーバに期待が寄せられている。しかし、通信回線事情等は国ごとにかなり異なり、また屋外環境では予想外の問題がしばしば起こるため、現地で長期稼働テストを重ねながら改良してゆく必要がある。

そのため、技術移転や国際協力あるいは共同研究としてフィールドサーバを各地に設置し、テストと改良を進めている（図12）。アメリカのフロリダ大学（図13）では、Wi-Fiによる遠距離通信、遠距離でのデータストリームの伝送実験、耐久性テストなどを行っている。

タイは有数の農業国であり、農場の環境データに大きなニーズがある。環境モニタリングおよびIT教育の手段としてフィールドサーバに大きな期待が寄せられている。中央農研とMoUが締結され、タイの国情にあわせた低コストのタイ製フィールドサーバがNECTEC（National Electronics and Computer Technology Center）およびHAI（Hydro and Agro Informatics Institute）によって開発された（図14）。既に約600カ所で実運用に供されている。



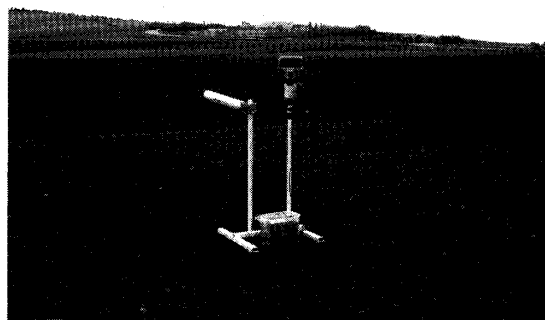
図14 タイ製フィールドサーバと研究リーダーのPisuth Paiboonrat氏



ハルビン（黒竜江省農業科学院栽培耕作研究所）



河北省・保定（河北農業大学）



シリア（国際乾燥地農業研究センター）
図15 乾燥地に設置されたフィールドサーバ

世界各地で耕地の塩類集積, 土壌流亡, 水資源不足などが深刻化しつつある。JICAは中国における持続的農業の推進のため, フィールドサーバを活用している。

毎年, 我が国の耕地面積に相当する600万haの耕地が砂漠化している。沙漠を緑化し, そこで持続的農業を行うためには, 乾燥地での栽培事例データを集めて作物の適応性評価を行い, 最小限の灌水量で栽培する必要がある。そのため, 各地でフィールドサーバの設置が試みられている(図15)。

6. おわりに

これまでの実験では, 30台のフィールドサーバが1年間稼働すると約1TB (10^{12} B)のファクトデータが収集された。3万台だと年間1PB (10^{15} B), 3千万台では1EB (10^{18} B)のオーダーに達する。センサ数や画像の解像度の増大によって, データ量はさらに増えるだろう。

フィールドサーバで得られる環境および生物のフェノタイプ(形質)に関する巨大なデータとイネゲノムプロジェクト等で収集されたゲノム情報を統合することで, ゲノム-生物-環境の相互関係を詳しく解析できるようになると考えられる。空間的に分布する微細な情報を大量に収集し, 既存のデータと統合して新たな知見を得る研究分野をフィールドインフォマティクスと呼んでいる[16]。フィールドインフォマティクスが農業や環境, 生物学に関する研究のブレイクスルーとなることを期待している。

参考文献

[1] Hirafuji, M. and T. Fukatsu, Architecture of Field Monitoring Servers, Proc. of the Third Asian Conference for Information Technology in Agriculture, 405-409, 2002
[2] Kahn, J. M., R. H. Katz and K. S. J. Pister, "Mobile Networking for Smart Dust," ACM/IEEE Intl. Conf.

on Mobile Computing and Networking (MobiCom 99), Seattle, WA, Aug., 1999

- [3] 深津時広, 平藤雅之: 圃場モニタリングのためのフィールドサーバの開発, 農業情報研究 12 (1), pp. 1-12, 2003
[4] <http://www.thinktube.com/>
[5] Hirafuji, M., T. Fukatsu and Hu Haoming, Full-Wireless Field Monitoring Server for Advanced Sensor Network, Proc. of AFITA/WCCA 2004, 686-691, Bangkok, Thailand, Aug. 2004
[6] Fukatsu, T. and M. Hirafuji, "The Agent System for Field Monitoring Servers to Construct Smart Sensor-Network," Fifth International Workshop on Artificial Intelligence in Agriculture, 1-5, 2004.
[7] <http://model.job.affrc.go.jp/FieldServer/>
[8] Hirafuji, M., 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, 2000.
[9] Laurenson, M. R., T. Kiura and S. Ninomiya, "Providing agricultural models with mediated access to heterogeneous weather databases," Applied Engineering Agric., 18, 617-625, 2002.
[10] <http://www.agmodel.org/>
[11] <http://cse.naro.affrc.go.jp/ketanaka/model/applet/>
[12] <http://www.elab-experience.com/>
[13] <http://www.mew.co.jp/press/0504/0504-1.htm>
[14] Hirafuji, M., T. Fukatsu, H. Hu, H. Yoichi, T. Kiura, S. Ninomiya, M. Wada, H. Shimamura, Field Server: Multi-functional Wireless Sensor Network Node for Earth Observation, Proceedings of SenSys '05: the Third International Conference on Embedded Networked Sensor Systems, 304, 2005
[15] <http://www.toshiareaproject-tsukuba.jp/>
[16] http://narc.naro.affrc.go.jp/jyoho/aats/area/field_page01.html