

量産型フィールドサーバの製造手法 に関する総合的研究

2014年2月

中山 将司

量産型フィールドサーバの製造手法 に関する総合的研究

筑波大学大学院

生命環境科学研究科

先端農業技術科学専攻

博士（農学）学位論文

中山 将司

目次

第1章 緒言	1
1.1 農業を取り巻く環境	2
1.2 農業分野のセンサネットワーク	3
1.3 研究の目的と内容	6
第2章 フィールドサーバの仕様に関する調査と評価実験	11
2.1 研究目的と方法	12
2.2 聞き取り調査	12
2.3 作物別要求仕様	13
2.4 施設園芸を対象にした評価実験	14
2.5 評価実験の結果	16
2.6 フィールドサーバの仕様に関する調査と評価実験の考察	17
第3章 量産型フィールドサーバの設計・製造手法の検討	29
3.1 研究目的と方法	30
3.2 多品種少量生産の検討	32
3.3 多様な要求仕様に適合できる低コスト化設計・製造手法	33
3.4 設備投資と製造コストのトレードオフ関係	34
3.5 品質コストの構成	36
3.5.1 品質コストの最適値の考察	37
3.5.2 ノード数と品質の関係	39
3.6 耐久性及び安定性の向上のための機能の追加	39
3.7 MP-FS2 の評価実験	41
3.8 MP-FS2 の評価実験の考察	42
3.9 量産型フィールドサーバの設計・製造方法の考察	45

第4章 アプリケーションに関する調査と評価実験.....	69
4.1 研究目的と方法.....	70
4.2 聞き取り調査.....	72
4.3 調査結果.....	73
4.4 アプリケーション (FS-view1) の評価実験.....	75
4.5 アプリケーションの評価実験結果	76
4.5.1 FS-view1 の評価結果.....	76
4.5.2 FS-view1 の改良要求と FSview2 の仕様	76
4.6 アプリケーション (FS-view2) の評価実験	79
4.7 アプリケーション (FS-view2) の評価実験結果	79
4.7.1 FS-view2 の評価	79
4.6 アプリケーションの課題	80
4.7 アプリケーションに関する考察	82
第5章 総合考察.....	92
5.1 今後の展望	93
5.1.1 大規模農業.....	93
5.1.2 屋上緑化事業.....	95
5.1.3 Phenomics 研究.....	95
5.1.4 住宅エリア	96
5.2 展開事例	96
摘要	104
謝辞	106
関連業績リスト	108
引用文献.....	109

目次

図 1-1	研究フロー	10
図 2-1	MP-FS1 の筐体.....	19
図 2-2	MP-FS1 の設置の例	20
図 2-3	MP-FS1 計測データ表示画面の例.....	21
図 2-4	評価実験のシステム構成	22
図 2-5	実証実験中に開催された農家ミーティングの様子.....	23
図 2-6	通信不具合によるデータの欠損.....	24
図 3-1	MP-FS2 の筐体の製造方法	47
図 3-2	MP-FS2 の筐体の構成	48
図 3-3	MP-FS2 の筐体の構造	49
図 3-4	生産台数と製品コストの関係	50
図 3-5	適合品質に対する予防コスト P, 評価コスト A, 失敗コスト F の関係.....	51
図 3-6	製品コストと適合品質の関係	52
図 3-7	製品コストと適合品質の最適値	53
図 3-8	ノード数と要求品質の関係の概念図.....	54
図 3-9	MP-FS2 カメラ筐体	55
図 3-10	MP-FS2 カメラ筐体内部の機能追加	56
図 3-11	MP-FS2 筐体内部の機能追加 (粉塵対策)	57
図 3-12	MP-FS2 筐体内部の機能追加(基板劣化対策).....	58
図 3-13	MP-FS2 の設置の例	59
図 3-14	MP-FS2 の計測データ表示画面の例.....	60
図 3-15	茨城県内における不法投棄防止のための実験 (MP-FS2 本体)	61
図 3-16	茨城県内における不法投棄防止のための実験 (FS-MP2 カメラ, センサ)	62

図 3-17 茨城県内の農業法人における利便性確認のための実験 (MP-FS2 本体)	63
図 3-18 茨城県内の農業法人における利便性確認のための実験	64
図 3-19 石垣島における夏場の内部温度実測のための実験	65
図 3-20 石垣島における夏場の内部温度実測のための実験	66
図 4-1 FS-view1 画面例	86
図 4-2 FS-view2 複数圃場比較の画面例	87
図 4-3 FS-view2 生育ステージ記録の画面例	88
図 4-4 FS-view2 作業履歴入力画面例	89
図 5-1 親機・子機システム構成	98
図 5-2 集団営農用システムイメージ	99
図 5-3 屋上緑化管理用センサネットワークのイメージ	100
図 5-4 住宅エリア向けセンサネットワークのイメージ	101
図 5-5 電気自動車用充電設備	102
図 5-6 電気自動車用充電設備の筐体共有事例	103

表目次

表 2-1	聞き取り調査を行った試験研究機関.....	25
表 2-2	作物別の要求仕様.....	26
表 2-3	量産型フィールドサーバ MP-FS1 の仕様.....	27
表 2-4	設置場所に係わるニーズ及び改善点.....	28
表 3-1	MP-FS1 と MP-FS2 の仕様比較.....	67
表 3-2	パターン別の製品コストの比較.....	68
表 4-1	FS-view1 の要求と対応.....	90
表 4-2	FS-view1 と FS-view2 の仕様の比較.....	91

第1章 緒言

1.1 農業を取り巻く環境

農業・農村の持続的な発展のため、「効率的かつ安定的な農業経営」が農政推進上必要不可欠となっている（農林水産省 2012）。そのためには他産業並みの所得を確保し、生産性の高い営農を行う必要がある。また農業改良普及事業においては、従来までの一般的な技術指導だけでなく経営全般のカウセリング・コンサルティングも行うことが求められるようになり、個々の営農現場において活用できる支援ツールへのニーズが高まっている（南石 2003）。一般に農業は地域の生産者集団で成り立っているケースが多く、ひとつの集荷場に出荷する農業生産者の集まりで成り立っている。そこに JA の農業改良普及員や農業改良普及支援センターの普及指導員らが参画し地域の農産物の付加価値向上・ブランド化に努めている（農林水産省 2013）。さらに、少子高齢化が進む中、地域の生産技術の伝承が難しくなるという課題がある。生産現場では生産履歴を残し技術を伝承する取り組みが行われ（一般社団法人食品需給研究センター 2005）、農業技術体系データベースの効率的な構築手法についての研究が進められている（南石ら 2006）。

一方、高齢化により農地を手放し遊休地が年々増加するという課題があり、農業法人が遊休地を借り、より大規模な経営を実施している（農林水産省 2011）。複数の圃場の管理を行い、「均質で高品質な営農を行うために各圃場の環境データを遠隔地で把握したい」、「生産履歴を残したい」という要望があり、実際にセンサネットワークを取り込み営農している農業法人もある（農林水産省 2014）。先端的・先進的農業

法人においてはセンサネットワークによる圃場のデータ管理が既に開始されている (2011 竹内ら)。年間の所得においても先端的・先進的農業法人は他の産業と同程度以上の所得があり、今後の農業を支える主役になることが想定される (遠藤 2012)。

しかし、センサネットワークは一般の農業生産者の圃場にまで広く普及していない (平藤ら 2013)。一般の農業生産者にとっては、これまでの経験と結びつかないデータは単なる数字の羅列であり、実際に収集したデータをどのように分析し実際の営農作業に役立てれば良いかを判断することは難しい。しかし、センサネットワークを導入して実際にデータを収集しないと現実の経験と結びつけることはできない。一方、センサネットワークが広く普及しないと価格は高く、一般の農業生産者にとって導入は難しい。この状況を変えるには、一般の農業生産者にも導入が容易に利用できる簡便で安価なセンサネットワーク・システムが必要である。

1.2 農業分野のセンサネットワーク

センサネットワークの研究は 1990 年代末、MIT における Smart Dust の開発が契機となって活発となった (Kahn et. al 1999)。農業生産管理の ICT 化に向けてセンサネットワークの研究が、農業分野においても進められている (Romer and Mattern 2004)。

日本では、農業分野のセンサネットワークとしてフィールドサーバ (Hirafuji et al. 2002, 深津ら 2003) が開発された。これらは無線による独自のネットワークを構成し、お互いの情報をアドホック通信によって伝送するセンサネットワークである。

これらの研究によって開発された技術をベースにしてセンサノードや無線通信デバイス等が製品として各社から発売されるようになり，例えば MOTE（クロスボー 2013）やフィールドサーバ（eLab experience 2013）が市販化された。

Smart Dust のコンセプトは「埃のように微小なセンサノードをばらまく」ことであり，現場にばらまくことができるほどに安価になることが期待された。しかも，センサネットワークの研究がスタートした時期とほぼ同時期に RFID の実用化が一気に進んだため，センサノードは μ チップ（日立製作所 2013）などのように低コスト化され，現場にばらまくことができるほど安価に供給されることが期待された。しかし，コストパフォーマンスはまだ低く広範な普及には至っていない。

一般に，小ロット生産において高品質な製品を低コストに生産するのは現代の大量生産方式では困難である。工業製品は最低でも 1000 台単位，ある程度低コストに販売するには 1 万台単位の生産が不可欠である。とくにシステム LSI 等高機能な半導体デバイスでは 1 枚のウェハ上に数 100～数 1000 個が同時に生産され，しかも多数のウェハを 1 ロットとして生産するため，数千万個単位のオーダーで販売しないと低価格化は期待できない（小谷・西村 2005）。そのため，センサノードを μ チップあるいはスマートフォンのレベルにまで低コスト化させるには多大な投資が必要であり，その投資を回収できるだけの大規模な市場が必要となる。

農業用センサネットワーク市場はまだ小さく，低コストの農業用センサノードの製造には極めて大きな事業リスクを伴う。その一方，民間による農業分野の ICT ビジネ

スが活発となりつつあり，農業生産現場における環境及び生育のリアルタイム・モニタリングのためのセンサネットワークへのニーズは着実に拡大している．農業用においては，小ロット生産において安価な製品の供給が望まれているが，市場規模が小さい段階で製造コストを下げることは困難である．フィールドサーバの研究開発においては，このジレンマを解決するため以下の二つの方法が試みられた．

①汎用性の高い市販製品をできるだけ活用し自作する（Hirafuji et al. 2002, 深津・平藤 2003）

②オープンソース技術を活用し自作する（Hirafuji et al. 2011, 平藤ら 2013）

①の方法では，Ethernet と TC/P IP をベースとし，その時点でもっともコストパフォーマンスの高い市販製品を組み合わせて容易に搭載できるアーキテクチャが開発された．この方法ではカスタマイズが容易であり，設置場所や研究テーマごとに多種多様なフィールドサーバが制作された（堀ら 2011）．ただし，汎用化・多機能化を実現するために多数の市販製品を搭載する必要があり，現時点以上の低コスト化には限界が見られる．

そこで，②の方法ではオープンソース技術を活用し現場で必要とする機能のみを備えたフィールドサーバを簡単に自作できるようにすることで，さらなる低コスト化が図られている．しかしながら，どちらの方法も基本的には自作による低コスト化であり，ある一定の技術的知識と工作のスキルが要求されるため，ユーザは研究者や技術者，電子工作を趣味とするホビースト等に限定され，一般ユーザを対象とした広範な

利用には適さない。

農業現場に広く導入するためには、十分な品質と性能を有し購入してすぐに利用できる家庭電化製品のなフィールドサーバが望ましい。上記の自作方式よりも高コストであっても、最低限の機能を有し完成品としてすぐに利用できる場合には一定の市場が期待できる。また、このような製品が投入されることで市場が拡大すれば、大量生産による低コスト化のメリットが得られるようになることが期待できる。上記②の方法によれば内部の電子回路部は小ロット生産でも低コスト化が可能であることから、フィールドサーバの低コスト化はフィールドサーバの構造、即ち筐体の設計及び製造手法がキーポイントになる。

1.3 研究の目的と内容

初期に市場に投入されたフィールドサーバにおいては、センサネットワーク研究における現地実験がメインの用途であった（平藤 2005）。現場で発生した不具合には研究者自らが対応できることから、低コスト化が重視された。しかし、当時市販されていたネットワークカメラ等のコストパフォーマンスは低く、それらを組み込んだフィールドサーバ全体の価格を無理に下げると必要以上にフィールドサーバの機能を低下させることになった。このようなジレンマの中で低コスト化への先導的取り組みやそこで得られる知見や技術は研究開発におけるシーズとなったが（平藤 2007）、これを一般ユーザが業務に使用しようすると、「無線LANルーターの設定ができない」、

「現場で突発的に生じた機器の故障によりデータが収集できない」、「電波の遮蔽でデータが送信できない」といったトラブルに対して的確に対応できないという問題が見られた。フィールドサーバの開発が始まった当時は、ADSL や光回線などブロードバンドサービスの普及期にあり、ルーターの設定などは地元のショップが有料サービスを始めつつあるところであった。ユーザサポートを行うサービス網の提供は一般家電製品では必須であるが、そのようなサービスを提供するためのコストは製品価格に反映され、フィールドサーバのコストをアップさせる要因となる。

フィールドサーバを一般ユーザが業務に利用できるようにするためには、量産化によるコストダウン、製品の品質化、メンテナンスコストの削減などを同時に達成する必要があるが、そのような研究はほとんど見当たらない。

設置する現場の状況（温度状況や湿度状況等）を考慮し、内部の機器選定が重要となる。市場での不具合は回収費用や修理費用が発生し、当初想定していなかった費用が発生することになる。これは失敗コスト（Morse 1983）と呼ばれる。製品の品質は企業イメージにも大きな影響を及ぼす。例えば、ソニーのリチウム電池の発火事故では損失が 800 億円にのぼった。また、米国を中心とするトヨタの品質トラブルでは、2009 年から 2010 年にかけて欧米および日本でリコールが実施された。トヨタは日本のトップメーカーであり、かつ「品質の日本」を徴する存在であったため、この品質事故の衝撃は大きかった（伊藤 2013）。

農業分野のセンサネットワークの製品化においても同様の問題が発生する恐れが

あるが、品質とコストに関する研究は少ない。そのため、長期間、圃場等屋外で長期間にわたって継続して稼動できる低コストの製品は少ない。都市熱観測分野においては要求品質を満足しながら低コスト化を実現しようとする研究があり（酒井ら 2009）、各センサの低コスト化について研究がされている。しかし、データロガーや電池を収納する筐体全体を通じた低コスト化についての研究は見当たらない。

そこで本研究では、量産型フィールドサーバを低コストに製造するための製造手法に関する研究を行った。研究フローを図 1-1 に示す。

まず、農業現場で要求される最低限の機能を明確にするため作物別に仕様に関する聞き取り調査を行った。量産型フィールドサーバ 1 号機（以下 MP-FS1 と呼ぶ）を開発し、実際に施設栽培の営農現場に設置し、要求仕様を確認した。つぎに、その要求仕様に対して十分な品質を確保しながら低コスト化を行う方法について検討した。実際の機器の試作設計を繰り返し、製造方法についても検討を行った。その検討に基づいて量産型フィールドサーバ 2 号機（以下 MP-FS2 と呼ぶ）を開発し、評価実験を行った。これらによって、MP-FS1 に比べ品質コストが低減できることと、トータルのコストパフォーマンスが向上したことを確認した。

また、フィールドサーバの普及には、データを閲覧するアプリケーションに加え、収集データから適期作業を判断できるアプリケーションを用意することで、より普及すると考えた。地域内に所属する篤農家の圃場データと作業内容を数値化・文字化することにより、地域内の一般の農家に伝達するアプリケーションに関する検討を行っ

た.

まず、MP-FS1 の評価実験に合わせて、農家に事前ヒアリングを実施し営農用アプリケーション（以下 FS-view1 と呼ぶ）を開発した。MP-PS1 と FS-View1 を用いた評価実験を行い、そこで得られた要求事項を元にして新しいグループ用アプリケーション（以下 FS-view2 と呼ぶ）を開発した。

翌年、MP-FS1 と FS-view2 を用いた評価実験を行った。この評価実験では、グループで営農するグループメンバーが、より高品質・均質な栽培が可能となる方法について検討した。さらに、一般の農家が導入・活用できるアプリケーションについて検討・評価を行った。

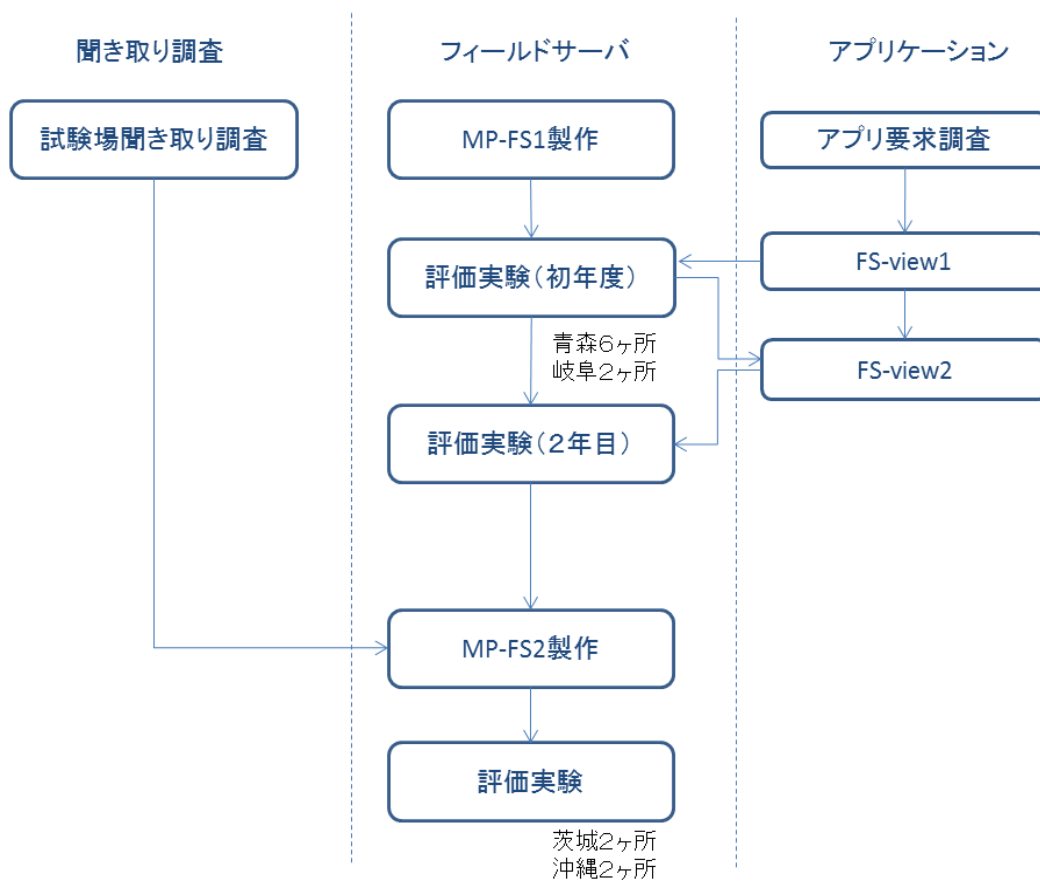


図 1-1 研究フロー

フィールドサーバに関するニーズを明確にするために、聞き取り調査と評価実験と同時並行的に行なった。

第2章 フィールドサーバの仕様に関する調査と評価実験

2.1 研究目的と方法

緒言で述べたように、これまでのセンサネットワークは小型化が主目的であったため、MOTE など単一あるいは少数のセンサを搭載している計測デバイスが主流であった（例えば、株式会社ティアンドデイ 2013）。画像及び圃場の多様な環境要素を計測するセンサネットワークとしてはフィールドサーバが提案され、様々な研究が進められてきた。

しかし、現場のニーズは多様であり、従来のフィールドサーバはそれらの多様なニーズの全てには対応しきれないと推測される。量産型フィールドサーバを開発し、大量生産に移行するには、それらのニーズを明確にする必要がある。

そのような観点から、まず聞き取り調査により、量産型フィールドサーバの作物別要求仕様を明確にした。更に MP-FS1 を用いて施設園芸を対象とした評価実験を行ない、実圃場での要求仕様を明確にした。これらの聞き取り調査と実圃場の評価実験で明らかとなった要求仕様を元に、量産型フィールドサーバとして MP-FS2 の仕様決定を行なった。

2.2 聞き取り調査

実際の営農で計測したい項目は作物毎に異なる。そこで対象を、稲作、茶、野菜、常緑果樹、落葉果樹に分類し、全国の試験研究機関において聞き取り調査を行った（表 2-1）。これらの調査では、各作物の成長に影響を与える環境要素について確認し

ながら，必要なセンサの種別・設置条件についてヒアリングした．また研究等で実際に計測している目的，センサ種別，必要な性能，ネットワークカメラの設置場所及び性能について調査した．

2.3 作物別要求仕様

試験研究機関で各種作物について聞き取り調査を行った結果，そのニーズは以下のように極めて多様であった．

- 1) 地域，作物ごとにセンサの種類と設置位置，カメラの設置位置が異なる．
- 2) 温・湿度センサ，日射量センサは共通して必要である．
- 3) 温・湿度センサは作物の品質と環境条件を研究する上で必要不可欠である．

毎年気象条件が異なり，その年にどのような温度条件，湿度条件で，どのような生育をしたかを知りたいという要望がある．

- 4) 温・湿度センサの設置位置は作物毎に異なった位置で計測したいという要望がある．
- 5) 野菜類においては，土壌温度，特に根の付近の温度を計測したいという要望がある．
- 6) 茶においては，複数の高さの温度を同時計測する．高級品質を保つ上での生育条件を見極めるために，地温，地面温，株面，株内，葉面，地上3m地点等を計測したいという要望がある．

- 7) 稲作や果樹栽培においては、収穫するタイミングを積算日射量から予測するため、特に重要である。
- 8) 稲の水位計や施設栽培の CO₂ センサのように、個々の作物にのみ必要なセンサを要求されるケースがあり、必要なセンサを追加できるインターフェースを装備する必要がある。

これらのニーズを作物別に整理した結果を表 2-2 に示す。

2.4 施設園芸を対象にした評価実験

施設園芸分野においては生育環境をコントロールすることが可能であるため、生育に関するデータ収集のニーズが、より高いと予想した。そこで全国農業改良普及支援協会へのヒアリングを行なった。

フィールドサーバの仕様調査に関する観点から、施設園芸分野における調査対象は大きく 2 つに分けて考えることができることが分かった。即ち、施設園芸施設は生育環境の自動制御機器を備えたガラス温室（以下、ガラス温室と呼ぶ）と環境制御の自動制御ができないビニルハウス（以下、ビニルハウスと呼ぶ）である。

調査を行なった約半数のビニルハウスでは、実際に温度計や湿度計を用いて計測を行っていた。既にこれらのデータを営農に活用していることから、温度や湿度のデータを自動的に収集可能なセンサネットワークへのニーズは高いと考えられた。また、

残りの半数は温室内の気温や湿度を測らずに栽培を行っていることから、気温や湿度を自動測定することでデータが簡単に得られた場合の経営改善に与える効果は大きいと考えられた。

またガラス温室では、建設費が2億円程度かかっているものが見られた。このような重装備型のガラス温室はビニルハウスに比べ極めて少なかった。農林水産省の統計によると（農林水産省 2014b）、平成 19 年のガラス温室の作付面積は 2,157ha、ビニルハウスは 4,8450ha であり、99.5%がビニルハウスである。これらから、ビニルハウスにおいてフィールドサーバの大きな市場があると考えられた。

そこで、対象作物をビニルハウスで栽培される夏秋トマトとし、フィールドサーバを実際に設置し、以下の方法で評価実験を実施した。

1) 農研機構で開発されたオリジナルのフィールドサーバ（以下、NARO-FS）では設置や移設を容易にするため、センサ、カメラ、無線 LAN モジュール等を単一の筐体に格納したオールインワン構造となっている。このコンセプトを継承し MP-FS1 を試作した（図 2-1, 図 2-2, 図 2-3, 表 2-3）。天面に日射量センサ、正面にカメラ、通気口近傍に温・湿度センサを設置し、更に無線 LAN モジュールを搭載した。筐体は樹脂筐体としデザイン性を重視した。筐体支柱は樹脂被覆をした鋼管を用いた。設置は、ベース方式と埋設工事、コンクリート基礎工事から選べる仕様とした。

トマト施設においては、高温除菌や農薬散布を密閉して行うため、その際に簡単にフィールドサーバを外して持ち運べるように、ベース固定方式を採用した。

2) 岐阜県高山市の農家圃場 2 カ所, 青森県三戸郡田子の農家圃場 6 カ所, 計 8 カ所の圃場に MP-FS1 を設置し, 2 年間にわたって評価実験を行った。システム構成図を図 2-4 に示す。

3) 年に 2 回, 定期的に農家ミーティングを開催し, 利用状況, 不具合, 修正箇所, 改善点・課題に関する聞き取り調査を実施した (図 2-5)。

2.5 評価実験の結果

実際のトマト栽培施設における評価実験では, 更に以下の要求仕様が明らかになった。

1) トマトの生育ステージに応じて, センサやカメラの設置位置を変えたい。特に育苗時の圃場は, 別の施設となる場合が多く, 計測位置や撮影ポイントが異なる。苗の段階では葉面が良く見えるように, 真上から撮影したいという要望があった。定植後は, 先端の葉のしおれ具合によって, 土壌水分量を調整するため, 先端の葉の状態を遠隔地からリアルタイムに確認したいという要望があった。実際の営農時は, 毎朝葉の状態を確認し, その日の水分量を決定している。

2) ビニルハウスによっては完全密閉ではないため, 入り口付近や, 中央, 奥部によって温・湿度が異なる。1 点計測したデータを施設全体の代表値とすることは危険であり, 多点計測データを平均して算出することで正確性が向上する。

3) 日射量センサは MP-FS1 の天面 (筐体の上の面) に設置していたため, トマト

の葉が覆った際、正確なデータが得られなかった。晴天か曇天か雨かを日射量にて判断したいという要望があったが、葉が覆い日射量データに変化が無く、天候の違いを判断することができなかった。日射量センサは、施設の梁などに設置できるよう、設置場所の配慮が必要である。

4) 実験中、何度か通信不具合が発生した。そのため、データ保存用の FS センターサーバに送信されたデータに欠損が生じた (図 2-6)。原因はトマトが生長するにつれ、MP-FS1 本体をトマトの葉が覆い通信ができなくなったためである。通信アンテナを外部に設置するか本体上部の比較的指向性の良い位置に設置する必要がある。

これら設置場所に係わるニーズ及び改善すべき点を表 2-4 に示す。

2.6 フィールドサーバの仕様に関する調査と評価実験の考察

作物別の聞き取り調査によって、作物・設置場所ごとに多様な要求仕様があり、しかも作物の成長に応じて計測対象が変化することが明らかとなった。MP-FS1 ではセンサやカメラを一体型としていたので、自由度が小さく、作物の成長に応じて計測点を変更することは困難であった。MP-FS2 では、センサやカメラを別置きにすることで位置調整を容易にした。こういったセンサやカメラの設置の自由度は極めて重要な製品仕様の一つであると考えられる。

野外用センサネットワークでは様々な想定外の問題が発生するためトラブルの事

例及び対応方法に関する情報は極めて重要であり、これまでに様々な報告がある（例えば、Pierce and Elliott 2008, 鈴木ら 2013）。MP-FS1 の実証実験では、トマトの葉が覆い茂ることで通信に不具合が発生したことや葉が日射量の測定に影響するなど、想定できなかったことを明らかにすることができた。今回、聞き取り調査では、作物別に要求仕様を調査したが、評価実験は、施設栽培のトマトのみのため、他の作物の実圃場の要求仕様は完全にカバーできているとは言えない。そのため、今後他の作物においても、実圃場で評価を行ない、要求仕様を明確にし、製品に取り込むことで、より農業分野でのセンサネットワークとして完成度が高まると考えられる。

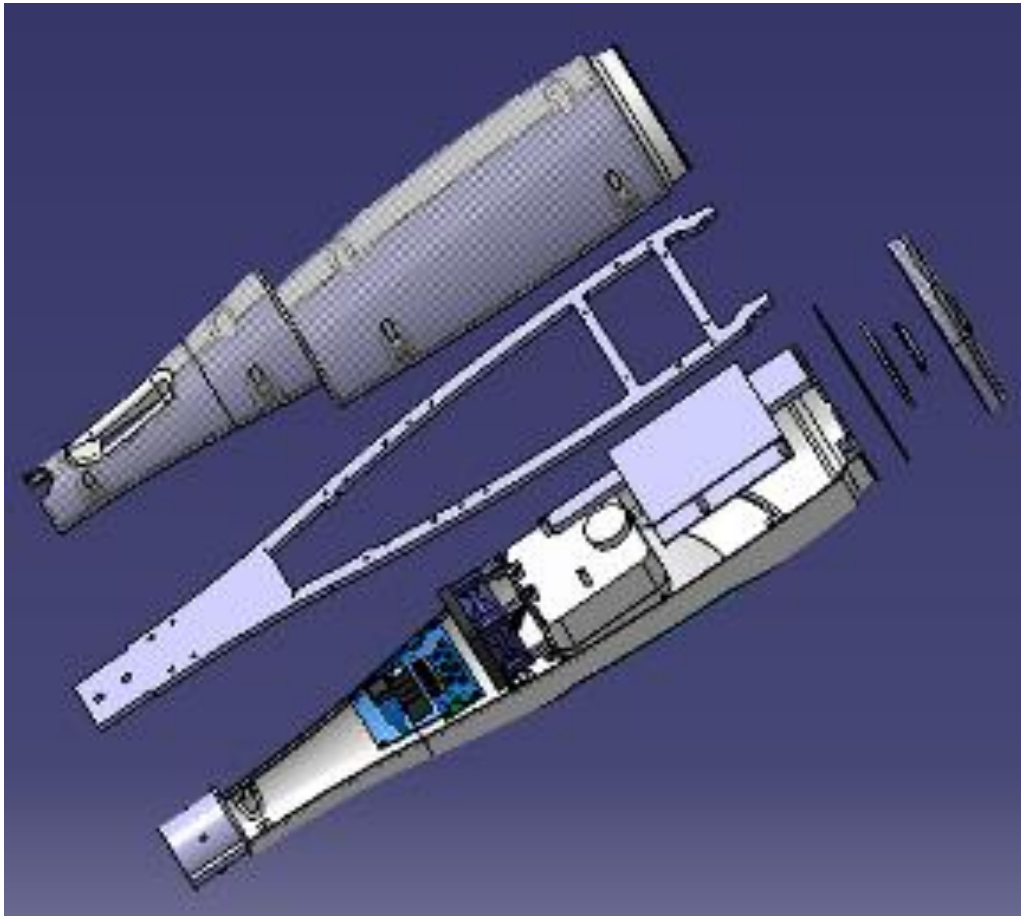


図 2-1 MP-FS1 の筐体

センサ、カメラ、無線 LAN モジュール等を単一の筐体に格納したオールインワン構造となっている。



図 2-2 MP-FS1 の設置の例

ビニルハウス内に設置された MP-FS1。農薬散布や土壌消毒時に施設内を高温にするため、本体取り外して移動しやすくするためにベース固定方式が採用されている。



図 2-3 MP-FS1 計測データ表示画面の例

MP-FS1 本体にはデータ表示ソフトが組み込まれており、現在の測定値、積算データ、月別データを表示することができる。PC から MP-FS1 に無線 LAN で接続し、データを閲覧することができる。また収集したデータをダウンロードすることができる。

飛騨高山

電源・ネットインフラ
完備している農家
2軒実施



青森県田子町

電源有り、
ネットインフラない農家
6軒実施

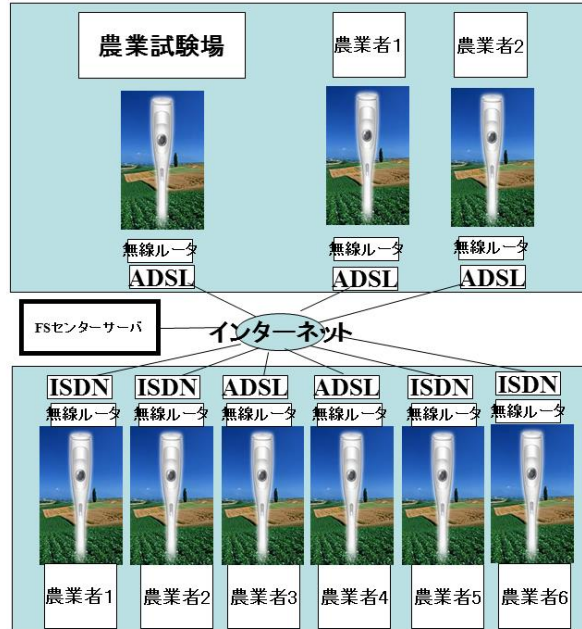


図 2-4 評価実験のシステム構成



図 2-5 実証実験中に開催された農家ミーティングの様子
フィールドサーバの設置に協力をいただいた農家の方々，全国農業改良普及支援協会，専門技術員の方との意見交換会．年に2回実施し，フィールドサーバに対する改良意見やアプリケーションの改良意見をいただいた。

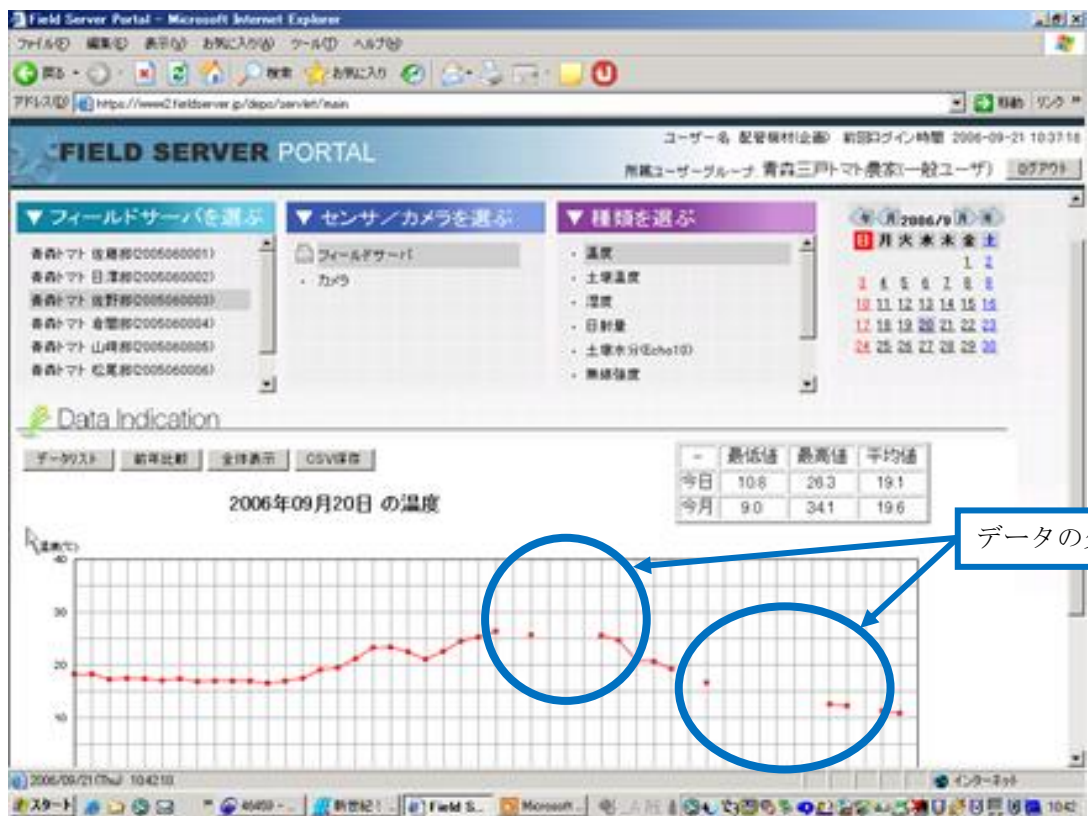


図 2-6 通信不具合によるデータの欠損

フィールドサーバの評価実験中に、トマトの葉がフィールドサーバを覆い、通信不具合が発生し、取得データを送信できずデータが欠損した。

表 2-1 聞き取り調査を行った試験研究機関

稲	茶	野菜	常緑果樹	落葉果樹
<p>■兵庫県 農林水産センター</p> <p>■岡山県 岡山農業総合センター</p> <p>■秋田県 秋田農業試験場</p>	<p>■三重県 三重県茶業研究室</p> <p>■静岡県 野菜茶業研究所 金谷茶業研究拠点</p> <p>■宮崎県 宮崎県総合 農業試験場茶業支場</p> <p>■鹿児島県 鹿児島県農政部</p> <p>■鹿児島県 鹿児島県総合試験場 茶業支場</p>	<p>■熊本県 熊本県農業研究センター</p> <p>■熊本県 熊本県八代地域 農業普及課</p> <p>■熊本県 熊本県農業大学</p> <p>■高知県 高知農業技術センター</p> <p>■福岡県 福岡県農業総合試験場</p> <p>■宮崎県 宮崎県農業総合試験場</p> <p>■三重県 三重県 野菜茶試験場</p>	<p>■静岡県 静岡県柑橘試験場</p> <p>■和歌山県 和歌山県 農業大学校</p> <p>■和歌山県 和歌山県農林水産 総合研究センター</p> <p>■愛媛県 愛媛県農業試験場</p> <p>■愛媛県 愛媛県果樹試験場</p>	<p>■山形県 山形県農業試験場</p> <p>■青森県 青森県 りんご試験場</p> <p>■山梨県 山梨県果樹試験場</p> <p>■長野県 長野県果樹試験場</p> <p>■福島県 福島県農業試験場</p> <p style="text-align: right;">計25箇所</p>

表 2-2 作物別の要求仕様

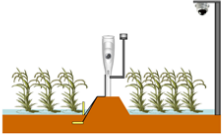
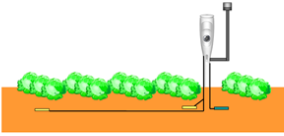
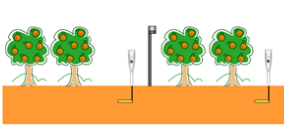
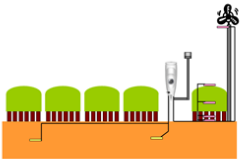
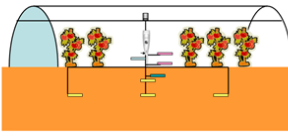
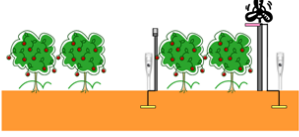
	稲	露地野菜	常緑果樹
計測			
温・湿度	1箇所	1箇所	1箇所
日射量	積算	-	木の影響の無い高さに設置
カメラ	近接と全体撮影が必要	成長に応じて可変	近接・高画素
土壌温度・水分	-	1haに3~5点分散設置	50mおきに設置
要求仕様	<ul style="list-style-type: none"> ・病害虫による変色を全体映像より確認したい ・水位計を多点設置したい ・水門の開閉を遠隔制御したい 	<ul style="list-style-type: none"> ・野菜の根付近 深さ30cmの地温 	<ul style="list-style-type: none"> ・カメラ位置を果実に合わせ 可変にしたい
	茶	施設野菜	落葉果樹
計測			
温・湿度	6箇所	3箇所	2箇所
日射量	-	施設の梁に設置	木の影響の無い高さに設置
カメラ	葉面	成長に応じて可変	近接・高画素
土壌温度・水分	深さ20~40cm	施設内3箇所程度分散設置	10aあたり3点分散設置
要求仕様	<ul style="list-style-type: none"> ・防霜ファンを制御したい 地上3m地点の気温 ・地温、枝内温度、葉表面温度を計測したい 	<ul style="list-style-type: none"> ・光合成に影響するCO2濃度の計測 	<ul style="list-style-type: none"> ・品種ごとに土壌水分データが必要 ・茶同様に防霜ファンを制御したい

表 2-3 量産型フィールドサーバ MP-FS1 の仕様

項 目		仕 様			
		測 定 範 囲	分 解 能	精 度	接 続 数
セ ン サ	温 度①(標準)	-20~60°C	0.1°C	±0.5°C	1
	温 度②(OP)	-20~60°C	0.1°C	±0.5°C	3
	湿 度(標準)	20~100%	1%	5%	1
	日 射 量(標準)	全天日射0~1.4kw/m ²	0.01kJ/m ²	±0.1kJ/m ²	1
	土 壤 温 度(OP)	-20~60°C	0.1°C	±0.5°C	2
	土 壤 水 分(OP)	0~40%	0.1%	±2%	2
	E C セ ン サ(OP)	0~5.0mS/cm	0.1mS/cm	±0.5mS/cm	1
	降水量・風向・風速	既存の気象計測器で対応	——	——	——
	結 露(葉面濡れ)(OP)	適切なセンサがない場合 温度-湿度からアルゴリズムで推定	0.1°C	±0.5°C	1
	水位計(OP)	0~1m	1.0cm	±1.0cm	1
	CO ₂ (OP)	0~5000ppm	1ppm	±5%	1
画像処理	カ メ ラ	32万画素 静止画 (必要に応じて高画質化が必要)			
使用環境	温度/湿度	-20~60°C / 20~100%			
	電 源/消費電力	AC100V、DC12V(太陽電池用)/最大10W			
構 造	外形寸法/重量	機能部Φ145mm 高550 / 3kg			
	設 置	ベース型、地中埋設、コンクリート埋設			

表 2-4 設置場所に係わるニーズ及び改善点

	設置場所に係わるニーズ及び改善点
カメラ	<ul style="list-style-type: none"> ・「播種」, 「育苗」, 「定植」, 「開花」, 「収穫」などの生育ステージに応じてカメラ位置を変更したい ・「播種」, 「育苗」の段階は真上から撮影したい ・「定植」～「収穫」の段階は作物の先端部分の拡大画像が必要
温・湿度	<ul style="list-style-type: none"> ・栽培施設の入口, 中央, 奥側で温・湿度が異なるので, 多点での計測が必要 ・葉先の温・湿度が必要。成長に応じて、高さを変更したい
日射量	<ul style="list-style-type: none"> ・トマトの葉が覆って, 正しく計測できなかった ・栽培施設の梁, または外部に設置できるよう別置きにしたい
土壌水分	<ul style="list-style-type: none"> ・灌水チューブの水圧によって入口付近と奥側で水分量が異なるので, 多点での計測が必要

第3章 量産型フィールドサーバの設計・製造手法の検討

3.1 研究目的と方法

前章の調査結果から、フィールドサーバには多種多様な要求があることが明らかとなった。多様な要求仕様を満たすことができる量産型フィールドサーバの低コスト化の実現には、次の2つの面からの検討が必要となる。一つは多種多様な要望に応え、かつ製品自体のコストをどのように下げるかという問題である。もう一つは、製品のライフサイクルを考慮した品質を含めたコスト検討が必要となる。

後者の製品のライフサイクルにおいては、TQM (Total Quality Management) の考え方がメーカーには浸透している。TQM は、Crosby (1979) によって米国で考案されたものだが、日本のTQC (Total Quality Control : 統合的品質管理または全社的品質管理) とは本質的に異なるものである。TQC は長い間、日本の品質管理を象徴するキーワードとされてきた。しかし、1994年にトヨタがグループ各社をあげてTQM へと改名して以来、多くの日本企業がこれに追随した。

TQM はゼロディフェクト (無欠陥) を目標としながらも、徹底して費用対効果に優れた効率的な品質管理を目指すものである。TQC もゼロディフェクトを最終目標とする点では同じだが、どちらかというところ費用対効果や効率性の追求は二の次とされてきた。TQC は日本のお家芸とされるが、GE 社がそのルーツであり、TQM と同様に費用対効果を重視する品質管理を目指していた (伊藤 2013)。TQC がわが国で台頭してきた60年代にあっては、“Made in Japan” は粗悪品の代名詞であり、その脱却を目指して品質の改善に努めることで、1980年代に成功を収めることができたと言

る.

フィールドサーバを、広く一般に普及させるためには、低コスト化が必要であるが、まだ十分大きな市場がない段階では販売数量が見込めず、投資費用が製品単価に反映され、低コスト化は困難である。MP-FS1 の製造は少品種大量生産方式とし大規模な金型投資及び生産設備投資をすることを想定したが、数量が見込めない段階では、投資コストが製品に反映され、低コスト化が見込めない。コストダウンの意思決定過程においては多数の選択肢があり、市場規模、製造台数、製造方法がそれぞれ未確定な段階におけるコストの数値的評価は極めて難しい。更に複数の仕様が要求された場合、MP-FS1 の構成・構造では品種を増やすたびに新たな筐体が必要となって投資が嵩み、製品コストを下げるできないといったジレンマに陥る。

また製品コストを低下させただけでは真の低コスト化とはいえず、TQM を同時に考慮する必要がある。他方、センサネットワークの特徴として、一部のセンサノードが故障してもセンサネットワーク全体としては機能を維持できるというロバスト性を有している。このロバスト性は従来の製品のほとんどには見られない特徴であり、コスト評価において深く考察すべきものである。

そこで、本章では品質を確保し、且つ数量が少ない段階においても低コスト化が図れるための製造手法に関して検討を行った。

フィールドサーバは野外に設置するため想定外の問題で不具合が生じる可能性があるが、不具合の発生は企業ブランドイメージを大きく損なうリスクと製品不要（リ

コール等)に対応する費用リスクがある。これらのリスクを減らすための品質管理にも大きなコストがかかる。上記2点の観点から量産型フィールドサーバにおける設計・製造方法を考察し、MP-FS2の試作を行った。

3.2 多品種少量生産の検討

工業製品の生産では製品仕様とコストのトレードオフ関係がある。コストと生産性については、累積生産量が倍増するごとに低下することが経験則として知られている。多品種生産では1品種あたりの生産が少量となり、コストアップ要因となる。フィールドサーバの要求は多岐にわたるため多品種少量生産となるが、少量生産では大規模な生産設備の投資ができず、個々の商品のイニシャルコストが上がる。

根来・田中(1978)によると、同時多次元設計を用いることで部品の累積生産量を増加しつつ、バラエティに富んだ製品を効率的に生産できる。同時多次元設計とは、要求品質(使用条件、機能の種類、精度など)が異なるいくつかの機種を、部品などの共通化により、同一仕様で企画・設計する方法である。代表的なものとして、サーバーラックやデスクトップPCの筐体などが挙げられる。同様にフィールドサーバを用途別に多品種展開するためには、標準化・共通化されたユニット構造にすることで多品種対応が安価に対応する可能となると考えられる。そこで、ユニット構造についての設計・製造手法について検討を行った。ユニット構造化することにより、内部機器の選択枝を増やすことができる。すなわち、選択枝が増えるということは、多品種

のフィールドサーバを1つの筐体で品揃えできるということである。

3.3 多様な要求仕様に適合できる低コスト化設計・製造手法

多様な要求仕様に適合できる量産型フィールドサーバ2号機 MP-FS2 の仕様を、以下のように決定した。

- 1) 筐体部分において共通化・ユニット化を図る。
- 2) 筐体はアルミ製とする (図 3-1)。
- 3) アルミ押出成形を採用し、小型～大型の筐体を任意に製造できるようにする (図 3-2)。
- 4) 内蔵機器を任意位置に固定できるように、筐体内部にレールを設ける (図 3-3)。

これらによって、金型コストを大幅に削減できるようになった。例えば、子機として機能する小型フィールドサーバを製造する場合、押し出し量を短くすることで小型の筐体を製造できる。反対に機能を盛り込みたい場合は、押し出し量を長くすることで大型の筐体を製造できる。いずれも金型は1面で済み、一度の金型投資で多品種の製品に対応できるようになった。多品種を一つの金型で成型できることにより金型の償却効率は更に高くなり、製品コストが小さくなった。結果として、MP-FS1 の樹脂製金型は約 5000 万円の投資が必要であったが MP-FS2 のアルミ押出金型では約 500 万円の投資に抑えることができた。MP-FS1 と MP-FS2 の仕様の比較を表 3-1 に示す。

3.4 設備投資と製造コストのトレードオフ関係

製品コストを低く抑えるためには、部品単価を安くする、または製造にかかる費用を低く抑える、その他に、製品に対する投資を抑えることである。投資には研究費、開発費、設備、金型等がある。金型や設備を投資することで、製造にかかる費用は低く抑えることができるのでトレードオフの関係がある。製品コストには、大きく設計費と製造費、そして販売費用が含まれる。設計費と販売費用は共通して必要となるので、ここでは製造費用において分析を行った。共通にかかる設計費、設計費においては、企画～設計費を500万円とし、評価についても500万円と設定した。販売費は500万円と設定した。製造費の中でも部品費は同一とし、トータル5万円と設定した。3つのパターンにて分析を行った。(表3-2)

パターン1：手加工，手組

金型費，製造設備は共に0.

手組みの費用は5000円（1人／時間）で4時間.

部品加工費は50000円.

パターン2：金型加工，手組

金型費1000万円.

手組みの費用は5000円（1人／時間）で4時間.

部品加工費1000円.

パターン3：金型，自動組立．

金型費 1 0 0 0 万円

製造設備 1 0 0 0 万円

部品加工費，組立て費，共に 1 0 0 0 円．

パターン2においては，金型を投資したことにより，加工費が5万円から1000円に低減できた．パターン3においては設備を投資したことにより，組立て費が2万円から1000円に低減できた．生産台数を100，1000台，10000台，100000台とし，分析結果を図3-4に示す．

フィールドサーバの量産において，販売数量が見込めない段階では，パターン1がもっともコストを抑えることができる．販売数量が1000台を超えるとパターン3がもっとも低コストとなることが分かる．また1万台を超えるあたりからコストに変化が無いことから，10000台の販売が見込める段階で，金型・設備投資を行うことでもっとも低コストのフィールドサーバを製造することができると言える．

MP-FS1では，筐体構造が単一のカメラやセンサ用に設計していたため，品質は均一となっていた．MP-FS2でフレーム構造とし，内部機器選択を可能とさせ，計測に応じた最適値= Yに対応したフィールドサーバ設置を可能とした．MP-FS2の筐体を利用したフィールドサーバの種類増え，生産数量が増えると，さらに1品種に対する設備費用の割合が小さくなり，製品コストを低減することが可能となる．

更に投資を抑えるという観点からすると，金型自体を使わず，板金溶接といった製

造方法もある。販売数量が見込めない場合は、板金折り曲げ、溶接を手加工により、製造することで投資を回避することができる。今回は販売数量を数多く見込み、同時に多品種に対応できることからアルミ押し出し製造方法を採用した。

3.5 品質コストの構成

品質コストは、いわば品質管理および品質保証に関連する金銭的支出の総称である。具体的には、品質トラブルを未然に防止し品質改善に向けた諸活動を実践することによって生ずる予防コスト（prevention cost）、品質検査や評価に関連する評価コスト（appraisal cost）、製品出荷以前に品質問題が発見された場合の処理に関わる内部失敗コスト（internal failure cost）、製品出荷以後、すなわち顧客の手に渡った後に品質問題が起こった場合の処理に関わる外部失敗コスト（external failure cost）から構成される（Feigenbaum 1956, 伊藤 2013）。失敗コストは、内部失敗コストと外部失敗コストに分けられるが、今回の検討では、合わせて失敗コストとして検討を進める。

製品コストは設計費、部品費、加工費、組立費、品質コスト等の製造に関する費用及びそれらを販売するために必要となる販売費からなる(小川, 2009)。加工費・組立費は加工・組立を「手加工」あるいは「自動化」で行うかどうかで異なるが、自動化を行うと信頼性が向上し品質コストが下がる。しかし、自動化のための投資が必要となるため、以下では大量に販売できない段階において投資を少なくする製造方法を考

えることにする。

部品費は製品を構成する部品単価の合計であるが、部品は仕様や品質によってコストが左右され、高品質だと部品費は当然上がる。品質コストは予防コスト P 、評価コスト A 、失敗コスト F (Morse 1983) からなり、

$$\text{品質コスト} = P + A + F$$

である (図 3-5)。ここで、

予防コスト P : 品質計画, 品質管理, 標準化活動, コストダウン活動など

評価コスト A : 信頼性試験, 受入検査, 工程内検査, 最終試験, 校正/規格適合性点検など

失敗コスト F : 製品の打ち切り, 購入部品の不良, 技術変更, クレーム対処, 損害補償など

である。部品の品質に関する要素は、 P 、 A 、 F のいずれかに含まれる。

P と A 、 F は独立ではなく、図 4-5 のように $P+A$ (予防コスト P と評価コスト A の和) が増加すると失敗コスト F は減少し、品質コストには最適値が存在する。

3.5.1 品質コストの最適値の考察

フィールドサーバにおける製品単価あたりのコストと適合品質のグラフ (図 3-6) において最適値 (= Y) を考察する (図 3-7)。

X と Z においては、共に品質コストは高い位置を示す。 X においては、予防コスト

すなわち選択する部品の品質が低く、また評価に関してもコストをかけていないので、製品自体のコストは低く抑えることができるが、不具合が発生する確率が上がる。失敗コストすなわち不具合に対応するコストがかかるため、トータルの品質コストは高コストとなる。一方 Z においては高品質の部品を選択し十分に評価を行っているので、不具合の発生率を低く抑えることができる。予防コストと評価コスト自体にコストがかかるため、トータルの品質コストは高コストとなる。

量産型フィールドサーバの製造においては、作物や環境に応じてフレキシブルにフィールドサーバの品質を選択できるようにして、最適値(=Y)を選択できるようにすることが重要である。

フィールドサーバの品質は内蔵させる機器の品質で決定される。例えば、電子部品においては個々に使用温度範囲が設定されており、その範囲が広いものは高価である。フィールドサーバで重要とされる部品の一つであるネットワークカメラの市販品には室内用の製品が多い。室内用のものは量産による低コスト化が進み、非常に安価に入手可能である。一方、屋外用のネットワークカメラは市場が小さいため量産効果が効かず、数十万円と高額である。NARO-FS ではファンによる冷却機構を有するため、室内用ネットワークカメラをフィールドサーバ組み込むことで低コスト化が図られている。

このように、フィールドサーバに組み込む機器の使用温度範囲及びフィールドサーバの冷却機能によってフィールドサーバ全体の品質が決定されている。一つの機器の

品質が低いと全体の品質が大きく下がるため、組み込む機器の品質水準を積極的に揃えることが重要と考えられる。

3.5.2 ノード数と品質の関係

フィールドサーバの場合には、

- 1) センサネットワーク型
- 2) 単独設置型（気象観測機器的な使用形態）

の構成がある。1) においては1ノードが故障しても他のノードが代替できる。そのため、システム全体としては継続してデータ収集を行なうことができる。したがって、 $P+A$ を大幅に減らしながら製品のイニシャルコストを抑えることができる。一方、2) では、故障は製品の致命的欠陥となり故障時に失敗コスト F が高くなるので、 $P+A$ を増やす必要がある。MP-FS1 では1) を想定し失敗コストを約 10%に見込んでいたが、普及初期段階ではノード数が少ないため失敗コスト F がかなり大きくなり、 $P+A$ を増やして失敗コスト F を削減する必要があった（図 3-8）。

製品の生産では、ニーズに対応する適合品質を下げて低コストにする場合と適合品質を上げて高コストに設定する場合があります、どこにターゲットを置くかが製品戦略となる。

3.6 耐久性及び安定性の向上のための機能の追加

失敗コストを増加させないこと。すなわち長期間の利用中においてフィールドサー

バ自体が故障しないことが重要である。フィールドサーバの内部に組み込まれる機器としては、一般の PC 等に使われる安価な製品を多数利用している。無線 LAN 機器など市販のコンシューマ向け電子機器のほとんどは屋内利用を想定されて開発されており、動作温度範囲は狭く結露には弱い。それらを屋外の温・湿度環境において通常動作させるために筐体内温度を制御する必要がある。特に電子機器は熱に弱く、筐体内部の熱設計が重要となる（石塚 2009）。

農業分野以外に電子機器を屋外に設置する事例として代表的なものには携帯電話基地局や屋外通信機器がある。携帯電話基地局ではコンテナ内部にエアコンを設置し、24時間365日、20℃前後の環境を実現しているので、内部機器の選定を行う必要が無い。屋外通信機器の筐体においては、社熱板や降雪による積雪対策、飛来物による耐衝撃性を考慮した筐体を用いる（杉村ら 2009）。また日射の影響を避けるために遮光板をつけた 2 重カバー構造の密閉キャビネットが利用されている（茨木ら 1996）。これらの耐環境対策手法はあまりに重装備であり、圃場に設置することを主目的とするフィールドサーバはコンパクトかつ軽量であることが重要であるため利用しがたい。この面で、NARO-FS の構造と機能は、図 3-6 において最適値 Z に近いところにあると推定されるが、量産型フィールドサーバとしてはまだ不十分である。

NARO-FS 及び MP-FS1 では内蔵のファンによる強制通風によって内部の電子機器を高温と結露から保護していたが、外気の気温以下には冷却できないという制約があった。また、タイマを用いた間欠駆動を行うと、放射冷却で内部の気温が外気温より

低い場合に結露が発生するという問題もあった。

超高精細カメラやマルチスペクトラムカメラ等の高価かつ発熱量の大きいデバイスをフィールドサーバに搭載して野外で長期間使用したい場合には、ある程度のコストをかけてでも温・湿度環境を制御する必要がある。ファンだけでは困難な高度な温・湿度環境制御を行うため、MP-FS2 のカメラ（図 3-9）においては、ペルチェ素子及びペルチェ素子の発熱部を冷却するためのファンからなる温・湿度制御部を追加できる構成とした（図 3-10）。

一般の電子機器は通常室内用として設計されているため、粉塵に対する対策がされていないケースが大半である。農業現場においては、土埃の侵入対策は不可欠である。MP-FS2 においては、粉塵対策として筐体内部にも防塵用筐体を設けた（図 3-11）。また、基板には結露・粉塵対策としてディッピングを施した（図 3-12）。

これらの耐久性を向上する機能の追加は予防コスト P となる。それらを追加することでコストは上がることになるが、失敗コスト F は下げることができる。その結果、製品としてコストが一見上がっているように見えるが、適合品質の観点から見ると総合的にコストダウンが図れており、最適値を実現していると言える。

3.7 MP-FS2 の評価実験

MP-FS2 の試作機（図 3-13, 図 3-14）を用いて以下の現地評価実験を行った。

- 1) 茨城県内における不法投棄防止のための実験

(約 12 ヶ月間, 図 3-15, 図 3-16)

2) 茨城県内の農業法人における利便性確認のための実験

(約 12 ヶ月間, 図 3-17, 図 3-18)

3) 石垣島における夏場の内部温度実測のための実験

(約 24 ヶ月間, 図 3-19, 図 3-20)

3.8 MP-FS2 の評価実験の考察

MP-FS1 の評価実験においては, 月に 1 度のペースでデータの欠損が見られた. その主な原因は内蔵機器の故障による動作不良や通信不良であった.

これまで何度も述べているように電子機器のほとんどが屋外利用を想定されていないことから, 使用温度範囲が狭いものがほとんどである. MP-FS2 では部品のレベルから屋外利用を想定し選定を行った. また 3.6 で述べたように, 外気の気温の対策や粉塵等の対策を行った結果, 評価実験期間中, 機器の故障は見られなかった. 一部, データの欠損が見られたが, これは利用したコンパクトフラッシュカードの書き込み回数を超えるデータ書き込みがあったためである. そのため, 年に 2 度交換作業を行うこととしたが, これは他のメンテナンス作業と同時に行うことにした.

MP-FS1 と比較すると耐久性及び安定性が改善され, メンテナンスの回数が 1 / 6 に削減された. 遠隔地で計測を行う場合, 現場に出向く費用が必要なため, メンテナンスにかかる費用は膨らむことが想定される. このメンテナンスのコストをどう削減

するのか、すなわち失敗コストを下げるために、どうやって予防・評価を行い、適切な品質を確保するかがトータルの低コスト化を考えた際、重要となる。MP-FS2 では予防という意味で機器の故障に対する対策を行ったことで、失敗コストを低減できたことを証明できたと考えられる。

長期間の稼働運用を実現させるためには、予防コスト、評価コストをかけて、失敗コストを削減することを検討してきたが、全てを満足することは困難である。屋外の温度変化に対応した機器を全て揃えとなると、それ自身高額となり、市販製品としてのターゲットコストを大きく上回り、それ自体が普及の妨げとなる。いかにメンテナンスを行って長期間利用するか、メンテナンス回数を減らした運用を行うかが重要であると考えられる。

農業用機器としてはフィールドサーバも農業機械と同様、10年～20年間使用することになる。これは通常市販されている電子機器の寿命を超えるため、この期間中、フィールドサーバを正常に稼働させるには、フラッシュメモリのような寿命の短い部品の交換を定期的に行うメンテナンス作業は必須である。そのため、トータルのメンテナンス回数を減らす対策を検討する必要がある。

メンテナンス回数を減らす策の1つは、使用回数に制限がある機器においては、メンテナンス時期を合わせることである。例えば、コンパクトフラッシュカードや温・湿度センサ、ファンフィルター等、交換期間や寿命が短いものにおいては統一した使用期間を設け、「年に1度」あるいは「3年に1度」といった定期的メンテナン

スを実施することでメンテナンス回数を減らすことができる。部品毎にメンテナンス間隔がバラバラであると、故障する度に交換作業が発生してしまう恐れがある。また、故障してからの交換は失敗コストに分類され、メーカーには大きな損害を生じる可能性がある。したがって、交換時期を統一することが失敗コストを下げる方策として有効であると考えられる。

フィールドサーバの場合、データの欠損がもっとも深刻な問題となるために、いくつかの予防策が考えられる。MP-FS1 の場合は、計測と通信（データ送信）を同時に行っていたため、通信不具合時のデータを収集できないというトラブルが発生した。MP-FS1 では通信不良による不具合が多発したため、MP-FS2 では本体内部にメモリを搭載し、最低1年のデータを保管できるようにした。通信環境が復旧した際、データを再度送信する。機器自身はメンテナンスにて復旧できるが、欠損したデータは復旧が不可能であることから、この機能の追加は失敗コストを削減することができる。失敗コストの観点から、フィールドサーバではデータを確実に保管・送信する機能が不可欠であると考えられる。

3地点（計4箇所）の評価実験を行った結果、これらの異なる使用目的及び設置条件において、各用途に適合した構成のセンサネットワークを柔軟に構築できることが確認できた。

3.9 量産型フィールドサーバの設計・製造方法の考察

今回の研究では、大きく2つの観点からの検討と検証が行った。1つは多岐に渡る要求仕様において、それらを低コストで実現するための設計・製造方法と、もう1つは、製品のライフサイクルにおいて、トータルで低コストを実現するための方策の検討であった。

MP-FS1では、投資コストを検討できておらず、販売数量が少ない時点においては、製品コストを十分に下げることが困難であった。また品種が増えるごとに金型投資が必要となり、製品の品揃えの妨げとなっていた。同時多次元設計手法及びアルミ押し出し技術、モジュール構造を用いた設計・製造手法に基づいた量産型フィールドサーバ MP-FS2では、MP-FS1に比べ、数量が少ない段階においても低コストに製造できることが確認された。また、MP-FS1の評価実験で確認された故障・不具合対策（防塵対策や温度対策）をMP-FS2の仕様に取り入れた。MP-FS2を国内3箇所（計4台）に設置して評価実験を行った結果、現場での適合性、耐久性、安定性の向上が確認できた。これらの結果から、量産型フィールドサーバのトータルでのコストパフォーマンスは大きく改善されたと結論できる。

このMP-FS2の筐体製造手法はフィールドサーバ以外の屋外設置機器に適用できると考えられ、さらにフィールドサーバの筐体を他の屋外設置機器の筐体と共通にする

ことで筐体の生産数量は増加し、製品単体のコストダウンが期待される。

今後は、これら屋外設置機器の M2M 化に伴ってフィールドサーバとの統合が進むことが予想される。また、農業の経営規模が大規模化すると家族経営型の農業形態から集団型・法人型農業への転換が進むことが想定される。その際に多種多様なフィールドサーバが必要となり、品質においても様々なグレードの製品へのニーズが生じる可能性があるが、これには本研究で提案した製造方法で対応できると考えられる。



図 3-1 MP-FS2 の筐体の製造方法

押し出し成型の採用により，押し出し量を変えることで筐体を構成する部品の長さを変更出来るようにした。

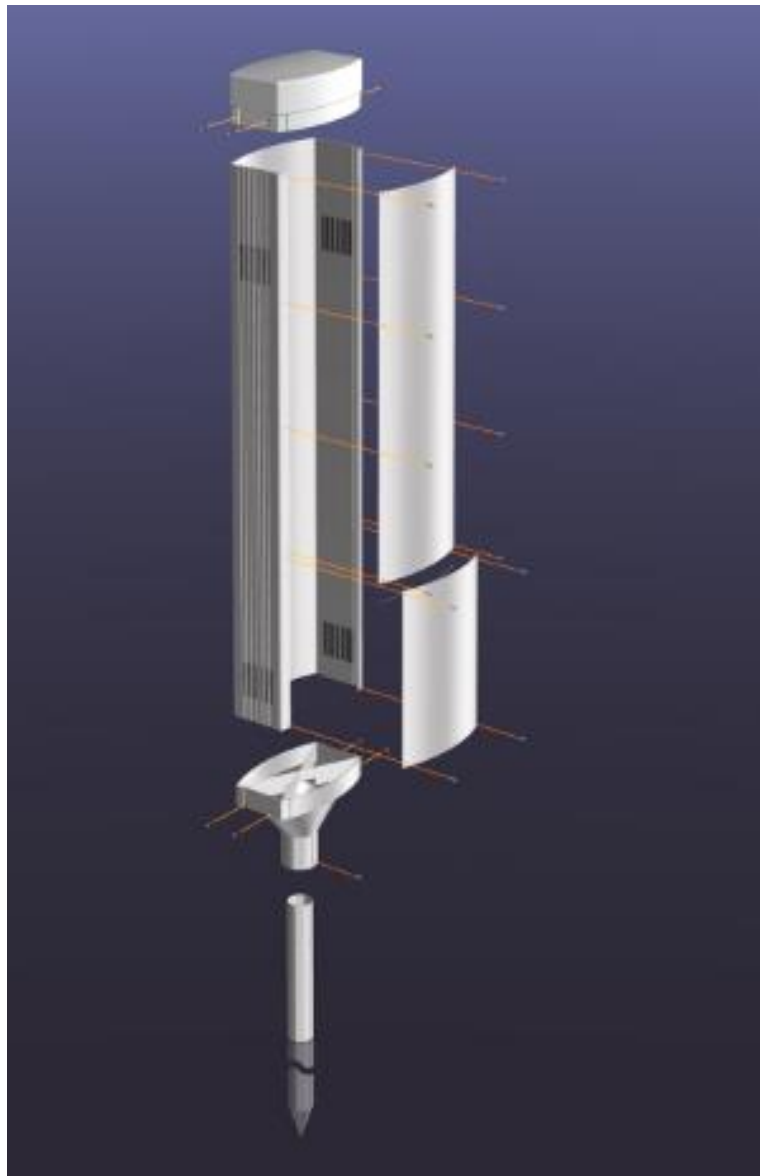


図 3-2 MP-FS2 の筐体の構成

アルミの押し出し量を調整することで、小型～大型の筐体を任意に製造できる構造とした。天面、下面は共用部材としている。

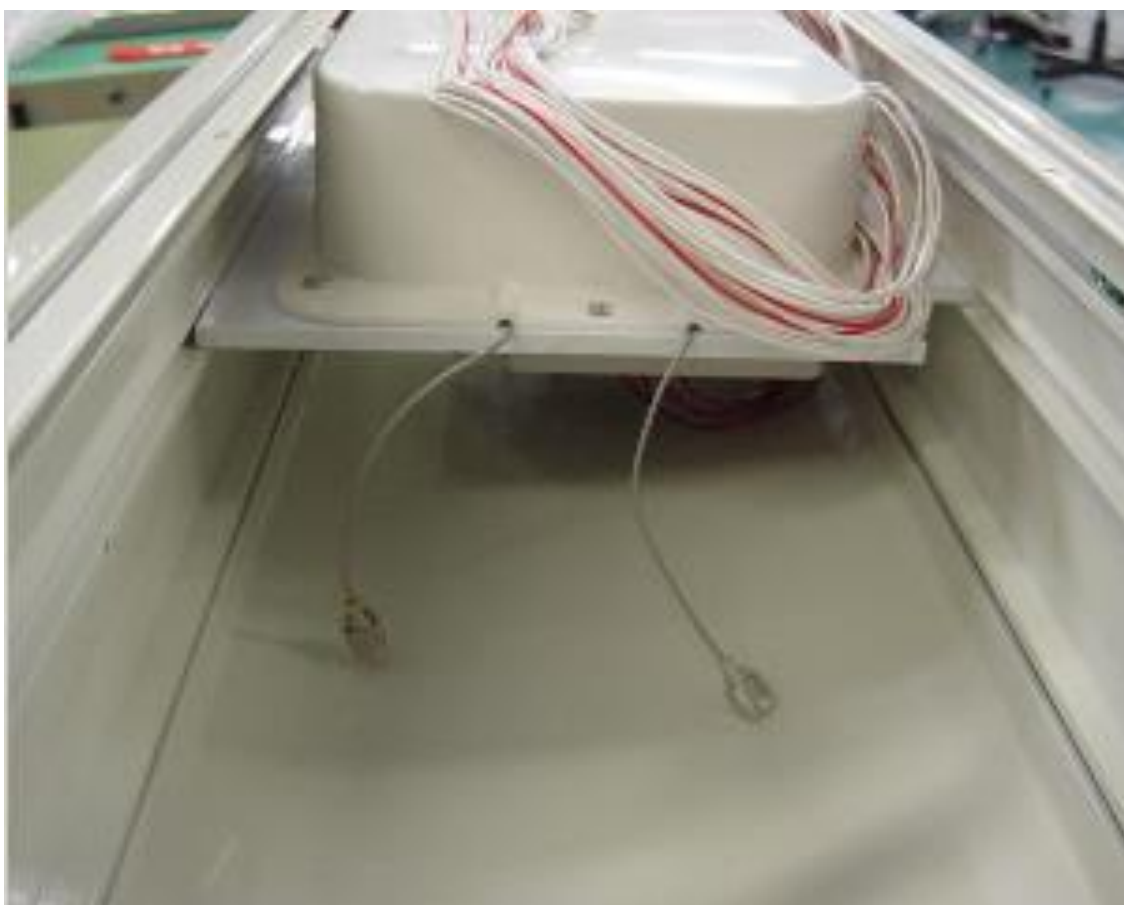


図 3-3 MP-FS2 の筐体の構造

内蔵機器をユニット化するとともにレール方式で固定し、レイアウトを容易に変更できるようにした。

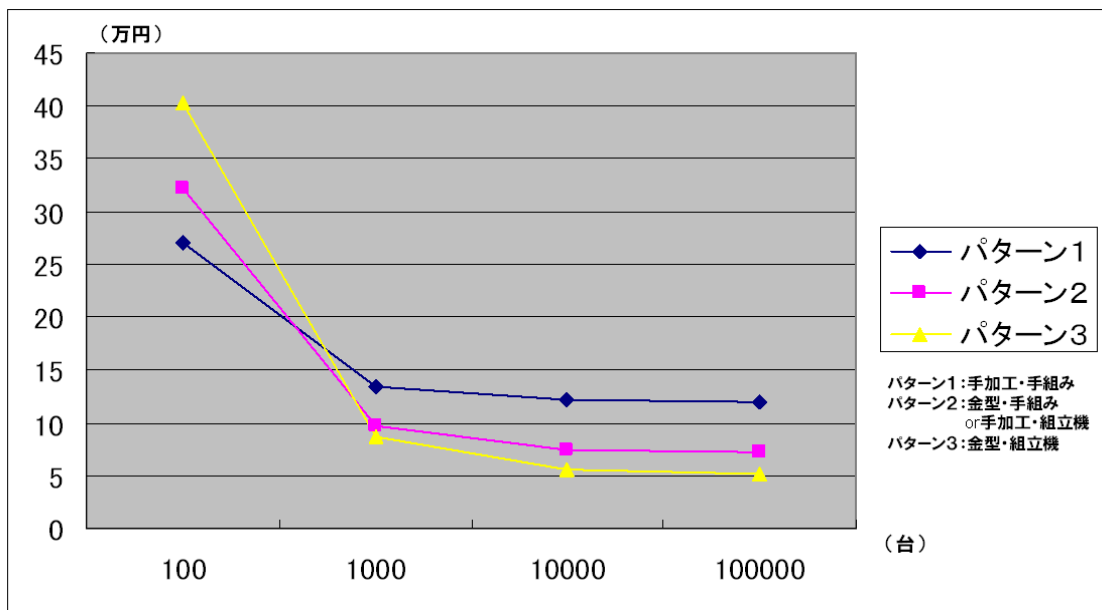


図 3-4 生産台数と製品コストの関係

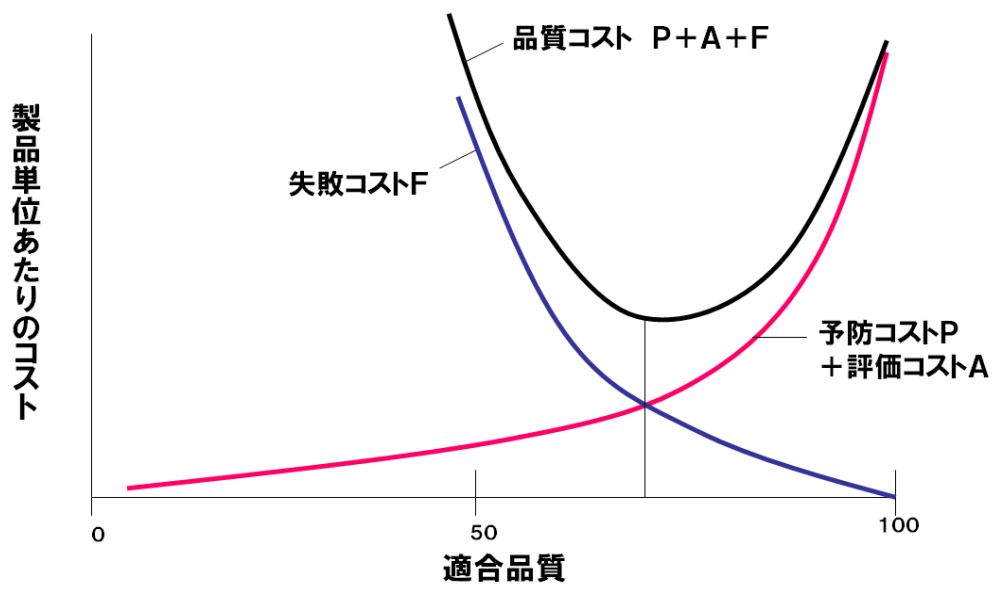


図 3-5 適合品質に対する予防コスト P, 評価コスト A, 失敗コスト F の関係

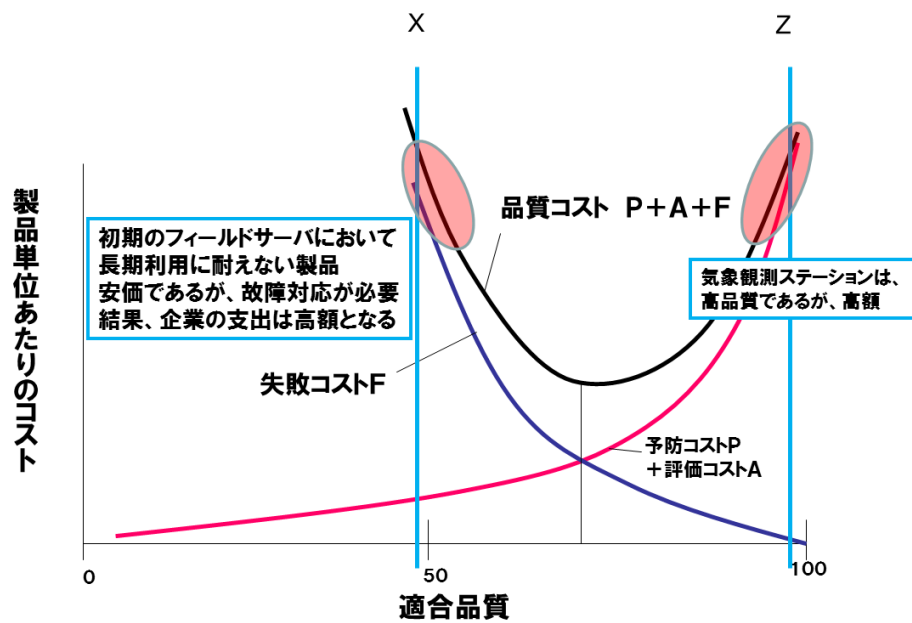


図 3-6 製品コストと適合品質の関係

予防コスト P 、評価コスト A が低いと、失敗コスト F が高くなり、予防コスト P 、評価コスト A を高くすると、失敗コスト F は下がる。

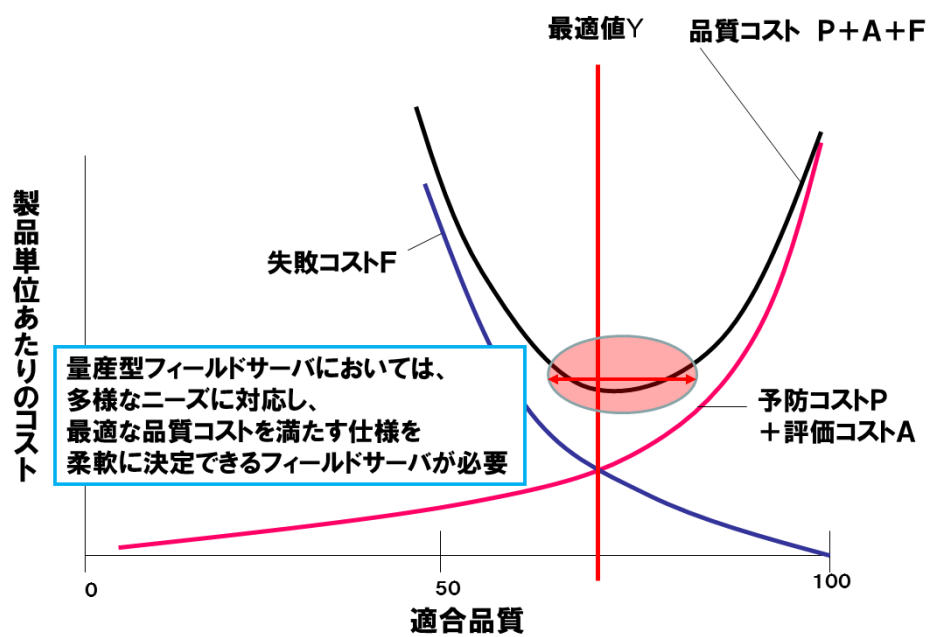


図 3-7 製品コストと適合品質の最適値
利用される場面に応じて、最適値を求める必要がある。

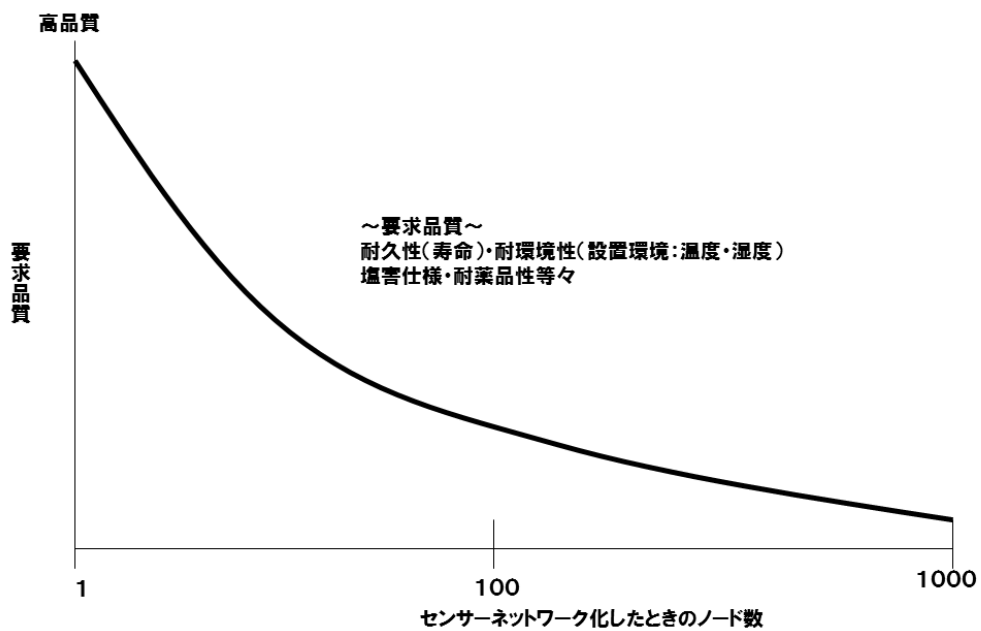


図 3-8 ノード数と要求品質の関係の概念図

気象観測装置のように1台で計測する場合と、数千のノードで計測する場合に、要求される品質は異なる。



図 3-9 MP-FS2 カメラ筐体

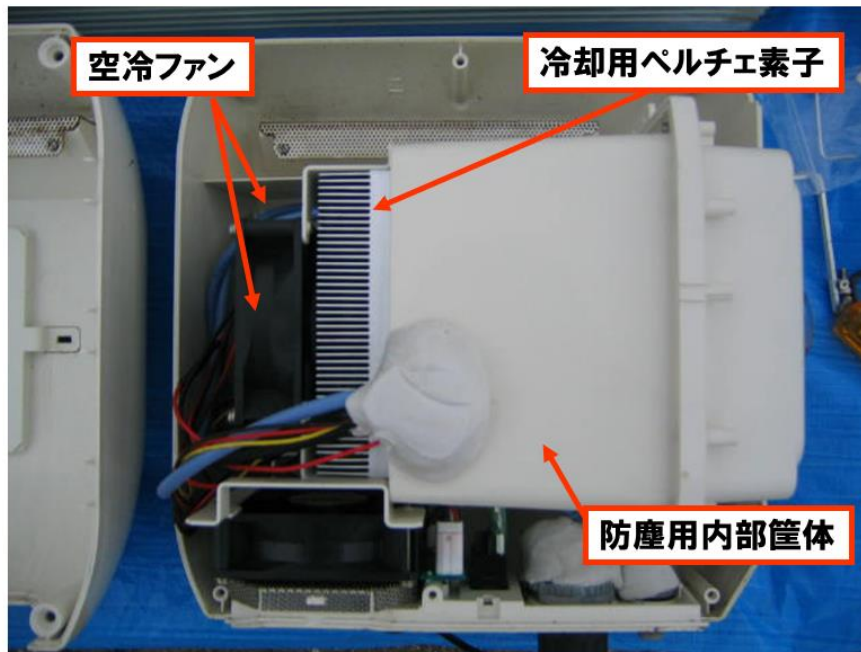


図 3-10 MP-FS2 カメラ筐体内部の機能追加

通常の空冷方式では、外気の気温以下の冷却は困難である。夏場の高温時の冷却を実現するために、熱変換装置：冷却用ペルチェを内蔵させ、外部温度以下の冷却を実現した。

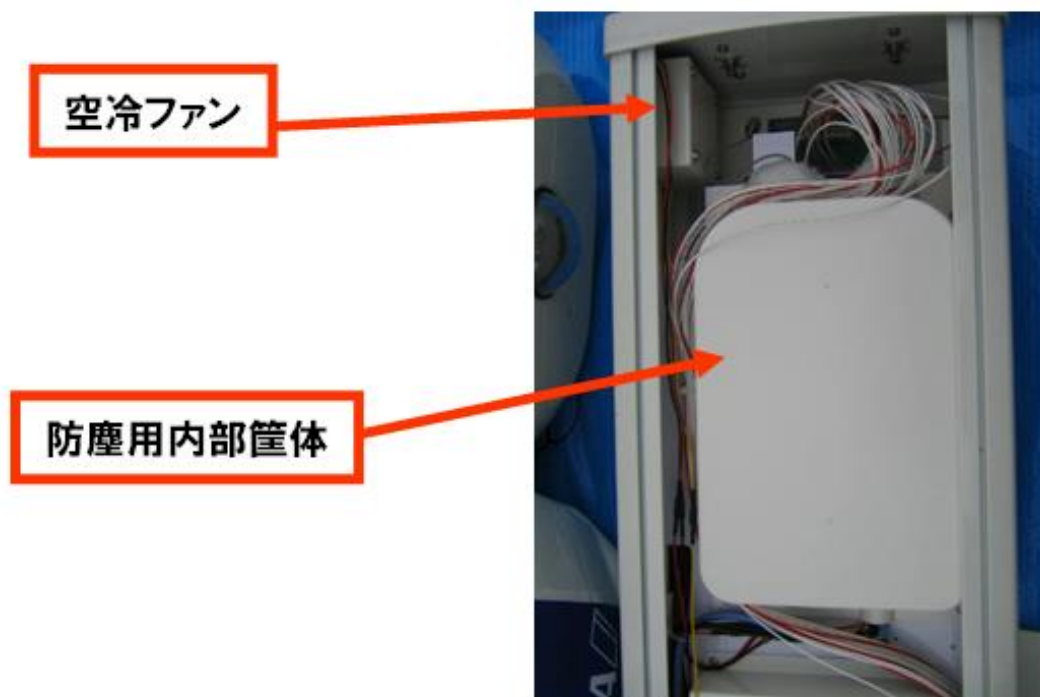


図 3-1 1 MP-FS2 筐体内部の機能追加（粉塵対策）

市販の電子機器のほとんどは屋外での利用を想定しておらず、粉塵等により基板が劣化したり端子部の異常発熱を引き起こす恐れがある。そういった部位に、内部筐体を設け粉塵対策を行った。

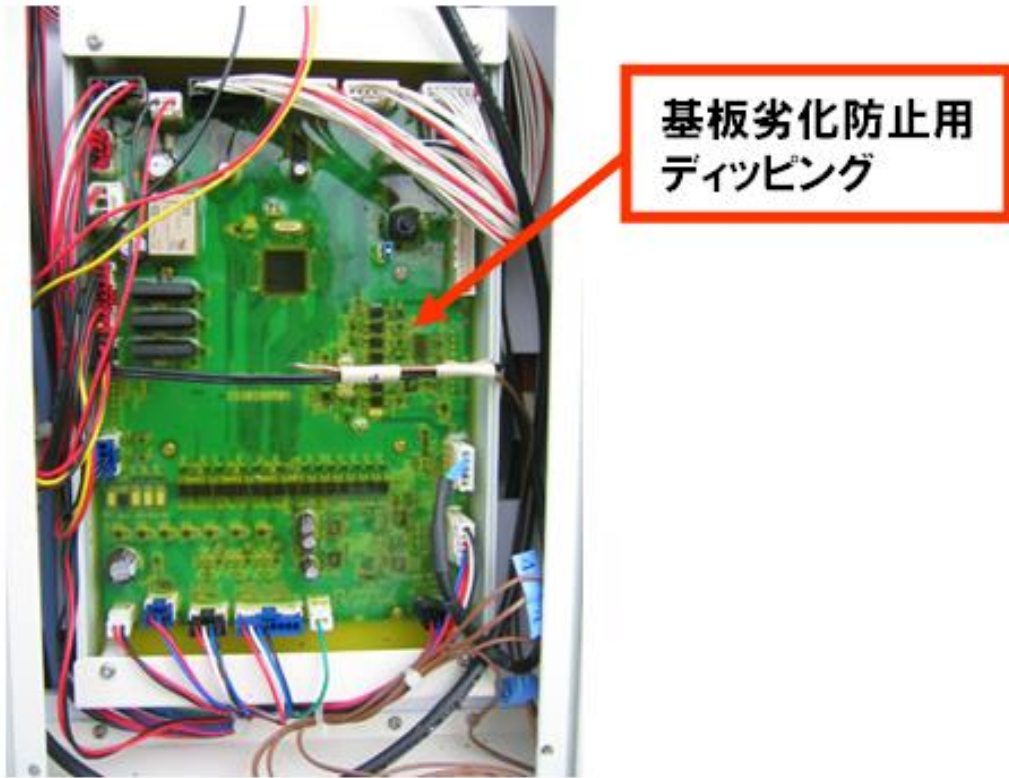


図 3-1 2 MP-FS2 筐体内部の機能追加(基板劣化対策)



図 3-13 MP-FS2 の設置の例

リアルタイムデータ

シリアルNo. 2007010001

最新の情報に更新

自動更新

5秒 毎に更新

データ取得日時: '08年01月15日 18時22分11秒

センサー	データ	(単位)	原データ		(単位)
温度[1]	22.7	(°C)	-	-	-
湿度[1]	26.4	(%RH)	-	-	-
露点[1]	2.5	(°C)	-	-	-
温度[2]	22.4	(°C)	-	-	-
湿度[2]	22.4	(%RH)	-	-	-
露点[2]	-0.1	(°C)	-	-	-
土壌温度	23.1	(°C)	土壌温度抵抗値	5.781	(kΩ)
土壌水分率	0.0	(%WC)	土壌水分出力電圧	333.2	(mV)

図 3-1 4 MP-FS2 の計測データ表示画面の例



図 3-15 茨城県内における不法投棄防止のための実験 (MP-FS2 本体)

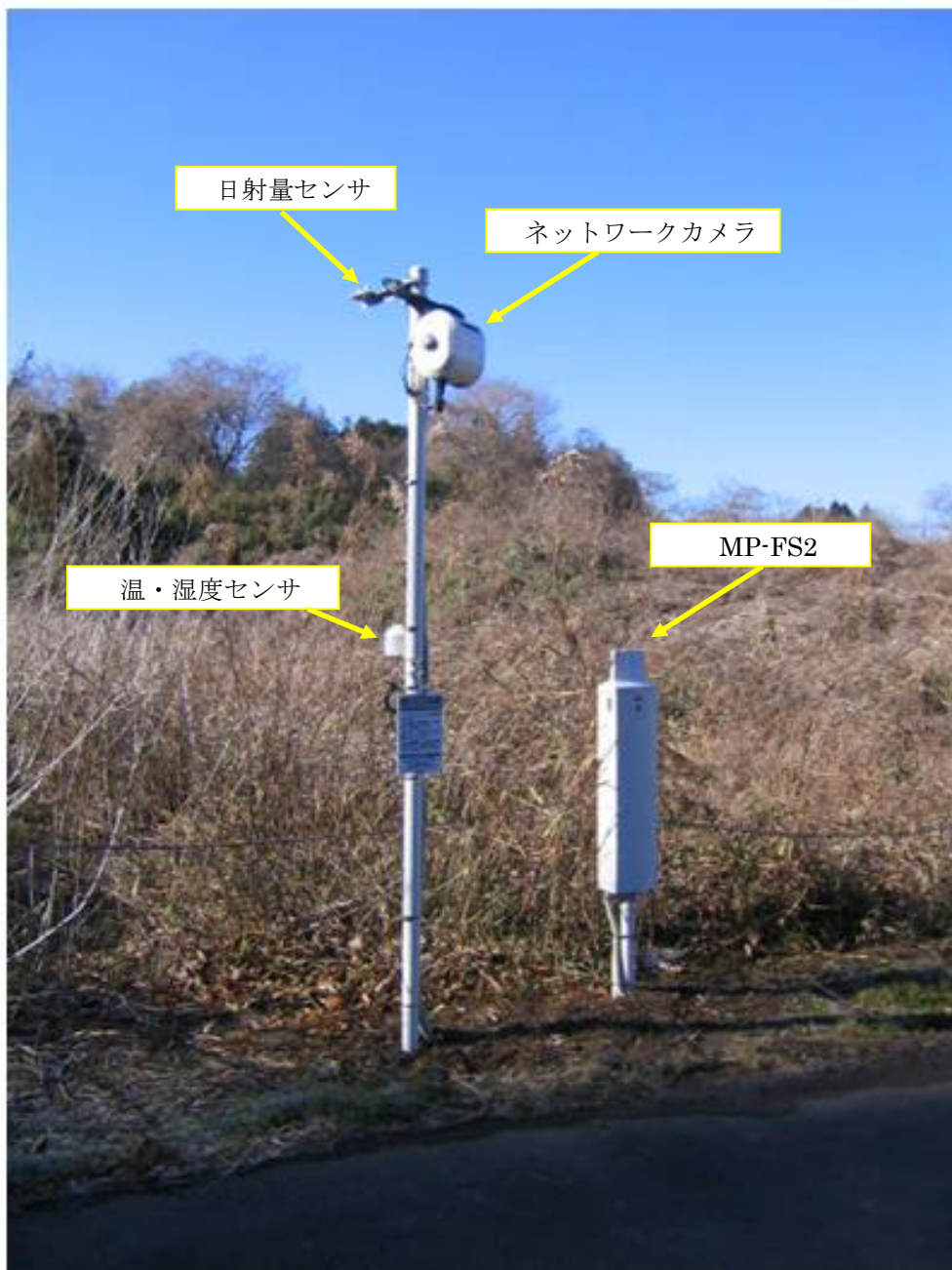


図 3-16 茨城県内における不法投棄防止のための実験 (FS-MP2 カメラ, センサ)



図 3-17 茨城県内の農業法人における利便性確認のための実験（MP-FS2 本体）



図 3-18 茨城県内の農業法人における利便性確認のための実験
(MP-FS2 カメラ・センサ)



図 3-19 石垣島における夏場の内部温度実測のための実験



図 3-20 石垣島における夏場の内部温度実測のための実験

表 3-1 MP-FS1 と MP-FS2 の仕様比較

	MP-FS1	MP-FS2
外郭筐体	樹脂	樹脂(アンテナ部)+アルミ
金型費用	約5,000万円	約500万円
筐体寸法変更	不可	縦寸法変更可
カメラ	一体型(固定)	別設置(高さ調整可)
日射センサ	一体型(固定)	別設置(高さ調整可)
温・湿度センサ	一体型(固定)	別設置(高さ調整可)
センサI/F	固定	増加可能
データ表示部	無	有
改良点	MP-FS2では本体内蔵センサデータを表示できる7セグLEDを搭載	

表 3-2 パターン別の製品コストの比較

製品コスト		パターン1 手加工・手組	パターン2 金型・手組	パターン3 金型・自動組立
設計費	企画～設計費用	500	500	500
	評価費用	500	500	500
製造費	部品費	5	5	5
	加工費	5	0.1	0.1
	金型費	0	1000	1000
	組立て費	2	2	0.1
	製造設備	0	0	1000
販売費	販売費用	500	500	500

(万円)

第4章 アプリケーションに関する調査と評価実験

4.1 研究目的と方法

3章及び4章で述べた現地評価実験では、MP-FS1とMP-FS2が収集したデータを閲覧してもらう必要があった。そのためにはMP-FS1とMP-FS2の機能をできるだけ効果的に利用できるアプリケーションが必要である。また、優れたアプリケーションを開発することでフィールドサーバの販売数量を伸ばすことが期待できる。その結果、前章3.4で検討したように販売数量が増えると生産効率が上がり、より低コスト化が可能となる(図3-4)、フィールドサーバの要求仕様はアプリケーションの機能にも依存している。フィールドサーバによって収集・蓄積されたデータのメリット、すなわちフィールドサーバの有用性もアプリケーションに依存している。そのため、ニーズ調査に基づいてできるだけ優れた青売りアプリケーションを開発する必要がある、

ICTを活用して気象データ等を収集し営農に活用する研究はかなり以前から行われており、研究報告例は多い。

例えば、1980年代には公衆電話回線を使ってパソコン通信による気象データや営農情報を収集し共有するシステムが開発された(水谷ら1989, 平藤1989, 町田ら1989)。

携帯電話が登場すると、携帯電話のi-modeをユーザーインターフェイスに利用したアプリケーションの研究が盛んとなり、農業情報のデータベース化(小玉ら2001, 佐々木ら2002)、農業日誌(菅原2002)、労務管理(大塚・菅原2003)、農業改良普及活動(佐々木2004a)、トレーサビリティシステム(佐々木2004b)、農薬使用適正判定(菅原ら2006)等のアプリケーション開発が試みられた。

フィールドサーバが登場すると、施設園芸に関するアプリケーション (星ら 2007)、高品質ミカン生産に関するアプリケーション (藤田ら 2011, 戸上ら 2011) が開発された。また、フィールドサーバの画像を閲覧するアプリケーション (Tanaka et al. 2006) や画像の変化から不法侵入や不法投棄を発見するアプリケーションが開発された (Tanaka et al., 2006)。またフィールドサーバが収集するリアルタイム画像を用いて、害虫を認識し個体数をカウントするアプリケーション (Fukatsu et al. 2012) や苗木のサイズを計測するアプリケーション (Wang et al. 2013) が開発された。

センサネットワーク技術が世界各地に広がり始めると、農業におけるセンサネットワークの研究も盛んとなった。フィールドサーバに関しては複数の MOTE と複数のフィールドサーバを組み合わせた複合的なセンサネットワークが開発された (Sudharsan et al 2012a, Sudharsan et al. 2012b)。また、このシステムによって得られる多様かつ詳細なデータを用いたアプリケーションが開発されている (Tripathy et al. 2012, Sudharsan et al. 2012c)。

このように新しい IT 機器や通信技術が登場するたびに新しいアプリケーションの研究開発が行われてきた。これまでの農業におけるアプリケーション開発の歴史から、農業におけるアプリケーションの種類は [情報通信技術の種類] × [得られるデータの種類] × [作物・品種] × [地域] × [使用目的] だけあり得る。

量産型フィールドサーバ本体において作物毎に要求仕様が異なったように量産型フィールドサーバの営農用アプリケーションにおいても作物別に要求が異なると考えられ、想定し得るすべての組み合わせに対してアプリケーションを開発するのは研究開発コストが

膨大なものとなる。一般にアプリケーションに要するコストは製品価格に上乗せするか有料サービスとして提供され、最終的には農業生産者あるいは消費者が負担することになる。アプリケーションの機能が乏しいとフィールドサーバ導入メリットも小さくなるため、量産型フィールドサーバの生産台数を増やすには、アプリケーションの最適な要求仕様を決定する必要がある。

本研究では MP-FS1 をビニルハウス栽培において評価実験を行う際にアプリケーションの開発が必要となった。そこで、トマト栽培用のアプリケーションに特化して、アプリケーションの要求仕様を調査した。

まず MP-FS1 の評価実験に協力いただいた農業生産者にアプリケーションについての聞き取り調査を行ない、必要最小限の機能を備えた営農用アプリケーション（以下 FS-view1 と呼ぶ）を開発した。MP-FS1 の最初的评价実験では FS-view1 を利用してもらい、MP-FS1 で収集・蓄積したデータをどのように表示すると営農に役立つかに関して聞き取り調査を行った。次に、この聞き取り調査で明らかになった要求仕様を反映させた改良版アプリケーション（以下 FS-view2 と呼ぶ）を開発した。FS-view2 を MP-FS1 を用いた二回目の評価実験で利用してもらい、実際の営農における FS-view2 の有用性を評価した。さらに、コストの観点からアプリケーションの最適な要求仕様に関する考察を行った。

4.2 聞き取り調査

FS-view1 を開発するために MP-FS1 の実証評価に協力いただく農業生産者のミーテ

ィングを開催し、アプリケーションに対する要求仕様に関する聞き取り調査を実施した。この調査では、トマト栽培作業の概要、アプリケーションのグラフ表示方法や必要な機能についてヒアリングを行った。

4.3 調査結果

聞き取り調査により、要求仕様は以下の通り類型化された。

1) グループウェア機能

限られたメンバーのみが閲覧できる権限を持つグループウェア機能の必要性が確認された。

トマト栽培においては産地毎にブランド化されており、他の産地に比べて、より高品質で均質なものを出荷することが重要とされていた。地域内では営農集団が形成されていた。一つの集荷場に集荷する複数の農家がグループを形成している。グループには農業生産者の他に、農業改良普及員、JAの営農指導員らが加わり一つの営農組織を形成していた。

アプリケーションの評価実験では、このグループのメンバーが自由に閲覧できることが求められた。メンバーが自由に生産状況を確認でき、生産情報を共有できることが望まれた。またフィールドサーバで収集・蓄積した圃場環境データはグループ内部への開示についてのみ協力的であり、他産地への公開は拒む傾向が強かった。産地間競争があり、圃場環境の情報漏えい対策が必要であると考えられた。そこで、グルー

プのメンバーに ID とパスワードを付与し、メンバーだけが MP-FS1 で収集したデータを閲覧できるようにした（具体的には、岐阜県と青森県のデータベースは別々に構築した）。

2) グラフ比較機能

各センサデータをグラフ比較で比較する機能の要望があった。

評価実験を実施した地域には、他の農家に比べて高品質で高収量の栽培を行う篤農家と呼ばれる農家が数人存在していた。篤農家には、農業改良普及員や営農指導員も教えを請う場合がある。今回の実証実験では、特に「篤農家がどのような環境条件で栽培を行っているのかを客観的データとして可視化して欲しい」という要望が強かった。篤農家の圃場の環境と自分の圃場の環境の差異を把握し、篤農家の栽培環境に近づけることで高品質なトマト栽培を行ないたいためである。また、これによって篤農家の技術を習得したいという農家が多かった。

そこで評価実験では篤農家と呼ばれる農業生産者に参画を依頼した。篤農家のビニルハウスに MP-FS1 を設置して栽培環境のデータ収集を行い、グループ内のメンバーが閲覧できるようにした。さらに、「篤農家の圃場と自分の圃場の環境がどのように違うのか」、「どの時期、どの時間帯で異なるかを確認したい」というニーズに対応して、各センサのデータをグラフ上で比較できるようにした。

このようにグループ内で情報共有を行い、メンバー間での差異を可視化することで、高品質なトマト、均質なトマトが生産できるようになり、産地のブランド力強化につ

ながると考えられた。

3) 作業履歴管理（作業日誌）機能

小規模な稲作では近隣で行われている農作業が日常的に見えるため、周囲の作業を真似ることで適期作業や迅速な病虫害防除等を実施することが可能である。その結果、同等の品質や収量を確保することができると考えられる。しかし、施設園芸栽培のように施設内部で行われている作業では外から作業内容を確認することができないため、一般の農業生産者は篤農家に作業内容を問い合わせていることが分かった。

そのため、「篤農家が日々どのような作業を行っているのかを作業履歴として可視化して欲しい」という要望があった。しかしながら、FS-view1の開発期間は、MP-FS1の要求仕様調査の前であり、現場で行われている実際の作業内容及びどのようなセンサデータを収集すべきかが不明確であった。そのためFS-view1の開発では、単純なグラフ表示機能及び画像表示機能のみの仕様とした（図4-1，表4-1）。

4.4 アプリケーション（FS-view1）の評価実験

岐阜県と青森県のトマト栽培グループを対象として、MP-FS1及びFS-view1の評価実験を行なった。FS-view1が日々の営農において、どの程度役に立つのかを確認するために年に2回農家ミーティングを開催し、FS-view1の有用性、改善点・課題に関するヒアリングを実施した。

4.5 アプリケーションの評価実験結果

4.5.1 FS-view1 の評価結果

計8名の農業生産者中、「ほぼ毎日データを閲覧していた」と回答した者は2名であった、「定期的を確認していた」と回答した者は4名で、残り2名は「ほとんどデータを閲覧しなかった」という回答であった。FS-View1を閲覧していたメンバーは、主に篤農家の栽培環境データ（気温、土壌温度、土壌水分）と自分の栽培環境データに差が無いかを確認していた。また、栽培ステージごとに篤農家がどのような環境で栽培していたかを確認するためにFS-View1を閲覧していた。一方、FS-View1を閲覧しなかった農業生産者の意見は以下の通りであった。

- 1) 数値データだけでは作業内容が分からない
- 2) どのような環境下で病害虫が発生したかを確認するために蓄積データは利用できるが、病害虫発生の予察ができなければ日々のデータの必要性は低い。
- 3) 生育ステージが異なる他の農業生産者の圃場データと比較しても意味がない。

FS-View1の利用率を高めるためには、これらのニーズへの対応が必要であると考えられた。そこで、これらFS-View1で不足している機能を追加したFS-View2の開発に向けて、FS-View2の仕様に関する検討を行った。

4.5.2 FS-view1の改良要求とFSview2の仕様

FS-view1に対する改善要求を以下に示すように分類し、それを元にFS-view2の開発仕様を決定した。FS-view1とFS-view2の仕様の比較を表4-2に示す。

1) グラフ比較機能

篤農家や他の農業生産者の圃場の2つの環境データを1つのグラフに表示し、比較を可能としていたが、複数の圃場と比較できるようにして欲しいという要望があった。最初の評価実験では各農業生産者それぞれ代表的な圃場1カ所で計測を行ったが、実際には複数の圃場を有している。例えば、10圃場で栽培を行っている農業生産者もいた。このように保有する複数の圃場を同時に計測し比較したいという要望があった。

また篤農家の圃場から離れている圃場では気象環境が異なり、参考にならない可能性があり、より近隣の農業生産者の圃場と比較したいという要望があった。これら要望に応えるため、FS-view2では図4-2に示すようにグループ内の複数のデータを比較できるようにした。また、月別、時間帯別の比較ができるようにした。

2) 生育ステージ確認機能

トマト栽培においては、播種、育苗、定植、開花、収穫など各生育ステージごとに最適な栽培環境が異なる。そのため、生育ステージの異なる農家との圃場環境の比較は実際の営農には不要であり、同じ生育ステージにある圃場との比較が必要であった。また、どの生育ステージあるかを確認するために、開花段数と収穫段数を知りたいという要望があった。そこで、開花段数と収穫段数を入力できるようにした(図4-3)。ユーザが一目で判断できるようにするため、段数にチェックを入れると開花段数には花のアイコンを、収穫段数には果実のアイコンを表示するようにした。これ

によって、圃場がどのステージにあるかを確認し、自分の圃場と同じ生育ステージの圃場を選択して生育環境の比較をすることができるようにした。

3) 農薬仕様履歴

日常的な農作業の中で、農業生産者が特に苦勞している作業が農薬の記帳管理であった。2003 年年 3 月に施行された改正農薬取締法及び 2005 年 5 月に改正された食品衛生法によって、いわゆる「ポジティブリスト制度」が導入され、評価実験を行った岐阜県や青森県においても農薬使用履歴を J A に提出することが義務付けされていた。そのため、作業履歴管理機能では農薬利用履歴の入力・記録機能に対する要望が非常に高かった。

さらに農薬利用履歴情報をグループ内で共有することによって、「どの時期に防除を行えば良いか」の意思決定支援を行うことが可能となると考えられた。また、「どの地域で病害虫が発生しているか」の情報を共有することができ、事前の対策が可能となる。他の圃場で行われている防除作業の情報をタイムリーに伝達することが重要であるため、FS-view2 のトップ画面に専門技術員や営農指導員がコメントを記録でき欄を設けた。グループ内の圃場で病害虫が発生した場合、このコメントによって注意喚起を行うことで病害虫対策をタイムリーに実施できる。

自治体独自の指定農薬制度によって登録農薬が異なることから、FS-view2 では青森県専用の農薬データベースを作成した。予め圃場面積を設定し、画面上の農薬を選択

すると「カート」内に入るようにして、直感的に分かりやすい画面デザインにした。
また、希釈倍率を入力すると必要となる水の容量を自動的に算出する機能を組み込んだ。さらに、過去の農薬仕様履歴を参照して規定回数以上の入力に対しては使用できないことを警告する機能を組み込み、誤使用・過剰使用の防止対策を行うことができるようにした。

4.6 アプリケーション(FS-view2)の評価実験

青森県のMP-FS1の評価実験サイトにおいて6名の農業生産者を対象に、FS-View2の評価実験を行った。FS-view1の評価実験と同様、日常的な営農においてFS-view2がどの程度役に立つのかを評価するため、年に2回農家ミーティングを開催し、FS-view2における有用性及び改善点・課題に関するヒアリングを実施した。

4.7 アプリケーション(FS-view2)の評価実験結果

4.7.1 FS-view2の評価

6名の農業生産者のうち、「ほぼ毎日、データを閲覧していた」者は4名であった、「定期的に確認していた」と回答があったのは2名であった。FS-view1に比べて利用頻度が向上したことが確認できた。また、「日々、作業内容の入力をした」者は3名、「定期的に入力した」ものは2名、残り1名は全く入力履歴がなかった。

作業履歴の入力を行った農業生産者の意見は以下の通りであった。

- 1) 篤農家の作業内容が確認できて参考になった。
- 2) 他の農業生産者の農薬の使用履歴から病虫害防除が行なわれたことを知り、リアルタイムに自分の圃場でも対応できた。
- 3) 毎年の履歴を蓄積することで、他の年と比べて、今年がどういった成長をしているのかを確認できる可能性がある。多年度に渡り運用を継続したい。

また、入力が全く無かった農業生産者の意見は以下の通りであった。

- 1) 農作業後、家に帰宅して PC を立ち上げることが面倒。
- 2) J A で義務付けされている農薬使用履歴と重複している。
- 3) P C 作業に慣れておらず、入力作業自体が面倒。

4.6 アプリケーションの課題

FS-view1, FS-view2 の評価実験を行った結果、利用面、運営面における以下の課題が抽出された。

1) 農薬使用履歴

FS-view2 の評価実験の農薬データベースは全国農業改良普及支援協会によって作成されたものを使用したが、登録される農薬、登録を外される農薬が年々異なり、データベースの管理が課題となった。また地域によって登録内容が異なることから、膨大なデータベースに加え年度別のデータベース更新が必要となる。新たに登録された農薬の混合使用の可否判断は農薬メーカーや J A との連携が必要となり、データベース

の運用費及び更新費用が嵩むことが明らかとなった。FS-View2 では農業生産者が J A へ提出する内容を参考に農薬使用履歴表を作成したが、義務づけられた履歴表の代用にまでは至っていない。完璧な農薬使用履歴管理を行うのは量産型フィールドサーバのためのアプリケーションの範囲を超えており、農薬ナビ（菅原・南石 2011）など専用アプリケーションと連携的に使用できるようにすべきと判断された。

2) 開発費

アプリケーション開発費やサーバ管理費、データベース更新費用を回収するには多数のアプリケーション利用者が必要となる。FS-view2 はトマト栽培専用のアプリケーションとして開発したが、作物別、地域別に異なる使いやすく多機能なアプリケーションが望まれていた。しかしながら、作物別、地域別にアプリケーションを開発すると、それぞれの利用者数が少ないため投資回収が見込めない可能性があった。また、多機能なアプリケーション開発に多額の資金を投入するとトータルの開発コストが膨らみ、本来の目的である量産型フィールドサーバの高品質化・低コスト化ができないうというジレンマが見出された。フィールドサーバが本格的に普及するまでの導入期においては、必要最小限のアプリケーションに開発にとどめ、他のアプリケーションとの連携やフリーソフトの活用などで対応すべきと考えられた。

3) 運営費

FS-View1, Fs-Vieww2 の評価実験では、データ管理、ID・パスワード付与管理等の作業及びアプリケーション・サービスの提供は無償で行われたが、実際のビジネスで

有償または製品価格への上乗せが必要である。また、アプリケーションのアップデートや機能追加のためには新たな研究開発費用が必要となる。そのため、このコストはかなり大きいと推定される。

アプリケーションの利用料金について調査を行ったところ、500円／月までであれば利用するという回答が大半であった。この金額でアプリケーション・サービスを維持・管理するには非常に多くのユーザが必要である。その一方、作物別、地域別の異なる多数のアプリケーションが必要となる。多種のアプリケーションの開発には大きなコストがかかり、量産型フィールドサーバのコストアップ要因となる。そのため、フィールドサーバ用アプリケーションの機能は限定し、ユーザは既存の農業用ソフトウェアを組み合わせる利用できるようにすべきと考えられた。

4.7 アプリケーションに関する考察

多数の圃場を運営するグループにおいては、圃場環境データの収集・蓄積、作業記録へのニーズは高いことが明らかとなった。しかし、一般の農業生産者が使えるようにするにはアプリケーションの利用料金が大きな課題であり、これをできるだけ下げる必要がある。将来的には、ASP（アプリケーションサービスプロバイダ）がこのサービスにビジネスとして参入することが期待されるが（相原 2003）、先に述べた開発費・運営費を確保するためのビジネスモデルの確立が課題となる。

現在、普及しているスマートフォン用のアプリケーションでは、「基本使用料金無

料」が主流となっている。ユーザにとって、これは一見無料に見えるが、実際には広告や追加の有料サービスをうまく組み込むことで収益を確保している。このビジネスモデルを参考にして、フィールドサーバ用アプリケーションを提供するという方法があり得るだろう。

FS-View1 及び FS-View2 の評価実験では、フィールドサーバを広く普及させるためには計測データと実際の農作業をリンクさせるアプリケーションが極めて重要であることが明確になった。この具体的なアプリケーションの研究としては、例えば「農ライブ」（斉藤ら 2013）がある。「農ライブ」では、画像等のデータと農業生産者や消費者等がコメントをリンクさせて書き込むことが出来るようになっている。

FS-view1 は、単に MP-FS1 で収集したデータのグラフを比較できるだけであったが、FS-view2 では複数の圃場のデータを比較が可能となり、より利便性が高まった。FS-view2 では、植物の成長に応じて最適な環境が異なり、同じ成長段階の圃場同士を比較できるようにするため「生育ステージごとの比較」という新しい機能を加えた。これに「農ライブ」で示された SNS 的機能を加えることで、さらに利便性の向上が期待できる可能性がある。

FS-View2 では農業生産者の作業を軽減させるため、農薬記帳機能も搭載した。しかし、これは量産型フィールドサーバのアプリケーションとしては開発コストと維持コストが過大であり、「農薬ナビ」等の専用アプリケーションとの連携が必要であった。将来的には複数の農業用アプリケーションを簡単に連携させることができる仕組み

(フレームワークやプラットフォーム)が必要と考えられる。

FS-View1 及び FS-View2 ではグループウェア機能として、農業生産者や営農指導員、農業改良普及員のためのアプリケーションを作成したが、農産品のブランド力を高めるために、生産状況や一部履歴を市場に開示したいという声もあった。長野県で運用されている「農ライブ」では、地域住民や市場に対してオープンな情報開示を行っているが、この場合、市場に対してクローズにするデータ、オープンにするデータの切り分けが必要となる。これは、データ保全のためのセキュリティ管理だけではなく、マーケティング上、どのようなデータを積極的に収集・伝達するかを判定する必要がある。この分析や仕分け作業を人手で行うと ASP コストアップ要因となるため、自動的に行う仕組みが必要である。これには、Twitter や Facebook 等 SNS クラウドサービスとの連携や全体のデータを統合して得られるビッグデータの解析が有効と考えられる。

FS-View2 の環境データの比較機能によって、グループ内における農作業の意思決定支援を効果的に行うことが分かった。また、地域内グループウェアとして蓄積された環境データ、農作業データは、高品質農産物の生産あるいは生産物の均質化に有効であった。特に、篤農家を含む農業生産者の個々の作業内容を作業履歴データベースとして蓄積することでノウハウの蓄積にも繋がり、栽培技術の底上げが可能になることが明らかとなった。この機能は後継者や新規収納者に対する技術継承手法としての活用が可能と考えられる。

FS-View1 及び FS-View2 の評価実験は2年間で終了となったが、毎日、篤農家の圃場データと自圃場データを比較し活用していた農業生産者には、終了後も継続して使いたいという要望が高かった。継続して使用することで、そのニーズはますます高まると考えられる。例えば、10年単位のデータを蓄積し、さらに各地で蓄積されたデータを統合しビッグデータ化して大規模に解析すると、過去の履歴から最適な栽培計画を立案できるようになると予想される。クラウドコンピューティングの発展によって、こういったビッグデータの価値は近年金融やマーケティング分野で大きく評価されているが、農業分野においても、将来、大きく膨らむことが予想される。そのためには、当面の開発費、運用費をどのように捻出するかが課題である。

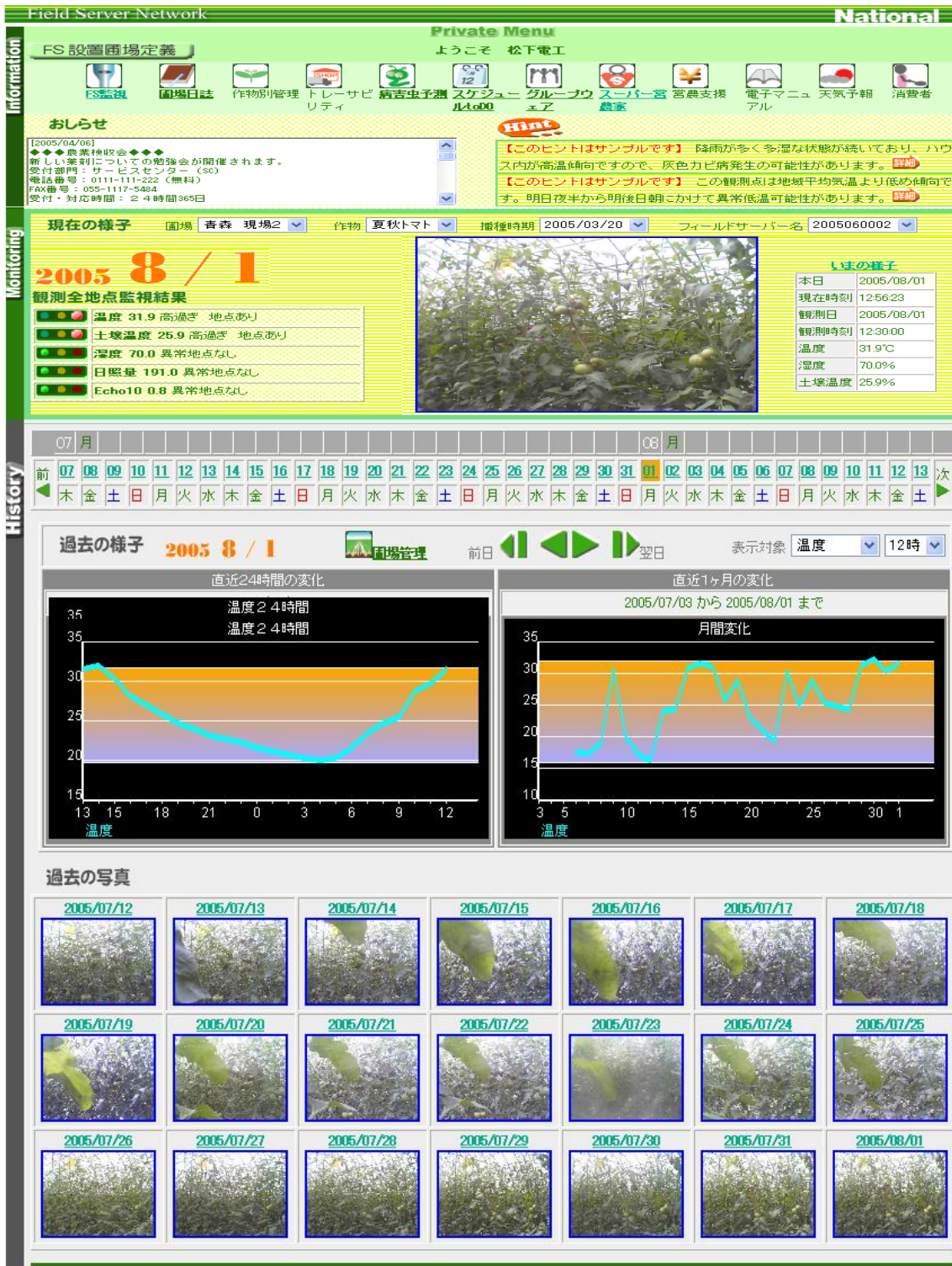


図 4-1 FS-view1 画面例

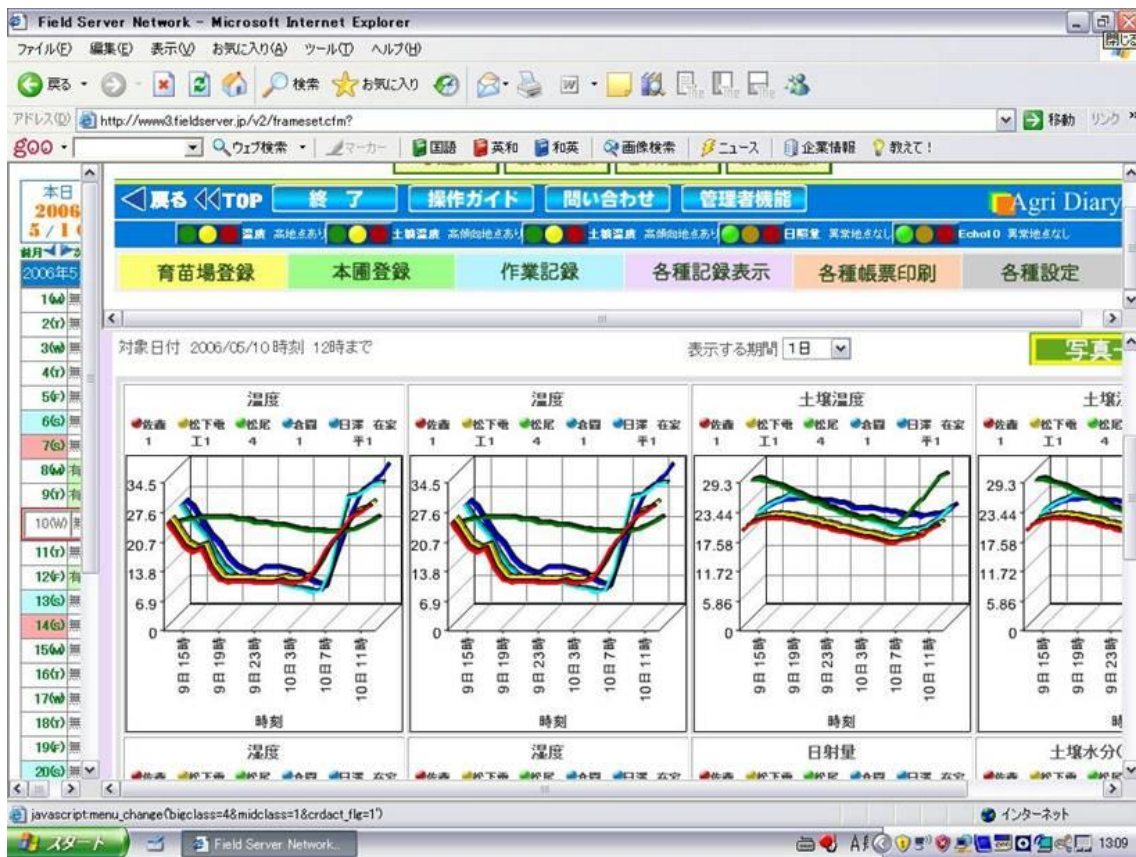


図 4-2 FS-view2 複数圃場比較の画面例
 複数のグラフを同時に表示し、他の農家、特に篤農家との比較を可視的に行う。



図 4-3 FS-view2 生育ステージ記録の画面例

同一生育ステージでデータ比較を可能とするために、FS-view2 では、生育ステージの記録機能を追加した。

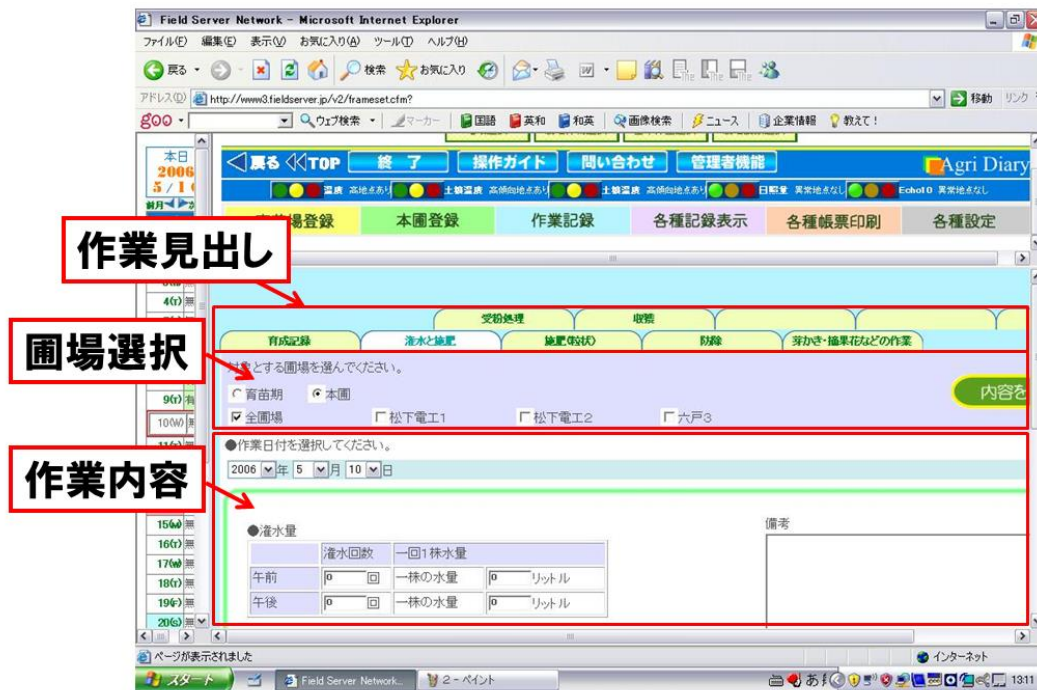


図 4-4 FS-view2 作業履歴入力画面例

FS-view1 では、センサデータや画像データの下にスクロールさせて入力する仕様で、「どこで入力するのか分からない」というケースがあったため、FS-view2 では、灌水、施肥、防除、芽かき、摘果、受胎処理、収穫の作業タブを作成した。

表 4-1 FS-view1 の要求と対応

	要求	対応
閲覧機能	<ul style="list-style-type: none"> 一つの集荷場に集荷する複数の農家と地域の技術指導員, JAの営農指導員らが加わり一つの営農集団を形成している. 圃場状態をタイムリーに共有したい. 収集蓄積したデータはグループ内部への開示のみ他の産地への開示は拒否 	<ul style="list-style-type: none"> グループ内メンバーにIDとパスワードを付与し、メンバー内のみ閲覧できるようにした 岐阜県と青森県のデータベースを別々に構築
篤農家技術共有	<ul style="list-style-type: none"> 篤農家がどのような環境で実際の営農を行っているのか、データ化して欲しい 篤農家の圃場環境と自分の圃場の環境の比較したい 	<ul style="list-style-type: none"> 各センサーデータをグラフ比較できるようにした.
作業履歴	<ul style="list-style-type: none"> 篤農家がどのような作業を、どの時期に行っているのかを可視化して欲しい 	<ul style="list-style-type: none"> FS-view1ではグラフ・画像表示のみ. 未対応.

表 4-2 FS-view1 と FS-view2 の仕様の比較

	FS-view1仕様	FS-view2仕様
グラフ比較	1対1の比較	最大6箇所まで同時比較可能
生育ステージ	—	収穫と開花の段数の記帳・確認が可能
作業記帳	—	「灌水」、「施肥」、「防除(農薬)」、「受粉処理」、「芽かき」、「収穫」の項目の記録が可能

第5章 総合考察

5.1 今後の展望

本研究では、量産型フィールドサーバの仕様を柔軟に変更できるようにすることで、高品質化と低コストが両立できることを示した。しかし、低コスト化のためには、1000台、できれば10,000台以上の販売台数が望ましいことも明らかとなった。製造台数が1000台までの段階では逆に高価であり、大規模農業あるいは巨大な企業型営農集団以外では導入が難しい。我が国においてそのような農業はまだ少なく、量産型フィールドサーバの普及の初期段階では農業分野のニーズだけで乗り越えるのは困難であった。

フィールドサーバは MOTE 等の一般的なセンサネットワーク製品に比べて多機能であり、フィールドサーバには農業分野以外の多様なニーズにも対応できる可能性がある。農業分野以外でも活用されれば、この初期段階のバリアを乗り越えることができ、量産効果によってコストが下がることで農業分野の需要が高まるという好循環が期待される。

農業分野以外におけるセンサネットワークの活用事例としては、例えば高層ビルの損傷検知や地震モニタリング（南・猿渡 2009）があるが、フィールドサーバの多機能性を活用できる研究事例はまだ少ない。以下では、農業及び農業分野以外での量産型フィールドサーバの活用に関する今後の展望を考察する。

5.1.1 大規模農業

現在、農地の集積によって農業の大規模化が進められているが、同時に分散錯圃が増えている（農林水産省 2014）。分散錯圃では圃場間の移動に長時間を要するため、

圃場を見回るためのコストが増える。その結果として、フィールドサーバによる遠隔地モニタリングへのニーズは高まると予想される。

このような用途では、フィールドサーバを多数設置した場合のトータルコストを下げる必要がある。そのためのシステム構成としては、重装備のフィールドサーバ親機（大型フィールドサーバ）と必要最小限の機能を有する子機（小型フィールドサーバ）を組み合わせる必要がある。本研究で提案した製造手法では親機と子機の筐体を同一設備で製造できる。また、子機は MP-FS2 のネットワークカメラ部やセンサ部（3-12）だけを搭載することで製造できる。そのため、両者の製造コストを大幅に下げることが可能である。無線 LAN（IEEE802.11b/g/a/n/ac）の通信距離は指向性アンテナを使うと見通し距離で数 km～10 数 km 数程度であるが、見通しを確保するためのアンテナ設置が非常に難しい。数 km 以上の遠距離通信が容易にできるようになるとこの子機・親機連携システムを大規模化でき、さらなる低コスト化が可能になると考えられる（図 5-1，図 5-2）。

MP-FS2 の評価実験を行った茨城県の農業法人ユニオンファームでは、100 以上の圃場を管理しており、5～10 km 離れた位置に圃場があった。現状では従業員が圃場に直接出向いて環境を把握し、栽培の作業指示等を行っている。そのため、病害虫の発見が遅れ、作業指示のタイミングを逃すこともあるとのことであった。そのため、遠隔地の環境データを収集して、その日の作業計画等の意思決定を適切に行い、圃場にいつ作業員に伝えたいというニーズもあった。このケースでは子機と親機の通

信距離が 2 km に達するとカバー率が 80 % 程度になり，子機・親機連携システムが導入できると考えられた。

5.1.2 屋上緑化事業

都心部においては，夏場の温度上昇が深刻となっており，新築物件においては，緑地化が義務付けられている。その傾向は年々増加し，屋上緑化が進んでいる。

近年，屋上緑化事業が盛んになっている。屋上緑化事業においては定期的なメンテナンスのために高層ビルの屋上に行く必要がある。高層ビルにおいて屋上は厳格な管理下に置かれ，簡単に入れないケースが多い。ビルの管理者に連絡し，都度入場許可を得る必要がある。フィールドサーバによって屋上の植生や環境データを遠隔で収集できれば，わざわざ屋上に入場する手間を省くことができる（図 5-3）。

5.1.3 Phenomics 研究

近年，Phenomics 研究の急速な発展が見られ（Houle et al. 2010），作物の形質及び環境のデータを育種圃場で収集する野外設置機器へのニーズが急速に高まっている。Phenomics 研究においては，形質情報を網羅的に収集するための極めて高度なセンシングデバイスが多数必要となる。5.1.1 で述べた親機・子機連携システムは，このような用途に適している。さらに本研究で開発されたペルチェ素子による冷却技術は，形状の異なる種々の精密機器を野外に長期間設置する際に有用と考えられる。

5.1.4 住宅エリア

住宅エリアにおいても、各家庭にフィールドサーバを導入することで、さまざまなサービスの展開が期待できる。例えば、局地的な豪雨や竜巻の発生などのモニタリングによって、地域ぐるみの防犯・防災システムとしての展開が期待される(図5-4)。

電力分野においてはスマートメータが各住戸に設置され、電力量モニタリングの自動化に成功しているが、これらの通信技術には伝搬特性に優れた900MHz帯電波が利用されており、2kmのマルチホップ通信を可能としている。フィールドサーバをこの通信網に接続することで住宅の画像及び環境データを収集できると、地域の防犯・防災につながると考えられる。

例えば、近隣地域での雨量・風向・風速等をリアルタイムにモニタリングすると、より細かな気象予測が可能となり、ゲリラ豪雨対策にもつながることが期待される。

また、年間を通じたこれらのモニタリングデータは土地の価値を高める可能性がある。例えば、エリア全体に防犯カメラが設置されることになり、街全体での防犯につながる。ハウスメーカーは事前にデータを把握することで、どの向きに窓をどれくらい設置すればよいか把握でき、住宅設計に活用することができる。このように、環境データは農業以外の分野にも広く普及が期待される。

5.2 展開事例

本研究で考案された筐体設計製造技術は電気自動車の充電ステーション(図5-5)の筐体製造に適用され、多品種生産の効率化に寄与しつつある。量産型フィール

ドサーバで提案した手法（筐体構造を統一仕様とし，内部機器をユニット化）によって多品種に対応できるようになった（図5-6）．充電ステーションの場合，初期の市場規模はフィールドサーバよりも小さく，販売台数が極めて少ないと予想されたため，板金手加工による製造方法が用いられている．今後，電気自動車が普及するにつれて生産台数が増加すれば，本研究で提案した押し出しによる製造手法を採用することで，更なる低コスト化が可能である．

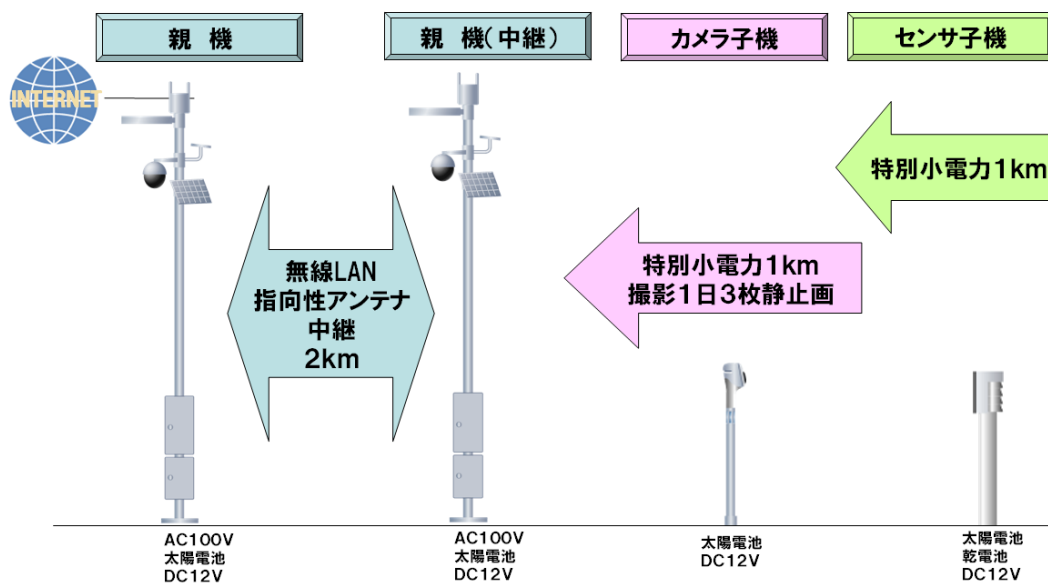


図 5-1 親機・子機システム構成

農業法人では、より点在した遊休地を利用するケースが増えている。事務所からの距離が離れる場合が多く、長距離通信の要望が増えている。親機，子機間の通信距離を伸ばす必要がある。

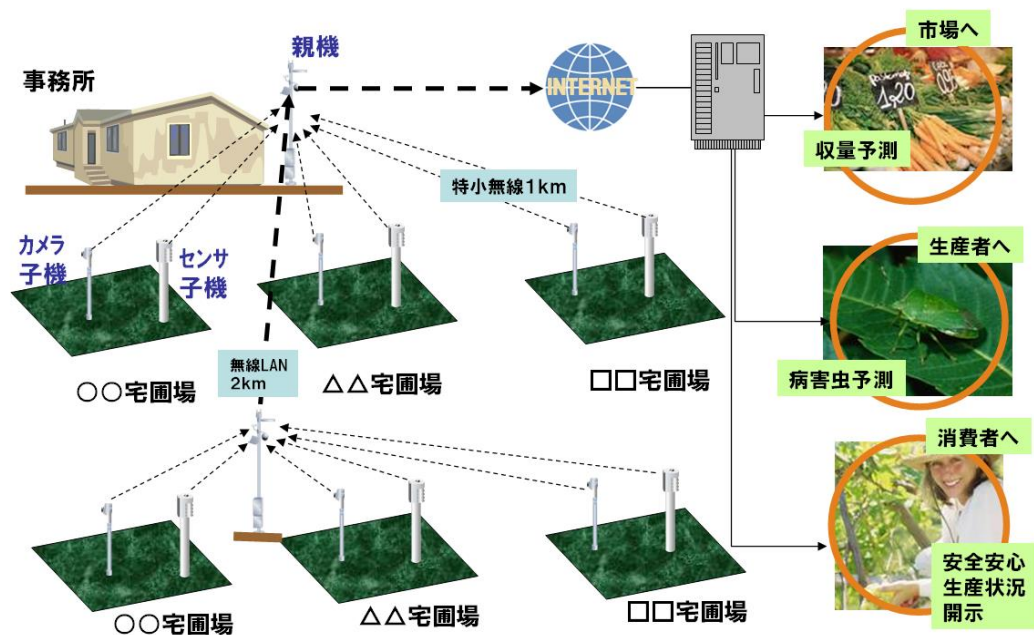


図 5-2 集団営農用システムイメージ

集荷場単位でデータ収集が可能となるシステムのイメージ。スマートメータ等
 利用されている帯域を利用することで、通信費用の削減が可能となる。

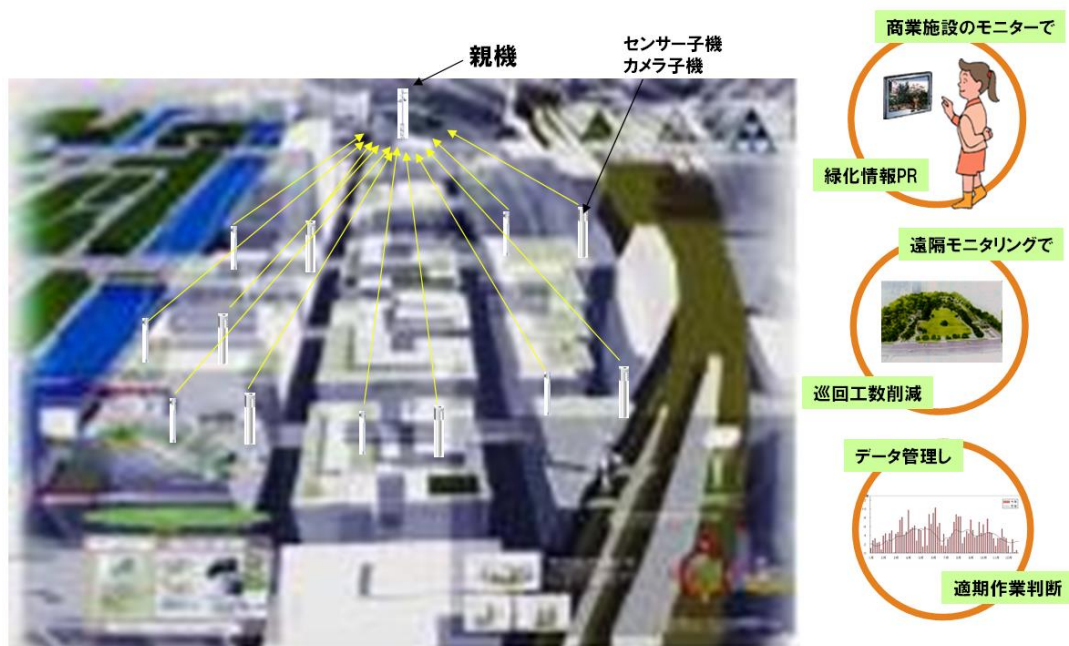


図 5-3 屋上緑化管理用センサネットワークのイメージ

屋上緑化の管理用システムとして活用。ビルの屋上に入るための許可申請が手間となる。遠隔地で状況把握できるシステムの要望が高まっている。

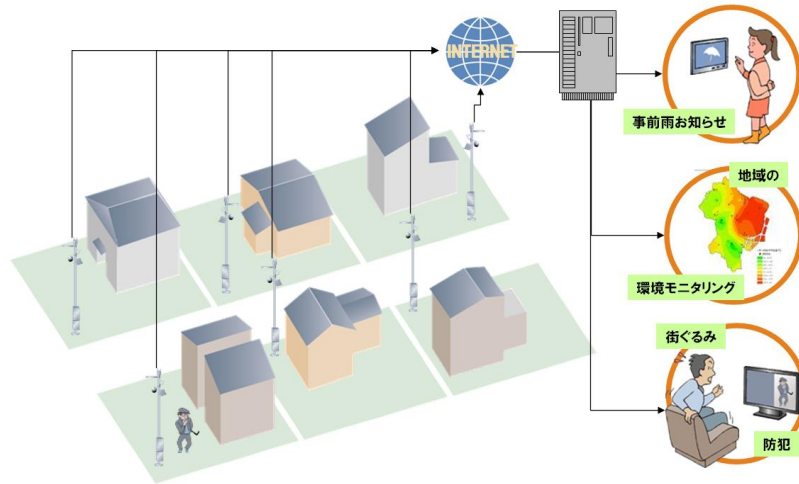


図 5-4 住宅エリア向けセンサネットワークのイメージ

ゲリラ豪雨や熱中症等，生活において近隣の外部環境情報を活用するイメージ。カメラ映像と連携し，高度な防犯，防災システムとして活用するイメージ。



图 5-5 電気自動車用充電設備

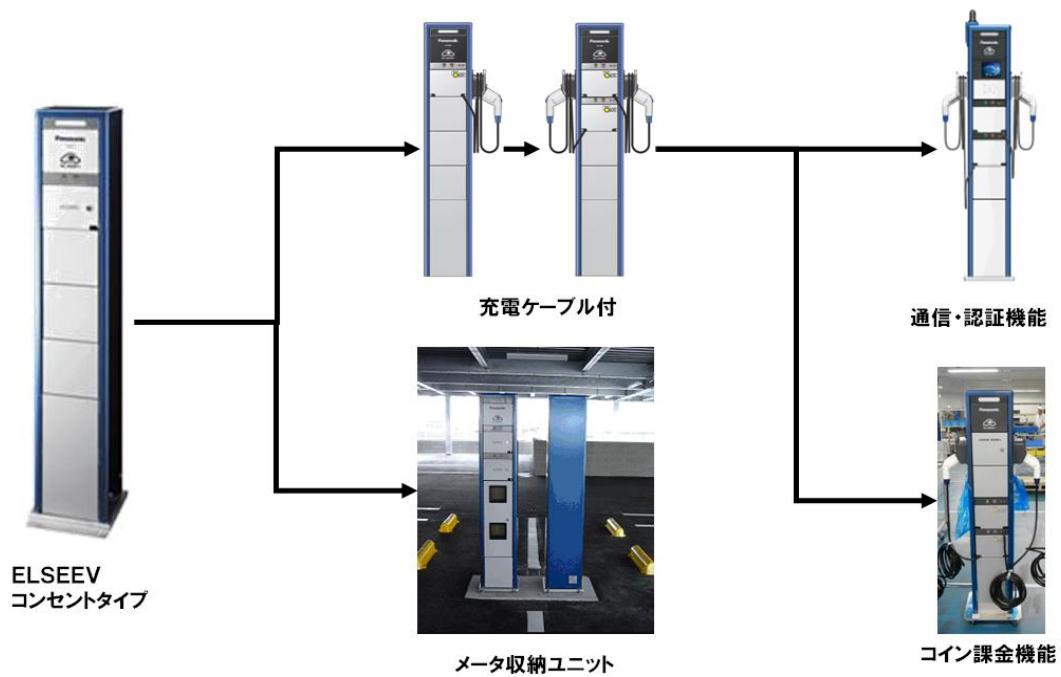


図 5-6 電気自動車用充電設備の筐体共有事例

1つの筐体から、様々な仕様の充電インフラに展開している事例
 筐体に対する設備投資は1度で済むので、展開に応じて製品コストに対する設備費用の割合は小さくなる。

摘要

近年，農業分野においてもセンサネットワークが注目され，様々な研究が進められている．センサネットワークの研究がスタートした時点では **RF-ID** などのように低コスト化され安価に供給されることが期待された．しかし，コストパフォーマンスはまだ低く，広範な普及には至っていない．本研究では，この問題に量産型フィールドサーバの製造手法の面から取り組んだ．まず仕様に関する調査及び量産型フィールドサーバの試作機と営農用アプリケーションの評価実験を行った．その結果，地域や作物によって要求仕様が非常に異なることが明らかとなった．この結果に基づいて，実圃場での利用に適した量産型フィールドサーバとアプリケーションの仕様を決定した．さらに，低コスト化と高品質化という相反する要求を満たすため，品質及び製品コストのトレードオフ関係に着目して品質管理及び信頼性工学の面から考察を行い，同時多次元設計を用いたモジュール構造及び設計・製造方法を提案した．この製造手法に基づいて試作した量産型フィールドサーバの評価実験を3カ所で実施し，コストパフォーマンスの向上を確認した．

量産型フィールドサーバの製品化に際してはフィールドサーバで収集したデータを閲覧するためのアプリケーションが必要である．しかし，アプリケーションにどのような機能を持たせれば良いか不明であった．また，上記の量産型フィールドサーバを現場で評価してもらう場合には，実際に営農で利用出来るアプリケーションが必要である．そこで，最

小限の機能を備えたアプリケーションを開発し、農業者からの聞き取り調査に基づいて改良を加えることでフィールドサーバへのニーズを調べることにした。大きなニーズとしては、自分の栽培方法と篤農家の栽培方法の違いを環境変化パターンの違いとして「見える化」したいというものであった。これに対応して篤農家と一般の農業者のデータを比較できるようにした。また、営農グループ内の他のメンバーとの比較もできるようにして欲しいという要望があり、その機能を追加した。生育ステージごとにも比較したいというニーズがあり、その機能を追加した。一方、農薬の使用可否判定及び農薬使用履歴の記録に関してもニーズがあり、その機能を持たせたが、この機能に関しては農薬に関するデータベースの更新に多くのコストがかかることが明らかになった。農薬使用に関する機能はフィールドサーバのデータ閲覧用アプリケーションの範囲を超えるものであり、機能として盛り込むべきではないと判断され、農ユーザは「農薬ナビ」等既存サービスを活用するのが望ましいと考えられた。さらにアプリケーションの利用料金について調査を行ったところ、500円/月までであれば利用するという回答が大半であった。この金額でアプリケーション・サービスを維持・管理するには非常に多くのユーザが必要である。その一方、作物別、地域別の異なる多数のアプリケーションが必要となる。多種のアプリケーションの開発には大きなコストがかかり、量産型フィールドサーバのコストアップ要因となる。そのため、フィールドサーバ用アプリケーションの機能は限定し、ユーザは既存の農業用ソフトウェアを組み合わせる利用できるようにすべきと考えられた。

謝辞

本論文取りまとめるにあたり，親切なご指導をいただきました筑波大学大学院生命環境科学研究科 平藤雅之 教授（独立行政法人 農業・食品産業技術総合研究機構 北海道農業研究センター 芽室研究拠点）に深甚なる謝意を表します。また筑波大学大学院生命環境科学研究科 林武司 教授（独立行政法人 農業・食品産業技術総合研究機構 中央農業総合研究センター・情報利用研究領域），筑波大学大学院生命環境科学研究科 竹澤邦夫准教授（先端農業技術科学専攻）にはフィールドインフォマティクス研究分野におけるゼミ及び本論文の取りまとめにあたり，ご指導頂きました。ここに謹んで感謝の意を表します。また筑波大学大学院生命環境科学研究科 瀧川具弘教授（国際地縁技術開発科学専攻），東京大学大学院農学生命科学研究科附属 生態調和農学機構 二宮 正士 教授には，本論文の取りまとめにあたり多大なるご指導ならびにご助言頂きました。ここに心から感謝致します。

本研究のハードウェアの開発ならびに実証実験の推進は，パナソニック株式会社 エコソリューションズ社（旧パナソニック電工）の新事業テーマとして試験的に開発したフィールドサーバを用いて評価実験を実施しました。評価実験において貴重なご助言・ご協力を頂きましたプロジェクト関係者諸氏にお礼申し上げます。

本研究の聞き取り調査にご協力を頂いた全国の試験研究所関係者様にお世話になりました。ここに感謝の意を表します。

本研究の評価実験において、全国農業改良普及支援協会 関福会長様、岐阜県飛騨農業改良普及センターの関係者の皆様、岐阜県中山間農業技術研究所の関係者の皆様、青森県三戸地方農林水産事務所普及指導室の関係者の皆様に多大なるご助力を頂き厚く御礼申し上げます。

本研究の評価実験において、茨城県農業法人ユニオンファームの関係者の皆様、東京大学大学院農学生命科学研究科 生物・環境工学専攻環境地水学研究室 西村拓教授、ならびに石垣島実験圃場農家の皆様に多大なるご協力を頂きここに感謝の意を表します。

関連業績リスト

原著論文

フィールドサーバの要求仕様に関する調査及び

量産型フィールドサーバの設計・製造手法に関する検討

※農業情報研究 受理完了

学会発表

農業情報学会 2011 年度 年次大会（研究発表会）

マス市場に対応できるフィールドサーバの要求仕様に関する調査

～作物別・市場別から見た, データ収集の方法の調査～

農業情報学会 2012 年度 年次大会（研究発表会）

フィールドサーバの仕様と製品コストのトレードオフに関する品質理論的考察

引用文献

相原憲一(2003) ビジネス変革とネットソーシング, NUCB journal of economics and information science, < <http://www.sophianets.jp/0202AIHARA.pdf>>, 2014 年 1 月 20 日参照.

Crosby, P. B. (1979), Quality is Free, McGraw-Hill. 小林宏治訳 (1980) 『クオリティ・マネジメント』, 日本能率協会.

Crosby, P. B. (1979) Quality is Free, McGraw-Hill. 小林宏治訳 (1980) 『クオリティ・マネジメント』, 日本能率協会.

クロスボー株式会社 (2013) 無線センサネットワーク MOTE,

< <http://www.xbow.jp/01products/index.html>>, 2013 年 1 月 16 日参照.

eLab experience (2013) < <http://www.elab-experience.com/>>, 2013 年 1 月 16 日参照.

遠藤順也 (2014b) AI 農業の取組について

<<http://www.meti.go.jp/press/2012/05/20120501002/20120501002-5.pdf>>, 2014 年 2 月 8 日参照.

Feigenbaum, A. V. (1956) “Control (design + material + product + process) ÷ Costs (inspection + rejects) × Customer Satisfaction = TOTAL QUALITY CONTROL”, Harvard Business Review, November. /December, 93-101.

Feigenbaum, A. V. (1961) Total Quality Control: Engineering and Management, McGraw-Hill.

深津時広・平藤雅之 (2003) 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):1-12.

藤田絢香, 中村元一, 亀岡孝治 (2011) 生産現場における高品質ミカン生産のための ICT 利用に向けた土壌水分計手法の確立, 農業情報研究, 20(3):86-94.

Fukatsu, T., M. Hirafuji, T. Kiura (2010) Web-based Sensor Network with Flexible Management by Agent System, 2010, Advances in Practical Multi-Agent Systems, SCI325, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 415-424.

Tokihiko Fukatsu, Tomonari Watganabe, Haoming Hu, Hideo Yoichi, Masayuki Hirafuji, Field monitoring support system for the occurrence of *Leptocorisa chinensis* Dallas (Hemiptera: Alydidae) using synthetic attractants, Field Servers, and image analysis, 2012, Computers and Electronics in Agriculture, 80, 8-16

平藤雅之 (1989) 農業気象観測システム, 農業情報利用研究会編・発行, 農業情報, pp.204-208, 1989.

Hirafuji, M., T. Fukatsu (2002) Architecture of Field Monitoring Servers, Proc. of the Third Asian Conference for Information Technology in Agriculture, 405-409.

平藤雅之 (2005) 微気象モニタリングシステム, 新農業気象・環境学 (長野敏英, 大政謙次編), 養賢堂, 85-88.

平藤雅之 (2007) 農業・環境分野における先端的画像情報利用 (大政謙次編著), 第6章 フィールドサーバによるイメージセンシング, pp. 75-87, 社団法人農業電化協会.

Hirafuji, M., H. Yoichi, T. Kiura, K. Matsumoto, T. Fukatsu, K. Tanaka, Y. Shibuya, A. Itoh, H.

Nesumi, N. Hoshi, S. Ninomiya, J. Adinarayana, D. Sudharsan, Y. Saito, K. Kobayashi, T.

Suzuki (2011) Creating high-performance/low-cost ambient sensor cloud system using

OpenFS (Open Field Server) for high-throughput phenotyping, Proceedings of SICE

Annual Conference, 2010-2012.

平藤雅之・世一秀雄・三木悠吾・木浦卓治・深津時広・田中慶・松本恵子・星典宏・

根角博久・澁谷幸憲・伊藤淳士・二宮正士・J. Adinarayana・D. Sudharsan・斉藤保典・

小林一樹・鈴木剛伸 (2013) オープン・フィールドサーバ及びセンサクラウド・シ

ステムの開発, 農業情報研究, 22 (1): 60-70.

株式会社 日立製作所 (2013)

<http://www.hitachi.co.jp/products/it/portal/info/magazine/uvalere/uvalue_seed/seed01/index.html>,

2013年1月16日参照.

星岳彦・塩沢栄地・新聞恵太・高市益行・平藤雅之 (2007) 施設園芸における生産履

歴情報の収集と活用のためのフィールドサーバ用アプリケーションプログラムの開

発. 農業情報研究, 16(1), 1-8.

Houle, D., D. R. Govindaraju and S. Omholt (2010) Phenomics: the next challenge, Nature

Reviews Genetics 11: 855-866.

茨木修・高谷充(1996) 屋外設置用キャビネットの冷却特性, 電子情報通信学会技術研

究報告, 94(2), 1-6.

石塚勝(2009) よくわかる電子機器の熱設計, 秀和システム, 10-32.

伊藤嘉博 (2005) 『品質コストマネジメントシステムの構築と戦略的運用』日科技連出版.

伊藤嘉博 (2013) わが国の品質管理実践革新の可能性と品質コストが果たす役割に関する考察, 早稲田商学, 434:23-55.

Kahn, J. M., R. Katz and K. Pister (1999) Next century challenges: mobile networking for “Smart Dust”, Proceedings of the 5th Annual ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking, 271–278.

小玉麻博・田附明夫・塩光輝 (2001) 携帯電話による Web 農業 DB の構築. 農業情報研究, 10 : 63-64.

小谷教彦・西村正(2005) LSI 工学 システム LSI の設計と製造, 森北出版, 東京, 82-84.

町田武美・谷口晋・塩光輝(1989)茨城大学農業情報 BBS ネットワーク構築実験. 農業情報 1989. キャンズ, 千葉. 70-72.

前山薫・南石晃明・本田茂広・法隆大輔 (2006) 農業技術体系データベースの効率的な構築手法, 農業情報研究, 15(1):25-48.

南正輝, 猿渡俊介 (2009) アプリケーション指向センサネットワーク, 計測と制御 48(7):1-7

水沼守・加藤忠・端俊一 (2003) 無線 LAN による圃場の情報化, NTT 技術ジャーナル 1:49-52.

水谷敦史・高倉直・田上隆一 (1989) 地域気象観測ネットワークシステム開発.

農業気象 45(1) : 33-37.

南石晃明・菅原幸治・深津時広 (2007) RFID を用いた農作業自動認識システム, 農業情報研究, 16(3):132-140.

根来陽一・田中康博(1978) 品質機能展開, 日科技連, 東京, 84-103.

農林水産省 (2007) 園芸用ガラス室・ハウス等の設置状況

<<http://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/engei/index.html> >, 2014 年 2 月 8 日参照.

農林水産省 (2011) 耕作放棄地の現状について

< <http://www.maff.go.jp/j/nousin/tikei/houkiti/pdf/tebiki01.pdf> > , 2014 年 2 月 8 日参照.

農林水産省 (2012) ,平成 23 年度 食料・農業・農村白書 (平成 24 年 4 月 24 日公表)

<http://www.maff.go.jp/j/wpaper/w_maff/h23/index.html >, 2014 年 2 月 8 日参照.

農林水産省 (2013) ,平成 24 年度 食料・農業・農村白書 (平成 25 年 6 月 11 日公表)

<http://www.maff.go.jp/j/wpaper/w_maff/h24_h/trend/part1/chap3/c3_6_00.html >, 2014 年 2 月 8 日参照.

農林水産省 (2014a) 農山漁村における IT 活用事例

<<http://www.maff.go.jp/j/kanbo/joho/it/itkanren.html>>, 2014 年 2 月 8 日参照.

農林水産省 (2014b) 農地集積のための総合的な対策について

<<http://www.maff.go.jp/test/keiei/koukai/syuuseki.html>> 2014 年 2 月 8 日参照.

小川正樹 (2009) 高品質・低コスト生産のすべて, 日本能率協会マネジメントセンター,

東京, 14 - 37.

大塚彰・菅原幸治 (2003) 携帯情報端末を用いた労務管理. 農業情報研究, 12(2), 95-103.

Pierce, F. J. and T. V. Elliott (2008) Regional and on-farm wireless sensor networks for agricultural systems in Eastern Washington, Computers and Electronics in Agriculture, 61(1):32-43.

Romer, K and F. Mattern (2004) The Design Space of Wireless Sensor Networks, IEEE Wireless Communications, 11(6):54-61.

酒井敏・梅谷和弘・飯澤功・伊藤文・小野耕作・矢島新・飴村尚起・森永修司(2009) 都市熱環境観測システムの開発研究, 天気, 56:25-29

佐々木茂明 (2002) ウンシュウミカンに関するデータベースの開発, 農業情報研究, 11(2):133-140.

佐々木茂明・木浦卓治・古屋拳幸 (2002) 携帯電話対応の雨量データベースの開発, 農業情報研究, 11(3):231-238.

佐々木茂明 (2004a) IT 活用による新たな農業改良普及活動の開発, 農業普及研究, 9(1):64-73.

佐々木茂明 (2004b) 産地と市場の連携によるトレーサビリティモデル, 農業情報研究, 13(2):117-126.

一般社団法人 食品需給研究センター(2005) トレーサビリティシステム導入事例集

<http://www.fmic.or.jp/trace/h16/casestudy/3_shinpuku.pdf>, 2014 年 2 月 8 日参照

Sudharsan, D., J. Adinarayana¹, S. Ninomiya, M. Hirafuji and T. Kiura (2012a) Dynamic Real Time Distributed Sensor Network Based Database Management System Using XML, JAVA And PHP Technologies, International Journal of Database Management Systems (IJDMS) Vol.4, No.1, February 2012, 9-20.

Sudharsan, D., J. Adinarayana, A. K. Tripathy, S. Ninomiya, M. Hirafuji, T. Kiura, U. B. Desai, S. N. Merchant, D. Raji Reddy and G. Sreenivas (2012b) GeoSense: A Multimode Information and Communication System, ISRN Sensor Networks, Volume 2012, Article ID 215103, <http://www.isrn.com/journals/sn/2012/215103/>

Sudharsan, D., J. Adinarayana, D. Raji Reddy, G. Sreenivas, S. Ninomiya, M. Hirafuji, T. Kiura, K. Tanaka, U. B. Desai and S. N. Merchant (2012c), Evaluation of weather-based rice yield models in India, International Journal of Biometeorology, Published online: 16 March 2012

菅原幸治 (2002) 現場情報収集のための農業日誌システム. 農業情報学, 4, 62-66.

菅原幸治・田中慶・大塚彰・南石晃明 (2006) 携帯電話上で作動する農薬使用適正判定・履歴入力アプリケーション. 農業情報研究, 15(4), 381-393.

杉村勝之・野田篤(2009) 屋外型電源装置の構造技術, オリジン電気株式会社,

<http://www.origin.jp/rd/pdf/rd02_2005.pdf>, 2014年1月20日参照.

鈴木剛伸, 深津時広, 小林一樹, 木浦卓治 (2013) 圃場におけるアグリサーバの運用実績および保守管理手法, 農業情報研究, 22: 39-49.

竹内重吉・南石晃明 (2013) 農業法人経営における ICT 活用とその効果に関する要因分析, 九大農学芸誌, 68(2):49-57.

Tanaka, K., Fukatsu, T., Hirafuji, M. (2006). Data and Image Viewer Application for FieldServer. In SICE-ICASE, 2006 International Joint Conference, 4852-4855. IEEE.

Tanaka, K., Kita, Y., Hirafuji, M., Ninomiya, S., Nagatsuka, T. (2008). An Image Change Detection Application for Field Server. Proc. of IAALD-AFITA-WCCA, 49-54.

株式会社ティアンドデイ (2013) おんどとり, < <http://shop.tandd.co.jp/>>, 2014 年 1 月 20 日参照.

戸田真志・近藤直・平藤雅之 (2011) 農林水環境産業の画像技術, 映像情報メディア学会誌, 65(11), 1513-1523.

戸上崇, 伊藤良栄, 橋本篤, 亀岡孝治 (2011) 高品質ミカン生産を目的とするセンサーネットワークを利用した圃場環境計測, 農業情報研究, 20(3):110-121.

Tripathy, A. K., J. Adidnarayana, S. N. Merchant, U. B. Desai, K. Vijayalakshmi, D. RajiReddy, S. Ninomiya, M. Hirafuji, T. Kiura, Data Mining and Wireless Sensor Network for Groundnut Pest Thrips Dynamics and Predictions, Ref: 917-CIS, June 18, 2012. (<http://cisjournal.org/>).

Wayne, J. Morse (1983) Cost and Management, Measuring Quality Cost : July-Aug, 18. < <http://maaw.info/ArticleSummaries/ArtSumMorse83.htm> > 2013 年 1 月 16 日参照.

Xuefeng Wang, Masayuki Hirafuji, Xiaodong Li (2013) Tree feature extraction using image data obtained through virtual field server Original Research Article Computers and Electronics in Agriculture, Volume 93, 121-128