

農作業情報クラウドシステムの構築と
トラクタ用フィールドコンピュータの開発に関する研究

Study on the development of
farming information cloud-based computing system
and field computer for tractor operations

2016年3月

岩手大学大学院
連合農学研究科
生物環境科学専攻
(帯広畜産大学)

藤本 与

目次

第1章 緒論	1
1.1 研究の背景	1
1.2 既往の研究	4
1.2.1 ICT を用いた農業情報管理システムに関する研究	4
1.2.2 大規模畑作で利用する情報端末に関する研究	6
1.2.3 防除作業のドリフトと残留農薬に関する研究	8
1.3 研究目的と本論文の構成	11
第2章 農作業情報クラウドシステムの構築	13
2.1 はじめに	13
2.2 クラウドコンピューティングの定義と本システムへの適応	13
2.3 大規模農業への応用について	14
2.4 構築するシステムの概要	15
2.5 クラウドサーバの構築	16
2.5.1 システム設計	16
2.5.2 サーバアプリケーション	17
2.5.3 データベースの構造	18
2.6 本章のまとめ	20
第3章 トラクタ用フィールドコンピュータと 農作業 情報記録システムの開発	21
3.1 はじめに	21
3.2 FC 試作1号機の開発コンセプトと仕様	21
3.3 試作したFCの第1回アンケート調査	26
3.3.1 調査の概要	26
3.3.2 試作1号機の調査結果の要約	30
3.4 試作2号機の開発コンセプトと仕様	31

3.5 試作 2 号機のアンケート調査	34
3.5.1 調査の概要	34
3.5.2 試作 2 号機の調査結果の要約	39
3.6 試作 3 号機の開発コンセプトと仕様	40
3.7 農作業情報記録システムの構築	43
3.7.1 システムの概要	43
3.7.2 システムを構成する各 ECU と供試したセンサ	45
3.7.3 FC とのデータ通信方法	50
3.7.4 トラクタ作業記録の動作確認実験	52
3.8 本章のまとめ	56
第 4 章 圃場内の農薬散布量分布のシミュレーション	58
4.1 はじめに	58
4.2 農薬散布量分布のシミュレーション方法	59
4.2.1 シミュレーションのアルゴリズム	59
4.2.2 トラクタ付近の水平風の算出方法	61
4.2.3 水平風の計測のための 3 次元超音波風向風速計	64
4.3 ノズルの散布分布計測とドリフトパターンの作成	68
4.3.1 供試小型風洞装置	68
4.3.2 ノズルの落下量分布計測装置	69
4.3.3 落下量分布の計測条件	69
4.3.4 落下量分布の計測結果と考察	73
4.4 単一条件でのシミュレーション実験	75
4.5 サーバアプリケーションへのアルゴリズムの適用	76
4.6 本章のまとめ	78
第 5 章 農薬散布量分布のシミュレーション結果の実証実験	80
5.1 はじめに	80
5.2 実証実験に供試した農作業情報記録システムの構成と供試機	80
5.3 散布量分布のシミュレーション結果の評価方法	83

5.4 散布量分布のシミュレーション結果と考察	86
5.4.1 記録した散布作業データの分析	86
5.4.2 推定した水平風の変化	90
5.4.3 散布量分布のシミュレーション結果の評価	96
5.5 本章のまとめ	98
第6章 総括	101
6.1 農作業情報クラウドシステムの構築（第2章）	101
6.2 トラクタ用フィールドコンピュータと 農作業情報記録システムの開発（第3章）	101
6.3 防除作業を対象とした作業データの活用例（第4章）	103
6.4 シミュレーション結果の実証実験と評価（第5章）	104
6.5 結言	106
謝辞	107
参考文献	109
Summary	115
附録 A	120
附録 B	124
附録 C	133

第1章 緒論

1.1 研究の背景

北海道の大規模農業では、少子高齢化による後継者不足、農産物の安全安心の確保、農業の情報化への対応などの問題が多岐に山積している。なかでも、少子高齢化と後継者不足による農家数の減少が大きな要因として考えられ、農家1戸あたりの平均耕地面積の拡大は重要な課題となっている。農林水産省の2010年農林業センサスによると、わが国全体の販売農家数が20年前の半数にまで激減するとともに、2010年の農業就業人口の平均は65.8歳と高齢化しており、北海道の販売農家も同様の傾向を示している¹⁾。

なかでも十勝地方は、農畜産業を主体として全国的に大規模農業が行なわれている地域であるが、農家数の減少から今後ますます経営面積が拡大することで大規模農業が発展すると予想される。十勝管内の農家1戸あたりの平均耕地面積は2010年に40.5 haになり、本州の約40倍、北海道の約2倍となるため、少ない農業人口でより効率的な営農が必要となる。減少する農家人口に対して増加する耕地面積を管理するために、海外製の大型トラクタや作業機を導入するとともに、効率的な作業計画を実施する必要がある。十勝地方は主に畑作が中心であり、畑作は稲作と比べて多くの種類の作業機を広大な圃場で運用するため、作業機の作業履歴や運用コストを記録することで効率的な営農に活用できる。したがって、これまで以上に生産性を高めるためには、農家1戸ごとに農作業情報を蓄積・管理・分析して、それを活用することが極めて重要である。

わが国でトラクタを利用した農作業を含めて生産工程を管理するGAP (Good Agricultural Practice) の取り組みが農産品の価値向上や食の安心安全の確保のために注目を浴びている^{2) 3)}。GAPは欧州のGLOBAL G.A.P.⁴⁾や日本のJGAP⁵⁾などそれぞれに内容が異なるが、農林水産省の示すGAPのガイドラインでは、

“農業生産活動を行う上で必要な関係法令等の内容に則して定められる点検項目に沿って、農業生産活動の各工程の正確な実施、記録、点検および評価を行うことによる持続的な改善活動のこと”と定義している⁶⁾。GAPを取り入れることで、農業生産活動に潜む様々な危険因子を含む農産物の発生を事前に取り除くことができる。このような取り組みは、持続可能な農業生産活動だけではなく、農作業効率の向上や消費者の信頼確保に利用できる。取り組みの本来の目的である環境保全型の農業を目指すだけではなく、農産物に対して産地表示に加えて生産管理をチェックすることやその生産工程の記録を残して食の安心安全に利用することは、農産物の輸入大国であるわが国が自国の自給率の増加や農産物の付加価値を築き上げるために有効な手段となる。

近年、農作業情報を管理する具体的な手段として、農作業工程の記録に情報通信技術（ICT：Information and Communication Technology）を有効に利用して生産管理を行うシステムへの関心が高まっている。具体的に ICT とは、コンピュータ技術そのものである情報技術（IT：Information Technology）に通信ネットワークを利用して情報の共有や分析をして活用することである。ICT は様々な分野で活用されることが期待できるが、特に北海道のような大規模農業に ICT を有効活用することで、わが国の農産物の生産活動に貢献できると言える。

農林水産省が 2015 年に示した農業技術の基本方針では、スマート農業を推進するために ICT とロボット技術を活用して生産・流通システムの高度化の実現を目指している⁷⁾。政府が進める政策の背景には、減少傾向にある農業人口や農業従事者の高齢化があげられる。図 1-1 は北海道の基幹的従事者数の推移を示したものであり¹⁾、全体的な農業従事者数が 1985 年から 2010 年の間に半減していることに加え、65 歳以上の従事者の割合が 3 倍以上高くなっているこ

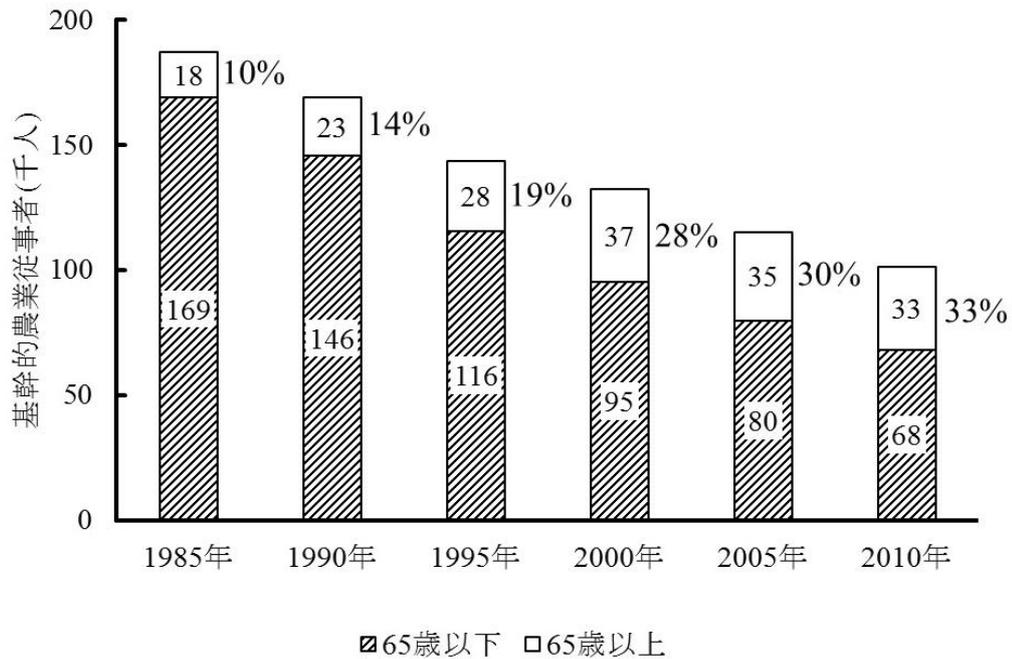


図 1-1 北海道の基幹的農業従事者数の推移

とがわかる。特に本州の農村地帯でも同様に農業従事者の減少や高齢化が問題となり、耕作放棄地が増加して農村の衰退が問題となっている。しかし、北海道の農業では道外と異なり耕地利用率が高いことから耕作放棄地は少なく、1戸あたりの耕地面積は増加している。図 1-2 は北海道とその他の都道府県の土地利用率を示したものであり⁸⁾、減少している販売農家数に対して耕地の利用効率を維持していることがわかる。これは、離農した農家の耕作地を残された周辺の農家が買い取り耕地面積を拡大しているためである。また、買い取りによる耕作地の拡大は圃場が離散することに加えて圃場間の移動距離が長くなるため、トラクタなどの作業機の運用効率の悪化が懸念されている。さらに、十勝地方では、コムギ、バレイショ、テンサイ、豆類の4品目で輪作体系を維持しているため、増加する耕作地での管理はより複雑になり、農業従事者への負担を増加させている。耕地面積が100ha以上になると家族経営が困難になるとされ、法人化による農場の拡大やコントラクタと呼ばれる農作業の請負組織も増

加している。こういった大規模農業が抱える問題の解決と、食の安全と消費者の安心を確保するために、農業生産に関わる情報を ICT により通信ネットワークで繋げ、効率的な農業生産活動を行う必要がある。

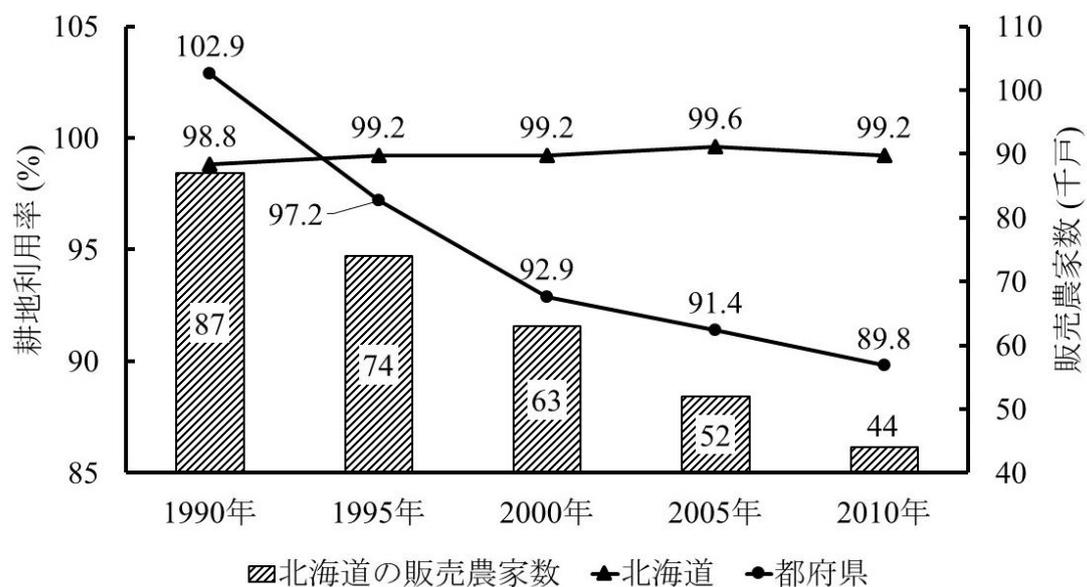


図 1-2 北海道と都府県の耕地利用率

1.2 既往の研究

1.2.1 ICT を用いた農業情報管理システムに関する研究

ICT を用いた農業情報を管理するシステムの研究は、それぞれ管理対象、情報の入力方法、入力端末、情報の管理方法などが異なる様々なシステムが存在する。現在、市販されている ICT を用いた農業情報のためのクラウドサービスは、そのほとんどが畑作や稲作の営農に直接的に影響する経理や農業用資材の管理を対象としたシステムである。富士通株式会社の Akisai⁹⁾やソリマチ株式会社とヤンマー株式会社が提供して販売する facefarm¹⁰⁾が国内で販売され、農業以外の各分野でクラウドサービスを提供する企業のデータセンターを利用して、

農場や農業法人の経営に適合するようにシステム化したものである。

大規模稲作農業に関する情報管理システムの研究分野は、大規模な稲作農業を対象としたシステムとして、南石らの農匠ナビ 1000 プロジェクトがある¹¹⁾¹²⁾¹³⁾。このシステムは大量のデータから次世代の農業のための有用な情報を抽出することができるデータマイニングなどを利用することで、営農の可視化や熟練者の農作業技術を新規農業者に継承することができる。また、気象データから作物への被害を予測することで、その対策のための意思決定を支援する小林らの Google Maps を用いた圃場管理システムが開発されている¹⁴⁾。さらに、林らが開発した FARMS は効率的な水田の大規模営農を支援するソフトウェアである。これは位置や空間などの様々な情報をレイヤとして重ね合わせることで統合的に情報の分析を行うことができる地理情報システム (GIS : Geographic Information System) と呼ばれるシステムを利用しており、それぞれの圃場の状態を可視化して管理できる¹⁵⁾¹⁶⁾。これらのシステムは、ネットワーク通信を有効的に利用することで、水田のように 1 圃場の区画を拡大できない農業体系に有効であり、農作業情報の蓄積や離散した圃場の情報を一括してシステム上で管理できる特徴がある。

大規模畑作農業に関する情報管理システムに関しては、圃場区画の広大な農地を管理する必要があるため、稲作の管理システムとは異なる。大規模畑作では大型トラクタと種々の作業機を組み合わせる農作業が多く、トラクタに取り付けた Global Positioning System (GPS) やトラクタの内部作業データを読み取り、作業軌跡や運用効率などを算出して農作業情報を効率に活用するシステムがある。例えば大嶺らの研究では、トラクタやコンバインなどに容易に脱着でき、トラクタの作業位置や作業状態を検知して USB メモリに自動保存する農作業情報記録システム Digi Farm Logger を開発している¹⁷⁾¹⁸⁾。海外では農業機械の農作業情報を取得する環境として、トラクタと作業機の作業情報を通信する

ための規格である ISOBUS (ISO 11783) が欧米で普及し、作業機の状態をトラクタに固定設置したモニタ画面で確認できるようになっている¹⁹⁾。そういった共通の通信規格を利用して、トラクタの ISOBUS 診断コネクタからトラクタの農作業情報を読み取り作業機の能率や燃費を計算して農作業情報を活用する研究が見られる²⁰⁾。

トラクタと作業機による農作業情報の活用については、圃場内の土壌成分を事前に調査して作成したマップに対して Real Time Kinematic GPS (RTK-GPS) のガイダンスと可変施肥を行うことで、圃場内の作物の生育のバラつきを減少させた原らの研究がある²¹⁾。また、申らは RTK-GPS によって得られたトラクタの作業軌跡とマニアスプレッダの散布パターンのデータを利用して圃場内の散布量分布をシミュレーションし、走行間隔や散布機の散布特性によって散布分布にむらが生じることを示した²²⁾。このように、広大な圃場で高性能なトラクタを用いて精密農業を行う場合、一般的に GPS によって作業位置を記録して活用するものや、自動制御のパラメータとして利用する研究が多く見受けられる^{23) 24) 25) 26) 27) 28)}。

一方、畑作や稲作に関係無く圃場に固定設置して圃場を管理するものもある。平藤らのフィールドサーバはセンサネットワークを構築するためのセンサノードであり、複数の圃場に設置することで圃場の環境をモニタリングし、遠隔地から圃場環境を収集することができる^{29) 30)}。ネットワーク通信を利用した ICT は、離れた場所にある圃場の情報や農作業情報を集約して効率的な管理に利用することでシステムをより利活用できる。

1.2.2 大規模畑作で利用する情報端末に関する研究

ICT を用いた農業情報管理システムは、入力に利用する端末の目的や環境に

よって多岐にわたるが、一般的に利用される端末は市販されているラップトップ PC やタブレット端末を利用した営農情報の入力と閲覧や、固定端末により営農情報を管理することが多い³¹⁾。しかし、北海道に代表される大規模農業では、トラクタ作業が多いことから、トラクタキャビン内に設置する農作業に特化した専用端末や操作端末が利用され、その出荷台数が近年増加している。その一例として、経路誘導装置いわゆる GPS ガイダンスシステムは 2008 年から 2013 年までに合計 3,430 台が出荷され、その 9 割が北海道で利用されている³²⁾。しかし、北海道に導入されるトラクタや作業機は外国製のものが多く、トラクタと作業機に共通して利用することができる ISOBUS で規格化されている Virtual Terminal¹⁹⁾と呼ばれる端末があり、海外の農業機械メーカーから作業機の操作や状態を確認する用途で利用されている。

わが国の農業用端末の開発は、主に ISOBUS に関連する研究が行われている。特に、農業・食品産業技術総合研究機構では、国際標準規格である ISOBUS を国内に普及させるために、主に北海道のような大型トラクタを対象に純正の ISOBUS 対応のコネクタより安価で簡素化された変換コネクタである AG-PORT を規格化し³³⁾、国内のメーカーを問わずトラクタと作業機間で通信を行うための基盤を整備している。これらは ISOBUS 対応の海外製のトラクタや作業機を購入しなくても既存のトラクタに後付して設置することができ、Virtual Terminal などの高価なユーザーターミナルより安価な AG-PORT 対応のコンソールターミナルの開発³⁴⁾や対応するデバイスのソフトウェア開発³⁵⁾の研究が進められている。国内ではすでに、ISOBUS と AG-PORT に対応した Agribus-Extender³⁶⁾と呼ばれる後付の拡張キットの販売が始まっており、農業機械分野で利用される農作業情報を活用するための技術が普及しつつある。しかし、わが国でこのような ICT 機器を有効に活用できるのは、海外製などの ICT システムに投資することができる数少ない優良経営の農家に限定される。

1.2.3 防除作業のドリフトと残留農薬に関する研究

ICT を利用して農作業情報を分析するために適応可能な農作業機械は、トラクタを含めて様々あり、作業軌跡や作業速度などのトラクタを用いた基本的な作業データと作業機の状態に関するデータを組み合わせることで、有効な作業情報の活用が期待できる。

農作業の中でも、食の安心と消費者の安心かつ GAP の取り組みに関連するトラクタを用いた農作業は防除作業である。防除作業は農作業の中で年間を通して最も作業頻度が高く、特に北海道のバレイショの防除作業は収穫までにブームスプレーヤーによる農薬散布を 10 回近く行う³⁷⁾。また、ブームスプレーヤーを用いた散布作業はさまざまな要因で農薬が飛散してしまい、目的の散布領域以外に農薬が付着してしまうドリフト（漂流飛散）が発生する。ドリフトは均一な散布を妨げ、散布むらを生じさせて残留農薬の原因になることがある。

残留農薬については、2003 年の食品衛生法の法改正に基づき残留農薬に関する新しい法律であるポジティブリスト制度が施行された³⁸⁾。法改正前は、食品の成分に係る規格（残留基準）が設定されている 283 品目の農薬に限って、基準値を超えているすべての食品の販売を禁止していた。しかし、これまでの適用してきた農薬以外の国内外で使用される多くの農薬について残留基準が設定されておらず、それが検出されてもその食品の販売を禁止することができない状態であった。改正後はすべての農薬について一律に 0.01 ppm の残留基準を設定してその販売を禁止した。設定された基準は微小な量であるため、散布時のドリフトが自分の畑だけでなく隣接する圃場にも影響を与え、法律に違反する可能性がある。

ドリフトの原因は、ブームの振動や作業速度の変化、不適切なブームの散布高さ、散布圧力の変化、ノズルのつまり、周辺に吹く風の影響などが挙げられ

る³⁹⁾。近年では、ノズルの散布分布やドリフトに関する研究⁴⁰⁾⁴¹⁾⁴²⁾⁴³⁾、作業速度に応じて散布量を調整するシステム⁴⁴⁾、散布される粒径を大きくするなどの工夫がされたドリフト低減ノズルが開発されるようになり、均一に散布する技術が向上している⁴⁵⁾。しかし、そのような技術を利用しても完全に農薬散布時のドリフトを低減することは難しい。特に、風による影響は不均一な散布の最大の要因であり、トラクタのオペレータは散布作業の条件として風速に注意する必要がある。散布作業中に吹く風は、圃場に隣接する防風林や地形によって変化しやすく、日中は夜に比べ温度が変化しやすく不安定である⁴⁶⁾⁴⁷⁾。そのため、散布するタイミングは風速の変化が比較的少ない早朝や夕方に限られる。欧米の防除作業では、国際連合食糧農業機関（FAO：Food and Agriculture Organization of the United Nations）が風速 3.0 m/s 以下を散布条件に推奨しているが⁴⁸⁾、わが国の防除作業では噴霧粒径が小さいことから、散布に適する風速は概ね 1.5 m/s 以下で散布するよう推奨している。しかし、天候や作業スケジュールによってどうしても日中に散布作業をしなければならない場合は多少のドリフトが避けられない。前述したポジティブリスト制や GAP の取り組みからわかるように、安定した収量を確保するために必要な防除作業は食物の安心安全に関わる重要な管理項目であるため、トレーサビリティの観点からも収穫までの散布作業情報を管理することは極めて重要である。

散布作業を数値化して記録する場合、ブームスプレーヤの散布幅と作業軌跡から農薬の二重散布を表示することや、作物の葉に感水紙を取り付けて被覆面積率を計算することで、ドリフトの影響で目に見えない農薬が均一に散布されたかどうかの確認や散布の様子を数値的に調査することができる。ただし、毎回の作業で圃場全体の散布分布を調査するには、感水紙の設置・回収作業やパソコンによる分析も含めて人員と労力が多大になるため実際にこういった調査は農作業の現場では行われることは無い。また、二重散布の確認については、

あらかじめ散布幅を基に計算して作業軌跡を決定するため、二重散布はほとんど生じないのが現状である。しかし、隣接圃場に異なる作物がある場合、境界線は特にドリフトの影響を受けやすいため、散布にあたってどの程度のドリフトを許容できるのかを決めておくことは重要である。

散布された圃場内の散布むらを把握するためには、防除作業の作業情報と気象情報を組み合わせて自然風を考慮した農薬の散布量分布のシミュレーションを活用することが理想である。シミュレーションを行う場合、圃場内で変化する風を計測する必要がある。また、気象観測施設の風向風速情報を代表値として利用することも考えられるが、圃場の自然風と異なる条件で計測しているためそれを当てはめることはできない。例えば、気象庁で風向風速を観測する場合、高さ 10 m を標準として周りに風に影響を与えない安定した風を測定することを想定している⁴⁹⁾。しかし、畑作の圃場は防風林で囲まれていることが多く、樹木によって風を打ち消すことで風害を軽減する効果があるが、その風が乱流になる割合は高く観測装置より低い位置の風向風速情報が必要となる。また、基本的に公表される気象情報の時間間隔は最小が 10 分であり、突発的に変化する詳細な風の情報を適応できない。そこで、詳細な風を計測するためにトラクタの上に風向風速計を取り付けてトラクタ付近の風をリアルタイムに計測する方法が考えられる。黒瀬らは、自動車に取り付けた超音波風向風速計を利用して地方に特有の局所風を計測している⁵⁰⁾。このような移動計測をトラクタの防除作業に適応して詳細な圃場内の風を計測することができれば精密農業の観点からも、ドリフトを考慮した詳細な分析と管理ができると考える。

農薬散布作業においてわが国の法律や消費者や周辺環境を考慮して計画的に散布することは重要である。しかし、均一に散布されることを前提とした技術の開発だけにとどまり、毎回の散布作業が風の影響を受けてどれだけ散布むらが発生するかなどの可視化した情報は提供されていない。

1.3 研究目的と本論文の構成

前節で述べた現状認識にもとづき、大規模農業の農業生産に関わる情報の増大や生産工程に関する情報がこれからの食の安全と消費者の安心を得るために必要であり、農業生産の効率的な管理には ICT の通信技術が必要不可欠であることを示した。その中でも、営農に直接影響を及ぼさないトラクタや作業機から得られる農作業情報は、効率的に取得するための設備機器や規格が整備されつつあるが、その情報を有効活用して意思決定を行う農業用のクラウドシステムは見受けられない。

そこで本研究では、トラクタの農作業情報を対象にクラウドコンピューティングを利用して記録・管理・分析を行うシステムの開発を目的とする。また、その農作業情報を自動的に収集して、閲覧するためのトラクタ用フィールドコンピュータの開発を目的とした。なお本論文では、開発した農作業情報クラウドシステムの具体的な利用例を示すために防除作業に焦点を当て、その農作業情報を記録して分析するアプリケーションを開発することを目的とした。

本論文は 6 章で構成され、第 1 章は本章で述べてきたように、研究の背景、既往の研究、研究の目的について記述した。第 2 章の農作業情報クラウドシステムの構築では、農作業情報を対象にクラウドコンピューティングで分析するためのクラウドシステムを提案し、そのシステム構成と導入する利点について述べる。第 3 章のトラクタ用フィールドコンピュータと農作業情報記録システムの開発では、提案するシステムの中核となるトラクタ用フィールドコンピュータの開発のために行ったアンケート調査とその結果をもとに製作した試作機について記述する。そして、トラクタに作業機を取り付けて農作業情報を記録する農作業情報記録システムの構築について、そのシステム構成と取得できる作業情報について説明する。さらに、構築したシステムを利用して実際の農作業情報を記録し、Web サービスとして提供できることを動作実験で明らかにす

る。第4章の圃場内の散布量分布シミュレーションでは、提案するシステムを用いた具体的な分析例として、圃場内の散布量分布をシミュレーションするためのアルゴリズムについて説明する。また、トラクタに取り付けた3次元超音波風向風速計を利用して得られる地表面に吹く風の情報と農作業情報を利用して、圃場内に吹く地表面の水平成分を推定する方法について述べる。また、第5章のシミュレーション結果の実証実験と評価では、第4章で提案するシミュレーションで得られた結果と実際に圃場で計測した散布量分布を比較して評価し、農作業情報の効果的な記録と本システムの有効な活用方法について論じる。最後に、第6章の結論で、本研究の全体のまとめとして成果を総括する。

第2章 農作業情報クラウドシステムの構築

2.1 はじめに

本章では、前章の研究目的で述べたトラクタを用いた農作業情報の有効活用を実現するために、クラウドコンピューティングを利用した農作業情報クラウドシステムを提案し構築する。まず、クラウドコンピューティングについての定義と提案するシステムの位置づけについて述べた後に、構築したシステムの概要として、構成するそれぞれの要素と役割について説明する。また、トラクタおよび作業機から取得した農作業情報をクラウドサーバに蓄積してインターネットを利用したサービスとして提供するまでの仕組みについて説明する。

2.2 クラウドコンピューティングの定義と本システムへの適応

本節では、クラウドコンピューティングの定義について述べ、構築するシステムの位置づけについて説明する。クラウドコンピューティングについては、アメリカ国立標準技術研究所が次のように定義しており、“共有の構成可能なリソースの集積に、どこからでも、簡便に、必要に応じて、ネットワーク経由でアクセスできるモデルであり、最小限の利用手続きで速やかに提供されるもの”ということで推奨している⁵¹⁾。具体的な定義の内容は、5つの基本的な特徴と3つのサービスモデル、4つの実装モデルから構成される。

本システムで構築するシステムは、トラクタを用いた農作業情報をサーバアプリケーションに送信し、分析された情報を自動的に利用者が取得できることを目的とした試験的に構築したシステムであり、厳密にはアメリカ国立標準技術研究所の定義を満たしていない。しかし、情報の取得から有効利用までの一連のシステムは、現在利用されているクラウドサービスに応用可能であり、実際にこのシステムを運用する対象は北海道のような大規模農家であるため、パ

ブリッククラウドやプライベートクラウドとして幅広く利用することができる
と予想される。

2.3 大規模農業への応用について

本システムにクラウドコンピューティングを利用する利点は、北海道の農業
が持つ特徴と性質から説明することができる。現在、北海道の農業は農家数の
減少が進み平均耕地面積が増加している。耕地面積の増加は、管理する情報量
を増加させ、それによって作業者の負担にもなる。また、食の安全安心の観点
からも作物のトレーサビリティが重要になり、今後消費者からの要求が増える
と予想される。クラウドコンピューティングは、大量の情報を一元化して整理
することができるため、これからの大規模化する農畜産業への応用は大いに期
待できる。

特に、十勝地方の農業は大規模であることに加え、畑作地域であることがク
ラウドコンピューティングを導入する要素の一つとして考えられる。北海道の
農業は大型トラクタを動力として、耕うん碎土整地、播種移植、防除、中耕除
草、収穫などの作業をトラクタに装着する作業機を取り替えてそれぞれ作業を
行う。また、畑作では輪作が必要であり、十勝地方の場合はコムギ、バレイシ
ョ、テンサイ、豆類の4品目が基幹作物であり、それぞれの作物に対して播種
移植機や収穫機が異なるため、トラクタと1台の作業機の作業パフォーマンス
の管理を求めることは困難である。そのため、トラクタを利用した農作業情報
を本研究のトラクタ用フィールドコンピュータで記録し、インターネットで管
理することは、農作業の効率向上や経験値のデジタル化に有効であると考えら
れる。

2.4 構築するシステムの概要

本研究で構築した農作業情報クラウドシステムの概要を図 2-1 に示す。システムの特徴は、トラクタを利用して得られる農作業情報を対象としていることである⁵²⁾⁵³⁾。システムのデータフローは農作業情報の取得、データの蓄積、クラウドサービスの3つに大別される。第1の農作業情報記録システムによる農作業情報の取得は、複数の電子制御ユニットによって構成された通信ネットワークによってトラクタと作業機の作業情報を読み取る。第2は、第3章で詳述するトラクタ用フィールドコンピュータ（Field Computer for Tractor Operations：以後 FC と称する）による農作業情報の取得とサーバへのデータ送信である。データの蓄積は、FC によって取得された作業情報がインターネットを介してサーバにアップロードされる。第3のクラウドサービスは、FC によってアップロードされたデータを蓄積してデータベース化するものである。データベース化されることによって、作業機の種類、日付などで情報を抽出できるようになる。農業経営者は記録された作業情報を Web ページで閲覧できる。このサービ

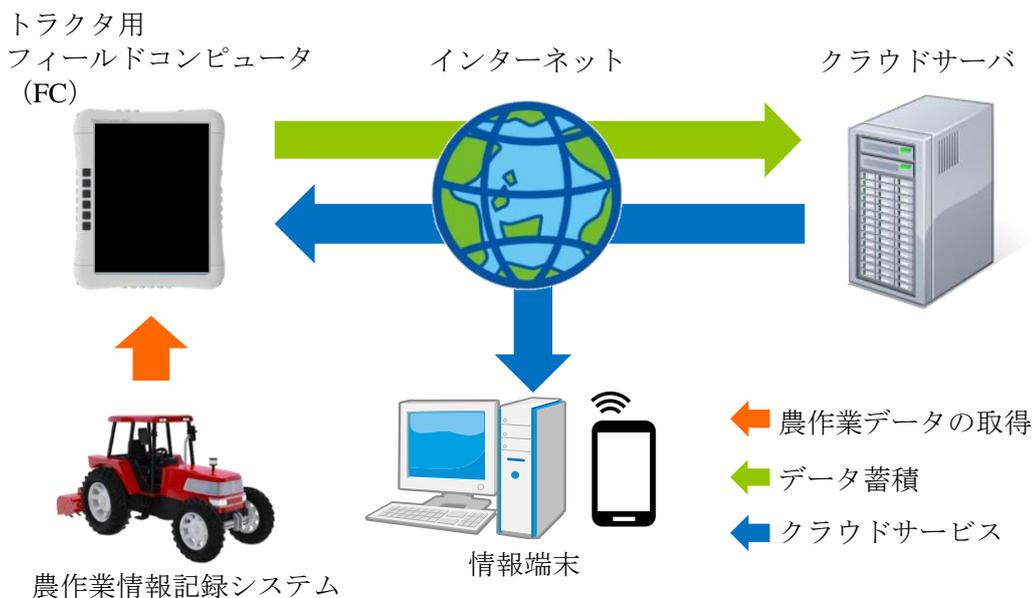


図 2-1 提案する農作業情報クラウドシステムの概要

スは Web ブラウザを利用することで閲覧できるため、インターネット接続が可能な端末であればいつでもどこからでも容易に閲覧できる。また、農作業情報記録システムでデジタル化された作業記録は、サーバのデータマイニングによって有益なデータとして抽出され、グラフや地図などを利用して可視化することで、農学の専門知識がさほどない農業関係者でも利用できることを想定している。

サーバに蓄積された農作業情報は日々蓄積されて、過去の作業情報の閲覧、農作業情報の分析など多岐に利用できる。また、熟練者の農作業状態を記録することで次世代の農業経営者や農業への新規参入者への経験の伝承が可能となる。さらに、収集された作業情報は学術的にも経済的にも農業を発展させるために利用できる。

2.5 クラウドサーバの構築

2.5.1 システム設計

農作業情報をクラウドサーバに蓄積するために要求される仕様について述べる。まず、FC から農作業情報を受信する方法について説明すると、一日の農作業情報は FC のアプリケーションによってトラクタの位置情報や作業機の状態などのデータが CSV ファイルに記録され、FC のストレージに一時的に保存される。FC はそのファイルを Web ブラウザでクラウドサーバにアップロードする。サーバはデータの受信と同時にサーバ内のアプリケーションによって農作業情報がデータベース化され、作業情報を容易に検索や抽出できるようになる。利用者はそれらのデータをクラウドサーバが提供するサービスで再利用する。すなわち、データベース化によって、日付や農作業情報の種類を基準として関連した情報を抽出できるため、膨大な農作業情報からアプリケーションの統計

処理や様々な分析方法によって有益な情報を利用者に提供できる。

本システムは Web ブラウザによってサービスを提供するため、利用者や要求されたサービスごとに Web ページを生成しなければならない。そこで、利用者の入力によって Web ページを動的に生成する Common Gateway Interface (CGI) と呼ばれる仕組みを採用した。図 2-2 は設計したクラウドサーバ内のデータフローの概要を示す。

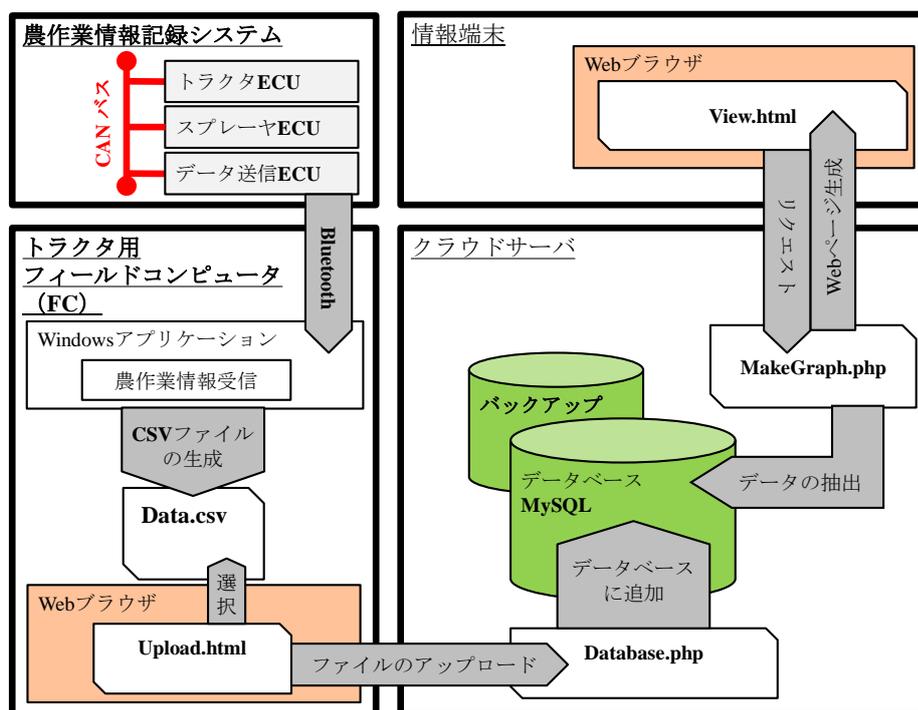


図 2-2 クラウドサーバ内部のデータ処理の流れ

2.5.2 サーバアプリケーション

CGI は利用者の Web ブラウザから送信されたデータをサーバ上のサーバプログラムが受け取り、Web ページを生成して利用者へ送信するものである。これは動的 Web ページとも呼ばれ、サーバの中の特定の場所にある Web ページを読み出す静的 Web ページとは仕組みが異なる。すでに記述された Web ページを呼び出すのではなく、Web サーバプログラムが受信したデータによって

HTML で記述された Web ページを生成するため、利用者に合わせてさまざまなデータを参照して Web ページを生成することができる。

本システムの CGI は PHP で記述し、Web サーバプログラムを動作させ、そのプログラムはデータベースにアクセスして Web ページを生成する。たとえば利用者が過去のある農作業記録を閲覧する場合、日付と作業機名を入力または選択してサーバにデータを送信することで、PHP で作られたサーバプログラムが受信したデータを読み取り、サーバ内のデータベースから必要な農作業情報を参照して Web ページを生成して利用者に提供する。

2.5.3 データベースの構造

蓄積される膨大な農作業情報を管理するために、サーバ上にデータベースを作成する。データベースは、正式にはリレーショナルデータベースシステムと呼ばれ、本論文では単にデータベースと称し、記録する農作業データごとに作成される Column (カラム: 列) と Row (ロー: 行) からなる 2 次元の Table (テーブル: 表) でデータを扱うことにした。そのため、作業時間、作業機など、要求するデータを Table から抽出することができる。

FC から農作業情報を含む CSV ファイルがサーバに送信され、CSV ファイルの名前は日付とその日の作業回数を関係付けて保存しており、その名前がデータベース化される時のテーブル名とし、時間ごとの記録を Row、それぞれの項目を Column に記録した。

また、データベースへのアクセスはデータベース言語を利用するが、本システムでは SQL という言語を利用してデータベースにアクセスすることにした。クラウドサーバは研究に限定した運用を行うために帯広畜産大学のローカルネットワークに設置し、学内のネットワークからのみアクセスできる仕組みとした。なお、自作したクラウドサーバは Windows を OS としており、その外

観を図 2-3 に、仕様諸元を表 2-1 と表 2-2 に示す。



図 2-3 構築したサーバの外観

表 2-2 クラウドサーバのハードウェアの主な仕様諸元

名称	詳細
OS	Windows 7 Enterprise 64 bit
CPU	Intel Core2 6600, 2.4 GHz
メモリ	4 GB
HDD	80 GB, 1 TB

表 2-1 クラウドサーバのソフトウェアの主な仕様諸元

名称	バージョン
RDBMS	MySQL 5.5.32
CGI 開発言語	PHP 5.5.9
サーバソフトウェア	Apache 2.4.4

2.6 本章のまとめ

本章ではクラウドコンピューティングを用いたシステムの概要を述べ、クラウドコンピューティングの利点を説明して大規模農業への応用を示し、それを実現するためのシステムの構成と役割について提案した。また、アメリカ国立標準技術研究所が定めるクラウドコンピューティングの定義を基に本研究で実験を行うシステムの構成やトラクタを用いた農作業情報の管理に応用するための利用形態について説明した。

第3章 トラクタ用フィールドコンピュータと農作業 情報記録システムの開発

3.1 はじめに

本章では第2章で構築したクラウドコンピューティングを用いたシステムの構成要素であるトラクタ用フィールドコンピュータ（FC：Field Computer for Tractor Operations：以後FCと称する）の設計・開発について述べる。一般に、クラウドサービスを受けることができる情報端末として、日常生活で使用されることを考慮して設計された市販のラップトップPCやタブレット端末が利用可能であるが、農業で日常的に行うトラクタを用いた農作業記録に適した情報端末の開発が必要と考えられる。特に、農作業は通常的环境と異なるため、端末の入力インターフェースに要求される仕様を満たした端末の開発が必要である。そこで、農業関係者を対象に端末入力インターフェースについての仕様を中心にアンケート調査を行い専用端末の開発を行った。

開発の方法は、試作機を製作してアンケート調査で評価された結果と改善点を分析して改良を繰り返し、農業関係者の要求する仕様に近づけていくことにした。

3.2 FC試作1号機の開発コンセプトと仕様

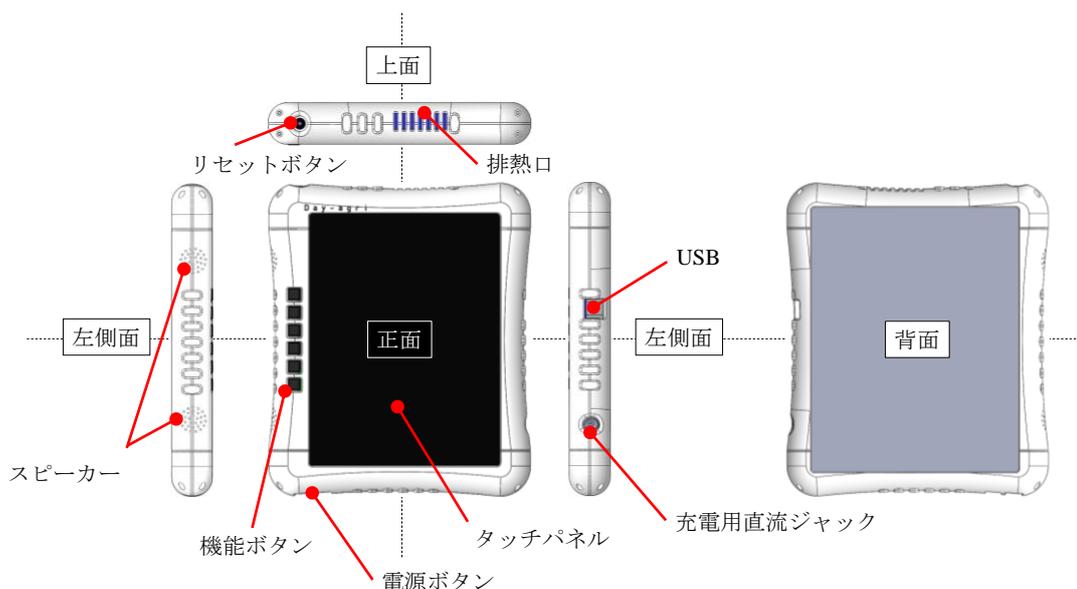
図3-1はFCの試作1号機であり、表3-1は試作1号機の仕様諸元を示す。端末の外形寸法は高さ309mm、幅257mm、厚さ40mmで重さ2.0kgである。可搬性を考慮した農業用ポータブル端末を開発のコンセプトとし、農作業時に操作しやすいインターフェースを考慮して設計した。図3-2は設計した試作1号機のインターフェースの概要を示す。



図 3-1 トラクタ用フィールドコンピュータ（試作 1 号機）の外観

表 3-1 トラクタ用フィールドコンピュータ（試作 1 号機）の
主要な仕様諸元

項目	内容
OS	Microsoft Windows 7
CPU	Intel Atom525, 1.8 GHz
SSD	64 GB
メモリ	2 GB
画面サイズ	12 インチ
サイズ	高：309× 幅：257× 厚：40 mm
重量	2.0 kg



**図 3-2 トラクタ用フィールドコンピュータ（試作 1 号機）の
入力インターフェース**

入力インターフェースは 12 インチのタッチパネル付きディスプレイを組み込んだ。トラクタ作業者がキャビン内で操作する端末のポインティングデバイスとして考えられるのは、携帯端末に多く用いられる静電容量式のタッチパネルである。しかし、スマートフォンやタブレット端末に多く用いられる静電容量式のタッチパネルは、人の指がタッチパネルの導電膜に触れた時の静電容量の変化を捉えて位置を検出するため、導電性のある物体でなければ検出できない欠点がある。また、水滴によって誤動作を起こす可能性があるため、屋外で作業する農作業で利用するには適さない。そのため、試作 1 号機には抵抗膜方式を利用した。これは素手だけでなく物体などパネルに圧力をかけることによってポインティングできるため、手袋を装着したまま画面への入力操作も可能となる。なお、図 3-3 はトラクタに設置した試作 1 号機の操作状態を示す。

タッチパネルは画面の表示に合わせて直観的な操作が可能である一方、タクトイルスイッチに比べて物理的に入力の反応を得られないことから、その欠点



図 3-3 トラクタに設置したトラクタ用フィールドコンピュータ
(試作 1 号機) の操作状態

を補完するためにタッチパネル入力の他に機能スイッチモジュールを装備した。開発する情報端末の基本的な部品構成は一般的なラップトップ PC と同様であるが、開発の目的である入力インターフェースの設計については、ポインティングデバイス、タッチスクリーン、タクトイルスイッチなど様々な入力装置を要求仕様の調査結果に基づいてあらゆる箇所に設計して配置することが必要となる。そのため、入力インターフェースの開発には、図 3-4 に示す mbed (NXP LPC1768, ARM 社) と呼ばれるプロトタイピング用ワンボード・デバイスを利用して、複雑な組み合わせの入力装置を mbed が提供するプログラムのライブラリ群と開発環境を利用して実装した。

本章で後述する農作業情報記録システムとの通信は、Bluetooth による無線通信を採用した。FC はトラクタキャビン内で使用する総合的な農作業端末として、できるだけ簡素な接続で農作業情報の取得を行うために、無線通信によって配線による設置場所の制限を無くした。



図 3-4 mbed (NXP LPC1768, ARM 社)

外装の設計と製作については、コンピュータを用いて3次元グラフィックで設計することができ、強度計算や構造解析が可能⁵⁴⁾である3D-CAD(Solidworks, Dassault Systems SolidWorks Corporation)で設計した外装のデザインをそのままABS樹脂で出力することができる図3-5の3Dプリンタ(Dimension Elite, Stratasys)を利用した。



図 3-5 3D プリンタ (Dimension Elite)

3.3 試作したFCの第1回アンケート調査

3.3.1 調査の概要

FC 試作 1 号機の評価を行うため、農業関係者を対象に第 1 回アンケート調査を実施した。調査は 2014 年 8 月 17 日に北海道の池田町で開催された「第 2 回 Facebook 農機具実演オフ会」の会場で行った。調査地をこのイベントに選択した理由は、開催者である農業経営者が Social Networking Service (SNS) を活用して最新のトラクタと農作業機械に興味のある同業者を集めて開催するため、農作業に情報通信技術を導入することに比較的前向きである参加者を調査対象に評価ができると考えたためである。参加者は畑作、酪農、畑作・酪農のいずれかの経営を行っている農家の方々であった。

アンケート調査の具体的な内容は、大きく分けて、FC の導入に対する意識調査、試作 1 号機のソフトウェア、試作 1 号機のハードウェアについての 3 つである。試作機 1 号機について、実物と説明文が書かれた紙に目を通していただき、端末について理解していただいた後に質問用紙に沿ってインタビュー形式で行う街頭調査法によって回答して頂いた。なお、質問用紙は図 3-7 から図 3-9 に示した。

トラクタ作業用フィールドコンピュータ（FFC）の開発

試作1号機の評価・要求仕様調査についてのアンケート調査

年齢 _____ 性別 _____ 所在地 _____

経営状況 _____ 畑作 _____ 酪農 _____ 畑作・酪農 _____ 経営面積 _____ ha

<回答方法> 一番近いと思う回答に○を付けてください。

Q1. 農作業にフィールドコンピュータは必要だと思いますか？

[1] 必要 [2] あった方がいい [3] 既存の端末でいい [4] なくてもいい

Q2. 農業用端末でどのOS（オペレーションシステム）が適していると思いますか？

[1] Windows [2] iOS [3] Android [4] その他（ ）

Q3. 農作業に適切だと思う端末の大きさを教えて下さい。

Ⓜ iPad mini サイズ ↔ A5 ↔ iPad ↔ B5 ↔ A4 ↔ B4 サイズ Ⓝ

Q4. タッチパネルの他にボタンやジョイスティック等による操作方法は必要だと思いますか？

[1] 必要 [2] あってもいい [3] なくてもいい [4] 必要ない

Q5. 農業用端末を導入する際に重視する項目に順番を付けてください

（順に番号をご記入ください）。

（ ）性能・機能 （ ）価格 （ ）携帯性 （ ）デザイン （ ）丈夫さ

図 3-6 第1回アンケート調査のアンケート用紙（1ページ目）

[第1回アンケート調査用紙]

Q6. 自分の圃場に関する情報をクラウドサービスで管理することに抵抗はありますか？

[1]全く抵抗はない [2]あまり気にしない [3]少し気になる [4]抵抗がある

Q7. 作業機などの操作を有線から無線(Bluetooth)への切り替えとしたら

無線技術の使用に不安はありますか？

[1]不安はない [2]あまり気にしない [3]不安はあるが切り替える

[4]不安なので切り替えない [5]不安はないが切り替えない

Q8. 下記の機能の中で必要な機能に印、必要ない機能に印、

どちらでもない場合は印をつけないでください。

試作1号機の機能

- GPS位置の受信 軌跡の可視化 散布状況の可視化
 走行速度の可視化 インターネットの閲覧

Q9. 下記の機能の中で必要な機能に印、必要ない機能に印を付けてください。

希望する機能

- 農業簿記ソフト 現在トラクタ内にあるディスプレイの集約
 バックモニターの表示機能 各種作業機の制御
 自動操縦のコントロール/走行状況の把握
 FCのボタンでトラクタや作業機の停止・始動
(ブームの開閉 散布開始 緊急停止など)

・その他、欲しい機能または今あるけど知らない機能があれば教えてください。

図 3-7 第1回アンケート調査のアンケート用紙 (2ページ目)

[第1回アンケート調査用紙]

Q10. 下記の機能の中で必要な機能に☑印、必要ない機能に☒印を付けてください。

- タッチパネル（軍手でも扱える抵抗膜方式） 防水防塵
強度 軽量化 デザイン性

Q11. フィールドコンピュータに持ち運びの際のハンドルは必要だと思いますか？

- [1]必要 [2]あってもいい [3]なくてもいい [4]必要ない

Q12. 表示画面の回転は必要だと思いますか？

- [1] 必要 [2] あってもいい [3] なくてもいい [4] 必要ない

Q13. フィールドコンピュータは無線式ですが USB や外部接続部分は必要だと思いますか？

- [1] 必要 [2] あってもいい [3] なくてもいい [4] 必要ない

Q14. 運転席に取り付ける置き型の充電器スタンドは必要だと思いますか？

- [1] 必要 [2] あってもいい [3] なくてもいい [4] 必要ない

Q15. 実際にこのような端末を農作業で使えそうですか？

- [1]使える [2] 使えない [3] 使えるけど使わない

アンケートは以上です。ご協力ありがとうございました。

図 3-8 第1回アンケート調査のアンケート用紙（3 ページ目）

3.3.2 試作1号機の調査結果の要約

第1回アンケート調査の回答者は26名で、全て男性であった。アンケートの回答者の年齢は22~64歳であり、最も多かったのが30代で過半数を占めており、平均年齢は39歳と今後の農業を担う方々の意見が反映されていると考えられる。所在地は十勝管内、オホーツク管内、日高管内、上川管内であり、6割以上が十勝管内の回答者であった。回答者の8割が畑作経営であり、平均耕地面積は30~50haが最も多かった。回答者全体の平均耕地面積は41.8haであり、そのうち十勝管内の回答者の平均耕地面積は42.9haであり、北海道の一経営体当たりの耕地面積である25.9haの1.6倍であることから¹⁾、大規模農業で営農する若い農業関係者の回答が得られたと判断できる。

以下に調査結果を要約する。

- 1) FCの導入に対する意識調査では、全回答者の80%が必要性を感じていた。FCの特徴であるサーバによる農作業情報の管理については、その信頼性や安全性について抵抗のある回答者はおらず、クラウドコンピューティングの導入にも前向きな結果が得られた。また、特徴であるBluetoothによる無線通信についても同様の結果が得られた。FCなどの農業用端末の導入に関して重視する項目として、性能や機能を最も重視する結果となったが、十勝管内の回答者は他の地域に比べて価格の項目についてはあまり考慮していないことが判明した。
- 2) ソフトウェアに関しては、農作業端末に搭載するOSにWindowsを希望する回答者が多く、汎用性の高いシステムの需要が多い結果となった。農作業用端末に希望する機能として様々な意見を寄せられたが、特に栽培履歴

などを地域の農業協同組合に提出する際の事務作業に利用する端末のシームレス化を要望する意見が複数あった。そこで、FCがトラクタキャビン内の農作業端末として普及するためには、トラクタに接続された作業機の操作や作業記録から農業簿記などの事務作業までを総合的に統合し、農作業を支援する機能と汎用性を重視する必要がある。

- 3) ハードウェアに関して、回答者は防塵防水を要望し、軽量化については必要性が低い結果になったが、口頭による意見からは2 kgある試作1号機は重すぎるという回答を得た。また、端末の大きさは殆どの回答者がA4サイズを要望する結果となった。そのため、試作2号機の開発には、過酷な農作業で使用できるように防水防塵の仕様とコンパクト化が要求された。さらに、持ち運びの際に必要な取手に対する要望も高いことが判明した。入力インターフェースについては、タッチパネル以外の操作方法は操作しやすいわかりやすい箇所に必要であるとの回答が8割以上あった。

3.4 試作2号機の開発コンセプトと仕様

試作1号機のアンケート調査で得られた結果を試作2号機に反映させるため、農作業に利用するポータブル端末として可搬性の向上と入力インターフェースの改良を重視して設計と製作を行った。そのため、防塵防水や軽量化はアンケート調査の結果を反映できなかった。

試作2号機の外観は図3-9に示し、表3-2はその仕様諸元を示す。端末の外寸法は高さ303 mm、幅354 mm、厚さ42 mmで重さ2.3 kgである。入力インターフェースは、タッチパネルの他にポインティングデバイスとして、ジョイスティックとスクロール、タクトイルスイッチを用いたクリックボタンを追加



図 3-9 トラクタ用フィールドコンピュータ（試作 2 号機）の外観

表 3-2 トラクタ用フィールドコンピュータ（試作 2 号機）の主要諸元

項目	内容
OS	Microsoft Windows 8
マザーボード	NANO-5050
CPU	Intel ATOM D2550, 1.86 GHz
SSD	120 GB
メモリ	4 GB
画面サイズ	10.4 インチ
バッテリー	60 Wh
サイズ	高：303 × 幅：354 × 厚：42 mm
重量	2.3 kg

した。これらは、利き手に関わらず操作できるように、携帯型ゲーム機のように本体のディスプレイの横に左右に分けて配置した。また、クリックボタンの表面積を広げて簡単にスイッチを押せるように設計した。

図 3-10 に設計した試作 2 号機のインターフェースの概要を示す。可搬性は第 1 回アンケートの結果で要望があった取手を追加することで改良を行った。構成する部品の変更点は、LCD ディスプレイのサイズを試作 1 号機の 12 インチから 10.4 インチに変更してアンケートで得られた要求仕様に合わせてサイズダウンをした。また、バッテリー容量の増加やファンレスのマザーボードを採用することで、試作 1 号機と比べ持ち運びできる時間の増加と密封性を向上させる端末設計を行った。図 3-11 にトラクタに設置した試作 2 号機の操作状態を示す。

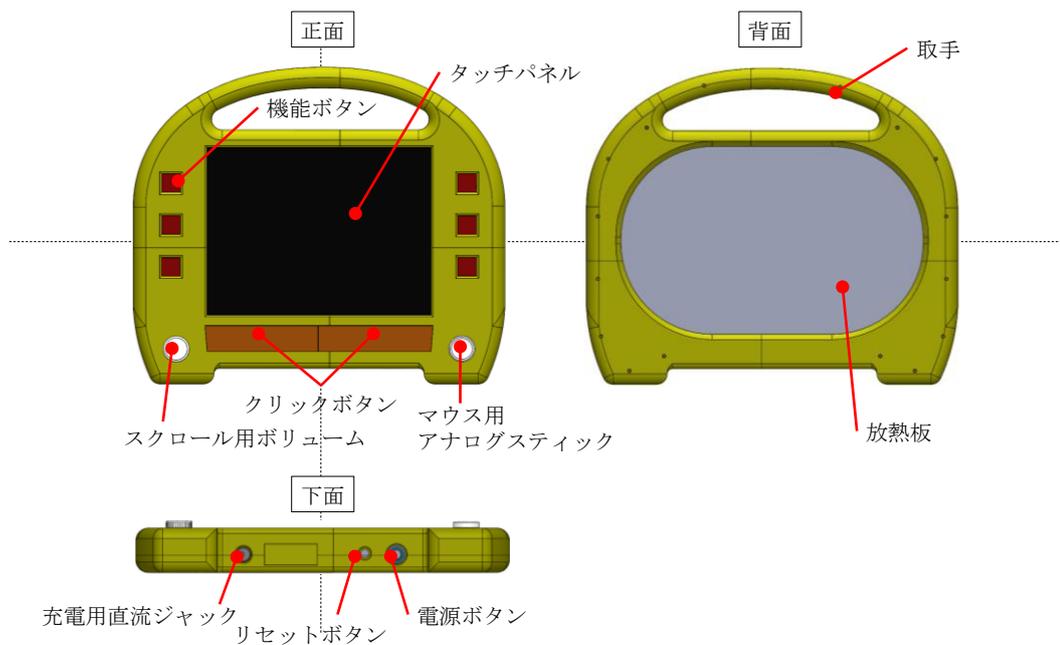


図 3-10 トラクタ用フィールドコンピュータ（試作 2 号機）の入力インターフェース



図 3-11 トラクタに設置したトラクタ用フィールドコンピュータ
(試作 2 号機) の操作状態

3.5 試作 2 号機のアンケート調査

3.5.1 調査の概要

第 2 回アンケート調査では、第 1 回アンケート調査と同様に仕様調査を行うとともに、試作 2 号機の評価を得ることを目的とした。調査は 2014 年 11 月 25 日に農業に携わる北海道の農業普及員である 12 名を対象に調査を実施した。調査方法は農業普及員を対象とした講演会の終了後、承諾を得てその会場で集合調査法によって回答者に FC の詳細についてまとめた書類と口頭による説明を行ってから、アンケート用紙に回答していただいた。使用したアンケート用紙は図 3-12 から図 3-15 に示す。

トラクタ作業用フィールドコンピュータ（FFC）の開発

試作2号機の評価・要求仕様についてのアンケート調査

年齢 _____ 性別 男 ・ 女 担当地区 _____

<回答方法> 一番近いと思う回答に○を付けてください。

Q1. トラクタ内でのIT機器の使用やITを用いた農作業の記録に興味がありますか？

- 1) すでに取り入れている 2) 取り入れる予定 3) 興味はあるがまだ取り入れていない
4) 取り入れる予定はない 5) 興味がない

Q2. 農作業の意思決定するときに参考にしていることの優先順序を教えてください。

- () 今までの自分が持つ経験則 () 気象データ () GPSなどのデジタル作業記録
() 経験者の意見 () その他「 _____ 」

Q3. フィールドコンピュータ（FC）は必要だと思いますか？

- 1) 必要 2) あった方がいい 3) 既存の端末でいい 4) なくてもいい

Q4. 実際の農作業にFCを取り入れるときに重視する項目に順位を教えてください。

- () 性能・機能 () 価格 () 携帯性 () デザイン () 丈夫さ

Q5. 自分の圃場の情報をクラウドサービスで管理することに抵抗はありますか？

- 1) 全く抵抗はない 2) あまり気にしない 3) 少し気になる 4) 抵抗がある

図 3-12 第2回アンケート調査のアンケート用紙（1ページ目）

[第2回アンケート調査用紙]

Q6. トラクタ内の配線がなくなるという利点がありますが、作業機などの操作を有線から無線

(Bluetooth)への切り替えることで、無線技術の使用に不安はありますか？

- 1)不安はない 2)あまり気にしない 3)不安はあるが切り替える
4)不安なので切り替えない 5)不安はないが切り替えない

Q7. このシステムが実用化した時に、

下記の機能の中で必要であると思う機能に☑印、必要ないと思う機能に×印を付けてください。

・すでにFCに搭載されている機能

- GPS ガイダンス 散布状況の可視化
走行速度の可視化 インターネットの閲覧

Q8. このシステムが実用化した時に、

下記の機能の中で必要であると思う機能に☑印、必要ないと思う機能に×印を付けてください。

・今後搭載見込みの機能

- 農業簿記ソフト 自動操舵（オートパイロット）のコントロール/走行状況の把握
トラクタ内のディスプレイの集約 バックモニターの表示機能

各種作業機の制御（チェックした方は以下の選択肢に丸をつけてください。複数可。）
（可変施肥システム/可変散布防除システム/トラクタや作業機の停止・始動/緊急停止など）

その他、FCに期待する機能/今あるけど知らない機能などがあれば教えてください。

（例. 期待する機能：オーディオなどのメディアソフト）

図 3-13 第2回アンケート調査のアンケート用紙（2ページ目）

[第2回アンケート調査用紙]

Q9. 機器の厚さは？

- 1) 丁度いい 2) これくらいでも問題ない 3) もう少し薄い方がいい 4) 分厚すぎる

Q10. 機器の重さは？

- 1) 丁度いい 2) これくらいでも問題ない 3) もう少し軽い方がいい 4) 重すぎる

Q11. 端末のサイズは、どれくらいの大きさがいいと思いますか？

- 1) 丁度いい 2) これくらいでも問題ない 3) もう少し小さい方がいい 4) 大きすぎる

Q12. ※希望のサイズがあれば○印を付けてください。

小 iPad mini サイズ ↔ A5 ↔ iPad ↔ B5 ↔ A4 ↔ B4 サイズ 大

Q13. 機器は持ち心地は？改善点があればお教えてください。

- 1) とても持ちやすい 2) 持ちやすい 3) まあまあ持てる
4) 持ちづらい 5) とても持ちづらい (意見：)

Q14. 機器に持ち手は必要ですか？

- 1) 必要 2) あってもいい 3) なくてもいい 4) 必要ない

Q15. 機器は操作しやすいですか？改善点があればお教えてください。

- 1) とても操作しやすい 2) 操作しやすい 3) まあまあ操作できる
4) 操作しづらい 5) とても操作しづらい (意見：)

図 3-14 第2回アンケート調査のアンケート用紙 (3 ページ目)

[第2回アンケート調査用紙]

希望の位置があれば図の番号を()の中にお書きください。

Q16. ボタンの位置はどこがいいですか？

- 1) 試作機の場所がいい 2) 必要ない 3) 変えた方がいい ()



Q17. コントローラの位置はどこがいいか

- 1) 試作機の場所がいい 2) 必要ない 3) 変えた方がいい ()

Q18. スクロールの位置はどこがいいか

- 1) 試作機の場所がいい 3) 変えた方がいい () 2) 必要ない

Q19. クリックボタンの位置はどこがいいか

- 1) 試作機の場所がいい 3) 変えた方がいい () 2) 必要ない

Q20. 試作機のデザイン性は？希望などがあればお書きください。

- 1) かわいい 2) まあまあ 3) かわい悪い
4) デザインよりも実用性重視だからどうでもいい 5) その他 ()

Q21. 今回の試作機は実際に農作業で使えそうですか？

- 1) 使える 2) 使えない 3) 使えるけど使わない

※ 2)と3)と答えた方にお聞きします。どこを改善したら使えそうですか？

Q22. 今回の試作機を5段階で評価すると☆いくつですか？

- 1 2 3 4 5

その他意見があればご自由にお書きください。

アンケートは以上です。ご協力ありがとうございました。

図 3-15 第2回アンケート調査のアンケート用紙 (4 ページ目)

3.5.2 試作 2 号機の調査結果の要約

第 2 回アンケート調査では、前回の調査同様に農業への ICT の導入や FC を含む農作業情報クラウドシステムの導入に対して前向きな意見が得られた。回答者の年齢は 24~62 歳で平均は 43 歳であり、第 1 回のアンケート調査と異なり調査対象となったのは農業経営者ではないため、経営する農業形態や耕地面積は調査していない。なお、回答者は女性 1 人、男性 11 人であった。

以下に、試作 1 号機の評価と異なる結果や改善点に絞り、調査結果の要約を説明する。

- 1) 試作 1 号機のハードウェアの評価は、軽量化や小型化の要望が結果として得られたが、試作 2 号機は入力インターフェースの改良に重点を置いたことから、開発方法や使用する部品構成によって小型軽量化を行うことはできなかった。
- 2) 持ちやすさに対して「持ちづらい」という意見はなく、持ち手を付けたことで 80%以上がその必要性を感じるという回答になった。また、タッチパネル以外の入力インターフェースについては、ほとんどの回答者が必要性を示した。
- 3) 実際の農作業環境への導入に関して「使える」という回答が 75%であったことから、試作 1 号機の改良が部分的にはあるが有効であることが示された。

3.6 試作 3 号機の開発コンセプトと仕様

前節の第 2 回アンケート調査の結果から、構成部品やソフトウェアの変更はほとんど無く、外装と入力インターフェースの配置に関して改良し、FC 試作 3 号機を設計製作した。図 3-16 は試作 3 号機の外観を示し、表 3-3 はその仕様諸元を示した。端末の外形寸法は高さ 207 mm、幅 300 mm、厚さ 35 mm で重さ 1.8 kg である。



図 3-16 トラクタ用フィールドコンピュータ（試作 3 号機）の外観

外装は、第 1 回と第 2 回の調査からデザインへの重要性を回答者から得られなかったため、曲線などを多用せずにシンプルな設計にした。また、調査から要望が多い取手については、試作 2 号機と同様に端末の上部に設置した。

入力インターフェースは、ポインティングデバイスの位置を変更した。第 2 回アンケート調査では、クリックボタンの位置を上部に変更すべきという意見があったため、端末を左右から把持する際に自然に操作できる位置に変更した。また、同じく変更の要望があったクリックボタンを背面に設置して、右手でのみでポインティング操作を可能にした。図 3-17 に設計した試作 3 号機の入力インターフェースの概要を示す。また、図 3-18 はトラクタに取り付けた試作 3 号

機の操作状態を示す。なお、試作 3 号機の構成図を図 3-19 に示す。

表 3-3 トラクタ用フィールドコンピュータ（試作 3 号機）の仕様諸元

項目	内容
OS	Microsoft Windows 7
マザーボード	NANO-5050
CPU	Intel ATOM D2550, 1.86 GHz
SSD	120 GB
画面サイズ	10.4 インチ
メモリ	4 GB
バッテリー	60 Wh
サイズ	高 : 270 × 幅 : 300 × 厚 : 35 mm
重量	1.8 kg

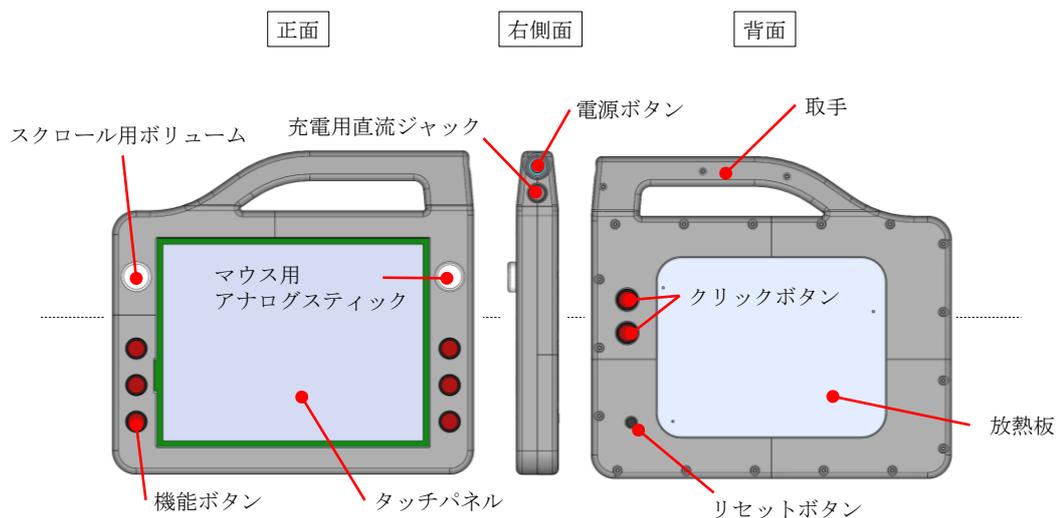


図 3-17 トラクタ用フィールドコンピュータ（試作 3 号機）の入力インターフェース



図 3-18 トラクタに設置したトラクタ用フィールドコンピュータ
(試作 3 号機) の操作状態

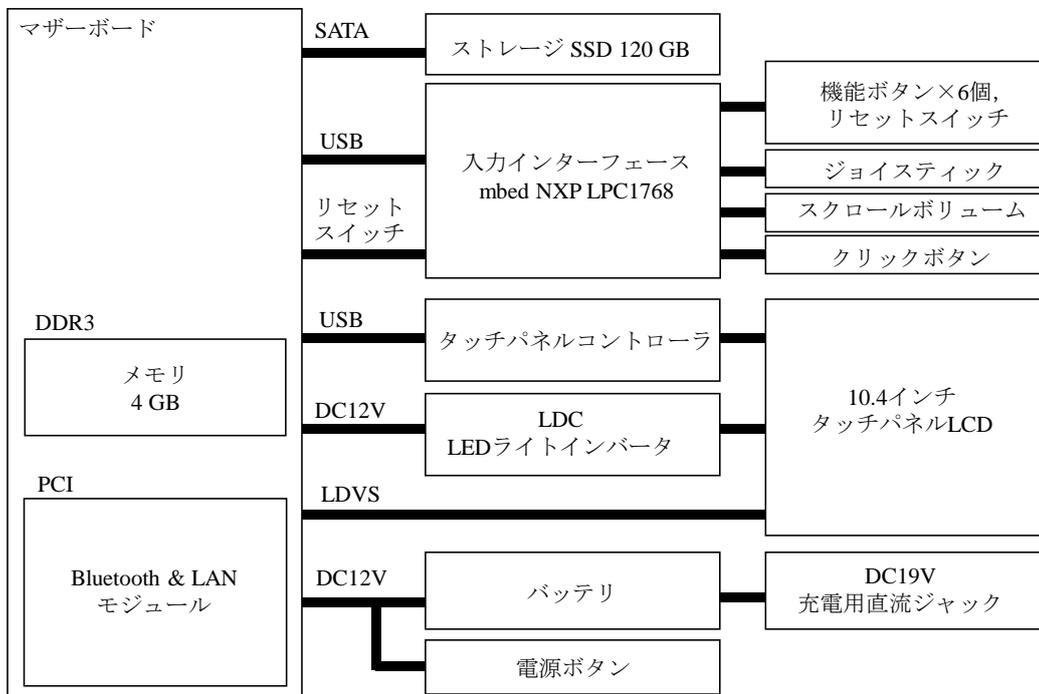


図 3-19 試作 3 号機の部品接続図

3.7 農作業情報記録システムの構築

3.7.1 システムの概要

開発した FC に農作業情報を送信するために、農作業情報記録システムを開発した。システムは複数の電子制御ユニット（ECU：Electronic Control Unit）で構成され、トラクタと作業機に設置して農作業情報を取得する。本章では、作業機として、年間の作業回数が最も多い防除作業に用いられるブームスプレーヤの農作業情報を記録して動作確認を行うこととした。第1章で述べたように、バレイショの防除作業は収穫までにブームスプレーヤによる農薬散布を10回程度行うが、作業ごとに散布作業のデータを記録することで、作業速度の変動によって発生する散布むらや二重散布の領域をトラクタの農作業情報から算出することができる。また、クラウドシステムを利用することで複数回の農作業情報を一元化して保存管理することができる利点がある。

そのため、トラクタ ECU とデータ送信 ECU に加え作業機側にブームスプレーヤ ECU を取り付けて、合計3つの ECU でシステムは構成される。1つの ECU が受信したデータは Controller Area Network（CAN）と呼ばれる通信規格の中でデータ送信 ECU がバスに流れるデータを受信して FC に送信する。ECU には作業状態を計測するためのセンサが複数取り付けられており、それぞれの ECU が共通の通信線にバス接続されている。なお、このバスには後付けで他の ECU を追加することができる。また、第4章で詳細について述べるが、本システムの具体的な分析例として風向風速計 ECU を追加してトラクタ付近の風の情報を取得することができる。図3-20は農作業情報記録システムの構成図であり、図3-21はそのシステムを構成する ECU の外観を示す。

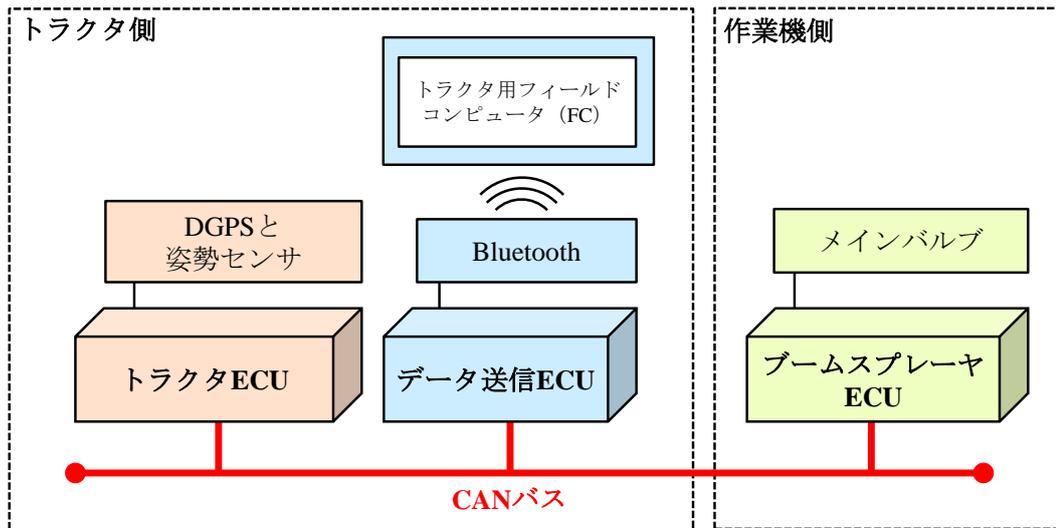


図 3-20 農作業情報記録システムの構成図

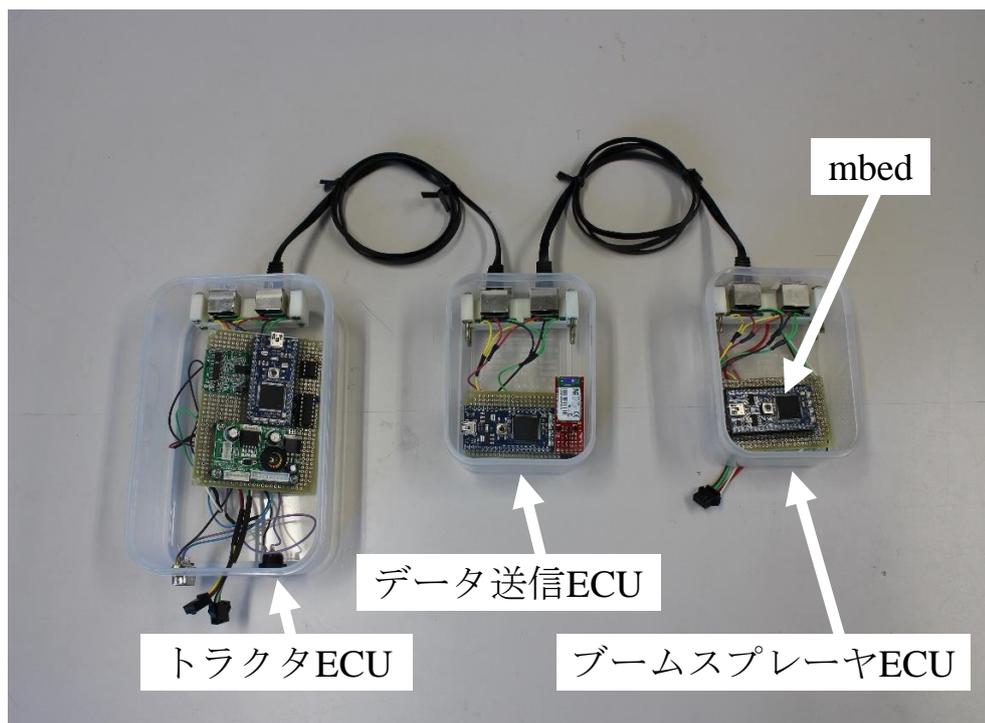


図 3-21 ECU の外観

(トラクタ ECU, データ送信 ECU, ブームスプレーヤ ECU)

3.7.2 システムを構成する各 ECU と供試したセンサ

トラクタおよび作業機の農作業情報を取得する 3 つの ECU の役割とデータ取得に利用したセンサについて説明する。トラクタ ECU は、トラクタ作業の基本的なデータを取得するために、図 3-22 に示す DGPS (Differential GPS) と姿勢計測装置 (東京計器株式会社, VSAS-3GM+DG-14) が接続されている。センサが取得したデータを ECU のプログラムによって、取得時刻、トラクタの位置座標、トラクタの傾き (ロール角, ピッチ角, ヨー角) が抽出されてバスに送信される。本章では、農作業情報記録システムの動作実験として、ブームスプレーヤによる散布作業の記録を行う。そのため、作業機側のブームスプレーヤのメインバルブに図 3-23 に示す近接センサを取り付けてバルブの開閉を検出して散布の有無を計測した。また、データ送信 ECU は Bluetooth モジュール (SparkFun Electronics, Bluetooth SMIIRF) を利用してそれぞれの ECU が受信した作業データを FC に無線で送信する。それぞれの ECU は mbed (ARM, LPC1768) を利用して C++ で開発した。なお、CAN の通信速度は 250 kbps に設定した。図 3-24 から図 3-26 に各 ECU の回路図を示す。



図 3-20 DGPS と姿勢計測装置（東京計器株式会社，VSAS-3GM+DG-14）

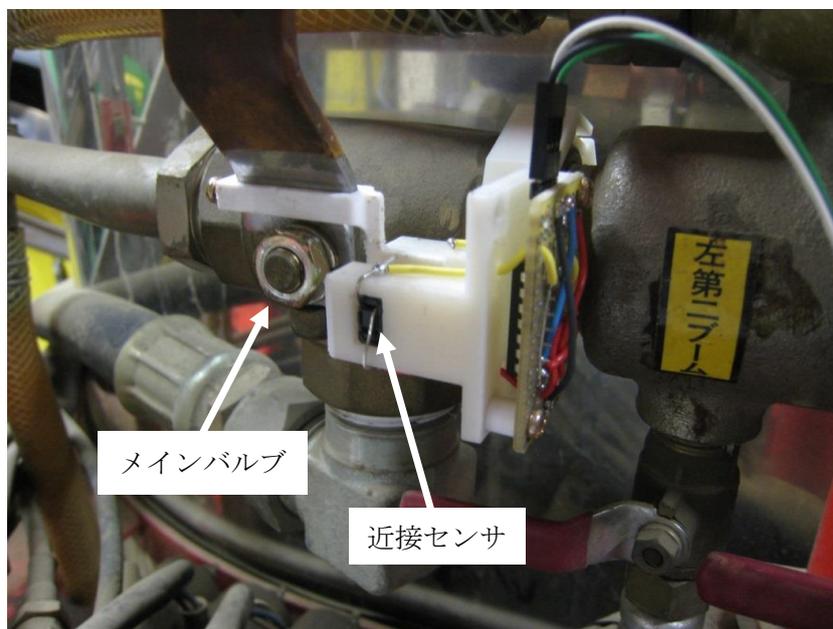


図 3-21 ブームスプレーヤのメインバルブに取り付けた近赤センサ

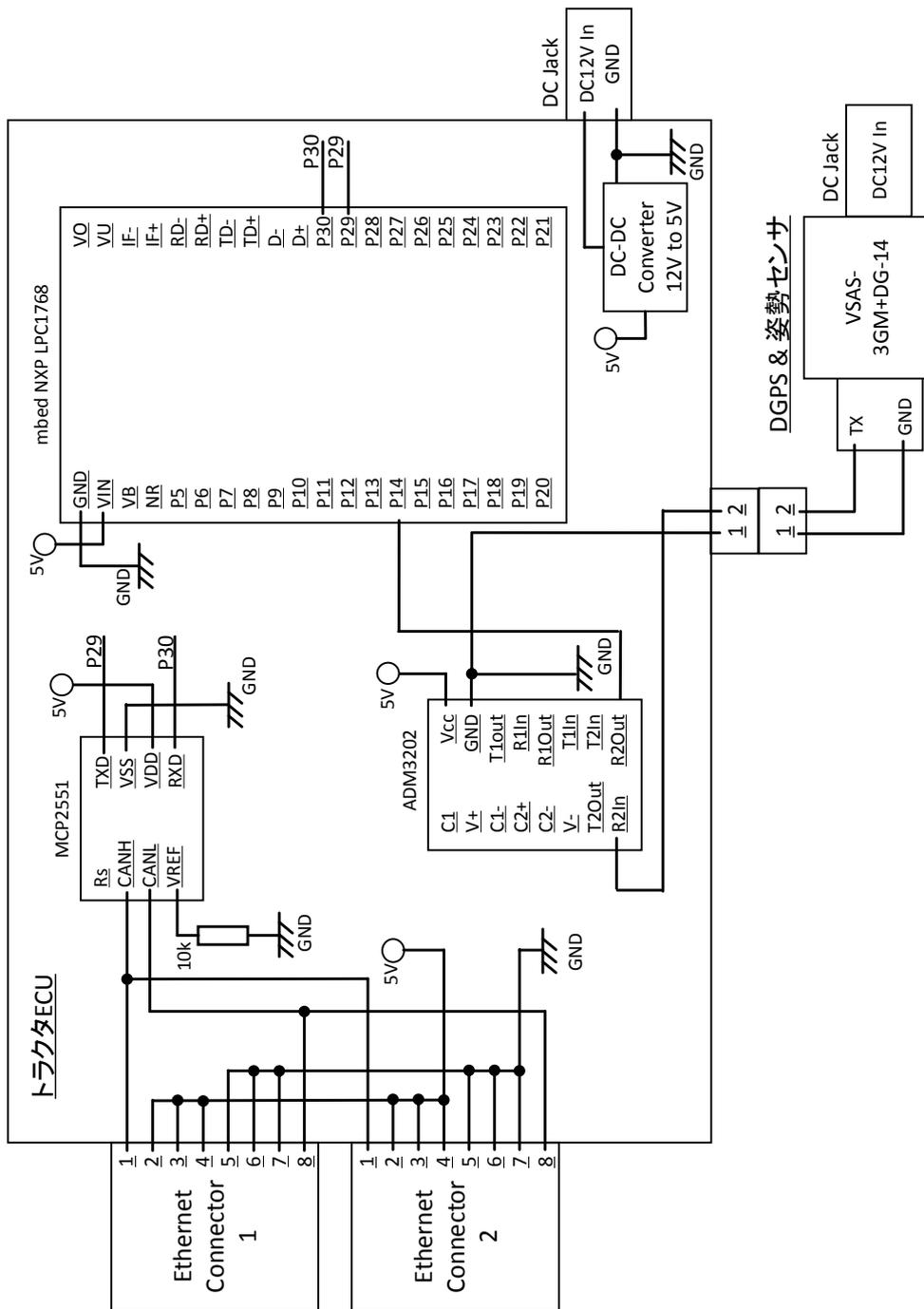


図 3-22 トラクタ ECU の回路図

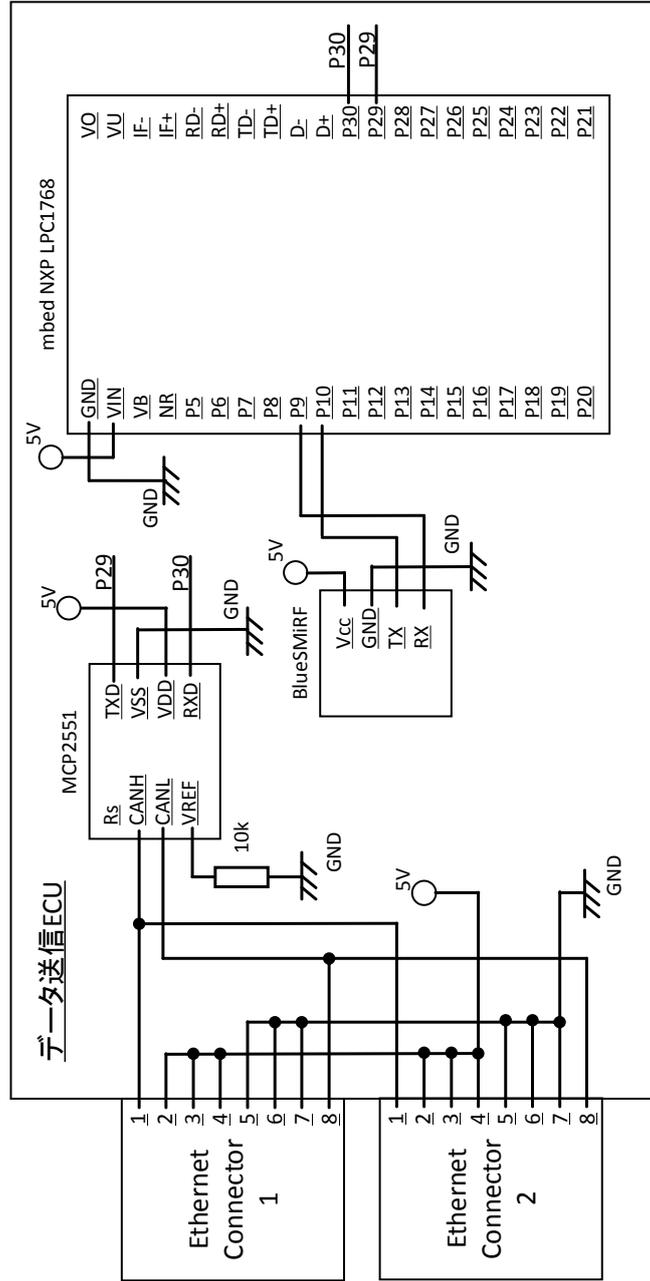


図 3-23 データ送信 ECU の回路図

3.7.3 FC とのデータ通信方法

データ送信 ECU は FC に， Bluetooth の Serial Port Profile（SSP）を利用してシリアル通信によって取得したデータを文字列として送信する。農作業情報の項目が少ないことから，受信した項目と計測値をカンマで区切り，計測した時刻をタイムスタンプとして追加したデータを 1 つの文字列として FC に送信する。図 3-27 は，FC がデータ送信 ECU の作業データを受信するための Windows アプリケーションであり C#言語で制作した。このアプリケーションは，登録した Bluetooth モジュールの仮想 COM ポートを選択することで，無線で見かけ上のシリアル通信を行うものである。シリアル通信の通信速度は 9600 bps とし，受信した文字列は，FC の生成するフォルダに CSV ファイルとして保存される。

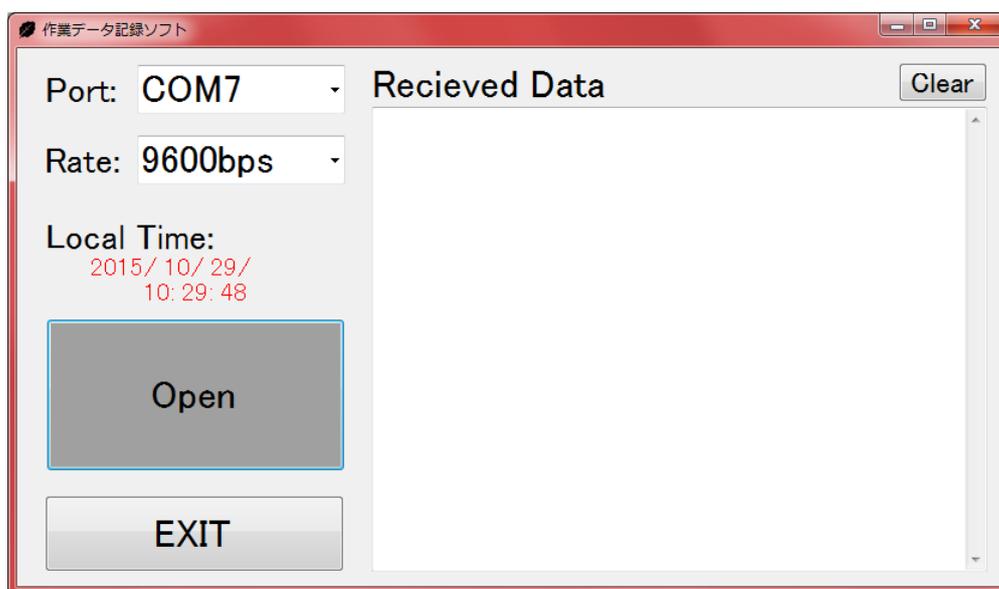


図 3-25 農作業情報記録システムから FC に

農作業情報を記録する Windows アプリケーションの起動画面

Window アプリケーションが生成する CSV ファイルは，農作業情報記録システムから 30 秒ごとに送信したデータに，以下に示すようなデータ項目が送信される仕組みとなっている。

「 #PC_HOUR,PC_MINUTE,PC_SECOND,PC_COMMA,LAT,LON,BOOM,X_DEG,Y_DEG,Z_DEG,GPS_Hour,GPS_Minute,GPS_Second,GPS_Comma,GPS_Day,GPS_Month,GPS_Year」

各項目の名称については表 3-4 にその項目の詳細を示す。

表 3-4 農作業情報記録システムのデータ項目の内容

データの項目	データの説明	受信した値 (例)
PC_HOUR	受信した FFC の時刻 (時)	16
PC_MINUTE	受信した FFC の時刻 (分)	55
PC_SECOND	受信した FFC の時刻 (秒)	40
PC_COMMA	受信した FFC の時刻 (秒の小数点以下)	561
LAT	GPS の経度座標	143.1739
LON	GPS の緯度座標	42.87212
BOOM	ブームスプレーヤの散布状態 (1 : 散布, 0 : 停止)	1
X_DEG	姿勢センサの X 軸方向の傾き (°)	183.8
Y_DEG	姿勢センサの Y 軸方向の傾き (°)	181.6
Z_DEG	姿勢センサの Z 軸方向の傾き (°)	64.3
GPS_Hour	GPS データの時刻 (時)	16
GPS_Minute	GPS データの時刻 (分)	55
GPS_Second	GPS データの時刻 (秒)	39
GPS_Comma	GPS データの時刻 (秒の小数点以下)	70
GPS_Day	GPS データの時刻 (日)	10
GPS_Month	GPS データの時刻 (月)	7
GPS_Year	GPS データの時刻 (年)	14

3.7.4 トラクタ作業記録の動作確認実験

第2章のクラウドシステムと第3章で開発したFCと農作業情報記録システムを利用してシステム全体の動作確認実験を行った。実験では防除作業を対象に、作業軌跡や散布した領域をWebブラウザ上で表示することを目標とした。

防除作業は、トラクタ（ヤンマー株式会社，EG65）に散布幅16.5mの直装式ブームスプレーヤ（東洋農機株式会社，TMS-1200）を取り付けて行った。実験に供試した圃場は帯広畜産大学構内の農業機械精密実験圃場であり、圃場の面積は約1haの裸地である。目標の作業速度を1m/sに設定し、圃場内を3工程作業した。なお、本実験では農作業情報の可視化が明確に現れるように、人為的にトラクタの作業速度と隣接行程の作業間隔を変化させた。なお、図3-28はFCによって防除作業の様子を計測している風景を示す。



図 3-26 農作業情報記録実験の風景

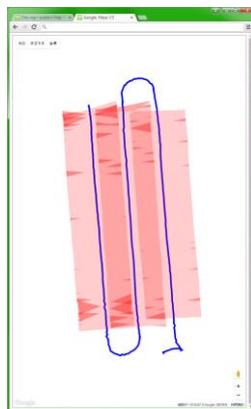
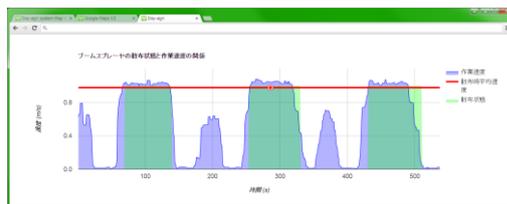
動作確認実験で記録した農作業情報は、図 3-29 に示すように FC が受信したデータのなかで、DGPS から受信したトラクタの作業位置とブームスプレーヤのメインバルブに取り付けた散布状況を示すデータを利用した。

▶ トラクタ用農作業フィールドコンピュータから
送信されるテキストデータ

例)

16,55,40,561,143.1738781,42.87212385,1,183.8,181.6,64.3,16,55,39,70,10,7,14

▶ 動作確認実験に用いる農作業データ



LAT (緯度) , LON (経度) ,
BOOM (散布状態) の3つの項目を使用。

データの項目	受信した値
PC_HOUR	16
PC_MINUTE	55
PC_SECOND	40
PC_COMMA	561
LAT	143.1739
LON	42.87212
BOOM	1
X_DEG	183.8
Y_DEG	181.6
Z_DEG	64.3
GPS_Hour	16
GPS_Minute	55
GPS_Second	39
GPS_Comma	70
GPS_Day	10
GPS_Month	7
GPS_Year	14

図 3-27 動作確認実験でサーバアプリケーションが
データベースから選択した項目

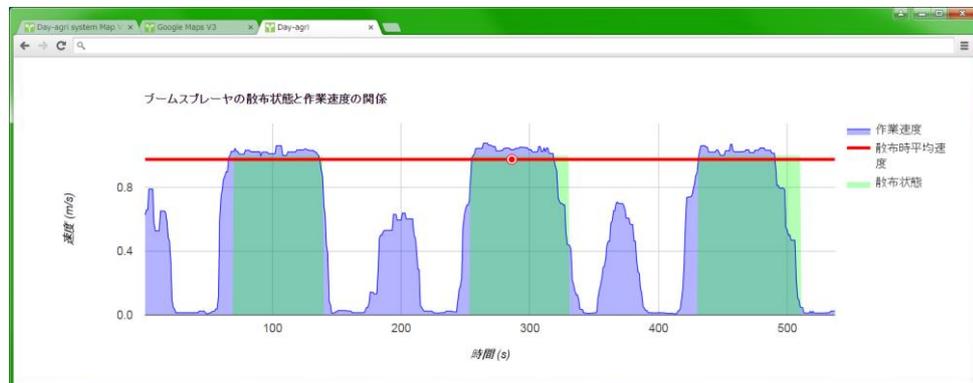
サーバアプリケーションによって可視化された防除作業の農作業情報を図3-30に示す。制作したサーバアプリケーションは、トラクタおよびブームスプレーヤ ECU から読み取った散布状態，DGPS による作業軌跡，DGPS から算出した作業速度から散布状況をグラフと地図で表示することができる。サーバアプリケーションが生成する Web ページは HTML と JavaScript で記述され，時間軸に対応したトラクタの作業速度，散布状態，散布作業の平均値を折れ線グラフに示す機能と，速度変動による散布量分布の密度を地図上に可視化する機能を搭載した。トラクタの速度変動を示す折れ線グラフは Google Charts の Line Chart および Area Chart を利用し，地図上に示す塗りつぶしで表現した散布領域の可視化と散布量分布マップの可視化は Google Maps API の Polygon を利用して表現した。

図 3-30 (a)の作業速度を表すグラフのアプリケーションは，横軸の作業時間に対する縦軸の作業速度を表している。作業速度は青の塗りつぶしで表現され，赤い線は散布作業時の平均速度を示している。緑の塗りつぶしは散布状態を示しており，ブームスプレーヤのメインバルブが開いているときは塗りつぶされている。また，作業速度は DGPS から取得した座標から計算され，散布状態はブームスプレーヤのメインバルブに取り付けた近接センサの値を表示している。グラフの変化から，トラクタは一定の速度で散布作業を行っていたことが視覚的にとらえることができる。

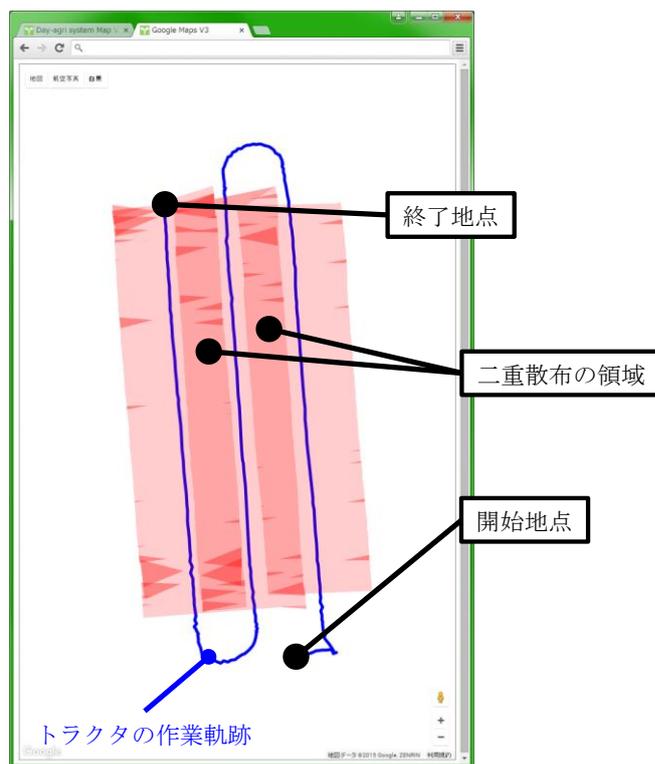
図 3-30 (b)は地図上に示した散布領域を示しているが，青い線が作業軌跡を示し，作業軌跡と散布幅から計算された散布領域を赤い半透明の塗りつぶしで表現している。散布条件として人為的に二重散布が発生するように散布したが，Web 上でも二重散布の領域が表現されていることが確認できる。

このように，開発した FC でトラクタの農作業情報を取得し，クラウドサーバから提供されたサーバアプリケーションによって防除作業の散布状態のマップ

プが可視化でき，その情報を農作業情報クラウドシステムで閲覧できることが実験で確認できた。



(a) 作業速度と散布状態の可視化グラフ



(b) 塗りつぶしによる二重散布の可視化マップ

図 3-28 Web ブラウザ上で表示された農作業情報の可視化

3.8 本章のまとめ

本章では、農作業情報を取得するために、トラクタキャビン内で利用するための総合的な情報端末であるトラクタ用フィールドコンピュータ（FC）と、トラクタに取り付けて作業データを記録する農作業情報記録システムを開発した。トラクタを利用する大規模農業では、日常の生活と異なる環境で端末が使用される。そこで、トラクタ農作業に適した入力インターフェースの設計を考慮して試作機の製作を行った。また、農業関係者へのアンケート調査によって、農作業端末に求められる要件を基に、試作機の評価を繰り返し行い要求仕様に近い端末の開発を行った。さらに、トラクタに取り付けた ECU によって、トラクタと作業機の作業データを取得する記録システムを構築した。

- 1) 農業関係者を対象に 2 回のアンケート調査を実施した結果、回答者は FC を用いた農作業情報の記録やクラウドによる農作業情報の管理を導入することに前向きであることが判明した。また、入力インターフェースの要求仕様に基づき、Windows OS を搭載した 10.4 インチのタッチパネル、6 つの機能ボタン、ポインティングデバイスを組み込んだ試作 3 号機を開発し、可搬性向上のために端末の外装に取手を取り付けた。なお、試作 3 号機の外形寸法は高さ 207 mm、幅 300 mm、厚さ 35 mm で重さ 1.8 kg である。
- 2) 農作業情報記録システムは、トラクタと作業機に取り付ける複数の ECU から構成され、それぞれの ECU は種々のセンサが取り付けられており、作業状態を計測できる。開発したシステムは DGPS と姿勢センサを取り付けたトラクタ ECU と防除機の散布状態を検出するブームスプレーヤ ECU から作業データを取得する。システムは CAN による通信方法を採用したため、ECU を CAN バス上に追加することができる。取得した農作業情報はデー

タ送信 ECU が FC に Bluetooth の無線通信によって送信する構造とし、トラックキャビン内の省線化を実現した。

- 3) FC と農作業情報記録システムを利用して記録した防除作業のデータを第 2 章で開発したサーバにアップロードすることで、農作業情報がデータベース化され、サーバアプリケーションの選択する項目から防除作業の二重散布や作業速度の変動を Web ブラウザ上で可視化できることを確認した。

以上のように、開発した FC と農作業情報記録システムを利用して、農作業情報をクラウドコンピューティングによってサーバに蓄積して管理し、可視化する基本的なシステムを構築することができた。

第4章 圃場内の農薬散布量分布のシミュレーション

4.1 はじめに

これまで、第2章で構築したクラウドシステムと第3章で開発したトラクタ用フィールドコンピュータを利用して、農作業情報をクラウドサーバに蓄積するシステムの利点と構成について述べた。クラウドサーバを利用した本システムの特徴は過去の農作業履歴を Web ブラウザからいつでもどこでも閲覧することを可能にする他に、営農のための有益な情報を蓄積された農作業情報から分析して有効活用できることである。

本章の背景は第1章で述べたように、食品の安全と消費者の安心に関わる残留農薬に焦点を絞り、それに関連する防除作業を対象にして、ドリフトが散布する圃場やそれ以外にどのような影響を及ぼすか、ICTを活用して把握することである。過去に Lebau らがドリフトの数理モデル、GPSによる走行軌跡の情報、トラクタに取り付けた風向風速計の値からドリフトのシミュレーションを行い評価する同様の研究が行われている⁵⁵⁾。しかし、研究目的として圃場の外にドリフトする農薬の影響を調査しているため、圃場内の散布分布に関する研究ではない。そのため、大規模畑作農業において農作業情報を有効活用して詳細な散布むらを可視化させるシステムは見あたらず、設定した農薬散布機の作業幅と DGPS による作業軌跡から計算されるベタ塗りの表現で二重散布の領域を確認することに留まっているのが現状である。

ここで、農作業情報と気象情報など様々な情報を組み合わせることで1回の散布作業から詳細な圃場内の農薬散布分布がシミュレーションできれば、防除回数が多い畑作でその散布量変動を累積して評価することができるようになる。それは、過大に散布される領域を農作業情報のみから算出できることを意味しており、農作業の省力化や精密農業の観点から ICT を有効活用する最適なケー

スと言える。さらに、農作業情報をクラウドサーバで管理することで、年次を超えて輪作体系である大規模畑作で栽培する作物や圃場ごとの累積したデータを活用することができる。

そこで、記録したトラクタの農作業情報を有効的に活用する具体的な分析方法として、圃場内の農薬散布量分布をシミュレーションするためのアルゴリズムを開発し、システムの活用例として分析方法を提案する。アプリケーションは防除作業を対象に圃場に散布された農薬の局所的な散布量分布をシミュレーションして散布量分布の偏りを可視化するものである。アプリケーションはトラクタに搭載したセンサから取得できるデータや既往研究で既に明らかとなっている実験データを利用してシミュレーションを行うものであり、実際に圃場内で調査することなく散布分布を推定することができるものである。

本章では圃場内の農薬散布量分布をシミュレーションするために、そのアルゴリズムや計算方法について述べる。次に、シミュレーションに必要なトラクタ付近に吹く地表面の水平成分（以下、水平風と呼ぶ）を推定する方法と、その水平風の影響を受けて漂流飛散する農薬を表現したドリフトパターンの計測方法を説明する。さらに、単一な水平風の条件でシミュレーションを行い、圃場内の農薬散布量分布がドリフトの影響を表現できることを確認する。

4.2 農薬散布量分布のシミュレーション方法

4.2.1 シミュレーションのアルゴリズム

記録した防除作業のデータから農薬散布量分布のシミュレーションを行うアルゴリズムについて述べる。シミュレーションは、後述するトラクタの作業軌跡と推定されたトラクタ付近で生じている風向風速のデータとドリフトパターンを利用して算出される。シミュレーションのアルゴリズムは、あるトラクタ

の位置で生じている水平風の風速と風向によって生じる農薬の飛散の様子を事前に作成したドリフトパターンをブームスプレーヤの各ノズルの位置にそれぞれ適応させて農薬の散布量分布を推定するものである。そのため、水平風の状態によって飛散するドリフトパターンが重なり合い、圃場全体の農薬散布量の多い領域や少ない領域が現れる。この方法は、高度な流体力学による計算シミュレーションを行わずに、既に計測された落下量分布を基に作成した風速の大きさによって変化するドリフトパターンを利用することで、比較的簡易なアルゴリズムでクラウドサービスを Web ブラウザ上で提供することができる特徴がある。

本研究の農薬散布量分布のシミュレーションは図 4-1 に示し、次の手順で農作業情報が処理される。

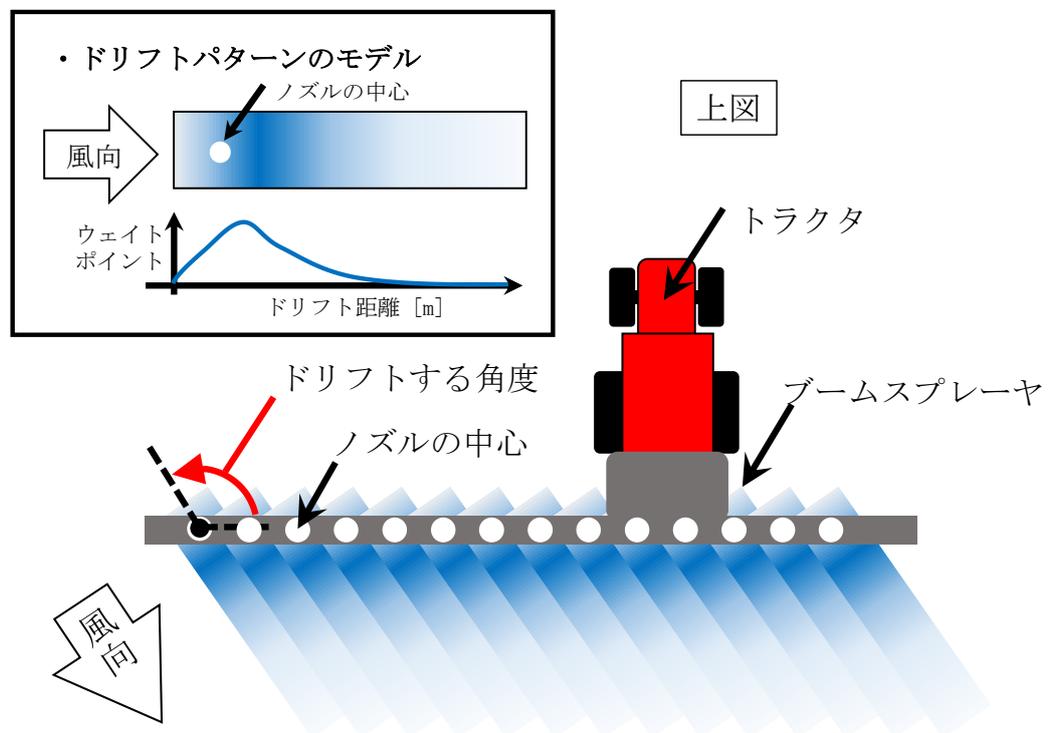


図 4-1 散布分布シミュレーションのアルゴリズム

- 手順 1：農作業情報記録システムによって取得した DGPS によるトラクタの作業軌跡からスプレーヤの各ノズルの位置を算出する。
- 手順 2：推定された風向風速に対応するドリフトパターンを各ノズルの位置に風向と同じ向きに回転させて圃場内の領域に適応する。ただし，作業方向と推定した水平風の向きが同じ場合は，ドリフトパターンがトラクタに重なる状態になることから，風速 0 m/s のドリフトパターンを適応させる。
- 手順 3：圃場内に貼り付けられたドリフトパターンを集計して，圃場内の農薬散布量分布を算出するために，任意の数値で間隔を設定できるグリッド状の評価点を設置する。その評価点の中心から半径 0.5 m の範囲にあるドリフトパターンの数値を集計して，散布量分布を可視化する。

上記のアルゴリズムを Visuals C#で記述した Windows アプリケーションに実装し散布量分布を算出した。なお，このアプリケーションは農作業情報クラウドシステムの管理クラウドサーバに蓄積されたデータベースから記録した農作業情報とドリフトパターンのデータベースを読み込みアルゴリズムに適用するものである。

4.2.2 トラクタ付近の水平風の算出方法

トラクタ付近で生じる水平風は，トラクタキャビンの屋根に取り付けた超音波風向風速計の計測値から求める。超音波風向風速計で計測される風のベクトルは固定設置する風向風速計と異なりトラクタの移動速度やトラクタの傾きによって生じる風が含まれているので，それぞれの要素を計測された見かけのベクトルから取り除く必要がある。

式 (4-1) に示すように，推定する水平風のベクトル w は超音波風向風速計で

計測したベクトル \mathbf{u} から、トラクタの速度ベクトル \mathbf{v} と機体の振動によって生じるベクトル $\boldsymbol{\tau}$ の和を除算して求める。

$$\mathbf{w} = \mathbf{u} - (\mathbf{v} + \boldsymbol{\tau}) \quad (4-1)$$

本研究で供試した超音波風向風速計は3次元の風の方角を計測できるセンサーであるが、それぞれのベクトルは計算を簡素化するために地表に水平な方向の風のみに変換して以後の計算に利用した。図4-2に計算に利用するそれぞれのベクトルを示す。圃場の北方向を y 軸とし東方向を x 軸とした場合のトラクタ作業の位置は $P(x, y)$ で表現される。

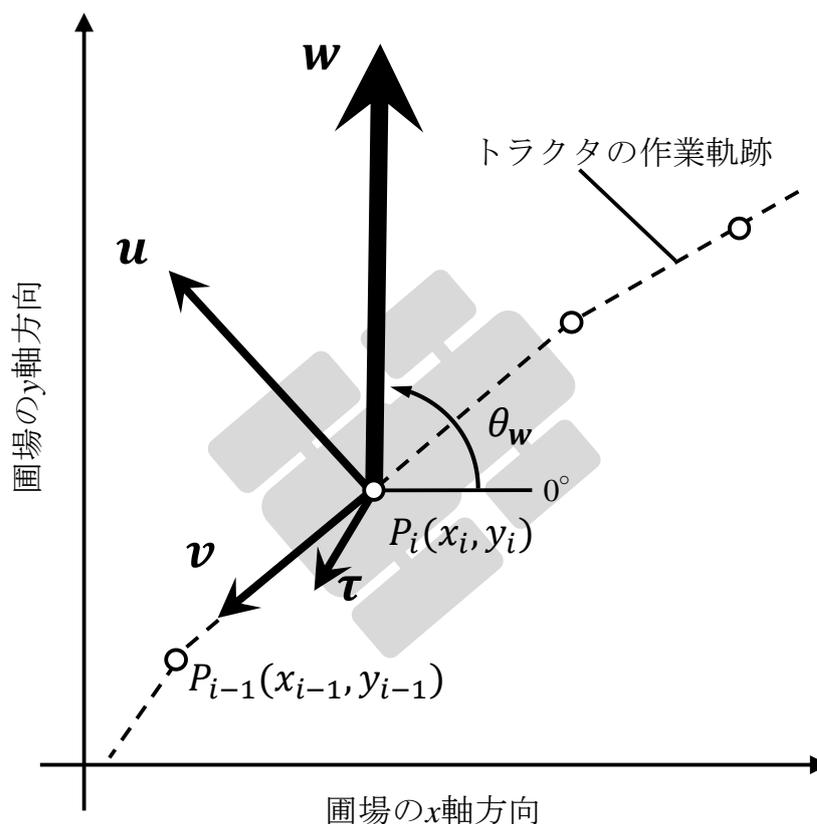


図 4-2 推定に用いる風のベクトルと圃場内のトラクタの作業位置

超音波風向風速計で計測される見かけの水平成分のベクトル \mathbf{u} は、式(4-2)に示すように、計測された仰角 α と風向 β によって導かれる。また、圃場を基準とする座標に変換するために次式で求めるトラクタの作業方向を加える。

$$\begin{cases} |\mathbf{u}| = V \cdot \cos \alpha \\ \theta_u = \beta + \theta_v \end{cases} \quad (4-2)$$

式(4-3)に示すように、車速ベクトルの大きさ $|\mathbf{v}|$ はトラクタに取り付けたDGPSの測位位置の差分から求めた作業速度であり、ベクトル \mathbf{v} のなす角 θ_v はトラクタの進行方向である。ただし以下、 i は計測したデータの数であり、 Δt はデータの時間間隔を表す。

$$\begin{cases} |\mathbf{v}| = \frac{\sqrt{(x_i - x_{i-1})^2 + (y_i - y_{i-1})^2}}{\Delta t} \\ \theta_v = \tan^{-1} \left(\frac{y_i - y_{i-1}}{x_i - x_{i-1}} \right) \end{cases} \quad (4-3)$$

ベクトル $\boldsymbol{\tau}$ はトラクタキャビンの屋根に取り付けた超音波風速計が機体の傾きの変化によって生じる風である。式(4-4)に示すように、機体の傾きのロール方向を γ 、ピッチ方向を ε とし、超音波風速計の取り付け高さである L を3.3 mと設定して地上を中心とすると超音波風速計が移動する周速度はそれぞれ $\boldsymbol{\tau}_R$ 、 $\boldsymbol{\tau}_P$ になる。なお、それらを合成して求めたベクトル $\boldsymbol{\tau}$ のなす角 θ_τ は、式(4-5)に示すように圃場を基準とした座標に変換するため、 θ_v を加えると求められる。

$$\begin{cases} \boldsymbol{\tau}_R = \frac{(\gamma_i - \gamma_{i-1}) \cdot L}{\Delta t} \cdot \cos \gamma_i \\ \boldsymbol{\tau}_P = \frac{(\varepsilon_i - \varepsilon_{i-1}) \cdot L}{\Delta t} \cdot \cos \varepsilon_i \end{cases} \quad (4-4)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} |\tau| = \sqrt{\tau_R^2 + \tau_P^2} \\ \theta_\tau = \tan^{-1}\left(\frac{\tau_R}{\tau_P}\right) + \theta_v \end{array} \right. \quad (4-5)$$

4.2.3 水平風の計測のための3次元超音波風向風速計

トラクタ周辺の水平風の風向風速を求めるために、3次元超音波風速計（R. M. Young Company, Model 81000）を供試した。風速計は一般的に圃場付近に固定設置して利用するが、提案するシミュレーションのアルゴリズムはトラクタ付近の水平風をリアルタイムに計測して、トラクタの移動速度や機体振動などを消去して風向風速データを算出する。そのため、回転する羽根付きの風向風速計とは異なり、可動部分が無く微小な風を計測できる超音波風速計が必要となる。

農薬散布量分布のシミュレーションに利用する農作業情報の取得は、第3章で述べたトラクタ用フィールドコンピュータと農作業情報記録システムを利用するが、図4-3に示すように3次元超音波風速計を接続したECUを新たに記録装置のCANバス上に追加して風向風速データを取得した。風向風速計ECUが追加されたことでFCが受信するデータの項目の詳細を表4-1に示すが、追加された風向風速計ECUのデータ項目を網かけで示した。図4-4に風向風速計ECUの回路図を示す。

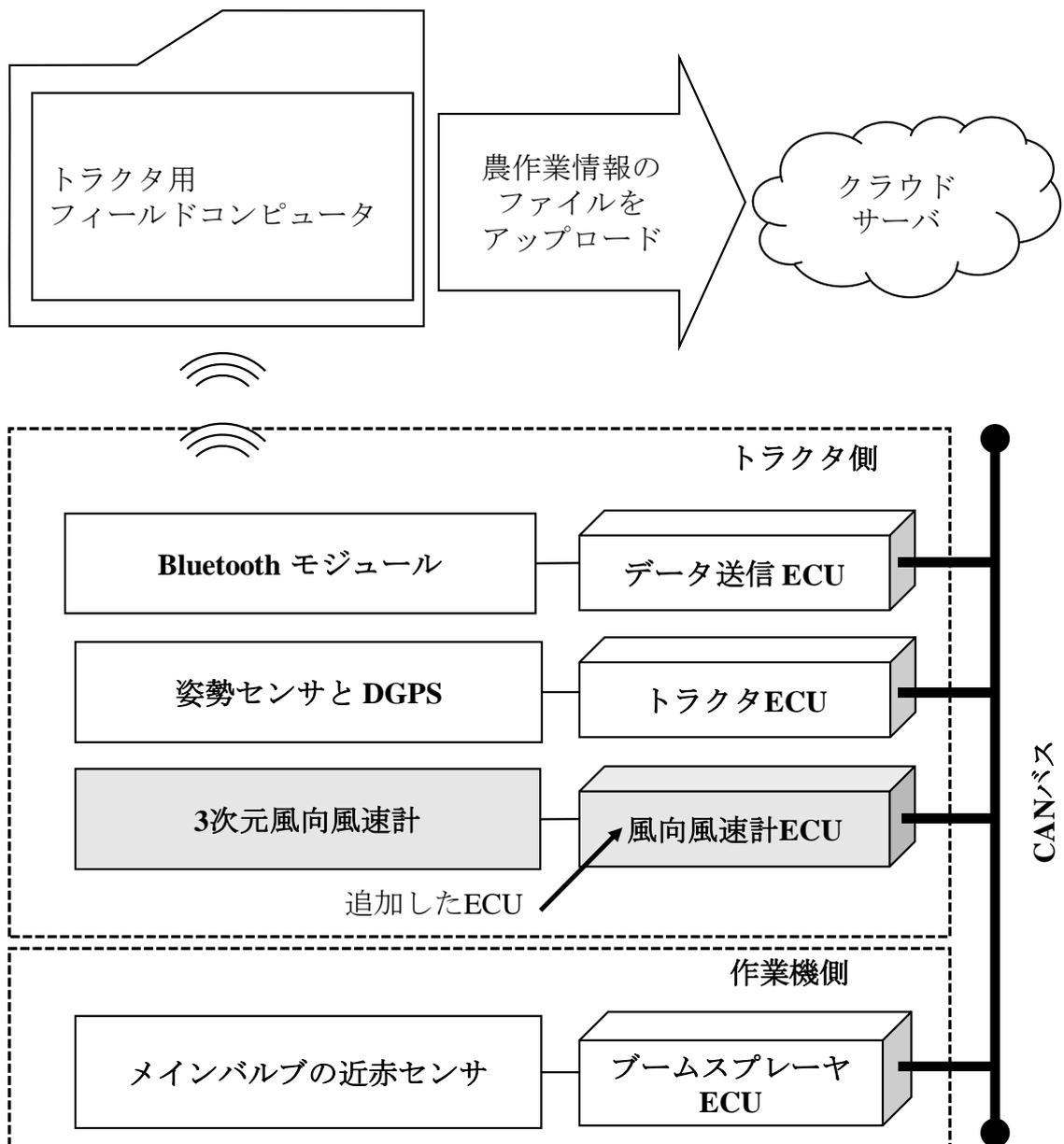


図 4-3 3次元風向風速計を追加した農作業情報記録システムの概要

表 4-1 風向風速計 ECU を追加したデータの項目

データの項目	データの説明	受信した値(例)
PC_HOUR	受信した FFC の時刻 (時)	16
PC_MINUTE	受信した FFC の時刻 (分)	55
PC_SECOND	受信した FFC の時刻 (秒)	40
PC_COMMA	受信した FFC の時刻 (秒の小数点以下)	561
LAT	GPS の経度座標	143.1739
LON	GPS の緯度座標	42.87212
BOOM	ブームスプレーヤの散布状態 (1 : 散布, 0 : 停止)	1
WIND_VELO	風速 (m/s)	4
WIND_DEG	風向 (°)	153
WIND_ELEV	風向の仰角 (°)	80
WIND_TEMP	温度 (°C)	18
X_DEG	姿勢センサの X 軸方向の傾き (°)	183.8
Y_DEG	姿勢センサの Y 軸方向の傾き (°)	181.6
Z_DEG	姿勢センサの Z 軸方向の傾き (°)	64.3
GPS_Hour	GPS データの時刻 (時)	16
GPS_Minute	GPS データの時刻 (分)	55
GPS_Second	GPS データの時刻 (秒)	39
GPS_Comma	GPS データの時刻 (秒の小数点以下)	70
GPS_Day	GPS データの時刻 (日)	10
GPS_Month	GPS データの時刻 (月)	7
GPS_Year	GPS データの時刻 (年)	14

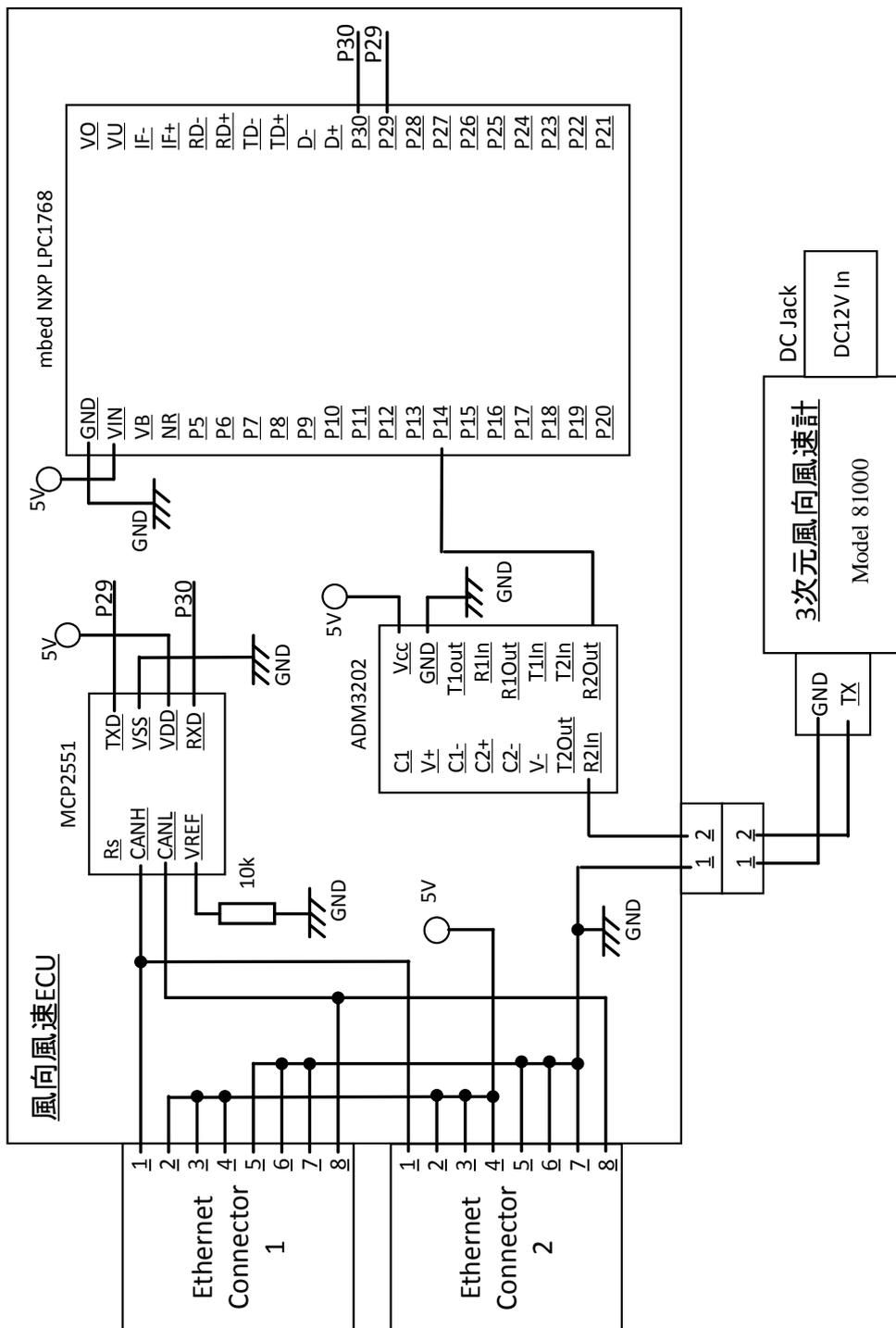


図 4-4 風向風速計 ECU の回路部

4.3 ノズルの散布分布計測とドリフトパターンの作成

4.3.1 供試小型風洞装置

ドリフトパターンは本章で提案する農薬散布量分布シミュレーションのアルゴリズムに適用するものであり、ノズル1個に対して農薬が風でドリフトする様子を風洞で測定し、その計測値を基に作成したモデルである。まず、ドリフトパターンのモデルを作成するために、ノズルから噴霧された液滴は風によってドリフトし、その液滴を感水紙で採取し、その被覆面積率を算出して風速ごとに変化する散布パターンを作成する。わが国で一般に推奨される散布可能な風速条件は1.5 m/s以下であるため、風洞内で風速を0~3 m/sの範囲で1 m/sごとに変化させてドリフトパターンを求めた。

供試した小型風洞装置は、ノズルから噴霧散布直後の空気中に飛散する粒径の細かな液滴が含まれるため、図4-5に示すようにファンで吸気した流れを外部に排出するエッフェル型風洞である。風洞は風洞断面が0.8 m² (高さ:0.9 m, 幅:0.9 m)、風洞長は7.4 mであり、可変速モータによって風速は0~4 m/sの間で調整可能である。風洞内における風速の測定方法は、ドリフトパターンの計測前に携帯型風速計(株式会社カスタム, CW-50)を利用してノズルの中心

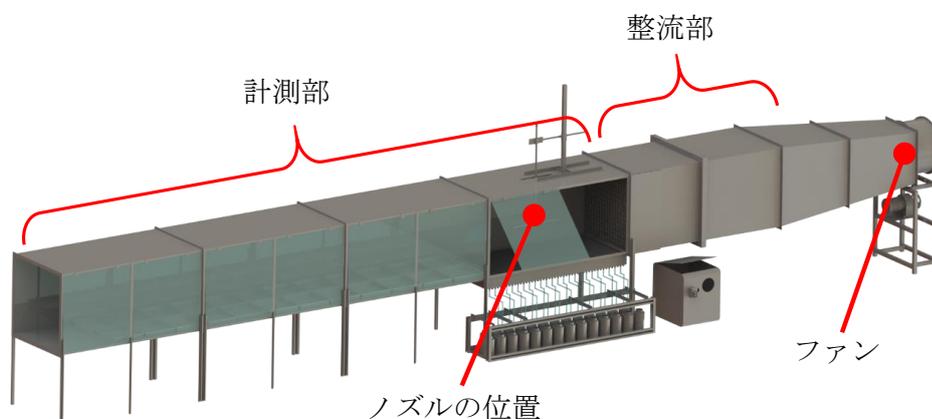


図 4-5 供試した小型風洞装置

位置を基準として、風洞断面上で上下左右と中央の 5 ヶ所の風速を計測し、その平均値が目標の風速値になるように調整した。

4.3.2 ノズルの落下量分布計測装置

計測は図 4-6 に示すノズル落下量分布計測装置を試作して行った。計測装置の内部には寸法が 26 mm×76 mm の感水紙（スプレーイングシステムスジャパン株式会社，20301-1N）を 0.12 m 間隔で 7 枚取り付けられる。設置した感水紙はノズルからの液滴に長時間露出されると被覆面積率が 100% に飽和してしまうと液滴の量を求められない。そこで，0.3～1.0 秒間窓が開いて感水紙を露出させることが必要である。開発した装置は，液滴を取り込むための穴の空いた筒を回転させることによって設定した時間内にドリフトした液滴を含んだ空気に感水紙を露出させるものである。計測装置の外装は腐食性を考慮して，筒状は塩化ビニール管，ギアボックスはアクリル樹脂，シャフトをアルミパイプで製作した。筒の回転はサーボモータ（JR PROPO，RBS582）を利用し，計測装置のサーボモータに接続して露出時間を設定して動作させる。コントローラには露出時間を設定するボタンと計測を実行するボタンが取り付けられており，マイクロコントローラ（Atmel 社，AVR AT Tiny2313）の生成する PWM（Pulse Width Modulation）信号によってサーボモータの回転角度を制御して計測装置の筒を回転させる。

実験方法は，計測装置を用いた 1 回の計測で得られる 7 枚の感水紙の散布状態のデータを風洞の風下方向に順次移動させて複数回の計測を行った。

4.3.3 落下量分布の計測条件

落下量分布の計測は，設定した風洞の条件（風速，散布高さ，散布圧力）を一定にした状態で行った。風速は 0，1，2，3 m/s の 4 つの条件とし，散布高さ

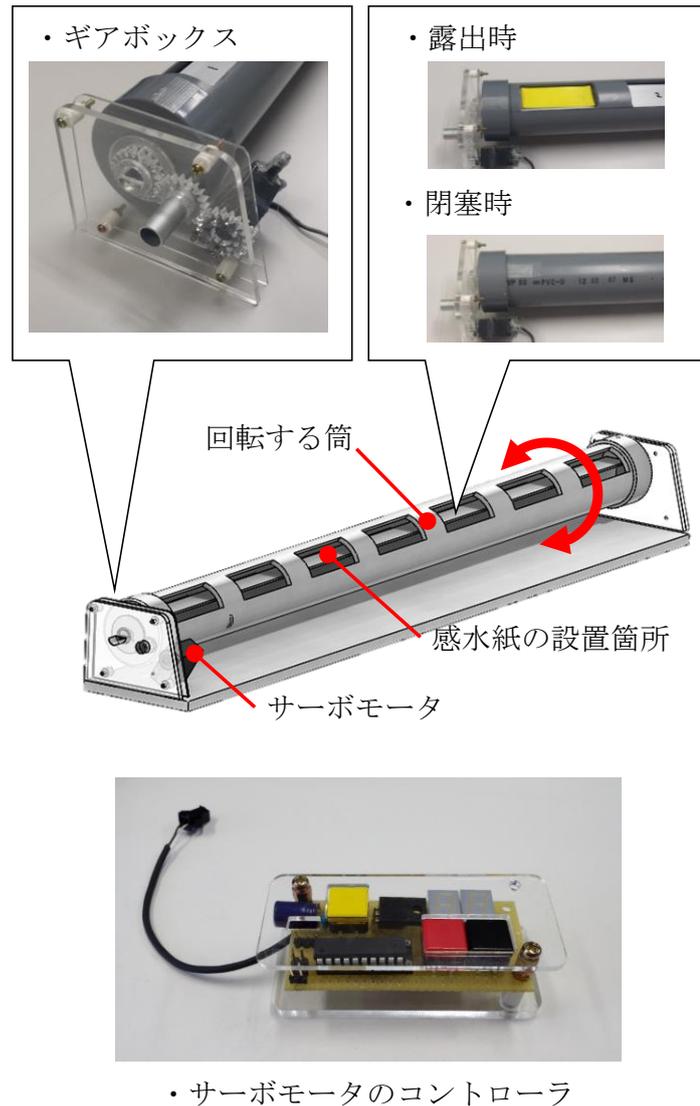


図 4-6 ノズルの落下量分布計測装置の外観

は 0.6 m, 散布圧力は 1.0 MPa に設定した。風洞内部には図 4-7 に示すノズルの位置を基準に風下側に任意の間隔で計測したが, 被覆面積率の変化が大きいと予想されるノズル付近では計測間隔を短く設定した。計測装置を風下方向に順次移動させて計 84 点を計測した。供試ノズルは図 4-8 に示すように, 北海道の畑作地帯で一般的に利用されているカニ目 2 頭口ディスク型ノズル (噴口 0.8 mm) を用いた。落下量分布の作成は図 4-9 のように, 計測した感水紙の被覆面積率を計算して求めた^{56) 57)}。

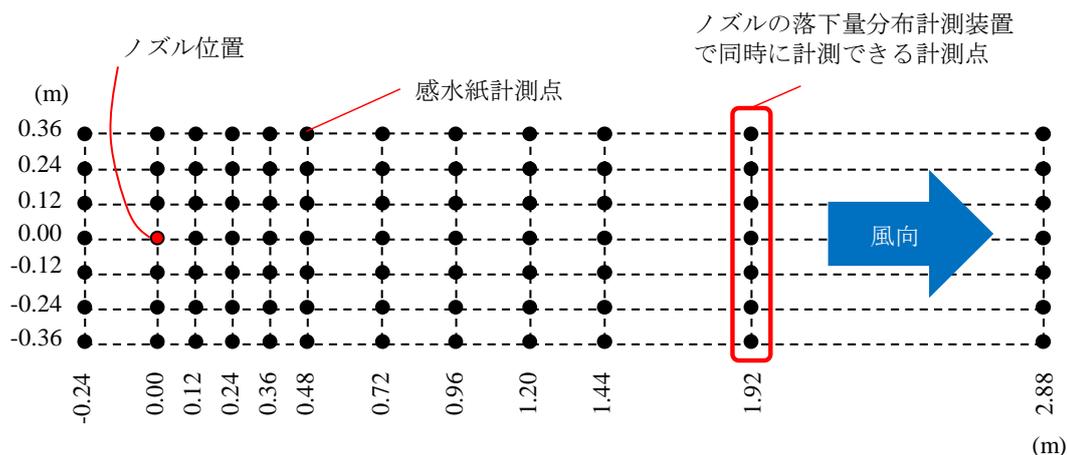


図 4-7 風洞内の計測点の位置

計測した感水紙は、十分に自然乾燥した後にスキャン時の解像度を 600 dpi に設定してスキャンし、TIFF 画像ファイルとして保存した。デジタルデータ化された感水紙は、画像処理ソフトを用いて二値化して白黒画像に変換する。水滴が感水紙に付着して青く変化した領域は二値化によって黒色に変換され、計測する領域内の単位面積あたりの被覆面積率を式(4-5)に示す式で算出した。

$$\text{被覆面積率(\%)} = \frac{\text{水滴が付着して青く変化した輪の面積(mm}^2\text{)}}{\text{感水紙の面積(mm}^2\text{)}} \quad (4-5)$$



図 4-8 供試したカニ目 2 頭口ディスク型ノズル

➤ ノズル1個から散布された落下量分布の計測方法

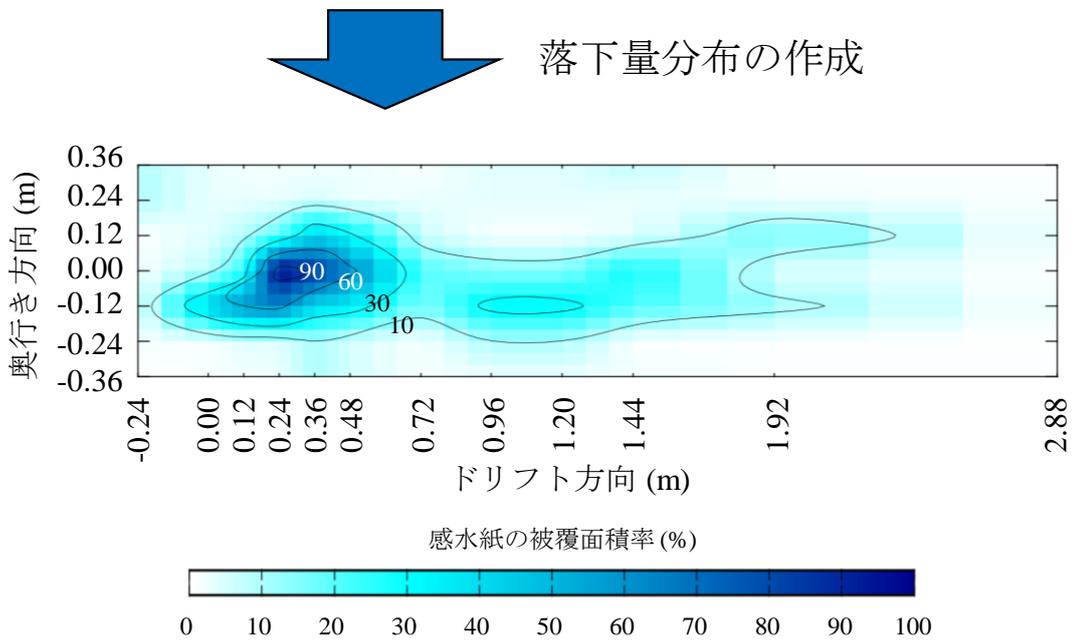
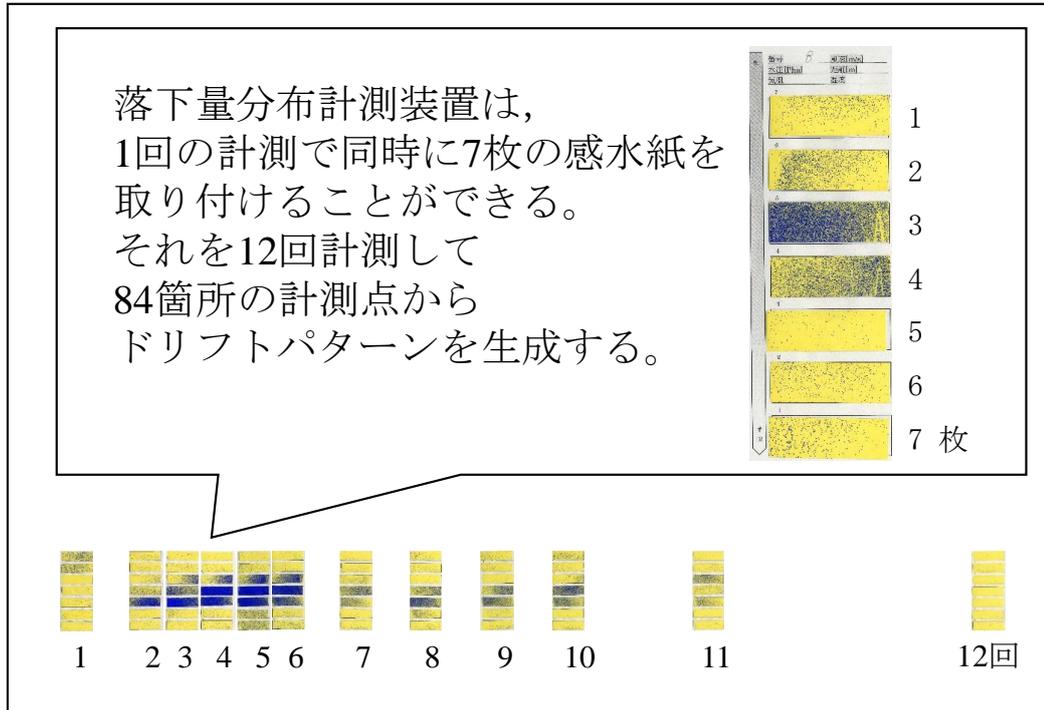
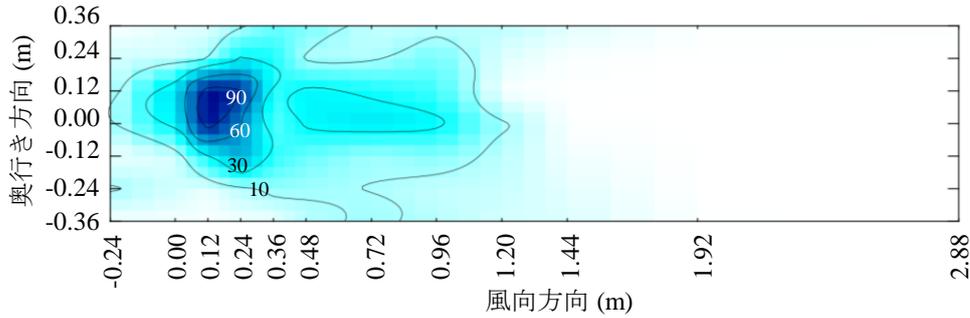


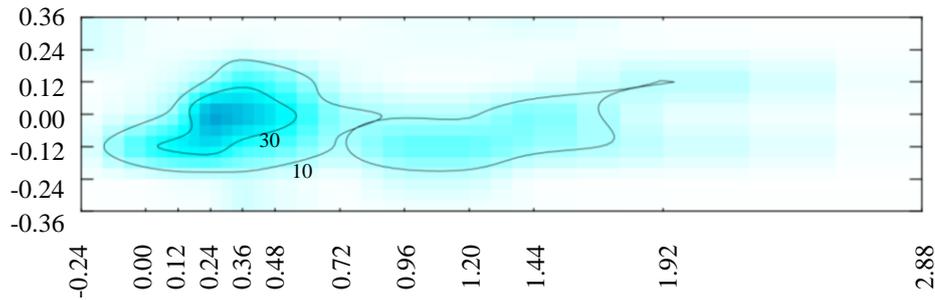
図 4-9 落下量分布の計測方法

4.3.4 落下量分布の計測結果と考察

図 4-10 は一例として風速が 1 m/s と 2 m/s の場合の散布分布を示す。図は風によって風下側に飛散した液滴の量を色の濃度で示した平面図であり、横軸はノズルからの風下側の水平距離、縦軸は水平面の断面方向の距離を表す。



(a) 風速1 m/s, 散布高さ0.6 m, 散布圧力1 MPa



(b) 風速2 m/s, 散布高さ0.6 m, 散布圧力1 MPa

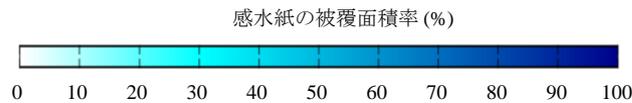


図 4-10 計測された落下量分布

全体的な落下量の分布は、ノズルを中心として風速が増加することで被覆面積率のピーク値が風下方向に移動していることが明らかである。また、被覆面積率の分布も風下に広がる様子がわかることからノズル 1 個に対するドリフトの様子を今回試作した落下量分布計測装置で捉えることができた。

本章で行った落下量分布の計測実験はノズルの特性を調査するものではなく、風洞内の風速条件で変化するノズル 1 個の散布量分布の特徴を把握することが目的である。そのため、この計測値の風下に流れる液滴の様子を参考にシミュレーションの計算を簡素化するために、計測した落下量分布の計測値を基にドリフト方向に変化するモデルを作成した。図 4-11 は 0~3 m/s で変化するドリフトパターンのモデルであり、それぞれのパターンはシミュレーションのアルゴリズムのために被覆面積率ではなく重み付けされたウェイトポイントを割り振った。ドリフトパターンはシミュレーションのアルゴリズムで処理されるときに、被覆面積率の単位は意味を成さなくなるため、ウェイトポイントと名づけ、風速 0 m/s のドリフトパターンの最大値を 6 に設定した。作成したモデルはノズルの位置を中心に計測したドリフトパターンのドリフト距離が 7.5 m になるように拡張し、ドリフトの影響が顕著に表れるように作成した。

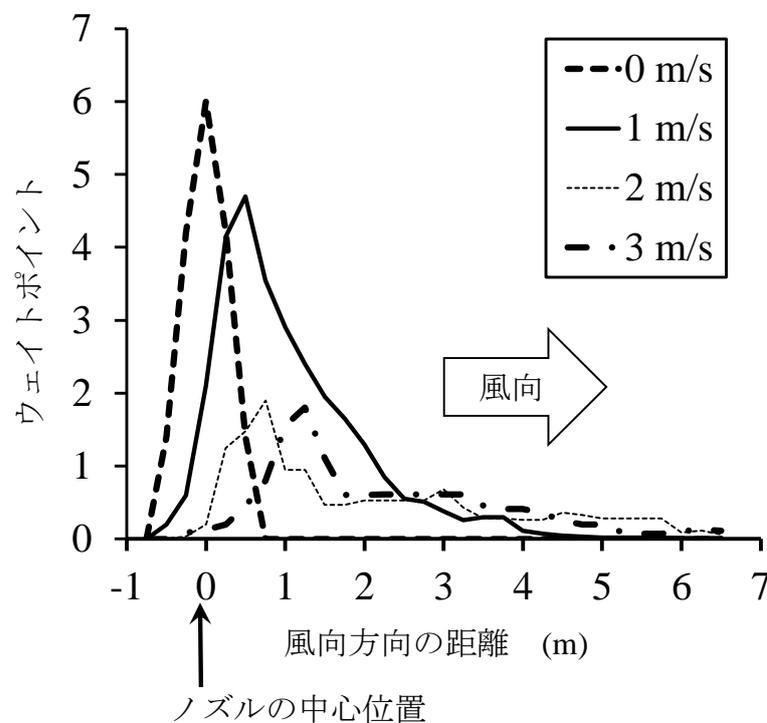


図 4-11 風速によって変化するドリフトパターン

4.4 単一条件でのシミュレーション実験

農薬散布量分布のシミュレーション結果から実際のドリフト状態を表現するために、単一の風の条件を設定してシミュレーションを行った。記録した作業データの中からトラクタの作業軌跡のみを利用し、風速と風向の情報を任意に変更して行った。シミュレーションの条件は、ドリフトの影響を確認するために、風速 3 m/s の条件で計算を行った。

シミュレーションの実験条件は、有効散布幅が 9.0 m のブームスプレーヤを進行方向の y 軸方向に 70.0 m、横方向の x 軸方向に 40.0 m である圃場を想定して 3 工程往復する。なお、散布時の作業速度は 1.5 m/s で走行軌跡はほぼ直線で二重散布の領域がない条件である。シミュレーションの風速については、散布作業時に作業機に対して一様に横風が生じるように設定し、散布作業時に圃場内で一様に横風が生じるように設定した。すなわち、風向は圃場の座標を基準に 180°の方向に風が吹くように設定した。

図 4-12(a)は風速 0 m/s の条件で散布した場合の農薬散布量分布のシミュレーション結果である。x 軸と y 軸は圃場の大きさを表しており、圃場に散布されたドリフトの影響を紫色の被覆面積率 0%から赤色の被覆面積率 100%で色の階調で表現した。結果より、ブームスプレーヤの両端にあるノズルは隣り合うノズルが無い場合、x 軸の 5 m と 35 m 付近を通過する領域は、散布量が被覆面積率 0%から 100%にゆるやかに変化していることがわかる。これは、近年の DGPS ナビゲーションシステムに見られる塗りつぶしによる散布領域の可視化で表せない散布分布の濃淡を表現することができる。

図 4-12 (b)は、風速 3 m/s で風向が真横の 180°の方向に風が圃場に一様に生じた場合の散布分布のシミュレーション結果である。風向に向かってドリフトパターンが適応されることで、x 軸の正方向にドリフトの影響が表現できている

ことが確認できる。

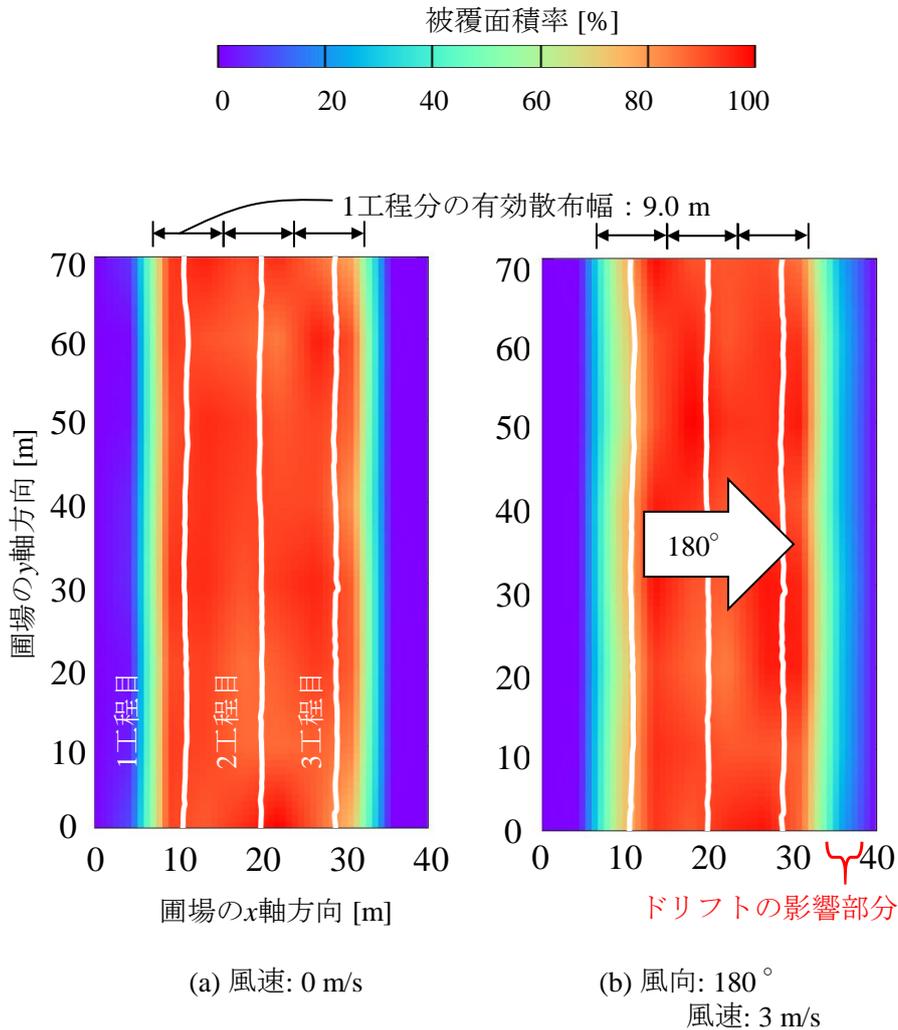


図 4-12 圃場に単一条件の水平風が一様に発生した場合のシミュレーション結果

4.5 サーバアプリケーションへのアルゴリズムの適用

アルゴリズムをクラウドサーバのサーバアプリケーションへ適応した。アプリケーションに利用した農作業情報は、第3章で行ったクラウドシステムの動作実験で利用した防除作業のデータベースである。

サーバアプリケーションにより可視化された防除作業の農作業データを図4-13に示す。制作したサーバアプリケーションは、トラクタおよびブームスプレ

ーヤ ECU から読み取った散布状態と GPS による作業軌跡および風向風速情報を利用した。トラクタの速度変動を示す折れ線グラフは 3 章と同じく Google Charts の Line Chart および Area Chart を利用した。散布量分布の可視化には、Google Maps API の Heatmaps Layer を利用して表現した。

図 4-13 (b)は地図上に示した散布領域を示している。青い線が作業軌跡を示し、作業軌跡と散布幅から計算された散布領域を赤から緑の色の変化で表現している。速度変動と散布密度の関係を比較すると、作業速度の変動が散布量分布の密度に影響している様子が可視化されている。作業速度については、散布開始と終了付近の作業速度が遅くなるため、図 4-13(b)の枕地付近の散布量密度が高くなることわかる。また、トラクタの作業間隔が狭くなる領域は農薬の散布密度が高くなり、特に二重散布の危険領域が濃い色で表現されることが確認できた。

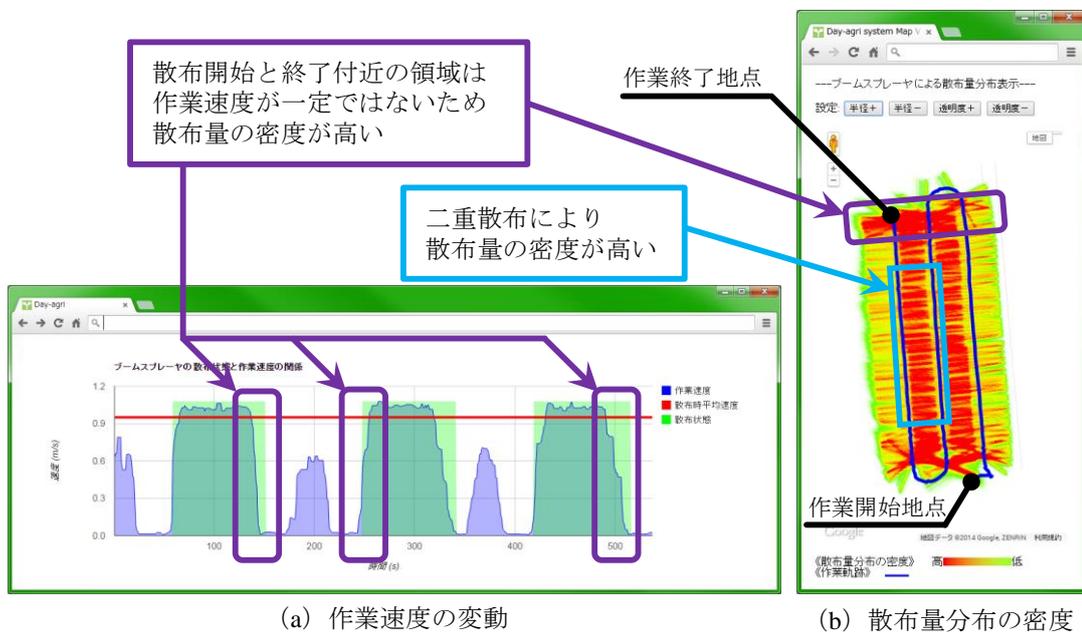


図 4-13 Web ブラウザで表示された散布量分布の密度マップと作業速度

4.6 本章のまとめ

本章では、開発した農作業情報クラウドシステムを利用して防除作業を対象に、トラクタ付近に生じる水平風が原因で発生する農薬飛散であるドリフトの影響を考慮して圃場内の散布量分布をシミュレーションするアルゴリズムを開発した。

- 1) シミュレーションのアルゴリズムは、作業軌跡や散布状態を示すデータなど基本的な作業情報に加え、推定したトラクタ付近に生じる水平風とドリフトパターンのデータを利用する。推定した水平風はその向きと速さに風速に対応するノズル 1 個の散布分布を計測したドリフトパターンをノズルの中心を基準に風向に合わせて適応させることで、簡易に圃場内の散布量分布シミュレーションを可能にする。
- 2) ドリフトに影響をおよぼすトラクタ付近で生じる水平風の推定は、トラクタキャビンの屋根の上に取り付けた超音波風速計を利用する。取得した風のデータは、固定設置する計測値と異なりトラクタ移動によって生じる車速のベクトルと機体の傾きの変化によって生じる移動のベクトルを含んでいるため、ベクトルの合成によってそれらを取り除き推定する。
- 3) ドリフトをシミュレーションで表現するために、エッフェル型風洞内で 1, 2, 3, 4 m/s のノズル 1 個に対する被覆面積率の分布を感水紙で計測し、ドリフトを含めた落下量分布を計測した。計測には開発した筒状の落下量分布計測装置を用い、風洞内で風によって飛散した液滴の分布を計測し、4 種類のドリフトパターンを作成した。

- 4) シミュレーション結果を確認するために、任意で設定した 70.0 m×40.0 m の圃場内で、有効散布幅 9.0 m のブームスプレーヤによって 3 工程往復させて防除作業を行った場合のシミュレーションを行いアルゴリズムの検証実験を行った。実験は水平風が 0 m/s と風速 3 m/s の異なる風速条件でシミュレーション結果を比較した。アルゴリズムに用いたドリフトパターンが圃場内の散布量分布に影響を与え、散布分布が移動していることを確認した。また、サーバアプリケーションにアルゴリズムを適用しドリフトによる散布分布の変化を確認した。

以上のように、本研究では風洞で計測したドリフトパターンを用いた簡易なアルゴリズムによって、トラクタに取り付けた 3 次元風速計と農作業情報から作業時のトラクタ付近の水平風を推定し、ドリフトを考慮した圃場内の散布量分布をシミュレーションする方法を検証することができた。

第5章 農薬散布量分布のシミュレーション結果の実証実験

5.1 はじめに

第4章では農作業情報を有効に活用するために、トラクタや作業機の作業軌跡や散布状態などの基本的なデータに加え、トラクタキャビンの屋根に取り付けた超音波風向風速計の計測データを利用することで、ブームスプレーヤ付近の水平風を推定する方法を示した。また、その水平風の推定結果と計測したドリフトパターンから圃場内の農薬散布量分布をシミュレーションするアルゴリズムを提案して開発した。

本章では、そのアルゴリズムを利用し、防除作業の農作業情報から計算されたシミュレーションの結果が有効に利用できることを示すために実際の圃場で実証実験を行う。まず、実証実験に利用する農作業情報記録システムの構成とシミュレーション結果を評価するための感水紙を用いた評価方法について述べる。次に、シミュレーション結果と評価を考察し、アプリケーションの有用性とシステムの適応例を示す。

5.2 実証実験に供試した農作業情報記録システムの構成と供試機

図5-1は、農作業情報の記録のためにトラクタと作業機に取り付けたセンサのハードウェアを示す。実験は供試トラクタ（ヤンマー株式会社，EG65）に直装式ブームスプレーヤ（東洋農機株式会社，TMS1200）を取り付けて行う防除作業の農作業情報を記録する。水平風の計測はトラクタに取り付けた3次元超音波風速計（R. M. Young Company, Model 81000）を用いた。DGPSと姿勢センサ（東京計器株式会社，VSAS-3GM+DG-14）はトラクタの軌跡と姿勢を記録するために利用した。しかし、供試圃場は周囲に樹木が生育しており、DGPSの

位置計測精度が低下することが予想されたため、DGPS 以外に図 5-2 に示すトータルステーション（株式会社トプコン，SRX3X）を利用してトラクタの走行軌跡を計測した。トータルステーションは圃場近くに固定設置し，得られたトラクタの走行軌跡は別の PC に保存した。トータルステーションのデータは農作業情報記録システムとは別に保存しデータベースに手動で追加した。農作業情報の受信に用いたトラクタ用フィールドコンピュータとトータルステーションの PC はそれぞれのローカル時間を同期させてあり，農作業情報にはそれぞれの PC の時間をタイムスタンプ付きで記録した。姿勢センサは不整地を走行する機体の傾きを計測して，機体の揺れで生じる風速計自体の移動速度を求め

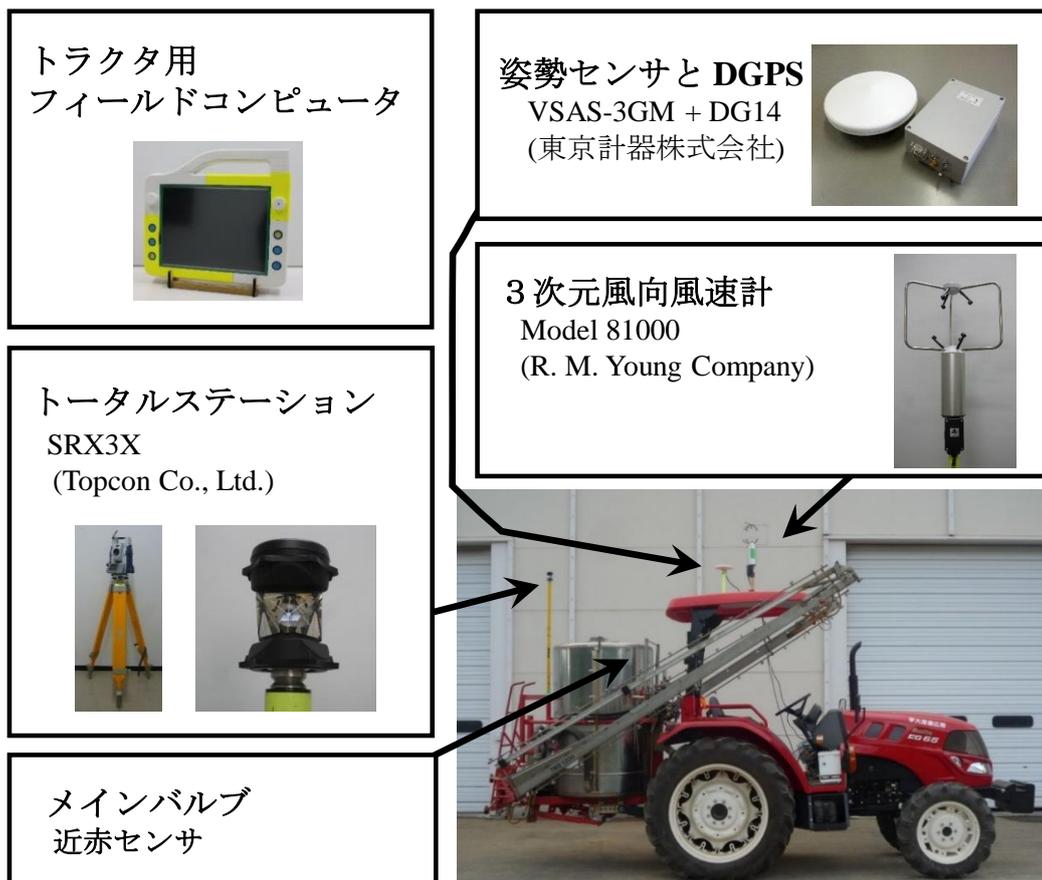


図 5-1 トラクタと作業機に取り付けたセンサのハードウェア

るために利用した。その他にブームスプレーヤのメインバルブに近接センサを取り付けて散布の有無を計測した。FC 試作 3 号機を利用した農作業記録の様子を図 5-3 に示す。



図 5-2 トータルステーションを利用した作業位置の計測



図 5-3 FC（試作 3 号機）による農作業情報の記録風景

5.3 散布量分布のシミュレーション結果の評価方法

圃場内の農薬の散布量分布をシミュレーションした結果を評価するために、農作業情報を記録し、風の状態とドリフトパターンを組み合わせる算出した散布量分布のシミュレーションを行った圃場の位置に感水紙を設置し、被覆面積率を求めて比較した。図 5-4 は供試圃場に設置した感水紙の計測点の位置を示す。供試圃場は約 45 m×150 m であるが、実験に供試した範囲は 40.5 m×70.0 m であり、感水紙は x 軸方向に 10.0 m 間隔、y 軸方向に 4.5 m の間隔で、高さ 0.3 m に設置した。感水紙は写真のように黄色の面を上向きに 1 枚取り付け、計測点は合計で 80 点である。

供試したトラクタ直装式ブームスプレーヤーはブームを最大に展開した時の散布幅が 16.5 m あるが、実験圃場の大きさを考慮すると 1 往復が限界であるため、図 5-5 に示すように外側の第 1 アームを左右閉じた状態で散布作業を行い、3 工程往復した。したがって、30 個のノズルが 0.3 m 毎に取り付けられているため有効散布幅は 9.0 m になる。高さ 0.3 m に設定した感水紙からノズルの高さまでが風洞実験でドリフトパターンの計測を行った条件と同じ 0.6 m になるように散布開始前にブームの散布高さを設定した。散布圧力は、ブームスプレーヤーの圧力計を 0.49 MPa、散布作業速度を 1.5 m/s に設定し、散布量は 200 L/ha とした。このように慣行の散布量の 1000 L/ha よりも少なくした理由は、感水紙の被覆面積率が散布量によって 100% を超えないようにしたためである。なお、図 5-6 は計測した感水紙の回収作業の様子を示す。

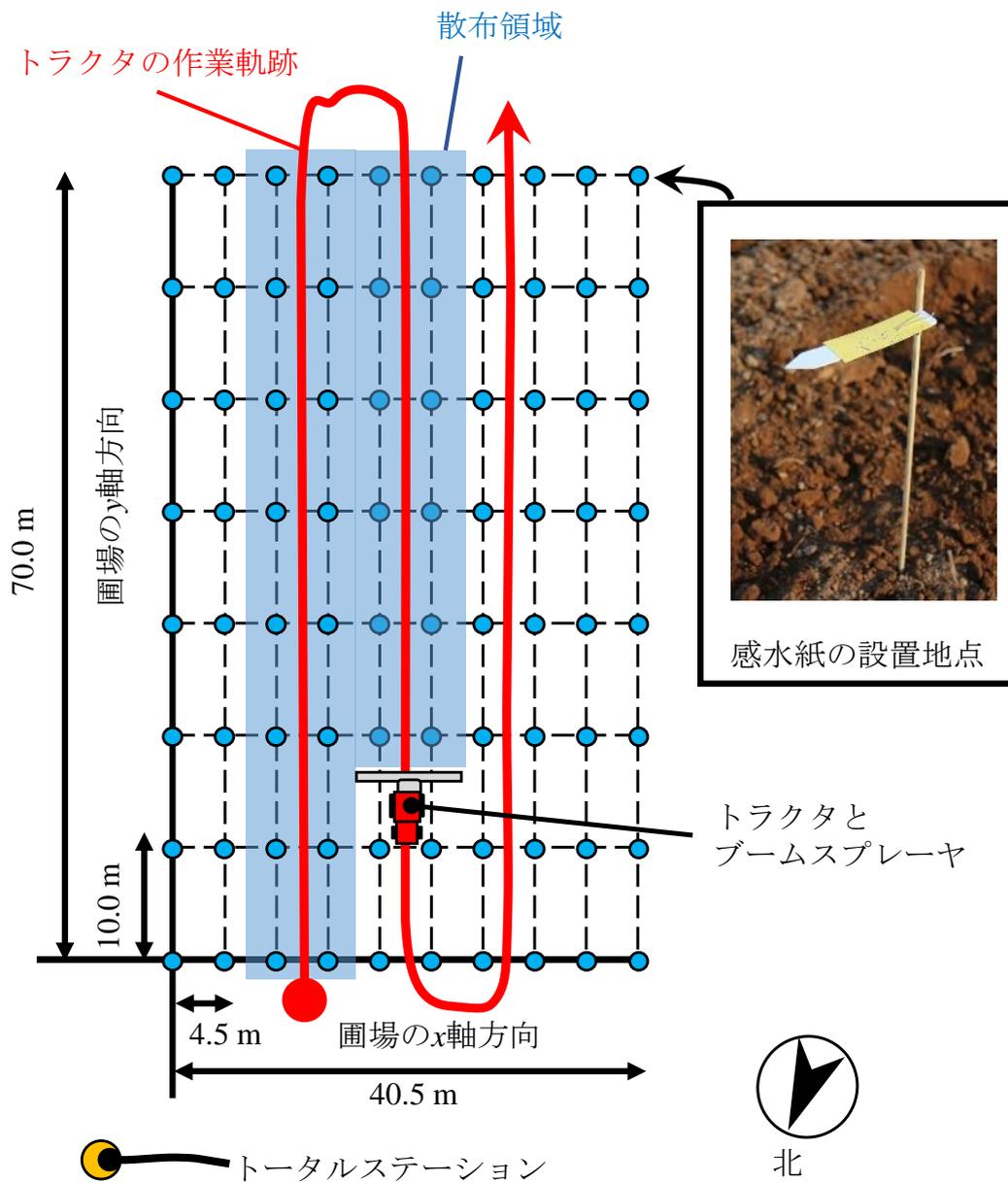


図 5-4 圃場の散布量分布の計測実験

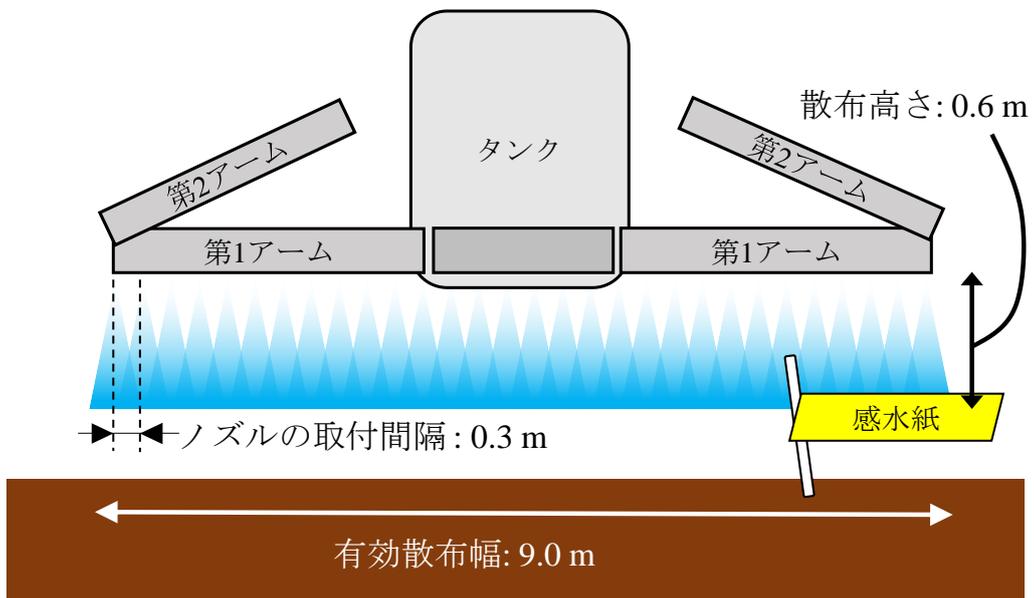


図 5-5 実験に供試したブームスプレーヤの状態



図 5-6 感水紙の回収風景

5.4 散布量分布のシミュレーション結果と考察

5.4.1 記録した散布作業データの分析

散布量分布のシミュレーション結果を述べる前に、取得した散布作業データの特徴とシミュレーションに与える影響について検討した。シミュレーションには、農作業情報記録システムで取得したデータの中から、風向風速、トラクタの角度（ピッチ角とロール角）、ブームスプレーヤのメインバルブの散布状態のデータを利用する。なお、記録した農作業情報の中でトラクタの作業位置を計測する DGPS の精度が低下していたため、分析には DGPS ではなくトータルステーションで計測した作業軌跡を利用し、作業開始の最初の感水紙の位置を原点とした。

図 5-7 は記録した農作業情報を時系列で示したものである。上図は 3 次元風向風速計が取得したデータであり、横軸が時間、縦軸が記録されたアルゴリズムに処理される前の超音波風向風速計の計測データである。下図は DGPS の位置情報から計算した作業速度と姿勢センサから算出した機体の傾きで生じた移動風のグラフであり、縦軸は風速を示す。ブームスプレーヤのメインバルブが開かれ、散布している状態をグレーの網掛けで表現している。

まず、ドリフトに影響する超音波風向風速計の記録データについて説明する。図に示すデータは、オリジナルデータをメディアンフィルタで処理を行い突発的なデータの変化を平滑化している。なお、オリジナルの風向データはトラクタの前方を基準とした風向風速計の座標で示しており、トラクタの進行方向の向きが加算されていないため、2 工程目の風向は 1 と 3 工程目と逆になることや、トラクタの作業速度や傾きの変化で生じる風が含まれている。計測された風速は約 10 分間の全工程で大きく変動しており、最大風速は 5.2 m/s を記録した。風向については、1 と 3 工程目は大きな変化が見られないが、2 工程目の

130 秒あたりで 10 秒間に約 180°変化し、大きな風向の変化を観測した。

散布時に機体の傾きによって生じる風は、0～0.1 m/s と全体的に微小であり、作業速度と比較して極めて小さく、トラクタ付近で生じる風の推定にはほとんど影響しないことが判明した。この理由は、実験に供試した圃場は平坦な裸地であり、実験前に耕うん作業を行い、ある程度鎮圧している走行路面であるため、機体の傾きの変化が少なかったものと考えられる。しかし、圃場の地理的な形状や土壌の水分状態などで機体が大きく傾くことは十分考えられるため、実際の防除作業で散布状態を推定する場合は、超音波風向風速計が傾きによって生じる風を考慮する必要があると思われる。なお、トラクタの作業速度は散布作業中 1.5～1.7 m/s とほとんど変化は見られなかった。

図 5-8 は、トータルステーションによって取得されたトラクタの作業位置と作業方向から算出したノズルの位置および作業軌跡である。実線は作業軌跡、三角印はノズルの位置を示す。作業軌跡は圃場に目標となるポールを設置して作業したため大きな蛇行は無く、作業速度の変動も少ないことから安定した走行であることがわかる。また、ノズルの位置から二重散布の領域はほとんど見られない。

したがって、作業軌跡の大きな蛇行や速度変動が見られないことから二重散布による圃場内の散布むらが現れる可能性は少なく、風速の変化のみが散布量分布に影響を与えると判断できる。

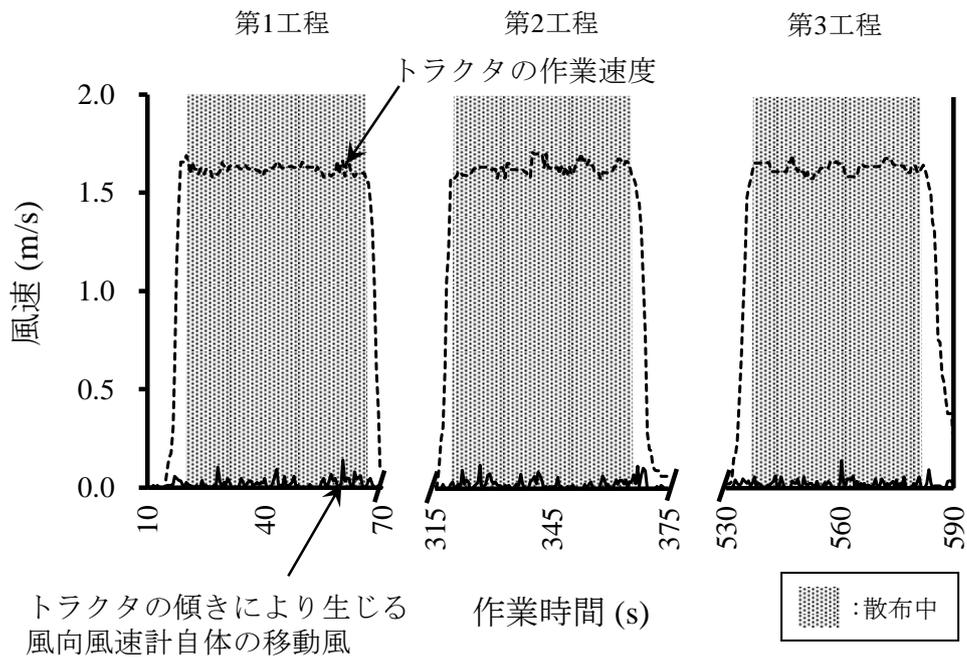
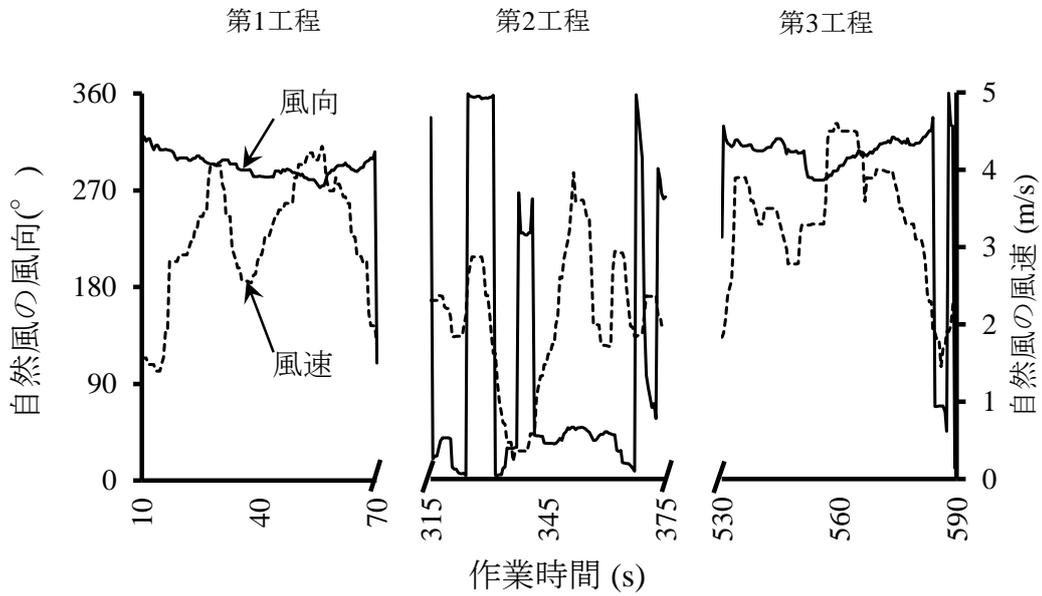


図 5-7 各作業工程の農作業情報の経時変化

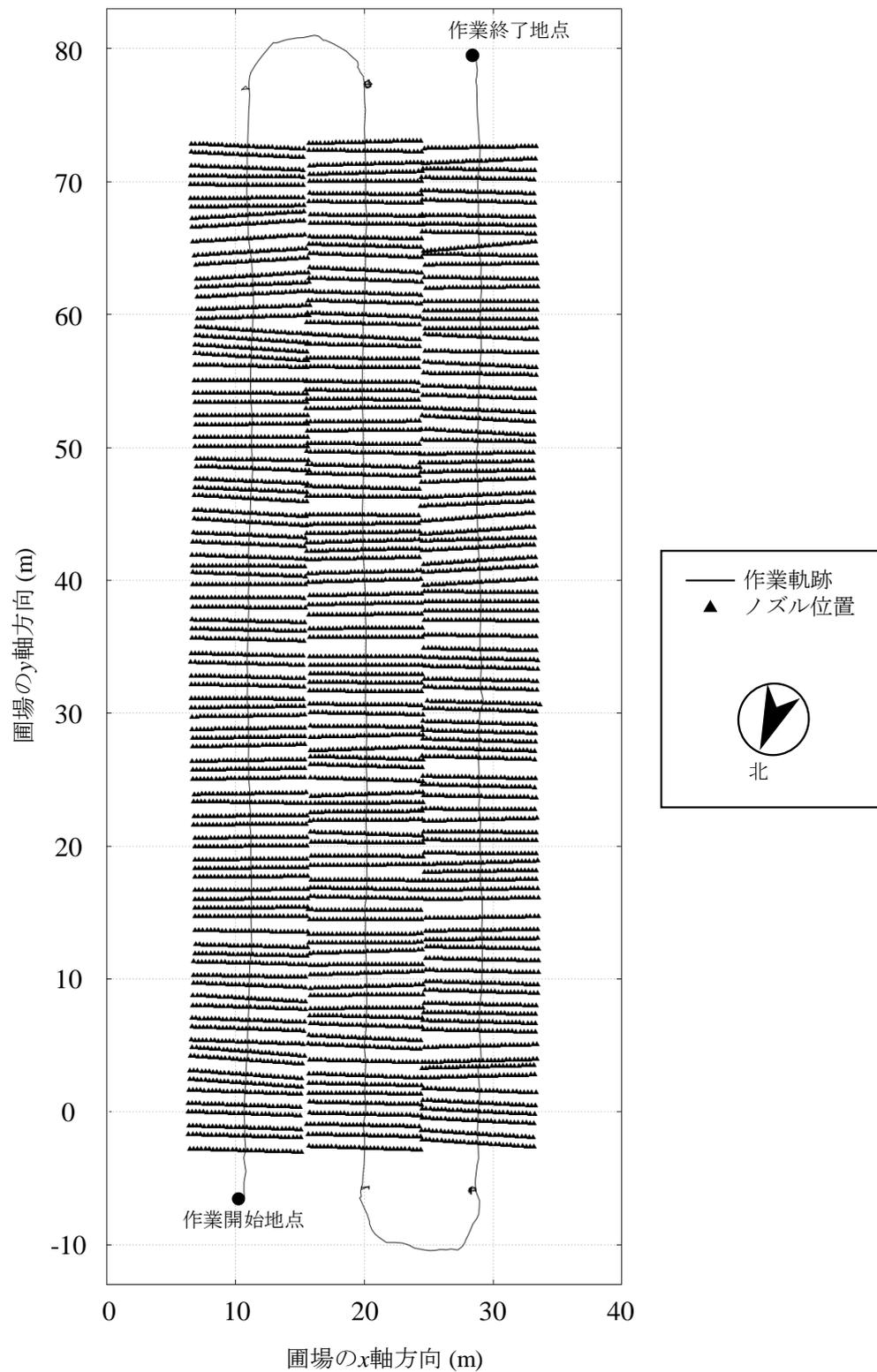


図 5-8 圃場内の作業軌跡とノズルの位置

5.4.2 推定した水平風の変化

計算に利用したトラクタの車速のベクトルと機体の傾きの変化で生じる風のベクトルを水平風のベクトルと重ねて5秒間隔で示したグラフを図5-9に示す。図の横軸と縦軸は圃場を基準とした座標で表しており、実線はトラクタの作業軌跡を、各ベクトルは推定した水平風を表している。各ベクトルの長さや向きは推定した水平風の風速と圃場の座標を基準とした風向を表している。赤色のベクトルはトラクタ付近の水平風ベクトル、青色は3次元超音波風向風速計で計測したデータの水平成分のベクトル、緑色はトラクタの作業速度で生じる風のベクトル、姿勢センサで計測した傾きによる移動風は紫色のベクトルで示した。以降の各ベクトルの色は統一して同じ色で示す。本実験では、トラクタの傾きの変化が微小であったため、それによって生じる移動風は極めて小さく、求める水平風に影響をほとんど与えないことが明らかになった。

図5-10から図5-12は、各工程の時系列に対するそれぞれの風のベクトルを0.5秒間隔で示している。横軸は農作業の経過時間、縦軸は推定した水平風のベクトルの大きさの目安となる風速を示している。ベクトルは、上記の図と同じく圃場の座標を基準としている。

図5-13は圃場内で変化したトラクタ付近の水平風の推定結果を5秒間隔でマップ上に示したグラフである。圃場に生じる水平風は全体的に、一様でなく風向と風速ともにばらつきのある様子が計算された。作業開始から終了まで、圃場を基準とした座標系で全体的に約 300° の風向、 $1.1\sim 3.6\text{ m/s}$ の風速の変化がそれぞれ生じていた。実際に実証実験では、図5-14に示すように、風によってドリフトしている様子を確認した。1工程目は、風向に大きな変化は見られないが、y軸の30.0mと50.0m付近で風速の弱まる様子が確認できる。2工程目は、風の変化が著しく、 100° 以上の風向の変化と作業方向に対して横風が生

じているため、ドリフトの影響が大きくなると予測された。3 工程目は、全体的に横風が生じており、y 軸の 20.0~40.0 m の範囲で風向が約 80°変化し、風速が弱まる箇所も見られた。

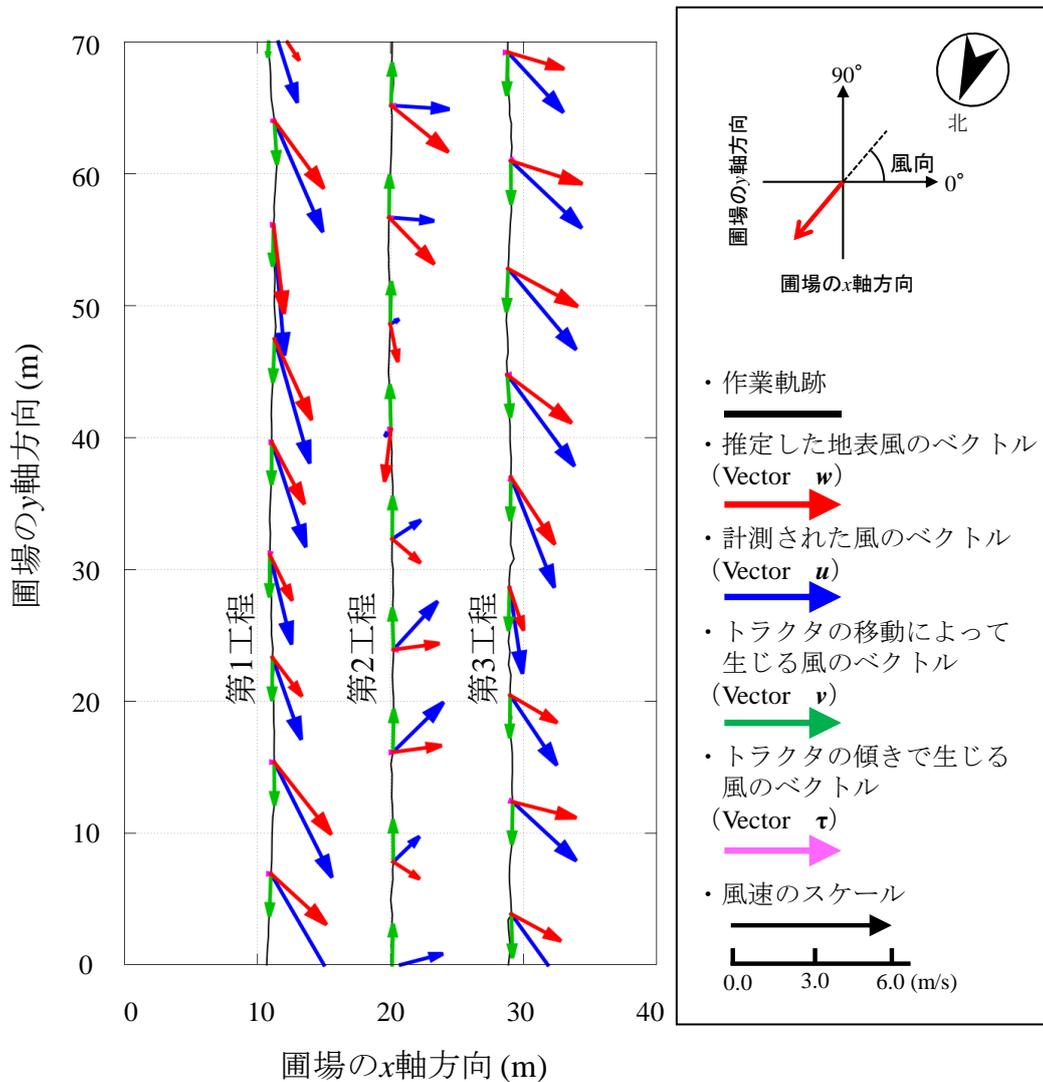


図 5-9 推定された水平風の変化

第1工程

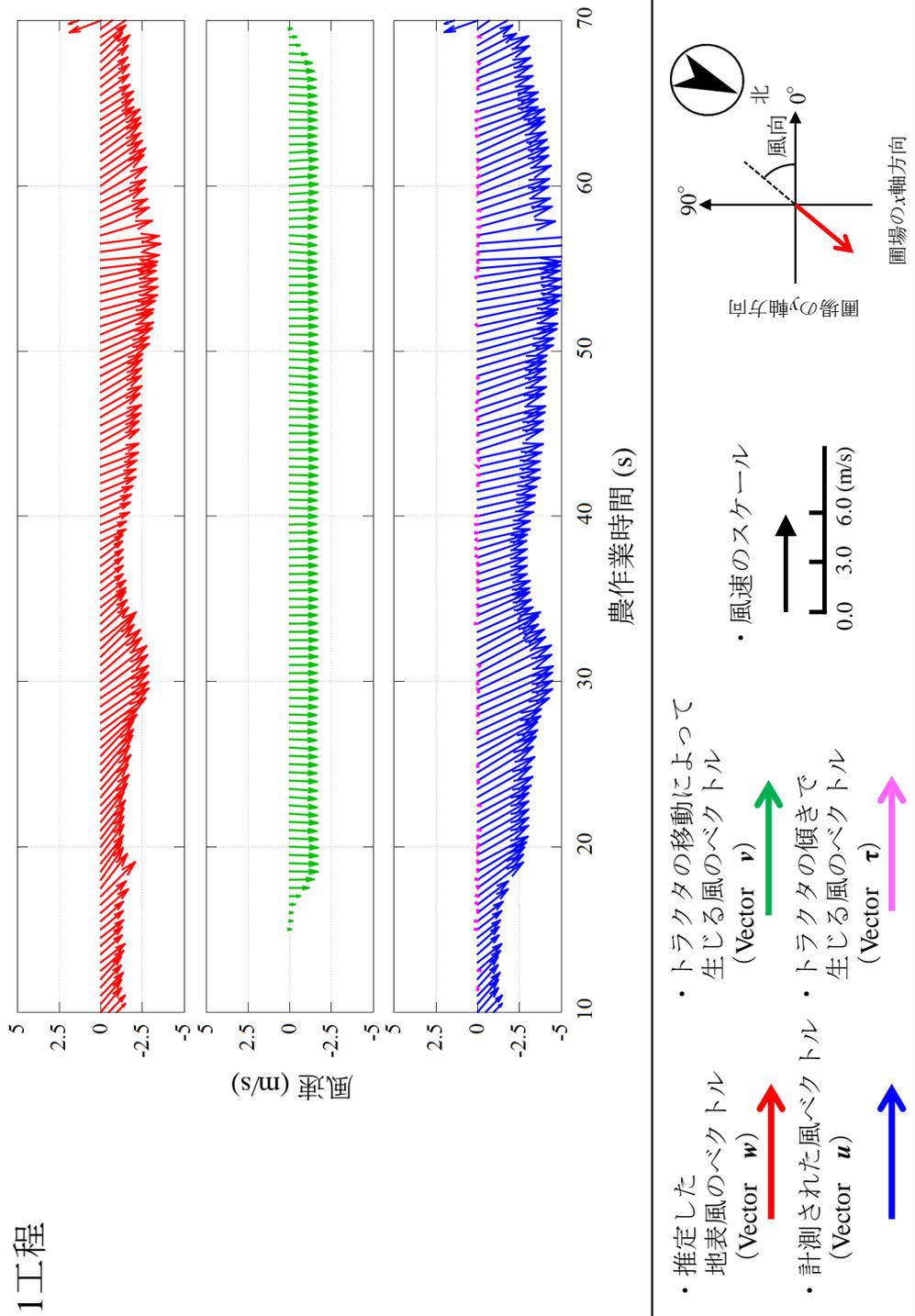


図 5-10 第1工程で水平風の推定に用いた風のベクトル

第2工程

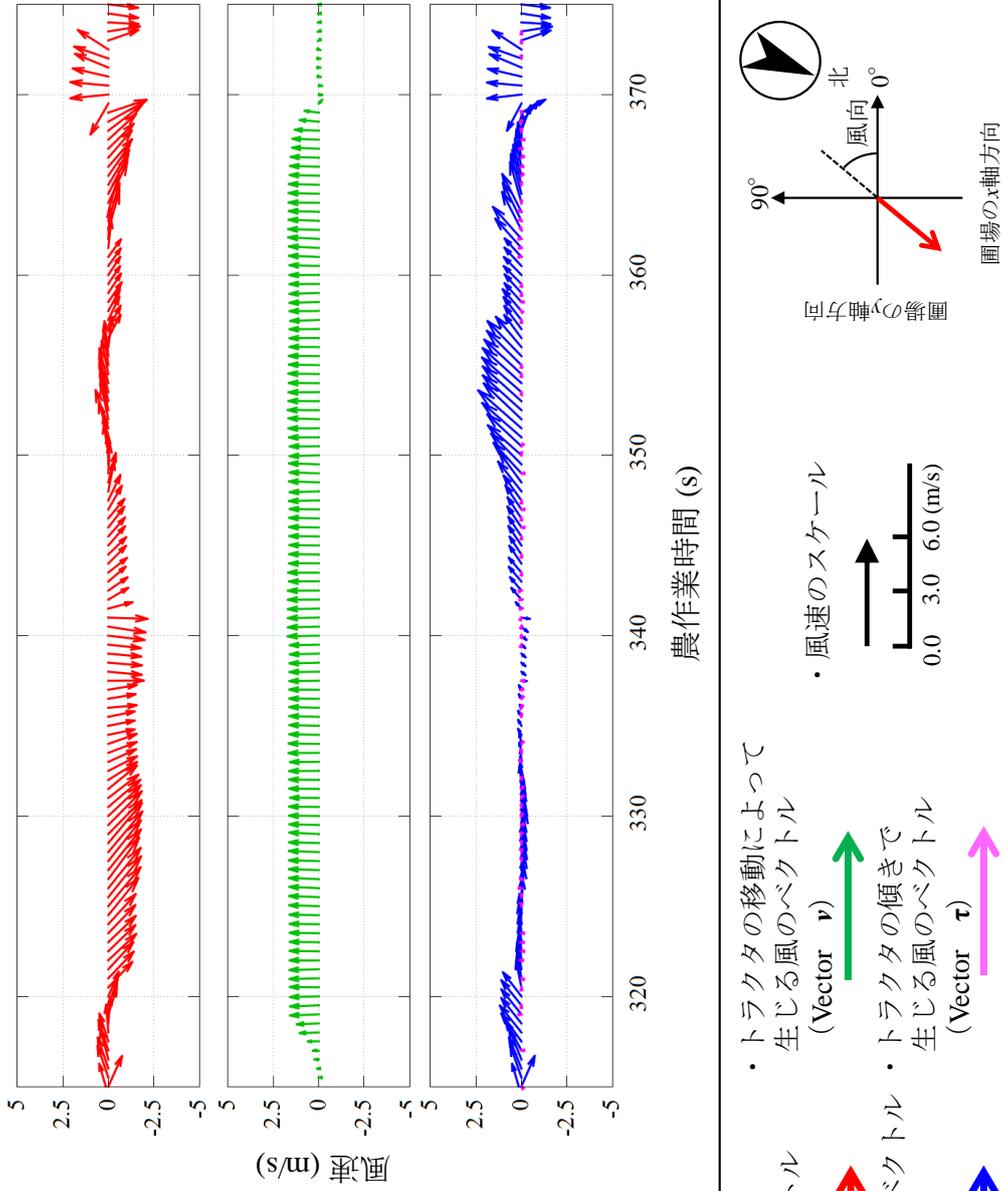


図 5-11 第 2 工程で水平風の推定に用いた風のベクトル

第3工程

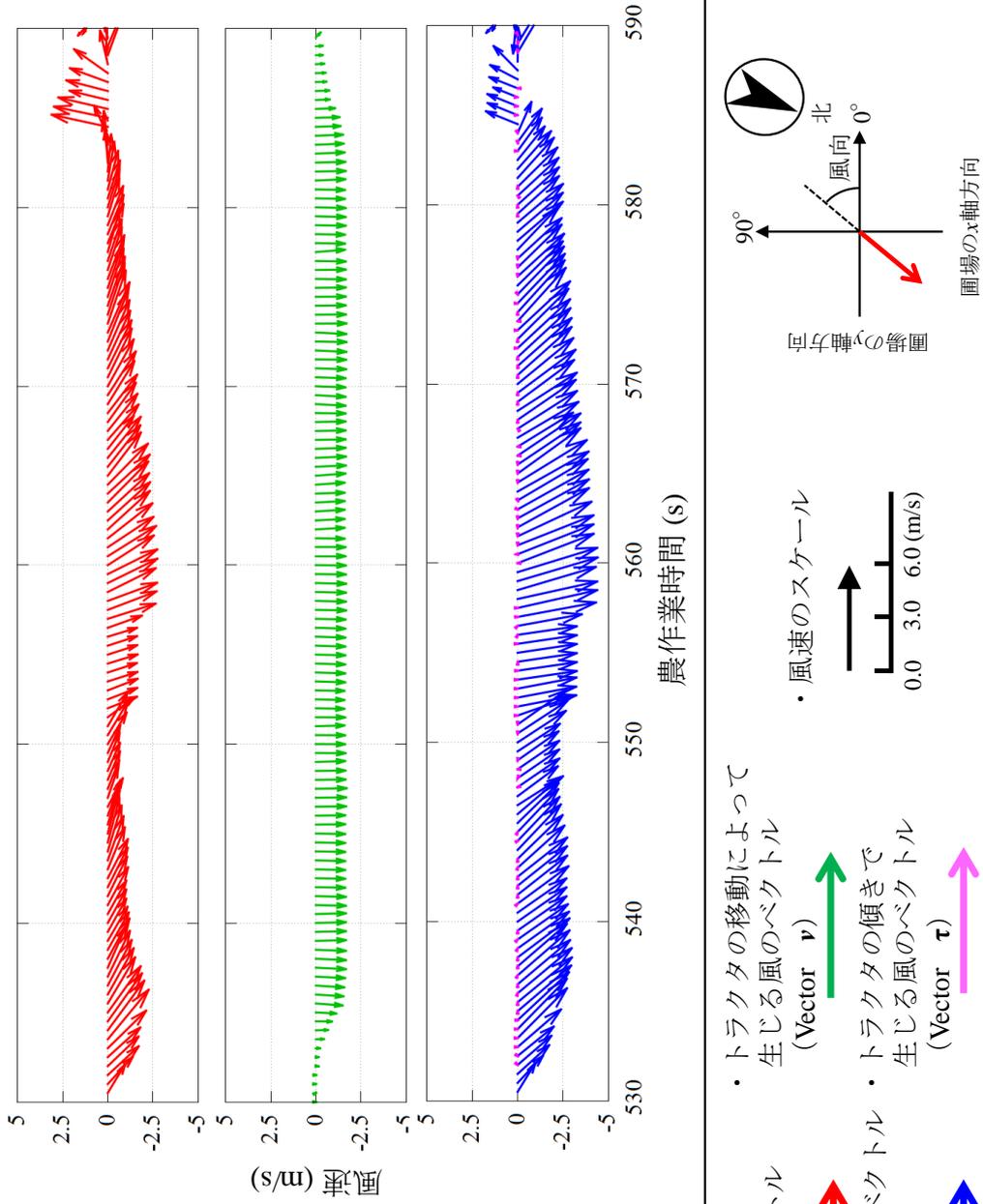


図 5-12 第3工程で水平風の推定に用いた風のベクトル

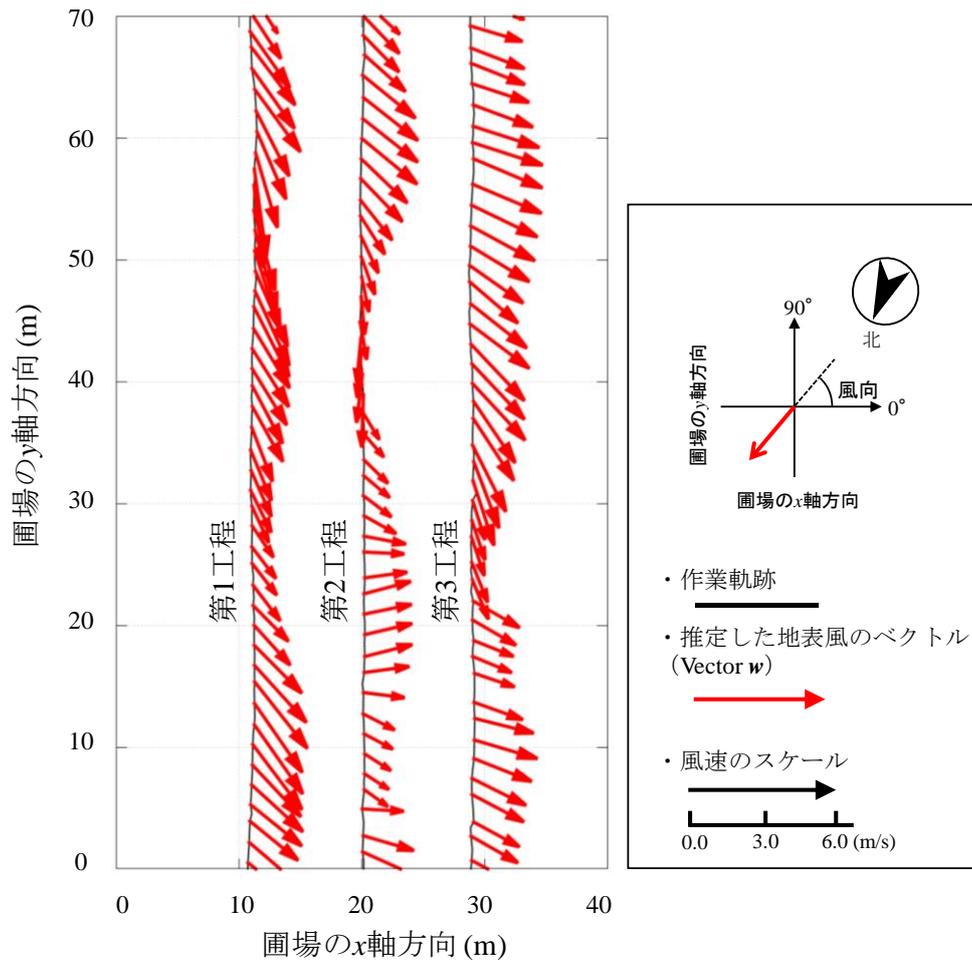


図 5-13 圃場内で変化する推定された水平風



図 5-14 実証実験中のドリフトの様子

5.4.3 散布量分布のシミュレーション結果の評価

図 5-15 は前述の方法で求めた水平風とドリフトパターンを利用した散布量分布のシミュレーション結果と感水紙を利用して求めた同時刻の同一圃場の散布量分布を示す。シミュレーションの値の最大値は実証実験で計測された被覆面積率の最大値に合わせて 100% としその分布特性を比較して評価した。

圃場の x 軸と y 軸を基準面として z 軸方向に被覆面積率を示した圃場の散布量分布を図 5-15 (a) に示す。全体的に分布は不均一であり、トラクタ付近の水平風の計算結果の影響を受けて偏りがあることがうかがえる。特に、 y 軸の 0.0 ~ 40.0 m の領域には特徴的な 2 つのピーク値が現れている。これは、ピーク値付近で見られる水平風の風向と風速の著しい変化が原因と考えられる。一方、図 5-15 (b) に示す散布量分布のシミュレーション結果には、 y 軸の 10.0 ~ 40.0 m の領域で図 5-15 (a) の特徴と似た散布量分布が得られた。また、図 5-16 は両方の散布量分布の関係性を示し、実際の計測した散布量分布とシミュレーションの散布量分布の関係を 80 点ある計測点について単回帰分析した結果、相関係数が 0.79 となり高い相関を示した。しかし、両方の分布において、 y 軸の 40.0 ~ 70.0 m の領域ではシミュレーション結果が実際の分布と異なることから、精密なシミュレーション結果を得るためには、より細かい精度の風速に対するドリフトパターンを適応することや、水平風を水平方向だけでなく 3 次元空間で求めるような対策が必要であると考えられる。

本章で提案したシミュレーションでは、地面に水平な風を推定してアルゴリズムに適応することで、実際に計測した散布量分布の特徴を捉えることができた。したがって、本研究の手法は圃場内の変動する水平風を推定し散布分布をある程度シミュレーションすることは可能であり、トラクタの農作業情報を農薬散布量分布に応用し、食の安全安心に寄与する分析アプリケーションに応用

できることを示唆することができた。このアプリケーションは1回の防除作業ごとに散布分布のシミュレーションを算出することができるため、開発したクラウドシステムで管理し、収穫までにその分布データを統合することで、収穫前に危険な領域を事前に把握することができる。

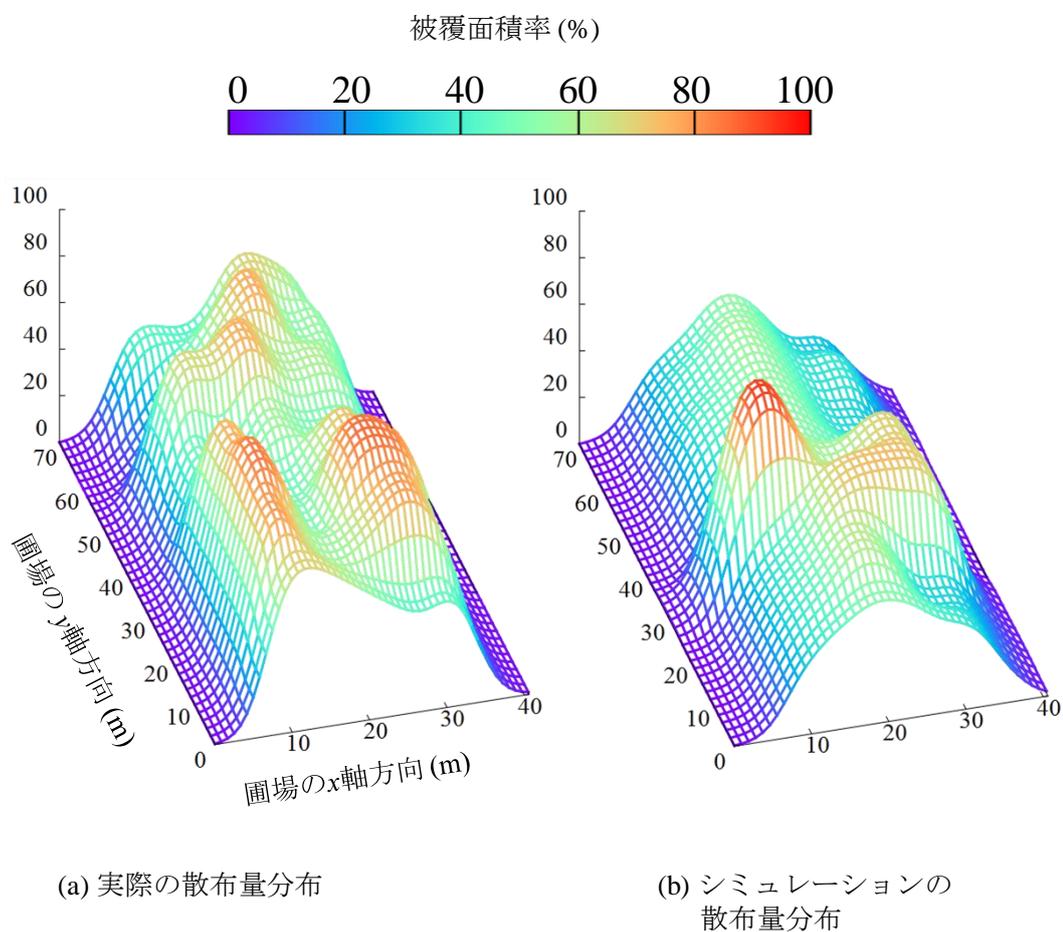


図 5-15 実際の圃場内の散布量分布とシミュレーション結果の比較

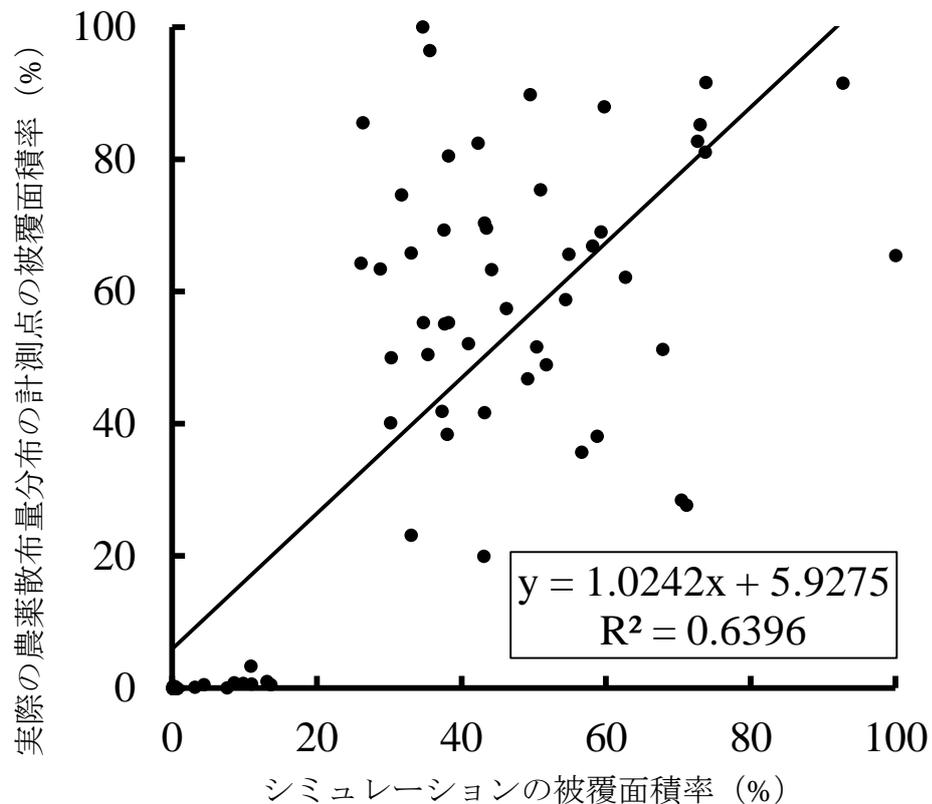


図 5-16 実際の圃場内の散布量分布とシミュレーション結果の相関図

5.5 本章のまとめ

本章では、農作業情報の有効活用のために第4章で示した圃場内の農薬散布量分布のシミュレーションを実際の圃場実験で検証することを目的とした。

- 1) シミュレーション結果を評価するために、農作業情報記録システムによる実際の防除作業の記録と同時に、実験圃場内に感水紙を80点設置し、被覆面積率を計測して圃場内の散布量分布を求めた。実験は有効散布幅9.0mの直装式ブームスプレーヤを3工程往復させた。評価のためにまた、被覆面

積率が 100%を超えないように散布量を 200 L/ha の設定で散布した。

- 2) 記録する農作業情報は、シミュレーション結果にドリフトのみの影響を反映させるために、二重散布や作業速度の変動による散布量分布が起きないようにあらかじめ計画した間隔で走行させた。また、圃場の土壌は実験前に鎮圧作業をしたため、算出された機体の傾きによって生じる風は 0~0.1 m/s と極めて微小であり、水平風の推定に影響を及ぼさなかった。
- 3) 計測した農作業情報から算出した水平風の結果から、圃場には一様でない水平風が作業工程ごとに生じる様子が推定された。3 工程の散布作業時に圃場の座標系を基準に最大で 100°の風向、1.1~3.6 m/s の風速の変化があり、散布時に平均で 300°の風向の変化が生じており、作業方向に対して横風が生じているため、ドリフトの影響が大きくなると予測された。
- 4) 散布量分布のシミュレーション結果と、実際に計測された圃場の散布量分布を比較すると、2 つある散布量分布のピーク値の特徴は一致しており、農作業情報からある程度圃場内の散布量分布をシミュレーションすることが可能である。両方の散布量分布の関係性を示すために、実際の計測した散布量分布とシミュレーションの散布量分布の関係を 80 点ある計測点について単回帰分析した結果、相関係数が 0.79 となり高い相関を示した。

以上のように、農作業情報を有効活用するために提案したアルゴリズムは基本的な作業データと気象データを組み合わせることで、これまで可視化されてこなかった圃場内の散布分布の推定と可視化を実現した。開発したクラウドシステムでこのシミュレーション結果を管理することで、収穫までに累積した散

布量分布を統合し、収穫前に危険な領域を事前に把握することができる。このようなクラウドシステムを用いたシステムは、農作業情報を有効活用することによって食の安全と消費者に安全な作物を届けることができる。

第6章 総括

本研究は、トラクタを利用して得られる農作業情報を対象に、トラクタ作業のデータを取得するシステムと専用端末の開発を含めた一連のクラウドシステムの開発とそのシステムを用いた具体的な活用方法を提案する研究である。本研究によって得られた主要な結果は各章ごとに以下のようにまとめることができる。

6.1 農作業情報クラウドシステムの構築（第2章）

クラウドコンピューティングを用いたシステムの概要とクラウドコンピューティングの利点を説明して大規模農業への応用を示し、それを実現するためのシステムの構成と役割について提案した。また、NISTが定めるクラウドコンピューティングの定義を基に本研究で実験を行うシステムの構成やトラクタを用いた農作業情報の管理に応用するための利用形態を論じた。

6.2 トラクタ用フィールドコンピュータと

農作業情報記録システムの開発（第3章）

本章では、農作業情報を取得するために、トラクタキャビン内で利用するための総合的な情報端末であるトラクタ用フィールドコンピュータ（FC）と、トラクタに取り付けて作業データを記録する農作業情報記録システムを開発した。トラクタを利用する大規模農業では、日常の生活と異なる環境で端末が使用される。そこで、トラクタ農作業に適した入力インターフェースの設計を考慮して試作機の製作を行った。また、農業関係者へのアンケート調査によって、農作業端末に求められる要件を基に、試作機の評価を繰り返し行い要求仕様に近い端末の開発を行った。さらに、トラクタに取り付けた ECU によって、トラク

タと作業機の作業データを取得する記録システムを構築した。

- 1) 農業関係者を対象に2回のアンケート調査を実施した結果、FCを用いた農作業情報の記録やクラウドによる農作業情報の管理を導入することに前向きであった。また、入力インターフェースの要求仕様に基づき、Windows OSを搭載した10.4インチのタッチパネル、6つの機能ボタン、ポインティングデバイスを組み込んだ試作3号機を開発した。その外形寸法は、高さ207mm、幅300mm、厚さ35mmで重さ1.8kgである。
- 2) 農作業情報記録システムは、トラクタと作業機に取り付ける複数のECUから構成され、それぞれのECUは種々のセンサが取り付けられており、作業状態を計測できる。開発したシステムはDGPSと姿勢センサを取り付けたトラクタECUと防除機の散布状態を検出するブームスプレーヤECUから作業データを取得する。システムはCANによる通信方法を採用したため、ECUを追加することができる。取得したデータはデータ送信ECUがFCにBluetoothの無線通信によって送信する構造とし、トラクタキャビン内の省線化を実現した。
- 3) FCと農作業情報記録システムを利用して記録した防除作業のデータを第2章で開発したサーバにアップロードすることで、農作業情報がデータベース化され、サーバアプリケーションの選択する項目から防除作業の二重散布や作業速をWebブラウザ上で可視化できることを確認した。

以上のように、開発したFCと農作業情報記録システムを利用して、農作業情報をクラウドコンピューティングによってサーバに蓄積して管理する基礎シ

システムを構築することができた。

6.3 防除作業を対象とした作業データの活用例（第4章）

開発した農作業情報クラウドシステムを利用して防除作業を対象に，トラクタ付近で生じる水平風が原因で発生する農薬飛散，すなわちドリフトの影響を考慮した圃場内の散布量分布をシミュレーションするアルゴリズムを開発して提案した。

- 1) シミュレーションのアルゴリズムは，作業軌跡や散布状態を示すデータなどの基本的な作業情報に加え，推定したトラクタ付近で生じる水平風とドリフトパターンのデータを利用した。圃場内の散布量分布シミュレーションは，推定した水平風に対応するノズル1個のドリフトパターンをブーム全体のノズルに適応させることで求めた。
- 2) ドリフトに影響を及ぼすトラクタ付近に生じる水平風の推定は，トラクタキャビンの屋根の上に取り付けた超音波風速計を利用した。取得した風のデータは，固定設置する計測値と異なりトラクタ移動によって生じる車速のベクトルと機体の傾きの変化によって生じる移動のベクトルを含んでいるため，ベクトルの合成によってそれらの外乱を取り除き圃場内の水平風を推定した。
- 3) ドリフトをシミュレーションで表現するために，エッフェル型風洞内で風速1, 2, 3, 4 m/sの条件でノズルの散布量分布に相当する被覆面積率を感水紙で測定し，ドリフトを含めた落下量分布を求めた。計測には開発した筒状の落下量分布計測装置を用い，風洞内で風によって飛散する噴霧粒子の

分布を計測し、ドリフトパターンを作成した。

- 4) シミュレーション結果を確認するために、任意で設定した圃場内で、有効散布幅 9.0 m のブームスプレーヤを 3 工程往復させて防除作業を行い、シミュレーションのアルゴリズムの検証実験を行った。水平風が 0 m/s と風速 3 m/s の条件でシミュレーションを行った結果、アルゴリズムに用いたドリフトパターンが圃場内の散布量分布に影響を与え、散布量分布が風下側に移動していることを確認できた。また、サーバアプリケーションにアルゴリズムを適用しドリフトによる散布量分布の変化を確認することができた。

以上のように、本研究では風洞で計測したドリフトパターンを用いた簡易なアルゴリズムによって、トラクタに取り付けた 3 次元風速計と農作業情報から作業時のトラクタ付近の水平風を推定し、ドリフトを考慮した圃場内の散布量分布をシミュレーションする方法を提案し検証した。

6.4 シミュレーション結果の実証実験と評価（第 5 章）

本章では、農作業情報の有効活用のために第 4 章で示した圃場内の農薬散布量分布のシミュレーションを実際の圃場実験で検証することを目的とした。

- 1) シミュレーション結果を評価するために、農作業情報記録システムによる実際の防除作業の記録と同時に、実験圃場内に感水紙を 80 点設置し、被覆面積率を計測して圃場内の散布量分布を求めた。実験は有効散布幅 9.0 m のブームスプレーヤを 3 工程往復させた。評価のためにまた、被覆面積率が 100% を超えないように散布量を 200 L/ha の設定で散布した。

- 2) 記録する作業データは、シミュレーション結果にドリフトのみの影響を反映させるために、二重散布や作業速度の変動による散布量分布が起きないようにあらかじめ計画した間隔で走行させた。また、圃場の土壌は実験前に鎮圧作業をしたため、算出された機体の傾きによって生じる風は 0~0.1 m/s と極めて微小であり、水平風の推定に影響を及ぼさなかった。
- 3) 計測した農作業情報から算出した水平風の結果から、圃場には一様でない水平風が作業工程ごとに生じる様子が推定された。3 工程の散布作業時に圃場の座標系を基準に最大で 100°の風向、1.1~3.6 m/s の風速の変化があり、また散布時に平均で 300°の風向の変化が生じ、作業方向に対して横風が生じているため、ドリフトの影響が大きくなると予測された。
- 4) 散布量分布のシミュレーション結果と、実際に計測された圃場の散布量分布を比較すると、2 つある散布量分布のピーク値の特徴は一致しており、農作業情報からある程度圃場内の散布量分布をシミュレーションすることは可能であった。両方の散布量分布の関連性を求めるために、実際に計測した散布量分布とシミュレーションの散布量分布の関係を 80 点ある計測点について単回帰分析を行った結果、相関係数が 0.79 となり高い相関を示した。

以上のように、農作業情報を有効活用するために提案したアルゴリズムは基本的な作業データと気象データを組み合わせることで、これまで可視化されてこなかった圃場内の散布分布の推定と可視化を実現した。開発したクラウドシステムでこのシミュレーション結果を管理することで、収穫までに累積した散布量分布を統合し、収穫前に危険な領域を事前に把握することができる。この

ようなクラウドシステムを用いたシステムは、農作業情報を有効活用することによって食の安全と消費者に安全な作物を届けることができるなど、今後大いに期待される技術である。

6.5 結言

本研究では、開発した FC によってトラクタ作業の状態を計測し、その情報を農作業クラウドシステムによって蓄積・管理・分析を行い農業者に可視化した情報を提供する基本的なシステムを構築することができた。このように、クラウドコンピューティングを利用した本システムは、農業経営に直接影響を与えない農作業情報を ICT の情報通信技術によって分析することで、営農のための意思決定や食の安心安全などに利用しようとする新たな価値を生み出す試みである。また、大量の農作業情報を一元化して管理することができるため、今後予想される耕地面積の拡大に伴う情報量の増大や輪作における年次を超えた栽培管理、営農のための意思決定、食の安全安心への応用などへの利用が大いに期待できる。

最後に、本論文で提案したシステムが大規模化する農業に利用され、さらに生産性を高めることにつながれば幸いである。

謝辞

本研究論文は、2013年4月から2016年3月まで、博士課程の学位論文として、岩手大学大学院連合農学研究科生物環境科学専攻（帯広畜産大学）博士課程の在学中に行われたものである。

本研究の遂行と論文をまとめるにあたり、帯広畜産大学畜産学部地域環境科学研究部門地域環境工学分野の佐藤禎稔教授には主指導教員として、研究計画から研究方法、圃場調査、分析方法および本研究論文の作成まで、全般にわたり終始懇切丁寧にご指導をいただき、心から深甚な感謝の意を申し上げます。佐藤先生には専門分野の異なる学部からの入学でありながらも大学院から5年の間お世話になり、終始かわらぬ暖かい御指導とご鞭撻を賜りました。研究生活の中で、研究者として、またひとりの人間としての生き方についても多くのことを学ばせていただき、貴重な財産となりました。

本研究の研究指導では、帯広畜産大学畜産学部地域環境科学研究部門地域環境工学分野の岸本正教授、岩手大学農学部の武田純一教授に研究計画や研究の進捗状況に関してご助言をいただきました。また、本論文の校閲に関しては、山形大学農学部の片平光彦准教授のご助言をいただき感謝申し上げる次第です。

研究資金は、平成26年度岩手連大研究科長裁量経費学生研究プロジェクト経費と平成27年度農業食料工学会北海道支部新家憲基金企画若手研究支援に採択していただき研究活動を支援していただきました。

実験道具の設計と製作に対してご指導いただいた帯広畜産大学非常勤職員の飯島和司氏に心から感謝します。学術的な協力者として、研究論文の英語校正や技術的な問題に共に協力して解決してくれた留学生の呉旭輝氏に感謝を申し上げます。その他、農業用端末の外装デザインやWebページの実装を手伝ってくれた宮本育美さんと平賀絢葉さん、その他の学生には研究の実験の補助をし

ていただきました。

末尾ながら，本研究が関係各位の多大なるご支援によってここにあることを記して，改めて心より感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 農林水産省大臣官房統計部，2010年世界農林業センサス第1巻北海道統計書，2013.
- 2) 農林水産省生産局農産部技術普及課，農業生産工程管理（GAP）の共通基盤に関するガイドライン，2012，
http://www.maff.go.jp/j/seisan/gizyutu/gap/guideline/pdf/guide_line_120306.pdf
(2015年12月10日参照).
- 3) 若林 勝史，田口 光弘，GAP導入農場における農場管理の実態と経営改善効果：GAP導入による経営改善効果に関するアンケート調査結果（雇用型経営における経営管理の取り組みと展開），北海道農業研究センター農業経営研究109，1-25，2013.
- 4) GLOBALG.A.P.，http://www.globalgap.org/uk_en/ (2015年12月10日参照).
- 5) JGAP，<http://jgap.jp/> (2015年12月10日参照).
- 6) 農林水産省生産局農産部技術普及課，農業生産工程管理（GAP）について，
http://www.maff.go.jp/j/seisan/gizyutu/gap/g_summary/pdf/gap_ni_tsuite.pdf
(2015年12月10日参照).
- 7) 農林水産省大臣官房政策課，農業技術の基本指針(平成27年改定)，5-6，2015，
http://www.maff.go.jp/j/kanbo/kihyo03/gityo/g_kihon_sisin/pdf/00_zenbun27.pdf
(2015年12月10日参照).
- 8) 農林水産省大臣官房統計部生産流通消費統計課，平成23年耕地及び作付面積統計，2012.
- 9) 富士通株式会社，akisai，<http://jp.fujitsu.com/solutions/cloud/agri/> (2015年12月10日参照).

- 10) ソリマチ, facefarm, <http://facefarm.jp/> (2015年12月10日参照).
- 11) 南石 晃明, 松下 秀介, 池田 正弘, 営農計画のための農業技術体系データベースの試作, 農業情報研究 12(2), 133-151, 2003.
- 12) 南石 晃明, 藤井 吉隆, 江添 俊明, 営農可視化システム FVS-PC Viewer の開発—農業技術・技能の伝承支援—, 農業情報研究 22(4), 201-211, 2013.
- 13) 南石 晃明, 菅原 幸治, 菊地 宏之, 農薬適正使用判定サーバシステムの開発, 農業情報研究 13(4), 301-315, 2004.
- 14) 小林 隆, 菅野 洋光, 神田 英司, Google マップによる気象予測データを用いた東北地方の水稲気象被害軽減システムの開発, 植物防疫 64, 794-800, 2010.
- 15) 林 和信, 農業機械の稼働情報モニタリング及び FARMS を利用した情報管理技術, 農業機械学会誌 75(4), 231-235, 2013.
- 16) 吉田智一, 高橋英博, 寺元郁博, 圃場地図ベース作業計画管理ソフトの開発, 農業情報研究 18(4), 187-198, 2009.
- 17) 大嶺 政朗, 農作業情報記録装置 Digi Farm Logger の開発 GPS や IT を活用して農作業の「見える化」を実現, 機械化農業 (3116), 23-27, 2011.
- 18) 帖佐 直, 大嶺 政朗, 細川 寿, 荒木 幹, センシング結果にGPS情報を自動的に付加する計測補助装置, 農作業研究 40(2), 97-103, 2005.
- 19) ISO11738, Tractors and machinery for agriculture and forestry – Serial control and communications data network – Part 6: Virtual terminal.
- 20) Santosh K. Pitla, Nannan Lin, Scott A. Shearer, Joe D. Luck, Use of controller area network (CAN) data to determine field efficiencies of agricultural machinery, Applied Engineering in Agriculture 30(6), 829-39, 2014.
- 21) 原令幸, 竹中秀行, 関口建二, 遠藤雅博, 施肥マップに基づく可変施肥機の開発, 農業機械学会誌, 66(1), 98-103, 2004.

- 22) Shen B., Satow T., Maeda S., Evaluation of travel tracks of tractor-drawn manure spreaders using RTK-GPS, *Engineering in Agriculture, Environ. and Food* 4(4), 112-8, 2011.
- 23) 村上 則幸, 安心・安全な農産物生産を支援する農作業の記録システム, *農業機械学会誌* 68 (2), 17-19, 2006.
- 24) 大土 井克明, 笈田 昭, GA による農作業計画における適応度について, *農業機械学会誌* 63 (3) , 84-89, 2001.
- 25) 柴田 秀己, 芽室町における小麦生育情報を利用した小麦適期収穫支援システムの活用, *農作業研究* 42, 13-16, 2007.
- 26) 林 和信, GPS ガイダンス機能と統合された肥料の流動性に基づく施肥量制御機能を備えたブロードキャスト, *農業機械学会誌* 74(1), 26-28, 2012.
- 27) 飯田 訓久, 小麦施肥播種機の可変量制御, *農業機械学会誌* 71(4), 90-96, 2009.
- 28) 神谷 貴広 , 町田 武美, GPS を利用した農作業記録の自動化に関する研究 (第 2 報) :—ファジィ推論による作業同定—, *農業情報研究* 11(3), 263-271, 2002.
- 29) 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), 1-12, 2003.
- 30) 辻澤 隆彦, フィールドサーバとウェアラブル端末による農作業情報共有の試み, *農業情報研究* 23(1), 38-48, 2014.
- 31) 栗田 春奈 , 本條 均 , 高橋 行継 , 吉本 要 , 下村 祐一, 農業生産現場におけるタブレット端末導入事例の研究—JA たいせつにおける取り組みとアンケート調査から—, *農業情報研究* 22(3), 183-192, 2013.
- 32) 北海道農政部技術普及課, 農業用 GPS ガイダンスシステム等の出荷台数の推移, <http://www.pref.hokkaido.lg.jp/ns/gjf/jisedai/syukka.htm> (2015 年 12 月 10

- 日参照).
- 33) 日本農業機械工業会, トラクタと作業機間の通信用接続コネクタ, JAMMAS 0021-2012, 2012.
 - 34) 西脇 健太郎, 標準化通信・制御インターフェースのための NARO CAN BOARD, 農業機械学会誌 73(4), 224-226, 2011.
 - 35) 濱田安之, ISO11783 に準拠した ECU 用ソフトウェアライブラリの開発, 農業機械学会誌 73(4), 227-229, 2011.
 - 36) 農研機構, 既存のトラクタを最新の共通通信技術に対応させるための後付キット,
https://www.naro.affrc.go.jp/project/results/laboratory/harc/2014/14_047.html
(2015 年 12 月 10 日参照).
 - 37) 佐藤 禎稔. 宮本 啓二. 松田 清明, 十勝地方の大規模畑作地帯における防除作業の実態調査, 農作業研究 37(3), 153-160, 2002.
 - 38) 厚生労働省医薬食品局安全部基準審査課, 食品に残留する農薬などに関する新しい精度について, <http://www.mhlw.go.jp/topics/bukyoku/iyaku/syoku-anzen/zanryu2/dl/060516-1.pdf> (2015 年 12 月 10 日参照).
 - 39) 佐藤 禎稔, 宮本 啓二, 松田 清明, ブームスプレーヤの噴霧高さの実態, 帯広畜産大学学術研究報告. 第 I 部 17(3), 289-297, 1991.
 - 40) 佐藤 禎稔, 烏雲 宝力高, 弘中 和憲, 前多 修二, ブームスプレーヤ用ノズルの均一散布とドリフト特性, 農業機械学会誌 70, 119-120, 2008.
 - 41) 佐藤 禎稔, 宮本 啓二, 松田 清明, ムディヤンセーゲ ランバンダ, 噴霧ノズルの粒径とドリフト特性, 帯広畜産大学学術研究報告 自然科学 18(2), 97-104, 1993.
 - 42) D. Nuyttensa, K. Baetensb, M. De Schampheleirec, B. Soncka, Effect of nozzle type, size and pressure on spray droplet characteristics, Biosystems Engineering,

- 97(3), 333-345, 2007.
- 43) D. Nuyttensa, W. A. Taylorb, M. De Schamphelirec, P. Verbovend, D. Dekeysera, Influence of nozzle type and size on drift potential by means of different wind tunnel evaluation methods, *Biosystems Engineering* 103(3), 271-280, 2009.
- 44) 原 令幸, 竹中秀行, 野口伸, 石井一暢, ブームスプレーヤによる無人防除作業システムの開発, *農業機械学会誌* 68(2), 88-93, 2006.
- 45) 東 恵一, ブームスプレーヤ用ドリフト低減型ノズルの開発と普及, *農林水産技術研究ジャーナル* 35(4), 28-30, 2012.
- 46) 近藤純正, *大気境界層の科学*, 東京堂出版, 1982.
- 47) 近藤純正, *身近な気象の科学*, 東京堂出版, 1982.
- 48) FAO, *Guidelines on good practice for aerial application of pesticides*, 2001.
- 49) 気象庁, *気象観測の手引き*,
http://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/kansoku_guide/hpc.html.
- 50) 黒瀬 義孝, 大場 和彦, 丸山 篤志, 超音波風向風速計と GPS を用いた風の移動観測法, *農業気象* 58 (3), 147-156, 2002.
- 51) 独立行政法人 情報処理推進機構, NIST によるクラウドコンピューティングの定義, <https://www.ipa.go.jp/files/000025366.pdf> (2015年12月10日参照).
- 52) Atsuru Fujimoto, Tadatoshi Satow, Tadashi Kishimoto, Development of a mobile farm field computer to record tractor operations for cloud computing, *Proceedings of the 7th International Symposium on Machinery and Mechatronics for Agricultural and Biosystems Engineering*, 25-30, 2014.
- 53) 藤本与, 佐藤禎稔, 岸本正, 農業情報クラウドシステムのためのトラクタ用農作業フィールドコンピュータの開発, *農業情報研究* 24(2), 2015.
- 54) Tadatoshi Satow, Xue Liu, Takayuki Takeuchi, Atsuru Fujimoto, Proposal of a 3D-CAD and CAE utilization for development of high speed sugar beet topper,

Proceedings of the 7th International Symposium on Machinery and Mechatronics for Agricultural and Biosystems Engineering 411-416,2014.

- 55) F. Lebeau, A. Verstraete, C. Stainier, M.-F. Destain, RTDrift: A real time model for estimating spray drift from ground applications, *Computers and Electronics in Agriculture* 77(2), 161-174, 2011.
- 56) 窪田 陽介 , 臼井 善彦 , 林 和信 , 水上 智道 , 宮原 佳彦 , 大里 大 , 中野 和弘, 感水紙の薬液付着液斑被覆面積率を簡易かつ高精度に測定する画像処理ソフトウェアの開発, *農業情報研究* 19(2), 16-22, 2010.
- 57) 角川 修 , 深山 大介 , 荒木 琢也, 感水紙を用いた茶園における農薬散布時のドリフトの評価, *茶業研究報告* 2008(106), 21-38, 2008.

Study on the development of farming information cloud-based computing system and field computer for tractor operations

Atsuru Fujimoto

Summary

In large-scale farming, the amount of data that farmers must deal with has increased because the sizes of farms have expanded. Therefore, a system is required that can manage and analyze the data with information and communications technology (ICT). This study developed a field computer for tractor operations (FC) to collect the working data efficiently, as well as a farming information cloud-based system to manage it on a server. Furthermore, an application that can simulate spray distribution was developed to show an example of its utilization with the cloud-based system.

This paper consists of 6 chapters. Chapter 1 describes the research. Chapters 2 and 3 show how the developed system retrieves and stores the working data for the tractor and implements. In chapters 4 and 5, using the database on the server, we devise a mean of estimating the strength and direction of the wind that causes the spray drift. An algorithm was applied to the estimated wind data that simulated the spray distribution in a field using a boom sprayer in order to show the effective utilization of the working data. Finally, chapter 6 summarizes this study.

The main points are as follows.

Construction of cloud-based computing system for farming information

The developed system was constructed using the field computer (FC), farm work data recording system, and cloud server. The data flow can be divided into three cases. The first route is the acquisition of working data through a farm working data recording system, which is formed from several electrical control units (ECU). The second route is the storage of that working data. After the data is recorded in a comma-separated values (CSV) file in the application in the FC, the user sends it to the server via a web browser. The uploaded files are added to the database automatically by the server application. The third route is a cloud service. The working data in the database is selected by the user and extracted by a web application. A web browser is used to provide a service that is independent of the operating system and the terminal type.

There are several advantages in using cloud-based computing when dealing with the farm working data. The data is stored and analyzed on the server rather than the FC. For example, the amount of data that the FC gets is enormous when managing four crops rotations like those in Tokachi, Japan. It includes all the data, the one that are being analyzed and the one that are not being analyzed. Because the server analyzes the data rather than a FC doing it, the FC does not require high processing power.

Development of field computer for tractor operations and farm working data recording system

The FC is the most important part of the system. The role of the FC is to collect working data from the tractor and then send it to the server. It may be possible to access this cloud-based system on a tablet terminal, but most tablet bodies and interfaces are not sturdy enough for farm work. Because the farmer is working in various outdoor

environments, the limited functionality of a normal terminal makes such a device inappropriate for this work. Therefore, we have developed a dedicated terminal for farm work, specifically intended for use on a tractor.

Three prototypes were developed based on the results of a survey conducted for farmers and other relevant people in Hokkaido. The main input device is a 10.4 sq in touchscreen. The FC uses a resistive touchscreen instead of a capacitive touchscreen, allowing the terminal to be operated even when the user is wearing gloves. The touch panel can be operated intuitively, has high durability, and has a physical reaction that is lower than the tactile switch. A function switch module and pointing unit has been embedded in the FC. The hardware was designed with 3D-CAD and the exterior was fabricated using a 3D printer. The FC uses wireless technology to communicate with the outside device. Bluetooth is used to receive data from a network consisting of several ECUs. A wireless LAN is used to upload the working data to the server. The Operating System used on the terminal is Windows 7.

The sensor network for collecting the working data consists of several ECUs, which are connected to the controller area network bus. The tractor ECU obtains the direction of travel of the tractor, the number of the working pass, and the operating speed. A Data Send ECU collects all the working data and sends it to the FC via Bluetooth. There is no physical connection between the FC and the sensor network, thus providing an advantage where the system can be used without protection for wiring in the cab of the tractor. The Sprayer ECU acquires the data from a proximity sensor attached to the main valve of the boom sprayer.

Simulation of spray distribution in a field with a boom sprayer considering effects of wind

By effectively making use of the working data recorded with the agricultural cloud system, a spray distribution simulation was developed to estimate the surface wind around the sprayer and visualize the distribution map for a field. A boom sprayer is chosen as the target, because it is most often used in all of the implements and used widely on large-scale farms.

The wind, which is the main factor affecting spray drift, is calculated using data obtained with an ultrasonic anemometer installed on the roof of the cab of the tractor. An anemometer ECU was added to the farm working data recording system to acquire the wind data. The measured wind data includes the air flow caused by changes in the inclination and forward speed. Therefore, the wind vectors were calculated using data from a total station theodolite and an attitude sensor, and were removed from the wind measurements. The estimated wind speed is actually changing in the field every second. The vector of the wind is then applied to an algorithm that chose a drift pattern.

The drift pattern expresses the spray distribution for one nozzle, as measured using water-sensitive paper in a wind tunnel with a wind speed of 0 to 3 m/s. The simulation result has the same characteristics as the actual spray distribution map, as created using 80 sheets of water-sensitive paper in the farm field. Regarding the simulation results, the correlation coefficient with the measured results was a relatively high 0.79.

As stated above, the proposed cloud-based system, including the developed terminal and application, was constructed to utilize the working data effectively with a tractor and some implements. This was followed by a simulation of spray distribution with the system showing that the invisible sprayed performance can be visualized from the working data at any time without actually investigating the field. In particular, overlaying the map can support farmers to identify critical regions before harvesting.

Thus, this system may be expected to greatly enhance food safety and security.

附録 A

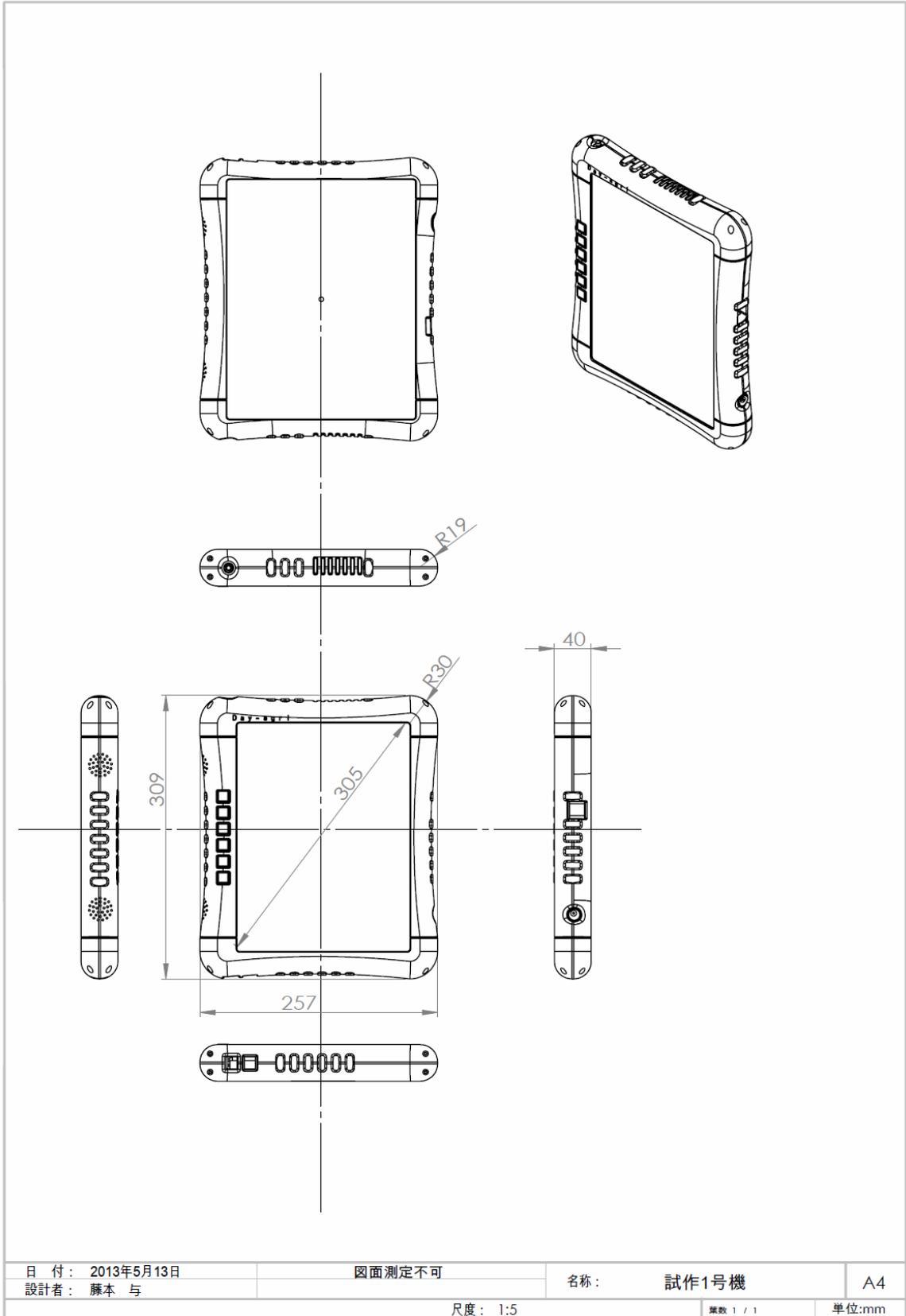
第 3 章で開発したトラクタ用フィールドコンピュータの設計図を示す。

附図 A-1 : FC 試作 1 号機の外寸,

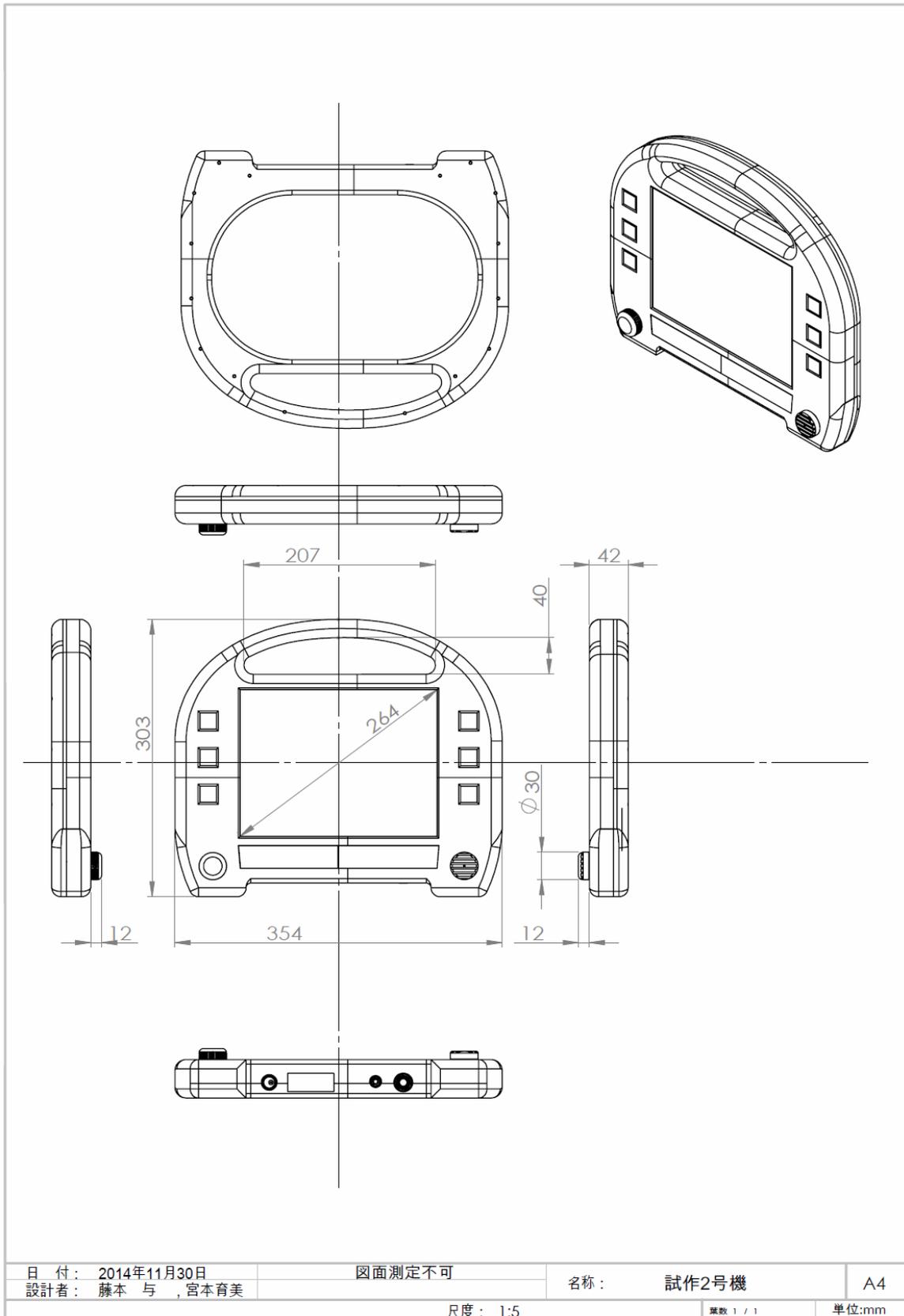
附図 A-2 : FC 試作 2 号機の外寸,

附図 A-3 : FC 試作 3 号機の外寸,

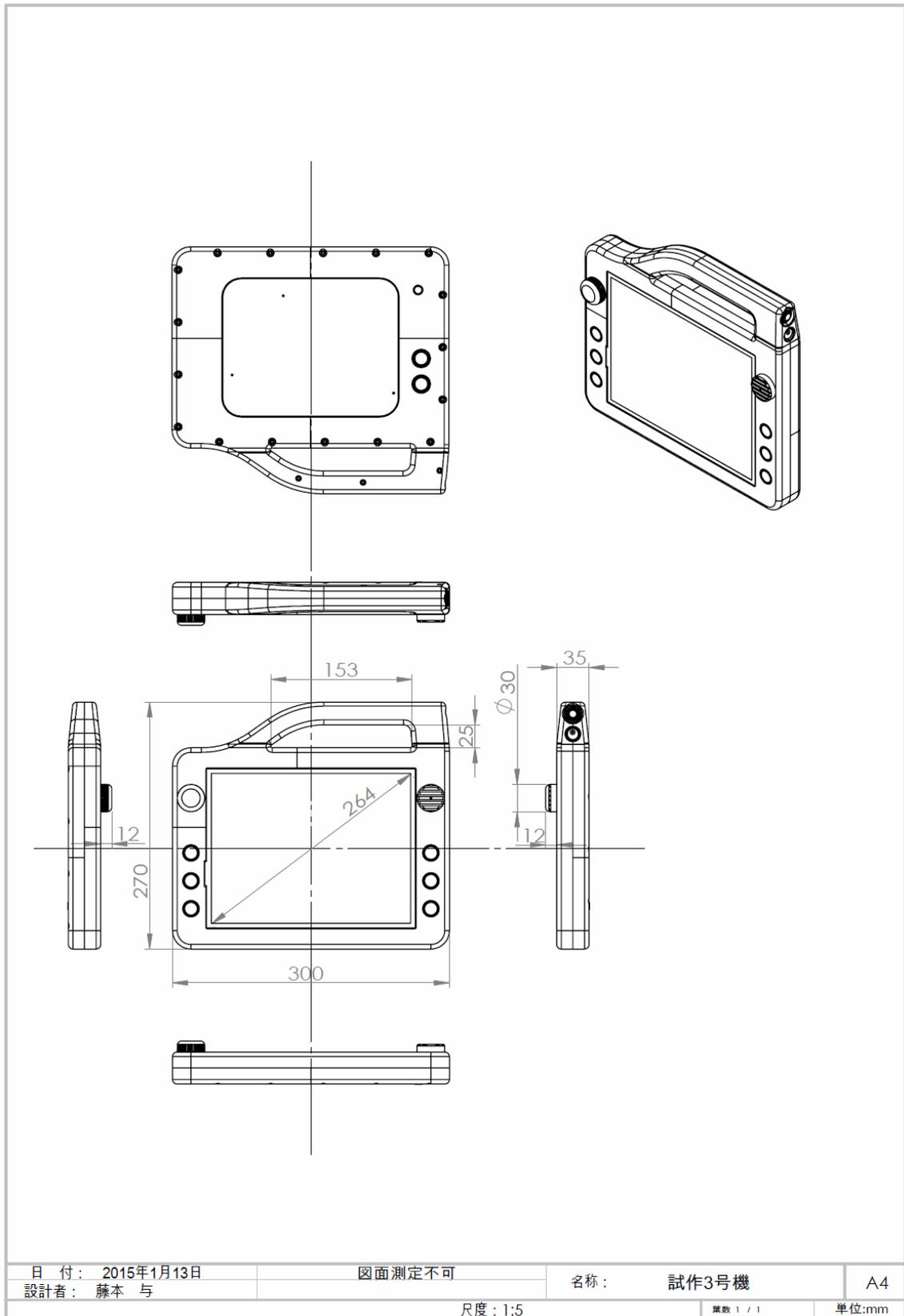
を示す。



附図 A-1 試作 1 号機の外形寸法



附図 A-1 試作 2 号機の外形寸法



附図 A-3 試作 3 号機の外形寸法

附録 B

第 3 章で開発したトラクタ用フィールドコンピュータの要求仕様調査の結果をグラフに示す。

附図 B-1 第 1 回アンケート調査 (回答者プロフィール),

附図 B-2 第 1 回アンケート調査 (設問 Q1~Q6),

附図 B-3 第 1 回アンケート調査 (設問 Q7~Q10),

附図 B-4 第 1 回アンケート調査 (設問 Q11~Q15),

附図 B-5 第 2 回アンケート調査 (回答者プロフィール, 設問 Q1~Q4),

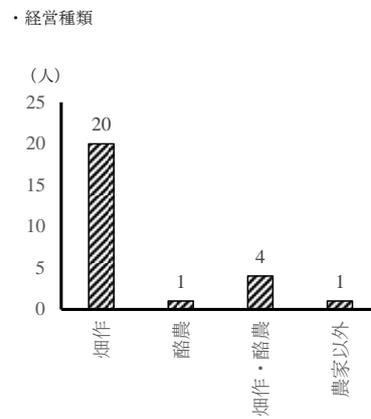
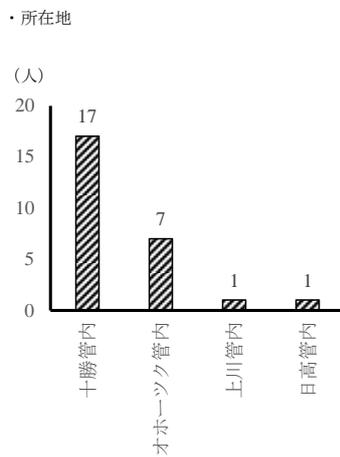
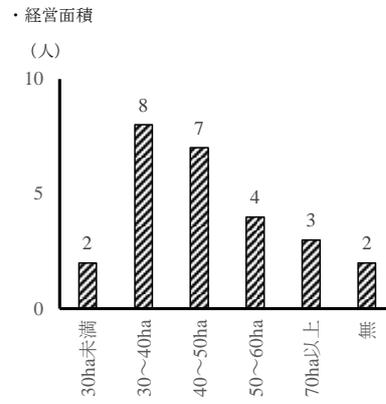
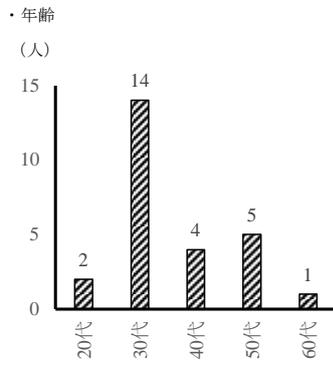
附図 B-6 第 2 回アンケート調査 (設問 Q5~Q10),

附図 B-7 第 2 回アンケート調査 (設問 Q11~Q16),

附図 B-8 第 2 回アンケート調査 (設問 Q17~Q22),

を示す。

第1回アンケート調査の結果（プロフィール）

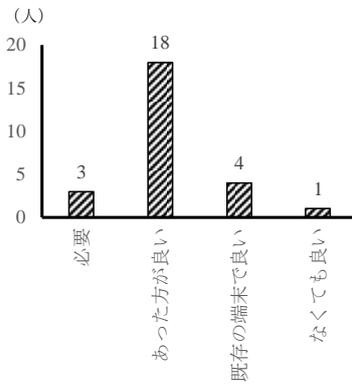


・性別
女性 0人, 男性 26人

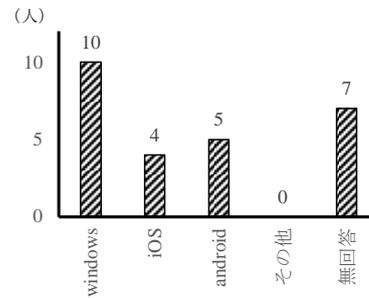
附図 B-1 第1回アンケート調査（回答者プロフィール）

第1回アンケート調査の結果（設問Q1～Q6）

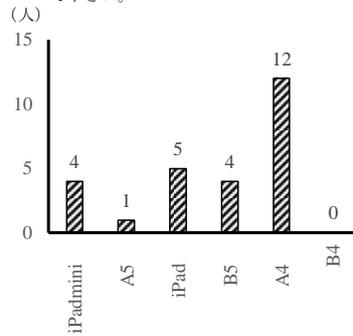
Q1. 農作業にフィールドコンピュータは必要だと思いますか？



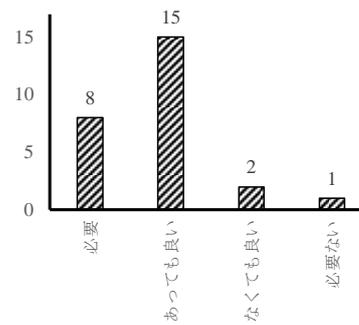
Q2. 農業用端末でどのOS（オペレーションシステム）が適していると思いますか？



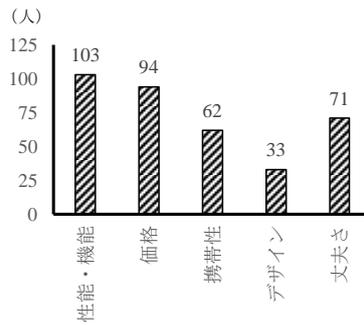
Q3. 農作業に適切だと思う端末の大きさを教えてください。



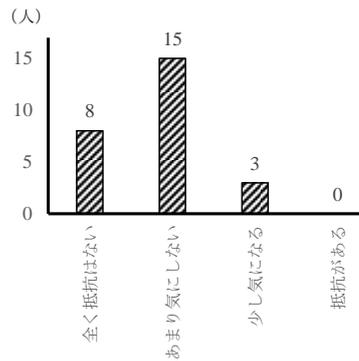
Q4. タッチパネルの他にボタンやジョイスティック等による操作方法は必要だと思いますか？



Q5. 農業用端末を導入する際に重視する項目に順番を付けてください（順に番号をご記入ください）。



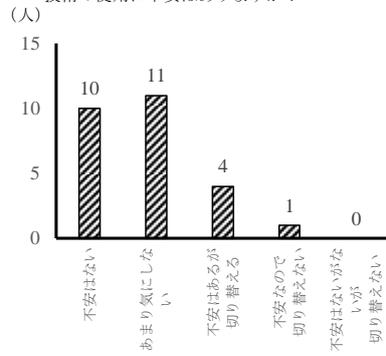
Q6. 自分の圃場に関する情報をクラウドサービスで管理することに抵抗はありますか？



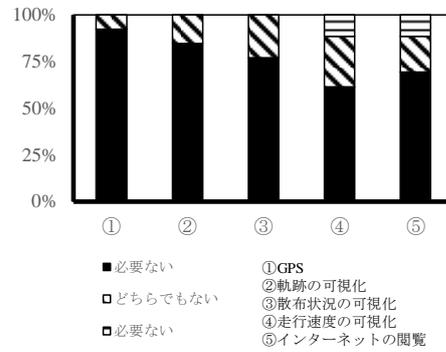
附図 B-2 第1回アンケート調査（設問 Q1～Q6）

第1回アンケート調査の結果（設問Q7～Q10）

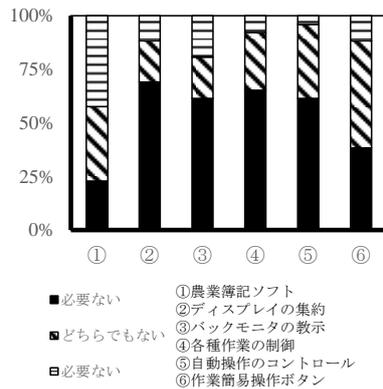
Q7. 作業機などの操作を有線から無線（Bluetooth）への切り替えるとしたら無線技術の使用に不安はありますか？



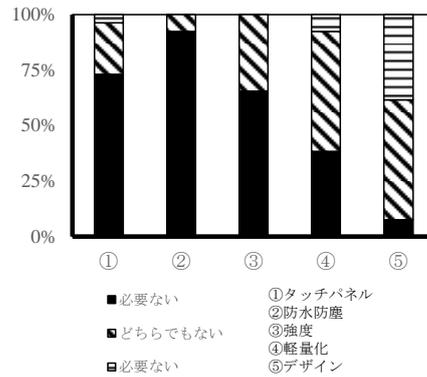
Q8. 下記の機能の中で必要な機能に☑印, 必要ない機能に☒印, どちらでもない場合は印をつけないください。



Q9. 下記の機能の中で必要な機能に☑印, 必要ない機能に☒印を付けてください。



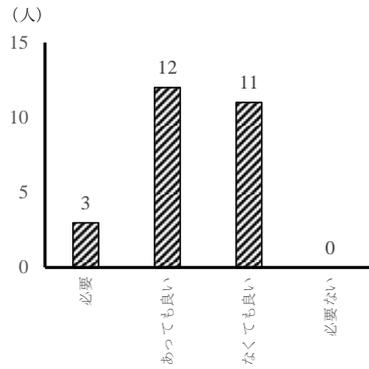
Q10. 下記の機能の中で必要な機能に☑印, 必要ない機能に☒印を付けてください。



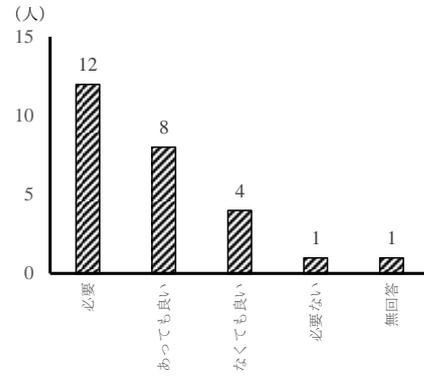
附図 B-3 第1回アンケート調査（設問 Q7～Q10）

第1回アンケート調査の結果（設問Q11～Q15）

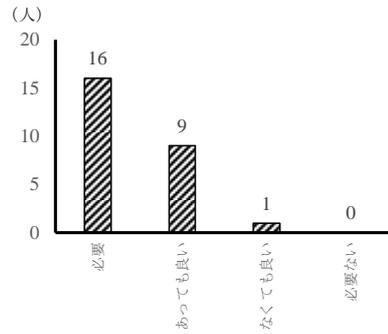
Q11. フィールドコンピュータに持ち運びの際のハンドルは必要だと思いますか？



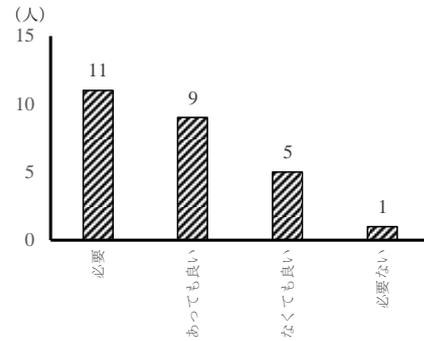
Q12. 表示画面の回転は必要だと思いますか？



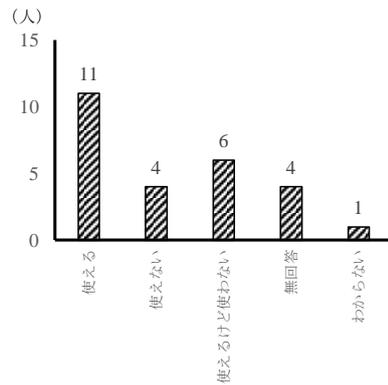
Q13. フィールドコンピュータは無線式ですがUSBや外部接続部分は必要だと思いますか？



Q14. 運転席に取り付ける置き型の充電器スタンドは必要だと思いますか？

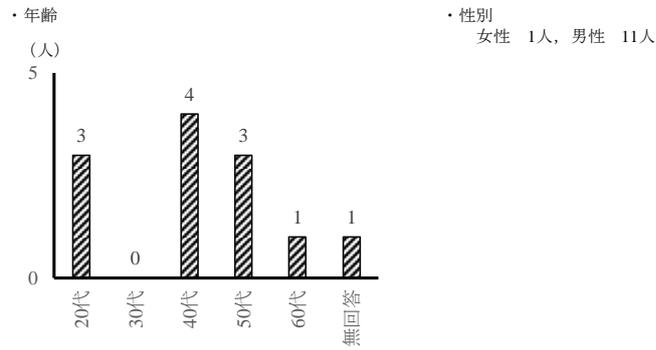


Q15. 実際にこのような端末を農作業で使えそうですか？

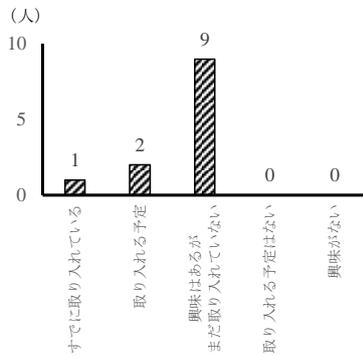


附図 B-4 第1回アンケート調査（設問 Q11～Q15）

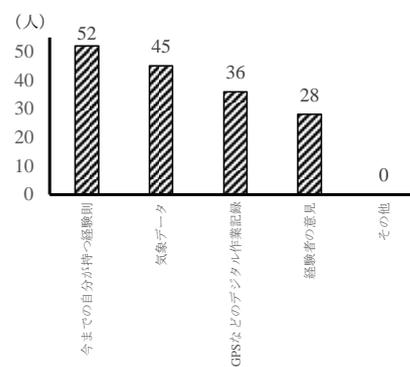
第2回アンケート調査の結果（プロフィール，設問Q1～Q4）



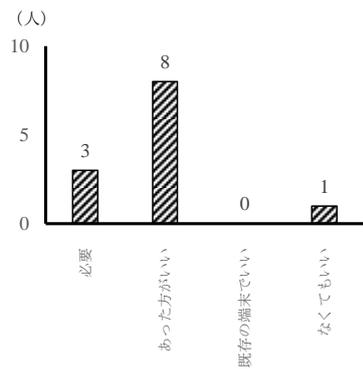
Q1. トラクタ内でのIT機器の使用やITを用いた農作業の記録に興味がありますか？



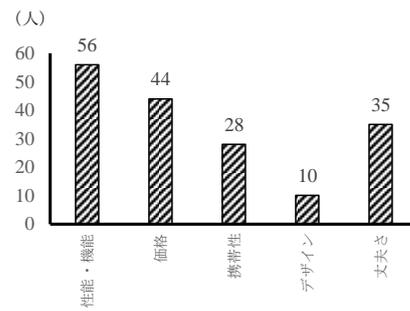
Q2. 農作業の意思決定するときに参考にしていることの優先順序を教えてください。



Q3. フィールドコンピュータ (FC) は必要だと思いますか？



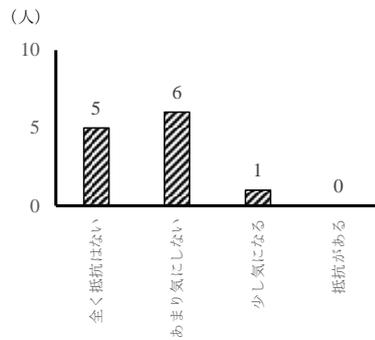
Q4. 実際の農作業にFCを取り入れるときに重視する項目に順位を教えてください。



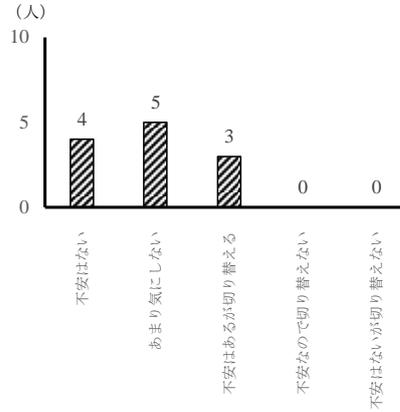
附図 B-5 第2回アンケート調査（回答者プロフィール，設問 Q1～Q4）

第2回アンケート調査の結果（設問Q5～Q10）

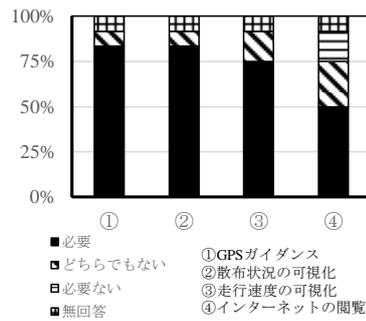
Q5. 自分の圃場の情報をクラウドサービスで管理することに抵抗はありますか？



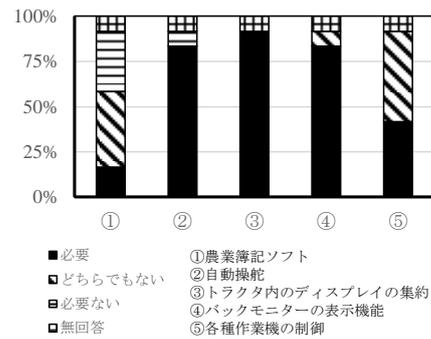
Q6. トラクタ内の配線がなくなるという利点がありますが、作業機などの操作を有線から無線(Bluetooth)への切り替えることで、無線技術の使用に不安はありますか？



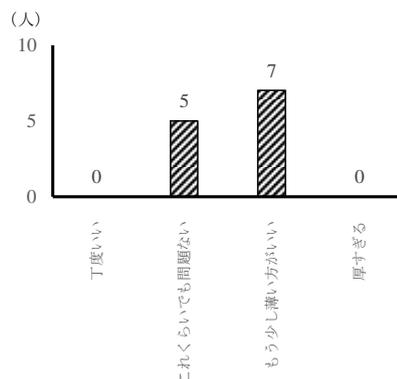
Q7. このシステムが実用化した時に、下記の機能の中で必要であると思う機能に☑印、必要ないと思う機能に×印を付けてください。



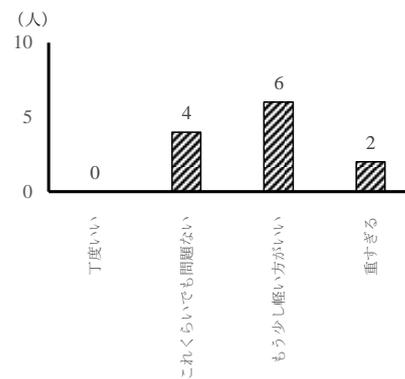
Q8. このシステムが実用化した時に、下記の機能の中で必要であると思う機能に☑印、必要ないと思う機能に×印を付けてください。



Q9. 機器の厚さは？



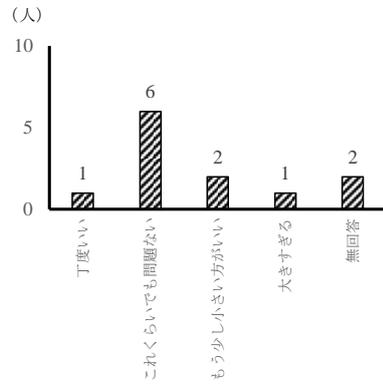
Q10. 機器の重さは？



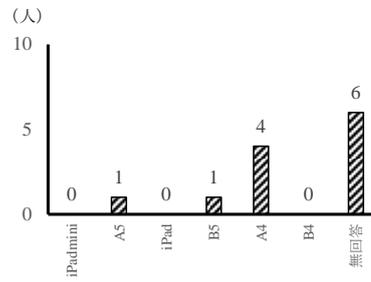
附図 B-6 第2回アンケート調査（設問 Q5~Q10）

第2回アンケート調査の結果（設問Q11～Q16）

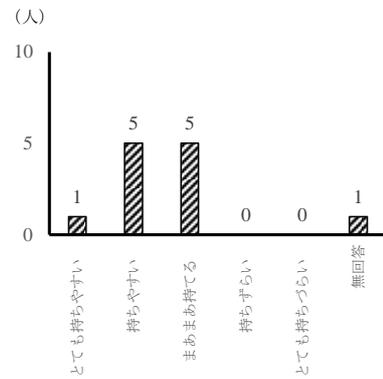
Q11. 端末のサイズは、どれくらいの大きさがいいと思いますか？



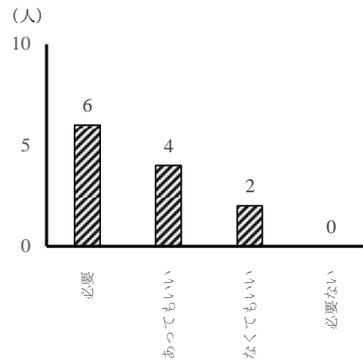
Q12. ※希望のサイズがあれば○印を付けてください。



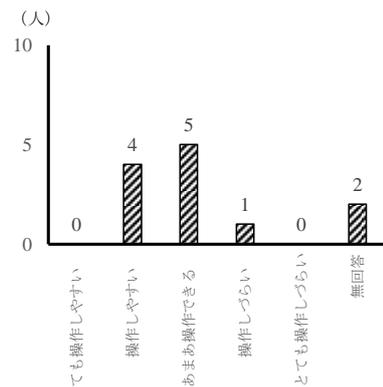
Q13. 機器は持ち心地は？改善点があればお教えてください。



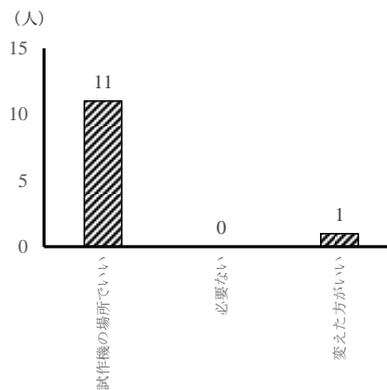
Q14. 機器に持ち手は必要ですか？



Q15. 機器は操作しやすいですか？改善点があればお教えてください。



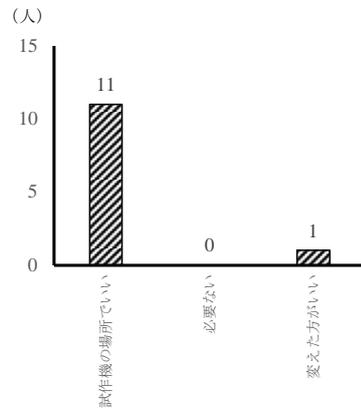
Q16. ボタンの位置はどこがいいですか？



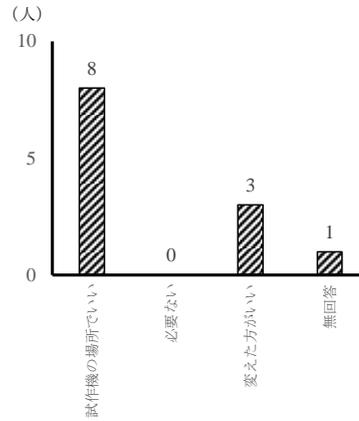
附图 B-7 第2回アンケート調査（設問 Q11～Q16）

第2回アンケート調査の結果（設問Q17～Q22）

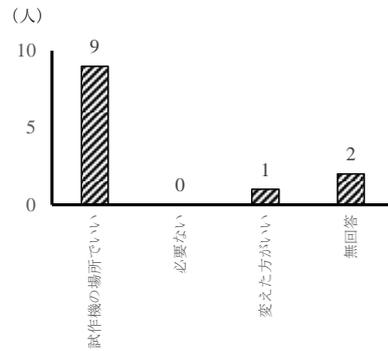
Q17. コントローラの位置はどこがいいか



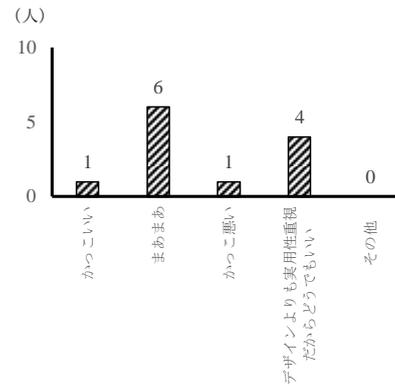
Q18. スクロールの位置はどこがいいか



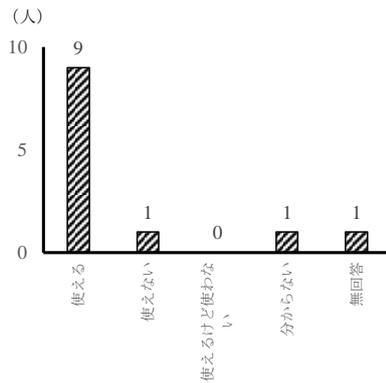
Q19. クリックボタンの位置はどこがいいか



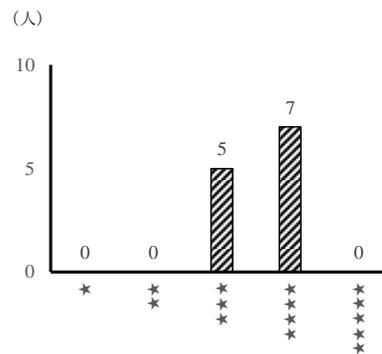
Q20. 試作機のデザイン性は？希望などがあればお書きください。



Q21. 今回の試作機は実際に農作業で使えそうですか？



Q22. 今回の試作機を5段階で評価すると★いくつですか？

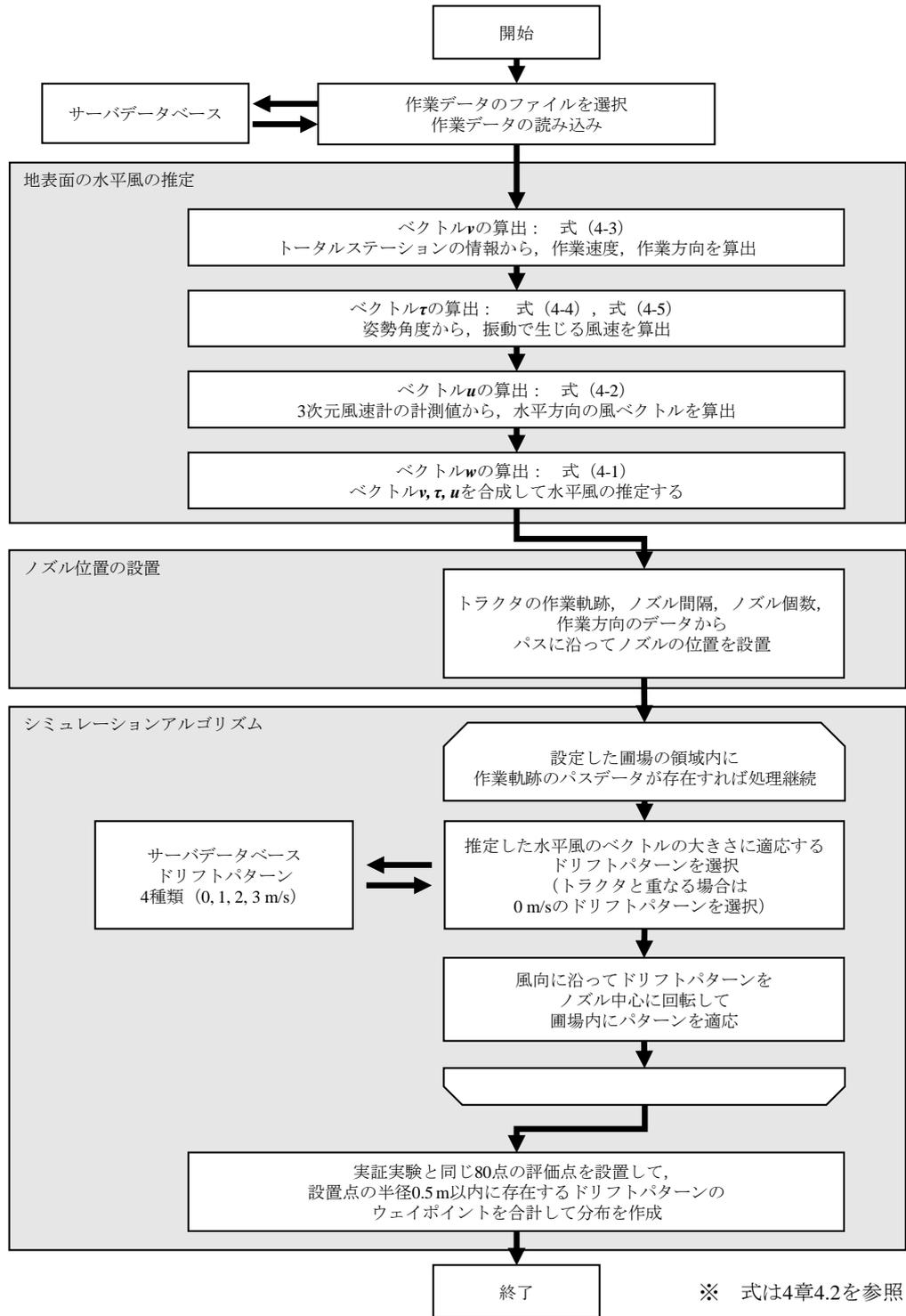


附图 B-8 第2回アンケート調査（設問 Q17～Q22）

附録 C

第 4 章で開発した農薬散布量分布シミュレーションアプリケーションのプログラムに使用したアルゴリズムをフローチャートに示す。

附図 C-1：農薬散布量分布シミュレーションのフローチャートを示す。



附図 C-1 農薬散布量分布シミュレーションアプリケーションの
フローチャート