

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 6月 1日現在

機関番号：10106

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2009～2011

課題番号：21580314

研究課題名（和文）GPS軌道誘導農地赤外線自動航空撮影システムの開発と農地の土壌および作柄改善

研究課題名（英文）Development of GPS Guided Auto Aerial Infrared Photography System for Harvest and Soil Improvement

研究代表者

羽二生博之（Haniu Hiroyuki）

北見工業大学・工学部・教授

研究者番号：70172955

研究成果の概要（和文）：約3馬力のアルコールエンジンで推進される翼長3.6m、全備重量約8Kgの機体を開発し、GPSと超軽量コンピュータおよび無線モデムを搭載した。飛行現在位置が分かるように機体のGPS情報を地上のコンピュータ画面の電子地図上に表示できるようにした。市販のカメラを改造した安価な近赤外線カメラを搭載して高度約250mからビート畑の空撮を行い、濃淡情報から生育の不良箇所を特定し、不良箇所と正常な箇所の土壌分析を行った結果、酸性土壌が生育不良の原因であることが分かった。

研究成果の概要（英文）：An air plane of 3.6m wing span, about 8Kg weight and pull by about 3 horsepower alcohol engine was developed, and GPS, ultra light computer and wireless modem are on boarded. In order to confirm real time position of the air plane, current position of the air plane was indicated on digital map of a ground computer by sending GPS data via wireless modem. Commercially soled digital camera which was modified to functioning as a near-infrared camera was boarded on the airplane, and aerial near-infrared photography of a beet farm was taken from approximately 250m above the farm. From the shade of the infrared image, locations of growth inferiority are determined and chemical analyses of soil were made both for growth inferiority and nomality portions. As a result, acidic soil was found to be the cause of the growth inferiority.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,600,000	480,000	2,080,000
2010年度	700,000	210,000	910,000
2011年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
総計	2,900,000	870,000	3,770,000

研究分野：農学

科研費の分科・細目：農業工学・農業情報工学

キーワード：リモートセンシング、GPS誘導農地赤外線空撮

1. 研究開始当初の背景

全世界の急激な人口増加により近い将来の食料不足が危惧され、我が国の食料自給率の向上が急務な情勢にある。北海道の食料

自給率は約200%であり、我が国の食料自給率に大きく貢献している。農作物の品質と収穫量をより高めるためには、電子情報技術を活用した効率的な農業手法の開発と普

及が必要である。また、公共事業の削減により、土木建設業から農業への転身を支援する事業も展開されており、農業後継者不足の解消策としても期待されている。特に土木建設業界では近年GPS測位が標準となってきたため、GPSやレーザートランシットなどの高度技術に精通した人材が増えてきており、GPS等を活用したIT農業分野へ転身するための環境が整って来ている。

これまでのIT農業では主に農地全体の土壌分析を行って農薬や肥料の効率散布を試みて来ているが、広範囲の土壌分析には膨大な手間と費用が掛かっている。これに対して空からの赤外線空撮では、農作物の生育状況の不均一性を1度にとらえられ、限られた部分だけの土壌分析を行うことで高能率化と低コスト化が可能となる。

2. 研究の目的

本研究では極めて詳細な農地情報を得ることを目的とはせず、安価な赤外線空撮手法によって農地の作柄や土壌温度の不均一性を把握し、異常箇所のみでの作柄と土壌の改善を行うものである。このような導入しやすい安価なシステムの開発は北海道のような産業基盤の弱い零細な地域において不可欠である。人間の目が感知できる可視光波長においては葉の葉緑素の反射光は弱く、作柄の不均一性を把握するのは難しい。可視光よりも少し波長の長い近赤外線域(750~1100nm)では葉の反射は10倍ほど高くなる。市販のCCDカメラは近赤外線域にも感度があり、安価な工業用の近赤外線通過フィルターを用いることで近赤外線カメラに改造できる。一方、農業用ラジコンヘリなどによる空撮も試みられてはいるが、価格が1000万円程度し、操縦も免許が必要なほど難しく、墜落保険などの維持費も年間数百万円掛かることから、広く普及させることは不可能である。本研究では、操縦が比較的簡単で、維持費も安い大型の模型飛行機にGPSとカメラを搭載して、零細な企業や農家が導入可能なように、民生品をフル活用した安価な空撮システムを開発するものである。

3. 研究の方法

(1) 機体の製作

GPSとカメラや制御用コンピュータを搭載することを考慮して、翼長3m程度の機体を製作した。また、あぜ道などの狭い所でも離着陸ができるように工夫した。

(2) 機体のGPS誘導システムの開発

機体にGPSと無線モデムを搭載し、GPS測位情報をリアルタイムに地上に送信し、地上のノートPCのデジタルマップ上に飛行現在位置、飛行高度、対地飛行速度等を表示し、空撮目的地上空に機体を導いた。

また、無線手動操縦者をアシストするための自動制御システムの開発も行った。

(3) 赤外線カメラ

市販の安価なデジタルカメラを改造して安価な近赤外線空撮を可能にした。遠赤外線撮影には小型軽量で低価格なものを配分予算で購入した。機体の軌道制御時に機体が傾いてカメラの視野が左右に大きく動くことを避けるために、光センサータイプの水平検出装置を搭載してカメラが常に真下を向くように制御した。

(4) 土壌分析

島津製作所が開発した簡易土壌分析装置を用いて、赤外線画像に不均一性が現れた箇所の硝酸とホウ酸およびリン酸の土壌濃度を調べたとともに、ビートの生育状況を比較検討した。

4. 研究成果

(1) 機体の製作

平成21年度は次の写真のような、翼長3m、全長約1.8m、重量約10Kgの機体を製作し、3.1馬力のアルコールエンジンを推進力として飛行を行った。



しかしながら、農地の空撮において使える滑走路は次の写真のように大変狭く、除雪用誘導ポールや電信柱および電線が路肩に有ったりと、離着陸が極めて困難であることが飛行実証試験から分かった。



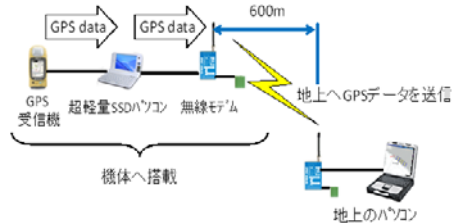
平成22年度には次の写真のように手投げで発進し、草地に不時着のように強行着陸できるエンジン付きグライダータイプの機体を製作した。離着陸での飛行速度を低くするために、翼長を3.6mに延長するとともに約2.5Kgの軽量化を行った。また、草地への強行着陸でも尾翼が破損しないように、尾翼はV型にした。



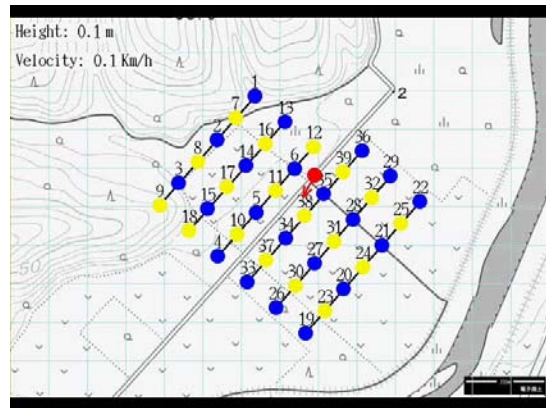
飛行時間は約15分間であるが、グライダータイプであるため、燃料切れでエンジンが止まっても安全に着陸することができる。飛行は主に手動無線操縦にて行った。誤動作による墜落を避けるために、受信機を3個搭載し、正副2台の送信機で操縦した。

(2) 機体のGPS誘導システムの開発

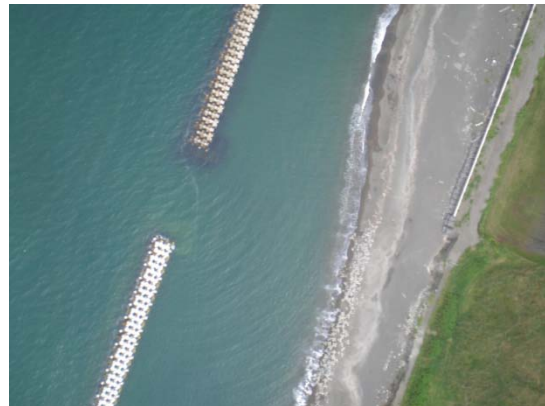
機体には次の写真に示すように、GPS、GPS測位データの加工および自動制御用の超軽量PC、地上にGPSデータをリアルタイムで送信する無線モデムを搭載した。空撮領域付近の電子地図が表示されたフィールド用ノートPCを地上に置き、それに接続した無線モデムを介して機体の現在位置を示すGPSデータを受信し、飛行現在位置、飛行高度、飛行速度などを表示する飛行モニタリングシステムを開発した。



右上の図は飛行モニタリングシステムの表示例であり、赤○が飛行機の現在位置、赤い矢印が飛行方向で、飛行速度の増加とともに矢印が伸びるようになっている。青や黄色の○がカメラのシャッターポイントである。機体はエンジンにて推進されるため、エンジンの振動によって無線モデムに動作不良が生じた。スポンジ等でクッションを巻いても振動の影響は改善されなかったが、シリコ



ンチューブで四隅を支持することで解決した。次の写真は飛行高度約250mから撮影した湧別町の海岸浸食防止用離岸堤付近の可視光空撮写真である。実機並の鮮明な写真が得られている。



また、無線手動操縦者は地上モニタリングシステムを監視する補助者からの支持を聞きながら機体を撮影ポイント上空へ誘導しているため、操縦者への負担が非常に大きい。そこで、飛行高度自動制御システムの開発を行った。下の写真に示す装置は可視光センサー型の水平感知システムであり、通常はこれによって機体を前後左右方向で水平に保つことができる。本研究では、この装置を前後に傾けることで水平面に対する機体のピッチ角をコントロールして飛行高度を自動制御した。実験の結果、太陽高度が高いときには±20m程度の範囲で飛行高度を自動的に一定に保つことができた。より正



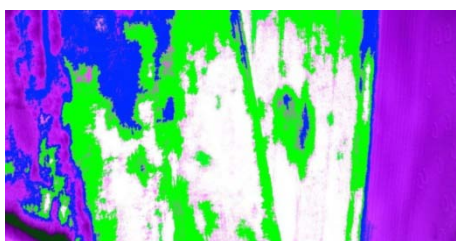
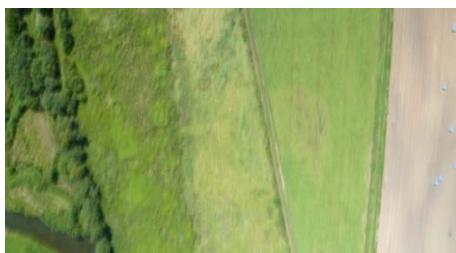
確に飛行高度を制御するためには、水平検出精度がより高く、太陽高度が有る程度低くても精度低下が少ない赤外線タイプの水平感知システムを搭載する必要がある。さらにこのセンサーを機体に対して左右に傾けることで機体のバンク角を自由にコントロールして旋回を行えるが、実験の結果バンク角による揚力減少を補うためにピッチ方向の制御も併用して大きな半径の旋回を有る程度自動的に行わせることができたが、現状では制御の自由度が低いことと飛行速度や風の影響によっては自動制御が難しく、高度が大きく低下しやすいことが分かった。

(3) 赤外線カメラ

次の写真は近赤外線空撮に用いた市販の安価なデジタルカメラである。カメラを分解すると可視光写真におけるカスミを抑制するためにCCD素子の前に近赤外線遮断フィルターが取り付けられている。それを取り除き、工業用の近赤外線通過フィルムを取り付けることで、近赤外線カメラに改造することができる。



次の写真は農地周辺の可視光空撮写真であり、その次の写真はほぼ同じ所の近赤外線空撮写真の強調処理画像である。近赤外線画像で白く見えている領域が葉の葉緑素によ

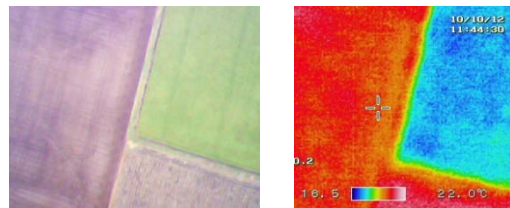


る反射の強い所、青い領域は反射が弱い領域で、画像濃淡が植物の生育状況の違いを反映していると考えられる。

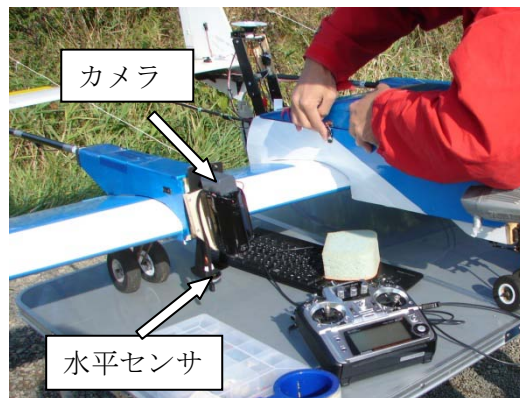
一方、次の写真は機体に搭載可能な小型軽量な遠赤外線カメラである。このカメラは可視光カメラも搭載しているために、同じ場所の可視光写真と遠赤外線写真を同時に撮影することができる。その次の写真の左側



はタマネギ畑の可視光写真であり、茶色い部分は収穫が終わった領域、緑色の部分はまだ収穫していない領域である。右側の写真は同じ所の遠赤外線写真であり、収穫が終わった領域は温度が高く赤で表示され、まだ収穫されていない領域は葉によって土壌温度が低いと青で表示されているのが分かる。



一方、機体の軌道を制御するためには機体を左右に傾けて揚力の一部を旋回のための向心力（遠心力の逆）として使う必要がある。そのため、機体の傾きと一緒にカメラの視野も左右に大きく動いてしまう。そこで、先に述べた水平感知システムをカメラに取り付けて、カメラが常に真下を向くように自動制御した。次の写真がカメラと水平感知システムを搭載した様子である。さらにこの水平センサを活用して、機体が撮影目標中心から左右にずれたときにカメラアングルを



左右に補正するシステムも開発したが、水平センサの精度が低いためあまり効果が得られなかった。 今後は水平検出精度がより高い赤外線センサを用いて開発を進める。

(4) 土壌分析

土壌分析には次の写真に示す島津製作所製の簡易土壌分析装置 PSA-1 を用いた。

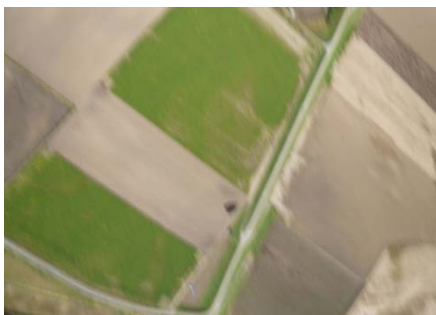


次の写真に示す採水器を土中 30 cm 程度まで埋め、周囲の土壌にシリンジによって水を注入した後、シリンジで真空を引いて水溶液を採取した。 一度の採取で 20 ml 程度しか採取できないため、近辺に採水器を 5 本同時に埋めて採水し、それらを混ぜて分析に必要な 100 ml を得た。 これにより、生育不良領域の土壌分析結果を平均化する効果が得られた。 土壌分析では、硝酸とリン酸およびホウ酸の濃度を調べた。

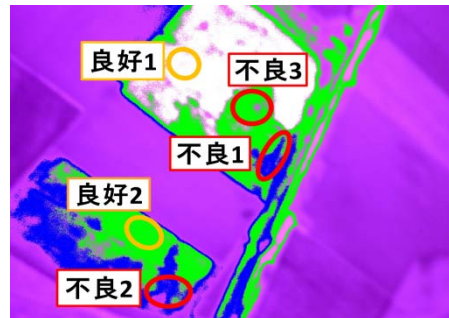


(5) 赤外線空撮および土壌分析結果

下の可視光写真に示すビート畑の赤外線空撮を高度約 250 m から行った。 ビートは北海道を代表する農作物で、砂糖の原料である。 ビートの葉は広く、タマネギや小麦のように細くないため、農地の地面をほぼ完全に覆い隠し、近赤外線反射が比較的強い



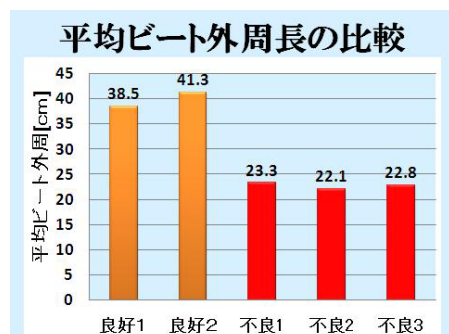
め解析に適している。 次の写真は同じ領域を近赤外線空撮したものである。 濃淡の強調疑似カラー表示により、葉の葉緑素反射に明瞭な不均一性が現れている。 上側と下側の耕作地それぞれで特に明るい部分を生育良好域 (黄色い○)、特に暗い部分を生育不良域 (赤い○) と想定し、現地にてビートの外周長の計測と土壌分析を行った。



ビートの外周は次の写真のように、収穫前のビートの周りの土を少し掘り、最大径の付近を測定した。 一つの領域当たり約 10 個づつ測定して平均化した。 外周長の調査

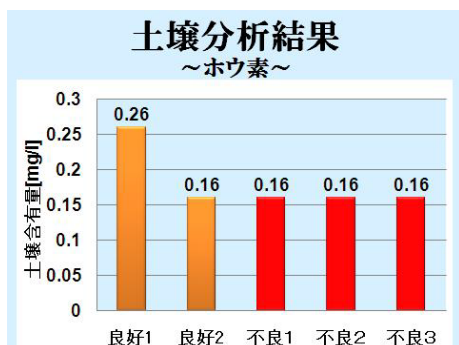
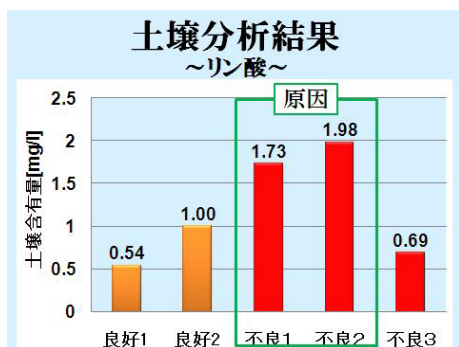
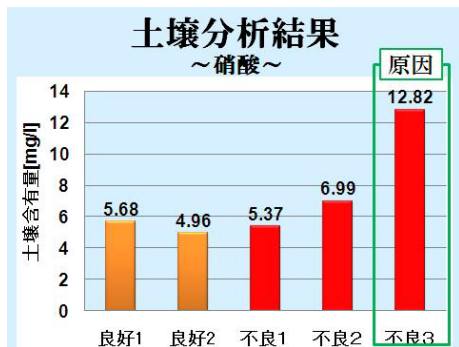


結果を次の図に示す。 図から、近赤外線反射の強い所では、特に弱い所に比べて外周が 1.7 倍程度長いことが分かる。 体積 (質量) は長さの 3 乗に比例するため、4 倍程度違うことになる。



ビート外周調査を行った付近で土壌分析を行った結果を次の各図に示す。 図から、不良箇所 3 における生育不良の原因が硝酸過多であり、不良箇所 1 と 2 における生育不

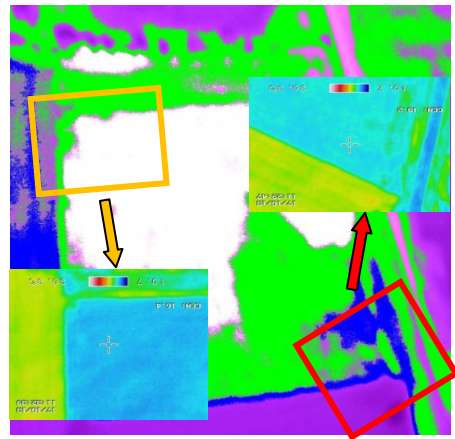
良の原因がリン酸過多であることが分かる。また、良好箇所1でホウ酸が顕著に多くになっているが、ホウ酸過多は生育不良の要因となっていないことが分かる。



遠赤外線カメラは視野が狭いため、次の近赤外線写真で撮影した耕作地の茶色（良好箇所）で囲んだ領域および赤（不良箇所）で囲んだ領域の遠赤外線写真を重ねて示す。写真から遠赤外線画像には生育の良さが近赤外線画像ほど明瞭に現れていないことが分かる。また生育不良箇所の近赤外線画像で青く写っている所は葉緑素の反射が非常に弱く、現地ではビートの葉も小さく土が見えていた所である。その部分の遠赤外線画像では周囲よりも高い温度を示しており、日光により土壌が暖められていたためと思われる。

(6) 結論

農地赤外線空撮システムを開発して農地の生育状況の不均一性を手軽で安価に把握



することができた。制作費は人件費を除いて最低限のシステムを搭載した状態では60万円程度であり、零細企業や個別農家が十分導入可能なものとなった。自動制御については、水平感知センサの高精度化によってさらなる開発が推進可能である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計2件)

(1) Development of Ground Monitoring System for GPS Guided Aerial Photography System, Proceedings of IWMST2010 Symposium (2010.9), K. Yoneyama, H. Haniu and M. Sakaki

(2) Aerial Infrared Photography System for Harvest Improvement, Proceedings of IWMST2012 Symposium (2012.8), H. Haniu, H. Minami and K. Takai

〔その他〕

ホームページ等

http://www.kitami-it.ac.jp/research_cooperation/docs/openlabo.pdf#search='GPS空撮羽二生'

<https://www.hint-sapporo.jp/seminars/index/12>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

羽二生博之 (HANIU HIROYUKI)

北見工業大学・教授

研究者番号：70172955

(2) 研究分担者

鈴木聡一郎 (SUZUKI SOICHIRO)

北見工業大学・教授

研究者番号：30250541

南尚嗣 (MINAMI HIROTSUGU)

北見工業大学・准教授

研究者番号：40241426

高井和紀 (TAKAI KAZUNORI)

研究者番号：50271755