

LabVIEWを用いたオーロラと大気光の光学観測制御システムの設計

青木 猛, 田口 聡*, 細川 敬祐*

Control system design for the optical observations of the aurora and airglow based on LabVIEW

Takeshi AOKI, Satoshi TAGUCHI* and Keisuke HOSOKAWA*

Abstract

Computer-based control systems play an important role in instruments for the optical observations of the aurora and airglow. We developed the control system based on LabVIEW for our new optical instrument. The LabVIEW-based system controls the Electron Multiplier CCD camera and filter turret containing passband filters. Through the robust and flexible control of these equipments the instrument can adapt to a wide range of conditions, and obtain all-sky images over a long period of time. This article focuses on the important points of the control system. The instrument was set up at Longyearbyen, Svalbard in October 2011, and obtained valuable data during the first season as was expected.

Keywords : LabVIEW, control system, optical observation

1 はじめに

地球の超高層大気からの光であるオーロラや大気光の詳細な特性を明らかにするためには、その光学観測データを安定して取得できるシステムを作り、多くのデータを蓄積していく必要がある。我々は、そのようなことを可能にするLabVIEWに基づくコンピュータ制御システムを構築した。本報告では、そのシステムについて述べる。このシステムを搭載した全天撮像観測装置は、2011年10月にノルウェーのスパールバル諸島のロングイヤービエンにある観測所（北緯約78.1度）に設置され、その後、安定してデータを取得し続け、1年目の観測を成功に導いた。

2 観測装置全体とコンピュータ制御システム

全天撮像観測装置の全体で行っていることを簡単にまとめると、魚眼レンズを用いて全天からの光を捉え、その光を適切な光学系で集光してバンドパスフィルタを通

過させた後、超高感度のCCDカメラでデジタルデータとして保存し、即座に研究に使うことのできる形にすることと言える。我々は、撮像部、計測部、処理部、データサーバ部に分けてこの装置を作っていた。これらの構成を図1に示す。なお、図1は実際の観測ブースでの装置配置に合わせて書いてある。観測ブースの構造については付録に示す。装置の中で撮像部の制御が最も重要などであり、ここがLabVIEWを用いて構築した部分である。この詳細は3章で述べる。

計測部では、撮像部から送られてきたデータからPNGとJPG形式の画像を生成する。これらの画像は、処理部の計算機、ネットワークストレージ、ポータブルハードディスクドライブの3箇所に保存されるようにしており、万一のトラブルの際にデータが失われる可能性は極めて低い。また、電気通信大学に置かれているデータサーバがネットワークを通して取得データを定期的にコピーするようにしており、この保存も含めれば4重のバックアップ体制となっている。なお、観測データのコピーの際に機器の動作ログや計測環境データも取得する。

Received on September 12, 2012.

電気通信大学教育研究技師部, 宇宙・電磁環境研究センター

*電気通信大学情報・通信工学専攻, 宇宙・電磁環境研究センター

大学のデータサーバでは、Webサーバを稼働させており、コピーしてきた準リアルタイムデータのレビューおよび過去の観測データの提供、機器の動作履歴、CCD センサの温度、室内の温度などの計測環境の表示を行っている。取得画像と計測環境のデータを利用して、測定機器あるいは取得データの異常を検出する仕組みも持っている。

3 LabVIEWによる撮像部の制御

3.1 制御の対象

制御の対象となるものは、電子増倍型CCD (Electron Multiplier CCD、以下EMCCD) カメラとフィルタターレットである。EMCCDは、浜松ホトニクス社が開発したImagEM 9100-13モデルを用いている。このカメラの感度の良さを最大限に活かすためには、カメラの露光時間に加えて、感度のパラメータであるEMゲインを適切に決める必要がある。

フィルタターレットとは、複数のフィルタを円形状のテーブルにはめ込んだ装置で、テーブルを回転させることで、指定したフィルタを光の通り道にセットする。このためには、指定されたフィルタに迅速かつ確実に切り替えられる制御が必要となる。使用する光学系に合わせて設計を行い、バンドパスフィルタが8枚まで装着でき

るものとした。当面の観測で用いるのは3つのフィルタ (中心波長 557.7nm、630.0nm、572.5nm) である。フィルタの切り替えはシリアルポートからコマンド送出行うこととした。製作は外部の業者に依頼した。テーブルの駆動は、ステッピングモータによるオープンループ制御で、テーブルとモータは60:1の減速ギアにより結合させている。テーブル上に原点となる場所を決めておき、この位置を検出できるようにマイクロスイッチをつけている。フィルタターレットの電源が入った時には、このマイクロスイッチの働きによって必要なだけ回転して原点復帰を行う。また、コマンドによっても原点復帰ができるようにしている。

3.2 制御プログラムの作成過程

計測と制御の分野で広く利用されているNational Instruments社のLabVIEWに基づく制御プログラムの利点は、開発の際のプログラムの流れの分かりやすさにある。この利点を活かしながらプログラムを作成していった。本システムでは、LabVIEW 8.6英語版を用いている。

遠隔地で自動観測をさせる装置の制御プログラムに求められる第一の条件は安定性である。LabVIEWの制御プログラムを用いた全天撮像装置は我々の知る限り他にはない。まず、任意の時間間隔で画像を取得し、タイム

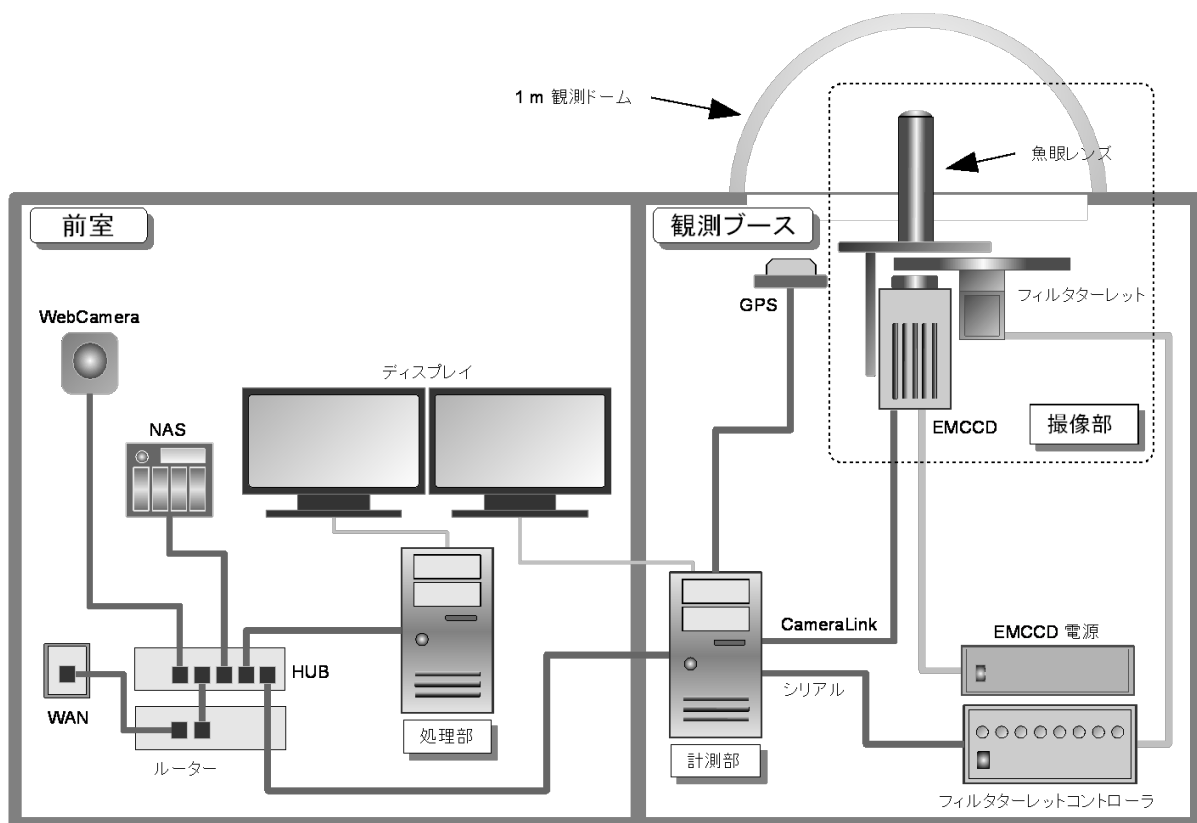


図1 オーロラと大気光の観測装置を構成する各機器の配置図 (データサーバ部は除く)

スタンプを付け、無圧縮のPNG形式で保存するという一連の処理を連続的に行う簡単なプログラムを作成した。そして、そのプログラムが極めて安定して作動することを確認した。

基礎となるこのプログラムを発展させ、最終的に完成した制御プログラムは、観測開始日時、終了日時、フィルタの種類、EMCCDの露光時間、EMゲインの値などをファイルから読み込こんで、EMCCDとフィルタターレットを制御して、指定された条件で画像を取得する。一定以上の光量がEMCCDに入ったときのEMゲインの自動調節や、将来的にフィルタを増やしてターレットの回転負荷が増大しても空回りを引き起こさないように回転速度の微調整ができるようにしている。

LabVIEWでは、あらかじめ用意されている関数を使うことでプログラムを容易に拡張できる。画像を圧縮できるJPG形式のファイルの作成などはそれに対応した。プログラムの細かい点の改善は、本学の菅平宇宙電波観測所の屋上に観測装置一式を持ち込んで行ったテスト観測の結果などをもとに進めていった。こうして作成した制御プログラムのフロントパネルを図2に示す。

3.3 制御プログラムの具体的な動作

3.3.1 条件読み込みと撮影パラメータの設定

プログラムが起動すると、観測開始・終了日時、フィルタの種類、EMCCDカメラの撮影パラメータが記入されたファイルを読み込む。プログラムは、現在の日時を参照し、次に行うべき観測に備える。観測開始時刻にな

ると、まずフィルタターレットに信号を出し、指定されたフィルタに切り替えを行う。その後、カメラの撮影パラメータである、露光時間、連続撮影回数、EMゲイン、EMワーニングレベルを設定し、撮影に移る。

3.3.2 撮影およびデータの取得

設定された条件により1フレームの撮影が終了すると、その情報のデジタルデータが出力される。これを16bit白黒階調無圧縮のPNG形式、および、プレビュー用のJPG形式で計算機のディスクの中に保存する。その後、指定された回数の撮影を繰り返し、次のフィルタに切り替える。この一連の動作を観測終了時刻になるまで繰り返す。太陽と月が出ていないときに観測を行うため、両者の条件によって連続した撮影時間はさまざまに変わる。2011-2012のシーズンでは短い場合は約2時間、長い場合には約200時間であった。

太陽や月が出ていない時でも、何らかの原因で強い光が入り込む可能性がある。これはEMCCDセンサにダメージを与え、この頻度が増えると長期に渡る質の高いデータの取得が困難になる。我々が構築したプログラムは、予期せぬ時に強い光が入ってくる場合への対応もできている。EMCCDカメラには、ある一定以上の光量が入るとエラー信号が出力される機能がある。この機能を利用して毎回の1フレームのデータ取得後にエラー信号が出力されていないことを確認するようにした。信号が出ていなければそのまま観測を続け、もし信号が出れば、EMゲインを減少させる。これによって感度は変

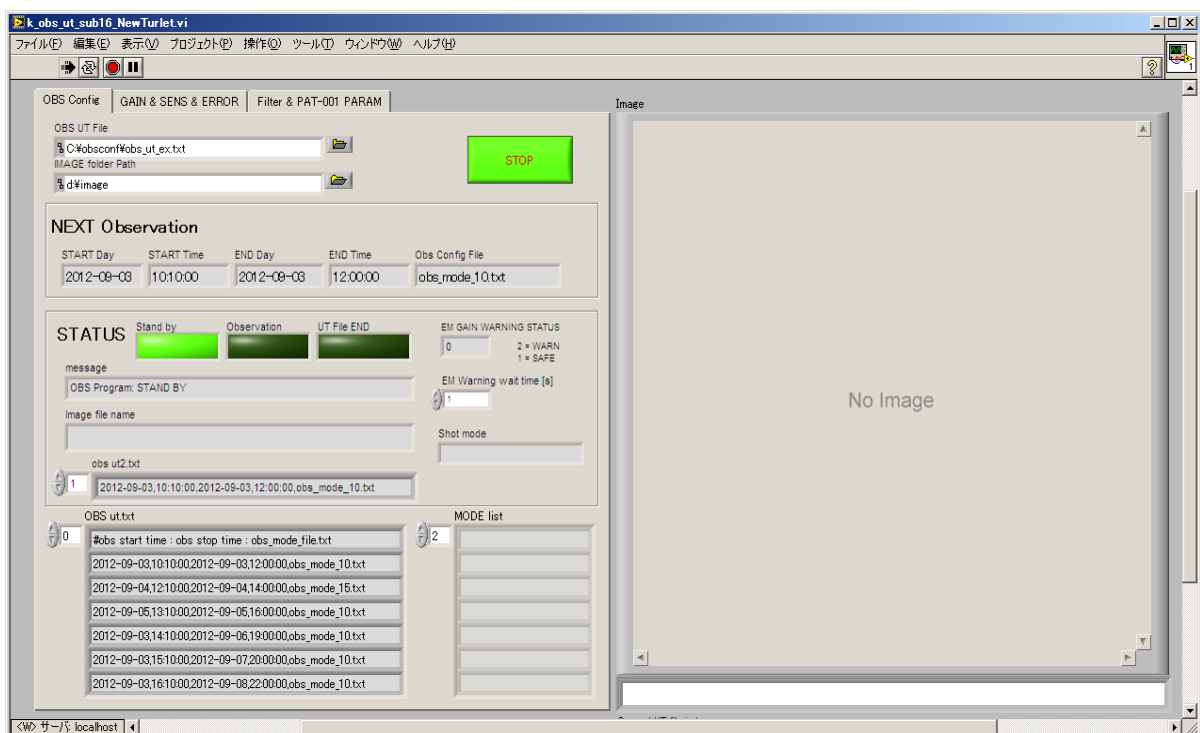


図2 LabVIEWによる制御プログラムのフロントパネル パネル面左側：観測スケジュール、各設定表示 右側：取得画像プレビュー表示（観測を始めると、No Imageと記されている部分に取得データが表示される）

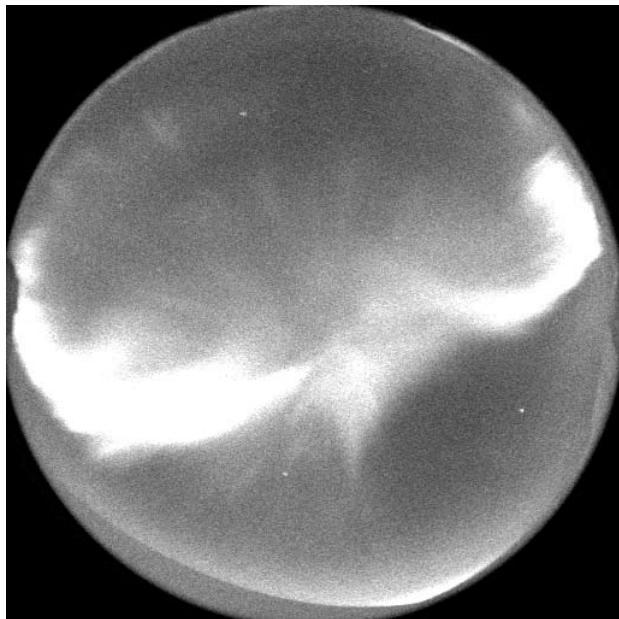


図3 取得されたオーロラ画像の例 2011年12月29日09時00分03秒(世界標準時)に取得

わるものの、データを取得し続けることができる。EMゲインは、ある一定サイクルの撮影が終了した段階で元の値まで戻し、そこで問題がなければ撮影を続行し、エラーが発生すればEMゲインを再び減少させるという仕組みにしている。図3に制御プログラムにより実際に現地で取得されたオーロラ画像の例を示す。

3.3.3 観測終了および待機中の動作

観測終了時刻になると、撮影を止めると同時に、フィルタターレットを原点へ復帰させ、次の撮影開始時刻に備える。この待機中にはEMCCDセンサの温度を書き出し、記録を行っている。この記録を確認することで、プログラムが正常に動作していることもわかる。

また、EMCCDセンサの温度のみならず、装置全体の様々な部分の温度をモニターする必要から、EMCCD本体の温度やフィルタ装着部分の周辺温度、さらに室温をモニターできる測定器を付けている。これらのデータの取得と加工については、LabVIEWによる制御プログラムの外で行っている。具体的にはCygwin上のシェルスクリプトを利用している。データのバックアップについても、これを使って行っている。

3.4 制御プログラム「23日問題」

制御プログラムの現在のバージョンは、23日間以内の連続稼働という条件がついている。それを超える観測の際には、事前にネットワーク経由でリセットをして対応する。リセットできる機会は十分にとれるので、「23日問題」はさほど大きな問題ではないと言える。

この制約は、LabVIEWで構築した我々のプログラム

に起因しているのではなく、EMCCDからコンピュータへのデータの取り込みを可能にしているフレームグラバボードのドライバの不具合から来ている。このドライバは、浜松ホトニクス社においてほぼ年一回のペースで更新され、不具合はかなり少なくなっているようである。以前のドライバでは、約36時間連続稼働を行うとエラーが発生していた。「23日問題」についても、最も新しいドライバをインストールすることで解決されると考えている。

4 まとめ

我々は、LabVIEWに基づくオーロラと大気光の光学観測制御システムを構築した。LabVIEWのプログラムは、観測条件の読み込み、露光時間や撮影条件の設定、フィルタターレットの作動、EMCCDによる画像の取得と保存などのシステムの主要な部分を担っている。2011年から2012年にわたる最初のシーズンの観測において、システムは極めて安定して作動した。このような安定したシステムは、貴重なデータを蓄積していくために無くてはならないものである。より長期に渡って安定したシステムとなるよう、また最小限の保守・管理で対応できるよう工夫を重ねていきたい。

5 謝辞

観測システムのハード面について、国立極地研究所の小川泰信氏と立教大学の田口真氏から貴重なコメントを頂いた。また小川氏には、現地に装置を設置する際にも協力して頂いた。観測システムのテストは本学東3号館の屋上と菅平宇宙電波観測所で行った。その際それぞれ、柳澤正久先生と冨澤一郎先生の協力が得られ、非常にスムーズなテストとなった。田口・細川研の大学院生の田原篤史君と鈴木聡君の協力もあった。ものづくりセンターの機械設計工作部門の技師の方々には、カメラカバー製作の依頼にすばやく応じて頂いた。これらの皆様に心より感謝する。本報告は、JSPS科研費 22340143(基盤B)の助成を受けた研究に関するものである。

付録A 観測機器の現地での設置

ここで報告した制御システムを含む観測装置一式を2011年10月中旬にスバル諸島ロングイヤービイエンにある観測ブースに設置した。このブースはUniversity Centre in Svalbardというノルウェーの研究組織が所有しており、契約のもと海外の研究グループも使うことができる。

図4は、観測機器の心臓部ともいえる撮像部の写真である。これを観測ブースにあるドーム状の光窓の真下に設置している。

図5 (a), (b) に撮像部が設置されている様子を示す。



図4 撮像部の外観
左側から、筒状のものが魚眼レンズ、その後ろの円盤状の物がフィルタターレット、一番奥にEMCCDカメラ



図5 (a) 設置した撮像部 ドームの外側からの様子 (中心の筒状のものが魚眼レンズ)

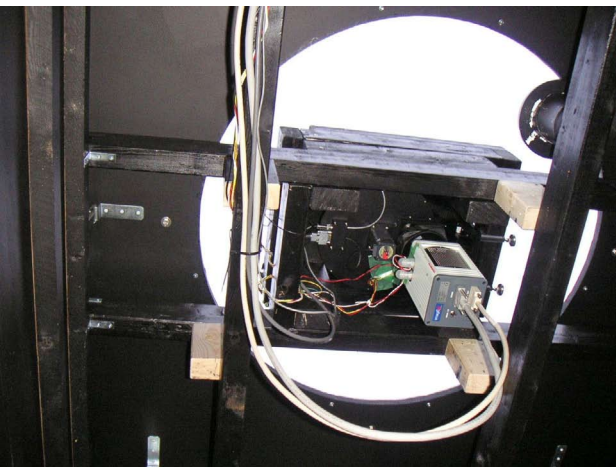


図5 (b) 設置した撮像部 ドームの内側からの様子 (右側白い装置がEMCCDカメラ)

図5 (a) はドームの外側からの写真で、図5 (b) は内側からの写真である。図5 (b) の写真に見えているように、黒い木枠が撮像部を支えている。この木枠は、現地で木材を購入して自分たちで組み立てたものである。わずかな光の反射も防ぐため、全て黒のペンキで塗装している。床面から木枠までの高さは約3mあり、その高さに重量約30kgの撮像部を設置するのは、とても緊張が伴う作業であった。

フィルタターレットの制御部や計測部の計算機などは、観測ドームの下方にあるテーブルに置いている。これらの機器のLEDやランプ類からは微弱な光が出る。その部分には遮光カバーをつけたりテープを貼ったりした。この光がドームに反射して、それをEMCCDカメラが捉えてしまう可能性を無くすためである。

観測ブースには遮光カーテンで仕切られている前室があり、ここにディスプレイなどの強い光を出す装置を含め大方の機器を置いている。この様子を図6に示す。ここには2台のディスプレイに加えて、処理部の計算機、ネットワークストレージ、ルータ、遠隔電源制御用のリブーター、電圧変換用のトランス、さらに機器類をネットワーク経由で常時監視するためのWebカメラを設置した。

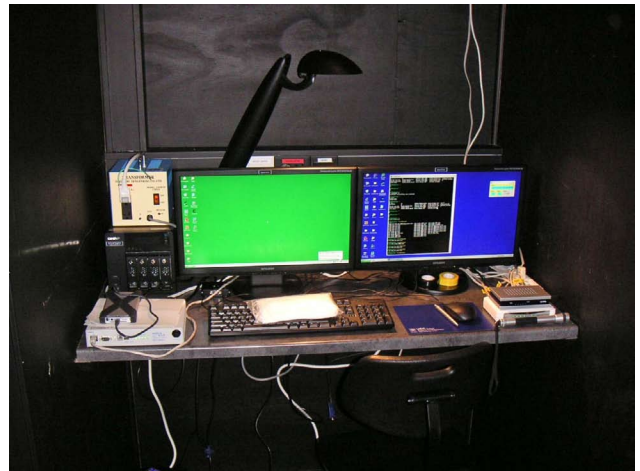


図6 前室に設置された処理部とその他の機器類
左手前から：遠隔電源制御用のリブーター、その奥にNAS、その上にトランス、その右手にディスプレイ、ハブ、ルータが備え付けられている