

太陽電波バースト自動検出システムの開発

青山 隆 司*・時 耕 慎 次**・松 井 佑 介**

Development of Automatic Detection System for Solar Radio Bursts

Takashi Aoyama, Shinji Jikou and Yusuke Matsui

From July 2004, the observation of solar decimetric radio bursts has been continuously carried out at Awara Space Radio Observatory (ASRO), Fukui University of Technology, providing large amount of digital data in the form of dynamic spectra. To extract the solar radio burst phenomena from stored digital data, the automatic detection system for solar radio bursts has been developed using LabVIEW virtual instrument system. The newly developed detection system can retrieve and display the dynamic spectra only in the periods when solar radio bursts occurred, within 8 minutes from the stored digital data for 4 hours observation.

1. 序論

福井工業大学あわら宇宙電波観測施設 (ASRO) では、2000年よりデカメータ帯木星電波観測システムが稼働を始め、現在は3機の9素子クロスログペリオディックアンテナを用いた干渉計システムとして観測が続けられている⁽⁴⁾。このクロスログペリオディックアンテナ (20~40 MHz) を含むフロントエンド部を共用するデカメータ帯太陽電波観測システムが2003年に開発され⁽⁵⁾⁽⁶⁾、現在に至るまで毎日8時間の定常観測を行うとともに、過去のデータを含めた観測データの解析により太陽電波発生機構に関する幾つかの研究が行なわれてきた^{(1)~(6)}。

これらデカメータ帯の観測に加え、マイクロ波帯 (1.3~2.5GHz) の太陽電波を観測するための電波スペクトル計が開発され、2004年7月より観測を開始した。デシメータ帯 (マイクロ波) 帯太陽電波スペクトル計は、人工衛星との通信用として設置されているパラボラアンテナシステムのL、Sバンド系フロントエンド部を共用し、バックエンド部を新たに追加する事で実現されている⁽⁷⁾、⁽⁸⁾。マイクロ波帯太陽電波観測システムの開発により、デカメータ帯 (20~40MHz) とデシメータ帯 (1.3~2.5GHz) の観測を同時に行うことが可能となった。このことは、コロナ域で発生する太陽フレア現象を、その上部 (フレア発生域の外側) と下部 (太陽面付近) で同時に観測することに対応しており、太陽フレア現象を電波観測を通してより詳細に理解することが可能となる。

* 宇宙通信工学科 ** 宇宙通信工学科4年生

過去3年間にわたり開発されてきた太陽電波観測システムにより、大量の観測データが蓄積されつつあり、本格的なデータ解析を行う必要がある。データ解析システムも既に開発されており、蓄積されたデータファイルからデータを読み出し表示することで太陽電波バーストを確認することが可能であり、そのデータ解析結果については既に学会および研究紀要にて報告されている⁽⁵⁾⁽⁶⁾⁽⁷⁾⁽⁸⁾。しかし、この解析システムを用いる場合、観測時間のほぼ1/5の解析時間が必要であり、かつその間パソコン画面を見続けなければならない、データ解析作業が滞っていた。我々はこのデータ解析システムを改良し、短時間（観測時間の1/30）で電波バーストを自動検出できるシステムを開発したのでここに報告する。

2. 太陽電波データ解析システム

福井工大あわら宇宙電波観測施設において、デカメータ波帯およびマイクロ波帯の太陽電波観測システムが稼動しており、継続的に太陽電波バーストの観測が行われている。これらの観測システムにより蓄積された観測データを解析するためのデータ解析システムもすでに開発されている。図1にデータ解析システムのフロントパネル（National Instruments 社 LabVIEW6.0 を用いて作成）を示す。データ解析システムは、観測システムによりハードディスクに蓄積されたデータの任意の部分を読み出し、画面に表示することが基本機能である。その際にダイナミックスペクトルの時間軸方向にデータの圧縮（データの間引き）を行うことで、任意の時間分解能でダイナミックスペクトルを表示できる。さらに、通信（この帯域では携帯電話の周波数帯が最も強い）や銀河ノイズのように時間的にほとんど変化せず、観測対象である太陽電波に対してはむしろ邪魔になる成分を取り除く機能（バックグラウンド除去機能）を持つ。図1右側のパネルに指定した時間間隔で平均化されたバックグラウンド信号のパワースペクトルを表示し、左側のパネルに解析結果（時間軸圧縮およびバックグラウンド除去を行った結果）のダイナミックスペクトルを表示する（中央部に太陽電波バーストが観測されている）。

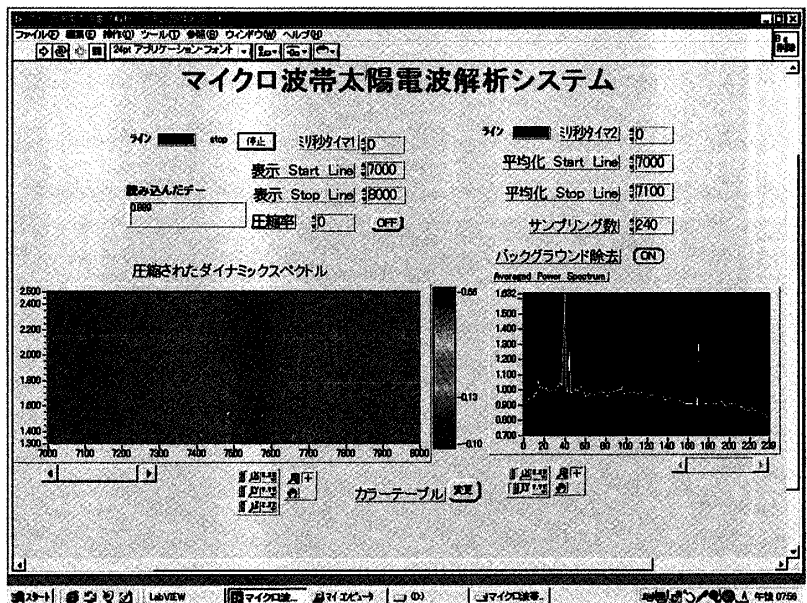


図1 太陽電波データ解析システムのフロントパネル

このフロントパネルの機能を実現するためには、ダイアグラムと呼ばれる1種の配線図が必要となるがその詳細はここでは省略する（参考文献（6）参照）。このデータ解析システムを用いることにより、観測データを画面上にダイナミックスペクトル形式で表示しつつ、太陽電波バーストを目視で確認することが可能である。しかし、このダイナミックスペクトルの画面出力には時間がかかり4時間の観測データを圧縮せずに全データ出力した場合には約50分の解析時間が必要になる。従って、大量に蓄積された観測データを解析するには膨大な時間が必要となりデータ解析が滞っていた。そこで今回新たに、ダイナミックスペクトルを画面上に表示することなく、短時間に太陽電波バーストである可能性が高い部分のみを自動検出し、後にその場所のダイナミックスペクトルのみを画面

出力し、詳細に解析することが可能な太陽電波バースト自動検出システムの開発を行った。

3. 太陽電波バースト自動検出システム

太陽電波バーストが発生すると、通信や人工ノイズさらには太陽の熱電波成分、銀河電波等の背景放射に太陽電波のバースト成分が加わり受信強度が急増する。この増加分を検知することにより太陽電波バーストの候補を抽出することが可能となる。太陽電波バーストには多くの種類があり、その判定にはダイナミックスペクトルを表示し、詳細な解析が必要である。本システムは長時間の観測データの中から、バースト候補を短時間に抽出する目的で開発されたものである。

新たに開発した太陽電波バースト自動検出システムは以下のような機能を持つ。まず、既に開発済みのデータ解析システムのバックグラウンド除去機能を用い、時間変動の少ない背景放射および通信、人工ノイズ成分を除去した後、電波バースト成分を検出する。その際、突発的なノイズ成分（時間的にも周波数的にも狭い範囲の強度上昇）を太陽電波バーストと誤認しないようにするため、強度変化を比較するダイナミックスペクトル上の範囲（横軸時間、縦軸周波数）を設定し、その範囲の平均電波強度がある設定値以上になった場合に太陽電波バーストの候補であると認定しその場所（時間：観測開始からの掃引数）を記録する。この操作を行う際に、通常はダイナミックスペクトルの画面表示を行わず、処理時間を短縮する。この比較、認定作業を1ファイル分（マイクロ波帯太陽電波観測の場合、通常3～4時間の観測）行った後、抽出された電波バーストの候補をダイナミックスペクトル表示し、詳細に解析することができる。また、1ファイル分の観測データ全体を画面上にダイナミックスペクトル表示し、長時間の現象を確認する機能も付与されている。さらに画面上に出力したダイナミックスペクトルデータをプリントアウトすることも可能である。

3.1 太陽電波バースト自動検出システムのフロントパネル

今回開発した太陽電波バースト自動検出システムのフロントパネルを図2に示す。図中上半分は図1に示したデータ解析システムと大きな違いはないが、解析中のデータファイル名を常にフロントパネル上に示すよう①の部分が追加されている。また新たにスペクトル表示ボタンを追加し、解析中にそのダイナミックスペクトルを表示するか否かを設定できる。図2では表示させているが通常は時間節約のため、ダイナミックスペクトル表示せずに検出作業を行わせる。

新たに追加した図2黄色枠②の部分のボタンおよび数値の意味を以下にまとめる。

①平均を取る周波数帯域の幅

縦軸（周波数軸）の何点を平均化に用いるかを設定する。5点若しくは10点のどちらかを選択する。

②時間軸

横軸（時間軸）の何掃引分を平均化に用いるかを設定する。1～25掃引の範囲内ならば変更が可能となっている。

①、②で述べた平均値を取る領域について図3に示す。図3右の部分に黄色で四角く表した部分で平均操作を行う。この例では、時間軸方向に25掃引、周波数軸方向に10点を取った場合を示している。ここで、1.5GHz帯、2.15GHz帯に黄色の四角がないが、これは携帯電話の通信帯の強度変動が無視できず、バックグラウンド除去操作を行っても取りきれないため、この部分を検索対象から外しているためである。

③判別値

太陽電波バーストの候補と判断するための強度増加閾値（V）の設定値である。①②より求め

た範囲のデータポイントの平均値が、この判別値以上を示した箇所が1つでも存在した場合、太陽電波バーストの候補であると判断する（デフォルト値：0.05）。

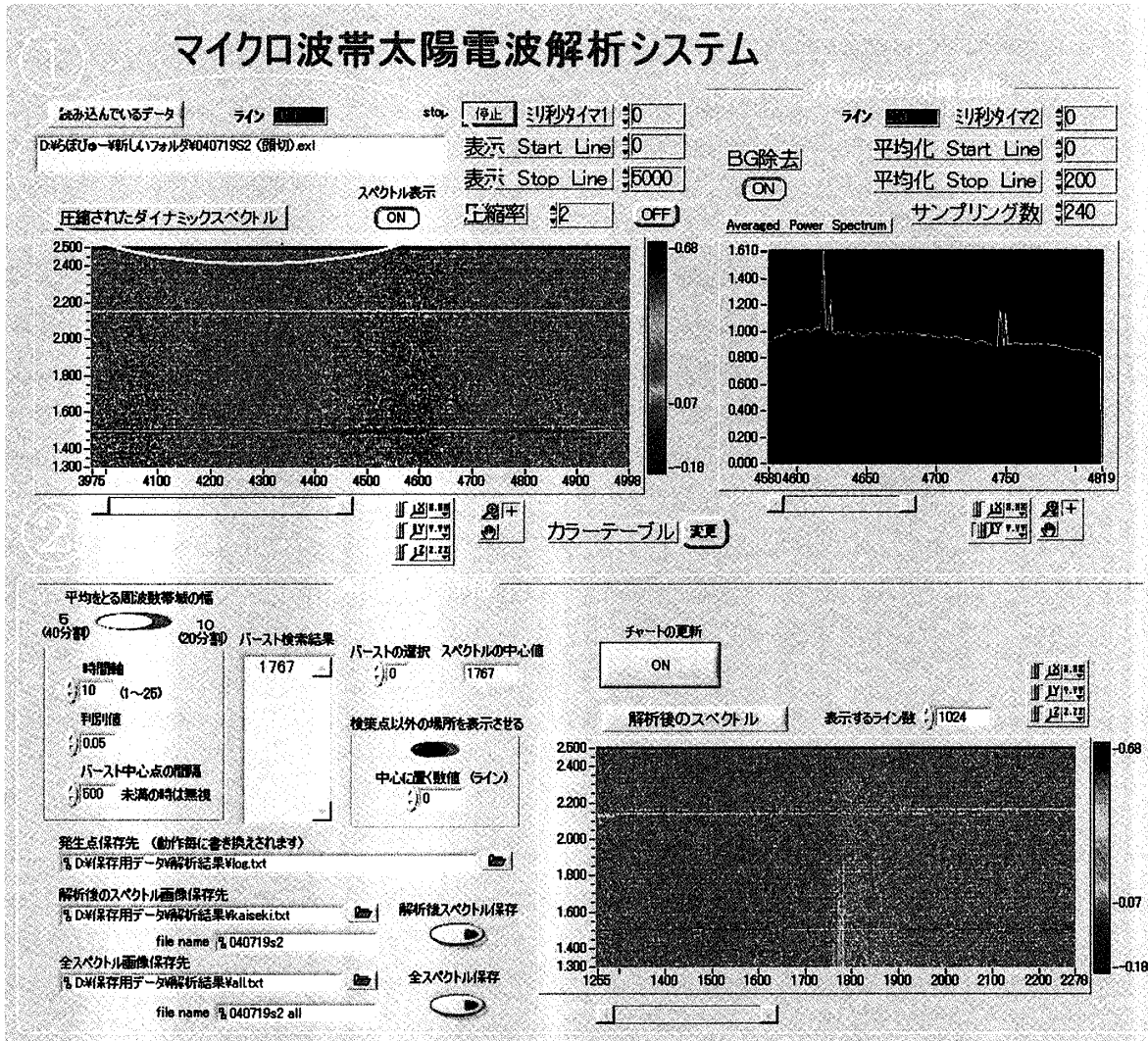


図2 太陽電波自動検出システムのフロントパネル

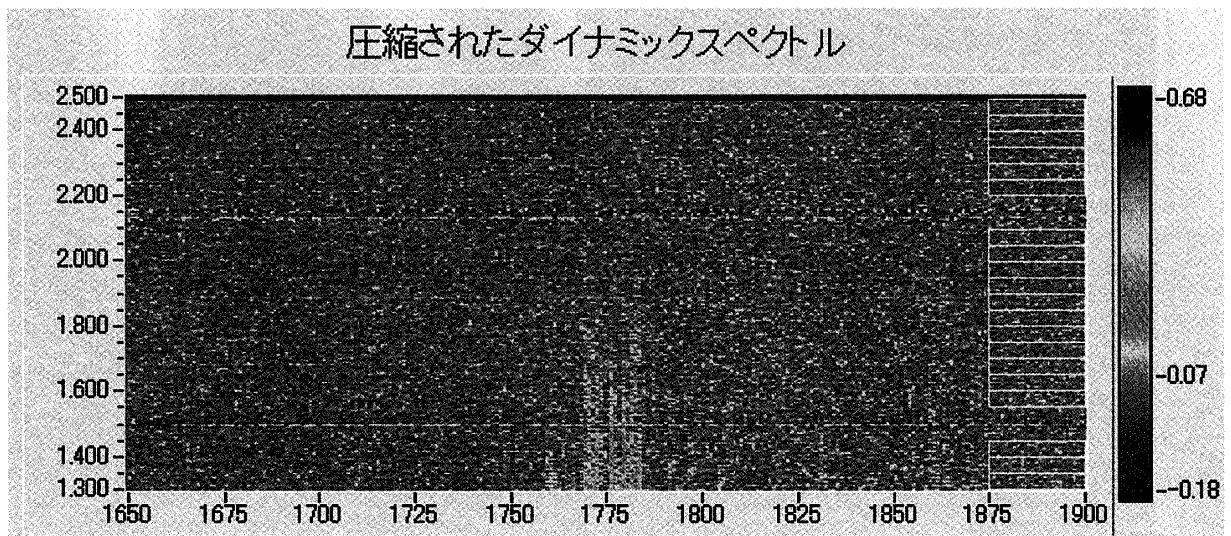


図3 平均操作を行う領域

④バースト中心点の間隔

検出された隣接するバースト間隔（掃引数）がここで設定した数値以上はなれている場合は別のバーストとみなし、検索結果に列挙する。設定値以内の場合は同一のバースト群とみなし、検索結果に記録しない。

⑤バースト検策結果・バーストの選択・スペクトルの中心値

検索の結果、平均値が判別値を超えバースト候補と判断されたライン数が「バースト検策結果」に列挙される。その列挙された値の中から「バーストの選択」の窓に示される数値を指定することにより、表示器に表示させたい検策結果を選択する。この検策結果の値は、平均値が判別値を超えたライン（時間：掃引数で指定）から判別値以下になったラインの中心のライン数（時間：掃引数）が列挙され、右側のダイナミックスペクトル表示器の中心ライン数になる。

⑥検索点以外の場所を表示・中心に置く数値

検索結果に列挙された値以外の任意の場所を読み込みたい場合、このスイッチを ON にすることで「中心に置く数値（掃引数）」の値を中心としたスペクトルが表示される。このスイッチは、解析後このシステムが実行中の状態ならば自在に切替えることができる。

「チャートの更新」ボタンを押すことで、⑤⑥で選択した値を中心としたダイナミックスペクトルが表示器に出力される。チャート表示幅はこの場合 1024 ラインになっているが、値の変更は可能である。また、表示器右のカラーバーの最大値・最小値を変更することで、任意の色合いでダイナミックスペクトル表示が可能である。

⑦発生点保存先

「発生点保存先」は、⑤で使われる「バースト検索結果」の一時記録の保存先ファイルの指定をする。この発生点の検索結果記録は、システムを起動しデータが読み出される度に消去される。

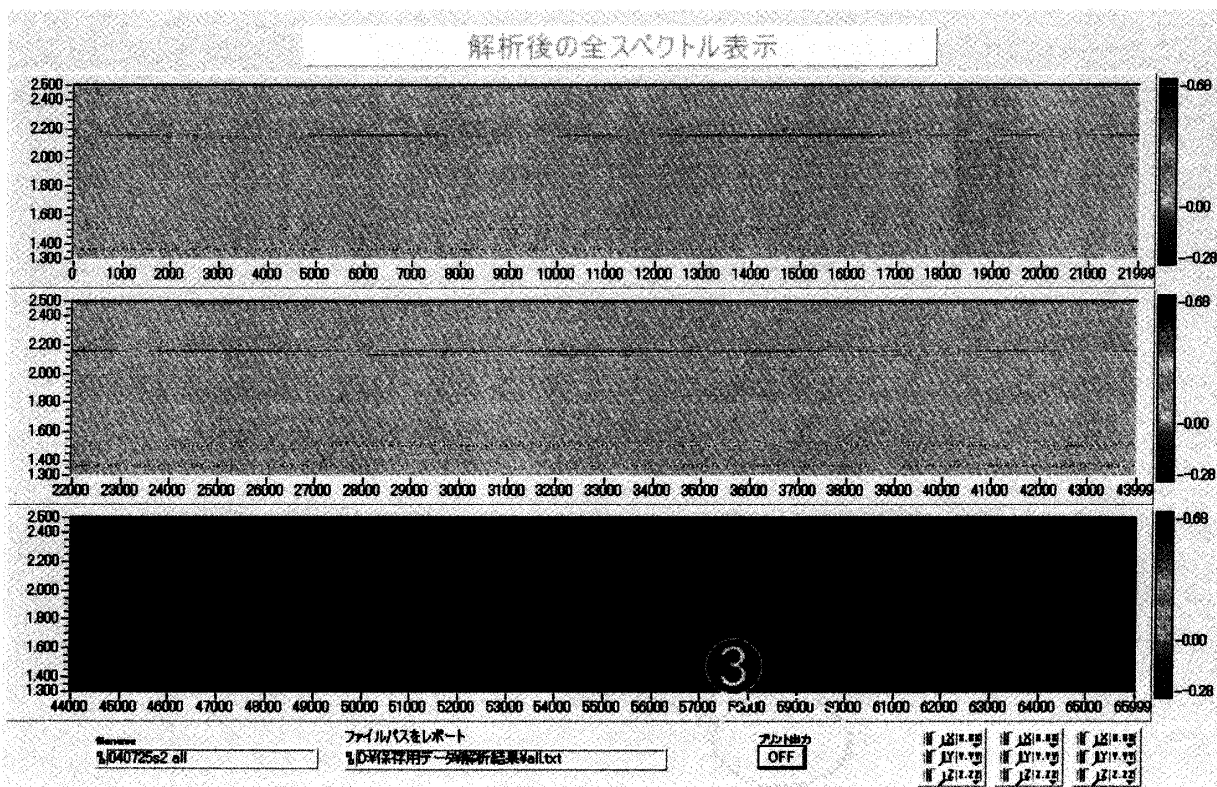


図4 全スペクトル表示画面

⑧解析後及び全スペクトル画像保存先

表示器の画像及び全スペクトルの保存先ファイルの指定をするものであり、「File name」は保存される画像のファイル名である。

各画像の保存 (JPEG 形式) は「解析後スペクトル保存」「全スペクトル保存」のボタンを押すことで行われる。全スペクトル保存のボタンを押すと、自動的に全スペクトル表示用ウィンドウ (図4参照) が開き、ダイナミックスペクトル表示を行った後、その表示画面が保存される。また、「全スペクトル表示画面」には、その画面をプリントアウトするためのボタンが設置されている (図4黄枠③)。このボタンを押すことによりローカルプリンタに画像の出力が可能である。

図2右下のスペクトルが太陽電波バースト候補を自動検出し、画面表示した例である。掃引数1767が検出され、そこを中心とするスペクトルが表示されている。また、左上のダイナミックスペクトルは、検出作業の時間短縮のため通常は表示させない。

3.2 太陽電波バースト自動検出システムのダイアグラム

既開発されているデータ解析システムは「バックグラウンド除去部」「解析部」の2層構造のプログラムであった。今回開発したものは、「解析部」に自動検出機能を加える改良を行ったうえに「画像表示及び保存部」を新たに加えた3層のプログラム構成になっている。このような多層構造のプログラムを連続して実行させるために、LabVIEWはシーケンスストラクチャという機能を用意している。シーケンスストラクチャは、1つのプログラム単位が終了した後、次のプログラム単位へ移るといふ、複数のプログラムを順次進めていくための機能である。また、前のプログラムの処理結果を次のプログラムで利用する事も可能である。

本報告では、シーケンス1の「バックグラウンド除去部」(参考文献(6)参照)、シーケンス3の「画像表示及び保存部」は紙面の都合で省略し、今回のプログラム改良の中心となるシーケンス2の「解析部」(太陽電波バーストの自動検出機能を追加)につき以下に詳しく述べる。

図5上部 a (青い丸) で示した部分で、電波強度の平均を取る領域 (図3参照) をフロントパネルで指定された値を用いて決め、指定された判別値と比較しバーストの判定を行う。図3の黄色の四角のどこか1つ以上の領域で平均電波強度が判別値を上回った場合、その時間帯において太陽電波バーストが発生している可能性が高いものと判定する。

バースト発生の可能性が高いと判定された時は、図5赤枠Aの回路へとつながり、その時のライン数が一時的に「最終発生地点」に記録される。一般に電波バーストはある時間 (掃引数) 継続する。従って、判定を行う領域 (図3黄色の枠) を右方向 (時間軸方向) に1掃引分ずつずらしながら平均操作、判別値との比較操作を行うため、連続して「バースト発生」という判別結果が続くことになる。そこで、この掃引数をすべて記録することはせず、一続きの電波強度の上昇は1つの電波バーストと判断し、バーストの始めと終わりを記録する方法をとる。そこで、バースト発生と判定されたライン数 (掃引数) を常に比較し、連続した数であるかどうかを監視している。連続している場合は同一のバーストとして判断し、次の回路 (A の下の回路) にデータを送らない。つまり、記録に残るのは連続したラインの先頭のみとなり、これをバーストの先頭と考え、「バースト始」に記録する。

バースト発生地点の記録は、図5上部 a (青い丸) の判定でバーストではないと判定されたとき (図5Aの部分図6と入れ替わる) をバーストの終わりとし、図6の回路で行われる。図5Aで求めた「最終発生地点」と「バースト始」から、その中心の掃引数を求め記録する (図6⑬、⑭)。ここで記録された掃引数が図2②中の「バースト検索結果」で読み出されるデータとなる。この際、断続的に発生する1群のバーストは1つのバーストとして検出するようにするため、図2②の「バースト中心点の間隔」で指定された値を用いて、その値以上離れているか否かを図6

⑮の部分で判定している。

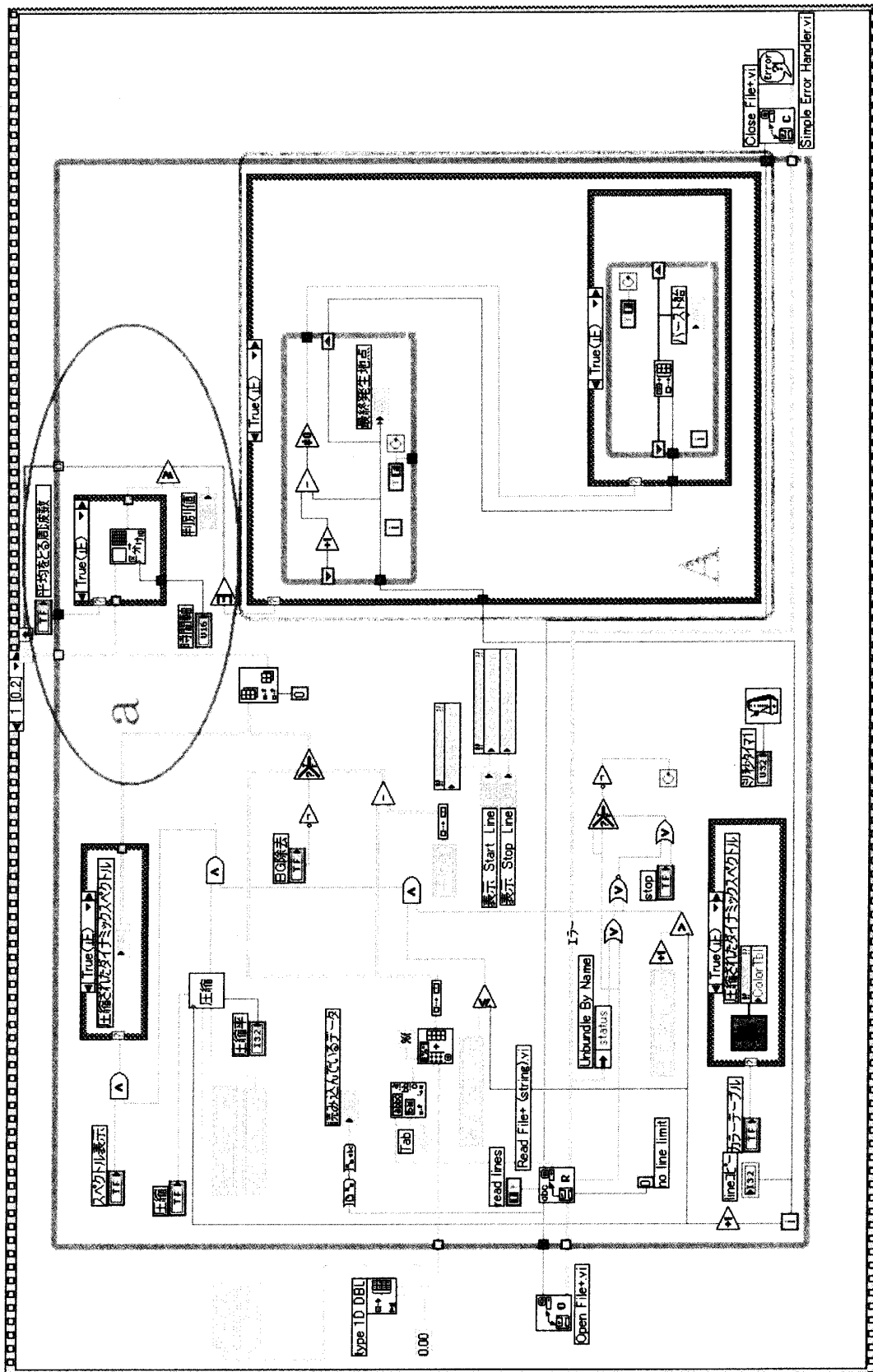


図5 シーケンス2「解析部」のダイアグラム

4. 結論

過去3年間にわたりデカメータ波帯およびマイクロ波帯太陽電波の観測を、あわら宇宙電波観測施設において続けてきた。その結果、大量の観測データが蓄積されており、本格的なデータ解析を行う必要に迫られていた。データ解析システムも既に開発されており、蓄積されたデータファイルからデータを読み出し表示することで太陽電波バーストを確認することが可能であるが、観測時間のほぼ1/5の解析時間が必要であり、かつその間パソコン画面を見続けなければならない、データ解析作業が滞っていた。我々はこのデータ解析システムを改良し、短時間（観測時間の1/30）で太陽電波バーストの候補を自動検出できるシステムを開発した。この太陽電波自動検出システムの開発により、指定したデータファイルから太陽電波バーストの起こっている可能性が

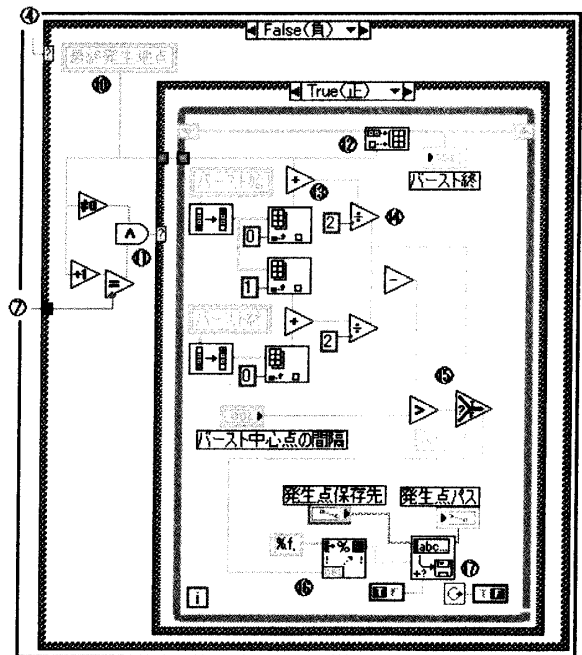


図6 バーストがない場合の解析部 A の回路

高いと思われる時間帯を自動的にかつ短時間で抽出し、後にその部分のダイナミックスペクトルを画面出力し詳細に解析し、太陽電波バーストを判定することが可能となった。

謝辞

本研究は平成16～17年度福井工業大学・学内特別研究費により実施されました。ご支援に深く感謝いたします。

[参考文献]

- (1) Aoyama and Oya : Observation of Solar Radio Bursts Using Swept-Frequency Radiospectrograph, J. Geomag. Geoelectr., 39, 571-589, (1987)
- (2) Aoyama and Oya : Decametric radiations from a large scale magnetic loop in the solar corona, J. Geomag. Geoelectr., 46, 97-105, (1994)
- (3) 青山、大家 : 「スプリット型太陽電波の発生機構」、福井工業大学研究紀要、第 33 号、335-342、(2003)
- (4) 大家 : 「宇宙デカメータ電波干渉計システムの開発とその初期成果」、福井工業大学研究紀要、第 32 号、373-380、(2002)
- (5) 青山、大家 : 「福井工大芦原宇宙電波観測施設における太陽電波観測システムの開発」、地球電磁気・地球惑星圏学会 第 114 回講演会、富山大学、(2003)
- (6) 青山、大家 : 「芦原宇宙電波観測施設におけるデカメータ帯太陽電波観測システムの開発」、福井工業大学研究紀要、第 34 号、323-330、(2004)
- (7) 青山、大家 : 「デシメータ波帯太陽電波観測システムの開発」、地球電磁気・地球惑星圏学会 第 116 回講演会、愛媛大学、(2004)
- (8) 青山、大家 : 「マイクロ波帯太陽電波スペクトル計の開発」、福井工業大学研究紀要、第 35 号、317-324、(2005)

(平成17年12月13日受理)