

大量のパルスデータで地震発生装置を動かす

○岡田 宏太 ^{A)}

^{A)}名古屋大学 全学技術センター

1. なぜ、どのように地震を起こすか

精密に制御された地震波を起こすことで地面内部の情報を取得することができる。その際データ解析を容易にするために地中を伝わる地震波は再現性が高く精密な信号が求められる。地震発生装置はバランスの悪いおもり(偏心おもり)をモーターで回し、地面に衝撃を与えることで地震波を発生させている。高精度なモーター制御によって精密な地震波を実現するのである。

2. 地震発生装置

地震発生装置の概略を図 1 に示す。主要な構成要素はモーター、インバータ、偏心おもり、パルス発生装置、制御 PC となっている。インバータは位置制御モードで動いており、外部から与えられる位置決めパルス(RS422)に応じてモーターを動かしている。モーターの分解能は使用するエンコーダによるが、我々の装置では 2048[step/rev]が一般的である。パルス発生装置は制御 PC から送られてくる周波数に応じたパルス列を生成してインバータに送っている。例えばモーターを 10Hz で動かす場合は、20.48kHz のパルスを送出することになる。

従来のパルス発生装置はマイコンと DDS(Direct Digital Synthesizer)で構成されており、マイコンが PC からの指令に応じて DDS の発振周波数を設定する方式となっていた。つまり設定単位は周波数であり、地震波としては正弦波しか発生させることができない。また周波数を掃引するには制御 PC が必須となっており、長期間の信頼性に不安があった。装置の老朽化により改修が必要となったため、より自由度の高い運転が可能な新しいパルス発生装置を開発することになった。

3. パルス発生装置

開発したパルス発生装置の仕様を表 1 に示す。

表 1 パルス発生装置の仕様

パルス列データ	テキスト形式
入出力ロジックレベル	RS422, TTL
クロック、トリガ	GNSS 同期
時刻同期	NTP
制御 PC との通信	Ethernet

新しいパルス発生装置は生成するパルス列そのものをテキストファイルとして持たせることにした。テキストファイルの中身は 1 行ごとにパルス間隔のクロックカウント数を記した単純なものである。例えば 100 回転分のデータであれば 100 x 2048 行の数値が並ぶことになる。モーターの回転速度は最大 50Hz で 200 秒間の連続運転を想定している。50Hz での運転は 1 秒当たり 102400 パルスなので、200 秒間だと 20.48 x 10⁶ パルスとなる。モーター動作の全てが記述されるテキストファイルは 2 千万行を超える膨大な量になるため、読み込むだけでも相当な時間を要することになり、後述するデータ形式の変更が必要になった。

パルス送出は正確な時刻に同期する必要があるため、トリガおよびクロックは GNSS モジュールからの正確な 1PPS と 10MPPS を利用する。1PPS は動作開始のトリガとして使用し、10MPPS は通倍して 50MHz とし、パルス生成の基準クロックとして使用する。

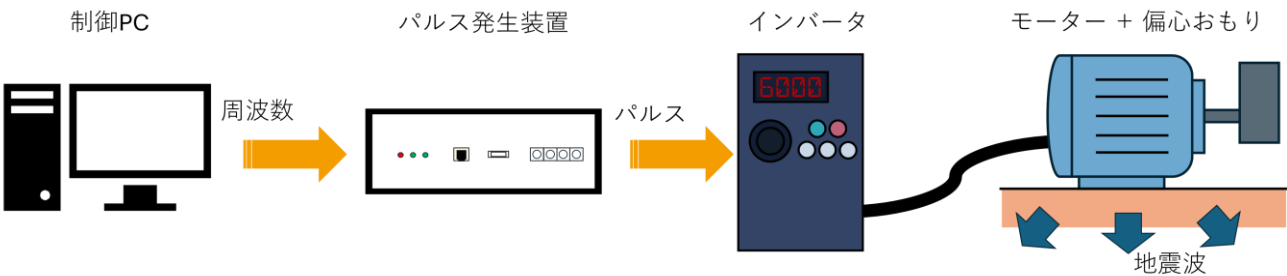


図 1 地震発生装置の概略

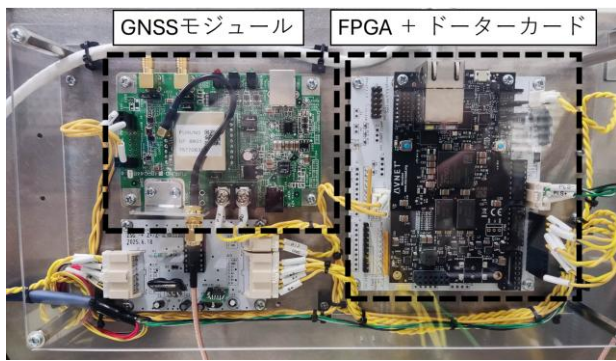


図2 パルス発生装置

図2に製作したパルス発生装置を示す。GNSSモジュールは古野電気 VF-81 を、制御デバイスとしてFPGA 評価ボード(MicroZed)を採用した。大量のパルスデータを柔軟に扱う必要があったので、FPGA にはLinux が動作可能なタイプを選定している。Linux を使うことで NTP サーバーとの時刻同期も簡単に実現できる。FPGA はロジックレベルが3.3V までしか対応できないため、別途製作したドーターカードに搭載することで RS422 や TTL 互換の信号の受け渡しを可能にしている。パルス列データ(テキストファイル)はSFTP などを使ってLinux のファイルシステムに保存する。設定変更などの指令はUDP を使って実現した。

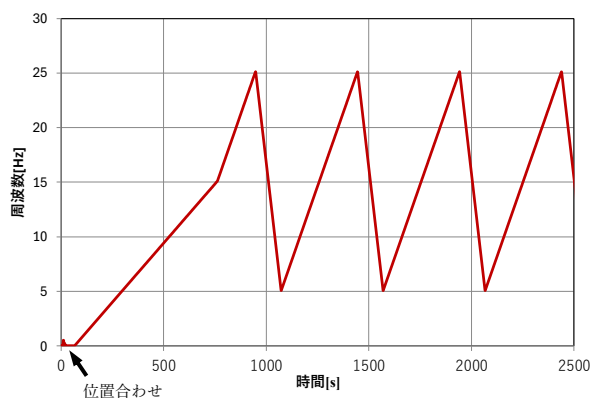


図3 動作例

図3に実際の動作例を示す。縦軸にモーターの回転周波数、横軸に動作開始後の経過時間をプロットした。動作開始直後にわずかに動いているのは偏心重りの位置合わせを行っているためである。複数台の地震発生装置を動かす場合は偏心重りの位相を同期させる必要があるため、最初に重心が下になるように位置合わせをしている。位置合わせが完了したら待機状態となり、動作開始予定時刻1秒前にトリガ入力待ち状態となる。トリガ入力後は徐々に回転速度を上げていき、その後 $15 \pm 10\text{Hz}$ の運転を継続的に行っていることがわかる。

4. パルス列データのファイル形式

テキスト形式パルス列データはLinux 上のファイルシステム(SD カード)に保存されている。このデータは専用のプログラムで解析され、パルス間隔を表す各行の文字列を32bit の符号なし整数型に変換してFPGA のPL 部との共有メモリに展開される。回転数が低速(10Hz 以下)の場合は1分以内に展開が完了するのだが、30Hz を超える高速回転の場合5分以上を要する場合もあり、ユーザーに長い待ち時間を強いることになっていた。

対策としてデータ形式をテキストからバイナリに変更した。含まれるデータはパルス間隔を表す32bit の符号なし整数型の羅列とすることで文字列を解析する必要がなくなり、読み込んだバイナリファイルを直接メモリにマッピングすることができる。この改造により100MB を超えるデータでも数秒で展開することが可能になった。

5. 次世代機の開発

新しいパルス発生装置はFPGA にMicroZed を採用したが、このボードは発売から10年以上たっており、今後の入手性に懸念がある。一方、地震発生装置については現在も新規製作が行われており、パルス発生装置が継続的に必要になることから、最新のFPGA を採用した次世代機の開発が進行中である。図4に開発中の次世代機を示す。FPGA には入手性の良いZUBoard を採用した。すでに基本的な動作検証を完了しており、今後製作される地震発生装置に搭載予定となっている。



図4 開発中の次世代機

5. まとめ

地震発生装置は精密な地震波の生成を目的としており、その方法としてインバータへの位置決めパルスを送出するパルス発生装置が必要である。今回開発したパルス発生装置は大量のパルス列データを直接送出することができ、自由度の高い運転が可能になった。