



Title	FPGA を用いた低コスト・コンパクトNMR 分光装置の開発
Author(s)	宮西, 孝一郎
Citation	平成27年度学部学生による自主研究奨励事業研究成果報告書. 2016
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/54643
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

平成 27 年度学部学生による自主研究奨励事業研究成果報告書

ふりがな 氏名	みやにしこういちろう 宮西 孝一郎	学部 学科	基礎工学部 電子物理科学科	学年	3 年			
ふりがな 共同 研究者名		学部 学科		学年	年			
					年			
アドバイザー教員 氏名	北川 勝浩	所属	基礎工学研究科システム創成 専攻					
研究課題名	FPGA を用いた低コスト・コンパクト NMR 分光装置の開発							
研究成果の概要	研究目的、研究計画、研究方法、研究経過、研究成果等について記述すること。必要に応じて用紙を追加してもよい。							

① 研究目的

私は NMR 量子コンピュータについて興味を持っています。現在大規模な NMR 量子コンピュータの操作には高性能な NMR 分光装置を何台も組み合わせたような大規模な実験装置が必要で、非常に高価で大型のものとなってしまいます。そこで、近年のエレクトロニクス技術の進歩を分光装置に応用することで低コスト・省スペース化することができるのではと考え、今回の研究に至りました。実際には、ディジタル回路をカスタマイズ可能にして集積化したチップである FPGA を心臓部に用いる装置で NMR 分光実験が可能であることを明らかにします。

② 研究方法

まず、NMR 分光実験について説明します。NMR の原理は磁場下の試料にコイルを巻いておいて、強力な電磁波パルスを照射し、その直後に返ってくる応答信号を受信するというものです。そのため、実験装置としては送受信機能を持った分光装置からパルスを出し、パワーアンプを通して強度を増幅させて試料に照射し、パルスを打ったとほぼ同時に試料からの応答信号を分光装置で観測するというものが需要です。今回の研究で取り組むのは、分光装置部分を FPGA にして NMR 実験を行うというものです。

今回の研究には、FPGA 信号処理実験基盤 APB-3 (50,000 円弱) を用います。APB-3 にはいくつかの信号発生機能とオシロスコープ機能を備えたサンプルプログラムがあり、そのサンプルプログラムを改造することによって、任意周波数、振幅、時間幅のパルス出力と同時送受信機能を実装させることによって NMR 実験を行います。



図 1 実際に用いた APB-3

③ 研究計画

本事業開始までの取り組みとして、FPGA の仕組みについて理解し、そのプログラムのための VHDL 言語について学んできました。そして、実際に FPGA を用いて簡単なディジタル回路の実装をしてきました。

それでは、本事業における研究計画を以下に説明します。

最初に APB-3 のサンプルプログラムの解読を行い、NMR 分光装置に必要な機能がすでにどの程度担保されているかを調べ、今後どのような改造が必要なのかを検討します。

次に、解読した結果を踏まえて、周波数、時間幅、強度可変のパルス波を出力でき、かつ、パワーアンプを動作させるためのゲートパルスを同期して出力できる機能を実装するように APB-3 のプログラムを改造します。必要な機能を実装したら、NMR 実験では電磁波の送受信をほぼ同時に行なう必要があるので、実験用のソフトウェアの改造も行います。

以上の計画で FPGA を用いた NMR 分光装置を作成し、最後に、周辺回路増幅器、NMR プローブなどの必要となる周辺装置を組み立てて、実際に NMR 実験を行います。

④ 研究経過

まず初めに、サンプルコードを解読していきました。解読目標は、全体としてどこでどのような機能が行われているのかを解読することと、信号発生機能とオシロスコープ機能についてどのような信号が入ってきて、どのような処理を経て出力されるのかを知ることです。その結果を図 2 に簡単にまとめました。

次に、以上の解読結果から APB-3 とそのサンプルコードを改造することによって、NMR 実験をするにはどのような機能を実装すればいいのか、よりよい機能としてどのようなものを実装できそうか、また、どのような点が難しいかなどについて、教授や研究室の先輩などと話し合うことで具体的に今後どのようにしていくかを決定しました。

その結果、次の点を改造していくことにしました。

- (i) 0.4 T 下の ^1H スピンの NMR を目指して 17MHz の搬送波で指定の長さのパルスを打てる。
- (ii) 17MHz パルス照射に十マイクロ秒程度先駆けてアンプ用ゲートパルスを打てる。
- (iii) 送受信同時に行う。
- (iv) できれば、パルス長、パルス振幅を可変にする。

次に、今まで解読してきたサンプルコードをベースとして上記の改造を行いました。次頁以降、一つ一つについて述べていきます。

APB-3 ブロック図

➡ : 信号発振器の流れ
⬅ : オシロスコープの流れ

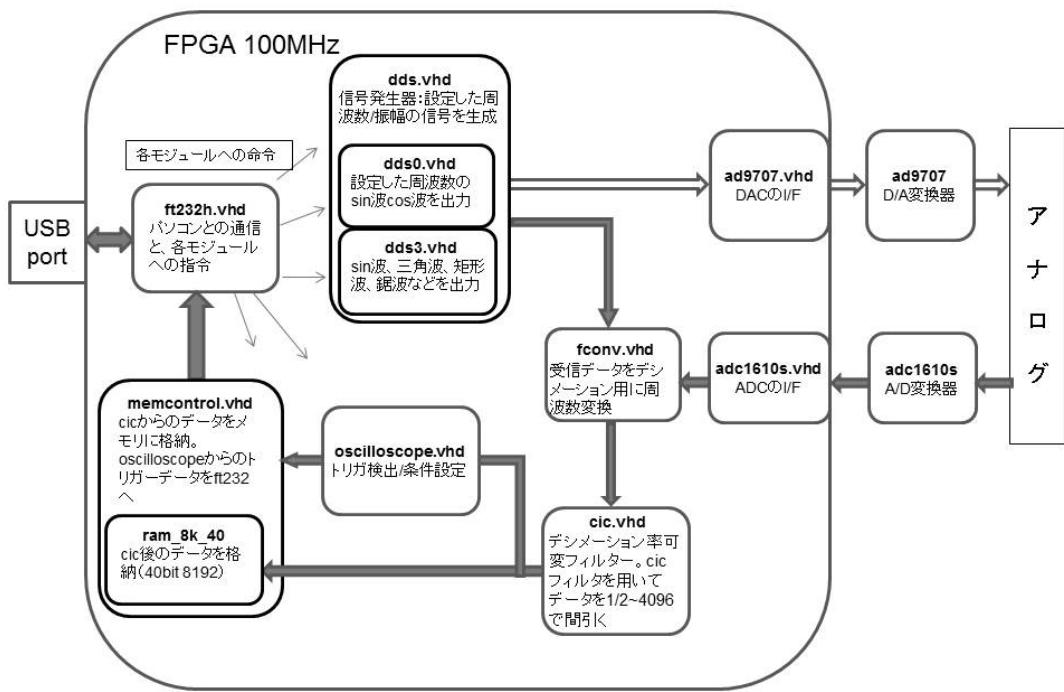


図 2 APB-3 の信号発生機能とオシロスコープ機能について概略図

(i) 17MHz の搬送波で指定の長さのパルスを打てる。

これについては、備わっている cos 波形出力機能、また連続変調機能をベースに、FPGA にタイミング制御器を実装し、任意の長さの矩形パルスの変調信号を掛け合わせることによって実現することができました。

(ii) 17MHz パルス照射に十マイクロ秒程度先駆けてアンプ用ゲートパルスを打てる。

APB-3 には同軸出力端子が一つしかなかったので、まず出力用に別の端子から同軸ケーブルへと出力できるようにしました。そして、上記のタイミング制御器と同期して 17 MHz パルス照射に十マイクロ秒程度先駆けてパルスを出力するための回路を FPGA 内に実装しました。

以上の二点について、実装して、図 3 のように望んだ信号が送信できていることを確認しました。

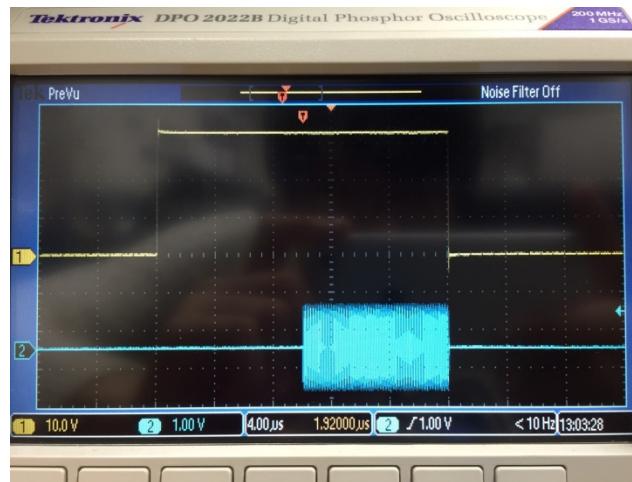


図 3 上の波形はアンプ用ゲートパルス、下の波形は 17 MHz パルス (1 マス 4 マイクロ秒)

(iii) 送受信同時に行う

まず、ソフトの解読を行った結果から、ft232h.vhd 中のステートマシンはとても複雑であつたため、ここを改造するのは困難と判断しました。そこで、サンプルプログラムにあるオシロスコープ機能に上記で実装した 17 MHz パルスとアンプゲート用パルスの出力機能を付け加える形で同時送受信機能を実装しました。具体的には、ソフト上でオシロスコープ機能を開始する動作を行うと同時に信号波パルスとアンプゲート用パルスを出力します。

以上のように、ひとまず APB-3 の改造を終えました。

最後に、作成した APB-3 を用いて DNP (動的核偏極) -NMR 実験を行いました。

実験では、作成した APB-3 を用いて 17MHz の搬送波を持つ 2 マイクロ秒の長さのパルスを出力し、パワーアンプを用いて振幅を増幅させたものを DNP 後の試料 (*p*-terphenyl 単結晶) に照射して、その応答を APB-3 を用いて観測しました。

実験結果は次の図 4 のようになりました。

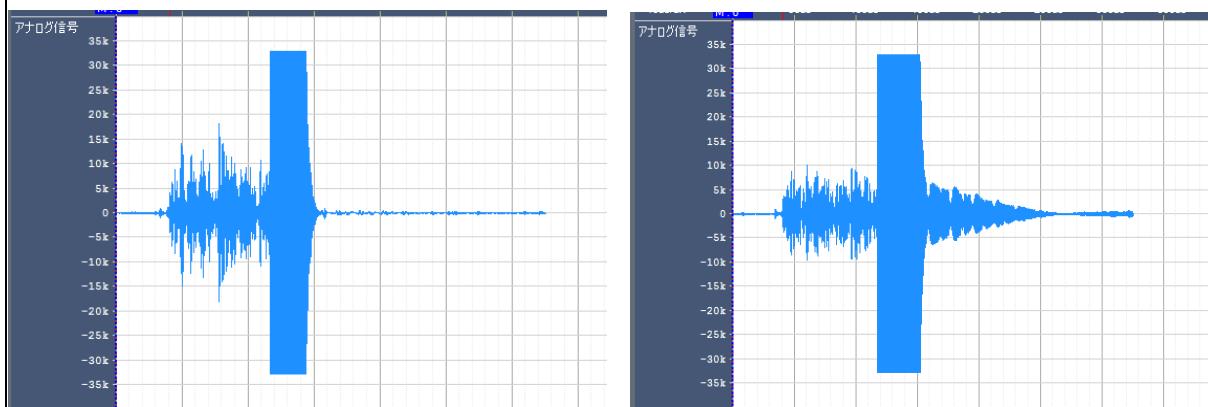


図 4 (左) 装置に試料を入れない場合、(右) 入れた場合の観測結果 (1 マス 12.5 マイクロ秒)

図 4 では、最初の数十マイクロ秒間はアンプが動作して増幅されたノイズが検出されています。そのあとの数マイクロ秒間は照射したパルスの過渡現象によって生じた信号が受信ラインに混入してきているものです。そのあとの信号で、試料が入っているほうは応答信号が返ってきていますが、試料が入っていないものは返ってきていません。このようにして NMR 実験が行えることを確認できました。

⑤ 研究成果

FPGA 信号処理実験基盤 APB-3 を用いて固定周波数、時間幅、振幅を持つパルスとそれに同期したゲートパルスを出力させ、同時送受信機能を実装することによって NMR 実験を行うことができました。しかし、C#で記述されているソフトウェアを改造することまでできていないため、測定データをファイル出力させる機能と (iv) のパルス長、パルス振幅を可変にする機能の実装には至っておらず、これが今後の課題であると思っています。低コスト・コンパクトな NMR 分光装置が完成できれば、これを大規模に組み合わせることで NMR 量子コンピュータの制御を実現できるようになります。本研究はこの第一歩として行われました。