

リコンフィギャラブルコンポーネントの研究

Study of space-borne reconfigurable component

リコンフィギャラブルコンポーネントを使用した宇宙機開発の提案

Proposition to develop space-borne equipments by use of reconfigurable component

総合技術研究本部 高度ミッション研究センター 瀬在俊浩, 久田安正

Advanced Mission Research Center, ISTA Toshihiro Sezai, Yasumasa Hisada

## Abstract

In order to develop space-borne equipments efficiently, authors propose the development by use of RC-C (reconfigurable component). RC-C is to be functioned by softwares and the softwares are to be installed into RC-C after the RC-C manufacture. Thus, RC-C can be reconfigured by installing softwares. If RC-Cs are manufactured in advance, we need to develop only softwares for developing space-borne equipments. RC-C is expected to contribute to the efficient development of space-borne equipments greatly.

## 1.はじめに

本研究は、従来「宇宙用ソフトウェア無線(SDR: software defined radio)技術の研究」として実施していたものを「宇宙用リコンフィギャラブルコンポーネントの研究」と変更し、17年度より実施しているものである。SDR技術を実現させる為には、ソフトウェアを組み込むハードウェアが必須である。このハードウェアをシステム毎に設計したり、或いはそこに組み込んだソフトウェアが書き換えられないようでは、SDR化してもその利点を十分に活かすことは出来ない。SDR技術を実現する為には、ソフトウェアを組み込むことが可能、且つソフトウェアを書き換えることが可能な共通コンポーネント(ハードウェア)を実現させることが先決である。この概念を実現させるハードウェアをここではリコンフィギャラブルコンポーネント(RC-C: reconfigurable component)と呼ぶ。RC-Cでは機能をソフトウェアで実現する為、無線機器以外への適用も可能で、非常に汎用性がある。よって、RC-Cを宇宙機開発の際に使用すれば、開発を効率化させることが出来ると期待される。本研究は、RC-Cの開発の目処を立てることを目標として実施している。

## 2.研究の概要

17年度はRC-Cの基本構成を検討し、そのブロック構成を明らかにした。又、宇宙用機器へのRC-C適用例を検討し、同一設計のRC-Cにより複数システムへの対応が可能であることを示した。

## 3.成果の概要

RC-Cの基本構成を説明する前に、機能をソフトウェア化することの特徴と利点を整理し、ソフトウェア化により宇宙機開発が効率化されることを説明する。又、RC-Cを使用した宇宙用機器の開発の概念を説明し、ソフトウェア化以上に効率化が可能であることを示す。

### (1)ソフトウェア化の特徴・利点

地上民生機器では、携帯電話に代表される通信機器や映像・音楽のマルチメディア関連機器の高性能化、小型化、低価格化の進展が著しい。これはムーア則としても知られるように、半導体技術の継続的な発展、並びにオールデジタル化を背景とした機能のソフトウェア化によるものである。ここで、機能のソフトウェア化の特徴・利点をまとめると、以下のようになる。

(a)小型、軽量、低コスト

機能をハードウェアで実現する場合と比較すると、部品点数が少なく済む。これにより、小型化、軽量化、低コスト化を図ることが出来る。

(b)ハードウェアとの分離、柔軟性、適用性

- ・機能変更、更新、及び追加に対応する際には、ハードウェアを変更する必要はなく、ソフトウェアを変更するのみでよい(ハードウェアとの分離)。
- ・ソフトウェアで機能を実現させる為、ハードウェアの場合と比較すると柔軟性、適用性に富む。

(c)開発期間の短縮

- ・機能確認・試験はコンピュータとソフトウェアで実施される。よって、同一品質で、漏れなく、正確、且つ高速に実施することが可能である。
- ・デバッグ、或いはトラブルシュートを行う際には、ハードウェアで構成された機器の場合、特殊な装置の使用、或いは分解が必要で、非常に困難であると共に時間が掛かる。一方、ソフトウェア化された機器の場合は、コンピュータとソフトウェアを使用し、容易に動作を1つずつ確認することが出来る。

(d)その他

数式通りに動作させることが出来る為、精度の高い機能を効率的に実行することが出来る。

一方、宇宙用機器と地上民生機器を比較すると、宇宙用機器には以下の特徴(問題点)がある。

- ・特徴1 重量、寸法に大きな制約がある。
- ・特徴2 同じ機器を大量に製造することは殆どない。
- ・特徴3 開発期間・コストが大幅に掛かる。

しかし、機能をソフトウェア化することにより、特徴1と特徴3は、前述の(a)、(c)に示したように、問題を軽減することが理解出来る。

(2)RC-Cの概念

地上民生機器の内、通信機器においては、(1)で説明したソフトウェア化の他に、SDR技術として知られるソフトウェア化が進んでいる[1-4]。SDR技術は単にRF(radio frequency)、或いはIF(intermediate frequency)領域を含めた機能をソフトウェア化するのみではなく、ソフトウェアを無線を介して入れ替えるという特徴もある。

(1)で説明したように、機能をソフトウェア化することにより、宇宙用機器の開発を効率化させることは可能である。ここではソフトウェア化の特徴(b)(ハードウェアとの分離)とSDR技術におけるソフトウェアの入れ替えに注目して更に検討を行う。

ハードウェアが分離可能であるということは、ソフトウェアを実行出来るハードウェアであれば、如何なる構成でもよいということである。この際、ソフトウェアを組み込むことが可能な同一のハードウェア設計の機器を使用すれば、ある程度の量産化が可能であり、(1)で説明した以上の低コスト化が期待出来る。しかしながら、同一のハードウェア設計の機器を使用したとしても、実行させるソフトウェアをハードウェア製造過程の一環として組み込むような機器では、ソフトウェア化による柔軟性を十分に活用することは出来ない。ここにSDR技術におけるソフトウェア入れ替えを適用し、ハードウェア製造後にソフトウェアをインストール出来るようなハードウェア構成とすれば、機器の柔軟性を大きく向上

させることが可能となる[5]。

以上より、ソフトウェアを効率的にインストール出来る同一設計のハードウェアを開発すれば、異なるソフトウェアをインストールすることにより、ハードウェアを変更することなく、機能を変更すること、即ちコンフィギュレーションを変更することが可能となる。このような機器をリコンフィギャブルコンポーネント(RC-C)と呼ぶ。

Fig.1にRC-Cを使用した宇宙用機器の開発概念を示す。ここには従来の宇宙用機器の開発概念も示している。従来の開発では、必要な機能を有する機器を個別に設計、製造していた。RC-Cを使用した開発は、機器に必要なソフトウェアを開発し、それをRC-Cにインストールすることにより実現される。RC-Cはソフトウェアに先立ってある程度の数量を開発しておくことが可能である為、機器開発の際に必要なのはソフトウェアの開発のみである。よって、RC-Cを使用した開発では大幅な効率化を図ることが出来る。

RC-Cを使用した開発が可能な機器には、ソフトウェア化が可能な機器の他に、デジタル処理を実施する機器も含まれる。よって、RC-Cを適用出来る機器は多数に上り、多数のRC-Cをまとめて製造することが可能となる。これにより、宇宙用機器の特徴の1つである量産されないという問題を解決することが出来る。RC-Cの概念は地上民生機器への適用も可能であるが、量産化されにくい宇宙用機器へ適用することにより、その効果が一層発揮される。

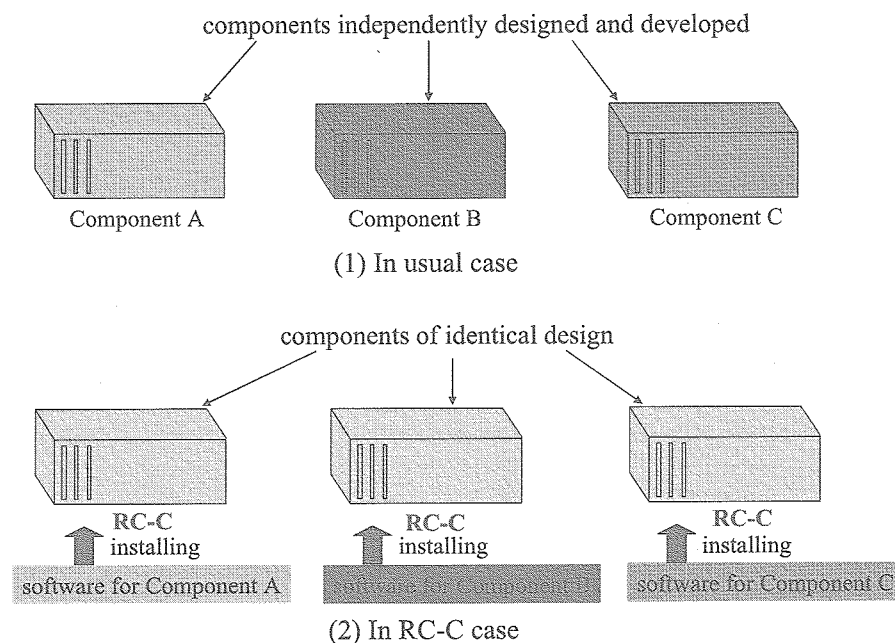


Fig.1 Concept of development of space-borne equipments

### (3)RC-Cの基本構成

(2)で説明したように、宇宙用機器をRC-Cを使用して開発すれば、開発が大幅に効率化される。ここではソフトウェアが効率よく実行出来、且つインストールが可能なハードウェア構成に関して説明する。

検討の結果、RC-Cの基本構成ブロックとしてFig.2が得られた。但し、RC-Cを通信用機器に適用する際には、受信のみに適用することを前提とした。RC-CはA/D(analog to digital)変換器、D/A(digital to analog)変換器、デジタルダウンコンバータ、FPGA(DSP) (field programmable gate array, digital signal processor)、クロスバ、プログラムメモリ・制御部、(共有)メモリ、プログラムI/F(interface)部、バスI/F部、クロック回路、電源部から構成される。

FPGA(DSP)で実行されるプログラムは、プログラムメモリ内に格納され、その制御部によりFPGA(DSP)に伝送される。プログラムはプログラムI/F部を経由して外部からプログラムメモリ内にインストールされる。FPGA #1はインストールされた処理の他に外部とのI/O(input output)も担う為、高速処理が要求される。FPGA #2~#N(DSP #1~#N-1)ではFPGA #1のような高速処理の必要はないが、インストールされたソフトウェアに応じた段数を設置する。最終段のFPGA #N (DSP #N-1)には、その他のFPGA(DSP)、並びにクロスバを制御する機能を持たせる。メモリにはFPGA(DSP)で共通に使用するデータが格納される。

RC-Cでの信号の流れは次の通りである。外部から入力されたアナログ信号はA/D変換器でデジタル信号に変換される。外部からデジタル信号が入力される場合は、A/D変換器は不要である。デジタル信号は、周波数をダウンコンバートする必要がある場合にはデジタルダウンコンバータを経由して、その必要がない場合には直接FPGA #1に入力され、処理される。デジタルダウンコンバータへの要求性能によっては、FPGA #1にその機能を含めることは可能である。FPGA #1で処理をされた信号は、クロスバで選択されたFPGA #m (DSP #m-1)に入力され、処理される。これ以降も信号は同様にFPGA(DSP)で処理され、信号は最終的にバスI/F部を経由して外部へ出力される。又、FPGA #1は外部機器制御用信号も出力し、D/A変換器を経由して外部へ出力される。

RC-Cの適用先として考えられる通信用機器では、RF信号のような高周波信号が扱われている。その為、現状のA/D変換器の変換速度では対応が出来ない場合もある。このような場合は、信号をRC-Cに入力する前にハードウェアによりダウンコンバートする必要がある。この際、機器によってはダウンコンバート時に信号を2系統(I, Q)に分離することがある為、Fig.2では2系統の入力を示している。

Fig.2に示される構成のRC-Cを使用した宇宙用機器の開発例として、TT&C(telemetry, tracking and command)用のPSK(phase shift keying)-PM(phase modulation)受信機とスペクトラム拡散受信機を考える。これらの受信機は一般的にFig.3に示す構成となっている。この時、IF以降の処理をRC-Cで実施することを考えると、Fig.2の①~④のブロックにTable.1に示す機能を持たせるようにソフトウェアをインストールすると、同一設計のRC-Cを使用して、異なる通信方式のTT&C機器を開発することが出来る。上述した通り、ここではハードウェアにより信号をRFからIFへダウンコンバートすることを前提にしている。

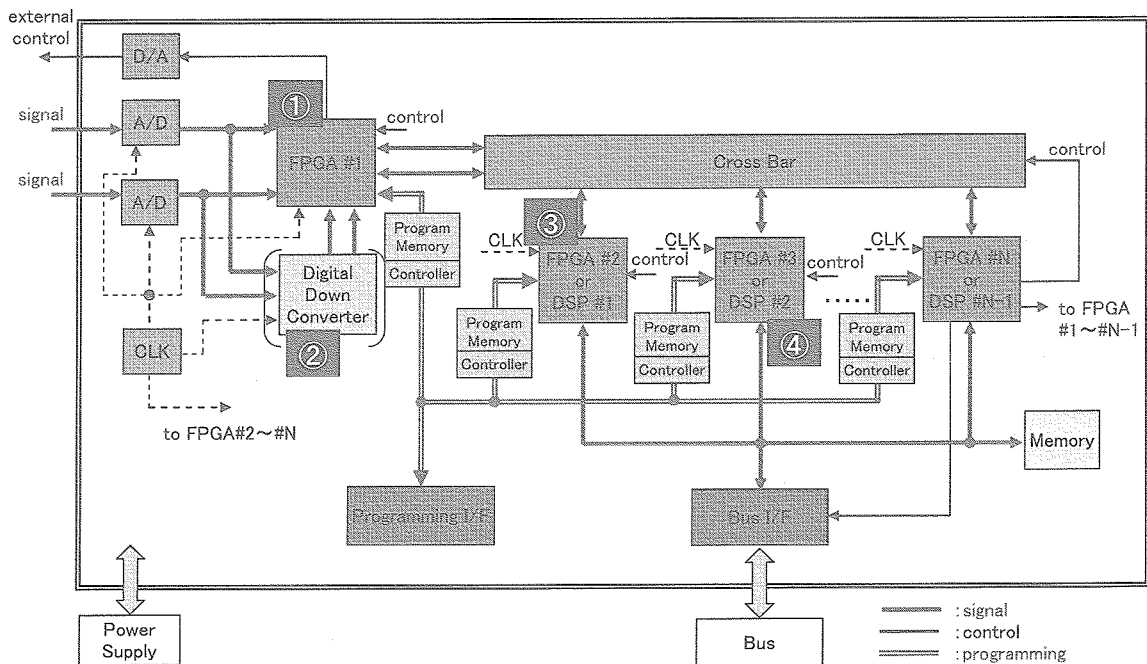


Fig.2 Basic block diagram of RC-C

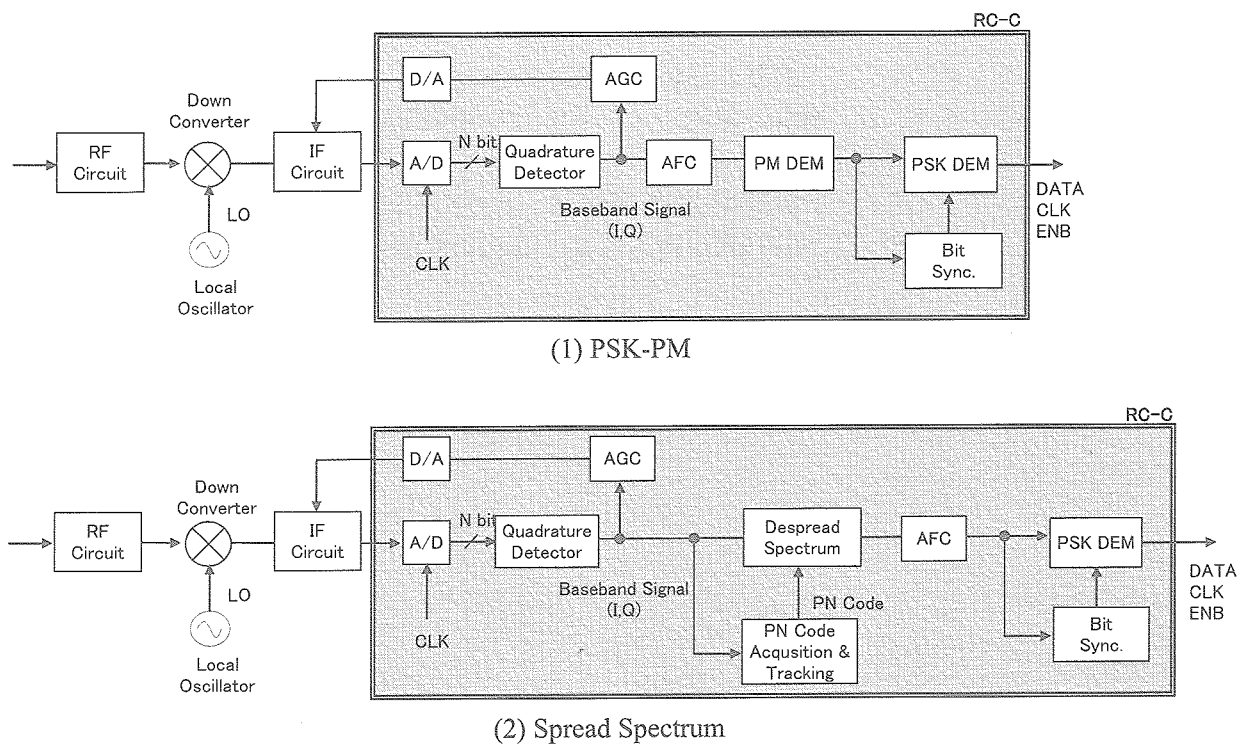


Fig.3 RC-C application to TT&C Receivers

Table.1 Function Assignment of blocks in RC-C

	PSK-PM	Spread Spectrum
①	filtering change of A/D converter sampling rate AGC level detector AFC frequency detector	filtering change of A/D converter sampling rate AGC level detector despread spectrum AFC frequency detector
②	quadrature detector NCO Controller in AFC circuit	quadrature detector NCO Controller in AFC circuit
③	PM demodulation	PN code acquisition and tracking
④	PSK demodulation bit synchronization	PSK demodulation bit synchronization

AGC: automatic gain control,  
AFC: automatic frequency control,

PN: pseudo noise  
NCO: numerical controlled oscillator

#### 4.まとめ

本論文では、宇宙用機器の開発の効率化を図る為に、機能のソフトウェア化とソフトウェアの入れ替えを宇宙用機器に適用出来るようにするRC-Cを提案した。又、RC-Cの基本構成と、同一設計のRC-Cが複数の宇宙用機器へ適用出来る例を示した。

今後は、RC-C用として実際に使用できる部品の性能を考慮し、実現可能な機能・性能を具体的に検討したい。又、通信用機器へ適用する際の送信対応に関しても検討したい。

[参考文献]

- [1] 荒木、鈴木、原田：ソフトウェア無線の基礎と応用、サイペック、2002.10
- [2] 片桐、竹田、仙波、久田、辻、瀬在、鈴木：ソフトウェア無線技術の衛星搭載通信機器への適用、電子情報通信学会、信学技法SR03-8、2003.6
- [3] 久田、辻、瀬在：ソフトウェア無線技術の宇宙機応用、第47回宇宙科学連合講演会、3H7、2003.1
- [4] 久田、辻、瀬在：ソフトウェア無線技術の衛星応用、電子情報通信学会、信学技法SANE2003-81、2003.11
- [5] 岡崎、武田、岩瀬、久保、村上：ソフトウェア無線に適したプラットフォームの提案と開発、電子情報通信学会総合大会、B-17-10、2004.3