ROS2rapper インターフェース解説書

2024/SEP/26

株式会社アックス

1. 概要

1.1. はじめに

“ROS2rapper”は、ROS2の通信のRTPSプロトコルなどのハードウェア実装であり、HLS C++とVerilogで記述されている。
本文書では、ROS2rapperを利用したシステムの設計を行うユーザのための情報を提供する。

1.2. ROS2とROS2rapper

ROS2採用システムにおけるROS2rapperの位置づけを、Fig.1.1に示す。着色された部分が、ROS2rapperの各モジュールである。
ROS2rapperは、RTPS/UDP/IPプロトコルを実装している。それに加えて、ROS2rapperのIP及び実装サンプルには通信の物理層にEthernetを用いた実装も含んでいる。
なお、Ethernet以外の物理層も使用可能である。そのためには、物理層およびROS2rapperとのインターフェース部分を、別途実装すること。

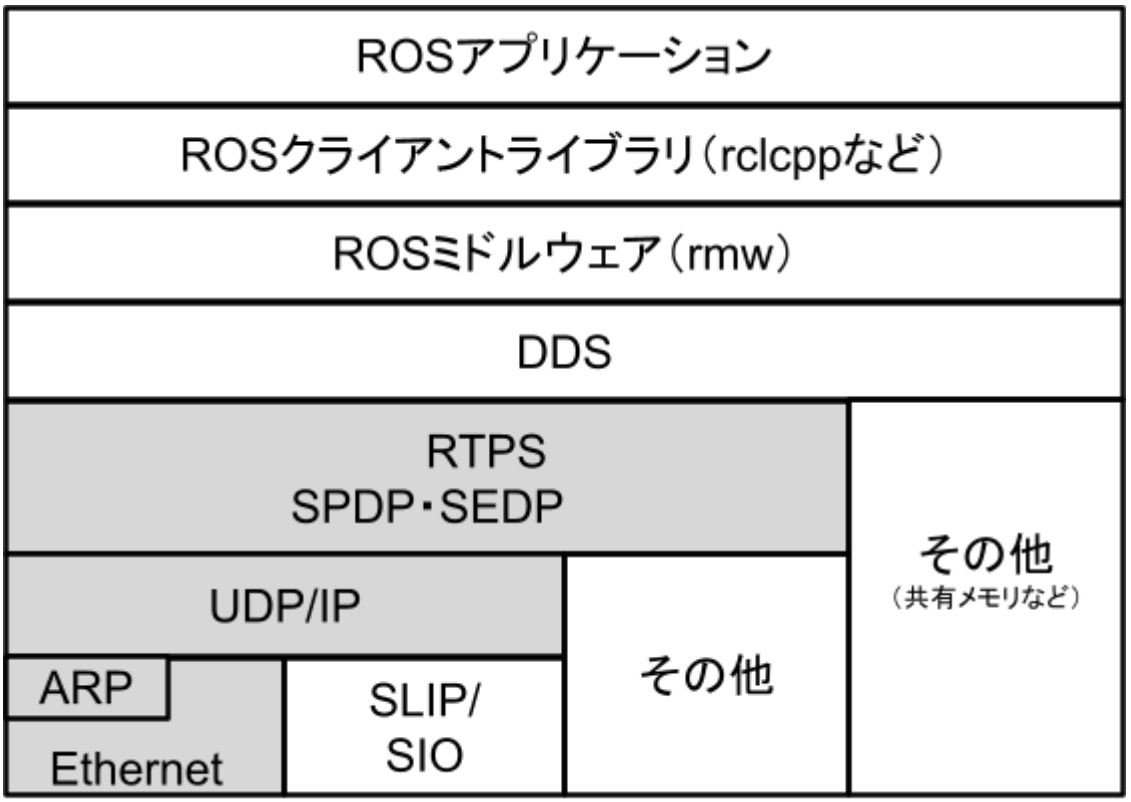


Fig.1.1 ROS2アーキテクチャにおけるROS2rapperの位置づけ

1.3. サポートしている機能

本IPが提供する機能をTable 1.1に示す。
本ROS2rapper IPは、下記の各機能を独立して個々に有効化/無効化できる。

- ROS2パブリッシュ機能
- ROS2サブスクライブ機能
- Ethernet

Table 1.1 サポート機能一覧

機能		内容	備考
プロトコル	RTPS SPDP SEDP	ROS2トピックのパブリッシュ	
		ROS2トピックのサブスクライブ	
	UDP/IP	UDPデータグラムの送信	
		UDPデータグラムの受信	
通信物理層	Ethernet	Ethernet層	Ethernet以外の物理層に差し替え可能
	ARP	物理アドレス解決	

1.3.1. トピックのパブリッシュ

ROS2ネットワークへトピックをパブリッシュする。トピックをサブスクライブしたすべてのノードに対し、一定周期でメッセージを送信する。メッセージの型は任意であるが、ユーザが適切にシリアライズする必要がある。

1.3.2. トピックのサブスクライブ

ROS2ネットワーク上のトピックをサブスクライブする。パブリッシャからメッセージが届くと、その内容をメモリ・インターフェースで外部メモリに書き出し、通知信号をアサート(「1」と)する。

1.3.3. UDPデータグラムの送信

任意のペイロードを持つUDPデータグラムを送信する。ユーザは、宛先IPアドレス・宛先ポート・送信元ポートを指定できる。

1.3.4. UDPデータグラムの受信

指定したポート番号宛のUDPデータグラムを受信することができる。ポート番号は1つのみ指定できる。RTPS通信に支障が出るため、RTPS通信で使用されるポート番号(付録7.3参照)は指定

してはならない。なお、受信するUDPデータグラムはペイロード長が248バイト以内でなければならない。その長さを超えるデータグラムは、破棄される。

1.4. 制限事項

本ROS2rapperのIPには、以下の制限事項が存在する。

- ノード数は1個
- パブリッシュ/サブスクライブできるトピックは合計4つ
- 通信相手のノードの離脱は検出できない
- メッセージ・サイズや通信可能ノード数などの制限(定数一覧を参照)

1.5. ROS2・RTPS用語の対応

本IPはRTPSの実装であるが、本書では主に、対応するROS2の用語で説明する。
なお、本文中やソースコード中に、一部RTPSの用語を使用している箇所がある。用語の読み替えのため、以下にその対照表を示す。

Table1.2 ROS2とRTPSの用語の対応

ROS2用語	**RTPS**用語
Node	Participant
Message	Application Data
Topic	Endpoint
Publisher	Writer
Subscriber	Reader

2. アーキテクチャ

ROS2rapperの内部の機能ブロック図を、Fig. 2.1に示す。

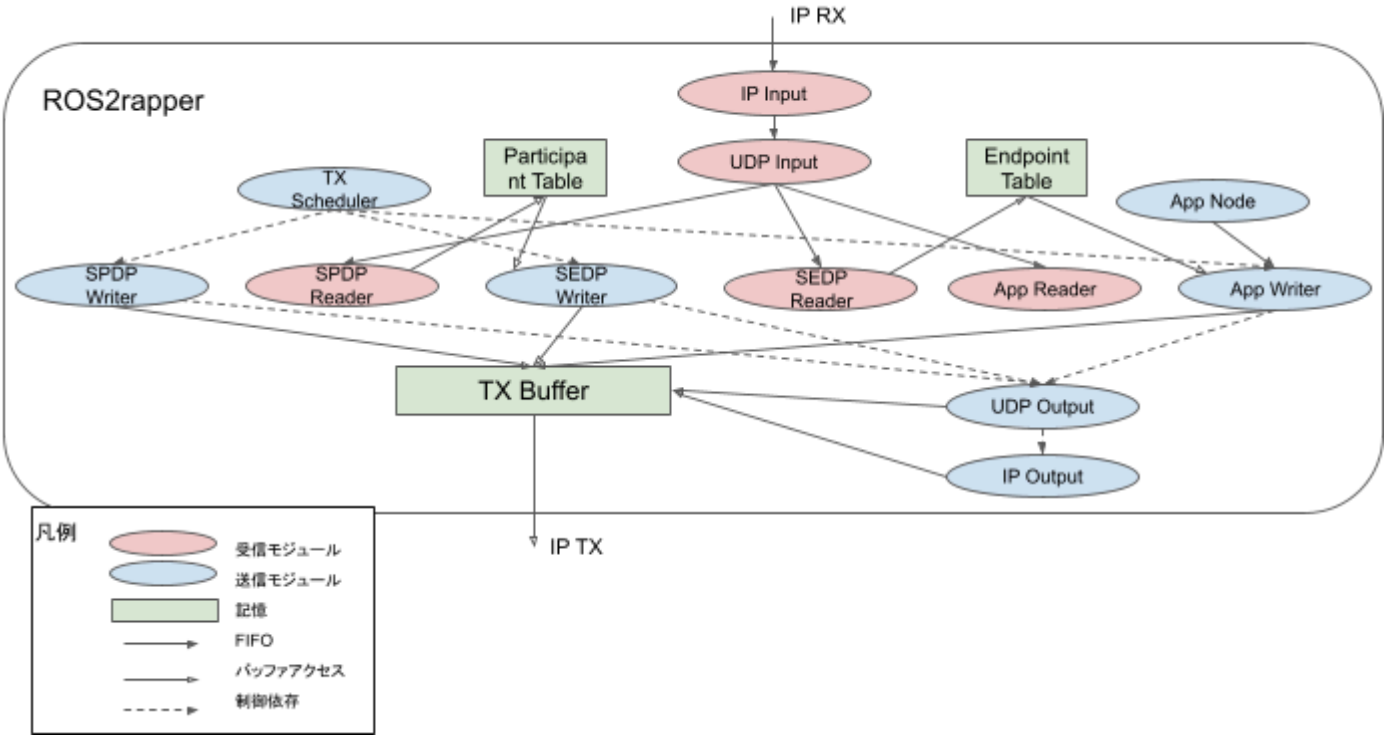


Fig. 2.1　ROS2rapper機能ブロック図

通信の物理層をEtherrnetとして、ROS2rapperを使用する時(ros2_ether)のモジュール構成図を、Fig. 2.2に示す。

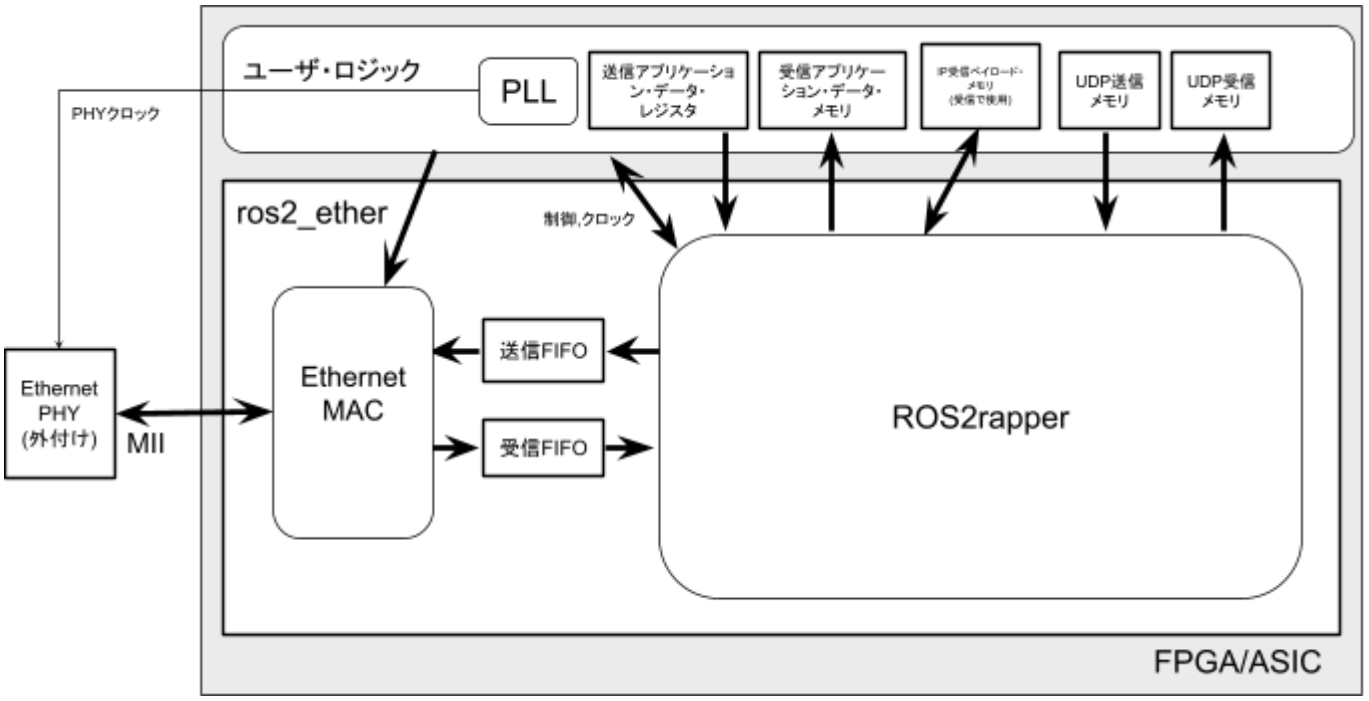


Fig.2.2 ROS2rapperのEthernet使用時のモジュール構成

以下に、主なモジュールの概要を記述する。

- ros2_ether
  ros2_etherは、下記のサブ・モジュールから成る。
  - ROS2rapper
    - RTPS/UDP/IP通信 各層の実装
  - Ethernet MAC
    - EthernetのMAC層
      verilog-ethernetを使用
      https://github.com/alexforencich/verilog-ethernet
  - 送信FIFO
    - Ethernet MACへのEthernetフレームをバッファリングするためのFIFO
  - 受信FIFO
    - Ethernet MACからのEthernetフレームをバッファリングするためのFIFO

- アプリケーション・データ・レジスタ(送信)
  ROS2パブリッシャとして送信するデータを保持するレジスタまたはメモリ。ユーザ・ロジックで用意する。
- アプリケーション・データ・メモリ(受信)
  ROS2サブスクライバとして受信したデータを保持するメモリ。ROS2rapper IPから書き込まれる。ユーザ・ロジックで用意する。
- UDP送信メモリ
  UDPデータグラムとして送信するデータを保持するメモリ。ユーザ・ロジックで用意する。
- UDP受信メモリ
  受信したUDPデータグラムを保持するメモリ。ROS2rapper IPから書き込まれる。ユーザ・ロジックで用意する。

- IP受信ペイロード・メモリ
  受信したIPパケットのフラグメントを格納して、全フラグメントの到着を待ち合わせるためのIP受信用のメモリ。
  ユーザは、このメモリを用意し、接続しなければならない。
  - ユーザが用意すべきメモリの大きさは、バイト単位で、
    `MAX_PENDINGS × IP_MAX_PAYLOAD_LEN × MAX_IP_FRAGMENTS`
    で計算できる。
    定数のそれぞれの意味は次の通り。
    - MAX_PENDINGS、IP_MAX_PAYLOAD_LEN、MAX_IP_FRAGMENTSの積で計算される。定数のそれぞれの意味は次の通り。
    - MAX_PENDINGS：同時にIPフラグメント組み立て待ちを行えるIPデータグラムの個数
    - IP_MAX_PAYLOAD_LEN：最大IP通信ペイロードサイズ
    - MAX_IP_FRAGMENTS：最大IPフラグメント数
  - デフォルト値はTable A-2を参照のこと。
  - フラグメント化されないUDP受信のみ、または送信のみを行う場合は、このIP受信ペイロード・メモリは不要

- ユーザ・ロジック

ユーザの実現した機能を実装した論理であり、各モジュールの初期化や送受信メッセージの作成、送受信を行う。

- アプリケーション・データ・レジスタ(送信)
  - パブリッシュするメッセージの記憶域
- アプリケーション・データ・メモリ(受信)
  - サブスクライブしたトピックより受信したメッセージの記憶域

3. ROS2rapper IPとユーザ・ロジックの接続

3.1. 概要

ここでは、ユーザ・ロジックを作成する開発者向けに、本ROS2rapper IPとユーザの論理(ユーザ・ロジック)を接続するための開発について説明する。
ROS2rapper IPには外部からクロックを与えること。
ROS2rapper IPの入力ポートは信号線であるから、適宜ユーザ・ロジックなどにレジスタ(D Flip Flop)を設けるなどして値を保持して、ポートへの信号を安定供給しなければならない。
ポートに与える信号の変化は、ROS2rapperに与えるクロックに同期していること。
複数ビットからなるポートや信号線は、LSB 0(最下位ビットが、ビット番号0)である。

開発の概略手順は、以下である。

1. 次のVerilogヘッダファイルをインクルードする。
    - ros2rapper/src/ros2rapper/include/ros2_config.vh
    - ros2rapper/src/ether/include/ros2_ether_config.vh

2. ros2_ether.vにあるros2_etherをインスタンス化する。
    - その定義はros2rapper/src/ether/rtl/ros2_ether.vにある
    - ros2_etherモジュールのポートとの接続、IP受信ペイロード・メモリとの接続を行う

次節以降ではFPGA(ASIC)へROS2rapperを接続する上での要点と、ユーザ・ロジック作成上の留意点やヒントとなる情報を記述する。

実装例として、examplesディレクトリ中の以下のコードを参照のこと。
- topic-pub-sub/top.v ：トピックのパブリッシュ/サブスクライブの実装サンプル
- udp-tx-rx/top.v　　：UDPパケット送受信の実装サンプル

付録には以下の技術情報や、参考情報へのリンクを記述する。
- ROS2rapperのIPで、Fig2.2に示した ros2_etherモジュールのポート仕様
- 同ポート使用一覧表中の定数と設定の注意事項
- 参考文献、特に以下の技術情報へのリンク
    - ノード名・トピック名・トピック型名の制限：ROS2やRTPSの仕様書
    - アプリケーションデータのシリアライズ仕様：OMGの仕様書

3.2. ROS2rapperのクロック、機能の有効化など

3.2.1 ROS2rapperのクロック

ROS2rapper IPへのクロック clkは、外部から供給する。
クロック周波数は、50MHz以上が望ましい。

3.2.2 ROS2rapperのリセット

ROS2rapper IPのリセットはrst_nを0にすることで行われる。
rst_nは非同期でよい。

3.2.2 ROS2rapper各機能の有効化

先述のとおり、本ROS2rapper IPは、下記の各機能を独立して個々に有効化/無効化できる。

- ROS2パブリッシュ機能, ros2sub_enにより制御
- ROS2サブスクライブ機能, ros2pub_enにより制御
- Ethernet MAC, ether_enにより制御

パブリッシュとサブスクライブは独立して個々に、または同時に使用できる

ROS2rapperの各機能を有効化するには、順序がある。
後述する各機能のポートの設定を行った上で、
物理通信手段(本実装サンプルではEther MAC)を有効化した後に、
ROS2のパブリッシュ、あるいはサブスクライブの機能の有効化を行わなければならない。

Table 3.1. ROS2rapperシステム・ポートの設定例

ROS2rapperクロック/リセット			
ポート名	方向 (ROS2rapperから見て)	ビット幅	説明
clk	input	1	クロック(50MHz以上)
rst_n	input	1	リセット(0でアサート)
ros2pub_en	input	1	トピックのパブリッシュを有効にする(1でアサート)
ros2sub_en	input	1	サブスクライブを有効にする(1でアサート)
ether_en	input	1	Ethernet MACを有効にする(1でアサート)。ether_enを一度アサートした後、デアサート(0)してはならない

3.3. Ethernetモジュールとの接続

ethernetモジュールとの接続は下記の2つがある

- Ethernet MAC
- PHY

3.3.1. Ethernet MACとの接続

下記のポートはEthernet MACを制御する。
ユーザ・ロジックを各ポートに接続して、使用するネットワーク環境に応じた設定値を与える。
Ethernet MACを有効化するには、ポートのether_enをアサート(1)する。
ether_enは一度アサートしたら、デアサート(0)してはならない。

- Ethernet・IPプロトコル
  ether_en
  mac_addr
  ip_addr
  gateway_ip_addr
  subnet_mask
- ARP
  arp_req_retry_count
  arp_req_retry_interval
  arp_req_timeout

実装サンプルではROS2rapperは通信にEthernet MACを使用するため、Ethernet MACに適切な値を与えている。

設定例をTable 3.2.に記述する。

Table 3.2. Ethernet MAC関連のポートの設定例

ポート名	設定値の例	説明
ether_en	1	Ethernet MAC有効(すべての設定値が与えられてからアサート(1)すること。アサート後にデアサート(0)してはならない
mac_addr	48'h00_00_00_00_00_02	6バイト
ip_addr	{8'd100, 8'd1, 8'd168, 8'd192}	192.168.1.100の場合
gateway_ip_addr	{8'd1, 8'd1, 8'd168, 8'd192}	192.168.1.1の場合
subnet_mask	{8'd0, 8'd255, 8'd255, 8'd255}	255.255.255.0の場合
arp_req_retry_count	4	ARPの試行の最大回数
arp_req_retry_interval	(125000000*2)	単位：クロック数
arp_req_timeout	(125000000*30)	単位：クロック数

3.3.2. PHYの接続

クロック、リセット、Ethernet PHYの各端子とは以下のポートで接続する。
PHYのリファレンス・クロックは、ユーザ・ロジックで25MHzを生成して供給すること。

Table 3.3. クロック、リセット、Ethernet PHYのポート

Ethernet MII			
ポート名	方向 (ROS2rapper から見て)	ビット幅	説明
phy_rx_clk	input	1	Ethernet MII 受信クロック
phy_rxd	input	4	Ethernet MII 受信データ
phy_rx_dv	input	1	Ethernet MII受信データ有効
phy_rx_er	input	1	Ethernet MII 受信エラー
phy_tx_clk	input	1	Ethernet MII 送信クロック
phy_txd	output	4	Ethernet MII 送信データ
phy_tx_en	output	1	Ethernet MII 送信イネーブル
phy_rst_n	output	1	Ethernet MII リセット

3.3.3. パケット送信間隔パラメータの設定

ros2rapper_etherモジュールのパラメータで、パケット送信間隔を設定できる。パラメータの一覧はTable A-2を参照のこと。

RTPSの制御パケットの送信間隔は、通信相手検出までの時間やネットワーク帯域に応じて変更すること。

アプリケーション・データのパケットの送信間隔は、ROS2rapperのトピックをサブスクライブしたノードにメッセージが届く間隔である。アプリケーションに応じて変更すること。

3.4. ROS2rapperのポートの設定

ROS2rapperの制御は、ユーザ・ロジックを、下に示すポートに接続し、適切な値を与えることで行う。

Table 3.4. ROS2rapperのポートの設定例

ポート名	設定値の例	説明
ros2_rx_udp_port	1234	UDP受信したいポート番号
ros2_node_udp_port	52000	
ros2_port_num_seed	7400	計算式：(ROS2のDomain ID)*250+7400
ros2_guid_prefix	0x010f37adde09000001000000	
ros2_node_name_len	19	単位：バイト数 ('\0'を含める)
ros2_pub_topic_name_len	11	単位：バイト数 ('\0'を含める)
ros2_pub_topic_type_name_len	29	単位：バイト数 ('\0'を含める)
ros2_pub_app_data_len	25	単位：バイト数
ros2_node_name	"elpmaxe_reppar2sor"	
ros2_pub_topic_name	"rettahc/tr”	
ros2_pub_topic_type_name	"_gnirtS::_sdd::gsm::sgsm_dts"	
ros2_pub_app_data	"!dlrow reppar2SOR ,olleh"	

3.5. アプリケーション・データ・レジスタ(送信)の用意と接続

アプリケーション・データ・レジスタは、ROS2rapperがパブリッシュしたトピックとして送信するデータを保持するレジスタである。
ROS2rapper IPは、パブリッシャ動作時に、外部へ送出するメッセージをアプリケーション・データ・レジスタから得る。

アプリケーション・データ・レジスタは、ユーザ・ロジックとして、メモリまたはD-FFで実現して用意し接続する。
アプリケーション・データ・レジスタは、ポートros2_pub_app_dataと接続する。
なお、アプリケーション・データ・レジスタ(ros2_pub_app_dataの値)の変更には、後述の手順が必要である。

送信メッセージros2_pub_app_dataの、データの並びは次のとおり

- 1バイト中のビットのならび: LSB 0
- バイト単位で送出される
    - データを整数とした場合のバイト・オーダ: Little Endian固定

ros2_pub_app_dataにセットするアプリケーション・データは下記の順序とする。

- ros2_pub_app_data[7:0] が アプリケーション・データの1バイト目
- ros2_pub_app_data[15:8] が アプリケーション・データの2バイト目
- ...

※注意
データが文字列である場合、user_defined_reg[63:56]を文字列の先頭として、
`ros2_pub_app_data[63:0]=user_defined_reg[63:0]` のように接続すると、送出されるデータは普通人が期待するものとは逆順となってしまう。よって、

```
ros2_pub_app_data[63:0]= { user_defined_reg[7:0],
                           user_defined_reg[15:8],
                           user_defined_reg[23:16],
                                :
                           user_defined_reg[63:56] }
```

のように、するとよい。

3.6. アプリケーション・データ・メモリの用意と接続

アプリケーション・データ・メモリは、ROS2rapperがサブスクライブしたトピックから受信したメッセージを保持するRAMである。
ROS2rapper IPは、サブスクライバ動作時に、外部から受信したメッセージをアプリケーション・データ・メモリに格納する。

先述のとおり、アプリケーション・データ・メモリは、ユーザ・ロジックとして、メモリまたはD-FFで実現して用意し接続する。
アプリケーション・データ・メモリは、ポートros2_sub_app_data_{addr, ce, we, wdata}と接続する。
なお、アプリケーション・データ・メモリの読み出しには、後述の手順が必要である。

アプリケーション・データ・メモリは、以下の仕様とすること。

- ポート数: 1RW
- データ幅: 8ビット
- アドレス幅: $clog2(ROS2_MAX_APP_DATA_LEN) ビット
- ワード数:ROS2_MAX_APP_DATA_LEN
- クロックに同期して読み書きを行う
- 以下のポートを持つ
    - ce:チップイネーブル(1でアサート)
    - we:ライト・イネーブル(1でアサート)
    - addr: アドレス
    - wdata: 書き込みデータ
    - rdata: 読み出しデータ(出力)
- ceがアサート(1)されているとき、アドレスaddrのデータをrdataに出力する。
- ceがアサート(1)されていて、かつweがアサート(1)されているとき、アドレスaddrにwdataの値を書き込む。

3.7. IP受信ペイロード・メモリの用意と接続

IP受信ペイロード・メモリは、ROS2機能有効時に受信したIPフラグメント組み立てに使用する。
IP受信ペイロード・メモリのサイズは、2960バイト程度が望ましい。

- IP受信ペイロード・メモリは、ポートip_payloadsmem_{addr, ce, we, wdata, rdata}と接続する。
- IP受信ペイロード・メモリは、以下の仕様とすること。
    - ポート数: 1RW
    - データ幅: 8ビット
    - アドレス幅: $clog2(PAYLOADSMEM_DEPTH) ビット
    - ワード数: PAYLOADSMEM_DEPTH
    - クロックに同期して読み書きを行う
    - 以下のポートを持つ
        - ce:チップイネーブル(1でアサート)
        - we:ライト・イネーブル(1でアサート)
        - addr: アドレス
        - wdata: 書き込みデータ
        - rdata: 読み出しデータ(出力)
    - ceがアサート(1と)されているとき、アドレスaddrのデータをrdataに出力する。
    - ceがアサート(1と)されていて、かつweがアサート(1と)されているとき、アドレスaddrにwdataの値を書き込む。

3.8. UDP送信メモリの用意と接続

UDP送信メモリは、ROS2rapperが送信するUDPデータグラムを保持するRAMである。
ROS2rapper IPは、udp_txbuf_relがアサート(1と)されると、UDP送信メモリ内のデータグラムを送信する。

UDP送信メモリは、ユーザ・ロジックとして、メモリまたはD-FFで実現して用意し接続する。
UDP送信メモリは、ポートudp_txbuf_{addr, ce, we, rdata}と接続する。
なお、UDP送信メモリへの書き込みには、後述の手順が必要である。

アプリケーション・データ・メモリは、以下の仕様とすること。

- ポート数: 1RW
- データ幅: 32ビット
- アドレス幅: $clog2(ROS2_MAX_APP_DATA_LEN) ビット
- ワード数:2^UDP_TXBUF_AWIDTH
- クロックに同期して読み書きを行う
- 以下のポートを持つ
    - ce:チップイネーブル(1でアサート)
    - we:ライト・イネーブル(1でアサート)
    - addr: アドレス
    - wdata: 書き込みデータ
    - rdata: 読み出しデータ(出力)
- ceがアサート(1)されているとき、アドレスaddrのデータをrdataに出力する。
- ceがアサート(1)されていて、かつweがアサート(1)されているとき、アドレスaddrにwdataの値を書き込む。

3.9. UDP受信メモリの用意と接続

UDP受信メモリは、設定されたUDP受信ポートへ届いたデータグラムを保持するRAMである。
ROS2rapper IPは、外部から受信したUDPデータグラムをUDP受信メモリに格納する。

UDP受信メモリは、ユーザ・ロジックとして、メモリまたはD-FFで実現して用意し接続する。
UDP受信メモリは、ポートudp_rxbuf_{addr, ce, we, wdata}と接続する。
なお、UDP受信メモリの読み出しには、後述の手順が必要である。

アプリケーション・データ・メモリは、以下の仕様とすること。

- ポート数: 1RW
- データ幅: 32ビット
- アドレス幅: $clog2(ROS2_MAX_APP_DATA_LEN) ビット
- ワード数: 2^UDP_RXBUF_AWIDTH
- クロックに同期して読み書きを行う
- 以下のポートを持つ
    - ce:チップイネーブル(1でアサート)
    - we:ライト・イネーブル(1でアサート)
    - addr: アドレス
    - wdata: 書き込みデータ
    - rdata: 読み出しデータ(出力)
- ceがアサート(1)されているとき、アドレスaddrのデータをrdataに出力する。
- ceがアサート(1)されていて、かつweがアサート(1)されているとき、アドレスaddrにwdataの値を書き込む。

4. ROS2通信

4.1. ROS2rapper各機能の有効化

先述のとおり、本ROS2rapper IPは、下記の各機能を独立して個々に有効化/無効化できる。

- ROS2パブリッシュ機能
- ROS2サブスクライブ機能
- Ethernet

ROS2rappaerの機能を有効化する前に、Ethernet MACなど物理層の有効化や初期化が必要である。
つまり、本実装サンプルでは先述のポートの設定を行った上で、
Ether MAC(物理通信手段)を有効化した後、ROS2rapperのROS2のパブリッシュ、あるいはサブスクライブ機能の有効化を行う。

機能の有効化は次のとおり。

- トピックのパブリッシュを有効にする(すなわちパブリッシャとして使用する)には ros2pub_enを、アサート(1と)する。
- サブスクライブを有効にする(すなわちサブスクライバとして使用する)にはros2sub_enを、それぞれアサート(1と)する。
- パブリッシュとサブスクライブは独立に個々に、または同時に使用できる
- Ethernet MACを有効化するには、ポートのether_enをアサート(1と)する。
    - ether_enを一度アサートしたら、デアサート(0と)してはならない。

なお、サンプル実装では、ros2_etherと接続するポートはレジスタとしてユーザ・ロジックに中に実装して、接続している。

4.2. パブリッシャの送信メッセージ(アプリケーション・データ・レジスタ)の変更

パブリッシャ有効時には、ユーザ・ロジック内に用意された、アプリケーション・データ・レジスタからのデータを、ROS2送信メッセージとして自動的に周期的に送出する。
アプリケーション・データ・レジスタの出力は、ポートros2_pub_app_dataの入力としなければならない。
送信内容(ros2_pub_app_dataの入力)を変更するためには、後述の手続きが必要である。

ユーザ・ロジックは、ros2_pub_app_dataの入力を変更する前に、ROS2rapperより「メッセージ変更権」を取得する必要がある。これは、変更途中のメッセージがROS2rapperにより読み出され、送信されることを防ぐためである。
下記のポートが、メッセージ変更権の制御のために用意されている。

- ros2_pub_app_data_req(ROS2rapperの入力): メッセージ変更権を要求する
- ros2_pub_app_data_grant(ROS2rapperからの出力):メッセージ変更権が与えられた
- ros2_pub_app_data_rel(ROS2rapperの入力): メッセージ変更権を解放

送信メッセージ(ros2_pub_app_data入力)変更時のポート操作手順を以下に記述する。

1. ros2_pub_app_data_reqをアサート(1と)して、メッセージ変更権を要求する
2. メッセージ変更権を取得できた場合、次のサイクルでros2_pub_app_data_grantがアサート(1と)される。
3. 当該信号がアサートされていなければ1.へ戻る
4. メッセージの変更を行う。
5. ros2_pub_app_data_relを1クロックの間アサート(1と)し、メッセージ変更権を解放する。

送信アプリケーション・データ・レジスタに書き込むアプリケーション・データのフォーマットは、Extensible and Dynamic Topic Types for DDS 仕様（参考文献[2]）の、Classic CDR representation with Little Endian encodingに従うこと。エンコーディングの詳細は、参考文献[2] 7.4.3.5節のエンコーディング・ルールを参照すること。

1バイト中のビットの並びはLSB 0である。バイト・オーダはリトル・エンディアンでなければならない。

例) 32ビット整数x2(0x12345678, 0xaabbaabb)を含むアプリケーション・データ

Byte 0	Byte 1	Byte 2	Byte 3	Byte 4	Byte 5	Byte 6	Byte 7
78	56	34	12	bb	aa	bb	aa

32ビット整数 “0x12345678”　　32ビット整数 “0xaabbaabb”

例) 文字列”hello, world!”を含むアプリケーション・データ


Byte 0
Byte 1
Byte 2
Byte 3
Byte 4
Byte 5
Byte 6
Byte 7
Byte 8
Byte 9
Byt e 10
Byte 11
Byte 12
Byte 13
Byt e 14
Byt e 15
Byt e 16
0d
00
00
00
68
65
6c
6c
6f
2c
20
77
6f
72
6c
64
21
文字列長 13
文字列 “hello, world!”

4.3. サブスクライバの受信メッセージ(アプリケーション・データ・メモリ)の読み出し

サブスクライバ機能は、サブスクライブしたデータを受信し、メモリ・インターフェースを通して、ユーザ・ロジック内に用意されたアプリケーション・データ・メモリに受信データを書き込む。

受信したメッセージを読み出す際に「メッセージ読出し権」の取得が必要となる。これは、ユーザ・ロジックのメッセージ読み出し中に、ROS2rapper IPが、次の受信メッセージでメモリを上書きしないための手順である。

下記のポートが、メッセージ変更権の制御のために用意されている。

- ros2_sub_app_data_req(ROS2rapperの入力): メッセージ読出し権を要求する
- ros2_sub_app_data_grant(ROS2rapperからの出力):メッセージ読出し権が与えられた
- ros2_sub_app_data_re(ROS2rapperの入力)l: メッセージ読出し権を解放

受信メッセージ読出し時のポート操作手順を以下に述べる。

1. ros2_sub_app_data_reqをアサート(1と)する。
2. メッセージ読み出し権を取得できた場合、次のサイクルでros2_sub_app_data_grantがアサート(1と)される。
3. 当該信号がアサートされていなければ1.へ戻る
4. メッセージ読出しを行う。
5. ros2_sub_app_data_relを1クロックの間アサート(1と)し、メッセージ読出し使用権を解放する。

受信アプリケーション・データ・メモリに受信したアプリケーション・データのフォーマットおよびバイト・オーダは、ros2_sub_app_data_rep_idポートより出力される ”Representation Identifier” の値で判定する。Representation Identifierの値については、参考文献[3]のTable 10.3を参照すること。アプリケーション・データのフォーマットについては、参考文献[2] 7.4節を参照すること。

5. UDPデータグラム通信

5.1. UDPデータグラムの送信

ROS2rapperでは、シンプルなUDPデータグラムの送信を行うことができる。
下記のポートが、UDPデータグラム送信のために用意されている。

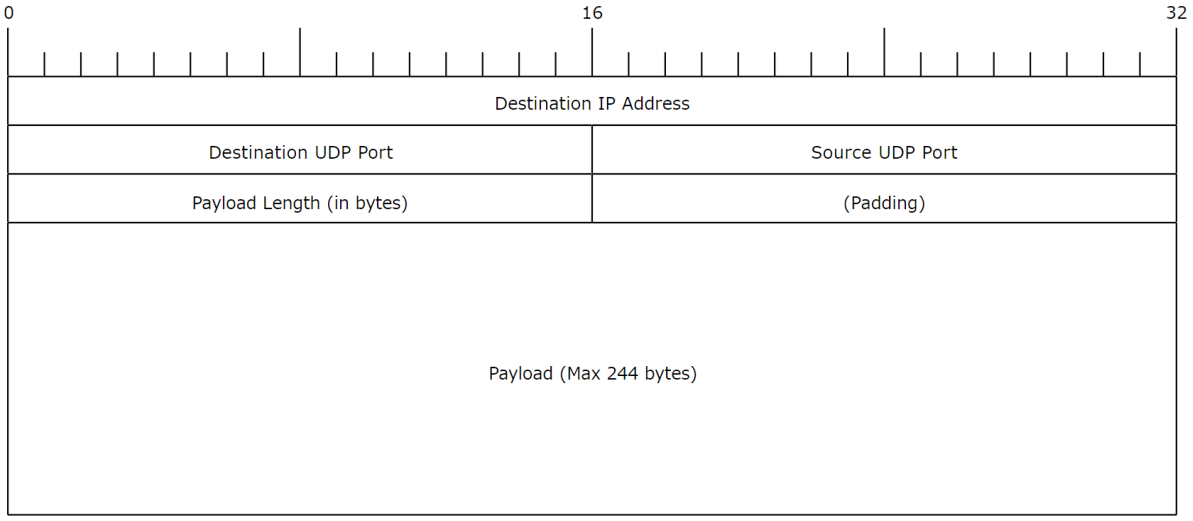
- udp_txbuf_grant(ROS2rapperからの出力): UDP送信メモリが空になったとき、アサート(1と)される
    - このとき、UDP送信メモリに送信データを置くことが可能である
- udp_txbuf_rel(ROS2rapperの入力):UDP送信メモリ中のUDPデータグラムの送信開始
    - 1クロックの間アサート(1と)する。

udp_txbuf_grantがデアサート(0)のときはUDP送信メモリのデータを更新してはならない。

以下、手順を述べる。

1. ポート:udp_txbuf_grantが1になるまで待つ。
2. UDP送信メモリに送信するUDPデータグラムを書き込む。
3. ポート:udp_txbuf_rel を1クロックの間アサートすると、送信が開始される。

UDP送信メモリ中のデータの形式をFig. 4.1.に示す。



なお、Payload Lengthフィールドの値は、244以下でなければならない。

Fig. 4.1. UDP送信メモリ中のデータの形式

5.2. UDPデータグラムの受信

ROS2rapperでは、シンプルなUDPデータグラムの受信を行うことができる。
下記のポートが、UDPデータグラム受信のために用意されている。

- udp_rxbuf_grant(ROS2rapperからの出力): UDP受信メモリにデータを置いた後、アサート(1と)する
  - このとき、UDP受信メモリを読出すことが可能である
- udp_rxbuf_rel(ROS2rapperの入力):新しいUDPデータグラムの受信可能にする。
  - 1クロックの間アサート(1と)する。

以下、手順を述べる。

1. UDPデータグラムが受信され、UDP受信メモリに置かれると、udp_rxbuf_grantがアサート(1と)される
2. ユーザ・ロジックは、UDP受信メモリからデータを読出す
3. バッファからの読出しが完了したら、新しいUDPデータグラムを受信可能にするため、ユーザ・ロジックは、udp_rxbuf_relを1クロックの間アサート(1と)する。

UDP受信メモリに置かれるデータの形式をFig. 4.2. に示す。

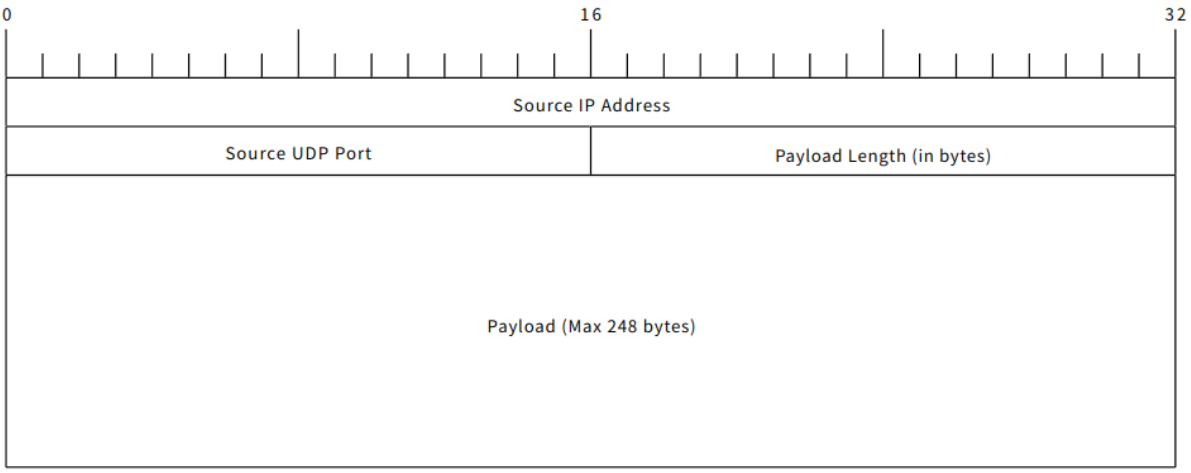


Fig. 4.2. UDP受信メモリ中のデータの形式

6. 参考文献

1. Topic and Service name mapping to DDS (https://design.ros2.org/articles/topic_and_service_names.html#mapping-of-ros-2-topic-and-service-names-to-dds-concepts)
2. Extensible and Dynamic Topic Types for DDS (https://www.omg.org/spec/DDS-XTypes/1.3/PDF)
3. The Real-time Publish-Subscribe Protocol DDS Interoperability Wire Protocol (DDSI-RTPSTM) Specification Version 2.3 (https://www.omg.org/spec/DDSI-RTPS/2.3/PDF)

7. 付録

7.1. ros2_etherモジュールのインターフェース仕様

ros2_etherモジュールのポート一覧をTable A-1に示す。

- 各信号は、LSB 0である。
- 接尾辞が_nの信号は負論理、それ以外は正論理である。
    - 正論理の信号は、アサートで信号を1に、デアサートで信号を0にする。
    - 負論理の信号は、アサートで信号を0に、デアサートで信号を1にする。

Table A-1　ros2_etherモジュールのポート仕様一覧

ポート名	方向	ビット幅	説明
クロック・リセット			
clk	input	1	クロック
rst_n	input	1	リセット(0でアサート)
機能有効化			
ether_en	input	1	Ethernet MACイネーブル 1: Ethernet有効 0: Ethernet無効 1に設定後、再び0に設定した場合の動作は保証されない。
ros2pub_en	input	1	トピック・パブリッシュ・イネーブル 1: トピック・パブリッシュ有効 0: トピック・パブリッシュ無効 1に設定後、再び0に設定した場合の動作は保証されない。
ros2sub_en	input	1	トピック・サブスクライブ・イネーブル 1: トピック・サブスクライブ有効 0: トピック・サブスクライブ無効 1に設定後、再び0に設定した場合の動作は保証されない。
Ethernet MII			
phy_rx_clk	input	1	Ethernet MII 受信クロック
phy_rxd	input	4	Ethernet MII 受信データ
phy_rx_dv	input	1	Ethernet MII受信データ有効
phy_rx_er	input	1	Ethernet MII 受信エラー
phy_tx_clk	input	1	Ethernet MII 送信クロック
phy_txd	output	4	Ethernet MII 送信データ
phy_tx_en	output	1	Ethernet MII 送信イネーブル
phy_rst_n	output	1	Ethernet MII リセット

Ethernetアドレス/IPアドレス			
mac_addr	input	48	MACアドレス
ip_addr	input	32	IPアドレス a.b.c.dを設定する場合、ip_addr[31:0] = {d,c,b,a}とする。
gateway_ip_addr	input	32	ゲートウェイIPアドレス
subnet_mask	input	32	サブネットマスク
ros2_fragment_expiration	input	32	IPフラグメントがすべて揃わない際のタイムアウト時間。 ROS2rapper内部サイクル数で指定する。
ARP			
arp_req_retry_count	input	6	ARPリトライ回数
arp_req_retry_interval	input	36	ARPリトライ間隔(サイクル数)
arp_req_timeout	input	36	ARPタイムアウト時間(サイクル数)
UDP			
ros2_rx_udp_port	input	16	UDP受信ポート番号 ここで指定したポート番号と一致するUDPデータグラムが受信バッファに受信される。
ROS2			
ros2_node_name	input	ROS2_MAX_NODE_NAME_LEN*8	ノード名 '\0'終端とし、終端以降はゼロで埋めること。
ros2_node_name_len	input	8	ノード名の長さ '\0'を含めたバイト数で指定すること。
ros2_node_udp_port	input	16	ノードのUDPポート番号
ros2_port_num_seed	input	16	UDPポート番号のシード値 ROS2で使用するポート番号導出のためのマジックナンバーであり次の計算式で得られる。 (ROS2のDomain ID)*250+7400
ros2_guid_prefix	input	96	GUID(グローバルー意識別子) プレフィクス
パブリッシュするトピック			
ros2_pub_topic_name	input	ROS2_MAX_TOPIC_NAME_LEN*8	トピック名 '\0'終端とし、終端以降はゼロで埋めること。
ros2_pub_topic_name_len	input	8	トピック名の長さ '\0'を含めたバイト数で指定すること。
ros2_pub_topic_type_name	input	ROS2_MAX_TOPIC_TYPE_NAME_LEN*8	トピック型名 '\0'終端とし、終端以降はゼロで埋めること。

ros2_pub_topic_type_name_len	input	8	トピック型名の長さ '\0'を含めたバイト数で指定すること。
ros2_pub_app_data	input	ROS2_MAX_APP_DATA_LEN*8	メッセージ データ自体の終端以降はゼロで埋めること。
ros2_pub_app_data_len	input	8	メッセージの長さ バイト数で指定すること。
ros2_pub_app_data_req	input	1	メッセージ変更権リクエスト 1を書き込むと、メッセージ変更権をリクエストする。
ros2_pub_app_data_rel	input	1	メッセージ変更権開放 1を書き込むと、メッセージ変更権を解放する。
ros2_pub_app_data_grant	output	1	メッセージ変更権 0: メッセージ書き込み不許可 1: メッセージ書き込み許可
サブスクライブするトピック			
ros2_sub_topic_name	input	ROS2_MAX_TOPIC_NAME_LEN*8	トピック名 '\0'終端とし、終端以降はゼロで埋めること。
ros2_sub_topic_name_len	input	8	トピック名の長さ '\0'を含めたバイト数で指定。
ros2_sub_topic_type_name	input	ROS2_MAX_TOPIC_TYPE_NAME_LEN*8	トピック型名 '\0'終端とし、終端以降はゼロで埋めること。
ros2_sub_topic_type_name_len	input	8	トピック型名の長さ '\0'含めたバイト数で指定。
ros2_sub_app_data_len	output	8	受信したメッセージの長さ
ros2_sub_app_data_rep_id	output	16	受信したメッセージのRepresentation Identifier Representation Identifierについては、参考文献[3] Table 10.3を参照のこと。
ros2_sub_app_data_req	input	1	メッセージ読出し権リクエスト 1を書き込むと、メッセージ読出し権をリクエストする。
ros2_sub_app_data_rel	input	1	メッセージ読出し権解放 1を書き込むと、メッセージ読出し権を解放する。
ros2_sub_app_data_grant	output	1	メッセージ読出し権 0: メッセージ読み出し不許可 1: メッセージ読み出し許可
ros2_sub_app_data_recv	output	1	メッセージ・データ受信通知
ros2_sub_app_data_addr	output	$clog2(`ROS2_MAX	アプリケーション・データ・メモリのアドレ

		_APP_DATA_LEN)	ス ユーザ・ロジックに確保したメモリのアドレス
ros2_sub_app_data_ce	output	1	アプリケーション・データ・メモリのチップイネーブル
ros2_sub_app_data_we	output	1	アプリケーション・データ・メモリのライト・イネーブル
ros2_sub_app_data_wdata	output	8	アプリケーション・データ・メモリの書き込みデータ
UDP受信メモリ			
udp_rxbuf_addr	output	UDP_RXBUF_AWIDTH	UDP受信メモリ・メモリのアドレス
udp_rxbuf_ce	output	1	UDP受信メモリのチップイネーブル
udp_rxbuf_we	output	1	UDP受信メモリのライト・イネーブル
udp_rxbuf_wdata	output	32	UDP受信メモリの読み出しデータ
udp_rxbuf_rel	input	1	UDP受信メモリの読み出し権解放
udp_rxbuf_grant	output	1	UDP受信メモリの読み出し権
UDP送信メモリ			
udp_txbuf_addr	output	UDP_TXBUF_AWIDTH	UDP送信メモリ・メモリのアドレス
udp_txbuf_ce	output	1	UDP送信メモリのチップイネーブル
udp_txbuf_rdata	input	32	UDP送信メモリの読み出しデータ
udp_txbuf_rel	input	1	UDP送信メモリの読み出し使用権開放
udp_txbuf_grant	output	1	UDP送信メモリの読み出し使用権
IP受信ペイロード・メモリ			
ip_payloadsmem_addr	output	PAYLOADSMEM_AWIDTH	IP受信ペイロード・メモリのアドレス
ip_payloadsmem_ce	output	1	IP受信ペイロード・メモリのチップイネーブル
ip_payloadsmem_we	output	1	IP受信ペイロード・メモリのライト・イネーブル
ip_payloadsmem_wdata	output	8	IP受信ペイロード・メモリの書き込みデータ
ip_payloadsmem_rdata	input	8	IP受信ペイロード・メモリの読み出しデータ

Table A-2　パラメーター一覧

パラメータ名	説明	デフォルト値
PRESCALAR_DIV	パケット送信間隔カウンタの分周比	64
TX_INTERVAL_COUNT	パケット間送信間隔 (ROS2rapperのクロック数)	(`ROSCLK_HZ / PRESCALER_DIV) / 100 (10msec)
TX_PERIOD_SPDP_WR_COUNT	SPDP Writerのパケット送信間隔 (ROS2rapperのクロック数)	(`ROSCLK_HZ / PRESCALER_DIV) * 3 (3sec)
TX_PERIOD_SEDP_PUB_WR_COUNT	SEDP Publication WriterのDATAパケット送信間隔 (ROS2rapperのクロック数)	(`ROSCLK_HZ / PRESCALER_DIV) * 3 (3sec)
TX_PERIOD_SEDP_SUB_WR_COUNT	SEDP Subscription WriterのDATAパケット送信間隔 (ROS2rapperのクロック数)	(`ROSCLK_HZ / PRESCALER_DIV) * 3 (3sec)
TX_PERIOD_SEDP_PUB_HB_COUNT	SEDP Publication WriterのHEARTBEATパケット送信間隔 (ROS2rapperのクロック数)	(`ROSCLK_HZ / PRESCALER_DIV) * 3 (3sec)
TX_PERIOD_SEDP_SUB_HB_COUNT	SEDP Subscription WriterのHEARTBEATパケット送信間隔 (ROS2rapperのクロック数)	(`ROSCLK_HZ / PRESCALER_DIV) * 3 (3sec)
TX_PERIOD_SEDP_PUB_AN_COUNT	SEDP Publication WriterのACKNACKパケット送信間隔 (ROS2rapperのクロック数)	(`ROSCLK_HZ / PRESCALER_DIV) * 3 (3sec)
TX_PERIOD_SEDP_SUB_AN_COUNT	SEDP Subscription WriterのACKNACKパケット送信間隔 (ROS2rapperのクロック数)	(`ROSCLK_HZ / PRESCALER_DIV) * 3 (3sec)
TX_PERIOD_APP_WR_COUNT	アプリケーション・データ(Application WriterのDATAパケット)送信間隔 (ROS2rapperのクロック数)	(`ROSCLK_HZ / PRESCALER_DIV) * 3 (3sec)

Table A-3 定数一覧

定数名	説明	デフォルト値	定義されている場所 **(*1)**	変更時の注意点
ROS2_MAX_NODE_NAME_LEN (MAX_NODE_NAME_LEN)	ROS2ノード名の最大長	32	include/ros2_config.vh (hls/ros2.hpp)	これらの定数は、VerilogとHLS C++のヘッダに存在し、定数名が異なる。(・)に記述したものはHLS C++のヘッダとその所在である。 これらを同時に変更す
ROS2_MAX_TOPIC_NAME_LEN (MAX_TOPIC_NAME_LEN)	ROS2トピック名の最大長	32	include/ros2_config.vh (hls/ros2.hpp)	

定数名	説明	デフォルト値	定義されている場所 **(*1)**	変更時の注意点
				る必要がある。
ROS2_MAX_TOPIC_TYPE_NAME_LEN (MAX_TOPIC_TYPE_NAME_LEN)	ROS2トピック型名の最大長	64	include/ros2_config.vh (hls/ros2.hpp)	
ROS2_MAX_APP_DATA_LEN (MAX_APP_DATA_LEN)	ROS2メッセージ・データの最大長	64	include/ros2_config.vh (hls/ros2.hpp)	
TARGET_PARTICIPANT_ID	ROS2ノードのParticipant ID	1	hls/common.hpp	
PAYLOADSMEM_DEPTH	IP受信ペイロード・メモリのワード数	2960	include/ros2_config.vh	
PAYLOADSMEM_AWIDTH	IP受信ペイロード・メモリのアドレス幅	$clog2(`PAYLOADSMEM_DEPTH)	include/ros2_config.vh	
MAX_PENDINGS	同時にIPフラグメント組み立て待ちを行えるIPデータグラムの個数	1	hls/ip.hpp	
IP_MAX_PAYLOAD_LEN	最大IP受信ペイロード・メモリサイズ	1480	hls/ip.hpp	1480=MTU(1500) - IPヘッダサイズ(20)
MAX_IP_FRAGMENTS	最大IP受信ペイロードフラグメント数	2	hls/ip.hpp	
UDP_RXBUF_AWIDTH	UDP受信メモリのアドレス幅	6	ros2rapper/src/etherinclude/ros2_ether_config.vh	
UDP_TXBUF_AWIDTH	UDP送信メモリのアドレス幅	6	ros2rapper/src/etherinclude/ros2_ether_config.vh	
MAC_TX_FIFO_DEPTH	MAC内送信FIFOの深さ	512	ros2rapper/src/etherinclude/ros2_ether_config.vh	2のべきでなければならない

定数名	説明	デフォルト値	定義されている場所 **(*1)**	変更時の注意点
MAC_RX_FIFO_DEPTH	MAC内受信FIFOの深さ	2048	ros2rapper/src/etherinclude/ros2_ether_config.vh	2のべきでなければならない
EXT_TX_FIFO_DEPTH	送信FIFOの深さ	2	ros2rapper/src/etherinclude/ros2_ether_config.vh	2のべきでなければならない
EXT_RX_FIFO_DEPTH	受信FIFOの深さ	2048	ros2rapper/src/etherinclude/ros2_ether_config.vh	2のべきでなければならない
ARP_CACHE_ADDR_WIDTH	ARPキャッシュのアドレス幅	4	ros2rapper/src/etherinclude/ros2_ether_config.vh	
ROS2CLK_HZ	ROS2rapperのクロック周波数	100000000	include/ros2_config.vh	ROS2rapperのクロック周波数に合わせて変更する

注)
*1　パスは、トップ・ディレクトリからの記述の無いものは、ros2rapper/src/ros2rapper/ 以下を記述

7.2. ディレクトリ構成

```
ros2rapper
|
|- src
|    |- ros2rapper   :ROS2rapper
|    |       |- hls          :HLS C++記述
|    |       |- include    :Verilog ヘッダファイル
|    |       |- rtl          :Verilog RTL
|    |       |- test         : C-Sim用テストベンチ
|    |
|    |- ether：Ethernet層
|            |- include : Verilog ヘッダファイル
|            |- rtl : Verilog RTL
|            |- verilog-ethernet : Ethernet MACのVerilog RTL
|
|- examples
|      |- topic-pub-sub：トピックのパブリッシュ/サブスクライブの実装サンプル
|      |- udp-tx-rx      ：UDPパケット送受信の実装サンプル
|
```

|- formal：SymbiYosysを使用したフォーマル検証用のスクリプト
|
|- README.md

7.3. RTPS通信で使用されるUDPポート番号 一覧

RTPS通信では、下記のUDPポート番号を受信に使用する。したがって、UDPデータグラムの受信ポート番号（ros2_rx_udp_portで指定）はこれらのポート番号と重複してはならない。

- SPDP_WELL_KNOWN_MULTICAST_PORT
    - 7400 + DOMAIN_ID * 250
- METATRAFFIC_UNICAST_LOCATOR
    - 7400 + DOMAIN_ID * 250 + 10 + 2 * PARTICIPANT_ID
- DEFAULT_UNICAST_LOCATOR
    - 7400 + DOMAIN_ID * 250 + 11 + 2 * PARTICIPANT_ID

式中のDOMAIN_IDは、下記の値である。
(ros2_port_num_seedポートの値) - 7400 / 250