RYZ024A and RA MCU

LTE 通信サンプルアプリケーション

要旨

RYZ024A は LTE Cat M1/NB1/NB2 通信することができるモジュールです。RYZ024A はホスト MCU と UART 通信を介して接続し、AT コマンドによって動作をコントロールすることができます。本サンプルアプリケーションは RA MCU をホスト MCU として使用し、RYZ024A を制御して MQTT 通信や低消費電力動作(eDRX, PSM)を行うためのプログラムを提供します。本サンプルアプリケーションはホスト MCU から RYZ024A へ AT コマンドを送信するプログラムを、AT コマンドマネジメントフレームワークを使用して実装しています。AT コマンドマネジメントフレームワークを使用することで RYZ024A の LTE Cat M1 通信機能がサポートする様々な通信プロトコルを利用するアプリケーションを実装可能です。本ドキュメントでは本サンプルアプリケーションに実装された MQTT 通信アプリケーションと AT コマンドマネジメントフレームワークの説明を行います。

RYZ024A PMOD board(RTKYZ024A0B00000BE)に付属の Truphone SIM カードをご使用の場合は、SIM カードの Activation が必要です。「RA6M5 Group RYZ024A PMOD LTE Connectivity with RA6M5 MCU Quick Start Guide」(R21QS0007)を参照して SIM カードの Activation を行ってください。

動作確認デバイス

RYZ024A

EK-RA6M5

関連ドキュメント

- RYZ024 Module System Integration Guide (R19AN0101)
- RYZ024 Modules AT Command User's Manual(R11UZ0110)
- RA6M5 グループ ユーザーズマニュアル ハードウェア編 (R01UH0891)
- RA6M5 グループ RA6M5 MCU グループ用評価キット EK-RA6M5 v1 ユーザーズマニュアル (R20UT4829)
- Renesas Flexible Software Package (FSP) User's Manual (R11UM0155)
- RA6M5 Group RYZ024A PMOD LTE Connectivity with RA6M5 MCU Quick Start Guide (R21QS0007)

Pmod™ は、Digilent Inc.の商標です。

目次

1. 概要 4
1.1 動作概要 4
1.2 ソフトウェア構成 5

2. MQTT 通信アプリケーションの動作 7
2.1 アプリケーションの動作環境 7
2.2 アプリケーションの動作概要 14

3. AT コマンドマネジメントフレームワーク 16
3.1 フレームワーク概要 16
3.2 API 関数 18
3.2.1 マネジメント API 18
3.2.1.1 R_LTE_Init 19
3.2.1.2 R_LTE_Execute 19
3.2.2 AT コマンド API 20
3.2.2.1 R_LTE_OM_Config 21
3.2.2.2 R_LTE_NWK_Connect 22
3.2.2.3 R_LTE_NWK_Disconnect 22
3.2.2.4 R_LTE_MQTT_Connect 23
3.2.2.5 R_LTE_MQTT_Subscribe 23
3.2.2.6 R_LTE_MQTT_Publish 24
3.2.2.7 R_LTE_MQTT_RcvMessage 25
3.2.2.8 R_LTE_MQTT_Disconnect 25
3.2.2.9 R_LTE_SEC_CertificateAdd 26
3.2.2.10 R_LTE_SEC_CertificateRemove 26
3.2.2.11 R_LTE_SEC_PrivateKeyAdd 27
3.2.2.12 R_LTE_SEC_PrivateKeyRemove 27
3.2.2.13 R_LTE_NWK_ConnectionConfig 28
3.2.2.14 R_LTE_eDRX_Config 29
3.2.2.15 R_LTE_PSM_Config 31
3.3 コールバック関数 34
3.4 ユーザ固有値の設定 40
3.5 フレームワーク内で使用される FSP モジュール 42
3.5.1 SCI UART モジュール 42
3.5.2 AGT Timer モジュール 43
3.5.3 External IRQ モジュール 44
3.5.4 Low Power Mode モジュール 44
3.6 FreeRTOS 版のフレームワーク 45
3.6.1 LTE タスク 46
3.6.2 MQTT 通信アプリケーションタスク 48
3.6.3 IDLE タスク 49
3.6.4 タスク設定値 49
3.7 低消費電力動作 50
3.7.1 RYZ024A の低消費電力動作制御 50
3.7.2 ホスト MCU の低消費電力動作制御 52

4. AT コマンドマネジメントフレームワークを利用したアプリケーション開発 53
4.1 アプリケーション開発の概要 53
4.2 AT コマンド API の追加 55
4.2.1 データ受信を伴う AT コマンド API 59
4.3 エラー発生処理のガイドライン 60
4.4 PMOD-RYZ024A 固有の処理 63
4.5 PMOD-RYZ024A の初期化 65
4.6 コネクションマネージャ 66
4.6.1 実装例 67

改訂記録 70

1. 概要

1.1 動作概要

RYZ024A は LTE Cat M1 通信機能を持つモジュールです。この機能は UART 経由で AT コマンドを文字列として入力することで制御することができます。

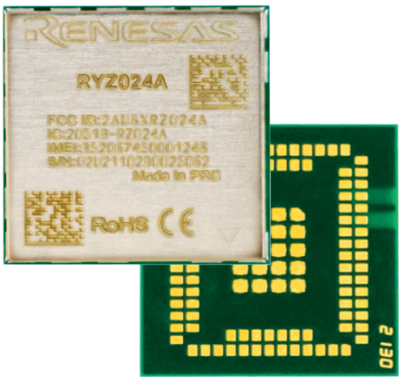

図 1.1 RYZ024A

本サンプルアプリケーションは、ホスト MCU として RA MCU を使用し RYZ024A の LTE Cat M1 通信を制御するソフトウェアです。RA MCU は UART 通信で AT コマンドを文字列として RYZ024A へ送信します。AT コマンドに対する応答文字列も UART 通信で受信します。これらのやり取りを介して RA MCU は RYZ024A の LTE Cat M1 通信機能を利用します。

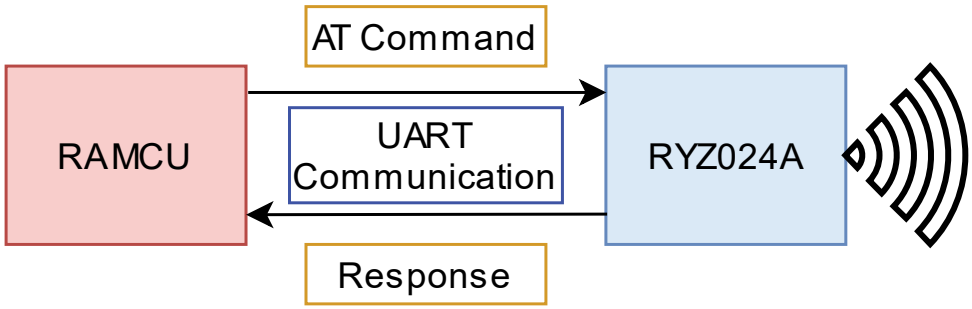

図 1.2 RYZ024A とホスト MCU の通信

※ PMOD Expansion Board for RYZ024A(RTKYZ024A0B00000BE)のご使用について：

RYZ024A はディープスリープに移行すると、CTS 端子は Hi-Z 状態となります。しかし、PMOD Expansion Board for RYZ024A(以降、PMOD-RYZ024A)では、使用しているレベルシフタの特性によりレベルシフタからホストマイコンへの CTS 信号が Low レベルのままになります。(RXD 端子も Low のままになります。) よって、RYZ024A をディープスリープから起床させてマイコンから UART 送信する時には注意が必要です。

本サンプルアプリケーションでは PMOD-RYZ024A で動作するように専用の処理を追加しています。詳しくは「4.4 PMOD-RYZ024A 固有の処理」を参照してください。

1.2 ソフトウェア構成

本サンプルアプリケーションではベアメタルで動作するプログラムと FreeRTOS カーネル(以降、単に FreeRTOS と記します)を使用して動作するプログラムの 2 種類のプログラムを提供します。

表 1.1 本アプリケーションノートの内容物

ファイル名	説明
r19an0220xxrrrr-ryz024a-ra-lte-sample.pdf xx: 言語、作成地域 rrrr: リビジョン番号	本ドキュメント
sample_ryz024a_ra6m5	ベアメタル版サンプルアプリケーションプログラム
sample_ryz024a_ra6m5_rtos	FreeRTOS 版サンプルアプリケーションプログラム

本アプリケーションノートで提供するサンプルアプリケーションプログラムのファイル構成は以下の通りです。

表 1.2 サンプルアプリケーションプログラムのファイル構成

ディレクトリ構成			
• sample_ryz024a_ra6m5 • sample_ryz024a_ra6m5_rtos		ベアメタル版サンプルプロジェクト FreeRTOS 版サンプルプロジェクト	
	\	GCC 用プロジェクトファイル RA コンフィグレータ用ファイル	
	.settings\	e^2 studio 設定ファイル	
	script\	リンカ設定ファイル	
	src\	hal_entry.c	サンプルアプリケーションのメインプログラム
		lte_task_entry.c	LTE 通信タスクのメインプログラム ※FreeRTOS 版のみ
		mqtt_app_task_entry.c	MQTT 通信アプリケーションタスクのメインプログラム ※FreeRTOS 版のみ
		r_lte_ryz.c r_lte_ryz.h r_lte_user_config.h	AT コマンドマネジメントフレームワークのプログラム
		SEGGER_RTT\	SEGGER J-Link RTT Viewer ソースコード

サンプルアプリケーションのソフトウェア構成は以下の通りです。

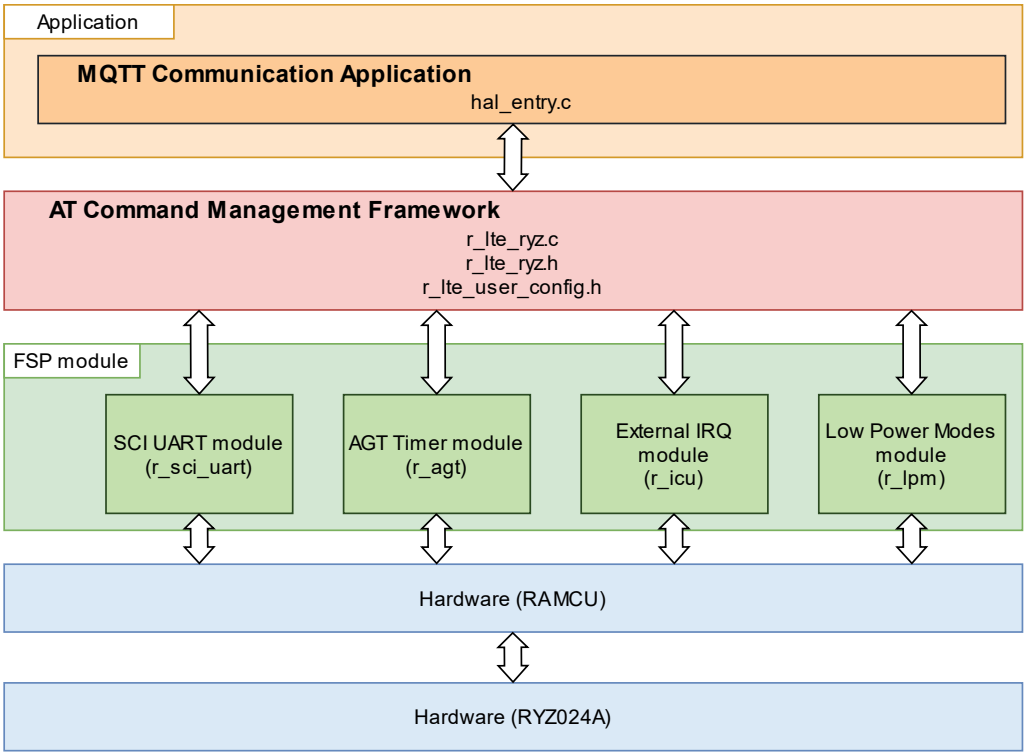

図 1.3 ソフトウェア構成

本サンプルアプリケーションは RYZ024A を使用して MQTT 通信を行うプログラムです。このプログラムは RYZ024A へ AT コマンドを送信するための AT コマンドマネジメントフレームワークと MQTT 通信するための API をコールする MQTT 通信アプリケーションの 2 つで構成されています。

MQTT 通信アプリケーションは MQTT サーバに接続した後、S1 ボタンを押下することでデータを送信するプログラムです。MQTT 通信アプリケーションは AT コマンドマネジメントフレームワークの API を利用して作成されています。MQTT 通信アプリケーションの詳しい説明については「2 MQTT 通信アプリケーション」を参照してください。

AT コマンドマネジメントフレームワークは RYZ024A への AT コマンド送信と RYZ024A から受信したレスポンスを処理するためのフレームワークです。アプリケーションから AT コマンドマネジメントフレームワークの API 関数をコールすることで複数の AT コマンドを RYZ024A へ送信し、実行結果をコールバック関数でアプリケーションへ通知します。

本サンプルアプリケーションでは RA6M5 が RYZ024A を通じて MQTT 通信ができるように AT コマンドマネジメントフレームワークを使用してフレームワークベースプログラムを作成しています。なお、AT コマンドマネジメントフレームワークは MQTT 通信以外の RYZ024A の機能を利用する場合も、そのアプリケーション開発を行う場合のベースとして利用されることを想定しています。AT コマンドマネジメントフレームワークの詳しい説明については「3 AT コマンドマネジメントフレームワーク」を参照して下さい。

2. MQTT 通信アプリケーションの動作

2.1 アプリケーションの動作環境

MQTT 通信アプリケーションを動作させるための環境について説明します。
本サンプルアプリケーションプログラムは以下のハードウェア環境で動作します。

表 2.1 サンプルアプリケーションのハードウェア環境

ハードウェア名	説明
PMOD Expansion Board for RYZ024A	RYZ024A モジュール (RTKYZ024A0B00000BE)
EK-RA6M5	ホスト MCU となる RA MCU 搭載評価ボード (RTK7EKA6M5S00001BE)
Windows PC	RA MCU のアプリ開発環境及び動作確認用デバッグコンソール

※ PMOD Expansion Board for RYZ024A(RTKYZ024A0B00000BE)のご使用について：

RYZ024A はディープスリープに移行すると、CTS 端子は Hi-Z 状態となります。しかし、PMOD Expansion Board for RYZ024A では、使用しているレベルシフタの特性によりレベルシフタからホストマイコンへの CTS 信号が Low レベルのままになります。(RXD 端子も Low のままになります。)よって、RYZ024A をディープスリープから起床させてマイコンから UART 送信する時には注意が必要です。

本サンプルアプリケーションでは PMOD-RYZ024A で動作するように専用の処理を追加しています。詳しくは「4.4 PMOD-RYZ024A 固有の処理」を参照してください。

本サンプルアプリケーションは以下のソフトウェア環境で開発と動作確認を行っています。

表 2.2 サンプルアプリケーションのソフトウェア環境

ソフトウェア名	バージョン	説明
e2 studio	2023-10	Renesas の IDE (http://www.renesas.com/e2studio)
Flexible Software Package (FSP)	5.0.0	RA MCU で使用できるドライバ (http://www.renesas.com/fsp)
SEGGER J-Link RTT Viewer	7.66	Debug Write を表示するビューア (https://www.segger.com/products/debug-probes/j-link/tools/rtt-viewer/)

表 2.3 本サンプルアプリケーションで使用する EK-RA6M5 周辺機能

周辺機能名		用途
シリアルコミュニケーション インタフェース	SCI0(UART0)	RYZ024A との UART 通信 ボーレート:115200 bps データ長:8 bit パリティ:none ストップビット:1 bit フロー制御: ハードウェア CTS/ソフトウェア RTS RTS 信号:P412 CTS 信号:P413
非同期汎用タイマ	AGT0	AT コマンド通信タイムアウト
	AGT1	コネクションマネージャタイムアウト
I/O ポート	P404	RYZ024A のリセット端子制御 (Low レベルでリセット)
	P412	RYZ024A との UART 通信で使用する RTS 信号 (RYZ024A の RTS0 に接続)
	P413	RYZ024A との UART 通信で使用する CTS 信号 (RYZ024A の CTS0 に接続)
	P400	RYZ024A の RING 信号端子
外部端子割り込み	IRQ10	ユーザボタン S1 の外部端子割り込み
	IRQ9	ユーザボタン S2 の外部端子割り込み
	IRQ0	RYZ024A RING 信号の外部端子割り込み

以下の手順でサンプルアプリケーションの実行準備を行います。

1. EK-RA6M5 と PMOD-RYZ024A を PMOD コネクタで接続します。
   この時、EK-RA6M5 の PMOD2(J25)に接続します。

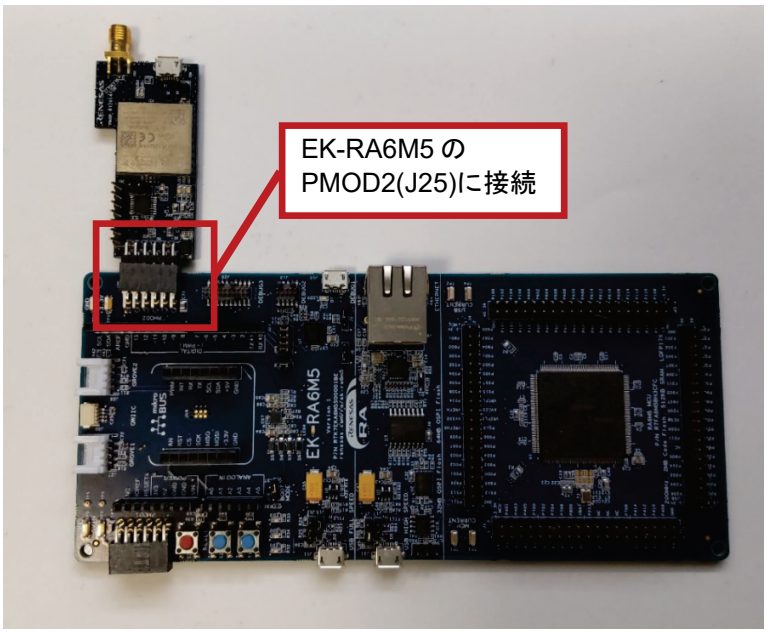

図 2.1 PMOD-RYZ024A と EK-RA6M5 を接続

2. EK-RA6M5 と PMOD-RYZ024A に USB ケーブルを接続します。
   また、PMOD-RYZ024A にアンテナを接続します。

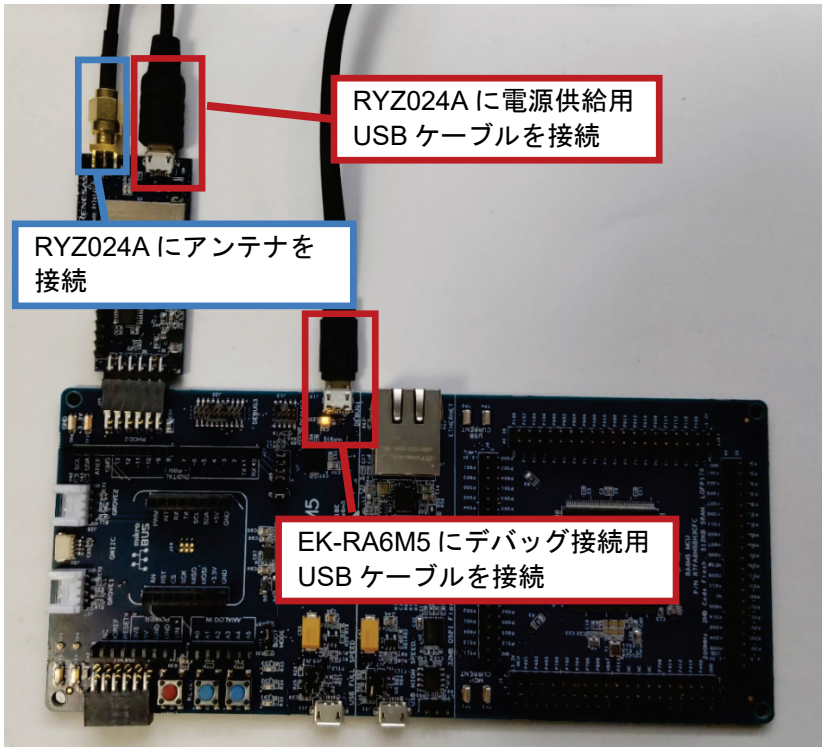

図 2.2 USB ケーブルとアンテナの接続

3. e2 studio にサンプルプロジェクトをインポートします。

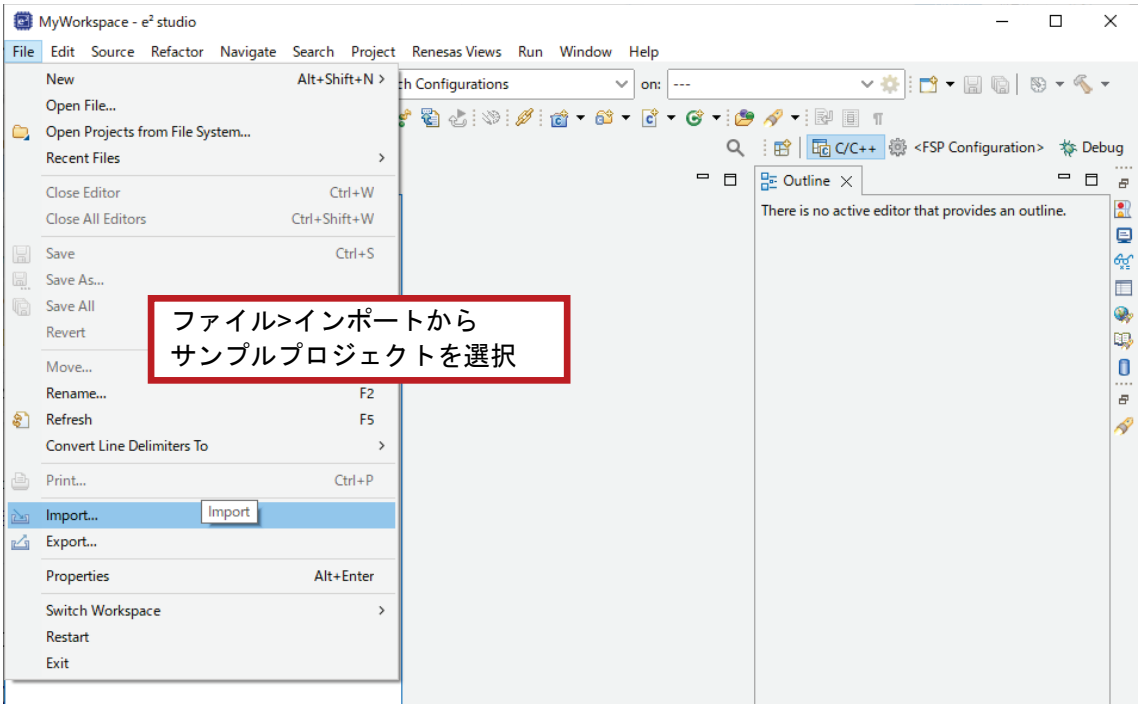

図 2.3 サンプルプロジェクトの追加

4. プロジェクトに必要なファイルを生成します。

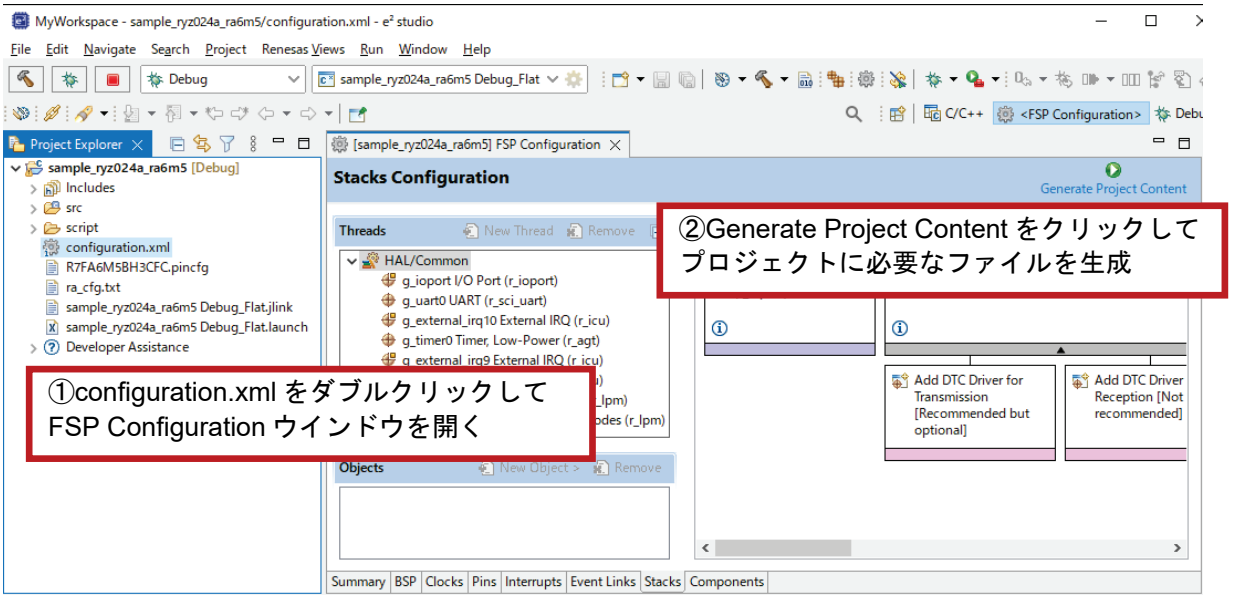

図 2.4 プロジェクトに必要なファイルの生成

5. アクセスポイント名、認証プロトコル、ユーザ名、パスワード、LTE バンドを変更します。LTE ネットワークへ接続する際に使用するアクセスポイント名、認証プロトコル、ユーザ名、パスワード、LTE バンドは文字列データとして指定されています。ユーザのアプリケーションに合わせてこれらの値を変更してください。変更するファイルは以下の通りです。

   ベアメタル版：hal_entry.c

   FreeRTOS 版：lte_task_entry.c

アクセスポイント名 (APN)、認証プロトコル、ユーザ名、パスワード

設定する文字列データは基本的に使用する SIM によって異なります。使用できる APN については SIM の提供元に問い合わせてください。ユーザ名、パスワードは省略されることもあります。
ルネサスから提供されるキットに付属する SIM のアクティベート及び APN については各キットのマニュアルを参照してください。

LTE バンド

LTE バンドは使用する地域やオペレータなどによって異なります。使用される LTE バンドがわかっている場合そのバンドを指定してください。以下に LTE バンドの例を示します。

- “1,19”
  - DOCOMO バンドを指定する場合。
- “2,4,12”
  - AT&T バンドを指定する場合。
- “1,2,3,4,5,8,12,13,17,18,19,20,25,26,28,66”
  - 使用するバンドが不明である場合。この値を指定した場合、初回にネットワークに接続されるまで数分程度の時間がかかります。

本アプリケーションでは以下の設定で動作確認を行っています。

- APN : iot.truphone.com
- 認証プロトコル : 0
- ユーザ名 : -
- パスワード : -
- LTE バンド : 1,2,3,4,5,8,12,13,17,18,19,20,25,26,28,66

```
/**********************************************************************************************************************//**
 * @addtogroup sample_ryz024a_ra6m5
 * @{
 *********************************************************************************************************************/

FSP_CPP_HEADER
void R_BSP_WarmStart(bsp_warm_start_event_t event);
FSP_CPP_FOOTER

/* Application value definition */
void lte_user_cb(uint16_t event_type, uint16_t api_id, uint16_t data_len, uint8_t * p_data);
static uint8_t gs_sw1_count = 0;
static uint8_t gs_sw1_push_flag = 0;
static uint8_t gs_sw2_push_flag = 0;
static uint8_t gs_reinitialize_flag = 0;
static uint8_t gs_mqtt_conn_state = 0;

/* Application specific string data for network connection */
static uint8_t gs_str_PDP_type[] =              "IPV4V6";

#if 1
/* Access Point Name using in network connection. Please select depending on SIM card */
static uint8_t gs_str_PDP_APN[] =               "iot.truphone.com";

/* Authentication protocol, user id, password. Please modify depending on using LTE band */
static uint8_t gs_str_PDP_protocol[] =          "0";
static uint8_t gs_str_PDP_userid[] =            "";
static uint8_t gs_str_PDP_password[] =          "";
#endif
#if 0
/* Access Point Name using in network connection. Please select depending on SIM card */
static uint8_t gs_str_PDP_APN[] =               "soracom.io";

/* Authentication protocol, user id, password. Please modify depending on using LTE band */
static uint8_t gs_str_PDP_protocol[] =          "2";
static uint8_t gs_str_PDP_userid[] =            "sora";
static uint8_t gs_str_PDP_password[] =          "sora";
#endif

/* Band List for network connection. Please select depending
#if 0
static uint8_t gs_str_LTE_bandlist[] =          "1,19";
#endif
#if 0
static uint8_t gs_str_LTE_bandlist[] =          "2,4,12";           /* AT&T bands in US Region */
#endif
#if 1
static uint8_t gs_str_LTE_bandlist[] =          "1,2,3,4,5,8,12,13,17,18,19,20,25,26,28,66"; /* All selectable bands. */
#endif
```

APN、プロトコル、ユーザ名、パスワードを変更する

LTE バンドを変更する

図 2.5 APN、認証プロトコル、ユーザ名、パスワード、LTE バンドを変更 (hal_entry.c または lte_task_entry.c)

6. ホスト MCU の低消費電力動作を無効にします。本サンプルプログラムの動作をモニタリングする SEGGER J-Link RTT Viewer を使用する際は、ホスト MCU の低消費電力モードの使用が推奨されていないため、低消費電力モードを実行する API(R_LPM_LowPowerModeEnter)をコメントアウトします。
   以下に示す関数の中で R_LPM_LowPowerModeEnter()を呼び出している行をコメントアウトしてください。

ベアメタル版 ファイル名/関数名：r_lte_ryz.c / void R_LTE_Execute(void)

```
853
854             /* enter Low Power Mode */
855             R_LPM_LowPowerModeEnter(&gs_lpm_ctrl_instance_ctrls[lpm_mode]);
856         }
```

FreeRTOS 版 ファイル名/関数名：r_lte_ryz.c / void vApplicationIdleHook(void)

```
823
824         /* enter Low Power Mode */
825         R_LPM_LowPowerModeEnter(&gs_lpm_ctrl_instance_ctrls[lpm_mode]);
826     }
```

7. サンプルプロジェクトをビルドします。本サンプルプロジェクトでは SEGGER J-Link RTT Viewer を用いて実行の状況をモニタリングします。その設定のため、ビルド後に生成される Debug フォルダ内の.map ファイルから.bss._SEGGER_RTT のアドレスを確認します。

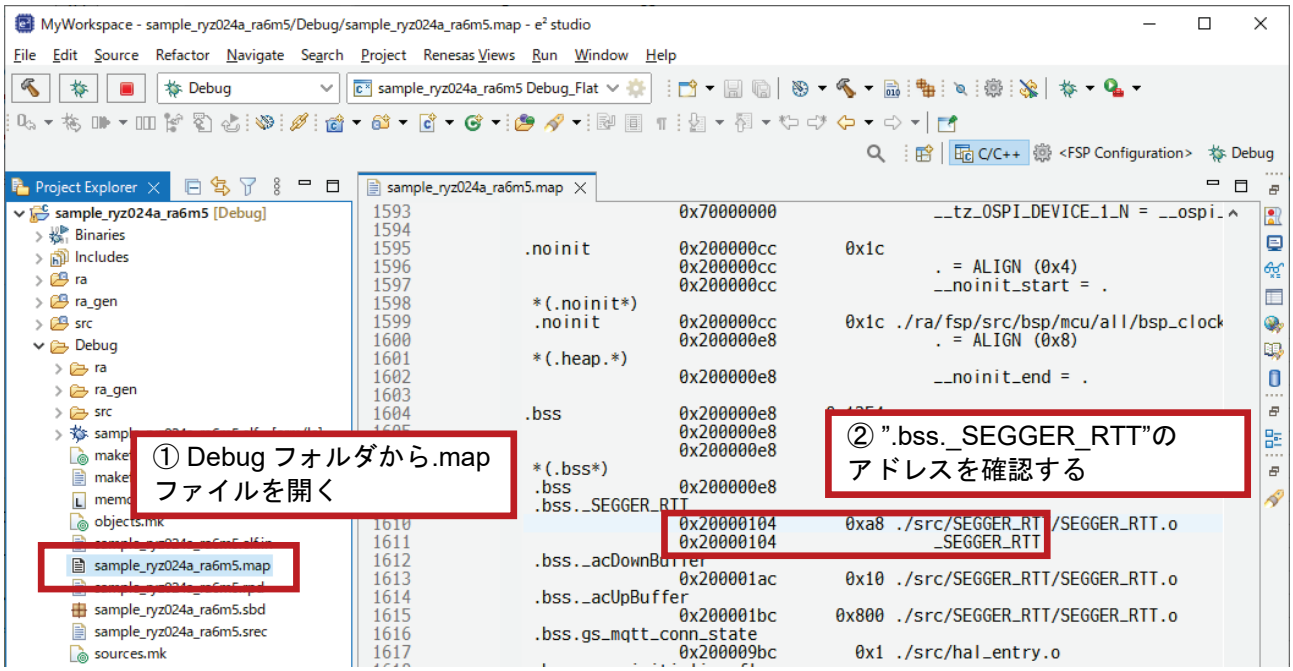

図 2.6 .map ファイルの確認

8. RTT Viewer を起動し、EK-RA6M5 に接続します。接続には上記アドレスを入力します。

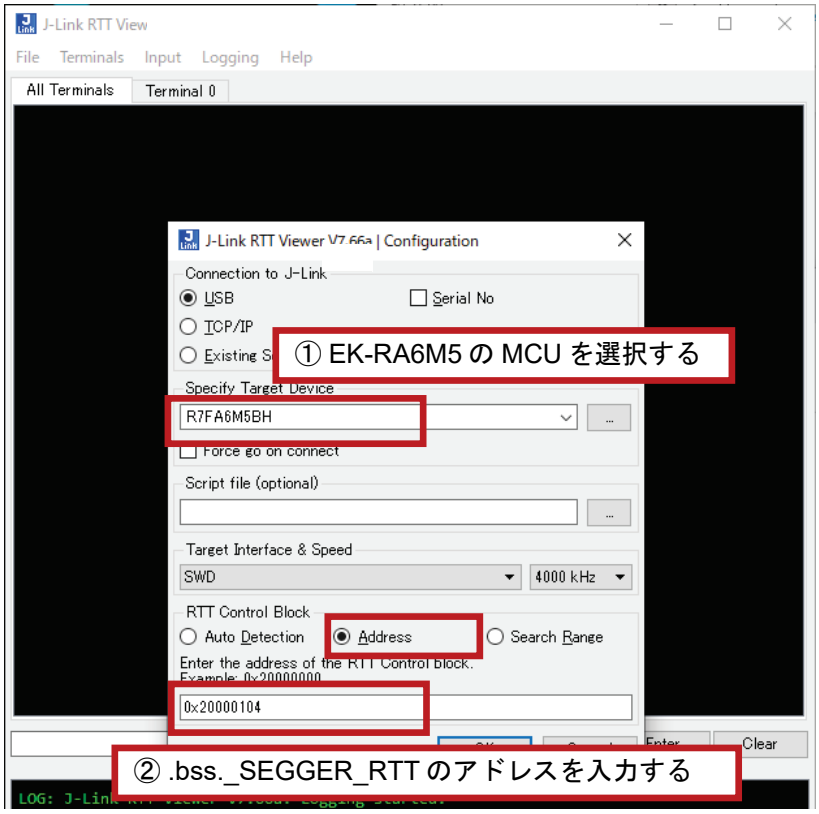

図 2.7 RTT Viewer の起動

2.2 アプリケーションの動作概要

本サンプルプログラムは、公開されている MQTT サーバ「test.mosquitto.org」を利用してメッセージの送受信を行います。この章では提供されるプログラムの動作について説明します。

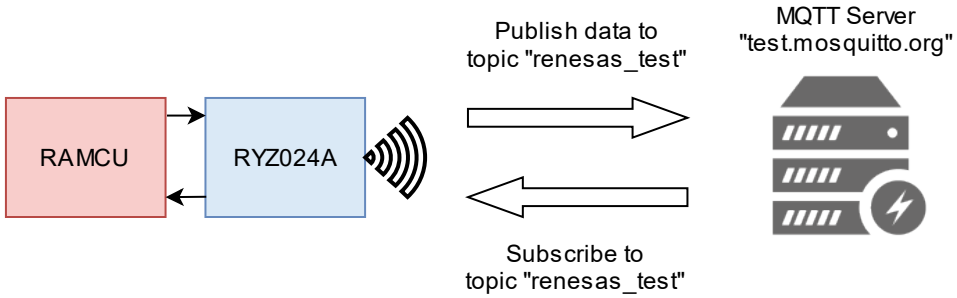

図 2.8 サンプルプログラムシステム構成

サンプルプログラムが実行されるとまず RYZ024A モジュールをリセットします。RYZ024A のリセット後、LTE 経由でネットワークに接続し、続いて MQTT サーバに接続します。次に MQTT サーバに Subscribe 要求を行った後、「SW READY」の文字列を RTT Viewer に表示します。この状態でボード上のスイッチで操作可能となります。

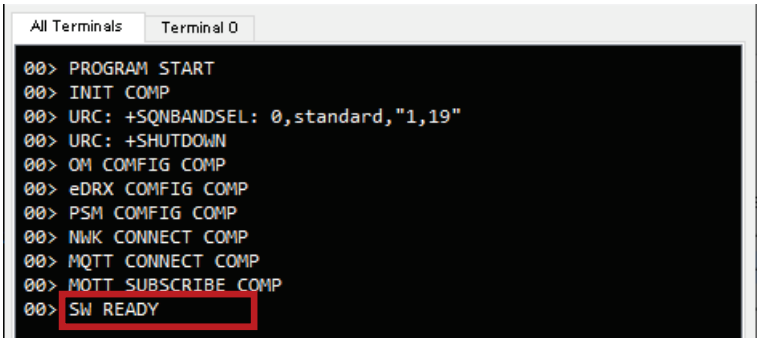

図 2.9 MQTT サーバへ接続

「SW READY」が表示されたあと S1 を押すことで MQTT サーバへ Publish によりメッセージを送信します。先に MQTT サーバには Subscribe 要求を行っているので、そのメッセージの ID などが送信されます。それを受けてメッセージ受信要求を送信し、受信したメッセージを RTT Viewer に表示します。S1 を押す回数によって送信する文字列データは変化します。

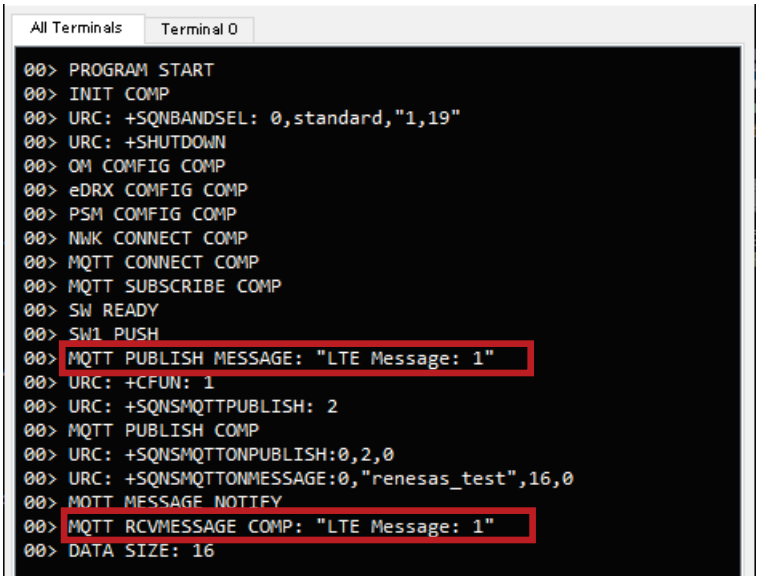

図 2.10 S1 を押下

S2 を押すと MQTT サーバから切断した後、ネットワークからも切断します。

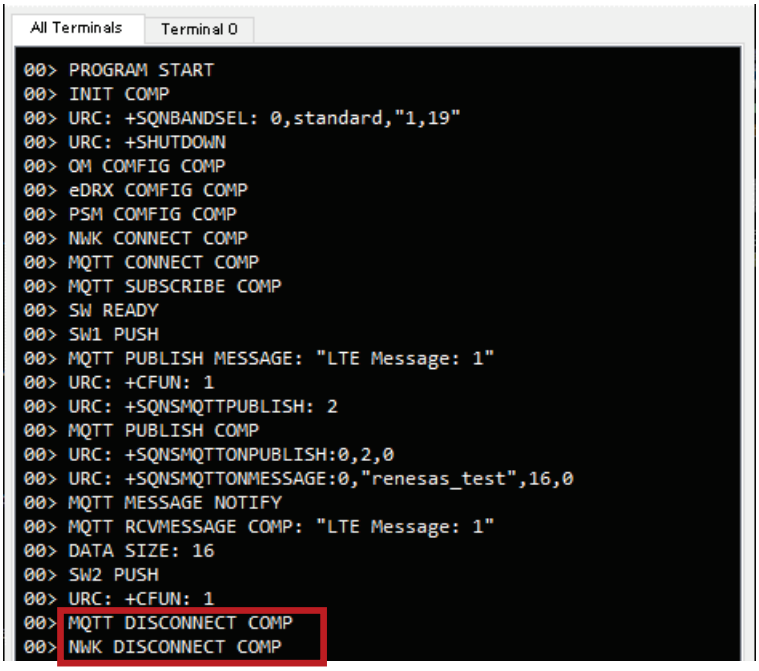

図 2.11 S2 を押下

なお、電波状況の悪化などの理由でネットワークや MQTT サーバから切断された場合、本サンプルアプリケーションでは再度 MQTT サーバへ接続しようとします。そのため電波状況が回復した後、ボタンなどを押すことなく MQTT サーバへ再接続し、Subscribe 要求を行った後「SW READY」が表示されます。この後スイッチの操作が可能になります。

3. AT コマンドマネジメントフレームワーク

3.1 フレームワーク概要

ホスト MCU から RYZ024A を操作するためには UART 通信を使用して AT コマンドを送信し、レスポンスの受信することで行います。AT コマンドマネジメントフレームワークは AT コマンドとレスポンスの送受信を効率よく実装するためのフレームワークです。本サンプルプログラムでは AT コマンドマネジメントフレームワークを使用して MQTT 通信をするためのフレームワークベースプログラムを作成しています。

本サンプルプログラムのフレームワークベースプログラムで作成されている API は、マネジメント API と AT コマンド API の 2 つに分類されます。マネジメント API はフレームワークベースプログラムの初期化や、一連の AT コマンドをレスポンスに応じて送信するための API です。AT コマンド API は AT コマンドを送信するための API です。AT コマンド API で送信された AT コマンドの実行結果はコールバック関数としてアプリケーションに通知されます。

AT コマンドマネジメントフレームワークは FSP モジュールである SCI UART モジュール、AGT Timer モジュール、External IRQ モジュール、Low Power Mode モジュールを使用して作成されています。

- SCI UART モジュールは、RYZ024A への AT コマンド送信と RYZ024A からのレスポンスの受信で使用します。
- AGT Timer モジュールは、AT コマンド実行後のタイムアウトを計測するために使用します。
- External IRQ モジュールは、RYZ024A からの URC があることを通知する RING 信号の割り込みで使用します。
- Low Power Module は、ホスト MCU が IDLE 状態の時や、AT コマンド API の中で AT コマンドを送信して応答を待っている状態の時に使用します。

なお、本章ではベアメタル版の AT コマンドマネジメントフレームワークを元に説明を行います。本サンプルプログラムで提供される FreeRTOS 版のフレームワークについては「3.6 FreeRTOS 版のフレームワーク」を参照してください。

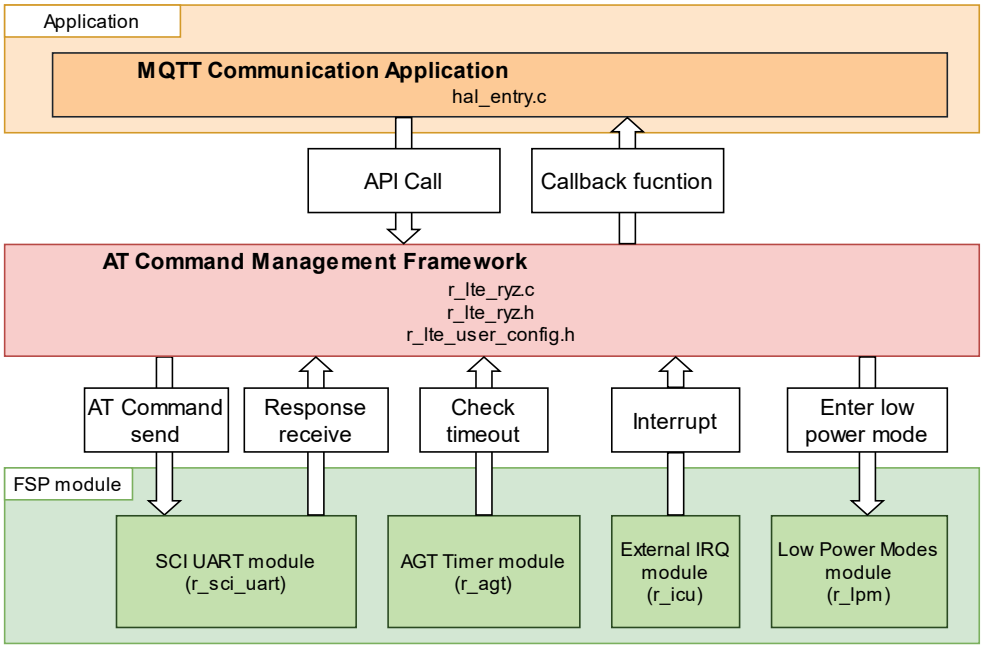

図 3.1 AT コマンドマネジメントフレームワーク

AT コマンドマネジメントフレームワークでは RYZ024A の LTE 通信機能を利用するために AT コマンドを送信する AT コマンド API をコールしています。アプリケーションで AT コマンド API をコールすることで実行したい動作を実施するために必要な一連の AT コマンドが送信待機リストに追加されます。送信待機リストに追加された AT コマンドは順番に RYZ024A へ送信されます。

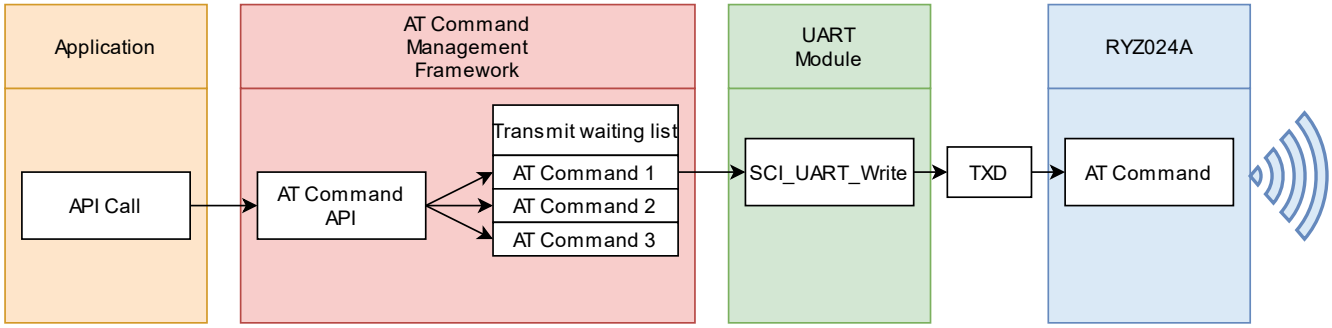

図 3.2 AT コマンド API の呼出し

RYZ024A での AT コマンドの実行結果はレスポンスとして送信されます。このレスポンスデータを UART モジュールのコールバック関数で受け取り、R_LTE_Execute 関数で解析されます。実行結果が正しい場合、R_LTE_Execute 関数は送信待機リストに追加されている次の AT コマンドを送信します。この手順は送信待機リストに追加されたすべての AT コマンドが送信されるまで繰り返されます。

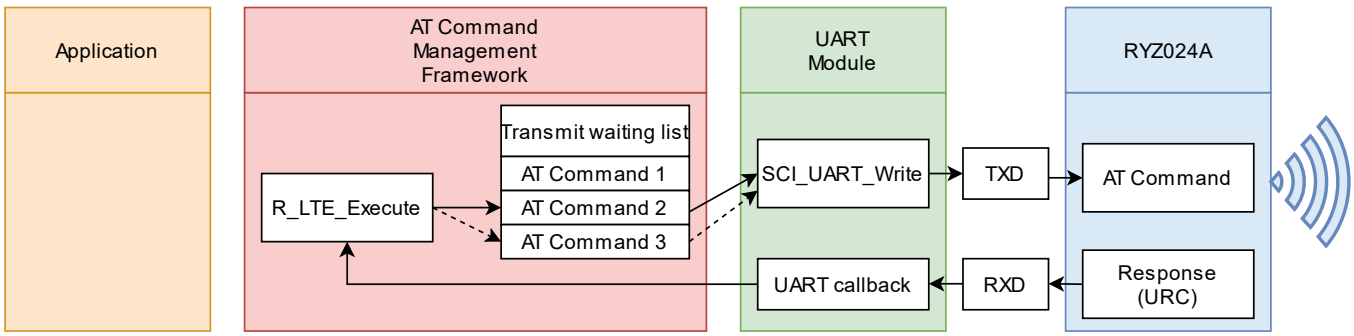

図 3.3 レスポンスの受信と AT コマンドの送信

送信待機リストに追加されたすべての AT コマンドを送信した、RYZ024A からのレスポンスがエラーだった、その他 AT コマンドと関係のないデータを受信したなどの場合、R_LTE_Execute 関数はそれらをアプリケーションにコールバック関数として通知します。

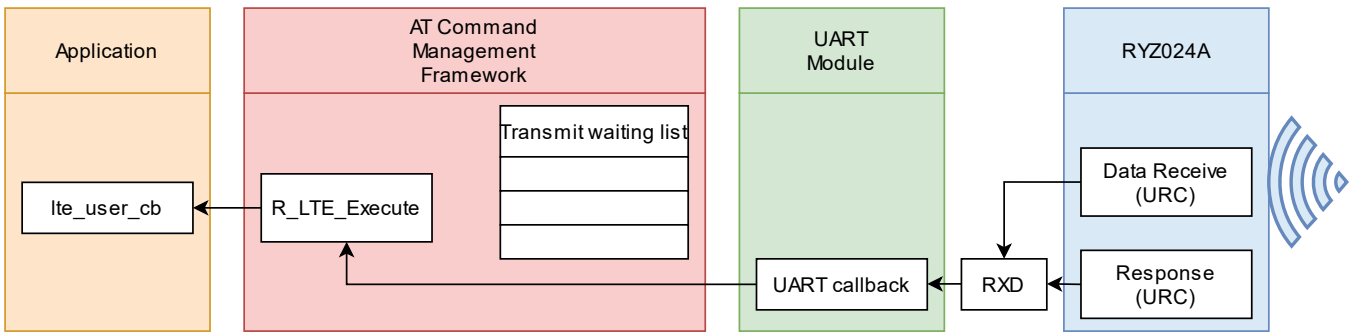

図 3.4 コールバック関数での通知

本サンプルプログラムのフレームワークベースプログラムから提供される API 関数は「3.2 API 関数」を参照してください。

AT コマンド API の実行結果はアプリケーションへコールバック関数で通知されます。コールバック関数と通知されるデータについては「3.3 コールバック関数」を参照してください。

また AT コマンドマネジメントフレームワークを他の RA MCU で使用する場合は「r_lte_user_config.h」を編集することで使用できます。設定可能な値は「3.4 ユーザ固有値の設定」を参照してください。

3.2 API 関数

本サンプルプログラムのフレームワークベースプログラムを使用して実装されている API 関数はマネジメント API と AT コマンド API の 2 種類に分類されます。マネジメント API はフレームワークベースプログラムの初期化や、一連の AT コマンドをレスポンスに応じて送信するための API です。AT コマンド API は AT コマンドを送信するための API です。マネジメント API は「3.2.1 マネジメント API」、AT コマンド API は「3.2.2 AT コマンド API」で説明します。

3.2.1 マネジメント API

マネジメント API はフレームワークベースプログラムの初期化や、一連の AT コマンドをレスポンスに応じて送信するための API です。マネジメント API はアプリケーションのメインループでコールする必要があります。本サンプルプログラムのフレームワークベースプログラムをベースに機能追加等を行う場合でも、基本的にマネジメント API のプログラム(r_lte_ryz.c, r_lte_ryz.h, r_lte_user_config.c)は変更不要です。

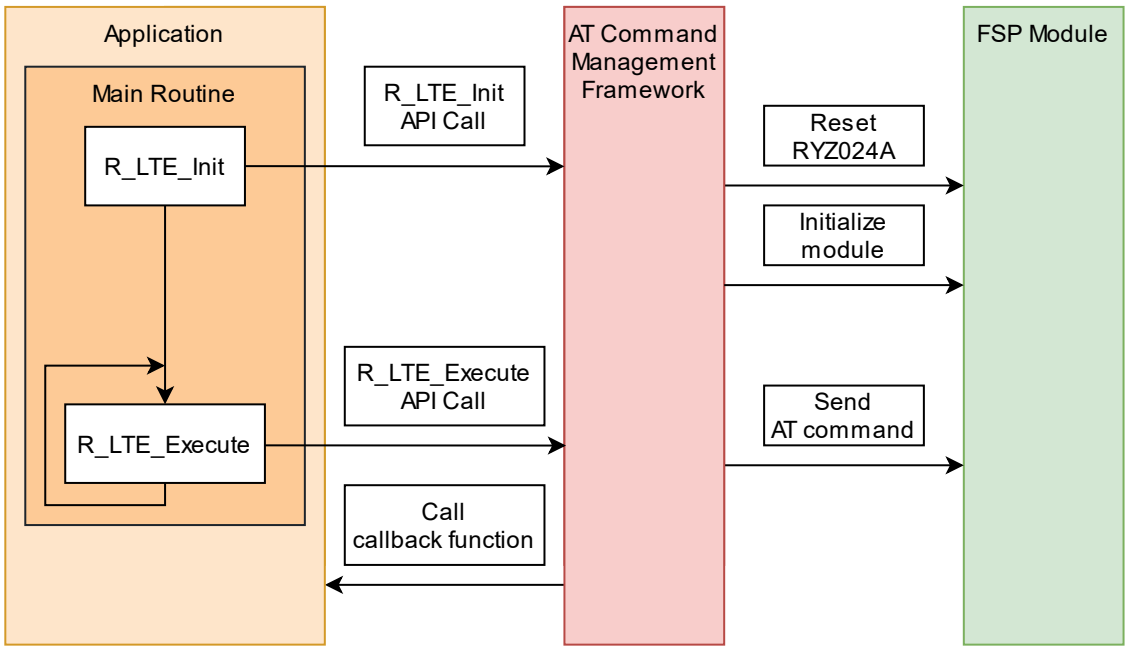

図 3.5 マネジメント API

3.2.1.1 R_LTE_Init

関数名	R_LTE_Init	
概要	フレームワークベースプログラムの初期化を行う	
引数	lte_cb_t * p_callback_fun (IN)	登録するコールバック関数。 コールバック関数の型については「3.3 コールバック関数」を参照。
返り値	LTE_SUCCESS (0x0000)	成功
	LTE_ERR_POINTER_NULL (0x0001)	引数のポインタが NULL になっている
詳細機能	初期化として、以下を実行します。 ・ 使用する FSP module の初期化 ・ RYZ024A のハードウェアリセット ・ API 関数の実行結果やイベントをアプリケーションに通知するコールバック関数の登録 本 API を実行後、RYZ024A をリセットするための AT コマンドが送信されます。 この API で送信された AT コマンドの実行結果はコールバック関数で通知されます。 以下の API_ID で通知されます。 LTE_API_INIT (0xFF) 本 API はアプリケーションのメインループ前に必ずコールしてください。	

3.2.1.2 R_LTE_Execute

関数名	R_LTE_Execute	
概要	フレームワークベースプログラムの実行を行う	
引数	void	なし
返り値	void	なし
詳細機能	フレームワークベースプログラムで実行する各種処理を実行します。 本関数では以下の動作を実行します。 ・ RYZ024A から送信されるデータの受信と解析 ・ AT コマンドの送信待機リストに登録されたデータの順次送信 ・ 受信したデータに合わせたコールバック関数のコール 本関数はアプリケーションのメインループ内で必ず繰り返しコールしてください。	

3.2.2 AT コマンド API

AT コマンド API は実行する動作に合わせて一連の AT コマンドを送信するための API です。アプリケーションから AT コマンド API をコールすることで送信待機リストに 1 つあるいは複数の AT コマンドが追加されます。送信待機リストに追加された AT コマンドは RYZ024A からのレスポンスに応じて順次 RYZ024A に送信されます。AT コマンド API で指定したすべての AT コマンドが送信されたら AT コマンドの送信結果をコールバック関数としてアプリケーションに通知します。

AT コマンド API の呼出し後、コールバック関数で結果が通知される前に次の AT コマンド API をコールすることはできません。また、AT コマンド API は割り込みハンドラからコールすることはできません。メインルーチン(AT コマンドマネジメントフレームワークのコールバック関数を含む)から実行してください。

本サンプルプログラムのフレームワークベースプログラムでは RYZ024A で MQTT 通信を行うために必要な API を実装しています。MQTT 通信アプリケーションで利用していない AT コマンドを用いた機能を実装したい場合、AT コマンドマネジメントフレームワークを使用して新しく AT コマンド API をユーザが追加し、アプリケーションを開発することを想定しています。

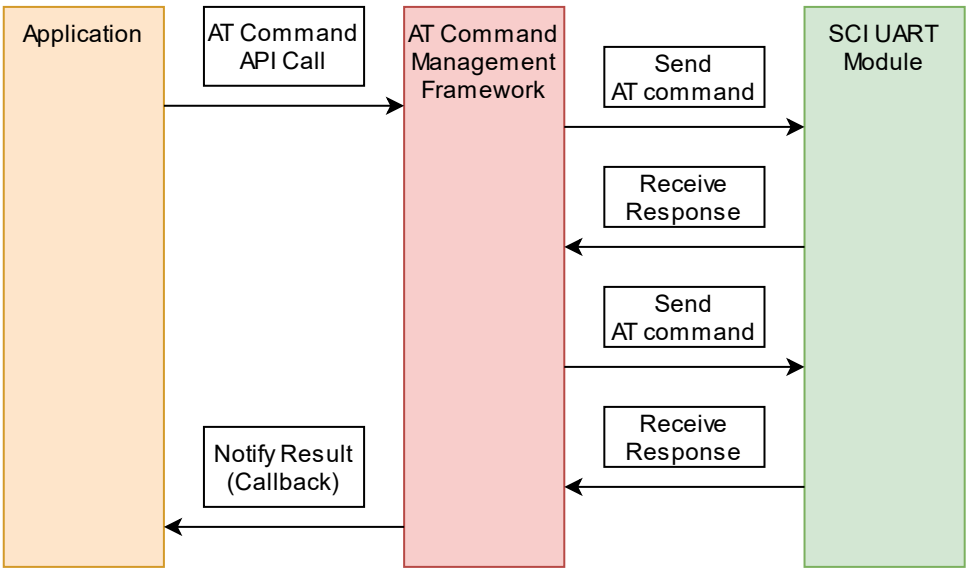

図 3.6 AT コマンド API

3.2.2.1 R_LTE_OM_Config

関数名	R_LTE_OM_Config	
機能概要	オペレータモードを設定する	
引数	uint8_t * p_pdp_type (IN)	PDP コンテキストの種類 例：”IPV4V6”
	uint8_t * p_pdp_apn (IN)	PDP コンテキストのアクセスポイント名 例：”iot.truphone.com”
	uint8_t * p_pdp_protocol (IN)	PDP コンテキスト認証のプロトコル 例："0"
	uint8_t * p_pdp_userid (IN)	PDP コンテキスト認証のユーザ ID 例：””
	uint8_t * p_pdp_password (IN)	PDP コンテキスト認証のパスワード 例：””
	uint8_t * p_bandlist (IN)	LTE のバンド 例：”1,2,3,4,5,8,12,13,17,18,19,20,25,26,28,66”
返り値	LTE_SUCCESS (0x0000)	成功
	LTE_ERR_POINTER_NULL (0x0001)	引数のポインタが NULL になっている
	LTE_ERR_IN_PROCESS (0x0002)	他の LTE API が実行中である
	LTE_ERR_DATASIZE_OVERFLOW (0x0003)	引数のデータサイズが送信待機リストに登録できるサイズを超過した
詳細機能	以下の AT コマンドを順番に送信します。 1. “AT+CGDCONT=1,[p_pdp_type],[p_pdp_apn]” 2. “AT+CGAUTH=1,[p_pdp_protocol],[p_pdp_userid],[p_pdp_password]” または “AT+CGAUTH=1,0” (注 1) 3. “AT+SQNCTM=“standard” (注 2) 4. “AT+SQNBANDSEL=0,"standard",[p_bandlist]” この API で送信された AT コマンドの実行結果はコールバック関数で通知されます。 以下の API_ID で通知されます。 LTE_API_OM_CONFIG (0x01) 注 1) p_pdp_protocol に"0"を指定すると"AT+CGAUTH=1,0"を送信します。 注 2) AT+SQNCTM はパラメータを変更すると RYZ024A を自動的に再起動する動作をします。そのためコマンド実行後に再起動が発生したかどうか確認するために 10 秒待つ実装にしています。	

3.2.2.2 R_LTE_NWK_Connect

関数名	R_LTE_NWK_Connect	
機能概要	ネットワークに接続する	
引数	uint8_t mode	送信する AT コマンドを選択する
返り値	LTE_SUCCESS (0x0000)	成功
	LTE_ERR_IN_PROCESS (0x0002)	他の LTE API が実行中である
詳細機能	Mode の値に応じて以下の AT コマンドを順番に送信します。(現在は 1 のみ使用可能) • Mode = 1 1. "AT+CFUN=0" 2. "AT+CMEE=1" 3. “AT+CEREG=5" 4. "AT+SQNRMON=0,1,2000,-900,8190" 5. “AT+CFUN=1” この API で送信された AT コマンドの実行結果はコールバック関数で通知されます。 以下の API_ID で通知されます。 LTE_API_NWK_CONNECT (0x02)	

3.2.2.3 R_LTE_NWK_Disconnect

関数名	R_LTE_NWK_Disconnect	
機能概要	ネットワークから切断する	
引数	uint8_t mode	送信する AT コマンドを選択する
返り値	LTE_SUCCESS (0x0000)	成功
	LTE_ERR_IN_PROCESS (0x0002)	他の LTE API が実行中である
詳細機能	Mode の値に応じて以下の AT コマンドを送信します。(現在は 0 のみ使用可能) • Mode = 0 1. “AT+CFUN=0” この API で送信された AT コマンドの実行結果はコールバック関数で通知されます。 以下の API_ID で通知されます。 LTE_API_NWK_DISCONNECT (0x03)	

3.2.2.4 R_LTE_MQTT_Connect

関数名	R_LTE_MQTT_Connect	
機能概要	MQTT 接続の設定を行い、サーバに接続する	
引数	uint8_t * p_username (IN)	MQTT 通信で使用するユーザ名 例：”renesas_device_001”
	uint8_t * p_host (IN)	接続する MQTT サーバのアドレス 例：”test.mosquitto.org”
	uint8_t * p_port (IN)	接続する MQTT サーバのポート 例：”1883”
返り値	LTE_SUCCESS (0x0000)	成功
	LTE_ERR_POINTER_NULL (0x0001)	引数のポインタが NULL になっている
	LTE_ERR_IN_PROCESS (0x0002)	他の LTE API が実行中である
	LTE_ERR_DATASIZE_OVERFLOW (0x0003)	引数のデータサイズが送信待機リストに登録できるサイズを超過した
詳細機能	以下の AT コマンドを順番に送信します。 1. “AT+SQNSMQTTCFG=0,[p_username]” 2. “AT+SQNSMQTTCONNECT=0,[p_host] ,[p_port]” この API で送信された AT コマンドの実行結果はコールバック関数で通知されます。 以下の API_ID で通知されます。 LTE_API_MQTT_CONNECT (0x04)	

3.2.2.5 R_LTE_MQTT_Subscribe

関数名	R_LTE_MQTT_Subscribe	
機能概要	サブスクライブするトピックを指定する	
引数	uint8_t * p_topic (IN)	MQTT 通信でサブスクライブするトピック 例：”renesas_test”
返り値	LTE_SUCCESS (0x0000)	成功
	LTE_ERR_POINTER_NULL (0x0001)	引数のポインタが NULL になっている
	LTE_ERR_IN_PROCESS (0x0002)	他の LTE API が実行中である
	LTE_ERR_DATASIZE_OVERFLOW (0x0003)	引数のデータサイズが送信待機リストに登録できるサイズを超過した
詳細機能	以下の AT コマンドを送信します。 1. AT+SQNSMQTTSUBSCRIBE=0,[p_topic] ,1" この API で送信された AT コマンドの実行結果はコールバック関数で通知されます。 以下の API_ID で通知されます。 LTE_API_MQTT_SUBSCRIBE (0x05)	

3.2.2.6 R_LTE_MQTT_Publish

関数名	R_LTE_MQTT_Publish	
機能概要	MQTT のトピックにメッセージをパブリッシュする	
引数	uint8_t * p_topic (IN)	メッセージをパブリッシュするトピック 例：”renesas_test”
	uint16_t length (IN)	パブリッシュするメッセージのサイズ
	uint8_t * p_message (IN)	パブリッシュするメッセージ
返り値	LTE_SUCCESS (0x0000)	成功
	LTE_ERR_POINTER_NULL (0x0001)	引数のポインタが NULL になっている
	LTE_ERR_IN_PROCESS (0x0002)	他の LTE API が実行中である
	LTE_ERR_DATASIZE_OVERFLOW (0x0003)	引数のデータサイズが送信待機リストに登録できるサイズを超過した
詳細機能	以下の AT コマンドを送信します。 1. “AT+SQNSMQTTPUBLISH=0,[p_topic],1,[length]" この API で送信された AT コマンドの実行結果はコールバック関数で通知されます。 以下の API_ID で通知されます。 LTE_API_MQTT_PUBLISH (0x06)	

3.2.2.7 R_LTE_MQTT_RcvMessage

関数名	R_LTE_MQTT_RcvMessage	
機能概要	MQTT からメッセージを受信する	
引数	uint8_t * p_topic (IN)	受信するメッセージのトピック 例：”renesas_test”
	uint8_t message_id (IN)	受信するメッセージの ID
	uint16_t message_size (IN)	受信するメッセージのサイズ
返り値	LTE_SUCCESS (0x0000)	成功
	LTE_ERR_POINTER_NULL (0x0001)	引数のポインタが NULL になっている
	LTE_ERR_IN_PROCESS (0x0002)	他の LTE API が実行中である
	LTE_ERR_DATASIZE_OVERFLOW (0x0003)	引数のデータサイズが送信待機リストに登録できるサイズを超過した
詳細機能	message_id の値に応じて以下の AT コマンドを送信します。 • Message_id = 0 1. “AT+SQNSMQTTRCVMESSAGE=0,[p_topic]” • Message_id = 0 以外 1. “AT+SQNSMQTTRCVMESSAGE=0,[p_topic],[message_id]” この API で送信された AT コマンドの実行結果はコールバック関数で通知されます。 また受信したメッセージもコールバック関数で通知されます。 以下の API_ID で通知されます。 LTE_API_MQTT_RCVMESSAGE (0x07) 本 API は通常、”+SQNSMQTTONMESSAGE”の URC を受信した後に実行します。 引数に指定した message_id に該当する MQTT メッセージをまだ受信していない場合、コールバック関数でエラー” LTE_CME_ERR_OPERATION_NOT_SUPPORTED” が通知されます。	

3.2.2.8 R_LTE_MQTT_Disconnect

関数名	R_LTE_MQTT_Disconnect	
機能概要	MQTT サーバから切断する	
引数	void	なし
返り値	LTE_SUCCESS (0x0000)	成功
	LTE_ERR_IN_PROCESS (0x0002)	他の LTE API が実行中である
詳細機能	以下の AT コマンドを送信します。 1. “AT+SQNSMQTTDISCONNECT=0" この API で送信された AT コマンドの実行結果はコールバック関数で通知されます。 以下の API_ID で通知されます。 LTE_API_MQTT_DISCONNECT (0x08)	

3.2.2.9 R_LTE_SEC_CertificateAdd

関数名	R_LTE_SEC_CertificateAdd	
機能概要	証明書を追加する	
引数	uint8_t cet_id	追加する証明書の ID
	uint16_t cet_len	追加する証明書のデータ長
	uint8_t * p_cet_data	追加する証明書の文字列データ
返り値	LTE_SUCCESS (0x0000)	成功
	LTE_ERR_POINTER_NULL (0x0001)	引数のポインタが NULL になっている
	LTE_ERR_IN_PROCESS (0x0002)	他の LTE API が実行中である
	LTE_ERR_DATASIZE_OVERFLOW (0x0003)	引数のデータサイズが送信待機リストに登録できるサイズを超過した
詳細機能	以下の AT コマンドを送信します。 1. “AT+SQNSNVW="certificate",[cet_id],[cet_len]" この API で送信された AT コマンドの実行結果はコールバック関数で通知されます。 以下の API_ID で通知されます。 LTE_API_SEC_CERTIFICATEADD (0x09)	

3.2.2.10 R_LTE_SEC_CertificateRemove

関数名	R_LTE_SEC_CertificateRemove	
機能概要	証明書を削除する	
引数	uint8_t cet_id	削除する証明書の ID
返り値	LTE_SUCCESS (0x0000)	成功
	LTE_ERR_IN_PROCESS (0x0002)	他の LTE API が実行中である
詳細機能	以下の AT コマンドを送信します。 1. “AT+SQNSNVW="certificate",[cet_id],0" この API で送信された AT コマンドの実行結果はコールバック関数で通知されます。 以下の API_ID で通知されます。 LTE_API_SEC_CERTIFICATEREMOVE (0x0A)	

3.2.2.11 R_LTE_SEC_PrivateKeyAdd

関数名	R_LTE_SEC_PrivateKeyAdd	
機能概要	プライベートキーを追加する	
引数	uint8_t prk_id	追加するプライベートキーの ID
	uint16_t prk_len	追加するプライベートキーのデータ長
	uint8_t * p_prk_data	追加するプライベートキーの文字列データ
返り値	LTE_SUCCESS (0x0000)	成功
	LTE_ERR_POINTER_NULL (0x0001)	引数のポインタが NULL になっている
	LTE_ERR_IN_PROCESS (0x0002)	他の LTE API が実行中である
	LTE_ERR_DATASIZE_OVERFLOW (0x0003)	引数のデータサイズが送信待機リストに登録できるサイズを超過した
詳細機能	以下の AT コマンドを送信します。 1. “AT+SQNSNVW="privatekey",[prk_id],[prk_len]" この API で送信された AT コマンドの実行結果はコールバック関数で通知されます。 以下の API_ID で通知されます。 LTE_API_SEC_PRIVATEKEYADD (0x0B)	

3.2.2.12 R_LTE_SEC_PrivateKeyRemove

関数名	R_LTE_SEC_PrivateKeyRemove	
機能概要	プライベートキーを削除する	
引数	uint8_t prk_id	削除するプライベートキーの ID
返り値	LTE_SUCCESS (0x0000)	成功
	LTE_ERR_IN_PROCESS (0x0002)	他の LTE API が実行中である
詳細機能	以下の AT コマンドを送信します。 1. “AT+SQNSNVW="privatekey",[prk_id],0" この API で送信された AT コマンドの実行結果はコールバック関数で通知されます。 以下の API_ID で通知されます。 LTE_API_SEC_PRIVATEKEYREMOVE (0x0C)	

3.2.2.13 R_LTE_NWK_ConnectionConfig

関数名	R_LTE_NWK_ConnectionConfig	
機能概要	接続とセキュリティを設定する	
引数	uint8_t ca_cer_id	CA 証明書の ID
	uint8_t client_cer_id	クライアント証明書の ID
	uint8_t prk_id	プライベートキーの ID
返り値	LTE_SUCCESS (0x0000)	成功
	LTE_ERR_IN_PROCESS (0x0002)	他の LTE API が実行中である
詳細機能	以下の AT コマンドを順番に送信します。 1. “AT+SQNSCFG=1,1,1" 2. “AT+SQNSPCFG=1,2,,5,[ca_cer_id],[client_cer_id],[prk_id],""" この API で送信された AT コマンドの実行結果はコールバック関数で通知されます。 以下の API_ID で通知されます。 LTE_API_NWK_CONNECTIONCONFIG (0x0D)	

3.2.2.14 R_LTE_eDRX_Config

関数名	R_LTE_eDRX_Config	
機能概要	eDRX の動作とパラメータを設定する	
引数	uint8_t mode (IN)	eDRX 動作モード
	uint8_t edrx_time_value (IN)	eDRX 周期の設定値
	uint8_t ptw_time_value (IN)	PTW 時間の設定値
返り値	LTE_SUCCESS (0x0000)	成功
	LTE_ERR_IN_PROCESS (0x0002)	他の LTE API が実行中である
	LTE_ERR_DATASIZE_OVERFLOW (0x003)	引数のデータサイズが送信待機リストに登録できるサイズを超過した
詳細機能	以下のように、指定された引数から AT コマンド文字列を生成し送信します。 AT+SQNEDRX=2,4,"0001","0000" この API で送信された AT コマンドの実行結果はコールバック関数で通知されます。 以下の API_ID で通知されます。 LTE_API_EDRX_CONFIG (0x0E)	

(1) mode パラメータ

```
typedef enum
{
    LTE_EDRX_MODE_DISABLE = 0,
    LTE_EDRX_MODE_ENABLE,
    LTE_EDRX_MODE_ENABLE_WITH_URC,
    LTE_EDRX_MODE_RESET_PARAM,
  } e_lte_edrx_mode_t;
```

(2) edrx_time_value パラメータ

```
typedef enum
{
    LTE_EDRX_TIME_VAL_5_SEC = 0,
    LTE_EDRX_TIME_VAL_10_SEC,
    LTE_EDRX_TIME_VAL_20_SEC,
    LTE_EDRX_TIME_VAL_40_SEC,
    LTE_EDRX_TIME_VAL_61_SEC,
    LTE_EDRX_TIME_VAL_81_SEC,
    LTE_EDRX_TIME_VAL_102_SEC,
    LTE_EDRX_TIME_VAL_122_SEC,
    LTE_EDRX_TIME_VAL_143_SEC,
    LTE_EDRX_TIME_VAL_163_SEC,
    LTE_EDRX_TIME_VAL_327_SEC,
    LTE_EDRX_TIME_VAL_655_SEC,
    LTE_EDRX_TIME_VAL_1301_SEC,
    LTE_EDRX_TIME_VAL_2621_SEC,
  } e_lte_edrx_time_value_t;
```

(3) ptw_time_value パラメータ

```
typedef enum
{
    LTE_EDRX_PTW_TIME_VAL_1_SEC = 0,
    LTE_EDRX_PTW_TIME_VAL_2_SEC,
    LTE_EDRX_PTW_TIME_VAL_3_SEC,
    LTE_EDRX_PTW_TIME_VAL_5_SEC,
    LTE_EDRX_PTW_TIME_VAL_6_SEC,
    LTE_EDRX_PTW_TIME_VAL_7_SEC,
    LTE_EDRX_PTW_TIME_VAL_8_SEC,
    LTE_EDRX_PTW_TIME_VAL_10_SEC,
    LTE_EDRX_PTW_TIME_VAL_11_SEC,
    LTE_EDRX_PTW_TIME_VAL_12_SEC,
    LTE_EDRX_PTW_TIME_VAL_14_SEC,
    LTE_EDRX_PTW_TIME_VAL_15_SEC,
    LTE_EDRX_PTW_TIME_VAL_16_SEC,
    LTE_EDRX_PTW_TIME_VAL_17_SEC,
    LTE_EDRX_PTW_TIME_VAL_19_SEC,
    LTE_EDRX_PTW_TIME_VAL_20_SEC,
  } e_lte_edrx_ptw_time_value_t;
```

3.2.2.15 R_LTE_PSM_Config

関数名	R_LTE_PSM_Config	
機能概要	PSM の動作とパラメータを設定する	
引数	uint8_t mode (IN)	PSM 動作モード
	uint8_t tau_time_value (IN)	TAU 時間の設定値
	uint8_t tau_multiplier (IN)	TAU 時間に対する乗数
	uint8_t active_time_value (IN)	Active 時間の設定値
	uint8_t active_multiplier (IN)	Active 時間に対する乗数
返り値	LTE_SUCCESS (0x0000)	成功
	LTE_ERR_IN_PROCESS (0x0002)	他の LTE API が実行中である
	LTE_ERR_DATASIZE_OVERFLOW (0x003)	引数のデータサイズが送信待機リストに登録できるサイズを超過した
詳細機能	以下のように指定された引数から AT コマンド文字列を生成し送信します。 AT+CPSMS=1,,,"10000010","00001111" この API で送信された AT コマンドの実行結果はコールバック関数で通知されます。 以下の API_ID で通知されます。 LTE_API_PSM_CONFIG (0x0F)	

(1) mode パラメータ

```
typedef enum
{
    LTE_PSM_MODE_DISABLE = 0,
    LTE_PSM_MODE_ENABLE,
    LTE_PSM_MODE_RESET_PARAM,
  } e_lte_psm_mode_t;
```

(2) tau_time_value パラメータ

```
typedef enum
{
    LTE_PSM_TAU_TIME_VAL_10_MIN = 0,
    LTE_PSM_TAU_TIME_VAL_1_HOUR,
    LTE_PSM_TAU_TIME_VAL_10_HOUR,
    LTE_PSM_TAU_TIME_VAL_2_SEC,
    LTE_PSM_TAU_TIME_VAL_30_SEC,
    LTE_PSM_TAU_TIME_VAL_1_MIN,
    LTE_PSM_TAU_TIME_VAL_320_HOUR,
  } e_lte_psm_tau_time_value_t;
```

(3) active_time_value パラメータ

```
typedef enum
{
    LTE_PSM_ACTIVE_TIME_VAL_2_SEC = 0,
   LTE_PSM_ACTIVE_TIME_VAL_1_MIN,
    LTE_PSM_ACTIVE_TIME_VAL_6_MIN,
    LTE_PSM_ACTIVE_TIME_VAL_NONE  = 7,
  } e_lte_psm_active_time_value_t;
```

(4) tau_multiplier、active_multiplier パラメータ

```
typedef enum
{
    LTE_PSM_MULTIPLIER_0 = 0,
    LTE_PSM_MULTIPLIER_1,
    LTE_PSM_MULTIPLIER_2,
    LTE_PSM_MULTIPLIER_3,
    LTE_PSM_MULTIPLIER_4,
    LTE_PSM_MULTIPLIER_5,
    LTE_PSM_MULTIPLIER_6,
    LTE_PSM_MULTIPLIER_7,
    LTE_PSM_MULTIPLIER_8,
    LTE_PSM_MULTIPLIER_9,
    LTE_PSM_MULTIPLIER_10,
    LTE_PSM_MULTIPLIER_11,
    LTE_PSM_MULTIPLIER_12,
    LTE_PSM_MULTIPLIER_13,
    LTE_PSM_MULTIPLIER_14,
    LTE_PSM_MULTIPLIER_15,
    LTE_PSM_MULTIPLIER_16,
    LTE_PSM_MULTIPLIER_17,
    LTE_PSM_MULTIPLIER_18,
    LTE_PSM_MULTIPLIER_19,
    LTE_PSM_MULTIPLIER_20,
    LTE_PSM_MULTIPLIER_21,
    LTE_PSM_MULTIPLIER_22,
    LTE_PSM_MULTIPLIER_23,
    LTE_PSM_MULTIPLIER_24,
    LTE_PSM_MULTIPLIER_25,
    LTE_PSM_MULTIPLIER_26,
    LTE_PSM_MULTIPLIER_27,
    LTE_PSM_MULTIPLIER_28,
    LTE_PSM_MULTIPLIER_29,
    LTE_PSM_MULTIPLIER_30,
    LTE_PSM_MULTIPLIER_31,
  } e_lte_psm_tau_multiplier_t;
```

3.3 コールバック関数

RYZ024A へ AT コマンドを送るとレスポンスが返ってきます。また、RYZ024A の状態が変化した場合は RYZ024A から Unsolicited Response Code (URC)が送信されます。本サンプルプログラムのフレームワークベースプログラムでは RYZ024A からそれらのデータを受信した後、R_LTE_Execute 関数内で解析します。アプリケーションに通知する必要がある場合、R_LTE_Execute 関数内でコールバック関数をコールしてアプリケーションに通知します。これにより、アプリケーションは AT コマンド API の実行結果を確認したり、RYZ024A の URC を確認したりすることができます。ここではコールバック関数の構造やコールバック関数によって通知されるイベントやデータについて説明します。

コールバック関数は以下の構造になっています。

型名	void * lte_cb_t	
引数	uint16_t event_type (In)	通知されるイベントの ID。 設定される値は表 3.1 を参照してください。
	uint16_t api_id (In)	フレームワークベースプログラムがどの API を実行しているかを示す ID。 設定される値は表 3.2 を参照してください。
	uint16_t data_len (in)	p_data で通知されるデータのサイズ。
	void * p_data (out)	アプリケーションに通知するデータのポインタ。 データの内容はイベント種類に応じて変化します。 格納されるデータはコールバック関数がコールされるたびに上書きされるので必要に応じてアプリケーションで保持して下さい。

event_type と api_id の値はフレームワークベースプログラム内のマクロ形式で定義された値を使用します。以下にそれぞれの値を示します。

表 3.1 event_type の値

定義名	値	説明
LTE_EVENT_API_COMPLETE	0x0000	API 関数で指定した動作が正常に完了したことを通知するイベント。 p_data にはコールした API に合わせたデータが設定される。
LTE_EVENT_ERROR	0x0001	API 関数で指定した動作でエラーが発生したことを通知するイベント。 p_data にはエラーが数値データとして設定される。
LTE_EVENT_RCVURC	0x0002	URC を受信したことを通知するイベント。 p_data には URC が文字列データとして設定される。
LTE_EVENT_TIMEOUT_ERROR	0x0003	AT コマンドの送信後、レスポンスの受け取りまでにタイムアウトが発生したことを通知するイベント。 AT コマンドの送信後、60s 経過するとタイムアウトが発生する。
LTE_EVENT_FATAL_ERROR	0x0004	致命的なエラーが発生した場合に通知されるイベント。 意図しないタイミングで URC”+SYSSTART”を受信したときにコールバック関数をコールする。

表 3.2 api_id の値

定義名	値	対応する API
LTE_API_NO_CURRENT_API	0x0000	なし
LTE_API_OM_CONFIG	0x0001	R_LTE_OM_Config
LTE_API_NWK_CONNECT	0x0002	R_LTE_NWK_Connect
LTE_API_NWK_DISCONNECT	0x0003	R_LTE_NWK_Disconnect
LTE_API_MQTT_CONNECT	0x0004	R_LTE_MQTT_Connect
LTE_API_MQTT_DISCONNECT	0x0005	R_LTE_MQTT_Disconnect
LTE_API_MQTT_SUBSCRIBE	0x0006	R_LTE_MQTT_Subscribe
LTE_API_MQTT_PUBLISH	0x0007	R_LTE_MQTT_Publish
LTE_API_MQTT_RCVMESSAGE	0x0008	R_LTE_MQTT_RcvMessage
LTE_API_SEC_CERTIFICATEADD	0x0009	R_LTE_SEC_CertificateAdd
LTE_API_SEC_CERTIFICATEREMOVE	0x000A	R_LTE_SEC_CertificateRemove
LTE_API_SEC_PRIVATEKEYADD	0x000B	R_LTE_SEC_PrivateKeyAdd
LTE_API_SEC_PRIVATEKEYREMOVE	0x000C	R_LTE_SEC_PrivateKeyRemove
LTE_API_NWK_CONNECTIONCONFIG	0x000D	R_LTE_NWK_ConnectionConfig
LTE_API_EDRX_CONFIG	0x000E	R_LTE_eDRX_Config
LTE_API_PSM_CONFIG	0x000F	R_LTE_PSM_Config
LTE_API_INIT	0x00FF	R_LTE_Init

コールバック関数は特定の状況で R_LTE_Execute 関数からコールされます。以下にコールバック関数がコールされる状況とその時に設定されるデータを示します。

コールバック関数が記載されているソースコードを以下に示します

ベアメタル版アプリケーションプログラム：hal_entry.c

FreeRTOS 版アプリケーションプログラム：lte_task_entry.c

- AT コマンド API で送信する AT コマンドとそれに対するレスポンスがすべて送受信でき、レスポンスにエラーがない場合：
  - “event_type”に”LTE_EVENT_API_COMPLETE”が設定されます。
  - “p_data”には実行する AT コマンドに合わせてデータが設定されます。
    - AT コマンドの実行結果として URC を受信する場合、受信した URC の文字列データが登録されます。通知される文字列データのサイズは”data_len”に設定されています。
    - R_LTE_MQTT_RcvMessage など別途データを受信する AT コマンド API をコールしている場合、受信した文字列データが登録されます。受信したデータサイズが”LTE_DATA_STR_SIZE”を超過する場合、超過した分のデータは破棄され、前半部分のデータが登録されます。通知される文字列データのサイズは”data_len”に設定されています。
    - 上記以外の場合、データは設定されません。”data_len”は 0 に設定されています。

```
void lte_user_cb(uint16_t event_type, uint16_t api_id, uint16_t data_len, uint8_t *
p_data)
{
    if(LTE_EVENT_API_COMPLETE == event_type)
    {
        switch (api_id)
        {
            case LTE_API_OM_CONFIG:
            {
                /* Connect to network after configuration of operation mode complete
*/
                SEGGER_RTT_printf(0, "OM COM          ");
                R_LTE_NWK_Connect(1);
            } break;

/* 省略 */

            case LTE_API_MQTT_RCVMESSAGE:
            {
                /* Display received message */
                SEGGER_RTT_printf(0, "MQTT RCVMESSAGE COMP: ");
                for(uint8_t i = 0; i < data_len; i++)
                {
                    SEGGER_RTT_printf(0, "%c", p_data[i]);
                }
            } break;
```

LTE_EVENT_API_COMPLETE のイベント通知

api_id でどの AT コマンド API の結果か判断する

データを受信する場合 p_data に登録されている

図 3.7 LTE_EVENT_API_COMPLETE のイベント通知

- RYZ024A に送信した AT コマンドに対するレスポンスがエラーだった場合：
  - “event_type”に”LTE_EVENT_ERROR”が設定されます。
  - “p_data”にはエラーを示す値が登録されています。この値を確認するため、LTE_ERROR_DECODE 関数を使用して 16bit の値として確認してください。

```
void lte_user_cb(uint16_t event_type, uint16_t api_id, uint16_t data_len, uint8_t *
p_data)
{
/* 省略 */

    if(LTE_EVENT_ERROR == event_type)
    {
        /* Display API ID and Error code when err
        uint16_t err_code;
        LTE_ERROR_DECODE(&err_code, p_data);
        SEGGER_RTT_printf(0, "Error Response\n");
        SEGGER_RTT_printf(0, "API ID: %d, Error Code: %d\n", api_id, err_code);
    }

/* 省略 */
```

LTE_EVENT_ERROR のイベント通知

LTE_ERROR_DECODE で
エラーコードを解析

図 3.8 LTE_EVENT_ERROR のイベント通知

- RYZ024A に送信した AT コマンドがタイムアウトした場合：
  - “event_type”に”LTE_EVENT_TIMEOUT_ERROR”が設定されます。
  - “p_data”にはデータは設定されていません。
  - タイムアウトが発生した場合、多くの場合 RYZ024A の動作でエラーが発生したことが想定されます。そのため、初期化を実行することを推奨しています。

```
void lte_user_cb(uint16_t event_type, uint16_t api_id, uint16_t data_len, uint8_t *
p_data)
{
/* 省略 */
    if(LTE_EVENT_TIMEOUT_ERROR == event_type)
    {
        /* Set flag to initialize in mai      n */
        gs_reinitate_flag = 1;
    }
}
/* 省略 */

void hal_entry(void)
{
/* 省略 */
       if(1 == gs_reinitate_flag)
       {
           /* Initialize when timeout oc        */
           R_LTE_Init(lte_user_cb);
           gs_reinitate_flag = 0;
       }
```

LTE_EVENT_TIMEOUT_ERROR のイベント通知

フレームワークベースプログラムの初期化

図 3.9 LTE_EVENT_TIMEOUT_ERROR のイベント通知

- RYZ024A から意図しないタイミングで URC”+SYSSTART”を受信した場合：
  - “event_type”に”LTE_EVENT_FATAL_ERROR”が設定されます。
  - “p_data”にはデータは設定されていません。
  - 本イベントが発生した場合、RYZ024A が再起動したことが想定されます。そのため、初期化からユーザのアプリケーションを再度開始することを推奨します。

【注】RYZ024A の通常の動作において意図しないタイミングで URC”+SYSSTART”を受信することはありません。本ケースは万一の発生に備えてフェールセーフの目的で実装しています。

```
void lte_user_cb(uint16_t event_type, uint16_t api_id, uint16_t data_len, uint8_t *
p_data)
{
/* 省略 */
    if(LTE_EVENT_FATAL_ERROR == event_type)
    {
        /* Set flag to initialize in m    loop */
        gs_reinitialize_flag = 1;
    }
}
/* 省略 */

void hal_entry(void)
{
/* 省略 */
       if(1 == gs_reinitialize_flag )
       {
           /* Initialize to restart user application */
           R_LTE_Init(lte_user_cb);
           gs_reinitialize_flag  = 0;
       }
```

LTE_EVENT_FATAL_ERROR のイベント通知

フレームワークベースプログラムの初期化

図 3.10 LTE_EVENT_FATAL_ERROR のイベント通知

- RYZ024A から URC を受信した場合：
  - “event_type”に”LTE_EVENT_RCVURC”が設定されます。
  - “p_data”には受信した URC の文字列データが設定されます。URC に合わせて処理を実行してください。受信した URC のデータサイズが” LTE_DATA_STR_SIZE”を超過する場合、超過した分のデータは破棄され、前半部分のデータが登録されます。通知される文字列データのサイズは”data_len”に設定されています。

```
void lte_user_cb(uint16_t event_type, uint16_t api_id, uint16_t data_len, uint8_t *
p_data)
{
/* 省略 */

    if(LTE_EVENT_RCVURC == event_type)
    {
        /* Receive message from MQTT server when RYZ024A received subscribe
notification */
        const uint8_t str_onmessage[] = "+SQNSMQTTONMESSAGE";

        /* Display received URC */
        SEGGER_RTT_printf(0, "URC: %s",p_data);

        if(0 == memcmp(p_data, str_onmessage, (sizeof(str_onmessage) - 1)))
        {
            uint8_t rcv_id = 0;
            char * ptr;
            uint8_t msg_count = 0;

            /* Display subscribed notification */
            SEGGER_RTT_printf(0, "MQTT MESSAGE NOTIFY\n");

            /* Get message ID from received URC string data */
            ptr = strtok((char *)p_data,",");
            while(ptr != NULL)
            {
                ptr = strtok(NULL,",");
                if(ptr != NULL)
                {
                    msg_count++;
                    if(2 == msg_count)
                    {
                        mqtt_rcvdata_len = (uint8_t )atoi(ptr);
                    }
                    if(4 == msg_count)
                    {
                        rcv_id = (uint8_t )atoi(ptr);
                    }
                }
            }
            /* request message receive */
            R_LTE_MQTT_RcvMessage(str_MQTT_topic, rcv_id);
        }
    }
/* 省略 */
```

LTE_EVENT_RCVURC のイベント通知

受信 URC の確認
“+SQNSMQTTONMESSAGE”の場合、処理を実行

URC のパラメータを解析

解析したパラメータを使用して
AT コマンド API をコール

図 3.11 LTE_EVENT_RCVURC のイベント通知

3.4 ユーザ固有値の設定

本サンプルアプリケーションをベースにしてアプリケーションを開発する場合、ユーザが使用する RA MCU に応じて一部の設定値を変更します。AT コマンドマネジメントフレームワークではこれらのユーザ固有の設定値を設定するプログラムを「r_lte_user_config.h」に定義しています。ユーザはこのファイルを変更することで環境にあった設定で AT コマンドマネジメントフレームワークを使用することができます。ここでは設定できる値について説明します。

表 3.3 に RYZ024A の各端子に接続する RA MCU の端子の設定項目を示します。ホスト MCU として使用するボードを変更するなどの場合にご確認ください。

表 3.3 RYZ024A の端子機能設定

定義名	デフォルト値	説明
RYZ024A_RESET_PIN	BSP_IO_PORT_04_PIN_04	RYZ024A のリセット端子に対応する端子。
RYZ024A_RESET_ENABLE	BSP_IO_LEVEL_HIGH	RYZ024A のリセット端子を有効化するための信号設定。
RYZ024A_RESET_DISABLE	BSP_IO_LEVEL_LOW	RYZ024A のリセット端子を無効化するための信号設定。
RYZ_LTE_RTS0_PIN	BSP_IO_PORT_04_PIN_12	RYZ024A の RTS0 信号に対応する端子。
RYZ_LTE_CTS0_PIN	BSP_IO_PORT_04_PIN_13	RYZ024A の CTS0 信号に対応する端子。
RYZ_LTE_RING0_PIN	BSP_IO_PORT_04_PIN_00	RYZ024A の RING0 信号に対応する端子。

表 3.4 に AT コマンドマネジメントフレームワーク内で FSP モジュールを使用するための設定項目を示します。RA コンフィグレータを編集する、使用する RA MCU を変更するなどの場合にご確認ください

表 3.4 RYZ024A の FSP モジュール設定

定義名	デフォルト値	説明
RYZ024A_UART_CTRL	g_uart0.p_ctrl	SCI UART モジュールのコントロール構造体変数。 ホスト MCU と RYZ024A の UART 通信で使用します。
RYZ024A_UART_CFG	g_uart0.p_cfg	SCI UART モジュールのコンフィグレーション構造体変数。
RYZ024A_TIMER0_CTRL	g_timer0.p_ctrl	AGT Timer0 モジュールのコントロール構造体変数。 AT コマンドのタイムアウトで使用します。
RYZ024A_TIMER0_CFG	g_timer0.p_cfg	AGT Timer0 モジュールのコンフィグレーション構造体変数。
RYZ024A_TIMER1_CTRL	g_timer1.p_ctrl	AGT Timer1 モジュールのコントロール構造体変数。 コネクションマネージャのタイムアウトで使用します。
RYZ024A_TIMER1_CFG	g_timer1.p_cfg	AGT Timer1 モジュールのコンフィグレーション構造体変数。

RYZ_LTE_RING_CTRL	g_external_irq0.p_ctrl	External IRQ モジュールのコントロール構造体変数。 RYZ024A からの RING 信号割り込みで使用します。
RYZ_LTE_RING_CFG	g_external_irq0.p_cfg	External IRQ モジュールのコンフィグレーション構造体変数。

表 3.5 に AT コマンドマネジメントフレームワーク内で使用する各種データのサイズ設定項目を示します。アプリケーションで使用する AT コマンドや文字列のデータサイズ、使用する MCU のスタックサイズに合わせて変更してください。

表 3.5 AT コマンド送信待機リストのサイズ設定

定義名	デフォルト値	説明
LTE_ATC_STR_SIZE	100	AT コマンドの文字列の最大長。
LTE_DATA_STR_SIZE	100	RYZ024A から受信するデータの最大長。 受信するデータがこのサイズを超過する場合、超過する分のデータは破棄される。
LTE_ATC_LIST_SIZE	8	送信待機リストに登録することのできる AT コマンドの数。 "登録する最大 AT コマンド数 + 1"を定義してください。

3.5 フレームワーク内で使用される FSP モジュール

AT コマンドマネジメントフレームワークでは FSP モジュールを使用して機能を実装しています。FSP モジュールはコードだけでなく RA コンフィグレータで設定しています。ここでは AT コマンドマネジメントフレームワークで使用する FSP モジュールについて利用方法や設定方法について説明します。

3.5.1 SCI UART モジュール

AT コマンドマネジメントフレームワークでは SCI UART モジュールを使用して RYZ024A とホスト MCU の間の UART 通信を行います。

ホスト MCU から RYZ024A へ AT コマンドを送信するとき、SCI UART モジュールの書き込み関数(R_SCI_UART_Write)を使用しています。アプリケーションから AT コマンド API をコールした後、フレームワーク内の送信待機リストに一連の AT コマンドが登録されます。送信待機リストの先頭から書き込み関数を使用して順番に送信されます。

RYZ024A からホスト MCU へレスポンスを送信するとき、SCI UART モジュールのコールバック関数を使用してデータを受信します。このコールバック関数では 1 文字ずつ文字データを受信し、フレームワーク内のリングバッファに格納されます。リングバッファに格納された文字データは R_LTE_Execute 関数のコールするたびに 1 文字ずつ処理されます。

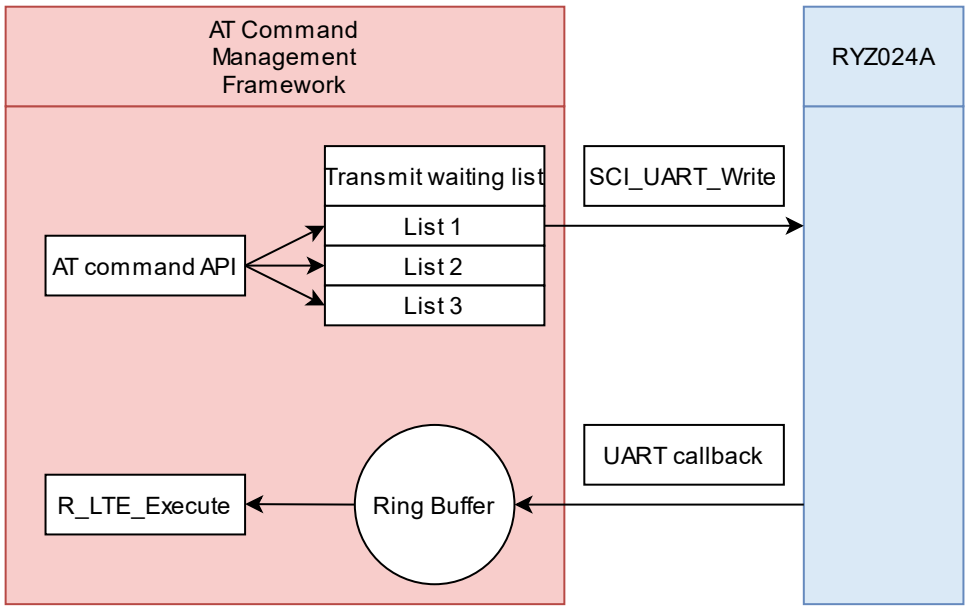

図 3.12 SCI UART モジュールの利用

3.5.2　AGT Timer モジュール

AT コマンドマネジメントフレームワークではタイムアウト機能に AGT Timer モジュールを使用します。AT コマンドを送信した後 60 秒間応答がない場合タイムアウトが発生します。タイムアウト時間を設定する定義を「表 3.6 AT コマンドタイムアウト時間設定(r_lte_ryz.c)」に示します。

表 3.6 AT コマンドタイムアウト時間設定(r_lte_ryz.c)

定義名	値	説明
AT_COMMAND_TIMETOUT	30	AT コマンドのタイムアウトカウント。 単位: 2sec 例) 2sec * 30 = 60sec

AT コマンドを送信するタイミングでタイマを開始します。このタイマは comp_msg に指定したレスポンスを受信したとき、もしくはエラーレスポンスを受信したときに停止します。AT コマンド送信後、一定時間レスポンスを受け取れない場合、タイマのコールバック関数でタイムアウトの判定を行います。タイムアウトが判定されると、R_LTE_Execute 関数でタイムアウトが発生したことをアプリケーションに通知するためにユーザのコールバック関数をコールします。

RA コンフィグレータでタイマのカウント時間を設定しています。タイムアウト時間を変更する場合は RA コンフィグレータでタイマカウントの時間と、「表 3.6 AT コマンドタイムアウト時間設定(r_lte_ryz.c)」を変更してください。

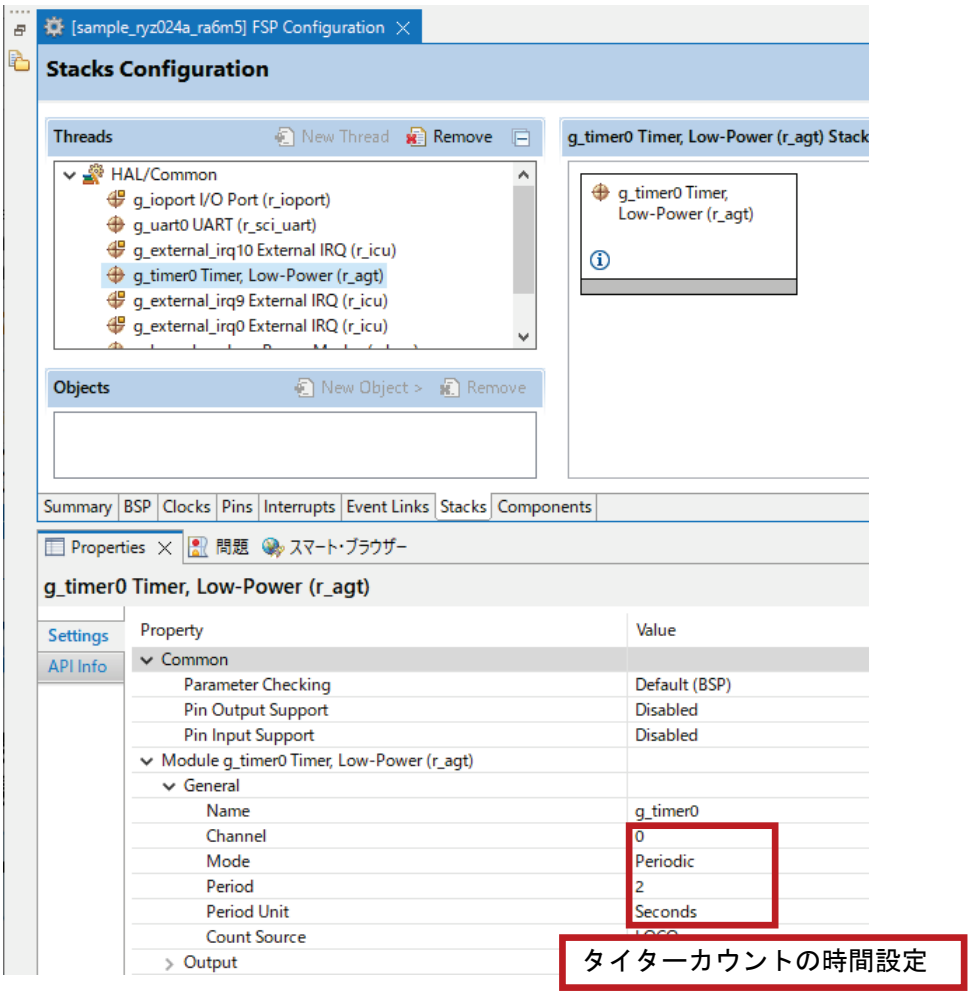

図 3.13 AGT Timer モジュールの設定

3.5.3 External IRQ モジュール

External IRQ モジュールを使用して、RYZ024A から URC があることを通知する RING 信号の割り込みを発生させます。

3.5.4 Low Power Mode モジュール

Low Power Mode モジュールを使用して、ホスト MCU の低消費電力動作を制御します。ホスト MCU の低消費電力動作については「3.7.2 ホスト MCU」を参照してください。

3.6 FreeRTOS 版のフレームワーク

本サンプルアプリケーションでは FreeRTOS を使用したプログラムを提供しています。FreeRTOS 版サンプルプログラムでは R_LTE_Execute 関数などメインループで繰り返しコールする必要のあるプログラムをタスクとして分割することでアプリケーションを簡単に実装することができます。これらの FreeRTOS 動作を実現するために FreeRTOS 版サンプルプログラムではフレームワークの一部を変更しています。ここでは FreeRTOS 版サンプルプログラムに含まれる AT コマンドマネジメントフレームワークの動作について説明します。

FreeRTOS 版サンプルプログラムのソフトウェア構成を以下に示します。

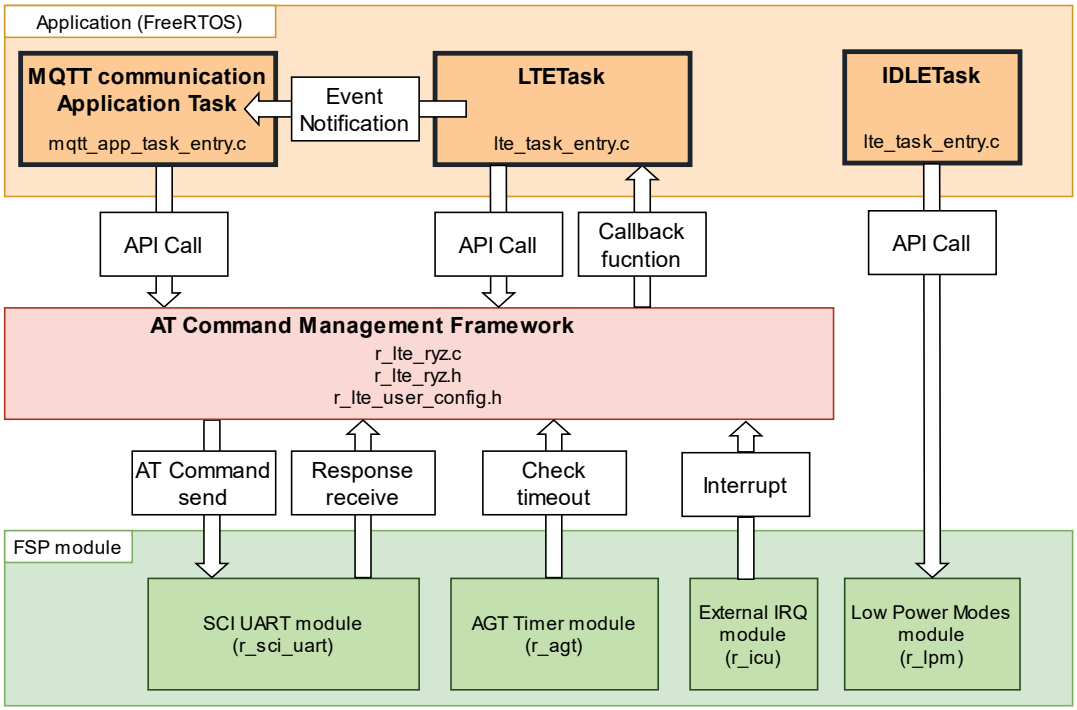

図 3.14 FreeRTOS 版ソフトウェア構成

本サンプルプログラムのアプリケーションは LTE タスクと MQTT アプリケーションタスクの 2 つのタスクから構成されます。LTE タスクは R_LTE_Execute 関数を繰り返しコールするためのタスクです。R_LTE_Execute 関数の中でコールされるコールバック関数についても LTE タスクで実行されます。MQTT アプリケーションタスクはサンプルプログラムで実装するスイッチの入力に対応した MQTT 通信を実行する AT コマンド API をコールします。MQTT 通信の結果は LTE タスクがコールバック関数で受けたイベントをタスク間通信によって通知します。

AT コマンドマネジメントフレームワークのマネジメント API やそれに付随するコールバック関数は LTE タスクでのみコールすることを想定しているため、排他処理を実装していません。一方 AT コマンド API については複数のタスクから利用できるようにセマフォを利用した排他処理を実装しています。そのためアプリケーションに合わせて任意のタスクから AT コマンド API を利用できます。

3.6.1 LTE タスク

LTE タスクではフレームワークの初期化を行う R_LTE_Init 関数を呼び出した後、フレームワークを動作させるために R_LTE_Execute 関数を繰り返し呼び出します。

初期化フラグが変更された場合は R_LTE_Init 関数を呼び出してサンプルアプリケーションをリスタートします。

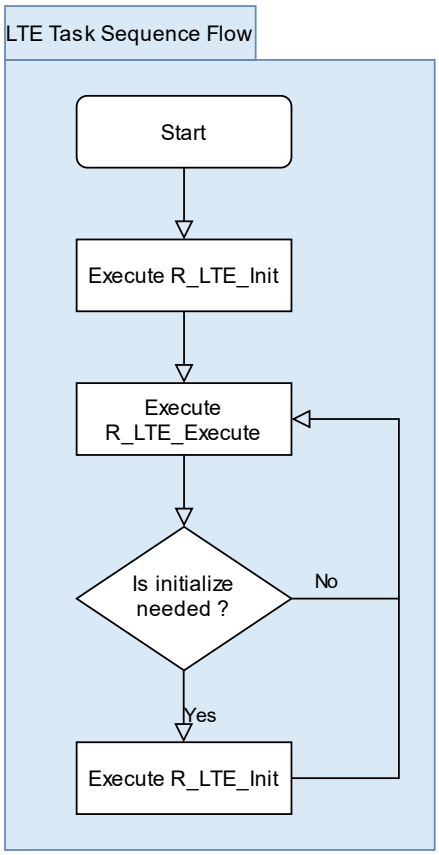

図 3.15 LTE タスクの動作フロー

R_LTE_Execute 関数は RYZ024A から受信したすべてのデータを処理します。データに合わせてコールバック関数の呼び出しや、AT コマンドの送信を行います。データが一時的に保持されるリングバッファからデータを取り出せなくなるまで動作し続け、データがなくなるとタスクを Suspended 状態にします。

RYZ024A からのデータ受信により起動される UART の割り込みハンドラから Resume 関数を呼び出し、LTE タスクを Running 状態にします。

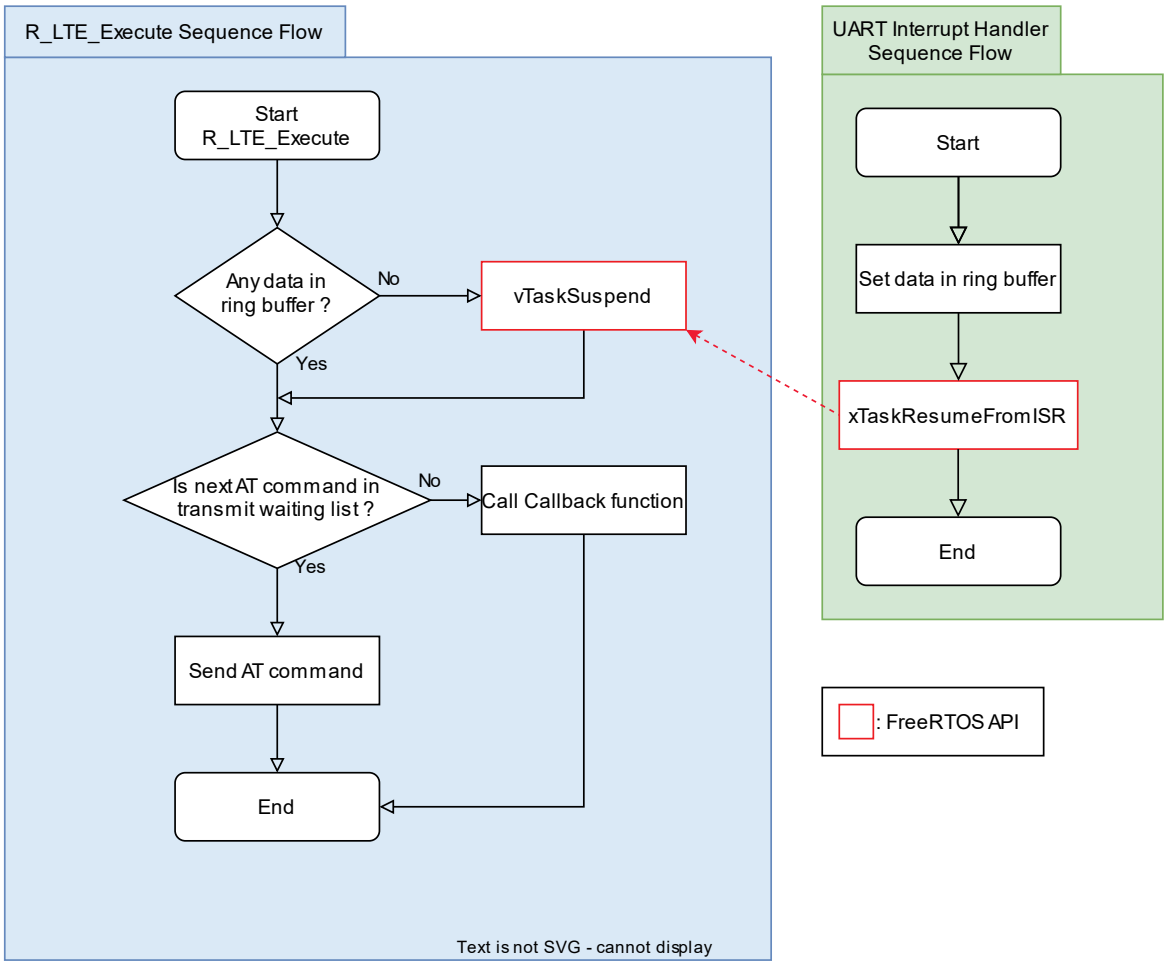

図 3.16 R_LTE_Execute の動作フロー

3.6.2 MQTT 通信アプリケーションタスク

MQTT 通信アプリケーションタスクは動作開始後、EventGroupWaitBits を使用して Suspended 状態になり、RYZ024A の MQTT 通信ができるまで待機します。LTE タスクで MQTT サーバへ接続し Subscribe 要求の完了後、EventGroupSetBits により動作を再開します。スイッチの初期化を行った後 Suspend 状態となり、スイッチの入力を待ちます。

スイッチ押下で呼び出されるスイッチ割り込みハンドラで Resume 関数を呼び出し、MQTT 通信アプリケーションタスクを Runnning 状態にします。押下されたスイッチの種類により MQTT publish や、Disconnect を実行し、スイッチ処理が完了するまで EventGroupWaitBits を使用して待機します。スイッチ処理の完了で LTE タスクのコールバック関数がよびだされ EventGroupSetBits により動作を再開します。

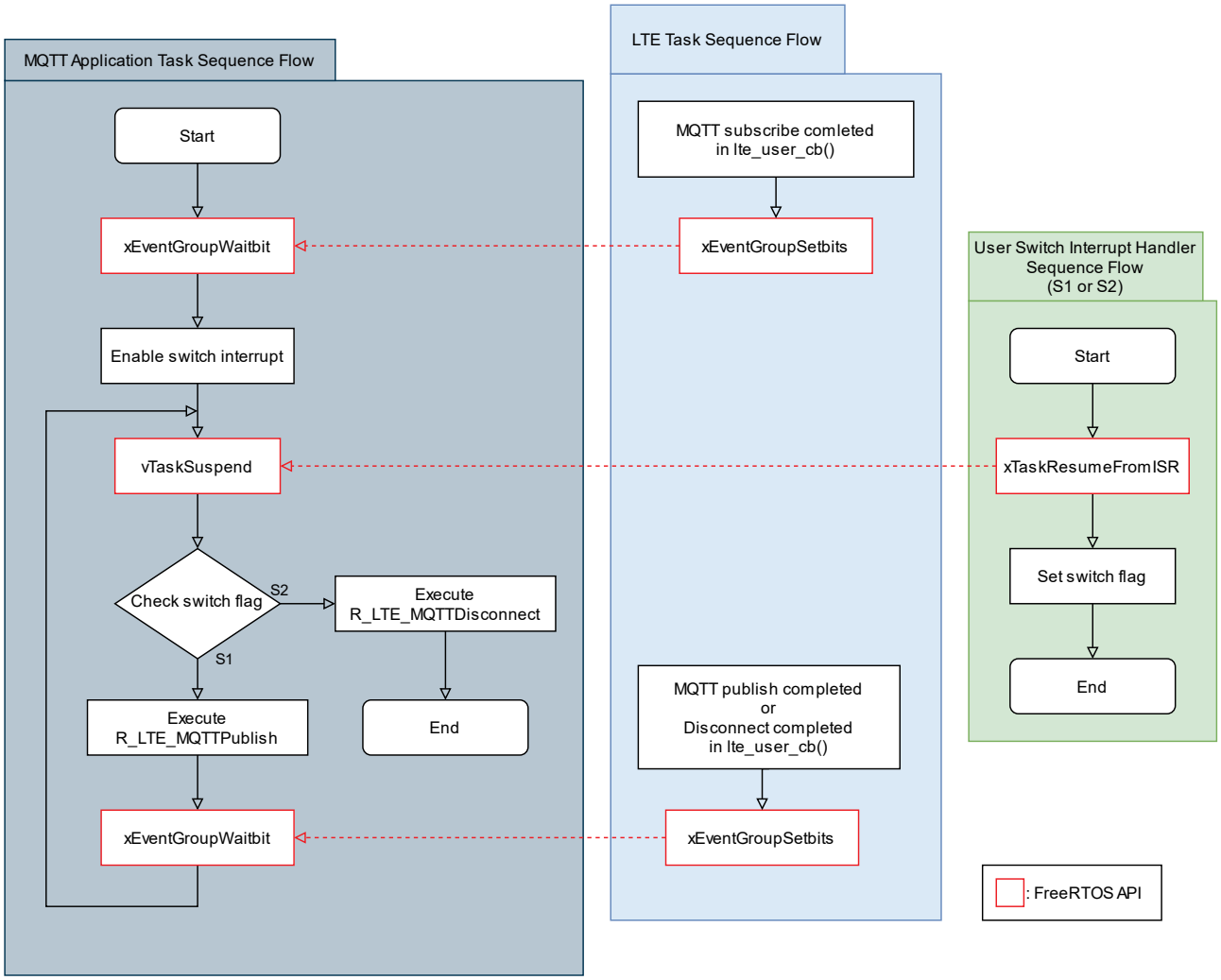

図 3.17 MQTT 通信アプリケーションタスクの動作フロー

3.6.3 IDLE タスク

IDLE タスクは、LTE タスク、MQTT 通信アプリケーションタスクや割り込み処理が動作していない時に呼び出され、RA6M5 を低消費電力モードへ移行させます。

RA6M5 を低消費電力モードへ移行させる処理については「3.7.2 ホスト MCU の低消費電力動作」を参照してください。

3.6.4 タスク設定値

各タスクの設定を以下に示します。

表 3.7 LTE タスクの設定値

設定	値
Symbol	lte_task
Stack Size	2048
Priority	4 (Max priorities = 5)
Thread context	NULL
Memory Allocation	Static
Allocate Secure Context	Enable

表 3.8 MQTT 通信アプリケーションタスクの設定値

設定	値
Symbol	mqtt_app_task
Stack Size	2048
Priority	1 (Max priorities = 5)
Thread context	NULL
Memory Allocation	Static
Allocate Secure Context	Enable

表 3.9 IDLE タスクの設定値

設定	値
Symbol	vApplicationIdleHook
Priority	0

3.7 低消費電力動作

本サンプルアプリケーションでは RYZ024A とホスト MCU(RA6M5)の低消費電力機能を利用した動作に対応しています。

3.7.1 RYZ024A の低消費電力動作制御

RYZ024A が eDRX や PSM を有効にしている時、RTS 信号を制御することで RYZ024A を低消費電力動作させることができます。

RTS=L：低消費電力動作禁止

RTS=H：低消費電力動作許可

RYZ024A の低消費電力動作については「RYZ024 Power Consumption Measurements on RYZ024-Based Modules」(R19AN0167)も参照してください。

ホスト MCU から AT コマンドを送信する際、低消費電力モードになっている RYZ024A を起床させるために、RTS 信号の制御を AT コマンドマネジメントフレームワークの中で行っています。具体的には、AT コマンド API の中で RTS=Low にし、処理終了後に High にしています。また、RING 割り込みが発生した際、RYZ024A から URC が送信されるよう RTS=Low にし、必要な処理終了後に High にしています。

(1) AT コマンド API がコールされた場合

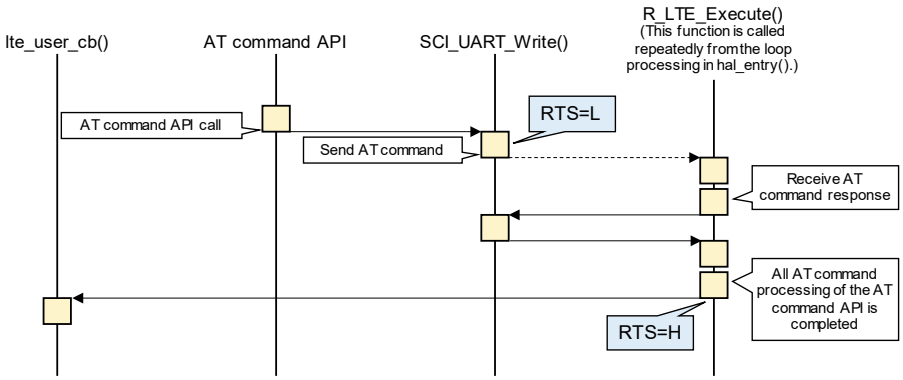

図 3.18 RTS 信号制御シーケンス(AT コマンド API がコールされた場合)

(2) RING 割り込みが発生した場合

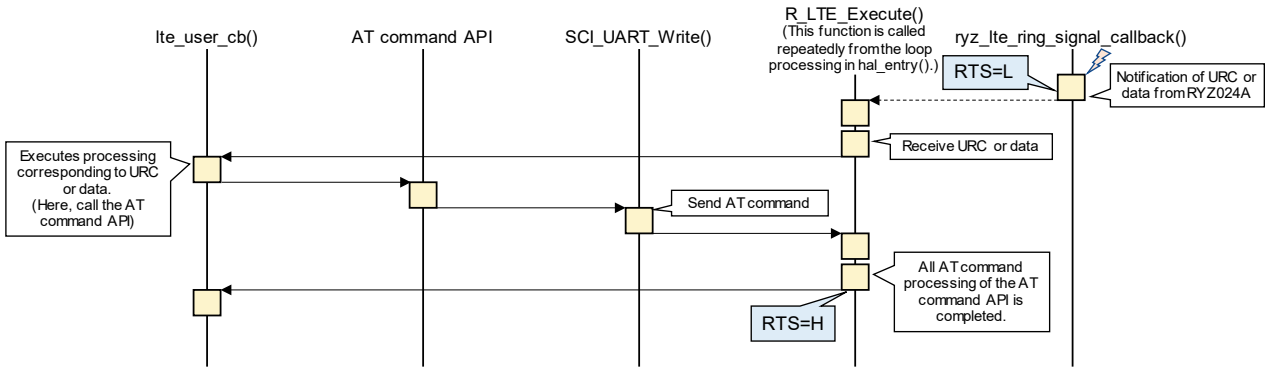

図 3.19 RTS 信号制御シーケンス(RING 割り込みが発生した場合)

eDRX と PSM の動作設定は R_LTE_EDRX_Config 関数、R_LTE_PSM_Config 関数で行います。本サンプルアプリではコールバック関数内で実行しています。そのソースコードを図 3.20 に示します。

ベアメタル版アプリケーションプログラム：hal_entry.c

FreeRTOS 版アプリケーションプログラム：lte_task_entry.c

eDRX と PSM の動作は、デフォルトでは動作禁止になっています。有効にする場合は、「3.2.2.14 R_LTE_eDRX_Config」と「3.2.2.15 R_LTE_PSM_Config」を参照して各 API の第一引数を変更してください。

```
void lte_user_cb(uint16_t event_type, uint16_t api_id, uint16_t data_len, uint8_t *
p_data)
{
/* 省略 */
        case LTE_API_OM_CONFIG:
        {
            /* Connect to network after configuration of operation mode complete */
            SEGGER_RTT_printf(0,    OM COMFIG COMP\n");
            R_LTE_EDRX_Config(LTE_EDRX_MODE_DISABLE, LTE_EDRX_TIME_VAL_81_SEC,
                              LTE_EDRX_PTW_TIME_VAL_10_SEC);
        } break;

        case LTE_API_EDRX_CONFIG:
        {
            /* Configure PSM after configuration of eDRX complete */
            SEGGER_RTT_printf(0,    eDRX COMFIG COMP\n");
            R_LTE_PSM_Config(LTE_PSM_MODE_DISABLE, LTE_PSM_TAU_TIME_VAL_30_SEC,
       LTE_PSM_MULTIPLIER_6, LTE_PSM_ACTIVE_TIME_VAL_2_SEC, LTE_PSM_MULTIPLIER_8);
        } break;

/* 省略 */
```

eDRX 動作設定

PSM 動作設定

図 3.20 eDRX, PSM 動作設定

3.7.2 ホスト MCU の低消費電力動作制御

ホスト MCU は、ホスト MCU が IDLE 状態の時にソフトウェアスタンバイモード、AT コマンド API の中で AT コマンドを送信して応答を待っている状態の時にスリープモードの低消費電力動作状態になります。低消費電力動作を実行しているファイルと関数を以下に示します。

ベアメタル版アプリケーションプログラム：r_lte_ryz.c、R_LTE_Execute()

FreeRTOS 版アプリケーションプログラム：r_lte_ryz.c、vApplicationIdleHook()

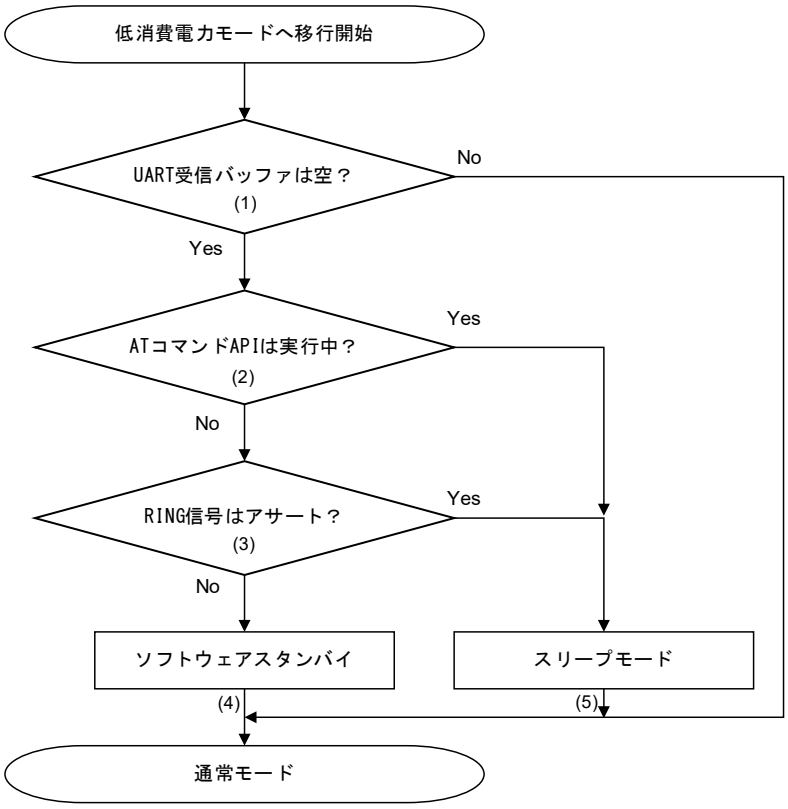

図 3.21 ホスト MCU 低消費電力動作フローチャート

(1) UART の受信バッファに文字列やデータが格納されている場合は、低消費電力モードへ移行せず R_LTE_Execute()関数で解析処理を行います。

(2) AT コマンド API の実行中は送信した AT コマンドのレスポンスを受信した際に UART 受信割り込みで通常モードへ復帰できるようにスリープモードへ移行します。

(3) RING 信号がアサート中は RYZ024A からの URC が受信できるようにスリープモードへ移行します。

(4) ソフトウェアスタンバイからは、S1 または S2 ボタンの押下、または RING 信号アサートによる外部端子割り込みの発生により通常モードへ復帰します。

(5) 送信した AT コマンドのレスポンス受信による UART 受信割り込みの発生により通常モードへ復帰します。

4. AT コマンドマネジメントフレームワークを利用したアプリケーション開発

AT コマンドマネジメントフレームワークはユーザのアプリケーション開発のベースとして利用されることを想定しています。AT コマンドマネジメントフレームワークを使用することで RYZ024A とホスト MCU の通信アプリケーションを効率的に実装することができます。ここでは本サンプルアプリケーションを例にアプリケーションを開発する方法について説明します。

4.1 アプリケーション開発の概要

AT コマンドマネジメントフレームワークはフレームワーク内に API を効率的に追加実装できる仕様になっています。フレームワーク内に実装した API をアプリケーションプログラムでコールし、ユーザの求める動作を実現します。本サンプルアプリケーションでは以下のファイルで動作を実現しています。

- フレームワークベースプログラム：
  - r_lte_ryz.c
  - r_lte_ryz.h
  - r_lte_user_config.h
- ベアメタル版アプリケーションプログラム：
  - hal_entry.c
- FreeRTOS 版アプリケーションプログラム
  - lte_task_entry.c
  - mqtt_app_task_entry.c

フレームワークベースプログラムに実装されている API はマネジメント API と AT コマンド API の 2 種類に分類されます。

マネジメント API

マネジメント API は RYZ024A とのやり取りを管理するための API です。アプリケーションプログラムの適切な場所にコールする必要があります。また、ユーザはアプリケーション開発の際に変更する必要はありません。

マネジメント API には以下の 2 つの API が実装されています。

- R_LTE_Init
  フレームワークベースプログラムの初期化を行う関数です。本関数では FSP モジュールの初期化や RYZ024A のハードウェアリセットなどが実行されます。RYZ024A は初期化が完了し、AT コマンドを受け付けることが可能になったときに”＋SYSSTART”の URC を送信します。本関数では”+SYSSTART”の後、詳細なエラーレスポンスを受け取るための AT コマンド”AT+CMEE=1”を送信します。すべての AT コマンドの実行が完了した後、引数に指定したコールバック関数に API_ID = ”LTE_API_INIT”のイベントが通知されます。この関数はフレームワークに実装された API の中で最初に実行して下さい。
- R_LTE_Execute
  RYZ024A から受信したデータを保持・解析し、データに合わせてコールバック関数をコールしたり、AT コマンドを送信したりする関数です。本関数はコールする度にリングバッファに格納された 1 文字ずつ処理を行うので繰り返しコールする必要があります。

```
void hal_entry(void)
{
    SEGGER_RTT_printf(0, "PROGRAM START\n");

    /* SW interrupt driver open */
    R_ICU_Exter                                    l, g_external_irq10.p_cfg);
    R_ICU_Exter                                    , g_external_irq9.p_cfg);

    /* Initialize frame ork-based program and register callback function */
    R_LTE_Init(lte_user_cb);

    while(1)
   {
        /* Execute variable process in framework-based program */
       R_LTE_Execute();

/* 省略 */
   }
 }
```

R_LTE_Init を最初にコール

R_LTE_Execute をメインループで繰り返しコール

図 4.1 マネジメント API の実装 (hal_entry.c)

AT コマンド API

AT コマンド API をコールすることで実行したい動作に必要な一連の AT コマンドが送信待機リストに追加されます。登録された AT コマンドは RYZ024A からのレスポンスに対応して順次送信されます。一連の AT コマンドの実行結果はコールバック関数でアプリケーションに通知されます。ユーザは望む順番で AT コマンド API をコールしたり、コールバック関数に対応した処理を実装したりすることでアプリケーションを開発します。またユーザは、自身で新たな AT コマンド API を追加し、本サンプルアプリケーションでは利用していない AT コマンドを利用することが可能です。

```
void lte_user_cb(uint16_t event_type, uint16_t api_id, uint16_t data_len, uint8_t *
p_data)
{
    if(LTE_EVENT_API_COMPLETE == event_type)
    {
        switch (api_id)
        {
            case LTE_API_INIT:
            {
                /* Configure operation mo    after initiation complete */
                SEGGER_RTT_printf(0    INIT COMP\n");
                R_LTE_OM_Config(str_PDP_type, str_PDP_APN, str_LTE_bandlist);
            } break;

            case LTE_API_OM_CONFIG:
            {
                /* Connect to network after configuration of operation mode
complete */
                SEGGER_RTT_printf(0, "OM COMFIG COMP\n");
                R_LTE_NWK_Connect(1);
            } break;

/* 省略 */
```

1. AT コマンド API をコール

2. コールバック関数に結果が通知される

3. 次の AT コマンド API をコール

図 4.2 AT コマンド API の実装 (hal_entry.c)

4.2 AT コマンド API の追加

本フレームワークではユーザのアプリケーションに合わせて AT コマンド API を追加することを想定しています。ここでは本サンプルアプリケーションに実装されている AT コマンド API の解説と、新しい AT コマンド API の追加実装方法について説明します。

AT コマンド API を追加するときは以下の手順で追加します。

- ✧ API ID と関数のプロトタイプ宣言の追加

  追加した AT コマンド API がコールバック関数で識別できるように API ID を追加します。また AT コマンド API がアプリケーションプログラムから実行できるようにヘッダファイル(r_lte_ryz.h)にプロトタイプ宣言を追加します。

```
typedef enum
{
    LTE_API_NO_CURRENT_API = 0,
    LTE_API_OM_CONFIG,
    LTE_API_NWK_CONNECT,
    LTE_API_NWK_DISCONNECT,
    LTE_API_MQTT_CONNECT,
    LTE_API_MQTT_DISCONNECT,
    LTE_API_MQTT_SUBSCRIBE,
    LTE_API_MQTT_PUBLISH,
    LTE_API_MQTT_RCVMESSAGE,
    LTE_API_SEC_CERTIFICATEADD,
    LTE_API_SEC_CERTIFICATEREMOVE,
    LTE_API_SEC_PRIVATEKEYADD,
    LTE_API_SEC_PRIVATEKEYREMOVE,
    LTE_API_NWK_CONNECTIONCONFIG,
    LTE_API_EDRX_CONFIG,
    LTE_API_PSM_CONFIG,
    LTE_API_INIT = 0xff,
} e_lte_api_id_t;
```

図 4.3 本サンプルアプリケーションの API ID (r_lte_ryz.h)

✧ AT コマンド API の実装

AT コマンド API の実体をソースファイル(r_lte_ryz.c)に実装します。本サンプルアプリケーションの AT コマンド API は以下の構成で実装されています。

引数の確認・実行中の AT コマンド API の確認

引数にポインタがある場合、NULL を指定していないことを確認します。また"gs_process_api"を確認して他の AT コマンド API が実行中でないことを確認します。実行中の場合、AT コマンド送信待機リストを変更すると、実行中の AT コマンド API が正常に動作することができないため何も実行せずにエラー"LTE_ERR_IN_PROCESS"を返却します。その後、本 AT コマンド API が実行中であることを示すため、"gs_process_api"に API_ID を登録します。

```
e_lte_err_t R_LTE_OM_Config(uint8_t* p_pdp_type, uint8_t* p_pdp_apn, uint8_t*
p_bandlist)
{
    /* Check Argument and current state */
    if((NULL == p_pdp_type) || (NULL == p_pdp_apn) || (NULL == p_bandlist))
    {
        return LTE_ERR_POINTER_NULL;
    }

    if(LTE_API_NO_CURRENT_API != gs_process_api)
    {
        return LTE_ERR_IN_PROCESS;
    }

    /* Clear ATC list and set processing API ID */
    ryz_lte_clear_atc_list();
    gs_process_api = LTE_API_OM_CONFIG;

/* 省略 */
```

引数の確認

実行中の AT コマンド API の確認

実行中の AT コマンド API の登録

図 4.4 R_LTE_OM_Config の引数確認・実行中の AT コマンド API の確認 (r_lte_ryz.c)

送信待機リストへ AT コマンドの登録

送信待機リスト”gs_atc_list”に AT コマンドを文字列として登録します。送信待機リスト”gs_atc_list”には 1 つの AT コマンドに対して以下を登録する必要があります。

- atcommand：
  実行したい AT コマンドの文字列を登録します。文字列の長さは”atcommand_size”に登録してください。登録できる文字列の最大長は 256 文字です。さらに大きい AT コマンド文字列を使用する場合はユーザ設定ファイル(r_lte_user_config.h)の”LTE_ATC_STR_SIZE”を変更してください。
- data：
  AT コマンドによって処理したいデータ文字列のアドレスを登録するポインタです。データを送信する AT コマンドなどで必要になります。ここに登録されたデータ文字列は”> ”のレスポンスに対応して送信されます。文字列の長さは”data_size”に登録してください。本ポインタに登録する文字列の実体はアプリケーションに実装することを想定しています。
- comp_msg：
  実行したい AT コマンドが完了したと見なせるレスポンス文字列を登録します。”OK”もしくは URC を指定して下さい。文字列の長さは”comp_msg_size”に登録してください。comp_msg で指定した文字列ト前方一致するレスポンスを受信した後、送信待機リストの次に登録されている AT コマンドが送信されます。”OK”と URC が連続で送信される場合、最後に送信されるレスポンスを登録してください。また送信待機リストに登録する一連の AT コマンドの最後の comp_msg によってコールバック関数で通知されるデータが変化します。詳しくは「3.3 コールバック関数」を参照してください。
- data_exist_flag：
  送信したい AT コマンドが設定されていることを示すフラグです。R_LTE_Execute 関数ではこの値を確認することで AT コマンドが登録されていることを確認します。AT コマンドを設定した場合は”1”を設定してください。

送信待機リスト”gs_atc_list”は固定長の配列によって文字列データを保持します。そのため、登録する文字列データが送信待機リストに登録できる最大長を超過するとバッファオーバーフローによるエラーが発生する可能性があります。入力されるデータサイズが登録できる文字列の最大長を超過することが予想される場合、データサイズを確認するための処理を追加してください。

```
e_lte_err_t R_LTE_MQTT_Publish(uint8_t* p_topic, uint16_t length, uint8_t* p_message)
{
/* 省略 */

    /* Set AT command to ATC list */
    gs_atc_list[0].atcommand_size = (uint16_t)snprintf((char*)gs_atc_list[0].atcommand,
LTE_ATC_STR_SIZE, "AT+SQNSMQTTPUBLISH=%s,\"%s\",%s,%d\r", "0",p_topic,"0",length);
    gs_atc_list[0].comp_msg_size = (uint16_t)snprintf((char*)gs_atc_list[0].comp_msg,
LTE_ATC_STR_SIZE, "%s", "OK");
    gs_atc_list[0].data_exist_flag = 1;


    gs_atc_list[0].data = p_message;
    gs_atc_list[0].data_size = length;



    if(gs_atc_list[0].atcommand_size > LTE_ATC_STR_SIZE)
    {
        ryz_lte_clear_atc_list();
        return LTE_ERR_DATASIZE_OVERFLOW;
    }
```

送信待機リストの先頭に以下を追加

atcommand =
“AT+SQNSMQTTPUBLISH=0,"[p_topic]“,0,[length] ”
comp_msg = “OK”
data_exist_flag = 1

data には送信したいデータのアドレスを設定

引数を送信待機リストに登録するため、
データサイズの確認

図 4.5 R_LTE_MQTT_Publish の AT コマンドの登録 (r_lte_ryz.c)

先頭の AT コマンドの送信

登録した送信待機リストの先頭の AT コマンドを送信します。以降の AT コマンドの送信はレスポンスに対応して R_LTE_Execute 関数で行われます。

```
e_lte_err_t R_LTE_OM_Config(uint8_t* p_pdp_type, uint8_t* p_pdp_apn, uint8_t*
p_bandlist)
{

/* 省略 */

    /* Send first AT command from ATC list */
    ryz_lte_transmit_atc_list(LTE_TRANSMIT_ATCOMMAND);

      return LTE_SUCCESS;
```

送信待機リストの先頭の AT コマンドを送信

図 4.6 R_LTE_OM_Config の先頭の AT コマンドの送信 (r_lte_ryz.c)

4.2.1 データ受信を伴う AT コマンド API

本サンプルアプリケーションでコールされている R_LTE_MQTT_RcvMessage 関数のように AT コマンド送信後に任意のデータ受信を行う AT コマンド API をコールするにはフレームワーク内のグローバル変数の書き換えが必要になります。

データ受信を行う場合、グローバル変数”gs_ryz_lte_receive_size”と”gs_ryz_lte_receive_flag”を変更する必要があります。”gs_ryz_lte_receive_size” には受信したいデータのサイズを、”gs_ryz_lte_receive_flag”はマクロ”LTE_RCV_DATA_FLAG_ON”を設定します。

```
e_lte_err_t R_LTE_MQTT_RcvMessage(uint8_t* p_topic, uint8_t message_id, uint16_t
message_size)
{
                                        受信サイズとフラグを設定
/* 省略 */

    /* Set receive flag and size for data receive operation */
    gs_ryz_lte_receive_size = message_size;
    gs_ryz_lte_receive_flag = LTE_RCV_DATA_FLAG_ON;

/* 省略 */
```

図 4.7 R_LTE_MQTT_RcvMessage のグローバル変数設定 (r_lte_ryz.c)

この時に受信したデータは、アプリケーションへコールバック関数で通知されます。コールバック関数はデータの後に RYZ024A から送信される「OK」の応答を受け取ったタイミングでコールされます。

※注意：受信データ内の「\r」または「\n」は RYZ024A 内で「\r\n」に変換されてホスト MCU に送信されます。そのため、受信データの内容やサイズの一部が変更される場合があります。

4.3 エラー発生処理のガイドライン

通信制御のシステムでは、通信コントローラの制御やネットワーク動作における様々なエラー発生を想定してアプリケーションを開発する必要があります。ここではその検出と処理について、本 AT コマンドマネジメントフレームワークを使用してアプリケーション開発を行う場合のガイドラインを示します。実際には応用製品への要求事項によって処理は変わりますので、参考情報の扱いでお願いします。

また、ユーザアプリケーションの一部としてネットワーク接続ステータスを監視するプログラムの実装例を「4.6 コネクションマネージャ」で説明しています。本節と合わせて参照してください。

UART 通信及び RYZ024A の動作エラー

不具合の状況	フレームワークの挙動	アプリケーションの対応
意図せず RYZ024A が再起動される	“+SYSSTART”を受信する。意図しない”+SYSSTART”を受信するため、アプリケーションにコールバック関数で通知する。	イベント ”LTE_EVENT_FATAL_ERROR” でコールバック関数がコールされる。本イベントに R_LTE_Init 関数を使用して初期化することが推奨される。
RYZ024A からホスト MCU への UART 通信でビットエラーあるいは文字の受信ミスが起きる	文字列が comp_msg で指定した文字列と合致しない場合もしくは文字列が”\n”で終了しない場合、タイムアウトが発生し、コールバック関数でアプリケーションに通知する。	イベント ”LTE_EVENT_TIMEOUT_ERROR”でコールバック関数がコールされる。本イベントに対しては R_LTE_Init 関数を使用して初期化することが推奨される。
	受信文字列が comp_msg で指定した URC と前方一致する場合、コールバック関数にてアプリケーションに通知される。	イベント ”LTE_EVENT_RCVURC”でコールバック関数がコールされる。P_data に受信した文字列が登録されているため、データを確認する。
ホスト MCU から RYZ024A への UART 通信でビットエラーあるいは文字の受信ミスが起きる	送信した文字列に対するレスポンスがない場合、タイムアウトが発生し、コールバック関数でアプリケーションに通知する。	イベント ”LTE_EVENT_TIMEOUT_ERROR”でコールバック関数がコールされる。本イベントに対しては R_LTE_Init 関数を使用して初期化することが推奨される。
	送信した AT コマンドの一部が間違っている場合、エラーのレスポンスを受信する。エラーレスポンスを受信後、コールバック関数でアプリケーションに通知する。	イベント”LTE_EVENT_ERROR” でコールバック関数がコールされる。エラーコード” LTE_CME_ERR_OPERATION_NOT_SUPPORTED”(0x04)が p_data にて通知されるので対応した処理を追加する。
MCU の送信と RYZ024A の送信タイミングが重なり、RYZ024A が期待した動作をしない	動作が停止することでタイムアウトが発生する。タイムアウト発生時にコールバック関数でアプリケーションに通知する。	イベント ”LTE_EVENT_TIMEOUT_ERROR”でコールバック関数がコールされる。本イベントに対しては R_LTE_Init 関数を使用して初期化することが推奨される。

RYZ024A からの CTS が長時間イネーブルにならない	長時間 RYZ024A からレスポンスを受け取ることができず、タイムアウトが発生する。タイムアウト発生時にコールバック関数でアプリケーションに通知する。	イベント ”LTE_EVENT_TIMEOUT_ERROR”でコールバック関数がコールされる。本イベントに対しては R_LTE_Init 関数を使用して初期化することが推奨される。

ネットワーク通信エラー

不具合の状況	フレームワークの挙動	アプリケーションの対応
電波状況の悪化などでネットワークが切断される	“+CEREG”の URC を受信する。コールバック関数でアプリケーションに通知される。	イベント ”LTE_EVENT_RCVURC”でコールバック関数がコールされる。URC のパラメータを確認し、対応した処理を実行する。URC のパラメータは AT コマンドマニュアルを確認する。 ※「4.6 コネクションマネージャ」を参照してください。
ネットワークに接続しようとしたが APN の間違いなどによって接続できなかった	“+CEREG”の URC を受信する。コールバック関数でアプリケーションに通知される。	イベント ”LTE_EVENT_RCVURC”でコールバック関数がコールされる。URC のパラメータを確認し、対応した処理を実行する。URC のパラメータは AT コマンドマニュアルを確認する。 ※「4.6 コネクションマネージャ」を参照してください。
何らかの理由でソケットコネクションが切断される。	“+SQNSH”の URC を受信する。コールバック関数でアプリケーションに通知される。	イベント ”LTE_EVENT_RCVURC”でコールバック関数がコールされる。URC のパラメータを確認し、対応した処理を実行する。URC のパラメータは AT コマンドマニュアルを確認する。

通信状況は URC"+CEREG"などによって通知されます。以下に RYZ024A から通知される通信状況の URC 例を説明します。

- URC"+CEREG: 80"または"+CEREG: 4"を受信：
  - 一時的にネットワークから切断されたときに通知される URC です。再度ネットワークに接続しようとしているため、電波の状況などが改善すれば、AT コマンド API を実行することなくネットワークに再接続することができます。この時、RYZ024A 内で MQTT 通信は保持されているため、ネットワークに再接続した際に R_LTE_MQTT_Connect 関数を実行することなく MQTT 通信を再開することができます。

- URC"+CEREG: 0"を受信：
  - ネットワークから切断されたときに通知される URC です。電波の状況などが改善すれば自動的に再接続します。なお上位層においては、例えば TCP ソケットが切断されると+SQNSH 等の URC が通知されますので、必要に応じて TCP 接続等の処理が必要です。

- URC"+CEREG: 2"を受信：
  - 適切なセルをスキャンしているときに通知される URC です。ネットワークに接続されると +CEREG:1 または +CEREG:5 URC が通知されます。

- URC" +SQNSMQTTONCONNECT: 0,-7"を受信
  - ネットワークから切断されて一定時間たった後 MQTT 通信も切断したときに通知される URC です。ネットワークに再接続しても MQTT 通信は保持されていないので再度 R_LTE_MQTT_Connect 関数を実行する必要があります。

4.4 PMOD-RYZ024A 固有の処理

RYZ024A はディープスリープ状態になると UART の CTS 信号が Hi-Z となります。通常の回路では、CTS 信号をプルアップし High レベルにすることで、RYZ024A がディープスリープ状態の時は HW フロー制御によりホストマコンから AT コマンドを送信できないように制御できます。

しかしながら PMOD-RYZ024A では、使用しているレベルシフタの特性により RYZ024A がディープスリープに移行した状態でもレベルシフタからホストマイコンへの CTS 信号が Low レベルのままになり HW フロー制御ができない状態になります。

そのため、本サンプルアプリケーションでは RYZ024A がディープスリープ状態のときにホスト MCU から AT コマンドを送信する場合、最初に"AT+CFUN?"コマンドを送信し RYZ024A が起床したこと確認します。"AT+CFUN?"コマンドの応答が返らない時は数回リトライを行います。"OK"を受信した後に目的の AT コマンド(例えば"AT+SQNSMQTTPUBLISH")を送信します。

「図 4.8 AT+CFUN?コマンドの登録 (r_lte_ryz.c)」に、送信待機リストへ"AT+CFUN?"コマンドを追加する方法を示します。

```
e_lte_err_t R_LTE_MQTT_Publish(uint8_t* p_topic, uint16_t length, uint8_t* p_message)
{
/* 省略 */

    /* Set AT command to ATC list */
    gs_atc_list[0].atcommand_size = (uint16_t)snprintf((char*)gs_atc_list[0].atcommand,
LTE_ATC_STR_SIZE, "AT+CFUN?\r");
    gs_atc_list[0].comp_msg_size = (uint16_t)snprintf((char *)gs_atc_list[0].comp_msg,
LTE_ATC_STR_SIZE, "OK");
    gs_atc_list[0].data_exist_flag = 1;
    gs_atc_list[0].at_polling_flag = 1;

    gs_atc_list[1].atcommand_size = (uint16_t)snprintf((char*)gs_atc_list[1].atcommand,
LTE_ATC_STR_SIZE, "AT+SQNSMQTTPUBLISH=%s,\"%s\",%s,%d\r", "0",p_topic,"0",length);
    gs_atc_list[1].comp_msg_size = (uint16_t)snprintf((char*)gs_atc_list[1].comp_msg,
LTE_ATC_STR_SIZE, "%s", "OK");
    gs_atc_list[1].data_exist_flag = 1;
    gs_atc_list[1].data = p_message;
    gs_atc_list[1].data_size = length;

    if(gs_atc_list[1].atcommand_size > LTE_ATC_STR_SIZE)
    {
        ryz_lte_clear_atc_list();
        return LTE_ERR_DATASIZE_OVERFLOW;
    }

/* 省略 */
```

送信待機リストの先頭に“AT+CFUN?”を追加

atcommand = “AT+CFUN?”
comp_msg = “OK”
data_exist_flag = 1
at_polling_flag=1

次の送信待機リストに
“AT+SQNSMQTTPUBLISH”を追加

図 4.8 AT+CFUN?コマンドの登録 (r_lte_ryz.c)

なお、適切なレベルシフタを用いることにより、RYZ024A がディープスリープ状態になった場合も CTS 信号で HW フロー制御が可能なボードではこの処理は不要となります。

PMOD-RYZ024A 固有の処理を有効または無効にする定義 を「表 4.1 PMOD-RYZ024A 固有処理」に示します。

表 4.1 PMOD-RYZ024A 固有処理の定義(r_lte_ryz.c)

定義名	値	説明
PMOD_RYZ024A	1	1: AT+CFUN?コマンドを送信する PMOD-RYZ024A 固有の処理を有効化します。 0: PMOD-RYZ024A 固有の処理を無効化します。

"AT+CFUN?"コマンドの動作を設定する定義を「表 4.2 AT+CFUN?コマンドの動作設定」に示します。

表 4.2 AT+CFUN?コマンドの動作設定(r_lte_ryz.c)

定義名	値	説明
AT_POLLING_TIMETOUT	2	"AT+CFUN?"コマンドのタイムアウトカウント。 単位: 2sec 例) 2sec * 2 = 4sec
AT_POLLING_RETRY_COUNT	2	"AT+CFUN?"コマンドのリトライ回数。

4.5 PMOD-RYZ024A の初期化

本アプリケーションノートのサンプルアプリケーションの実行の前に PMOD-RYZ024A を使用されていた場合、RYZ024A の不揮発メモリに設定が保存されている場合があります。 以下の AT コマンドを実行することにより、初期化することが出来ます。

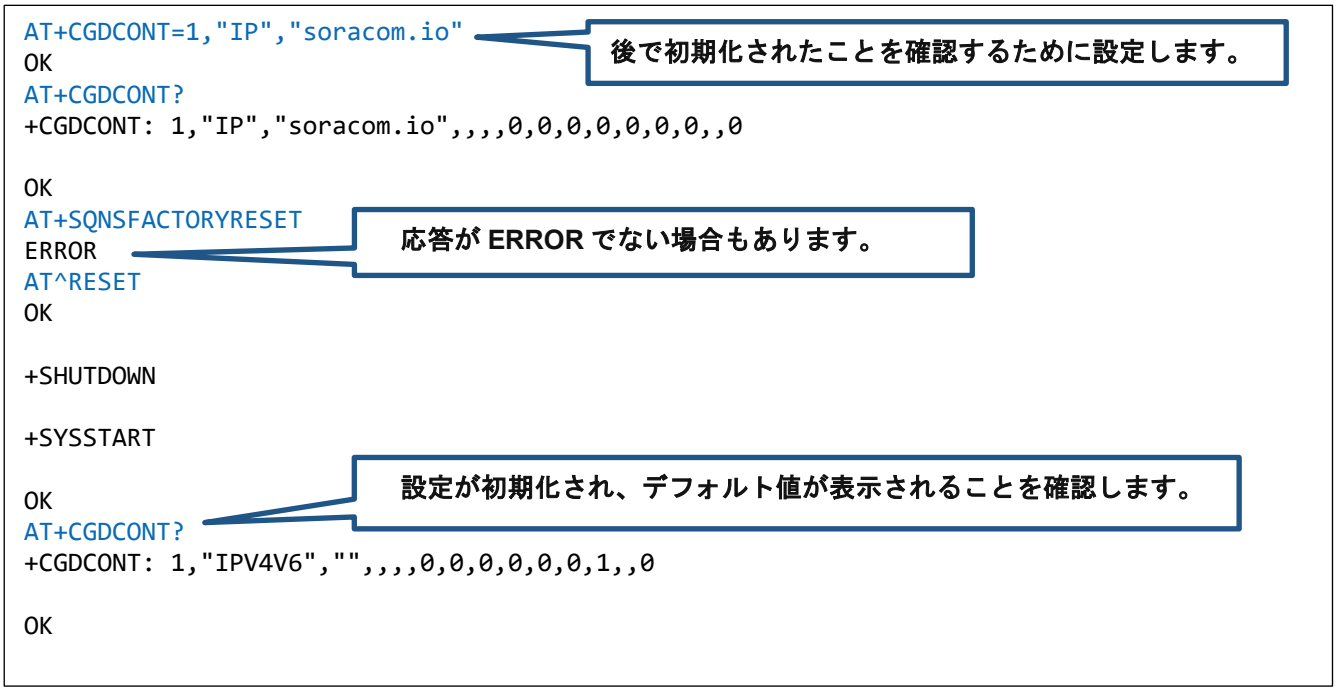

図 4.9 PMOD-RYZ024A の初期化

4.6 コネクションマネージャ

コネクションマネージャは、製品のネットワーク接続ステータスを監視するプログラムで、ホスト MCU 上のユーザアプリケーションの一部として実装します。ネットワーク接続のロストが発生した場合に、ネットワーク再接続まで待機したり、リセット再起動を行うことを目的とします。

「図 4.10 コネクションマネージャ推奨例」は RYZ024A でコネクションマネージャとして推奨される状態遷移管理例です。本サンプルアプリケーションでのコネクションマネージャ実装例を「図 4.11 コネクションマネージャ実装例」に示します。

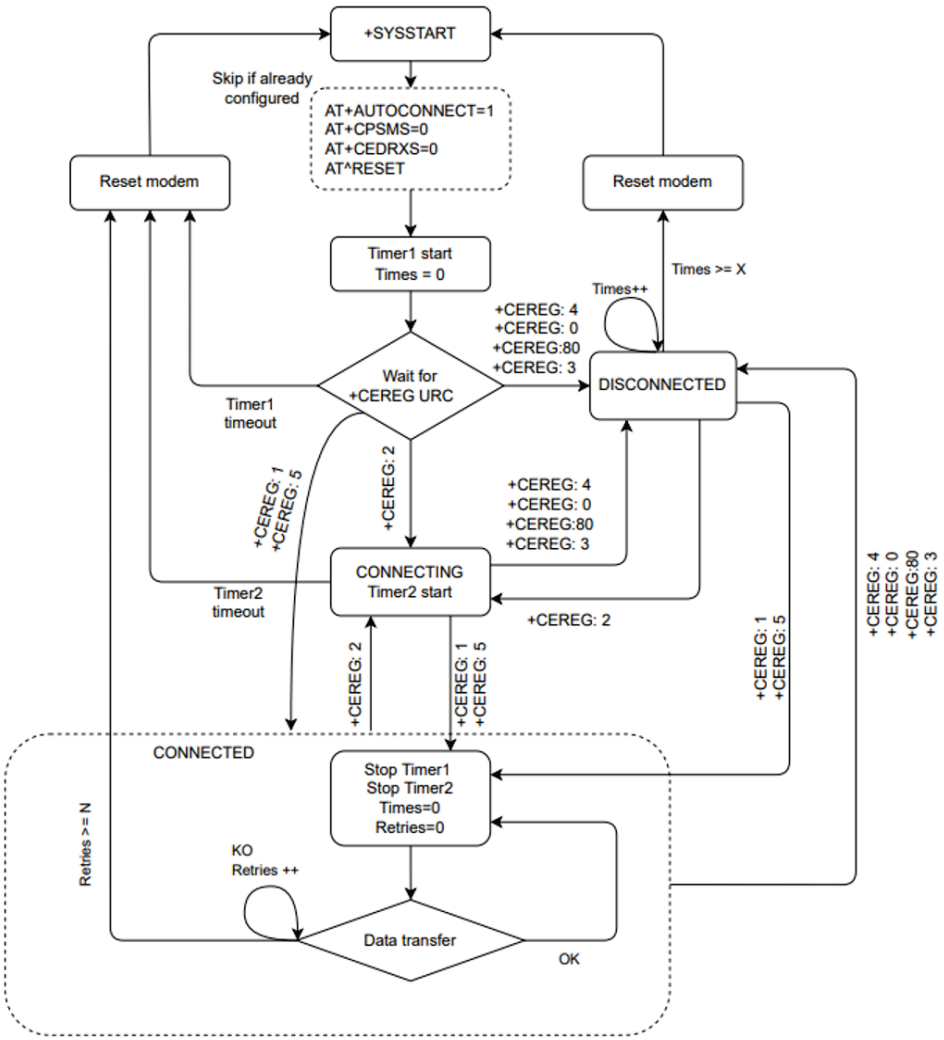

図 4.10 コネクションマネージャ推奨例

4.6.1 実装例

本サンプルアプリケーションでは「図 4.10 コネクションマネージャ推奨例」をベースに、コールバック関数の一部としてコネクションマネージャを実装しています。コールバック関数が記載されているソースコードと関数名を以下に、コネクションマネージャの動作フローを「図 4.11 コネクションマネージャ実装例」に示します。図中の"R_LTE_XXX()"は、「3.2.2 AT コマンド API」で示す API の呼び出しを表します。

コールバック関数が記載されているソースコードと関数名

ベアメタル版アプリケーションプログラム：hal_entry.c, lte_user_cb()

FreeRTOS 版アプリケーションプログラム：lte_task_entry.c, lte_user_cb()

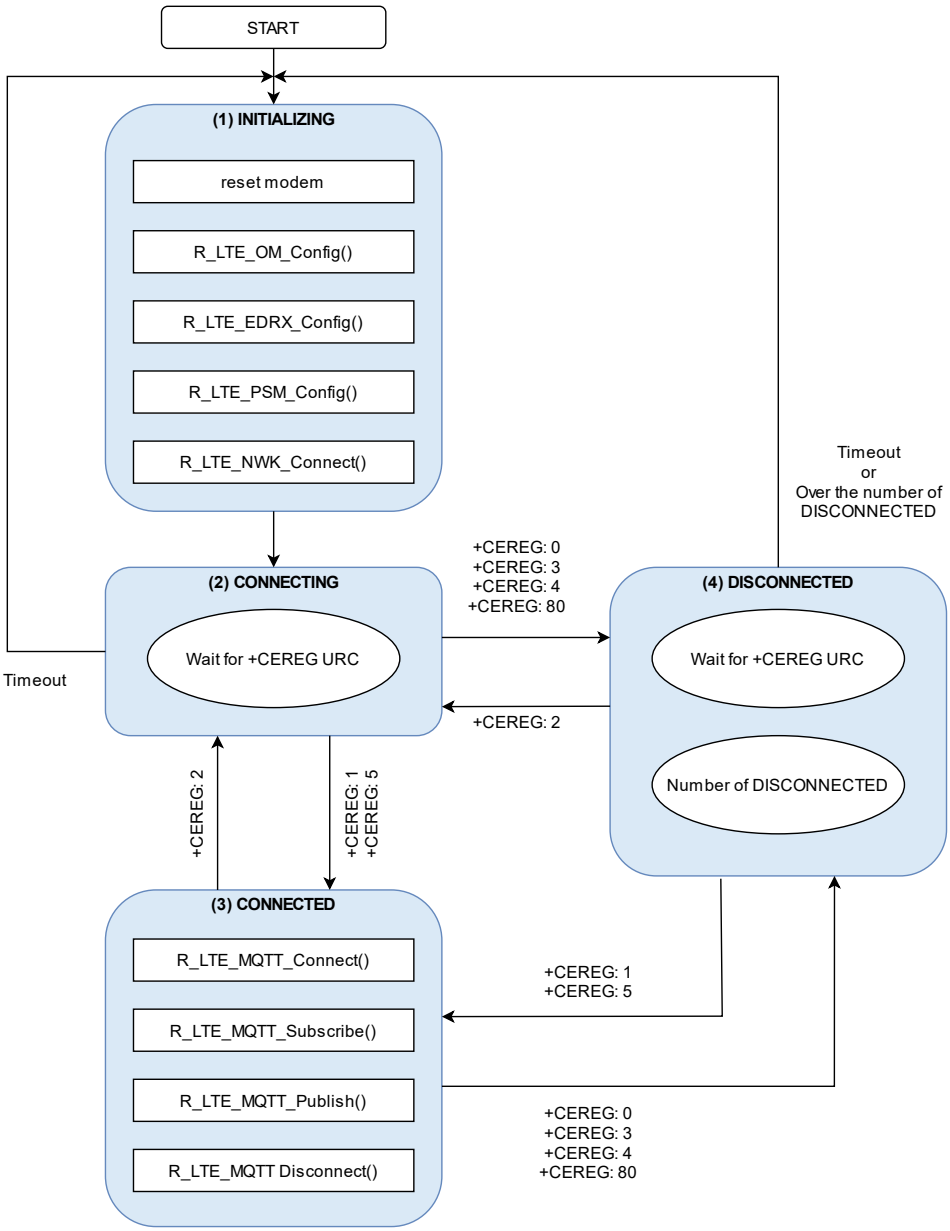

図 4.11 コネクションマネージャ実装例

コネクションマネージャはネットワークの接続状況に応じて 4 つの状態を管理します。INITIALIZING ではネットワークに接続するための設定および接続動作開始を行い、CONNECTING、CONNECTED、DISCONNECTED では発生する CEREG URC により状態を遷移させます。

(1) INITIALIZING

ネットワーク接続前の状態です。オペレータモード、eDRX、PSM の設定を行い AT+CFUN=1 を実行してネットワーク接続を行います。

(2) CONNECTING

接続試行中またはサーチ中の状態です。「表 4.3 CONNECTING、DISCONNECTED タイムアウトカウント」で定義された時間を超えて CONNECTING 状態が継続した場合、RYZ024A をリセットしてサンプルアプリケーションをリスタートします。

+CEREG: 1、5 を受信することで CONNECTED へ遷移します。

+CEREG: 0、3、4、80 受信することで DISCONNECTED へ遷移します。

(3) CONNECTED

ネットワークに接続した状態です。MQTT 通信を行うことができます。

+CEREG: 2 を受信することで CONNECTING へ遷移します。

+CEREG: 0、3、4、80 受信することで DISCONNECTED へ遷移します。

(4) DISCONNECTED

ネットワーク接続がロストした状態です。「表 4.3 CONNECTING、DISCONNECTED タイムアウトカウント」で定義された時間を超えて DISCONNECTED 状態が継続した場合、または、CONNECTING から DISCONNECTED への遷移が「表 4.4 DISCONNECTED 遷移回数」で定義された回数を超えた場合、RYZ024A をリセットしてサンプルアプリケーションをリスタートします。

+CEREG: 2 を受信することで CONNECTING へ遷移します。

+CEREG: 1、5 を受信することで CONNECTED へ遷移します。

CONNECTING、DISCONNECTED 状態でのタイムアウトカウントを「表 4.3 CONNECTING、DISCONNECTED タイムアウトカウント」に示します。

表 4.3 CONNECTING、DISCONNECTED タイムアウトカウント

定義名	値	説明
LTE_CM_TIMEOUT	60	CONNECTING、DISCONNECTED 状態でのタイムアウトカウント。 単位: 1 minute 例) 1 minute * 60 = 1 hour

DISCONNECTED 遷移回数の定義を「表 4.4 DISCONNECTED 遷移回数」に示します。

表 4.4 DISCONNECTED 遷移回数

定義名	値	説明
LTE_CM_DEISCONNECTED_COUNT	5	DISCONNECTED 遷移回数。

改訂記録

Rev.	発行日	改訂内容	
		ページ	ポイント
1.00	Apr.27.23	-	新規発行
1.10	Nov.30.23	7	• 表 2.2 ソフトウェア環境のバージョンを変更
		8	• 表 2.3 使用している EK-RA6M5 周辺機能に AGT1 を追加
		21	• 3.2.2.1 R_LTE_OM_Config の送信する AT コマンドを変更
		22	• 3.2.2.2 R_LTE_NWK_Connect の送信する AT コマンドを変更
		40	• 表 3.4 FSP モジュールに AGT1 を追加
		49	• 表 3.7 スタックサイズを変更
		49	• 表 3.8 スタックサイズを変更
		60	• 4.3 エラー発生処理のガイドラインの説明を変更
		66	• 4.6 コネクションマネージャの説明を追加

製品ご使用上の注意事項

ここでは、マイコン製品全体に適用する「使用上の注意事項」について説明します。個別の使用上の注意事項については、本ドキュメントおよびテクニカルアップデートを参照してください。

1. 静電気対策
   CMOS 製品の取り扱いの際は静電気防止を心がけてください。CMOS 製品は強い静電気によってゲート絶縁破壊を生じることがあります。運搬や保存の際には、当社が出荷梱包に使用している導電性のトレーやマガジンケース、導電性の緩衝材、金属ケースなどを利用し、組み立て工程にはアースを施してください。プラスチック板上に放置したり、端子を触ったりしないでください。また、CMOS 製品を実装したボードについても同様の扱いをしてください。
2. 電源投入時の処置
   電源投入時は、製品の状態は不定です。電源投入時には、LSI の内部回路の状態は不確定であり、レジスタの設定や各端子の状態は不定です。外部リセット端子でリセットする製品の場合、電源投入からリセットが有効になるまでの期間、端子の状態は保証できません。同様に、内蔵パワーオンリセット機能を使用してリセットする製品の場合、電源投入からリセットのかかる一定電圧に達するまでの期間、端子の状態は保証できません。
3. 電源オフ時における入力信号
   当該製品の電源がオフ状態のときに、入力信号や入出力プルアップ電源を入れないでください。入力信号や入出力プルアップ電源からの電流注入により、誤動作を引き起こしたり、異常電流が流れ内部素子を劣化させたりする場合があります。資料中に「電源オフ時における入力信号」についての記載のある製品は、その内容を守ってください。
4. 未使用端子の処理
   未使用端子は、「未使用端子の処理」に従って処理してください。CMOS 製品の入力端子のインピーダンスは、一般に、ハイインピーダンスとなっています。未使用端子を開放状態で動作させると、誘導現象により、LSI 周辺のノイズが印加され、LSI 内部で貫通電流が流れたり、入力信号と認識されて誤動作を起こす恐れがあります。
5. クロックについて
   リセット時は、クロックが安定した後、リセットを解除してください。プログラム実行中のクロック切り替え時は、切り替え先クロックが安定した後に切り替えてください。リセット時、外部発振子（または外部発振回路）を用いたクロックで動作を開始するシステムでは、クロックが十分安定した後、リセットを解除してください。また、プログラムの途中で外部発振子（または外部発振回路）を用いたクロックに切り替える場合は、切り替え先のクロックが十分安定してから切り替えてください。
6. 入力端子の印加波形
   入力ノイズや反射波による波形歪みは誤動作の原因になりますので注意してください。CMOS 製品の入力がノイズなどに起因して、V_{IL}（Max.）から V_{IH}（Min.）までの領域にとどまるような場合は、誤動作を引き起こす恐れがあります。入力レベルが固定の場合はもちろん、V_{IL}（Max.）から V_{IH}（Min.）までの領域を通過する遷移期間中にチャタリングノイズなどが入らないように使用してください。
7. リザーブアドレス（予約領域）のアクセス禁止
   リザーブアドレス（予約領域）のアクセスを禁止します。アドレス領域には、将来の拡張機能用に割り付けられている リザーブアドレス（予約領域）があります。これらのアドレスをアクセスしたときの動作については、保証できませんので、アクセスしないようにしてください。
8. 製品間の相違について
   型名の異なる製品に変更する場合は、製品型名ごとにシステム評価試験を実施してください。同じグループのマイコンでも型名が違うと、フラッシュメモリ、レイアウトパターンの相違などにより、電気的特性の範囲で、特性値、動作マージン、ノイズ耐量、ノイズ幅射量などが異なる場合があります。型名が違う製品に変更する場合は、個々の製品ごとにシステム評価試験を実施してください。

ご注意書き

1. 本資料に記載された回路、ソフトウェアおよびこれらに関連する情報は、半導体製品の動作例、応用例を説明するものです。回路、ソフトウェアおよびこれらに関連する情報を使用する場合、お客様の責任において、お客様の機器・システムを設計ください。これらの使用に起因して生じた損害（お客様または第三者いずれに生じた損害も含みます。以下同じです。）に関し、当社は、一切その責任を負いません。
2. 当社製品または本資料に記載された製品データ、図、表、プログラム、アルゴリズム、応用回路例等の情報の使用に起因して発生した第三者の特許権、著作権その他の知的財産権に対する侵害またはこれらに関する紛争について、当社は、何らの保証を行うものではなく、また責任を負うものではありません。
3. 当社は、本資料に基づき当社または第三者の特許権、著作権その他の知的財産権を何ら許諾するものではありません。
4. 当社製品を組み込んだ製品の輸出入、製造、販売、利用、配布その他の行為を行うにあたり、第三者保有の技術の利用に関するライセンスが必要となる場合、当該ライセンス取得の判断および取得はお客様の責任において行ってください。
5. 当社製品を、全部または一部を問わず、改造、改変、複製、リバースエンジニアリング、その他、不適切に使用しないでください。かかる改造、改変、複製、リバースエンジニアリング等により生じた損害に関し、当社は、一切その責任を負いません。
6. 当社は、当社製品の品質水準を「標準水準」および「高品質水準」に分類しており、各品質水準は、以下に示す用途に製品が使用されることを意図しております。

   標準水準：　コンピュータ、OA 機器、通信機器、計測機器、AV 機器、家電、工作機械、パーソナル機器、産業用ロボット等

   高品質水準：輸送機器（自動車、電車、船舶等）、交通制御（信号）、大規模通信機器、金融端末基幹システム、各種安全制御装置等

   当社製品は、データシート等により高信頼性、Harsh environment 向け製品と定義しているものを除き、直接生命・身体に危害を及ぼす可能性のある機器・システム（生命維持装置、人体に埋め込み使用するもの等）、もしくは多大な物的損害を発生させるおそれのある機器・システム（宇宙機器と、海底中継器、原子力制御システム、航空機制御システム、プラント基幹システム、軍事機器等）に使用されることを意図しておらず、これらの用途に使用することは想定していません。たとえ、当社が想定していない用途に当社製品を使用したことにより損害が生じても、当社は一切その責任を負いません。
7. あらゆる半導体製品は、外部攻撃からの安全性を 100%保証されているわけではありません。当社ハードウェア／ソフトウェア製品にはセキュリティ対策が組み込まれているものもありますが、これによって、当社は、セキュリティ脆弱性または侵害（当社製品または当社製品が使用されているシステムに対する不正アクセス・不正使用を含みますが、これに限りません。）から生じる責任を負うものではありません。当社は、当社製品または当社製品が使用されたあらゆるシステムが、不正な改変、攻撃、ウイルス、干渉、ハッキング、データの破壊または窃盗その他の不正な侵入行為（「脆弱性問題」といいます。）によって影響を受けないことを保証しません。当社は、脆弱性問題に起因しまたはこれに関連して生じた損害について、一切責任を負いません。また、法令において認められる限りにおいて、本資料および当社ハードウェア／ソフトウェア製品について、商品性および特定目的との合致に関する保証ならびに第三者の権利を侵害しないことの保証を含め、明示または黙示のいかなる保証も行いません。
8. 当社製品をご使用の際は、最新の製品情報（データシート、ユーザーズマニュアル、アプリケーションノート、信頼性ハンドブックに記載の「半導体デバイスの使用上の一般的な注意事項」等）をご確認の上、当社が指定する最大定格、動作電源電圧範囲、放熱特性、実装条件その他指定条件の範囲内でご使用ください。指定条件の範囲を超えて当社製品をご使用された場合の故障、誤動作の不具合および事故につきましては、当社は、一切その責任を負いません。
9. 当社は、当社製品の品質および信頼性の向上に努めていますが、半導体製品はある確率で故障が発生したり、使用条件によっては誤動作したりする場合があります。また、当社製品は、データシート等において高信頼性、Harsh environment 向け製品と定義しているものを除き、耐放射線設計を行っておりません。仮に当社製品の故障または誤動作が生じた場合であっても、人身事故、火災事故その他社会的損害等を生じさせないよう、お客様の責任において、冗長設計、延焼対策設計、誤動作防止設計等の安全設計およびエージング処理等、お客様の機器・システムとしての出荷保証を行ってください。特に、マイコンソフトウェアは、単独での検証は困難なため、お客様の機器・システムとしての安全検証をお客様の責任で行ってください。
10. 当社製品の環境適合性等の詳細につきましては、製品個別に必ず当社営業窓口までお問合せください。ご使用に際しては、特定の物質の含有・使用を規制する RoHS 指令等、適用される環境関連法令を十分調査のうえ、かかる法令に適合するようご使用ください。かかる法令を遵守しないことにより生じた損害に関して、当社は、一切その責任を負いません。
11. 当社製品および技術を国内外の法令および規則により製造・使用・販売を禁止されている機器・システムに使用することはできません。当社製品および技術を輸出、販売または移転等する場合は、「外国為替及び外国貿易法」その他日本国および適用される外国の輸出管理関連法規を遵守し、それらの定めるところに従い必要な手続きを行ってください。
12. お客様が当社製品を第三者に転売等される場合には、事前に当該第三者に対して、本ご注意書き記載の諸条件を通知する責任を負うものといたします。
13. 本資料の全部または一部を当社の文書による事前の承諾を得ることなく転載または複製することを禁じます。
14. 本資料に記載されている内容または当社製品についてご不明な点がございましたら、当社の営業担当者までお問合せください。

注 1. 本資料において使用されている「当社」とは、ルネサス エレクトロニクス株式会社およびルネサス エレクトロニクス株式会社が直接的、間接的に支配する会社をいいます。

注 2. 本資料において使用されている「当社製品」とは、注 1 において定義された当社の開発、製造製品をいいます。

(Rev.5.0-1 2020.10)

本社所在地

〒135-0061 東京都江東区豊洲 3-2-24（豊洲フォレシア）

www.renesas.com

お問合せ窓口

弊社の製品や技術、ドキュメントの最新情報、最寄の営業お問合せ窓口に関する情報などは、弊社ウェブサイトをご覧ください。

www.renesas.com/contact/

商標について

ルネサスおよびルネサスロゴはルネサス エレクトロニクス株式会社の商標です。すべての商標および登録商標は、それぞれの所有者に帰属します。

© 2023 Renesas Electronics Corporation. All rights reserved.