

Technical Datasheet

LoRaWAN(AS923 対応)エッジデバイス向け

920MHz LoRa 省電力ワイヤレスモジュール

A660-900T22

920MHz 13dBm(20mW) 特定小電力無線局

Firmware ver.1.1

Rev.1

本ドキュメントは、内容の多くに、電子工学、無線工学、情報工学などに関わる専門的な用語や説明が含まれます。これらの一般程度の知識において不足する専門性が高い用語や、ここでの固有の内容については、できる限り説明に努めておりますが、ドキュメントの記載内容で説明が不足する場合は、一般的な学術・工学文書などを参考にしてください。

■用語定義

本ドキュメントは、電子部品、無線通信モジュールのデータシートとしての性質を有するもので、文書の提供媒体に依らず、以下、一般にドキュメントとして示します。

本製品の設計、製造、販売元、および、権利者である、株式会社クレアリンクテクノロジーを、以下、多くの場合において「当社」と記載します。

このドキュメントの対象製品である、「A660-900T22」を、必要に応じて、「A660」と略記します。また、単に「モジュール」、「通信モジュール」もしくは「本製品」などと称します。

電波法に関わる用語においては、煩雑な名称、用語が多く含まれるため、このドキュメントにおいては、920MHz帯における、特定小電力 20mW 以下の範囲における限定的な用語を用いて記載します。

本ドキュメントで説明する製品は、利用者に特別の免許や資格などを不要と日本国法令で定められた種類に分類される無線装置です。本製品、もしくは、本製品が組み込まれた機器を装備、もしくは、利用する者を「使用者」、もしくは「利用者」とします。

厳格に、使用者と利用者を区別する必要がある文脈に限っては、機器の管理運用者を「使用者」とし、その管理運用者の下で機能の利用の恩恵を受けている受益者を「利用者」と定義します。また、本製品を使用した技術的設計、分析、試用、もしくは、評価などを行う者を、「設計者」と定義します。この設計書においては、対象の機器などの目的物における一般的な電子工学を含む本ドキュメントの適切な利用が可能な程度の知見を保有していることを想定します。

■免責事項

本ドキュメントは「現状の形」で提供され、商品性、特定目的への適合性、または非侵害の保証、他の場所で参照されている提案、仕様、サンプルの保証など、いかなる種類の保証を提供するものではありません。参照用 URL 等を含めこの資料の内容は予告なしに変更される場合があります。

本ドキュメントで対象としている製品は、高度な安全性や耐久性を要件とする、医療機器や軍事機器、自動車や航空機などの運転装置類など、人命や財産への危害を与える恐れのある機器で使用されることを想定していません。当社では安全性の判断はできませんので、使用するアプリケーションにおける安全性、適合性の判断については、設計者の責任において行ってください。

本ドキュメントの責任の範囲は、発行者によって提供されるサポートの範囲を超えるものではなく、設計者、および、利用者によるこのドキュメントに含まれる情報の使用に起因する事故、法令、法的権利（特許権の侵害を含める）などを保証することではなく、使用方法に関する説明に留まるものとします。知的財産の使用については、明示または黙示を問わず、このドキュメントにおいて付与されるものではありません。別途それぞれの、ライセンス条項や、製品使用許諾契約などによって示されるものを有効とします。

本ドキュメントで得られた技術的情報、試験結果は株式会社クレalinkテクノロジー、量産製造を担当する Chengdu Ebyte Electronic Technology Co., LTD.、および、国内電波法準拠の無線装置の認証機関によって取得されたものであり、実際に利用時の条件などによって、結果は異なる場合があります。

本文書内に記載されているすべての商号、商標、および登録商標は、それぞれの所有者に帰属します。また、本文書の著作権のすべては、株式会社クレalinkテクノロジーに帰属します。

■注意事項

本ドキュメントの内容は、製品のバージョンアップ等により変更される場合があります。当社は、予告なしに本ドキュメントの内容を変更する権利を有します。また、このドキュメントの内容はガイドとして使用されることを前提として当社はこのマニュアルで正確な情報を提供するために努力を払っていますが、内容に完全な誤りがないことを保証するものではありません。また、このマニュアルの全ての記述、情報および提案は、明示または黙示いずれの場合にも保証をもたらすものではありません。当社が誤りを発見した場合は、速やかに情報を設計者に公開された媒体にて開示することとしますが、本ドキュメントの改訂更新が同時に保証されるものではありません。設計者において、本製品を利用するための最新情報につきましては、当社ウェブページなど最新情報をご確認ください。

日本語ドキュメントについて

この日本語で記述された本ドキュメントは、日本国内での日本人技術者向けに、日本国内の電波法に適合させた製品のサポートを行うために当社が作成したものです。

類似製品、もしくは、日本国外で販売されているモジュールには適用されず、また、仕様も異なるため、型番、日本国内の電波法の認可などを確認してご使用ください。

このドキュメントは、当社が提供した（正規の販売チャネルを含む）製品についてのみ有効です。当社の販売管理対象外の製品においては、本ドキュメントの各事項は適用されません。また、それらによって発生した、いかなる問題についても、当社はサポート、および、技術的対応や説明などを提供いたしません。

電波法・無線技術について

LoRaWAN による周波数プリセットや、電力出力、ならびに、その他の電波法規定パラメータは、各国の要件によって異なります。本ドキュメントで取り扱う仕様の内、日本国内での使用に適した範囲を、国内における本文書の適切な使用方法であると定義します。

本ドキュメントで取り扱う、A660-900T22 は LoRa 変調方式をサポートしたデジタルワイヤレス通信モジュールです。A660-900T22 については、920MHz 特定小電力無線であり、当社が本モジュールの技術認証を受けた事実に基づく適切な使用方法である限りにおいては、その利用において法的義務や制限は生じません。

LoRaWAN 通信の互換性について

A660-900T22 ver.1.0 ファームウェアにおいては、LoRaWAN プロトコル LoRaWAN v1.0.4 準拠方式 Class A, Class C に対応した実装がされています。ただし、LoRaWAN v1.0.4 Class A, Class C に含まれるすべての機能の実装や、すべての LoRaWAN ゲートウェイとの通信を保証するものではありません。

目次

1	概要	1
1.1	はじめに.....	1
1.2	機能.....	1
1.3	アプリケーション.....	2
2	仕様	3
2.1	モジュールの内部構成.....	3
2.2	定格.....	3
2.3	動作パラメータ.....	4
2.4	電圧レンジと電力送信パフォーマンス.....	4
2.5	ロジックレベル.....	6
2.6	準拠規格.....	6
3	ピンアサイン	7
3.1	ピンアウト [A660-900T22].....	8
3.2	回路設計や基板実装時のピンアサインの注意.....	9
4	回路構成例	10
5	基本用語	11
5.1	送信電力.....	11
5.2	キャリアセンス.....	11
5.3	送信休止時間.....	12
5.4	LoRaWAN.....	12
6	LoRaWAN デバイスの初期設定と通信手順	15
6.1	DevEUI(デバイス固有アドレス)の設定.....	15
6.2	通信手順.....	15
6.3	LoRaWAN クラス (Class A と Class C).....	17
7	LoRaWAN デバイスのオペレーション	19
7.1	利用手順概要.....	19
7.2	リセット動作.....	19
7.3	設定とデータ送受信 (UART).....	19
8	AT コマンドセット概要	22
8.1	AT コマンド一覧.....	22
8.1	設定概要.....	24
8.2	周波数チャンネルと帯域幅一覧.....	25
9	AT コマンドリファレンス【設定コマンド】	28

9.1	AT+CGBR / Common Global Baud Rate.....	29
9.2	AT+RMAXTXP / Restriction of MAX Transmitting Power.....	31
9.3	AT+RCARSEN / Restriction of Carrier Sense.....	33
9.4	AT+RPAUSETIME / Restriction of Pause Time	35
9.5	AT+CTXP / Configuration of Transmitting Power	37
9.6	AT+CDEVEUI / Configuration of DeviceEUI.....	39
9.7	AT+CJOINMODE / Configuration of JOIN Mode.....	41
9.8	AT+CAPPEUI / Configuration of Application EUI.....	43
9.9	AT+CAPPKEY / Configuration of Application Key	45
9.10	AT+CDEVADDR / Configuration of Device Address	47
9.11	AT+CAPPSKEY / Configuration of Application Session Key.....	49
9.12	AT+CNWSKEY / Configuration of Network Session Key	51
9.13	AT+CULDLMODE / Configuration of Uplink Downlink Mode.....	53
9.14	AT+CCLASS / Configuration of Class.....	55
9.15	AT+DULSTAT / Uplink result Status.....	57
9.16	AT+RREGION / Restriction of Region	59
9.17	AT+CAPPRT / Configuration of Application frame Port.....	62
9.18	AT+CADR / Configuration of Adaptive Data Rate.....	64
9.19	AT+CRXP / Configuration of Receive window Parameter	66
9.20	AT+CSAVE / Save the Configuration Parameter.....	68
9.21	AT+CJOINDR / Configuration of JOIN Data Rate.....	69
10	AT コマンドリファレンス【通信実行コマンド】	71
10.1	AT+DJOIN / Send JOIN request	72
10.2	AT+CCONFIRM / Configuration of message type (confirm or unconfirm).....	74
10.3	AT+CNBTTRIALS / Configuration of number of times of send.....	76
10.4	AT+DTRX / Send and receive data frames.....	78
10.5	AT+DRX / Get the latest received data.....	80
11	AT コマンドリファレンス【その他】	82
11.1	AT+CGMR / Common Global Modem Revision.....	83
11.2	AT+CGMI / Common Global Modem Information.....	84
11.3	AT+CGMM / Common Global Modem Model.....	85
11.4	AT+IREBOOT / Reboot the Module	86
12	連続波の送信テスト機能（通常は使用しない）	87
13	ハードウェアデザイン	88
13.1	無線回路への影響	88
13.1	信号線のレベルシフトと省電力設計	89
13.1	アンテナ・筐体.....	89
13.1	UART ボーレート	90

13.2	バッテリーの使用	91
14	FAQ.....	94
14.1	通信可能距離.....	94
14.2	電波の出力損失の回避	95
14.3	モジュールの使用環境	96
14.4	BER (ビットエラーレート)	96
14.5	パケット到達のリアルタイム性.....	97
14.6	他の 920MHz 通信機器との電波干渉.....	97
14.1	モジュール制御ロジックの改良の禁止.....	97
14.1	技術適合認証・電波法	97
14.1	日本国外での使用について.....	98
15	推奨アンテナ	99
15.1	A660-900T22 13dBm 特定小電力無線局の使用可能アンテナ	99
15.2	アンテナの VSWR 値.....	99
15.3	フレネルゾーン	100
15.4	外部アンテナの設置方法	102
15.5	PCB 基板・FPC 基板の設置方法	103
15.6	SMD 実装基板	105
15.7	アンテナサイズと VSWR の関係.....	106
16	リフロー・ソルダリングガイド	108
17	バルクオーダーパッケージ	111
18	ファームウェアの書き換え	112
19	製品の問い合わせ・サポート	113
20	製品の製造について	114
20.1	品質・ISO 認証.....	114
20.2	RoHS 認証	114
20.3	日本国外でのご利用に関して	114
	改訂履歴	115

1 概要

このドキュメントでは、主に、ハードウェア仕様、ソフトウェア仕様、設計・製造等における必要事項などの技術要件や制約などを説明しています。

1.1 はじめに

本 LoRaWAN 対応 920MHz LoRa 省電力ワイヤレスモジュールは、電波の送受信を行うためのモデム・無線部と、その制御や設計者へのデジタル通信機能を提供する制御ソフトウェアであるファームウェアを搭載した省電力マイクロコントローラで構成されています。また、それらに安定した電力を供給するための電源回路を内包しています。



A660-900T22

A660-900T22 は、LoRa ワイヤレスのワンチップ統合 LSI である ASR 社の AS6601 チップを採用した省電力通信モジュールです。3.3V 電圧レベル(定格 3.7V)以下の広い動作電圧レンジをサポートし、UART シリアル通信インタフェースによる、AT コマンド形式の対話型利用も可能な操作インタフェースを提供します。本モジュールは、LoRa 伝送の多様な方式とパラメータをサポートし、920.6~928.0MHz の周波数帯の 920MHz 帯アンライセンズバンドを使用し、LoRa スペクトラム拡散技術で動作します。標準的な電源構成において、TTL レベル出力は、3.3V の I/O ポート電圧と互換性があります。

本製品は日本国内でアンライセンスでの利用が許可された 920MHz 帯の LoRaWAN Frequency Plans である、「AS923」をカバーすることができます。

1.2 機能

- AS6601 チップソリューションの採用で低消費電力、高速、長距離に対応
- 920MHz LoRaWAN 方式 を採用(すべての LoRaWAN ゲートウェイとの通信を保証)

するものではありません)

- 理想的な条件下では、通信可能距離は 5km 以上に達する
- 送信電力はソフトウェアから調整可能
- パケットあたり最大 222 バイトのペイロードを使用可能
- 日本国内での ISM 920MHz 周波数帯域(LoRaWAN Frequency Plans「AS923」)をサポートします。
- 設定パラメータは電源オフ後、不揮発メモリに保持され、モジュールは電源投入後に、その保持されているパラメータに従って動作します。
- 効率的なウォッチドッグ設計で、万一の例外の発生時には、モジュールは自動的に再起動し、以前のパラメータ設定に従って継続動作します。
- 標準給電手順では、1.7~3.7V(3.3V 標準電圧)の広い DC 電圧範囲をサポート
- 業界標準設計の、-40~+85°C環境下での長期使用をサポート
- アンテナ端子は IPEX 接続と設計者による PCB 引き出しでの使用を選択可能
- パッケージは小型で手半田、量産リフローに対応
- 最大送信電力は 13dBm(約 20mW)

1.3 アプリケーション

E660-900T22 は、LoRaWAN 対応アプリケーションを低コストで容易に実現できます。また、バッテリーデバイスの動作時間を大幅に延長できます。

- IoT センサーネットワーク
- スマートホームおよび産業用センサー
- ワイヤレスアラームセキュリティシステム
- 高度な検針アーキテクチャ (AMI)
- 産業向けアプリケーション
- 農林水産業向けフィールドアプリケーション
- ウェアラブルデバイス

2 仕様

2.1 モジュールの内部構成

本モジュールは、小さなプリント基板に高周波回路部品を配置した SoM RF モジュールとして提供しています。このモジュールの金属保護板の内部は、制御用省電力マイクロプロセッサ、RF SoC チップ、32MHz クリスタル発信器、RF スイッチ、フィルター回路、および、電源安定化部品などによって構成されており、設計者、および、利用者によって、適正な使用をされる範囲においては、電波法などの遵守などを含め安全に使用できる設計になっています。

本品の改造、または、本モジュールの形を変更して仕様するなど当社の指定しない方法での電波放射は、電波法に抵触する可能性が高い行為であるため行わないでください。

2.2 定格

定格

パラメータ	動作定格		詳細
	最小	最大	
VCC 給電電圧(V)	1.7	3.7	
VCC 消費電流(mA)		67mA	13dBm 送信時 ※1 (モジュール出力最大 22dBm 時 120±10mA)
ブロッキング電力※2(dBm)	-	10	短距離使用の場合の焼損可能性は低い
動作温度範囲 (°C)	-40	+85	産業・工業グレード設計
動作湿度範囲 (Rh%)	10	90	
保管時温度範囲 (°C)	-40	125	結露しないこと

※1 日本国内での使用においては、13dBm に制限されます。本モジュールの潜在的な設定上の性能発揮時は、約 130mA に達しますが、日本国内で使用する場合は、この設定で使用することはできません。(ここでは、本モジュールの定格値として記載しています)

絶対定格

パラメータ	絶対定格		詳細
	最小	最大	
VCC 給電電圧 (V)	-0.3	3.7	3.7V を超える電圧を印加すると、モジュールは恒久的な損傷を受ける可能性があります。
その他 I/O 端子電圧(V)	-0.3	3.7	

2.3 動作パラメータ

パラメータ	性能値			詳細
	最小	標準	最大	
動作電圧(V)	1.7	3.3	3.7	
ロジックレベル(V)	※2	3.3	-	5V TTL を接続した場合、焼損の可能性がります

※2 VCC が 3.3V 以下の場合、各ロジックレベルの取り扱いにはレベルシフト回路の実装を推奨します。

パラメータ	性能値			詳細
	最小	標準	最大	
動作温度範囲 (°C)	-40	-	85	産業・工業グレード設計
中心周波数(MHz)	920.6	-	928.0	日本国内 ISM バンド
消費電流	送信時(mA)	67		瞬間消費電流@13dBm
	受信待機時(mA)	9.1		パケット受信時と同じ
	Sleep 時(μ A)	2.5		
最大送信電力(dBm)	-	13	-	
受信感度(dBm)	-	-140	-	
最大パケット長	222 byte			ペイロードの最大サイズは使用する帯域幅および拡散率の組によって異なります。
変調方式	LoRa			次世代 LoRa モジュール技術
インタフェース	UART			TTL Level / AT コマンド
RF 出力インピーダンス	50 Ω			
パッケージ	DFN-24 端面スルーホール SMT 実装タイプ			
コネクタピッチ	1.27mm			端面スルーホール(スタンプホール)
サイズ	14mm × 20mm × 2.8mm			
重量	1.2g			
アンテナ端子	IPEX / エッジスルーホール			インピーダンス 50 Ω
準拠無線装置規格	ARIB STD-T108			

2.4 電圧レンジと電力送信パフォーマンス

本モジュールは、幅広い給電電圧に対応していますが、最適な電圧（設定最大出力 13dBm で出力できる下限）より低い領域では、僅かに無線電力が低下します。表 1 および、図 1 にその関係を示します。（当社測定結果による）

表 1 給電電圧と RF 出力の関係 [A660-900T22]

パラメータ	RF 出力性能			詳細
	最小	最適出力 (下限)	最大	
給電電圧(V)	1.7	3.3	3.7	
最大出力(dBm)	12.6	12.7	12.7	13dBm 設定時

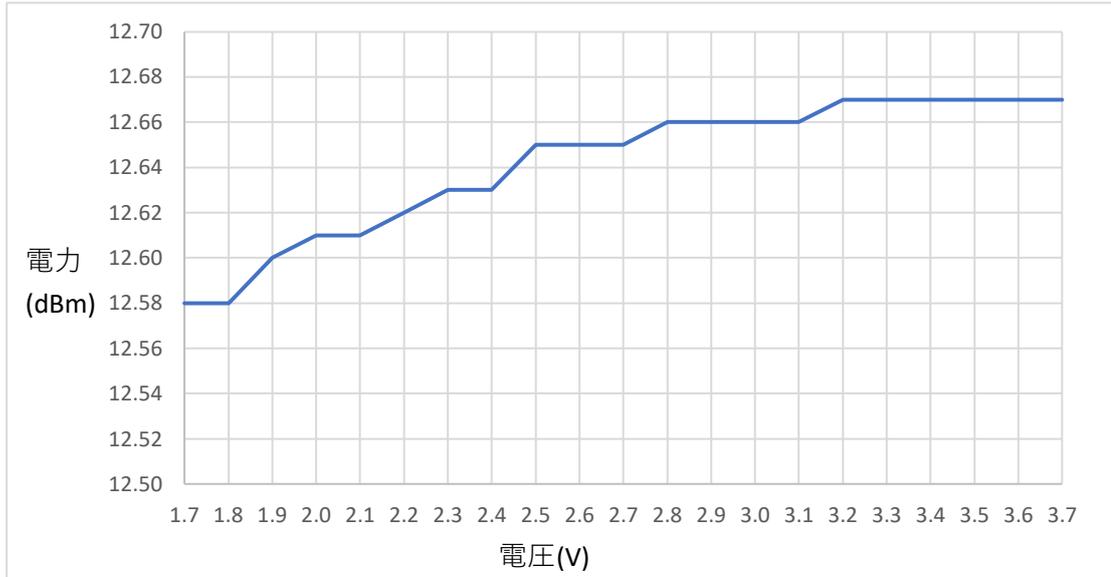


図 1 給電電圧と RF 出力電力 [A660-900T22]

2.5 ロジックレベル

ロジックレベル等の各特性は、モジュール内部のコントローラーIC と、内部の電源回路によって決定されるものです。以下の各特性データは、本モジュールに組み込まれているインタフェース IC のロジックレベル、および、電気的特性です。モジュールへの実装の影響等を別途含む可能性があります。

ロジックレベル 出力特性: VCC 給電時

記号	説明	最小	最大	
VOH	High level output voltage Source Current	0.9		V
VOL	Low level output voltage Sink Current		0.1	V

ロジックレベル 入力特性: VCC 給電時

記号	説明	最小	最大	
VIH	Positive-going input threshold voltage	0.8		V
VIL	Negative-going input threshold voltage		0.2	V

2.6 準拠規格

一般社団法人電波産業会 (ARIB) ARIB STD-T108

「920MHz 帯テレメータ用、テレコントロール用及びデータ伝送用無線設備」

3 ピンアサイン

E660-900T22 のモジュール外形サイズは、20mm×14mm、厚み 2.8mm の端面スルーホール加工を施した、24 ピンの DFN モジュールです（図 2）。同一のランドパターンにおいて、リフロー、手はんだ、いずれでも対応できます。

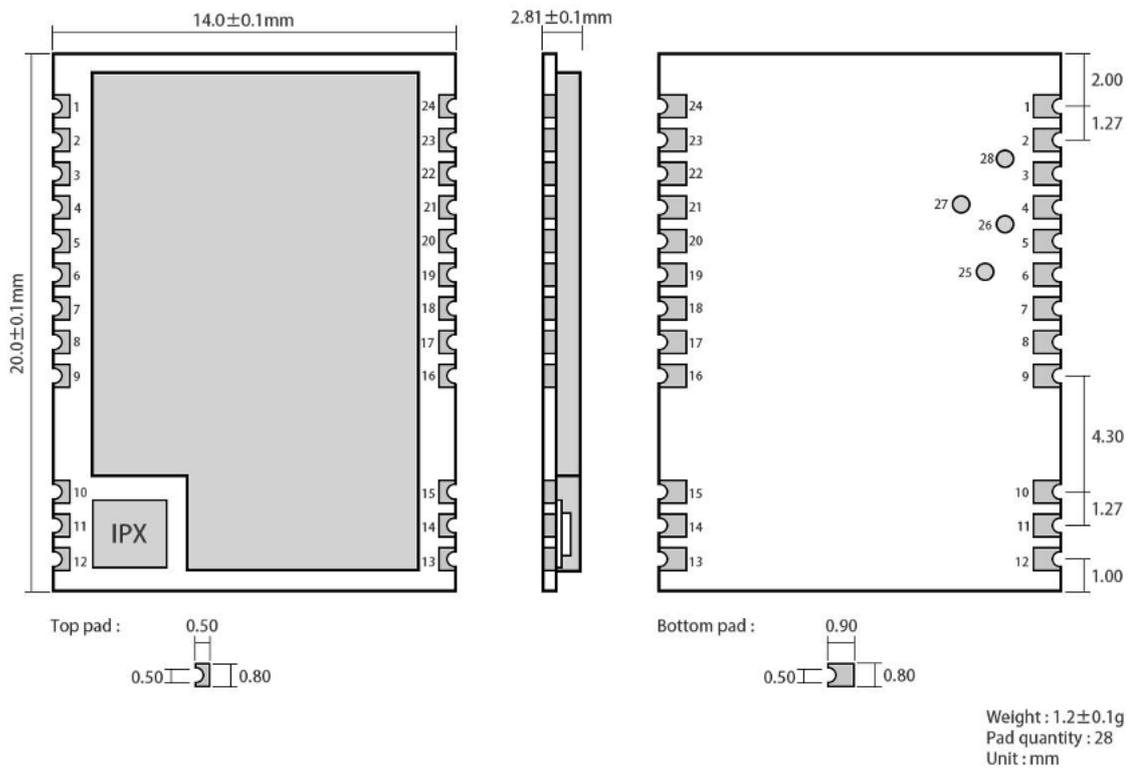


図 2 A660-900T22 モジュール外形

背面のテストピン 25、26、27、28 は、実装不要です。
背面テストピンのランドを実装する場合は、推奨フットプリントを参考にしてください。

3.1 ピンアウト [A660-900T22]

No.	ピン名称	SoC 対応ピン	方向	機能説明
1	GND		-	グラウンド
2	VCC		-	電源供給端子として1.7~3.7V DCを供給します。
3	SETB	GPIO16	-	低電力ウェイクアップピン
4	DIO1	GPIO62	IN/OUT	NC (Reserved)
5	BUSY	GPIO58	IN/OUT	NC (Reserved)
6	I2C_SDA	GPIO15	IN/OUT	NC (Reserved)
7	I2C_SCL	GPIO14	IN/OUT	NC (Reserved)
8	UART_CTS	GPIO02	IN/OUT	NC (Reserved)
9	UART_RTS	GPIO03	IN/OUT	NC (Reserved)
10	AGND		-	RF グラウンド
11	ANT		-	アンテナ接続端子
12	AGND		-	RF グラウンド
13	AGND		-	RF グラウンド
14	AGND		-	RF グラウンド
15	AGND		-	RF グラウンド
16	XRES	RSTN_PIN	IN	外部リセットピン
17	ADC_IN	GPIO04	IN	NC (Reserved)
18	AUX	GPIO44	IN/OUT	NC (Reserved)
19	SETA	GPIO33	IN/OUT	NC (Reserved)
20	UART_RX	GPIO60	IN/OUT	UART RX
21	UART_TX	GPIO17	IN/OUT	UART TX
22	SWD_DATA	GPIO06	IN/OUT	SWD Data
23	SWD_CLK	GPIO07	IN/OUT	SWD Clock
24	GND		-	グラウンド
25	SPI_MISO	GPIO10	IN/OUT	NC、SPI MISO テストピンで内部にて配線されており、外部端子としては使用できません
26	SPI_NSS	GPIO09	IN/OUT	NC、SPI NSS テストピンで内部にて配線されており、外部端子としては使用できません
27	SPI_MOSI	GPIO11	IN/OUT	NC、SPI MOSI テストピンで内部にて配線されており、外部端子としては使用できません
28	SPI_SCK	GPIO08	IN/OUT	NC、SPI SCK テストピンで内部にて配線されており、外部端子としては使用できません

3.2 回路設計や基板実装時のピンアサインの注意

各ピンの取り扱いや制限について、以下注意事項を遵守してください。

XRES リセットピンは、本 LoRaWAN モジュールを外部から再起動するための機能を提供します。このピンはアクティブ・ロー論理で動作し、ローレベルが印加されるとモジュールの再起動が開始されます。内部プルアップされており、通常動作時は開放または 3.3V にプルアップしてください。

4 回路構成例

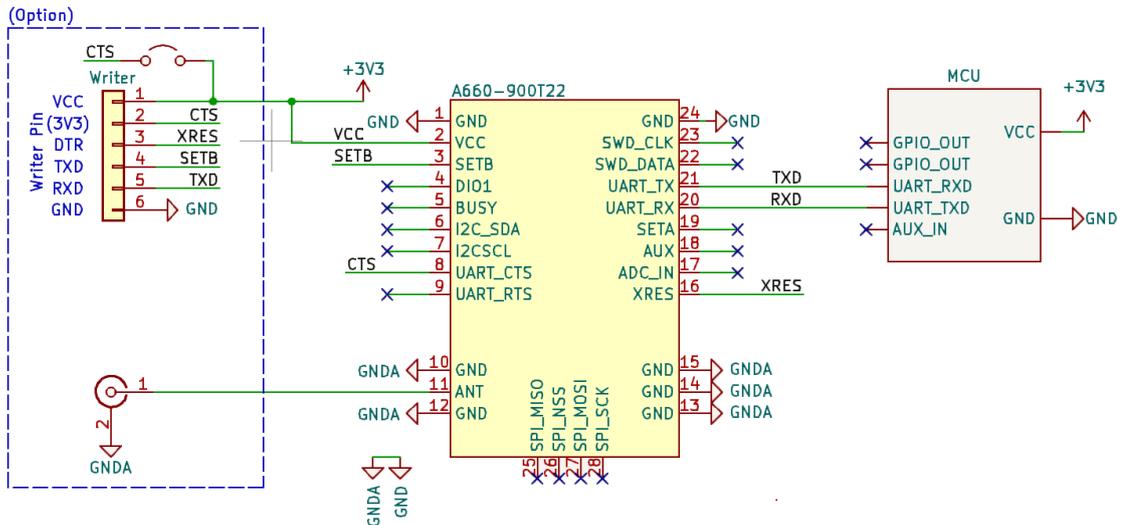


図 3 基本回路構成例

本モジュールは、アプリケーションロジックを実装した、外部マイコン（MCU）などを接続して使用します（図 3）。MCU とは、UART_TX、UART_RX と GND の結線のみで本モジュールの操作は可能です。

必要によって、XRES ピンを MCU にてアクティブ・ロー制御を行うことで、強制的なりセット動作を実現することが可能です。

外部からの、本モジュールのファームウェアの更新に備えて、Writer Pin の引き出しを推奨します。実際の製品などでは、基板レイアウトの制約などから難しい場合は、端面スルーホールに特殊な治具を挟み込むことで、ファームウェア書き換えは可能です。

MCU との、UART_TX、UART_RX のラインには、電流制限、ダンピング抵抗を挿入することを推奨します。（図 3 は説明の簡略化のため省略しています）

また、ANT ラインを引き出す場合は、配線長、ならびに、インピーダンスに配慮してください。

5 基本用語

本ドキュメント、並びに LoRaWAN を含む無線通信で使用する用語について解説します。

5.1 送信電力

送信電力とは、モジュールが電波を発射する際のエネルギーの強さを指し、通信の到達距離や信号の品質に直接影響を与える要素です。送信電力は通常、dBm（デシベルミリワット）という単位で表されます。dBm は mW（ミリワット）の対数表現で、表 2 のような関係があります。

表 2 dBm と mW の変換表

電力 [dBm]	電力 [mW]
0	1
3	2
10	10
20	100
23	200
30	1000

この送信電力の大きさは、電波法で規制されるため、それ以下の出力の範囲で設定、もしくは、コントロールする必要があります。本モジュールにおいても、出力電力は、電波法による制限、および、設計者の設定により決定されます。また、LoRaWAN プロトコルに依存した動作においても、電力制御が自動的に行われることがあります。

5.2 キャリアセンス

キャリアセンスとは、電波法における当該周波数帯の利用規則によって定められており、無線機が送信を開始する前に、電波を発射しようとする周波数チャンネルが他のデバイスによって既に使用されていないかを確認する機能です。この機能は、電波の混信を防ぎ、効率的な周波数利用を実現するために利用されます。

キャリアセンスの振る舞いは、発射前の電波の監視を行い、一定時間基準を超える電波が観測されないときに、みずからの電波出力を行います。

本モジュールにおいて日本仕様のプリセットを使用する場合、国内電波法の規則に則り、送信前に短時間のキャリアセンスを行います。電波送信を開始する前に送信周波数チャンネルの環境ノイズ強度が-80dBm を下回る状態が 5ms 継続した状態であれば、電波送信を開始するように設定されます。

5.3 送信休止時間

送信休止時間は、1回の送信が完了してから次の送信を開始するまでの最小待機時間（送信休止時間）を指します。多くの国や地域では、特定の周波数帯域での連続送信や過度に頻繁な送信を制限しています。送信休止時間を設けることで、これらの規制に準拠することができます。

また、単位時間あたりの電波送信の総計が占める時間を規定するデューティ比による規定が成される周波数区分もあり、920MHz帯の上位帯域はそれに該当します。ただし、任意のタイミングで通信が行われる仕組みにおいては、デューティ比の規制によって確実に制御することは、実際の実装上難しい場合が多く、デューティ比の規制区分帯の周波数帯であっても、安全な待機時間をもって、デューティの条件を満たした実装が行われる場合もあります。

5.4 LoRaWAN

LoRaWAN においては、ゲートウェイと多数のデバイスから構成されるスター型のトポロジのみをサポートし、通信シーケンスの開始は、必ず、デバイスから開始されます。デバイスが主導して通信を行わない限り通信は開始されません。

デバイスから LoRaWAN ゲートウェイに対してのアップリンクがトリガーとなり、LoRaWAN ネットワークへの参加や、データ通信を行います。また、LoRaWAN を含む LoRa 偏重を使用した通信速度は、極めて低ビットレートの通信となります。最も通信距離が稼げる設定で運用した場合のデータレートは、976bps になり、日本の場合は、さらに ARIB-STD T108 の規定によって、1 パケットペイロードサイズは 11 バイトが上限となります。LoRaWAN においては、経路制御などの概念や DNS など名前解決手段を持たず MAC レイヤーまでの規定によって運用されるためデバイス ID で管理します。

本モジュールでは、LoRaWAN の通信規格の内、Class A および、Class C をサポートしますが、Class B の機能はサポートしていません。Class A は、デバイスはデバイス自らのデータをアップリンクとして送り、特定の時間経過した後に、一定の時間だけ受信のスロットを開け受信待機します。つまり、この受信待機時間の間のみ受信アンプに給電されこの積算時間分の電力が待機電力の総和となります。デバイスは、このタイミングでゲートウェイからのパケットを受けることができます。Class A では、この受信スロットが 2 つあり Rx1 と Rx2 という 2 つのスロットを使用できます。Class A においては、これ以外のタイミングで、デバイスはデータを受信することはできませんが、待機電力の大幅な削減を達成することができます。

Class C は、クラス A の動きとほぼ同様ですが、送受信時以外は、基本的に受信スロットとしてパケットの待ち受けをしている状態であり、原則いつでもゲートウェイからのパケットを受信可能な状態にあります。しかし、常時受信アンプへ給電されている状態となり、一般的には常時給電されているデバイスでの利用が想定されます。

LoRaWAN ネットワークは、ゲートウェイと LoRaWAN ネットワークサーバで構成され、この、ネットワークサーバは、デバイスの ID の管理や、データのルーティング、データの暗号化、復号化等の全ての LoRa パケットの制御を行います。ゲートウェイでは、LoRa パケットの通信処理や、LoRaWAN のパケットフレームの MAC レイヤーの制御を担います。

デバイスとネットワークサーバは、あらかじめ決められた Pre-Shared-Key を持ち、LoRa パケットフレームの AES アルゴリズムで暗号化します。

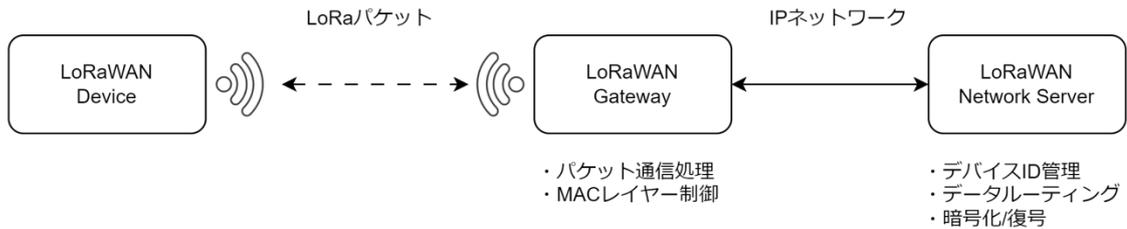


図 4 LoRaWAN ネットワーク

Class A では、Unconfirmed-Data と Confirmed-Data の 2 種類の通信方式の選択によって、一定のパケットの通信到達保証を確保することが可能です。Unconfirmed-Data は、デバイスはネットワークから ACK を待たずに通信を行います。そのためパケットを送信するだけで、そのパケットが届いたかどうかの確認を行わないため、到達確認や保証を行わないことから、トラフィックを削減できます。LoRa の電波の到達エリアは比較的広いため、電波干渉が多い場合などにおいては、より電波資源を節約したい場合等にも有利です。一方で、Confirmed-Data は、デバイスが送ったパケットに対する ACK を待ちパケットが届かなかった場合は、デバイスが ACK を受け取れなかったことを認識し再送制御を行う実装を入れることができます。データの到達を保証したい場合は、Confirmed-Data モードを指定することで、ACK による再送制御を実現できます。

敷設された LoRaWAN ネットワークにデバイスが参加するためには、Activation という LoRaWAN ネットワークに対してのデバイスのジョイン手続きを必要とします。の手順は、2 種類提供されています。参加する LoRaWAN によって、どちらかに制限されている可能性もあります。この Activation の手順によって、Pre-Shared-Key を設定することになります。

Activation 方法は 2 種類あり、一つは、ABP (Activation By Personalization) で、あらかじめ 2 つの鍵をデバイスへ格納しておきます。デバイスには、この鍵以外に使用する周波数などの設定も行っておく必要があります。もう一方の OTAA (Over The Air Activation) は、事前に設定しておくのは、仮の鍵であり、その後実際に LoRaWAN ネットワークに接続するタイミングで JOIN 鉄好きを行うコトによって認証が行われ、Network-Session-Key と Application-Session-Key を取得します。後者の OTAA は、汎用性があり、より多く、もしくは、不特定多数のデバイスが参加するようなサービスにおいても、実際の通信に使用する

鍵がデバイス毎に JOIN 手続きによって初期設定されるため、安全に運用することが可能です。

接続方式

● OTAA (Over-The-Air Activation)

デバイスが LoRaWAN ネットワークに参加するために、はじめに Join Request を送信し、ネットワークサーバで Join Request が受信されると、その応答として Join Accept が返されます。デバイスが Join Accept を受信すると、Join Accept に含まれているデータをもとに鍵情報を生成し、アドレスやペイロードとあわせて送信します。

デバイスがあらかじめ復号のための鍵情報を保有していないため、セキュリティは高く、一方で、センサーデバイスが Join Accept を確実に受信できないと絵バイスはパケットを送信できないため、ゲートウェイとデバイスは十分に受信できる距離、および、環境で運用を行う必要があります。

● ABP (Activation By Personalization)

あらかじめデバイス側に鍵と通信パラメータを設定しておき、ペイロードを送信します。OTAA のような Join 手続きを必要としないため、デバイスや鍵情報がわかればセンサーデータを受信できるセキュリティ上の欠陥を許容する必要があるが、手続きと接続がシンプルであり、簡易的な利用には向いています。

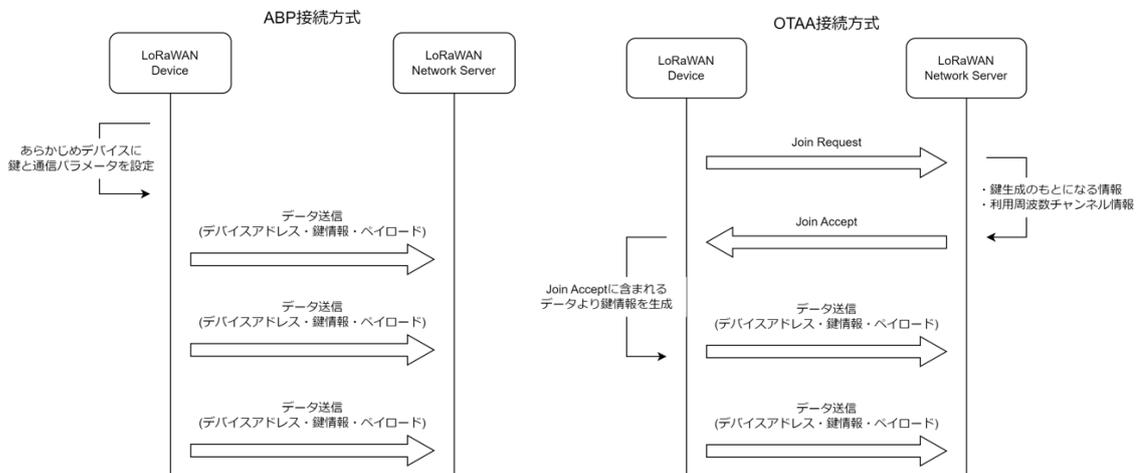


図 5 LoRaWAN の接続方式

6 LoRaWAN デバイスの初期設定と通信手順

本章では、LoRaWAN プロトコルにおける LoRaWAN デバイスの核となる通信機能について解説します。ここでは主に、デバイスの動作モードを定義する Class A と Class C、そしてネットワークへの参加プロセスである Join 機能に焦点を当てます。これらの機能は、デバイスの電力効率、レスポンス時間、セキュリティなど、IoT の重要な側面に直接影響を与えます。

6.1 DevEUI(デバイス固有アドレス)の設定

LoRaWAN においては、通信デバイスに固有の ID である、その網内でユニークな、一般的にはグローバルユニークな Device EUI、または、DevEUI (Device Extended Unique Identifier) を必要とします。LoRaWAN プロトコルにおける DevEUI は、64bit で表現され、通常は、デバイス設計・製造メーカーによって、IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) から割り当てられた MA ブロック (MAC Address Block) から生成された 64bit ユニーク識別子が割り当てられます。また、この識別子は、個体に固有でありグローバルにユニークです。

本モジュールにおいては、DevEUI の設定方法について以下のいくつかのオプションを提供しています。

1. 設計者によって IEEE から取得した MA アドレスから生成し割り当てる
2. 当社が本モジュール用に割り当てた配布 DevEUI を適用して使用する
3. TTN (The Things Network) などの LoRaWAN ネットワークサービスによって提供される DevEUI を割り当てて使用する
4. 利用者が制限されたプライベート網内に限って、限定された任意の DevEUI を選択して割り当てて使用する

4の方法を除き、いずれもグローバルユニークである必要があります。

本モジュールについては、いずれの方法であっても、AT+CDEVEUI コマンドによって、DevEUI を本モジュールの不揮発メモリに登録して使用することが可能です。

TTN から DevEUI の発行を受けるには、以下を参照してください。

<https://www.thethingsindustries.com/docs/devices/adding-devices/>

6.2 通信手順

LoRaWAN デバイスがネットワークと通信を開始するためには、まずネットワークに「Join」(参加) する必要があります。この過程は、デバイスの認証と初期化を行い、安全な通信チャネルを確立するためのものです。LoRaWAN プロトコルでは、主に 2 つの Join 方式があります: Over-The-Air Activation (OTAA) と Activation By Personalization (ABP) です。

ここでは、より安全で柔軟性の高い OTAA 方式を中心に説明します。

1. Join 前の準備

Join 処理を開始する前に、デバイスには以下の情報が必要です：

- DevEUI：デバイスの一意の識別子
- AppEUI：Join サーバーの識別子
- AppKey：アプリケーション鍵、デバイスとネットワークサーバ間で共有される暗号鍵

これらの情報はそれぞれ AT+CDEVEUI、AT+CAPPEUI、AT+CAPPKEY コマンドにより設定可能です。

2. OTAA Join の手順

2-a. Join-request の送信：

デバイスは、DevEUI、AppEUI を含む Join-request メッセージを生成し、ゲートウェイに送信します。

2-b. Join-accept の受信：

ネットワークサーバが Join-request を検証し、デバイスの参加を許可する場合、Join-accept メッセージをゲートウェイ経由でデバイスに送信します。このメッセージには、デバイスアドレス (DevAddr)、ネットワーク ID、その他のネットワークパラメータが含まれます。

2-c. セッション鍵の生成：

デバイスは Join-accept メッセージを受信すると、AppKey を使用してセッション鍵 (NwkSKey、AppSKey) を生成します。これらの鍵は、以降の通信の暗号化と認証に使用されます。

3. Join 処理の開始方法

Join 処理を開始するには、通常以下のステップを踏みます：

3-a. LoRaWAN プロトコルの初期設定：

LoRaWAN プロトコルに必要なパラメータ (地域設定、チャンネル情報など) を設定します。

3-b. Join 処理の開始：

AT+DJOIN コマンドを使用して Join 処理を開始します。

3-c. Join 状態の確認：

AT+CSTATUS コマンドを使用して、Join の成功を確認します。Join が成功すると、デバ

イスはネットワークに接続された状態になります。

4. Join 後の通信

Join 処理が成功すると、デバイスはネットワークと通信を開始できます。通常の通信手順は以下の通りです。

4-a. アップリンク送信：

AT+DTRX コマンドを使用してデータを送信します。

4-b. ダウンリンク受信：

Class A デバイスの場合、アップリンク送信後の 2 つの受信ウィンドウでダウンリンクメッセージを受信します。受信したメッセージは、AT+DRX? コマンドで確認できます。

以上の手順に従うことで、LoRaWAN デバイスをネットワークに接続し、通信を開始することができます。

6.3 LoRaWAN クラス (Class A と Class C)

本モジュールでは、LoRaWAN のプロトコル規定の内、Class A と Class C に対応しており、AT+CCLASS コマンドによってデバイスのクラスを制御することができます。

LoRaWAN プロトコルでは、デバイスの動作特性を定義するために異なるクラス (A、B、C) が規定されており、各クラスの特徴として次の通りです。

- Class A - 最も省電力な動作モード
- Class B - ビーコンを利用した定期的な受信が可能なモード
- Class C - 常時受信が可能なモード

ここではより本モジュールでサポートしている Class A と Class C について詳しく説明します。

- Class A

Class A は、LoRaWAN デバイスの基本的な動作モードであり、最も電力効率の高いクラスです。このクラスでは、デバイスはアップリンク主導型の通信を行います。具体的には、デバイスがアップリンク送信を行った後、短い時間だけ 2 つの受信ウィンドウ (RX1 と RX2) を開きます。それ以外の時間は、デバイスはスリープ状態を維持します。この動作原理により、Class A は極めて低い電力消費を実現し、バッテリー駆動デバイスに最適な選択肢となります。ただし、アップリンク送信後のみダウンリンクが可能なため、リアルタイム性は低くなります。すべての LoRaWAN デバイスは、必ず Class A をサポートする必要があり、本モジュールにおいてもサポートしています。

- Class C

Class C は、常時受信可能な状態を維持するモードで、最もレスポンス性の高いクラスです。Class C デバイスは、アップリンク送信時以外、常に受信ウィンドウを開いた状態を維持します。具体的には、RX2 のパラメータ（周波数、データレート）で継続的に受信待機します。この動作により、Class C は最小のダウンリンク遅延を実現し、ほぼリアルタイムの双方向通信が可能となります。ただし、常時受信状態を維持するため、電力消費が大きくなります。

7 LoRaWAN デバイスのオペレーション

LoRaWAN デバイスのオペレーション方法について、包括的な説明を提供します。この章では、デバイスの利用手順から AT コマンドの応答まで、実際の運用に必要な情報を網羅的に解説します。

7.1 利用手順概要

LoRaWAN デバイスの利用は、通常以下の手順で行います。まず、デバイスの電源投入後、UART インタフェースを介して AT コマンドを送信し、必要な設定（ネットワークパラメータ、デバイス識別子など）を行います。その後、ネットワークへの Join 処理を実行し、接続が確立されたらデータの送信を開始します。また、必要に応じてデバイスの状態確認やパラメータの調整を行います。

7.2 リセット動作

リセット動作は、デバイスを再起動するための機能で、ハードウェアリセットとソフトウェアリセットの 2 種類があります。

ハードウェアリセットは、デバイスのリセットピンを操作するか、電源の再投入により行います。ソフトウェアリセットは、AT コマンド（`AT+IREBOOT`）を使用して実行します。これにより、デバイスが再起動されます。

リセット後は、デバイスは最後に保存された設定で起動します。ネットワーク参加(Join)モードや動作クラス(Class A, Class C)などの重要な設定変更後は、`AT+CSAVE` コマンドを使用して設定を保存することを推奨します。

7.3 設定とデータ送受信 (UART)

LoRaWAN モジュールの設定とデータ送信は、UART インタフェースを介して行われます。本デバイスは、標準的なシリアル通信プロトコルを採用しており、デフォルト設定では 9600 bps のボーレート、8 データビット、パリティなし、1 ストップビットの設定で動作します。

設定プロセスは、AT コマンドを使用して行います。デバイス固有のパラメータ (DevEUI、AppEUI、AppKey) を `AT+CDEVEUI` コマンド、`AT+CAPPEUI` コマンド、`AT+CAPPKEY` コマンドを用いて次のように設定します。各コマンドの詳細に関しては第 9 章、第 10 章のコマンドリファレンスを参照してください。

Set command	AT+CDEVEUI=1234567890ABCDEF
Response	OK

Set command	AT+CAPPEUI=FEDCBA9876543210
Response	OK

Set command	AT+CAPPKEY=00112233445566778899AABBCCDDEEFF
Response	OK

上記コマンドでは、DevEUIを「0x1234567890ABCDEF」、AppEUIを「0xFEDCBA9876543210」、AppKeyを「0x00112233445566778899AABBCCDDEEFF」に設定しています。

次に、AT+CCLASS コマンドでデバイスクラスを、AT+CJOINMODE コマンドで Join モードを次のように設定します。

Set command	AT+CCLASS=0
Response	OK

Set command	AT+CJOINMODE=0
Response	OK

上記コマンドでは、クラスを Class A に、Join モードを OTAA に設定しています。

次に、AT+RREGION コマンドでデバイスが動作する地域の周波数帯や規制要件に合わせたリージョン設定を行います。

Set command	AT+RREGION=2
Response	OK

上記コマンドでは、リージョン設定を AS923-1-JP に設定しています。

これらの設定が完了したら、次のように AT+DJOIN コマンドを使用して LoRaWAN ネットワークへの参加プロセスを開始します。

Set command	AT+DJOIN=1,0,8,2
Response	OK

上記コマンドでは、Join プロセスの開始、自動 Join 設定オフ、Join 間隔 8 秒、最大試行

回数 2 回に設定しています。

ネットワークへの参加が成功すると、次のように AT+DTRX コマンドを使用してデータ送信が可能になります。また、ダウンリンクメッセージの受信は、AT+DRX? コマンドで確認できます。

Set command	AT+DTRX=1,3,5,48656C6C6F
Response	OK+SEND:05 OK+SENT:01

上記コマンドでは、データ送信設定として確認型メッセージ、再送回数 3 回、5byte 長のペイロード 0x48656C6C6F("Hello" の 16 進数表現)を送信しています。

Set command	AT+DRX?
Response	+DRX=7,576F726C6421 OK

上記コマンドの応答は、7byte 長のペイロード 0x576F726C6421("World!" の 16 進数表現)を受信したことを示しています。

8 AT コマンドセット概要

本章では、本 LoRaWAN モジュールで使用可能な AT コマンドセットの概要を説明します。これらのコマンドは、デバイスの設定、ネットワーク接続、データ送受信、およびモジュールの状態管理に使用されます。

以下のセクションでは、AT コマンドをカテゴリ別に分類し、各コマンドの基本的な機能を説明します。詳細なパラメータ説明、戻り値については、本データシートの後続の章で説明します。

ファームウェアのバージョンによってサポートされるコマンドや具体的な動作が異なる場合があります。ご使用の製品のファームウェアバージョンを必ず確認し、最新のドキュメントを参照してください。

8.1 AT コマンド一覧

コマンドの接頭辞規則

本モジュールで使用される AT コマンドは、その機能や用途に応じて以下の接頭辞規則に従って分類されています。この分類により、コマンドの目的を容易に識別することができます。

- ・ R (Restrict) 電波法など制限に関する設定
- ・ C (Configuration) 設定 (コンフィグ) に関するもの
- ・ D (Data) データ送受信操作
- ・ I (Independent) 独立操作 (モジュールリセットなど)

本モジュールの AT コマンドは、その機能と用途に基づいて以下の 3 つのカテゴリに分類されます。

設定コマンド

表 3 のコマンドは、デバイスの基本的な動作パラメータや通信設定を構成するために使用されます。主に C (Configuration) 接頭辞を持つコマンドが含まれますが、R (Restrict) 接頭辞のコマンドも一部含まれます。デバイス ID の設定、ネットワーク参加モードの選択、データレートの設定など、LoRaWAN 通信に必要な基本的な設定を行います。

表 3 設定コマンド (第 9 章)

Command	Description
AT+CGBR	Baud rate の取得/設定
AT+RMAXTXP	モジュールの最大送信電力の制限を設定/取得
AT+RCARSEN	キャリアセンスの監視時間とレベルを設定/取得

AT+RPAUSETIME	送信後の送信休止時間を設定／取得
AT+CTXP	送信電力を設定／取得
AT+CDEVEUI	DeviceEUI を設定／取得
AT+CJOINMODE	ネットワーク参加 (JOIN) モードを設定／取得
AT+CAPPEUI	Application EUI を設定／取得
AT+CAPPKEY	Application Key を設定／取得
AT+CDEVADDR	Device Address を設定／取得
AT+CAPPSKEY	Application Session Key を設定／取得
AT+CNWKSKEY	Network Session Key を設定／取得
AT+CULDLMODE	Uplink と Downlink で使用する周波数を設定／取得
AT+CCLASS	動作クラスを設定／取得
AT+DULSTAT	現在の状態や動作状況を取得
AT+RREGION	リージョン設定を設定／取得
AT+CAPPPOINT	アプリケーションポートを設定／取得
AT+CADR	Adaptive Data Rate (ADR) 機能を設定
AT+CRXP	受信パラメータを設定／取得
AT+CSAVE	現在の設定を不揮発性メモリに保存
AT+CJOINDDR	Join プロセス時に使用するデータレート (DR) を設定／取得

通信実行コマンド

表 4 のコマンドは、実際のデータ送受信やネットワーク接続操作を実行するために使用されます。主に D (Data) 接頭辞を持つコマンドが含まれます。データの送信、受信確認、ネットワークへの参加 (Join) 操作などが該当します。これらのコマンドは、デバイスがアクティブに LoRaWAN ネットワークと通信する際に使用されます。

表 4 通信実行コマンド (第 10 章)

Command	Description
AT+DJOIN	ネットワークに参加 (JOIN) を実行
AT+CCONFIRM	メッセージ確認モードを設定／取得
AT+CNBTRIALS	確認メッセージの再送回数を設定／取得
AT+DTRX	データ送信を実行
AT+DRX	受信したダウンリンクメッセージを確認

その他コマンド

表 5 のコマンドは、デバイスの一般的な管理や状態確認に関連するコマンドが含まれます。主に I (Independent) 接頭辞を持つコマンドや、他のカテゴリに明確に分類されないユーティリティコマンドが該当します。デバイスのリセット、ファームウェアバージョンの確認、モジュール情報の取得などのコマンドが含まれます。

表 5 その他コマンド (第 11 章)

Command	Description
AT+CGMR	バージョン番号の取得
AT+CGMI	製造元の取得
AT+CGMM	モジュール名の取得
AT+IREBOOT	モジュールを再起動

8.1 設定概要

AT コマンドは、モデムや携帯電話などの通信機器を制御するために使用される標準的なコマンド体系です。その構造は以下のような特徴を持っています。AT コマンドの基本構造は次の通りです。

```
AT+[コマンド名][操作][パラメータ 1][,パラメータ 2]...[<CR>]
```

すべての AT コマンドは「AT」という Prefix から始まります。これは「Attention」の略で、機器にコマンドの開始を知らせる役割を果たします。「AT」の直後に「+」記号が付きます。次に続くのがコマンド名です。これは実行したい操作を指定するもので、例えば「DJOIN」(JOIN リクエスト送信)や「DTRX」(LoRaWAN パケットの送信)などがあります。コマンドによってはパラメータが必要な場合があります。パラメータが続く場合は、コマンド名の後に「=」記号を付け、その後にパラメータを記述します。複数のパラメータがある場合は、カンマ「,」で区切ります。最後に、すべての AT コマンドはキャリッジリターン (<CR>) で終了します。これにより、機器にコマンドの入力が完了したことを伝えます。

AT コマンドには 4 つの主要な操作モードがあります。

1. テストコマンド

テストコマンドでは、コマンドのサポートされているパラメータ範囲を確認できます。テストコマンドの指定方法は次の通り、コマンド名の末尾に「=?」を付与します。

```
AT+[コマンド名]=?
```

2. 読み取りコマンド

読み取りコマンドでは、現在の設定値を読み取ることができます。読み取りコマンドの指定方法は次の通り、コマンド名の末尾に「?」を付与します。

```
AT+[コマンド名]?
```

3. 書き込みコマンド

モジュール内部で保持しているコマンド値などに新しい値を設定する場合、書込コマンドを使用することでその設定値を上書きできます。書き込みコマンドは、コマンド名に続けて、「=」とパラメータを記述します。複数のパラメータを与える場合は、カンマ「,」で区切ります。

```
AT+[コマンド名]=[パラメータ]
```

複数の場合

```
AT+[コマンド名]=[パラメータ 1][,パラメータ 2]...
```

4. 実行コマンド

LoRaWAN モジュールに対して特定の動作を指示する際に使用される簡潔な形式のコマンドです。これらのコマンドは、追加の情報を必要とせずに単独で機能を実行します。実行コマンドは、次のようにコマンド名のみを記述し、後には何も付与しません。

```
AT+[コマンド名]
```

5. コマンドの応答

AT コマンドの実行結果は、それぞれのコマンドの種類や内容などによって異なりますが、「OK」や「ERROR」、あるいは要求された情報や状態が返されます。コマンドが間違っている場合や、実行できない状態の場合など、エラーメッセージが返されます。

正常応答

```
OK
```

要求された情報や状態の応答例

```
+CGMM=A660-900T22
```

```
OK
```

上記はモジュールのモデル識別情報の応答です。

失敗応答

```
ERROR
```

8.2 周波数チャンネルと帯域幅一覧

本モジュールは、LoRaWAN の複数の地域別周波数プランに対応しており、EU868、US915、AS923-1、AS923-2 に準拠しています。各周波数プランの概要は以下の通りです：

- EU868: 欧州で主に使用され、863MHz~870MHz の周波数帯を利用します。

- US915: 北米で使用され、902MHz～928MHz の周波数帯を利用します。
- AS923-1: アジア太平洋地域（日本を含む）で使用され、923MHz～925MHz の周波数帯を主に使用します。
- AS923-2: AS923-1 と同様にアジア太平洋地域で使用されますが、周波数が若干異なります。

日本では、AS923-1 周波数プランを使用します。以下に、AS923-1 の主要な設定を示します：

1. 周波数チャンネル

アップリンク：

アップリンクチャンネルを表 6 に示します。チャンネル 0 (923.2 MHz) とチャンネル 1 (923.4 MHz) は、すべての AS923-1 準拠デバイスで実装が必須です。Join 用のチャンネルは 923.2 MHz と 923.4 MHz を使用します。

表 6 AS923-1 のアップリンクチャンネル

チャンネル	周波数
チャンネル 0	923.2 MHz
チャンネル 1	923.4 MHz
チャンネル 2	923.6 MHz
チャンネル 3	923.8 MHz
チャンネル 4	924.0 MHz
チャンネル 5	924.2 MHz
チャンネル 6	924.4 MHz
チャンネル 7	924.6 MHz

ダウンリンク：

- RX1: 同一周波数（アップリンクと同じ）
- RX2: 923.2 MHz（デフォルト）

また、各プランで利用可能なデータレートも異なります。例えば、AS923 では表 7 のようなデータレートが定義されています。

表 7 データレート

データレート	設定
DR0	SF12 / 125 kHz
DR1	SF11 / 125 kHz
DR2	SF10 / 125 kHz
DR3	SF9 / 125 kHz
DR4	SF8 / 125 kHz
DR5	SF7 / 125 kHz

実際の使用に当たっては、使用する地域の規制に従って適切な周波数プラン、チャンネル、および設定を選択してください。

9 AT コマンドリファレンス【設定コマンド】

設定用の AT コマンドは、AT+R もしくは、AT+C で始まり、それぞれ、電波法などによる無線制約設定コマンド、パラメータの設定コマンドです。通常、AT+R 系コマンドにより、国別の電波法規制設定を適用した後、AT+C 系コマンドによって、各パラメータを設定します。

9.1 AT+CGBR / Common Global Baud Rate

AT+CGBR コマンドは、モジュールと MCU の間のシリアル通信のボーレートを設定または取得します。

- コマンド詳説

このコマンドでは、設定の書き込みおよび読み取りを行うことができます。書き込みコマンドが正常に実行された場合、「OK」という応答が返されます。読み出しコマンドが正常に実行された場合、文字列形式でボーレート情報が返されます。

成功した場合、「+」から始まるコマンド文字列に「=」が続き、ボーレート情報文字列が返されます。さらに改行コードの後に「OK」という応答が続きます。

一方、コマンドの実行中にエラーが発生した場合、単に「ERROR」という応答が返されます。エラーの原因としては、無効なパラメータ値の指定が考えられます。

新しいボーレート設定はコマンド実行後にリセットまたは再起動を行うことで反映されます。

- 文法

- ◆ 書き込みコマンド

```
AT+CGBR=<baudrate>
```

- ◆ 読み取りコマンド

```
AT+CGBR?
```

- ◆ パラメータ

<baudrate>: ボーレートとして以下の中から選択できます。

- 1200 bps
- 2400 bps
- 4800 bps
- 9600 bps (default)

- ◆ レスポンス

肯定レスポンス

- 書き込みコマンドレスポンス:

```
OK
```

- 読み取りコマンドレスポンス:

```
+CGBR=<baudrate>
```

```
OK
```

否定レスポンス

サポートされないボーレート値を設定したときのエラーとして以下のエラー応答が返ってきます。

ERROR

- コマンド例

- ・ ボーレートを設定するコマンド例です。

Set command	AT+CGBR=9600
Response	OK

この例では、ボーレートを 9600 bps に設定しています。

- ・ 現在のボーレート設定の読み取りコマンド例です。

Query command	AT+CGBR?
Response	+CGBR=9600 OK

この応答は、現在のボーレートが 9600 bps に設定されていることを示しています。

9.2 AT+RMAXTXP / Restriction of MAX Transmitting Power

AT+ RMAXTXP コマンドは、モジュールの最大送信電力の制限を設定または取得します。

- コマンド詳説

このコマンドでは、設定の書き込みおよび読み取りを行うことができます。書き込みコマンドが正常に実行された場合、「OK」という応答が返されます。読み出しコマンドが正常に実行された場合、文字列形式で最大送信電力設定が返されます。

成功した場合、「+」から始まるコマンド文字列に「=」が続き、最大送信電力設定文字列が返されます。さらに改行コードの後に「OK」という応答が続きます。

一方、コマンドの実行中にエラーが発生した場合、「ERROR」という応答が返されます。エラーの原因としては、無効なパラメータ値の指定が考えられます。

新しい最大送信電力設定はコマンド実行後に即座に反映されます。送信電力の制御は、電力消費の最適化、干渉の軽減、規制要件の遵守など、様々な目的で役割を果たします。日本国内での使用を前提とした場合、電波法による規制により、920MHz帯を使用するLoRa デバイスの場合、最大送信電力は20mW (13dBm) 以下と定められています。したがって、日本国内での使用では、AT+RMAXTXP コマンドで設定する値は13dBmを超えないようにする必要があります。一方、日本以外の国や地域では、異なる規制が適用される可能性があります。例えば、欧州では最大送信電力が16dBm、米国では30dBmまで許可されている場合があります。国外で使用する場合、使用地域に応じて適切な送信電力を設定することが必要です。本モジュールでは後述するプリセットコマンドによって特定の地域や用途に合わせて最適化された設定を簡単に適用できるようになっています。例えば、「日本向けプリセット」を選択すると、自動的に送信電力の上限が13dBmに設定されます。(本モジュールは国際的なカバレッジで各国の周波数レンジや、周波数プリセットに対応していますが、実際に使用するためには、それぞれの国での認証や登録など各国法令の基準に従う必要があります。

※本製品、ならびに、本ドキュメントにおいては、日本国外での利用のサポートは行っておりません。)

- 文法

- ◆ 書き込みコマンド

```
AT+RMAXTXP=<power>
```

- ◆ 読み取りコマンド

```
AT+RMAXTXP?
```

- ◆ パラメータ

<power>:送信電力として0~22dBmの整数値の中から選択できます。(default:13 dBm)

◆ レスポンス

肯定レスポンス

- ・書き込みコマンド応答：

OK

- ・読み取りコマンド応答：

+RMAXTXP=<power> OK

否定レスポンス

サポートされない値を設定したときのエラーとして以下のエラー応答が返ってきます。

ERROR

● コマンド例

- ・最大送信電力を設定するコマンド例です。

Set command	AT+RMAXTXP=13
Response	OK

この例では、送信電力の制限を 13dBm に設定しています。

- ・現在の送信パワーの読み取りコマンド例です。

Query command	AT+RMAXTXP?
Response	+RMAXTXP=13 OK

この応答は、現在の送信電力の制限が 13dBm に設定されていることを示しています。

9.3 AT+RCARSEN / Restriction of Carrier Sense

AT+RCARSEN コマンドは、送信時のキャリアセンス監視時間とキャリアセンスレベルを設定または取得します。

- コマンド詳説

このコマンドでは、キャリアセンス監視時間とキャリアセンスレベルの2つのパラメータ設定の書き込みおよび読み取りを行うことができます。書き込みコマンドが正常に実行された場合、「OK」という応答が返されます。読み出しコマンドが正常に実行された場合、文字列形式でキャリアセンス監視時間およびキャリアセンスレベル設定が返されます。

成功した場合、「+」から始まるコマンド文字列に「=」が続き、キャリアセンス監視時間およびキャリアセンスレベル設定文字列が返されます。さらに改行コードの後に「OK」という応答が続きます。

一方、コマンドの実行中にエラーが発生した場合、「ERROR」という応答が返されます。エラーの原因としては、無効なパラメータ値の指定が考えられます。

キャリアセンス監視時間は、モジュールが送信を開始する前に、チャンネルの空き状態を確認する時間の長さを指します。この時間が長いほど、他のモジュールの信号を検出する確率が高くなりますが、その分、送信開始までの遅延も大きくなります。キャリアセンスレベルは、チャンネルが「使用中」と判断する信号強度の閾値を指します。この値を低く設定すると、より弱い信号も検出できるようになりますが、過敏に反応して送信機会を逃す可能性も高くなります。逆に高く設定すると、強い信号のみを検出するようになり、混信のリスクが高まる可能性があります。キャリアセンスは、日本の電波法において920MHz帯を使用するモジュールに対して、キャリアセンスの実施が義務付けられており、具体的には、送信直前に5ms以上のキャリアセンスを行い、-80dBm以上の信号を検出した場合は送信を行わないことが定められています。国際的に使用する場合、使用地域に応じて適切なキャリアセンス設定をすることが必要です。本モジュールでは後述するプリセットコマンドによって特定の地域や用途に合わせて最適化された設定を簡単に適用できるようになっています。「日本向けプリセット」を選択すると、自動的にキャリアセンス監視時間が5ms、キャリアセンスレベルが-80dBmに設定されます。(※本製品、ならびに、本ドキュメントにおいては、日本国外での利用のサポートは行っておりません。)

- 文法

- ◆ 書き込みコマンド

```
AT+RCARSEN=<time>,<level>
```

- ◆ 読み取りコマンド

```
AT+RCARSEN?
```

◆ パラメータ

<time>: 送信前のキャリアセンス監視時間として 0~255ms の整数値の中から選択できます。(default: 5 ms)

<level>: 送信前のキャリアセンス判定電力レベルとして-255~0dBm のマイナス記号を除いた整数値の中から選択できます。(default: -80 dBm)

◆ レスポンス

肯定レスポンス

- ・書き込みコマンドレスポンス:

OK

- ・読み取りコマンドレスポンス:

+CGBR=<baudrate>

OK

否定レスポンス

サポートされない値を設定したときのエラーとして以下のエラー応答が返ってきます。

ERROR

● コマンド例

- ・キャリアセンス監視時間とキャリアセンスレベルを設定するコマンド例です。

Set command	AT+RCARSEN=5,80
Response	OK

この例では、キャリアセンス監視時間を 5ms、キャリアセンスレベルを-80dBm に設定しています。

- ・現在のキャリアセンス監視時間とキャリアセンスレベルの読み取りコマンド例です。

Query command	AT+RCARSEN?
Response	+RCARSEN=5,80 OK

この応答は、現在のキャリアセンス監視時間が 5ms、キャリアセンスレベルが-80dBm に設定されていることを示しています。

9.4 AT+RPAUSETIME / Restriction of Pause Time

AT+RPAUSETIME コマンドは、送信後の送信休止時間を設定または取得します。

- コマンド詳説

このコマンドでは、設定の書き込みおよび読み取りを行うことができます。書き込みコマンドが正常に実行された場合、「OK」という応答が返されます。読み出しコマンドが正常に実行された場合、文字列形式で送信休止時間設定が返されます。

成功した場合、「+」から始まるコマンド文字列に「=」が続き、送信休止時間設定文字列が返されます。さらに改行コードの後に「OK」という応答が続きます。

一方、コマンドの実行中にエラーが発生した場合、「ERROR」という応答が返されます。エラーの原因としては、無効なパラメータ値の指定が考えられます。

送信休止時間を設けることで、同じ周波数帯を使用する他のモジュールにも送信の機会を与えることができます。これにより、周波数資源の公平な利用が促進されます。また、連続的な送信は、他のモジュールへの干渉リスクを高める可能性があります。適切な休止時間を設けることで、このリスクを軽減できます。送信休止時間は、日本の電波法において 920MHz 帯を使用するモジュールに対して、休止時間 50ms が設けられています。国際的に使用する場合、使用地域に応じて適切な送信休止時間を設定することが必要です。本モジュールでは後述するプリセットコマンドによって特定の地域や用途に合わせて最適化された設定を簡単に適用できるようになっています。例えば、「日本向けプリセット」を選択すると、自動的に送信休止時間が 50ms に設定されます。

※本製品、ならびに、本ドキュメントにおいては、日本国外での利用のサポートは行っておりません。）

- 文法

- ◆ 書き込みコマンド

```
AT+RPAUSETIME=<time>
```

- ◆ 読み取りコマンド

```
AT+RPAUSETIME?
```

- ◆ パラメータ

<time>: 送信後の送信休止時間として 0~255ms の整数値の中から選択できます。
(default: 50 ms)

- ◆ レスポンス

肯定レスポンス

・書き込みコマンドレスポンス:

```
OK
```

・読み取りコマンドレスポンス：

+RPAUSETIME=<time>
OK

否定レスポンス

サポートされない値を設定したときのエラーとして以下のエラー応答が返ってきます。

ERROR

● コマンド例

・送信休止時間を設定するコマンド例です。

Set command	AT+RPAUSETIME=50
Response	OK

この例では、送信休止時間を 50ms に設定しています。

・現在の送信休止時間の読み取りコマンド例です。

Query command	AT+RPAUSETIME?
Response	+RPAUSETIME=50 OK

この応答は、現在の送信休止時間が 50ms に設定されていることを示しています。

9.5 AT+CTXP / Configuration of Transmitting Power

AT+CTXP コマンドは、モジュールの送信電力を設定または取得します。

- コマンド詳説

このコマンドでは、設定の書き込みおよび読み取りを行うことができます。書き込みコマンドが正常に実行された場合、「OK」という応答が返されます。読み出しコマンドが正常に実行された場合、文字列形式で送信電力設定が返されます。

成功した場合、「+」から始まるコマンド文字列に「=」が続き、送信電力設定文字列が返されます。さらに改行コードの後に「OK」という応答が続きます。

一方、コマンドの実行中にエラーが発生した場合、「ERROR」という応答が返されます。エラーの原因としては、無効なパラメータ値の指定が考えられます。送信出力の設定は、日本の電波法において 920MHz 帯を使用するモジュールの場合、最大送信出力は 20mW (13dBm) 以下と定められています。本モジュールの最大送信出力設定は AT+RMAXTP コマンドにて設定されており、AT+CTXP コマンドでこの上限を超えた値を設定しようとした場合、エラー応答が返ります。送信出力は通信可能な距離に直接影響します。高い出力設定では長距離通信が可能になりますが、電力消費が大きくなるため、バッテリー駆動のデバイスでは、必要最小限の出力設定を行うことで、バッテリー寿命を延ばすことができます。また、都市部や障害物が多い環境では、より高い出力が必要になる場合があります。一方、見通しの良い環境では、比較的低い出力でも十分な通信が可能かもしれません。また、アプリケーションの要件によって、データの重要性や更新頻度に応じた適切な出力を設定することも大切です。重要なデータや頻繁な更新が必要な場合は、より安定した通信のためにやや高めの出力設定が必要かもしれません。

- 文法

- ◆ 書き込みコマンド

```
AT+CTXP=<power>
```

- ◆ 読み取りコマンド

```
AT+CTXP?
```

- ◆ パラメータ

<power>: 送信電力として 0~22dBm の整数値の中から選択できます。送信電力上限から範囲外の場合はエラー応答が返ります。(default: 13 dBm)

- ◆ レスポンス

肯定レスポンス

- ・書き込みコマンドレスポンス:

```
OK
```

- ・読み取りコマンドレスポンス：

```
+CTXP=<power>
OK
```

否定レスポンス

サポートされない値を設定したときのエラーとして以下のエラー応答が返ってきます。

```
ERROR
```

- コマンド例

- ・送信電力を設定するコマンド例です。

Set command	AT+CTXP=13
Response	OK

この例では、送信電力を 13dBm に設定しています。

- ・現在の送信電力の読み取りコマンド例です。

Query command	AT+CTXP?
Response	+CTXP=13 OK

この応答は、現在の送信電力が 13dBm に設定されていることを示しています。

9.6 AT+CDEVEUI / Configuration of DeviceEUI

AT+CDEVEUI コマンドは、LoRaWAN デバイスの DeviceEUI を設定または取得するために使用します。DeviceEUI は、LoRaWAN ネットワーク内でデバイスを一意に識別するための 64 ビット（8 バイト）の識別子です。これは、イーサネットデバイスの MAC アドレスに似た役割を果たします。

- コマンド詳説

このコマンドでは、設定の書き込みおよび読み取りを行うことができます。書き込みコマンドが正常に実行された場合、「OK」という応答が返されます。読み出しコマンドが正常に実行された場合、文字列形式で DeviceEUI 設定が返されます。

成功した場合、「+」から始まるコマンド文字列に「=」が続き、DeviceEUI 設定文字列が返されます。さらに改行コードの後に「OK」という応答が続きます。一方、コマンドの実行中にエラーが発生した場合、「ERROR」という応答が返されます。エラーの原因としては、無効なパラメータ値の指定が考えられます。

LoRaWAN で使用される DeviceEUI は通常 16 進数形式で表現される 8 バイトの値です。設定する DeviceEUI は、LoRaWAN ネットワーク内で一意である必要があります。重複した DeviceEUI を使用すると、ネットワーク接続や通信に問題が生じる可能性があります。DeviceEUI を変更した場合、LoRaWAN ネットワークサーバ側でも対応する更新が必要となります。

- 文法

- ◆ 書き込みコマンド

```
AT+CDEVEUI=<value>
```

- ◆ 読み取りコマンド

```
AT+CDEVEUI?
```

- ◆ パラメータ

<value>: 8byte 長の識別子を 16 進数表記の文字列で指定します。

- ◆ レスポンス

肯定レスポンス

・書き込みコマンドレスポンス：

```
OK
```

・読み取りコマンドレスポンス：

```
+CDEVEUI=<value>
```

```
OK
```

否定レスポンス

サポートされない値を設定したときのエラーとして以下のエラー応答が返ってきます。

ERROR

● コマンド例

- ・ DeviceEUI を設定するコマンド例です。

Set command	AT+CDEVEUI=1000000000000001
Response	OK

この例では、DeviceEUI を 0x1000000000000001 に設定しています。

- ・ 現在の DeviceEUI の読み取りコマンド例です。

Query command	AT+CDEVEUI?
Response	+CDEVEUI=1000000000000001 OK

この応答は、現在の DeviceEUI が 0x1000000000000001 に設定されていることを示しています。

9.7 AT+CJOINMODE / Configuration of JOIN Mode

AT+CJOINMODE コマンドは、LoRaWAN デバイスのネットワーク参加 (JOIN) モードを設定または取得するために使用します。

- コマンド詳説

このコマンドでは、設定の書き込みおよび読み取りを行うことができます。書き込みコマンドが正常に実行された場合、「OK」という応答が返されます。読み出しコマンドが正常に実行された場合、JOIN モード設定値が返されます。

成功した場合、「+」から始まるコマンド文字列に「=」が続き、JOIN モード設定値が返されます。さらに改行コードの後に「OK」という応答が続きます。一方、コマンドの実行中にエラーが発生した場合、「ERROR」という応答が返されます。エラーの原因としては、無効なパラメータ値の指定が考えられます。

LoRaWAN のゲートウェイ接続を行い、LoRaWAN ネットワークへ参加するには、次の2つの接続方式のいずれかを選択し、参加処理を行います。

1. OTAA (Over-The-Air Activation)
2. ABP (Activation By Personalization)

AT+CJOINMODE コマンドを使用することで、これらの接続方式を切り替えることができます。

- 文法

- ◆ 書き込みコマンド

```
AT+CJOINMODE=<mode>
```

- ◆ 読み取りコマンド

```
AT+CJOINMODE?
```

- ◆ パラメータ

<mode>: JOIN モードの設定値として以下の選択ができます。

- 0 : OTAA (default)
- 1 : ABP

- ◆ レスポンス

肯定レスポンス

- ・書き込みコマンドレスポンス：

```
OK
```

- ・読み取りコマンドレスポンス：

```
+CJOINMODE=<mode>
```

OK

否定レスポンス

サポートされない値を設定したときのエラーとして以下のエラー応答が返ってきます。

ERROR

- コマンド例

- ・ JOIN モードを設定するコマンド例です。

Set command	AT+CJOINMODE=0
Response	OK

この例では、JOIN モードを OTAA に設定しています。

- ・ 現在の JOIN モードの読み取りコマンド例です。

Query command	AT+CJOINMODE?
Response	+CJOINMODE=0 OK

この応答は、現在の JOIN モードが OTAA に設定されていることを示しています。

9.8 AT+CAPPEUI / Configuration of Application EUI

AT+CAPPEUI コマンドは、LoRaWAN デバイスの Application EUI を設定または取得するために使用します。Application EUI は LoRaWAN ネットワークにおいてアプリケーションを一意に識別するための 64 ビット(8 バイト)の識別子です。

- コマンド詳説

このコマンドでは、設定の書き込みおよび読み取りを行うことができます。書き込みコマンドが正常に実行された場合、「OK」という応答が返されます。読み出しコマンドが正常に実行された場合、文字列形式で Application EUI 設定が返されます。

成功した場合、「+」から始まるコマンド文字列に「=」が続き、Application EUI 設定文字列が返されます。さらに改行コードの後に「OK」という応答が続きます。一方、コマンドの実行中にエラーが発生した場合、「ERROR」という応答が返されます。エラーの原因としては、無効なパラメータ値の指定が考えられます。

- 文法

- ◆ 書き込みコマンド

```
AT+CAPPEUI=<value>
```

- ◆ 読み取りコマンド

```
AT+CAPPEUI?
```

- ◆ パラメータ

<value>: 8byte 長の識別子を 16 進数表記の文字列で指定します。

- ◆ レスポンス

肯定レスポンス

・書き込みコマンドレスポンス:

```
OK
```

・読み取りコマンドレスポンス:

```
+CAPPEUI=<value>
```

```
OK
```

否定レスポンス

サポートされない値を設定したときのエラーとして以下のエラー応答が返ってきます。

```
ERROR
```

- コマンド例

・ Application EUI を設定するコマンド例です。

Set command	AT+CAPPEUI=0000000000000000
Response	OK

この例では、Application EUI を 0x0000000000000000 に設定しています。

・現在の Application EUI の読み取りコマンド例です。

Query command	AT+CAPPEUI?
Response	+CAPPEUI=0000000000000000 OK

この応答は、現在の Application EUI が 0x0000000000000000 に設定されていることを示しています。

9.9 AT+CAPPKEY / Configuration of Application Key

AT+CAPPKEY コマンドは、LoRaWAN デバイスの Application Key を設定または取得するために使用します。Application Key は LoRaWAN ネットワークのセキュリティにおいて中心的な役割を果たす 128 ビット(16 バイト)の暗号鍵です。

- コマンド詳説

このコマンドでは、設定の書き込みおよび読み取りを行うことができます。書き込みコマンドが正常に実行された場合、「OK」という応答が返されます。読み出しコマンドが正常に実行された場合、文字列形式で Application Key 設定が返されます。

成功した場合、「+」から始まるコマンド文字列に「=」が続き、Application Key 設定文字列が返されます。さらに改行コードの後に「OK」という応答が続きます。一方、コマンドの実行中にエラーが発生した場合、「ERROR」という応答が返されます。エラーの原因としては、無効なパラメータ値の指定が考えられます。

- 文法

- ◆ 書き込みコマンド

```
AT+CAPPKEY=<value>
```

- ◆ 読み取りコマンド

```
AT+CAPPKEY?
```

- ◆ パラメータ

<value>: 16byte 長の暗号鍵を 16 進数表記の文字列で指定します。

- ◆ レスポンス

肯定レスポンス

・書き込みコマンドレスポンス：

```
OK
```

・読み取りコマンドレスポンス：

```
+CAPPKEY=<value>
```

```
OK
```

否定レスポンス

サポートされない値を設定したときのエラーとして以下のエラー応答が返ってきます。

```
ERROR
```

- コマンド例

・ Application Key を設定するコマンド例です。

Set command	AT+CAPPKEY=2000000000000000000000000000000001
Response	OK

この例では、Application Key を 0x20000000000000000000000000000001 に設定しています。

- ・現在の Application Key の読み取りコマンド例です。

Query command	AT+CAPPKEY?
Response	+CAPPKEY=20000000000000000000000000000001 OK

この応答は、現在の Application Key が 0x20000000000000000000000000000001 に設定されていることを示しています。

9.10 AT+CDEVADDR / Configuration of Device Address

AT+CDEVADDR コマンドは、LoRaWAN デバイスの Device Address を設定または取得するために使用します。Device Address は LoRaWAN ネットワーク内でデバイスを識別するための 32 ビット(4 バイト)のアドレスです。

- コマンド詳説

このコマンドでは、設定の書き込みおよび読み取りを行うことができます。書き込みコマンドが正常に実行された場合、「OK」という応答が返されます。読み出しコマンドが正常に実行された場合、文字列形式で Device Address 設定が返されます。

成功した場合、「+」から始まるコマンド文字列に「=」が続き、Device Address 設定文字列が返されます。さらに改行コードの後に「OK」という応答が続きます。一方、コマンドの実行中にエラーが発生した場合、「ERROR」という応答が返されます。エラーの原因としては、無効なパラメータ値の指定が考えられます。

- 文法

- ◆ 書き込みコマンド

```
AT+CDEVADDR=<value>
```

- ◆ 読み取りコマンド

```
AT+CDEVADDR?
```

- ◆ パラメータ

<value>: 4byte 長の Device Address を 16 進数表記の文字列で指定します。

- ◆ レスポンス

肯定レスポンス

・書き込みコマンドレスポンス：

```
OK
```

・読み取りコマンドレスポンス：

```
+CDEVADDR=<value>
```

```
OK
```

否定レスポンス

サポートされない値を設定したときのエラーとして以下のエラー応答が返ってきます。

```
ERROR
```

-

- コマンド例

- ・ Device Address を設定するコマンド例です。

Set command	AT+CDEVADDR=007E6AE1
Response	OK

この例では、Device Address を **0x007E6AE1** に設定しています。

- ・ 現在の Device Address の読み取りコマンド例です。

Query command	AT+CDEVADDR?
Response	+CDEVADDR=007E6AE1 OK

この応答は、現在の Device Address が **0x007E6AE1** に設定されていることを示しています。

9.11 AT+CAPPSKEY / Configuration of Application Session Key

AT+CAPPSKEY コマンドは、LoRaWAN デバイスの Application Session Key を設定または取得するために使用します。Application Session Key は LoRaWAN ネットワークにおけるエンド・ツー・エンドの暗号化に使用される 128 ビット(16 バイト)の共通鍵です。

- コマンド詳説

このコマンドでは、設定の書き込みおよび読み取りを行うことができます。書き込みコマンドが正常に実行された場合、「OK」という応答が返されます。読み出しコマンドが正常に実行された場合、文字列形式で Application Session Key 設定が返されます。

成功した場合、「+」から始まるコマンド文字列に「=」が続き、Application Session Key 設定文字列が返されます。さらに改行コードの後に「OK」という応答が続きます。一方、コマンドの実行中にエラーが発生した場合、「ERROR」という応答が返されます。エラーの原因としては、無効なパラメータ値の指定が考えられます。

- 文法

- ◆ 書き込みコマンド

```
AT+CAPPSKEY=<value>
```

- ◆ 読み取りコマンド

```
AT+CAPPSKEY?
```

- ◆ パラメータ

<value>: 16byte 長の Application Session Key を 16 進数表記の文字列で指定します。

- ◆ レスポンス

肯定レスポンス

・書き込みコマンドレスポンス：

```
OK
```

・読み取りコマンドレスポンス：

```
+CAPPSKEY=<value>
```

```
OK
```

否定レスポンス

サポートされない値を設定したときのエラーとして以下のエラー応答が返ってきます。

```
ERROR
```

-

- コマンド例

- ・ Application Session Key を設定するコマンド例です。

Set command	AT+CAPPSKEY=15B1D0EFA463DFBE3D11181E1EC7DA85
Response	OK

この例では、Application Session Key を 0x15B1D0EFA463DFBE3D11181E1EC7DA85 に設定しています。

- ・ 現在の Application Session Key の読み取りコマンド例です。

Query command	AT+CAPPSKEY?
Response	+CAPPSKEY=15B1D0EFA463DFBE3D11181E1EC7DA85 OK

この応答は、現在の Application Session Key が 0x15B1D0EFA463DFBE3D11181E1EC7DA85 に設定されていることを示しています。

9.12 AT+CNWKSKEY / Configuration of Network Session Key

AT+CNWKSKEY コマンドは、LoRaWAN デバイスの Network Session Key を設定または取得するために使用します。Network Session Key は LoRaWAN ネットワークにおけるネットワークレベルのセキュリティを確保するための 128 ビット(16 バイト)の共通鍵です。

- コマンド詳説

このコマンドでは、設定の書き込みおよび読み取りを行うことができます。書き込みコマンドが正常に実行された場合、「OK」という応答が返されます。読み出しコマンドが正常に実行された場合、文字列形式で Network Session Key 設定が返されます。

成功した場合、「+」から始まるコマンド文字列に「=」が続き、Network Session Key 設定文字列が返されます。さらに改行コードの後に「OK」という応答が続きます。一方、コマンドの実行中にエラーが発生した場合、「ERROR」という応答が返されます。エラーの原因としては、無効なパラメータ値の指定が考えられます。

- 文法

- ◆ 書き込みコマンド

```
AT+CNWKSKEY=<value>
```

- ◆ 読み取りコマンド

```
AT+CNWKSKEY?
```

- ◆ パラメータ

<value>: 16byte 長の Network Session Key を 16 進数表記の文字列で指定します。

- ◆ レスポンス

肯定レスポンス

・書き込みコマンドレスポンス:

```
OK
```

・読み取りコマンドレスポンス:

```
+CNWKSKEY=<value>
```

```
OK
```

否定レスポンス

サポートされない値を設定したときのエラーとして以下のエラー応答が返ってきます。

```
ERROR
```

-

- コマンド例

- ・ Network Session Key を設定するコマンド例です。

Set command	AT+CNWKSKEY=D72C78758CDCCABF55EE4A778D16EF67
Response	OK

この例では、Network Session Key を 0xD72C78758CDCCABF55EE4A778D16EF67 に設定しています。

- ・ 現在の Network Session Key の読み取りコマンド例です。

Query command	AT+CNWKSKEY?
Response	+CNWKSKEY=D72C78758CDCCABF55EE4A778D16EF67 OK

この応答は、現在の Network Session Key が 0xD72C78758CDCCABF55EE4A778D16EF67 に設定されていることを示しています。

9.13 AT+CULDLMODE / Configuration of Uplink Downlink Mode

AT+CULDLMODE コマンドは、LoRaWAN デバイスの Uplink (アップリンク) と Downlink (ダウンリンク) で使用する周波数を設定または取得するために使用します。このコマンドはアップリンクとダウンリンクで同じ周波数を使用するか、異なる周波数を使用するかを設定または確認することができます。

- コマンド詳説

このコマンドでは、設定の書き込みおよび読み取りを行うことができます。書き込みコマンドが正常に実行された場合、「OK」という応答が返されます。読み出しコマンドが正常に実行された場合、設定値が返されます。

成功した場合、「+」から始まるコマンド文字列に「=」が続き、設定値が返されます。さらに改行コードの後に「OK」という応答が続きます。一方、コマンドの実行中にエラーが発生した場合、「ERROR」という応答が返されます。エラーの原因としては、無効なパラメータ値の指定が考えられます。

- 文法

- ◆ 書き込みコマンド

```
AT+CULDLMODE=<mode>
```

- ◆ 読み取りコマンド

```
AT+CULDLMODE?
```

- ◆ パラメータ

<mode>: アップリンクとダウンリンクの周波数設定として以下の選択ができます。

1 : Same frequency mode (default)

2 : Different frequency mode

- ◆ レスポンス

肯定レスポンス

・書き込みコマンドレスポンス :

```
OK
```

・読み取りコマンドレスポンス :

```
+CULDLMODE=<mode>
```

```
OK
```

否定レスポンス

サポートされない値を設定したときのエラーとして以下のエラー応答が返ってきます。

```
ERROR
```

- コマンド例

- ・ アップリンクとダウンリンクの周波数を設定するコマンド例です。

Set command	AT+CULDLMODE=1
Response	OK

この例では、アップリンクとダウンリンクで同一の周波数に設定しています。

- ・ 現在のアップリンクとダウンリンクの周波数設定の読み取りコマンド例です。

Query command	AT+CULDLMODE?
Response	+CULDLMODE=1 OK

この応答は、現在のアップリンクとダウンリンクの周波数設定が同一周波数に設定されていることを示しています。

9.14 AT+CCLASS / Configuration of Class

AT+CCLASS コマンドは、LoRaWAN デバイスの動作クラスを設定または取得するために使用します。LoRaWAN プロトコルでは、デバイスの動作特性を定義するために異なるクラス (A、B、C) が規定されており、このコマンドによってデバイスのクラスを制御することができます。

- コマンド詳説

このコマンドでは、設定の書き込みおよび読み取りを行うことができます。書き込みコマンドが正常に実行された場合、「OK」という応答が返されます。読み出しコマンドが正常に実行された場合、設定値が返されます。

成功した場合、「+」から始まるコマンド文字列に「=」が続き、設定値が返されます。さらに改行コードの後に「OK」という応答が続きます。一方、コマンドの実行中にエラーが発生した場合、「ERROR」という応答が返されます。エラーの原因としては、無効なパラメータ値の指定が考えられます。

- 文法

- ◆ 書き込みコマンド

```
AT+CCLASS=<class>
```

- ◆ 読み取りコマンド

```
AT+CCLASS?
```

- ◆ パラメータ

<class>: クラス設定として以下の選択ができます。

0 : Class A (default)

2 : Class C

- ◆ レスポンス

肯定レスポンス

・書き込みコマンドレスポンス :

```
OK
```

・読み取りコマンドレスポンス :

```
+CCLASS=<class>
```

```
OK
```

否定レスポンス

サポートされない値を設定したときのエラーとして以下のエラー応答が返ってきます。

```
ERROR
```

● コマンド例

- ・ クラスを設定するコマンド例です。

Set command	AT+CCLASS=0
Response	OK

この例では、クラスを Class A に設定しています。

- ・ 現在のクラス設定の読み取りコマンド例です。

Query command	AT+CCLASS?
Response	+CCLASS=0 OK

この応答は、現在のクラスが Class A に設定されていることを示しています。

9.15 AT+DULSTAT / Uplink result Status

AT+CSTATUS コマンドは、LoRaWAN デバイスの現在の状態や動作状況を確認するために使用します。このコマンドを使用することで、デバイスの動作状況やネットワーク接続状態を把握することができます。

- コマンド詳説

このコマンドでは、動作状況の読み取りのみ行うことができます。読み出しコマンドが正常に実行された場合、動作状況のステータス値が返されます。

成功した場合、「+」から始まるコマンド文字列に「=」が続き、ステータス値が返されます。さらに改行コードの後に「OK」という応答が続きます。一方、コマンドの実行中にエラーが発生した場合、「ERROR」という応答が返されます。エラーの原因としては、無効なパラメータ値の指定が考えられます。

- 文法

- ◆ 読み取りコマンド

```
AT+DULSTAT?
```

- ◆ パラメータ

<status> : ステータス値として以下の状態が応答されます。

00 : no data operation

01 : data sending

02 : data sending failed

03 : Data sent successfully

04 : JOIN succeeded (only in the first JOIN process)

05 : JOIN fails (only during the first JOIN process)

06 : The network may be abnormal (Link Check result)

07 : Send data successfully, no downlink

08 : Send data successfully, there is downlink

- ◆ レスポンス

肯定レスポンス

・読み取りコマンドレスポンス :

```
+DULSTAT=<status>
```

```
OK
```

否定レスポンス

サポートされない値を設定したときのエラーとして以下のエラー応答が返ってきます。

```
ERROR
```

- コマンド例
 - ・現在のステータスの読み取りコマンド例です。

Query command	AT+DULSTAT?
Response	+DULSTAT=04 OK

この応答は、現在のステータスは LoRaWAN ネットワークへの JOIN が成功したことを示しています。

9.16 AT+RREGION / Restriction of Region

AT+RREGION コマンドは、LoRaWAN デバイスのリージョン設定をプリセット制御するために使用します。このコマンドを使用することで、デバイスが動作する地域の周波数帯や規制要件に合わせて設定を行うことができます。

- コマンド詳説

このコマンドでは、設定の書き込みおよび読み取りを行うことができます。書き込みコマンドが正常に実行された場合、「OK」という応答が返されます。読み出しコマンドが正常に実行された場合、設定値が返されます。

成功した場合、「+」から始まるコマンド文字列に「=」が続き、設定値が返されます。さらに改行コードの後に「OK」という応答が続きます。一方、コマンドの実行中にエラーが発生した場合、「ERROR」という応答が返されます。エラーの原因としては、無効なパラメータ値の指定が考えられます。

- 文法

- ◆ 書き込みコマンド

```
AT+RREGION=<preset>
```

- ◆ 読み取りコマンド

```
AT+RREGION?
```

- ◆ パラメータ

<preset>: プリセット設定として以下の選択ができます。読み出した際はリージョン番号のプリセット値と比較し、値が異なる場合は 255 (Undefined)を返します。

0 : EU868

1 : US915

2 : AS923-1-JP (default)

3 : AS923-1

4 : AS923-2

5 : AS923-2-ID

255 : Undefined

プリセットごとに、以下のコマンドが実行されたのと同じになります。

EU868 :

```
AT+RMAXTXP=13
```

```
AT+RCARRSEN=5,80
```

```
AT+RPAUSETIME=50
```

US915 :

```
AT+RMAXTXP=22
AT+RCARRSEN=5,80
AT+RPAUSETIME=50
```

AS923-1 :

```
AT+RMAXTXP=13
AT+RCARRSEN=5,80
AT+RPAUSETIME=50
```

AS923-1-JP : 日本国内では、これを指定する必要があります

```
AT+RMAXTXP=13
AT+RCARRSEN=5,80
AT+RPAUSETIME=50
```

AS923-2 :

```
AT+RMAXTXP=13
AT+RCARRSEN=5,80
AT+RPAUSETIME=50
```

AS923-2-ID :

```
AT+RMAXTXP=13
AT+RCARRSEN=5,80
AT+RPAUSETIME=50
```

◆ レスポンス

肯定レスポンス

・書き込みコマンドレスポンス :

```
OK
```

・読み取りコマンドレスポンス :

```
+RREGION=<preset>
OK
```

否定レスポンス

サポートされない値を設定したときのエラーとして以下のエラー応答が返ってきます。

```
ERROR
```

● コマンド例

・リージョン設定を設定するコマンド例です。

Set command	AT+RREGION=2
Response	OK

この例では、リージョン設定を AS923-1-JP に設定しています。

・現在のリージョン設定の読み取りコマンド例です。

Query command	AT+RREGION?
Response	+RREGION=2 OK

この応答は、現在のリージョン設定が AS923-1-JP に設定されていることを示しています。

9.17 AT+CAPPPOINT / Configuration of Application frame Port

AT+CAPPPOINT コマンドは、LoRaWAN デバイスのアプリケーションポートを設定または取得するために使用します。アプリケーションポートは、LoRaWAN プロトコルにおいてデータの種類や目的を識別するために使用される値です。

- コマンド詳説

このコマンドでは、設定の書き込みおよび読み取りを行うことができます。書き込みコマンドが正常に実行された場合、「OK」という応答が返されます。読み出しコマンドが正常に実行された場合、設定値が返されます。

成功した場合、「+」から始まるコマンド文字列に「=」が続き、設定値が返されます。さらに改行コードの後に「OK」という応答が続きます。一方、コマンドの実行中にエラーが発生した場合、「ERROR」という応答が返されます。エラーの原因としては、無効なパラメータ値の指定が考えられます。

- 文法

- ◆ 書き込みコマンド

```
AT+CAPPPOINT=<value>
```

- ◆ 読み取りコマンド

```
AT+CAPPPOINT?
```

- ◆ パラメータ

<value> : アプリケーションポート設定として 1~223 の整数値の中から選択できます。
(default: 10)

- ◆ レスポンス

肯定レスポンス

・書き込みコマンドレスポンス :

```
OK
```

・読み取りコマンドレスポンス :

```
+CAPPPOINT=<value>
```

```
OK
```

否定レスポンス

サポートされない値を設定したときのエラーとして以下のエラー応答が返ってきます。

```
ERROR
```

- コマンド例

- ・ アプリケーションポートを設定するコマンド例です。

Set command	AT+CAPPPOINT=10
Response	OK

この例では、アプリケーションポートを **10** に設定しています。

- ・ 現在のアプリケーションポート設定の読み取りコマンド例です。

Query command	AT+CAPPPOINT?
Response	+CAPPPOINT=10 OK

この応答は、現在のアプリケーションポートが **10** に設定されていることを示しています。

9.18 AT+CADR / Configuration of Adaptive Data Rate

AT+CADR コマンドは、LoRaWAN デバイスの Adaptive Data Rate (ADR) 機能を制御するために使用します。ADR は、ネットワーク条件に基づいてデバイスの通信パラメータを動的に最適化する機能です。

- コマンド詳説

このコマンドでは、設定の書き込みおよび読み取りを行うことができます。書き込みコマンドが正常に実行された場合、「OK」という応答が返されます。読み出しコマンドが正常に実行された場合、設定値が返されます。

成功した場合、「+」から始まるコマンド文字列に「=」が続き、設定値が返されます。さらに改行コードの後に「OK」という応答が続きます。一方、コマンドの実行中にエラーが発生した場合、「ERROR」という応答が返されます。エラーの原因としては、無効なパラメータ値の指定が考えられます。

- 文法

- ◆ 書き込みコマンド

```
AT+CADR=<value>
```

- ◆ 読み取りコマンド

```
AT+CADR?
```

- ◆ パラメータ

<value> : ADR の設定として以下の選択ができます。

0 : Turn off ADR

1 : Turn on ADR (default)

- ◆ レスポンス

肯定レスポンス

・書き込みコマンドレスポンス :

```
OK
```

・読み取りコマンドレスポンス :

```
AT+CADR=<value>
```

```
OK
```

否定レスポンス

サポートされない値を設定したときのエラーとして以下のエラー応答が返ってきます。

```
ERROR
```

● コマンド例

- ・ ADR を設定するコマンド例です。

Set command	AT+CADR=1
Response	OK

この例では、ADR を有効に設定しています。

- ・ 現在の ADR 設定の読み取りコマンド例です。

Query command	AT+CADR?
Response	+CADR=1 OK

この応答は、現在の ADR は有効に設定されていることを示しています。

9.19 AT+CRXP / Configuration of Receive window Parameter

AT+CRXP コマンドは、LoRaWAN デバイスの受信パラメータ (Receive Parameters) を設定または取得するために使用します。このコマンドは、デバイスのダウンリンク受信窓の設定を制御します。

- コマンド詳説

このコマンドでは、受信窓 1 (RX1) のデータレートオフセットと受信窓 2 (RX2) のデータレート、受信窓 2 (RX2) の周波数の 3 つのパラメータ設定の書き込みおよび読み取りを行うことができます。書き込みコマンドが正常に実行された場合、「OK」という応答が返されます。読み出しコマンドが正常に実行された場合、文字列形式で設定値が返されます。

成功した場合、「+」から始まるコマンド文字列に「=」が続き、設定値が返されます。さらに改行コードの後に「OK」という応答が続きます。一方、コマンドの実行中にエラーが発生した場合、「ERROR」という応答が返されます。エラーの原因としては、無効なパラメータ値の指定が考えられます。

- 文法

- ◆ 書き込みコマンド

```
AT+CRXP=<RX1DRoffest>,<RX2DataRate>,<RX2Frequency>
```

- ◆ 読み取りコマンド

```
AT+CRXP?
```

- ◆ パラメータ

<RX1DRoffest> : アップリンクデータレートに対するダウンリンクデータレートのオフセットを指定し、0~5 の整数値の中から選択できます。(default: 0)

<RX2DataRate> : 受信窓 2 (RX2) のデータレートとして 0~5 の整数値の中から選択できます。(default: 2)

<RX2Frequency> : 受信窓 2 (RX2) の周波数 (Hz 単位) として整数値で設定できます。(default: 923200000)

- ◆ レスポンス

肯定レスポンス

・書き込みコマンドレスポンス :

```
OK
```

・読み取りコマンドレスポンス :

```
+CRXP=<RX1DRoffest>,<RX2DataRate>,<RX2Frequency>
```

```
OK
```

否定レスポンス

サポートされない値を設定したときのエラーとして以下のエラー応答が返ってきます。

ERROR

- コマンド例

- ・ 受信パラメータを設定するコマンド例です。

Set command	AT+CRXP=0,2,923200000
Response	OK

この例では、受信窓 1 (RX1) のデータレートオフセットを 0、受信窓 2 (RX2) のデータレートを 2、受信窓 2 (RX2) の周波数を 923200000Hz に設定しています。

- ・ 現在の受信パラメータ設定の読み取りコマンド例です。

Query command	AT+CRXP?
Response	+CRXP=0,2,923200000 OK

この応答は、現在の受信パラメータとして、受信窓 1 (RX1) のデータレートオフセットを 0、受信窓 2 (RX2) のデータレートを 2、受信窓 2 (RX2) の周波数を 923200000Hz に設定されていることを示しています。

9.20 AT+CSAVE / Save the Configuration Parameter

AT+CSAVE コマンドは、LoRaWAN デバイスの現在の設定を不揮発性メモリに保存するために使用します。このコマンドを実行することで、デバイスの再起動や電源切断後も設定が保持されます。

- コマンド詳説

このコマンドでは、現在の設定を不揮発性メモリに保存する機能を実行することができます。実行コマンドが正常に実行された場合、「OK」という応答が返されます。一方、コマンドの実行中にエラーが発生した場合、「ERROR」という応答が返されます。

- 文法

- ◆ 実行コマンド

AT+CSAVE

- ◆ パラメータ

このコマンドにはパラメータはありません。

- ◆ レスポンス

肯定レスポンス

・実行コマンドレスポンス：

OK

否定レスポンス

サポートされない値を設定したときのエラーとして以下のエラー応答が返ってきます。

ERROR

- コマンド例

・設定を不揮発性メモリに保存するコマンド例です。

Set command	AT+CSAVE
Response	OK

9.21 AT+CJOINDR / Configuration of JOIN Data Rate

AT+CJOINDR コマンドは、LoRaWAN デバイスの JOIN（ネットワーク参加）プロセス時に使用するデータレート（DR）を設定または取得するために使用します。

- コマンド詳説

このコマンドでは、設定の書き込みおよび読み取りを行うことができます。書き込みコマンドが正常に実行された場合、「OK」という応答が返されます。読み出しコマンドが正常に実行された場合、設定値が返されます。

成功した場合、「+」から始まるコマンド文字列に「=」が続き、設定値が返されます。さらに改行コードの後に「OK」という応答が続きます。一方、コマンドの実行中にエラーが発生した場合、「ERROR」という応答が返されます。エラーの原因としては、無効なパラメータ値の指定が考えられます。

- 文法

- ◆ 書き込みコマンド

```
AT+CJOINDR=<value>
```

- ◆ 読み取りコマンド

```
AT+CJOINDR?
```

- ◆ パラメータ

<value>：JOIN プロセス用のデータレートの設定として以下の選択ができます。

0：SF=12, BW=125kHz (default)

1：SF=11, BW=125kHz

2：SF=10, BW=125kHz

3：SF=9, BW=125kHz

4：SF=8, BW=125kHz

5：SF=7, BW=125kHz

- ◆ レスポンス

肯定レスポンス

・書き込みコマンドレスポンス：

```
OK
```

・読み取りコマンドレスポンス：

```
+CJOINDR=<value>
```

```
OK
```

否定レスポンス

サポートされない値を設定したときのエラーとして以下のエラー応答が返ってきます。

ERROR

- コマンド例

- ・ JOIN プロセス用のデータレートを設定するコマンド例です。

Set command	AT+CJOINDR=0
Response	OK

この例では、JOIN プロセス用のデータレートを SF=12, BW=125kHz に設定しています。

- ・ 現在の JOIN プロセス用のデータレート設定の読み取りコマンド例です。

Query command	AT+CJOINDR?
Response	+CJOINDR=0 OK

この応答は、現在の JOIN プロセス用のデータレートが SF=12, BW=125kHz に設定されていることを示しています。

10 AT コマンドリファレンス【通信実行コマンド】

通信実行用の AT コマンドは、AT+D で始まりますが、状態取得のために、一部は、AT+C コマンドも含まれます。それぞれ、実際のデータ送受信やネットワーク接続操作を実行するために使用する通信実行コマンドです。通常、AT+DJOIN コマンドにより LoRaWAN ネットワークへの参加 (Join) 後、AT+DTRX コマンドによりデータ送信を行います。

10.1 AT+DJOIN / Send JOIN request

AT+CJOIN コマンドは、LoRaWAN デバイスをネットワークに参加 (JOIN) させるために使用します。このコマンドは、デバイスが LoRaWAN ネットワークと通信を開始するための認証と初期化プロセスを開始します。

- コマンド詳説

このコマンドでは、JOIN プロセスの開始/停止、自動 JOIN 設定、JOIN 間隔、最大試行回数を制御することができます。書き込みコマンドが正常に実行された場合、「OK」という応答が返されます。一方、コマンドの実行中にエラーが発生した場合、「ERROR」という応答が返されます。エラーの原因としては、無効なパラメータ値の指定が考えられます。

- 文法

- ◆ 書き込みコマンド

```
AT+DJOIN=<value1>,<value2>,<value3>,<value4>
```

- ◆ パラメータ

<value1> : JOIN プロセスの制御として以下の選択ができます。

0 : stop JOIN process

1 : start JOIN process

<value2> : 自動 JOIN 設定として以下の選択ができます。

0 : Turn off automatic JOIN

1 : Turn on automatic JOIN

<value3> : JOIN 試行間隔として 7~255s の整数値の中から選択できます。

<value4> : 最大 JOIN 試行回数として 1~255 の整数値の中から選択できます。

- ◆ レスポンス

肯定レスポンス

・書き込みコマンドレスポンス :

```
OK
```

否定レスポンス

サポートされない値を設定したときのエラーとして以下のエラー応答が返ってきます。

```
ERROR
```

- コマンド例

- ・ JOIN プロセスを開始するコマンド例です。

Set command	AT+DJOIN=1,0,8,2
Response	OK

この例では、JOIN プロセスの開始、自動 JOIN 設定オフ、JOIN 間隔 8 秒、最大試行回数 2 回に設定しています。

10.2 AT+CCONFIRM / Configuration of message type (confirm or unconfirm)

AT+CCONFIRM コマンドは、LoRaWAN デバイスのメッセージ確認モードを設定または取得するために使用します。このコマンドを使用することで、デバイスが送信するアップリンクメッセージの確認 (confirmation) 要求を制御することができます。

- コマンド詳説

このコマンドでは、設定の書き込みおよび読み取りを行うことができます。書き込みコマンドが正常に実行された場合、「OK」という応答が返されます。読み出しコマンドが正常に実行された場合、設定値が返されます。

成功した場合、「+」から始まるコマンド文字列に「=」が続き、設定値が返されます。さらに改行コードの後に「OK」という応答が続きます。一方、コマンドの実行中にエラーが発生した場合、「ERROR」という応答が返されます。エラーの原因としては、無効なパラメータ値の指定が考えられます。

- 文法

- ◆ 書き込みコマンド

```
AT+CCONFIRM=<value>
```

- ◆ 読み取りコマンド

```
AT+CCONFIRM?
```

- ◆ パラメータ

<value> : メッセージ確認モードの設定として以下の選択ができます。

0 : UnConfirmed up message

1 : Confirmed up message (default)

確認応答モード (1) では、各メッセージに対してネットワークからの確認応答が要求されます。未確認モード (0) では、確認応答は要求されません。

- ◆ レスポンス

肯定レスポンス

・書き込みコマンドレスポンス :

```
OK
```

・読み取りコマンドレスポンス :

```
+CCONFIRM=<value>
```

否定レスポンス

サポートされない値を設定したときのエラーとして以下のエラー応答が返ってきます。

```
ERROR
```

- コマンド例

- ・メッセージ確認モードを設定するコマンド例です。

Set command	AT+CCONFIRM=1
Response	OK

この例では、メッセージ確認モードを確認応答モードに設定しています。

- ・現在のメッセージ確認モードの読み取りコマンド例です。

Query command	AT+CCONFIRM?
Response	+CCONFIRM=1 OK

この応答は、現在のメッセージ確認モードが確認応答モードに設定されていることを示しています。

10.3 AT+CNBTRIALS / Configuration of number of times of send

AT+CNBTRIALS コマンドは、LoRaWAN デバイスの確認メッセージ (Confirmed messages) の再送回数を設定または取得するために使用します。このコマンドは、デバイスがネットワークからの確認応答を受信できなかった場合の再送動作を制御します。

- コマンド詳説

このコマンドでは、メッセージタイプと最大再送回数の 2 つのパラメータ設定の書き込みおよび読み取りを行うことができます。書き込みコマンドが正常に実行された場合、「OK」という応答が返されます。読み出しコマンドが正常に実行された場合、文字列形式で設定が返されます。

成功した場合、「+」から始まるコマンド文字列に「=」が続き、設定文字列が返されます。さらに改行コードの後に「OK」という応答が続きます。一方、コマンドの実行中にエラーが発生した場合、「ERROR」という応答が返されます。エラーの原因としては、無効なパラメータ値の指定が考えられます。

- 文法

- ◆ 書き込みコマンド

```
AT+CNBTRIALS=<MType>,<value>
```

- ◆ 読み取りコマンド

```
AT+CNBTRIALS?
```

- ◆ パラメータ

<MType>:メッセージタイプとして以下の選択ができます。

0 : unconfirm packet

1 : confirm packet (default)

<value> : 最大再送回数として 1~15 の整数値の中から選択できます。(default: 2)

- ◆ レスポンス

肯定レスポンス

・書き込みコマンドレスポンス :

```
OK
```

・読み取りコマンドレスポンス :

```
+CNBTRIALS=<MType>,<value>
```

```
OK
```

否定レスポンス

サポートされない値を設定したときのエラーとして以下のエラー応答が返ってきます。

ERROR

- コマンド例

- ・ メッセージタイプと最大再送回数を設定するコマンド例です。

Set command	AT+CNBTRIALS=1,8
Response	OK

この例では、メッセージタイプとして確認応答タイプ、最大再送回数として 8 回に設定しています。

- ・ 現在のメッセージタイプと最大再送回数の読み取りコマンド例です。

Query command	AT+CNBTRIALS?
Response	+CNBTRIALS=1,8 OK

この応答は、現在のメッセージタイプとして確認応答タイプ、最大再送回数として 8 回に設定されていることを示しています。

10.4 AT+DTRX / Send and receive data frames

AT+DTRX コマンドは、LoRaWAN ネットワークに JOIN したあと、LoRaWAN デバイスでデータを送信するために使用します。このコマンドを使用することで、確認型/非確認型メッセージの選択、再送回数の設定、ペイロードの送信を一度に行うことができます。

- コマンド詳説

このコマンドでは、確認型/非確認型メッセージの選択、再送回数の設定、ペイロードの送信を一度に行うことができます。書き込みコマンドが正常に実行された場合、「OK」という応答が返されます。一方、コマンドの実行中にエラーが発生した場合、「ERROR」という応答が返されます。エラーの原因としては、無効なパラメータ値の指定が考えられます。

- 文法

- ◆ 書き込みコマンド

```
AT+DTRX=<confirm>,<nbtrials>,<len>,<payload>
```

- ◆ パラメータ

<confirm> : メッセージタイプとして以下の選択ができます。

0 : unconfirm packet

1 : confirm packet (default)

<nbtrials> : 最大再送回数として 1~15 の整数値の中から選択できます。

<len> : 送信ペイロードの長さ (バイト数) を指定します。

<payload> : 16 進数形式の送信ペイロードデータを文字列で指定します。

- ◆ レスポンス

肯定レスポンス

・書き込みコマンドレスポンス :

```
OK+SEND=<len>
OK+SENT=<confirm>
OK+RCV=02,00,00
```

否定レスポンス

サポートされない値を設定したときのエラーとして以下のエラー応答が返ってきます。

```
ERROR
```

- コマンド例

・データ送信を実行するコマンド例です。

Set command	AT+DTRX=1,3,5,48656C6C6F
Response	OK+SEND:05 OK+SENT:01 OK+RCV:02,00,00

この例では、データ送信設定として確認型メッセージ、再送回数 3 回、5byte 長のペイロード 0x48656C6C6F("Hello"の 16 進数表現)を送信しています。

10.5 AT+DRX / Get the latest received data

AT+DRX コマンドは、LoRaWAN デバイスで受信したダウンリンクメッセージを確認するために使用します。このコマンドを使用することで、デバイスが最後に受信したダウンリンクメッセージの内容を取得することができます。

- コマンド詳説

このコマンドは読み取り専用であり、デバイスが最後に受信したダウンリンクメッセージの内容を取得することができます。コマンドが正常に実行された場合、受信ペイロード長とペイロードデータが文字列形式で返されます。

成功した場合、「+」から始まるコマンド文字列に「=」が続き、受信ペイロード長とペイロードデータ文字列が返されます。さらに改行コードの後に「OK」という応答が続きます。一方、コマンドの実行中にエラーが発生した場合、単に「ERROR」という応答が返されます。

- 文法

- ◆ 読み取りコマンド

```
AT+DRX?
```

- ◆ パラメータ

<Len> : 受信ペイロードの長さ (バイト数) を表します。

<payLoad> : 16 進数形式の受信ペイロードデータを文字列で表します。

- ◆ レスポンス

肯定レスポンス

- ・書き込みコマンドレスポンス :

```
OK
```

- ・読み取りコマンドレスポンス :

```
+DRX=<Len>,<payLoad>
```

```
OK
```

否定レスポンス

サポートされない値を設定したときのエラーとして以下のエラー応答が返ってきます。

```
ERROR
```

-

● コマンド例

- ・ デバイスが受信したダウンリンクメッセージの内容を取得をするコマンド例です。

Set command	AT+DRX?
Response	+DRX=0 OK

この例では、受信データが無いことを表しています。

11 AT コマンドリファレンス 【その他】

モジュールを電氣的にリセットするために使用するコマンドなど、アプリケーションの実行などにおいて、予期しない状態に陥った場合など使用することで処理を簡潔に行うことができます。

11.1 AT+CGMR / Common Global Modem Revision

AT+CGMR コマンドは、通信モジュールのリビジョン識別情報（ファームウェアのバージョン番号）を取得します。

- コマンド詳説

このコマンドは読み取り専用であり、ユーザーがソフトウェアバージョン情報を変更したり設定したりすることはできません。コマンドが正常に実行された場合、文字列形式でソフトウェアバージョン情報が返されます。

成功した場合、「+」から始まるコマンド文字列に「=」が続き、ソフトウェアバージョン情報文字列が返されます。さらに改行コードの後に「OK」という応答が続きます。

一方、コマンドの間違いや、コマンドの実行中にエラーが発生した場合、単に「ERROR」という応答が返されます。これは何らかの理由でバージョン情報を取得できなかった場合に発生する可能性があります。

このバージョン番号の取得によって、対応機能の切り分けなどをアプリケーションで認識して変更することが可能です。

- 文法

- ◆ 読み取りコマンド

```
AT+CGMR?
```

- ◆ パラメータ

このコマンドにパラメータはありません。

- ◆ レスポンス

肯定レスポンス

```
+CGMR=<revision>
OK
```

<revision> : モジュールのリビジョン識別情報を示す文字列

否定レスポンス

```
ERROR
```

- コマンド例

リビジョン識別情報を要求するコマンド例です。

Query command	AT+CGMR?
Response	+CGMR=v1.0 OK

この例では、モジュールが”v1.0”というファームウェアのバージョン番号を返しています。

11.2 AT+CGMI / Common Global Modem Information

AT+CGMI コマンドは、モジュールの製造元識別情報を取得します。

- コマンド詳説

このコマンドは読み取り専用であり、ユーザーが製造元識別情報を変更したり設定したりすることはできません。コマンドが正常に実行された場合、文字列形式で製造元識別情報が返されます。

成功した場合、「+」から始まるコマンド文字列に「=」が続き、製造元識別情報文字列が返されます。さらに改行コードの後に「OK」という応答が続きます。

一方、コマンドの実行中にエラーが発生した場合、単に「ERROR」という応答が返されます。これは何らかの理由で製造元識別情報を取得できなかった場合に発生する可能性があります。

- 文法

- ◆ 読み取りコマンド

```
AT+CGMI?
```

- ◆ パラメータ

このコマンドにはパラメータはありません。

- ◆ レスポンス

肯定レスポンス

```
+CGMI=<manufacturer>
OK
```

<manufacturer>: モジュールの製造元を示す文字列

否定レスポンス

```
ERROR
```

- コマンド例

製造元情報を要求するコマンド例です。

Query command	AT+CGMI?
Response	+CGMI=CLEALINK OK

この例では、モジュールが”CLEALINK”という製造元情報を返しています。

11.3 AT+CGMM / Common Global Modem Model

AT+CGMM コマンドは、モジュールのモデル識別情報を取得します。

- コマンド詳説

このコマンドは読み取り専用であり、ユーザーがモデル識別情報を変更したり設定したりすることはできません。コマンドが正常に実行された場合、文字列形式でモデル識別情報が返されます。

成功した場合、「+」から始まるコマンド文字列に「=」が続き、モデル識別情報文字列が返されます。さらに改行コードの後に「OK」という応答が続きます。

一方、コマンドの実行中にエラーが発生した場合、単に「ERROR」という応答が返されます。これは何らかの理由でモデル識別情報を取得できなかった場合に発生する可能性があります。

- 文法

- ◆ 読み取りコマンド

```
AT+CGMM?
```

- ◆ パラメータ

このコマンドにはパラメータはありません。

- ◆ レスポンス

肯定レスポンス

```
+CGMM=<model>
OK
```

<model>: モジュールのモデル識別情報を示す文字列

否定レスポンス

```
ERROR
```

- コマンド例

モデル情報を要求するコマンド例です。

Query command	AT+CGMM?
Response	+CGMM=A660-900T22 OK

この例では、モジュールが“A660-900T22”というモデル識別情報を返しています。

11.4 AT+IREBOOT / Reboot the Module

AT+IREBOOT コマンドは、LoRaWAN デバイスを再起動するために使用します。このコマンドは、デバイスをソフトウェア的にリセットし、新しい状態で動作を開始させるために使用されます。

- コマンド詳説

このコマンドでは、デバイスの再起動を実行することができます。書き込みコマンドが正常に実行された場合、「OK」という応答が返されます。一方、コマンドの実行中にエラーが発生した場合、「ERROR」という応答が返されます。エラーの原因としては、無効なパラメータ値の指定が考えられます。

- 文法

- ◆ 書き込みコマンド

```
AT+IREBOOT=<mode>
```

- ◆ パラメータ

<mode> : デバイスの再起動を実行する際に以下の選択ができます。

0 : Reboot the module immediately

1 : Wait until the transmission attempts done before rebooting.

- ◆ レスポンス

肯定レスポンス

・書き込みコマンドレスポンス :

```
OK
```

否定レスポンス

サポートされない値を設定したときのエラーとして以下のエラー応答が返ってきます。

```
ERROR
```

- コマンド例

・ デバイス再起動を実行するコマンド例です。

Set command	AT+IREBOOT=0
Response	OK

この例では、デバイスの即時再起動を実行しています。

12 連続波の送信テスト機能（通常は使用しない）

本モジュールには連続波の送信テスト機能を試験用に搭載しています。電波送信の試験モードとして観測機器に接続して検査を行う場合や、電波暗室などにおいてアンテナ放射の試験をする場合を除いて、通常は使用しないでください。使用方法によっては、電波法に抵触する場合があります。

連続波の送信テスト機能は表 8 の連続送信開始コマンドを送ることで AT+CTXP コマンドによって設定した送信出力での連続送信が開始します。また、連続波送信停止はリセットピンによるリセットを行うことで連続送信が停止します。

本機能で送信する連続波は、LoRa 変調されたテスト信号をバースト波（約 27ms）として送出し、短い停波時間（250 μ s）を空けて繰り返します

表 8 連続送信開始コマンド

	Command
TXD	AT+CPSEND=1,0,0,80,5,0000000000
RXD	OK

13 ハードウェアデザイン

本モジュールを最適な設計にてアプリケーションへ組み込むために、ハードウェア設計上必要な各要素について説明します基本的な回路構成図、および、特に注意する点などについて示します。

13.1 無線回路への影響

本モジュールのプリント基板などへの配置は、一般的な高周波無線部品の取り扱いに準じて取り扱うことが可能です。高周波クロックで動作するデジタルロジックがモジュール内に内蔵されており、また、それと接続する MCU などのデジタルロジックからの影響が、設計したプリント基板から回り込まないように配慮してください。

本モジュールは、デジタル信号が集中した 1~9、16~24 ピン側と、RF 高周波回路が実装されている 10~15 部分に分けてプリント基板パターンに配慮することが理想的です。デジタル信号部分、および周辺をデジタルグランド(DGND、もしくは、GND)として配置し、10~15 部分を含むグランドパターンをアナロググランド(AGND)として取り扱ってください。DGND(GND)と AGND 間は、最小の結線で繋がります。デジタルノイズの影響を低減し、RF 高周波への影響を小さくします。

プリント基板は 2 層以上のものを使用し、グランドパターン部は、本モジュールで隠れる部分などのベタグランドは、ビアを十分に配置するなどして、インピーダンスを下げてグランド電位を安定させることを推奨します。

また、RF 信号を取り出すアンテナ端子付近については、GND パターンを抜くか、引き出したアンテナラインと AGND パターンをコプレーナ線路にて特性インピーダンス 50Ω にマッチングさせてください。極めて短い配線の場合でかつアンテナが 50Ω に整合済みの完成キットアンテナを接続する場合には、ランドパターン幅程度の配線にしてマッチングに関する特段の配慮を省略してもかまいません。コプレーナ線路のグランド部分は、ビアを配置してください。

アンテナ線を ANT 端子から、約数センチ以上引き回す場合や、アンテナのマッチングネットワークの構成を必要とする場合は、プリント基板、配線パターン、マッチング素子、アンテナ素子において、アンテナメーカーが推奨する適切な方法でインピーダンス整合をとるようにしてください。

13.1 信号線のレベルシフトと省電力設計

本モジュールを実際の回路、アプリケーションへ実装する場合、特に LoRaWAN Class A における実装では、本モジュールへの給電をカットすることを検討すると思います。モジュール待機時の電流は小さいですが、数ヶ月から年単位の電池駆動のアプリケーション設計においては、電流のカットによる電池寿命の延長は極めて効果的です。また、その場合においても、制御 MCU などは、タイマーや他の処理で稼働する場合もあり、本モジュールとの信号の絶縁を必要とする場合があります。

モジュールへの給電を断つ場合、給配電回路にロードスイッチや、ハイサイド FET スイッチ(通常は P-ch MOSFET)を設けることで電流をカットできます。ただし、この場合は、本モジュールの各 I/O ピンと、外部の結線状態に注意を払ってください。電源が断たれた本モジュールの各 I/O ピンは、給電がされていない CMOS IC の入出力ポートとなるため、それらとの結線先が活性状態の場合、本モジュールの I/O ピンを通して、電流が貫通する可能性が生じます。その結果、給電カットしたにもかかわらず、この漏れ電流によって、設計期待上の省電力効果が得られないばかりか、過電流によって、本モジュールなどを破損するリスクがあります。

外部結線回路が活性状態で、本モジュールの給電を遮断する場合は、各 GPIO に、片方向、もしくは、双方向の遮断回路を挿入してください。通常、単一 MOSFET、反対向きに結合し、コモンソース配置した N-ch MOSFET(図 6)、バススイッチ IC などを使用することで実現可能です。

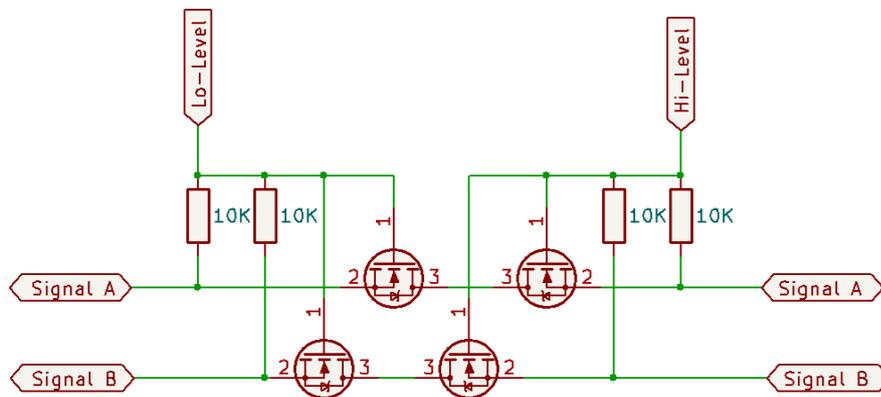


図 6 コモンソース配置した N-ch MOSFET 遮断回路例

13.1 アンテナ・筐体

本モジュールは、アンテナを内蔵していません。920MHz 近辺の電波放射に適したアンテナを、電波法による工事設計認証において当社が登録しているアンテナを選択して利用す

ることが可能です。

アンテナは、いくつかに分類可能ですが、完成アンテナのうち、外部露出アンテナとして使用可能な種類のアンテナについては、特段設計上の配慮は必要無く、同軸ケーブルによる僅かな損失のみで接合可能です。筐体などに貼り付けて使用することが可能な完成アンテナにおいては、アンテナ設計メーカーが指定する素材、貼り付け場所などにおいて、整合するように作られており、それに準じた使用方法で無ければ、共振周波数がずれ、本モジュールから出力される電力が最適に放射されず、通信距離が短くなる可能性があります。アンテナを筐体に貼り付けた状態において、実際の使用方法に近い形態で、アンテナインピーダンスの測定と、配置の調整などを実施することを推奨します。ベクトルネットワークアナライザを使用することで測定可能ですが、安価なアンテナインピーダンスアナライザ等でも十分に測定に供します。

マッチングネットワークの形成を要する、基板上に実装するアンテナなど、組み込みアンテナを使用する場合は、本モジュールの信号出力インピーダンスが 50Ω であることを前提に、プリント基板の配線パターンを形成してください。また、使用する周波数帯において、十分に余裕のある VSWR（電圧定在波比）が得られるようなインピーダンスマッチング回路が作ることが望ましいですが、基板サイズの制約や、アンテナの特性によって、共振範囲が狭くなる可能性があります。これらアンテナとの整合については、当社本モジュールのサポート範囲を超えるため、アンテナメーカーのサポートを得るか、当社が別途提供する IoT 設計コンサルティングサービスへお問い合わせください。

13.1 UART ボーレート

本モジュールが使用するシリアル通信方式である UART（Universal Asynchronous Receiver Transmitter）は調歩同期式シリアル通信の一種であり、そのクロッキング精度は、送受信モジュールそれぞれのクロック精度やコントローラーの性能に依存します。また、UART にはビット反転などの誤りを検出するパリティ機能はありますが、訂正する機能はありません。プリント基板上で UART バスにノイズが乗った場合なども含めて、送受信データの信頼性を確保する手段を要する場合は、別途、アプリケーションやその他の実装上での対応を必要とします。

より簡単に問題を回避する方法は、UART のボーレートを下げることで、低クロックの省電力マイコンなどでも、無理なく安定した UART 通信を行えます。通常、9600bps(本モジュールのデフォルト)を使用することで多くの場合、安定して使用することが可能です。

文字化けなどが発生する場合は、UART の配線長と配線経路について、プリント基板上のスイッチング電源や他の高クロック信号線の近辺を避けるなど、配線経路の考慮により改善が可能です。

より高いビットレートで使用する場合は、クロック源の精度の向上と、マイコン内蔵のハードウェアシリアル通信処理回路を使用するなど、信頼性と精度の高い方法を検討してください。

13.2 バッテリーの使用

本モジュールは、幅広い電源要件に対応しており、また、高い省電力性から、小型の CR 系のコイン電池、乾電池、リチウム系一次電池、リチウムイオン・リチウムポリマーなど 3.7V 電源、USB VBUS や DC5V 電源など低圧系電源を広くサポートします。

よく使用が想定される電池・電源を以下表 9、表 10、表 11 に列挙します。ここでの最高電圧は例、または、概算値であり、電池の組成、型番、気温などによってさらに高くなる場合があります。また、最高電圧は、充電機構を内蔵した場合は、充電電圧を加味して設計する必要があります。

表 9 モジュールの VCC へ直結できる電池・電源の例

電池・電源	公称電圧	最高電圧	説明
Ni-MH 電池 2 本直列	2.4V	2.8V	ニッケル水素充電電池
CR 系コイン電池	3.0V	3.2V	CR2302 以上を推奨
リチウム系電池 3V	3.0V	3.2V	CR123A, CR2 など
乾電池 2 本直列	3.0V	3.3V	マンガン・アルカリ
LiFePO4 1cell	3.2V	3.8V	リン酸鉄リチウム電池

LiFePO4 1 cell は、充電時の端子電圧に注意が必要です。充電時の端子電圧が、3.7V を超える場合は、モンモジュールにその電圧は直結できません。充電時は、絶縁回路を挟むなどの対応が必要です。

表 10 降圧によって使用できる電池・電源の例

電池・電源	公称電圧	最高電圧	説明
USB VBUS	5.0V	5.3V	
リチウム系電池 6V	6.0V	6.4V	2CR5, CR-P2 など
Ni-MH 電池 3 本直列	3.6V	4.2V	ニッケル水素充電電池
Ni-MH 電池 4 本直列	4.8V	5.6V	ニッケル水素充電電池
LiB/LiPO 3.7V	3.7V	4.3V	リチウムイオン/ポリマー
乾電池 3 本直列	4.5V	4.95V	マンガン・アルカリ
乾電池 4 本直列	6.0V	6.5V	マンガン・アルカリ
AC アダプタ	5V～	-	
12V 車ソケット	12V	15V	
12V 鉛蓄電池	12V	13.5	Lead Acid

12V 系 LiFePO4	12.8V	14V	リン酸鉄リチウム
24V 車ソケット	24V	28V	

表 11 昇圧によって使用できる電池の例

電池・電源	公称電圧	最高電圧	説明
CR 系	3V	3.2V	CR2302 以上を推奨
Ni-MH 電池	1.2V	1.4V	
乾電池	1.5V	1.65V	マンガン・アルカリ

継続的に 70mA 以上を安定して引き出せる電池を選択する必要があります。また、電流消耗による内部抵抗の上昇により、使用できる電流量の限界がこの電流によって決まるため、電池の選択には注意してください。

充電時などにおけるチャージ電圧を含め、(公称電圧ではなく) 最高電圧が 3.7V を超えないことが保証できる電池・電源については、VCC 端子に直結できます。MLCC 0.1uF 程度のバイパスコンデンサを VCC 端子近くに設置して、これらの電源を直接給電することで、電圧レギュレータや DC-DC 電源の損失無く、高い効率でモジュールを駆動できます。

また、下限電圧については 2.5V 程度、もしくは、RF 放射電力がやや低下することを許容できる場合は、1.7V 程度まで使用することができ、電源電圧が、この下限電圧において、動作負荷時に 70mA 程度の出力電流を得られる場合、使用可能です。

電圧が、一瞬でも定格電圧 (1.7V) を下回った場合、モジュールはリセットを発生させます。また、再通電時に電圧が安定しない場合、モジュールは起動しません。使用方法において、安定した動作を期待する場合、もしくは、設定値のフルパワー出力を期待する場合は給電電圧を監視し、余裕のある電圧での給電停止を行うことが望ましいといえます。

電源を降圧させて使用することは可能です。3.7V を超える可能性がある給電を行う場合は、必ず、安全な方法で、所定の定格電圧、動作電圧の範囲内になるように降圧回路構成してください。

スイッチング電源よって降圧する場合は、リップルが大きくなることを想定し、3.3V~3.5V 程度の範囲で出力した電源を、本モジュールの VCC 端子に印加することを推奨します。本モジュール内に VCC 端子からの給電に備えた LDO を配置しており、内部各素子に安定した電圧を供給します。この場合、スイッチング電源による DC-DC のリップルの影響は、ある程度抑える効果が働きます。ただし、消費電力全体から見たときに、内部の LDO における損失は僅かに発生します。レベルシフタの信号レベル基準電圧や、小型マイコン、省電力センサーへの給電に使用することが可能ですが、その電流消費量には注意してください。

乾電池一本などから、電源昇圧回路によって、VDD や VCC 端子へ給電可能な電源を作り出すことも可能です。一般的に、降圧回路に比べて DC-DC 変換効率は劣化しますが、機器の小型化のための方法として有力です。

MCU を直給電での低圧動作可能なものを使用し、本モジュールへの給電は、LoRa 通信が必要な時に限って、昇圧給電させることで、電池寿命を飛躍的に延ばすことも可能です。その場合は、動作時の電流量において最適効率になる昇圧回路を構成してください。一方、常時昇圧給電を行う場合は、待機電流に最適化する方が一般的に電源効率はよくなります。昇圧型電源によって給電する場合は、VCC へ 2.3V 程度以上での給電を推奨します。

14 FAQ

14.1 通信可能距離

A60-900T22 は、最大で 20mW（特定小電力、微弱な電波）でありながら、LoRa 変調による効果で、見通しがよければ、10km 以上離れた地点においても受信可能な場合もあります。ただし、設置環境（高さ・周辺の電波状況・見通し）や電波状況等によって大きく変動します。また、アンテナの種類、設置状態も影響します。

実用的な目安としては、ビル・マンションなどの区画範囲、学校や工場の敷地内、山頂から見渡せる範囲などは、一部の金属構造物の内側などでない場合は、13dBm(20mW)の出力設定で届く場合が多いですが、アンテナの設置場所の工夫は必要とします。アンテナは周囲が開放された見通しの良い場所に設置することが好ましく、屋上やバルコニーなどに設置されることで良い電波到達性能を期待できます。

周囲にコンクリートなどの建造物が多い市街地などでは、数百メートルから 1km 程度以下になる場合もあり、郊外では 3km 程度、田園地帯などでは 5~10km 程度通信可能な場合もあります。また、山頂や鉄塔に送受信ともにアンテナを設置した場合は、70~100km 近くの距離で通信が可能であった事例もあります。

連続パケット送信、もしくは、間欠でのパケット到達性の安定度は、通常 100%(パケット損失 0)を前提としてシステムを設計することはできません。本通信モジュールには、国内電波法遵守のための、キャリアセンスによる電波監視で決められた送信遅延や停止、また、混信などの影響を含めた、空間の状況によってパケット到達確率は 100%から低下します。

一般的な環境下においては、送受信モジュールの設置場所を固定していても、受信時に観測される RSSI 値は変動します。この変動要素には、周囲のノイズ、送信機や受信機のアンプの増幅レベルの誤差（送信においては最大 1dBm 程度、平均 0.5dBm 程度）を含み、電波伝搬経路の僅かな変化によっても影響を受けます。経験による定量的な目安は、-110dBm~-120dBm 程度以上の RSSI 値であるとき、比較的パケット損失は低く、RSSI 値においても安定します。一方で、-130dBm 以下、最小では-145dBm 程度くらいになるケースでは、パケット到達率は不安定になりやすい傾向にあります。

本 LoRa モジュールの理論的、理想的、一般的な環境での通信距離における評価値は、「奥村-秦カーブ（奥村-秦モデル）」と呼ばれるマイクロ波・移動無線における経験則モデルが有名で、参考値として使用できます。(図 7)

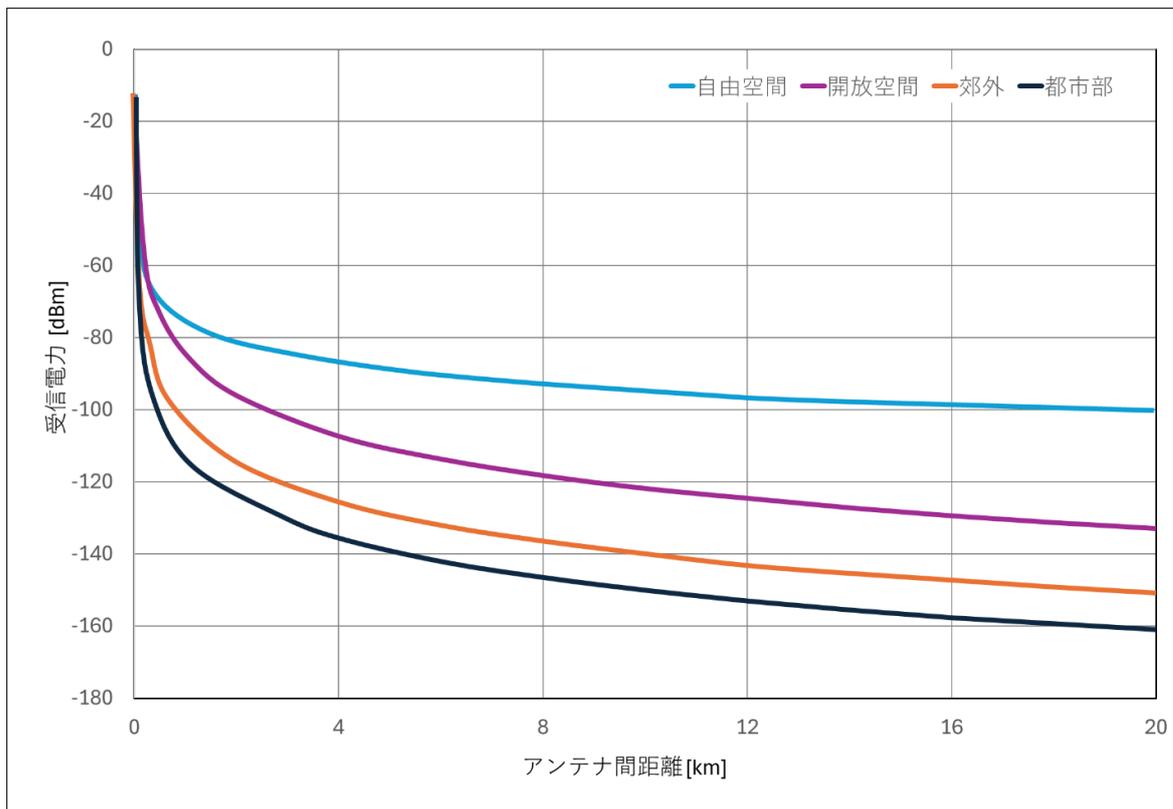


図 7 奥村-泰モデル 920MHz 13dBm の理想アンテナでの受信電力(アンテナ設置高 15m)

この受信電力 dBm 値が、およそ-140dBm 付近が本 LoRa 通信モジュールの受信感度限界といえます。

14.2 電波の出力損失の回避

電波出力が悪化するパターンをいくつか例示します。これらに該当する場合は、適切な対策を実施することで出力を改善できます。

- 大地(地面)は電波を吸収・反射するため、地面付近にアンテナを設置することは避け、アンテナを高く上げることを推奨します。また、湖面や海水など、大量の水がある区域で、アンテナを水面に近づけて使用すると出力が大きく減衰します。水面から離しての使用を推奨します。
- アンテナの近くに金属製の物体がある場合、もしくは、金属製のシェルの中にアンテナが置かれている場合、信号の減衰は非常に深刻になります。金属に比較的強いアンテナも使用できるようになってきていますが、一般に専用の設計を要するため、個別の測定や検証を要します。
- 本モジュールに供給される電源の安定性が低い場合、電源の出力インピーダンスが高い場合などは、電源設計を見直してください。本モジュールは、送信時に瞬間的に電流を要します。給電ラインの電圧低下や電圧リプルの発生を抑えるように工夫をしてください。

- 本モジュールとアンテナの整合度が悪い場合や、アンテナ自体の品質に問題があると、通信に影響します。設置状態でのアンテナインピーダンスやモジュールの取り付け状態などを確認してください。また、アンテナケーブル自体も信号減衰の要因となります。アンテナによって指定されたものや、プリント基板上の配線やコネクタについても信号減衰が少ない実装を行ってください。

14.3 モジュールの使用環境

モジュールの使用環境における注意点を示します。これらは例示であり、個々の設計者により適切な環境下で使用されることを確認してください。

- 給電のための電源を確認して、定格電源電圧内にあることを確認してください。定格電圧を超えると、本モジュールは恒久的に損傷する可能性があります。
- 設置および使用中は、必ず静電気防止対策を行ってください。本モジュールは金属シールドを施してありますが、高周波コンポーネントは一般に静電気に敏感です。
- 設置および使用中は、高湿度を避けてください。内部で使用している高精度のオシレータコンポーネントなど湿度に敏感なものを含みます。
- 特別な要件がない場合は、高温または極低温環境下での連続使用は推奨しません。結露や部分的な過度な高温など、モジュールの動作要件を逸脱する可能性があります。可能な限り、余裕のある動作環境を構築して利用してください。
- 零下・低温時の動作についても、電波放射が正常に行われることを確認していますが、使用するバッテリーなどは、一般に零下以下の極低温域で安定した出力を得られるものは限定されます。低温使用時において、異常が生じた場合、まず電源ラインの安定性の確認を推奨します。

14.4 BER (ビットエラーレート)

本モジュールは、電気的な影響によって、ビットエラーが介入、混入する可能性があります。LoRa 変調後の無線の送受信においては、LoRa デジタル変調における BER 訂正・補完機能が働き、ビットエラーの発生確率は極めて低いため、通常の使用においてはそれを考慮する必要はありませんが、本モジュール、および、それが実装されているプリント基板上で発生するノイズやMCUのクロック精度などによってUART信号にエラーが混入することは希に生じます。ビットエラーやデジタルエラー回避のための手順を例示します。

- 近くに同周波数信号干渉がある場合は、BER が高くなります。干渉源から離れるか、干渉を避けるために周波数とチャンネルを変更してください。
- 電源能力が不十分な場合、伝送データが文字化けする可能性があります。電源の信頼性を確保してください。

- 信号や電源の延長ケーブルやフィーダーの品質が不十分または長すぎると、ビットエラー率が高くなる可能性があります。

14.5 パケット到達のリアルタイム性

LoRaWAN の通信手順は、ビットレートが低速である以外においては、ほぼリアルタイムに無線伝送は可能です。しかし、Class A については受信スロットが制限され、リアルタイム性は大きく制限されます。また、ゲートウェイの負荷、電波使用状況、LoRaWAN デバイス数などによって、影響を受けます。

14.6 他の 920MHz 通信機器との電波干渉

本モジュールの送出する電波は、他の 920MHz 無線（FSK 通信方式など）と干渉します。ただし、国内では、この帯域に多数のチャンネルが割り当てられており、実用的な範囲と使用方法では、それほど干渉ジャミングによる通信遮断の頻度は大きくはありません。また、正しく無線出力が設計された Wi-Fi (2.4GHz, 5GHz, 6GHz など)、Bluetooth (2.4GHz)、Zigbee (2.4GHz)、電子レンジなど、他家庭やオフィスで使用される無線機器などとは干渉しません。工場や無線計測機器などで 920MHz を使用している場合は、チャンネル選択に配慮すれば干渉を防ぐまたは低減することが可能です。干渉による影響を低減するため、本モジュールには、国内の 920MHz キャリアセンスの規定動作が実装されており、相互の電波干渉による影響は低減されます。

14.1 モジュール制御ロジックの改良の禁止

本モジュールは、モジュール内部に省電力小型コントローラーを搭載することで、国内電波法、ARIB STD-108 等の規定・規約に従った振る舞いを保証しています。設計者や使用者によってこれらの書き換え、改造などはできません。また、書き換えて使用された場合は、電波法に抵触する可能性があります。当社が提供する書き換え可能なファームウェア以外の使用におけるサポートは提供されませんのでご注意ください。

14.1 技術適合認証・電波法

本データシートで説明している A660-900T22 は、工事設計認証(技術適合認証の量産設計認証)を取得しており、本モジュールと認証済みの指定アンテナとともに、そのままの形でモジュール本体の改良をせずに、本データシートに示す公開された手順に従った使用方法

を遵守する限りにおいては、改めて技術適合認証や、工事設計認証を設計者が取得する必要はありません。本モジュールの仕様は、将来改変される電波法令に抵触することが無い限りにおいて、設計者、および、使用者は認証や免許を取得せずに日本国領土・領海内(移動体搭載を含む)において使用可能です。

設計者によって、独自に設計した送信用アンテナを使用したい場合や、本モジュールを分解した場合、定格外の電源や使用法を行う場合などについては、改めて技術適合認証をその要件で取得する必要があります。通常は、当社ではそのような行為に関してのサポートは提供していません。設計者による特段の理由で対応が必要な場合は、当社サポート窓口までご連絡ください。

14.1 日本国外での使用について

A660-900T22 の電波法における認証番号と認証内容は、日本国内でのみ有効です。Wi-Fi や Bluetooth 等における 2.4GHz, 5GHz 帯の国際統一の ISM 帯(Industrial Scientific and Medical Band) 周波数と異なり、サブギガヘルツ帯の ISM バンドは国によって異なります。諸外国においては、400MHz、700MHz~900MHz 帯に分布しており周波数帯そのものが異なっています。本モジュールでの RF 設計周波数帯は、国際的な 900MHz 帯の ISM バンドの範囲に対応しており、米国、EU 諸国などを含みますが、日本国内において、一般の販売チャネルにて提供する本製品の対応は、LoRaWAN AS923-1 の本データシート記載の範囲です。

15 推奨アンテナ

アンテナ（空中線）は通信性能において重要な役割を果たしており、多くの場合、劣ったアンテナは通信システムに大きな影響を及ぼします。そのため、当社の LoRa 省電力ワイヤレスモジュールを優れた性能とリーズナブルな価格でサポートするために、登録済み推奨アンテナの情報を提供しています。登録済みアンテナは随時更新（追加）されるため、最新情報をご確認ください。

15.1 A660-900T22 13dBm 特定小電力無線局の使用可能アンテナ

特定小電力無線機器は、工事設計認証または技術基準技適証明を取得した際に指定したアンテナ以外をご使用頂けませんので、当社ご案内する適合したアンテナをお求めください。ただし、受信機および受信専用での利用については高利得の鋭い指向性アンテナなども利用可能です。推奨アンテナのリストは、随時更新されるため、別途提供する一覧にてご確認ください。

使用可能なアンテナの規格は、アンテナの特性データによって制限されます。A660-900T22 においては、13dBm(20mW)を最大電力として設計しており、国内の認証機関において、その確認が行われています。本 920MHz 特定小電力無線においては、EIRP (Equivalent Isotropic Radiation Power: 等価等方放射電力※) は、16dBm を超えない範囲と定められており、モジュール送信電力と、アンテナ利得の積算が、(dB で加算が)16dBm を超えることができませんので、使用するアンテナの利得は、3dBi を超えないよう法令によって制限されることとなります。当社が適合アンテナとして認証登録しているアンテナはこれらの基準を満たしたものです。

アンテナは物理的、電氣的な構造から、通信機の送信電力に伴う制限がありますが、13dBm (20mW)の極めて小さな電力は、いずれのアンテナであっても安全に使用することができますが、性能を確保するためには、その選択と設置方法に注意してください。

※EIRP (Equivalent Isotropic Radiation Power: 等価等方放射電力) とは、アンテナからある方向に放射されるエネルギーを「等方性アンテナ」(理想アンテナ)での送信電力に置き換えたものです。

15.2 アンテナの VSWR 値

通常、本モジュール向けの登録認証アンテナは、915MHz 帯を含め、920MHz 近辺の VSWR が最小となるように設計されているものですが、この周波数位置が移動することによって、VSWR が大きくなり、放射特性が悪化します。開発時などは、VNA (ベクトルネットワークアナライザ) を使用することが一般的ですが、確認を容易にするためには、アンテナ

アナライザ、インピーダンスアナライザなどの測定器を用いて設置状態における VSWR の測定を行うことで容易に確認が可能です。

設置状態において、920MHz～930MHz 付近の VSWR が 1.0 に近いことが望めます。一般に VSWR 2.0 以下程度での使用が好ましく、3.0 を超えると送信電力に対して伝送損失が大きくなります。表 12 に VSWR および反射係数、リターンロス、伝送損失の対応をまとめます。

表 12 VSWR および反射係数、リターンロス、伝送損失の対応

VSWR	1.0	1.5	2.0	3.0	10
反射係数	0	0.2	0.33	0.5	0.82
リターンロス(dB)	∞	14.0	9.5	6.0	1.7
伝送損失(dB)	0	0.21	0.51	1.25	4.85

15.3 フレネルゾーン

電波の伝搬の効率性は、電波の伝搬空間におけるフレネルゾーンの確保によって決定されます。フレネルゾーンとは、送信アンテナと受信アンテナの位置関係（高さや距離など）によって決まる楕円空間状の電波伝搬に強い影響を与える空間であり、この空間の遮蔽物（大地や水面などを含む）の存在により電力のロスや反射が生じることで、伝送距離が縮まります。伝送距離は、通信方式のリンクバジェットによって決まり、A660-900T22 LoRaWAN 通信モジュールは規格上の数値で受信感度 -124dBm を持ちます。

実際の受信観測値において、この LoRa 通信モジュールから出力される RSSI 値(Received Signal Strength Indicator、受信信号強度)では、-140dBm を下回ります。実際の信号到達の可否は、S/N 比によっても変化するため一概に求めることはできませんが、フレネルゾーンによって、送信機が放射した電力が受信機に到達するまでの伝搬経路での損失を見積もることが可能であり、フレネルゾーン域における遮蔽物を減らすことが電波の到達性を向上させます。

フレネルゾーンは、無線周波数と送受信アンテナ間の距離によって決まり、楕円形空間として表されるため、特に、最も広がる中心部分の断面（地面などを想定した場合高さ）が遮蔽されない高さにアンテナを設置することが効果的とされます。通常アンテナ設置の地上高として考えることが容易で、送受信双方の地上高が確保できることが理想的ですが、一方だけで合っても、その効果は期待できません。アンテナからの放射電力による遮蔽物による電力損失は受信電力の減衰に影響し、本モジュールの受信限界感度を下回ることによって受信電力を正しく復元できない状態となり受信に失敗します。フレネルゾーン内の遮蔽断面積が少なくなるようなアンテナの設置方法検討することで、受信感度の確保が可能です。表 13 に 920MHz における通信距離に対する大地に対するフレネルゾーンをまとめます。

通常の地表面での一般的な利用においては、自由空間における 920MHz 無線周波数の距離減衰に対して、地上高や遮蔽物による影響の方が極めて大きいため、一般的な使用方法においてはフレネルゾーンを確保するようなアンテナ設置を検討することが電波送達性能の向上に寄与できます。

一方で、遮蔽物がほとんど存在しない、空中、もしくは、上空（人工衛星や宇宙）に向けた通信の場合は、開放区間として取り扱うことができるため、通信飛距離は格段に伸ばしやすく、その場合は、使用周波数における空間減衰特性も考慮すべきです。また、人工衛星や姿勢が変化する移動体への通信機搭載においては、その一方を円偏波アンテナとすることで、姿勢の変化による偏波影響を受けにくい受信状態を作ることが可能です。

表 13 920MHz における通信距離に対する大地に対するフレネルゾーン

通信距離(km)	1	2	5	10	20	50	100
フレネル半径 理想アンテナ高(m)	9.0	12.8	20.2	28.6	40.4	63.8	90.3
フレネル半径の 60% アンテナ高(m)	5.4	7.7	12.1	17.1	24.2	38.3	54.2

実際には、横方向の開放空間も考慮する必要があります。電波の伝播イメージは、図 8 のように送信機と受信機との距離が大きくなればなるほど、楕円形であるフレネルゾーンの高さ(幅)は大きくなります。

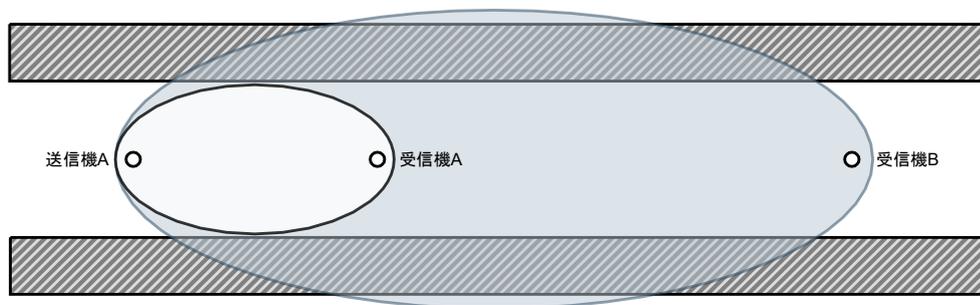


図 8 電波の伝播イメージとフレネルゾーンの距離と高さ（幅）の関係

このフレネルゾーンとは、電波の行路長差による位相の変化が π 以内になる範囲のことであり、このフレネルゾーンを通過する波は（波面の波のように）互いに強め合って合成される性質があります。図 9 に示す通り、送信機と受信機を結ぶ直線上に何も障害物がなくとも、この楕円形の範囲内に地面や水面などを含む障害物があると、反射などの影響によって位相変化が発生し、伝送距離に影響を与えます。フレネルゾーンの定義や、電波伝搬の原理から、アンテナを高い位置に設置することで、地表面から離し地表の遮蔽物の影響を小さくできます。送受信機の双方のアンテナを高所に設置することは現実的では無い場合が多いですが、片方だけをビルの屋上や高層階の窓際などに設置することで大きく到達距離に差が生じます。

LoRa 変調による通信においては、一般的な変調方式における同電力の出力よりも、伝搬語の受信レベルが 30~40dB 以上も低下しても受信できることが特徴ではありますが、距離による電波減衰の影響よりも、障害物による影響で受信レベルが下がることの方が通信到達性の点からは大きな問題となります。

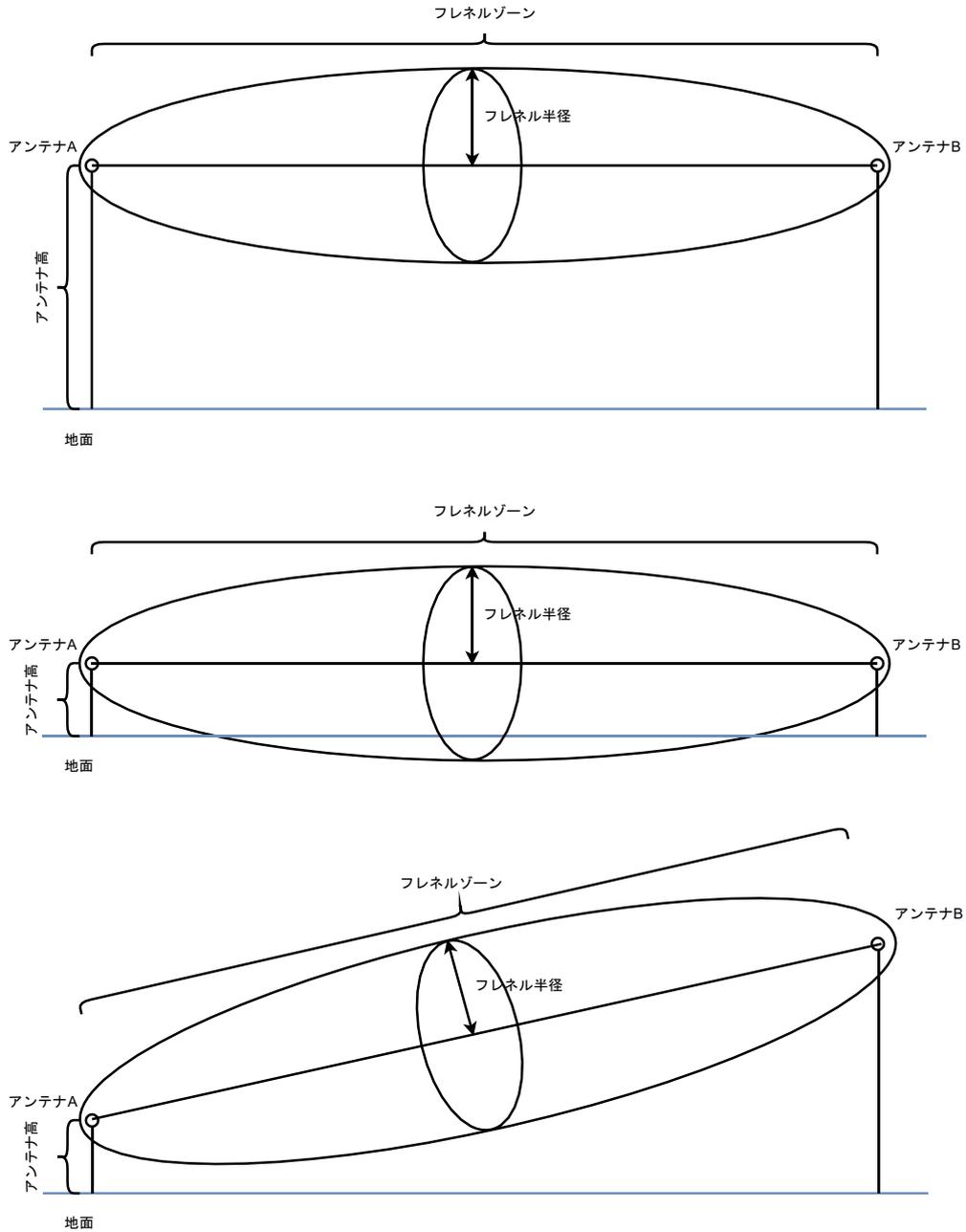


図 9 フレネルゾーンとアンテナ高の関係

15.4 外部アンテナの設置方法

アンテナ素子部分がエンベロープ (通常は樹脂製の筒) に覆われた、完成外部アンテナは、その外装やコネクタの性質から、耐候性 (防水や紫外線耐性など)、非耐候性のものがあります。耐候性のものであっても、コネクタのケースとの接合などによって必ずしも耐候性

能がそのアンテナ全体で保証されているとは限りませんが、一般に、非耐候性のものと比較すると、耐紫外線効果が高い樹脂や、雨滴の付着などによる特性劣化が小さいものを使用されている傾向があります。

また、外部アンテナは、通常ケースの外に露出して使用する設計のため、アンテナの外装樹脂が直接外気にさらされることを想定しています。また、その外装樹脂は、コネクタ部の金属端子以外が、他の物質に触れない状態で設置することが好ましく、近辺に壁や金属が配置されないことが好ましいといえます。アンテナ付近に金属が存在した場合、アンテナの VSWR（電圧定在波比：アンテナに送信した電力の反射波の率）特性が劣化します。



図 10 一般的な 920MHz 対応アンテナ(左:非防水、右:防水・耐候性)

15.5 PCB 基板・FPC 基板の設置方法

ケース・筐体内に内蔵しやすい形状のアンテナとして、プリント基板 (PCB) にパターンされたものや、薄いフレキシブル基板などがあり、多くの場合、それらは、両面テープなどを用いて筐体内に容易に固定できる形状となっています。これらの形状の基板は、機器内蔵アンテナとしてよく利用されますが、その性質や扱いやすさについてはいくつかの点で注意を要します。

一般に、多くの PCB や FPC アンテナは、樹脂性のケースにテープなどで固定されることで、設計した特性が得られるように作られています。そのため、取り付けるケースの素材や、取り付ける場所、取り付けたアンテナからケース内包物などの近接距離などの影響によって、特性や性能が劣化しやすい状態になりやすいことに注意が必要です。アンテナメーカーがドキュメントを公開している場合は、それに従うことも可能ですが、実際には具体的な設置・取り付け方法に言及されていない場合がほとんどです。これらの種類のアン

テナの多くは、厚さ数ミリ程度の ABS やポリカーボネイト樹脂板に貼り付けて使用することを想定しており、周囲に金属が無い状態を理想としています。

また、一般には、920MHz 帯通信用アンテナは、偏波面が垂直偏波となるように取り付けするのが良い場合がほとんどです。実際の特性を確認する場合は、外部アンテナ同様にインピーダンスアナライザなどを用いて、VSWR が 920MHz 近辺で十分に下がっていることを観測してください。VNA を使用する場合は、S11 係数や VSWR を表示する機能を使用することも可能です。設置場所を変更することが難しく、920MHz に対してのマッチングが悪い場合（ずれた周波数に VSWR の谷がある場合、もしくは、スミスチャートの中心である $1.0R \pm 0j$ から大きくずれている場合）、マッチング回路を追加することで整合させることが可能です。解決方法・内容は、アンテナメーカーや高周波回路設計事業者などの協力を得るか、マイクロ波帯の高周波インピーダンス整合に関する専門情報を参照してください。本モジュール向けに登録されているこれらのアンテナの例を図 11 に示します。PCB アンテナは、硬質のプリント基板用素材で作られたもので、厚さは 0.6~1.6mm 程度のものが一般的です。FPC アンテナは折り曲げも可能なフィルム素材にアンテナパターンがプリント基板同様に施されています。通常折り曲げて使用することは想定されていないため、曲げて使用すると放射性能に影響を与える可能性があります。特殊なアンテナに円偏波アンテナがあり、時折使用されます。アンテナの多くは垂直、水平方向に設置し、直線偏波で使用する作りになっていますが、円偏波アンテナは、回転方向に偏波面がくるため、回転体や移動体からの電波を受けやすいアンテナといわれています。

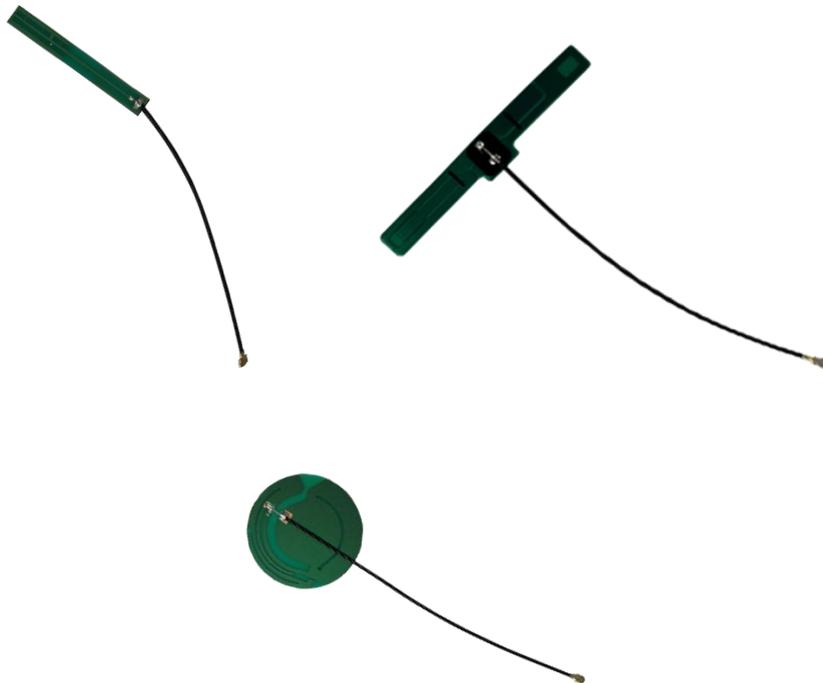


図 11 一般的な 920MHz 対応 PCB アンテナ (左上) FPC アンテナ (右上)
円偏波 PCB アンテナ (下)

15.6 SMD 実装基板

高度なアンテナ組み込み方法に、図 12 SMD 実装用アンテナチップのような SMD(表面実装)型の、基板実装用アンテナがあり、本モジュールにおいても使用可能です。これらは、プリント基板上のパターンと、SMD アンテナ部品を組み合わせることで、放射する周波数帯での電波放射の最大化を実現するアンテナ機構を実現するものです。

先に挙げた、外部アンテナや、PCB、FPC タイプなどの形状のアンテナと比較して、最も実装難易度が高く、正しい設計と実装を行うためには、高度な測定機器と、専門知識、プリント基板パターンの設計ツールなどを必要とします。しかし、埋め込みアンテナによる大量生産や品質の安定性、機器の小型化などの面においては優れた方法で量産の小型無線機器には多数適用されている方法です。

この SMD アンテナの基本的な設計・実装方法は、アンテナメーカーのデータシートに記載のプリントパターンを参考にして、配線とランドを形成し、場合によっては、ビアを適切に配置します。アンテナ近辺のグランドパターン、銅箔を完全に除去したヌルパターンの形成方法が重要となるため、アンテナメーカーから CAD データが供給されている場合もあります。また、通常はアンテナへの給電ラインは 50Ω に整合されているか、そうでない場合は、整合パターンの実装回路が示されており、それらに従い配線と部品実装を想定した基板ア트워크を行います。インピーダンスマッチングやその確認を基板製造後に測定によって行う必要があるため、アンテナパターンとマッチング回路が、本モジュールに接続される給電ラインに、測定器を接続できるようにパターンを用意しておくことを推奨します。

VNA によって、アンテナ回路を測定して、 50Ω に整合するように整合素子を追加してください。本モジュールの出力インピーダンスも 50Ω であるため、メーカーのリファレンス設計やガイドでは、特にマッチングをしない場合でも整合する場合があります。また、本モジュールの RF 出力(ANT)端子から 50Ω 給電ラインは、プリント基板の層数、基板素材の比誘電率によって計算される特性インピーダンス 50Ω の線路幅で配線する必要があります。また、裏面ベタ銅箔グランドでのコプレーナ線路(Coplanar Line)で形成することを推奨します。線路長をできるだけ短くした上で、給電ラインまわりのベタグランドにビアを多く配置して裏面ベタ銅箔グランドと接続します。4 層基板などで設計する場合は、アンテナ放射に影響のないエリアの内層もできるだけベタグランドにすることが推奨されます。最終的なインピーダンスマッチングの精度は、実際に使用する筐体などに取り付けた状態によって測定されることを推奨します。

実際には、多数の電子部品を実装し、プリント基板の形状や筐体の制約などによって、複雑なチューニングを必要とします。先に挙げた、一般的な完成アンテナと比較して、理論、実際ともに複雑な工程や、試行錯誤を多く必要とします。また、実際に十分な電波の放射が得られているかの最終的な確認は、電波暗室での測定や、簡易的に行うにおいては、本

モジュールの受信時の RSS 値などを、基準となる完成アンテナのそれと比較するなどによって、実用的なアンテナ実装成果を確認できます。



図 12 SMD 実装用アンテナチップ

人体や他の物体、特に金属面や水面などに接触して使用するような場合は、特にそれらの実際の環境において確認することが最も需要です。アンテナ近辺の物質の影響によって、アンテナからの放射電界が影響を受けることによって、反射、位相ずれなどが発生し、遠方に到達する電界強度が弱められる可能性があります。また、アンテナ近傍数十センチ以内の極めて近い範囲に影響を与える物質がある場合、アンテナ自体の共振ポイントがずれることによる、VSWR の大幅な低下が発生する可能性があります。実際の放射テストなど検証に際しては、プリント基板形状、筐体、筐体内包物(バッテリーなど)、アンテナ近傍状態、接触物など実際の環境想定に合わせることを推奨します。

15.7 アンテナサイズと VSWR の関係

アンテナのサイズは、原則として取り扱う波長や電力によって決まることがほとんどですが、本モジュールの電力は一般的なアンテナサイズ形状に対して十分小さいので、通常は電力を気にする必要はありません。(当社が、認証を取得しているアンテナは、ほとんどが 1W~2W 以上の設計電力を持ちます) 波長に対するアンテナのサイズは、 $\lambda/2$ ダイポールアンテナで、(若干の比誘電率による短縮効果はありますが、通常は) 16~17cm 程度となります。図 13 に実測結果を示しますが、周波数のマッチングする VSWR の谷のカーブは比較的緩やかであり、VSWR 最小のポイントを含めた VSWR<2.0 の範囲(実用的に使用できるアンテナの帯域幅)は 40MHz 程度あります。一方で、アンテナサイズの小型化を図った小型アンテナにおいては、VSWR の谷部分の特性がより尖鋭になり、僅かなずれで、マッチングが極端に悪化して VSWR が劣化しやすくなる傾向があります。小型アンテナを使用する場合は、よりこの点に注意を払う必要があります。アンテナ周囲の物質などの影響を受けて、このマッチング周波数がずれてしまい、期待通りの電波放射が実現できなくなります。この比較は、本モジュールの同条件での受信側における RSSI 値を観測するとすぐにその差に気付くと思います。測定器が無い場合は、簡易的に条件の良いアンテナと相対的に比較することで確認することも可能です。

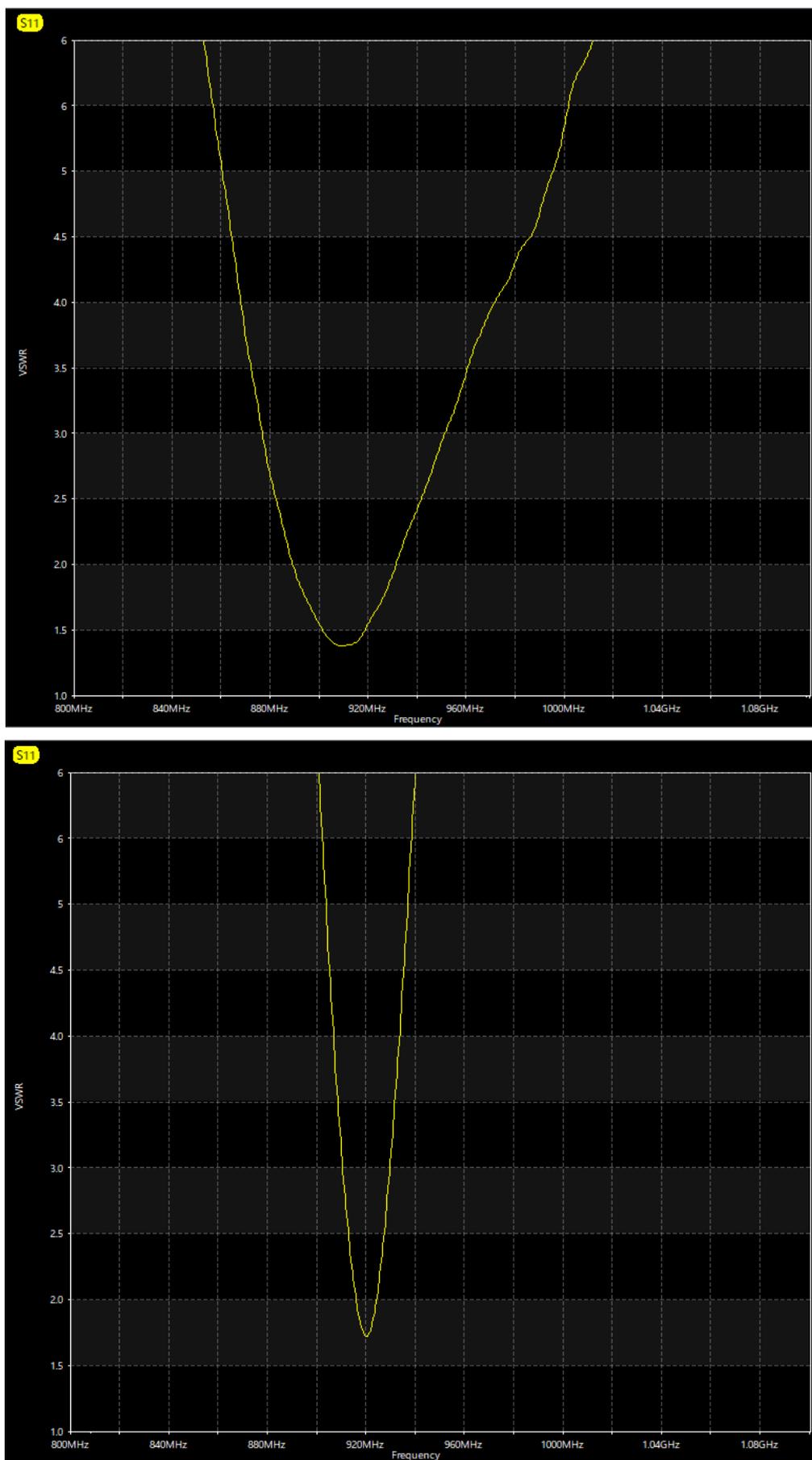


図 13 アンテナによる VSWR 特性の違い (上: $\lambda/2$ ダイポールアンテナ、下:小型アンテナ)

16 リフロー・ソルダリングガイド

表 14 リフローソルダリング管理温度にリフロー時の参考となる管理温度、図 14 に温度設定の時間遷移を示します。本モジュールは、RoHS 準拠部品はすべて、Sn-Pb はんだ実装プロセスと下位互換性があります。はんだ付け温度は、鉛フリーはんだを適切に溶融させるために 230°C 超でなければなりません。いずれのはんだ付け方法であっても、最適なリフロープロファイルは、はんだ材料、はんだ量、フラックス、はんだ付けされた各コンポーネントの限界温度、回路基板とコンポーネント材料の熱伝達特性、およびすべてのコンポーネントのレイアウトに依存します。回路基板上の最も脆弱なコンポーネントの時間限界と温度により、使用すべき実際の温度プロファイルが最終的に決まります。

表 14 リフローソルダリング管理温度

プロファイル項目	Sn-Pb 実装	Pb-Free 実装
Solder Paste / はんだペースト材	Sn63/Pb37	Sn96.5/Ag3/Cu0.5
Preheat Temperature min / 最小予熱温度 (T _{min})	100°C	150°C
Preheat temperature max / 最大予熱温度 (T _{max})	150°C	200°C
Preheat Time (T _{min} to T _{max}) / 予熱時間 (ts)	60 – 120 sec	60 – 120 sec
Average ramp-up rate (T _{max} to T _p) / 平均上昇率	3°C/second max	3°C/second max
Liquidous Temperature (TL) / 融点	183°C	217°C
Time (t _L) Maintained Above (TL) 融点での維持時間	60 – 90sec	30 – 90 sec
Peak temperature / ピーク温度 (T _p)	220 – 235°C	230 – 250°C
Average ramp-down rate (T _p to T _{max}) / 平均冷却率	6°C/second max	6°C/second max
Time 25°C to peak temperature / ピーク温度までの時間	6 minutes max	8 minutes max

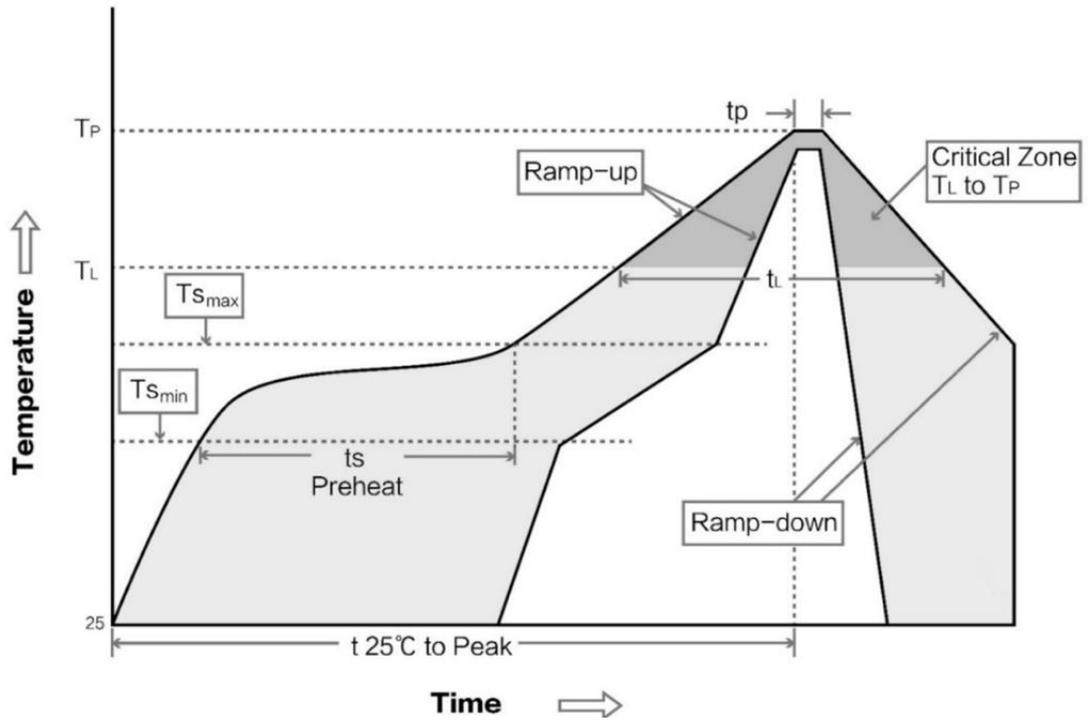


図 14 リフロー・ソルダリングカーブ

はんだ実装面のフットプリントは、図 15 推奨フットプリントのパターンを使用してください。また、GND ピンのベタグラウンドへの接続スポークなどの線幅などについては、本モジュールの GND パッドが広いことを考慮して、リフローやはんだ実装時の安定した実装が行える程度に設計プリント基板のレイアウトによって設定することを推奨します。

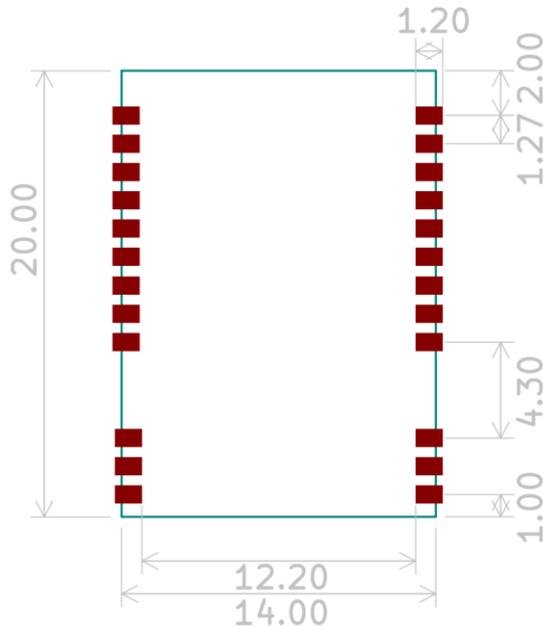


図 15 推奨フットプリント

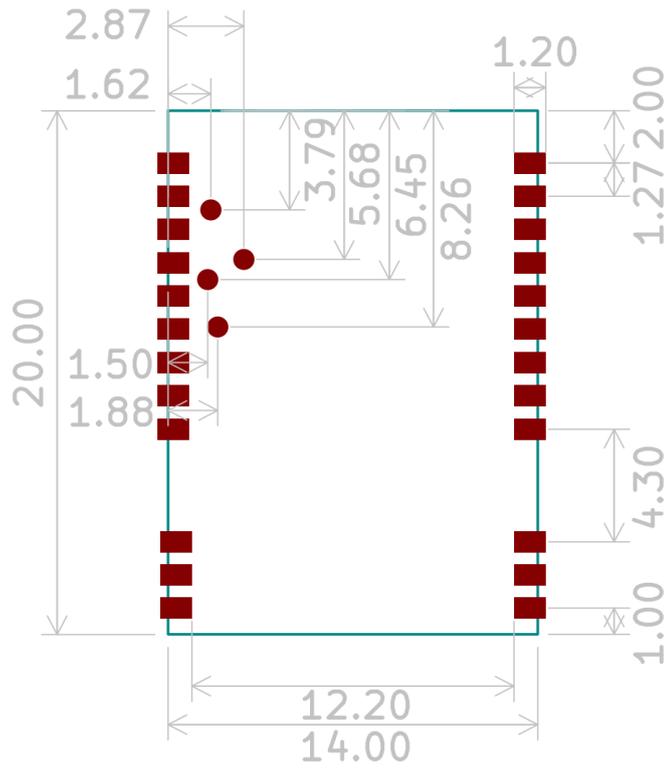


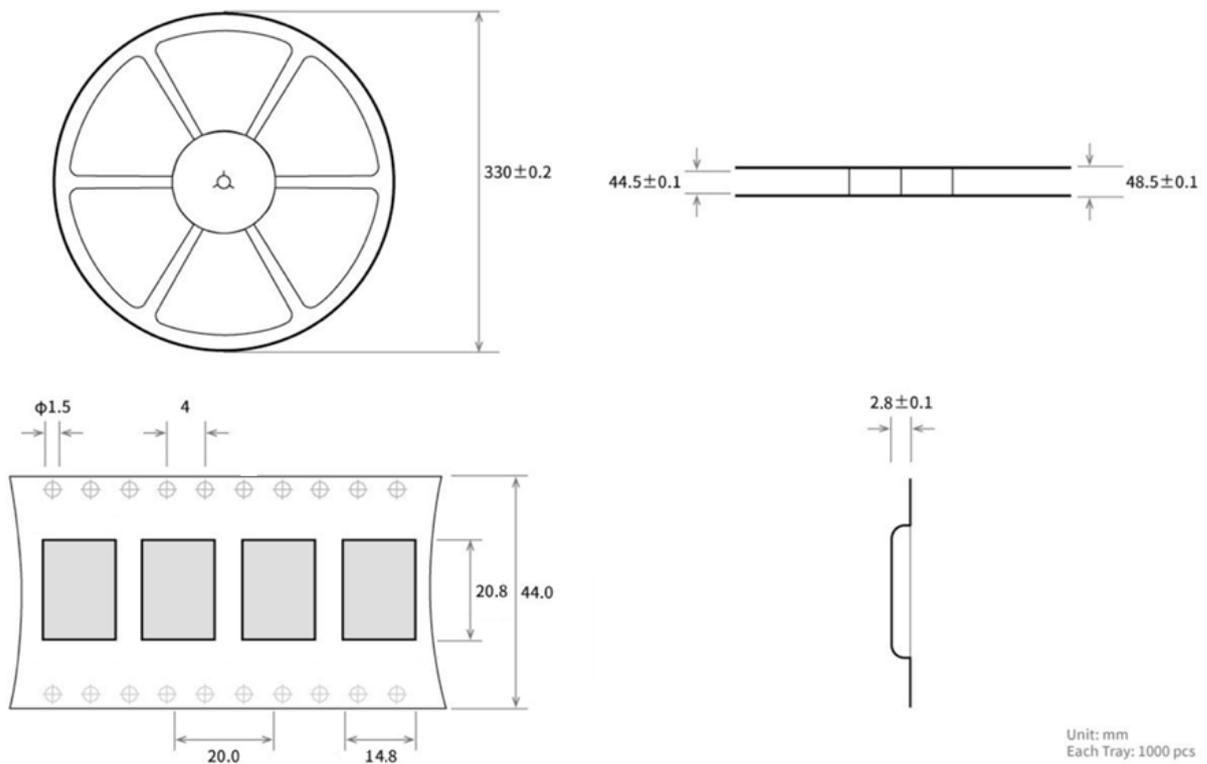
図 16 推奨フットプリント 2 (裏面パッド含む)

裏面パッドについては、必ずしも、実装の必要はありません。

17 バルクオーダーパッケージ

リール単位でのオーダー時は、機械実装用リールでの梱包単位で、真空に近い状態で製造時にパッキングして出荷されます。バルクオーダー時に限って、受注製造扱いにて、ファームウェアの指定製造が可能です。

リール梱包単位: 1,000pcs



リール単位未満でのオーダーの場合は、原則として出荷時におけるファームウェアのバージョンの指定はできません。出荷品のファームウェアについては、販売チャンネルにお問い合わせください。

18 ファームウェアの書き換え

具体的なファームウェア書き換えの手順については、別途提供するファームウェア書き込み器、および、書込ソフトウェアの情報を参照の上、その手順に従って操作を完了させてください。

特殊な治具によって、モジュールの端面スルーホール(スタンプホール)に直接接点金具を当てることも可能です。

19 製品の問い合わせ・サポート

本製品の、営業・技術サポートに関するお問い合わせ

CLEALINK TECHNOLOGY CO., LTD.

IoT 製品取り扱い・サポート専用サイト「DRAGON TORCH」

製品情報サイト <https://dragon-torch.tech/>

製品サポート <https://support.dragon-torch.tech/>



製品情報サイト



製品サポートサイト

技術的なサポートについて、そのすべての対応を保証するものではありません。本ドキュメント記載の内容の範囲を大きく超える内容、もしくは、当社、関係各社の機密などに関する内容、科学的なエビデンスや論拠の乏しい偶発的な内容などについては、回答できない場合もあります。また、LoRaWAN キャリアとの通信互換性や接続トラブルなど当社独自で確認調査が行えない問題や課題などにつきましては、お問い合わせいただいた場合でも回答できない場合があります。

製品開発元 <https://clealink.jp/>

〒619-0237 京都府相楽郡精華町光台 1-7

けいはんなプラザ ラボ棟 7F

株式会社クレalinkテクノロジー IoT コンポーネント担当

CLEALINK TECHNOLOGY CO., LTD.

IoT components team

Keihanna Plaza Labo-wing 7F,

1-7, Hikari-dai, Seika-cho, Souraku-gun, Kyoto, Japan, 6190237

20 製品の製造について

20.1 品質・ISO 認証

本製品は、Chengdu Ebyte Electronic Technology Co., LTD. (EBYTE 社)、ISO 認定工場にて製造されたものです。認証に関わる情報が必要な場合は、株式会社クレアリンクテクノロジーの営業問い合わせ先へお問い合わせください。

本製品製造工場は、ISO9001 をクリアした品質管理工程の下、製造されています。

ただし、本製品モジュール部以外の実装品や付属品、登録アンテナについては、メーカ各社の製造要件に従って製造されているため、当社において個別に回答することはできません。各アンテナメーカー様にご確認ください。

20.2 RoHS 認証

製品の製造プロセスは、Pb フリーの製造プロセスを使用しております。採用プロセス、生産ラインにおける RoHS、RoHS 2.0 指令の準拠検査を行っています。

アンテナやモジュール以外の評価基板や関連製品などにおいては、Pb フリーではないものも含まれる可能性があります。それぞれの製品の製造者へご確認ください。

20.3 日本国外でのご利用に関して

本製品の日本国外での使用については、本文書の範囲の使用方法において、対応していません。海外での使用をご検討のお客様は、弊社、担当営業まで詳細をお問い合わせください。随時、海外における情報や製品アップデートの提供などをおこなっており、お客様に最適な最新情報を提供させていただきます。

改訂履歷

2024 年 8 月 30 日

Firmware ver.1.0 Rev 1.0 初版

重要事項

株式会社クレalinkテクノロジーは、このドキュメントのすべての内容の最終的な解釈および変更の権利を留保します。

製品のハードウェアとソフトウェアは継続的に改善されているため、このドキュメントは予告なしに変更されることがあります。その場合、本ドキュメントの最新バージョン、および、リビジョンが優先されます。この製品を使用する設計者は、当社の Web サイト等を通じて、製品の動向に注意し、本製品の最新情報をタイムリーに取得してください。

Important Notice

CLEALINK TECHNOLOGY CO., LTD. reserve the right of final interpretation and modification of all contents of this document.

Since the product hardware and software are continually improved, this document may change without notice. In such cases, the latest version and revision of this document shall take precedence. Designers using this product should pay attention to product trends and obtain the latest information on this product in a timely manner through our website, etc.

