

Technical Datasheet

920MHz LoRa 省電カワイヤレスモジュール

E220-900T22S(JP) / E220-900T22L(JP)

920MHz 13dBm(20mW) 特定小電力無線局 (22S) 920MHz
22dBm(160mW) 陸上移動局(登録局) (22L)

Firmware **ver.2.0**

Rev.1.0.2

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、「E220-900T22S(JP)」、「E220-900T22L(JP)」を、必要に応じて、それぞれ「22S」、「22L」と略記します。この2種を総じて表現する場合、「22x」、もしくは、「22x(JP)シリーズ」などと称します。特に区別などを要しない場合は、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、および陸上移動局(登録局)250mW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

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アリンクテクノロジー、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、株式会社クレアリンク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

本ドキュメントで取り扱う、E220-900T22S(JP)と、E220-900T22L(JP)は、相互運用が可能な、同一周波数帯の無線通信、同型式の LoRa 変調方式をサポートしたシリーズモデルです。また、外部電気仕様（給電や信号線）、および、ソフトウェア仕様においては高い互換性を有します。しかしながら、日本国内の電波法区分のため、適合する電波法での無線技術適合区分が異なるため、それぞれの個体の無線機能部分には電氣的に差があります。

E220-900T22S(JP)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。

E220-900T22L(JP)については、920MHz 陸上移動局(160mW)であり、同 250mW 以下に区分され、登録局（免許不要）となります。

陸上移動局（登録局）の申請・開設（E220-900T22L(JP) [160mW]モデルのみ）

E220-900T22L(JP)については、920MHz 陸上移動局(登録局)であり、電波を特別な閉鎖外の空間へ発射する場合、その利用、使用においては、総務省への無線局の登録と電波使用料の納付が求められます。詳しくは、総務省、ならびに、各地域に設置されている、総合通信局・総合通信事務所の情報をご確認ください。

当社からも、本申請・開設の手順についてご案内をしております。担当者へお問い合わせいただくことでご案内が可能です。手続きの有償代行など行政書士法に抵触する恐れがある行為に及ぶところは、行政書士へのご相談を推奨します。

目次

1	概要	1
1.1	はじめに.....	1
1.2	機能.....	2
1.3	アプリケーション.....	4
1.4	アプリケーションのトポロジーや電力コントロール.....	4
1.5	ファームウェア ver.2.0.....	10
1.6	Firmware ver.1.0 との互換性.....	11
2	仕様	12
2.1	モジュールの内部構成.....	12
2.2	絶対定格定格.....	12
2.3	動作パラメータ.....	14
2.4	電圧レンジと電力送信パフォーマンス.....	15
2.5	ロジックレベル.....	17
2.6	低電圧動作モード.....	19
2.7	VCC 給電時の VDD 出力電流の利用.....	20
2.8	準拠規格.....	20
3	ピンアサイン	21
3.1	ピンアウト [E220-900T22S(JP)].....	22
3.2	ピンアウト [E220-900T22L(JP)].....	23
3.3	回路設計や基板実装時のピンアサインの注意.....	24
4	通信機能の詳細	25
4.1	デバイスアドレスと通信方法.....	25
4.2	ユニキャスト送信 (デバイス指定送信).....	27
4.3	ブロードキャスト送信.....	28
4.4	モニターアドレスによる受信.....	29
5	オペレーション方法	31
5.1	利用手順概要.....	31
5.2	リセット動作.....	34
5.3	モード選択 (M1, M0 ピン).....	34
5.4	補助出力の利用 (AUX 信号).....	38
5.5	送受信バッファ (モジュール内バッファ) 【ver.1 互換モード / デフォルト】.....	39
5.6	送受信バッファ (モジュール内バッファ) 【Strict Mode (v2.0 厳格動作)】.....	41
6	オペレーションモード (マイコンからの操作方法を中心に解説)	43
6.1	通常送受信モード (mode 0) <M1=Low, M0=Low>.....	43
6.2	WOR 送信モード (mode 1) < M1=Low, M0=High >.....	44

6.3	WOR 受信モード (mode 2) < M1=High, M0=Low >	44
6.4	Config/DeepSleep モード (mode 3) < M1=High, M0=High >	44
6.5	ver.1 互換モードオペレーション (デフォルト)	44
6.6	データ送信 【ver.1 互換モード/デフォルト】	45
6.7	データ受信 【ver.1 互換モード/デフォルト】	47
6.8	コマンド送受信 【ver.1 互換モード/デフォルト】	47
6.9	Strict Mode (v2.0 厳格動作)オペレーション	48
6.10	データ送信 【Strict Mode (v2.0 厳格動作)】	48
6.11	データ受信 【Strict Mode (v2.0 厳格動作)】	50
6.12	レジスタとコマンド送受信 【Strict Mode (v2.0 厳格動作)】	50
6.13	CHECKSUM 【Strict Mode (v2.0 厳格動作)】	51
6.14	AUX ピン動作	53
6.15	エラーハンドリング	55
7	基本的な使用方法	56
7.1	設定コマンドと送信までの一連の流れ	56
8	無線通信 (ハードウェア・無線技術を中心に解説)	60
8.1	LoRa 変調パラメータ	60
8.2	AirTime と AirBitRate	60
8.3	受信感度および送信電力と通信距離	63
8.4	キャリアセンス動作	63
8.5	暗号通信	64
8.6	WOR 通信	64
8.7	環境ノイズモニタリング	65
9	コンフィグレーション	66
9.1	設定レジスタ	66
9.2	状態レジスタ	74
9.3	個体番号レジスタ	77
9.4	周波数チャンネルと帯域幅一覧	78
10	コマンドフォーマット	82
10.1	コマンド一覧	82
10.2	コマンド操作手順	84
11	連続波の送信テスト機能 (通常は使用しない)	88
12	ハードウェアデザイン	89
12.1	基本的な回路設計	89
12.2	無線回路への影響	93
12.3	省電力設計	94

12.4	アンテナ・筐体.....	95
12.5	UART ボーレート.....	97
12.6	バッテリーの使用.....	97
13	よくある質問 (FAQ)	102
13.1	通信互換性.....	102
13.2	通信可能距離.....	102
13.3	電波の出力損失の回避.....	104
13.4	デバイスの接続台数 (同時使用台数)	105
13.5	モジュールの使用環境.....	106
13.6	BER (ビットエラーレート)	106
13.7	送達確認符号返答 (ACK)	107
13.8	連続パケット送出時の AirDataRate.....	108
13.9	パケット到達のリアルタイム性.....	109
13.10	他の 920MHz 通信機器との電波干渉.....	109
13.11	モジュール制御ロジックの改良の禁止.....	110
13.12	RSSI 値による送信電力制御	110
13.13	LoRa を使用した中継通信.....	110
13.14	技術適合認証・電波法.....	111
13.15	日本国外での使用について.....	111
14	推奨アンテナ.....	113
14.1	E220-900T22S(JP) 13dBm 特定小電力無線局の使用可能アンテナ.....	113
14.2	E220-900T22L(JP) 22dBm 陸上移動局の使用可能アンテナ	113
14.3	アンテナの VSWR 値.....	114
14.4	フレネルゾーン	114
14.5	外部アンテナの設置方法	117
14.6	PCB 基板・FPC 基板の設置方法.....	118
14.7	SMD 実装基板	120
14.8	アンテナサイズと VSWR の関係.....	121
15	リフロー・ソルダリングガイド.....	123
16	バルクオーダーパッケージ.....	125
17	ファームウェアの書き換え.....	126
18	製品の問い合わせ・サポート	127
19	製品の製造について	128
19.1	品質・ISO 認証.....	128
19.2	RoHS 認証	128
19.3	日本国外でのご利用に関して	128

改訂履歴 129

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 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ー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。



E220-900T22S(JP)

Release 2



E220-900T22L(JP)

E220-900T22x(JP)シリーズは、LoRa ワイヤレスの新世代モジュールである SEMTEC 社 LLCC68 チップを採用し、UART シリアル通信インタフェースを提供する通信モジュールです。このモジュールは、LoRa ワイヤレス伝送の多様な方式とパラメータをサポートし、周波数 920.6~928.0MHz の 920MHz 帯アンライセンスバンドを使用し、LoRa スペクトラム拡散技術によって動作します。標準的な電源構成において、TTL レベル出力は、3.3V I/O ポートの信号電圧と互換性があります。

E220-900T22x(JP)シリーズは、この新世代の LoRa モデムチップの採用によって、従来の SX1276 ソリューションと比較して 伝送距離が長く、高ビットレートで、消費電力が低く抑えられているのが特徴です。

また、Wake on Radio(WOR: 無線によるウェイクアップ)、Carrier Monitoring(キャリアモニタリング、キャリアセンス)、Communication Key(通信暗号キー)などの機能をサポートし、Sub-Packet Length(サブパケットの長さ)設定などをサポートします。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 帯の広い周波数範囲をカバーすることができます。

E220-900T22S(JP) Release 2 (以下、本ドキュメントでは、単に E220-900T22S(JP)と記載)は、ファームウェア ver.2.0 を搭載した E220-900T22S(JP)であり、その電気的特性においては、E220-900T22S(JP) (無印版)と同一です。

E220-900T22L(JP)は、E220-900T22S(JP)と電気的特性が異なり、アプリケーションで使用するピンアサインに互換性はありますが、管理用に使用する内部アクセス用のピンアウトが一部異なります。しかし、ハードウェア、および、ソフトウェアの設計上はほぼ同様に取り扱うことができ、はんだ実装時のランドパターン、ソフトウェアによる設定や操作についても、無線出力パラメータに差がある程度で、高いソフトウェア互換性を持ちます。これらは、相互に通信互換性があり、ハードウェア、ソフトウェアも原則互換性を維持して交換可能な設計を可能とするもので、アプリケーションの設計時の負担を軽減し、改良を容易にします。E220-900T22S(JP)で設計されアプリケーションの展開において、実際の利用時に無線の到達性に困難が生じた場合でも、その一部のみを E220-900T22L(JP)に置き換えることによって、最小限のコストと労力で、安定したアプリケーションの稼働を確保することを期待できます。

1.2 機能

本モジュールの代表的な機能概略を列挙します。一般的な同種のモジュールに搭載されている機能の他、本モジュール固有の機能も含まれます。各機能の詳細については、本ドキュメントの詳細記述を確認してください。対応ファームウェアバージョンが付記されている機能は、そのファームウェアバージョンで利用可能になった機能です。

- ✓ [E220-900T22S(JP)/ E220-900T22L(JP)] 共通
 - LLCC68 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 Private LoRa 方式 (他社・他種の Private LoRa、LoRaWAN との相互通信・互換性はありません)
 - 理想的な条件下では通信可能距離は 5km 以上
 - 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 200 バイトのペイロードを使用可能
 - ソフトウェアの開発者や利用者自身で Communication Key(通信暗号キー)を設定可能
 - 通信暗号キーは読み取ることができず、LoRa 通信における通信の機密性の向上に寄与
 - 信号品質の評価、通信ネットワークの改善、および測距のための RSSI 信号強度インジケータ機能をサポート
 - バッテリー駆動のアプリケーションに適した、Wake on Radio(WOR：無線によるウェイクアップ)をサポートし超低消費電力機能を提供
 - 固定デバイス宛送信、ブロードキャスト送信、チャンネル監視をサポート
 - 日本国内での ISM 920MHz 周波数帯域をサポート
 - 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
 - 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

- DeepSleep による待機、送信、受信待受、省電力 WOR 受信待受のモードセクタ
- 1.7K~62.5kbps のデータ伝送レートをサポート(連続送信時には電波法の制約で低下)
- 標準給電手順では、3.1~5.5V(3.5V 以上推奨)の DC 電源をサポート
- 内蔵 LDO の余剰電力を設計者の機器に供給して省電力化
- 低電圧給電手順の使用で 2.2~3.6V (2.9V 以上推奨) DC 電源に対応 [ver.1.2/2.0]
- 安定・堅牢な産業システム向けに、UART チェックサムをサポート [ver.2.0]
- 送受信効率を高めるバッファ構造を採用 [ver.2.0]
- エラーハンドリングサポートを強化 [ver.2.0]
- ステータスハンドリング機能を強化 [ver.2.0]
- 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はんだ、量産リフローに対応

✓ [E220-900T22S(JP)]

- 最大送信電力は 13dBm(約 20mW)

✓ [E220-900T22L(JP)]

- 最大送信電力は 22dBm(約 160mW)

1.3 アプリケーション

E220-900T22x(JP)シリーズは、シリーズモデルである、22S と 22L で相互通信も実現でき、アプリケーションの幅を拡大します。

- ホームセキュリティアラーム、リモートキーレスエントリー
- 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
- ビルディングオートメーションソリューション
- ワイヤレス産業グレードリモートコントロール
- ヘルスケア製品
- 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
- 研究ラボ計測機器
- ウェアラブルデバイス

1.4 アプリケーションのトポロジーや電力コントロール

Private LoRa におけるトポロジー（通信ノードの通信パターンの組み合わせ方など）は、LoRaWAN などと比較して自由度が高く、LoRaWAN では実現できないアプリケーションを実現できる可能性があります。また、LoRaWAN のような、インターネットを介してクラウドサーバーへデータを集約するような使用方法を想定する場合は、この Private LoRa から IP 通信へのゲートウェイ（LoRa - IP Gateway、アクセスポイント）を設置・使用して、中継が必要です。

本製品シリーズ E220-900T22x(JP)の通信モジュールに、特段の目的を区別する機能やモジュールの区別はなく、コンフィグレーション機能からの設定と、アプリケーションの実装によって、振る舞いを任意に実装できます。

Private LoRa よく使用されるトポロジーには、以下のようなものがあります。

- アクセスポイント／ゲートウェイ
- 図 1 はアクセスポイント／ゲートウェイ型のネットワークトポロジーの概略を示しています。ゲートウェイが中心となり複数のアクセスポイントと接続しています。各アクセスポイントには複数のデバイスを接続することが可能で、それぞれのデバイスはアクセスポイントを通じてインターネットにデータを送信します。アクセスポイントとゲートウェイ間は、LoRa 通信、それ以外の通信方式を使用することが可能です。また、アクセスポイントを省略したデバイスが直接ゲートウェイへ接続するパターンが実際にはより多く使用されます。

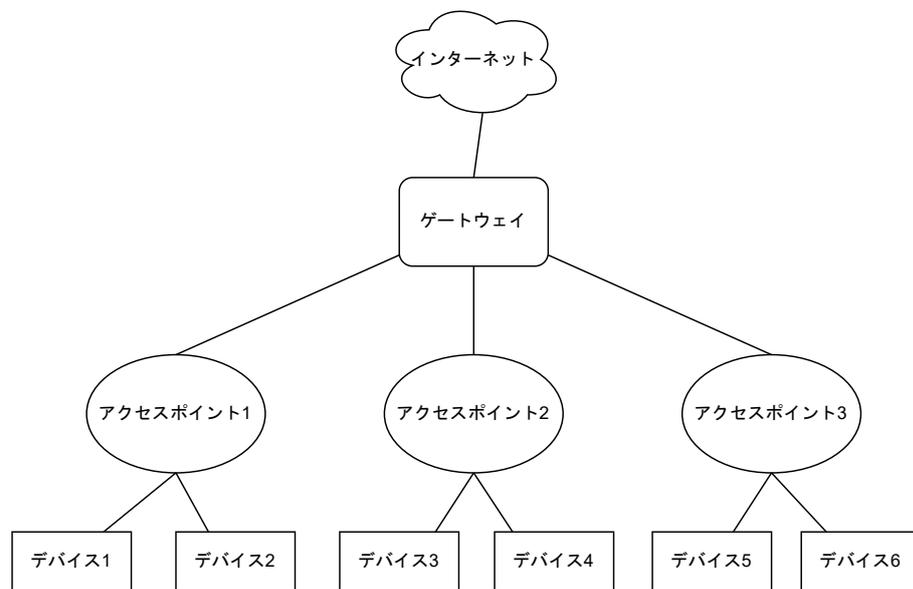


図 1 アクセスポイント／ゲートウェイ

- マルチアクセスポイント／ローミング

図 2 はマルチアクセスポイント／ローミング型のネットワークトポロジーを表現しています。複数のアクセスポイントが同一のゲートウェイに接続されており、同じネットワークを形成しています。ローミングデバイスは点線で各アクセスポイントに通信が可能で、これはデバイスがアクセスポイント間を自由に移動できることを示しています。この構成により、デバイスは広い範囲でデータ送達パスを確保しながらアクセスポイントのカバレッジエリア内を移動することができます。このとき、本 Private LoRa 等では、デバイスは送信先であるアクセスポイントを（位置情報などから）明示的に指定するか、すべてのアクセスポイントでデバイスからの送信パケットを受信できるように設計する必要があります。

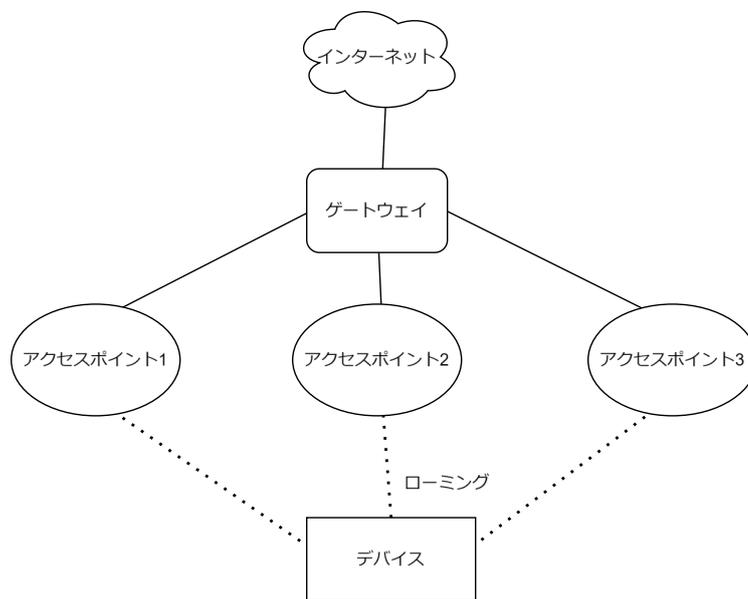


図 2 マルチアクセスポイント／ローミング

- マルチホップ／中継伝送／メッシュ

図 3 はマルチホップ／中継伝送／メッシュ型のネットワークトポロジーを表現しています。各ノードは複数の他のノードと接続されており、メッシュ構造を形成しています。ノード間の接続は双方向で、データの送受信が可能です。直接的な接続がないノード間でも、中間ノードを経由してデータ伝送が行われます。このトポロジーの利点として、以下があります。

- ・冗長性：複数の経路が存在するため一部のノードが故障しても通信が維持される
- ・拡張性：新しいノードを容易に追加できる
- ・自己修復：ネットワークは動的に最適な経路を見つけることができる
- ・広いカバレッジ：直接通信できない遠距離のノード間でも通信が可能となる

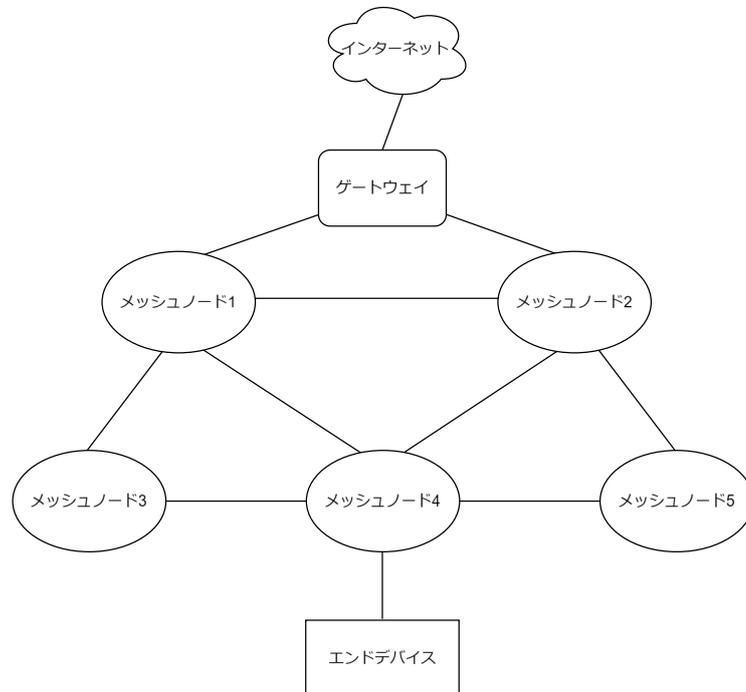


図 3 マルチホップ／中継伝送／メッシュ

このようなメッシュ型マルチホップを行う場合は、本 Private LoRa モジュールにおいては、アプリケーションによる実装にて、マルチホップメカニズムを実装する必要があります。

- 一斉配信／制御／同期／ビーコン

図 4 は一斉配信／制御／同期／ビーコン型のネットワークトポロジーを表現しています。中央コントローラーから各ノードへの一斉配信を表しています。これは制御コマンドや更新情報の配信などに使用されます。また、ビーコン送信は各ノードが定期的に送信するビーコン信号を表しています。これはノードの存在を知らせたり、通信のタイミングを維持したりするために使用できます。

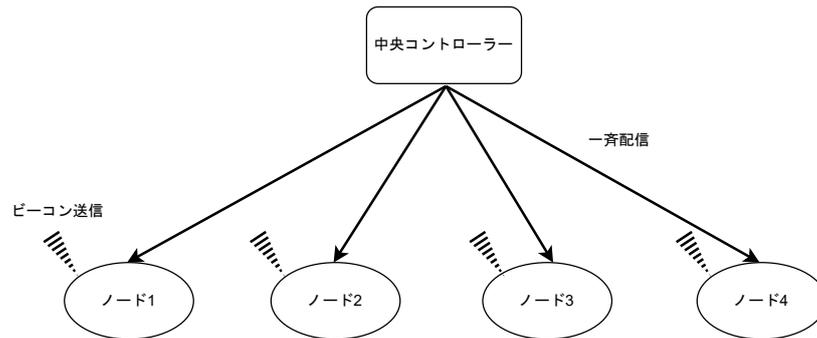


図 4 一斉配信／制御／同期／ビーコン

Private LoRa 方式では、通信の長距離到達性を利用して、このような使用方法が比較的広いエリアに適用可能です。双方向通信を行わない場合に限っては、中央コントローラーを出力の大きな 22L を用いることで、リーズナブルにノードへの電波到達エリアを拡大することが考えられます。また、中央コントローラーを受信専用で使用する場合で、一切送信処理を行わないようにした場合は、受信専用アンテナとして、電波法の規定を無視できる場合もあります。

- ピア・ツー・ピア型

図 5 は、ピア・ツー・ピア（P2P）型のネットワークトポロジーを表現しています。各アプリケーションの機能は、各ピア（LoRa デバイス）に分散しており、中央サーバーを介せず全てのピアが対等な立場で通信を行います。

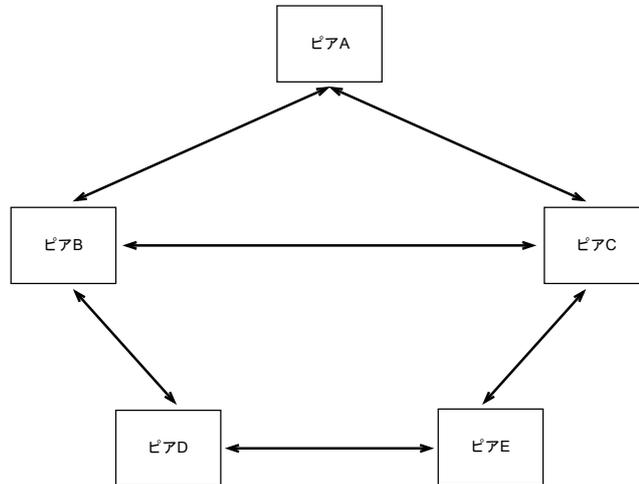


図 5 ピア・ツー・ピア型

このトポロジーは、Private LoRa 方式における特有の使用方法として、通信インフラが脆弱な僻地や、通信インフラの空白地帯において、デバイス間での自律通信を成立させたい場合に使用される方法です。インターネットへのデータ伝送はできませんが、互いの位置関係を把握するなど、ワイヤレス通信でのアドホックな閉域網として機能させる場合、本モジュールでは簡便に実装できるため好まれます。

1.5 ファームウェア ver.2.0

ファームウェア ver.2.0(以下、単に「ver.2.0」)は、ver.1.0、ver.1.2 への後方互換性に配慮した、高機能かつアプリケーションやハードウェアの堅牢性を強化する目的で設計されたファームウェアです。ver.1.x 搭載のモジュールは ver.2.0 へ変更することはできません。E220-900T22S(JP)においては、無線仕様に変更はありませんが、E220-900T22L(JP)は、E220-900T22S(JP)とモジュール設計が異なります。

現在、製品モデル毎のファームウェアバージョンのサポートは、次の通りです。

- E220-900T22S(JP) firmware ver.1.0, ver.1.2
- E220-900T22S(JP) [A] firmware ver.2.0 本データシートの対象
- E220-900T22L(JP) [H] firmware ver.2.0 本データシートの対象
(E220-900T22L(JP)は、ver.1.0、ver.1.2 は提供していません)

ファームウェア ver.2.0 は、設計者による外付けMCU（マイコンなど）と本通信モジュール間で行われる通信や信号の精度を高め、また、ビットエラーによる文字化け検出（チェックサム機能）、エラー発生時の例外処理のためのステータス管理（ステータスレジスタ）、無線通信処理のブラックボックス化を避け、法的に許容される範囲において、アプリケーションで通信時の振る舞いを決定できる機能（キャリアセンスカウンタ、タイムアウト設定）の強化などを大幅にアップグレードしています。

本通信モジュール内の不揮発メモリに個体識別符号を（設計者や使用者の任意で）記憶させることが可能で、これによって、多数のデバイスを効率良く管理でき、無線チャンネルを最適にバランスさせるなどの目的にも供します。8バイトの IEEE EUI64 アドレス等にも対応できます。

ver.1.x(ver.1.0、1.2)と比較した場合、各動作シーケンス、信号レベルの変遷タイムチャートをより厳密に定義することで、MCU やアプリケーションの動作時間の効率化に供することで低消費電力なアプリケーションを実現できるようになります。また、ver1.x では、内蔵のLDOを経由した給電のみを公式にサポートしており、3.5Vを下限給電電圧としていましたが、ver.2.0においては、給電方法を拡大し、また、内蔵電源管理機構を改良することで、低電圧給電専用端子から、(UVLO無効設定時)最低2.1V程度まで動作させることが可能となりました。モジュール全体の要求電源電圧は、2.1~5.5Vと広いレンジで対応でき、3.7V系バッテリー(3.0-4.2V程度)、乾電池や乾電池タイプの二次電池(2本直列時、2.1~3.4V程度)、コイン・ボタン電池(CR系2.9~3.1V程度)USB VBUS+5V給電、多くのマイコンで使用される3.3Vや2.8Vなどと直結でき、可変電圧レベルにも各給電端子電圧の対応範囲で許容できるため、一般的な設計における外挿の電圧レギュレータを省略することも可能となり、バッテリーや機器の小型化を可能とします。

1.6 Firmware ver.1.0 との互換性

ver.2.0 の特徴は、ver.1.x との相互運用性（後方互換性）があります。ver.2.0 の初期コンフィグレーションレジスタの状態は、送信モード設定ビットを除き、ver.1.x と同一の設定状態（ver.1 互換モード）です。既に開発済みのソフトウェアにおいても原則変更無しに使用可能です。設定を明示的に行わず、透過送信モードを利用している場合に限り、初期化時にそのビットをリセット（「0」に）することで互換性を維持できます。ver.2.0 では、バッファや信号線の挙動については、より効率化するための改良が行われており、微妙なタイミングの変化が発生しますが、通常のソフトウェアの設計や実装ではこの影響はありませんが、AUX ピンのタイミングや状態などを恣意的に利用している場合などに限り注意が必要です。

ver.2.0 の初期起動状態から、ver.2.0 の進化・拡張機能を有効（Strict Mode v2.0 厳格動作）とするためには、ver.2.0 で追加されたコンフィグレーションレジスタの設定をして利用する必要があります。そのため、それをしない限りは ver.1.x のソフトウェア仕様を踏襲しています。

2 仕様

2.1 モジュールの内部構成

本モジュールは、図 6 に示すように、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 モデムチップ、RF スイッチ、フィルター回路、および、電源回路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。

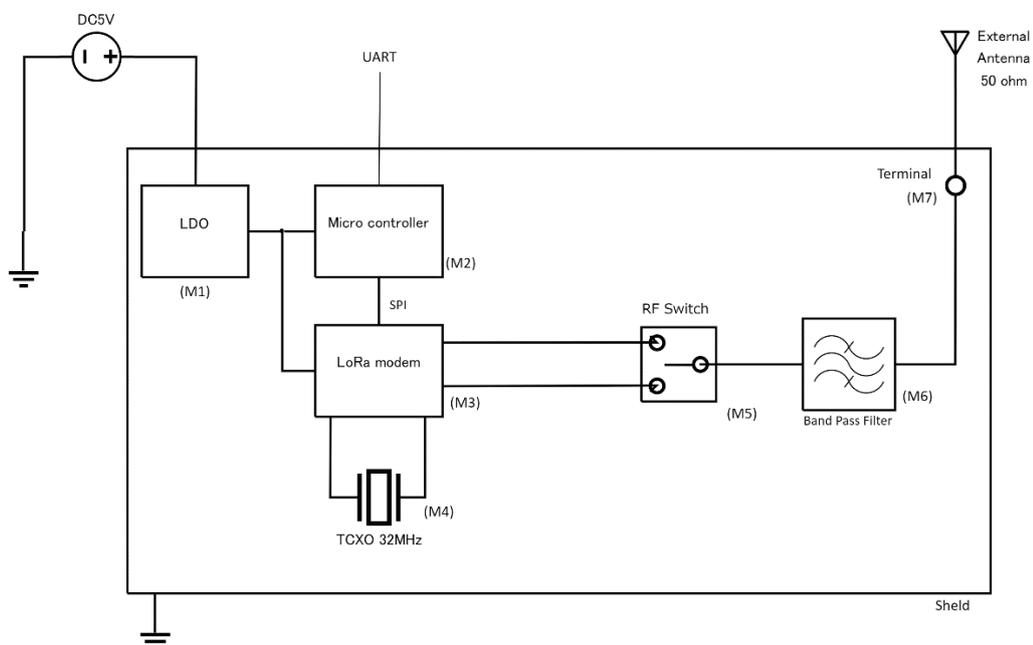


図 6 モジュール内部構成図

2.2 絶対定格定格

定格

パラメータ	動作定格		詳細
	最小	最大	
VCC 給電電圧(V) (VDD 端子と排他利用)	2.2	5.5	低電圧動作モード無効時は最小 3.1V
VDD 給電電圧(V) (VCC 端子と排他利用)	2.1	3.6	低電圧動作モード無効時は最小 3.0V

VCC 消費電流(mA)		約 300 ※1	VCC 給電時
VDD 消費電流(mA)		約 300 ※1	VDD 給電時
VDD 出力電流		約 300 ※1	VCC 給電時の出力可能電流
VDD 引出可能電流		約 150 ※1	100mA 程度以内で使用することとし、 ノイズなど混入させないこと
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

※1 各電流値は、モジュール内部の LDO の出力電流定格を表しています。VDD 出力電流を実際に使用する場合は、モジュール内部消費電流を引いた値が出力電流の利用上限となります。安定して利用いただくため、VDD からの電流引き出しについては、設計者による十分な考慮の上、ご使用することを想定しています。

※2 ブロッキング電力とは、ノイズなどの干渉信号による妨害で、受信機のアンプが線形増幅できない信号歪みの生ずる点を超えて、信号の利得が 3dB 低下するポイント(3dB compression point)の干渉信号の電力を表します。受信モジュールのすぐ近くで、同一周波数帯の信号を発信すると、受信感度が低下します。

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	5.5	5.5V 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。 VDD 端子から給電する場合は、VCC 端子は開放する必要があります。
VDD 給電電圧 (V)	-0.3	3.6	3.6V 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。 VCC 端子から給電されている場合、VDD 端子は、約 3.3V のモジュール内部 LDO の出力を観測できます。
その他 I/O 端子電圧(V)	-0.3	3.5	
I _{IO-SRC} I/O ピン出力電 (mA)	-	-25	TXD, AUX の各ピンは、この出力電流まで取り出すことが可能ですが、給電電流がその分増加します。
I _{IO-SRC} I/O ピン入力電流 (mA)	-	25	RXD, M0, M1 の各ピンは、この入力電流まで流し込むことが可能ですが、これらの各ピンは、入力 Hi-Z 状態を維持しているため通常はこの電流を流すことはできません。

2.3 動作パラメータ

VCC から給電の場合

パラメータ	性能値			詳細
	最小	標準	最大	
動作電圧(V)	3.1	5.0	5.5	
動作電圧(V) UVLO disable 時	2.2	5.0	5.5	
ロジックレベル(V)	※3	3.3	-	5V TTL を接続した場合、焼損の可能性があります

※3 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。

VDD から給電の場合

パラメータ	性能値			詳細
	最小	標準	最大	
動作電圧(V)	3.0	3.3	3.6	
動作電圧(V) UVLO disable 時	2.1	3.3	3.6	
ロジックレベル(V)	-	VDD	-	5V TTL を接続した場合、焼損の可能性があります

共通

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)	22S	920.6	-	928.0	日本国内での ISM バンドをサポート
	22L	920.6		923.4	
消費電流	送信時(mA)	22S	43		瞬間消費電流@13dBm
		22L	110		瞬間消費電流@22dBm
	受信待機時(mA)		8.2		パケット受信時と同じ
	WOR 受信モード 平均(μA)	60		330	WOR サイクルは 500ms~3000ms WOR サイクル 500ms のとき最大 WOR サイクル 3000ms のとき最小
	Config/DeepSleep モード時(μA)		2.5		
最大送信電力(dBm)	22S	-	13	-	
	22L	-	22	-	
受信感度(dBm)		-	-124	-	-124dbm, BW_L=125kHz, SF = 7 -129dbm, BW_L=125kHz, SF = 9 -121dbm, BW_L=250kHz, SF = 7 -129dbm, BW_L=250kHz, SF = 10 -117dbm, BW_L=500kHz, SF = 7 -127dbm, BW_L=500kHz, SF = 11

LoRa 変調速度(bps)	1.7k		62.5k	設定で変更可能
伝送速度(bps)	1.1k		31.6k	200byte データ送信時の Time on Air から算出
最大パケット長	200 byte			周波数区分によって、一部 32 byte に制限されます。※4
送信サブパケット長	32 / 64 / 128 / 200 byte			透過 (トランスペアレント) 通信モードの場合
バッファ長	408 byte			
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
RF 出力インピーダンス	50Ω			
パッケージ	DFN-22 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	16mm × 26mm × 3.0mm			
重量	2g			
アンテナ端子	IPEX / エッジスルーホール			インピーダンス 50Ω
準拠無線装置規格	ARIB STD-T108			

※4 ver1.x では、通常送信モードでの宛先アドレスとチャンネル設定の 3 バイトを含みます (実質 197byte がペイロード)。ver2.0 では、宛先アドレスとチャンネル設定を含めずにペイロード長のみで 200byte を使用できます。

2.4 電圧レンジと電力送信パフォーマンス

E220-900T22S(JP) VCC 給電時

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)	2.2	3.1	5.5	
最大出力(dBm) 22S	11.3	13.0	13.0	13dBm 設定時

E220-900T22S(JP) VDD 給電時

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)	2.1	3.0	3.6	
平均出力(dBm) 22S	11.3	13.0	13.0	13dBm 設定時

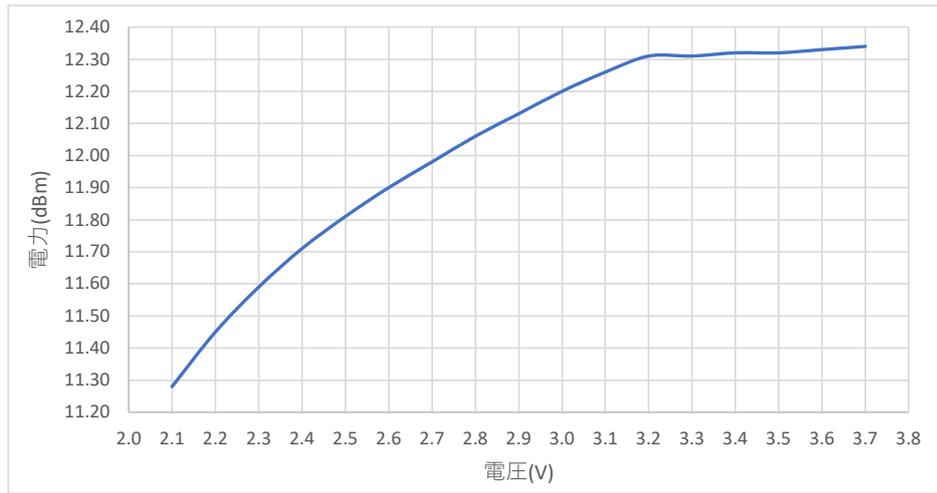


図 7 給電電圧と RF 出力電力 [E220-900T22S(JP)]

E220-900T22L(JP) VCC 給電時

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)	2.2	3.0	5.5	
平均出力(dBm) 22L	12.2	13.0	13.0	13dBm 設定時

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)	2.2	3.5	5.5	
平均出力(dBm) 22L	16.4	22.0	22.0	22dBm 設定時

E220-900T22L(JP) VDD 給電時

パラメータ	RF 出力			詳細
	最小	最適出力 (下限)	最大	
給電電圧(V)	2.1	2.9	3.6	
平均出力(dBm) 22L	12.2	13.0	13.0	13dBm 設定時

パラメータ	RF 出力			詳細
	最小	最適出力 (下限)	最大	
給電電圧(V)	2.1	3.4	3.6	
平均出力(dBm) 22L	16.4	22.0	22.0	22dBm 設定時

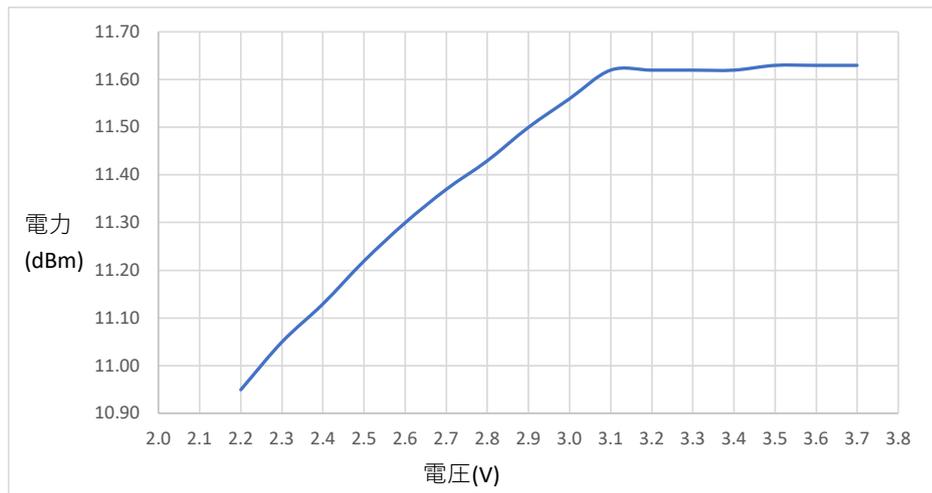


図 8 給電電圧と RF 出力電力(13dBm) [E220-900T22L(JP)]

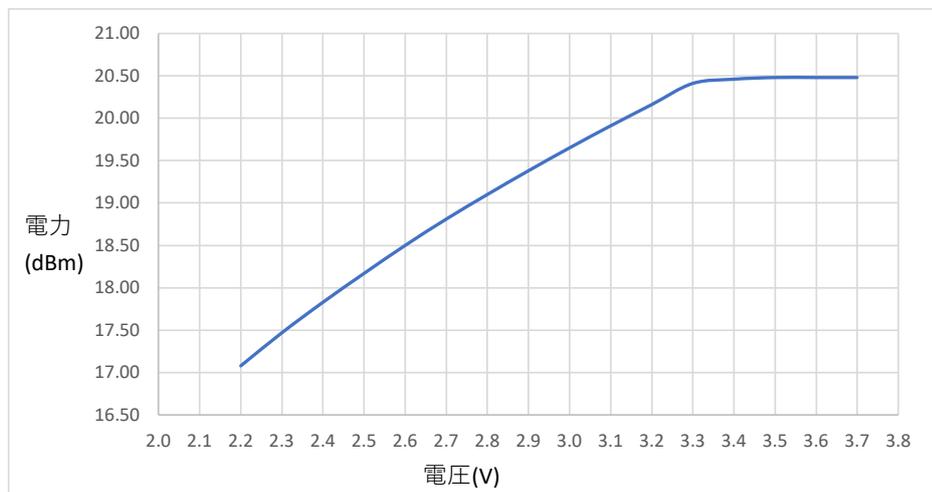


図 9 給電電圧と RF 出力電力(22dBm) [E220-900T22L(JP)]

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

パラメータ				
記号	説明	条件	最小	最大
VOH	High level output voltage Source Current	Sourcing 4 mA, VCC = 3.3 V ※4	VCC-0.25	
		Sourcing 6 mA, VCC = 3.3 V ※5	VCC-0.6	

VOL	Low level output voltage	Sinking 4 mA, VCC = 3.3 V ※4		VSS+0.25	V
	Sink Current	Sinking 6 mA, VCC = 3.3 V ※5		VSS+0.6	V

※4 指定された最大電圧降下を満たすには、すべての出力を組み合わせた最大合計電流 IOH(max) および IOL(max) が 40mA を超えてはなりません。

※5 指定された最大電圧降下を満たすには、すべての出力を組み合わせた最大合計電流 IOH(max) および IOL(max) が 100 mA を超えてはなりません。

ロジックレベル 入力特性: VCC 給電時

記号	説明	条件	最小	最大	
VIH	Positive-going input threshold voltage	VCC ≥ 3.5	0.7 × 3.3		V
		VCC < 3.5	0.7(VCC-0.2)		V
VIL	Negative-going input threshold voltage	VCC ≥ 3.5		0.3 × 3.3	V
		VCC < 3.5		0.3(VCC-0.2)	V

ロジックレベル 入力特性: VDD 給電時

記号	説明	条件	最小	最大	
VIH	Positive-going input threshold voltage		0.7VDD		V
VIL	Negative-going input threshold voltage			0.3VDD	V

入力端子特性

記号	説明	最小	典型	最大	
V _{hys}	入力電圧ヒステリシス Input voltage hysteresis (VIH - VIL)		0.3		V
R _{pullhigh}	Pullup resistor		80		kΩ
R _{pulllow}	Pulldown resistor		40		kΩ
C _{input}	Input capacitance		5		pF

ESD 特性

記号	説明	最小	典型	最大	
V_ESD_HBM	ESD @Human Body Mode		4		kV
V_ESD_CDM	ESD @Charge Device Mode		1		kV
V_ESD_MM	ESD @Machine Mode		200		V
I_latchup	Latch up current		200		mA

2.6 低電圧動作モード

E220-900T22X(JP)シリーズ、および、Firmware ver.2.0 を使用により、低電圧動作モードへの切り替えは第9章のレジスタ 0x09 にて設定操作を行うことで使用可能となります。給電電圧の下限値を引き下げるこの低電圧動作モードの利用では、内部の低電圧検出の閾値を下げることによって、より低い電圧での動作継続を行えるようにしており、より低い電圧においては、相対的に電圧の安定度に対する要求は高くなるため、不安定な電圧源での仕様は推奨されません。

モジュール内部の 3.3V 設計電力ラインは、VCC からの給電時はモジュール内の LDO を通して、また、VDD からの給電は VDD 給電電圧がそのまま反映されます。通常電圧レンジでの動作モードにおいては、内部コントローラーの UVLO(Under Voltage Lock Out)閾値が 2.9V に維持され、3.0V を下回る給電電圧時に、動作不具合の回避や不完全機能動作による電力消費をカットするため、低電圧ロックアウトが働き、3.0V 以上の電圧に復帰するまで内部処理が停止されます。本モジュールの低電圧動作モードを有効とした場合、この UVLO の閾値が 2.0V まで引き下げられ、ロックアウトする電圧閾値が下がります。このとき、設計者は、この 3.3V 設計電力ラインに 2.1V 以上の安定した電力が供給されることを保証する必要があります。

この低電圧動作モードでは、安定動作のための電圧マージンが少なくなること、また、電圧変動のリプルや電氣的ノイズの影響を受けやすくその影響が相対的に大きくなることから、3.5V 程度以上を VCC から給電する場合と比較して電源の安定要件が厳しくなります。バッテリーなどのリプルが少ない DC 電源の使用においては、電源インピーダンス(電池の内部抵抗による出力インピーダンスなど)について気にする程度でよく、本モジュールの最大消費電流程度の使用において十分な電池性能のものであれば、低電圧動作モードは比較的容易に、安全に働かせることが可能です。スイッチング電源などリプルが大きくなる可能性がある電源や、出力インピーダンスが大きくなる可能性のある電源を使用する場合は、バイパスコンデンサ、および、リプル低減のための電源出力ローパスフィルタなどでの対策を推奨します。もしくは、通常の VCC から高めの電圧を給電してください。VDD の給電電源に高周波ノイズが多い場合は、フェライトビーズなどの実装を追加するなど高周波成分の除去を行うことも検討してください。この VDD 電源の品質は無線モデムチップへの安定電圧の給電の安定性に直接的に影響します。

本モジュールのコントローラー、および、LoRa RF モデムは、電氣的仕様で定められた低電圧でも動作しますが、低い電圧域では、無線電力の出力が低下する範囲が生じます。本モジュール規格上の最大電力を得るためには、それぞれの給電、および、動作条件における最適な電圧にて給電を行ってください。

2.7 VCC 給電時の VDD 出力電流の利用

VCC からの給電時に限って、VDD を 3.3V か、もしくはそれ以下の電源出力、もしくは、信号レベルの基準電圧源として使用することが可能です。この VDD ピンは、モジュール内部の LDO の出力ピンにつながっており、モジュール内部における 3.3V 設計電力ラインの電圧を出力します。VCC からの給電電圧が 3.4V 程度を下回ると、(LDO の自己ドロップ電圧によって)この VDD ピンの出力電圧はそれにつれて低下します。また、UART、M0、M1、AUX の各ピンの信号レベルもこの低下に合わせる必要があります、この電圧低下における動作を設計者が担保しようとする場合は、この VDD ピンの出力電圧を基準に各信号ラインのレベルシフト回路を構成してください。

VCC からの給電時に VDD から電流を取り出して使用することも、制限を守る限りにおいて可能です。内部 LDO は約 300mA 程度の出力が可能であり、モジュール内部のコンポーネントへのピーク時給電が 150mA 程度に達するため、若干の余裕をみても 100mA 程度の 3.3V 電源として使用することは可能です。

ただし、この 3.3V 設計電力ラインは、モジュール内部において重要な機能への給電ラインとして電力を供給しているため、ノイズの混入や過電流消費、3.6V を超える電圧の印加などは絶対的に禁止されます。これらの問題に配慮した小電流の使用においては、設計機器全体の電源部品を削減できるメリットもあり、また、外挿電源による自己消費電流をカットできるため、省電力性をより高めることが可能です。

2.8 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

E220-900T22S/22L(JP)のモジュール外形サイズは、26mm×16mm、厚み 3.15mm の端面スルーホール加工を施した、22 ピンの DFN モジュールです(図 10)。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。

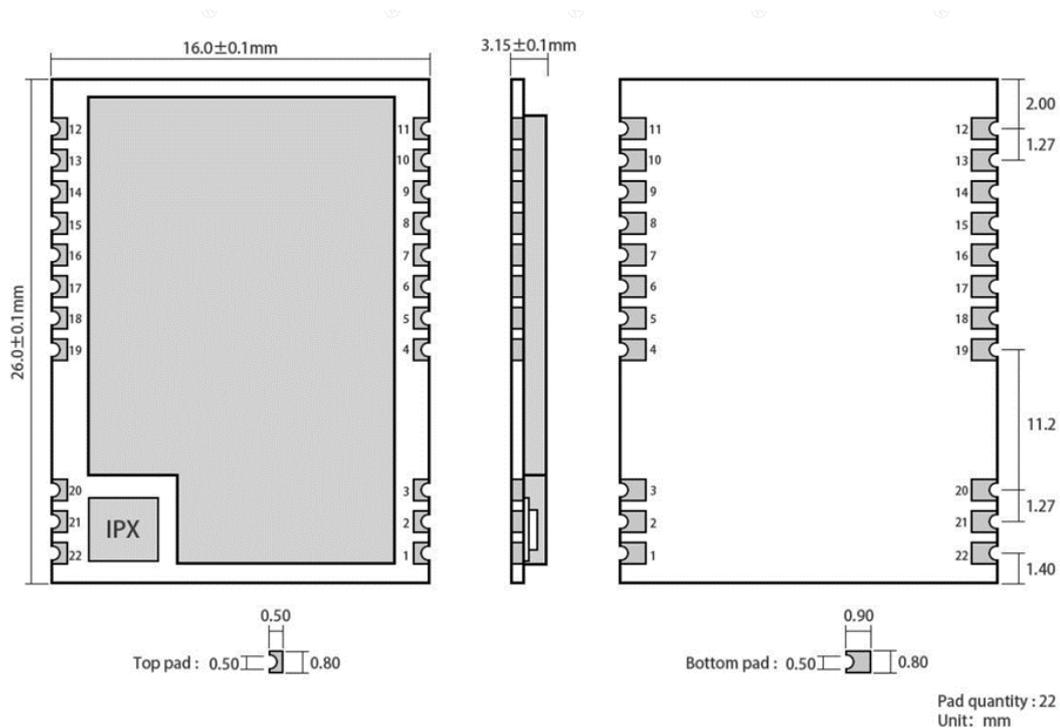


図 10 E220-900T22S/22L(JP) モジュール外形

Pin1～3、および、Pin 20～22 を含む側 (RF 側) は、アナログ RF 回路を搭載した領域となっており、Pin4、および、Pin19 と間隔が空いています。プリント基板に最適に実装するためには、この間隔が空いた部分で、デジタル GND と、RF グランドを分離することを推奨します。また、この RF 側には、高周波発生源を含む部品実装や、基板の GND インピーダンスに影響を与える素子の配置は控えることが好ましく、RF グランドとデジタル GND 間の影響は少なくなるように GND パターンをレイアウトされることを推奨します。また、GND はモジュールの安定動作のため、モジュールのすべての GND 端子を接続して使用してください。

ピンアサインは、E220-900T22S(JP)と E220-900T22L(JP)で通常アプリケーションにて使用するピン配置は共通ですが、ファームウェア更新などに使用するピンに違いがありますので、注意してください。

3.1 ピンアウト [E220-900T22S(JP)]

No.	ピン名称	方向	機能説明
1	AGND	GND	RF グランド
2	AGND	GND	RF グランド
3	AGND	GND	RF グランド
4	GND	GND	グラウンド
5	M0	IN	M1 ピンと併せて 4 種の動作モードを決定します。(モジュール内部で weak pull-up されています)
6	M1	IN	M0 ピンと併せて 4 種の動作モードを決定します。(モジュール内部で weak pull-up されています)
7	RXD	IN	UART 入力、外部デバイス (MCU、PC) の TXD 出力ピンに接続します。(TTL、通常は 3.3V ですが、信号レベルは給電端子、電圧によって変動します)
8	TXD	OUT	UART 出力、外部デバイス (MCU、PC) RXD 入力ピンに接続します。(TTL、通常は 3.3V ですが、信号レベルは給電端子、電圧によって変動します)
9	AUX	Out	モジュールの動作状態を示すために使用されます。 MCU をウェイクアップするとき、および、モジュールへの電源投入時のセルフチェック初期化中に Low (アイドル状態は High) を出力します。(使用しない場合は、Floating のままにすることができます。通常は 3.3V ですが、信号レベルは給電端子、電圧によって変動します) 使用する場合は、信号レベルの安定化のため、AUX ピンの近くに、AUX ピンと GND 間に 100nF(104)程度のキャパシタ配置することを推奨します。
10	VCC	PS	電源供給端子として 3.1~5.5V DC を供給します。 通常は、この端子を利用して給電を行ってください。 VDD端子から給電する場合は、この端子は開放してください。
11	GND	GND	グラウンド
12	SWDIO	IN/OUT	ファームウェア更新用 SWDIO ピン
13	SWGND	GND	グラウンド(ファームウェア書き込み時に GND として利用)
14	SWCLK	IN	ファームウェア更新用 SWCLK ピン
15	VDD	OUT/PS	(Output)内部 3.3V LDO 出力ピン(モジュールの内部消費電流と合わせて最大 300mA まで) (PS)VDD 低電圧給電ピン 2.1~3.6V を給電します。ただし PS(給電)ポートとして利用する場合は、VCC 端子には給電はしてはいけません。
16	NC	-	Empty Pin
17	NC	-	Empty Pin
18	NC	-	Empty Pin
19	GND	GND	グラウンド
20	AGND	GND	RF グランド
21	ANT	RF	アンテナ接続端子
22	AGND	GND	RF グランド

3.2 ピンアウト [E220-900T22L(JP)]

No.	ピン名称	方向	機能説明
1	AGND	GND	RF グランド
2	AGND	GND	RF グランド
3	AGND	GND	RF グランド
4	GND	GND	グラウンド
5	M0	IN	M1 ピンと併せて 4 種の動作モードを決定します。(モジュール内部で weak pull-up されています)
6	M1	IN	M0 ピンと併せて 4 種の動作モードを決定します。(モジュール内部で weak pull-up されています)
7	RXD	IN	UART 入力、外部デバイス (MCU、PC) の TXD 出力ピンに接続します。(TTL、通常は 3.3V ですが、信号レベルは給電端子、電圧によって変動します)
8	TXD	OUT	UART 出力、外部デバイス (MCU、PC) RXD 入力ピンに接続します。(TTL、通常は 3.3V ですが、信号レベルは給電端子、電圧によって変動します)
9	AUX	Out	モジュールの動作状態を示すために使用されます。 MCU をウェイクアップするとき、および、モジュールへの電源投入時のセルフチェック初期化中に Low (アイドル状態は High) を出力します。(使用しない場合は、Floating のままにすることができます。通常は 3.3V ですが、信号レベルは給電端子、電圧によって変動します) 使用する場合は、信号レベルの安定化のため、AUX ピンの近くに、AUX ピンと GND 間に 100nF(104)程度のキャパシタ配置することを推奨します。
10	VCC	PS	電源供給端子として 3.1~5.5V DC を供給します。 通常は、この端子を利用して給電を行ってください。 VDD端子から給電する場合は、この端子は開放してください。
11	GND	GND	グラウンド
12	RESET	IN	モジュールのリセット端子です。Active Low で動作します。
13	SWGND	GND	グラウンド(ファームウェア書き込み時に GND として利用)
14	NC	--	
15	VDD	OUT/PS	(Output)内部 3.3V LDO 出力ピン(モジュールの内部消費電流と合わせて最大 300mA まで) (PS)VDD 低電圧給電ピン 2.1~3.6V を給電します。ただし PS (給電)ポートとして利用する場合は、VCC 端子には給電はしてはいけません。
16	NC	-	Empty Pin
17	SWDIO	IN/OUT	ファームウェア更新用 SWDIO ピン
18	SWCLK	IN	ファームウェア更新用 SWCLK ピン
19	GND	GND	グラウンド
20	AGND	GND	RF グランド
21	ANT	RF	アンテナ接続端子
22	AGND	GND	RF グランド

3.3 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。

- GND、AGND とともに、すべてプリント基板、電源の GND に接続してください。SWGND は、GND へ接続するか、開放のどちらでもかまいませんが、開放した場合は、ファームウェア更新時の書き込み機器の GND を SWGND に接続することを推奨します。
- VDD ピンは、VCC からの給電の代わりに低電圧給電を行える電源供給ピンです。直接 3.3V もしくは、それ以下の電圧を給電可能です。VDD から給電を行う場合、給電の安定化のため、VDD ピンの近くに 100nF(104)の MLCC キャパシタなどを配置し、設計者の責任の下、給電電源においても電流容量、出力インピーダンスに余裕のある電源を使用してください。電流不足、また、それによる電圧降下などによって、UVLO(低電圧ロックアウト)、もしくは、UVLO をオフの状態では直接的な動作不良の原因となります。
- VDD ピンへのスイッチング電源の出力の給電は推奨しません。スイッチングノイズやリップルの少ないリニア電圧レギュレータや出力インピーダンスに余裕のある電池などを接続することを想定しています。電源リップルなどによって、異常動作の原因となる可能性があるほか、モジュール内の低圧回路に損傷を与える可能性があります。
- NC ピンは、使用しません。Floating (開放) させてください。
- 外部の給電制御回路などによってモジュールの電源を断つ場合、M0、M1 端子の Pull-up に注意してください。レベルシフト回路などを挟んで、モジュールと接続する場合に本モジュールの信号線を経由して電流が流れないようにしてください。(モジュールが破損しない場合でも、モジュール内部の抵抗などを通して消費電流が生じます)
- 本モジュールは広い電源範囲に対応しています。信号線は 3.3V を上限 (基本) として、給電電圧によりそれ以下になる場合があります。各ピンの信号レベルは、給電電圧と 3.3V を超えないようにしてください。

4 通信機能の詳細

E220-900T22X(JP)シリーズは、920MHz Private LoRa 通信を提供する通信モジュールです。Private LoRa は、LoRa 変調モデムを使用したデジタル無線を使用する点では、LoRaWAN や他の Private LoRa 通信モジュールと同じですが、変調データを作成する手順やデータエンコード、暗号方式など異なっており、それらと相互に通信することはできません。本セクションでは、本 E220-900T22X(JP)シリーズで提供する Private LoRa 通信の方式について、概説します。

4.1 デバイスアドレスと通信方法

E220-900T22X(JP)シリーズは、コンフィグレーションにより、デバイス毎に ID(デバイス ID、もしくは、デバイスアドレスと称する、符号無し 16bit 値で、ここでは 16 進表現で表す)を付与します。また、受信待ち受けチャンネルを指定して受信待機させることができます。また、送信時には、送信チャンネルと、ターゲットのデバイス ID を指定してパケットを送信します。

受信待ち受けチャンネルはモジュールに 1 つしか設定できませんが、送信チャンネルは送信毎に指定可能です。送信先モジュールの受信待ち受けチャンネルが予め分かっている場合、送信チャンネルを送信パケット単位で切り替えて（電波の混信を減らすように）送信することも可能です。この Private LoRa 通信においては、すべてのデータ送信と受信は、パケット単位で行われ、パケット送信中のヘッダ（に相当する情報）やエンコードされたペイロードが LoRa 変調され無線で発射されている時間がパケットの送信時間となり、一般に Air Time と定義されます。本モジュールにおいて、送信と受信はモジュール内の RF ユニット（アンテナや伝送回路など）を共有します。送信処理中は同時に受信できないため、送信処理の完了まで（タイムアウトを含む、タイムアウト時間の設定については第 9 章のレジスタ 0x0A を参照）は他モジュールから自モジュール宛のパケットが送信されていても受信できない状態となります。

送信データには、ターゲット情報が付与されるため、そのパケットを受信したモジュールにおいて、自デバイス宛か否かを判断しています。受信デバイスでの受信動作中は、後述の WOR 受信時を除き、受信アンプにより常時電波をモニターしているため、受信電力はパケットの受信動作と関係無く受信アンプの消費電流分の受信電力を消費します。本 Private LoRa での送信方式は、ターゲットアドレスの宛先指定によって決定され、ユニキャスト送信(デバイス指定、0xFFFF 以外の 16bit 値)、ブロードキャスト送信 (0xFFFF) を選択できます。また、受信デバイスの ID についても、0x0000~0xFFFFE までの値を通常のデバイス ID として設計者の任意で使用することができ重複して割り当てることも可能です。0xFFFF は、モニターアドレスと呼び、このモニターアドレスを設定されたデバイスは、すべてのターゲットアドレス宛のパケットを受信することができます。

送信側および受信側においてアドレスの使い方を表 1 にまとめます。

表 1 デバイスアドレス設定値 (16bit 値)

受信側	デバイス ID(アドレス)	0x0000~0xFFFFE
	モニターID(アドレス)	0xFFFF
送信側	ターゲット ID(アドレス)	0x0000~0xFFFFE
	ブロードキャスト ID(アドレス)	0xFFFF

受信可能なパケットは、拡散係数、帯域幅が同一に設定された LoRa 通信モジュールで、かつ、送信デバイスの送信時の送信チャンネル（無線周波数）指定と、受信デバイスでの待ち受け受信チャンネル（無線周波数）、および、通信暗号キー（デフォルトでは 0x0000）が一致している場合に限り、この条件に合致する場合に限り、モジュールはパケット受信動作によって、ターゲット ID を識別します。ターゲット ID の識別によって自モジュールが受信すべき判断がされたパケットのみ、モジュール内の受信バッファに格納し、その後 UART から出力されます。

自デバイスの情報は、パケット伝送時に含まれないため、発信ノードの ID を受信ノードで得たい場合は、設計者によってパケットのペイロードに ID など自ノードを示す情報を含む必要があります。受信デバイスでは、ペイロード、受信パケットの RSSI 値（受信電波の強度）の他、レジスタ 0x09 で Strict Mode (v2.0 厳格動作) を有効にしてターゲット ID の出力を有効にした場合は自デバイスのデバイス ID か、ブロードキャスト ID のいずれかを取得できます。受信側・送信側で同一にする設定指定情報、送信時指定情報、パケットに含まれる情報、および、受信時取得可能情報を表 2 にまとめます。

表 2 LoRa パラメータの設定値と受信時の取得可能値

受信側・送信側で同一にしなければならない設定情報	拡散係数 Spreading Factor: SF 値
	帯域幅 Bandwidth: BW
	通信暗号キー (WOR を使用するときは)WOR サイクル
送信時指定情報	ターゲットデバイス ID /ブロードキャスト ID
	送信周波数チャンネル
パケットを構成する情報	プリアンブル / WOR プリアンブル
	ターゲットデバイス ID
	ペイロードデータ
受信時に取得可能な情報	送信時指定のターゲットデバイス ID (v2.0 厳格動作)
	ペイロードデータ
	RSSI (受信電波の強度)

4.2 ユニキャスト送信 (デバイス指定送信)

ユニキャスト送信(デバイス指定送信)を図 11 に例示して詳説します。ユニキャストは、送信チャンネルとターゲットアドレス (宛先) を指定してペイロードを送信します。受信待ち受け側で設定されている LoRa 通信パラメータ (BW、SF)、チャンネル、および、ターゲットアドレスの組がマッチしており、かつ、通信暗号キーが合致した場合にその受信デバイスは、そのパケットを受信します。LoRa パケット送受信は、TCP/IP のようにコネクションを持たない通信であり、かつ、電波の到達範囲でこのパケットは受信可能であるため、複数のデバイスに同一のターゲットアドレスが設定されていれば、それぞれがほぼ同時に同じパケットを受信します。

この仕組みを利用して、制約はあるものの、マルチキャストや、エニーキャストのような振る舞いをさせることもアプリケーションの設計者によって実現可能です。このユニキャストは、受信時の処理で、自モジュールでの受信が確定しないかぎり、接続される MCU への受信トリガ信号である AUX 信号は変化しません。この機能を利用して特定のデバイスに GPIO 信号でのトリガをかけることも容易です。

図 12 のように、アプリケーションによって ACK(Acknowledgement packet、確認応答パケット)を返却したい場合がありますが、ACK は送信モジュールの待ち受けチャンネルとデバイス ID 宛返信される必要があるため、通常は返信チャンネルと返信先のターゲット ID(自モジュールのデバイス ID)をペイロードに含めて送信し、受信側の外付け MCU でそれをデコード、返信処理を実施することになります。

ACK 処理のアプリケーション開発者による実装方法に関して詳しくはサポートサイトページ(<https://support.dragon-torch.tech/887/>)を参照してください。

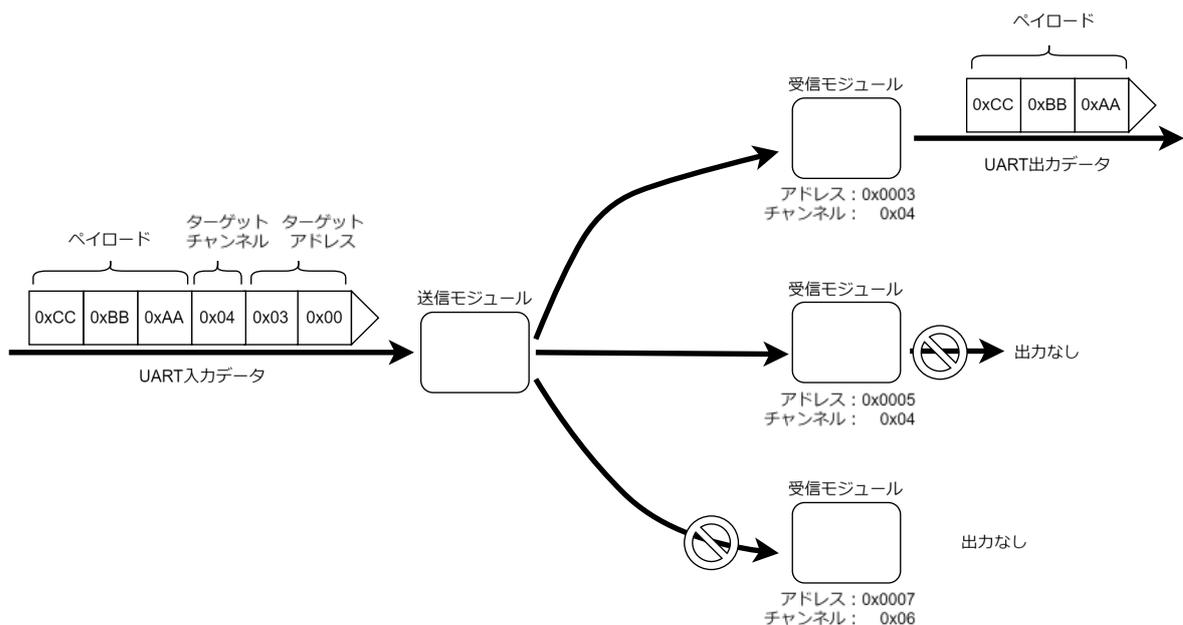


図 11 ユニキャスト送受信の動作概要

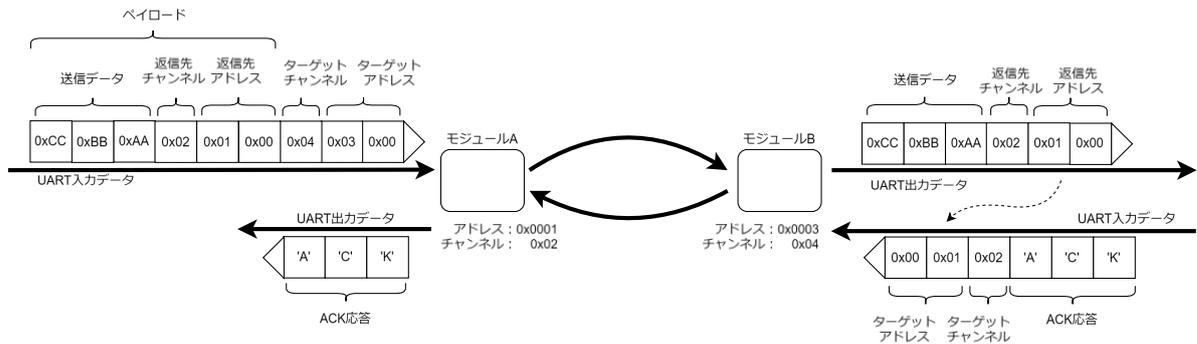


図 12 ACK を利用したユニキャスト動作の概略

※上各図は ver.1 互換モードおよび Strict Mode (v2.0 厳格動作)で、通常送信モードにて CHECKSUM や送信時指定のターゲットデバイス ID 出力を有効にしていない場合のバイト列を示しています。

4.3 ブロードキャスト送信

ブロードキャスト送信は、送信時のターゲットアドレスに「0xFFFF」を指定するのみで実現できます。受信側はいずれのデバイス ID が付与されたものであっても、ブロードキャストアドレスであれば、LoRa 通信パラメータ (BW、SF)、チャンネル、および、通信暗号キーが一致している限り、そのパケットは受信されます。送信した自モジュールが受信することはありません。電波到達の影響によって受信可能な機器は変化するため、アプリケーションの設計者はこのブロードキャスト送信によってすべてのモジュールにパケットが到着することは保証することはできません。受信パケットから、ターゲットアドレスを取得することで、自モジュール宛のユニキャストか、ブロードキャストかを判定することが可能です。受信パケットのターゲットアドレス値を取得する方法については、6.11 節を参照してください。ブロードキャスト送信に対してもユニキャスト同様に ACK による確認応答パケットを用いることは可能ですが、送信したパケットは複数のモジュールに同時に受信されるため、単純な設計と実装では ACK パケットの返信タイミングが重複して混信の発生リスクが高くなります。ブロードキャストにおける ACK を利用する場合は設計者による慎重な設計を推奨します。

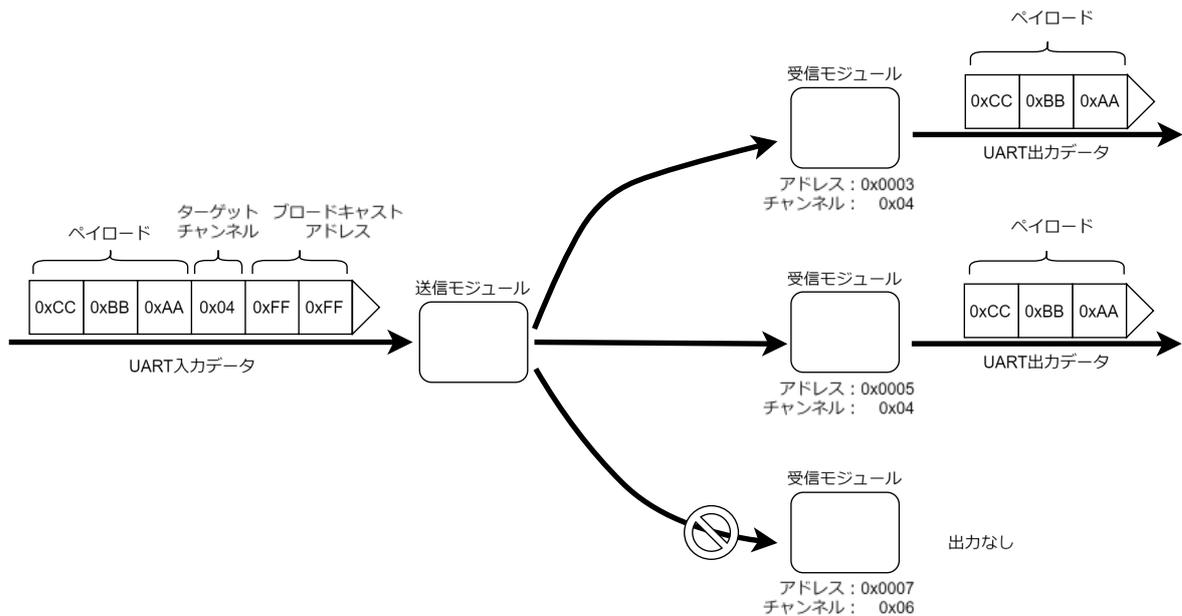


図 13 ブロードキャスト送受信の動作概要

※上図は ver.1 互換モードおよび Strict Mode (v2.0 厳格動作)で、通常送信モードにて CHECKSUM や送信時指定のターゲットデバイス ID 出力を有効にしていない場合のバイト列を示しています。

図 13 では、送信モジュールの宛先アドレスをブロードキャストアドレスである 0xFFFF に設定し、チャンネルを 0x04 に設定しています。この送信パケットは、受信チャンネル 0x04 に設定されたすべてのモジュールが受信する可能性があり、ブロードキャスト送信が実現できます。

トランスペアレント（透過）送信モードの場合、自モジュールのデバイス ID を 0xFFFF と設定することで、自モジュールと同じ待ち受け周波数チャンネルに設定されたすべてのモジュールが送信パケットを受信する可能性があります。

4.4 モニターアドレスによる受信

本モジュールには、図 14 のように、自モジュールのデバイス IDを「0xFFFF」と設定することで LoRa 通信パラメータ (BW、SF) とチャンネル、および、通信暗号キーが一致するすべてのターゲットアドレス宛パケットを収集することができるモニターアドレスを活用できます。

モニターアドレスは、調査やデバッグ目的の他、アプリケーションによって、設計や実装を容易にすることを支援します。モニターアドレスの活用で受信頻度が多くなり、MCU などの処理量・時間が増加することに注意してください。特にバッテリーアプリケーションではその影響は大きくなる可能性があります。

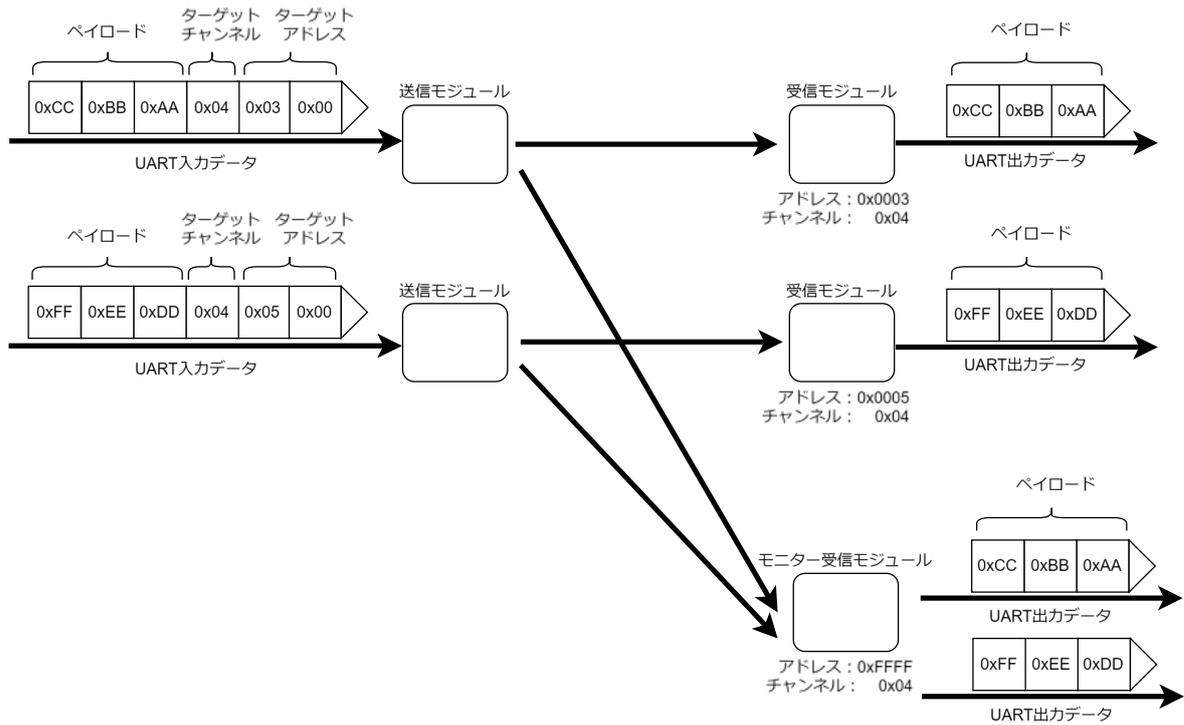


図 14 モニターアドレスによる受信動作の概要

※上図は ver.1 互換モードおよび Strict Mode (v2.0 厳格動作)で、通常送信モードにて CHECKSUM や送信時指定のターゲットデバイス ID 出力を有効にしていない場合のバイト列を示しています。

モニター受信モジュールのアドレスを 0xFFFF に設定し、チャンネルを 0x04 に設定します。チャンネル 0x04 ですべてのモジュールから送信されたデータを受信でき、モニターが実現できます。

5 オペレーション方法

本セクションでは、実際の E220-900T22X(JP) シリーズの、マイコン(MCU)やシングルボードコンピュータ(SBC)から、UART や GPIO 端子を利用して操作する方法と手順を説明します。

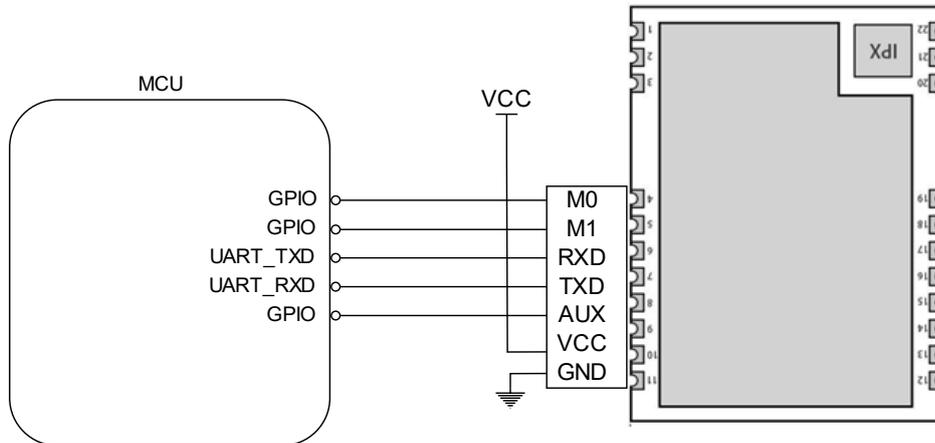


図 15 典型的な結線図

このセクションで使用するハードウェアは、図 15 のような典型的な配線が行われた回路を想定し、MCU と LoRa 通信モジュール間を、UART(TXD, RXD をクロス接続)、M0、M1 を MCU の出力ピン、AUX を MCU のピン状態変化の割り込みに対応した入力ピンに接続し、電源(VCC または VDD)と GND (AGND) ピンを接続しているものと想定します。以下、説明では、主要部分、注目情報以外は省略して表記しています。

5.1 利用手順概要

E220-900T22X(JP)は、送信と受信の兼用のモジュールで、各個体に使用用途の区別はありません。設定や設計者による設計意図、アプリケーションによって、振る舞いや特性を付けて使用することができます。

モジュールへの給電後は、リセット動作を待ち、M0、M1 ピンを、いずれも High レベルに保持 (コンフィグレーションモード) します。このモードは、LoRa モデムや電力増強アンプは停止状態にあり、最も消費電力が小さい状態 (DeepSleep) です。

続いて、いくつかのレジスタを操作します。初期状態は、ファームウェア ver.1.x との互換性を高く保つようなデフォルト設定となっており、また、設定値を保持するレジスタは設定後、給電停止後も値は不揮発メモリに保存されます。設定値は通信暗号キー以外読み出し操作がコマンドによって可能です。コンフィグレーションモードにおいては、UART のボーレートは 9600bps に固定されており、レジスタ 0x02 で UART のボーレート設定を変更しても、コンフィグレーションモードにおいては、ビットレートを常に 9600bps として使用します。

設定が完了したら、M0、M1 ピンを操作します。最もシンプルな使用方法は受信待機です。M0、M1 ピンを Low レベルに切り替えて保持し、LoRa モデムが受信待ち受け状態となります。このとき、AUX ピンは High レベルを出力しており、通常の待ち受け時はこの状態です。この状態で、自モジュールが受信すべき LoRa パケットを受信したら、その直後に AUX ピンは Low レベルに遷移し、UART の TXD ピンから一定時間（デフォルトでは約 2ms）後に受信パケットの内容が出力されます。MCU では、MCU の RXD からのデータ読み取りをすることでモジュール内部の受信バッファから、MCU へデータを読み込みます。モジュールから出力されたデータは自動的にモジュールの受信バッファから消去されるため、再度同じ受信パケットを読み込むことはできません。

LoRa パケットの送信を行いたい場合は、通常の送信では、受信待ち受け状態において、外付け MCU の TXD から、本モジュールの RXD へ、ターゲットアドレス、ターゲットチャンネル、ペイロードを連続して送信することで送信を実行します。（レジスタ指定で、UART のオプションパラメータを指定している場合はその送信内容と手順に従う必要があります）

本モジュールでは、パケット送信の内部処理の違いから、2種類の送信モードを提供します。通常送信モードは、設計者によってパケットの長さが決められる送信モードで、初期設定状態ではこのモードで動作します。もう一方の、トランスペアレント（透過）送信モードは、設定された最大長に自動的にパケット分割を行いながら連続した複数のパケットとして送信されるモードです。パケットの区切りやパケット損失が設計者のアプリケーションによって判断や考慮ができる場合は、トランスペアレント（透過）送信モードに切り替えて使用する選択が可能です。通常送信モードおよびトランスペアレント（透過）送信モードに関しては、6.6 節および 6.10 節にて詳述しています。

通常送信モードにおける、パケットの送信区切りは、MCU から UART によりデータを受信した際、一定時間(およそ 4byte 分以上)データが到着しない状態を検出し区切りとして判断し、1 パケット分の送信データとしてまとめます。この「データが到着しない時間」である区切り時間は、0x02 レジスタのボーレート設定に応じて表 3 の通り計算されます。高速のボーレート（38,400 bps 以上）では、区切り時間が 2 ms で一定となっていますが、システムの処理能力による最小の検出可能な間隔を反映し記載しています。

UART のボーレートが 9600bps を使用している場合は、最後にモジュールの RXD からデータの受信後 5ms 経過後にデータの区切りと自動的に判断され、モジュールは送信処理を行います。

通常送信モードでは、1 パケットのペイロードは（ターゲットアドレス、ターゲットチャンネルの 3 バイトを除いた）、197 バイトを上限として、それ以下の長さのデータを送信時に指定できます。ターゲットアドレス、ターゲットチャンネルおよびペイロードを含めたデータが内部送信バッファに格納されます。**データサイズが 200byte を超えた場合、超えた分のデ**

ータも内部バッファに格納されますが、超えたデータの先頭から順に次の送信データのターゲットアドレス、ターゲットチャンネルとして解されるため、意図したターゲットへの送信になりません。

トランスペアレント送信モードの場合は、ペイロードサイズが 200byte を超えた場合でも、超えた分のデータは次のパケットの送信データとして送信されます。

表 3 ボーレート設定毎のデータの区切り時間

ボーレート	区切り検出時間
1,200 bps	>30ms
2,400 bps	>15ms
4,800 bps	>8ms
9,600 bps	>5ms
19,200 bps	>3ms
38,400 bps	>2ms
57,600 bps	>2ms
115,200 bps	>2ms

5.2 リセット動作

モジュールに電力が供給されると、AUX はすぐに Low レベルを出力し、ハードウェアのセルフチェックを実行し、設計者の不揮発メモリに保存されたレジスタ設定パラメータに基づいて動作モードを設定する動作を開始します。この動作中は、AUX は Low レベルのままです。この動作が完了すると、AUX は High レベルを出力し、M1 と M0 を組み合わせによって設定された動作モードに従って動作を開始します。したがって、設計者はモジュールの通常の動作の開始として AUX の立ち上がりエッジを待つ必要があります。

この動作は、通常、僅かな時間で完了するため、起動後 100ms の十分な待機時間を設けることで、AUX の確認をおこなうだけの処理に置き換えても一般的には差し支えありません。厳密で、無駄のない動作を実現するためには、AUX ピンを監視してください。

5.3 モード選択 (M1, M0 ピン)

M1 と M0 によって設定される 4 つの動作モードがあります。詳細は次のとおりです。

Mode (0-3)	M1	M0	機能説明
mode 0: (通常送受信)	0	0	通常データ送受信が可能です。デフォルトでは通常送信モードが有効になります。
mode 1: (WOR 送信)	0	1	送信前に WOR 受信モードのデバイスをウェイクアップさせるためのプリアンプル(preamble) が自動的に追加されます。通常データ送受信が可能です。受信機能は mode 0 と同じです。WOR 機能をサポートします。
mode 2: (WOR 受信)	1	0	送信機能はオフになります。WOR 送信モード (mode 1) で送信されたデータのみ受信可能です。
mode 3: (Configuration/DeepSleep)	1	1	コマンドでパラメータを設定することができます。このモードでの UART 操作の UART パラメータは固定されており、レジスタ設定に影響を受けず、baud rate=9600, parity=8N1 で行う必要があります。

WOR 送受信を使用しない場合は、M1、M0 ピンは、同時に High、または、Low に設定することで、MCU などの I/O ピンを節約することが可能です。

また、レジスタの設定値は、モジュール内の不揮発メモリに記憶されるため、(物理スイッチやジャンパピンなどを活用した設定上の工夫を回路上などで行いあらかじめ設定を行ったような)設定済みのモジュールにおいては、M1 と M0 ピンを Low に固定しておけば、(M1 と M0 ピンを操作せず)、通常送受信モード(mode 0)に固定して使用することも可能です。その場合でも、AUX ピンは、必要に応じて使用してください。

モード切り替え動作の補足

- 設計者は、M1 と M0 を High レベルと Low レベルを組み合わせ、動作モードを決定できます。MCU の 2 つの GPIO を使用して、モード切り替え制御が可能です。
- M1 と M0 の電圧レベルを変更した後、モジュールがアイドル状態 (AUX=High) の場合は、1ms 後、指定した新しいモードに従って動作を開始します。
- モジュールのシリアルポートデータが LoRa モデム経由にて送出されている場合は、その送出完了後に、指定した新しい動作モードに切り替わります。
- モジュールが LoRa パケットを受信し、シリアルポートを介してデータを送出する場合、新しい動作モードに切り替える前に送信を完了する必要があります。したがって、モード切り替えは、AUX 出力が High レベルの場合にのみ有効になります。それ以外の場合は、モードの切り替えは遅延します。
- 設計者によって大量のデータを継続的にモジュールへ入力し、同時にモード切り替えを実行した場合、この時点では、モードの切り替えは無効です。モジュールは、新しいモードの検出と切り替えを実行する前に、すべてのデータを処理します。したがって、一般的に推奨される手順としては、AUX ピンの出力状態を検査し、出力が High レベルになってから 2ms 後に切り替えることが安全です。
- モジュールが他のモードからスリープモードに切り替えられたとき、データがまだ処理されていない場合、モジュールはスリープモードに入る前に、これらのデータ (受信と送信を含む) を処理します。この機能は、電力を節約する高速スリープに使用できます。たとえば、送信側のモジュールは mode 0 で動作し、設計者は、シリアルポートへデータを送信し、AUX ピンがアイドル状態 (High レベル) になるのを待つ必要がなく、直接スリープモードに切り替えることを可能とします。また、MCU は、すぐにスリープ状態になり、モジュールはデータを LoRa モデム経由で自動的に送信し、その送信後 1ms 以内に自動的にスリープ状態になります。この動作シーケンスを採用することにより、MCU の動作時間が節約でき、消費電力が削減されます。
- どのようなモード切り替えでもこの MCU 動作節約の恩恵を受けることが可能です。モジュールが現在のモードでのイベントを処理した後、1ms 内で自動的に新しいモードに入ります。したがって、設計者が AUX を検査して、モードの切り替えを行う必要性はなくなります。たとえば、送信モードから受信モードに切り替えるとき、MCU は、モード切り替えの前にスリープ状態に入ることができます。そして、AUX の変化を検知するために、外部入力割り込みを使うことができ、これにより、モード切り替えができます。
- この動作モードは非常に柔軟で効率的であり、MCU の操作の利便性に応じて設計されており、システム全体のワークロードを可能な限り削減し、システム効率を向上させ、消費電力を削減できます。
- ただし、消費電力削減のために本モジュールへの UART 送信終了後に給電を断つ場合には、モジュール内部処理の終了を待つために、AUX ピンがアイドル状態 (High レベル) になるのを待つ (5.4 節の 2 および 6.14 節を参照)、内部処理 (ワイヤレス送信) 終了のための十分な時間をとる必要があります。

各モードにおける動作の状態をまとめたものは次の各表の通りです。

通常送受信(mode 0)

動作	M1=0, M0=0 の場合: mode 0 での動作
送信	MCUはシリアルポートを介してデータを入力でき、送信バッファにデータが存在している場合、モジュールは通常の送信を開始します。
受信	モジュール内の受信機能 (RF 受信アンプを含む) が常時オンになり、LoRa 無線通信によるデータパケットを受信した後、シリアルポートの TXD ピンから出力されます。また、AUX ピンの出力も自動的に制御されます。 WOR プリアンブルが付与された WOR 送信パケットも受信することが可能です。
コマンド操作	モジュールに対するコマンドリクエストは有効に働きます。

WOR 送信(mode 1)

動作	M1=0, M0=1 の場合: mode 1 での動作
送信	LoRa ワイヤレスデータ送信が有効となり、送信バッファにデータが存在している場合、モジュールは WOR 送信を開始します。WOR 送信では、通常の送信パケットの前に、プリアンブル送信を行い、WOR 受信(mode 2)で待機しているモジュールをウェイクアップさせることができます。
受信	ワイヤレスデータ受信が常時オンとなります。通常送受信(mode 0)の受信動作と同様に動作します。
コマンド操作	モジュールに対するコマンドリクエストは有効に働きます。

WOR 受信(mode 2)

動作	M1=1, M0=0 の場合: mode 2 での動作
送信	ワイヤレスデータ送信がオフとなります。このモードでは LoRa パケットが送出されることはありません。シリアル通信を介して書き込まれたデータはすべて破棄されます。
受信	WOR サイクル時間の設定によって、大半の時間は DeepSleep した状態となり、ワイヤレスデータ受信はオフとなりますが、このサイクル時間によって周期的にオンとなり WOR 送信プリアンブルを監視します。
コマンド操作	モジュールに対するコマンドリクエストは行えません。リクエストはすべて破棄されます。

Configuration/DeepSleep (mode 3)

動作	M1=1, M0=1 の場合: mode 3 での動作
送信	ワイヤレスデータがオフとなります。
受信	ワイヤレスデータ受信がオフとなり LoRa パケットは一切受信できません。
設定	設計者は設定レジスタにアクセスして、モジュールの機能・動作パラメータを設定できます。
コマンド操作	モジュールに対するコマンドリクエストは有効に働きます。
注釈	このモード(mode 3)から他のモードに移行すると、このモードで設定したパラメータが反映されます。設定変更のプロセス中、AUX は High レベルから Low レベルに遷移し、反映完了後、High レベルに戻ります。設計者はこの AUX ピンの立ち上がりエッジを検出、もしくは、検査することをお勧めします。

5.4 補助出力の利用 (AUX 信号)

AUX ピン(Auxiliary Pin)は、本モジュールの動作状態を示す出力ピンです。主な機能と利用方法は以下の通りです。

1. 動作状態の表示:

- High レベル: モジュールがアイドル状態であることを示します。
- Low レベル: モジュールが作業中(送信または受信中)であることを示します。

2. 送信完了の通知:

- データ送信が完了すると、AUX ピンが Low レベルから High レベルに変化します。
- これにより、マイコンは送信完了のタイミングを正確に把握できます。

3. 受信バッファの状態:

- 受信バッファにデータがある場合、AUX ピンは Low レベルになります。
- バッファが空になると、High レベルに戻ります。

4. モジュールの初期化完了の通知:

- 電源投入時や Config/Deep sleep モードからの復帰時、初期化が完了すると AUX ピンが High レベルになります。

AUX ピンの利用方法:

MCU の割り込み入力として接続します。モジュールが LoRa パケットを受信したら、その直後に AUX ピンは Low レベルに遷移し、UART の TXD ピンから一定時間 (ver.1 互換モードでは 2~3ms、Strict Mode (v2.0 厳格動作)ではレジスタ 0x09 での待機時間) 後に受信パケットの内容が出力されます。AUX ピンを MCU の割り込み入力として接続することにより、MCU が Sleep していても AUX ピンの割り込みにより起こしてから、データを受信することができます。

5.5 送受信バッファ（モジュール内バッファ）【ver.1 互換モード／デフォルト】

- MCU から本モジュールへの UART 入力時の内部送信バッファに関して ver.1 互換モードでは、MCU からの UART 入力データをそのまま内部送信バッファに格納します。UART 入力データのバッファ格納フローチャートを図 16 に示します。

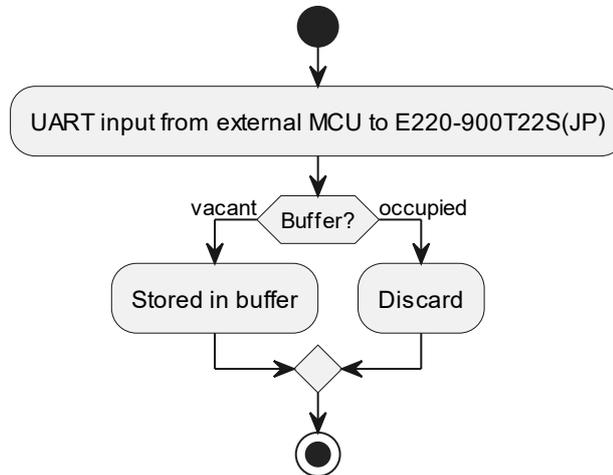


図 16 UART 入力データのバッファ格納フローチャート（ver.1 互換モード）

内部送信バッファへのデータ格納に関して、後述する v2.0 厳格動作への対応により、408byte のバッファサイズがあります。図 17 の通り MCU からの入力された宛先情報とペイロード（最大 200byte）が格納されます。

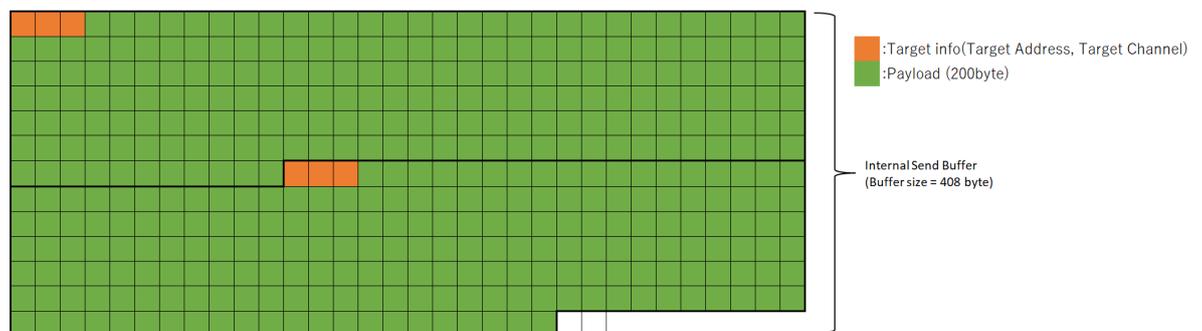


図 17 内部送信バッファへのデータ格納（ver.1 互換モード）

- 本モジュールが LoRa 受信時の内部受信バッファに関して ver.1 互換モードでは、LoRa 受信したデータが内部受信バッファにそのまま格納されます。UART 入力データのバッファ格納フローチャートを図 18 に示します。

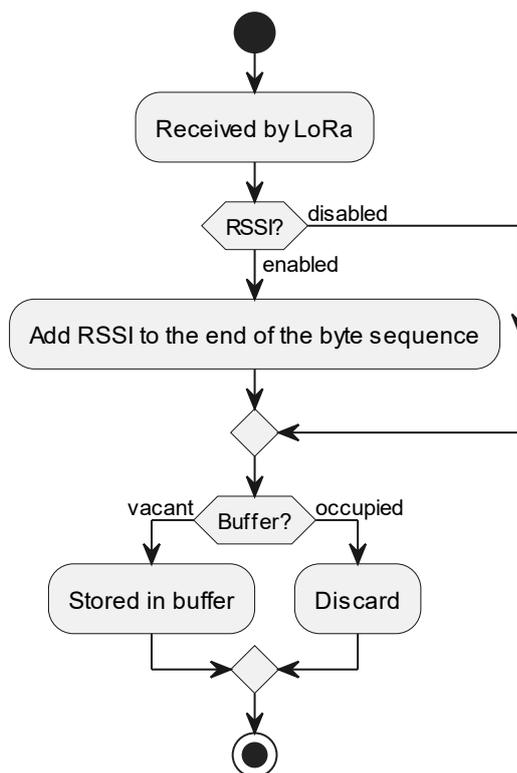


図 18 LoRa 受信データのバッファ格納フローチャート (ver.1 互換モード)

内部送信バッファへのデータ格納に関して、後述する v2.0 厳格動作への対応により、408byte のバッファサイズがあります。図 19 の通り受信ペイロードと RSSI が格納されます。

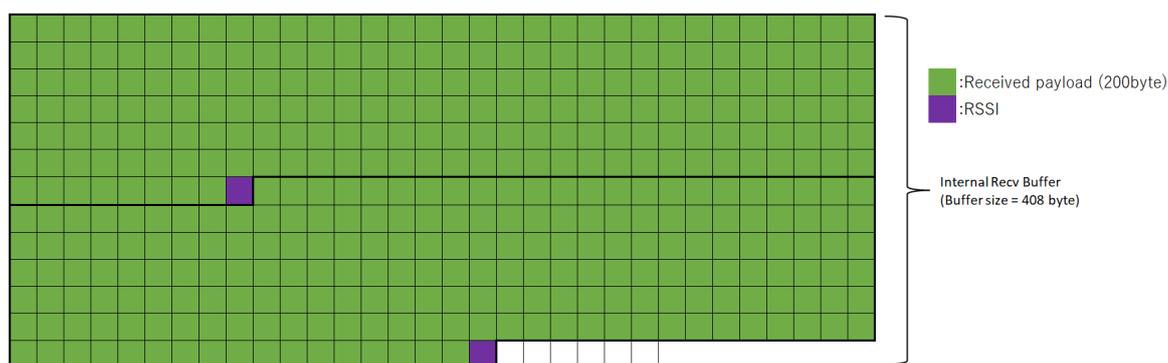


図 19 内部受信バッファへのデータ格納 (ver.1 互換モード)

5.6 送受信バッファ（モジュール内バッファ）【Strict Mode（v2.0 厳格動作）】

外部 MCU と本モジュールの間でデータの受け渡しがされる際の本モジュールの内部処理の振る舞いを示します。本モジュールと MCU の間は、UART シリアル通信によって、各レジスタで設定された所定の設定パラメータに従ってシリアル通信上で送受信されますが、本モジュールの内部バッファでの処理状態によって、モジュール内部状態に影響を与えます。その内部状態を読み出すことによって、各種エラーなどに対応できます。

- MCU から本モジュールへの UART 入力時の内部送信バッファに関して
Strict Mode（v2.0 厳格動作）では、MCU からの UART 入力データを内部送信バッファに格納する際、先頭にパケットサイズを付加することでパケットごとに区別できるようにしています。また、UART 入力データを受け入れ時に、CHECKSUM エラーやバッファあふれ発生時は、そのデータはすべて破棄され、レジスタ 0xA1 の bit 1、bit 0 がそれぞれ 1 にセットされます。UART 入力データのバッファ格納フローチャートを図 20 に示します。

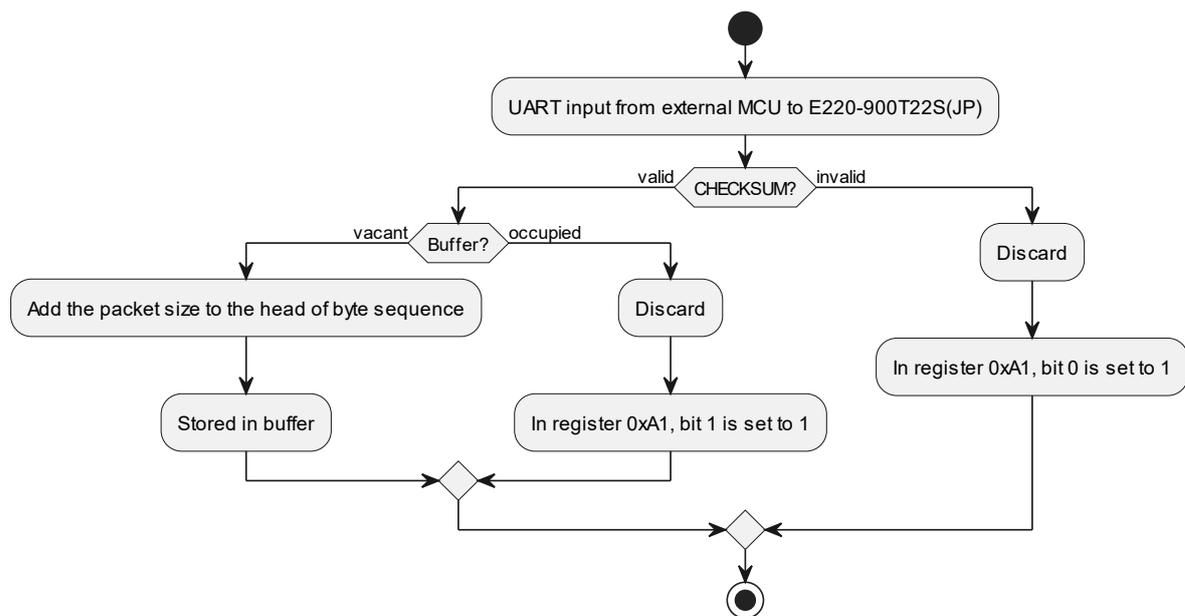


図 20 UART 入力データのバッファ格納フローチャート（v2.0 厳格動作）

内部送信バッファへのデータ格納に関して、ペイロードが 200byte で宛先情報や CHECKSUM を含めたパケットサイズが最大となるときでも 2 パケット分の容量が確保できるように、図 21 の通り 408byte のバッファサイズがあります。また、内部送信バッファへパケットを格納する際に、1 パケット分をすべて格納できなかった場合は、そのパケットは破棄されます。

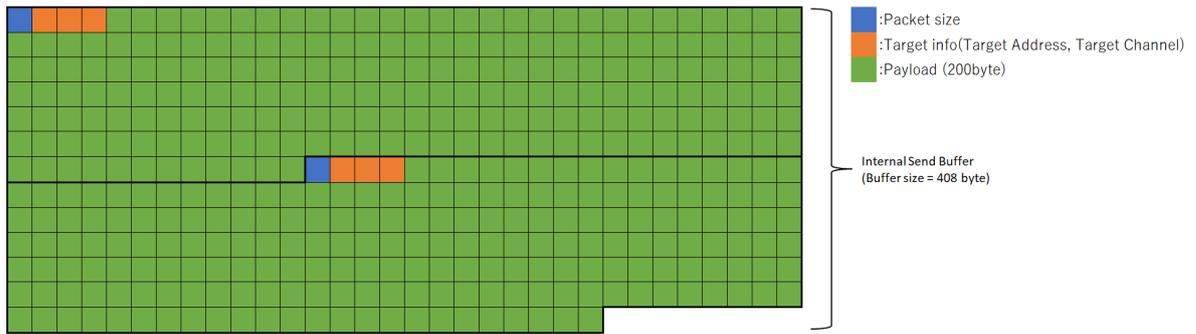


図 21 内部送信バッファへのデータ格納 (v2.0 厳格動作)

- 本モジュールが LoRa 受信時の内部受信バッファに関して

Strict Mode (v2.0 厳格動作) では、LoRa 受信したデータを内部受信バッファに格納する際、レジスタ 0x09 で受信データ列へのパケットサイズ付与の指定フラグを有効にしたとき、先頭にパケットサイズを付加することでパケットごとに区別できるようにしています。また、格納時にバッファあふれ発生時は、そのデータはすべて破棄され、レジスタ 0xA0 の bit 0 が 1 にセットされます。LoRa 受信データのバッファ格納フローチャートを図 22 に示します。

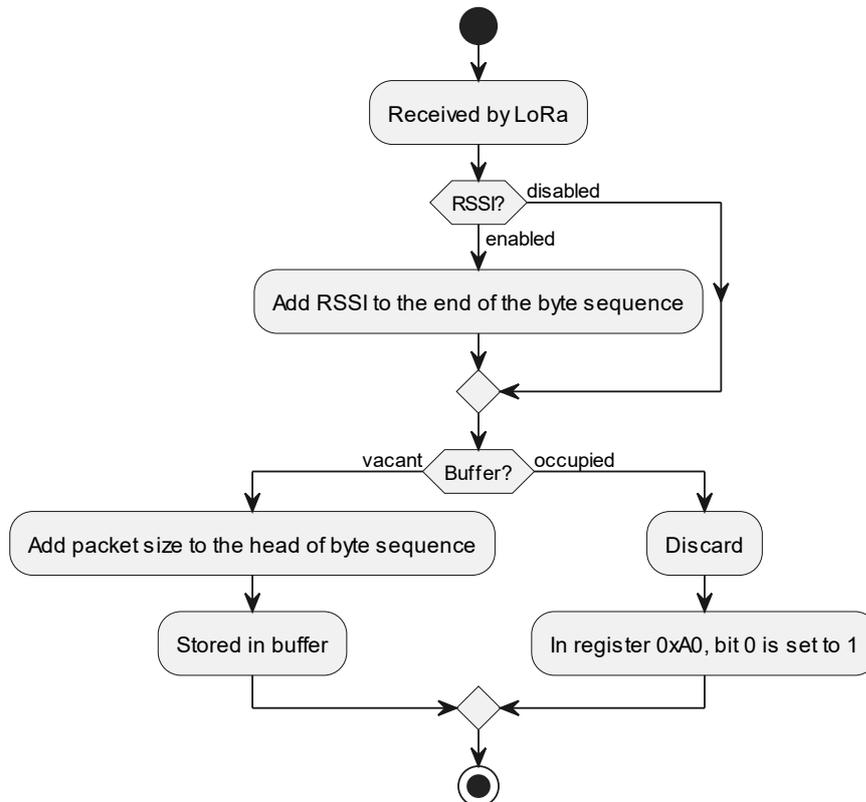


図 22 LoRa 受信データのバッファ格納フローチャート (v2.0 厳格動作)

内部受信バッファへのデータ格納に関して、受信ペイロードが 200byte でパケットサイズの情報やターゲットアドレスの情報や RSSI を含めたパケットサイズが最大となるときでも 2 パケット分の容量が確保できるように、図 23 の通り 408byte のバッファサイズがあります。

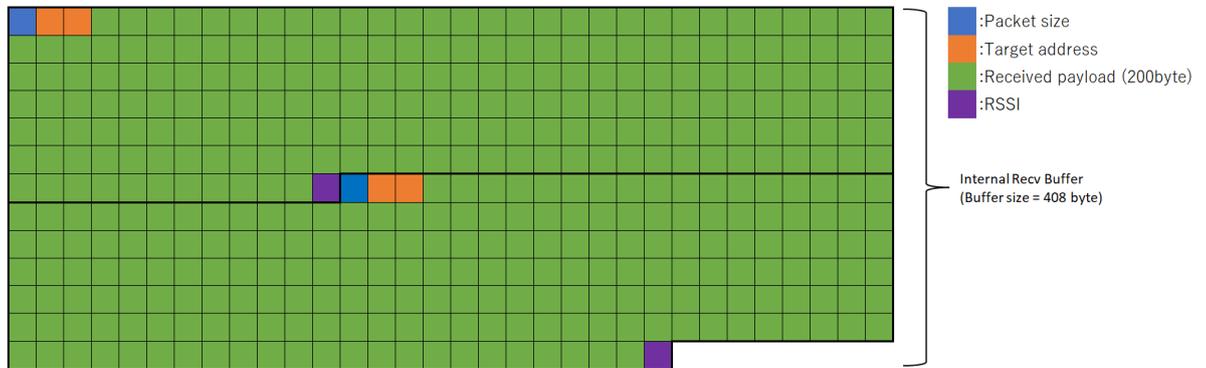


図 23 内部受信バッファへのデータ格納 (v2.0 厳格動作)

6 オペレーションモード (マイコンからの操作方法を中心に解説)

本製品は、設定、送受信など動作モードによって、利用できる機能と振る舞いをモード切り替えによって選択して使用します。動作モードの決定は、外部から 2 つの信号線 M0 と M1 ピンの High, Low の 2 値信号レベルで設定します。一般に、M1 と M0 を High レベルと Low レベルを組み合わせ、動作モードを決定するため、MCU の 2 つの GPIO を使用してモード切り替え制御が可能です。単純な使用方法に限定する場合は、M1、M0 を単一の GPIO 端子から、同値に制御して軽量の設計、および、使用方法を採用することも可能です。

M1, M0 の各ピンは、モジュール内部においてプルアップに保持されており、外部から信号を加えない限りにおいては、M1=High, M0=High の状態で、Config/DeepSleep(mode 3)となります。

6.1 通常送受信モード (mode 0) <M1=Low, M0=Low>

M1=Low, M0=Low としたとき通常送受信モード(mode 0)となります。(後述の WOR 機能を使用せず)通常送受信を行う場合は、一般にこのモードを使用します。

送信時の命令は、MCU (TXD) からシリアルポートを介して本製品 (RXD) へデータを入力でき、モジュールは入力バイト列の情報に従って、自動的にワイヤレス送信を開始します。受信時には、モジュールが無線データを受信した後、シリアルポート (TXD) を介して MCU (RXD) へ出力されます。また、受信データを MCU へ出力する前に、6.14 節で後述する AUX ピン動作により、MCU へ割り込みをかけることができます。

6.2 WOR 送信モード (mode 1) < M1=Low, M0=High >

M1=Low, M0=High としたとき WOR 送信モード(mode 1)となります。8.6 節で後述する WOR 通信における、送信側として動作するためのモードになります。

送信時の命令は通常送受信モードと同じで、MCU (TXD) からシリアルポートを介して本製品 (RXD) ヘデータを入力でき、モジュールは入力バイト列の情報に従って、自動的にワイヤレス送信を開始します。この際、WOR 通信におけるプリアンブルが付加されます。また、受信時には、通常送受信モードと同じく、モジュールが無線データを受信した後、シリアルポート(TXD)を介して MCU (RXD) へ出力されます。また、AUX ピン動作により、MCU へ割り込みをかけることができます。

6.3 WOR 受信モード (mode 2) < M1=High, M0=Low >

M1=High, M0=Low としたとき WOR 受信モード(mode 2)となります。8.6 節で後述する WOR 通信における、受信側として動作するためのモードになります。このモードでは、データ受信のみ動作し、データ送信は行うことができません。MCU (TXD) からシリアルポートを介して本製品 (RXD) ヘデータを入力しても、入力信号は破棄されます。

受信時には、通常送受信モードと同じく、モジュールが無線データを受信した後、シリアルポート(TXD)を介して MCU (RXD) へ出力されます。また、AUX ピン動作により、MCU へ割り込みをかけることができます。

6.4 Config/DeepSleep モード (mode 3) < M1=High, M0=High >

M1=High, M0=High としたとき Config/DeepSleep モード(mode 3)となります。第 9 章で後述するレジスタに対して、0 節で説明するコマンド送受信の方法により、パラメータセットを行うためのモードになります。また、このモードではモジュール内部の無線チップの動作がオフとなりデータ送受信ができなくなりますが、最小の待機消費電力で動作する DeepSleep 状態となります。

6.5 ver.1 互換モードオペレーション (デフォルト)

UART からの本モジュールの制御を行う通信バイト列について、ファームウェア ver.2.0 においては、簡易な使用方法と互換性、もしくは、より堅牢な実装を支援するための Strict Mode (v2.0 厳格動作)を選択、切り替えて使用することができます。

本モジュールは、ファームウェア ver.1.0、および、ver.1.2 とのアプリケーションレベルのインタフェースの互換性を確保するため、給電直後のデフォルトは、ver.1 互換モードとし

て起動します。このモードでの操作はシンプルで、過去の開発アプリケーションと互換性を持ちます。より、厳格にアプリケーションの設計と実装を検討される場合は、Strict Mode (v2.0 厳格動作)の使用を検討してください。

通常送受信モード(mode 0) / WOR 送信モード(mode 1)において、データ送信、データ受信、コマンド送受信が可能です。レジスタ読み取り操作などはできません。

また、(実用上問題となることは希ですが)、トランスペアレント (透過) 送信モードにおいては、送信ペイロードにコマンド列に解釈されるバイト列が含まれる場合で、かつ、送信処理の読み取り開始に該当する箇所 (送信サブパケット長で指定された、ペイロード区切り箇所) の開始位置にコマンドの開始バイト列「0xC0, 0xC1, 0xC2, 0xC3」が現れた場合に限って、これと、これに続くパラメータ部がコマンドとして解釈されます。通常送信モードにおいては、送信時指定のチャンネル値 (3 バイト目の 0xC2) として、これに合致するチャンネルは存在しないため、重複することは発生しません。

また、データ受信時に、MCU をウェイクアップさせるための AUX 立ち下がりから UART 送信までの待機時間は 2~3ms で固定となります。

ver.1 互換モードには、UART 伝送バイト列の検証を行うための CHECKSUM 機能はありません。CHECKSUM 機能を使用する場合は、Strict Mode (v2.0 厳格動作)の利用が必要です。

6.6 データ送信 【ver.1 互換モード/デフォルト】

データ送信および受信を行う際には送受信双方ともモジュールの LoRa 変調の設定を合わせておく必要があります。すなわち、第 9 章の設定レジスタの中の、0x02 レジスタの AirDataRate 設定を送信側、受信側で同一設定にする必要があります。第 9 章の設定レジスタの中の、0x03 レジスタのペイロード長設定でセットした長さが、1つのパケットの最大ペイロード (ユーザが任意のバイト列を載せられる領域) のサイズとなります。また、第 9 章の設定レジスタの中の、0x05 レジスタの送信方法設定により、次の 2 つの送信モードで動作させることができます。

- 通常 (Fixed-block) 送信モード

4.2 節で説明した宛先デバイスを指定した通信を行う通常 (Fixed-block) 送信モードです。このモードでは送信時の、MCU (TXD) からのシリアルポートを介して本モジュール (RXD) ヘデータを入力する際に、図 24 の通り、ペイロードデータの前に宛先デバイスアドレス (2byte) と宛先デバイスの待ち受け周波数チャンネル (1byte) の情報を付加して、宛先デバイスを指定する必要があります。(この送信モードでは、必ず送信時に周波数チャンネルの指定を行います)

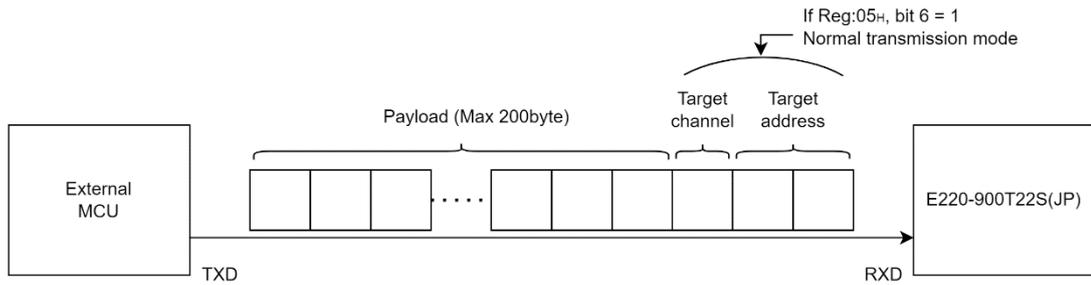


図 24 MCU から本モジュールへの UART 入力バイト列

- 透過 (Transparent) 送信モード

この透過 (Transparent) 送信モードでは、第 9 章の設定レジスタの中の 0x00, 0x01 レジスタでセットしている自身のデバイスアドレスおよび、0x04 レジスタでセットしている自身の待ち受け周波数チャンネルと同じ設定をした、他のモジュールに向けてデータ送信を行うことができます。このモードでは、ペイロードデータの前に宛先情報を付加する必要はなく、ペイロードデータだけを MCU (TXD) からシリアルポートを介して本モジュール (RXD) へ入力することでデータ送信することができます。

6.7 データ受信 【ver.1 互換モード/デフォルト】

受信時には、モジュールが無線データを受信した後、図 25 の受信時の出力形式に従ってシリアルポート(TXD)を介して MCU (RXD) へ出力されます。

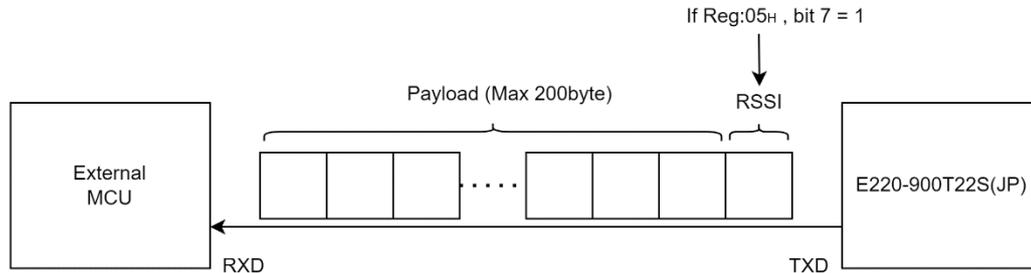


図 25 本モジュールから MCU への UART 出力バイト列

6.8 コマンド送受信 【ver.1 互換モード/デフォルト】

レジスタ 0x03 の RSSI 環境ノイズ出力を有効化したとき、通常送受信モード(mode 0) / WOR 送信モード(mode 1)において、図 26 のコマンドによって、現在の環境ノイズと前回のデータ受信時 RSSI の応答を取得できます。現在の環境ノイズはアドレス 0x00 から、前回のデータ受信時の RSSI はアドレス 0x01 から読み出すことができます。このとき、図 26 の Reg Start addr(読み出し開始アドレス)は 0x00 しか指定することができません。Read length(読み出し数)は、現在の環境ノイズのみ取得する場合は 0x01 を、現在の環境ノイズと前回のデータ受信時 RSSI を取得する場合は 0x02 を指定してください。

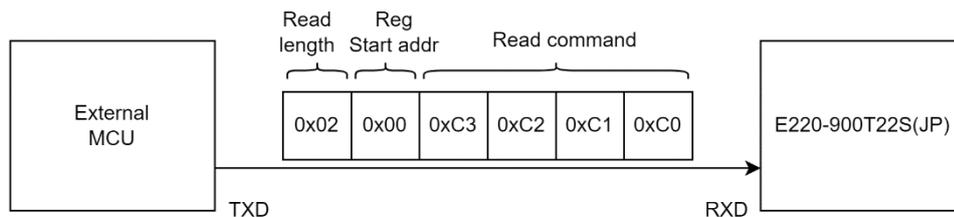


図 26 MCU から本モジュールへの環境ノイズと前回受信時 RSSI 取得コマンドバイト列

また、本モジュールから MCU への読み出し環境ノイズのレスポンスバイト列を図 27 に示します。

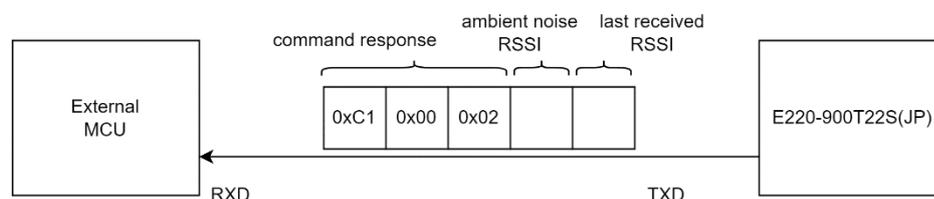


図 27 本モジュールから MCU への環境ノイズと前回受信時 RSSI レスポンスバイト列

6.9 Strict Mode (v2.0 厳格動作)オペレーション

給電直後のデフォルトである、ver.1 互換モードから、Strict Mode (v2.0 厳格動作)への切り替えを行うことによって、MCU とモジュールとの UART 通信バイト列に対して、より厳格な操作を提供できます。

第9章のレジスタ一覧の中の、0x09 レジスタの Strict Mode (v2.0 厳格動作)切り替えフラグに関して、この bit が 1 になっているときだけ、この 0x09 レジスタの他の設定もセットされた内容に従って動作するようになります。Strict Mode (v2.0 厳格動作)での各動作については、9.1 節の設定レジスタにて説明しています。

通常送受信モード(mode 0) / WOR 送信モード(mode1)において、データ送信、データ受信、コマンド送受信が可能であり、コマンドによるレジスタ読み取り操作など行うことができます。

また、トランスペアレント (透過) 送信モードにおいては、送信ペイロードにコマンド列に解釈されるバイト列が含まれる場合で、かつ、送信処理の読み取り開始に該当する箇所 (送信サブパケット長で指定された、ペイロード区切り箇所) の開始位置にコマンドの開始バイト列「0xFF, 0xFF, 0xC1」および「0xFF, 0xFF, 0xF0」が現れた場合に限って、これと、これに続くパラメータ部がコマンドとして解釈されます。

通常送信モードにおいては、送信時指定のチャンネル値 (3 バイト目の 0xC1, 0xF0) として、これに合致するチャンネルは存在しないため、重複することは発生しません。

また、データ受信時に、MCU をウェイクアップさせるための AUX 立ち下がりから UART 送信までの待機時間はレジスタ 0x09 で設定した待機時間となります。

6.10 データ送信 【Strict Mode (v2.0 厳格動作)】

データ送信および受信を行う際には双方ともモジュールの LoRa 変調の設定を合わせておく必要があります。すなわち、第9章の設定レジスタの中の、0x02 レジスタの AirDataRate 設定を送信側、受信側で同一設定にする必要があります。第9章の設定レジスタの中の、0x03 レジスタのペイロード長設定でセットした長さが、1つのパケットの最大ペイロード (ユーザが任意のバイト列を載せられる領域) のサイズとなります。

また、第9章の設定レジスタの中の、0x05 レジスタの送信方法設定により、次の2つの送信モードで動作させることができます。

- 通常 (Fixed-block) 送信モード

4.2 節で説明した宛先デバイスを指定した通信を行う通常 (Fixed-block) 送信モードです。このモードでは送信時の、MCU (TXD) からのシリアルポートを介して本製品 (RXD) ヘデータを入力する際に、図 28 の通り、ペイロードデータの前に宛先デ

バイスアドレス(2byte)と宛先デバイスの待ち受け周波数チャンネル(1byte)の情報を付加して、宛先デバイスを指定する必要があります。(この送信モードでは、必ず送信時に周波数チャンネルの指定を行います)

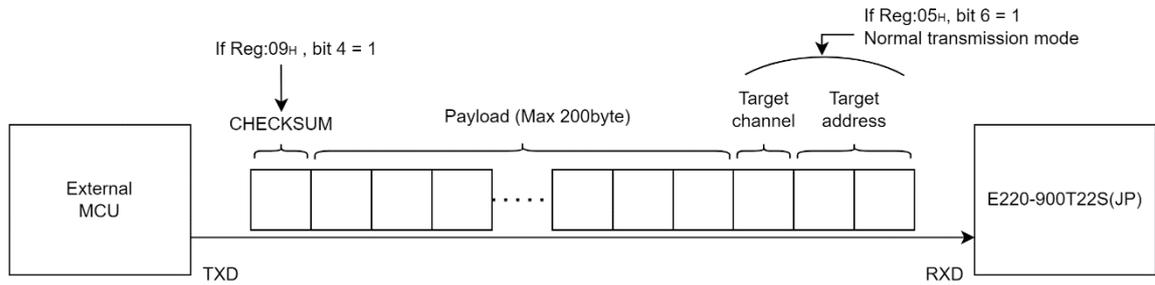


図 28 MCU から本モジュールへの UART 入力バイト列

- 透過 (Transparent) 送信モード

この透過 (Transparent) 送信モードでは、第 9 章の設定レジスタの中の 0x00, 0x01 レジスタでセットしている自身のデバイスアドレスおよび、0x04 レジスタでセットしている自身の待ち受け周波数チャンネルと同じ設定をした、他のモジュールに向けてデータ送信を行うことができます。このモードでは、ペイロードデータの前に宛先情報を付加する必要はなく、ペイロードデータだけを MCU (TXD) からシリアルポートを介して本製品 (RXD) へ入力することでデータ送信することができます。

レジスタ 0x09 の送信データ列への CHECKSUM 付与要求フラグを有効にした場合については 6.13 節で後述しています。

6.11 データ受信 【Strict Mode (v2.0 厳格動作)】

受信時には、モジュールが無線データを受信した後、シリアルポート (TXD) を介して MCU (RXD) へ出力されます。Strict Mode (v2.0 厳格動作) へ切り替えて、第 9 章の設定レジスタのレジスタ 0x09 の受信パケットの宛先アドレスの出力設定をオンにしたとき、図 29 の受信時の出力形式に従って送信側が指定した宛先アドレスの情報が出力されます。

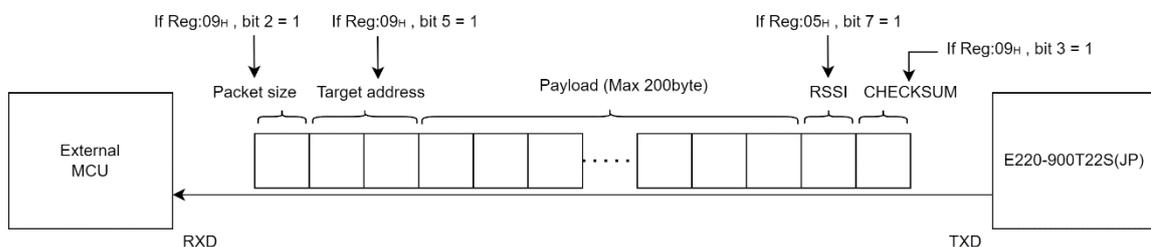


図 29 本モジュールから MCU への UART 出力バイト列

レジスタ 0x09 の受信データ列への CHECKSUM 付与指定フラグを有効にした場合については 6.13 節で後述しています。

6.12 レジスタとコマンド送受信 【Strict Mode (v2.0 厳格動作)】

Strict Mode (v2.0 厳格動作) 状態ではない、起動後のデフォルト状態は、v1.0 ファームウェアとの互換性のため、10.1 節で説明する、v1.0 互換モードでのレジスタ読み出し/書き込みコマンドのみが使用可能です。

ここでは、Strict Mode (v2.0 厳格動作) を適用した状態について詳説します。

予め Strict Mode (v2.0 厳格動作) へ切り替えておくことによって、ノーマル送受信モードと WOR 送信モードにおいて、直前に送信したバイト列の CHECKSUM 検査結果や環境ノイ

ズ RSSI 等の状態確認や、バッファあふれの発生フラグの確認のために状態レジスタ値を取得することができます。レジスタ 0x09 の Strict Mode (v2.0 厳格動作)切り替えフラグを有効にした場合に、通常送受信モードおよび WOR 送信モードにて、下記のレジスタ読み出しコマンドおよびフラグリセットコマンドを使用することで取得できます。

レジスタ読み出しコマンドについて、MCU から本モジュールへのコマンドリクエストの UART 入力の場合、MCU から本モジュールへの読み出しコマンドバイト列を図 30 に示します。(※Strict Mode (v2.0 厳格動作)は、v1.0 との互換性を確保するために明示的に切り替えて使用する必要があります。)

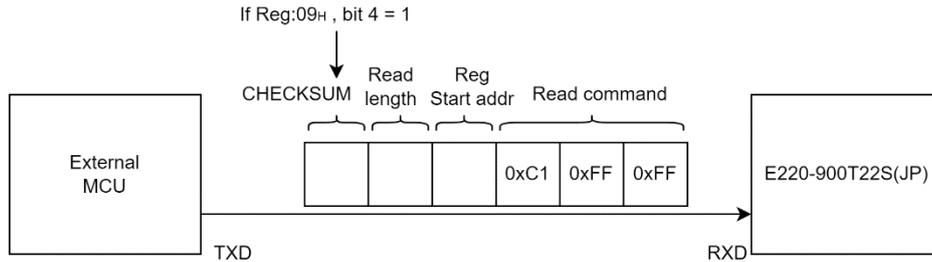


図 30 MCU から本モジュールへの読み出しコマンドバイト列

また、本モジュールから MCU への読み出しレスポンスバイト列を図 31 に示します。

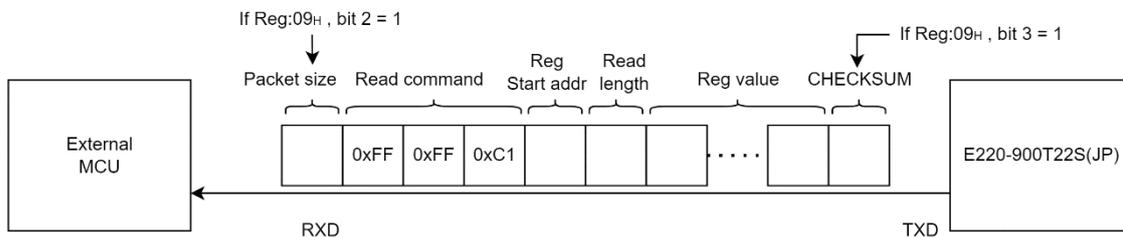


図 31 本モジュールから MCU への読み出しレスポンスバイト列

6.13 CHECKSUM 【Strict Mode (v2.0 厳格動作)】

Strict Mode (v2.0 厳格動作)へ切り替えて、レジスタ 0x09 の送信データ列への CHECKSUM 付与要求フラグおよび受信データ列への CHECKSUM 付与指定フラグを有効にした際に、CHECKSUM としてバイト毎の排他的論理和 (XOR) を計算した 1 バイト値が付加されます。

UART によるシリアル通信では、MCU のクロッキング性能やノイズなどの影響によって文字化けが発生する可能性があり、それらが原因による不具合を防ぐことや、データ有効性の無効な状態を検出できることを十分に担保するため、この CHECKSUM 機能は使用できます。

送信データ列への CHECKSUM 付与要求フラグを有効にした際の、MCU から本モジュール

ルへの UART 入力バイト列を図 32 に示します。

CHECKSUM の計算は次の通りです。図 32 に示している通り、通常送信モードの場合は、「Target address」、「Target channel」を CHECKSUM の計算に含め、「Target address」、「Target channel」、「Payload」をバイトごとに XOR を計算して CHECKSUM とします。

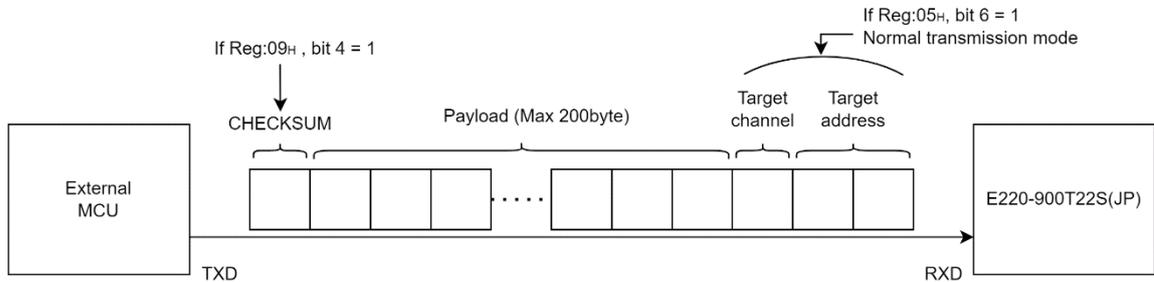


図 32 CHECKSUM 有効時の MCU から本モジュールへの UART 入力バイト

MCU のユーザソフトウェアにおいて上記の計算を行い、本モジュールへの UART 入力バイト列の最後に CHECKSUM として追加します。

例として通常送信モードで“hello”(0x68 0x65 0x6C 0x6C 0x6F)という (ASCII コード) バイト列を宛先アドレス: 0x0003, 宛先チャンネル: 0x04 に向けて送信する場合、CHECKSUM は 0x65 と計算され、UART 入力バイト列は次のようになります。

0x00 0x03 0x04 0x68 0x65 0x6C 0x6C 0x6F 0x65
 ↑ CHECKSUM

受信データ列への CHECKSUM 付与指定フラグを有効にした際の、本モジュールから MCU への UART 出力バイト列を図 33 に示します。

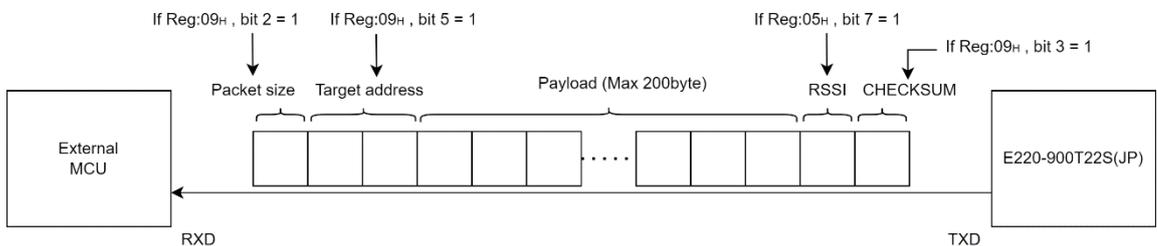


図 33 CHECKSUM 有効時の本モジュールから MCU への UART 出力バイト列

CHECKSUM の計算は次の通りです。図 33 に示している通り、「Packet size」や「Target address」、「RSSI」を有効にした場合は CHECKSUM の計算に含め、「Packet size」、「Target address」、「Payload」、「RSSI」をバイトごとに XOR を計算して CHECKSUM とします。本モジュールが上記の計算を行い、MCU への UART 出力バイト列の最後に CHECKSUM

を追加します。

例として「Packet size」や「RSSI」を有効にして“hello” (0x68 0x65 0x6C 0x6C 0x6F) という (ASCII コード) バイト列を受信した場合の CHECKSUM は 0xC3 と計算され、UART 出力バイト列は次のようになります。

```
0x07 0x68 0x65 0x6C 0x6C 0x6F 0xA6 0xC3
                        ↑ CHECKSUM
```

6.14 AUX ピン動作

本モジュールの AUX ピン(出力)は、ワイヤレス送信予定の未送信データがあるかどうか、すべてのワイヤレスデータが UART を介して送信されているかどうか、また、モジュールが通電直後の初期化、もしくは、モード切り替え中などのセルフチェックの過程にあるかどうかのインジケータとして使用できます。図 34、図 35 に示す通り、データ送信時およびデータ受信時の内部バッファにデータがあるかどうかを AUX の状態で表します。

図 34 の通り、受信された全ての無線データを、TXD から MCU へ送信完了したタイミングで、AUX は High レベルになります。この時、内部受信バッファが空になっていることを表します。また、AUX ピンは無線データ受信時に MCU をウェイクアップするための割り込みピンとして使用することもでき、図 34 の AUX が Low レベルに落ちてから、TXD から受信無線データを MCU へ送信し始めるまでの間に、ver.1 互換モードでは 2~3ms、Strict Mode (v2.0 厳格動作)ではレジスタ 0x09 での待機時間の間、Low レベルにした後 TXD から MCU へデータを送信します。

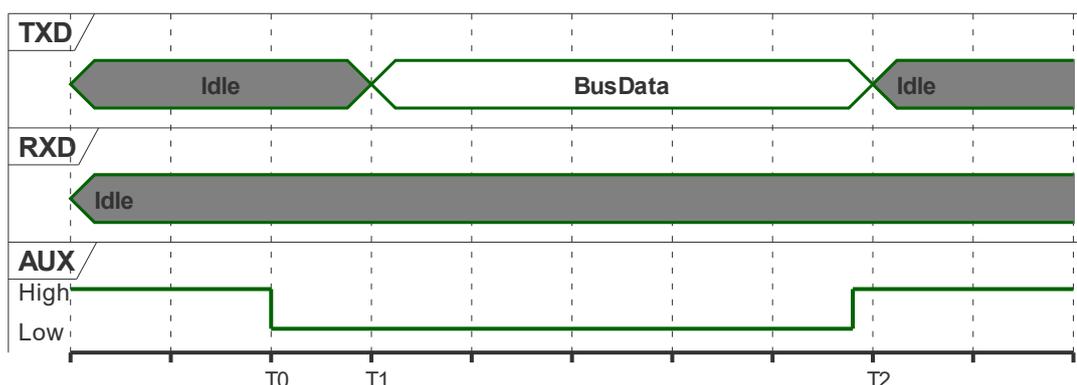


図 34 TXD ピンが送信するときの AUX のタイミングシーケンス

図 35 の通り、MCU が本モジュールへ送信データを入力し、そのデータが内部送信バッファに格納され、内部送信バッファが空ではないとき AUX が Low になります。内部送信バッファのデータを無線チップに書き込み終わり内部送信バッファが空になったタイミングで、AUX は High レベルになります。

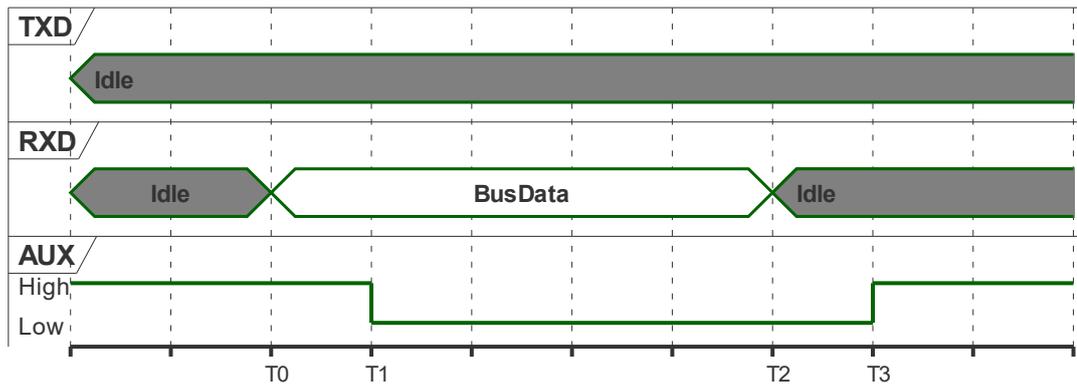


図 35 RXD ピンが受信したときの AUX のタイミングシーケンス

また、図 36 に示す通り、電源投入時のリセットおよび Config/DeepSleep モード(mode 3)から他の動作モードへの移行時に、ハードウェアのセルフチェックが実行され、その動作は AUX の Low 状態で表されます。この動作中、AUX は Low レベルのままです。このプロセスが完了すると、AUX は High レベルを出力し、M1 と M0 の組み合わせによって設定された動作モードに従って動作を開始します。

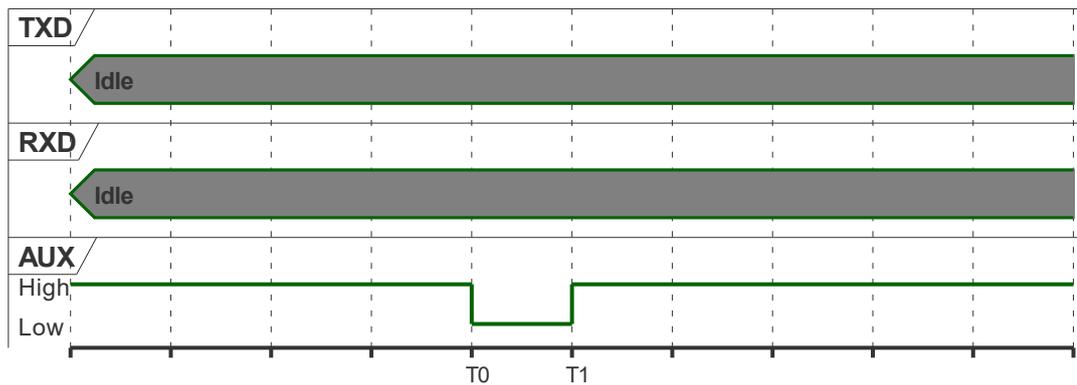


図 36 セルフチェック時の AUX のタイミングシーケンス

6.15 エラーハンドリング

Config/DeepSleep モード(mode 3)時のレジスタ読み出しコマンドおよびレジスタ書き込みコマンドの書式の違い、もしくは、無効なレジスタを読み出した等へのエラーレスポンスとして、本モジュールから MCU への UART 出力バイト列として、図 37 のようにエラーレスポンスを返答します。また、6.12 節で説明したノーマル送受信モードと WOR 送受信モードにおける状態レジスタの取得コマンドは、取得レジスタの指定範囲が正しく、コマンドとして解された場合はレスポンスがありますが、コマンドとして解されない場合(単に宛先チャンネル部分が間違っている場合や取得レジスタの範囲指定が正しくない場合)にエラー応答はありません。

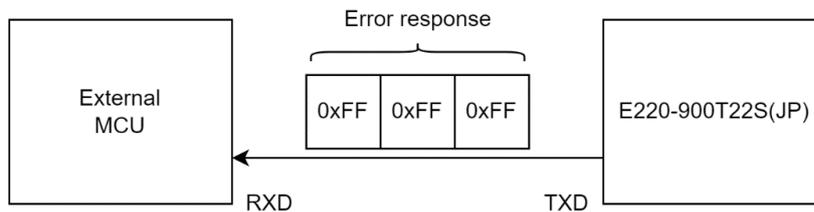


図 37 本モジュールから MCU へのエラーレスポンスバイト列

7 基本的な使用方法

7.1 設定コマンドと送信までの一連の流れ

本モジュールのレジスタへのパラメータ設定をするに当たり、Config/DeepSleep モードにするために、M1、M0 ピンに接続している MCU の GPIO ピンを両方とも High にします。Arduino を用いた疑似コードを以下に示します。

Arduino での疑似コード

```
// E220-900T22S(JP)へのピンアサイン
#define LoRa_ModeSettingPin_M0 12
#define LoRa_ModeSettingPin_M1 13

pinMode(LoRa_ModeSettingPin_M0, OUTPUT);
pinMode(LoRa_ModeSettingPin_M1, OUTPUT);

digitalWrite(LoRa_ModeSettingPin_M0, 1);
digitalWrite(LoRa_ModeSettingPin_M1, 1);
```

10.1 節の ver.1 互換モードでのレジスタ書き込みコマンドに基づき、UART からコマンドバイト列を送信します。ここでは例として、22S(JP)モジュールに対して以下の設定を一括で書き込む場合を述べます。

- ・ 自デバイスアドレス=0
- ・ baud_rate=9600bps
- ・ bw=125kHz
- ・ sf=9
- ・ ペイロード長=200byte
- ・ RSSI 環境ノイズ=有効
- ・ 送信出力=13dBm
- ・ 待ち受け周波数チャンネル=0
- ・ RSSI バイトの出力=有効
- ・ 送信方法=通常送信モード
- ・ WOR サイクル=500ms
- ・ 暗号化キー=0

このとき、送信バイト列は以下となります。

```
['0xc0', '0x00', '0x08', '0x00', '0x00', '0x70', '0x21', '0x00', '0xc0', '0x00', '0x00']
```

また、コマンドのレスポンスバイト列としてレジスタ設定値が以下の通り返ってきます。

```
['0xc1', '0x00', '0x08', '0x00', '0x00', '0x70', '0x21', '0x00',
'0xc0', '0x00', '0x00']
```

次に、Strict Mode (v2.0 厳格動作)へのモード変更について述べます。Strict Mode (v2.0 厳格動作)への切り替えフラグは 0x09 レジスタの bit 6 にあるので、レジスタ書き込みコマンドによって、この bit を有効にします。0x09 レジスタの他の bit のデフォルトは全て 0 なので、送信バイト列は以下となります。

```
['0xc0', '0x09', '0x01', '0x40']
```

コマンドのレスポンスバイト列としてレジスタ設定値が以下の通り返ってきます。

```
['0xc1', '0x09', '0x01', '0x40']
```

以上により本モジュールのレジスタへのパラメータ設定ができたので、次は LoRa 送受信について述べます。通常送受信モードにするために、M1、M0 ピンに接続している MCU の GPIO ピンを両方とも Low にします。

レジスタ設定にて送信方法として通常送信モードを指定したので、ペイロードデータの前に宛先デバイスアドレス(2byte)と宛先デバイスの待ち受け周波数チャンネル(1byte)の情報を付加して、宛先デバイスを指定する必要があります。ここでは例として、以下の宛先とペイロードデータを送信する場合を考えます。

- ・宛先デバイスアドレス=10
- ・宛先デバイスの待ち受け周波数チャンネル=5
- ・ペイロードデータ= ['0x68', '0x65', '0x6c', '0x6c', '0x6f'] (“hello”)

このとき、送信バイト列は以下となります

```
['0x00', '0x0A', '0x05', '0x68', '0x65', '0x6C', '0x6C', '0x6F']
```

また、受信側ではレジスタ設定にて RSSI バイトの出力を有効にしているため、受信モジュールから出力されるバイト列として、ペイロードデータと RSSI バイトが含まれます。

上記の送信データを受信して、RSSI バイトを含めた受信バイト列は以下のようになります。RSSI バイトの dBm 換算式 ($\text{dBm} = \text{RSSI バイト} - 256$) から、RSSI バイトの 0xA0 は $160 - 256 = -96\text{dBm}$ と計算されます。

```
['0x68', '0x65', '0x6C', '0x6C', '0x6F', '0xA0']
```

Strict Mode (v2.0 厳格動作)で有効にできる機能として、UART 入出力バイト列への CHECKSUM 付与機能および、UART 出力バイト列へのパケットサイズ付与機能があります。0x09 レジスタを使用して、以下の設定を切り替えることができます：

1. MCU から本モジュールへの UART 入力バイト列への CHECKSUM 付与の要/不要
2. 本モジュールから MCU への UART 出力バイト列への CHECKSUM 付与の有効/無効
3. 本モジュールから MCU への UART 出力バイト列の先頭にパケットサイズバイト付与の有効/無効

ここでは、一例として上記の 1. MCU から本モジュールへの UART 入力バイト列への CHECKSUM 付与機能を有効にした場合の CHECKSUM 計算およびコード例を示します。6.13 節の通り、CHECKSUM はバイト毎の排他的論理和 (XOR) を計算した 1 バイト値が付加されます。宛先およびペイロードデータについては前述のものと同じとしたとき、CHECKSUM の計算は次の通りです。通常送信モードの場合は、「宛先デバイスアドレス」、「宛先デバイスの待ち受け周波数チャンネル」を CHECKSUM の計算に含め、バイトごとに XOR を計算して CHECKSUM は 0x6D と計算され、送信バイト列は次のようになります。

['0x00', '0x0A', '0x05', '0x68', '0x65', '0x6C', '0x6C', '0x6F', '0x6D']

Arduino での擬似コードとして、XOR を計算し送信バイト列へ付加するコードは以下の通りです。

```
// 送信バイト列
std::vector<byte> byteVector = {0x00, 0x0A, 0x05, 0x68, 0x65, 0x6C, 0x6C,
0x6F};

// XOR 計算の結果を格納する変数
byte xorResult = 0;

// 送信バイト列の各要素に対して XOR 演算を実行
for (byte b : byteVector) {
    xorResult ^= b;
}

// XOR 結果を送信バイト列の最後に追加
byteVector.push_back(xorResult);
```

8.4 節で後述するキャリアセンス動作について、送信前のキャリアセンス最大待機時間を設定するコマンド操作例を示します。キャリアセンスタイムアウト設定の 0x0A レジスタへパラメータ設定するに当たり、Config/DeepSleep モードに移行してください。10.1 節のレジスタ

書き込みコマンドに基づき、UART からコマンドバイト列を送信します。ここでは送信前のキャリアセンス最大待機時間として 100ms を設定する場合、以下となります。

```
['0xC0', '0x0A', '0x01', '0x60']
```

コマンドのレスポンスバイト列としてレジスタ設定値が以下の通り返ってきます。

```
['0xC1', '0x0A', '0x01', '0x60']
```

通常送受信モードにて、待ち受け周波数チャンネルの環境ノイズ計測について確認するコマンド操作例を示します。0xA3 レジスタに対して読み出しコマンド発行時に環境ノイズをRSSI 値として取得できます。10.1 節のレジスタ読み出しコマンド(v2.0 厳格動作)に基づき、UART からコマンドバイト列を送信します。

```
['0xFF', '0xFF', '0xC1', '0xA3', '0x01']
```

コマンドのレスポンスバイト列として以下の通り返ってきます。この例では、環境ノイズRSSI を-110dBm として示しています。

```
['0xFF', '0xFF', '0xC1', '0xA3', '0x01', '0x92']
```

8 無線通信（ハードウェア・無線技術を中心に解説）

8.1 LoRa 変調パラメータ

LoRa スペクトラム拡散方式で変調する際に、そのパラメータとして BW(Bandwidth:変調帯域幅)と SF(Spreading Factor:拡散係数)があります。BW は、信号が占める周波数の幅を指します。本モジュールでは帯域幅として、125 kHz、250 kHz、500 kHz が使用できます。BW を狭くするほど、8.2 節で後述するようにデータレートが低くなり、通信速度が低下しますが、8.3 節で後述する受信感度が向上します。SF 値は、LoRa スペクトラム拡散変調におけるチャープ信号の持続時間を決定するパラメータ値で、本モジュールでは SF 値:5 から SF 値:11 の範囲で設定できます。SF の値が増加するにつれて、データレートが低下しチャープ信号の送信時間が長くなりますが、信号の冗長性が高まりノイズに対する耐性が向上することで、より長距離の通信が可能になります。

8.2 AirTime と AirBitRate

LoRa パケットのフレーム構造として図 38 となっており、プリアンブル部、ヘッダー部、ペイロード部（本モジュールでのユーザペイロードの最大 200 バイトを含む）、ペイロード CRC 部で構成されます。ヘッダー部はペイロードに関する情報を提供し、バイト単位のペイロード長、前方誤り訂正符号化率 CR(Coding Rate)、ペイロードに対するオプションの 16 ビット CRC の有無について含まれています。LoRa 通信では、ヘッダーの扱い方に関して 2 つのモードがあります：明示的ヘッダーモードと暗黙的ヘッダーモードです。

- 明示的ヘッダーモード：上記のヘッダー情報がパケットに追加されます。このモードは柔軟性が高く、受信側がパケットの内容を正確に解釈できるため、一般的に使用されます。
- 暗黙的ヘッダーモード：ヘッダー情報がパケットに含まれず、送受信側で事前に取り決めたパラメータを使用します。このモードはパケットサイズを小さくできますが、柔軟性は低くなります。
- 本モジュールでは、より汎用的で信頼性の高い通信を実現するため、明示的ヘッダーモードを採用しています。

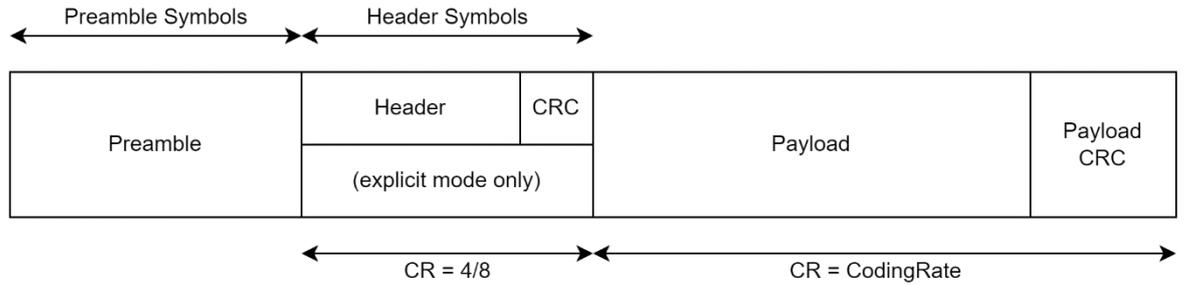


図 38 LoRa パケットフレーム

LoRa 電波送信時間 ToA (Time on Air)は次式で計算されます。

$$ToA = \frac{2^{SF}}{BW} \times N_{symbol}$$

ここで、式各パラメータは次のとおりです。

- ・ ToA : 送信時間(単位は ms)
- ・ SF : 拡散率
- ・ BW : 帯域幅
- ・ N_{symbol} : シンボル数

また、シンボル数の計算は変調のパラメータによって異なり、SF 値:5 および SF 値:6 の場合、次式で計算されます。

$$N_{symbol} = N_{symbol_{preamble}} + 6.25 + 8 + \text{ceil} \left(\frac{\max(8 \times N_{byte_{payload}} + N_{bit_{CRC}} - 4 \times SF + N_{symbol_{header}}, 0)}{4 \times SF} \right) \times (CR + 4)$$

その他の SF 値の場合は、次式で計算されます。

$$N_{symbol} = N_{symbol_{preamble}} + 4.25 + 8 + \text{ceil} \left(\frac{\max(8 \times N_{byte_{payload}} + N_{bit_{CRC}} - 4 \times SF + 8 + N_{symbol_{header}}, 0)}{4 \times SF} \right) \times (CR + 4)$$

ここで、

- ・ $N_{symbol_{preamble}}$: プリアンプルのシンボル数
- ・ $N_{byte_{payload}}$: ペイロード長(byte)
- ・ $N_{bit_{CRC}}$: CRC が有効な場合は 16、無効の場合は 0 (本モジュールは有効)
- ・ $N_{symbol_{header}}$: 明示的ヘッダー有効モードは 20、無効の場合は 0(本モジュールは有効)
- ・ CR : 1 から 4 の整数値をとります (実際の値は LoRa 変調パラメータにおける Core Rate の 4/5, 4/6, 4/7, 4/8 に 1~4 の値が対応)(本モジュールは Code Rate 4/5 を使用しており、ここでの CR は 1 として計算される)

ペイロードサイズ 200byte のときの電波送信時間について SF と BW の組み合わせで計算した結果が表 4 になります。

表 4 SF 値(拡散率)と、BW(帯域幅)による送信所用時間 (ペイロード 200byte の最大時)

		SF 値 (拡散率)						
		5	6	7	8	9	10	11
BW (帯域幅) 単位 kHz	125	196.928	299.136	488.704	813.568	1,381.376		
	250	99.744	152.128	249.472	417.024	711.168	1,238.016	
	500	50.512	77.344	127.296	213.632	365.824	639.488	1,115.136

単位:ms

また、本モジュールがシリアルポートから受け取った送信データを LoRa 変調する速度は次式で計算されます。

$$Rb = SF \times \frac{BW}{2^{SF}} \times CR$$

ここで、

- ・ Rb : 変調速度 (bps)
- ・ SF : 拡散率
- ・ BW : 帯域幅
- ・ CR : 値は 4/5, 4/6, 4/7, 4/8 をとります(本モジュールでは 4/5、詳細は前式説明を参照)

実際に送信できるデータ量 (実効データレート) は、この計算式で得られる理論値よりも低くなります。これは、プリアンブルやヘッダー、エラー訂正のオーバーヘッドが存在するためです。LoRa 変調速度について SF と BW の組み合わせで計算した結果が表 5 になります。

表 5 SF 値(拡散率)と、BW(帯域幅)による LoRa 変調ビットレート

		SF (拡散率)						
		5	6	7	8	9	10	11
BW (帯域幅) 単位 kHz	125	15,625	9,375	5,469	3,125	1,758		
	250	31,250	18,750	10,938	6,250	3,516	1,953	
	500	62,500	37,500	21,875	12,500	7,031	3,906	2,148

単位:bps

8.3 受信感度および送信電力と通信距離

BW・SF と、LoRa 変調された電波の受信感度について、受信感度は次式で与えられます。

$$S = -174 + 10 \log_{10} BW + NF + SNR$$

ここで、S は受信感度(dBm)、BW は周波数チャンネルの変調帯域幅(Hz)、NF は受信機の雑音指数(dB)を表し、本モジュールの LoRa モデム(LLCC68)では NF = 6 dB となります。SNR は SN 比(dB)を表します。SF 値(拡散係数)に対応して受信可能な SNR に限界があり、この限界を超えると、受信機は信号を復調できなくなります。下の表 6 に SF 値(拡散係数)に対する SNR の限界値を示しています。

表 6 SF に対する SNR の限界値

SF: Spreading Factor	SNR(dB)
5	-2.5
6	-5.0
7	-7.5
8	-10.0
9	-12.5
10	-15.0
11	-17.5

先の計算式より、BW を小さく、SF を大きくするほど受信感度が向上します。E220-900T22S(JP)/22L(JP)で設定できるパラメータで計算すると以下の表 7 になります。

表 7 BW、SF 値の設定と受信感度の関係

パラメータ	受信感度
BW:125kHz SF:9	-129.53 dBm
BW:250kHz SF:10	-129.02 dBm
BW:500kHz SF:11	-128.51 dBm

送信電力と通信距離については、13.2 節の通信可能距離にて記載の関連情報も併せて参照してください。

8.4 キャリアセンス動作

本モジュールは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なっています。Strict Mode(v2.0 厳格動作)を有効にした場合、送信前のキャリアセンスにおいて環境ノイズ強度が-80dBm

以上の状態が続く場合に、どれくらい送信待機するかについて、第 9 章のレジスタ 0x0A にて最大待機タイムアウト時間を設定することができます。タイムアウトした場合は送信を中止し、送信対象の送信パケットを破棄し、状態レジスタ 0xA1 の bit 2 に 1 がセットされます。

8.5 暗号通信

レジスタ 0x06 と 0x07 にて設定した、16 ビットを通信暗号キーとして設定することができます。本モジュール (22S、22L) によるワイヤレスデータの傍受を回避するための暗号化に使用されます。モジュールは、これらの 2 バイトを計算係数として使用して、ペイロードデータを変換および暗号化します。送受信するモジュール間では、通信暗号キーに同一の値を設定する必要があります。

8.6 WOR 通信

本モジュールの WOR 機能は、受信電力の大幅な削減を目的として実装されています。WOR 受信においては、図 39 のように、8mA の消費電流を費やす僅かな時間の受信アンプ動作と、5uA の待機電流による長い待機動作の組み合わせ動作を繰り返すことで、平均消費電流を大きく削減します。レジスタ 0x05 の WOR サイクル設定値によって、待機動作の動作時間比率が変わります。WOR 送信は、図 39 のように、この WOR 受信状態での動作比率の内、受信アンプ稼働時間内に WOR プリアンブルが受信できるように送信パケットにプリアンブルが追加され、送信します。結果として、プリアンブル分の電波発射時間が長くなり、送信側において余分な電力を消費します。また、WOR サイクル設定が適切である限りにおいては、送信側での送信タイミングは気にする必要はありません。WOR の設定パラメータが送信側・受信側で同じでない場合、WOR 送信プリアンブルと、受信アンプの動作周期がかみ合わなくなり、パケット送達確立が、低下、不安定になるため、使用時の設定には注意してください。

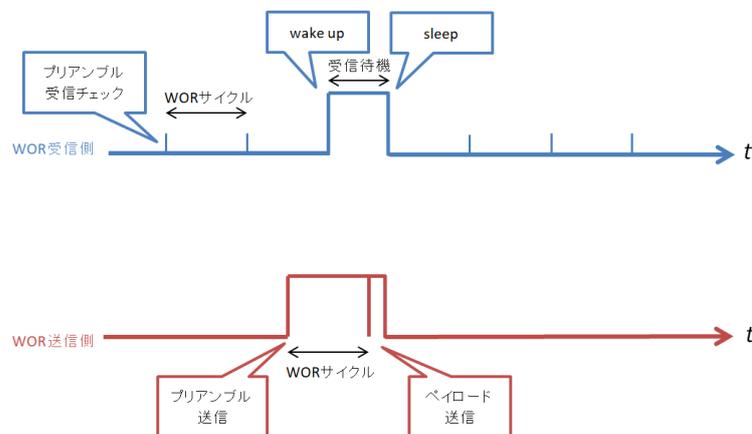


図 39 WOR 機能の動作イメージ

WOR の利用で、電力消費の負担のトレードオフが、受信側と送信側で逆転します。一般に、通常基地局など（商用電源などからの給電など）待受電力の余裕を前提とされますが、図 40 の通り、WOR 機能により受信側の待ち受け電力を抑制した使用方法が可能となります。逆に送信側は、送信時にプリアンブル送出分の送信電力が余分に必要で、送信頻度が多いアプリケーションには不向きです。WOR 機能は、めったに受信しない機器の待ち受け電池寿命を延ばしたい場合に最適です。

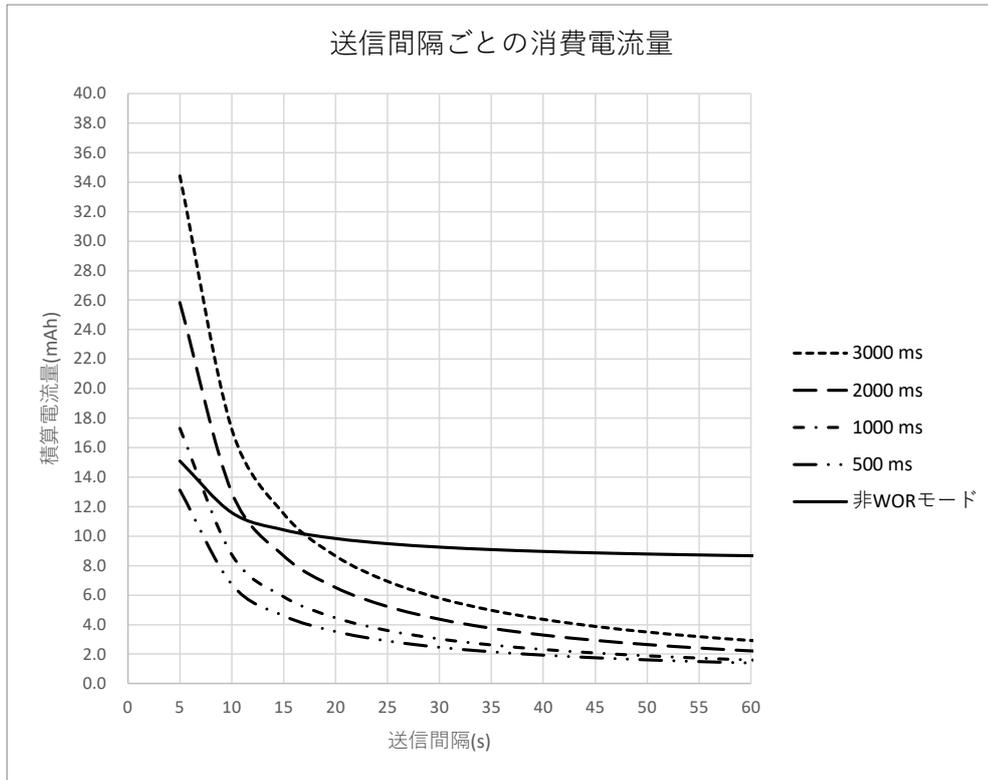


図 40 WOR サイクルと消費電流の図

WOR 送信時、プリアンブルが伝搬空間帯域を占有することになるため多量の WOR 送信は電波空間の利用効率が下がります。また、920MHz 電波法規定により、送信時間が 400ms 制限の規定があるアップー周波数チャンネル 923.5 MHz~928.0MHz の範囲では、プリアンブル送信にかかる時間が制限を超えてしまうため、WOR モードを使用することはできません。

8.7 環境ノイズモニタリング

レジスタ 0x03 の bit5 を 1 に設定することで、環境ノイズモニタリング機能が有効になり、モジュールの待受周波数チャンネルの環境ノイズ強度(dBm)をコマンドにより取得することができます。コマンド操作による方法は第 10 章を参照してください。

9 コンフィグレーション

本モジュールの挙動は、すべて設定レジスタを操作することで行います。

9.1 設定レジスタ

設定レジスタを

表 8 から表 14 に示します。これらのレジスタは 1 バイト単位でアクセスすることが可能で、各バイトには、レジスタアドレス(address)が付与されており、それを指定して内容を書き換えます。レジスタのバイト毎に、Read/Write、もしくは、Read もしくは Write のいずれかが可能であり、また、揮発(volatile)、不揮発(non-volatile)の属性を持ちます。不揮発(non-volatile)属性のレジスタは、1 度レジスタ値を書き込むと、給電を断った後も、内容を保持しますが、揮発(volatile) 属性のレジスタは、給電を断つとその内容は初期値や、規定値にリセットされます。第 10 章で後述する書き込みコマンドによってレジスタ値を書き換えた場合、書き込みコマンドのレスポンスとしてレジスタ値が返ってくるため、その値から正しい値が書き込まれ保持されていることを検査することが可能です。

表 8 E220-900T22S/ 22L(JP) 共通 設定レジスタマップ 0x00,0x01,0x02

22S/22L

Address	Read/ Write	詳細							注釈	
00 H: ADDH	Read/Write non-volatile	デバイスアドレス上位バイト (default 0)							デバイスアドレスは 符号なし 16bit 値で す。	
01 H: ADDL	Read / Write non-volatile	デバイスアドレス下位バイト (default 0)								
02 H: REG0	Read / Write non-volatile	7	6	5	UART Serial Port Rate(bps)				Config/DeepSleep モード (mode 3) に おいては、この設定 に依らず常に 9600bpsとなります。	
		0	0	0	UART Serial Port Rate 1,200					
		0	0	1	UART Serial Port Rate 2,400					
		0	1	0	UART Serial Port Rate 4,800					
		0	1	1	UART Serial Port Rate 9,600 (default)					
		1	0	0	UART Serial Port Rate 19,200					
		1	0	1	UART Serial Port Rate 38,400					
		1	1	0	UART Serial Port Rate 57,600					
		1	1	1	UART Serial Port Rate 115,200					
		4	3	2	1	0	Air Data Rate (bps)	SF	BW (kHz)	
		0	0	0	0	0	15,625	5	125	
		0	0	1	0	0	9,375	6	125	
		0	1	0	0	0	5,469	7	125	
		0	1	1	0	0	3,125	8	125	
		1	0	0	0	0	(default)1,758	9	125	
		0	0	0	0	1	31,250	5	250	
		0	0	1	0	1	18,750	6	250	
		0	1	0	0	1	10,938	7	250	
		0	1	1	0	1	6,250	8	250	
		1	0	0	0	1	3,516	9	250	
		1	0	1	0	1	1,953	10	250	
		0	0	0	1	0	62,500	5	500	
		0	0	1	1	0	37,500	6	500	
		0	1	0	1	0	21,875	7	500	
0	1	1	1	0	12,500	8	500			
1	0	0	1	0	7,031	9	500			
1	0	1	1	0	3,906	10	500			
1	1	0	1	0	2,148	11	500			

表 9 E220-900T22S(JP) 設定レジスタマップ 0x03

Address	Read/ Write	詳細				注釈		
03 H: REG1	Read / Write non-volatile	7	6	ペイロード長		厳格に 1 つのパケットの最大ペイロード(ユーザが任意のバイト列を載せられる領域の)サイズと定義		
		0	0	200 byte (default)				
		0	1	128 byte				
		1	0	64 byte				
		1	1	32 byte				
		5	RSSI 環境ノイズの有効化				有効にすると通常送受信モード(mode 0)または WOR 送信モード(mode 1)にて、いつでもコマンドで現在の環境ノイズと前回のデータ受信時 RSSI の応答を取得できます。	
		0	無効 (default)					
		1	有効					
		4	Reserved					
		3	2	1	0	送信出力		
		0	0	0	0	Not available [ver.1.0 compatible]		
		0	0	0	1	13dBm (default) [ver.1.0 compatible]		
		0	0	1	0	7dBm [ver.1.0 compatible]		
		0	0	1	1	0dBm [ver.1.0 compatible]		
		0	1	0	0	1dBm		
		0	1	0	1	2dBm		
		0	1	1	0	3dBm		
		0	1	1	1	4dBm		
		1	0	0	0	5dBm		
		1	0	0	1	6dBm		
		1	0	1	0	7dBm		
		1	0	1	1	8dBm		
1	1	0	0	9dBm				
1	1	0	1	10dBm				
1	1	1	0	11dBm				
1	1	1	1	12dBm				

表 10 E220-900T22L(JP) 設定レジスタマップ 0x03

Address	Read/ Write	詳細				注釈		
03 H: REG1	Read / Write non-volatile	7	6	ペイロード長		厳格に 1 つのバケットの最大ペイロード (ユーザーが任意のバイト列を載せられる領域の) サイズと定義		
		0	0	200 byte (default)				
		0	1	128 byte				
		1	0	64 byte				
		1	1	32 byte				
		5	RSSI 環境ノイズの有効化				有効にすると通常送受信モード(mode 0)または WOR 送信モード(mode 1)にて、いつでもコマンドで現在の環境ノイズと前回のデータ受信時 RSSI の応答を取得できます。	
		0	無効 (default)					
		1	有効					
		4	Reserved				0 で固定のこと	
		3	2	1	0	送信出力 Table A	送信出力 Table B	送信出力テーブルが Table A か Table B はレジスタ 0x05 の bit 5 の設定によります。
		0	0	0	0	Not available	15dBm	
		0	0	0	1	13dBm (default)	14dBm	
		0	0	1	0	7dBm	13dBm	
		0	0	1	1	0dBm	12dBm	
		0	1	0	0	20dBm	11dBm	
		0	1	0	1	17dBm	10dBm	
		0	1	1	0	10dBm	9dBm	
		0	1	1	1	10dBm	8dBm	
		1	0	0	0	10dBm	7dBm	
		1	0	0	1	22dBm	6dBm	
		1	0	1	0	21dBm	5dBm	
		1	0	1	1	20dBm	4dBm	
1	1	0	0	19dBm	3dBm			
1	1	0	1	18dBm	2dBm			
1	1	1	0	17dBm	1dBm			
1	1	1	1	16dBm	0dBm			

表 11 E220-900T22S/22L(JP) 設定レジスタマップ 0x04, 0x05

Address	Read/ Write	詳細	注釈	
04 _H : REG2	Read / Write non-volatile	周波数チャンネルの指定 (日本版) : BW125kHz では 920.6~928.0MHz (200kHz 間隔 38 波 CH:0~37) BW250kHz では 920.7~927.9MHz (200kHz 間隔 37 波 CH:0~36) BW500kHz では 920.8~926.8MHz (200kHz 間隔 31 波 CH:0~30) ----- 周波数チャンネルの指定 (海外版) : 850.125~930.125MHz (1MHz 間隔 81 波 CH:0~80)		
Address	Read/ Write	詳細	注釈	
05 _H : REG3	Read / Write non-volatile	7 RSSI バイトの有効化	有効時、受信データを出力した後、続いて RSSI バイトを出力します。 RSSI バイトの dBm 換算は次式です。 dBm = RSSI バイト - 256	
		0 無効 (default)		
		1 有効		
		6 送信方法	ver.1.x から default 値が変更されています。	
		0 トランスペアレント送信モード		
		1 通常送信モード (default)		
		5 送信出力テーブル選択 (22L のみ)	22L を使用する場合はみ使用する送信出力テーブルを選択します。	
		0 送信出力 Table A (default)		
		1 送信出力 Table B		
		4 Reserved	0 で固定のこと	
		3 Reserved	0 で固定のこと	
		2	1	0
0	0	0	500ms	
0	0	1	1,000ms	
0	1	0	1,500ms	
0	1	1	2,000ms (default)	
1	0	0	2,500ms	
1	0	1	3,000ms	

表 12 E220-900T22S/ 22L(JP) 設定レジスタマップ 0x06,0x07,0x08

Address	Read/ Write	詳細	注釈
06 _H : CRYPT_H	Write non-volatile	Key High Byte / 上位バイト (default 00H)	
07 _H : CRYPT_L	Write non-volatile	Key Low Byte / 下位バイト (default 00H)	
08 _H : VERSION	Read non-volatile	バージョン番号 v2.0 (22S(JP):20H, 22L(JP):28H)	上位 4bit でメジャーバージョン、下位 4bit でマイナーバージョンを表します。22L ハイパワーファームウェアは、下位 4bit の先頭 bit が 1 になり区別されます。

表 13 E220-900T22S/ 22L(JP) 設定レジスタマップ 0x09

Address	Read/ Write	詳細		注釈	
09 H: EXT REG	Read / Write non-volatile	7	低電圧動作の有効/無効切り替えフラグ	low voltage protection threshold を決めます。Enable の場合 2.0V となり、Disable の場合は 2.9V となります	
		0	Enable (default)		
		1	Disable		
		6	Strict Mode (v2.0 厳格動作)切り替えフラグ	Enable の場合、ver.1 の互換性を切り捨て厳密なコマンド動作や v2.0 の機能を有効とし、ver.1 互換コマンド操作はできなくなります。	
		0	Disable (default)		
		1	Enable		
		5	受信パケットの宛先アドレスの出力	Enable の場合、受信時の出力形式に従って宛先アドレスが出力されます。	
		0	Disable (default)		
		1	Enable		
		4	送信データ列への CHECKSUM 付与要求フラグ (MCU から本モジュールへの UART 入力バイト列への CHECKSUM 付与の要/不要の切り替えフラグ)	Required の場合、モジュールへ UART 入力する際に、CS バイトを付加する必要があります。	
		0	Disable / No Checksum (default)		
		1	Required		
		3	受信データ列への CHECKSUM 付与指定フラグ (本モジュールから MCU への UART 出力バイト列への CHECKSUM 付与の有効/無効切り替えフラグ)	Enable の場合、モジュールから UART 出力される際に CS バイトが含まれます。	
		0	Disable (default)		
		1	Enable		
		2	受信データ列へのパケットサイズ付与の指定フラグ (本モジュールから MCU への UART 出力バイト列の先頭にパケットサイズバイト付与の有効/無効切り替えフラグ)	Enable の場合、モジュールから UART 出力される際に先頭にデータサイズバイトが付加されます。	
		0	Disable (default)		
		1	Enable		
		1	0	受信動作の AUX Low レベル待機時間	MCU をウェイクアップさせるための AUX 立ち下がりから UART 送信までの待機時間を表します。
		0	0	2~3 ms (default)	
0	1	512 ms			
1	0	1024 ms			
1	1	0 ms (No wait)			

表 14 E220-900T22S/ 22L(JP) 設定レジスタマップ 0x0A

Address	Read/ Write	詳細	注釈
0AH: Carrire Sense TIMEOUT REG	Read / Write non-volatile	Carrire Sense TIMEOUT (ms)	<p>0: NO TIMEOUT 1~254: NUM + 4 ms 255: 5000 ms</p> <p>default: 0 (NO TIMEOUT)</p> <hr/> <p>送信前のキャリアセンス 最大待機時間を設定しま す。 タイムアウトした場合は 送信を中止し、送信対象 の送信キューパケットを 破棄し、0xA1 レジスタの bit 2 に 1 をセットします。</p>

表 16 E220-900T22S/ 22L(JP) 状態レジスタマップ 0xA1

Address	Read/ Write	詳細		注釈	
A1 H: SEND STATE REG	Read volatile	7	Reserved		
		6	Reserved		
		5	Reserved		
		4	Reserved		
		3	Reserved		
		2	キャリアセンスのタイムアウトによる送信中止の発生		
		0	Normal		
		1	Timeout		
		1	送信バッファあふれによる送信データ破棄の発生		MCU から送信データを UART 入力した際に、送信バッファからあふれるため送信データが破棄された場合は、この bit が 1 になります。
		0	Normal		
1	Transmit Buffer Exceeded				
0	直前に送信したバイト列の CHECKSUM 検査結果				
0	Valid				
1	CHECKSUM Error				

表 17 E220-900T22S/ 22L(JP) 状態レジスタマップ 0xA2, 0xA3, 0xA4

Address	Read/ Write	詳細	注釈
A2 _H : COLLISION REG	Read Volatile	キャリアセンスの検知で回避が行われた回数 (1 バイト)	キャリアセンスの検知により送信を延期した回数を計数するカウンタ。前回との差を計算することで衝突回避の発生回数を得ることができます。
A3 _H : NOISE RSSI	Read Volatile	現在の環境ノイズ RSSI (1 バイト)	Read コマンド発行時に環境ノイズを RSSI 値として取得できます。 (v1.0 互換動作では、専用コマンドで取得)
A4 _H : LAST RSSI	Read volatile	直前に受信したパケットの RSSI (1 バイト)	

9.3 個体番号レジスタ

個体番号レジスタマップを表 18 に示します。これらのレジスタは 1 バイト単位でアクセスすることが可能で、各バイトには、レジスタアドレス(address)が付与されており、それを指定して内容を書き換えます。レジスタのバイト毎に Read/Write が可能であり不揮発(non-volatile)の属性を持ちます。設計者は任意で個体番号記録用のレジスタとして利用することができます。

表 18 E220-900T22S/ 22L(JP) 個体番号レジスタマップ 0xE0-0xEF

22S/22L

Address	Read / Write	詳細	注釈
E0 _H : ID num 0	Read / Write non-volatile	最下位バイト	個体番号記録用レジスタとして 16 byte 用意
E1 _H : ID num 1	Read / Write non-volatile		
E2 _H : ID num 2	Read / Write non-volatile		
E3 _H : ID num 3	Read / Write non-volatile		
E4 _H : ID num 4	Read / Write non-volatile		
E5 _H : ID num 5	Read / Write non-volatile		
E6 _H : ID num 6	Read / Write non-volatile		
E7 _H : ID num 7	Read / Write non-volatile		
E8 _H : ID num 8	Read / Write non-volatile		
E9 _H : ID num 9	Read / Write non-volatile		
EA _H : ID num 10	Read / Write non-volatile		
EB _H : ID num 11	Read / Write non-volatile		
EC _H : ID num 12	Read / Write non-volatile		
ED _H : ID num 13	Read / Write non-volatile		
EE _H : ID num 14	Read / Write non-volatile		
EF _H : ID num 15	Read / Write non-volatile	最上位バイト	

9.4 周波数チャンネルと帯域幅一覧

- 周波数チャンネルが 920.6 MHz～923.4MHz の範囲、すなわち表 19、表 20、表 21 から
BW:125kHz で CH:0-14 を選択した場合、
BW:250kHz で CH:0-13 を選択した場合、
および BW:500kHz で CH:0-12 を選択した場合 1 回の送信ごとの送信休止時間が 50ms と
なるよう制御されます。

- 周波数チャンネルが 923.5 MHz～928.0MHz の範囲、すなわち表 19、表 20、表 21 から
BW:125kHz で CH:15-37 を選択した場合、
BW:250kHz で CH:14-36 を選択した場合、
および BW:500kHz で CH:13-30 を選択した場合
 - 送信時間が 400ms 制限の規定があるため、レジスタでの設定値によらずサブパケット
長が 32byte に変更されます。また、プリアンブル送信にかかる時間が制限を超えてし
まうため、WOR モードは利用しないでください。
 - 1 時間あたりの送信時間総和が 360 秒以下の規定があるため、送信休止時間を送信時間
の 10 倍となるように制御されます。

表 19 BW125kHz の場合の周波数チャンネル一覧

CH 番号	帯域幅	中心周波数	技適認証 対応	
	[kHz]	[MHz]	22S	22L
0	125	920.6	✓	✓
1	125	920.8	✓	✓
2	125	921.0	✓	✓
3	125	921.2	✓	✓
4	125	921.4	✓	✓
5	125	921.6	✓	✓
6	125	921.8	✓	✓
7	125	922.0	✓	✓
8	125	922.2	✓	✓
9	125	922.4	✓	✓
10	125	922.6	✓	✓
11	125	922.8	✓	✓
12	125	923.0	✓	✓
13	125	923.2	✓	✓
14	125	923.4	✓	✓
15	125	923.6	✓	Receive Only
16	125	923.8	✓	Receive Only
17	125	924.0	✓	Receive Only
18	125	924.2	✓	Receive Only
19	125	924.4	✓	Receive Only
20	125	924.6	✓	Receive Only
21	125	924.8	✓	Receive Only
22	125	925.0	✓	Receive Only
23	125	925.2	✓	Receive Only
24	125	925.4	✓	Receive Only
25	125	925.6	✓	Receive Only
26	125	925.8	✓	Receive Only
27	125	926.0	✓	Receive Only
28	125	926.2	✓	Receive Only
29	125	926.4	✓	Receive Only
30	125	926.6	✓	Receive Only
31	125	926.8	✓	Receive Only
32	125	927.0	✓	Receive Only
33	125	927.2	✓	Receive Only
34	125	927.4	✓	Receive Only
35	125	927.6	✓	Receive Only
36	125	927.8	✓	Receive Only
37	125	928.0	✓	Receive Only

表 20 BW250kHz の場合の周波数チャンネル一覧

CH 番号	帯域幅	中心周波数	技適認証 対応	
	[kHz]	[MHz]	22S	22L
0	250	920.7	✓	✓
1	250	920.9	✓	✓
2	250	921.1	✓	✓
3	250	921.3	✓	✓
4	250	921.5	✓	✓
5	250	921.7	✓	✓
6	250	921.9	✓	✓
7	250	922.1	✓	✓
8	250	922.3	✓	✓
9	250	922.5	✓	✓
10	250	922.7	✓	✓
11	250	922.9	✓	✓
12	250	923.1	✓	✓
13	250	923.3	✓	✓
14	250	923.5	✓	Receive Only
15	250	923.7	✓	Receive Only
16	250	923.9	✓	Receive Only
17	250	924.1	✓	Receive Only
18	250	924.3	✓	Receive Only
19	250	924.5	✓	Receive Only
20	250	924.7	✓	Receive Only
21	250	924.9	✓	Receive Only
22	250	925.1	✓	Receive Only
23	250	925.3	✓	Receive Only
24	250	925.5	✓	Receive Only
25	250	925.7	✓	Receive Only
26	250	925.9	✓	Receive Only
27	250	926.1	✓	Receive Only
28	250	926.3	✓	Receive Only
29	250	926.5	✓	Receive Only
30	250	926.7	✓	Receive Only
31	250	926.9	✓	Receive Only
32	250	927.1	✓	Receive Only
33	250	927.3	✓	Receive Only
34	250	927.5	✓	Receive Only
35	250	927.7	✓	Receive Only
36	250	927.9	✓	Receive Only

※帯域幅が 250kHz のため、両サイドの 1CH と帯域を共有しています。

表 21 BW500kHz の場合の周波数チャンネル一覧

CH 番号	帯域幅	中心周波数	技適認証 対応	
	[kHz]	[MHz]	22S	22L
0	500	920.8	✓	✓
1	500	921.0	✓	✓
2	500	921.2	✓	✓
3	500	921.4	✓	✓
4	500	921.6	✓	✓
5	500	921.8	✓	✓
6	500	922.0	✓	✓
7	500	922.2	✓	✓
8	500	922.4	✓	✓
9	500	922.6	✓	✓
10	500	922.8	✓	✓
11	500	923.0	✓	✓
12	500	923.2	✓	✓
13	500	923.4	✓	Receive Only
14	500	923.6	✓	Receive Only
15	500	923.8	✓	Receive Only
16	500	924.0	✓	Receive Only
17	500	924.2	✓	Receive Only
18	500	924.4	✓	Receive Only
19	500	924.6	✓	Receive Only
20	500	924.8	✓	Receive Only
21	500	925.0	✓	Receive Only
22	500	925.2	✓	Receive Only
23	500	925.4	✓	Receive Only
24	500	925.6	✓	Receive Only
25	500	925.8	✓	Receive Only
26	500	926.0	✓	Receive Only
27	500	926.2	✓	Receive Only
28	500	926.4	✓	Receive Only
29	500	926.6	✓	Receive Only
30	500	926.8	✓	Receive Only
31	500	927.0		
32	500	927.2		
33	500	927.4		
34	500	927.6		
35	500	927.8		

※帯域幅が 500kHz のため、両サイドの 2CH と帯域を共有しています。本モジュールのスプリアス特性により、帯域幅 500kHz の場合は設定できる周波数チャンネルは 926.8MHz までとなります。

10 コマンドフォーマット

Config/DeepSleep モードにて、本セクションで説明するコマンドにより、モジュールのレジスタ設定値の読み出しおよび書き込みを行うことができます。また、Config/DeepSleep モード以外においてもレジスタの設定値やレジスタのフラグ状態を取得することができ、レジスタ 0x09 の Strict Mode (v2.0 厳格動作)切り替えフラグを有効にすることで、通常送受信モードおよび WOR 送信モードにて、後述のレジスタ読み出しコマンドおよびフラグリセットコマンドを使用することができます。

10.1 コマンド一覧

モジュールのレジスタ設定値の読み出し/書き込みに使用するコマンドおよび状態レジスタのフラグをリセットするコマンドの書式について説明します。

- **Config/DeepSleep モード(mode 3)時
レジスタ読み出し/書き込みコマンド**

Config/DeepSleep モード(mode 3)において、ver.1 互換モードおよび Strict Mode (v2.0 厳格動作)の両方とも表 22 のコマンドでレジスタの設定値を読み出しおよび、表 23 のコマンドで書き込みを行うことができます。また、Strict Mode (v2.0 厳格動作)でチェックサムやパケットサイズを有効にしたときは、その設定に従います。

表 22 レジスタ読み出しコマンド

	command	Starting address	length	parameter
TXD	0xC1	<レジスタ番号>	<読み出し数>	
RXD	0xC1	<レジスタ番号>	<読み出し数>	<レジスタ値>

表 23 レジスタ書き込みコマンド

	command	Starting address	length	parameter
TXD	0xC0	<レジスタ番号>	<書き込み数>	<レジスタ値>
RXD	0xC1	<レジスタ番号>	<読み出し数>	<レジスタ値>

- **通常送受信モード(mode 0)/WOR 送信モード(mode 1)時**

- **Strict Mode (v2.0 厳格動作)でのレジスタ読み出しコマンド**

Strict Mode (v2.0 厳格動作)では、通常送受信モード(mode 0)/WOR 送信モード(mode 1)において、表 24 のコマンドで 9.2 節のレジスタ 0xA0~0xA4 の状態レジスタ値の読み出しを行うことができます。レジスタから連続読み出しするには、読み出し開始レジスタと読み出し数を指定します。

フラグリセットコマンドの先頭 3 バイトは [0xFF, 0xFF, 0xF0] という形式となっており、これに続いてリセット対象のレジスタ番号を指定します。この形式は、通常のデータ送信における宛先アドレスと宛先チャンネルの組み合わせとの重複を避け

るとともに、レジスタ読み出しコマンドとの混同を防ぐ形となっています。また、この形式はフラグを0にリセットするという操作の意味も表現しています。フラグのリセット操作はレジスタ単位で行われます。そのため、コマンドにはリセットしたいレジスタ番号のみを指定します。

表 24 レジスタ読み出しコマンド(Strict Mode (v2.0 厳格動作)でのみ使用可)

	command	Starting address	length	parameter
TXD	0xFF,0xFF,0xC1	<レジスタ番号>	<読み出し数>	
RXD	0xFF,0xFF,0xC1	<レジスタ番号>	<読み出し数>	<レジスタ値>

● 通常送受信モード(mode 0)/WOR 送信モード(mode 1)時

Strict Mode (v2.0 厳格動作)でのフラグリセットコマンド

Strict Mode (v2.0 厳格動作)では、通常送受信モード(mode 0)/WOR送信モード(mode 1)において、表 25 のコマンドで9.2節の状態レジスタ 0xA0, 0xA1 のフラグをリセットすることができます。フラグリセットコマンドの先頭3バイトは [0xFF, 0xFF, 0xF0] という形式となっており、これに続いてリセット対象のレジスタ番号を指定します。この形式は、通常のデータ送信における宛先アドレスと宛先チャンネルの組み合わせとの重複を避けるとともに、レジスタ読み出しコマンドとの混同を防ぐ形となっています。また、この形式はフラグを0にリセットするという操作の意味も表現しています。フラグのリセット操作はレジスタ単位で行われます。そのため、コマンドにはリセットしたいレジスタ番号のみを指定します。

表 25 フラグリセットコマンド

	command	register address	Parameter
TXD	0xFF,0xFF,0xF0	<レジスタ番号>	
RXD	0xFF,0xFF,0xF0	<レジスタ番号>	<レジスタ値>

フラグリセットコマンドにて指定できるレジスタは 0xA0, 0xA1 のみです。フラグリセットコマンドのレスポンスとしてレジスタのフラグをリセットした後のレジスタ値が返ってきます。

10.2 コマンド操作手順

10.1 節で説明したコマンドの書式に従って、MCU から本モジュールへのコマンド操作を行う際の手順について説明します。

● Config/DeepSleep モード(mode 3)時

レジスタ読み出しコマンド使用手順

本モジュールのレジスタ設定値を読み出す際のコマンドバイト列を図 41 に示します。表 22 の通り、「読み出しコマンド 0xC1」、「読み出し開始アドレス」、「読み出し数」の順番でバイト列を入力します。

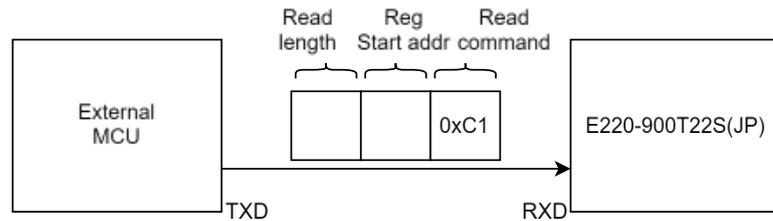


図 41 MCU から本モジュールへのレジスタ読み出しコマンド

本モジュールから MCU へのレジスタ読み出しレスポンスのバイト列を図 42 に示します。表 22 の通り、「読み出しコマンド 0xC1」、「読み出し開始アドレス」、「読み出し数」、「レジスタ値」の順番でバイト列が出力されます。

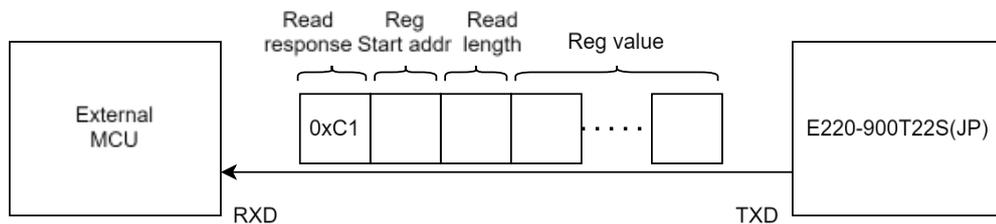


図 42 本モジュールから MCU へのレジスタ読み出しレスポンス

● Config/DeepSleep モード(mode 3)時

レジスタ書き込みコマンド使用手順

本モジュールのレジスタへ設定値を書き込む際のコマンドバイト列を図 43 に示します。表 23 の通り、「書き込みコマンド 0xC0」、「書き込み開始アドレス」、「書き込み数」、「レジスタ値」の順番でバイト列を入力します。

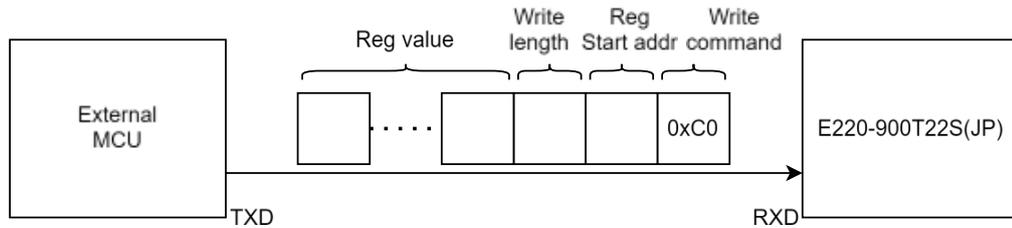


図 43 MCU から本モジュールへのレジスタ書き込みコマンド

本モジュールから MCU へのレジスタ書き込みレスポンスのバイト列を図 44 に示します。表 23 の通り、「読み出しコマンド 0xC1」、「読み出し開始アドレス」、「読み出し数」、「レジスタ値」の順番でバイト列が出力されます。

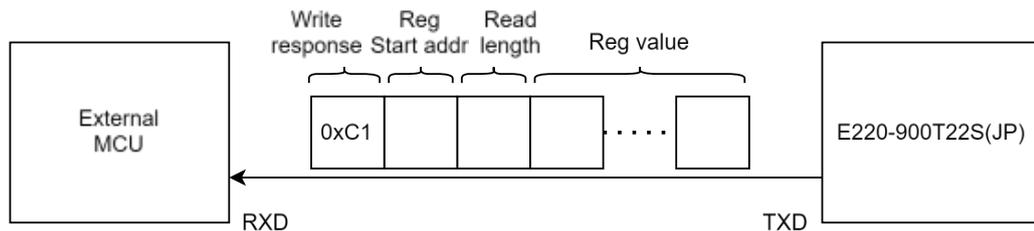


図 44 本モジュールから MCU へのレジスタ書き込みレスポンス

- 通常送受信モード(mode 0)/WOR 送信モード(mode 1)時
Strict Mode (v2.0 厳格動作)でのレジスタ読み出しコマンドの手順

MCU から本モジュールへのコマンドリクエスト (UART 入力)

CHECKSUM の計算は以下の通りです。前提として、UART 入力バイト列への CHECKSUM 付与要求フラグ (レジスタ 0x09 の bit4=1) を有効にした場合としています。

図 45 に示している通り、「Read command」、「Reg Start address」、「Read length」をバイトごとに XOR を計算して CHECKSUM とします。

MCU において、上記の計算を行い、本モジュールへの UART 入力バイト列の最後に CHECKSUM を追加してください。

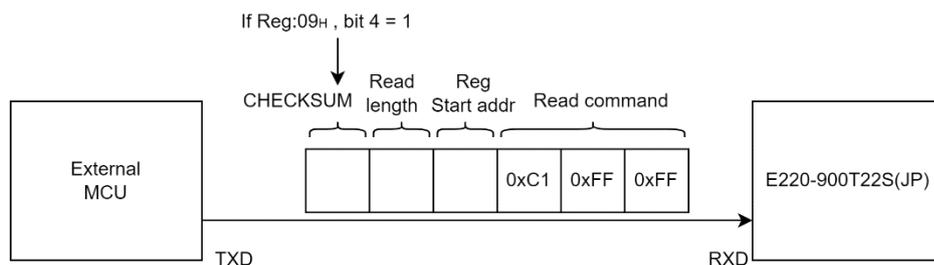


図 45 MCU から本モジュールへの読み出しコマンドバイト列

e.g.) レジスタ 0xA3 の現在の環境ノイズ RSSI を読み出そうとしたときの CHECKSUM は 0x63 と計算され、UART 入力バイト列は以下のようになります。

```
0xFF 0xFF 0xC1 0xA3 0x01 0x63
                ↑ CHECKSUM
```

本モジュールから MCU へのコマンドレスポンス (UART 出力)

CHECKSUM の計算は以下の通りです。前提として、UART 出力バイト列への CHECKSUM 付与指定フラグ (レジスタ 0x09 の bit3=1) を有効にした場合としています。

図 46 に示している通り、「Packet size」を有効にした場合は、CHECKSUM の計算に含め、「Packet size」、「Read command」、「Reg Start address」、「Read length」、「Reg value」をバイトごとに XOR を計算して CHECKSUM とします。

本モジュールが上記の計算を行い、MCU への UART 出力バイト列の最後に CHECKSUM の追加を行います。

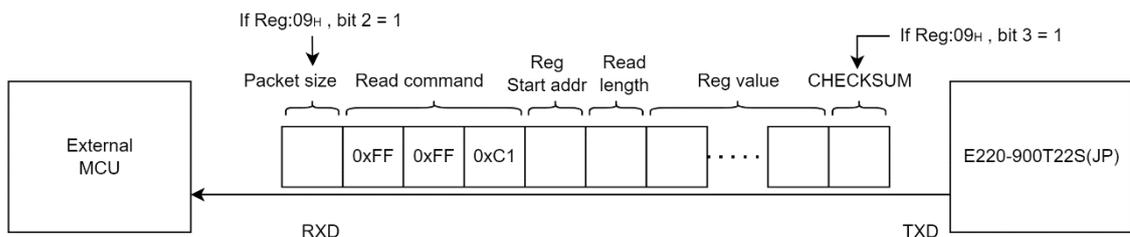


図 46 本モジュールから MCU への読み出しレスポンスバイト列

e.g.) レジスタ 0xA3 の現在の環境ノイズ RSSI を読み出しレスポンスした際の CHECKSUM は 0xEC と計算され、UART 出力バイト列は以下のようになります。この例では、環境ノイズ RSSI を -120dBm として示しています。

```
0x07 0xFF 0xFF 0xC1 0xA3 0x01 0x88 0xEC
                ↑ CHECKSUM
```

- 通常送受信モード(mode 0)/WOR 送信モード(mode 1)時
Strict Mode (v2.0 厳格動作)でのフラグリセットコマンド使用手順

MCU から本モジュールへのフラグリセットリクエスト (UART 入力)

CHECKSUM の計算は以下の通りです。前提として、UART 入力バイト列への CHECKSUM 付与要求フラグ (レジスタ 0x09 の bit4=1) を有効にした場合としています。

図 47 に示している通り、「Flag reset command」、「Reg address」をバイトごとに XOR を計算して CHECKSUM とします。

MCU において、上記の計算を行い、本モジュールへの UART 入力バイト列の最後に CHECKSUM を追加してください。

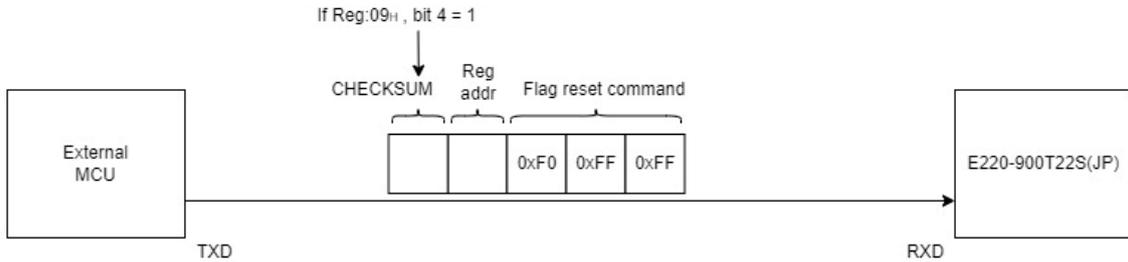


図 47 MCU から本モジュールへのフラグリセットのコマンドバイト列

本モジュールから MCU へのフラグリセットレスポンス (UART 出力)

CHECKSUM の計算は以下の通りです。前提として、UART 出力バイト列への CHECKSUM 付与指定フラグ (レジスタ 0x09 の bit3=1) を有効にした場合としています。

図 48 に示している通り、「Packet size」を有効にした場合は、CHECKSUM の計算に含め、「Packet size」、「Flag reset command」、「Reg address」、「Reg value」をバイトごとに XOR を計算して CHECKSUM とします。

本モジュールが上記の計算を行い、MCU への UART 出力バイト列の最後に CHECKSUM の追加を行います。

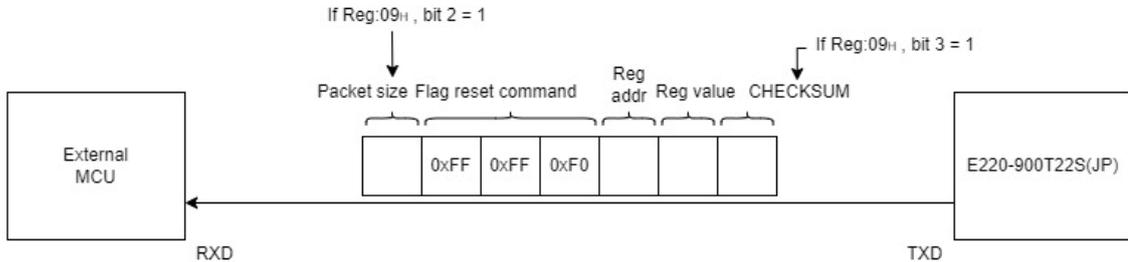


図 48 本モジュールから MCU へのフラグリセットのレスポンスバイト列

本モジュールから MCU へのコマンドエラーレスポンス (UART 出力)

コマンドの書式が間違っている場合、もしくは、無効なレジスタを読み出したとき等は、エラーレスポンスとして、バイト列 [0xFF, 0xFF, 0xFF] が返ります。

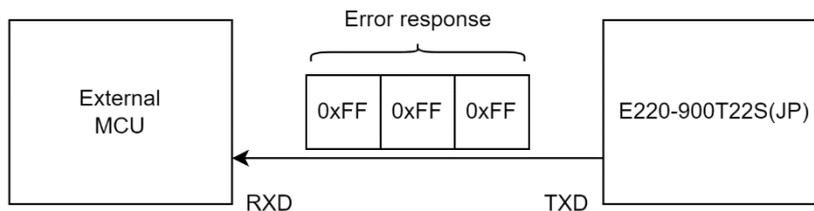


図 49 本モジュールから MCU へのエラーレスポンスバイト列

11 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 Config/DeepSleep モード(mode 3)において、実行することができます。表 26 の連続波送信開始コマンドを送ることで、0x04 レジスタで設定した周波数チャンネルから 0x03 レジスタで設定した送信出力での連続送信が開始します。また、表 27 の連続波送信停止コマンドを送る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 26 連続波送信開始コマンド

	command
TXD	0xCA, 0xCA, 0x01
RXD	レスポンスはありません

表 27 連続波送信停止コマンド

	command
TXD	0xE1, 0xE1, 0xE1
RXD	レスポンスはありません

を配線します。ANT 端子を使用しない場合は必ず、開放（フローティング）してください。

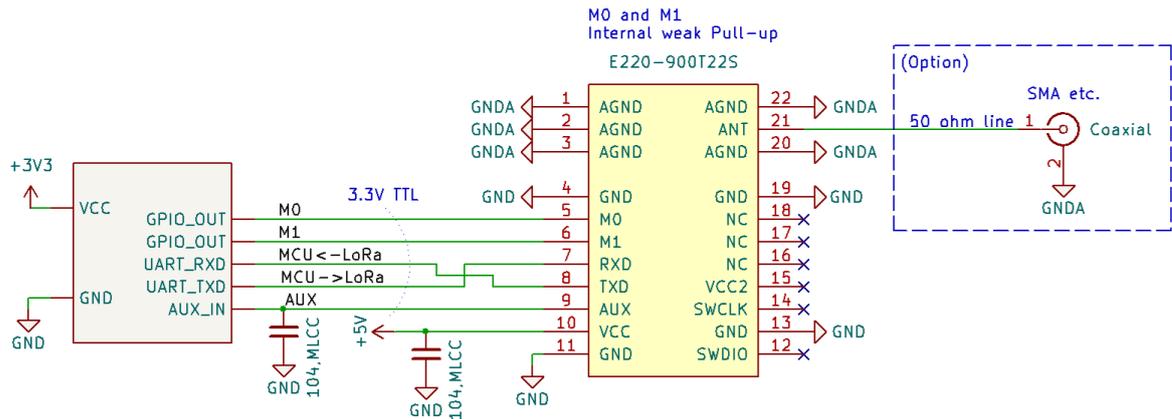


図 51 回路図：WOR 機能を使用する場合の最小構成

WOR機能を使用する場合は、図 51 に示すように AUX ピンの結線を必要とします。AUX ピンは、マイコンの入力ポートに接続しますが、配線上のノイズ対策などのため、小容量(10n~100nF 程度以下)のキャパシタを入れることで、より安定した動作を期待できます（無くては、通常の動作に問題ありませんが、この対策によって、周辺回路や環境からの影響によって、不要な割り込みを排除することに役立ちます）。WOR を使用する場合、モード切り替えのため、M0、M1 ピンは独立に制御する必要があります。

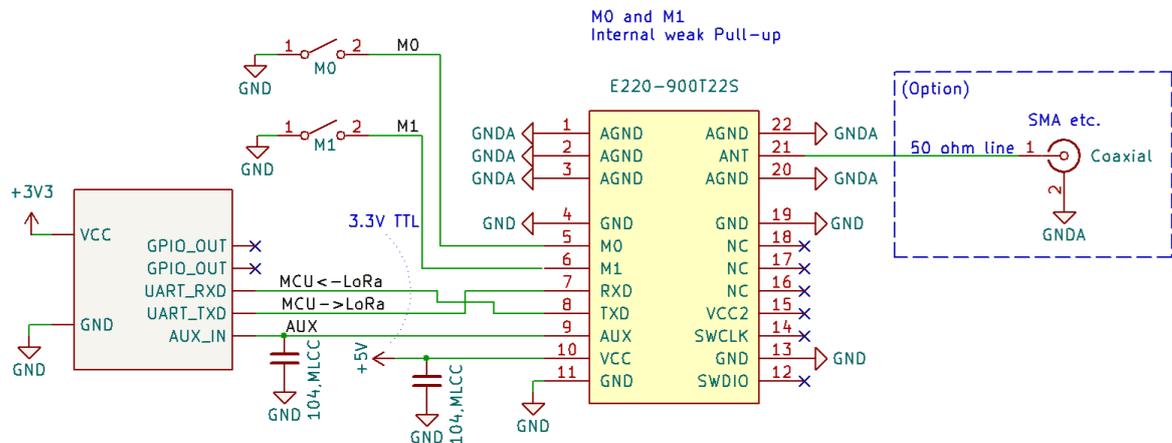


図 52 回路図：M0/M1 を手動切り替えにしてコンフィグレーション制御をしない場合の例

M0、M1 ピンを、DIP スイッチなどによって手動操作をさせることによって、より簡素ハードウェアを実装することが可能です。その場合、図 52 に示すように配線し、実質 UART、AUX ピンのみで全機能を使用することが可能です。このように手動でモード制御するケースでは、設定レジスタが不揮発メモリであることを利用し、コンフィグレーションを予め行っておき、ユーザが使用する際には、これらのスイッチ操作を使わずに使用するように構成されたアプリケーションである場合が多いかも知れません。

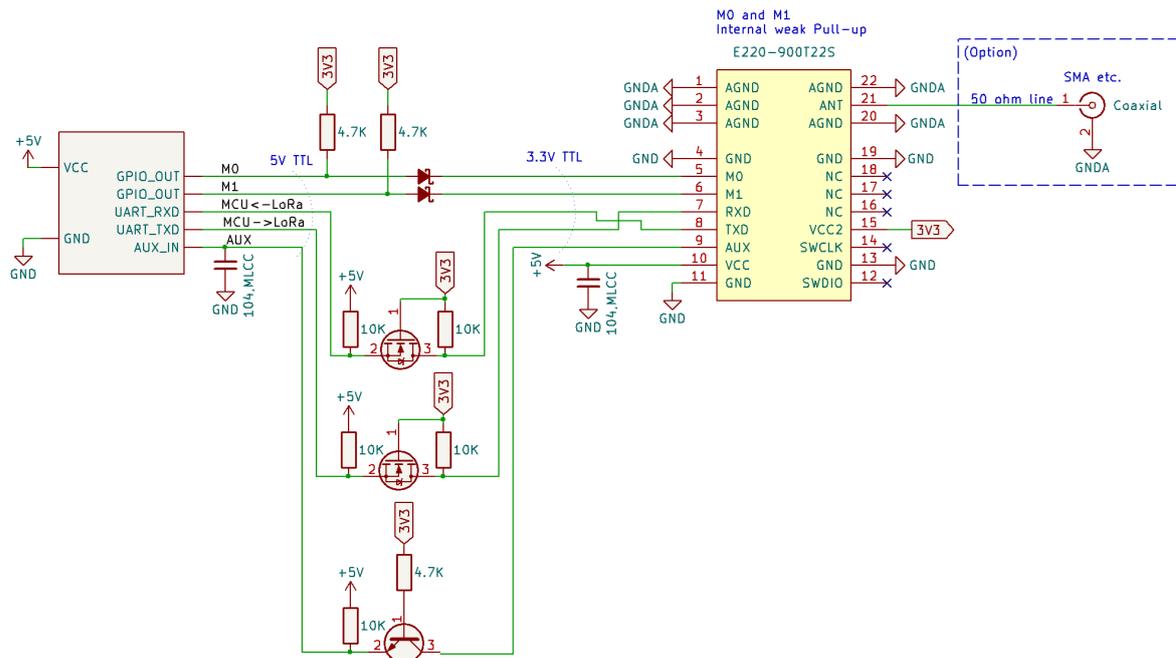


図 53 回路図：レベルシフトを使用する場合の構成例

マイコンと、本モジュールの信号レベルに差がある場合は、必ず必要な方向の信号レベルの調整をするためのレベルシフト回路を挟むようにしてください。図 53 の例では、RXD、TXD の部分に、N-ch MOSFET を使用した双方向レベルシフトを、AUX には、バイポーラトランジスタによる単方向のそれを配置してみました。M0、M1 信号は、ダイオードとプルアップ抵抗で構成しています。各方向と、信号速度に追従できるものであれば、レベルシフトの種類は問いません。

個々で示した各例では、外部のマイコンなどと、本モジュールが結線された状態においては、電源給電、電源断のタイミングが同一であることを期待しています。信号線がつながった状態で節電制御などを行う際に、モジュールや外部マイコンがその影響を受ける場合には、電流の信号線からの回り込みを防ぐために 12.3 節で示すような、信号絶縁回路を挿入する必要があります。また、信号線を経由した電源の回り込みは、回路図などからは一見して発見のしにくい問題でもあります。ここで上げた例では、記載を省略しましたが、信号のダンピング以外に、過電流防止のためにも、各信号線に数十から百 Ω 程度のダンピング抵抗を挿入することも選択肢として検討してください。

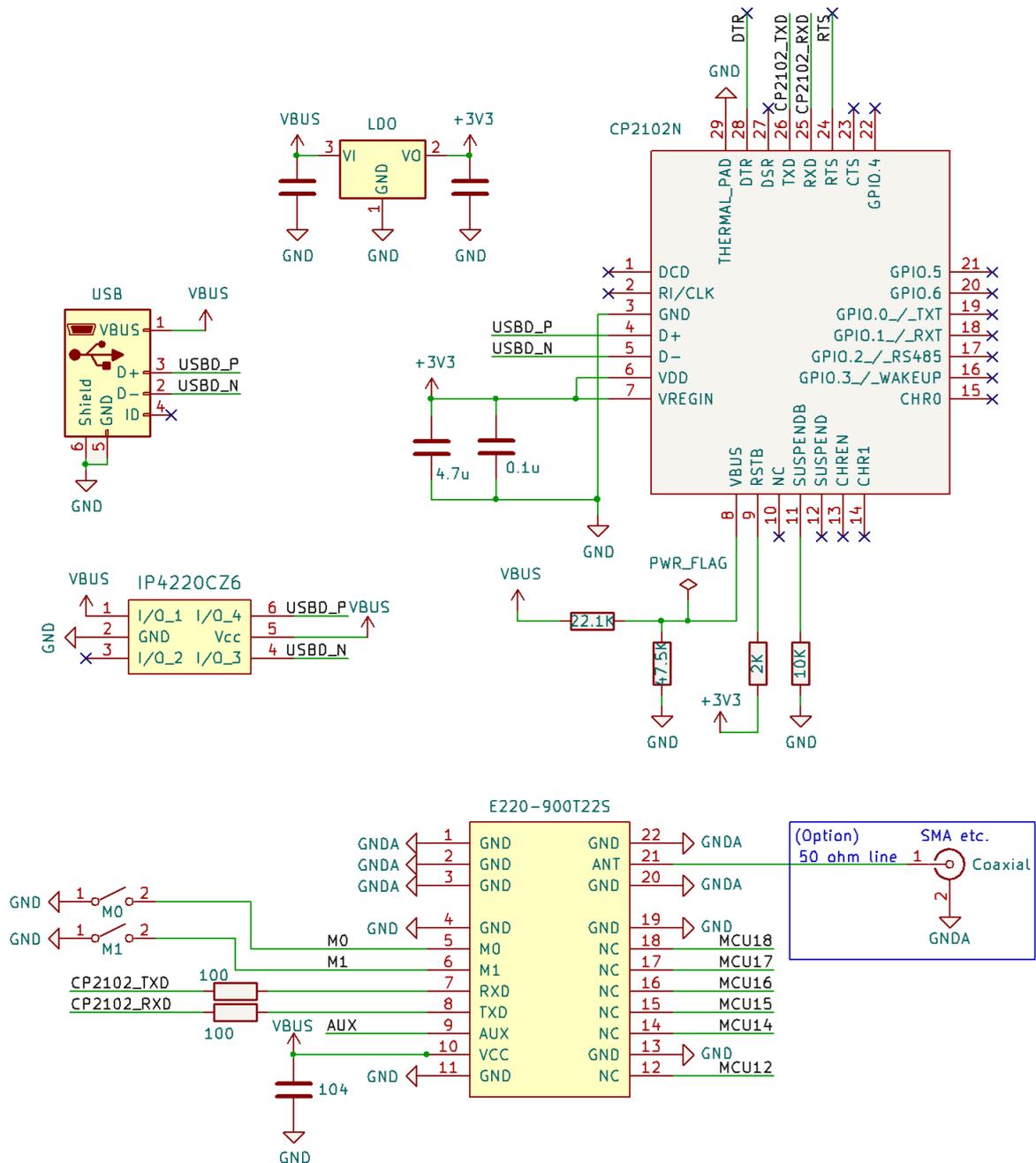


図 54 回路図 : PC など USB 接続する場合の構成例

典型的、かつ、汎用的なアプリケーションの例として USB 信号と、本モジュールの接続例を図 54 に示します。ここでは、Silicon Labs 社製 CP2102N を例に示していますが、多くの USB-UART シリアル変換 IC で同様です。VBUS 5V の取り扱いに注意すれば、信号ラインを 3.3V に統一することは容易です。

そのほか、一般的な MCU と接続する場合の配慮事項を以下に列記します。

- モジュールと MCU 間を、UART(TXD, RXD をクロス接続)、M0、M1 を MCU の出力ピン、AUX を MCU のピン状態変化の割り込みに対応した入力ピンに接続してください。

- UART インタフェースの LoRa モジュールは TTL レベルです。TTL レベルの MCU ポートに接続してください。
- 一部の MCU は 5V DC で動作するため、5V 入力トレラントに動作させる場合は、TXD および AUX ピンに 4.7k~10K Ω のプルアップ抵抗を追加する必要がある場合があります。(モジュールへの入力、RXD、M0、M1 への 5V などの定格以上の電圧印加は禁止です、)

12.2 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 4~11 ピン側と、RF 高周波回路が実装されている 1~3、20~22 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、1~3、20~22 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 50 Ω 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 50 Ω 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。

アンテナ配線を引き延ばした場合の、実装パターン例を図 55 に示します。

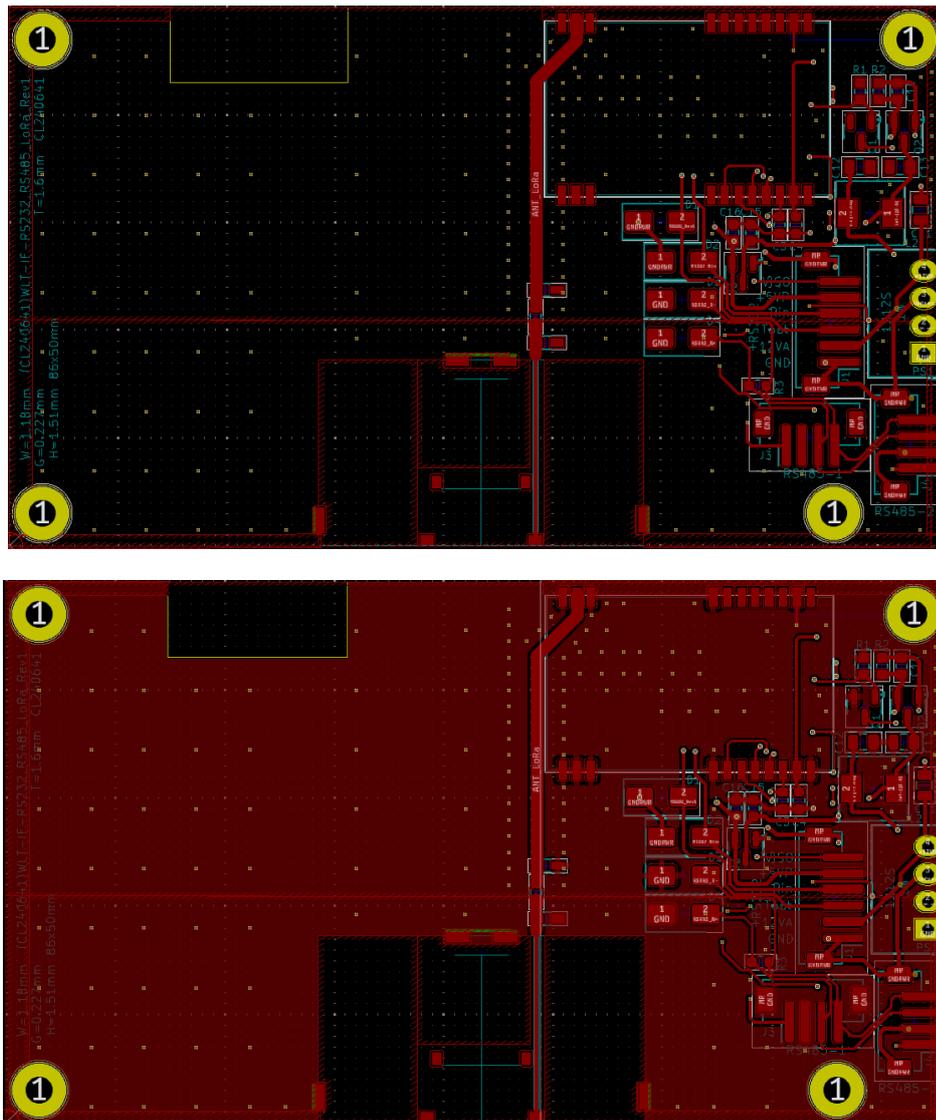


図 55 モジュールからアンテナ線を長く引き出した場合の実装パターン例

12.3 省電力設計

本モジュールは、モジュール自体を DeepSleep モードに移行することによって、安全に、かつ、各ピンの電氣的な活性状態を維持したまま、大幅に消費電流を削減することが可能です。VCC、もしくは、VDD への通電状態において DeepSleep モードである状態の場合は、各ピンの状態は、規定値に保持されるため、一般的な結線方法を採用している限りは特段の配慮は不要です。

DeepSleep モードの消費電流をさらに抑えるため、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、

路が作れ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。

12.5 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。また、本 ver.2.0 に搭載されたチェックサム機能を使用することで、送受信それぞれのバイト列に対して、誤り検査を適用することができ、より高い堅牢性が要求されるアプリケーションにおいてはそれを利用することを推奨します。

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。

本モジュールにおいて、Config/DeepSleep モードで使用する UART 設定パラメータは固定されており、9600bps に限ります。

12.6 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 28、表 29、表 30 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 28 モジュールの VCC または VDD 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
LiB/LiPO 3.7V	3.7V	4.3V	リチウムイオン/ポリマー
Ni-MH 電池 3 本直列	3.6V	4.2V	ニッケル水素充電電池
乾電池 3 本直列	4.5V	4.95V	マンガン・アルカリ
USB VBUS	5.0V	5.3V	
AC アダプタ 5V 出力	5.0V	5.3V	

表 29 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
リチウム系電池 6V	6.0V	6.4V	2CR5, CR-P2 など
Ni-MH 電池 4 本直列	4.8V	5.6V	ニッケル水素充電電池
乾電池 4 本直列	6.0V	6.5V	マンガン・アルカリ
AC アダプタ 5.5V 超出力	5.5V~	6V~	
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 30 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 50mA (22S の場合) ~100mA (22L の場合) 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、電流消費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 5.5V 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、3.1V 程度、もしくは、RF 放射電力が低下することを許容でき

る場合は、2.2V 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 50mA 程度（22L の場合は、110mA 程度、設定 RF 出力に依存）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 22S/22L の各モジュールの設定 UVLO 電圧を下回った場合、モジュールが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。5.5V 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、3.5V～5.0V 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。VCC へ給電した場合に限っては、VDD 端子から、内部 LDO の約 3.3V 程度の出力電圧を取り出すことが可能です。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。

電圧レギュレータ (LDO) などによって、低ノイズ電源として作られている場合は、VCC 端子、もしくは、3.6V 以下であれば、VDD 端子を利用することが可能です。VDD 端子は、内部素子に直結しているため、VDD への給電は細心の注意を払って設計と実装を行ってください。電源の不備がモジュールの破損に直結します。

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、22S や 22L 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 3.5V 以上での給電を推奨します。昇圧回路でのリップルは大きくなる傾向があるため、VDD 端子へリップルの大きな電源を給電した場合、安定した動作を保証しにくくなります。

- 給電遮断時の信号線の絶縁対策について

モジュールへの給電のみを遮断して接続されている周辺回路は電源が給電されている場合、各信号ラインへの絶縁を必要とします。絶縁をしない場合でも、一見正常に動作しますが、漏れ電流が本モジュールの信号ラインから、GND ピンへ貫通し、無駄な電流が消費されます。信号絶縁用 IC や、小信号用 N-ch MOSFET を組み合わせた方法によって絶縁が可能です。

13 よくある質問 (FAQ)

13.1 通信互換性

E220-900T22S(JP)と、同 22L(JP)は、相互に通信がおこなえます。このシリーズは、LoRa 変調にかけるビットパターンや通信暗号手順を同一にしており、電力や電波法などの規定に関する部分についてのみ違いがあります。

また、ファームウェア ver.1.x(ver.1.0, ver.1.2)、ver.2.0 間の通信互換性においても、LoRa 変調波は完全に同一のものであり、相互に通信可能です。Ver.1.x と ver.2.0 の差は、無線通信に関わる部分では無く、無線通信の制御やモジュールと MCU のデジタル信号の手順などを拡充させたもので、LoRa 通信の仕様に差はありません。また、ver.2.0 ファームウェアは、デフォルトでは、ver.1.0 互換のデジタルインタフェースを持ちます、特に ver.2.0 の追加機能を必要としない場合は、MCU のソフトウェアにおいても高い互換性を持ちます。

ただし、ver.2.0 においては、仕様の厳格化などのため、信号のタイミングやレジスタのデフォルトが変更されている部分があります。UART、M0、M1、AUX の完全な信号タイミングレベルの互換性を維持したい場合は、ver.1.0、もしくは、ver.1.2 ファームウェアの使用を推奨します。

E220-900T22L(JP)においては、ver.1.x のファームウェアの提供および提供予定はありません。E220-900T22L(JP)のファームウェアの提供・サポート、初期ロットバージョンは、ver.2.0 となります。

13.2 通信可能距離

E220-900T22S(JP)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があります。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があります。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58、図59）

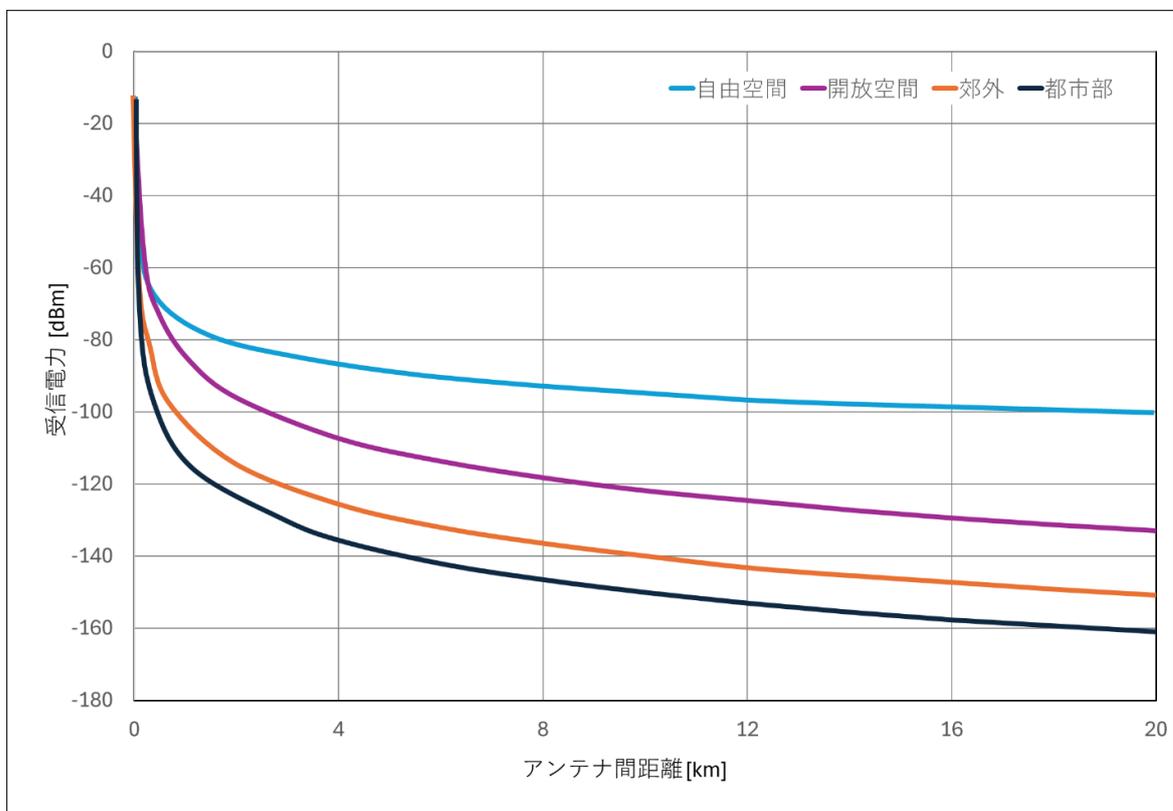


図 58 奥村-秦モデル 920MHz 13dBm の理想アンテナでの受信電力(アンテナ設置高 15m)

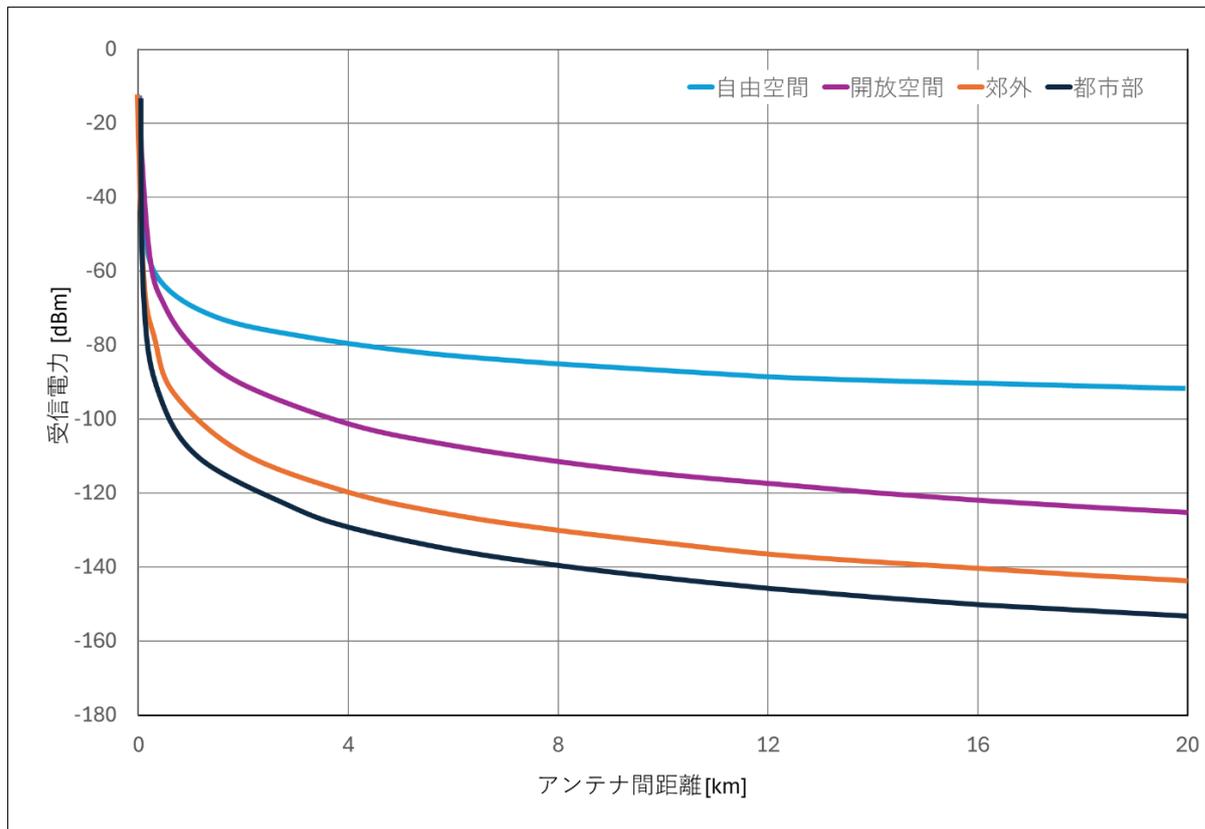


図 59 奥村-泰モデル 920MHz 22dBm 出力の理想アンテナでの受信電力(アンテナ設置高 15m)

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。

13.3 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ッ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。

13.4 デバイスの接続台数（同時使用台数）

本モジュールの同時使用台数は、予め決められた数の制限はありません。この Private LoRa のパケット通信方式は、ステートレスで、コネクションや対抗の通信モジュールの情報を管理・保持することではなく、本モジュールの仕様や動作要件が使用数を制限することはありません。実際のアプリケーションでの同時使用を想定した場合、電波の到達エリア内での通信頻度と通信時間(Air Time、電波の占有時間であり LoRa 変調のための通信パラメータとペイロード長により決まります)によって、同一空間状の電波の混雑度が決まります。簡易的な計算を行う場合は、通信頻度(単位時間あたりの回数)と Air Time の積が、総電波使用時間であり、同一の周波数(チャンネル)でこの時間の占める割合が大きいほど、混信の発生が増加します。

本モジュールに搭載されるキャリアセンス機能（電波法によって搭載が義務付けられている機能で、強制的に常に送信時に働きます）による衝突回避や、アプリケーションによってデバイス毎に送信タイミングなどをずらす工夫を実装することで、計画的に混信を回避することも可能です。このキャリアセンス機能は、モジュール同士が近接する場所で強い電波発射(-80dBm 超)を捉えた場合、自らの電波発射を遅延させる機能であり、大きな電波干渉は避けられますが、LoRa 変調は離れた場所での電波復調が可能なことから、他の通信変調方式に比べてこのキャリアセンスの機能性はやや薄れる場合があります。

LoRa モジュールの受信個体を区別するためのデバイス ID は 16bit であり、65,535 台 (0x0000~0xFFFFE) を 1 つの受信待ち受けチャンネルで区別可能です。ペイロードに ID ビットを拡張すればさらに多くのデバイスを区別することは容易です。

送達確認符号返答 (ACK) などの実施の有無によっても変わり、万単位のデバイスを同一電波到達エリア内で使用することも可能です。

13.5 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。
- E220-900T22L(JP)は、陸上移動無線局の認証に必要な温度・湿度変動、振動による周波数偏位が基準以内であることは確認されていますが、長期間にわたる高温多湿、極低温、振動により物理的な環境によって影響される環境耐性をもつ部品ではありません。
- 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。

13.6 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。Firmware ver2.0 においては、UART 信号上のビットエラー検出のためチェックサムバリデーション機能を設けており、本機能を有効にすることで、UART 上で生じたエラーをこのチェックサムの検証能力の範囲で検出可能です。

その他、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。

- M1、M0 のチャタリングや、安定性担保のため、M0、M1 操作(変化)後の状態遷移に約 1ms の遅延を設けています。これらのピンの操作をごく短時間で行うと安定した動作を損ねることがあります。
- AUX ピンのチャタリング防止のため、外挿キャパシタなどによって信号を安定させることを推奨します。

- 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。

13.7 送達確認符号返答 (ACK)

本モジュールは、モジュール機能内に送達確認符号返答 (ACK) を自動的に実施する機能は実装されておりません。本モジュールは、無線チャンネル、帯域の組み合わせを送信と受信で任意の設定が行えるように配慮した Private LoRa の手順・方式を採用しています。それによって、送受信で同一無線チャンネルを使用する LoRa 通信方式に対して、電波利用効率の拡大と、混信発生確率を下げることに貢献できます。

図 60 のように受信待ち受けチャンネルと、送信チャンネルを、同一システム内で個々のモジュールに別々のものを適用し、送信パケット内で ACK などに返信先となるチャンネルや返信先デバイス ID をペイロードで渡すことによって、送信パケットと ACK パケットを別のチャンネルを使用することができます。これによって、ACK 返信中に他の送信電波の混信や遅延を回避することを実現できます。

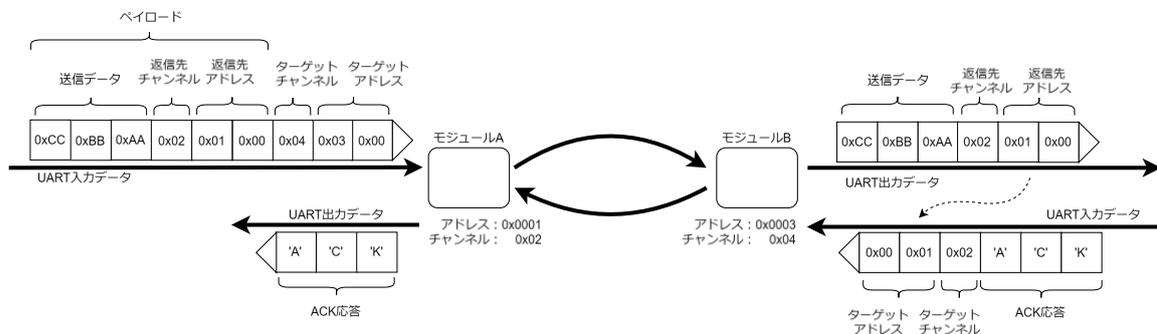


図 60 送受信チャンネル分離による ACK 動作例

単純に、送受信同一のチャンネルを使用して、ACK を返信することも可能です。その場合は、送信後、受信状態を維持すれば ACK は受信可能で、ACK 受信時間にタイムアウトを設けることによって、電力の節電なども実現可能です。図 61 のように受信側での ACK の返信においては、このタイムアウトの設定値を共有しておくことで、送信時のキャリアセンス遅延タイムアウト制限設定と併用し、無駄な ACK 送信を削減することも可能です。

ACK 処理のアプリケーション開発者による実装方法に関して詳しくはサポートサイトページ(<https://support.dragon-torch.tech/887/>)を参照してください。

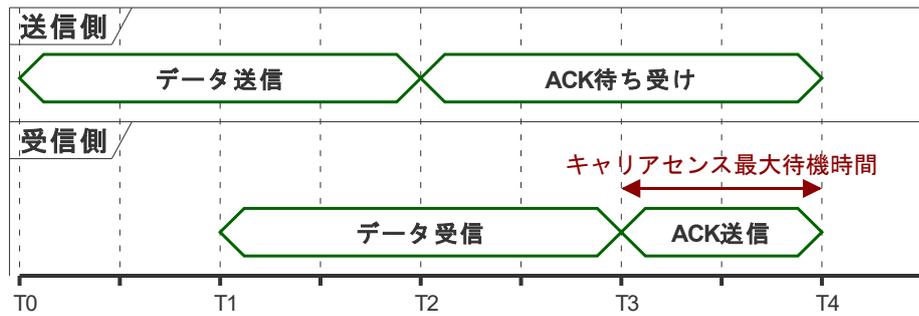


図 61 ACK 待ち受けタイムアウトと、キャリアセンスタイムアウトの設定値図示

13.8 連続パケット送出時の AirDataRate

本モジュールは、電波法、ならびに、ARIB STD-T108 の通信制約に従って電波放射の制約をモジュール内の動作として課しており、連続パケット送信に制約が生じます。本来、LoRa 変調による送信は、多量のデータを連続的に送信することには適しませんが、ここでは、連続送信の最大スループットが、各制限の適用を受けた状態において、実際のモジュールでどの程度になるかを説明します。

本モジュールの送信ビットレートは、LoRa 変調パラメータ、ペイロードに搭載するサイズによって異なるものの、計算上の瞬間レートは 1.7kbps~62.5kbps です。ただし、電波法で定められた、電波休止時間を守るなどの対応のため、実際の利用においては、連続送信時は最大でこの半分程度になります。このビットレートの最高値は、キャリアセンスや、UART シリアルバスの伝送速度、AUX のタイミングなどの影響を受けます。

- 最高 AirDataRate 設定時の連続送信スループット

8.2 節の表 5 から最高 AirDataRate 設定となるのは SF:5、BW:500kHz のときになります。1 回の送信にかかる時間として、以下の 3 つがあります。

- キャリアセンス時間

8.4 節のキャリアセンス動作により、最小でも 5ms のチャンネル監視を行います。

- 電波送信時間

SF:5、BW:500kHz のとき、ペイロード 200byte を電波送信する際の所要時間は 8.2 節の表 4 から 50.512ms となります。

- 送信休止時間

9.4 節の送信休止時間の制御により、BW:500kHz で CH:0-12 を選択した場合 1 回の送信ごとの送信休止時間が 50ms となります。

上記 3 つの時間を合わせて、最高 AirDataRate 設定でのペイロード 200byte を 1 回送信するのにかかる時間は $5+50.512+50=105.512\text{ms}$ となり、実効スループットは $(200 * 8) / (105.512 / 1000) \approx 15.2\text{kbps}$ となります。

- 到達距離最大での AirDataRate 設定時の連続送信スループット

8.3 節の BW,SF 値と受信感度の関係から、受信感度が一番高くなる、すなわち到達距離が最大となる設定は SF:9、BW:125kHz のときになります。前述のキャリアセンス時間は最小で 5ms、電波送信時間は SF:9、BW:125kHz のとき、ペイロード 200byte を電波送信する際の所要時間は 8.2 節の表 4 から 1,381.376ms、送信休止時間は BW:125kHz で CH:0-14 を選択した場合は 50ms となります。

1 回の送信にかかる時間を同様に求めると、上記 3 つの時間を合わせて、到達距離最大となる AirDataRate 設定でのペイロード 200byte を 1 回送信するのにかかる時間は $5+1381.376+50=1,437.376$ となり、実効スループットは $(200 * 8) / (1,437.376 / 1000) \approx 1.1\text{kbps}$ となります。

13.9 パケット到達のリアルタイム性

本モジュールで使用している Private LoRa 通信の手順は、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。ただし、確認応答 (ACK) などを組み込む場合は、それとのトレードオフによってリアルタイム性は損なわれます。

弊社調査結果では、到達範囲内における定点間通信において、一般的な LoRa パケット到達率は 70%~99% 程度です。安定していると思われる場合でも、30% 程度のパケット損失が発生しうると考えて全体を設計することが必要ですが、到達保証を必要としない使用方法においては、リアルタイム性を確保してそれを優先する使用方法も可能です。ただ、その場合でも、ペイロード長、LoRa 変調パラメータによる Air Time が長くなることによる、送達遅延は含まれるため、設計には注意が必要です。これらは、別途計算シートを用意しておりますのでそちらで計算可能です。

13.10 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。

13.11 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。

13.12 RSSI 値による送信電力制御

本モジュールは、受信時における電波受信強度を示す RSSI 値を取得する機能が搭載されています。RSSI 値を確認することで、おおよその、送信デバイスとの電波伝搬特性上の距離などを把握することに使用できます。この値は、アンテナ利得などによっても影響を受けますが、同一の 2 つのデバイス間での電波伝搬特性は対称性をもつといわれているため、返信出力電力を受信時の RSSI 値から逆算して低減させて電力の削減や電波使用効率を高めることも可能です。しかしながら、(特に 22S 特定小電力モジュールにおいては) 実際のモジュールの消費電力のうち、送信電力で純粋に消費される電力はその一部であるため、これらの工夫による電力効率の改善については、大きな期待はできないといえます。一方で、電波使用効率の最適化については、送信電力が他の通信に与える影響を大きく減らすことに貢献できることから、アプリケーションの目的や設計者の工夫による効果は期待できます。

13.13 LoRa を使用した中継通信

単一 LoRa モジュールでの送信パケットが受信側に直接届けられない長距離や、電波伝搬特性が悪い環境で使用する場合、LoRa パケットを中継するリレー機能を設計者が実装することで、中継によるマルチホップ伝送による到達性確保が実現できる可能性があります。リレー機能やマルチホップ機器を設計する際には、次の点に注意してください。本モジュールは、電波の送出中は受信処理が行えません。送信と受信を同時に実施したい場合は、本モジュールを 2 個以上組み込むことを設計レベルで検討してください。パケットが中継されることによって、図 62 のように 2 台以上の機器が同時に電波を発射するタイミングが重なりやすくなります。中継する場合の電波発射のタイミングの送信タイミングの重複を避けることを動作設計に組み込むことを強く推奨します。ランダム時間をおいてから送出するなど比較的容易な方法でも実現可能です。

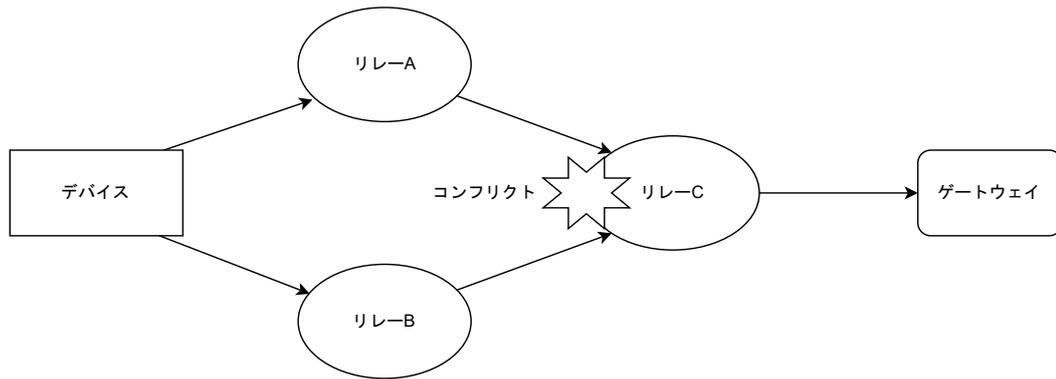


図 62 リレー、マルチホップ中継のイメージと、コンフリクト発生を図

13.14 技術適合認証・電波法

本データシートで説明している E220-900T22S(JP)、および、E220-900T22L(JP)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、将来変更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。(22L についてのみ、無線局の設置届と電波使用料の納付が別途必要です。設計や製作・製造については不要です。)

通信衛星などに搭載される場合で、かつ、電波を発射する場合などに関しては、総務省など電波法制の監督局へお問い合わせください。

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。

13.15 日本国外での使用について

E220-900T22S(JP)、および、E220-900T22L(JP)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、850～930MHz の国際的な 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 E220-900T22S(JP)、E220-900T22L(JP)型番製品の対応は、中心周波数 920.6～928.0MHz の本データシート記載の範囲です。

日本国外を仕向地とした製品等の設計を検討される設計者向けには、別途当社営業担当までご相談ください。共通デジタルインタフェースをもつ設計品の提供などを含め、ご案内ができる場合があります。

14 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。

14.1 E220-900T22S(JP) 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。E220-900T22S(JP)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。

14.2 E220-900T22L(JP) 22dBm 陸上移動局の使用可能アンテナ

陸上移動局無線機器は、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。

E220-900T22L(JP)においては、22dBm(160mW)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 陸上移動局無線においては、EIRP (Equivalent Isotropic Radiation Power: 等価等方放射電力) は、27dBm 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)27dBm 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、5dBi 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。しかし、当社のアンテナ登録の都合上、適合アンテナとして認証登録しているアンテナの利得は 3dBi 以下となっています。

14.3 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 に近いことが望まれます。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 31 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 31 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

14.4 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、E220-900T22X(JP) LoRa 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 32 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 32 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 63 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(幅も)は大きくなります。

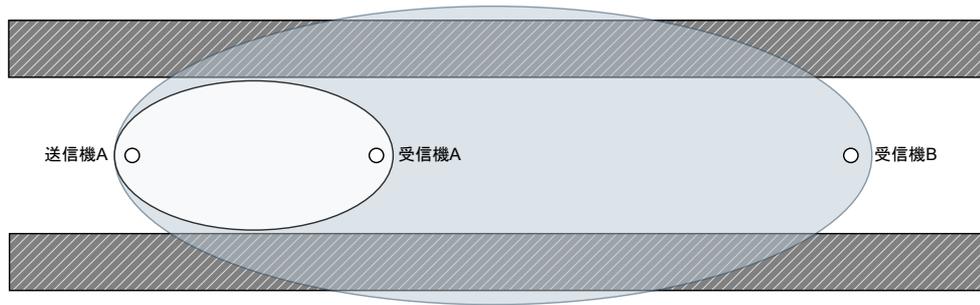


図 63 電波の伝播イメージとフレネルゾーンの距離と高さ（幅）の関係

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 64 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ても、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。

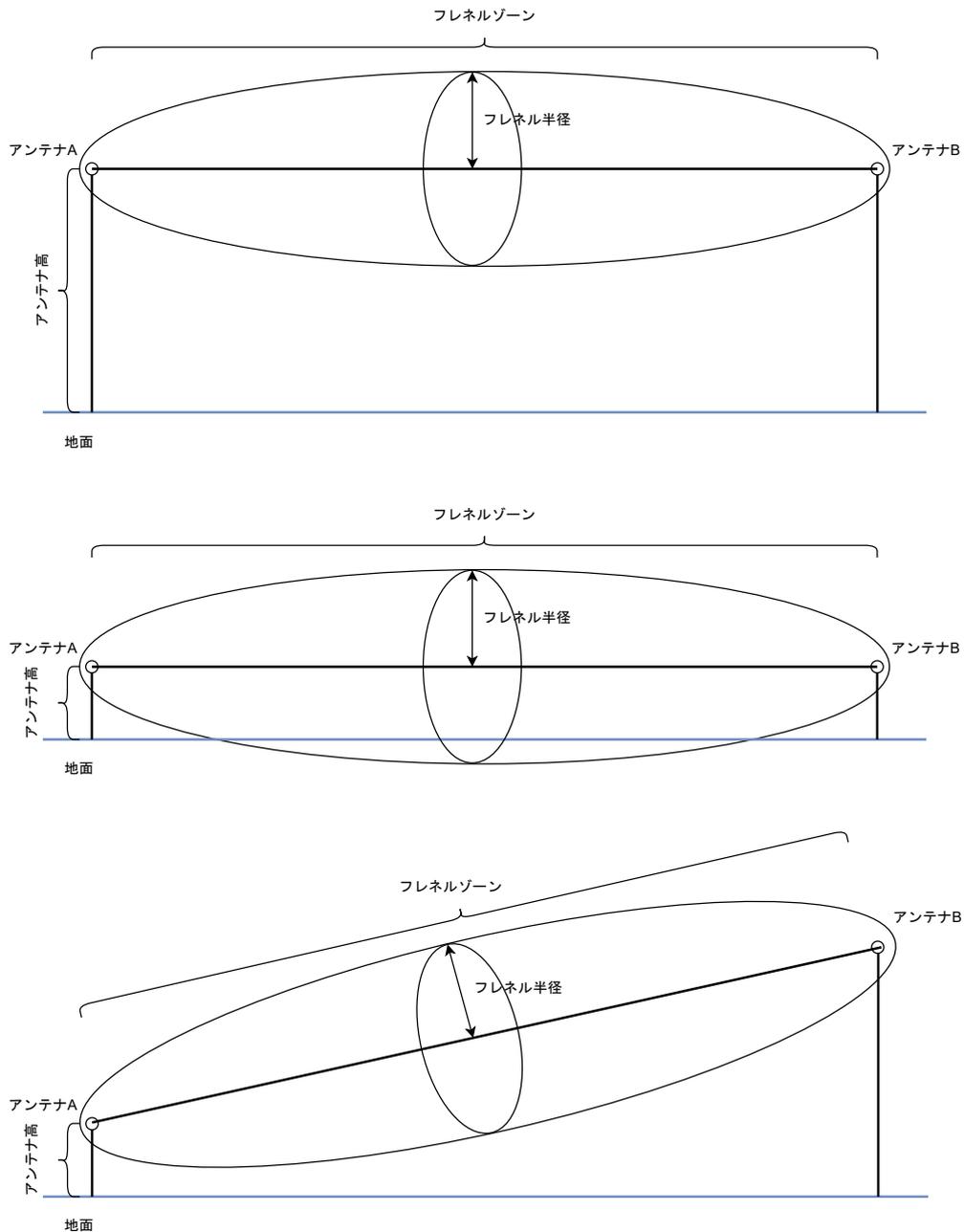


図 64 フレネルゾーンとアンテナ高の関係

14.5 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、図 65 に示すような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が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 65 一般的な 920MHz 対応アンテナ(左:非防水、右:防水・耐候性)

14.6 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。実際の特徴を確認する場合は、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 66 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 程度のもので一般的です。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。

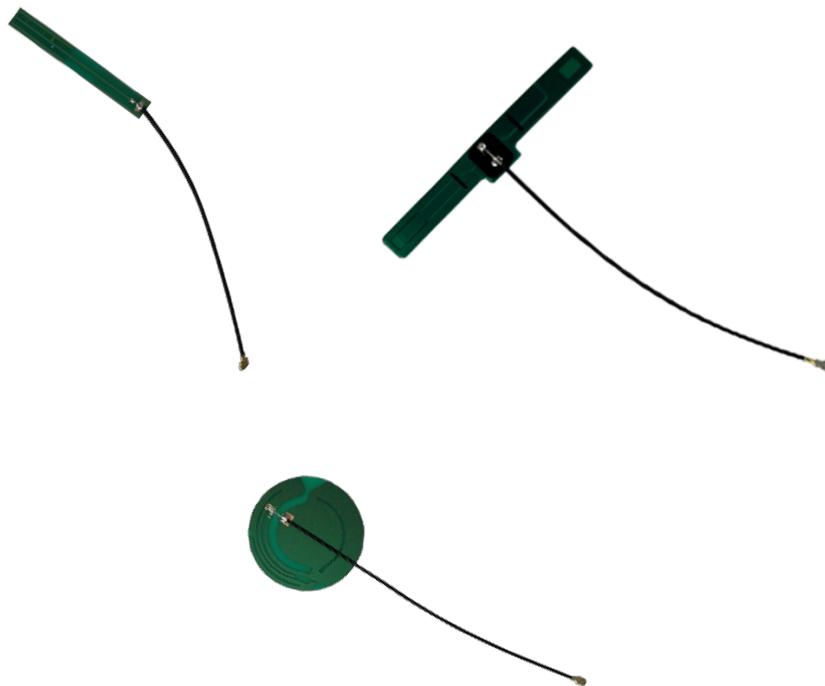


図 66 一般的な 920MHz 対応 PCB アンテナ (左上) FPC アンテナ (右上)
円偏波 PCB アンテナ (下)

14.7 SMD 実装基板

高度なアンテナ組み込み方法に、図 67 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。

実際の実装例は、12.2 節でも解説していますが、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 67 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。

14.8 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 68 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) 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。

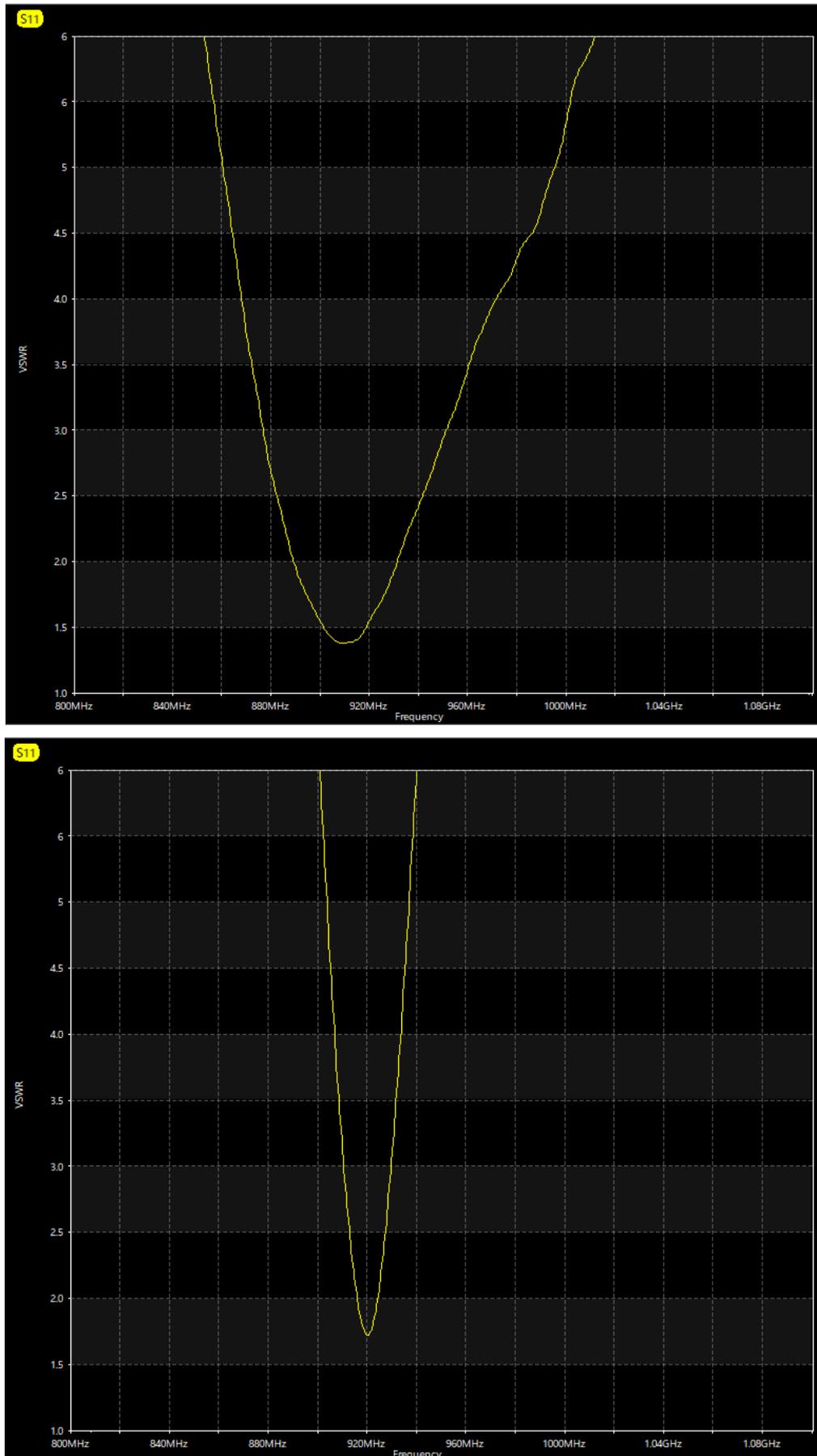


図 68 アンテナによる VSWR 特性の違い (上: $\lambda/2$ ダイポールアンテナ、下:小型アンテナ)

15 リフロー・ソルダリングガイド

表 33 にリフロー時の参考となる管理温度、図 69 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 33 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 _{smin})	100°C	150°C
Preheat temperature max / 最大予熱温度 (T _{smax})	150°C	200°C
Preheat Time (T _{smin} to T _{smax}) / 予熱時間 (t _s)	60 – 120 sec	60 – 120 sec
Average ramp-up rate (T _{smax} to T _p) / 平均上昇率	3°C/second max	3°C/second max
Liquidous Temperature (T _L) / 融点	183°C	217°C
Time (t _L) Maintained Above (T _L) 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 _{smax}) / 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

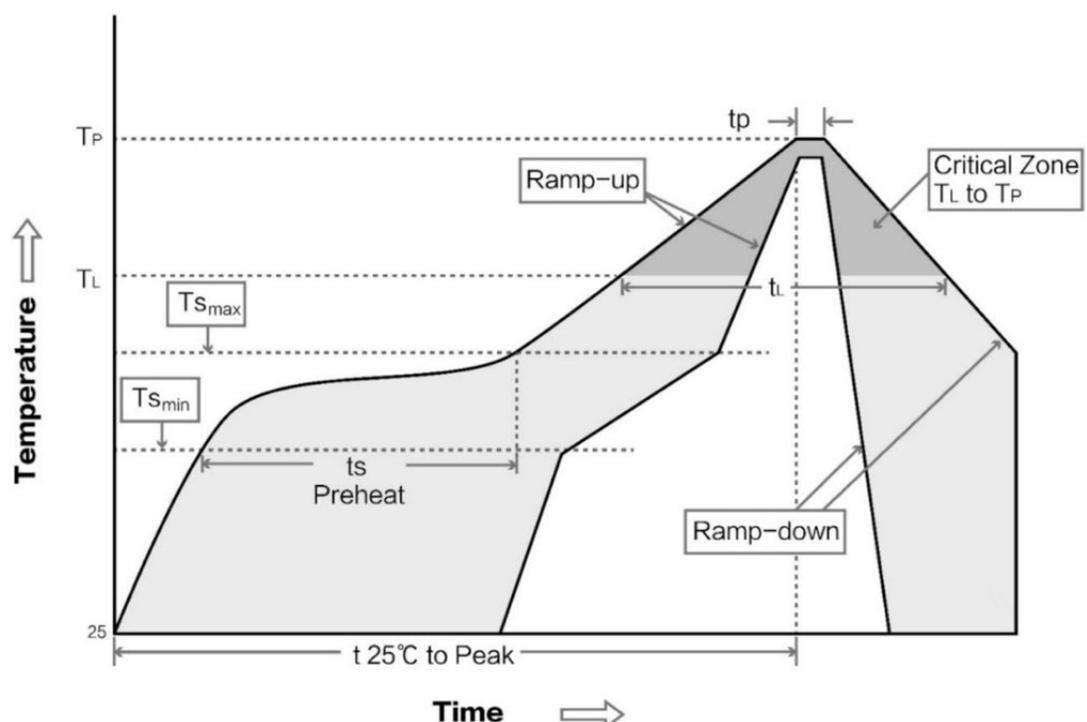


図 69 リフロー・ソルダリングカーブ

はんだ実装面のフットプリントは、図 70 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。

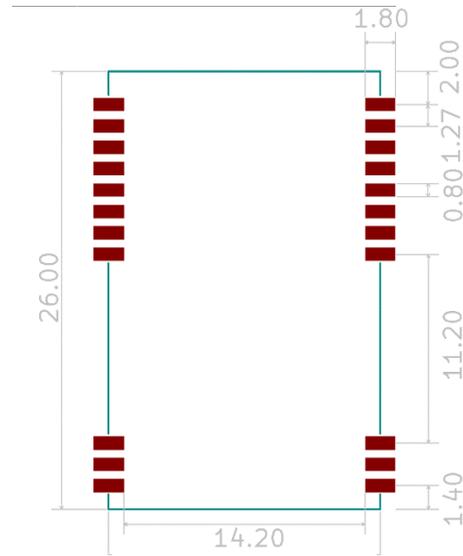
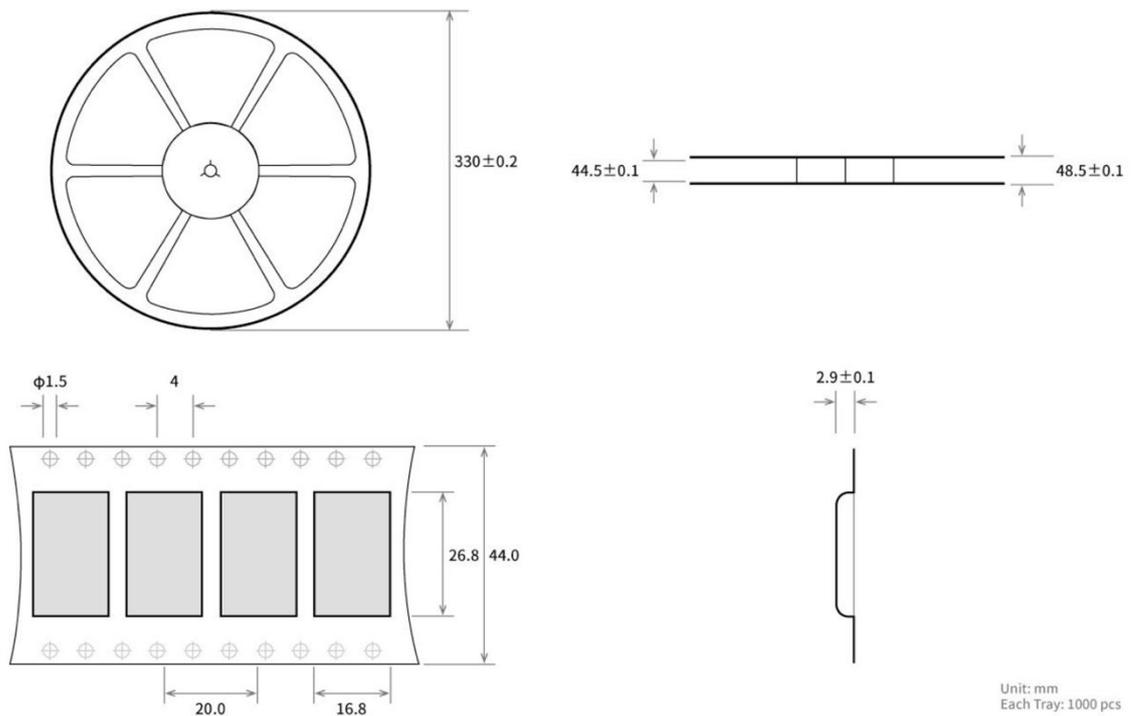


図 70 推奨フットプリント

16 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、販売チャネルにお問い合わせください。

17 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。

22S/22L それぞれのファームウェア書き換え用のモジュールピンアウトは異なります。また、通常の書き込み用ハードウェアの使用においては、便宜上の理由もあり、ファームウェア書き換え時の給電には、VDD 電源ピンを使用します。

将来的なファームウェア書き換えなどに備える手段として、SWDATA, SWCLK, VDD、および、GND を、回路動作上から切り離さしできる状態で設計基板上に露出することを推奨します。

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。

18 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、暗号処理を含む、当社等の技術的開示を秘匿としている内容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は控えさせていただきます。

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

19 製品の製造について

19.1 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、メーカー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かねます。各アンテナメーカー様にご確認ください。

19.2 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。

19.3 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。

改訂履歴

2024 年 8 月 29 日	Firmware ver.2.0 Rev 1.0 初版
2024 年 9 月 10 日	Rev 1.0.1 サブパケット長誤記を訂正 10.1 節にて Config/DeepSleep モードにおける Strict Mode (v2.0 厳格動作)の記載を訂正 10.2 節および 6.15 節にてコマンドのエラー応答の記載を訂正
2024 年 10 月 25 日	Rev 1.0.2 コモンドレインバス絶縁回路説明の誤記を訂正

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.

