

Wi-SUN Enhanced HAN plus B-route Dual stack

J11 プロトコルスタック機能説明書

2019年2月1日

第1.0版

注意事項

1. 本書に記載されている内容は、本書発行時点のものであり、予告なく変更する可能性があります。
2. 本書に記載されている情報は、正確を期するために慎重に作成したのですが、誤りがないことを保証するものではありません。万一、本書に記載されている情報の誤りに起因する損害がお客様に生じた場合におきましても、当社は一切その責任を負いません。
3. 本書に記載された技術情報の使用に関連して発生した第三者の特許権、著作権その他の知的財産権の侵害等に関し、当社は一切その責任を負いません。当社は本書に基づき、当社または第三者の特許権、著作権その他知的財産権に基づくいかなる権利も許諾するものではありません。
4. 本書の全部または一部を当社の事前承諾を得ずに転載または複製することを固く禁じます。

目次

1	はじめに.....	5
1.1	概要.....	5
1.2	対象範囲.....	5
1.3	用語.....	6
1.4	参照資料.....	6
2	概要.....	7
2.1	プロトコルスタックの特徴.....	7
2.2	HEMS サービス.....	7
2.3	ハードウェア構成.....	7
3	プロトコルスタック仕様.....	8
3.1	ネットワーク構成.....	8
3.1.1	ネットワーク接続仕様.....	9
3.2	Wi-SUN 物理層 (IEEE802.15.4g).....	10
3.2.1	伝送レート.....	10
3.2.2	送信電力.....	10
3.2.3	チャネル.....	10
3.2.4	送信総和制限.....	11
3.3	Wi-SUN MAC 層 (IEEE802.15.4/4e).....	12
3.3.1	CSMA/CA 通信方式.....	12
3.3.2	リレー.....	12
3.3.3	接続先選択方法.....	12
3.3.4	フレーム暗号化.....	12
3.3.5	インダイレクト通信.....	12
3.4	Wi-SUN アダプテーション層 (6LowPAN).....	13
3.4.1	フラグメント閾値.....	13
3.5	Wi-SUN ネットワーク層 (IPv6,ICMPv6).....	14
3.5.1	IPv6 アドレス.....	14
3.5.2	マルチキャストアドレス.....	14
3.5.3	Ping.....	14
3.5.4	Neighbor discovery.....	14
3.6	Wi-SUN トランスポート層 (UDP).....	15
3.7	Wi-SUN セキュリティ層 (PANA).....	16
3.7.1	同時並行認証動作.....	16
3.7.2	PANA リトライ設定.....	16
3.7.3	B ルート自動再認証.....	17

3.7.4	HAN 自動鍵更新	18
3.7.5	暗号化	19
3.8	Wi-SUN アプリケーション層	20
3.8.1	UART IF コマンド	20
3.8.2	OTA アップデート	20
4	ホストインタフェース	21
4.1	UART Notice 制御	21
4.1.1	UART Notice 制御の有効/無効	21
4.1.2	UART 通信可否状態	21
4.1.3	HOST 側制御	22
4.1.4	HOST 送信時 UART Notice タイミングチャート	23
4.1.5	HOST 受信時 UART Notice タイミングチャート	23
5	省電力	25
5.1	DeepSleep 制御	25
5.1.1	DeepSleep WakeUP 契機	25
5.1.2	UART Break 信号	26
5.2	RF 制御	27
5.2.1	Poll Request 送信 ~ キューイングデータなし	27
5.2.2	Poll Request 送信 ~ キューイングデータ受信	28
5.2.3	Poll Request 送信 ~ キューイングデータ受信タイムアウト	29
6	ウォッチドッグタイマー	30
7	スタックサイズ	30
8	スループット	30

1 はじめに

1.1 概要

本書は、「Wi-SUN アライアンス」が規定する国際無線標準通信規格、Wi-SUN Profile for ECHONET Lite(※以後 Wi-SUN と表記)の B ルートと Enhanced HAN(※以後 HAN と表記)の両方に準拠した無線モジュール(※以後モジュールと表記)の機能仕様を説明した文書です。

1.2 対象範囲

本書では、下記構成のモジュールに搭載されているプロトコルスタックの機能仕様について説明します。

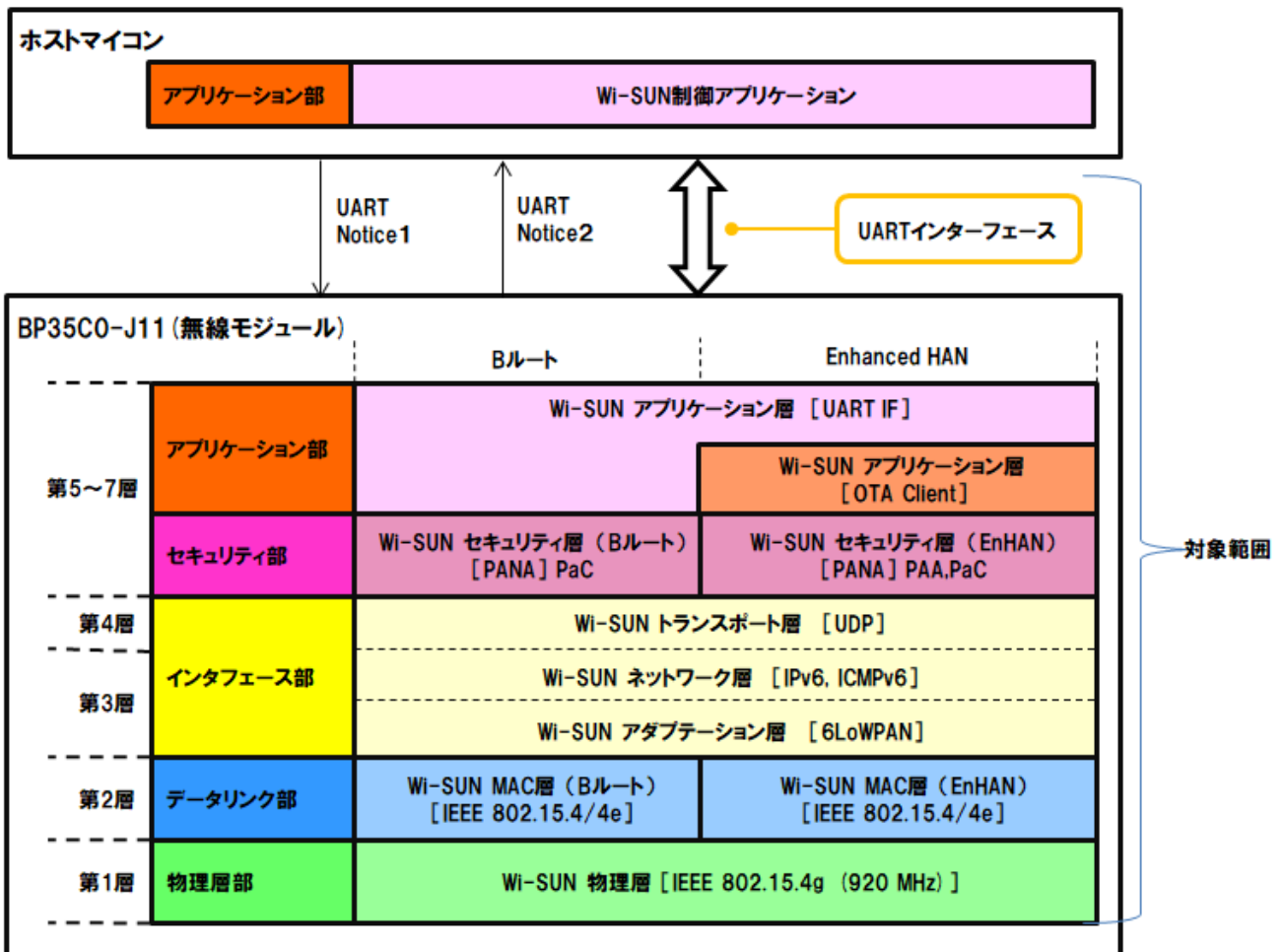


図 1 モジュールシステム構成

1.3 用語

本資料で利用される用語をまとめる。

表 1 用語一覧

用語	定義
HEMS	Home Energy Management System
B ルート	スマートメーターと HEMS 間の Wi-SUN 通信プロファイル
Enhanced HAN	HEMS と家電間の Wi-SUN 通信プロファイル
ECHONET Lite	ECHONET コンソーシアムが策定した通信プロトコル。スマートハウス向け制御プロトコルおよびセンサーネットワークプロトコル
NS	Neighbor Solicitation
NA	Neighbor Advertisement
PANA	Protocol for carrying Authentication for Network Access
PAA	PANA Authentication Agent
PaC	PANA Client
OTA	Over The Air
CSMA/CA	Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance (搬送波感知多重アクセス/衝突回避方式) の略称

1.4 参照資料

表 2 参照資料一覧

番号	ドキュメント名
1	20160617-Wi-SUN-Echonet-Profile-2v08_clean.pdf
2	HEMS-スマートメーターBルート(低圧電力メーター)運用ガイドライン[第 2.0 版]
3	JJ-300.10 ECHONET Lite 向けホームネットワーク通信インタフェース (IEEE802.15.4/4g/4e 920MHz 無線)

2 概要

2.1 プロトコルスタックの特徴

- ① Wi-SUN Profile for ECHONET Lite の B ルートと Enhanced HAN に準拠しています。
- ② Enhanced HAN の親機(PAN コーディネータ)、中継機(コーディネータ)、子機(エンドデバイス)、スリープ子機(スリープエンドデバイス)の動作が切り替えて利用できます。
- ③ B ルートと Enhanced HAN(親機)の同時動作が可能な Dual モードを搭載しています。
- ④ 中継機を介した 1 ホップリレー通信により無線通信範囲を拡張できます。
- ⑤ ファームウェアの OTA アップデート機能に対応しています。
- ⑥ 堅牢なセキュリティの PANA 認証、AES 暗号化に対応しています。
- ⑦ 回析特性もよく障害物に強い 920MHz 帯の無線周波数を利用しています。

2.2 HEMS サービス

本プロトコルスタックは、ECHONET-Lite との親和性が高く HEMS コントローラでの利用に最適な通信を提供します。各家電機器や HEMS コントローラに本プロトコルスタックを搭載し、家電やスマートメーターを制御する HEMS サービスの利用例を下記に示します。

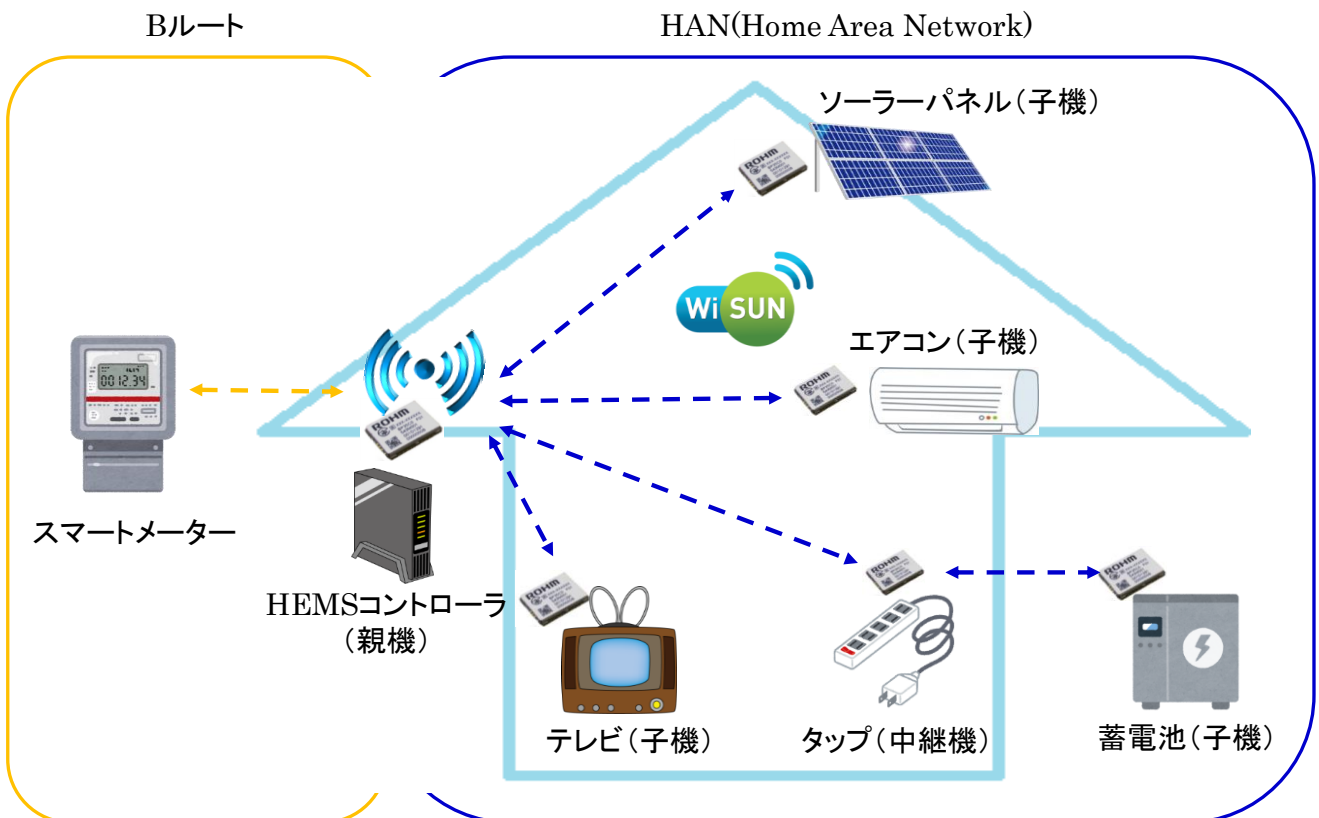


図 2 HEMS サービス利用例

2.3 ハードウェア構成

本プロトコルスタックは、ROHM 社製の BP35C0-J11 に搭載されています。

3 プロトコスタック仕様

Wi-SUN Profile for ECHONET Lite 規格に準拠しています。

プロトコスタック内で利用するパラメータ、および動作は後述した内容に従います。

3.1 ネットワーク構成

ネットワークの最大接続数は、17 台です。

ネットワークの最大ホップ数は、1 ホップです。

スマートメーター (B ルート) に接続する場合、最大ネットワーク構成はスマートメーター1 台、HAN デバイス 16 台 (内スリープエンドデバイスは各機器に 4 台まで) の合計 17 台です。スマートメーター (B ルート) に接続しない場合は、HAN デバイスを 17 台まで接続可能です。

ネットワークの構成例を下記に示します。

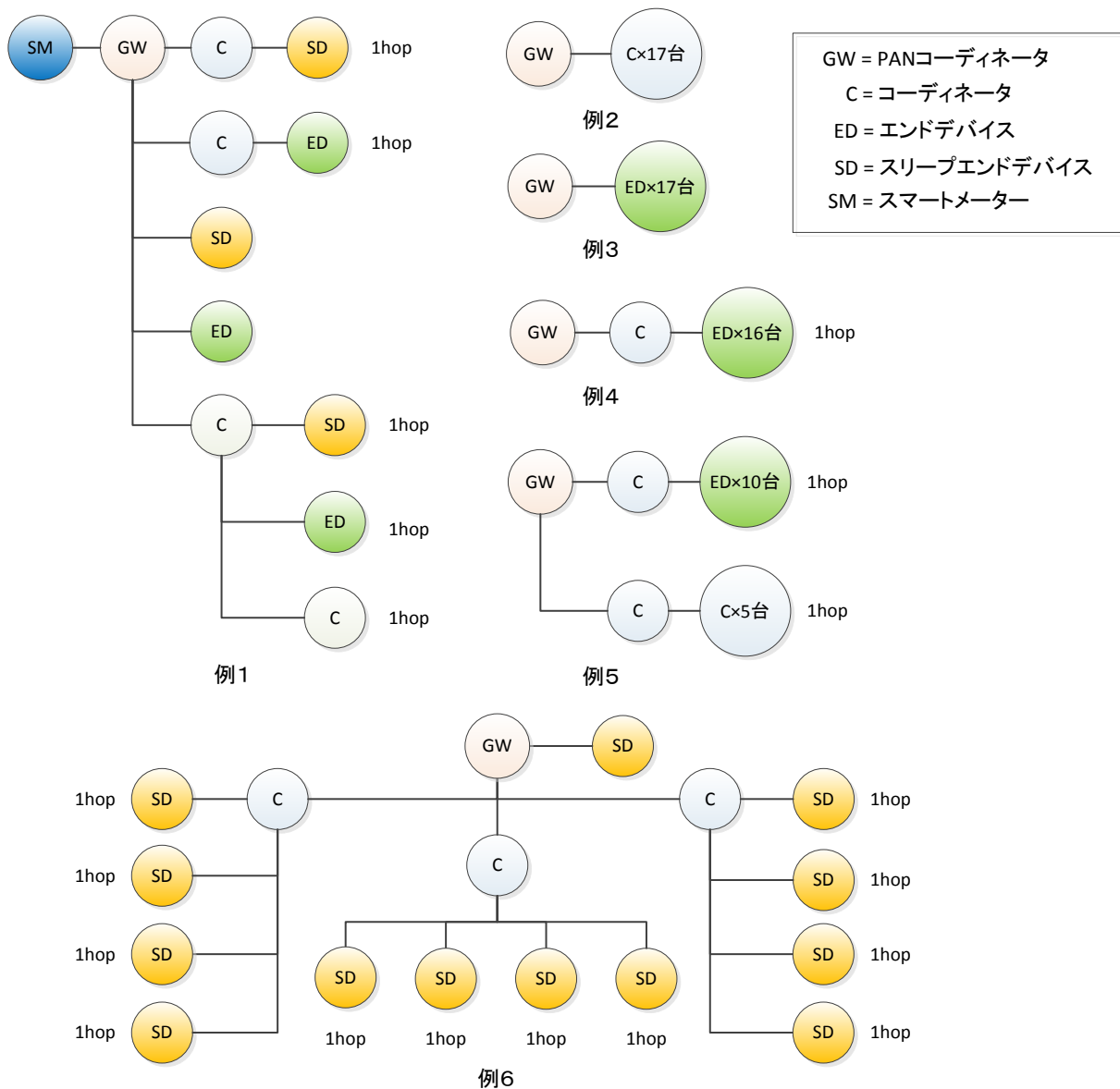


図 3 ネットワーク構成例

3.1.1 ネットワーク接続仕様

本プロトコルスタックは PANA 認証を利用した暗号化通信を必須としています。

MAC 層で接続後には、速やかに PANA 認証を開始してください。

MAC 層接続、PANA 認証前の状態では非暗号化通信となります。本状態のままネットワークに接続している端末は、80 分後にネットワークから自動的に削除されるため通信ができなくなります。

3.2 Wi-SUN 物理層 (IEEE802.15.4g)

ARIB STD-T108 の特定省電力無線局のルールに従います。

3.2.1 伝送レート

100kbps のみ対応しています。

3.2.2 送信電力

20mW、10mW、1mW が選択可能です。デフォルトは 20mW です。

3.2.3 チャンネル

利用可能なチャンネル一覧を下記に示します。

表 3 チャンネル一覧

チャンネル番号	中心周波数(MHz)
4	922.5
5	922.9
6	923.3
7	923.7
8	924.1
9	924.5
10	924.9
11	925.3
12	925.7
13	926.1
14	926.5
15	926.9
16	927.3
17	927.7

3.2.4 送信総和制限

920MHz では、1 時間（3600 秒）当たりの送信総和時間が 360 秒以内と定められているため、下記の方法で送信総和を計算しています。

360 秒あたりの送信可能データ長を閾値として送信可否を判定しています。

100kbps の送信可能データ長は、4,500,000byte です。

データ送信が成功した場合に送信サイズ（プリアンブル含む送信データ長）を送信総和サイズに加算していきます。送信総和サイズは 1 分毎の 60 分割で管理しています。

データ送信毎に、「過去 60 分送信総和サイズ」 + 「現在、送信するデータ送信サイズ」のトータルと送信可能データ長(4500000byte)を比較しオーバーしているかを判定します。

オーバーしている場合は、送信総和越えで送信 NG となり送信できません。

オーバーしていない場合は、送信総和内で送信 OK となり無線でのデータ送信ができます。

3.3 Wi-SUN MAC 層 (IEEE802.15.4/4e)

3.3.1 CSMA/CA 通信方式

CSMA/CA 通信方式による衝突回避を行います。

本プロトコルスタックの CSMA/CA 設定値は下記の通りです。

表 4 CSMA/CA 設定値

設定値名	推奨設定値	本プロトコルスタックの設定値 (デフォルト)
macMaxBE	8	5
macMinBE	8	3
macMaxCSMABackoffs	4	5
macMaxFrameRetries	3	4

複数台通信実験での結果を基に、より遅延なく安定した通信が可能な設定値として、Wi-SUN Profile for ECHONET Lite 規格の推奨設定値とは異なる値を使用しています。

3.3.2 リレー

MAC 層 (レイヤ 2) での 1 ホップリレー通信が可能です。

1 ホップが上限であり、2 ホップ構成となる接続はできません。

3.3.3 接続先選択方法

MAC 層での接続判定は Paring ID を利用しています。

複数台の接続先候補が存在した場合、ホップ数と受信 RSSI を比較しより良い接続先と接続します。

例えば、エンドデバイスの接続先として PAN コーディネータとコーディネータ、二つの候補があった場合、PAN コーディネータから受信した Enhanced Beacon の RSSI が -80dBm を超えていればコーディネータではなく PAN コーディネータと接続し、 -80dBm 未満であればコーディネータと接続します。

3.3.4 フレーム暗号化

PANA にて交換された鍵を利用して AES-CCM でのフレーム暗号化を行います。

3.3.5 インダイレクト通信

スリープエンドデバイス宛にデータを送信する場合に、送信データをキューイングし、必要に応じてキューイングデータを送信するインダイレクト通信を行います。 インダイレクト通信に対応し、本プロトコルスタックで収容可能なスリープエンドデバイスは、PAN コーディネータ、コーディネータにそれぞれ 4 台までです。

3.4 Wi-SUN アダプテーション層 (6LowPAN)

IPv6 パケットの圧縮やフラグメントを行います。

3.4.1 フラグメント閾値

暗号化の有無や、リレーの有無により送信パケットのヘッダサイズが異なるため、フラグメントされる閾値は異なります。

1 対 1、暗号化有、リレー無でユニキャストデータ送信を行った際のフラグメント閾値は下記の通りです。

表 5 フラグメント閾値 (リレー無し、ユニキャスト)

フラグメント数	データサイズ
1	1~185byte
2	186~360byte
3	361~544byte
4	545~728 byte
5	729~912 byte
6	913~1096 byte
7	1097~1232 byte

3.5 Wi-SUN ネットワーク層 (IPv6,ICMPv6)

3.5.1 IPv6 アドレス

IPv6 アドレスを利用しています。

自 IPv6 アドレスの作り方として、リンクローカルのプリフィックス (FE80::0/64) と自 MAC アドレス (EUI-64 address) を組み合わせて作成します。

例として、MAC アドレスが「001D1291000039BB」の場合、IPv6 アドレスは「FE8000000000000000021D1291000039BB」になります。

3.5.2 マルチキャストアドレス

受信可能なマルチキャストアドレスは下記となり、オールノードと要請ノードのマルチキャストグループに参加しています。

表 6 参加マルチキャストグループ一覧

IPv6 マルチキャストアドレス	対象	スコープ
FF02::1	All Nodes Address	リンクローカル
FF02::1:FFxx:xxxx	Solicited-Node Address	リンクローカル

3.5.3 Ping

Echo Request と Echo Reply を利用した到達確認通信が可能です。

3.5.4 Neighbor discovery

Neighbor Solicitation と Neighbor Advertisement を利用した近隣探索通信が可能です。

3.6 Wi-SUN トランスポート層 (UDP)

UDP によるデータ送受信が可能です。

主に下記の用途で UDP ポートを利用します。

表 7 UDP ポート用途一覧

用途	ポート番号
PANA	716
PANA	19788
OTA アップデート	31941
Echonet-Lite	3610

3.7 Wi-SUN セキュリティ層 (PANA)

PANA を利用した認証が可能です。

認証に必要な ID とパスワードは、HOST から UART 経由で指定します。

3.7.1 同時並行認証動作

1 台と PANA 認証中に、他もう 1 台との PANA 認証はできません。

並行した認証には対応していないため、1 台ずつ順番に認証していく必要があります。

3.7.2 PANA リトライ設定

本プロトコルスタックの PANA リトライ設定のデフォルト値は下記の通りです。

表 8 PANA リトライ設定

PANA リトライ設定	推奨設定値	本プロトコルスタックの設定値 (デフォルト)
HAN PaC PANA 認証開始メッセージ再送回数	10	4
HAN PANA 認証メッセージ再送回数設定	10	1

本プロトコルスタックは並行認証に対応していないため、リトライ数が多い場合に 1 台に要する PANA シーケンスの時間が長くなり複数台接続時に遅延が発生します。より遅延なく安定した PANA 接続が可能なリトライ設定値として、Wi-SUN Profile for ECHONET Lite 規格の推奨設定値とは異なる値を使用しております。

なお、この設定値はコマンドにて変更可能です。

3.7.3 B ルート自動再認証

本プロトコルスタックは、B ルート PANA 認証成功後、自動的に再認証を行います。

自動再認証は PANA 認証でスマートメーターが通知するセッションライフタイムの 80%が経過した時点でを行います。自動再認証の発生タイミングを HOST が変更することはできません。

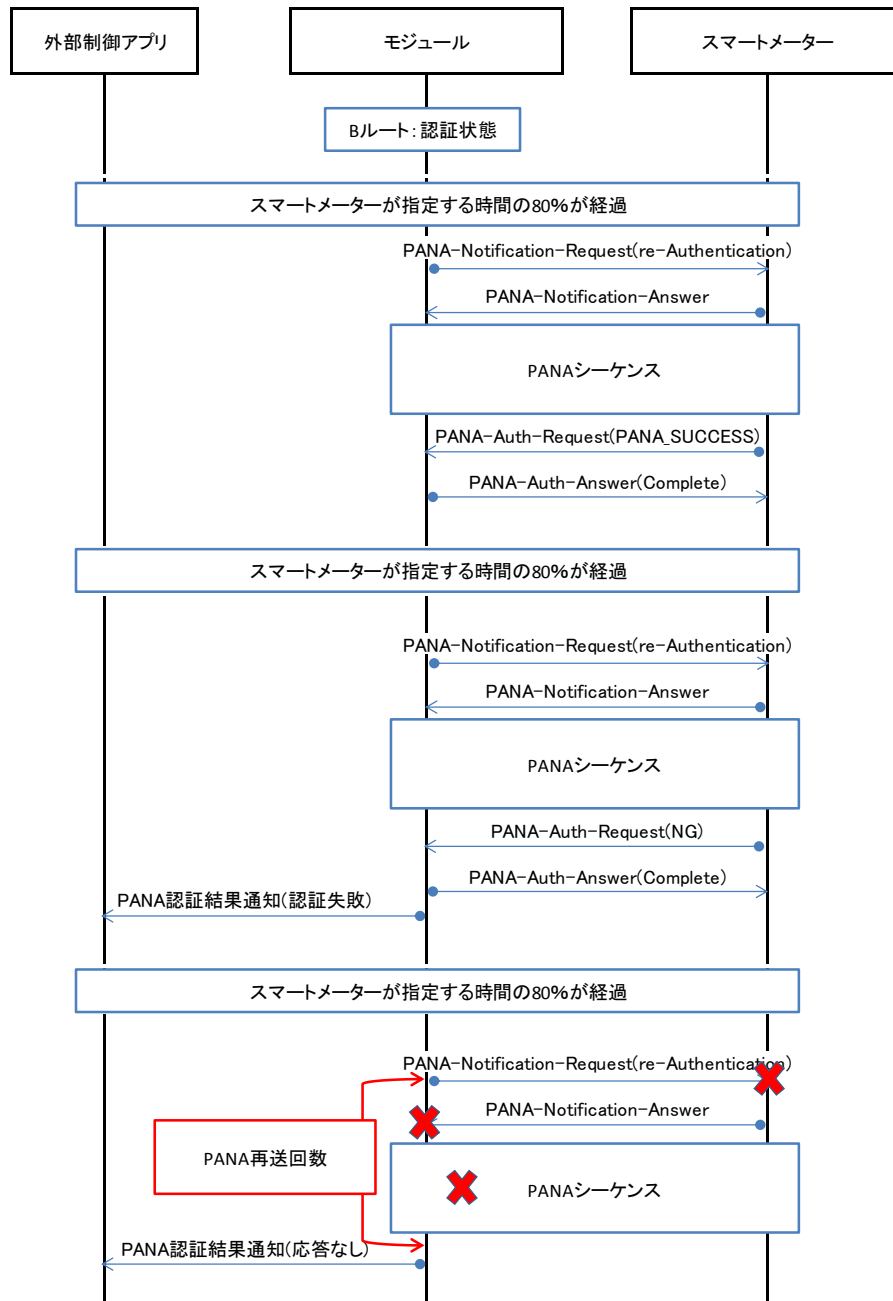


図 4 B ルート自動再認証シーケンス

自動再認証では認証の成否に応じて通知の有無が異なります。

認証成功：通知しない。

認証失敗：PANA 認証結果通知を行う。

3.7.4 HAN 自動鍵更新

本プロトコルスタックは、HAN PANA 認証成功後、自動的に HAN グループ鍵の更新を行います。自動鍵更新は下記の条件を満たした時点で行います。

- ① PAA に設定された暗号鍵最大有効時間を超過
- ② PaC が再接続され認証カウンタ 255 を超過
- ③ 各セッションの送信フレームカウンタの超過
- ④ 各セッションの受信フレームカウンタの超過

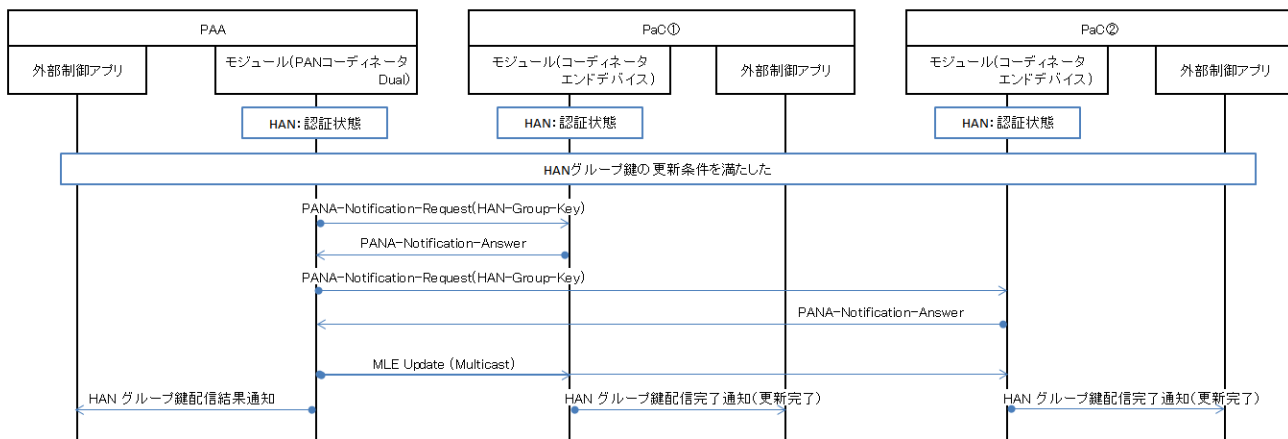


図 5 HAN 自動鍵更新シーケンス

3.7.5 暗号化

本プロトコルスタックの暗号鍵の適用契機は以下となっています。

表 9 暗号化と鍵更新の契機

プロトコル	B ルート	HAN			
役割	HEMS	PAN コーディネータ	コーディネータ	デバイス	スリープエンドデバイス
暗号化の契機	スマートメーターとの PANA 認証成功	1 台目の機器との PANA 認証成功	PAN コーディネータとの PANA 認証成功		
鍵の更新	[自動] ・セッションライフタイムによる B ルート自動再認証 [手動] ・B ルート PANA 再認証開始コマンド	[自動] ・次のいずれかが満たされた場合 - 暗号鍵最大有効期間の満了 - 1 台のデバイスが 255 回認証した - パケットを一定数送信した - パケットを一定数受信した [手動] ・HAN グループ鍵更新要求コマンド	コーディネータ、デバイス、スリーピングデバイスから暗号鍵の更新を行うことはできない。		
暗号化対象	・PANA メッセージ以外の UDP (ユニキャスト/マルチキャスト) ・ICMPv6 (ユニキャスト/マルチキャスト)				
暗号化対象外	・PANA メッセージの UDP ・MLE				

3.8 Wi-SUN アプリケーション層

3.8.1 UART IF コマンド

本プロトコルスタックは、UART インタフェースからの制御に対応しています。
詳細は、J11 UART_IF コマンド仕様書を参照してください。

3.8.2 OTA アップデート

本プロトコルスタックは、Wi-SUN 通信を利用した無線経由でのファームウェアアップデートに対応しています。
詳細は、J11 スタック OTA アップデート機能説明書を参照してください。

4 ホストインタフェース

HOST - モジュール間の UART 通信状態を通知するために以下の端子を利用します。

UART Notice1: (21) GPIOA1

UART Notice2: (22) GPIOA3

4.1 UART Notice 制御

本制御により、モジュール側から HOST への UART 通信タイミングを把握することが出来ることになり、HOST 側も DeepSleep することが可能となります。

4.1.1 UART Notice 制御の有効/無効

本モジュールでは UART Notice 制御の有効/無効の設定判定は、モジュールの電源投入直後の UART Notice1 の状態より判断します。

- 10ms 周期で 3 回連続 Low レベルの場合：UART Notice 制御が有効
- 10ms 周期で 3 回連続 High または Hi-Z レベルの場合：UART Notice 制御が無効
- UART Notice1 端子が未接続(オープン)の場合：UART Notice 制御が無効

なお、有効/無効の判定後は HOST 側の UART 通信可否状態を示します。

4.1.2 UART 通信可否状態

UART Notice1 は HOST、UART Notice2 はモジュールの UART 通信可否状態を示します。

表 10 UART Notice 通信可否状態

	説明	High/Low
UART Notice1	HOST の UART 受信可否状態を示します。	High : UART 受信可能 Low : UART 受信不可
UART Notice2	モジュールが HOST に対して送信する UART データの有無を示します。	High : UART 送信データあり Low : UART 送信データなし

4.1.3 HOST 側制御

UART Notice（以下、UN）制御が有効である場合、本モジュールでは HOST に以下の動作を期待します。

表 11 HOST 側制御

	説明
UART Notice1	<ol style="list-style-type: none"> 1) モジュールは UN1 が High の場合のみ HOST に UART 送信します。Low の場合は、モジュールは UART 送信しません。(※) 2) モジュールは UN1 の状態を見て HOST が受信可能かを判断します。HOST はデータが受信できる状態の場合は UN1 を High に設定してください。
UART Notice2	<ol style="list-style-type: none"> 1) モジュールが Wakeup している状態であれば、UN2 の状態にかかわらず HOST からモジュールへの UART 通信可能です。 2) UN2 はモジュールの DeepSleep 状態を示していないことに注意してください。 3) HOST は UN2 の Low→High の割り込み (High 割り込み) を検出して UN1 を High にしてください。 4) また、3) のときはモジュールが HOST に UART 通信を行おうとしています。HOST が DeepSleep している場合には Wakeup してください。 5) モジュールは HOST に送信する UART データが無くなったら UN2 を Low にします。HOST は UN2 の High→Low の割り込み (Low 割り込み) を検出したら DeepSleep に移行できます。

(※)モジュールは 4k バイトのデータバッファを備えています。HOST が受信できる状態になるまで、バッファにデータを保持し続けます。バッファにデータを追加する際にバッファからあふれる場合は破棄します。この時、バッファに格納済みのデータには影響しません。

4.1.4 HOST 送信時 UART Notice タイミングチャート

HOST からモジュールへの送信は、UART Notice 状態に関わらず送信可能です。

4.1.5 HOST 受信時 UART Notice タイミングチャート

4.1.5.1 HOST 受信時 UART Notice1 : Low、UART Notice2 : Low

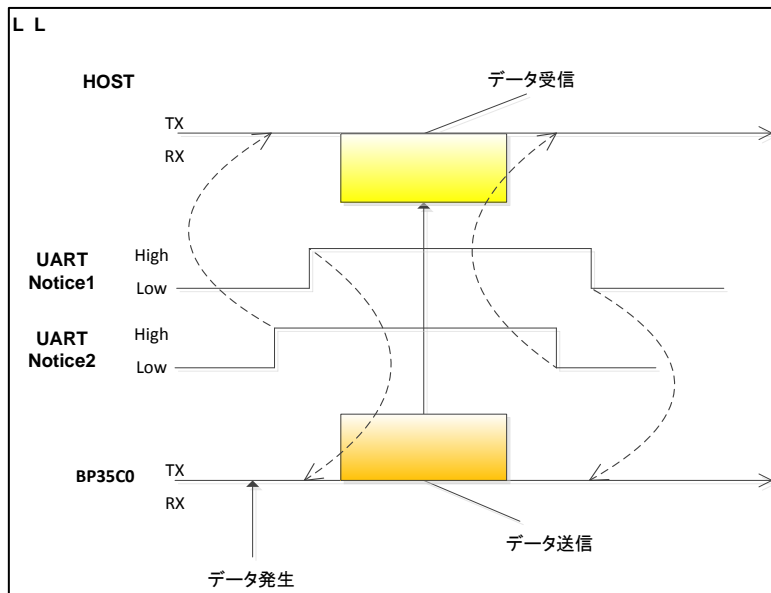


図 6 HOST 受信時 UART Notice1 : Low、UART Notice2 : Low

4.1.5.2 HOST 受信時 UART Notice1 : Low、UART Notice2 : High

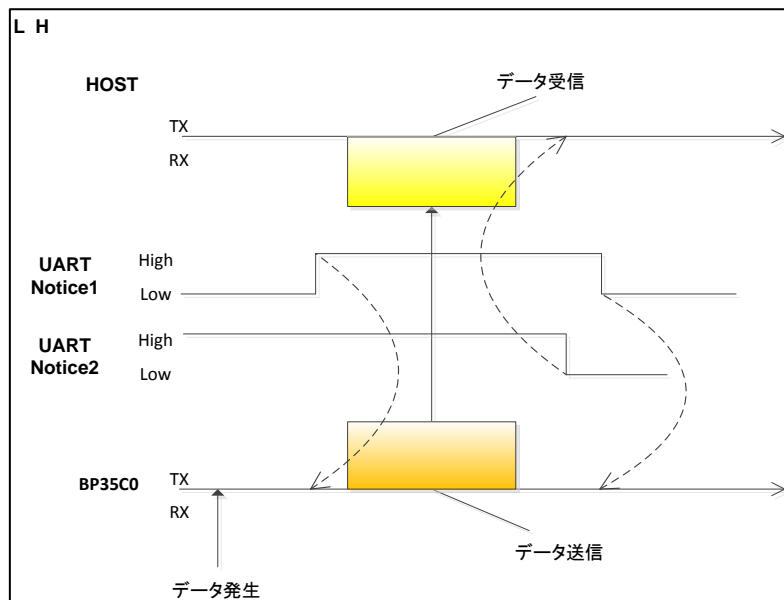


図 7 HOST 受信時 UART Notice1 : Low、UART Notice2 : High

4.1.5.3 HOST 受信時 UART Notice1 : High、UART Notice2 : Low

UART Notice1 が High のままである場合でも、UART Notice2 による UART 送信データ通知を行います。

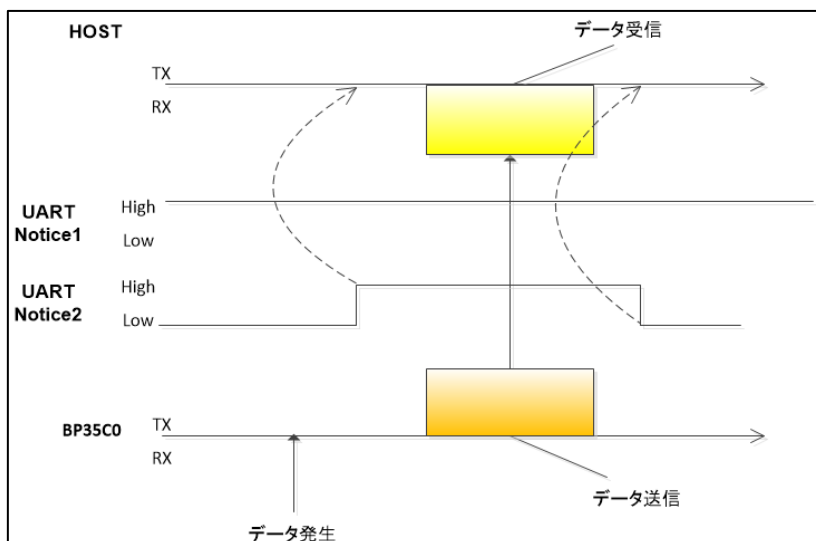


図 8 HOST 受信時 UART Notice1 : High、UART Notice2 : Low

4.1.5.4 HOST 受信時 UART Notice1 : High、UART Notice2 : High

モジュールから HOST への送信が完了すると UE 2 を L にするため、この状態にはなりません。

5 省電力

本プロトコルスタックの省電力機能として、ハードウェア DeepSleep と RF の ON/OFF 制御を行います。

5.1 DeepSleep 制御

モジュールの DeepSleep 制御は HOST からの DeepSleep 要求を契機に行います。

DeepSleep 制御を行う対象は、エンドデバイスとスリープエンドデバイスです。PAN コーディネータおよびコーディネータで動作する場合は DeepSleep 動作を行いません。

HOST は必要に応じてモジュールが DeepSleep しているか否かを管理してください。

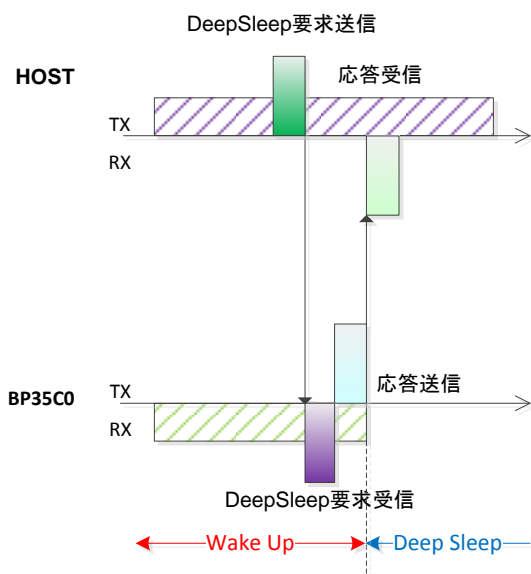


図 9 Wakeup → DeepSleep

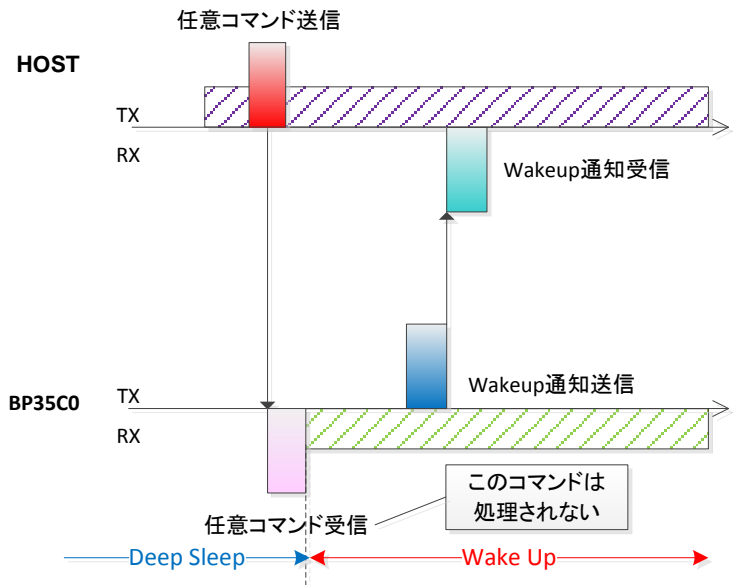


図 10 DeepSleep → Wakeup

5.1.1 DeepSleep WakeUP 契機

モジュールは HOST 側の UART_TXD の Low で DeepSleep を解除しますので、ユーザから任意の要求コマンドを送信することで DeepSleep を解除できます。HOST とモジュールが同時に DeepSleep する場合は、HOST 側の UART_TXD を Low レベルにしないことを注意してください。

5.1.2 UART Break 信号

モジュールの DeepSleep 動作時に、省電力のためモジュール側の UART TXD を Low にします。モジュールは DeepSleep 要求の応答にて UART 通信を行い、モジュール側の UART TXD は High となるため、DeepSleep 動作で UART TXD を Low にした時に Host 側への Break 信号(0x00)が発生します。

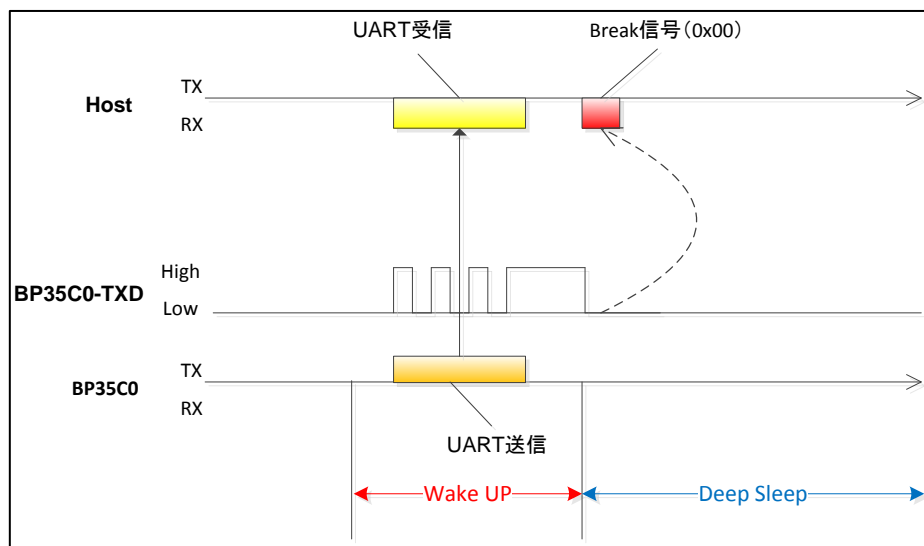


図 11 モジュールの TXD 制御による Break 信号

5.2 RF 制御

本プロトコルスタックでは、通常時は RF を OFF の状態とし、必要な場合のみ RF を ON にすることで省電力を行っています。

RF の ON/OFF 制御を行う対象は、スリープエンドデバイスのみです。

PAN コーディネータおよびコーディネータ、エンドデバイスで動作する場合は RF の ON/OFF 制御は行いません。

5.2.1 Poll Request 送信 ~ キューイングデータなし

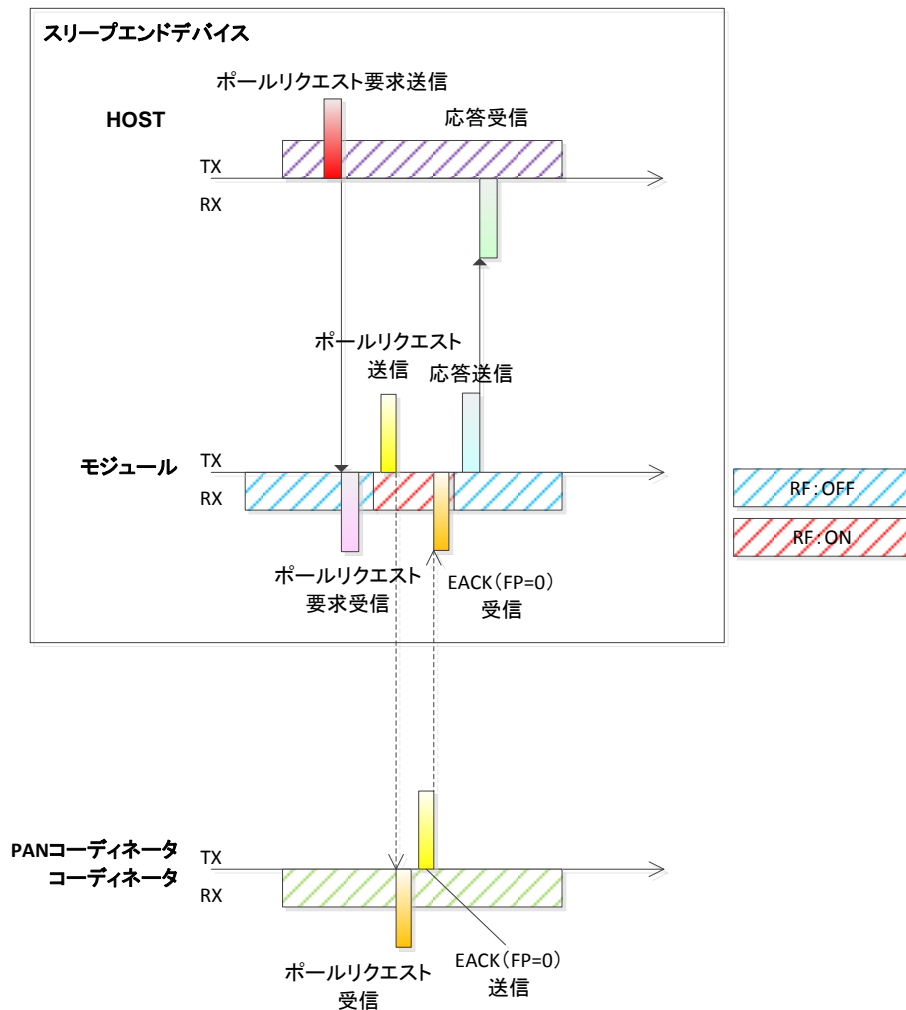


図 12 Poll Request 送信 ~ キューイングデータなし

5.2.2 Poll Request 送信 ~ キューイングデータ受信

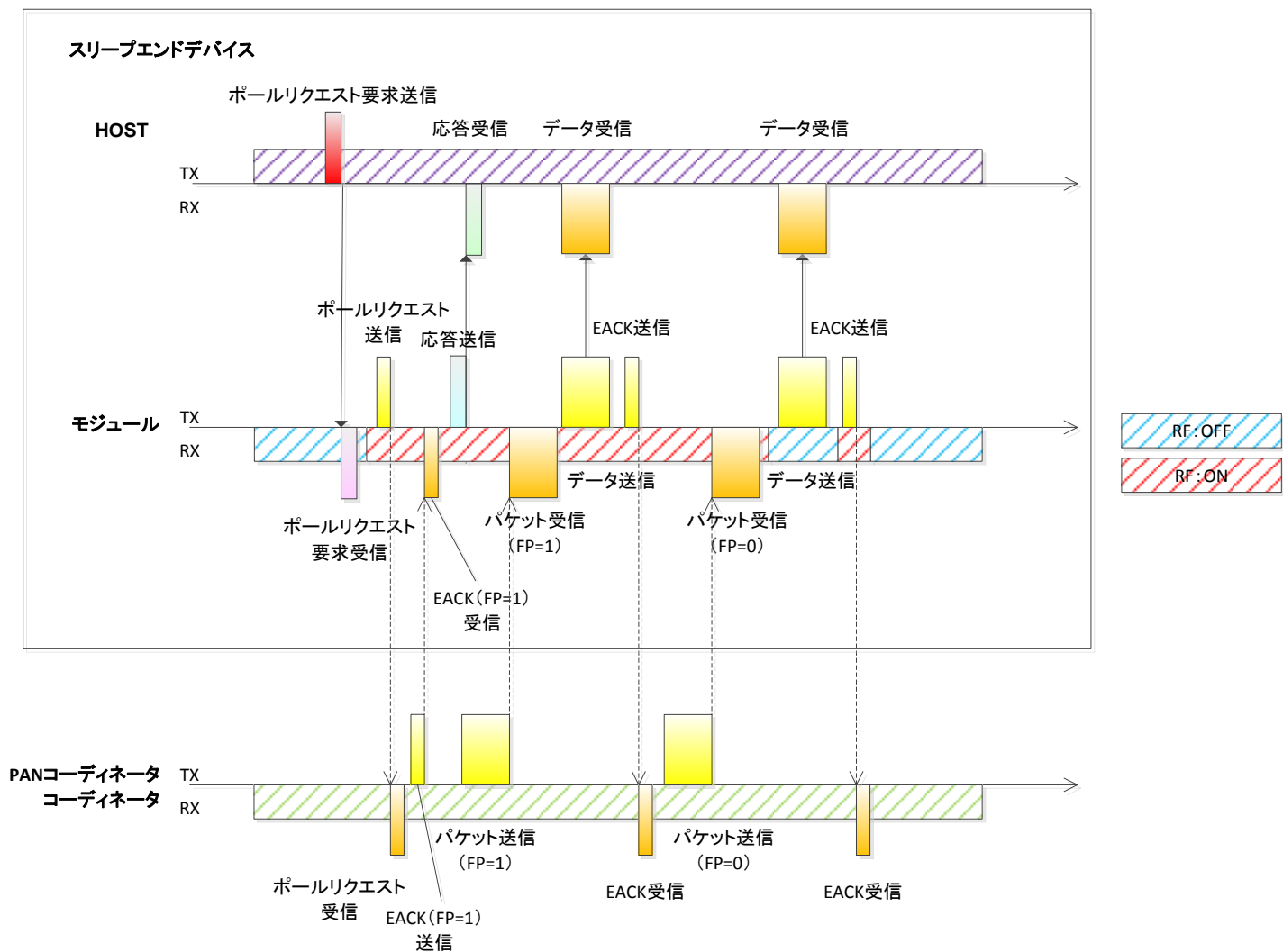


図 13 Poll Request 送信 ~ キューイングデータ受信

5.2.3 Poll Request 送信 ~ キューイングデータ受信タイムアウト

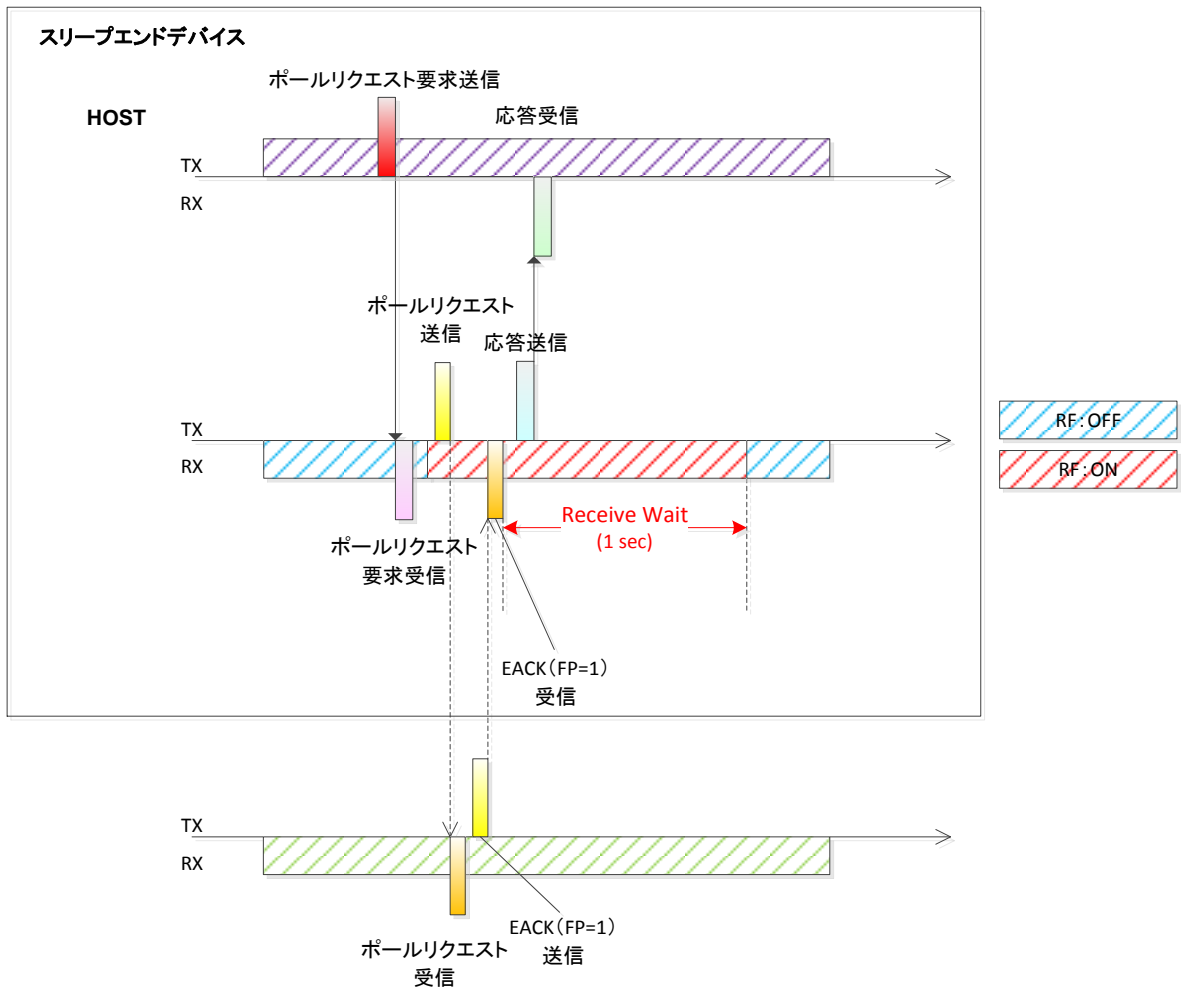


図 14 Poll Request 送信 ~ キューイングデータ受信タイムアウト

6 ウォッチドッグタイマー

本プロトコルスタックは、例外的に異常動作となった場合、ウォッチドッグタイマーにより自動でリセットがかかることがあります。

7 スタックサイズ

BP35C0-J11 に搭載したファームウェアのサイズは下記の通りです。

ROM : 220K

RAM : 64K

8 スループット

本プロトコルスタックで計測したスループット（参考）を下記に示します。

各構成で、1232byte の UDP データをデータ送信方向に即時で 500 回送信し、結果を集計したものです。

スループットは、500 回送信測定中の 1 分間を計測したものです。

表 12 スループット結果一覧

No	構成	データ送信方向	データ送信 成功率	スループット (bps)
1	1対1	PANC→エンドデバイス(片方向)	100%	23,654.4
2	1対1対1	PANC→コーディネータ→エンドデバイス(片方向)	100%	13,141.3
3	1対1	PANC→エンドデバイス(双方向)	100%	19,547.7
		エンドデバイス→PANC(双方向)	100%	17,905.1
4	1対1対1	PANC→コーディネータ→エンドデバイス(双方向)	99.2%	9,198.9
		エンドデバイス→コーディネータ→PANC(双方向)	99.6%	8,706.1

改訂履歴

日付	版数	改訂内容
2019年2月1日	第1.0版	初版