

Sigfox の概要

Sigfox
バージョン 1.0

Sigfox プロトコルのプレゼンテーションによろこそ

- Sigfox では、許認可が不要な 1GHz 未満の周波数帯を使用
- 超狭帯域
 - Sigfox オブジェクトで送信する信号に必要な帯域はわずか 100Hz (FCC 対象地域では 600Hz)
- 双方向
- 半二重 (Tx に続いて Rx)
- 12 バイトまでの小型メッセージ
- 1 日あたり最大 144 件のメッセージ
- 140 dB の大きなリンク・バジェット、通信距離 10 km 以上



Sigfox では、許認可が不要な 1 GHz 未満の周波数帯を使用します。

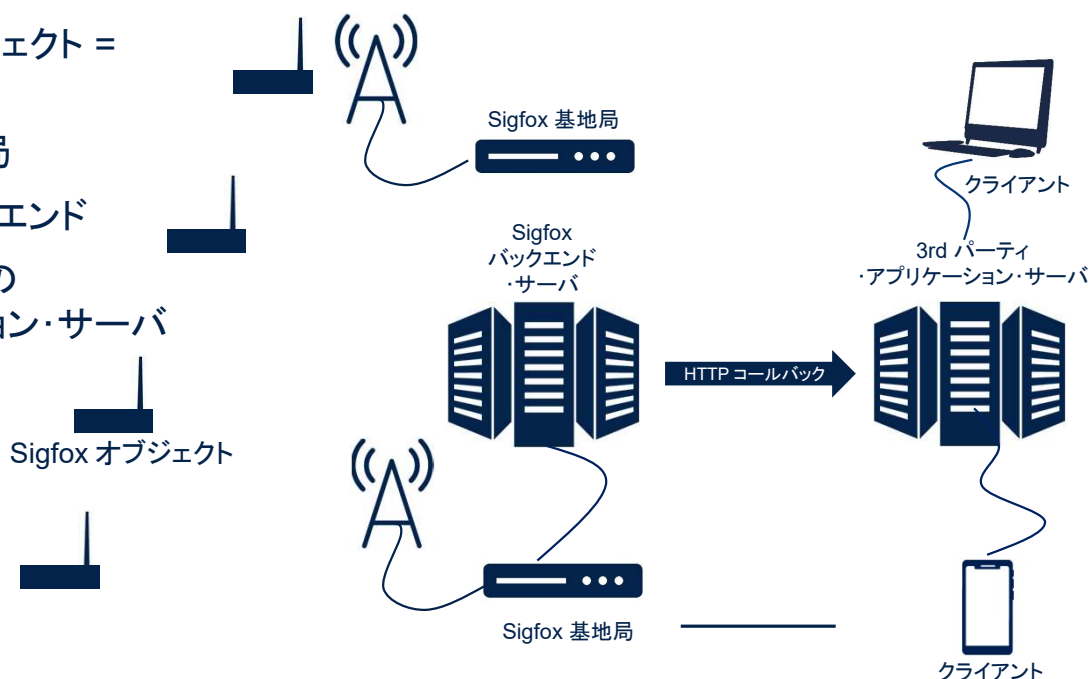
超狭帯域を使用しているため、Sigfox オブジェクトで送信する信号に必要な帯域はわずか 100 Hz (FCC 対象地域では 600 Hz) にすぎません。

主な特徴は次のとおりです。

- 双方向
- 半二重 (Tx に続いて Rx)
- 最大 12 バイトの短いメッセージを 1 日あたり最大 114 件送信可能
- 140 dB の大きなリンク・バジェットにより、10 km を超える通信可能範囲を確保

ネットワーク・アーキテクチャ

- Sigfox オブジェクト = STM32WL
- Sigfox 基地局
- Sigfox バックエンド
- 3rd パーティのアプリケーション・サーバ

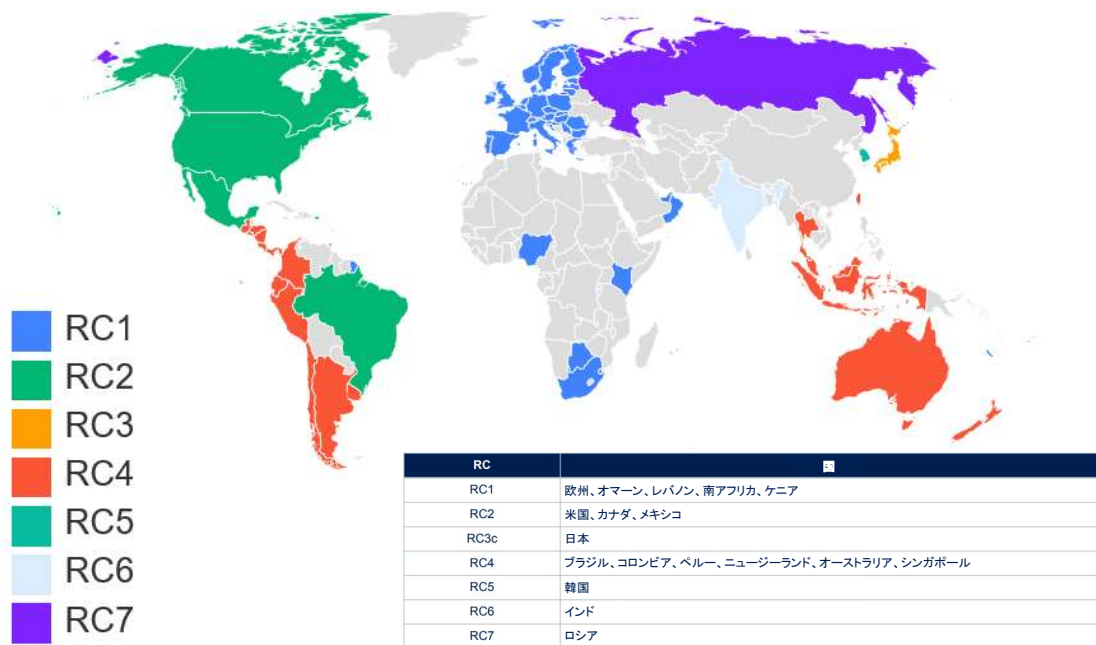


この図は、ネットワーク・アーキテクチャを示しており、バッテリー動作できる Sigfox IoT オブジェクトを Sigfox ネットワークに無線接続しています。

Sigfox ネットワークは、Sigfox バックエンド・サーバへのメッセージを中継する Sigfox 基地局で構成されています。

デバイスのフリートの管理に使用できる 3rd パーティ・アプリケーション・サーバにメッセージが転送されます。

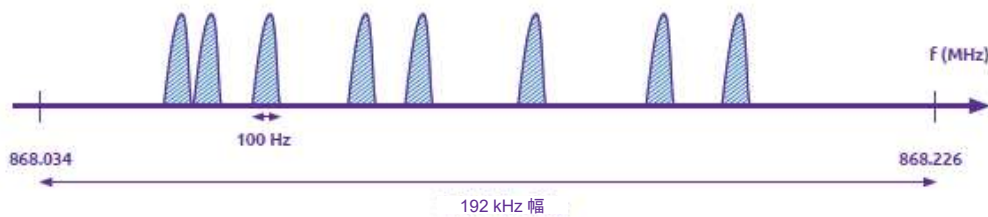
地域設定の概要



欧州、北米、およびアジアの市場は、周波数割当てと規制要件が異なります。Sigfox では、さまざまな地域設定 (RC) ごとに要件を設定しています。
この図に示す 7 つの地域設定が用意されています。

超狭帯域 (UNB)

- 欧州の周波数帯域は 868 ~ 868.2 MHz
- 他の地域の周波数帯域は 902 ~ 928 MHz で、これにそれぞれの地域固有の規制が追加される



Sigfox は、超狭帯域の変調信号を使用して Sigfox ネットワークに情報を送信し、多数のデバイスが Sigfox ネットワークにデータを同時に送信できるようにしています。

Sigfox では、公共利用できる 192 kHz の帯域を使用して無線でメッセージを交換します。

地域に応じて、各メッセージは幅を 100 Hz として 100 ビット/秒のデータ・レートで送信されるか、幅を 600 Hz として 600 ビット/秒のデータ・レートで送信されます。

RF パラメータ	RC1	RC2	RC3c	RC4	RC5	RC6	RC7
周波数帯域ダウンリンク(MHz)	869.525	905.2	922.2	922.3	922.3	866.3	869.1
周波数帯域アップリンク(MHz)	868.130	902.2	923.2	920.8	923.3	865.2	868.8
アップリンク変調	DBPSK						
ダウンリンク変調	GFSK						
アップリンク・データ・レート	100	600	100	600	100	100	100
ダウンリンク・データ・レート	600						
最大出力(dBm)	14	22	13	22	13	13	14
メディア・アクセス	デューティ・サイクル 1%	周波数ホッピング 最大送信時間 400 ms/20 s	キャリア・センス	周波数ホッピング 最大送信時間 400 ms/20 s	キャリア・センス	デューティ・サイクル 1%	
CS 中央周波数(MHz)	該当なし		923.2	NA	923.3	該当なし	
CS 帯域幅(kHz)			200	NA	200		
CS 閾値(dBm)			-80	NA	-65		

* デューティ・サイクルは 1 時間あたりの動作時間比率。ペイロードが 8 ~ 12 バイトの場合、このデューティ・サイクルの下では、1 時間あたり 6 件のメッセージが 1 日あたり 140 件のメッセージに相当

** 周波数ホッピング: デバイスからは、3 種類の周波数を使用して各メッセージを 3 回ブロードキャスト、チャンネルあたりの最長時間は 400 ms その 20 秒前からの間に新しい送信はなし

*** Listen Before Talk (LBT) : 各デバイスは、Sigfox で動作している 200 kHz のチャンネルに、-80 dBm よりも高い強度の信号が 5 ms の期間に存在しないことを送信前に確認する必要があります。そのような信号がチャンネルに存在しなければ、デバイスは送信を開始する、チャンネルに信号が存在する場合は送信を開始しない



life.augmented

6

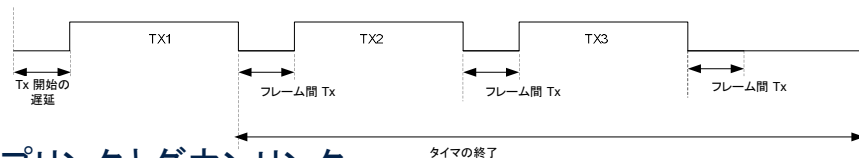
この表は、メディア・アクセスにおける Sigfox の RF 仕様を示しています。周波数、データ・レート、出力、メディア・アクセスは、デバイスが動作している地域に応じて異なります。

データ・レートが同じ RF 仕様のグループが主に 3 つあることがわかります。たとえば、デューティ・サイクル(RC1、RC6、RC7 の各地域)、周波数ホッピング(RC2 と RC4 の両地域)、LBT(RC3 と RC5 の両地域)です。

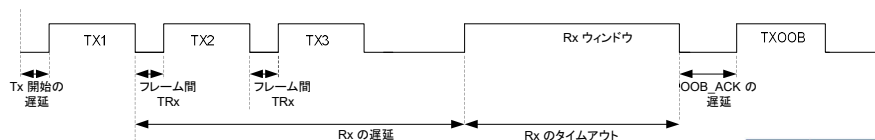
- デューティ・サイクルは 1 時間に対して 1% です。ペイロードが 8 ~ 12 バイトの場合、このデューティ・サイクルの下では、1 時間あたり 6 件のメッセージが 1 日あたり 140 件のメッセージに相当します。
- 周波数ホッピングでは、3 種類の周波数を使用して各メッセージがデバイスから 3 回ブロードキャストされます。送信に要する最大時間は、チャンネルあたり 400 ms です。その 20 秒前からの間に新しい送信はなし。
- Listen Before Talk (LBT) : 各デバイスは、Sigfox で動作している 200 kHz のチャンネルに、-80 dBm よりも高い強度の信号が 5 ms の期間に存在しないことを送信前に確認する必要があります。そのような信号がチャンネルに存在しなければ、デバイスは送信を開始します。チャンネルに信号が存在する場合は送信を開始しません。

Sigfox フレームのタイミング

• アップリンク・フレームのみ



• アップリンクとダウンリンク



RC	Tx 開始の遅延	フレーム間 Tx/TRx	Rx の遅延	Rx のタイムアウト	OOB_ACK の遅延	終了タイムアウト
RC1	0 s	500 ms	20 s	25 s	1.4 s	該当なし
RC2						10 s
RC3c	最大 100 ms (LBT 開始)	500 ms + LBT	19 s	34 s		該当なし
RC4	10 s	500 ms	20 s	25 s		
RC5	最大 100 ms (LBT 開始)	500 ms + LBT	19 s	34 s		
RC6	0 s	500 ms	20 s	25 s		
RC7						



エンドデバイスからは非同期でデータがネットワークに送信されます。デバイスレポートイベントでのみ送信が発生するからです。この図は、ダウンリンクがある場合とない場合のタイミングシーケンスを示しています。

3回の送信 Tx1、Tx2、Tx3 で同じペイロード情報が送信されます。このような連続的な送信は、ネットワークで情報を正確に受信できる確率を最大限にするにすぎません。ネットワークとのリンク品質が良好であることをデバイスで確認できれば、ダウンリンクフレームが要求されている場合に限り、Tx1のみを送信して電力消費を削減できます。

Txの周期は、送信するバイト数とRCに応じて異なります。

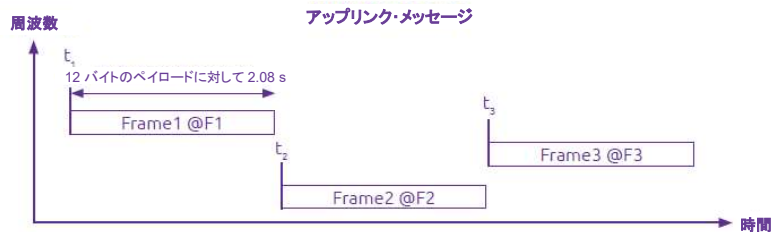
- RC1とRC3cでは1ビットの送信に10msを要します。

- RC2とRC4では1ビットの送信に1.66msを要します。

メッセージの最大サイズは26バイトです(同期ワード、ヘッダ、ペイロード・データの合計値)。したがって、RC1ではTxの周期は最大で $26 \times 8 \times 10 \text{ ms} = 2.08 \text{ s}$ です。

周波数ホッピング

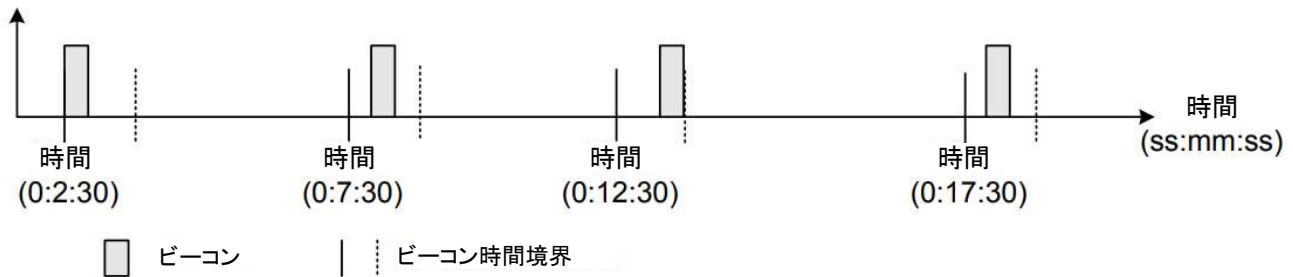
- デバイスは、ランダムな周波数でメッセージを送信し、つづいて別の周波数と時間スロットで2つの複製メッセージを送信



- Sigfox 基地局では、192 kHz 帯域全体を監視し、あらゆる時間とあらゆる周波数で復調の対象とする UNB 信号を検出



デバイスは、ランダムな周波数でメッセージを送信し、つづいて別の周波数と時間スロットで2つの複製メッセージを送信します。Sigfox 基地局では、192 kHz 帯域全体を監視し、あらゆる時間とあらゆる周波数で復調の対象とする超狭帯域 (UNB) 信号を検出します。



- Sigfox Monarch サービスは、デバイスが存在する地域を判断できるようにする Sigfox グローバル・サービス
- Sigfox IoT デバイスで Monarch を使用すると、世界規模でローミングが可能
- Monarch は、関心地点 (POI) から発信される Sigfox ビーコン

Monarch は、関心地点 (POI) から発信される Sigfox ビーコンです。POI が属する地域で許可された周波数で Monarch ビーコンが発信されています。このビーコンは、Monarch 対応デバイスで復調できる地域設定 (RC) の情報を収めています。この情報を受信した Monarch 対応デバイスでは、適切な地域設定に設定を自動的に切り替え、ネットワークに情報を送信できます。Sigfox IoT デバイスで Monarch を使用すると、世界規模でローミングできます。

Monarch 信号は、POI から 5 分ごとに送信されるほか、10 秒のランダムなバックオフ周期でも送信されます。このビーコンの周波数は地域に固有です。ビーコンの合計継続時間は 400 ms です。デバイスにクロックが設定されていれば、Monarch 信号が送信されているときにのみスキャン・ウィンドウを開くことができ、エンドデバイスの電流消費が削減されます。

Sigfox のセキュリティ

- Sigfox のエコシステムはデフォルトでセキュリティを統合
 - 認証と整合性
 - ネットワーク上に伝播したメッセージに対するアンチリプレイ(シーケンス番号の使用)
 - 無線で鍵を交換しない高度暗号化標準(AES)に基づく暗号
 - データの気密性を確保するオプションとしてのペイロード暗号化
- 3 種類のレベルのセキュリティ
 - 中レベル - セキュリティ資格情報をデバイスに保持
 - 高レベル - 鍵管理システム(KMS)を使用して、ソフトウェアによる保護領域にセキュリティ資格情報を保持
 - 超高レベル - セキュア・エレメントにセキュリティ資格情報を保持可能



Sigfox のエコシステムは、デフォルトで次のようにセキュリティを統合しています。

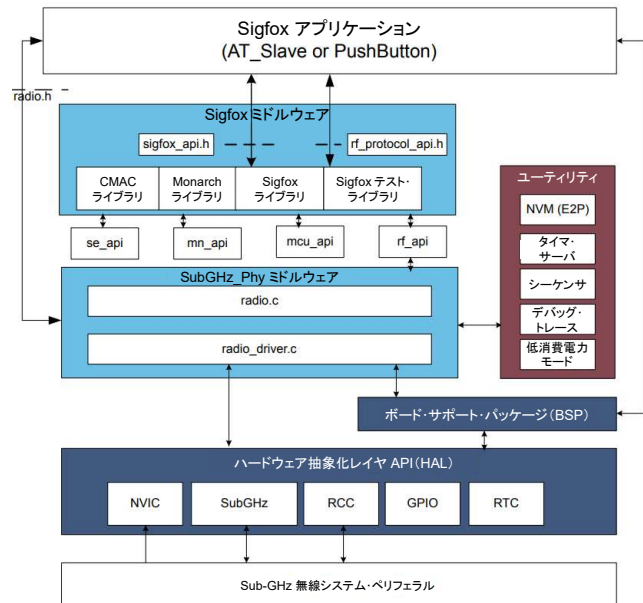
- 認証と整合性
- ネットワーク上に伝播したメッセージに対するアンチリプレイ(シーケンス番号の使用)
- 無線で鍵を交換しない高度暗号化標準(AES)に基づく暗号
- データの気密性を確保するオプションとしてのペイロード暗号化

3 種類のレベルのセキュリティが用意されています。

- 中レベル - セキュリティ資格情報をデバイスに保持
- 高レベル - 鍵管理システム(KMS)を使用して、ソフトウェアによる保護領域にセキュリティ資格情報を保持
- 超高レベル - セキュア・エレメントにセキュリティ資格情報を保持可能

シングルコア STM32WL FW

- Sigfox アプリケーションの例
- Sigfox スタック・ミドルウェア
 - Sigfox™ MAC レイヤ (Monarch など)
 - セキュア・エレメントや SKS を駆動する Sigfox Crypto
- SubGHz_Phy ミドルウェア
- ユーティリティ
 - タイマ・サーバ
 - 低消費電力管理
 - デバッグ・トレース
 - EEPROM のエミュレーション
- HAL ドライバ
- BSP 外部コンポーネント RF ドライバ



STM32CubeWL ファームウェア・パッケージには 2 種類の Sigfox アプリケーションが用意されています。どちらのアプリケーションも、シングルコア・デバイスとデュアルコア・デバイスで使用できます。ここでは、シングルコア Sigfox アプリケーションのアーキテクチャのみを挙げています。

HAL は、STM32Cube API を使用して、アプリケーションに必要なハードウェアを駆動します。

RTC は、低消費電力 STOP モードでも動作を継続する集中型時間ユニットを提供します。

RTC アラームを使用して、時間サーバで管理されている特定の時刻にシステムをウェイクアップします。

Sigfox コア・ライブラリは、いくつかのセキュリティ機能のほかに、メディア・アクセス・コントローラ (MAC) を組み込みます。

このアプリケーションは、スケジューラを使用した無限ループを主要機能としています。このスケジューラでタスクとイベントを処理します。

実行すべき処理が残っていない場合、スケジューラはアイドル状態に遷移して低消費電力マネージャを呼び出します。

テスト・モードと証明書

- Sigfox ネットワークで通信する Sigfox デバイスは、Sigfox 証明書を渡すことが必要
 - Sigfox は、モジュール設計開発ソリューションが Sigfox の RF 仕様とプロトコル仕様に適合していることを証明する Sigfox Verified™ 証明書を提供
 - Sigfox ネットワークに接続するデバイスは Sigfox Ready™ 証明書を取得することが必要
Sigfox Ready™ 証明書の取得を目指すデバイスは、Sigfox 証明書のすべての仕様 (RF、プロトコル、放射性能に関する Sigfox 仕様) に適合する必要がある
 - 詳細については <https://build.sigfox.com/certification> を参照
 - **NUCLEO-WL55JC** ボードと **STM32CubeWL** ファームウェア・モデム・アプリケーションを使用したシステムは Sigfox のテスト・ラボで検証済みであり、Sigfox Verified™ の仕様に適合
- AT コマンドを使用してすべてのテスト・モードを利用可能
 - [RSA SDR](#) ドングル・テスターでテスト・モードを確認できる
 - このテスターでは感度をテストできない点に注意



Sigfox ネットワークで通信する Sigfox デバイスは、Sigfox 証明書を渡す必要があります。

Sigfox は、モジュール設計開発ソリューションが Sigfox の RF 仕様とプロトコル仕様に適合していることを証明する Sigfox Verified™ 証明書を提供します。

Sigfox ネットワークに接続するデバイスは Sigfox Ready™ 証明書を取得する必要があります。Sigfox Ready™ 証明書の取得を目指すデバイスは、Sigfox 証明書のすべての仕様 (RF、プロトコル、放射性能に関する Sigfox 仕様) に適合する必要があります。

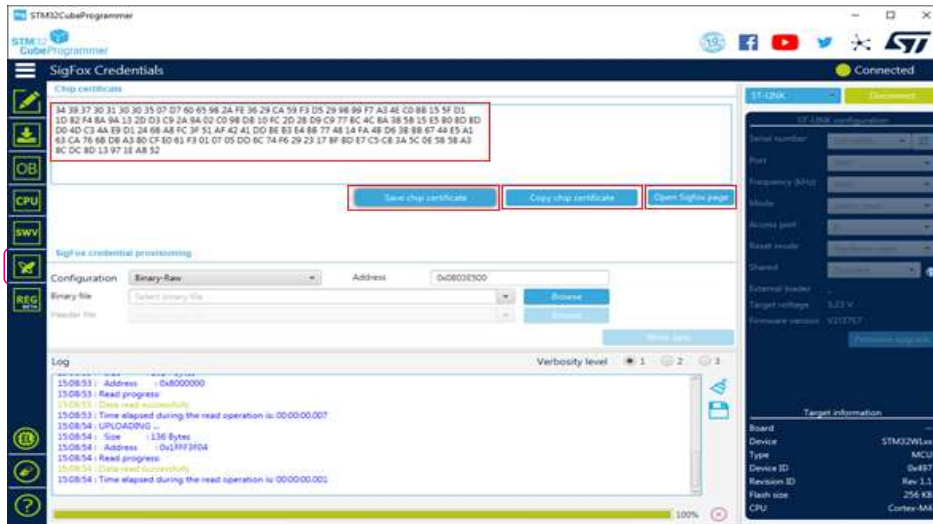
詳細については <https://build.sigfox.com/certification> を参照してください。

NUCLEO-WL55JC ボードと STM32CubeWL ファームウェア・モデム・アプリケーションを使用したシステムは Sigfox のテスト・ラボで検証済みであり、Sigfox Verified™ の仕様に適合しています。

AT コマンドを使用してすべてのテスト・モードを利用できます。

Sigfox ネットワークとの通信方法(1/4)

- 1- Sigfox_AT_Slave プロジェクトをコンパイルしてロード
- 2- Cube Programmer を使用して証明書を取得



このスライドは、Sigfox ネットワークとの通信を確立する手順を示しています。

まず、STM32CubeWL ファームウェア・パッケージにある Sigfox_AT_Slave プロジェクトをコンパイルしてロードします。

つづいて、STM32CubeProgrammer を起動して STM32WL に接続します。メインメニューの左端に「Sigfox 資格情報」ボタンが追加されます。

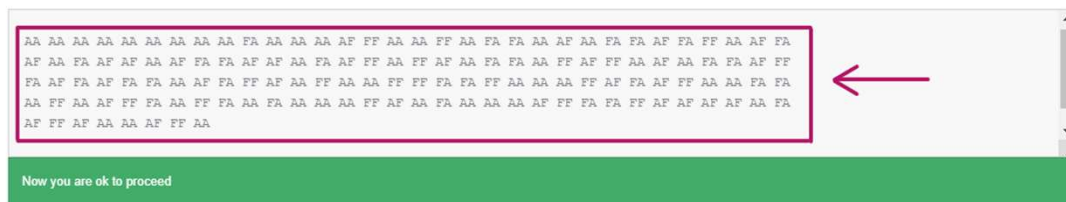
「Sigfox 資格情報」ウィンドウが開くと、136 バイトのサイズでチップ証明書が自動的に抽出され、チップ証明書領域に表示されます。この証明書をバイナリ・ファイルに保存してクリップボードにコピーできます。

Sigfox ネットワークとの通信方法(2/4)

3- <https://my.st.com/sfxp> の資格情報をコピー&ペーストし、その資格情報をダウンロード



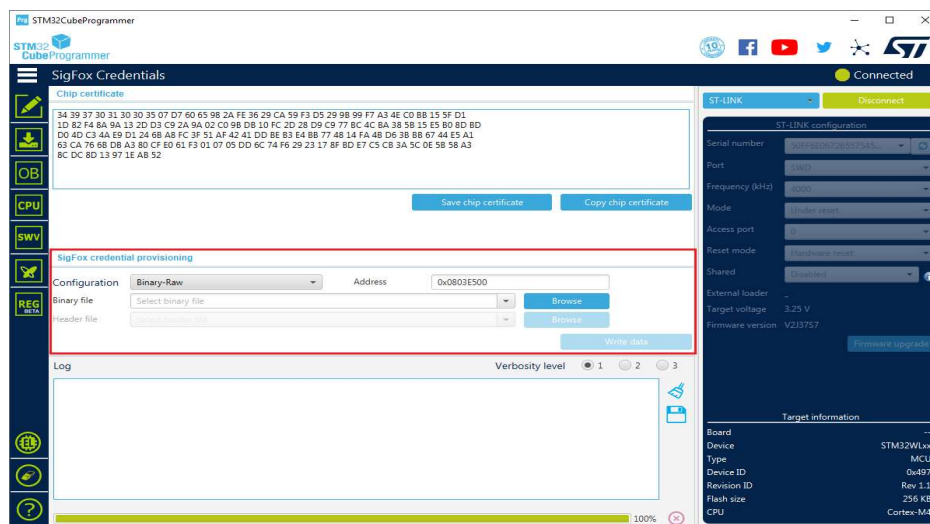
- Follow this online process to enable your **NUCLEO-WL55JC1** board on Sigfox network (for more details check this [application note](#)).
- Please refer to www.sigfox.com to check Sigfox network coverage
- Use **STM32CubeProgrammer** software to obtain the certificate for the STM32WL MCU, and copy/paste it in this online tool. The download of a ZIP file containing your Sigfox credentials will start automatically.



my.st.com に Web インタフェースが用意されているので、Sigfox の体験版資格情報を入手できます。
<https://my.st.com/sfxp> に移動し、ユーザ・アカウントがない場合は、my.st.com に登録して専用のユーザ・アカウントを作成します。
つづいて、STM32CubeProgrammer で抽出した証明書をフォームにペーストします。
その証明書が有効であれば、ダウンロード・ボタンをクリックすると、zip ファイルが自動的にユーザのコンピュータにダウンロードされます。

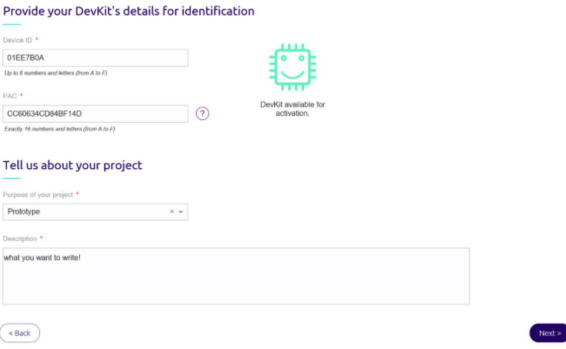
Sigfox ネットワークとの通信方法(3/4)

- 4- STM32WL に資格情報をロード



ダウンロードしたファイルを展開(Unzip)すると、STM32CubeProgrammerでSigfoxの資格情報を指定する領域を使用して、STM32WLデバイスに資格情報をロードできます。

Sigfox ネットワークとの通信方法(4/4)

- 5- <https://buy.sigfox.com/activate/> でのアクティブ化
 - 都合のいいターミナルで AT\$ID? コマンドと AT\$PAC? コマンドを使用して Sigfox ID と Sigfox PAC を取得
- 
- 「次へ」をクリック、デバイスから Sigfox™ ネットワークにデータを送信する準備が完了
 - <https://backend.sigfox.com/device/list> へ移動して、表示されているデバイスを確認(「DEVICE」をクリック)ターミナル上で AT\$SF コマンドを使用してデータを送信可能

AT\$ID? コマンドと AT\$PAC? コマンドを使用して Sigfox ID と Sigfox PAC を取得します。

<https://buy.sigfox.com/activate/> にログインして、デバイスの ID と PAC を該当の欄にペーストします。

「Next」をクリックすると、デバイスがアクティブ化されます。

メッセージを確認するには、<https://backend.sigfox.com/> にログインして、デバイスが表示されるデバイス・リストを参照します。

ターミナル上で AT\$SF コマンドを使用してデータを送信できます。

デバイスから Sigfox ネットワークにデータが送信され、バックエンドでメッセージを確認できます(デバイス ID をクリックして「MESSAGES」タブに移動します)。

- AN5480 に詳細情報を用意
 - STM32CubeWL を使用して Sigfox™ アプリケーションを作成する方法

STM32CubeWL を使用して Sigfox™ アプリケーションを作成する方法に関する詳しい情報が AN5480 にあります。