

Application Note

TI のワイヤレス マイコンを使用したスマート回転式水道メーター、熱量計、ヒート コスト アロケータの設計



Milen Stefanov, Theo Phil Lange

概要

TI の **CC1312R**、**CC1312R7**、および **CC1314R10** ワイヤレス マイコンは、**wM-Bus** プロトコル スタックと**回転検出測定機能**、および **GPIO** を用いた、革新的な TI 特許申請中のセグメント **LCD** 駆動機能を統合しています。**LCD** は静電容量式タッチ ボタンによるユーザーの要求に応じて有効になり、設定可能なタイムアウト後に自動的にオフになって電力を節約します。測定機能と **LCD** 機能はどちらも、**4KB** の **SRAM** を備えた **16** ビット超低消費電力センサ コントローラ エンジン (**SCE**) マイコン コア内部のファームウェアに実装されます。**SCE** は、メインの **M4F** または **M33 CPU** コアとは独立してセンサ データをサンプリング、保存、および処理します。

広範なセキュリティ機能と暗号アクセラレータを備えた **CC1312R**、**CC1312R7**、および **CC1314R10** ワイヤレス マイコンは、完全なハードウェア開発プラットフォームを提供し、EU のサイバー レジリエンス法 (**CRA**) の要件への準拠を容易にします。

テキサス・インスツルメンツの特許申請中のマルチプレクサ抵抗ネットワークと最適化されたファームウェア コードの組み合わせにより、スマート回転式の**水道メーター**、**熱量計**、および**ヒート コスト アロケータ**に不可欠な低電力 **LCD** 表示機能が実現します。

機械式水道メーター向けの人気の高いレトロフィット アドオン **wM-Bus** 対応モジュールも、これらの TI ワイヤレス マイコン内の回転センシングおよび **IrDA** リンク サポートの恩恵を受ける最終製品のタイプのひとつです。

LCD 制御と回転測定の両方を **SCE** 内で超低消費電力で実装することにより、TI のシングル チップ **Sub-1GHz** ワイヤレス マイコン デバイスは、世界中で急速に拡大しているスマート水道メーター、熱量計、およびヒート コスト アロケータ市場向けに、費用対効果が高くコンパクトなサイズの設計を可能にします。

目次

1 概要	2
1.1 スマート メーターに関する EU 規制.....	3
1.2 回転測定設計.....	3
2 スマート流量計およびサブメータリング デバイス	4
2.1 ヒート コスト アロケータ (サブメータ).....	4
2.2 機械式水道メーター向けレトロフィット アドオン モジュール.....	7
2.3 スマート回転式水道メーター.....	10
2.4 熱量計 (熱量 / 冷却量).....	14
2.5 流量計における Bluetooth® Low Energy (BLE).....	16
2.6 スマート流量計およびヒート コスト アロケータに対する CRA の影響.....	16
3 まとめ	19
4 参考資料	20

商標

LaunchPad™ and BoosterPack™ are trademarks of Texas Instruments.

1-Wire™ is a trademark of Maxim Integrated Products, Inc.

Bluetooth® is a registered trademark of Bluetooth SIG, Inc.

すべての商標は、それぞれの所有者に帰属します。

1 概要

スマート **ヒートコスト アロケータ**、**水道メーター**、および**熱量計** (温冷水メーター) の世界的な需要は急速に拡大しており、スマート流量計が世界中で主流のタイプとなり、従来型の機械式流量計を置き換えています。スマートであるということは、これらのメーターが有線またはワイヤレスリンクを介して単方向 (課金に関連するデータのみをレポート) または双方向に通信でき、現場でのファームウェア アップデート機能を有効にできることを意味します。

868MHz ISM バンドは免許不要であり、メーター データをデータ コレクタやモバイル読み取りユニットに転送する複数の無線プロトコルが存在するため、世界中で使用されています。スマート メータリング インフラストラクチャを構築するために、スマートメーター基盤 (**AMI**) および自動検針 (**AMR**) として知られる 2 つの異なるネットワーク アプローチが活用されています。**2000** 年代におけるスマートメータリングおよびサブメータリングの初期は **AMR** から始まりました。ウォークバイ (歩行) またはドライブバイ (車両) モードのモバイル読み取り装置がメーターからの無線電文を収集し、専用リンクを介してバックエンドの課金システムへ送信します。

リモートスマートメーター検針の現代的なアプローチは **AMI** です。これは、**4G** および **5G** セルラー ネットワークに非常に類似した、永続的に設置された常時接続の固定 **Sub-1GHz** ネットワークにスマートメーターを接続する統合アーキテクチャです。この **AMI** インフラストラクチャは、複数のデータコレクタまたはデータゲートウェイで構成され、電力、ガス、水道事業者や課金会社によって設置および保守されます。

AMI と **AMR** の両方のネットワークアーキテクチャは、**EU** 市場で非常に人気のある **OMS プロトコル スタック** で対応されています。以下の **OMS Group** の声明を参照してください。

OMS は、すべてのエネルギーセクタの消費値を 1 つのシステムに統合する、唯一のオープンで標準化されたエネルギー測定システムです。つまり、電力、ガス、熱エネルギー、水道における、メータリングおよびサブメータリングをカバーします。また **OMS** は、建築技術 **KNX** の国際通信規格にも対応しており、この結果、ビルオートメーション、エネルギー管理、スマートホームシステムを直接統合できます。通信は、実証済みの **M-Bus** 規格に基づいています。

868MHz での **OMS wM-Bus v4.2.1** プロトコルおよび伝導 **+14dBm** 実効放射電力 (**ERP**) を備えた **C** モードは、多くの **EU** 諸国における**ヒートコストアロケータ**、**水道メーター**、**熱量計**、およびレトロフィットアドオンモジュールの確立された標準です。拡張された通信範囲のカバレッジを可能にする新しいモードが **OMS wM-Bus v5.0.1** で定義されており、まもなく導入が開始される見込みです。

長距離を達成するためのすでに人気のある選択肢 (送信電力の増大と引き換えに、より優れた **RF** 伝搬特性を活用) は、**EU** における **169MHz ISM** バンドです。これは **EN13757-4 wM-Bus N** モードによってサポートされている、確立された免許不要のバンドです。後者は、イタリアとフランスでのスマート流量計の読み取りに使用されます。スマートメーターで許容される最大 **+27dBm (500mW)** **ERP** 電力により、**km** 全体をカバーできるため、ゲートウェイがほとんどありません。

記事『**EUROPEAN SMART METERS DEMAND WM-BUS AT 169MHz**』には、**N** モード使用時の技術的課題とメリットに関する詳細情報が記載されています。低電力、長距離、かつ双方向の無線通信の登録商標である **Wize** テクノロジは、複数の国で **169MHz** 周波数帯で動作するよく知られたソリューションです。

スマートメーターからスマートゲートウェイへの通信距離を伸ばすため、あるいは複数のメーターやサブメーターからデータを収集するスマートゲートウェイ間でデータを転送するために、**OMS wM-Bus** と並行して他の独自プロトコルが使用されることもあります。

あるいは、**NB-IoT** などのセルラー技術も、深い透過性を提供し公共のセルラーインフラに依存することで、スマート流量計市場に参入しています。

1.1 スマートメーターに関する EU 規制

すべてのスマート流量計には、現場での事前定義された稼働期間 (多くの場合は 5 年から 10 年の間、一部の市場ではさらに長期) があり、その後メーターを交換する必要があります。あらゆるスマートメーターは、課金に関連するユーザーの消費データを確認できる、測定法上管理された何らかの形態のディスプレイを備える必要があります。EU においては、これは [MID 2014/32/EU](#) (附属書 I、必須要件) 文書で規制されており、表示要件はさまざまな選択肢によって満たせると規定されています。これらは、視認性、明確性、およびセキュリティに関する指令の基準を満たしていれば、機械式カウンタ (世界中の従来型機械式水道メーターなど)、電子式流量計の液晶ディスプレイ (LCD)、発光ダイオード (LED)、またはその他の電子ディスプレイとすることができます。

セグメント LCD ディスプレイは、スマート流量計およびヒートコストアロケータにおいて群を抜いて支配的な技術です。EU の規制では LCD ディスプレイをオフにすることが認められていますが、その場合、エンドユーザーが要求に応じて即座にアクティブ化できる可能性が必要であり、通常はプッシュボタンや静電容量式タッチボタン、フタ開閉用の光学センサ、あるいはユーザーによるその他のプロンプトを用いて実装されます。

1.2 回転測定設計

測定機能は、あらゆるスマートメーターデバイスによって提供されるコア機能です。何十年も使用されてきた複数の電子センシング技術が存在し、それぞれに長所と短所があります。

TI は、追加ハードウェアと組み合わせた [MSP430FR6989 EVM](#) をリリースしており、回転式流量計センシングで最も人気の高い 3 つのセンシング方式 ([インダクティブ \(LC センシング\)](#)、[光学式](#)、および[磁気式](#)) をサポートしています。これらのリファレンスデザインは、温水および冷水メーター (ドイツで普及) などの大量の流量測定を行う最終製品、機械式メーター向けレトロフィットアドオンモジュール、ならびに[熱量計](#)および[ヒートコストアロケータ](#)の両方を含むサブメータリングアプリケーションに対応します。

世界中で今なお主流の技術である回転式流量計に加えて、TI の [MSP430FR6043](#) デバイスファミリによってサポートされている超音波流量測定も存在し、超音波流量測定は世界中の多くの市場で関心を集めている点にご注意ください。

このドキュメントでは、[CC1312R](#)、[CC1312R7](#)、および [CC1314R10](#) ワイヤレスマイコンを使用した回転センシング設計に焦点を当てます。これらは多くの場合、[MSP430FR6989](#) と比較してわずかに消費電力は増加しますが、それと引き換えにより高集積で CRA に準拠した設計の開発を可能にします。

この資料で提示する結果は、[CC1312](#) および [CC1314](#) デバイスファミリ内部の超低消費電力 SCE モジュールを全面的に活用しており、回転測定、IrDA 通信、GPIO によるセグメント LCD ディスプレイ制御、および磁気改ざん検出を SCE 内に統合することが実現可能であることを証明しています。

以降のセクションに記載されている市場をリードする超低消費電力数値は、統合された [Sub-1GHz](#) 無線と SCE モジュールにより、より低いトータルシステムコストでシングルチップのメーターおよびサブメーターのデバイスを開発するための基礎となります。

2 スマート流量計およびサブメータリング デバイス

TI 内部で設計・製造されている **CC1312R SimpleLink™** 高性能 **Sub-1 GHz** ワイヤレス マイコンは、超低リークの TI CMOS 65nm プロセスや、2MHz または 24MHz で動作可能な 4KB SRAM 付き超低消費電力センサ コントローラ エンジン (SCE) など、いくつかのユニークな機能を備えています。さらに、プログラマブル電流源、内部リファレンス DAC 付きアナログ コンバータ、パルス カウンタ、タイム-デジタル コンバータ (TDC) など、いくつかの専用アナログ周辺回路が統合されており、SCE モジュールから制御できます。

AES 128/256 ビット暗号アクセラレータ、TRNG、ECC および RSA 公開鍵ハードウェア アクセラレータ、SHA2 アクセラレータなどの最先端の暗号化機能も搭載されており、このプラットフォームは EU で今後導入される **CRA** 規制に対応することが可能です。

ソフトウェア定義の **Sub-1GHz** 無線システムとプログラマブルな 16 ビット SCE の両方を統合した、シングル チップの **CC1312R** および **CC1314R10** ワイヤレス マイコンは、最も普及している 3 つの回転測定方式を処理できると同時に、GPIO を使用した TI 特許申請中の LCD 制御を用いてセグメント LCD ディスプレイを制御できます。

2.1 ヒートコスト アロケータ (サブメータ)

ヒートコスト アロケータ (HCA) は、燃料の物理的な体積や kWh 単位の熱エネルギーを直接測定するのではなく、放熱の無次元の単位を単純に記録します。この目的のために、ほとんどの **HCA** デバイスは 2 センサ原理を使用しています。ここでは熱メーターを指す**熱量計**は **HCA** とともに設置され、アパートや住戸ごとの熱エネルギーの公平な課金を可能にします。**HCA** デバイスは数十年前にデンマークやドイツで導入され、シンプルな蒸発管から始まり、2000 年代半ばには **OMS wM-Bus** 無線プロトコルを備えた完全な電子デバイスへと移行しました。

Single-chip Heat Cost Allocator with wM-Bus @ 868MHz

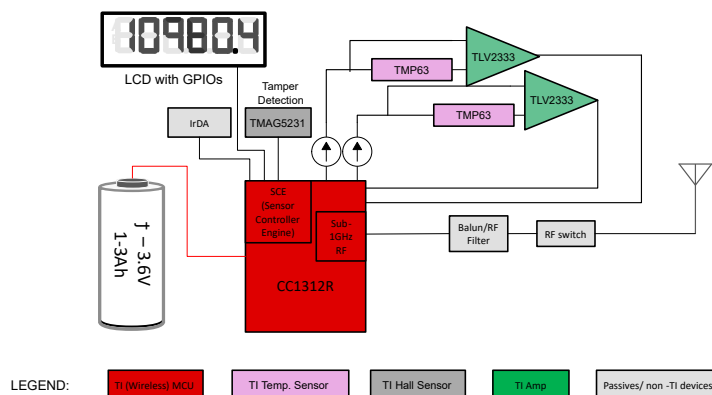


図 2-1. CC1312R/R7 を搭載した 2 センサ HCA

EU エネルギー効率指令 (EED) は、EU 加盟国の集合住宅および多目的ビルにおける集中暖冷房システムにおいて、個別サブメータリングを法的に義務付けています。**HCA** デバイスは遠隔読み取り義務の対象となる点にご注意ください。新しく設置されるすべての **HCA** および**熱量計**は遠隔読み取りが可能である必要があります。2027 年 1 月 1 日までに、従来型の非電子式および非スマート電子式 **HCA** からの移行を完全に完了し、消費データを読み取るために住戸へ直接立ち入る必要をなくさなければなりません。

現代のデジタル **HCA** デバイスは、図 2-1 に示すように、単一の **Sub-1GHz** ワイヤレス マイコンと 2 つの温度センサを活用しており、ラジエータ センサがラジエータの正確な表面温度 T_{rad} を測定し、室温センサが設置されている部屋の周囲気温 T_{air} を測定します。

2.1.1 HCA の主な機能

HCA デバイスのブロック図は複数のサブシステムで構成されており、すべて CRA 対応の **CC1312R** ワイヤレス マイコン上で動作するアプリケーションコードと Sub-1GHz ワイヤレス プロトコル (例: wM-Bus v4.2.1 または v5.0.1) によって制御されます。

1. SCE ファームウェアによる IrDA 半二重または全二重ポート
2. 2 つの温度センサ (室温およびラジエータ/ヒーター)
3. 外部バラン / RF フィルタおよびアンテナを備えた Sub-1GHz 無線 (単方向または双方向)
4. SCE ファームウェアによるセグメント LCD (LCD 起動用オプション ボタン)
5. 改ざん検出 (例: ラジエータ本体からの HCA 除去)

2.1.1.1 IrDA 通信ポート

この主要な HCA サブシステムは、設置や保守時、および製造時に、各 HCA デバイスでベンダ パラメータを設定するためのシンプルな手段として使用されます。HCA 読み取りユニットなどの外部ソースからのウェークアップ信号を検出するために、IrDA 受信 LED の定期的なポーリングを実装することが可能です。このような IrDA の典型的なユースケースは、TIDA-01212『**単一双方向赤外線 LED 通信ポート リファレンス デザイン**』にドキュメント化されており、そこでは超低消費電力の半二重 IrDA 設計と SCE 内のファームウェア サンプル コードが提供されています。

非常に最小限の HW および FW 要件であるため、TIDA-01212 の IrDA ポーリング機能は、TIDA-00848 の LCD サポートと簡単に組み合わせることができ、両方ともセンサ コントローラ エンジン内で動作するタスクとして実行されます。ポーリングシーケンスを検出すると (セクション 2.2.3 の例を参照)、SCE はメインの Cortex-MCU を起動し、メイン マイコンが HCA と外部読み取りユニット間の IrDA プロトコル データ交換を処理します。

2.1.1.2 温度測定 (2 センサ方式)

すべての HCA デバイスはラジエータ本体にしっかりと取り付けられており、 T_{rad} 用のヒーター温度センサは本体と熱的接触 (電氣的接触は不可) している必要があります。対照的に、 T_{air} 用の室温センサは、部屋の方向、またはラジエータ本体から離れる反対方向に向いて設置されます。HCA デバイスは、時間の経過に伴う温度差を連続的に記録します。

$$\Delta T = T_{rad} - T_{air}$$

電気ヒーターなどの外部熱源が存在する場合や直射日光が差し込む場合、室温センサは空気の暖まりを感知し、減少した ΔT を記録します。

HCA における 2 か所の温度測定では、コスト重視のシステム向けに、正温度係数 (PTC) を持つ 2 つの TMP63 シリコン サーミスタが、デュアル構成の TLV2333 (デュアル、350kHz、低ノイズ、RRIO、CMOS オペアンプ) と組み合わせられます。

室温センサとラジエータ センサ用の分離された回路がシミュレーションされ、内部 ADC12 モジュールの全範囲を利用することで十分な温度分解能が得られることが実証されています。TIDA-00848 リファレンス デザインには、各 TMP63 回路で予測される性能に関する詳細なシミュレーションが記載されています。これらのセンサは、CC1312R の SCE モジュールのプログラマブル電流源によって励起されます。

測定精度と分解能の両方を向上させるために、各センサに対して単段増幅が提案されています。主な違いは達成可能なゲインであり、これは ADC12 モジュールのリファレンス電圧と各センサがサポートする温度範囲という 2 つの要因に依存します。2.1V を最大 ADC12 リファレンス電圧として使用すると、20°C ~ 95°C の広い温度範囲をカバーするラジエータセンサに対して約 4 のゲイン ステージが達成されます。室温を想定した 20°C ~ 40°C の範囲の温度を想定した室温センサの場合、12 のゲインを達成できます。

2.1.1.3 セグメント LCD のサポート

TIDA-00848『GPIO ピンを使用したセグメント LCD 制御を備えたシングル チップ ヒートコスト アロケータのリファレンス デザイン』は、GPIO と TI の特許申請中のマルチプレクサ ネットワークを使用して、セグメント LCD ディスプレイの静電容量式タッチボタンによる操作を実装しています。

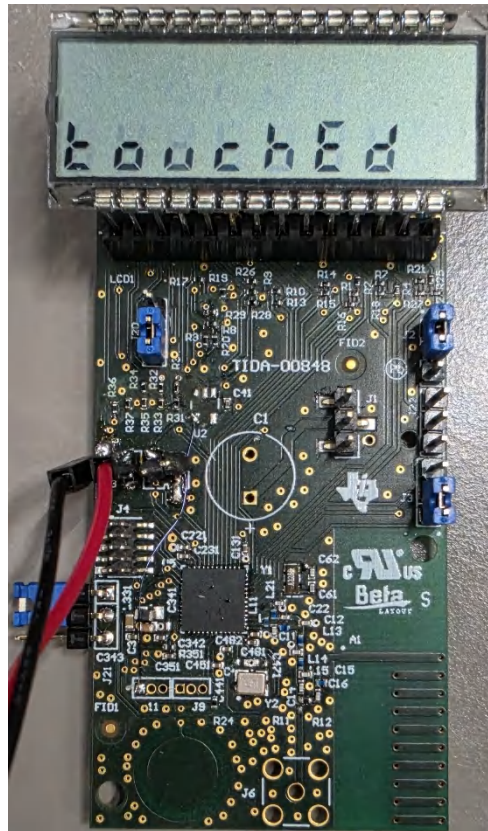


図 2-2. TIDA-00848 CC1312R/R7 とセグメント LCD ディスプレイを搭載したシングル チップ HCA

TIDA-00848 のファームウェア サンプルは、SCE モジュール用コードの開発に使用される Sensor Controller Studio ツールの LCD リソースを使用しているため、超低消費電力向けに最適化されています。消費電力は、セグメント LCD を取り付けた状態で SCE が LCD タイミングを実行している場合で 7.3 μ A、3.3V 時 (BTL002 4-MUX LCD ディスプレイで 28 セグメントがアクティブ) で 11.9 μ A です。

2.2 機械式水道メーター向けレトロフィット アドオン モジュール

この最終製品は、電子式のレトロフィット アドオン モジュールを追加することで、世界で今なお最も普及している機械式水道メーターをスマート化するための、迅速かつコスト効率の高い設計として使用されます。この電子アセンブリは、測定、Sub-1GHz ワイヤレス リンク、改ざん検出、および [セクション 2.1.1.1](#) と同一の IrDA 通信ポートの 4 つの主要サブシステムを統合しています。従来型の回転式水道メーターの機械式文字盤は依然として視認できるため、セグメント LCD ディスプレイは不要であり、温度測定も必要ありません。

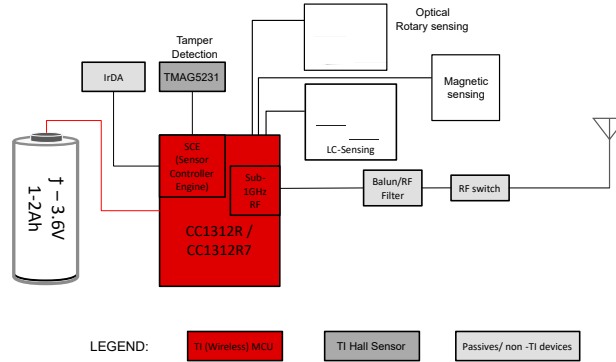


図 2-3. CC1312R / R7 を搭載した機械式水道メーター向け wM-Bus 対応レトロフィット アドオン モジュール

2.2.1 レトロフィット アドオン モジュールの主な機能

図 2-3 に示すブロック図はこれらのサブシステムを統合しており、すべて CRA 対応の CC1312R ワイヤレス マイコン上で動作するアプリケーション コードと Sub-1GHz ワイヤレス プロトコル (例: OMS wM-Bus v4.2.1 または v5.0.1) によって制御されます。

1. IrDA 半二重または全二重ポート
2. 外部バラン / RF フィルタおよびアンテナを備えた Sub-1GHz 無線 (単方向または双方向) (HCA と同様)
3. 改ざん検出 (機械式水道メーターからのレトロフィット アドオン モジュールの取り外し、またはユニット付近の強力な磁界の検出 – HCA と同一 / 非常に類似)
4. 回転運動の測定: 光学式、インダクティブ式、または磁気式のいずれか (流量測定サブシステム)

注

回転検出のための静電容量センシング設計も存在しますが、これらはあまり普及していないため、本書では取り上げません。

2.2.2 回転式流量測定の実装

超低消費電力に焦点を当て、半円形状の CC1312R を搭載した HW プロトタイプが内部で開発およびテストされました。通常、最高の RF 性能を得るには 4 層の PCB 設計が推奨され、これにより小さな半円領域におけるコンポーネントの配置や配線の柔軟性も向上します。

最も一般的なセンシング方法は光学式と誘導性です。これらについては以降のセクションで説明します。

2.2.2.1 光学式および磁気式の回転センシング

測定および IrDA 通信の両方のファームウェア コードは、両タスクがインターリーブされた状態で、2MHz モードの SCE モジュール上で動作します。流量測定は、12Hz で動作する次の手順でエミュレートされています。

1. 1μs のデュレーションで励起パルスを出力し、COMPA スレッシュホールドに対して受信信号を測定して結果 A を保存
2. 1μs のデュレーションで励起パルスを出力し、COMPA スレッシュホールドに対して受信信号を測定して結果 B を保存
3. 2 つの測定結果 A および B を使用してステート マシンの回転状態を更新し、流量測定用の回転数に変換

ここでの 1μs の励起パルスは、選択された測定方式に応じて、光学センシングとインダクティブ (LC) センシングの両方に使用できます。SCE ファームウェアにおけるステート マシンの実装は、LC センシングを採用した [TIDA-010050『AMR 用の超低消費電力の水流量測定のリファレンス デザイン』](#)に記載されている設計と同一です。

12Hz の測定は [図 2-4](#) の電力アナライザ キャプチャに示されており、各スパイクに各測定用の 2 つのパルスが含まれる形で、1 秒間に 12 回のスパイクが表示されています。2 つのより高いスパイクは、センサ コントローラ エンジン用の再充電パルスです (Delta T = 1s のマーカー 1 および 2 を参照)。

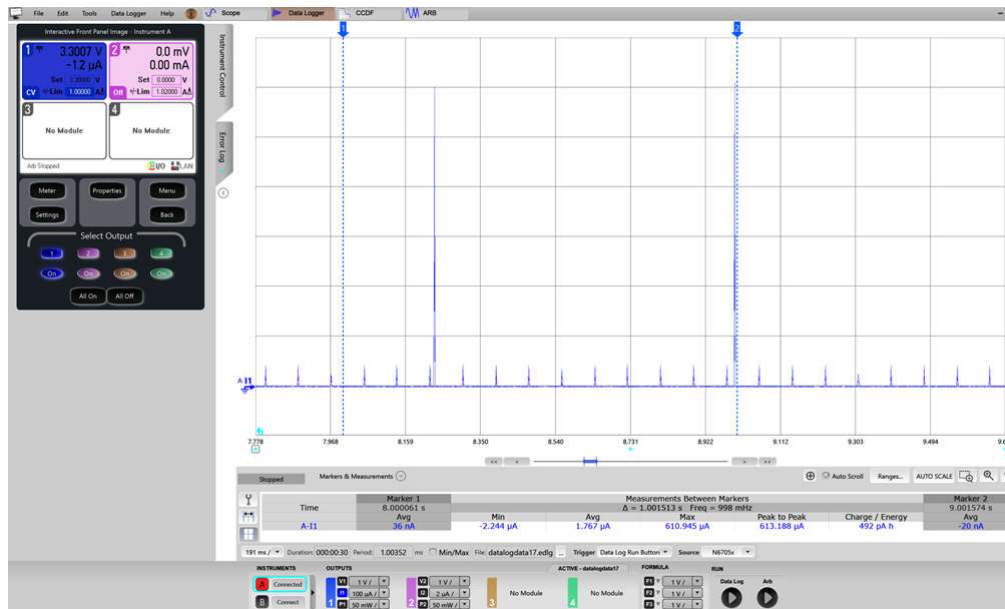


図 2-4. CC1312R を用いた 12Hz でのデュアル回転センサ励起

[図 2-4](#) における 1.8 μ A の平均消費電力は、光学式または磁気式センシング アプローチの消費電力を見積もるための優れた出発点となります。多くの機械式水道メーターで一般的に使用されている金属で半分覆われた回転ディスクからの反射光を検出する必要がある、2 つ (または必要に応じて 3 つ) の光学レーザをセンシングするには、追加の電力が必要となります。AMR、TMR、または GMR センサを使用した磁気センシングの場合、差動出力がコンパレータの 2 つの入力に供給され、使用されるマグネットの最大回転速度に応じて、希望のサンプリング周波数で結果がサンプリングされます。

2.2.2.2 インダクティブ式回転センシング

世界中で最も普及している回転式流量測定は、おそらく 2 つまたは 3 つの LC センサを活用するインダクティブ式 (LC 方式) であり、TIDA-010050『AMR 用の超低消費電力の水流測定のリファレンス デザイン』にドキュメント化されています。機械式メーターを通る水流を電子測定するためのこの超低消費電力設計は、レトロフィット アドオン モジュールまたはスマート回転式水道メーター向けのインダクティブ測定サブシステムに焦点を当てています。この非常にコンパクトなシングル チップの CC1312R ワイヤレス マイコン実装は、3.3V 電源で 16Hz において 2 つの LC センサをサンプリングしている間の消費電流が 1.8 μ A であり、インダクタと回転ディスクの間が最長 5.8mm の距離であっても正確な測定が可能です。

機械式メーターの内部にある回転ディスクは通常ガラスまたはプラスチックのカバーの背後にあり、レトロフィット アドオン モジュールもプラスチック管体の中にあるため、LC センサのインダクタはディスクから常に数ミリメートル離れています。一般的に 5mm から 6mm の範囲となるより長い検出距離に対応することは、あらゆる回転センシング方式にとって重要な要件です。

Figure 24. Power Consumption With Different Sampling Rates

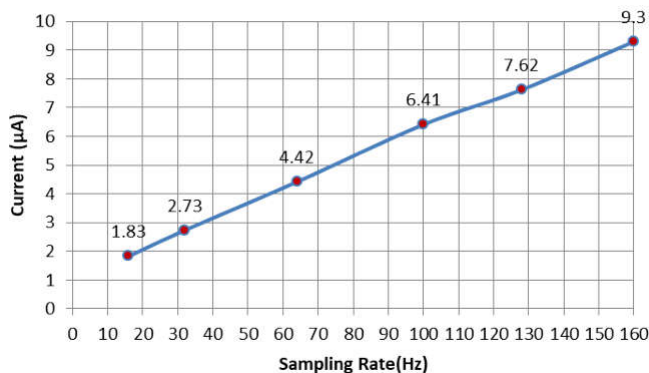


図 2-5. 2 LC センサのサンプリング レートと電力との関係

Figure 25. Results of Detection Distance Under Different Voltages With the Gemphil Inductor

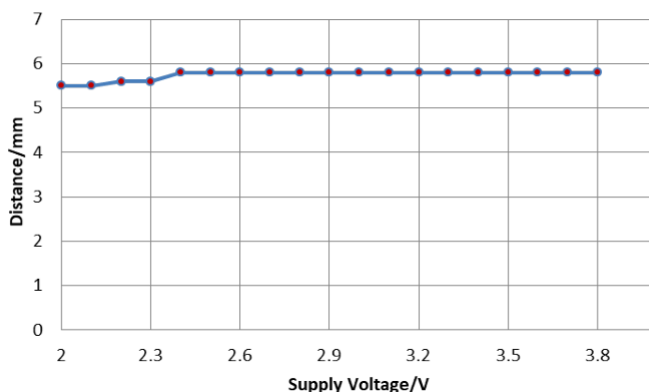


図 2-6. 半メッキ ディスクまでの距離 L

最大 3.2V の開路電圧で始まり、寿命終了時の典型的なカットオフ電圧が 2V となる LiMnO₂ プライマリ セルのサポートを確認するために、表 2-2 のデータが収集されました。

表 2-1. 2 LC センサを備えた TIDA-010050 回路の消費電力

電源電圧 (V)	2	2.1	2.2	2.5	3	3.3	3.5	3.8
電流 (µA)	4.5	4.6	4.8	4.3	4.4	4.4	4.5	4.8
電力 (µW)	9	9.7	10.5	10.7	13.3	14.6	15.9	18.2

2.2.3 IrDA ウェークアップ検出

レトロフィット アドオン モジュール用 CC1312R を搭載した TI 内部ハードウェア プロトタイプ向けに、サンプル コードが開発、テストされ、ダウンロード可能 (本アプリケーション ノート) となっています。IrDA ウェークアップ シーケンスのルーチンは、12 回のデュアル パルス流量測定ごとに実行され、サンプリング レートは 1Hz となります。ここでは "0xF0" バイトとして定義される IrDA ウェークアップ シーケンスを検出する必要があります。そのため、IR LED は 9600bps のレートで連続 7 回充放電され、IR 光が存在する場合、 $1 / 9600 = 104\mu\text{s}$ で放電タイムアウト後の電圧降下が大幅に大きくなります。この電圧降下を事前定義された COMPA リファレンス スレッショルドと比較チェックすることにより、IrDA の '0' ビットを確実に検出できます。図 2-7 において、これらは 0V の少し下まで下がるより大きなスパイクとなります。

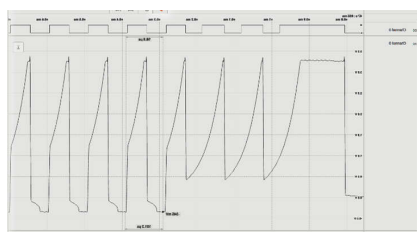


図 2-7. 5cm 離れた場所での IrDA 検出

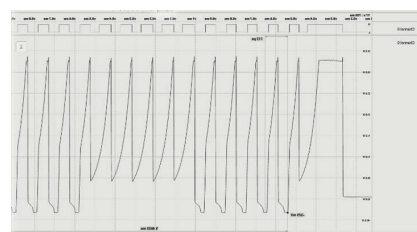


図 2-8. 10cm 離れた場所での IrDA 検出

'0' ビットが少なくとも 1 つ検出されると、センサ コントローラは誤起動を避けるために 9600bps で追加の 30 ビットをチェックし、その後少なくとも 5 つの '0' ビットが検出された場合、CC1312 のメイン マイコンが起動して IrDA プロトコルを処理します。通常の場合 (IR ライトが存在しない場合)、IrDA 検出により 12 回のイテレーションごとに約 904 μ s の実行時間が追加されます。IR ライトが存在する場合、ウェークアップする前にチェックされる 30 ビットが追加されているため、持続時間は約 4ms です。

測定および IrDA ウェークアップ検出チェック用の組み合わせた SCE コードの消費電力を表 2-2 に示します。

表 2-2. 12Hz デュアル センサ読み取りおよび IrDA ポーリングにおけるレトロフィット アドオン モジュールの消費電力

電力測定	平均消費電流 (μ A)
IrDA なしの流量測定	1.4
1Hz サンプリングの IrDA あり流量測定	1.6
0.5Hz サンプリングの IrDA あり流量測定	1.5

2.3 スマート回転式水道メーター

これらは、統合された Sub-1GHz 通信リンク、機械式文字盤を置き換えるセグメント LCD ディスプレイを備えた完全電子式デバイスであり、レトロフィット アドオン モジュールと同様の測定機能 (光学式、磁気式、またはインダクティブ式) を活用します。スマート水道メーターはまた、磁気改ざん検出および IrDA 通信リンクを統合しており、OMS wM-Bus、独自プロトコル、BLE など、複数の Sub-1GHz ワイヤレス プロトコルをサポートしている場合もあります。

これらのメーターは、回転ピストン式または容積式スマート水道メーターとも呼ばれ、計量室内で回転するピストンや点振ディスクなどの機械的回転素子を使用して水消費量を測定します。統合された測定サブシステムがディスクの回転を感じて流量測定をデジタル化し、スマート ゲートウェイまたはモバイル読み取りユニットへデータをワイヤレス送信します。

Smart Rotary Water Meter with wM-Bus and optional LoRa @ 868MHz

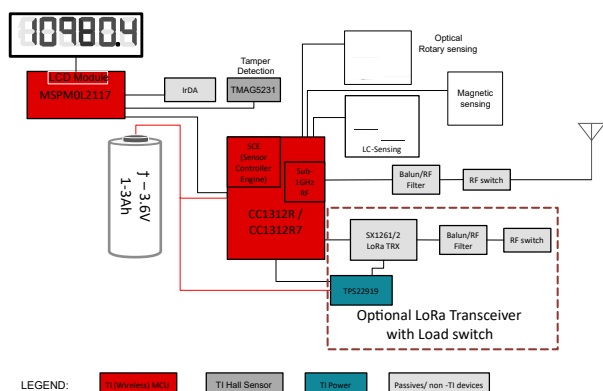


図 2-9. 2 マイコン

Single-chip Smart Rotary Water Meter with wM-Bus and optional LoRa @ 868MHz

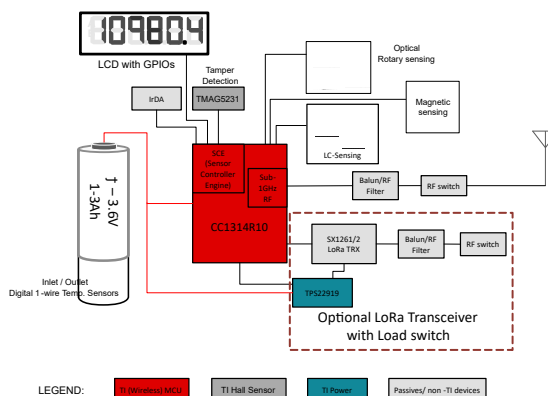


図 2-10. wM-Bus v5.0.1 およびオプションの独自 WAN を備えたシングル チップのスマート回転式水道メーター

2.3.1 水道メーターの主な機能

図 2-10 に示す回転式スマート水道メーターのブロック図は複数のサブシステムで構成されており、すべて CRA 対応の CC1312R または CC1314R10 ワイヤレス マイコン上で動作するアプリケーション コードと Sub-1GHz ワイヤレス プロトコル (例: OMS wM-Bus v4.2.1 または v5.0.1) によって制御されます。

1. IrDA 半二重または全二重ポート
2. 外部バラン / RF フィルタおよびアンテナを備えた Sub-1GHz 無線 (単方向または双方向)
3. SCE ファームウェアが制御する、セグメント LCD ディスプレイ (LCD 起動ボタンあり)
4. TMAG5231 を使用した改ざん検出 (例: ラジエータからの HCA 除去)

左側には LCD 常時オンのための 2 マイコン アプローチが示されており、ここでは MSPM0L2117 が LCD ドライバとして使用され、IrDA ポートや改ざん検出機能も処理できるため、CC1312R デバイスの負荷を軽減します。

GPIO によるセグメント LCD を使用する場合は、右側の 2 番目のブロック図が適用され、CC1314R10 が IrDA ポートおよび磁気改ざん機能に加えて、すべての LCD 制御 GPIO を実行します。この設計は、LCD ディスプレイが通常はオフになっており、ボタン操作でユーザーによってのみ有効になる水道メーターに適しています。

オプションとして、CC1314R10 のオンチップ 1MB フラッシュ容量ではシステム要件を満たせない稀なケースに備え、履歴ログ データやバックアップ ファームウェア イメージを保存するため、TPS22919 ロード スイッチから給電される外部 SPI フラッシュ デバイス (図未掲載) を SPI バスに追加できます。

もう 1 つのオプション デバイスは SEMTECH 製のトランシーバ SX1261 または SX1262 であり、一部の市場で使用される可能性のある独自の長距離 Sub-1GHz プロトコル LoRa WAN を可能にします。LoRa WAN ソフトウェア スタックは、296KB の SRAM メモリを備えた CC1314R10 デバイス上で動作し、wM-Bus および独自の長距離プロトコルのデュアル スタック サポートを可能にします。SX126x と SPI フラッシュ デバイスは両方とも BOM の実装オプションであり、不要な場合は単に除外できるため、単一の PCB 設計で異なる市場にわたる複数の構成をカバーする柔軟なシステム設計を提供します。

水道メーター向けに CC1312R/R7 ではなく CC1314R10 を選択する理由は、セグメント LCD 機能のために必要となる GPIO 数が多いためです。水道メーターのディスプレイには通常 80 ~ 120 セグメントがあるため、46 本の GPIO を備えた VQFN64 8mm × 8mm RSK パッケージにより、LCD 制御用の十分な GPIO が確保されます。TIDA-011020 は、30 本の GPIO ピンを使用して 96 セグメント 4 マルチプレクサ LCD ディスプレイを駆動します。測定、改ざん検出、および IrDA 通信機能を処理するには、残りの 16 本の GPIO が不可欠となります。

省電力のため、シャットダウン電流 ISD が 2nA (標準値) のロード スイッチ TPS22919 が追加されており、これらの機能を使用した場合のみ SX126x および SPI フラッシュ デバイスに電力を供給できます。それ以外の場合はロード スイッチによって電力が供給されます。独自の長距離無線も SPI フラッシュも必要ない場合は、TPS22919 を実装しておくこともできます。

2.3.2 CapTouch 起動付きセグメント LCD

図 2-11 および 図 2-12 における GPIO を使用した TI の特許申請中のマルチプレクサ LCD 制御は、TI LaunchPad™ 用 BoosterPack™ 評価ボードとして TIDA-011020 に実装されています。

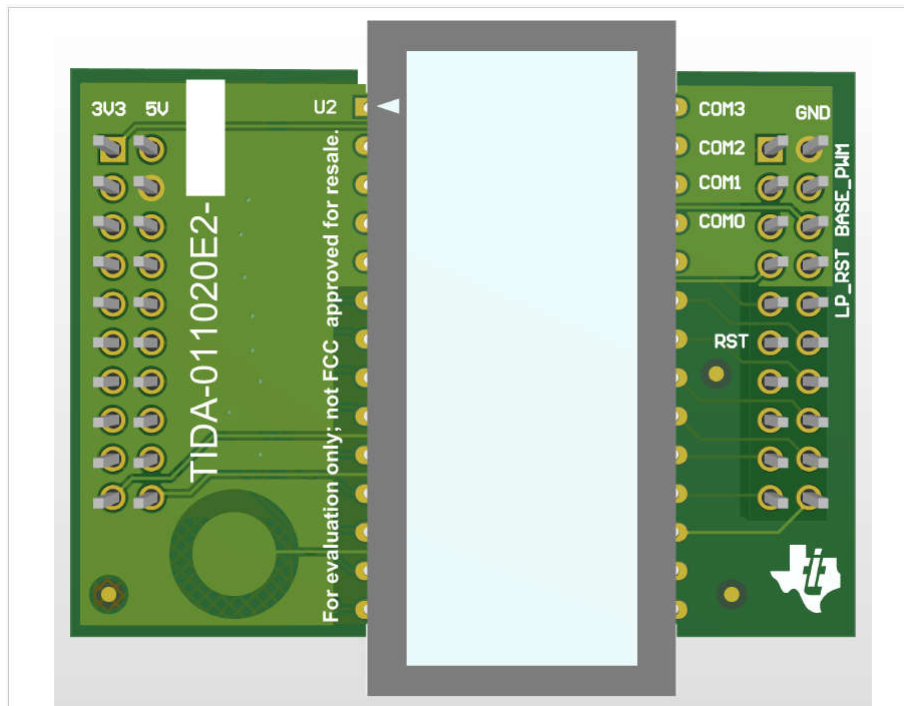


図 2-11. BoosterPack 設計としての TI の特許申請中のマルチプレクサ LCD TIDA-011020

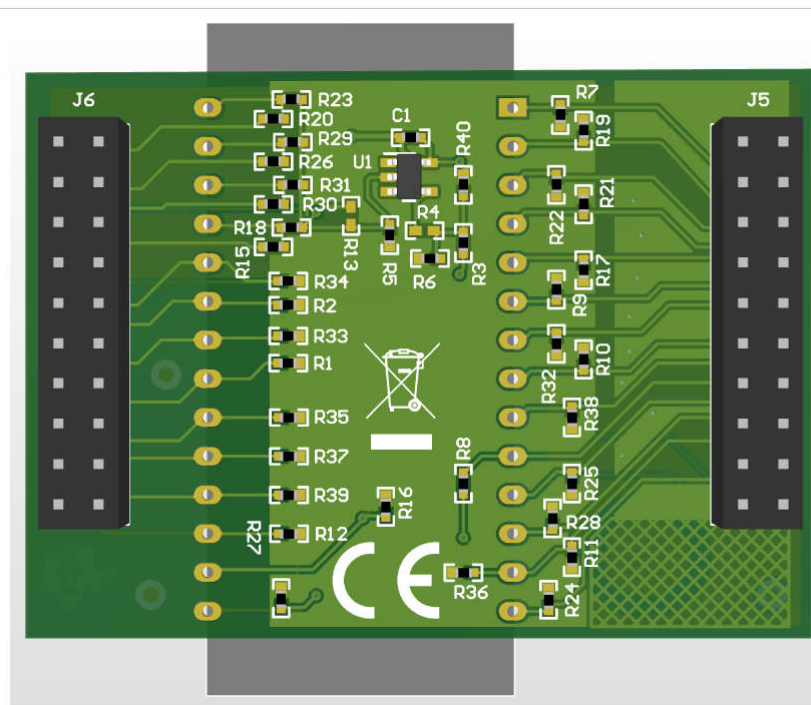


図 2-12. TIDA-011020 底面図

これは [TIDA-00848](#) シングル チップ HCA リファレンス デザインと同じ設計であり、GPIO と TI の特許申請中のマルチプレクサ ネットワークによって制御され、超低消費電力に最適化されたセグメント LCD ディスプレイの CapTouch 起動も使用しています。LCD 制御用の SCE コードは、CC1312R LPAD 用の CCS サンプルと組み合わせて、本アプリケーション ノートのソフトウェア パッケージで提供されています。

注

このマルチプレクサ抵抗ネットワークを使用してセグメント LCD ディスプレイを駆動するための TI の特許申請中の設計は、MSPM0+、MSPM33、C2000™、CC13xx、CC26xx および CC27xx ファミリー他などのテキサス・インスツルメンツの有線またはワイヤレス マイコン製品との組み合わせでのみ、無料で使用できます。

SCE コードは 1 秒ごと (1 秒周期は調整可能) に CapTouch 領域をポーリングし、タッチ イベントが検出されると、事前定義された 5 秒のタイムアウト (調整可能な周期) が経過するまでセグメント LCD が起動します。その後、次のタッチ イベントが検出されるまで、電力節約のために LCD は無効になります。実際のユースケース分析によると、LCD の総アクティブ時間はスマート メーター デバイスの寿命の 1% 以下になる可能性があり、これにより常時オンの LCD 設計と比較して大幅な電力を節約できます。

ユーザーの要求に応じて短時間 LCD 動作を有効にできるすべてのメーターおよびサブメータリング デバイスには、この TI 特許申請済みの設計を推奨します。SCE とオープンソースコードのサンプルを使用した SW と HW の実装の詳細については、TIDA-00848 リファレンス デザインを参照してください。

2.3.3 TMAG5231 による改ざん検出

TMAG5231 は、コスト低減が重要なアプリケーションで使用される TMR、AMR、リード スイッチに置き換わるように設計された、同一面内ホール エフェクト スイッチです。センサの感度軸に印加されている磁束密度が動作点スレッショルド (BOP) を超えると、デバイスは Low 電圧を出力します。磁束密度が解放点スレッショルド (BRP) を下回るまで、出力は Low 電圧のまま維持され、その後は High 電圧が出力されます。消費電力を最小限に抑えるため、TMAG5233 デバイスバージョンは内部的に 5Hz のデューティ サイクルを行い、平均消費電力はわずか 0.55μA です。32μs の高速な起動時間と 2.6mA の最大消費電流により、TMAG5233 電源ピンには CC1314R10 の中強度対応の GPIO ピンを使用して電力を供給でき、さらにデューティ サイクルを変更して実効サンプリング レートを 1Hz 以下に低減できます。したがって、TMAG5233 センサへの電力供給と読み出しには 2 つの GPIO が必要です。この設計は、内部レトロフィット アドオン設計で実装およびテスト済みで、IrDA 通信、12Hz 測定サンプリング レートも備えています。TMAG5233 出力信号の電源オンとチェックを行うための SCE サンプル コードは、オープンソースコード サンプルに記載されています。

2.3.4 OMS 準拠の wM-Bus 通信サブシステム

868MHz 帯で広く使用されている OMS wM-Bus プロトコル、あるいはイタリアやフランスで人気のある 169MHz のいわゆる N モードのみを実装する場合、CC1312R/R7 および CC1314R10 がそれをオンチップで処理します。独自の長距離ユースケースの場合のみ、SX1262 トランシーバを使用することができ、デュアル プロトコル スタックは TI の CC1312R/R7 または CC1314R10 ワイヤレス マイコン上で動作します。

デュアルバンドの Sub-1GHz および 2.4GHz デバイスである CC1352R/CC1352P および CC1354R10/CC1354P10 は、2.4GHz 帯のプロトコル (Matter や BLE など) を実行する追加機能を提供します。これらのプロトコルは、近距離カバレッジであるため、スマートフォンやタブレットを使用した設置および設定用のベンダ ツールの実装向けに設計されています。

2.4 熱量計 (熱量 / 冷却量)

スマート回転式熱量計は、統合された **Sub-1GHz** 通信リンク、セグメント **LCD** ディスプレイ、および回転測定機能を備えた完全電子式デバイスです。これらは磁気改ざん検出や **IrDA** 通信も備えており、端的に言えば、熱量計は水道メーターの上位互換であり、**PT100**、**PT500**、**PT1000** とも呼ばれる 2 つ、3 つ、または 4 つの **RTD** 素子の高精度温度測定という、1 つの新しい主要機能を追加しています。

2.4.1 熱量計の主な機能

図 2-13 に示す回転式スマート熱量計のブロック図は複数のサブシステムで構成されており、すべて CRA 対応の CC1314R10 ワイヤレス マイコン上で動作するアプリケーション コードと Sub-1GHz ワイヤレス プロトコル (例:wM-Bus v4.2.1 または v5.0.1) によって制御されます。

1. IrDA 半二重または全二重ポートの SCE ファームウェア
2. 外部バラン / RF フィルタおよびアンテナを備えた Sub-1GHz 無線 (単方向または双方向)
3. SCE ファームウェアが制御する、セグメント LCD ディスプレイ (LCD 起動用ボタンあり)
4. TMAG5231 を使用した改ざん検出 (例: ラジエータからの HCA 除去)
5. 高精度の温度測定 (アナログまたはデジタル)

Smart Rotary Thermal Meter with wM-Bus and optional LoRa @ 868MHz

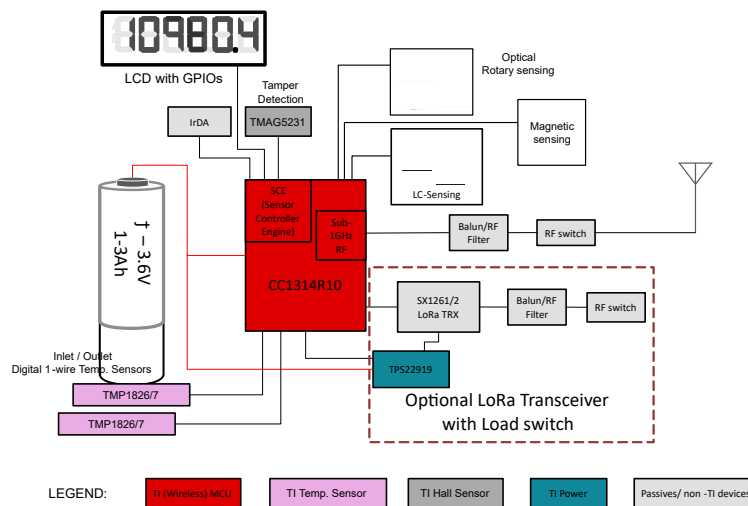


図 2-13. CC1314R10 およびデジタル 1 線式温度センサを搭載したスマート回転式熱量計

熱量計向けの温度設計には、HCA の 2 センサ測定と比較してはるかに高い分解能と精度を持つ差温測定 (DTM) サブシステムが必要です。

2.4.2 DTM 用アナログシグナル チェーン

通常、熱量計や熱計算機における EN1434-5:2014 RTD センサ ペア温度測定サブシステムへの準拠を達成するために、[ADS122U04](#) のような 24 ビット デルタシグマ アナログ コンバータが使用されます。熱量計における DTM のこの伝統的なアプローチは、標準的な PT100、PT500、PT1000 素子をサポートしているため、『[TIDA-01526 温冷水メーター向け高精度温度測定](#)』に記載されています。

このような RTD 測定は、回転式 **MSP430FR6989 EVM** および超音波式 **MSP430FR6043 EVM** の両方で良好に動作し、熱量計に必須となる **EN1434** のすべての要件を満たします。この設計の欠点は、高精度 ADC デバイスを追加することにより、微調整およびキャリブレーションされたアナログ シグナル チェーンの複雑さが増す点です。

2.4.3 DTM 向けの注目すべき完全デジタル設計

2019 年、TI はパートナーの JUMO GmbH & Co. KG とともに『TIDA-010002: 白金 RTD センサのデジタル温度センサへの置き換え』を発表しました。これは熱量計の高精度温度サブシステム向けの完全デジタル設計アプローチです。

48 ビット EEPROM を備えた 0.1°C 精度デジタル温度センサの **TMP117** は、PT100/PT1000 RTD に代わることを目的としています。-55°C ~ 150°C の範囲で IEC/EN 60751-2008 Class A 精度を満たすためのキャリブレーションが不要で、Class AA 精度を達成するためにも単一点のキャリブレーションのみを必要とします。この革新的な技術設計は、**TMP117** に内蔵された高精度 ADC コアと独自のキャリブレーション技術を活用し、高精度リファレンス、配線長の調整、複雑なアルゴリズム、製造時の複数のキャリブレーション工程など、RTD の複雑さの多くを排除することで設計工数を削減します。

2.4.3.1 熱量計向け I2C および SMBus 互換デジタル センサ

TIDA-010002 は、現在利用可能な事実上すべての有線およびワイヤレス マイコンでサポートされているため、I2C デジタル インターフェイスを使用しています。I2C プロトコル設計の欠点は、RTD 置き換え用温度センサごとに 4 本の配線が必要となり、それが流入側と流出側の 2 つの流路でそれぞれ必要となる点です。通常、家庭用熱量計には 2 つの 2 線式 RTD プローブが必要であり、これらはデバイスに固着されていて交換できません。4 線式構成は、**TMP117** によって複雑なアナログ チェーン設計を排除することで得られるコスト削減の大部分を相殺してしまい、銅線 2 本のみによる次世代ソリューションの必要性を高めました。

2.4.3.2 熱量計向け 1 線式互換デジタル センサ

高精度の **TMP117** デバイスをベースに、1-Wire® プロトコル互換の $\pm 0.2^\circ\text{C}$ デジタル内蔵温度センサ **TMP1826** が開発されました。1-Wire® プロトコルを使用することにより、一般的な 2 線式 RTD100/500/1000 センサの代替として 2 線式デジタル温度センサの実装が可能になります。アナログ RTD 素子と **TMP1826 1-Wire™** 温度センサの見た目は同じですが、これらはピン互換ではないことに注意することが重要です。従来型のアナログ出力素子は、内部の PT 素子にかかる電圧降下を **ADS1220** などの高精度 ADC を用いて測定するために、プログラマブル電流源による励起を必要とします。このデジタル センサは、マイコンのコアに接続するためのシンプルなデジタル 1 線式プロトコルであり、1 本のデータラインと 1 本のグラウンドラインを使用しています。

TMP1826 と、SHA-256 認証機能を内蔵したピン互換の **TMP1827** によって、テキサス・インスツルメンツは温度計のキャリブレーションの製造フローを大幅に簡素化し、システム コストを大幅に削減できます。

表 2-3. 標準的な RTD と 1 線式デジタル温度センサの比較

	RTD	TMP1826/7 1 線式
合計ワイヤ数	2	2
推奨最大長さ	10m	300m
アナログ シグナル チェーン ガイド	あり	なし (TMP1826/7 内)
必要となるプログラマブルな電流源回路	あり	なし
高精度のリファレンス抵抗	あり	なし
レイアウトの複雑さ	高マッチングのパターンとケルビン接続	なし (デジタル インターフェイス)
キャリブレーション ポイント	3	1
ベンダ情報 (センサごと)	不可能	2kbit EEPROM
NIST トレース可能	不可能	あり (工場出荷時にプログラム済み)

2.5 流量計における Bluetooth® Low Energy (BLE)

デュアルバンドの CC2652 と CC2654 ワイヤレス マイコンは、2.4GHz ISM 無線帯域に対する追加サポートを提供しており、Sub-1GHz と 2.4GHz ISM の両方の帯域で時間多重化通信を処理できます。デュアルバンド無線サブシステムでは、すべての主要なプロトコル、6LoWPAN、Amazon Sidewalk、Bluetooth Low Energy (BLE)、IEEE 802.15.4、MIOTY™、Matter、独自仕様独自の 2.4GHz、Thread、Wi-SUN、OMS ワイヤレス M-Bus v5.0.1、Zigbee がサポートされています。

2.4GHz 帯域は、モバイル アプリケーションを使用してスマートフォンまたはタブレット デバイスで動作する BLE インストールおよび構成ツールのイネーブラとして特に役立ちます。BLE プロトコルは今日のモバイル デバイスのほぼ 100% でサポートされており、高いデータレート、双方向性、およびエンド ユーザーやメーター ベンダにとっての使いやすさにより、伝統的に IrDA 通信プロトコルに依存していた従来設計からの大きな改善をもたらします。

2.6 スマート流量計およびヒート コスト アロケータに対する CRA の影響

[European Cyber Resilience Act \(CRA, Regulation EU 2024/2847\)](#) は、EU 市場に出荷されるデジタル要素を持つすべての製品に対して義務的なサイバーセキュリティ要件を定める EU 全域の規制です。2024 年 12 月 10 日に発効し、2027 年 12 月 11 日から完全適用されます。この規制は、デジタル データを処理するハードウェアまたはソフトウェア製品、別のデバイスやネットワークへの接続が意図されているか、合理的に予想されるハードウェアまたはソフトウェア製品を対象としています。この定義には、現代のすべてのスマート流量計およびヒート コスト アロケータが含まれます。

CRA の基本原則は、市場に出荷される完成品全体に適用されるという点です。テキサス・インスツルメンツは、EU 市場で販売するために自社デバイス (ワイヤレス マイコンなど) の認証を追求していますが、完成品がシステムとして該当するすべての CRA 要件を満たしていることを検証し、それに応じて CE マーキングを表示する責任を負うのはメーター ベンダです。CRA 認証を受けた半導体製品であっても、完成品であるメーター製品に自動的に CRA 適合性が付与されるわけではありません。

CRA は、デジタル要素を持つ製品を 4 つのカテゴリに分類し、段階的に厳格な適合性評価の義務を課しています。

Default	•Products in scope: All products with digital elements not listed as important class I, II or critical products (e.g. Smart speakers) •Certification: Module A – Internal control procedure
Important I	•Products in scope: Physical and virtual network interfaces – <i>Meters</i>; Smart home products with security functionalities, including smart door locks, security cameras, and alarm systems; Personal wearable products to be worn or placed on a human body that have a health monitoring (such as tracking) purpose •Certification: Module A – Internal control procedure
Important II	•Products in scope: Hypervisors and container runtime systems that support virtualised execution of operating systems and similar environments. Firewalls, intrusion detection and prevention systems. •Certification: Module B + C – EU-type examination procedure
Critical	•Products in scope: Smart meter gateways electricity, gas, heat metering. Hardware Devices with Security Boxes •Certification: Module B + C – EU-type examination procedure

図 2-14. CRA の製品カテゴリ

メーター類は「重要 I (Important I)」カテゴリに記載されています。これには、スマート水道メーター、熱量計、および既存の追加モジュールが含まれます。ヒート コスト アロケータは CRA に基づく製品として明示的に記載されていませんが、スマート流量計とまったく同様にユーザー データを収集してゲートウェイに送信するため、「重要クラス I」デバイスに分類される可能性が高く、該当する整合規格を適用した最低限の適合自己宣言が必要となります。

CRA の主要な要件は、法律の附属書 I に必須サイバーセキュリティ要件として規定されています。これらには、開発プロセスおよびライフサイクルの要件が含まれます。

1. 開発要件:

- **デフォルトおよび設計段階からのセキュリティ:** セキュリティ機能は、オプションの追加機能ではなく、デフォルトの製品構成で有効になっている必要があります。市場投入時点で悪用可能な既知の脆弱性があることはありません。
- **技術資料:** ソフトウェア部品表 (SBOM)、脅威およびリスク評価 (TARA)、テストレポート、およびサポート期間中維持されるセキュリティ アップデート ポリシーを含む技術ファイル。
- **セキュリティ イベント ロギング:** 製品はセキュリティ関連のイベントを記録し、適切なアクションを実行する必要があります。

2. ライフ サイクル要件:

- **脆弱性処理プロセス:** OEM は、発見された脆弱性を報告できるポータルを提供する必要があります。これらは処理される必要があり、確認された場合は定義された対応タイムライン内 (24 時間以内の受領確認、重要度に応じて 30 日、60 日、または 90 日以内のパッチ適用、および重大な脆弱性に対する ENISA への通知) で開示される必要があります。
- **市販後調査レポート:** OEM は、宣言されたサポート期間を通じて、導入済み製品の新しい脆弱性をアクティブに監視し、セキュリティ アップデートを発行する必要があります。これらのセキュリティ アップデートには、導入済みデバイスに対する Over-the-Air (OTA) アップデートが必要となる場合があります。

2.6.1 周到なシステム設計による CRA 適合性の達成

HCA およびスマート流量計における CRA 適合性には、ハードウェアの信頼の基元 (Root of Trust) と、設計から市場投入後の脆弱性処理に至る製品ライフサイクル全体の双方に対応するセキュリティアーキテクチャが必要です。HCA およびスマート流量計のメーカーが活用できる中心的な設計上の主張は、密閉され改ざん監視されたハウジングが物理セキュリティ境界を定義するという点です。デバイスが検証済みブート プロセスを適用し、ワイヤレスリンクが認証および暗号化された通信を使用している限り、筐体内のすべてのコンポーネントは信頼された環境内で動作します。

2.6.1.1 物理セキュリティの根拠としての改ざん検出

スマート流量計および HCA は、エンド ユーザーがアクセス可能な現場配置型デバイスであるため、CRA は不正な物理アクセスに対する保護を要求しています。[セクション 2.3.3](#) に記載されているように、TMAG5231 ホール エフェクト センサは、ヒーターからのデバイス取り外しや強力な外部磁界への露出を監視することによる改ざん検出を実装します。改ざんが検出されると、CC1312R ワイヤレス マイコンはタイムスタンプ付きでイベントを記録し、ワイヤレスリンク経由でアラームを発生させ、オプションで機密データを消去できます。

このメカニズムは、CRA 附属書 I の 2 つの要件 (不正アクセスからの保護の提供、およびセキュリティ関連イベントの記録と監視の有効化) を同時に満たします。また、このメカニズムは内部アーキテクチャのコンプライアンスに関する根拠を補強します。物理的ハウジング境界へのいかなる侵害も検出、記録可能なイベントを引き起こすため、内部コンポーネント (マイコン、ファームウェア、暗号鍵、測定データ) は監視されたトラスト境界内で動作しているものとして扱うことができます。

2.6.1.2 セキュアなキー ストレージ

保護ハウジングに関する上記の主張を活用して、筐体内部のデバイスに保存されている鍵は安全であると主張できます。侵害が検出された場合は、ネットワークへの不正アクセスを防ぐために暗号鍵を消去する必要があります。ソフトウェアの特定のパートが暗号鍵にアクセスするのを防ぐためにさらなるアプリケーション分離が必要な場合は、CC1314 および CC1354 の Trust Zone 機能を使用できます。

2.6.1.3 セキュア ブート

HCA およびスマート流量計の設計に関連するすべての CC1312 デバイスは、セキュア ブートをサポートしています。前世代の CC1310 デバイスは Boot Image Manager (BIM) を使用しますが、すべての新しいデバイスは MCUBoot を使用し、実行を許可する前に各ファームウェア イメージのデジタル署名を検証します。これにより不正または破損したファームウェア イメージの実行が防がれ、適切なレベルのサイバーセキュリティに関する CRA 要件を直接満たします。

追加の側面は、ブート中におけるシステム全体のセキュリティです。製品を保護する改ざん検出機能が、物理アクセスを保護するためにアクティブになっていないという議論があり得ます。これは、信頼できる人物のみがデバイスをインストールして起動することを保証する明確なセキュリティ ガイドラインによって緩和できます。その後、デバイスへの不正な物理アクセスが発生した場合には、改ざん検出を使用して必要な手順をトリガできます。

2.6.1.4 認証済み wM-Bus 通信

OMS wM-Bus v4.5.1 は、セキュリティ プロファイル A または B (暗号化モード 5 と 7) をサポートしています。これらは、すべてのワイヤレス データ フレームで AES-128 認証済み暗号化を実現し、盗聴や操作から転送中のメータリング データを保護します。これは、製品によって送信されるデータ、コマンド、およびプログラムの機密性と整合性に関する CRA 要件に直接適合します。CC1312 と CC1314 の各ワイヤレス マイコンの暗号化アクセラレータを使用すると、暗号化を効率的に実行できます。

2.6.1.5 Over-the-Air Download (OAD) によるセキュアなファームウェア アップデート

CRA は、すでに現場にある製品にセキュリティ パッチを適用できるようにすることを義務付けています。CC1312R7 および CC1314R10 は MCUBoot 経由のオンチップ OTA をサポートしており、デバイスへの物理的なアクセスを必要とせずに、新しいファームウェア イメージを Sub-1GHz 無線リンク経由で受信し、暗号検証を行って適用します。これは、CRA の脆弱性修復タイムライン要件を満たすための主要なメカニズムです。CC1312R はオフチップ OAD をサポートしており、検証と適用を行う前に外部 SPI フラッシュに新しいイメージをステージングします。いかなる場合においても、未認証のファームウェア イメージがインストールされるのを防ぐため、OTA イメージ転送は AES-128 で暗号化し、ECDSA または CMAC で認証する必要があります。

2.6.1.6 セキュリティ イベント ログ

CC1312 および CC1314 の SDK は TI Logger ドライバを提供し、タイムスタンプ付きでセキュリティに関連するイベント (改ざんアラート、認証失敗の試み、OAD 操作、インターフェイスのロック状態の変更など) を記録します。これらのログは、セキュリティ関連イベントを記録および監視するという CRA の要件を満たし、OEM に求められる市場投入後監視のエビデンスの一部を構成します。

3 まとめ

TI のシングル チップ [CC1312R](#)、[CC1312R7](#)、および [CC1314R10](#) ワイヤレス マイコンは、オンチップで OMS wM-Bus プロトコル スタックのサポートを提供し、オプションでオフチップトランシーバ用の独自の長距離プロトコル スタックを実行します。広範なセキュリティ機能と暗号アクセラレータを備えた [CC1312R](#)、[CC1312R7](#)、および [CC1314R10](#) ワイヤレス マイコンは、スマート回転式水道メーター、熱量計、およびヒートコスト アロケータ向けに最適化されたハードウェア開発 プラットフォームを提供し、厳格な EU CRA 要件に対応できます。

次の 3 つの主な機能により、スマート回転式水道メーターおよび熱量計、レトロフィット アドオン モジュール、HCA 向けの 費用対効果の高いシステム設計が可能になります。

1. 最新の EU 規制に対応する CRA レディ
2. +105°C までの全温度範囲における超低消費電力
3. GPIO を用いた TI 特許申請中のセグメント LCD 駆動機能を備えた高統合設計 (LCD)。

これらハイライトされた 3 つの機能を、SCE モジュール内の超低消費電力 [回転検出測定機能](#)と組み合わせることで、TI の SimpleLink Arm Cortex [CC1312R/R7](#) および [CC1314R10](#) ワイヤレス マイコンは、世界中で急速に成長しているスマート流量計およびヒートコスト アロケータ市場向けに、費用対効果が高くコンパクトなサイズの設計を可能にします。

提示されたシステム設計は、シングル チップのスマート [熱量計](#)および機械式水道メーター向けのレトロフィット アドオン [wM-Bus](#) 対応無線モジュールにも対応しています。これらのすべての最終製品タイプが分析され、非常に小さな PCB フットプリントを持つ各タイプに最適化された HW アーキテクチャが提示されています。

LC センシング、磁気改ざん検出、GPIO によるセグメント LCD 駆動機能、および IrDA 通信のためのファームウェア オープンソース コード実装がテストされており、各機能の超低消費電力サンプルが[こちら](#)で提供されています。

4 参考資料

1. Google、『[マルチプレクサ LCD 変調器](#)』、Web ページ。
2. テキサス・インスツルメンツ、『[TIDA-010050:AMR 向け、超低消費電力、水流量測定のリファレンス デザイン](#)』リファレンス デザイン。
3. テキサス・インスツルメンツ、『[TIDA-01012:シングル双方向赤外線 LED 通信ポートのリファレンス デザイン](#)』、リファレンス デザイン。
4. テキサス インスツルメンツ、『[TIDA-00848:システムのフレキシビリティ向上のために GPIO ピンを使用するセグメント LCD 制御のリファレンス デザイン](#)』、リファレンス デザイン。
5. テキサス・インスツルメンツ、『[TIDA-010002:白金 RTD センサの代替となるデジタル温度センサのリファレンス デザイン](#)』、リファレンス デザイン。
6. テキサス・インスツルメンツ、『[TIDA-01526:温冷水メーター用の高精度温度測定のリファレンス デザイン](#)』、リファレンス デザイン。
7. テキサス・インスツルメンツ、『[CC1312R:352kB フラッシュ搭載、SimpleLink™ 32 ビット Arm Cortex-M4F Sub-1GHz ワイヤレス マイコン](#)』、製品ページ。
8. テキサス・インスツルメンツ、『[CC1312R7:704kB フラッシュ搭載、SimpleLink™ Arm® Cortex®-M4F マルチプロトコル Sub-1GHz ワイヤレス マイコン](#)』、製品ページ。
9. テキサス・インスツルメンツ、『[CC1314R10:1MB フラッシュと最大 296kB SRAM 搭載、SimpleLink™ Arm® Cortex®-M33 Sub-1GHz ワイヤレス マイコン](#)』、製品ページ。
10. テキサス・インスツルメンツ、『[TMP1827:1-Wire® プロトコルに対応可能な統合型 \$\pm 0.2^{\circ}\text{C}\$ 温度センサを搭載、SHA-256 認証器と 2Kbit EEPROM](#)』、製品ページ。

重要なお知らせと免責事項

TI は、技術データと信頼性データ (データシートを含みます)、設計リソース (リファレンス デザインを含みます)、アプリケーションや設計に関する各種アドバイス、Web ツール、安全性情報、その他のリソースを、欠陥が存在する可能性のある「現状のまま」提供しており、商品性および特定目的に対する適合性の黙示保証、第三者の知的財産権の非侵害保証を含みいかなる保証も、明示的または黙示的にかかわらず拒否します。

これらのリソースは、TI 製品を使用する設計の経験を積んだ開発者への提供を意図したものです。(1) お客様のアプリケーションに適した TI 製品の選定、(2) お客様のアプリケーションの設計、検証、試験、(3) お客様のアプリケーションに該当する各種規格や、その他のあらゆる安全性、セキュリティ、規制、または他の要件への確実な適合に関する責任を、お客様のみが単独で負うものとし、TI は一切の責任を拒否します。

上記の各種リソースは、予告なく変更される可能性があります。これらのリソースは、リソースで説明されている TI 製品を使用するアプリケーションの開発の目的でのみ、TI はその使用をお客様に許諾します。これらのリソースに関して、他の目的で複製することや掲載することは禁止されています。TI や第三者の知的財産権のライセンスが付与されている訳ではありません。お客様は、これらのリソースを自身で使用した結果発生するあらゆる申し立て、損害、費用、損失、責任について、TI およびその代理人を完全に補償するものとし、TI は一切の責任を拒否します。

TI の製品は、[TI の販売条件](#)、[TI の総合的な品質ガイドライン](#)、[ti.com](https://www.ti.com) または TI 製品などに関連して提供される他の適用条件に従い提供されます。TI がこれらのリソースを提供することは、適用される TI の保証または他の保証の放棄の拡大や変更を意味するものではありません。TI がカスタム、またはカスタマー仕様として明示的に指定していない限り、TI の製品は標準的なカタログに掲載される汎用機器です。

お客様がいかなる追加条項または代替条項を提案する場合も、TI はそれらに異議を唱え、拒否します。

Copyright © 2026, Texas Instruments Incorporated

最終更新日：2025 年 10 月