

ワイヤレス IoT の電源ソリューション

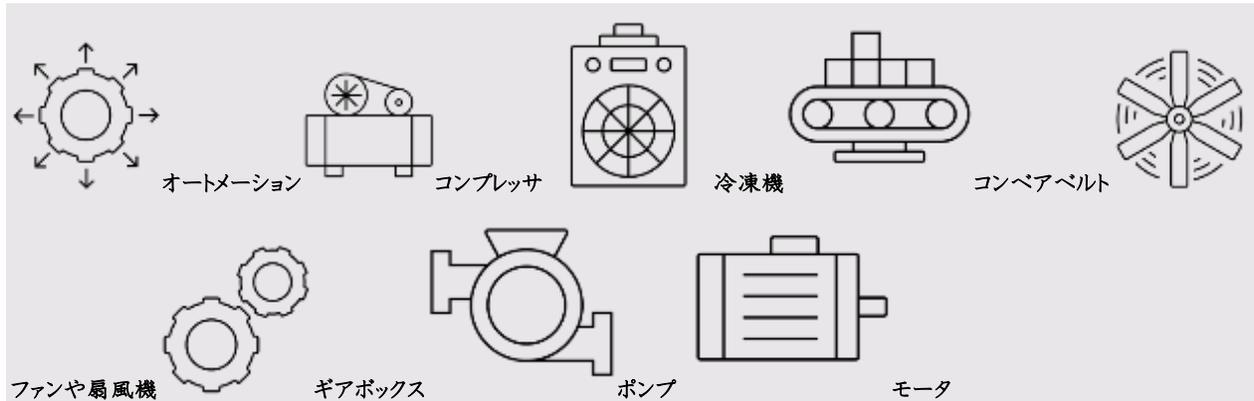
IoT の理解

モノのインターネット(Internet of Things)は、今最も有望な技術革新の一つであり 2025 年までに約 1.6 兆ドルの市場規模に成長すると予測されています。IoT のコンセプトは何十億もの「モノ」(コンピュータやスマートフォン以外もの)をインターネットに接続し、それら全てのデータを収集・共有し最終的にユーザーに新しい世界を提供することです。

世界を巨大で包括的な情報システムに変えることで、モノのインターネット(ものに埋め込まれたセンサーやアクチュエータ)は、作業プロセスを改善し、需要と供給のアンバランスを解き放ち、新たなビジネスモデルを生み出し、コストとリスクを削減することができます。簡単に言えば、モノのインターネットは、私たちを取り巻く世界やインフラを「スマート」にする力を与えてくれます。エアコンが快適な温度を理解したり、バスルームの水漏れを検知したり通知したり、照明や音楽があなたの声を聞いて点灯したりするなど「スマートホーム」はすでに実現しています。またスマート工場は、機械や資産の状況を理解し、摩耗や故障を予測し、稼働時間を改善し、生産とエネルギー消費の両方の効率を高めることができますようになります。スマート農場は、水の使用量や農薬の検出などにより、作物の生産を最適化できるようになります。

振動発電(電磁誘導 = 電力発電会社の 9 割が採用の発電機と原理は同じ)

基本技術は 1821 年のファラデーの円盤の原理を利用した、最も優れた発電効率(200 年の実績の発電方式)



IoT アーキテクチャとは、現実世界とデジタル世界間のインターフェースである「エッジ」でエッジは周囲の環境とコミュニケーションするセンサーとアクチュエータで構成されています。センサーは測定を行いデータを収集し、分析や機械学習を行いクラウドに送信します。IoT を成功させるためには、エッジデバイスは以下の機能を提供する必要があります。

1. ワイヤレス(通信)

IoT センサーはワイヤレス化が求められています。電源だけでなくイーサネットケーブルにも繋がらないからです。農場の土壌の水と湿度を監視したいと想像してみてください。また、長時間をかけて橋梁の歪みを監視したい場合どうでしょうか？ また技師を雇い工場内の産業機械の状態を監視するセンサーに電源を配線するにはかなりの費用がかかり、センサーごとに数千ドルの費用がかかります。

2. スマート

今日の IoT エッジデバイスは、物理的な変数を単に電気信号に変換するだけの従来のセンサーではありません。シグネチャをキャプチャして分析するだけでなく、アラームや環境を監視することができなければなりません。データを前処理する能力を持ち、ゲートウェイやクラウドリソースの負荷を軽減する必要があります。スマートセンサーは、自己校正、自己識別、自己検証も可能です。

3. 小型

センサーを多くの場所に配置する場合小さければ小さいほど良いということになります。IoT センサーは最終的には目立たずに、どんな環境にも溶け込むものでなければなりません。これらのエッジデバイスが監視する

可能性のあるものの多くは、小さなフットプリントで、小さな領域(蛇口、小さなパイプ、小さなモーターなど)に取り付けられたり、筐体内に入れたりするのでサイズが設計上の要件を決定することになります。

4. 費用対効果

数十億～数兆のデータが集まる大規模な情報インフラを作るためには、数十億個のセンサーが必要です。IoT センサーを経済的に大量に展開できることが重要です。

接地コストだけでなく、長期的なメンテナンスやサポートも含まれます。

IoT の電力問題

現在のセンサメーカー各社は、自社センサのワイヤレスバージョンの開発を進めています。

さらに MEMS トランスデューサの進歩でエッジ・インテリジェンスやビッグ・データ分析と組み合わせて、アプリケーションに特化したソリューションを提供する新しい IoT 企業が台頭してきています。これらのワイヤレス・デバイスはすべてエッジ・デバイスが行うことと、バッテリーが提供できる電力のバランスをとる必要があります。

1. ワイヤレス・エッジ・デバイスは監視時の低電流消費及び送信時の大電力までの範囲で電力を消費します。データをクラウドにワイヤレス送信するための遠隔測定オプションには、Bluetooth や LoRa などの低消費電力デバイスもありますが、特に大規模なシステムでは、電力を必要とする複数のカスタム・ベンダー固有のゲートウェイが必要になるという問題があります。WiFi はかなり柔軟性がありますが、送信時に必要な電力は 5 倍になります。
2. エッジデバイス上のインテリジェンスは、設計時にバランスをとる必要は一つの要素です。コンピューティング能力が高ければ高いほど、バッテリーからのエネルギー消費量は多くなります。低消費電力マイクロコントローラやスマート MEMS トランスデューサの分野では、消費電力曲線のバランスを取るのに役立つ重要な新技術が開発されていますが、ユーザーはエッジデバイスを如何に使用するかについて、メーカーからマニュアルを読む必要があります。例えば、ワイヤレス・センサの寿命は重要なコスト要因であるため、メーカーはカタログに 3 年から 5 年の使用期間を記載しています。
3. サイズは、エッジデバイスで利用可能な電力容量の量を制限します。小型バッテリーはセンサーで利用可能な電力容量が小さいということです。
4. バッテリーのコストは、多くの場合センサーの中で最も高価なコンポーネントである可能性があります。
5. 産業用途の広い温度範囲を可能にするために適切なバッテリー技術を選択すること、ワイヤレス伝送時の大電流短時間電力を処理できること、年間の放電率が低いことなど、すべてがバッテリーのコスト IoT エッジデバイスのコストに影響します。

IoT センサーのためのバッテリーソリューション

長寿命バッテリー：ワイヤレス IoT ソリューションの継続的な目標には、以下のようなものがあります。

- エッジ・インテリジェンスによる無線伝送時間の最小化
- 最新の超低消費電力マイクロコントローラの活用
- エネルギーハーベスティングソリューションを可能な限り活用
- 寿命を最大化する電池技術の選択

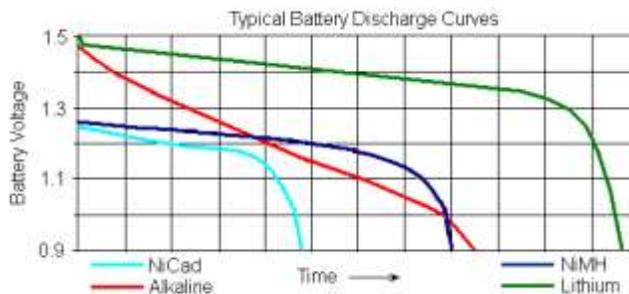
IoT 特に産業用エッジデバイス用のバッテリー技術選択には、以下が典型的な駆動要件となります。

- 3.6V と 1.7V
- 20°C ~ +85°C

電池選択の誤解は、単に電池電流仕様から寿命を判断することです。最も費用対効果が高く、普及している電池はアルカリ電池で、電子機器で使用する場合、その電圧出力が非常に早く劣化するため、あまり長持ちしません。例えば、平均 5mA では電池の寿命は 700mAh ですが、電圧ははるかに早く低下します。ほとんどのアルカリ電池

はまた、-20℃から+54℃までしか動作しません。リチウムバッテリーは、電圧の放電曲線が良いので、より良い選択肢となります。

リチウム電池には、+50℃までの温度範囲を持つ非常に費用対効果の高いリチウムポリマーから、広い温度範囲、高いエネルギー密度を持つやや高価な Li-SOCL2 および、年間の自己放電率が低い物まであります。



バッテリーの問題点

交換とメンテナンス

バッテリー交換コストとメンテナンスは頭痛の種です。この時点でIoTシステムを導入断念する可能性があります。例えばモータ、ブロワ、ポンプなどの何千もの産業用機械を含む産業プラントを考えてみましょう。予知保全アプリケーションでは、これらの産業用資産のそれぞれにワイヤレスIoTセンサーを実装して、状態を監視し、摩耗/故障を事前に予測することを提案しています。現在の寿命では電池は1~2年ごとに工場で交換しなければなりません。1回のバッテリー交換に250ドルから500ドルの費用がかかる...これを数年ごとに何千個も交換するのはコストがかかります。10年の寿命で2年ごとに250ドルでもIoTセンサー1個あたり1000ドル、その上に数百ドルのコストがかかる事になります。

1~2年に1回のバッテリー交換にかかる費用の目安

Time	Identify & locate	30 (minutes)
Time	Paperwork & Logistics	30 (minutes)
Time	Pull repair stock items	15 (minutes)
Time	Traveling to & locating devices	30 (minutes)
Time	Power Module Change	5 (minutes)
Time	Return & Verify operation	40 (minutes)
Time	Disposal of old batteries	15 (minutes)
Time	Total Time in minutes	165 (minutes)
Cost	hourly labor rate	\$85
Cost	labor Cost	\$233.75
Cost	Consumables / Other costs	\$15.00
Cost	Inventory cost of spares	\$45.00
Total		\$293

また工場の規模が大きくなればなるほど、すべてのセンサーが同時に使えなくなるのではないので、メンテナンスの手間も複雑になります。良品でも常に交換することは深刻な頭痛の種となります。

1. 完成したデバイスのエネルギー需要はタイプによって異なるため、バッテリーの交換間隔が異なります。
2. 寿命は、使用量の多いエリアのデバイスと少ないエリアのデバイスとで異なります(例:あるエリアの占有センサーは、トラフィックが多く、送信量が多いほど消費電力が速くなります)。
3. 環境条件がバッテリーの性能と寿命、すなわち低温または高温に影響を与えるからです。

環境問題 毒性

電池交換に伴うコストだけではなく世界的にはさらに大きな問題があります。環境保護庁(EPA)によると、毎年アメリカ人だけで30億個以上の電池を捨てていると報告があります。約18万トンのバッテリーがアメリカ国内で埋め立てられています。そのうち86,000トン以上が消耗品のアルカリ電池です。想像してみてください、これらのアルカリ電池を端から端まで並べると、世界を少なくとも6周することになります。堆肥化できるゴミとは違い、電池は有害廃棄物です



通常の使用では接触しない有害物質が封入されています。その電池が埋立地に入ると容器は押しつぶされたり、簡単に劣化することがあります。これは、皆様のが呼吸する空気や飲む水などの環境に毒を浸出させる原因となります。何十億ものIoTワイヤレスセンサーが予測されていますが、この状況をさらに悪化させるだけです。

小型エネルギーハーベスティング電源の必要性

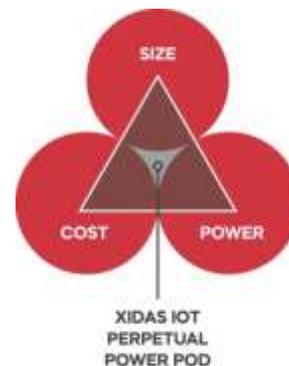
広範な研究開発でワイヤレスセンサー向けの実用的なエネルギーハーベスティングソリューションに向かっています。より大きな電力のため開発と同様に、小型のポータブルで実用的なエネルギーハーベスティングソリューションの必要性は、IoT 産業が電池埋め立て問題を解決するための唯一の方法です。エネルギーハーベスティングは、ワイヤレスデバイスに電力を供給するために周囲のエネルギーを継続的に収集することです。収穫された電力量がエッジデバイスの消費量よりも多い場合、エネルギーハーベスティングデバイスは継続的な電力源を提供することができます。

エッジデバイスの寿命を 10 年以上に延ばすことで電池のメンテナンスにかかるコストと懸念を劇的に削減することができます。

IoT のためのエネルギーハーベスティングソリューションのサイズ、電力、コストのニーズのバランスをとるローカル・スマート・インテリジェンスと組み合わせた新しい低消費電力マイクロコントローラと IoT センサーでのテレメトリ伝送時間の短縮が可能になりました。

これにより IoT エッジデバイスの消費電力は、ほとんどのアプリケーションで平均 1~2mW にまで低下します。エネルギーハーベスティングソリューションは、サイズとコストのバランスをとりながら、この電力ニーズを満たす必要があります。例えば、振動ベースのエネルギーハーベスティングデバイスは 1000 ドル近くのコストがかかり、センサーに比べても 10 倍の大きさになります。これは現実的ではありません。また、マイクロワットレベルの電力収穫しかできませんし小型のエネルギーハーベスティングデバイスも実用化はありません。

小型サイズ、適切な出力、低コストの三拍子そろったものが重要です。複数のベンチャーキャピタル企業や研究機関が携帯型エネルギーハーベスティングに投資しており、実用的なソリューションも見え始めています。ユーザーは、バッテリーの環境問題を軽減し、エッジデバイスの寿命を延ばすために、バッテリーと組み合わせたエネルギーハーベスティングを検討する必要があります。



エネルギーハーベスティングの IoT 統合

電子機器や IoT エッジデバイスが DC 入力の場合、統合されたソーラーまたは振動エネルギーハーベスティングパワーポッドまたはバッテリーを容易に使用することができます。これらの小型デバイスには、トランスデューサ、エネルギーハーベスティングおよびバッテリー充電回路、ハーベスティングソース(光/振動など)が利用できない場合のエネルギー貯蔵のための小型充電式バッテリーまたはスーパーキャップ、および DC 出力のためのある程度のレベルの保護および調整回路が含まれます。しかし、ほとんどの場合、エネルギーハーベスティングソリューションはエッジデバイスに統合する必要があり、設計者は電力システムの以下の各部分を設計し、統合する必要があります。

発電とは: 原子力、水力、ガスタービン、石油石炭発電は全てエネルギーを一度回転エネルギーに変換して発電しています。これはファラデーが発明した発電機の原理を応用した、エネルギーを一度回転運動に変えて、電磁誘導起電力を用いた発電方式です。一度回転運動に変えて発電する方式が現代の発電の主流で原子力を直接電力に変換するのは稀な方法です。エネルギーを一度光に変換して電力を作る研究もありますが、効率を高めるには 50 年以上の研究が必要でしょう。ダイナモと呼ぶかつて自転車のランプの電源に使われた技術は実はかなりのエネルギーハーベスティング技術でした。走行を回転運動に変えて発電する仕組みで、昔は皆使っていました。電磁誘導の発電は最も確実な方法で、振動をエネルギーに変える為の最適な方法だと XIDAS は考えています。大きなサイズの発電ではなくマイクロサイズの発電機を大量に使い連携させる製造技術を利用して、マイクロサイズの発電機を研究しました。超微細プロセス研究を 20 年以上研究しマイクロアクチュエータが実現できました。

トランスデューサー:

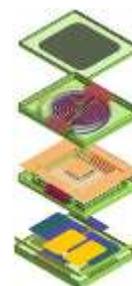
振動、光、熱、または RF から電力を発電する製品です。

圧電、電磁気、または太陽電池コンポーネントなどの例があり後述します。

エネルギーハーベスティングおよび電力管理 IC:

トランスデューサにはそれぞれ出力特性があり、エネルギー変換効率を最大化しながらトランスデューサ信号をブーストする為に集積回路 IC をマッチングさせることが鍵となります。

トランスデューサが出力電力として指定したものが何であれ、エネルギーハーベスティングおよび電力管理回路による電力損失があることに注意することが重要です。



二次電池またはスーパーキャップ:

光、熱、振動などのエネルギー源が継続的に利用できることはほとんどありません。これらのダウンタイムのために収穫された電力を蓄えるために、充電可能な小型バッテリーを含める必要があります。

これらのバッテリーは、ワイヤレス通信中に必要とされる高電力消費に対応し、アプリケーションの温度範囲内でトリクル充電が可能なものを選択する必要があります。例えば、産業用アプリケーションでは、 -20°C から $+85^{\circ}\text{C}$ までの温度範囲が必要です。

現在のエネルギーハーベスティングソリューション

IoT センサーのための最も一般的なエネルギーハーベスティングソリューションは、振動、光、指向性エネルギー (RF または赤外線) の 3 つです。

それぞれにメリットと制約があり、効率を最適化するための多くの研究開発が世界中で続けられています。

振動エネルギーハーベスタ:

全ての機械は振動します。

ヘリコプターや電車からエアコンやコンプレッサーに至るまで、振動からエネルギーを得る場所はたくさんあります。環境中の振動からエネルギーを取り込むことができるトランスデューサ技術には、大きく分けて 2 つのタイプがあります。圧電式と電磁式です。

圧電発電機は、特定の結晶の固有の分極特性により、機械的エネルギーを電気エネルギーに変換します。

電磁変換器は、磁場が動くとコイル内に電流を発生させる磁石で構成されています。

電磁変換器は、低い振動周波数と加速度でより大きな電力を生成します。圧電発電機は高い周波数と大きなインパルス運動に適しています。

どちらの場合も、それぞれの電力密度は体積が大きくなるにつれて劇的に減少します。

IoT アプリケーションを取り巻くほとんどの振動面 (モーター、ポンプ、トラック、電車、橋など) は非常に低い周波数と加速度で振動します。産業用機械の状態監視は、鉄鋼、石油・ガス、紙・パルプ、エネルギー、製薬、その他の工場プラントに非常に高い可能性と価値を提供する IoT アプリケーションの 1 つです。

工場の産業用資産 (モーター、ブロー、ポンプ、ギアボックスなど) の大部分は、60Hz 以下の周波数と 1G 以下の加速度で振動しています。この小さな振動と周波数では、電磁エネルギーハーベスティングソリューションは、センサーのために大量のエネルギー (1~2mW の電力) を取り出すための最良選択肢です。

最近まで、これらの変換器は大型で非常に高額でした (500~800 ドル)。

全米科学財団 (NSF) とカルフォルニア大学や政府からの資金提供により、エッジデバイスに組み込むことができる小型のトランスデューサが実用化できました。また、太陽電池のような小型の完全に統合された振動電池も、直接 DC 入力で電子機器や IoT デバイスに電力を供給するために初めて利用できるようになっています。



太陽光発電

ワイヤレスセンサーに電力を供給の為に光を使用することは一般的なアプローチです。

現在利用可能な従来のソーラーパネルのオプションのほとんどは、3つのタイプのうちの1つに当てはまります。

第1世代の単結晶、多結晶 (多結晶とも呼ばれる) 第2世代の薄膜 (アモルファスを含む) です。振動エネルギーハーベスティング技術と同様に、テルル化カドミウムや集光型太陽電池を含む第3

世代の太陽電池の研究と投資が行われており、効率は第1世代や第2世代のセルでは10~15%であったのに対し、40%に近づいています。まだ量産されていませんが注目する価値はあります。

従来の太陽電池にも、前述のサイズ、出力、コストのトライアングルのジレンマがあります。下の表は、現在入手可能な光量に基づいて、現在入手可能なもの（サイズとパワー）の概要を示しています。電池と同様太陽電池にも年間の放電率（一般的には年間1~3%）があり、適切に処理され、パッケージ化されていれば20年は使用可能です。大型ですが光が利用可能な屋外アプリケーションに最適で（振動エネルギーハーベスタのために説明されているのと同じ追加コンポーネントが含まれているとはいえ）。これらの屋内用も設計して提供されサイズは場所に依存する（下表を参照）。

Lux	Environment	Power Produced	
		$\mu\text{W}/\text{cm}^2$	$\mu\text{W}/\text{in}^2$
200	Warehouse, Dining Area, Auditorium, Lobbies, Stairwells, Corridors	6	39
500	Conference Room, Office Desk, Retail Store, Workstation, Library, Living Room	17	110
1,000	Near Windows, Directly Underneath, Light Fixtures, Detailed Workstation	35	226
10,000	Outdoor Overcast, Shaded Areas	400	2,581
25,000	Light Overcast, Indirect Sunlight	1,000	6,452
100,000	Direct Sunlight	4,200	27,097

薄膜太陽電池は10年間で驚異的な成長を遂げ、現在は携帯電話の充電器からキャンピングカーの二次電池まで、ポータブルバッテリーパックに使用されています。サイズが大きく、屋内での使用には電力が不足なので太陽電池はまだIoTセンサーには普及していませんが注目してください。

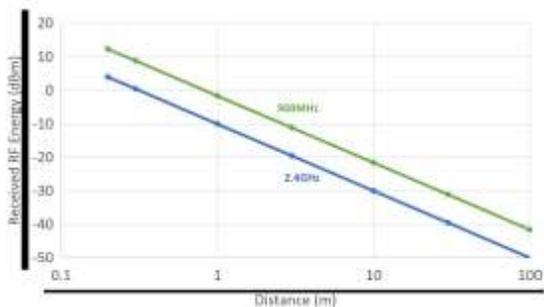
直接エネルギーハーベスタ：

RF信号の使用または赤外線の使用です。

RF信号は900MHzや2.4GHzなど周波数が都市空間ものすごく飛んでいます。センサー内に埋め込まれたレクテナハーベスタを使用しセンサーは信号を電力に変換することができます。

このアプローチの制限は伝搬損失です。送信元からのセンサーの距離には制約があります。

30dBmの送信機で900MHzと2.4GHzの場合0dBの送受信アンテナ利得を仮定すると、受信デバイスは送信元に近い（数センチ）場合、数10ミリワットのオーダーで受信することができます。距離が1メートルの場合、利用可能な電力は1mW未満に低下し、受信電力は10メートルの距離でさらにマイクロワットレベルまで低下します。さらに、受信ハーベスタの効率は、センサーに利用可能な電力の大きさに大きく影響します。



ワイヤレスセンサーはどのくらい持つのでしょうか？

ワイヤレスIoTエッジデバイスを選択する際には、バッテリー寿命の仕様が重要です。

各メーカーが競合しているため、この仕様は重要なマーケティング上の差別化要因となります。

しかし、ライフサイクルは常に"ベストケースの条件"に基づいている事と小さな活字で書いてあります。例えば：2年のバッテリー寿命がありますが、これは2分に1回の温度測定と1日2回の送信をする条件です。同じセンサーから温度、湿度、空気の質を取得し4時間ごとに送信する必要

がある場合はどうなるのでしょうか。あるいは、複数のアラームがあり、問題が解決するまでエッジデバイスがクラウドにデータを送信頻度を増やす必要がある場合はどうなるのでしょうか？

メーカーは、センサー寿命に関する計算機詳細を提供していません。これはユーザーの判断に委ねられており、バッテリーの mAH を使って判断するような単純なものではありません。使用ケースに応じてワイヤレスセンサーの寿命を計算するためのガイダンスをいくつかご紹介します。

最初のステップは最も重要です：バッテリーのメーカー、バッテリーのタイプと仕様、および追加のエネルギーハーベスティング回路を決定します。

IoT エッジデバイスのサプライヤーから送信、受信、サンプリング、およびあらゆるエッジ処理のための電流量を決定します。これにより動作中の電流量を決定することができます。

電力プロファイルも作成します。基本的なものの例を以下に示します（温度などの単純なセンサーとして2分に1回サンプリングし WiFi 経由で1日4回クラウドに送信） 空気の質、ビデオ、または他の条件のためのサンプリングはかなり多くなりますが、これは良い基本的な例として機能します。

- Wi-Fi 送信ルスに対応するために必要なスーパージャップのリーク電流を決定します。典型的な数値は 15 uA で、これを 48.3 uA の平均電流に加算します。

次は電池メーカーから温度範囲の電池容量を取得し、6 ポイントの温度パーセンテージプロファイルを適用して、平均的な電池の mAH を決定することです。1.65mAH バッテリーの例として以下を参照してください。

Condition	Current (mA)	Duration (sec)	Frequency (times per day)	Average Current (uA)
Background	0.01	86400	1	10.000
Pulse 1	0.15	1	726	1.261
Pulse 2A	150	4.5	4	31.250
Pulse 2B	250	0.5	4	5.787
Total				48.30

Temp. (C)	Capacity(mAh)	Ratio (%)	Capacity in Ratio (mAh)
-20	1400	5	70.0
0	1500	15	225.0
20	1550	50	775.0
40	1475	15	221.3
60	1400	10	140.0
85	900	5	45.0
Total		100	1476.3

考慮すべき他の条件はカットオフ電圧および自己放電です。これらの要因はセルの効率を低下させますので電池メーカーから情報入手することができます。4.5%程度の効率低下が、高性能な LiSoc2 の良い経験則です。我々は今、以下の表を持っています

Temp. (C)	Capacity(mAh)	Ratio (%)	Capacity in Ratio (mAh)	Efficiency (%)	Available capacity (mAh)
-20	1400	5	70.0	95.5	66.8
0	1500	15	225.0	95.5	214.8
20	1550	50	775.0	95.5	739.9
40	1475	15	221.3	95.5	211.2
60	1400	10	140.0	95.5	133.7
85	900	5	45.0	95.5	43.0
Total		100	1476.3	95.5	1409.4

結果平均 23,538 時間 (1.49/0.0000633) 2.68 年に相当します。

これは最もシンプルな IoT アプリケーションの 1 つです。より長くサンプリングし、異なるトランスデューサーを使用し、より多くのエッジインテリジェンスを使用し、1日に4回以上クラウドと通信すると、バッテリー寿命が大幅に低下します。

結論

ワイヤレスセンサーを設計している場合でも、企業の IoT システムを設計している場合でも電力は意思決定プロセスの主要要因となります。

適切なバッテリーやアプリケーション固有のエネルギーハーベスティングソリューションは、アプリケーションの全体的なコストとメリットの削減に大きく貢献します。将来の IoT 製品開発は、現在の電力ソリューションを取り巻く制約や制限を減らすことに焦点を当てるべきです。IoT ソリューション・プロバイダーはアプリケーション・ソフトウェアの初期費用と部品費用でユーザーを説得することに重点を置いていますが、バッテリーを含むメンテナンス・コストの把握はユーザーに任せ、この重要な

IoTアプリケーションのコストを顧客がコミットする前に決定することができるオンラインツールやエネルギーハーベスティング、バッテリーのオプションを提供するのは良いことだと思います。

2017年に Xidas は米国産業にとってのモノのインターネットのメリットについて議会で証言する5社のうちの1社に選ばれ米国国立科学財団（NSF）からIoTセンサー用の最適化されたエネルギーハーベスティングバッテリーの開発資金提供を受けIoTにおける米国の先駆者として認定されました。

XIDAS はまつ毛サイズのゼロ電力植込み型圧力センサーなど、医療用途向けの統合型スマートマイクロセンサーを研究製造しており、このテクニカルノートは次世代IoTソリューションのユーザーと開発者の両方に向けて概要を説明することを目的としており、バッテリーのオプションについてのガイダンスを提供することを目的としています。