

## S6AE101A, S6AE102A, および S6AE103A を用いたエナジーハーベスティングのためのエネルギー計算

著者: 高田 博行

関連製品ファミリ: S6AE101A, S6AE102A, S6AE103A

関連資料: S6AE101A, S6AE102A, S6AE103A データシート

本アプリケーションノートは、ハーベスターからのエネルギー量がとても少ない場合の、エナジーハーベスティングシステムのエネルギー計算について記述しています。

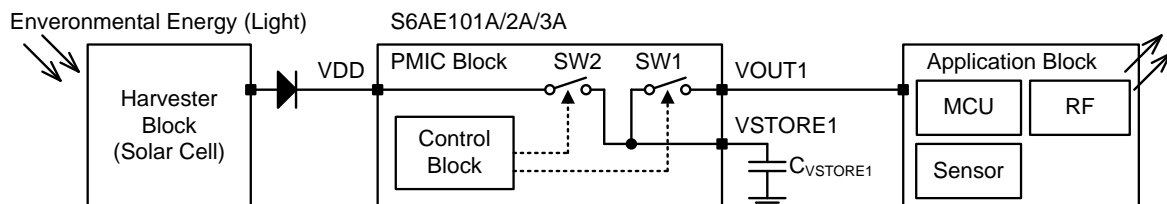
### 1 はじめに

屋内向けソーラーセルなどのハーベスターから得られるエネルギーはとても少なく、エナジーハーベスティングソリューションに依存するシステムはエネルギー収支計算に基づく低電力動作設計が必要です。

#### 1.1 エナジーハーベスティングシステム

S6AE101A/2A/3A は超小型ソーラーセルで動作可能なエナジーハーベスティング用 PMIC (power management IC: 電源 IC) です。Figure 1 に S6AE101A/2A/3A を用いたエナジーハーベスティングシステム例を示します。

Figure 1. S6AE101A/2A/3A を用いたエナジーハーベスティングシステム例



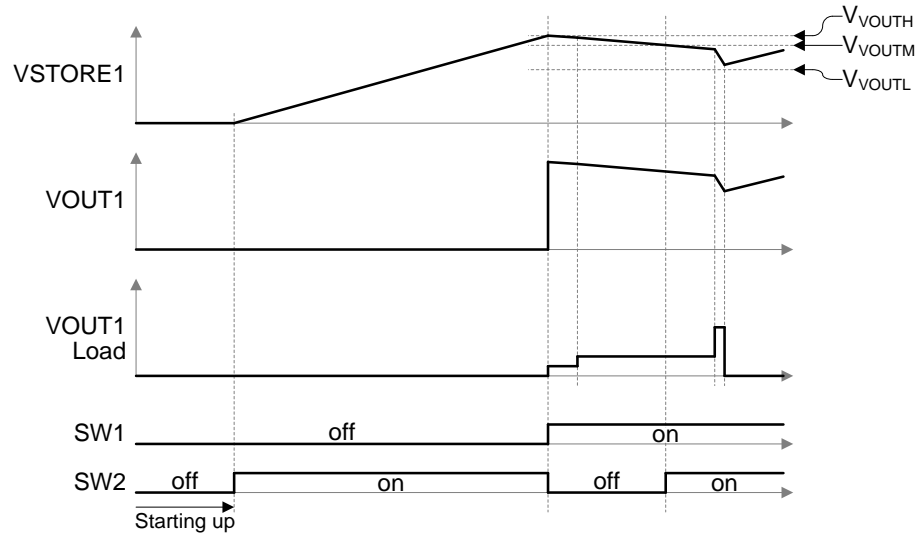
ハーベスターから得られるエネルギーは限られているため、そのエネルギーは容量 ( $C_{VSTORE1}$ ) に蓄電させる必要があります。大容量の容量は、エネルギーを充電するために多くの時間が必要です。つまり、システムが頻繁に動作できないということです。一方で容量が小さすぎると、アプリケーションブロックのために十分なエネルギーが蓄電できません。そのため、容量値の決定はとても重要です。

本 PMIC はアプリケーションブロックに対しパワーゲーティングスイッチ SW1 を備えています。いったん VSTORE1 端子電圧が VOUT 上限電圧 ( $V_{VOUTH}$ ) に達すると VOUT 下限電圧 ( $V_{VOUTL}$ ) に達するまで、VSTORE1 端子と VOUT1 端子間経路を SW1 で接続します (Figure 2 参照)。

本 PMIC 効率的な蓄電を行うため SW2 を備えています。内部電源起動 (Starting up) 後、VDD 端子と VSTORE1 端子間経路を SW2 で接続します。VSTORE1 端子の電圧が  $V_{VOUTH}$  以上になると、その経路を切断します。VSTORE1 端子の電圧が入力電源再接続電圧 ( $V_{VOUTM}$ ) 以下になると SW2 が経路を接続します (Figure 2 参照)。

詳しくはデータシート S6AE101A, S6AE102A および S6AE103A を参照してください。

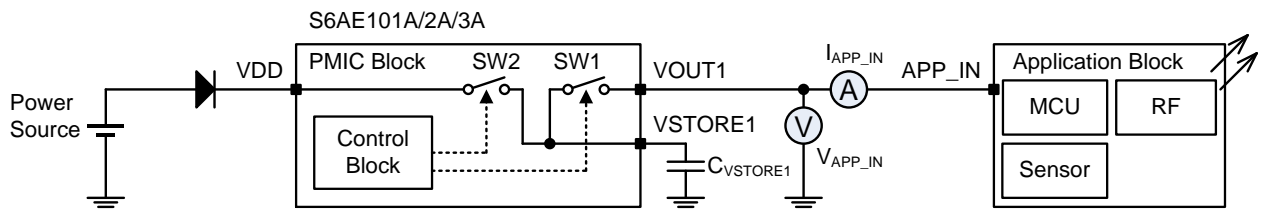
Figure 2. SW1, SW2 および VSTORE1 端子の関係



## 2 エネルギーハーベスティングのエネルギー計算

### 2.1 エネルギー消費の計算

Figure 3. 電圧, 電流および動作時間の測定



最初に、アプリケーションブロックの APP\_IN 端子電圧 ( $V_{APP\_IN}$ ), 電流 ( $I_{APP\_IN}$ ) および動作時間 ( $t_{APP\_IN}$ ) を測定します (Figure 3 および Figure 4 を参照)。アプリケーションのエネルギー消費は Equation 1 から求められます。

$$\text{Equation 1} \quad E_{APP\_IN} [J] = V_{APP\_IN} \times I_{APP\_IN} \times t_{APP\_IN}$$

しかし、Figure 4 の  $V_{APP\_IN}$  と  $I_{APP\_IN}$  の波形を確認すると、その波形は 3 つの部分 (1), (2), (3) のように分割しています。そのため、各部分ごとにエネルギー消費を計算し、その 3 つのエネルギー消費を足し合わせます。

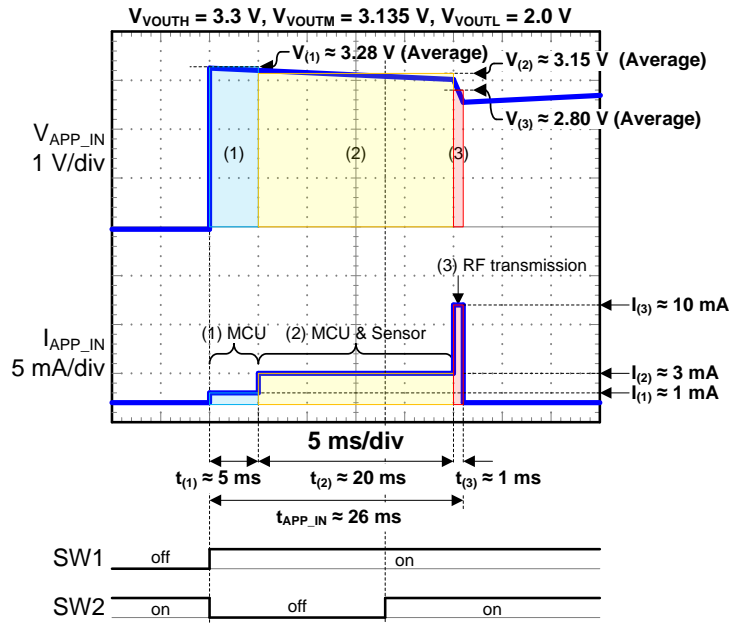
$$E_{(1)} = V_{(1)} \times I_{(1)} \times t_{(1)} = 3.28 [V] \times 1 [mA] \times 5 [ms] = 16.4 [\mu J]$$

$$E_{(2)} = V_{(2)} \times I_{(2)} \times t_{(2)} = 3.15 [V] \times 3 [mA] \times 20 [ms] = 189.0 [\mu J]$$

$$E_{(3)} = V_{(3)} \times I_{(3)} \times t_{(3)} = 2.80 [V] \times 10 [mA] \times 1 [ms] = 28.0 [\mu J]$$

この例の場合、アプリケーションブロックのエネルギー消費は約 233.4  $\mu J$  です。

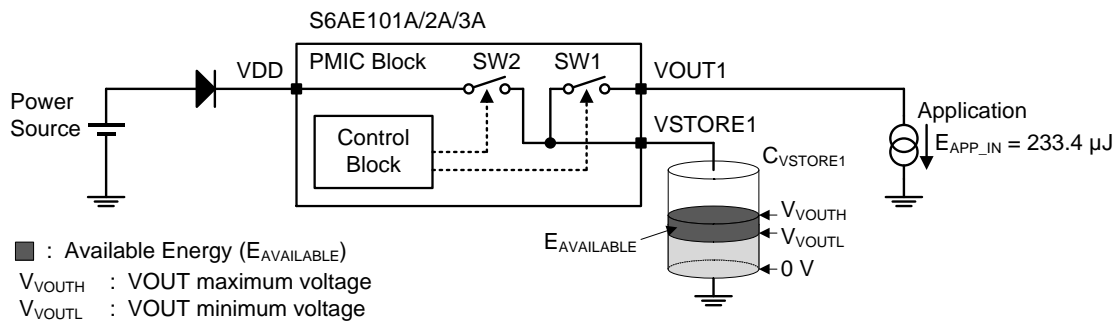
$$E_{APP\_IN} = E_{(1)} + E_{(2)} + E_{(3)} = 16.4 [\mu J] + 189.0 [\mu J] + 28.0 [\mu J] = 233.4 [\mu J]$$

Figure 4.  $V_{APP\_IN}$ ,  $I_{APP\_IN}$  および  $t_{APP\_IN}$  の波形


## 2.2 容量値の計算

次に、アプリケーションのエネルギー消費に基づいて容量値を計算します。Figure 5 にシステム内の容量を示します。

Figure 5. システム内の容量



容量に蓄電できるエネルギーは Equation 2 で計算できます ( $E$ : エネルギー [J],  $C$ : 容量値 [F],  $V$ : 電圧 [V])。

$$\text{Equation 2} \quad E = \frac{1}{2} CV^2$$

### $C_{VSTORE1}$ の計算

S6AE101A/2A/3A の VOUT 上限電圧 ( $V_{VOUTH}$ ) と VOUT 下限電圧 ( $V_{VOUTL}$ ) は外付け抵抗値を変えることによって設定できます。前提として、アプリケーションブロックの推奨動作電圧範囲を 3.6V から 1.8V とします。そして、その範囲内に収まるように  $V_{VOUTH}$  を 3.3V、 $V_{VOUTL}$  を 2.0V と設定します。 $V_{VOUTL}$  から  $V_{VOUTH}$  の範囲に蓄電されたエネルギーはアプリケーションが利用できるエネルギーとなります ( $E_{AVAILABLE}$ : Available energy: 利用可能エネルギー、Figure 5 参照)。 $E_{AVAILABLE}$  は  $E_{APP\_IN}$  (233.4  $\mu$ J) 以上である必要があります (Equation 3 は Equation 2 から導かれた式です)。

$$\text{Equation 3} \quad E_{AVAILABLE} = \frac{1}{2} \times C_{VSTORE1} \times (V_{VOUTH}^2 - V_{VOUTL}^2)$$

$$233.4 [\mu\text{J}] = \frac{1}{2} \times C_{VSTORE1} \times (3.3 [\text{V}]^2 - 2.0 [\text{V}]^2)$$

$$C_{VSTORE1} = 67.8 [\mu\text{F}] \rightarrow 100 [\mu\text{F}]$$

この例の場合、 $C_{VSTORE1}$  の容量値は 67.8  $\mu\text{F}$  以上が必要です。さらに、本 PMIC は少なくとも 100  $\mu\text{F}$  以上の容量が必要です (データシート [S6AE101A](#), [S6AE102A](#) および [S6AE103A](#) の推奨動作条件を参照)。この例では容量値を 100  $\mu\text{F}$  に設定します。

#### 注意:

今回導いた容量値は理想容量値です。実際のコンデンサは表記容量値と実容量値との間に大きな隔たりがあります。また、直流バイアス特性や温度特性などにより容量値が大幅に減少する可能性があります。コンデンサを選定する際は各メーカーのデータシートおよび使用する動作条件下での実容量値を確認してください。

エネルギーハーベスティングで用いられる容量の種類とその特性を [Table 1](#) に示しました。低漏れ電流のセラミック容量はエネルギーハーベスティングに適しています。

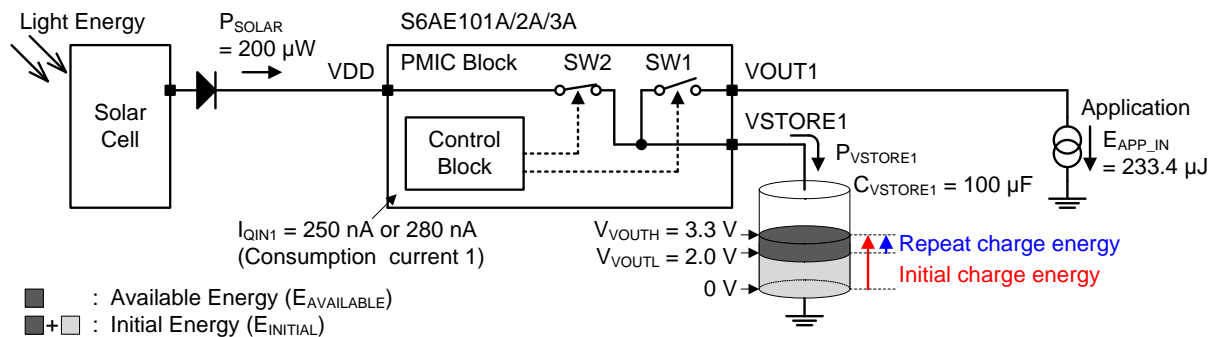
Table 1. 容量の特性

容量の種類	容量値の範囲	利点	欠点
セラミック容量	0.1 $\mu\text{F}$ ~ 470 $\mu\text{F}$	低漏れ電流 (nA), 小型, 低価格	小容量値
アルミニウム電解容量	0.1 $\mu\text{F}$ ~ 1.5 F	大容量値, 低価格	低能な漏れ電流 ( $\mu\text{A}$ )
タンタル電解容量	33 nF ~ 6 mF	低漏れ電流 (nA), 大容量値	高価格
電気二重層容量 (例, スーパーキャパシタ)	最大 50 F	超大容量値	高漏れ電流 ( $\mu\text{A}$ ) 高価格

## 2.3 充電時間の計算

容量の充電時間計算のパラメータを [Figure 6](#) に示します。

Figure 6. 充電時間のパラメータ計算



この計算では、ソーラーセルの電力 ( $P_{\text{SOLAR}}$ ) を 200  $\mu\text{W}$  と仮定します。 $V_{\text{STORE1}}$  端子容量 ( $C_{VSTORE1}$ ) へ供給する充電電力 ( $P_{VSTORE1}$ ) は  $P_{\text{SOLAR}}$  の値から PMIC の消費電力 ( $V_{\text{VOUTH}} \times I_{QIN1}$ ) を引いた値です ([Equation 4](#))。S6AE101A/2A/3A の消費電流 1 ( $I_{QIN1}$ ) の値を [Table 2](#) に示しました。この例では、S6AE101A の値を使用します。

$$\text{Equation 4} \quad P_{VSTORE1} = P_{\text{SOLAR}} - (V_{\text{VOUTH}} \times I_{QIN1}) = 200 [\mu\text{W}] - (3.3 [\text{V}] \times 0.25 [\mu\text{A}]) = 199.2 [\mu\text{W}]$$

Table 2. 消費電流 1 (I<sub>QIN1</sub>)

製品名	消費電流 1 (I <sub>QIN1</sub> )
S6AE101A	250 nA
S6AE102A	280 nA
S6AE103A	

### 初期充電時間 (t<sub>CHARGE</sub>) の計算

初期 (Initial) 充電時、容量は 0 V から V<sub>VOUTH</sub> までの充電です。初期エネルギー (E<sub>INITIAL</sub>: Initial energy) は Equation 2 を用いて計算します。

$$E_{\text{INITIAL}} = \frac{1}{2} \times C_{\text{VSTORE1}} \times V_{\text{VOUTH}}^2$$

$$E_{\text{INITIAL}} = \frac{1}{2} \times 100 [\mu\text{F}] \times 3.3 [\text{V}]^2$$

$$E_{\text{INITIAL}} = 544.5 [\mu\text{J}]$$

Equation 5 は Equation 1 から導かれた式です (E: エネルギー [J], P: 電力 [W], t: 時間 [s])。充電時間の式 Equation 6 は Equation 5 から導きます。

$$\text{Equation 5} \quad E = (V \times I) \times t = P \times t$$

$$\text{Equation 6} \quad t_{\text{CHARGE}} = \frac{E}{P_{\text{VSTORE1}}}$$

$$t_{\text{CHARGE}} = \frac{E_{\text{INITIAL}}}{P_{\text{VSTORE1}}} = \frac{544.5 [\mu\text{J}]}{199.2 [\mu\text{W}]} = 2.73 [\text{s}]$$

### 繰り返し充電時間 (t<sub>CHARGE\_R</sub>) の計算

$$t_{\text{CHARGE\_R}} = \frac{E_{\text{AVAILABLE}}}{P_{\text{VSTORE1}}} = \frac{233.4 [\mu\text{J}]}{199.2 [\mu\text{W}]} = 1.17 [\text{s}]$$

この例の場合、初期充電時間は 2.73 s で、繰り返し (Repeat) 充電時間は 1.17 s です。繰り返し充電時間の方が初期充電時間より短くなっているのが分かります。

## 3 まとめ

本アプリケーションノートはエネルギーハーベスティングのためのエネルギー計算、容量値計算および充電時間の基本的な計算方法を説明しています。本アプリケーションノートから得られるべき最も重要なコンセプトは、蓄電したエネルギーとエネルギー消費の収支を把握することです。

S6AE101A/2A/3A は、ユーザーの開発プロセスを支援する他のアプリケーションノートなどのドキュメント、開発ツールおよびオンラインリソースが用意されています。詳細については、[www.cypress.com/energy-harvesting](http://www.cypress.com/energy-harvesting) をご覧ください。

## 改訂履歴

文書名: AN210772 - S6AE101A, S6AE102A, および S6AE103A を用いたエネルギーハーベスティングのためのエネルギー計算

文書番号: 002-10773

版	ECN	変更者	発行日	変更内容
**	5164380	HIXT	03/08/2016	新アプリケーションノート。 これは英語版の 002-10772 Rev. ** を翻訳した日本語版です。
*A	5273892	HIXT	05/17/2016	これは英語版の 002-10772 Rev. *A を翻訳した日本語版です。
*B	5824811	AESATMP9	07/19/2017	ロゴと著作権を更新しました。
*C	6485016	EIFU	03/04/2019	これは英語版の 002-10772 Rev. *C を翻訳した日本語版です。

## ワールドワイドな販売と設計サポート

サイプレスは、事業所、ソリューション センター、メーカー代理店、および販売代理店の世界的なネットワークを保持しています。お客様の最寄りのオフィスについては、[サイプレスのロケーション ページ](#)をご覧ください。

## 製品

Arm® Cortex® Microcontrollers	<a href="http://cypress.com/arm">cypress.com/arm</a>
車載用	<a href="http://cypress.com/automotive">cypress.com/automotive</a>
クロック&バッファ	<a href="http://cypress.com/clocks">cypress.com/clocks</a>
インターフェース	<a href="http://cypress.com/interface">cypress.com/interface</a>
IoT (モノのインターネット)	<a href="http://cypress.com/iot">cypress.com/iot</a>
メモリ	<a href="http://cypress.com/memory">cypress.com/memory</a>
マイクロコントローラ	<a href="http://cypress.com/mcu">cypress.com/mcu</a>
PSoC	<a href="http://cypress.com/psoc">cypress.com/psoc</a>
電源用 IC	<a href="http://cypress.com/pmuc">cypress.com/pmuc</a>
タッチ センシング	<a href="http://cypress.com/touch">cypress.com/touch</a>
USB コントローラー	<a href="http://cypress.com/usb">cypress.com/usb</a>
ワイヤレス	<a href="http://cypress.com/wireless">cypress.com/wireless</a>

## PSoC®ソリューション

[PSoC 1](#) | [PSoC 3](#) | [PSoC 4](#) | [PSoC 5LP](#) | [PSoC 6 MCU](#)

## サイプレス開発者コミュニティ

[コミュニティ](#) | [Projects](#) | [ビデオ](#) | [ブログ](#) | [トレーニング](#) | [Components](#)

## テクニカル サポート

[cypress.com/support](http://cypress.com/support)

本書で言及するその他すべての商標または登録商標は、それぞれの所有者に帰属します。



© Cypress Semiconductor Corporation, 2016-2019. 本書面は、Cypress Semiconductor Corporation 及び Spansion LLC を含むその子会社（以下、「Cypress」という。）に帰属する財産である。本書面に含まれ又は言及されているあらゆるソフトウェア又はファームウェア（以下、「本ソフトウェア」という。）を含む）は、アメリカ合衆国及び世界のその他の国における知的財産法令及び条約に基づき、Cypress が所有する。Cypress はこれらの法令及び条約に基づく全ての権利を留保し、また、本段落で特に記載されているものを除き、Cypress の特許権、著作権、商標権又はその他の知的財産権のライセンスを一切許諾していない。本ソフトウェアにライセンス契約書が伴っておらず、かつ、あなたが Cypress との間で別途本ソフトウェアの使用方法を定める書面による合意をしていない場合、Cypress は、あなたに対して、(1) 本ソフトウェアの著作権に基づき、(a) ソースコード形式で提供されている本ソフトウェアについて、Cypress ハードウェア製品と共に用いるためにのみ、組織内部でのみ、本ソフトウェアの修正及び複製を行うこと、並びに (b) Cypress のハードウェア製品ユニットに用いるためにのみ、（直接又は再販売者及び販売代理店を介して間接のいずれかで）エンドユーザーに対して、バイナリーコード形式で本ソフトウェアを外部に配布すること、並びに (2) 本ソフトウェア（Cypress により提供され、修正がなされていないもの）に抵触する Cypress の特許権のクレームに基づき、Cypress ハードウェア製品と共に用いるためにのみ、本ソフトウェアの作成、利用、配布及び輸入を行うことについての非独占的で譲渡不能な一身専属的ライセンス（サブライセンスの権利を除く）を付与する。本ソフトウェアのその他の使用、複製、修正、変換又はコンパイルを禁止する。

**適用される法律により許される範囲内で、Cypress は、本書面又はいかなる本ソフトウェアに関しても、明示又は黙示をとわず、いかなる保証（商品性及び特定の目的への適合性の黙示の保証を含むがこれらに限られない）も行わない。**いかなるコンピューティングデバイスも絶対に安全ということはない。従って、Cypress のハードウェアまたはソフトウェア製品に講じられたセキュリティ対策にもかかわらず、Cypress は、Cypress 製品への権限のないアクセスまたは使用といったセキュリティ違反から生じる一切の責任を負わない。加えて、本書面に記載された製品には、エラッタと呼ばれる設計上の欠陥またはエラーが含まれている可能性があり、公表された仕様とは異なる動作をする場合がある。適用される法律により許される範囲内で、Cypress は、別途通知することなく、本書面を変更する権利を留保する。Cypress は、本書面に記載のある、いかなる製品若しくは回路の適用又は使用から生じる一切の責任を負わない。本書面で提供されたあらゆる情報（あらゆるサンプルデザイン情報又はプログラムコードを含む）は、参照目的のためのみに提供されたものである。この情報で構成するあらゆるアプリケーション及びその結果としてのあらゆる製品の機能性及び安全性を適切に設計、プログラム、かつテストすることは、本書面のユーザーの責任において行われるものとする。Cypress 製品は、兵器、兵器システム、原子力施設、生命維持装置若しくは生命維持システム、蘇生用の設備及び外科的移植を含むその他の医療機器若しくは医療システム、汚染管理若しくは有害物質管理の運用のために設計され若しくは意図されたシステムの重要な構成部分としての使用、又は装置若しくはシステムの不具合が人身傷害、死亡若しくは物的損害を生じさせるようなその他の使用（以下「本目的外使用」という。）のためには設計、意図又は承認されていない。重要な構成部分とは、その不具合が装置若しくはシステムの不具合を生じさせるか又はその安全性若しくは実効性に影響すると合理的に予想できるような装置若しくはシステムのあらゆる構成部分という。Cypress 製品のあらゆる本目的外使用から生じ、若しくは本目的外使用に関連するいかなる請求、損害又はその他の責任についても、Cypress はその全部又は一部をとわず一切の責任を負わず、かつ Cypress はそれら一切から本書により免除される。Cypress は Cypress 製品の本来目的外使用から生じ又は本目的外使用に関連するあらゆる請求、費用、損害及びその他の責任（人身傷害又は死亡に基づく請求を含む）から免責補償される。

Cypress、Cypress のロゴ、Spansion、Spansion のロゴ及びこれらの組み合わせ、WICED、PSoC、CapSense、EZ-USB、F-RAM、及び Traveo は、米国及びその他の国における Cypress の商標又は登録商標である。Cypress の商標のより完全なリストは、[cypress.com](http://cypress.com) を参照のこと。その他の名称及びブランドは、それぞれの権利者の財産として権利主張がなされている可能性がある。