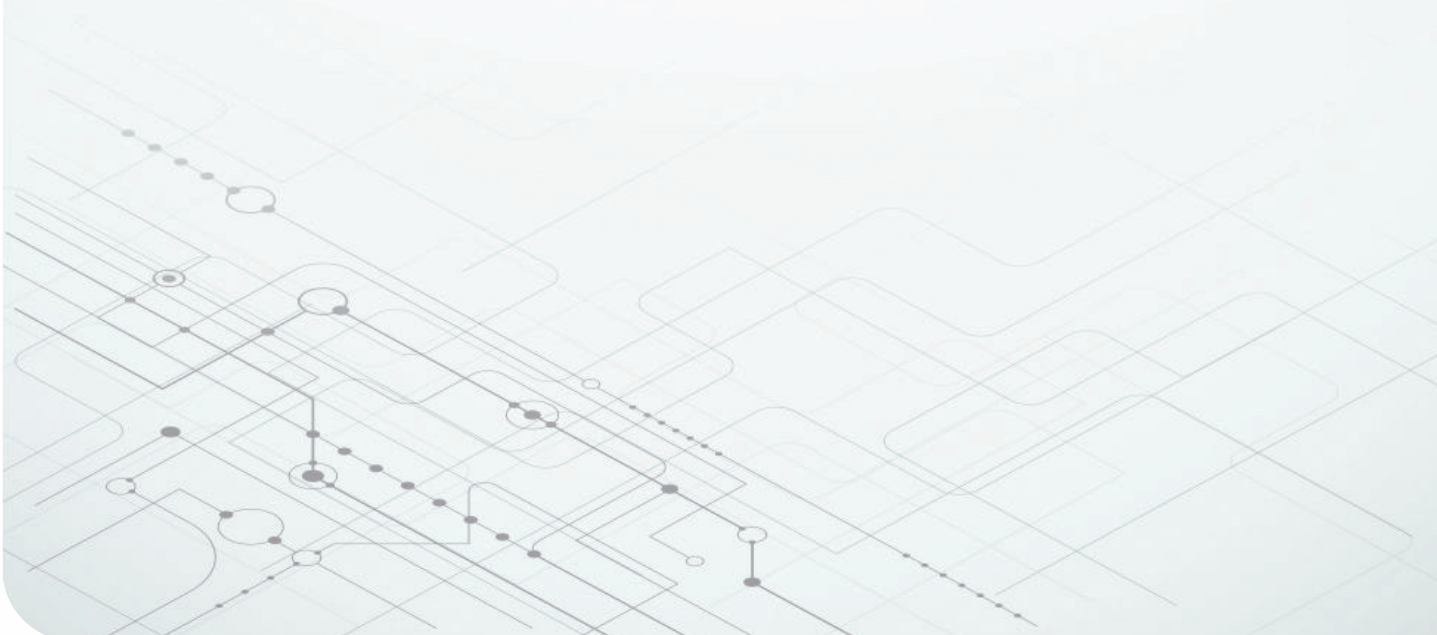


エネルギーを活かした住宅向けのエッジ インテリジェンス



Brandon Kanter
Systems Manager
Energy Infrastructure



高度なセンシング、保護、処理を通じて、より安全かつインテリジェントな住宅用エネルギー システムを設計できます

概要

- 現代の住宅は、単純な配電構成から、より高度な監視・保護機能を必要とする動的かつ相互接続された環境へと移行しつつあります。
- エッジ インテリジェンスにより、太陽光発電、蓄電、電気自動車 (EV) 充電機能を備えた住宅用エネルギー システムにおいて、リアルタイムでの故障検出と対応が実現します。
- 高度なセンシング技術が、通常の電氣的現象と危険な状態とを識別することで、不要な中断を防ぎ、システムの信頼性を向上させます。
- 統合型保護アーキテクチャは、高精度な測定、ローカル処理、接続機能を組み合わせることで、より安全かつ効率的な家庭用エネルギー管理を実現します。

概要

このような状況を頭に描いてみてください。テキサス州の暑い夏の日、ある家の住人が帰宅して電気自動車 (EV) を充電装置に接続します。ソーラーパネルは住宅の消費電力を上回る電力を発電するため、余剰電力を家庭用バッテリー システムに蓄えること、また電力網に送電することが可能です。その日の早い時間帯、食器洗い機が予定通りに作動し、空調システムは自動的にフル稼働の状態になっています。

太陽光発電設備、蓄電、EV 充電ステーションといった家庭用システムは、それぞれ単体で見れば、ごくありふれた身近なものに感じられるかもしれませんが、しかし、それらが相互に作用することで、より高い電化負荷、変動料金制、エネルギー貯蔵、双方向の電力の流れによって形作られる別の種類の住宅エネルギー環境が創出されます。高出力システムの普及に伴い、住宅において、コネクテッド家電や分散型エネルギー源による複雑な電気システムに対応したよりスマートなエネルギー管理の必要性が高まっています。これが、エネルギーを活かした住宅です。

エネルギーを活かした住宅では、壁や屋根を通じてより多くのエネルギーが供給・分配されますが、これは本質的にリスクの増大を招きます。これは、電化の拡大に伴い、保護システムにおける許容誤差が減少するためです。エンジニアは、こうしたリスクに対処するため、正確なセンシングとローカルでの状況分析が可能で、かつ可視化や調整に必要なコネクティビティを提供するシステムを設計しなければなりません。こうしたシステムにより、従来型の保護・制御技術の限界がはっきりと分かります。

エンジニアリング上の課題

スレッシュホールド ベースのサーキット ブレーカでは、エネルギーを活かした住宅のエネルギーの流れの変動や状況依存の動作特性に適切に対処できません。エネルギー管理システムは、センシング、シグナル コンディショニング、データ変換、処理、通信といった複数の機能領域を統合する必要があります。これらの各機能は、電氣的ノイズや高電圧が存在する環境下においても、誤トリップすることなく確実に動作するものでなければなりません。

絶縁およびセンシング技術の進歩により、設計者は高電圧・大電流の状態を安全に管理できるようになりました。その結果、電氣的危険のリスクが低減し、住宅所有者に対するシステム保護機能が向上しました。しかし、過敏な保護は、不十分な保護と同様に弊害をもたらすものです。

感度と選択性のバランスが最適に保たれた保護システムを設計することが、エンジニアにとっての課題となります。実際の故障がないにもかかわらず、保護デバイスが電源を遮断してしまう誤トリップは、下流のシステムに重大な影響を及ぼす可能性があります。故障分類の精度を向上させることで、システムは一時的な事象と真の故障状態をより確実に区別できるようになります。その結果、不要な停止が減少し、住宅所有者やサービス提供者にとってシステムの信頼性が向上します。

エネルギーを活かした住宅を最適化するには、システム内を電力がどのように流れているかをエンジニアが把握する必要があります。図 1 に、回路レベルでのリモート負荷管理、自動

化、制御を実現するスマート サーキット ブレーカ ソリューションの例を示します。高分解能の測定技術により、負荷や分散型エネルギー源にわたる電圧、電流、システム動作に関する詳細なデータが得られます。その可視性により、エンジニアは

故障検出を改善し、保護、制御、エネルギー管理に関してより的確な判断を下すことができます。



図 1. スマート パネル ソリューションにより、回路レベルでのリモート負荷管理、自動化、制御が実現

インテリジェント保護アーキテクチャ

システム レベルでは、エネルギーを活かした住宅の保護システムは、以下の 3 つの動作からなる連続的なループの中で機能します。

- 検出 – 高分解能センシングにより、電圧、電流、システムの状態をリアルタイムでキャプチャします。
- 分析 – 組み込みプロセッシングにより、電氣的署名を評価し、パターンや異常を特定します。
- 応答 – 保護メカニズムは状況に応じて動作し、故障を切り離すか、または適切に動作を継続させます。

継続的なセンシングと検出

検出段階において、状況が激しく変化する環境下の保護システムは、広範なダイナミックレンジにわたる電圧および電流のリアルタイム測定値を収集するために、継続的に動作する必要があります。検知システムは、時にミリ秒単位で測定されるサンプリングや処理を伴いながら、情報を捕捉・中継する必要があります。レイテンシの低減は重要となります。

現地情報に基づく分析

組み込みプロセッシングにより、保護システムは単に固定されたスレッシュホールドに応答するのではなく、電氣的挙動を解釈できるようになります。この区別が重要となるのは、エネルギーを活かした住宅環境においては、電氣的署名を決定論的な規則だけで記述することが困難な場合があるためです。データの発生源でローカルにパターン ベースの分析を行うことで、精度が向上し、応答性の改善および中核となる安全機能における接続性への依存度の低減が可能になります。テキサスインスツルメンツ (TI) の **CCStudio™ Edge AI Studio** といった設計ツールは、データの取得やラベリングから、モデルの評価や展開に至るまでのプロセスを効率化するのに役立ちます。

適応型保護およびシステム応答

最後の段階は応答です。従来型のバイナリ システム モデルでは、測定値が指定したスレッシュホールドを超えると、システムがトリップします。しかし、エネルギーを活かした住宅環境では、単なる「中断」にとどまらないきめ細やかな対応が求められます。太陽光発電、蓄電、EV 充電システム間での電力の双方向の流れを認識しつつ、一時的な突入電流と継続的な

故障を区別して状況を判断できる高度な保護システムが求められます (図 2)。これにより、より選択的な介入が可能となり、

家庭内での負荷分散の調整を支援しつつ、安全性とシステム性能を統合的に管理できるようになります。



図 2. インテリジェントな監視システムにより、故障や危険から住宅を保護しつつ、シームレスな双方向のエネルギーの流れを確保

システム統合: センシングから可視化へ

センシング、処理、通信が連携してシステム性能を決定する「エネルギーを活かした住宅」において、物理的なシステムを超えた可視性は、今や信頼性の高い運用のための基盤となっています。個々の技術は重要な機能を実現するものですが、設計が断片化していると、システムの性能、拡張性、信頼性が制限されてしまいます。エンジニアがそれらを統合して一貫性のあるエンド ツー エンドのアーキテクチャを構築したときに、それが初めて真価を発揮します。

TI は、センシング、絶縁、データ変換、エッジ処理、コネクティビティなど、シグナル チェーン全体にわたり、このアーキテクチャをサポートしています。センシング経路において、高精度アナログ技術や計測技術は、設計者が広いダイナミックレンジにわたって電圧や電流を正確にキャプチャする上で有用です。その際、絶縁デバイスやシグナル チェーン デバイスが、高電圧領域と低電圧処理用電子回路との間を伝送される信号の整合性を維持するのに役立ちます。

また、設計者は、データ変換技術やシグナル コンディショニング技術を用いて電氣的挙動を利用可能なシステム データに変換できるほか、エッジ側で組込みプロセッシングを活用し

て、保護・制御機能のためのローカルな分析をサポートすることも可能です。

インテリジェント保護アーキテクチャの仕組み

図 3 では、流れがセンシング層から始まります。この層では、システムが電圧や電流といった物理パラメータを捉え、それらの値を、システム内で生じている事象を表す電気信号へと変換します。

その後、これらの信号はシグナル コンディショニングの段階へと送られます。ここで、フロント エンドによって増幅、フィルタリング、絶縁が行われ、電氣的ノイズや高電圧が存在する環境下でも、データの精度と有用性が維持されます。

シグナル コンディショニングが完了すると、エッジ処理層がローカルでの分析を実行してパターン検出、イベントの分類、異常状態のフラグ立てを行い、データをリアルタイムのシステム認識へと変換します。

続いて、通信層が処理された情報をサブシステム間で、また必要に応じて

外部インターフェイスへと受け渡すことで、システムによる連携、診断、制御を支援します。

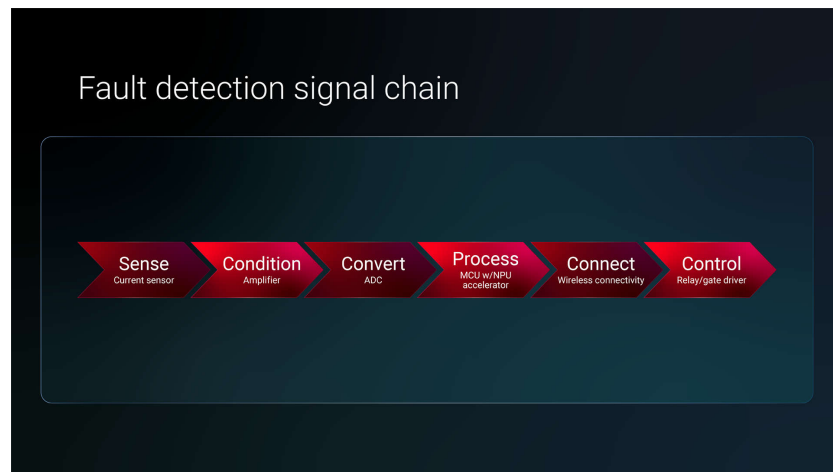


図 3. インテリジェント保護アーキテクチャの段階

インテリジェント保護のビルディング ブロック

- 電氣的挙動を利用可能なシステム データとして取り込むための高精度 **A/D コンバータ**と**絶縁型変調器**。
- ノイズの多い高電圧環境で高精度測定を行う計測アンプとシグナル チェーン デバイス。
- ローカルでの保護および制御分析向けに、**TinyEngine™ ニューラル プロセッシング ユニット**を搭載した **TI の MSPM0G5187 マイコン**などの組込みプロセッシング デバイス。
- 複数のサブシステムにわたる診断、可視性、エネルギー管理に適した有線とワイヤレス コネクティビティ技術。

最後に、有線と**ワイヤレス コネクティビティ技術**は、診断、可視性、エネルギー管理などの分野で使用できるように、住宅のエネルギー サブシステムまたはクラウド ベース インターフェイス間で関連データを移動するのに役立ちます。

エッジ側でのインテリジェンスが重要となる理由

保護機能はクラウド リソースへの接続に依存すること、またはネットワーク レイテンシによるタイムラグを許容することはできないため、エネルギーを活かした住宅用システムについては、エンジニアは重要な安全上の判断をローカルかつリアルタイムで行うことができるように設計しなければなりません。そのため、エンジニアは、迅速かつ適切な対応を行うことがで

きるように、エッジで測定を分析し、電氣的挙動を解釈できるシステムを設計します。

住宅のエネルギー環境がより動的なものとなる中、人工知能 (AI) の利用が容易になったことで、エッジ処理はより実用的かつ強力なものとなっています。家電製品の起動、モーターの動作、過渡的な電流変化といった通常動作に伴う事象は、時に故障状態と類似して見えることがあります。エッジ側 AI は、固定されたスレッショルドのみに依存するのではなく、事象の複数の特性を並列的に評価することで、この課題への対処を支援します。これにより、その事象が予期された動作を反映したものか、それとも介入を必要とする状態であるかを判断するシステムの能力が向上します。

アーク故障検出などのアプリケーションでは、付加的なコンテキスト情報を活用することで、危険な事象と無害な事象を区別することが可能になります。これにより、不要な中断の発生を減らし、より正確に応答し、より優れたユーザー エクスペリエンスをサポートできるシステムを実現できるのです。

住宅用エネルギー システムにおけるインテリジェント保護機能

システム間の相互作用がエネルギーを活かした住宅を定義付けるものであり、設計者が従う建築上の原則は、単なる理論にとどまるものではありません。それらはすでに住宅用エネルギー システムの設計のあり方を形作っており、設計者はますます複雑化する環境下で安全性、効率性、信頼性を確保しなければなりません。

スマート サーキット ブレーカ

電気パネルは、受動的な配電ノードから、インテリジェントな制御ポイントへと変化しつつあります。スマート サーキット ブレーカ パネルはシステムの中央制御ポイントとして機能し、システム構成要素のリモート診断やリセット機能をサポートします。

高度なスマート メーター

エネルギー計測は、定期的な報告から、システムに関する継続的な把握へと移行しつつあります。初期のスマート メーターでは主に自動検針に重点が置かれていましたが、新たなモデルの登場により、一段と詳細なデータを取得し、家電製品や時間帯ごとのエネルギー使用状況の緻密な分析を行うことが可能となりました。

こうした可視性の向上により、運用面とユーザ側の両方にメリットがもたらされます。電力会社は送電網の需要をより適切に管理できるようになる一方、住宅所有者は自宅のシステムがいつ、どのようにエネルギーを消費しているかをより明確に把握できるようになります。

より安全かつシンプルなエネルギー管理

住宅所有者にとって、インテリジェントな監視・保護機能がもたらす価値は「より大きな安心感」というシンプルなものです。太陽光発電、蓄電、EV 充電、接続された負荷 (ネットワーク接続された負荷機器) が相互に連携する「エネルギーを活かした住宅」においては、不要な中断を招くことなく、安全性と信頼性を維持するために、保護システムが正確な検知、状況の解釈、適切な応答を行う必要があります。

住宅用エネルギー システムが複雑化する中、建築業者やシステム設計者にとっても、こうした機能はコンプライアンス目標の達成、およびより予測可能なシステム性能の実現を支援するものとなります。

また、システムがどのように自らを監視 保護しているかについて設計者がより確信を持てるようになれば、充電速度の向上、エネルギー資産間のより高度な連携、そしてより進化した

家庭用エネルギー管理といった機能の実現に向けて、自信を持って取り組めるようになります。

まとめ

電動化、再生可能エネルギー発電の導入、システム インテリジェンスの向上など、エネルギーを活かした住宅を推進する動向は、今後 10 年にわたり続いていくと考えられます。住宅用エネルギー システムが複雑化するにつれ、手動での管理は現実的ではなくなり、統合型アーキテクチャおよび信頼性が高く応答性に優れた自動化の重要性が一層高まります。エネルギーを活かした住宅は、極めて動的かつ相互に接続された存在です。そのため、正確なセンシング、ローカルでの応答、システム全体にわたるインテリジェンスの統合といった能力は、エネルギーを活かした住宅をより安全で強靱かつ効率的なものにする上で不可欠であるだけでなく、住宅所有者がより大きな安心感と制御力を得ることににおいても、その基盤となります。

その他の資料

- 企業ブログ『[よりスマートなブレーカ、より安全な住宅: エネルギー消費の多い住宅を支える隠れた技術](#)』を読む

著者について

Brandon Kanter は、TI のエネルギー インフラ担当システム マネージャで、太陽光発電、EV 充電、スマート グリッド システムなど、持続可能エネルギーにおける革新を重視しています。以前は、パワー マネージメント IC のビジネス責任者兼アプリケーション マネージャとして、産業と車載を主に担当していました。同氏はケンタッキー大学で電気工学の学士号と経営学の修士号を取得しています。

重要なお知らせ:ここに記載されているテキサス・インスツルメンツ社および子会社の製品およびサービスの購入には、TI の販売に関する標準の使用許諾契約への同意が必要です。お客様には、ご注文の前に、TI 製品とサービスに関する完全な最新情報のご入手をお勧め致します。TI は、アプリケーションに対する援助、お客様のアプリケーションまたは製品の設計、ソフトウェアのパフォーマンス、または特許の侵害に対して一切責任を負いません。ここに記載されている他の会社の製品またはサービスに関する情報は、TI による同意、保証、または承認を意図するものではありません。

すべての商標は、それぞれの所有者に帰属します。

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