

# 監視・制御の高度化を図るエッジデバイス “MELPRO-i”シリーズ

匹田猛雄\*  
Takeo Hikita  
高口雄介\*  
Yusuke Takaguchi

Edge Device "MELPRO-i" Series for Highly Sophisticated Monitoring and Control

## 要旨

分散電源や電力インフラ設備などの監視・制御の高度化を図るため、保護機能だけでなく、以下の特長を持つエッジデバイス“MELPRO-i”シリーズを開発・製品化した。MELPRO-iは、三菱電機の既存の保護リレーをベースとして、機能を拡張させたミドルレンジのIED(Intelligent Electronic Device)である。

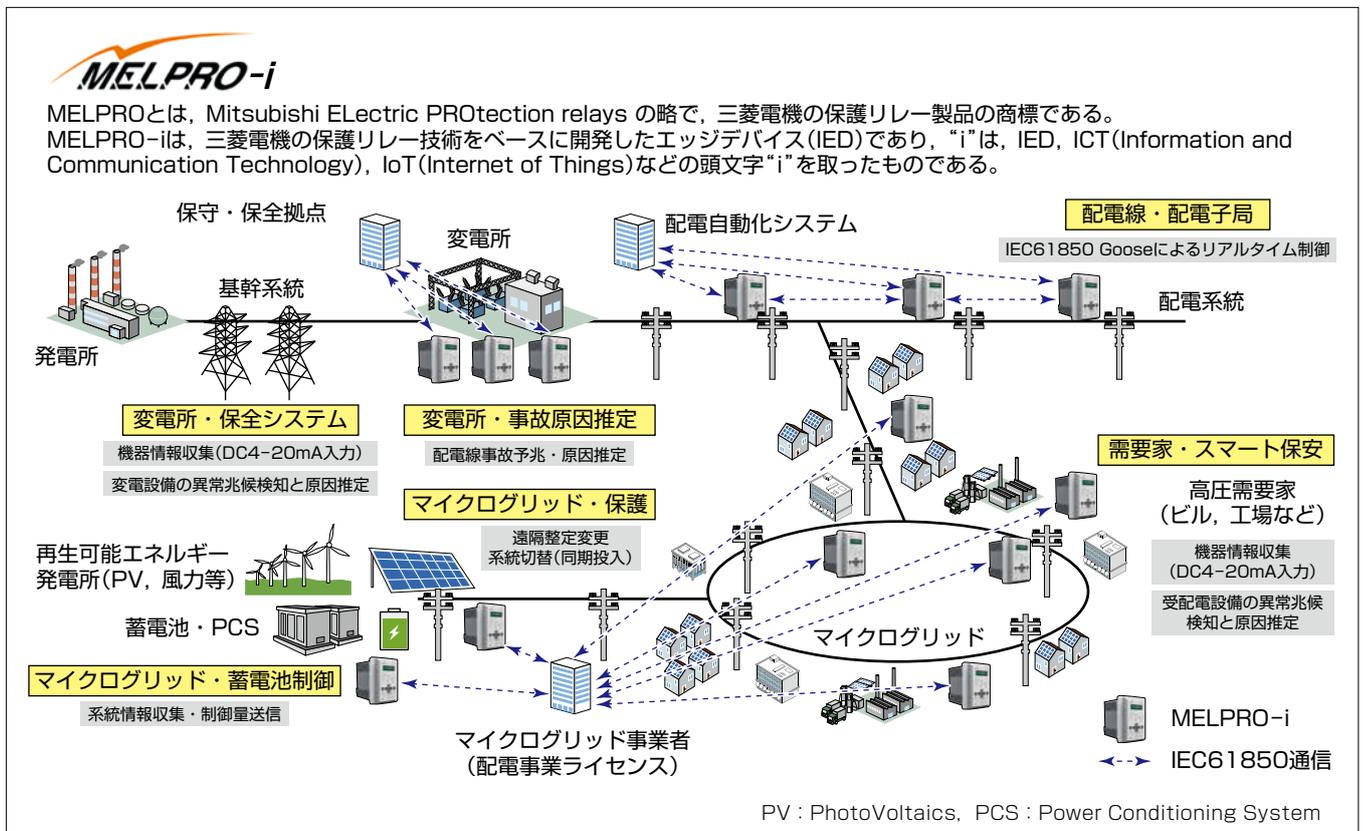
MELPRO-iは、国際標準の通信プロトコルIEC 61850で定義されるGoose(Generic Object Oriented Substation Events)や各種通信サービスをサポートしており、監視・制御システムの高度化が可能である。

また、当社AI技術“Maisart”を応用したAI処理専用のCPUを搭載しエッジAI機能が利用可能になる。当社IoT

プラットフォーム“INFOPRISM”を活用することで配電線や電力インフラ設備の異常兆候検知・原因推定ができる。

また、当社製エンジニアリングツール“MELGEAR”によるPLC(Programmable Logic Controller)機能の拡張によってユーザー自身でシーケンスロジックのプログラミング性の改善や、プログラミング容量の拡大、処理時間の短縮などの機能向上ができることを実現した。

さらに、IEDのセキュリティ規格であるIEEE 1686に準拠し、通信の暗号化に対応するほか、RBAC(Role Based Access Control)機能などを実装することで、サイバーセキュリティのニーズに対応し、情報漏えいや不正アクセスを防止できる。



## エッジデバイス“MELPRO-i”のユースケース

MELPRO-iは、従来の保護機能に加え、IEC 61850やエッジAI、PLC、サイバーセキュリティなどの機能を具備するエッジデバイスである。IEC 61850通信を活用したユースケースとして配電制御やマイクログリッドなどがある。また、エッジAIのユースケースとして、変電設備・配電線・受配電設備の異常兆候検知と原因推定などがある。

## 1. ま え が き

カーボンニュートラルに向けた再生可能エネルギー・分散電源の増加、エネルギーの地産地消、災害に強い街づくりなどを目的とした配電ライセンス制度の導入を背景に、災害等による大規模停電時には電力会社系統から独立したグリッドで自立的に電力供給可能なマイクログリッドの増加が見込まれている。一方、電気保安の分野では、各種電気設備の経年劣化や少子高齢化に伴う保守・保全業務の省力化・高度化(スマート化)のニーズが高まっている。これらのニーズに対応するため、国際規格であるIEC 61850通信のほか、エッジAI、PLC、セキュリティなどの機能を搭載した製品として、MELPRO-iを開発・製品化した。

本稿では、MELPRO-iの開発の狙いと各開発要素の内容とユースケースについて述べる。

## 2. 開発の狙い

現在の保護リレーは、IEDと呼ばれるものもあり、それらは通信機能やPLC機能、記録機能などの保護機能以外の機能が充実した製品となっている。また、保護リレーとしてのユースケースだけでなく、分散電源やマイクログリッドなどの運用に必要な系統情報の計測・制御端末などへ適用されるなどユースケースが拡大している。

当社でも、IEDを製品化済みだが、次の機能を拡張・実装することで、ユースケースの更なる拡大と監視・制御の高度化を狙いとして、MELPRO-iを開発・製品化した。

- ・IEC 61850 Edition2.0対応
- ・当社AI技術Maisart搭載
- ・PLC機能の拡張
- ・サイバーセキュリティ

## 3. 開発内容

### 3.1 IEC 61850 Edition2.0対応

IEC 61850通信は、変電所での保護制御の領域で導入が進

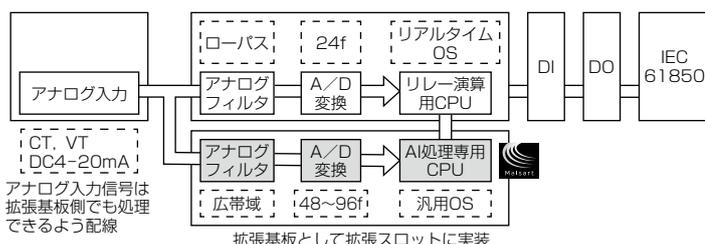


図1. エッジAIのハードウェア構成

み、現在は、Edition 2.0への移行が進んでいる。MELPRO-iでもEdition2.0に対応するとともに、次の通信サービスを新たに実装した。

- ・選択制御(SBOes: Select Before Operate with enhanced security)サポート
- ・遠隔整定(Setting Group内の整定値の変更)
- ・数値Goose送受信
- ・ソフトウェアアップデート(FileTransfer利用)

このうち、ソフトウェアアップデートについては、IEC 61850で規定されておらず、規定されている通信サービス、オブジェクトモデルを使用して、MELPRO-i内のソフトウェアをアップデートするものである。

### 3.2 当社AI技術Maisart搭載

#### (1) AI処理専用CPU搭載

MELPRO-iにはオプション基板を実装可能な拡張スロットがあり、拡張スロットにAI処理専用のCPUを搭載した拡張基板を実装することによって、エッジAI機能が利用可能になる(図1)。リレー演算用に入力するアナログ入力信号は、拡張基板側でも取り込めるように配線されており、リレー演算用とは異なる、より広帯域の周波数特性を持つアナログフィルタを経由し、高速サンプリング(最大5.760Hz)を行う構成としている。MELPRO-iは、設置環境・製品寿命等を考慮し、ファンレスとなっている。

#### (2) 当社独自のAIエンジン

エッジAIのソフトウェア構成を図2に示す。先に述べたとおり、MELPRO-iはファンレスであり、エッジAIアプリで、AIエンジンの起動要否を判定する事前演算を実施し、AIエンジンの実行を適正化することで、低消費電力化を図っている。

当社IoTプラットフォームINFOPRISMに対応させることによって、当社独自のAIエンジンが利用可能である。現在利用可能なAIエンジンとしては、類似波形認識技術<sup>(1)</sup>を用いたものがある。

類似波形認識は、異常の有無(通常と異なる)の判定に用いる手法である。学習フェーズで、学習用波形を基に、スコア値(全波形から見て、切り出した波形が他の部分とどの程度似ているかの指標)を算出し、スコア値のしきい値を決定する。検知フェー



図2. エッジAIのソフトウェア構成

ズでは、検知用波形のスコア値(学習用波形とどの程度似ているかの指標)を算出し、学習フェーズで算出したしきい値を超えていれば異常発生として検知できる。

今後、データの分類(判別)、回帰(予測)などの用途で使用される機械学習手法の一つであるランダムフォレストを用いたAIエンジンも利用可能になる予定である。ランダムフォレストは、データごとに利用する特徴量(周波数成分、実効値などの変化等)を決めて、決定木を作成し、複数の決定木を統合させるアルゴリズムであり、判定結果の多数決で分類結果を決定する。事故・異常の原因推定に用いることを想定している。

### 3.3 PLC機能の拡張

#### (1) PLC機能

IEDの特長の一つにPLC機能<sup>(2)</sup>がある。ユーザーは、PLCの国際規格であるIEC 61131-3に準拠したプログラミング言語で、シーケンスロジックをプログラミングすることが可能である。従来、IED内の組み込みソフトウェア又は盤配線を実現していたシーケンスロジックをPLCでプログラミングすることで、大幅なコストダウンが可能である。

#### (2) 当社製エンジニアリングツールMELGEAR(開発中)によるPLC機能の拡張

開発のベースモデルである“MELPRO-D”<sup>(3)</sup>では、メンテナンスツールであるPC-HMIを使用して簡易なPLC機能を使用できる(図3)。PC-HMIの画面上に用意されたブロックにAND・OR等のロジックを選択することでプログラミングできるようになっており、熟練者でなくても容易に操作が可能である。しかしながら、扱えるロジックの機能に制約があり、またプログラミング容量が少ないという課題があった。

MELPRO-iでは、MELPRO-DのPLC機能の課題を解決するため、当社製エンジニアリングツールMELGEAR(開発中)を使用することで、PLC機能を大幅に拡張する予定である。MELGEARでは、IEC 61131-3に準拠したFBD(Function Block Diagram)やST(Structured Text)などの言語が利用可能であり、図4に示すようにツール画面上で必要な機能のロジックシンボル及び信号を選択し、ロジックのプログラミングを可能とする予定である。

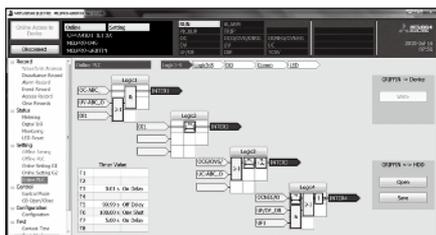


図3. PC-HMIによるPLC機能

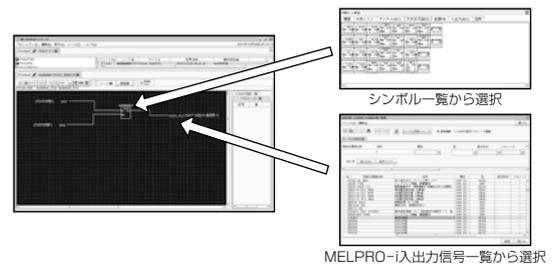


図4. MELGEARによるプログラミング

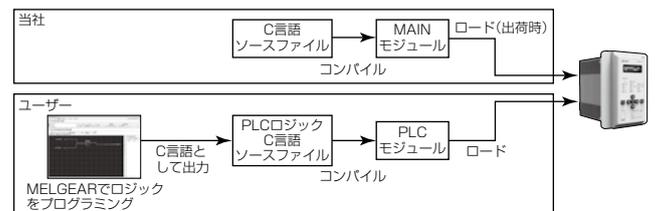


図5. MELGEARによるPLC機能の拡張

プログラミングしたロジックは、C言語に変換して出力できるようになっており、コンパイル後、MELPRO-i専用のソフトウェアローダを使用し、MELPRO-iにロードし、実行できる(図5)。

### 3.4 サイバーセキュリティ

#### (1) IEEE 1686への対応

IEDのセキュリティ規格として、IEEE 1686が規定されており、海外ベンダーのIEDもIEEE 1686への対応を謳(うた)っている。IEEE 1686では、規格の全項目を満足する必要はないが、各項目への適応レベルを明記したTOC (Table of compliance)を作成し、ユーザーへ提示する必要がある。MELPRO-iで検討中のTOCを表1に示す。表1に

表1. MELPRO-iのTOC

番号	条項	ステータス
5.1.1	IEDアクセス制御	適合
5.1.2	パスワード無効化	適合
5.1.3	ユーザー数	適合
5.1.4	パスワードポリシー	適合
5.1.5.1	パスワードによる認証レベル	適合
5.1.5.2	役割ベースアクセス制御	適合
5.1.6	セキュリティ機能	適合
5.1.7	パスワード表示	適合
5.1.8	アクセスタイムアウト	適合
5.2.1	アクセス記録	適合
5.2.2	記録容量	除外
5.2.3	記録内容	適合
5.2.4	アクセス記録に記録されるイベント	適合
5.3.1~5.3.6	スーパーバイザシステム監視と制御	除外
5.4.1	IEDの機能の侵害	適合
5.4.2	IPネットワークの暗号化機能	適合
5.4.3	暗号化技術	適合
5.4.4	シリアル通信の暗号化	適合
5.4.5	プロトコル固有のセキュリティ機能	適合
5.5.1	認証	適合
5.5.2	デジタル署名	適合
5.5.3	ID/パスワード制御	適合
5.5.4.1	設定データの表示	適合
5.5.4.2	設定データの変更	適合
5.6	通信ポートアクセス	適合
5.7	ファームウェア品質保証	除外

IEEE Std 1686-2013(Revision of IEEE Std 1686-2007)

記載のない項目については、規格で規定された要件の一つ以上を満たしていない。

#### (2) RBAC機能

MELPRO-iでは、正面パネル、PC-HMIのローカル接続をユーザーID/パスワードで保護する。さらに各ユーザーIDに権限を付与し、権限レベルに応じて各機能へのアクセス制限を設ける予定である。4レベルの権限を準備し、各権限レベルへの機能の割当ては固定である。各ユーザーIDへの権限レベルの割当てはユーザーで設定できるようにする予定で、異なるユーザーIDへの同一権限の割当てを可能とする予定である。

#### (3) 通信暗号化と通信ポートアクセス

IEEE 1686では、リモートアクセスでデータ転送、設定、ソフトウェアアップロードなどを行う場合、リモートアクセス可能な全ポートに対して、IEEE 1711に準拠したデータ暗号化を適用するよう規定されている。MELPRO-iの通信ポートとしてはIEC 61850通信用のEthernet<sup>(注1)</sup>ポートを具備しており、暗号化に対応予定である。

また、IEEE 1686では、物理的か論理的かにかかわらず、設定によって全通信ポートを有効/無効とする機能を持つよう規定されており、MELPRO-iでも設定を可能とする予定である。

(注1) Ethernetは、富士フイルムビジネスイノベーション(株)の登録商標である。

## 4. ユースケース

### 4.1 IEC 61850通信を応用したユースケース

#### (1) 配電制御<sup>(4)</sup>

配電線で事故が発生した場合、現在の配電線の運用方式は、配電用変電所の保護リレーの動作によって、一旦配電線全体を停電させた後、時限順送と呼ばれる方式で、事故区間を特定し、事故区間以外に再送電する方式となっており、停電復旧までには数分程度の時間を要する。

配電線にMELPRO-iを設置し、事故を検出するとともに、隣接するMELPRO-i間でIEC 61850のGoose通信によって、事故検出情報をやり取りすることによって、開閉器の遮断能力内であれば、配電線全体を停電させることなく、事故区間の特定と分離が可能になる。

#### (2) マイクログリッド

再生可能エネルギー・分散電源を活用した地域マイクログリッドの検討が各地で進んでいるが、電力会社との系統連系時とマイクログリッド運用時で、系統構成・規模が大きく変化することによって、事故の様相が変化する。このため、マイクログリッド運用に入る前に発電所及び各需要

家に設置されている保護リレーの整定値の変更が必要な場合がある。連系時からマイクログリッド運用時への切替えの停電時間を極力短くするためには、各保護リレーの整定値を通信で遠隔の拠点から変更する必要がある。MELPRO-iは、IEC 61850の遠隔整定機能をサポートしており、これらのニーズに対応可能である。

### 4.2 エッジAIのユースケース

エッジAIのユースケースとして、次の二つのケースの検討が進んでいる。

#### (1) 配電線事故予兆・原因推定<sup>(4)</sup>

配電線は、日本全国で数万kmにも及び、事故等による停電が発生した場合、事故区間の特定や事故原因の調査、復旧作業など電力会社の負担が大きく、これらの業務を省力化するニーズが大きい。

MELPRO-iのエッジAIでは、配電線の零相電流、零相電圧等の信号波形を記録・解析することで、配電線の事故の予兆検知や原因推定が可能である。

#### (2) 変電設備・受配電設備の異常兆候検知

各種電気設備の経年劣化や少子高齢化に伴う保守・保全業務の省力化・高度化(スマート化)のニーズが高まっており、遮断器、変圧器などの主要な設備に各種センサを取り付け、それらセンサデータを活用した設備の保守・保全の高度化が進んでいる。

MELPRO-iのエッジAIでは、零相電流、零相電圧だけでなく、センサの汎用インタフェースであるDC4-20mA入力信号を取り込み、信号波形を記録・解析することで、各種電気設備の異常の予兆検知や原因推定が可能である。

## 5. むすび

本稿では、MELPRO-iの開発の狙いと各開発要素の内容、ユースケースについて述べた。今後、通信インフラが整備されIEC 61850通信がより広範囲に適用されるようになることで、ユースケースの更なる拡大が期待できる。エッジAIについては、学習データ(事故・異常時のデータ、事故・異常が発生する直前のデータ)がまだまだ不足している状況であり、各ユースケースで、実証等を通じてデータを採取し、予兆・原因推定の高精度化に向けて改良を続けていく。

### 参考文献

- (1) 平井規郎, ほか: 設備維持管理向けデータ分析技術, 三菱電機技報, 90, No.7, 416~420 (2016)
- (2) 坂 泰孝, ほか: IEC 61131-3/IEC 61850準拠PLCによる保護制御機能の実装方法, 電気学会論文誌B, 140, No.5, 395~401 (2020)
- (3) 竹村聡司, ほか: 需要家向けマルチファンクションリレーの開発, 電気学会保護リレーシステム研究会, PPR-17-014 (2017)
- (4) 石本智之, ほか: 次世代配電系統での配電高度化技術, 三菱電機技報, 95, No.11, 682~685 (2021)