

インターテックリサーチ レポート
No.33 2014.09

トランザクティブコントロールと
OpenADR

| | |
|--|----|
| はじめに..... | 1 |
| 1. トランザクティブエネルギー..... | 2 |
| 2. トランザクティブコントロール..... | 4 |
| 3. エネルギー市場情報交換 (Energy Market Information Exchange : EMIX) ... | 6 |
| 4. トランザクショナル EMIX (Transactional EMIX : TeMIX) | 7 |
| 5. エネルギーインターオペレーション (Energy Interoperation : EI) | 8 |
| 6. OpenADR2.0 | 10 |
| 7. GWAC と GWAC スタックに関する補足..... | 13 |
| 8. サマリ | 15 |
| 9. 結論..... | 18 |
| 付録 A: CIM および IEC61850 | 21 |
| 付録 B : 参考文献..... | 22 |

今回紹介する『Transactive Control and OpenADR Roles and Relationships』は、OpenADR アライアンスのメンバ企業で OpenADR2.0 の仕様策定のみばかりでなく、OpenADR2.0 のテストツールの作成・提供、更に OpenADR2.0 普及のための講習会開催と OpenADR2.0 に深くかかわっている QualityLogic 社のレポートである。このレポートは、米国エネルギー省助成プロジェクト採択番号：DE-OE0000190 の支援に基づいて作成されたものである。

※ 全訳、直訳ではなく、訳者の思い入れを交えた超訳になっていることをお含みおきください

チーフリサーチャー：新谷 隆之
インターテックリサーチ株式会社
〒261-0001 千葉県美浜区幸町 1-1-1-1419
TEL/FAX : 043-246-0340
E-mail : takayuki.shintani@itrco.jp
URL : <http://www.itrco.jp>
Blog : <http://www.itrco.jp/wordpress>

はじめに

本レポートは、トランザクティブコントロール (Transactive Control : TC) 、トランザクティブエネルギー、トランザクショナル EMIX (TeMIX) 、OpenADR の元となったエネルギーインターオペレーション (EI) 標準、およびエネルギー市場の情報交換 (Energy Market Information Exchange : EMIX) の相互関係を理解するため、これらの概略を紹介したものである。

NIST はスマートグリッド実現に関連する標準として実に様々なものをリストアップした。その中で、人々は TC と OpenADR を競合する規格とみなし始めているが、これは、ある意味では正しいが、ある意味では正しくない。本レポートでは、それらに関連する標準の役割を明らかにし、お互いにどのように補完しあっているのか、あるいはどのような点でオーバーラップしているのかを明確にしたい。

とはいえ、スマートグリッド技術は複雑に入り組んでいるので、ここで取り上げる標準とプロファイルがスマートグリッドの運用面で果たす役割を明確に区別することは非常に困難である。

※ ここでは、「プロファイル」という用語を、「具体的な用途への実装を考慮し、オリジナルの標準の部分集合に対して詳細な適合規則による制限を加えたもの」という意味で使っている。例えば、OpenADR は EI という標準から派生した自動 DR (および分散電源制御) に特化した部分集合である。

なお、本レポートでは、先に挙げた種々の標準自身と、それらの関係について紹介していくが、標準間の役割と違いを大局的に捉えるため単純化しているので、注意されたい。

また、タイトルにもある通り、本レポートはトランザクティブコントロール推進の観点から組み立てられており、その流れの中で他の関連する標準を評価するためのフレームワークを提供するものである。

1. トランザクティブエネルギー

トランザクティブエネルギー自体は、標準ではない。従来の電力ビジネスを支えていた社会主義・計画経済的な仕組みから、自由主義・市場経済的な仕組みに移行するための技術は如何にあるべきかを議論する概念的な枠組みである。そこでは、電気の流通は、エネルギー（電気自体）と、その送配電に関連した相対的あるいは実際の経済的価値に基づいて行われるべきだと考えられている。

化石燃料ばかりでなく、ウランも枯渇資源であり、やがてはなくなってしまう。トランザクティブエネルギー推進の背景には、将来、出力変動の大きな太陽光／風力発電のような再生可能エネルギーが電力供給の主体となった場合、従来のトップダウン式電力供給のやり方では最早立ちゆかないという認識がある。市場メカニズムを導入し、地域に分散したクローズドループの需給バランス制御系をうまく協調させようというのが、トランザクティブエネルギーの目指す、動的、長期的な解決法である。

ところで、トランザクティブエネルギーには、いくつかの定義がある。

1) GridWise アーキテクチャ会議(GWAC)の定義

GWAC は、経済メカニズムおよび制御メカニズムからなるトランザクティブエネルギーの正式なフレームワークを記述している。

このフレームワーク内で、GWAC は、系統の安定化を担保しつつ、従来のように発電側から消費者側に単方向に電気が流されるのではなく、系統全体でダイナミックにエネルギーバランスの流れを作り出すことを提案している。

この新たな電気の流れ方を決定づける「価値」は、系統運用コストに紐づく単なる経済価値ではなく、系統の安定化や、「いくら電気代が高くても快適性を優先する」というような人間の嗜好も含んだものである。この「価値」に関する広い解釈が、「電気の取引」の主要なモチベーションは、系統とその配下の電力流通設備を直接制御することであるという概念とともに、GWAC が定義するトランザクティブエネルギーの重要な要素となっている。

GWAC は、ここまで実践されてきた特定の「トランザクティブエネルギーシステム」を包含するよう、意図して広くトランザクティブエネルギーを定義している。

これに対して、TeMIX では、トランザクティブエネルギーに関して、より狭い定義を行っている。

2) TeMIX での定義

TeMIX では、買い手と売り手の間で頻繁に行われる、ピア・ツー・ピアの自動電力取引をトランザクティブエネルギーと定義している。

買い手と売り手には、現物取引を行う発電事業者や消費者だけでなく、実際の電気のやり取りが発生しない金融取引を主体とするトレーダーも含まれる。

トランザクティブエネルギーのポジションを持つというのは、エネルギーという商品（電力自体）を、ある量だけある期間ある地点に供給する契約を行ったこと

を意味する。そして、エネルギーの市場予想価格の変化や、必要な電力消費量の変更に伴って、ポジションは買い足したり、売ったりすることができる。

トランザクティブエネルギーを特徴づけるのは、この、エネルギー市場価値の変化に伴って発生する頻繁なエネルギーの売買により、ポジションが絶えず調節される点にある。

このモデルでは、「価値」は純粋な経済価値であり、「神の見えざる手」が必要に応じて系統安定性の確保というような運用上の懸念事項も経済価値に換算して解決してくれるものとみなしている。

現在、我々は Figure 1 に示されるように、エンドツーエンドでトランザクティブエネルギーをやり取りするための入り口に差し掛かっている。最も広義の解釈に従えば、現時点で経済的あるいは系統運用上の価値に基づいてエネルギー取引への参加を決定する、もしくは、系統運用の決定を下すことに関わっている技術はすべてトランザクティブエネルギー技術の一部と考えられる。

例えば、卸売電力市場価格に基づいて電力市場取引をしたり、デマンドレスポンス・イベントに参加したりする仕組みが挙げられる。

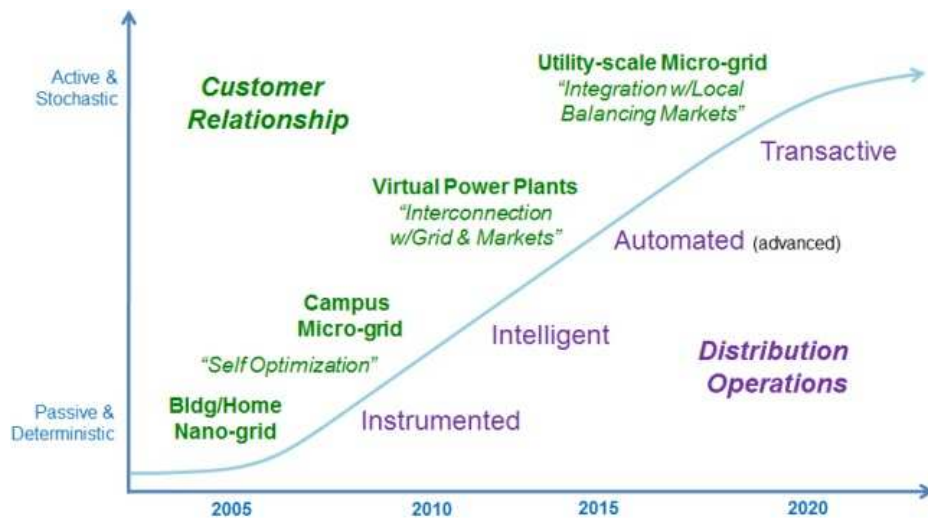


Figure 1: Stages of adoption of transactive operations for industry

Source: Paul De Martini, 1st International Conference and Workshop on Transactive Energy

2. トランザクティブコントロール

トランザクティブコントロール (TC) は、トランザクティブエネルギー技術の 1 形態である。

TC の特徴は、「価値」(純粋な経済価値、もしくは、系統運用上の懸念事項も考慮に入れた概念的な価値) に基づいて運用制御の判断を下す点にある。

その実現例として、米国太平洋岸北西部スマートグリッド実証プロジェクト (Pacific Northwest Smart Grid Demonstration Project : PNW-SGDP) をあげることができる。

このプロジェクトの目的は一組の「トランザクティブシグナル」を用いて需給バランスをとる、分散型で階層構造をした系統の有効性を実証することである。大規模送電設備から最終電力消費を行う一般家屋までを、多段階の「トランザクティブノード」と捉え、系統内の電力の流れを決定するため、「トランザクティブシグナル」が、送配電系統の「トランザクティブノード」間でやり取りされるアーキテクチャが採用されている。

「トランザクティブシグナル」には、これから使われるエネルギー・コストの予想値を知らせるための「トランザクティブ・インセンティブシグナル (Transactive Incentive Signal : TIS)」と TIS を受けたノードが、そのインセンティブに応じて検討した結果、自ノードから流す/自ノードで消費するエネルギーがどう変わったかを示す「トランザクティブ・フィードバックシグナル (Transactive Feedback Signal : TFS)」がある。

各「トランザクティブノード」は、TIS と TFS のシグナルをやり取りすることによって、エネルギー消費をノード単位でローカル最適化するのではなく、系統内の状況を知った上での最適化 (インフォームドローカル最適) を図る。Figure 2 に示す単純化した例で考えてみよう。

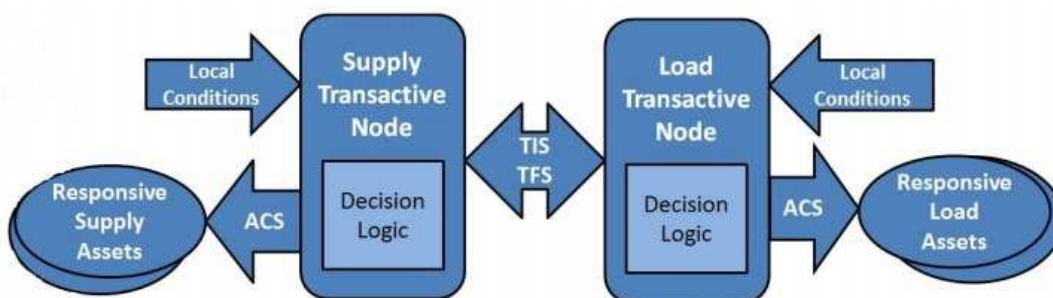


Figure 2 - Transactive Control

ここでは、2 つのトランザクティブノードからなる TC ネットワークがある。1 つはエネルギーを供給する側のトランザクティブノード (Supply Transactive Node : 供給ノード)、もう一つは、電気を使う側のトランザクティブノード (Load Transactive Node : 負荷ノード) である。

負荷ノードは、負荷プロファイルを変更することができる 1 つ以上の設備 (Responsive Load Assets) を持っている。

同様に、供給ノードも、エネルギー供給プロファイルを変更することができる 1 つ以上の設備 (Responsive Supply Assets) を持っている。

典型的な TC は、以下のようなシナリオで遂行される：

- 供給ノードと負荷ノードは、5 分ごと、あるいは、何らかの状況変化があり TIS や TFS として授受した内容に大幅な変化が発生するごとに、TIS/TFS のインセンティブ/フィードバック情報を交換する。
- 負荷ノードの決定ロジック (Decision Logic) では、将来のインセンティブとコスト、および負荷としてノード内で必要となるローカルな条件を調査し、TIS の情報と、自己ノード内の設備利用計画に基づいて、個々の将来の時間帯で負荷設備利用計画を修正すべきかどうかの決定を下す。
- その後、負荷ノードは、その決定に基づいて TFS の内容を更新し、供給ノードに TFS の信号を送る。
- TFS を受けた供給ノードの決定ロジックでは、新たに受けた TFS 情報と、自己ノード内の設備利用計画に基づいて、個々の将来の時間帯で供給設備利用計画を修正すべきかどうかの決定を下し、その決定に基づいて TIS の内容を更新し、負荷ノードに TFS の信号を送る。
- TIS または TFS の価値に著しい変更がなくなるまで、この TIS/TFS 情報交換が繰り返される。情報交換がなくなった時点で、系統全体の電気の流れが決まったことになる。
- この決定に従い、互いのノード内では、最終的に決まった計画通りに負荷/供給設備が動作するよう、5 分毎に監視制御信号 (Advisory Control Signal : ACS) が実行される。

※ 負荷ノード内の ACS 信号は、OpenADR 標準における DR イベントと機能的に同等のものである。供給ノード内の ACS 信号も、OpenADR 標準における DER (分散電源) 制御と機能的に同等のものである。

TC を実現するには、種々雑多な制御規格および通信手段を使用する負荷設備/供給設備の制御を行うためのフレームワークが必要となる。PNW-SGDP では、TC のリファレンス実装に当たって、IBM の iCS (Internet-scale Control System) プラットフォームを用いた。このプラットフォームは、国際標準 ISO/IEC 18012 に基づいて設計されており、異なるベンダーが提供する異種システム間での制御情報のやり取りが可能となっている。

3. エネルギー市場情報交換 (Energy Market Information Exchange : EMIX)

OASIS が定めたエネルギー市場情報交換 (EMIX) 標準は、エネルギー市場においてエネルギー商品情報を交換するための情報モデルを定義したものである。EMIX 標準をベースとした情報モデルを採用することで、エネルギーの利用とその利用のためのコストを最適化するような自動システムを構築することができる。

ところで、エネルギーの市場価格は、いつ送配電するか非常に大きく左右される。そこで、EMIX では、価格や送配電スケジュールを含むエネルギー取引情報を効率よく交換できるように、同じく OASIS が定めた WS カレンダー標準を利用している。

また、エネルギー市場価格は、エネルギーがどのように生産されるかにも左右される。そこで、EMIX では、取引されるエネルギー商品の属性も区別できるようにしている。

EMIX は、エネルギー市場において以下の手順で執り行われるあらゆる商取引に適用されることを念頭に規定されている：

- 1) 入札：エネルギー取引は「入札」によって開始される。これは、取引相手との間でエネルギーの「売り」または「買い」のオファーを実施するものである。
- 2) オファーに関して双方が合意に達すれば、「契約成立」となる
- 3) その後、当事者間で、エネルギーの供給、送配電、消費、清算および支払いに関する調整を行い、実際の「取引」が行われる。

EMIX 標準は、以上の「入札」から「取引」までを一般化した情報モデルを提供するものである。また、EMIX はエネルギー市場におけるオプション取引も取り扱うことができる。これは、あらかじめ決められた期間中、一定の価格でエネルギー取引をする権利 (オプション) を売買するもので、実際には取引を行わなくても良い。

EMIX は、取引日時のみが異なる定型商品その他、市場取引に関連する標準的なマーケットコンテキストの記述が可能で、その上、有効電力、無効電力、皮相電力といった特性を記述する等、エネルギー商品の取り扱いに関する機能拡張が行われている。

この EMIX の機能拡張を使えば、詳細にエネルギー商品を定義することが可能となる。

- 定型商品：ある期間、指定された電力 (MW) をいくら単価 (\$/MW) で送り届けるか、あるいは、
- 不整形 (出なり) 商品：自社保有するエネルギー資源が提供できるエネルギーを、都度最大限まで提供するが、一定出力を保証するものではない。
- 発電機や蓄電池だけでなく、負荷を削減することによって産み出すネガワット商品、
- 更に、ある地点から別の地点まで送配電網を介して電気を送り届けるトランスポート商品 (送電権商品)。このトランスポート商品には、送電ロスファクタや混雑料金も含まれる。

そして、OpenADR アライアンスが、OASIS EI1.0 OpenADR プロファイルをベースとして DR の取り扱いに特化した OpenADR2.0 プロファイルを定義したように、EMIX をトランザクティブエネルギーでの取り扱いに特化させるべく、TeMIX と呼ばれるプロファイルが策定されている。

4. トランザクショナル EMIX (Transactional EMIX : TeMIX)

トランザクティブエネルギーでは、M2M 環境で頻繁に情報交換が行われることが想定されているので、わかりやすい、明瞭な信号が望まれる。

OASIS EMIX 標準は、エネルギー市場の持つ複雑で多様な内容をすべて包含するべく設計されているので、ある種冗長な定義となっているきらいがある。そこで、EMIX 標準をベースとしつつ、トランザクティブエネルギーの中で使用する範囲に限定して複雑さを抑制するための適合規則を定義して、TeMIX プロファイルが策定された。

ここで、「プロファイル」という用語は、ある標準に対して、明確な使い方を想定して公式に定義した部分集合を指す。

TeMIX では、単一時間内に固定量の取引が行われることを基本にしている。価格も、単一時間内で変更されることはない。TeMIX では、このような制限を課すことで取引の単純化を図っている。

TeMIX では、以下の 4 つの商品を取り扱う。

- TeMIX 電力商品
- TeMIX トランスポート商品
- TeMIX 電力オプション商品
- TeMIX トランスポート・オプション商品

2 つのオプション商品に関しては、プット・オプション (売る権利) とコール・オプション (買う権利) があり、一旦オプション商品の権利が行使されると、それらは TeMIX 電力商品か TeMIX トランスポート商品になる。

オプション取引は、売買する価格に「保険」をかけるために使われるが、TeMIX 商品は容量確保、アンシラリーサービスの利用、およびデマンドレスポンスを実行するために利用することができる。

TeMIX プロファイルは、上記の 4 つの商品について、明瞭で、分かりやすく取引ができることを目指し、EMIX のスキーマエレメントのサブセットとして定義されている。

ところで、TeMIX 商品情報の交換には、OASIS が策定したエネルギー・インターオペレーション (EI) 標準のサービスが用いられる。したがって、TeMIX は、OpenADR2.0 同様、EI のプロファイルでもある。

TeMIX の技術並びにビジネス・コンテキストに関する広範な記述が、付録 A に示した「EMIX 白書」に記載されているので、詳細は、同白書を参照されたい。

以上の通り、TeMIX は非常に興味深い EMIX のプロファイルではあるが、(OpenADR アライアンスのように) このプロファイルを具現化するためのアライアンスは今のところ存在しない。また、TeMIX は「トランザクティブ」という部分に焦点を当てたプロトコルで、システムの需給バランスや制御の面での考慮が図られていない。しかし、トランザクティブエネルギー・システムを実現する 1 つのアプローチであり、そのアプローチを通して TeMIX 商品という考え方が生まれたことは非常に重要である。

5. エネルギーインターオペレーション (Energy Interoperation : EI)

OASIS のエネルギーインターオペレーション (EI) は、エネルギーの供給から消費までに関わる 2 者間の情報通信モデルの標準で、EI に関与するものとしては、エネルギー供給者と顧客ばかりでなく、市場、サービス・プロバイダーその他多くの分野のものが対象となっている。

また、2 者間でやりとりされるメッセージには、現在・過去・未来の価格情報や、システムの信頼性/緊急事態を示す情報等がある。

EI は、取引の流動性を高めつつ、マーケットベースでエネルギー需給バランスをとるため、リソースのスケジューリングやアグリゲーションの管理、エネルギー不足/余剰の通知、システムの緊急事態や/信頼度維持のためのイベントの通知とともに、エネルギーの供給/負荷削減が容易に実現できるよう考えられている。そのため、時刻やインターバル情報の通信には、OASIS が別途定義した WS-Calendar 標準を、エネルギー価格やエネルギー商品の定義には、同じく OASIS が別途定義した EMIX 標準を利用している他に、エネルギー取引に関して以下の情報モデルの拡張を実施している。

■ エネルギー取引に特化した情報モデルの拡張

- 取引に関連するアクターやコンテキストの定義：関連者 (Party)、資源 (Resource)、市場コンテキスト (market context)、対象 (target)、仮想エンドノード (VEN)、仮想トップノード (VTN)
- DR の取引でよく使われるイベントベースの対話を記述するフレームワークの定義：イベントの記述 (Event Descriptions)、活動期間 (Active Periods)、イベントシグナル (Event Signals)、ベースライン (Baselines)
- 資源の可用性を記述するフレームワークの定義： Opt in/out のスケジュール
- モニタリング、レポート、および予測用のフレームワークの定義：希望するレポートの種類 (report specifier)、レポートの頻度 (report scheduler)、レポートの種類を規定するメタデータ (reports)

■ エネルギー取引に関連するサービスの定義

EI でやり取りするメッセージには、EMIX 標準が規定したエネルギー情報モデルの一部とともに、EI 独自で定義したモデル拡張部分が含まれている。EI が提供するサービスは、大きく次の 5 つに分類される：

- エネルギー取引、登録、入札の実装に関わるトランザクション・サービス： EiRegisterParty、EiTender、EiQuote、EiTransaction、EiDelivery
- イベントと、関連するレポートの実装に関わるイベントサービス： EiEvent
- リモート・センシングとフィードバック情報をやり取りするためのレポートサービス： EiReport
- サービス・プロバイダー、資源、その他を識別し取引への参加資格を与えるためのエンロールサービス： iEnroll
- その他、付加的な能力を支援するサポートサービス - EiAvail、EiOpt、EiMarketContext

■ EI のプロファイル

EI は、その標準の定義の中で、OpenADR、Transactive EMIX (TeMIX)、および、価格情報配信 (Price Distribution) を実装するための 3 つのプロファイルを規定している。

プロファイルとは、特定のビジネス領域の実装に向けた標準のサブセットと考えられるが、残念ながら、これらの EI 標準で規定されたプロファイルだけでは、自動デマンドレスポンスやエネルギー取引を自動的に行うシステムを構築することができない。システム構築にこぎつけるためには、EI 標準で定めた情報モデルに大幅な制限を加え、適切なサービス対話パターンを決め、実際に運用するユースケースに特有なビジネス慣行等を適合規則として定める必要がある。

OpenADR 2.0 プロファイル仕様書は、正にそのような目的で EI のプロファイルを特定のユースケース用に具現化した例である。

6. OpenADR2.0

OpenADR2.0 は、電力会社を含めた電気に係わるサービス・プロバイダーとその顧客の間のデマンドレスポンス (DR)、価格および分散電源 (DER) 制御のシグナルを双方向通信で使用するため、OSI 参照モデルのアプリケーション層に当たるメッセージ交換を規定したプロトコルである。

OpenADR 2.0 は OASIS の EI 標準の部分集合で、単純な DR 信号を取り扱う A プロファイル (OpenADR2.0a) と、より多くの自動 DR の機能性を提供する B プロファイル (OpenADR2.0b) が規定されているが、ここでは、B プロファイルに関して紹介する。

OpenADR2.0 には 2 つの実体がある。

- 仮想トップノード (Virtual Top Node : VTN) は DR イベントを開始するノードである
- 仮想エンドノード (Virtual End Node : VEN) は DR イベントに参加する (VTN からの要求に応じて負荷を削減) ノードである

VTN と VEN は、Figure 3 に示されるような階層構造を構成することができる。すなわち、系統運用機関 (ISO) や電力会社 (Utility) は、VTN として DR イベントを直接大口ユーザ (C&I, SMB) や一般家庭 (Residential) の VEN に伝えることができるが、伝えた相手が DR アグリゲータの場合、このアグリゲータは VEN として DR イベントを受け取るとともに、今度は VTN として DR イベントをアグリゲータの顧客である大口ユーザ (C&I, SMB) や一般家庭 (Residential) の VEN に伝える。

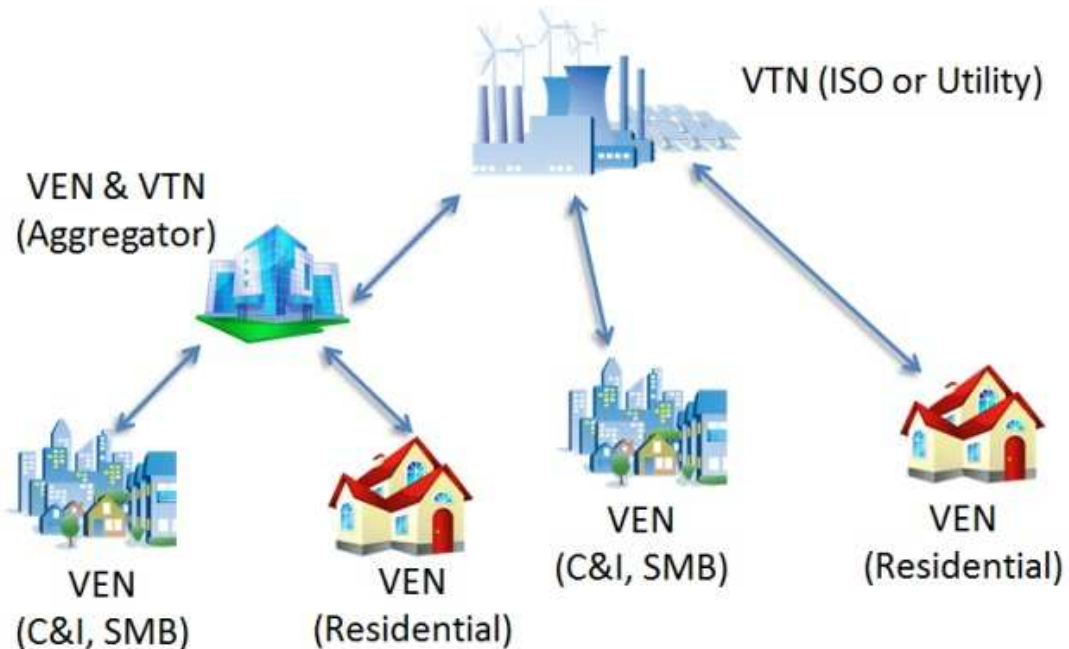


Figure 3 - OpenADR

VEN は、負荷調整可能な設備・機器を持つノードで、EMS (Energy Management System) のようなアプリケーションロジックを持ち、VTN から送られた DR イベントのシグナルの内容に応じて負荷調整を行うように事前設定しておくことで、自動 DR のアクションが可能となる。

※ VEN には、このアプリケーションロジックの部分は含まれていないことに注意

DR イベントに含まれる、負荷削減行動を促す情報には、価格反応型 DR 用の価格情報や、発電機への給電指令に相当するもの、系統逼迫に対応して緊急に負荷削減を要請するために系統信頼度を単純な数値レベルで伝達するもの等、様々な種類があるが、それらはすべて今後の特定の時間に対するシグナルとなっている。

OpenADR2.0 では、DR 遂行のため VTN/VEN 間でやり取りする以下のサービスを規定している：

- EiEvent サービス：VTN が VEN に対して DR イベントを送ることを可能にし、VEN は、当該 DR イベントに対応する (Opt In) か、しない (Opt Out) かを VTN に通知する
- EiReport サービス：VTN および VEN が、どのようなレポート能力保持しているか宣言することを可能にし、互いにレポートを要請したり、一度きり、あるいは定期的にレポートしたりすることを可能にする
- EiOpt サービス：VEN は、提供できる DR 資源量の一時的な変更や、提供可能資源量が元に戻った時、VTN に DR 資源提供能力の変更を宣言することを可能にする
- EiRegistration サービス：VEN と VTN の関係を構築することを可能にする

※ EI では、EiRegisterParty と EiEnroll の 2 つのサービスがあり、DR 資源提供者の登録管理と DR 資源提供者が保有する DR 資源をどの DR イベントに参加させるかの登録管理が区別されているが、OpenADR2.0 では、VTN に対して VEN を登録管理するサービスとなっている

OASYS では、カリフォルニア州で集大成された OpenADR1.0 の機能範囲をカバーするものとして EI が規定したサービスの部分集合を OpenADR プロファイルとして定義した。しかし、OpenADR アライアンスは、自動 DR を実現する機能範囲として OpenADR2.0a、2.0b を定める中で、EI の OpenADR プロファイルに規定された 7 つの Ei サービスすべてを自動 DR 実現に向けて詳細化するアプローチをとらなかった。機能範囲を定め、必要最低限の Ei サービスに限定して詳細化するアプローチを採用したので、OpenADR2.0a では、EiEvent のみ、OpenADR2.0b でも、上記の 4 つの Ei サービスのみ詳細化を行っている。

OpenADR アライアンスは、2.0a、2.0b の機能範囲での自動 DR システム実装に必要な要件を洗い出し、個別に OpenADR2.0a プロファイル仕様書、OpenADR2.0b プロファイル仕様書としてまとめるとともに、それぞれの Ei サービスの操作とペイロード(メッセージのボディ) を XML スキーマとして公開している。

ただし、一から作り直したわけではなく、WS-Calendar や EMIX など、EI が電力取引の定義に利用した OASIS 標準は、DR 実行のユースケースにも適用可能であるので、「ツール・ボックス」として利用している。

なお、OpenADR2.0 に基づく自動 DR システム構築に当たって、現在 OpenADR アライアンスは SimpleHTTP と XMPP の 2 種類のトランスポート層のプロトコルを採用しているが、これは、OpenADR2.0 プロトコルに基づく自動 DR システム構築に当たって、技術的に他のトランスポート層プロトコルの採用を排除するものではない。

※特に Fast-DR の実装に当たって、今後 XMPP をしのぐプロトコルが出現すれば、それを採用する可能性は十分あると思われる。

すでに多くのベンダーから OpenADR 2.0 プロファイル仕様に基づいた製品の開発・提供が行われており、それらのベンダーから提供を受けた VEN および VTN が、電力会社の運営する DR プログラムに使われ出している。

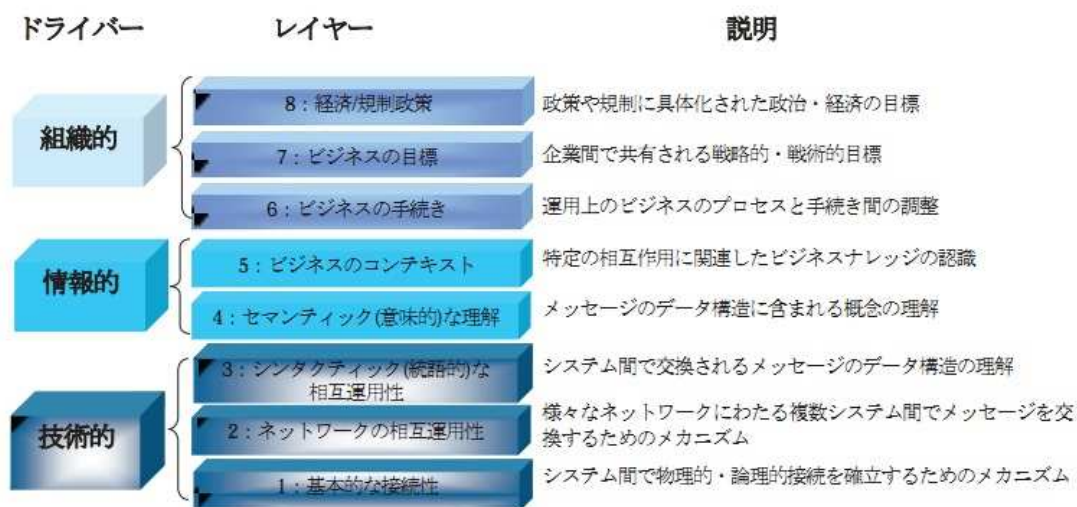
7. GWAC と GWAC スタックに関する補足

※ この章の内容は、レポート本文にはありません。「【Interop Tokyo 2011 (Vol.33)】スマートグリッドは世界の優先事項だ……ギド・バーテル氏が基調講演 2011年6月11日(土) 15時03分」、および「次世代エネルギーシステムに係る国際標準化に向けて」の付録2として NIST のスマートグリッド相互運用性関連標準のロードマップリリース 1.0 に関して経済産業省産業技術環境局基準認証政策課で翻訳された内容等を参照して構成しています。

- GridWise アライアンス設立の背景：2003年に米国北東部で起きた大停電がきっかけだった。この停電で、5,500万人に影響が出、265カ所の発電所がオフラインになった。これにより電気の将来はどうあるべきかが真剣に考えられ、ビジョン“GridWise 2030”が作られた。GridWise Alliance はそれを実行していくための組織となった。
- GridWise アライアンスの使命：環境性、経済性に優れた先進的なスマートグリッド・ソリューションの普及を促進し、関係者の間で効果的な協力関係を推進する。
- GridWise アライアンスの設立メンバー：Alstom、IBM、PNNL、PJM、RockPort Capital、Sempra Energy、UAI (Utility Automation Integrators, Inc.)
- 2004年、米国エネルギー省 (DOE) は、先進的なスマートグリッド・ソリューションの相互運用性を確保するため、有識者を集めて設立した産学協同の諮問機関が GridWise アーキテクチャ協会 (GridWise Architecture Council : GWAC) 。標準化団体に対して、スマートグリッドでの相互運用性確保のための考え方や要件の整理を実施。
- 2008年、スマートグリッドの相互運用性を考えるフレームワーク (GridWise Interoperability Context-Setting Framework) として GWAC スタックを完成。
- 米国国立標準技術研究所 (NIST) が編纂したスマートグリッド標準フレームワーク『NIST Framework and Roadmap for Smart Grid Interoperability Standards』に、この GWAC スタックが取り込まれた。

■ GWAC スタック

スマートグリッドのような大規模な複合システムでは、物理的なプラグ互換性から、無線接続での互換性、分散したシステム間でビジネス取引を実施するための手順の整備など、様々なレイヤーで相互運用性の確保が必要となる。そこで、GridWise アーキテクチャ協議会では、スマートグリッド相互運用性の要件の決定と情報交換の定義を次図のような8つのレイヤーに分けて考える。



非常に単純な機能性、例えば物理的機器のレイヤー及びデータのコード化や伝送のためのソフトウェアは、最下位のレイヤーに限定できるであろう。通信プロトコルやアプリケーションは、より高位に属し、最上位はビジネスの機能性のために確保されている。複雑で精巧な機能や能力を得るためには、GWAC スタックのより多くのレイヤーの相互運用が要求される。個々のレイヤーは通常ではその下位のレイヤーに依存し、下位のレイヤーによって起動される。

GWAC スタックで最も重要な特徴は、1つのレイヤーで相互運用性を確立すると他のレイヤーでの柔軟性が増すことである。この特徴の最も明白な例はインターネットにおいて見られる。共通のネットワークの相互運用性のレイヤーによって、基本的な接続性のレイヤーが、イーサネットから WiFi へ、光やマイクロ波のリンクへと変化でき、しかも異なるネットワークが同じ共通の方法で情報を交換できる。

この図に示すように、8つのレイヤーは、それぞれが異なる相互運用性のレベルを要求する3つの「ドライバー」に分類される。

- 技術的：相互運用の統語的側面を重視し、どのようなデータが交換されるのかに焦点を当てる
- 情動的：相互運用の意味的側面を重視し、どのような情報が交換されるのか、及びその意味に焦点を当てる
- 組織的：相互作用の実用面（ビジネスや政策）を重視し、特に電力の管理に焦点を当てる

8. サマリ

次の表 (Table 1 - Technology Relationships) は、このレポートで取り上げたそれぞれの技術が、他の技術とどのような関係にあるのかをまとめたものである。また、次の図 (Figure 3 - Technology Relationships) は、それらの技術の関係をグラフで表したものである。

| | トランザクティブ エネルギー (TE) | トランザクティブ コントロール (TC) | EMIX | TeMIX | OpenADR 2.0 |
|---------------------------|---|---------------------------------|--|---|--|
| トランザクティブ エネルギー (TE) | | | | | |
| トランザクティブ コントロール (TC) | TCはTEの技術を具現化した1形態である | | | | |
| EMIX | EMIXはTEで取引される商品 (TEプロダクト) を定義するための道具である | | | | |
| TeMIX | TeMIXはTEプロダクトと1組のサービスを明確に定義したものである | | TeMIXはEMIXのプロファイルで、物理/オブション取引商品 (TeMIXプロダクト) を定義している | | |
| エネルギーインター オペレーション (EI) | EIはTE技術を具現化するための構築ツールである | | EIは価格情報やエネルギー取引商品の定義にEMIXを利用している。また、その取引に関連するサービスを定義している | TeMIXプロダクトの情報交換に関してはEIのプロファイルと考えることができる | |
| OpenADR 2.0 | OpenADR2.0はTE技術を具現化したものと考えることができる | OpenADR2.0はTCのACSSシグナルの実装に利用できる | OpenADRはシグナルとレポートの定義にEMIXを利用している | | OpenADRは、EIのサブセットで、DR/DERの制御に特化したプロファイルである |

Table 1 - Technology Relationships

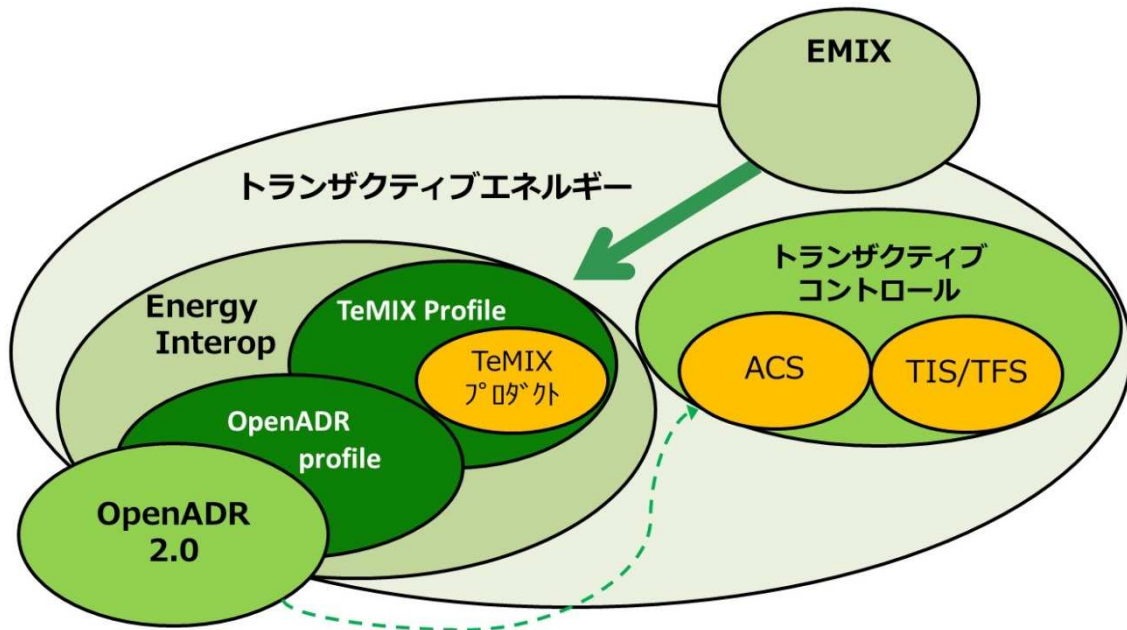


Figure 3 - Technology Relationships

TeMIX と OpenADR は、ともに EI 標準の中で定義された特定ドメイン向けのプロファイルであるが、それらは EI で定義された 11 のサービスの一部 (EiEnroll、EiRegisterParty、EiMarketContext、および EiQuote) を共有しているので、重なっている。

OpenADR2.0 は、EI 標準の OpenADR プロファイルをベースとしているものの、現時点では OpenADR プロファイルで定義した 8 つの Ei サービスすべてを実装していません。逆に oadrPoll という EI 標準にはなかったサービスを導入しているので、OpenADR プロファイルとは重なる部分があるものの、一部 EI からみ出ししています。

図中、EMIX から Energy Interop (EI) に出ている矢印は、EI が、EMIX で定義された多くのスキーマ・エレメントを利用していること。また、OpenADR でも、EMIX が利用されていることを示している。すなわち、EMIX 標準は、EI 標準内に定義された 2 つのプロファイルへの「入力」となっていることを示している。

OpenADR2.0 からトランザクティブコントロールの ACS (Advisory Control Signal : 監視制御信号)に出ている矢印は、OpenADR2.0 が、トランザクティブコントロールの ACS の実装に利用できることを示している。

次に、このレポートで取り上げたそれぞれの技術が、他の技術とどのような関係にあるのか、別の角度から見てみよう。

次の表 (Table 2 - GWAC Stack Mapping) は、これらの技術を GWAC スタックの 2 ~ 5 層にマッピングしたものである。ただし、EMIX の成果物は EI に包含されてしまうので、比較評価軸に入っていない。同様に、トランザクティブエネルギー自体は概念的なフレームワークであり即実装に結び付く技術ではないので、次の表の比較評価軸には含まれていない。

| GWACスタックのレイヤ | トランザクティブコントロール | OpenADR | エネルギー・インターネットオペレーション (EI) | TeMIX |
|------------------|--|--|--|---|
| 5: ビジネスコンテキスト | 定義あり。ただし、利用するツールの機能の熟練度に依存。 | 未定義 | 未定義 | 定義あり。EMIX White PaperとしてTeMIXのビジネスコンテキストが記述されている。 |
| 4: 意味的理解 | 定義あり。XMLデータ構造でスキーマと仕様書にデータの意味が記述されている。 | 定義あり。XMLデータ構造でスキーマと仕様書にデータの意味が記述されている。 | 定義あり。XMLデータ構造でスキーマと仕様書にデータの意味が記述されている。 | 定義あり。XMLデータ構造でスキーマと仕様書にデータの意味が記述されている。 |
| 3: 統語的な相互運用性 | 定義あり。メッセージのパイロードが、正式なXMLスキーマで定義されている。 | 定義あり。メッセージのパイロードが、正式なXMLスキーマで定義されている。 | 正式なXMLスキーマが定義されているものの、特定のアプリケーション向けにメタデータへの追加に当たっては、もう一段の細分化が必要。 | TeMIX用にEIのプロファイルが定義されており、EMIXのスキーマも定義されている。 |
| 2: ネットワーク上の相互運用性 | ノード間の相互運用性を確保するためにICS (IBMの Internet-scale Control System) の利用が謳われているが、公式には定義されていない。 | 特定のIPベースのトランスポート層及びエンドポイントの定義あり。 | 未定義 | 未定義 |

Table 2 - GWAC Stack Mapping

上記表中最も顕著な違いは、トランザクティブコントロール (TC) と TeMIX 技術はビジネスコンテキストを包含していることである。これらは、共にトランザクティブエネルギー (TE) の一形態であるが、TC には、エンティティ間でやり取りする取引情報の中に TeMIX が定義している金融取引のような X 概念がなく、TeMIX には、TC におけるエネルギーの流れに関するフィードバック (Transactive Feedback Signal: TFS) のような概念がない。

また、本レポートで議論したほとんどの技術は、GWAC スタックの高い層での役割も担っているが、ビジネス手続きや経営目標のような、高いレベルの GWAC スタック層に関しては、筆者は、技術で定義する範疇外ではないかと考えている。

9. 結論

本レポートが意図しているのは、ここで議論した他の標準が、どういった面でトランザクティブコントロール (TC) と機能的にオーバーラップしているのか、また、どういった面で TC と補完関係にあるのかを明らかにすることである。8 章サマリの結果を見ると、TC はエネルギーインターオペレーション (EI) および OpenADR2.0 との関係が深いように見えるので、この 2 つに限って、もう一段深く、TC と比較検討してみよう。

これらの標準は、スケジュールやエネルギー商品の定義、取引相手との通信処理に関して、ビジネス・コンテキスト上の矛盾は見当たらない。そこで、標準を適用した事例での比較を行うため、TC のリファレンス実装として、PNW-SGDP (米国太平洋岸北西部スマートグリッド実証プロジェクト) の特徴を列挙してみよう：

- TC の対象ドメインは、卸売取引から一般家屋内のホームエリアネットワークに至るまで、スマートグリッドの広い範囲をカバーしている
- TC のノードのネットワーク構成は、送配電のネットワーク構造に基づいている
- TC では相互運用の仕組みの中で、様々なレガシーシステムとの接続が想定されている
- TC では、各ノードで将来の一連の時間間隔に関するエネルギー調達コスト (TIS) と予測電力潮流 (TFS) の計算を可能とするアプリケーションロジックのフレームワーク (道具立て) を用意している
- TC のノードは、周期的に一連の時間間隔に関するエネルギー調達コスト (TIS) と予測電力潮流 (TFS) を通信する能力を持つ
- TC のノードは、TIS/TFS および自ノード内の状態変化に応じて負荷プロファイル/供給プロファイルの変更を促す監視制御シグナル (Advisory Control Signal: ACS) という仕組みと設備モデルを持つ

次表 (Table 3 - TC Characteristics Comparison) は、これらの TC の特徴と同等の機能が EI あるいは OpenADR2.0 に備わっているかどうか検討した結果をまとめたものである。

| トランザクティブコントロール (TC) の特徴 | エネルギー インターオペレーション (EI) | | OpenADR 2.0 (OADR) | |
|---------------------------------|--|--|-------------------------------------|--|
| | 重複 | 相反 | 重複 | 相反 |
| 対象ドメイン | EIもTCもスマートグリッドのドメインを広くカバーしている | | | OADRは主に系統運用者、電力会社、DRアグリゲータ、大口需要家など限定的なドメインを対象としている |
| ノードのネットワーク構成 | EIサービスの一部はピアツーピア通信も可能なので、TCにおける通信のモデル化は可能である | | | OADRはVTNとVENの間で1対多の構成をとるが、TCではノード間でピアツーピア関係を許している |
| 相互運用の仕組み | | EIは、TCでのICSのようにレガシーシステムとインタフェースする考慮がなされていない | | OADRは、TCでのICSのようにレガシーシステムとインタフェースする考慮がなされていない |
| アプリケーションロジックのフレームワーク | | EIはアプリケーションロジックのフレームワークを定義していない | | OADRはアプリケーションロジックのフレームワークを定義していない |
| TIS/TFS通信 | | EIのイベント/レポートサービスを使えばTIS/TFSの通信が可能であるが、まずEIのサブセットを作る必要がある | OADRのイベント/レポートサービスを使えばTIS/TFSの通信が可能 | |
| ノード内の設備の負荷/供給プロファイル変更をトリガーする仕組み | | EIはシグナルを動作可能な振る舞いに交換する仕組みを持っていない | | OADRは、TCのACSシグナルによりノード内設備の負荷プロファイルを変更する仕組みとして利用できる |

Table 3 - TC Characteristics Comparison

この表を見る限り、TCの6つの特徴に対して、相反：5、重複：1、補完：1であり、OpenADR2.0とTCにはほとんど共通点はないと言ってよい。すなわち、OpenADR2.0

のイベント/レポートサービスを使えば、TC の TIS/TFS の通信を実現できそうだが、それ以外の TC の特徴はカバーできていない。

もう 1 つ注意しなければならないのは、OpenADR2.0 がデマンドレスポンス（及び分散電源制御）という非常に明瞭なユースケースの実現に特化したものであるのに対して、TC では、もっと一般化されたトランザクティブエネルギーとしてのユースケースを対象としていることである。TC の幅広い運用の中で、OpenADR2.0 が利用できそうなものには、以下のようなケースが考えられる：

- TC の監視制御信号 ACS に基づいてノード内の設備の負荷プロファイル変更を促す
- TC のノード内の状態変化をシグナルとして発信する
- TC をレガシーシステムにマイグレーションするための手段として、TIS/TFS メッセージ交換を機能的に再現する

OpenADR2.0 と比べると、EI の方が TC と重なる特徴は多い。しかし、それでも TC に含まれるいくつかの機能性を EI で再現するには無理がある。最大の問題は、EI も OpenADR2.0 同様アプリケーションロジック・フレームワークを持たない点である。

また、EI は実装を視野に入れた標準ではなく、どちらかと言えば「ツール・ボックス」のようなものに過ぎない。もし、OASIS が EI のサービス群のサブセットとして定義した TeMIX プロファイルをベースとして PNW-SGDP の TC を実装したとすると相当な努力を必要としただろう。

とはいえ、TC の標準化への道程を考えるなら、EI の TeMIX プロファイルを参考にすることが早道であることは間違いがない。それは、OpenADR アライアンスが、OASIS が定めた EI のサービス群のサブセットである OpenADR プロファイルをベースにして OpenADR 2.0 という実装を視野に入れた標準を策定することに成功した事実から見ても明らかである。

結論として、OpenADR2.0 も EI も、TC が提供する機能と同等のものすべてを提供できないことが分かった。しかしながら、両方とも、TC の採用を促進する上では、何らかの役に立つとも言えることができる。

付録 A: CIM および IEC61850

IEC 61850 と CIM (IEC 61968/61970) の 2 つの国際標準は、たびたびデマンドレスポンスにおいて OpenADR2.0 と比較されるので、TC とのかかわりについても考えてみよう。

IEC 61850 は、元来変電所内で使われる、多数のベンダーが提供するインテリジェントな電子装置 (IED : Intelligent Electronic Device) 間の情報交換を標準化し、相互運用を達成するために制定されたものである。しかしながら、この規格で使用されている概念は、総括的で、電力産業の他の領域にも十分摘要できる。したがって、本規格は電力システムの運用管理におけるグローバルな通信基盤になる可能性を持っている。

本規格は 3 層の階層構造を形成しており、最上位の IEC61850-7-3/7-4 は、変電所装置の情報モデルの規定で、回路遮断機や計器用変圧器のような主要機器のモデルの他、保護や計量のような他の機能のための情報モデルを含んでいる。中間層の IEC61850-7-2 は、どのような通信プロトコルからも独立した抽象的な形式で、情報交換と、それに関連した通信サービスが規定しており、アブストラクト通信サービスインタフェース (ACSI) と呼ばれる。最下層の IEC61850-8-x/9-x は、IEC61850-7-2 のサービスを利用して、IEC61850-7-3 および 7-4 で指定された情報を送信するための、特定通信サービスへのマッピングを規定している。例えば、IEC61850-8-1 では、変電所内の装置を実際に監視制御するためのメッセージ交換を規定する MMS (Manufacturing Message Specification) 規格 (ISO9506-1、ISO9506-2) へのマッピングが規定されている。

変電所は TC のノードの 1 つであり、そのノード内の設備の制御に IEC 61850 のデータオブジェクトとサービスが利用できるということで、IEC61850 は TC の特徴をカバーしていることがわかる。

IEC 61968 と 61970 は、いわゆる電力システムの共通情報モデル (Common Information Model: CIM) を規定する標準である。最近のスマートグリッド関連標準では、データ定義において可能な限り CIM オブジェクトの利用が意識されており、OpenADR2.0 や、そのベースとなった EI 標準策定時も CIM のデータ定義を参照している。ただし、OpenADR2.0 も EI も完全に CIM と整合性を保っている訳ではなく、IEC では、CIM と IEC61850、更には OpenADR2.0 との調和に向けた努力が続けられている。

TC の特徴との比較に戻ると、IEC 61850 および CIM どちらの標準も、直接の関係はない。

付録 B : 参考文献

以下に、本レポート作成において参照した資料を示す。

- GridWise Transactive Control Framework
- OASIS WS-Calendar
- OASIS Energy Market Information Exchange (EMIX)
- OASIS Energy Interoperation
- OASIS Transactional Energy Market Information Exchange
- OpenADR Alliance OpenADR 2.0 B Profile
- PNW-SGDP OASIS Conceptual Design
- DR 2.0 – A Future of Customer Response by Paul De Martini
- QualityLogic Transactive Control and OpenADR Mapping Investigation
- QualityLogic What is Transactive Control
- Standardization of a Hierarchical Transitive Control System
- IEC 61850 – Power Utility Automation
- IEC 61970 – Common Information Model

終わり