



PNNL-34505

Transactive Energy Communication Interface Standards Landscape

July 2023

Steven E Widergren
Donald J Hammerstrom

目次

- 1.0 はじめに
 - 1.1 現状
 - 1.2 トランザクティブ・エネルギーとは
 - 1.3 TE に関する標準の範囲
 - 1.4 本報告書の目的

- 2.0 スマートグリッド標準の動向
 - 2.1 SEPA スマートグリッド標準カタログ
 - 2.2 NIST スマートグリッド相互運用関連標準
 - 2.3 IEEE 2030 スマートグリッド標準マッピング
 - 2.4 IEC TR 63097:2017
 - 2.5 CEN-CENELEC-ETSI スマートグリッド標準フレームワーク

- 3.0 評価方法論
 - 3.1 関連ツールとフレームワーク
 - 3.2 標準評価へのアプローチ

- 4.0 TE 関連の標準
 - 4.1 OASIS の TE 仕様のセット
 - 4.1.1 Energy Interoperation (EI)
 - 4.1.2 Energy Market Information Exchange (eMIX)
 - 4.1.3 Common transactive services (CTS)
 - 4.2 Energy Flexibility Interface Specification (EFI)

PNNL トランザクティブ・エネルギー通信インターフェイス標準概覧

- 4.3 USEF Flexibility Trading Protocol Specification (UFTP)
- 4.4 OpenADR
 - 4.4.1 IEC 62746-10-1, OpenADR 2.0b
 - 4.4.2 OpenADR 3.0
- 4.5 IEEE Std 2030.5 – IEEE スマートエネルギープロファイル (SEP) 標準
 - 4.5.1 他の IEEE Std 2030 コンポーネントからのサポート
 - 4.5.2 ポートランド州立大学プロジェクトの Energy Grid of Things (EGoT)
- 4.6 IEEE P2418.5 – エネルギー分野のブロックチェーン用標準

- 5.0 TES 関連の取り組みをサポートする組織
 - 5.1 OpenADR Alliance
 - 5.2 SunSpec Alliance
 - 5.3 SEPA
 - 5.3.1 エネルギーサービスインターフェイスタスクフォース (ESI-TF)
 - 5.3.2 SEPA トランザクティブ・エネルギー ワーキンググループ (TE-WG)
 - 5.4 IEEE
 - 5.4.1 IEEE-SA SC21
 - 5.4.2 IEEE 電力およびエネルギー協会 (Power and Energy Society) のスマートビル・ハウス委員会 (SBLC)
 - 5.5 Linux Foundation Energy
 - 5.6 IEC 技術委員会 57
 - 5.7 Flexiblepower Alliance Network (FAN)
 - 5.8 Universal Smart Energy Framework (USEF) Foundation

- 6.0 結果と議論
 - 6.1 種々の TE 関連標準におけるギャップ
 - 6.2 種々の TE 関連標準における政策障壁

- 7.0 TES 標準化推進のための推奨活動

- 8.0 参考資料

- 付録 A – TE 関連標準の比較
 - A.1 相互運用性のカテゴリとアクタードメインでの比較
 - A.2 TECM と IMM の成熟度で比較
 - A.3 相互運用性の横断的課題と成熟度での比較
 - A.4 相互運用性のカテゴリとトランザクティブな相互作用領域に関する TE 関連標準の比較
- 付録 B – TE 定義における論点

1.0 はじめに

この報告書は、トランザクティブ・エネルギーシステム（TES）の統合と展開に関連する情報通信技術（ICT）の標準とツールの現状を説明しています。関連する標準の範囲を分類する標準の風景の視点を提供し、標準の開発に関連する組織、およびプロジェクトの展開で実現される標準の採用を進める組織のコミュニティ（エコシステム）を提供します。さらに、この報告書は、TES 関連の標準の採用に直面しているギャップや課題を強調しています。TES 統合を容易にするための標準化および関連する方法またはツールに関する情報を統合します。

1.1 現状

TE 標準の一つ一つを考えるためのいくつかの要因があります。TES の実装は未熟であり、標準化された技術ソリューションは主流ではありません。分散エネルギーリソース（DER）の柔軟性を統合および集約するための努力には大きな多様性があります。各管轄区域は、グリッドサービスを定義する方法に特別な側面を持っており、DER 参加のプログラムの条件と条件の定義は、各デモンストレーションまたは実験ごとに変更されます。この状況を考えると、単一のトランザクティブメカニズムが採用される可能性は非常に低いです。

1.2 トランザクティブ・エネルギーとは

TES の概念は、スマート電力システムのビジョンから生まれました。このビジョンは、効率、信頼性、および DER の変更のミックスの下での回復力を向上させるために、廉価な計算機能を普及的な通信と組み合わせて使用します。スマートグリッドの変革の主要な側面は、顧客施設の自己認識型、自動化されたシステムを関与させ、その所有者の好みの代わりに設備の操作を電気システムの操作と調整することです。

1.3 TE に関する標準の範囲

電力通信インターフェイスに関連する標準は多数存在しますが、TE 関連の標準は限られています。この報告書は、TE 展開に使用される ICT インターフェイス標準と開発取り組みに焦点を当て、TE 通信標準と相互運用仕様を評価し比較するためのツールを提供しています。テクニカルな通信要素に関して、WiFi、Ethernet、Bluetooth、インターネットプロトコルなど、既知の通信標準には言及しておりませんが、広く採用される可能性のある公開またはプロプライエタリな仕様に関して言及しています。

TES のアプリケーションシナリオに関連するアクターを以下に示します。

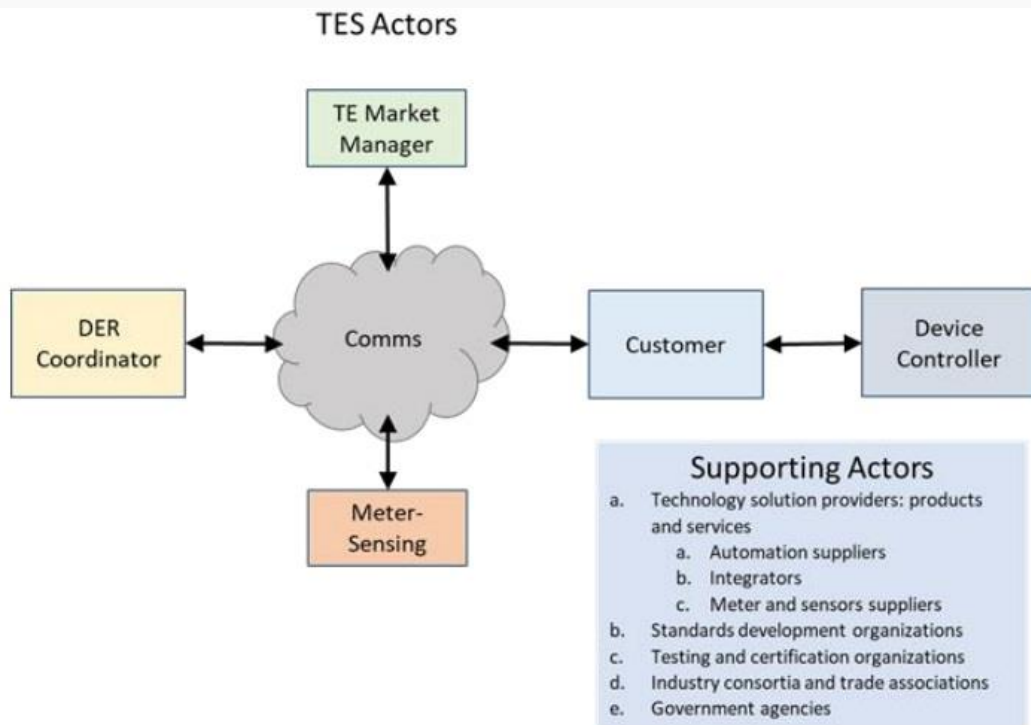


図.1 TES アプリケーションシナリオに関連するアクター

1.4 本報告書の目的

本報告書は、電気ドメインでの TE 標準の現状を説明するための文脈と方法論を提供します。この方法論は、ギャップと課題を指摘する視点、および標準と相互運用性関連のイニシアチブ間の比較をサポートします。TE 標準の開発は現在進行中であり、ワーキンググループや歴史的なパイロット研究からの公式でないガイダンスも評価します。

2.0 スマートグリッド標準の動向

TE の標準化はスマートグリッドの標準化の一部です。TE に特化した標準のまとめは見当たりませんでした。スマートグリッドに関して、より幅広い基盤となる標準のリストをまとめた組織がいくつかあります。このセクションでは、そのようなリストのいくつかの概要を提供します。ここから、TES アプリケーションの可能性があるいくつかの標準が浮かび上がってきます。

2.1 SEPA スマートグリッド標準カタログ

「Energy Independence and Security Act of 2007（2007年エネルギー独立と安全保障法）」は、国立標準技術研究所(NIST)にスマートグリッドの相互運用性を進める任務を与えました。NIST は、スマートグリッド領域の標準のカタログをまとめるために、スマートグリッド相互運用性パネル(SGIP)を設立しました。このカタログの維持の責任は、2017年のSGIPとの統合後、SEPAに移されました。81の標準が特定され、これらの標準は単純なリストとして、またSEPAナビゲーションツールというオンラインツールを通じて、スマートグリッドのドメインに関するNISTフレームワークの関連性に従って閲覧することができます。SEPA標準カタログナビゲーションツールのユーザインターフェイスのスナップショットは、以下の図2で提供されています。このチャートは、表示されているドメインの内外に存在する関連するICT標準を見つけるために使用されます。

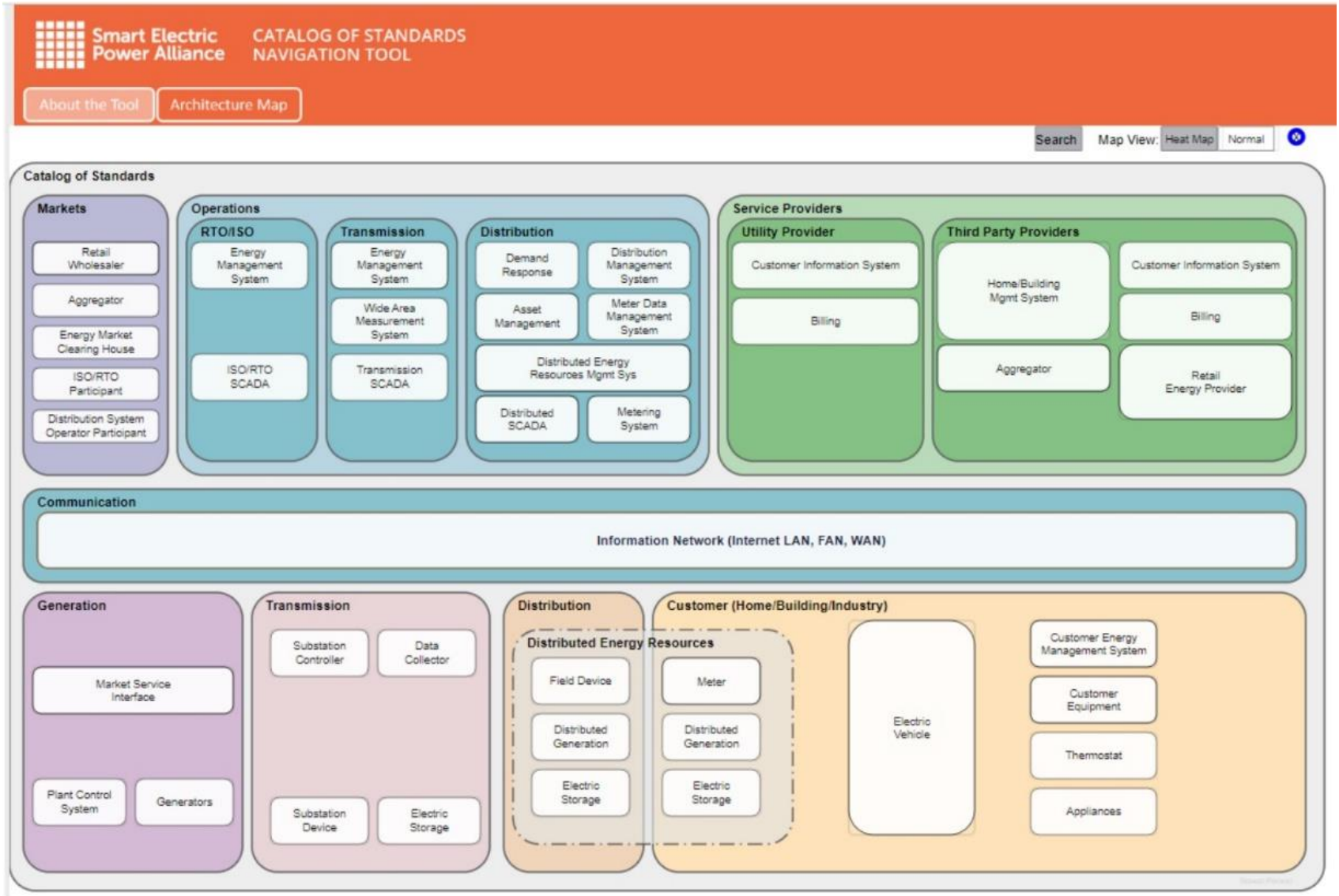


図.2 SEPA 標準カタログナビゲーションツール

2.2 NIST スマートグリッド相互運用関連標準

NIST フレームワークおよびスマートグリッド相互運用性標準のロードマップ、リリース 4 は、スマートグリッドの相互運用性に関連する 169 の標準のコレクションを文書化するために、NIST 技術ノート 2042 を参照しています。この技術ノートは、以下の 3 つのソースからの候補標準をレビューし、関連する標準の機能的カテゴリ化（情報、通信、物理、テスト、ガイドライン、サイバーセキュリティコンポーネントマッピング）を行うことを目的としていました。

- SEPA Catalog of Standards (SEPA 標準カタログ) の 81 の標準。
- NIST Special Publication 1108r3, a Framework and Roadmap for Smart Grid Interoperability Standards, Release 3 (NIST, 2021) の 72 の標準。
- EURELECTRIC と欧州配電系統運用者 (EDSO) が共同で作成した「スマートグリッド標準化のための配電系統運用者の優先事項」と題するポジションペーパー (Lorenz, Granstrom P-O, & Chapalain, 2013, as cited in (NIST, 2021)) にある 19 の標準。

これらの規格のほとんどは、電気事業者のアプリケーションの観点からのもので、配電フィーダーの自動化、配電系統管理のための DER と電気系統との相互接続、通信の電磁両立性要件などが含まれています。

2.3 IEEE 2030 スマートグリッド標準マッピング

電気および電子技術者協会(IEEE) P2030 スマートグリッド相互運用性リファレンスモデルは、電力システム、通信、および情報技術の 3 つのアーキテクチャの観点から相互運用性を対象としています。それは、すべての 3 つのアーキテクチャの観点を使用して、サブシステムとエンティティの間の相互運用性を奨励するためのエンドツーエンドのシステムエンジニアリングアプローチを提供します。リファレンスモデルは、車の電動化 (番号 P2030.1) やエネルギー貯蔵 (番号 P2030.2) などの特定のアプリケーションドメインにおける標準の拡張可能なシリーズの基盤です。

2.4 IEC TR 63097:2017

2008年、国際電気標準化委員会(IEC)は、スマートグリッドの相互運用性を実現するためのプロトコルとモデルの標準を含むIECの標準化の「フレームワーク」を開発するために、国際的な専門家のグループを結集しました。この取り組みの目的は、グリッドの展開をサポートするための調和したグローバル標準のセットを定義することでした。

2.5 CEN-CENELEC-ETSI スマートグリッド標準フレームワーク

ヨーロッパの電気標準団体であるヨーロッパ標準化委員会(CEN)、ヨーロッパ電気技術標準化委員会(CENELEC)、およびヨーロッパ電気通信標準化協会(ETSI)は、ヨーロッパのスマートグリッドプロジェクトに関連する多数の標準を組織化およびレビューするために、スマートグリッド調整グループを設立しました。

3.0 評価方法論

ここでは、TE 通信標準の領域の評価、ナビゲーション、および表現をサポートする構築とプロセスについて説明しています。

3.1 関連ツールとフレームワーク

多くの団体がスマートグリッドや関連する標準の定義と特性づけに参加しており、これらの試みは、既存の電力サブシステム、既存の利害関係者、およびスマートグリッドの新しい統合の新しい利害関係者とサブシステムに関連する広範なセットをカバーするために、課題をさまざまなドメインに分類しました。いくつかの重要な影響力のあるスマートグリッドのカテゴリ化が注釈付きで示されています。

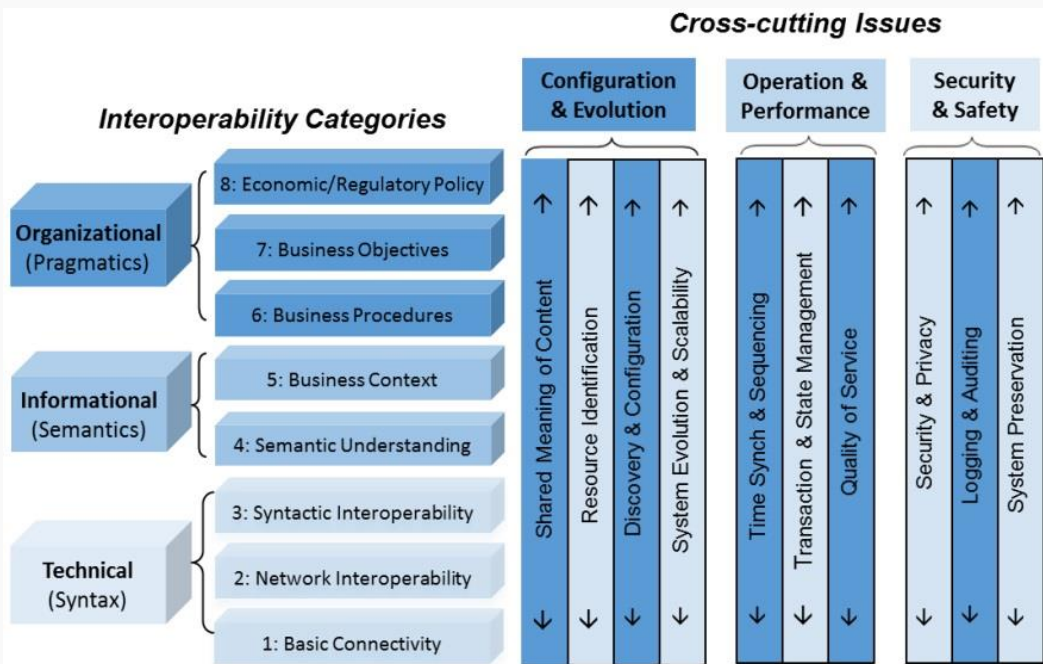


図.3 GWAC スタック - 相互運用性コンテキスト設定フレームワーク

GridWide Interoperability Context-Setting Framework は、3つの主要な相互運用性層とそのサブ層から構成される「GWAC スタック」と呼ばれる相互運用性モデルを導入しました。


 Interoperability Maturity Model		Maturity Characteristics			
		Community / Governance	Documentation	Integration	Test / Certification
Maturity Level Statements	Level 5 Optimizing	Managed by a community quality improvement process	Adopts and open community standard	Integration metrics used for improvement of the standard	Test processes are regularly reviewed and improved
	Level 4 Quantitatively Managed	Processes ensure currency and operation	References community standard w/o customization	Integration metrics are defined and measurements collected. Reference implementations exist	Community test processes demonstrate interoperability. Members claim interoperable performance
	Level 3 Defined	Managed by community agreement	References community standard w/ some customization	Integration repeatable w/ predictable effort	Tests exist for community w/ certification. Members claim compliance to standard
	Level 2 Managed	Managed by project agreement	Documented in a project specification	Integration is repeatable w/ customization expected	Testing to plan w/ results captured
	Level 1 Initial	Management is ad hoc	Documentation is ad hoc	Integration is a unique experience	Testing is ad hoc

図.4 GAWC 相互運用性成熟度モデルの成熟度特性

DOE の Grid Modernization Laboratory Consortium の相互運用性成熟度モデルは、GWAC Interoperability Context-Setting Framework (GWAC 相互運用性コンテキスト設定フレームワーク) を応用して、スマートグリッド機器とシステム統合のためのスマートグリッド通信インターフェイスの相互運用性特性を調査するモデルを作成しました (GridWise Architecture Council (GWAC), 2008) (グリッド近代化研究所コンソーシアム、2020)。これは、カーネギーメロン大学ソフトウェア工学研究所 (Carnegie-Mellon Software Engineering Institute : The SGMM Team, 2010) が提唱した統合概念に使用される能力成熟度モデルを引用しており、図.4 は、5 段階の相互運用性成熟度と、その証拠となるさまざまな分野の成熟度に関連する特性を示しています。

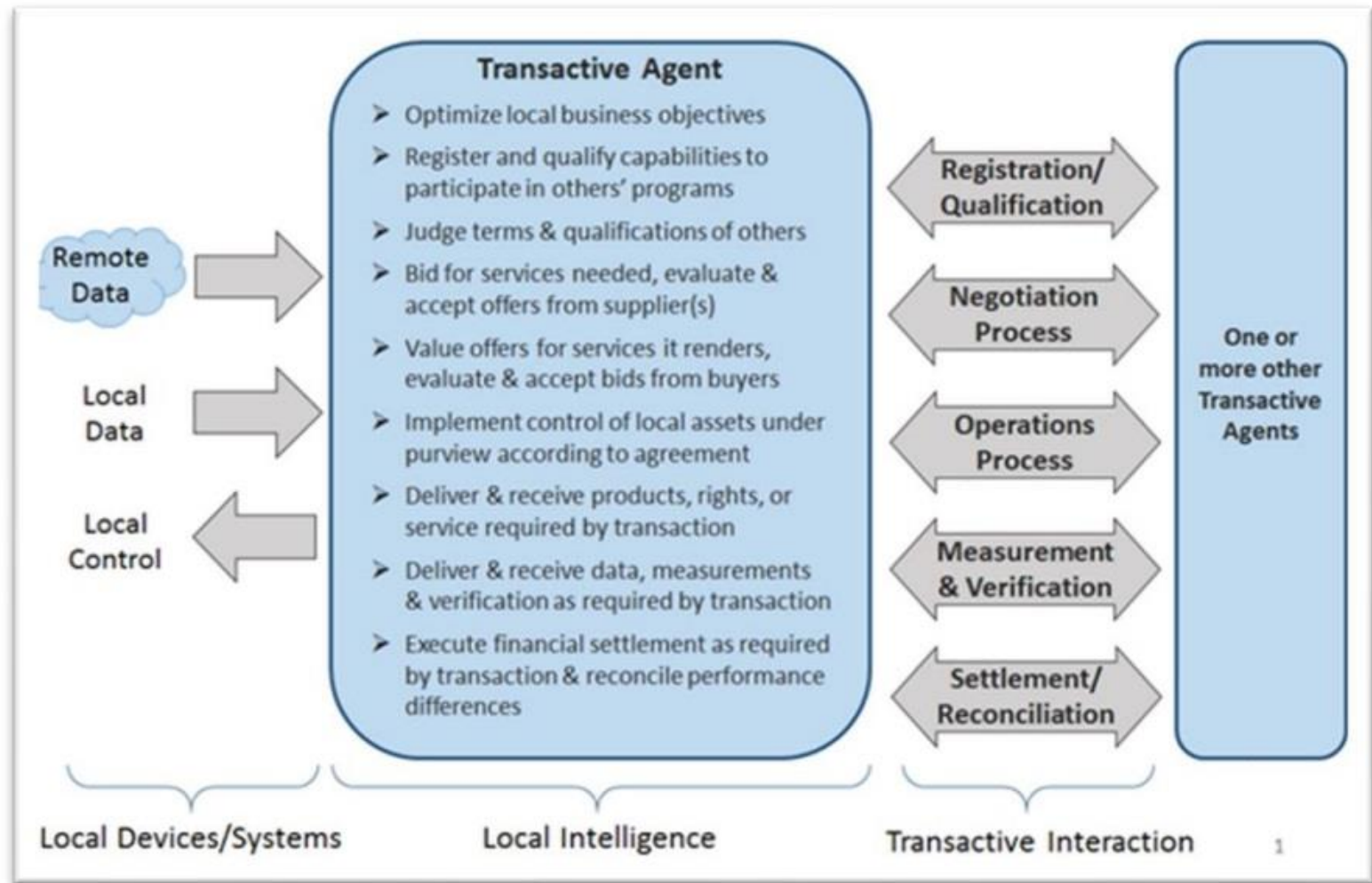


図.5 SEPA トランザクティブ・エージェント・インタラクションのモデル

SEPA Transactive Energy Application Landscape Scenarios (SEPA トランザクティブ・エネルギー・アプリケーション・ランドスケープ・シナリオ) のホワイトペーパーでは、相互作用する当事者間の標準インターフェイスの領域を特定することを目的として、アクターの種類やアクター間の相互作用を探索するシナリオなど、TE アプリケーション・ランドスケープについて説明しています (SGIP, 2016)。この文書には、他のトランザクティブ・エージェントやローカルデバイス、システムとのインタラクションを分類した一般的なトランザクティブ・エージェントのモデルが含まれています。図 5 の右側にあるトランザクティブなインタラクションは、インタラクションプロセスのステップまたはフェーズとみなすことができます。

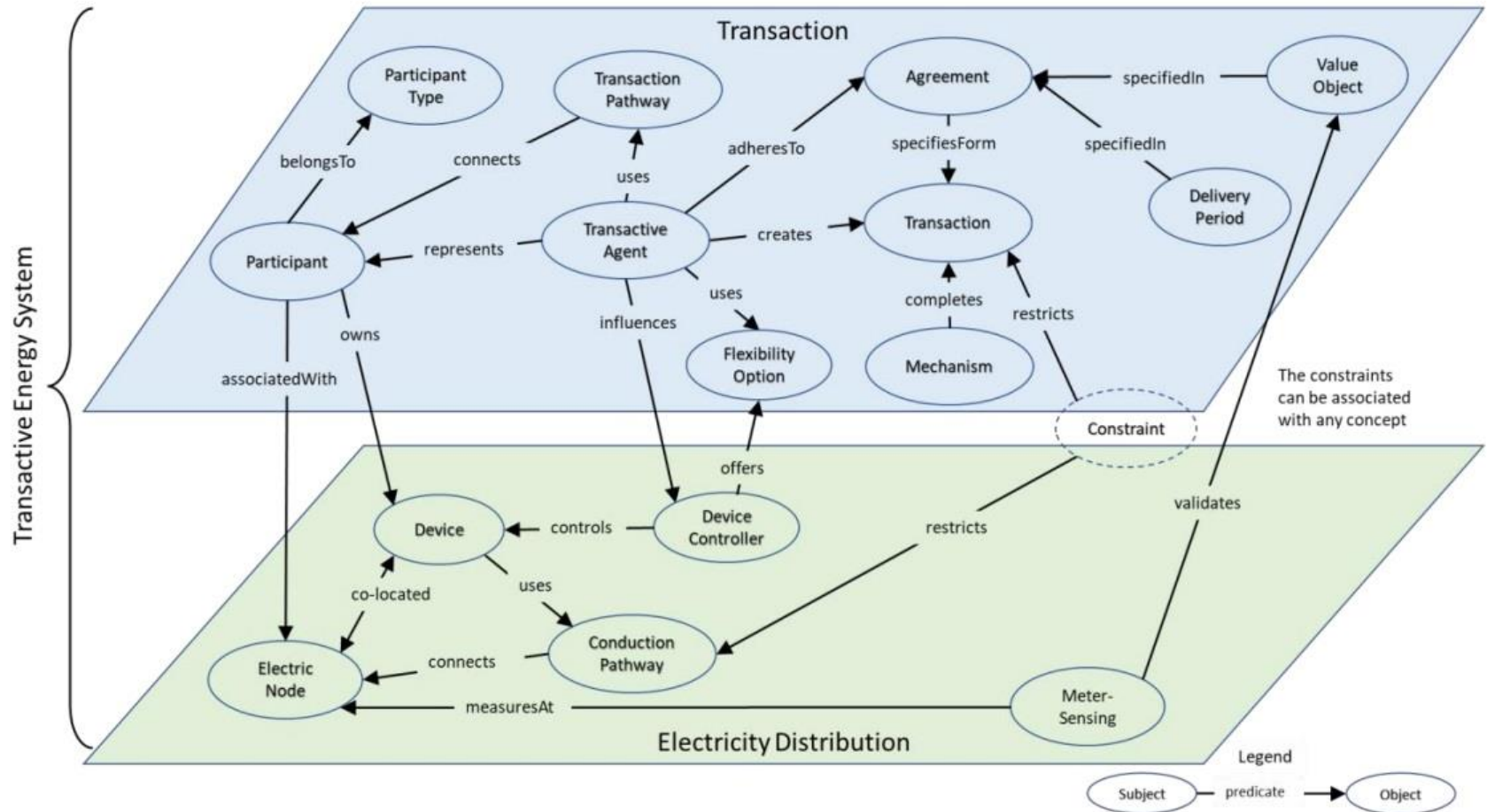


図.6 SEPA トランザクティブ・エネルギー コンセプトモデル (TECM)

最近発表された SEPA トランザクティブ・エネルギー コンセプトモデル

(Transactive Energy Concept Model : TECM) は、TES に特有かつ共通する概念と関係を提供しているという点で、やや異なっています (SEPA, 2022b)。図 6 は、概念モデルに含まれる一連の概念と関係を示していて、このモデルでは、トランザクションの作成と調整に参加するオブジェクトを扱うトランザクション層と、トランザクションレベルのオブジェクトに情報を提供し反応する物理的オブジェクトを含む配電層との間で概念を分割しました。この概念モデルは、将来的にはさらなる層を含むように成熟する可能性があります。

図 6 のトランザクション層 (Transaction) は、TES のユニークな側面で、配電層 (Electricity Distribution) はスマートグリッドや従来のデマンドレスポンスと共通するため、本報告書ではあまり議論する必要がない。そこで、図 7 では、トランザクション層どの概念とも直接的な関係を持たない配電層の概念の重要性を強調しないように描き直しています。

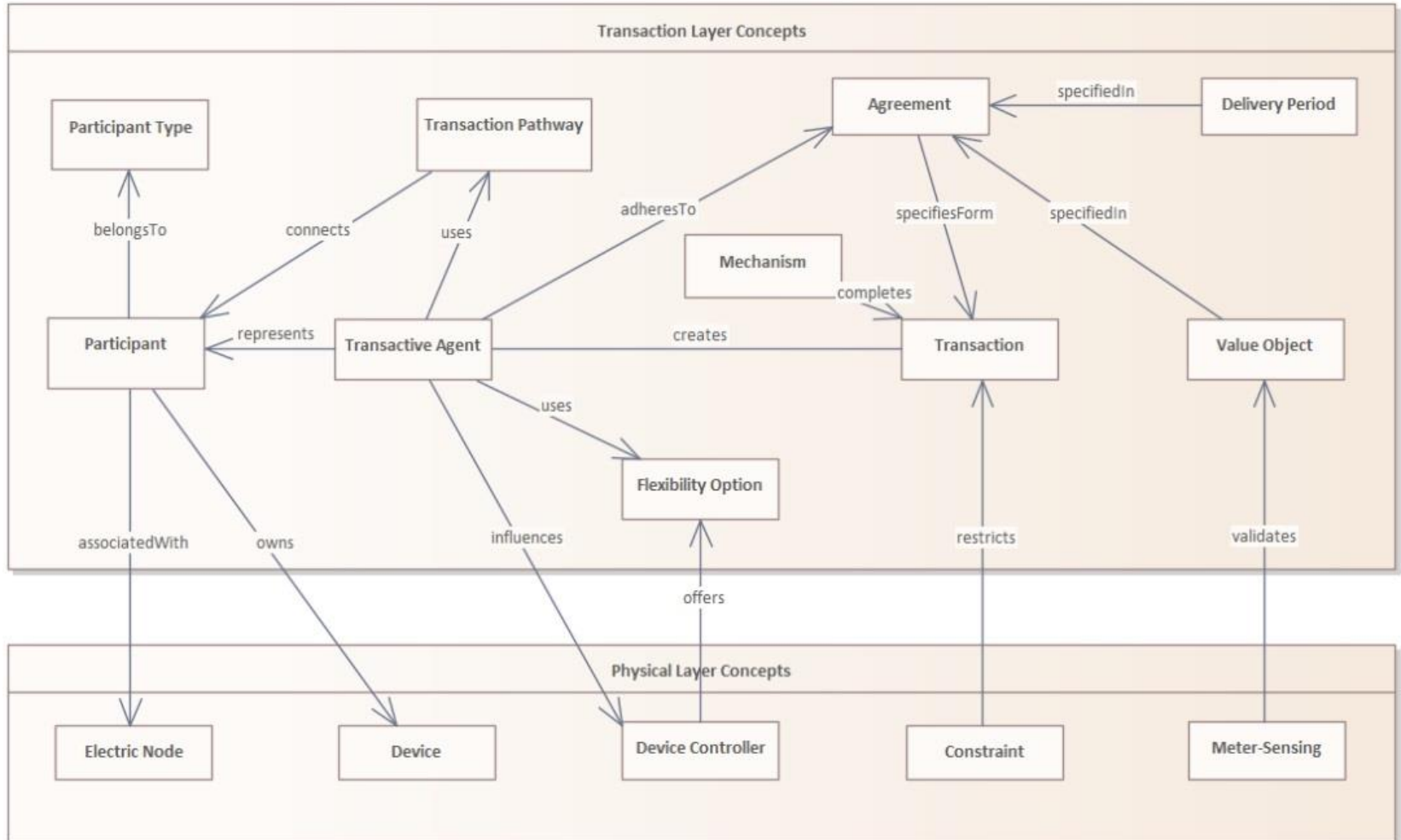


図.7 TECM トランザクション層の概念と関係のマッピング

上記の分類はすべて TES に関連します。TE はスマートグリッドのサブセットであるため、本報告書では、スマートグリッドに一般的な TES の側面を取り上げる必要はない代わりに、TES の統合に特有の側面を取り上げています。以下の側面が、TE 標準の展望に有益な分類とドメインの選択の指針となります：

- TES はフラクタルな性質を示す場合があります、これはそのオブジェクトが複数のスマートグリッド・アプリケーション・ドメインで同様にインスタンス化されることを意味します。これは TES のような協調・制御アプローチにおける抽象化の特性で、本報告書では、TES のフラクタルな性質を認識する TECM の概念、オブジェクト、および関係を、進化する TE 標準の状況を議論するために使用します。
- 本報告書の主眼は、DER の運転を電気系統と調整するトランザクティブ・エージェント間の相互作用にあります。図.1 を考慮すると、これには DER コーディネータ、TE マーケットマネージャ、および顧客アクター間のインターフェイスが含まれます。トランザクティブ・エージェントの責任の境界は、DER コーディネータ（アグリゲータを含む）と顧客施設に一致します。二次的に重要なのは、顧客と装置コントローラのアクター間のインターフェイスです。
- TES のエンティティ（例えば、図 6 のエンティティ）は、標準化された情報モデリングから恩恵を受ける可能性があります。エンティティ自体はインターフェイスではありませんが、インターフェイスでメッセージを作成、消費、またはメッセージに含まれる可能性があります。情報モデルでは、TECM の各エンティティの役割と責任を明確に特定する必要があります。
- 最後に、トランザクティブ・エージェント相互作用モデルで示されるインターフェイスは、GWAC スタックで導入された相互運用性の分類に従う必要があります。最下層の技術層とそのサブコンポーネント層は、TE に特有である可能性は低く、これらの層における標準は、本報告書の焦点ではありません。

3.2 標準評価へのアプローチ

前のセクションでは、TESに関連する標準を見直す際に探求する次元を示唆する関連ツールとモデルについて説明しました。以下の次元が関連する標準の状況を見直すために考慮されました：

- インターオペラビリティのカテゴリ (GridWise Architecture Council、2008)
 - 基本的な接続性、ネットワークインターオペラビリティ、構文インターオペラビリティ、意味理解、ビジネスコンテキスト、ビジネスプロセス、ビジネス目標、経済/規制ポリシー
- インターオペラビリティのクロスカット問題 (GridWise Architecture Council、2008)
 - 構成と進化、運用とパフォーマンス、セキュリティと安全性
- インターオペラビリティ成熟度モデルの成熟度レベル (Grid Modernization Laboratory Consortium、2020)
 - 初期、管理、定義済み、定量的に管理された、最適化
- トランザクティブ相互作用エリア (SGIP、2016)
 - 登録/資格付け、交渉プロセス、運用プロセス、計測および検証、決済/調整
- インターフェイス標準のための TECM 選択概念 (SEPA、2022b)
 - トランザクティブ・エージェント、トランザクション、合意、デバイスコントローラ、メーターセンシング
- アクタードメイン

PNNL トランザクティブ・エネルギー通信インターフェイス標準概覧

- TE マーケットマネージャ、DER コーディネータ、顧客、デバイスコントローラ、メーターセンシング

これらの次元から、さまざまな二次元の図表が検討され、標準とその機能とインターオペラビリティの問題のカバレッジを視覚的に示すことが考えられました。より高次元のグラフも考慮できますが、視覚的な複雑さが伝えにくくなることがあります。実現可能な次元の組み合わせには次のものが含まれます：

- インターオペラビリティのカテゴリとアクタードメイン
- TECM と情報成熟度モデル (IMM) の成熟度レベル
- インターオプクロスカット問題と IMM の成熟度レベル
- インターオペラビリティのカテゴリとトランザクティブ相互作用エリア

4.0 TE 関連の標準

TE に特化した標準はあまり見られません。ここでは、TE 関連のプロジェクト実装で考慮された標準について注釈を付けています。

4.1 OASIS の TE 仕様のセット

OASIS の TE 仕様のセットは、TE 関連標準の全体像を把握する上で重要です。これらの標準の開発は、TE 市場情報交換（Transactive Energy Market Information Exchange :TeMIX）プロファイルという TES 実装と密接に関連しており、後に TES を実装する企業の名前として採用されました。仕様は以下の通りです：

- Energy Interoperation (EI) Version 1.0 (OASIS, 2014)
- Energy Market Information Exchange (eMIX) Version 1.0

これには、簡略化された TeMIX 実装プロファイルが含まれています(OASIS, 2012)

- Common transactive services (CTS) (OASIS, 2021)。

これらの仕様は相互に参照しており、TE に特化していないいくつかの重要な OASIS 仕様も参照しています。

この仕様のセットは、多くの既存および新興の TE 実装に役立つ取引および視点の定義を採用していますが、一部の TE の革新者にとっては狭すぎるかもしれません。仕様は、実証された卸売りエネルギー市場の慣行に強く影響を受けています。この仕様のセットの中の取引は、将来の配送期間において、電気が購入または販売される可能性のある価格で、電気量の提供によって開始されます。取引は、特定のバイヤーがマッチングエンジンを介して特定のセラーとペアリングされ、取引のすべてまたは一部の数量が販売または購入のために提供された後にのみ存在します。この取

引モデルは、火力発電所のまとまった売り注文や、リアルタイム市場において短い時間間隔中のデマンドレスポンス資源のオンオフ制御に適しています。

OASIS 仕様のセットは、代替サービス（つまり、エネルギー供給そのものを超えて）の交換、あるいは場合によっては代替エネルギー商品の交換に適用できるほど一般的であることを目指していました。この一般性は、未来の TE の革新者が新しいグリッドサービスや現在独立しているエネルギー市場（例：電力市場と熱の市場）の統合を探求する際に重要になるかもしれません。

OASIS の TE 仕様のセットが開発された視点の潜在的な制約にもかかわらず、これらの仕様内の基本的な構造の多くは、TES デザインで有用である可能性があります。

4.1.1 Energy Interoperation (EI)

ここでは、OASIS Energy Interoperation Version 1.0 (OASIS, 2014) を参照しています。この標準は、他の OASIS 標準に採用され、Web サービスアプリケーションで実装されている OASIS サービス指向アーキテクチャ参照モデル (SOA-RM) と一致しています。この標準は、動的価格、デマンドレスポンスイベント信号、および TE インタラクシオンを配布するための参加者との通信をサポートするアプリケーションをサポートしています。

この標準は、OASIS eMIX および WS-Calendar 標準、SOA-RM および W3C 拡張マークアップ言語 (XML) スキーマ定義言語を参照しています。この点で、データモデルを定義するため広く採用されているソフトウェア標準に基づいており、サービス指向のインタラクシオンパラダイムをサポートしています。

EI は、OpenADR の初期の作業も参照しており、その作業で適用された仮想トップノードと仮想エンドノードアーキテクチャを認識しています。OpenADR Alliance はこの取り組みと連携し、エネルギー相互運用の要素をその仕様に採用しました。

4.1.2 Energy Market Information Exchange (eMIX)

OASIS Energy Market Information Exchange (eMIX) Version 1.0 は、エネルギーの価格、入札、利用可能性情報、および取引されているエネルギーの他の特性の交換のための XML モデルを提供します (OASIS, 2012)。eMIX は、既存の卸売り電気市場の交換慣行を促進するのに十分な詳細を含んでいますが、そのドキュメントには、配電系統における DER の柔軟性の交換にもっと適していると言える簡略化された TeMIX のプロファイルが含まれています (Barrager and Cazalet, 2016)。

4.1.3 Common transactive services (CTS)

OASIS Common transactive services (CTS) は、OASIS EI 1.0 の簡略化されたプロトコルを目的としており、市場での商品の交換を調整するものでした (OASIS, 2021) (OASIS, 2014)。それはまた、eMIX と TeMIX 実装プロファイルを参照し、簡略化することを主張しています。CTS によって、商品のような電気の提供、取引、および配送のための有用なインタラクションパターンが定義されています。さらに、仕様は、市場への参加者の登録のためのテンプレート、および当事者の市場位置および市場の製品提供と状況の通信のためのテンプレートを提供しています。

この仕様は、一連の市場時間間隔のための市場情報の通信を予期し、促進していますが、同じ市場間隔で複数の価格-数量ペアの機会を伝える能力を現在欠いているようです。これは、豊富な供給または需要曲線を表現するために必要です。したがって、CTS はリアルタイム市場での電気の売買に適していますが、エネルギーと価格の柔軟性を表現するための施設を本質的に欠いている可能性があります。これには、柔軟ではない供給および需要エネルギーの通信も含まれます。

CTS は TeMIX 実装プロファイルのインタラクションを簡略化することを意図していましたが、この簡略化の利点は議論の余地があります。TeMIX, Inc. は、カリフォルニアエネルギー委員会が後援する小売自動 TE システムプロジェクト (Retail Automated Transactive Energy System project) のためにその実装を進化させました (Cazalet et al., 2020)。

CTS は、自身の実装が CTS に準拠していると主張する人々のための適合性自己テスト要件を定義しています。CTS は既存の OASIS 仕様から派生しているため、CTS の適合実装は、以前の OASIS 仕様によって参照され、スケジュールされたエネルギー交換を指定するために使用された WS-Calendar および Streams（スケジュールを表現し、情報の時間系列を変換するための OASIS 標準）の参照部分にも適合しなければなりません。

CTS は公認の標準化団体から承認された標準ですが、その作成には少数の個人グループが関与しており、TeMIX 以外の実装者は関与していません。

4.2 Energy Flexibility Interface Specification (EFI)

Flexiblepower Alliance Network (FAN) は、オランダの独立した科学研究機関である TNO のスタッフとともに、Energy Flexibility Interface Specification (EFI) Version 2.0 を開発しました(Werkman et al., 2019)。EFI 仕様の主な貢献は、TES でこれらのデバイスのエネルギー柔軟性を表現するために必要なデバイスのエネルギー柔軟性の 4 つのタイプの記述:①inflexible (不変)、②shiftable (移動可能)、③storage (蓄積可能)、および④adjustable (調整可能) です。このカテゴリ分けは、PowerMatcher™ (Kok, 2013) を含む仕様の前身に基づいています。

仕様はデバイスのエネルギー柔軟性の単純で、おそらく有用な表現を規定していますが、エネルギー柔軟性の価値から離れています。この価値のペアリングは、その前身によって強く教えられました。この標準は、設備メーカーや取引設備内の設備を統合する人々のために有用であり、その柔軟性の特性を表現します。これは、施設マネージャが外部の当事者（例：配電システムオペレータまたは複数の施設からの柔軟性のアグリゲーター）との取引インタラクションに翻訳するのに役立ちます。

PowerMatcher 2.0 TE trading platform は FAN で維持されています。それは、EFI で表現されたデータを使用して取引情報を開発するものです。施設マネージャは柔軟性の価値を追加し、市場契約に準拠します。これにより、EFI 標準が取引システ

ムインタラクションをサポートする施設のために関連していることが示されています。

4.3 USEF Flexibility Trading Protocol Specification (UFTP)

Universal Smart Energy Flexibility (USEF) 財団は、アグリゲーターがエンドユーザー（プロシューマー）と相互作用して、配電系統オペレータ（DSO）または調整された DSO/TSO に柔軟性サービスを提供することを含む柔軟性の統合のためのフレームワークを開発しました(USEF Foundation, 2021)(de Heer et al., 2021)。このフレームワークの一部は、アグリゲーターと DSO の間の双方向取引市場の相互作用を指定する USEF Flexibility Trading Protocol (UFTP) です(USEF, 2020)。このプロトコルは、次のプロセス手順をカバーしています：①contract（契約）、②plan（計画）、③validate（検証）、④operate（運用）、および⑤settle（決済）。検証フェーズは、計画された交換が物理的な輸送制約を尊重して安全に配布できることを検証するために挿入されます。

UFTP は、前日、取引日、およびリアルタイム（ヨーロッパでは 15 分）の取引をサポートしています。入札は混雑ポイントで行われます。これは、混雑ポイントごとに市場が作成されることを意味します。DSO は、柔軟なエネルギーや柔軟なエネルギーのオプション（予備のようなもの）を調達することができます。決済は、アグリゲーターの顧客に対して合意されたベースラインに対して行われます。このアプローチは、アグリゲーターから DSO レベルでの UFTP を適切にするものですが、アグリゲーターと顧客 DER の調整を指定していません。

プロトコル仕様は、インターネットプロトコル上のメッセージ交換にクライアント-サーバーアプローチを使用しています。プライバシーとセキュリティは、ガイダンスによって対処されています。プロトコルには、実装者のためのデザイン原則のガイドラインとしてのプライバシーとセキュリティガイドラインが含まれています。

UFTP メッセージは XML でエンコードされています。標準には、メッセージングスキーマと情報セマンティクスが含まれており、メッセージを拡張して前方および後方の互換性をサポートする能力があります。プロトコルはアグリゲーターと DSO の相互作用を対象としていますが、DER コーディネータ、TE マーケットマネージャ、および顧客との相互作用に対応するために再利用される場合に問題が生じる可能性があります。スケーラビリティは大きな問題になる可能性があります。

この作業は、認識された標準開発組織のプロセスを使用して正式化されているようには見えません。しかし、ヨーロッパでいくつかの実装が報告されています。OpenADR 2.0b 仕様との調和のための作業も行われており、市場取引テンプレートの形で行われています。

4.4 OpenADR

OpenADR は、デマンドレスポンスプログラムにおける建物のエネルギー柔軟性の統合のためにカリフォルニアで開発されました。それは OpenADR Alliance によって文書化され、プロファイル仕様の標準が IEC によって標準化されました。

OpenADR にはオプションの価格反応メカニズムが含まれています。それは、双方向取引メカニズムをサポートするために OASIS eMIX および Energy Interop 標準を採用して進化しました。

2016 年に、OpenADR Alliance と USEF Foundation は、USEF 取引フレームワークを使用した OpenADR DR プログラムテンプレートを発表しました。この作業は、認識された標準開発組織のプロセスを通じて正式化されることはありません。

4.4.1 IEC 62746-10-1, OpenADR 2.0b

IEC のプロファイル仕様には、仮想トップノード (VTN) と仮想エンドノード (VEN) の間の SOAP ベースのパブリッシュおよびサブスクリプションパラダイムでのデータモデルおよびデマンドレスポンスサービスが含まれています。機能は、デマンドレスポンス、価格設定、および DER 通信をサポートします。仕様は通信輸送層

に独立していますが、相互運用性のためにインターネットプロトコルの相互作用がプロファイル化されています。さらに、サイバーセキュリティメカニズムが指定されています。

TE の実装に関連して、仕様は特定の負荷、ストレージ、または発電制御戦略に関する仮定をしません。参加者間の特定の市場メカニズムやビジネス合意に関するカバーレッジはありません。

4.4.2 OpenADR 3.0

OpenADR 3.0 は、OpenADR 2.0b への代替インターフェイスとして最近設計されました。その新しさのため、プロジェクトの実装での標準の経験は不明です。標準の基本構造が変更されました。これにより、OpenADR 3.0 は 2.0b と互換性がありません。VTN と VEN の間の SOAP ベースのメッセージ交換の代わりに、VTN（サーバー）は、情報およびイベントを保存するウェブサービスの表現的な状態転送（REST）リソースサーバーとして設定されます。VEN（クライアント）は、この REST ベースのインターフェイスを使用して VTN 上の情報を読み書きします。情報の状態の維持は、REST アプリケーションプログラミングインターフェイスで明確に示されているように、非常に簡単です。

新しい仕様は YAML（機械可読のマークアップ言語）で書かれており、これにより VTN および VEN のコードを生成するのが容易になります。これは VTN および VEN の通信を確立するのに役立ちますが、DER 調整プログラムを設定するためのビジネスロジックや、エネルギー関連デバイスを適切に操作してそのようなプログラムと相互作用するための施設の管理をカバーするものではありません。この場合、TE 準拠の相互作用をサポートしているかどうかは不明ですが、参照実装に単純な価格配布（デバイスへの価格情報伝達）が含まれているようです。

OpenADR 3.0 は OpenADR Alliance で開発されており、これは正式な標準開発組織ではありません。最終バージョンは 2023 年の夏に掲載される予定です。

OpenADR 3.0 は OASIS、eMIX、および Energy Interop 標準を参照していません。テストや認証プログラムは利用できませんが、プログラマーガイドおよびこれらの相互運用性の進展に関する議論が行われています。登録（資格と設定）または決済および相互作用の手順は明示的にサポートされているようには見えませんが、拡張が行われることができます。

OpenADR 3.0 が簡略化された方法の 1 つは、VTN と VEN のビジネスロジックが完全にカスタムであることでした。例えば、プログラムや料金表は、eMIX や Energy Interop 標準で表現されていたような標準的な構成要素なしに、開発者によってコード化され表現されます。この点で、仕様は、ソフトウェア開発レベルでの相互作用の構造を概説し、プロジェクト定義の方法（標準でない）での登録、価格交渉、運用、計測および検証、または決済の方法を示します。セキュリティや監査もプロジェクトベースですが、共通の業界アプローチに基づいてセキュリティモデルが記述されています。クレデンシャルと認証は、指名仕様（nominative specification）ではなく、必要に応じて含まれます。これにより、OpenADR 3.0 のコンプライアンスのテスト、認証、およびブランディングの価値が疑問視されます。

OpenADR 3.0 の構築ブロックと REST スタイルの相互作用を使用した TE プログラムまたは実装プロファイルを考えることができます。このような拡張機能が OpenADR Alliance、IEC、または他の標準開発組織によって指定されるかどうかは、TE 関連の標準を前進させる戦略の一部として考えられるでしょう。

4.5 IEEE Std 2030.5 – IEEE スマートエネルギープロファイル (SEP) 標準

この標準は、スマートグリッドの運用と顧客機器との間の相互作用のために設計されています。これはもともと Zigbee™ スマートエネルギー標準として始まり、インターネットプロトコル標準に準拠するように変更され、多くの業界で使用されているウェブサービスのアプローチで広く採用されている REST アーキテクチャを採用しています (IEEE SA, 2011) (IEEE SA, 2023a)。主な対象は、スマートサーモ

スタット、メーター、EV 充電システム、スマートインバーター、家電などのエンドユーザデバイスです。

4.5.1 他の IEEE Std 2030 コンポーネントからのサポート

この標準は、スマートインバーターや EV 充電器、またはデマンドレスポンス負荷制御など、特定のデバイスタイプとの相互作用に関する機能セットに組織化されています。このため、電力インバータの直接制御のようなデバイス固有の統合を優先しています (Mater, et al., 2019)。しかし、この標準にはデバイスに依存しない機能セットも含まれており、特に動的価格に反応する方法を知っているビジネスロジックを持つデバイスに適用できる価格機能セットがあります。

この標準には、IEC 61850 (変電所オートメーション通信) を基盤とする情報モデルが含まれています。また、システムコンポーネントが自分自身を明らかにし、他のコンポーネントによって見つけられるようにするディスカバリーサービスなどのサポートサービスのセットがあります。サブスクリプションと通知、時間同期機能も提供されています。標準には、ソフトウェアとインターフェイスのバージョンを更新する方法も含まれています。セキュリティ証明書のための公開鍵基盤に基づくサイバーセキュリティモデルが指定されています。

4.5.2 ポートランド州立大学プロジェクトの Energy Grid of Things (EGoT)

IEEE と SunSpec の 2030.5 コミュニティは、最終的に TE インターフェイスをサポートすることに関心があることを示しています。DOE の EGoT プログラムは、エネルギーサービスインターフェイス (ESI) をサポートするため、いくつかのプロジェクトに資金提供しました。ESI のコンセプトは、TE インターフェイスのサービス指向の原則と一致していますが、市場ベースの分散最適化アプローチを指定していません。ポートランド州立大学が主導するプロジェクトは、そのような ESI プロジェクトの 1 つです (Bass, 2022)。このプロジェクトは、IEEE 2030.5 標準の実装プロファイルを作成して、システム運用との間で DER を調整するためのデバイスに依存しないインターフェイスをサポートしました。ESI は、アグリゲーターと DER 所

PNNL トランザクティブ・エネルギー通信インターフェイス標準概覧

有者との間の情報交換が、プライバシーを保護し、セキュリティを提供し、信頼を築き、相互運用性を確保することを確認します。

プロジェクトは、ESI の設計を IEEE 2030.5 をベースにして行い、実装プロファイルを開発しました (Bass と Slay, 2021)。このプロファイルは主に、DER の容量とグリッド DER サービスに参加する能力を推定するために、フロー予約要求とフロー予約応答リソース (サーバー内のコンテンツ) を使用します。これらの見積もりは、4 つのパラメータ (①エネルギー、②電力、③間隔、④持続時間) を用いて伝達されます。各 DER は、GSP (グリッド・サービス・プロバイダー) に指定された電力でエネルギーを要求するために、フロー予約要求リソースを使用します。フロー予約要求の間隔は、DER が参加可能な時間帯を GSP が決定するためのもので、継続時間は、そのインターバル中に DER がディスパッチできる時間です。

このプロジェクトでは、系統運用者と系統サービスプロバイダー (DER の柔軟性を集約するアグリゲーター)、系統サービスプロバイダーと DER を運用するサービス提供顧客との間の相互作用を区別しています。2030.5 は、アグリゲーターと需要家の間で使用され、系統運用者とアグリゲーターの間では使用されません。アグリゲーターと顧客の相互作用は、2030.5 フロー予約要求/応答リソースを使用して、DER 能力の使用を予約します。アグリゲーターは、系統運用者のサービス要求に基づき、これらの能力を呼び出します。アグリゲーターが系統運用者のサービス要求に応答する顧客をどのように選択するかは不明確ですが、アグリゲーターが顧客とやり取りするために使用する唯一のサービスは、エネルギーの予約のようです。アグリゲーターがグリッドオペレーターの要求に応えるために、その予約を呼び出すかどうかはアグリゲーター次第です。

当プロジェクトのドキュメントは、2030.5 標準への変更を推奨していません。しかし、価値ベースの意思決定をサポートする基本的な TE 情報交換のサポートが不足しています。予約リクエストを厳密に使用するのではなく、2030.5 でのエネルギースケジューリングのサポートは、TES をより直接的にサポートするためのものとして提供されるでしょう。

4.6 IEEE P2418.5 – エネルギー分野のブロックチェーン用標準

P2418.5 は、エネルギーシステムの制御と調整に分散型台帳技術の使用を標準化するための取り組みです。IEEE は「IEEE Blockchain Transactive Energy」と題したポジションペーパーを発表しました (Rahimi, et al, 2021)。この作業は、公式な IEEE P2418.5 標準化の取り組みをガイドするためのものですが、その内容は主に標準でカバーされるであろうトピックを考慮した情報提供を主体としています。電気システムと制御アーキテクチャの構造についても一部議論があります。標準の実装に関する実質的な材料はありません。また、分散型台帳技術プラットフォームであるブロックチェーンをベースとした TE の参照モデルに適用される可能性のあるブロックチェーン標準化が進行中であることが言及されています。

現時点では、IEEE-SA P2418.5 ワーキンググループは「IEEE P2418.5 Blockchain in Energy Standards」と題するガイドを完成させる過程にあります。その対象は TE よりも広範で、エネルギーシステムの他の分野にも対応します。プロジェクトの要約には次のように記載されています。「この標準は、エネルギーセクターのブロックチェーンに関するオープンで共通の相互運用可能な参照フレームモデルを提供します。さらに、以下の 3 つの側面をカバーします。

- 1) 電力、石油・ガス、再生エネルギー産業およびそれらに関連するサービスにおけるブロックチェーンユースケースのガイドラインとして機能します。
- 2) エネルギーセクターのブロックチェーンアプリケーションのための参照アーキテクチャ、相互運用性、用語、およびシステムインタフェースに関する標準を、オープンなプロトコルとテクノロジーアグノスティックなレイヤードフレームワークを構築することによって提供します。
- 3) エネルギーセクター向けのコンセンサスアルゴリズム、スマートコントラクト、ブロックチェーン実装の種類などを評価し、拡張性、パフォーマンス、セキュリティ、相互運用性に関するガイドラインを提供します」 (IEEE SA, 2023b)。

PNNL トランザクティブ・エネルギー通信インターフェイス標準概覧

ガイドのドラフトバージョンによれば、これは分散台帳技術、そのサイバーセキュリティの特性、エネルギーシステムのアプリケーションにおける課題に関連する用語やコンセプトを定義する情報提供文書でもあります。実装のための標準化技術インターフェイスの材料は含まれていません。

5.0 TES 関連の取り組みをサポートする組織

以下の組織は TES に関連する取り組みをサポートしています。組織の性質と標準化に影響を与える可能性のあるその活動を紹介します。

5.1 OpenADR Alliance

OpenADR 仕様は、Lawrence Berkeley National Laboratory (LBNL) が開始したカリフォルニアのデマンドレスポンスプロジェクトに起源を持っています。

OpenADR Alliance は、OpenADR 技術仕様を進め、OpenADR 実装の開発とテストをサポートするために関心を持つステークホルダーを一堂に集めるために 2010 年に設立されました。この連合は、OpenADR 標準のアップデートを進め、適合性、認証、およびテストプログラムの開発を行い、OpenADR の製品とサービスのエコシステムの推進を行っています。OpenADR 2.0b (Open ADR Alliance, 2023) および進行中の 3.0 標準 (OpenADR Alliance, June 2023) は、この組織からの成果物です。カリフォルニアを中心とした公共事業とソリューションプロバイダーとの関係が強く続いている一方、この組織は世界中の多くの地域での実装と拡大する関心を持つ国際組織です。例として、OpenADR Alliance はヨーロッパの USEF Foundation と協力しています。

5.2 SunSpec Alliance

SunSpec Alliance™ は、元々、太陽光発電インバータの設置と統合を進めることに焦点を当てていましたが、OpenADR Alliance と同様に、カリフォルニアに強い存在感を持っていました。この組織は、分散発電に留まらず、蓄電システムやデマンドレスポンスを含む DER の成長を加速するためにそのミッションを拡大しました。その標準化の取り組みには、Modbus™ 通信制御、IEEE 1547 (IEEE, 2023a)、Orange Button™ 情報モデル交換 (SunSpec Alliance, 2022)、および IEEE 2030.5 への実装プロファイルと標準のアップデートへの参加が含まれています。

2030.5 に関しては、公開鍵インフラストラクチャ認証プログラムを使用して 2030.5 を使用したカリフォルニアの Rule 21 統合のための共通のスマートインバータープロファイル、および 2030.5 のサイバーセキュアな展開をサポートするための公開鍵インフラストラクチャ認証プログラム、および車両からグリッドへの相互作用のための比較的新しい実装プロファイル (CPUC, 2021) で良好な成功を収めています。

2030.5 の実装プロファイルは、相互運用性の展開を促進するのに役立っています。この組織は、GMLC 1.2.2 相互運用プロジェクトの積極的な参加者であり、IEEE 2030.5 相互運用性指導委員会の作業によって開始され、IEEE-SA および SunSpec が相互運用性をさらに進めるために行うべき行動を特定したものでした。SunSpec のリーダーシップは、装置の所有者のプライバシーと運用上の責任を尊重するサービス指向の、デバイスに依存しないアプローチ、たとえば TE に関心を示しています。

5.3 SEPA

SEPA は、分散太陽発電統合コンソーシアムとして始まりました。2017 年に、NIST が設立した SGIP が SEPA と合併し、SEPA の取り組みの一部として電力会社の炭素削減に焦点を当てるようになりました。これには、あらゆるタイプの DER の統合も含まれています。SGIP-SEPA 合併は、システム運用に DER を統合するための通信相互運用性を進める新しい会員活動を開始しました。これには、スマートグリッド標準のカタログの維持 (IEEE 2030.5 および OpenADR を含む) および会員ワーキンググループの活動が含まれています。次のワーキンググループは、TE の標準化および相互運用性に関連しています。

5.3.1 エネルギーサービスインターフェイスタスクフォース (ESI-TF)

ESI-TF は、SEPA アーキテクチャワーキンググループの下のタスクフォースです。ESI は、任意のタイプの DER、または DER の集合 (例えば、DER のミックスを持つ施設など) と対話するためのインターフェイスを表し、パフォーマンス関連の合

意を使用し、インターフェイスから DER 施設の詳細を隠蔽します。このコンセプトは、取引メカニズムをサポートすることと完全に一致しています。

5.3.2 SEPA トランザクティブエネルギーワーキンググループ (TE-WG)

SEPA TE-WG は、トランザクティブユースケースのシナリオのセットを開発し、TES の一般モデルを採用しました (3.1 参照)。ワーキンググループには、ビジネスおよび規制活動ならびに TE 実装のベストプラクティスをキャプチャするための TE フィールドガイドタスクフォースが含まれています。一般的な TE モデルは、SEPA Grid Architecture Working Group によって使用されています。このグループの多くの人々も ESI-TF にいます。すべての参加者は、システム運用に DER を統合するための標準に関心を持っています。

5.4 IEEE

電気工学の専門家協会である IEEE は、TE と標準化を進めることに関心を持つグループを招集しています。

5.4.1 IEEE-SA SC21

IEEE Standard Association (SA) SC21 は、IEEE メンバーによってサポートされている正式な標準開発団体で、燃料電池、太陽光発電、分散型発電、エネルギー貯蔵に関する標準化を手掛けています。また、IEEE 2030 ガイド「[2030-2011 – IEEE Guide for Smart Grid Interoperability of Energy Technology and Information Technology Operation with the Electric Power System \(EPS\), End-Use Applications, and Loads](#)」の下で一連の標準を調整しています。Zigbee によって最初に作成された Smart Energy Profile (SEP) は、IEEE 標準 2030.5 (セクション 4.5) に進化しました。2030.5 標準のワーキンググループは、標準の更新版をリリースしています。

5.4.2 IEEE 電力およびエネルギー協会（Power and Energy Society）のスマートビル・ハウス委員会（SBLC）

IEEE 電力およびエネルギー協会のスマートビル・ハウス委員会（SBLC）は、電力インフラストラクチャとの TES の相互運用性のガイドである IEEE-SA P825 を後援しています（IEEE SA, 2023c）。IEEE SBLC アーキテクチャサブコミッティは、DER とシステム運用の建築的統合に焦点を当てています。システム運用との DER 運用のインターフェイスおよび調整の性質は、グループの主要なトピックです。

5.5 Linux Foundation Energy

Linux® Foundation は、さまざまなアプリケーションのためのオープンソースソフトウェアとプラットフォームを推進しています。Linux® Foundation Energy は、エネルギーの脱炭化をサポートするオープンソース技術に焦点を当てたイニシアチブで、多数の技術プロジェクトと技術プラットフォームの統括組織です。エネルギーマーケットメソッド（EMM）は、そのようなプラットフォームの 1 つで、その目的は、「需要の柔軟性をリソースとして有効にするための標準のオープンソースメソッドを提供し、エネルギープログラムおよび分散エネルギーリソース（DER）市場をサポートする」ことです（The Linux Foundation, 2020）（CalTRACK, 2019）。それは、エネルギー関連の運用を調整するためのスマートデバイスに組み込まれるようになる Linux の上に機能を提供します。調整メカニズムはまだ明確ではありませんが、この取り組みは TE にとってチャンスとなる可能性があります。

5.6 IEC 技術委員会 57

IEC 技術委員会 57 は、電力システム業界の国際標準を推進しています。標準は主にユーティリティ空間に向けられてきました。欧州連合は、適切であれば国別の標準よりも IEC 標準を使用するよう指令しています。情報モデリング標準と機器インターフェイス標準は、アメリカおよび世界中での DER 統合のために参照・採用されています。

OpenADR 標準、IEC 62746-10-1 は、この技術委員会と関連しています。

5.7 Flexiblepower Alliance Network (FAN)

FAN はヨーロッパでの柔軟性の統合 (flexibility integration) を推進し、EFI (4.2 参照) を開発し、機器のエネルギー柔軟性の表現を標準化するのに役立っています。TE は、FAN が開催したカンファレンス「[FLEXCON 2020](#)」での関心のトピックでしたが、DER 調整のための市場ベースの交換標準は、これまでのところ彼らの標準化の取り組みの一部ではありませんでした。

このグループは、公式に認識された標準開発組織ではありません。FAN と Universal Smart Energy Framework (USEF) Foundation との間の協力は、補完的な取り組みとして注目されています。

5.8 Universal Smart Energy Framework (USEF) Foundation

USEF Foundation は、エネルギーの柔軟性交換のための市場設計をサポートしており、電力システムに柔軟性を統合するためのフレームワークを定義し、卸売および小売環境を含む全体の価値連鎖を考慮して、電気のエンドユーザーまたはプロシューマと対話するさまざまなアグリゲーターモデルを定義しています (de Heer, et al., 2021)。

このグループは、公式に認識された標準開発組織ではありません。USEF Foundation と FAN との間の協力は、補完的な取り組みとして注目されており、USEF は取引プロトコルを提供し、FAN は、特に建物内で、それらが TES でのパフォーマンスを行うために調整されるようにデバイスを分類および統合します。USEF はまた、OpenADR Alliance と協力しています。

6.0 結果と議論

付録 A は、4 章で述べられた TE 関連の標準に関する大まかな見解を示しています。このカテゴリ評価は、特定された標準に存在するギャップと課題を特定するために使用されました。以下のサブセクションは、標準の景観の状態に関する観察を強調しています。

6.1 種々の TE 関連標準におけるギャップ

TE 関連のインターフェイス標準を、サポート資料や組織とともに検討すると、複数の技術プロバイダーのコンポーネントを持つシステムを容易に統合し相互運用するためには、多くのギャップがあることがわかります。

- SEPA での TECM (TE 概念モデル) は、TES を記述するための高レベルの概念と関係をカバーしていますが、テスト可能なインターフェイス標準に必要なセマンティックモデリングの形式を欠いています。TECM 作業を IEEE 2030.5、OpenADR、または OASIS CTS のような選択された標準化プロセスに持ち込むことで、意味論的な意味とデータ構造を明確にすることができ、異なる標準間の調和を図る機会になります。セマンティクスは、OpenADR や IEEE 2030.5 などの既存の標準を拡張し、TE 実装を明示的にサポートする際にも役立つ。
- 現状、TE インターフェイス仕様は GWAC スタック相互運用性レベルと取引ライフサイクルエリアにわたって完全にはカバーされていません。ビジネスの相互運用性には、エンドツーエンドの一貫性が最低限必要ですが、現在、TE 関連の標準規格では十分にサポートされていません。完全にカバーするには、複数の標準規格と、相互運用性テストに実装の特異性をもたらす実装プロファイルの使用が必要になると考えられます。グローバルなビジネス目標がシステムによって評価され、達成されるためには、ある程度のエンドツーエンドの相互運用性が必要です。ビジネスの相互運用性を確保するには、システムのフィードバ

ックや市場の品質（例えば、時間間隔の粒度）を知らせる測定やサポートする測定システムの存在が含まれるなければなりません。ビジネスの相互運用性には、TE プログラムに参入するための登録と資格の詳細を表現するためのサポートが必要で、大量展開の容易性は、技術標準にとどまらず、製品およびプログラムの試験と認証をサポートする実装プロファイルを含みます。

- TE 標準のテストおよび認証プロセスは未熟です。DER 調整市場は未熟で、取引のアプローチのパフォーマンスに対する信頼が欠如しているため、現状では比較的小さな、専門的なプロジェクトしかありません。TES の展開において TE 標準のテスト・認証プロセスを機能させるには、ビジネスコミュニティのエコシステムを必要とします。SunSpec Alliance は、この分野でのエコシステムが進歩している例で、5 および Modbus 実装プロファイルやテストが行われていますが、IEEE 2030.5 ベースの TE 実装プロファイルには適用されていません。
- TES の電力システムアプリケーションへのカバレッジが不完全で、導入経験も不足しています。エネルギー供給者、DER コーディネータ、および顧客との間のインターフェイスでカバレッジが不完全な多くの例が存在します。これは、制御可能および制御不能なリソースの増加の浸透のため自然です。通常、送電領域の卸売電力市場が優先されます。卸売市場の透明性、ダイナミクス、または制限の欠如は、他のドメインでの TE の慣行を制限する可能性があります。

6.2 種々の TE 関連標準における政策障壁

標準ベースの TES を設計および展開する市場は、ビジネスおよび規制政策の課題に直面しています。

- 規制委員会の問題：DER 調整のためのルールと市場ベースのインセンティブを提供する政策と、TES のエネルギーサービス会社および技術ソリューションプロバイダーの競争環境を保護する間のバランスを見つけるのに苦労しています。規制上の障壁には、以下の問題が含まれます。①現状、市場に参加できる主体や機器が限定されていますが、DER や参加者にとらわれないアプローチを

採用する必要があります ②現状、直接制御とデマンドレスポンスアプローチが優先されています ③現状、価格シグナルによる DER がうまく利用されていません ④電気の時間価値の透明性を妨げる電力料金設定が行われています。

- 規制機関間の問題：規制機関間の協力が弱く、管轄区域が細分化された電力規制は、多くのアプローチの実験を可能にしますが、テクノロジー・ソリューションの拡張と進化に必要なハーモナイゼーションを妨げます。そして、こうしたビジネス上の相互運用性の障壁が生じます。①最小のアグリゲーション要件とその定義が規制機関の間で不一致 ②TES 参加者に対する利点の説明が不明確で複雑 ③既存の価格シグナル料金に関する標準化の欠如
- 財政の問題：柔軟なリソースの調整の成長を刺激するためのビジョン、ビジネスイニシアチブを掲げていても、財政的および環境的報酬が、迅速な変革を維持するのに十分でないように見えます。これらの問題は TE の採用を制限します。①エネルギー使用を管理できるスマートデバイスにもかかわらず、自動的に応答可能なデバイスの一般的な欠如があります。②IoT のインターフェイスは、エネルギー使用の調整に貢献していますが、その標準化は流動的です。特に、EFI のような取り組みがあっても、スマートデバイスのエネルギー管理プロバイダーの間で広く普及している標準が欠如しています。③TE 市場メカニズムと、TE 市場を管理する可能性のあるエンティティに関するインセンティブが不確かです。
- 独自プラットフォームソリューションの問題：複数の独自プラットフォームソリューションが先行し、相互運用可能なソリューションの開発を遅らせます。①スマートデバイスプロバイダーは、サーモスタット、照明、EV 充電、および他の機器を管理するための独自のインターフェイスを使用し、他者のデバイスへのアクセスを保護します。②DER 調整ソリューションプロバイダーは、DER を集約するための柔軟性プラットフォームを提供しますが、他のプラットフォームプロバイダーと統合しません。③1 つの柔軟性プラットフォームに統合されたスマートデバイスは、別のプラットフォームプロバイダーに移動することができない可能性があります。

PNNL トランザクティブ・エネルギー通信インターフェイス標準概覧

- 柔軟なリソースの調整のための市場の未熟さ：柔軟なリソースを調整するための市場が未成熟であったため、進化しつつある一連の実装プロファイル（5章参照）に基づく配備の推進を支援する、関連するコンソーシアムやコミュニティを持つ多くの標準やイニシアチブが生まれました。これらのグループは、標準規格に基づくサイバーセキュリティや認定製品のテスト、適合性、登録のためのサービスを提供するようになってきていますが、必ずしも TES の原則をサポートしているわけではありません。

7.0 TES 標準化推進のための推奨活動

ここでは、TES（トランザクティブ・エネルギー システム）標準化の推進に関する活動について推奨される領域を示します。

TE の明確で広く受け入れられる定義

現在の GridWise Architecture Council による TE の定義は抽象的すぎて、TE 標準を進展させる強力なコミュニティ重視の取り組みをサポートするには不十分です。TE コミュニティが具体的で独自の TE の定義に収束するまで、標準化の範囲は不透明なままです。TE の要件を満たすための基準を確立するために、GridWise Architecture Council や標準コミュニティグループを組織し、その結果得られる TE 関連の標準材料の要素を自由に使用できるようにする必要があります。

有効な市場メカニズムのサポート

現在、電力領域における TE の実施には複数の有効な市場メカニズムが存在するため、TE 標準化活動では、そのようなメカニズムすべてのサポートを目指すべきです。実装において曖昧さなく情報を伝達するためには、モデル、テンプレート、または、さまざまな市場メカニズムの表現をサポートするその他の構造を包含しなければなりません。そこで、市場メカニズムをサポートするために必要な情報と相互作用を記述した、機械可読な料金表は注目に値します。分散型台帳技術の TES への応用に関する具体的な技術標準はまだ不十分ですが、スマートコントラクトのような分散型台帳の特徴を、TES の展開において機械可読な料金表をサポートするためにしっかり活用することを検討すべきです。ブロックチェーンで市場メカニズムと整合性のある条件を表現することができれば、市場メカニズムをサポートする有効な標準化の方法を提供することができるでしょう。

TE 概念モデル（Transactive Energy Concept Model : TECM）の普及と強化

SEPA TE 概念モデル（SEPA TECM）は、TES に特化した、複数の従来型スマートグリッドドメイン間における TE コンセプトオブジェクトのインスタンス化を認識するものであるため、TE 標準の調和と進化にとって非常に重要です。これは、従来の

PNNL トランザクティブ・エネルギー通信インターフェイス標準概覧

複数のスマートグリッドドメイン間における TE コンセプトオブジェクトのインスタンス化を認識するため、TES に特有な特性です。

しかし、SEPA TECM が社会的に認識される過程では、競合する TE 標準の用語を調和させるため、批判的なレビューと更新が必要です。既存の曖昧さや概念的なギャップは、TE 関連の標準への組み込みを検討する過程で解決される必要があります。情報モデリングツールを使用したコーディネーション（Semantic Technologies など）も検討すべきです。なお、この執筆時点では、SEPA Architecture Working Group による TECM コンセプトの組み込みとオントロジの開発が進行中です。

ターゲット標準およびプロファイルの詳細評価

OpenADR と IEEE 2030.5 には実装者のエコシステムがすでに存在しています。OpenADR Alliance および SunSpec Alliance は、トランザクティブ・エネルギーに対する関心を示唆しています。これらの標準と関連する実装プロファイルの適切な側面を詳細に評価し、TES をサポートするためのギャップを特定する必要があります。このような評価は、それぞれのコミュニティの参加者と共に行われるべきです。GMLC IMM（Grid Modernization Laboratory Consortium の相互運用性成熟度モデル）は、標準、実装プロファイル、およびエコシステムのサポートと相互運用性の成熟度を評価するために使用できます。IMM（成熟度モデル）を使用することで、関連する規格とそのエコシステムを調査し、対応するコンFORMANCEテストと相互運用性テストの存在と利用可能性を確認することができます。TE 関連の標準は、成熟度の評価に応じて、正確な自己認証とコミュニティブランドテストの基準を含めるべきです。

プロプライエタリ DER 調整プラットフォーム統合のためのオープンインターフェイス

ユニットデバイスコントローラー（スマートサーモスタットなど）およびエネルギー管理システム（建物や工場の監視制御システム）は、通常はプロプライエタリなプロトコルや標準プロトコルの特殊化したものを使用しており、DER 調整プラットフォームプロバイダーが提供する制御および調整システムとのみ連携します。イノベーションを促進し、マーケットの進化を可能にするためには、スマートエネルギーデバイスとシステムが異なるトランザクティブプラットフォーム間で移行できる

PNNL トランザクティブ・エネルギー通信インターフェイス標準概覧

ようにするインターフェイス標準の要件を研究し、業界の利害関係者と標準化団体による調査と関与が必要です。

8.0 参考資料

- Barrager, S. and E. Cazalet. 2016. Transactive Energy: A Sustainable Business and Regulatory Model for Electricity. (P. U. Reports, Ed.) USA
「トランザクティブ・エネルギー：電気の持続可能なビジネスおよび規制モデル. (P. U. Reports, 編集者) USA: Public Utilities Reports, 第1版 (2016年1月1日)」
- Bass, R. 2022. Energy Services Interface: Privacy, Security, Trust, Interoperability. Portland: Portland State University.
「エネルギーサービスインターフェイス：プライバシー、セキュリティ、信頼、相互運用性. ポートランド：ポートランド州立大学」
- Bass, R. and T. Slay. 2021. Implementation Profile: EGoT DERMS Server/Client System. Portland: Portland State University.
「実装プロファイル: EGoT DERMS サーバー/クライアントシステム. ポートランド：ポートランド州立大学」
- California Public Utilities Commission (CPUC). 2021. Rule 21 Interconnection. Retrieved from <https://www.cpuc.ca.gov/rule21>.
「[カリフォルニア公共事業委員会 \(CPUC\). 2021. ルール 21 接続](#)」
- The SGMM Team. 2010. Smart Grid Maturity Model: Model Definition: A framework for smart grid transformation. Carnegie Mellon University, Software Engineering Institute. Carnegie Mellon Institute Software Engineering Institute. Retrieved December 21, 2022.
「[スマートグリッド成熟モデル：モデルの定義：スマートグリッドの変革のためのフレームワーク. カーネギーメロン大学, ソフトウェアエンジニアリング研究所](#)」
- Cazalet, E. G., M. Kohanim, and O. Hasidim. 2020. Complete and Low-Cost Retail Automated Transactive Energy System (RATES) Final Report. California Energy Commission. Retrieved June 7, 2023.
「[完全で低コストの小売自動トランザクティブ・エネルギー システム \(RATES\) 最終報告書. カリフォルニアエネルギー委員会](#)」

- CEN-CENELEC-ETSI. 2011. Final Report of the CEN/CENELEC/ETSI Joint Working Group on Standards for Smart Grids. CEN/CENELEC/ETSI.
[「スマートグリッドの標準に関する CEN/CENELEC/ETSI 共同ワーキンググループの最終報告書」](#)
- CEN-CENELEC-ETSI Smart Grid Coordination Group. 2012. CEN-CENELEC-ETSI Smart Grid Coordination Group Information Security.
[「CEN-CENELEC-ETSI スマートグリッド調整グループ 情報セキュリティ」](#)
- CEN-CENELEC-ETSI Smart Grid Coordination Group. 2012. CEN-CENELEC-ETSI Smart Grid Coordination Group-Framework Document. CEN-CENELEC-ETSI.
[「CEN-CENELEC-ETSI スマートグリッド調整グループ-フレームワーク文書」](#)
- de Heer, H., M. van der Laan, and A. Sáez Armenteros. 2021. USEF: The Framework Explained.
[「USEF: フレームワークの説明」](#)
- DOE Grid Modernization Laboratory Consortium (GMLC). 2023. GMLC: Interoperability.
[「DOE グリッド近代化研究所コンソーシアム \(GMLC\). 2023. GMLC: 相互運用性」](#)
- Grid Modernization Laboratory Consortium. 2020. U.S. Department of Energy. Richland, WA: Pacific Northwest National Laboratory: Interoperability Maturity Model.
[「グリッド近代化研究所コンソーシアム。2020。米国エネルギー省。パシフィック・ノースウエスト国立研究所：相互運用性成熟度モデル」](#)
- GridWise Architecture Council (GWAC). 2008. GridWise® Interoperability Context-Setting Framework. Richland: Pacific Northwest National Laboratory.
[「GridWise®相互運用性コンテキスト設定フレームワーク」](#)（リッチランド：太平洋北西国立研究所）
- GridWise Architecture Council (GWAC). 2019. GridWise Transactive Energy Framework Version 1.1. The GridWise Architecture Council. Richland, WA USA: Pacific Northeast National Laboratory.

「GridWise トランザクティブ・エネルギー フレームワーク バージョン 1.1」
(The GridWise Architecture Council、リッチランド、ワシントン州、米国 :
太平洋北西国立研究所)

- 2023. What is IEEE Standard 1547?

[「IEEE 標準 1547 とは何か？」](#) (IEEE Innovation at Work)

- IEEE Standards Association (IEEE SA). 2011. IEEE Guide for Smart Grid Interoperability of Energy Technology and Information Technology Operation with the Electric Power System (EPS), End-Use Applications, and Loads. IEEE, IEEE Standards Coordinating Committee 21 on Fuel Cells, Photovoltaics, Dispersed Generation, and Energy Storage. New York: IEEE.

「電力システム (EPS) 、エンドユーザーアプリケーション、および負荷とのエネルギーテクノロジーと情報技術の相互運用性のための IEEE ガイド」 (IEEE、IEEE Standards Coordinating Committee 21 on Fuel Cells, Photovoltaics, Dispersed Generation, and Energy Storage、ニューヨーク : IEEE)

- IEEE Standards Association (IEEE SA). 2023a. IEEE 2030.5-2018: IEEE Standard for Smart Energy Profile Application Protocol.

[「IEEE 2030.5-2018 : スマートエネルギープロファイルアプリケーションプロトコルの IEEE 標準」](#)

- IEEE Standards Association (IEEE SA). 2023b. O2418.5: Guide for Blockchain in Power and Energy Systems.

[「O2418.5 : 電力およびエネルギーシステムでのブロックチェーンガイド」](#)

- IEEE Standards Association (IEEE SA). 2023c. SBLC Initiatives Page: P825 – Guide for Interoperability of Transactive Energy Systems with Electric Power Infrastructure.

[「SBLC イニシアティブページ : P825 – 電力インフラストラクチャとのトランザクティブ・エネルギー システムの相互運用性ガイド」](#)

- International Electrotechnical Commission. 2017. Smart grid standardization roadmap

「スマートグリッド標準化ロードマップ」 (国際電気標準会議)

- Kok, J. K. 2013. The PowerMatcher: Smart Coordination for the Smart Electricity Grid. Amsterdam, The Netherlands: Vrije Universiteit Amsterdam.
「PowerMatcher : スマート電カグリッドのスマートコーディネーション」 (オランダ・アムステルダム : フリエ・ユニバーシティ・アムステルダム)
- Liu, J., J. Kolln, S. Xue, S. Widergren, T. Bohn, and R. Brown. 2022. State of Common Grid Services Definition. DOE, Grid Modernization Laboratory Consortium.
「共通グリッドサービス定義の状況」 (DOE、Grid Modernization Laboratory Consortium)
- Mater, J., S. Kang, and R. Simpson. 2019. IEC 61850 and IEEE 2030.5: A Comparison of 2 Key Standards for DER Integration: an Update. PacWorld. 「IEC 61850 と IEEE 2030.5 : DER 統合のための 2 つの主要な標準の比較 : 更新版」 (PacWorld)
- National Institute of Standards and Technology (NIST). 2021. NIST Framework and Roadmap for Smart Grid Interoperability Standards, Release 4.0. National Institute of Standards and Technology, Smart Grid and Cyber-Physical Systems Program Office.
「スマートグリッド相互運用性標準のための NIST フレームワークとロードマップ、リリース 4.0」
- 2012. Energy Market Information Exchange (eMIX) Version 1.0 (OASIS Committee Specification 0.2 ed.). (T. Considine, Ed.) OASIS.
「エネルギーマーケット情報交換 (eMIX) バージョン 1.0 (OASIS 委員会仕様 0.2 版)」 (OASIS)
- 2014. Energy Interoperation Version 1.0. (T. Considine, Ed.) OASIS Standard.
「エネルギー相互運用バージョン 1.0」 (OASIS 標準)
- 2021. Energy Interoperation Common Transactive Services (CTS) Version 1.0 (OASIS Committee Specification Draft 0.1 ed.). (T. Considine, Ed.) OASIS Energy Interoperation TC.

[「エネルギー相互運用共通トランザクティブサービス \(CTS\) バージョン 1.0 \(OASIS 委員会仕様草案 0.1 版\)」](#) (OASIS Energy Interoperation TC)

- OpenADR Alliance. 2023. OpenADR 2.0 Specifications.
[「OpenADR 2.0 仕様」](#)
- OpenADR Alliance. June 2023. OpenADR 3.0 – Introduction.
[「OpenADR 3.0 – イントロダクション」](#)
- Rahimi, F., et al. 2021. IEEE Blockchain Transactive Energy (BCTE) Position Paper. IEEE.
[「IEEE ブロックチェーントランザクティブエネルギー \(BCTE\) ポジションペーパー」](#)
- Smart Electric Power Alliance (SEPA). 2022. Transactive Energy Concept Model.
[「トランザクティブ・エネルギー コンセプトモデル」](#) (Smart Electric Power Alliance)
- 2016. Transactive Energy Application Landscape Scenarios. Smart Electric Power Alliance.
[「トランザクティブ・エネルギー アプリケーション ランドスケープ・シナリオ」](#) (Smart Electric Power Alliance)
- 2022a. Catalog of Standards Navigation Tool.
[「標準ナビゲーションツールのカタログ」](#) (Smart Electric Power Alliance)
- 2022b. Transactive Energy Concept Model.
[「トランザクティブ・エネルギー コンセプトモデル」](#) (Smart Electric Power Alliance)
- Song, E. Y., C. Nguyen, and A. Gopstein. 2019. Review of Smart Grid Standards for Testing and Certification Landscape Analysis. National Institute of Standards and Technology, U.S. Department of Commerce, Smart Grid and Cyber-Physical Systems Program Office Engineering Laboratory. National Institute of Standards and Technology, U.S. Department of Commerce.
[「テストおよび認証のためのスマートグリッド標準のレビューとランドスケープ分析」](#) (National Institute of Standards and Technology、米国商務省、スマ

ートグリッドおよびサイバーフィジカルシステムプログラムオフィスエンジニアリングラボラトリー)

- Sunspec Alliance. 2022. Orange Button API: An Open Source Community for the Solar+Energy Storage Industry.
「[オレンジボタン API : 太陽光+エネルギーストレージ業界のオープンソースコミュニティ](#)」 (Sunspec Alliance)
- Taft, J. 2019. Grid Architecture: A Core Discipline for Grid Modernization. IEEE Power and Energy Magazine, 17(5).
「グリッドアーキテクチャ：グリッド近代化のためのコアディシプリン」 (IEEE Power and Energy Magazine, 17(5))
- The GridWise Architecture Council. 2008. GridWise Interoperability Context-Setting Framework. GridWise Architecture Council.
「[GridWise 相互運用性コンテキスト設定フレームワーク](#)」 (GridWise Architecture Council)
- The Linux Foundation. 2020. EM2.
「[EM2](#)」 (The Linux Foundation)
- 2020. USEF Flexibility Trading Protocol Specifications, v1.01.
「[USEF フレキシビリティトレーディングプロトコル仕様、v1.01](#)」 (www.usef.energy)
- USEF Foundation. 2021. A Flexibility Market Design.
「[フレキシビリティマーケットデザイン](#)」 (USEF Foundation)
- Werkman, E., M. Konsman, W. Wijbrandi, and B. Ran. 2019. EFI 2.0 Specification. FlexiblePower Alliance Network.
「[EFI 2.0 仕様](#)」 (FlexiblePower Alliance Network)

付録 A – TE 関連標準の比較

ここでは、4章で紹介した TE 関連の標準を比較するための大まかな視点を示します。二次元の風景（表.1 から表.4）では、標準の詳細なギャップを示すことはできませんが、アプリケーションの範囲、相互運用性の成熟度、および TE の概念とアプローチのカバレッジの観点から、標準間の類似点と相違点を示しています。

なお、IEEE P2418.5「ブロックチェーンエネルギー標準」はガイドであり、相互運用性のカテゴリを厳密に指定していないので、比較対象に含めていません。

A.1 相互運用性のカテゴリとアクタードメインでの比較

次の表は、GWAC スタック(図.3)の相互運用性のカテゴリと、図.1 のアクタードメインで、TE 関連の標準のカバレッジを示しています。

表 1: 相互運用性のカテゴリとアクタードメインの風景

Interoperability Categories	Actor Domains				
	TE Market Manager	DER Coordinator	Customer	Device Controller	Meter-Sensing
Economic / Regulatory Policy		IEEE 2030.5			
Business Objectives		USEF-UFTP			
Business Procedures		OpenADR			
Business Context				EFI	
Semantic Understanding		CANS-CTS			
Syntactic Interoperability					
Network Interoperability					
Basic Connectivity					

- **OASIS CTS:** この標準は、TE 市場のメカニズムを使用して顧客と対話する DER コーディネータを対象としています。適用範囲には、機器コントローラと通信するためのプロトコルは含まれず、他の手段（メーター管理システムまたは他のメーター通信プロトコル標準）を通じて計測が行われることを想定しています。また、ネットワーキングプロトコルの上位に位置付けられ、TE のビジネスコンテキストとビジネスプロセスを持つ情報モデルが含まれていますが、標準化プロセスでは、経済／規制政策との整合性が欠落しており、相互運用性を確保するために政策立案者と協力して働く組織のエコシステムも含まれていません。
- **EFI:** この標準は、機器コントローラからの標準的な方法で、さまざまなタイプの機器の柔軟性を表現するための情報モデリング面に重点を置いています。XML で指定されており、構文的な相互運用性をサポートしていますが、ネットワーキングプロトコルや特定のビジネスプロセスの相互作用をカバーしていません。その点で、トランザクティブシステムを補完する標準となっています。
- **USEF UFTP:** このプロトコル仕様は、DER アグリゲーターと DSO 間の TE 市場の対話を対象としています。この作業は、アグリゲーター（すなわち、DER コーディネータ）が DER を制御するための独自の手段を持っていると仮定しています。USEF は、顧客との対話のプラットフォームとして PowerMatcher を例にしています。このため、UFTP を DER の調整に使用する能力は不明確です。このプロトコルはヨーロッパのプロジェクトで実装されていますが、政策立案者の関与はプロジェクトベースで行われているようであり、標準そのものではないようです。
- **OpenADR:** この標準は、デマンドレスポンスアプリケーションを起源としています。動的な価格とデマンドレスポンスイベントの配信をサポートしていますが、TES の明示的なサポートはありません。OASIS CTS との調和が議論されている可能性があります。OpenADR 3.0 は TE 市場を明示的にサポートすることなく、CTS とは別の道を歩もうとしています。OpenADR は、機器コントローラと計測との対話とその仕様の外で処

理されると仮定しています。カリフォルニア州では、政策立案者がプロジェクトの実装に関与していました。

- IEEE 2030.5:** IEEE 2030.5 は、経済/規制政策カテゴリの側面をカバーしていることが示されています。これは、カリフォルニアのルール 21 に関する共通のスマートインバータープロファイルの経験からであり、複数のサービスプロバイダーの管轄区域での複数の技術ソリューションプロバイダーとの高度な統合が含まれています。5 のカバレッジは OpenADR と似ていますが、特定のデバイス制御のモデリングと対話が含まれています。TE の観点からすると、これは市場インターフェイスの機器に依存しない TE の性質から逸脱しています。

A.2 TECM と IMM の成熟度で比較

次の表は、相互運用性の成熟度（図.4）と TECM（図.7）の主要な概念から、TE 関連の標準のカバレッジを示しています。

表.2: TECM と IMM 成熟度から見た比較

		TECM Concepts				
		Transactive Agent	Transaction	Agreement	Device Controller	Meter-Sensing
Interoperability Maturity	Optimizing					
	Quantitatively Managed			IEEE 2030.5		
	Defined	OASIS-CTS		OpenADR		
	Managed			OpenADR		
	Initial	USEF-UFTP			EFI	

- OASIS CTS:** OASIS は、公認の標準開発プロセスに従って CTS を作成しています。それには主要な TECM の概念をサポートする側面を含んで

PNNL トランザクティブ・エネルギー通信インターフェイス標準概覧

いますが、計測情報への対話は他のシステムと標準に委ねています。エネルギーの相互運用と eMIX はしばらく前から存在していますが、CTS は比較的新しく、フィールド実装は知られていません。そのため、相互運用性の成熟度レベルは「Defined」レベルとしています。

- **EFI:** この仕様は、機器コントローラからの柔軟性を表現することに焦点を当てています。FAN によって定義されており、これは公認の標準開発組織ではありません。そのため、成熟度の評価はワンランク下の「Managed」としています。
- **USEF UFTP:** USEF は、系統運用者が DER アグリゲーターと対話するためのトランザクティブマーケットの豊富な仕様を持っています。これにより、トランザクティブ・エージェント、トランザクション、およびその合意の概念がサポートされます。この図で表現されていないギャップは、柔軟性リソースを所有・運用する顧客との対話の仕様が欠けていることです。USEF も公認の標準開発組織ではないため、成熟度は「Managed」レベルにしています。
- **OpenADR:** この仕様は、トランザクティブマーケットの対話を明示的にサポートしていませんが、OASIS eMIX とエネルギーの相互運用標準の側面での調和がありました。仕様は機器コントローラと対話し、動的価格（dynamic price）とイベントに基づくトランザクションの概念があります。OpenADR Alliance は公認の標準開発組織ではありませんが、その仕様は IEC/PAS 標準として認識されています。また、多くのデマンドレスポンスプロジェクトで展開されており、仕様とユーザーの実装ガイドはステークホルダーとのアップデートプロセスを経ています。これにより、成熟度レベルとしては「Defined」レベルにしています。
- **IEEE 2030.5:** IEEE 2030.5 の TE 概念のカバレッジは OpenADR と似ています。TE メカニズムを特にサポートしていませんが、仕様と実装プロファイルの側面は価格に応答してサポートするために使用できます。SunSpec Alliance との協力により、テストおよび認証プロセスを持つ実装プロファイルが作成されました。標準のエコシステムは、アップグレードパスに敏感な標準の複数のバージョンを供給しており、互運用性成熟度

レベルは、「Defined」レベルより1つ上の「量的に管理された (Quantitatively Managed)」レベルとしています。

A.3 相互運用性の横断的課題と成熟度での比較

次の表は、相互運用性の成熟度（図4）とGWACスタック（図3）の相互運用性の横断的な課題を考慮して、TE 関連の標準のカバレッジを示しています。

表.3: 相互運用性の横断的課題と成熟度から見た比較

		Interop Cross-cutting Issues		
		Configuration and Evolution	Operation and Performance	Security and Safety
Interoperability Maturity	Optimizing			
	Quantitatively Managed	IEEE 2030.5		
	Defined	OpenADR		
	Managed	OASIS-CTS		
	Initial	EFI	USEF-UFTP	IEEE P2418.5

- OASIS CTS:** CTS 標準は、相互運用性成熟度モデル (IMM) の横断的な問題のほとんどをカバーしています。これは他のインターネットおよびウェブサービス標準に基づいています。システムのアップグレードとコンフィギュレーションのサポートが、状態管理手法によって明確に定義され、広く受け入れられています。そのサイバーセキュリティと暗号化手法も明確にされています。ただ、この標準に関してフィールド経験やアップグレードが不足しているため。相互運用性の成熟度としては、「Defined」と「Managed」に係るレベルとしています。
- EFI:** 柔軟性の表現に使用される情報モデルとして、EFI は相互運用性の設定と進化の側面をカバーしています。ただし、他の横断的な問題はこの

仕様でカバーされていません。FAN は公認の標準開発組織ではないため、成熟度レベルは「Managed」としています。

- **USEF UFTP:** USEF も公認の標準開発組織ではないため、その成熟度レベルは「Managed」としました。ただし、UFTP 仕様は、相互運用性の横断的な問題を広くカバーしています。
- **OpenADR:** OpenADR 仕様も相互運用性の横断的な問題を広くカバーしており、IEC との接続によって「Defined」の成熟度レベルにあります。
- **IEEE 2030.5:** 2030.5 についても OpenADR と同様です。IEEE-SA 作業グループと SunSpec Alliance との強い相互作用は、実装プロファイル、テスト、認証を含み、成熟度レベルを高めています「Quantitatively Managed」。さらに、暗号化キーオーソリティが設定されていて、プロジェクト実装でのサイバーセキュリティ成熟度を高めています。
- **IEEE P2418.5:** IEEE の 5 のドラフトレポートはガイドです。作業は、安全な分散システム相互作用のためのデジタル台帳技術に焦点を当てています。これは、セキュリティと安全性の横断的な相互運用性問題に関連する初期および管理された成熟度レベルに焦点を当てていることを説明しています。

A.4 相互運用性のカテゴリとトランザクティブな相互作用領域に関する TE 関連標準の比較

次の表は、GWAC スタックの相互運用性のカテゴリ（図.3）とトランザクティブエージェントモデルのトランザクティブな相互作用領域（図.5）を考慮して、TE 関連標準のカバレッジを示しています。ほとんどの標準は一部の発見および登録プロセスをカバーしていますが、主に操作プロセスに焦点を当てており、計測と検証、および決済/調整をプロジェクト固有の仕様に委ねています。

表.4: 相互運用性のカテゴリとトランザクティブな相互作用領域での TE 関連標準の比較

Interoperability Categories	Transactive Interaction Areas				
	Registration/Qualification	Negotiation Process	Operations Process	Measurement & Verification	Settlement/Reconciliation
Economic / Regulatory Policy					
Business Objectives					
Business Procedures					
Business Context					
Semantic Understanding					
Syntactic Interoperability					
Network Interoperability					
Basic Connectivity					

OASIS CTS: CTS 標準は、トランザクティブシステムの相互作用のライフサイクルを説明しています。エネルギーサービスプロバイダーによって詳細な顧客登録と資格審査プロセスが設定されることを期待していますが、標準の中で、パーティ識別子を作成し、CTS マーケットプレイスに登録および登録するために必要なメッセージを規定しています。トランザクション以前の交渉過程「Negotiation Process」とオペレーション過程「Operation Process」をカバーしています。決済に使用できる計測情報を表す情報モデルが存在しますが、センシング機器へのアクセス「Measurement & Verification」と実際の決済「Settlement/Reconciliation」は対象外です。

EFI: この標準は、構文的「Syntactic Understanding」および意味的「Semantic Understanding」な相互運用性カテゴリでの柔軟性表現に関連しています。これらは操作時および他のソフトウェアがトランザクティブな相互作用を生成する際に関連しています。

USEF UFTP: UFTP 仕様書は、表 4 の全域を横断するライフサイクルを説明しています。資料には、フレームワークとともに、DSO と DER アグリゲーター間で TE 市場を設定するアプローチも説明されています。

OpenADR: 仕様書とユーザーガイドは、デマンドレスポンスサービスを発見し登録する方法を説明しています。ただし、顧客の資格と登録情報の詳細はプロジェクト固有であり、プロファイル化されていません。デマンドレスポンスの交渉「Negotiation Process」と操作「Operations Process」のためのVTNとVEN間の相互作用は説明されていますが、計測と検証「Measurement & Verification」、および決済「Settlement / Reconciliation」の詳細はカバーされていません。

IEEE 2030.5: 2030.5は、相互作用のライフサイクルに関してOpenADRに類似しています。実装プロファイルの経験と形式化は、プロジェクト固有の詳細の仕様を強化します。さらに、これらのプロファイルに政策立案者が関与することで、経済/規制政策の側面が相互運用性をサポートすることを確認するのに役立ちます。

付録 B – TE 定義における論点

TE の定義にはサービスの交渉価格に関する双方向の合意が含まれています。ここでは、TES に関連する標準化と相互運用性に影響を及ぼす可能性があるいくつかの問題について議論します。

- **TE の定義について:** GridWise Architecture Council の TE の定義は抽象的であり、様々解釈の余地があります。そこで、TES が TES であると主張するために持っていなければならない資質についての議論が続いています。実務家の意見の不一致の一つの領域は、TES が参加する消費者と生産者からの利用可能なエネルギーの柔軟性のフィードバックを含む必要があるかどうかです。要するに、「価格の因果関係について沈黙し、メッセージング・フィードバック信号を必要としない価格反応型アプローチは、TES として適格なのだろうか？」という議論です。本報告書は、価格発見メカニズムを明示的にサポートするための双方向の交渉インターフェイスをサポートする標準機能と、一方向の価格反応型の標準機能を区別します。もうひとつの論点は、「経済的または市場ベースの構成要素を使用することが、価格シグナルを使用しなければならないことを意味するのかどうか」ということです。例えば、エネルギーの柔軟性を一元的に計算し、TES における直接的な需要応答を通じて実現することは可能でしょうか？本報告書は、分散型意思決定アプローチを欠き、直接制御を必要とする標準機能を非トランザクティブとして区別します。
- **送電網の領域について:** TE が送電網全体に適用されるのか、TE が配電事業者とその需要家の間でのみ適用されるのか、さらに狭義には、TE が特定のビハインド・ザ・メーター資産にのみ適用されるのか、議論が続いています。一方、一部の TE の革新者は、TES を送配電網に依存しないものと考え、参加者の役割と責任は、参加者がどこに居住しているかに関係なく定義されています。極端に言えば、エネルギーに関する意思決定が行わ

れる可能性のあるあらゆる場所（発電所、変電所、フィーダー、変圧器、構内、配電盤など）に TE ノードを配置することができます。

- **分散型意思決定と集中型意思決定について:** TES における意思決定はどの程度分散化されていなければならないのか？分散型意思決定は、層分解の調整原則が遵守されている場合、TES で実現可能です (Taft, 2019)。これは、グローバルな目的が分散したシステムの位置間でコンポーネント（またはサブ問題）の計算を割り当てることで達成できることを意味します。原則として、分散型意思決定はシステムの複雑さを減少させ、制御アクションの遅延を減少させます。本報告書は、分散型意思決定をサポートする可能性のある標準を強調しており、したがって、トランザクティブ・エージェントのコミュニティ、彼らの意思決定権限の明確なライン、および最適化問題の解決方法を分解する能力を強調しています。
- **市場の目的について:** 経済学者は、電力商品に適用できる経済効率の正確な定義を提供しています。TES は、これらの指標を使用して客観的に比較することができます。しかし、市場の結果は、再生可能エネルギー、CO₂ の排出削減、および社会的公正のような新しい社会的目的達成のために調整されます。これらの重みが変わると、市場の結果も変わりますが、このような加重の適用や時間の経過に伴う変更を促すプロセスは厄介であり、迷路のような規制の管轄区域を横断して見た場合、決定には一貫性がないことが多々あります。TES を設計する上で、そのような「経済・規制政策の相互運用性特性」に関連する価値をどのようにシステムに反映させるか、明確な仕様策定が必要です。
- **市場のメカニズムについて:** TES が取引を解決・確定するための有効な市場メカニズムは複数存在します。例えば、二者間取引、マッチングエンジン、両面オークションなどがあります。これらの例のメカニズム内でも、参加者の戦略は配信間隔の期間や、価値と数量を予測し計画する将来の思惑によって異なります。市場メカニズムは参加者の戦略を定義しませんが、多人数が参加するゲームのルールを整える役割を果たします。各参加者は、相互作用のための独自の戦略を開発する責任があります。しかし、市場設計（ルールを確立する）の調査は、不正行為を避けるか監視する機能の重要性を示しており、それでもなおプレイヤーが個々の目標に対して

PNNL トランザクティブ・エネルギー通信インターフェイス標準概覧

最良（公正）な戦略を求める自由を許しています。TES 経験の未熟さは、市場メカニズムに関する重要な教訓があることを示しています。

- **提供されるサービスについて:** TE の革新者たちは、基本的な電力供給のスケジューリングを超えて、電圧管理のような新しいグリッドサービスに TE の実践を拡大しています。原則として一般的なエネルギー供給サービスから導き出される可能性のある需要とランピング（急増・急減）サービスは、TES に異なる要件を設定します。これらのサービスは相互依存적である可能性があり、TE を介した一つのサービスの提供が、他のサービスの提供を減少させる可能性があります。

原典 : Transactive Energy Communication Interface Standards Landscape
Pacific Northwest National Laboratory
PNNL-34505
July 2023
Steven E Widergren
Donald J Hammerstrom

日本語版 : トランザクティブ・エネルギー通信インターフェイス標準概覧
翻訳 : ChatGPT & インターテクリサーチ株式会社 新谷隆之
September 2023

