

次世代電力システム向け標準オントロジ構築及び応用

A Standard Ontology Construction and its Application for EMS

王 蘭¹

Lan WANG¹

¹ 東芝研究開発センター

¹ Corporate Research and Development Center, Toshiba Corporation

アブストラクト：スマートグリッド技術の普及に伴い異なる電力システム間でのデータ交換が要求されている。電力システム情報を対象とした標準オントロジ（メタデータ）の構築が必要となるが、レガシー電力システムの専門知識を標準オントロジに反映させる知識伝承に問題があった。本研究では電力システムの専門知識と情報モデリング知識を融合し、標準オントロジの構築と標準EMS DBプラットフォームの構築、及び次世代電力システムへの応用について研究開発を行う。

1 はじめに

1.1 背景

近年、スマートグリッド技術の普及に伴い、電力システムにおいて、複数ベンダーが提供するシステムが共存し、異なるシステム間の情報通信やデータ交換が必要となっている。それらを実現するため、異なるシステムが共通のオントロジを構築して利用する必要がある。従来は、例えば、あるシステムで、「スイッチの最大電流」の項目を定義しアンペア (A) の単位を利用する。別システムでは、同じ機器の同じ属性を「開閉器の定格電流」として定義し、キロアンペア (kA) の単位を利用する。同じ機器の同じ属性に対して、機器名が「スイッチ」と「開閉器」が異なり、属性名は「最大電流」と「定格電流」の違いがある。更に、其々が利用する単位もアンペア (A) と、キロアンペア (kA) の違いがある。このように、個々のシステムが独自のデータモデル定義を利用するケースが良く見られ、他のシステムとのデータ互換性に問題があり、システムのコンパティビリティ (compatibility) は低い。

一方、図1に示すように、米国 NIST⁽¹⁾より、スマートグリッド関連分野は、発電、送電、配電、ユーザ、電力市場、オペレーション、サービスプロバイダーの7つのドメインに分類される。次世代電力システムでは、異なるドメイン間のデータ通信・交換を円滑に行うために互換性のあるデータ提供が必須となる。

異なる電力ドメイン、電力システム間のデータ互換を実現するためには、電力システムが利用できる共通のオントロジ、所謂、共通のデータモデル（メタデータ）と、データ通信の標準インタフェースを定める必要性があり、次世代電力システムは標準オントロジをベースに構築する必要がある。

また、独自定義を利用して構築したレガシー電力システムから、標準オントロジをベースとする次世代電力システム向けに、メタデータ定義の伝承、インスタンスデータの自動移植を含む、知識伝承の支援が必要である。

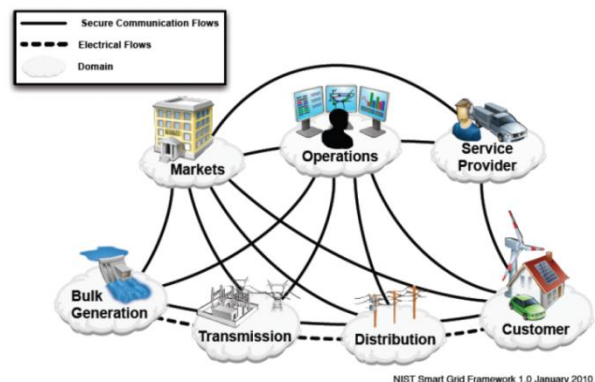


図1 スマートグリッド分野の7つドメイン
(出典：NIST Smart Grid Framework 1.0)

1.2 目的

本研究は、次世代電力システムに必須となる標準オントロジの構築、標準データベースの構築を行い、次世代電力システムへの適用を行っている。また、標準インタフェースの提供により、他のシステムとのデータ互換性試験を行っている。また、レガシー

¹ NIST: National Institute of Standards and Technology

電力システムからのメタデータ定義の伝承、異なるオントロジ間のインスタンスデータ変換について、様々な手法を提案し、電力システムの知識伝承支援を行う。

1.3 研究内容

本研究は、上記目的を実現するため、電力標準オントロジの構築機能、標準 DB の構築機能、標準インタフェース機能を含む標準 EMS DB プラットフォーム：ParcimoserTMの研究開発を行い、次世代電力システムへの応用を行った。以降、第2章で、従来方式の問題点と、新たなオントロジ記述方法を提案し、第3章で標準 EMS DB プラットフォーム ParcimoserTMの概要機能を紹介する。第4章では知識伝承支援のための機能概要について述べる。第5章では次世代電力システムへの応用例を紹介する。

2 電力システムの標準オントロジ

2.1 従来

国際規格の IEC61970/61968(CIM : Common Information Model)は、電力システムを構成する設備や、発電・送電・変電・配電の情報のモデリング方法を定めている。オブジェクト指向の考えをベースに、設備はオブジェクトクラスとして定義し、設備の属性は、クラスの属性として定義する。また、設備に対する監視・制御属性は、別クラスとして定義し、設備クラスと関連付けをする。

CIMでは、UML (Unified Modeling Language) のパッケージ、クラス、属性等のオブジェクト概念が定義され、オブジェクト間の関係は、継承 (inheritance)、関連 (association)、集約 (aggregation) を用いて表表わされている。

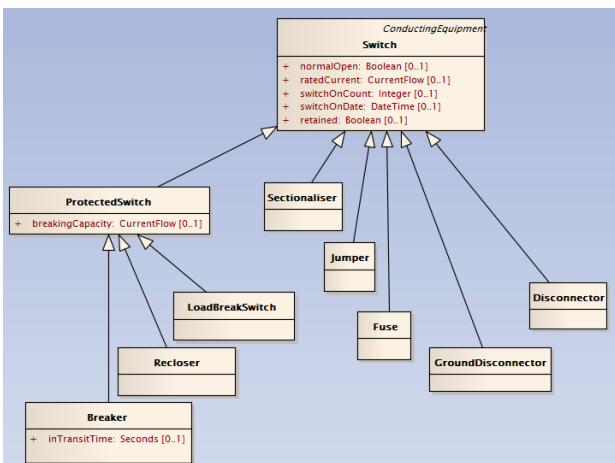


図 2 電力システム情報の階層クラス (出典 : IEC61970-301 Ed3.0)

CIM モデルは IEC TC57 技術委員会が開発し、スパークシステムズ (<http://www.sparxsystems.jp>) 提供する UML ツールを用いて更新を行っている。

図 2 は、CIM が利用するクラス図の例を示す。1 種類の設備は 1 つのクラスとして定義し、必要な属性を定義する。クラス間継承 (inheritance) 関係を用いて、下位クラスが上位クラスの定義属性を継承する。

CIM オブジェクトは、既定の構造を用いて記述する。例えば、CIM 属性は、各クラスに定義する native 属性と上位クラスから継承した inherited 属性がある。表 1 は、CIM クラスの属性を表す構造例である。各属性は、名前、データタイプ、及びノート (定義したクラス情報) のフィールドを用いて記述する。その他の CIM オブジェクトも同様な構造を用いて定義する。表 1 の例から分かるように、其々のオブジェクト定義には、版 (バージョン) に関する情報はなく、クラス、属性等、オブジェクト毎のバージョン更新管理はできない。

表 1 クラス属性の定義例

Name	Type	Note
Native1	Float	A floating point native attribute of the class is described here.
Native2	ActivePower	Document for another native attribute of type ActivePower
Name	Float	Inherited from class IdentifiedObject

2.2 従来の問題点

従来、UML を用いて定義する CIM モデルは、全体のモデルに 1 つのバージョン情報を付与して管理しており、全体モデルの 1 つのオブジェクト修正があれば、バージョン情報の変更が必要になる。つまり、CIM モデルは、バージョン 1 からバージョン 2 に変更した際に、変更したオブジェクト定義と、変更しなかったオブジェクト定義との区別は難しく、異なるバージョン間のデータ互換は困難であった。

また、実際のシステムでは、モデルを表記するメタデータに従って、大量のインスタンスデータ記述が必要になる。つまり、UML 形式の CIM モデルのメタデータ定義から、別途インスタンスデータ記述のテンプレートを作成する必要がある。異なる形式のメタデータと、インスタンスデータ間の整合性チェック等で多大な工数が掛かる。

2.3 新たなオントロジ構築方法の提案

ここでは、電力システムに必要な情報を対象に、クラス、プロパティ、データタイプ等のオブジェクト定義と、オブジェクト間の関係定義と、オブジェ

クトを記述するフィールド定義（属性）を用いて、電力標準オントロジを構築する方式を提案する。なお、ここで提案する表形式を用いてオントロジを構築する方法は、IEC62656-3（パーセル CIM、参考文献[6]）の国際規格として FDIS²⁾を準備中である。個々のオブジェクト、オブジェクト間の関係、属性の詳細については、参考文献[5]を参照されたい。

まず、電力システムの標準オントロジの表形式記述について紹介する（詳細は参考文献[1][6]を参照）。図2で示すUMLを用いて記述する電力オントロジの階層クラスと属性に対して、表形式で記述する際に、クラスオブジェクトと、プロパティオブジェクトを定義する。

図3にクラスの定義例を示す。本定義では、属性の「親クラス」を用いてクラス間の継承関係を記述している。個々のクラス定義に「バージョン」の属性定義があり、クラス毎のバージョン情報が識別可能であることが分かる。

ID	名前(英文)	名前(JP)	親クラス	バージョン
Cls1	Switch	スイッチ	conductingEquipment	2
Cls2	Jumper	ジャンパ	Switch	2
Cls3	ProtectedSwitch	保護スイッチ	Switch	1

図3 クラスの定義例

図4に、プロパティの定義例と、定義したプロパティを用いたインスタンスデータの記述例を示す。プロパティ定義では、自身を定義したクラス情報は「定義クラス」の属性を用いて定義し、インスタンスデータ記述を制約するデータタイプや単位を定める。またクラス定義と同じく、個々のプロパティに「バージョン」属性を定義してあり、個々のプロパティのバージョン情報を識別できる。

インスタンスデータは、クラス毎に纏めて記述する。図4は、クラスのスイッチのインスタンスデータの記述例である。インスタンスデータの記述は、メタデータで定義したスイッチクラスのプロパティと上位から継承したプロパティを用いて、記述が行える。

本例が示すように、個々のオブジェクトとオブジェクト間の関係は、表形式を用いたメタデータの記述で実現でき、インスタンスデータの記述も可能となる。

ID	Name	Datatype	単位	定義クラス	バージョン
P1	NormalOpen	Boolean		Cls1	1
P2	ratedCurrent	Float	A	Cls1	2
P3	switchOnCount	Integer		Cls1	1
P4	SwitchOnDate	Date		Cls1	2
P5	Retained	Boolean		Cls1	3
P6	IntransiteTime	Int	Ms	Cls2	1

#Name	ID	NormalOpen	ratedCurrent (A)	switchOnCount	switchOnDate	retained
#ID	P0	P1	P2	P3	P4	P5
#version	1	1	1	1	2	3
#Unit			A			
#Datatype		Boolean				
	Switch1	True	0.6	1000	2013-01-23	True
	Switch2	True	0.8	3400	2012-03-01	True

図4 プロパティ、インスタンスデータの定義例

3 標準 EMS DB プラットフォーム : ParcimoserTM

第2.3節では、表形式のオントロジ記述方法を提案したが、本節では、この提案法を次世代電力システム(EMS: Energy Management System)に適用した標準EMS DBプラットフォーム ParcimoserTMについて紹介する。ParcimoserTMは、以下4つの機能を提供する。

- (1) 標準オントロジ構築機能
- (2) インスタンスデータ構築機能
- (3) 標準DB構築機能
- (4) 標準インタフェース機能

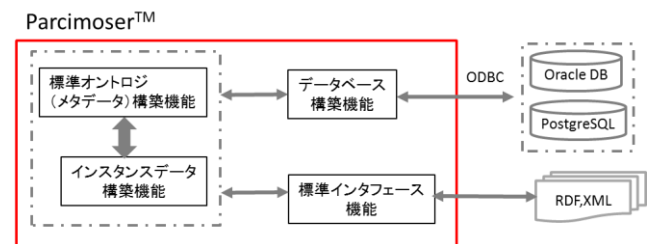


図5 Parcimoserの概要構成³⁾

電力標準オントロジは、前述のIEC62656-3をベースとする。本ツールが提供する諸機能は、図5に示すような関係を持つ。以下、各機能の概要を紹介する。

3.1 標準オントロジ構築機能

メタデータは、クラス、プロパティ、データタイプ、

³⁾ OracleはOracle Corporationおよびその関連会社の登録商標です。PostgreSQLは、PostgreSQLの米国およびその他の国における商標または登録商標です。

²⁾ FDIS:Final Draft International Standards

Enumeration, Term, リレーションの6種類のオブジェクトを利用して定義する。オブジェクト種類毎に、全データを一枚のデータシートに纏めて記述する。

図6は、メタデータのクラス定義例を示す。一行のデータは、1つのクラスインスタンスを記述する。このように、電力システムが利用する全てのクラス概念が、一枚のデータシートに纏めて記述できる。他の種類のメタデータ（プロパティ、データ等）記述も、同様に行える。

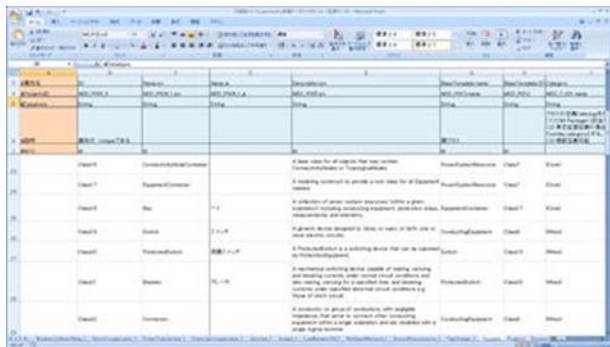


図6 クラス定義例



図7 クラスツリー

また、クラス間の継承関係は、クラスの「親クラス」属性によって構築し、クラス間の包含関係は、クラスの定義プロパティによって記述する。オブジェクト間の関係を明確に分かるように、図7に示すよう、クラスの継承関係をベースとするクラスツリー表示機能や、クラス定義するプロパティの一覧表示機能等、オブジェクト間の関係の可視化機能を提供する。

そして、メタデータ間の参照関係、プロパティの冗長定義等について、バリデーション機能によって確認し、検証、評価することができる。

3.2 インスタンスデータ構築機能

インスタンスデータは、メタデータ定義に従って記述するデータのことである。図4で示すスイッチクラスとその属性はメタデータで定義しているが、インスタンスデータは、例えば、ある電力システム

A に実際に装備する switch1,switch2・・・などの実在する機器のデータとなる。

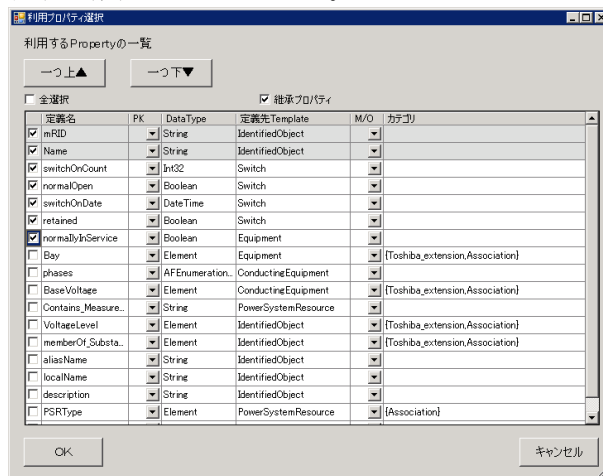


図8 インスタンス記述テンプレート自動生成

本ツールでは、3.1節で記述するメタデータのクラスとそのプロパティを用いて、インスタンスデータの記述テンプレートを自動的に生成する。例えば、図8で示す例では、クラス Switch と、ルートまでの上位クラスから継承するプロパティと、自分が定義するプロパティリスト、normalOpen、switchOnDate、switchOnCount 等から必要な項目を選択し、Switch クラスのインスタンスデータを記述するためのテンプレートが自動生成される。この際、Switch クラスを記述するプロパティの選択は可能であるが、従来知識を用いることで、個々のクラスに必須なプロパティをクラスのメタデータに定義することによって、例えばデータの作成者が該当知識を持たない場合でも、必要なメタ情報が漏れることなく、インスタンスデータのテンプレートを作成できる。必須情報のメタデータ記述は、4.1節で説明する。

インスタンスデータの入力を行う際、本機能で、データタイプによる入力制約、参照関係によるデータ自動入力、データ重複チェック、データバリデーション等を行うことにより、メタデータ定義との整合性を保ちつつ、正確なインスタンスデータの作成が行える。

3.3 標準 DB 構築機能

本ツールで作成したメタデータ、インスタンスデータは、図5で示すように、ODBC(Open Database Connectivity)経由で、多様なデータベースミドルウェアに保存出来る。また本ツールの特徴として、複数バージョンのメタデータ及び対応するインスタンスデータの保存が可能である。異なるバージョンのメタデータは識別IDを用いて識別でき、複数バージョンのメタデータに対応する標準データファイルの構築が可能になるため、他システムとのデータ互換性

が向上する。

3.4 標準インタフェース機能

本ツールで構築したオントロジ、インスタンスデータは、標準インタフェースを通じて、他のシステムとのデータ互換を実現できる。図 5 にオフラインでのデータ互換方法を示す。オントロジ定義だけのデータ互換、またはインスタンスデータを含むデータ互換をサポートし、XML や、RDF 等、複数の標準ファイル形式を用いて、データの入出力を行うことができる。また、異なるバージョンのメタデータを指定することで、インスタンスデータの入出力も可能である。この際、インスタンスデータの変換が必要になる（インスタンスデータの自動変換方法については 4.2 節参照）。なお、標準形式を用いるデータ互換については、参考文献[3]を参照されたい。

4 知識伝承支援

本論文では、オントロジ構築をする際の知識伝承支援として、レガシー電力システムのメタデータ定義を標準オントロジ定義に反映させる方法と、異なるバージョン間のインスタンスデータを自動変換する方法を提案した。これらの提案内容を標準 EMS DB プラットフォーム Parcimoser™ に実装し、検証を行っている。

4.1 メタデータ定義の参照

標準オントロジを構築する際、レガシーシステムの定義を参照する。本文は、クラスに必要なプロパティ作成を支援する方法を紹介する。

標準オントロジ構築する際、クラス名を用いて、従来システムの定義クラスに対して、類似検索で類似するクラスを検出する。それらのクラスと定義したプロパティ集合を参照し、標準オントロジのクラスとプロパティ定義を行う。クラスは階層構造を用いるため、複数のクラスが共有するプロパティは、共通の上位クラスに定義する（参考文献[8]）。

また、個々のクラスに対して、従来システムに必須なプロパティ定義を参照して定義する。例えば、「スイッチ」のクラスに対して、プロパティの“normalInService”は、平常時動作中であるかどうか、所謂、動作中のスイッチと、スペアのスイッチを区別する必要があると、本プロパティは、クラスのスイッチに必須であるとして定義する。更にプロパティの必須指定は、特定な分野（アプリケーション）に限定することができる。例えば、スイッチの開閉回数（switchOnCount）を示すプロパティは、アセッ

ト管理アプリに必須であるが、監視制御（SCADA）アプリには必須ではない。上記のようにクラスの必須プロパティを分野に限定して定義する方法としては、例えば、XML を用いる方法がある。本例では、Switch クラスに、下記のように、必須プロパティの“normalInService”の適用分野を指定できる。

```
<property name="normalInService" mandatory="true" applicable_domain="all|SCADA | EMS | AssetMgmt">
```

上記のように、レガシー電力システムにおけるメタデータ定義を参照し、標準オントロジを構築する。

4.2 インスタンスデータの変換

電力システムでは、あるバージョンのオントロジを用いてインスタンスデータを記述する。しかしながら、他のシステムとデータ交換をする際、または、システム自身を更新する際に、バージョン 1 のオントロジから一部更新が発生した場合、バージョン 2 のオントロジに更新する。従って、バージョン 1 で記述したインスタンスデータは、バージョン 2 に変換する必要がある。

本研究は、インスタンスデータの記述に利用するプロパティのメタデータを利用して、インスタンスデータの変換方法を提供する。プロパティには、インスタンスデータのデータタイプ、単位情報が記述されている。文字列や、Boolean、Date（日程）等のデータタイプの場合は、インスタンスデータの変換なしで、オントロジ 1 から、オントロジ 2 へデータ移行できる。一方、数値型の場合、データ移植可能なデータ型と（例えば、float から double）、単位情報（例えば、長さを表す Meter と Mile）を利用して、インスタンスデータの変換ルールを構築し、インスタンスデータの変換を実現させる。本インスタンスデータの変換方法の詳細については、参考文献[9]を参照されたい。

5 次世代電力システムへの応用例

5.1 共通 DB の構築と管理

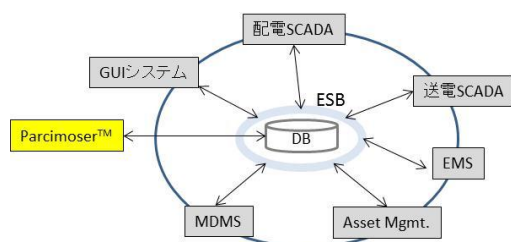


図 9 次世代電力システム向けの応用例

本論文で提案した方法により、次世代電力システム向けの標準オントロジの構築とデータベースの構築ができるようになる。その応用例の一つとして、図 9 示すような、電力システムの共通データベースの構築と管理に利用する例を紹介する。

電力システムは、管轄の範囲、対象によって必要なシステム、アプリケーション構成が異なる。それぞれのシステム構成への要求に応じて、本応用事例では、標準オントロジをベースに、統合したデータベースを構築し提供する。また、構築したオントロジとデータベースの更新管理を行い、データの互換性を保ちつつ、持続可能な次世代電力システムを実現する。

5.2 標準オントロジ共有 WEB システム

構築した標準オントロジを多数ユーザが共有するため、オントロジを公開する WEB システム：POMS (Parcelized Ontology Management System) を開発した。図 10 がシステムのイメージを示す。本 WEB システムでは、以下の機能を提供する。

- オントロジにあるオブジェクト定義、オブジェクト間の定義関係、参照関係を閲覧する機能。
- 多言語の表示機能。例えば、名称、定義等、マルチ言語可能な属性に対して、選択した言語（英語、日本語、中国語等）の内容を表示する機能。
- オブジェクト間の継承関係 (is-a) をベースとするツリーと、包含関係(Part-whole)に基づくツリーの表示機能。
- 必要なオブジェクト、階層範囲を指定したデータのエクスポート機能。

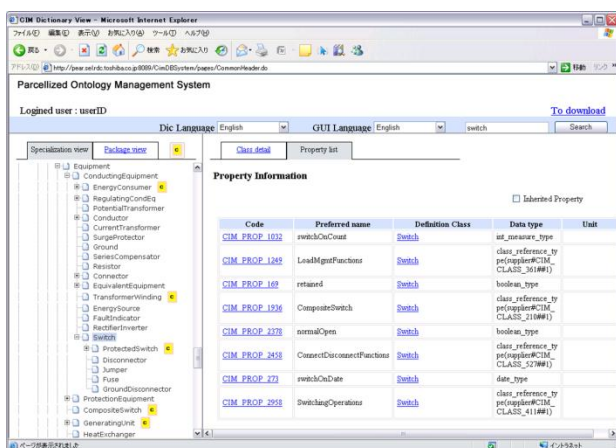


図 10 オントロジ公開 WEB システム

本システムを用いることで、英語をベースとするマルチ言語の標準オントロジを関係者に公開でき、異なるベンダー、部署が、それぞれ異なる言語を利

用する電力システムの構築ができるようになる。また、標準オントロジの定義を利用することによって、システム間のシームレスの連携、スムーズなデータ交換を実現できるようになる。

6 結論

本研究では、次世代電力システム向けに、標準オントロジの構築方法を提案し、標準 EMS DB 構築プラットフォームの Parcimoser™ を開発した。電力システムの標準オントロジ、共通データベースを実現することによって、次世代電力システムに要求されているデータ互換性の向上が実現されることと、レガシー電力システムから次世代電力システムへの知識伝承を支援することで、実際のシステムへの応用が可能となり、技術の評価と改善を進めていけることを示した。

参考文献

- [1] Lan WANG, Akira Hosokawa, Hiroshi Murayama: An Evolutive and Multilingual CIM Ontology Management System, Energy Procedia, Vol 12, 2011, pp.18-26, ELSEVIER.
- [2] H. MURAYAMA, lan WANG, Akira HOSOKAWA: Building a bridge between CIM and PLIB ontologies via IEC 62656 on data parcels, Grid InterOp Forum 2010
- [3] 王蘭、細川晃、村山廣、IEC62656 による EMS 間の CIM XML データ交換、電気学会全国大会講演論文集、巻：2012、号：4、ページ：391-392
- [4] 王蘭、細川晃、村山廣、IEC62656 による CIM (IEC61968/61970) のデータベース化、電気学会全国大会講演論文集、巻：2011、号：3、ページ：39-40
- [5] IEC 62656-1, "Standardized product ontology register and transfer by spreadsheets - Logical structure for data parcels"
- [6] IEC62656-3, "Standardized product ontology register and transfer by spreadsheets - Interface for Common Information Model", 2013
- [7] IEC 61970-301, "Energy management system application program interface (EMS-API)-Part 301: Common Information Model (CIM) Base"
- [8] 王蘭、特開 P2008-242836、辞書更新装置及びプログラム
- [9] 王蘭、他、出願番号 P2013-107262、データ処理装置、方法およびプログラム