

組み込み機器向け メッセージEXI技術

EXI Messaging Technology Connecting with Various Embedded Devices for Smart Grids and Smart Communities

土井 裕介 佐藤 弓子 寺本 圭一

■DOI Yusuke ■SATO Yumiko ■TERAMOTO Keiichi

スマートグリッドやスマートコミュニティにおいて、多様な組み込み機器はサービスやシステムを構築するうえで重要な役割を果たす。これらを統合制御するためには、システム全体で多様性を許容しつつ、一貫性のあるデータモデルを用いる必要がある。

東芝は、XML (Extensible Markup Language) の標準バイナリ表現であるEXI (Efficient XML Interchange) の特性を用い、組み込み機器向けに最適化したメッセージ処理用EXI技術 (XML-Less EXI技術) を開発した。実際に組み込み機器が利用される環境下でのEXI利用に関する標準化活動を行うとともに、家電製品を模した評価環境に実装して動作検証を行った。家電製品のように計算機資源に制約がある機器に汎用性の高いプロトコルを用いても、必要とする資源を低減できるため、スマートグリッドやスマートコミュニティなどで利用されるサービスやシステムに容易に接続できるようになる。

Various types of embedded devices play important roles in services and systems for smart grids and smart communities. To integrate and control such devices in services and systems, a consistent and tolerant data model is becoming essential. Extensible markup language (XML) is one of the candidate message interchange formats. However, it is difficult for embedded devices with limited computational resources to handle XML format.

Toshiba has developed "XML-Less EXI," which is an efficient XML interchange (EXI) messaging technology optimized for embedded devices that takes advantage of the binary format of EXI. We have confirmed the effectiveness of XML-Less EXI through experiments on a prototype installed in network adapters for home appliances, and have also been promoting the international standardization of this technology.

1 まえがき

スマートグリッドやスマートコミュニティは、スマートメータや家電製品などを含む多様な組み込み機器により支えられる。これらの機器は単独で存在するのではなく、他の機器とメッセージを交換することで動作を調整し、電力システムあるいはコミュニティ全体として最適に動作することが期待される。これら多様な機器やシステムを円滑に協調動作させるためには、様々な技術が必要になる。

そのような技術領域の一つに、ネットワークを用いて機器間で交換されるメッセージをどのように表現するか、という領域がある。スマートグリッドやスマートコミュニティのような応用領域では、多様な機器に対して個別にメッセージ表現を定義しては円滑な協調動作は困難となる。特に制御を実施する側 (サーバ側) においては、多様な機器から提供されるデータを横断的に分析し、また多様な機器に制御目標を伝達するというニーズが発生する。このような環境では、共通するデータ表現を利用できることの価値は大きい。

現代的なシステムにおいて、共通するデータ表現として採用されている技術の一つにXML (Extensible Markup Language) がある。XMLの特長は多数あるが、通信に用いるメッセージ表現技術として捉えれば、次の3点が代表的な特長と言える。

- (1) 拡張性が高く、様々なデータやそれに付随する情報 (メタデータ) を自由に記述できる。
- (2) データ記述とこれに対応するスキーマ (データの形式) に関する仕様が充実しており、スキーマによるメッセージ形式を明確に定義できる。
- (3) 全ての仕様がオープンであり、それに付随するソフトウェアが豊富に存在する。

このような特長から、Smart Energy Profile2.0 (SEP2.0)⁽¹⁾ や、OpenADR 2.0a⁽²⁾などといった、スマートグリッドやスマートコミュニティに関連する多くの仕様において、仕様の一部としてXMLスキーマによるメッセージ形式の定義を含める、ということが行われている。

2 コンパクトなXMLとしてのEXI

これまで述べたように、スマートグリッドやスマートコミュニティの管理や制御にXMLを利用することは多くの利点がある。一方、これらを構成する末端要素である組み込み機器では、ネットワークや、メモリ、CPU、電源といった計算機資源が限られていることから、簡便なメッセージ処理が求められ、XMLを取り扱うことが困難である場合が多い。

組み込み機器でXMLの取扱いが難しい理由は主に二つある。一つは記述の自由度が高く、多様な構造が記述できるた

め、妥当 (valid) なメッセージであるかの確認に手間と時間が掛かる点である、もう一つは人が読んでも理解できるように冗長性が高い記述となっているため、メッセージサイズが送付すべきデータに比べて大きくなる点である。

これらの問題を解決するために、コンパクトなXML表現である Efficient XML Interchange 形式 (EXI) が、W3C (World Wide Web Consortium) における標準仕様の最終形の勧告 (Recommendation) として 2011 年 3 月に制定された⁽³⁾。

EXI は、XML とほぼ等価なデータモデルを表現するバイナリフォーマットである。最大の長は、XML のスキーマ知識を利用して XML 文章構造 (タグなど) をコンパクトに表現するところにあり、XML の冗長性とその文章構造の記述によるものであることから、通常の XML 文書に比べて 1/5 ~ 1/20 程度のサイズにコンパクト化できる。

特に、Schema-Informed Grammar と呼ばれるモードを利用した場合、XML スキーマから対応する文法 (専門的には、プッシュダウンオートマトンに相当) を静的に生成し、直列化した XML 文書のデータモデルによりこの文法を駆動する。個々の XML 文書の要素が文法上の状態遷移に対応し、この状態遷移にコンパクトな ID (識別子) を割り当てることで、XML 文書構造をコンパクトに表現することを可能にしている。

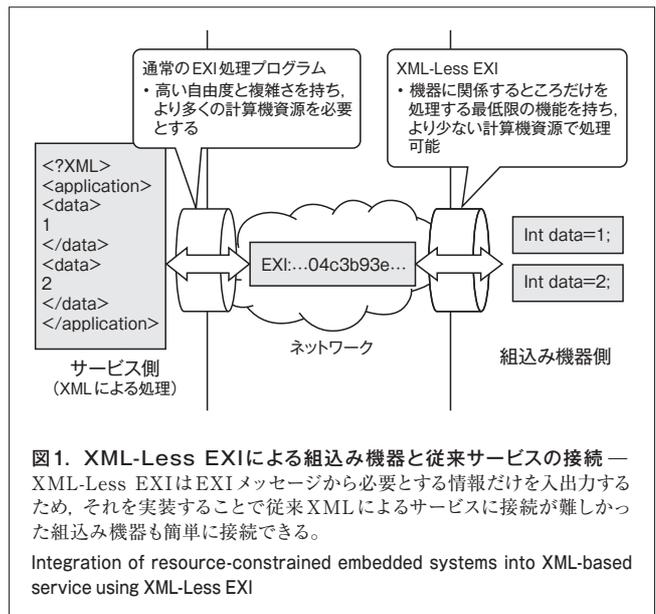
3 XML-Less EXI による組込み機器向け EXI メッセージ技術

高い表現力を持つ XML のコンパクトな表現である EXI は、組込み機器を含む多様な機器を統合管理・制御しなければならないスマートグリッドやスマートコミュニティにおける、通信の最適なメッセージ表現形式の一つである。

一方、例えばエアコンはデマンドレスポンス (電力の需要家側対応による最適化) における、調整できる負荷として有効であると考えられている⁽⁴⁾。しかし、エアコンのような機器に搭載する組込み型の通信アダプタにとって、EXI のデコードとエンコードは簡単な処理とは言えない。XML が多様な木構造を記述できるのと同様に、EXI も木構造に対応する。EXI をそのまま利用しようとすると、XML の木構造データモデルの取扱いが必要で、これは機能が絞られた組込み機器にとっては不要な自由度である。

多くの場合、組込み機器でのデータモデルは、表形式に対応する構造体又はその繰返しで十分である。特に出荷後のソフトウェアの更新が困難なことの多い組込み機器向けソフトウェアでは、不要な自由度は検証のためのコストが高くなる一方、メリットがない。

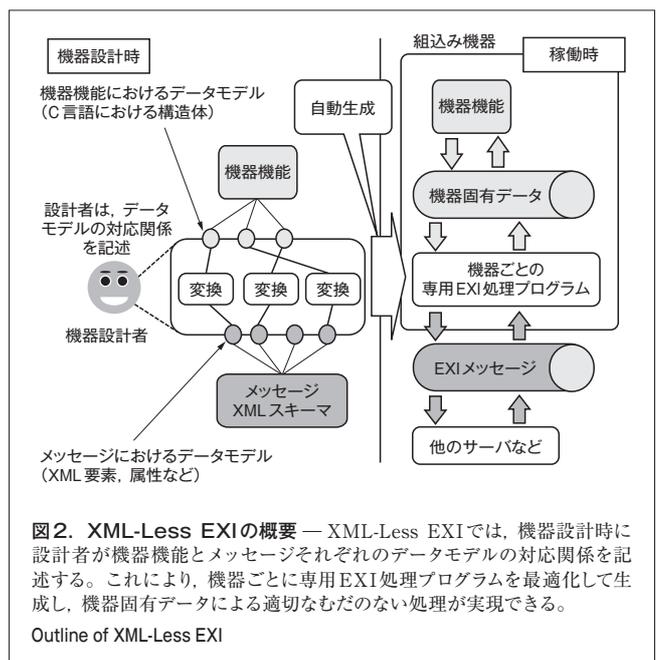
そこで、東芝は EXI の文法が静的に定義できる特性を活用して、メッセージ形式としては木構造の EXI を利用しつつ、機器側のアプリケーションが扱うデータ構造は必要なデータだ



けを記述したものとし、その情報だけを直接読み書きするための処理モデルを開発した。当社はこれを XML-Less EXI と呼んでいる⁽⁵⁾。

提案方式による機器は、内部データモデルとして構造体を利用しつつ、データ表現には標準などにより定義された EXI メッセージをそのまま利用する。EXI のメッセージ形式自体は変更しないため、従来の通常の EXI 処理を行うサーバ機器などとの通信も問題なく行える (図 1)。一方で、アプリケーションプログラムは機器側に必要な情報だけを取り扱うことが保証されるため、処理を単純化できる。

具体的には、EXI の文法を規定する XML スキーマに加え、



機器ごとに異なる機器側の構造体情報、それぞれの構造体にXMLのどの部分に対応するかを記述する設計ファイルなどを用いて、機器専用に最適化されたEXI処理プログラムを生成する(図2)。

これにより、機器の設計者は具体的なXMLデータモデルの処理を意識せずに、最低限の計算機資源で、XMLデータモデルに基づくメッセージを生成し処理できる。特に、一般に標準的に利用されるXMLスキーマは多様なユースケースに対応するため多くの拡張性を備えている。XML-less EXIでは、設計時に必要な部分を明確に指定できるので、機器専用に生成されるEXI処理プログラムから不要な部分を削除することができ、コンパクトなソフトウェアにできる。

4 EXIによる組込み機器向けメッセージ処理

次に、EXI技術を組込み機器向けメッセージとして利用するエネルギー管理プロトコルの標準化活動について述べ、XML-Less EXIを実装して動作検証した結果について述べる。

4.1 エネルギー管理プロトコルとその標準化

住宅向けエネルギー管理プロトコルの一つであるSEP2.0では、メッセージ交換形式にEXIとXMLの2種類が利用される予定である(注1)。しかし、IEEE 802.15.4(電気電子技術者協会規格802.15.4)のような小電力無線では1フレームで利用できるセグメント長が限られており、またバッテリー駆動機器などへの適用も見込まれていることなどから、SEP2.0ではメッセージサイズが小さいことが求められていた。一方、エネルギーにかかわる仕様であることから、オープンな技術が求められており、メッセージやデータモデルについてはXMLやIEC 61968(国際電気標準会議規格61968)に基づくデータモデルの採用が求められていた。

当社は、2011年9月からSEP2.0の議論に参加し、EXIを通信で利用する際の詳細仕様についての議論を主導した。後述するXML-Less EXIの実装経験から、組込み機器でもっとも効率的に利用できるEXIの利用方法がXML-Less EXIで採用している方法であると考え、これに基づいた提案を行った。

様々な議論があったが、EXIの基本的な利用方法は、効率の高い文法であるSchema-Informed Grammarに基づく当社の提案方式が採用された。拡張方法については、当社提案の方式と他の方式とが議論され、それぞれ一長一短あるため、機器ごとに必要とする方式を選択できる方法が採用された。

4.2 XML-Less EXIの組込み機器への実装例

前述のSEP2.0に類似したシステムにおいて、XML-Less EXIによる通信を組込み機器に実装した例について述べる。

(注1) 執筆時点での公開ドラフト仕様(v0.9)による。正式仕様では変更される可能性がある。

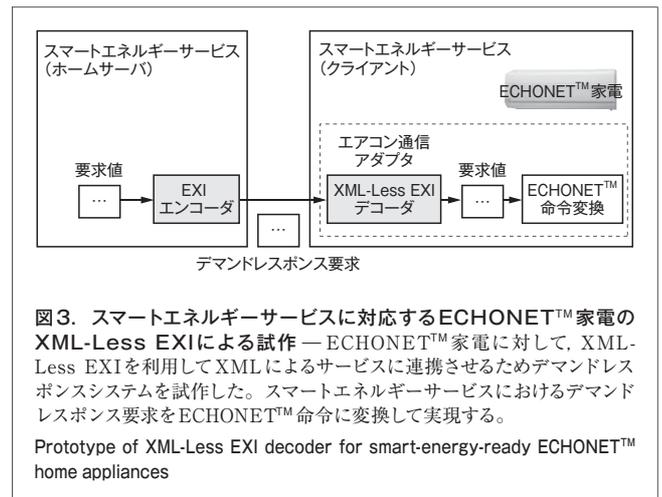


図3. スマートエネルギーサービスに対応するECHONET™家電のXML-Less EXIによる試作 — ECHONET™家電に対して、XML-Less EXIを利用してXMLによるサービスに連携させるためデマンドレスポンスシステムを試作した。スマートエネルギーサービスにおけるデマンドレスポンス要求をECHONET™命令に変換して実現する。

Prototype of XML-Less EXI decoder for smart-energy-ready ECHONET™ home appliances

4.2.1 家電製品におけるスマートエネルギーサービス対応の例

家電製品を、スマートエネルギーサービスに対応させる場合どういった技術課題が発生するかを検討するために、SEP2に類似したデマンドレスポンスシステムを試作した(図3)。

この試作では、ECHONET™(注2)家電における通信アダプタの構成を用い、エアコンをスマートエネルギーサービスに対応できるようにした。例えば、節電目標についてのメッセージをEXIで受信し、メッセージの内容に応じてエアコンの温度設定を変更する。ホームサーバとエアコン通信アダプタはLANで接続され、エアコン通信アダプタとエアコン本体の間はECHONET™規格に準ずるシリアル通信により接続されている。

送受信メッセージとしては、スマートエネルギーサービス情報として利用するメッセージのXMLスキーマのうち、直接機器制御に相当するメッセージを利用した。このメッセージには様々な機器制御の目標値の設定方法があるが、この試作では直接制御だけに対応させた。次のような一連のメッセージ項目を解釈し、適切なタイミングで適切なECHONET™コマンドに変換して機器側に送出する。

- (1) start (制御開始日時)
- (2) duration (制御維持時間)
- (3) type (制御方式)
- (4) value (制御目標値)

実際には、スマートエネルギーサービスの制御メッセージはEXI形式であるのに加え、制御の時間を指定したメッセージである。ECHONET™では通常は、機器を直接かつ即時的に制御することが前提となっており、デマンドレスポンスにあるような制御の予約機能はアダプタ側で制御する必要がある。これを除いて、スマートエネルギー対応の通信アダプタが問題なく動作することを確認した。

(注2) ECHONET™は、エコネットコンソーシアムの商標。

4.2.2 組込み制御基板でのEXI動作検証 試作は主にLinux^(注3)の環境で行ったが、組込み環境での移植と動作試験も実施した。Cortex™-M3^(注4)の評価ボード上にμiTRON環境を構築し、ROMとRAMの必要量を測定した。この環境でROMに格納されるのはプログラムと文法になる。

EXIに対応する部分のプログラムサイズは13 Kバイト程度であり、これに加えてSEP2のXMLスキーマに対応するEXI文法は、データ型の定義が約340種類、状態の総数が約1,600、状態遷移の総数が約4,000という規模である。これを全て記述すると、50 Kバイト程度のROMの追加が必要になる。

XML-Less EXIの特長として、アプリケーションに必要なデータモデルが設計時に明確になっている点がある。この特性を利用し、必要なデータモデルに対応する文法だけを残り、不要な文法を削除するという方式で最適化できる。例えば前節で述べたようなデバイス直接制御メッセージだけの対応で十分であれば、4~5 Kバイト程度に削減でき、制約の厳しい組込み機器でも現実的なサイズでのプログラム記述が可能になる。

5 あとがき

ここでは、組込み機器向けメッセージとしてEXIを利用する技術について述べた。EXIはXMLの表現形式の一つであり、組込み機器で無理なくEXIを取り扱うことができるので、末端の組込み機器からサーバやクラウドシステム上におけるサービスの統合を、統一的なデータモデルの上で実施できる。これは、多様な機器を統合するスマートグリッドやスマートコミュニティ技術において、多様な機器にまたがるサービスとシステムの構築という観点から有利な特性である。

従来は、特定の機器における入出力データは、単一のシステムによって利用されることがほとんどであった。しかし、XML技術を利用することで、特にサービス側において迅速かつ柔軟なサービス開発が可能となることが期待される。最善のケースでは、既存サービスにおけるXMLスキーマと、個々の組込み機器が利用するXMLスキーマとの形式的な対応関係さえ定義できれば、従来接続されなかった組込み機器とサービスとの間の相互接続が容易に実現できるようになる。した

(注3) Linuxは、Linus Torvalds氏の米国及びその他の国における登録商標。

(注4) Cortexは、ARM LimitedのEU及びその他の国における商標又は登録商標。

がって、組込み機器からサーバまでを統合して同一のデータモデルで利用可能なことから、スマートグリッドやスマートコミュニティの更なる価値が創出できる。

現時点では、EXIによる組込み機器のサービス統合は、一部のスマートエネルギー機器の通信仕様に採用が内定した段階である。EXIによる統合は、特に多様な通信機器に対する標準通信手順として有利な点があることがわかっている。今後は、より広い領域での組込み機器向けメッセージ技術として、EXIと周辺技術についての検討を進める。

文献

- (1) ZigBee Alliance and HomePlug Powerline Alliance liaison. "Smart Energy Profile 2.0 Application Protocol Specification". <<http://www.sunspec.org/wp-content/uploads/2012/02/Zigbee-SEP-2-docs-11-0167-18-seed-app-spec-draft-for-editors-review.pdf>>, (accessed 2012-11-09).
- (2) OpenADR Alliance. "OpenADR 2.0a Profile Specification". <<http://www.openadr.org/openadr-alliance-releases-20a>>, (accessed 2012-11-09).
- (3) World Wide Web Consortium. "Efficient XML Interchange (EXI) Format 1.0". <<http://www.w3.org/TR/exi/>>, (accessed 2012-11-09).
- (4) 村井雅彦 他. 家庭に導入される新エネルギー機器の利用を最適化するHEMS. 東芝レビュー. 66, 12, 2011, p.20-23.
- (5) Doi, Y. et al. "XML-Less EXI with Code Generation for Integration of Embedded Devices in Web Based Systems". Proceedings of 2012 International Conference on the Internet of Things, Wuxi, China, 2012-10, IoT2012 Organizing Committee. IEEE Press, 2012, p.80-87.



土井 裕介 DOI Yusuke, Ph.D.

研究開発センター ネットワークシステムラボラトリー主任研究員、博士(情報理工学)。分散システムやネットワーク技術の研究・開発に従事。ACM, IEEE, 電子情報通信学会, 情報処理学会会員。Network System Lab.



佐藤 弓子 SATO Yumiko

研究開発センター ネットワークシステムラボラトリー。ホームネットワーク、スマートグリッドなどの研究・開発に従事。電子情報通信学会, 情報処理学会会員。Network System Lab.



寺本 圭一 TERAMOTO Keiichi

研究開発センター ネットワークシステムラボラトリー主任研究員。ホームネットワークに関するプロトコル技術の研究・開発に従事。情報処理学会会員。Network System Lab.