

低リソース・リアルタイム対応設備ネットワーク用通信プロトコル

Communication Protocol for Low-Resource Real-Time Equipment Network

中尾 敏章* · 佐藤 俊孝* · 天野 昌幸*

Toshiaki Nakao

Toshitaka Sato

Masayuki Amano

建物内部に分散するさまざまな設備機器分野で採用されている固有のネットワークを上位レベルで連携、連動する設備系通信ネットワークにおいて、Web サービスにおけるオブジェクトのデータ構造記述言語である JSON を利用した汎用的な通信プロトコルの実装と、comet 技術を応用した Bayeux 通信による永続的接続手順を実現することで、組込機器へ搭載しやすい軽量構造、リアルタイム性を確保した相互通信、および Web ブラウザとの高い親和性などの特徴を有するオープン型の設備系ネットワークを開発した。さらに通信プロトコルを基本層、応用層に分類することで機能の意味づけ、利用方法を規定し、拡張性の高い構造にしている。

In a communication network at a higher level for coordinating and linking unique networks adopted for a variety of equipment scattered in a building, the developed open type network features a general-purpose communication protocol using JSON, an object data structure description language in a Web service, low-resource structure for easy embedding in individual pieces of equipment by achieving persistent connection through Bayeux communication based on the comet technology, and high affinity with the Web browser. In addition, grouping the communication into a basic layer and application layer defines the functionality and application method, thereby making the structure highly expandable.

1. ま え が き

近年、中国の経済成長は著しく都市部を中心にインテリジェント化されたビルディングの建設ラッシュが続いている。これらのビルディングには、照明制御システムや空調制御システムなどのさまざまなシステムが導入され、それぞれの特徴を活かした固有のネットワークが採用されている¹⁾。また同じ分野のシステムにおいても、提供するメーカーによって規格が異なるなどでネットワークの互換性が損なわれている。

このような状況下で各種システムを自由に組み合わせて相互通信する統合システムを構築する場合、設計費用が高くなるとともに目標とする性能確保が困難となり、さらに管理、メンテナンス、アップグレードにも大きな課題を残すことになる。

一方で、中国は米国に次いで二酸化炭素排出量が多く、エネルギー消費量の多い国として世界中から注視されており、地球温暖化抑制としての省エネルギー対策は急務である²⁾。そのため、ビルディング全体をネットワーク化し、

省エネルギー制御、快適化制御、リモート制御などを目的とする統合システムが注目を浴びている。さらに、ビルディング全体がネットワーク化されることは大きな資産価値となることから、今後のトレンドになる可能性が高い。

中国ではここ数年、IPv6 技術の登場と成熟に伴いインターネットは急速な普及段階に入り、設備系ネットワークに割り付けるアドレス空間にもかなり余裕が生まれている。また、P2P (Peer to Peer) 通信のセキュリティー機能が強化され、設備系ネットワークをインターネットに接続することで、より高度で広域なシステムに拡張する需要がますます強まっている。

このような中国の現状と設備系ネットワークの流れのなかで、建物内部の各所に散在する固有のシステムを上位レベルで連動、連携することで全体最適化が可能なオープンな通信ネットワークの構築が求められている。またコンピュータネットワークの世界では、システム間連携に XML をベースとした SOAP^{*1)} がよく採用されるが、多くのリソースを必要とするため、組込機器が多い設備系ネットワークに採用することは困難である。また、設備系

* 新規商品創出技術開発部 New Product Technologies Development Department

ネットワークの機器間連動通信にはリアルタイム性も要求される。

そこで筆者らは、既存の建築設備系ネットワークを相互に接続することで建物全体の監視と制御を行い、インターネットとの親和性の高い統合システムが構築可能なオープン型通信プロトコル「アイオープンネット」(以下、iopeNetと記す)^{*2)}を開発した。本稿ではiopeNetの主な特徴である、組込機器へ対応しやすい軽量かつシンプルなプロトコル、リアルタイム性を確保した相互通信、およびWebブラウザとの高い親和性を中心に、その必要性から課題解決について報告する。

2. 従来プロトコルと技術課題

iopeNetは建物内の設備系ネットワーク機器を対象とする、低リソース機器向けのWebサービス用プロトコルである。以下で、iopeNetのねらいについて述べる。

2.1 低リソース機器への配慮

組込機器、とくにセンサや制御機器等ではコストが最重要課題である。制御に用いるネットワークをただIP化したとしても大幅なコストアップを伴うのでは受け入れられない。

オフィスなどで使われる通常のPCには、1GHz以上の32bitCPUと256MB以上のRAMが搭載されている。しかし組込機器の場合は、コスト上の制約から、使用できるRAMやROMは数MB程度、CPUも数MHzから数十MHz程度となっている。そのようなハードウェア環境ではWindows^{*3)}やLinux^{*4)}等の汎用OSは使用できず、μtron^{*5)}等の制御用途に特化した低リソース型OSが使用されることが多い³⁾。

iopeNetは、これらのようなハードウェアやソフトウェアプラットフォームの制約のもとでも動作可能な通信プロトコルでなければならない。また、プロトコルを広く普及させるためには、プロトコル自体の簡潔さ、理解のしやすさも重要である。

2.2 リアルタイム性の確保

前述のようにiopeNetは設備系ネットワーク機器を対象としているが、ミリ秒単位の応答速度の必要な用途(空調機バルブのPID制御等)は想定していない。それらの用途は、RS485等のベンダ固有のフィールド通信やBACnet^{*6)}、LON^{*7)}等が行う。

iopeNetは前記フィールド通信を上位で統合するWebサービス技術であり、その主な用途は設備の統合監視である。そのような用途の場合、秒単位のリアルタイム性が十分であるといえる。

LAN上の通信であれば、end-to-end接続性があるため、機器間で相互に接続可能で必要な情報をすばやく伝達可

能である。しかし、遠隔地からの統合監視を想定した場合、図1のように監視するコントローラあるいは、システム管理者が使用するWebブラウザと、被監視対象のコントローラが別々のネットワークに存在することが多い。この図では異なる双方のネットワークからの接続相手としてインターネットにサーバを配置しているが、通信経路にNATルータやファイアウォールが介在するため、サーバ側からコントローラ側に直接的に接続ができない。

このような非対称的なネットワーク構成においても、前述程度のリアルタイム性を実現する通信プロトコルでなければならない。

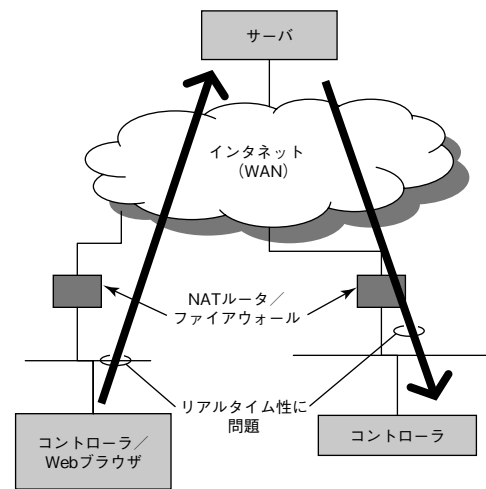


図1 一般的なネットワーク構成

2.3 Webブラウザとの親和性

近年、WEBサーバを搭載し、一般的なブラウザを用いて監視制御ができる組込コントローラが実用化されている。これらのコントローラは高価な中央監視ソフトウェアがインストールされた専用PCや別売りの表示用機器を必須とせず、通常のPCに標準搭載されているブラウザだけで操作可能なため、小規模物件を中心に導入が進んでいる。

通常、機器間の通信プロトコルを設計する際に、Webブラウザを通信の対象とすることはない。しかし、Webブラウザも対象とするプロトコルとすることで、以下の利点がある。

- (1) ブラウザから機器に対して直接データを送信できるため、アプリケーション開発時には通信のデバッグが容易になる。
- (2) ブラウザ側で複数の機器に対するWebサービスを組み合わせ、一つの画面に表示できるようになる。

3. 低リソース・リアルタイム対応通信プロトコル

前節のねらいを踏まえ、iopeNetを実現するための基本的な考え方を以下に述べる。

3.1 電文形式の選定

Web サービスにおけるオブジェクトのデータ構造記述言語は、XML や JSON^{*8)} が広く用いられている。プロトコルの理解容易性と拡張性の観点からもこれらの言語を用いることが望ましい。XML と JSON を比較した場合、後者のほうが電文の文字列長が短く、かつ代表的なデータ構造解析モジュールのプログラムサイズが小さい。JSON のデータ構造解析モジュールサイズは数キロバイトから十キロバイトであり、イーサネットでは通信ができる機器には容易に搭載できることから JSON を選択する。

3.2 リアルタイム通信プロトコル

広域システムを考慮する場合、イントラネット側からインタネット側への通信接続は Web ブラウザがサーバにアクセスするように通信が可能である。通信経路上にプロキシサーバや NAT ルータ、ファイアウォールがあったとしても、HTTP を利用する通信接続は容易に行える。一方インタネット側からイントラネット側への通信接続を行う場合、これらのネットワークノードが通信経路上に存在すると通信接続が困難あるいは不可能となる。

これらの問題を解決するため、従来はイントラネット側からインタネット側に定期的に通信接続することによって、インタネット側からの通信要求がないかどうかを確認していた。しかしこの方法は、定期的な問合せの間隔を長くするとインタネット側からイントラネット側への通信のリアルタイム性が損なわれ、これを避けるためにその間隔を短くすると通信トラフィックと両局の通信処理に要する負荷が増すという問題を抱えている。

一方、HTTP による永続的接続を利用してこの問題を解決する comet^{*9)} と呼ばれる手段がある。comet はサーバプッシュ通信と呼ばれる通信を提供するものである。その概要は、イントラネット側から通信接続する点では従来方式と変わらないが、インタネット側から要求がない場合には返信をせず、接続された通信経路を一定時間 (30 ~ 60 秒) 保持し続けるというものである。そして、要求が発生した際に保持している通信経路を利用してインタネット側からイントラネット側に通信するものである。

そこで筆者らは、インタネット側からイントラネット側への通信のリアルタイム性を確保するため、JSON を利用した comet 通信を提供する Bayeux^{*10)} を選択する。以下にその動作の概要を示す (図 2)。

Bayeux による通信においては、永続的接続によってイベントを受け付けるためのコネクション (図 2 中では点線) と、プロトコルの制御やリクエスト送信に使用するコネクション (図 2 中では実線) の 2 本の接続を併用する。この図は機器 1 がインタネット側に、機器 2 がイントラネット側にある場合で、機器 2 が機器 1 の警報をリアルタイムに取得する例を示している。以下にその動作を示す。

- (1) 機器 1 と機器 2 の間でネゴシエーションを行い、認証と永続的接続のタイムアウト時間等の設定値を相互で調整する (①, ②)。
- (2) 機器 2 から機器 1 に対して接続するが、機器 1 は応答を保留する (③)。
- (3) 機器 2 は機器 1 のイベントの中から通知してほしいイベントを機器 1 に登録する (④, ⑤)。
- (4) 警報が発生した場合、機器 1 は前記で保留したままになっている接続に対して返信し、そのなかに警報が発生した情報を含めている (⑥)。

このように要求に対する応答を保留し、イベント発生時にその情報とともにクライアントに返信することで、NAT ルータやファイアウォールがあるネットワーク環境下においても、機器 1 の警報をすぐに通知することができる。

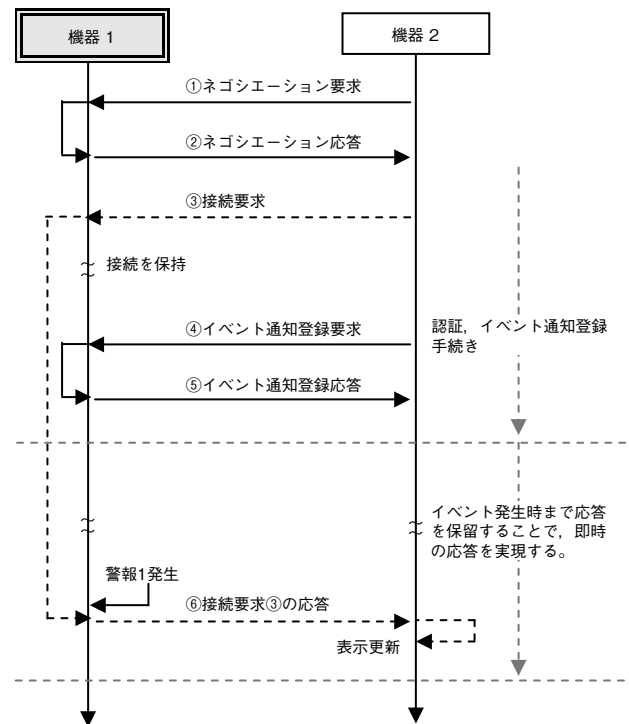


図 2 Bayeux による通信シーケンス例

3.3 Web 対応監視制御プロトコル

Web ブラウザを監視装置として利用し、複数の機器に対する Web サービスを組み合わせると一つの監視アプリケーションを実現することをマッシュアップと呼び、その実現技術の一つに AJAX^{*11)} がある。AJAX は HTTP 通信を行う JavaScript^{*12)} による非同期通信と、その通信結果を動的に表示するダイナミック HTML で実現している。これを考慮し、iopeNet は JavaScript による通信にも利用できるようにする。

低リソース機器への配慮から、選択した JSON は Web ブラウザ搭載言語である JavaScript で簡単に解釈すること

ができる。これが、XMLではなくJSONを選択したもう一つの理由である。

Webブラウザを監視装置とした場合、情報提示だけでなく制御指示端末として利用することも望まれる。ネットワーク上の異なる機器の処理を呼び出す技術をRPC (Remote Procedure Call) と呼ぶ。Webブラウザからコントローラの処理を呼び出す際にもRPC技術を用いることとし、その一つであるJSON-RPCをベースにiopeNetを規定する。

4. iopeNetの概要と特徴

iopeNetを基本層と応用層の2層に大別して開発する。

基本層はJSON-RPCで定義されている電文のオブジェクト（以下、メッセージオブジェクトと記す）を授受するための仕組みを規定する。

一方応用層は、基本層にメッセージオブジェクトの通信を依頼することによってアプリケーションとしての機能を果たすもので、メッセージオブジェクトの意味づけや利用方法を規定する。

4.1 基本層の相互接続方式

基本層の相互接続方式として、アップストリーム通信、ダウンストリーム通信、および水平通信の3種類を用意している（図3）。

(1) アップストリーム通信

これはHTTPリクエスト通信パケットにリクエストメッセージオブジェクトを梱包し、HTTPレスポンス通信パケットにレスポンスメッセージオブジェクトを梱包する通信である。レスポンスメッセージオブジェクトが不要な場合は、HTTPレスポンス通信パケットに梱包されない。

イントラネット側からインターネット側へのHTTP通信で利用するのでアップストリーム通信と呼ぶ（①）。

(2) ダウンストリーム通信

この通信にはBayeuxを利用する。まずイントラネット側からインターネット側にBayeuxに準拠したHTTPリクエスト通信パケットを送信する。HTTPリクエストパケットにはメッセージオブジェクトは梱包しない。インターネット側からイントラネット側に送信するリクエストメッセージオブジェクトがあれば、遅延させていたHTTPレスポンス通信パケットに梱包する。

アップストリーム通信とは逆方向にリクエストメッセージオブジェクトを送るので、ダウンストリーム通信と呼ぶ（②）。

(3) 水平通信

同一のネットワークセグメントや相互に通信可能なネットワークセグメント間で双方向通信を行う。互いにHTTPクライアントとHTTPサーバとなることが必要で

ある（③）。

なお、WebブラウザはHTTPサーバにはなれないため、同一のネットワークセグメントでも水平通信ができない。この場合、Webブラウザはコントローラに対してアップストリーム通信を行う。また、コントローラからWebブラウザへ通信する必要がある場合はダウンストリーム通信を行う。

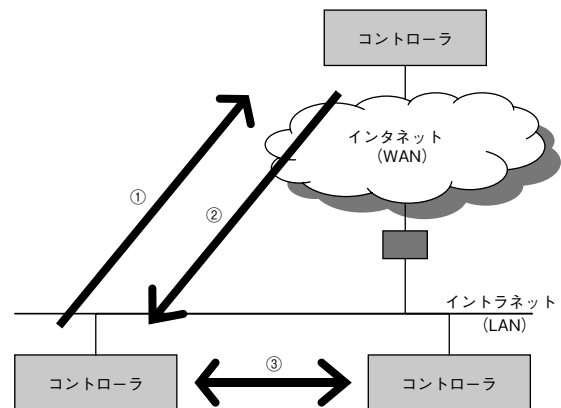


図3 iopeNetによる相互接続方式

4.2 応用層の基本シーケンス

応用層は、メッセージオブジェクトの授受によってアプリケーション機能を実現する。本節では応用層でのメッセージオブジェクト通信方式と、照明制御システムでの具体例を紹介する。

4.2.1 リクエスト/レスポンス方式

リクエストメッセージオブジェクトが梱包されたHTTP通信パケットに対するHTTPレスポンス通信パケットに、レスポンスメッセージオブジェクトを梱包して返信する通信方式のことである。これを実現できるのは、アップストリーム通信と水平通信である。

利用例として、照明制御パターン状態のリクエスト（図4）とそれに対応するレスポンス（図5）を示す。

```
POST /iopeNet/hol HTTP/1.1
User-Agent: IIU/1.0
Host: 192.168.0.100
Content-Type: text/json; charset=utf-8
Content-Length: xxx
Accept: text/json

{
  "version": "1.1",
  "id": "00C08F7FD436-LC-000001"
  "method": "getPattenState",
  "params": {"PatNo": 5}
}
```

図4 リクエストの例

```

HTTP/1.1 200 OK
Connection: close
Content-Length: xxx
Content-Type: text/json; charset=utf-8
Date: Fri, 08 Aug 2008 20:08:08 GMT
Server: Apache

{
  "version": "1.1",
  "id": "00C08F7FD436-LC-000001"
  "result": {
    "PatNo": 5,
    "status": "ON"
  }
}

```

図5 レスポンスの例

4.2.2 リクエストのみ方式

リクエストメッセージオブジェクトが送信されても、それを受信するだけでレスポンスメッセージオブジェクトを返信しない通信方式である。これはアップストリーム通信、ダウンストリーム通信、およびホリゾンタル通信の三つの通信方式で実現できる。

利用例として、戻り値を期待しないコントローラの再起動要求（図6）や、状態変化通知イベントなどがある。

```

HTTP/1.1 200 OK
Date: Fri, 08 Aug 2008 20:08:08 GMT
Content-Type: text/json; charset=utf-8
Content-Length: xxx
Server: Jetty (6.1.11)

{
  "version": "1.1",
  "id": "00C08F7FD436-LC-000001"
  "method": "controlPatten",
  "params": {
    "PatNo": "5",
    "status": "ON"
  }
}

```

図6 リクエストのみ方式の例(ダウンストリーム通信)

4.2.3 非同期型方式

双方向のリクエストのみ方式を利用して相対する機器間の通信を行う方式である。リクエスト/レスポンス通信が実現できないダウンストリーム通信において、擬似的にリクエスト/レスポンス通信を行うときに用いる。また、レスポンスまでに処理時間が掛かる場合などにも用いる。これは前述の三つの通信方式で実現できる。

利用例として、インターネット側のサーバからイントラネット側のコントローラに対する全照明パターン状態の問合せなどがある。この場合、要求通信をダウンストリーム通信のリクエストのみ方式で、返信通信をアップストリームのリクエストのみ方式で行う。

4.2.4 マルチメッセージオブジェクト方式

複数のメッセージオブジェクトを、一度に同じ通信パケットに同梱することである。また、一度に多くのメッセージオブジェクトを送信する際の基本層のオーバーヘッドを軽減する目的に利用する。

コントローラ起動時に、コントローラで保有している照明制御状態をサーバで保有している照明制御状態と同期させる目的で、一括送信することが利用例として挙げられる（図7）。

```

POST /iopenet/us HTTP/1.1
User-Agent: IIU/1.0
Host: 192.168.0.100
Content-Type: text/json; charset=utf-8
Content-Length: xxx
Accept: text/json

[
  {
    "version": "1.1",
    "id": "00C08F7FD436-MM-000001"
    "method": "inform",
    "params": {"PatNo": 1, "status": "ON"}
  },
  {
    "version": "1.1",
    "id": "00C08F7FD436-MM-000002"
    "method": "inform",
    "params": {"PatNo": 2, "status": "ON"}
  },
  {
    "version": "1.1",
    "id": "00C08F7FD436-MM-000003"
    "method": "inform",
    "params": {"PatNo": 3, "status": "OFF"}
  }
]

```

図7 マルチメッセージオブジェクト方式の例

4.3 iopeNetの効果

開発した iopeNet についてその効果を述べる。iopeNet のデータ形式として JSON を採用することでこれを解析するモジュールは 2 K バイト程度に収まるため、低リソース機器にも容易に適用可能である。また、JSON は Web ブラウザの JavaScript で容易に利用できる。

iopeNet におけるイベント通知は、ポーリング方式に代わって永続的な TCP 接続を利用する comet 方式を採用することにより、1 秒間隔でイベント発生をポーリングする方式と比べて通信トラフィックを 1/60 ~ 1/30 に低減することができる。この結果、従来行えなかった LAN 側のコントローラから WAN 側のコントローラへのイベント通知や、コントローラから Web ブラウザへのイベント通知に用いることができる。

また、JSON によって記述された電文は可読性が高いことからデバッグも容易であり、通常の Web ブラウザを用いて作成したプログラムの動作確認を効率的に行うことができる。

5. あとがき

建物内部に分散するさまざまな設備機器分野で採用されている固有のネットワークを上位レベルで連携、連動する設備系通信ネットワークにおいて、Web サービスにおけるオブジェクトのデータ構造記述言語である JSON を利用した汎用的な通信プロトコルの実装と、comet 技術を応用した Bayeux 通信による永続的接続手順を実現することで、組込機器へ搭載しやすい軽量構造、リアルタイム性を確保した相互通信、および Web ブラウザとの高い親和性など

の特徴を有するオープン型の設備系ネットワークを開発した。さらに通信プロトコルを基本層、応用層に分類することで機能の意味づけ、利用方法を規定し、拡張性の高い構造にした。

具体例として照明制御システムを述べたが、さらにこの応用層を充実することで多種多様なシステムや各種アプリケーションに幅広く対応していくことを検討する。

さまざまな設備系ネットワークを連携、連動する iopeNet により、既存のシステムを有効活用した統合システムの設計が容易になる。今後はその組合せにより優位性のあるソリューション提供を推進していく予定である。

なお、本研究は中華人民共和国建設部の科学技術プロジェクトである「建築機電施設用オープン型通信プロトコルの研究」に中国建築設計研究院と共同で参画し、推進しているものである。

●注

- * 1) SOAP：他のコンピュータにあるデータやサービスを呼び出すための通信規約
- * 2) iopeNet：当社の登録商標
- * 3) Windows：米国 Microsoft 社の米国およびその他の国における登録商標
- * 4) Linux：Linus Torvalds 氏の米国およびその他の国における商標または登録商標
- * 5) μ TRON：Micro Industrial TRON の略称
- * 6) BACnet：米国 ASHRAE（米国冷暖房空調工業会）の商標
- * 7) LON：米国 Echelon 社の登録商標
- * 8) JSON：JavaScript Object Notation の略称で JavaScript との親和性が高いデータ記述言語
- * 9) comet：疑似的にサーバ・プッシュを実装する手法の一つ
- * 10) Bayeux：The Dojo Foundation が定めた Comet 技術を応用したプロトコル
- * 11) AJAX：Asynchronous JavaScript + XML の略称でウェブブラウザ内において通信処理と画面表示を非同期に行う技術の総称
- * 12) JavaScript：Sun Microsystems, Inc. の米国その他の国における登録商標

*参考文献

- 1) 山本 和幸, 福永 雅一, 黄 吉文, 天野 昌幸: 通信プロトコルの標準仕様, 智能建築電気技術, 第2巻, 第2期, Vol. 2, No. 2, p. 28-30 (2008)
- 2) 寺野 真明, 十河 知也, 福永 雅一, 黄 吉文: オープン通信プロトコルと省エネルギー, 智能建築電気技術, 第2巻, 第2期, Vol. 2, No. 2, p. 31-33 (2008)
- 3) 情報家電安全性技術委員会: 情報家電向け IPv6 最小要求仕様案 ver. 4.2, <http://www.tahi.org/lcna/docs/IPv6-min-spec/IPv6-min-spec-ver42.htm>

◆執筆者紹介



中尾 敏章

新規商品創出技術開発部



佐藤 俊孝

新規商品創出技術開発部



天野 昌幸

新規商品創出技術開発部
第一種電気主任技術者