

# 組み込みプロセッサを用いた UPnP AV-IEEE1394 ゲートウェイの開発

## Development of the Gateway between UPnP AV and IEEE1394 by using of the Embedded Processor

森田 知宏†  
Chihiro Morita

八木 孝介†  
Kosuke Yagi

丸山 清泰†  
Kiyoyasu Maruyama

湯川 真紀†  
Maki Yukawa

### 1. はじめに

従来、DTV や D-VHS デッキ等の AV 機器同士をネットワーク接続し、ネットワーク経由での他の機器の操作や、映像・音声データの送受信を行う手段として IEEE1394 が主に使われて来た。近年、これに対してパソコン・インターネットを中心とした IP(Internet Protocol)ネットワークの一般家庭への普及に伴い、DLNA ガイドライン Ver1.0<sup>[1]</sup> 準拠機器をはじめとする IP ネットワーク対応の AV 機器が現れており、今後の増加が見込まれる。それぞれのネットワークは表 1 に例として示す通り、物理的インターフェース、データ転送プロトコル、機器制御コマンド体系が異なるため、そのままでは相互に接続することができない。ホームネットワークの普及を促進するためには、今後の主流となると考えられる IP ネットワークと、既存の IEEE1394 ネットワークを相互接続して、ユーザが既に所有している AV 機器を含めてネットワーク化し、統合的な制御を可能とすることが有効である。

表 1. IP ネットワークと IEEE1394 ネットワークの相違

	IP ネットワーク (DLNA Ver1.0)	IEEE1394 ネットワーク
機器制御	UPnP(UPnP AV)	AV/C コマンド
データ転送 プロトコル	HTTP	Isynchronous 転送 (IEC61883-4)
物理層	IEEE802.3u, 802.11a/b/g	IEEE1394-1995

筆者らは、上記の目的を実現するために、IEEE1394 ネットワークに接続された、AV/C コマンド規格<sup>[2]</sup>に準拠した AV 機器（以下 AV/C 機器）を、UPnP AV<sup>[3]</sup>の機器として、自動的に検出、制御を行い、かつ AV/C 機器から IEEE1394 経由で送出される映像・音声ストリームを IP ネットワーク上のプレイヤーで受信し、再生することを可能とするためのゲートウェイのプロトタイプを、組み込み用プロセッサを用いて開発したので開発内容および評価について説明する。

### 2. UPnP AV-IEEE1394 ゲートウェイ概要

図 1 に今回開発した UPnP AV-IEEE1394 ゲートウェイ(以下ゲートウェイ)の概要を示す。ゲートウェイは IEEE1394 ネットワークに新規の AV/C 機器が接続されたことを検出すると、その AV/C 機器に対応した仮想的な UPnP AV デバイスを生成する。仮想 UPnP AV デバイス(以下 仮想デバイス)は、UPnP-CP(Control Point)から見ると UPnP AV のデバイスとして振舞い、AV/C 機器から見ると、AV/C のコント

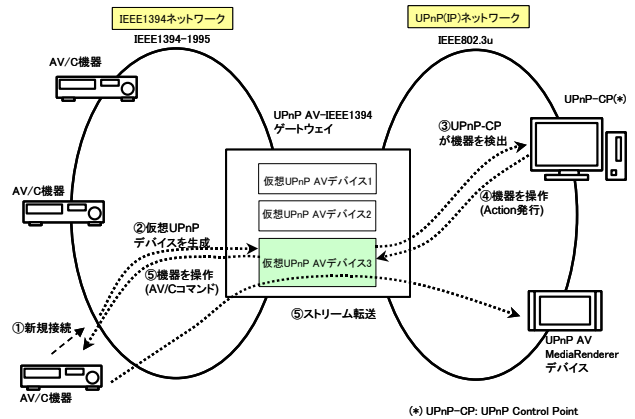


図 1. UPnP AV-IEEE1394 ゲートウェイの概要

ローラとして振舞うソフトウェア(以下 S/W)であり、UPnP-CP からのアクション要求を AV/C のコマンドに変換して AV/C 機器に伝える機能、AV/C 機器から IEEE1394 経由で送信された映像・音声ストリームを IP ネットワーク上に転送する機能等を有する。このしくみにより、ユーザは UPnP-CP を用いて AV/C 機器をネットワーク越しに操作して、AV/C 機器に格納されているコンテンツを視聴することが可能となる。表 2 にゲートウェイの主な機能を示す。

表 2. UPnP AV-IEEE1394 ゲートウェイの機能

機能	内容
デバイス生成	AV/C 機器に対応した仮想デバイスを生成し、(アドレス付与) IP アドレスを割り当てる。
機器検出	仮想デバイスとしての AV/C 機器の存在を UPnP-CP に通知する。
機器情報通知	仮想デバイスの機器情報および提供可能な UPnP サービスの内容を UPnP-CP に通知する。
機器制御	UPnP-CP からの UPnP AV アクション要求を AV/C コマンドに変換し AV/C 機器を操作する。(例: Play, Stop)
イベント通知	AV/C 機器の状態変化を UPnP-CP にイベントとして通知する。
プレゼンテーション	AV/C 機器を Web ブラウザで操作するための GUI 画面を生成する。
ストリーム転送	AV/C 機器が IEEE1394 の Isynchronous 転送で送信した音声・映像ストリーム(MPEG2-TS (Transport Stream))を IP ネットワーク上(HTTP, RTP, UDP)に転送する。 MPEG2-TS を PS(Program Stream)に変換する。

デバイス生成(アドレス付与)からプレゼンテーションまでの 6 つの機能は、UPnP で規定されているすべてのステップに対応している。ストリーム転送機能は IP 側のデータ転送プロトコルとして一般的な HTTP, RTP, および UDP を使用できるようにする。また、DLNA Ver1.0 規格を始めとしてメディアプレイヤーではストリーム形式として

†三菱電機株式会社

Mitsubishi Electric Corporation

MPEG2-PS が使用されることが多いため MPEG2-TS を PS に変換する機能を追加する。

表 2 に示した各機能に対し、必要な具体的な機能項目を検討し、それに従って実装を行った。一覧を表 3 に示す。

表 3. 今回の開発で実装した機能項目

機能	主な機能項目
デバイス生成 (アドレス付与)	<ul style="list-style-type: none"> <li>AV/C 機器接続時の仮想デバイス生成</li> <li>AV/C 機器切断時の仮想デバイス削除</li> <li>仮想デバイスへのアドレス付与(DHCP)</li> <li>仮想デバイスへのアドレス付与(Auto-IP)</li> </ul>
機器検出	<ul style="list-style-type: none"> <li>M-Search へのレスポンスの送信(全デバイス探索/ルートデバイス探索/特定 UUID 探索/特定サービス探索)</li> <li>Notify(ssdp alive)メッセージ送信(デバイス/全てのサービス)</li> <li>Notify(ssdp bye)メッセージ送信(仮想デバイス削除時)</li> </ul>
機器情報通知	<ul style="list-style-type: none"> <li>AV/C 機器に対応したデバイスディスクリプション生成</li> <li>デバイスディスクリプション送信</li> <li>AV/C 機器に対応したサービスディスクリプション生成</li> <li>サービスディスクリプション送信</li> </ul>
機器制御	<ul style="list-style-type: none"> <li>アクション要求に対する動作</li> <li>レスポンスメッセージ送信</li> </ul>
イベント通知	<ul style="list-style-type: none"> <li>サブスクライブ要求に対するレスポンス</li> <li>アンサブスクライブ要求に対するレスポンス</li> <li>イニシャルイベントメッセージ送信</li> <li>AV/C 機器状態変化時のイベント送信</li> </ul>
プレゼンテーション	<ul style="list-style-type: none"> <li>presentation URL の生成およびアクセス</li> <li>CGI による操作画面の送信</li> <li>CGI による AV/C 機器の操作</li> </ul>
ストリーム転送	<ul style="list-style-type: none"> <li>ストリーム転送開始(HTTP,RTP,UDP)</li> <li>ストリーム転送一時停止(HTTP,RTP,UDP)</li> <li>ストリーム転送終了(HTTP,RTP,UDP)</li> </ul>

### 3. UPnP AV-IEEE1394 ゲートウェイの実装

#### 3.1 ハードウェア構成

ゲートウェイプロトタイプハードウェア(以下 H/W)構成を図 2 に示す。

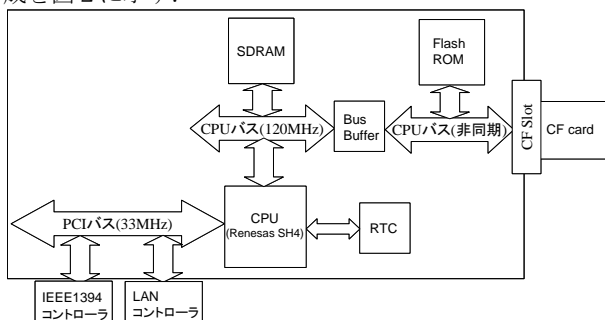


図 2. UPnP AV-IEEE1394 ゲートウェイの H/W 構成

CPU はルネサステクノロジ社の SH4(SH7751R 240MHz)を使用した。Flash ROM は起動用のブートローダのみを格納しており、OS(Linux Ver2.6.8.1)およびアプリケーションプログラムは CF カード内部のファイルシステムに格納した。LAN コントローラ(100Base-T)および IEEE1394 コントローラ(OHCI 準拠)は PCI バスを介して、外付けのボードと

して接続されている。今回開発した、ゲートウェイプロトタイプの外観および基板の写真を図 3 に示す。

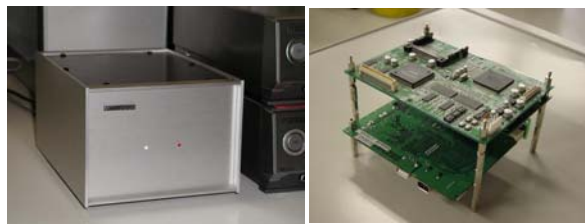


図 3. UPnP AV-IEEE1394 ゲートウェイの外観および基板

#### 3.2 ソフトウェア構成

ゲートウェイプロトタイプ S/W 構成を図 4 に示す。

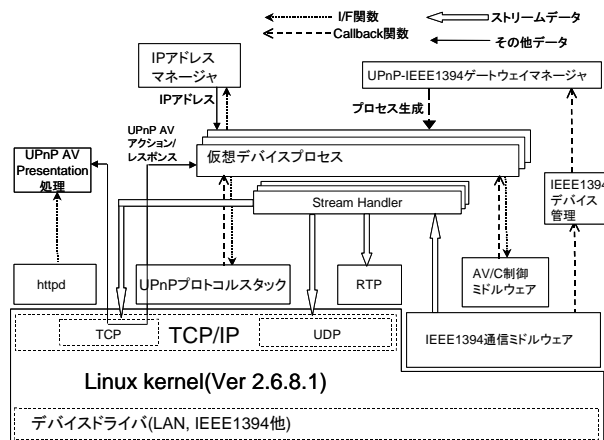


図 4. UPnP AV-IEEE1394 ゲートウェイの S/W 構成

ゲートウェイの機能を実現するためのコア部分は、仮想デバイスプロセスである。このプロセスが UPnP-CP からの Action 要求の AV/C コマンド変換、AV/C 機器の状態変化による UPnP-CP へのイベント発行などの UPnP デバイスとしての動作を行う。また、仮想デバイスプロセスがストリームハンドラを起動して、Isochronous パケットとして受信した音声・映像ストリームの IP ネットワーク上への転送を行う。仮想デバイスプロセスは、AV/C 機器が IEEE1394 ネットワークへの新規に接続されると UPnP AV-IEEE1394 ゲートウェイマネージャにより新規のプロセスとして fork()システムコールで生成される。仮想デバイスプロセスは、AV/C 機器 1 台に対して 1 プロセスが対応する。今回の開発では、AV/C のサブユニットとして D-VHS 等に搭載されている Tape Subunit<sup>[8]</sup>に対応し、Tape Subunit 搭載 AV/C 機器を UPnP AV の MediaServer デバイスとして制御を行うことを可能とする。

#### 3.3 ストリーム転送機能

ストリーム転送機能は、ストリームのソース機器(AV/C 機器)とシンク機器(メディアプレイヤー)の間の接続を確立するコネクション制御と、ソース機器とシンク機器間での実際のストリームの転送を行うストリーム転送制御の 2 つのサブ機能に分けることができる。本ゲートウェイを用いたストリーム転送のシーケンスの例として HTTP の場合を図 5 に示す

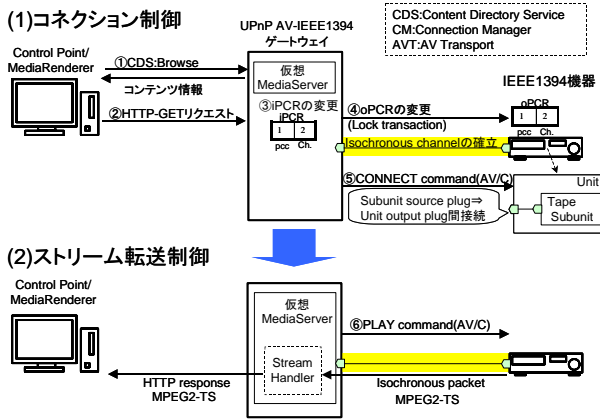


図5. ストリーム転送シーケンス例(HTTP)

### 3.4 ストリーム転送制御部構成

ストリーム転送制御はストリームハンドラにて行う。ストリームハンドラの S/W 構成図を図6に示す

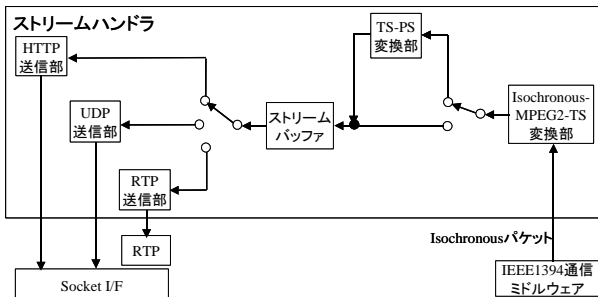


図6. ストリームハンドラの S/W 構成図

ストリームハンドラは受信した Isochronous パケットから MPEG2-TS のパケットを取り出し、ストリームバッファに送る。TS パケットを PS パケットに変換した後、ストリームバッファ送ることも可能である。選択された送信プロトコルに応じた送信部がストリームバッファから、必要なデータを取り出し IP ネットワークに送信する。この際に受信と送信のタイミングの違いを吸収するためにストリームバッファの制御を行う。

### 3.5 プレゼンテーション機能

プレゼンテーション機能は UPnP に規定されているステップの1つであるプレゼンテーションのしくみを使用して Web ブラウザによる AV/C 機器の操作画面を提供する機能である。ゲートウェイが生成するデバイスディスクリプションの<presentationURL>エレメントに記述されている URL に Web ブラウザがアクセスすることによってボタンや入力欄を含んだ操作画面を取得し、その画面を用いて AV/C 機器を操作する。

### 3.6 プレゼンテーション機能部構成

プレゼンテーション機能部の S/W 構成図を図7に示す。

UPnP AV Presentation 処理部(以下 Presentation 処理部)が、操作画面の生成およびユーザ操作に応じた制御処理を行う。Web サーバ(httpd)と Presentation 処理部間のインターフェース方式は CGI(Common Gateway Interface)を用いる。CGI http 処理部は httpd から引き渡された情報からユーザ操作などの必要な情報を取り出し、コマンド処理部に送信する。

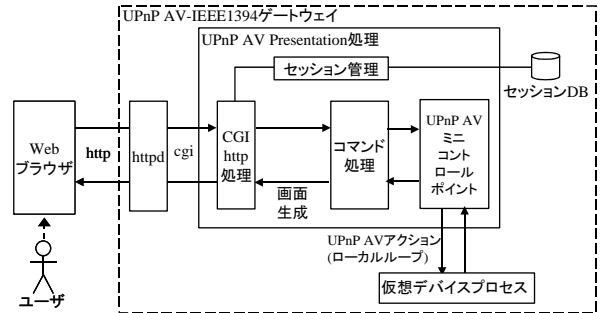


図7. プレゼンテーション機能部の S/W 構成

また、コマンド処理部が生成した操作画面を html のフォーマットに整形して httpd に引き渡す。コマンド処理部は、現在の状態に応じて情報表示、操作画面を動的に生成する他、ユーザ操作により送られてきた要求を解釈し、その結果を UPnP AV ミニコントロールポイントに通知する。ミニコントロールポイントはコマンド処理部から通知された要求に対応する UPnP AV アクションを発行し、ローカルループによって仮想デバイスプロセスに送信する。セッション管理部は、CGI http 処理部が実行する処理において Web サーバとの間で複数回のやりとりが必要な場合に、セッションを維持するために必要な処理を行う。ミニコントロールポイントと仮想デバイスプロセス間の通信に socket によるローカルループを用いることで、プレゼンテーション機能の独立性と、UPnP-CP からの操作による動作との統一性を実現することができる。ゲートウェイが生成したプレゼンテーション画面を図8に示す。

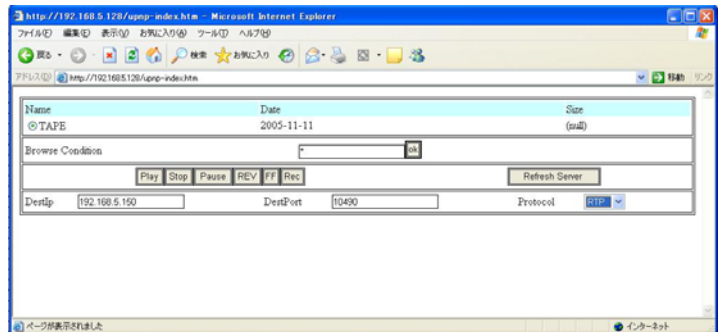


図8. プレゼンテーション画面

## 4. 評価

今回開発したゲートウェイに関してパフォーマンスの評価を実施した。評価に使用した AV/C 機器は Tape Subunit 搭載機器として市販の D-VHS を使用した。

### 4.1 プラグアンドプレイ性能評価

ゲートウェイの S/W がプラグアンドプレイの各処理に要する時間を測定した。その結果を表4に示す。処理時間の測定は、ゲートウェイの S/W に対し、測定ポイントでシステムタイムを含んだログを生成する処理を追加することにより行った。このため、被測定時間は UPnP-CP とゲートウェイ間の通信遅延時間を含まず、ゲートウェイ内部の処理時間と AV/C 機器へのトランザクション発行による処理時間から成る。表4の測定結果は 10 回の平均値である。また、測定はゲートウェイに AV/C 機器が接続されていない

い状態から1台目を接続した場合と、4台接続されている状態から5台目を接続した場合について実施した。デバイス生成(アドレス付与)については、DHCPサーバのレスポンスやAuto-IP処理のウェイト時間に依存するため、除外した。

表4. プラグアンドプレイ処理実行時間

機能	測定区間	処理時間(msec.)	
		1台	5台
機器検出	IPアドレス取得からNotify(ssdp:alive)送信開始まで	657.4	896.9
機器情報通知	デバイスディスクリプション要求受信からディスクリプション送信開始まで	0.5	0.5
	サービスディスクリプション要求受信からディスクリプション送信開始まで	0.5	0.5
機器制御	アクション要求受信からアクションレスポンス送信開始まで(AV/Cコマンドに変換する場合)	745.6	1643.0
	アクション要求受信からアクションレスポンス送信開始まで(AV/Cコマンドに変換しない場合)	3.1	5.2
イベント通知	サブスクリプション要求受信からInitial Event送信開始まで	4.9	4.8
	アクション要求受信からイベント送信開始まで(AVT:LastChange)	1621.8	2167.4

機器検出処理、機器制御処理(AV/Cコマンド変換時)、イベント通知処理が他の処理に比べて多く時間を要しているが、いずれもAV/C機器に対してIEEE1394のトランザクションを発行しているためである。全体的に見てUPnPデバイスとして実用的な性能に達していると考えられる。

#### 4.2 ストリーム転送性能評価

ゲートウェイのストリーム転送能力を評価するために、エンコードビットレートを変更して、それぞれに対するCPU負荷率を計測した。計測はRTPおよびHTTPについて実施し、ビットレートは最低値5Mbpsから5Mbps間隔で増加させた。使用コンテンツのビットレートは1ストリーム当り最大25Mbpsまでのため、25Mbpsを超える値は2本のストリームを同時転送することで計測を行った。計測にはAV/C機器としてD-VHSの他に、ビットレートを5Mbps間隔で変更するために当社製のホームAVサーバプロトタイプ<sup>9)</sup>を使用した。なお、CPU負荷率は5分間の平均値である。計測結果を図9に示す。

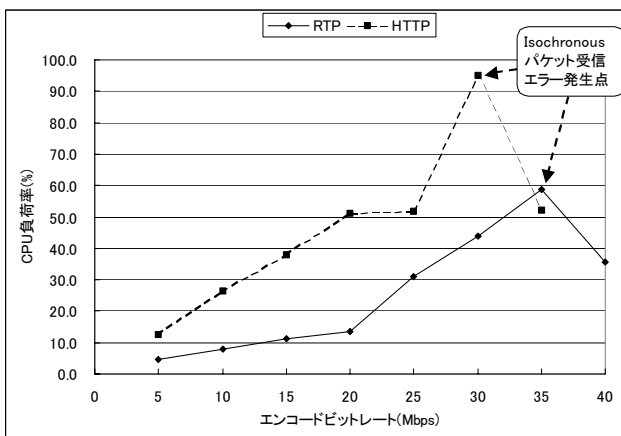


図9. ストリーム転送時のCPU負荷

グラフ上で負荷がピークを示しているビットレート以上のレートでIsochronousパケットの受信エラーが発生した。ピークを超えたビットレートでCPU負荷が下がるのは、受信エラー時にパケットの破棄を行うため、CPU処理がその分軽くなるためと考えられる。現状ではHTTPがHD解像度のストリームを1本、RTPでHD解像度1本+SD解像度1本を転送する能力があると言える。RTPの場合に、CPU負荷が60%程度でエラーが発生するのは、OSの応答性がIsochronous転送の受信処理に対して不足しているからであると推測する。今後OSの応答性を改善することでRTPの転送能力を上げることができると考える。

#### 5. まとめ

IPネットワークと、既存のIEEE1394ネットワークを相互接続することで、ユーザが既に所有しているAV機器を含めてUPnPネットワークを構成し、統合的な制御を可能とするためのUPnP AV-IEEE1394ゲートウェイを組み込みプロセッサであるSH-4を使用して開発した。UPnPの全てのステップが正常に動作することを確認し、またIEEE1394側のAV/C機器からIPネットワーク上のメディアプレーヤーに対してHD解像度のMPEG2ストリームの転送が可能であることを確認した。これらの機能を一般的な組み込みプロセッサを用いてS/W処理で実現することにより、低コストなゲートウェイ機器や、情報家電機器の付加機能として製品化することが可能となる。

なお、この技術はNEDO技術開発機構(独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構)のH15年度課題設定型産業技術開発費助成事業(デジタル情報機器相互運用基盤プロジェクト(情報家電分野))において開発した成果の一部に基づくものである。

(参考文献)

- [1] Digital Living Network Alliance: Home Networked Device Interoperability Guidelines v1.0(2004)
- [2] 1394 Trade Association: AV/C Digital Interface Command Set General Specification Version 4.2 (2004)
- [3] UPnP Forum: UPnP AV Architecture: 0.83(2002)
- [4] 八木孝介, 吉本恭輔, 森田知宏, 丸山清泰: "異種ホームネットワーク接続方式検討", 情報処理学会第66回全国大会講演論文集(2004)
- [5] 森田知宏, 吉本恭輔, 八木孝介, 丸山清泰: "異種ホームネットワーク接続方式の開発", 映像メディア学会2004年冬季大会講演予稿集
- [6] 八木孝介, 丸山清泰, 森田知宏, 吉本恭輔: "異種ネットワークにおけるストリーム接続方式の検討", 電子情報通信学会2005年総合大会講演論文集
- [7] 森田知宏, 八木孝介, 丸山清泰, 湯川真紀, 安藤重男: "異種ホームネットワークにおけるプラグアンドプレイおよびストリーム転送接続方式の開発", 情報処理学会第68回全国大会講演論文集(2006)
- [8] 1394 Trade Association: AV/C Tape Recorder/Player Subunit Specification 2.4 (2004)
- [9] 佐藤利光, 網島健次, 三嶋英俊: "ネットワーク対応ホームAVサーバシステムの構築", 電子情報通信学会信学技報 Vol.105 No.531(2006)