

ASP型高信頼マルチキャストファイル配信システムに関する検証と考察

Reliable Multicast File Delivery System for Shared Application Service

遠藤 雅和†
Masakazu Endo大久保 成隆†
Naritaka Ookubo吉田 英邦†
Hidekuni Yoshida藤井 徹也†
Tetsuya Fujii

1. はじめに

ブロードバンド回線の低廉化に伴い、公衆網を利用した大規模ファイル送受信が容易かつ安価に行える環境が整備されてきた。ビジネスシーンにおいても、映像・プログラム・マーケット情報等の情報提供元が、全国の直営拠点やフランチャイズ拠点等に対して、各種情報をタイムリーに提供するために、公衆網でのファイル配信を利用するニーズが高まっている。

一方、大規模なファイル配信を実現する有効な技術として、マルチキャスト（以下、MC）技術が注目されている。MC 技術に関しては、近年様々な研究が進められており^[1]、MC 技術を利用したファイル配信システムをビジネスに利用する例も見られるようになってきた。

しかしながら、MC プロトコルを実装する公衆網の構築には莫大な設備投資を要するため、MC に対応する NW サービスは一般的に高価であり、ユーザが MC ファイル配信サービスを導入する際のハードルは依然として高い。

このため、NW および各種ハードウェア・ソフトウェアから成る MC ファイル配信インフラを、複数のコンテンツ提供者（以下、CP）および受信拠点（以下、拠点）でシェアし、CP が低価格で MC ファイル配信を実行できる ASP 型のサービスが要望されている。

本稿では、MC ファイル配信に必要なシステムリソースを、複数の CP および拠点でシェア可能な ASP 型 MC ファイル配信サービスを実現する『ASP 型高信頼マルチキャストファイル配信方式』を提案する。さらに、提案方式を実装したプロトタイプシステムを用いた実証実験の結果を分析し、提案方式の評価および、ASP 型 MC ファイル配信システムの今後の課題について考察を行なう。

2. サービスモデル定義

本稿で想定する ASP 型 MC ファイル配信サービス（以下、本サービス）のサービスモデルを定義する。想定するサービスプレイヤーは ASP 事業者・CP・拠点の 3 プレイヤとし、それぞれ以下のように定義する。

[ASP 事業者]：本サービスの提供者である。MC ファイル配信システムリソースを保持し、本サービスと契約した CP および拠点に対して、システムリソースの一部を貸し出すことにより、CP から拠点へのファイル配信サービスを提供する。貸し出したシステムリソースの対価として CP および拠点から ASP 利用料を徴収する。

[CP]：ASP 事業者と契約を行ない、ASP リソースを活用して、拠点に対するファイル配信を行なうプレイヤーである。

[拠点]：ASP 事業者と契約を行ない、CP が提供するファイルを受信し、活用するプレイヤーである。

2.1 帯域従量課金モデル

ファイル配信サービスの課金方式には、一般的に配信時間、配信帯域、配信サイズ等による従量課金が考えられる。ASP サービスでは有限なリソースを複数の CP に提供するため、リソース設計および、運用時のリソースコントロールが容易に行なえる課金方式である必要がある。

本サービスでは、MC 配信プロトコルに後述の高信頼 MC 配信プロトコルを採用するため、定常的な配信性能は期待できず、ユニキャスト（以下、UC）のファイル配信でおおよそ成立する

$$[\text{配信時間}] = \frac{[\text{配信サイズ}]}{[\text{配信帯域}]} \quad \dots \textcircled{1}$$

を前提とできない。すなわち、MC ファイル配信において、配信時間を課金単位とした場合、時間内に処理される配信サイズは予測困難であり、配信サイズを課金単位とした場合は、該当の配信が ASP リソースを使用する時間、すなわち、配信時間の予測が困難となる。

以上の理由から、本サービスでは配信帯域による従量課金方式を採用する。CP は ASP 事業者と配信帯域を契約し、契約帯域内で常時ファイルの配信を可能とする。

本サービスで想定するビジネスモデルを図 1 に示す。

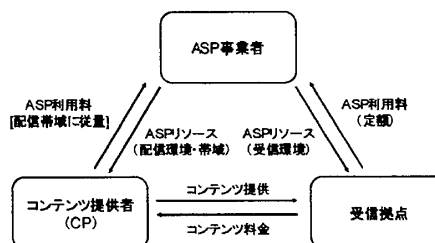


図1 想定するビジネスモデル

2.2 n:m型配信モデル

本サービスの配信モデルは『CP と拠点が n:m 型となる配信（以下、n:m 型配信）』とする。すなわち、

- ・拠点が複数(n)CP から MC ファイル受信すること
- ・CP が複数(m)拠点に対して MC ファイル配信することが同時に可能な配信サービスである。

本サービスの配信モデルを図 2 に示す。

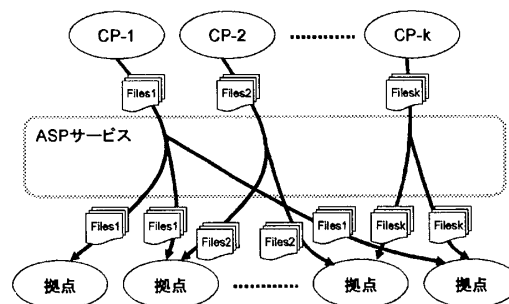


図2 n:m型配信モデル

2.3 完全到達型配信モデル

本サービスでは、MC を利用した大規模配信を実現しつつ、MC (UDP) の弱点である配信信頼性の脆弱さを克服し、ファイルの完全到達性を保証するものとする。CP が実行した配信は、システムが正常状態にある限り、全拠点へ全ファイルの到達が確認されるまでを保証するサービスとする。

†NTTコミュニケーションズ株式会社
NTT Communications

3. 課題とシステム要件

前章で定義したサービスモデルを実現する際の課題を明確化し、システム要件を定義する。

3.1 帯域従量課金モデルの実現

配信帯域に対する従量課金を行なうためには、CP が実施する MC 配信の帯域を制御する必要がある。本システムでは、CP が契約した帯域に合わせて MC パケットの送出サイズ・送出間隔を制御する『MC パケット送出帯域制御』を第一の要件とする。

3.2 n:m 型配信の実現

n:m 型の MC 配信を実施する場合、最も課題となるのは受信環境のバラツキである。受信側 NW にベストエフォートの公衆網を利用する場合、受信する日時や地域による NW 環境のバラツキが生じるのは不可避の事象である。例えば 10Mbps の配信速度で MC 配信を行なう際、拠点側の回線スルーputが 10Mbps を確保できなければ、該当拠点の受信は失敗してしまう。

n:m 型配信の場合、この課題はより顕著に現れる。n:m 型配信では、拠点が複数の MC ストリームを同時受信することを許可するため、任意の MC 受信が、他の MC 受信から影響を受け、配信に失敗する可能性が高くなる。

上記課題の解決策として、本システムでは拠点の回線帯域を管理し、MC 受信帯域が確保できない場合は、該当拠点へのファイル配信を制御する『拠点帯域管理型配信制御』を第二の要件とする。

3.3 完全到達型配信の実現

通信の到達性を保障しない UDP ベースのプロトコルである MC を利用する以上、前節で述べた帯域管理型の配信制御を実現したとしても、送受信環境や NW 等の状況により、配信に失敗する可能性は皆無とはならない。

本システムでは、MC 配信方式として『高信頼 MC 配信方式』を採用すると共に、MC 配信に失敗した場合の救済措置として、『UC (TCP) ファイル再送』を実施する。ファイルの完全到達性を確保するための上記配信方式を第三の要件とする。

4. ASP 型高信頼 MC ファイル配信方式

前章のシステム要件を踏襲する『ASP 型高信頼 MC ファイル配信方式』(以下、本方式)を提案する。

4.1 MC パケット送出帯域制御

本方式では、n:m 型配信を実現するための MC 制御プロトコルとして MLDv2^[2]を採用する。MLDv2 は『送信元アドレス』と『MC グループアドレス』の対 (以下、[S,G]) を指定して MC 配信を行う MC 制御プロトコルであり、拠点は [S,G] 単位で MC への参加を選択する。したがって、システムが複数の [S,G] を利用可能であれば、異なる [S,G] の MC 配信を同時に実行し、配信先として [S,G] ごとに配信先の拠点群を制御できる。すなわち、n:m 型の MC 配信が実現される。一般的に、[S,G] は『配信チャネル』(以下、配信 CH) と呼ばれる。

MC 配信の帯域を一定に保つため、本方式では、配信 CH のプロパティとして、[S,G] に加えて、静的な帯域値を設定する。CP は MC 配信を実施する際、配信 CH と、配信ファイルと、配信拠点を指定して配信を行ない、システムは配信 CH に設定された帯域でパケットを送出する。

4.2 拠点帯域管理型配信制御

3.2 節で述べた受信環境のバラツキを考慮した配信を実現するため、本方式では、拠点の NW 帯域 (以下、拠点帯

域) を、拠点単位に静的な値として設定する。また、拠点ごとに MC 受信中の帯域を管理し、新規に MC 配信を実行する際、下記の式②が成立する MC 受信可能な拠点に対してのみ MC 配信を実施する。

$$[\text{MC 受信中带域}] + [\text{新規 MC 配信 CH 帯域}] \leq [\text{拠点帯域}] \quad \dots \textcircled{2}$$

式②が成立しない拠点については MC 配信不可拠点とみなし、該当拠点に対してのみ 4.3 節で後述する UC ファイル再送にてファイルを配信するよう制御する。

上記の配信制御フローイメージを図 3 に示す。

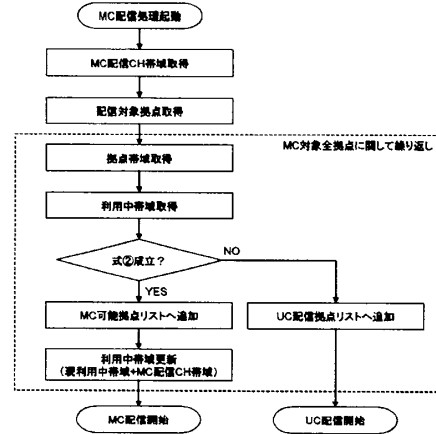


図3 配信制御の概要フロー

4.3 高信頼 MC 配信方式・UC ファイル再送

本方式の MC 配信では、(1) 大容量ファイルの分割再送、(2) RMTP^[3]によるパケット到達性向上、(3) FEC によるパケット復元^[1]の3段階の配信信頼性向上技術を採用する。

UDP ベースの MC 配信では、通信過程でのパケット損失はプロトコル上やむを得ない。しかし、拠点でのファイル受信は、該当ファイルに対する全パケットが到達しなければファイル復元不可能である。このため、パケット損失率が常に一定とした場合、ファイル受信失敗確率は、配信ファイルサイズに比例する。

そこで本方式では、大容量ファイル配信の際、配信前に大容量ファイルを一定のサイズにファイル分割し、分割ファイル単位で MC ファイル配信を実施する。拠点が全分割ファイルを受信成功した後、元の大容量ファイルに復元する制御を実施する。

パケットレベルの到達性向上策として RMTP を採用する。さらに、送出パケットに冗長情報を付与することにより、RMTP で損出したパケットについても、拠点側で FEC によるパケット復元を行い、パケット到達率を向上させる。

MC 配信に失敗した拠点については、TCP-UC によるファイル再送を実施する。RMTP において、MC 配信失敗時の UDP-UC による再送方式が提案されているが、本方式ではファイルの完全到達性確保のため、UDP-UC は採用せず TCP-UC によるファイル再送 (以下、UC ファイル再送) を採用する。UC ファイル再送プロトコルには http を利用した。

UC ファイル再送は、MC 配信失敗直後と、定期起動の 2 契機で、拠点からの要求により実施する。拠点から定期的に不足ファイルの再送要求を行なうことにより、拠点障害で MC 受信に失敗した場合も、拠点のシステムが復旧し次第、ファイル再送が実行される。UC ファイル再送の帯域については、TCP と UDP 混在時の通信帯域優先特性^[4]を活かし、MC 配信で利用していない帯域の範囲内で再送を行なうこととする。

4.4 オブジェクトモデル

最後に、本方式のオブジェクトモデルを図4に示す。

配信の実行指定には『MAP』と『JOB』という2つのオブジェクトを採用する。MAPとは、どのディレクトリを、どの拠点に配信するか、の定義情報であり、1MAPに対して複数ディレクトリ、複数拠点を含むモデルとする。JOBとは、どのMAPを、いつ、どの配信CHで配信するか、の定義情報であり、1JOBに複数MAPを含むモデルとする。

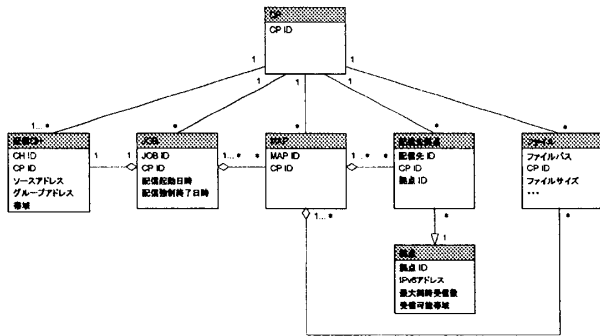


図4 ASP型MCファイル配信方式の主要オブジェクト

5. 実証実験

前章で提案した『ASP型高信頼マルチキャストファイル配信方式』の実効性を検証するために、プロトタイプシステムを開発し、教育業界を対象とした実証実験を2006年8月～2006年12月に行なった。

5.1 プロトタイプシステム

前章で提案した方式を実装したプロトタイプシステムを構築した。システムの概要を図5に示す。

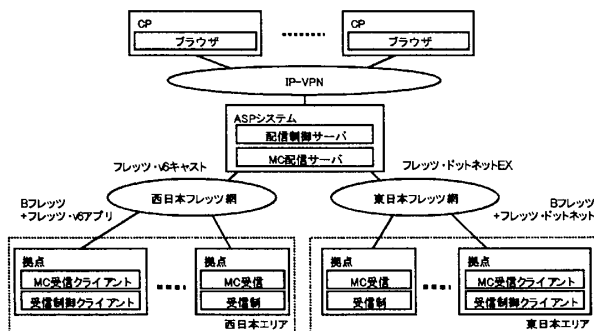


図5 プロトタイプシステム

CPは、ASPシステムのwebGUIにブラウザを用いて接続し、配信ファイル登録や配信設定等を行なう。ASPシステムには、配信設定に即したMC配信サーバへの配信指示や配信のステータス管理等を行なう『配信制御サーバ』と、配信制御サーバからの指示に従い拠点に対するMCファイル配信を実施する『MC配信サーバ』を実装した。拠点には、MC配信サーバと通信しMCファイル受信を行う『MC受信クライアント』と、ファイル受信結果を管理しUCファイル再送要求等を行なう『受信制御クライアント』を実装した。MC配信サーバおよびMC受信クライアントには、RMTP・FECを実装したMCファイル配信エンジンMediaSpark^[5](NTT-AT社製品)を採用した。

ファイル配信用NWには、MC(MLDv2)対応のIPv6公衆網であるNTT東西のフレツツ網を採用した。

5.2 実験方法

実験には、CPとして資格取得学校・予備校の計9CP、

拠点として大学・高校・教育機関の計11拠点が参加した。CPが提供する講義映像ファイルや文書ファイルを、プロトタイプシステムを利用して拠点に配信し、配信されたファイルを用いて、拠点内で講義受講・文書閲覧等に活用した^[6]。

CPには、webGUIの開放と、帯域5Mbpsの配信CHを1CH提供した。実験期間中は特に運用制限を設けず、任意の時間に、自由にファイル配信を行なった。

プロトタイプシステムの利用状況・配信性能を客観的に評価する指標として、webGUIの操作や配信処理に関する各種ログデータを記録した。

5.3 評価

本稿では提案方式の評価指標として、システムの『実効性』と『配信性能』に着目する。実効性の評価とは、プロトタイプシステムが3章で定義した要件を満たす実装となっているか否かの評価であり、本稿では定量的な評価指標として、以下の2指標について評価する。

【指標1】ファイル到達率(目標値:100%)

【指標2】パケット送出帯域(目標値:5Mbps)

配信性能の評価は、システムの実効性が確保された上で、配信速度の理論値(今回は5Mbps)に対して、本システムでのMC配信速度(以下、実配信速度)が、オーバーヘッド処理やFECのパケット冗長送信等により、どの程度低下するかを定量的に評価するものである。

5.4 実験結果の分析

表1にシステムのログデータより得た配信結果を示す。

表1 ログデータの分析

File Size	配信結果			実配信速度(Mbps)			
	配信数	MC失	再送	最大	最小	平均	分散
～1MB	413	1	1	0.1542	0.0003	0.0387	0.0387
～5MB	200	1	1	0.7177	0.0234	0.4608	0.0284
～10MB	226	0	0	1.2892	0.0438	0.8848	0.0691
～20MB	323	0	0	1.9431	0.0857	1.4775	0.1343
～30MB	266	1	1	2.4172	0.1717	2.0061	0.1727
～40MB	258	1	1	2.7248	0.2792	2.3648	0.2067
～50MB	248	1	1	2.9469	0.7932	2.6967	0.0789
～100MB	646	7	7	3.3265	0.3002	2.7427	0.2902
～200MB	378	4	4	3.6893	0.8215	3.2069	0.3135
～300MB	409	6	6	3.7769	0.9640	3.2959	0.3744
～400MB	206	17	17	3.8284	1.1769	3.0681	0.6034
～500MB	83	3	3	3.8996	1.5823	3.2218	0.4422
500MB～	14	4	4	3.9584	1.6586	3.2073	0.5305
全体	3670	46	46	3.9584	0.0003	2.1456	1.4423

配信ファイルサイズごとに、配信数・MC配信失敗数・UC再送成功数・実配信速度の統計値(表中それぞれ、配信数、MC失、再送、最大、最小、平均、分散)を集計した。ここで実配信速度は、配信ファイルサイズを該当ファイルのMC配信処理に要した時間で除した、式③で表す値と定義した。

$$[\text{実配信速度}] = \frac{[\text{配信ファイルサイズ}]}{[\text{MC配信処理時間}]} \quad \dots\dots ③$$

5.4.1 ファイル完全到達性に関する分析

表1の通り、実験中の全3670MC配信処理中、46処理がMC配信に失敗した。しかしながら、失敗した配信処理全てがUC再送に成功しており、【指標1】の目標値であるファイル到達率100%が達成されている。

MC配信の失敗は、拠点帯域の不適切な設定や、拠点NW不良・拠点システム停止等の拠点障害に因るものであった。本方式は、種々の原因によるMC配信失敗を自動的にリカバリする完全到達型配信を実現する方式であると言える。

5.4.2 実配信速度に関する分析

次に実配信速度について分析する。実配信速度は前述の式③により定義されるため、式③の分子である本システムのMC配信処理時間について整理する。

MC配信処理は、大きくパケット送出処理とオーバーヘッド処理の2種類に分類できる。パケット送出処理時間は一般的に、ファイルサイズを配信帯域で除した値となるが、本方式ではFEC処理に伴うパケットへの冗長データ付与を行なっているため、パケット送出時間は、配信ファイルサイズそのものではなく、配信ファイルサイズにFEC係数を乗じた値を配信帯域で除した値となる。ここではNW損失等を考慮し、下記の式④でモデル化する。(分子に8を乗じているのはbitへの単位変換のため)

$$[\text{パケット送出時間(sec)}] = \frac{8 \text{ FS} \cdot \text{FR}}{\text{CR} \cdot \text{NA}} \quad \dots\dots ④$$

FS(File Size) : ファイルサイズ(Byte)
 FR(FEC Rate) : FEC係数
 CR(Channel Rate) : 配信チャネルの設定帯域(bps)
 NA(NW Attenuation) : パケット送出処理等による減衰率

本システムにおけるMCファイル配信に係るオーバーヘッド処理は、MC通信に必要なMCグループへの参加・退会処理である(1) JOIN処理 (MC配信サーバから拠点へのJOIN指示~MC経路生成) および、(2) LEAVE処理、本方式の大容量ファイル配信時に発生する(3) ファイル分割・結合処理、(4) その他の処理の4つに大別される。ここでは簡単のため、(1)(2)(4)の処置時間をファイルサイズ等によらない一定値、(3)の処理時間を配信ファイルの分割数に比例するものとする。

以上の前提を式③に代入すると、本システムのMC配信に関する実配信速度は、式⑤のように定式化できる。

$$\text{Rr} = \frac{8 \text{ FS}}{\frac{8 \text{ FS} \cdot \text{FR}}{\text{CR} \cdot \text{NA}} + \text{FJ} + \text{FC} \cdot \text{FD} + \text{FL} + \text{FE}} \quad \dots\dots ⑤$$

Rr(Real Rate) : 実配信速度(bps)
 FJ(File Join) : JOIN関連処理に係る処理時間(sec)
 FC(File Combine) : File分割・結合に係る処理時間(sec)
 FD(File Division) : ファイル分割数
 FL(File Leave) : LEAVE関連処理に係る処理時間(sec)
 FE(File Else) : 上記以外の処理に係る処理時間(sec)

式⑤のパラメータに実験での設定値および、適当な推定値を入力し、実測データとの比較を行なったところ、表2に示すパラメータを入力した際、式⑤での算出値と実測データの大半が、ほぼ一致する結果が得られた(図6)。

表2 実データに近いパラメータ推測値

CR	5 Mbps	設定値	ICH=5Mbps
FJ	15 sec	推定値	意図的な10(sec) Wait有
FC	5 sec	推定値	
FL	15 sec	推定値	意図的な10(sec) Wait有
FE	10 sec	推定値	
FR	1.1	設定値	実験時は1.1に設定
NA	0.93	推定値	
File分割単位	50 MB	設定値	FD = FS(MB) / 50

本結果より、パケット送出速度に関して[指標2]の目標値である5Mbpsをおおよそ保持していると推察でき、MCパケット送出帯域制御の実効性が示されたと考えられる。

6. 考察

実験結果の分析から、本方式の実効性に関して良好な結果が得られ、本方式が本稿で定義したASP型MCファイル配信サービスの実現に有効であると考えられる。

しかしながら、図6の通りMC配信に必要な各種オーバ

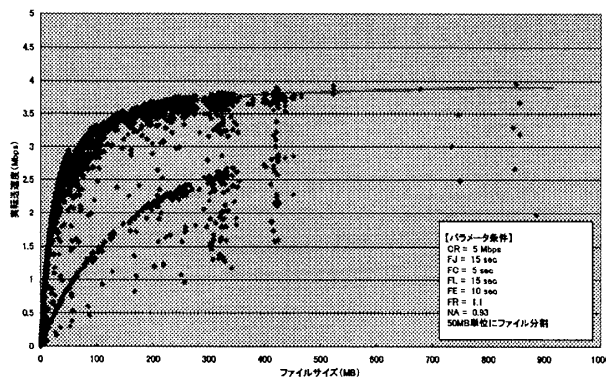


図6 実配信速度の実測データと理論曲線

ヘッド処理により、配信性能は期待値である5Mbpsに対して大きく低下している。式⑤の特性から、配信性能の低下は小容量のファイルほど顕著に現れるため、配信性能の全体的な向上と共に、小容量ファイル帯の配信性能を向上させる方式の検討が必要であると考える。

今後は、MC配信失敗数の低減と配信性能の向上に向け、本方式で静的な値として設定した拠点帯域をリアルタイムに把握し、MC配信パラメータ(FEC係数・RMTPリトライ数・配信帯域等)を動的に制御する方式や、小容量ファイルを複数含むMC配信の際、複数のファイルを1ファイルに圧縮して配信する方式等を検討したい。

7. まとめ

本稿は、MCファイル配信サービスの導入に、高コストなMC対応NWが依然として高いハードルとなっているという現状を背景に、ASP型MCファイル配信サービスの実現方式について検証・考察を試みたものである。本稿では、既存のMC配信方式に対してASPに必要な最低限の制御を上位層で実装する方式を提案し、方式の実効性を実網で検証したにすぎない。MC配信サービスのニーズが高まる今後を見据え、今後、より下位層で方式検討を行ない、種々のMCサービスで共通利用できるASP型高信頼MC配信プロトコルを実現したいと考える。

謝辞

本稿の執筆にあたり、本サービスの共同実験に参画いただき、貴重な御意見を頂きました各教育事業者の皆様を中心に感謝致します。また、方式検討からシステム実装・評価の全工程に渡り、多大な技術サポートを頂きましたNTTアドバンステクノロジー株式会社システムソリューション事業本部SI事業ユニットの皆様様に深謝致します。

参考文献

- [1] 上野英俊, 鈴木偉元, 田中希世子, 石川憲洋: 放送型データ配信システムのためのマルチキャスト技術; NTT技術ジャーナル, 2005.9, p.60-66 (2005)
- [2] R. Vida, L.Costa: Multicast Listener Discovery Version2 (MLDv2) for IPv6; RFC3810, June 2004
- [3] 山内長承, 米山清二郎, 柴田賢介, 岡村耕二, 荒木啓次郎: 信頼性を有するマルチキャスト通信技術; WIDE 2000年度研究報告書第11部, p.197-214 (2000)
- [4] 笠原正治: TCPとの共存を目指したコンテンツ配信プロトコルの研究; 電気通信普及財団研究調査報告書第18号, p.380-387 (2003)
- [5] MediaSpark (<https://www.ntt-at.com/product/mediaspark/>)
- [6] 吉田英邦, 藍野義章: IPv6マルチキャストによる講義映像配信の実現について; 月刊ビジネスコミュニケーション, 2007.1, p.26-27 (2007)