

# 多経路制御面型マルチキャストの設計と実装に関する考察

小柏 伸夫<sup>\*</sup>      宇夫 陽次朗<sup>†</sup>      宇多 仁<sup>‡</sup>      篠田 陽一<sup>§</sup>

北陸先端科学技術大学院大学 情報科学研究科

インターネットの普及と情報流通形態の多様化に伴い、マルチキャスト型通信への関心が高まりつつある。我々は、マルチキャスト配送に対する種々の要求を統括的かつ容易に吸収できるマルチキャスト技術として多経路制御面型マルチキャストを提案した。本稿では、多経路制御面型マルチキャスト配送機構の設計と実装について考察し、マルチプロトコラブルスイッチングを用いた多経路制御面型マルチキャストの実現方法について論じる。

## A study of design and implementation of the Multi Routing Plane Multicast

Nobuo Ogashiwa      Yojiro Uo      Satoshi Uda      Yoichi Shinoda

Japan Advanced Institute of Science and Technology, Hokuriku

Multicasting technologies are attracting a great deal of interest as a result of vast Internet growth and diversification of requirements for the information delivery. We propose the “Multi Routing Plane Multicast” as one of the multicast mechanism, which can absorb various requirements for multicast technologies. In this paper, we describe the design and the implementation of the Multi Routing Plane Multicast, and describe the method to realize Multi Routing Plane Multicast using the Multi Protocol Label Switching (MPLS) technology.

### 1 はじめに

インターネットにおける通信の形態は大きく分けて、一対一の通信形態である「ユニキャスト型通信」および、一対多あるいは多対多の通信形態である「マルチキャスト型通信」に分類することができる。近年のインターネットの普及と情報流通形態の多様化に伴い、マルチキャスト型通信への関心が高まりつつある。インターネットにおけるマルチキャスト配送の主な利点として、「ネットワーク資源の利用効率の向上」を挙げることができる。伝統的なマルチキャスト技術においてもネットワーク資源の利用効率の向上が実現されている。

しかしながら、インターネットにおけるマルチキャスト配送に対する最も基本的な要求事項は「受信者群への情報伝達」である。このような意味では、マルチキャスト技術を評価し得るメトリックは「ネットワーク資源の利用効率の向上」だけでなく、受信者群における受信状態の公平性、通信品質、配送する情報の信頼性など複数のものが考えられる。実際のマルチキャスト配送においても、ネットワー

ク的に同一のドメインにおいて、独立かつ同時に上記の複数のメトリックに対する要求事項が存在する場合がある。

我々は、マルチキャスト配送における種々の要求を統括的に吸収できるマルチキャスト技術として多経路制御面型マルチキャスト (MRP-MC: Multi Routing Plain Multicast) を提案し、マルチプロトコラブルスイッチング (MPLS: MultiProtocol Label Switching) [2][6] を用いた MRP-MC の実現方法について論じた [8]。本論文では、MRP-MC の設計と具体的な実装方法について考察し、MRP-MC を実現するために必要な MPLS 拡張について論じる。

### 2 多経路制御面型マルチキャスト

実際にマルチキャスト配送を行う際には、ネットワーク的に同一のドメインにおいて、独立かつ同時に上記の複数のメトリックに対する要求事項が存在する場合がある。例えば、「実時間性を重視して音声系の放送を行う場合」には遅延の低い経路、「大きいデータの複製を複数個所に配送する場合」には帯域幅の広い経路を使い分けたいといった要求の例が挙げられる。このような要求はアプリケーションレベル、パケットレベルなど複数のレベルにおいて存在する可能性がある。伝統的なマルチキャスト技

<sup>\*</sup>n-ogashi@jaist.ac.jp

<sup>†</sup>yuo@jaist.ac.jp

<sup>‡</sup>zin@jaist.ac.jp

<sup>§</sup>shinoda@jaist.ac.jp

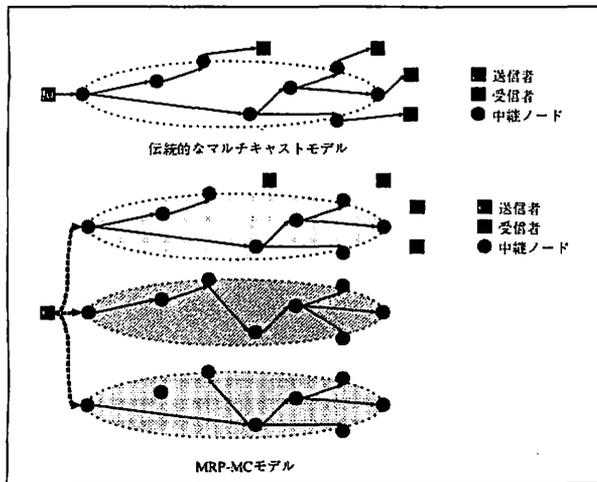


図 1: マルチキャストモデルの比較

術の多くは、ある特定のメトリックを重視して設計されているものが多く、このような複数のメトリックに関する要求を統括的に充足することは困難であった。

MRP-MC モデルでは、経路制御面の概念を導入することで、複数のメトリックに関する要求の統括的な充足を実現している。経路制御面とは、同一の経路制御手法を用いて配送経路を確立するルータの集合による仮想的な面である。伝統的なマルチキャストモデルでは、この経路制御面が一つしか存在しないかたちとなっていた。MRP-MC モデルでは、経路制御面を独立に多数存在させ、個々の経路制御面で異なるメトリックに関する要求を充足する。これにより、マルチキャスト配送に対する種々の要求の統括的な充足を実現する。伝統的なマルチキャストモデルと MRP-MC モデルの比較を図 1 に示す。

このような、経路制御面の多面化は配送機構の形式的記述 [9] で記述可能であり、MRP-MC も配送機構の形式的記述によって記述されたシステムのインプリメントの一種である。

### 3 MPLS による実現

MRP-MC と MPLS は極めて親和性が高く [8]、MPLS は MRP-MC を実現するための基礎機構として適している。本章では MPLS の概要を説明し、MPLS による MRP-MC 実現の概要を説明する。

#### 3.1 MPLS の概要

MPLS はスイッチング技術の一種である。MPLS はパケットの特徴や種類などで決定されるクラスとして同一転送クラス (FEC: Forwarding Equivalence Class) の概念を導入しており、実際のパケッ

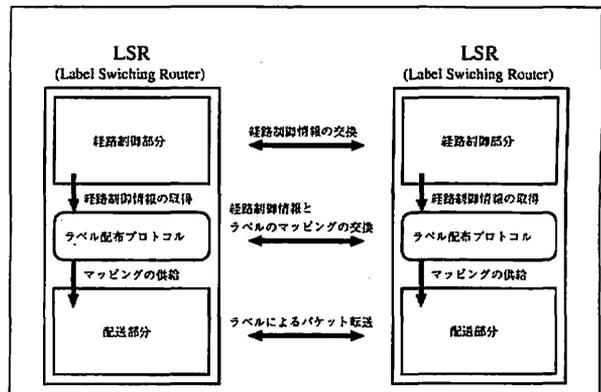


図 2: 経路制御部分とパケット転送部分の分離

トの転送時には FEC にマッピングされたラベルを用いてスイッチングを行う。

MPLS の特徴は、『経路制御部分』と『パケット転送部分』を完全に独立したものとして扱うことができるという点である。MPLS における『経路制御部分』と『パケット転送部分』の分離を図 2 に示す。

#### 3.2 MRP-MC の実現

MRP-MC モデルに対応した LSR は、個々の LSR における経路制御部分および配送部分のそれぞれを拡張することで実現される。経路制御部分には、複数のマルチキャスト経路制御機構の存在を許容するための拡張が施される。配送部分には、ラベルに従ったマルチキャストパケット配送拡張が施される。個々の LSR における拡張を図 3 に示す。

#### 3.3 本論文で対象とする範囲

本論文では、MPLS に対する拡張が必要となる部分、すなわち『配送部分』および『ラベル配布プロトコル』を対象として議論を進める。『経路制御部分』については本論文では触れない。

『配送部分』については本論文の第 4 章で議論する。LSR におけるラベル付きパケットのマルチキャスト配送手法と、入口 LSR に特化した機能であるパケット分類器の拡張について議論する。

『ラベル配布プロトコル』については本論文の第 5 章で議論する。ラベル配布プロトコルは、経路制御情報とラベルのマッピングをおこなうプロトコルであるが、MRP-MC 拡張次第では、経路制御情報とラベルの同時配布や、ラベルを配布する際に経路制御面の制御を行うことも可能であると考えられる。本論文では、ラベル配布プロトコルによる多層経路制御面自体の制御および経路制御面上のマルチキャスト経路制御について考察する。

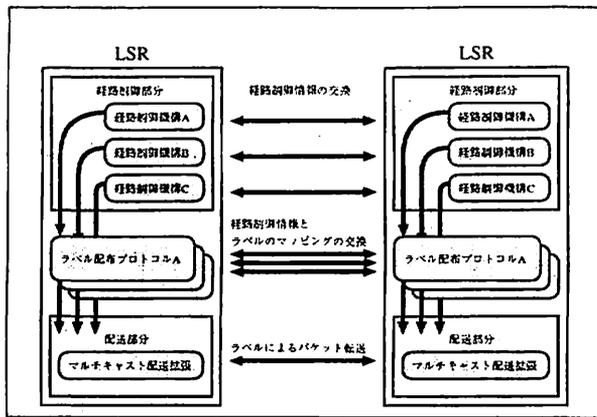


図 3: LSR に対する拡張

## 4 パケット転送機構の拡張

前章では、MPLS を用いて MRP マルチキャストを実現するための要素の一つが配送部分のマルチキャスト配送拡張であるということについて論じた。本章ではマルチキャスト対応 LSR の実現方法について論じる。

### 4.1 MPLS におけるパケット転送

MPLS では、パケットに複数のラベルを保持させる「ラベルスタック」の概念が存在する。ラベルスタックとは、ラベルを用いてパケットが転送されるパスを再帰的に制御するために用いられるラベルの積み重ねである。一方 LSR は、パケットを転送する際、次ホップラベル転送エントリ (以下 NHLFE: Next Hop Label Forwarding Entry) に記述された情報に従って自身の転送挙動を決定する。NHLFE には特定の packets に対する LSR の挙動が記述されている。NHLFE に記述される情報は、(1) パケットの次ホップ (出力インターフェース)、(2) パケットのラベルスタックに対する操作のリスト、である。操作のリストには「先頭のラベルを別のラベルに置換」、「先頭のラベルを pop」などが含まれる。

現在提案されている NHLFE に関する MPLS の仕様では、LSR はユニキャストのみを対象としておりマルチキャスト配送には対応していない [2]。

### 4.2 パケット転送機構への拡張

本論文では、NHLFE に拡張を施し、仮想的な出力インターフェースを導入することで LSR の配送部分におけるマルチキャスト配送を実現する。以降、本論文では、この拡張された NHLFE を「MRP-MC 拡張 NHLFE」、仮想的な出力インターフェースを「MRP-MC 仮想インターフェース」、MRP-MC に

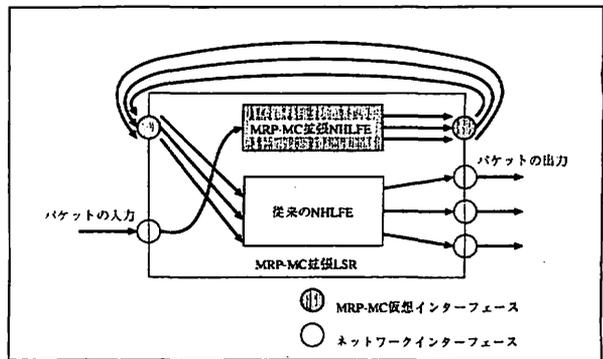


図 4: MRP-MC-LSR のマルチキャスト拡張

おけるマルチキャスト配送拡張 LSR を「MRP-MC-LSR」と呼ぶ。

#### 4.2.1 MRP-MC-LSR の概要

LSR に入力されたパケットに対してマルチキャスト配送を意味するラベルが付加されていた場合、本論文で提案する MRP-MC-LSR は以下の手順でマルチキャスト配送を行う。

まず、後述する MRP-MC 拡張 NHLFE の操作に従ってパケットを必要な数に複製し、あらかじめ指定された異なるラベルをそれぞれのパケットに付加する。複製され新しいラベルが付加されたパケットは全て MRP-MC 仮想インターフェースに出力され、MRP-MC 仮想インターフェースを介して LSR 自身に再入力される。LSR は、再入力されたパケットのラベルのセマンティクスに基づいてユニキャストのパケットと同等の処理を施し、適切なインターフェースへそれぞれのパケットを出力する。MRP-MC-LSR におけるマルチキャスト拡張の概要とマルチキャスト配送パケットの処理の流れを図 4 に示す。

#### 4.2.2 MRP 仮想インターフェース

本論文で導入する仮想インターフェースは、主に MRP-MC 拡張 NHLFE で利用される。

MRP-MC 仮想インターフェースの主な機能は、LSR においてパケットの入出力を行う通常のインターフェースと同様、パケットの入力およびパケットの出力である。ただし、MRP-MC 仮想インターフェースでは、MRP-MC-LSR から MRP-MC 仮想インターフェースを通して出力されたパケットは MRP-MC 仮想インターフェースを通して LSR に再入力される。この点が LSR における通常のインターフェースとの違いである。

### 4.2.3 MRP 拡張 NHLFE

本論文では NHLFE に記述される操作のリストの要素に、新規操作として「パケットを n 個に複製し、複製されたそれぞれのパケットにラベル L1~Ln を push する。」という操作を追加する。この新規操作が NHLFE に記述されている場合、同一の NHLFE に記述された「パケットの次ホップ」部分には前述の MRP-MC 仮想インターフェースが記述される。

### 4.2.4 本手法の利点

MRP-MC 仮想インターフェースおよび MRP-MC 拡張 NHLFE を導入することによる MRP-MC-LSR の実現方法の利点としては、既存の MPLS の機構への変更点の少なさ、および内部的に MPLS のユニキャスト転送の処理を流用することによる MPLS 層での配送の柔軟性の 2 点が挙げられる。

MPLS ドメイン内部のルータあるいは MPLS ドメインの出口ルータに入力されたマルチキャスト配送パケットの出力の形態は以下の三つの可能性が考えられる。一つ目は、全ての出力パケットを MPLS ドメイン内部へ出力する形態である。この場合には、全ての出力パケットにはラベルが付加されて出力され、次ホップのルータにおいても MPLS による処理が行われる。二つ目は、全ての出力パケットを MPLS ドメイン外部へ出力する形態である。この場合には、全ての出力パケットにはラベルは付加されずに出力され、次ホップのルータでは、MPLS による処理は行われない。三つ目は、一部の出力パケットは MPLS ドメイン内部へ出力され、それ以外の出力パケットは MPLS ドメイン外部へ出力される形態である。この場合には、MPLS ドメイン内部に出力されたパケットにはラベルが付加されて出力され、MPLS ドメイン外部に出力されたパケットにはラベルは付加されずに出力される。

本論文で提案する MRP-MC-LSR は、パケットに付加されたラベルの処理を最終的にユニキャストのパケットの処理に帰着させるので、上記の三つの出力形態に対して柔軟に対応することができる。MRP-MC-LSR で実現可能な三つのマルチキャスト出力形態を図 5 に示す。

## 5 ラベル配布プロトコル拡張

本章では「ラベル配布プロトコルを中心とした MRP-MC における多経路制御面の制御」について考察する。

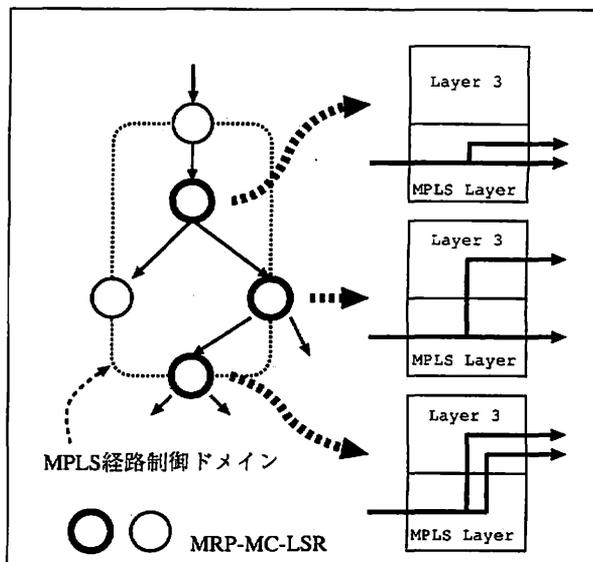


図 5: MRP-MC-LSR によるマルチキャスト配送

### 5.1 要求される機能

MPLS におけるラベル配布プロトコルの役割は、FEC/ラベルマッピングの配布である。これはすなわちパケットのセマンティクスに応じた LSR の挙動の制御であると言える。このようなラベル配布プロトコルの意味を考慮すると、ラベル配布プロトコルによって、ラベルと経路制御情報のマッピングだけでなく、「各経路制御面上のマルチキャスト経路制御」および「多経路制御面そのものの制御」を行える可能性がある。この場合ラベル配布プロトコルは、以下の二つの機能を提供することになる。

1. FEC と経路制御面のマッピング情報を経路制御ドメイン内の全 LSR で同期させる機能
2. 各経路制御面上でマルチキャスト経路制御を実現する機能

### 5.2 MRP-MC-LDP の実現

現在、ラベル配布プロトコルとしては、MPLS 層において IP 層の経路制御に追従した経路制御をおこなうための LDP (Label Distribution Protocol) [1]、MPLS 層において一定の束縛に基づいた経路制御をおこなうための CR-LDP [3]、BGP を用いたラベル配布プロトコル [5] が提案されている。本論文では、ラベル配布プロトコルの一種である LDP を拡張することで前節で挙げた機能を満たしたラベル配布プロトコルを実現する。本論文では、このラベル配布プロトコルを MRP-MC-LDP と呼ぶ。

LDP の機能は、IP 層で生成された経路表を取得し、その経路表に追従してラベルマッピングを配布

するというものである。本論文では以下の2点についてLDPを拡張するというアプローチでMRP-MC-LDPを実現する。

1. 独立かつ同時に複数の経路表の経路制御情報のラベルマッピングを配布する
2. パケットの種類あるいは特徴と経路制御面のマッピングを配布する

このアプローチによるMRP-MC-LDPでは、各経路制御面における経路表はそれぞれなんらかの経路制御機構によって確立されている必要がある。本論文では、各経路制御面に対応する経路表はあらかじめ何らかのマルチキャスト経路制御手法によって確立されたものとして議論を進める。

一方、マルチキャスト経路制御の流儀によってはラベル配布プロトコルに制約が課せられることが指摘されている[4]が、これは各経路制御手法に特化した問題である。本論文ではこれは対象外として議論を進める。

MRP-MCにおける「各経路制御面上のマルチキャスト経路制御」および「多経路制御面そのものの制御」は、ラベル配布プロトコルとは独立させることも可能である。しかし、BGPを用いたラベル配布プロトコル[5]のように経路制御情報とラベルマッピングを同時に配布するプロトコルも存在する。このようなプロトコルの利点は、独自プロトコルを構築する作業の軽減、ネットワーク資源の節約などが挙げられる。本論文では、このような利点を重視し、これらのプロトコルと同様、ラベル配布と同時に「各経路制御面上のマルチキャスト経路制御」および「多経路制御面そのものの制御」を行うというアプローチを選択した。

## 5.3 LDP 拡張

前節ではMRP-MC-LDP実現のアプローチについて説明した。本節ではMRP-MC-LDP実現を目的とした具体的なLDP拡張について考察していく。

### 5.3.1 経路制御面識別子

MRP-MCのモデルでは、経路制御面の概念を導入した。従来のマルチキャストのモデルでは、経路制御面は一つしか存在していないと考えられていたため、複数の経路制御面を識別する必要はなかった。MRP-MCのモデルでは経路制御面は複数存在するためなんらかの方法で経路制御面を一意に特定/識別する方法が必要であると考えられる。

本論文では、各経路制御面を識別するための識別子として経路制御面識別子を導入する。経路制御面

識別子によって、MRP-MC経路制御ドメイン内部で経路制御面は一意に特定できる。各LSRにおいても、各経路制御面と経路制御面識別子は完全に一意にマッピングされる。

また、ここでは、MRP-MCモデルにおけるある経路制御面上の経路表は唯一であると仮定する。この場合、各経路制御面とその経路制御面上の経路表は1対1に対応するので、経路制御面識別子によって特定の経路制御面上の経路表を一意に特定することも可能である。

### 5.3.2 LDPのマルチキャスト対応拡張

LDPではパケットの終点アドレスをFECとし、FEC/ラベルマッピングを配布することでMPLS層における経路制御を実現している。

本論文では、MRP-MC-LDPにパケットの<始点アドレス、グループアドレス>の対による新しいFECを導入する。本論文ではこれをマルチキャストアドレスFECと呼ぶ。MRP-MC-LDPにおけるマルチキャストアドレスFECは、LDPにおけるホストアドレスFECに対応する。

### 5.3.3 パケットと経路制御面のマッピング

MRP-MCでは、対象となる経路制御ドメイン内のMRP-LSR同士の間でパケットの種類あるいは特徴すなわちFECと経路制御面識別子のマッピングの整合性を保たなければならない。

ここで議論の対象とするFECは、パケットの種類あるいは特徴を示すものであるが、前述のマルチキャストアドレスFECとは異なるものである。

MRP-MCではこのマッピングによって、複数のMRP-LSR間における経路制御面の認識が行われる。すなわち、MRP-LDPでは<パケットの種類あるいは特徴すなわちFEC、経路制御面識別子>の配布あるいは折衝ができる必要がある。本論文では、上記の対の配布あるいは折衝に用いられるFECをMRP-MC-FECと呼ぶ。

本論文では、<MRP-MC-FEC、経路制御面識別子>を行うメッセージとして経路制御面識別子配布メッセージをMRP-MC-LDPに導入する。

### 5.3.4 ラベル要求メッセージ

LDPでは特定のFECにマッピングされるラベルを隣接LSRに要求するために、ラベル要求メッセージを用いる。ラベル要求メッセージには特定のFECが記述され、これを受け取ったLSRはそのFECに対応するラベルをラベルマッピングメッセージを用いて通知する。

MRP-MC-LDPでは、特定のFECにマッピングされるラベルを隣接MRP-MC-LSRに要求するために、LDPにおけるホストアドレスFECに対応する前述のマルチキャストアドレスFECおよびMRP-MC-FECをラベル要求メッセージに記述する必要がある。また、ラベル要求メッセージに類する各種メッセージについても同様に記述する必要がある。

本論文では、MRP-MC-LDPのラベル要求メッセージおよびそれに類する各種メッセージに、<マルチキャストアドレスFEC,MRP-MC-FEC>の記述を導入してこれを解決した。

## 6 今後の課題

前章まででは、MPLSを用いたMRPマルチキャストの設計と実装方法について論じてきた。本章では本研究における今後の課題について考察する。

### 6.1 MPLS 実験環境における実装

我々はMPLS実験環境実装としてAYAME [7]を提案した。AYAMEはラベルスワッピング動作の中心となる機構としてラベルスワッピングエンジン(LSE: Label Swaping Engine)の概念を導入している。LSEは本論文で提案したMRP-MC仮想インターフェースおよびMRP-MC拡張NHLFEと親和性が高いので、AYAME上ではMRP-MC仮想インターフェースおよびMRP-MC拡張NHLFEの導入が容易であると考えられる。

今後は本論文で提案するMRP-MC仮想インターフェースおよびMRP-MC拡張NHLFEをAYAME上で実装することを検討する。

### 6.2 経路制御部分に関する考察

経路制御部分では複数の経路制御機構がそれぞれ個別に経路制御情報を生成するタイプ、あるいは一つの経路制御機構が複数の経路制御情報を生成するタイプなどが考えられる。本論文ではLDPを利用して経路制御情報や経路制御面に関する情報を配布する手法について論じたが、経路制御情報や経路制御面に関する情報に特化した手法も考えられる。

今後は、これらの経路制御機構あるいは経路制御部分における情報配布手法について考察していく。

## 7 まとめ

本論文では、多経路制御面型マルチキャストの設計と実装について考察し、多経路制御面型マルチ

キャストを実現するために必要なMPLSへの拡張について論じた。

はじめにMRP-MCの概要について説明し、次にMPLSを用いたMRP-MCの実現方法の概要について述べた。MRP-MCの具体的な設計、実装方法の考察としてはMPLSにおける配送部分、ラベル配布プロトコルの拡張について論じた。

LSRにおけるマルチキャスト対応に関しては、MRP-MC仮想インターフェースおよびMRP-MC拡張NHLFEの導入によるMRP-MC-LSRの実現方法について解説した。ラベル配布プロトコルについては、LSRにおけるマルチキャスト対応およびラベル配布プロトコルを用いた多経路制御面の制御が必要であることを指摘し、LDPを拡張したMRP-MC-LDPについて解説した。

## 参考文献

- [1] Loa Andersson, et al. LDP specification. Internet-Draft, Internet Engineering Task Force, Jun 2000. (draft-ietf-mpls-ldp-08.txt).
- [2] R. Callon, et al. A framework for multiprotocol label switching. Internet-Draft, Internet Engineering Task Force, Sep 1999. (draft-ietf-mpls-framework-05.txt).
- [3] Bilel Jamoussi. Constraint-based LSP setup using LDP. Internet-Draft, Internet Engineering Task Force, Jul 2000. (draft-ietf-mpls-cr-ldp-04.txt).
- [4] D. Ooms, et al. Framework for ip multicast in MPLS. Internet-Draft, Internet Engineering Task Force, May 2000. (draft-ietf-mpls-multicast-01.txt).
- [5] Yakov Rekhter, et al. Carrying label information in BGP-4. Internet-Draft, Internet Engineering Task Force, Jan 2000. (draft-ietf-mpls-bgp4-mpls-04.txt).
- [6] Eric C. Rosen, et al. Multiprotocol label switching architecture. Internet-Draft, Internet Engineering Task Force, Jul 2000. (draft-ietf-mpls-arch-07.txt).
- [7] Yojiro UO, Satoshi Uda, Nobuo Ogashiwa, Satoshi Ohta, and Yoichi Shinoda, editors. *AYAME: A design and implementation of the CoS capable MPLS layer for BSD Network stack*. INET2000, Internet Society, Jul 2000.
- [8] 小柏伸夫, 宇夫陽次朗, 篠田陽一. 多層経路制御層型マルチキャスト配送のMPLSによる実現. WIT2000, 日本ソフトウェア科学会, Sep 2000.
- [9] 宇夫陽次朗, 宇多仁, 小柏伸夫, 篠田陽一. 配送機構の形式的記述スキーマの設計と多層経路制御層型アーキテクチャを用いた配送層の実現. WIT2000, 日本ソフトウェア科学会, Sep 2000.