

# IPv6 無線 LAN における マルチキャストパケットの実態とその影響分析

前田 香織<sup>1,a)</sup> 新谷 隆文<sup>1</sup> 近堂 徹<sup>2</sup> 相原 玲二<sup>2</sup>

受付日 2015年6月22日, 採録日 2015年12月7日

**概要:** IPv6 ではプラグアンドプレイ機能をはじめ, 基本的な制御機能のためにマルチキャストが積極的に使用されているが, 特にリソースが制限された端末にとって多数のマルチキャストパケットによるリソース消費は重要な課題として指摘されている. 今後 IPv6 が普及した際, マルチキャスト通信による弊害が顕在化する可能性がある. しかし, 実運用中の IPv6 ネットワークにおいて, 多数の端末からマルチキャストパケットがどの程度流れているかの実態を調査した例はほとんどなく, この予想の根拠は示されていない. そこで, 本研究では多数の無線 LAN 端末が接続された実運用中の IPv6 ネットワークに流れるマルチキャストパケットの実態を明らかにし, それが端末へどのような負荷を及ぼすかを示した. 1日に約1,500台の端末が接続する無線 LAN において IPv4 と IPv6 のマルチキャストパケットなどを実測した結果, IPv6 は IPv4 よりもマルチキャストトラフィックは小さいことが判明した. また, マルチキャストトラフィックがスマートフォンなど CPU 性能の低い端末に及ぼす影響を推定するため, 割込み回数や CPU 負荷などを測定する評価手法を提案した. 提案手法により, 今後 IPv6 が普及したときの, 無線 LAN に接続される機器に対するマルチキャストパケットの影響を考察し, 提案手法の有効性を示した.

キーワード: マルチキャスト, IPv6, 無線 LAN, 分析

## Actual Impact Analysis of Multicast Packets for Control in IPv6 Wireless LANs

KAORI MAEDA<sup>1,a)</sup> TAKAFUMI SHINTANI<sup>1</sup> TOHRU KONDO<sup>2</sup> REIJI AIBARA<sup>2</sup>

Received: June 22, 2015, Accepted: December 7, 2015

**Abstract:** IPv6 is defined to use multicast packets for many kinds of signaling such as Plug-and-Play function. However, resource consumption by a lot of multicast packets is serious problem especially on poor resource devices such as embedded computers. When IPv6 is deployed as a main protocol, the effect of these problems may become serious compared to IPv4. In this paper, we show the results of actual monitoring of IP multicast/broadcast packets in IPv6 wireless LANs connected by more than 1,500 terminals per day. The paper shows analysis of captured packets during about three months. The result shows that IPv6 traffic of signaling multicast packets is not so heavy compared to IPv4. Also, we propose an evaluation method to estimate impact of mobile terminals such as embedded computers and smartphones that are mainly used in wireless LANs by signaling multicast traffic on CPU load and the numbers of interruption. Finally, the paper discusses the impacts of these signaling multicast packets to devices connected to wireless LANs after IPv6 is widely deployed. Through this discuss, we show the effectiveness of our proposed evaluation method.

**Keywords:** multicast, IPv6, wireless LAN, analysis

<sup>1</sup> 広島市立大学大学院情報科学研究科  
Graduate School of Information Sciences, Hiroshima City  
University, Hiroshima 731-3194, Japan

<sup>2</sup> 広島大学情報メディア教育研究センター  
Information Media Center, Hiroshima University, Higashi-  
hiroshima, Hiroshima 739-8511, Japan

a) kaori@hiroshima-cu.ac.jp

### 1. はじめに

マルチキャスト通信はブロードキャストと同様, 端末のリソース消費や消費電力増加を引き起こしたり, 無線 LAN などにおいてはユニキャスト通信と違って再送制御が行われないためパケット損失による通信が劣化したりす

ることが指摘されている。IoT (Internet of Things) により多種多様な端末が接続されると、特に省電力、低 CPU 性能、少ないメモリ、スリープモードを持つような組み込み機器などへの影響が問題視されている。このような問題に対処するため、IETF では NDP (Neighbor Discovery Protocol) の仕様を IEEE802.15.4 ベースのリンクに対応するように拡張した [1]。標準化後も 6lo (IPv6 over Networks of Resource-constrained Nodes) WG [2] が引き続いて制約条件の厳しい端末やネットワークにあわせたヘッダの圧縮などを検討している。その他、こうした制約を考慮した IPv6 の経路制御プロトコルも規定されている [3]。

一方、無線 LAN において多数の端末へ斉配信を低帯域で可能にするマルチキャスト配信のメリットを生かす用途も想定されることから、IEEE802.11v では FMS (Flexible Multicast Service) によってマルチキャストフレームの選択受信ができる省電力化の仕様が定められた。美術館や公園などでの動画や音声による案内の配信や緊急情報配信など無線 LAN を用いたマルチキャスト配信のニーズを想定し、文献 [4] は FMS で調整されていないマルチキャストフレームの配送タイミングを制御することでさらなる省電力効果の向上を目指している。

このようにマルチキャスト通信は課題を持つものの、今後も様々な無線ネットワークで使用されることが想定される。特に IPv6 ではプラグアンドプレイ機能をはじめ、基本的な制御機能のためにマルチキャストを積極的に使用するよう定義されている。加えて、ノート型 PC、タブレット、スマートフォンなど無線 LAN に接続して使用する頻度の高い機器 (以降、このような機器を無線 LAN 端末と呼ぶ) の多くは IPv6 対応している。これらより、IPv6 が普及すると、マルチキャスト通信による弊害が顕在化する可能性がある。しかし、実運用中の IPv6 ネットワークにおいて、多数の端末からマルチキャストパケットがどの程度流れているかの実態を調査した例はほとんどなく、この予想の根拠は示されていない。そこで、本研究では多数の無線 LAN 端末が接続された実運用中の IPv6 ネットワークに流れているマルチキャストパケットの実態を明らかにし、それが端末へどのような負荷を及ぼすかを示した。

本研究の目的は、(1) 多くの端末が接続された一定規模の IPv6 ネットワークにおいてどのようなマルチキャストパケットがどれくらい流れているかの調査を行い、基礎データを取得することである。また、(2) ネットワークへの接続端末数が増加したときでも端末への影響が予測できるようにすることである。(1) の目的を達成するために、1 日に約 1,500 台の端末が接続する無線 LAN において、流れるマルチキャストパケットを観測し、その集計と分析を行った。(2) の目的達成のために、マルチキャストトラフィックがスマートフォンなど CPU 性能の低い端末に及ぼす影響を推定できるように、割込み回数や CPU 負荷などを測定

する評価手法を提案した。提案手法により、今後 IPv6 が普及したときの、無線 LAN に接続される機器に対するマルチキャストパケットの影響を考察した。

以降、2 章では関連研究を、3 章では無線 LAN 配下のマルチキャスト (ブロードキャスト含む) パケットの観測方法を述べる。4 章で観測結果と集計や分析結果を示す。5 章ではマルチキャストパケットの無線 LAN 端末への影響に関する実験と分析について述べる。6 章で考察を述べ、最後に 7 章でまとめと今後の課題について示す。

## 2. 関連研究

### 2.1 IPv6 マルチキャストの課題と解決のための提案

NTT 情報流通プラットフォーム研究所では IPv6 導入時に発生する問題をまとめ、その対策を示している [5]。文献 [5] は 2011 年にまとめられたもので、主に L2 のマルチキャスト未対応の機器の存在やマルチキャストの実装に不具合があった場合に通信ができなくなるという問題点を指摘している。後述する今回の調査でも古い NIC のドライバに不具合があるものが見つかったが、この文献で指摘された通信不可の問題は確認できなかった。

IETF の 6lowpan (IPv6 over Low power Wireless Personal Area Networks) [6] のワーキンググループ (WG) は、省電力、小型、低 CPU 性能、少ないメモリ、スリープモードを持つような端末を、パケット損失が発生しやすく狭帯域のネットワークで使う (たとえばセンサネットワーク) 場合に、IPv6 の NDP の仕様はオーバヘッドが大きいことを問題視し、その対策を検討している。IEEE802.15.4 ベースのリンクに対応する IPv6 の仕様拡張を行い [1]、ほぼその作業を終えて、6lo (IPv6 over Networks of Resource-constrained Nodes) WG に引き継いだ。ここではこのような厳しい条件の端末やネットワークにあわせて、ヘッダの圧縮などをすることで負荷の低減を図っている。

これらの課題に対して、ルーティングや名前解決に関する提案もある。たとえば、RPL (IPv6 Routing Protocol for Low power and Lossy Networks) [3] では親ルータがルーティングに必要なメッセージを経路表に相当する情報も含めて送信する仕組みを持ち、経路表を持っていない端末も使用できる。また、経路情報維持のためのメッセージの発行には Trickle タイマを用い、制御パケット数を減少するようにする提案もある [7]。名前解決やサービス検知の処理を軽量化する提案もある [8]。IoT により IPv6 の端末数が膨大になり、端末の性能が一律でない場合も処理が可能になるようなサービス検知のプロトコルの提案をしている。

文献 [7] や [8] において IPv6 の制御用パケットがマルチキャスト送信されることに対する課題を指摘し、その対応策が提案されているが、課題の実態 (多くの端末からマルチキャストパケットが流れる状況) が示されているわけではない。

## 2.2 IPv6 におけるマルチキャスト通信の実態

文献 [9] では IEEE802.11 ネットワークにおいてマルチキャスト通信が無線 LAN 端末にどのような影響を及ぼすかを通信到達性や CPU 負荷の観点から調査し、解析している。しかし、この研究ではマルチキャストデータの通信の影響に焦点をあて、マルチキャストの制御用パケットや IPv6 ネットワークにおけるマルチキャストパケットの実態を示すものではない。短期間の調査としては IETF の開催されたホテルの Wi-Fi で収集された結果が示されている [10]。

本研究では、無線 LAN における 3 カ月余の間のマルチキャストパケットの観測を経て [11], 1 日に平均 1,500 台以上の端末が接続する無線 LAN において IPv4 と IPv6 のブロードキャストとマルチキャストパケットの実測を行い、端末への具体的な影響を調べた実験の結果を示す。

## 3. パケットの観測

### 3.1 調査対象

広島大学のキャンパスで運用されている無線 LAN のネットワークを大学の許可を得て、調査の対象とした。ネットワークの構成は図 1 のように、6 つのセグメント (VLAN) からなり、IPv6 は 6 つの VLAN とも /64、IPv4 は 4 つの VLAN が /22、2 つの VLAN が /24 のアドレス空間を持つ。接続する端末は大学の構成員や学外者の持ち込みのパソコン、スマートフォンなどで、使用用途は大学生活で日常的に使う Web 検索やメール処理などが多い。参考のため、VLAN #3 の平日 (2015 年 6 月 5 日) の利用状況を示すと、1 度でも接続された端末数は 1,274 台、端末 1 台あたりの平均接続時間は約 125 分、1 接続の平均維持時間は約 17 分であった。なお、無線 LAN 端末にはグローバルアドレスが付与され、インターネットとはファイアウォールを経由して接続されているが、インターネット方向への接続に関する通信制限は設定されていない。接続端末は無線 LAN の利用手順<sup>\*1</sup>に従って設定されている。

次に、6 つの VLAN のうち、VLAN #3 から #6 の利用状況を図 2 に示す。図 2 は後述するマルチキャストパケットの観測期間を含む 1 週間のトラフィックで、IPv4 と IPv6 の両方を含む。大学のバックボーンからのダウンリンク方向が青の折れ線グラフで、アップリンク方向が緑のグラフである。

ステートフルアドレス自動設定に関して IPv4 は DHCP サーバが用意されており、DHCP の lifetime は 3,600 秒である。IPv6 のアドレス付与は RA (ルータ広告) によってのみ行われ、DHCPv6 サーバは用意されていない。無線 LAN コントローラでは MLD snooping を設定して受信者

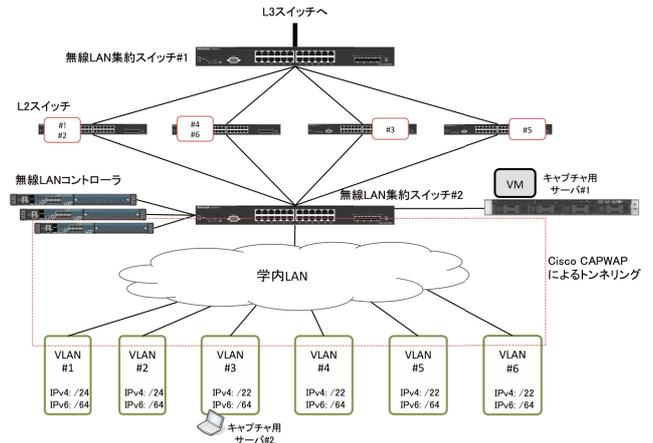
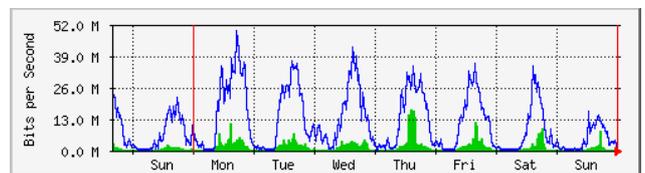
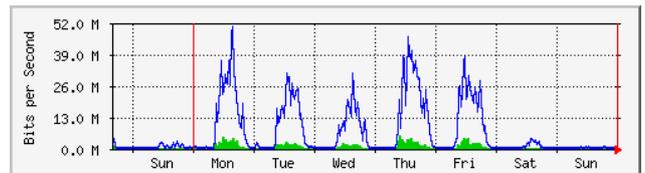


図 1 測定環境

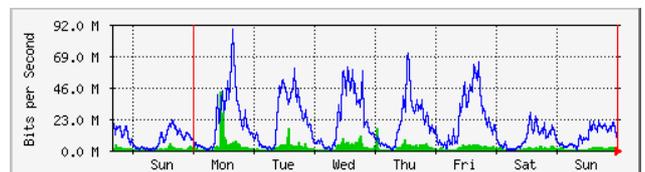
Fig. 1 Measurement environment.



(a) VLAN #3



(b) VLAN #5



(c) VLAN #4+VLAN#6

図 2 無線 LAN の利用状況

Fig. 2 Traffic in wireless LANs.

の存在するポートにだけ該当グループのトラフィックを配送する。また、無線 LAN コントローラで ND キャッシュが有効になっているので、コントローラにクライアントの MAC アドレスのキャッシュがある間はコントローラが近隣要請パケット (NS) に対して応答している。無線 LAN 集約スイッチ #2 はエン트리数が最大 8192 の MAC アドレス学習機能を持つ。

### 3.2 調査方法

最初に調査対象ネットワークに流れるマルチキャストパケット (ブロードキャスト含む) を、図 1 のキャプチャ用サーバ 1 ですべてキャプチャし、記録した。また、VLAN #3 においてネットワークに流れたマルチキャストパケットのうちクライアントが実際に受信したパケット数を調べるた

<sup>\*1</sup> 広島大学 HINET Wi-Fi サービス (情報コンセント)  
<http://www.media.hiroshima-u.ac.jp/services/hinet/access-point#anchor-2> (参照 2015-09-23)

表 1 測定環境の機器諸元

Table 1 Devices in the measurement environment.

機器の種類	製品名, OS 等	台数
無線 LAN コントローラ	Cisco 5500 Series Wireless Controller	3
無線 LAN アクセスポイント	Cisco AIR-LAP1024N-P-K9 / AIR-LAP1131AG-P-K9 / AIR-CAP1602I-Q-K9	約 560
無線 LAN 集約スイッチ	Alaxala AX2430s	2
L2 スイッチ	Alaxala AX2530s	4
キャプチャサーバ 1	CPU: Core-i7 -2600@3.40GHz メモリ: 16GB OS: CentOS release 6.6 (Final) Kernel: 2.6.32-504.16.2.el6	1
キャプチャサーバ 2	CPU: Intel Core2Duo U7600@1.2GHz   メモリ: 2GB Wi-Fi: Intel 4965AGN OS: CentOS release 6.6 (Final) Kernel: 2.6.32-504.16.2.el6	1

めに、キャプチャ用サーバ 2 を用意した。測定で使用した機器の諸元を表 1 に示す。

キャプチャには以下の tcpdump コマンドを用い、VLAN ごとにコマンドを実行し、1 日ごと (1:00AM~翌日 1:00AM) にキャプチャした結果をファイルとして出力する。

```
tcpdump -i (vlan_if_name).${vlan} -G 86400
-w ${vlan}-${Y}%m%d%H%M%S.pcap
```

このコマンドにより、24 時間 (86,400 秒) 分の VLAN ごとのデータが 1 ファイルに記録される。これをキャプチャ用サーバの各インタフェースで動作させることにより、インタフェースで観測されるすべてのパケットを取得した。

本稿で分析するデータの調査期間は 2015 年 6 月の 1 週間 (2015 年 6 月 1~5 日) である。予備調査として 2014 年 2~4 月にも同様の調査を行っており、その結果は文献 [11] で報告している。

## 4. 計測結果

### 4.1 無線 LAN の利用規模

最初に今回の計測環境で計測した結果から、無線 LAN の利用規模や IPv4 と IPv6 の利用割合などの状況を示す。

表 2 は図 1 の 6 つの VLAN のうち、利用の多い 4 つの VLAN に接続した端末の 1 日の平均台数を示す。値は 1 日ごとに接続された端末のユニークな MAC アドレスの数を抽出し、平日 5 日間の平均を算出したものである。

表 2 において、いずれの場合も IPv4 の接続台数が IPv6 より多い。現状では IPv6 の通信機能を無効にしている端末や IPv4 通信のみをサポートしている端末が、わずかに存在していることを示している。

### 4.2 マルチキャストパケットの流量

前節で示したとおり、無線 LAN はかなりの規模で利用されているが、実際にマルチキャストパケットがどの程度

表 2 VLAN ごとの 1 日の平均接続台数

Table 2 Daily average of the number of terminals in each VLAN.

VLAN ID	IPv6	IPv4	IPv6/IPv4
#3	1485	1547	0.960
#4	1170	1212	0.965
#5	1369	1398	0.979
#6	730	755	0.967

表 3 VLAN #3 のマルチキャストパケット流量

Table 3 Multicast packets traffic in VLAN #3.

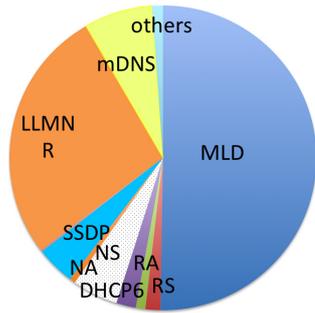
	プロトコル	平均パケット数/秒 (pps)	平均パケットサイズ (Byte)	平均トラヒック (kbps)
ネットワーク	IPv4	17.4	132.0	18.4
	IPv6	14.0	115.5	13.1
クライアント	IPv4	9.5	258.8	19.7
	IPv6	1.1	156.2	1.4

表 4 マルチキャストパケットの種類

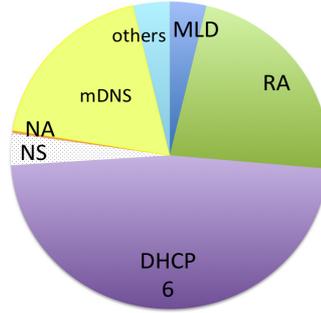
Table 4 Types of multicast packets.

分類 (定義等)	名称	v4/v6	宛先アドレス (ポート)
グループメンバーシップ	MLDv2	v6	ff02::16
	IGMPv3	v4	224.0.0.22
自動アドレス割当	RS	v6	ff02::2
	RA	v6	ff02::1
	DHCPv6	v6	ff02::1:2 (547)
	DHCP	v4	255.255.255.255
アドレス解決 (RFC4861)	NS	v6	ff02::1:ff/104
	NA	v6	ff02::1
アドレス解決	ARP	v4	255.255.255.255
UPnP 機器検出	SSDP	v6	ff02::c (1900)
		v4	239.255.255.250 (1900)
サービス検出	ws-discovery	v6	ff02::c (3702)
		v4	239.255.255.250(3702)
ローカル名前解決 (RFC4795, 主に Windows)	LLMNR	v6	ff02::1:3 (5355)
		v4	224.0.0.252 (5355)
ローカル名前解決 (RFC6762, 主に Apple 社 OS)	mDNS	v6	ff02::fb
		v4	224.0.0.251 (5353)
BJNP プリンタ/スキャナー検出	BJNP	v4	224.0.0.1 (8612)
IPv4 トンネリング (RFC4380)	Teredo	v4	224.0.0.253 (3544)

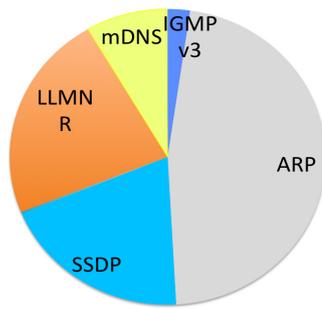
の流量になっているかを示すために、一番利用の多かった VLAN #3 の測定結果を表 3 に示す。「ネットワーク」で示す結果は、図 1 におけるキャプチャサーバ 1 で受信した、VLAN #3 全体で流れたマルチキャストパケットの流量となる。一方、「クライアント」で示す結果は、VLAN #3 に流れたパケットのうち実際に VLAN #3 に無線 LAN で接



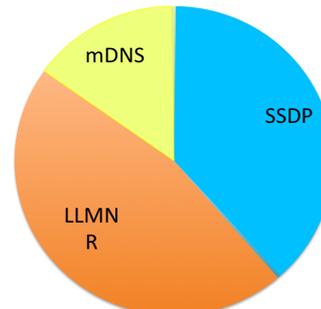
(a) ネットワーク (IPv6)



(c) クライアント (IPv6)



(b) ネットワーク (IPv4)



(d) クライアント (IPv4)

IPv6 内訳	(%)	
	(a)	(c)
MLD	50	4
RS	2	0
RA	1	23
DHCP6	2	47
NS	5	3
NA	1	0
SSDP	4	0
ws-discovery	0	0
LLMNR	27	0
mDNS	7	19
others	1	4

IPv4 内訳	(%)	
	(b)	(d)
IGMPv3	2	0
DHCP	0	0
ARP	47	0
SSDP	20	38
ws-discovery	0	1
LLMNR	23	46
mDNS	8	15
Teredo	0	0
BJNP	0	0
others	0	0

図 3 VLAN #3 のマルチキャストパケットの内訳

Fig. 3 Breakdown by types of multicast packets in VLAN #3.

続した端末 (図 1 におけるキャプチャサーバ 2) で IP 層以上まで届いたマルチキャストパケットの流量となる。ただし、3.1 節に記述した無線 LAN コントローラの設定により、クライアント側への NS の流量はサーバに比べて少なくなっている。

調査期間中パケットドロップは確認されていない。なお、キャプチャサーバのマルチキャストパケット受信能力を確認するため、表 3 の平均トラフィックの約 10 倍 (IPv4 では 312 バイトのパケットを 184 kbps で、IPv6 では 115 バイトのパケットを 131 kbps で) を IPv4 と IPv6 を同時に送信したが、どちらのキャプチャサーバでもドロップは観測されなかった。

#### 4.3 マルチキャストパケットの集計方法

IPv6 と IPv4 のマルチキャストパケット (ブロードキャストを含む) の内訳を表 4 に示す。SSDP と ws-discovery は UPnP の機器の検索や使用できるサービスの検索用で主に Microsoft の端末で使用される。ローカルの名前解決に使用されるプロトコルの LLMNR は主に Microsoft の機器で使用され、IPv4 の WINS に代わるものである。mDNS は Apple の機器で主に使われている。IPv4 のみで観測されたものとして BJNP と Teredo がある。BJNP は特定メーカーのプリンタやスキャナなどを検索するのに使用さ

れ、Teredo は IPv4 ネットワークしかない環境で IPv6 通信を行うため IPv6 ネットワークトンネルを設定するために使用される。

集計では IPv6 と IPv4 のマルチキャストパケットの種類、宛先アドレス、ポート番号を抽出ワードとして、集計用のシェルスクリプトを作成して行った。スクリプトではパケットの抽出時に全ノードアドレスや、全ルータアドレスなど抽出ワードが重複する場合これらが合計されないようにしている。予備調査 [11] において、IANA が割り当てた IPv6 マルチキャストアドレスを本来の目的以外で送出しているパケットが検出されたが、該当パケットは調査期間中に合計 30 パケットときわめて少ないことから、今回の総パケットの合計から除いている。対象となるパケットは特定メーカーの NIC のドライバ不具合によるもので [11]、すでにドライバの修正済みで今後は増えるものでもない。これらの集計方法をネットワーク、クライアント両方の集計において適用している。

#### 4.4 マルチキャストパケットの内訳

VLAN や期間によらずネットワークに流れるマルチキャストパケットの内訳の傾向は同じであったため、図 3 には VLAN #3 のネットワークに流れているマルチキャストパケットとクライアントが受信したパケットの内訳を示す。

表 5 宛先別 IPv6 マルチキャストパケット内訳

Table 5 Breakdown by destination of IPv6 multicast packets.

	全パケット	全ノード	全ルータ	要請ノード
平均 (個数)	1254448	41239 (4%)	24421 (2%)	619374 (53%)
最大 (個数)	1334850	50757	31007	717170
最小 (個数)	733569	24652	8768	475139
平均パケット数/秒 (pps)	13.1	0.5 (4%)	0.3 (2%)	7.2 (53%)

#### 4.5 宛先アドレスの内訳

今回集計したすべてのマルチキャストパケットのうち、どの IPv6 ネットワークでも必ず流れ、多くのノードが受信する可能性が高い基本的な以下の 3 つのマルチキャスト宛先アドレスを対象に流れたパケットの内訳を参考のため示す。

- 全ノードアドレス (ff02::1/128)
- 全ルータアドレス (ff02::2/128)
- 要請ノード (NS) マルチキャストアドレス (ff02::1:ff/104)

調査期間 6 日間に VLAN #3 のネットワーク側に流れたパケットを各日ごとに集計し、1 日ごとの平均と 6 日間の最大数、最小数を表 5 に示す。個数と pps の平均値のカッコ内は総パケット数を分母とした各アドレス宛のパケット数の割合である。

この結果から、要請ノードマルチキャストアドレス宛のパケットが全体の約 53% であることが分かる。VLAN #4 は 52%，VLAN #5 は 43% だった。全ノードアドレス宛のパケットは VLAN #3, #4, #5 でそれぞれ 2%，2%，5% だった。

### 5. 計測結果に関する考察

4 章で示したとおり、多くの利用者が使用している無線 LAN に流れているマルチキャストパケットの実態を見ることができた。測定した環境は IPv4 と IPv6 が混在し、ほぼすべての端末が IPv4 と IPv6 に対応するものの、実際の通信は IPv4 が多い [11]。今後 IPv6 通信のみになると、IPv4 で使用されていた制御パケットが IPv6 マルチキャストパケットに置き換わったり、および IPv6 への移行によって新たな制御パケットが増えたりするので、これらをふまえてマルチキャストパケットがネットワークや受信クライアントに及ぼす影響について考察する。

#### 5.1 IPv6 マルチキャストパケットへの置換による影響

##### (1) LLMNR, mDNS, SSDP, ws-discovery

表 4 に示すとおり、サブネット内の名前解決やサービス検索のマルチキャストアドレスが割り当てられており、デュアルスタックの端末は IPv4 と IPv6 の両方を使って名前解決などを行っている可能性がある。LLMNR や mDNS

は IPv6 に置き換わったとしても現在 IPv4 で配信されている図 3 の (b) や (d) と同等のトラフィックがネットワークに流れるもので、それを大幅に上回るとは想定されない。

##### (2) ARP と NS/NA

図 3 の (a) と (b) を比べると ARP は NS に比べかなり大きなウェイトを占めていることが分かる。

予備調査 [11] において、ARP と NS の照会先の MAC アドレスを調べたところ、NS パケットの照会先の約 90% がゲートウェイルータで、一方、ARP パケットの照会先はゲートウェイルータ宛が約 9%，残りはそれ以外の端末などを照会していた。現在、端末自身の IP アドレスの重複を調べるために IPv4 において ARP (Gratuitous ARP : GARP) を使う傾向があり、Windows や Mac OS では TCP/IP スタックの起動時 (インタフェースアップ時) に GARP で IP アドレス重複を確認しているパケットが観測された。調査した VLAN #3 においても起動時に複数個の ARP を送出する端末が多数確認された。今後、IPv6 の利用に移っていく場合もアドレス解決のパケットが占める割合は現在の ARP 相当であり、さらに増えるものではない。ブロードキャスト宛の ARP や GARP と異なり、NS は要請ノードマルチキャストアドレス宛なので、ネットワークを流れるパケット流量は変わらない。

##### (3) 自動アドレス設定

IPv6 では IPv6 に対応する端末がネットワークに接続すると、RA と RS によるステートレス自動設定が行われる。端末は RS でルータを探し、その返答はマルチキャストまたはユニキャストで受け取る。それとは独立にルータから RA が定期的送信されているため、両者のパケットが送出されていることが分かる。今回の調査における RA の設定は以下のとおりである。

M フラグ : OFF, O フラグ : OFF

Router-lifetime : 1,800 秒

Router preference : high

Valid-lifetime : 2,592,000 秒

preferred-lifetime : 604,800 秒

今回の調査対象ネットワークでは DHCPv6 で IP アドレスを配布せず、前述のように RA の M フラグも 0 に設定しているが、内訳結果をみると 1~6% の割合で DHCPv6 サーバを検索するパケットが送出されており、DHCPv6 に対応する OS を搭載した端末が増えてきているといえる。

#### 5.2 IPv6 で増加する制御パケットによる影響

IPv4 に比べ IPv6 で増加する制御パケットは MLD である。図 3 (a) に示すとおり現状でも IPv6 において MLD の割合は大きい。MLD は機能的には IPv4 の IGMPv3 と同様であるが IGMPv3 の割合は 3% 程度である。IPv4 ではマルチキャストを用いたサービスがほとんど使用されていないため、マルチキャスト通信に対応しない設定が多く、

マルチキャストグループのメンバ確認が必要な場面がないことから、IGMPv3のメッセージが流れることは少ない。

一方、IPv6はプラグアンドプレイのようにネットワーク接続時からマルチキャストアドレスを使用したメッセージが流れるため、ほとんどの機器でマルチキャスト通信ができる設定となっている。その結果、端末やルータからグループメンバ確認のメッセージが送信されるため、MLDのメッセージも多い。しかし、今後IPv6ユニキャスト通信が増加したとしても、マルチキャストによるネットワークサービスなどが増加しない限り、これ以上MLDは増加しないと考えられる。

## 6. マルチキャストパケットの端末への影響

### 6.1 影響を推定する手法

4, 5章において一定規模のIPv6ネットワーク上を流れるマルチキャストパケットを調査し、流量やプロトコルの内訳などを示し、目的の1つである基礎データを取得することができた。次に、ネットワーク規模が変わったり、接続端末の性能が変わったりしたときに端末に対する影響を推定しなければならない。測定ネットワークに様々な性能の端末を接続して、その状況を観測するなどいくつかの方法が考えられるが、本研究では以下の手法を提案する。

提案手法は計測した制御用マルチキャストトラフィックがスマートフォンなどCPU性能の低い機器に与える影響を推定するため、割込み回数やCPU負荷に関する基礎データを測定する実験を行い、すでに取得したマルチキャストパケットの調査データを用いて、両者からネットワーク規模や端末性能が変わったときに端末が接続したときの状態を推定するものである。

### 6.2 割込み回数とCPU使用率の測定

アクセスポイント配下の端末がJoinしたマルチキャストグループのパケットを受信しIP層で処理する場合（受信時）と、データリンク層では受信しているがJoinしていない場合（受信なし）について、それぞれ割込み回数とCPU使用率を測定した。実験機器構成を表6に示す。

4章で示した観測環境の場合、表3から制御用のパケット送出間隔（pps: packet per second）は20pps以下だったので、それを含む範囲のトラフィックをiperfにより発生さ

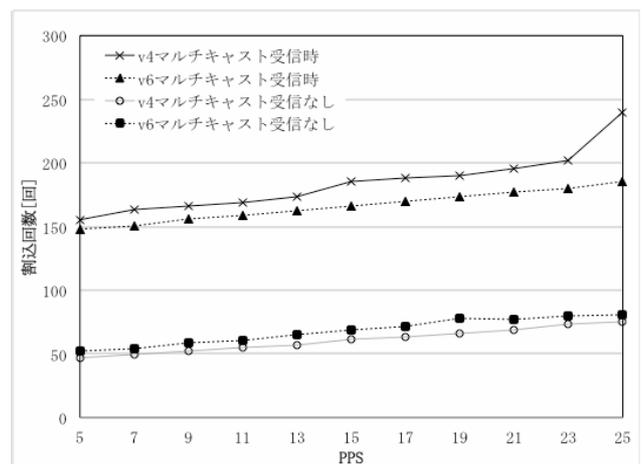
表6 実験機器構成

Table 6 Devices of the experiment.

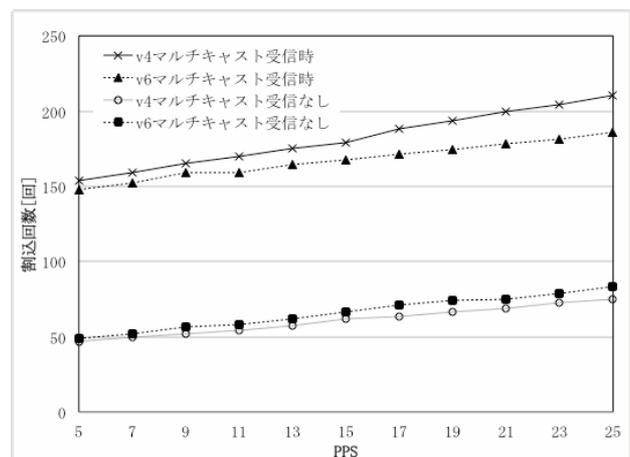
機器	製品名等
無線LAN アクセスポイント	Buffalo WAPM-1166D IEEE802.11g (54Mbps)
測定端末	CPU: Intel Core2 i5-470UM OS: Fedora20 無線アダプタ: WLI-UC-AG300N ドライバ: RaLink rt2800usb

せた。この実験ではパケットサイズは表3のIPv6の平均サイズの大きい方にあわせ150バイトを用いた。各帯域で5分間測定した平均の割込み回数とCPU使用率を図4と図5にそれぞれ示す。いずれも(a)と(b)はCPUクロック数がそれぞれ、1.33GHzと660MHzである。660MHzは教育用Raspberry Piのようなボード型の超小型コンピュータを想定したCPUのクロック数である。計測はvmstatコマンドを用いて行った。

図4から割込み回数はIPv4, IPv6ともにマルチキャスト受信の有無にかかわらずマルチキャストパケットの受信間隔が短くなるにつれて増加している。また、マルチキャスト受信時は受信しない場合に比べて、5ppsの場合で約100回多く、ppsが増えるにつれその差が広がっている。CPU使用率に関しては、図5からマルチキャストトラフィックをIP層で受信する場合はしない場合に比べてCPU使用率が大きく、どちらもppsの増加につれて大きくなっているが、いずれのCPU周波数でも1%を下回る。



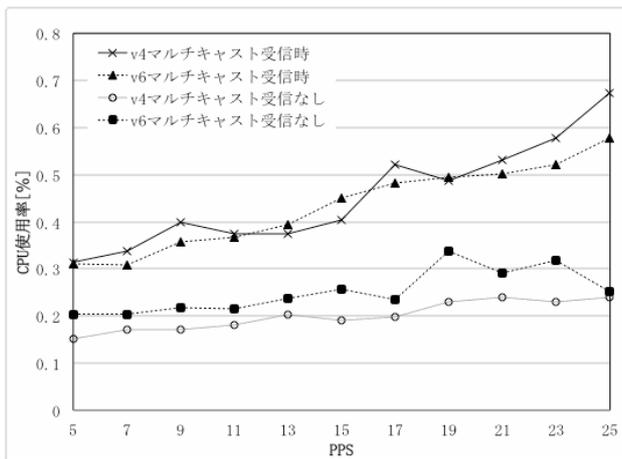
(a) CPU: 1.33GHz



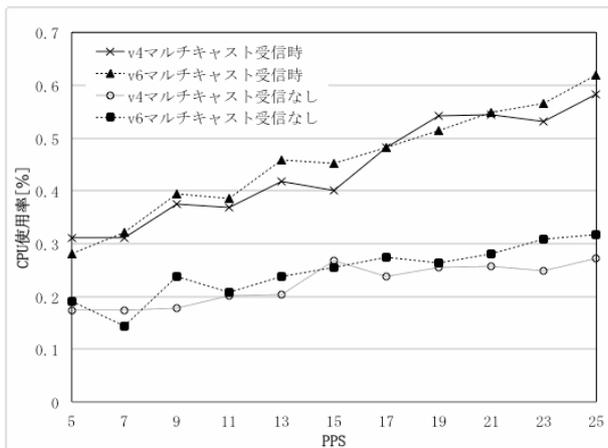
(b) CPU: 660MHz

図4 マルチキャストトラフィックの割込み回数

Fig. 4 Impact of the number of interruptions by multicast traffic.



(a) CPU: 1.33GHz



(b) CPU: 660MHz

図5 マルチキャストトラフィックのCPU負荷

Fig. 5 Impact of CPU load by multicast traffic.

### 6.3 端末の状態に関する考察

図4から無線LANに流れているマルチキャストパケットの受信間隔が短くなると、端末への割込み回数は増えることが分かるが、図5からCPU使用率もおおむねその傾向である。現在ほとんどの端末がすでにIPv6に対応していることならびに表3のトラフィックや送出平均パケット数から考えると、図5の結果からもこの規模の無線LAN(1日約1,500台のIPv6通信可能な端末が接続する)においては制御用のマルチキャストパケットが無線LAN端末に大きな影響を与えることはないといえる。

今後、同一ブロードキャストドメインの無線LANに接続する端末が増えると制御用パケットのマルチキャストトラフィックもさらに増える可能性はあるが、図5の結果から660MHzのCPUの機器でも25pps位までであれば端末への影響は小さい。

### 6.4 提案手法に関する考察

本章における実験結果と前章までに示した基礎データを用いることで、マルチキャストトラフィックが今回の測定範

囲を超える場合であっても、また、対象機器がさらに小型、省電力型の特殊な機器であったとしても本提案手法により機器のCPU性能への影響を推定することができる。

提案手法により、端末がどの程度のネットワーク規模へ接続しても支障がないかを推定できる。たとえば、4章で示した調査対象のネットワークでは表3より端末が取得するIPv6マルチキャストパケットは約1ppsで、図4(b)および図5(b)からCPUが660MHz程度の機器であっても端末への割込みやCPU負荷上昇の影響はほとんどないことが分かる。さらに、接続端末数が25倍になりマルチキャストが25ppsになったとしても大きな影響がないことが推定される。

また、省電力などの理由から、対象の機器が受信するマルチキャストパケット数を減少する必要がある場合、基礎データよりパケット数の減少に効果的なプロトコルを特定することができる。たとえば、ネットワーク上の全端末のアドレス割当てを固定にし、ルータからのRA送信を停止した場合の端末が受信するマルチキャストパケット数が基礎データから推定でき、さらに割込み回数やCPU負荷への影響も推定できる。

提案推定手法では機器のCPU性能に関する影響を推定するものであり、消費電力など他の要素に関する評価には適用できない。また、今回の調査、実験および推定は無線LAN端末を対象にしている。そのため、センサネットワークなどで個々のデータ送信量自体は少ないがデバイス数が数万に及ぶネットワークを単一の無線ネットワークで構成するような構成には、本提案手法は適用できない。

## 7. おわりに

本研究では多数の無線LAN端末が接続された実運用中のIPv6ネットワークに流れるマルチキャストパケットの実態を明らかにし、それが端末へどのような影響を及ぼすかを示した。1日に約1,500台の端末が接続する無線LANにおいてIPv4とIPv6のマルチキャストパケットなどを実測した結果、IPv6はIPv4よりもトラフィックが少ないことが判明した。

また、問題視されている近隣探索プロトコルのパケット(NS, NA, RS, RA)はIPv4においても同等の機能を実現するためにマルチキャストやブロードキャストのパケットが送出されていることが分かったので、IPv6が本格的に普及した場合でも大きな問題にならない。むしろ、IPv4との共存を止めIPv6のみにすることで、かなり削減できることが分かった。

さらに、マルチキャストトラフィックがスマートフォンなどCPU性能の低い端末に及ぼす影響を推定するため、割込み回数やCPU負荷などを測定した。この際に用いた測定手法は今後IPv6が普及したとき、無線LANに接続される機器に対するマルチキャストパケットの影響を調査す

るための有効な手法であることを示した。その結果、無線 LAN 端末を今回測定した規模のネットワークに接続する場合、および、より規模の大きなネットワークに接続する場合においても、現状の利用形態であれば、端末のスループットに影響を及ぼすようなマルチキャストトラフィックでないことが判明した。さらなる小型、省電力型の特殊な端末へ影響を与える可能性はあるが、そのような場合は IPv4 を使用しない、自動アドレス設定を使わないなど、端末側の設定や運用で問題を回避するべきであろう。

**謝辞** 本研究の一部は日本学術振興会科学研究費助成金 2430027, 24500083 の支援を受けて実施しました。

#### 参考文献

- [1] Montenegro, G., Kushalnagar, N., Hui, J. and Culler, D.: Transmission of IPv6 Packets over IEEE 802.15.4 Networks, RFC4983, IETF (Sep. 2007).
- [2] IPv6 over Networks of Resource-constrained Nodes (6lo), IETF, available from (<http://datatracker.ietf.org/wg/6lo/>) (accessed 2014-09-11).
- [3] Winter, T. and Thubert, P. (Eds.), Brandt, A., Hui, J., Kelsey, R., Levis, P., Pister, K., Struik, R., Vasseur, J.P. and Alexander, R.: RPL: IPv6 Routing Protocol for Low-Power and Lossy Networks, RFC6550, IETF (Mar. 2012).
- [4] Morisawa, Y., Kawahara, Y. and Asami, T.: Power-Saving Mechanism for IEEE 802.11 Clients in a Multicast Multimedia Streaming, *2014 IEEE 38th Annual International Computers, Software and Applications Conference*, pp.289–298 (July 2014).
- [5] IPv6 導入時に発生する問題と対策, NTT 情報流通プラットフォーム研究所ネットワークセキュリティプロジェクト (Sep. 2011), 入手先 (<http://wiki.nttv6.net/cgi-bin/wiki.cgi>) (参照 2014-09-11).
- [6] IPv6 over Low power WPAN, IETF, available from (<http://datatracker.ietf.org/wg/6lowpan/>) (accessed 2014-09-11).
- [7] Oikonomou, G. and Philips, I.: Stateless Multicast Forwarding with RPL in 6lowPAN Sensor Networks, *Proc. 8th IEEE International Workshop on Sensor Networks and Systems for Pervasive Computing 2012*, pp.272–277 (Mar. 2012).
- [8] Jara, A.J., Martinez-Julia, P. and Skarmeta, A.: Lightweight multicast DNS and DNS-SD (lmDNS-SD): IPv6-based resource and service discovery for the Web of Things, *Proc. 2012 6th IEEE International Conference on Innovative Mobile and Internet Services in Ubiquitous Computing*, pp.731–738 (July 2012).
- [9] Daldoul, Y., Meddour, D.-E., Ahmed, T. and Boutaba, R.: Impact of device unavailability on the reliability of multicast transport in IEEE802.11 networks, *Computer Networks*, Vol.79, pp.236–246 (Jan. 2015).
- [10] Nordmark, E. and Vyncke, E.: ND on wireless links and/or with sleeping nodes: Problems, *Proc. IETF89* (Mar. 2014), available from (<http://www.ietf.org/proceedings/89/slides/slides-89-6man-9.pdf>).
- [11] 前田香織, 近堂 徹, 相原玲二: 大規模 IPv6 無線 LAN における制御用マルチキャストパケットの観測と分析, 情報処理学会インターネットと運用技術シンポジウム論文集, pp.78–84 (Dec. 2014).
- [12] IPv6 Multicast Address Space Registry, June 17, 2014,

available from (<http://www.iana.org/assignments/ipv6-multicast-addresses/ipv6-multicast-addresses.xhtml>) (accessed 2014-09-11).



前田 香織 (正会員)

1982年広島大学総合科学部卒業。同大学工学部助手、(財)放射線影響研究所技術員、広島市立大学情報科学部助手、同大学情報処理センター助教授を経て、現在、同大学大学院情報科学研究科教授。博士(情報工学)。コンピュータネットワーク、マルチメディア通信、モバイル通信に関する研究に従事。電子情報通信学会会員。



新谷 隆文

2015年広島市立大学情報科学部卒業。現在、同大学大学院情報科学研究科前期課程在籍。無線 LAN に関する研究に従事。



近堂 徹 (正会員)

2001年広島大学工学部第二類(電気系)卒業。2006年同大学大学院工学研究科博士課程修了。現在、広島大学情報メディア教育研究センター准教授。博士(工学)。コンピュータネットワーク、リアルタイムマルチメディア通信、仮想化技術に関する研究に従事。電子情報通信学会会員。



相原 玲二 (正会員)

1981年広島大学工学部第二類(電気系)卒業。1986年同大学大学院工学研究科博士課程後期修了。同大学助手、同大学集積化システム研究センター助教授を経て、現在、同大学情報メディア教育研究センター教授。工学博士。コンピュータネットワークに関する研究に従事。電子情報通信学会、IEEE Communications Society 各会員。