

IEEE 802.3bz Switch を用いた無線 LAN 通信実験

福田 豊^{1,a)} 中村 豊^{1,b)} 畑瀬 卓司^{2,c)} 富重 秀樹^{2,d)} 林 豊洋^{1,e)}

概要: IEEE 802.11ac (以下 11ac) における物理層の最大伝送速度は 6.9 Gb/s (160 MHz チャンネルボンディング, MIMO ストリーム数 8) [1] であるが, 2018 年 9 月時点で市場に展開されている 11ac 対応の無線 LAN Access Point (AP) は最大 1.7 Gb/s や 2.1 Gb/s の伝送速度をサポートしている. 今後も伝送速度は高速化され, オーバーヘッドを除いても 1 Gb/s 以上の実効トラフィックを提供できる AP が広く普及すると予想できる. 一方, 一般的に AP と Switch 間は Category 5e/6 の UTP を用いて 1000 BASE-T で接続されているため, AP と Switch 間の接続がボトルネックとなる. そこで既存の UTP 配線を用いて 2.5/5 Gb/s での接続を提供する規格として IEEE 802.3bz が注目されている. 本稿ではこの IEEE 802.3bz 対応 PoE Switch に総トラフィックが 1 Gb/s を超えるように AP を複数台接続し, wget と iperf3 を用いて無線 LAN 通信を計測して, IEEE 802.3bz を用いた AP の高速化や多段接続について調査した.

キーワード: IEEE 802.3bz, キャンパス無線 LAN, IEEE 802.11ac, チャンネルボンディング

WiFi Communication Experiments with IEEE 802.3bz Switch

YUTAKA FUKUDA^{1,a)} YUTAKA NAKAMURA^{1,b)} TAKUJI HATASE^{2,c)} HIDEKI TOMISHIGE^{2,d)}
TOYOHIRO HAYASHI^{1,e)}

Abstract: The latest generation of IEEE 802.11ac Access Point (AP) can provide 1 Gb/s over aggregated capacity, so that the most common 1 Gb/s wired link between IEEE 802.11ac AP and Switch becomes a performance bottleneck. IEEE 802.3bz can support new data rates of 2.5/5 Gb/s with existing Category 5e and 6 cable. Therefore, in this study, we measure WiFi communications with IEEE 802.3bz switches, which support a data rate of 2.5 Gb/s. From obtained results, we show that the traffic from plural 11ac APs overwhelms a 1 Gb/s, and IEEE 802.3bz switches can provide 1 Gb/s over throughput.

Keywords: IEEE 802.3bz, campus wifi, IEEE 802.11ac, channel bonding

1. はじめに

IEEE 802.11ac (以下 11ac) [1] 規格では, 160 MHz のチャンネルボンディングや MIMO アンテナ等の組み合わせによって, 最大 6.9 Gb/s の伝送速度 (物理層) を規定している. 2014 年の規格化完了当初, 市販されている 11ac 無線 LAN Access Point (AP) の最大伝送速度は 1.3 ~ 1.7 Gb/s 程度であったが, 新規格 IEEE 802.11ax (以下 11ax) [2] の策定が進む 2018 年 9 月時点では, 2 Gb/s を超える製品が市場に展開されており, 今後も物理層の伝送速度は

¹ 九州工業大学 情報科学センター
Information Science Center, Kyushu Institute of Technology,
Sensui 1-1, Tobata, Kitakyushu, Fukuoka 804-8550, Japan

² 九州工業大学 飯塚キャンパス技術部
Iizuka Campus Technical Support Office, Kyushu Institute
of Technology,
Sensui 1-1, Tobata, Kitakyushu, Fukuoka 804-8550, Japan

a) fukuda@isc.kyutech.ac.jp

b) yutaka-n@isc.kyutech.ac.jp

c) hatase@tech-i.kyutech.ac.jp

d) htomishige@tech-i.kyutech.ac.jp

e) toyohiro@isc.kyutech.ac.jp

高速化していくと予想できる。

一方で、大学では講義に個人必携 PC やタブレットを活用する動きが広がっており [3], [4], [5], 講義を円滑に進めることができる高速な無線 LAN 通信環境の整備が期待されている。よって 11ac に対応する AP の設置は有効な解決方法の 1 つである。しかしながら、現在の所 11ac 対応 AP と Switch 間は Category 5e/6 の UTP を用いて 1000 BASE-T により接続されていることが多い。今後 11ac から 11ax へと無線 LAN の高速化が進み、端末と AP 間の伝送速度が 1.6 Gb/s 以上となれば、オーバーヘッドを除いた実効トラフィックも 1 Gb/s を超えることが予想され、AP の有線アップリンクが 1000 BASE-T では能力不足になると考えられる。そのため既存製品によっては複数の Ethernet インターフェースを備え、Link Aggregation による高速化を提供しているものもあるが、既設 AP に対して UTP を 1 本増設するのは費用面で容易ではない。

この問題を解決するための新たな技術として IEEE 802.3bz [6] が策定されている。IEEE 802.3bz では Category 5e の UTP ケーブルに対しては 2.5 Gb/s, Category 6 では 5 Gb/s の伝送速度を提供する。よって AP までの配線をそのまま活用できる IEEE 802.3bz を AP との接続に利用することで、AP と Switch 間のボトルネックを解消することができる。また、従来は光ファイバが用いられることが多かった PoE Switch アップリンクの高速化の新たな選択肢ともなる。そこで本稿では、最大伝送速度が 1 Gb/s を超えるように設定した AP を IEEE 802.3bz 対応 Switch に収容し、wget と iperf3 を用いて無線 LAN 通信を行ったときのスループット特性を計測して IEEE 802.3bz による高速化の必要性を確認した。そして IEEE 802.3bz 対応 PoE Switch を異なるメーカー間を含んで多段接続し、スループット特性の高速化や相互接続性を調査した。

2. 実験環境

本実験は図 1 に示す IEEE 802.11ac 対応 AP が天井に 4 台 (NE, NW, SE, SW) 設置されている本学飯塚キャンパス AV 講義室 (207 m²) [7], [8], [9] で行った。AP には 4 × 4 MIMO を備え、5 GHz の最大伝送速度が 1.733 Gb/s (160 MHz チャンネルボンディング) である Aruba AP-335 [10] を用いた。各 AP は Category 5e の UTP ケーブルで PoE Switch と接続し、学内 LAN を経由して Aruba 無線 LAN コントローラ 7210 に収容されている (図 2)。

AP を収容する PoE Switch には表 1 に示す 4 機種を用いた。表 1 先頭の Juniper EX2200-24P は既存 PoE Switch で、IEEE 802.3bz には対応していないが、それ以外の Juniper EX2300-48MP と EX2300-24MP, 及び HPE Aruba 2930M は IEEE 802.3bz に対応し、AP と 2.5 Gb/s (配線が Category 5e であるため) で接続する。PoE Switch は本学の基幹 Switch である Juniper EX4550 と接続してお

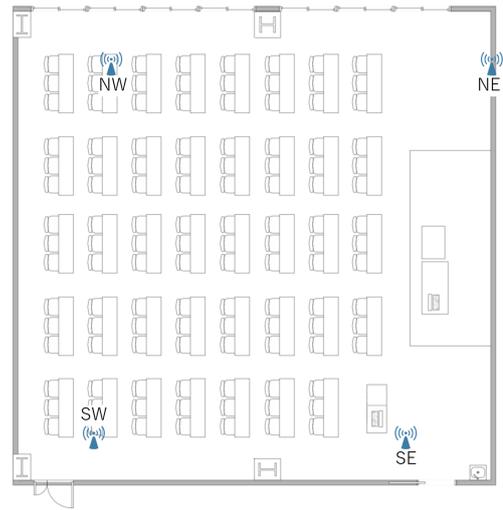


図 1 AV 講義室 (実験会場)

表 1 実験に使用した IEEE 802.3bz 対応 PoE Switch

Switch 名	ポート数	IEEE 802.3bz ports
Juniper EX2200-24P	24	未対応
Juniper EX2300-48MP	48	2.5 GBASE-T × 16
Juniper EX2300-24MP	24	2.5 GBASE-T × 8
HPE Aruba 2930 M	48	1/2.5/5/10 GBASE-T × 8

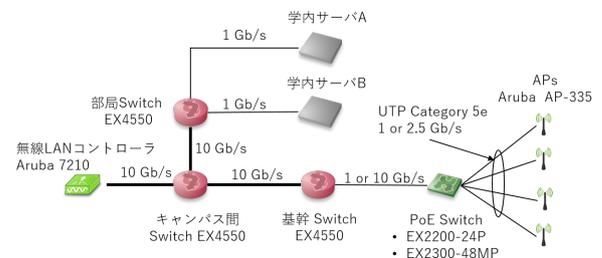


図 2 接続構成

り、EX4550 はキャンパス間接続用 Switch である EX4550 を経由して無線 LAN コントローラ 7210 と接続されている [7], [8]。ここで EX2200-24P は基幹 Switch である EX4550 と 1 Gb/s で、EX2300-48MP は 10G-LRM で接続するとした。

通信実験には表 2 に示す 4 台の端末 (ノートパソコン) と表 3 に示す 2 台のサーバを使用した。学内サーバは部局スイッチに 1 Gb/s で収容されているため、サーバが 1 台だけでは学内サーバと部局スイッチ間がボトルネックになってしまう。そこでサーバは 2 台準備し各サーバが端末 2 台ずつのトラフィックを分担するとした。具体的には学内サーバ A は端末 mbp13A (AP NE に接続) と mbp15 (AP

表 2 端末仕様 (ノートパソコン)

端末名	型番	CPU	メモリ [GByte]	無線 LAN 最大伝送速度	接続 AP
mbp13A	Apple MacBook Pro (13 インチ, 2017)	Intel Core i7-7567U 3.5 GHz	16	IEEE 802.11ac, 1.3 Gb/s	NE
mbp15	Apple MacBook Pro (15 インチ, 2017)	Intel Core i7-7920HQ 3.1 GHz	16	IEEE 802.11ac, 1.3 Gb/s	NW
lets	Panasonic CF-SZ6	Intel Core i5-7200U 2.5 GHz	8	IEEE 802.11ac, 866.7 Mb/s	SE
mbp13B	Apple MacBook Pro (13 インチ, 2016)	Intel Core i5-6360U 2 GHz	8	IEEE 802.11ac, 866 Mb/s	SW

表 3 サーバ仕様

サーバ A
HP ProLiant DL360 Gen9 Intel(R) Xeon(R) CPU E5-2660 v3 @ 2.60GHz, Memory 64 GB, VMware ESXi 5.1.0, OS : Ubuntu Linux Server (Ubuntu 5.4.0-6ubuntu1 16.04.5), CPU : 1vCPU, メモリ : 8192 MB (wget), 1024 MB (iperf3)
サーバ B
Apple MacBook pro (Late 2012) Intel(R) Core i7 2.9 GHz, Memory 8 GB, OS : macOS High Sierra

NW に接続) を, 学内サーバ B には端末 lets (AP SE に接続) と mbp13B (AP SW に接続) を割り当てた。また, 各端末は IEEE 802.11ac に対応しており, 図 1 に図示した AP の真下の机に置き (天井から約 2.5 m), 直近の AP と端末側の最大伝送速度で接続していることを確認してから実験の各試行を実施した。

日本において使用できる 5 GHz 帯は図 3 に示す通り W52, W53, W56 の合計 19 チャンネルであるが, 今回は競合を避けつつ最大伝送速度をできるだけ高速にするため AP ごとに 4 チャンネル分の帯域 (80 MHz) を割り当て, 最大伝送速度は 1.3 Gb/s とした。具体的には AP NE が W56 帯 (100, 104, 108, 112 チャンネル), AP NW が W56 帯 (116, 120, 124, 128 チャンネル), AP SE が W52 帯 (36, 40, 44, 48 チャンネル), AP SW が W53 帯 (52, 56, 60, 64 チャンネル) とした。使用したチャンネルを表 4 に示す。なお, 以前に実施した実験 [11], [12] と同様, 今回も事前に AV 講義室で 5GHz 帯の電波状態を測定し, 近くの居室から電波を検出したので停波を依頼してできるだけ干渉電波の影響が少なくなるようにした。

端末とサーバ間の通信は wget と iperf3 を用いて通信を行った。wget を用いた場合は各端末が学内サーバ上に設置した 40 MBytes のファイルを同時にダウンロードし, 取得に要した時間からスループットを導出した。なお端末ではファイルをディスクに書き込まず /dev/null に出力し, ディスク I/O 性能が影響を与えないようにした。iperf3 を用いた場合は通信プロトコルは TCP とし, 学内サーバからセッション数 1 で端末に向けてパケットを送信した。通信時間は 60 秒間とし, iperf3 の出力結果からスループ

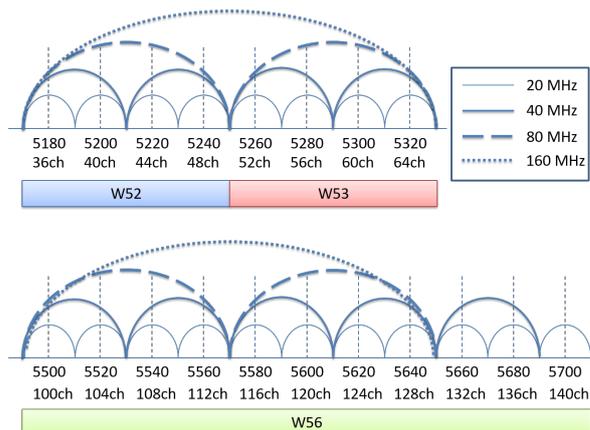


図 3 5 GHz 帯チャンネル構成 (日本)

表 4 チャンネル割当

AP	チャンネル幅 [MHz]	チャンネル
AP NE	80	W56 (100, 104, 108, 112)
AP NW	80	W56 (116, 120, 124, 128)
AP SE	80	W52 (36, 40, 44, 48)
AP SW	80	W53 (52, 56, 60, 64)

トを取得した。試行回数は wget, iperf3 とともに各試行ごとに 3 回とし, 全試行における平均スループットを求めた。

なお表 2 より, 今回の実験で用いた端末の無線 LAN 最大伝送速度 (物理層) は 1.3 Gb/s であるが, 事前実験として図 2 に示す構成で AP-335 の物理層の最大伝送速度を 1.733 Gb/s (160 MHz チャンネルボンディング) に設定し, 1 台の端末 (mbp15) からサーバ B まで iperf3 を用いて通信すると, そのスループットは 550 Mb/s 程度であった。よって 1 台の AP からの実効トラヒックは 1 Gb/s を超えないため, 今回の実験では 4 台の AP を収容する PoE Switch のアップリンクを 1 Gb/s を超えるトラヒックを送信する AP に見立てて, IEEE 802.3bz による増速効果を調査することにした。

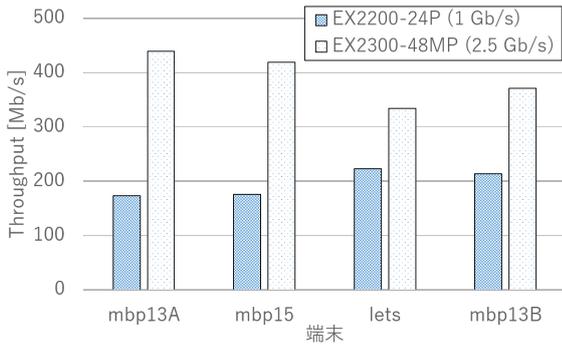


図 4 スループット特性 (wget)

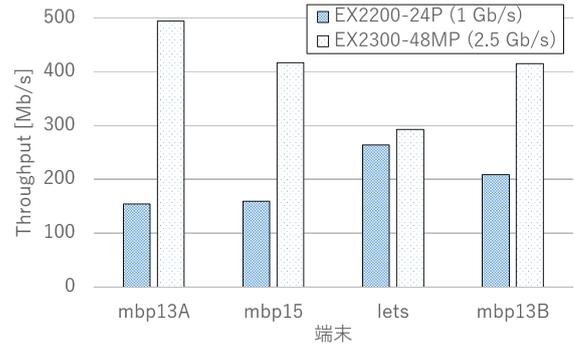


図 5 スループット特性 (iperf3)

3. 実験結果

本節では IEEE 802.3bz を用いた高速化の必要性と、IEEE 802.3bz PoE Switch によるスループットの高速化や多段接続時の相互接続性について調査した結果を述べる。

3.1 IEEE 802.3bz を用いた高速化

最初に PoE Switch に最大伝送速度が 1 Gb/s を超えるように設定した AP を複数台収容した場合の通信特性を調査した。図 2 に示す構成で AP を現行機種 EX2200-24P もしくは IEEE 802.3bz に対応する EX2300-48MP に収容し、wget と iperf3 によりスループット特性を計測した。なお PoE Switch からのアップリンクは現行環境では 1 Gb/s、EX2300-48MP では 10 Gb/s である。wget の結果を図 4 に、iperf3 の結果を図 5 に、また端末のスループットを合計した総スループットの平均と、サーバごとの内訳を表 5 に示す。

両図および表 5 より、EX2300-24MP の総スループットの平均は現行の EX2200-24P と比較して約 2 倍の 1.6 Gb/s となっている。この結果から、物理層の最大伝送速度が 1 Gb/s を超える設定を投入した AP を 3 台以上収容する PoE Switch では、総スループットは容易に 1 Gb/s を超えることが分かった。本実験では 80 MHz のチャンネルボンディングを設定しているが、隣接する AP でも同じチャンネルボンディング幅を用いるとすると、チャンネル重複による電波干渉を避けるためには図 3 より隣接する AP 数は 4 以下でなければならない。そこで本学の電波状況を調査した先行研究 [9] をみると、例えば AP 設置台数が一番多い飯塚キャンパスでは隣接 AP 数が 4 以下である AP は全体の約 40% を占めることが分かった。一元的な電波管理が必要ではあるが、半数近くの AP で 80 MHz のチャンネルボンディングを設定して高速化できる可能性があることが分かる。よって無線 LAN の高速化とそのトラフィック増大に対応するためには AP と Switch 間、及び Switch のアップリンクの高速化は不可欠であるといえる。

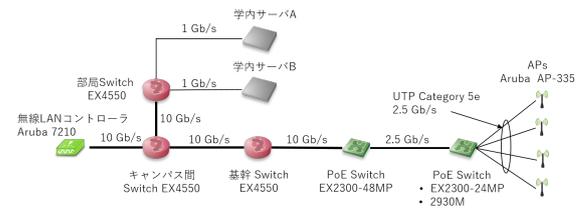


図 6 Switch 間接続に IEEE 802.3bz を用いた場合

3.2 IEEE 802.3bz Switch の多段接続

続いて 4 台の AP を収容する PoE Switch のアップリンクを 1 Gb/s を超えるトラフィックを送信する AP に見立てて、IEEE 802.3bz Switch を多段接続した場合について調査する。この際、図 6 に示すように同一メーカーの EX2300-48MP と EX2300-24MP だけでなく、異なるメーカーである EX2300-48MP と 2930M でも多段接続を行い、互換性についても確認した。取得した wget の結果を図 7 に、iperf3 の結果を図 8 に、また端末のスループットを合計した総スループットの平均と、サーバごとの内訳を表 6 に示す。

まず表 5 と 6 を比較すると、全実験を通してサーバ 1 台当たりのスループットが最も高いのは表 5 のサーバ A (EX2300-48MP 使用時) で、911 Mb/s である。過去の実験で 1 Gb/s の有線で接続されたサーバに対して iperf3 で通信したところ 943.7 Mb/s [11] を達成した実績がある。よって、本実験ではサーバ側の飽和によるボトルネックは発生していないと考えて良い。

次に図 7, 8 を比較すると、同一メーカーでも異なるメーカーでもスループットはほとんど差がなく、互換性に問題が無いことが分かる。また両図を AP を収容する Switch が EX2300-48MP でアップリンクが 10 Gb/s であった図 4, 5 と比較してもほとんど差が無い。よって、AP から到着するトラフィックが 2.5/5 Gb/s の最大伝送速度を超えない限り、PoE Switch からのアップリンク、または AP から PoE Switch 間の接続として IEEE 802.3bz は十分活用できるといえる。本学においても上流 Switch との接続に UTP を利用している箇所があるため、IEEE 802.3bz はアップリンクの高速化にも十分利用可能だと考える。

表 5 総スループット特性 [Gb/s]

	接続	総スループットの平均 [Gb/s]	内訳：サーバ A [Gb/s]	内訳：サーバ B [Gb/s]
wget	EX2200-24P	0.786	0.349	0.437
	EX2300-48MP	1.563	0.858	0.705
iperf3	EX2200-24P	0.785	0.313	0.472
	EX2300-48MP	1.619	0.911	0.708

表 6 総スループットの平均 [Gb/s]

	接続	総スループットの平均 [Gb/s]	内訳：サーバ A [Gb/s]	内訳：サーバ B [Gb/s]
wget	EX2300-48MP + EX2300-24MP	1.570	0.862	0.708
	EX2300-48MP + 2930M	1.566	0.863	0.703
iperf3	EX2300-48MP + EX2300-24MP	1.622	0.909	0.713
	EX2300-48MP + 2930M	1.578	0.875	0.703

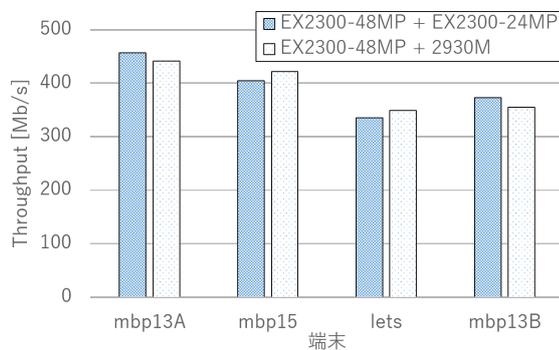


図 7 スループット特性 (wget)

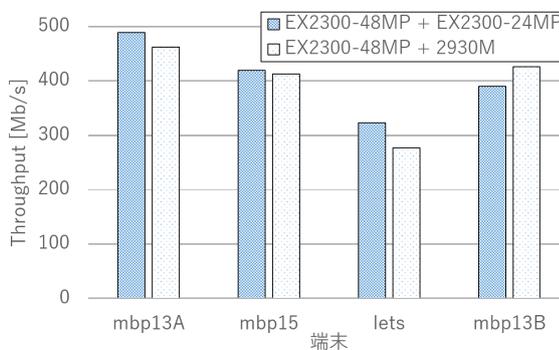


図 8 スループット特性 (iperf3)

4. まとめ

本稿では、AP と Switch 間の伝送速度を増速する手段として既設 UTP 配線をそのまま用いて高速化する IEEE 802.3bz に着目し、複数の 11ac 対応 AP を IEEE 802.3bz 対応 PoE Switch に収容した場合のスループット特性を調査した。まず初めに IEEE 802.3bz を用いた高速化の必要性を確認するため、物理層の最大伝送速度を 1.3 Gb/s とした AP を 4 台、現行機種である EX2200-24P と IEEE 802.3bz 対応機材である EX2300-48MP それぞれに収容した場合のスループット特性を調査し、複数台の 11ac 対応

AP を収容する Switch のトラフィックは容易に 1 Gb/s を超えることを示した。また、PoE Switch のアップリンクに IEEE 802.3bz を用い異なるメーカー間で接続しても相互接続性に問題無いことや、IEEE 802.3bz (2.5 Gb/s) 接続により総スループット特性が向上することを示した。11ac 対応 AP の物理層における最大伝送速度は今後も高速化しそれに合わせて実効トラフィックも 1 Gb/s を超えると予想できるため、IEEE 802.3bz は AP と PoE Switch 間、または PoE Switch のアップリンク接続の重要な選択肢となると考えられる。

謝辞

本実験を実施するにあたっては本学情報科学センター甲斐郷子准教授、飯塚キャンパス技術部職員の井上純一氏に協力頂いた。ここに謝意を表す。また、評価用機器を提供して頂いたジュニパーネットワークス社様、日本ヒューレット・パッカード株式会社様に心より感謝致します。

参考文献

- [1] IEEE : *IEEE Standard for Information technology-Telecommunications and information exchange between systems Local and metropolitan area networks- Specific requirements-Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications-Amendment 4: Enhancements for Very High Throughput for Operation in Bands below 6 GHz*, IEEE 802.11ac-2013 (2013).
- [2] IEEE : *IEEE 802.11-16/0024r1, Proposed TGax draft specification*, IEEE (2016).
- [3] Fujimura, N.: Bring your own computers project in Kyushu University, Proceedings of the 41st annual ACM SIGUCCS conference on User services, ACM, pp. 43-50 (2013).
- [4] 大学 ICT 推進協議会:2016 年度調査「BYOD を活用した教育改善に関する調査研究」, <https://axies.jp/ja/ict/2016survey> (access 2018-09-06).
- [5] 天野由貴: べた語義：国立大学のノートパソコン必携化と

その課題 -2 年目の BYOL-, 情報処理, Vol. 58, No. 2, pp. 130-134 (2017).

- [6] IEEE : *IEEE Standard for Ethernet Amendment 7: Media Access Control Parameters, Physical Layers, and Management Parameters for 2.5 Gb/s and 5 Gb/s Operation, Types 2.5GBASE-T and 5GBASE-T*, IEEE 802.3bz-2016 (2016).
- [7] 中村 豊, 福田 豊, 佐藤 彰洋 : 九州工業大学における全学セキュア・ネットワークの導入について, 情報処理学会技術研究報告 (インターネットと運用技術研究会), Vol. 2015-IOT-28, No. 20, pp. 1-6 (2015).
- [8] 福田 豊, 中村 豊, 佐藤 彰洋 : 九州工業大学・全学セキュアネットワーク導入における無線 LAN 更新, 情報処理学会技術研究報告 (インターネットと運用技術研究会), Vol. 2015-IOT-28, No. 21, pp. 1-6 (2015).
- [9] 福田 豊, 中村 豊 : 九州工業大学・全学セキュアネットワークにおける無線 LAN 利用について, 情報処理学会技術研究報告 (インターネットと運用技術研究会), Vol. 2016-IOT-32, No. 1, pp. 1-8 (2016).
- [10] Aruba : Aruba 330 Series Specification (online), available from (<https://www.arubanetworks.com/products/networking/access-points/330-series/>) (accessed 2018-09-06).
- [11] 福田 豊, 畑瀬 卓司, 富重 秀樹, 林 豊洋 : BYOD 環境整備に向けた無線 LAN 通信実験, 情報処理学会技術研究報告 (インターネットと運用技術研究会), Vol. 2018-IOT-40, No. 10, pp. 1-6 (2018).
- [12] 福田 豊, 畑瀬 卓司, 富重 秀樹, 林 豊洋 : BYOD による講義を想定した無線 LAN 通信実験, 情報処理学会研究報告, 情報処理学会第 80 回全国大会, 2D-01 (2018).