



IEEE 802.11ac Wave 2 アクセス ポイント パフォーマンス比較

Cisco Aironet 1852i

Aruba AP-325

Ruckus R710



DR151120C
2015 年 12 月

目次

1 - エグゼクティブ サマリー.....	3
2 - テスト対象製品.....	4
シスコ	6
Aruba.....	7
Ruckus.....	7
4 - テスト ベッドのセットアップ	9
5 - AP あたり 10 台から 100 台までクライアント数を増やした場合のクライアント密度.....	11
6 - マルチユーザ MIMO (MU-MIMO) とシングルユーザ MIMO (SU-MIMO) の比較.....	15
7 - ワイヤレス AP の 1+ Gbps リンク アグリゲーション (LAG) スループット	20
8 - 概要	22
9 - 独自の評価	23
10 - Miercom について	23
11 - 本レポートの使用について	23

1 - エグゼクティブ サマリー

Miercom は、シスコ、Aruba Networks、Ruckus Wireless の IEEE 802.11ac Wave 2 ベース WiFi アクセス ポイント (AP) の競合製品に関して独自に実践的な比較テストを実施しました。

このレポートでは、以下の項目で Wave 2 AP 比較テストの結果をまとめています。

- クライアント密度: AP あたりのクライアント数を 10 台から 100 台まで増加させながらダウンリンク スループットを測定。
- シングルユーザ MIMO とマルチユーザ MIMO: 802.11ac Wave 2 の特徴である MU-MIMO (マルチユーザ、多入力、多出力) 環境でのダウンリンク スループットとシングルユーザ (SU-MIMO) 環境でのダウンリンク スループットの比較。
- 1 Gbps+ リンク アグリゲーション: テストの結果、Wave 2 AP は 1 Gbps を超える総ダウンリンク スループットをサポートできることがわかりました。2 つの 1-Gbps LAG (リンク アグリゲーション) 接続でテストしました。

主な結果：

シスコの AP は、より低いコストで、Aruba、Ruckus のパフォーマンスに匹敵もしくは上回る	Cisco 1852i Wave 2 AP は、Aruba AP-325、Ruckus R710 に対し、ほぼすべてのテストで最も高いパフォーマンスを達成しました。シスコの表示価格は 300 ドルから 400 ドルで、Ruckus や Aruba より低価格であるにもかかわらずこの結果が認められました。
クライアント数が 100 台に近づくと、すべての AP でスループットが低下する	テストでは、クライアント数が 10 台から 100 台へ増えるにつれすべての AP のスループットが下がることがわかりました。このテストで最も性能の高かった AP は Cisco 3700 で、最も低かったのは Aruba AP-325 でした。低価格の Cisco 1852i、1832i および Ruckus R710 の性能は同程度でした。
シスコでは、クライアント数が 100 台に近づいても帯域幅を失うクライアント数が他より少ない	多くの WiFi クライアントでは、AP あたりのクライアント密度の増加につれて帯域幅が得られなくなります。このテストでは、シスコの低コストの AP が、Aruba や Ruckus よりも多くのクライアントの接続を維持しました (AP あたり 80 台から 100 台のクライアント)。
シスコの AP は、Aruba または Ruckus よりもマルチユーザ MIMO に適している	このテストでは、シングル ユーザ MIMO クライアントをマルチユーザ MIMO クライアントに置き換えスループットの違いを測定しました。優れた結果を出したのは Cisco 1852i です。古いシングルユーザ クライアントと新しい Wave 2 マルチユーザ MIMO クライアントを比較するとスループットがほぼ倍増しました。
1 Gbps 超の総スループットを実現したのは Cisco 1852i のみ	低価格の Cisco 1852i AP は現実的な環境において 1 Gbps 超の総ダウンリンク スループットを実現しました。一方、まったく同じ環境で、Ruckus R710 は 570 Mbps が限度で、Aruba AP-325 はわずか 350 Mbps でした。

Miercom は、シスコの低価格のアクセス ポイントと、Aruba Networks および Ruckus Wireless の同程度もしくは高価格の AP との主なパフォーマンス上の違いを独自に検証しました。Aruba、Ruckus と同程度もしくは上回るパフォーマンスを示したことで、Cisco 1852i WiFi アクセス ポイントに **Miercom Performance Verified** 認定を授与します。

Robert Smithers
CEO
Miercom



2 - テスト対象製品

Wave 2 とは、正式に承認された最新の IEEE 802.11 WiFi 仕様である IEEE 802.11ac 標準規格に沿うように作られた製品を示しています。このレポートには、代表的な Wave 2 ベースのアクセス ポイント (AP) に関して初めて独自に比較したパフォーマンス データが含まれています。

2012 年から 2013 年にかけてさまざまな WiFi 製品 (いくつかの試算で 200 製品を超える) が 802.11ac 仕様の最後の安定版ドラフトに準拠して開発され、市場に投入しています。この種類の製品群は、現在 Wave 1 と呼ばれます。802.11ac の正式な最終版の導入が 2013 年末に実施され、Wave 1 製品のベースである最後のドラフトには含まれていない追加の技術強化が行われました。802.11ac の最終の正式版適用バージョンに沿うように作られた製品は Wave 2 と呼ばれ、2014 年より出荷されています。

ユーザは、Wave 1 と Wave 2 が完全に相互運用すると想定してかまいません。Wave 2 製品のベースとなっている最終の公式な IEEE 802.11ac 仕様は、Wave 1 製品がベースとしているドラフト仕様の厳密な上位仕様であるためです。

802.11ac は IEEE 802.11 委員会が 1997 年から発行している WiFi 標準規格の最新の 6 つであり、それぞれが前のものよりも技術的に進化し、より高いパフォーマンスを可能とするものです。これらは、802.11a、b、g、n および最新の ac を含む WiFi 製品ラベルの元となっています。標準規格の進化には、距離、クライアント密度、および、ユーザにとって最も重要なステーションまたは AP ごとのスループットの機能改善があります。

下の図は、2009 年に導入された IEEE 802.11n の最新の WiFi 標準規格と、現在の 802.11ac Wave 1 および Wave 2 製品との間で、主な運用特性を比較したものです。

WiFi の進化: IEEE 802.11n ► 802.11ac Wave 1 ► 802.11ac Wave 2

製品がベースとしている規格	IEEE 802.11n	IEEE 802.11ac Wave 1	IEEE 802.11ac Wave 2
ベースとなる標準規格	2009 年 10 月に採用された標準規格	802.11ac の最終安定版ドラフト	2013 年 12 月に採択された標準規格
周波数帯域 (GHz)	2.4 および 5 (オプション)	5	5
チャンネル幅	20、40 MHz	20、40、80 MHz	20、40、80、80-80、160 MHz
多入力、多出力 (MIMO) サポート	シングルユーザ (SU-MIMO)	シングルユーザ (SU-MIMO)	マルチユーザ (MU-MIMO)、(2)
空間ストリーム数 (1)	2 ~ 4	3	3 ~ 4 (オプション)
変調 (直交振幅変調)	64 QAM (レート 5/6)	256 QAM (レート 3/4 および 5/6)	256 QAM (レート 3/4 および 5/6)
理論上のキャパシティ (PHY レート、空間ストリーム) (3)	450 Mbps	1300 Mbps	2600 Mbps

出典: Miercom。表は IEEE や Wikipedia など、さまざまな公開情報からの概要です。

注:

- (1) 空間ストリーム: サポート対象の送信および受信アンテナ数。空間ストリームが多いほどデータレートと距離が向上します。
- (2) MU-MIMO: マルチユーザ、多入力、多出力により、クライアント密度や、ビームフォーミング サポートを必要とするクライアントの同時サポート数が増加します。
- (3) 上記の理論上のキャパシティは PHY 率と次の設定に基づいています。
 - 802.11n: 空間ストリーム 1 つにつき 150 Mbps の空間ストリーム X 3、40 MHz チャンネル、400 ナノ秒ガード インターバル、5/6 レートでの 64-QAM 変調。
 - Wave 1: 空間ストリーム 1 つにつき 433.3 Mbps の空間ストリーム X 3、80 MHz チャンネル、400 ナノ秒ガード インターバル、5/6 レートでの 256-QAM 変調。
 - Wave 2: 空間ストリーム 1 つにつき 866.7 Mbps の空間ストリーム X 3、160 MHz チャンネル、400 ナノ秒ガード インターバル、5/6 レートでの 256-QAM 変調。

表に、製品に組み込まれた仕様の特性を示します。この仕様は必ずしも特定の標準規格による最大値を示しているわけではありません。たとえば、IEEE 802.11ac 標準規格では最大 8 つの空間ストリームが 802.11ac 準拠のデバイスでサポートされますが、Wave 2 製品でサポートされているのは、最大 3 つ、オプションで 4 つのダウンリンク空間ストリームです。

これはデータレートについても同様です。標準規格では、レイヤ 1 物理層もしくは PHY レベルで準拠製品のシグナリング サポートの関連データレートを指定します。しかし、これはユーザが使用する際のデータレートには一致しません。レイヤ 2 の MAC やイーサネット、レイヤ 3 の IP、レイヤ 4 の UDP や特に TCP などの物理レベルのオーバーヘッドによって実際に達成可能な有効データレートは少なくなります。さらに、予測される最大データレートでは通常、他の電磁的な異常や干渉のない完全な WiFi 環境が想定されていますが、実際にはそうした環境はほとんどありません。

要約すると、Wave 1 およびそれ以前の WiFi 標準規格ベースの製品と比べ、Wave 2 には 4 つの主な利点があります。

- (1) 高いデータレート: 5 GHz バンドで最大 2.6 Gbps
- (2) マルチユーザ MIMO (多入力、多出力) のサポート
- (3) 160-MHz チャンネル幅のサポート (データレート向上の鍵であり、基本的に Wave 1 の 2 倍になる)
- (4) 4 つの空間ストリーム: Wave 1 ベース製品の 3 つに対し、4 つの送信および受信アンテナをサポート。

IEEE 802.11ac が最後の WiFi 標準規格となるか、という疑問に対しては、ワイヤレス技術は常に前進しているのでその可能性はほとんどない、というのが答えです。すでに、いくつかの 802.11 の別の委員会が将来の WiFi の標準規格の開発に携わっており、あらゆる点から考えて、より高いデータレート、密度、距離が実現するでしょう。より高い周波数 - IEEE 802.11ac の 5 GHz バンドを超えるものが、将来の WiFi 標準規格として注目されています。同様に最大 100 Gbps のデータレートも挙げられます。

市場に投入された Wave 2 ワイヤレス アクセス ポイント (AP) の第 1 世代は、屋内での導入を想定してきました。同じ IEEE 802.11ac Wave 2 仕様に基づいた屋外用製品も現在出荷されています。しかし、今回のテストでは、業界をリードするシスコ、Aruba、Ruckus のより成熟した屋内 AP のパフォーマンスを比較することにしました。

テストに使用された具体的なモデルの詳細については、以下で説明します。

シスコ

Cisco Aironet 1850 (モデル 1852i をテスト) は、現在、市場で最も低価格 (表示価格 \$ 995) で最も高性能の 802.11ac Wave 2 AP とされています。テスト結果は、こうした評価を支持する傾向にあります。中規模企業やサービス プロバイダー ネットワークを主な対象にした AP は、シスコのワイヤレス コントローラ の大半でサポートされています。テストで使用した CT5520 でもサポートされており、Catalyst 6500 や 3650/3850 モジュラ スイッチ用の最新のワイヤレス モジュールも同様です。

Cisco 1850 は、80 MHz チャンネルをサポートし、多入力多出力 (MIMO) 運用や、シングルユーザ MIMO 用の 4 つの空間ストリームでの 4 X 4 MIMO をサポートします。3 つの空間ストリームが、Wave 2 のマルチユーザ MIMO モードでサポートされます。後方互換性については、AP は IEEE 802.11 a、g、n のデバイスを同時にサポートします。



Cisco 1850

ハイエンド AP での Aironet 1852i のパフォーマンスを比較するため、シスコのハイエンド Aironet 3700 シリーズの 1 つであるモデル 3702i が含まれました。3702i Wave 1 AP は、3 つの空間ストリームを備えた 4 X 4 MIMO、80-MHz チャンネル、シスコ高密度エクスペリエンス (HDX) による最大 1.3 Gbps の PHY データレートをサポートします。HDX は、厳しい高密度環境においてパフォーマンスの向上を可能にするテクノロジースイートです。無線のサポートでは、802.11a、b、g、n デバイスとの後方互換性を備えています。

Aruba

テスト対象の Aruba のアクセスポイント、AP-325 は Aruba AP-320 シリーズのモデルの 1 つで、統合アンテナを装備しています。AP の表示価格は \$400 から \$1,395 の範囲で、シスコの 1852i よりも高価です。



Aruba AP-325
内蔵アンテナ装備モデル

Aruba AP-325 の無線は IEEE 802.11 a、b、g、n、さらに 802.11ac Wave 2 もサポートします。Wave 2 環境では、AP-325 は 3 つの空間ストリームでの 4 X 4 マルチユーザ MIMO (MU-MIMO)、シングルユーザ MIMO (SU-MIMO) での 4 つの空間ストリームをサポートします。デバイスには、全方向性ダウンチルト統合アンテナが 8 つ含まれます。

Ruckus

Ruckus ZoneFlex R710 アクセスポイントがこの比較パフォーマンステストのために選択されました。R710 の表示価格は \$300 から \$1,295 の範囲で、Cisco Aironet 1850 よりも高価です。他のテスト対象の AP と同様に、R710 はシングルユーザおよびマルチユーザでの運用 (SU-MIMO と MU-MIMO) をサポートします。4 つの空間ストリームがシングルユーザ MIMO でサポートされており、Wave 2 マルチユーザ MIMO で 3 つの空間ストリームがサポートされています。他のテスト対象の AP と同様に、R710 もこれまでのすべての主要な WiFi 仕様をサポートしています。

Ruckus R710
内蔵アンテナ装備モデル



次の表に、各ワイヤレス コントローラと連携するテスト対象 Wave 2 AP の特徴的な機能の詳細を示します。

表 1: テスト対象の企業向け屋内 Wave 2 アクセス ポイント

	Aruba AP-325	Ruckus R710	Cisco AP 1832i	Cisco AP 1852i	Cisco AP 3702i
最大 PHY データ レート(5 GHz バンド を使用)	1.7 Gbps	1.7 Gbps	870 Mbps	1.7 Gbps	1.3 Gbps
Wave 2 RF 設計 (SU-MIMO および MU-MIMO)	4 X 4:4SS SU-MIMO	4 X 4:4SS SU-MIMO	3 X 3:2SS SU-MIMO	4 X 4:4SS SU-MIMO	4 X 4:3SS SU-MIMO
	4 X 4:3SS MU-MIMO	4 X 4:3SS MU-MIMO	3 X 3:2SS MU-MIMO	4 X 4:3SS MU-MIMO	N/A
表示価格(1)	\$1,395 (4 X 4:4SS)	\$1,295 (4 X 4:4SS)	\$695 (3 X 3:2SS)	\$995 (4 X 4:4SS)	\$1,495 (4 X 4:3SS)
テスト対象コント ローラおよびソフト ウェア リリース	Aruba 7240 v6.4.4.1	Ruckus ZD3000 v9.1.12.1.0.148	Cisco CT5520 V8.1.131.0	Cisco CT5520 V8.1.131.0	Cisco CT5520 V8.1.131.0

(1)ベンダーの公開価格に基づく。

注:

SS: 空間ストリーム

SU-MIMO: シングルユーザ、多入力多出力

MU-MIMO: マルチユーザ、多入力多出力、802.11ac クライアント独自機能。AP が複数の Wave 2 クライアントへ同時に送信できる。

3 X 3、4 X 4:3 X 3 MIMO では、AP は 3 つのアンテナと無線からなり、3 つの個別ストリームで送受信が可能。4 X 4 AP では、4 つのアンテナと無線があり、4 つのストリームで送受信が可能。

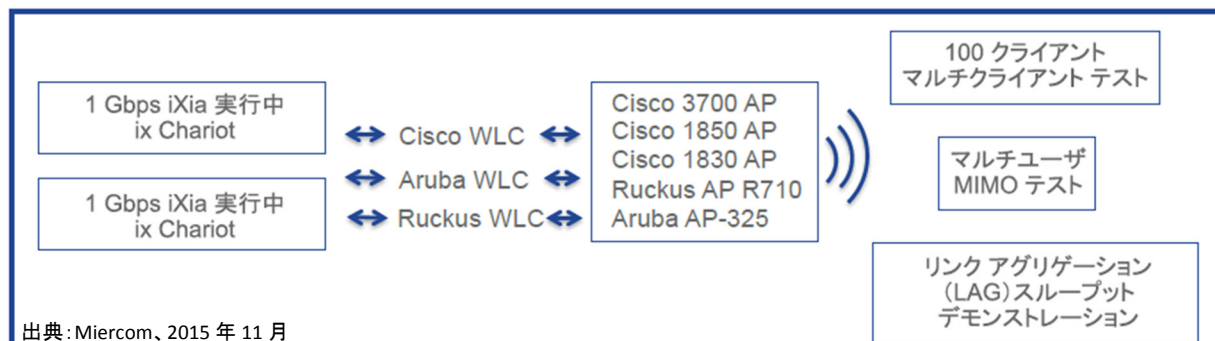
4 - テスト ベッドのセットアップ

テスト対象の Wave 2 アクセス ポイントはすべて屋内モデルです。Wave 2 製品の最初の世代は、屋内導入が想定されていましたが、現在では、屋外使用目的の Wave 2 モデルも出荷されています。

ラボはワイヤレス製品のテスト向けに特別に設計されました。大規模な屋内ラボが実際の大規模なオフィス環境を再現します。変動要因を最小化するために、競合各社の AP のすべてのテストが同じ室内で実施されました。1 度に 1 台の AP だけが有効にされ、同じクライアントが配置された状態ですべての AP がテストされました。

テスト ベッド構成には、天井に装着されたワイヤレス アクセス ポイントが 2 つ含まれ、それに対してギガビット イーサネット銅線リンクが 2 本配線されました。AP は吊り天井の下に取り付けられ、各テストでは 1 度に 1 台の AP のみが有効にされました。ワイヤレス LAN コントローラ(WLC)も、シスコ、Aruba、Ruckus 用に用意され、ベンダーのベスト プラクティスと公式に利用可能な最新のソフトウェアを使用して適切に導入されました。

テスト ベッドには Ixia テスト システム (www.ixiacom.com/ 参照) も 2 つ含まれ、それぞれがフルにギガビット/秒のカスタム テストトラフィックを提供できます。テストには主に TCP トラフィックが使用され、各クライアントとテスト システムとの関連付けには、IP アドレスのペアが使用されました。2 つの Ixia テスト システムではいずれも、各 AP とクライアントのワイヤレス デバイス(AP 経由)に 2 Gbps をフルに配信できました(下のテスト ベッド図を参照)。ほとんどのテストでは、最大 1 Gbps のテストトラフィックを配信するテスト システム 1 つで十分でした。「リンク アグリゲーション」のテストには、1 Gbps を超えるスループットを集約するために、2 つの Ixia システムが 1 台の AP に接続されました。



Ixia テスト システムは 2 つとも IxChariot を実行しました。IxChariot は、カスタム テストトラフィックの定義や生成を行う、GUI を備えたスクリプト駆動アプリケーションです。1 時点で 1 台の AP のみが接続してアクティブで有効になっていました。すべてのテスト用のクライアントが、ラボの部屋全体に広がり、すべての AP が特定のテストを完了するまで、同じ場所にありました。特定のテスト ケースに必要なクライアントだけで WiFi が有効にされ、接続されました。

IxChariot のスクリプトは、各テスト ケースの標準スループット テスト実行用に記述されました。各テスト用のトラフィックは、テストに応じて 60 秒から 120 秒の間送信され、複数の IxChariot の実行に対し、平均スループットが計算されました。このレポートに含まれるスループットの測定結果はすべて、テスト対象の AP を通過する総ダウンリンク スループットです。

事前試験の実行結果が各テストにおける基準として使用されました。スループットテストでその基準を下回る結果が出た場合にテストを再実行することができるため、事前試験は有効でした。

以下の図は、Cisco 1852i アクセス ポイントのテスト時の IxChariot のスクリーン ショットのサンプルです。30 台のマルチユーザ MIMO の各クライアントに対するスループットが測定されました。このスクリーンショットで、最下部に示されているスループットのモニタリング レベルは、テスト実行中の 60 秒間に取得されたものです。

Test Setup Throughput Transaction Rate Response Time Raw Data Totals Endpoint Configuration										
Group	Pair Group Name	Run Status	Timing Records Completed	95% Confidence Interval	Average (Mbps)	Minimum (Mbps)	Maximum (Mbps)	Measured Time (sec)	Relative Precision	
■ All Pairs			485		84.039	0.332	21.220			
■	Pair 1 No Group	Finished	11	-0.531 : +0.531	1.919	1.181	4.454	45.849	27.674	
■	Pair 2 No Group	Finished	12	-0.549 : +0.549	2.094	1.268	4.619	45.854	26.219	
■	Pair 3 No Group	Finished	5	-0.784 : +0.784	2.398	1.745	3.416	16.678	32.674	
■	Pair 4 No Group	Finished	21	-2.295 : +2.295	3.802	0.580	12.442	44.186	60.353	
■	Pair 5 No Group	Finished	13	-0.869 : +0.869	2.318	0.829	4.449	44.864	37.491	
■	Pair 6 No Group	Finished	23	-0.562 : +0.562	3.999	2.368	7.401	46.010	14.061	
■	Pair 7 No Group	Finished	27	-0.937 : +0.937	6.884	3.635	11.331	31.378	13.611	
■	Pair 8 No Group	Finished	67	-0.789 : +0.789	11.648	5.457	21.220	46.016	6.778	
■	Pair 9 No Group	Finished	11	-1.220 : +1.220	1.985	0.562	5.402	44.342	61.480	
■	Pair 10 No Group	Abandoned	29	-3.479 : +3.479	6.962	0.907	13.378	33.324	49.974	
■	Pair 11 No Group	Finished	56	-0.753 : +0.753	9.753	5.384	15.842	45.935	7.716	
■	Pair 12 No Group	Finished	15	-0.917 : +0.917	2.622	0.938	6.431	45.780	34.975	
■	Pair 13 No Group	Finished	15	-0.891 : +0.891	2.613	1.257	9.901	45.933	34.103	
■	Pair 14 No Group	Finished	35	-0.988 : +0.988	8.682	4.253	15.180	32.249	11.382	
■	Pair 15 No Group	Finished	28	-1.102 : +1.102	4.881	1.547	8.801	45.891	22.584	
■	Pair 16 No Group	Finished	10	-1.919 : +1.919	1.754	0.332	6.661	45.619	109.402	
■	Pair 17 No Group	Finished	50	-0.808 : +0.808	8.699	3.867	17.467	45.981	9.288	
■	Pair 18 No Group	Finished	27	-1.425 : +1.425	4.887	1.266	9.709	44.113	29.100	

テスト ケース

実行されたテスト ケースについては、以降のセクションで詳しく説明します。それぞれに各 AP のダウンリンク スループットが集約され、慎重に評価、報告されました。以下がテスト ケースです。

1. クライアント密度。10 台から 100 台までクライアント数を増やして測定
2. マルチユーザ MIMO (MU-MIMO) とシングルユーザ (SU-MIMO) の比較
3. ワイヤレス AP の 1+ Gbps リンク アグリゲーション (LAG) スループット

5 - AP あたり 10 台から 100 台までクライアント数を増やした場合のクライアント密度

テストの目的

クライアント数が 10 台から 100 台まで増加してクライアントの負荷が拡大する際の各 AP のパフォーマンスを測定します。また、テスト中にデータの送信に失敗したアクティブ（稼働中）クライアントの数も確認します。

テスト方法

WiFi クライアント デバイス 100 台による実際の環境を想定した組み合わせを用意しました。詳細は以下です。

クライアントデバイス	合計数	WiFi サポート、空間ストリーム数、MIMO サポート	最初の 10 ステーションの設定数	10 ステーション単位の追加数
MacBook Pro	10	802.11n、3SS、SU-MIMO	1	1
iPad Air	10	802.11n、2SS、SU-MIMO	1	1
Dell E6430 (Broadcom 43460 搭載)	10	802.11ac、3SS、SU-MIMO	1	1
MacBook Pro	20	802.11ac、3SS、SU-MIMO	2	2
MacBook Air	20	802.11ac、2SS、SU-MIMO	2	2
Dell E6430 (Intel 7260 搭載)	30	802.11ac、2SS、SU-MIMO	3	3

クライアント デバイスは、以下に示すように、部屋全体のテーブルに置かれ、異なる種類が均等に分散されました。



均等に分散。クライアントは、AP を中心に 3 m (10 フィート) から 13.7 m (45 フィート) の範囲のテーブルの上に展開されました。



テスト施設の全景を上に示します。上に示されているように、AP が吊り天井の下に設置されました。

スループットを最大化するために、AP はすべて 80 MHz チャンネルに設定されました。テスト環境下では、クライアント デバイスはすべて AP から 3 m ~ 13.7 m の位置に置かれました。5 GHz バンド (70 %) と 2.4 GHz バンド (30 %) で動作しているクライアントの比率が、テスト中常に 70/30 になるよう維持されました。

ダウンリンク TCP スループット

Ixia IxChariot テスト システムは、テスト環境のアクセス ポイントに GE (1 Gbps イーサネット) リンクで TCP トラフィックを配信できるように設定されました。AP からアクティブな各クライアント デバイスへも同様に配信されます。各 AP は RJ-45/銅線 GE リンクを 2 回線サポートしています。

上のクライアントの表に一覧で示されているように、複数のテストが、最初に 10 台のクライアント デバイスで実施されました。そして、そのグループでのテストが終了すると、次の 10 台のアクティブ クライアントが各テスト セットに段階的に追加され、100 台のクライアント デバイスのすべてでテストが完了するまで実施されました。

IxChariot によって、テストごとに個々のクライアントと総ダウンリンク TCP スループットが測定されました。その後、IxChariot の 3 回のテスト結果の平均が、各クライアントの負荷レベルごとに算出されました。

障害の発生したクライアントおよび AP

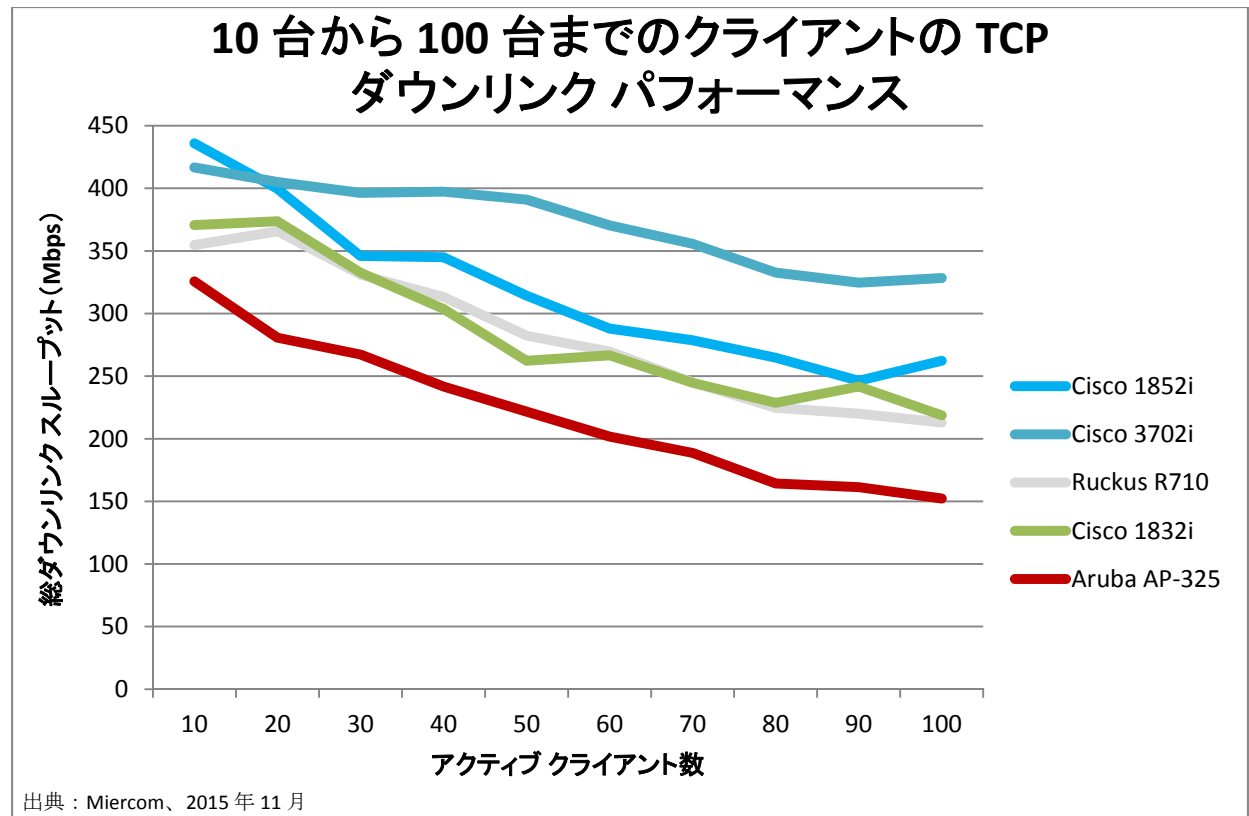
テスト中に、結果に影響を与える 2 種類の障害に対応しなければなりません。その障害とは、1) クライアントの障害と 2) AP の障害です。

いくつかのテストでは、1 つまたは複数のクライアントがネットワーク接続を失う場合があります (DHCP の障害などが原因)。これらのクライアントはテスト中やテスト後に ping に応答できなくなっていました。このような「クライアント障害」が発生した場合、全体的な総スループットが想定値よりも低くなります。このような場合には、障害が発生したクライアントへのワイヤレス接続が再確立され、テストが再実行されます。

他の場合では、1 台以上のクライアントが ping に応答はするものの、テスト中に AP を通じてデータ パケットを送信することが一切できなくなりました。このような AP の障害は、ほとんどの場合、AP がすべてのクライアントに対して帯域幅を共有していないことが原因です。これらは実際の状況の WiFi ネットワークで発生するものです。特に高クライアント密度環境で起こりやすくなります。このような帯域幅のないクライアントの発生が記録されており、これらのクライアントでは、データの送受信がなされていませんでした。(これらのテストで送信されたトラフィック タイプである TCP では、データが転送される前に、通信セッションの両端がアクティブで送受信できる状態にあることが保証されます。そのため、IxChariot テスト システムでは、テスト中にデータを送受信できなかったクライアントを容易に特定することができました)。

結果

下のグラフは、クライアント密度が最大 100 台まで 10 台ずつ増加する場合の、テスト対象の AP の総ダウンリンクスループットの変動を示しています。



ハイエンドの Cisco AP のパフォーマンスを示すため、Cisco 3702i がこれらのテストに含まれました。

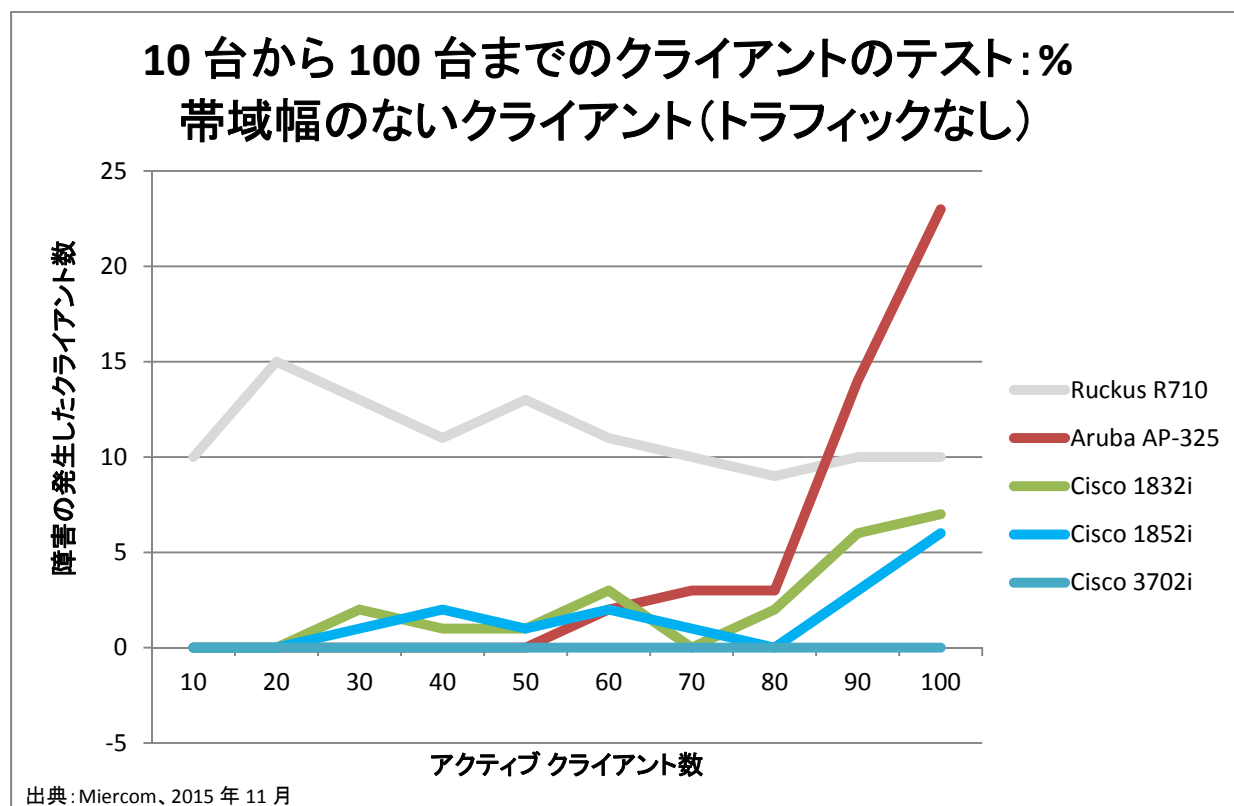
複数のクライアント、周波数帯域、IEEE 802.11 テクノロジーを組み合わせた現実的な状況において、Cisco 1852i AP は Ruckus R710 または Aruba AP-325 よりも高いパフォーマンスを示しました。

クライアント数が増えるにつれ、テストしたすべての AP で平均スループットが全体的に若干減少します。ただし、シスコの AP では、他よりも低価格の 1852i でもクライアント密度に関して同等のパフォーマンスを実現しています。

障害の発生したクライアント

前述したとおり、1 台以上のクライアントがテスト中やテスト後に ping に応答できるものの、テスト中にデータ送信または受信をしていないケースが記録されました。これらは、おそらく AP がすべてのクライアントに対して帯域幅を共有できなかったものであると考えられ、「帯域幅のないクライアント」として判断されました。

以下の図は、スループットテスト時に、1 台以上のクライアントが送信または受信しなかった時点を示しています。これらは複数のテストの平均で、AP ごとにそれぞれのクライアント密度レベルにおける「帯域幅のない」クライアントのパーセンテージで示されています。



この図によれば、シスコの 3 つの AP の結果がよく、各クライアント数に渡って帯域幅を適切に共有できしており、クライアント数が 100 台に近くなっても変化はありません。

テスト実施時の大半で帯域幅のないクライアントが 1 台以上生じる傾向のある Ruckus R710 を除いて、他の AP では、アクティブ クライアントが少なくとも 30 台になるまでは障害は生じませんでした。Aruba AP-325 では、アクティブ クライアントが 80 台を超えるまでは、この点に関して非常によいパフォーマンスを示しています。クライアントが 80 台を超えると、Aruba AP-325 では、帯域幅のないクライアント数のパーセンテージが急増します。

ハイエンドの Cisco Aironet 3702i では、100 台の同時アクティブ クライアント間での帯域幅の共有においても、優れた能力を発揮することが確認されました。3702i AP のテストでは、どのスループットテストにおいても「帯域幅のないクライアント」が発生する状況は 1 件も確認されませんでした。

6 - マルチユーザ MIMO (MU-MIMO) とシングルユーザ MIMO (SU-MIMO) の比較

テストの目的

多入力、多出力 (MIMO) 機能は、802.11n と Wave 1 製品でサポートされてきましたが、シングルユーザ モード (SU-MIMO) の場合だけでした。ただし、マルチユーザ MIMO は Wave 2 の新機能で、Wave 1 製品ではサポートされていません。MU-MIMO が機能するには、AP とクライアント デバイスのいずれも MU-MIMO をサポートしていることが必要です。MU-MIMO は AP からクライアントへのダウンストリーム データ配信で動作し、AP が複数のクライアント デバイスへ同時に送信できるようになります。

このテストでは、シングルユーザ MIMO にはない、マルチユーザ MIMO のスループット上の利点を示します。テストは 10 台の SU-MIMO クライアントから始まり、その後、1 台ずつ MU-MIMO クライアントに置き換えられます。帯域幅の上昇は各 AP ごとに表示されます。

2 番目のテストの目的は、MU-MIMO のクライアント負荷の増加を、それぞれの AP がどう処理するかを示すことでした。これを行うには、各 AP ごとに 10 台の MU-MIMO クライアントでスループットテストを実行し、次に 20 台の MU-MIMO クライアントへと増やし、最終的には 30 台に増加させます。

テスト方法

これらのテストのスループット上昇のメトリックによって、10 台のクライアントで実現される総 TCP ダウンリンク スループットが、MU-MIMO の場合と SU-MIMO の場合でどれほど違ってくるかがわかります。2 番目のテストでは、前述したとおり、10 台、20 台、30 台のクライアントでのダウンリンク TCP スループットの比較を行います。同じ条件で、最初は MU-MIMO を無効にした状態で実施し、次に MU-MIMO を有効にして実施します。

前述のように、テストトラフィックは Ixia IxChariot テスト システムで生成、測定されました。

1 台ずつ MU-MIMO に置き換え

まず、各アクセス ポイントでは、10 台のシングルユーザ MIMO クライアント (10 台の iPhone 6s、それぞれ 1 つの空間ストリームをサポート) のスループットがテストされます。次に、SU-MIMO クライアント 1 台を MU-MIMO クライアント 1 台に置き換え、再びスループットを測定します。10 台のクライアントすべて (Acer Aspire E15 10 台) が MU-MIMO になるまで置き換えられます。

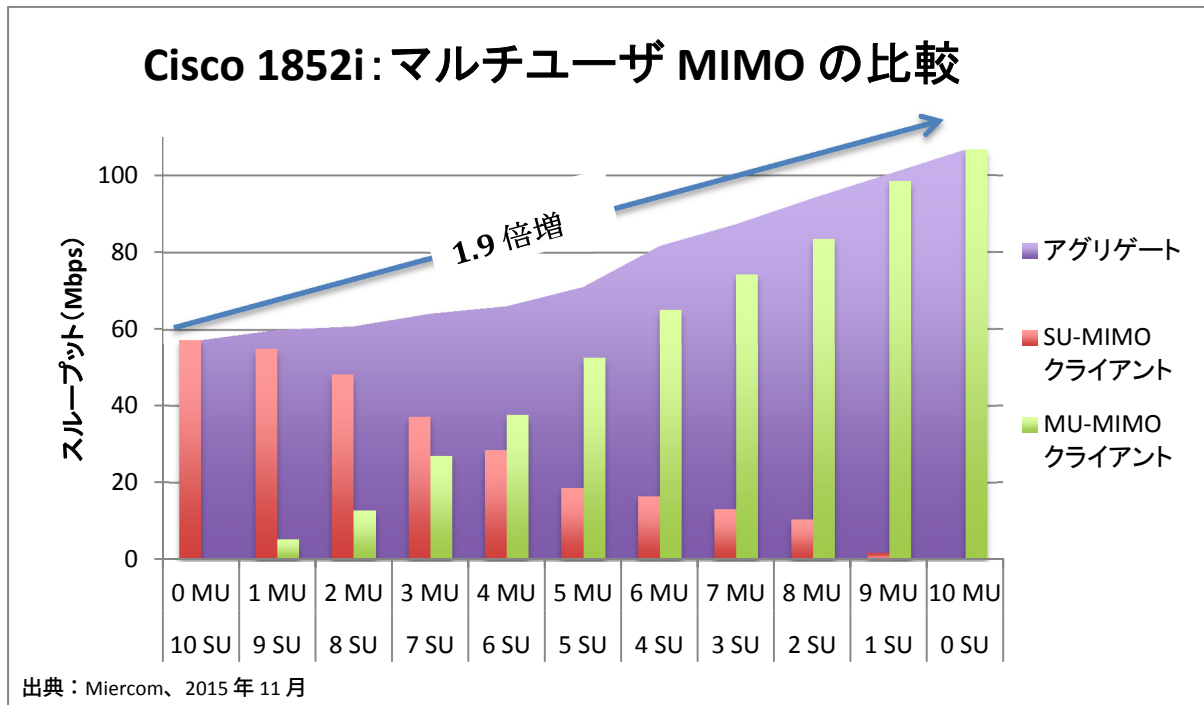
AP は 20 MHz チャンネルに設定されました。トラフィックは TCP で、総ダウンリンク スループットが測定されました (MU-MIMO と SU-MIMO の運用に最も適した環境)。

数量	クライアント タイプ	WiFi タイプ	MU/SU MIMO
10	Acer Aspire E15 ラップトップ	802.11ac、1 つの空間ストリーム	MU-MIMO
10	iPhone 6 スマートフォン	802.11ac、1 つの空間ストリーム	SU-MIMO

テスト上の注意: iPhone 6 SU-MIMO クライアントで動作する Aruba AP-325 が入手できなかったため、Aruba AP のテストでは、MU-MIMO が無効化された Acer のラップトップで代用しました。今回のテストでは、いずれも SU-MIMO モードで動作する iPhone 6 と Acer E15 の 2 つのクライアントでパフォーマンスが同等であることが判明しました。

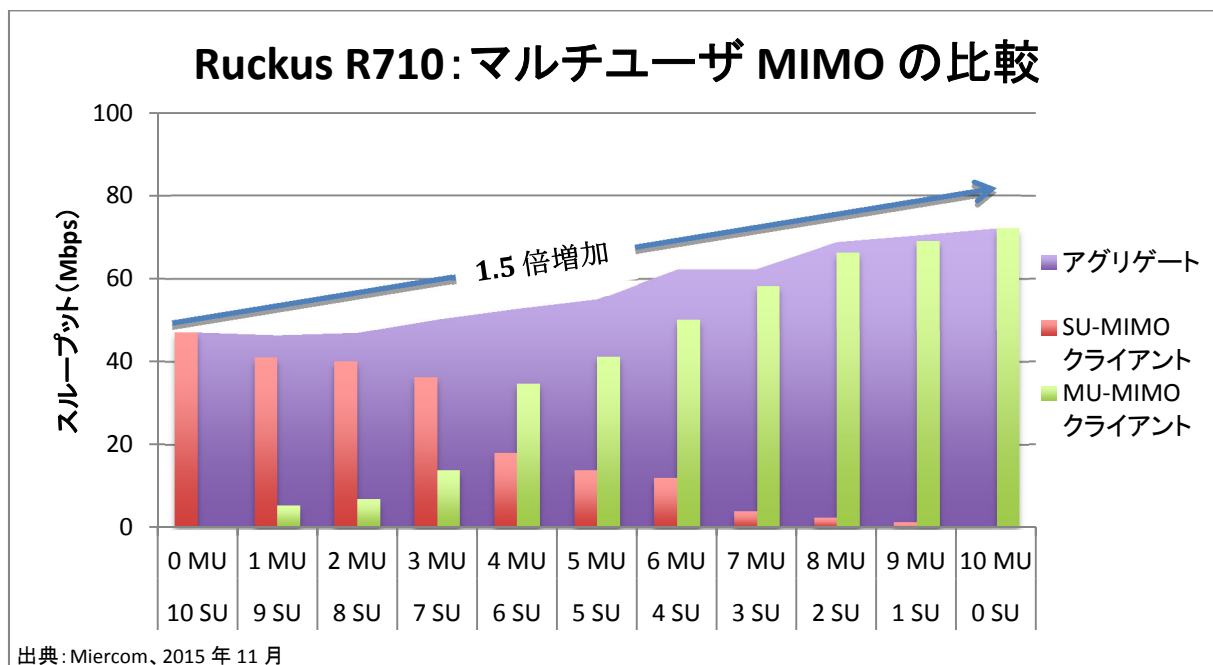
結果

テスト対象のアクセスポイントのほとんどで MU-MIMO の効果が明らかになりました。最初のケース（下のグラフを参照）では、Cisco Aironet 1852i AP でのダウンリンクスループットは、10 台のクライアントがシングルユーザ MIMO で動作する場合に対して、マルチユーザ MIMO モードで動作する場合でほぼ倍増しました。

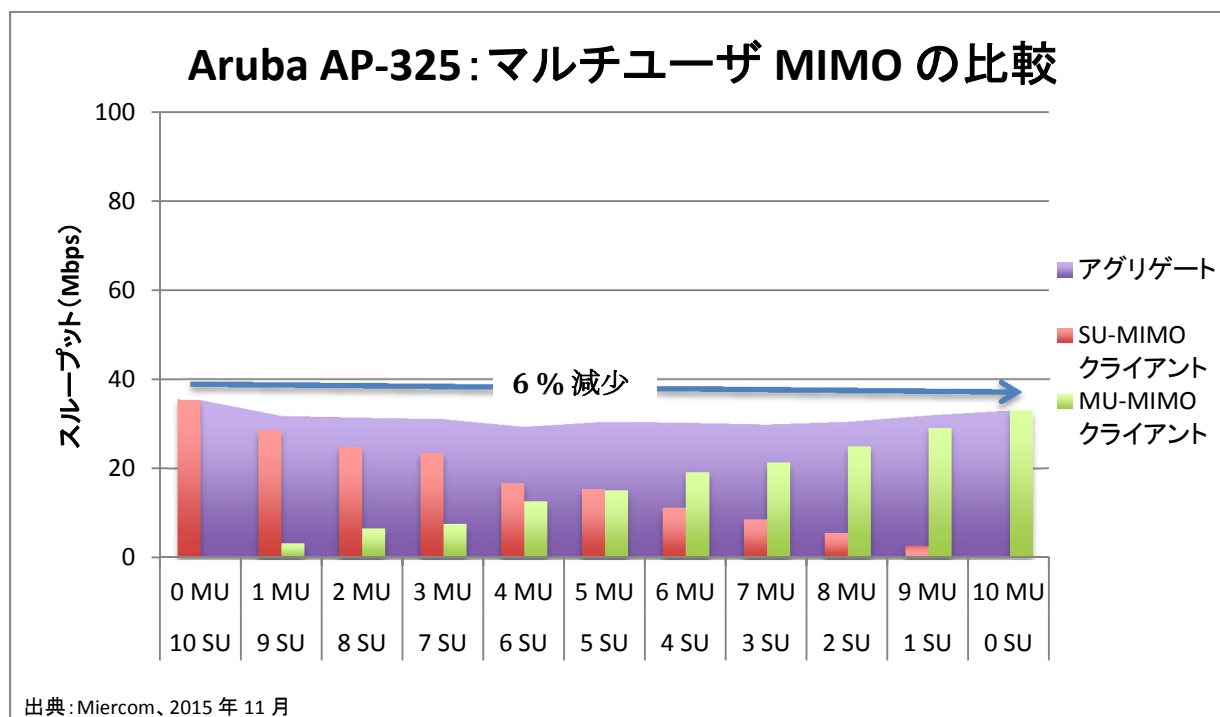


テストでは、Cisco 1852i AP は、Wave 2 のマルチユーザ MIMO を実行している 10 台のクライアントの総ダウンロードスループットで、シングルユーザ MIMO の時と比べ 86 % の改善したことがわかりました。

Ruckus R710 は、MU-MIMO で 53 % の上昇に相当する成果を達成しました。

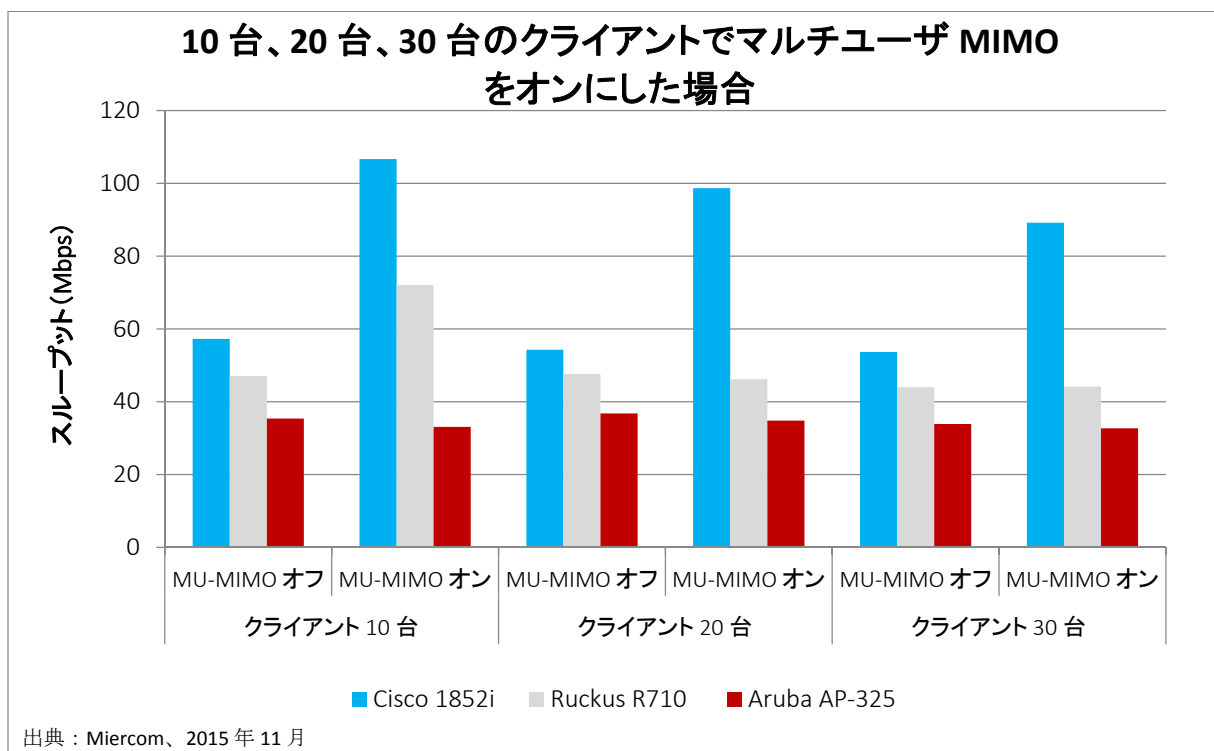


Aruba AP-325 の総スループットでは MU-MIMO でわずかな減少が見られました(下を参照)。



30 台まで MU-MIMO クライアントを増加した場合

最初のテストでは、10 台の MU-MIMO クライアント(Acer Aspire E15 ラップトップ)で終了しました。その後、スループットテストが繰り返され、各 AP に MU-MIMO クライアントが 20 台の場合と 30 台の場合で実施されました。クライアントはすべて Acer Aspire E15 ラップトップで、それぞれ、1 つの空間ストリームで動作しています。テストの目的は、クライアント密度が 2 倍、3 倍となった時に、MU-MIMO スループットのパフォーマンスがどうなるかをみることです。



上記のグラフでは、AP のパフォーマンスにおいて相違がみられました。1 つの空間ストリームで動作する同じクライアント数(最初が 10 台、次に 20 台、さらに 30 台の Acer Aspire E15 ラップトップ)の場合の総ダウンリンク TCP スループットの違いです。スループットは、最初にマルチユーザ MIMO サポートを無効化したラップトップで測定されました。その後、MU-MIMO がすべてのクライアントで有効化され、2 回目のスループットテストが実行されました。これらのテストの個々の結果を下の表に示します。すべての値は Mbps です。

	MU-MIMO 設定	Cisco 1852i	Ruckus R710	Aruba AP-325
クライアント 10 台	オフ	57.3	47.1	35.4
	オン	106.7	72.1	33.1
クライアント 20 台	オフ	54.3	47.6	36.8
	オン	98.7	46.2	34.8
クライアント 30 台	オフ	53.7	44.0	33.9
	オン	89.2	44.2	32.7

MU MIMO ベースのパフォーマンスが最も高かったのはシスコの 1852i AP でした。10 台のラップトップクライアントの総ダウンリンク TCP スループットで 106 Mbps を達成しています。これは、20 台のクライアントではわずかに下がり 98 Mbps になります。30 台のクライアントでは 89 Mbps です。より多くのクライアントの間で利用可能な帯域幅が共有されています。

Ruckus R710 AP では、MU-MIMO のスループットはそれぞれ、10 台のラップトップクライアントのクラスターで 72 Mbps、20 台で 46 Mbps、30 台で 44 Mbps となりました。Aruba の MU-MIMO のスループットは、シングルユーザ MIMO の場合とほとんど変わりませんでした。シングルユーザ MIMO の場合でもマルチユーザ MIMO の場合でも、またクライアント数が 10 台、20 台、30 台のいずれでも、33 ~ 37 Mbps の範囲に収まりました。

前のテストで示されたとおり、クライアントがシングル ユーザ MIMO からマルチユーザ MIMO に変わった場合に最もスループットの増加が大きいのが Cisco 1852i であることがわかりました。Ruckus R710 はわずかに劣っています。

興味深いことに、MU-MIMO クライアント数の増加に伴い、すべての AP で総ダウンリンク スループットがわずかに減少しました。例外は Aruba で、すべてのテスト ケースにおいて比較的低い状態ながら総ダウンリンク スループットが一定でした。

7 - ワイヤレス AP の 1+ Gbps リンク アグリゲーション (LAG) スループット

テストの目的

特定の条件下における 802.11ac Wave 2 準拠のアクセス ポイントで 1 Gbps を超える実スループットが可能かを確認します。

テスト方法

このテストは次の 2 台のクライアントのみを使用して実施されました。

- 3 空間ストリーム (3SS) MacBook Pro 1 台、シングル ユーザ MIMO ラップトップ、2.4 GHz バンドで接続
- Linksys EA8500 ワイヤレス ルータと有線接続された Dell E5540 ラップトップ 1 台、4 空間ストリーム (4SS) として動作可能、マルチユーザ MIMO クライアント機能、5-GHz チャンネル経由で接続

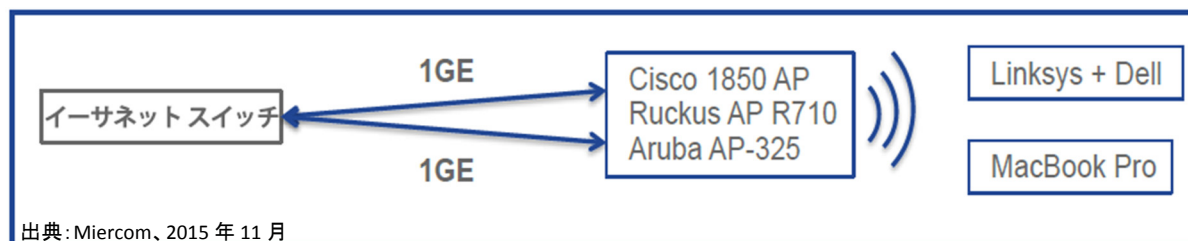
AP チャンネル幅は、Dell/Linksys クライアントへの 5-GHz チャンネルのスループットを最大化するように 80 MHz に設定されました。

ワイヤレスで 1 Gbps 超スループットが実現できるかをテストするクライアント

数量	クライアント タイプ	WiFi タイプ	MU/SU MIMO
1	Dell E5540 ラップトップと有線接続された Linksys EA8500	11ac、4 SS	MU-MIMO
1	MacBook Pro	11ac、3 SS	SU-MIMO

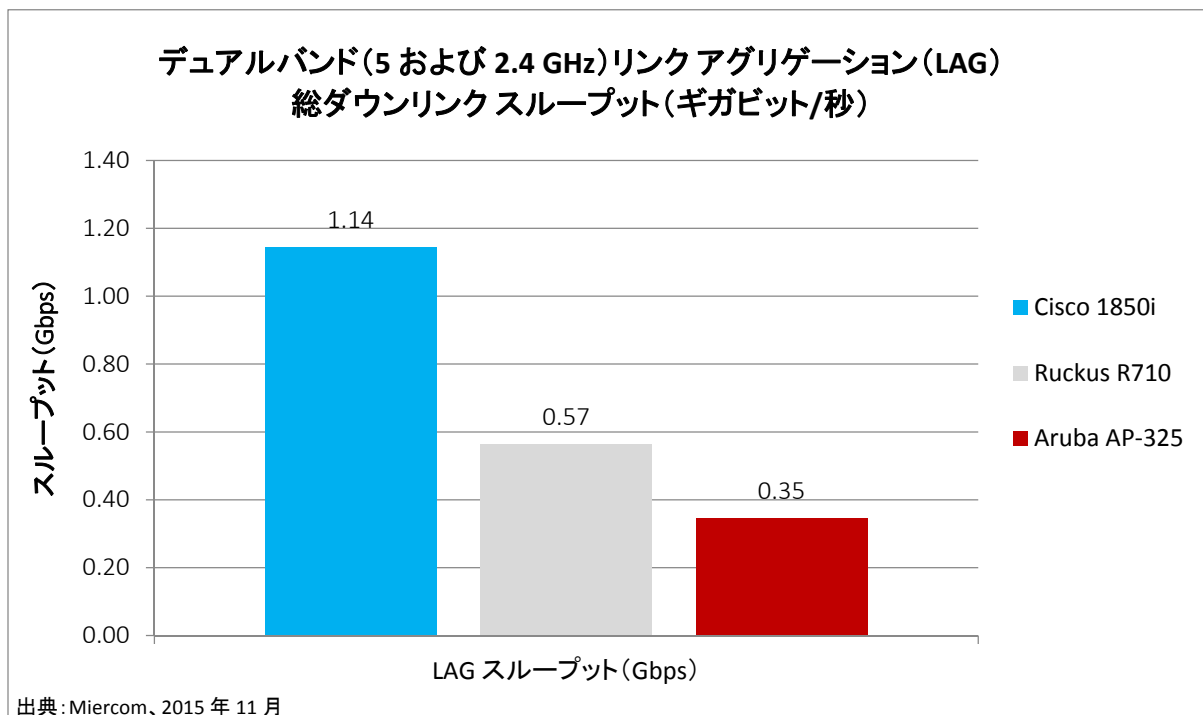
IxChariot テスト システムは、各 AP に 2 本のギガビット イーサネット銅線リンクで TCP トラフィックを発信し、総ダウンリンク スループットを記録しました。

次の図は、リンク アグリゲーション テスト用のラボの設定を示します。AP を通してクライアントに 1 Gbps 超のトラフィックを配信するために 2 本のギガビット イーサネット リンクが必要となります。また、最大 2 Gbps の負荷共有されたデータを配信できるようにテスト環境内のリンクが設定されました。



結果

次のグラフが示すように、シスコの 1852i Wave 2 ベースのアクセス ポイントでは、リンク アグリゲーション (2 つの負荷共有、AP への銅線ギガビット イーサネット) によって適切なクライアントへの 1 Gbps を超える実ダウンリンク TCP スループットが実現可能なことが示されました。



Wave 2 独自の新しい機能である MU-MIMO では、AP のスループットを向上させるのではなく、未使用のトランスミッタをより効果的に使用して同時に複数のクライアント デバイスにデータを送信できるようにしている点に注意が必要です。

8 - 概要

テスト結果により、IEEE 802.11ac Wave 2 に準拠したすべてのアクセス ポイントが同じように動作するわけではないことが明らかとなりました。シスコの 1852i AP は確実にすべてのテスト項目で一般的な Aruba AP-325 や Ruckus R710 AP と同様に機能しながら、すべての領域でそれらを上回りました。

テストは、802.11ac Wave 1 デバイスと Wave 2 デバイスのパフォーマンスの違いに焦点をあてるために考案されました。しかし、今日の市場をリードする Wave 2 アクセス ポイントのパフォーマンスにおいても明確な違いのあることが確認されました。テストは、次の複数の領域でパフォーマンスの相違を明らかにしました。

10 台から 100 台までクライアントを増加させた際のスループット

テストでは、10 台のクライアントが混在した状態で AP が 325 ~ 425 Mbps の総ダウンリンク TCP スループットを実現することがわかりました。総スループットは、アクティブなクライアントの数が増加するにつれて徐々に減少します。100 台のクライアントでは、150 ~ 300 Mbps の総スループットが達成され、10 台のクライアントの場合に比べて 30 ~ 40 % 低下します。

帯域幅のないクライアント

テストでは、テスト対象の AP の大半で、クライアント密度が増加するにつれ帯域幅を失うクライアントの数が増加することがわかりました。帯域幅のないクライアントの数とその分布は、AP ごとに明らかに異なります。

MU-MIMO と SU-MIMO の比較

テストした Wave 2 AP では、Wave 2 のマルチユーザ MIMO 機能の活用能力において異なる結果が示されました。シングルユーザ MIMO からマルチユーザ MIMO にクライアントを移行した際、最も大きなスループットを得たのは Cisco 1852i と Ruckus R710 でした。

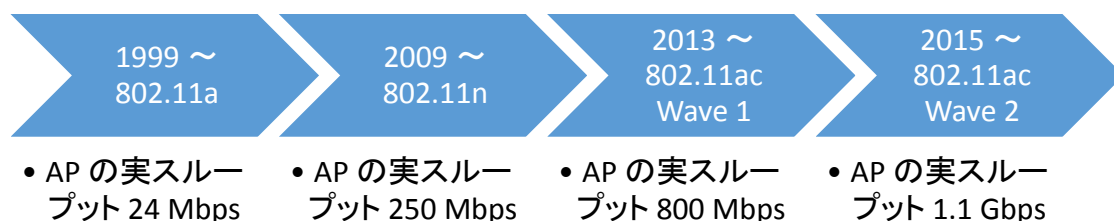
MU-MIMO クライアントが10 台、20 台、30 台の場合

テストの結果、シングルユーザ MIMO クライアントではクライアント数が 10 台、20 台、30 台と増えても総スループットがほとんど変化しないのに対して、マルチユーザ MIMO クライアントのスループットは、AP あたりのクライアント数が 10 台から 30 台に増えるにつれて、著しく下がることが判明しました。

802.11ac のスループット。

Cisco 1852i AP では、特定の条件下で、1 ギガビット/秒を超える実スループットを実現することができました。未使用のトランスミッタをより効果的に使用して複数のデバイスへ同時に送信することが可能です。

テストでは、Wave 2 製品でこれまでにない WiFi のパフォーマンスが実現できることが確認されました。802.11 仕様の進化は、ワイヤレスのスループットを劇的に改善しています。



9 - 独自の評価

本レポートは、Cisco Systems, Inc. の後援のもとで作成されました。データは Miercom の競合分析の一部として独立した形で収集されています。

10 - Miercom について

Miercom は、多数のネットワーク製品の比較分析を発表しています。その多くは業界向け定期刊行物やその他の出版物として公開され、また社外秘の機密情報として提供されるさまざまなものもあります。Miercom は代表的な独立系製品テスト センターとして、揺るぎない評価を確立しています。

Miercom のプライベート テスト サービスでは、競合製品分析と個々の製品評価を行っています。Miercom のテスト手法は通常クライアントと連携して開発されています。また、包括的な認定およびテスト プログラムとして、Certified Interoperable、Certified Reliable、Certified Secure、Certified Green などがあります。また、製品の使いやすさとパフォーマンスに関する業界で最も信頼できる徹底したアセスメントとされる Performance Verified プログラムに基づいて、製品を評価することもできます。

11 - 本レポートの使用について

本レポートでは、データの精度を保証するよう最大限の努力が払われました。ただし、それでもなお誤りや見落としが含まれる可能性もあります。本レポートに記載されている情報はさまざまなテスト ツールに応じて異なる場合があります、その精度については弊社では管理しかねます。さらに、その内容については、Miercom が合理的に検証したベンダーの表現に準じる場合がありますが、100 % の確証を持って検証することは弊社の管理能力を超えています。

本ドキュメントは、Miercom により「現状のまま」提供され、明示または黙示を問わず、いかなる保証、表明、または約束を与えるものではなく、ここに含まれる情報の正確性、完全性、有用性、または適合性について直接的であるか間接的であるかを問わず、いかなる法的責任も負いません。Miercom は本レポートの記載内容によって生じる、または関連する損害について責任を負いません。

いずれの文書の一部も、Miercom または Cisco Systems, Inc. から特に書面での許可がない場合、その全部または一部を複製することはできません。本文書内で使用されたすべての商標は各所有者によって所有されるものです。お客様はいずれの商標も、お客様によるものでない何らかの活動、製品またはサービスに関連し、お客様独自の商標の一部または全部に含めて使用したり、その一部または全部として使用したりしないことに同意します。また、混乱や誤解を招いたり欺瞞的であったりする方法、または Miercom や Miercom の情報、プロジェクト、開発の評価を下げる方法で使用しないことに同意します。