



# IEEE 802.11における無線LAN標準化動向

あ さい ゆうすけ    いのうえ やすひこ    たかとり やすし  
浅井 裕介 / 井上 保彦 / 鷹取 泰司

NTT未来ねっと研究所

ここでは、無線LANの標準規格を策定するIEEE 802.11 WG (Working Group) の概要として、外部組織との関係、標準化の作業手順、これまで策定された規格の一覧を紹介し、また、最新の標準化動向として、システムスループット高速化を実現する追加規格の策定が行われているIEEE 802.11ac、および端末設置密度が高い環境下での高効率伝送を実現する追加規格策定に向けた議論が行われているHEW SG (High Efficiency WLAN Study Group) の状況について説明します。

## 802.11 WG

IEEE 802 (802) 委員会は、有線および無線を伝送媒体としたネットワークの物理層・データリンク層に対する標準規格を策定する標準化組織であり、802.11 WGはこの配下にイーサネットのワイヤレス化を実現する標準規格を策定する目的で、1990年に設立されました(図1)。802.11 WGは、802委員会内外の標準化・業界団体と幅広く連携することで発展を遂げています。特に、無線LAN機器どうしの相互接続性を保証するWi-Fi Allianceは802.11標準に準拠した無線LAN製品の普及

に大きな役割を果たしています<sup>(1)</sup>。図2に示すとおり、802.11標準は初期規格の策定後、伝送速度高速化(802.11a/b/g/n/ad)、トラフィック種別ごとの優先制御(802.11e/aa/ae)、セキュリティ強化(802.11i/w)、無線LANネットワーク機能の拡充(802.11F/h/k/r/s/u/v/z)、各国周波数対応(11d/j/y)といった多数の追加規格により、高速化・高機能化を実現しています。

## 802.11 WGの標準化手順

802.11 WGにおける標準化は以下の手順で行われます。はじめに、新規

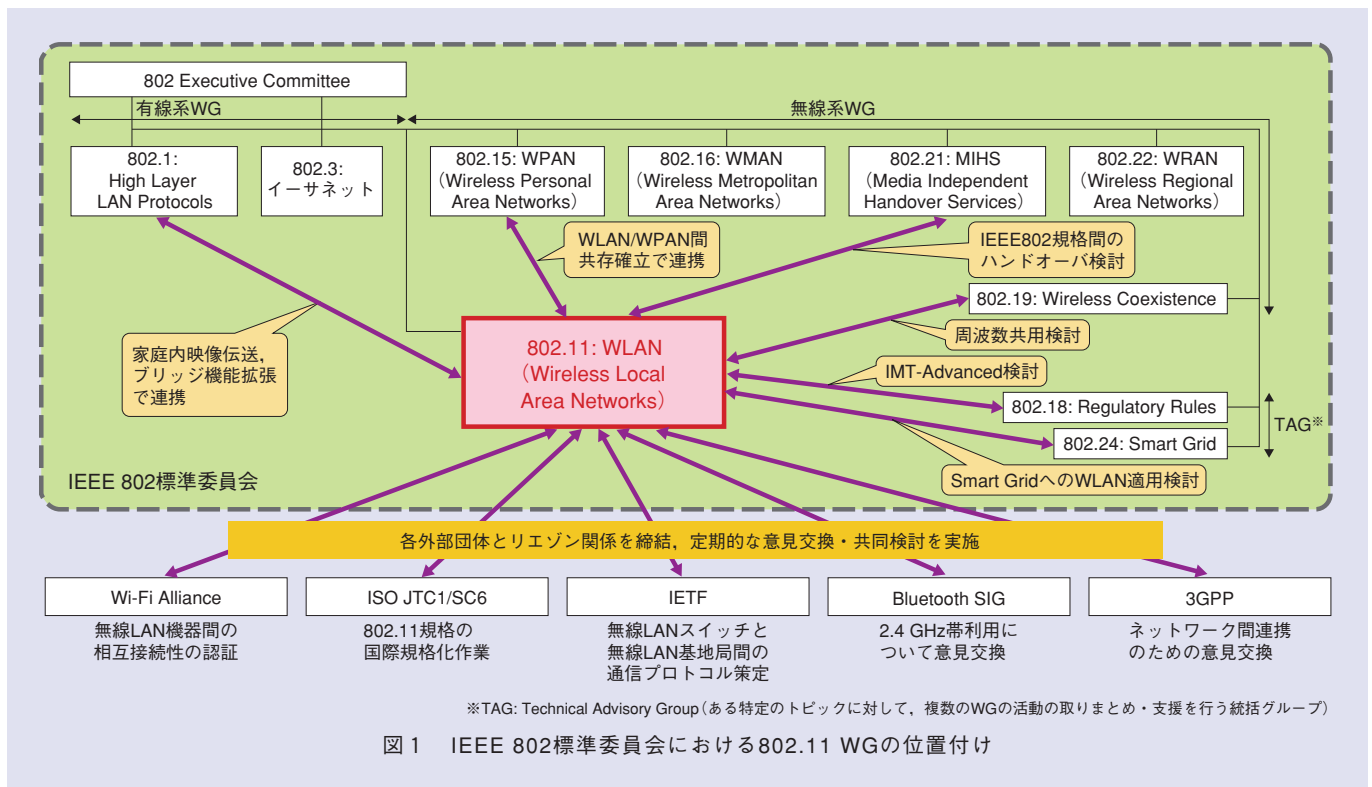


図1 IEEE 802標準委員会における802.11 WGの位置付け

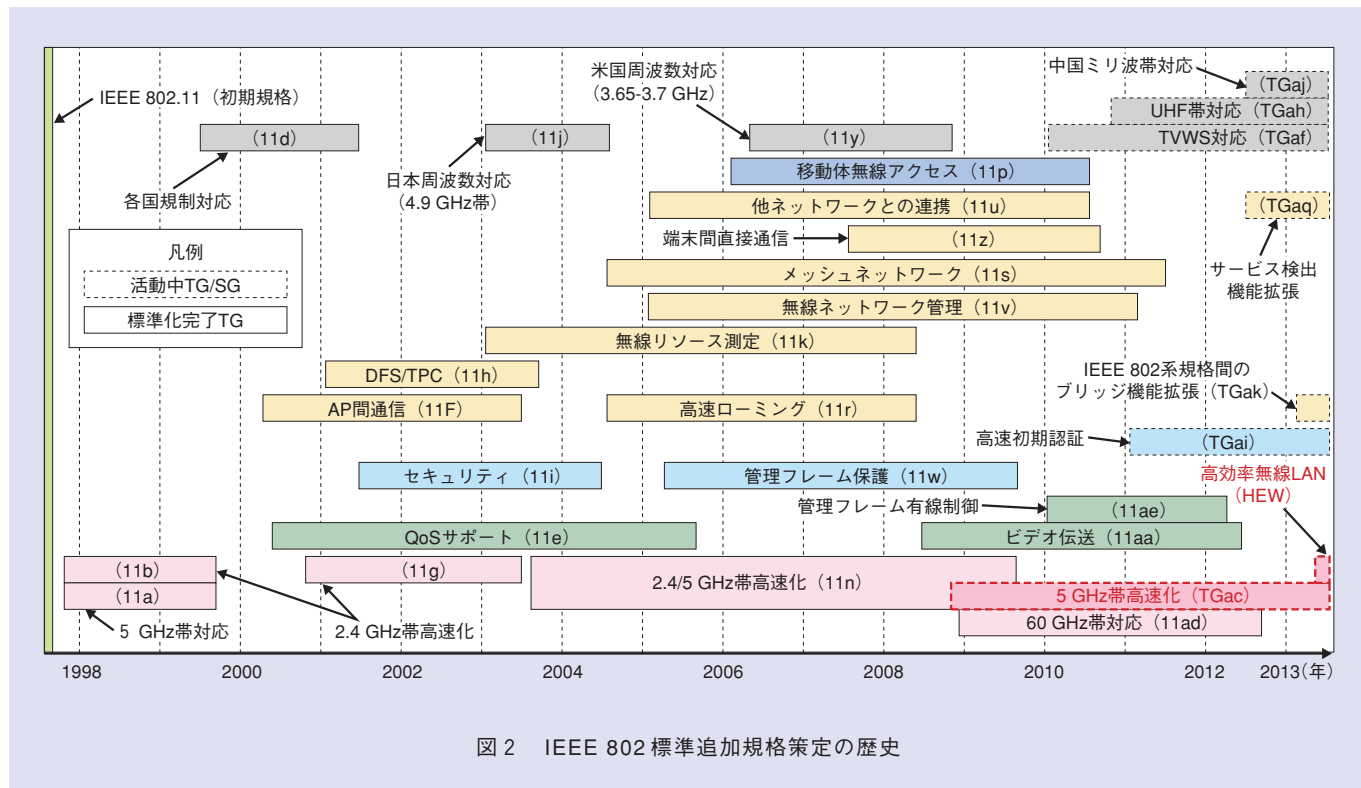


図2 IEEE 802 標準追加規格策定の歴史

規格策定の必要性について将来の無線LANシステムに向けた議論を行うWNG SC (Wireless LAN Next Generation Standing Committee)で行われます。ここで新たな標準規格策定の必要性が提案され、上部組織において承認が得られると、SG (Study Group) が設立されます。SGでは、新規作成する標準規格の検討範囲や市場性、実現性などの目論見に対する趣意書を作成します。これが承認されると、TG (Task Group) が設立され、規格策定に向けた具体的な議論が開始されます。

TGにおける作業手順は各TGの裁量である程度決められます。一例は以下のとおりとなります。はじめに、活動

目的を達成するための要求機能や評価基準等を取りまとめた文書が作成されます。次に、これらを満足する技術提案の募集が行われます。複数の技術提案が競合する場合には、投票等により採用する技術の絞り込みが行われます。技術仕様が一本化された後に、具体的な技術仕様に落とし込まれたドラフトが作成されます。ドラフトに対して、802.11 WGおよび上部組織であるIEEE-SA (Standard Association)における、電子投票による審議が実施されます。審議では、投票者が承認の可否を修正のためのコメントを付加したかたちで投票します。TGではこれに対する回答を作成するとともに必要に応じてドラフトを修正し、再度電子投

票を行います。この投票による審議作業はコメントが適切に解決され、支持率が所定の条件を上回るまで何度も繰り返行われます。最終的に802委員会の承認が得られると、標準規格として発行されます。

## 802.11 WGにおける作業状況

802.11 WGにおいて、2013年5月時点で活動中のTGおよびSGを表1に示します。ここでは、このうちスループット高速化を実現する追加規格を策定するTGacとHEW SGの2つの活動に着目し、現在の作業状況を説明します。



表1 活動中のTG/SG一覧 (2013年7月現在)

TG/SG	検討内容	検討状況	作業終了時期 (予定)
TGac	5 GHz無線LAN高速化 (システムスループット1 Gbit/s以上)	ドラフトD6.0	2014年2月
TGaf	地上TV放送周波数帯を用いた広域無線LAN	ドラフトD5.0	2014年6月
TGah	1 GHz以下の周波数を用いた広域・多端末収容無線LAN	ドラフトD0.1	2016年3月
TGai	高速初期接続確立のためのアクセス制御, セキュリティ機能追加	ドラフトD1.0	2015年2月
TGaj	中国におけるミリ波帯無線LAN	技術検討中	2016年10月
TGak	IEEE 802系規格間に対するブリッジ機能の拡張	技術検討中	(未定)
TGaq	ネットワーク接続前におけるサービス検出機能の拡張	技術検討中	2015年5月
HEW SG	高効率無線LAN SG	利用形態, 要求条件議論中	2014年7月にTG設立予定

### ■TGacにおける検討状況

TGacは、現在広く利用されている802.11n無線LANの次世代版と位置付けられ、周波数帯として5 GHz帯を用いることを前提として、2008年11月に活動が開始されました。TGacでは以下の2つの高速化目標値が設定されました。

- ① 単一无線リンクにおけるスループット500 Mbit/s
- ② 複数無線リンクの合計スループット1 Gbit/s

目標②については、実現技術として802.11nで規定されたMIMO (Multiple Input Multiple Output) 技術を複数端末宛の同時通信に拡張した「MU (Multi User) -MIMO技術」<sup>(2)</sup>の適用が想定されており、技術実現性の根拠としてNTTによる実環境における実験結果<sup>(3)</sup>が用いられています。TGacでは活動開始から約2年をかけて採用技術の絞り込みが行われ、その後現在に至るまでドラフトに対する投票・修正作業が行われています。2013年7月現在ドラフト第5版 (D5.0)の審議において入力されたコメントを

解決する作業が終了し、ドラフト第6版 (D6.0)の審議中であり、目標である2014年2月の標準化終了に向けて順調に作業が進捗しています。

### ■802.11acにおける高速化規定

単一无線リンク高速化のための規定としては、802.11nですでに用いられている「空間多重」「チャネル帯域幅」「変調多値数」について、さらなる拡大を行っています (図3)。伝送帯域幅については、これまで11acで規定される広帯域伝送 (80 MHz, 160 MHz)は電波法規則に規定がありませんでしたが、2013年3月の規則改正により利用可能となりました。また、802.11acでは、必ずサポートしなければならない必須条件と最高規定の間に大きな格差があります (表2)。これには、無線LAN端末の多様化ニーズを反映させ、高いスケーラビリティを持たせる意図があります。

複数無線リンクの同時伝送によるシステムスループット増大を実現するMU-MIMO技術については、802.11acでは基地局から端末局へと向かうDL (Downlink) MU-MIMO

技術が規定されており、基地局は最大4台の端末に対して送信ビームフォーミングを用いることで、端末側における混信をキャンセルし、複数端末に対する同時伝送を行います。単一局間の空間多重伝送であるSU (Single User) -MIMO技術は802.11nにおいてすでに規定されていますが、802.11acではこれに加えてDL MU-MIMO技術を定義し、個別の宛先局に多数の受信アンテナや複雑な受信信号処理を用いることなく伝送効率を高めることが可能となります (図4)。802.11acでは、DL MU-MIMO伝送を実現するための無線フレームフォーマットやユーザグループの割り当て方法、送信ビームフォーミングを行うための伝搬路状態の取得方法等について規定されています。DL MU-MIMO技術により、個々の端末の受信能力が低い場合であっても、基地局が持つ空間多重伝送能力を複数の端末に分配して同時伝送することでシステム全体のスループットを高くすることが可能となります。

上記のとおり、802.11acでは空間

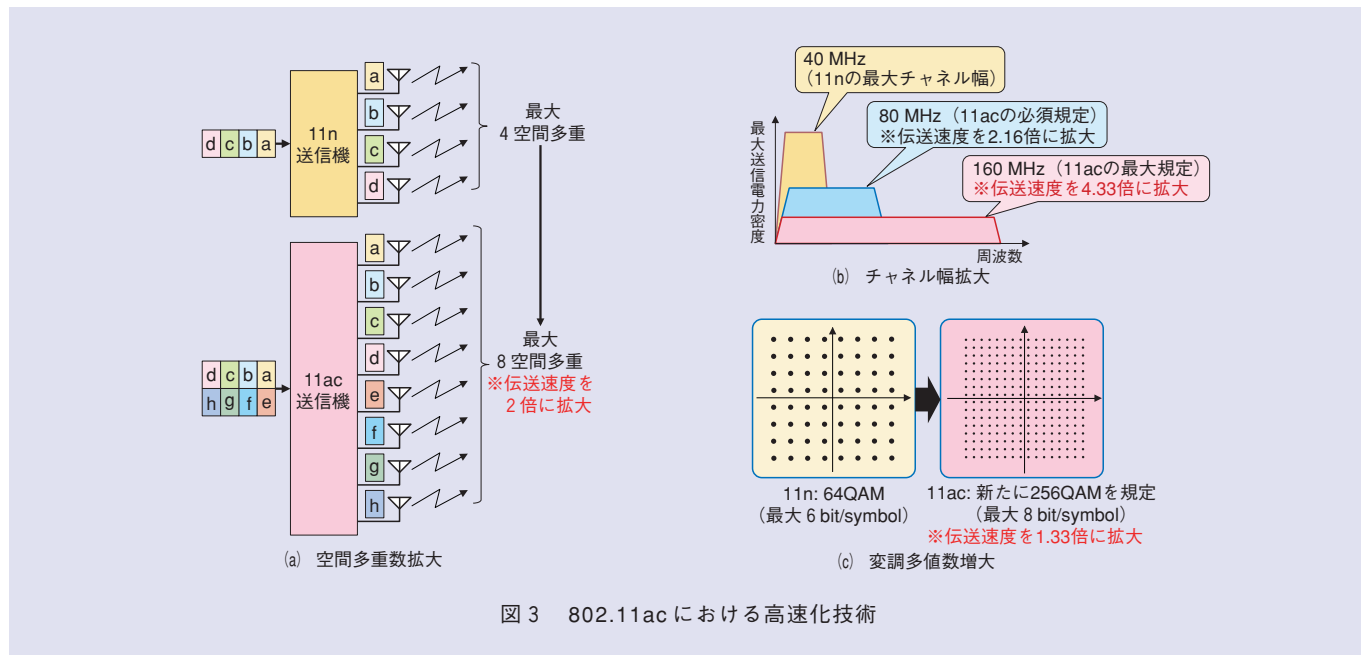


表2 802.11acの必須条件と最高規定の比較

高速化機能・特性	11n 最高規定	11ac	
		必須条件	最高規定
空間多重数	4	1	8
伝送帯域幅	40 MHz	80 MHz	160 MHz
変調方式	64QAM	64QAM	256QAM
最大フレームサイズ	65535 Byte	8191 Byte	1048575 Byte
物理層伝送速度	600 Mbit/s	292.5 Mbit/s	6933.3 Mbit/s
最大スループット (伝送効率)	485 Mbit/s (81.0%)	157 Mbit/s (53.4%)	5.85 Gbit/s (84.4%)

必須条件機能のみの利用だと、11nの最高規定の約3分の1のスループットにとどまる

必須・オプション機能間の格差が大きい  
 ・物理層伝送速度：23.7倍  
 ・スループット：37.3倍

多重数，伝送帯域幅，SU/MU-MIMO伝送といった多様な伝送モードを定義していますが，802.11acの伝送と5 GHz帯を用いる既存の802.11a/nに基づく伝送とが同一周波数帯に混在した場合でも互換性が取れ

るように，802.11acの無線フレームフォーマットは802.11a/nと同様のヘッダを用いてカプセル化するかたちで定義されています。

■HEW SGにおける検討状況

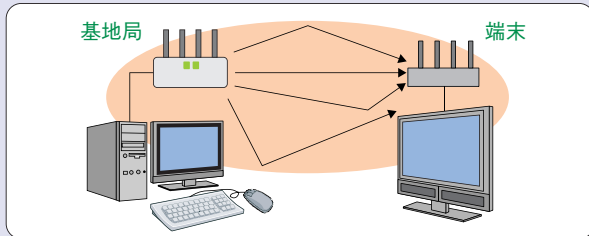
近年，無線LANはノートPC，スマー

トフォン，タブレット等の携帯端末に実装されるかたちで幅広い普及を遂げました。また，伝送速度についても，802.11acの登場により最大数百Mbit/sまで拡大されています。しかし，無線LANで利用できる周波数には限りがあります。さらに，駅や空港などに代表される混雑した環境では，多数の端末により周波数が共有されるため，伝送速度の大幅な低下やネットワーク接続の所要時間の増大といった課題が顕在化しています。

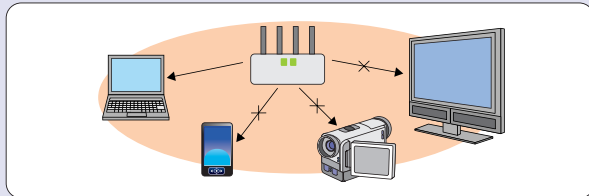
このような背景を踏まえ，WNG SCでは2011年末から802.11acに対する次世代無線LANシステムに関する議論が継続的に行われ，端末密度が高い環境においても伝送効率を高める必要性について共有されました。その後，2013年3月会合において19社合同で提案された新規SG設立の動議が承認



基地局と端末が複数のアンテナで並列にデータ伝送する空間多重伝送→802.11nで規定

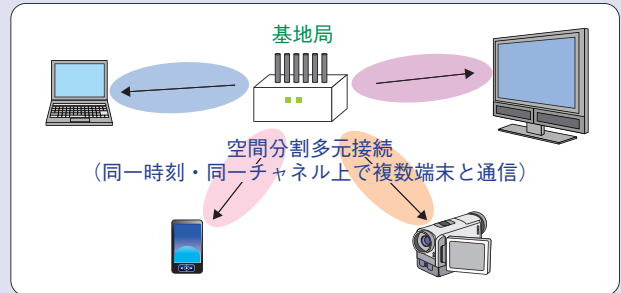


【課題】携帯端末等のアンテナ数の少ない端末には並列伝送不可  
→基地局の空間多重能力が十分に活用されない



(a) SU-MIMO

親機のビームフォーミング制御により、多種多様な端末との空間分割多元接続通信を実現



(b) MU-MIMO

図4 SU-MIMOとMU-MIMO

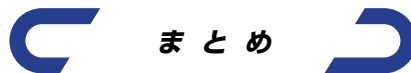
され、5月会合からHEW SGとして活動を開始しています。HEW SGは無線LAN端末が高密度に配置される環境においても高い伝送効率を実現するTGの立ち上げ準備を行っています。

HEW SG設立に対する動議では、以下の課題解決に向けた活動の必要性が確認されています。

- ① 以下を実現する2.4 GHz, 5 GHz帯における追加規格についての検討を行うこと
  - ・周波数利用効率およびエリアスループットの改善
  - ・屋内・屋外における実環境での特性改善
- ② 前提条件として、干渉の存在、高密度な無線LAN・セルラ混在環境、ユーザトラフィックの集中

を緩和させることを考慮する必要がある

5月会合では、利用形態（混雑環境の具体例）や、現状の無線LANが抱える技術課題を中心に合計19件の寄書が入力され、活発な議論が行われました。今後は、各社から寄書入力された利用形態を集約し、HEW SGとして検討すべきものを絞り込む作業が行われる予定です。そのうえで、これを基に解決すべき技術課題の明確化、要求条件の設定を行い、TGを設立するための趣意書の作成が議論される見通しです。



ここでは802.11WGの概要を紹介

し、スループットを拡大する802.11acの作業状況、および高速化技術、将来の高効率無線LAN標準化に向けた議論を行っているHEW SGの議論の状況について説明しました。HEW SGは活動が開始されたばかりですが、802.11acをさらに効率化する次期規格の登場が期待されています。

#### 参考文献

- (1) 永田・小島・平栗・鷹取：“IEEE802.11とWi-Fi Allianceにおける無線LANの標準化動向,” NTT技術ジャーナル, Vol.22, No. 2, pp.77-80, 2010.
- (2) 西森・工藤・鷹取・溝口：“マルチユーザMIMO実験装置を用いた1 Gbit/s屋内伝送実験評価結果,” NTT技術ジャーナル, Vol.21, No. 6, pp.56-59, 2009.
- (3) K. Nishimori, R. Kudo, Y. Takatori, A. Ohta, and K. Tsunekawa: “Performance Evaluation of 8x8 Multi-User MIMO-OFDM Testbed in an Actual Indoor Environment,” IEEE PIMRC2006, Helsinki, Finland, Sept. 2006.