

TTCに寄せて

IEEE 802無線通信における 周波数共用の標準化を振り返って

～TTC会長表彰を受賞して～

三菱電機株式会社

永井 幸政



はじめに

このたびは、「IEEE802 無線通信における周波数共用の標準化にかかわる功績」につつまして、名誉ある情報通信技術賞 TTC 会長賞を賜り、大変光栄に存じます。このような賞を賜りましたのは、ひとえに、私を標準化活動に導いて頂きました上司や先輩の方々、これまでの私の標準化活動への取り組みをご支援くださった皆様のおかげだと感じております。この場を借りまして、あらためて感謝御礼申し上げます。

私は、2003年7月より IEEE 802 標準化に参加し、IEEE 802.11 Working Group (WG)、IEEE 802.15 WG、IEEE 802.16 WG、IEEE 802.19 WG において 30 件以上の規格策定に携わってきました。また、IEEE802.11 の普及促進に関する業界団体 Wi-Fi Alliance、車載電子制御システムのソフトウェアやネットワークの標準化及び共通利用を進める JASPAR、などの業界標準化団体においても活動を行っています。

その間、Wi-Fi Alliance では IEEE 802.11 の車載利用を促進する Automotive Market Segment Task Group、IEEE802 では無線通信における周波数共用に関する IEEE 802.19.3 Task Group、IEEE 802.19.3a Task Group を立ち上げました。また、Wi-Fi Alliance では、Automotive MSTG Vice Chair 他を、IEEE 802.19 WG では、WG Secretary、TG3a Secretary、Comment Resolution Committee (CRC) Member を務めさせて頂いております。

本稿では私の IEEE802 での活動を振り返り、IEEE 802 の標準化プロセスや IEEE 802 無線標準における周波数共用の標準化である IEEE 802.19.3 について紹介させていただきます。

IEEE 802 における標準化の流れ

IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) は、アメリカ合衆国に本部を置く電気・

情報工学分野の学術研究団体（学会）であり、SA (Standard Association) は、この IEEE 配下の標準化を行う機関です。IEEE では、国際学会・論文誌などの学術的な活動に加え、IEEE SA による技術標準の策定と社会実装に向けた活動にも積極的に取り組んでいます。IEEE SA では、2,360 以上の標準とプロジェクト、160 以上の国から、35,000 人以上の参加者により標準規格の策定が進められています^[1]。

私が活動を行っている IEEE 802 標準化は、正式名称 IEEE Project 802 LAN/MAN Standards Committee (P802 LMSC) の中の、IEEE 802.11 WG、IEEE 802.15 WG、IEEE 802.19 WG になります。IEEE 802.11 WG では、Wi-Fi として広く知られる無線 LAN の技術仕様策定、IEEE 802.15 WG では、スマートメータ等で広く活用されているセンサーネットワーク用の技術仕様策定、IEEE 802.19 WG では、異なる無線通信方式の共存及び周波数の有効活用に関する技術仕様策定とガイドラインの策定を進めています。また、IEEE SA には、標準化管理を行う Standard Boards (IEEE-SASB)、企業会員による諮問機関 Entity Collaboration Advisory Group (IEEE-CAG) の配下に、新規標準化策定を判断する New Standards Committee (NesCom)、各プロジェクトで策定された標準仕様案をレビューする Standards Review Committee (RevCom)、標準化のプロ瀬頭などの手続きを策定する Procedures Committee (ProCom) などが配置され、規格策定を支援しています（図1）。IEEE802 において技術策定を行う際には、上位機関である IEEE-SA と連携して進められます。

各 IEEE 802.11 WG、IEEE 802.15 WG、IEEE 802.19 WG の中には、技術仕様の策定を行う Task Group (TG)、策定準備のため検討をおこなう Study Group (SG)、特定のトピックについて議論を行う Topic Interest Group (TIG or IG)、課題について議論共有を行う SC (Standing Committee)

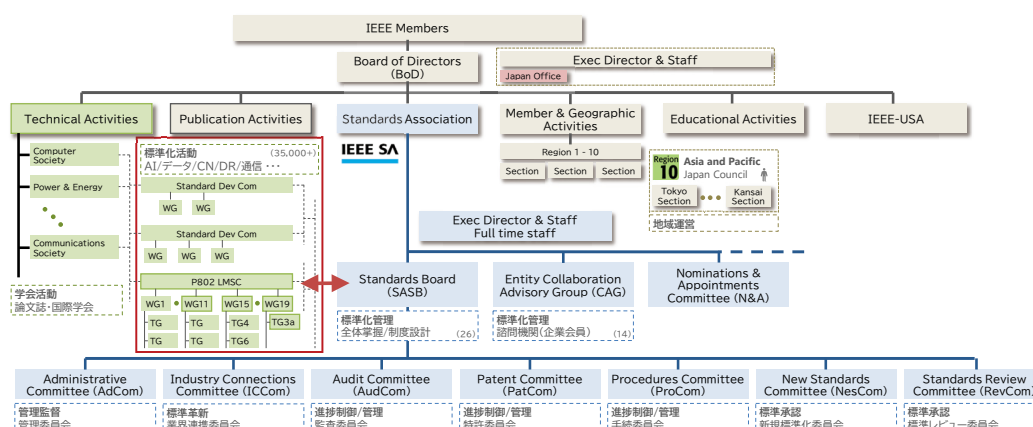


図 1 IEEE-SA の構成

などが設置されます（図2）。

何か新しいトピックを議論した場合には、IEEE 802.11 WG で は WNG SC (Wireless Next Generation SC)、IEEE 802.15 WG で は、SC WNG (Standing Committee Wireless Next Generation)、IEEE 802.19 WG で は WG Opening で提案を行い、賛同を集められれば SG または TIG/IG が設立されます (Step 0)。

TIG/IG は、そのトピックに関して標準化が必要かどうかを議論するグループで、一定期間を設けて技術課題の整理や既存規格との整合性、などについて議論が行われます。ここで標準化が必要と判断されれば、SG 設立を WG に対して提案します (Step 1)。

SGは、TGを設立するための規定文書であるPAR (Project Authorization Request) とCSD (Criteria for Standards Development) を作成します。これらの文章では、標準化のスコープや必要性、位置づけなどを記載します。PAR/CSDは、WGと

IEEE 802 EC (Executive Committee) の承認を得て、IEEE-SA に提出されます (Step 2)。

IEEE-SA では、NesCom と SASB で審議が行われ、無事 IEEE-SA で承認されると WG 内に TG が設立され、TG を推進するオフィサーが選定され標準文書の策定が行われます (Step 3)。TG にて標準文書の策定が開始されると、ユースケースシナリオ、提案手法を評価する評価手法や条件を議論し、技術提案を募り多数決などのプロセスを経て標準文章案 (ドラフト) の作成が行われます (Step 4)。

ドラフトが作成されると、投票権を持つ Voter によって WG で電子書面投票 (WG Letter Ballot) が行われ、得られたコメントに基づきドラフトを更新する作業が承認 (75% 以上) が得られるまで繰り返し行われます。WG での承認が得られると、IEEE 802 EC での承認を得て IEEE-SA に送られ、IEEE-SA Member による SA Ballot が同様に行われ、SA Ballot で承認が得られると IEEE-SA RevCom に送

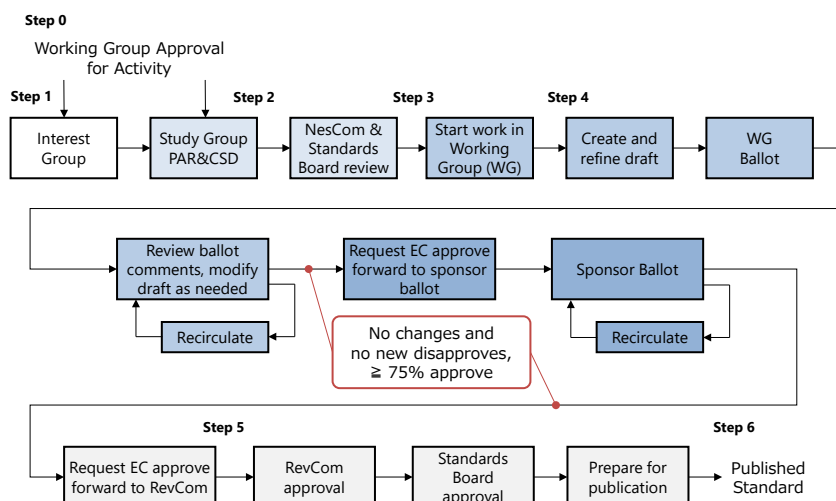


図2 規格策定プロセス

られます (Step 5)。最後に、IEEE-SA RevCom、SASB にて承認が得られると出版され、標準化完了となります。この標準文章は、IEEE の出版プラットフォームである IEEE Xplore 上に公開され入手が可能となります (Step 6)。

IEEE 802.19.3

インターネット技術や各種センサー技術の進化などを背景に、パソコンやスマートフォンなどの従来のインターネット接続端末に加え、家電や自動車、ビルや工場など、世界中の様々なモノがインターネットにつながり、その数は爆発的に増加しています。これらモノのインターネット (Internet of Things / Internet of Everything) では、多種多様なアプリケーションニーズに対応する通信が求められています。

IoT/IoE 向けの無線通信として、LPWAN (Low Power Wide Area Networks) が注目されており、代表的なものとして IEEE 802.15.4/Wi-SUN、SigFox、LoRaWAN、IEEE 802.11ah/Wi-Fi HaLow、などが市場に投入されています。これらの規格は Sub-1 GHz と呼ばれる 900 MHz 帯を使用するものであり、従来の携帯電話システムや Wi-Fi と比較して低速なものの、環境モニタリングやスマートメータのような多数の IoT/IoE 機器から情報を収集し制御する用途で使用されています。これらの規格は数十 m ~ Km 程度の広域性、他端末接続、低コスト、センサー機器に組み込み長期間使えるような低消費電力、などの特徴を有しています。

しかしながら、Sub-1GHz 帯は免許不要の特定小電力無線として注目を浴びていますが、利用可能な周波数資源が限られていることに加え、上述した複数の無線方式が乱立することから、今後 IoT/IoE の普及に伴い無線通信システム間の干渉が課題になる可能性があります。特に、スマートメータ等に広く使用される IEEE 802.15.4g と今後導入が見込まれる IEEE 802.11ah の相互干渉が課題になりうることから、IEEE 802 では IEEE 802.19.3 標準化作業班を立ち上げ規格策定が行われました (図3)。

最初の議論は、2017 年 9 月に Sub-1GHz 帯の周波数共用に関する課題を IEEE 802.15 WG の WNG SC にて提起しました。その際、IEEE 802.15 WG より、無線周波数共用に関する議論を行う IEEE 802.19 WG での活動を提案され、2017 年 11 月に IEEE 802.19 WG で同課題を提起し、発起人として Study Group の設立提案を行いました。その後、IEEE-SA NesCom の承認を得て、2019 年 1 月に IEEE 802.19.3 TG (TG3) が設立されました。TG3 では、日本国内、欧州、北米における Sub-1GHz 帯の実測による周波数干渉の解析結果に加え、大規模ネットワークシミュレーターを用いた様々な条件下での異種無線通信システム間の相互干渉に関する検証 (図4、図5) が行われました。私自身も主提案グループとして 43 件の寄書を提案し、多くの提案内容が規格に採用されました^{[2][3][4]}。そして、上記内容をもとに、IEEE 802.19.3 は 2021 年 4 月に発行されました (図6)。

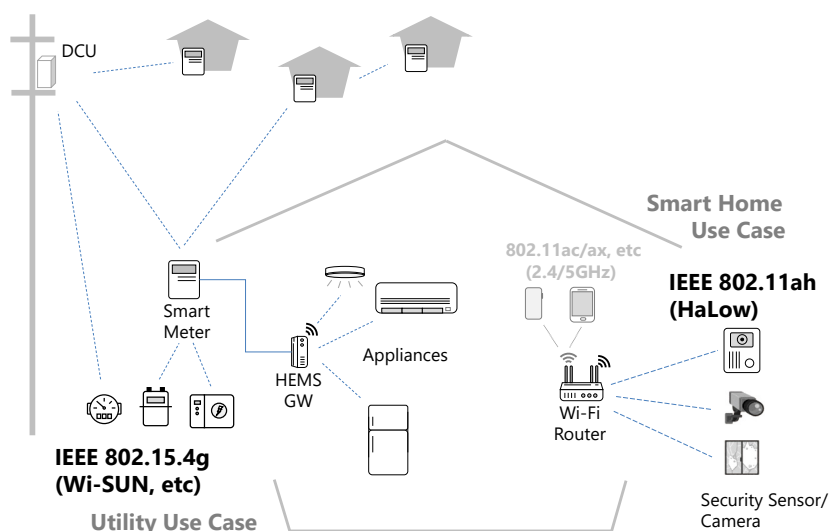


図3 IEEE 802.19.3 で議論されたユースケース

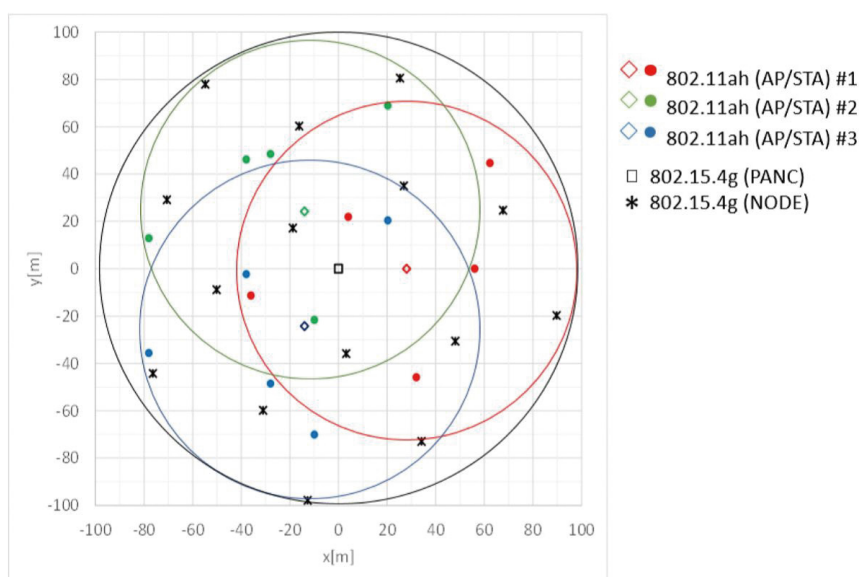


図4 IEEE 802.15.4gとIEEE 802.11ahのシミュレーションのに向けたノード配置

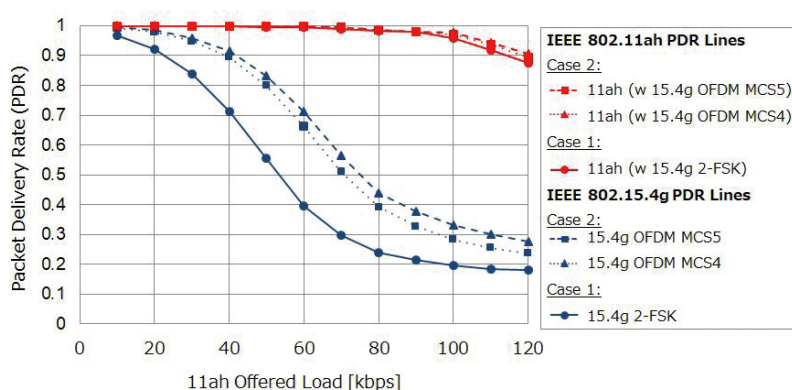


図5 シミュレーションによるパケット到達率の劣化例

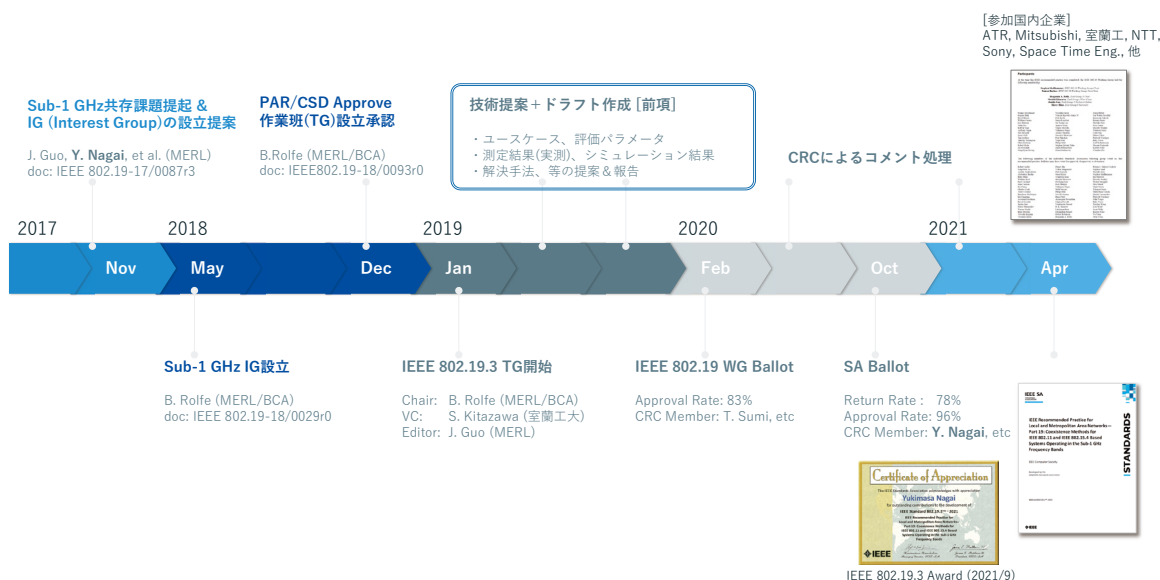


図6 IEEE 802.19.3 標準化プロセス

IEEE 802.19.3a

IEEE 802.19 WG では、IEEE 802.19.3-2021 規格の改定を IEEE 802.19.3a Task Group (TG3a) で進めています。IEEE 802.19 WG では、2023 年6月より、IEEE 802.15.4me (Revision) Task Group における IEEE 802.15.4 の周波数共用時の高効率アクセス方式議論（のちに、IEEE 802.15.4-2024 規格としてリリース）や、国内外の周波数法規の変更、IEEE 802.15.4g-OFDM 方式の普及と電力等のミッションクリティカルなインフラの安定動作を目指し、Sub-1 GHz 帯域における OFDM 通信方式間の周波数共用に関する議論を開始しました。

その後、2024 年3月より IEEE 802.19.3a Task Group を開始しています。現在、多くの実測・シミュレーションなどの技術提案を経て、標準文章案（ドラフト）を作成。2026 年度の仕様策定に向けて標準化を進めています。

おわりに

2003 年より IEEE 802 標準化に参加し、オフィサーや 100 件以上の寄書提案を通じて規格策定に携わってきました。規格策定を通じて、多くの知識を得ることが出来たのに加え、多くの参加者と一緒に循環型エコシステムの実現に向けて議論が行えたことが大きな財産となりました。

私が参加を始めた 2003 年と比較すると、日本からのベテラン参加者がオフィサーとして活躍する機会が増えた一方で、若手参加者の二極化と減少が進んでいるように感じます。大勢の参加者の前で英語で提案し、さらに提案を通すとなると（今でも）プレッシャーを感じますが、繰り返すことで標準化コミュニティの中でメンタリングを受け成長することが可能です。是非、若い方が参加していただければと思います。

最後になりましたが、これまでの標準化活動にご協力いただきました方々に改めて御礼申し上げます。

参考文献

- [1] IEEE Japan Office, "IEEE-SA の概要と標準化の流れ,"
<https://jp.ieee.org/activities/standards.html>
(Accessed: 2025/12/01)
- [2] Yukimasa Nagai, Jianlin Guo, Benjamin A. Rolfe, Takenori Sumi, Steve Shellhammer, and Hiroshi Mineno, "S1G Coexistence Simulation Profile," IEEE 802.19-19/0021r2, IEEE 802.19.3, May 2019, Atlanta.
- [3] Jianlin Guo, Philip Orlik, Yukimasa Nagai (MERL) , Benjamin A. Rolfe, and Takenori Sumi, "802.11ah and 802.15.4g coexistence Simulation and Coexistence issues," IEEE 802.19-19/0055r4, IEEE 802.19.3, September 2019, Hanoi.
- [4] Y. Nagai, J. Guo, P. Orlik, T. Sumi, B. A. Rolfe and H. Mineno, "Sub-1 GHz Frequency Band Wireless Coexistence for the Internet of Things," in IEEE Access, vol. 9, pp. 119648-119665, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3107144.