

知っておきたいHOTキーワード

- ✓ Beyond 5G
- ✓ Web3
- ✓ SDV(Software Defined Vehicle)

Beyond 5G — 5GからBeyond 5Gへの進化がもたらすもの

牧野 真也

三菱電機 通信システムエンジニアリングセンター 戦略事業推進グループ
一般社団法人情報通信ネットワーク産業協会(CIAJ)IoT推進委員会

2022年度より5G/Beyond 5G時代に向けてCIAJとJASAは連携した活動を開始し、2022年11月に「Edge Tech+2022」で共同展示を行った。本稿は連携活動の一環として、今後Society5.0を支える重要な通信インフラとなる5G/Beyond 5Gの特長、国内や3GPP(The 3rd Generation Partnership Project)でのBeyond 5Gに向けての活動状況、想定されるユースケースや普及の課題について2023年2月27日～3月2日に開催された世界最大級のモバイル関連展示会MWC2023の状況も織り交ぜて紹介する。

1. はじめに

2020年3月に国内で5Gの商用サービスが開始されてから3年が経過し、これと並行する形で新型コロナウイルス蔓延の影響もあり、世の中のDX、リモートワークの浸透、IoTの進展、ビジネス構造の変革などが急速に進んでいる。このような中、あらゆるモノを最適に接続し、円滑なデータ流通を実現するために情報通信ネットワークと組込みシステムとの密接な連携が求められている。

一般社団法人情報通信ネットワーク産業協会(CIAJ)と一般社団法人組込みシステム技術協会(JASA)は以上の背景から、2022年11月に開催された総合展「Edge Tech+2022」に共同出展し、通信とエッジの連携で目指す価値創出や、様々な通信方式の特長と対応するユースケースやソリューションとの関連をパネルにて紹介した(図1)。

展示会では、CIAJとJASAとの独自の調査に基づいて現在から将来にわたる通信特性の進化とユースケースの要件の変遷を予測したが、本寄稿では、通信方式の中で

も特にSociety5.0を実現する通信基盤として注目されている5G/Beyond 5Gの進化とその影響について、2月27日～3月2日にバルセロナで開催されたMWC2023での状

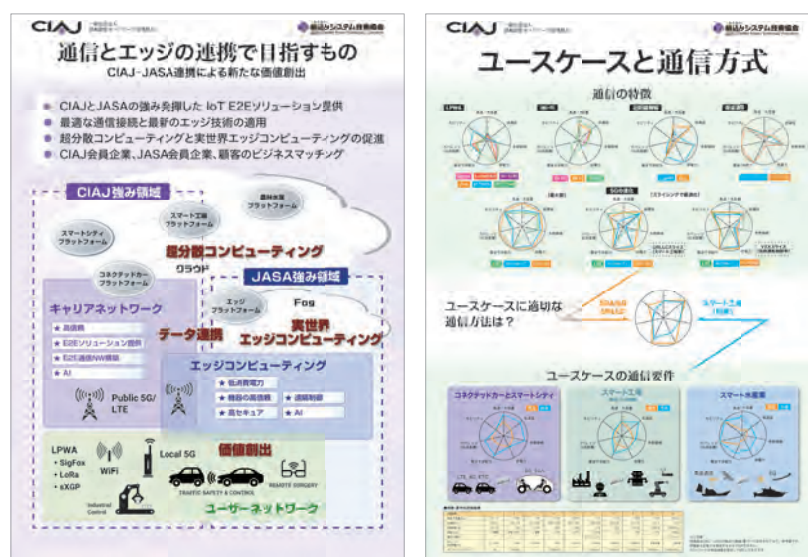


図1 EdgeTech+2022展示パネル

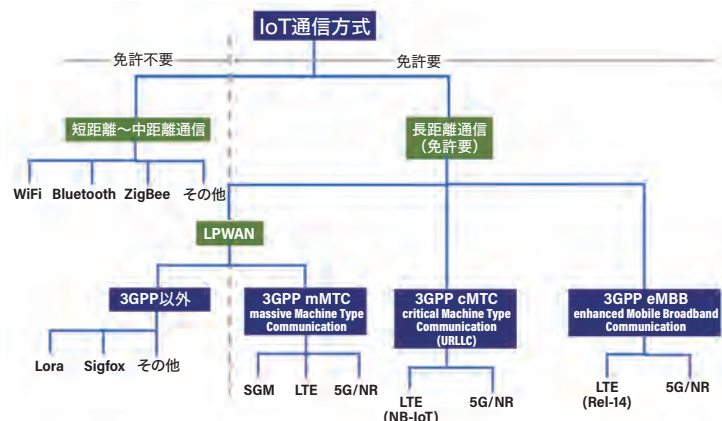


図2 IoT通信方式

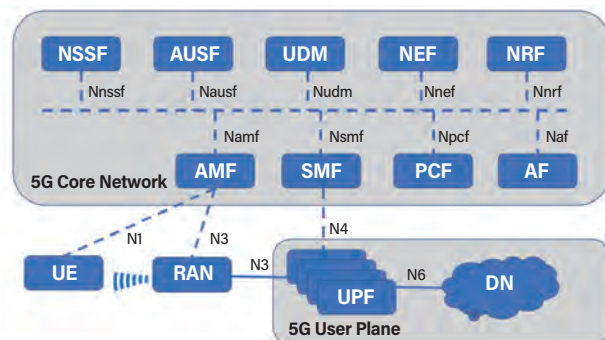


図3 5Gネットワーク構成図

[AUSF] Authentication Server Function [AMF] Access and Mobility Management Function
[AF] Application Function [DN] Data Network [SMF] Session Management Function
[UDM] Unified Data Management [NEF] Network Exposure Function
[NSSF] Network Slice Selection Function [NRF] Network Repository Function
[PCF] Policy Control Function [UPF] User Plane Function [RAN] Radio Access Network

況も含めて述べてみたい。第2章では無線技術の変遷の中での5Gの特長と位置づけを概説し、第3章では5GからBeyond 5Gへの進化の内容を説明する。第4章では、Beyond 5Gで想定されるユースケースについて、自動車業界でのC-V2X（Cellular Vehicle to anything）への5G適用の状況を含めて述べ、第5章でBeyond 5G普及に向けた課題を取り上げる。

2. 5Gの特長と位置付け

IoTの無線通信方式には、図2に示すように周波数帯、通信距離、容量、免許の要否等により様々な方式が存在する。5Gが出現する以前の通信方式では、個別の進化はあるものの、通信特性をレーダーチャートで表現すると、得意とする特性の評価軸が通信方式により異なり、ユースケースごとに通信要件を満たす適切な通信方式を選んで適用されてきた。3GPPのセルラー系通信も5G以前は携帯電話やス

マートホンを想定した音声通話とインターネット接続への適用を主としていた。

こうした状況の中IoTや世の中のDXが進展し、産業分野への情報通信の適用が求められるようになると、通信要件が多様かつ時代とともに変化するようになり、最適な通信方式を都度選んで再構築することは、コスト対効果の観点で非効率となった。このような背景から、様々な産業分野に柔軟に適用可能、かつ再構築を最小限に抑えて進化することが可能なサステナブルなネットワークが求められるようになってきた。5Gはそれらを目指した最初のネットワークとしてとらえることができる。

5GはLTE/4Gをベースとするが、サステナブルなネットワークとするために、アーキテクチャの改善が加えられた。図3に示すように5Gネットワークは、通信制御を行うコアネットワークとユーザデータを流すユーザプレーン、無線アクセスネットワーク（RAN:Radio Access Network）で構成さ

れている¹⁾。コアネットワーク内の機能はソフトウェアの機能ブロックで構成するサービスベースのアーキテクチャを採用し、機能のアップグレードや追加を可能としている。アクセスネットワークは、電波伝搬特性と伝送容量が優れるSub6帯とさらに大容量通信が可能なミリ波帯をサポートしている。

特記すべき5Gの特長として、様々な通信要件に応えるために大容量通信（eMBB: enhanced Mobile Broadband）、多数接続通信（mMTC: massive Machine Type Communications）、高信頼・低遅延通信（URLLC: Ultra-Reliable and Low Latency Communications）といった利用シナリオに対応したスライス制御をサポートしている。スライス制御の種別は、ユーザが選択可能で、例えば、URLLCを選択すると、低遅延や高信頼に関わる性能が秀でた通信性能がサポートされる。スライス制御により、利用シナリオに応じた5Gネットワーク内でのリソース配分の連携

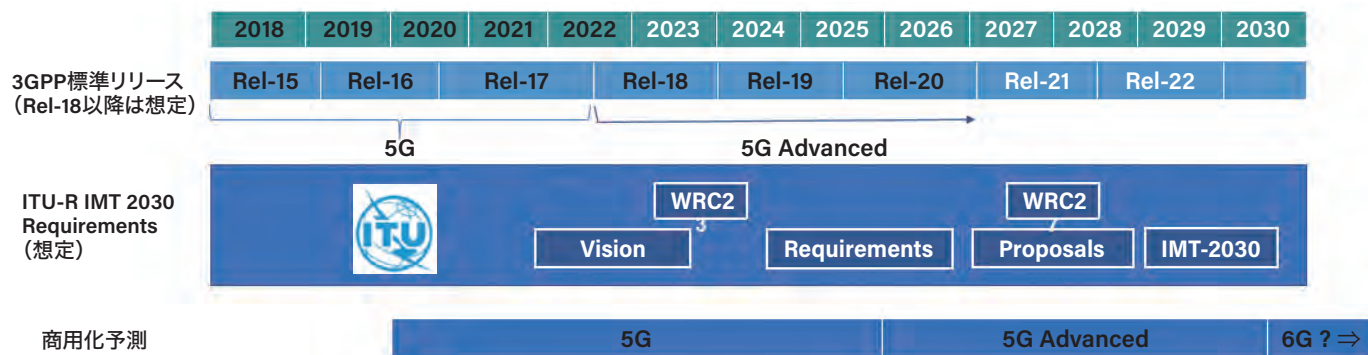


図4 5G / 5G Advanced / 6G タイムライン



図5 スペインのバルセロナで開かれたMWC2023の様子

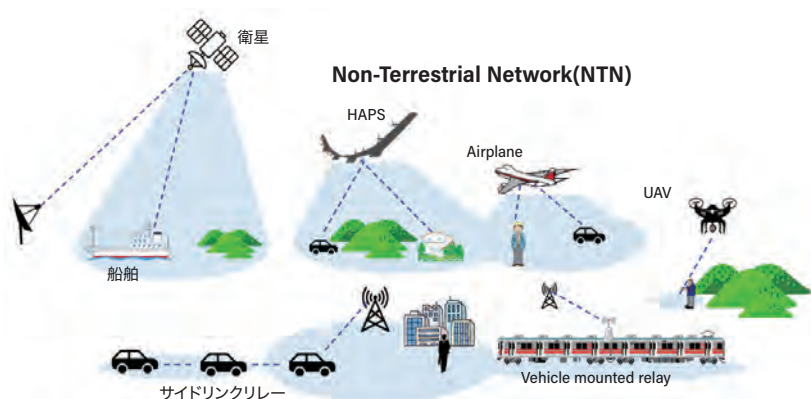


図6 NTN等によるマルチアクセス化

(Orchestration)が可能となる。また、低遅延・分散コンピューティングに適したエッジコンピューティングや要求するサービス品質(QoS:Quality of Service)に対応したQoSフロー制御、さらにはアプリケーション側からの要求に対応したネットワーク情報を提供するNetwork Capability Exposure機能(NEF)を導入している。

RANについては、2018年にO-RANアライアンスが設立され、RANの構成を無線ユニット(RU)、分散ユニット(DU)、集中ユニット(CU)に分離し、ユニット間のインタフェースをオープンで相互運用可能な仕様とすることにより、異なるベンダー装置の相互接続を可能としている。これによりベンダーの多様性が向上し、特定ベンダーの独占を回避している。O-RANアライアンスへの参画企業は通信キャリア32社含めて合計322社となっており、O-RAN普及の浸透が期待される。MWC2023では、NTTドコモがO-RANの導入を検討する海外通信キャリアに対して最適なRANを提供するサービス「OREX」を発表していた。

5Gではネットワークの運用・管理についても、これまでの通信事業者が所有し運用管理するPublic Networkに加えて、一般の事業者が無線免許を取得し、自営で運用管理するNon Public Network(NPN)も構築可能とするための周波数配分等の法制度が整備された。

このように5Gネットワークは、産業用途への適用拡大を目指した、多様な通信要

件をサポート可能なサステナブルなネットワーク構築に向けたスタートポイントという位置づけでとらえることができる。

3. 5GからBeyond 5Gへの進化と位置付け

図4に示すように、3GPPではRel-15～Rel-17を5G、Rel-18以降を5G Advancedと呼んでいるが、6Gについての議論はまだ始まっていない。一方、国内ではBeyond 5Gを6Gと位置付けている。各リリースに対応した商用サービスの開始時期は、リリース制定完了時期よりも数年遅れたタイミングとなる。現在、Rel-16対応の装置とRel-17対応のチップがすでに世の中に出回っており、5G対応のインフラも急ピッチに整備されてきているので、今はまさに5Gのスタートポイントといえるだろう。

MWC2023では、間近に迫る5G Advancedと6Gに関わる講演や展示が多く、“5G Advanced Ready for Take-off”や“The next wave of 5G”、“Ready to Talk 6G?”といったキャッチフレーズが目立った(図5)。本章では、そこから垣間見える5G Advancedと6Gの姿を描きたい。

3.1 5Gから5G Advancedへの進化と位置付け

5G Advancedは、3GPPで仕様が進行中のRel-18が出発点であり、商用化時期は2025年頃と想定されている。2025年時点での社会的ニーズに基づくユースケース

のトレンドと、技術トレンドによる性能向上の2つの側面で捉えると、5G Advancedの主な特長は以下のようになる。

- 非陸上通信 (NTN:Non-Terrestrial Network)の活用
- メタバース関連ビジネスの加速
- AI/ML (Artificial Intelligence/ Machine Learning)の活用領域の拡大
- エネルギー効率向上
- 測位精度の向上
- 端末の多様化とIoTセンサー拡大

NTNの活用については、図6に示すように低軌道衛星やHAPS(High Altitude Platform Station)によるマルチアクセス化で通信カバレッジが空間的に大幅に拡大される。陸上においてもRel-18では車両等の端末間のリレー接続(サイドリンクリレー)や、バスや鉄道に基地局を搭載するVehicle Mounted Relay(VMR)によりカバレッジの拡大が実現される。カバレッジの拡大と新たな周波数領域の割り当て、およびアンテナ技術の進展による通信性能の向上で新たなユースケースが期待される。MWC2023では、実用化間近のHAPSの実物が展示されており、遠隔自動操縦で現状64日間の連続飛行可能なものを、連続200日間に延ばすことを目指している(AALTO)。

AI/MLの活用領域の拡大については、3GPPでは現在、Rel-18のフェーズでAI/MLベースのサービス提供のためのネットワークリソースの効率的な活用方

法、AI/MLモデルの転送や連合学習 (Federated Learning) 含めたMLのためのトラヒック要件、NEFやQoSの機能強化やセキュリティ／プライバシーを確保するための検討を進めている。MWC2023では、AIでイノベーションを起こした事例として、末期ガン患者へのAI活用による完治の事例 (米BostonGene社) や、農業、防災、リサイクルへのAI活用による効果 (NEC) などが紹介された。

メタバースは、新たなビジネス領域として最近多くの注目を浴びている。現在はゲームやエンターテインメントの分野での活用に加えてビジネス領域での活用も始まっている。3GPPでは現在、Rel-19のフェーズにおけるメタバースに関わる検討の中で、想定されるユースケースとそれを実現するための要求条件をスタディ中である。MWC2023では、様々なビジネスジャンルに対応することを考慮したメタバースプラットフォームを準備し、顧客の要望に応じたメタバース空間構築の支援サービスを行う企業 (メタバースプラットフォームViVERSEを展示した台湾HTC社) も現れている。

エネルギー効率の向上については、従来から機能限定した低消費電力チップ (RedCap: Reduced Capability) が存在するが、3GPPではRel-19で自ら太陽光、熱、

出典: IMT for 20230 and beyond:
Beyond 5G推進コンソーシアム白書分科会ホワイトペーパー

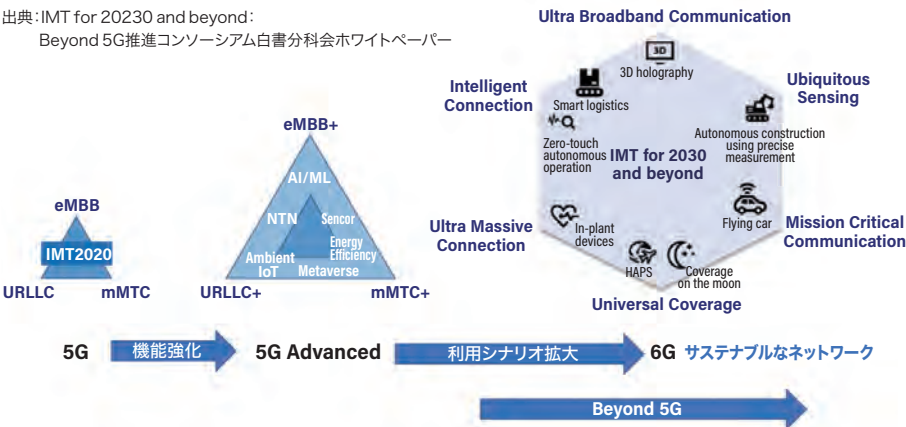


図7 5GからBeyond 5Gへの進化

電磁誘導や動きなどから電気を発生し、センサー等への電気エネルギーの供給を不要とするユースケースが検討されている。

測位精度の向上については、これまでは測位衛星を使った屋外での測位が主であったが、5G Advancedではロボットや自動搬送車 (AGV: Automated Guide Vehicle) の屋内での移動を考慮して、端末・基地局間の通信や端末間のサイドリンク通信を使った測位技術が検討されている。端末の種別もVR (Virtual Reality) 端末、カメラ、ドローン、AGV、ロボット、車両など様々なユースケースに対応して多様化している。

5G Advancedは5Gの3つの利用シナリオ (eMBB, mMTC, URLLC) に対して以上に述べた新たな特長を実現するための

機能強化を施した6Gへの過渡期のネットワークと位置づけられる (図7)。

3.2 5G Advancedから6Gへの進化と位置付け

6Gについてはすでに多くの国でコンセプトに向けた検討が行われており、国内でもBeyond 5G推進コンソーシアム白書分科会において、多くの産業にまたがる広範囲の利用シナリオを想定した将来予測が行われ、2023年3月に「Beyond 5G ホワイトペーパー ～2030年代へのメッセージ～ 2.0版」が発刊されている。例えば、自動車業界におけるBeyond 5Gに向けたトレンドを安全運転支援と自動運転の視点で分析し、高精度センシングと通信の融合、AI分

2030年代の自動車社会の実現に向け、Beyond5Gでは高精度センシングと通信の融合、AI分散学習・推論、超高信頼性が必要となる。

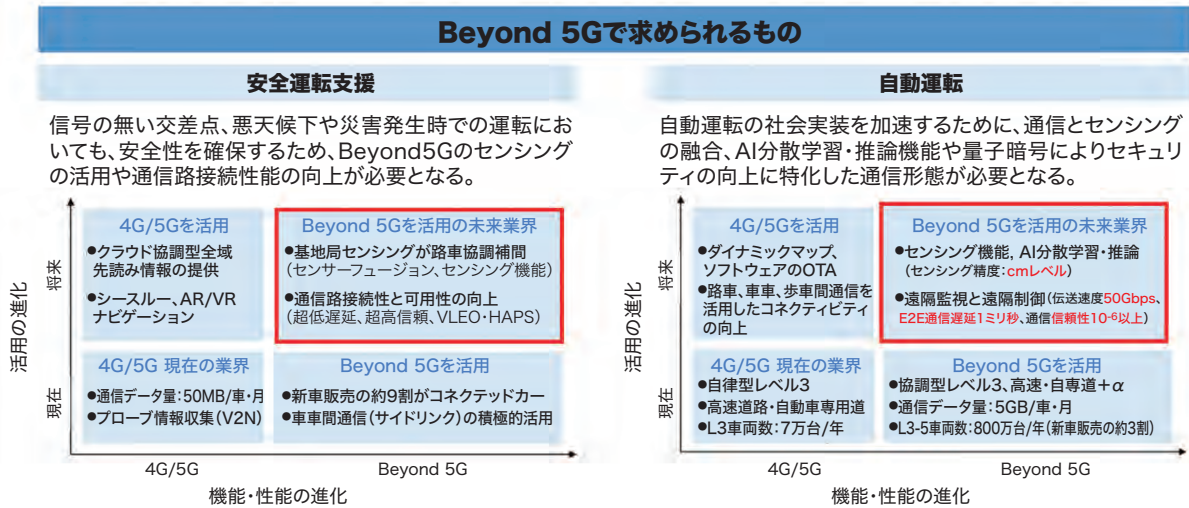


図8 6Gに向けた自動車業界のトレンド

出典: Beyond 5G推進コンソーシアム白書分科会ホワイトペーパー

Beyond 5G/6Gの実現に必要な要素技術

T1. 超高速・大容量通信	T1.1 テラヘルツ波	T5. 時空間同期	T5.1 無線時空間同期
	T1.2 オール光ネットワーク(大容量光ファイバ通信)		T5.2 原子時計チップ
	T1.3 オール光ネットワーク(光・電波融合技術)		T5.3 基準時刻の生成共有技術
T2. 超低遅延・超多元接続	T2.1 エッジコンピューティング技術	T6. 超安全・信頼性	T6.1 エマージング・セキュリティ技術
	T2.2 適応型無線網構築技術		T6.2 実攻撃データに基づくサイバーセキュリティ技術
	T2.3 適応型無線網アプリケーション技術		T6.3 量子暗号
	T2.4 電波放射空間の自律的な局所化・追尾・予約技術		T6.4 電磁環境技術
	T2.5 超多段接続自律M2Mネットワーク構築技術		T6.5 レジリエントICT
			T6.6 センシング
T3. 有無線通信・ネットワーク制御技術	T3.1 ネットワーク制御技術(ゼロタッチ自動化)	T7. 超臨場感・革新的アプリケーション	T7.1 脳情報の読み取り・可視化・BMI技術
	T3.2 周波数の割当・共用管理		T7.2 直感性の計測・伝達・保証技術
	T3.3 自営無線システム管理(ローカルBeyond5G)		T7.3 リアル3Dアバター・五感伝達・XR技術
	T3.4 高度電波エミュレーション		T7.4 言語・非言語情報に基づくAI分析・対話技術
T4. 無線システムの多層化NTN	T4.1 衛星・非地上系通信プラットフォーム		T7.5 エッジAI行動支援
	T4.2 光衛星通信		T7.6 多言語の同時通訳・言い換え・要約技術
	T4.3 海上通信		T7.7 自動運転
	T4.4 海中・水中通信		T7.8 ドローン
	T4.5 多層ネットワーク連携制御		

出典：情報通信研究機構ホワイトペーパー

図9 Beyond 5G/6Gの実現に必要な技術

散学習・推論、超高信頼性が必要であると予測している(図8)²⁾。

また、情報通信研究機構から発刊されているホワイトペーパー「Beyond 5G/6G White Paper 2.0版」では、Beyond 5G/6Gの実現に向けた要素技術を掲げ、各技術の現状とBeyond 5G/6Gに向けた要求条件を分析している。組込み技術との関連で注目すべきものとしては、超低遅延・超多数接続を実現する技術としてエッジコンピューティング技術を掲げている(図9)³⁾。

ITU-Rでは、2023年半ばに6Gビジョン勧告(IMT-2030)を公開すると予想されており、それを受けて3GPPでは2025年または2026年には6Gに関わる検討が開始されるものと思われる。

図7に示すように6Gはメタバースやホログラフィに代表される没入型体験(Immersive Experience)やあらゆるサービスに適用されるであろうAI活用の拡大、マルチアクセス化に伴う通信カパレツジの拡大等による利用シナリオの拡大を想定したサステナブルなネットワークと位置付けられる。

4. Beyond 5Gで想定されるユースケース

3GPPのユースケースの要件を検討して

いるWGであるSA1 (Service & System Aspects Working Group 1)では、分野ごとのスタディアイテム／ワークアイテム(SI/WI)を立上げ、SI/WIで扱うユースケースとその実現要件を検討している。現在はRel-19対応の検討中であるが、Rel-16～Rel-19での検討内容、SI/WIの分類を整理した俯瞰図を図10に示す。

図10より、Rel-16、17に対応する5Gでは、産業分野に対応した新たなSI/WIが主流であるのに対して、Rel-18以降の5G Advancedでは、5Gには無かった新たなサービスに対応したSI/WI(図10 赤字破線)や新たなサービスの実現、環境配慮やAI活用促進等に対応した機能強化のSI/WI(図10 青字破線)が増えていることがわかる。

6Gに対応したユースケースの検討は、3GPPではまだ開始されていないが、前述のBeyond 5G推進コンソーシアム白書分科会発行のホワイトペーパー「Beyond 5G ホワイトペーパー ～2030年代へのメッセージ～ 2.0版」では、産業分野ごとの将来期待されるユースケースの分析を行っている。また、前述の情報通信研究機構から発刊されているホワイトペーパー「Beyond 5G/6G White Paper 2.0版」では、2030年以降の未来社会において想定

超低遅延・超多数同時接続

1	どんな技術	街中に埋め込まれたデバイスやネットワーク内のコンピュータを活用して、超低遅延で信頼性高く ICT サービスを実行する技術である。
2	何故必要か	例えば、出会い頭の事故を回避する処理を、ネットワークを介して遠くのクラウド上のコンピュータで実行させては間に合わない。また經由ネットワークの輻そうで通信が滞るという課題がある。また便利にはなっても、機密や身体情報を外部ネットワークやクラウドに漏洩させたくない。そのため高い安全性も併せて必要となる。
3	国内外現状	欧州電気通信標準化機構(ETSI: European Telecommunications Standards Institute)がMEC(Multi-Access Edge Computing)にてエッジコンピューティングの標準化・5Gにおける提供形態等を規定。総務省での「Beyond 5G時代の有線ネットワーク検討会」にて「ネットワークビジョン 2030」が示され、エッジコンピューティングによる超低遅延、大容量通信の必要性が提言されている。5G Americaでは、ホワイトペーパー「5G At The Edge」にて将来の方向性として情報指向ネットワーク技術の連携を含めたエッジコンピューティングアーキテクチャの将来の方向性を提唱している。
4	Beyond 5G/6Gでの要求条件	2項の実用化においては、超低遅延の応答と情報の完全性・信頼性・安全性の高さのトレードオフ解決、超多数デバイスがネットワーク接続・連携動作するネットワーク・コンピューティングを実現するスケラビリティが求められる。

されるユースケースを物語風に描いている。

Beyond 5Gで注目されているユースケースのひとつとして自動車のV2X (Vehicle to anything)に関連したユースケースが挙げられる。V2Xのユースケースは、自動車の関連プレイヤー(自動車会社、部品メーカー、通信事業者等)が参加して5GのV2Xへの適用を検討している国際組織である5GAA(5G Automotive Association)においても検討されており、V2Xユースケース実現のための自動車業界としての要求事項が3GPP等にインプットされている。

5GAAでは、2020年10月に発行した「ホワイトペーパー「C-V2X Use Cases Volume II」において、分類分けした30個あまりのユースケースの定義と、ユースケース実現の要求条件をまとめている⁴⁾。

また、2022年11月に発行したホワイトペーパー「A visionary roadmap for advanced driving use cases, connectivity technologies, and radio spectrum needs」において、2030年に向けたC-V2Xの将来ビジョンを描いたロードマップを発表している(図11)⁵⁾。

MWC2023では、“Travel Beyond Cars”と題するセッションで、独Volkswagenグループのソフトウェア子会社である独

2018	2019	2020	2021	2022	2023
Rel-16 Stage 1	Rel-17 Stage 1		Rel-18 Stage 1	Rel-19 Stage 1	
Rel-15の機能強化&産業/サービスメニュー強化 機能強化 IMS リアルタイム通信: enIMS LTE ストリーミングサービス: eLSTR 公共警報システム: ePWS 音声サービス継続性確保: 5GVSC RAT 間モビリティ要求事項: MOBRT QoS 監視: QoS_MON ユーザ識別& 認証: UIA マルチデバイス&マルチ識別: MuD LAN サポート: 5GLAN UEへのポリシー伝達: PDBDT 産業分野(新規) 産業分野(継続) 全般: CAV 鉄道: MONASTERY2 cyberCAV FS_FRMCS2 衛星: FS_5GSAT 自動車: V2XIMP 無人飛行体: ID_UAS 海洋: MARCOM Service・Market・Business(新規) ポジショニングサービス: HYPOS メッセージサービス: MSG ビジネスロールモデル: BRMNS Service・Market・Business(継続) 実現技術: SMARTER_Ph2	さらなる機能強化&産業/サービスメニュー充実化 機能強化 エネルギー効率化: REFEC 無人飛行体: EAV サービス断最小化: MINT Calling name サービス: eCNAM_An Calling name Display: VMOD_DISPLAY ローミング制御: eCPSOR_CON MCS用ブロードキャスト& マルチキャスト: 5MBS_eMC マルチデバイス&マルチ識別: MuDE 産業分野(新規) 産業分野(継続) 医療: CMED 鉄道: MONASTERYEND 物流: ATRAC Service・Market・Business(新規) NW制御インタラクティブサービス: NCIS オーディオビジュアルサービス: AVPROD Service・Market・Business(継続) マルチメディア優先サービス: MPS2		5G Advancedに対応した機能強化&サービスメニュー追加 機能強化 AI/MLモデル変換: AMMT ネットワークスライス: EASNS タイミングレジリエンス: 5TRS 車載基地局リレー: VMR 産業分野(新規) 産業分野(継続) 鉄道: FS_RAILSS 鉄道: FS_eFRMCS OffNetRail Service・Market・Business(新規) ローカル5Gアクセスサービス: PALS スマートエネルギー&インフラ: SEI 測位サービス: Ranging 触覚、五感通信サービス: TACMM パーソナルIoT・住宅サービス: PIRates Service・Market・Business(継続) マルチメディア電話サービス: eMMTEL	Beyond 5Gに向けた新規機能追加&サービスメニュー追加 機能強化 センサー連携: FS_Sensing 環境配慮IoT: FS_AmbientIoT AI/ML: FS_AIML_Ph2 NW共有: FS_NetShare 冗長アクセス: FS_DualSteer ロボット連携: FS_SOBOT 産業分野(継続) 鉄道: FS_FRMC_Ph5, FS_RAILSS 衛星: FS_5GSAT_Ph3 無人飛行体: FS_UAV_Ph3 Service・Market・Business(新規) メタバース: FS_Metaverse ローミング: FS_RVAS 省エネサービス: FS_EnergyServ	

図10 3GPP SA1 活動俯瞰図(Rel-16~Rel-19)

CARIADが基調講演を行い、Androidをベースとしたオープンエコシステムでのプラットフォームを構築し、車両内エンタテインメント(One.Infotainmentと命名)をオーディオ機器メーカーである米Harman International社と共同で実現することが発表されていた。また、展示場では、米T-Mobile社が2022年5月に米国アトランタで開催された

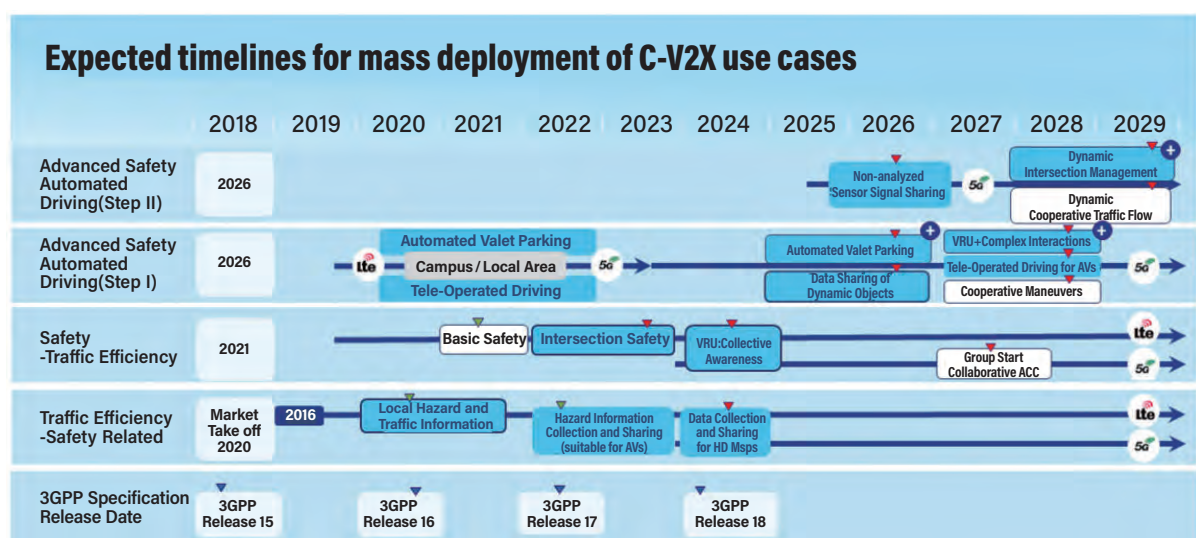
5GAA会合で行われたレベル4自動運転デモの映像や自転車に搭載するV2X用通信モジュールを展示していた(図12)。

5 Beyond 5G普及に向けた課題

Beyond 5Gの普及に向けた課題は、技術的な側面、社会的な側面および経済的側面ととらえることができる。

技術的な側面では、前述の図9に掲げた要素技術の着実な進展が必要となるが、特に以下に掲げた技術は社会的側面や経済的側面の課題とも密接に関わっており、重要になると思われる。

- AI
- 周波数再編
- 超分散コンピューティング



5GAA White paper(21 Nov.2022)
 A visionary roadmap for advanced driving use cases, connectivity technologies, and radio spectrum needs
 Figure 1: Evolution of C-V2X use towards connected cooperative driving

図11 C-V2X ユースケース将来予測ロードマップ

出典: 5GAA White paper

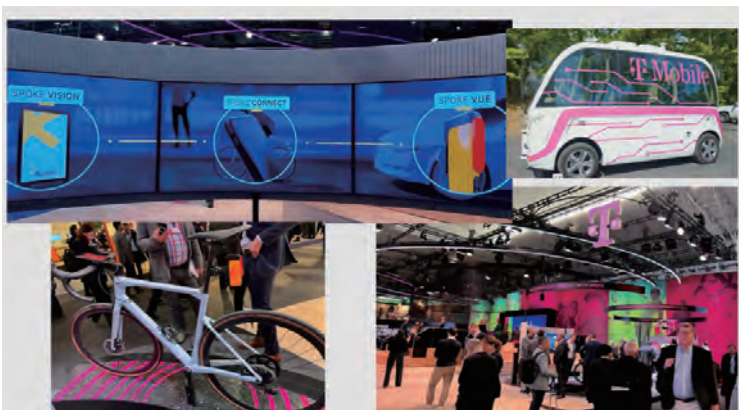


図12 MWC2023 米T-Mobile社展示会場の様子

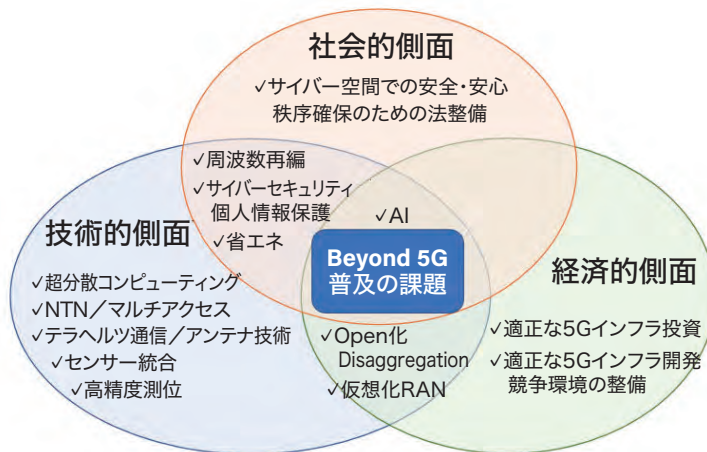


図13 Beyond 5G普及に向けた課題

- サイバーセキュリティと個人情報保護
- 省エネ技術
- NTN等のマルチアクセス技術
- センサー統合技術
- テラヘルツ通信とアンテナ技術 (Advanced MIMO, Beamforming)
- 高精度測位技術
- Open化/Disaggregation
- 仮想化RAN

経済的な観点では、Beyond 5Gインフラへの着実な投資の継続と、適正な開発競争環境の整備が挙げられる。2月に公開されたGSMAレポート「The Mobile Economy 2023」⁶⁾では、2023～30年の世界のモバイル設備投資額1.5兆ドルのうち92%が5G向けとしているが、投資を通信キャリアのみが負担するのは困難であり、近年はプラットフォーム等も含めた公平な費用負担が話題となっている。また、5Gの特長が発揮できるスタンドアローン

(SA)のシステムについては、2023年1月時点で商用化させている通信キャリアは世界で5Gを商用化した231社中32社に留まっており、今後の加速が望まれる。開発の競争環境の整備に関しては、O-RANや仮想化RAN技術によるOpen化された機能分割、いわゆるDisaggregationが実現の鍵を握っている。

社会的な観点では、Beyond 5Gではサイバー空間での生活、ビジネスが大幅に拡大することが予想されることから、サイバー空間における安全・安心と秩序の確保が重要となる。そのための世界レベルでの法整備が求められる。

以上に述べたBeyond 5G普及に向けた課題における3つの側面は、SDGsをはじめとしたBeyond 5G時代における社会的要請と情報通信インフラの性能と整備するためのコストが互いに影響しあう中で解決の着地点が決まるものであり、そのイメー

ジを図13に示す。

最後に

5GからBeyond 5Gへの進化はサステナブルなネットワークを目指した進化であることを述べてきたが、その背景にあるものは、Beyond 5Gで実現する新たなユースケースがSDGsの実現に寄与することにある。間もなく、ITU-Rより2030年に向けたビジョン勧告が発表されるが、それはサステナブルな世の中を目指したものであり、生活とビジネスの両面でパラダイムシフトを起こすものとなるであろう。本寄稿では、CIAJとJASAの連携の話からスタートしたが、サステナブルな社会の実現に向けて両者が連携する意義は大きく、今後も連携活動をさらに深めていく予定である。

最後に、本寄稿の執筆にあたって協力いただいたCIAJおよびJASAの関係者に深く感謝申し上げたい。

牧野 真也(まきの しんや) 1983年東京工業大学大学院修士課程 物理情報工学科修了。同年、三菱電機株式会社情報電子研究所入社。1993年から1994年まで米国コロンビア大学CTR (Center for Telecommunications Research) にて客員研究員として駐在。その間、通信機器の信頼性確保の研究に従事。1998年から2003年には、三菱電機株式会社 コミュニケーション・ネットワーク製作所において光アクセスシステムの開発に従事。2004年から現在まで三菱電機株式会社 通信システムエンジニアリングセンターにおいて防災、交通、電力等のシステムエンジニアリング、渉外活動に従事。

参考文献

- 1) 3GPP TS 23.501 V18.0.0 System architecture for the 5G System Stage 2 (Release 18), 2022-12
- 2) Beyond 5G推進コンソーシアム白書分科会、Beyond 5G ホワイトペーパー ～2030年代へのメッセージ～ 2.0版、2023年3月 <https://b5g.jp/output/>
- 3) 情報通信研究機構、Beyond 5G/6G White Paper 2.0版、2022年3月 [NICT_B5G6G_WhitePaperJP_v2.0.pdf](https://nict.b5g6g.jp/whitepaper/v2.0.pdf)
- 4) 5GAA, White paper : C-V2X Use Cases Volume II, 2020-10 <https://5gaa.org/c-v2x-use-cases-volume-ii-examples-and-service-level-requirements/>
- 5) 5GAA, White paper : A visionary roadmap for advanced driving use cases, connectivity technologies, and radio spectrum needs, 2022-11 <https://5gaa.org/5gaa-publishes-updated-2030-roadmap-for-advanced-driving-use-cases-connectivity-technologies-and-radio-spectrum-needs/>
- 6) GSMA, Global Mobile Trends 2023 - Navigating an uncertain world-, 2023-2 https://www.mobileworldlive.com/wp-content/uploads/2023/02/gtr_23.pdf



Web3の現状と未来

—デジタル革命か、詐欺の温床か—

星 暁雄

ITジャーナリスト

「Web3はイノベータと詐欺師の両方を魅惑している」——Web3とはNFT(非代替性トークン)やDeFi(分散型金融)などブロックチェーンを応用したテクノロジーとサービスの総称だ。ブロックチェーン上で動くスマートコントラクトを活用した決済、金融、デジタルアセット管理のイノベーションと考えられている。大きな注目と巨額の資金を集め、日本の政府や大手企業も取り組みを進める。一方でWeb3分野の企業破綻や経済犯罪も相次ぐ。高い理想を掲げ成功した少数のプロジェクトと、詐欺的もしくは失敗した多数のプロジェクトが混在する。Web3は革命か、それとも詐欺の温床か。

「Web3は、イノベータと詐欺師の両方を魅惑している」——これは「スタンフォード・ソーシャル・イノベーション・レビュー」が掲載した記事の一節である(Scott Smith, Lina Srivastava, Web3 and the Trap of 'For Good', Stanford Social Innovation Review May8, 2022¹⁾)。

このようにWeb3は議論が多い分野だ。本稿では、Web3への単純な礼賛でも非難でもなく、なるべく公平に表と裏の両面を説明したい。

Web3(Web3.0、web3の別表記もある)には内容が異なる複数の説明がある(詳しくは後述)。第一近似としてはWeb3とはブロックチェーン技術に基づくテクノロジーとサービスの総称である。「Web」という言葉を使っているが、現状のWeb技術の延長で理解しようとするとかえって混乱するだろう。むしろWeb技術とは別系統のブロックチェーン技術による新しいインターネットサービスの総称と考えてほしい。技術者の方にとっては、Web3は技術を指す用語というより、ビジネスの新分野を示す用語だと考えた方が理解しやすいだろう。

Web3という言葉は、2021年頃にはVC(ベンチャーキャピタリスト)や暗号通貨系スタートアップ企業の間で盛んに使われる

用語になった。ただし2022年に起きた複数の暗号通貨系プロジェクトの破綻の影響もあり、2023年3月の現時点ではブームは一段落の感がある。統計サイトCoin Geckoによれば、2022年を通じてNFT取引高は93.1%減少した(それでも月間4億ドルの規模である)。2023年初頭のWeb3業界は「冬の時代」なのである。

Web3関連用語を整理する

まずWeb3の技術的な側面を説明したい。細かな用語は表1に譲り、本文ではNFTとブロックチェーンの2つの用語に絞る。

NFT(Non-Fungible Tokens、非代替性トークン)はブロックチェーンが管理するデジタル資産の一種で、1個1個が識別可能で複製不可の「証明書」のような性質を持つ。よく耳にするNFTの利用法は、画像とNFTを組み合わせて「発行数限定のトレーディングカード」であるかのように市場で売買可能にしたデジタル資産である。なお、デジタル資産としてのNFTとは別に「譲渡できないNFT」を学生証などの証明書や個人の資格証明書として使う場合もある。

日本でNFTが注目される一つの理由はマンガ、アニメ由来など日本特有のIP(知的財産)をNFTの題材にできる期待があるこ

と。もう一つは、日本の規制環境の下ではDeFi(分散型金融)のようなNFT以外のWeb3分野に事業者が手を出しにくく、相対的にNFTに注目が集まったためだ。Web3ビジネスには暗号資産や独自トークンがつきものだが、日本国内で暗号資産に相当するトークンを預かったり交換したりするビジネスを手がけるには金融庁が認めた「暗号資産交換業」のライセンスを取得する必要がある。そのためには金融機関としての社内体制を整え、金融庁が認めた自主規制団体「一般社団法人日本暗号資産取引業協会(JVCEA)」に加盟する必要もあり、コスト、制約ともに大きい。一方、NFTは今のところ規制が緩い。

もう一つの用語ブロックチェーンとは、分散型台帳技術(DLT)のうち暗号学的リンクを用い改ざんを防ぐ独自のデータ構造を利用するものを指す言葉である。ここで分散型台帳技術とは、複数のノードにより機能するP2P(ピア・ツー・ピア)ネットワークで、同期と共有のための専用プロトコルである「合意形成メカニズム」(あるいは合意形成アルゴリズム)を用いて複数のノードを用いてデータを管理する仕組みである。技術的に厳密な定義はISOの用語集²⁾を参照されたい。

ブロックチェーンの中で、誰でもノードを

用語	説明
ブロックチェーン	暗号学を応用し改ざん困難なデータ構造と、同期のための合意形成メカニズムを備えたP2Pノード群が構成する分散型台帳
イーサリアム	Bitcoinに次いで分散性とセキュリティが高いブロックチェーン。EVM(イーサリアム仮想マシン)を搭載しスマートコントラクト実行機能を備える。イーサリアム本体は処理能力が限られ利用手数料が高騰したため、イーサリアムと親和性があるL1、L2が発達した
EVM	イーサリアム仮想マシン(Ethereum Virtual Machine)。イーサリアムが搭載するプログラム実行環境。PolygonやBSCなどEVM互換のスマートコントラクト実行エンジンを備えたブロックチェーンが多数登場している
L1	独立して機能するブロックチェーンをL1(レイヤー1)と呼ぶ場合がある。代表的なL1はイーサリアム。EVM互換のL1では高速性が特徴のAvalanche、Polkadotエコシステムから生まれた日本発のAstarなどがある。EVM非互換のL1はTron(EVM部分互換)、Solanaなどがある
L2	レイヤー2。暗号学的なメカニズムによりL1ブロックチェーンのセキュリティを引き継ぎ、より高速、低手数料のブロックチェーンとして機能する。イーサリアムのL2としてOptimistic Rollup技術に基づくArbitrum One、Optimismなどが登場している
サイドチェーン	Web3分野では主にイーサリアムとなんらかの形で暗号学的に結びついたブロックチェーンをサイドチェーンと呼ぶ。L2に比べると中途半端だが、手数料はより安い。BSC(BNB Smart Chain)、Polygonなど
トークン	ブロックチェーンが管理する、個性がなく数量で量られるデジタル資産。Fungible Tokens。Cryptocurrency、暗号通貨、仮想通貨、暗号資産とも呼ぶ。各L1やサイドチェーンごとに、ブロックチェーンの利用手数料支払いに用いるネイティブトークンがある
NFT	非代替性トークン(Non-Fungible Tokens)。ブロックチェーンが管理するデジタル資産の一種で、1個1個が識別可能で複製不可の「証明書」のような性質を持つ
スマートコントラクト	ブロックチェーン上で自動執行されるプログラム。イーサリアムがまず導入し、その後多くのブロックチェーンが採用した
プロトコル	Web3分野ではブロックチェーンそのものや、その上にスマートコントラクトを用いて構築した仕組みをプロトコルと呼ぶ。「サービス」や「運営企業」を置き換える言葉、概念といえる。通信規約という意味ではない
DAO	分散自律型組織(Decentralized autonomous organization)。ブロックチェーン上でスマートコントラクトが管理する組織。トークンホルダーによる議決で資金の使い方を決定する場合が多い
DeFi	分散型金融。スマートコントラクトを使うオルタナティブ金融サービスを指す。ステーブルコイン、DEX、流動性供給など
ステーブルコイン	法定通貨に価格を連動させたトークン。米ドル連動のTether(USDT)、USDC、DAIが代表的。日本円連動のJPYCもある
DEX	分散型取引所(decentralized exchange)。2種類のトークンを時価で交換する。中核部分は人手を介さずプログラム(スマートコントラクト)だけで運営される点が特徴。Uniswap、PancakeSwap、SushiSwapなど。なお従来型の取引所をDEXと区別してCEX(centralized exchange)と呼ぶ
DeFiレンディング	資金流動性を提供するサービス。各プロトコルは資金プールを持ち、ユーザーはトークンをプールに預け利回りを得る。プロトコルは資金を利息を取って貸し出す。Compound、Aaveなど
GameFi	トークンやNFTの要素を持つWeb3ゲームの総称。ゲームをプレイすることで独自トークンを得られるスタイルが多い。Axie Infinity、STEPNが有名だったがその後トークン相場は低迷。Decentraland、Sandboxのようにメタバースとして作られたゲームもある
Web5	Web3のアンチテーゼ。Twitter創業者でBlock経営者のジャック・ドーシーが提唱した技術群。Bitcoinの上位レイヤーとしてアイデンティティ管理やデジタル資産交換サービスなどを実現する。独自トークンやスマートコントラクトなどの概念を否定することが特徴

表1 Web3分野の主な用語

立てて参加可能なものを一般にパブリックブロックチェーン(あるいはパーミッションレスブロックチェーン)、そうではなく特定の許可された人(あるいは会社、団体)だけがノードを運営できるものをプライベートブロックチェーンと呼ぶ。両者は技術体系が異なる。Web3分野で必要なのは、主にパブリックブロックチェーンの知識である。

ブロックチェーン技術で重要なのは、合意形成である。コンピュータサイエンス分野で研究された分散システムの合意形成メカニズムにはPBFT(Practical Byzantine Fault Tolerance)などの例があるが、いずれもノード数が既知である必要があった。ま

た一般にノード数が増えると通信量が分散する性質があり大規模化に制約があった。

一方、Bitcoinは合意形成に確率の概念を持ち込み、ノード数が不定であっても機能する——すなわちネットワークへのノードの参加脱退がいつでも自由な合意形成メカニズムを発明した。これをBitcoin発明者の名前を取ってナカモト・コンセンサスと呼ぶ場合がある。イーサリアム(Ethereum)や、それに続く多くのパブリックブロックチェーンがナカモト・コンセンサスを踏襲する。ナカモト・コンセンサスはノード数の大規模化に対応できる特徴もある。

ただし、Bitcoinのブロックチェーンの処

理性能は最大7取引/秒程度、イーサリアムも15取引/秒程度と低い。これは、ブロックチェーン設計では「セキュリティ、分散性、スケーラビリティ=処理性能のすべてを追求することはできない」というトリレンマがあり、Bitcoinやイーサリアムではセキュリティと分散性を重視して性能を犠牲にしているためである。なお性能問題の解決はL2(レイヤー2)と呼ぶ別系統の技術で達成しつつある。

ナカモト・コンセンサスの合意形成では、時間とともに「合意が覆る可能性」がゼロに収束する。ただし、いつまで経っても完全なゼロにはならない。多くの金融機関がブロック

1) https://ssir.org/articles/entry/web3_and_the_trap_of_for_good# 2) <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:22739:ed-1:v:en>

Web3の新規性	Web3のダークサイド
決済手段が組み込まれておりビジネスモデルの幅が広い ユーザーの主導権が大きく、巨大企業による寡占が起きにくい 新たな資金調達方式としてのトークン	イノベータと詐欺師を同時に引きつける ユーザーの流動性が高く「丸パクリ」サービスが横行 ポンジ性のある(ネズミ講的な)スキームが横行

表2 Web3の新規性とダークサイド

チェーン技術を検討し技術の実証を進めているが、金融機関はファイナリティ(決済の確定性)がある(確率を用いない)合意形成メカニズムを採用したプライベートブロックチェーン技術を好む傾向がある。一方、Web3ベースのビジネスではパブリックブロックチェーンを主に用いる。ファイナリティは「気にしない」のがWeb3の価値観といえる。

NFTに関連して「ブロックチェーンは電力消費量が多く環境負荷が高い」といった批判を聞くことがある。イーサリアムは従来電力消費が大きなPoW(Proof of Work)を合意形成メカニズムの一部として使ってきたが、2022年9月15日のアップデート「The Merge」により電力消費が少ないPoS(Proof of Stake)に切り替えた。Web3の電力消費と環境負荷の問題は大きく改善されたといえる。

Web3のセキュリティ面への不安を感じる人もいるかもしれない。暗号通貨関連のハッキング事件は多数発生している。これらの事件は取引所のシステムのようなブロックチェーン外部や、ブロックチェーンのアプリケーションプログラム(スマートコントラクト)の脆弱性を突いたものだ。ブロックチェーンそのもの、特にイーサリアムそのもののセキュリティの高さは犯罪者に狙われ続ける過酷な環境下で実証され続けているといえる。

ただしスマートコントラクトの脆弱性は大きな問題で、2016年のThe DAOハッキング事件いらい多数の被害を出している。今ではまともなプロジェクトであれば形式検証など最新技術を駆使したスマートコン

トラクトへのセキュリティ監査を受けるのが通例となっている。その一方でセキュリティ監査の予算をケチったプロジェクトに対するハッキング事件はむしろ増えている。最近では複数ブロックチェーン間でデジタル資産を移転するブリッジの脆弱性を突いた攻撃や、フラッシュローン攻撃(価格操作と価格情報の時差を悪用した攻撃)のような新たなリスクが顕在化している。

日本のビジネス環境で「よく聞く言葉」に

日本でWeb3がどのような文脈で語られているのかを見ていこう。

Web3は、日本でもよく聞く言葉となっている。政府が2022年6月に閣議決定した「経済財政運営と改革の基本方針2022」、いわゆる「骨太の方針」には、ブロックチェーン技術を基盤とするNFTやDAOの利用等のWeb3.0の推進に向けた環境整備の検討を進める」との文言が盛り込まれた³⁾。

また時の政権与党である自民党のデジタル社会推進本部には「web3プロジェクトチーム(web3PT)」が置かれており、2022年12月16日には「web3政策に関する中間提言」を発表している。いわば政権の「お墨付き」のハイテク用語の一つとなっている訳である。

日本の大手企業の一部もWeb3に意欲を見せる。例えばKDDIが2023年3月7日に発表した「メタバース・Web3サービスαU」では、NFTマーケット「αU market」やPolygon対応の暗号通貨ウォレット「αU wallet」を盛り込んだ⁴⁾。KDDIのメタバースサービス「αU metaverse」の中で、NFT

として売買するデジタルアイテムを持ち込み、身に付けるデジタルアイテムや、自分の「部屋」に飾るアイテムとして活用できるようにする方向だ。ブロックチェーン技術としてPolygonを利用する。

また、日本発のブロックチェーンAstarに対して、NTTドコモ⁵⁾、トヨタ自動車、博報堂ら日本の大企業が取り組みを進めている。

電通グループは、グループ横断組織「web3 club(ウェブスリークラブ)」を2022年9月8日に発足させた⁶⁾。共同で、web3領域における顧客企業のビジネスを統合的に支援する狙いだ。

ゲーム大手のスクウェア・エニックスはNFT分野やWeb3分野の研究を続けている。2023年3月17日にNFTコレクティブルアートプロジェクト「SYMBIOGENESIS」を発表。NFTアートとストーリーを持つゲームコンテンツを組み合わせた独自の世界観を提供する。

日本国内では「Web3とメタバースの関係」に関する言説をよく聞く。メタバース分野の一部では、決済やデジタルアセット(例えばアバターの着用する衣類やアイテムなど)売買のためにブロックチェーンやWeb3関連サービスを応用できないかという期待がある。そのような世界観をいち早く実現したメタバースGameFiとしてDecentralandやSandboxがある。一方、前述の「αU」はメタバースにNFTを取り入れ、「SYMBIOGENESIS」はゲームコンテンツにNFTを取り入れた。ただし、2023年初頭の時点でメタバースへのWeb3の取り入れが本格化しているとはいえず、この取り組み

2022年	
2月2日	SolanaのブリッジWormhole Bridgeハッキング。3.26億ドルが流出
3月29日	Axie Infinity向けブリッジRonin Bridgeハッキング。6.24億ドルが流出
5月9日	ステーブルコインUSTデベッグ、Luna崩壊（創設者Do Kwonは逃亡を続けたが23年3月に逮捕）
7月1日	暗号通貨ヘッジファンドのThree Arrows Capital破産
7月14日	暗号通貨レンディングのCelsius破産
8月8日	暗号通貨ミキサーTornado Cashがマネロン疑惑でOFAC（米財務省外国資産管理室）の制裁を受ける（8月10日、開発者Alexey Pertsevが逮捕）
10月	BNB Bridgeハッキング。5.86億ドルが流出
10月26日	SEC（米証券取引委員会）がNFTコレクションBAYC（The Bored Ape Yacht Club）制作元のYuga Labsの調査を開始
11月11日	大手暗号通貨取引所FTXが破産（12月12日、FTX創設者のSam Bankman-Fried逮捕）
11月28日	暗号通貨レンディングのBlockFi破産
2023年	
3月11日	SVB（Silicon Valley Bank）の破綻を受けステーブルコインUSDCとDAIが一時期デベッグ（のち回復）
3月17日	DeFiレンディングプロトコルEuler Financeハッキング。1.97億ドルが流出
3月22日	大手暗号通貨取引所Coinbaseが未登録証券を上場した可能性に関してSEC（米証券取引委員会）から警告を受ける

表3 最近の主なWeb3関連事件

が今後伸びるかどうかは断言しづらい。

このように日本政府と産業界がWeb3への取り組みを進める理由は、Web3分野には世界中から資金が集まる可能性があり、日本企業によるWeb3サービスが活性化すれば日本経済に寄与するとの期待があるためだ。

ただしWeb3には良い面、悪い面がある。Web3分野では革新と詐欺が同時に盛り上がっているのだ。

Web3の勘所

3つの新規性と3つのダークサイド

筆者の視点でWeb3の新規性とダークサイドを整理した（表2）。筆者の見方では、Web3の新規性は次の3点となる。(1)決済手段が組み込まれておりビジネスモデルの幅が広い。(2)ユーザーの主導権が大きく、巨大企業による寡占が起きにくい。(3)デット（借金）、エクイティ（株式）に続く第3の資

金調達方式「トークン」が登場した。

これらの新規性は、実はWeb3のダークサイドとも結びついている。(1)決済手段が組み込まれお金がサービスに集まるため、イノベーターも詐欺師も同時に引きつける。(2)ユーザーの流動性が高いため、競合サービスが乱立しやすい。(3)ネズミ講に似た（ポンジ性がある）持続可能性がないビジネススキームが横行しがちである

これらの各要素を説明しておこう。Web3はパブリックブロックチェーンを応用したサービスだが、パブリックブロックチェーンの基本機能は決済である。金融商品開発のテクニックも使うことで、マネタイズの手段が圧倒的に増える。このことはWeb3ビジネスにおいて決定的に重要だ。Web3以前のWebベースのサービスのマネタイズ手段といえば広告モデル、課金モデル、EC（電子商取引）が主だった。ところがWeb3では全く異なるビジネスモデルを

設計できる訳だ。

Web3では事業者とユーザーの力関係でユーザー側の力がより大きく、巨大企業による寡占が起きにくい。従来のWebベースのサービスでは、ユーザーの個人情報やサービス利用の履歴情報はサービスにロックインされていた。このため競合サービスに気軽に移行できず、ユーザー数を集めたサービスがより強くなる収益増の構造があり、寡占が起きやすい構造だった。ところが、Web3のサービスでは、ユーザーは原則として好きな時に自分のデジタル資産（トークン、NFT）を外部に持ち出せる。魅力的な代替サービスが登場すれば、ユーザーはすぐに移動する。Web3ユーザーは銀行の預金者や、株式市場の株主のような存在なのである。

しかも、Web3系のサービスではサービスの中核部分も含めてオープンソース・ソフトウェアとして公開することが業界の慣例と

3) <https://www5.cao.go.jp/keizai-shimon/kaigi/cabinet/2022/decision0607.html> 4) <https://news.kddi.com/kddi/corporate/newsrelease/2023/03/07/6588.html>
5) https://www.docomo.ne.jp/info/news_release/2022/10/31_00.html 6) <https://www.dentsu.co.jp/news/release/2022/0908-010547.html>

なっている。人気があるサービスが登場すると、ソースを完全にコピー（フォーク）して拡張したサービスが乱立する場合もある。例えば最有力のDeFiサービスであるUniswap V2はオープンでフリーなライセンスであるGPL v3.0でソースコードを公開したが、これをフォークしたサービスSushiSwapがUniswapのユーザーを積極的に奪いに来る出来事が起きた。これ以外にもUniswapのフォークは多数乱立している（なお新バージョンのUniswap V3では独自ライセンスを採用しフォークの乱立を防ぐ施策に出た）。多くのWeb3サービスのビジネスモデルとソースコードがコピーし放題であることが、良くも悪くも事業者の寡占が起りにくい背景の一つといえる。

資金市場、ベンチャーキャピタリストの観点でもWeb3は魅力的な存在だった。デット（借金）、エクイティ（株式）に続く第3の資金調達方式「トークン」が登場したためである。Web3のビジネスでは、独自のトークン（ブロックチェーン上で流通する暗号通貨）を発行し、資金調達に使う事例が非常に多い。エクイティを渡さず、バランスシートの負債にも計上せず、資金を調達できる訳である。

「ポンジ性」があるスキームが横行

表2に示したように、Web3の新規性はダークサイドと結びついている。決済手段が組み込まれ新規トークンを簡単に発行できるブロックチェーンを使えば簡単に詐欺的なサービスを開発できる。Web3に関わる人にとって「詐欺に注意すること」は基本的なリテラシーと考えられている。

Web3分野では巨額の損失が発生する事業の破綻やハッキング事件が多数発生している（表3）。これらの事件に巻き込まれて被害を被った法人、個人は多数にのぼる。

Web3分野では大事件だけでなく小さな「詐欺」も無数に発生している。ブロックチェーン関連の調査会社である米



図1 イーサリアムのWebサイト。イーサリアム(Ethereum)はWeb3の中核技術といえる。

Chainalysisは、2023年2月に「新トークンの24%は詐欺疑い」とする調査報告を発表した⁷⁾。多額の資産を集める2種類のブロックチェーン、イーサリアムとBNB Smart Chain (BSC)の上で流動性を維持する約4万種類のトークンを調べたところ、その24%に価格操作が疑われる「発行後第1週の大幅価格下落」があった。下落幅が大きな25種類のトークンを詳細に調べたところ、すべて「ほぼ間違いなく価格操作のために設計された」トークンだった。つまり継続的な価値の向上を目指すより、価格操作により短期的に一握りの人々が利益を得る目的で作られたトークンだと強く疑われるものだった。

こうした詐欺的なトークン、プロジェクトの形容としてWeb3分野でよく耳にする言葉が「ポンジ性」である。「ネズミ講の変種であるポンジスキームに似て、常に新規参入者がいないと破綻するビジネスモデル」といった意味合いで使われる。

Web3ではビジネスモデルの幅が広がったため、例えばユーザーにサービス利用に必要なトークンを無償配布する手法や、サービスを利用するユーザーにトークンを配布するビジネスモデルが登場している。ゲームをするとトークンがもらえる「Play to Earn」と呼ばれる種類のサービスも乱立した。

無償でトークンを配るビジネスモデルがなぜ成立するかというと、先行ユーザーが無償で手に入れたトークンを、遅れて参入したユーザーが市場で買うからである。市場での買いが止まればトークン価格は暴落しビジネススキームは破綻する。このようなネズミ講的なビジネススキームを揶揄する言葉が「ポンジ性」である。

2021年のWeb3ブームが過熱していた時期には、Axie Infinity、STEPNなどのPlay to Earn型ゲームのトークンやNFTに高値が付き相場が過熱していた。STEPNは「Move to Earn」と呼ばれ、「スニーカー」を表すNFTを購入してスマートフォンを持って歩くことでトークンが得られるスタイルが人気を呼び、2022年のピーク時には100万人のユーザーを抱えていた。ピーク後のアクティブユーザーは5000人に激減したと見られる(CoinGeckoによる)。

こうしたスキームに対する事業者側の言い分は「プロジェクト開始時点ではたしかにポンジ性があるが、やがてゲームのエコシステムの中でのデジタルアセット取引が活発になり経済圏ができ、やがてエコシステムが成熟し持続的になる」といったものだ。この説明通りになるプロジェクトもあるが、そこまで至らず失速するプロジェクトの方が多いといえる。

このほか「通貨の価値の裏付けが金（ゴールド）ではなく国家の信用に基づく不換紙幣のシステムは、実はポンジスキームと同様ではないか」といった「ものの言い方」もよく聞く。論評は避けるが、このような新しい価値観に馴染めるかどうか、新しい経済圏の可能性を認めるかどうか、Web3に馴染めるかどうかの分かれ目といえる。

Web3の「ものの言い方」を振り返る

Web3という言葉には歴史的経緯がある。以下に、3種類のWeb3の説明を紹介しよう。

1番目は、Webの発明者であるTim Berners-Lee氏の2006年の言葉である⁸⁾。当時「Web2.0」という用語が流行したことを受け、Tim Berners-Leeは「(Web2.0の次の)Web3.0が出てくるとしたら、それはセマンティックWebや、3D VR(3次元のバーチャルリアリティ)かもしれない」と語った。ただ、このときの発言が、今のWeb3ブームに影響したとはいえない。いま世の中で語られているWeb3にはセマンティックWebの要素は特になく、3D VRの要素もあまり見かけない。

2番目は、「イーサリアム(Ethereum)」のCTO(最高技術責任者)で共同創業者だったGavin Wood氏の2014年の言葉である。氏はこの年、「Web3.0」のコンセプトを発表した⁹⁾。その内容は「分散化とプライバシー保護を徹底したインターネットインフラ」と呼ぶべき内容である。イーサリアムはその一部である決済インフラとして位置づけられる。巨大IT企業の寡占や国家による大規模監視が問題視される中、それに対する答として考えられたコンセプトだった。なお、

現在のGavin Wood氏はイーサリアムから離れ、ブロックチェーン技術Polkadotを推進する「Web3財団(Web3 Foundation)」を創設し、活動が続いている。

3番目は、ベンチャー投資会社Andreessen Horowitz(A16z)のパートナーであるChris Dixon氏が2021年に発表した文章である。大意は次のようになる。「Web1は1990年～2005年まで。分散型/分権型でコミュニティが管理するオープンなプロトコルが中心。価値はネットワークのエッジ、すなわちユーザーやビルダー(開発者)が持っていた。Web2は2005年～2020年まで。企業が運営するサイロ化された中央主権的なサービス。Google、Apple、Amazon、Facebookといった一握りの企業が価値を手にした。現在、私たちはWeb3の時代の始まりにいる。これはWeb1の分散化されたコミュニティが管理する価値観と、Web2の高度で現代的な機能を合わせたものだ。Web3では所有権とコントロールが分散化/分権化されている。トークンはユーザーに所有権、つまりインターネットの一部を所有する能力を与える」。

ここでWeb2.0はTim O'Reillyが2005年に提唱した言葉だ。Tim O'Reillyはすべての人々が「参加」できる対話型のWebに期待していたが、結果として巨大IT企業の寡占状態が生じた。Chris DixonはWeb3を巨大IT企業寡占へのアンチテーゼであり新たな投資機会と見た。もともと今のようなWeb3の「冬の時代」ではそこまで楽観的ではいられない。

筆者の意見では、Web3とは、Gavin Wood氏の描いた分散型技術インフラの側

面と、Chris Dixon氏の描く巨大IT企業に対抗できる投資機会の両方の側面を持つ様々な取り組みを指す言葉で、その中核にはイーサリアムのエコシステムがある。

Web3をめぐる複数の視点

Web3といってもピンからキリまでである。長く続いている少数のプロジェクト、例えばイーサリアム、Uniswap、Compound、Aave、Maker DAOなどのプロトコルはデジタル資産管理の革新といっていいだろう。またBitcoinはWeb3関連プロジェクトに対する寄付金を一種の重み付け投票であるQuadratic voting(2乗投票)で分配する仕組みだ。デジタル公共財を育て、イーサリアムのエコシステムを豊かにするための取り組みである。

Web3を社会の改善に応用しようとする試みもある。台湾のデジタル担当大臣オードリー・タン氏らは、Web3や他のデジタル技術を駆使して民主主義を改善できるのではないかと考えている¹⁰⁾。例えば、イーサリアムのユーザーの実在性や信用の履歴を表す譲渡不能NFTのSBT(Soulbound Token)や、前述の重み付け投票方式Quadratic votingなどがその実例として挙げられている。これらはWeb3の最良の部分といえる。

一方、Web3の周囲には無数の詐欺的なプロジェクトや、詐欺的ではないまでも成功しないプロジェクトが出ては消えを繰り返している。人類の叡智の最良の部分の議論と、欲深い詐欺師や犯罪者が同時にうろついているサイバー無法地帯が隣合わせになっている場所——それがWeb3なのである。

星 暁雄(ほし あきお) 早稲田大学大学院理工学研究科修了。日経BP社で『日経エレクトロニクス』『日経Javaレビュー』などで記者および編集長の経験を経て、フリーランスITジャーナリストに。コンピュータソフトウェアを中心にIT領域全般をカバー。革新的なテクノロジー、スタートアップ企業、個人開発者の取材を得意とする。最近はブロックチェーン技術と暗号通貨、そしてAI倫理やSNS規制など「ITと人権」および「デジタルデモクラシー」の分野に関心を持つ。

7) <https://blog.chainalysis.com/reports/2022-crypto-pump-and-dump-schemes/> 8) <https://www.nytimes.com/2006/05/23/technology/23iht-web.html>

9) <https://gavwood.com/dappsweb3.html> 10) <https://www.radicalxchange.org/media/blog/plurality-technology-for-collaborative-diversity-and-democracy/>

SDV (ソフトウェア定義型自動車) とは何か?

—その実像を探る—

鶴原 吉郎 つるはら よしろう

オートインサイト株式会社 代表
技術ジャーナリスト・編集者

次世代の自動車を象徴するキーワードが「SDV(ソフトウェア定義型自動車)」である。

本稿では、SDVに脚光が当たっている背景とともに、輪郭がおぼろげながら見え始めたSDVの仕組みや機能、自動車産業に与える影響などについて概説する。

いま、自動車産業は100年に一度の変革期にあると言われる。そして、次世代のクルマを表現するキーワードとして、完成車メーカーや部品メーカー各社が口にするようになってきたのが「SDV(ソフトウェア定義型自動車)」である。SDVとは文字通り、ソフトウェアで定義されるクルマ、ということになるが、それだけでは何のことか分からない。そもそも、なぜSDVが次世代のクルマのキーワードになっているのだろうか。この寄稿では前半で、いま自動車業界で起きている変化を、後半で、いま業界で考えられているSDVの実像について迫っていきたい。

SDVを考えるうえで欠かせないキーワードが「CASE」である。CASEは「Connected(コネクテッド)」「Autonomous(自動運転)」「Share&Service(シェア&サービス)」「Electric(電動化)」の頭文字をまとめたもので、いまや世界の完成車メーカーが変革の代名詞としてこの言葉を使うようになった。

CASEはこれまでの価値の全否定

CASEがなぜ100年に一度の変革を象徴するキーワードなのか。それはCASEがこれまでの自動車の価値を「全否定」するものだからだ。Cのコネクテッドは「つながる」ということだが、これまでのクルマは外部から隔絶されたプライベートな空間であること、すなわち「つながっていないこと」が

価値だった。しかしコネクテッド機能は「つながる」ことこそが価値だと主張する。また、これまで完成車メーカーは一貫して「運転する楽しさ」を追求してきた。ところがAの自動運転が実現すれば、その価値の源泉である「運転そのもの」がなくなってしまう。

Sはシェア&サービスを意味するが、これまでのクルマはずっと「所有することの喜び、価値」を追求してきた。ところが「MaaS(Mobility as a Service)」、すなわち「サービスとしてのモビリティ」の台頭は、クルマは所有せず利用したほうがずっと便利になるという可能性を示している。そして最後のE、すなわち電動化では「エンジンをなくす」ことが究極の目標となっている。ところがエンジンこそは、まさに自動車の象徴であり、エンジンの生み出すパワーや振動、サウンドなどがそれぞれの完成車メーカーの個性を生み出し、価値を生み出してきた。

つまりCASEは、これまで完成車メーカー各社が追求してきた価値をすべて否定するという動きであり、自動車という商品の「価値の革命」だと言えることができる。しかし、これまで完成車メーカーが追求してきた価値を否定するということは、完成車メーカー各社が磨いてきたノウハウや経験を否定することでもある。従って、本音のところではどの完成車メーカーも“CASE革命”を望んではいない。それでも、CASEの大波が押し寄せてきた理由の一つは、欧

州や中国が電動化をテコに、自国の産業競争力の強化を図っていることだ。

欧州や中国は巨額の産業補助金や、EVの購入補助金を出して、まず自国内にEVの市場を作り、他の国や地域に先駆けてEV産業を育成し、世界の自動車産業をリードしようとしている。特に中国は2035年に「自動車強国」になることを国家政策として掲げ、EVの普及に邁進している。その甲斐あって、世界最大の自動車市場である中国で、2022年のEV販売台数が対前年比81.6%増の536万5000台となり、日本の新車販売台数全体を上回った。新車販売に占めるEVの比率は約20%に上る。欧州でも、2022年のEVの販売比率は約11%に達した。両地域が牽引する形で、2022年の世界全体の新車販売に占めるEV比率は約10%に達したようだ。日本でもEV販売台数は2022年に前年の2.7倍の約5万9000台に達したが、それでも乗用車に占める比率は1.7%程度で中国や欧州に比べると大きく立ち遅れているのが現状である。

巨大IT企業が狙う覇権

こうした国や地域の思惑以上に、現在のCASEの推進力になっているのが、IT分野の巨大企業が自動車産業を新たな市場と位置づけ、その参入機会を虎視眈々と狙っていることである。CASEのAに当たる自動運転技術で先鞭を付けたのが米グーグル

日本で初めての自動車エンジニア向け専門誌「日経AutomotiveTechnology」の創刊編集長。
2014年5月に自動車技術・産業に関するコンテンツの編集・制作を専門とするオートインサイト株式会社を設立、代表に就任。
日経BP総研未来ラボ客員研究員。日本カー・オブ・ザ・イヤー選考委員。
主な著書に「自動運転で伸びる業界消える業界」(マイナビ出版)、「EVと自動運転——クルマをどう変えるか」(岩波新書)など多数。

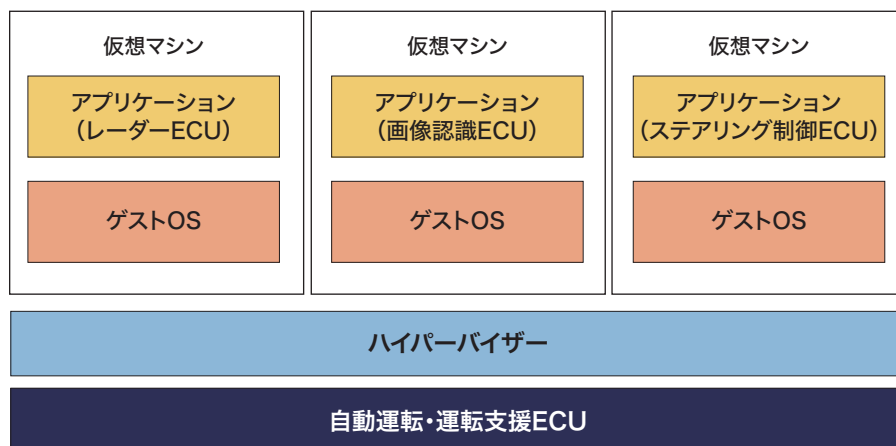
であることはよく知られているし、米アマゾン・ドット・コムも、電気自動車ベンチャーの米リヴィアンに出資したり、自動運転ベンチャーの米ブークスを買収し、配送の自動化から自動車分野への参入を狙っている。

さらに最近話題になったのが米アップルの自動車分野への参入であり、「アップルカー」の製造を韓国現代自動車に請け負うのではないかと取り沙汰された(結局現代はこのアップルからの依頼を拒否したようだ)。アップルカーの実像はまだはっきりしないが、自動運転技術を取り入れた高級EVになりそうだ。また、同社が得意とするUI(ユーザーインターフェース)で他社にない価値を提供しようとしているのではないかと推測できる。

このように巨大IT産業が自動車分野に注目する背景には、これまでIT産業の成長の源になってきたスマートフォン市場の伸び悩みがある。米IDCの調査によれば、2022年の世界のスマートフォン販売台数は前年比11.3%減の12億1000万台で、2013年以来の最低に落ち込んだ。一方で、クルマは今後通信で常時つながり、また自動運転を実現するための高性能のコンピューターや、多彩な機能を使いこなすための大型ディスプレイを搭載するのが当たり前になる。つまり、クルマが走る情報端末になる未来がすぐそこまで来ており、ここに新たな巨大市場の可能性をみて、巨大IT企業が参入機会を窺っているわけだ。

すべてをソフトウェアが支配する

ここまでCASEが、これまで完成車メーカーが追求してきた価値の「全否定」である



次世代の(電気/電子)アーキテクチャーは集中型・統合型をとり、高性能のECU(電子制御ユニット)に複数のECUの機能を集約する。例えば仮想化技術を使って、画像認識ECUやレーダーECU、ステアリング制御ECUなどの仮想ECUを自動運転・運転支援ECUで上で動作させる。図は編集部作成。

ことを紹介してきた。このため完成車メーカー各社は、これからクルマでどのような価値を追求していったらいいのか戸惑いを感じている。一方で、IT企業各社は、自動運転技術やUIなどの強みを生かして、自動車業界に参入しようとしている。様々な業界の企業の思惑を巻き込んで、次世代のクルマの開発競争が繰り広げられているわけだが、では各社が追求する次世代のクルマとはどのようなものなのか。それがSDVである。

そのSDVの実像は、まさに各社が現在模索しているところで「これがSDVだ」というようなものを提示できるわけではない。しかし、その輪郭は見え始めている。

これまでのクルマは先に紹介したように、クルマというハードウェアの性能や、そこに搭載されるエンジンの出力に価値の源泉があった。クルマの良し悪しは、ハンドルを切ったときにクルマが素早く向きを変えるか、車体の剛性が高いか、乗り心地はいい

か、アクセル操作に俊敏に反応するか、といった観点から評価された。こうした点はもちろん今後のクルマでも重要な価値であり続けるだろうが、その姿は大きく変わる。

例えばハンドルを切ったときにどの程度で速度でクルマが向きを変えるのか、アクセルをどの程度踏んだらどの程度加速するのか、サスペンションからの衝撃をどのようにドライバーや乗員に伝えるか、こういったことが、将来のクルマではソフトウェアで個々のドライバーの好みに合わせて調整可能になるだろう。あるいはAI(人工知能)がふだんの運転の状況を学習し、ドライバーの好みを把握して自動的に調整してくれるようになるかもしれない。

ドライバーが運転しているときの特性だけではない、自動運転時のハンドルの切り方、加速の仕方などもそれぞれの乗員の好みに合わせて調整されるようになるだろう。さらにいえば、メーターパネルの表示の仕

方、室内の照明の色や明るさ、車内で再生される映像や音楽などが乗員ごとに最適化されるようになる。ソフトウェアによって、こうした「ハイパーパーソナライゼーション」と呼ばれるような、従来では不可能だったカスタマイゼーションが可能になると見込まれている。これは、現在のスマートフォンでいえば、壁紙を自分好みに変えられるような感覚に近いだろう。

さらに、現在のクルマは、通常は買ったときの価値が一番高く、年月が経つにつれてその価値は下がっていく(もちろんビンテージカーのような例外もあるが)。これに対してこれからのクルマは、ソフトウェアをバージョンアップしていくことによって、例えば自動運転の機能が高度になったり、新たな機能が追加になったり、あるいはハンドル操作がより滑らかになったり、乗り心地が向上したりすることで、価値がこれまで以上に維持されるようになるだろう。

さらにいえば、クルマの中で運転をするよりも、音楽を聴いたり、映像を楽しんだり、あるいは仕事をしたり、離れている友人と会話を楽しんだり、ときには移動中の景色をシェアしたりしたいというユーザーも増えるだろう。こうしたユーザー向けには、車内で楽しめる多彩なエンタテインメントや会議システム、車内向けのSNSといった新しいサービスが必要になる。これらを提供するのもソフトウェアということになる。つまり、将来のクルマでは、ほとんどの価値をソフトウェアで提供できるようになる。クルマの価値がソフトウェアによって「定義」されるようになるという意味で、いま「SDV」という言葉が使われるようになってきているのである。

車内ネットワークは統合型へ

これからのクルマは、これまでのクルマと

異なり、搭載されているソフトウェアを逐次バージョンアップしたり、あるいは新たに追加したり、削除したりといった柔軟な対応が必要になる。しかし、これまでのクルマのE/E(電気/電子)アーキテクチャーではこうした動きに対応できない。それはなぜか。

現在のクルマは、例えばエンジンにはエンジン制御用のECU(電子制御ユニット)、変速機には変速機用のECU、あるいはエアコンにはエアコン用のECUといった具合に、クルマ各部の機能ユニット一つひとつに独立したECUが取り付けられ、それらのECUがCAN(Control Area Network)と呼ばれる規格のネットワークで結び付けられた構造をしている。これがE/Eアーキテクチャーである。従来はこうしたネットワークすらなく、個々のECUは独立していたのだが、最近のクルマでは、エンジン、変速機、ブレーキを協調制御するなど、複数のECUを連動させて動作させる必要が出てきたため、ネットワークが必要になったのである。

しかしこうした分散型のE/Eアーキテクチャーでは、今後のソフトウェアのアップデートや追加・削除といった柔軟な変更は難しい。ECUの中にはパワーウィンドーの上げ下げといったような単純な動作を制御する簡易なECUもある。普及価格帯のクルマでも30~40個搭載されているECUの一つひとつにソフトウェアのアップデートや書き換えを可能にする機能を搭載するのは現実的ではない。

そこで各社は2020年代中頃をめどに、次世代のE/Eアーキテクチャーの開発を進めている。これは集中型、統合型と呼ばれるE/Eアーキテクチャーで、一つの高性能なECUに複数のECUの機能をまとめたものだ。例えば、自動運転・運転支援を担うECU、パワートレイン全体の制御をになう

ECU、メータ表示やエンタテインメント、車体回りの機能を制御するECUの3つECUを集約する、というような形だ。

そして、例えば一つの自動運転・運転支援ECUの中に、「ハイパーバイザー」と呼ばれる仮想化技術を使って、カメラの画像認識ECU、レーダーECU、ステアリング制御ECUといった複数の“仮想のECU”を動作させることが想定されている。それぞれの仮想のECUはVM(バーチャルマシン)と呼ばれ、異なるOSで動作させることが可能だ。また仮に一つのECUでエラーが発生しても、それが他の仮想ECUには波及しないようなパーティション(隔壁)が設けられている。

ソフトウェアの更新や追加は通信によって実施するが、複数のECUの機能を統合し、ネットワーク全体の「ゲートウェイ」を設けることで、ウイルスや乗っ取りを防ぐためのサイバーセキュリティ確保もしやすくなる。

ここまで見てきたように、未来のクルマはソフトウェアの追加や更新によって、様々な機能を追加したり、改良したりすることが可能になる。現在のスマートフォンが、もともと携帯電話機として出発しながら、現在では電話機として使う場面はごくわずかで、携帯映像プレーヤー、音楽プレーヤー、ゲーム機、カメラ、計算機、メールやSNS用の端末などとして使われる時間のほうがむしろ長くなった。それと同様に未来のクルマも、移動として使うだけではなく、車庫や駐車場に停まっているとき、パーソナルシアターになったり、大画面でゲームを楽しめたり、家では聴けないような大音響で音楽を楽しんだり、オンライン会議をしたりといった多目的空間として使う時間のほうが長くなるかもしれない。SDVは、クルマという製品の使われ方にも大きな変革を起こすだろう。