

2026

# 情報通信エンジニア 研修テキスト

# はじめに

2005年の工事担任者規則で努力義務が制定されてからスタートした情報通信エンジニア認定制度ですが、昨今の情報通信ネットワークの変化に鑑み、情報通信エンジニアの申請対象資格を工事担任者全資格及び電気通信主任技術者資格へ拡大するとともに、5G（ローカル5Gを含む）をはじめとする無線接続、無線ネットワークの拡大及び無線従事者の努力義務を踏まえて無線従事者へも拡大することとしました。

また、2021年の研修（テキスト）より、工事担任者スキルアップガイドラインの名称を情報通信エンジニアスキルアップガイドラインとし、委員会の名称も情報通信エンジニアスキルアップガイドライン委員会と改めました。

本委員会では、情報通信関連の国家資格を保有し情報通信に携わる技術者の努力義務について議論しています。情報通信分野に関係する技術についてワンストップで対応できることを目標とし、更なるスキルアップの方向性に基づきガイドラインとして示したスキル修得を目指す範囲のうち、情報通信エンジニアが必要最低限修得しなければならない範囲を毎年設定し、その修得が確認できた者を「情報通信エンジニア」として認定します。実施に当たっては、ガイドライン委員会の提言に基づいて日本データ通信協会が資格者証の発行、管理を行っています。

本委員会は、毎年開催され、技術の進展を評価し、ガイドラインに最新の知識及び技術を盛り込むため、要件項目の見直しを行っています。現在、ガイドラインの2025年度版を公表しています。また、本委員会においては、本年も情報通信エンジニアが受講する研修カリキュラムの審議を行い、決定しています。

2026年研修テキストは、基本から最新の知識及び技術を記載し、体系的な学習ができるようになるとともに、これまで作成してきた研修テキストの内容で重要なものについては、繰り返し学習できるように最新版に改訂し、記載しています。本テキストは、以下のようないくつかの構成で構成されています。

## 第Ⅰ部 総務省の取組

- ・「非常時事業者間ローミング」に係る電気通信設備の技術基準等の整備（IPネットワーク設備委員会報告（2024年12月））についてでは、検討の背景、本報告に記載された内容及び報告書取りまとめ後の対応について紹介しています。
- ・電波政策の最新動向では、2025年4月に公布された電波法及び放送法の一部を改正する法律の制定に至る背景、本法律による電波法及び放送法の各改正事項の概要について紹介しています。

## 第Ⅱ部 情報通信分野

- ・10ギガビットイーサネットでは、IEEEにおける標準化作業の概要及び複数のファミリーと共にXGMIIに加え、10GBASE-X ファミリー、10GBASE-R ファミリー、10GBASE-W ファミリー及び10GBASE-T ファミリーについて解説しています。

- ・高速無線LANでは、IEEEで標準化された802.11ac、802.11ax及び802.11beについて解説しています。
- ・5G技術の最新動向では、5G通信サービスの概要に加え、5Gエリアの整備状況及びネットワークスライスについて解説しています。
- ・光アクセスネットワーク（PON）技術の最新動向では、光アクセスネットワークの概要、PON標準化団体、IEEE 10G-EPOONシステム及びITU-T XGS-PON / XG-PONシステムなどに加えて、次世代PON技術標準化動向について解説しています。
- ・CATVアクセスネットワーク技術の最新動向では、CATVアクセスネットワークの二つの方式であるHFC及びFTTHのそれぞれについて、構成及び主な機器を解説しています。
- ・コンピュータ技術の最新動向では、人工知能技術の歴史、人工知能・機械学習・ディープラーニングなどの基礎に加え、RAGを含む対話型生成AIとその基盤技術、画像生成AIと拡散モデル、AIの影響及び問題点について解説しています。
- ・移動通信ネットワークの無線技術では、移動通信の基本技術に加え、第5世代移動通信の無線技術について解説しています。
- ・OFDM技術では、OFDM信号の構成、送受信機の構成、マルチパス・ガードインターバル、同期方式、伝送路推定方式及びPAPR軽減方式について解説しています。
- ・持続可能な社会に向けたICTの活用事例では、IOWN APNを活用した取組事例及びクラウド電話サービスを解説しています。
- ・通信機器のノイズによる故障と対策では、ノイズによる故障の仕組みに加え、ノイズ対策及びノイズに関する規格を解説しています。
- ・LAN接続工事の技術では、LANシステムの技術動向に加え、LANシステム設備の構築及びメンテナンスを解説しています。

### **第Ⅲ部 サイバーセキュリティ分野**

- ・サイバーセキュリティ対策では、セキュリティ脅威の傾向、侵入型ランサムウェア攻撃などの近年顕著化している攻撃手法とその対策に加え、その他最近の動向として能動的サイバー防御及び本人確認の厳格化の動きを解説しています。
- ・CRYPTREC暗号リストの暗号技術では、セキュリティの基本事項に加え、公開鍵暗号による署名・守秘・鍵共有、共通鍵暗号、ハッシュ関数、暗号利用モード、メッセージ認証コード、認証暗号ChaCha20-Poly1305などについて解説しています。

### **第Ⅳ部 設計・施工管理分野**

- ・工事管理では、工事管理の概要、工程管理の基本事項、手順及び工程計画に加え、品質管理及び安全管理の基礎知識について解説しています。

本テキストの内容を十分に学習・理解され、名実ともに「情報通信エンジニア」としてご活躍されることを期待いたします。

## 第Ⅰ部 総務省の取組

5

<b>1章 「非常時事業者間ローミング」に係る電気通信設備の技術基準等の整備(IP ネットワーク設備委員会報告(2024年12月))について</b>	6
1.1 背景	6
1.2 報告内容	8
1.3 報告書取りまとめ後の対応について	10
<b>2章 電波政策の最新動向</b>	11
2.1 はじめに	11
2.2 今回の電波法及び放送法の改正の背景(WX推進戦略アクションプラン等)	11
2.3 電波法及び放送法の改正の主な内容	13
2.4 結び	15

## 第Ⅱ部 情報通信分野

17

<b>1章 10ギガビットイーサネット</b>	18
1.1 概要	18
1.2 XGMII	19
1.3 10GBASE-X ファミリー	21
1.4 10GBASE-R / W ファミリー	26
1.5 10GBASE-T ファミリー	33
<b>2章 高速無線LAN</b>	38
2.1 802.11ac	38
2.2 802.11ax	42
2.3 802.11be	50
<b>3章 5G技術の最新動向</b>	54
3.1 5G通信サービスの概要	54
3.2 5Gエリアの整備状況	56
3.3 ネットワークスライス	58
<b>4章 光アクセスネットワーク(PON)技術の最新動向</b>	60
4.1 光アクセスネットワークの概要	60
4.2 PON標準化団体	60
4.3 IEEE 10G-EPOンシステム	61
4.4 ITU-T XGS-PON / XG-PONシステム	64
4.5 ONU遠隔制御と相互接続	67
4.6 次世代PON技術標準化動向	67
<b>5章 CATVアクセスネットワーク技術の最新動向</b>	69
5.1 方式概要	69
5.2 HFC	70
5.3 FTTH	75
<b>6章 コンピュータ技術の最新動向</b>	82
6.1 人工知能技術の歴史	82
6.2 人工知能と機械学習とディープラーニング	83
6.3 ニューラルネットワークとディープラーニングの基礎	84
6.4 対話型生成AIとその基盤技術	87
6.5 画像生成AIと拡散モデル	95
6.6 AIの影響と問題点	99
6.7まとめ	104

<b>7章 移動通信ネットワークの無線技術</b>	105
7.1 移動通信の基本技術	105
7.2 第5世代移動通信	111
<b>8章 OFDM技術</b>	116
8.1 OFDM信号の構成	116
8.2 送受信機の構成	121
8.3 マルチパスとガードインターバル	122
8.4 同期方式	125
8.5 伝送路推定方式	126
8.6 PAPR軽減方式	126
<b>9章 持続可能な社会に向けたICTの活用事例</b>	128
9.1 IOWN APNを活用した取組事例	128
9.2 クラウド電話サービス	132
<b>トピックス：グリーン基地局の取組</b>	136
<b>10章 通信機器のノイズによる故障と対策</b>	137
10.1 ノイズによる故障とは	137
10.2 ノイズ源とノイズの侵入の仕組み	138
10.3 ノイズ対策	141
10.4 ノイズに関する規格	146
<b>11章 LAN接続工事の技術</b>	148
11.1 LANシステムの技術動向	148
11.2 LANシステム設備の構築	151
11.3 LANシステム設備のメンテナンス	156

## 第Ⅲ部 サイバーセキュリティ分野 161

<b>1章 サイバーセキュリティ対策</b>	162
1.1 セキュリティ脅威の傾向	162
1.2 サイバー攻撃事例	164
1.3 セキュリティ対策	170
1.4 その他最近の動向	177
<b>2章 CRYPTREC暗号リストの暗号技術</b>	183
2.1 概要	183
2.2 基本事項	185
2.3 公開鍵暗号による署名	187
2.4 公開鍵暗号による守秘	192
2.5 公開鍵暗号による鍵共有	193
2.6 共通鍵暗号	194
2.7 ハッシュ関数	196
2.8 暗号利用モード	198
2.9 メッセージ認証コード	200
2.10 認証暗号 ChaCha20-Poly1305	201
2.11 エンティティ認証	201

## 第Ⅳ部 設計・施工管理分野 205

<b>1章 工事管理</b>	206
1.1 工事管理とは	206
1.2 工程管理	207
1.3 品質管理	211
1.4 安全管理	218

# 第Ⅰ部 総務省の取組

---

1章 「非常時事業者間ローミング」に係る電気通信設備の 技術基準等の整備 (IP ネットワーク設備委員会報告 (2024年12月)) について .....	6
2章 電波政策の最新動向 .....	11

# 1章 「非常時事業者間ローミング」に係る電気通信設備の技術基準等の整備(IP ネットワーク設備委員会報告(2024年12月))について

2024年12月、情報通信審議会情報通信技術分科会IPネットワーク設備委員会（以下、「委員会」という。）において、「ネットワークのIP化に対応した電気通信設備に係る技術的条件」のうち「非常時における携帯電話サービスの事業者間ローミング等に関する電気通信設備に係る技術的条件」について報告が取りまとめられた。本章では、検討の背景、本報告に記載された内容及び報告書取りまとめ後の対応について解説する。

## 1.1 背景

携帯電話サービスは、国民生活や経済活動に不可欠なライフラインであり、自然災害や通信障害等の非常時においても、携帯電話利用者が臨時に他の事業者のネットワークを利用する「非常時事業者間ローミング」等により、継続的に通信サービスを利用できる環境を整備することが課題である。特に、緊急通報については、約6割が携帯電話による発信となっており、非常時においても確実に緊急通報受理機関に通報できる仕組みの検討が急務である（図1.1）。

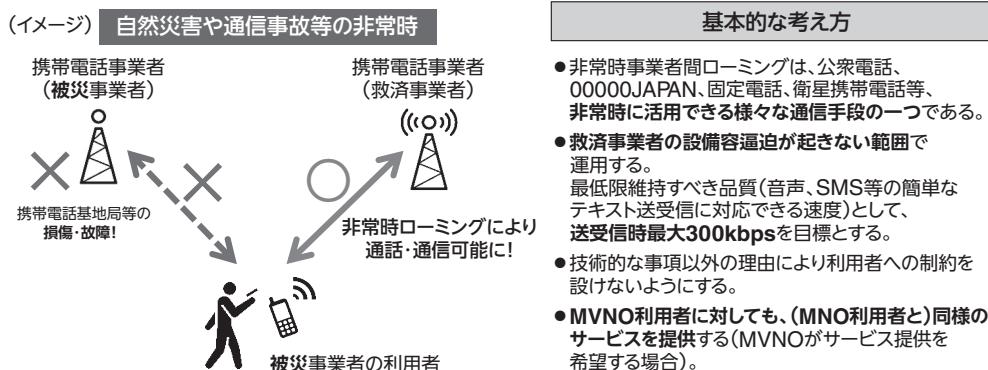


図1.1 非常時事業者間ローミング

また、委員会においては、令和6年（2024年）能登半島地震による通信サービスの被害状況や復旧の取組等を踏まえた、大規模災害発生時における通信サービスの維持・早期復旧のために今後取り組むべき対応の方向性等について、2024年8月から検討を行い、非常時事業者間ローミングについては、「令和7年度末頃に非常時における事業者間ローミングが導入予定（中略）であり、基地局に支障が生じた場合においても、別の手段により通信の確保が可能となることが期待される。」とされている。

## 2章 電波政策の最新動向

### 2.1 はじめに

電波政策の最新動向の大きなものとして、第217回通常国会において「電波法及び放送法の一部を改正する法律」（令和7年法律第27号）が成立し、2025年4月25日に公布されたことがある。

本法律は、電波の有効利用を促進し、情報通信技術の進展等に対応した規制の合理化を図るため、①特定高周波数無線局を開設することのできる者を価額競争により選定する制度の創設、②無線局の免許状等及び基幹放送事業者の認定証のデジタル化、③その他の改正事項（電波利用料制度の見直し、中継局を廃止する際の受信者保護規律の整備等）の措置を講ずるものである。

本章では、本法律の制定に至る背景を紹介するとともに、本法律による電波法及び放送法の各改正事項の概要について説明する。

### 2.2 今回の電波法及び放送法の改正の背景（WX推進戦略アクションプラン等）

近年、電波の利用が、技術の進展に伴い、陸・海・空・宇宙などあらゆる空間・あらゆる社会経済活動において普及・進化しており、イノベーション創出の源泉となっている。そのため、電波を、デジタル社会の成長基盤として、ビジネスチャンスの一層の拡大に繋げることが重要となっている。

総務省は、これらの状況を踏まえ、デジタルビジネス拡大に向けて、2023年11月から「デジタルビジネス拡大に向けた電波政策懇談会」（座長：森川博之東京大学大学院工学系研究科教授）を開催した。本懇談会では、①電波利用の将来像、②電波政策上の課題、③電波有効利用に向けた新たな目標設定と実現方策について検討が行われ、2024年8月に報告書「WX（ワイヤレストラנסフォーメーション）推進戦略」が取りまとめられた。

本報告書では、Sub6 又はミリ波の、かつ、Stand Alone の5Gシステムの整備について、目標が設定された。（一例：2027年度までにミリ波基地局数5万局）また、トラヒック需要拡大に対応するため、携帯電話網、NTN、Wi-Fiなどに割り当てる周波数の帯域確保の目標として、2040年までに約70GHz幅を目指すことが設定された。さらに、社会の変化、ワイヤレスの広がり、経済効果などを鑑み、ワイヤレスサービスが今後も引き続き重要なインフラの一つを担うことも見据え、こうしたサービスにより創造性と多様性が發揮される社会を実現するための電波有効利用方策として、「NTNをはじめ陸・海・空・宇宙といったあらゆる空間における電波利用の急拡大への対応」、「周波数ひっ迫の中で需要が急増する電

# 第II部

# 情報通信分野

---

1章	10ギガビットイーサネット	18
2章	高速無線LAN	38
3章	5G技術の最新動向	54
4章	光アクセスネットワーク(PON)技術の最新動向	60
5章	CATVアクセスネットワーク技術の最新動向	69
6章	コンピュータ技術の最新動向	82
7章	移動通信ネットワークの無線技術	105
8章	OFDM技術	116
9章	持続可能な社会に向けたICTの活用事例 トピックス	128 136
10章	通信機器のノイズによる故障と対策	137
11章	LAN接続工事の技術	148

# 1章 10ギガビットイーサネット

本章では現在家庭やオフィスで利用できる高速イーサネットの例として、10ギガビットイーサネット（10 Gigabit Ethernet : 10GbE）について解説する。なお本章の解説は2022年版のIEEE 802.3標準<sup>[1]</sup>に従っている。

## 1.1 概要

IEEEにおける10ギガビットイーサネットの標準化作業は、ギガビットイーサネットの標準化終了後、1999年から開始された。2002年には、主に光ファイバを伝送媒体とする規格802.3aeが制定された。さらに、<sup>よ</sup>撲り対線（Twisted Pairケーブル）を用いる規格802.3anが2006年に制定された。現在はIEEE 802.3のセクション4にまとめられている。

10GbEにはPCS（Physical Coding Sublayer）で使用される符号化方式や使用する媒体（メディア）に応じて、複数のファミリー（10GBASE-X、10GBASE-R、10GBASE-W、10GBASE-T）が用意されている。その概要を図1.1に示す。この図に示すように、MACフレーム（MACサブレイヤ）とバイト列の対応をとるリコンシリエーションサブレイヤ（Reconciliation Sublayer : RS）と、RSとPCSの間のXGMII（10 Gigabit Media Independent Interface）は、複数のファミリーに対して共通となる。XGMIIではMACフレームを4バイトごとに分け転送する。一方、PCS以下は、ファミリーごとに異なる機能を有する。具体的には以下のとおりである。

- **10GBASE-Xファミリー**：PCSにおける符号化として8ビットのデータを10ビットとして送受信する8B/10B符号を使用する（1000BASE-Xと同様）。メディアについては四つの伝送路を用いて並列にデータを転送する。具体的には光ファイバ上で波長多重を用いる10GBASE-LX4と、同軸ケーブルを使用する10GBASE-CX4などが定められている。
- **10GBASE-Rファミリー**：PCSにおける符号化として64B/66B符号を使用する。これはMACサブレイヤからの64ビット（XGMIIからの2回分のデータ送信に対応する）を66ビットとして送信する方式である。64ビットに2ビットの制御ビットを附加するのみであるため、伝送路上のオーバヘッドを低く抑えることができる。メディアとしては、850nm、1310nm、1550nmの三つの波長を使用するタイプが定められており、それぞれ10GBASE-SR、10GBASE-LR、10GBASE-ERと呼ばれる。また1310nmのレーザでマルチモードファイバを使用する10GBASE-LRMも定義されている。

## 2章 高速無線LAN

近年無線LANの高速化が著しい。IEEE 802.11委員会の標準化作業では、2013年12月に802.11ac（Wi-Fi AllianceのWi-Fi 5に相当）が、2021年2月に802.11ax（Wi-Fi 6及び6Eに相当）が、2024年9月に802.11be（Wi-Fi 7に相当）が、それぞれ標準化された。本章ではこれらについて概説する。現時点では11acと11axは2024年版のIEEE標準802.11にまとめられている<sup>[1]</sup>。11beは追補文書2（Amendment 2）として、別途、規格化されている<sup>[2]</sup>。

### 2.1 802.11ac

#### 2.1.1 概要

表2.1に802.11acの特徴を示す。この表にはその前の方式である802.11n（Wi-Fi 4に相当）との比較をあわせて示している。

表2.1では物理レイヤに関する事項として、六つの項目を挙げている。最初の項目の使用帯域については、11nが2.4GHz帯と5GHz帯の双方であったのに対して、11acでは5GHz帯に限られている。

無線LANでは20MHzを一つのチャネルとして使用する。11nから複数のチャネルを組み合わせて一つの通信を行うチャネルボンディングが導入された。11nでは5GHz帯において二つのチャネルを組み合わせて40MHzの通信を行うことが可能となった。これに対して

表2.1 802.11acの特徴

	802.11ac	802.11n
使用帯域	5GHz帯	2.4GHz帯と5GHz帯
チャネルボンディング	20, 40, 80MHz, 160, 80+80MHz（オプション）	20, 40MHz
変調方式	BPSK, QPSK, 16-QAM, 64-QAM, 256-QAM（オプション）	BPSK, QPSK, 16-QAM, 64-QAM
MIMO	マルチユーザMIMO、4受信者まで、 一つのノードは4空間ストリームまで、 全体で8ストリームまで	シングルユーザMIMO、 4空間ストリームまで
最大物理伝送レート	6.9Gbps	600Mbps
Forward Error Correction	Binary convolutional coding (BCC), Low-density parity check（オプション）	BCC
最大A-MPDUサイズ	1,048,575バイト	65,535バイト
チャネルサウンディング	Null data PPDU sounding	複数タイプ（あまり使用され ていない）

# 3章 5G技術の最新動向

## 3.1 5G通信サービスの概要

### 3.1.1 5G通信サービスの概要

第5世代通信システム（5G：Fifth Generation）は、4G（LTE：Long Term Evolution）で提供してきた高速・大容量をさらに進化させ、加えて低遅延、多数接続の特徴を有する通信システムである。1G（アナログ方式）から4Gに至るまでは、主に通信速度の向上が進められ、4Gでは下り通信速度で最大1Gbps程度、上り通信速度で最大数百Mbpsであったが、5Gは4Gの10倍以上の超高速通信を実現している。

また5Gでは「超高速」のみならず、「超低遅延」「多数同時接続」の主要機能を有しており、超低遅延通信により自動運転や遠隔ロボット操作（リアルタイム操作が必要なもの）が可能となり、多数同時接続によりIoT（Internet of Things）時代において膨大な数の端末やセンサと通信することが可能となる。5Gでは、あらゆるモノ・人などが繋がるIoTの基盤としての活用や新たな付加価値を創造するための基盤としての活用が見込まれており、産業・社会基盤への進化により経済成長や社会問題の解決などへの貢献が期待されている（図3.1）。

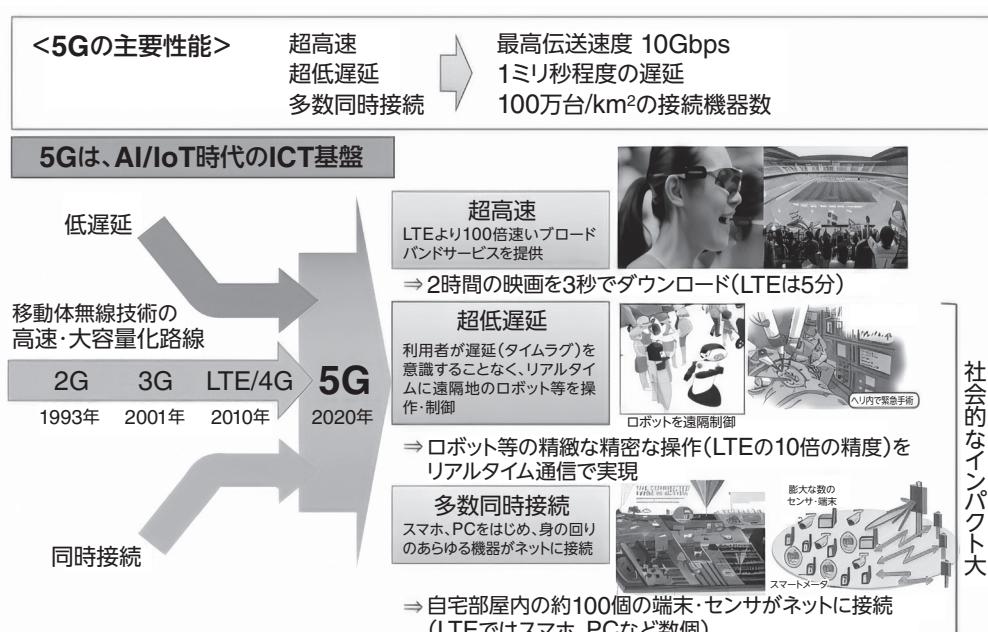


図3.1 5Gの特徴 <sup>[1]</sup>

# 4章 光アクセスネットワーク(PON)技術の最新動向

本章では、高速光回線サービスで用いられる伝送方式であるPON（Passive Optical Network）技術について解説する。

## 4.1 光アクセスネットワークの概要

日本国内では、光ファイバ回線を戸建て住宅や集合住宅まで引き込んでインターネットに接続するFTTH（Fiber to the Home）が高速光回線サービスとして広く普及している。FTTHで用いられているPON技術では、通信局舎（収容局）側に設置される1台のOLT（Optical Line Terminal：収容局側光回線終端装置）に、加入者宅内に設置されるONU（Optical Network Unit：加入者側光回線終端装置）を複数台収容する構成が一般的である（図4.1）。OLT-ONU間の光ファイバ回線であるODN（Optical Distribution Network）には、光信号を合分波する光スプリッタが用いられており、複数の加入者間で1本の光ファイバ回線を共有する構成となっている。ODNを構成する光ファイバ及び光スプリッタはいずれも電源供給が不要な「パッシブ」な光デバイスであることから、このような光アクセスネットワーク構成をPONシステムと呼んでいる。

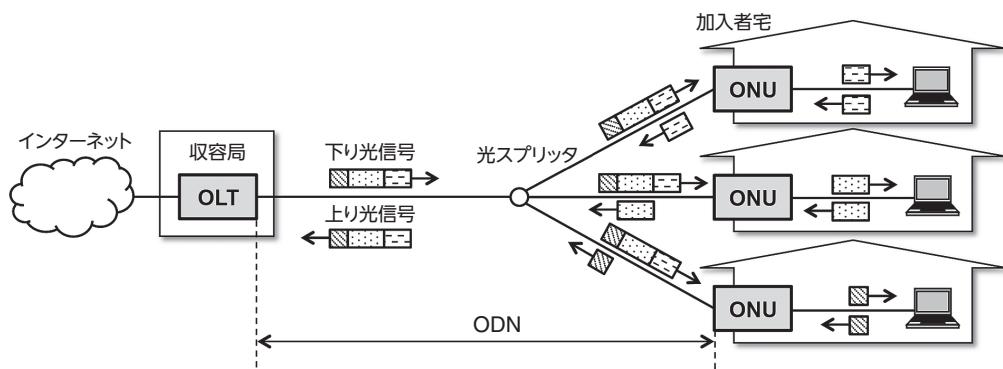


図4.1 PONシステム

## 4.2 PON標準化団体

PONシステムは、IEEE及びITU-Tの二つの国際標準化団体によりそれぞれ技術仕様が定められている。IEEE方式は、LANやWANなどで幅広く用いられているイーサネット規格をベースに策定されたもので、主に日本をはじめとするアジア地域と北米CATV事業者で採用されている<sup>[1]</sup>。一方、ITU-T方式はイーサネット以外のサービスも含めて共通フレー

# 5章 CATVアクセスネットワーク技術の最新動向

CATV（ケーブルテレビ）アクセスネットワークは、ケーブルテレビ事業者によって提供される放送サービス並びにインターネットサービス及び電話サービスなどの通信サービスを加入者宅に届けるための基盤となるネットワークである。その進化は、アナログ放送からデジタル放送への移行、高速インターネット接続の需要拡大、さらには光ファイバ網への移行といったインフラの変遷と密接に結びついてきた。

現在、ブロードバンド接続は生活やビジネスに不可欠なインフラであり、ケーブルテレビ事業者はその重要な担い手の一つとして、ネットワークの高度化とサービス品質の向上に継続的に取り組んでいる。特にアクセスネットワークにおいて、既存のHFC（Hybrid Fiber-Coaxial）ネットワークの性能向上と、地域の事情や需要に応じたFTTH（Fiber To The Home）への移行は、ケーブルテレビ事業者の競争力維持と持続的成長に直結する戦略的課題となっている。

本章では、CATVアクセスネットワークにおけるHFCとFTTHの各方式の概要、構成及び主な機器について解説する。

## 5.1 方式概要

CATVアクセスネットワークは、HFCとFTTHの二つの方式に大別される。これらの方  
式は、伝送媒体、放送と通信のサービス重畠方法及び導入コストにおいて異なる特徴を有  
している。

HFCは、光ファイバと同軸ケーブルを組み合わせたハイブリッド型のネットワークである。  
ヘッドエンドと呼ばれる局舎から加入者宅近くのノードアンプまでは光ファイバで信号が伝送  
され、ノードアンプから加入者宅内までは同軸ケーブルで接続される形態である。

この方式は、放送サービス提供を主体として発展し、後にインターネットなどの通信サー  
ビスが追加された歴史的背景を持っている。放送と通信のサービスは周波数多重の技術を  
用いてHFC上で重畠されており、ケーブルテレビ事業者にとっては、放送サービスで使用  
していた既存設備を利用できるため、導入コストを抑えることが可能である。

一方、FTTHは、ヘッドエンドから加入者宅内まですべての区間を光ファイバで接続す  
るネットワークである。この方式は、高速・大容量通信に優れており、将来のサービス拡  
張性も高いという特徴がある。ヘッドエンドから加入者宅までは光スプリッタを使用して光  
信号を分岐し、複数の加入者で共有する形となっている。放送と通信のサービスは波長分割  
の技術を用いてFTTHの上で重畠されている。ケーブルテレビ事業者にとっては、  
FTTHの導入には新規の設備を構築しなければならないため、初期投資が大きくなる。

# 6章 コンピュータ技術の最新動向

2010年代前半から始まった人工知能の興隆は一時のブームにとどまらず、様々なサービスの形で我々の生活に確実に定着しつつある。一方で人工知能の利用は多大な社会的なインパクトを持つため、その影響範囲を見定める必要がある。本章では人工知能研究の歴史を振り返り、現在の人工知能の基礎となっている機械学習技術を概観する。さらに近年新たに登場した生成AIの技術とその社会的なインパクトを概説する。

## 6.1 人工知能技術の歴史

人工知能とは、何らかの知的な行為を機械的に実行することを目的とする計算機科学の一分野である。ここでいう「知的な行為」には認識、推論、創造などが含まれる。人工知能技術が特に注目を集めているのはこの10年ほどであるが、人工知能技術そのものは古い歴史を持つ（図6.1）。1950年代から現在までの間に3回の人工知能ブームがあったといわれている。

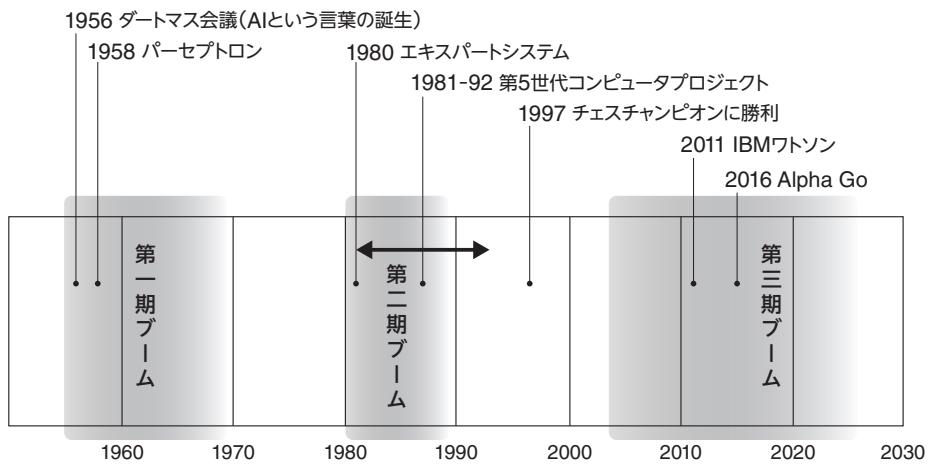


図6.1 人工知能の歴史

第1期の人工知能ブームは計算機そのものの黎明期でもある1950年代に起きている。1956年に人工知能（Artificial Intelligence）という言葉が提案された。この頃に行われた人工知能研究は探索や推論を中心とするものであったが、当時の計算機速度の制約もあり実用的な問題を解くことはできず、ブームは収束した。

第2期の人工知能ブームは1980年代に起こった。日本でも通産省（現経済産業省）が第五世代コンピュータプロジェクトに巨額の資金をつぎ込んだが、失敗に終わって

# 7章 移動通信ネットワークの無線技術

## 7.1 移動通信の基本技術

この節では、携帯電話を含む移動通信の基本技術について、簡単な解説を行う。

### 7.1.1 セルラー方式

移動通信はセルラー方式を採用している。図7.1ではこのセルラー方式と、対する大ゾーン方式とを比較している。まず、大ゾーン方式は同図(a)に示すように、一つの基地局で全サービスエリアをカバーしている。なお、基地局から十分な電波が届く領域をゾーン若しくはセルと呼んでいる。この大ゾーン方式では、一つの周波数チャネルを一人のユーザに割り当てるなど、他のユーザはこの周波数チャネルを干渉のため利用できないという問題がある。そこでセルラー方式は同図(b)に示すように、複数の基地局でサービスエリアをカバーする。全周波数チャネルをF1、F2、F3の3種類の周波数チャネル群に分けて、同じF1、F2、F3を離れたセルで使うことができる。なお、隣り合うセルは、境界付近における干渉を避けるため、別の周波数チャネル群を用いている。このように周波数チャネルを配置すると、同じ周波数チャネルを、距離が離れた複数ユーザが同時使用することができ、限られた周波数チャネルを有効利用できる。

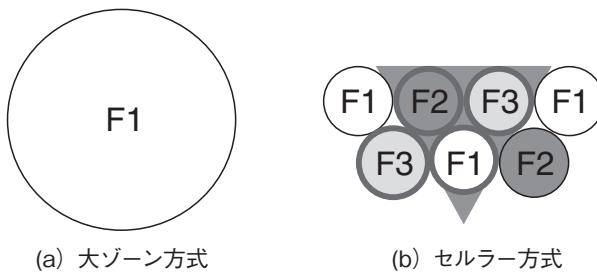


図7.1 大ゾーン方式とセルラー方式

上記のセルを円で表し、平面を覆うと重なりが生じるので、重なりが生じない正多角形である、正三角形、正四角形及び正六角形でセルを表している。これらの正多角形のうち、頂点の数が最も多く円に近い正六角形が、多くの場合用いられている。この正六角形セルに、全体の周波数チャネルを $N$ （1以上の自然数）等分して、これらの周波数チャネル群を隣接する $N$ セルに割り当て、この $N$ セルを繰り返すことでサービスエリア全体を覆う。これが、セルラー方式における周波数チャネル配置の基本である。なお、この $N$ は繰り返しゾーン数と呼ばれ、特定の自然数に限定される。 $N$ が小さい値から順に上記の繰り返しパターン

# 8章 OFDM技術

## 8.1 OFDM信号の構成

### 8.1.1 デジタル変調

デジタル変調とは搬送波をデジタルデータに応じて変化させることによって伝送を行う方式である。基本となる方式として、デジタルデータに応じて正弦波の搬送波の振幅、位相、周波数などパラメータを変化させることによってデジタル変調信号が生成される。受信機では搬送波のパラメータの変化を検出することによって対応するデジタルデータが復調される。OFDM信号は周波数の異なる複数の搬送波によって生成されるデジタル変調信号を加え合わせることによって生成される。OFDM信号を生成する際に使用されるデジタル変調信号はデジタルデータに応じて搬送波の振幅を変化させる振幅シフトキーイング(ASK: Amplitude Shift Keying)、位相を変化させる位相シフトキーイング(PSK: Phase Shift Keying)及びそれら組み合わせた信号(APSK: Amplitude Phase Shift Keying)である。これらの変調信号は周波数 $f_c$ の正弦波の振幅や位相又はその両方をデータに応じて変化させたものであり、一般的に以下の式で表される。

$$A_k \cos(2\pi f_c t + \theta_k) = a_k \cos(2\pi f_c t) - b_k \sin(2\pi f_c t)$$

左辺において、 $f_c$ は伝送の基準となる搬送波(キャリア) $\cos(2\pi f_c t)$ の周波数であり、搬送波周波数(キャリア周波数)と呼ばれる。搬送波の振幅 $A_k$ 及び位相 $\theta_k$ は伝送されるデジタルデータに応じて一定間隔で変化する。上の式の右辺は左辺と等価な表現であり、 $A_k$ 及び $\theta_k$ の値と $a_k$ 及び $b_k$ の値は一一に対応する。右辺の形式は直交形式と呼ばれ、変復調の構成に対応する表現である。**図8.1**にデジタル変調信号の例を示す。

図8.1に示すようにパラメータ $a_k$ 及び $b_k$ はT秒ごとに変化させることでデジタル変調信号が生成される。デジタル変調信号において、波形の変化する間隔Tをシンボル長と呼び、シンボル長の逆数 $1/T$ をシンボルレートと呼ぶ。また、デジタルデータによって決定される変調パラメータ $a_k$ 及び $b_k$ を変調シンボルと呼ぶ。このようなデジタル信号を生成する変調器の構成を**図8.2**に示す。

図8.2においてマッピングはデジタルデータに対応して変調シンボル $a_k$ 及び $b_k$ を決定する

# 9章 持続可能な社会に向けたICTの活用事例

## 9.1 IOWN APNを活用した取組事例

社会を取り巻く環境が大きく変化していく中において、NTT西日本は地域が抱える様々な課題と向き合い、NTT西日本グループが持つネットワーク、サービス、ソリューションを活用し、地域の顧客やパートナーとの共創を通じて、地域の活性化や新たな価値の創造に貢献することを目指している。このような社会変革を支えていく技術基盤として、IOWN構想の検討・具体化を進めており、先行して実用化が進むIOWN技術を活用したサービス開発に取り組んでいる。以下に、具体的な事例を紹介する。

### 9.1.1 大阪・関西万博における取組

2025年大阪・関西万博において、低消費電力、大容量高品質、低遅延伝送を兼ね備えた「オールフォトニクス・ネットワーク（IOWN APN）」を夢洲会場内のパビリオン・催事施設などの主要施設間に提供することで、多くのパートナーと共に未来を先取りした体験を提供する。IOWN APNを活用した放送業界DXの一環として、大阪・関西万博会期中に複数の放送局が共同利用可能なリモートプロダクションの普及拡大に取り組んでおり、番組制作ワークフローの効率化と設備コスト削減を目指す。

具体的にはデータセンタと万博会場及び放送局を、IOWN APNの技術を活用した「All-Photonics Connect powered by IOWN」にて接続した上で、データセンタ上に制作設備を設置し、複数の放送局が接続できるようにすることで、リモートプロダクション環境の共同利用化を実現する。これにより、番組制作稼働の効率化、個別の設備投資・維持管理コスト、構築リードタイムの削減を可能とする（図9.1）。

# 10章 通信機器のノイズによる故障と対策

情報通信技術の発展に伴い、多種多様な通信サービスが提供される中、情報通信機器は様々な場所で利用されるようになっている。そのため、周囲のノイズにより、意図しない妨害を受け、正常な通信サービスを受けられないといった事態が発生する。

本章では、ノイズの発生源にはどのようなものがあり、ノイズが通信サービスや通信機器にどのような影響を与えるのかを知り、どのように対策して、その影響を抑えるのかについて説明する<sup>[1]</sup>。

## 10.1 ノイズによる故障とは

我々の周囲には、TV、ラジオ、携帯電話といった無線サービスのための装置や、日常生活を送る上で欠かせない電気・電子機器、あるいは電気を供給するための送配電線や公共機関である電気鉄道など、様々な設備や機器に囲まれている（図10.1）。これらの設備や機器は、各種サービスを受ける上で必要なものである一方、他のサービスに対してなんらかの影響を与えるノイズ源となりうるとも考えられる。

これらの設備・機器が発するノイズは人工ノイズと呼ばれる。電気・電子機器から意図せずに発生するノイズだけでなく、ラジオや携帯電話などの無線局のような意図的に電波を発する場合も、通信サービスなどにとってノイズ源となる可能性がある。さらに、落雷によるノイズや静電気など、自然現象により発生するノイズもあり、自然ノイズと呼ばれる。これ

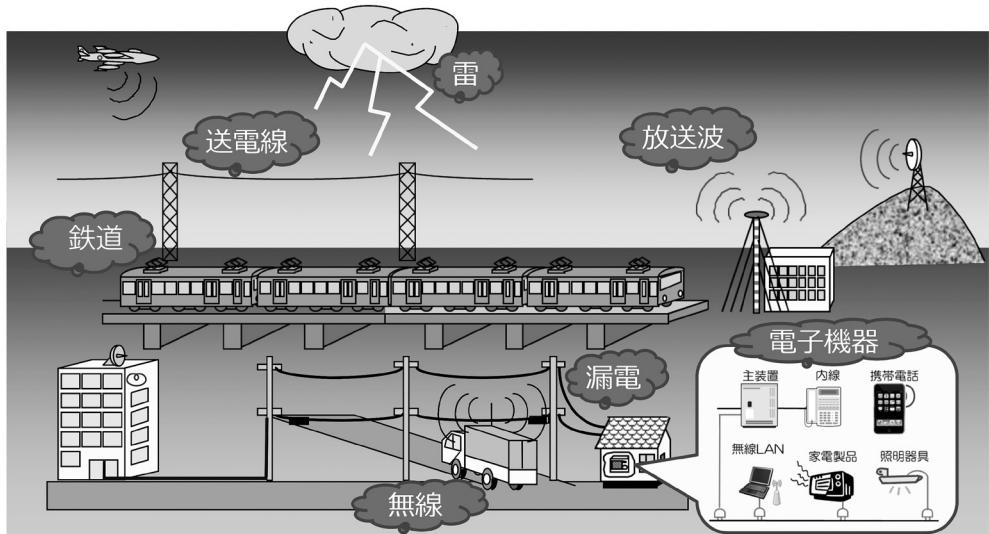


図10.1 電磁環境とノイズ源

# 11章 LAN接続工事の技術

有線LAN・無線LAN両方の技術進化がDXやスマート化を支える重要な要素となっている。有線LANでは、「Nessum（ネッサム）」や「10BASE-T1」による高速・長距離通信、安定性・セキュリティの向上が進み、IoT機器やセンサの接続基盤として重視されている。一方、無線LANではWi-Fi 6EやWi-Fi 7など次世代規格の普及が進み、低遅延かつ高速な通信が求められる環境への対応が加速している。

両者の技術進化により、柔軟かつ強固なネットワーク構築が可能となり、LAN接続工事は単なる配線作業から高度なITインフラ整備へと変貌している。

## 11.1 LANシステムの技術動向

### 11.1.1 Nessum 技術の概要

Nessum技術は、既存の有線・無線通信インフラを活用しながら、高速かつ安定性の高い通信を可能にする次世代通信技術である。これは、パナソニックが開発したHD-PLC (High Definition Power Line Communication) 技術をベースに2023年からブランド化されたものであり、IoT化が進む現場において大きな注目を集めている<sup>[1]</sup>。

Nessumには、有線通信を担う「Nessum WIRE」と、近距離無線通信に対応する「Nessum AIR」がある。Nessum WIREは既設の電力線、同軸線、ツイストペア線を活用することで最大1Gbpsの高速通信を実現する。これにより、建物内の大規模な配線変更を伴わずに通信環境を整備でき、工事コスト削減にもつながる。既設線の活用例を図11.1に示す。

またNessum AIRは数cmから100cmの範囲で干渉の少ない近距離無線通信を提供し、正確なデータ伝送が求められる機器同士の接続にも有効である。加えて、最大10ホップのマルチホップ構成により、1,024台もの端末を接続できる高い拡張性を持ち、Wavelet OFDM方式による物理層通信では通信効率を高めながら安定したデータ伝送を可能にしている。

セキュリティ面でも、AES暗号化や動的鍵更新機能、トーンマップによる端末認証など多層的な保護機能を搭載しており、企業や公共施設でも安心して導入できる体制が整っている。

このようにNessumは、無線では届きにくい地下施設やエレベーター、空調機器などの「IoTの隙間」を埋めるソリューションとして、その活用範囲を広げている。

# 第Ⅲ部 サイバーセキュリティ分野

1章 サイバーセキュリティ対策	162
2章 CRYPTREC 暗号リストの暗号技術	183

# 1章 サイバーセキュリティ対策

近年における無線ネットワークやクラウド型サービスの普及と共に、PCやスマートフォンといった従来のICT端末だけでなく、情報家電、センサ、ロボットなどの様々なIoT機器が広く社会に浸透しつつある。IoT機器で収集されたデータやAIを活用した新たなビジネスやサービスが登場し、情報通信ネットワーク上のサイバー空間は、現実社会のフィジカル空間と連携したデータの収集・蓄積・解析などを通じて、日常生活に不可欠な社会基盤として機能していくことが期待されている。

また、働き方改革の推進によるテレワークを始めとする新しい生活様式の定着や、DX（デジタルトランスフォーメーション）及びGX（グリーントランスフォーメーション）の推進に伴い、サイバー空間とフィジカル空間の一体化が進展するにつれて、社会に様々な豊かさをもたらすことが期待される。その一方で、サイバー攻撃によってサイバー空間とフィジカル空間の両方における経済的・社会的な損失の深刻化が懸念される。サイバー攻撃による政府や企業の内部システムからの情報窃取のほか、国家を背景とした形で重要インフラの機能停止や破壊を目的とした重大なサイバー攻撃が日常的に行われるなど、高度な侵入・潜伏能力を備えたサイバー攻撃への懸念が急速に高まっている。

これらの課題に取り組むため、2025年5月にサイバー攻撃を未然に防ぐ能動的サイバー防御（ACD）を導入するための法律が成立し、2025年7月には能動的サイバー防御の司令塔として、内閣サイバーセキュリティセンター（NISC）を改組する形で国家サイバー統括室（NCO）が発足した<sup>[1]</sup>。サイバー攻撃から身を守るために、企業や学校などの組織のセキュリティ担当者に一任するのではなく、利用者各自においても日常的にセキュリティ対策を意識した行動、すなわちサイバー衛生に取り組むことが重要である。本章では、近年発生が顕著化しているサイバー攻撃手法とその対策を紹介する。

## 1.1 セキュリティ脅威の傾向

インターネットサービスの進展やSNS、スマートフォンの普及に伴い、サイバー攻撃を受けるリスクが増え、サイバーセキュリティを取り巻く問題と環境が多様化している。近年では、被害がすべてのユーザに一様に降りかかるものではなく、攻撃者の意図や標的組織の環境により、攻撃対象を特定した攻撃も増えている。

2024年において社会的影響が大きかったセキュリティ上の組織向け脅威として、IPA（独立行政法人情報処理推進機構）が上位に選出した脅威<sup>[2]</sup>のうち、特に注意すべきものを以下にピックアップする。

# 2章 CRYPTREC 暗号リストの暗号技術

## 2.1 概要

CRYPTRECとはCryptography Research and Evaluation Committeesの略であり、電子政府推奨暗号の安全性を評価・監視し、暗号技術の適切な実装法・運用法を調査・検討するプロジェクトである<sup>[1]</sup>。

世界最先端のIT国家を構築するためには、基盤となる電子政府のセキュリティを確保する必要があり、安全性に優れた暗号技術を利用することが不可欠である。この目的のため、客観的な評価により安全性及び実装性に優れると判断された暗号技術をリスト化する暗号技術評価プロジェクトを組織化した。CRYPTRECは、公募された暗号技術や業界で広く利用されている暗号技術を評価・検討し、安全性及び実装性能ともに優れたものを選択した。総務省と経済産業省は、この評価結果を踏まえ2003年2月20日に「電子政府」における調達のための推奨すべき暗号のリスト（電子政府推奨暗号リスト）を公表した。

2024年5月16日に更新された最新版<sup>[2]</sup>を表2.1に示す。2025年テキストでも少し触れたが、本章ではこのリストの各暗号技術について解説することしたい。

表2.1 CRYPTREC 暗号リスト

技術分類		暗号技術
公開鍵暗号	署名	DSA <sup>(注18)</sup>
		ECDSA
		EdDSA
		RSA-PSS <sup>(注1)</sup>
		RSASSA-PKCS1-v1_5 <sup>(注1)</sup>
	守秘	RSA-OAEP <sup>(注1)</sup>
	鍵共有	DH
		ECDH
共通鍵暗号	64ビットブロック暗号 <sup>(注2)</sup>	該当なし
	128ビットブロック暗号	AES
		Camellia
	ストリーム暗号	KCipher-2

(次ページに続く)

# 第IV部 設計・施工管理分野

1章 工事管理 ..... 206

# 1章 工事管理

## 1.1 工事管理とは

工事管理とは、建設工事において、着工から竣工まで工事全体を計画的かつ効率的に実施するための総合的な管理活動である。建設業界では施工管理とも呼ばれ、同じ意味で使用されている。

具体的には、決められた工期内に、所定の仕様や図面に基づいて工事を完全に仕上げるために、品質や精度などの契約条件を満足しながら、経済的かつ効率的に工事を進めていくことが求められる。そのため、単に工事の進捗を管理するだけでなく、着工から竣工までを総合的に管理する目的から以下の4大管理（表1.1）に分類される。

表1.1 工事管理の4大管理

管理項目	管理内容
工程管理(Process)	工事を工期内に完了させるための計画を立て、進捗を管理すること
品質管理(Quality)	要求される品質や仕様を満たした工事目的物を作り上げるために、品質の確保・管理を行うこと
原価管理(Cost)	実行予算に見合った、経済的な施工を実現するための費用を管理すること
安全管理(Safety)	工事を安全に実施するための方法を検討し、事故や災害を未然に防ぐこと

近年では、これらに加えて環境保全管理や情報セキュリティ管理なども重要視されており、施工管理の範囲は広がり続けている。

本章では情報通信エンジニアと関連の深い、工程管理、品質管理、安全管理及びその一環として端末設備の維持運用について解説する。