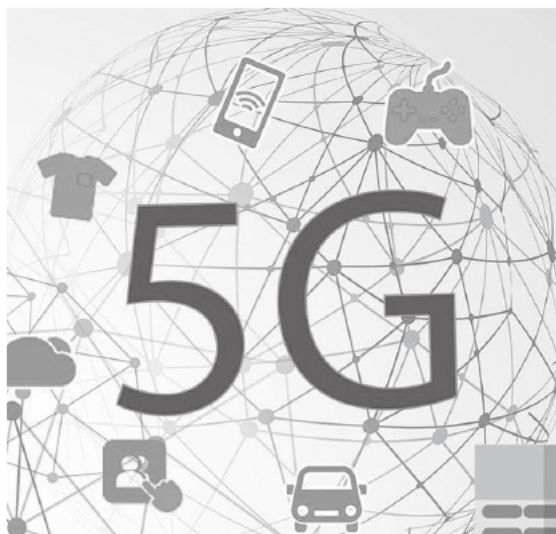


ビジネスパーソンのための5G入門講座

No.1

基礎編

監修 / 島田一雄
執筆 / 長野 聡



コガク

目次

第1分冊 学習のねらい.....	1
第1章 DX時代の5G移動通信システムとは？.....	3
1.1 移動通信システムの発展とデジタルトランスフォーメーション.....	4
1.1.1 移動通信システムの発展.....	4
1.1.2 デジタルトランスフォーメーション.....	6
1.1.3 デジタルトランスフォーメーションの本質.....	6
1.1.4 データ駆動型ビジネスとIoT.....	7
1.1.5 5Gへの期待.....	8
1.2 移動通信ネットワークの歴史と構成.....	10
1.2.1 業務用無線の時代.....	10
1.2.2 移動通信の発展と自動車電話の登場.....	10
1.2.3 セルラー方式の誕生.....	12
1.2.4 希望の通信相手と接続する（コアネットワーク）.....	12
1.3 移動通信のしくみ.....	13
1.3.1 沢山のユーザが利用できる仕組み（セルラー方式，周波数繰り返し）.....	13
1.3.2 移動しても通信が途切れない仕組み（ハンドオーバー）.....	14
1.3.3 どこにいても接続する仕組み（位置登録，ページング）.....	15
1.3.4 移動通信の裏方（C-プレーン，制御プレーン）.....	16
1.3.5 スマートフォンの身元を証明する：SIMの役割.....	16
1.4 5G移動通信システムで何が変わるのか.....	17
1.4.1 5Gが目指すもの.....	17
1.5 4Gから5Gへの移行で何が変わるのか？ 新たに何ができるのか？.....	18
1.5.1 4Gとの比較.....	18
1.6 5Gの標準化動向と5G導入の国内外動向.....	19
1.6.1 5Gの標準化動向.....	19
1.6.2 5G機能の進化とサービスの発展.....	20
1.6.3 5Gの国内外導入動向.....	21
『まとめと練習問題』.....	23
第2章 5Gで利用する電波の周波数と特徴.....	25
2.1 移動通信システムで利用される電波の周波数帯.....	26
2.1.1 電波の歴史.....	26

2.1.2	電波はどのようにして広がるのか	26
2.1.3	周波数と波長	28
2.1.4	電波の名称	29
2.1.5	電波の特徴の概要	29
2.2	4G 他利用中の極超短波の周波数帯, 特性, メリット	33
2.2.1	携帯電話で相手の声を聞きながら話すことができる仕組み	33
2.2.2	第三世代移動通信 (3G) で使われている周波数	34
2.2.3	第四世代移動通信 (4G) で使われている周波数	35
2.2.4	電波は広がると薄まる (伝搬損失)	37
2.2.5	波長が短くなるとアンテナは小さくても高性能	38
2.2.6	移動通信の電波環境 (マルチパス)	40
2.2.7	移動することで変わる電波環境 (フェーディング)	41
2.2.8	移動通信の電波環境のまとめ	42
2.3	5G のマイクロ波の周波数帯, 特性, メリット, 主な用途	42
2.3.1	サブ 6 の特性	42
2.3.2	サブ 6 のメリット	43
2.3.3	サブ 6 の主な用途	43
2.4	5G のミリ波の周波数帯, 特性, メリット, 主な用途	44
2.4.1	5G ミリ波帯の特性	44
2.4.2	5G ミリ波帯のメリット	44
2.4.3	5G ミリ波帯の主な用途	45
2.5	キャリア 5G に割り当てられるサブ 6/ ミリ波	45
2.5.1	キャリア 5G に割り当てられたサブ 6	45
2.5.2	キャリア 5G に割り当てられたミリ波帯	46
2.6	ローカル 5G に割り当てられるサブ 6/ ミリ波	47
2.6.1	5G の優れた性能を独り占め (ローカル 5G)	47
2.6.2	ローカル 5G に割り当てられたサブ 6	48
2.6.3	ローカル 5G に割り当てられたミリ波帯	48
2.7	電波の人体への影響【参考】	49
2.7.1	電磁波の人体への影響 (刺激作用と熱作用)	49
2.7.2	電磁波に発がん性はあるか	50
	『まとめと練習問題』	51
第 3 章	5G の優れた特性を支えるテクノロジー	53
3.1	超高速通信 (eMBB) とブロードバンド	54
3.1.1	データの正体 bit とブロードバンドの必要性	54
3.1.2	なぜ eMBB が求められるのか	56
3.1.3	データを電波で送るためには (変調)	58
3.1.4	より速いデータ伝送をするために (多値変調)	60
3.1.5	より速いデータ伝送をするために (OFDM)	64

3.1.6	マルチパスを味方につける (MIMO)	67
3.1.7	束ねてより高速に (キャリア・アグリゲーション)	68
3.2	超高信頼性・低遅延 (URLLC) とミッションクリティカル	69
3.2.1	一瞬の遅れが大事を招くことも	70
3.2.2	工場のラインは規則正しい	71
3.2.3	送信単位の時間を短くする (Short TTI)	71
3.2.4	間違いは直ぐに直す (Fast H-ARQ)	72
3.3	多数同時接続 (mMTC) と IoT	75
3.2.1	スマートメータとスマートシティ	75
3.2.2	mMTC を支える LTE-M と NB-IoT	76
3.4	5G 無線アクセス技術	79
3.4.1	マッシブ MIMO	79
3.4.2	ビームフォーミング	79
3.5	5G コア	80
3.5.1	C-plane/ U-plane 分離	80
3.5.2	ネットワークスライシング	82
3.6	エッジコンピューティング	83
3.6.1	クラウドは遠過ぎる (脊髄反射のようなエッジコンピューティング) ..	83
3.6.2	MEC (Multi Edge Computing)	84
	『まとめと練習問題』	86
第4章	キャリア 5G のロードマップと IoT サービス	89
4.1	4G から 5G への移行：5G ネットワーク構成 NSA と SA	90
4.1.1	2G から 4G のネットワーク構成の変遷	90
4.1.2	4G から 5G への移行はどのように行われるのか	91
4.1.3	4G の力を借りる NSA と、5G の独り立ち SA	92
4.1.4	5G で音声通話 (電話) はどうなるか	93
4.2	4G 周波数にて 5G へ移行する DSS (Dynamic Spectrum Sharing)	95
4.2.1	4G と 5G を同時に接続する (Dual Connectivity)	95
4.2.2	4G と 5G を細かく切り替え共存させる DSS	95
4.3	キャリア 5G サービスの動向とロードマップ	97
4.3.1	総務省の動向	97
4.4	内外の 5G 対応機器・端末・アプリの動向	98
4.4.1	5G のためになくてはならないチップセット	98
4.4.2	5G 対応機器・端末	99
4.4.3	5G 対応アプリケーションの動向	100
4.5	4G 他 IoT 無線サービス (LPWA) の概要	102
4.5.1	LPWA の位置づけと他のシステムとの関係	102
4.5.2	LPWA はなぜ低消費電力で、広いエリアをカバーできるのか	103
4.5.3	LPWA のシステム構成例	104

4.6	5GによるIoT無線通信サービスの動向と将来	105
4.6.1	5G標準化のロードマップ	105
4.6.2	自動車が周囲と通信して安全運転 (C-V2X)	106
4.6.3	工場も変える5Gの産業応用	108
4.6.4	列車の運行管理も5Gで	110
4.6.5	5Gの今後の発展	111
	『まとめと練習問題』	113
	SETP UP	115
	参考文献	117
	練習問題の解答	121
	索引	122

第1章

DX時代の5G移動通信システムとは？

【学習のポイント】

あらゆる産業において必須とされている、デジタルトランスフォーメーション（DX）によって企業の競争力を向上することが必要といわれています。ここでは、移動通信システムの歴史を俯瞰し、5Gがどのような背景のもとに生まれ、なぜデジタルトランスフォーメーション時代の移動通信システムとして期待されているのかを解説します。

1.1 移動通信システムの発展とデジタルトランスフォーメーション

移動通信システムは、eメールの確認、SNSの利用、動画の視聴、音楽ストリーミングなど、今では私たちの暮らしに無くてはならない物となっています。ほんの少し前まで個別の機器やメディアによって提供されてきたサービスがスマートフォンの中に納まってしまいました。このようなサービスを支える移動通信システムはどのように発展してきたのかを概説します。

また、企業の競争力強化に必要といわれるデジタルトランスフォーメーションとの関係で、今後の移動通信システムはどのように発展して行くのかを考えます。

1.1.1 移動通信システムの発展

1980年ころになると移動通信システムは、さまざまな技術開発の成果が実り、国内でアナログ方式の実用的な自動車電話のサービスが開始されました。1985年には人が肩に掛けて持ち運べるショルダーフォンが登場しました。これが第1世代移動通信システム(the first generation of mobile telecommunications 以降 1G)と位置づけられています。その後ほぼ10年毎に技術革新に伴う世代交代を繰り返し、機器の小型化、通信速度の向上、利用時間延長などを可能とし、また新たなサービスに対応してきました。図 1.1 に第1世代～第5世代の移動通信システムの最大通信速度の進化を示します。最大通信速度はこの30年で約10万倍になりました。

第2世代(2nd Generation: 2G)では、第1世代のアナログ無線方式からデジタル無線方式に変わり、音声に加えパソコンに接続してのeメール送受信が可能となりました。日本以外は2Gとして欧州のGSM¹方式がほとんどの国と地域で採用されました。このため、海外出張時などの通話利用の利便性から、最新のiPhone12(2020年11月発売)でもGSMが利用可能です。なお、日本国内の2Gサービスはすでに終了しています。

第3世代(3rd Generation: 3G)では携帯電話単体でのメールの他、文字ベースのホームページ閲覧などが可能になりました。その後の3G方式の速度向上に合わせ、写真のeメール添付や、Webページの閲覧も可能となりました。さらに2008年のiPhone3Gの登場が3G²の普及に拍車をかけました。3Gには大きく二つの方式³があり、ナンバー

ポータビリティの際に方式の異なる端末機器での移行はできませんでした。

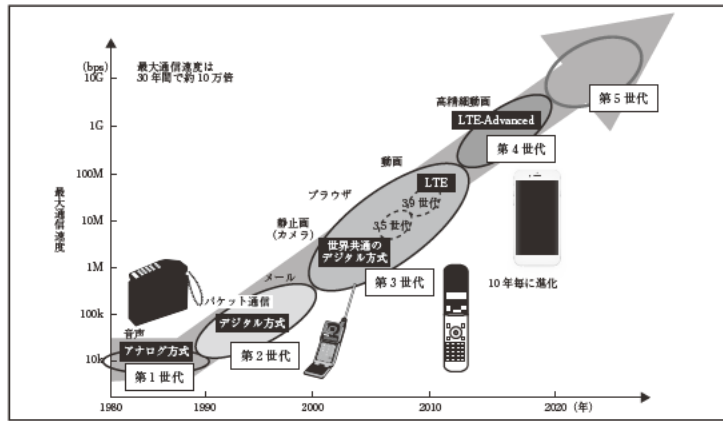


図 1.1 移動通信システムの進化 (第1世代～第5世代)
(出典：総務省 令和2年度版 情報通信白書 (p.11))

第4世代(4th Generation：4G)では、更なる通信速度の向上で、動画の視聴に加えて、ユーザからの動画のライブ配信もできるようになりました。技術的にはこの世代で世界共通のシステムに統一されました。

第5世代(5th Generation：5G)では動画視聴、動画のライブ配信に加えて、AR/VR(Augmented Reality / Virtual Reality, 拡張現実 / 仮想現実) やIoT利用も視野に入れており、さらに自動運転自動車への適用なども考慮されています。

移動通信の各世代の通信速度と通信用ならびに性能およびを表1.1に示します。なお、これらの移動通信システムの世代は、一斉に切り替わるものではなく、ユーザの選択によって各世代が共存しながら時間をかけて切り替わっていきます。図1.2に移動通信システムの世代ごとの世界シェアを示します。

表 1.1 移動体通信の各世代の通信速度と性能
(出典：総務省資料を基に筆者作成)

	第1世代	第2世代	第3世代	第3.5世代	第3.9世代	第4世代	第5世代
	自動車電話	PDC	WCDMA CDMA-1X	WCDMA HSPA	LTE	LTE- Advanced	5G
最大通信速度	アナログ	9.6kbps	64～ 384kbps	3.6～ 14Mbps	37.5～ 150Mbps	110Mbps～ 約1Gbps	10Gbps～ 20Gbps
通信用途	・通話のみ	・通話 ・パソコン に接続し メール	・通話 ・文字ベ ースのホーム ページ閲覧 (モード 等)	・通話 ・画像を含 むWebペー ジ閲覧 ・動画視聴 ・動画視聴	・通話 ・Webペー ジ閲覧 ・動画視聴 ・写真や動 画の投稿な ど	・通話 ・Webペー ジ閲覧 ・動画視聴 ・動画のラ イブ配信な ど	・通話 ・Webペー ジ閲覧 ・動画視聴 ・動画のラ イブ配信 ・AR/VR ¹ ・IoT利用
性能	DVD1枚 ² のダウン ロード時間	1,050～1,100 時間 (43-44日)	27～30時間	45分～1時間	4～5分	30～40秒	3秒
	時速100kmの車 の制動 ³	約1.5m～5m		60cm～約2m		30cm～ 1m10cm	3cm～10cm ⁴

1：DVD1枚は4.7Gbyteで計算。2：無線区間の遅延に対する走行距離。3：拡張現実 / 仮想現実。4：遅延時間を第4世代の1/10と仮定

※1 Global System for Mobile communications
※2 2007年発売の初代iPhoneは欧州の第2世代方式
※3 cdmaOne系とW-CDMA系

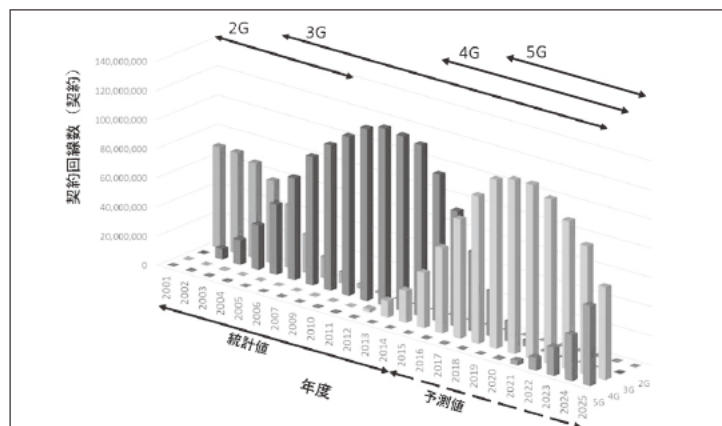


図 1.2 移動通信システムの世代交代予測 (IoT向けを除く。出典：総務省統計、情報通信白書を基に筆者作成)

1.1.2 デジタルトランスフォーメーション

デジタルトランスフォーメーション (DX) という言葉も 5G と同様に新聞などで見かける機会が多いと思います。また、2019 年の新型コロナウイルス (COVID-19) のパンデミックによって、在宅勤務の一般化や工場の省人化 / 無人化などのデジタル化が進行しました。

経済産業省が 2018 年 12 月に出した「デジタルトランスフォーメーションを推進するためのガイドライン Ver. 1.0」では、DX を「企業がビジネス環境の激しい変化に対応し、データとデジタル技術を活用して、顧客や社会のニーズを基に、製品やサービス、ビジネスモデルを変革するとともに、業務そのものや、組織、プロセス、企業文化・風土を変革し、競争上の優位性を確立すること。」と定義しています。

しかし、この定義だけでは具体的に何をどのように変えればよいのか、何をしたらよいのか理解しにくいと思います。とはいえファクシミリ (FAX) をやめて電子メールにするとか、印鑑を廃止して電子化するといったことは、同じことをするための手段のデジタル化に過ぎず、デジタルトランスフォーメーションとはいえません。

1.1.3 デジタルトランスフォーメーションの本質

デジタルトランスフォーメーションとは、経済産業省の定義にあるように「データとデジタル技術を活用」することで、「ビジネスモデルの変革をする」ことが重要になります。詳しくは、実践編にゆづりますが、業務ツールの電子化に止まらず、データ

駆動型ビジネスへの転換が求められています。

あなたのビジネスでも、経験や勘に頼って製造ラインを修正したり、製造パラメータを決めたりされてきたということがあったと思います。しかし、熟練の経験者の高齢化や退職や、製品サイクルの短縮などにより、近年はこのような方法が通用しにくくなっています。そこで、重要となるのがデータに基づいたデータ駆動型ビジネスへの転換です。データ駆動型ビジネスでは、経験や勘に頼るのではなく、データに基づいてより緻密なビジネスの実現を目指します。図 1.3 に従来型ビジネスとデータ駆動型ビジネスの概念図を示します。ここでは例として、ある製品を作り検査しその結果に基づいて製造ラインを修正し、パラメータを変更するような製造業の場合を示しています。従来型のビジネスでは、図 1.3 (a) のように製品検査の結果から熟練経験者がラインを修正し、パラメータ変更を永年の『勘と経験』に基づいて行っていました。このため、『勘と経験』は属人的であり、また獲得までには時間がかかりました。製品サイクルの長い時代には適していたかもしれませんが、短い製品サイクルや少量多品種製造に対応するような場合にはあまり適していません。

これに対し、データ駆動型ビジネスでは、図 1.3 (b) に示のように、検査データに基づいて分析がなされ、ラインの修正やパラメータを決定するため、属人性や短い製品サイクルや少量多品種製造への適用もしやすくなるといえます。

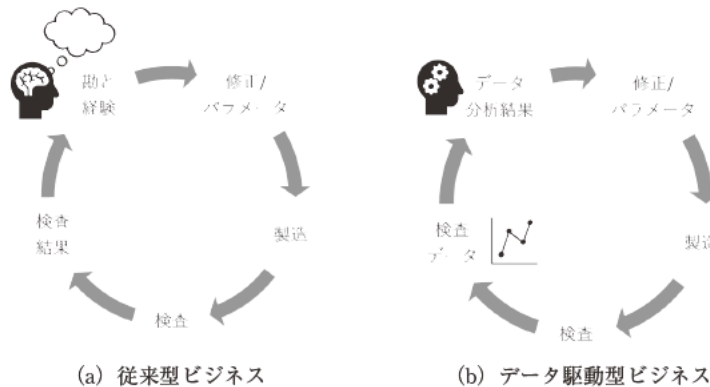


図 1.3 従来型ビジネスとデータ駆動型ビジネスの概念

1.1.4 データ駆動型ビジネスとIoT

データ駆動型ビジネスには、データが重要ですが、図 1.3 (b) の検査データを手入力していたのでは、効率も悪く、データ入力時の誤りの可能性もあります。このため、