

第2章

スマート農業に利用される無線システムの特徴と動向

- 2 – 1 スマート農業に利用される無線システム …… 1 2
 - (1) ～ (3) 各無線システムの特徴と通信規格の比較
- 2 – 2 ロボットトラクタに利用されるRTK-GNSS
 - (1) RTK-GNSS無線システム …… 1 5
 - (2) 無線システムに使用する周波数等 …… 1 6
- 2 – 3 ドローンに利用される無線システム
 - (1) 使用が認められている無線システム …… 1 7
 - (2) 無人移動体画像伝送システム、免許及び登録を要しない無線局 …… 1 8
 - (3) アマチュア無線局、携帯電話を上空で使用する場合 …… 1 9
- 2 – 4 スマート農業通信技術動向
 - (1) 携帯電話 (スマホ) 4 G (LTE) …… 2 0
 - (2) プライベートLTE (地域/自営等BWA・sXGP) …… 2 1
 - (3) 4 GLTEとプライベートLTEの比較 …… 2 4
 - (4) L P W A …… 2 5
 - (5) L P W Aと他の通信システムとの比較 …… 2 6
 - (6) W i – F i …… 2 7
- 参 考 電波の特性と利用形態 …… 2 9

	Wi-Fi (免許不要)	LPWA (免許要/不要)	sXGP (免許不要)	地域・自営 BWA (免許要)	携帯電話 4G (LTE)	5G	
						携帯電話5G	ローカル5G (免許要)
キャリアサービス	—	—	—	—	○	○	—
自営無線 (免許要)	×	○/×	×	○	—	—	○
自営無線 (免許不要)	○	○/×	○	×	—	—	×
コスト	低～中	低	低	中	中	高	高
遅延	規格により異なる	大	中	中	中	小	小
主な用途	屋内、屋外（近距離） 規格により幅広い用途	センサーデータや小容量・低頻度な画像 伝送	センサーデータや小容量・中頻度な画像 伝送（近距離）	4K画像、ロボットトラクタ（制御信号）、ドローン（制御信号：4G）	8K画像、ロボットアーム・ロボットトラクタ（停止信号）等、ミッションクリティカルなモノの通信		

<免許要否によるメリット・デメリット>

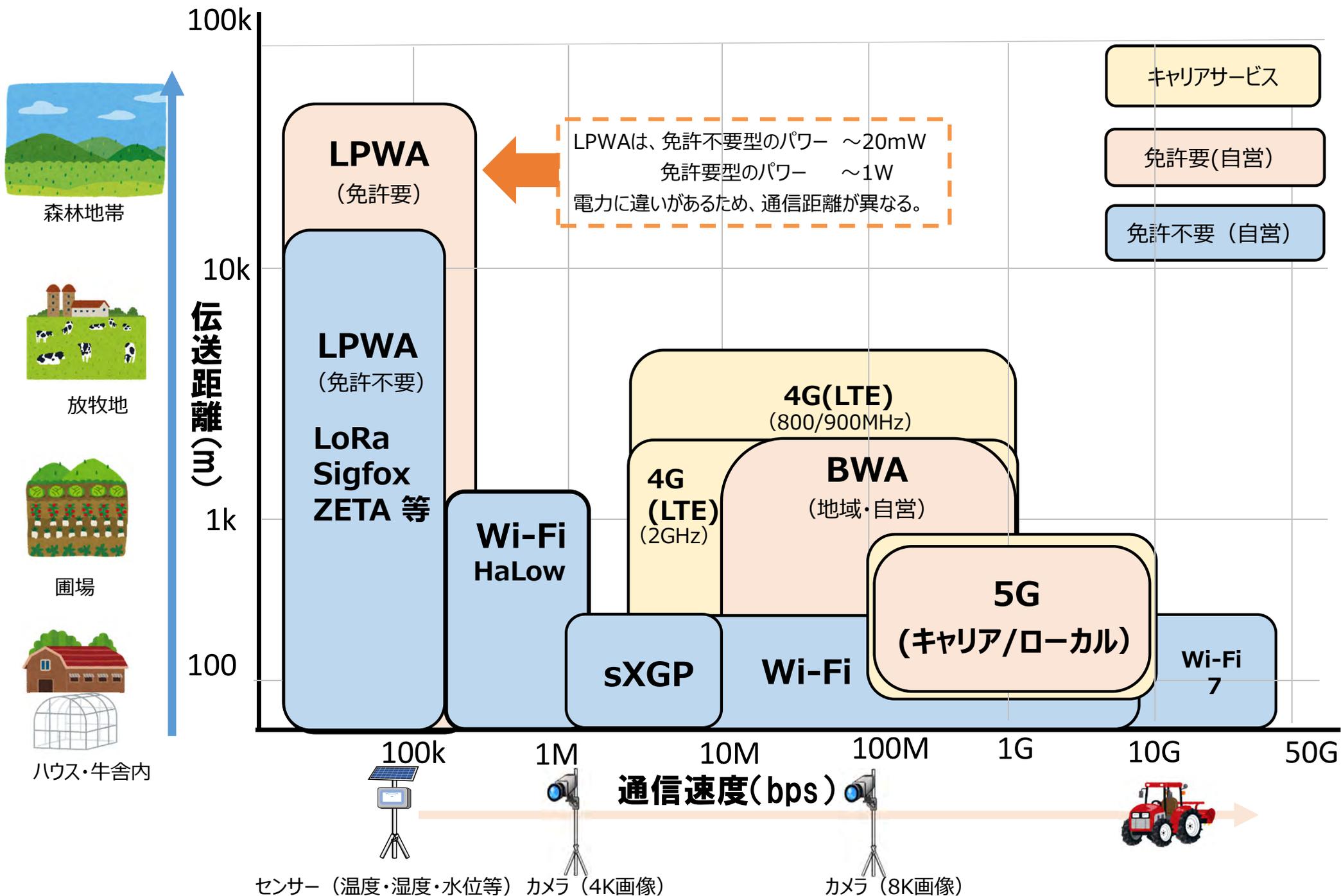
免許要	デメリット：免許申請等事務処理が必要。 メリット：ライセンスにより電波干渉が発生した際保護の対象となる。大パワー。
免許不要	デメリット：チャンネル共用であるため、干渉を容認することが前提。小パワー。 メリット：機器を設置後すぐに運用可能。

<キャリアサービス、自営無線のメリット・デメリット>

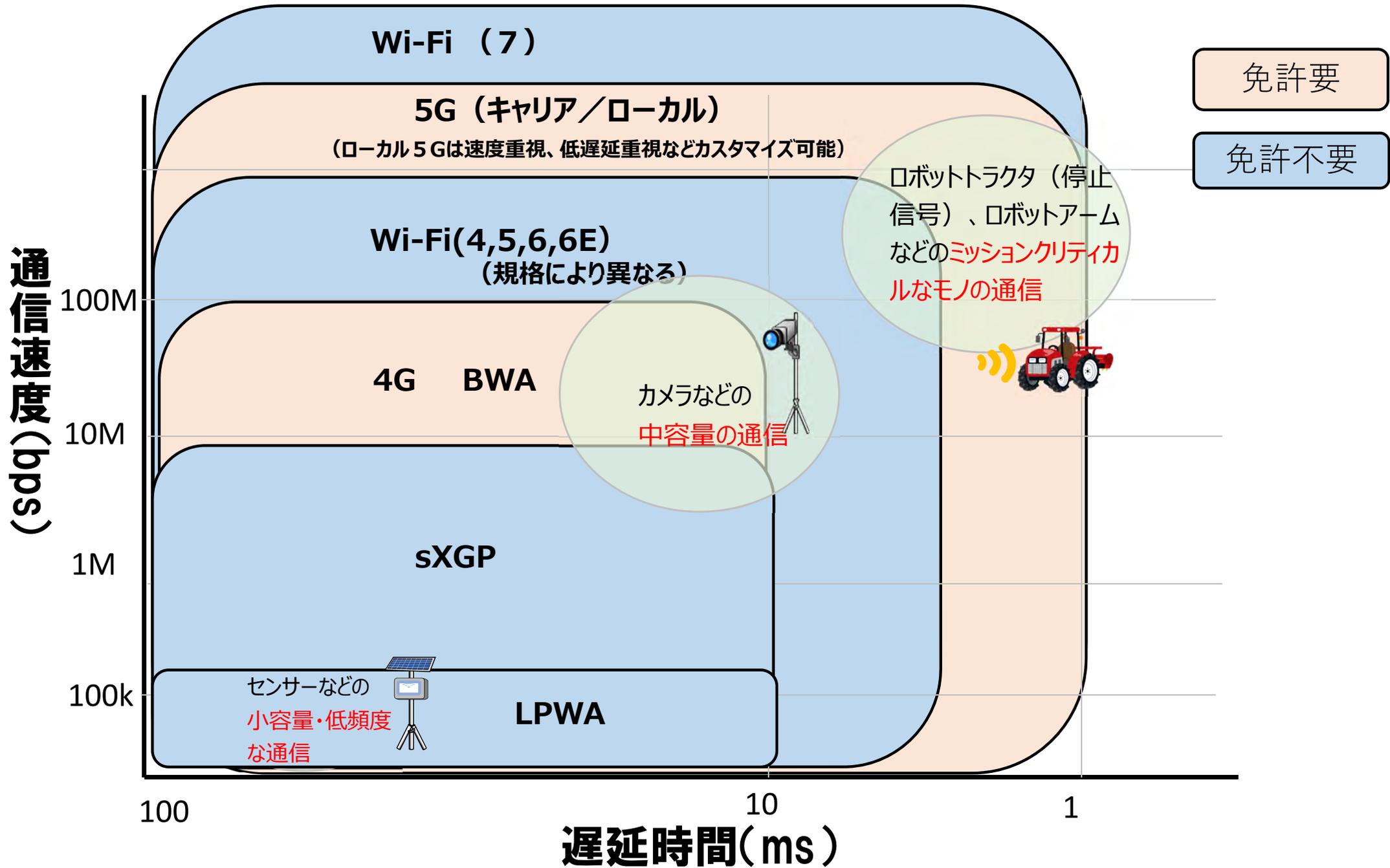
キャリア	デメリット：キャリアが提供するサービスエリアでのみ利用可能。カスタマイズ小。 メリット：基地局設置やメンテナンス等をキャリアが一括して行う。
自営	デメリット：基地局整備等を自身で行うため、コスト等負担大。 メリット：エリア設計や電波特性等を自由にアレンジ可能。カスタマイズ大。

ローカル5G等の自営無線については、基地局設置やエリア設計、免許取得等について事業者・ベンダー等が一括してマネージメントを行うサービスを提供。

各無線システムの通信速度と通信距離パターン



各無線システムの通信速度と遅延時間パターン

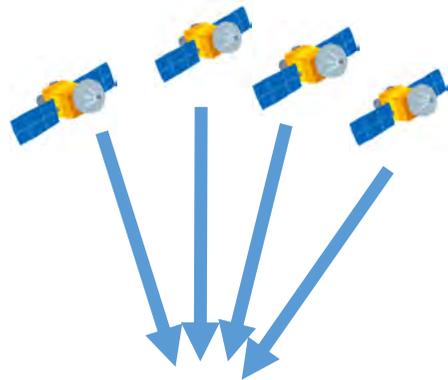


RTK-GNSS無線システム

農業機械の自動運転にはGNSS（GPSを含む各国の衛星測位システムの総称）が必要不可欠ですが、単独測位方式では受信側に数十メートルの誤差が生じます。RTK-GNSSは、GNSSの補正信号を基準局から送信することにより、受信側での誤差を数センチメートル程度とする測位方式です。

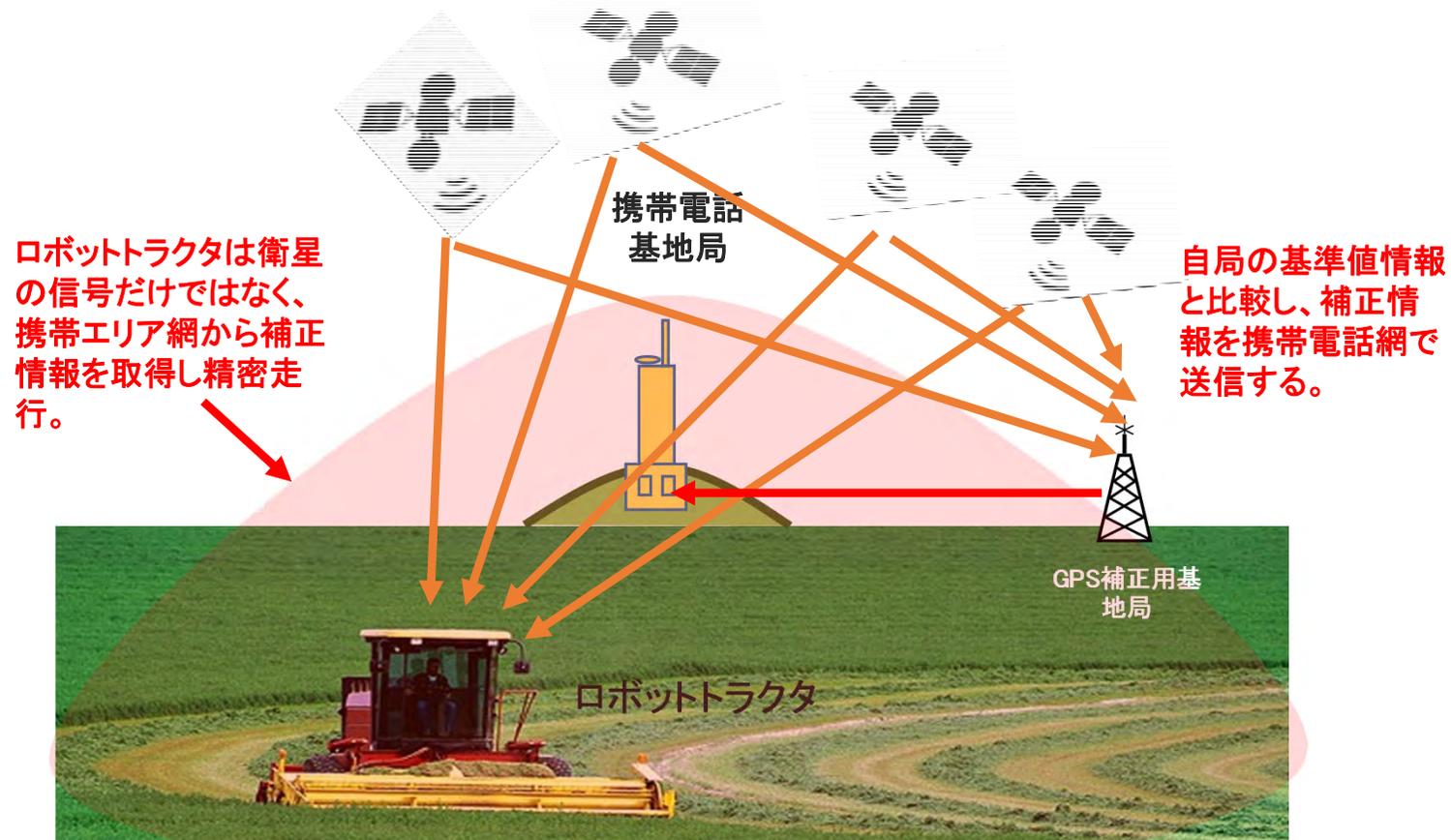
※RTK-GNSSのRTKとは、「リアルタイム動的」を意味する“Real Time Kinematic”の略です。GNSSとは「汎地球測位航法衛星システム」のことで、GPSなどの衛星を用いた測位システムの総称です。

一般的なGPS利用



スマホで自分の位置確認

RTK-GNSS



ロボットトラクタは衛星の信号だけではなく、携帯エリア網から補正情報を取得し精密走行。

自局の基準値情報と比較し、補正情報を携帯電話網で送信する。

ロボットトラクタが精密走行をするための情報の流れ

無線システムに使用する周波数等

ロボットトラクタの自動運転に使用される主なRTK-GNSSは、以下のとおりです。

RTK方式／無線局種	周波数帯	送信出力	エリア	無線局申請	操作資格
無線方式／簡易無線局 (※)	150MHz帯 400MHz帯	～5W	1～5km程度	要 (登録又は免許)	不要
無線方式／基地局 (各種業務用)	150MHz帯 400MHz帯	～50W	～20km程度	要 (免許)	第三級陸上特殊無線技士
インターネット方式	—	—	携帯電話エリア内	不要	不要

※簡易無線局の1回の通信時間は5分以内。通信終了後の再通信は1分以上経過後。ただし、遭難通信、緊急通信、安全通信、非常通信を行なう場合及び時間的又は場所的理由により他に通信を行なう無線局のないことが確実である場合は、この限りでない。(無線局運用規則第128条の2)

位置補正情報の利用方式

- 無線方式の基準局 (簡易無線局、各種業務用無線局) の設置は、自治体、農協、任意団体、個人等で行われている。
- 無線方式の基準局は多くが簡易無線局で設置されているが、周波数を共用しているため都市近郊や工事現場近郊では通信がふく曠し停止する場合がある。(混信防止のキャリアセンス機能が働き停止する。)
- 各種業務用基地局は混信しないように周波数が割り当てられるが、操作資格が必要となる。
- インターネット方式は、基準局からの補正信号を携帯電話回線経由で提供するもので、有料のサービスとなる。

補正情報の種類	概要	必要設備・機器
	<p>RTK (Real Time Kinematic) は、地上に設置した基準局から発信する補正信号を受信してGPS測位の精度を向上させるシステムです。</p> <p>デジタル簡易無線機方式 固定または移動型の基準局を個別に設置し、デジタル無線機で補正情報を送信。移動局(トラクタ)側のデジタル無線機で補正信号を受信します。使用可能エリアは無線の到達エリア内です。</p> <p>Ntrip方式 個別に設置した基準局で取得した補正情報をNtripサーバを使用しインターネット経由で配信。専用アプリをインストールしたスマートフォン等で受信します。使用可能エリアは携帯電話でインターネット接続可能なエリア内です。</p>	<p>デジタル簡易無線機方式 基準局設置費用 アンテナ/受信機 デジタル無線機</p> <p>Ntrip方式 モバイル機器 基準局設置費用 専用アプリ 受信契約</p>
	<p>VRS (Virtual Reference Station) は、国土地理院が設置した電子基準点網から生成される補正情報を、スマートフォン等を使用して、インターネット回線を通じて受信し、GPS測位の精度を高める方法です。VRSのサービスプロバイダとの契約によって、全国どこでも携帯電話の電波のエリア内で利用できます。</p>	<p>モバイル機器 アンテナ/受信機 受信契約等</p>

使用が認められている無線システム

- ドローンをスマート農業等に使用する際に、その操縦や画像伝送のために電波を発射する無線設備が広く利用されていますが、これらの無線設備を日本国内で使用する場合は、電波法令に基づき無線局の免許を受ける必要があります。
- ただし、他の無線通信に妨害を与えないように周波数や一定の無線設備の技術基準に適合する小電力の無線局等は免許を受ける必要はありません。
- ドローンで使用されている主な無線システムは、以下のとおりです。

画像伝送距離は、免許不要のシステムで数百m程度、免許を要するシステムで数km程度。

無線システム名称 ／無線局種	周波数帯	送信出力	伝送速度	利用形態	無線局免許	操作資格
ラジコン操縦用微弱無線	73MHz帯	※1	5kbps	操縦用	不要	不要
特定小電力無線局	920MHz帯	20mW	～1Mbps	操縦用	不要 ※2	
小電力データ通信システム	2.4GHz帯	10mW/MHz	200k～ 54Mbps	操縦用 画像伝送用 データ伝送用		
無人移動体画像伝送 システム／携帯局 ※3	169MHz帯	10mW	～数百kbps	操縦用 画像伝送用 データ伝送用	要	第三級陸上特 殊無線技士
	2.4GHz帯	1W	～数十Mbps			
	5.7GHz帯	1W	～数十Mbps			

※1：500mの距離において、電界強度が200μV/m以下

※2：技術基準適合証明等（技術基準適合証明及び工事設計認証）を受けた適合表示無線設備であることが必要。

※3：事前に運用調整が必要。

日本無人機運行管理コンソーシアム(JUTM)

<https://jutm.org/>

無人移動体画像伝送システム

- 無人移動体画像伝送システムは、高画質で長距離な映像伝送を可能とするメイン回線用に、169MHz帯、2.4GHz帯及び5.7GHz帯の周波数を用いるシステムとして整備されています。
- これらの周波数で無人移動体画像伝送システムを運用する際には、限られた周波数資源を共用し、各々が必要な通信を確保するため、運用者間で使用する周波数等の運用調整を行う必要があります。また、使用する周波数は、同一及び隣接する周波数帯を他の無線局が使用しているため、これらの無線局の運用に配慮した運用が必要となります。

免許及び登録を要しない無線局

- 発射する電波が極めて微弱な無線局や、一定の技術的条件に適合する無線設備を使用する小電力無線局については、無線局の免許及び登録が不要です。
- ドローン等には、ラジコン用の微弱無線局や小電力データ通信システム（無線LAN等）の一部が主として用いられています。

微弱無線局（ラジコン用）	ラジコン等に用いられる微弱無線局は、無線設備から500メートルの距離での電界強度（電波の強さ）が200 μ V/m以下のものとして周波数などが総務省告示で定められています。無線局免許や無線従事者資格が不要であり、主に、産業用の農薬散布ラジコンヘリ等で用いられます。
小電力無線局	小電力無線局は、免許を要しない無線局の一つで、空中線電力が1W以下で特定の用途に使用される一定の技術基準が定められた無線局です。例えば、Wi-FiやBluetooth等の小電力データ通信システム等がこれにあたります。 これらの小電力無線局は、無線局免許や無線従事者資格が不要ですが、技術基準適合証明等（技術基準適合証明及び工事設計認証）を受けた適合表示無線設備でなければなりません。

アマチュア無線局

- ドローン等にアマチュア無線が用いられることがありますが、この場合はアマチュア無線技士の資格及びアマチュア無線局免許が必要です。また、アマチュア無線の目的に照らし、アマチュア無線を使用したドローンを利益を目的とした仕事などの業務に利用することはできません。
- 周波数割当計画、アマチュア無線を用いて5GHz帯の周波数を使用する場合は、5GHz帯の同一帯域では他の業務の無線局が優先的に使用されているため、他の無線局に妨害を与えないように運用しなければなりません。（高速道路のETCシステムや駐車場管理に用いられる無線局への影響を考慮し、それら付近での使用は避ける等、運用には配慮が必要です。

携帯電話を上空で使用する場合

- 携帯電話等の移動通信システムは、地上での利用を前提に設計されていることから、その上空での利用については通信品質の安定性や地上の携帯電話等の利用への影響が懸念されています。（下図参照）
- こうした状況を踏まえ、実用化試験局の免許を受ける、又は、令和2年12月に、高度150m未満の空域において、一定の条件に合致する携帯電話の端末については、簡素化した手続きにより無人航空機等において利用可能とする制度整備を行いました。また、令和5年4月から、高度150m以上においても、簡素化した手続きによる利用が可能となりました。この場合、携帯電話事業者に利用を申込み、許可を受ける手続きが必要です。

周波数 f_1
 : 基地局とドローンが同一周波数を使用

周波数 f_2
 : 基地局とドローンが異なる周波数を使用



携帯電話の上空利用のサービス利用イメージ



※ 出典：電波利用ホームページ

携帯電話 (スマホ) 4G (LTE)

- 現在利用されている主なスマート農業ソリューションにおいて、コスト、伝送距離、伝送速度の面でもっとも使い勝手がよく、対応製品も多い。
- 特にロボットトラクタ等の運転支援においては、**スマホによりRTK補正信号を受信するしくみが急速に普及**しており、北海道内でも今後、主流になると考えられる。
- 圃場等では**エリア化していない場合も多い**ため、他の無線システムとの組み合わせも重要である。

伝送距離：数百m～数km

伝送速度：数百M～1Gbps



- ロボットトラクタ、運転支援 / ○ドローン (センシング、散布、視認) / ○センサー (水管理、温度湿度、土壌管理、ウェアラブル、RFID)



スマート農業の利用が携帯電話の4Gエリア内であることが前提となっているという事例が多く存在。

スマホ利用を基本とした4Gの代替手段として考えられる無線システム

地域/自営BWA

sXGP

Wi-Fi

プライベートLTE

ロボット
トラクタ

ドローン

センサー

ドローン
(目視内)

センサー
(屋内)

ドローン
(目視内)

センサー
(屋内)

システムの特徴
及び
共用可能
ソリューション

運用が携帯キャリア以外となることが相違点。スペックは4Gとほぼ同等。**農業ソリューションとしてもすべて共用可能。**

1.9GHz帯を利用する免許不要の自営無線。Wi-Fiに比べ**トラフィックが少ないため安定した通信が期待**できる。

sXGPと同様近距離通信。ただし、**回線速度は4Gと同等以上**。920MHz帯のWi-Fi HaLowにおいては1 km程度の伝送が可能。

電源及びバックボーン回線として光ファイバが必要

通信距離/速度

数km / 数M～220Mbps

数十～数百m / 10Mbps

数十m / 数M～1Gbps

スマホ利用

○ (iPhone、Android)
バンド41:一部非対応端末あり

○ (iPhone、Android)
バンド39:一部非対応端末あり

○ (iPhone、Android)
IEEE802.11 規格

① プライベートLTE (地域/自営等BWA・sXGP)

スマート農業のネットワークとして、多くはキャリア4Gが活用されているが、道内では圃場内の不感地帯も広く存在している。一方で、キャリア4Gによらないスマート農業ソリューションの運用も可能となっており、そのひとつとしてキャリア4Gと技術的親和性の高いプライベートLTEがある。

技術的に4Gと同様の通信方式を採用しており、スマホでの利用やプライベートLTE間でコアネットワークの共用が可能。

地域/自営等BWA

sXGP

主な特徴

地域/自営BWAは、2.5GHz帯の周波数を使用して、特定のエリアでLTEを利用できるローカル無線通信ネットワーク。キャリアの設備を介さずに、**自営の設備で専用のLTEネットワークを構築可能**。

元々PHSで使用されていた1.9GHz帯の周波数を使用した自営通信。専用SIMによるセキュアな通信が可能。AP（アクセスポイント）を複数設置することにより、**ハンドオーバーによるエリア拡充が可能**。小電力でありトラフィックが少ないため免許不要ではあるが安定した通信が可能。

4Gとの比較

周波数特性は多少異なるが、**通信速度/距離/免許の要否等は4Gとほぼ同様**。キャリアによらない自営LTEネットワークとして4Gと同様の農業ソリューションに対応。

通信距離はWi-Fi程度であるため、**目視内のドローンや屋内でのセンサー利用がメイン**。大規模、高性能、高コストなものを中心に開発された4GやBWAと違い、**機能やエリアを縮小し、容易に導入可能なLTEシステム**。

通信方式

当初のWiMAX方式に加え、LTE方式 (AXGP) が採用されている。

LTE無線通信技術の一種である**TD-LTEを採用**している。

ライセンス

無線局、無線従事者免許が**必要**。

無線局、無線従事者免許が**不要**。

端末

利用しているスマホが、そのまま端末として利用可能となる場合。

バンド41(2.5GHz)に対応したiPhone、Android端末が利用可能。
(基地局側は4Gと同様の規模の無線局)

バンド39(1.9GHz)に対応したiPhone、Android端末が利用可能。
(基地局側はAP(アクセスポイント)型の小型無線局)

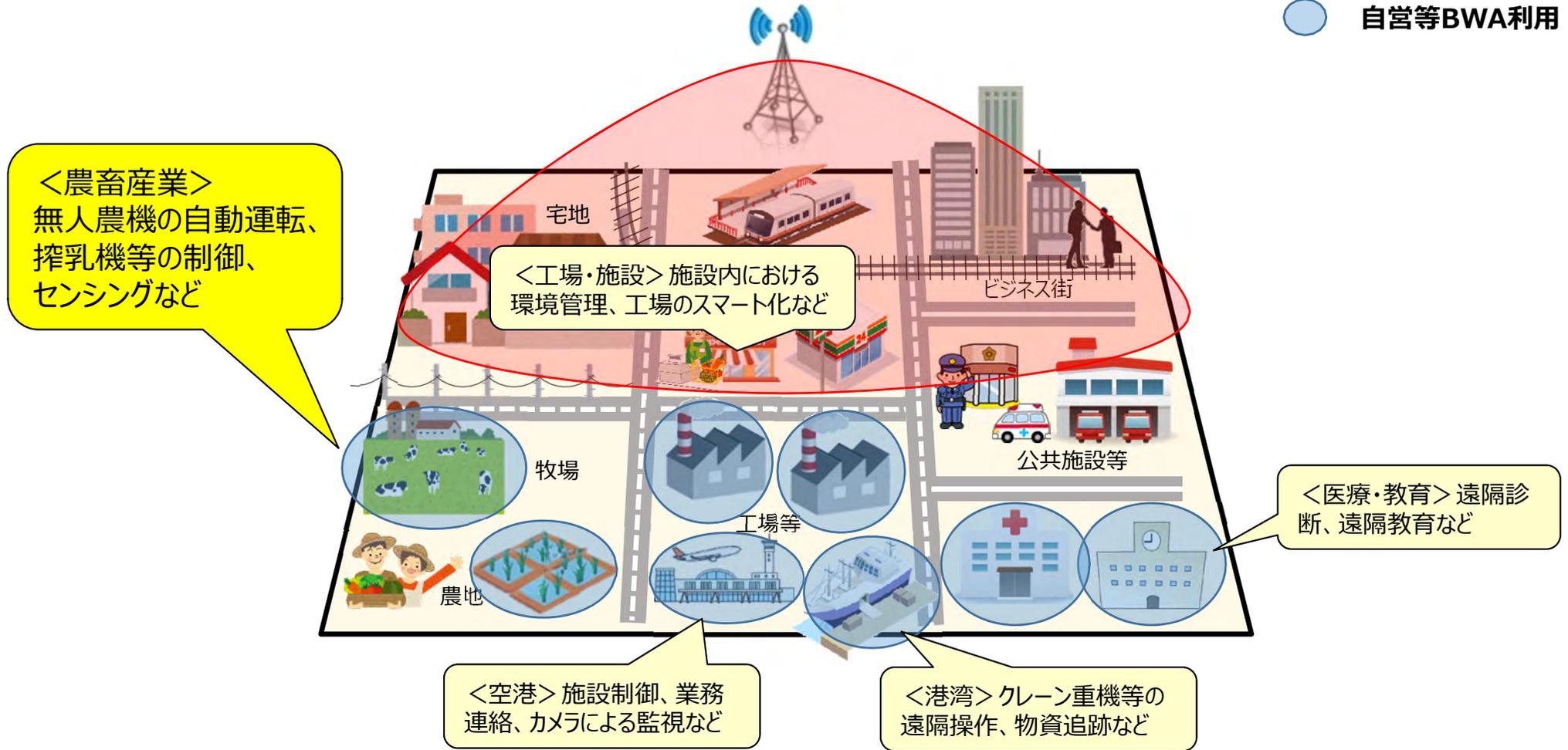
コスト

月額サービス利用：数千円/月
基地局設置：数百～数千万円

数十万～数百万円程度 (AP(アクセスポイント)、端末)

② プライベートLTE (地域/自営等BWA) 導入イメージ

- 地域BWA利用
- 自営等BWA利用



地域BWAは電気通信事業であり、市街地（住宅街や駅・商業地等）を中心にエリア展開



工業地帯や農業地帯等の地域BWAが利用されていないエリア／近い将来利用される可能性が低いエリアにおいては、「自己の建物内」又は「自己の土地内」で自営等BWAの利用が可能

4 GLTEとプライベートLTEの比較



3つのシステムは技術的に全てLTE方式を採用しており、端末がそれぞれの帯域をカバーしていれば、スマホや各IoT機器で利用可能

	700/900MHz帯	1.9GHz帯	2GHz帯	2.5GHz帯
	LTE	sXGP		地域/自営BWA
	プライベートLTE			
利用可能端末及び対応周波数	バンド1(700/900MHz),28(2GHz)等	バンド39(1.9GHz)		バンド41(2.5GHz)
	iPhone、Android（一部非対応端末有）、対応IoT機器で利用可能			
プライベートLTE しての特徴	<ul style="list-style-type: none"> ・任意の場所でエリア化が可能 ・自営網により非常時・輻輳時にも安定した通信が可能 			
同時接続数/1基地局	100台程度	数十台程度		数十台程度
通信距離/速度	数km / 数M~1Gbps	数十~数百m / 10Mbps		数km / 数M~220Mbps
免許の要否 (無線局/無線従事者)	必要	不要		必要
ハンドオーバー	ハンドオーバー（端末移動に伴う接続基地局の自動切替え）によるエリア拡充が可能			
基地局設置条件	基地局設置場所に電源及び光ファイバ（バックボーン回線）が必要			

LPWA

LPWA

低コスト・長距離通信の特徴からセンサー利用においては4Gよりも使い勝手がよいケースがある。データ量が小さい場合やリアルタイム性を求めないケースに有効。

ドローン

自動操縦時の機体制御用信号に利用可能。
(プログラム操縦でも、飛行中は機体制御情報を常に把握することが望ましい。)

センサー

あらゆるセンサーに利用可能で、データを元に水田の給水弁の自動管理や、ハウス内の換気装置や暖房機稼働などを自動また遠隔でコントロールする事が可能。
酪農においては、牛舎内だけではなく、長距離伝送の特徴を活かし、広大な放牧地においても一元的に個体管理が可能。脱走牛の早期検知や、崖からの落下など予期せぬ事故の防止、しばらく動かない等の状況の把握等により疾病の兆候の早期発見にもつながる。

システム名称	周波数	通信速度		空中線電力		通信距離
		上り	下り	上り	下り	
専用端末での運用。低出力であるため太陽光発電でも稼働。						
SIGFOX (自営) (シグフォックス)	920MHz帯	100bps	600bps	20mW	250mW	数km~数十km
LoRa (自営) (ローラ)	920MHz帯	250bps~50kbps		250mW、20mW		数km~十数km
LTE-M (月額)	携帯電話の帯域	300kbps 1Mbps	800kbps	100mW 200mW	—	数km~十数km
NB-IoT (月額)	携帯電話の帯域	62kbps	21kbps	100mW 200mW	—	数km~十数km

5G/L5G

4Gでは実現できない高精細画像伝送や低遅延な緊急信号の送信が可能であり、今後ロボットトラクタ (レベル3) の実現に寄与することが期待されている。既存ソリューションにおいては、コストや周波数特性から一部例外を除き広い圃場等での活用は困難であり、施設園芸や牛舎内等のスポット利用が想定される。

LPWAと他の通信システムとの比較

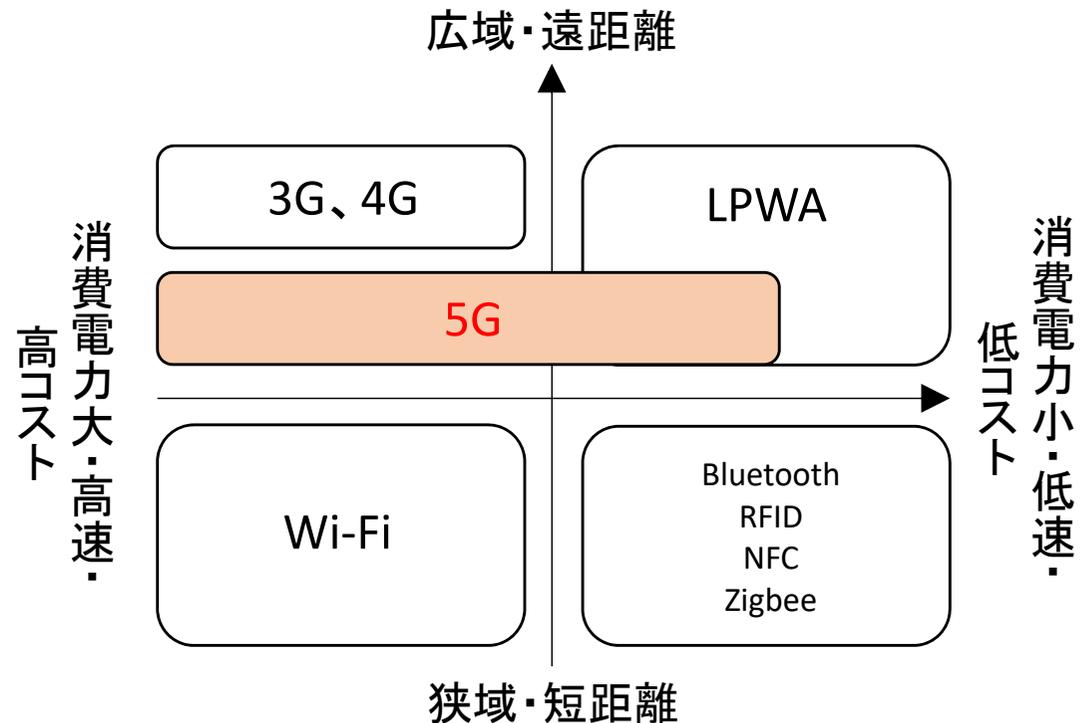
- IoTデバイスや関連のアプリケーションの数は爆発的に増加し、それらの用途は多岐に渡っているため、カバレッジや消費電力の大小、通信速度やコストの高低に応じて、様々な通信技術・規格が存在。
- 特に無線を用いるIoTデバイスは、消費電力や電波の特性等の制約条件が多いことから、単一の通信技術や規格でこれらのニーズ全てに応えることは困難であり、各産業・分野のデジタル化を進めるに当たっては、その目的や用途に応じて、他の技術と上手く組み合わせて使うことが重要。

右図は、既存の技術・規格を含めて、それぞれの特徴に着目して整理を行ったもの。

LPWAはボタン電池一つで数年単位で動作し、端末1台あたりの通信料金も100円～/年（SIGFOX）と、低消費電力・低コストといった特徴がある。また、Wi-FiやBluetoothに比べ、広域・遠距離通信を可能としている。

また、5Gは超高速大容量、超低遅延、多数同時接続といった特長を有している一方、カバレッジに関しては4Gに劣り、また、消費電力やコストに関しては、LPWA（SIGFOX、LoRa、NB-IoTなど）やBluetooth、NFC（近距離無線通信）、Zigbeeに劣っており、5Gが他の通信技術全てを代替するような万能な存在ではないことが分かる。

各通信方式の位置付け



① Wi-Fi

Wi-Fi (ワイファイ、Wireless Fidelity) とは、国際標準規格のIEEE802.11規格に準拠し、無線LANの普及促進を行う業界団体であるWi-Fi Allianceに認証を受けた機器を指しますが、現在は認証機器がほとんどであるため、無線LAN (※) 全般を指す言葉としてWi-Fiが使用されています。

(※) 無線LANとは、電波でデータの送受信を行う構内通信網 (LAN : Local Area Network) のことです。

① 誰でも使えるアンライセンスバンド

法律上の免許 (ライセンス) が不要であることから誰でも手軽に利用できる通信インフラ



② 世界共通どこでも使えるデファクトスタンダード

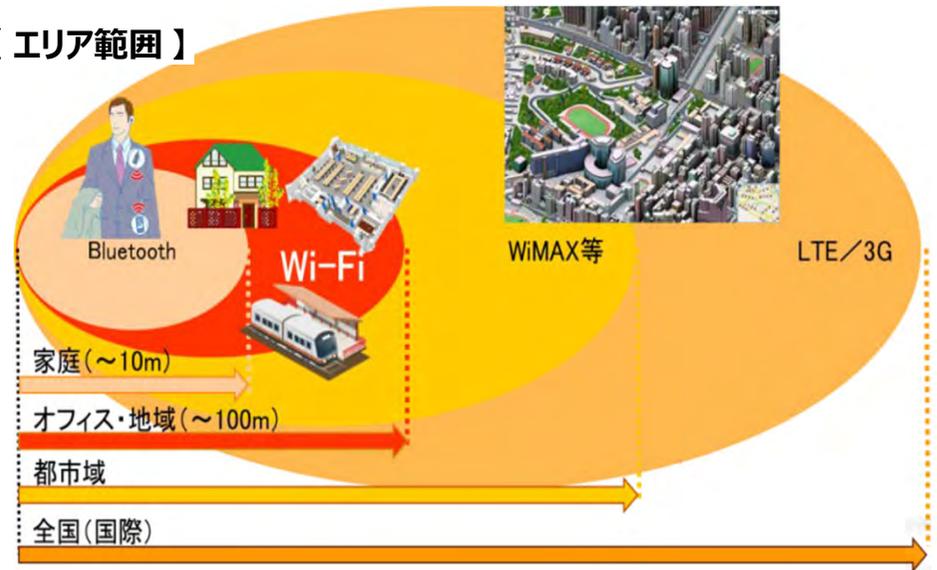
普段使っている端末が、世界中のWi-Fiスポットで利用できる



③ サービスエリアはスポットだが高速

エリア範囲は狭いが、高速・大容量の通信ができる

【エリア範囲】



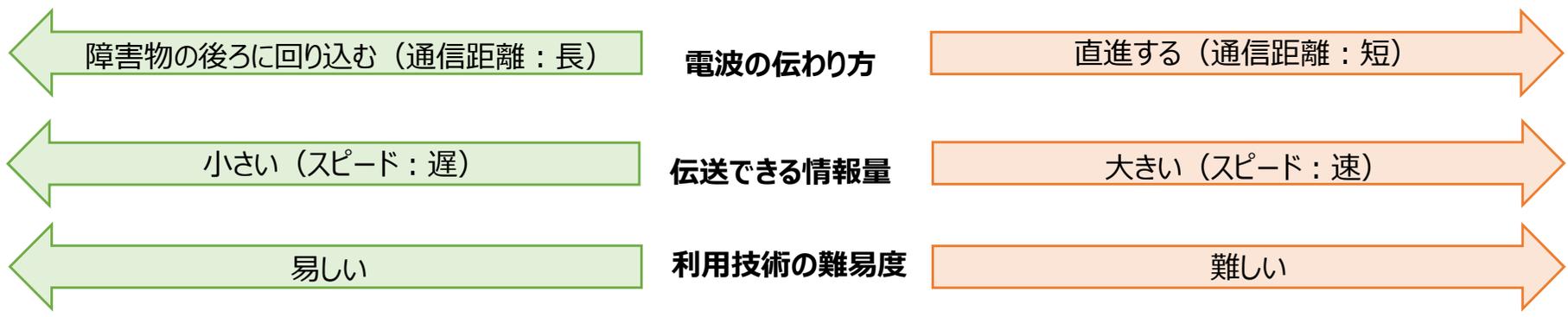
【通信速度】

Wi-Fi(11ac)	1.3Gbps
Wi-Fi(11n)	600Mbps
LTE-A	1Gbps
LTE	150Mbps
3G	14Mbps

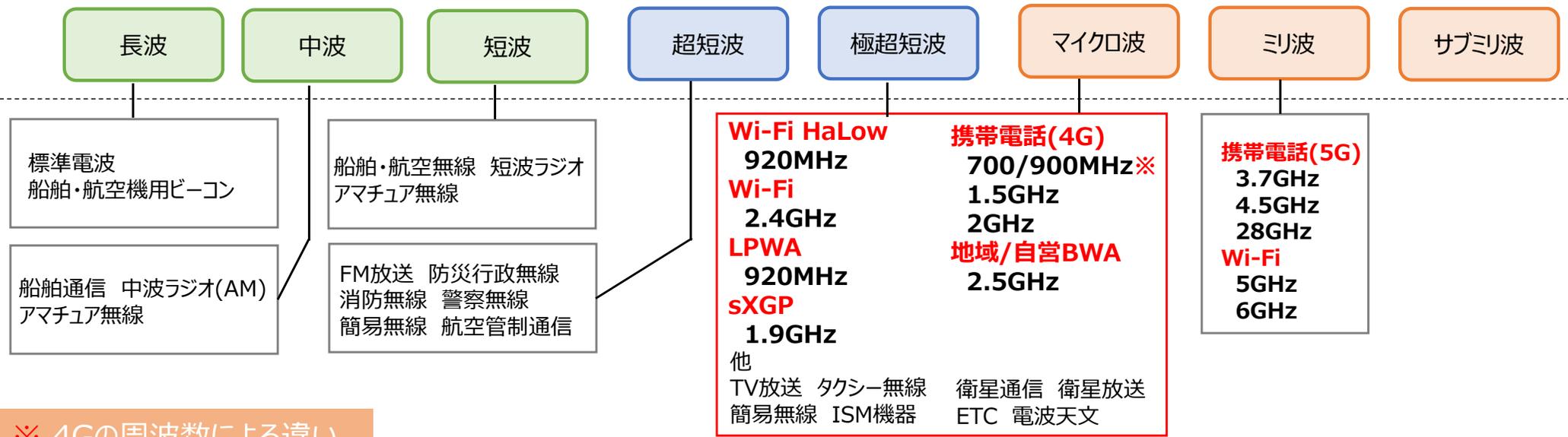
② Wi-Fi の使用する周波数等

システム名称	周波数帯	使用場所			最大伝送速度	規格	世代 ※1
		屋内	屋外	上空			
小電力データ 通信システム ※2	920MHz帯 (916.5-927.5MHz)	○	○	○	1MHzチャンネル BPSK 150kbps 256QAM 4Mbps	IEEE802.11ah	6E
	2.4GHz帯 (2400-2497MHz)	○	○	○	11Mbps 54Mbps 600Mbps 9.6Gbps	IEEE802.11b IEEE802.11g IEEE802.11n IEEE802.11ax	2 3 4 6
	5.2GHz帯 (W52) (5150-5250MHz)	○	△ ※3	×	54Mbps 600Mbps	IEEE802.11a IEEE802.11n	2 4
	5.3GHz帯 (W53) (5250-5350MHz)		×		6.9Gbps 9.6Gbps	IEEE802.11ac IEEE802.11ax	5 6
	5.6GHz帯 (W56) (5470-5730MHz)	○	○	×	54Mbps 600Mbps 6.9Gbps 9.6Gbps	IEEE802.11a IEEE802.11n IEEE802.11ac IEEE802.11ax	2 4 5 6
	6GHz帯 (5,925MHz-6,425MHz)	○	○ ※4	○ ※4	9.6Gbps	IEEE802.11ax	6E
	6GHz帯 (5,925MHz-6,425MHz)	○	○ ※4	○ ※4	46Gbps	IEEE802.11be	7

※1 各世代の名称として使用しているものは、第4世代となるWi-Fi 4以降を規格名ではなく世代名 (Wi-Fi 4、5、6、6E、7) で呼称。(第2、3世代は便宜的に表示)
 ※2 無線局免許不要・無線従事者資格不要。
 ※3 屋外利用の条件あり。高出力のアクセスポイント・中継器の場合は登録局の手続きが必要、自動車内無線LANの場合は利用可能。
 ※4 EIRP25mW以下のVery Low Power(VLP)に限り、屋外での利用が可能。(6GHz帯の送信出力は、SPモード・LPIモード・VLPモードの3モードがある)



周波数 30kHz 300kHz 3MHz 30MHz 300MHz 3GHz 30GHz 300GHz



※ 4Gの周波数による違い

700/900MHz帯 (いわゆるプラチナバンド) はスマート農業の利用において通信距離・速度のバランスが最もよく、道内の市街地外 (圃場等) の多くは同周波数帯が利用されている。

- 300MHz-3GHzの帯域は使い勝手が良く、携帯電話等のモバイル通信以外にも需要が非常に多い。
- 920MHzを使用するWi-Fi HaLowは通信距離・速度ともにスマート農業にマッチしやすく、今後活用が期待される。