

分類	子分類	提案者	内容	分類	動き/通信時間	グループ
主に ダウンリンク だけの用途	特定の場所 でリンクが 確立するもの	NICT、千葉工大	KIOSKダウンロード	A-1	分類・子分類 の分け方以外 に、端末など の動きの観点 (リンクが固 定か追従が必 要か)でまと まるなら、別 のユースケー スとしてまと める。 (赤字のものは他グループ からのもので 重複して議論 議論してまと まらないなら 排除したり、 他のものを足 したりしてOK 青字は端末等 が動き追従が 必要かもしれ ないもの)	A
		北里大学	テンポラリーな広帯域回線敷設	A-1		
		九州大学	ホットスポットを通過しながらの大容量データのダウンロード	A-1		
		NECセ・ネ、住友ベ	自動運転用無線	A-3		
		アンリツ	非圧縮高解像度動画配信サービス	A-1		
双方向で要大 容量リンク + 映像などセン シング情報の 取得	映像等大容 量データを やり取りし、 人間がそれ を操作	慶応義塾大学	Brain Machine Interface (BMI) 技術のワイヤレス化	A-3		
		NECセ・ネ	遠隔医療の高画質化	A-2		
		住友ベークライト	遠隔医療の高画質化	A-2		
		キーサイト	高性能VR/ARゴーグルによるミッションクリティカル分野でのリモート操作	A-2		
		慶応義塾大学	高精度画像を見ながらの機器の遠隔操作	A-2		
		九州大学	ドローンによる高所作業、ドローンの制御、映像データ伝送	A-3		
	大容量デー タの自動運 転などへの 利用	早稲田大学	車載レーダ等のレーダ信号の無線通信利用			
		NECセ・ネ	自動運転用無線			
		住友ベークライト	自動運転用無線			
		九州大学、千葉工大、東工大	ドローンによる高所作業、ドローンの制御、映像データ伝送、ドローン間通信			
		九州大学	ホットスポットを通過しながらの大容量データのダウンロード			
		人間を介さ ない情報の やりとり	千葉工大	MtoM (ロボット間、ロボット-施設/自動車間など)		
アンリツ	スマートファクトリでの非圧縮高解像度画像伝送 環境モニタリング、センシング					
既存無線ネットワークの 拡張・置き換え	マクセル	データセンタ内				
	千葉工大	鉄道用無線				
	NECセ・ネ	ラストワンマイル関係 ビル間通信				
	東工大	僻地、途上国におけるインターネット環境の敷設				
	ソフトバンク	光ファイバ網の置き換え				
千葉工大	ビーム制御による回線維持					
無線信号のセンシング利用	千葉工大	無線信号のセンシング利用				
					通信時間や信 頼性について 要求される性 能が異なるも のは別なユース ケースとして まとめる。	D

A-1 広帯域
A-2 低遅延
A-3 ビームト
ラッキング

B

C

D

ユースケース
Aグループ

ユースケース A: ボリュームメトリックデータ伝送

通信形態:

- 遠隔地においても現地にいるのと同等の効果をもたらすテレプレゼンス技術のために、人や環境に関するボリュームメトリックなセンサデータを大容量ネットワークを介して無線伝送する。
- カメラのアレイ化によって得られる多視点映像や、トランスデューサのアレイ化によって得られるレーダー・ソナーの回折像などの空間情報は、ボリュームメトリックデータとなるためデータ量が大きくなる。
- 人の自由な運動や移動（徒歩、車中等）を妨げることなく、リアルタイムに変化する情報を取得あるいは発出するために、ビームトラッキングしながら低遅延で無線接続することが必要。
- 治療室やスタジオなどの固定的な利用場面であっても、多数アレイ化されたカメラやトランスデューサ等の無線化は、軽量で柔軟なシステム構築に重要。
- 通信距離：数十m以下
- P2Pネットワーク

ボリュームメトリックデータの例

多視点高精細映像、広色域データ
多アレー音響トランスデューサデータ
脳・生体計測データ

データレート・遅延等:

- ダウンリンク：100Gbps
- アップリンク：10Gbps程度、別回線可
- 遅延時間：1ms以下
セットアップタイム：1ms以下
- 8K, 8bit, 60fps → 非圧縮で48Gbps
これが4視点分あれば192Gbps。他の数値を下げてたり圧縮を加えることで視点数は増やせる。
- 超音波エコーは、可聴音域よりも数桁高いサンプリングレートが必要となるためGbps級のデータレートが必要。（可聴音域ではそこまでの大容量が必要かどうかは不明。ハイレゾ音源として192kHz/24bitを仮定すると、非圧縮で5Mbpsなので、1000chあれば5Gbps)
- 2021年時点で発表されている脳計測技術に関する論文
超音波エコー（非侵襲型）：
128ch×15.6MHz×14bit → 非圧縮で28Gbps
S.L. Norman et al., *Neuron* **109** (2021).
電極信号（侵襲型）：
3072ch×18.6kHz×10bit → 非圧縮で0.6Gbps
E. Musk, *J. Med. Internet Res.* **21** (2019).

ユースケース A-1：遠隔操縦
ユースケース A-2：遠隔医療
ユースケース A-3：生体計測

ユースケース A-1: 遠隔操縦

通信形態:

- 多数アレイ化されたカメラやトランスデューサ等からのボリュメトリックデータを用いたミッションクリティカル分野での遠隔操縦の実現。
- 遠隔操縦対象物と操縦端末間の通信（直接または間接）
- 端末は固定または歩行程度。
- 遠隔操縦対象物は固定または移動（移動速度～1-10m/s）
- 通信距離：数m～数百m（有線ネットワークと組み合わせで世界中）
- テラヘルツ通信部分は見通し
- P2Pネットワーク

データレート・遅延等:

- ダウンリンク：10-100Gbps
- アップリンク：制御回線のみ
- 遅延時間：1ms以下。
ネットワーク遅延時間に加えて、低遅延の映像処理も必要。
- セットアップタイム：数ms以下

他の要求性能:

- データ・制御回線ともに高信頼性が求められる。低遅延との両立が必要。
- 遠隔操縦対象物が移動の場合はビームトラッキング必要
- セキュリティ。ハッキング対策

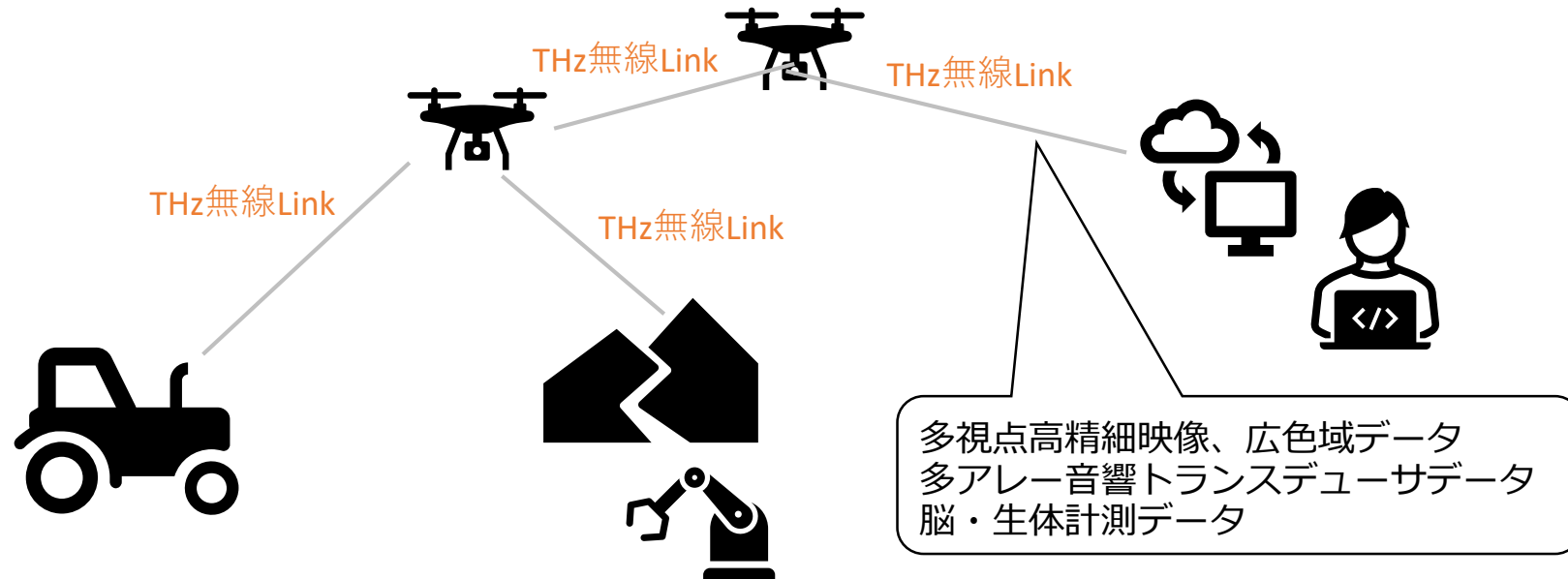
細かなユースケースと特徴:

- 災害現場や危険箇所のロボット作業。
- 建設機械や農業機械の遠隔操縦。
- 現場や対象物の詳細な観察が不可欠。多数アレイ化されたカメラや音響トランスデューサの搭載等により得られる大容量データで、人の目視を上回る能力で対象の質感や内部構造を認識。
- 少子化や高齢化に伴うオペレータ不足を補いつつ、生産性を向上。
- 固定基地局の無いフィールドでは複数の中継用ドローンを介して現場から基地局までテラヘルツ波ビームをリレー伝送すればよい。これにより、少子化や高齢化に伴うオペレータの不足を補いつつ、生産性を向上させる。

ユースケース A-1: 遠隔操縦

概要:

- 多数アレイ化されたカメラやトランスデューサ等からのボリュメトリックデータで、人の目視を上回る能力で対象の質感や内部構造を認識。
- フルスペック8K映像を遅延なく伝送するために、低圧縮信号を伝送する。
- 災害現場や危険箇所のロボット作業、建設機械や農業機械の遠隔操縦。
- 操縦端末とテラヘルツ無線接続されたスマートゴーグル（VR表示やAIアシスト機能など）に8K映像を伝送することで、その場で操縦しているようなテレプレゼンスを提供。
- システム全体の映像遅延の許容値 1ms以下（人間の反応速度10msの1/10程度にすることで、違和感なく操縦ができるようになる）
- 固定基地局の無いフィールドでは複数の中継用ドローンを紹介して現場から基地局までテラヘルツ波ビームをリレー伝送すればよい。これにより、少子化や高齢化に伴うオペレータの不足を補いつつ、生産性を向上させる。



ユースケース A-2: 遠隔医療

通信形態:

- 多数アレイ化されたカメラやトランスデューサ等からのボリュメトリックデータを用いた遠隔手術・遠隔診断の実現。
- 遠隔操作対象物と操作端末間の通信（直接または間接）
- 端末は固定または歩行程度。
- 遠隔操作対象物は固定または移動（移動速度～1-10m/s）
- 通信距離：数m～数百m（有線ネットワークと組み合わせで世界中）
- テラヘルツ通信部分は見通し
- P2Pネットワーク

データレート・遅延等:

- ダウンリンク：10-100Gbps
- アップリンク：4G-5G回線
- 遅延時間：1ms以下。
ネットワーク遅延時間に加えて、低遅延の映像処理も必要。
- セットアップタイム：数ms以下

他の要求性能:

- データ・制御回線ともに高信頼性が求められる。低遅延との両立が必要。
- 遠隔操作対象物が移動の場合はビームトラッキング必要
- セキュリティ。ハッキング対策

細かなユースケースと特徴:

1. 遠隔手術

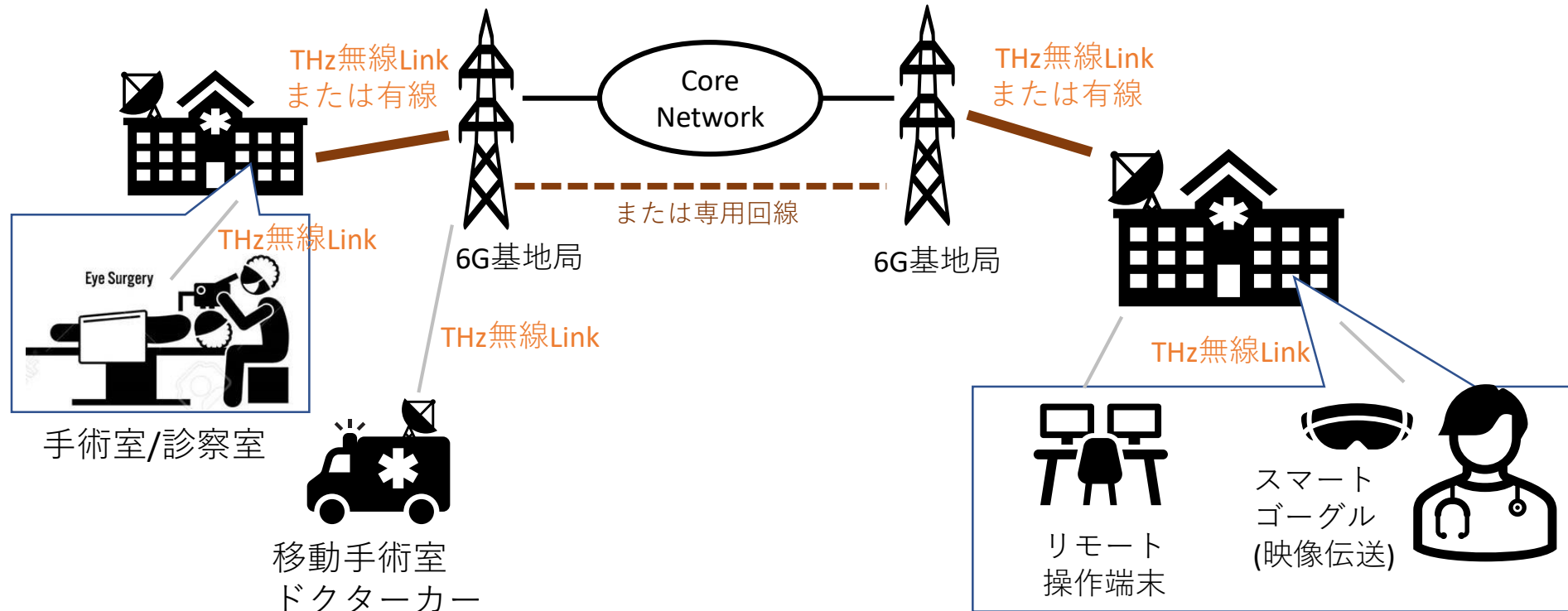
- 医療分野では、8K映像伝送がもたらす高解像度化、広色域化、多階調表現に期待。
- 映像の8K映像信号を低遅延伝送する必要あり、通信速度は数10Gbpsが要求。
- VR表示や角度を変えた映像、可視域以外の映像を同時に送信する場合、複数映像を送信するため、100Gbpsが必要。
- 高次元音響データによる音源の可視化で映像データを補完。
- 映像を複数人で共有することも可能。
- ドクターカーと基地局間をテラヘルツ通信にすることで、ドクターカー配置場所の制約が少なくなる。

参考：5G等の医療分野におけるユースケース（案）
https://www.soumu.go.jp/main_content/000758049.pdf

ユースケース A-2: 遠隔医療

概要:

- 多数アレイ化されたカメラや音響トランスデューサの搭載等により得られる大容量データで、人の目視を上回る能力で対象の質感や内部構造を認識。
- フルスペック8K映像を遅延なく伝送するために、低圧縮信号を伝送する。
- 手術室あるいはドクターカーとリモート操作端末を100Gbps回線で接続し、遠隔診察・遠隔手術を実施。
- 災害現場や危険箇所のロボット作業、建設機械や農業機械の遠隔操縦。
- 操作端末とテラヘルツ無線接続されたスマートゴーグル（VR表示やAIアシスト機能など）に8K映像を伝送することで、その場で処置しているような操作感を提供。
- システム全体の映像遅延の許容値 1ms以下（人間の反応速度10msの1/10程度にすることで、違和感なく操作ができるようになる）



ユースケース A-3: 生体計測

通信形態:

- 基本的に見通し通信。ただし、フェーズドアレイにより任意の複素開口関数を合成できれば、マルチパスを利用して品質を向上できる場合もある（システムが最善のパスを自動選択すればよい）
- 移動速度 1-10m/s (3.6-36km/h)
- 通信距離 1-10m

データレート・遅延等:

- >100 Gbps
USB4 (40Gbps), HDMI2.1 (48Gbps), PCIe6.0 (16 Gbps)などを多レーン化した場合と同等の伝送を無線で実現
- 遅延 1ms
- トポロジ P2P, スター型, メッシュ型

他の要求性能:

- アンテナ指向性 >30 dBi
300GHzの回折損失を1mで20dB, 10mで40dB程度以下に抑える
- 基地局のビーム走査範囲が $\pm 30^\circ$ の場合、ハンドオーバーを行うには基地局設置高さと同程度の間隔とが同程度になることが必要（cf. 信号機の高さは約6m）
- 上下回線ともに高速性が必要

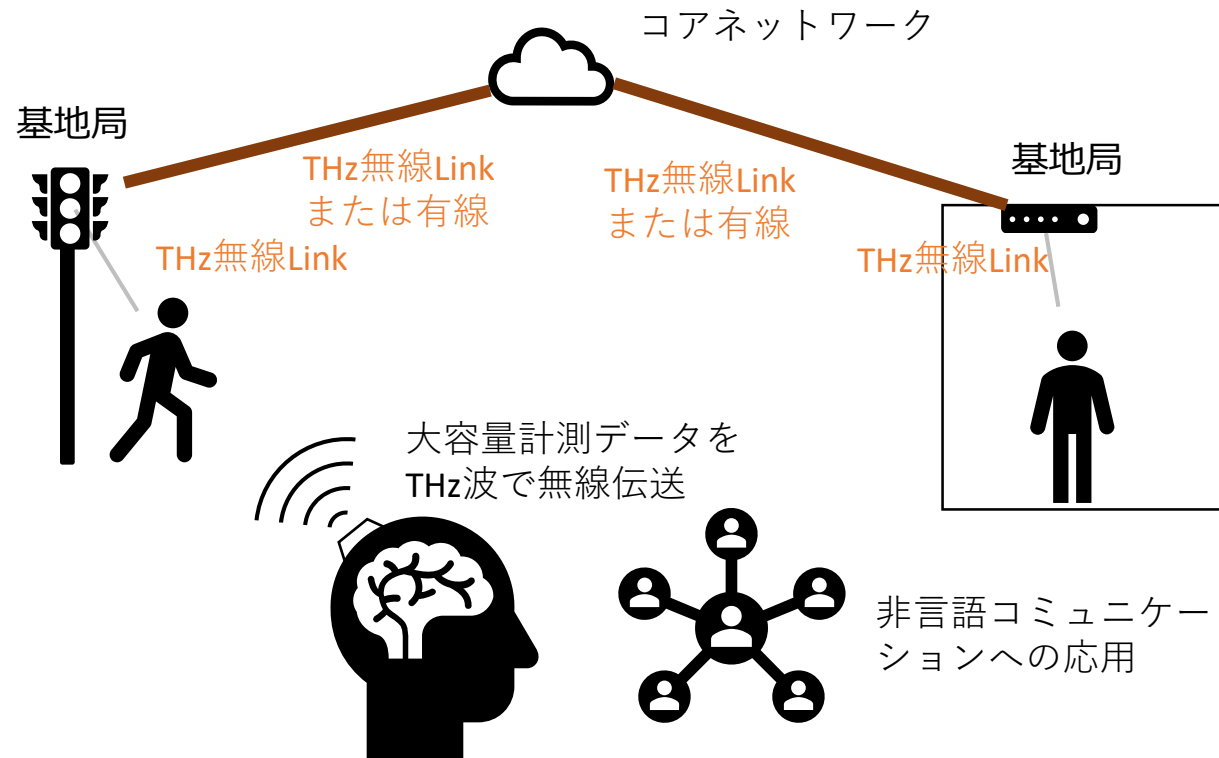
細かなユースケースと特徴:

- 人の脳内では約100億の神経細胞がバイナリ信号を交換している。そのため、進展著しいブレインマシンインターフェースの端末によって得られる脳情報の総ビットレートは、今後映像や音声を大きく上回り、その伝送に6G回線が必要になる可能性がある。
- 基地局との間でテラヘルツ波ビームにより大容量データを非圧縮伝送すれば、頭部端末の小型化・低電力化が図れる。
- それにより、例えばユーザの脳状態に応じたサポートやコンテンツを提供したり、ユーザが自らの脳や記憶を計算リソースや情報源として他者に提供したりといった、新たな産業展開が拓かれる可能性がある。

ユースケース A-3: 生体計測

概要:

- 約100億の神経細胞がバイナリ信号を交換しているといわれる人の脳情報をリアルタイムで外部へ取り出し解析する。
- 進展著しいブレインマシンインターフェースの端末により得られる脳情報の総ビットレートは、今後映像や音声を大きく上回り、その伝送に6G回線が必要になる可能性がある。
- 基地局との間でテラヘルツ波ビームにより大容量データを非圧縮伝送することで、ユーザの脳状態に応じたサポートやコンテンツを提供したり、ユーザが自らの脳や記憶を計算リソースや情報源として他者に提供したりといった、新たな産業展開が拓かれる可能性がある。



ユースケース
Bグループ

概要

コンセプト

- M2M通信（自動運転車両もMとして含む）など人が介在しないユースケース
- 通信対象は移動するが、移動パターンがシンプル
工場内の機器、高速道路上の自動車、列車、航空機（空港内）
- 機器の制御など比較的高速なアクチュエーションを伴う通信
- エッジコンピューティングにてAIを使った最適制御

ハードウェアへの要求

- 画像などの非圧縮通信のためにテラヘルツ帯の広帯域通信が必要
- 固定通信に近い構成 + 狭い範囲のビーム制御
- 低遅延・高信頼性

ユースケース B-1: 車車・路車間（画像）伝送

通信形態:

- 走行中の車両間・車両-道路インフラ間で動画像を共有
- 通信距離：5-200m
- 基本的に見通し通信（反射・回折は使わない）

データレート・遅延等:

- ダウンリンク：10-100Gbps
- アップリンク：10-100Gbps
- 遅延時間：数ms以下

他の要求性能:

- 放射出力：50mW
- 指向性（端末）：30dBi
- ビーム走査：必要（走査範囲は±20度程度）
- 信頼性：100m走行毎のデータ受信
- 相対移動速度：
 - 130km/h（路車間）
 - 40km/h（車車間）：この速度を超えるような車車間では追突の恐れがありブレーキが働くために、これを超えるときは自動ブレーキで制御

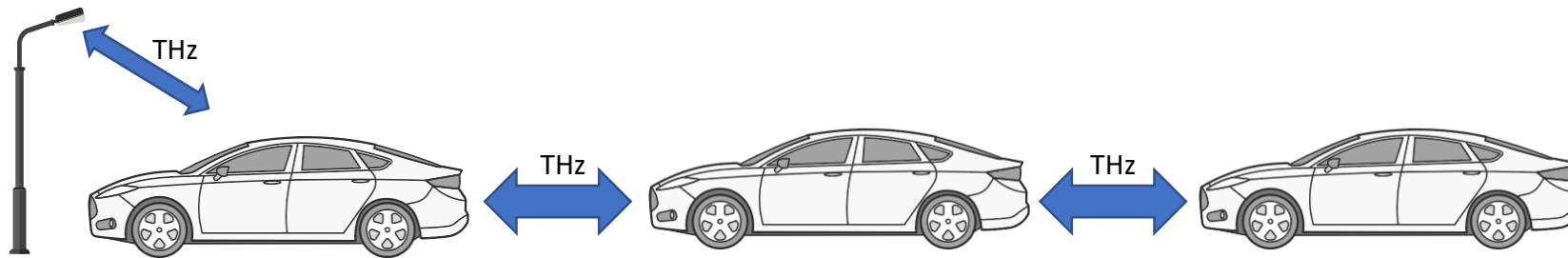
細かなユースケースと特徴:

- 車車間通信では、車両同士の無線通信により、周辺を走行する車両の情報（位置、速度、制御状況等）を収集
- 車両同士が直接情報交換を行うので、路側機等のインフラが整っていない場所でもサービス享受が可能
- 隊列走行の場合、各車両で取得した周辺の情報を共有し、隊列を適切に制御（車車間の距離確保、路車間の走行位置安定化等）
- 路車間通信では、路側機と車載機との通信により、信号情報や交通規制情報、歩行者情報などを入手し、必要に応じて運転も支援
- 車車間通信と路車間通信の融合により、見通しの悪い交差点において信号の情報や対向車の存在を知らせたり、渋滞や事故など周辺の交通状況、右折時における直進車両や歩行者の存在等の通知も可能
- テラヘルツ帯を利用することにより、非圧縮画像等の大容量データの低遅延での通信が可能
- 前方障害物の検知などセンシング機能との融合や周波数共用が可能

ユースケース B-1:車車・路車間間（画像）伝送

概要:

- 各車両で取得した大容量画像を無線伝送し、周辺車両で共有
- 障害物に迅速に対応するために、低遅延の伝送も必要
- センシング機能との融合で安全性確保と電波資源有効利用の両立
- 渋滞の緩和、限られた道路資源での輸送量向上、CO2削減に貢献
- 路車間通信により、信号情報や交通規制情報、歩行者情報など共有



センシング機能との融合はハードウェアまで共有
電波資源のみ共有といったオプションがあり得る
レーダー機能が主で限られた伝送速度の
システムも可能
ITSスポット、信号機など既存システムとの協調
も可能

※ITS（Intelligent Transport Systems）。人と道路と自動車の間で情報の受発信を行い、道路交通が抱える事故や渋滞、環境対策など、様々な課題を解決するためのシステム

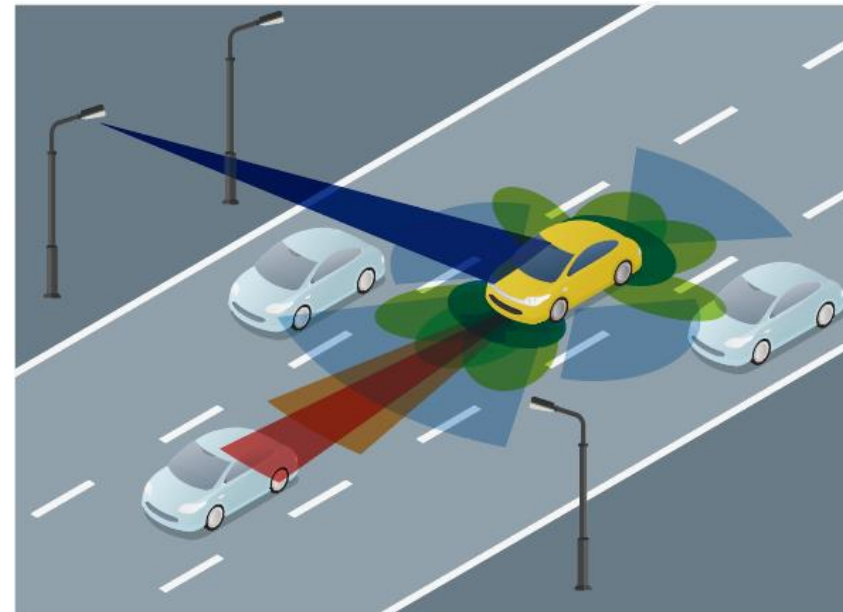


図 システムイメージ（すべてテラヘルツを使った伝送。ビームパターンの違いを色分けして表示）

ユースケース B-1: スマートファクトリにおけるハイパースペクトルデータ（画像）伝送

通信形態:

- 製造・検査装置とローカルサーバー間での通信
- 端末・基地局は固定
通信距離：1-20m
- 基本的に見通し通信
(反射・回折は使わない。もしくはRIS※などの反射板を使用)
- クライアントサーバー型ネットワーク

データレート・遅延等:

- ダウンリンク：数Mbps
- アップリンク：10-100Gbps
- 遅延時間：数ms以下

他の要求性能:

- 基地局放射出力：10mW
- 端末放射出力：10mW
- 指向性（端末）：40dBi
- ビーム走査：不要
- 機器の設置状況・電波の干渉状況によりRISなどの技術の導入

※RIS (Reconfigurable Intelligent Surface)。電波環境を適応的・動的に制御する機能デバイス

細かなユースケースと特徴:

1. 非圧縮マルチスペクトル画像伝送
製造現場で得られるデータ量は大幅に増えている。例えば、ハイパースペクトルカメラでベルトコンベヤーに流れてくる不良品を監視し、AIで不良品の選別を行う場合、毎日数十テラバイトのデータを扱う必要に迫られる。また、低遅延かつリアルタイム性が要求されるデータ処理などもあるため、データの発生源および活用の場に近いところで情報処理を行う「エッジコンピューティング」を行う。基地局サーバとの見通し通信で、混信しないために、鋭いビームでピンポイントに送信することで、各端末がTHzキャリアを広く占有できる。とくに上りのデータ量が光通信に匹敵する大容量が必要のため、テラヘルツ広帯域が有効。

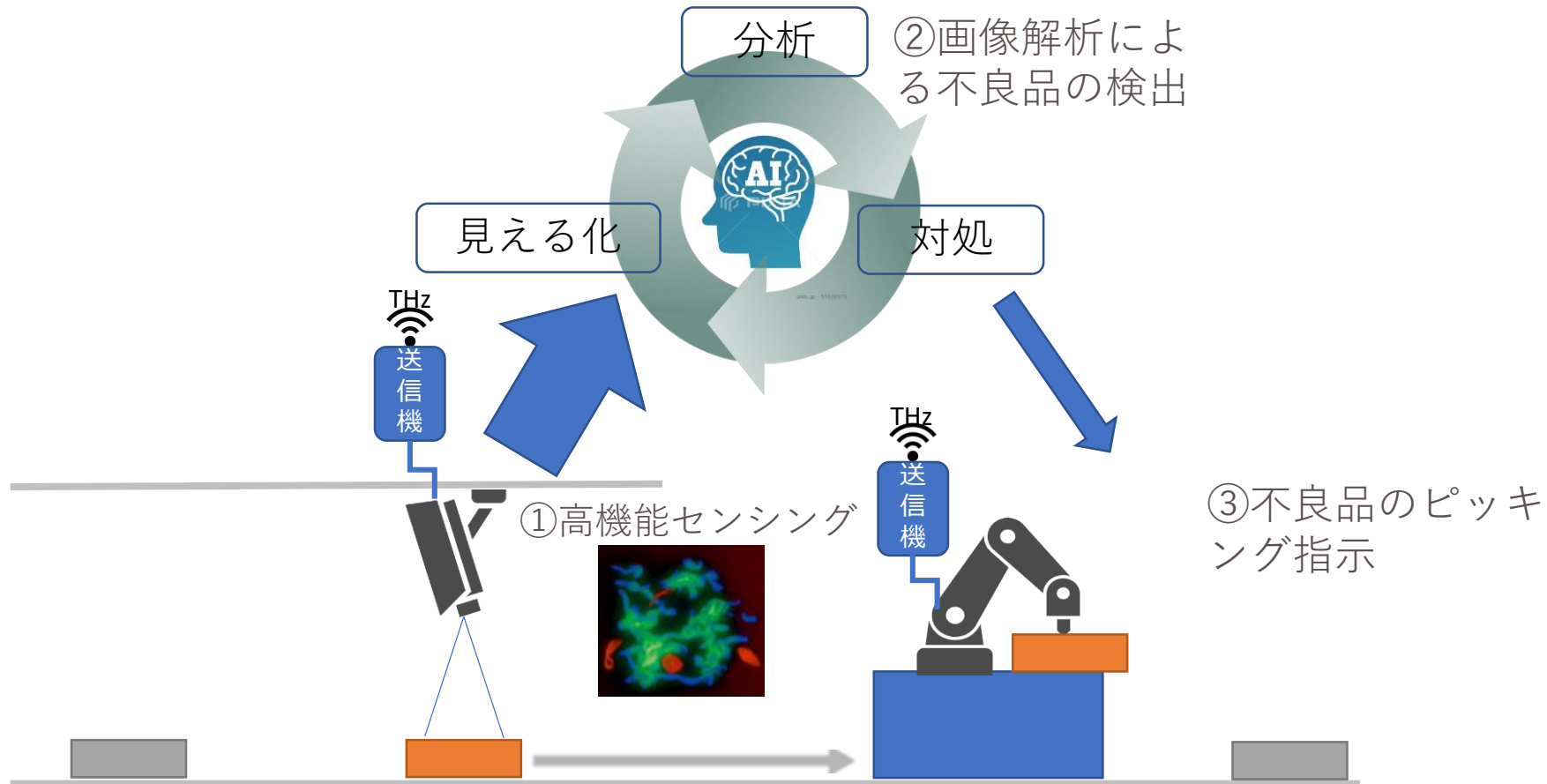
データレートの根拠例:

ベルトスピード30m/分の時、要求される被検査物の画像処理能力は5fps。
解像度4 Kの場合、1キャプチャ当たりの画像サイズは
8M画素×10bit×200バンド = 16Gbit
スループットとしては、
16Gb×5fps=80Gbps

ユースケース B-1: スマートファクトリでのハイパースペクトルデータ（画像）伝送

概要:

- 情報量の豊富なハイパースペクトルカメラで検査対象を撮影、大容量画像をAIサーバにTHzで無線伝送し、AIが検査対象の品質を高精度に検査。
- 検査対象の良否をフリッパなどの選別機に送信するため、低遅延の伝送も必要
- THzを用いてかつ低遅延を実現できるローカル6Gにより、人手に頼らない生産現場の実現が可能になる。



ユースケース B-2: スマートファクトリにおけるM2M通信

通信形態:

- 製造・検査装置とローカルサーバー間での通信。
- 端末・基地局は固定
通信距離：1-20m
- 基本的に見通し通信
(反射・回折は使わない。もしくはRIS*などの反射板を使用)
- クライアントサーバー型ネットワーク

データレート・遅延等:

- ダウンリンク：数Mbps
- アップリンク：10-100Gbps
- 遅延時間：数ms以下

他の要求性能:

- 基地局放射出力：10mW
- 端末放射出力：10mW
- 指向性（端末）：40dBi
- ビーム走査：不要
- 機器の設置状況・電波の干渉状況によりRISなどの技術の導入

*RIS (Reconfigurable Intelligent Surface)。電波環境を適応的・動的に制御する機能デバイス

細かなユースケースと特徴:

1. 3D画像を用いた高精細外観検査データ伝送やロボットビジョンにおける大容量画像伝送。
2. 膨大なセンサーデータを6Gにより低遅延で伝送し、リアルタイムに高精度な分析を行うことで、生産性の改善や機器の遠隔制御などを実現。工場内の装置やロボット、高精細カメラなどをネットワークにつなげ、さまざまな情報を見える化し、情報の因果関係を明確化。センサがあることで、さまざまなデータを取得・収集したり、商品の製造条件やロット情報を検索・追跡したりする。
3. 監視や管理の対象となる機器のデータを収集し、状態を把握することで、システム全体を最適な制御下に置くことができる。収集したデータを蓄積し分析することで、新たな付加価値を得ることができる。

データレートの根拠例:

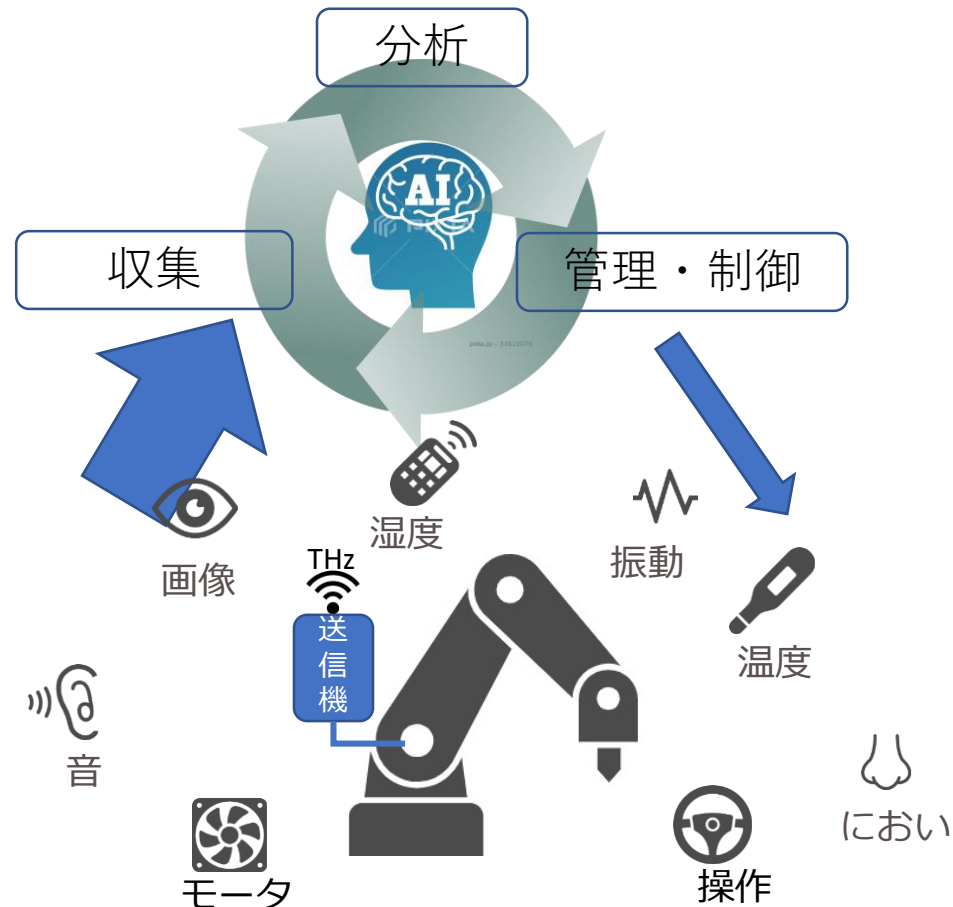
6千万画素×10bit×60fps=38Gbps

2億画素×10bit×60fps=144Gbps

ユースケース B-2: スマートファクトリにおけるM2M通信

概要:

- 3D画像を用いた高精細外観検査やロボットビジョンにおける大容量画像伝送。
- 装置のステータスから、非測定物の状態、環境情報などあらゆる情報をセンサーネットワークにて収集し、工程管理や製造装置の最適制御をおこなう。
- 大容量・多数接続なネットワークにて、4M変更に伴う品質管理や、製品性能のばらつき傾向、不具合発生時の原因究明などあらゆる情報を収集・分析・予測する。
- THzを用いてかつ低遅延を実現できる6Gにより、人手に頼らない生産現場の実現が可能になる。



ユースケース B-3: CBM (Condition Based Maintenance) システムにおける高解像度画像伝送

通信形態:

- 製造・検査装置とローカルサーバー間での通信。
- 端末・基地局は固定
通信距離：1-20m
- 基本的に見通し通信
(反射・回折は使わない。もしくはRIS※などの反射板を使用)
- クライアントサーバー型ネットワーク

データレート・遅延等:

- ダウンリンク：数Mbps
- アップリンク：10-100Gbps
- 遅延時間：数ms以下

他の要求性能:

- 基地局放射出力：10mW
- 端末放射出力：10mW
- 指向性（端末）：40dBi
- ビーム走査：不要

細かなユースケースと特徴:

1. 鉄道や航空機など高信頼な運用が必要とされる機器を高解像度画像などで常時状態監視することで故障の予兆を見つけて進行を管理しながら機器の寿命を予測する。
2. 高解像度かつ広視野な画像を用いて、細部を鮮明に捉え、検査精度を大幅に向上させる。取得したデータエッジサーバに送られタイムリーな診断結果を提供する。エッジサーバにあるAIは機器や設備の状態を絶えずモニターして診断し、もし故障/障害リスクを予測した際には、最適な修理方法を推奨する
3. 従来の方で行われていた保全や修理、部品交換が「周期基準対応中心」だったのに対し、「状態基準対応中心」へと変化させることで、保全コスト削減、故障リスク軽減、ダウンタイム最小化を実現し、企業はコストの観点から設備資産関連の意思決定を最適化することができる。

※RIS (Reconfigurable Intelligent Surface)。電波環境を適応的・動的に制御する機能デバイス

データレートの根拠例:

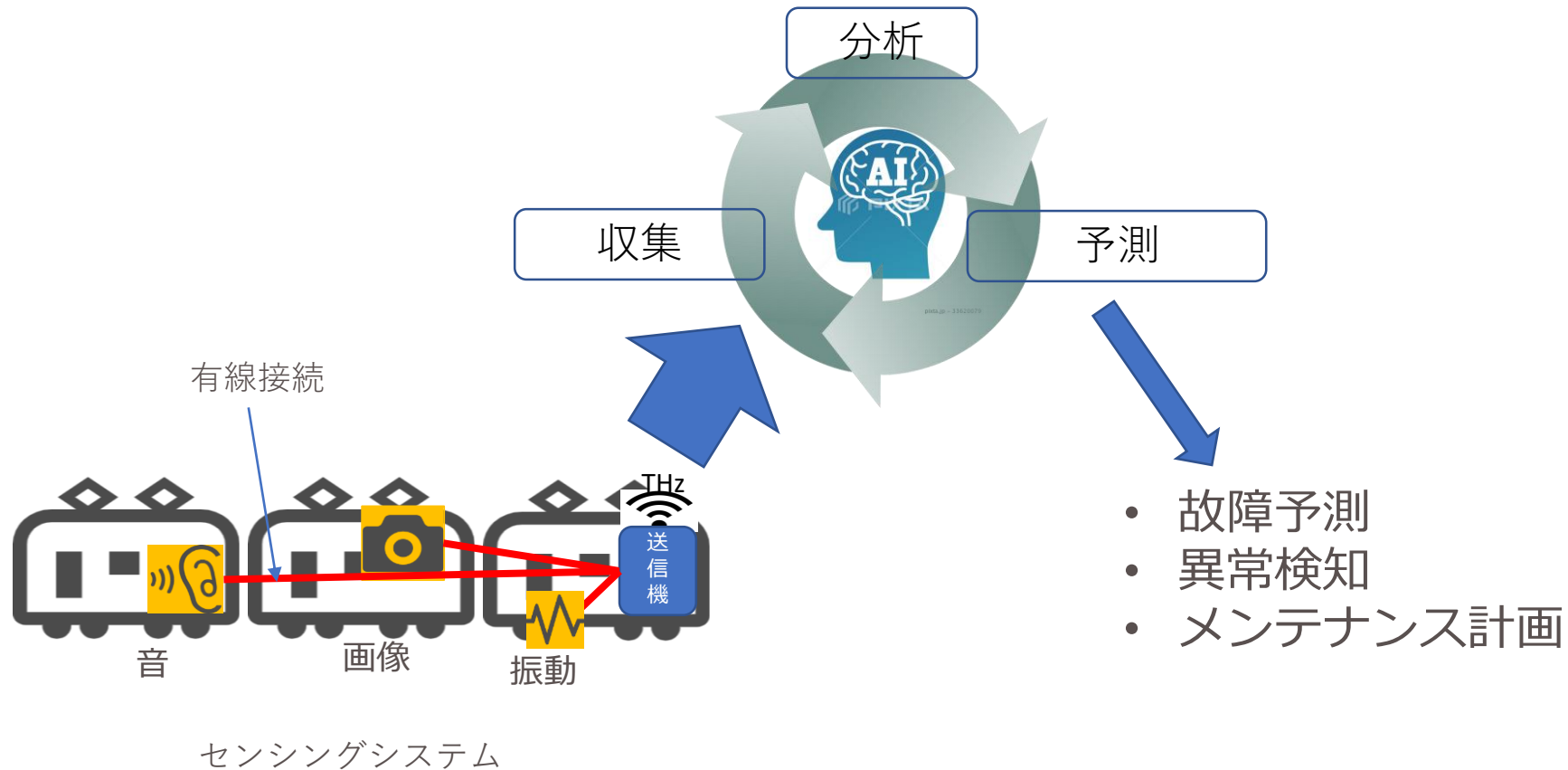
6千万画素×10bit×60fps=38Gbps

2億画素×10bit×60fps=144Gbps

ユースケース B-3: : CBM (Condition Based Maintenance) システムにおける高解像度画像伝送

概要:

- 数千万画素超の高精細外観検査における大容量画像伝送。
- 装置のステータスから、非測定物の状態、環境情報などあらゆる情報をセンサーネットワークにて収集し、工程管理や製造装置の最適制御をおこなう。
- 産業用や公益事業向けにおいても同様で、工場などの大規模製造装置やガスタービン、電力会社の変圧器や輸送・流通インフラストラクチャなど、大型施設や機器の運用状況のリアルタイムなトラッキング



ユースケース
Cグループ

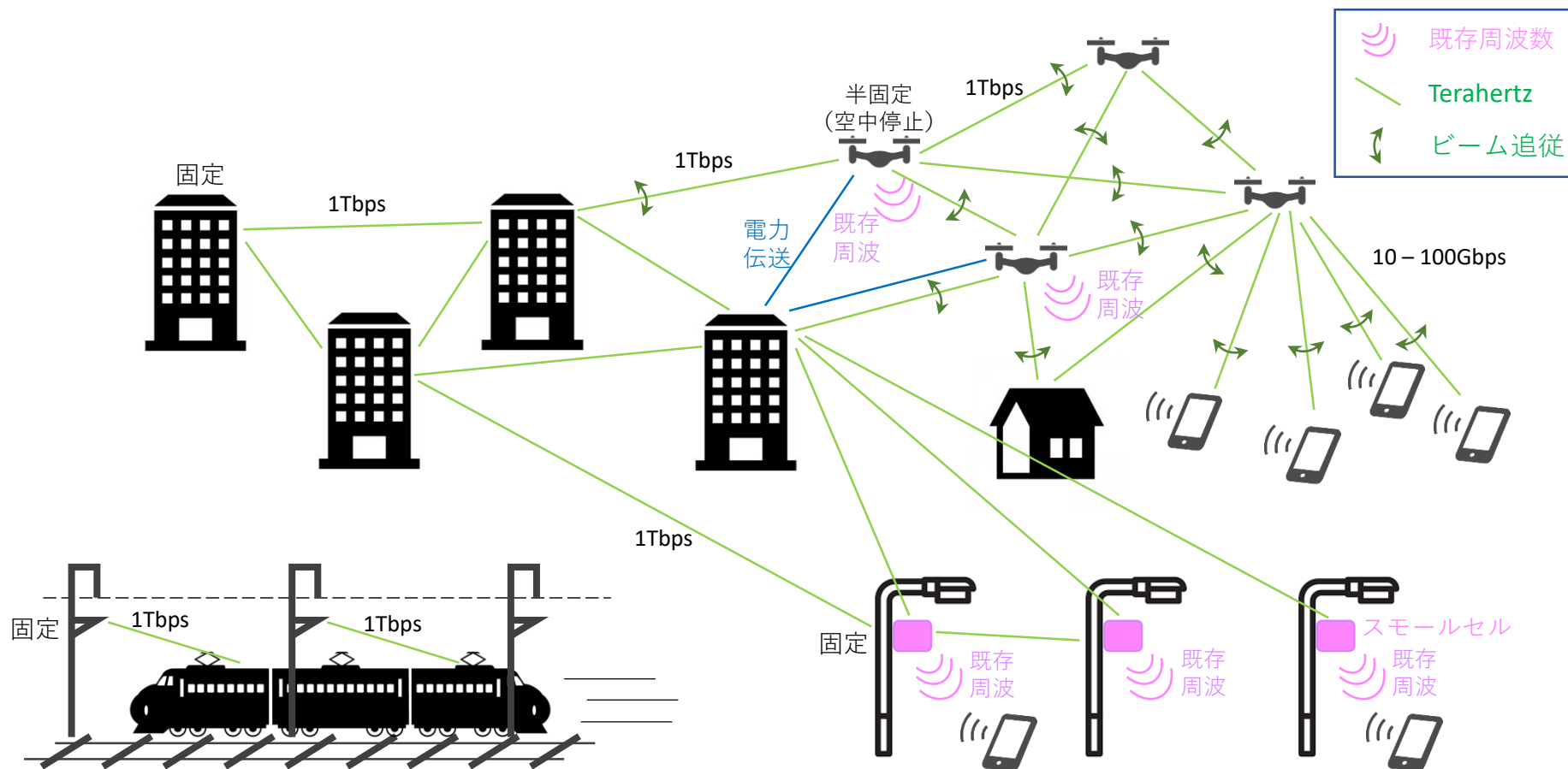
ユースケース C-1: 固定（半固定）されたメッシュNetwork

通信形態	通信形態	<ul style="list-style-type: none"> モバイル端末 - ドローン基地局間の通信 ドローン基地局間の通信 小セル基地局へのフロントホール提供 ビル間通信 新幹線など、車両へのバックホール回線提供
	移動速度	<ul style="list-style-type: none"> 固定～半固定 <ul style="list-style-type: none"> ドローンは、空中静止のため移動速度は ほぼ0 新幹線向けには 固定ビームでエリアを提供 (新幹線の移動速度は 100m/s)
	通信距離	<ul style="list-style-type: none"> 10m - 数百m 基本的に見通し通信
	ネットワーク・トポロジー	<ul style="list-style-type: none"> MultiPoint to MultiPoint メッシュ型ネットワーク
データレート・遅延等	データレート	<ul style="list-style-type: none"> 数百Gbps - Tbps オーダー
	遅延	<ul style="list-style-type: none"> < 1msec (光通信に負けない程度)
	セットアップタイム	<ul style="list-style-type: none"> 10 msec程度 (新幹線の場合、距離で 1m程度) # 基本的には、常にリンクアップしている前提
その他の要求性能	基地局出力	<ul style="list-style-type: none"> 20 ~ 30 dBm (帯域幅は 数GHz ~ 数10GHzを想定)
	端末出力	<ul style="list-style-type: none"> 20 ~ 30 dBm /GHz (帯域幅は 数GHz ~ 数10GHzを想定)
	ビーム走査	<ul style="list-style-type: none"> ドローン向け、また、ドローンからユーザー端末へのビーム追従技術
	多重化技術	<ul style="list-style-type: none"> 必要通信速度に応じて、周波数多重、偏波多重、OAM、MIMO などの様々な多重化技術を合わせて利用。
	ドローンへの無線給電	<ul style="list-style-type: none"> 180W (dji phatom4 参考値)
細かなユースケース	ネットワークの短時間構築 # 非常時災害時・大規模イベントなどにおける、小型ドローンを基地局とした超短時間での大容量ネットワークの構築。	<p>ポイントトゥポイントの見通し通信で、混信しないために、鋭いビームでピンポイントに送信することで、各端末が同一THzキャリアを広く占有できる。基地局同士の通信では光通信に匹敵する大容量が必要のため、テラヘルツ広帯域が有効。</p>
	光ファイバーネットワークの置き換え	<p>光無線は天候の影響を大きく受ける。THzにより気象変動に強いバックボーンネットワークを構築できる可能性がある。</p>

ユースケース C-1: 固定 (半固定) されたメッシュNetwork

概要:

- ドローンを基地局とした柔軟かつ短時間での広域ネットワーク構築
- 光ケーブルを引けないビル間でのNetwork構築。老朽化した光ファイバーに代わる高速通信網を構築
- スマートセル向けにフロントホールを提供
- 鉄道向けに、高帯域バックホールを提供 (車内ではWiFiに変換し、通信を快適に利用)
- 鋭いビームで追従し、見通し通信を行うことで、混信せず帯域を独占可能。光ネットワークに匹敵する通信速度を実現。ユーザー端末には10-100Gbps、AP間はTbps。
- THzにより光無線ではできない気象変動に強いバックボーンネットワークを構築
- 必要通信速度に応じて、周波数多重、偏波多重、OAM、MIMOなどの様々な多重化技術を合わせて利用。



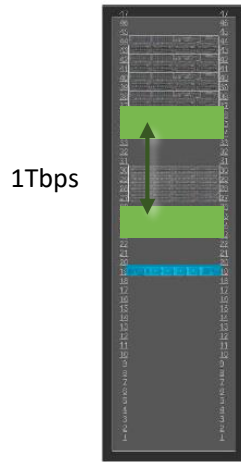
ユースケース C-2: データセンター内の光回線代替

通信形態	通信形態	<ul style="list-style-type: none"> データセンター内、ラック間のP2P通信
	移動速度	<ul style="list-style-type: none"> 固定
	通信距離	<ul style="list-style-type: none"> 1m - 数10m 基本的に見通し通信、一部 塩ビパネルなどある場合あり
	ネットワーク・トポロジ	<ul style="list-style-type: none"> Point to Point
データレート・遅延等	データレート	<ul style="list-style-type: none"> 数百Gbps - Tbps オーダー
	遅延	<ul style="list-style-type: none"> < 1msec (光通信に負けない程度)
	セットアップタイム	<ul style="list-style-type: none"> 10 msec程度 # 基本的には、常にリンクアップしている前提
その他の要求性能	出力	<ul style="list-style-type: none"> 5 ~ 30 dBm (帯域幅は、数GHz ~ 数10GHz幅を想定)
	ビーム走査	<ul style="list-style-type: none"> 不要
	多重化	<ul style="list-style-type: none"> 必要通信速度に応じて、周波数多重、偏波多重、OAM、MIMOなどの様々な多重化技術を合わせて利用。
細かなユースケース	同一ラック内のケーブルの無線化	同一ラック内部で、スパゲッティ化しているケーブルを無線化。熱がこもる問題を解決し、メンテナンスも簡素化
	隣接ラック間のケーブルの無線化	隣接するラックは、狭い窓を通じてケーブルを通す場合があり、数が増えると、ケーブルが通らなくなってしまう。無線化することによって、自由な配線を実現し、熱がこもる問題も解決。
	架列間のケーブルの無線化	架列をまたぐ配線は、床下のフリーアクセスを通す。または、頭上のキャットウォークを通す必要があるが、いずれも共用部に該当するため、自由度が低く、メンテナンスがしにくい。無線化することによって自由な配線を実現。余計な迂回も無くす

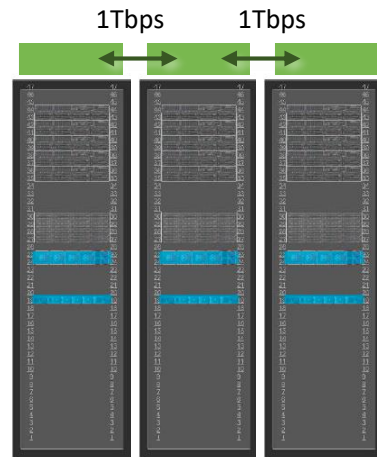
ユースケース C-2: データセンター内の光回線代替

概要:

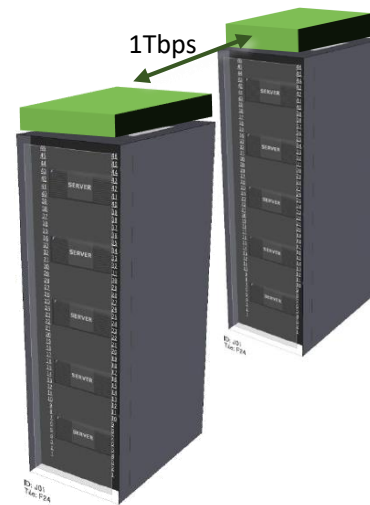
- 既存の問題として、①配線が多いと熱がこもってしまい、機器へのダメージがある。②データセンター床下・キャットウォーク配線は、ルートが決まってお隣ラック列でも数十メートルの長さが必要となり、設計が難しい
- データセンター内部の光ケーブルの代替として、P2P通信を行う。
- ① ラック内の機器間の配線を無線化し、ケーブルによる熱たまり問題を軽減
- ② ラック間の配線を無線化し、配線の自由度を上げる
- ③ 架列間の通信を無線化し、配線設計を簡素化
- ④ 複数架列をまたぐ、フロア内の通信を無線化し、配線設計を簡素化
- 必要通信速度に応じて、周波数多重、偏波多重、OAM、MIMOなどの様々な多重化技術を合わせて利用。



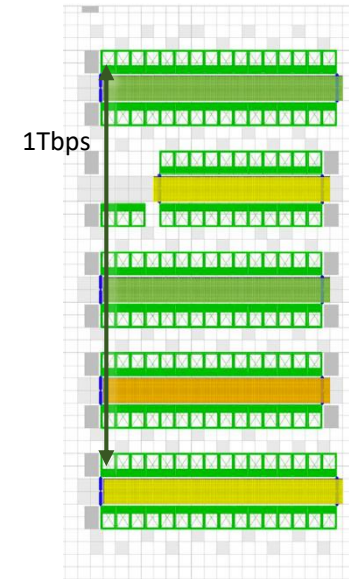
① ラック内通信



② ラック間通信



③ 架列間通信



④ フロア内通信

ユースケース
Dグループ

ユースケース D-1: 空間検知システム

センシング応用：無線通信に使用している電波をセンシングに利用するユースケースを想定

通信（センシング）形態:

- 室内や屋外など、Terminal Adaptor (TA) や Remote Antenna Unit (RAU) から数 m の周囲の状態をセンシング（室内LAN, Mobile Access 用途の通信システムを利用）。
- 通信に使用していないチャネルを使用し、フェーズドアレーで全方位をスキャン。反射した信号を RA や RAU, または、別の端末で強度、位相、到来方向を計測
- 通常の反射状態との差異から、人の存在や動き、モーション、鼓動・呼気、などを検知。
- 広い帯域が使えるチャネルでは、スペクトル分析により、物質の同定や危険ガスの検知、なども可能に。
- 通信距離：数m
- マイクロ波・ミリ波システムとの差別化
⇒分解能：サブミリ
⇒物質の同定：反射物による反射率の差
⇒ガス検知

データレート・遅延等:

- 共用する通信システムに準拠

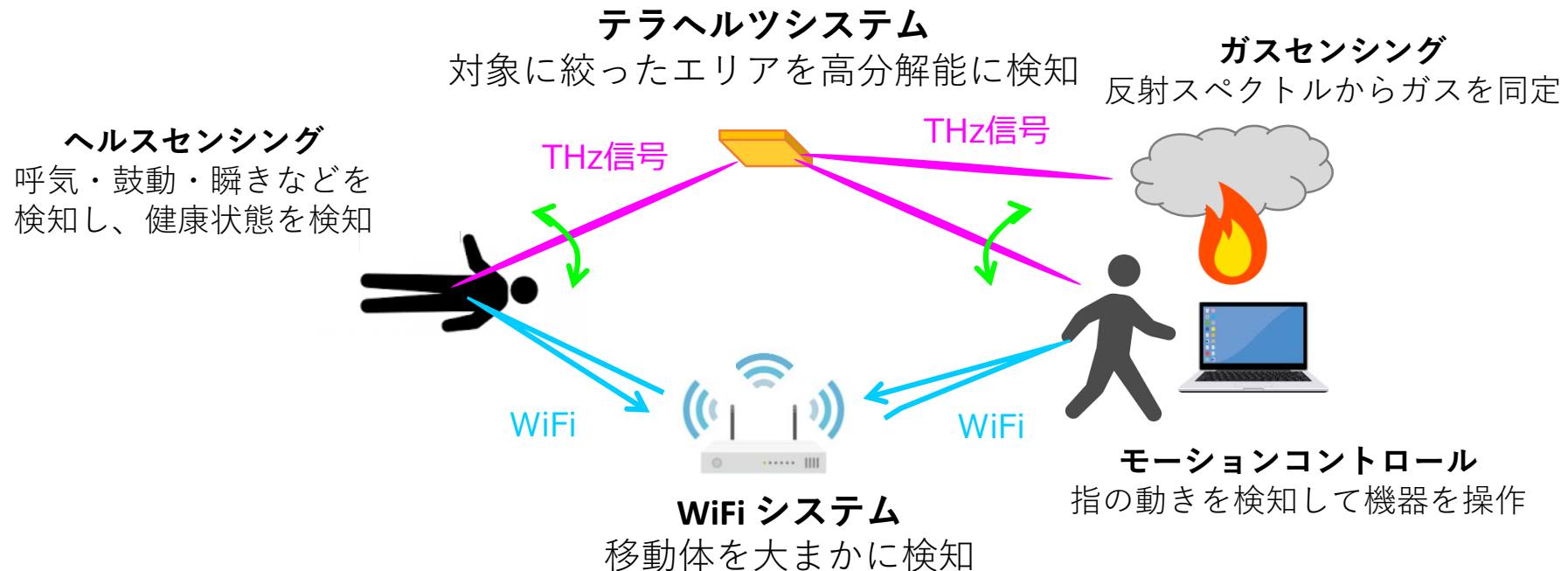
細かなユースケースと特徴:

1. 室内モニタ
 - マイクロ波空間検知システムと使い方は同じ。違いは分解能と物質同定。
 - マイクロ波（WiFi）システムと組み合わせて使用することを想定。WiFi システムで人などの移動体を検知。その方向に未使用のテラヘルツチャネルを当てて、反射を測定し、その反射強度・位相・到来方向から、反射物の物質同定、細かな動きを検知
 - 具体的には、モーションコントロール、呼気・鼓動・瞬き、などのヘルスセンシング、風の流れのモニタ、など。
2. ガス成分分析
 - 使用するチャネルの周波数領域に強い吸収が存在するガス（HCN:265GHz, 355GHz、H₂O 等）を検知。

ユースケース D-1: 空間検知システム

概要:

- 室内や屋外など、TAや RAU から数 m の周囲の状態をセンシング（室内LAN, Mobile Access 用途の通信システムを利用）。
- 通信に使用していないチャネルを使用し、フェーズドアレイで全方位をスキャン。反射した信号を RA や RAU, または、別の端末で強度、位相、到来方向を計測
- マイクロ波（WiFi）システムと組み合わせて使用することを想定。WiFi システムで人などの移動体を検知。その方向に未使用のテラヘルツチャネルを当てて、反射を測定
- 通常の反射状態との差異から、人の存在や動き、モーション、鼓動・呼気、などを検知。
- 広い帯域が使えるチャネルでは、スペクトル分析により、物質の同定や危険ガスの検知、なども可能に。



ユースケース D-2:人流モニタシステム

センシング応用：無線通信に使用している電波をセンシングに利用するユースケースを想定

通信（センシング）形態:

- 信号や街頭に設置された RAU が構成するナノセル内の人の動きを Massive MIMO を使用して検知。通信に使用していないチャネルを使用し、フェーズドアレーで全方位をスキャン。反射した信号を RAU で強度、位相、到来方向を計測
- 道や広場のなかのどこを通ったかを数 cm の精度で検知。
- マクロセルで得た端末情報とナノセルで得た人流のデータを紐づけ、広域での人流をセンシング
- マイクロ波・ミリ波システムとの差別化
 - ⇒分解能：数 cm
 - ⇒物質の同定：着ている服の情報や危険物の保持の有無を検知

細かなユースケースと特徴:

- 携帯の位置情報サービスや GPS より、高精度な位置の同定が可能。
- マイクロセルとの併用し、端末情報とナノセル内での人流データを紐づけることにより、広域での人流を検知
- 5G, 6G での高密度への対応能力を活かし、イベントなど人手が多い場合でも個別の人流の把握が可能に。
- テラヘルツ波の物質との相互作用や透過性を利用し、着ている服の情報や危険物の保持の有無を検知
- 防犯や防災への適用も可。個人情報保護の扱いが課題

データレート・遅延等:

- 共用する通信システムに準拠

ユースケース D-2: 人流モニタシステム

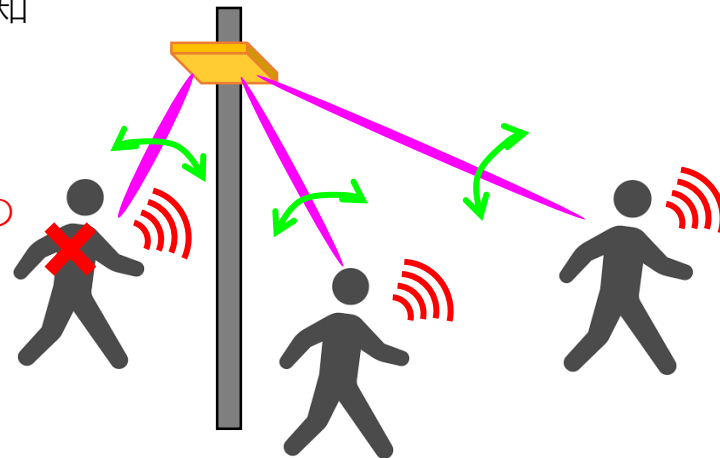
概要:

- 通信に使用していないチャネルを使用し、フェーズドアレイで全方位をスキャン。反射した信号から、数 cm の分解能での人の移動や動作を検知
- マクロセルで得た端末情報とナノセルで得た人流のデータを紐づけ、広域での人流をセンシング
- テラヘルツ波の物質との相互作用や透過性を利用し、着ている服の情報や危険物の保持の有無を検知
- 防犯や防災への適用も可。個人情報保護の扱いが課題

ナノセル

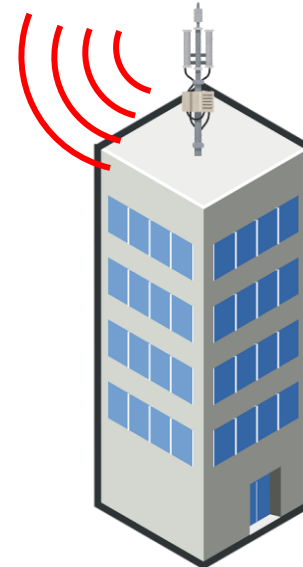
Massive MIMO で数十mの範囲で、人の動きや動作を検知

危険物の検知

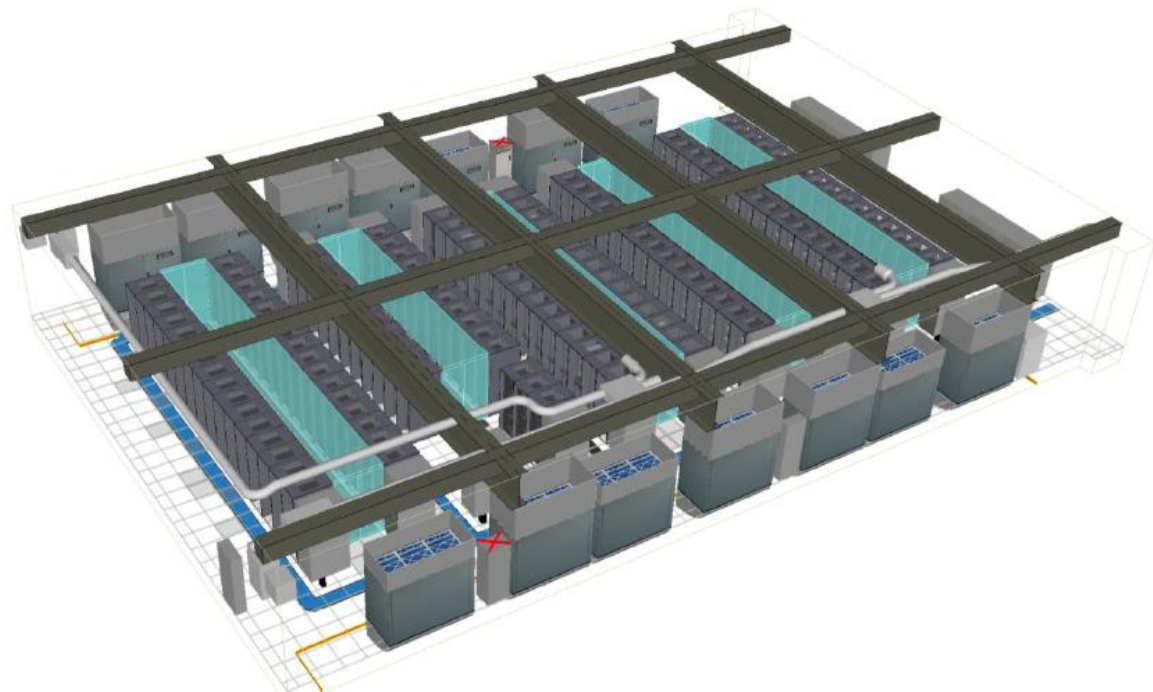
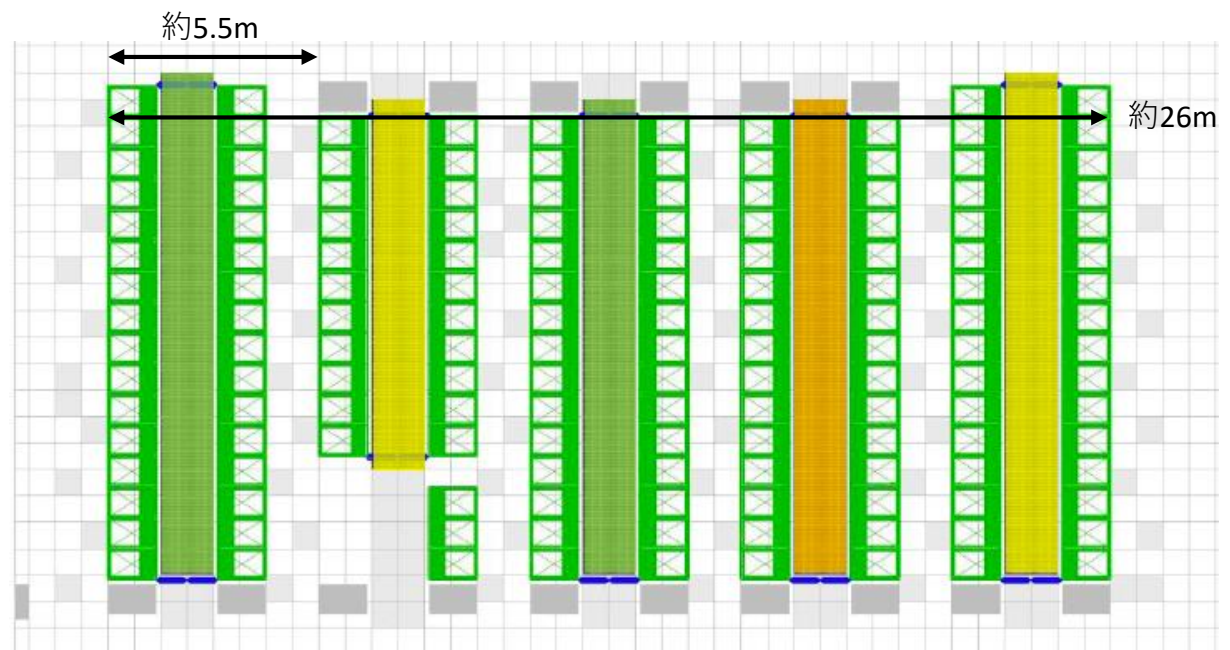


マクロセル

ナノセルで得た人流とマクロセルで得た端末情報から、広いエリアでの人流をセンシング



データセンター ラック配置 (サンプル)



参考：所望基地局出力 計算2（ユースケースC-1）

帯域幅を10GHzに拡張

項目	値	累計	備考
送信出力 [dBm]	+28	+28	600 mW/10GHz
送信アンテナ利得 [dBi]	15	+43	新幹線のケースを考慮し ビームを広めに確保
自由空間伝搬損失 [dB]	122	-79	300GHz 100m
伝搬ロスマージン [dB]	5	-84	2dB loss@50mm降雨(300GHz)
受信アンテナ利得 [dBi]	40	-44	
受信 SINR [dB]	15		→ 64QAM
受信器Nf [dB]	15	-59	
熱雑音Nt [dBm]	-74	-74	BW 10GHz (-174dBm/Hz)

64QAMで 40Gbps / 10GHz (w/o overhead)
偏波MIMO導入で 80 Gbps / 10GHz

参考：所望基地局出力 計算3（ユースケースC-1）

帯域幅を10GHzに拡張し、端末側アンテナ利得も40dBiに変更

項目	値	累計	備考
送信出力 [dBm]	+28	+28	600 mW/10GHz
送信アンテナ利得 [dBi]	40	+68	ビル間のユースケースを考慮
自由空間伝搬損失 [dB]	122	-54	300GHz 100m
伝搬ロスマージン [dB]	5	-59	2dB loss@50mm降雨(300GHz)
受信アンテナ利得 [dBi]	40	-19	
受信 SINR [dB]	40		→ 4096QAM (R=1)
受信器Nf [dB]	15	-59	
熱雑音Nt [dBm]	-74	-74	BW 10GHz (-174dBm/Hz)

4096QAMで 90Gbps / 10GHz (w/o overhead)
偏波MIMO導入で 180 Gbps / 10GHz

参考：所望基地局出力 計算2 (ユースケースC-2)

送信出力を600mWに変更

項目	値	累計	備考
送信出力 [dBm]	+28	+28	600 mW / 10GHz
送信アンテナ利得 [dBi]	40	+68	ビル間のユースケースを考慮
自由空間伝搬損失 [dB]	116	-48	300GHz 50m
伝搬ロスマージン [dB]	10	-58	ビニールカーテンなどを考慮
受信アンテナ利得 [dBi]	40	-18	
受信 SINR [dB]	41		→ 4096QAM (R=1)
受信器Nf [dB]	15	-59	
熱雑音Nt [dBm]	-74	-74	BW 10GHz (-174dBm/Hz)

4096QAMで 90Gbps / 10GHz (w/o overhead)
偏波MIMO導入で 180 Gbps / 10GHz

参考：所望基地局出力 計算3（ユースケースC-2）

送信出力を600mWに変更し、帯域幅を100GHzに変更

項目	値	累計	備考
送信出力 [dBm]	+28	+28	600 mW / 100GHz
送信アンテナ利得 [dBi]	40	+68	ビル間のユースケースを考慮
自由空間伝搬損失 [dB]	116	-48	300GHz 50m
伝搬ロスマージン [dB]	10	-58	ビニールカーテンなどを考慮
受信アンテナ利得 [dBi]	40	-18	
受信 SINR [dB]	31		→ 4096QAM (R=3/4)
受信器Nf [dB]	15	-49	
熱雑音Nt [dBm]	-64	-64	BW 100GHz (-174dBm/Hz)

4096QAMで 900Gbps / 100GHz (w/o overhead)
偏波MIMO導入で 1800 Gbps / 100GHz