



上智大学
SOPHIA UNIVERSITY

商用の移動通信システムの電波の揺らぎから 屋外の人流を推定する技術

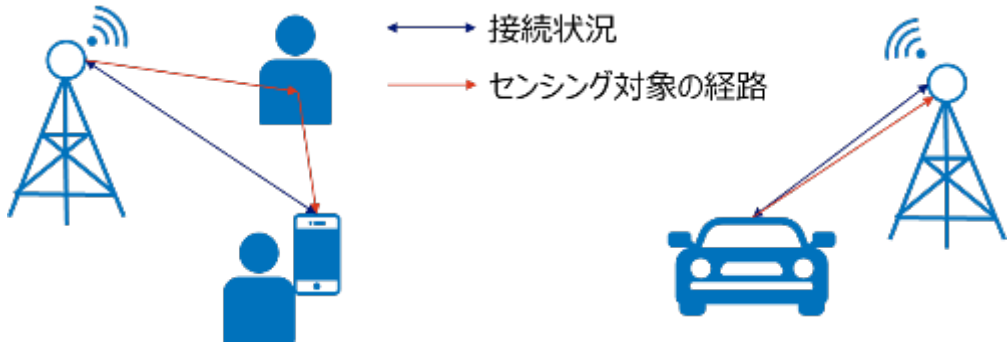
2025年5月30日

日本電信電話株式会社

上智大学

WTP2025

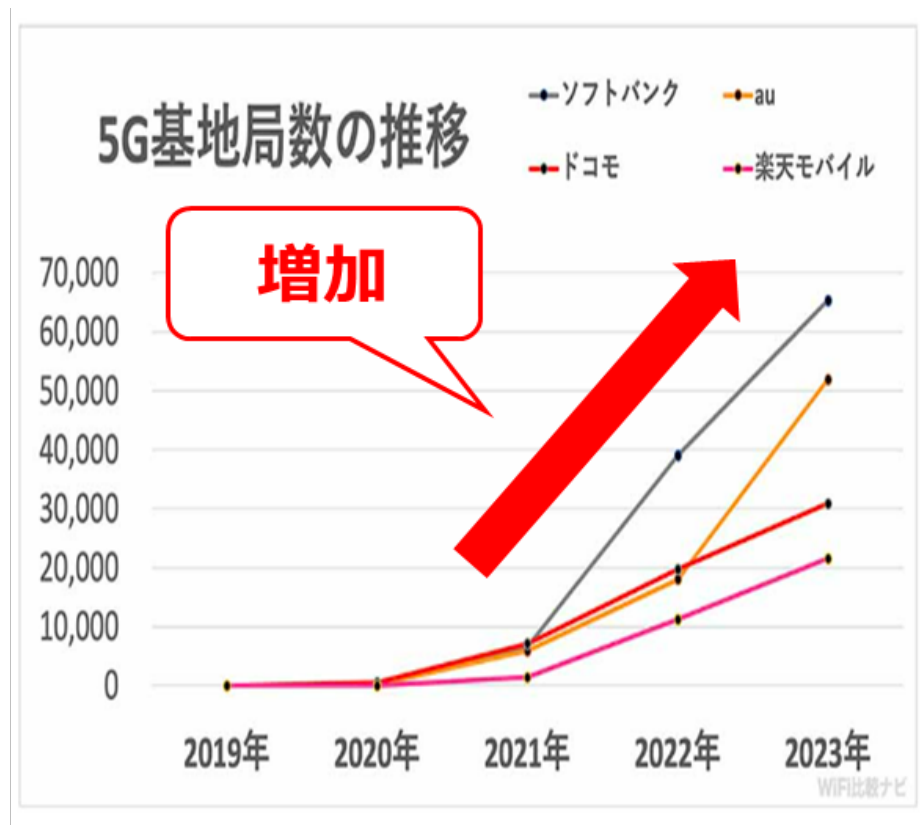
- ISAC(Integrated Sensing And Communications)とは、通信機能と電波を用いたセンシング機能を統合することで、コスト/消費電力を低減させ、高度な無線接続および実世界情報をデジタル化するシステム
- 5G-Aおよび6G標準化の中で、センシングと通信の統合システム（ISAC）の検討が加速化している。



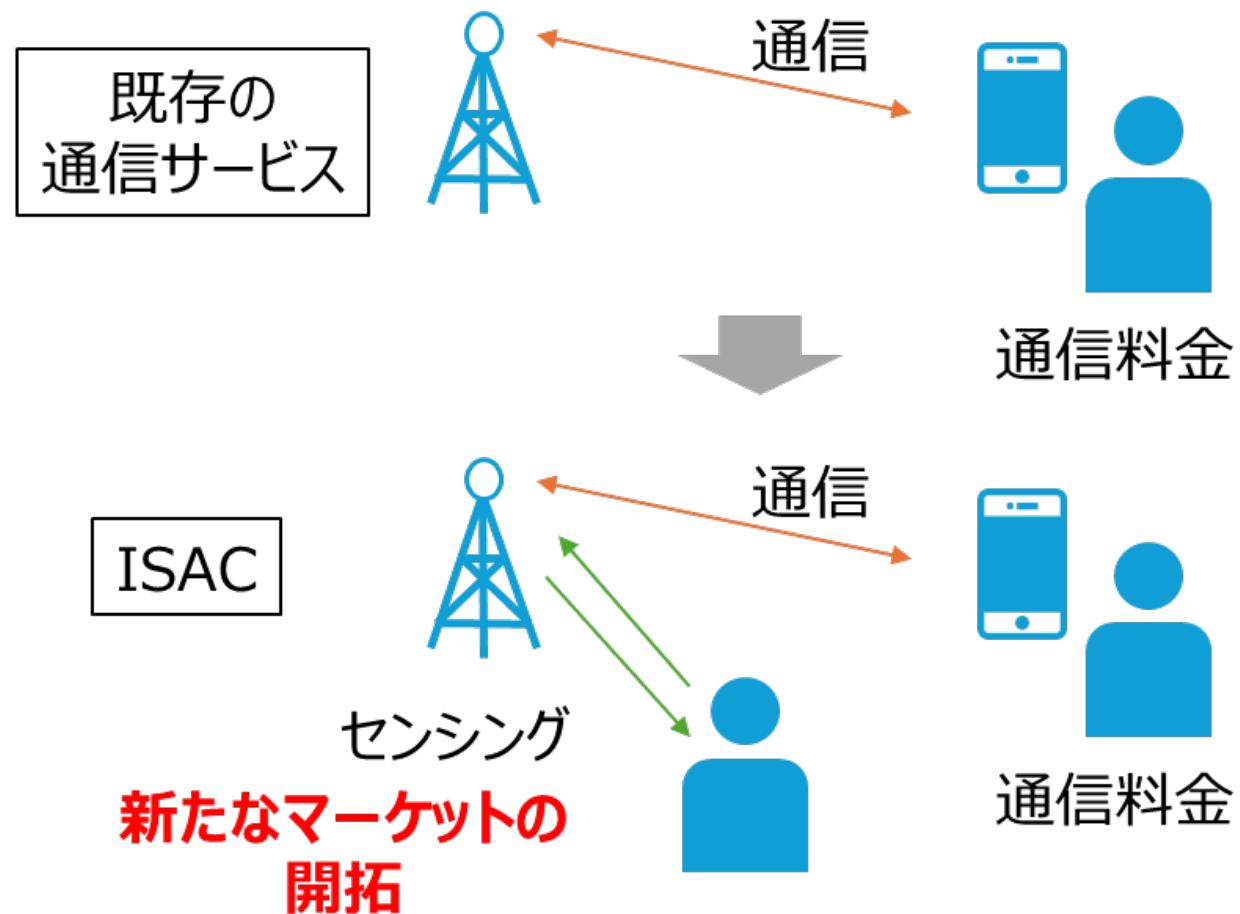
	無線	赤外線	カメラ
検出範囲	～100m	～10m	～100m
検出方向	全方向	特定方向	特定方向
見通し外	○	×	×
プライバシー	○	○	×

低コスト 高度化 付加価値

- 普及している基地局をセンサとして利用できるため、センサ範囲が大幅に拡大
- 通信サービスに加えて、新たなマーケットであるセンシングサービスに展開可能



引用: WiFi比較ナビ、<https://hikaku-1234.com/basic/base-stations>

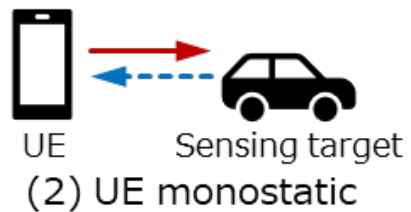
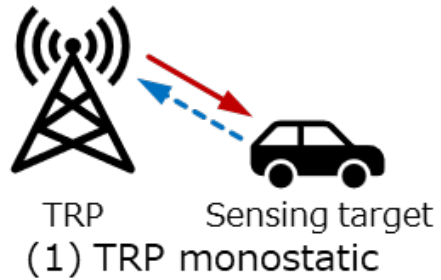


- Define **channel modelling** aspects to support object detection and/or tracking (as per the 3GPP Service and System Aspects 1 (SA1) meaning in the technical specification (TS) 22.137 [2])
- Construct a **common modelling framework** capable of detecting and/or tracking the following example objects (sensing targets) and to enable them to be distinguished from unintended objects:

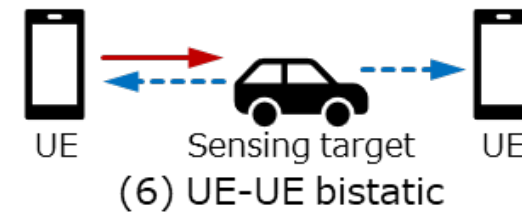
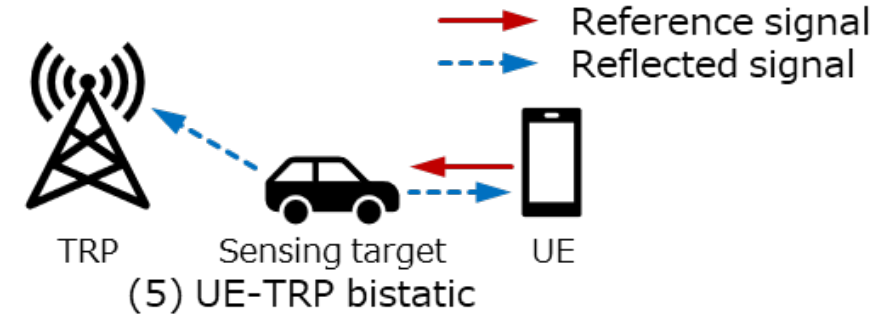
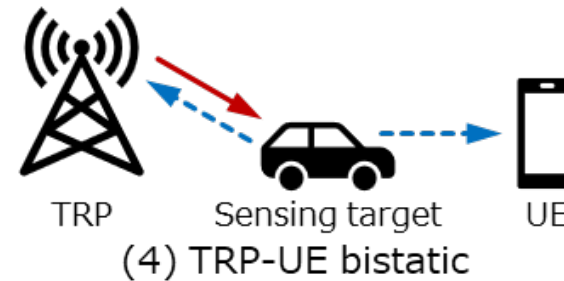
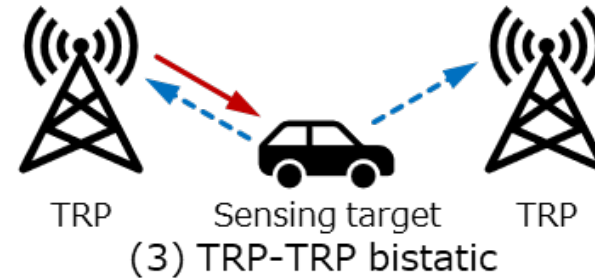
1. Unmanned aerial vehicles (UAVs)
2. Humans indoors and outdoors
3. Automotive vehicles (at least outdoors)
4. Automated guided vehicles (AGVs e.g. in indoor factories)
5. Objects creating hazards on roads/railways

センシングモード [1]

Monostatic



Bistatic



TRP: Transmitter and Receiver Point
UE: User Equipment

センシングターゲットとユースケース [3]



1. UAVs

- UAV flight trajectory tracing
- Network assisted sensing to avoid UAV collision
- Sensing for UAV intrusion detection
- UAVs/vehicles/pedestrians detection near Smart Grid equipment

2. Humans indoors and outdoors

- Intruder detection in smart home
- Contactless sleep monitoring service
- Health monitoring at home
- Service continuity of unobtrusive health monitoring
- Roaming for sensing service of sports monitoring
- Immersive experience based on sensing
- Use case public safety search and rescue or apprehend

3. Automotive vehicles (at least outdoors)

- Sensing assisted automotive maneuvering and navigation
- Sensing for parking space determination
- Vehicles sensing for ADAS
- Sensing for automotive manoeuvring and navigation service when not served by RAN
- Blind spot detection

4. Automated guided vehicles (AGVs e.g. in indoor factories)

- AGV detection and tracking in factories
- Autonomous mobile robot (AMR) collision avoidance in smart factories

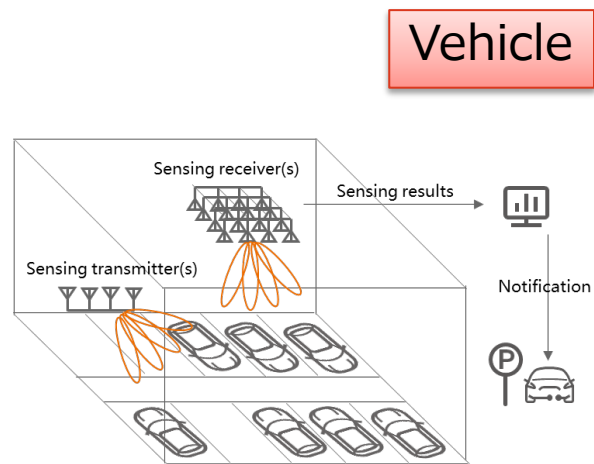
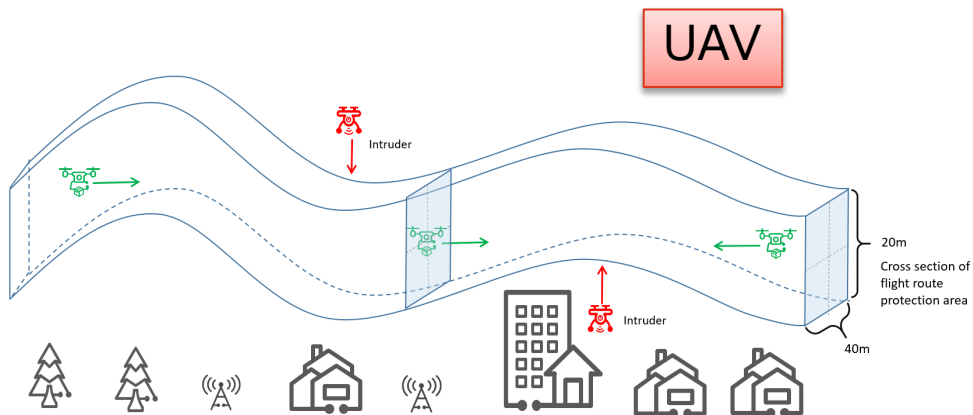
5. Objects crating hazards on roads/railways, within a minimum size dependent on frequency

- Pedestrian/animal intrusion detection on a highway
- Sensing for railway intrusion detection
- Sensing at crossroads with/without obstacle
- Accurate sensing for automotive manoeuvring and navigation service
- Integrated sensing and positioning in factory hall

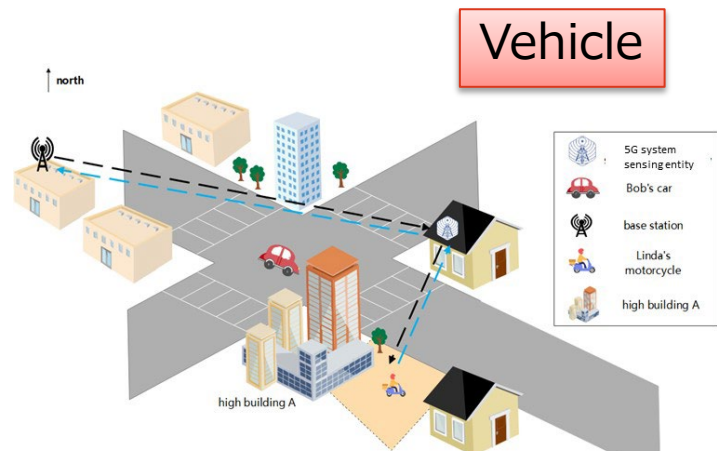
(Combination of targets mentioned above and others)

- Rainfall monitoring
- Transparent sensing use case
- Sensing for flooding in smart cities
- Intruder detection in surroundings of smart home
- Sensing for tourist spot traffic management
- Protection of sensing information
- Sensor groups
- Seamless XR streaming
- Coarse gesture recognition for application navigation and immersive interaction

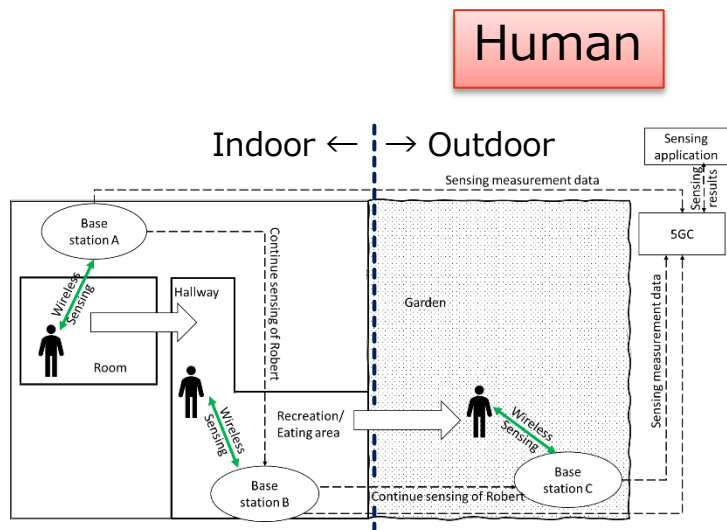
ユースケースのイメージ



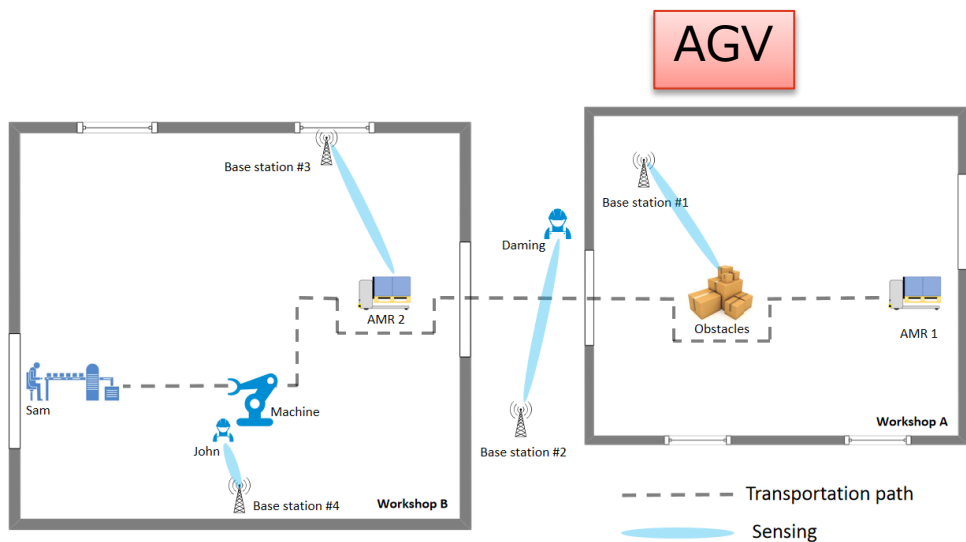
Parking space determination (indoor deployment) [3]



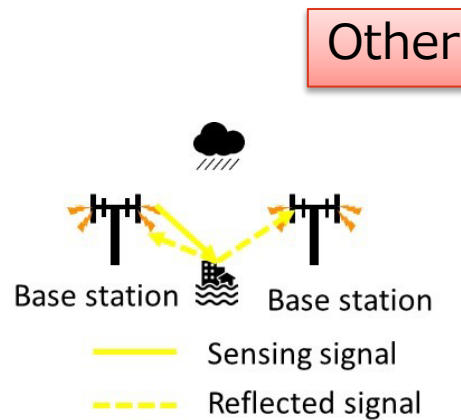
Sensing at crossroads with/without obstacle [3]



Service continuity between base stations A, B, and C [3]



Sensing people or obstacles detection in smart factory [3]

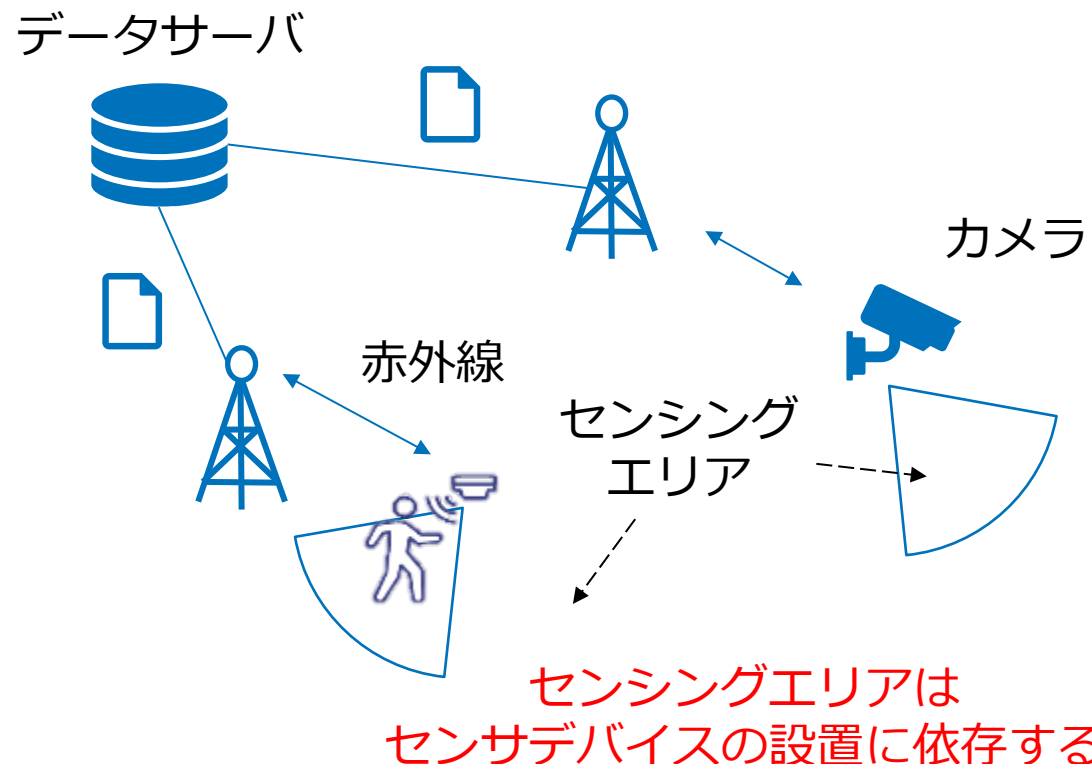


人数推定技術の概要

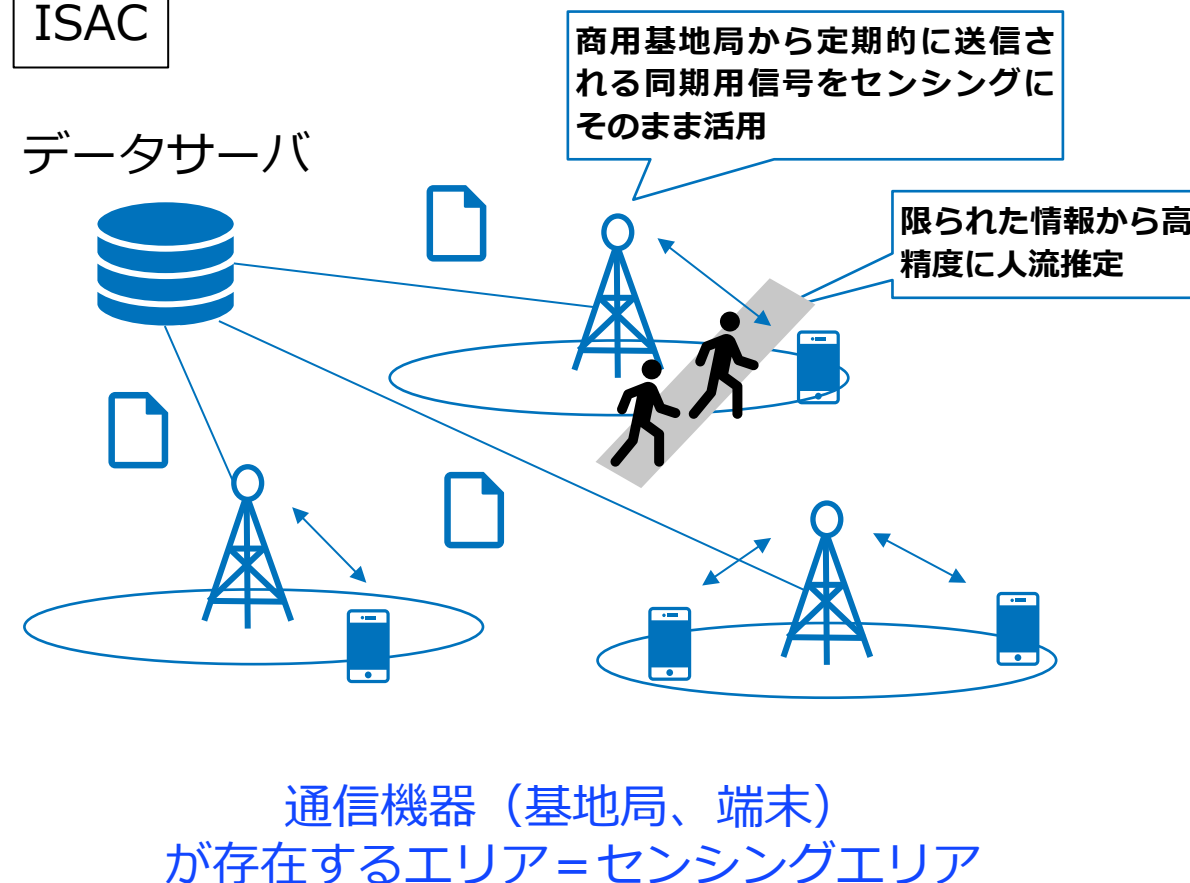
1. 商用基地局からの電波からセンシングに必要な情報を取得し、その情報から屋外人流推定ができることを実証
2. 収集可能な限定された情報（RSSI/CSI※）から高精度に人数推定が可能となる技術

※RSSI: Received Signal Strength Indicator、CSI: Channel State Information

既存のセンサネットワーク



ISAC



伝搬情報の特徴

RSSI: 計測が軽量なため、高サンプリングレート

→ 様々な時間変化をとらえるため **複数の時間窓幅の移動標準偏差** を計算

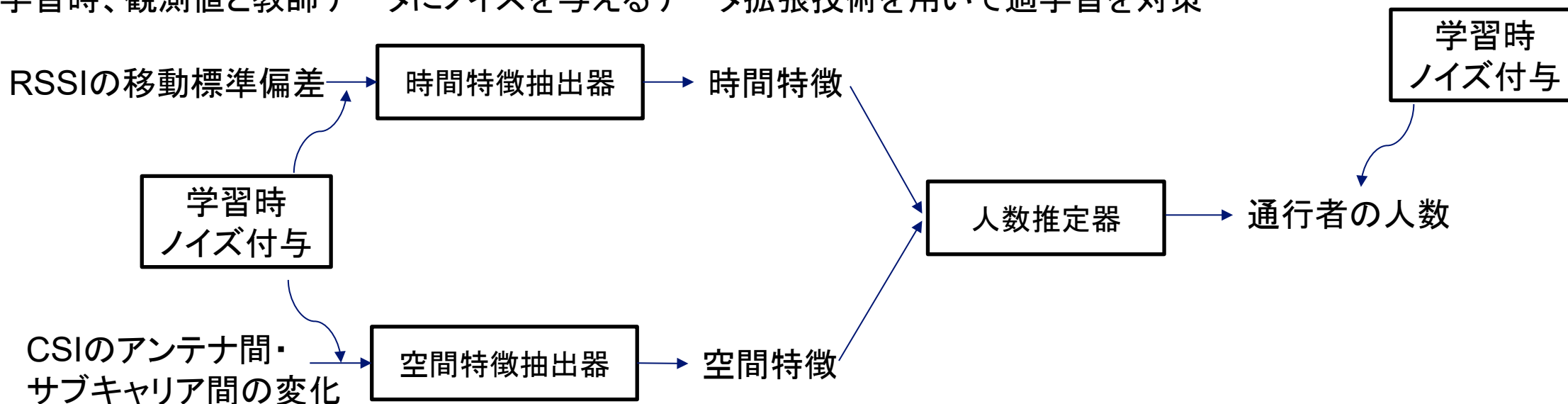
CSI: アンテナ・サブキャリアごとに計測ができる、伝搬経路の空間情報

→ 空間情報をとらえるため、**アンテナ間・サブキャリア間の変化** を計算

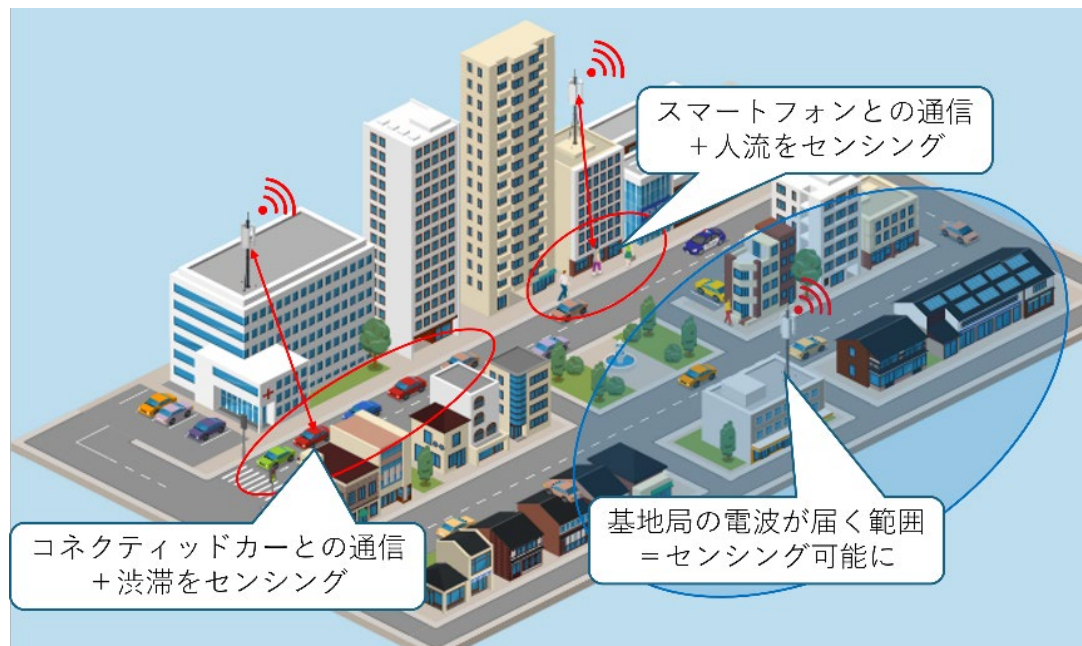
外乱への対処

屋外環境は外乱の影響が大きく、学習した機械学習モデルの汎化性能が低下

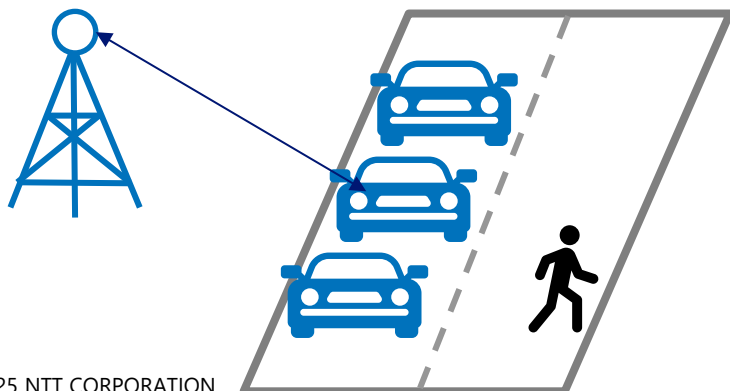
→ 学習時、観測値と教師データにノイズを与えるデータ拡張技術を用いて過学習を対策



ISACによるサービス例



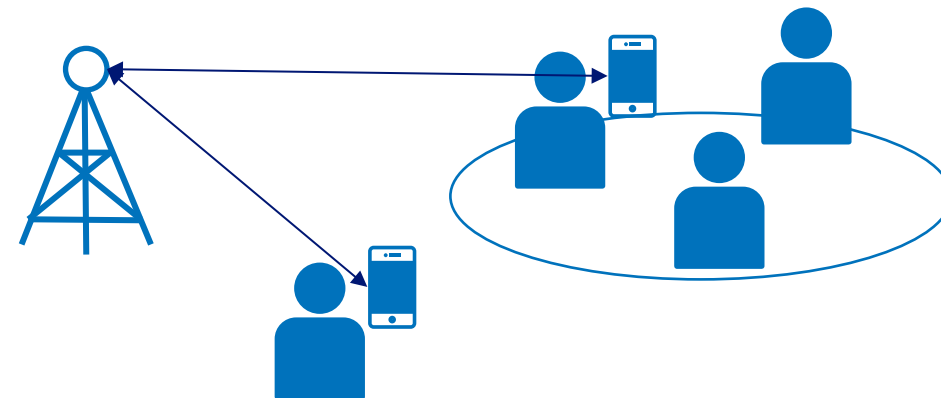
自動車の渋滞状況や通過台数のカウント、高速道路などへの侵入検知



従来：専用の感知器を用いて計測

➡ コネクティッドカーとの通信電波を活用

イベント会場における混雑度の推定や粒度の細かい人流情報のリアルタイム提供



従来：基地局への接続台数

➡ 通信電波を活用して

- 機器を持たないユーザを含めた混雑度
- 通信機器の位置

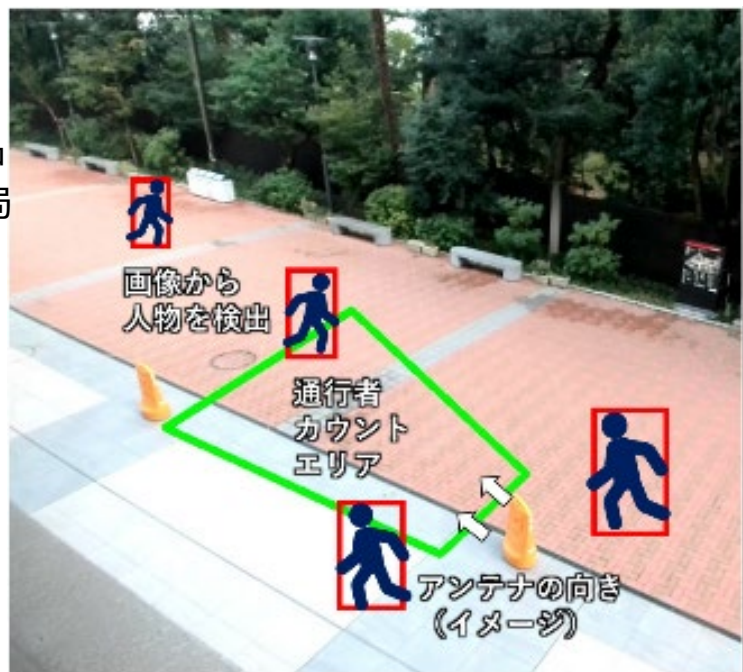
実験環境と実験結果

実験環境：上智大学四谷キャンパス内に、NTTで試作したシステムを構築し、センシング情報の取得実験を実施
実験結果：異なる特徴量となるRSSIとCSIに考案した人数推定技術を適用することで、誤差1.26での人数推定が可能となることを確認



同期信号

商用運用中の4G基地局
2GHz帯

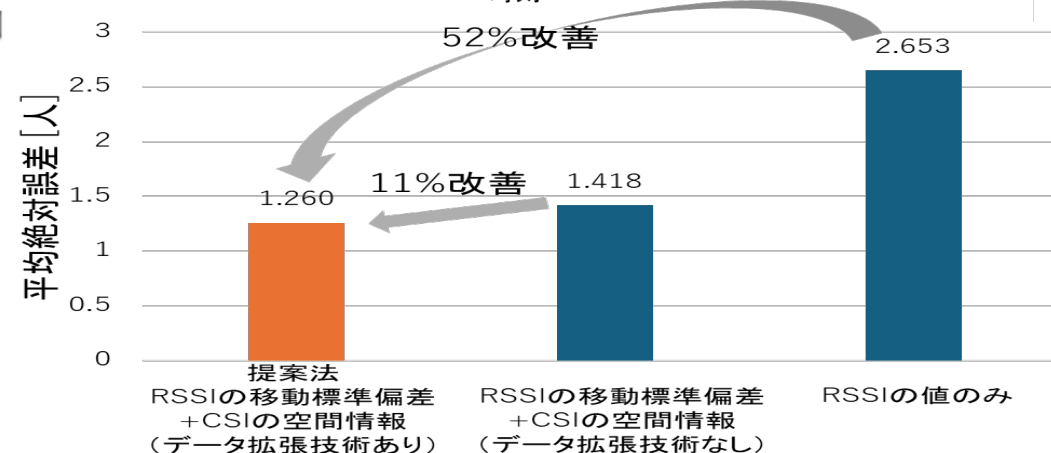
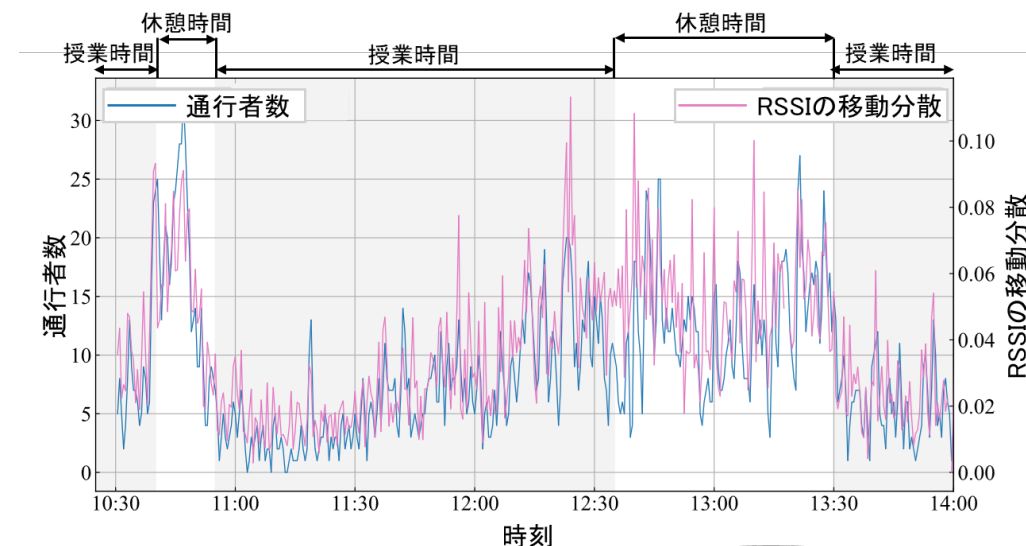


上智大学四谷キャンパスメインストリート



アンテナで
同期信号を計測

測定時のアンテナ配置



最後に

無線センシングWG

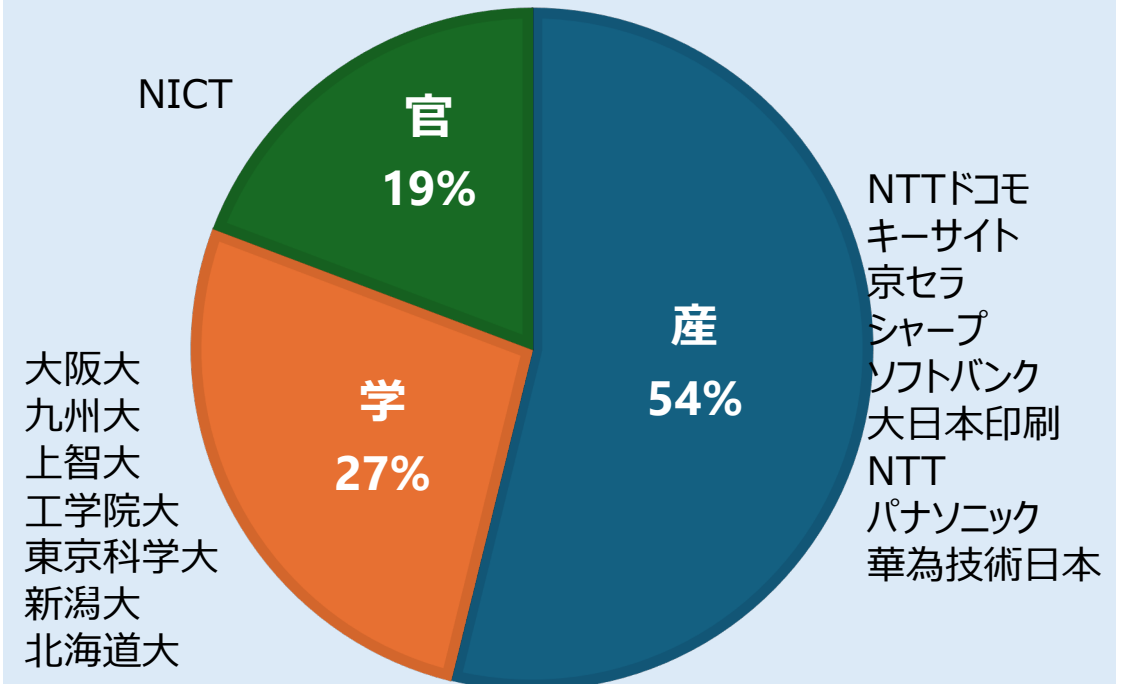
目的

- ✓ ユースケースの議論
- ✓ 標準化動向の把握
- ✓ 技術課題の整理
- ✓ 日本の独自性アピール
- ✓ 実用化につなげるPoCの推進
- ✓ 実験データの共有（データベース）
- ✓ 応用検討

体制

Chair : 須山（NTTドコモ）
Vice Chair : 村上（NTT）
宗（工学院大学）

委員：28名(2025年5月時点)



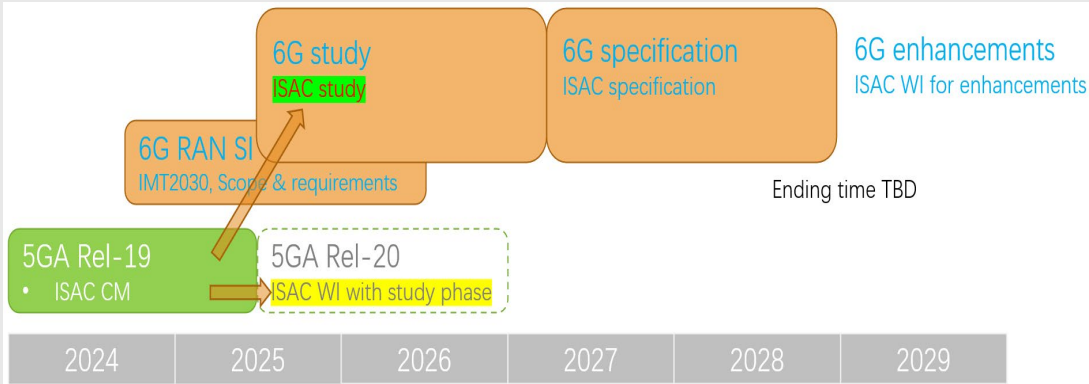
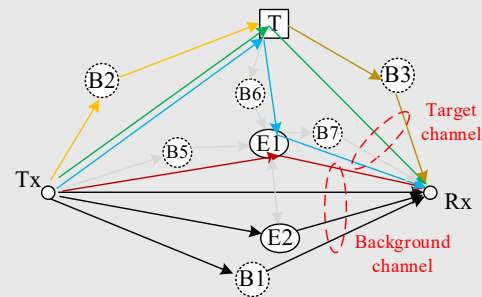
無線センシングWG 白書概要1/2

Integrated Sensing And Communications (ISAC)の標準化動向と技術動向

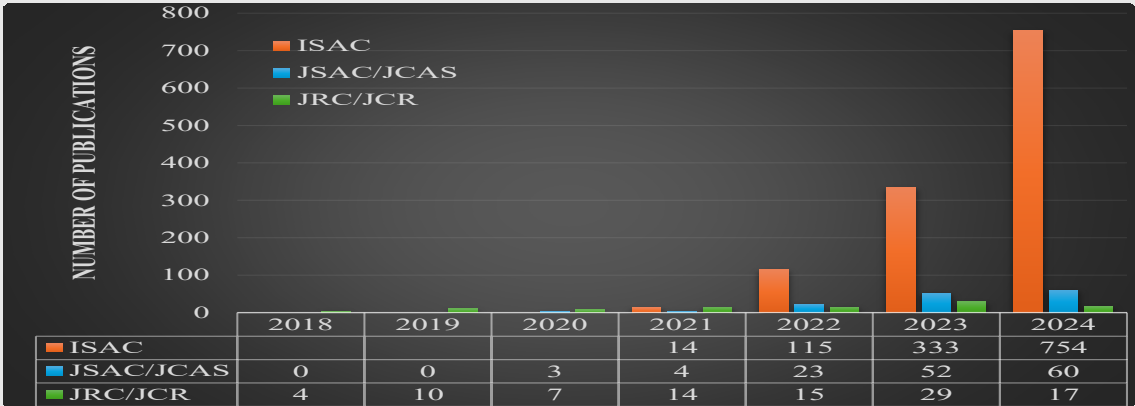
ユースケースとチャネルモデル

1. UAVs
2. Humans indoors and outdoors
3. Automotive vehicles
4. Automated guided vehicles
5. Objects crating hazards on roads/railways
- (Combination of targets mentioned above and others)

$$H_{ISAC} = H_{target} + H_{background}$$



論文数の傾向（参照元 IEEE Xplore）



Keyword	Count	Keyword	Count
ISAC	800	NOMA	77
sensors	361	deep learning	76
wireless communication	294	signal processing	75
radar	284	real-time systems	75
simulation	274	costs	74
array signal processing	266	bandwidth	68
OFDM	247	beamforming	66
6G	247	precoding	66
optimization	227	signal processing algorithms	66
signal to noise ratio	221	radar tracking	64
receivers	189	antenna arrays	63
interference	185	millimeter wave communication	63
autonomous aerial vehicles	180	channel models	63
estimation	167	quality of service	61
channel estimation	156	training	61
reconfigurable intelligent surfaces	155	transmitting antennas	59
transmitters	142	imaging	58
wireless sensor networks	137	parameter estimation	56
location awareness	131	radio frequency	55
time-frequency analysis	130	throughput	55
conferences	124	performance evaluation	54
symbols	116	heuristic algorithms	54
resource management	113	approximation algorithms	54
base stations	110	delays	52
object detection	102	waveform design	51
spectral efficiency	101	protocols	50
hardware	101	system performance	47
downlink	99	robot sensing systems	47
radar antennas	96	MIMO	46
interference cancellation	92	radar signal processing	46
uplink	89	antenna measurements	44
vehicular and wireless technologies	87	full-duplex system	44
wireless networks	85	physical layer security	43
radar detection	84	target tracking	43
modulation	82	internet of things	43
receiving antennas	79	uav	43
measurement	77		

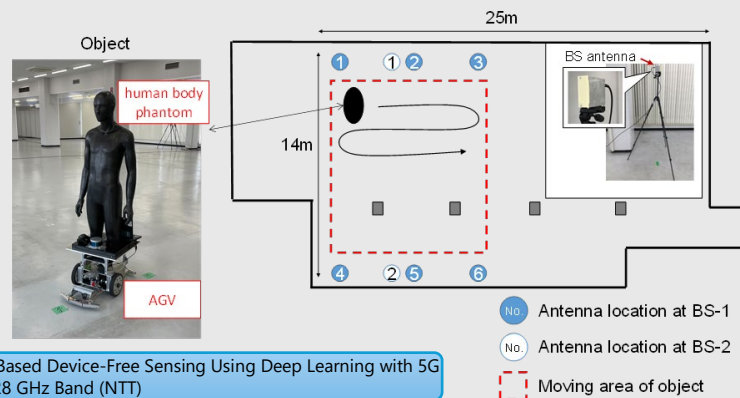
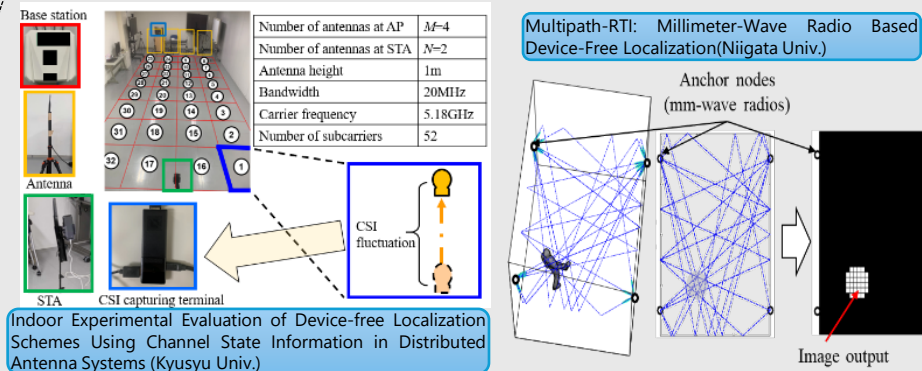
無線センシングWG 白書概要2/2

日本におけるISACに関連する研究開発の状況

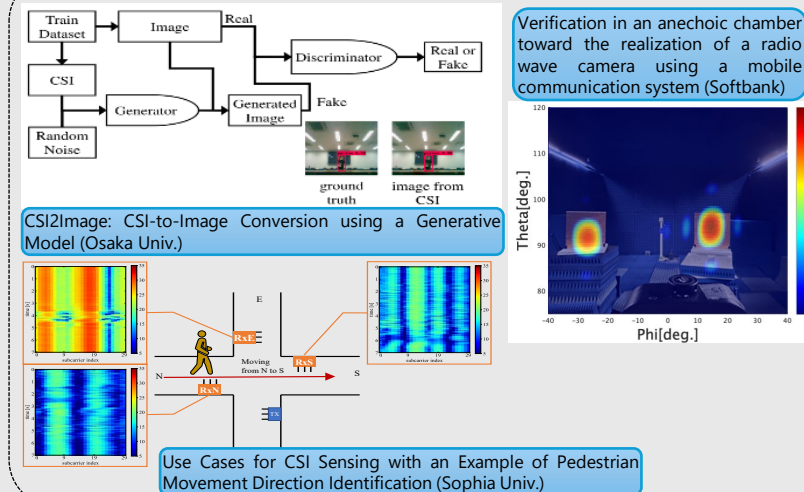
無線センシング技術の研究開発の加速化を目的として、測定器や測定システムのPoC化と共用を検討中、
加えて各機関で取得した無線センシングのデータセットの構築を議論

日本におけるR&Dの活動状況

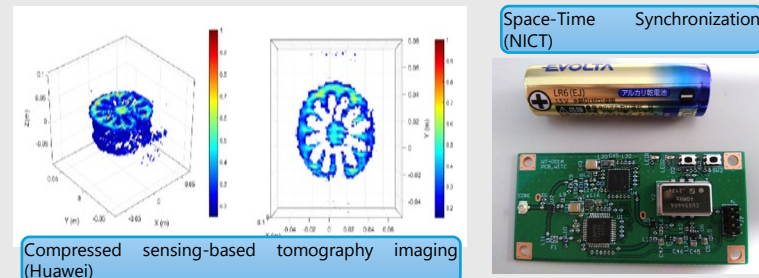
Localization



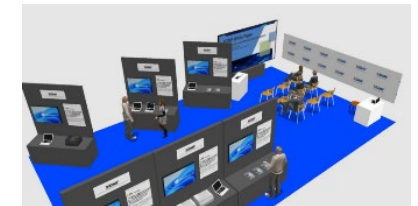
Object detection



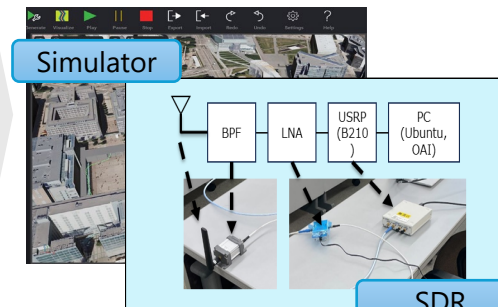
Imaging etc.



WTP2025の展示
(キーサイト、NTT)



測定ツールの共有



実験データの共有





上智大学
SOPHIA UNIVERSITY

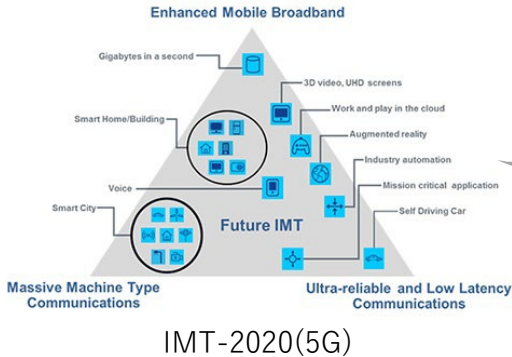
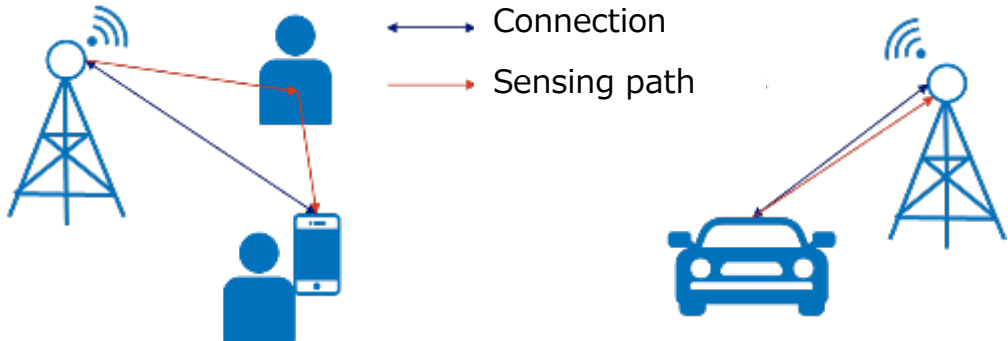
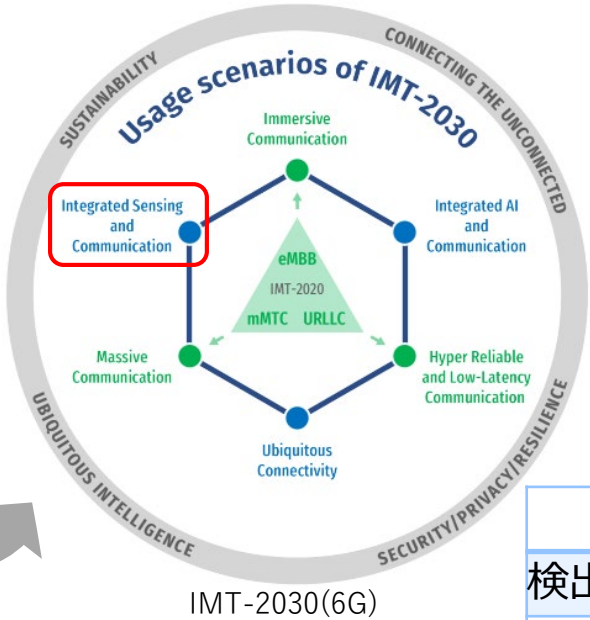
World's first demonstration of technology to estimate outdoor pedestrian flow from radio wave fluctuations in mobile communications systems using commercial radio waves

May 2025

NTT/Sophia University

WTP2025

ISAC(Integrated Sensing and Communications) is a system that integrates communication functions with sensing capabilities using radio waves, aiming to reduce cost and power consumption while enabling advanced wireless connectivity and digitalization of real-world information.



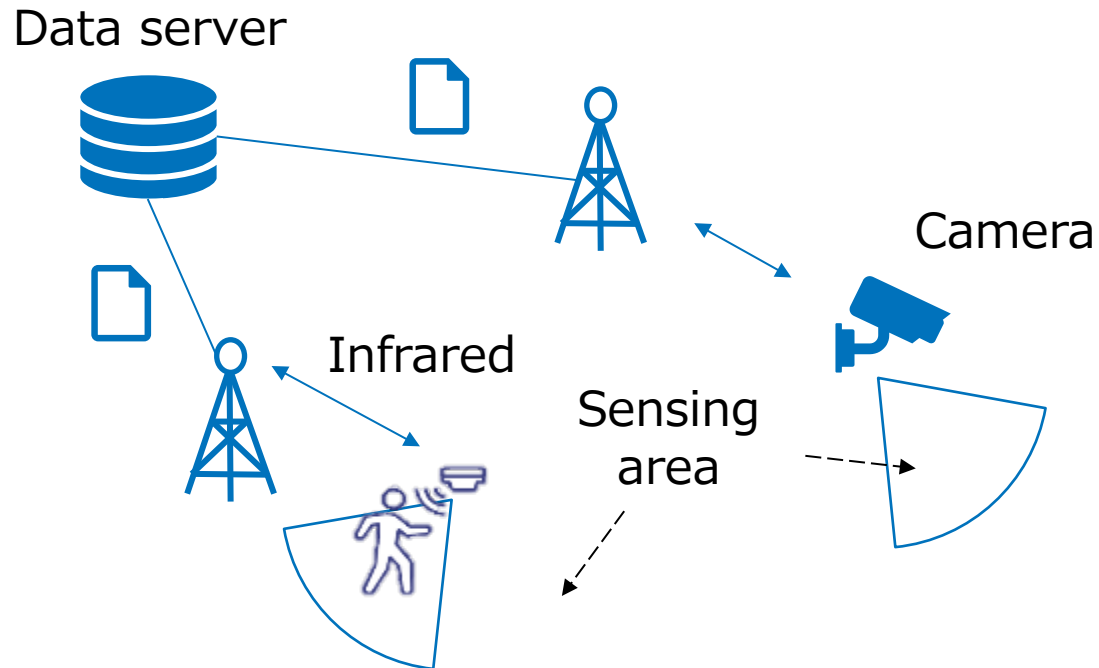
	Radio	Infrared	Camera
検出範囲	~100m	~10m	~100m
検出方向	Omni	Direction	Direction
見通し外	○	×	×
プライバシー	○	○	×

Technical overview

1. Demonstrated that it is possible to estimate outdoor human flow by extracting sensing-relevant information from radio signals emitted by commercial base stations.
2. This technology enables high-accuracy estimation of the number of people using only limited available data, such as RSSI and CSI

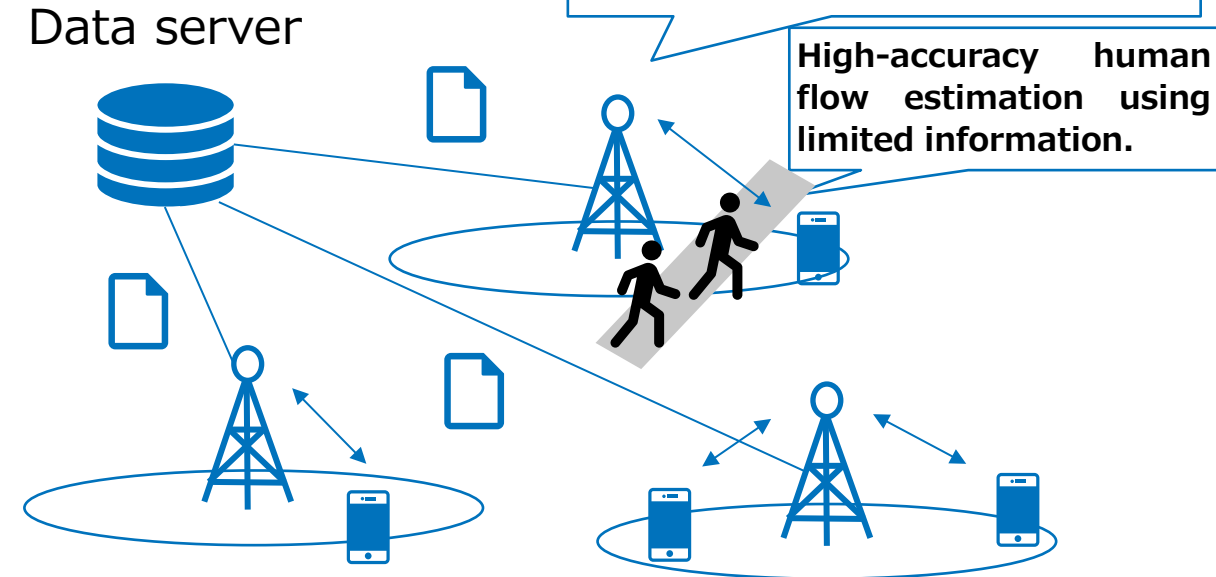
※RSSI: Received Signal Strength Indicator、CSI: Channel State Information

Current sensor network



Sensing area depends on
the placement of sensor devices.

ISAC



Area where communication equipment is
present corresponds to the sensing area.

Ref: Details of People Counting Technology

Features of propagation information

RSSI: Higher sampling rate, low overhead

→ To capture various time changes, moving standard deviations with multiple time window widths are computed.

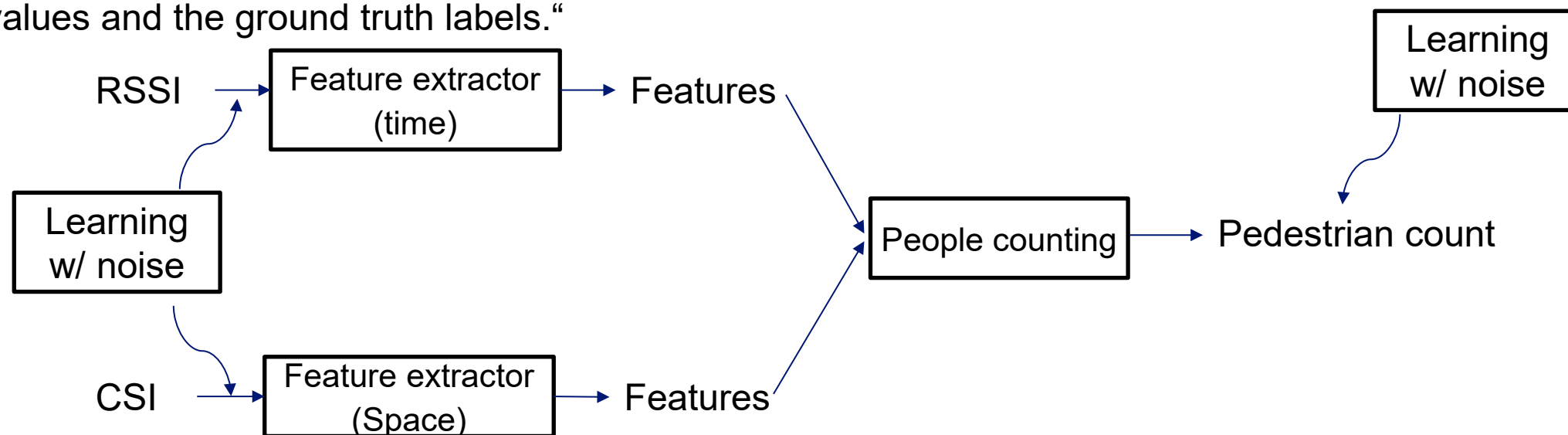
CSI: Propagation path spatial information can be measured per antenna and subcarrier.

→ To extract this spatial information, inter-antenna and inter-subcarrier variations are computed.

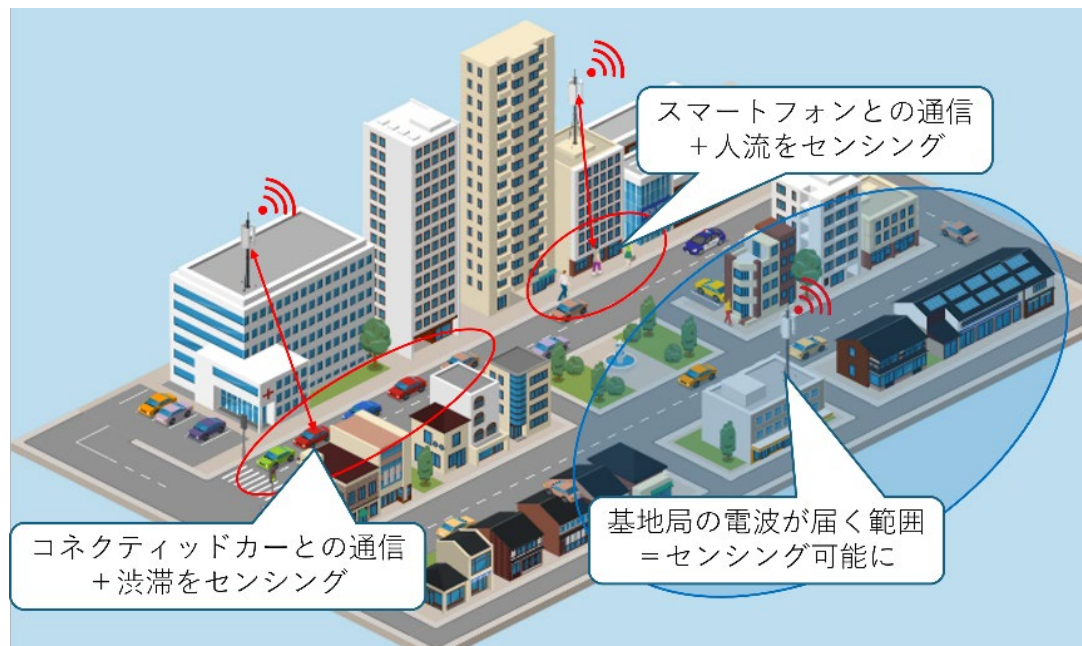
Robustness to noise

Outdoor environments are affected by noise, which can reduce the generalization performance of ML models.

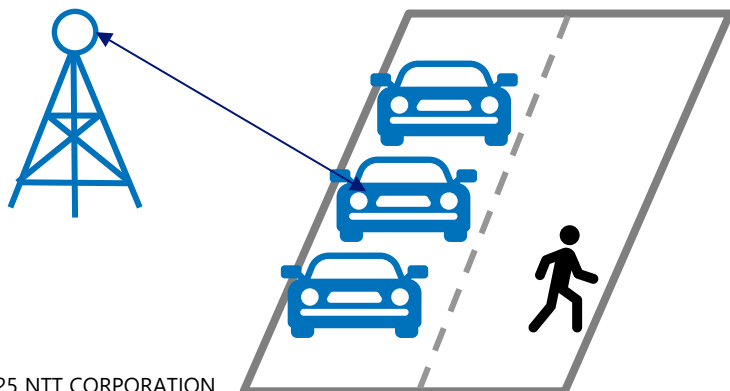
→ To mitigate overfitting, a data augmentation technique is used during training by adding noise to both the observed values and the ground truth labels.“



ISAC use cases



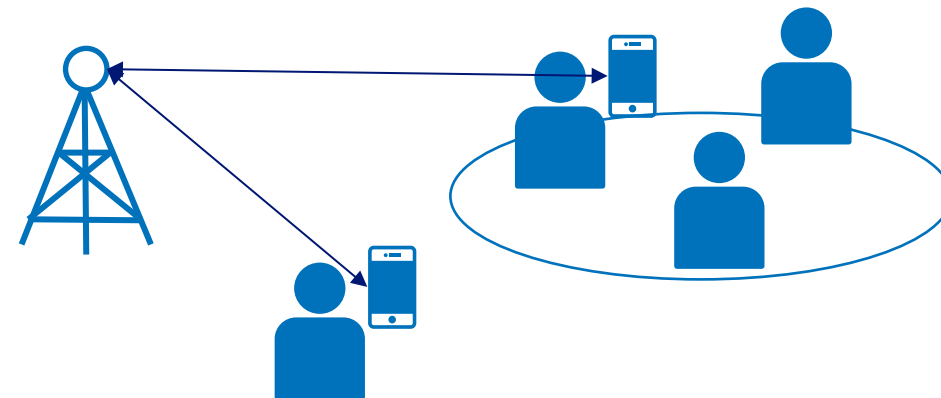
Detection of traffic congestion and vehicle counting,
along with intrusion detection



従来: 専用の感知器を用いて計測

➡ コネクティッドカーとの通信電波を活用

イベント会場における混雑度の推定や粒度の細かい
人流情報のリアルタイム提供



従来: 基地局への接続台数

➡ 通信電波を活用して

- 機器を持たないユーザを含めた混雑度
- 通信機器の位置

Ref: Use cases in 3GPP

	対象	ユースケース	ISACによる付加価値
屋外	人/動物	・線路や高速道路への人/動物の侵入検知 ・観光地の交通整理のための人流推定	カメラや専用センサの設置が不要 プライバシーへの配慮 夜間のセンシングが可能
	車両	・交差点の死角に対する障害物の検知 ・ADASのための車両周辺のセンシング ・渋滞状況のセンシング	カメラや専用センサの設置が不要 見通し無しでもセンシング可能 夜間でもセンシング可能
	UAV	・UAV飛行軌跡の追跡 ・UAV衝突回避のためのセンシング	ビル等でGPSの誤差が大きい時の位置追跡 見通し無や夜間でもセンシング可能
	天気	・降雨量や洪水のモニタリング	専用センサがない範囲もセンシング
屋内	工場	・工場におけるAMR/AGVの位置追跡 ・工場における作業状況のモニタリング	専用センサの設置が不要 見通し無や照明状況に依存しないセンシング
	自宅	・侵入者検知 ・非接触な健康・睡眠モニタリング ・XRのためのジェスチャー認識	カメラや専用センサの設置が不要 プライバシーへの配慮 照明状況に依存しないセンシング

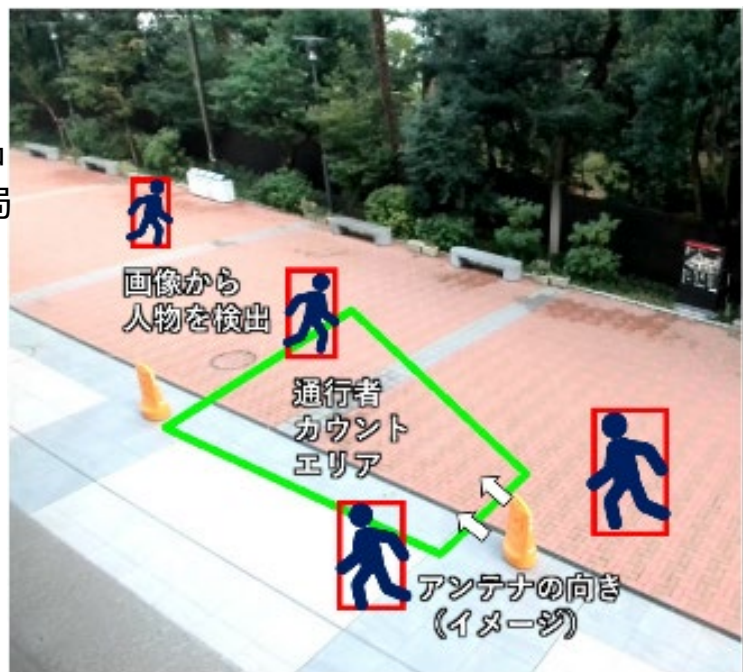
Experimental environment and results

実験環境：上智大学四谷キャンパス内に、NTTで試作したシステムを構築し、センシング情報の取得実験を実施
実験結果：異なる特徴量となるRSSIとCSIに考案した人数推定技術を適用することで、誤差1.26での人数推定が可能となることを確認



同期信号

商用運用中の4G基地局
2GHz帯



上智大学四谷キャンパスメインストリート



アンテナで
同期信号を計測

測定時のアンテナ配置

