



スマートコミュニティのインフラとサービス

Infrastructure and services for smart communities

慶應義塾大学理工学部 システムデザイン工学科 西研究室



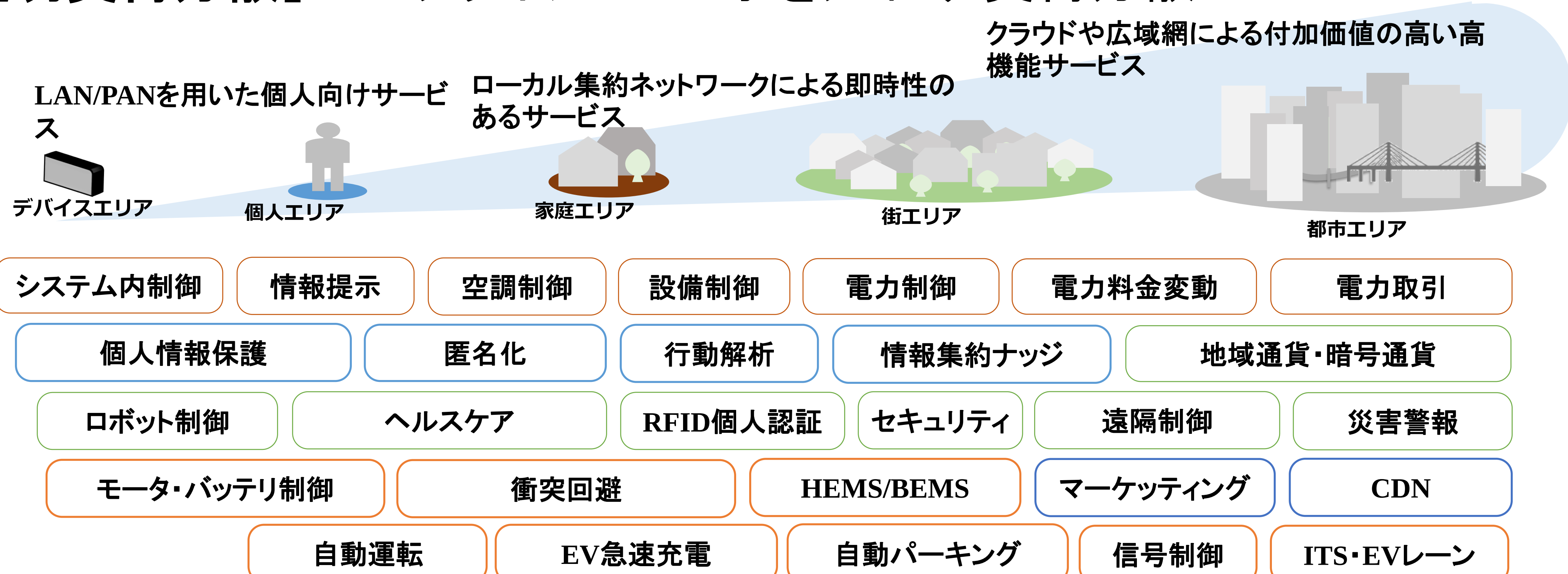
スマートコミュニティとは？

「スマートコミュニティ」や「スマート農業」に関する研究を進めています。ここでいう「スマート」とは情報通信技術応用によるインフラの高機能化・効率化を意味します。

スマートタウン・スマートシティは、スマートインフラを街や都市へ集中的に多種類導入することで、地域社会活性化や地域住民のQoL向上といった地域サービスを提供する新しいインフラの形です。スマート農業は、唯一エネルギー消費量や地球温暖化ガス生成量が増大している第一次産業について、持続的かつ効率的な営農を実現する取り組みです。当研究室は、情報インフラの観点でスマートシティ・コミュニティ、スマートアグリ
のインフラの構築やその上で動作するサービスの構築、技術標準に取り組んでいます。

なぜスマートコミュニティとエッジコンピューティング？

- エッジはクラウドよりもユーザに近いため低遅延？ ⇒そうとも限りません。通信遅延では勝りますが、計算能力は劣るため、どちらが良いかはアプリケーションに依存します。
- ではエッジにどのようなメリットがあるの？ ⇒サービス提供場所の候補を増やし、サービスを適材適所で運用したり、サービスに新しい機能や提供形態を与えます。
 - 通信センサ(情報の中間搾取)、アドオン(情報の偽造・変造)できる禁じ手
 - 「透明性」 IoT端末に何ら変更なく、途中で処理したことを感じさせない
 - 「完全性」 クラウドなどエンドホストではないので全通信が見える
 - 「位置自在性」 どこでもサービスを提供できる
 - 「透明アドオン」 ネットワーク途中でステルスに非力なIoTの機能や安全性を拡張
 - 具体的なサービス例
 - 「情報カプセル化」 外に出る個人情報情報をエッジで匿名化し情報を地域に固定
 - 「情報カラーリング」 匿名化情報に電子透かしをエッジに入れて安全性を向上
 - 「セキュリティ拡張」 IoTに対してセキュリティをエッジで追加
 - 「透明負荷分散」 クライアントに手を入れず負荷分散





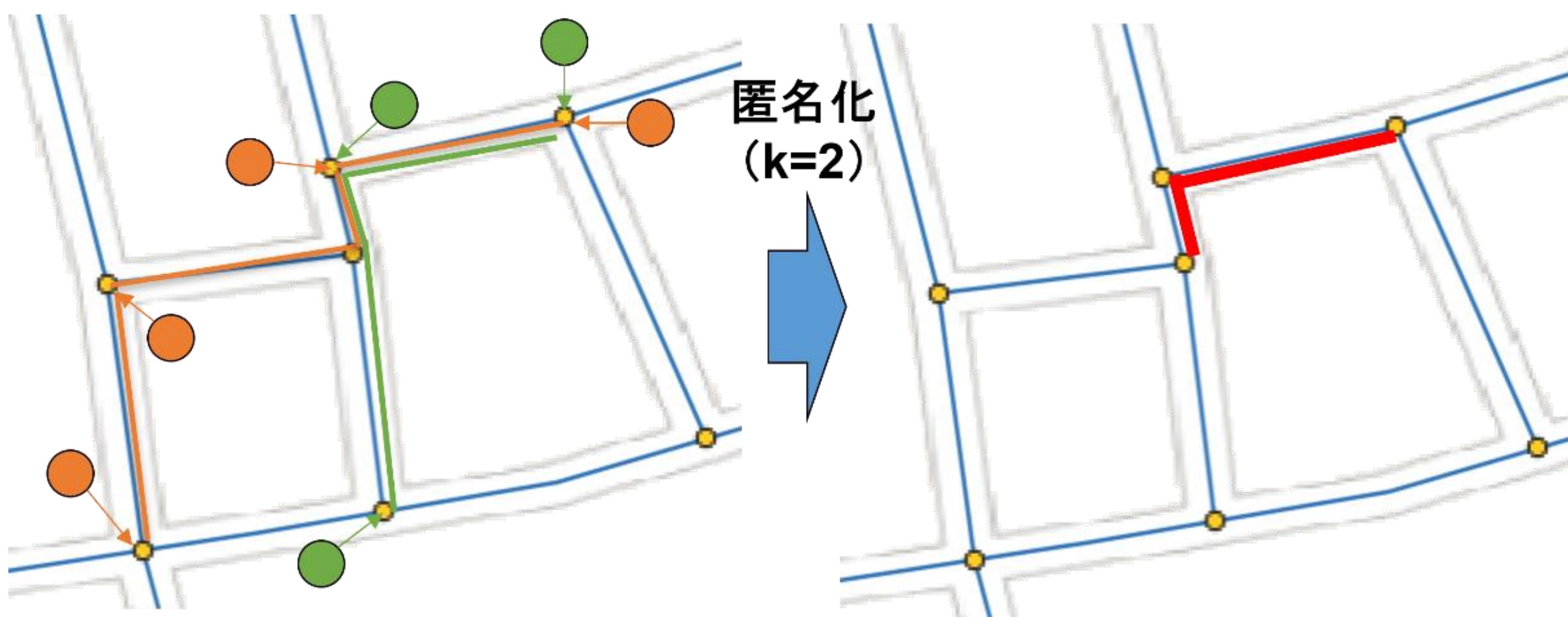
スマートコミュニティ情報の高効率処理と 新たな情報利用サービス

慶應義塾大学理工学部 システムデザイン工学科 西研究室



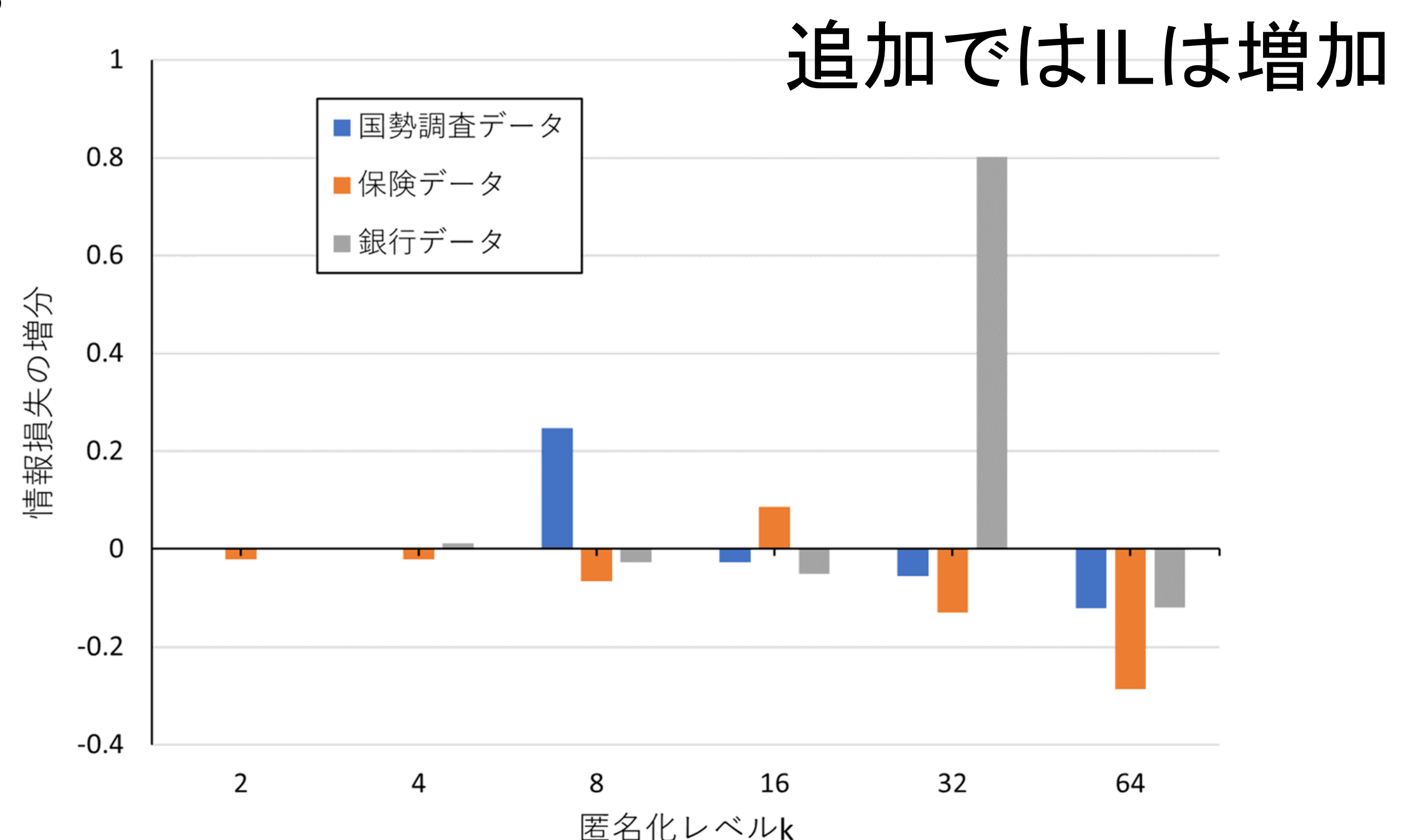
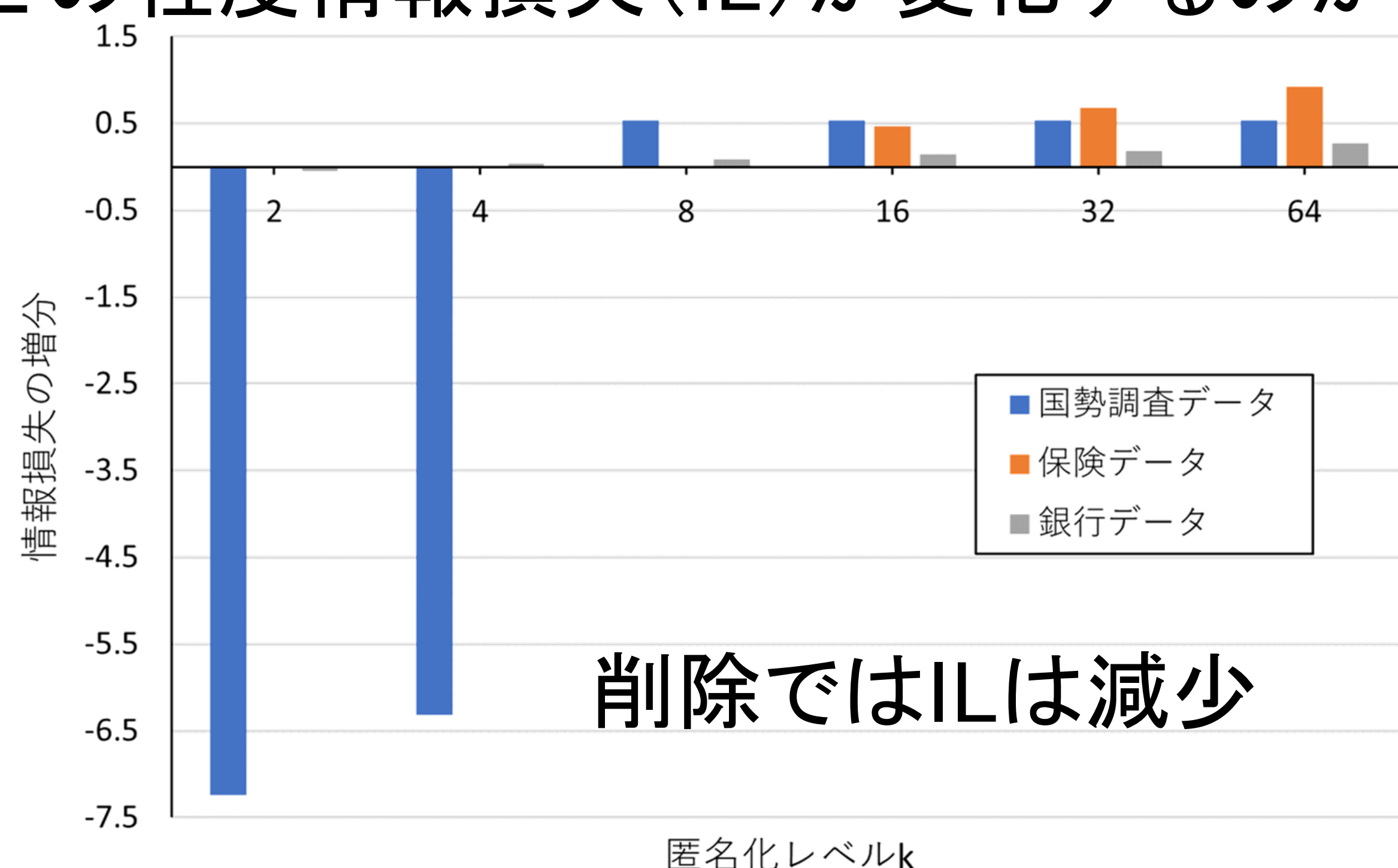
FPGAを利用した高スループット経路情報匿名化

- 情報を秘匿してもサービスに寄与しません。情報を「安全に公開」することが重要です。
 - 情報を安全に公開する技術として情報匿名化がありますが、計算量が多いのが欠点です
- スマートフォン人流情報(時間と位置の連続情報)を匿名化するハードウェアを構築
 - 移動経路はノイズがある一方で、マップマッチングで特定されやすくなります
 - そこで、データをマップマッチングして正確な経路を推測した後、部分経路毎にk-匿名化します
 - CPUで処理するよりも約200倍処理スループットを向上できます(140秒⇒0.65秒@4.5万件)



データの追加・削除に対応したk-匿名化手法

- データは後から修正されることが多いが、修正の度に再匿名化を繰り返すと、その履歴からプライバシーが侵害される可能性がある(匿名性の遺失)
- k-匿名性を維持しながらデータの追加・削除を行う手法を提案
 - データの追加: 全 q^* -ブロックへの追加を順に試行し、最も情報損失度の小さいブロックへ追加
 - データの削除: 削除レコードの所属していた q^* -ブロックの所属数で場合分け
 - k 以上残る場合⇒削除レコードを除いたデータをそのまま出力
 - $k-1$ 残る場合⇒ $k-1$ レコードを他の q^* -ブロックに順に追加($k-1$ 回の追加処理)
- どの程度情報損失(IL)が変化するのか?





スマートコミュニティ情報利用健康サービスと スマートセンシング・スマート農業応用

慶應義塾大学理工学部 システムデザイン工学科 西研究室



スマート農業における情報インフラ・IoT・DNN応用

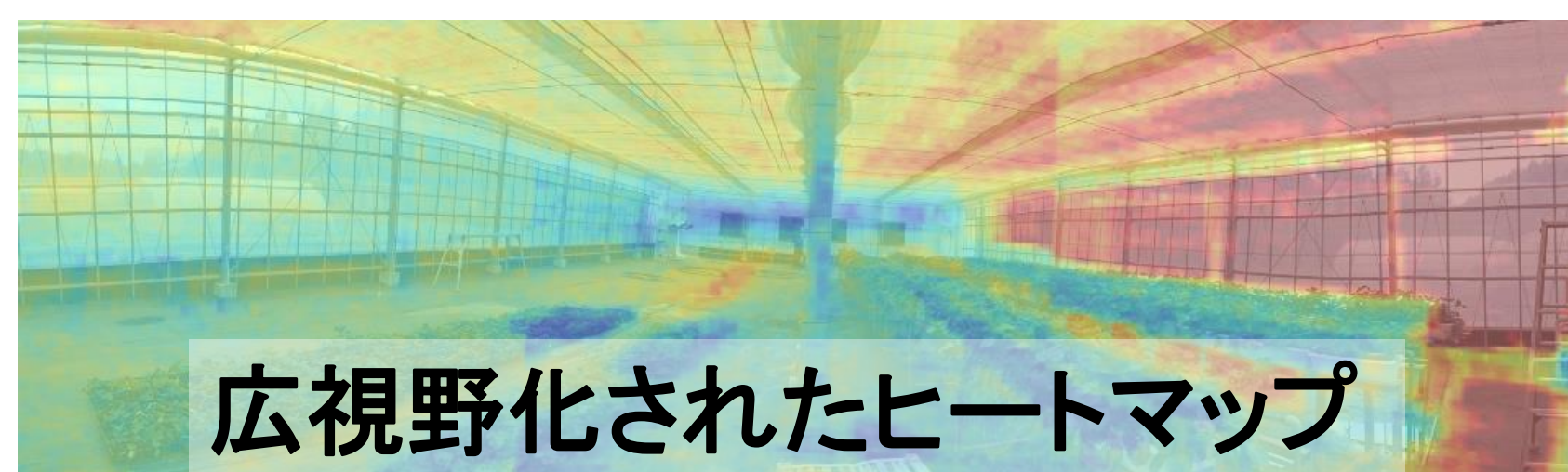
- スマート農業に際し農機や農業従事者情報の統合インフラを構築

- 赤外線アレイセンサにより熱画像を簡便かつリアルタイムに取得
- 深層学習を用いて熱画像から温室内3D空気温度を推定
⇒高効率かつ均等な空調制御を実現



- 葉温度や土壌温度などの多次元データ取得

- 品質・生育管理などへのさらなる貢献

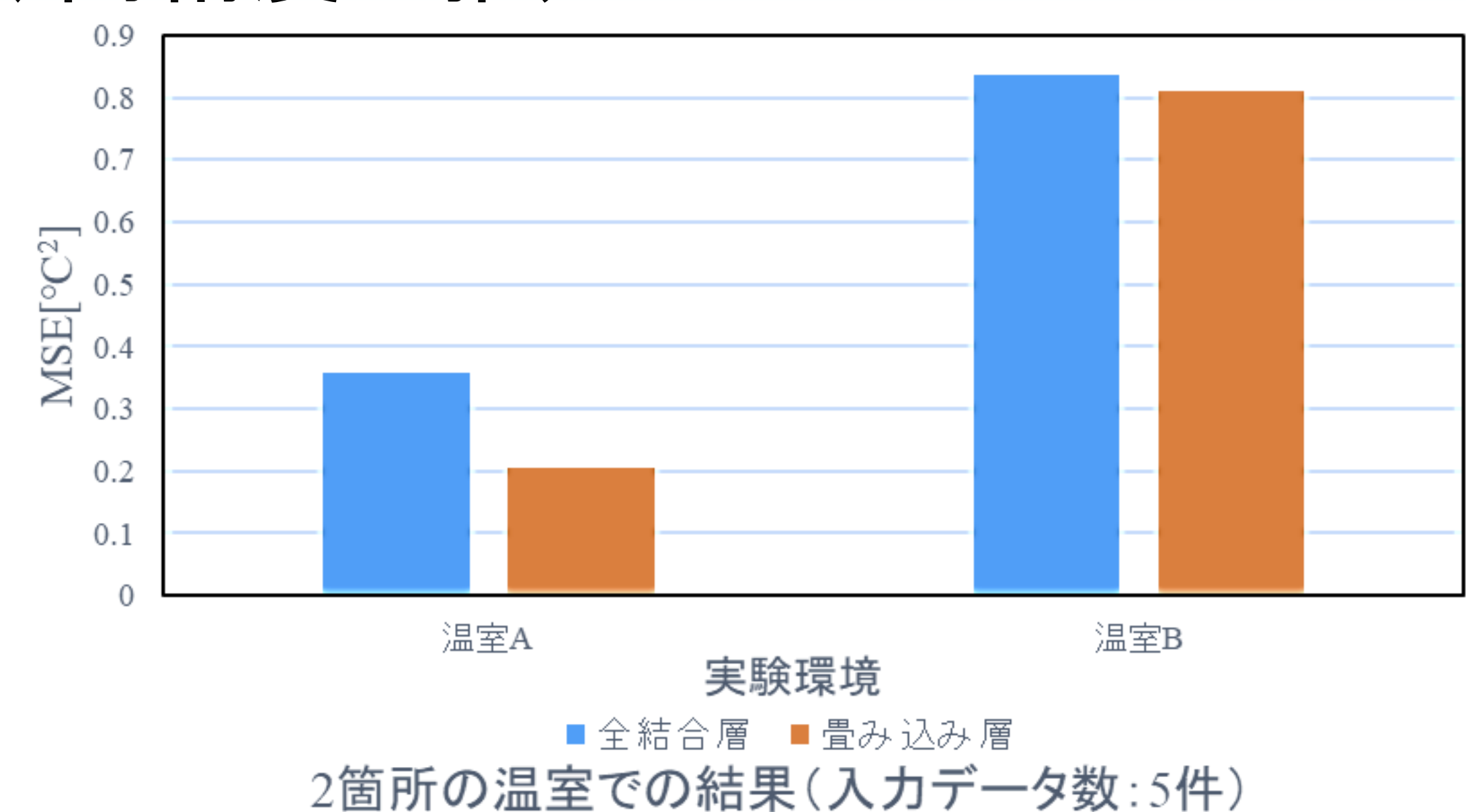


- 高効率にハウス内温度分布を測定、温度勾配を抑制する

- 温度センサを多数配置して空間温度分布を計測⇒正確だが高コスト
- 赤外線温度センサアレイを利用してヒートマップを取得する⇒近年低コスト化が進み、数千円で導入可能となったが、表面温度を計測しており空間温度分布を計測できない

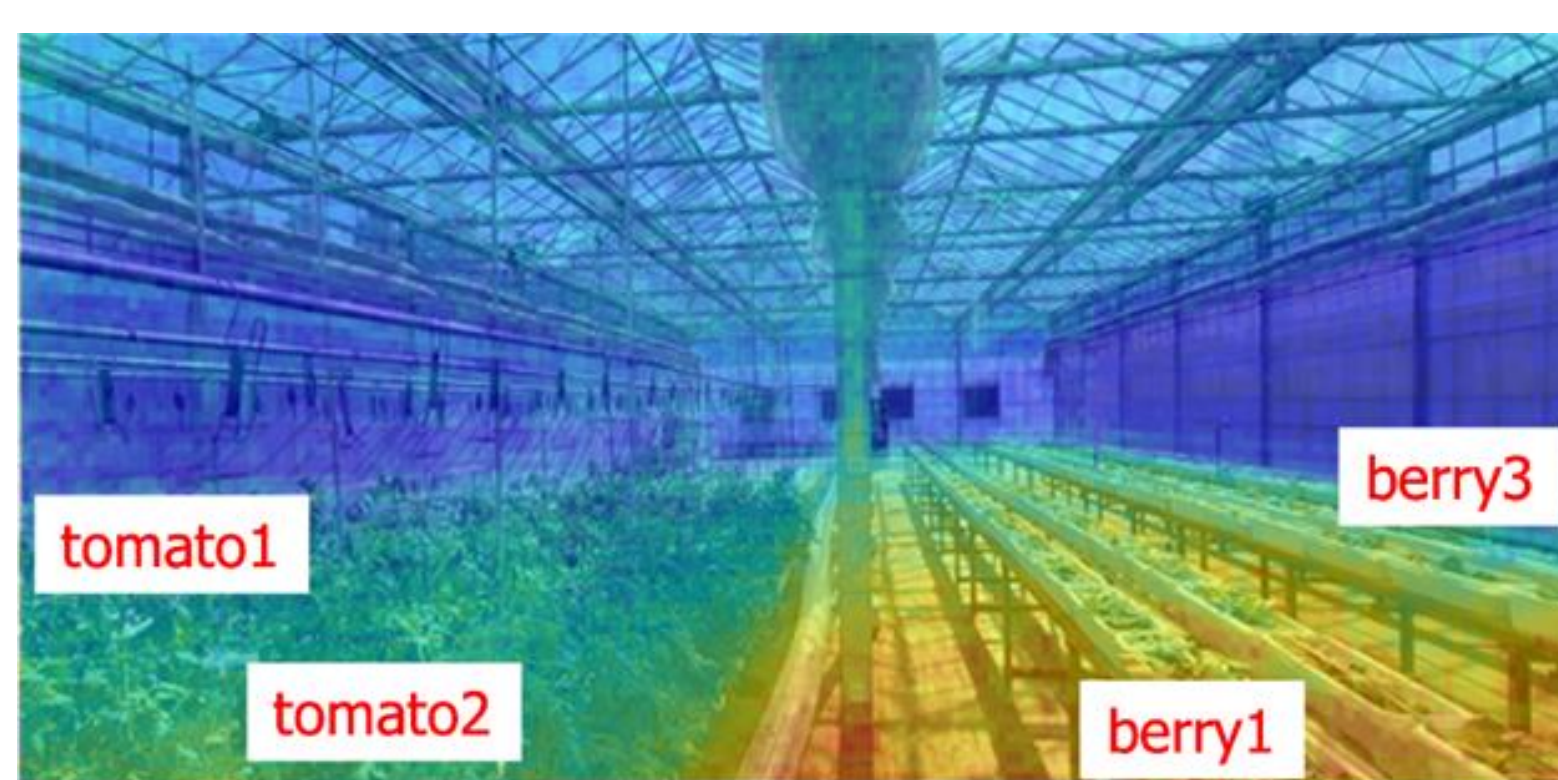
- ハウス内に大量の温度センサと赤外線温度センサアレイを設置し、DNNによりヒートマップから空間温度分布を推定するモデルにより、高精度に推定

- 圃場に設置可能な簡便な計算ノードでも学習・推論できる仕組みを構築⇒秘匿性が高い
- 2箇所の温室実験において、過去5計測分の入力データを履歴情報として加えて推定
⇒平均推定誤差を1℃以下まで抑えた



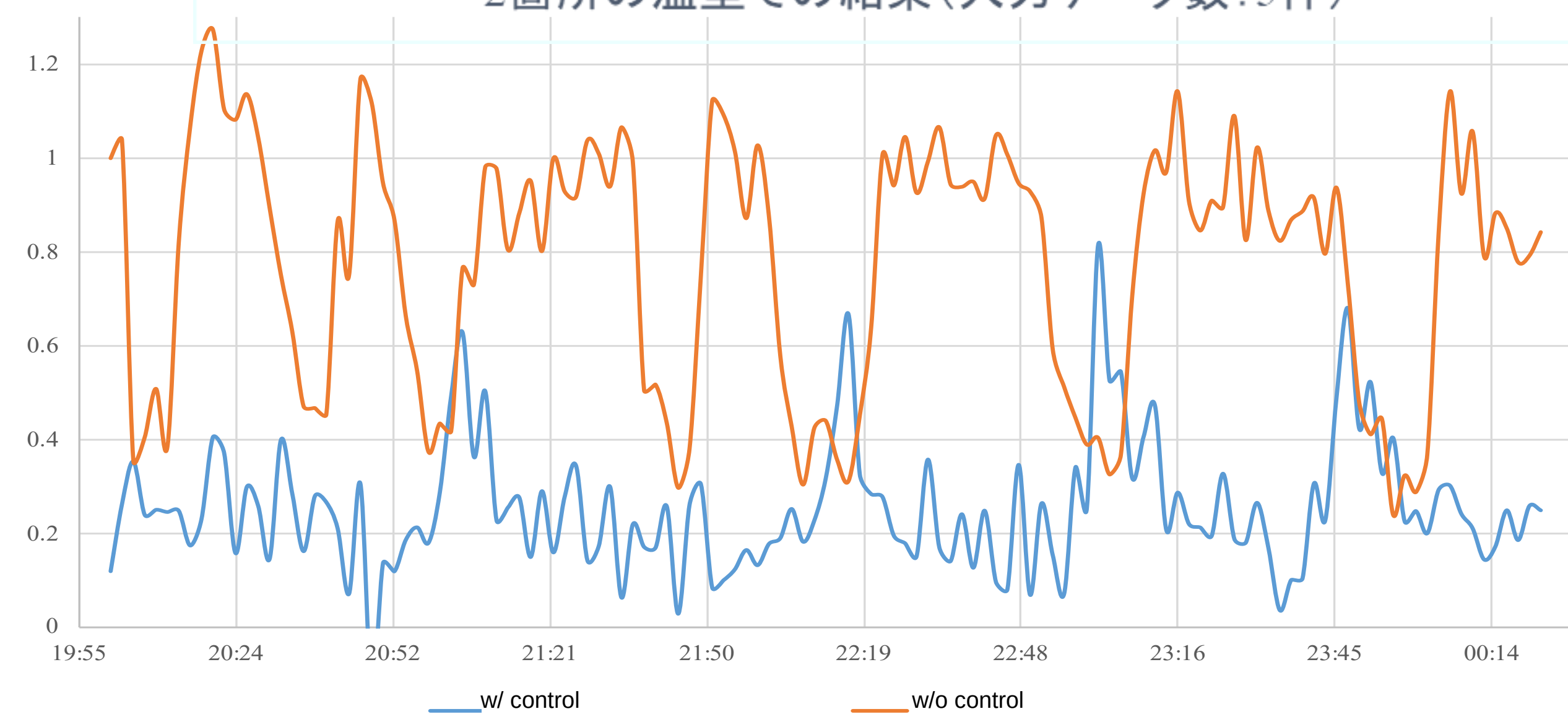
- 実際に空調を制御して温度勾配平準化を実施

- 簡便な空調風量制御機構を実装



- パンタグラフ機構を利用して空調風量分配を制御

- 温度差を低減し作物品質を向上、さらに空調負荷を低減し、エネルギーコストも抑えた



内側と外側の温度差の平均値(°C)			
作物	制御なし	制御あり	変化率(%)
トマト	0.679	0.313	53.9
いちご	0.603	0.367	39.1

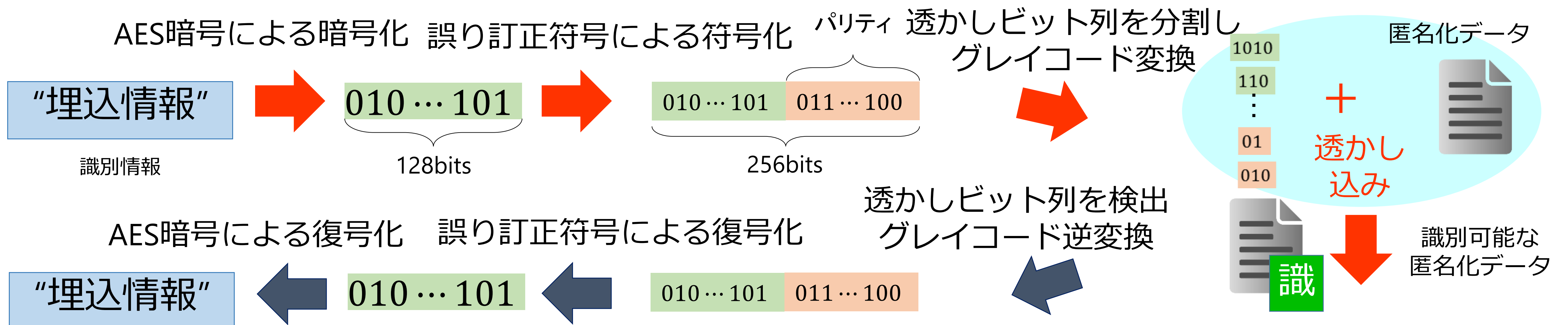


スマートコミュニティにおける情報インフラ

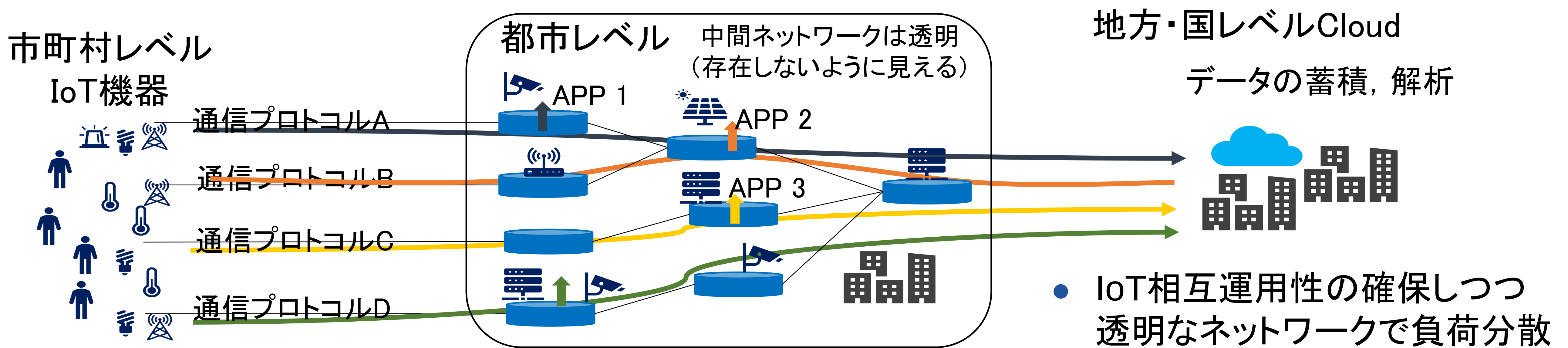
エッジコンピューティングとIoTが切り開く新しい街の情報インフラ

「個人情報保護対応済インフラ」構築への挑戦

- GDPRや、米国州法など個人情報保護規定・法案策定の流れに対し、技術的側面でサポート、安心・安全にスマートコミュニティデータサービスを提供するインフラが必要
- 匿名化の多様性つまり、匿名化処理は一意ではなく様々な答えが存在することを利用して、その多様性を利用した電子透かしを実施
 - 誰が、誰に、何の目的で、どのような制限事項をもって、どのような契約でデータを提供したか、サービスを提供しているかを暗号化し、透かし情報として混入
 - 漏えいした場合、その透かし情報をもとに、責任の所在を明確化し、保護法に遵守



- スマートコミュニティインフラによる情報の流れの監視と「忘れられる権利」への対応
 - 情報保護規定では、情報の配布が正しく認められている範囲に収められていることが必要
 - 忘れられる権利の行使を情報インフラのみで完全に対応することは不可能
 - しかしながら、それをサポートすることは可能:「該当情報の流通を阻止する」



- 提案スマートコミュニティインフラを利用することで 端末に対して機能の追加といった変更なく、匿名化・情報の透かし・フロー制御が可能
- フロー制御をコンテンツベース(ネットワークにある情報の内容)で制御するため、TCPストリーム制御よりも細粒度で制御可能
- ユーザーベース・サービスベースでデータの交換を許可・匿名化など修正・拒否・ログ取得などが可能

