

地域社会 DX 推進パッケージ事業(AI 検証タイプ)

## 高知県

中山間の不感地域におけるエッジ AI を用いたデータ圧縮および  
LPWA によるエリア拡張の実証

---

### 実証報告書

2026 年 1 月 30 日

AI06 高知県

代表機関名 電気興業株式会社

実証機関名 国立大学法人高知大学、株式会社高知 IoP プラス、  
株式会社シティネット



---

## 目次

---

0.	エグゼクティブサマリ.....	1
0.1	実証概要 .....	1
0.2	KPI/KGI の内容と達成状況.....	2
0.3	考察.....	3
0.4	成果.....	4
0.5	課題.....	6
1.	実証の目的及び内容等.....	8
1.1	実証の背景・取り組むべき課題.....	8
1.2	実証の目的.....	8
1.3	最終目標・構想イメージ.....	9
1.4	本実証の位置づけ・目標.....	10
1.5	社会実装に向けたロードマップ・取り組みの発展性.....	13
2.	業務実施体制.....	16
2.1	実証機関.....	16
2.2	実施体制図.....	17
3.	通信システム及び AI システムの構築.....	18
3.1	通信システム及び AI システムの全体像.....	18
3.2	通信システム及び AI システムの設置場所.....	19
3.3	通信システム及び AI システムの構築・運用に要した費用.....	26
3.4	通信システム及び AI システムの構築にあたっての留意事項等.....	27
4.	AI モデルの開発・学習.....	28
4.1	AI モデルの全体像.....	28
4.2	取得したデータ.....	37
4.3	AI モデルの学習プロセス.....	42
4.4	AI モデルの開発・学習にあたっての留意事項等.....	47

5.	実証の手法 .....	48
5.1	ユースケース①:エッジ AI による通信量の低減 .....	48
5.1.1	実証内容の詳細 .....	48
5.1.2	利用技術・データ .....	49
5.1.3	必要性・新規性 .....	50
5.1.4	検証条件 .....	51
5.1.5	KPI/KGI .....	53
5.2	ユースケース②:山間部や海中等の携帯電話網不感地域における通信の確立 .....	55
5.2.1	実証内容の詳細 .....	55
5.2.2	利用技術・データ .....	56
5.2.3	必要性・新規性 .....	57
5.2.4	検証条件 .....	58
5.2.5	開発・評価項目 .....	59
5.2.6	KPI/KGI .....	61
5.3	ユースケース③:多種多様なデバイスに対する通信リソースの最適化 .....	64
5.4	ユースケース④:分散ネットワークにおける新たな AI ソリューションの創出 .....	65
5.5	拡張性に関する検証 .....	66
5.5.1	実証内容の詳細 .....	66
5.5.2	前提条件 .....	67
5.5.3	評価項目 .....	69
5.5.4	KPI/KGI .....	71
5.6	効果検証 .....	73
5.6.1	実証内容の詳細 .....	73
5.6.2	前提条件 .....	77
5.6.3	評価項目 .....	77
5.6.4	KPI/KGI .....	82
6.	実証の結果・考察 .....	87
6.1	全体スケジュール .....	87
6.2	ユースケース①:エッジ AI による通信量の低減 .....	88
6.2.1	実証スケジュール .....	88
6.2.2	開発・評価項目の結果 .....	88
6.2.3	KPI/KGI との比較結果 .....	90
6.2.4	考察 .....	115
6.3	ユースケース②:山間部や海中等の携帯電話網不感地域における通信の確立 ...	117
6.3.1	実証スケジュール .....	117
6.3.2	開発・評価項目の結果 .....	117
6.3.3	KPI/KGI との比較結果 .....	125

6.3.4	考察 .....	140
6.4	ユースケース③:多種多様なデバイスに対する通信リソースの最適化 .....	142
6.5	ユースケース④:分散ネットワークにおける新たな AI ソリューションの創出 .....	143
6.6	拡張性に関する検証.....	144
6.6.1	実証スケジュール .....	144
6.6.2	評価項目の結果 .....	144
6.6.3	KPI/KGI との比較結果.....	151
6.6.4	考察 .....	152
6.7	効果検証 .....	154
6.7.1	実証スケジュール .....	154
6.7.2	評価項目の結果 .....	155
6.7.3	KPI/KGI との比較結果.....	169
6.7.4	考察 .....	172
7.	本実証の総括 .....	174
7.1	本実証の成果・課題.....	174
8.	参考資料 .....	177
8.1	システム構成図・設計書 .....	177
8.1.1	ハウス内センサー .....	178
8.1.2	エッジデバイス、LPWA 通信モジュール.....	179
8.1.3	LTE-LPWA ルータ(中継局).....	182
8.1.4	クラウドサーバ.....	185
8.1.5	IoP クラウド .....	192
8.1.6	生産者(農家) .....	196
8.2	ネットワーク構成図・設計書 .....	197
8.2.1	ネットワーク構成図.....	198
8.2.2	ネットワーク設計 .....	198
8.3	使用機器・ソフトウェア一覧 .....	201
8.3.1	データ取得に関する機器・ソフトウェア(センサー類).....	201
8.3.2	データ通信に関する機器・ソフトウェア.....	202
8.3.3	データ処理に関する機器・ソフトウェア.....	204
8.3.4	クラウドサーバ.....	205
8.3.5	IoP クラウド(実証事業サーバ) .....	205
8.3.6	タイムラプスカメラ .....	205
8.4	取得したデータの例 .....	207
8.4.1	エッジデバイス取得データ(AI 処理前).....	207
8.4.2	エッジデバイス取得データ(AI 処理後).....	209

8.4.3	LPWA のペイロード .....	209
8.4.4	中継局取得データ.....	211
8.4.5	AI の学習(拡張性検証用)取得データの例.....	212
8.5	その他、当該システムを再現する上で参考となる資料 .....	213
8.5.1	LoRa について .....	213
8.5.2	ソーラー自立電源 検討計算書 .....	215
8.6	広報活動実績.....	223
8.7	参考文献 .....	224

LoRa は Semtech Corporation の登録商標である。

## 0. エグゼクティブサマリ

---

### 0.1 実証概要

日本の農業地域・中山間地域では、通信インフラの整備が都市部に比べて遅れており、デジタル技術の恩恵を十分に受けられない「デジタルデバイド」の課題が存在している。このような中、高知県では「IoP(Internet of Plants:IoT や AI を活用した次世代型施設園芸農業)」プロジェクトとして、農業の DX 化に県を挙げて取り組んでおり、このプロジェクトでは、センシング技術やデータ分析を活用し、環境制御型農業の高度化を目指している。しかし、同県の山間部においては、地形的制約から携帯電話が届かないエリアが広く存在しており、IoP の取り組みを全県的に展開する上での大きな課題となっている。このような環境では、LPWA(Low Power Wide Area)通信が有効な選択肢となるが、その通信特性上、伝送できるデータ量が極めて少ないという制約がある。一方で、農家が必要とするデータは、1 分毎の温湿度等の環境データや、作物の生育状況を確認するための画像データなど、データ量が多いものとなっている。この「通信容量の限界」と「必要なデータ量」の間のギャップが、山間部農業のデジタル化における大きな障壁となっている。

この状況において、AI の発展と共に、データの事前処理や圧縮技術も進化している。特に、VAE (Variational Autoencoder) や Diffusion モデルなどの生成 AI の登場により、情報の本質を抽出し、極めて小さなデータ量で元の情報を復元できる可能性が高まっている。さらに、環境センサーデータなどの多次元時系列データについても、AI による特徴抽出と圧縮が可能になりつつある。これにより、従来は困難であった複雑な環境情報の効率的な伝送と分析が視野に入ってきている。

本実証では、こうした背景を踏まえ、農業分野における画像・センサーデータの超効率的圧縮と復元を実現する革新的技術の検証に取り組み、実際に複数の農家様へエッジデバイスを設置して LPWA で伝送することによって、限られた通信環境下でも高度なデジタル農業を実現するための基盤技術を確立し、高知県の IoP プロジェクトを含む農業 DX の取り組みを全県的に、さらには全国の中山間地域へと拡大することを目指す。

## 0.2 KPI/KGI の内容と達成状況

表 0.2-1 KPI/KGI の内容と達成状況

番号	目標値	結果	達成状況
定性評価	1 農業現場での有効性検証 ・高知県 IoP プロジェクト参加農家との連携による実証試験  ・実際の農業意思決定(灌水判断、病害対策など)に有効な情報提供の実現  ・農家からのフィードバックに基づく継続的な改善サイクルの確立	一部達成	<ul style="list-style-type: none"> <li>高知県 IoP プロジェクトに参加されている農家様 10 軒の圃場において実証試験を実施済み。</li> <li>実証システムを使用し、ビニールハウス内の温度湿度等の環境データや画像の伝送が可能となった。農家様での農業意思決定に有効な情報提供が可能となった。</li> <li>実証期間が限られていたため、農家様からのフィードバックに基づく継続的な改善サイクルの確立までは至っていない。</li> </ul>
	2 モデルの拡張性・適応性の確保 ・複数の作物種(葉物野菜、果菜類、果樹等)への適応性検証  ・季節変動や栽培ステージによる変化への対応能力検証  ・異常気象時など特殊条件下での動作安定性評価	一部達成	<ul style="list-style-type: none"> <li>今回、対象の作物は果菜類のみとなったが、作物の画像伝送は可能となった。</li> <li>実証期間が限られていたため、季節変動の検証や異常気象時の動作について検証できていない。実証期間終了後も引き続き動作させ、検証を行う。</li> </ul>
	3 展開・実装容易性の確保 ・非 IT 専門家(一般農家)でも設置・運用可能な操作性  ・既存の農業 IoT システムとの連携容易性検証  ・維持管理の容易さと持続可能な運用モデルの検討	一部達成	<ul style="list-style-type: none"> <li>エッジデバイス装置取付は、農家様自身でも取付可能となっている。ただし、LPWA のアンテナについては専門技術者が行うことが望ましい。</li> <li>今回の実証においては、既存農業システムとの連携は実施できていないが、実現のハードルは高くないと考えられる。</li> <li>維持管理は、高知県内の大学、企業を中心としたコンソーシアムにて実施している。実証後についてもコンソーシアムを母体とした管理・維持体制を構築することで持続的な運用が可能となる。</li> </ul>
	4 拡張性検証 ・他分野用途での有効性 ・技術の拡張性 ・社会実装の容易さ	一部達成	<ul style="list-style-type: none"> <li>今回の実証においては、排水溝監視を使用される方に実際に使用していただく機会はなかったが、有効性があると考えられる。</li> <li>排水溝監視以外へも適応可能と考えられるが、学習用画像を採取してのコードブック作成が必要となる。</li> <li>導入・設置について、農業用と同様に簡便と考えられる。</li> </ul>

番号	目標値	結果	達成状況
----	-----	----	------

定量評価	5	<p>超高圧縮率の達成</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・最先端の AI 技術にて、農業画像データ(256×256ピクセル、RGB)を 200KB 以下から 2KB 以下へ圧縮(100 倍以上)。</li> <li>・環境センサーデータ(温度、湿度、CO<sub>2</sub>濃度×1 分間隔×24 時間)を 100B 以下に圧縮(元データの 1/10 以下)</li> <li>・上記圧縮率を LPWA 通信(400MHz 帯狭帯域 LoRa、伝送速度 0.3-1kbps、出力 1W(実験試験局)、10mW(特定小電力無線局))での実用的な伝送時間内(1 分以内)で実現</li> </ul>	達成	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 画像データ圧縮率 元画像(256×256RGB 画像)196,608 Bytes 従来技術 JPEG 7~14kBytes(Q=50 の場合) 提案方式にて圧縮後 2Bytes</li> <li>・ 環境データ圧縮率 元サイズ 840Bytes 提案方式にて圧縮後 30Bytes</li> <li>・ LPWA 通信での伝送時間 7 秒</li> </ul>
	6	<p>高品質な復元精度の実現</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・復元画像の構造的類似性指標(SSIM):0.85 以上</li> <li>・復元画像の PSNR(ピーク信号雑音比):20dB 以上</li> <li>・病害検出等の重要タスクにおける検出精度低下:5%以内</li> <li>・環境データの復元精度:温度 ±0.5℃、湿度±2%、CO<sub>2</sub>濃度 ±50ppm 以内</li> </ul>	未達成	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 構造的類似性指標(SSIM)0.59</li> <li>・ PSNR(ピーク信号雑音比)19.9B</li> <li>・ 現状、病害虫画像数が少ないこともあり、病害検出に十分な精度は得られていない。</li> <li>・ 温度復元精度 0.05℃、湿度復元精度 1.4%、CO<sub>2</sub>濃度復元精度 4ppm</li> </ul>
	7	<p>エッジデバイスでの実用性確保</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・エッジデバイス側の圧縮処理時間:1 秒以内(一般的なマイコン環境)</li> <li>・電力消費量:バッテリー駆動で 1 カ月以上の連続稼働が可能なレベル</li> <li>・システム全体のコスト:1 ハウスあたり 5 万円以下(量産時)</li> </ul>	未達成	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 圧縮処理時間 約 50m 秒</li> <li>・ エッジデバイス側装置消費電力実測値 5W</li> <li>・ 実証時、1 ハウスあたりコスト 39 万円 量産効果や構成一体化、低スペック装置使用によって想定コスト 21 万円~5.7 万円</li> </ul>
	8	<p>拡張性検証</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・農業分野向けと同様の性能(100 倍以上の圧縮率、SSIM 0.85 以上、エンドツーエンド遅延 10 秒以内、パケットロス率 5%以下)が得られる見込みがあることを示す</li> </ul>	達成	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 元画像 196,608Bytes、圧縮後の画像サイズ 2Bytes、100 倍以上に圧縮は達成できている。</li> <li>・ SSIM 平均 0.947</li> <li>・ 農業用と同様の圧縮率となっているため、農業用として検証した LPWA にて伝送可能であり、農業用の実証結果から、パケットロス率 5%以下を達成可能と予想される。</li> </ul>
	9	<p>効果検証</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・コスト削減効果 システム全体の導入・運用コスト: 従来手法比 80%以上の削減</li> <li>・投資対効果(ROI): 年間 ROI 40%以上を目標値として検証</li> </ul>	達成 できる 見込み	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 従来手法 ローカル 5G の場合数千万円から、提案技術 初年度費用合計 約 43 万円</li> <li>・ 仮に 10%収量増となった場合、回収期間 2~3 年程度、年間 ROI=139.7%</li> </ul>

### 0.3 考察

- ・ 本実証内では、AI によって作物の特徴を抽出し、情報の種を生成することで、画像データの大量

幅な圧縮に成功した。しかし、復元画像の構造的類似性指標 (SSIM) (Structural Similarity Index: 画像の類似度を評価する指標であり、人間の主観評価に近づくよう、輝度・コントラスト・構造について計算し、評価を行う。値が 1 に近づくほど類似度が高くなる)、は 0.59 となり、目標の 0.85 を達成できていない。PSNR (Peak Signal-to-Noise Ratio: 画像の復元品質を測定する一般的な指標であり、元画像と復元後の画像の誤りの比を表した数値となっている。値が高いほど誤りが小さく、元画像との差異が小さいことを示すため、画像の再現性の尺度として使用される) についても 19.9dB と目標の 20dB 以上をわずかに達成できていない。見た目には数値ほど復元画像は劣化していない印象を受けるため、作物の特徴を抽出し、情報の種を生成することはできているが、この情報の種を元に画像へ復元し、数値で表すと品質が高くない結果になっていることが考えられる。詳細な視覚的判断が必要な場合は、圧縮復元に使用するコードブック作成の学習を改善する必要がある。なお、画像の評価手法について、農業用に求められる品質を評価できるふさわしい手法について、今後、検討が必要と考えられる。

- 今回、高価なエッジコンピュータではなく、市販のラズベリーパイを使用しての圧縮を実施した。本実証内ではラズベリーパイを使用しての処理は実現できたが、現状、さらに低スペックで安価なマイコン ESP32 で動作することは確認できていない。ラズベリーパイを使用しての処理時間やメモリー使用量から、ESP32 でも動作は可能と考えられる。
- 今回の実証における、LPWA のペイロードは、157Bytes となった。今回使用した LPWA である 400MHz 帯狭帯域 LoRa の送信 1 回あたりのペイロード上限は 242Bytes となっており、1 回の送信で伝送可能な容量となっている。また、LPWA 通信での伝送時間は 7 秒となっている。中山間地域での伝搬特性に優れた 400MHz 帯狭帯域 LoRa を使用することで、携帯電話網不感地域からの画像や環境データ伝送が可能となった。
- コストについて、実証時は、予想された必要スペックよりも高スペックな装置を使用しており、また、現時点では生産台数が少ないため、量産効果が出ず、割高となっており、ハウスあたり 5 万円以下の目標を達成できていない。今後の量産時に、使用装置のスペック見直しや構成方法の変更によって、目標の金額に近づけることは可能と考えられる。
- 拡張性検証として、排水溝監視に適用できないか検討を実施した。エンコーダー・デコーダーの AI ソフトウェアは農業用と同じものを使用し、圧縮後の画像サイズ: 2Bytes、SSIM 平均: 0.947 となっており、排水溝監視に必要と考えられる画像品質が得られた。
- 効果検証としてインフラコストなどの費用について従来手法との比較を行った。実証時の価格については、量産効果が含まれておらず、高スペックな装置を使用しているため、量産時には低減が可能で、削減効果が期待できると考えられる。

## 0.4 成果

- ユースケース①:エッジ AIによる通信量の低減  
 本実証の技術は、画像に写った作物の特徴を AI にてとらえて、その特徴を伝送するという、これまでの圧縮技術とは異なる方法でデータ容量を小さくしており、大幅に容量を小さくすることに成功している。これにより、容量制限のある LPWA での伝送を可能とし、中山間地域での画像伝送を可能にしている。高知県内に限らず、携帯電話網不感地域に圃場が存在しているが、このような圃場に対して遠隔監視を行う際には、本実証の結果から有効であると判断でき、第一選択肢になりうる技術であると考えられる。今後、全国の携帯電話網不感地域の圃場への導入、活用が期待される。
- ユースケース②:山間部や海中等の携帯電話網不感地域における通信の確立  
 中山間地域において、LPWA による通信が有効であることは、これまでの他の実証等でも明らかになっている。LPWA の中でも 920MHz 帯を使用した LPWA がこれまで多く使用されているが、中山間地域で山に遮られた場合は、通信距離を確保できない問題があった。今回の実証では、中山間地域での伝搬特性に優れた LPWA である、400MHz 帯狭帯域 LoRa を使用することで、中山間地域での通信距離を確保している。伝搬特性が優れている 400MHz 帯であるが、920MHz 帯と比べて伝送できる容量が小さいため、容量の大きい画像を伝送することは困難であった。本実証では、AI によって大幅に容量を小さくすることに成功しており、容量制限のある 400MHz 帯狭帯域 LoRa での伝送を可能とし、中山間地域での画像伝送を可能にしている。これまで通信が困難なため監視ができないなど不利な条件に置かれていた圃場でも監視が可能となり、監視作業時間の削減や、監視による病害異常の早期発見による収量増などが期待される。
- 拡張性検証として、排水溝監視に適用できないか検討を実施した。排水溝監視に必要と考えられる画像品質が得られ、排水溝監視の用途でも適用可能と考えられる。また、排水溝に限らず、他分野への監視用途へも適用可能と考えられるが、すべての分野において本実装の技術が適するのではなく、適・不適の用途があると考えられる。
- 効果検証としてインフラコストなどの費用について従来手法との比較を行い、特にインフラコストの削減が期待できると考えられる。

## 0.5 課題

- ユースケース①: エッジ AI による通信量の低減

復元画像の品質について、目標数値を達成できていない。詳細な視覚的判断が必要な場合は、圧縮復元に使用するコードブック作成の学習を改善する必要がある。適用する用途についても、圧縮復元の原理上、今回実証したようなビニールハウス内作物の定期監視には適するが、病害虫の詳細診断や、リアルタイム画像監視には適さないと考えられる。

本技術で使用した AI によるデータ圧縮については、事前に AI の学習を行って、コードブックを作成することが必要となっている。例えば、学習をしていない作物については、正しい画像に復元されない。社会実装を行っていく際には、コードブックの作成方法を整備し、効率的に短期間で作成できるよう、さらに改良が必要となっている。

また、今回の実証では、作物ごとや農家様ごとにエンコード、デコードに必要なコードブックを準備するのではなく、すべての農家様の画像を読み込んでコードブックを 1 種類のみ作成した。このため、作物が異なる農家様でも対応可能となっている。どの程度の作物の画像を読み込んで、コードブックを作成すればよいのか、今後、普及を進める際に検討が必要と考えられる。地域で作物が統一されている場合は、特定の作物画像のみでコードブックを作成すれば、多くの農家様へ対応が可能で、コードブック作成時間も短くすることができる。対して、農家様ごとに作物が異なる場合は、すべての作物の画像を読み込んでコードブックを作成する方が、作物ごとに作成するよりも作成時間を短くすることができ、装置の管理も行いやすいと考えられる。地域の状況に合わせてコードブックの作成方法を検討する必要がある。

- ユースケース②: 山間部や海中等の携帯電話網不感地域における通信の確立

今回の実証で使用した無線局は、特定小電力無線局タイプ(429MHz 帯 10mW)と、実験試験局タイプ(400MHz 帯 1W)の両方の装置を準備し、特に電波環境が厳しいと考えられた圃場に対しては、出力の大きい実験試験局タイプ(400MHz 帯 1W)を使用して、通信を確保している。現在の制度下では、実験試験局タイプ(400MHz 帯 1W)は、無線局免許と無線従事者免許が必要となっている。一般の農家様が手続きを行っての免許取得は難易度が高く、無線の専門家か、知識を持った企業が行う必要があると考えられ、導入の高いハードルとなっている。本実証の範囲外となるが、ニーズがあることを訴え、例えば、特定小電力無線局の出力が 10mW から 1W へ緩和することを要望するなどして制度が改正されることを期待したい。

- 拡張性検証

今回、排水溝監視について実証を行ったが、本技術で使用した AI によるデータ圧縮については、事前に AI の学習を行って、コードブックを作成することが必要で、学習をしていない状態については、正しい画像に復元されない。河川監視の場合、通常水位の学習用画像を採取することは比較的容易であるが、水位が上昇して氾濫状態の画像を採取することは困難であり、監視の対象によっては、十分な学習用画像が準備できないことが考えられる。このため、例えば画像について、通常時は正常な画像が復元されるが、水位上昇時は、全く別の画像となることも考えられる。水位監視という目的であれば機能的に十分ではないが、水位が上昇したと

いう異常状態を認識するという目的では、この機能でも対応可能と思われる。社会実装を行っていく際には、準備できる学習用画像によって機能が制限されることを認識したうえで導入することが望ましい。

- 効果検証

本実証での AI によるデータ圧縮については、LPWA による伝送に限らず、LTE など既存の通信技術を使用して伝送する際にも有効と考えられ、月々の通信料を安価に抑える際にも使用できると考えられる。ただし、本技術で使用した AI によるデータ圧縮については、事前に AI の学習を行って、コードブックを作成することが必要となっており、準備できる学習用画像によって機能が制限されることを認識したうえで導入することが望ましい。

# 1. 実証の目的及び内容等

---

## 1.1 実証の背景・取り組むべき課題

日本の農業地域・中山間地域では、通信インフラの整備が都市部に比べて遅れており、デジタル技術の恩恵を十分に受けられない「デジタルデバイド」の課題が存在している。このような中、高知県では「IoP(Internet of Plants:IoT や AI を活用した次世代型施設園芸農業)」プロジェクトとして、農業の DX 化に県を挙げて取り組んでおり、このプロジェクトでは、センシング技術やデータ分析を活用し、環境制御型農業の高度化を目指している。

しかし、同県の山間部においては、地形的制約から携帯電話が届かないエリアが広く存在しており、IoP の取り組みを全県的に展開する上での大きな課題となっている。このような環境では、LPWA (Low Power Wide Area) 通信が有効な選択肢となるが、その通信特性上、伝送できるデータ量が極めて少ないという制約がある。対して、農家が必要とするデータは、1 分毎の温湿度等の環境データや、作物の生育状況を確認するための画像データなど、データ量が多いものとなっている。この「通信容量の限界」と「必要なデータ量」の間のギャップが、山間部農業のデジタル化における大きな障壁となっている。

一方、AI の発展と共に、データの事前処理や圧縮技術も進化している。特に、VAE (Variational Autoencoder) や Diffusion モデルなどの生成 AI の登場により、情報の本質を抽出し、極めて小さなデータ量で元の情報を復元できる可能性が高まっている。こうした技術を通信分野に応用することで、既存の通信インフラでも高度な DX サービスを実現できる可能性がある。さらに、環境センサーデータなどの多次元時系列データについても、AI による特徴抽出と圧縮が可能になりつつある。これにより、従来は困難であった複雑な環境情報の効率的な伝送と分析が視野に入ってきている。

これら、エッジ AI の活用により通信負荷を軽減する技術や、限られた通信資源を効率的に活用する技術を適用することによって、山間部農業のデジタル化における大きな障壁を解消し、地域社会の DX を推進できる可能性が高まっている。

## 1.2 実証の目的

本実証の目的は、通信環境が限られた山間部の農業地域において、AI 技術を活用することで画像や環境データの超効率的な圧縮・伝送・復元を実現し、高知県の IoP プロジェクトに代表される高度なデジタル農業の恩恵を全ての農家に届けられるよう、社会実装を行うためのソリューション検証を行うことである。

具体的には、AI を用いた革新的な圧縮・復元技術について開発・実証を行う。本実証では、以下の 4 つの目的に重点を置いて取り組む。

### 1. 超高圧縮率の実現と検証

従来の画像圧縮技術(圧縮率 10 倍程度)では達成できなかった超高圧縮率(100 倍以上)を実現し、LPWA などの低速・小容量通信でも有効に機能するシステムを構築する。これにより、携帯電話が届かない山間部においても、画像や環境データのリアルタイム伝送を可能にする。

LPWAとしては、中山間地域の不感地域解消に適した400MHz帯狭帯域LoRaを使用する。

## 2. 農業データ特性に適した専用モデルの開発

農作物の画像や農業環境データの特徴(色域の限定性、時間的周期性、空間的規則性など)に特化したモデルの開発を行う。これにより、同じデータ量でもより高品質な復元を実現し、農業現場での実用性を高める。

## 3. エッジAIとサーバーAIの協調処理の最適化

限られた計算リソースしか持たないエッジデバイスと高性能なサーバーの間で、AI処理を最適に分担するアーキテクチャについて設計・検証を行う。特に、エネルギー効率と処理速度のバランスを考慮し、バッテリー駆動環境でも長期運用可能なシステムの実現を目指す。

## 4. 実用性検証と横展開可能性の評価

高知県のIoPプロジェクトとの連携により、実際の農業現場での有用性を検証する。特に、病害虫の早期発見や生育状況の把握など、農業経営の意思決定に必要な情報が適切に伝達できるか評価を行う。農家への情報伝達の手段として、すでに運用が行われているSAWACHI:高知県が生産者に向けて開発した営農支援IoPクラウドを使用する。さらに、開発したシステムが他の中山間地域や他産業に横展開可能かについても検討を行う。

# 1.3 最終目標・構想イメージ

本実証の最終目標は、通信インフラの制約に縛られることなく、どのような地域であっても高度なデジタル農業を実現できる技術基盤を確立して、高知県のIoPプロジェクトを含む農業DXの取り組みを全県的に、さらには全国の中山間地域へと拡大することである。具体的には以下の実現を目指す。

## 1. 「AIシード農業モニタリング技術」の確立

LPWAなどの低速・小容量通信でも画像や環境データの伝送を可能とするために、農業画像・センサーデータを「種(シード)」の大きさまで圧縮し、必要時に「成長」させて復元するシステムを実用レベルで確立する。このシステムでは、従来技術と比べて大幅な圧縮率と人間の目で判別可能な復元品質を両立させることを目指す。これにより、既存通信インフラに制約がある場所においても、農業DXの取り組みを進めるにあたって必要な情報を伝送できる通信手段を確保することが可能となる。

## 2. 自律型農業DXプラットフォームの実現

開発した技術を核として、通信環境に左右されない自律型の農業DXプラットフォームを実現する。このプラットフォームでは、断続的な通信環境下でも必要な情報を必要なタイミングで農家に届け、スマート農業を実現する。

- エッジ側での異常検知とアラート通知(即時性が必要な情報の優先送信)
- オフライン時のデータ蓄積と通信復旧時の効率的同期

- クラウド連携による高度分析(収量予測、最適環境制御など)
- 他の農業システムとの連携 API の標準化

### 3. 持続可能な運用モデルの確立

技術的な実現だけでなく、開発したシステムが経済的にも持続可能に運用できるビジネスモデルを確立する。特に、初期投資や運用コストを抑え、中小規模の農家でも導入しやすい仕組みを構築する。

- 安価なハードウェア(既存スマートフォンやタブレットの活用)
- サブスクリプションモデルによる低コスト運用
- 地域コミュニティでの共同導入・運用モデル
- データ価値の可視化と収益化支援

## 1.4 本実証の位置づけ・目標

### ① 本実証の位置付け

本実証は、1.3 最終目標・構想イメージに上げた中で、特に、1.「AI シード農業モニタリング技術」の確立を目指す。

通信インフラの制約に縛られることなく、どのような地域であっても高度なデジタル農業を実現できる技術基盤を確立して、高知県の IoP プロジェクトを含む農業 DX の取り組みを全県的に、さらには全国の中山間地域へと拡大しつつ、さらに他分野への横展開を行うために必要な、技術的核心部分の開発・検証となる。これは、「通信インフラの制約」と「農業 DX の高度化ニーズ」の間に存在するギャップを埋める技術基盤の確立に向けた重要なステップである。

今回の実証では、AI を用いた圧縮・復元技術と、LPWA として 400MHz 帯狭帯域 LoRa を採用することで課題解決を目指す。

画像圧縮技術について、JPEG など従来技術もあるが、圧縮率が十分ではなく、通信容量が小さい LPWA では伝送できない現状となっている。このため、元画像を間引くなど従来の画像圧縮技術ではなく、作物の特徴を捉えて、小容量の「情報の種」を生成することによって超高圧縮率を実現する圧縮・復元技術を使用して実証を行う。提案技術である圧縮・復元技術を、今回のような農業の作物へ初めて適用することについて、作物は日々の変化が小さいため、特長を捉えやすく、変化の激しい他分野の画像よりも適していると考えられる。

圧縮した画像や環境データを伝送するために、今回の実証では LPWA を使用する。森林率日本一の高知県内では、携帯電話網不感地域に圃場が位置することがあり、LTE などの既存の無線系通信インフラが使用できない場合がある。また、新たに光ファイバーなど有線系の通信インフラを整備する方法もあるが、費用的に各農家個人が負担可能な金額ではないため、現実的ではない。近年、スターリンクなど衛星系の通信インフラが登場しており、山間部での使用も可能だが、月々の通信料は、各農家個人が負担するには大きい金額である。

これに対して、LPWA を使用して各農家との通信を確保する方法は、初期段階で無線機を購入して設置する必要はあるものの、それ以降の通信料支払いは不要となる大きなメリットがある。また、携帯電話網不感地域でも、LPWA 無線機を自ら設置することで、通信が可能となる。LPWA を使用した取り組みはこれまでも実施されているが、LPWA では通信容量に制限があるため、画像の伝送には相当の時間が必要となり、事実上困難となっている。また、LPWA についても、現在多く用いられている 920MHz 帯特定小電力の LPWA では、山間部の到達距離が短く、見通し外の離れた圃場との通信は困難となっている。

今回の実証では、LPWA について、中山間地域の不感地域解消を主目的として、中山間地域の伝搬特性が優れている 400MHz 帯狭帯域 LoRa を使用する。400MHz 帯狭帯域 LoRa は、920MHz 帯に比べて周波数が低いため、山の反対側に回り込む特性があり、さらに、受信感度がよいため、中山間地域でも離れた場所との通信を可能となる。ただし、400MHz 帯狭帯域 LoRa は、920MHz 帯特定小電力の LPWA よりもさらに伝送速度が遅いため、従来技術では画像の伝送は、実質、不可能であった。今回、AI を使用した圧縮・復元技術を使用して、超高圧縮率で小容量化すれば、400MHz 帯狭帯域 LoRa でも画像伝送が可能となる。

このように、今回の実証で採用した圧縮・復元技術と、400MHz 帯狭帯域 LoRa の組み合わせは、課題解決に最も適していると考えられる。

## ② 本実証の目標

本実証では、以下の定量的・定性的目標を設定し、その達成を目指す。

### 【定量的目標】

#### 1. 超高圧縮率の達成

- ・ 最先端の AI 技術を使用し、農業画像データ(256×256 ピクセル、RGB)を 200KB 以下から 2KB 以下へ圧縮(100 倍以上)
- ・ 環境センサーデータ(温度、湿度、CO<sub>2</sub>濃度×1 分間隔×24 時間)を 100B 以下に圧縮(元データの 1/10 以下)
- ・ 上記圧縮率を LPWA 通信(400MHz 帯狭帯域 LoRa、伝送速度 0.3-1kbps、出力 1W(実験試験局)、10mW(特定小電力無線局))での実用的な伝送時間内(1 分以内)で実現

#### 2. 高品質な復元精度の実現

- ・ 復元画像の構造的類似性指標(SSIM):0.85 以上(SSIM は、復元画像の構造的類似性を示す指標であり、1 に近いほど、元画像と復元画像が類似している)
- ・ ピーク信号対雑音比(PSNR):20dB 以上(PSNR も復元画像の品質を示す指標であり、数値が大きい程、元画像との差がないことを示す)
- ・ 病害検出等の重要タスクにおける検出精度低下:5%以内
- ・ 環境データの復元精度:温度±0.5℃、湿度±2%、CO<sub>2</sub>濃度±50ppm 以内

#### 3. エッジデバイスでの実用性確保

- ・ エッジデバイス側の圧縮処理時間:1 秒以内(一般的なマイコン環境)
- ・ 電力消費量:バッテリー駆動で 1 カ月以上の連続稼働が可能なレベル
- ・ システム全体のコスト:1 ハウスあたり 5 万円以下(量産時)

## 【定性的目標】

### 1.農業現場での有効性検証

- ・ 高知県 IoP プロジェクト参加農家との連携による実証試験
- ・ 実際の農業意思決定(灌水判断、病害対策など)に有効な情報提供の実現
- ・ 農家からのフィードバックに基づく継続的な改善サイクルの確立

### 2.モデルの拡張性・適応性の確保

- ・ 複数の作物種(葉物野菜、果菜類、果樹等)への適応性検証
- ・ 季節変動や栽培ステージによる変化への対応能力検証
- ・ 異常気象時など特殊条件下での動作安定性評価

### 3.展開・実装容易性の確保

- ・ 非 IT 専門家(一般農家)でも設置・運用可能な操作性
- ・ 既存の農業 IoT システムとの連携容易性検証
- ・ 維持管理の容易さと持続可能な運用モデルの検討

## ③ 期待される導入促進効果と知見

本実証の成果により、以下のような導入促進効果と具体的知見が得られると期待される。

### 1.通信制約下でのデータ活用に関する導入指針

- ・ LPWA 等の低速通信における最適なデータ圧縮率と伝送頻度の目安
- ・ 農業用途に必要な十分な画像品質と圧縮率のバランスポイント
- ・ エッジ AI とクラウド AI の最適な役割分担の指針

### 2.コスト削減効果の定量化

- ・ 従来の高速通信インフラ(ローカル 5G 等)と比較した初期投資削減率:80%以上
- ・ 運用コスト(通信費、電力費等)の削減率:80%以上
- ・ 人的巡回コストの削減による経済効果:年間人件費の 30%以上

### 3.農業生産性向上効果の定量化

- ・ 環境データに基づく最適環境制御による収量増:10%以上
- ・ 意思決定支援による労働生産性向上:20%以上

これらの目標と知見は、本実証後の社会実装段階での導入判断材料として、ユーザーとなる農家や地方自治体、通信事業者、ソリューション提供事業者に対して、明確な指針を提供するものである。特に「どの程度の通信環境であれば、どのレベルのサービスが実現可能か」という具体的な目安を示すことで、他地域への展開促進を目指す。

## 1.5 社会実装に向けたロードマップ・取り組みの発展性

社会実装に向けては、今回の実証を実施するコンソーシアムを中心として実施を行う。効率的に普及を進めるために、すでに農業用途で経験がある企業のノウハウを活用する方法が考えられる。今回の実証において運営会議委員として参加いただいております、農業用装置の分野において高いシェアを有し、多くの顧客と販売網を有しているネボン株式会社(以下ネボン社)と、農業向け IoT の分野で多くの実績を持つベジタリア株式会社(以下 vegetalia 社)の両社の協力を得た場合について、予想される段階的なロードマップを以下に示す。

### 【短期】実証完了後1年以内(2026年度):初期実装フェーズ

#### ・技術の完成度向上と初期導入

- ・ 実証結果に基づく技術改良と製品化(エッジデバイス、クラウドサービス)
- ・ ネボン社の「ハウスカオンキ」導入済み顧客(国内シェア70%)への優先的アプローチ
- ・ 高知県 IoP 参加農家50件への先行導入とデータ収集体制構築
- ・ vegetalia 社との連携による環境データ活用・分析モデルの高度化

#### ・ビジネスモデルの確立

- ・ ネボン社のハードウェア販売網を活用したエッジデバイスリース方式の確立
- ・ 月額サブスクリプションモデルのパッケージ化(データ量や分析機能に応じた段階的料金体系)
- ・ vegetalia 社のクラウドプラットフォームとの連携による付加価値サービスの開発
- ・ JA 等との連携による共同購入・運用モデルの構築

#### ・推進体制の整備

- ・ 実証コンソーシアムを母体とした事業会社の設立
- ・ ネボン社と vegetalia 社による合弁会社または業務提携体制の構築
- ・ 地元 IT 企業との連携による保守・サポート体制の確立
- ・ 地域の農業指導者向けデータ活用研修プログラムの実施

### 【中期】2~3年後(2027~2028年度):展開拡大フェーズ

#### ・全国展開の推進

- ・ ネボン社の全国販売網を活用した主要農業地域への展開(累計導入農家500件以上)
- ・ 露地栽培、果樹栽培など様々な作型への対応拡大
- ・ vegetalia 社のデータ分析プラットフォームを活用した地域特性モデルの開発
- ・ 業資材・機器メーカーとの連携によるエコシステムの拡大

#### ・機能拡張とデータ連携強化

- ・ vegetalia 社の生育予測 AI との統合による高度な営農支援機能の追加
- ・ 収穫ロボット連携など自動化技術との接続インターフェース開発
- ・ ネボン社の環境制御機器との自動連携による最適環境制御の実現
- ・ 地域の気象データ、市場データ等との連携による付加価値向上

#### ・横展開の開始

- ・ ネボン社の海外販売チャンネルを活用したアジア市場への展開

- ・ vegetalia 社の実績を活かした他産業(林業、水産業など)向けソリューション開発
- ・ 防災・減災分野への応用展開(災害時の情報収集・共有システム)
- ・ 教育機関や研究機関との連携によるオープンイノベーションの推進

【長期】4～5 年後(2029～2030 年度):成熟・多様化フェーズ

・全国展開と標準化

- ・ 全国の中山間地農業地域への展開完了(5,000 件以上の導入)
- ・ ネボン社製品との一体化による標準装備化の実現
- ・ 通信制約下での AI データ圧縮・復元技術の業界標準化推進
- ・ vegetalia 社のグローバルネットワークを活用した国際展開

・多分野連携による高度化

- ・ ネボン社の環境制御技術と vegetalia 社のデータ分析の統合による完全自律型農業の実現
- ・ 精密農業技術との統合(可変施肥、自動収穫等)
- ・ カーボンクレジット等の環境価値創出との連携
- ・ 流通・小売との連携による生産-消費の一气通貫システム構築

・技術進化と新領域開発

- ・ 次世代通信技術(Beyond 5G/6G 等)との統合による機能拡張
- ・ より高度な生成 AI 技術の導入による圧縮率・品質のさらなる向上
- ・ ネボン社と vegetalia 社の技術資産を活用した新たな農業イノベーション創出
- ・ 医療、教育、交通等の地域社会インフラ全般への展開

本実証で開発する技術の発展性は、ネボン社と vegetalia 社の参画により、さらに高まることが期待される。

・技術的発展性

- ・ ネボン社の環境制御技術と組み合わせることで、環境データの効率的伝送と制御の最適化が実現
- ・ vegetalia 社の AI 解析プラットフォームとの統合により、データ分析の精度と価値が飛躍的に向上
- ・ 両社の技術リソースを活用した継続的な改良体制の確立

・事業的発展性

- ・ ネボン社の既存顧客基盤(国内シェア 70%)を活用した迅速な市場展開
- ・ vegetalia 社のデータ活用ノウハウによる農業経営支援サービスの高付加価値化
- ・ 初期投資を抑えたサブスクリプションモデルによる持続的な収益基盤の確保
- ・ 両社の販売チャネルを活用した効率的なマーケティング・販売体制の構築

・社会的発展性

- ・ 若手農業者のデジタル技術活用による新たな農業スタイル確立の支援
- ・ ネボン社の信頼性と vegetalia 社の先進性を組み合わせた普及促進効果

- ・ 中山間地域の産業活性化と持続可能な地域社会の実現
- ・ 国際的な食料安全保障への貢献

本実証の成果は単なる技術開発に留まらず、ネポン社と vegetalia 社という強力なパートナーの参画により、実用性と市場浸透力を兼ね備えた社会実装へと加速できる可能性がある。両社の強みを活かした展開により、中山間地域の農業を中心とした地域産業全体の活性化と持続可能性向上に大きく貢献することが期待される。

## 2. 業務実施体制

### 2.1 実証機関

表 2.1-1 実証機関

代表機関	法人名	電気興業株式会社
	代表者氏名	代表取締役社長 近藤 忠登史
	所在地	〒135-0061 東京都江東区豊洲五丁目 5 番 13 号 豊洲アーバンポイント 8 階
	業務の概要	代表機関業務 契約管理、工程管理、成果取りまとめ等 LPWA エリア設計、エリア測定・評価 全体実証作業（ユースケース①②）
構成員	法人名	国立大学法人高知大学
	代表者氏名	IoP 共創センター長 北野 雅治
	所在地	〒783-0093 高知県南国市物部乙 200
	業務の概要	実証統括、検証アルゴリズム開発 全体実証作業（ユースケース①②）
	構成員とする理由	AI 技術を活用した画像や環境データの超効率的な 圧縮・復元の実現のためには、同機関における研究 成果が必須であるため。
構成員	法人名	株式会社高知 IoP プラス
	代表者氏名	代表取締役社長 飯田 哲也
	所在地	〒783-0093 高知県南国市物部乙 200
	業務の概要	サーバー側 AI ソフトウェア開発 (ユースケース①)
	構成員とする理由	本実証にあたって、同社が有する AI 技術が必須で あるため。
構成員	法人名	株式会社シティネット
	代表者氏名	代表取締役 西内 一馬
	所在地	高知県南国市蛸が丘一丁目 1 番地 1
	業務の概要	実証用機器セットアップ、設置、全体実証作業 (ユースケース②)
	構成員とする理由	高知県における農業分野の装置開発や設置等に 従事しており、蓄積した実績・ノウハウが本実証にお いて必須であるため。

## 2.2 実施体制図

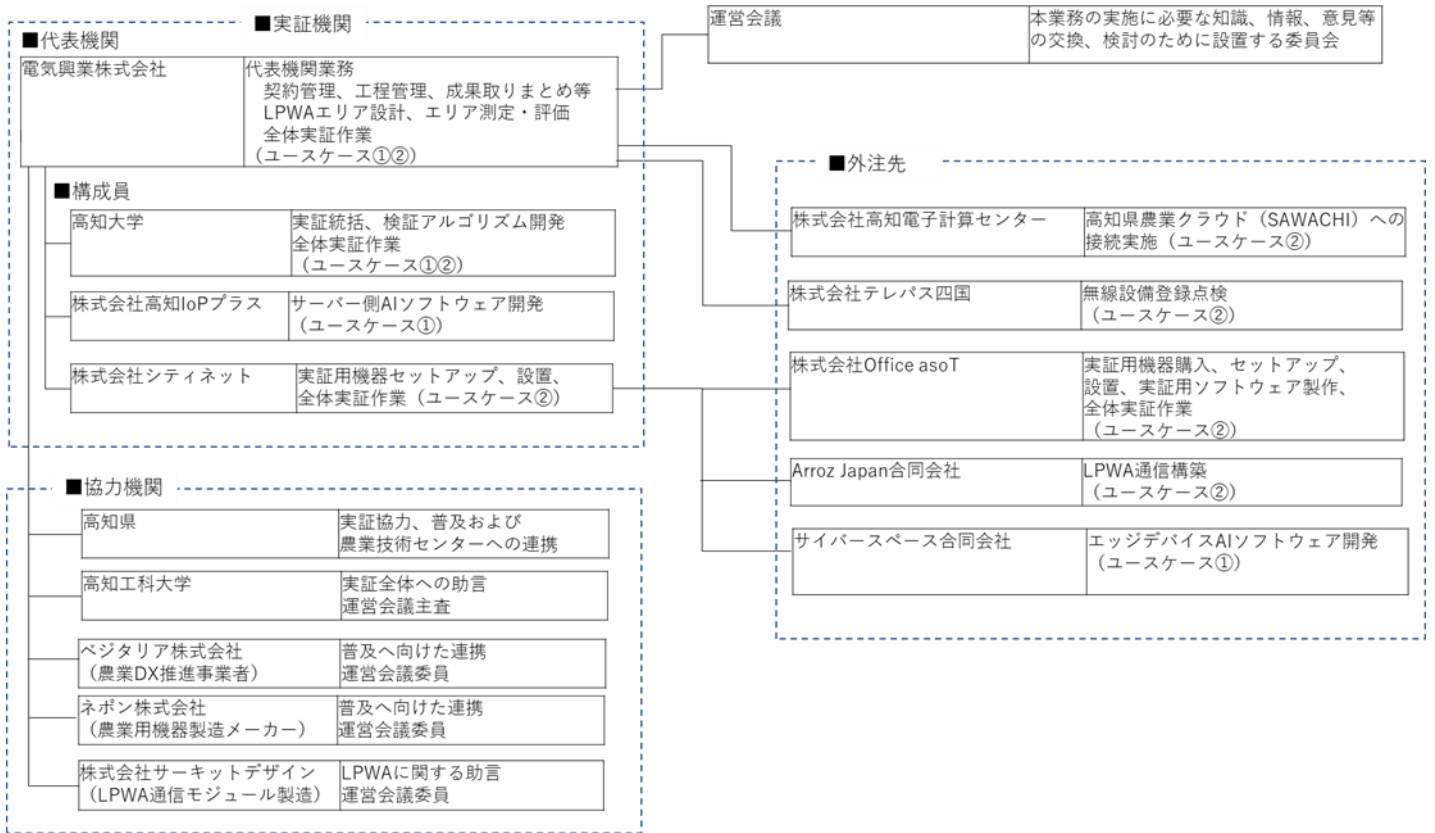


図 2.2-1 実施体制図

なお、本実証においては、本業務の実施に必要な知識、情報、意見等の交換や検討のために運営会議を設置し、各分野の専門家の方から協力や助言を得ながら開発・検証を行う。

## 3. 通信システム及び AI システムの構築

---

### 3.1 通信システム及び AI システムの全体像

本実証では、通信環境が限られた山間部の農業施設を想定し、以下のような通信システム構成を採用する(図 3.1-1)。

1. エッジデバイス側(農業施設内に設置)
2. 中継局(地域の高所等に設置 LTE-LPWA ルーター)
3. クラウドサーバー側

通信フロー

1. エッジデバイスで収集した画像・環境データを圧縮処理
2. LPWA で中継局へ送信(数 KB 程度のデータ)
3. ゲートウェイ(中継局)にて LPWA で受信したデータを LTE 回線経由でクラウドサーバーへ転送
4. クラウドサーバーでデータを復元・分析
5. 分析結果を Web ダッシュボードや通知機能で農家に提供(SAWACHI 高知県が生産者に向けて開発した営農支援 IoP クラウドを使用する)

今回の実証では、山間部での伝搬特性が優れた 400MHz 帯狭帯域 LoRa を LPWA として使用する。一般的に電波は、周波数が低くなると山などの障害物に回り込みやすくなり、山間部での通信に有利とされる。令和 5 年度に四国総合通信局にて実施された「中山間地域に有効な 400MHz 帯狭帯域 LoRa 通信システムの導入に係る調査検討」<sup>1</sup>においても 400MHz 帯狭帯域 LoRa は 920MHz 帯と比べ、山間部での伝搬特性が優れている伝搬調査結果が得られており、400MHz 帯狭帯域 LoRa を使用することで不感地域解消を図る。

---

<sup>1</sup> [https://www.soumu.go.jp/main\\_content/000942362.pdf](https://www.soumu.go.jp/main_content/000942362.pdf)

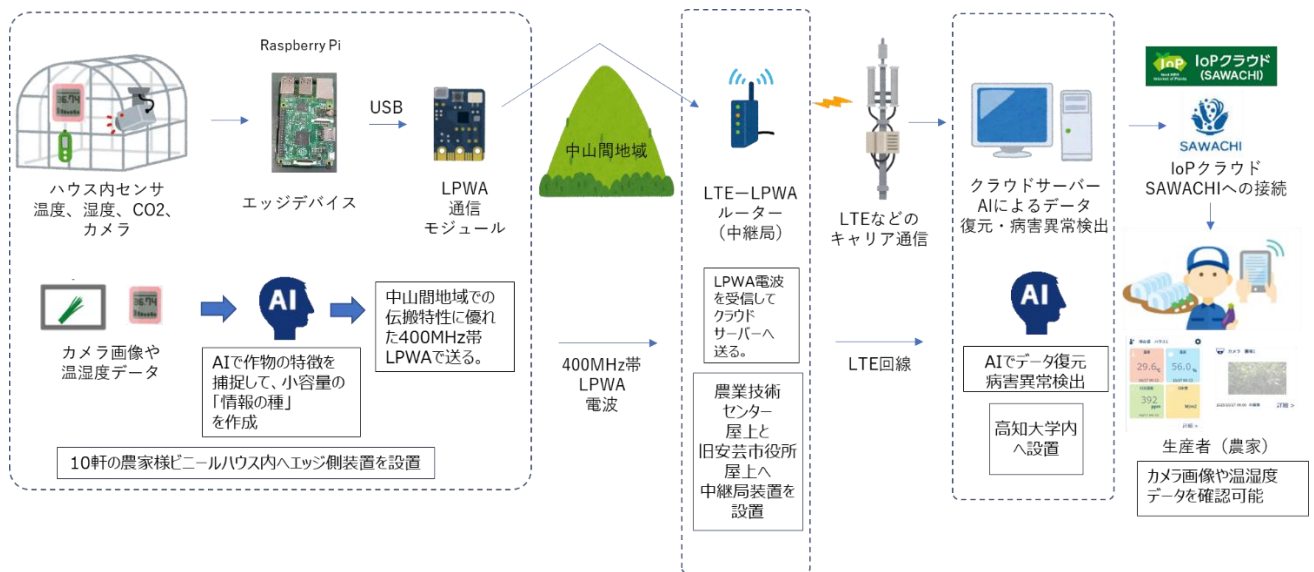


図 3.1-1 システム構成概略図

## 3.2 通信システム及び AI システムの設置場所

本実証では、高知県の南国市と安芸市に位置する農業施設(ビニールハウス)を実証フィールドとし、通信が脆弱な環境での AI データ圧縮・復元技術の有効性について検証を行う。

設置場所 (図 3.2-1、図 3.2-2 参照)

### 1. エッジデバイス側装置設置場所

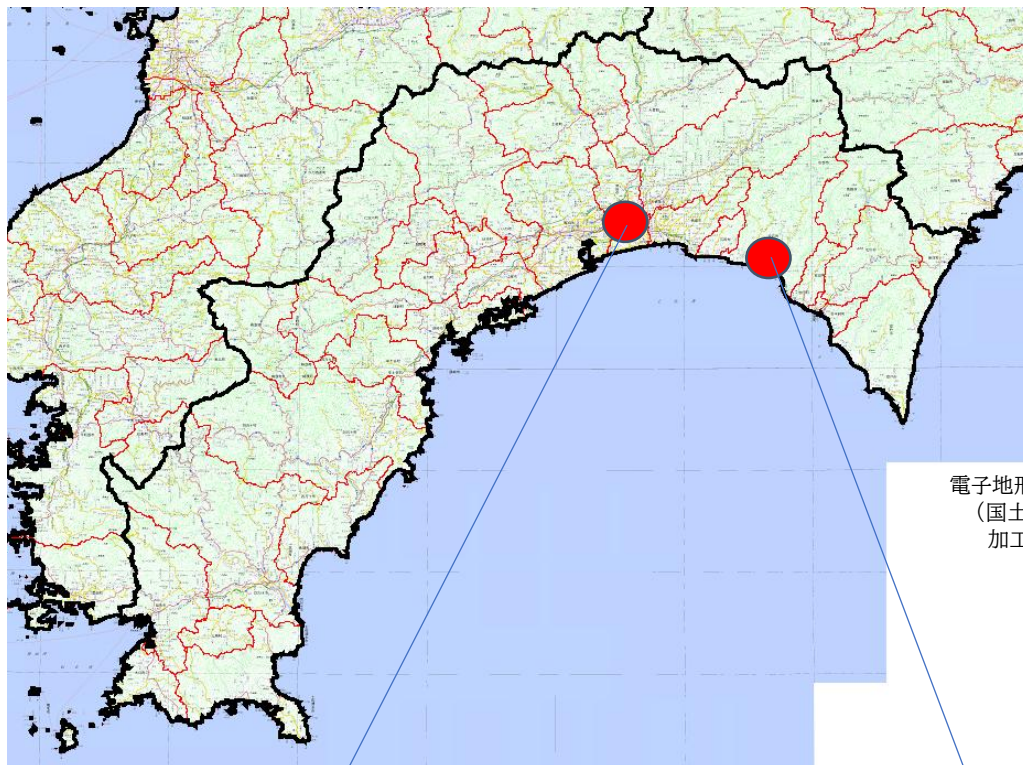
- ・ 高知県南国市ビニールハウス 6 棟、高知県安芸市ビニールハウス 4 棟
- ・ 設置地点:携帯電話(4G/LTE)の電波が不安定または届かないエリアを含む
- ・ 栽培作物:シトウ、ナス、キュウリ、パプリカ、メロン

### 2. 中継局(LTE-LPWA ルーター)設置場所

- ・ 設置した中継局が対象のビニールハウスをカバーするよう建物屋上を借用して設置 (高知県南国市:高知県農業技術センター、高知県安芸市:旧安芸市役所)
- ・ 電源・通信:商用電源と 4G/LTE 回線が安定して利用可能な地点

### 3. サーバー設備設置場所

- ・ 高知県高知市内 高知 IoP プラスのデータセンター内へ設置



電子地形図 200000  
(国土地理院)を  
加工して作成

高知県南国市

高知県安芸市

**装置設置状況**

10件の農家様の御協力を得て、ビニールハウスに機器を設置済み。  
高知県農業技術センター様、安芸市役所様の御協力を得て中継局を設置済み。

高知県  
南国市  
高知県農業  
技術センター  
周辺



高知県  
安芸市  
旧安芸市役所  
周辺

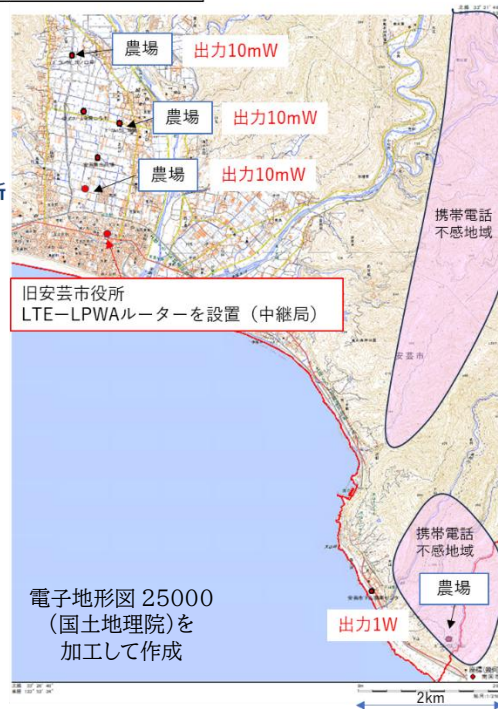
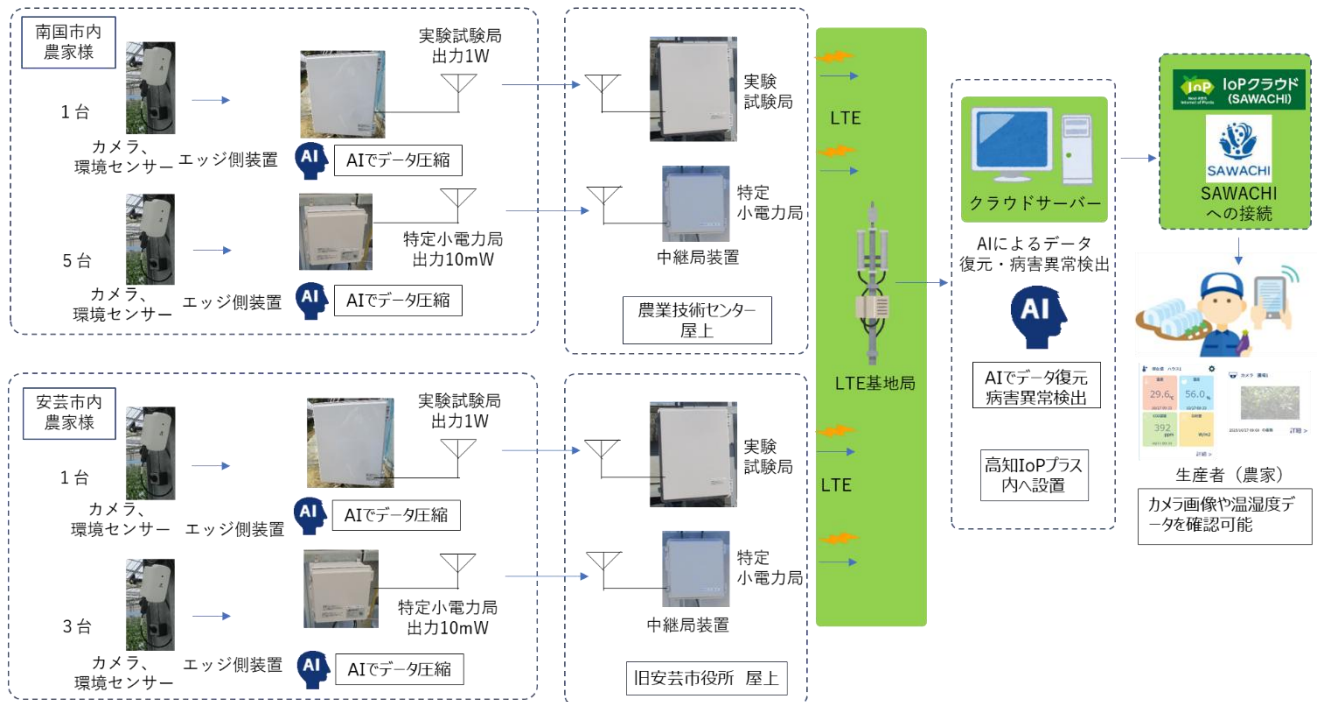


図 3.2-1 エッジデバイス側装置、LTE-LPWA ルーター(中継局) 設置場所

## 装置設置状況



■ : 今回の実証において、既設の装置・システムを利用

(LTE 回線、クラウドサーバー(ハードウェアのみ)、IoP クラウド SAWACHI)

図 3.2-2 装置設置状況

本実証で構築した通信システムの概要を図 3.2-3 に示す。

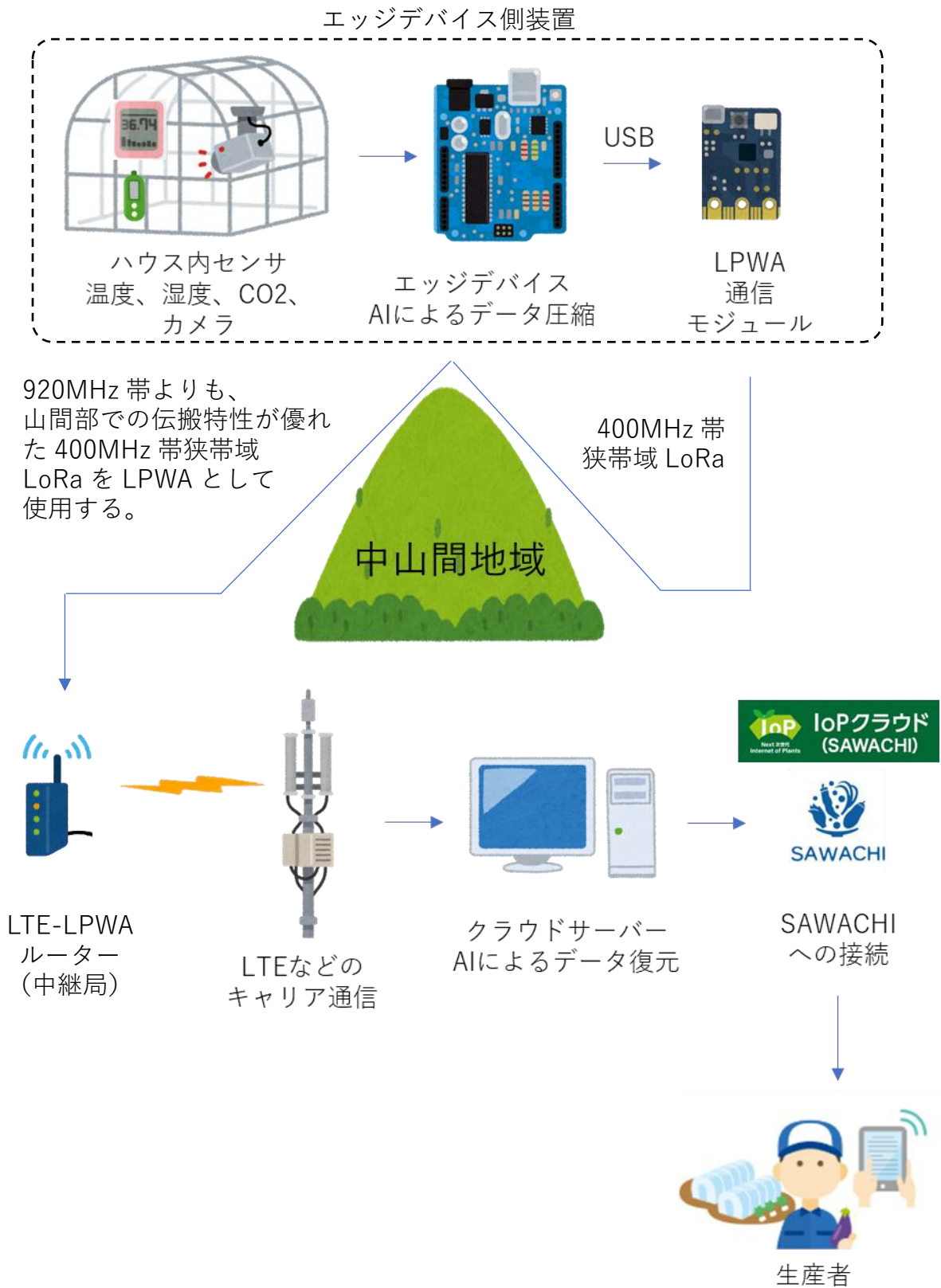


図 3.2-3 通信システム概要

エッジデバイス側装置の概要を図 3.2-4 に示す。

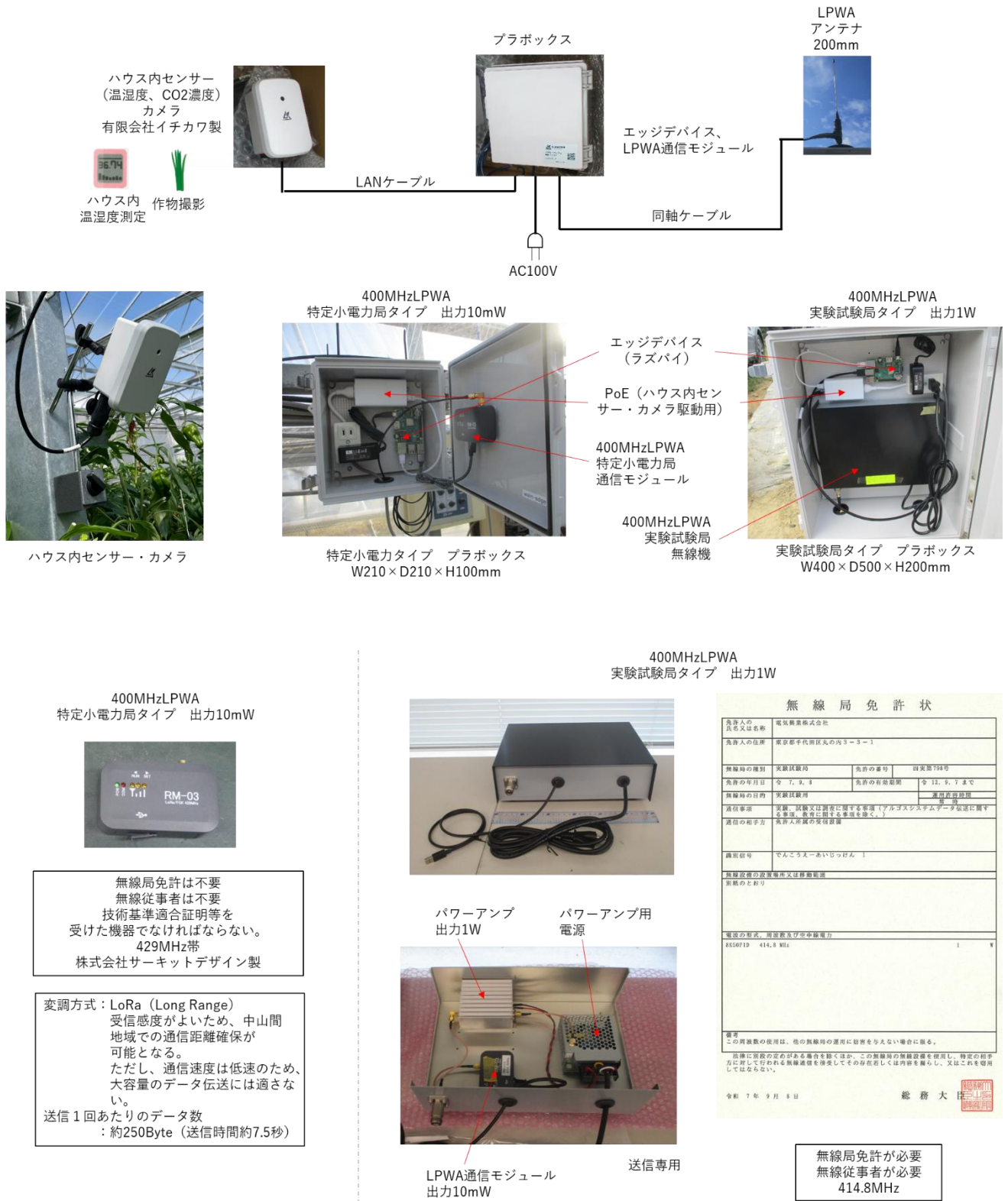


図 3.2-4 エッジデバイス側装置の概要

中継局(LTE-LPWA ルーター)の概要を図 3.2-5 に示す。

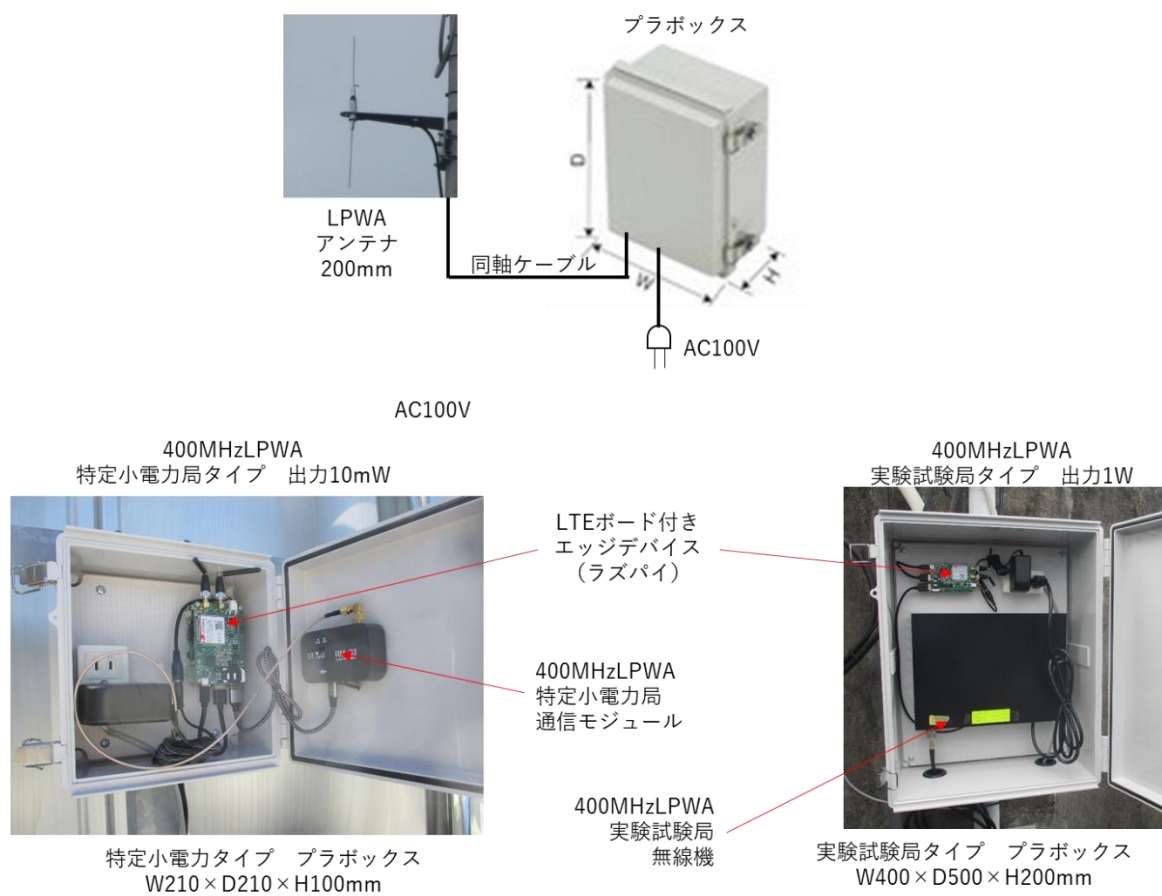


図 3.2-5 中継局(LTE-LPWA ルーター)の概要

エッジデバイス側装置と、中継局(LTE-LPWA ルーター)の両方ともに、特定小電力無線局タイプ(429MHz 帯 10mW)と、実験試験局タイプ(400MHz 帯 1W)の2種類を準備し、希望する通信エリアに合わせて設置を行った。双方の特徴および仕様を表 3.2-1 に示す。

表 3.2-1 特定小電力無線局タイプ(429MHz 帯 10mW)と、  
実験試験局タイプ(400MHz 帯 1W)の特徴と仕様

	出力	電波の到達 距離	免許	電波利用料
特定小電力無線局タイプ (429MHz 帯 10mW)	10mW (0.01W)	短い	不要 (工事設計認証 取得機器を使用)	不要
実験試験局タイプ (400MHz 帯 1W)	1W	長い	無線局免許、無線 従事者免許が必要	年 400 円/局

	周波数	占有周波数 帯幅	空中線電力	変調方式	LoRa 拡散係数
特定小電力無線局タイプ (429MHz 帯 10mW)	429.5MHz	8.5kHz	10mW	LoRa	SF=7
実験試験局タイプ (400MHz 帯 1W)	414.8MHz	8.5kHz	1W	LoRa	SF=7

復元後の画像・環境データを、IoP クラウド SAWACHI へアクセスすることによって確認できるように、連携ソフトウェアの作成を実施した。SAWACHI 画面表示例を図 3.2-6 に示す。

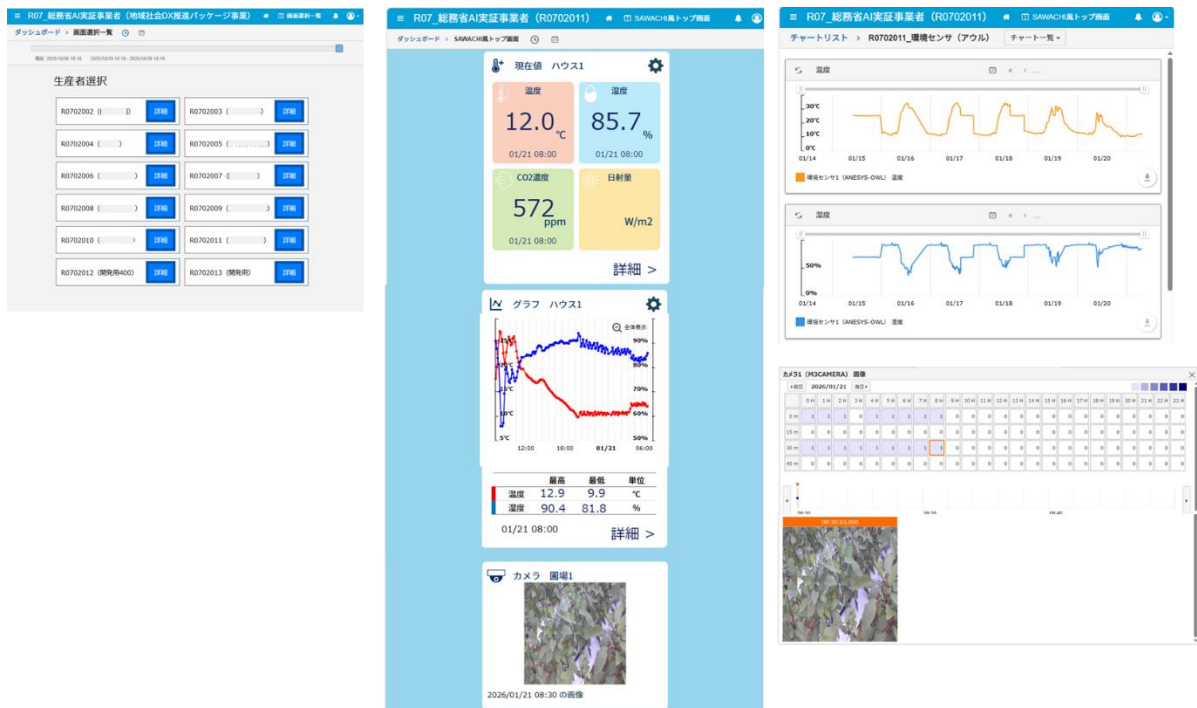


図 3.2-6 SAWACHI 画面表示例

### 3.3 通信システム及び AI システムの構築・運用に要した費用

本実証で構築した通信システム及び AI システムの構築・運用に要した費用を、表 3.3-1 に示す。

表 3.3-1 本実証で構築した通信システム及び AI システムの構築・運用に要した費用

中継局の設置 (イニシャル コスト)	設備・機器費	中継局 400MHz/2 局	35×2=70 万円
		中継局 429MHz/2 局	30×2=60 万円
	ソフトウェア製作費		80 万円
	設置工事費		0 万円 設置に係る人件費等は別途必要
エッジデバイ スの製作・設 置 (イニシャル コスト)	設備・機器費	400MHz 無線機/2 局	17×2=34 万円
		カメラ・センサー/2 台	24×2=48 万円
		ラズベリーパイ/2 台	1×2=2 万円
	設備・機器費	429MHz 無線機/10 局	12×10=120 万円
		カメラ・センサー/10 台	24×10=240 万円
		ラズベリーパイ/10 台	1×10=10 万円
	ソフトウェア製作費		400 万円
	設置工事費	カメラ・センサー	2×12=24 万円
設置工事費	無線機	0 万円 設置に係る人件費等は別途必要	
運用	通信費	中継局/4 局・5 か月	8 万円
	電気代	中継局/4 局・5 か月	0.6 万円
		エッジデバイス/12 局・5 か月	1.2 万円
AI システムの 運用	クラウド(デコード用、病 害検出用)利用料	5 か月	0 万円
	IoP クラウド SAWACHI(農家様へ の情報提供用)利用料	5 カ月	0 万円
合計			1097.8 万円

※記載の金額は実証中における参考価格であり実装時は諸条件に応じて大きく変動する可能性がある。

※設計・設置・運用に係る人件費等は別途必要。

※クラウド(デコード用、病害検出用)については、高知 IoP クラウド所有の既設クラウドサーバーを使用している。電気代や保守料等は必要となるが、本実証にて占有して使用しておらず、本実証分の費用を算出することが困難なため、0 万円との表記としている。他の条件で実装時には、利用料支払が必要となることが予想される。

※IoP クラウド SAWACHI(農家様への情報提供用)については、高知県が所有しており、本実証においては利用料無料で使用している。他の条件で実装時には、利用料支払が必要となることが予想される。

### 3.4 通信システム及び AI システムの構築にあたっての留意事項等

実フィールド検証として、2025 年 8 月下旬から 9 月上旬に高知県内農家様 10 軒へエッジデバイスを設置して、検証を行うことを予定していた。しかし、当初予定より契約が遅れ、部材発注が後ろ倒しとなったため、9 月上旬に農家様 10 軒への設置は困難な状況となった。このため、農家様 10 軒へ同時に設置するのではなく、先行局として 2 軒へ 9 月上旬に設置して、実運用環境での検証を優先させ、残りの 8 軒については、後から設置する工程へと変更した。

エッジデバイスについて、初期計画段階では、安価なボードコンピュータである ESP32-CAM (CPU:240MHz デュアルコア、RAM:520KB、Flash:4MB)を使用することを予定していた。しかし、その後、検討を進める中、プログラムの軽量化まで十分に実施できなかった場合、低い CPU 処理能力では動作しないリスクの発生が想定された。実証時、確実に動作させるため、より能力の高いボードコンピュータのラズベリーパイ(Raspberry Pi 3B CPU:1.2GHz クアッドコア、1GB DDR2 450MHz 低電圧 SDRAM))を使用することとした。

実証場所について、当初、高知県香美市物部町の中山間地域に分散するビニールハウス 10 棟を予定していた。実証に協力いただける農家様への依頼と、中継局の設置場所について調査したが、協力いただける農家様が少なく、中継局の設置場所についても、商用電源が確保でき、農家様との通信が可能な場所を確保することは困難なことが判明した。このため、実証場所を変更し、農家様の協力が得られ、中継局の設置場所についても確保が可能な安芸市、南国市とした。安芸市、南国市の農家様から短期間で実証への協力了解が得られたため、スケジュールへの影響も発生していない。検証条件や検証項目について、実証場所はビニールハウスで変更はなかったが、作物については若干変更となった。変更前後とも果菜類で作物の成長過程としては似ているため、対象とする作物のみを変更し、その他検証条件や検証項目について変更は行っていない。

ビニールハウス内に設置する環境センサーについて、当初は 5 種類のセンサー(温度、湿度、CO<sub>2</sub>濃度、光量、土壌水分)を使用する予定としていた。この中で光量と土壌水分については、測定のための光量計をビニールハウス外へ設置する工事が別途必要であり、今回の実証の範囲での対応が困難、また、土壌水分計についても、専用のセンサーが別途必要となることが判明し、今回の実証費用内での対応が困難となったため、除外した。

## 4. AIモデルの開発・学習

### 4.1 AIモデルの全体像

本実証では、農作物の画像と温度湿度などの環境データを伝送する必要がある。このため、エッジ側(ビニールハウス側)にて画像と環境データそれぞれ AI による圧縮を行い、LPWA で伝送した後、サーバー側でそれぞれAIによる復元を行い、画像と環境データの取り出しを行っている(図 4.1-1)。

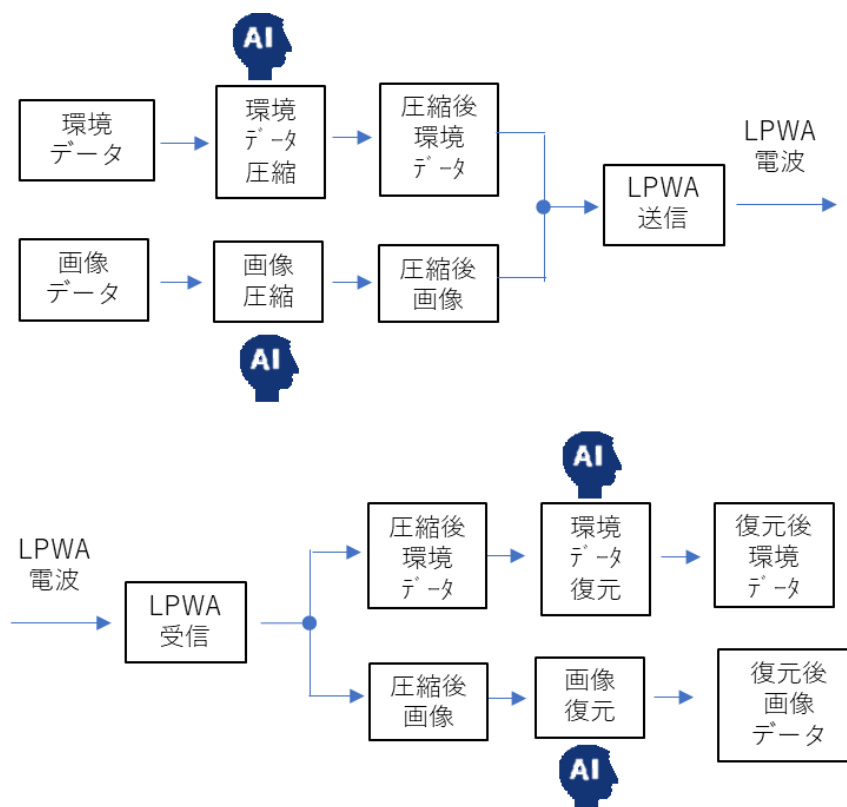


図 4.1-1 本実証での圧縮復元の流れ

本実証で使用する AI モデル・アルゴリズムは新しいアプローチに基づく超効率的データ圧縮・復元システムである。このシステムは、エッジ側の軽量処理とサーバー側の高度な生成 AI を組み合わせることで、通信制約下でも高品質なデータ伝送を実現可能としている(図 4.1-2)。エッジデバイスには軽量なエンコーダーのみを配置し、計算負荷の高い処理はサーバー側で行っている。これにより、消費電力とメモリー使用量を最小限に抑えながら、高品質な画像復元を実現している。

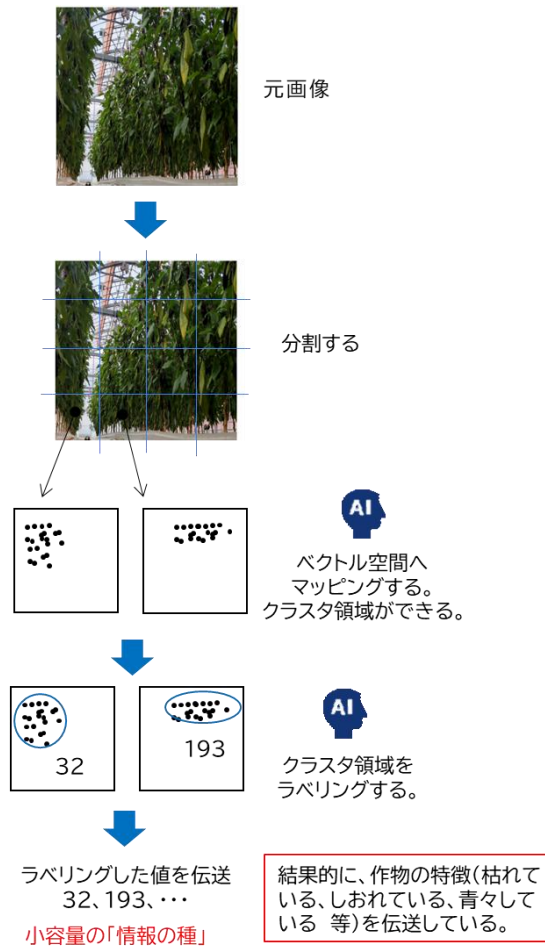


図 4.1-2 本実証での圧縮手順

今回の実証では、農業向けとして、元画像から作物の特徴(枯れている、しおれている、青々している 等)を AI によって捕捉してベクトル空間上へマッピングを行って、クラスタ領域を作成している。さらにクラスタ領域をラベリングし、ラベリングした値「情報の種」を伝送している。これにより、画像をそのまま伝送するよりもデータ量の大幅な削減を可能としている。画像データ、環境データそれぞれについて圧縮・復元アーキテクチャを以下に示す。

① 画像データ圧縮アーキテクチャ(図 4.1-3)

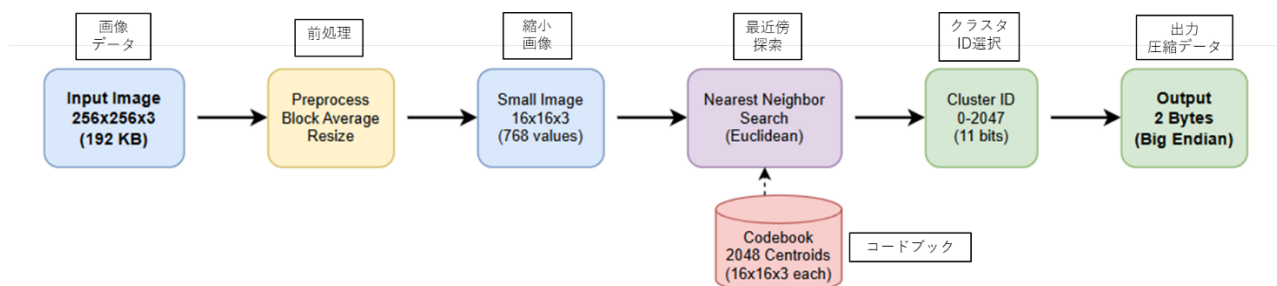


図 4.1-3 画像データ圧縮アーキテクチャ

画像データに対して、以下のエンコード処理を行う。

- 入力画像データ
  - サイズ: 256×256×3 (RGB)
  - 形式: uint8 または float32
  - 容量: 約 192KB
- 前処理(Block Average Resize)
  - 256×256 画像を 16×16 にリサイズする。
  - ブロック平均法を使用し、16×16 ピクセルを 1 ピクセルに平均化する。
  - 0-1 に正規化し、縮小画像を生成する(float32)。
- 最近傍探索、クラスタ ID 選択
  - ベクトル空間上にマッピングする。
  - コードブックとして、2048 個のセントロイド(各 16×16×3)を使用する。
  - 距離(ユークリッド距離)計算を行い、最小距離のクラスタ ID を選択する。
- 出力
  - クラスタ ID: 0-2047(11 ビット)
  - 出力形式: 2 バイト(Big Endian)

なお、画像データ圧縮アーキテクチャについては、本実証内で各種検討を行って改良を重ねている。これまでの画像データ圧縮モデルの変遷を表 4.1-1 に示す。当初は「ノイズプーリング」と「Diffusion モデル」を組み合わせた圧縮・復元技術を使用することとし、検討を行った。その結果、エンコード・デコード処理が非常に重く、安価なエッジデバイスでの動作が困難で、多くの学習量が必要なことが判明した。今回の実証においては、農業分野への適用を目指しており、農家個人が導入可能なコストを目指す必要がある。高性能なデバイスを使用すれば「ノイズプーリング」と「Diffusion モデル」を組み合わせた圧縮・復元技術を使用可能だが、コストが上昇し、導入が困難となる。また、高性能デバイスを使用して、高

品質な復元画像を得たとしても、農業用ではそこまで品質が必要ではなく、作物の雰囲気を知ることができれば十分で、高性能高品質よりも安価なコストを重視する必要がある。このため、安価なエッジデバイスでも実現可能で、農業用に必要な復元画像品質を確保できる圧縮・復元技術について検討を行い、最終的には Codebook - 代表原画像方式を採用している。

表 4.1-1 画像データ圧縮モデルの変遷

バージョン 1	Progressive 128D VAE(2025 年 9 月)
手法	「ノイズプーリング」と「Diffusion モデル」を組み合わせた圧縮・復元技術 階層的 VAE + K-means 量子化
圧縮後サイズ	Level 0=1 バイト、 Level 1=4 バイト Level 2=16 バイト (3 レベル)
圧縮率	12,288:1 (Level2)
プログラムサイズ	約 100MB
問題点	デコードに PyTorch が必要で、サーバー負荷が大きい。 Level1 の品質が低い(SSIM: 0.04~0.08)。 エッジデバイス(ラズベリーパイ 3)ではメモリーが不足する。 学習量が多い。



バージョン 2	Codebook - 平均画像方式(2025 年 12 月)
手法	K-means クラスタリング
圧縮後サイズ	2 バイト
圧縮率	98,304:1
プログラムサイズ	約 6MB
改善点	PyTorch 不要で NumPy のみで動作のため、サーバー負荷が小さい。
問題点	復元画像がぼやける(クラスタ平均画像のため)



バージョン 3 (採用方式)	Codebook - 代表原画像方式(2026 年 1 月)
手法	K-means + 代表元画像選定 クラスタ数 2,048
圧縮後サイズ	2 バイト
圧縮率	98,304:1
プログラムサイズ	約 6MB
改善点	セントロイドに最も近い元画像を代表として保持するため、復元画像が シャープで自然。

② 画像データ復元アーキテクチャ(図 4.1-4)

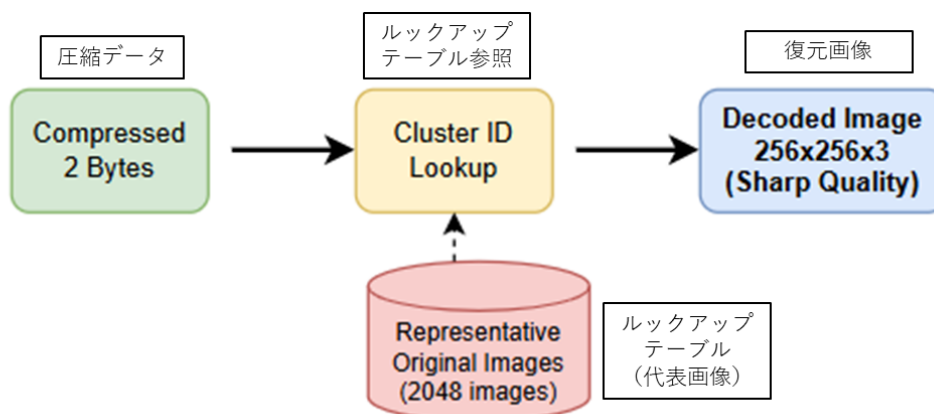


図 4.1-4 画像データ復元アーキテクチャ

圧縮された画像データに対して、以下のデコード処理を行う。

- 2Bytes の圧縮データからクラスタ ID を抽出する。
- ルックアップテーブルを参照し、代表原画像を選択する。
- クラスタ平均画像を返却する平均セントロイド方式ではなく、各クラスタの代表となる実際の画像を返却する。
- ぼやけた復元画像ではなく、シャープな原画像品質を維持する。
- 2048 枚の代表画像をサーバー側で保持する。

### ③ 環境データ圧縮アーキテクチャ(図 4.1-5)

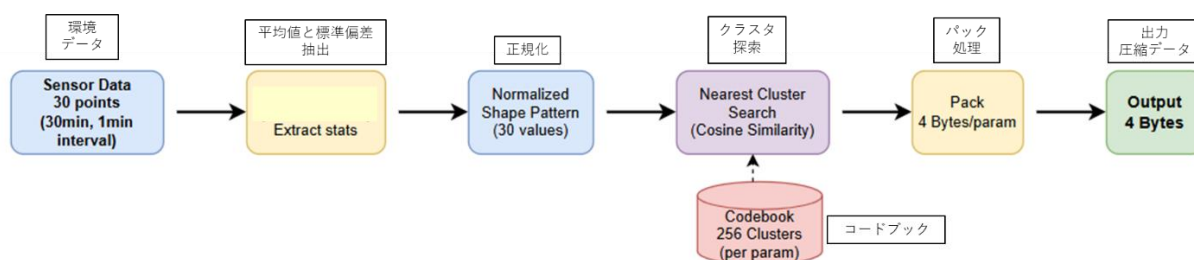


図 4.1-5 環境データ圧縮アーキテクチャ

環境データに対して、以下のエンコード処理を行う。

- 入力環境データ
  - 30 分間のセンサーデータ(1 分間隔 × 30 点)
  - 7 種類のパラメータを個別に処理
  - 入力サイズ: 30 点 × 4bytes = 120bytes/パラメータ
- 正規化

- 平均値(mean)と標準偏差(std)を抽出・保存
  - 形状パターンに正規化(mean=0, std=1)
- クラスタ探索
    - ベクトル空間上にマッピングする。
    - コードブックとして、256 個の形状パターン(各 30 値)を使用する。
    - 距離(コサイン類似度)計算を行い、もっとも類似した形状パターンのクラスタ ID を選択する。
  - パック処理
    - 4 バイトに表 4.1-2 の情報をパックする。

表 4.1-2 パック処理詳細

バイト	内容	型	値の範囲
1	cluster_id クラスタ ID	uint8	0-255
2~3	mean (量子化) 平均値	int16	-32768~32767
4	std (量子化) 標準偏差	uint8	0-255

なお、環境データ圧縮アーキテクチャについても、本実証内で各種検討を行って改良を重ねている。これまでの環境データ圧縮モデルの変遷を表 4.1-3 に示す。

表 4.1-3 環境データ圧縮モデルの変遷

バージョン 1	Grouped AE(2025 年 10 月)
手法	グループ化オートエンコーダ
圧縮後サイズ	3 バイト
圧縮率	40:1
問題点	形状パターンは再現できるが、振幅(変動幅)が固定値となっている。



バージョン 2	Codebook(2025 年 12 月)
手法	K-means+平均値送信 クラスタ数 256
圧縮後サイズ	3 バイト
圧縮率	40:1
問題点	変動幅誤差が大きい(温度: 0.42°C)



バージョン 3 (採用方式)	Codebook + 標準偏差送信(2026 年 1 月)
手法	K-means + mean + std 送信 クラスタ数 2,048
圧縮後サイズ	4 バイト
圧縮率	30:1
改善点	標準偏差を追加送信することで振幅を復元。変動幅誤差 85%改善

バージョン 2 とバージョン 3 の誤差改善率			
パラメータ	バージョン 2 誤差	バージョン 3 誤差	誤差改善率
温度	0.42°C	0.07°C	-83%
湿度	15%	2.8%	-81%
CO <sub>2</sub> 濃度	35ppm	5.9ppm	-83%

④ 環境データ復元アーキテクチャ(図 4.1-6)

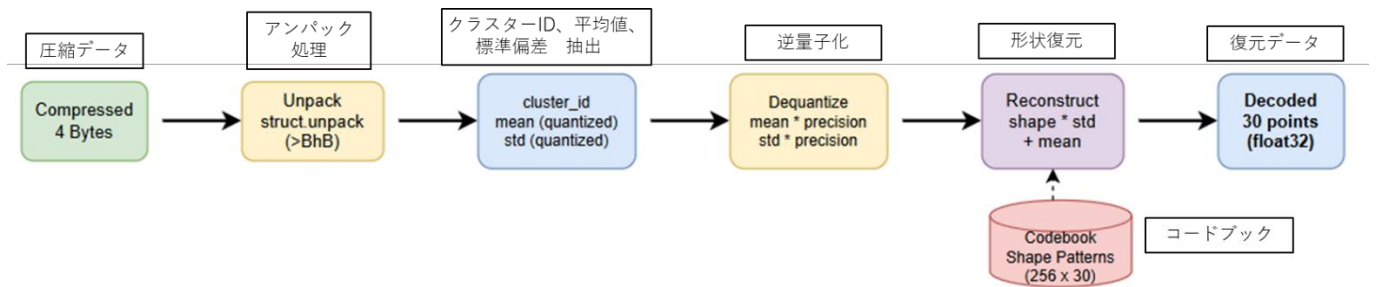


図 4.1-6 環境データ復元アーキテクチャ

圧縮された環境データに対して、以下のデコード処理を行う。

- 4Bytes の圧縮データからクラスタ ID、平均値、標準偏差を抽出する。
- precision 乗算を行い、逆量子化する。
- 下記の復元公式を使用し、形状復元を行う。  

$$\text{values} = \text{shape} * \text{std} + \text{mean}$$
  - shape:** コードブックから取得した正規化形状パターン(30 値)
  - std:** 逆量子化された標準偏差
  - mean:** 逆量子化された平均値
- 復元データの形式は表 4.1-4 のとおり。

表 4.1-4 復元データ形式

#	パラメータ	単位	表現範囲
1	Temperature 温度	℃	-10~50
2	Humidit 湿度	%	0~100
3	co2 CO <sub>2</sub> 濃度	ppm	0~5000
4	Vpd 飽差	kPa	0~50
5	abs_humidity 絶対湿度	g/m3	0~50
6	Dewpoint	℃	-20~40

#	パラメータ	単位	表現範囲
	露点温度		
7	discomfort_index 不快指数	-	40~100

## 4.2 取得したデータ

### (1) 取得したデータ一覧

本実証で取得したデータの一覧を表 4.2-1 に示す。実際に取得したデータの例を実証報告書(参考資料編)に記載している。

表 4.2-1 取得したデータ一覧

項番	用途	データ取得機器名	稼働場所	データ項目	データ収集期間	データ形式
1	AIの学習	SAWACHI 専用測定装置 (カスタム版)	高知県内 ビニール ハウス内 10か所	ビニールハウス内作物の画像 (採取間隔 30 分 毎、 送信間隔 30 分 毎)  ビニールハウス内環境データ(温度、湿度、CO <sub>2</sub> 濃度、飽差、絶対湿度、露天温度、不快指数) (採取間隔 1 分毎、 送信間隔 30 分 毎)	令和 7 年 7 月 20 日～ 令和 8 年 1 月 30 日	無圧縮 カラー 画像、 テキスト 形式
2	AIの学習 (拡張性 検証用)	タイムラプス カメラ	栃木県鹿沼市 電気興業 株式会社 鹿沼工場内	排水溝の水位画像 (採取間隔 10 分毎)	令和 7 年 7 月 20 日～ 令和 8 年 1 月 30 日	JPEG 圧縮 画像

### (2) データセット作成に係る処理

学習データは、高知県内の 10 箇所の圃場に設置されたカメラから収集を行った。これらの圃場では、シシトウ、ナス、キュウリ、パプリカ、メロンの野菜が栽培されており、多様な作物・生育段階・照明条件の画像が含まれている。

画像データ収集期間は 2025 年 9 月から 12 月の約 3.5 ヶ月間で、季節変化による作物の変化も捉えている。各カメラは 1 分間隔で撮影を行い、合計 32,189 枚の画像が収集された。ただし、夜間の暗い画像は農業モニタリングには不要なため、学習データからは除外している。輝度が 0.15 未満の画像をフィルタリングした結果、約 10,000 枚の昼間画像が実際の学習に使用された(表 4.2-2)。環境データについても、画像データと同じ期間、採集を行っている。

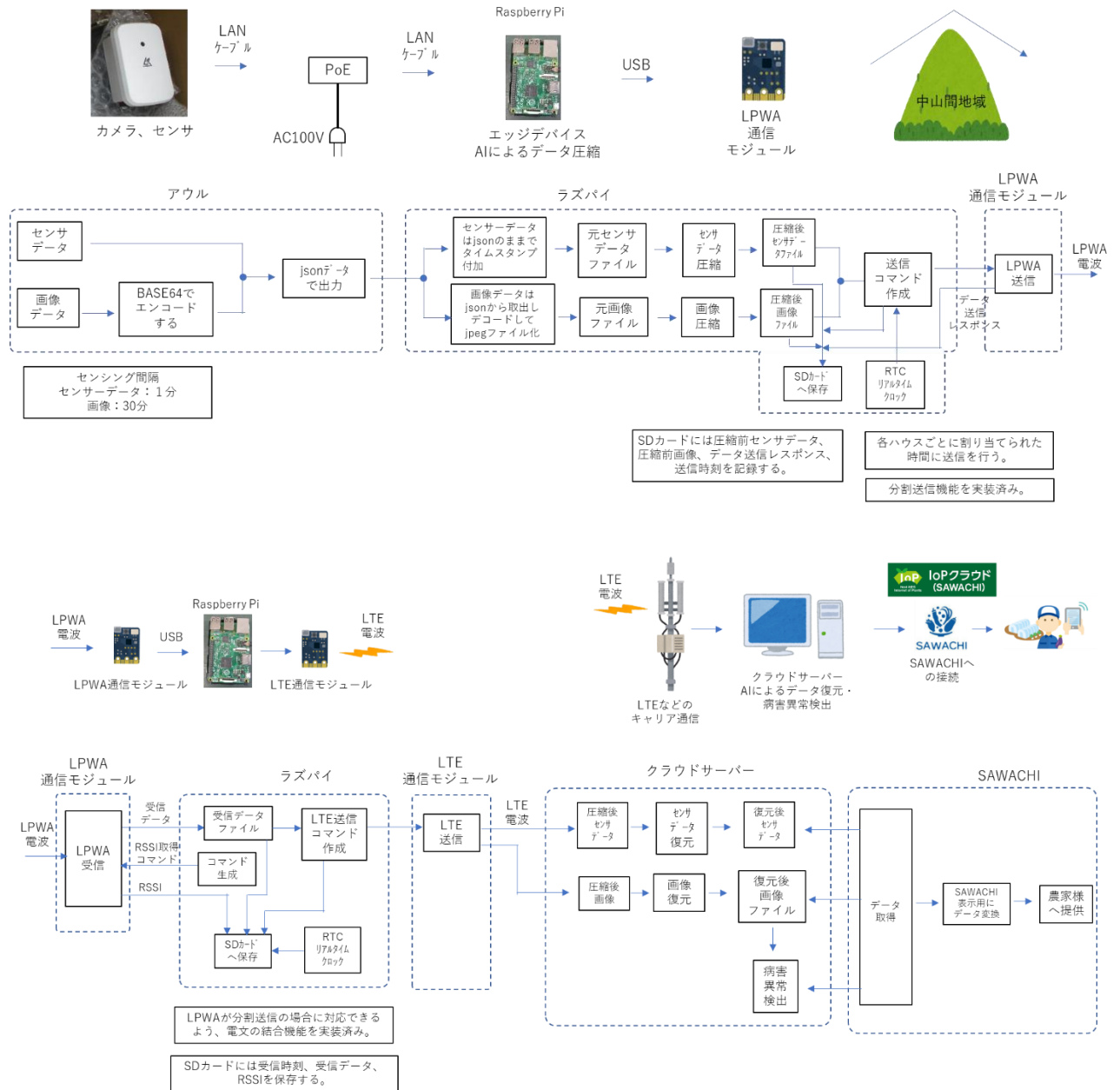
表 4.2-2 学習データ詳細  
画像データ

項目	詳細
収集期間	2025-09-01 ~ 2025-12-17(約3.5ヶ月)
総画像数	32,189枚(4.8GB)
学習使用数	約10,000枚(昼間画像のみ、輝度 > 0.15)
地域	南国市(6圃場)、安芸市(4圃場)
クラスタ数	2,048

環境データ	
項目	詳細
収集期間	2025-09-01 ~ 2025-12-17(約3.5ヶ月)
総レコード数	966,013件(284 MB)
データブロック	32,194ブロック(30分間隔、30点/ブロック)
パラメータ数	7種類
クラスタ数	256(パラメータ毎)

### (3) システム全体のデータフロー図

システム全体のブロック図を図 4.2-1、AIによる処理に係るデータフローを図 4.2-2 に示す。



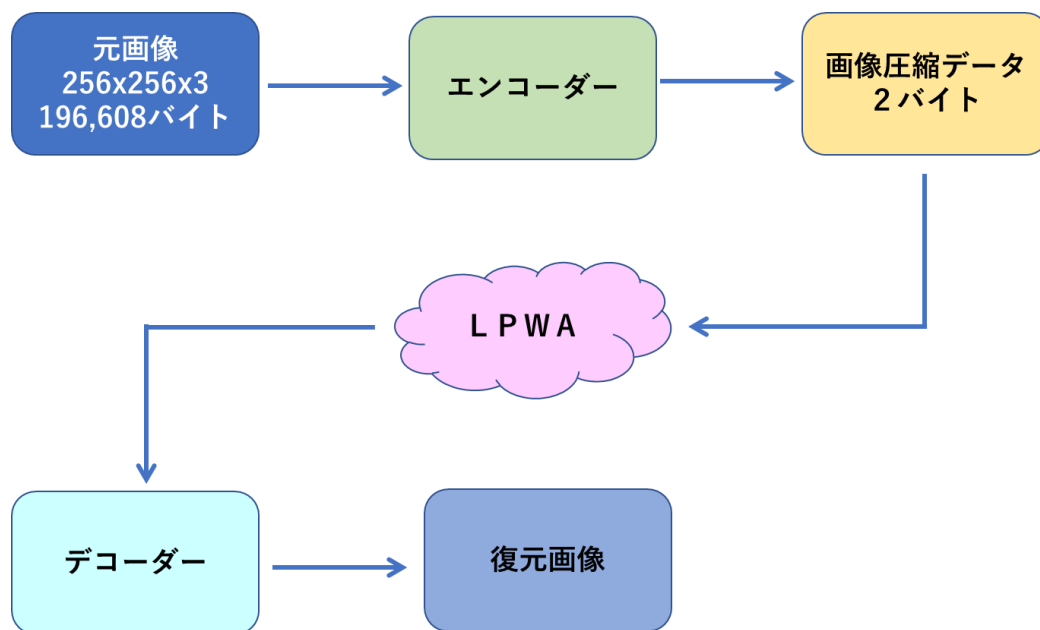


図 4.2-2 データフロー図

#### (4) データの適切さ

学習データについては、南国市と安芸市の農家様 10 軒に協力いただいて採取を行っている。各農家様で作物やハウス内環境が異なっているため、できるだけ長期間の採取を行い、データの適切さ確保を目指している。採取したデータの詳細を表 4.2-3 に示す。

表 4.2-3 採取したデータの詳細

圃場 No.	作物	画像数	環境データ数	採取期間
南国市圃場 No. 1	ピーマン	3,542	106,260	2025/9/30～ 2025/12/17
南国市圃場 No. 2	パプリカ	3,725	111,750	2025/9/30～ 2025/12/17
南国市圃場 No. 3	ししとう	3,499	104,970	2025/9/29～ 2025/12/17
南国市圃場 No. 4	きゅうり	3,388	101,640	2025/10/6～ 2025/12/17
南国市圃場 No. 5	メロン	2,139	64,170	2025/9/1～ 2025/12/17
南国市圃場 No. 6	ピーマン	3,777	113,310	2025/9/29～ 2025/12/17
安芸市圃場 No. 1	ナス	3,015	90,450	2025/10/15～ 2025/12/17
安芸市圃場 No. 2	ナス	3,050	91,500	2025/10/14～ 2025/12/17
安芸市圃場 No. 3	ナス	3,051	91,530	2025/10/14～ 2025/12/17
安芸市圃場 No. 4	ナス	3,003	90,090	2025/10/15～ 2025/12/17
		合計 32,189	合計 965,670	

注. 農作業の都合上、一時的に機器を取り外した圃場があるため、採取期間が長い圃場のデータ数が多いとは限らない。

## 4.3 AI モデルの学習プロセス

AI モデルの学習プロセスは、画像データと環境データのそれぞれに対して実施する。それぞれの学習プロセスは以下の通り。

### ① 画像データ

5つのステップで構成される(図 4.3-1)。以下、各ステップについて詳細に説明する。

## Image Codebook Training

Script: `image_codebook_fullres.py`

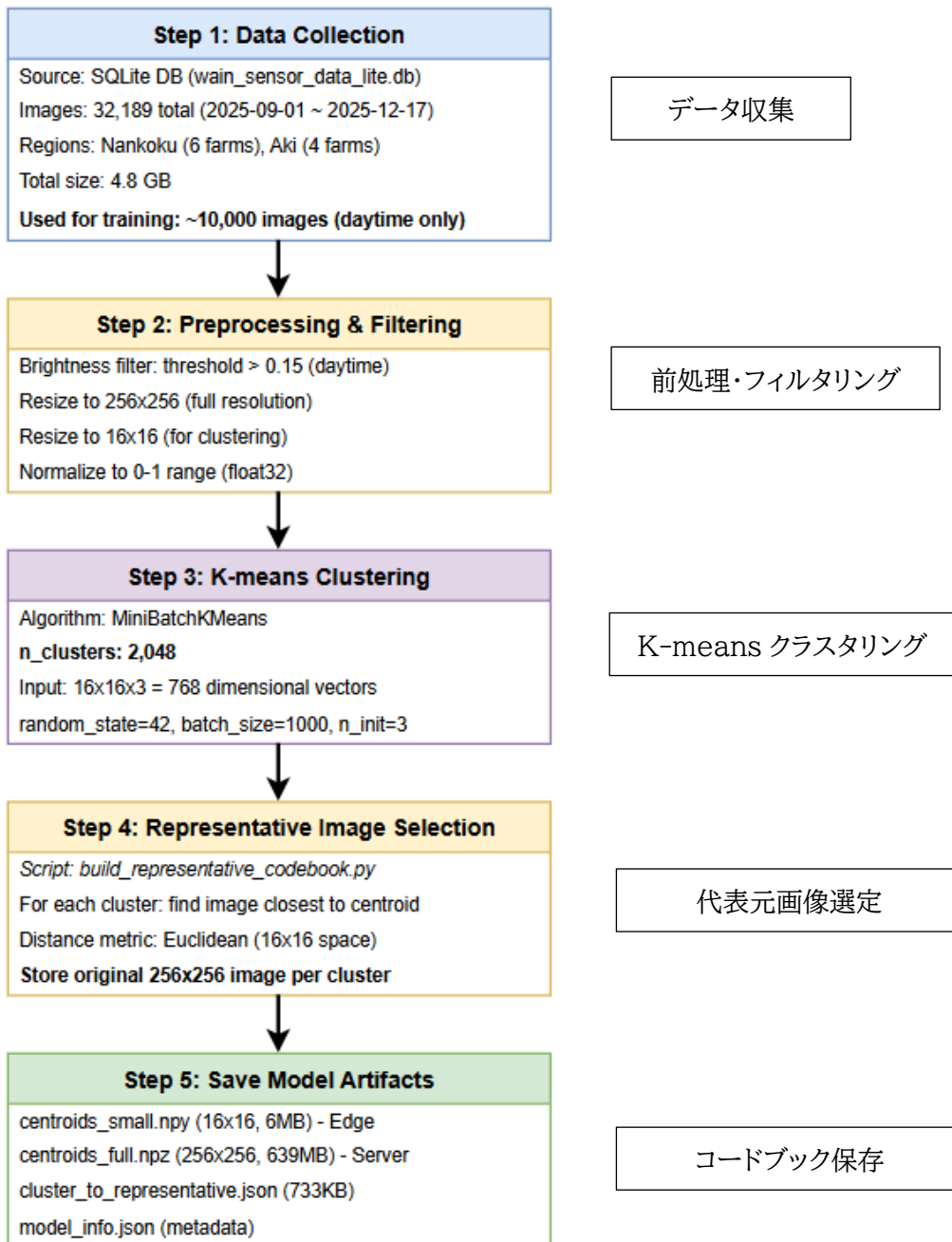


図 4.3-1 学習プロセス

### Step 1: データ収集

学習用画像は、高知県内の 10 箇所の圃場に設置されたカメラから収集を行った。

### Step 2: 前処理・フィルタリング

前処理では、収集された画像から学習に適したデータの抽出を行う。まず、夜間画像のフィルタリングを行い、グレースケール変換(輝度 =  $0.299 \times R + 0.587 \times G + 0.114 \times B$ )を適用し、平均輝度が 0.15 未満の画像を除外する。これにより、情報量の少ない暗い画像が、モデルを汚染することを防ぐ。

次に、画像を 256×256 ピクセルにリサイズして統一サイズに揃える。元画像のアスペクト比が異なる場合は、中央部分を切り抜いてからリサイズを行う。

さらに、クラスタリング用に 16×16 ピクセルの縮小版も作成する。この縮小版は、計算効率化のためにクラスタリング処理で使用される。

### Step 3: K-means クラスタリング

前処理された約 10,000 枚の画像を、K-means アルゴリズムを使用して 2,048 のグループ(クラスタ)に分類する。

K-means クラスタリングは、与えられたデータを指定した数のグループに分割する教師なし学習アルゴリズムである。各グループには「セントロイド」(中心点)が定義され、データ点は最も近いセントロイドのグループに割り当てられる。

本システムでは、大量のデータを効率的に処理するために MiniBatchKMeans を使用している。これは通常の K-means よりも高速で、メモリー効率も優れている。データの一部(バッチ)を使って逐次的にセントロイドを更新するため、10,000 枚規模のデータでも数分で学習が完了する。

クラスタリングの結果、2,048 個のセントロイド(各 768 次元ベクトル)が得られる。これらのセントロイドは、農業画像の代表的なパターンを表しており、類似した画像は同じクラスタに分類される。

### Step 4: 代表元画像選定

クラスタリングが完了後、各クラスタから「代表元画像」を 1 枚ずつ選定する。代表元画像とは、そのクラスタのセントロイドに最も近い実際の撮影画像である。

従来のコードブック方式では、クラスタ内の全画像を平均化した「平均画像」を代表として使用していた。しかし、平均化によってエッジがぼやけ、自然な見た目が失われてしまう。

本システムでは、平均画像ではなく、セントロイドに最も類似した実際の撮影画像を選定した。これにより、復元画像は常にシャープで自然な見た目を保つことができる。デコード時には、この代表元画像がそのまま返される。

選定プロセスは以下の手順で実施する。

1. 各クラスタに属するすべての画像を列挙
2. 各画像を 16×16 にリサイズしてベクトル化
3. セントロイドとのユークリッド距離を計算
4. 最も距離が小さい画像を代表元画像として選定

## 5. その画像の元ファイルパス(256×256 版)を記録

この処理の結果、2,048 枚の代表元画像パスを含むマッピングファイル(JSON 形式)が生成される。サーバー側のデコーダーは、このマッピングを参照してクラスタ ID から画像を復元する。

### Step5: コードブック保存

デコードの際に使用するエッジ側コードブックおよび、エンコード時に使用するサーバー側コードブックを作成し保存を行う。

コードブック圧縮における復元画像の品質は、デコード時に何を返すかによって大きく異なる。本システムでは当初、平均画像(セントロイド)方式を採用していた。この方式は実装が簡単で、セントロイドをそのまま返すだけである。しかし、画像を平均化すると以下の問題が発生した。

- ・ エッジのぼやけ: 葉の輪郭、茎の境界などがぼやける
- ・ 色の混濁: クラスタ内の異なる色が混ざり、くすんだ色になる
- ・ 不自然な見た目: 実際の画像とは異なる人工的な印象を与える

このため、本システムでは代わりに「代表元画像方式」を採用した。代表元画像方式では、セントロイドに最も近い「実際の撮影画像」を返す方式であり、以下のような利点がある。平均画像(セントロイド)方式と比較した特徴を表 4.3-1 に示す。

- 利点
- ・ シャープな復元: エッジや細部がくっきりと保持される
  - ・ 自然な見た目: 実際の撮影画像なので、違和感がない
  - ・ 高い PSNR(ピーク信号対雑音比): 平均画像と比較して 2-3dB 程度の品質向上
- 欠点として、代表画像のストレージ容量が必要となるが、サーバー側では問題にならない。

表 4.3-1 代表元画像方式の特徴

方式	PSNR	特徴
平均画像 (セントロイド)方式	21dB	ぼやける、エッジが不鮮明
代表元画像方式	23-25dB	シャープ、自然な見た目

PSNR で約 2.5dB の改善は、視覚的には明らかな品質差として認識され、特に葉の形状や色の境界部分で顕著な違いが見られる。

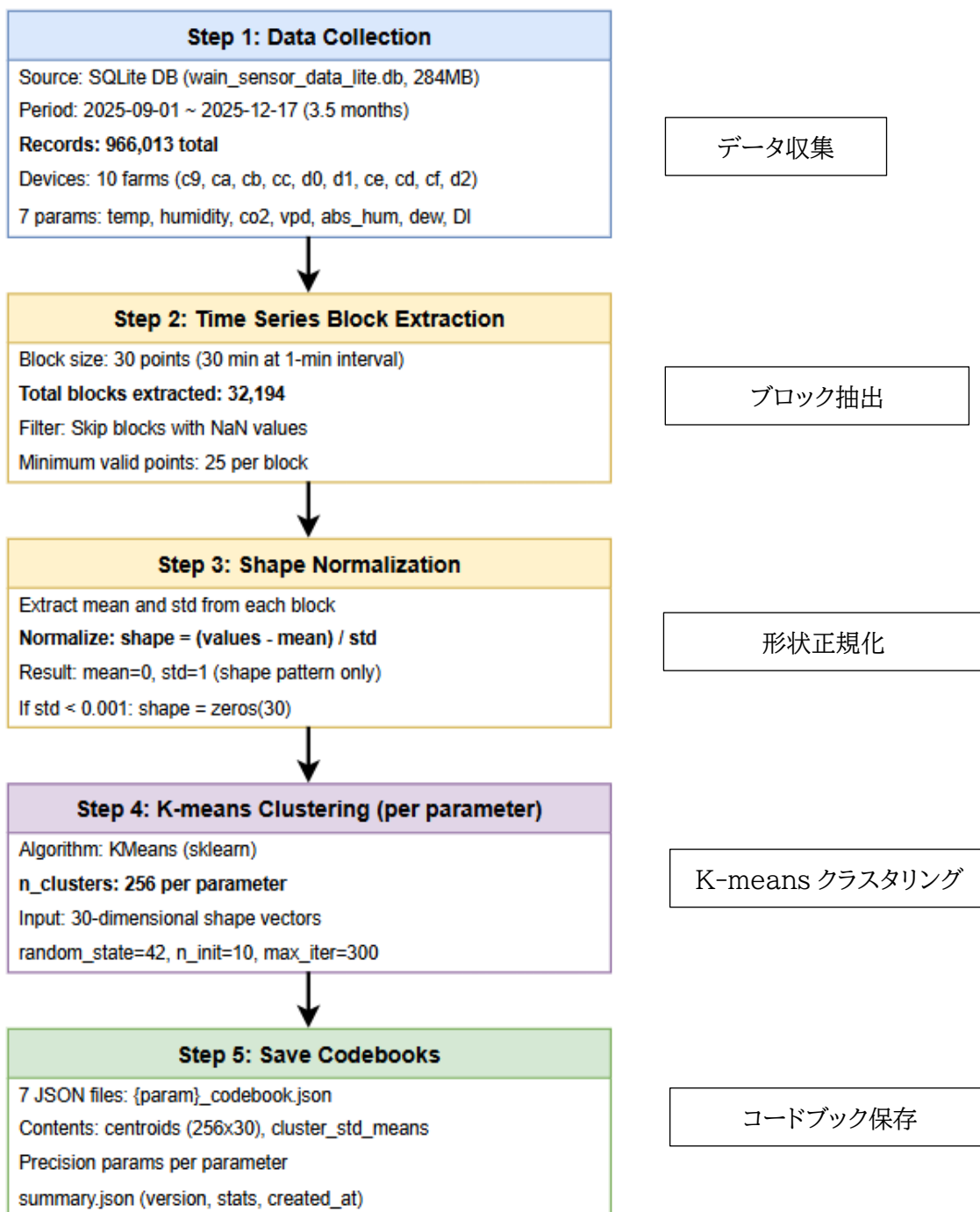
農業モニタリングでは、作物の状態を正確に把握することが重要である。ぼやけた画像では葉の萎れや変色を見逃す可能性があるが、代表元画像方式ではこれらの変化をより確実に捉えることができる。

## ② 環境データ

5つのステップで構成される(図 4.3-1)。以下、各ステップについて詳細に説明する。なお、7種類の環境パラメータごとに変動パターンが異なるため、それぞれ独立してコードブックの学習を行う。

# Environmental Codebook Training

Script: `train_env_codebook_v2.py`



Step 1: データ収集

学習用画像は、高知県内の 10 箇所の圃場に設置された環境センサーから収集を行った。

#### Step 2: ブロック抽出

連続した 30 点の時系列データをブロックとして抽出を行う。欠損値を含むブロックは除外する。

#### Step 3: 形状正規化

各ブロックを正規化して形状パターンを抽出する。平均値と標準偏差は、後のスケール復元のために保存するが、クラスタリングには正規化後の形状のみを使用する。正規化により、異なる温度帯や季節のデータでも、同じ変動パターンであれば同じクラスタに分類される。例えば、「午前中に緩やかに上昇する」というパターンは、 $20^{\circ}\text{C} \rightarrow 25^{\circ}\text{C}$ でも  $30^{\circ}\text{C} \rightarrow 35^{\circ}\text{C}$ でも同じ形状として認識される。

#### Step 4: K-means クラスタリング

正規化された形状パターンを、K-means アルゴリズムで 256 クラスタに分類する。クラスタ数 256 は、1 バイト(8 ビット)で表現可能な最大数である。環境データの形状パターンは画像ほど多様ではないため、256 クラスタで十分なカバレッジを達成できる。本実証では、クラスタ数を増やしても復元品質の向上は限定的だった。

#### Step5: コードブック保存

デコードの際に使用するエッジ側コードブックおよび、エンコード時に使用するサーバー側コードブックを作成し保存を行う。

#### 4.4 AI モデルの開発・学習にあたっての留意事項等

本実証では、農業用に求められる性能を維持しながら AI 処理量や消費メモリーの削減を行い、低価格・低性能なエッジデバイスへも搭載可能とすることを目指している。

なお、画像データ圧縮アーキテクチャについては、当初は「ノイズプーリング」と「Diffusion モデル」を組み合わせた圧縮・復元技術を使用することとし、検討を行った。その結果、エンコード・デコード処理が非常に重く、安価なエッジデバイスでの動作が困難で、多くの学習量が必要なことが判明した。今回の実証においては、農業分野への適用を目指しており、農家個人が導入可能なコストを目指す必要がある。高性能なデバイスを使用すれば「ノイズプーリング」と「Diffusion モデル」を組み合わせた圧縮・復元技術を使用可能だが、コストが上昇し、導入が困難となる。また、高性能デバイスを使用して、高品質な復元画像を得たとしても、農業用ではそこまで品質が必要ではなく、作物の雰囲気を知ることができれば十分で、高性能高品質よりも安価なコストを重視する必要がある。このため、安価なエッジデバイスでも実現可能で、農業用に必要な復元画像品質を確保できる圧縮・復元技術について検討を行い、最終的には Codebook - 代表原画像方式を採用している。

メモリー使用量について、エッジデバイスとサーバーで大きく異なるが、エッジデバイスではセントロイド(約 6MB)のみを読み込むため、ラズベリーパイ(Raspberry Pi 3、メモリー1GB)でも十分動作可能である。一方、サーバーでは、代表画像のキャッシュを行う必要があるため、最大 2GB 程度のメモリーを使用する必要がある。デバイス選定時には、これらメモリー容量を考慮する必要がある。実証当初はメモリー使用量が 1GB 近くになり、ラズベリーパイがハングアップすることがあったが、その後の改良により軽量化を図っている。

処理速度はハードウェアによって異なるが、本実証で使用したラズベリーパイでは、エンコード時間 50ms 程度であり、実用的な速度で動作が可能だった。1 時間間隔での撮影であれば、50ms の処理時間は問題にならず、より頻繁な撮影(1 分間隔など)でも、処理はリアルタイムで完了するため、対応可能と考えられる。ただし、低スペックのハードウェアを使用する場合には、撮影間隔を広げるなどの対応が必要となることも考えられる。実証当初はエンコード時間が 60 秒程度かかっていたが、その後の改良により軽量化を図っている。

## 5. 実証の手法

### 5.1 ユースケース①:エッジ AI による通信量の低減

#### 5.1.1 実証内容の詳細

本実証では、通信環境の制約がある中山間地域の農業への適用を目指し、AIを使用した超効率的データ圧縮・復元システムの開発・検証を行う(図 5.1-1)。

エッジデバイス側で収集した画像データ(256×256 ピクセル、約 200KB)を「情報の種(シード)」となる極小データ(2KB 以下、100 倍以上の圧縮率)に変換し、LPWA 通信で伝送を行う。従来の圧縮技術(JPEG 等)では 10~20 倍の圧縮率が限界で、LPWA での画像伝送は事実上不可能となるが、今回の実証では高効率に圧縮することで、400MHz 帯 LPWA での画像伝送を可能とする。

サーバー側では受信した「種」データから生成 AI を用いて原画像を高品質(SSIM 0.85 以上)に復元を行う。また、AI により病害・異常検出を行い、これら画像や検出結果を農家へ提供する。これによって、従来は通信容量不足で実現困難だった画像モニタリングを LPWA 通信環境下で可能とし、農業 DX の地域間格差解消を目指す。

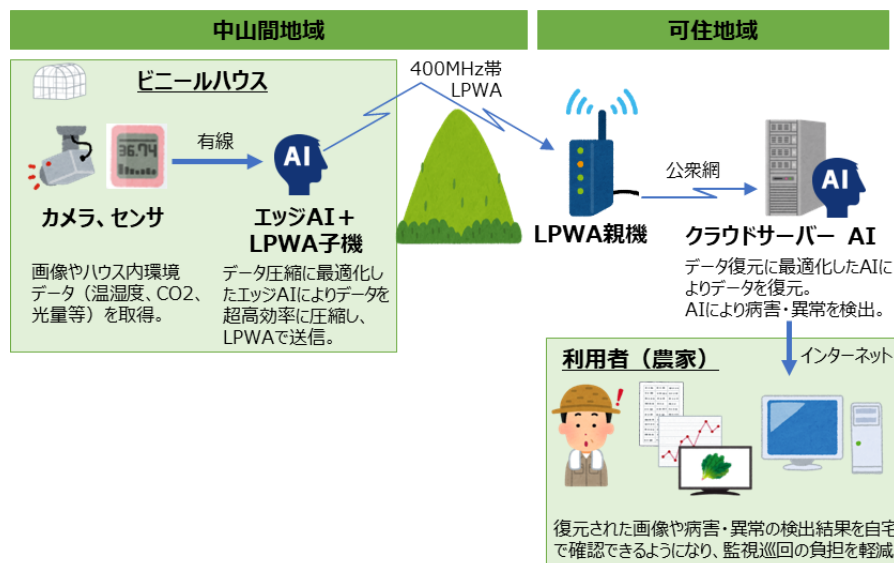


図 5.1-1 実証内容概要

## 5.1.2 利用技術・データ

本ユースケースでは、以下の装置を使用する。

### 1. エッジデバイス側装置

- ・ カメラ・センサー:アウルカスタム版(有限会社イチカワ製)
- ・ ハードウェア:ラズベリーパイ(Raspberry Pi 3B CPU: 1.2GHz クアッドコア、1GB DDR2 450MHz 低電圧 SDRAM))  
(当初予定機種から変更あり 3.4 通信システム及び AI システムの構築にあたっての留意事項等 参照)
- ・ AI エンコーダーによる超効率的データ圧縮
- ・ 400MHz 帯狭帯域 LoRa 通信モジュール  
(400MHz 帯狭帯域 LoRa 通信モジュールをそのまま使用する特定小電力無線局タイプ(429MHz 帯 10mW)と、400MHz 帯狭帯域 LoRa 通信モジュールにパワーアンプを追加した実験試験局タイプ(400MHz 帯 1W)の2種類を準備し、希望する通信エリアに合わせて設置を行う。)
- ・ 電源:商用電源またはソーラー独立電源
- ・ 防水性のあるプラスチック筐体へ収納。

### 2. 中継局(LTE-LPWA ルーター)

- ・ 400MHz 帯狭帯域 LoRa 通信モジュール  
(400MHz 帯狭帯域 LoRa 通信モジュールをそのまま使用する特定小電力無線局タイプ(429MHz 帯 10mW)と、400MHz 帯狭帯域 LoRa 通信モジュールにパワーアンプを追加した実験試験局タイプ(400MHz 帯 1W)の2種類を準備し、希望する通信エリアに合わせて設置を行う。)
- ・ ハードウェア:ラズベリーパイ(Raspberry Pi 3B CPU: 1.2GHz クアッドコア、1GB DDR2 450MHz 低電圧 SDRAM))
- ・ LTE 通信モジュール
- ・ 防水性のあるプラスチック筐体へ収納。

### 3. クラウドサーバー側

- ・ 画像デコーダー(画像復元モデル:プログラムサイズ約 100MB)
- ・ 環境データデコーダー(センサーデータ復元モデル:プログラムサイズ約 20MB)
- ・ IoP クラウド SAWACHI(農家向けダッシュボードとして使用)向けデータサーバー

### 5.1.3 必要性・新規性

本実証と市場における既存の取組との差分および、必要性・新規性を、以下に示す。

1. 従来の圧縮技術(JPEG等):10~20倍の圧縮率が限界で、LPWA通信での画像伝送は事実上不可能  
⇒ 本実証:AIによる超軽量エッジ処理(1秒以内)で100倍以上の圧縮率を実現。
2. エッジでの処理負荷:高圧縮率を得るための複雑なエンコード処理がエッジ側に必要  
⇒ 農業データの特性(限定的な色域、パターンの規則性等)に特化した最適化を行い、エンコード処理を軽量化。LPWA通信との親和性が高く、バッテリー駆動デバイスでの長期運用が可能。
3. 携帯電話網不感地域では通信が困難  
⇒ LPWAを使用。特に中山間地域での伝搬特性に優れた400MHz帯狭帯域LoRaを使用する。

これら必要性・新規性より、本実証ではユースケース①「エッジ AI による通信量の低減」とユースケース②「山間部や海中等の携帯電話網不感地域における通信の確立」をユースケースとして選択した。選択理由は以下の通り。

高知県のIoPプロジェクトが直面している根本的課題は「データニーズと通信環境のミスマッチ」である。山間部のビニールハウスでは、携帯電話網不感地域となっている場所が残っている。不感地域において、これまで各種実験を行ってきたが、Wi-Fiでは近距離は通信可能なものの、ビニールハウスの骨材など障害物による減衰が大きく、通信距離を確保できなかった。衛星通信(スターリンク等)について、通信は可能となったが、毎月の通信料は、他の衛星通信と比べれば安価なもの、農家が負担するには大きい金額で導入にはつながっていない。これに対しLPWA、特に今回使用している400MHz帯狭帯域LoRaについては、中山間地域でも通信距離を確保できるとされており、携帯電話網不感地域において、通信を確保する手段として今回、実証を行う。

また、LPWAの通信容量について、農業に必要な画像データや詳細な環境データの伝送には圧倒的に不足している。逆に言うと、LPWAは、小さいデータ量を送る場合は有効な選択と言えるが、これまで画像をLPWAで伝送できるまでにデータ量を小さくする方法が見つからず、画像伝送は困難と考えられていた。

今回、「エッジ AI による通信量の低減」による、従来技術よりも大幅なデータ量圧縮と、LPWAによる伝送を組み合わせることによって、画像のデータ量を大幅に縮小してLPWAによる伝送が可能となれば、通信ボトルネックを解消し農業DXの成功につながると見込まれる。特に高知県の中山間地における農業においては、露地・施設を問わず定期的な生育状況や病害虫の確認が必要だが、地理的制約から頻繁な巡回が困難な状況がある。画像データを携帯電話網不感地域でも効率的に伝送できれば、この課題を大きく改善でき、本地域の農業課題解決に直接的に貢献するため、この「エッジ AI による通信量の低減」と「山間部や海中等の携帯電話網不感地域における通信の確立」をユースケースとして選択している。

## 5.1.4 検証条件

本実証は、以下の検証条件で実施する。

- ・ 検証場所：高知県南国市および安芸市内
  - 中継局は、エッジデバイスとの通信確保が可能な既存建物屋上に設置
  - エッジデバイス側装置は、南国市内、安芸市内の農家様圃場内へ設置
- ・ 栽培作物：各農家様にて実際に栽培されている作物(シシトウ、ナス、キュウリ、パプリカ、メロン)
- ・ 設置台数：中継局(特定小電力無線局タイプ(429MHz 帯 10mW))2 局  
 中継局(実験試験局タイプ(400MHz 帯 1W))2 局  
 エッジデバイス側装置(特定小電力無線局タイプ(429MHz 帯 10mW))8 局  
 エッジデバイス側装置(実験試験局タイプ(400MHz 帯 1W))2 局)
- ・ 設置期間：3 か月以上(実証期間終了後も、今期の収穫が終了する 2026 年 8 月ごろまで設置)
- ・ データ採取間隔：ビニールハウス内作物の画像 30 分ごと 24 時間  
 ビニールハウス内環境データ(温度、湿度、CO<sub>2</sub>濃度)1 分ごと 24 時間
- ・ 各圃場の LPWA による通信間隔：30 分ごと 24 時間

### 開発・評価項目

本ユースケースでの開発・評価項目を表 5.1-1 に示す。

表 5.1-1 本ユースケースでの開発・評価項目

番号	開発・評価項目
1	エッジ側のエンコーダーの開発 <ul style="list-style-type: none"> <li>・軽量なニューラルネットワークによる階層的データ圧縮処理</li> <li>・ESP32 等の低消費電力マイコン上での 1 秒以内の処理実現</li> </ul>
2	サーバー側のデコーダーの開発 <ul style="list-style-type: none"> <li>・U-Net 型アーキテクチャによるモデル実装</li> <li>・DPM-Solver による高速サンプリング技術</li> <li>・農業特化型の事前学習と最適化</li> </ul>
3	農業データに特化した最適化 <ul style="list-style-type: none"> <li>・作物種別モデル(葉物野菜、果菜類等)の開発</li> <li>・病害検出強化のための優先エンコーディング技術</li> <li>・季節変化に適応するパラメータ調整機能</li> </ul>

以下の実証手順に沿って、開発を進め、達成条件に対する評価を実施する。

1. 基本モデル構築・評価：基本実装と初期性能評価、モデル構造やデータの改善や工夫の実施

達成条件：基本的なモデル動作確認、圧縮率 50 倍以上、SSIM 0.8 以上

2. 農業特化型最適化：高知県特産作物データによる追加学習と病害検出特化機能実装

達成条件：農業画像データを 100 倍以上に圧縮、SSIM0.85 以上、環境センサーデータを 1/10 以

下に圧縮、病害検出精度低下 5%以内

3. エッジデバイス実装:ラズベリーパイ上での軽量実装と性能最適化  
達成条件:処理時間 1 秒以内、消費電力 150mW 以下、安定動作確認

4. 通信性能検証:LoRa による実際の伝送テストと最適パラメータ調整  
達成条件:エンドツーエンド遅延 10 秒以内、パケットロス率 5%以下

5. 統合システムテスト:エッジ~クラウド間の総合動作試験と性能評価  
達成条件:全システム連携動作確認、想定機能の実現性検証

6. 実フィールド検証:高知県農業施設 10 棟での実運用テスト  
達成条件:実環境での安定動作、農家による実用性評価

7. 長期安定性評価:電源自立性、気象変動への対応、季節変化への適応性検証  
達成条件:1 ヶ月以上の連続稼働、異常気象時の安定動作

8. 効果測定:導入前後での比較による経済・社会的効果の定量評価  
達成条件:監視巡回の人的費用削減年間 70%以上

9. 量産時コスト算出:必要な機器スペックを定義する。スペックを満たす機種を選定を実施。量産時コストを算出する。従来との比較を行う。  
達成条件:1 ハウスあたりの導入コスト(機器費、工事費)5 万円以下(量産時)

## 5.1.5 KPI/KGI

本ユースケースにおいて設定した目標値の一覧を表 5.1-2 に示す。

表 5.1-2 目標値一覧

定性評価 /定量評価	番号	目標値
定性評価	1	農業現場での有効性 <ul style="list-style-type: none"> <li>・農家の意思決定支援への貢献度</li> <li>・作業負担軽減効果の実感度</li> <li>・システム操作性と理解のしやすさ</li> <li>・べと病、うどんこ病などの病害虫発生を環境モニタリングおよび制御による抑制。</li> </ul> 指導員や農家による多角的な感覚的評価を実施(指導員へのヒアリングや農家へのアンケート調査を実施し、評価の収集を行う)。
	2	技術の拡張性 <ul style="list-style-type: none"> <li>・他作物種への適応容易性</li> <li>・季節変動への対応能力</li> <li>・異常気象時など特殊条件下での動作安定性</li> </ul>
	3	社会実装の容易さ <ul style="list-style-type: none"> <li>・導入・設置の簡便さ</li> <li>・メンテナンス頻度と難易度</li> <li>・既存農業システムとの連携性</li> </ul>
	4	地域間格差解消効果 <ul style="list-style-type: none"> <li>・中山間地と平野部のデジタル農業実装格差の縮小度</li> <li>・情報アクセシビリティ向上の体感度</li> </ul>
定量評価	5	圧縮率に関する KPI/KGI 【KPI】農業画像データ(256×256 ピクセル、RGB)を 200KB 以下から 2KB 以下へ圧縮(100 倍以上) 環境センサーデータを 1/10 以下に圧縮(温度、湿度、CO <sub>2</sub> 濃度×24 時間データを 100B 以下)
	6	復元精度に関する KPI/KGI 【KPI】復元画像の構造的類似性指標(SSIM):0.85 以上、復元画像の PSNR (ピーク信号雑音比):20dB 以上 病害検出精度低下:5%以内 環境データの復元精度:温度±0.5℃、湿度±2%、CO <sub>2</sub> ±50ppm 以内
	7	エッジ処理性能に関する KPI/KGI 【KPI】エッジデバイス側の圧縮処理時間:1 秒以内(一般的なマイコン環境) 電力消費:動作時 150mW 以下、スリープ時 10mW 以下 連続稼働期間:バッテリー駆動で 1 カ月以上
	8	システム全体のコストに関する KPI/KGI 【KPI】システム全体のコスト:1 ハウスあたり 5 万円以下(量産時) 従来システム比コスト削減率:80%以上
	9	農業効果 <ul style="list-style-type: none"> <li>・監視巡回の人件費削減:年間 70%以上</li> </ul>

### 1) 農業現場での有効性

農業現場での有効性、特に農家の負担軽減を主眼に、以下の項目について、農業指導員へのリングや農家へのアンケート調査を実施し、多角的な感覚的評価を実施する。

- ・農家の意思決定支援への貢献度
- ・作業負担軽減効果の実感度
- ・システム操作性と理解のしやすさ
- ・べと病、うどんこ病などの病害虫発生を環境モニタリングおよび制御による抑制。

## 2) 技術の拡張性

1 軒の農家で複数の作物を栽培することも想定されるため、他品種の作物への適用が可能か、以下の項目について、実証結果を元に机上検討を実施する。

- ・他作物種への適応容易性
- ・季節変動への対応能力
- ・異常気象時など特殊条件下での動作安定性

## 3) 社会実装の容易さ

農家での導入の際にハードルとなる各項目について、どの程度が想定され、従来技術と比べて低減されるのか、実証結果を元に机上検討を実施する。

- ・導入・設置の簡便さ
- ・メンテナンス頻度と難易度
- ・既存農業システムとの連携性

## 4) 地域間格差解消効果

特に通信制約による地域間格差の解消に焦点を当て、どの程度解消が期待されるのか、実証結果を元に机上検討を実施する。

- ・中山間地と平野部のデジタル農業実装格差の縮小度
- ・情報アクセシビリティ向上の体感度

## 5) 圧縮率に関する KPI/KGI

LoRa の通信制約と、農業モニタリングに最低限必要な画像情報やデータ量を考慮して KPI を設定した。圧縮前後の画像データサイズの比較を行う。

・【KPI】農業画像データ(256×256 ピクセル、RGB)を 200KB 以下から 2KB 以下へ圧縮(100 倍以上)

環境センサーデータについては、もともとデータ容量の小さいテキストデータであり、画像ほどの圧縮率は見込めないため、1/10 以下に圧縮(温度、湿度、CO<sub>2</sub> 濃度×24 時間データを 100B 以下)とした。

## 6) 復元精度に関する KPI/KGI

農業用途では詳細な視覚的判断が必要となり、目標に設定したレベルの復元精度が実用的な下限と考えられる、また、ビニールハウス内の環境把握に必要な精度から KPI を設定した。復元前後のデータから SSIM、PSNR や復元精度の計算を行う。

- ・【KPI】復元画像の構造的類似性指標(SSIM):0.85 以上  
復元画像の PSNR(ピーク信号雑音比):20dB 以上

環境データの復元精度:温度±0.5℃、湿度±2%、CO<sub>2</sub>±50ppm 以内

## 7) エッジ処理性能に関する KPI/KGI

農業モニタリングでは、10分に1回程度の頻度でのデータ収集が一般的であり、この間隔でデータを送信するシステムでは1秒程度の処理時間であれば十分に実用的と考えられるため、KPIとして設定した。処理時間(元画像を入力後、圧縮後画像が出力されるまでの時間)の計測を行う。また、ソーラーパネルなどの独立電源での動作を可能とするため、目標を設定した。

・【KPI】エッジデバイス側の圧縮処理時間:1秒以内(一般的なマイコン環境)

電力消費:動作時 150mW 以下、スリープ時 10mW 以下

連続稼働期間:バッテリー駆動で1カ月以上

## 8) システム全体のコストに関する KPI/KGI

特に高知県の中山間地域の農家の経営規模を考慮すると、5万円以下(機器費、工事費)が普及の現実的な閾値であるため、KPIとして設定した。検証結果を元に、最低限必要な機器スペックの定義を行い、これを満たす安価な汎用市販部品を使用することで、量産時の予想価格を算出する。汎用市販部品の価格例を以下に示す。

汎用市販部品価格の例

- マイコン/カメラ: ESP32-CAM 約¥2,000-
- 温湿度センサー: BME280 約¥1,200-
- CO<sub>2</sub>濃度センサー: MH-Z19B 約¥4,000-
- 光量センサー: BH175 約¥1,000-
- LoRa 通信モジュール 920MHz の場合 約¥2,000-
- 電源 数百円(電池)~約1万円(ソーラー独立電源)
- 組立費(ケース等込み) 1万円
- 工事費 1~2万円

・【KPI】システム全体のコスト:1ハウスあたり5万円以下(量産時)

従来システム比コスト削減率:80%以上

## 9) 農業効果

今回のシステムを導入した場合の農業効果、特に労力削減について、週あたりの監視作業を10時間から1時間とすることを目標とし、その他異常気象時などの突発的な監視作業も含め、監視巡回の person 費削減目標を年間70%以上とした。実証結果を元に予想される軽減時間の算出を実施する。

・監視巡回の person 費削減:年間70%以上

## 5.2 ユースケース②:山間部や海中等の携帯電話網不感地域における通信の確立

### 5.2.1 実証内容の詳細

本実証では、携帯電話網不感地域である高知県の山間部農業施設への適用を目指し、LPWA 技術と AI 圧縮技術を組み合わせた低コスト・長距離通信インフラの構築・検証を実施する(図 5.2-1)。具体的には、対象エリアをカバーできる場所に中継局を設置し、半径約 5km 圏内のビニールハウスをカバーする広域ネットワークの構築を行う。エッジデバイス側では AI により超効率的にデータを圧縮して、情報の種を生成する。この情報の種は、小容量のため、LPWA の通信制約(ペイロード最大 242 バイト)下でも伝送が可能となり、LPWA を使用した画像・環境データの効率的な伝送が可能となる。これにより、通信インフラの制約に縛られない地域間格差の是正と、農業 DX の全県展開を目指す。

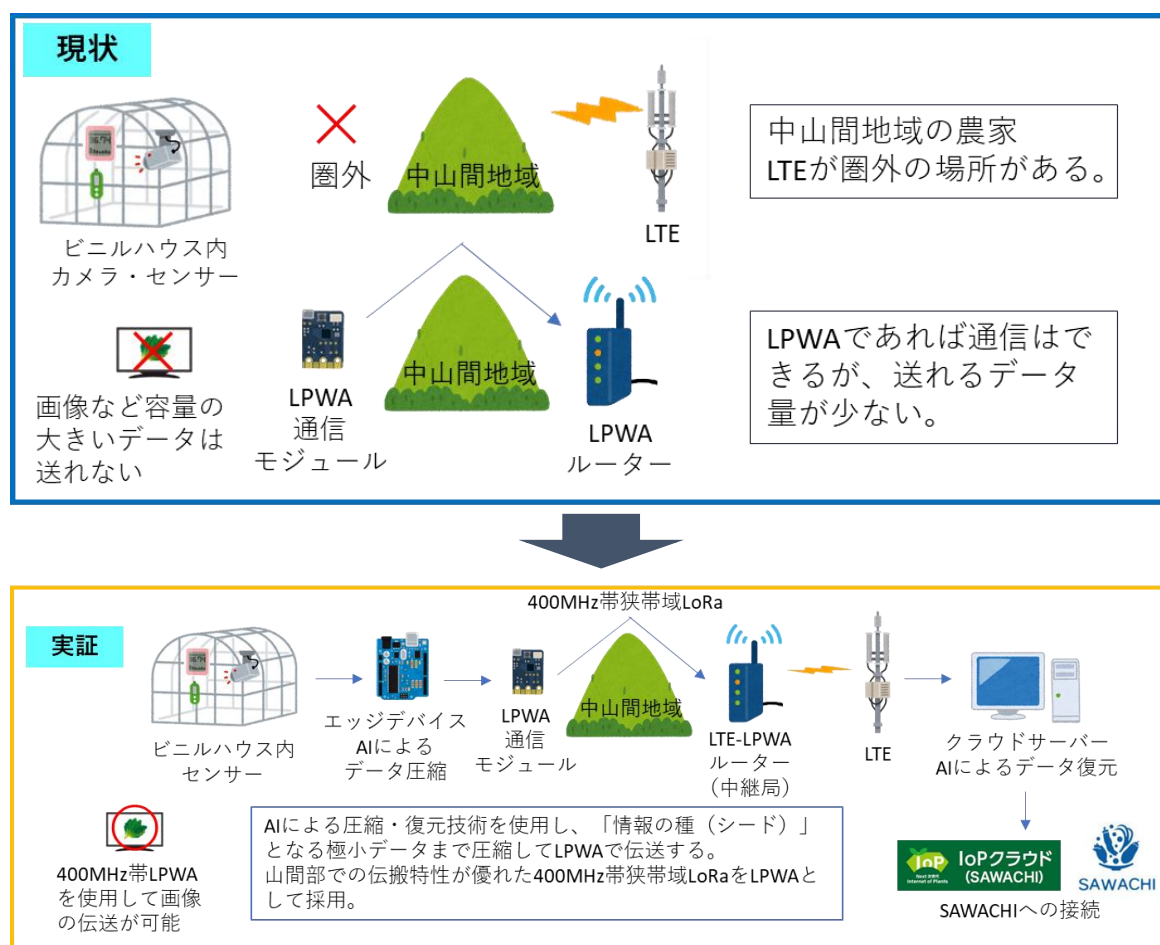


図 5.2-1 実証内容詳細

## 5.2.2 利用技術・データ

本ユースケースでは、以下の装置を使用する。

### 1. 中継局(LTE-LPWA ルーター)

- 400MHz 帯狭帯域 LoRa 通信モジュール

400MHz 帯狭帯域 LoRa 通信モジュールをそのまま使用する特定小電力無線局タイプ(429MHz 帯 10mW)と、400MHz 帯狭帯域 LoRa 通信モジュールにパワーアンプを追加した実験試験局タイプ(400MHz 帯 1W)の 2 種類を準備し、希望する通信エリアに合わせて設置を行う。外部アンテナ使用によるエリアカバレッジの最適化を図る。

- LTE ルーターによるバックホール回線、ルーター処理にはラズベリーパイ(Raspberry Pi 3B CPU: 1.2GHz クアッドコア、1GB DDR2 450MHz 低電圧 SDRAM))を使用
- 防水性のあるプラスチック筐体へ収納。
- 電源:商用電源またはソーラー独立電源

## 2. エッジノード(農業施設内)

- カメラ・センサー:アウルカスタム版(有限会社イチカワ製)

エッジデバイスとしてラズベリーパイ(Raspberry Pi 3B CPU: 1.2GHz クアッドコア、1GB DDR2 450MHz 低電圧 SDRAM))を使用

- AI エンコーダーによる超効率的データ圧縮
- 400MHz 帯狭帯域 LoRa 通信モジュール

400MHz 帯狭帯域 LoRa 通信モジュールをそのまま使用する特定小電力無線局タイプ(429MHz 帯 10mW)と、400MHz 帯狭帯域 LoRa 通信モジュールにパワーアンプを追加した実験試験局タイプ(400MHz 帯 1W)の 2 種類を準備し、希望する通信エリアに合わせて設置を行う。

## 3. クラウドサーバー

- 画像復元・分析処理
- Web ダッシュボードによる農家向け情報提供。

### 5.2.3 必要性・新規性

本実証と市場における既存の取組との差分および、必要性・新規性は、以下の通り。

既存の取り組み

LTE 圏外地域において、農業用に新たな通信回線を設置することは困難

- ・ 専用回線/光ファイバー敷設:初期投資が高額(数百万円/km)で、山間部では地形的に困難。
- ・ ローカル 5G:高性能だが基地局コストが高く(数千万円)、小規模農家には非現実的、今回想定している環境では電波が届かない。
- ・ 既存の LPWA 単独利用:低コストだが通信容量が極めて限定的で画像転送は不可能。
- ・ 衛星通信:通信コストが高く(数万円/月)、データ容量も制限される。

本実証の差分および、必要性・新規性

- ・ 既存の LPWA 技術(LoRa)をベースに、AI 圧縮技術との組み合わせで機能を大幅拡張することが可能。
- ・ 1 ゲートウェイ(中継局)で半径 5km 程度をカバーする広域ネットワークを低コスト(数十万円)で実現可能。
- ・ 地域の高所を活用した効率的な配置設計により、山間地形の制約を克服可能。
- ・ 中山間地域での伝搬特性が優れた 400MHz 帯狭帯域 LoRa を使用。
- ・ 太陽光発電等の自立電源と組み合わせ、電源インフラ未整備地域でも持続可能な運用。

本実証で、「エッジ AI による通信量の低減」と「山間部や海中等の携帯電話網不感地域における通信の確立」をユースケースとして選択した理由は、5.1.3 に記載の通り。

## 5.2.4 検証条件

本実証は、以下の検証条件で実施する。

- ・ 検証場所:高知県南国市および安芸市内
  - 中継局は、エッジデバイスとの通信確保が可能な既存建物屋上に設置
  - エッジデバイス側装置は、南国市内、安芸市内の農家様圃場内へ設置
- ・ 栽培作物:各農家様にて実際に栽培されている作物(シントウ、ナス、キュウリ、パプリカ、メロン)
- ・ 設置台数:中継局(特定小電力無線局タイプ(429MHz 帯 10mW))2 局
  - 中継局(実験試験局タイプ(400MHz 帯 1W))2 局
  - エッジデバイス側装置(特定小電力無線局タイプ(429MHz 帯 10mW))8 局
  - エッジデバイス側装置(実験試験局タイプ(400MHz 帯 1W))2 局
- ・ 設置期間:3 か月以上(実証期間終了後も、今期の収穫が終了する 2026 年 8 月ごろまで設置)
- ・ データ採取間隔:ビニールハウス内作物の画像 30 分ごと 24 時間  
 ビニールハウス内環境データ(温度、湿度、CO<sub>2</sub>濃度)1 分ごと 24 時間
- ・ 各圃場の LPWA による通信間隔:30 分ごと 24 時間

## 5.2.5 開発・評価項目

本ユースケースでの開発・評価項目を表 5.2-1 に示す。

表 5.2-1 開発・評価項目

番号	開発・評価項目
1	地形対応型 LoRa 配置設計 配置設計の際に必要な技術を確立する。 ・電波伝搬シミュレーションによる最適ゲートウェイ(中継局)配置設計技術 ・山間地形における反射・回折を考慮した通信エリア予測技術 ・事前伝搬調査方法 ・実験試験局タイプ(400MHz 帯 1W)と特定小電力無線局タイプ(429MHz 帯 10mW)の中継局を使い分け、最小数で最大のカバーレッジを実現する手法の検討 ・必要な局数を収納するために必要なチャンネル数を最小とする周波数共用方法の検討
2	信頼性向上技術 通信の信頼性向上に必要な技術を確立する。 ・パケット分割・再構成技術による大容量データの確実な伝送 ・通信品質に応じた動的なパラメータ調整(SF 値、チャンネル、送信出力等) ・回復不能なパケットロスに対する復元アルゴリズム
3	自立型通信インフラ 自立型通信インフラとして確立可能とすることを旨とし、以下の検討を行う。 ・太陽光発電と蓄電システムによる完全自立型ゲートウェイ(中継局)設計 ・厳しい気象条件(豪雨、強風等)に耐える堅牢な設置方式 ・遠隔監視・制御によるメンテナンス負荷の軽減

以下の実証手順に沿って、開発を進め、達成条件に対する評価を実施する。

1. 電波伝搬調査・シミュレーション:対象エリアの地形を考慮した電波伝搬シミュレーション実施、事前伝搬調査の実施  
 達成条件:通信可能エリアの事前予測、ゲートウェイ(中継局)最適位置の特定を可能にする。
2. ゲートウェイ(中継局)設置・基本通信確認:高台へのゲートウェイ設置と基本通信テストの実施  
 達成条件:ゲートウェイの安定稼働、基本通信の確立
3. エッジノード配置・通信品質評価:農業施設へのエッジノード設置と通信品質測定  
 達成条件:全対象施設での通信確立、パケット到達率 95%以上
4. システム安定性評価:様々な気象条件下での通信安定性評価、消費電力測定、電源構成検討の実施  
 達成条件:悪天候下でも通信維持、自立電源での継続稼働
5. 通信効率最適化:SF 値、送信間隔等のパラメータ最適化  
 達成条件:バッテリー寿命 1 ヶ月以上、通信効率最大化

6. データ伝送検証:圧縮画像・センサーデータの実伝送テスト

達成条件:パケットロス率 5%以下

7. 長期安定性評価:1ヶ月以上の連続運用による安定性検証

達成条件:システム全体の安定稼働、通信システム稼働率:99.5%以上、  
メンテナンス不要期間の検証

8. 社会実装評価:導入・運用コストの算出、評価、農家の利用満足度調査

達成条件:エッジノード導入コスト 1ハウスあたり 5万円以下(量産時)、利用者満足度 80%以上

## 5.2.6 KPI/KGI

本ユースケースでの目標値を表 5.2-2 に示す。

表 5.2-2 本ユースケースでの目標値

定性評価 /定量評価	番号	目標値
定性評価	1	地域特性への適応性 ・山間地形(谷、斜面等)における通信安定性 ・季節変化(積雪、落葉等)への適応性 ・地域特有の気象条件(霧、豪雨等)への耐性
	2	導入・運用の容易さ ・非 IT 専門家(農家等)による設置・管理の容易さ ・トラブル時の解決容易性 ・拡張・増設時の作業効率性
	3	地域コミュニティへの貢献 ・地域デジタルデバイド解消への貢献度 ・地域インフラとしての他用途展開可能性 ・防災・減災インフラとしての二次的価値
	4	社会実装モデルとしての評価 ・他の中山間地域への横展開可能性 ・運用モデルの持続可能性 ・地域主体による維持管理体制の構築容易性
定量評価	5	通信性能 ・通信範囲:半径 5km 以内でのパケット到達率 95%以上 ・スループット:ノード 1 台あたり平均 100KB/日以上の実効データ転送量 ・同時接続:1 中継局あたり 10 台以上のエッジノード接続
	6	システム信頼性 ・通信システム稼働率:99.5%以上(月間停止時間 3.6 時間以下) ・パケットロス率 5%以下 ・重要データ(異常検知等)の伝送成功率:99.9%以上
	7	経済性 ・ゲートウェイ(中継局)導入コスト:50 万円以下/台(カバレッジ半径 5km) ・エッジノード導入コスト:1 ハウスあたりの導入コスト:5 万円以下(量産時) ・運用コスト:年間メンテナンス費 5 万円以下/システム
	8	持続可能性 ・自立電源稼働期間:連続 7 日間の日照不足でも稼働継続 ・自立電源バッテリー交換頻度:年 1 回 ・遠隔メンテナンス率:90%以上(現地訪問なしで解決可能な障害率)

### 1) 地域特性への適応性～

高知県内でも地形などの地域特性が実証地域と異なる場合があるため、それら地域でも適応可能な、以下の項目について、実証結果を元に机上検討を実施する。

- ・ 山間地形(谷、斜面等)における通信安定性
- ・ 季節変化(積雪、落葉等)への適応性
- ・ 地域特有の気象条件(霧、豪雨等)への耐性

### 2) 導入・運用の容易さ

専門業者が設置・管理を行うのではなく、農家の方自身が行うことで、費用の低減が期待されるため、以下の項目について、実証結果を元に机上検討を実施する。

- ・ 非 IT 専門家(農家等)による設置・管理の容易さ
- ・ トラブル時の解決容易性
- ・ 拡張・増設時の作業効率性

### 3) 地域コミュニティへの貢献

導入された農家の方へのメリットだけではなく、地域コミュニティへの貢献を目指し、以下の項目について、実証結果を元に机上検討を実施する。

- ・ 地域デジタルデバイド解消への貢献度
- ・ 地域インフラとしての他用途展開可能性
- ・ 防災・減災インフラとしての二次的価値

### 4) 社会実装モデルとしての評価

多くの農家の方に導入いただけるような社会実装が可能なモデルであるか、以下の項目について、実証結果を元に机上検討を実施する。

- ・ 他の中山間地域への横展開可能性
- ・ 運用モデルの持続可能性
- ・ 地域主体による維持管理体制の構築容易性

### 5) 通信性能

これまでに実施してきた 400MHz 帯狭帯域 LoRa の伝搬試験結果や、農業モニタリングに最低限必要な画像情報やデータ量を考慮して設定した以下の目標に対して、実際に構築した通信システムを使用して測定を実施し、評価を行う。

- ・ 通信範囲:半径 5km 以内でのパケット到達率 95%以上
- ・ スループット:ノード 1 台あたり平均 100KB/日以上の実効データ転送量
- ・ 同時接続:1 中継局あたり 10 台以上のエッジノード接続

### 6) システム信頼性

農業モニタリングに最低限必要なデータ更新頻度を考慮して設定した以下の目標に対して、実際に構築した通信システムを長期間稼働させて測定を実施し、評価を行う。

- ・ 通信システム稼働率:99.5%以上(月間停止時間 3.6 時間以下)
- ・ パケットロス率 5%以下
- ・ 重要データ(異常検知等)の伝送成功率:99.9%以上

### 7) 経済性

農水省の調査によると、中小規模の農家が新技術に投資できる金額は概ね 5～10 万円/ハウスが上限とされており、特に高知県の中山間地域の農家の経営規模を考慮すると、5 万円以下が普及の現実的な閾値であること、既存の高度環境制御システムが 10～20 万円/ハウスであること考慮して設定した以下の目標に対して、今回の実証を通して必要な機器スペックを定義し、スペックを満たす市販機種を選定することで、量産時のコストを算出し、評価を行う。

- ・ ゲートウェイ(中継局)導入コスト:50 万円以下/台(カバレッジ半径 5km)
- ・ エッジノード導入コスト:1 ハウスあたりの導入コスト:5 万円以下(量産時)
- ・ 運用コスト:年間メンテナンス費 5 万円以下/システム

## 8) 持続可能性

農業 IoT システムの主要な導入障壁の一つは、バッテリー交換の頻度やメンテナンスコストであることを考慮して設定した以下の目標に対して、実際に構築した通信システムの消費電力やメンテナンス回数を計測し、得られた結果を元にして評価を行う。

- ・ 自立電源稼働期間:連続 7 日間の日照不足でも稼働継続
- ・ 自立電源バッテリー交換頻度:年 1 回
- ・ 遠隔メンテナンス率:90%以上(現地訪問なしで解決可能な障害率)

### 5.3 ユースケース③:多種多様なデバイスに対する通信リソースの最適化

当該ユースケースは実施しなかった。

#### 5.4 ユースケース④:分散ネットワークにおける新たな AI ソリューションの創出

当該ユースケースは実施しなかった。

## 5.5 拡張性に関する検証

### 5.5.1 実証内容の詳細

通信制約下でのデータ伝送という課題は多くの産業・分野に共通するものであり、本技術の横展開可能性は極めて高いと考えられる。以下に例を示す。

- ① 林業・森林管理への応用
  - ・森林モニタリング、病虫害検出、野生動物監視
- ② 防災・災害対応分野への応用
  - ・災害現場画像伝送、被害状況確認、避難所状況モニタリング、
- ③ インフラ点検・監視分野への応用
  - ・橋梁・トンネル点検、河川・ダム監視、電力・ガスインフラ監視
- ④ 遠隔医療・介護分野への応用
  - ・遠隔診断支援、在宅患者モニタリング、感染症対策
- ⑤ 教育分野への応用
  - ・遠隔授業の画質向上、教材データの効率的配布、オンライン協働学習

本実証では、これらの中でも、特に防災・災害対策分野に関連する、排水溝監視への横展開に向けた技術的検証を行う(図 5.5-1)。

今回実証を行う農業分野において、作物の成長に水は必須であり、水の管理は非常に重要となっている。農業用ため池や用水路、貯水タンクなどの監視へのニーズは高く、今回、水に関連した排水溝監視について横展開を実施することとした。防災・災害対策分野では、ため池の決壊や、川の氾濫を検知する用途への応用が考えられるが、決壊したり氾濫したりした状態の学習用画像の採取が不可能なため、水位コントロールが容易で学習用画像の採取が容易な排水溝監視としている。

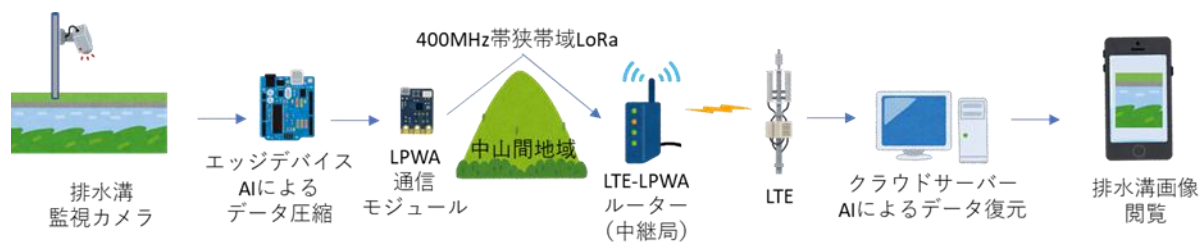


図 5.5-1 排水溝監視概要図

主な検証内容は以下の通り。

1. データ特性の違いへの対応
  - ・農業画像と他分野の画像の特性比較
  - ・分野別の最適パラメータ調査
  - ・転移学習による分野適応性の検証

2. 通信環境の多様性への対応

- ・様々な通信規格(LoRa, Sigfox, LTE Cat-M1 等)や通信品質変動、帯域制約下における伝送が可能であるかの検討と最適化手法の検討

### 3. システム要件の汎用化

- ・ハードウェア要件の一般化
- ・ソフトウェアインターフェースの標準化
- ・セキュリティ要件の検討

実証を通じて技術の有効性と汎用性を検証し、様々な産業・分野への横展開を推進する。

実証で開発する超効率的データ圧縮・復元技術は、高知県の山間部農業環境を起点としつつも、多様な地域条件・インフラ環境への横展開を視野に設計を行う。また、LoRa 以外の LPWA 通信方式や、通信品質の異なる環境における伝送が可能であるかの検討と農業分野向けと同様の性能を得るための最適化手法の検討を行う。

横展開に向けては、環境シミュレーションによる事前検証から始め、高知県内の異なる地域特性を持つ場所での実証、四国内他県、さらに全国の代表的農業地域へと段階的に検証を拡大する。これと並行して、多様な農業環境を網羅するデータセット構築、環境条件に適応するアルゴリズム実装、様々なハードウェアでの互換性確保に取り組む。

これらの取り組みにより、通信環境の制約がある全国の中山間地域でも高度なデジタル農業技術を実装可能にする汎用的モデルの確立を目指す。

また、本実証で構築する通信システムは、接続端末数の増加にも柔軟に対応できる高いスケーラビリティを備えている。

まず、エッジ AI 処理による超効率的なデータ圧縮(100 倍以上)により、LPWA ネットワークの帯域利用効率を大幅に向上させる。通常の LPWA ゲートウェイは、一般的には通信量の制約から数台程度の接続に制限される。本システムでは 1 台あたりの通信量を劇的に削減することで、1 中継局あたり約 10 台のエッジデバイスを安定して収容可能とすることを目指す。

また、階層的なネットワーク構成により、ゲートウェイ増設による水平スケーリングも容易である。中継局の配置を最適化することで、広域カバレッジと端末密度の両立を実現する。さらに、AI 処理の分散化アーキテクチャにより、サーバー側の負荷も分散されるため、クラウドリソースのスケーリングも柔軟に行うことができる。

必要な場合、端末間の相互干渉を防ぐ動的送信制御機能の実装も目指す。端末数増加時にも自動的に送信タイミングを最適化し、パケット衝突を最小化する。また、優先度ベースの通信制御により、異常検知など緊急性の高いデータの確実な伝送を保証する。

これらの技術により、実証フィールドの 10 倍規模となる数百台規模に対しても、システム性能を維持したまま拡張可能なネットワークの実現を目指す。

## 5.5.2 前提条件

本実証においては、タイムラプスカメラにて画像収集を行うが、農業分野向けと同一のハード構成、

ソフトウェアインターフェースにて排水溝監視が可能となるかについて検証を行う(図 5.5-2)。

- ・ 検証場所: 栃木県鹿沼市電気興業鹿沼工場内排水溝
- ・ 設置台数: タイムラプスカメラ 1 台
- ・ 設置期間: 1 か月以上
- ・ データ採取間隔: 10 分ごと

### 電気興業鹿沼工場(栃木県鹿沼市)内の排水溝

2025.08.04



### 電気興業鹿沼工場(栃木県鹿沼市)内の排水溝



台風時には、排水溝から溢れる

晴天時は水の流れるは無いが、上流部に水道があるため、任意の水量に設定することは可能



AC100Vは準備可能

## 学習用画像採取状況



図 5.5-2 排水溝画像採取状況

### 5.5.3 評価項目

本実証での評価項目を表 5.5-1 に示す。

表 5.5-1 拡張性に関する検証 評価項目

番号	評価項目
1	防災・災害対策分野(排水溝監視)での基本モデル構築・評価
2	様々な通信規格や通信品質変動、帯域制約下における伝送が可能であるかの検討と最適化手法の検討
3	ハードウェア要件の一般化
4	ソフトウェアインターフェースの標準化
5	セキュリティ要件の検討

以下の実証手順に沿って開発を進め、達成条件に対する評価を実施する。

#### 1. 防災・災害対策分野(排水溝監視)での基本モデル構築・評価

基本実装と初期性能評価を行う。

達成条件:排水溝監視の撮影時について、基本的なモデル動作確認、圧縮率 50 倍以上。  
必要な画像が不足する場合や、達成できない場合については、ため池水位監視へ適用可能な性能は確保できるのか、他の用途であれば適用可能な性能かを机上検討により示す。

2. 様々な通信規格や通信品質変動、帯域制約下における伝送が可能であるかの検討と最適化手法の検討  
農業向けの検討結果をもとに机上検討を行う。  
達成条件：農業分野向けと同様の性能が得られる見込みがあること。エンドツーエンド遅延 10 秒以内、パケットロス率 5%以下。
3. ハードウェア要件の一般化  
分野ごとに固有なハードウェアが必要ないかの机上検討を行う。  
達成条件：固有なハードウェアを削減し、ハードウェアの統一を目指す。統一困難な場合は、要求される条件を示す。
4. ソフトウェアインターフェースの標準化  
農業向けのソフトウェアインターフェースの使用が可能か、机上検証を行う。  
達成条件：ソフトウェアインターフェースを農業用と統一を目指す。統一困難な場合は、要求される条件を示す。
5. セキュリティ要件の検討  
各分野向けにおいて、農業向けとは異なるセキュリティ要件が必要か調査・検討を行う。  
達成条件：分野別のデータ保護要件を取りまとめ、対応を可能とする。

## 5.5.4 KPI/KGI

本実証での目標値を表 5.5-2 に示す。

表 5.5-2 本実証での目標値

定性評価 /定量評価	番号	目標値
定性評価	1	他分野用途での有効性 ・使用者への意思決定支援への貢献度 ・作業負担軽減効果の実感度 ・システム操作性と理解のしやすさ
	2	技術の拡張性 ・他の方法への適応容易性 ・異常気象時など特殊条件下での動作安定性
	3	社会実装の容易さ ・導入・設置の簡便さ ・メンテナンス頻度と難易度 ・既存システムとの連携性
定量評価	4	圧縮率 画像データを 50 倍以上に圧縮(基本モデル)
	5	農業分野向けと同様の性能 100 倍以上の圧縮率、SSIM 0.85 以上、エンドツーエンド遅延 10 秒以内、パケットロス率 5% 以下が得られる見込みがあることを示す

### 1) 他分野用途での有効性

農業用以外に分野においても、本システムが有効性を発揮し、横展開が可能とするために、以下の項目について、実証結果を元に机上検討を実施する。

- ・ 使用者への意思決定支援への貢献度
- ・ 作業負担軽減効果の実感度
- ・ システム操作性と理解のしやすさ

### 2) 技術の拡張性

農業用以外に分野における本システムが拡張性について、数多くの環境や気象での使用を可能とするために、以下の項目について、実証結果を元に机上検討を実施する。

- ・ 他の方法への適応容易性
- ・ 異常気象時など特殊条件下での動作安定性

### 3) 社会実装の容易さ

農業用以外においても容易な社会実装を可能とするために、以下の項目について、実証結果を元に机上検討を実施する。

- ・ 導入・設置の簡便さ
- ・ メンテナンス頻度と難易度
- ・ 既存システムとの連携性

### 4) 圧縮率

圧縮率については、農業用と同等とすることを目指す。最終的なモデルではなく、基本モデル構築・評価まで実施できれば、それ以降は農業分野向けと同じように最適化することによって、農業分野向けと同等の性能が得られると考えられことを踏まえ、目標としては、基本モデルにおける値を設定した。

- ・ 画像データを 50 倍以上に圧縮(基本モデル)

### 5) 農業分野向けと同様の性能

圧縮率以外の性能についても、農業用と同等とすることを目指す。最終的なモデルではなく、基本モデル構築・評価まで実施できれば、それ以降は農業分野向けと同じように最適化することによって、農業分野向けと同等の性能が得られると考えられことを踏まえ、目標としては、基本モデルにおける検討結果を元に見込みを示すこととした。

- ・ 農業分野向けと同様の性能(100 倍以上の圧縮率、SSIM 0.85 以上、エンドツーエンド遅延 10 秒以内、パケットロス率 5%以下)が得られる見込みがあることを示す。

## 5.6 効果検証

### 5.6.1 実証内容の詳細

今回構築した、実証用システム(図 5.6-1)を使用して、以下の項目に対して、効果検証を行う。

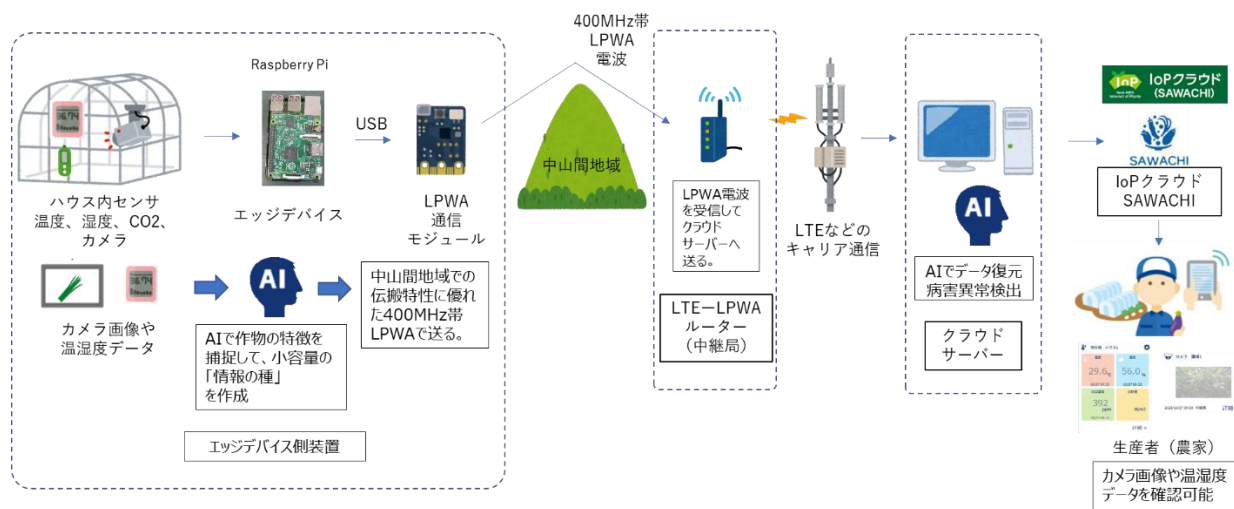


図 5.6-1 実証用システムの概要

#### 1. コスト削減効果

本技術を導入した場合のコスト削減効果を、以下の手法で定量的・定性的に評価を行う。

##### ① 計測手法

###### a. 通信コスト削減効果

- ・ データ伝送量の比較測定: 従来手法のデータ量と本技術適用後のデータ量を実測し、削減率を算出
- ・ 通信料金を現行比で計算(100倍圧縮による通信回数削減効果を金額換算)
- ・ 通信頻度変化による電池消費削減率の定量測定(バッテリー寿命 1カ月→12カ月の経済効果)

###### b. インフラコスト削減効果

- ・ 高速通信回線敷設(専用回線/ローカル 5G)が不要になることによる初期投資削減効果の算出
- ・ 代替手段(人による巡回監視)のコスト試算との比較(人件費、交通費、時間コスト)
- ・ 保守・運用コストの比較(メンテナンス頻度減少による保守コスト削減)

##### ② 評価方法

###### a. 定量的評価

- ・ システム全体の導入・運用コスト: 従来手法比 80%以上の削減を目標
- ・ 通信コスト: 従来比 90%以上の削減を検証

- ・ バッテリー交換頻度:年 12 回→年 1 回(自立電源)(約 92%削減)の実現性検証

#### b. 定性的評価

- ・ 維持管理の容易さと人的負担軽減度合い(農家へのインタビュー評価)
- ・ スケーラビリティによる将来コスト(拡張時の追加コストの低減効果)
- ・ 技術の標準化・汎用化によるコスト削減ポテンシャルの評価

これらの計測・評価を通じて、特に中小規模農家でも導入できる持続可能なコスト構造の実現性について検証を行う。

## 2. 投資対効果(ROI)

以下の計測・評価手法を用いて経済的実現性と経営資源管理の観点からの検証を行う。

### ① 投資対効果の計測手法

#### a. 初期投資および運用コスト明細化

- ・ 各コンポーネント別の導入コスト
- ・ 年間運用費の詳細把握
- ・ 代替手段との詳細コスト比較

#### b. 経済的便益の定量化

- ・ 人件費削減効果(監視・巡回コスト削減額)
- ・ 環境データに基づく最適環境制御による収量増加効果

#### c. 投資回収期間と長期 ROI 分析

- ・ 初期投資からの回収期間算出
- ・ 5 年間の累積 ROI 計算
- ・ ハウス規模・数量別のスケールメリット分析

### ③ 評価手法

#### a. 定量的評価指標

- ・ 投資回収期間:1~2 年以内を目標値として検証
- ・ 年間 ROI:40%以上を目標値として検証
- ・ 収益向上効果:10%以上の増収効果を検証

#### b. 定性的評価要素

- ・ 技術導入による農業経営の安定化効果
- ・ 人材不足解消への貢献度
- ・ 地域農業全体への波及効果と地域経済活性化

#### c. 規模別・形態別のモデル化

- ・ 小規模農家(1~5 棟)、中規模(5~20 棟)、大規模(20 棟以上)での ROI 比較
- ・ 露地栽培、施設園芸など栽培形態別の投資対効果分析
- ・ 地域特性(山間、平野、沿岸)による投資対効果の変動分析

これらの多角的な評価により、異なる農業環境・規模における最適投資モデルを構築し、横展開に向けた投資判断材料の提供を目指す。

### 3. その他経済的価値

以下の側面から定量的・定性的評価を実施する。

#### ①労働環境改善の経済的価値

- ・ 農作業時間削減率:モニタリング自動化による作業時間変化を計測(目標:週あたり監視作業 10 時間→1 時間)
- ・ 夜間・悪天候時の監視回避による労働負荷軽減:不要となった危険作業時間数と労災リスク低減の経済価値換算
- ・ 意思決定支援による判断ミス減少率:従来手法と比較した適正判断率向上の経済効果測定

なお、長期的には以下の経済的価値の取得が期待される。

#### ②データ資産価値の創出

- ・ 長期的データ蓄積による知見の経済価値:過去データを活用することでの生産性向上効果
- ・ AI 学習データとしての価値:蓄積されたデータセットの市場価値
- ・ 最適栽培レシピ確立による技術資産価値:形式知化された栽培技術の経済価値

#### ③経営リスク低減効果

- ・ 災害・異常気象等による収穫ロスの低減率:早期異常検知による被害軽減効果
- ・ 品質のばらつき減少による価格安定効果:等級向上率と平均销售价格上昇
- ・ 保険料低減可能性:リスク管理強化による農業保険料削減

労働環境改善による若手就農促進や、データ資産構築による農業の持続可能性向上など、長期的・社会的な経済効果の取得が期待される。

### 4. 既存通信インフラの有効活用

以下の計測・評価手法を実施する。

#### ① 計測手法

##### a. 通信リソース効率化指標の測定

- ・ 同一規模のシステムを既存通信インフラで構築した場合の既存通信インフラ端末

(LTE など)の台数や導入コストを算出。

- ・ 同一規模のシステムを既存通信インフラで構築した場合の既存通信インフラの通信量を算出。
- ・ 技術を使用して、同一規模のシステム導入時に使用する既存通信インフラ端末の台数および既存通信インフラの通信量を算出。
- ・ 既存通信インフラと本技術での端末台数及び通信量の比較を行う。

## ② 評価手法

### a. 定量的指標

- ・ 既存通信インフラ端末(LTE など)の台数(目標:80%以上削減)
- ・ 既存通信インフラの通信量(目標:80%削減)

### b. 定性的評価

- ・ 新たな高速通信回線(専用回線/ローカル 5G)の敷設が不要になることによる導入コスト削減

なお、既存通信インフラに関する内容のため、本実証での効果確認は実施できないが、本技術導入により、以下の効果が期待される。

- ・ ネットワーク収容効率向上:同一インフラで対応可能なデバイス数増加
- ・ ネットワーク輻輳率低減:トラフィックピーク時の輻輳発生率低減
- ・ バッファリング遅延削減:エンドツーエンドでの配信遅延時間短縮
- ・ 既存インフラ寿命延長効果:設備更新サイクルの延長
- ・ 新サービス導入余地の創出:空き容量を活用した新たなサービス創出
- ・ 非常時対応能力向上:災害時等の重要通信確保能力向上

## 5. 実証分野における社会的価値

以下の計測・評価手法を実施する。

### ① 農業の持続可能性向上効果

- ・ 新規参入障壁低減効果:技術導入前後の初期投資額比較(目標:30%削減)
- ・ 耕作放棄地削減効果:遠隔監視による管理可能面積拡大(目標:農家一人あたり管理面積 20%増)

### ② 環境・レジリエンス向上効果

- ・ 資源利用効率化:水・肥料・農薬等の使用量削減(目標:20%以上削減)

なお、長期的には以下の社会的価値の取得が期待される。

- A) 農業の持続可能性向上効果
  - ・ 新規参入障壁低減効果:就農ハードル低下
  - ・ 営農継続率:モニタリング自動化による労働負荷軽減で継続可能となった農家数の増加
- B) 地域間格差縮小効果
  - ・ デジタルデバイド解消度:通信インフラ整備状況の異なる地域間でのデジタル農業実装格差解消
  - ・ 公平性指標:中山間地と平野部のスマート農業技術導入コスト差の減少
  - ・ 遠隔地での情報アクセシビリティ向上度:気象・市況・栽培技術等の情報取得タイムラグの短縮
- C) 地域コミュニティ活性化効果
  - ・ 雇用創出効果:本技術導入による新規雇用／起業数の増加
  - ・ 技術共有による集落営農活性化:データ共有による共同営農体制構築
  - ・ 地域ブランド力向上:品質安定化による市場評価向上
- D) 環境・レジリエンス向上効果
  - ・ 資源利用効率化:水・肥料・農薬等の使用量削減
  - ・ 極端気象対応力向上:異常気象による被害額減少
  - ・ 食料安全保障への貢献:地域食料自給率への影響

特に通信制約による地域間格差の解消に焦点を当て、どの地域でも平等に先端技術の恩恵を受けられる社会の実現が期待される。

## 5.6.2 前提条件

本実証にて構築した、農業分野向けシステムを使用して、各検証を実施または、検証結果を元に達成可能かどうか机上検討を行う。

## 5.6.3 評価項目

本実証での評価項目を表 5.6-1 に示す。

表 5.6-1 本実証での評価項目

番号	評価項目
1	コスト削減効果 本実証の技術を導入した場合と導入しない場合のコスト削減効果を、通信コスト削減効果とインフラコスト削減効果について評価を行う。
2	投資対効果(ROI) 本実証技術の導入による投資対効果を評価する。経済的実現性と経営資源管理の観点からの検証を行う。
3	その他経済的価値 本実証技術がもたらす追加的な経済的価値を評価する。労働環境改善の経済的価値、データ資産価値の創出、経営リスク低減効果の観点からの検証を行う。
4	既存通信インフラの有効活用 本実証の AI 技術による通信負荷軽減が、地域の限られた通信資源をいかに効率化するかを評価する。
5	実証分野における社会的価値 本実証における農業分野の社会的価値を多角的に評価するため、農業の持続可能性向上効果、環境・レジリエンス向上効果について検証を行う。

以下の実証手順に沿って、開発を進め、達成条件に対する評価を実施する。

①コスト削減効果 実証手順

1. データ伝送量の比較測定:従来手法のデータ量と本技術適用後のデータ量を実測し、削減率を算出

達成条件:従来比 90%以上の削減

2. 従来手法と本技術適用後で同一データを伝送した場合の通信料金を算出し、現行比で計算を実施(100 倍圧縮による通信回数削減効果を金額換算)

達成条件:従来比 90%以上の削減

3. 従来手法と本技術適用後で消費電力を計測し、電池消費削減率の算定を実施

達成条件:バッテリー寿命 1 カ月→12 カ月の実現性を検証

4. 高速通信回線敷設(専用回線/ローカル 5G)が不要になることによる初期投資削減効果を算出

達成条件:従来手法比 80%以上の削減

5. 代替手段(人による巡回監視)のコスト試算との比較(人件費、交通費、時間コスト)を実施

達成条件:従来手法比 80%以上の削減

## 6. 保守・運用コストの比較(メンテナンス頻度減少による保守コスト削減)を実施

達成条件:従来手法比 80%以上の削減

### ②投資対効果(ROI) 実証手順

#### 1. 初期投資および運用コスト明細化

- ・ エッジデバイス、中継局、クラウドサーバーなど各コンポーネント別の導入コストを算出
- ・ 年間運用費(通信費、電力費、メンテナンス費、サポート費)の詳細把握
- ・ 代替手段(専用回線敷設、定期巡回)との詳細コスト比較を実施

達成条件:投資回収期間 1~2 年以内を目標値として検証

#### 2. 経済的便益の定量化

- ・ 人件費削減効果(監視・巡回コスト削減額)の算出
- ・ 環境データに基づく最適環境制御による収量増加効果の貨幣価値換算を実施

達成条件:収益向上効果 10%以上の増収効果を検証

#### 3. 投資回収期間と長期 ROI 分析

- ・ 初期投資からの回収期間算出(コスト削減額と収益増加額の合計による)
- ・ 5 年間の累積 ROI 計算(機器耐用年数を考慮)を実施
- ・ ハウス規模・数量別のスケールメリット分析を実施

達成条件:年間 ROI40%以上を目標値として検証

### ③その他経済的価値 実証手順

#### 1. 農作業時間削減率:農作業時間を計測し、本技術導入前後の作業時間変化を計測

達成条件:週あたり監視作業 10 時間→1 時間

#### 2. 本技術導入によって不要となった危険作業時間数を計測し、労災リスク低減の経済価値換算を行う。

達成条件:夜間・悪天候時の監視回避による労働負荷軽減を図る、または、負荷低減の可能性を示す。

#### 3. 本技術導入後と従来手法で、適正判断率の変化を計測

達成条件:意思決定支援による判断ミス減少、または、判断ミス減少の可能性を示す。

4. 本技術導入後に得られるデータ資産について、経済価値算出を行う。

達成条件：農業の持続可能性を向上する経済価値が得られる可能性を示す。

5. 災害・異常気象等による収穫ロスの低減率、早期異常検知による被害軽減効果、保険料低減の可能性について検討を行う。

達成条件：経営リスク低減、または、低減の可能性を示す。

#### ④既存通信インフラの有効活用 実証手順

1. 同一規模のシステムを既存通信インフラで構築した場合の既存通信インフラ端末(LTE など)の台数や導入コストを算出。

達成条件：台数や導入コストを算出

2. 同一規模のシステムを既存通信インフラで構築した場合の既存通信インフラの通信量を算出。

達成条件：通信量を算出

3. 本技術を使用して、同一規模のシステム導入時に使用する既存通信インフラ端末の台数および既存通信インフラの通信量を算出。

達成条件：通信量を算出

4. 既存通信インフラと本技術での端末台数及び通信量の比較を行う。

達成条件：既存通信インフラ端末(LTE など)の台数(目標：80%以上削減)、既存通信インフラの通信量(目標：80%削減)

#### ⑤実証分野における社会的価値 実証手順

1. 新規就農者の参入障壁低減効果：本技術導入前後の初期投資額の低減見込み額を算出。

達成条件：目標 30%削減

2. 耕作放棄地削減効果

本技術導入により、管理可能となる面積拡大の算出、または、拡大見込み率を算出。

達成条件：農家一人あたり管理面積 20%増

3. 資源利用効率化

本技術導入によって、水・肥料・農薬等の使用量削減率を算出、または、削減見込み率を算出。

達成条件:目標 20%以上削減。

## 5.6.4 KPI/KGI

本実証での目標値を表 5.6-2 に示す。

表 5.6-2 本実証での目標値

定性評価 /定量評価	番号	目標値
定性評価	1	コスト削減効果 維持管理の容易さと人的負担軽減度合い スケーラビリティによる将来コスト技術の標準化・汎用化によるコスト削減ポテンシャルの評価
	2	投資対効果(ROI) 技術導入による農業経営の安定化効果 人材不足解消への貢献度 地域農業全体への波及効果と地域経済活性化
	3	その他経済的価値 労働負荷軽減、判断ミス減少、農業の持続可能性を向上する経済価値の取得、経営リスク低減の実現、またはこれらの実現可能性を示す。
	4	既存通信インフラの有効活用 新たな高速通信回線(専用回線/ローカル 5G)の敷設が不要になることによる導入コスト削減
	5	実証分野における社会的価値 本技術が単なる生産性向上だけでなく、中山間地農業の存続や地域社会の維持、環境負荷低減など、多様な社会的価値を創出する
定量評価	6	コスト削減効果 システム全体の導入・運用コスト:従来手法比 80%以上の削減を目標 通信コスト:従来比 90%以上の削減を検証 バッテリー交換頻度:年 12 回→年 1 回(自立電源)(約 92%削減)
	7	投資対効果(ROI) 投資回収期間:1~2 年以内を目標値として検証 年間 ROI:40%以上を目標値として検証 収益向上効果:10%以上の増収効果を検証
	8	その他経済的価値 週あたり監視作業 10 時間→1 時間
	9	既存通信インフラの有効活用 既存通信インフラ端末(LTE など)の台数(目標:80%以上削減) 既存通信インフラの通信量(目標:80%削減)
	10	実証分野における社会的価値 新規就農者の参入障壁低減効果:技術導入前後の初期投資額比較 目標 30%削減 耕作放棄地削減効果:遠隔監視による管理可能面積拡大 目標農家一人あたり管理面積 20%増 資源利用効率化:水・肥料・農薬等の使用量削減率 目標 20%以上削減

### 1) コスト削減効果

本技術を導入した場合のコスト削減効果を、以下の手法で定量的・定性的に評価を行う。

#### ①計測手法

##### 1.通信コスト削減効果

- データ伝送量の比較測定:従来手法のデータ量と本技術適用後のデータ量を実測し、削減率を算出

- ・ 通信料金を現行比で計算(100 倍圧縮による通信回数削減効果を金額換算)
- ・ 通信頻度変化による電池消費削減率の定量測定(バッテリー寿命 1 カ月→12 カ月の経済効果)

## 2.インフラコスト削減効果

- ・ 高速通信回線敷設(専用回線/ローカル 5G)が不要になることによる初期投資削減効果の算出
- ・ 代替手段(人による巡回監視)のコスト試算との比較(人件費、交通費、時間コスト)
- ・ 保守・運用コストの比較(メンテナンス頻度減少による保守コスト削減)

## ②評価方法

### 1.定量的評価

- ・ システム全体の導入・運用コスト:従来手法比 80%以上の削減を目標
- ・ 通信コスト:従来比 90%以上の削減を検証
- ・ バッテリー交換頻度:年 12 回→年 1 回(自立電源)(約 92%削減)の実現性検証

### 2.定性的評価

- ・ 維持管理の容易さと人的負担軽減度合い(農家へのインタビュー評価)
- ・ スケーラビリティによる将来コスト(拡張時の追加コストの低減効果)
- ・ 技術の標準化・汎用化によるコスト削減ポテンシャルの評価

これらの計測・評価を通じて、特に中小規模農家でも導入できる持続可能なコスト構造の実現性について検証を行う。

## 2) 投資対効果(ROI)

以下の計測・評価手法を用いて経済的実現性と経営資源管理の観点からの検証を行う。

### ①投資対効果の計測手法

#### 1.初期投資および運用コスト明細化

- ・ 各コンポーネント別の導入コスト
- ・ 年間運用費の詳細把握
- ・ 代替手段との詳細コスト比較

#### 2.経済的便益の定量化

- ・ 人件費削減効果(監視・巡回コスト削減額)
- ・ 環境データに基づく最適環境制御による収量増加効果

#### 3.投資回収期間と長期 ROI 分析

- ・ 初期投資からの回収期間算出
- ・ 5 年間の累積 ROI 計算
- ・ ハウス規模・数量別のスケールメリット分析

## ②評価手法

### 1.定量的評価指標

- ・ 投資回収期間:1~2年以内を目標値として検証
- ・ 年間ROI:40%以上を目標値として検証
- ・ 収益向上効果:10%以上の増収効果を検証

### 2.定性的評価要素

- ・ 技術導入による農業経営の安定化効果
- ・ 人材不足解消への貢献度
- ・ 地域農業全体への波及効果と地域経済活性化

### 3.規模別・形態別のモデル化

- ・ 小規模農家(1~5棟)、中規模(5~20棟)、大規模(20棟以上)でのROI比較
- ・ 露地栽培、施設園芸など栽培形態別の投資対効果分析
- ・ 地域特性(山間、平野、沿岸)による投資対効果の変動分析

これらの多角的な評価により、異なる農業環境・規模における最適投資モデルを構築し、横展開に向けた投資判断材料の提供を行う。

## 3) その他経済的価値

以下の計測・評価手法を用いて経済的実現性と経営資源管理の観点からの検証を行う。

### ①投資対効果の計測手法

#### 1.初期投資および運用コスト明細化

- ・ 各コンポーネント別の導入コスト
- ・ 年間運用費の詳細把握
- ・ 代替手段との詳細コスト比較

#### 2.経済的便益の定量化

- ・ 人件費削減効果(監視・巡回コスト削減額)
- ・ 環境データに基づく最適環境制御による収量増加効果

#### 3.投資回収期間と長期ROI分析

- ・ 初期投資からの回収期間算出
- ・ 5年間の累積ROI計算
- ・ ハウス規模・数量別のスケールメリット分析

## 4) 既存通信インフラの有効活用

以下の計測・評価手法を実施する。

### ①計測手法

#### 1.通信リソース効率化指標の測定

- ・ 同一規模のシステムを既存通信インフラで構築した場合の既存通信インフラ端末(LTEなど)の台数や導入コストを算出。
- ・ 同一規模のシステムを既存通信インフラで構築した場合の既存通信インフラの通信量を

算出。

- ・ 本技術を使用して、同一規模のシステム導入時に使用する既存通信インフラ端末の台数および既存通信インフラの通信量を算出。
- ・ 既存通信インフラと本技術での端末台数及び通信量の比較を行う。

## ②評価手法

### 1.定量的指標

- ・ 既存通信インフラ端末(LTE など)の台数(目標:80%以上削減)
- ・ 既存通信インフラの通信量(目標:80%削減)

### 2.定性的評価

- ・ 新たな高速通信回線(専用回線/ローカル 5G)の敷設が不要になることによる導入コスト削減

なお、既存通信インフラに関する内容ため、本実証での効果確認は実施できないが、本技術導入により、以下の効果が期待される。

- ・ ネットワーク収容効率向上:同一インフラで対応可能なデバイス数増加
- ・ ネットワーク輻輳率低減:トラフィックピーク時の輻輳発生率低減
- ・ バッファリング遅延削減:エンドツーエンドでの配信遅延時間短縮
- ・ 既存インフラ寿命延長効果:設備更新サイクルの延長
- ・ 新サービス導入余地の創出:空き容量を活用した新たなサービス創出
- ・ 非常時対応能力向上:災害時等の重要通信確保能力向上

## 5) 実証分野における社会的価値

以下の計測・評価手法を実施する。

### ①農業の持続可能性向上効果

- ・ 新規参入障壁低減効果:技術導入前後の初期投資額比較(目標 30%削減)
- ・ 耕作放棄地削減効果:遠隔監視による管理可能面積拡大(目標 農家一人あたり管理面積 20%増)

### ②環境・レジリエンス向上効果

- ・ 資源利用効率化:水・肥料・農薬等の使用量削減(目標 20%以上削減)

なお、長期的には以下の社会的価値の取得が期待される。

### ①農業の持続可能性向上効果

- ・ 新規参入障壁低減効果:就農ハードル低下
- ・ 営農継続率:モニタリング自動化による労働負荷軽減で継続可能となった農家数の増加

### ②地域間格差縮小効果

- ・ デジタルデバイド解消度:通信インフラ整備状況の異なる地域間でのデジタル農業実装格差解消
- ・ 公平性指標:中山間地と平野部のスマート農業技術導入コスト差の減少

- ・ 遠隔地での情報アクセシビリティ向上度:気象・市況・栽培技術等の情報取得タイムラグの短縮

#### ③地域コミュニティ活性化効果

- ・ 雇用創出効果:本技術導入による新規雇用／起業数の増加
- ・ 技術共有による集落営農活性化:データ共有による共同営農体制構築
- ・ 地域ブランド力向上:品質安定化による市場評価向上

#### ④環境・レジリエンス向上効果

- ・ 資源利用効率化:水・肥料・農薬等の使用量削減
- ・ 極端気象対応力向上:異常気象による被害額減少
- ・ 食料安全保障への貢献:地域食料自給率への影響

特に通信制約による地域間格差の解消に焦点を当て、どの地域でも平等に先端技術の恩恵を受けられる社会の実現が期待される。

## 6. 実証の結果・考察

### 6.1 全体スケジュール

本実証の全体スケジュールを図 6.1-1 に示す。

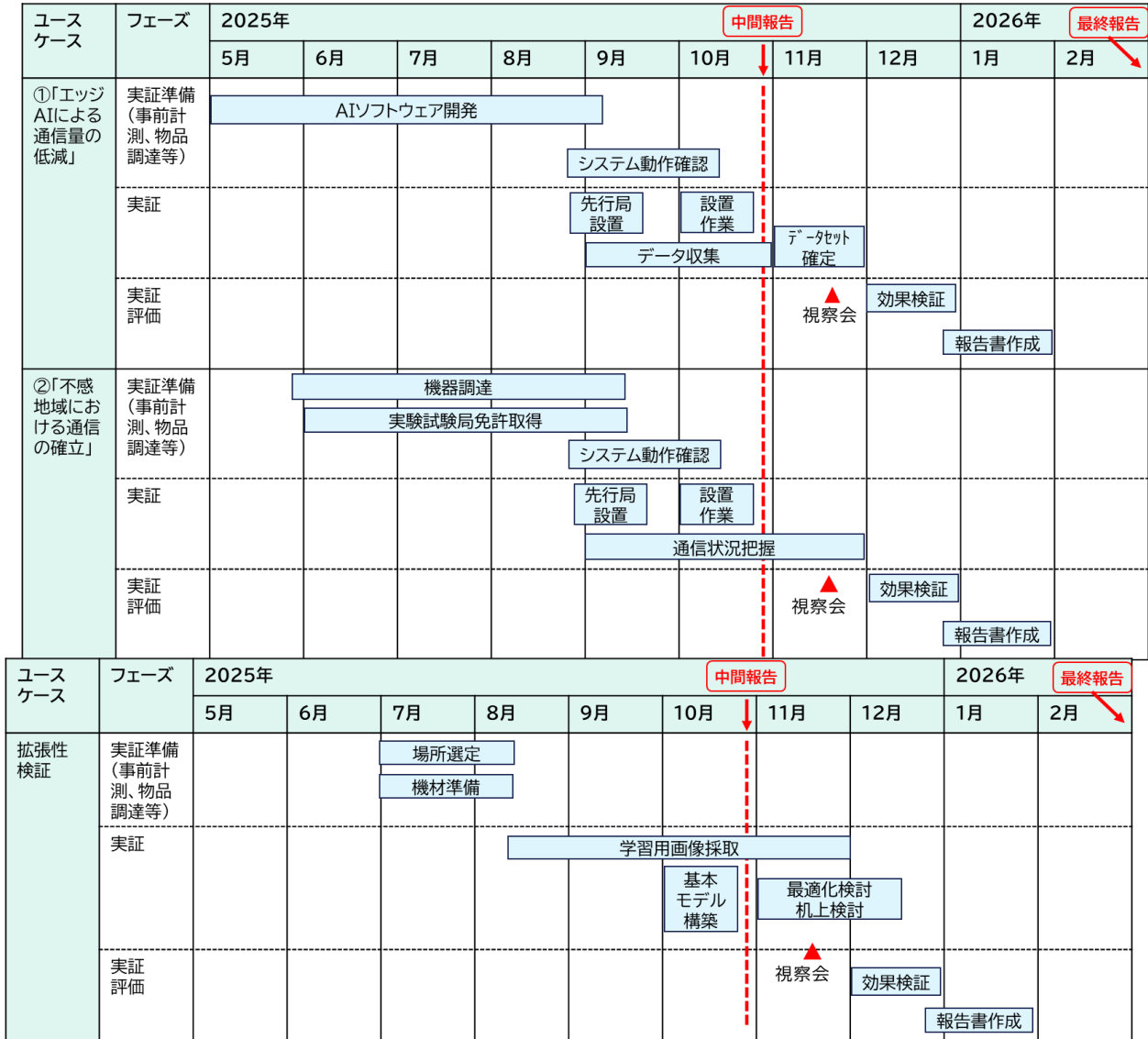


図 6.1-1 全体スケジュール

## 6.2 ユースケース①:エッジ AI による通信量の低減

### 6.2.1 実証スケジュール

本ユースケースのスケジュールを図 6.2-1 に示す。

ユースケース	フェーズ	2025年										2026年				
		5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	最終報告				
①「エッジ AIによる通信量の低減」	実証準備 (事前計測、物品調達等)	AIソフトウェア開発														
	実証					システム動作確認	先行局設置	設置作業	データ収集	データセット確定						
	実証評価									視察会	効果検証		報告書作成			

図 6.2-1 本ユースケースのスケジュール

### 6.2.2 開発・評価項目の結果

本ユースケースでの開発・評価項目を表 6.2-1 に示す。

表 6.2-1 本ユースケースでの開発・評価項目

番号	開発・評価項目
1	エッジ側のエンコーダーの開発 <ul style="list-style-type: none"> <li>・軽量のニューラルネットワークによる階層的データ圧縮処理</li> <li>・ESP32 等の低消費電力マイコン上での 1 秒以内の処理実現</li> </ul>
2	サーバー側のデコーダーの開発 <ul style="list-style-type: none"> <li>・U-Net 型アーキテクチャによるモデル実装</li> <li>・DPM-Solver による高速サンプリング技術</li> <li>・農業特化型の事前学習と最適化</li> </ul>
3	農業データに特化した最適化 <ul style="list-style-type: none"> <li>・作物種別モデル(葉物野菜、果菜類等)の開発</li> <li>・病害検出強化のための優先エンコーディング技術</li> <li>・季節変化に適応するパラメータ調整機能</li> </ul>

#### 1) エッジ側のエンコーダーの開発

本実証内で実施し、作物の特徴を抽出し、情報の種を生成することで、画像データの大幅な圧縮に成功した。また、高価なエッジコンピュータではなく、市販のラズベリーパイを使用しての圧縮を実施した。本実証内ではラズベリーパイを使用しての処理は実現できたが、現状、低スペックで安価な低消費電力マイコンである ESP32 での動作は確認できていない。実証の当初はメモリー使用量が 1GB 近くになり、ラズベリーパイがハングアップすることがあり、低スペックのマイコンでの動作は困難であったが、その後の改良により軽量化を図っている。処理速度について、ハードウェアによって異なるが、本実証で使ったラズベリーパイでは、エンコード時間 60 秒程度かかっていたが、その後の改良により軽量化を図り、50ms 程度となった。1 時間間隔での撮影であ

れば、50ms の処理時間は問題にならず、より頻繁な撮影(1 分間隔など)でも、処理はリアルタイムで完了するため、対応可能と考えられる。メモリー使用量や処理時間的には、低スペックのマイコンである ESP32 でも動作可能と考えられる。ただし、低スペックのハードウェアを使用する場合には、処理時間がかかるため、撮影間隔を広げるなどの対応が必要となることも考えられる。なお、低電力化については、低消費電力のマイコンを使用する方法もあるが、現状のラズベリーパイを使用しながら、ディープスリープを実装する方法でも実現可能と考えられる。

## 2) サーバー側のデコーダーの開発

本実証内で、サーバー側デコーダーの開発を行い、エンコーダーで生成した情報の種を使用して、画像への復元を実施した。復元画像の品質を示す指数である構造的類似性指標 SSIM や PSNR(Peak Signal-to-Noise Ratio)を使用して評価を行い、目標の値を達成できていない。見た目には数値ほど復元画像は劣化していない印象を受けるため、作物の特徴を抽出し、情報の種を生成することはできているが、この情報の種を元に画像へ復元し、数値で表すと品質が高くない結果になっていることが考えられる。詳細な視覚的判断が必要な場合は、圧縮復元に使用するコードブック作成の学習を改善する必要がある。また、環境データについても復元を実施し、温度、湿度、CO<sub>2</sub>濃度の復元精度について、目標を達成している。なお、当初予定から圧縮復元方法を変更しており、U-Net 型アーキテクチャによるモデル実装、DPM-Solver による高速サンプリング技術、農業特化型の事前学習と最適化は実施していない。

## 3) 農業データに特化した最適化

今回、実証に御協力いただいた農家様の栽培品目が果菜類のみであったが、作物種別モデルの開発について実施した。なお、作物ごとに学習モデルを作成するのではなく、すべての作物の画像を読み込み、1 種類の学習モデルとしている。葉物野菜については実施できていないが、葉物野菜の画像を採取して学習モデルを作成することによって対応可能と考えられる。

病害検出強化のための優先エンコーディング技術については、本実証内では実施できていない。今回の実証期間中に病虫害などの異常は発生しておらず、十分な学習用画像は採取できておらず検討出来ていない。

なお、実証期間の関係上、一部の期間のみの画像収集となっており、季節変化に対する検討は実施できていない。実証期間終了後も、作物の収穫が終わる 2026 年 8 月頃までは画像収集を行う予定であり、季節変化に適用可能かの検証も実施できる見込みである。

## 6.2.3 KPI/KGI との比較結果

本ユースケースでの KPI/KGI を表 6.2-2 に示す。

表 6.2-2 本ユースケースでの KPI/KGI

定性評価 /定量評価	番号	目標値
定性評価	1	農業現場での有効性 <ul style="list-style-type: none"> <li>農家の意思決定支援への貢献度</li> <li>作業負担軽減効果の実感度</li> <li>システム操作性と理解のしやすさ</li> <li>べと病、うどんこ病などの病害虫発生を環境モニタリングおよび制御による抑制、指導員や農家による多角的な感覚的評価を実施(指導員へのヒアリングや農家へのアンケート調査を実施し、評価の収集を行う)。</li> </ul>
	2	技術の拡張性 <ul style="list-style-type: none"> <li>他作物種への適応容易性</li> <li>季節変動への対応能力</li> <li>異常気象時など特殊条件下での動作安定性</li> </ul>
	3	社会実装の容易さ <ul style="list-style-type: none"> <li>導入・設置の簡便さ</li> <li>メンテナンス頻度と難易度</li> <li>既存農業システムとの連携性</li> </ul>
	4	地域間格差解消効果 <ul style="list-style-type: none"> <li>中山間地と平野部のデジタル農業実装格差の縮小度</li> <li>情報アクセシビリティ向上の体感度</li> </ul>
定量評価	5	圧縮率に関する KPI/KGI 【KPI】農業画像データ(256×256 ピクセル、RGB)を 200KB 以下から 2KB 以下へ圧縮(100 倍以上) 環境センサーデータを 1/10 以下に圧縮(温度、湿度、CO <sub>2</sub> 濃度×24 時間データを 100B 以下)
	6	復元精度に関する KPI/KGI 【KPI】復元画像の構造的類似性指標(SSIM):0.85 以上 病害検出精度低下:5%以内 環境データの復元精度:温度±0.5℃、湿度±2%、CO <sub>2</sub> ±50ppm 以内
	7	エッジ処理性能に関する KPI/KGI 【KPI】エッジデバイス側の圧縮処理時間:1 秒以内(一般的なマイコン環境) 電力消費:動作時 150mW 以下、スリープ時 10mW 以下 連続稼働期間:バッテリー駆動で 1 カ月以上
	8	システム全体のコストに関する KPI/KGI 【KPI】システム全体のコスト:1 ハウスあたり 5 万円以下(量産時) 従来システム比コスト削減率:80%以上
	9	農業効果 <ul style="list-style-type: none"> <li>監視巡回の人的費用削減:年間 70%以上</li> </ul>

### 1) 農業現場での有効性

画像による遠隔監視と、温湿度等の環境データの把握が容易にできるようになったため、以下の効果が見られた。

農家の意思決定支援への貢献度について、実証期間中に病害虫などの異常は発生しなかったため、実際に発生した際の有効性を確認することができなかったが、実証に参加いただいている農家様 10 軒へ有効性についてヒアリングの結果、以下のような証言が得られた。

- 温度湿度は 24 時間監視可能なため、例えば夜間にビニールハウスの天窓が故障した場合には、温度が下降するので、すぐに異常把握が可能となる。
- 夜間は、作物による吸収が減って二酸化炭素濃度が上がるのは普通であるが、設備異常で濃度が上がらない場合などすぐに把握できる。いままで夜に見回りはしていない。
- スマホで手軽に見えるのはよい。携帯電話が圏外のところでも見たい。
- カメラ 1 台では少ない。
- ハウス内でも場所によって温度分布が異なるために、複数のセンサー設置が必要、カメラについても今回は作物の一部分のみの撮影であったが、ハウス全体が見える画角の画像が欲しい。

作業負担軽減効果の実感度について、今回の実証システムによって圃場への見回り回数が減少し、負担が低減されたと考えられる。

システム操作性と理解のしやすさについて、すでに農家様が使用されている IoT クラウド SWACHI と似た表示や操作方法としたため、日頃、農家様が使用しているスマホを使用して、簡単に見ることができる。このため、システム操作性は高く、理解もしやすいシステムとなっている。

べと病、うどんこ病などの病害虫発生を環境モニタリングおよび制御による抑制について、今回の実証期間中に病害虫などの異常は発生しなかったため、有効性は確認できていない。代わりに、限られた画像枚数での病害虫検出の検討を行ったが、精度としては十分でないと考えられる。

## 2) 技術の拡張性

他作物種への適応容易性については、今回の実証では、作物ごとや農家様ごとにエンコード、デコードに必要なコードブックを準備するのではなく、すべての農家様の画像を読み込んでコードブックを 1 種類のみ作成した。このため、作物が異なる農家様でも対応可能となっている。

なお、今回の実証では、すべての農家様の画像を読み込んでコードブックを作成したため、作成の時間が多くかかり、手順も複雑になっている。どの程度の作物の画像を読み込んで、コードブックを作成すればよいのか、今後、普及を進める際に検討が必要と考えられる。例えば、今回実証を行った安芸市は、ナスの一大産地であり、ナスの画像のみでコードブックを作製すれば、多くの農家様へ対応が可能で、コードブック作成時間も短くすることができる。対して南国市では、農家様ごとに作物が異なっているため、この場合はすべての作物の画像を読み込んでコードブックを作製する方が、作物ごとに作成するよりも作成時間を短くすることができ、装置の管理も行いやすいと考えられる。

季節変動への対応能力については、今回の実証において、実証期間の関係上、一部の期間のみの画像収集となっており、季節変化に対する検討は実施できていない。定植から収穫終了までの作物の成長サイクルで画像を採取し、学習を行うことによって季節変動にも対応可能になると考えられる。

異常気象時など特殊条件下での動作安定性については、今回の実証期間中、異常気象には遭遇しておらず、検証は実施できていない。装置は、耐候性のある筐体に収納されており、異常気象時でも動作可能と考えられる。ただし、周囲の木々が濡れて風に吹かれるなど、気象の影響で電波強度が変動することが考えられる。通常時の受信レベルが、受信限界レベルに対して余裕を持たせて設置することによって、異常気象時に電波強度が低下して通信断になることを防げると考えられる。

### 3) 社会実装の容易さ

導入・設置の簡便さについて、今回の実証においては、農家様へのエッジデバイス装置取付は、コンソーシアム内の作業員が実施している。特殊な工具や技能、資格は必要としないため、装置取付は、農家様自身でも取付可能となっている。特に、ビニールハウス内のセンサー・カメラは、磁石基部を使用して取り付けを行っており、農家様でも設置可能である。ただし、LPWA のアンテナについては電波の到来方向や周囲の障害物の状況を考慮して取り付けを行う必要があり、また、高所作業となるため、専門技術者が取り付け作業を行うことが望ましい。

なお、無線局免許と無線従事者免許について、導入・設置時は特定小電力無線局タイプ(429MHz 帯 10mW)、実験試験局タイプ(400MHz 帯 1W)いずれも不要である。ただし、実験試験局タイプ(400MHz 帯 1W)について、運用つまり電波を送信する際にはいずれも必要となるため、注意が必要である。また、電波利用料(1 局当たり年 400 円)も必要となる。特定小電力無線局タイプ(429MHz 帯 10mW)は、運用時も免許は不要で、電波利用料の支払いも必要ない。

メンテナンス頻度と難易度について、今回の実証においては、エッジデバイスのコードブックやソフトウェア書き換えのため、複数回、農家様を訪問して作業を実施している。量産時には、コードブックやソフトウェアは、最終版を搭載するため、農家様を訪問しての書き換え作業は必要ないと考えられる。しかし、ソフトウェアのバージョンアップの際は、遠隔での書き換えはできないため、農家様現地を訪問しての書き換え作業が必要となる。

なおビニールハウスでの栽培終了時に、ハウスを締めきり、内部を高温にして殺菌、殺虫を行う蒸し込みを実施されるが、その際には高温による故障を防ぐためにセンサー・カメラを一時的に取り外していただき、蒸し込み終了後に再び取り付けていただく必要があるが、それ以外の作業は特に必要はないと考えられる。なお、画像や温湿度が表示されない場合は、制定したフロー図(図 6.2-2)に沿って対処を行い、復旧を図っている。

## 通信断発生時の対処フロー図 20251124

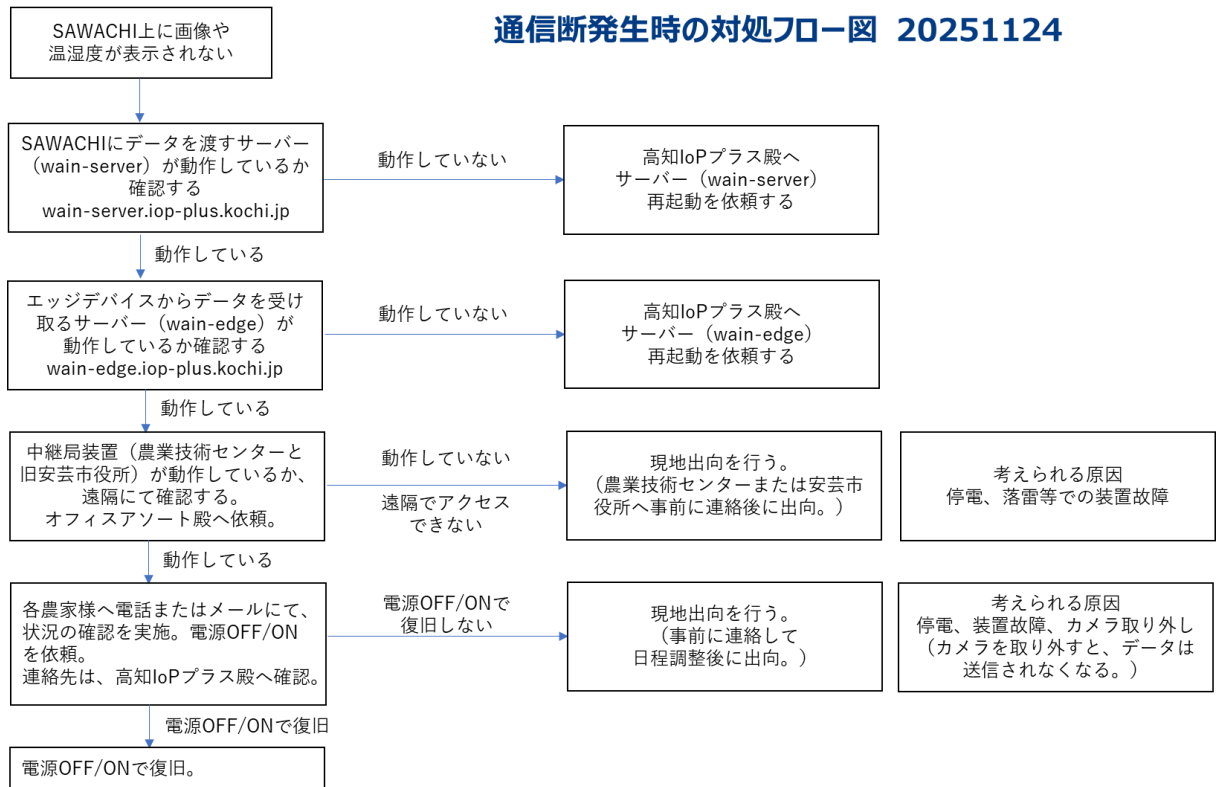


図 6.2-2 通信断発生時の対処フロー図

既存農業システムとの連携性について、今回の実証においては、実証システムのみ動作となっており、既存農業システムとの連携は実施できていない。既存農業システムとしては、例えば、ビニールハウス内の温度に応じて天窗の開閉を自動で行ったり、暖房機の運転停止を行う装置や、CO<sub>2</sub>濃度に応じて炭酸ガス放出を行ったりする装置がある。本実証のシステムとは、温度やCO<sub>2</sub>濃度データを相互にやり取りする連携が考えられる。温度やCO<sub>2</sub>濃度データの受け渡し部分を整備するだけでよく、実現のハードルは高くないと考えられる。

なお、取得した画像や環境データの表示のために、高知県のIoPクラウドSAWACHIを使用している。今回はSAWACHIテストベッドを使用しているが、テストベッドではなく、実運用されているSAWACHIの方へ画像や環境データを送り込むことは可能となっている。これにより、例えばSAWACHIにてすでに運用されている、緊急連絡メール(ハウス内環境に異常が発生した場合にメールを発報)や、AIによる花数・実数の計測などの実施が可能と考えられる(図 6.2-3)。



図 6.2-3 SAWACHIにて運用されている機能の例

#### 4) 地域間格差解消効果

中山間地と平野部のデジタル農業実装格差の縮小度について、今回の実証においては、実際に携帯電話網不感地域の圃場にエッチデバイス装置を設置し、画像や環境データの伝送が可能となっている。LPWAとして、中山間地域の伝搬特性が優れている400MHz帯狭帯域LoRaを使用しているため、中山間地域での通信を確保することが可能となり、中山間地と平野部のデジタル農業実装格差を縮小することが可能と考えられる

情報アクセシビリティ向上の体感度について、携帯電話網不感地域の圃場からの画像や環境データが伝送され、SAWACHIテストベッド上で確認可能となったため、情報アクセシビリティは向上していると考えられる。なお、実証の際に、携帯電話網不感地域の圃場で作業している場合も画像や環境データも観たいという御要望を農家様から受けた。今回の実証では、圃場からデータを上げることを主目的にしており、携帯電話不感地域でデータを受けて見るところについては実証の対象となっていない。例えば、LPWAを使用して、採取した画像や環境データを圃場へ送る方法も考えられ、実現できれば、さらに情報アクセスビリティの向上が可能となるが、今後の検討課題としたい。

#### 5) 圧縮率に関するKPI/KGI

本実証における圧縮前後の画像データサイズを表 6.2-3 に示す。今回の実証では、目標(農業画像データ(256×256 ピクセル、RGB)を 200KB 以下から 2KB 以下へ圧縮(100 倍以上))を超える圧縮となっている。従来技術の圧縮方法である JPEG との比較も実施している。圧縮後の品質を表す Q の設定値によって圧縮後のサイズは異なるものの、例えば Q=50 の場合と比べても、圧縮後の画像サイズは小さくなっている。

表 6.2-3 本実証における圧縮率

データ種別	元サイズ	圧縮後	圧縮率
画像 (256×256×3)	192KB (画像に依らず一定)	2bytes (画像に依らず一定)	98,304:1
環境データ (7 種×30 点)	840bytes (データに依らず一定)	28bytes (データに依らず一定)	30:1
合計	193KB	30bytes	6,582:1

参考:従来技術(JPEG)での圧縮率

データ種別	元サイズ	従来技術にて圧縮後 JPEG	圧縮率
画像 (256×256×3)	192KB (画像に依らず一定)	7~14kB (Q=50 の場合) (画像によって異なる)	27.4:1 ~ 13.7:1

## 6) 復元精度に関する KPI/KGI

本実証における復元画像品質を主観ではなく数値にて評価するために構造的類似性指標(SSIM)とPSNRでの評価を実施した。PSNR(Peak Signal-to-Noise Ratio)は、画像の復元品質を測定する一般的な指標であり、元画像と復元後の画像の誤りの比を表した数値となっている。値が高いほど誤りが小さく、元画像との差異が小さいことを示すため、画像の再現性の尺度として使用される。一般的に、20dB以上であれば「認識可能な品質」、30dB以上であれば「良好な品質」とされる。

復元画像の品質を示す指標SSIMとPSNRについて、に示すように目標の値を達成できていない。見た目には数値ほど復元画像は劣化していない印象を受けるため、作物の特徴を抽出し、情報の種を生成することはできているが、この情報の種を元に画像へ復元し、数値で表すと品質が高くない結果になっていることが考えられる。詳細な視覚的判断が必要な場合は、圧縮復元に使用するコードブック作成の学習を改善する必要があると考えられる。元画像と復元後画像の例を図6.2-4～図6.2-6に示す。環境データについては、目標の復元精度を達成できている。

表 6.2-4 復元画像品質画像

データ種別	構造的類似性指標 (SSIM)	PSNR
画像 (256×256×3)	0.59 目標 0.85 以上	19.9dB 目標 20dB 以上

SSIM,PSNR は、本実証期間中に得られた復元画像のSSIM,PSNRを平均した値。

表 6.2-5 環境データ復元品質

環境データ パラメータ	(参考) 相関係数	復元精度 (二乗平均平方根 誤差 RMSE)	目標の復元精度
Temperature 温度	0.93	0.05℃	±0.5℃
Humidity 湿度	0.73	1.4%	±2%
co2 CO <sub>2</sub> 濃度	0.91	4ppm	±50ppm

二乗平均平方根誤差は、本実証期間中に得られた復元データの誤差を平均した値。

相関係数:元データ画像と復元後データの線形相関を示す数値。1に近づくと、元データの値が増加した場合、復元データの値も増加する(正の相関)。-1に近づくと、元データの値が増えた場合、復元データの値に減る傾向を示す。

元画像

元画像  
205,419B



復元後画像

Codebook v3 (2B)  
SSIM=0.452, PSNR=14.7dB



2Bytes, SSIM0.452, PSNR14.7dB

参考：従来圧縮方式(JPEG)

Q=50

JPEG Q=50 (13,400B)  
SSIM=0.883, PSNR=26.9dB



13,400Bytes, SSIM0.883, PSNR26.9dB

Q=10

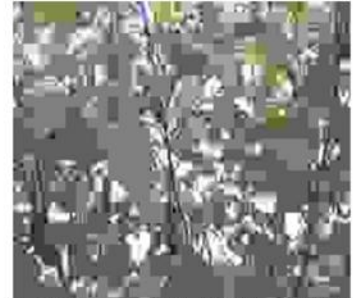
JPEG Q=10 (5,057B)  
SSIM=0.739, PSNR=22.5dB



5,057Bytes, SSIM0.739, PSNR22.5dB

Q=1

JPEG Q=1 (2,350B)  
SSIM=0.506, PSNR=18.8dB



2,350Bytes, SSIM0.506, PSNR18.8dB

図 6.2-4 元画像と復元後画像の例

元画像

復元後画像

元画像  
164,699B



Codebook v3 (2B)  
SSIM=0.629, PSNR=20.2dB



2Bytes, SSIM0.629, PSNR20.2dB

参考：従来圧縮方式(JPEG)

Q=50

Q=10

Q=1

JPEG Q=50 (10,360B)  
SSIM=0.878, PSNR=29.1dB



10,360Bytes, SSIM0.878, PSNR29.1dB

JPEG Q=10 (3,839B)  
SSIM=0.722, PSNR=24.8dB



3,839Bytes, SSIM0.722, PSNR24.8dB

JPEG Q=1 (1,949B)  
SSIM=0.463, PSNR=20.8dB



1,949Bytes, SSIM0.463, PSNR20.8dB

図 6.2-5 元画像と復元後画像の例

元画像

復元後画像

元画像  
180,753B



Codebook v3 (2B)  
SSIM=0.456, PSNR=19.2dB



2Bytes, SSIM0.456, PSNR19.2dB

参考：従来圧縮方式(JPEG)

Q=50

Q=10

Q=1

JPEG Q=50 (11,680B)  
SSIM=0.868, PSNR=28.0dB



11,680Bytes, SSIM0.868, PSNR28.0dB

JPEG Q=10 (4,220B)  
SSIM=0.697, PSNR=23.7dB



4,220Bytes, SSIM0.697, PSNR23.7dB

JPEG Q=1 (1,951B)  
SSIM=0.391, PSNR=19.8dB



1,951 Bytes, SSIM0.391, PSNR19.8dB

図 6.2-6 元画像と復元後画像の例

復元画像の品質を示す指標 SSIM と PSNR について、目標の値を達成できていないため、その原因について検討を行った。その結果、圧縮復元に使用するコードブック作成の学習の際に使用した画像によって SSIM・PSNR に差が見られた。

学習に使用する画像の期間が長い場合と、期間を限定した場合について、コードブックを作成して圧縮復元を行い、SSIM と PSNR の比較を行った。学習に使用する画像の期間が長い場合の SSIM、PSNR を表 6.2-6 に、期間を限定した場合を表 6.2-7 に示す

表 6.2-6 学習に使用する画像の期間が長い場合の SSIM、PSNR

データ種別	構造的類似性指標(SSIM)	PSNR
画像 (256×256×3)	0.590	19.9dB

期間:2025/9/1~2025/12/23(圧縮前の元画像と異なる期間も含まれる)、  
10カ所の圃場の画像、画像枚数 32,189 枚

表 6.2-7 学習に使用する画像の期間を限定した場合の SSIM、PSNR

データ種別	構造的類似性指標(SSIM)	PSNR
画像 (256×256×3)	0.929	36.3dB

期間:2025/12/8~2025/12/23(圧縮前の元画像と同一期間)、  
10カ所の圃場の画像、画像枚数 2,261 枚

広範囲の期間の画像にて作成したコードブックを使用した場合、復元画像品質の低下が見られた。理由として、以下が考えられる。

- ・クラスタのミスマッチ: 入力画像と代表画像が異なる圃場・作物の場合がある
- ・多様性: 学習データの代表パターンと異なる画像が多く含まれる。
- ・クラスタ数の限界: 2,048 クラスタでは、すべての画像パターンをカバーできない。
- ・学習データとの類似性: 学習データに近い画像ほど高品質に復元される。
- ・「最も類似した代表画像」を復元画像として返すため、入力画像と完全には一致しない。ピクセル単位の再現ではないため。

復元画像品質向上のためには、クラスタ数を増加の増加(2,048 → 4,096 以上)や、圃場ごと・時期別のローカルコードブックの作成、適応的な代表画像更新の実施が考えられる。なお、クラスタ数を増加させても、圧縮後のサイズ 2Bytes の変化はない。

また、この検討から、すべての分野において本実装の技術が適するのではなく、以下のように適・不適の用途があると考えられる

- 温室内状況の定期監視: 最適、 生育傾向の長期追跡: 適切、 異常検知トリガー: 適切、
- 病害虫の詳細診断: 不適(高解像度が必要なため)、
- リアルタイム画像監視: 不適(LPWA の帯域制限のため)

復元画像について、見た目には数値ほど復元画像は劣化していない印象を受けたということは、農

業用のビニールハウス内の作物を監視する目的であれば、厳密に画像が一致している必要はなく、ビニールハウス内の様子(雰囲気)が分かればよいと言える。SSIM や PSNR は、見た目ほど復元画像が劣化していなくても、悪い数値が出る場合があり、画像評価の手法について、検討する必要があると考えられる。各種の評価方法があるが、例として LPIPS (Learned Perceptual Image Patch Similarity)<sup>2</sup>での評価について検討を行った。

LPIPS は、深層学習モデル(VGG Visual Geometry Group)にて抽出した特徴量を用いて「人間の知覚的な類似度」を測定する指標である。VGG ネットワークは画像認識タスクで学習されており、抽出した特徴量は「人間が認識する画像の意味的な特徴」を捉えている。これにより、ピクセルレベルでは異なっても「同じような雰囲気の写真」は、似ている画像との評価の LPIPS 値を示す。

LPIPS 値は 0~1 で示され、0 に近いほど類似している。LPIPS 値の評価目安を表 6.2-8 に示す。

表 6.2-8 LPIPS 値の評価目安

LPIPS 値	評価
0.00~0.10	非常に類似(ほぼ同一)
0.10~0.20	類似(軽微な違い)
0.20~0.35	中程度の類似(雰囲気は同じ)
0.35~0.50	低類似度(異なるが関連性あり)
0.50~1	大きく異なる

LPIPS が、今回実証した農業用画像に適用可能か検討するため、元画像にノイズ印可などの摂動を与え、摂動後画像と、元画像を圧縮復元した画像で LPIPS と SSIM の算出を行った(図 6.2-7)。

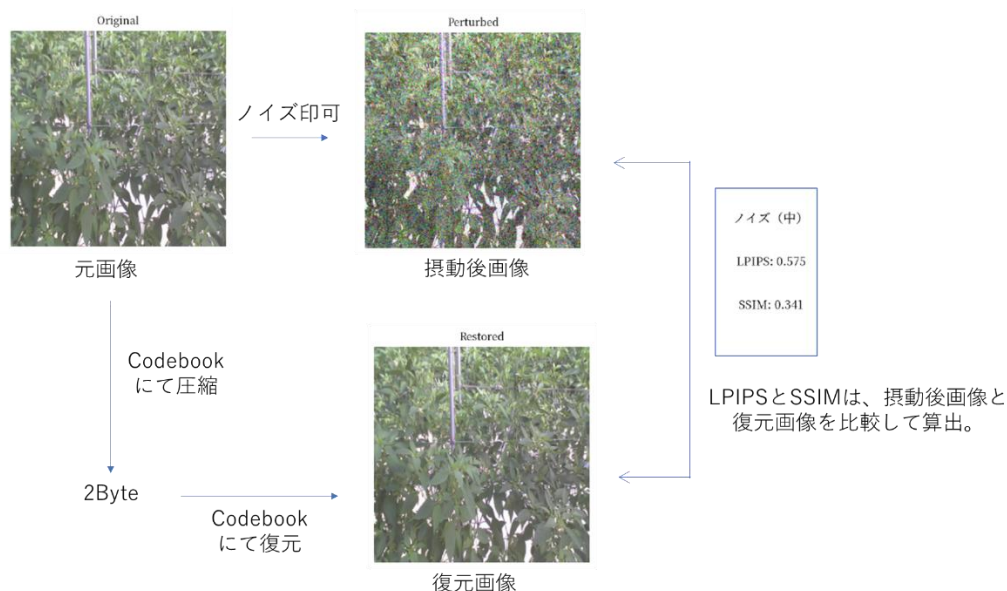


図 6.2-7 LPIPS 算出手順

<sup>2</sup> Zhang, R., Isola, P., Efros, A. A., Shechtman, E., & Wang, O. (2018). "The Unreasonable Effectiveness of Deep Features as a Perceptual Metric" CVPR 2018

LPIPSとSSIMの算出結果を図6.2-8～図6.2-9に示す。元画像に対して、ノイズ印可や明るさ変化を行い、数値を算出している。例えば、明るさ変化を行った場合、ピクセル単位では異なっているため、SSIMは低めで別画像と判断されるが、見た目では大きく異なっている印象は受けない。LPIPSは0.33で中程度の類似(雰囲気は同じ)と判断される。LPIPSの方が、見た目に近い判断ができる可能性があり、評価方法については、今後も検討を行っていきたい。

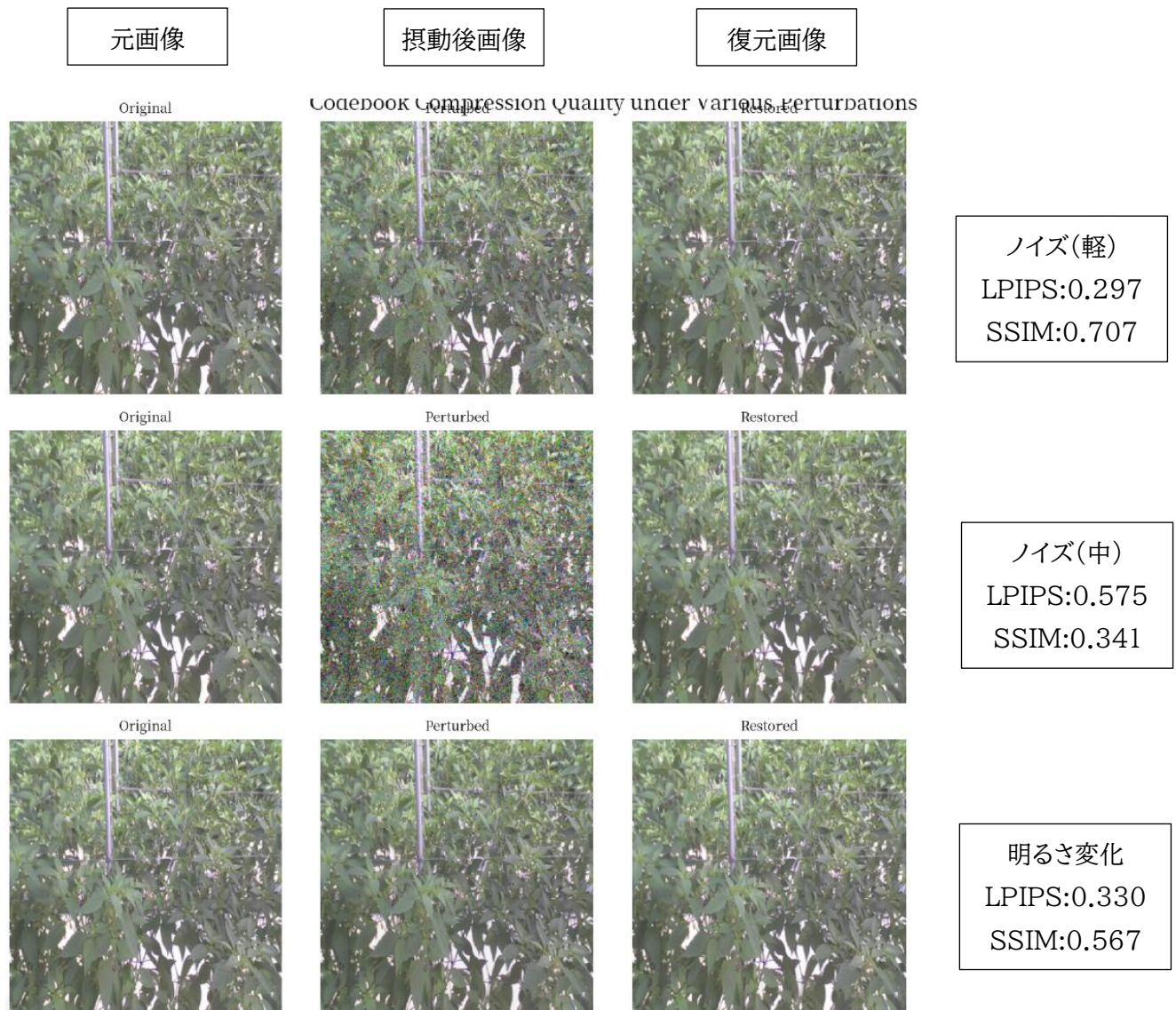


図 6.2-8 LPIPSとSSIMの算出結果

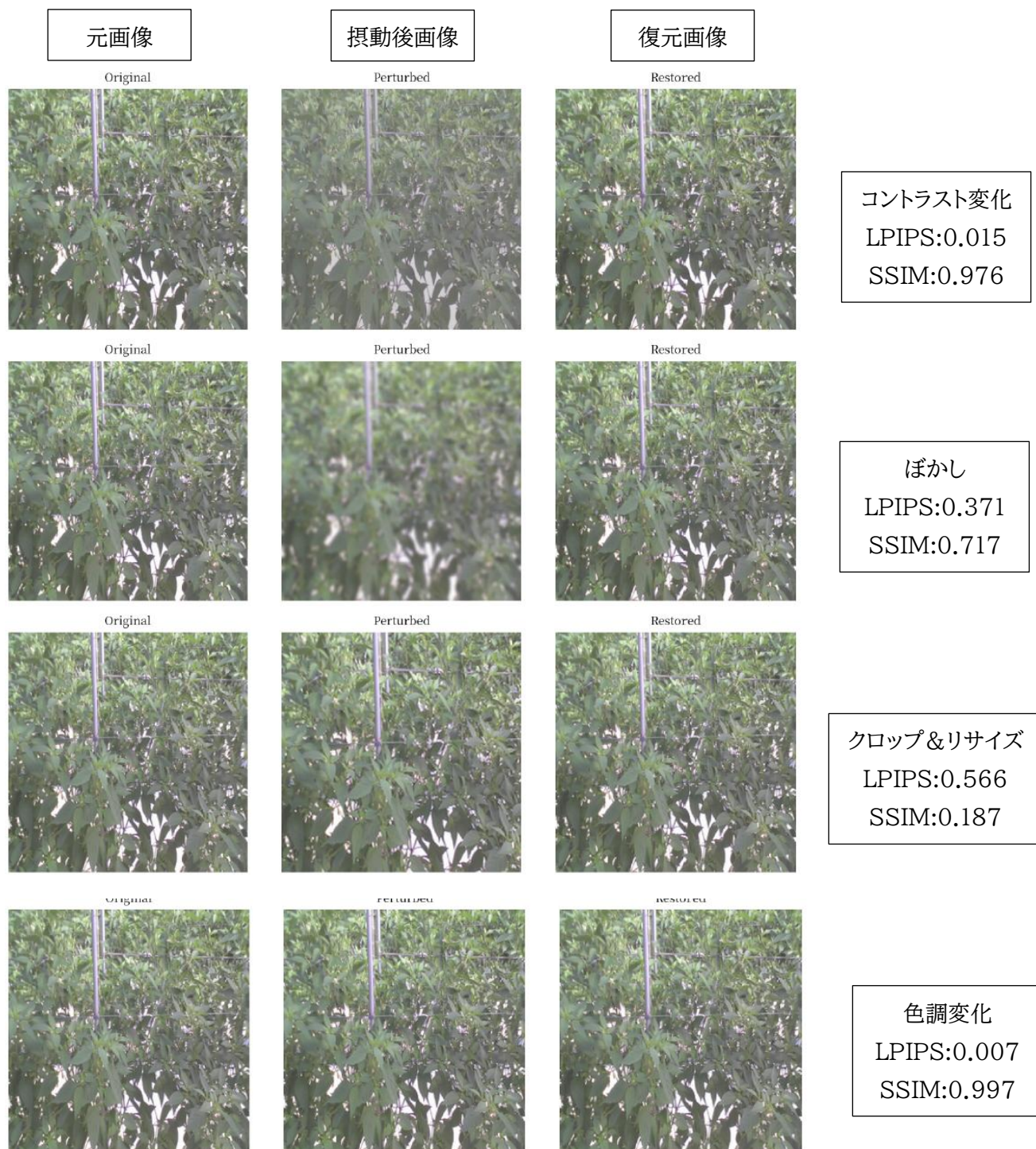


図 6.2-9 LPIPSとSSIMの算出結果

病害虫検出精度について、今回実証を行った圃場では病害虫は発生していないため、実地での検証は実施できていない。代わりに、高知県農業技術センター殿から提供いただいた病害虫画像を使用して、サーバー上にて検証を実施した。

現時点では、病害虫画像数が少ないため、実証時の設定ではなく、病害虫検出用に簡素化したエンコード・デコード仕様(表 6.2-9)にて実施している。クラスタ数が少ないため、圧縮後サイズは1Byteとなっている。

表 6.2-9 エンコード・デコード仕様

項目	仕様
クラスタ数	64
圧縮後サイズ	1Byte
圧縮率	196,608:1
入力サイズ	256×256×3
特徴抽出サイズ	16×16×3
学習アルゴリズム	MiniBatchKMeans
代表画像数	58 枚(有効クラスタ)

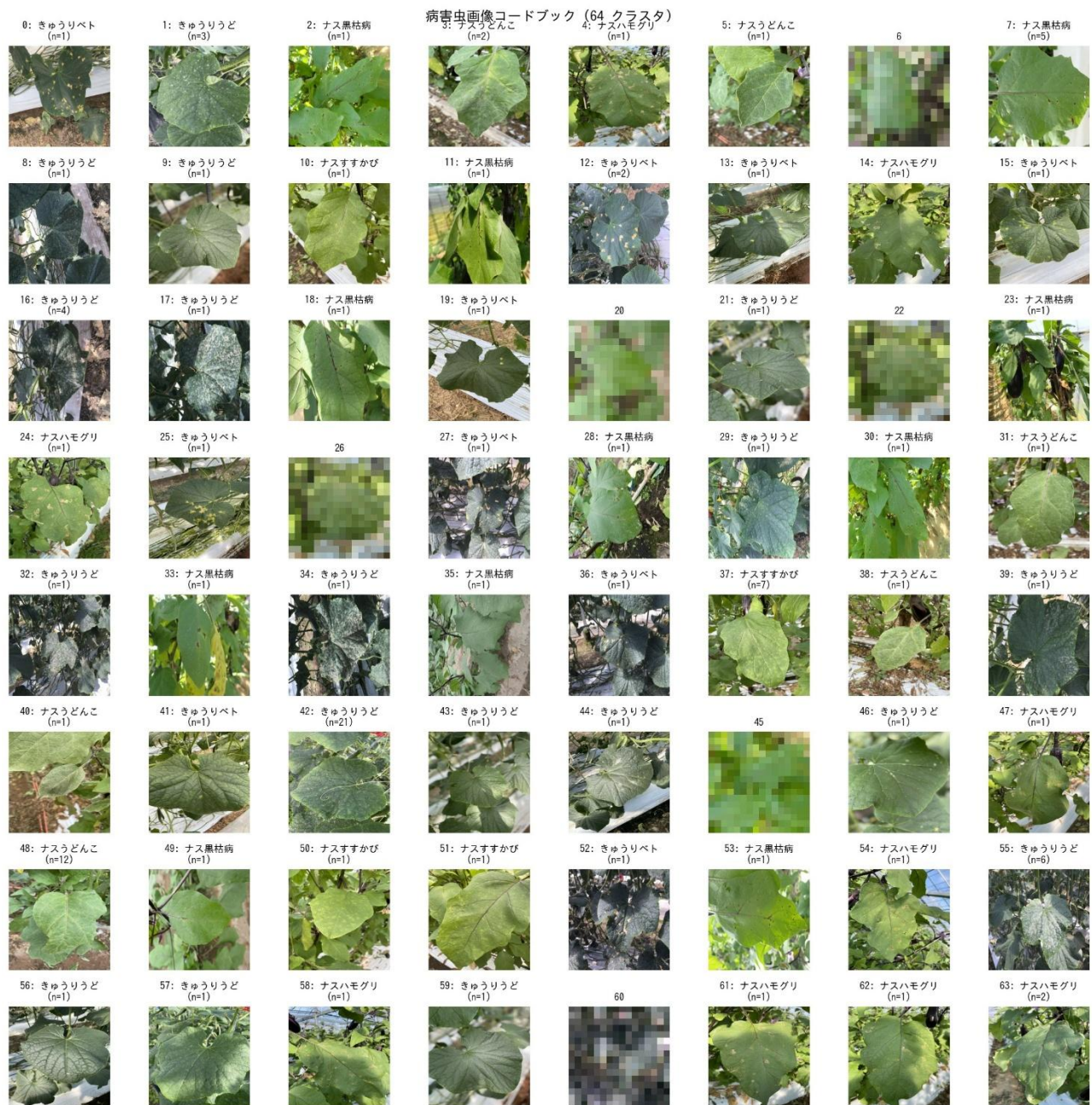
・手順

- ① 高知県農業技術センター殿から提供いただいた病害虫画像を使用して、学習を実施し、コードブック(64 クラスタ)の作成を実施。病害虫画像の内訳を表 6.2-10 に示す。作成されたコードブックを図 6.2-10 に示す。

表 6.2-10 学習用病害虫画像内訳

病害虫種別	画像数	割合
きゅうり うどんこ病	33 枚	29.5%
きゅうり ベト病	23 枚	20.5%
ナス ハモグリバエ被害	19 枚	17.0%
ナス 黒枯病	14 枚	12.5%
ナス うどんこ病	12 枚	10.7%
ナス すすかび病	11 枚	9.8%
合計	112 枚	

対象作物: きゅうり、ナス、画像形式: JPG, HEIC 256×256 にリサイズして使用



学習結果のクラスタサイズ分布:

最小: 1 枚/クラスタ、最大 21 枚/クラスタ(きゅうりうどうどんこ病が集中)、平均: 1.9 枚/クラスタ  
未使用クラスタ: 6 個

主要クラスタの構成:

クラスタ 42: 21 枚(きゅうりうどうどんこ病中心)、クラスタ 48: 12 枚(ナスうどんこ病)、  
クラスタ 37: 7 枚(ナスすすかび病)、クラスタ 55: 6 枚(きゅうりうどうどんこ病)

図 6.2-10 作成されたコードブック

②以下の手順で画像のエンコード・デコードを実施。結果を図 6.2-11、図 6.2-12 に示す

#### エンコード(エッジ側)

1. 入力画像を 16×16 にリサイズ
2. ピクセル値を正規化(0-1)
3. 768 次元ベクトルに展開
4. 最近傍クラスタ ID を計算
5. 1 バイトのクラスタ ID(0-63)を出力

#### デコード(サーバー側)

1. クラスタ ID を受信
2. 対応する代表画像(256×256)を返却
3. 代表画像は各クラスタの重心に最も近いオリジナル画像

#### ・評価結果

別の画像が圧縮後画像として出力されることがあった。葉の色・形状・病斑パターンが類似した画像が同一クラスタに分類されている。このため、同一カテゴリの画像は類似したクラスタにマッピングされる傾向が出ている。

今回実施した元画像 12 枚中、病害虫分類が正しく行われた 7 枚  
画像が正しく復元 5 枚

病害虫検出の精度としては、十分でないと考えられる。精度向上のためには、今後、学習データの拡充(特にナス系)や、クラスタ数の最適化(例. 画像数に応じた調整)、カテゴリ別の層化サンプリングによる均衡化、深層学習特徴量の活用による精度向上が必要と考えられる。

元画像



オリジナル  
きゅうりうどんこ病

エンコード用画像



16x16 (エンコード用)

復元用画像

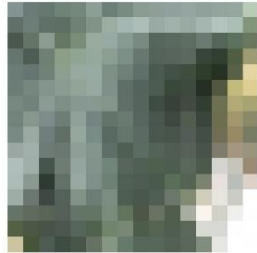


デコード (cluster 55)

元画像:きゅうりうどんこ病  
クラスタ ID:55 きゅうりうどんこ病  
病害虫分類○、画像×



オリジナル  
きゅうりうどんこ病



16x16 (エンコード用)



デコード (cluster 7)

元画像:きゅうりうどんこ病  
クラスタ ID:7 ナス黒枯病  
病害虫分類×、画像×



オリジナル  
きゅうりべと病



16x16 (エンコード用)



デコード (cluster 42)

元画像:きゅうりべと病  
クラスタ ID:42 きゅうりうどんこ病  
病害虫分類×、画像×



オリジナル  
きゅうりべと病



16x16 (エンコード用)



デコード (cluster 42)

元画像:きゅうりべと病  
クラスタ ID:42 きゅうりうどんこ病  
病害虫分類×、画像×



オリジナル  
ナスうどんこ病



16x16 (エンコード用)



デコード (cluster 48)

元画像:ナスうどんこ病  
クラスタ ID:48 ナスうどんこ病  
病害虫分類○、画像×



オリジナル  
ナスうどんこ病



16x16 (エンコード用)



デコード (cluster 38)

元画像:ナスうどんこ病  
クラスタ ID:38 ナスうどんこ病  
病害虫分類○、画像○

図 6-2-11 エンコード・デコード結果

元画像

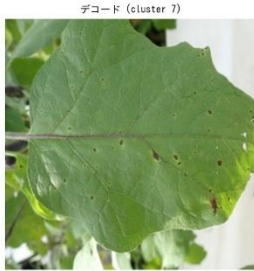
エンコード用画像

復元用画像

元画像:ナスすすかび病  
クラスタ ID:42 きゅうりうどんこ病



カテゴリ: ナスすすかび病  
クラスタID: 42  
距離: 3.2525  
圧縮: 256x256x3 -> 1 byte  
圧縮率: 196,608:1



カテゴリ: ナスすすかび病  
クラスタID: 7  
距離: 3.6199  
圧縮: 256x256x3 -> 1 byte  
圧縮率: 196,608:1



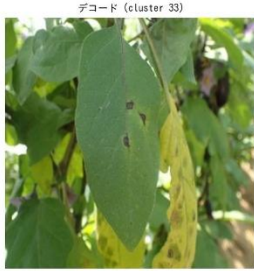
カテゴリ: ナスハモグリバエ被害  
クラスタID: 47  
距離: 0.0000  
圧縮: 256x256x3 -> 1 byte  
圧縮率: 196,608:1



カテゴリ: ナスハモグリバエ被害  
クラスタID: 62  
距離: 0.0000  
圧縮: 256x256x3 -> 1 byte  
圧縮率: 196,608:1



カテゴリ: ナス黒枯病  
クラスタID: 11  
距離: 0.0000  
圧縮: 256x256x3 -> 1 byte  
圧縮率: 196,608:1



元画像: ナス黒枯病  
クラスタ ID: 33 ナス黒枯病  
病害虫分類○、画像○

図 6.2-12 エンコード・デコード結果

## 7) エッジ処理性能に関する KPI/KGI

本実証におけるエッジデバイス側の圧縮処理時間(元画像を入力後、圧縮後画像が出力されるまでにかかる時間)は、50m 秒となった。(ラズベリーパイ 3B 使用時、動作確認用画像を使用し、動作確認用ラズベリーパイ 1 台にて動作させて測定)。目標の 1 秒以内を達成できている。エッジデバイス側のエンコーダーの処理は、リサイズと最近傍探索が主な処理であり、比較的容易な処理であるためと考えられる

なお、目標は、10 分に 1 回程度の間隔でデータを送信することを想定して設定しているが、目標設定時は、2kB 程度への圧縮を目指し、2kB のデータを LPWA で送信するために必要な時間を加味して 1 秒以内と設定している。今回の実証では、目標を上回る圧縮率となっており、LPWA で送信するために必要な時間も大幅に短くなっている。このため、低スペックのエッジデバイスを使用して、圧縮処理時間が例えば 60 秒かかっても、10 分に 1 回程度の送信間隔であれば十分実用に耐えると考えられる。ただし、送信間隔を 1 分など短くした場合は対応できないため、低スペックデバイスを使用する際は、送信間隔について、圧縮処理時間以上の間隔となっているか、確認を行う必要がある。

電力消費について、エッジデバイス側装置の消費電力実測値は 5W となっている。目標の電力消費(動作時 150mW 以下、スリープ時 10mW 以下)を達成できていない。理由として、エッジデバイスを計画時の ESP32 からラズベリーパイへ変更したため、消費電力が大きくなっている。また、カメラ・センサーを、一つの筐体にまとめて構成する形態ではなく、別筐体として LAN ケーブルで接続して設置する形態としたため、消費電力が大きくなっている

ラズベリーパイについて、スリープ動作を実装出来ておらず、常時動作であるため、消費電力が大きくなっている。スリープ動作を実装することで、消費電力の低減が可能と考えられる。

今回使用したカメラ・センサーは、電力供給は PoE を使用して行なわれる PoE のため、LAN ケーブルを使用して、カメラ・センサーへの電力供給が可能となり、電源線を別に敷設する必要がないため、設置工事時の利便性が高い。しかし、入力された AC100V を直流に変換して供給を行うため、変換損失が生じ、消費電力が大きくなっている。

連続稼働期間について、エッジデバイス側装置の消費電力 5W より、計算を実施した。30 日間動作させるために必要なバッテリー容量は、

$$5\text{W} \times 24 \text{ 時間} \times 30 \text{ 日} = 3600\text{Wh}$$

24V バッテリーの場合、必要となるバッテリー容量は、 $3600\text{Wh} \div 24\text{V} = 150\text{Ah}$  となった。

バッテリーの直流を AC100V へ変換する DC/AC インバーターの損失もあるため、市販のバッテリーの場合(図 6.2-13)、下図のような 12V200Ah リン酸鉄リチウムイオンバッテリー 2 個を直列接続すれば、30 日間動作可能になると考えられる。



バッテリーセルタイプ	リン酸鉄リチウムイオン
定格容量 (0.5C、25°C)	200Ah
公称電圧	12.8V
電圧範囲	10V ~ 14.6V
サイクル寿命 (0.5C、25°C)	5000サイクル (80%DOD)
寸法	384 x 194 x 253 mm
重量	19.25 kg
接続方法	直列と並列接続(4S4P)
端子ボルトサイズ	M8 x 1.25 x 12 mm & M8 x 1.25 x 16 mm
保護等級	IP65

図 6.2-13 バッテリーの例 RBT12200LFP-M×2  
 (仕様はバッテリー1個あたり) 市販価格 バッテリー2個で¥129,960(税込)

## 8) システム全体のコストに関する KPI/KGI

本実証時の、農家様のビニールハウスに設置するエッジデバイス側 1 台の価格(機器費、工事費)を、表 6.2-11 に示す。

表 6.2-11 エッジデバイス側 1 台の価格

エッジデバイスの 製作・設置 (イニシャルコスト)	設備・機器費	429MHz 無線機 1 台 (筐体、組立費含む)	12 万円
		カメラ・センサー1 台	24 万円
		ラズベリーパイ 1 台	1 万円
	設置工事費	カメラ・センサー	2 万円
	設置工事費	無線機	設置に係る人件費等は別途必要
合計			39 万円

※記載の金額は実証中における参考価格であり実装時は諸条件に応じて大きく変動する可能性がある。

※ソフトウェアの価格は含まれていない。

実証時の価格は、目標の 1 ハウスあたり 5 万円以下を達成できていない。実証においては、短期間で結果を出す必要があるため、予想された必要スペックよりも高スペックな装置を使用している。また、現時点では生産台数が少なく、実証で使用した台数も少ないため、量産効果が出ず、割高となっている装置もある。

実証で使用した AI ソフトウェアをそのまま使用した場合、予想される量産価格を表 6.2-12 に示す。429MHz 無線機や、カメラ・センサーについて、実証時には設計費やカスタマイズ費が含まれた価格となっている。量産時についてはこれら費用が削減可能なため、半額程度になると考えられる。

表 6.2-12 エッジデバイス側 1 台の価格(量産価格)

エッジデバイスの 製作・設置 (イニシャルコスト)	設備・機器費	429MHz 無線機 1 台 (筐体、組立費含む)	6 万円
		カメラ・センサー1 台	12 万円
		ラズベリーパイ 1 台	1 万円
	設置工事費	カメラ・センサー	2 万円
	設置工事費	無線機	設置に係る人件費等は別途必要
合計			21 万円

※記載の金額は実証中における参考価格であり実装時は諸条件に応じて大きく変動する可能性がある。

※ソフトウェアの価格は含まれていない。

さらに、実証において、429MHz 無線機とカメラ・センサーは別筐体として LAN ケーブルで接続し

て設置する形態としていた。これを一つの筐体にまとめて構成することで更なる費用削減は可能と考えられる(表 6.2-13)。

表 6.2-13 エッジデバイス側 1 台の価格(一体化時)

エッジデバイスの 製作・設置 (イニシャルコスト)	設備・ 機器費	429MHz 無線機 1 台 (筐体、組立費含む)	5 万円	一体化と量産効果で 低価格化
		ラズベリーパイ用カメラ 1 台	0.3 万円	
		ラズベリーパイ用温湿度セン サー	0.2 万円	
		ラズベリーパイ用 CO <sub>2</sub> 濃度 センサー	0.4 万円	
		ラズベリーパイ 1 台	1 万円	
	設置工事費 カメラ・センサー	0 万円	無線機とカメラ センサーを一体化する ため不要となる	
設置工事費 無線機	設置に係る人件 費等は別途必要			
合計		6.7 万円		

※記載の金額は実証結果を元にした予想価格であり実装時は諸条件に応じて大きく変動する可能性がある。  
※ソフトウェアの価格は含まれていない。

また、使用している AI ソフトウェアの軽量化を行い、現在使用しているエッジデバイスであるラズベ  
リーパイよりも低スペックのデバイス ESP32 にて動作可能とした場合の予想価格を表 6.2-14 に示  
す。

表 6.2-14 エッジデバイス側 1 台の価格(ESP32 使用時)

エッジデバイスの 製作・設置 (イニシャルコスト)	設備・ 機器費	429MHz 無線機 1 台 (筐体、組立費含む)	5 万円	一体化と量産効果で 低価格化
		ESP32 用温湿度センサー	0.1 万円	
		ESP32 用 CO <sub>2</sub> 濃度セン サー	0.4 万円	
		ESP32-CAM1 台	0.2 万円	
	設置工事費 カメラ・センサー	0 万円	無線機とカメラ センサーを一体化する ため不要となる	
	設置工事費 無線機	設置に係る人件 費等は別途必要		
合計		5.7 万円		

※記載の金額は実証結果を元にした予想価格であり実装時は諸条件に応じて大きく変動する可能性がある。  
※ソフトウェアの価格は含まれていない。

以上の様に、KPIとして設定した5万円以下(機器費、工事費)は達成できていないが、近い値の予想価格になると考えられる。

なお、量産効果について、本実証時の台数10台程度では見られず、100台程度製作すれば量産効果が表れ始めると考えられる。ただし、今回目標とした5万円に近づけるためには、さらなる台数が必要で、1,000台、1万台程度、つまり、高知県内農家への普及を終えて全国展開する段階になれば実現の可能性が出てくると考えられる。

## 9) 農業効果

本実証時においては、各農家様への圃場へ1台のカメラ・センサー設置に留まっており、携帯電話網不感地域でも画像や環境データが確認できるようになった利便性向上効果は大きいですが、監視作業時間の削減まではつながっていない。農家様からは、ハウス内でも場所によって温度分布が異なるために、複数のセンサー設置が必要、カメラについても今回は作物の一部分のみの撮影であったが、ハウス全体が見える画角の画像が欲しい等の御意見を頂いた。本実証時のシステムをさらに拡張して、カメラ・センサーの台数を増やして、ハウス全体の監視が可能になれば、監視作業時間の削減が可能になると考えられる。

また、カメラ・センサーの台数を増やす場合について、作物だけではなく、天窗の開閉状況や、出入り口の状況、不審者検知にも使用したいとの御意見を頂いた。今回の実証で開発したAIによる圧縮技術を使用すれば、カメラ・センサーの台数が増えた場合でもデータ容量を小さくすることができ、通信料を低く抑えられるため、携帯電話が使用できる圃場においてもメリットはあると考えられる。

## 6.2.4 考察

検証技術を活用した技術・ソリューションの社会実装に向けた今後の活用の見通しの考察について、AIによるデータ圧縮とLPWAによる伝送を組み合わせた本実証の技術は、特に中山間地域に多い携帯電話網不感地域において、画像や環境データの伝送を可能にする技術である。現状、高知県内に限らず、携帯電話網不感地域に圃場が存在している。このような圃場に対して遠隔監視を行う際には、本実証の結果から有効であると判断でき、第一選択肢になりうる技術であると考えられる。今後、全国の携帯電話網不感地域の圃場への導入、活用が期待される。

なお、本技術で使用したAIによるデータ圧縮については、事前にAIの学習を行って、コードブックを作成することが必要となっている。例えば、学習をしていない作物については、正しい画像に復元されない。社会実装を行っていく際には、コードブックの作成方法を整備し、効率的に短期間で作成できるようにすることが望ましい。

検証技術を活用した技術・ソリューションが、他の通信手段等により、そのソリューションを実現する場合と比べて、どのような効果が得られているかの考察について、中山間地域において、LPWAによる通信が有効であることは、これまでの実証等で明らかになっているが、容量の大きい画像を伝送することは困難であった。現状、携帯電話網不感地域の中山間地域で画像を伝送する手段は、これまでなかったと考えられる。本検証技術は、画像に写った作物の特徴をAIにてとらえて、その特徴を伝送するという、これまでの圧縮技術とは異なる方法でデータ容量を小さくしている。これにより、大幅に容量を小さくすることに成功しており、容量制限のあるLPWAでの伝送を可能とし、中山間地域での画像伝送を可能にしている。

検証技術を活用した技術・ソリューションが、国内のマーケット拡大やビジネス拡大、地域社会や産業の課題解決に貢献する取組であることの考察について、本実証の技術によって、これまで通信が困難なため監視ができないなど不利な条件に置かれていた圃場でも監視が可能となり、監視作業時間の削減や、監視による病害異常の早期発見による収量増などが期待される。今後、高知県に限らず、全国の携帯電話網不感地域の圃場への導入、活用が進んで行けば、本技術を使用した監視装置の市場拡大が期待される。装置自体は特殊な物品を使用していないため、例えば高知県内など地元の企業でも製造可能なものとなっている。また、地域全体で導入することによって、地域全体の収量増や病害異常等へ対して迅速かつ効果的に対策を実施することも可能となると考えられる。

類似の技術やソリューションなどと比較して、検証技術を活用した技術・ソリューションが、先進性や新規性を有することの考察について、従来の画像圧縮技術では、元画像を間引くなど、元画像に対して小容量化の処理を行なっている。本実証の技術は、AIによって作物の特徴を捉えるという、全く異なる方法によって、画像の容量を小さくしており、先進性や新規性を有していると考えられる。

複数の手段を比較対照するなど、所与の条件の下、優れたシステムの構成等を知見として導くことの説明について、画像圧縮については、従来方式(JPEG)と比較を実施し、大幅に容量を低下することができており、本システムの優れている点と考えられる。また、圧縮方法についても、作物の特徴を抽出して小容量の「情報の種」を生成するという基本的な流れは変更していないが、具体的な処理方

法については、圧縮モデルを改良、比較しながら検討を行っている。

ソリューション実装を念頭に置いた上で、ユーザーとなる企業・地方公共団体や通信事業者、ソリューション提供事業者等にとって、検証した技術の導入を促す等、定量的な目安や指針となる具体的な知見に係る考察について、本実証の技術は、一般の農家様への導入を目指して検討を進めている。特にコストについては導入の大きな障壁となるため、特殊な装置は使用せず、市販の装置にて安価で容易に構成できるよう検討を行った。実証時は、1ハウスあたり5万円以下の目標を達成できていないが、今後の量産時に、使用装置のスペック見直しや構成方法の変更によって、目標の金額に近づけることは可能と考えられる。安価で容易な構成の装置であれば、導入へのハードルは低くなると考えられる。

## 6.3 ユースケース②:山間部や海中等の携帯電話網不感地域における通信の確立

### 6.3.1 実証スケジュール

本ユースケースのスケジュールを図 6.3-1 に示す。

ユースケース	フェーズ	2025年										2026年					
		5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	中間報告	最終報告				
②「不感地域における通信の確立」	実証準備 (事前計測、物品調達等)		機器調達														
	実証		実験試験局免許取得														
							システム動作確認										
実証評価						先行局設置	設置作業										
						通信状況把握											
											視察会 ▲		効果検証				
													報告書作成				

図 6.3-1 本ユースケースのスケジュール

### 6.3.2 開発・評価項目の結果

本ユースケースでの開発・評価項目を表 6.3-1 に示す。

表 6.3-1 本ユースケースでの開発・評価項目

番号	開発・評価項目
1	<p>地形対応型 LoRa 配置設計</p> <p>配置設計の際に必要な技術を確立する。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>電波伝搬シミュレーションによる最適ゲートウェイ(中継局)配置設計技術</li> <li>山間地形における反射・回折を考慮した通信エリア予測技術</li> <li>事前伝搬調査方法</li> <li>実験試験局タイプ(400MHz 帯 1W)と特定小電力無線局タイプ(429MHz 帯 10mW)の中継局を使い分け、最小数で最大のカバーレッジを実現する手法の検討</li> <li>必要な局数を収納するために必要なチャンネル数を最小とする周波数共用方法の検討</li> </ul>
2	<p>信頼性向上技術</p> <p>通信の信頼性向上に必要な技術を確立する。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>パケット分割・再構成技術による大容量データの確実な伝送</li> <li>通信品質に応じた動的なパラメータ調整(SF 値、チャンネル、送信出力等)</li> <li>回復不能なパケットロスに対する復元アルゴリズム</li> </ul>
3	<p>自立型通信インフラ</p> <p>自立型通信インフラとして確立可能とすることを旨とし、以下の検討を行う。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>太陽光発電と蓄電システムによる完全自立型ゲートウェイ(中継局)設計</li> <li>厳しい気象条件(豪雨、強風等)に耐える堅牢な設置方式</li> <li>遠隔監視・制御によるメンテナンス負荷の軽減</li> </ul>

#### 1) 地形対応型 LoRa 配置設計

電波伝搬シミュレーションによる最適ゲートウェイ(中継局)配置設計技術について、本実証では、中継局設置場所選定の際に電波伝搬シミュレーション(エリアシミュレーション)を実施し、選定を行った。エリアシミュレーションの結果(図 6.3-2、図 6.3-3)、すべての圃場からの電波が可能とされた場所に中継局を設置したが、本実証での実測結果でもすべての圃場からの電波が受信可能となった。このため、今回実施したエリアシミュレーションを用いての中継局設置場所選定には妥当性があると考えられ、配置設計技術としては適切と考えられる。

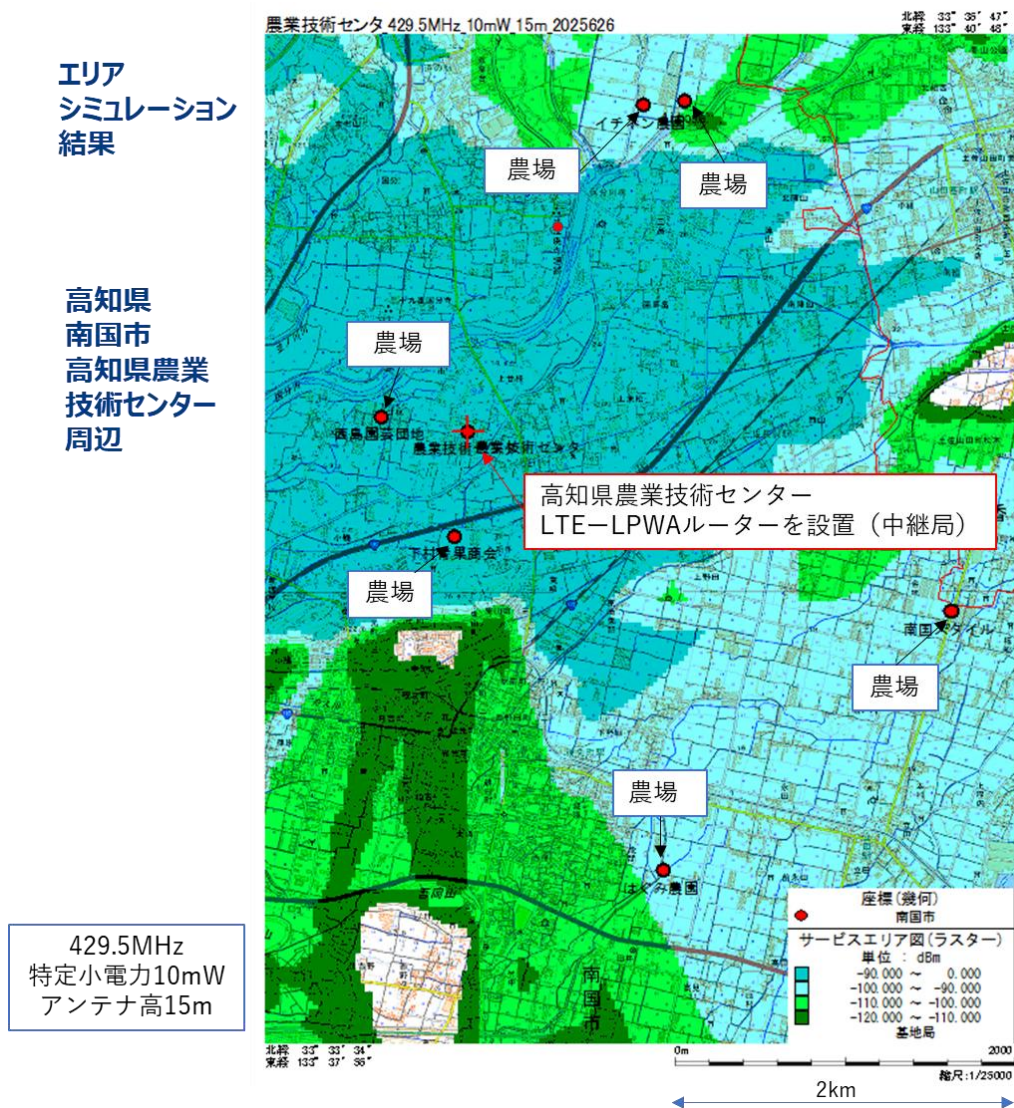


図 6.3-2 エリアシミュレーション結果(南国市)

エリア  
シミュレーション  
結果

高知県  
安芸市  
旧安芸  
市役所  
周辺

414.8MHz  
実験試験局1W  
アンテナ高15m

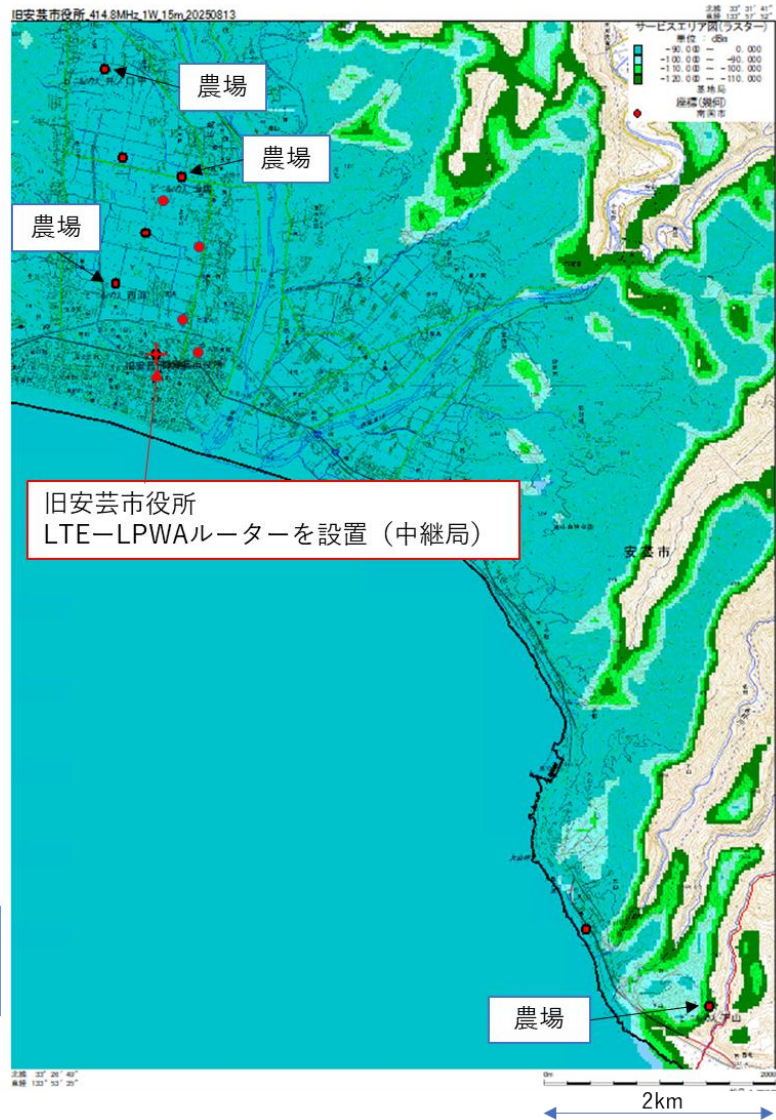


図 6.3-3 エリアシミュレーション結果(安芸市)

山間地形における反射・回折を考慮した通信エリア予測技術について、中継局設置場所選定の際に実施したエリアシミュレーションにおいては、回折を考慮して計算されているが、反射は考慮されていない。山間地形において反射波において通信が可能となる場合も起こり得ると考えられるが、山間地形での反射は、植えられている木の反射率が雨や雪などの水分や、葉の茂り具合によっても変動すると考えられる。今回の実証にて得られたデータからは、反射を考慮した通信エリア予測技術を確立することは困難であると考えられる。

なお、今回の実証の中で、ビニールハウスの中と外にアンテナを設置した場合について、電波強度の比較を実施した。ビニールハウスの中では、10dB 程度電波強度が弱くなる事象が見られた。ビニールハウスのビニールシートや骨材にて電波が減衰していると考えられるため、ビニールハウスでのアンテナ設置については、ビニールハウスの外に設置することが望ましいと考えられる。

事前伝搬調査方法について、本実証においては、エリアシミュレーション結果から、各圃場との通信

が確保できると予想されたため、事前伝搬調査は実施していない。過去に実施された、「中山間地域に有効な400MHz帯狭帯域LoRa通信システムの導入に係る調査検討」(令和5年度四国総合通信局)にて、伝搬調査が実施されているが、本実証においては、過去実施の検討と同じ無線機を使用しているため、過去実施の検討と同じ方法にて、伝搬調査実施は可能と考えられる。

実験試験局タイプ(400MHz帯1W)と特定小電力無線局タイプ(429MHz帯10mW)の中継局を使い分け、最小数で最大のカバレッジを実現する手法の検討について、今回実施したエリアシミュレーションを用いての中継局設置場所選定には妥当性があると考えられるため、エリアシミュレーション時に1Wと10mWを切り替えて実施することで、最適な中継局配置が可能になると考えられる(図6.3-4)。なお、実験試験局タイプ(400MHz帯1W)については、現状、無線局免許・無線従事者免許が必要なため、導入のハードルが高い。現状は特定小電力無線局タイプ(429MHz帯10mW)にてエリアを構築し、長距離離れている場所や山に遮られている場所へ実験試験局タイプ(400MHz帯1W)を設置することが望ましいと考えられる。

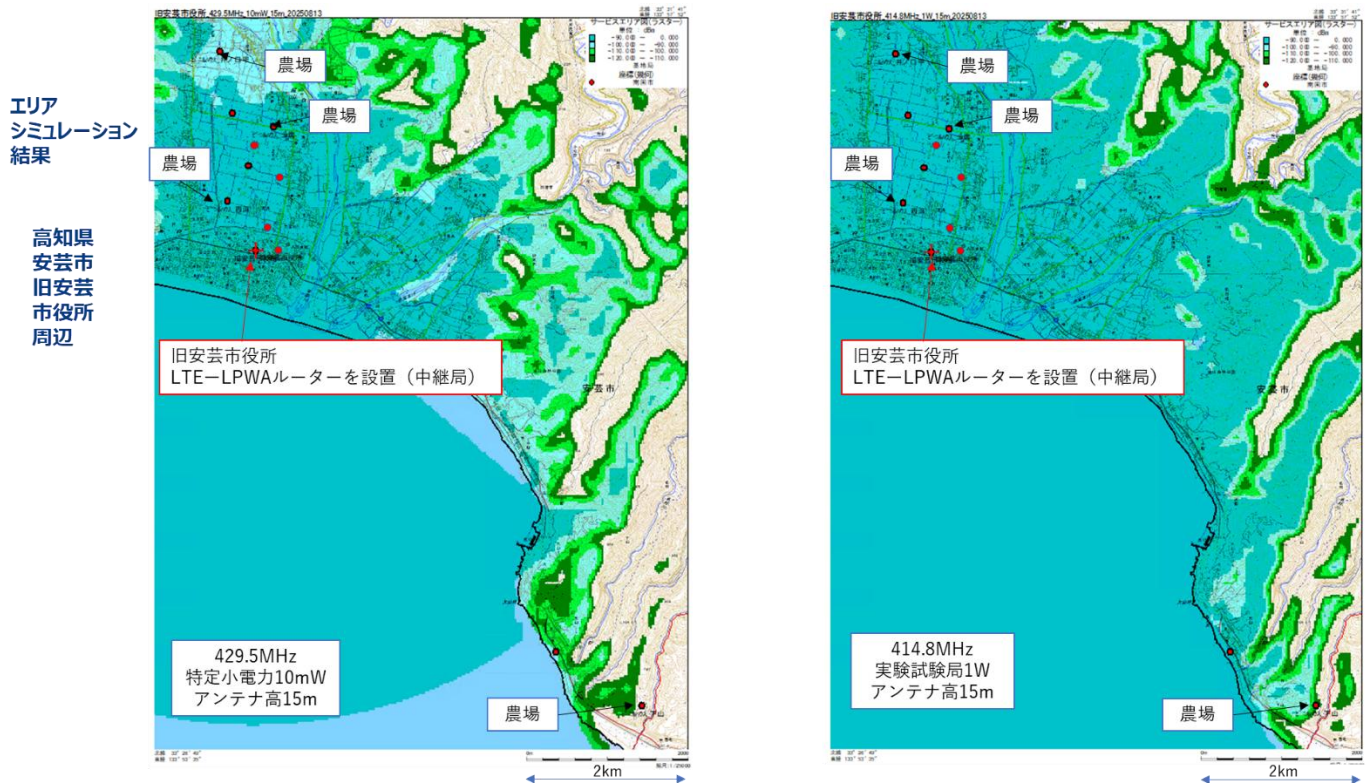


図 6.3-4 エリアシミュレーション結果

(実験試験局タイプ(400MHz帯1W)と特定小電力無線局タイプ(429MHz帯10mW)の比較)

必要な局数を収納するために必要なチャンネル数を最小とする周波数共用方法の検討について、本実証においては、一つのチャンネルを使用して、複数の局との通信を可能とするために、時分割による周

波数共用を実施した(図 6.3-5)。今回の実証では、一つの中継局が 5 局と通信する必要があるため、25 分または 30 分ごとに各局と通信を行い、各局の通信タイミングを合わせるために 10 分間の時刻合わせを実施した。時刻合わせは、中継局から時刻情報を全局に向けて送信し、受信した局は、エッジデバイスの時刻を修正することによって実施した。各局からのデータの送信時間は 5 分間となっている。今回の実証では、高い圧縮率が得られたため、データの送信時間は 7 秒程度となっている。このため、各局からのデータの送信時間は、さらに短縮が可能であり、例えば、2.5 分とした場合には、一つのチャンネルを使用して、10 局との通信が可能となる。

各ハウスへ5分ごと割り当て + 時刻合わせ10分



各ハウスが通信できるのは25分または35分ごと。

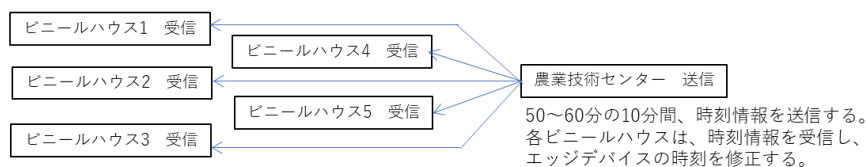


図 6.3-5 時間分割の概要

## 2) 信頼性向上技術

今回の実証における、LPWA のペイロード詳細を図 6.3-6 に示す。

データの内容:環境データ(温度、湿度、CO2 濃度) 1 分ごと測定データ 30 件

画像 1 枚

AI による圧縮後のサイズ:環境データ 28Bytes(固定値)

画像データ 2Bytes(固定値)

AI 圧縮後のサイズは、環境データや画像データの内容によらず一定となる

ペイロードサイズ:環境データ 28Bytes と画像データ 2Bytes へ、時刻や圃場名などのヘッダーを追加して 157Bytes

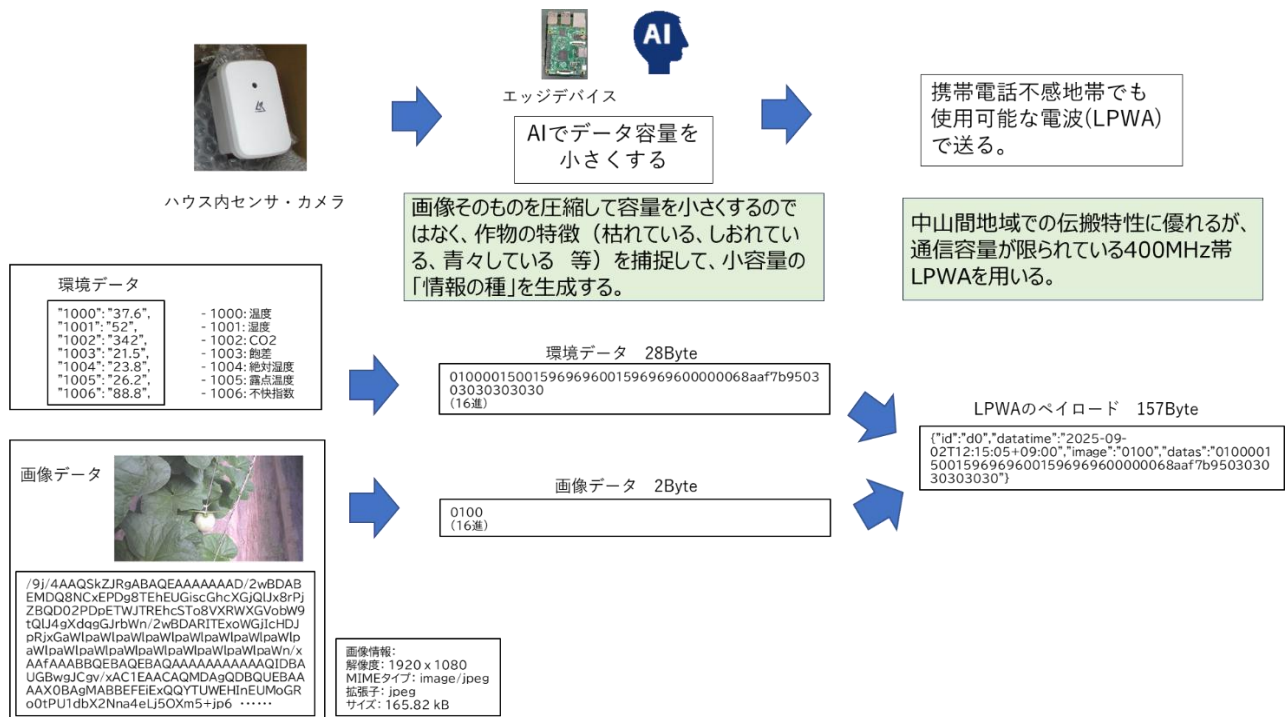


図 6.3-6 LPWA のペイロード詳細

今回使用した LPWA である 400MHz 帯狭帯域 LoRa の送信 1 回あたりのペイロード上限は 242Bytes となっており、1 回の送信で伝送可能な容量となっている。

なお、今回の実証では、受信した電文の確認を視認でも容易にできるようにするため、ヘッダーについては「image」や「data」などのテキスト文をそのまま使用している。また、各項目の区切り文字「:」も使用している。これらヘッダー等を簡素化することで、さらにペイロードを小さくすることは可能である。

パケット分割・再構成技術による大容量データの確実な伝送について、当初は、データの圧縮率が十分でなく、伝送しなければならないデータ量が大きくなることを想定し、パケット分割・再構成技術による大容量データの確実な伝送について検討することとしていた。本実証において、当初予想よりも大幅にデータ圧縮が可能となり、使用している LoRa が 1 回で送信可能なペイロード以下のデータ量となった。このため、パケット分割・再構成技術による大容量データの確実な伝送については検討を実施していない。

通信品質に応じた動的なパラメータ調整(SF 値、チャンネル、送信出力等)について、本実証においては、SF 値、チャンネル、送信出力等は固定で実施し、動的なパラメータ調整は実施していない。通信品質が悪い場合に、動的にパラメータ調整を実施することで、通信を確保できるが、今回の実証では、比較的良好な通信品質が得られており、実施した場合は通信制御のソフトウェアが複雑となるため、動的なパラメータ調整の実施は必要ないと判断した。

回復不能なパケットロスに対する復元アルゴリズムについて、本実証においては、復元アルゴリズムは実施していない。通信品質が悪い場合に、復元アルゴリズムを実施することで通信を確保できるが、今回の実証では、比較的良好な通信品質が得られており、実施した場合は通信制御のソフトウェアが複雑となるため、復元アルゴリズムの実施は必要ないと判断した。

### 3) 自立型通信インフラ

太陽光発電と蓄電システムによる完全自立型ゲートウェイ(中継局)設計について、実証時の中継局(LTE-LPWA ルーター)(実験試験局タイプ(400MHz 帯 1W))の1台の消費電力実測値 15Wから、ソーラー自立電源の設計を実施した。

#### 前提条件

- ・ 設置場所:高知県安芸市
- ・ 無日照動作期間:7日間
- ・ 負荷側の消費電力:15W(常時)

負荷側の消費電力については、中継局装置1台に対して、消費電力計を使用し、図6.3-7の系統で測定を実施した。中継局装置の動作状態を変化させて測定し、平均消費電力を求めている。

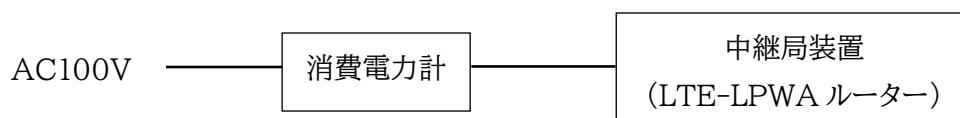


図 6.3-7 消費電力測定系統図

#### 検討結果

図 6.3-8 の構成にて、動作可能。詳細(計算書)は参考資料参照

#### 構成

- ・ ソーラーパネル:120W 9枚(3直列3並列)
- ・ バッテリー:鉛蓄電池 12V100AH 6個(2直列3並列)
- ・ 充電器
- ・ DC-AC インバーター

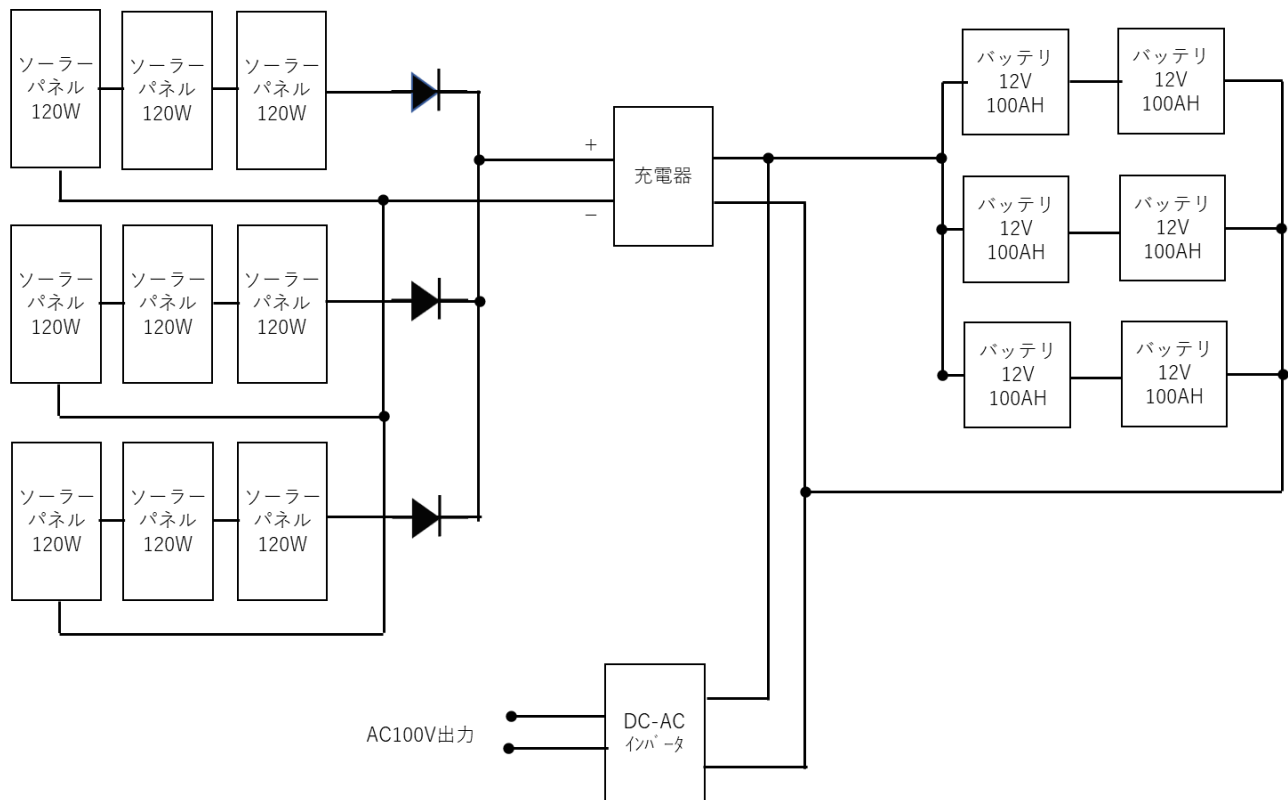


図 6.3-8 ソーラー自立電源の構成

厳しい気象条件(豪雨、強風等)に耐える堅牢な設置方式について、今回の実証期間中、異常気象には遭遇しておらず、検証は実施できていない。装置は、耐候性のある筐体に収納されており、異常気象時でも動作可能と考えられる。ただし、周囲の木々が濡れて風に吹かれるなど、気象の影響で電波強度が変動することが考えられる。通常時の受信レベルが、受信限界レベルに対して余裕を持たせて設置することによって、異常気象時に電波強度が低下して通信断になることを防げると考えられる。

遠隔監視・制御によるメンテナンス負荷の軽減について、今回の実証においては、エッジデバイスコードブックやソフトウェア書き換えのため、複数回、農家様を訪問して作業を実施している。量産時には、コードブックやソフトウェアは、最終版を搭載するため、農家様を訪問しての書き換え作業は必要ないと考えられる。メンテナンスについて、作物の栽培終了時に、ビニールハウスを締めきり、内部を高温にして殺菌、殺虫を行う蒸し込みを実施されるが、その際には高温による故障を防ぐためにセンサー・カメラを一時的に取り外していただき、蒸し込み終了後に再び取り付けていただく必要があるが、それ以外の作業は特に必要はないと考えられる。なお、画像や温湿度が表示されない場合は、制定したフロー図(図 6.2-2)に沿って対処を行い、復旧を図っている。

### 6.3.3 KPI/KGI との比較結果

本ユースケースでの KPI/KGI を表 6.3-2 に示す。

表 6.3-2 本ユースケースでの KPI/KGI

定性評価 /定量評価	番号	目標値
定性評価	1	地域特性への適応性 ・山間地形(谷、斜面等)における通信安定性 ・季節変化(積雪、落葉等)への適応性 ・地域特有の気象条件(霧、豪雨等)への耐性
	2	導入・運用の容易さ ・非 IT 専門家(農家等)による設置・管理の容易さ ・トラブル時の解決容易性 ・拡張・増設時の作業効率性
	3	地域コミュニティへの貢献 ・地域デジタルデバイド解消への貢献度 ・地域インフラとしての他用途展開可能性 ・防災・減災インフラとしての二次的価値
	4	社会実装モデルとしての評価 ・他の中山間地域への横展開可能性 ・運用モデルの持続可能性 ・地域主体による維持管理体制の構築容易性
定量評価	5	通信性能 ・通信範囲:半径 5km 以内でのパケット到達率 95%以上 ・スループット:ノード 1 台あたり平均 100KB/日以上の実効データ転送量 ・同時接続:1 中継局あたり 10 台以上のエッジノード接続
	6	システム信頼性 ・通信システム稼働率:99.5%以上(月間停止時間 3.6 時間以下) ・パケットロス率 5%以下 ・重要データ(異常検知等)の伝送成功率:99.9%以上
	7	経済性 ・ゲートウェイ(中継局)導入コスト:50 万円以下/台(カバレッジ半径 5km) ・エッジノード導入コスト:1 ハウスあたりの導入コスト:5 万円以下(量産時) ・運用コスト:年間メンテナンス費 5 万円以下/システム
	8	持続可能性 ・自立電源稼働期間:連続 7 日間の日照不足でも稼働継続 ・自立電源バッテリー交換頻度:年 1 回 ・遠隔メンテナンス率:90%以上(現地訪問なしで解決可能な障害率)

#### 1) 地域特性への適応性

山間地形(谷、斜面等)における通信安定性について、今回の実証においては、山間部の携帯電話網不感地域にある農家様圃場とも安定して通信ができていたため、通信安定性は高いと考えられる。

季節変化(積雪、落葉等)への適応性について、実証期間の関係上、一部の期間のみの実施となっており、季節変化に対する検討は実施できていない。なお、今回使用した LPWA(400MHz 帯狭帯域 LoRa)の特性から、受信感度がよいため、季節変化(積雪、落葉等)によって受信レベルが低下することがあっても通信を確保することは可能と考えられる。

地域特有の気象条件(霧、豪雨等)への耐性について、実証期間の関係上、一部の期間のみの実施となっており、地域特有の気象条件に遭遇できておらず検討は実施できていない。なお、今回使用し

た LPWA(400MHz 帯狭帯域 LoRa)の特性から、受信感度がよいため、特に高知県で心配される台風接近時の豪雨によって受信レベルが低下することがあっても通信を確保することは可能と考えられる。

## 2) 導入・運用の容易さ

非IT専門家(農家等)による設置・管理の容易さについて、今回の実証においては、農家様へのエッジデバイス装置取付は、コンソーシアム内の作業員が実施している。特殊な工具や技能、資格は必要としないため、装置取付は、農家様自身でも取付可能となっている。特に、ビニールハウス内のセンサー・カメラは、磁石基部を使用して取り付けを行っており、農家様でも設置可能である。ただし、LPWA のアンテナについては電波の到来方向や周囲の障害物の状況を考慮して取り付けを行う必要があり、また、高所作業となるため、専門技術者が取り付け作業を行うことが望ましい。

トラブル時の解決容易性について、今回の実証においては、プログラムのバグにてエッジデバイスの動作が停止したことがあったが、この場合、農家様へ電話連絡し、エッジデバイスの電源コンセントを抜き差ししていただいて復旧した。エッジデバイスにはボタンやスイッチなどの操作箇所がなく、農家様が実施可能な作業は電源コンセントを抜き差しのみとなっている。画像や温湿度が表示されない場合は、制定したフロー図に沿って対処を行い、必要な場合は現地出向を行い、トラブルの解決を行う。

拡張・増設時の作業効率性について、今回の実証においては、各農家様への圃場へ 1 台のカメラ・センサー設置のみとなっているが、システムとしては、新たにソフトウェアの修正は必要となるが、カメラ・センサーの台数は増設可能となっている。カメラ・センサーと無線機間の接続は LAN ケーブルを使用しており、複数台設置の場合は、PoE 付きスイッチングハブを挿入して接続を行う。

## 3) 地域コミュニティへの貢献

地域デジタルデバイド解消への貢献度について、今回の実証においては、実際に携帯電話網不感地域の圃場にエッジデバイス装置を設置し、画像や環境データの伝送が可能となっている。LPWA として、中山間地域の伝搬特性が優れている 400MHz 帯狭帯域 LoRa を使用しているため、中山間地域での通信を確保することが可能となり、地域デジタルデバイド解消へ貢献することが可能と考えられる。

地域インフラとしての他用途展開可能性や、防災・減災インフラとしての二次的価値について、今回の実証において構築した LPWA を使用した回線は、小容量の他用途にも展開可能と考えられる。小容量の短文テキストの伝送や、接点情報(ON/OFF)の伝送や接点操作も可能と考えられる。拡張性検証を実施した排水溝監視と合わせて、排水溝の画像を見ながら、排水門の開閉操作を行うなどの防災・減災インフラへの応用例が考えられる。

## 4) 社会実装モデルとしての評価

他の中山間地域への横展開可能性について、今回の実証において開発したシステムは、南国市、安芸市に限らず、他の高知県内市町村へ展開が可能と考えられる。ただし、課題として、電波を使用しているため、隣接する市町村間では周波数を別にしないと干渉が発生し、通信ができなくなる恐れがある。どの周波数を使用するのか管理を行う組織が必要と考えられる。高知県外への展開について、現在、IoT クラウド SAWACHI の利用は高知県内農家に限定されているため、県外の農家に導入されたとしても、SAWACHI を使用しての画像や温湿度データの確認が実施できない。高知県外の場合、農家様がアクセスしてデータを見ることができるクラウドサーバーを整備する必要がある。

運用モデルの持続可能性や地域主体による維持管理体制の構築容易性について、今回の実証において運用や維持管理は、高知県内の大学、企業を中心としたコンソーシアムにて実施している。実証後についてもコンソーシアムを母体とした管理・維持体制を構築することで持続的な運用が可能となる。

## 5) 通信性能

各圃場ごとのパケット到達率は、表 6.3-3、表 6.3-4 の通り。

### ・南国市圃場

- ・ 測定期間:2025 年 11 月 1 日～2025 年 11 月 30 日  
圃場 No.3 のみ、農作業の都合上 2025 年 9 月 2 日～2025 年 10 月 2 日
- ・ 送信間隔:30 分ごと
- ・ 送信ペイロード:182Bytes(最終的なペイロードサイズ 157Bytes ではなく、実証途中のペイロードサイズ 182Bytes にて送信を行っている)
- ・ 各圃場の位置詳細は、参考資料編 8.2.2 に示す。

表 6.3-3 通信性能測定結果(南国市圃場)

南国市エッジ	出力	通信距離	パケット到達率	平均受信電力
圃場 No.1	特定小電力無線局タイプ(429MHz 帯 10mW)	2.81km	96.7%	-115.8dBm
圃場 No.2	特定小電力無線局タイプ(429MHz 帯 10mW)	2.06km	97.4%	-98.2dBm
圃場 No.3	実験試験局タイプ(400MHz 帯 1W)	2.32km	98.2%	-102.4dBm
圃場 No.4	特定小電力無線局タイプ(429MHz 帯 10mW)	0.61km	98.5%	-98.6dBm
圃場 No.5	特定小電力無線局タイプ(429MHz 帯 10mW)	0.59km	94.2%	-94.8dBm
圃場 No.6	特定小電力無線局タイプ(429MHz 帯 10mW)	2.18km	98.3%	-109.2dBm

圃場 No.5 のみ、パケット到達率が目標の 95%以上を達成できていない。理由として、圃場 No.5 は、アンテナを金属板が壁の農作業小屋内に設置していることが考えられる(図 6.3-9)。扉の開け閉めによる減衰や、農作業小屋内に人が入った場合に受信レベルが低下して通信断となった可能性が考えられる。また、観光農園を併設されており、大型観光バスなど車両の出入りがあるため、これらが障害物となって受信レベルが低下して通信断となった可能性も考えられる。

各圃場において、今後アンテナを設置する場合は、屋内ではなく屋外に設置することが望ましいと考えられる。

農作業小屋内にアンテナを設置

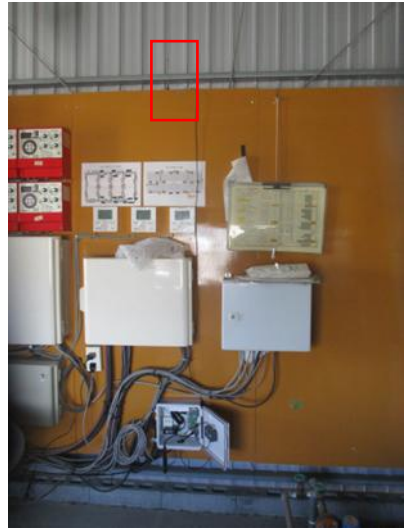


図 6.3-9 圃場 No.5 アンテナ設置状況

各圃場から送信された電波を、農業技術センター屋上の中継局で受信した際の受信レベルの推移を図 6.3-10～図 6.3-15 に示す。

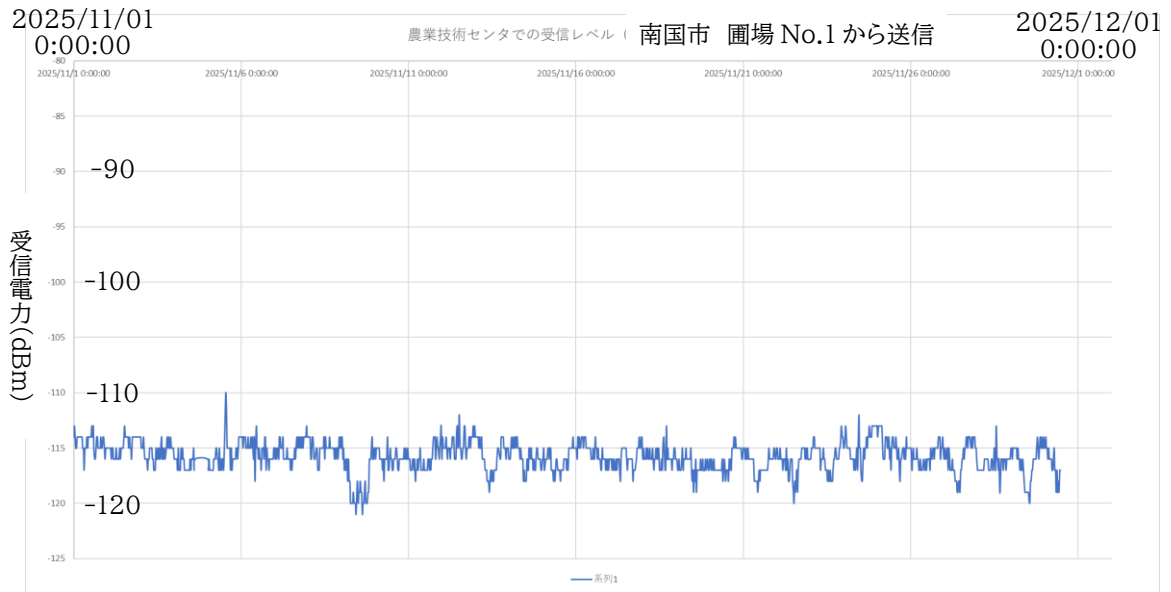


図 6.3-10 受信レベルの推移(南国市 圃場 No.1 から送信)

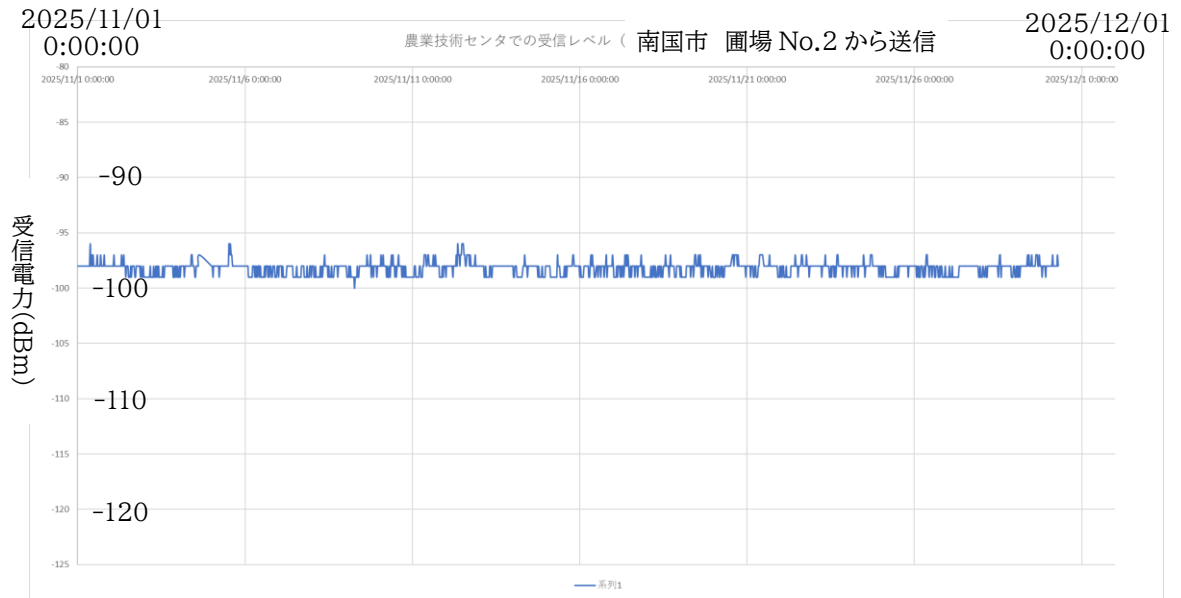


図 6.3-11 受信レベルの推移(南国市 圃場 No.2 から送信)

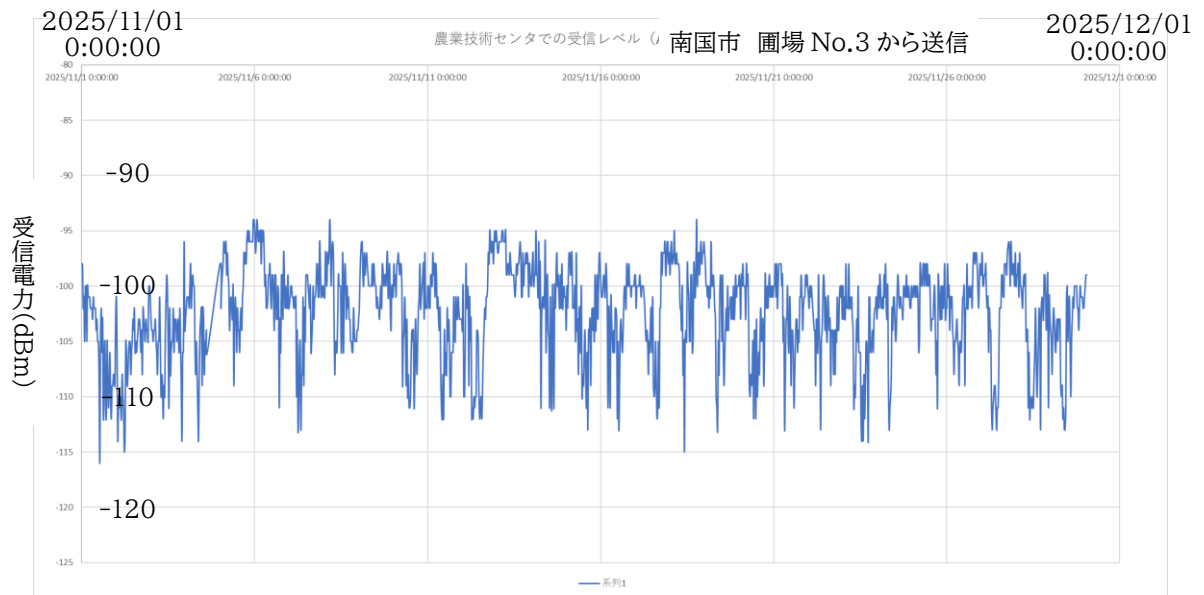


図 6.3-12 受信レベルの推移(南国市 圃場 No.3 から送信)

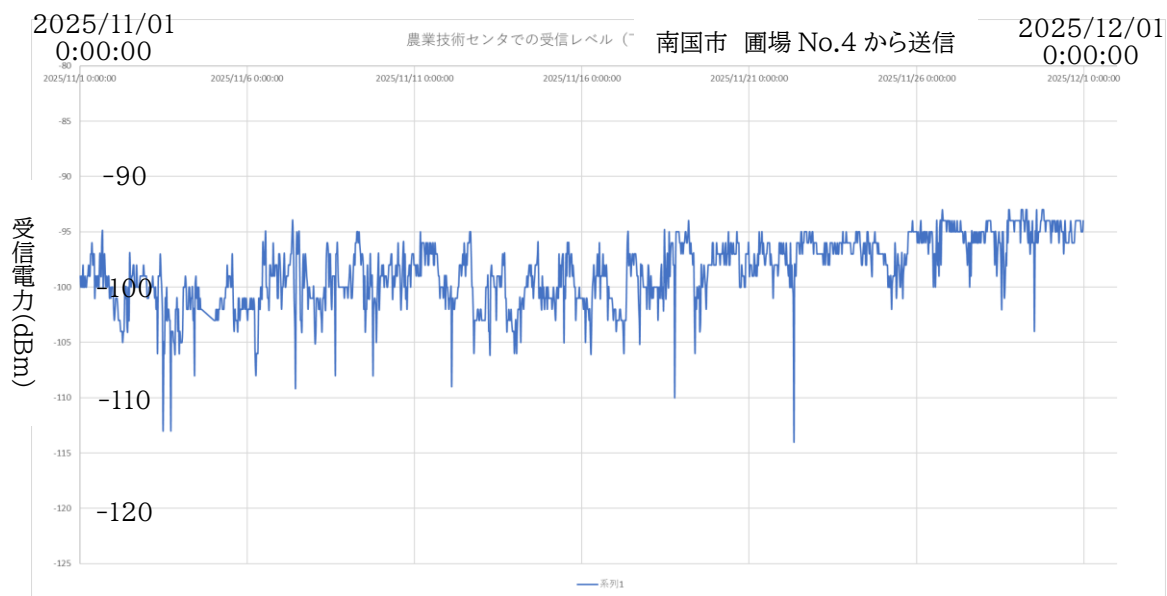


図 6.3-13 受信レベルの推移(南国市 圃場 No.4 から送信)

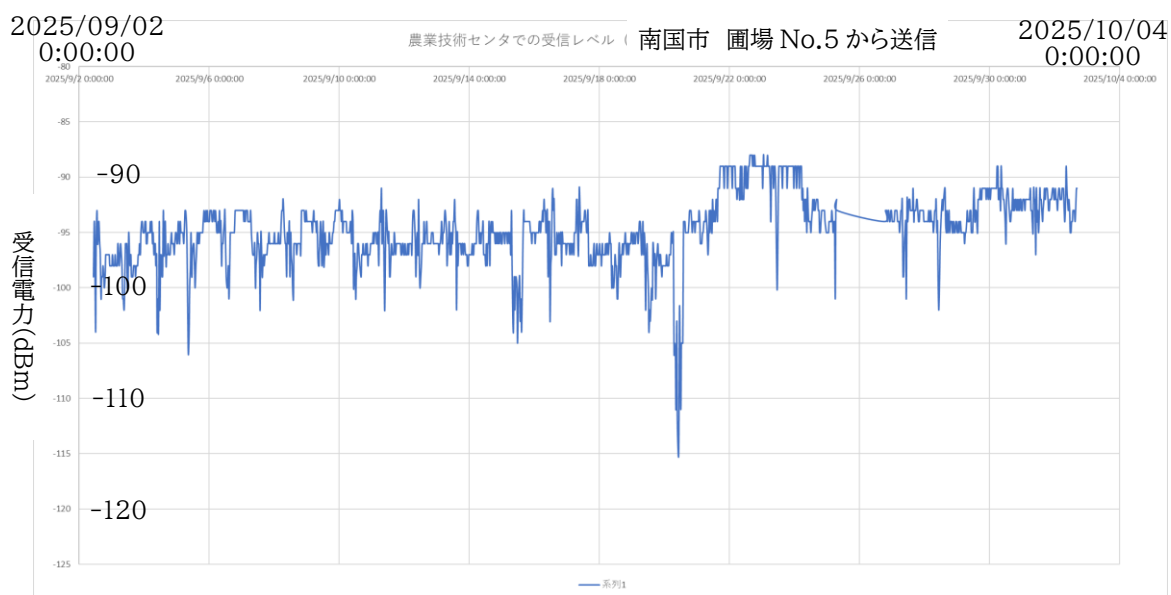


図 6.3-14 受信レベルの推移(南国市 圃場 No.5 から送信)

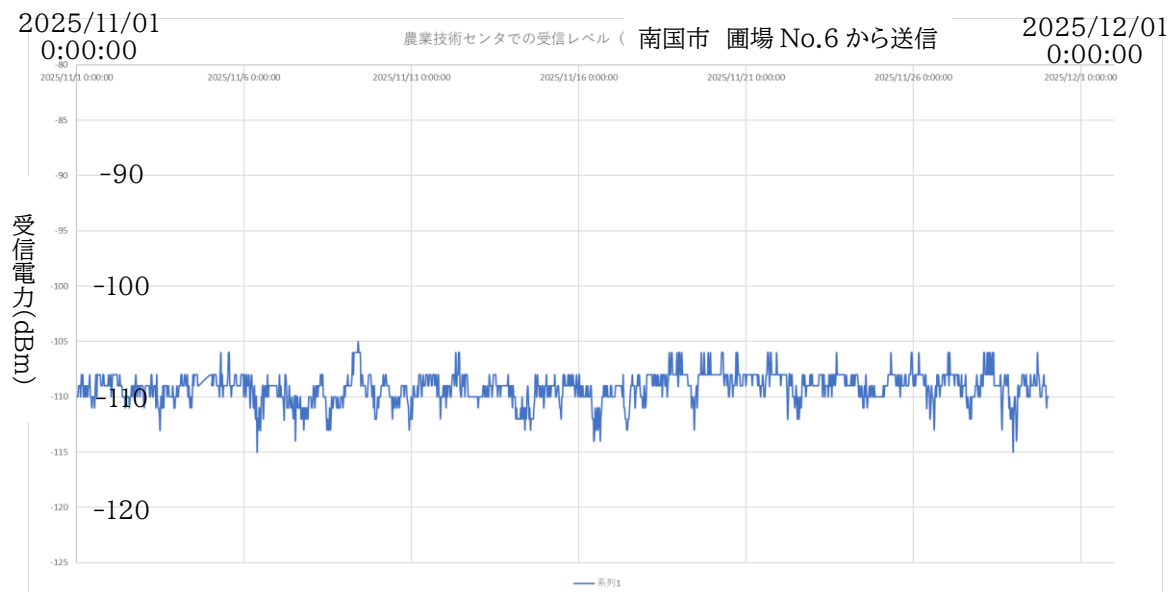


図 6.3-15 受信レベルの推移(南国市 圃場 No.6 から送信)

受信レベルの推移から、各圃場において、レベル変動の程度に差があることが明らかになった。使用している装置・アンテナは同じため、アンテナの設置方法や周囲環境の差によって、レベル変動にも差が出ていると考えられる。今後アンテナを設置する場合は、屋内ではなく屋外に設置することが望ましいと考えられる。また、障害物に成り得る自動車の往来が少ないところへのアンテナ設置も有効と考えられる。

・安芸市圃場

- ・測定期間:2025年11月1日~2025年11月30日
- ・送信間隔:30分ごと
- ・送信ペイロード:182Bytes(最終的なペイロードサイズ 157Bytes ではなく、実証途中のペイロードサイズ 182Bytes にて送信を行っている)
- ・各圃場の位置詳細は、参考資料編 8.2.2 に示す。

表 6.3-4 通信性能測定結果(安芸市圃場)

安芸市エッジ	出力	通信距離	パケット到達率	平均受信電力
圃場 No.1	特定小電力無線局タイプ(429MHz 帯 10mW)	1.67km	98.1%	-92.9dBm
圃場 No.2	特定小電力無線局タイプ(429MHz 帯 10mW)	2.50km	98.5%	-110.2dBm
圃場 No.3	特定小電力無線局タイプ(429MHz 帯 10mW)	0.67km	98.5%	-85.8dBm
圃場 No.4	実験試験局タイプ(400MHz 帯 1W)	7.25km	98.5%	-105.2dBm

安芸市圃場では、すべてパケット到達率は 95%以上となった。安芸市においては、アンテナはすべて屋外に設置している。

各圃場から送信された電波を、旧安芸市役所屋上の中継局で受信した際の受信レベルの推移を以下に示す。

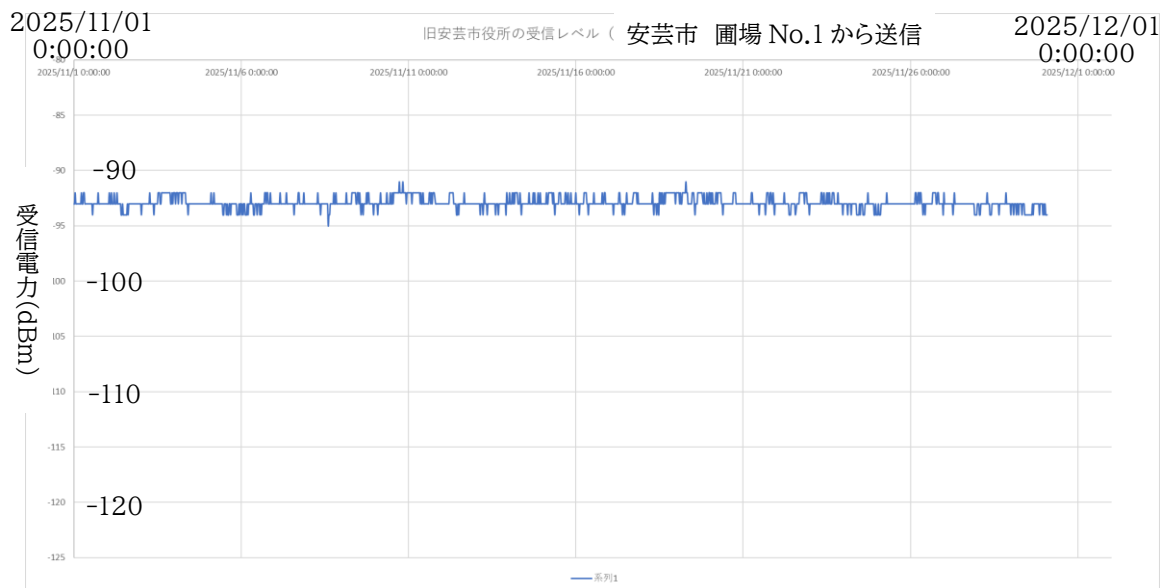


図 6.3-16 受信レベルの推移(安芸市 圃場 No.1 から送信)

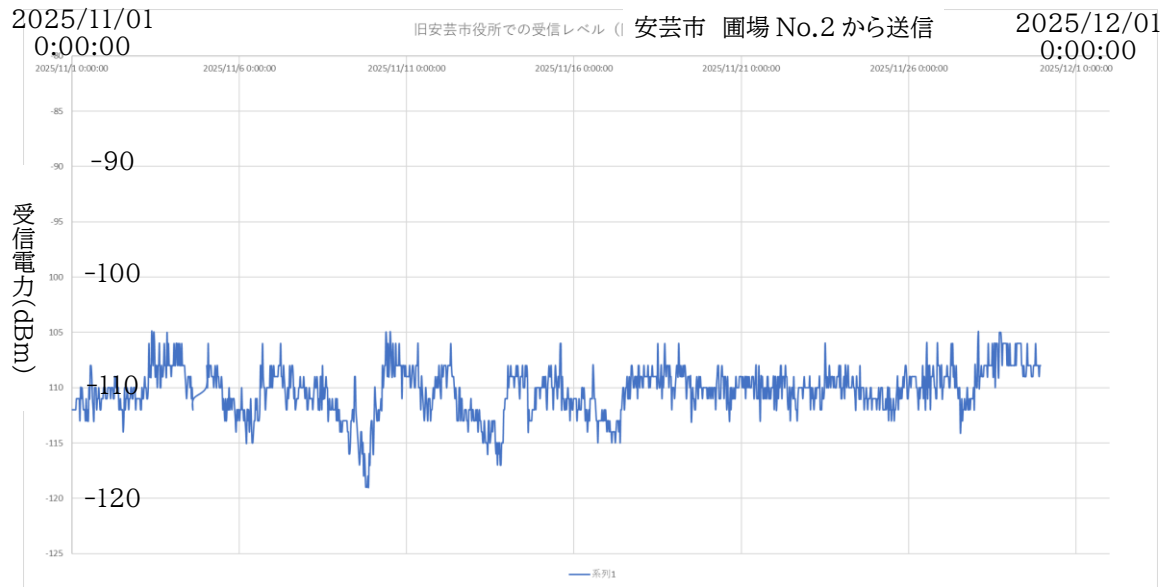


図 6.3-17 受信レベルの推移(安芸市 圃場 No.2 から送信)

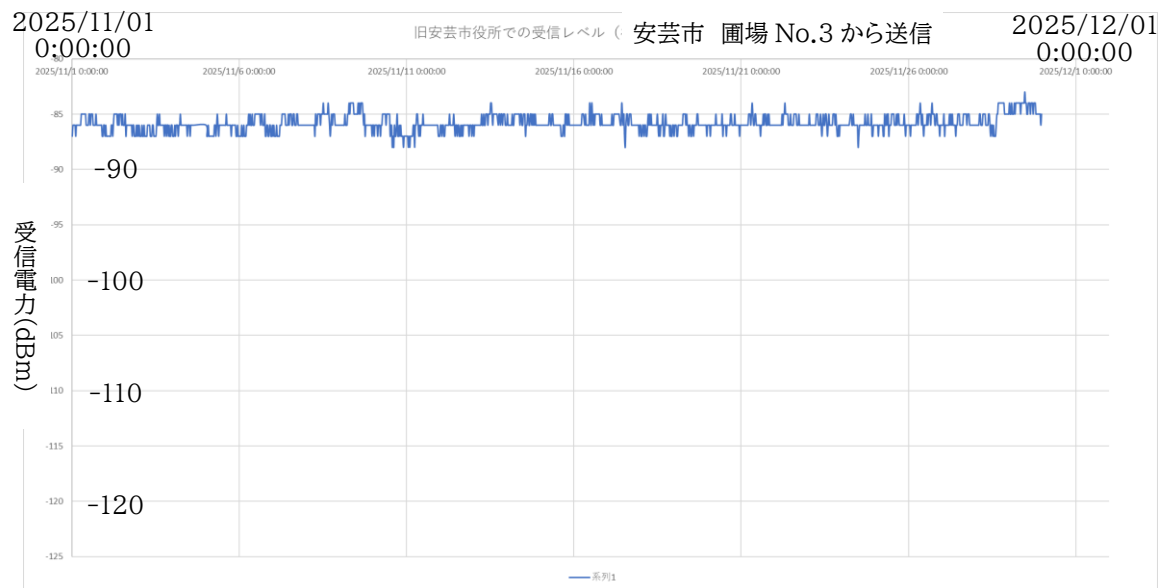


図 6.3-18 受信レベルの推移(安芸市 圃場 No.3 から送信)

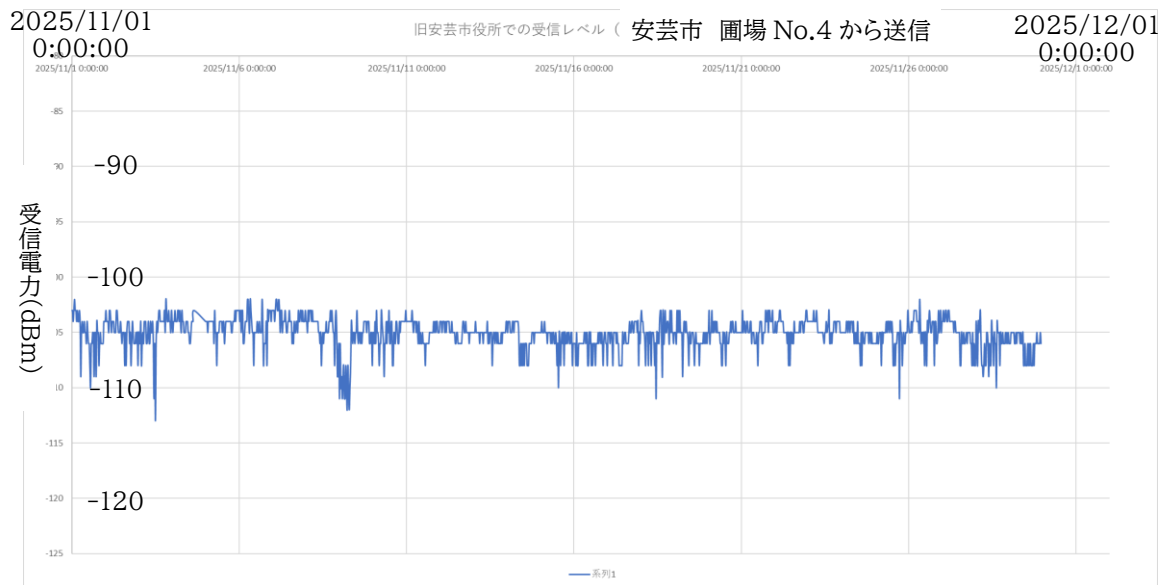


図 6.3-19 受信レベルの推移(安芸市 圃場 No.4 から送信)

安芸市圃場の受信レベル変動は、南国市圃場に比べて小さい傾向が出ている。南国市圃場では、アンテナはすべて屋外に設置しており、また、障害物に成り得る自動車の往来が少ない場所へ設置されているためと考えられる。

スループットについて、計算を実施した。

ノード 1 台あたり平均 100KB/日以上の実効データ転送量

⇒ LPWA で伝送するペイロード 1 日当たり  $182\text{Bytes} \times 48 \text{回}(30 \text{分ごと}) = 6144\text{Bytes}$   
 (最終的なペイロードサイズ 157Bytes ではなく、実証途中のペイロードサイズ 182Bytes にて計算を行っている)

伝送する画像は、7~14kB(AI にて圧縮前の画像(jpeg, Q=50)) $\times 48 \text{回}(30 \text{分ごと})$   
 $= 336\text{kBytes} \sim 672\text{kBytes}$

伝送する画像の容量としては、目標の 100kB/日以上は達成できる見込みである。

同時接続 1 中継局あたり 10 台以上のエッジノード接続について、本実証においては 1 中継局あたり 5 台のエッジデバイス装置を接続し、問題なく動作することを確認した。一つのチャンネルを使用して、複数の局との通信を可能とするために、時分割による周波数共用を実施しており、今回の実証では、高い圧縮率が得られたため、データの送信時間は 7 秒程度と短くなっている。このため、各局からのデータの送信時間を、現在の 5 分から 2.5 分とした場合には、一つのチャンネルを使用して、10 局との通信が可能となる。

## 6) システム信頼性

通信システム稼働率について、目標 99.5%以上(月間停止時間 3.6 時間以下)としていた。当初はソフトウェアのバグや設定ミスによって停止することがあったが、安定動作となって以降は達成できる見込みとなっている。実証の期間内では、安定動作とするまでに時間がかかり、具体的な稼働率の測定までは実施できていない。本実証期間中、以下のような停止が発生した。装置の交換が必要となる故障は発生していない。

- ・ 中継局(LTE-LPWA ルーター)において、サーバーへの DNS(Domain Name System) 設定が間違えており、サーバー側と通信ができなくなった。現地出向を行い、エッジデバイスの設定変更を実施し、復旧した。
- ・ 中継局(LTE-LPWA ルーター)において、LTE 回線に接続されない実証が発生し、サーバー側と通信ができなくなった。現地出向を行い、エッジデバイスの再起動を実施して復旧したが、原因は不明。
- ・ エッジデバイス側装置において、農作業時にセンサー・カメラを取り外したため、データがサーバーに上がらなくなった。本件は故障ではないが、サーバー側では、故障によってか、農作業の都合上データが上がっていないのか、判別がつかない。センサー・カメラ取り外し時には連絡を頂く、または、データ欠損時に状況を問い合わせる運用とした。

パケットロス率について、6.3.35)で示したように、南国市の圃場 1 か所を除いて、パケット到達率が 95%以上となっており、パケットロス率 5%以下となっている。南国市の圃場 1 か所については、圃場側のアンテナを屋内に設置したことが影響していると考えられる。

重要データ(異常検知等)の伝送成功率について、当初は異常温度時や病害発生時に通常の画像や環境データ伝送とは別に、異常通知を LPWA にて伝送することを想定していた。実証においては、通常の画像や環境データ伝送を確実に伝送することに注力したため、異常通知の伝送については実施していない。なお、通常伝送される画像や環境データを使用して、異常検知を行うことは可能と考えられる。

## 7) 経済性

・ゲートウェイ(中継局)導入コストについて、実証時のゲートウェイ(中継局)の導入コスト((特定小電力無線局タイプ(429MHz 帯 10mW))は表 6.3-5 のとおり。

表 6.3-5 実証時のゲートウェイ(中継局)の導入コスト((特定小電力無線局タイプ(429MHz 帯 10mW))

中継局の設置 (イニシャルコスト)	設備・機器費	中継局 429MHz/1 局	30 万円
	ソフトウェア製作費		80 万円
	設置工事費		0 万円 設置に係る人件費等は別途必要
合計			110 万円

ソフトウェアについては、量産時に実証時と同じものを使用すれば、ソフトウェア製作費は不要となる。このため、量産時にゲートウェイ(中継局)導入コスト:50 万円以下/台は達成できると考えられる。量産時の予想価格は表 6.3-6 の通り。

表 6.3-6 量産時のゲートウェイ(中継局)の導入コスト((特定小電力無線局タイプ(429MHz 帯 10mW))

中継局の設置 (イニシャルコスト)	設備・機器費	中継局 429MHz/1 局	30 万円
	ソフトウェア製作費		0 万円
	設置工事費		0 万円 設置に係る人件費等は別途必要
合計			30 万円

エッジノード導入コストについて、6.2.38)に記載の通り

運用コストについて、実証時の運用コストは表 6.3-7 のとおり。

南国市と安芸市の 2 システム分となっており、1 システムあたりでは、この半額となる。通信費について、実証期間中は、遠隔操作を実施するために通信容量の大きいプランに加入している。量産時は、遠隔操作の頻度は少なくなるため、通信容量の小さい安価なプランに加入可能となる。これにより、年間メンテナンス費 5 万円以下/システムの目標値に近い値まで低減が可能と考えられる。

表 6.3-7 実証時の運用コスト

運用	通信費	中継局/4局・12か月	9.6万円
	電気代	中継局/4局・12か月	1.4万円
		エッジデバイス/12局・12か月	2.9万円
AIシステムの運用	クラウド(デコード用、病害検出用)利用料	12か月	0万円
	IoP クラウド SAWACHI(農家様への情報提供)利用料	12か月	0万円
合計			13.9万円 1システムあたり6.95万円

## 8) 持続可能性

・自立電源稼働期間について、実証時のエッジデバイス側装置の消費電力 5W から、エッジデバイス側について、ソーラー自立電源の設計を実施した。

前提条件

- ・ 設置場所:高知県安芸市
- ・ 負荷側の消費電力:5W(常時)
- ・ 無日照動作期間:7日間

図 6.3-20 の構成にて、連続 7 日間の日照不足でも動作可能となる。

詳細(計算書)は参考資料参照

構成

- ・ ソーラーパネル:100W 4枚(2直列2並列)
- ・ バッテリー:鉛蓄電池 12V100AH 4個(2直列2並列)
- ・ 充電器
- ・ DC-AC インバーター

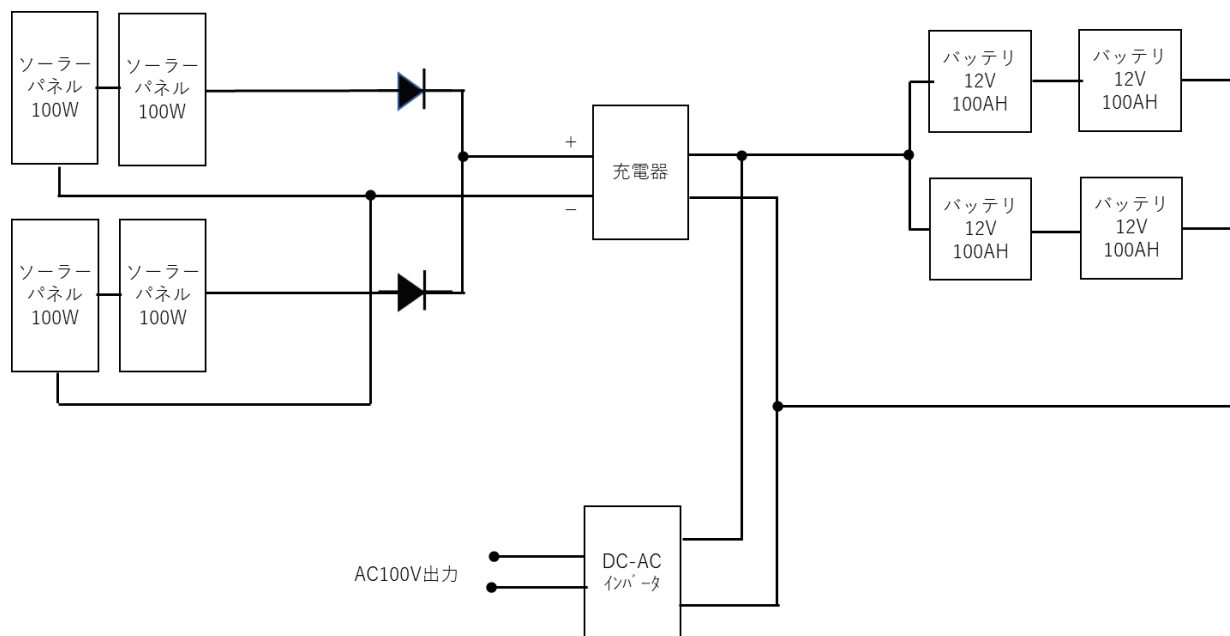


図 6.3-20、ソーラー自立電源の構成

ソーラー自立電源において、鉛蓄電池の充放電回数は、365 回／年（1 日 1 回充放電を行う）となるが、鉛バッテリーの充放電回数：放電深度 50% の場合 約 400 回（容量が 80% となる充放電回数）とされている。よって、ソーラー自立電源のバッテリー交換頻度は年 1 回となると考えられる。

遠隔メンテナンス率について、中継局装置については遠隔メンテナンスが可能。エッジデバイス側装置について、実証時には電源コンセントを農家様に抜き差ししていただいて復旧しており、現地訪問は不要。エッジデバイスソフト書き換えは、現地訪問が必要だったが、量産時において、エッジデバイスソフト書き換えは不要と考えられる。

これにより、量産時に遠隔メンテナンス率：90% 以上は達成可能と考えられる。

### 6.3.4 考察

検証技術を活用した技術・ソリューションの社会実装に向けた今後の活用の見通しの考察について、本実証においては、AIによるデータ圧縮とLPWAによる伝送を組み合わせることにより、特に中山間地域に多い携帯電話網不感地域において、画像や環境データの伝送を可能にすることを目指している。今回、中山間地域での伝搬特性に優れた400MHz帯狭帯域LoRaを使用することで、携帯電話網不感地域からの画像や環境データ伝送が可能となった。現状、高知県内に限らず、携帯電話網不感地域に圃場が存在している。このような圃場に対して遠隔監視を行う際には、本実証の結果から有効であると判断でき、第一選択肢になりうる技術であると考えられる。今後、全国の携帯電話網不感地域の圃場への導入、活用が期待される。

検証技術を活用した技術・ソリューションが、他の通信手段等により、そのソリューションを実現する場合と比べて、どのような効果が得られているかの考察について、中山間地域において、LPWAによる通信が有効であることは、これまでの他の実証等でも明らかになっている。LPWAの中でも920MHz帯を使用したLPWAがこれまで多く使用されているが、中山間地域で山に遮られた場合は、通信距離を確保できない問題があった。今回の実証では、中山間地域での伝搬特性に優れたLPWAである、400MHz帯狭帯域LoRaを使用することで、中山間地域での通信距離を確保している。伝搬特性が優れている400MHz帯であるが、920MHz帯と比べて伝送できる容量が小さいため、容量の大きい画像を伝送することは困難であった。本検証技術は、画像に写った作物の特徴をAIにてとらえて、その特徴を伝送するという、これまでの圧縮技術とは異なる方法でデータ容量を小さくしている。これにより、大幅に容量を小さくすることに成功しており、容量制限のある400MHz帯狭帯域LoRaでの伝送を可能とし、中山間地域での画像伝送を可能にしている。

検証技術を活用した技術・ソリューションが、国内のマーケット拡大やビジネス拡大、地域社会や産業の課題解決に貢献する取組であることの考察について、本実証の技術によって、これまで通信が困難なため監視ができないなど不利な条件に置かれていた圃場でも監視が可能となり、監視作業時間の削減や、監視による病害異常の早期発見による収量増などが期待される。また、監視に限らず、遠隔でのスイッチ操作など、データ量が小さく、圧縮の必要がない簡易な制御であれば、現在の構成の中で実現可能である。今後、高知県に限らず、全国の携帯電話網不感地域の圃場への導入、活用が進んで行けば、本技術を使用した監視制御装置の市場拡大が期待される。装置自体は特殊な物品を使用していないため、例えば高知県内など地元の企業でも製造可能なものとなっている。また、地域全体で導入することによって、中継局を共用することが可能となるため、各農家が負担するコストを低減することも可能と考えられる。

類似の技術やソリューションなどと比較して、検証技術を活用した技術・ソリューションが、先進性や新規性を有することの考察について、LPWAの中でも920MHz帯を使用したLPWAがこれまで多く使用されているが、今回の実証では、中山間地域での伝搬特性に優れたLPWAである、400MHz帯狭帯域LoRaを使用することで、中山間地域での通信距離を確保している。また今回は、特定小電力無線局タイプ(429MHz帯10mW)と、実験試験局タイプ(400MHz帯1W)の両方の装置を準備しており、特に電波環境が厳しいと考えられた圃場に対しては、出力の大きい実験試験局タイプ

(400MHz 帯 1W)を使用して、通信を確保している。現在の制度下では、実験試験局タイプ(400MHz 帯 1W)は、無線局免許と無線従事者免許が必要となるが、これまでの特定小電力無線局タイプ(429MHz 帯 10mW)では、通信が困難であった場所と通信を可能とする技術であり、先進性や新規性を有していると考えられる。

ソリューション実装を念頭に置いた上で、ユーザーとなる企業・地方公共団体や通信事業者、ソリューション提供事業者等にとって、検証した技術の導入を促す等、定量的な目安や指針となる具体的な知見に係る考察について、本実証の技術は、一般の農家様への導入を目指して検討を進めている。特にコストについては導入の大きな障壁となるため、特殊な装置は使用せず、市販の装置にて安価で容易に構成できるよう検討を行った。実証時は、1 ハウスあたり 5 万円以下の目標を達成できていないが、今後の量産時に、使用装置のスペック見直しや構成方法の変更によって、目標の金額に近づけることは可能と考えられる。安価で容易な構成の装置であれば、導入へのハードルは低くなると考えられる。

また、今回使用した装置のうち、実験試験局タイプ(400MHz 帯 1W)は、無線局免許と無線従事者免許が必要となっている。一般の農家様が手続きを行っての免許取得は難易度が高く、無線の専門家か、知識を持った企業が行う必要があると考えられ、導入のハードルとなっている。現行の制度下では、他の方法として、農家様個人が免許を取得するのではなく、例えば、周辺農家様や無線に関する知識を持った企業が利用組合を結成して組合が免許人となって申請を行う(実際の手続きは無線に関する知識を持った企業が実施)などの方法も考えられる。しかし、この方法でも、無線局免許や無線従事者免許が不要な特定小電力無線局タイプ(429MHz 帯 10mW)よりは導入のハードルは高い。本実証の範囲外となるが、ニーズがあることを訴え、例えば、特定小電力無線局の出力が10mW から1Wへ緩和することを要望するなどして制度が改正されることを期待したい。

#### 6.4 ユースケース③:多種多様なデバイスに対する通信リソースの最適化

当該ユースケースは実施しなかった。

## 6.5 ユースケース④:分散ネットワークにおける新たな AI ソリューションの創出

当該ユースケースは実施しなかった。

## 6.6 拡張性に関する検証

### 6.6.1 実証スケジュール

拡張性に関する検証のスケジュールを図 6.6-1 に示す。

ユースケース	フェーズ	2025年									2026年		
		5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月		
拡張性検証	実証準備 (事前計測、物品調達等)			場所選定 機材準備									
	実証				学習用画像採取			基本モデル構築	最適化検討 机上検討				
	実証評価							視察会	効果検証	報告書作成			

図 6.6-1 拡張性に関する検証 実証スケジュール

### 6.6.2 評価項目の結果

拡張性に関する評価項目を表 6.6-1 に示す。

表 6.6-1 評価項目

番号	評価項目
1	防災・災害対策分野(排水溝監視)での基本モデル構築・評価
2	様々な通信規格や通信品質変動、帯域制約下における伝送が可能であるかの検討と最適化手法の検討
3	ハードウェア要件の一般化
4	ソフトウェアインターフェースの標準化
5	セキュリティ要件の検討

## 1) 防災・災害対策分野(排水溝監視)での基本モデル構築・評価

排水溝の画像について、サーバー上で圧縮復元を実施した。排水溝画像はタイムラプスカメラを使用して事前に採取し、学習を実施してコードブックを作成している。エンコーダーの AI ソフトウェアは農業用と同じものを使用している。使用したエンコード・デコード仕様を表 6.6-2 に示す。

表 6.6-2 エンコード・デコード仕様

項目	仕様
クラスタ数	2048
圧縮後サイズ	2Bytes
圧縮率	196,608:1
入力サイズ	256×256×3
特徴抽出サイズ	16×16×3
学習アルゴリズム	MiniBatchKMeans
学習画像	2025/12/8～2026/1/12(元画像と同一期間) 画像枚数 5,144 枚

元画像 20 枚に対して圧縮・復元を実施した。結果を図 6.6-3～図 6.6-6 に示す。圧縮後の画像サイズ:2Bytes、SSIM:の平均(画像 20 枚の平均)は 0.947、PSNR の平均(画像 20 枚の平均)は 31.39dB となっており、圧縮率は高く SSIM も高く、良好な結果が得られている。SSIM は、復元画像の構造的類似性を示す指標であり、1 に近いほど、元画像と復元画像が類似している。PSNR も復元画像の品質を示す指標であり、数値が大きい程、元画像との差がないことを示す。今回の評価結果から、復元画像は元画像と類似しており、排水溝監視には問題がない画像品質であると考えられる。

20 枚の画像に対する PSNR と SSIM の分布を図 6.6-2 に示す。

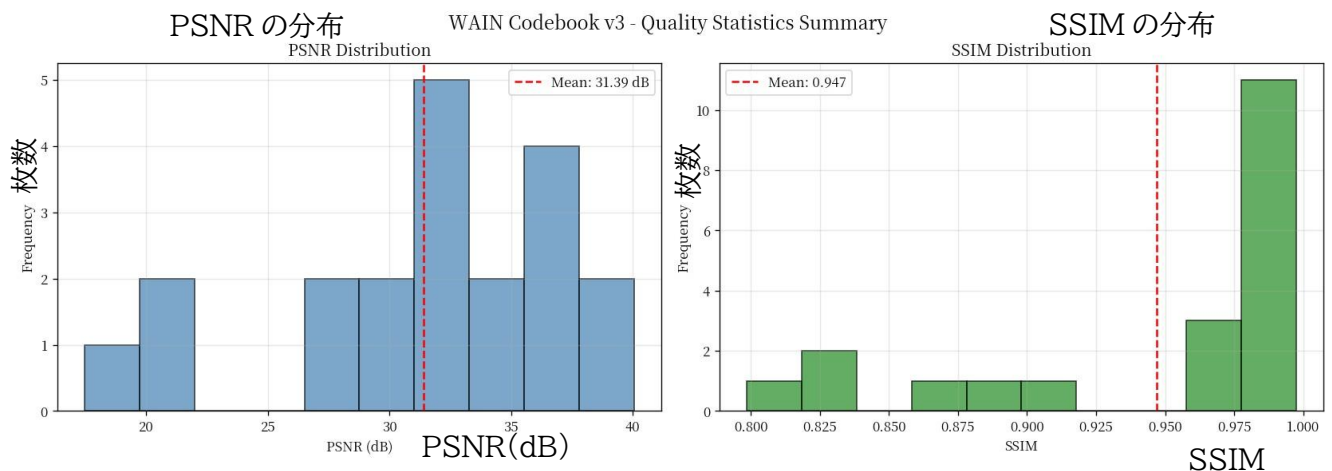


図 6.6-2 PSNR と SSIM の分布

元画像

復元後画像




<p>Original: DSCF5379.JPG</p> 	<p>Encoded (2 bytes)</p> <p>Cluster ID: 879 Hex: 0x036F Bytes: [3, 111] Size: 2 bytes</p>	<p>Decoded (PSNR: 40.1dB, SSIM: 0.988)</p> 	<p>SSIM:0.998 PSNR:40.1dB</p>
<p>Original: DSCF5394.JPG</p> 	<p>Encoded (2 bytes)</p> <p>Cluster ID: 1753 Hex: 0x06D9 Bytes: [6, 217] Size: 2 bytes</p>	<p>Decoded (PSNR: 36.9dB, SSIM: 0.996)</p> 	<p>SSIM:0.996 PSNR:36.9dB</p>
<p>Original: DSCF5896.JPG</p> 	<p>Encoded (2 bytes)</p> <p>Cluster ID: 1193 Hex: 0x04A9 Bytes: [4, 169] Size: 2 bytes</p>	<p>Decoded (PSNR: 36.1dB, SSIM: 0.997)</p> 	<p>SSIM:0.997 PSNR:36.1dB</p>
<p>Original: DSCF6198.JPG</p> 	<p>Encoded (2 bytes)</p> <p>Cluster ID: 823 Hex: 0x0337 Bytes: [3, 55] Size: 2 bytes</p>	<p>Decoded (PSNR: 37.7dB, SSIM: 0.996)</p> 	<p>SSIM:0.996 PSNR:37.7dB</p>
<p>Original: DSCF6485.JPG</p> 	<p>Encoded (2 bytes)</p> <p>Cluster ID: 649 Hex: 0x0289 Bytes: [2, 137] Size: 2 bytes</p>	<p>Decoded (PSNR: 33.0dB, SSIM: 0.991)</p> 	<p>SSIM:0.991 PSNR:33.0dB</p>

図 6.6-3 圧縮・復元結果

元画像

復元後画像




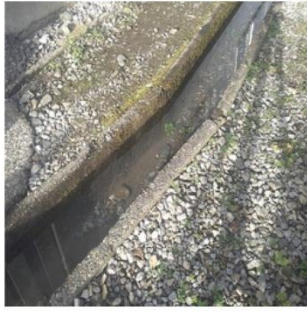






<p>Original: DSCF6779.JPG</p> 	<p>Encoded (2 bytes)</p> <p>Cluster ID: 709 Hex: 0x02C5 Bytes: [2, 197] Size: 2 bytes</p>	<p>Decoded (PSNR: 34.4dB, SSIM: 0.995)</p> 	<p>SSIM:0.995 PSNR:34.4dB</p>
<p>Original: DSCF7048.JPG</p> 	<p>Encoded (2 bytes)</p> <p>Cluster ID: 637 Hex: 0x027D Bytes: [2, 125] Size: 2 bytes</p>	<p>Decoded (PSNR: 17.5dB, SSIM: 0.796)</p> 	<p>SSIM:0.798 PSNR:17.5dB</p>
<p>Original: DSCF7310.JPG</p> 	<p>Encoded (2 bytes)</p> <p>Cluster ID: 95 Hex: 0x005F Bytes: [0, 95] Size: 2 bytes</p>	<p>Decoded (PSNR: 29.3dB, SSIM: 0.978)</p> 	<p>SSIM:0.978 PSNR:29.3dB</p>
<p>Original: DSCF7590.JPG</p> 	<p>Encoded (2 bytes)</p> <p>Cluster ID: 319 Hex: 0x013F Bytes: [1, 63] Size: 2 bytes</p>	<p>Decoded (PSNR: 29.1dB, SSIM: 0.974)</p> 	<p>SSIM:0.974 PSNR:29.1dB</p>
<p>Original: DSCF0202.JPG</p> 	<p>Encoded (2 bytes)</p> <p>Cluster ID: 1159 Hex: 0x0487 Bytes: [4, 135] Size: 2 bytes</p>	<p>Decoded (PSNR: 37.0dB, SSIM: 0.994)</p> 	<p>SSIM:0.994 PSNR:37.0dB</p>

図 6.6-4 圧縮・復元結果

元画像

復元後画像










<p>Original: DSCF0503.JPG</p> 	<p>Encoded (2 bytes)</p> <p>Cluster ID: 965 Hex: 0x03C5 Bytes: [3, 197] Size: 2 bytes</p>	<p>Decoded (PSNR: 20.8dB, SSIM: 0.917)</p> 	<p>SSIM:0.917 PSNR:20.8dB</p>
<p>Original: DSCF7896.JPG</p> 	<p>Encoded (2 bytes)</p> <p>Cluster ID: 1384 Hex: 0x0568 Bytes: [5, 104] Size: 2 bytes</p>	<p>Decoded (PSNR: 32.2dB, SSIM: 0.989)</p> 	<p>SSIM:0.989 PSNR:32.2dB</p>
<p>Original: DSCF8182.JPG</p> 	<p>Encoded (2 bytes)</p> <p>Cluster ID: 1371 Hex: 0x055B Bytes: [5, 91] Size: 2 bytes</p>	<p>Decoded (PSNR: 34.0dB, SSIM: 0.992)</p> 	<p>SSIM:0.992 PSNR:34.0dB</p>
<p>Original: DSCF8499.JPG</p> 	<p>Encoded (2 bytes)</p> <p>Cluster ID: 1577 Hex: 0x0629 Bytes: [6, 41] Size: 2 bytes</p>	<p>Decoded (PSNR: 21.7dB, SSIM: 0.821)</p> 	<p>SSIM:0.821 PSNR:21.7dB</p>
<p>Original: DSCF8801.JPG</p> 	<p>Encoded (2 bytes)</p> <p>Cluster ID: 972 Hex: 0x03CC Bytes: [3, 204] Size: 2 bytes</p>	<p>Decoded (PSNR: 31.4dB, SSIM: 0.869)</p> 	<p>SSIM:0.869 PSNR:31.4dB</p>

図 6.6-5 圧縮・復元結果

元画像

復元後画像

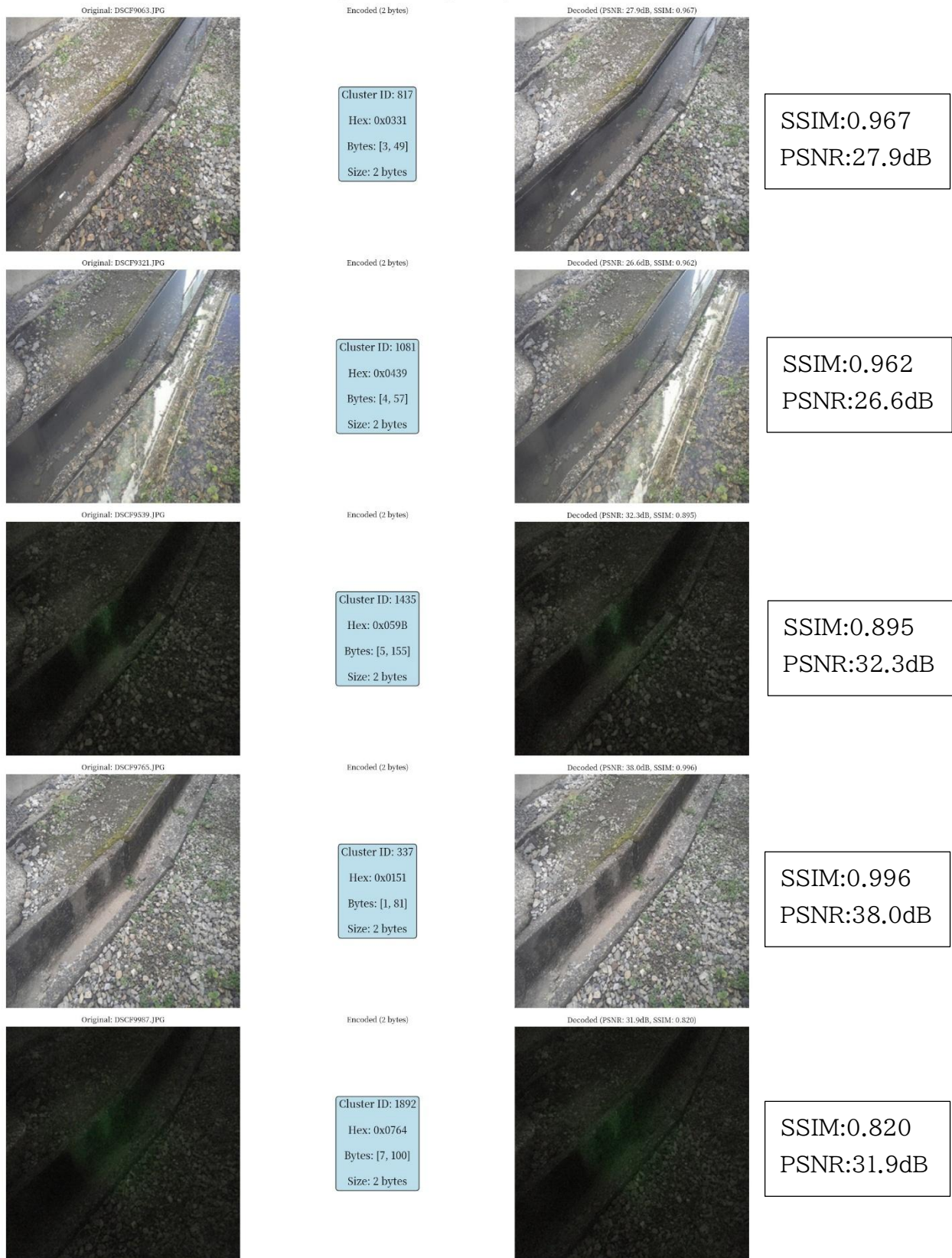


図 6.6-6 圧縮・復元結果

2) 様々な通信規格や通信品質変動、帯域制約下における伝送が可能であるかの検討と最適化手

## 法の検討

農業分野向けと同様の圧縮率が得られたため、LPWA のような帯域制約のある通信規格においても伝送可能と考えられる。圧縮によってデータ容量を小さくすることが可能なため、LPWA に限らず、様々な通信規格において伝送が可能と考えられる。通信品質が変動する場合でも、データ容量が小さいため、例えば再送や誤り訂正などのデータの欠損を防ぐ技術が容易に適用可能なため、伝送が可能となる。

### 3) ハードウェア要件の一般化

排水溝監視用に固有なハードウェアは使用しておらず、農業分野向けと同様のハードウェア構成で、排水溝監視拡張分野へも適用が可能となっている。

### 4) ソフトウェアインターフェースの標準化

排水溝監視においても、農業向けと同様なソフトウェアを使用している。ただし、AI によるエンコード、デコードを実施する際に使用するコードブックは、排水溝監視の学習用画像を採取し、それをを用いて作成を行う必要がある。

### 5) セキュリティ要件の検討

今回の排水溝監視の用途では、採取する画像は排水溝周辺のみとなっており、人物などプライバシーが問題となる対象は撮影していない。また、セキュリティ上、問題となる画像の撮影も行っていない。作物の撮影を行う農業向けと同じ条件であり、異なるセキュリティ要件は必要ないと考えられる。

ただし、排水溝監視の場合、出入りに制限がある農業用のビニールハウス内よりも、人が触れやすい場所に設置されることが想定される。このため、機器の盗難やイタズラへの対応を考慮した機器設置が必要となる。

### 6.6.3 KPI/KGI との比較結果

拡張性に関する KPI/KGI を表 6.6-3 に示す。

表 6.6-3 拡張性に関する KPI/KGI

定性評価 /定量評価	番号	目標値
定性評価	1	他分野用途での有効性 ・使用者への意思決定支援への貢献度 ・作業負担軽減効果の実感度 ・システム操作性と理解のしやすさ
	2	技術の拡張性 ・他の方法への適応容易性 ・異常気象時など特殊条件下での動作安定性
	3	社会実装の容易さ ・導入・設置の簡便さ ・メンテナンス頻度と難易度 ・既存システムとの連携性
定量評価	4	圧縮率 画像データを 50 倍以上に圧縮(基本モデル)
	5	農業分野向けと同様の性能(100 倍以上の圧縮率、SSIM 0.85 以上、エンドツーエンド遅延 10 秒以内、パケットロス率 5%以下)が得られる見込みがあることを示す

#### 1) 他分野用途での有効性

今回の実証においては、排水溝監視を使用される方に実際に使用していただく機会はなかったが、以下のように有効性があると考えられる。

使用者への意思決定支援への貢献度について、画像による監視が可能となるため、異常発生時への意思決定支援への貢献度は大きいと考えられる。

作業負担軽減効果の実感度について、画像による監視が可能となるため、見回り回数が減少し、負担が低減されることが考えられる。

システム操作性と理解のしやすさについて、農業用と同様に、スマホを使用して、画像を簡単に見ることができるようになれば、操作性は高くなり、理解もしやすと考えられる。

#### 2) 技術の拡張性

他の方法への適応容易性について、今回実施した排水溝監視以外への適用も、同様のシステムを使用することで適応可能と考えられる。ただし、AI によるエンコード、デコードを実施する際に使用するコードブックは、学習用画像を採取し、それを用いて作成を行う必要がある。また、学習用画像作成の際に、例えば水位監視の場合は水位が高い場合や低い場合の画像を準備する必要があり、学習用画像を準備できるか否かで適応可能な分野が制限されることが考えられる。

異常気象時など特殊条件下での動作安定性についても、農業用と同様と考えられる。

### 3) 社会実装の容易さ

導入・設置の簡便さについて、農業用と同様と考えられる。設置時に特殊な工具や技能、資格は必要としないため、装置取付は、使用者自身でも取付可能となっている。ただし、LPWA のアンテナについては電波の到来方向や周囲の障害物の状況を考慮して取付けを行う必要があり、また、高所作業となるため、専門技術者が取付け作業を行うことが望ましい。

メンテナンス頻度と難易度について、農業用と同様と考えられる。量産時には、コードブックやソフトウェアは、最終版を搭載するため、現地へ出向しての書き換え作業は必要ないと考えられる。メンテナンスについて、特に必要はないと考えられる。

既存システムとの連携性について、農業用と同様と考えられる。伝送した画像をクラウドへ上げることによって、既存システムとの連携が容易になると考えられる。

### 4) 圧縮率

圧縮後の画像サイズは、2Bytes、SSIM 平均は、0.947 となっており、画像データを 50 倍以上に圧縮の目標は達成できている。復元後の画像品質は、排水溝監視でも適用可能なレベルであると考えられる。

SSIM について、農業用として実証時の値よりも高い値となっており、復元後画像の品質が高くなっている。圧縮復元に使用するコードブック作成の際、今回の農業用では、複数の圃場や作物の学習用画像を使用しているが、排水溝監視については、場所は 1 カ所であり、画像の変化もほとんど水位のみであり、その他の変化は少ない。このような条件で作成したコードブックのため、今回の排水溝監視では、高品質な画像へ復元できたと考えられる。この結果から、農業用でも、今回の排水溝監視と同じように、1 軒の圃場のみ、作物も一種類でコードブックを作製すれば、SSIM は向上可能と考えられる。ただし、圃場ごと、作物ごとに作成すると、コードブック作成に手間がかかることになる。

### 5) 農業分野向けと同様の性能

圧縮後の画像サイズは 2Bytes となっており、農業用と同様の圧縮率となっている。このため、農業用として検証した LPWA にて伝送可能であり、農業用に実証結果から、パケットロス率 5% 以下を達成可能と予想される。

## 6.6.4 考察

検証技術を活用した技術・ソリューションの社会実装に向けた今後の活用の見通しの考察について、AI によるデータ圧縮と LPWA による伝送を組み合わせた本実証の技術は、特に中山間地域に多い携帯電話網不感地域において、画像や環境データの伝送を可能にする技術である。実証を行った農業分野に限らず、防災やインフラ監視など多くの分野にて遠隔監視のニーズはあるため、今後、全国の携帯電話網不感地域の圃場への導入、活用が期待される。

なお、本技術で使用した AI によるデータ圧縮については、事前に AI の学習を行って、コードブックを作成することが必要となっている。例えば、学習をしていない状態については、正しい画像に復元さ

れない。例えば、河川監視の場合、通常水位の学習用画像を採取することは比較的容易であるが、水位が上昇して氾濫状態の画像を採取することは困難であり、監視の対象によっては、十分な学習用画像が準備できないことが考えられる。

このため、例えば画像について、通常時は正常な画像が復元されるが、水位上昇時は、全く別の画像となることも考えられる。水位監視という目的であれば機能的に十分ではないが、水位が上昇したという異常状態を認識するという目的では、この機能でも対応可能と思われる。社会実装を行っていく際には、準備できる学習用画像によって機能が制限されることを認識したうえで導入することが望ましい。

検証技術を活用した技術・ソリューションが、他の通信手段等により、そのソリューションを実現する場合と比べて、どのような効果が得られているかの考察について、中山間地域において、LPWA による通信が有効であることは、これまでの実証等で明らかになっているが、容量の大きい画像を送送することは困難であった。現状、携帯電話網不感地域の中山間地域で画像を送送する手段は、これまでなかったと考えられる。本検証技術は、画像に写った物体の特徴を AI にてとらえて、その特徴を送送するという、これまでの圧縮技術とは異なる方法でデータ容量を小さくしている。これにより、大幅に容量を小さくすることに成功しており、容量制限のある LPWA での伝送を可能とし、中山間地域での画像伝送を可能にしている。

検証技術を活用した技術・ソリューションが、国内のマーケット拡大やビジネス拡大、地域社会や産業の課題解決に貢献する取組であることの考察について、本実証の技術によって、携帯電話網不感地域など、これまで通信が困難なため監視ができなかった場所でも監視が可能となり、監視作業時間の削減や、異常の早期発見による危険回避などが期待される。今後、高知県に限らず、全国の携帯電話網不感地域の圃場への導入、活用が進んで行けば、本技術を使用した監視装置の市場拡大が期待される。装置自体は特殊な物品を使用していないため、例えば高知県内など地元の企業でも製造可能なものとなっている。また、地域全体で導入することによって、川やがけ、海など複数の危険個所の監視が可能となり復号的な災害に対する対策を実施することも可能となると考えられる。なお、準備できる学習用画像によって機能が制限されることを認識したうえで導入することが望ましい。

類似の技術やソリューションなどと比較して、検証技術を活用した技術・ソリューションが、先進性や新規性を有することの考察について、従来の画像圧縮技術では、元画像を間引くなど、元画像に対して小容量化の処理を行なっている。本実証の技術は、AI によって物体の特徴を捉えるという、全く異なる方法によって、画像の容量を小さくしており、先進性や新規性を有していると考えられる。

ソリューション実装を念頭に置いた上で、ユーザーとなる企業・地方公共団体や通信事業者、ソリューション提供事業者等にとって、検証した技術の導入を促す等、定量的な目安や指針となる具体的な知見に係る考察について、本実証の技術は、一般の農家様への導入を目指して検討を進めている。特にコストについては導入の大きな障壁となるため、特殊な装置は使用せず、市販の装置にて安価で容易に構成できるよう検討を行った。実証時は、1 ハウスあたり 5 万円以下の目標を達成できていないが、今後の量産時に、使用装置のスペック見直しや構成方法の変更によって、目標の金額に近づ

けることは可能と考えられる。農業分野以外においても、農業用と同じ装置が使用可能なため、量産時は同等の価格にて導入できる可能性はあると考えられる。

## 6.7 効果検証

### 6.7.1 実証スケジュール

効果検証のスケジュールを図 6.7-1 に示す。ユースケースごとに実施している。

ユースケース	フェーズ	2025年									2026年	
		5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	
①「エッジAIによる通信量の低減」	実証準備 (事前計測、物品調達等)	AIソフトウェア開発										
	実証					システム動作確認 先行局設置	設置作業	データ収集	データセット確定			
	実証評価							視察会▲	効果検証	報告書作成		
②「不感地域における通信の確立」	実証準備 (事前計測、物品調達等)		機器調達			実験試験局免許取得						
	実証					システム動作確認 先行局設置	設置作業	通信状況把握				
	実証評価							視察会▲	効果検証	報告書作成		
拡張性検証	実証準備 (事前計測、物品調達等)			場所選定	機材準備							
	実証					学習用画像採取			基本モデル構築	最適化検討 机上検討		
	実証評価							視察会▲	効果検証	報告書作成		

図 6.7-1 効果検証の実証スケジュール

## 6.7.2 評価項目の結果

効果検証での評価項目を表 6.7-1 に示す。

表 6.7-1 効果検証での評価項目

番号	評価項目
1	コスト削減効果 本実証の技術を導入した場合と導入しない場合のコスト削減効果を、通信コスト削減効果とインフラコスト削減効果について評価を行う。
2	投資対効果(ROI) 本実証技術の導入による投資対効果を評価する。経済的実現性と経営資源管理の観点からの検証を行う。
3	その他経済的価値 本実証技術がもたらす追加的な経済的価値を評価する。労働環境改善の経済的価値、データ資産価値の創出、経営リスク低減効果の観点からの検証を行う。
4	既存通信インフラの有効活用 本実証の AI 技術による通信負荷軽減が、地域の限られた通信資源をいかに効率化するかを評価する。
5	実証分野における社会的価値 本実証における農業分野の社会的価値を多角的に評価するため、農業の持続可能性向上効果、環境・レジリエンス向上効果について検証を行う。

### 1) コスト削減効果

本実証の技術を導入した場合と導入しない場合のコスト削減効果を、通信コスト削減効果とインフラコスト削減効果について評価を実施した。

#### 1.通信コスト削減効果

1-1. データ伝送量の比較測定：従来手法のデータ量と本技術適用後のデータ量を実測し、削減率を算出した。

- ・従来手法：画像伝送の場合 画像 1 枚 25,571Bytes
- ・本技術適用後： 2Bytes
- ・削減率：99%以上

1-2. 通信料金を現行比で計算(圧縮による通信回数削減効果を金額換算)を実施した。

送信枚数:画像 1 枚を 30 分ごとに送信 1 か月 30 日 1,440 枚 36822240Bytes(約 35.1MBytes)

- ・現行については、SORACOM plan-k(表 6.7-3)を使用した場合について通信料金の算出を実施(表 6.7-2)。

表 6.7-2 現行の通信料金

内容	料金
基本料金	12.1 円×30 日 = 363 円
データ通信料金 通常時間帯	画像 1 枚を 30 分ごとに送信 40 枚×30 日 1,200 枚 30685200Bytes(約 29.3MBytes)、0.33 円×30MBytes=9.9 円
データ通信料金 深夜時間帯	画像 1 枚を 30 分ごとに送信 8 枚×30 日=240 枚 6137040Bytes(約 6.4MBytes)、0.22 円×7MBytes=1.54 円
合計	363 円+9.9 円+1.54 円=374.44 円

表 6.7-3 SORACOM plan-k 料金

plan-K

	スペック			料金				
	対応 キャリア	対応 通信方式	提供 形式	初期費用 (1 回線 (SIM) あたり、+ 送料)	基本料金			データ 通信料金
					初期費用	基本料金	データ通信料金	
plan-K	KDDI	LTE	カード	1,815円	6.05円/日	12.1円/日	6.05円/日	データ通信料金は、通常時間帯と深夜時間帯で異なります。午前2時～午前6時までは深夜時間帯料金が適用されます。夜間にまとめて通信を行うことで、データ通信料金を抑えることが可能です。

SIMのステータスを「利用中断中」とするときは、回線ごとに1回あたり利用中断手数料（363円）がかかります。

plan-K のデータ通信料金

閉じる

通常時間帯（日本時間 午前 6:00 - 翌午前 2:00）

速度クラス	通信速度（上り・下り）	利用料金（上り・下り）
s1.minimum	32 kbps	0.22 円 / MB ・ 0.66 円 / MB
s1.slow	128 kbps	0.242 円 / MB ・ 0.77 円 / MB
s1.standard	512 kbps	0.264 円 / MB ・ 0.88 円 / MB
s1.fast	2 Mbps	0.33 円 / MB ・ 1.1 円 / MB
s1.4xfast	8 Mbps	0.33 円 / MB ・ 1.1 円 / MB

深夜時間帯（日本時間 午前 2:00 - 午前 6:00）

速度クラス	通信速度（上り・下り）	利用料金（上り・下り）
s1.minimum	32 kbps	0.22 円 / MB ・ 0.22 円 / MB
s1.slow	128 kbps	0.22 円 / MB ・ 0.22 円 / MB
s1.standard	512 kbps	0.22 円 / MB ・ 0.22 円 / MB
s1.fast	2 Mbps	0.22 円 / MB ・ 0.22 円 / MB
s1.4xfast	8 Mbps	0.22 円 / MB ・ 0.22 円 / MB

SORACOM では、1キロバイト（KB）を 1,024 バイトとして計算します。同様に、1メガバイト（MB）= 1,024 キロバイト、1ギガバイト（GB）= 1,024 メガバイトとして変換します。

出所 [https://soracom.jp/services/air/japan\\_coverage/](https://soracom.jp/services/air/japan_coverage/)

- ・ 本技術適用後については、plan-KM1(表 6.7-5)を使用した場合について通信料金の算出を実施(表 6.7-4)

本技術適用後:1 か月 30 日 1,440 枚 30240Bytes(約 29.5kBytes、約 0.029MBytes)

表 6.7-4 本技術適用後の通信料金

内容	料金
基本料金	121 円
データ通信料金	30kBytes×0.55 円=16.5 円
合計	121 円+16.5 円=137.5 円

表 6.7-5 SORACOM plan-KM1 料金

plan-KM1

	スペック			料金				
	対応 キャリア	対応 通信方式	提供 形式	初期費用	基本料金	データ通信料金	データ 通信料金	
				の3つから構成されます				
				初期費用 (1 回線 (SIM) あたり、送料別)	基本料金 状態の定義を見る: <a href="#">plan-KM1</a>	データ通信料金		
					準備完了	使用中 (Active) /休止中 (Inactive)	利用 開始待ち (Standby)	
plan-KM1	KDDI	LTE-M	カード	1,815円	0円/月	アクティブSIM 100枚まで 121円/月 アクティブSIM 101枚以上 99円/月	0円/月	上り 0.55円/kB (563.2 円 / MB) 下り 0.55円/kB (563.2 円 / MB)

出所 [https://soracom.jp/services/air/japan\\_coverage/](https://soracom.jp/services/air/japan_coverage/)

通信コスト削減率は、(374.44 円-137.5 円)÷374.44 円=63% となっている。

1-3. 通信頻度変化による電池消費削減率の定量測定(バッテリー寿命 1 カ月→12 カ月の経済効果)について、本技術適用後、画像の容量は大幅に圧縮されたため、通信時間も短縮され、電池の消費が少なくなり、バッテリーの寿命が延びることが想定される。本実証期間中では、バッテリー寿命の検証まで実施できていない。また、通信がない待機中も電力を消費しているため、大幅なバッテリー寿命延長のためには、スリープ機能等の実装が必要と考えられる。

## 2. インフラコスト削減効果

高速通信回線敷設(専用回線/ローカル 5G)が不要になることによる初期投資削減効果の算出

2-1. 高速通信回線としてローカル 5G について、敷設費用の調査を実施。表 6.7-6、表 6.7-7 に示す公開されている資料から、数千万円、1,200 万円と考えられる。

表 6.7-6 ローカル 5G 及びその他の主な無線システムについての機能と導入コスト



### <参考> 導入・運用コストの概算市場価格

ローカル5G及びその他の主な無線システムについての機能と導入コストの比較を示します。予算検討の参考にしてください。

主な通信方式	周波数帯域	無線区間伝送速度(理論値)	遅延(規格値)	同時接続(規格値)	伝送距離	導入コスト
ローカル5G	4.7/28GHz	20 Gbps	1ms	不明 (規格目標:100万デバイス/km)	4.7GHz:200m程度 28GHz:50m	数千万円から
キャリア5G	3.7/4.5/28GHz	20 Gbps	1ms	数千デバイス/km (規格目標:100万デバイス/km)	3.7/4.5GHz:200m~1km 28GHz:50m	数千万円から
Wi-Fi (Wi-Fi 6)	2.4GHz 5GHz	9.6 Gbps	-	~8台 (MU-MIMO)	約20~30m	数十万円
LPWA (LoRaなど)	200/400/800/900MHz	250bps ~ 50Kbps	-	100台~	約2~15km	百万円程度 (端末100台想定)
4G (キャリアLTE)	3.5/3.4/2.0/1.7GHz, 800MHz	1.0 Gbps (2020年3月末時点)	10ms	数百~数千デバイス/km (規格目標:10万デバイス/km)	約1~5km	数十万円から

- ※ローカル5Gの伝送距離は、今後、マクロセル基地局の出力レベルに準拠した装置が登場すれば拡大する可能性があります。
- ※ローカル5Gの2021年8月末時点で、ローカル5Gの機能を満たす主な機器を想定した金額を示しています。
- ※ローカル5Gの保守・運用コストは、保守体制および保守レベルにより変動しますが、凡そ導入費用の10%～20%になります。
- ※全ての通信方式の導入コストは、概ね1台の設置を想定しており、複数の機器を設置する場合には、上記の額から大きく変動する可能性があります。

- 上記の額は、2021年8月末時点の情報となります。
- 検討時の価格についてはベンダー等にお問い合わせください。

PwC

71

## ローカル5G導入の手引き(令和4年3月版) 総務省

[https://www.soumu.go.jp/main\\_content/000976214.pdf](https://www.soumu.go.jp/main_content/000976214.pdf)

### 表 6.7-7「ギガらく5G」利用料

ローカル5Gの導入を検討している方には、NTT東日本の「ギガらく5G」がおすすめです。ギガらく5Gは、サブスクリプション型で月額約30万円（5年総額約2,200万円）から、ローカル5Gが利用できます。

契約コース	基本利用料※1（単位：円・税込）
サブスクリプション型	30万6,900 ※2
一括支払型	一時金：1,159万4,000 月額利用料：11万3,300 ※2

※1：1拠点当たりの利用料

※2：ギガらく5Gの利用には専用のフレッツ光ネクストの契約が必要

なお、ギガらく5Gは、申請手続きから設計・システム構築・運用まで一括でNTT東日本に委託できるアウトソーシングサービスです。そのため、自社にIT技術者がいてもいなくてもローカル5Gを導入できます。低コストでローカル5Gを導入したい方や、構築から運用まで外注したい方は、ぜひギガらく5Gの導入を検討してみてくださいいかがでしょうか。

出所 [https://business.ntt-east.co.jp/service/gigaraku5g/column/gigaraku5g\\_local5g\\_cost/index.html](https://business.ntt-east.co.jp/service/gigaraku5g/column/gigaraku5g_local5g_cost/index.html)

2-2. 本技術適用時として、実証時の中継局設置費用を表 6.7-8 に、実証時のエッジデバイス側の設置費用を表 6.7-9 に示す。

### 表 6.7-8 実証時の中継局設置費用

中継局の設置 (イニシャルコスト)	設備・機器費	中継局 429MHz/1局	30万円
	ソフトウェア製作費		80万円
	設置工事費		0万円
			設置に係る人件費等は別途必要
合計			110万円

表 6.7-9 実証時のエッジデバイス側の設置費用

エッジデバイスの 製作・設置 (イニシャルコスト)	設備・機器費	429MHz 無線機 1 台 (筐体、組立費含む)	6 万円
		カメラ・センサー 1 台	12 万円
		ラズベリーパイ 1 台	1 万円
	設置工事費	カメラ・センサー	2 万円
	設置工事費	無線機	設置に係る人件費等は別途必要
合計			21 万円

※記載の金額は実証中における参考価格であり実装時は諸条件に応じて大きく変動する可能性がある。

※ソフトウェアの価格は含まれていない。

本技術適用時の合計 110 万円+21 万円=131 万円

仮に、高速通信回線敷設費用としてローカル 5G の 1,200 万円とすると、インフラコスト削減効果は、 $131 \text{ 万円} \div 1200 \text{ 万円} \approx 11\%$  となり、ほぼ 10 分の 1 であると考えられる。

2-3. 代替手段(人による巡回監視)のコスト試算との比較(人件費、交通費、時間コスト)について、本実証時においては、各農家様への圃場へ 1 台のカメラ・センサー設置に留まっており、携帯電話網不感地域でも画像や環境データが確認できるようになった利便性向上効果は大きいですが、監視作業時間の削減まではつながっていない。農家様からは、ハウス内でも場所によって温度分布が異なるために、複数のセンサー設置が必要、カメラについても今回は作物の一部分のみの撮影であったが、ハウス全体が見える画角の画像が欲しい等の御意見を頂いた。本実証時のシステムをさらに拡張して、カメラ・センサーの台数を増やして、ハウス全体の監視が可能になれば、監視作業時間の削減が可能になると考えられる。

2-4. 保守・運用コストの比較(メンテナンス頻度減少による保守コスト削減)について、今回の実証においては、エッジデバイスコードブックやソフトウェア書き換えのため、複数回、農家様を訪問して作業を実施している。量産時には、コードブックやソフトウェアは、最終版を搭載するため、農家様を訪問しての書き換え作業は必要ないと考えられる。メンテナンスについて、作物の栽培終了時に、ビニールハウスを締めきり、内部を高温にして殺菌、殺虫を行う蒸し込みを実施されるが、その際には高温による故障を防ぐためにセンサー・カメラを一時的に取り外していただき、蒸し込み終了後に再び取り付けいただく必要があるが、それ以外の作業は特に必要はないと考えられる。なお、画像や温湿度が表示されない場合は、制定したフロー図に沿って対処を行うことで、現地への出向回数の削減を目指す。

## 2) 投資対効果(ROI)

本実証技術の導入による投資対効果を、経済的実現性と経営資源管理の観点からの評価・検証を実施した。

### 1. 初期投資および運用コスト明細化

初期費用算出のため、各コンポーネント別の導入コストと運用費の算出を行った。量産時中継局装置を表 6.7-10、量産時エッジデバイス側装置を表 6.7-11、実証時の年間運用費を表 6.7-12 に示す。

表 6.7-10 量産時中継局装置費用

中継局の設置 (イニシャルコスト)	設備・機器費	中継局 429MHz/1局	30万円
	ソフトウェア製作費		0万円
	設置工事費		0万円 設置に係る人件費等は別途必要
合計			30万円

表 6.7-11 量産時エッジデバイス側装置

エッジデバイスの 製作・設置 (イニシャルコスト)	設備・ 機器費	429MHz 無線機 1台 (筐体、組立費含む)	5万円	一体化と量産効果で 低価格化
		ESP32 用温度センサー	0.1万円	
		ESP32 用 CO <sub>2</sub> 濃度センサー	0.4万円	
		ESP32-CAM1 台	0.2万円	
	設置工事費	カメラ・センサー	0万円	無線機とカメラ センサーを一体化する ため不要となる
設置工事費	無線機		設置に係る人件 費等は別途必要	
合計			5.7万円	

※記載の金額は実証結果を元にした予想価格であり実装時は諸条件に応じて大きく変動する可能性がある。

※ソフトウェアの価格は含まれていない。

表 6.7-12 実証時の年間運用費

運用	通信費	中継局/4局・12か月	9.6万円
	電気代	中継局/4局・12か月	1.4万円
		エッジデバイス/12局・12か月	2.9万円
AIシステムの運用	クラウド(デコード用、病害検出用)利用料	12か月	0万円
	IoP クラウド SAWACHI(農家様への情報提供)利用料	12か月	0万円
合計			13.9万円 1システムあたり6.95万円

初年度費用合計:30万円+5.7万円+6.95万円=42.65万円=約43万円

#### 代替手段との詳細コスト比較

高速通信回線敷設(専用回線/ローカル 5G)が不要になることによる初期投資削減効果の算出については、以下のように考えられる。

高速通信回線敷設費用として、ローカル 5G の場合は、1,200 万円～数千万円必要となる。

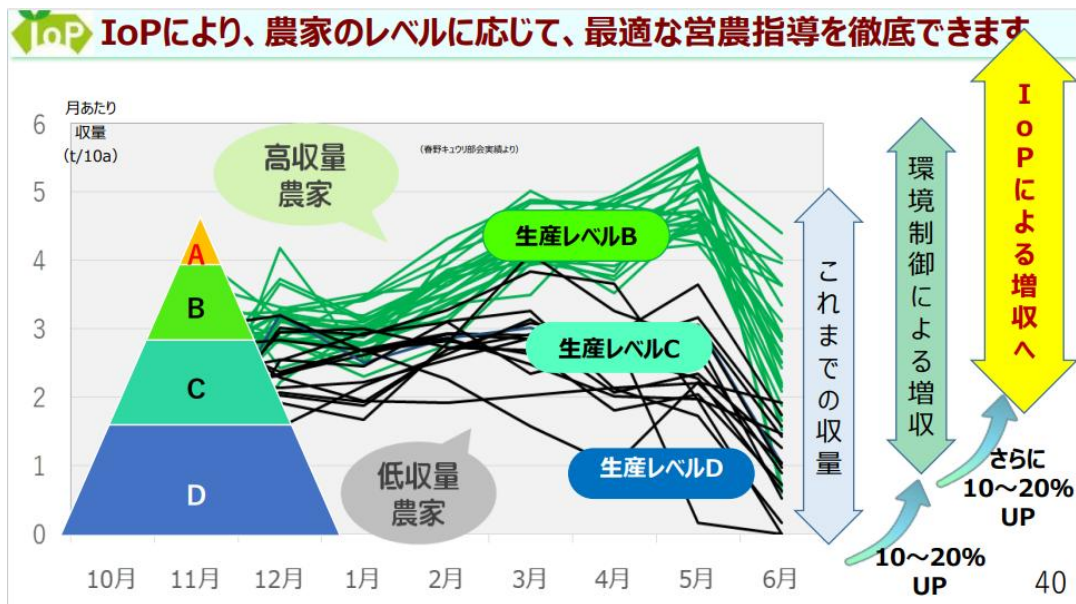
本実証技術の導入による初年度費用は、約 43 万円となり、大幅に削減可能と考えられる。

## 2. 経済的便益の定量化

2-1. 人件費削減効果(監視・巡回コスト削減額):本実証時においては、各農家様への圃場へ 1 台のカメラ・センサー設置に留まっており、携帯電話網不感地域でも画像や環境データが確認できるようになった利便性向上効果は大きいですが、監視作業時間の削減まではつながっていない。農家様からは、ハウス内でも場所によって温度分布が異なるために、複数のセンサー設置が必要、カメラについても今回は作物の一部分のみの撮影であったが、ハウス全体が見える画角の画像が欲しい等の御意見を頂いた。本実証時のシステムをさらに拡張して、カメラ・センサーの台数を増やして、ハウス全体の監視が可能になれば、監視作業時間の削減が可能になると考えられる。

2-2. 環境データに基づく最適環境制御による収量増加効果:本実証時においては、各農家様への圃場へ 1 台のカメラ・センサー設置に留まっており、また、実証期間も短期間であったため、収量増加効果について検証はできていない。

なお、高知県内で推進されている IoP プロジェクトにおいて、温度湿度や CO<sub>2</sub> 濃度など環境制御を行うことによって、10～20%の収量 UP、さらに、IoP によって 10～20%UP を目指している(図 6.7-2)。今回の実証では、画像や温湿度データなど IoP へ反映可能なデータであり、これを利用して環境制御を高度化することにより、10～20%程度の収量 UP を目指せると考えられる。



出所

[https://www.maff.go.jp/chushi/seisan/hukyu/attach/pdf/20231114\\_smart\\_forum-1.pdf](https://www.maff.go.jp/chushi/seisan/hukyu/attach/pdf/20231114_smart_forum-1.pdf)

図 6.7-2 資料(IoP(Internet of Plants)が導くデータ駆動型農業の仲間になりませんか)

### 3. 投資回収期間と長期 ROI 分析

#### 3-1. 投資回収期間

初期投資からの回収期間について算出を実施した。表 6.7-13 に示すように、ナス農家においては 2～3 年程度で回収可能と考えられる。

表 6.7-13 投資回収期間の算出

項目	数値	備考
ナスの場合 10a 当たり収量	12,229kg	2023 年 令和 5 年 高知県農業の動向(令和 7 年度)
ナス単価	358 円/kg	JA 高知県取り扱い分、令和 5 園芸年度(令和 4 年 9 月～令和 5 年 8 月)概数
10a あたり 1 年間の生産額	$12,229\text{kg} \times 358 \text{ 円} = 4,377,982 \text{ 円}$	
10a あたり 10%収量増の場合、生産額の増加額	$4,377,982 \text{ 円} \times 1.1 = 4,815,780.2 \text{ 円}$	
実証に御協力いただいた農家様の面積	15a	
15a あたり生産額の増加額	$437,798 \text{ 円} \times (15 / 10) = 656,697 \text{ 円}$	
利益増加額	$656,697 \text{ 円} \times 0.3 = 197,009 \text{ 円}$	利益率を 30%と仮定する
回収期間	初年度費用合計約 43 万円のため、 $430,000 \text{ 円} \div 197,009 = 2.18$ 2～3 年程度で回収が可能と考えられる。	

### 3-2. ROI

5年間の累積ROIについて計算を実施した。に示すように、ナス農家においてはROI=139.7%と考えられる。

表 6.7-14 ROIの算出

項目	数値	備考
ナス 15aあたり10%収量増の場合、5年間の生産額の増加額	$656,697 \text{ 円} \times 5 = 3,283,483 \text{ 円}$ $\div 328 \text{ 万円}$	
収量増による利益増加額	利益率を30%と仮定すると利益は $328 \text{ 万円} \times 0.3 = 98.4 \text{ 万円}$	
初年度費用合計	42.65 万円	
2~5年度の運用コスト	$6.95 \text{ 万円} \times 4 \text{ 年} = 27.8 \text{ 万円}$	
5年間の費用合計	$42.65 \text{ 万円} + 27.8 \text{ 万円} = 70.45 \text{ 万円}$	
ROI	$98.4 \text{ 万円} \div 70.45 \text{ 万円} = 139.7\%$	

### 3-3. ハウス規模・数量別のスケールメリット分析

実証は、センサー・カメラ1台であったが、センサー・カメラの台数を増やしても対応は可能となっている。この場合、1台の429MHz無線機に複数台のセンサー・カメラの台数を増やす構成とすれば、さらに費用低減が可能となる。なお、エッジデバイスの処理の都合上、1台のエッジデバイスに接続可能なセンサー・カメラの台数は10台程度までと考えられる。

## 3) その他経済的価値

本実証技術がもたらす追加的な経済的価値の評価を実施した。労働環境改善の経済的価値、データ資産価値の創出、経営リスク低減効果の観点からの検証を実施した。

### 1. 労働環境改善の経済的価値

#### 1-1. 農作業時間削減率

本実証時においては、各農家様への圃場へ1台のカメラ・センサー設置に留まっており、携帯電話網不感地域でも画像や環境データが確認できるようになった利便性向上効果は大きいですが、監視作業時間の削減まではつながっていない。農家様からは、ハウス内でも場所によって温度分布が異なるために、複数のセンサー設置が必要、カメラについても

今回は作物の一部分のみの撮影であったが、ハウス全体が見える画角の画像が欲しい等の御意見を頂いた。本実証時のシステムをさらに拡張して、カメラ・センサーの台数を増やして、ハウス全体の監視が可能になれば、監視作業時間の削減が可能になると考えられる。

#### 1-2. 夜間・悪天候時の監視回避による労働負荷軽減

本実証時においては、夜間は、カメラに画像が映らないため、画像監視は実施できないが、温度湿度などの環境データについては、夜間も現地へ出向することなく監視することができる。このため、労働負荷の軽減が可能と考えられる。また、悪天候時も監視は可能であり、労働負荷の低減が可能。特に、携帯電話網不感地域は山間部に多く、悪天候時に山間部へ出向する際にはリスクが伴うが、これも低減が可能と考えられる。

#### 1-3. 意思決定支援による判断ミス減少率

本実証時においては、携帯電話網不感地域でも画像と環境データの両方が確認できるようになったため、どちらか一方のみの場合と比べ、意思決定時の判断ミスは減少すると考えられる。特に画像が見えることは、適正な判断実施に寄与すると考えられる。

### 2. データ資産価値の創出

データ資産価値は、長期的実証あるいは運用することで得られる経済的価値であるため、今回の実証においては、創出できていないと考えられる。

#### ・長期的データ蓄積による知見の経済価値

現在、実証システムを通して取得している画像や環境データを蓄積し活用することによって、生産性向上が期待される。IoP クラウド SAWACHI にて収集されている画像や環境データと合わせることで、さらに向上が期待できる。

#### ・AI 学習データとしての価値

現在、実証システムを通して、異なる作物の画像や環境データを収集中であり、引き続き蓄積することによってデータセットの市場価値は上昇すると考えられる。

#### ・最適栽培レシピ確立による技術資産価値

現在、実証システムを通して取得している画像や環境データを蓄積し、さらに、IoP クラウド SAWACHI にて収集されている出荷量データと合わせて解析することによって形式知化された栽培技術を明確化し、経済価値を生み出すことが可能と考えられる。

### 3. 経営リスク低減効果

- ・災害・異常気象等による収穫ロスの低減率

携帯電話網不感地域の圃場においても、画像や環境データを監視可能なため、早期異常検知が可能となり、被害軽減効果が期待される。

- ・品質のばらつき減少による価格安定効果

早期異常検知が可能となることで、異常への対処を早期に行え、間接的に等級向上と平均販売価格上昇が期待される。

- ・保険料低減可能性

早期異常検知が可能となることで、異常への対処を早期に行え、間接的に農業保険の利用機会が減少する。これにより農業保険料削減が期待される。

## 4) 既存通信インフラの有効活用

本実証の AI 技術による通信負荷軽減が、地域の限られた通信資源をいかに効率化するかについて評価を実施した。

### 通信リソース効率化指標の測定

本実証の AI 圧縮技術で圧縮したデータを、例えば LTE 回線に使用することで、データ量を大幅に抑えることが可能。これによって通信料の低減が可能となる。また、1 台の LTE 端末に複数のカメラを接続することも可能となり、LTE 端末台数の削減も可能となる。

圧縮率 100 倍以上を達成しているため、データ量や端末台数 100 分の 1 となる。ただし、データ量について、圧縮を行うことによって減少は見込めるが、台数については、端末へデータを送る方法が別に必要となるため、単純に減少しないことがあり得る。

例えば、カメラ 100 台とした場合、

従来技術:LTE 端末 100 台(カメラ 1 台に LTE 端末 1 台)

今回の技術:データ量が 100 分に 1 になると、100 台の LTE 端末を 1 台にまとめることは、理論上は可能となる。ただし、1 台の端末に 100 台のカメラを接続しなければならず、カメラと LTE 端末を結ぶ回線(LAN ケーブルや Wi-Fi など)を準備する必要がある。このため、費用的には、単純に 100 分の 1 にはならないと考えられる。また、技術的にも 1 台の端末に 100 台のカメラを接続することは困難であり、1 台の端末に 5~10 台程度の接続までが実現可能な台数と考えられる。このため、台数の低減については、10 分の 1 程度までの効果と考えられる。

## 5) 実証分野における社会的価値

本実証における農業分野の社会的価値を多角的に評価するため、農業の持続可能性向上効果、環境・レジリエンス向上効果について検証を実施した。

### 1. 農業の持続可能性向上効果

#### ・新規参入障壁低減効果

携帯電話網不感地域において、新たに導入する場合については、初期投資額の低減は可能と考えられる。携帯電話通話可能エリアでは、通信料の削減につながる。

#### ・耕作放棄地削減効果

携帯電話網不感地域にある圃場も遠隔監視可能となり、管理可能面積の拡大が期待される。

### 2. 環境・レジリエンス向上効果

#### ・資源利用効率化

本技術を使用して、例えば異常を早期検出することによって、水・肥料・農薬等の使用量削減へつなげることが可能。ただし、これまで人が見回りを行っていた場合と比較して、使用量が削減されるとまでは言えないと考えられる。現地へ見回りに行く必要がなくなることによる労働力の削減は期待される。

### 6.7.3 KPI/KGI との比較結果

効果検証での KPI/KGI を表 6.7-15 に示す。

表 6.7-15 効果検証での KPI/KGI

定性評価 /定量評価	番号	目標値
定性評価	1	コスト削減効果 維持管理の容易さと人的負担軽減度合い スケーラビリティによる将来コスト技術の標準化・汎用化によるコスト削減ポテンシャルの評価
	2	投資対効果(ROI) 技術導入による農業経営の安定化効果 人材不足解消への貢献度 地域農業全体への波及効果と地域経済活性化
	3	その他経済的価値 労働負担軽減、判断ミス減少、農業の持続可能性を向上する経済価値の取得、経営リスク低減の実現、またはこれらの実現可能性を示す。
	4	既存通信インフラの有効活用 新たな高速通信回線(専用回線/ローカル 5G)の敷設が不要になることによる導入コスト削減
	5	実証分野における社会的価値 本技術が単なる生産性向上だけでなく、中山間地農業の存続や地域社会の維持、環境負担低減など、多様な社会的価値を創出する
定量評価	6	コスト削減効果 システム全体の導入・運用コスト:従来手法比 80%以上の削減を目標 通信コスト:従来比 90%以上の削減を検証 バッテリー交換頻度:年 12 回→年 1 回(自立電源)(約 92%削減)
	7	投資対効果(ROI) 投資回収期間:1~2 年以内を目標値として検証 年間 ROI:40%以上を目標値として検証 収益向上効果:10%以上の増収効果を検証
	8	既存通信インフラの有効活用 週あたり監視作業 10 時間→1 時間
	9	既存通信インフラの有効活用 既存通信インフラ端末(LTE など)の台数(目標:80%以上削減) 既存通信インフラの通信量(目標:80%削減)
	10	実証分野における社会的価値 新規就農者の参入障壁低減効果:技術導入前後の初期投資額比較 目標:30%削減 耕作放棄地削減効果:遠隔監視による管理可能面積拡大 目標:農家一人あたり管理面積 20%増 資源利用効率化:水・肥料・農薬等の使用量削減率 目標:20%以上削減

#### 1) コスト削減効果

維持管理の容易さと人的負担軽減度合いについて、今回の実証において運用や維持管理は、高知県内の大学、企業を中心としたコンソーシアムにて実施している。実証後についてもコンソーシアムを母体とした管理・維持体制を構築することで持続的な運用が可能となる。農家様へ設置のエッジデバイスについて、農作業上移動や撤去が必要となる場合でも、農家様自身で移動、撤去、再取り付けが可能な構造となっており、維持管理は容易にできる。

スケーラビリティによる将来コスト技術の標準化・汎用化によるコスト削減ポテンシャルの評価につ

いて、本実証のシステムについては、カメラ・センサーの台数を増やすことが可能。中継局については、1 局の中継局に複数の農家様圃場を収納することが可能。これにより、ランニングコストを複数の農家様で案分すれば、中継局にかかわる費用負担をさらに低減可能と考えられる。

## 2) 投資対効果(ROI)

技術導入による農業経営の安定化効果について、異常の早期検知が可能になるため、農業経営の安定化につながる。

人材不足解消への貢献度について、監視にかかわる時間を削減でき、本来の農作業へ従事する時間を増やせるため、人手不足解消への貢献が可能と考えられる。

地域農業全体への波及効果と地域経済活性化について、中継局を地域の複数の農家にて共同で設置し運用し AI の学習用画像の採取を行う。これにより、地域全体の検出精度の向上が可能となり、地域全体への波及が期待される。設備費や運用費を案分することによって、1 戸当たりの負担軽減が可能と考えられる。

## 3) その他経済的価値

以下のような、労働負荷軽減、判断ミス減少、農業の持続可能性を向上する経済価値の取得、経営リスク低減の実現、またはこれらの実現可能性あると考えられる。

本実証時のシステムをさらに拡張して、カメラ・センサーの台数を増やして、ハウス全体の監視が可能になれば、監視作業時間の削減が可能になると考えられる。

夜間・悪天候時の監視回避による労働負荷軽減が期待される。

携帯電話網不感地域でも画像と環境データの両方が確認できるようになったため、どちらか一方のみの場合と比べ、意思決定時の判断ミスは減少すると考えられる。

携帯電話網不感地域の圃場においても、画像や環境データを監視可能なため、早期異常検知が可能となる。これにより、災害・異常気象等による収穫ロスの低減が期待される。

## 4) 既存通信インフラの有効活用

新たな高速通信回線(専用回線/ローカル 5G)の敷設が不要になることによる導入コスト削減:本実証のシステムを使用することによって、携帯電話不感地域への新たな高速通信回線の導入は不要になると考えられる。本実装のシステムは、専用回線/ローカル 5G と比べて安価に導入が可能と考えられる。

## 5) 実証分野における社会的価値

携帯電話網不感地域において、新たに導入する場合については、初期投資額の低減は可能と考えられる。携帯電話通話可能エリアでは、通信料の削減につながる。携帯電話網不感地域にある圃場も遠隔監視可能となり、管理可能面積の拡大が期待される。

## 6) コスト削減効果

システム全体の導入・運用コスト比較:

従来手法 ローカル 5G の場合数千万円から

提案技術 初年度費用合計 約 43 万円 (6.7.22) 参照)

通信コスト比較:

通信コスト削減率 63% (6.7.21) 参照)

バッテリー交換頻度比較:

年 12 回→年 1 回(ソーラー自立電源)(約 92%削減) (6.3.37)参照)

## 7) 投資対効果(ROI)

投資回収期間:

2~3 年程度で回収が可能と考えられる。(6.7.22)参照)

年間 ROI:

ROI=139.7% (6.7.22) 参照)

収益向上効果:

人件費削減効果(監視・巡回コスト削減額)と、環境データに基づく最適環境制御による収量増加効果によって収益向上が期待される。

## 8) 既存通信インフラの有効活用その他経済的価値

本実証時においては、小規模の実証のため、監視作業時間の削減まではつなげていない。本実証時のシステムをさらに拡張して、カメラ・センサーの台数を増やして、ハウス全体の監視が可能になれば、監視作業時間の削減が可能になると考えられる。

## 9) 既存通信インフラの有効活用

既存通信インフラ端末(LTE など)の台数について、本実証の AI 圧縮技術で圧縮したデータを、例えば LTE 回線に使用することで、データ量を大幅に抑えることが可能。これによって通信料の低減が可能となる。また、1 台の LTE 端末に複数のカメラを接続することも可能となり、LTE 端末台数の削減も可能となる。台数について、データ量が 100 分の 1 になったとしても、端末へデータを送る方法が別に必要となるため、単純に減少しないことがあり得る。

既存通信インフラの通信量について、実証の AI 圧縮技術で圧縮したデータを、例えば LTE 回線に使用することで、データ量を大幅に抑えることが可能。これによって通信料の低減が可能となる。また、1 台の LTE 端末に複数のカメラを接続することも可能となり、LTE 端末台数の削減も可能となる。圧縮率 100 倍以上を達成しているため、データ量や端末台数 100 分の 1 となる。

## 10) 実証分野における社会的価値

新規就農者の参入障壁低減効果について、技術導入前後の初期投資額比較結果から、携帯電話網不感地域において、新たに導入する場合については、初期投資額の低減は可能と考えられる。携帯電話通話可能エリアでは、通信料の削減につながる。

耕作放棄地削減効果について、遠隔監視による管理可能面積拡大について、携帯電話網不感地域にある圃場も遠隔監視可能となり、管理可能面積の拡大が期待される。

資源利用効率化について、水・肥料・農薬等の使用量削減率について、本技術を使用して、例えば異常を早期検出することによって、水・肥料・農薬等の使用量削減へつなげることが可能。ただし、これまで人が見回りを行っていた場合と比較して、使用量が削減されるとは言えないと考えられる。現地へ見回りに行く必要がなくなることによる労働力の削減は期待される。

いずれについても、本実装の期間内では検証できていない。

### 6.7.4 考察

検証技術を活用した技術・ソリューションの社会実装に向けた今後の活用の見通しの考察について、本技術で使用した AI によるデータ圧縮については、LPWA による伝送に限らず、LTE など既存の通信技術を使用して伝送する際にも有効と考えられる。画像の容量を大幅に小さくすることで、既存の通信システムのトラフィックが小さくなり、月々の通信料を安価に抑えたり、1 台の LTE 端末に複数台のカメラを接続して画像を送ったりする際にも使用できると考えられる。

ただし、本技術で使用した AI によるデータ圧縮については、事前に AI の学習を行って、コードブックを作成することが必要となっており、準備できる学習用画像によって機能が制限されることを認識したうえで導入することが望ましい。

検証技術を活用した技術・ソリューションが、他の通信手段等により、そのソリューションを実現する場合と比べて、どのような効果が得られているかの考察について、本技術で使用した AI によるデータ圧縮については、従来技術に比べて、画像の容量を大幅に小さくすることが可能である。しかし、従来技術の画像圧縮では、学習は必要なく、どのような画像であっても容量を小さくすることは可能だが、本技術で使用した AI によるデータ圧縮については、事前に AI の学習を行って、コードブックを作成することが必要となっており、学習していない場合は画像が復元されないことに注意が必要である。

検証技術を活用した技術・ソリューションが、国内のマーケット拡大やビジネス拡大、地域社会や産業の課題解決に貢献する取組であることの考察について、本実証の技術によって、携帯電話網不感地域など、これまで通信が困難なため監視ができなかった場所でも画像やデータの伝送が可能となり、監視に限らず様々な用途への導入が期待される。今後、活用が進んで行けば、本技術を使用した監視装置の市場拡大が期待される。装置自体は特殊な物品を使用していないため、例えば高知県内など地元の企業でも製造可能なものとなっている。また、地域全体で導入することによって、中継局の費用

分担を低減したり、複数の端末から情報を吸い上げたりするなどの利用法も可能となると考えられる。なお、準備できる学習用画像によって機能が制限されることを認識したうえで導入することが望ましい。

類似の技術やソリューションなどと比較して、検証技術を活用した技術・ソリューションが、先進性や新規性を有することの考察について、従来の画像圧縮技術では、元画像を間引くなど、元画像に対して小容量化の処理を行なっている。本実証の技術は、AI によって物体の特徴を捉えるという、全く異なる方法によって、画像の容量を小さくしており、先進性や新規性を有していると考えられる。

複数の手段を比較対照するなど、所与の条件の下、優れたシステムの構成等を知見として導くことの説明について、画像圧縮については、従来方式(JPEG)と比較を実施し、大幅に容量を低下することができおり、本システムの優れている点と考えられる。また、圧縮方法についても、作物の特徴を抽出して小容量の「情報の種」を生成するという基本的な流れは変更していないが、具体的な処理方法については、圧縮モデルを改良、比較しながら検討を行っている。

ソリューション実装を念頭に置いた上で、ユーザーとなる企業・地方公共団体や通信事業者、ソリューション提供事業者等にとって、検証した技術の導入を促す等、定量的な目安や指針となる具体的な知見に係る考察について、本実証の技術は、一般の農家様への導入を目指して検討を進めている。特にコストについては導入の大きな障壁となるため、特殊な装置は使用せず、市販の装置にて安価で容易に構成できるよう検討を行った。実証時は、1 ハウスあたり 5 万円以下の目標を達成できていないが、今後の量産時に、使用装置のスペック見直しや構成方法の変更によって、目標の金額に近づけることは可能と考えられる。農業分野以外においても、農業用と同じ装置が使用可能なため、量産時は同等の価格にて導入できる可能性はあると考えられる。

## 7. 本実証の総括

---

### 7.1 本実証の成果・課題

本実証において、ビニールハウス内の作物の画像や温湿度などの環境データを LPWA にて伝送するシステムを実際の圃場へ構築し、動作することを確認できた。

LPWA は、伝送できる容量に制限があるため、画像の伝送は困難であったが、今回、画像に写った作物の特徴を AI にてとらえてその特徴を伝送するという、これまでの圧縮技術とは異なる方法でデータ容量を小さくしたため、LPWA での伝送が可能となった。また、LPWA についても、中山間地域での伝搬特性に優れた LPWA であるが、容量制限のある 400MHz 帯狭帯域 LoRa を使用することで携帯電話網不感地域との通信を可能にしている。

高知県内に限らず、携帯電話網不感地域に圃場が存在しているが、このような圃場に対して遠隔監視を行う際には、本実証の結果から有効であると判断でき、第一選択肢になりうる技術であると考えられる。今後、全国の携帯電話網不感地域の圃場への導入、活用が期待される。

課題として、復元画像の品質について、目標数値を達成できていない。見た目には数値ほど復元画像は劣化していない印象を受けるため、日々の変化が小さいビニールハウス内作物の監視には使用できる可能性があるが、詳細な視覚的判断が必要な場合は、圧縮復元に使用するコードブック作成の学習を改善する必要がある。なお、画像評価の手法については、今後検討する必要があると考えられる。

また、見た目には数値ほど復元画像は劣化していない印象を受けるということは、作物の特徴を抽出し、情報の種を生成することはできていると考えられる。今回の実証では、この情報の種を元に画像へ復元することを目標に検証を行ったが、農業の用途では、必ず画像に復元する必要はなく、例えば、作物が青々している、作物が枯れているなど文字情報を出力したり、ビニールハウス制御用の信号を出して症状改善を図ったりする形でも農業分野では有用であると考えられる。復元後の情報を、農業に役立つ情報としてどのように出力すればよいのかを検討してもよいと思われる。

さらに、本技術で使用した AI によるデータ圧縮については、事前に AI の学習を行って、コードブックを作成することが必要となっている。社会実装を行っていく際には、コードブックの作成方法を整備し、効率的に短期間で作成できるようさらに改良が必要となっている。

費用について、農家個人が設置可能な価格を目指しているが、実証段階では達成できていない。今後、スベックや構成の見直し、量産効果等で安価とし、導入のハードルを下げる必要がある。無線局免許についても、出力の大きい実験試験局タイプ(400MHz 帯 1W)は必要となるため、導入のハードルとなっている。本実証の範囲外となるが、ニーズがあることを訴え、例えば、特定小電力無線局の出力が 10mW から 1W へ緩和することを要望するなどして制度が改正されることを期待したい。





## 8. 参考資料

### 8.1 システム構成図・設計書

システム全体構成図を 図 8.1-1 に示す。データは図の左から右に流れることとし、次の順に処理する。

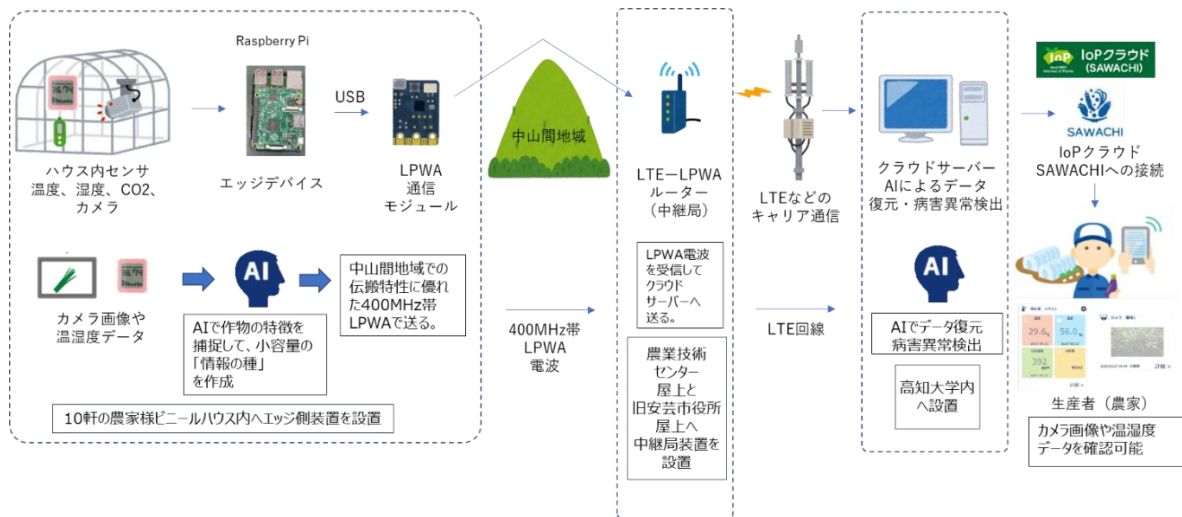


図 8.1-1:システム全体構成図

- ① ハウス内センサー  
各ハウス(圃場)に設置したセンサーにて、温度・湿度・CO<sub>2</sub>・作物の画像データを定期的を取得する。
- ② エッジデバイス、LPWA 通信モジュール  
センサーで取得したデータをエッジデバイスにて AI 圧縮処理し、LPWA 通信モジュールを介して LTE-LPWA ルータ(中継局)に送信する。AI 圧縮処理したデータは、温度・湿度・CO<sub>2</sub>のセンサーデータと作物の画像データの 2 種類とする。
- ③ LTE-LPWA ルータ(中継局)  
エッジデバイスより送信された AI 圧縮処理したデータを受信し、LTE キャリア通信を介してクラウドサーバに送信する。
- ④ クラウドサーバ  
LTE-LPWA ルータ(中継局)より送信された AI 圧縮処理したデータを受信し、AI 復元処理する。
- ⑤ IoP クラウド(SAWACHI)  
IoP クラウドシステムが AI 復元処理したデータをクラウドサーバから取得し、IoP クラウドに保存する。
- ⑥ 生産者(農家)  
IoP クラウドに保存された AI 復元処理したデータを生産者(農家)が保有する PC やスマートフォンを使い SAWACHI アプリにて確認する。

以下の 図 8.1-2 は①～②の処理の詳細を示す。図 8.1-3 は③～⑤の処理の詳細を示す。

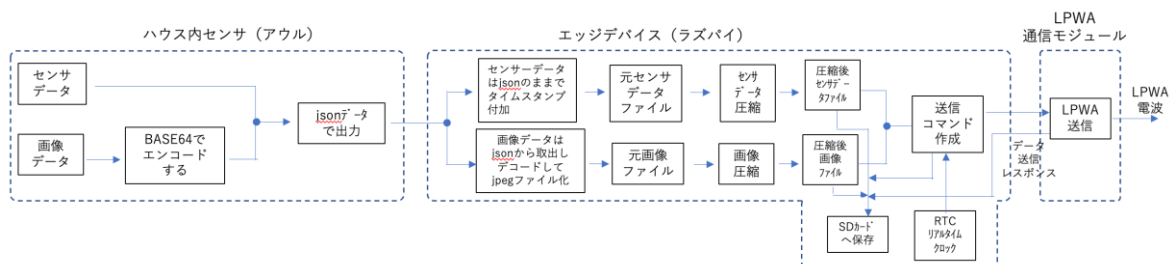


図 8.1-2: ①～②の処理詳細

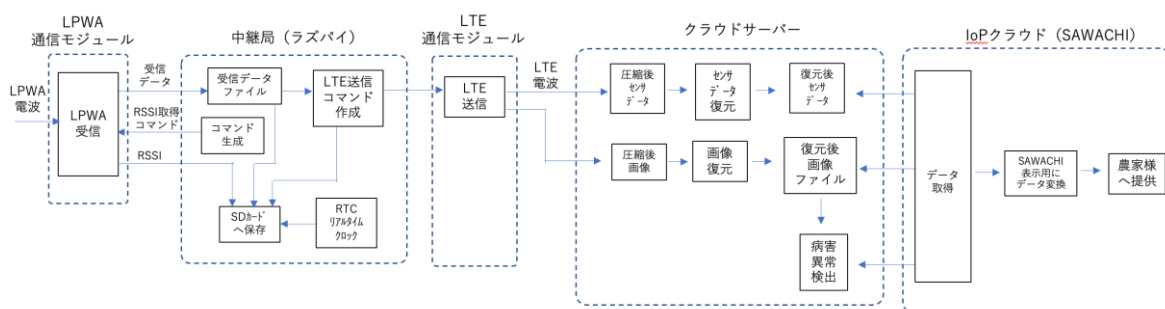


図 8.1-3: ③～⑤の処理詳細

以降、①から⑥の処理内容を説明する。

### 8.1.1 ハウスインセンサー

ハウスインセンサーは、有限会社イチカワのアウルカスタム版を導入した。図 8.1-4 に示す標準的なアウルの仕様に次のカスタマイズを実施した物を作成した。

カスタマイズ仕様:

- ビニールハウス内の環境測定したデータを SAWACHI に送信できること
- ビニールハウス内を撮影したデータを SAWACHI に送信できること
- 有線 LAN 端子を有すること
- SAWACHI に送信する環境測定データおよび撮影データを別途開発するエッジデバイスに FTP で送信できること、また、送信タイミングは任意に設定できること
- 測定装置に固有の ID を設定できること

# SAWACHI専用測定装置 アウル

## 測定項目

温度 湿度 CO2濃度 飽差  
絶対湿度 露点温度 不快指数(蒸し暑さ)  
地温 土壤水分率 EC



- ・通信ユニット  
外形寸法 H200×W200×D140
- ・センサボックス：温度、湿度、CO2  
外形寸法 H200×W200×D100
- ・土壤センサ（オプション）  
温度、体積水分率、EC
- ・電源：AC100V
- ・センサケーブル：40m付属
- ・通信プラン  
ノーマルプラン 680円/月(税込)  
サポートプラン 980円/月(税込)



図 8.1-4:アウル仕様等

## 8.1.2 エッジデバイス、LPWA 通信モジュール

### (1) エッジデバイス側装置(特定小電力無線局タイプ(429MHz 帯 10mW))(通常)

アウルカスタム版通信ユニットに 429MHz 帯 LPWA 通信モジュール 10mW 出力(RM-03)と制御用小型コンピュータ(Raspberry Pi3B+)を追加した(図 8.1-5)。アウルカスタム版センサーユニットと制御用小型コンピュータは LAN ケーブルにて接続し、データおよび画像をやり取りする。制御用小型コンピュータには RTC モジュール(PIRTC)を搭載し、データおよび画像の取得時間がずれないようにした。アンテナには防水ホイップアンテナ(ANT-400-WP)を使用した。

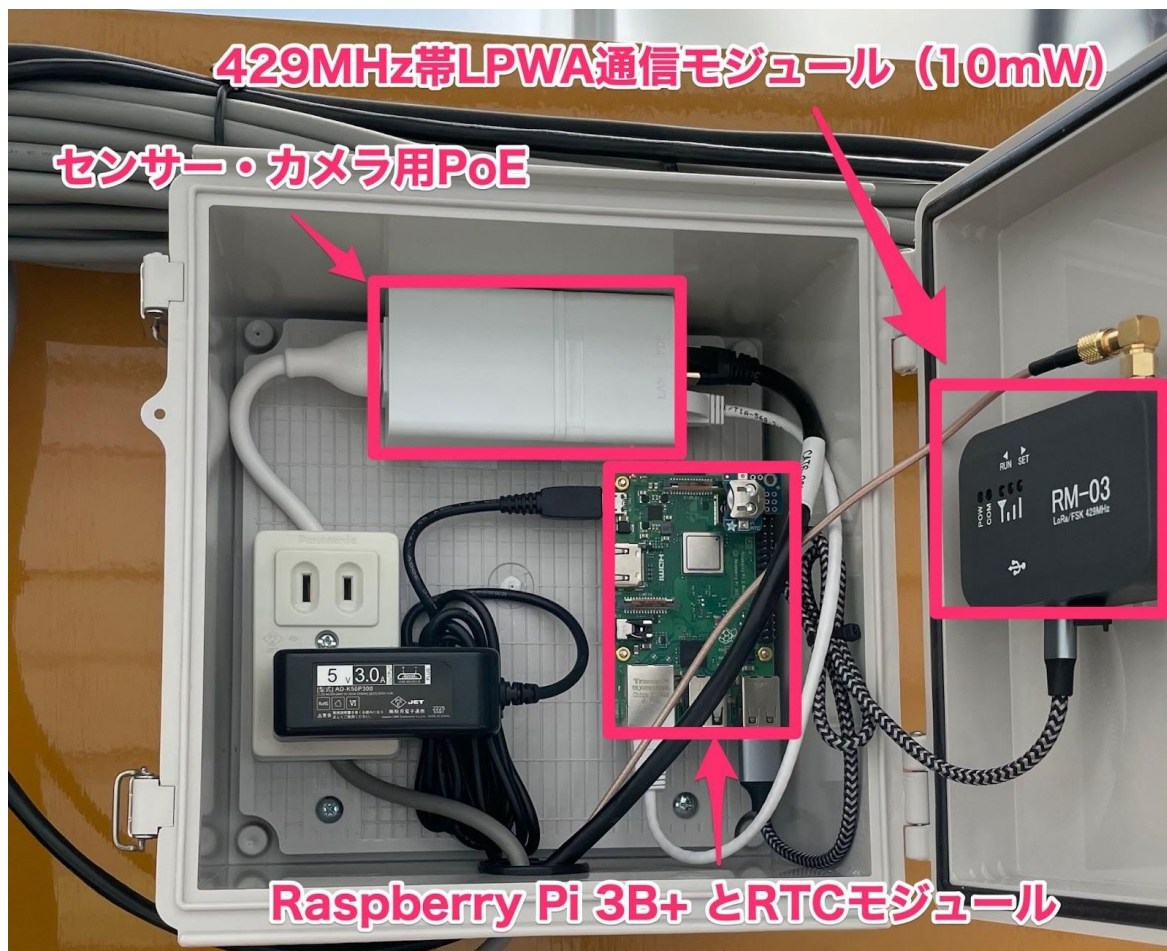


図 8.1-5:エッジデバイス側装置(特定小電力無線局タイプ(429MHz 帯 10mW))

## (2) エッジデバイス側装置(実験試験局タイプ(400MHz 帯 1W))(通常)

アウルカスタム版通信ユニットに 400MHz 帯 LPWA 通信モジュール 1W 出力(RM-03)と制御用小型コンピュータ(Raspberry Pi3B+)を追加した(図 8.1-6)。アウルカスタム版センサーユニットと制御用小型コンピュータは LAN ケーブルにて接続し、データおよび画像をやり取りする。制御用小型コンピュータには RTC モジュール(PIRTC)を搭載し、データおよび画像の取得時間がずれない様にした。アンテナには防水ホイップアンテナ(ANT-400-WP)を使用した。

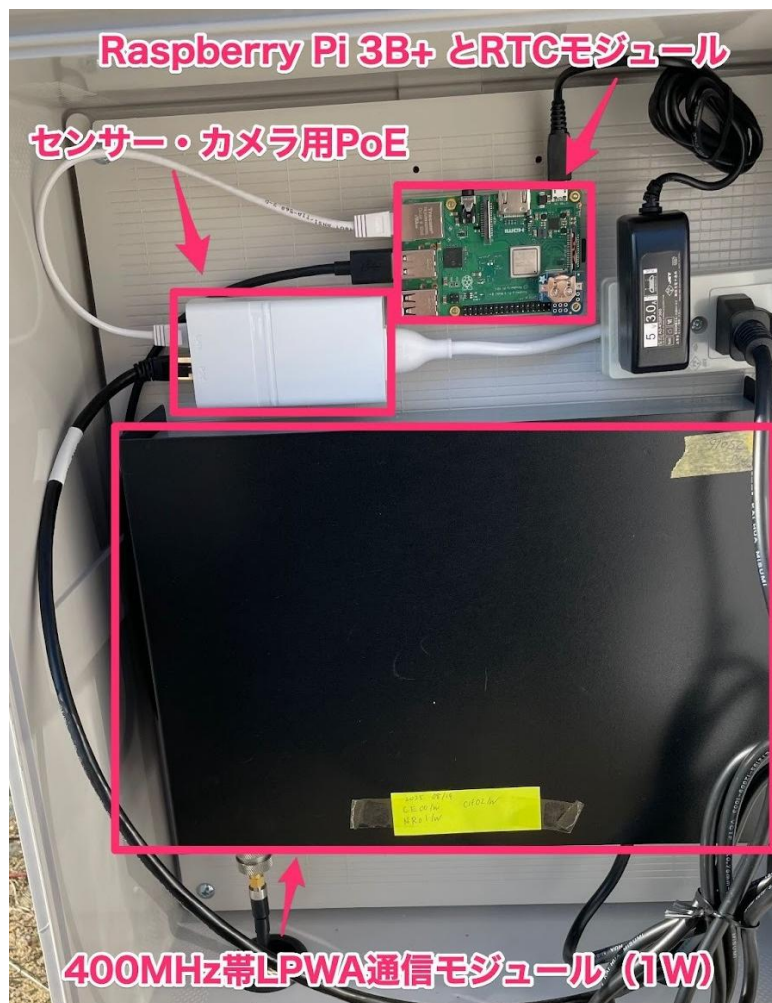


図 8.1-6:エッジデバイス側装置(実験試験局タイプ(400MHz 帯 1W))

- (3) エッジデバイス側装置(特定小電力無線局タイプ(429MHz 帯 10mW))(画像学習用)、エッジデバイス側装置(実験試験局タイプ(400MHz 帯 1W))(画像学習用)

エッジデバイスの画像学習用の装置にはエッジデバイス側装置(特定小電力無線局タイプ(429MHz 帯 10mW))(通常)およびエッジデバイス側装置(実験試験局タイプ(400MHz 帯 1W))(通常)の構成に SORACOM SIM と通信用 USB ドングルを追加した(図 8.1-7)。取得したセンサーデータおよび画像を定期的に学習用サーバにアップしている。

SORACOM のプランは PLAN-DU-50GB を使用しており、「南国市エッジ圃場 3(後述)」と「南国市エッジ圃場 5(後述)」にて運用した。

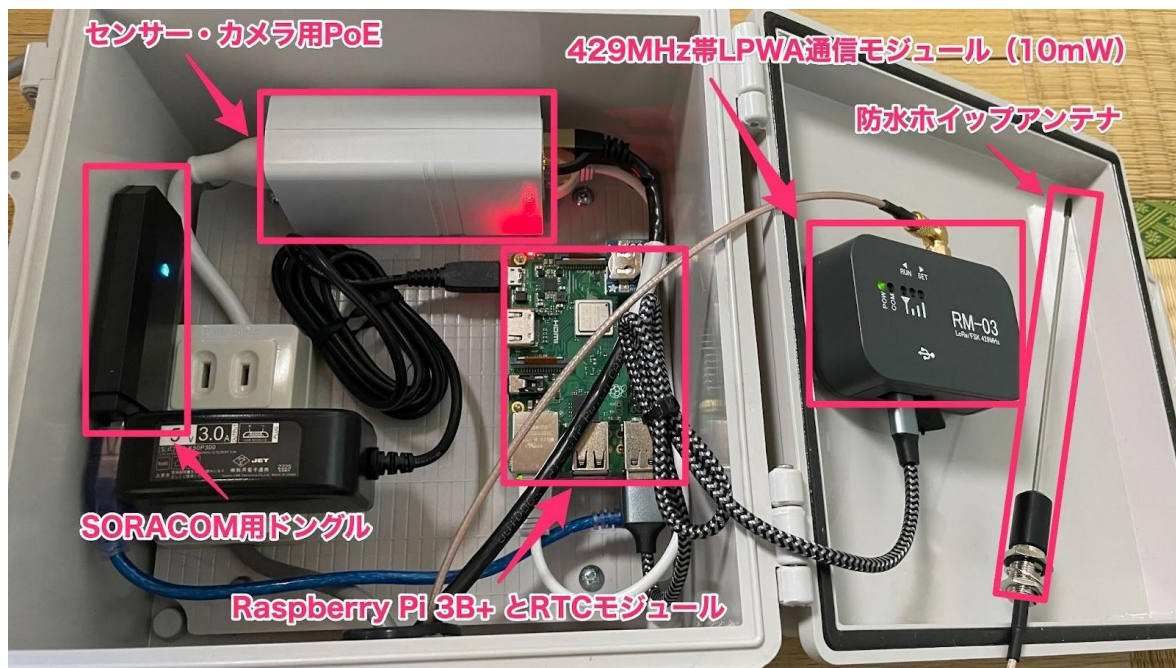


図 8.1-7: エッジデバイス側装置(特定小電力無線局タイプ(429MHz 帯 10mW))

### 8.1.3 LTE-LPWA ルータ(中継局)

#### (1) 中継局(特定小電力無線局タイプ(429MHz 帯 10mW))

中継局は 429MHz LPWA 通信モジュール 10mW 出力(RM-03)および制御用小型コンピュータ(Raspberry Pi 3B+)、制御用小型コンピュータの拡張基盤に LTE 通信モジュール(4GPi)を使用した(図 8.1-8)。通信は SORACOM Plan-DU 10GB を用いた。

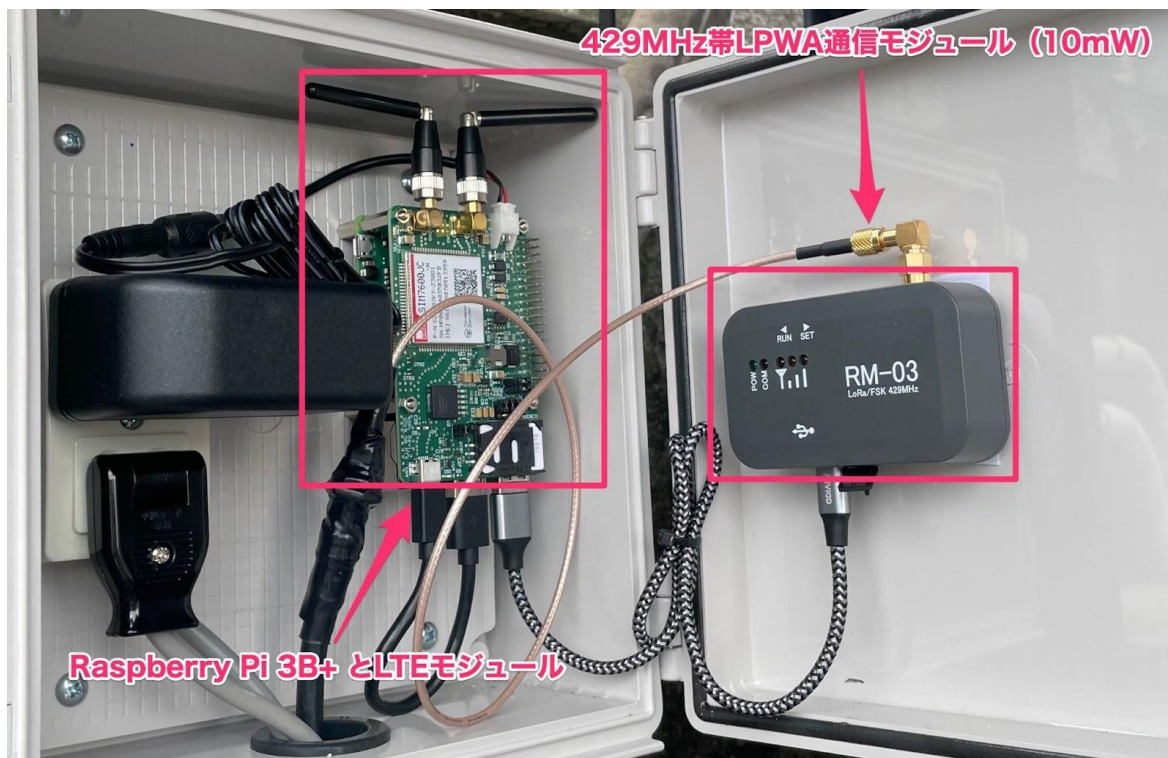


図 8.1-8: 中継局(特定小電力無線局タイプ(429MHz 帯 10mW))

(2) 中継局(実験試験局タイプ(400MHz 帯 1W))

400MHz 帯 LPWA 通信モジュール 1W 出力(RM-03)と制御用小型コンピュータ(Raspberry Pi3B+)、制御用小型コンピュータの拡張基盤に LTE 通信モジュール(4GPI)を使用した(図 8.1-9)。

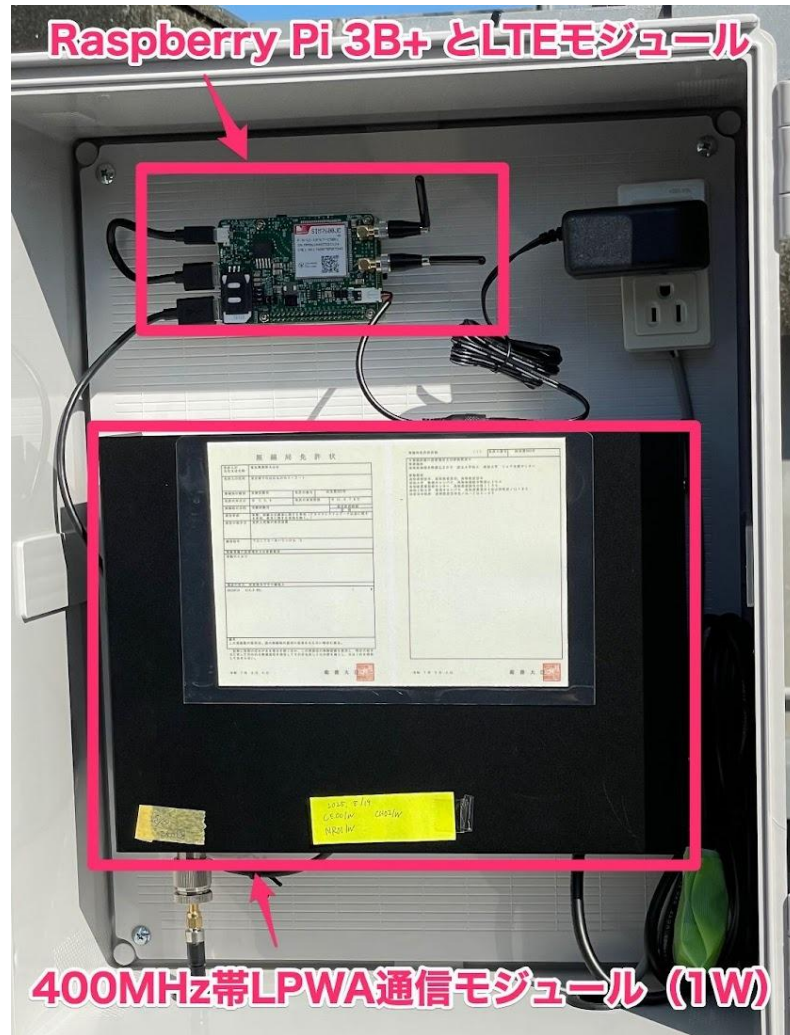


図 8.1-9: 中継局(実験試験局タイプ(400MHz 帯 1W))

## 8.1.4 クラウドサーバ

クラウドサーバはエッジデバイス・LPWA 通信モジュールにて圧縮された画像およびセンサーデータを受信・保存し、内部処理にて各圧縮データを展開する。その後、IoP クラウド(SAWACHI)からデータ取得リクエストがあった際、展開した各データを返却する(図 8.1-10)。

以下に各処理について説明する。なお、クラウドサーバにて稼動するシステムのことを、本実証内ではWAIN システムと呼ぶ。

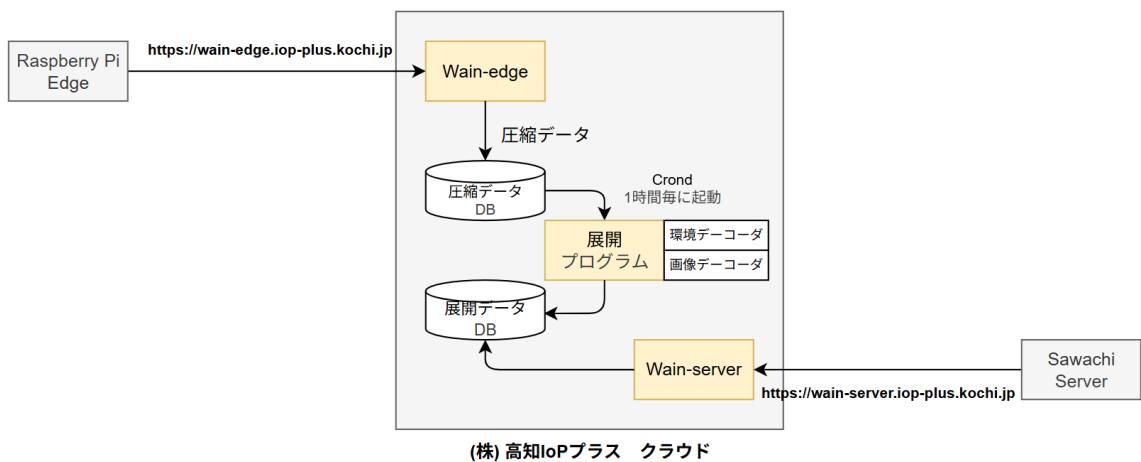


図 8.1-10:クラウドサーバ全体図

### (1) システム全体像

WAIN システムは、以下の 3 つの主要コンポーネントで構成される。

1. エッジデバイス(Raspberry Pi):画像・環境データを圧縮して送信
2. クラウドサーバ:データの受信、保存、展開処理を実行
3. IoP クラウド(SAWACHI):展開されたデータを活用する外部システム

### (2) コンポーネント詳細

#### 1) Raspberry Pi Edge(エッジデバイス)

圃場に設置されるエッジデバイス。カメラと環境センサーを接続し、定期的にデータを収集・圧縮・送信する。

役割:

- カメラ画像の撮影(1 時間間隔)
- 環境センサーデータの収集(1 分間隔、30 点をまとめて送信)
- 画像コードブック v3 によるエンコード(256x256 画像 → 2 バイト)

- 環境コードブック v3 によるエンコード(7 パラメータ×30 点 → 28 バイト)
- HTTPS 経由で Wain-edge に送信

## 2) Wain-edge(データ受信サーバ)

エッジデバイスからの圧縮データを受信し、圧縮データ DB に保存するサーバ。

エンドポイント: <https://wain-edge.iop-plus.kochi.jp>

役割:

- HTTPS リクエストの受信と認証
- 圧縮データのバリデーション
- 圧縮データ DB への書き込み
- 受信ログの記録

受信 API:

```
POST /api/v1/data
Content-Type: application/octet-stream

Headers:
  X-Device-ID: デバイス識別子
  X-Timestamp: 送信タイムスタンプ

Body:
  30 バイトの圧縮データ
```

レスポンス:

```
{
  "status": "ok",
  "received_at": "2026-01-11T10:30:00Z",
  "data_id": "uuid-xxxx-xxxx"
}
```

## 3) 圧縮データ DB

エッジデバイスから受信した圧縮データを一時保存するデータベース。展開処理が完了するまでの間、データを保持する。

テーブル構成:

```
CREATE TABLE compressed_data (
  id SERIAL PRIMARY KEY,
  device_id VARCHAR(32) NOT NULL,
  received_at TIMESTAMP NOT NULL,
  image_data BYTEA,          -- 2 バイト
  env_data BYTEA,           -- 28 バイト
  processed BOOLEAN DEFAULT FALSE,
  created_at TIMESTAMP DEFAULT CURRENT_TIMESTAMP
);
```

保存期間:

展開完了後も 7 日間保持(障害時の再処理用)

#### 4) 展開プログラム(バッチデコーダー)

圧縮データを元の形式に展開(デコード)するバッチ処理プログラム。Crond により 1 時間ごとに起動する。

起動スケジュール:

```
0 * * * * /opt/wain/bin/decode_batch.sh >> /var/log/wain/decode.log 2>&1
```

処理フロー:

1. 圧縮データ DB から未処理レコードを取得
2. 画像デコーダーで画像を展開(2 バイト → 256x256 画像)
3. 環境デコーダーで環境データを展開(28 バイト → 7 種×30 点)
4. 展開データ DB に保存
5. 圧縮データ DB の処理済みフラグを更新

含まれるデコーダー:

デコーダー	入力	出力	処理内容
画像デコーダー	2 バイト	256x256x3 画像	クラスタ ID→代表元画像
環境デコーダー	28 バイト	7 種×30 点	クラスタ ID + mean + std→時系列データ

エラーハンドリング:

- デコード失敗時はエラーログを記録し、次回再試行
- 3 回連続失敗した場合はアラートを発報

## 5) 展開データ DB

デコードされた画像と環境データを保存するデータベース。Wain-server からクエリされる。

テーブル構成(画像):

```
CREATE TABLE decoded_images (  
  id SERIAL PRIMARY KEY,  
  device_id VARCHAR(32) NOT NULL,  
  captured_at TIMESTAMP NOT NULL,  
  cluster_id INTEGER,  
  image_path VARCHAR(255),    -- 画像ファイルパス  
  created_at TIMESTAMP DEFAULT CURRENT_TIMESTAMP  
);
```

テーブル構成(環境データ):

```
CREATE TABLE decoded_environmental (  
  id SERIAL PRIMARY KEY,  
  device_id VARCHAR(32) NOT NULL,  
  measured_at TIMESTAMP NOT NULL,  
  temperature FLOAT[],      -- 30 点の配列  
  humidity FLOAT[],  
  co2 FLOAT[],  
  vpd FLOAT[],  
  abs_humidity FLOAT[],  
  dewpoint FLOAT[],  
  discomfort_index FLOAT[],  
  created_at TIMESTAMP DEFAULT CURRENT_TIMESTAMP  
);
```

## 6) Wain-server(API 提供サーバ)

展開されたデータを外部システムに提供する API サーバ。

エンドポイント: <https://wain-server.iop-plus.kochi.jp>

役割:

- 展開データ DB からのデータ取得
- REST API によるデータ提供
- 認証・認可の処理
- レスポンスの JSON/画像形式変換

主要 API:

エンドポイント	メソッド	説明
/api/v1/images/{device_id}	GET	最新画像を取得
/api/v1/images/{device_id}/history	GET	画像履歴を取得
/api/v1/environmental/{device_id}	GET	最新環境データを取得
/api/v1/environmental/{device_id}/history	GET	環境データ履歴を取得
/api/v1/devices	GET	登録デバイス一覧

レスポンス例(環境データ):

```
{
  "device_id": "c9",
  "measured_at": "2026-01-11T10:00:00Z",
  "data": {
    "temperature": [20.1, 20.3, 20.5, ...],
    "humidity": [65.0, 64.5, 64.0, ...],
    "co2": [450, 455, 460, ...],
    ...
  }
}
```

## 7) Sawachi サーバー(外部システム)

WAIN システムのデータを活用する外部システム。農業支援プラットフォーム「SAWACHI」が Wain-server の API を呼び出してデータを取得する。

役割:

- Wain-server からのデータ取得
- データの可視化・分析
- 農家へのアラート通知
- 長期データの蓄積・統計処理

### (3) データフロー

送信フロー(Edge → Cloud)

1. Raspberry Pi Edge がセンサーデータを収集  
↓
2. 画像:カメラ撮影 → 256x256 リサイズ → コードブックエンコード → 2 バイト  
環境:30 点収集 → 正規化 → コードブックエンコード → 28 バイト  
↓
3. HTTPS POST で Wain-edge に送信  
↓
4. Wain-edge が圧縮データ DB に保存

## 1) 展開フロー(バッチ処理)

1. Crond が 1 時間ごとに展開プログラムを起動  
↓
2. 圧縮データ DB から未処理レコードを取得  
↓
3. 画像デコーダー:2 バイト → クラスタ ID → 代表元画像(256x256)  
環境デコーダー:4 バイト×7 → 各パラメータ 30 点に展開  
↓
4. 展開データ DB に保存  
↓
5. 圧縮データ DB の処理済みフラグを更新

## 2) 提供フロー(Cloud → SAWACHI)

1. SAWACHI サーバが Wain-server API を呼び出し  
↓
2. Wain-server が展開データ DB をクエリ  
↓
3. JSON 形式でレスポンスを返却  
↓
4. SAWACHI サーバがデータを表示・分析

## (4) ネットワーク構成

### エンドポイント一覧

サービス	URL	用途
------	-----	----

Wain-edge	<a href="https://wain-edge.iop-plus.kochi.jp">https://wain-edge.iop-plus.kochi.jp</a>	エッジからのデータ受信
Wain-server	<a href="https://wain-server.iop-plus.kochi.jp">https://wain-server.iop-plus.kochi.jp</a>	外部システムへの API 提供

## 1) 通信プロトコル

- Edge → Wain-edge:HTTPS (TLS 1.2 以上)
- Wain-server → SAWACHI:HTTPS (TLS 1.2 以上)
- 内部通信:PostgreSQL 接続(ローカルネットワーク)

## 2) 認証方式

通信経路	認証方式
Edge → Wain-edge	API キー(X-API-Key ヘッダー)
Wain-server → SAWACHI	OAuth 2.0 / API キー

## (5) 運用管理

### 監視項目

項目	閾値	アラート
Wain-edge 応答時間	> 5 秒	Warning
圧縮データ DB 未処理件数	> 100 件	Warning
展開プログラム実行時間	> 30 分	Error
ディスク使用率	> 80%	Warning

## 1) ログ

ログ	パス	保存期間
Wain-edge アクセスログ	/var/log/wain/edge-access.log	30 日
展開プログラムログ	/var/log/wain/decode.log	30 日
Wain-server API ログ	/var/log/wain/server-api.log	30 日

## 2) バックアップ

対象	頻度	保存期間
圧縮データ DB	日次	7 日

展開データ DB	日次	30 日
代表元画像	週次	90 日

## (6) 障害対応

### Wain-edge 停止時

エッジデバイスはローカルにデータをバッファリングし、復旧後に再送する。

#### 1) 展開プログラム異常終了時

次回の Crond 起動時に未処理データから再開する。3 回連続失敗した場合は手動確認が必要となる。

#### 2) Wain-server 停止時

SAWACHI サーバへのデータ提供が停止するが、データは展開データ DB に保持されているため、復旧後に最新データを取得可能である。

### 8.1.5 IoP クラウド

IoP クラウドはクラウドサーバ(以下、WAIN API サーバ)からデータを取得し、生産者(農家)が SAWACHI アプリで利用できる形式で SAWACHI にデータを保存する。システムの概要図(図 8.1-11)のうち、実証事業サーバが本実証の実装範囲となる。

システム概要図

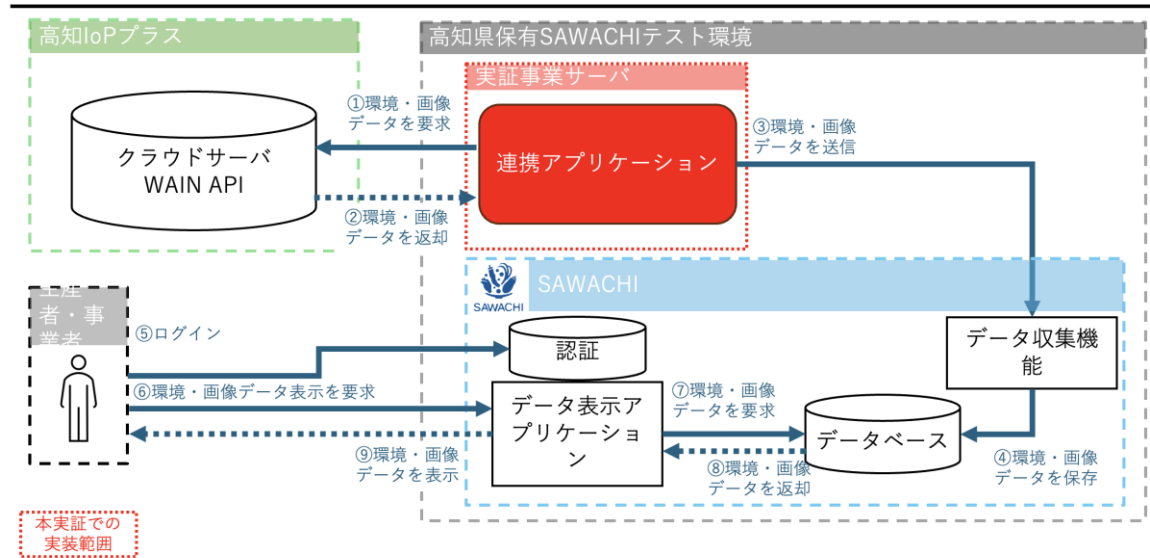
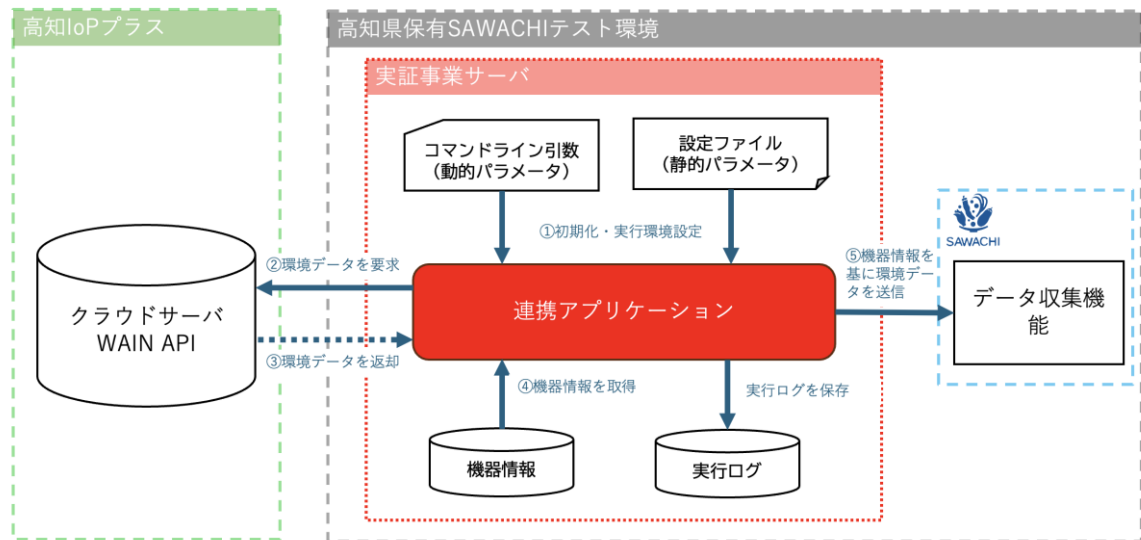


図 8.1-11:IoP クラウドシステム概要図

IoP クラウドがクラウドサーバから取得するデータは環境データ・画像データと 2 種類あり、それぞれクラウドサーバから取得する手順が異なる。

環境データを連携する概要図を図 8.1-12 に示す。環境データを連携する場合は、実証事業サーバがクラウドサーバに環境データを要求し、返却されたデータを処理し SAWACHI に送信登録する(図 8.1-12 ②③⑤)。

地域社会DX推進パッケージ事業 (AI検証タイプ)  
環境データ連携アプリケーション概要図



地域社会DX推進パッケージ事業 (AI検証タイプ)  
環境データ連携アプリケーション【処理の流れ】

本アプリケーションは、以下の流れで実行される。

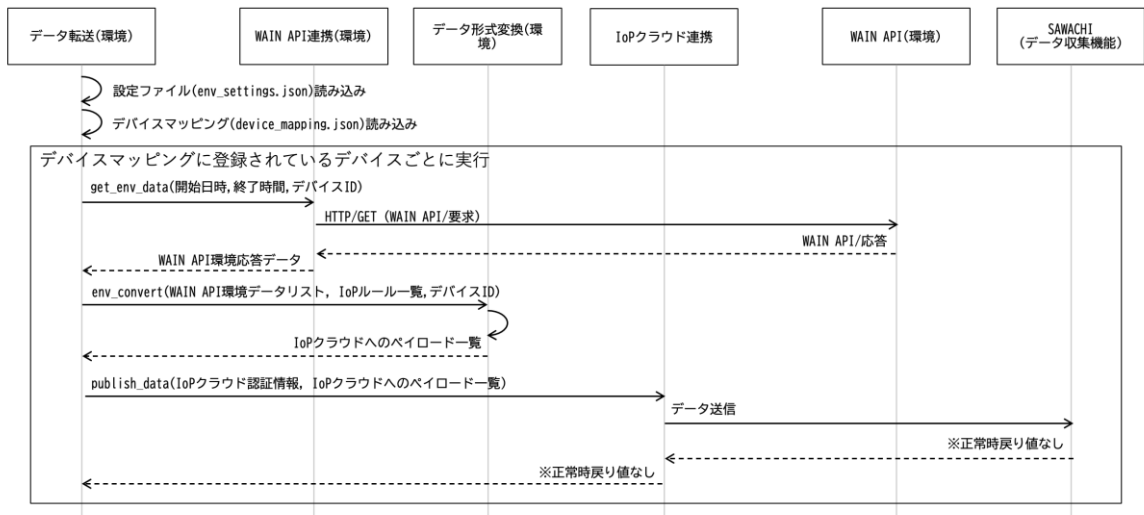
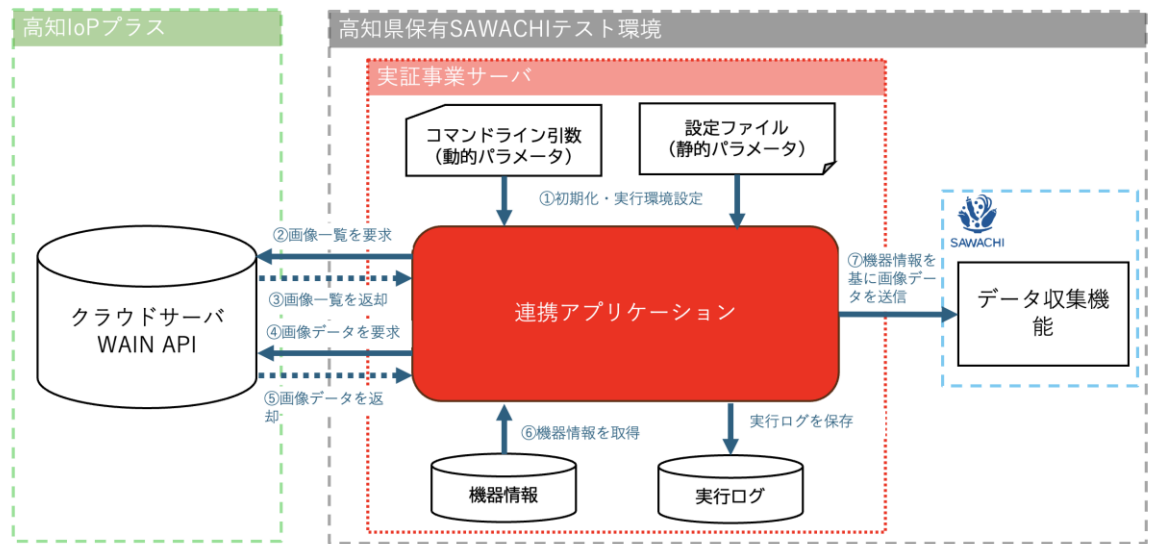


図 8.1-12:IoP クラウド環境データ連携アプリケーション概要図

画像データを連携する概要図を図 8.1-13 に示す。画像データを連携する場合は、クラウドサーバに画像一覧を要求、返却された画像一覧を元に必要な画像を処理し、SAWACHI に送信登録する(図 8.1-13 ②③④⑤⑦)。

地域社会DX推進パッケージ事業 (AI検証タイプ)

### 画像データ連携アプリケーション概要図



地域社会DX推進パッケージ事業 (AI検証タイプ)

### 画像データ連携アプリケーション【処理の流れ】

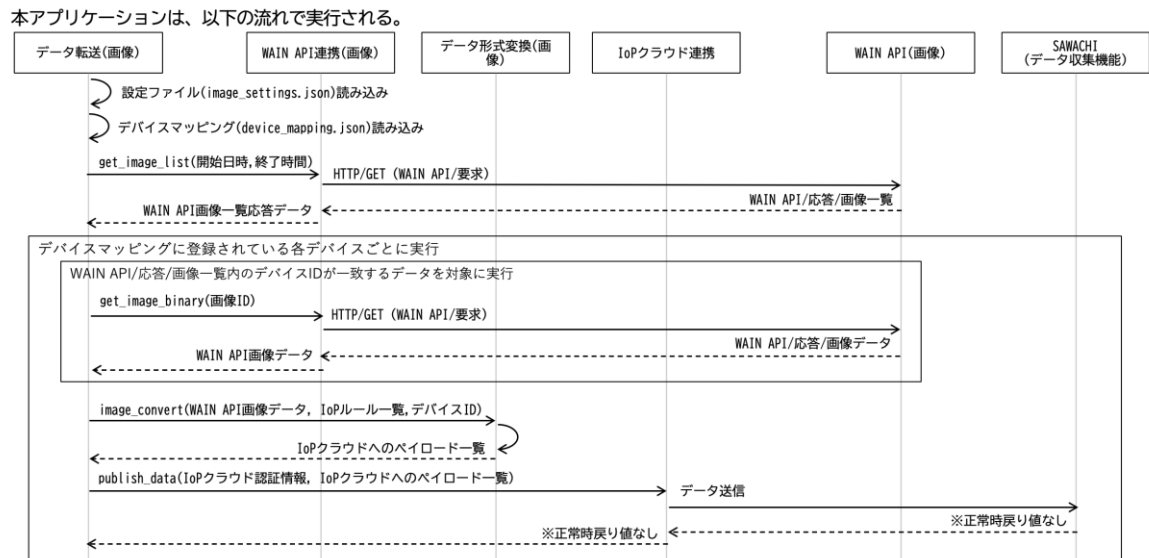


図 8.1-13:IoP クラウド画像データ連携アプリケーション概要図

## 8.1.6 生産者(農家)

生産者(農家)は、自身が保有する PC やスマートフォンのブラウザにて IoP クラウドで作成した SAWACHI アプリを表示し確認できる(図 8.1-14, 図 8.1-15, 図 8.1-16, 図 8.1-17)。



図 8.1-14:SAWACHI アプリ初期画面

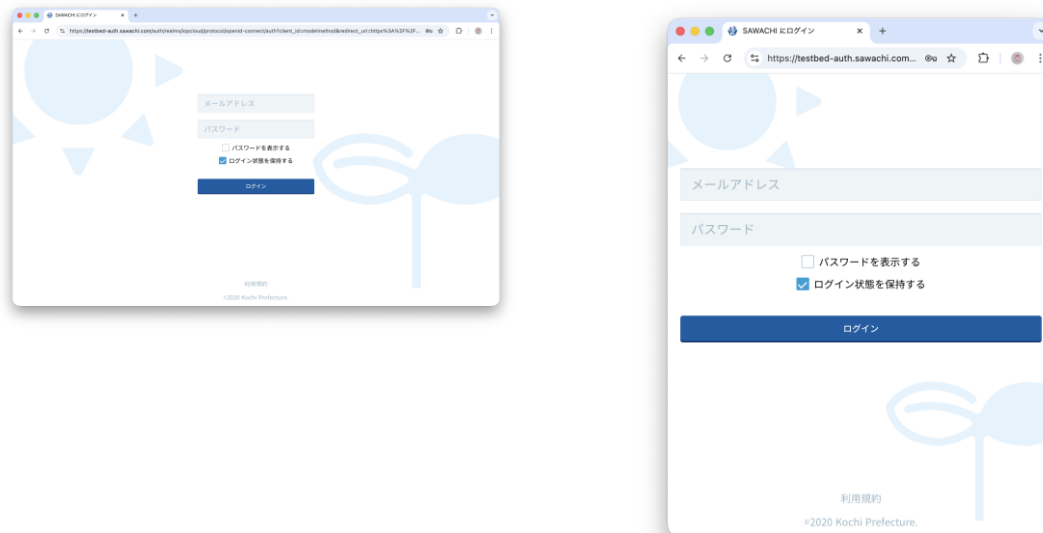


図 8.1-15:SAWACHI アプリログイン画面



図 8.1-16:SAWACHI アプリ生産者選択画面

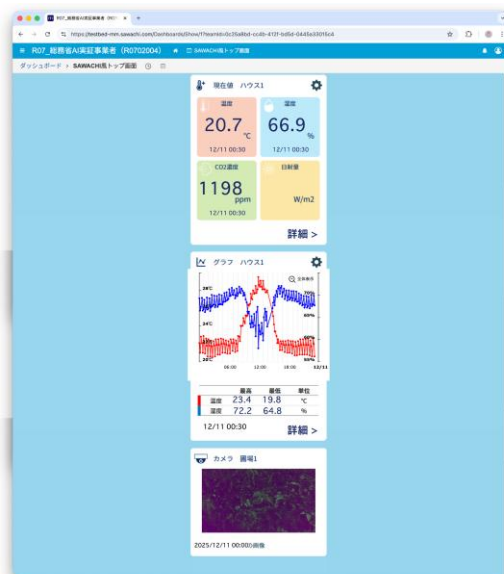


図 8.1-17:SAWACHI アプリ生産者詳細画面

## 8.2 ネットワーク構成図・設計書

ネットワーク構成図および設計書を示す。8.2.1 ネットワーク構成図では利用している通信を説明し、8.2.2 ネットワーク設計では LPWA 通信をどのように設計したか説明する。

## 8.2.1 ネットワーク構成図

ネットワーク構成図を 図 8.2-1 に示す。エッジデバイスに接続した LPWA 通信モジュールを利用して 400MHz 帯または 429MHz 帯にて LTE-LPWA ルータ(中継局)と通信する(図 8.2-1 ①)。LTE-LPWA ルータ(中継局)は 400MHz 帯または 429MHz 帯にて送信されたデータを受信した後、LTE 通信を使いクラウドサーバに送信する(図 8.2-1 ②)。生産者(農家)は、自身が契約する通信回線を利用して SAWACHI アプリを利用する(図 8.2-1 ③)。

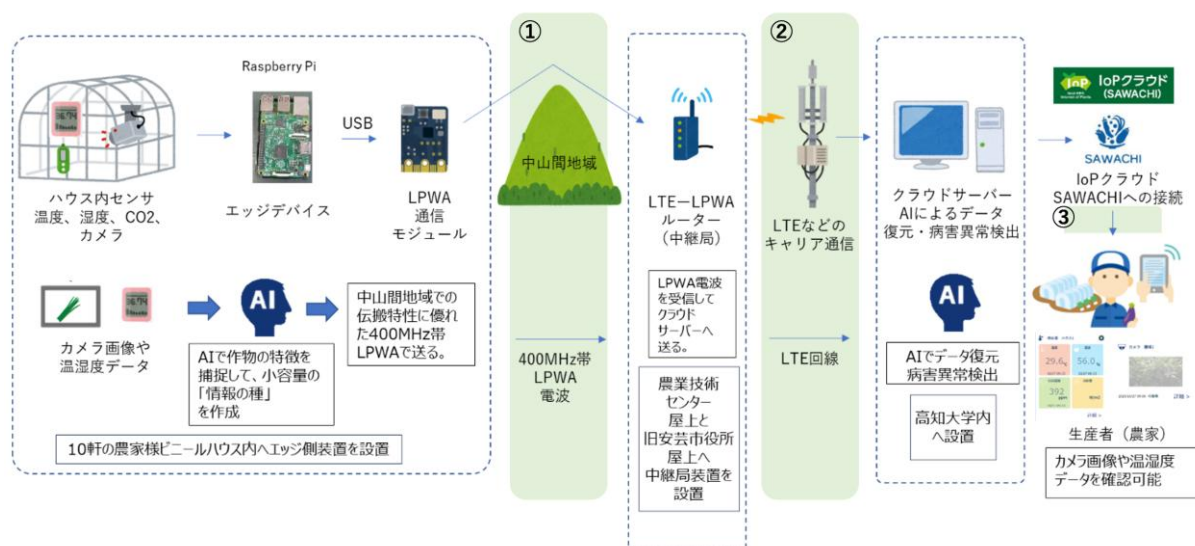


図 8.2-1: ネットワーク構成図

## 8.2.2 ネットワーク設計

図 8.2-2 では高知県南国市周辺の状況、図 8.2-3 では高知県安芸市周辺の状況を示す。図のうち、出力 1W と記載している箇所は LPWA 400MHz 帯で通信している圃場、出力 10mW と記載している箇所は LPWA 429MHz 帯で通信している圃場となる。中継局に設置する LPWA 400MHz 帯は 1 対 1 の通信、LPWA 429MHz 帯は複数の圃場と通信する 1 対 n 通信のスター構成とした。

南国市は高知県農業技術センターに中継局を設置した。高知県農業技術センターを中心として、協力いただいている農家さまの圃場と LPWA 通信をおこなっており、400MHz 帯を利用している南国市エッジ圃場 3 は直線距離で 2.32km、429MHz 帯を利用している中で最も距離がある南国市エッジ圃場 1 は中継局から直線距離で 2.81km 離れている。

安芸市は旧安芸市役所に中継局を設置した。旧安芸市役所を中心として、協力いただいている農家さまの圃場と LPWA 通信をおこなっており、400MHz 帯を利用している安芸市エッジ圃場 3 は直線距離で 7.25km、429MHz 帯を利用している中で最も距離がある安芸市エッジ圃場 2 は直線距離で

2.5km 離れている。



図 8.2-2: 高知県南国市周辺の設置状況



図 8.2-3:高知県安芸市周辺の設置状況

本事業の LPWA 通信では同じ周波数を使っているため、429MHz の中継局と圃場間の通信は同じ周波数を時間で区切って共有する時分割にて通信する必要がある。図 8.2-4 は南国市、図 8.2-5 は安芸市の時分割設計である。南国市・安芸市ともに 60 分を基準とし、南国市では 50 分から 60 分にかかる 10 分間、安芸市では 55 分から 60 分にかかる 5 分間は圃場設置機器の時刻を調整するた

めの時間に設定している。南国市は5つの圃場があるため1圃場あたり5分以内、安芸市は3つの圃場があるため1圃場あたり10分以内で通信を完了する設定とした。

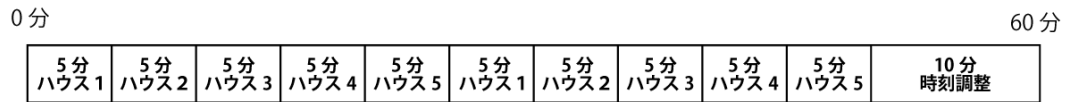


図 8.2-4:南国市 LPWA 時分割設計

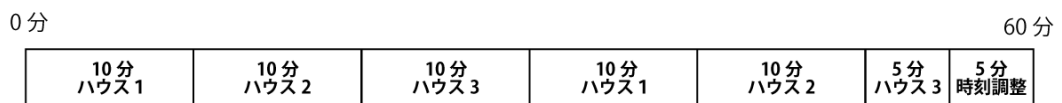


図 8.2-5:安芸市 LPWA 時分割設計

### 8.3 使用機器・ソフトウェア一覧

使用した機器および作成したソフトウェアについてシステム構成図・設計書の項目順に記載する。

#### 8.3.1 データ取得に関する機器・ソフトウェア(センサー類)

データ取得に関する機器・ソフトウェア(センサー類)については、アウルカスタム版を使用した。作成したアウルカスタム版の使用および外観と寸法を図 8.3-1 および 図 8.3-2 に示す。

- 台数:12 台
- カメラ(画素数):200 万画素
- カメラ(解像度):横 1920 x 縦 1080 ピクセル
- センサー:温度、湿度、CO<sub>2</sub>
- 電源:PoE



図 8.3-1:アウルカスタム版外観

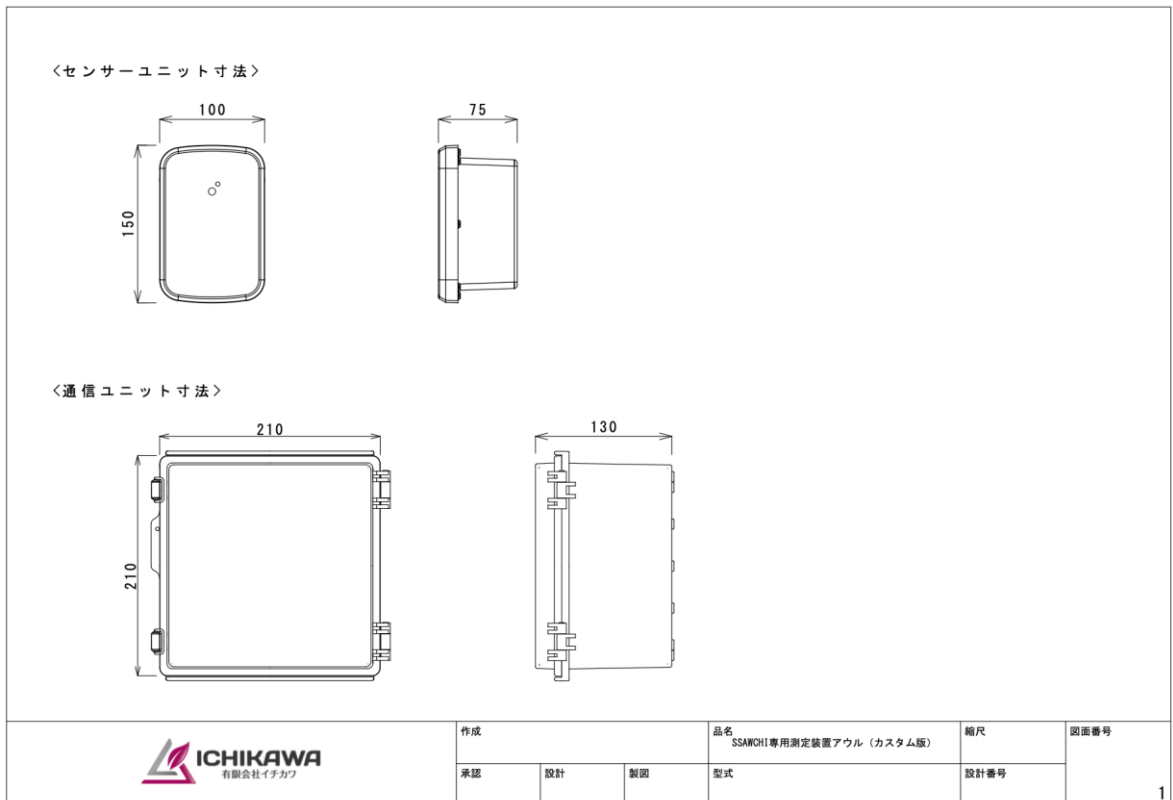


図 8.3-2:アウルカスタム版寸法

### 8.3.2 データ通信に関する機器・ソフトウェア

データ通信に関する機器・ソフトウェアに関する情報は以下のとおり。

(1) エッジデバイス側装置(特定小電力無線局タイプ(429MHz 帯 10mW))

- 台数:9 台

サイズ	周波数	変調方式	拡散率	送信 byte 数
W210×D210×H100mm	429.5MHz	LoRa	SF7	250Bytes

(2) エッジデバイス側装置(実験試験局タイプ(400MHz 帯 1W))

- 台数:3 台

サイズ	周波数	変調方式	拡散率	送信 byte 数
W400×D500×H200mm	414.8MHz	LoRa	SF7	250Bytes

(3) 中継局(特定小電力無線局タイプ(429MHz 帯 10mW))

- 台数:3 台

サイズ	周波数	変調方式	拡散率	送信 byte 数
W210×D210×H100mm	429.5MHz	LoRa	SF7	250Bytes

(4) 中継局(実験試験局タイプ(400MHz 帯 1W))

- 台数:2 台

サイズ	周波数	変調方式	拡散率	送信 byte 数
W400×D500×H200mm	414.8MHz	LoRa	SF7	250Bytes

### 8.3.3 データ処理に関する機器・ソフトウェア

データ処理に関する機器・ソフトウェアに関する情報は以下のとおり。

機器	CPU	クロック	メモリ	OS
Raspberry Pi 3B+	Broadcom BCM2837 ARM Cortex-A53	1.4GHz	1GB	Bullseye 64bit

#### Python 3.9.2

```
filelock==3.18.0
fsspec==2025.7.0
jinja2==3.1.6
joblib==1.5.1
MarkupSafe==3.0.2
mpmath==1.3.0
networkx==3.2.1
numpy==2.0.2
pandas==2.3.1
pillow==11.3.0
python-dateutil==2.9.0.post0
pytz==2025.2
scikit-learn==1.6.1
scipy==1.13.1
six==1.17.0
sympy==1.14.0
threadpoolctl==3.6.0
torch==2.8.0
typing-extensions==4.14.1
tzdata==2025.2
matplotlib>=3.3.0
msgpack==1.1.1
pyserial==3.5
```

AI 圧縮処理の利用手順および AI 圧縮クライアントソフトの仕様書は別資料 1, 2 を参照。

- 別資料 1. WAIN AI 圧縮クライアント利用手順書
- 別資料 2. ai\_compress インターフェース仕様書

#### 8.3.4 クラウドサーバ

クラウドサーバに関する情報は以下のとおり。

- 台数:1 台
- CPU・コア数:20vCPUs
- メモリ:32.0GB
- ディスク容量:4TB
- OS:Ubuntu 24.04.3 LTS
- 使用ソフトウェア:Python 3.11

#### 8.3.5 IoP クラウド(実証事業サーバ)

IoP クラウド(実証事業サーバ)に関する情報は以下のとおり。

- 台数:1 台
- CPU・コア数:2vCPUs
- メモリ:2.0GB
- ディスク容量:20GB
- OS:Amazon Linux 2023
- 使用ソフトウェア:Python 3.12

#### 8.3.6 タイムラプスカメラ

タイムラプスカメラに関する情報は以下のとおり。

- 目的:AI の学習(拡張性検証用)
- 台数:1 台
- 型番:400-CAM109 サンワサプライ
- 静止画解像度:1280×960

- 撮影間隔:10 分ごと



図 8.3-3 タイムラプスカメラ

## 8.4 取得したデータの例

以下に取得および作成したデータの例を記載する。

### 8.4.1 エッジデバイス取得データ(AI 処理前)

エッジデバイスの AI 処理前のデータは画像データおよびセンサーデータが同じ JSON データ形式となる。センサーデータは 1000~1006、画像は 9999 に BASE64 エンコーディングして JSON 形式で取得している。センサーデータや画像の番号の意味は以下のとおり。

- 1000:温度
- 1001:湿度
- 1002:CO<sub>2</sub>
- 1003:飽差
- 1004:絶対湿度
- 1005:露点温度
- 1006:不快指数
- 9999:カメラ画像

```
{
  "msgId": "P00000001",
  "deviceId": "c9",
  "data": [
    {
      "datetime": "2025-11-11 19:38:02+09:00",
      "1000": "15.7",
      "1001": "91",
      "1002": "476",
      "1003": "1.2",
      "1004": "12.2",
      "1005": "14.2",
      "1006": "60.1"
    },
    {
      "datetime": "2025-11-11 19:39:01+09:00",
      "1000": "15.7",
      "1001": "90",
      "1002": "477",
```

```
"1003": "1.3",
"1004": "12.2",
"1005": "14.2",
"1006": "60.2",
"9999": "/9j/4AAQSkZJRgABAQEAAAAAAAAAD/2wBDABEMDQ8NCxEPDg8TEUG...".
},
]
}
```

画像データの例



```
/9j/4AAQSkZJRgABAQEAAAAAAAAAD/2wBDABEMDQ8NCxEPDg8TEhEUGiscGhcXGjQlJx8
rPjZBQD02PDpETWJTREhcSTo8VXRWXGVobW9tQlJ4gXdqgGJrbWn/2wBDARITExoWGj
IcHDJpRjxGaWlpaWlpaWlpaWlpaWlpaWlpaWlpaWlpaWlpaWlpaWlpaWlpaWlpaWlpaW
lpaWn/xAAfAAABBQEBQEBQAAAAAAAAAAQIDBAUGBwgJCgv/xAC1EAACAQMMDAgQ
DBQUEBAAAAX0BAgMABBEFEiExQQYTUWEHInEUMoGRo0tPU1dbX2Nna4eLj5OXm5+j
p6 .....
```

## 8.4.2 エッジデバイス取得データ(AI 処理後)

エッジデバイスの AI 処理後のデータは、画像データおよびセンサーデータそれぞれ別の JSON データ形式となる。

### (1) 画像データ

```
[
  {
    "version": "0300",
    "compressed_img": "e1d07c862f1ef0c09103fb2c6dab169e808e812c1f"
  }
]
```

### (2) センサーデータ

```
{
  "version": "0400",
  "data_count": 35,
  "compressed_len": 10,
  "compressed_data": "757253627575776ea39f",
  "timestamp": "2025-12-17T19:26:01",
  "msg_id": "P00000001",
  "device_id": "c9"
}
```

## 8.4.3 LPWA のペイロード

AI 処理後の画像データおよびセンサーデータに、ヘッダー等を追加し、LPWAにて送信するペイロードを作成する。

ペイロードの例

画像データ 2Bytes

0100(16進)

+

環境データ 28Bytes

010000150015969696001596969600000068aaf7b9503030303030 (16進)



LPWA のペイロード 157Bytes

```
{"id":"d0","datetime":"2025-09-02T12:15:05+09:00",  
"image":"0100","datas":"010000150015969696001596969600000068aaf7b9503030303030"}}
```

#### 8.4.4 中継局取得データ

中継局で中継したデータは CSV にて保存している。以下は中継データの例。

```
timestamp_jst,event,level,ResiveDatetime,Mode,SenderId,ReciverId,IR_or_RS,RS
SI,id,datetime,image,datas,dest_id,tx_payload,ir_line,command,value,response
,message,context,rawPayload
2025-11-11T19:25:39+09:00,ENV_TX,INFO,,,,,,,,,,,,,"HTTP"                200
ct=application/json
body={"code":200,"data":{"compression_ratio":29.2,"data_count":25,"
data_size":24,"id":11140,"processing_time":6.9,"quantization_method":
"custom","status":"stored_raw","window_size":30},"message":"Progr
essive                environmental                data                saved
successfully","status":"success","timestamp":"2025-11-
11T19:25:39.215138+09:00"}
",posted,attempt=1,
2025-11-11T19:25:40+09:00,IMG_TX,INFO,,,,,,,,,,,,,"HTTP"                200
ct=application/json
body={"code":200,"data":{"compression_level":2,"compression_ratio":9
362.3,"data_size":21,"id":11113,"processing_time":6.1,"status":"sto
red_raw"},"message":"Image                data                saved
successfully","status":"success","timestamp":"2025-11-
11T19:25:40.086300+09:00"}
",posted,index=1                url=https://wain-edge.iop-
plus.kochi.jp/api/v1/upload/image,
2025-11-11T19:25:40+09:00,RX,INFO,2025-11-11T19:25:35+09:00,lora,c9,65,RS,-
116,c9,2025-11-11T19:25:28+09:00,"[{'version': '0110', 'compressed_img':
'1f000000000000009100fe96cb009b33f6ff8ceeb7'}]","version": "0201",
"data_count": 25, "compressed_len": 24, "compressed_data":
"4225435aae3f7cffe91a920067f602704d9285c02269c740", "timestamp": "2025-
11-11T19:01:01", "msg_id": "P00000001", "device_id": "c9"},,,,,,,,,
```

#### 8.4.5 AIの学習(拡張性検証用)取得データの例

拡張性検証用に取得した、排水溝水位画像の例を図 8.4-1 に示す。



図 8.4-1 排水溝水位画像の例

## 8.5 その他、当該システムを再現する上で参考となる資料

### 8.5.1 LoRa について

本実証において、LPWAとして400MHz帯狭帯域LoRaを使用している。参考情報としてLoRaの概要を以下に示す。

LoRa(ローラ)は、Long Rangeの略であり、Semtech Corporationの登録商標である。変調方式(電波で情報を送るための方式)の一種であり、高感度で雑音に強い長距離通信が可能で、IoT機器において数多く使用されている。

変調方式としては、送信する電波の周波数を連続的に変化(スイープ)させるチャープ変調を使用しており、送りたい情報に応じて、スイープの開始周波数と終了周波数を変化させている(図8.5-1)。

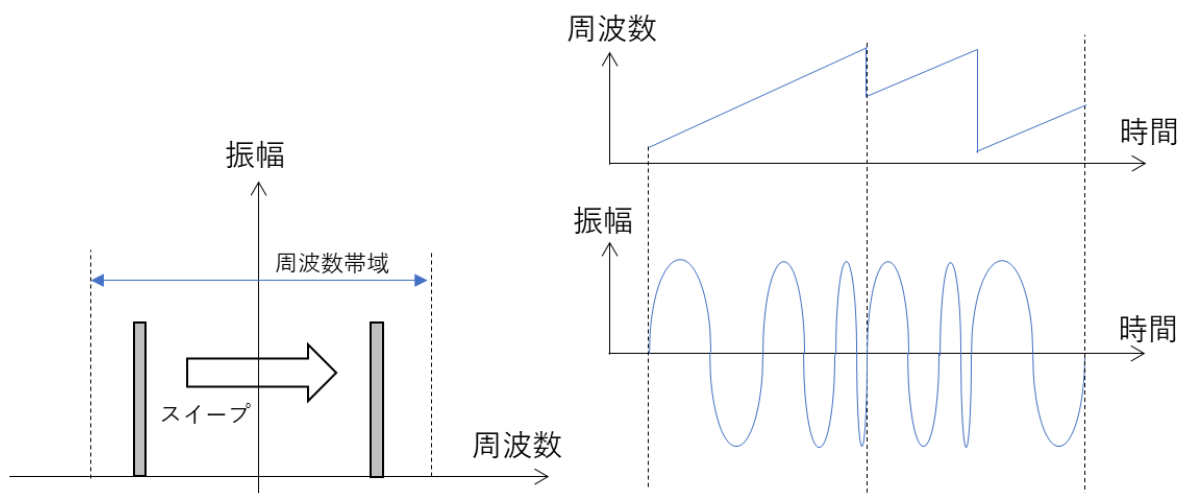


図 8.5-1 LoRa 変調のイメージ

この、送信する電波の周波数を連続的に変化させる操作によって、周波数帯域を広げるスペクトラム拡散を行っている。拡散の操作の概要を図8.5-2に示す。この拡散操作によって、拡散利得を得ることができる。

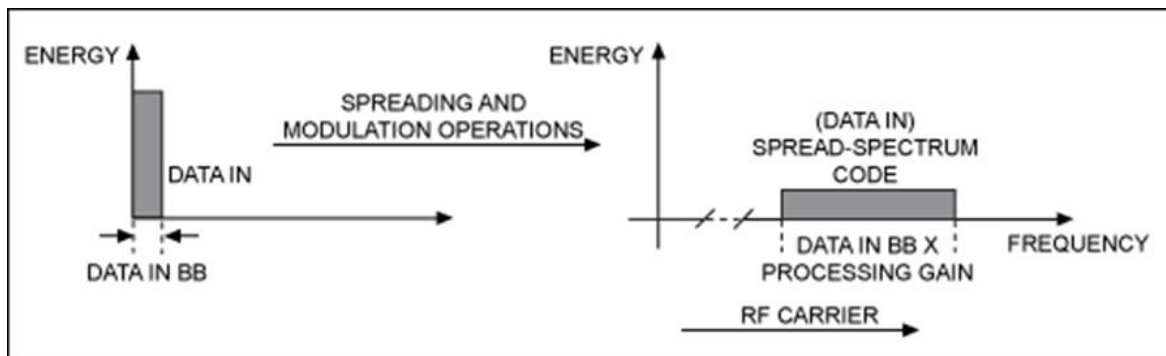


図 8.5-2 拡散操作の概要

出所 <https://www.analog.com/jp/resources/technical-articles/introduction-to-spreadspectrum-communications--maxim-integrated.html>

この、拡散操作による、拡散利得は次式で表される。

$$\text{拡散利得} = 10\log(\text{チップレート} / \text{データレート})$$

今回使用した LoRa では、拡散係数 SF7 であり、拡散チップレートは  $2^7 = 128$  となる。データレートを 1 とすれば、 $10\log(128/1) \div 21\text{dB}$  の拡散利得を得る事ができる。

また、受信信号を復調する際には、逆拡散の操作が行われる。逆拡散の操作の概要を図 8.5 2 に示す。この逆拡散操作によって、干渉波や妨害波は拡散されて復調されなくなるため、干渉波や妨害波への耐性を得ることができる。

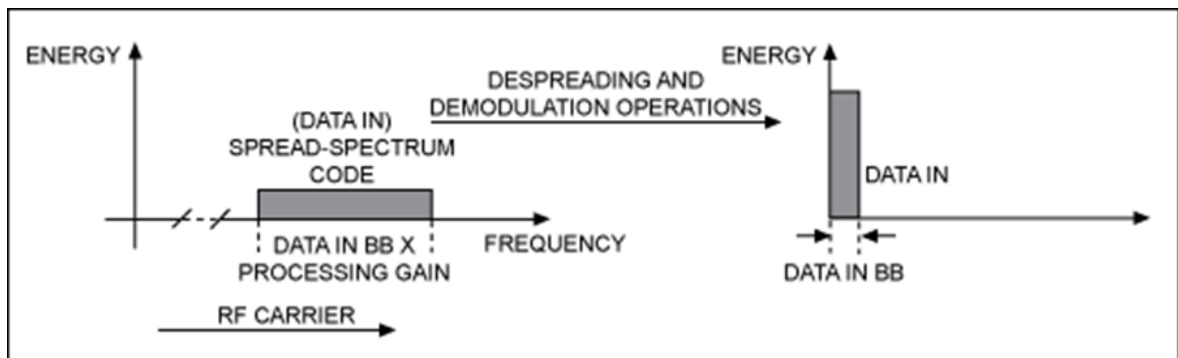


図 8.5-3 逆拡散操作の概要

出所 <https://www.analog.com/jp/resources/technical-articles/introduction-to-spreadspectrum-communications--maxim-integrated.html>

## 8.5.2 ソーラー自立電源 検討計算書

(1)中継局(LTE-LPWA ルータ)(実験試験局タイプ(400MHz 帯 1W))

中継局 (LTE-LPWAルーター) (実験試験局タイプ (400MHz帯1W) )

### ◆消費電力の計算

2025.01.03

独立電源から電源供給する機器は以下の通り。

①中継局 (LTE-LPWAルーター) (実験試験局タイプ (400MHz帯1W) ) ×1

各機器の消費電力を計算する。

上記の機器を接続した場合、バッテリーからの供給電力実測値は以下の通りとなる。

・昼間

15 W

・夜間

15 W

高知県安芸市の冬至 (12月22日) は、日の出07:05 日の入り17:01のため

昼間時間は、09:56 (時間:分) = 9.93時間となる。

昼間時間を9.93時間、点灯時間 (夜間) を14.07時間とすると

1日の最大消費電力は、以下の通り。

$$15W \times 9.93 \text{ h} + 15W \times 14.07 \text{ h} = 360.00\text{Wh/日}$$

この他に、チャージコントローラの自己消費電力が必要となる。

自己消費電力を2W程度とすると、1日の総消費電力 (バッテリーの消費電力) は、以下の通り。

$$360.00\text{Wh/日} + 2\text{Wh} \times 24\text{h} = 408.00\text{Wh/日}$$

#### ◆独立電源の構成機器仕様

独立電源に必要な機器は以下の通り。

- ①ソーラーパネル
- ②チャージコントローラ
- ③DC/ACインバータ
- ④バッテリー

各機器の仕様検討は以下の通り。

##### ①ソーラーパネル

発電量120Wのパネルを使用する。

いずれかのパネルが故障した場合に、他パネルでも充電ができるよう、3直列×3並列で合計9枚使用する。

##### ②チャージコントローラ

効率の良いMPPT方式とし、バッテリー電圧と電流が、

接続するソーラーパネルに合うものを選定する。

チャージコントローラの自己消費電力は2W程度とする。

##### ③DC/ACインバータ

独立電源に接続する機器の消費電力は5W程度であるが、

想定外の出力も考慮し、出力容量260W、入力電圧DC24V、出力電圧AC100Vとする。

##### ④バッテリー

定格電圧が24Vのものを選定する。

接続機器の1日の総消費電力が408.00Wh/日であり、

放電深度を50%とした時、無日照で7日間動作するために必要なバッテリーの容量は、

$$408.00\text{Wh/日} \times 7\text{日} \div 0.5 = 5712.00\text{Wh}$$

となる。この条件を満たすため、容量1200Wh (12V100Ah)のバッテリーを6個使用する。

この時のバッテリー容量は、1380Wh × 6個 = 7200Wh となり、

必要なバッテリー容量を上回っているため、問題なし。

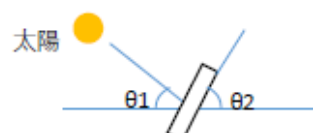
(なお、本システムにおいて、無日照での動作可能期間は

$$7200\text{Wh} \div (408.00\text{Wh/日} \div 0.5) = 8.82\text{日} \text{ となる})$$

◆ 月ごとのソーラーパネル発電量試算

月ごとのソーラーパネルの発電量試算を行った。  
 設置場所から最も近い観測地点である安芸市の月ごとの平均日照時間から算出を行った  
 なお、パネル設置角度  $\theta 2$  は、 $30^\circ$  とする。

ソーラーパネル発電量	120 W
ソーラーパネル枚数	9 枚
パネル設置角度 $\theta 2$	$30^\circ$
日射角度 $\theta 1$	各月15日の値
日照時間	月ごとの平均値を使用



快晴でない場合を想定し、発電量を80%としたときの、傾斜を考慮した発電量の式は  
 傾斜を考慮した発電量 = 発電量  $\times \cos(\theta 1 + \theta 2 - 90^\circ)$   $\times$  日照時間  $\times$  80% ……①  
 となり、式①より、1日の発電量は下表の通りとなる

月	月平均日照時間 h	日数	1日当たり日照時間 h	日照角度 $\theta 1$ °	1日当たり発電量 Wh/日	1日当たり必要な 発電量との差Wh/日
1	193.0	31	6.2	35.4	4890.9	1626.9
2	181.0	29	6.2	43.8	5178.4	1914.4
3	197.5	31	6.4	54.3	5477.3	2213.3
4	202.9	30	6.8	66.2	5809.3	2545.3
5	203.3	31	6.6	75.3	5465.3	2201.3
6	137.8	30	4.6	79.8	3734.0	470.0
7	194.6	31	6.3	78.0	5158.2	1894.2
8	232.9	31	7.5	70.6	6380.4	3116.4
9	170.0	30	5.7	59.6	4895.9	1631.9
10	183.1	31	5.9	48.0	4991.7	1727.7
11	175.0	30	5.8	38.1	4676.3	1412.3
12	189.9	31	6.1	33.3	4728.3	1464.3

無日照が7日間続いた後の1日間で、バッテリーを満充電に戻すために必要な発電量は、以下の通り。  
 $408.00\text{Wh/日} \times (7日 + 1日) = 3264.00\text{Wh}$   
 上表より、発電量が不足する月は無い。

◆ まとめ

以上の計算結果より、ソーラーパネルは $30^\circ$  の角度で設置し、  
 12V100AH (1200Wh) のバッテリーを6個使用し、120Wソーラーパネルを9枚使用することで  
 無日照状態で7日間動作することは、可能となる。

ソーラーパネルの例:RSP120DC-ASR-G1-JP

<https://jp.renogy.com/products/120w-200wsolar-panel?variant=50721936802080>

市販価格 @¥18,810(税込)



電気仕様

公称最大出力	120 W
公称最大出力動作電圧 (Vmp)	28.9 V
公称最大出力動作電流 (Imp)	4.21 A
公称開放電圧 (Voc)	33.7 V
公称短絡電流 (Isc)	4.57 A
モジュール効率	20.7%
最大システム電圧	1000 VDC
最大直列ヒューズ定格	15 A

物理的仕様

寸法	1052*578*30mm
重量	6.81kg

## (2)エッジデバイス側装置

### エッジデバイス装置

#### ◆消費電力の計算

2025.01.02

独立電源から電源供給する機器は以下の通り。

①エッジデバイス装置 ×1

各機器の消費電力を計算する。

上記の機器を接続した場合、バッテリーからの供給電力実測値は以下の通りとなる。

- ・ 昼間  
5 W
- ・ 夜間  
5 W

高知県安芸市の冬至（12月22日）は、日の出07:05 日の入り17:01のため

昼間時間は、09:56（時間：分） = 9.93時間となる。

昼間時間を9.93時間、点灯時間（夜間）を14.07時間とすると

1日の最大消費電力は、以下の通り。

$$5W \times 9.93 \text{ h} + 5W \times 14.07 \text{ h} = 120.00\text{Wh/日}$$

この他に、チャージコントローラの自己消費電力が必要となる。

自己消費電力を2W程度とすると、1日の総消費電力（バッテリーの消費電力）は、以下の通り。

$$120.00\text{Wh/日} + 2\text{Wh} \times 24\text{h} = 168.00\text{Wh/日}$$

## ◆独立電源の構成機器仕様

独立電源に必要な機器は以下の通り。

- ①ソーラーパネル
- ②チャージコントローラ
- ③DC/ACインバータ
- ④バッテリー

各機器の仕様検討は以下の通り。

### ①ソーラーパネル

発電量100Wのパネルを使用する。

いずれかのパネルが故障した場合に、他パネルでも充電ができるよう、2直列×2並列で合計4枚使用する。

### ②チャージコントローラ

効率の良いMPPT方式とし、バッテリー電圧と電流が、接続するソーラーパネルに合うものを選定する。

チャージコントローラの自己消費電力は2W程度とする。

### ③DC/ACインバータ

独立電源に接続する機器の消費電力は5W程度であるが、

想定外の出力も考慮し、出力容量260W、入力電圧DC24V、出力電圧AC100Vとする。

### ④バッテリー

定格電圧が24Vのものを選定する。

接続機器の1日の総消費電力が168.00Wh/日であり、

放電深度を50%とした時、無日照で7日間動作するために必要なバッテリーの容量は、

$$168.00\text{Wh/日} \times 7\text{日} \div 0.5 = 2352.00\text{Wh}$$

となる。この条件を満たすため、容量1200Wh (12V100Ah)のバッテリーを4個使用する。

この時のバッテリー容量は、1380Wh × 4個 = 4800Wh となり、

必要なバッテリー容量を上回っているため、問題なし。

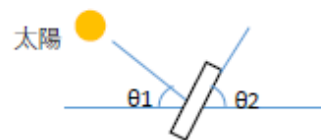
(なお、本システムにおいて、無日照での動作可能期間は

$$4800\text{Wh} \div (168.00\text{Wh/日} \div 0.5) = 14.28\text{日} \text{ となる}$$

◆ 月ごとのソーラーパネル発電量試算

月ごとのソーラーパネルの発電量試算を行った。  
 設置場所から最も近い観測地点である安芸市の月ごとの平均日照時間から算出を行った  
 なお、パネル設置角度  $\theta 2$  は、 $30^\circ$  とする。

ソーラーパネル発電量	100 W
ソーラーパネル枚数	4 枚
パネル設置角度 $\theta 2$	$30^\circ$
日射角度 $\theta 1$	各月15日の値
日照時間	月ごとの平均値を使用



快晴でない場合を想定し、発電量を80%としたときの、傾斜を考慮した発電量の式は

$$\text{傾斜を考慮した発電量} = \text{発電量} \times \cos(\theta 1 + \theta 2 - 90^\circ) \times \text{日照時間} \times 80\% \quad \dots \text{①}$$

となり、式①より、1日の発電量は下表の通りとなる

月	月平均日照時間 h	日数	1日当たり日照時間 h	日照角度 $\theta 1$ °	1日当たり発電量 Wh/日	1日当たり必要な 発電量との差Wh/日
1	193.0	31	6.2	35.4	1811.4	467.4
2	181.0	29	6.2	43.8	1917.9	573.9
3	197.5	31	6.4	54.3	2028.6	684.6
4	202.9	30	6.8	66.2	2151.6	807.6
5	203.3	31	6.6	75.3	2024.2	680.2
6	137.8	30	4.6	79.8	1383.0	39.0
7	194.6	31	6.3	78.0	1910.5	566.5
8	232.9	31	7.5	70.6	2363.1	1019.1
9	170.0	30	5.7	59.6	1813.3	469.3
10	183.1	31	5.9	48.0	1848.8	504.8
11	175.0	30	5.8	38.1	1732.0	388.0
12	189.9	31	6.1	33.3	1751.2	407.2

無日照が7日間続いた後の1日間で、バッテリーを満充電に戻すために必要な発電量は、以下の通り。

$$168.00\text{Wh/日} \times (7\text{日} + 1\text{日}) = 1344.00\text{Wh}$$

上表より、発電量が不足する月は無い。

◆ まとめ

以上の計算結果より、ソーラーパネルは $30^\circ$ の角度で設置し、  
 12V100AH (1200Wh) のバッテリーを4個使用し、100Wソーラーパネルを4枚使用することで  
 無日照状態で7日間動作することは、可能となる。

ソーラーパネルの例:RSP100DC-G1-JP

<https://jp.renogy.com/collections/rigid-solar-panels/products/rsp100dc-g1>

市販価格 @¥13,900(税込)



#### 電気仕様

公称最大出力	100W
公称最大出力動作電圧 (Vmp)	19.97V
公称最大出力動作電流 (Imp)	5.01A
公称開放電圧 (Voc)	22.79V
公称短絡電流 (Isc)	5.31A
モジュール効率	20%
最大システム電圧	600VDC
最大直列ヒューズ定格	15A
動作温度	-40°C~90°C

#### 物理的仕様

寸法	865x578x30mm
重量	1.8 kg

## 8.6 広報活動実績

表 8.6-1 に示す報道発表、パネル展示および講演を実施。

表 8.6-1 広報活動実績

	掲載日	掲載元	公開内容(タイトル)/URL
報道発表	2025/08/01	各社ホームページ	実証機関として採択された旨のプレスリリースを実施 電気興業株式会社ホームページ <a href="https://denkikogyo.co.jp/news/release/">https://denkikogyo.co.jp/news/release/</a> 国立大学法人高知大学ホームページ <a href="https://www.kochi-u.ac.jp/information/">https://www.kochi-u.ac.jp/information/</a> 株式会社高知 IoP プラスホームページ <a href="https://iop-plus.kochi.jp/article/">https://iop-plus.kochi.jp/article/</a> 株式会社シティネットホームページ <a href="https://www.city-net.jp/page/dtl.php?hdnKey=203">https://www.city-net.jp/page/dtl.php?hdnKey=203</a>
メディア			
その他	2025/10/22 ~10/24	Japan IT Week 秋展 (2025 年) / IoT・エッジコンピューティング EXPO	パネル展示を実施
	2025/12/03	四国研究交流サロン	講演を実施 発表タイトル「150MHz/400MHz 帯 LPWA による通信 DX(高知の農業 DX を例に)」

## 8.7 参考文献

MLR-429 マニュアル Ver. 3.0 2023 年 2 月 株式会社サーキットデザイン

[https://www.circuitdesign.jp/wp/wp-content/uploads/support/download/docs/og\\_mlr-429.pdf](https://www.circuitdesign.jp/wp/wp-content/uploads/support/download/docs/og_mlr-429.pdf)

MLR-429 シリアル通信マニュアル Ver. 3.0 2023 年 2 月 株式会社サーキットデザイン

[https://www.circuitdesign.jp/wp/wp-content/uploads/support/download/docs/og\\_mlr-429-serial-communication.pdf](https://www.circuitdesign.jp/wp/wp-content/uploads/support/download/docs/og_mlr-429-serial-communication.pdf)

RM-03 取扱説明書 株式会社エフ・アンド・オー・システムズ

<https://www.fando.co.jp/download/rm03usersmanual 1.1.pdf>

地域社会 DX 推進パッケージ事業(AI 検証タイプ)

AI を用いた通信負荷の低減・通信量の確保等の検証に関する調査研究  
(実証機関:電気興業株式会社)

実証報告書

中山間の不感地域におけるエッジ AI を用いたデータ圧縮および LPWA によるエリア拡張の実証

---

2026 年 1 月

AI06 高知県  
電気興業株式会社  
国立大学法人高知大学、株式会社高知 IoP プラス、株式会社シティネット

---