

製造業におけるIoT, AI導入の課題と 研究事例

～効率的なシステム構築の実現に向けたプロトタイピング手法～

名古屋工業大学大学院 情報工学専攻
共創IoTシステム基盤研究所
NITech AI研究センター
准教授 大塚 孝信

2024/12/10 IoTものづくり分科会2024

大塚 孝信 准教授

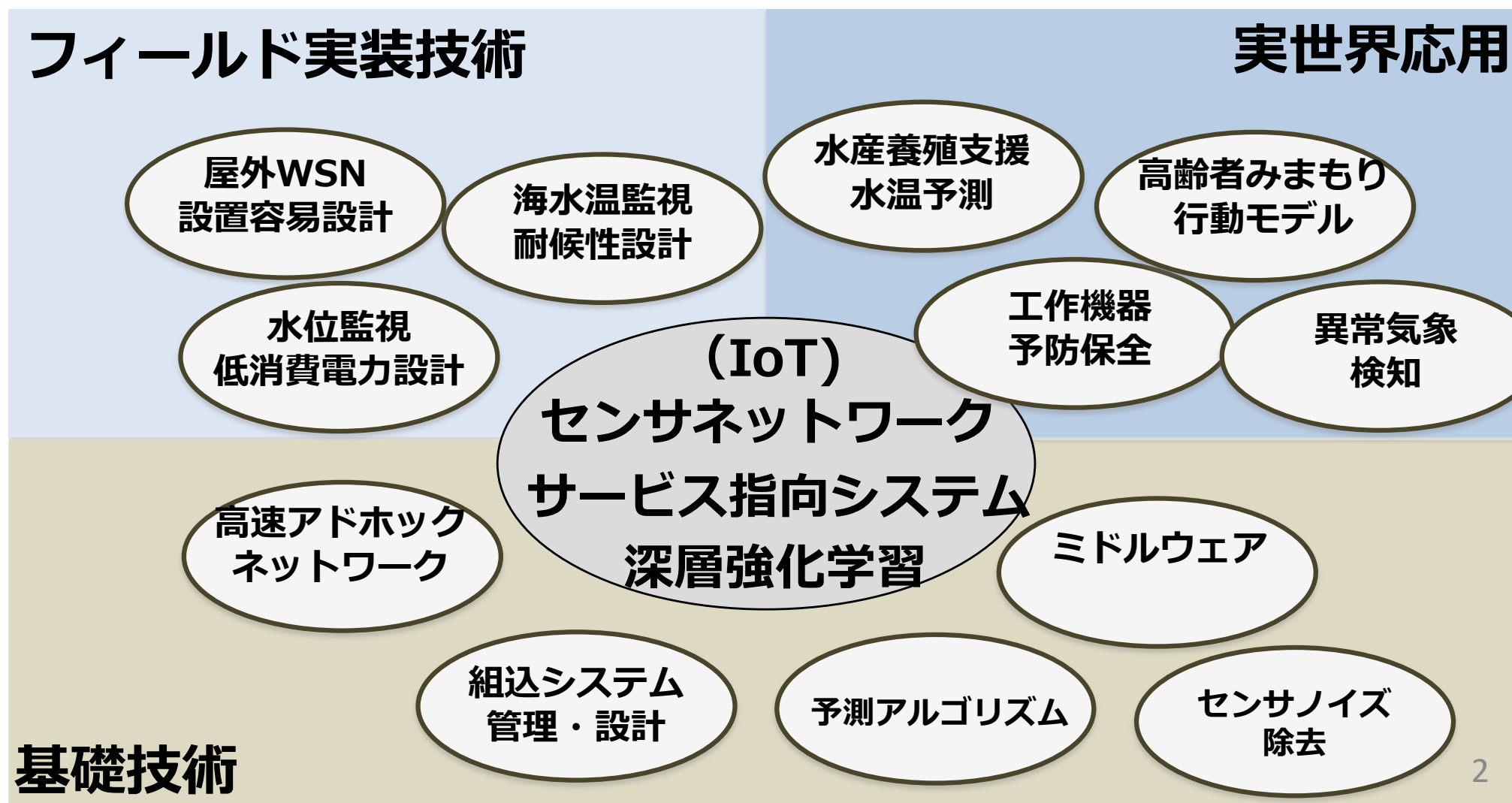
E-mail: otsuka.takanobu@nitech.ac.jp

- 2011年 名古屋工業大学
産業戦略工学専攻 修士（工学）
- 2012年–2014年 名工大グリーンコンピューティング研究所
特任助教
- 2013年 カリフォルニア大学アーバイン校 (UCI),
客員研究員
- 2014年 カリフォルニア大学アーバイン校 (UCI),
客員研究員
- 2016年 名古屋工業大学大学院 博士後期課程修了 博士（工学）
- 2016年 - 名古屋工業大学 特任助教
- 2018年4月 - 名古屋工業大学 准教授



- 名古屋工業大学 共創IoTシステム基盤研究所 所長
- NITech AI研究センター 先端知能計算研究部門
- 国立研究法人 産業技術総合研究所 人工知能研究室 招聘研究員
- 名古屋大学附属病院 メディカルITセンター 連携研究員
- 現在, NICT, SCOPE, NEDOのIoT社会実装PJの研究代表
- 2024 総務省 電波の日 東海総合通信局長賞

主な研究フィールドと実世界応用事例



ハード・ソフトウェアを一貫して開発し, 異なる情報を活用した汎用マルチモーダル学習・予測プラットフォームを研究

IoTとWSN

- **Wireless Sensor network (WSN)** : 無線接続されたセンサ群, 遠隔データの収集
- **Internet of Things (IoT)** : 無線接続されたセンサ・アクチュエータ群が相互通信, 社会・個人へアクチュエーション



デジタルツイン (Digital Twin)とは

- 2002年にミシガン大学の Michael Grieves 教授が作った概念. 製品や設備など現実世界の「モノ」をデジタルの世界に再現し不具合や故障などを仮想空間上で忠実にシミュレーションできる「デジタルの双児」を意味する
- Industry 4.0のコンセプトのひとつ
- IoTの利用アプリケーション例
- DX (デジタル トランスフォーメーション) とも呼ばれる分野



デジタルツインの例

ねじの外観検査 (AI・IoT)

人による目視



1時間あたり約700個

生産効率向上

画像判定システム



1時間あたり3600個

ラインの停止時間削減 (AI・IoT)

生産効率向上
メンテナンス費用最適化

異常停止



保守担当自動呼出し
& 停止要因自動記録



AIが最適なメンテナンスを
分析・提案

修理



稼働再開



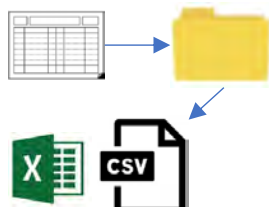
注文書作成 (DX)

紙帳票を
システムに手入力



作業時間削減

エクセル帳票を
フォルダに投入



管理用リストとシステム
インポートデータ出力

経営会議資料作成 (DX)

経営会議用資料作成

手作業で資料作成



会計 生産管理

自動加工



経営分析BI



作業時間削減

現実→仮想空間シミュレーション(AI)
現実空間においてどのように情報を収集するか？ (IoT)

デジタルツインの例

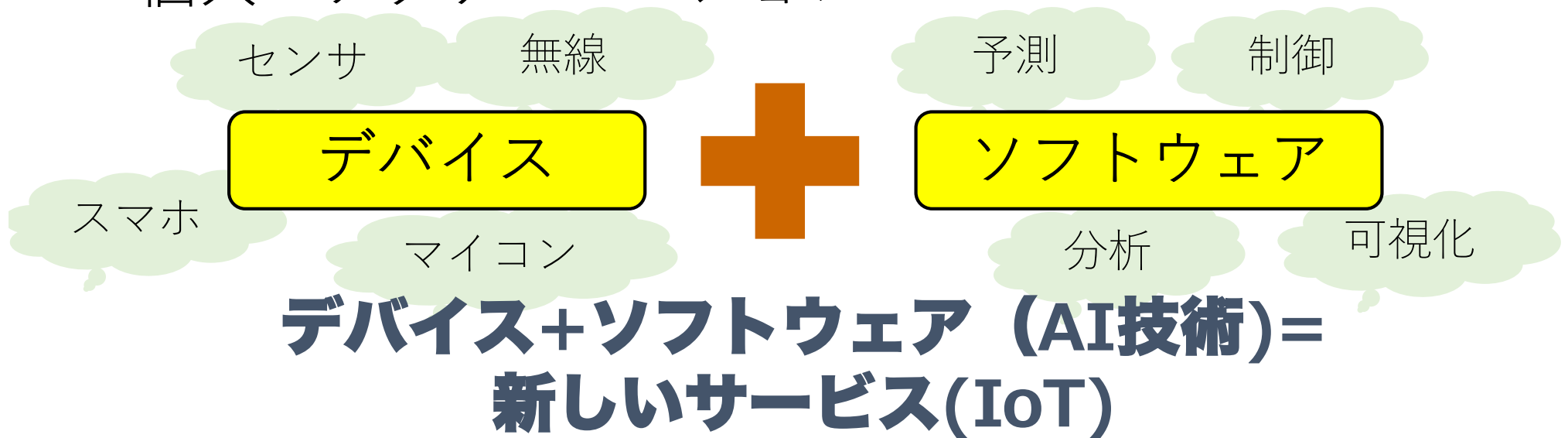


富士通@Hannover messe 2018

全ての工程を可視化すると莫大な予算が必要…

IoTとWSN

- **Wireless Sensor network (WSN)** : 無線接続されたセンサ群, 遠隔データの収集
- **Internet of Things (IoT)** : 無線接続されたセンサ・アクチュエータ群が相互通信, 社会・個人へアクチュエーション



IoTにおける4つの要素

IoTシステムの主な四つの構成要素

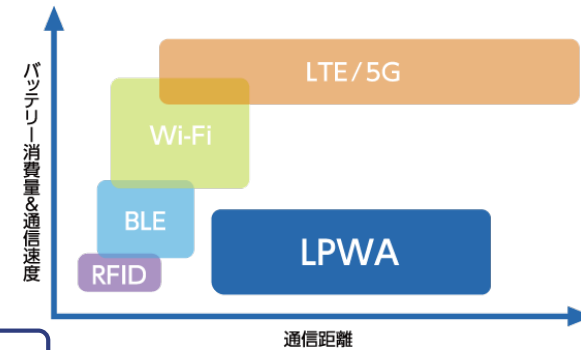
エッジデバイス



役割

様々なセンサ等を用いて
ターゲットからデータを取得し続ける

通信技術



役割

エッジデバイスで得られた
センサデータをサーバへ送信する

データ処理



役割

得られたデータを分析して
ユーザに役立つ情報を抽出する

社会・個人フィードバック



役割

得られたデータや分析結果を
可視化してユーザに価値を提供する

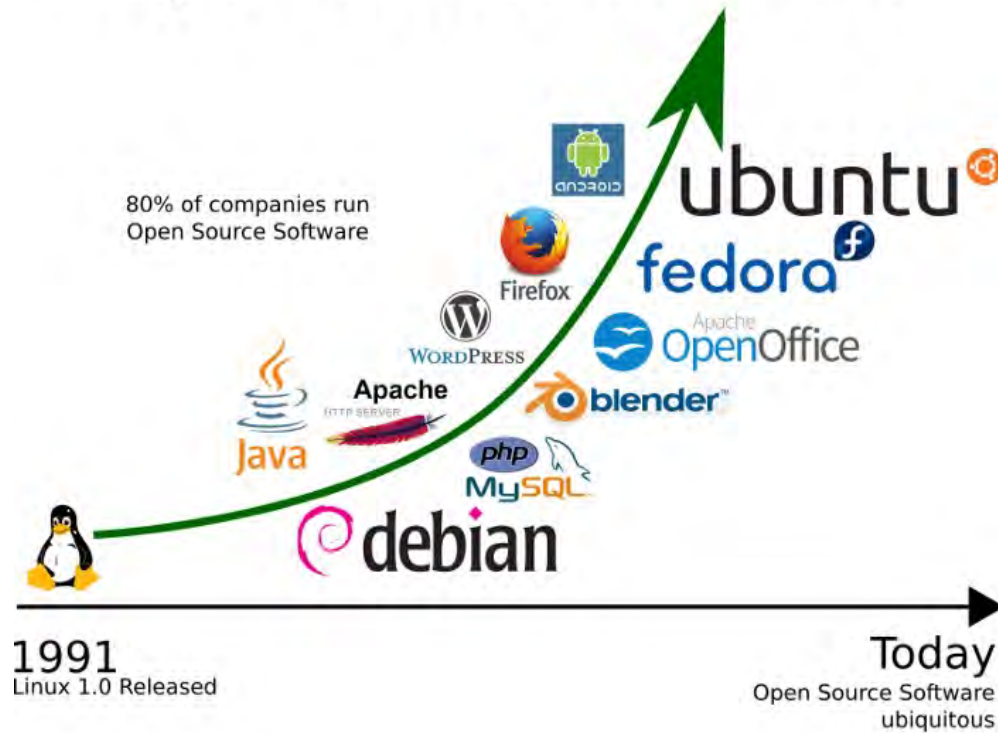
コミュニティと情報工学

オープンソースソフトウェア

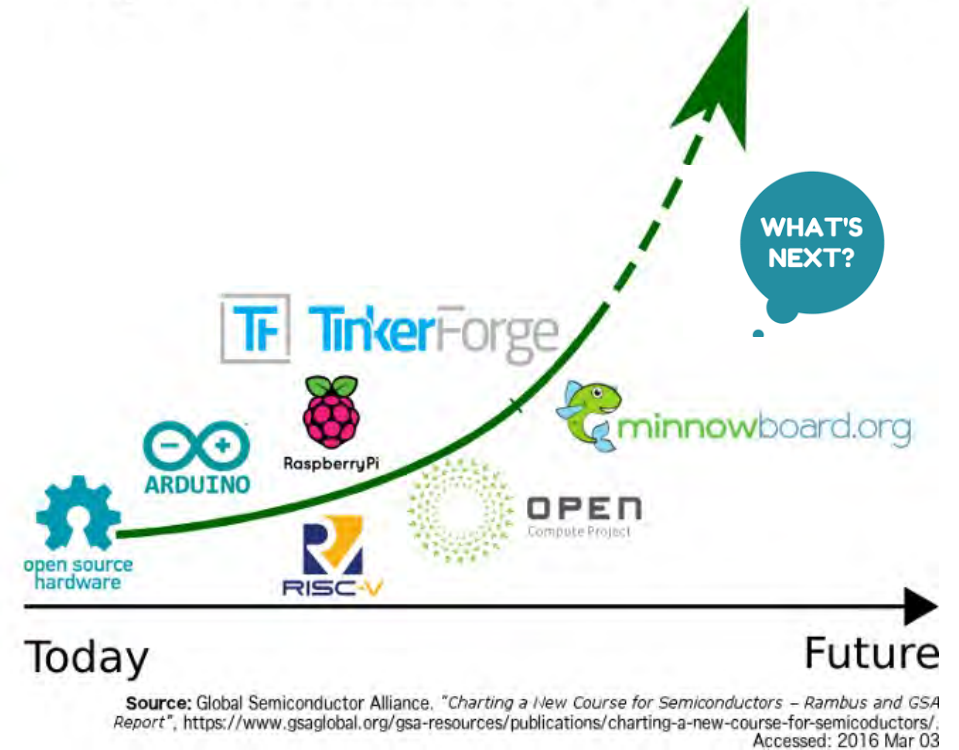
- 1980年代～
 - オンラインの共有コミュニティ
 - コピーレフト, ローカル・コモンズ
- 1990年代～
 - GNUプロジェクト, BSD, Linuxの誕生
- コミュニティによる共創によって発展を続けている
- ハードウェアのオープン化は？

オープンソース

Open Source Software



Open Source Hardware



オープンソースハードウェアはまだまだこれから

Rishita Reena P, Open Source Hardware: What It Means and Why It Matters?, 2021,

The ICON : Arduino

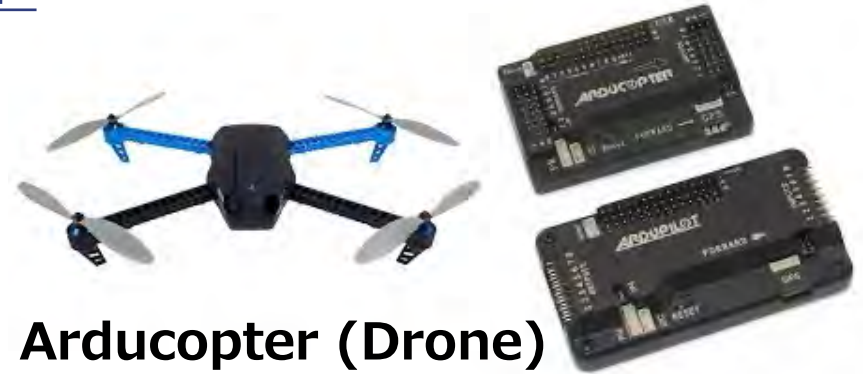
Arduinoを中心としたコミュニティ



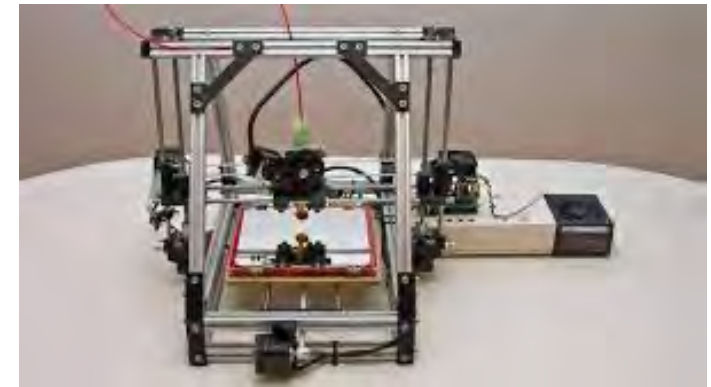
M5 family



ESP32



Arducopter (Drone)



RepRap (3D Printer)

ハードウェア情報は全て公開・流用が可能

オープンな通信コミュニティ

オープンなWiFiネットワーク

- fon(WiFi)  fon

無料のLPWA通信ネットワーク

- The Things Network: TTN (LoRa-Wan)

- 低速だが低消費電力
- 今後は低軌道衛星通信も可能となる
- 欧米ではインフラの監視に活用されている



用途に合わせたさまざまな通信が利用可能

IoTを支える技術

多くのところがオープンソースで実現

- ・ 各コミュニティの共創による技術発展
- ・ 言語や時間の壁がGithub等の発展で低下
- ・ 回路図やアートワーク含めたオープンソース
- ・ 基板設計や製造の民主化

オリジナル半導体も将来的には実現できそう



IoTシステム構築のためには？

IoTにおける選択課題

- ・ 必要とする通信規格をどう選ぶか

BLE, LPWA, WiFi, and Zigbee...

- ・ Power consumption

センサとマイコンだけではなくソフトウェア制御も重要

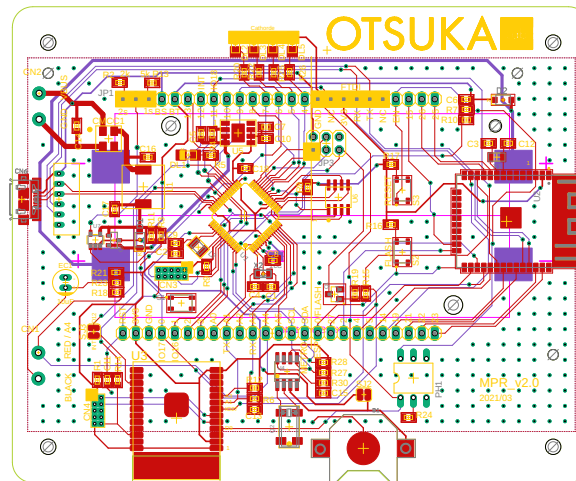
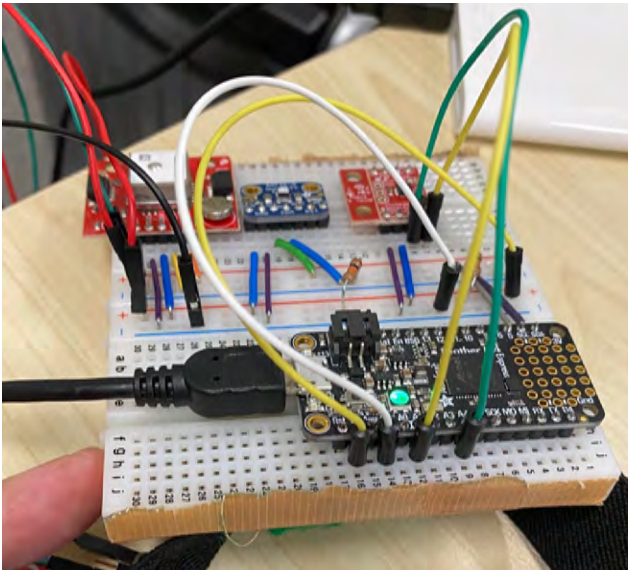
- ・ Software development

データ収集周期は？エッジでどれだけ処理する？

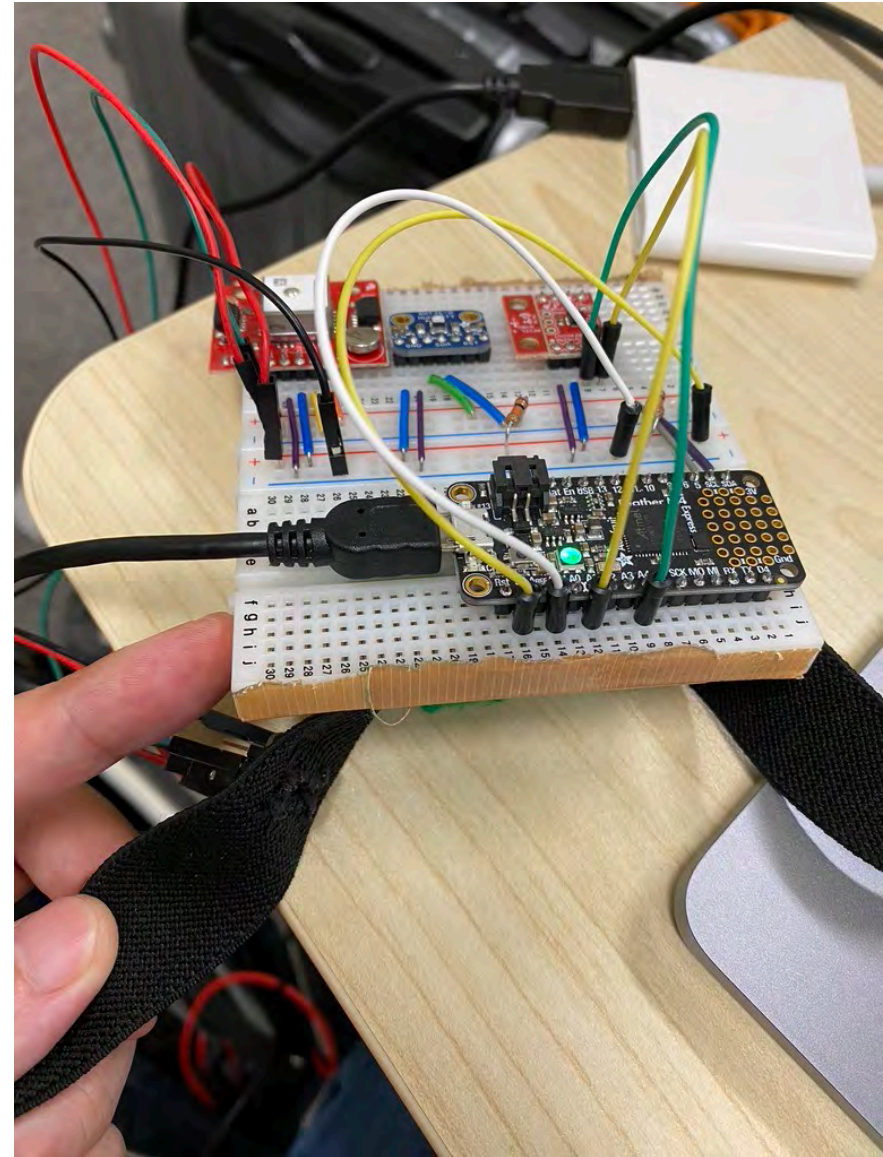
機能を取捨選択して実装する必要がある = オープンソースハードウェアの活用が鍵

IoTシステム実装の例

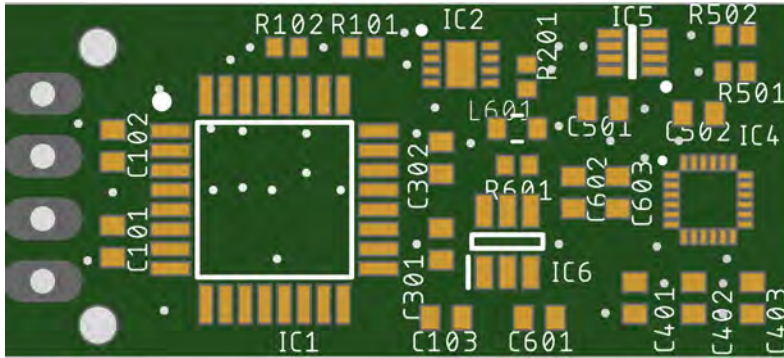
- プロトタイピング
 - センサ類と通信装置などをブレッドボード上でテスト
- 機能確認
 - 組み込みソフトウェア・UX含めて試験
- PCB設計と実装（ホットプレートなども利用）
 - 必要なデータはオープンソースHWをベースに



プロトタイピングのその先は？



プロトタイピングのその先は？



基板設計CAD :無料
基板製造 :\$2-5/枚
基板実装 :\$10~/枚

オープンソースハードウェアを活用してオリジナルデバイスを作ろう！



汎用学習マイコンボード (自作)

AI+IoT時代に適応するために

- 計算機が理解できるデータを”意識“する
 - 数値？
 - 画像？
 - テキスト？
- データ化&長期間収集
 - データは各社の価値・資産
 - 時系列で長期間収集してこそ価値が出る
- 現場の問題を把握する
 - 問題と要因がはっきりしないまま導入するのは危険
 - 問題解決のノウハウも資産となります

いきなり全てを変えることはできない
個々の問題に関して少しずつ取り組むことが重要

IoT は比較的簡単に試すことができます

- お安く始めるIoT-

必要なもの

- パソコン（Windows, Macどちらでも）
- インターネット環境
- Wio BG770A v1.0（おすすめ） 1.5万円 + Groveセンサ
- Amazon AWSアカウント



使用可能センサ

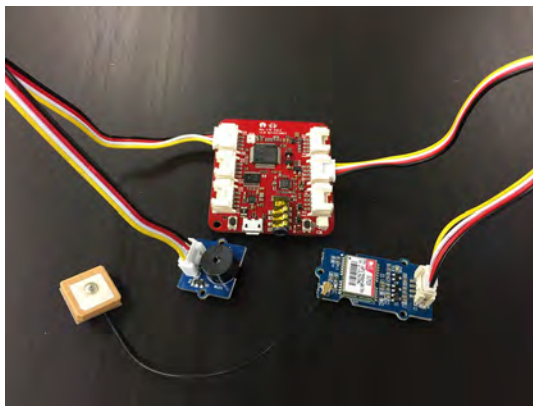
- 3軸加速度
- ブザー
- ボタン
- 磁気
- 温湿度
- GPS
- 距離センサ
- 他Groveセンサ多数

https://soracom.jp/store/s_category/dev-board/

<https://www.switch-science.com/search?q=grove> センサ類

本キットは何故良いか？

- 無線化の箇所をつまづかない！
 - 初心者の多くが無線部分の不安定さであきらめます
 - 本キットはLTE-M(携帯電話回線) を用いるため設定不要
- 簡単なデータ可視化がすぐにできる
 - SORACOM社から各種クラウドサービスに連携可能
- サンプルコードが数多くある
 - Arduino(イタリア生まれの教育用簡単マイコン) ベース



つなぐ

```
Arduino IDE - Blink | Arduino 1.6.5
File Edit Sketch Tools Help
Blink
Blink
// Blink
Turns on an LED on for one second, then off for one second, repeats.
// the setup function runs once when you press reset or power the board
void setup() {
  // initialize digital pin 13 as an output.
  pinMode(13, OUTPUT);
}
// the loop function runs over and over again forever
void loop() {
  digitalWrite(13, HIGH); // turn the LED on (HIGH is the voltage)
  delay(1000);           // wait for a second
  digitalWrite(13, LOW); // turn the LED off by making the voltage LOW
  delay(1000);           // wait for a second
}
```

プログラム



可視化(AWS)

例えば何を測る？何ができる？

- 振動センサ
 - 機器の振動
 - 異常振動検知 / 障害予測
- 3軸加速度センサ
 - 機器の加速度（例えばアクチュエータの加速度）
 - ひっかかりの検知 / かじり検知
- 温湿度センサ
 - 環境情報
 - 工場内の温湿度ばらつき / 異常の要因分析
- 電流センサ
 - 消費電流
 - 漏電 / 過電流

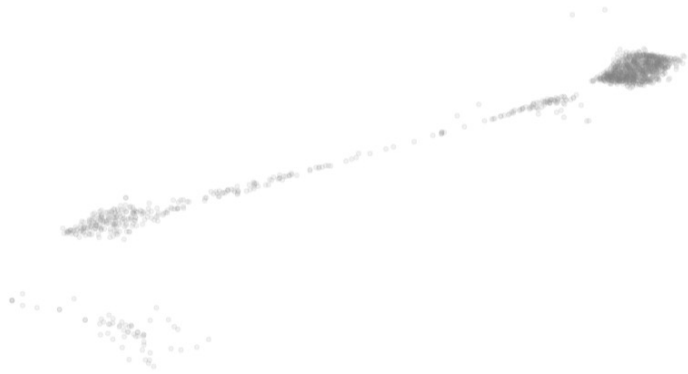
センサデータ収集（可視化）の次のステップが重要！！

振動データ解析 & 異常検知の例

- 大手鋳造メーカーでの例
 - 30個程度のセンサノードを機器に取付
 - LPWAによるデータ集約
- センサノード構成
 - 3軸加速度センサ：ADXL345 (2千円程度)
 - 温度センサ：MLX90614 (2千円程度)
 - 処理マイコン：Cortex ARMボード (2.5千円程度)
 - LPWAモジュール: LoRa-PAN (5千円程度)
 - MEMSマイク (補助利用)

安価なセンサノードを用いて実際の異常検知
成功済み

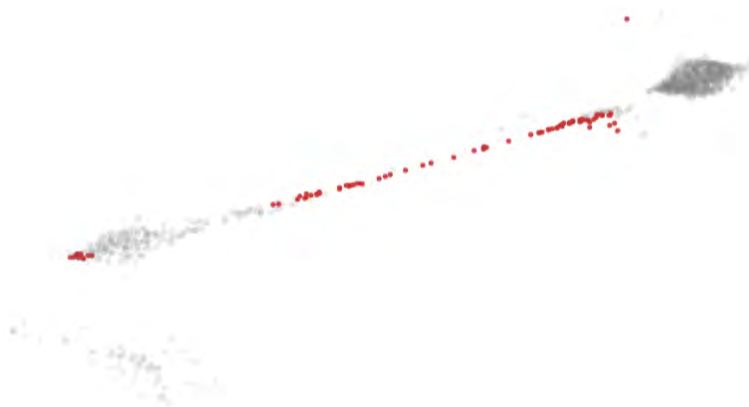
モータ1(異常振動による故障例)



flgなし



flg=0

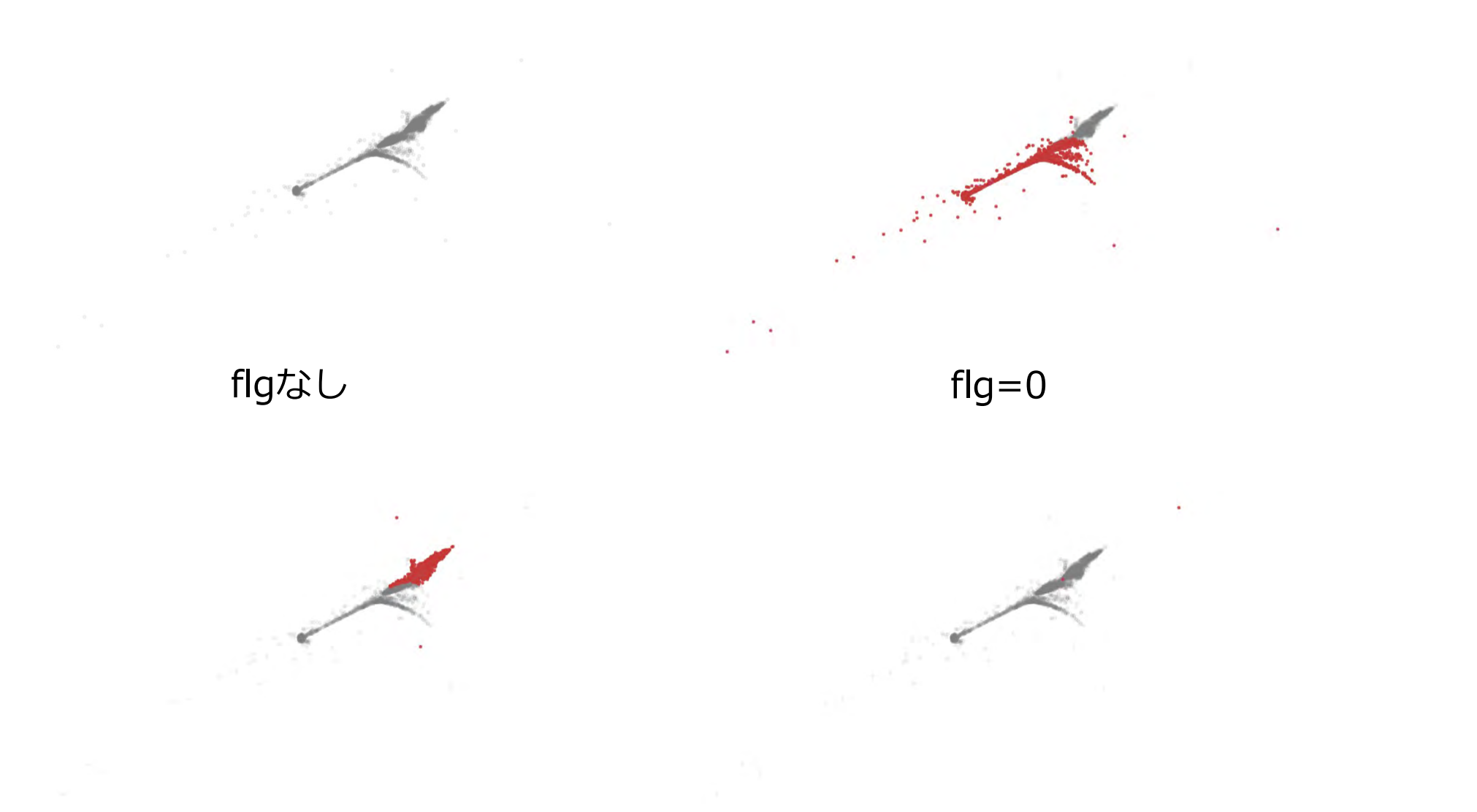


flg=1



flg=2 (故障)

モータ2(ベアリング破断)



flagなし

flag=0

flag=1

flag=2

ブレーキ機器(タイミングベルト破断)



flgなし



flg=0



flg=1

本研究室における社会実装の例

- 分野横断を前提とした機器予防保全システム (NEDO)
 - 機械設備の異常検知をさまざまなセンサで行う
- 製造業工程内物流最適化システム (大手自動車メーカー)
 - 製造現場内の工程内物流データを収集し, 無駄を可視化
- 中型医療機器管理システム(SCOPE)
 - AC100Vを利用する機器向けの位置稼働状況収集と配置最適化
- 人感センサと活動量計による独居高齢者みまもり(NICTの一部)

BLEビーコンとLPWAを用いた工程間物流における 非定常行動抽出手法の提案と実装

研究背景

製造現場における多品種少量生産の増加

- ◆ 日々変化する生産に対して柔軟に対応した上で、生産効率を向上させる仕組みづくりが重要となる[1]

工場内資源の連携の重要性

- ◆ 生産者・部品供給者・生産マシン・生産部品などの生産に関わる全ての資源が相互に情報を共有する
 - 生産効率の包括的な向上を目指すことが可能となる[2]

LPWA通信を用いた工場向けIoTシステムにより、

製造現場の包括的な効率化を目指す

[1] 2020年度版ものづくり白書，経済産業省

[2] HPEのIIoTソリューション - IIoTによるデータの有効活用

既存の工程管理システム

センサを用いるシステム^[1]

- ◆ 組み立て作業におけるルーチン作業をトレース
 - ◆ 地磁気及び加速度センサで作業の順序が正しいかを判定
- 品質問題が発生した際に工程内の**どこでミスが発生したか確認可能**

IoTスマートタグを用いるシステム^[2]

- ◆ 3層からなるセンサネットワークシステムを構築
 - ◆ 作業者の状態や位置情報を把握
- 製造現場のデータ収集**を行い，活用するためのプロトタイプ

現場の一部の作業を管理するだけでも作業効率が向上

[1] ”地磁気・加速度センサによる自動車組立工場内作業トレースシステム”,佐藤 永欣, 田島 玲, 高橋 俊博, 小田島 昌一, 鈴木 潤, 石川 泰二, 村田 嘉利, 2010

[2] ”生産・物流向け IoT 用スマートタグの提案”,堀川 三好, 岡本 東, 村田 嘉利, 2018

提案内容

1. 作業者の行動情報の分析と可視化

- ◆ BLEビーコンの位置情報や動き方についての情報を分析
- ◆ 工程内のネックとなっている作業を抽出して可視化
- ◆ 動作の履歴や行動分析により、過去のデータを分析

2. 部品が不足した場合の通知

- ◆ 部品管理ビーコンを活用して部品不足情報を可視化

3. ラインごとの生産進捗を可視化

- ◆ 部品の供給状況を把握して、ラインごとの作業の進捗を可視化

4. トレサビリティシステムの実現

- ◆ BLEビーコンを用いて製品の流れを記録・可視化

システム概要

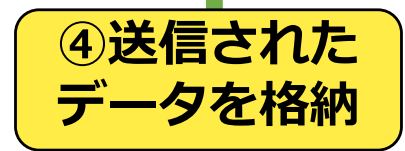
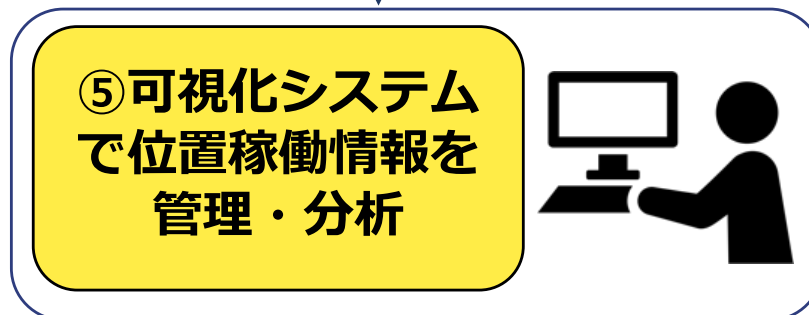
①ビーコンを持たせる



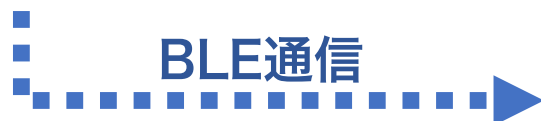
稼働状況可視化システム



データサーバ



Ethernet通信



エンドデバイス

OTSUKA



親局

1.位置推定と行動分析



目的と提案手法

目的

- ◆ 工場内での作業員のおおまかな位置情報や動き方についての情報（以下では、位置稼働情報とする）をセンサデバイスを用いて把握することにより、**各動作にかかっている時間を定量的に取得する**
- ◆ 取得した各動作時間のデータを基に、**工程間のネックとなっている作業を抽出する**
- ◆ 部品管理を行うビーコンを活用することによる**作業の効率化**を行う

提案手法

**センサデバイス, BLEビーコン及びLPWAを用いた
工程間の各動作時間と部品の在庫状況を
管理するネットワークシステム**

位置推定手法 | RSSIによる位置推定

BLEビーコンが発信するビーコン情報を収集

- ◆ 得られるビーコン情報
 - UUID (Universally Unique Identifier) : サービスの識別番号
 - Major値 : ビーコンの種別の識別番号
 - Minor値 : ビーコンの固有値
 - RSSI (Received Signal Strength Indicator) : 受信強度



各LoRa基地局から得たRSSIを用いて位置推定

RSSIを用いて位置推定を行う際の問題点

- ◆ RSSIの変動
- ◆ 親局への通信の負担

RSSI変動の平均化と、親局への負担軽減が必要

位置推定手法 | 位置推定アルゴリズム

位置推定アルゴリズムの要件

- ◆ ビーコンを所持した作業員及び部品配送車両の**おおまかな位置**（工場内のどの通路を通ったか）を**推定**する必要がある

ビーコン情報を得た基地局が1つの場合

- ◆ ビーコン情報を取得した基地局の位置座標を推定位置座標とする

ビーコン情報を得た基地局が2つ以上の場合

- ◆ 受信強度とそれぞれの受信強度を受信した回数を重みとして計算
- ◆ **重み**が大きい上位2つのエンドデバイスのビーコン情報で位置推定



位置推定手法の詳細

取得したRSSIで重みづけ

$$\underline{W_i} = W_{near} \underline{C_{near}} + W_{normal} \underline{C_{normal}} + W_{far} \underline{C_{far}}$$

基地局i番の重み nearを取得した回数 normalを取得した回数 farを取得した回数

$$\underline{W_{near}} = 2$$

nearの重み

$$\underline{W_{normal}} = 1$$

normalの重み

$$\underline{W_{far}} = 0.5$$

farの重み

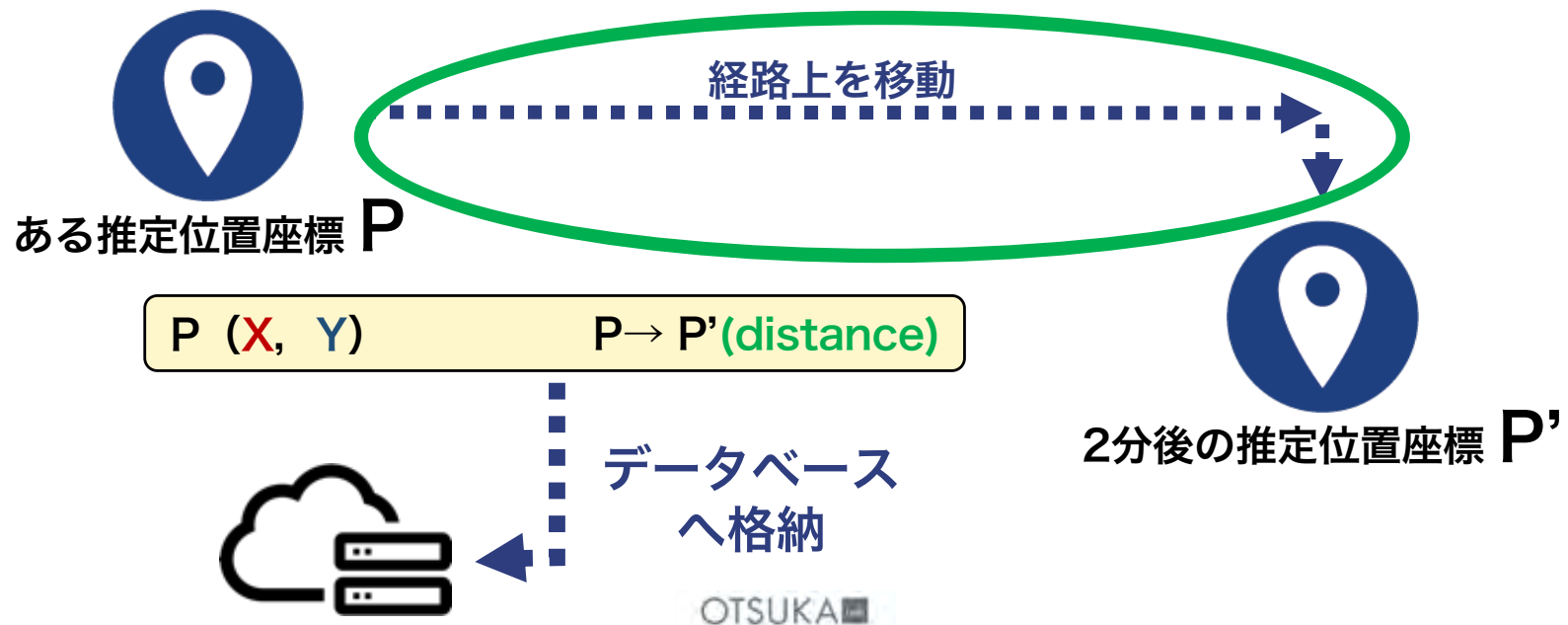
重みを利用して位置推定



位置稼働情報の収集

位置稼働情報：ビーコンの位置情報と稼働情報

- ◆ 収集したビーコン情報(RSSI)からビーコンの位置を推定
- ◆ 以下の位置稼働情報を収集
 - X: ビーコンの推定x座標
 - Y: ビーコンの推定y座標
 - distance: ある地点から次の地点までの2分間の移動距離（経路上）



非定常行動抽出

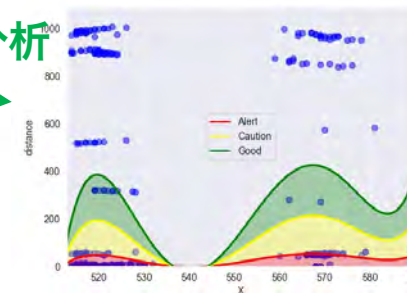
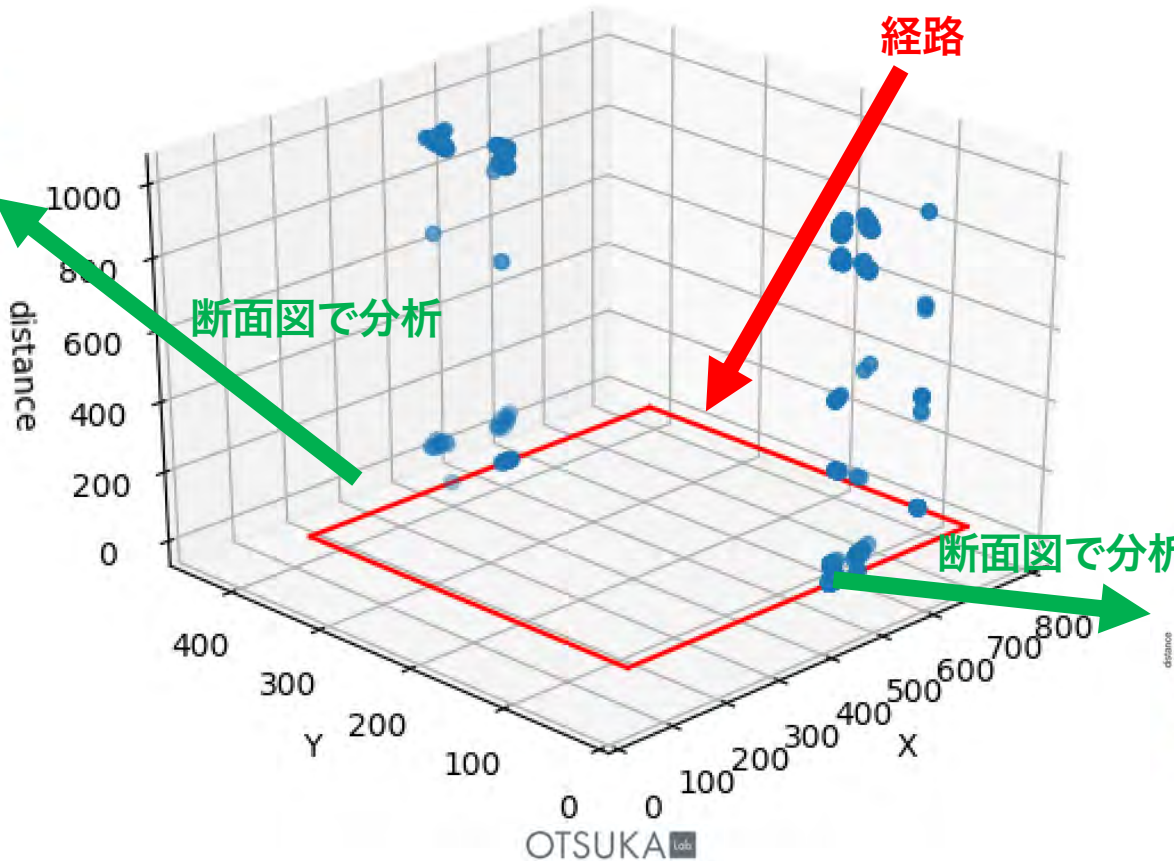
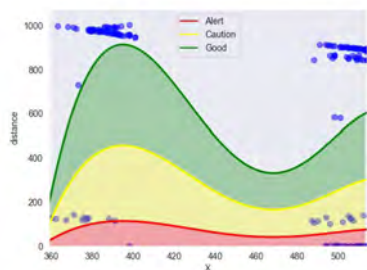
位置稼働情報を経路ごとに分析

- ◆ 位置稼働情報の座標は**必ず経路上**になる



経路ごとの断面図で行動を分析

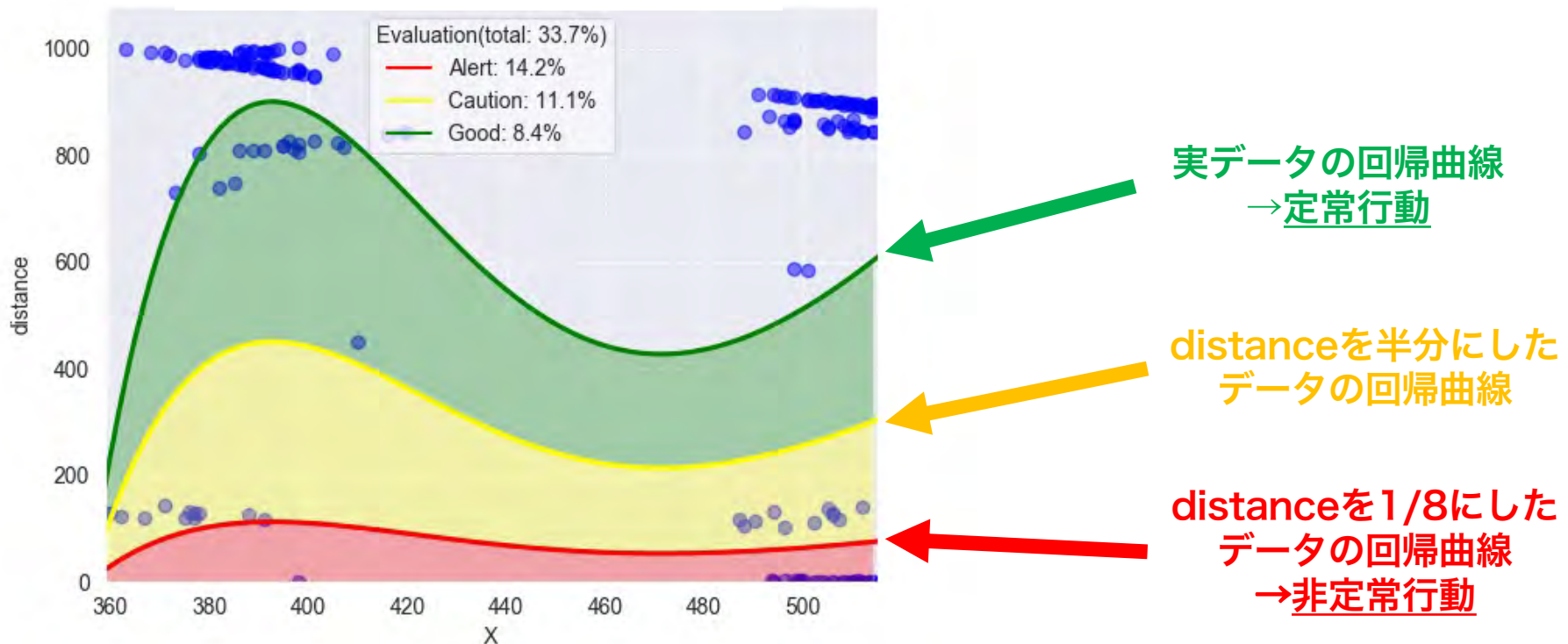
位置稼働情報の散布図



非定常行動抽出

位置稼働情報を回帰分析し、作業員の行動を分析

- ◆ 回帰曲線より得られた位置稼働情報を分析
 - 各座標点ごとに移動距離の推定値を算出する
- ◆ 領域で分類し非定常行動（ある場所に留まり続ける行動）を抽出



可視化ページ:位置情報

位置情報確認画面

- ◆ 作業員の位置情報と停滞情報を表示したヒートマップを出力



可視化システム:ヒートマップ

入力

- ◆ 直近1時間の位置稼働情報
 - 製造現場の全ビーコンから取得された位置稼働情報
 - 休憩時間内に収集されたデータは除く

分析

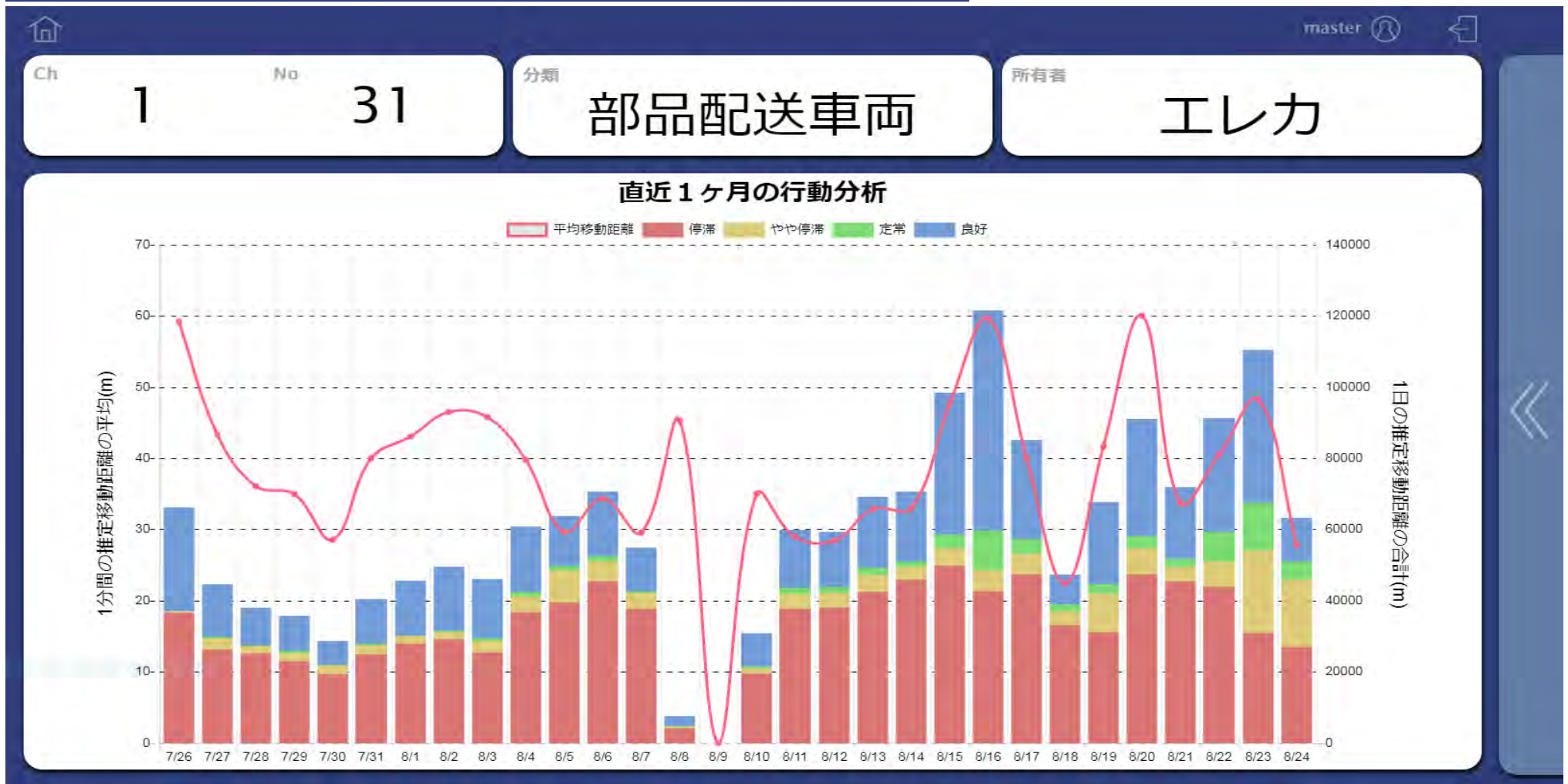
- ◆ 入力データを経路ごとに分ける
- ◆ 経路ごとに位置稼働情報を回帰分析

出力

- ◆ 座標ごとの非定常行動率 (%)
 - ヒートマップとして表示



可視化システム:行動分析



直近1ヶ月の行動分析結果を出力

- ◆ 1日の推定移動距離の合計 (棒グラフ)
- ◆ 1分間の推定移動距離の平均 (曲線グラフ)

可視化システム:行動分析

入力

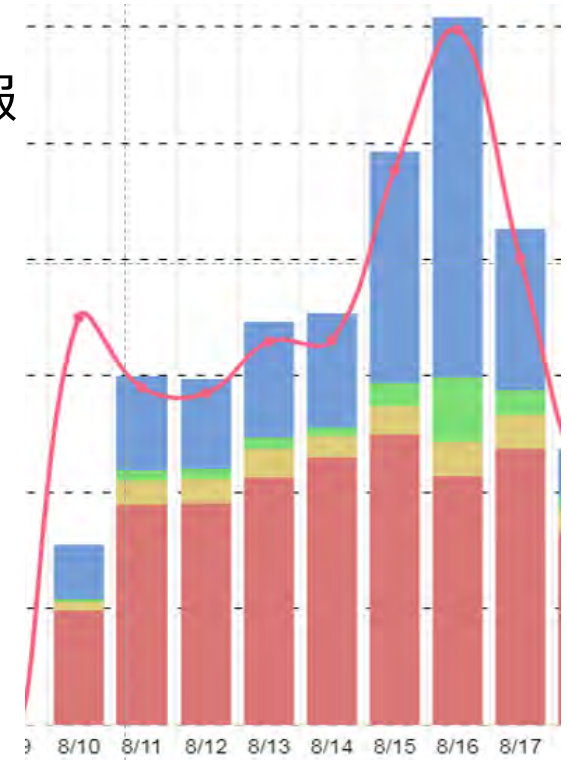
- ◆ 指定したビーコンごとの直近1ヶ月の位置稼働情報
 - 休憩時間内に収集されたデータは除く

分析

- ◆ 入力データを取得日ごとに分ける
- ◆ さらに分けたデータを経路ごとに分ける
- ◆ 経路ごとに位置稼働情報を回帰分析

出力

- ◆ 停滞, やや停滞, 定常, 良好のそれぞれの行動が発生した割合
 - 4つ合わせて100%
- ◆ 推定合計移動距離 (1日ごと), 推定平均移動距離 (1分ごと)
 - 推定位置座標の経緯度から距離 (m) を算出

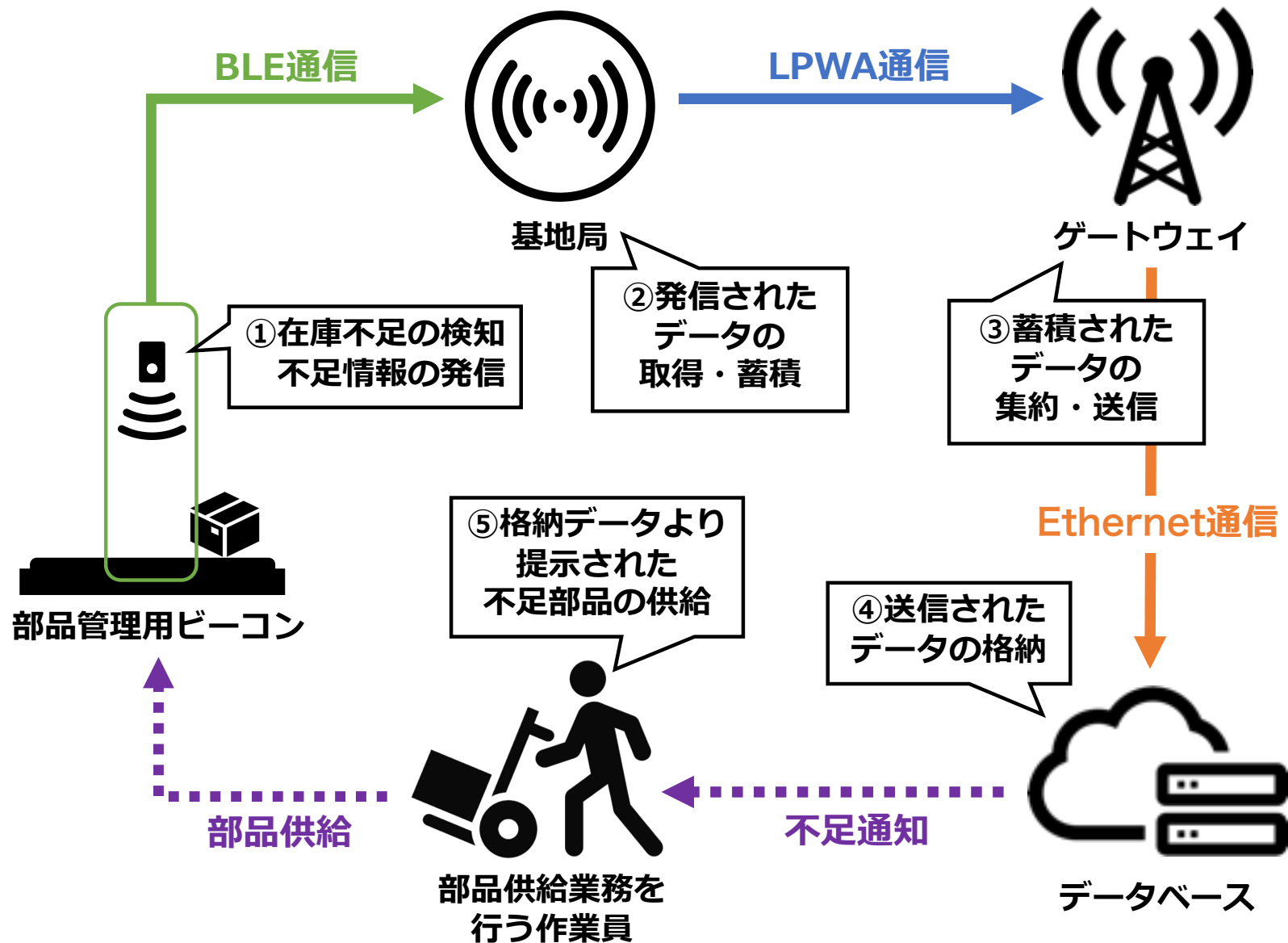


2.不足部品管理システム



部品管理システム概要

在庫部品の不足を検知し，供給作業者に通知



目的と提案手法

目的

- ◆ 不足している部品情報を即時に通知することで、在庫不足に柔軟に対応し、作業員にかかる不要な作業を削減する
- ◆ 次の供給で運搬すべき部品の種類と箱数を提示し、作業員の経験則に頼らない供給内容の決定により部品供給作業を効率化する

提案手法

**センサデバイスと供給部品決定アルゴリズムを用いた
供給部品指示による工程内物流支援システム**

使用デバイスの詳細

部品管理用ビーコン

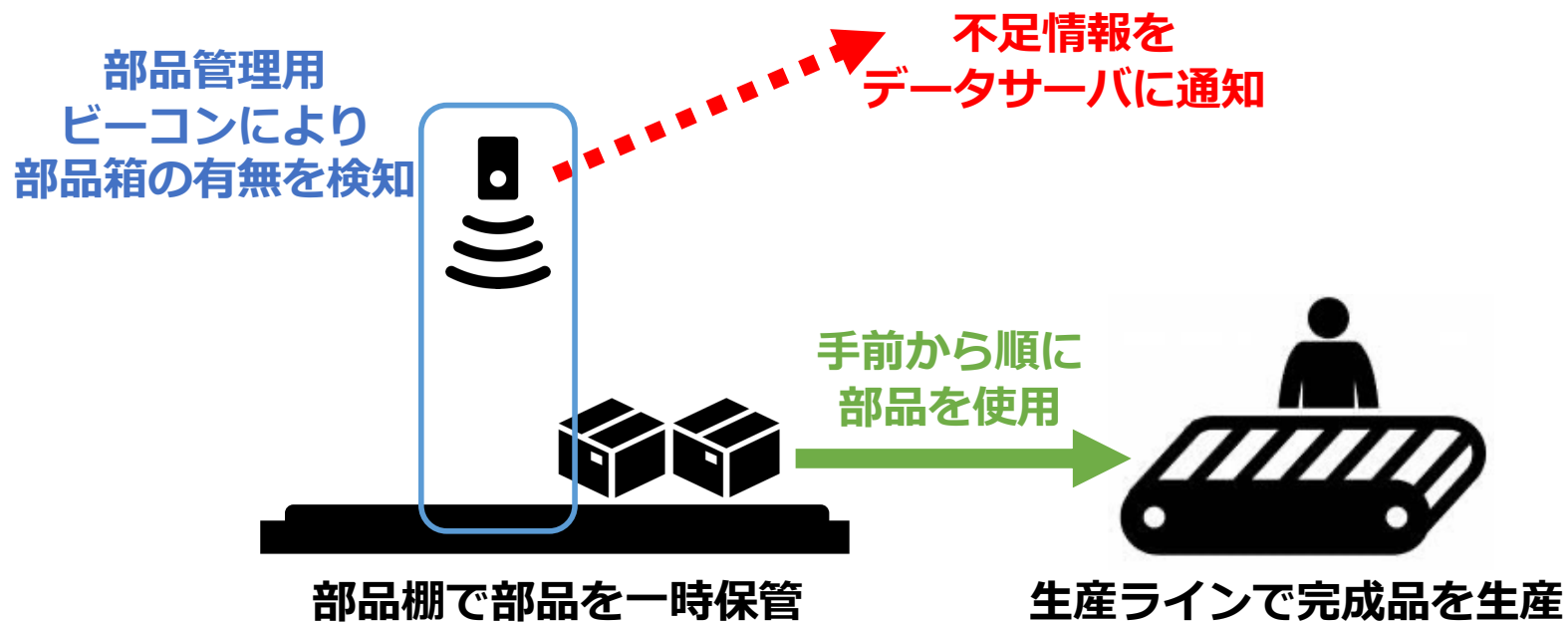
- ◆ 使用する生産部品が入っている部品箱の有無を赤外線近接センサにより検知する
 - 部品箱が存在しない場合は部品が不足していると判定してビーコン情報(生産部品識別番号)を通知
- ◆ ビーコン情報を取得した基地局がLPWA通信により、部品不足情報を通知する
 - 位置推定と異なり即時に通知が必要となるため、基地局はビーコン情報を取得したら蓄積すること無くサーバに送信する



1. 不足部品の検知手法

不足部品検知手法の概要

- ◆ 部品が入る部品箱が部品棚に補充されているか検知する
 - 検知用デバイスを部品管理用ビーコンと定義する
- ◆ 部品箱の不足を検知した場合は、対象不足部品の情報を通知する
 - 不足情報の収集には、山口ら^[6]のネットワークシステムを用いる

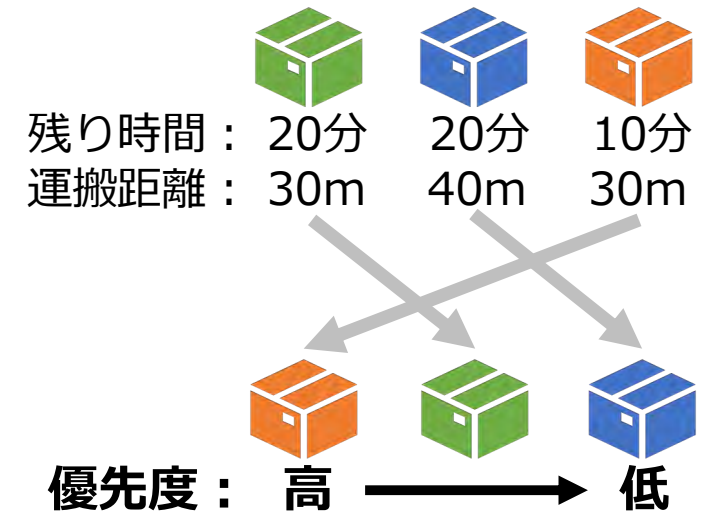


[6] BLE ビーコンと LPWA を活用した 稼働管理システムによる工程間物流最適化, 山口将央, 大塚孝信, 第82回全国大会講演論文集 2020(1), 433-434, 2020-02-20

2. 供給部品決定手法

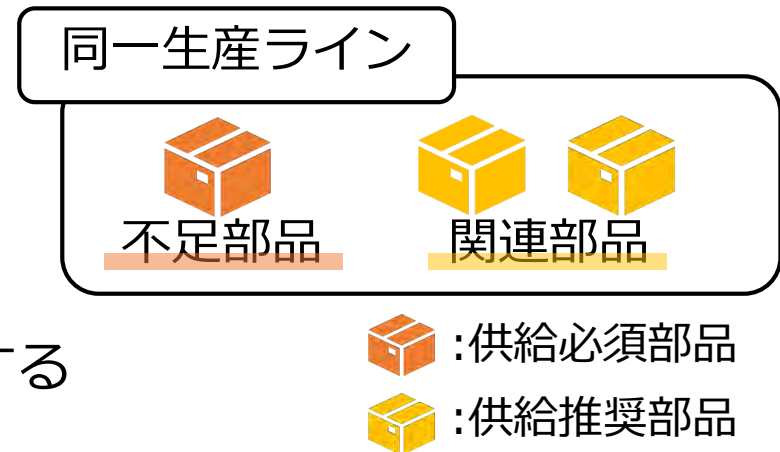
不足部品に供給優先度を付与

- ◆ 生産ラインが停止するまでの時間と供給にかかる距離から優先度を算出する
 - 不足情報通知部品を供給必須部品とする



関連部品の不足箱数を算出

1. 得られた不足部品の情報より、完成品の累計生産数を算出する
2. 累計生産数を基に不足通知のない関連部品の使用数と残り箱数を算出する
 - 算出した部品を供給推奨部品とする



3. 供給内容提示手法

供給部品の決定

- ◆ 供給必須部品を算出された優先度の順に供給部品とする
- ◆ 使用する部品配送車両の運搬上限数に合わせ、供給部品を決定する
 - 積載量に余裕がある場合は供給推奨部品を供給内容に追加する

供給部品の提示

- ◆ 決定した供給必須部品と供給推奨部品を一覧で表示する
 - 部品名称、運搬箱数などの部品供給作業に必要な情報を提示する

供給必須部品	供給推奨部品	
A-1(R)	A-2(R)	B-2(R)
背番号 V763	背番号 V673	背番号 V677
箱数 2	箱数 1	箱数 1

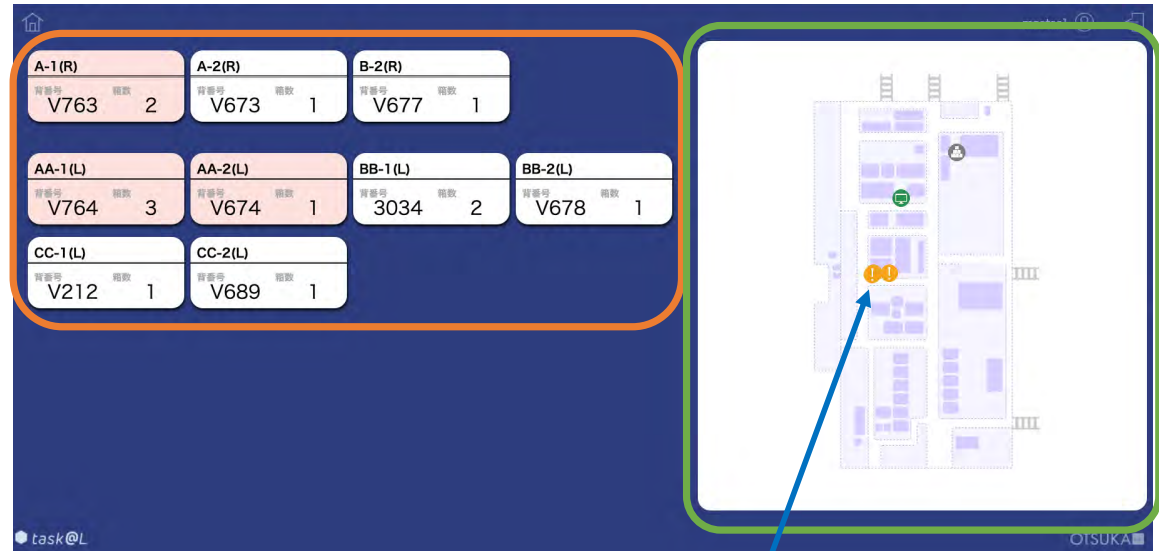
供給内容提示画面の表示例

可視化システム詳細

決定した部品の表示

- ◆ 不足を検知した部品とまだ不足通知のない関連部品を表示する
- ◆ 供給を行う作業員が使用する運搬車両の最大積載量に合わせ、優先度順に供給部品を提示

不足部品と関連部品



マップ

可視化システムの表示例

供給部品の位置をマップ上に表示

表示されている内容

- ◆ 不足部品とその他の関連部品
- ◆ 不足部品, 部品保管場, システム表示モニタのマップ

実験条件の設定と評価方法

実験条件の設定

- ◆ 大手プレス製造メーカーA社の対象ラインに部品管理用ビーコンを設置し、部品の不足データを収集する
- ◆ 提案システムを導入し、表示内容に基づき部品供給を行った作業員の動作履歴を収集する(実験期間:2020/11/23-12/4)
 - 作業員の動作情報の収集は昨年度構築したシステム^[6]にて行う

評価方法

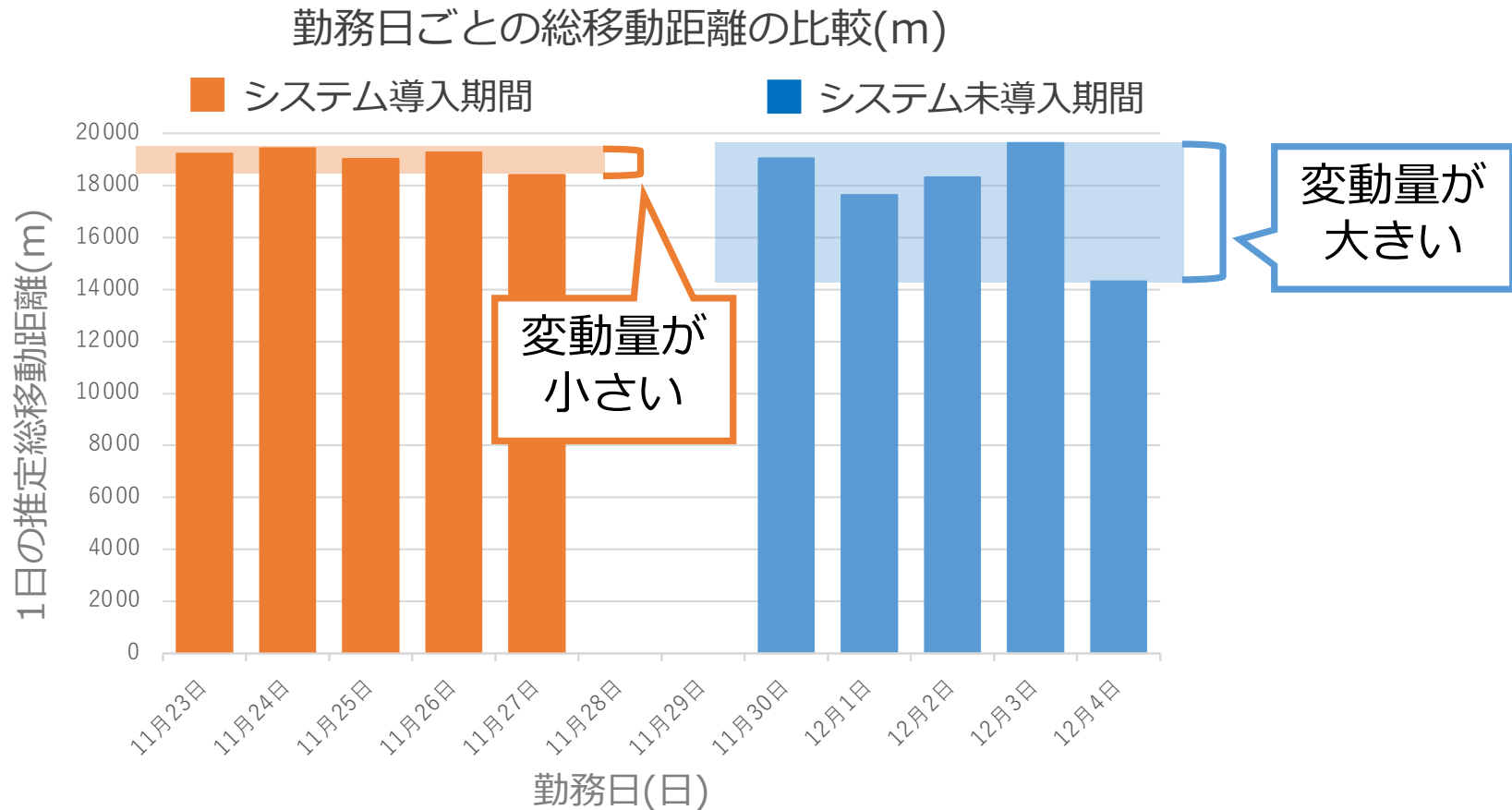
- ◆ 作業員の動作がシステム導入前後でどのように変化したか評価する
 - 勤務日ごとの総移動距離の比較
 - 完成品の生産数から得られる1製品あたりの移動距離の比較

[6] BLE ビーコンと LPWA を活用した 稼働管理システムによる工程間物流最適化 , 山口将央, 大塚孝信, 第82回全国大会講演論文集 2020(1), 433-434, 2020-02-20

評価結果

勤務日ごとの総移動距離の比較

- ◆ 日ごとの変動が抑えられ、標準的な部品供給作業が行えている
 - システム導入期間の標準偏差が未導入期間の1/5以下に減少



評価結果

1完成品あたりにかかる移動距離の比較

- ◆ 1完成品あたりの移動距離の変動が抑えられている
 - 導入期間の移動距離の差は未導入期間より7.21m小さい
 - 導入期間の標準偏差が未導入期間より約28%小さい

	システム導入期間	システム未導入期間
最大移動距離	62.18	63.69
最小移動距離	51.11	45.41
移動距離の差	11.07	18.28
平均	56.74	54.89
標準偏差	4.549	6.302

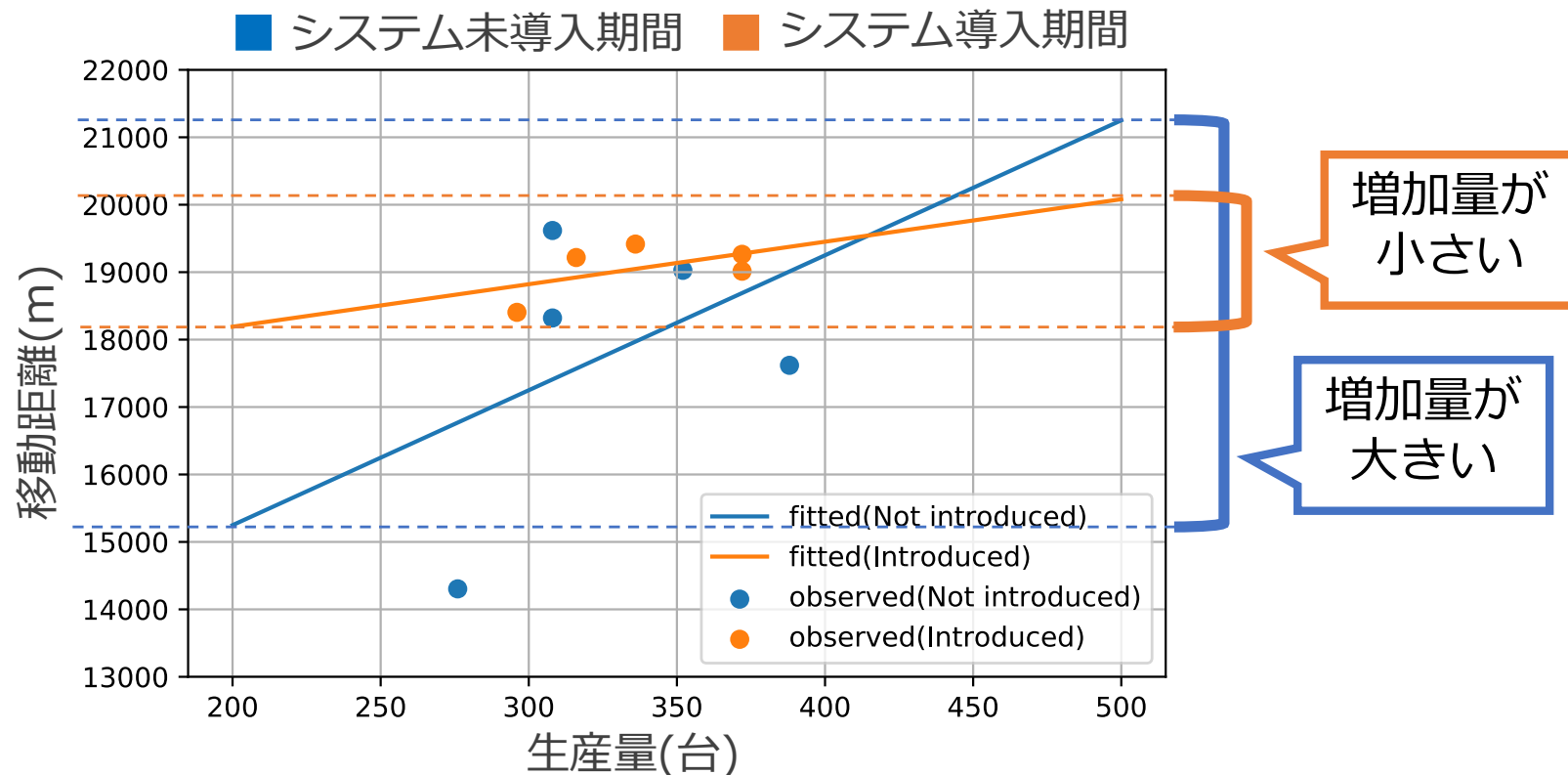
1完成製品あたりの移動距離の比較(m)

提案システムにて供給内容を提示することにより、
部品供給作業を行う作業員の移動量の平準化が可能となる

評価結果

生産量と移動距離の散布図と最小二乗法による回帰直線

- ◆ システム導入前は生産量増加に伴う移動距離の増加量が大きい
- ◆ システム導入後は生産量増加に伴う移動距離の増加量が小さい



生産数の増加に伴う作業員の作業量増加を抑えられている

まとめ

製造業の課題

- ◆ **工場全体の作業を管理する仕組み**で作業の効率化が必要

本研究の目的

- ◆ 各作業にかかる時間の定量化
- ◆ 工程間の**ネックとなっている作業の抽出**

提案手法

- ◆ センサデバイス、BLEビーコン及びLPWAを用いた工程間の各動作時間と部品の在庫状況を管理するネットワークシステム

データの活用

- ◆ ビーコンの**RSSI（受信強度）による位置推定**
- ◆ 連続する推定位置座標から、位置稼働情報を収集
- ◆ 位置稼働情報を分析して**非定常行動を抽出**

本研究で見込まれる効果

- ◆ **現場全体の作業効率の向上**

医療機器の効率的な管理を目的とした
機器位置推定と稼働率管理手法の提案と実装

医療機器管理の現状

- 医療機器の複雑化，多様化

- ◆ 保有台数は増加の一途[1]

- 病床数が約1,000床の大規模病院での管理台数は10,500台

- 一日約50台点検を行う

- ◆ 使用前，使用中，使用后点検，および定期点検が必要である[2]

- ◆ 新型コロナウイルスにより医療機器管理の必要性が拡大している[3]



医療機器の生産金額の推移^[4]

研究背景

・ 医療機器管理における課題

- ◆ 保守管理における医療従事者の負担が大きい
 - 所在不明の機器の検索に時間がかかる
 - 機器の点検を正確に行う必要がある
- ◆ 点検や研修不足により医療事故が発生している[4]
 - 医療従事者の不足[5]により，点検や研修を行う余裕がない
- ◆ 在宅医療では，医療機器の稼働状態の確認ができない
 - 機器の故障や異常発生を検知が遅れる

医療機器に関わる人的コストおよび管理コストを削減する

[5]公益社団法人 日本看護協会. 看護職員の新型コロナウイルス感染症対応に関する実態調査. 2021.

従来の医療機器管理手法

• 医療機器の中央管理

- ◆ 外来や病棟で使用する医療機器を一元化する
- ◆ 医療機器台帳やデータベースを用いて管理する
 - 医療機器を効率的かつ安全に使用することを目的としている

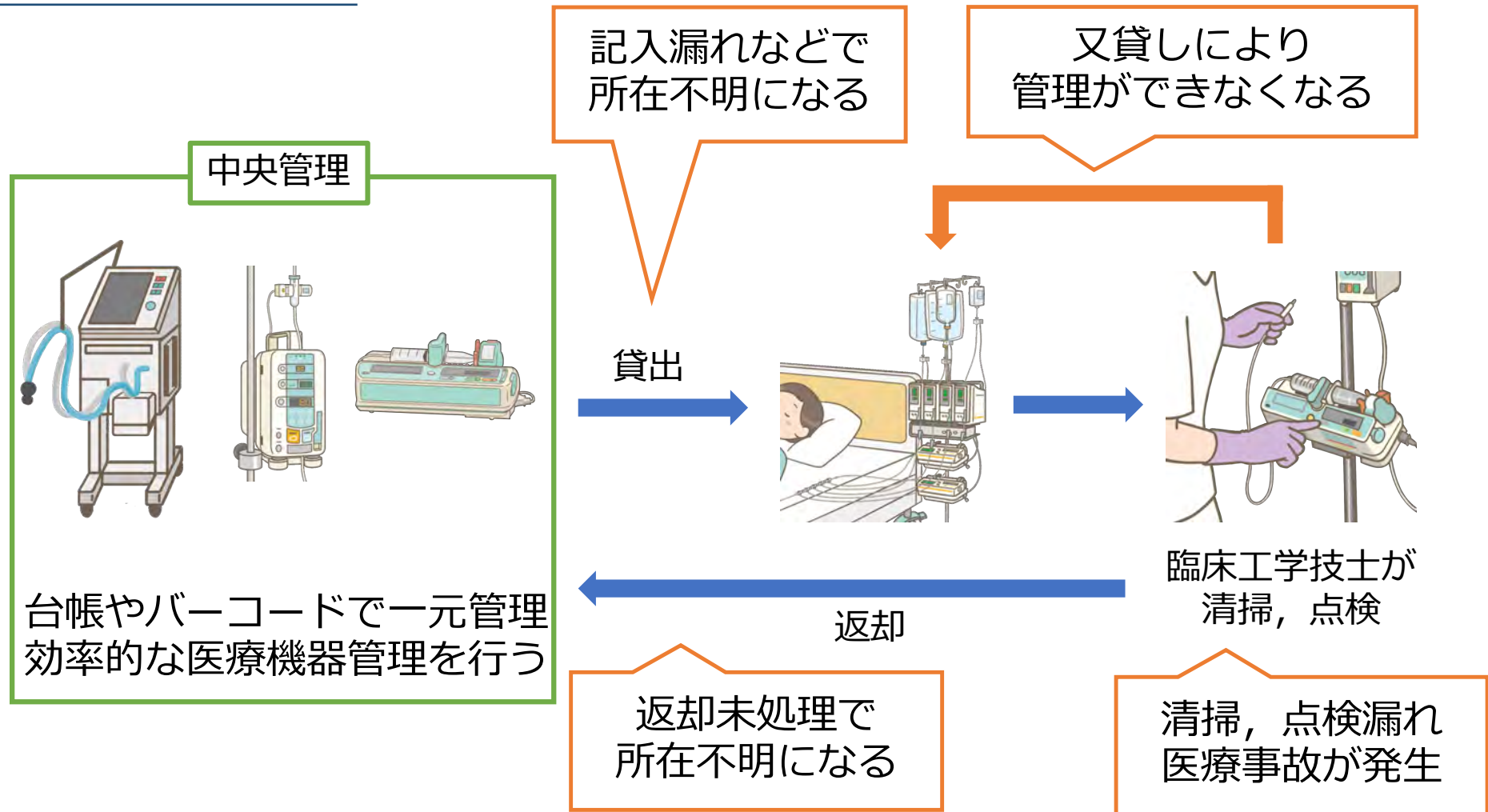
• 中央管理における課題

- ◆ 医療機器の貸出手続きなしでの利用，又貸しに対応していない
 - 長期間，未点検の医療機器の利用により医療事故が発生している[3]
- ◆ 台帳への記入やデータベースへの入力が負担となっている
- ◆ 機器稼働率の正確な算出が不可能である

[3]安原 洋. (ほか). 人工呼吸器関連のトラブル, 医療機器学, 79号, 199, 2009

医療機器の中央管理とその課題[5]

中央管理の流れ



[5] 玉木 良宙, 北原 良明, 満田 真吾, 岸野 留美子, 恒川 将大ほか, ME 機器貸出システム導入による医療機器の中央管理体制への効果, 医療機器学, 2020, 90 巻, 4 号, p. 363-369

研究目的

提案システム

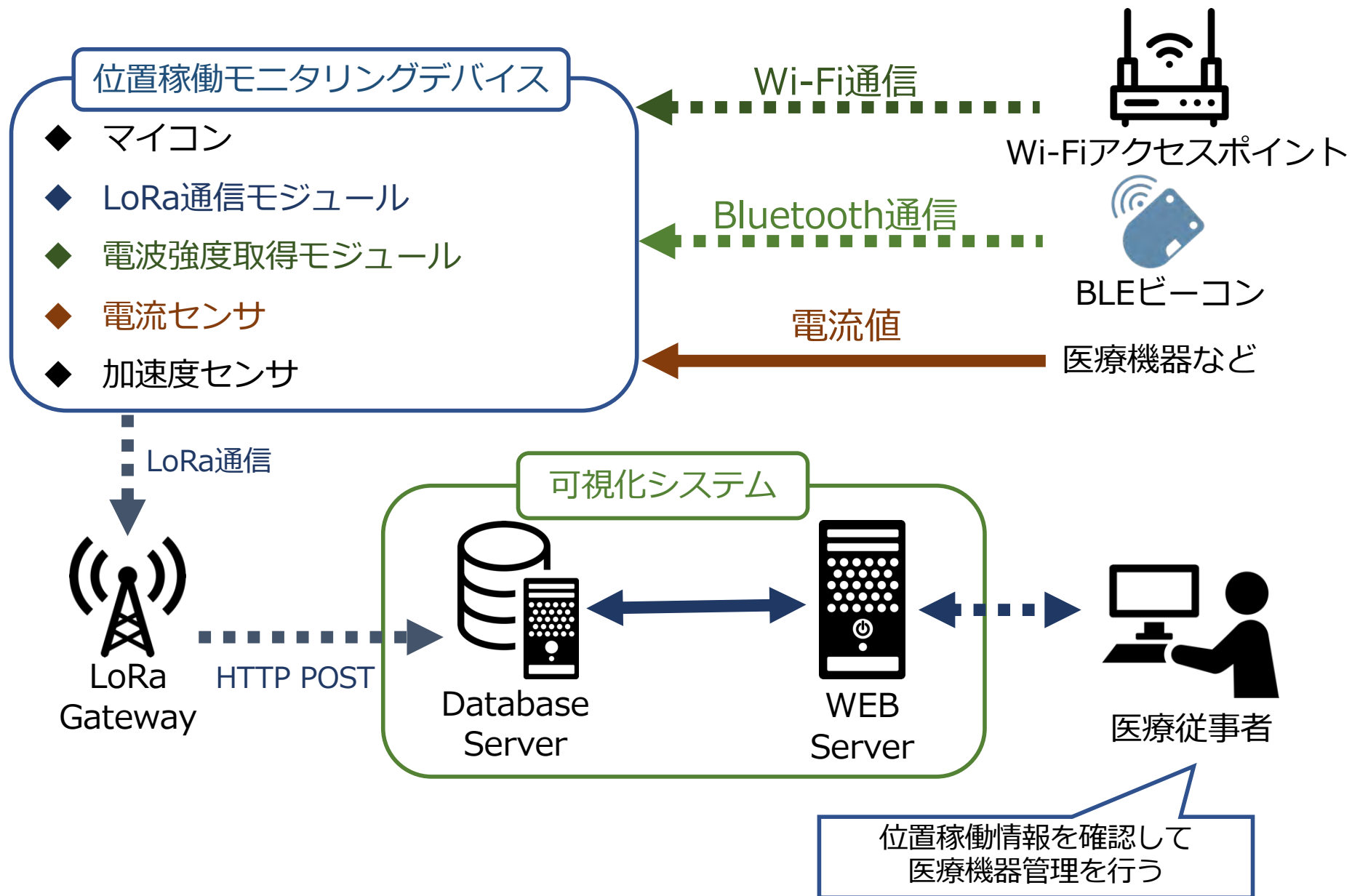
Wi-Fiアクセスポイント及びBLEビーコンを用いた 医療機器の位置稼働情報管理システム

※本研究では位置情報と稼働状態を位置稼働情報と定義する

目的

- ◆ 医療機器の位置を測位し，搜索時間の削減，配置最適化を行う
- ◆ 医療機器の稼働状態を推定し，正常稼働の判定，故障検知，点検の有無の判断をする
- ◆ 使用頻度，稼働時間，稼働率を算出し，定期的な保守点検や適正な保有台数の把握，機器交換期間の指標として利用する

システム概要



4ポートロケモニデバイス

・ サイズ

- ◆ 280.7 x 88 x 72.5 mm
- ◆ 電源ケーブル長：3m



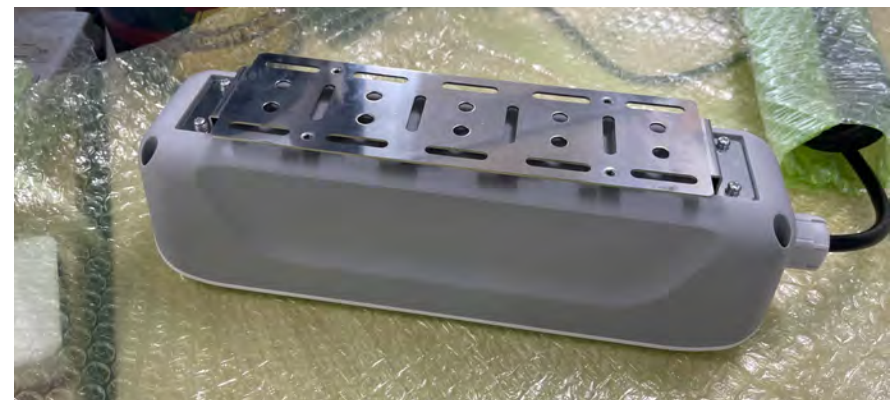
デバイス

・ バッテリー持続時間

- ◆ 接続機器が未稼働状態で3日間動作します。

・ 固定について

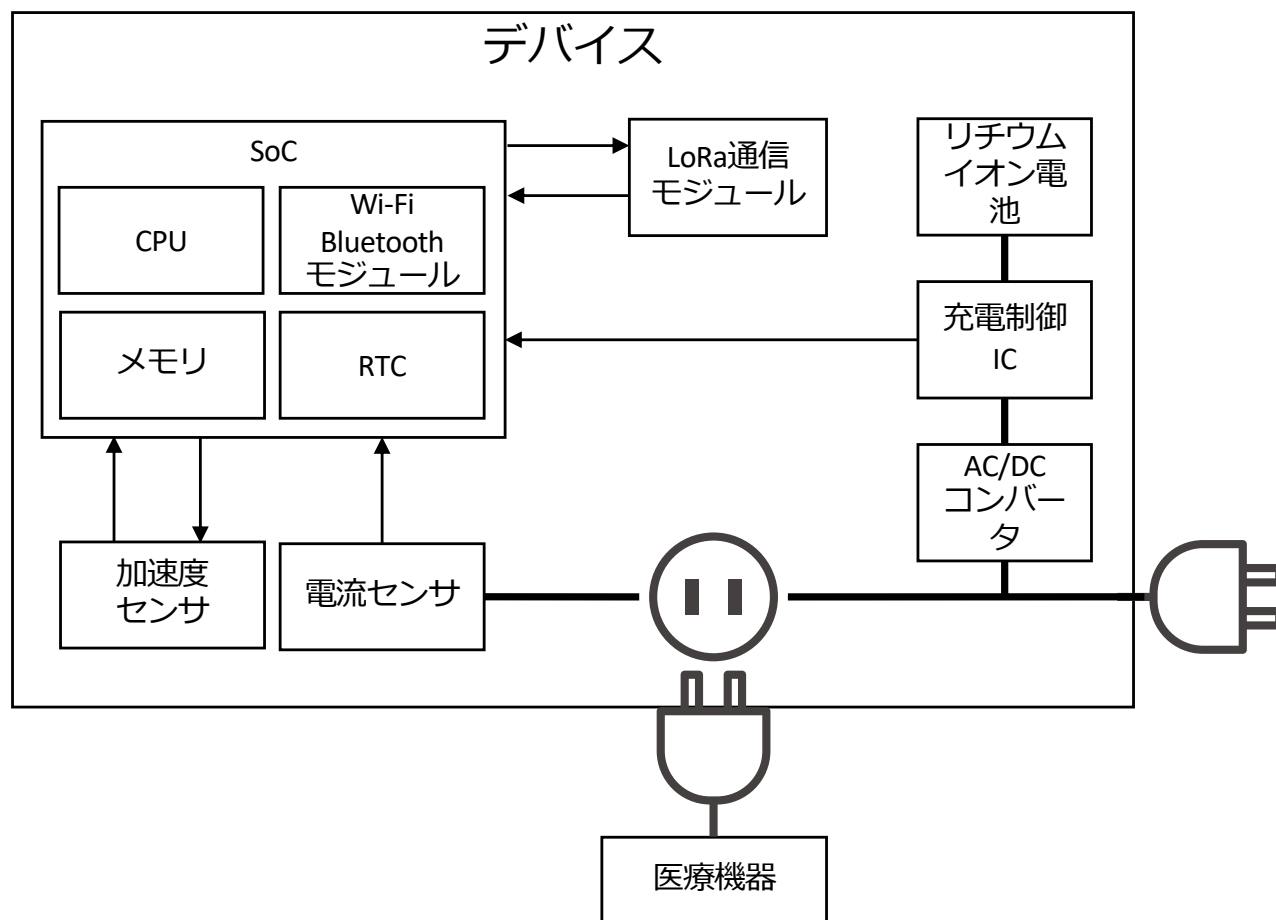
- ◆ ケース裏面の取付金具と結束バンドなどを用いて、固定可能です。



1ポートロケモニデバイス

電源タップ型のデバイス

- ◆ 医療機器の電流値を取得する
- ◆ Wi-FiおよびBLEビーコンの電波を取得する



1ポートのデバイス

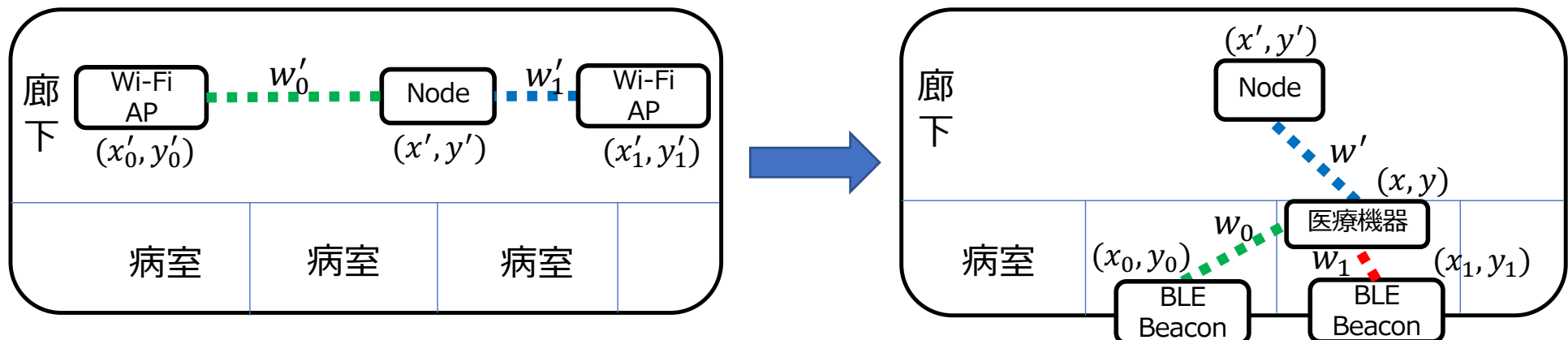
位置測位手法（簡略版）

Step1 : Wi-Fiアクセスポイント(AP)による位置測位

- ◆ スキャンしたWi-Fi APのRSSI_iを重み w'_i に変換する
- ◆ Wi-Fi APの位置 (x'_i, y'_i) と重み w'_i に加重重心アルゴリズム^[6]を適用し、ノードの位置 (x', y') を求める

Step2 : BLEビーコンによる位置測位

- ◆ Wi-Fi APの重みの平均をStep1で求めたノードの重み w' とする
- ◆ ノード情報, ビーコンの位置 (x_i, y_i) , 重み w_i を用いて位置測位を行う



[6]Zu-Min Wang and Yi Zheng. The Study of the Weighted Centroid Localization Algorithm Based on RSSI. In 2014 International Conference on Wireless Communication and Sensor Network, pp. 276–279, 2014.

可視化システム | 概要

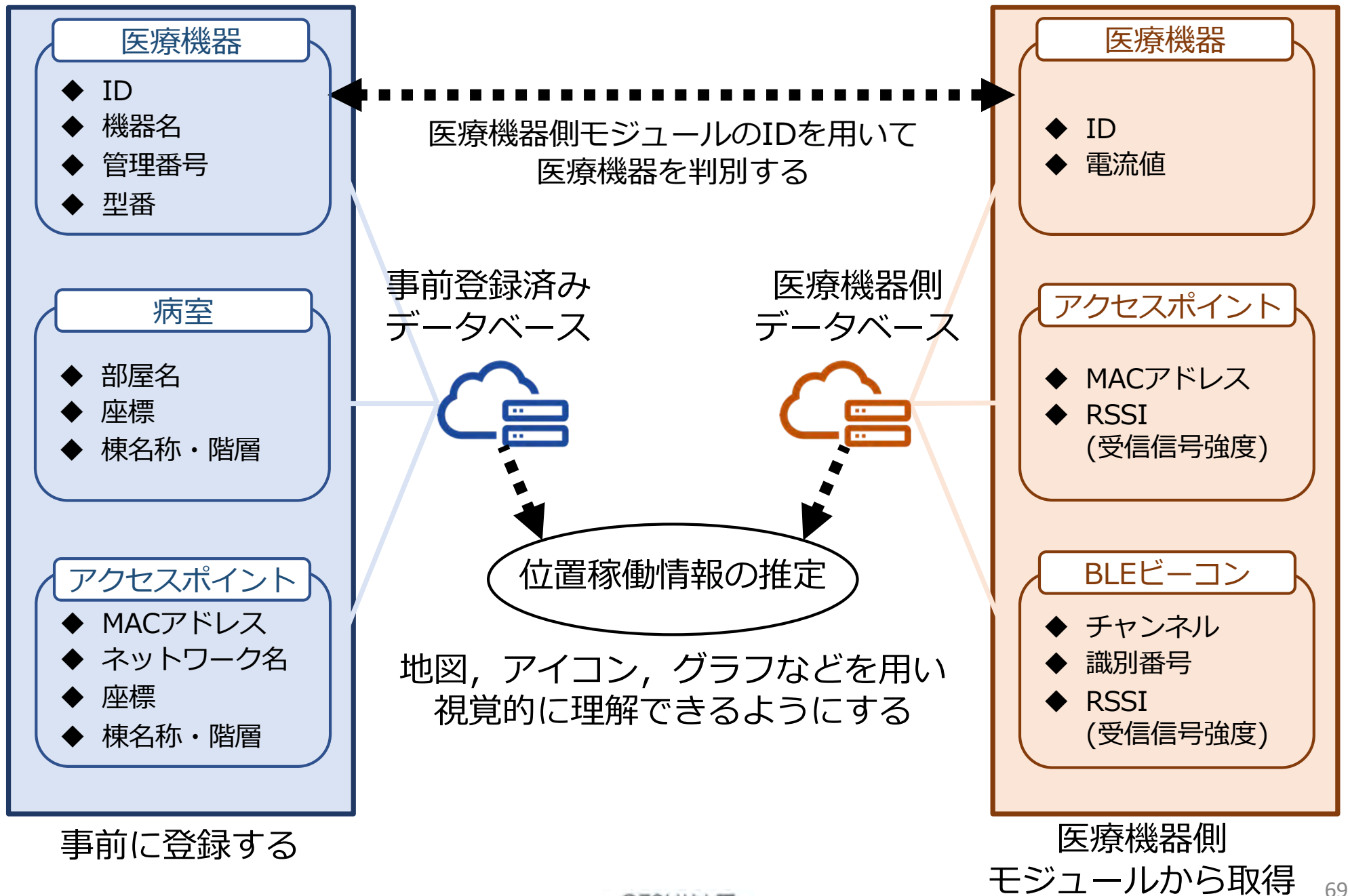
- 医療機器の位置稼働情報の推定

- ◆ 医療機器用デバイスが取得したデータを可視化システム側で分析することにより医療機器の位置情報，稼働状況，稼働率を推定する
- ◆ 分析は10分間隔で定期的に行う

- WEBページにて表示するデータ

- ◆ 位置情報：医療機器の所在
- ◆ 稼働状況：医療機器の状態(稼働中，充電中，未稼働)
- ◆ 稼働率
 - 医療機器ごと：一定期間において医療機器を使用していた割合
 - カテゴリごと：カテゴリに属する医療機器のある時間に稼働していた割合

可視化アプリケーション概要図



可視化システム

医療機器の位置稼働情報の可視化

HOME

表示変更タブ

otsukalab

中央診療棟B 4F

三重大学医学部附属病院 名古屋大学医学部附属病院 新城市民病院 神戸大学医学部附属病院

西病棟 中央診療棟A 中央診療棟B

1F 2F 3F 4F 5F 6F 7F

医療機器マップ

マップ上に機器の位置を表示

医療機器情報

STATUS	Icon	No.	Model	ID	Location	稼働率	Year
稼働中	●	9	3004 Model: 59	KO21216	中央診療棟B 4F ICU11付近	0.0%	2023
稼働中	●	10	2011 EVITA V500	KO21123	中央診療棟B 4F ICU9付近	1.6%	2023
稼働中	●	11	2037 EV1000	KO21105	中央診療棟B 4F ICU20付近	6.9%	2023
稼働中	●	12	3003 汎用超音波画像診断装置	KO21216	中央診療棟B 4F ICU14付近	0%	2022
稼働中	●	14	2031 HAMILTON G5	KO21141	中央診療棟B 4F 機材室1付近	0.2%	2023

稼働状態をアイコンで表示

機器名: EV1000
ID: KO21105 / 型番: EVD84329
場所: 中央診療棟B4F ICU20付近

稼働率: 6.9%

医療機器情報

医療機器マップ

可視化システム | 機器詳細

各医療機器の詳細情報

- ◆ 機器名, 管理番号, 位置情報, 稼働状況, 位置情報を表示する

機器情報



機器名	V60
機器カテゴリ	人工呼吸器
管理番号	K001763
機種	V60ベンチレータ
ID	000AD0D000000AEF
位置情報	中央診療棟B 4F ICU6 付近 北緯 : 35.15886665963855 東経 : 136.92071704367476
稼働情報	充電中
最終更新日時	2021年9月23日21:44

機器情報編集



機器詳細

可視化システム | 稼働率グラフ

・ 医療機器カテゴリの稼働率グラフ

- ◆ 時間ごとの稼働率をグラフで表示する
- ◆ 医療機器の適正保有台数の判断に用いる

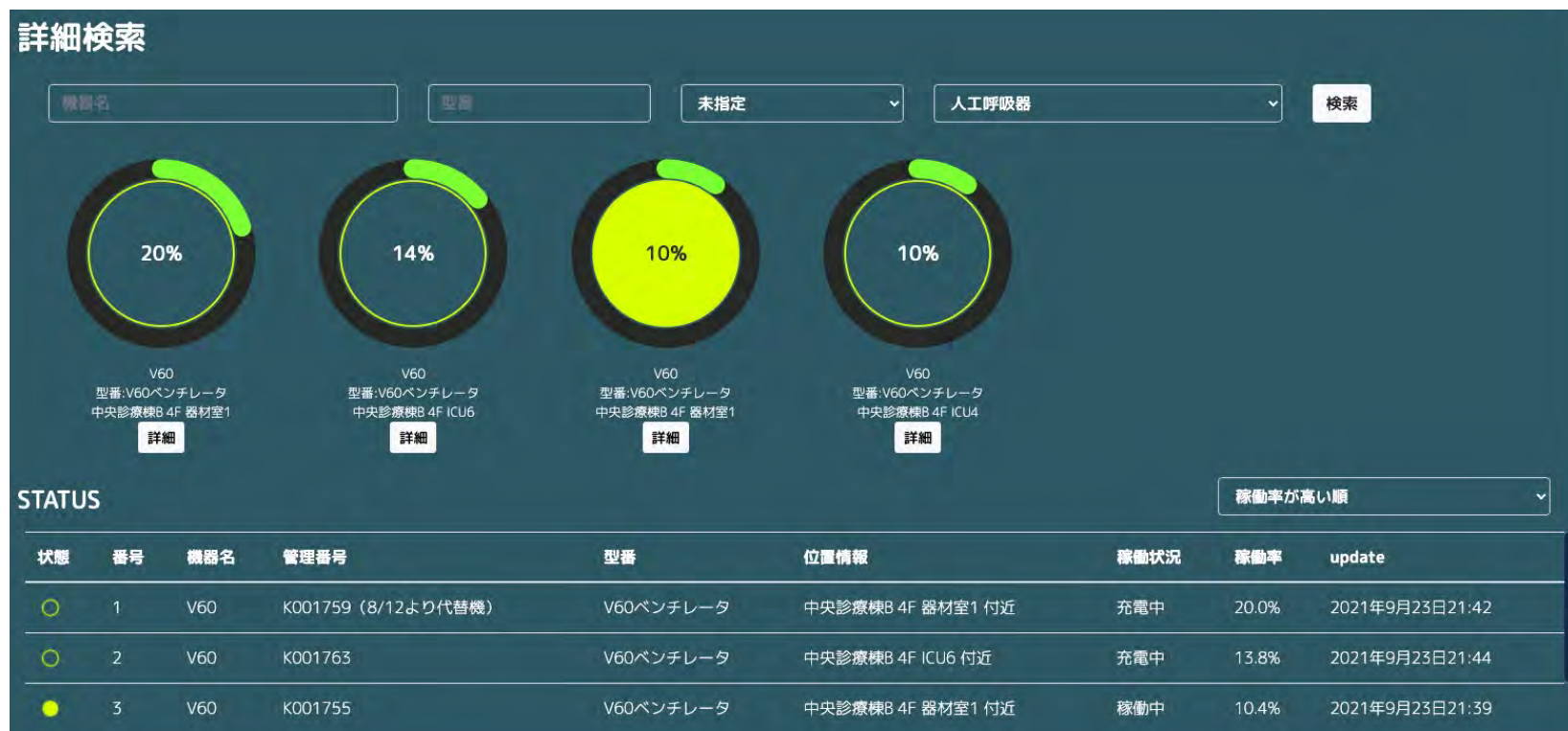


図：稼働率グラフ(2021年2月10日)

可視化システム | 機器検索

• 機器の検索を行う

- ◆ 機器名, 型番, 稼働率, カテゴリで検索する
- ◆ 検索結果では, 機器名, 位置情報, 稼働率や稼働状況を表示する



機器検索ページ

価格比較

提案手法

- ◆デバイス：3万円
- ◆BLEビーコン：5000円
- ◆親局：5万
- ◆その他
 - サーバ費

Quuppa

- ◆ロケータ：8万円
- ◆ライセンス（永年）：300万円
- ◆その他
 - LAN設置工事費用, サーバ費, BLEビーコン費

位置測位実験

ビーコンを増やした場合の実験結果

距離の誤差は低減される

- ◆ MAEは2m以内, 最大値は4mで部屋の短辺方向程度の誤差

正解率がQuuppaと差異がない

- ◆ 正解率78.1%
 - 8割近くは, 医療機器が実際にある場所と同じエリアに測位されている

最小値が増加

- ◆ 窓際の測位精度が低下
 - 他のBLEビーコンに引き寄せられた

	ビーコン追加	提案手法	Quuppa
MAE [mm]	1997	2,985	1,235
最小値 [mm]	683	448	130
中央値 [mm]	1948	2,950	928
最大値 [mm]	4358	7,666	10,084
正解率 [%]	78.1	60.4	77.9

ビーコンを増やした場合の実験結果

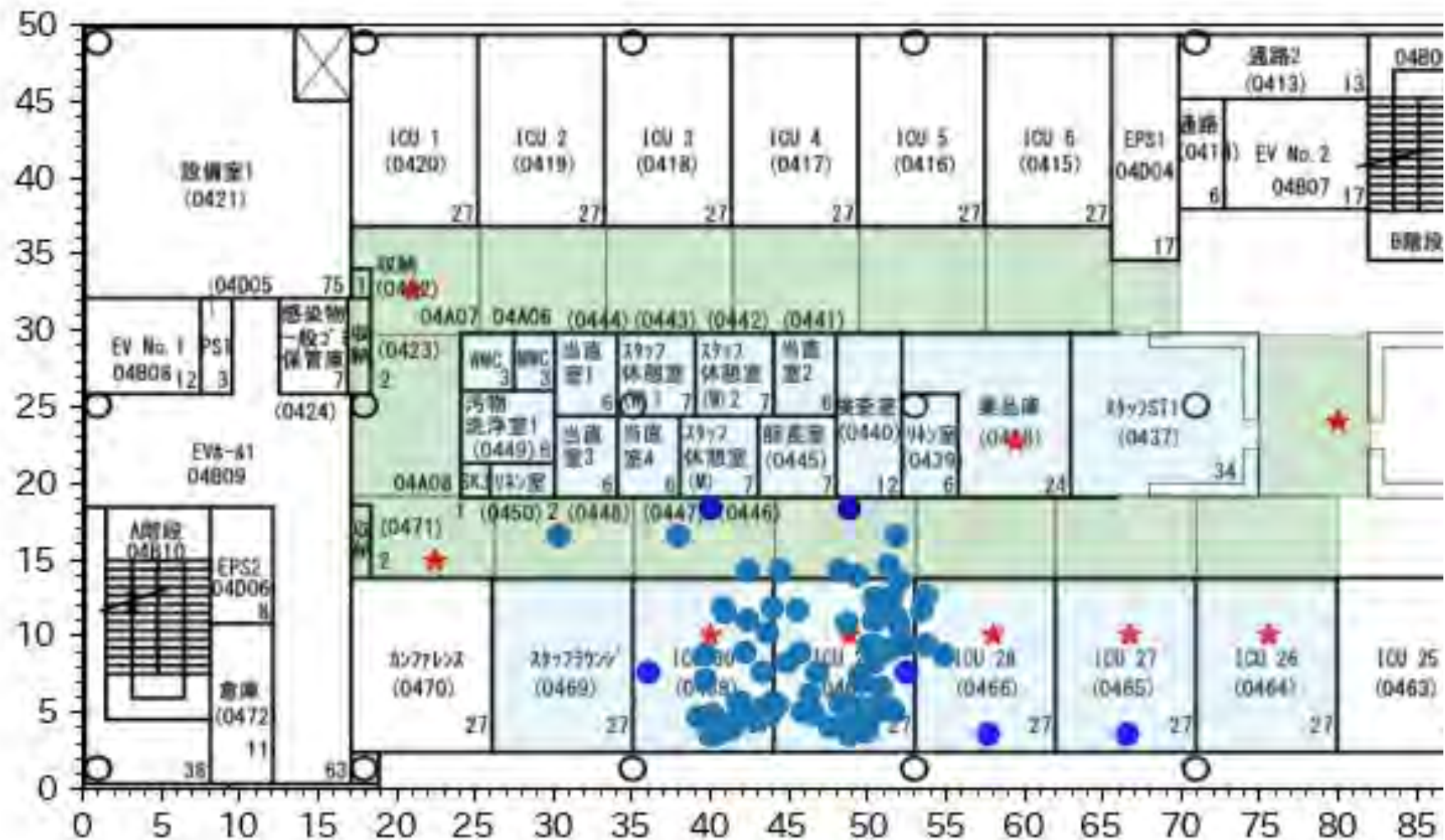
- 窓際（1行, 2行目）の誤差が大きくなっている
- Y方向の誤差が全体的に小さくなっている

位置	x方向	y方向	位置	x方向	y方向	位置	x方向	y方向
A1	522	1385	B1	671	3197	C1	951	2381
A2	2678	1347	B2	435	2844	C2	1003	255
A3	1510	1796	B3	1075	778	C3	980	582
A4	1968	795	B4	955	96	C4	543	1334
A5	2142	1033	B5	726	883	C5	81	1294
A6	2256	839	B6	1761	622	C6	1833	1273
A7	2441	584	B7	2125	298	C7	2978	328
A8	3719	2066	B8	1124	321	C8	2554	797
平均	2154	1242	平均	1109	1130	平均	1365	1030

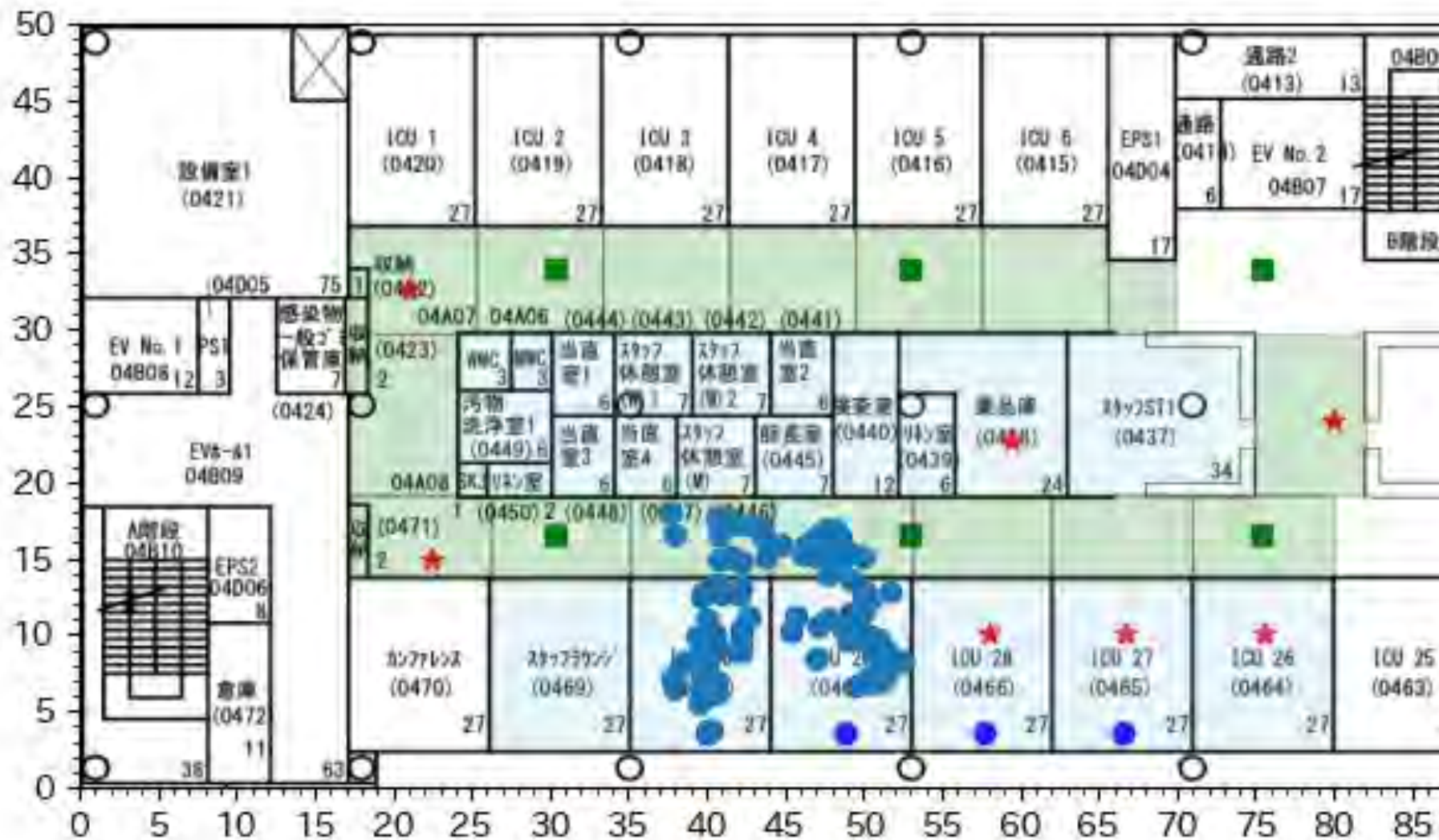
ビーコンを増やした場合の実験結果

位置	x方向	y方向	位置	x方向	y方向	位置	x方向	y方向
D1	2271	1457	E1	1120	2307	F1	1173	2136
D2	2507	1512	E2	1324	908	F2	30	1354
D3	2413	863	E3	1388	1040	F3	731	763
D4	1984	279	E4	1174	904	F4	1159	329
D5	1171	879	E5	672	1187	F5	987	2178
D6	479	735	E6	510	454	F6	627	669
D7	1085	294	E7	629	279	F7	337	1757
D8	1301	2370	E8	705	3492	F8	1481	1743
平均	1651	1049	平均	940	1322	平均	816	1366

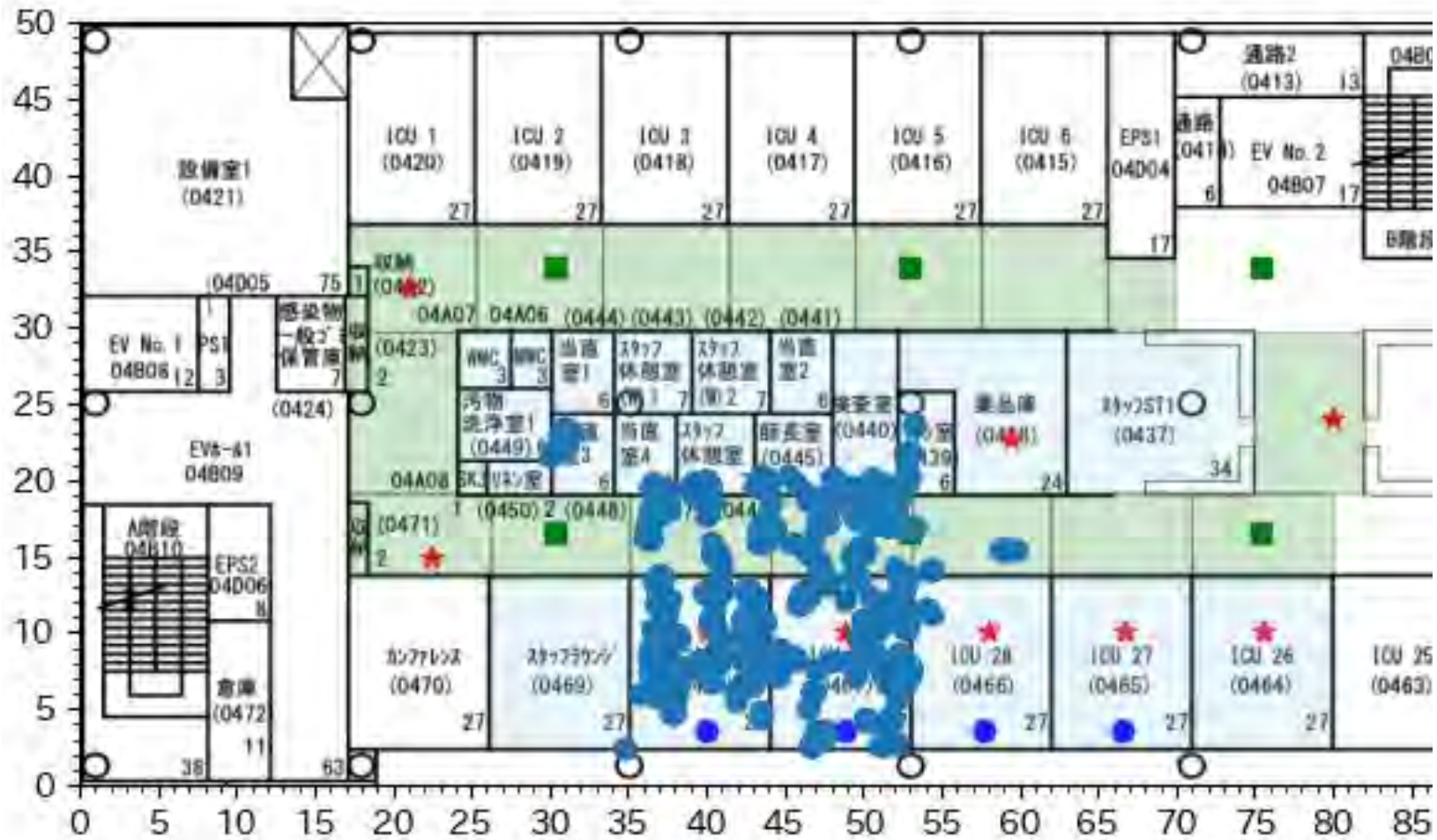
ビーコンを増やす前



ビーコンを増やした場合



Quappa



稼働状態推定の評価実験

評価手法

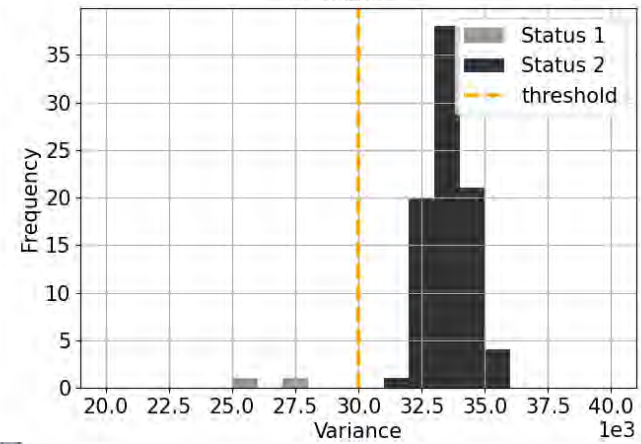
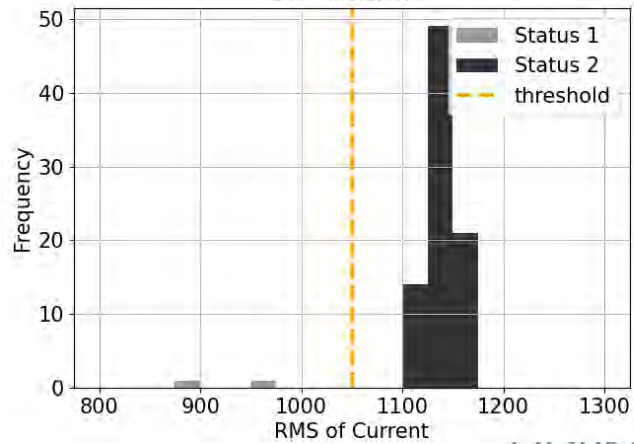
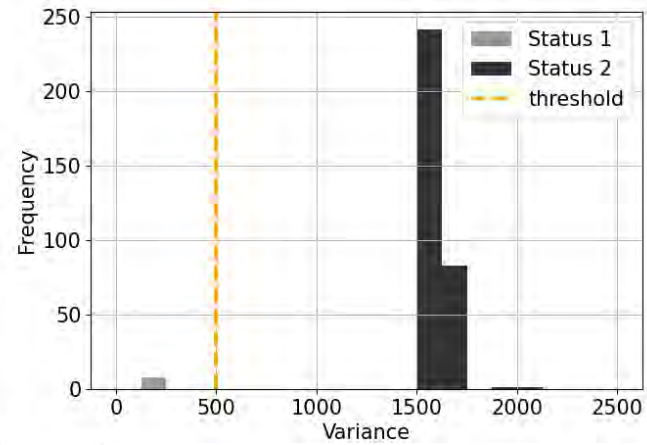
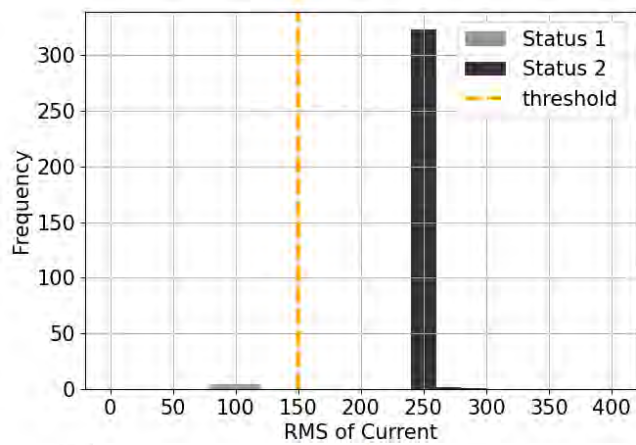
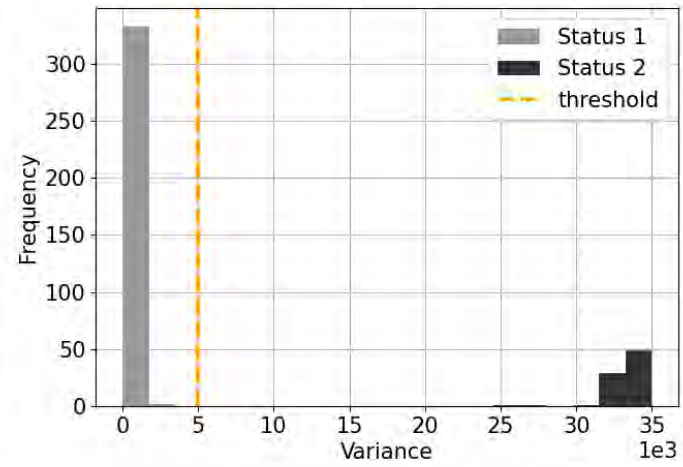
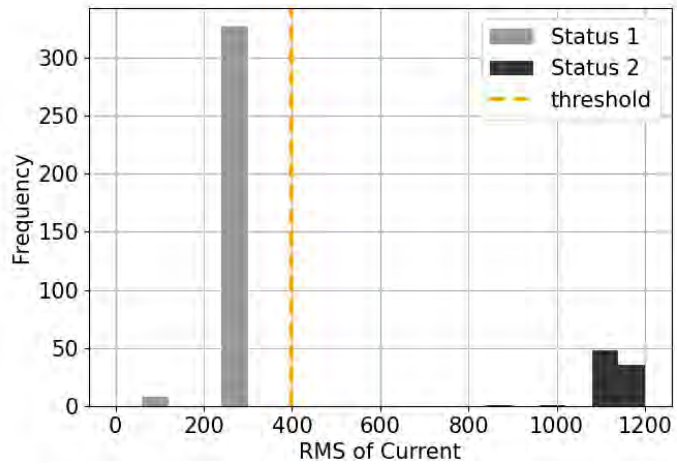
- ◆ 医療機器の稼働データを収集するAPMと比較する
- ◆ 2022年12月1日～12月16日の稼働状態を各システムで収集
- ◆ 対象の医療機器：超音波画像診断装置4台
 - 3台はAPMのBLEタグの電池切れにより収集できなかった

評価結果

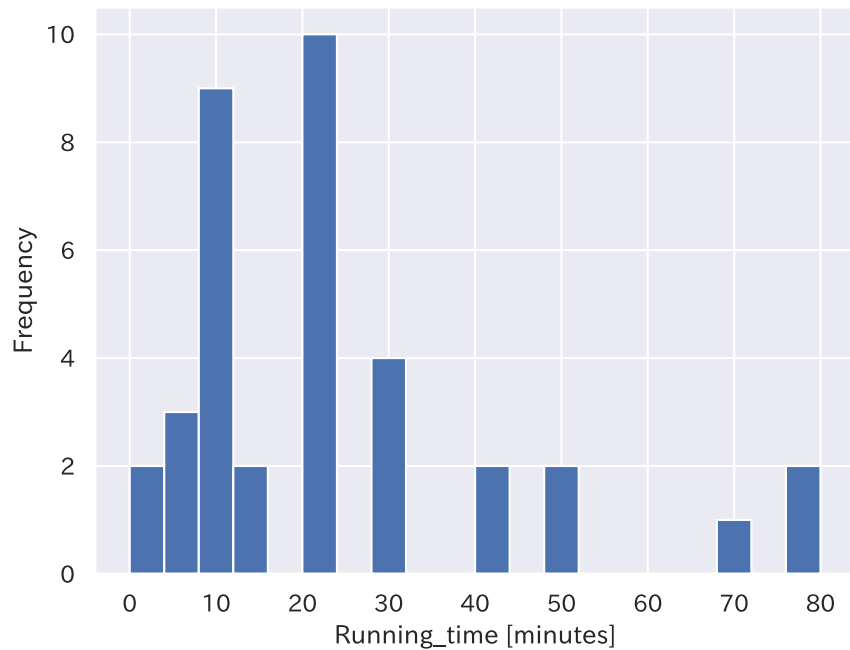
- ◆ 稼働回数の差異は小さいが、平均稼働時間は2倍の差がある
 - 実際の使用時間は2分から30分
 - APMと比べて提案手法の稼働状態の判定精度が高い

表 2: 稼働回数と平均稼働時間

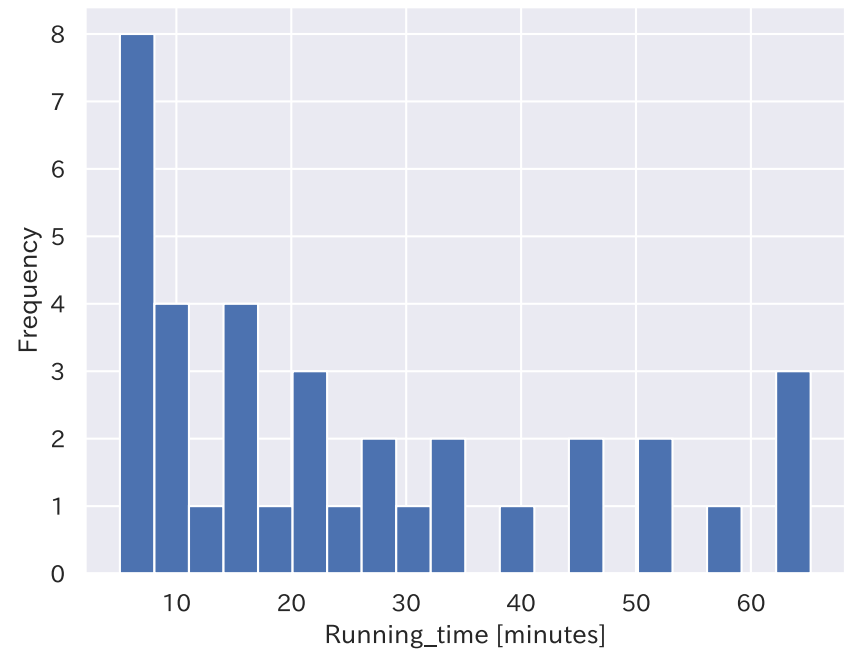
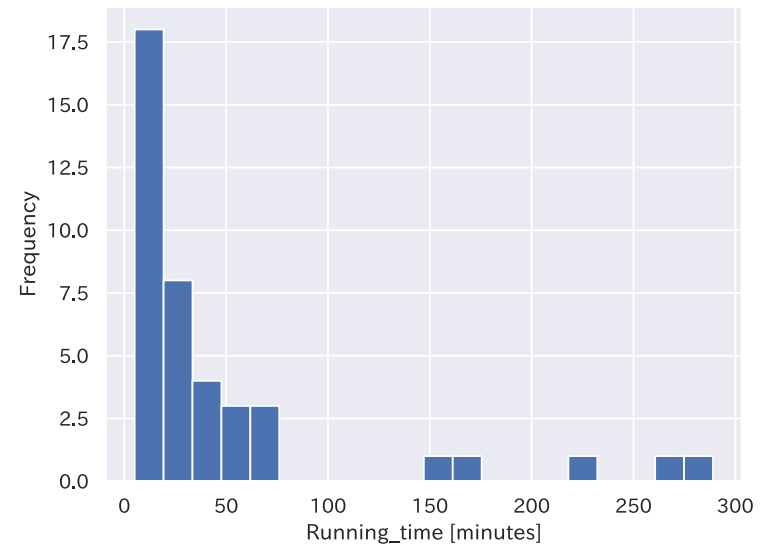
提案手法		APM	
稼働回数	平均稼働時間	稼働回数	平均稼働時間
39	0:24:31	41	0:49:10



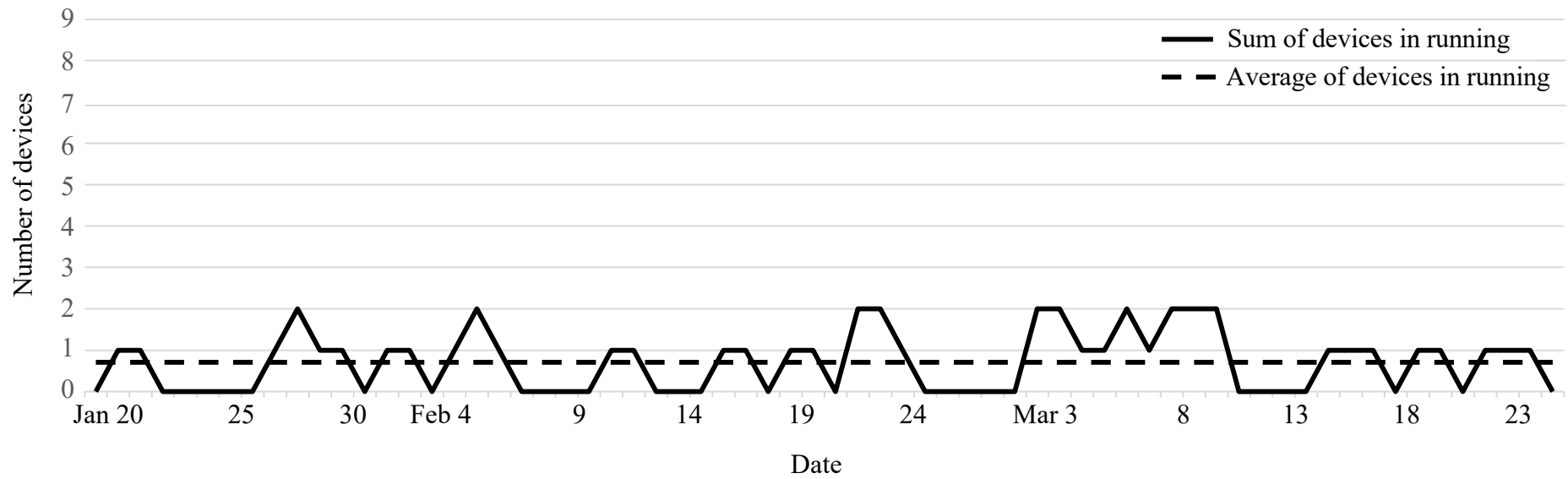
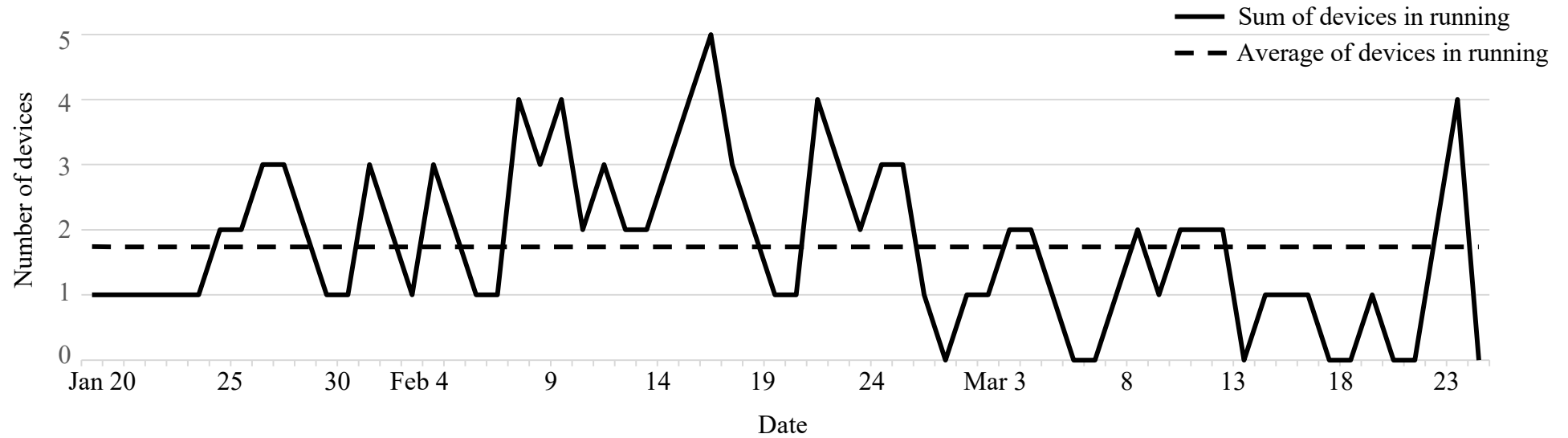
稼働状態推定の評価結果



提案手法の稼働時間のヒストグラム



APMの稼働時間のヒストグラム(100分以下)



今後の展開

- 医療機器の保管位置の最適化

- ◆ 医療機器の利用場所の傾向を分析し，保管場所の提案を行う
- ◆ 機器のカバーエリアの推定

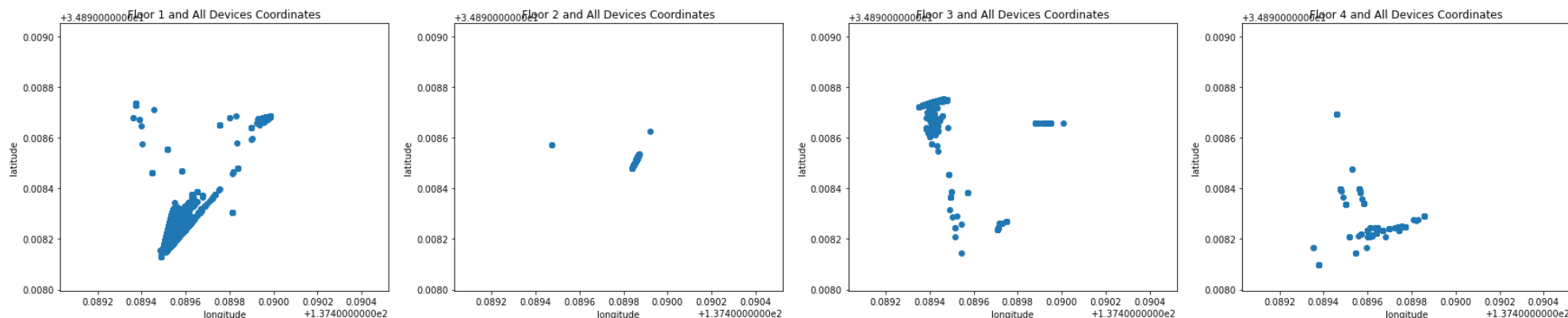
- 医療機器の使用率最適化，台数最適化

- ◆ 機器の稼働率をもとに分析し，使用率の低い機器を使用することを提案する，長期間使用され続けている医療機器のメンテナンスの提案などを行う
- ◆ これらにより，同種の医療機器での使用頻度の偏りを削減する
- ◆ 各医療機器の稼働率など，機器台数の最適化にも貢献しうる指標を提示する

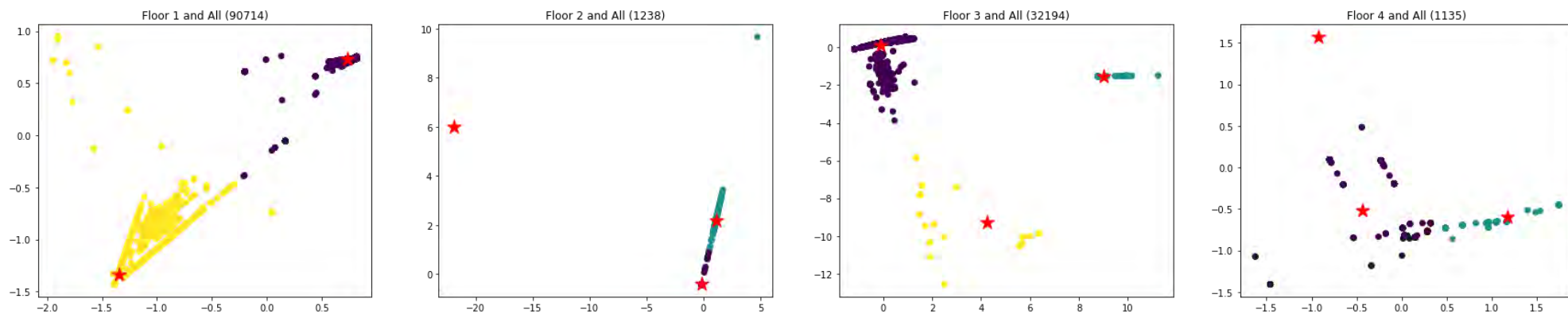
保管位置最適化に関する分析

• K-Means法による機器位置情報のクラスタリング

◆ クラスタ付近に機器を保管(配置)することで効率化を図れる



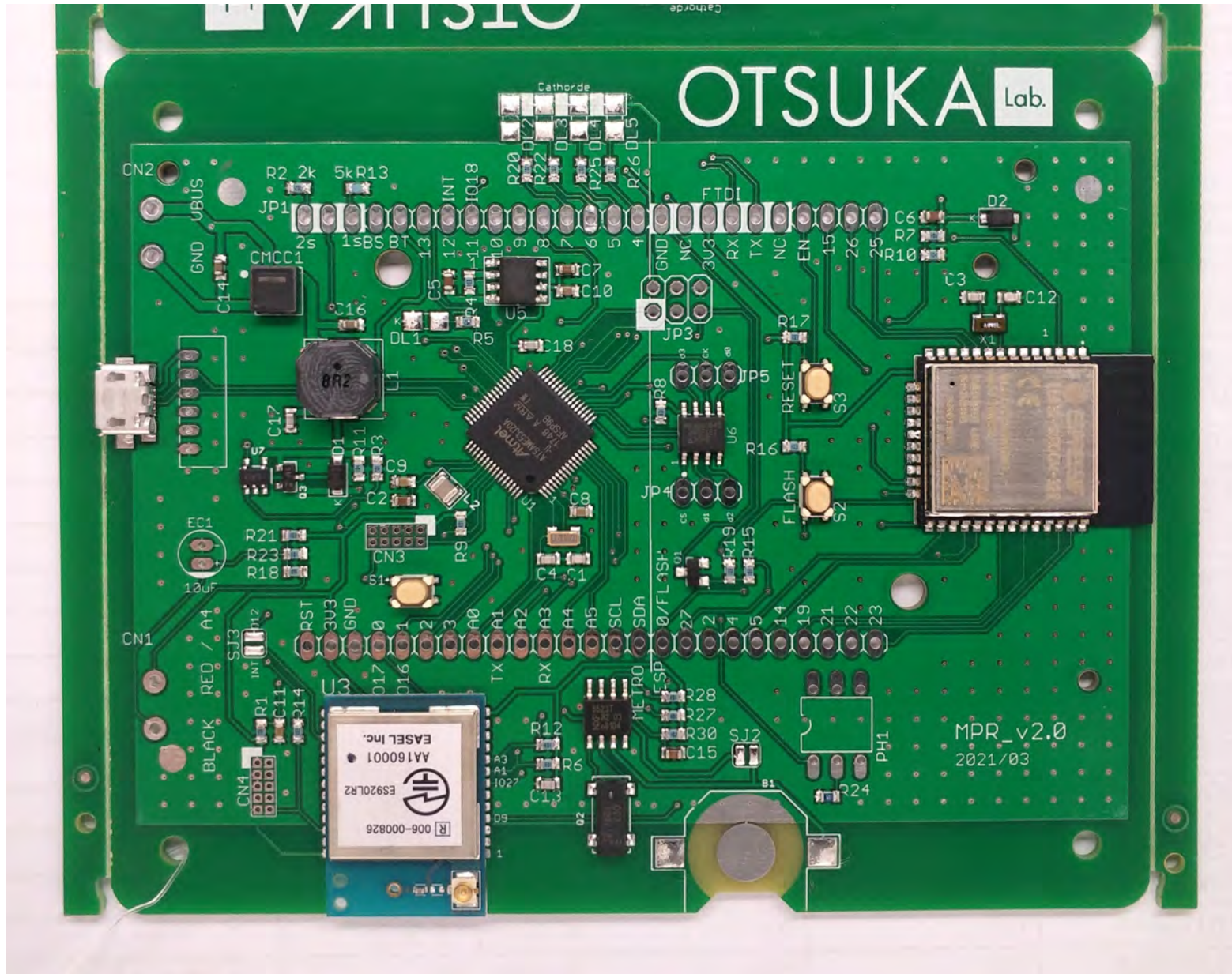
医療機器の位置のプロット



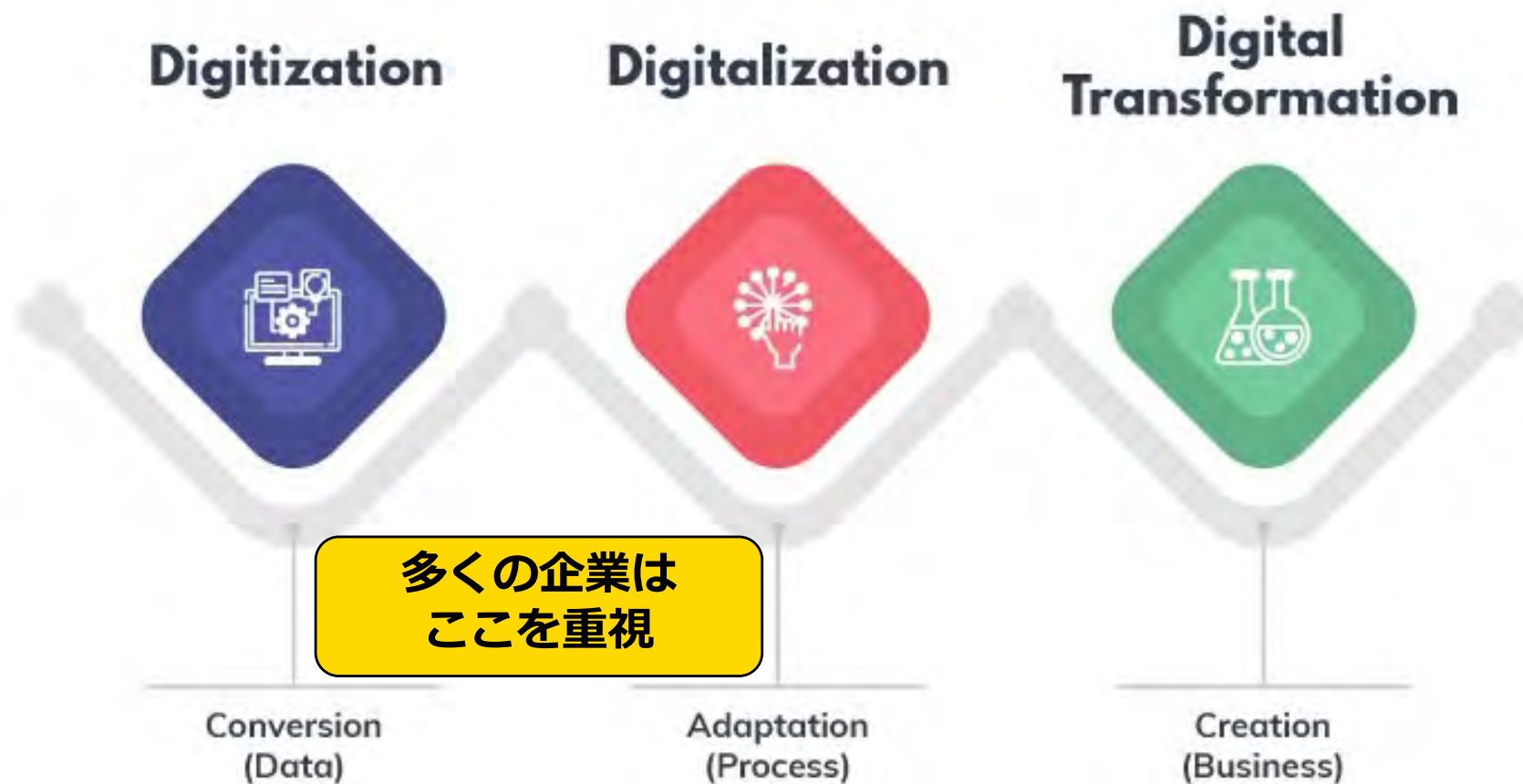
K-Meanによるクラスタリング*(赤星がクラスタ中心)

*正規化, クラスタ数はエルボー法により算出

これらの機能は全て共通基板で実現



デジタルトランスフォーメーション



単純にデータ化するだけではNG “Creation”を見据えた実装を行うことが重要

まとめ

- IoT+AIは事象(人間)に直接つながる技術
- DX, 「使えるシステム」はソフトウェア, デバイスの組み合わせで実現
 - お安いデバイスの活用
- センサ情報の組み合わせ = 新しい価値の創造
- 比較的容易に扱えるセンサシステムがたくさん
 - オープンソースハードウェアの活用