

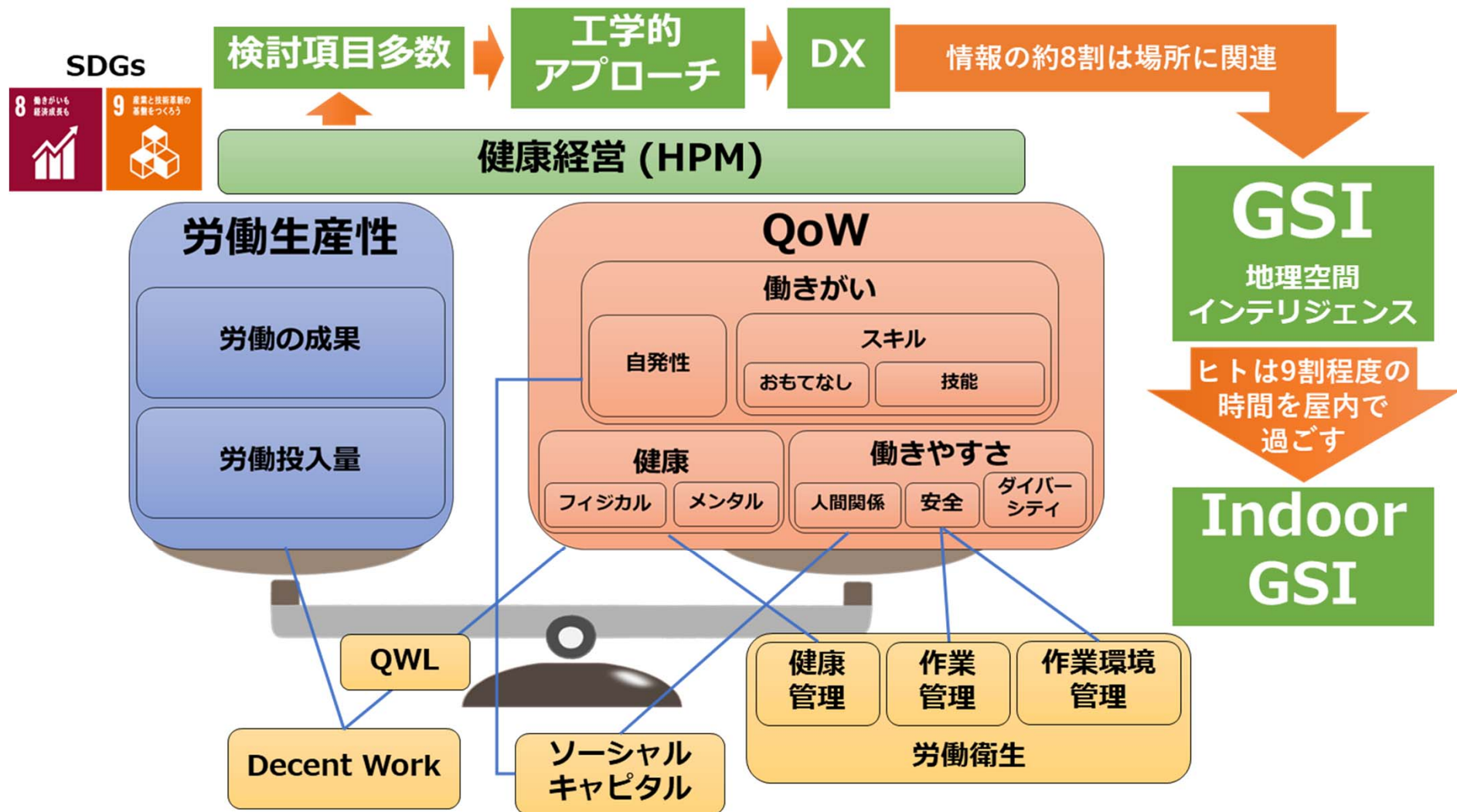
健康経営・屋内測位・ 地理空間インテリジェンス

蔵田武志¹²

¹産業技術総合研究所 人間拡張研究センター 副研究センター長

²筑波大学 システム情報系 教授（連携大学院）
（応用サービス工学研究室）

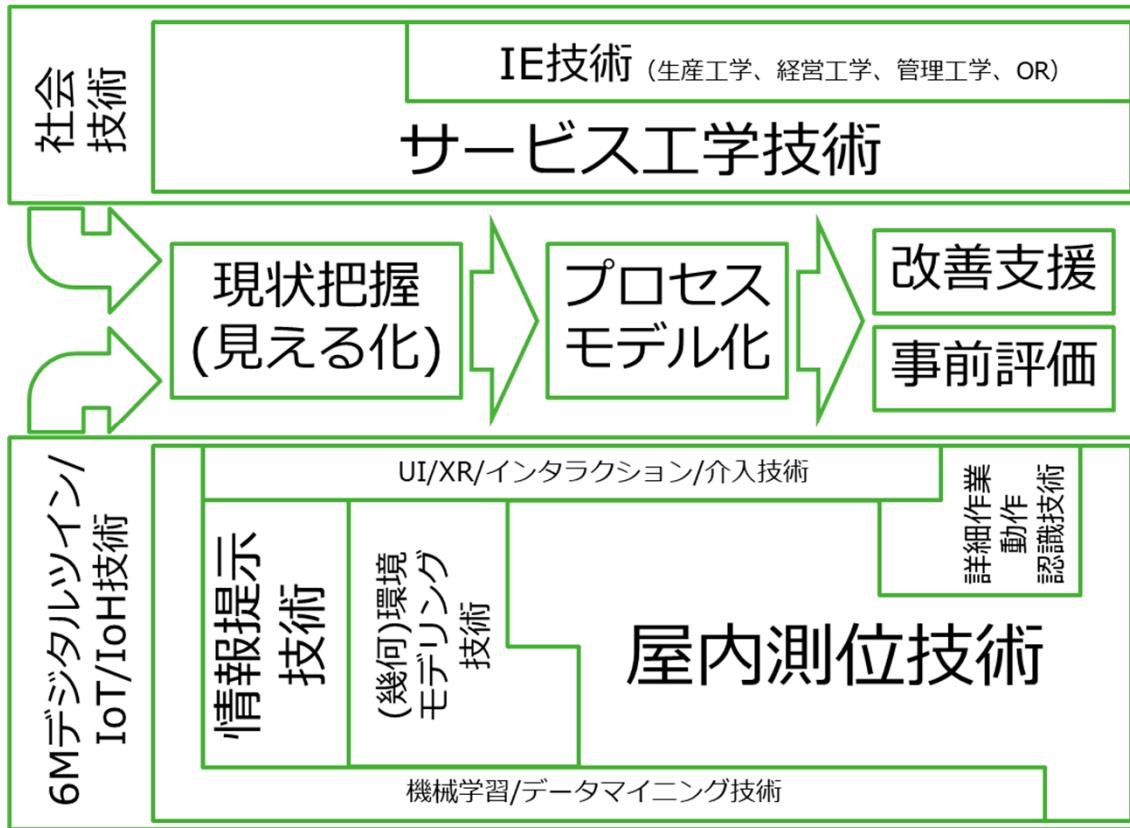
生産性+QoW=健康経営



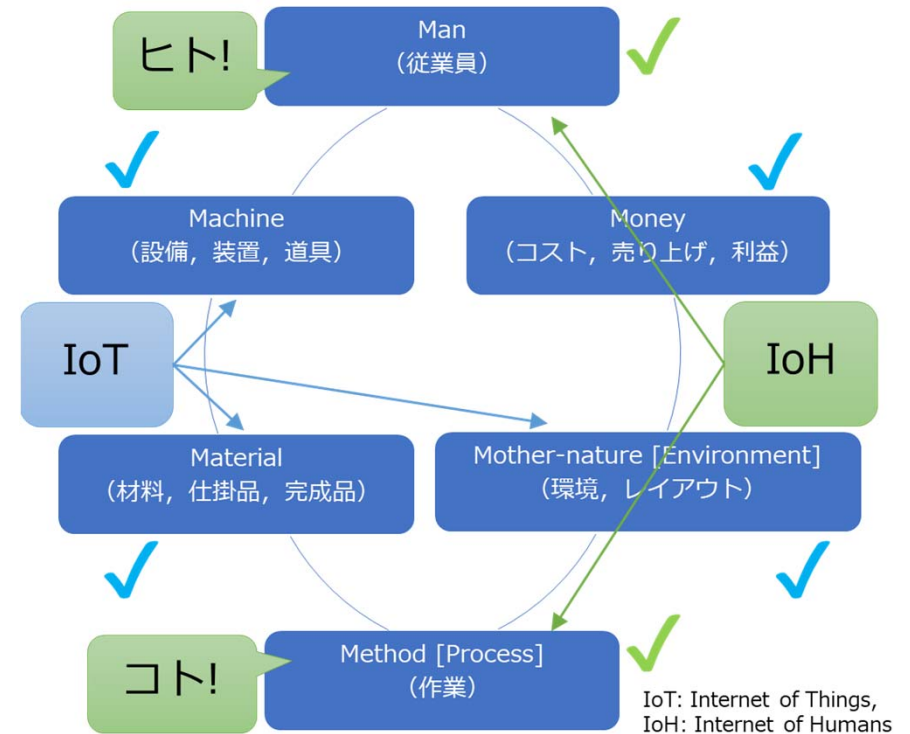
- QoW (Quality of Working): 産業競争力懇談会 (COCN) の2016年度の事業提言の1つ
- QWL (Quality of Working Life): 欧米で1960年代後半から注目され、70年代に国際労働機関 (ILO)、ヨーロッパ共同体 (EC)、経済協力開発機構 (OECD) 等が積極的に関与
- Decent Work: 1999年の第87回ILO総会において初めて用いられた概念
- HPM (Health and Productivity Management): 健康経営
- SDGs (Sustainable Development Goals): 持続可能な開発目標

地理空間インテリジェンス (GSI)

- GSI: 位置情報を含む地理空間情報と**他の情報**とを連携させて課題解決を支援する手段・技術・ツール
 - GEOINTは国防寄りのニュアンスが強いため、ここではGSIと記載
 - ロケーションインテリジェンスと呼ばれることも (GeoAIとも関連)



GSIの概念図



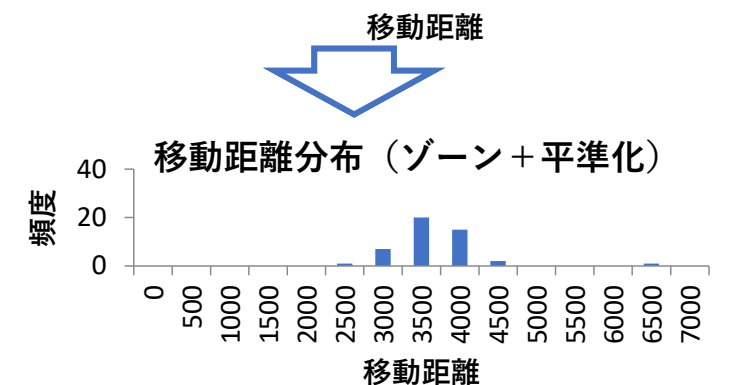
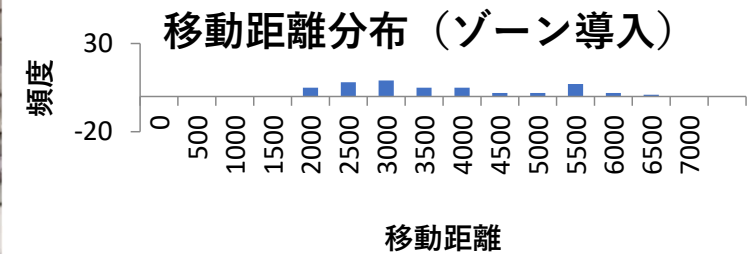
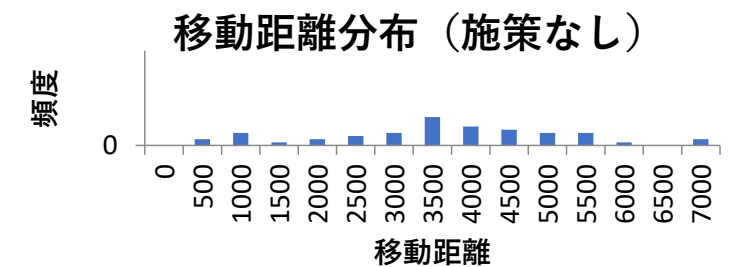
製造業の6M

- IE: Industrial Engineering, OR: Operations Reserach
- UI: User Interface, XR: VR, AR, MR等の総称, AR: Augmented Reality, VR: Virtual Reality, MR: Mixed Reality

AIST/HARC/スマートワークIoH研究チーム（大隈TL）： シミュレーションによる改善施策の検証事例

IoH: Internet of Humans
MAS: Multi-Agent Simulation

- 担当業務内容・個人の能力による業務量のばらつきを改善することで生産性&QoWをあげられないかを検討
 - ゾーンピッキング&リレー方式の検討
 - MASに基づく負担の平準化



作業時間：約11人時/日改善

Myokan, T., et al., Pre-evaluation of Kaizen plan considering efficiency and employee satisfaction by simulation using data assimilation-Toward constructing Kaizen support framework, ICServ 2016, 7 pages.

受賞事例の紹介

■ 産学連携による研究成果 – 開発から実装へ



2007年以降、産業技術総合研究所をはじめ、神戸大学、東京大学、近畿大学、青山学院大学、立命館大学など、様々な研究期間とサービス産業の生産性向上に関する研究を継続

初期の頃はトライアル的な研究が多かったが、徐々に技術開発から社会実装のフェーズへと移行、サービス品質の向上と効率化との両立を図るサービスシステムを構築

近年、その成果が徐々に表れつつある。労働生産性の向上といった財務的な成果もさることながら、伝統的なサービスとサービス工学との融合が評価され、いくつかの賞を受賞することとなった

JST OPERA「人と知能機械との協奏メカニズム解明と協奏価値に基づく新しい社会システムを構築するための基盤技術の創出」(代表: 武田一哉)の成果を含む



日本サービス大賞

NIHON SERVICE AWARD

経済産業大臣賞 (2020)



THE ROBOT AWARD

ロボット大賞

日本工業会連合会会長賞 (2018)

付加価値向上プロセスの再構成

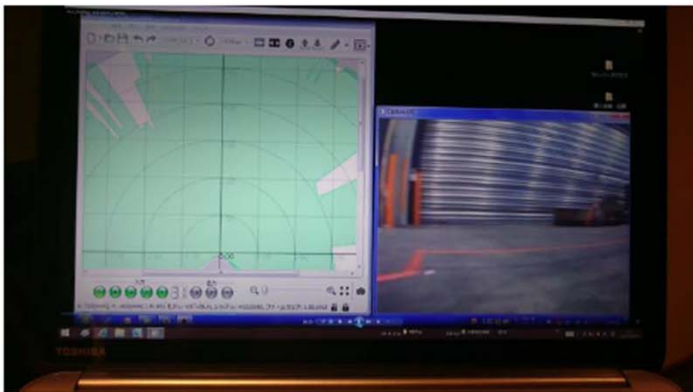
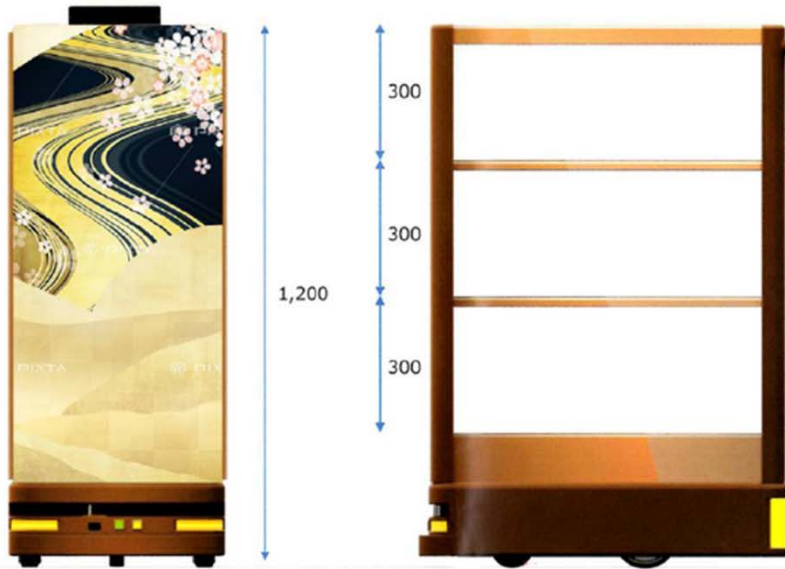
- ・調理 = 素材をおいしく、美しい料理に = 価値創造
 - ・運搬 = 完成した料理や飲み物を移動させるだけ
 - ・接客 = お客様に言葉や笑顔で心的満足を = 価値創造
- 人間が価値創造に集中する構造を作る



新村猛 (2021). 食サービス分野における人間機械協奏, JST OPERA第3回産総研協奏効果研究会

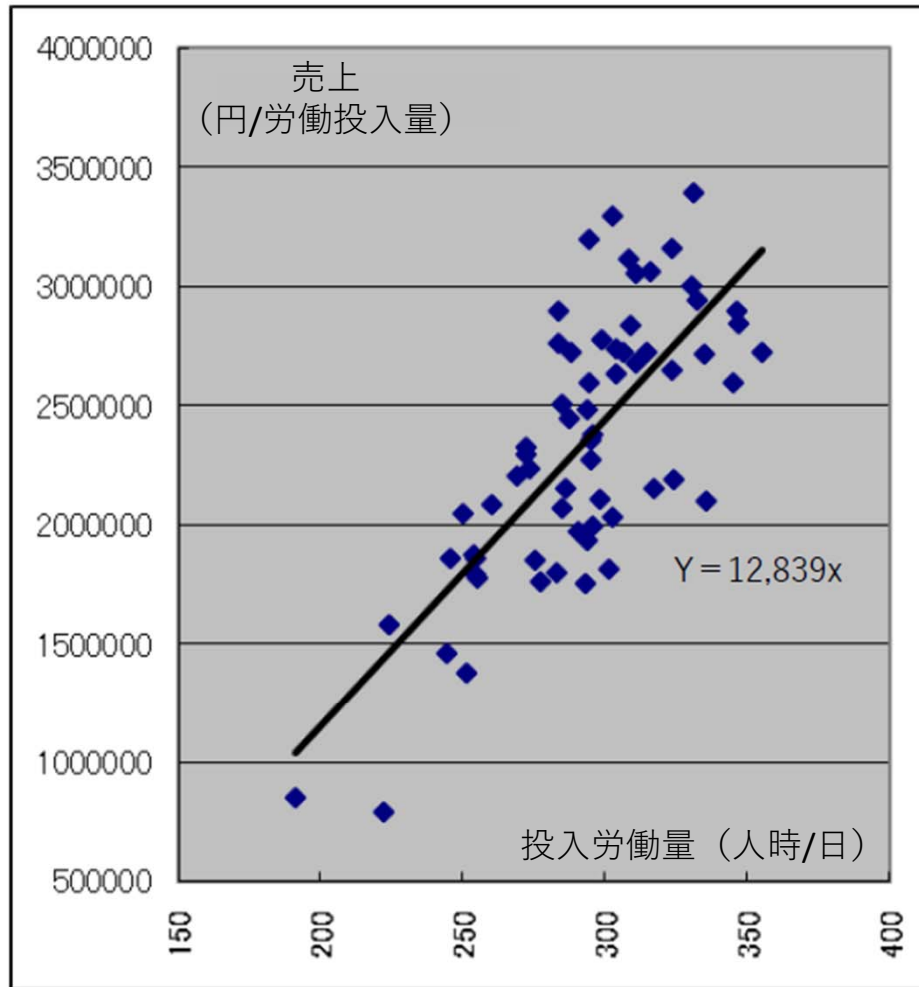
人と搬送ロボットとの協調

- ・従業員は、付加価値向上に寄与するおもてなし作業に専念
- ・ロボットは、付加価値向上に関与しない搬送工程を分担

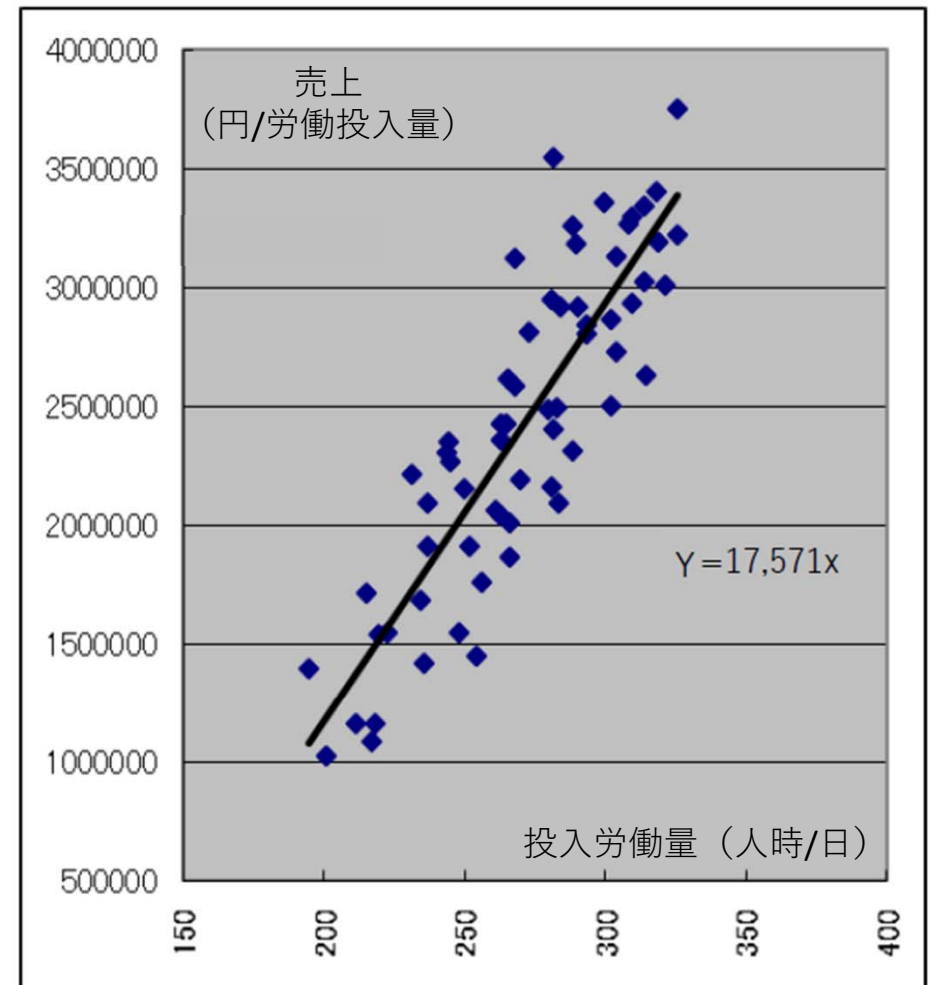


新村猛 (2021). 食サービス分野における人間機械協奏, JST OPERA第3回産総研協奏効果研究会

搬送ロボット導入の初年度の結果：投入労働量は削減



搬送ロボット導入前



搬送ロボット導入後

- 労働投入量 (人時/日) : 292 ⇒ 270
- 売上 (円/労働投入量) : 8,000 ⇒ 8,900
- ロボットへの投資を2年半で回収

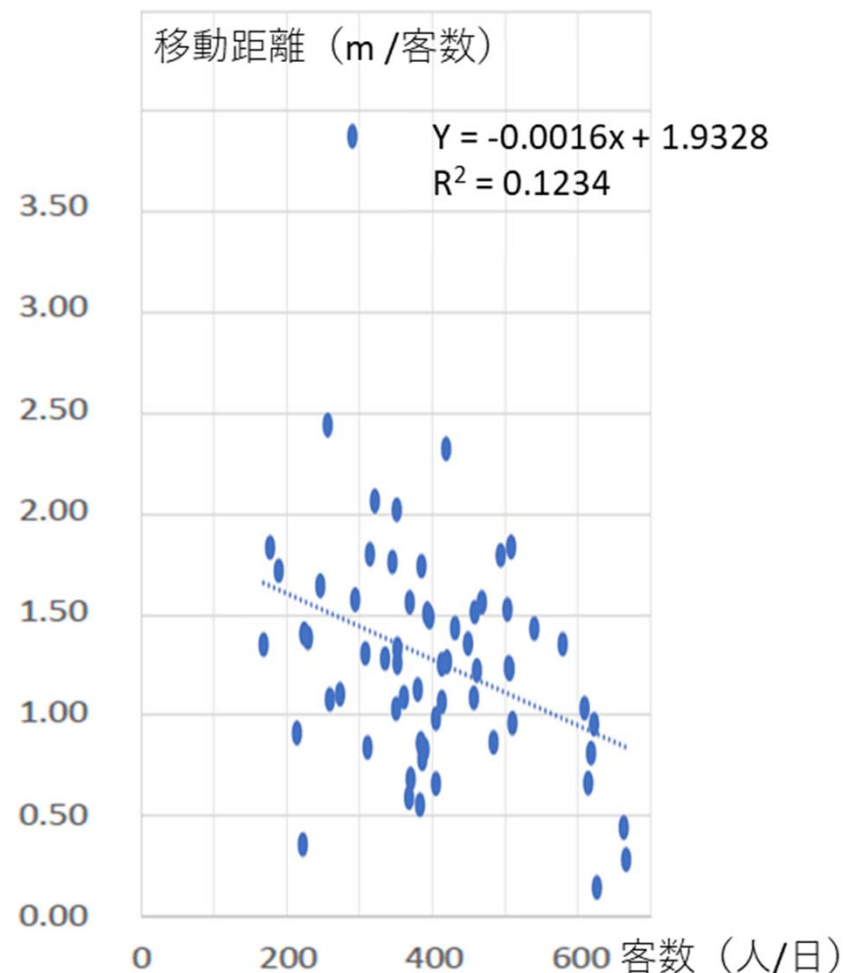
搬送ロボットの生産性は？

システム導入対象店舗は20年以上運営しているため、ベテラン従業員が多い。特に、自分たちの店や接客スタイルに自信とプライドを持っているため「自分たちの店は他と違う」と、他からのサービス改善をあまり受容しない傾向が。

ロボット導入後、真っ先に反応したのは年齢の高い従業員。現実論として体力的に厳しく、より働きやすい環境実現に向けて積極的であった

加えて、システム開発時点から現場従業員を参画させていたため、徐々に「外的変化」ではなく「自分たちのシステム」という意識に変わっていったが・・・

ロボットよりも人間の方が現場作業への適応度は高く、かつ、柔軟性も高いため、「忙しくなるほど自分たちで作業したほうが早い」という結果に



搬送ロボット導入1年目

忙しくなる（客数が増える）とロボットの移動距離（m/客数）が短くなってしまっていた

改善1：ロボット躯体構造

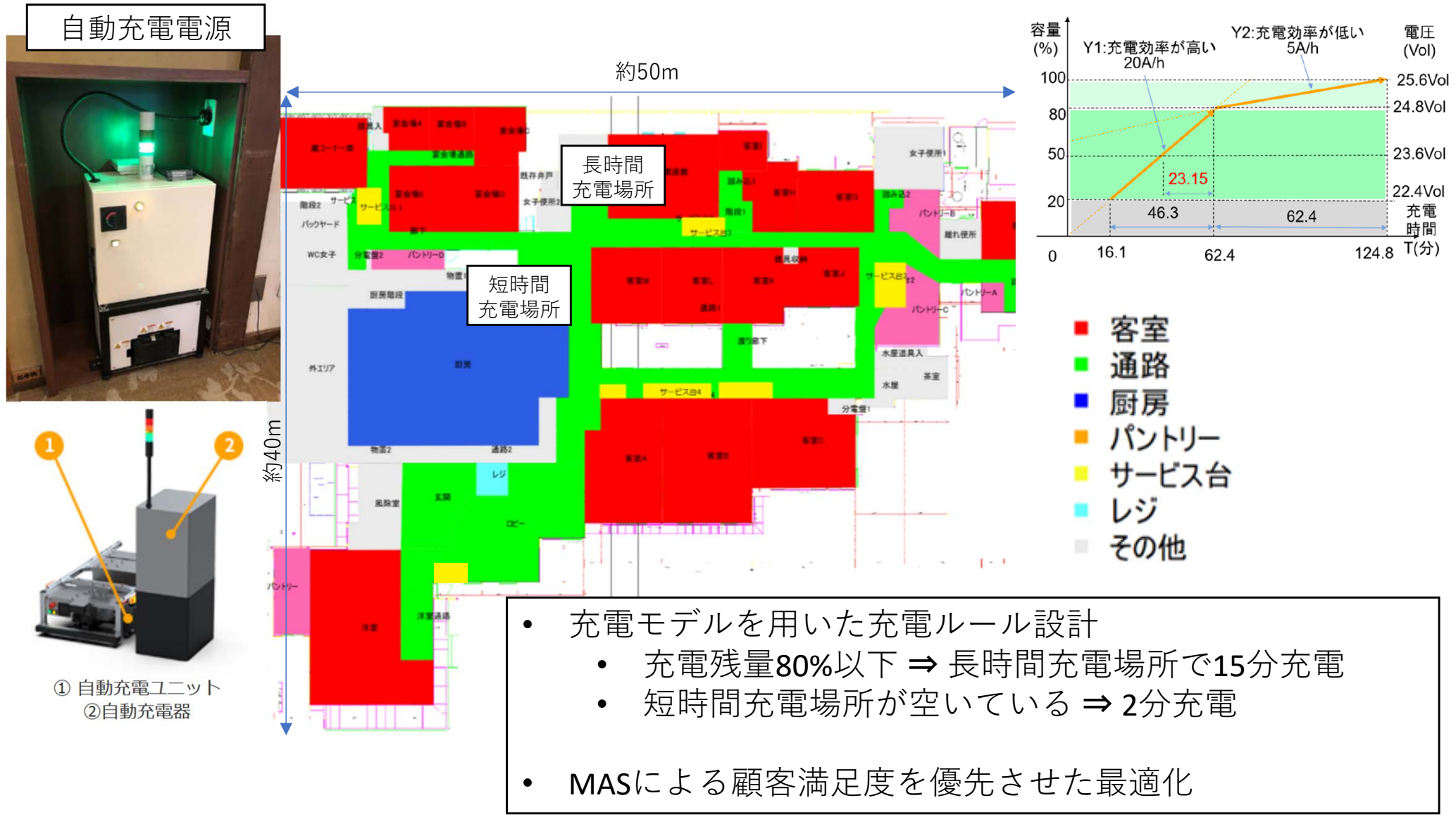


何かが乗っていると、使えない

棚一体式から着脱式にして回転率向上

新村猛 (2021). 食サービス分野における人間機械協奏, JST OPERA第3回産総研協奏効果研究会

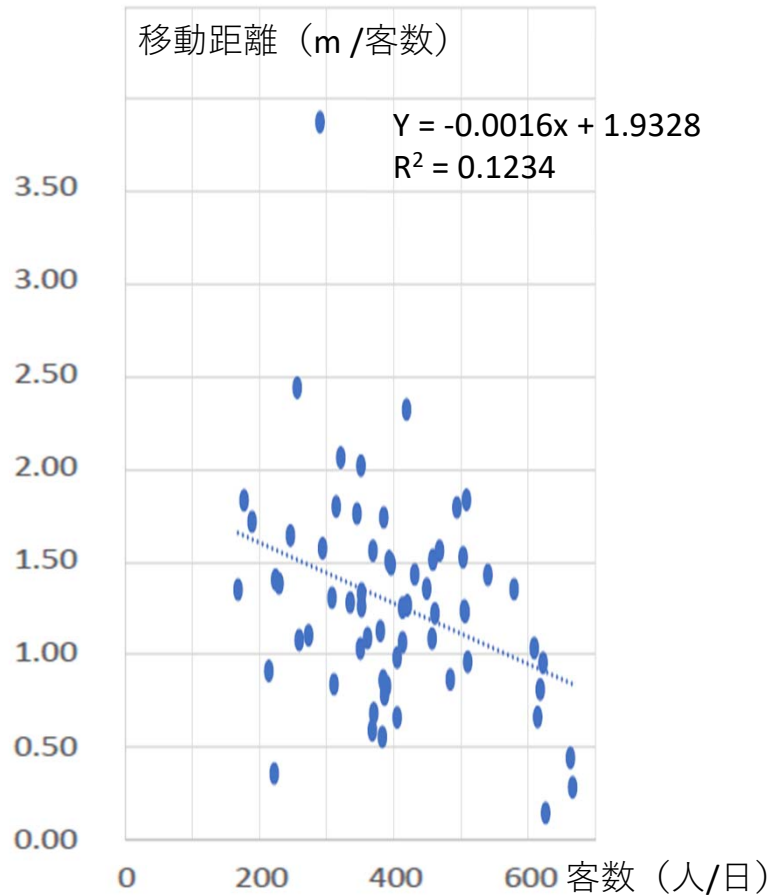
改善2：継ぎ足し充電パタンの最適化



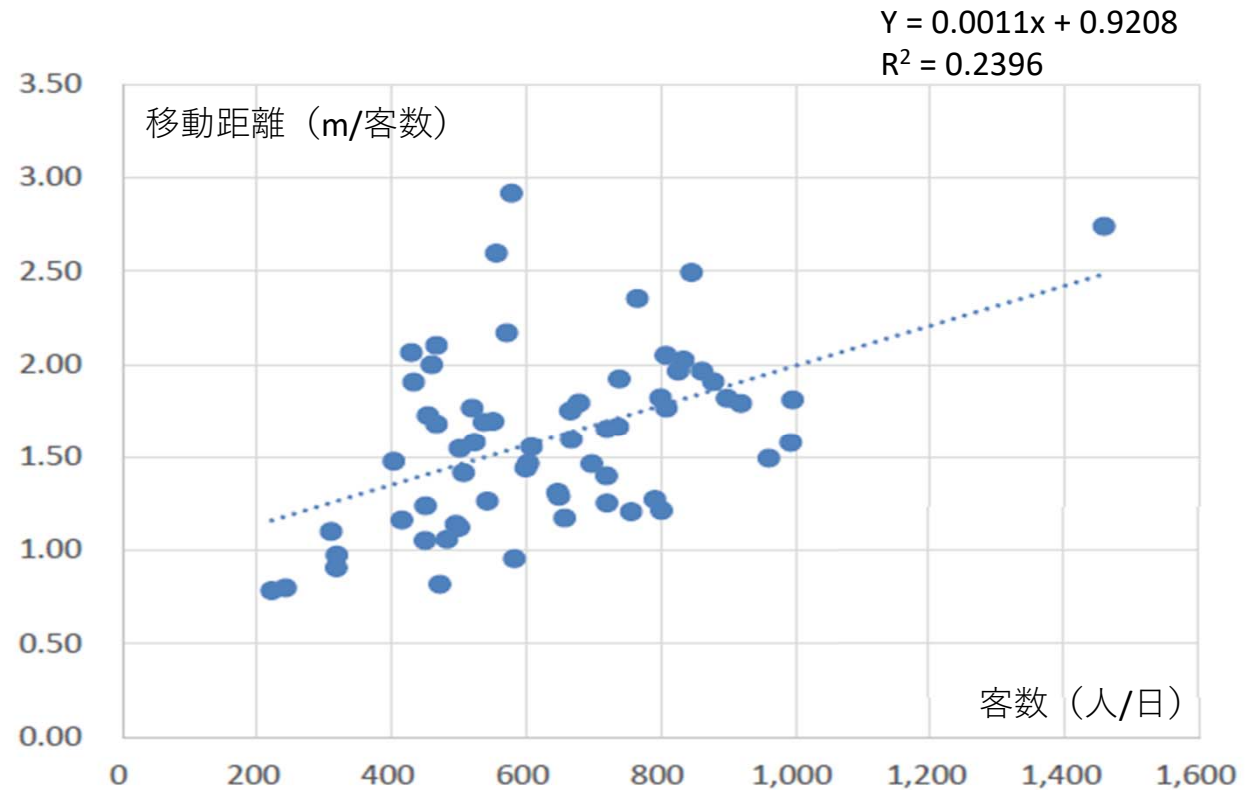
櫻井ら (2020). 人・ロボット協調サービスシステムに関する研究 飲食業におけるシミュレーションによるAGV運用評価, 人工知能学会第34回全国大会, セッションID 1F3-OS-2a-03

搬送ロボット自体の生産性

- 棚一体式から着脱式にして回転率向上
- 継ぎ足し充電パタンの最適化
- ロボットの使い方を議論



搬送ロボット導入 1 年目



搬送ロボット導入 2 年目

- ロボットの移動距離 (m/客数) : 1.27 ⇒ 1.59
- ロボットの移動距離 (m/ロボット) : 511 ⇒ 1,012

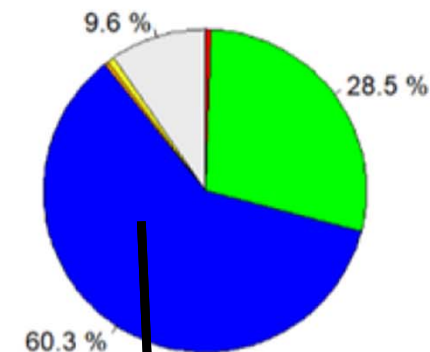
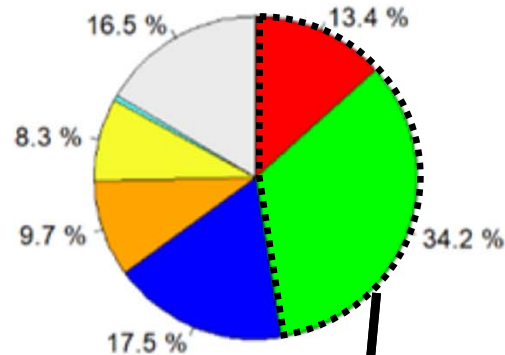
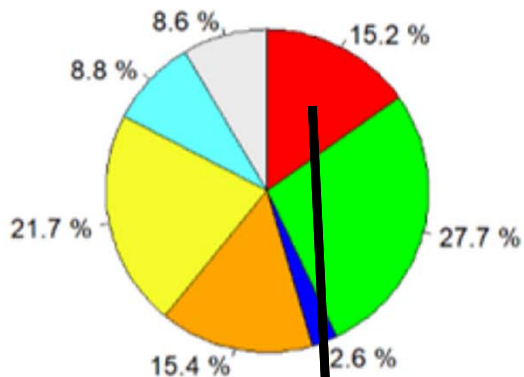
搬送ロボット導入によるスタッフのエリア滞在割合の変化

導入直後

接客係

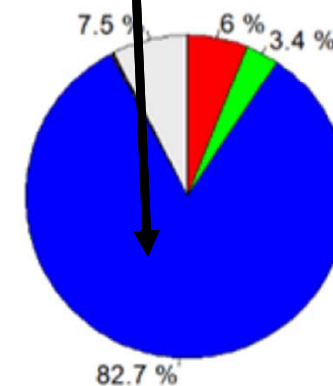
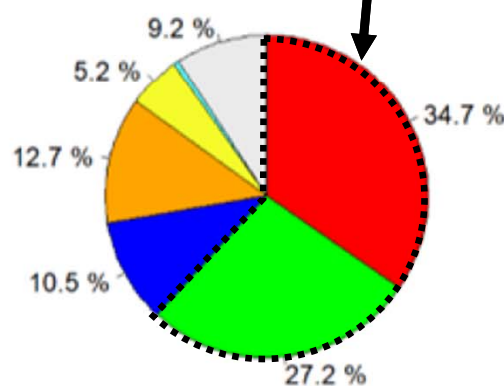
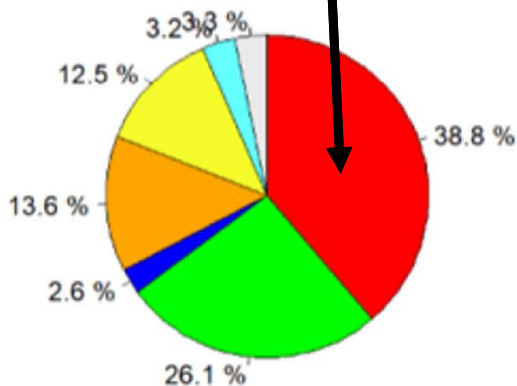
接客補助

配膳係



定着後

- 客室
- 通路
- 厨房
- パントリー
- サービス台
- レジ
- その他



**客室滞在割合増加：
接客業務に集中**

**客室滞在割合増加：
接客業務に集中**

**厨房滞在割合増加：
厨房での配膳業務に集中**

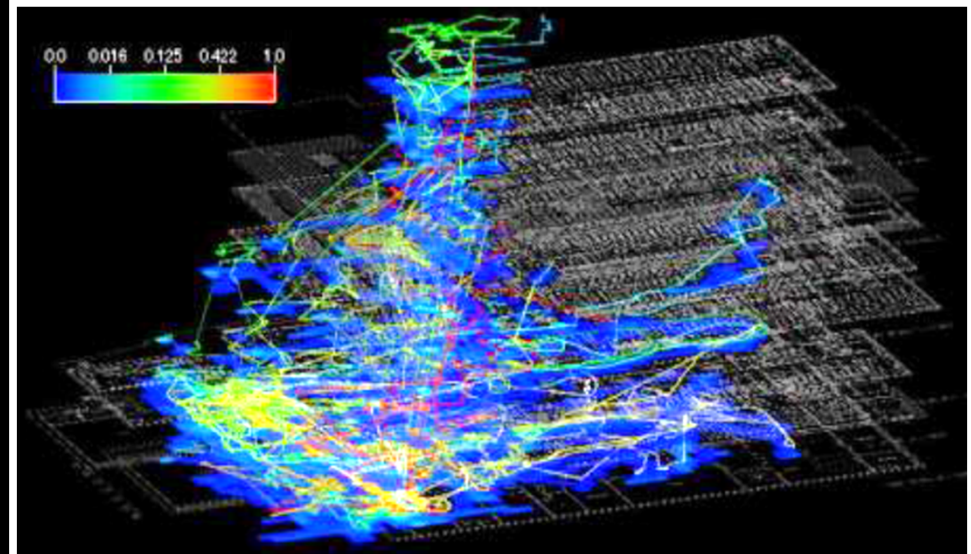
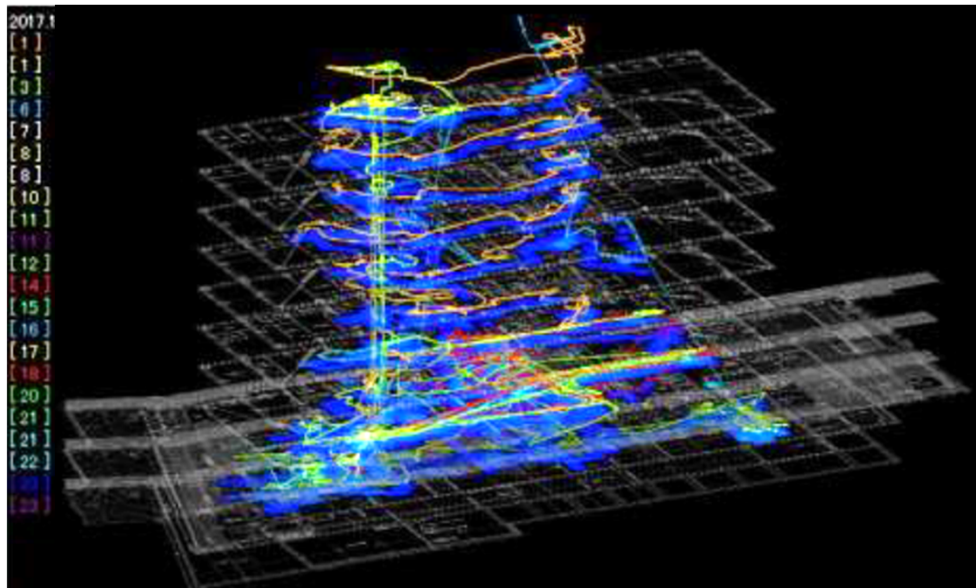
考察とまとめ

- ロボット導入直後は、その柔軟性が不足しており、必ずしも十分に活用されず
 - ロボットを基点とした改善提案、棚の着脱式への変更、充電ルール設計等により活用促進
 - 搬送距離・配膳内容等の条件とロボットの相性に応じてメリハリのある適用
 - 従業員の性格によるロボットの活用具合の違いも
 - ロボットは自分たちのもの（内側）だという意識付けが重要
- 会話機会の増加
 - 顧客・従業員間：顧客動線を移動する搬送ロボットをポジティブに捉えた発言
 - 従業員間：ロボットを媒介とした改善提案（ロボットのせいにすることで言いづらいことが言いやすくなった）
- プローブとしてのロボット
 - (システムに強くないと思われがちなシニア従業員が)ロボットへの指示のためのディスプレイを店全体のオペレーション把握のためにも活用

高層ビルメンテナンスサービス事例： 多能工化（業務再編前後）での業務効率と「ゆとり」の分析

大規模業務再編に伴う業務内容の変化

再編内容: ビルごとの独立管理 → 複数ビル（2棟）の群管理
 変化点: 2棟のビルを担当、人員削減（18%減）、集中遠隔監視で事務所内業務減、メンテ作業増、ビル間移動の負荷増加の懸念

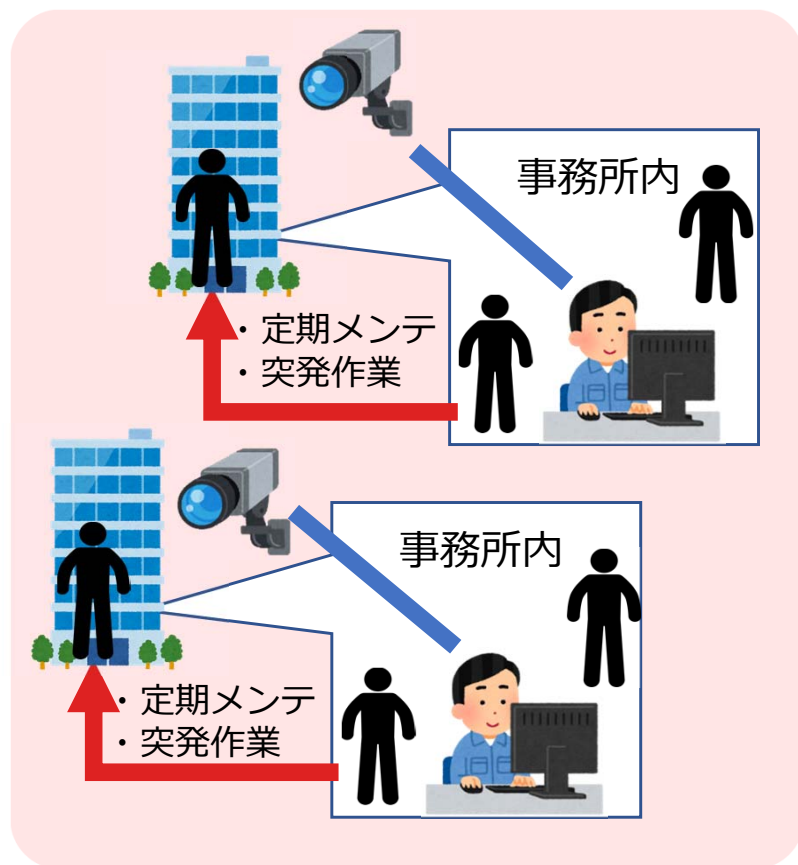


10軸PDR, BLE, MAPを用いて、高層ビル2棟でのビルメンテ従事者の行動（位置）を計測

Ryosuke Ichikari, Haruka Nishida, Ching-Tzun Chang, Takashi Okuma, Takeshi Kurata, Katsuko Nakahira, Muneo Kitajima, Akio Hakurai, and Takuya Misugi, A case study of building maintenance service based on stakeholders' perspectives in the service triangle, Proc Joint Conf. of ICSSI2018 & ICServ2018, pp.87-94, 2018.

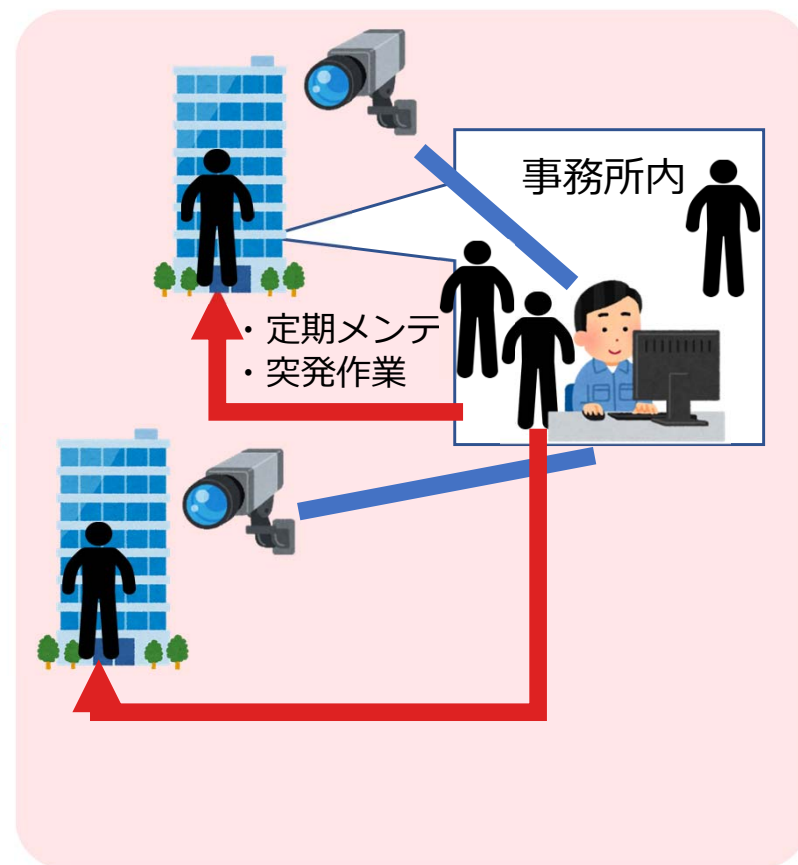
業務再編内容

担当ビルは固定・独立管理



必要人員削減
監視業務効率化

担当ビル間を移動・群管理



大規模業務再編に伴う業務内容の変化

再編内容: ビルごとの独立管理 → 複数ビル (2棟) の群管理

変化点: 2棟のビルを担当、人員削減 (18%減)、集中遠隔監視で事務所内業務減、メンテ作業増、ビル間移動の負荷増加の懸念

ゆとり (Allowance) と QoW

突発事象が起きた時に、Relaxation allowanceを削るべきではない

Relaxation allowances



Contingency allowances



勤務時間

優先度（緊急性）の低い業務を組み込んでおくことで、突発事象に対応すべき

定量化された時間的ゆとりは、QoW評価指標となり得る

業務再編効果分析の方法

- 従業員行動計測，事務業記録アプリの導入と現場取得データを用いた作業内容の客観的把握・分析



調査1回目: 2017/6/24~2017/7/2 → Before
 調査2回目: 2017/9/30~2017/10/9 → After



アプリで
選択肢から
選択して入力

CAFM(Computer
Aided Facility
Management)
データから変換

スマホで，ジャイロ，加速度，
磁気，気圧データとBLEビーコン
からの信号を記録して測位

事務作業入力

業務記録

測位データ

事務所内の
作業把握

事務所外の作業，
作業計画を把握

移動，滞在エリア・
時間・距離の推定

作業内訳修正⇒記録矛盾の解消



時間

分析結果

事務所内作業量削減 ✓ 14% ↓
 人時生産性向上 ✓ 22% ↑
 品質維持 ✓
 業務実態透明化 ✓
 適正価格/給与算出 今後

Q: 業務再編でサービスクオリティは落ちていないか？

- ➡ メンテナンス作業の総量は減っていない！（作業内訳より）
- ➡ 各メインテナンス作業にかかる時間は大きくは変わらない！（測位より）

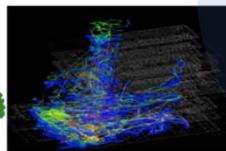
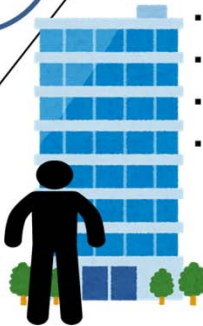
Q: 業務再編で生産性は向上したか？

- ➡ 投入人数は減っている（出退勤より）
- ➡ 事務作業の総量は減っている！（作業内訳より）

企業

現場計測

- ・測位データ
- ・事務作業記録
- ・業務記録(CAFM)
- ・出退勤データ



移動距離 X 50% ↑
 時間的ゆとり X 16% ↓
 給与 →
 業務実態透明化 ✓
 ES評価 今後

品質維持 ✓
 適正価格見積 今後
 CS評価 今後

顧客

従業員

Q: サービス受給者として不満は？

- ➡ 目立ったクレームはない（鹿島建物からの報告より）

Q: サービスの適正価格は？

- ➡ 実測データに基づく作業量・コスト見積による適正価格算出（個別作業時間見積もり、従業員余裕度の考慮）

Q: 業務再編における従業員負荷の増加は？

- ➡ 1人あたりのメンテナンス作業項目数、作業時間は増加（作業内訳より）
- ➡ 移動量、移動に必要な時間は増加（測位データより）

Q: 時間的ゆとりは、どの程度あるのか？

- ➡ ゆとり時間【潜在】/1人1日の約5分減少（作業内訳より）
- ➡ ゆとり時間【実績】/1人1日は約34分減少
- ➡ 突発作業時間割合（≡作業キャパシティ中の負荷の割合）は、15.2%→31.1%へ増加（作業内訳より）

GSIを用いた事例を俯瞰：産総研関連

[]外：評価項目，[]内：評価指標・利用したコンテンツ，
太字：地理空間情報に間接的に関係，太字下線：地理空間情報に直接関係

現場[対象]	実施年	目的	方法	効果・成果	測定技術	共同研究先・協力現場	評価・分析の内容[指標・コンテンツ]													
							労働生産性		QoW							その他				
							労働の成果	労働投入量	健康		働きがい			働きやすさ		その他				
身体的負荷	メンタル	スキル	自発性	人間関係・組織	安全	ダイバーシティ														
介護付老人ホーム[ヘルパ、ナース]	2010	介護作業動線の現状把握	動線計測、記述統計、聞き取り	作業モデル化、課題の見える化		(株)スーパー・コート														
旅館[客室係(仲居)]	2011	スキル分析	動線計測、記述統計、回顧インタビュー	スキル把握		城崎温泉														
日本食レストラン1[接客係、接客補助係、配膳係]	2011	接客係のおもてなし改善	動線計測、記述統計、推測統計、QC活動	接客可能時間増加、追加注文増加	PDR+Active RFID+MAP	がんこフードサービス(株)	追加注文数[POS]	無駄な移動[動線]	身体的負荷[移動距離]	接客時間[接客エリア滞在時間]	個人スキル・チームワーク[持ち場専念率・守備率]	改善提案	情報共有・業務実態透明化[各地理空間情報]							
	2012	接客係の身体負荷改善、スキル分析		(上記に加えて)移動距離削減、スキルモデル化																
日本食レストラン2[接客係、接客補助係、配膳係]	2014	新店舗立ち上げ支援	動線計測、記述・推測統計、QC活動	課題の見える化、各種改善効果確認、早期立ち上げ																
日本食レストラン3[接客係、接客補助係、配膳係]	2018-19	搬送ロボット導入効果確認		人時売上高増加、本来業務専念率増加	PDR+BLE+MAP															
旅客機[客室乗務員]	2015	客室乗務員の「気づき」学習を促進するための教育支援環境の構築	動線計測、記述統計、モデル化、回顧インタビュー	ドリンク提供時のスキルモデル化、教育支援		東京大学、(株)ANA総合研究所														
オフィス[社員]	2016	オフィス環境改善(コミュニケーション・運動空間新設)	動線計測、記述統計	新設空間利用率向上、うんてい利用率向上(他の取り組みと合わせて営業利益増加)		(株)フジクラ	付加価値額[営業利益(率)]													
ビルメンテナンス[作業員]	2017	業務再編(多能工化)の効果と影響の定量化	動線計測、記述統計、アンケート、聞き取り	再編前後の効果と課題の明確化	PDR+BLE+MAP	鹿島建物総合管理(株)	サービス品質[顧客クレーム]	事務所作業量、無駄な移動[動線]	身体的負荷[移動距離]											
物流倉庫1[ピッキング作業員]	2014	ピッキング作業動線の把握、改善シミュレーション	動線計測、記述・推測統計、モデル化、シミュレーション	作業モデル化、課題改善案提案と事前定量評価	可視光通信	(株)フレームワークス、トラスコ中山(株)		渋滞[滞在ヒートマップ]、人時作業量、チーム作業時間												
物流倉庫2[視覚障害者]	2018-19	視覚障害者就労支援の実現可能性検証	測位に基づくピッキング作業指示	実現可能性確認	Passive RFID	(株)ゴビ、トラスコ中山(株)		晴眼者との作業時間比較[作業時間]												ロービジョン、全盲者の作業可能性[作業時間]
物流倉庫3[作業員、フォークリフト]	2019	作業動線の把握、改善シミュレーション	動線計測、記述・推測統計、モデル化、シミュレーション	作業モデル化、課題改善案提案と事前定量評価	XDR+BLE+MAP			渋滞[滞在ヒートマップ]、人時作業量、チーム作業時間												
ケーブル工場1[製造作業員]	2018-19	製造作業の平準化	動線計測、記述統計、情報共有、OJT、回顧インタビュー	製造作業の平準化、課題抽出	BLE	住友電気工業(株)		標準作業との乖離[エリア滞在時間]												
ケーブル工場2[製造作業員]	2018-現在	生産性向上、安全管理、健康管理の同時支援	動線計測、記述統計、情報共有、POC実証	-	PDR+BLE+MAP(VDR)			無駄な移動[移動距離]	身体的負荷・運動強度[移動距離]											一人作業[動線]、人車分離[滞在ヒートマップ]

GSIを用いた事例を俯瞰：産総研関連

目的

労働生産性
向上



- 業務の平準化
- 業務変更・再編効果確認
- ロボット導入効果確認
- 対話・運動空間設置効果確認
- 新店舗立ち上げ支援
- 身体的・心理的負荷軽減
- スキル分析
- 教育支援
- 安全管理・健康管理の同時支援
- 視覚障害者就労支援の実現可能性の確認

QoW
向上

目標

現状把握



改善支援



事前評価
(シミュレーション)
⇒改善支援の改善

GSIを用いた事例を俯瞰：産総研関連

評価項目[指標]：労働生産性に関する評価項目

地理空間情報から
直接評価

地理空間情報を
間接的に適用

それ以外

労働の成果	付加価値額[営業利益(率)]
	追加注文数[POS]
	サービス品質[顧客クレーム]
労働投入量	無駄な移動[動線]
	渋滞[滞在ヒートマップ]
	標準作業との乖離[エリア滞在時間]
	作業量
	作業時間
労働生産性	労働生産性[人時売上高]

GSIを用いた事例を俯瞰：産総研関連

評価項目[指標]：QoWに関する評価項目

地理空間情報から
直接評価

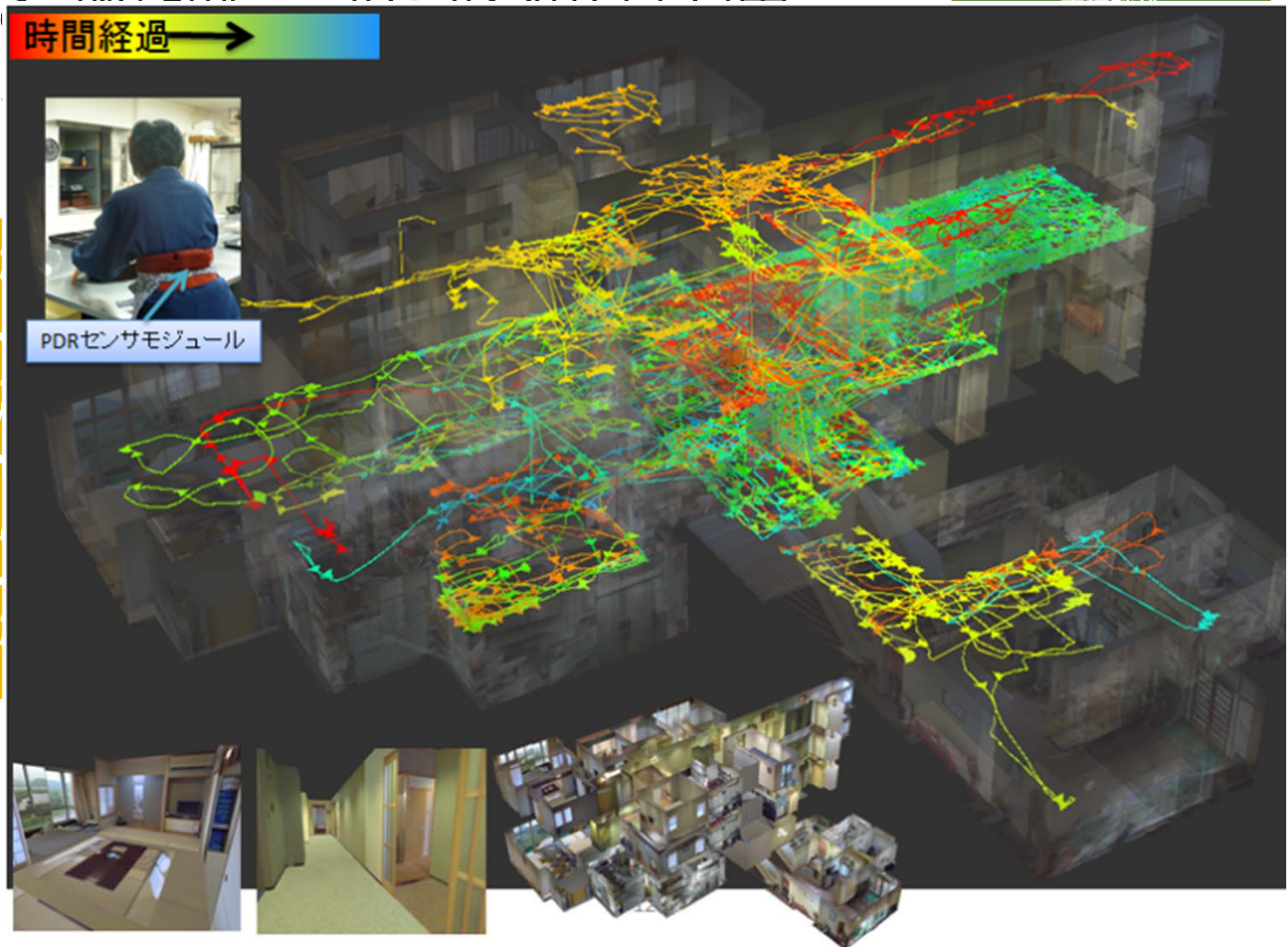
地理空間情報を
間接的に適用

それ以外

健康	身体的負荷	[移動距離]
	運動強度（運動促進）	
	運動機器利用率	[エリア滞在時間]
	心理的負荷	[時間的ゆとり]
働きがい	個人スキル チームスキル	[動線， 移動速度， エリア滞在時間， 作業時間]
		[持ち場専念率・守備率]
		[定性評価（回顧インタビュー）： カメラ画像から作成された3Dモデルと動線を 組み合わせた疑似一人称視点（FPV）動画]
	自発性（改善提案， 振り返り）	[自発的行動の有無・程度]

評価項目[指標]：QoL

健康	身体的負
	運動強度（運動
	運動機器利
	心理的負



[定性評価（回顧インタビュー）：
カメラ画像から作成された3Dモデルと動線を
組み合わせた疑似一人称視点（FPV）動画]



自発性（改善提案，振り返り）

[自発的行動の有無・程度]

GSIを用いた事例を俯瞰：産総研関連

評価項目[指標]：QoWに関する評価項目

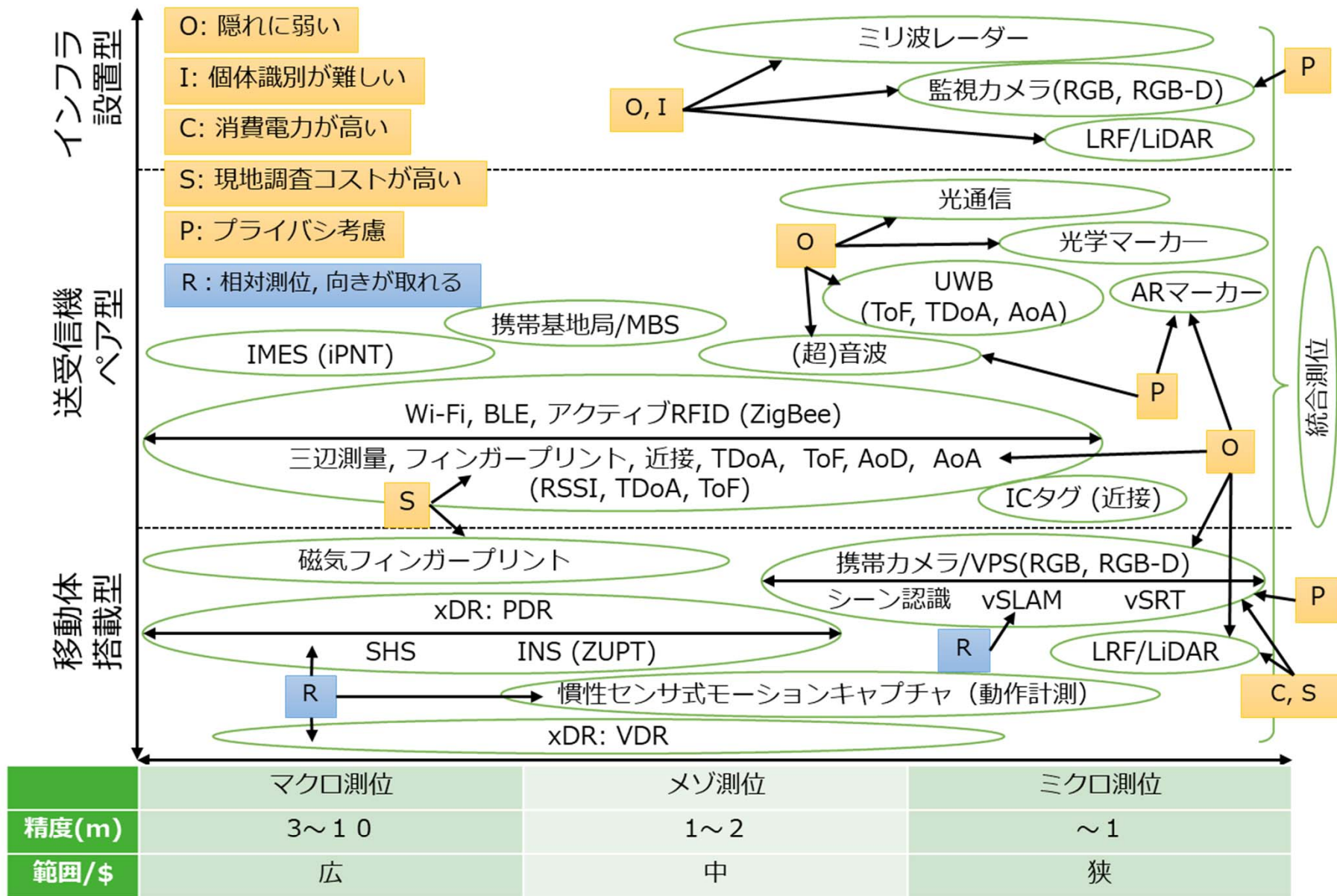
地理空間情報から
直接評価

地理空間情報を
間接的に適用

それ以外

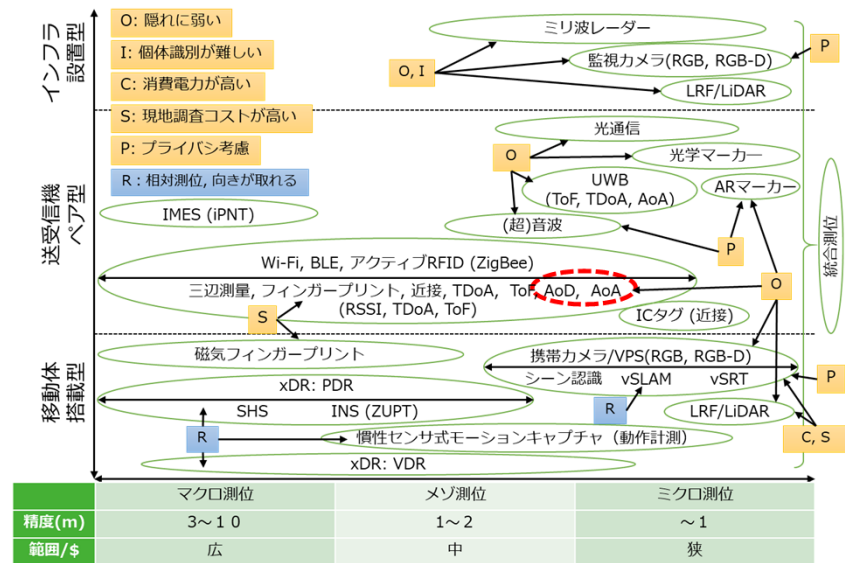
働きやすさ	人間関係 組織	情報共有・業務実態透 明化・6M見える化 が行えているか	[各地理空間情報: 動線、ヒートマップ、 各指標]
		公平性	[作業者間の作業量の偏り]
		コミュニケーション	[動線・エリア滞在時間]
		従業員満足度 (ES)	[アンケート]
	安全	一人作業の安全確認 作業者と車両との交差状況	[動線]
			[滞在ヒートマップ]
	ダイバーシティ	ロービジョン・全盲者の作業可能性	[作業時間]

屋内測位技術を俯瞰

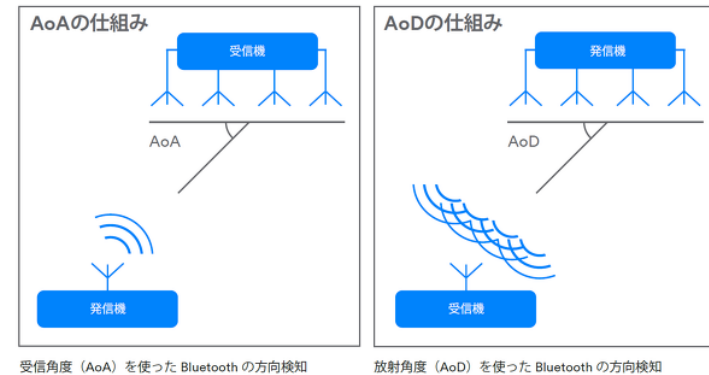
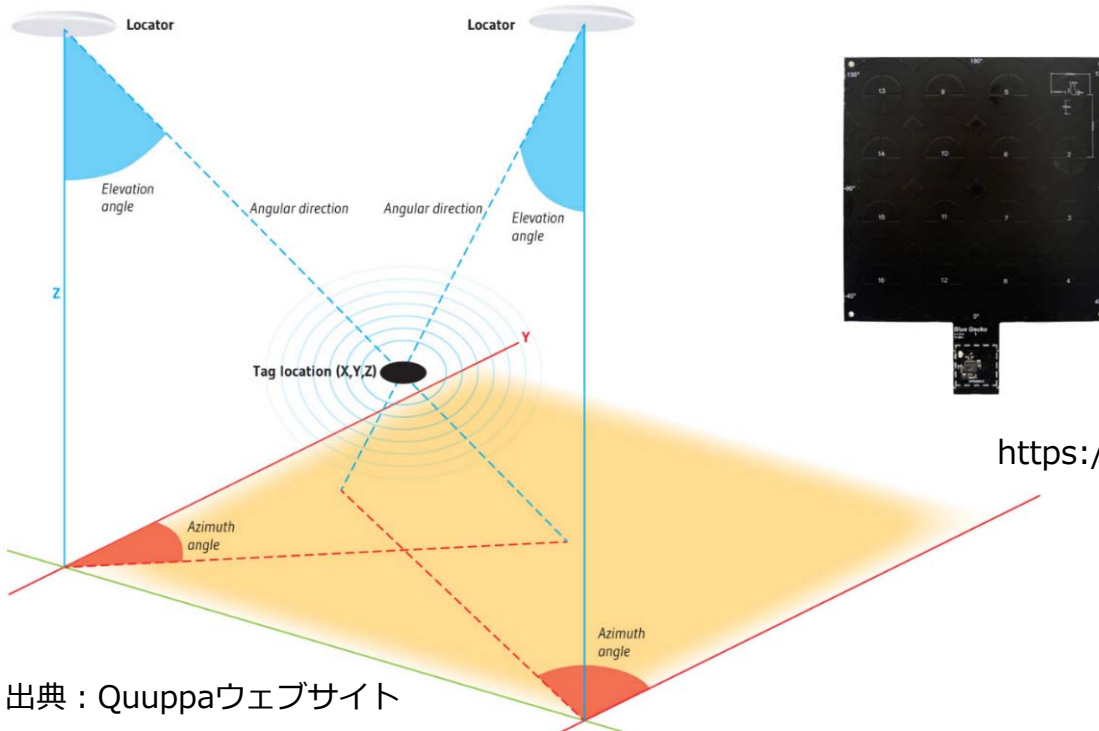


AoA: Angle of Arrival, AoD: Angle of Departure, AR: Augmented Reality, DR: Dead Reckoning, IMES: Indoor MESSaging System (Indoor GPS), INS: Inertial Navigation System, LIDAR: Light Detection And Ranging, LRF: Laser Rangefinder, MBS: Metropolitan Beacon System, PDR: Pedestrian DR, RGB-D: RGB & Depth, RSSI: Received Signal Strength Indicator, RTT: Round Trip Time (two-way ToA), SHS: Steps and Heading System, SLAM: Simultaneous Localization and Mapping, TDoA: Time Difference of Arrival, ToF: Time of Flight (ToA: Time of Arrival), UWB: Ultra Wide Band, VDR: [Vibration-based] Vehicle DR, VPS: Visual Positioning Service/System, vSLAM: visual SLAM, vSRT: vision-based Spatial Registration and Tracking, xDR: DR for something, ZUPT: Zero Velocity Update

角度：AoA (Angle of Arrival)、AoD (Angle of Departure)



- 信号（電波）の到来角度を用いた測位
 - アンテナアレイで位相差を計測
 - 1組の送受信機のみで2D測位可能
 - ToF等で距離が得られる場合は1組の送受信機のみで3D測位可能
- Bluetooth 5.1で「方向検知」も可能に



<https://ednjapan.com/edn/articles/2003/31/news022.html>

出典：Quuppaウェブサイト

UWB

UWB-IR (Ultra Wide Band Impulse Radio)方式

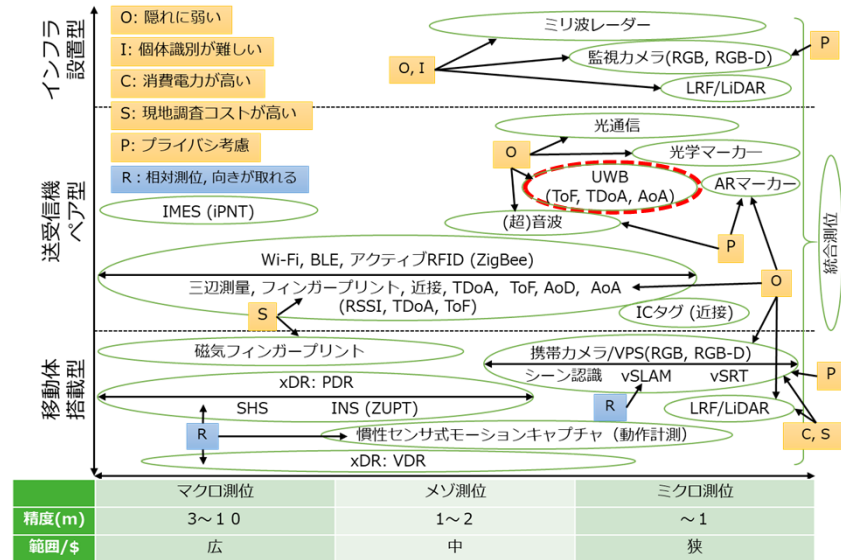
- 15 ~ 30 cm程度の精度での測位が可能
- マルチパスにも強い
- 直進性が強すぎるため、死角がしやすい
- 高コスト

iPhoneに搭載されて普及の兆し?!

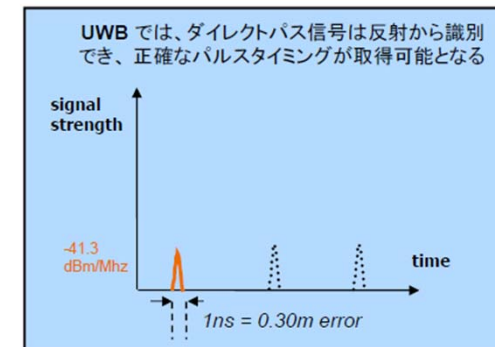
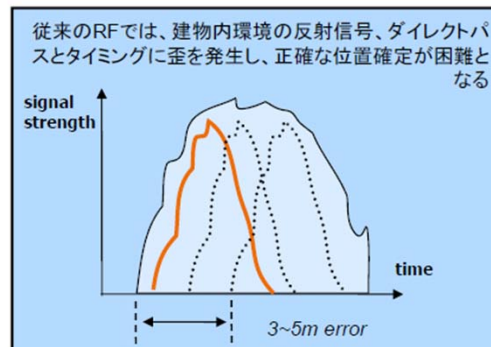
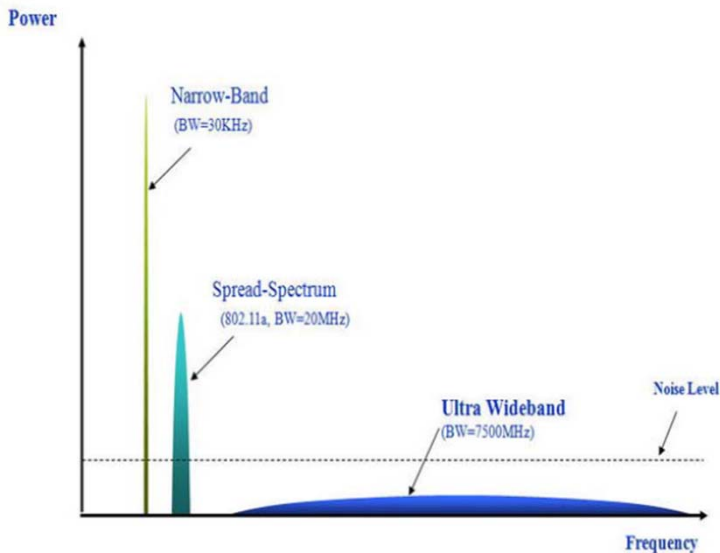
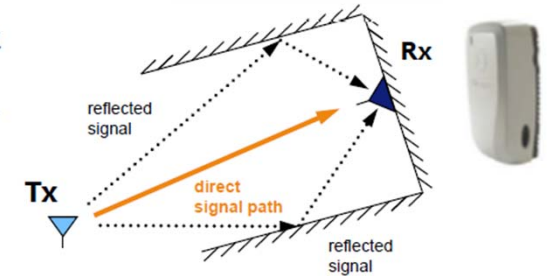
- IEEE 802.15.4z
- Bluetooth 5.1との闘い?!



Apple社ウェブサイトより

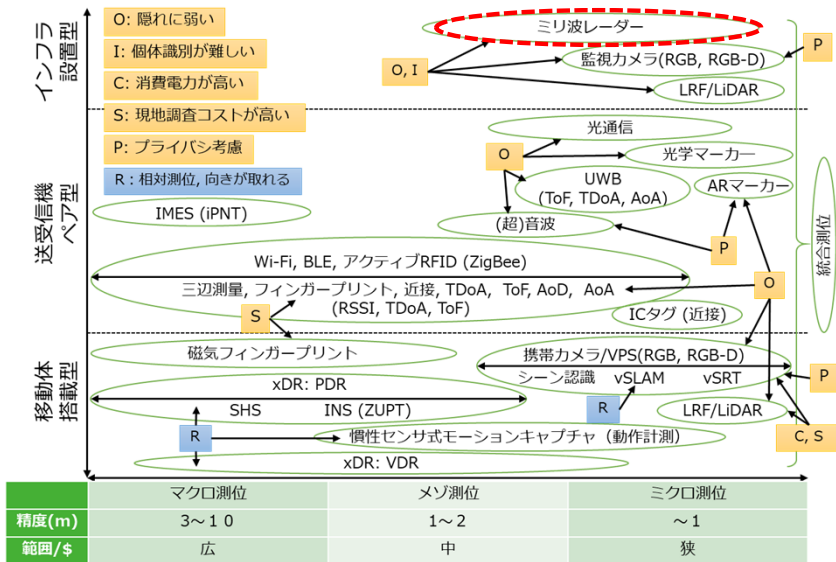


- ▶ 特に建物の内部のリアル・タイムにおいて正確に位置特定するには容易ではない。
- ▶ ラジオ信号による位置の決定は、送信機から受信機へのパスを測定することによって行われる
- ▶ **ダイレクトパス信号のみが真の位置を決定し、反射信号には補正がある**

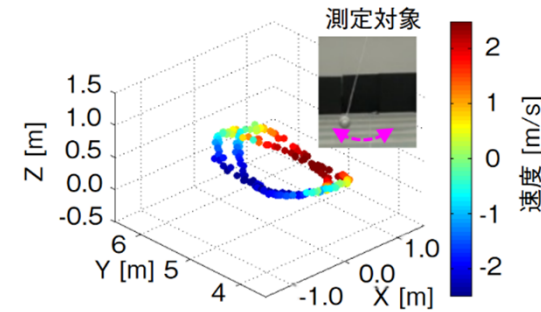


UbiSense社、GiT社の資料より

ミリ波レーダー

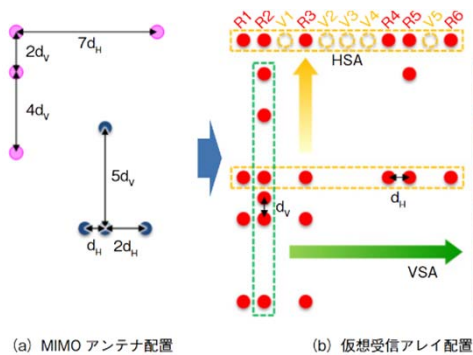


- 距離、角度、速度を計測
- ARIB STD-T48 (60GHz帯, 76GHz帯), STD-T111 (79GHz帯)で標準化
- 測定距離が長い(100-200m)
- 照明条件にロバスト。煙, 霧, 雨にも強い
- テスラの事故でミリ波のメリットが再認識
- CMOS化による低価格化
- 1次元スキャンから2次元スキャンへ



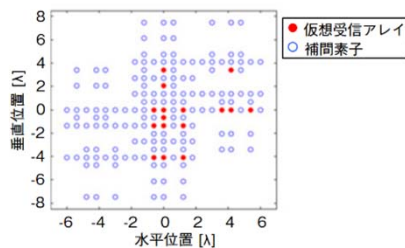
(a) 球体検出

- 送信アンテナ
- 受信アンテナ
- 仮想受信アレイ

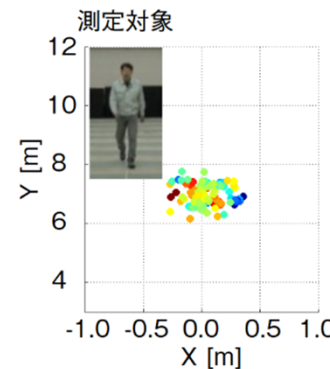


(a) MIMO アンテナ配置

(b) 仮想受信アレイ配置

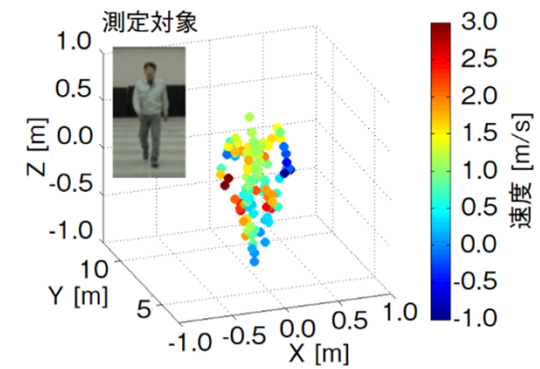


(c) 仮想受信アレイ配置 (補間要素あり)



(b) 歩行人体検出 (2次元)

水平(1D)スキャンのみ

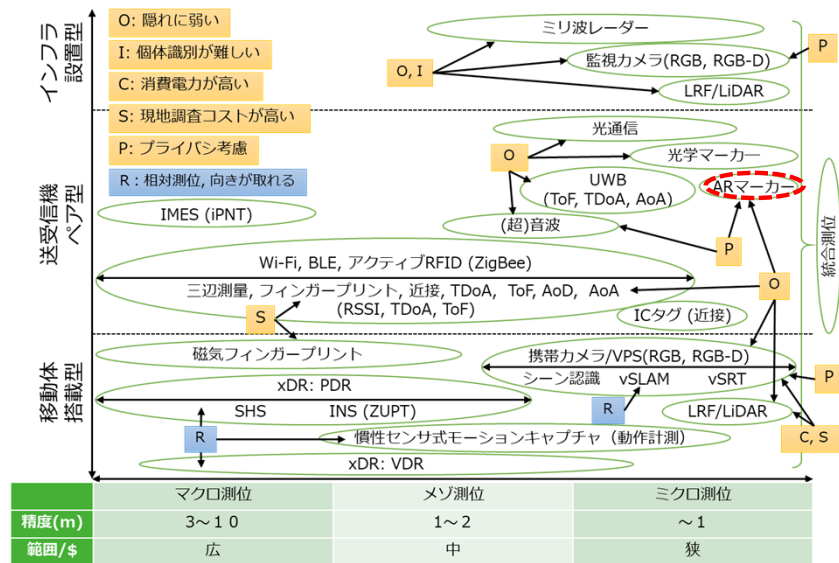


(c) 歩行人体検出 (3次元)

水平・垂直(2D)スキャン

ARマーカ (位置姿勢計測)

DNPプレスリリースより



スマートファクトリー向け物流業務を自動化する高精度位置検出マーク「DXマーカ」を開発

自動搬送ロボット等の制御に必要な高精度な位置検出が安価なシステムで可能！

2020年5月7日

大日本印刷株式会社 (本社:東京 代表取締役社長:北島義典 資本金:1,144億円 以下:DNP) は、物流用の自動搬送ロボット等の動きを高精度に制御するために、画像処理ソフトとカメラを活用し、角度±1度以下の精度でセンシングできるマーカ (「DXマーカ」) を開発しました。

高精度マーカは、現実空間の中にバーチャルな3次元空間を作り出す画像計測ツールです。

特殊光学系LEAGによって安定した空間を生成し、カメラとマーカの相対的な位置・姿勢の高精度な計測を実現します。



<https://leag.jp/>

LEAG (LEnticular Angle Gauge)

- 相対的な角度に応じて黒線が移動する
 - 高精度姿勢計測用の特殊光学系
1. 画像処理でLEAGパターンを解析
 2. 角度情報を抽出
 3. マーカ姿勢を高精度に推定

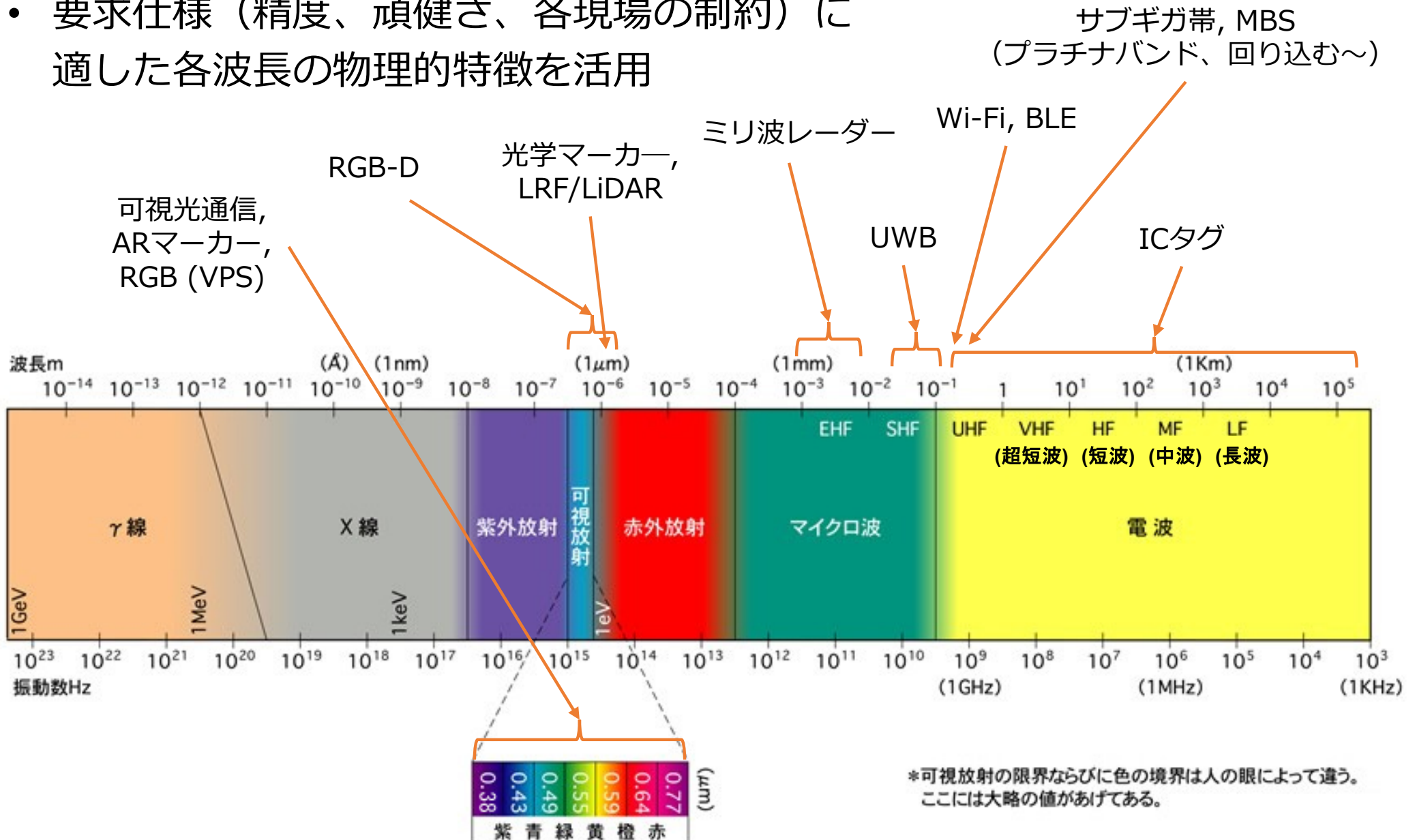
とくにマーカ正対時の姿勢推定誤差が従来型ARマーカの1/10未満に



H. Tanaka, etc. (2012). A Visual Marker for Precise Pose Estimation based on Lenticular Lenses, ICRA2012, pp.5222-5227
 H. Tanaka, etc. (2016). Improving the Accuracy of Visual Markers by Four Dots and Image Interpolation, IRIS2016

電磁波と測位

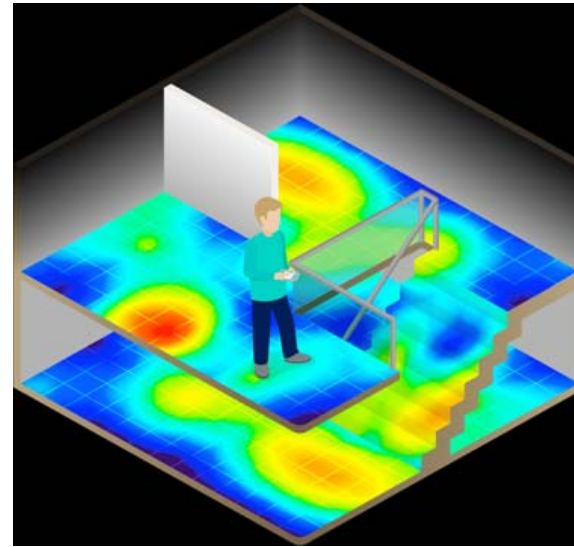
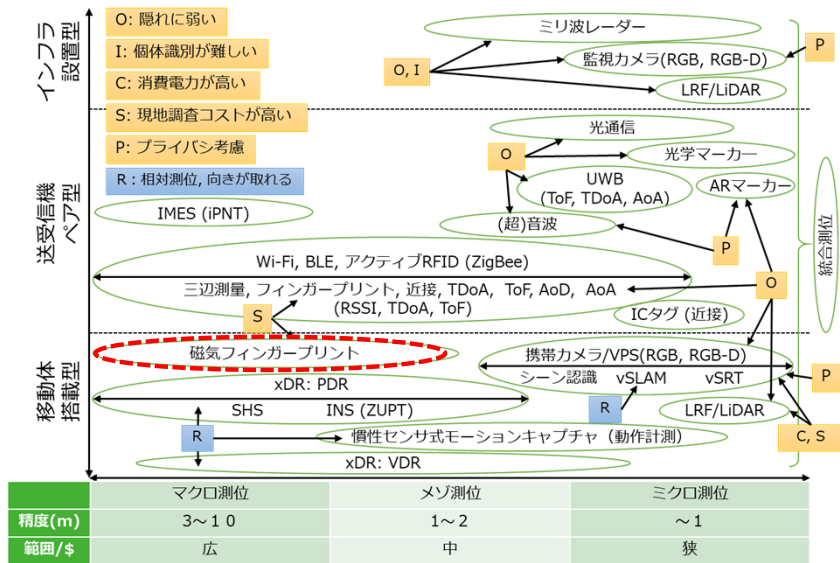
- 要求仕様（精度、頑健さ、各現場の制約）に適した各波長の物理的特徴を活用



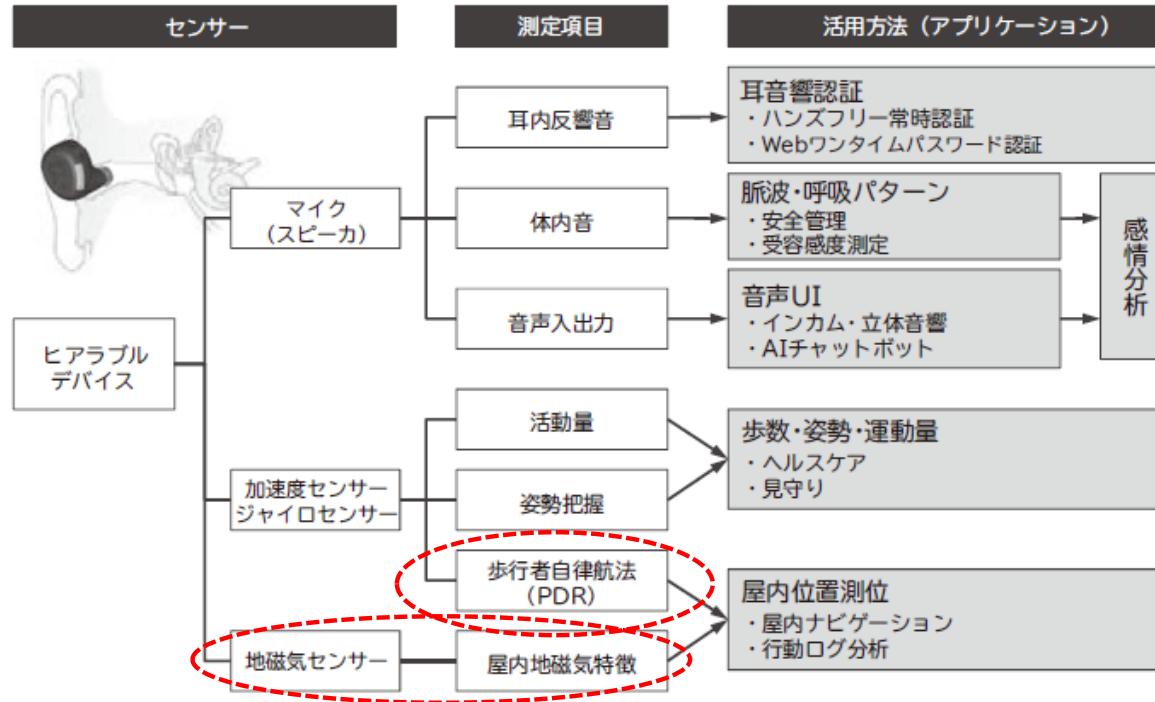
<https://metcom.jp/>

http://www.ushio.co.jp/jp/technology/glossary/material/attached_material_01.html

(地)磁気フィンガープリント

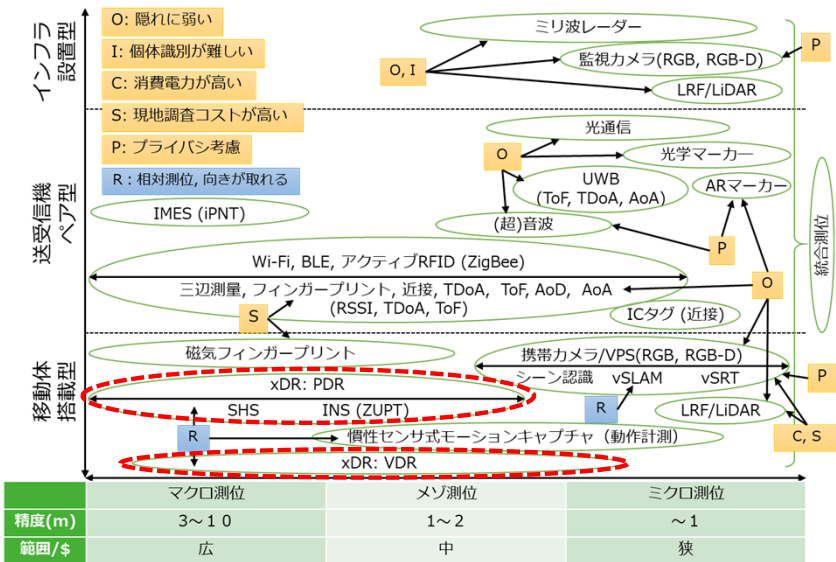


IndoorAtlas社より



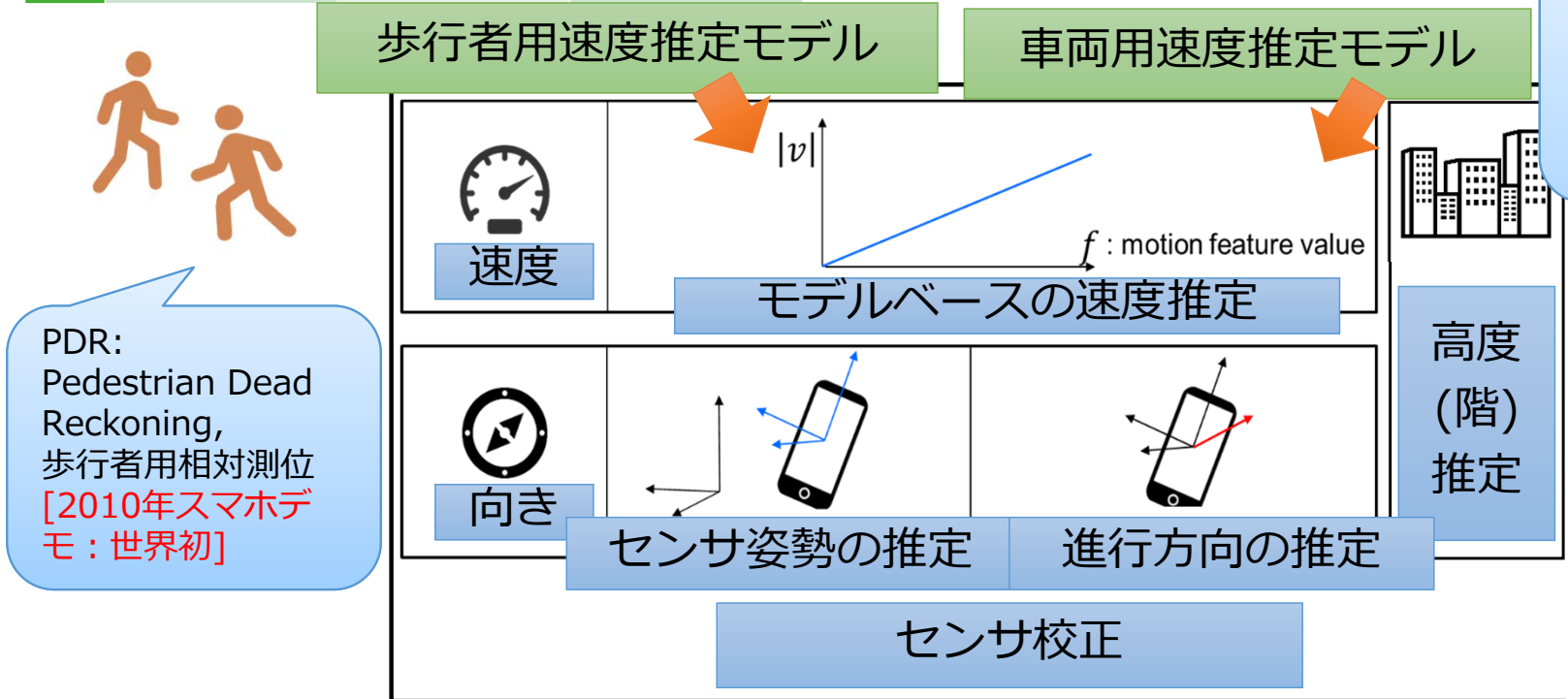
NEC社より

様々な測位技術を紡ぐxDR (PDR&VDR)



- **安価:** 加速度、ジャイロ、磁気、気圧の10軸センサを利用
- **低消費電力:** 画像を用いた手法と比較し1/20以下
- 「柔軟な」屋内測位を実現:
 - 測位インフラなしでも測位を継続
 - 様々な測位技術からの結果を線（形、速度、向き）で紡ぐ

VDR: Vibration-based Vehicle Dead Reckoning, 車輪型移動体[フォークリフト, 台車等]用相対測位 [2016年:世界初]



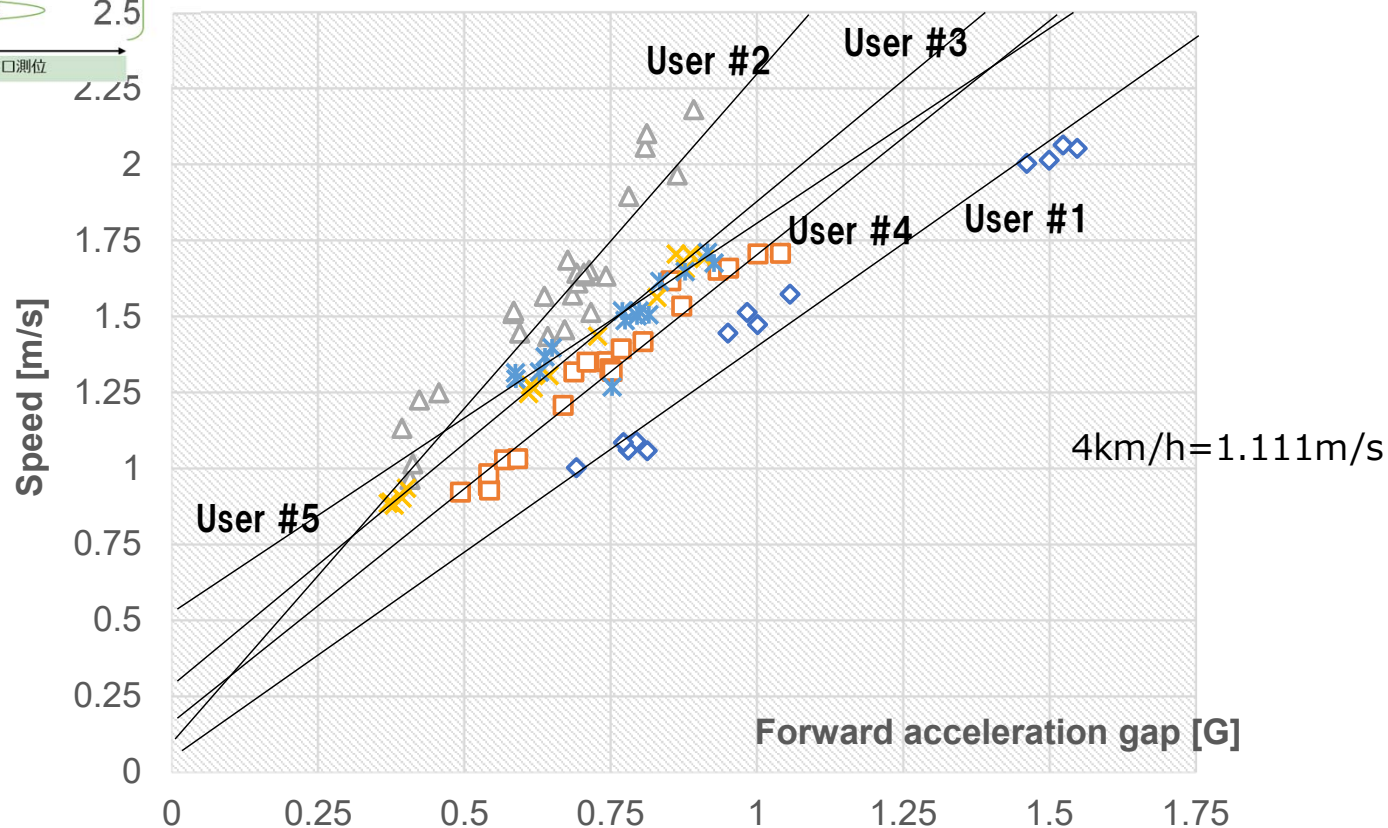
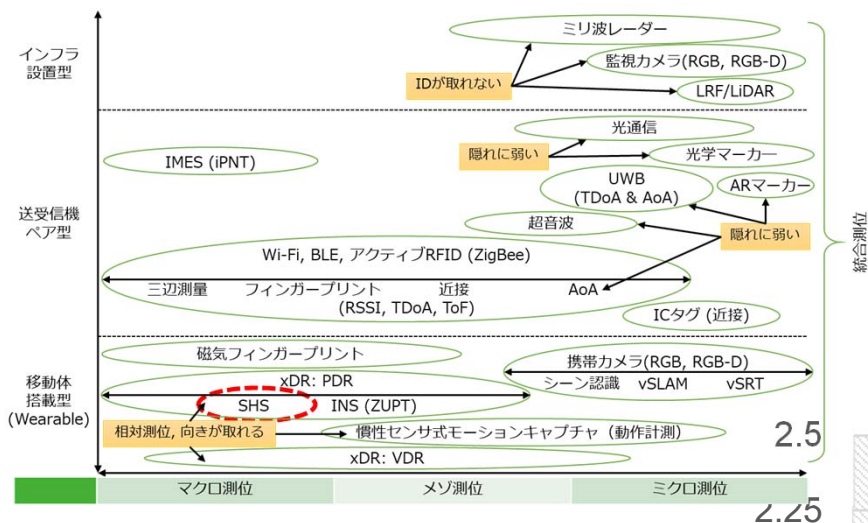
PDR: Pedestrian Dead Reckoning, 歩行者用相対測位 [2010年スマホデモ:世界初]

Kouroggi, M., et al. (2003). Personal positioning based on walking locomotion analysis with self-contained sensors and a wearable camera, ISMAR 2003, pp.103-112
 興枙ら (2020). xDR技術に基づく測位・環境推定～キャリブレーションフリーVDRと路面状態の推定～, HCGシンポジウム2020

PDR: 歩行速度の推定

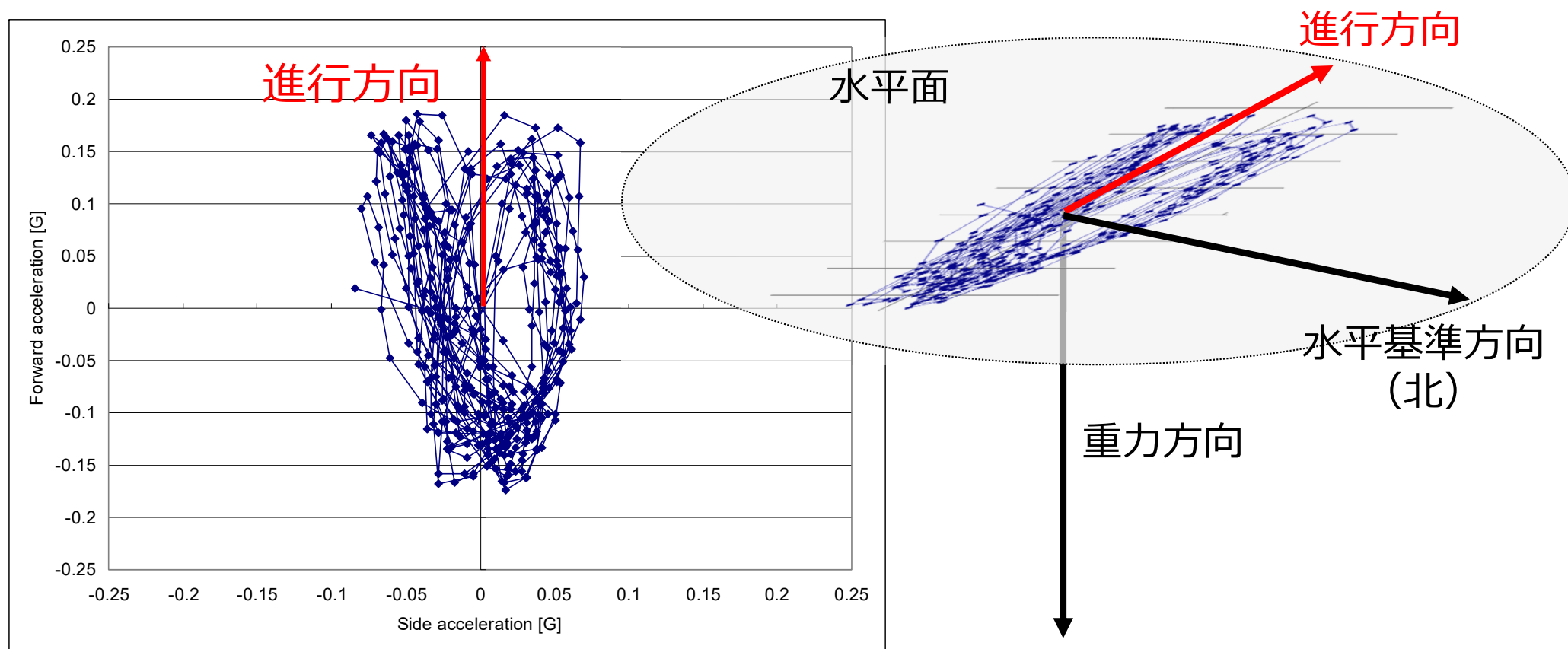
歩行速度の推定

- 加速度の鉛直方向成分の**ピーク振幅**と**歩行速度**の間に高い相関



PDR: 進行方向推定

- ハンドヘルド化（スマホ）には必須
- PCAの場合
 - 姿勢推定（センサ座標系をスタビライズ）し水平面に加速度を投影
 - 投影された加速度をPCAし進行方向を推定



PDR: 進行方向推定

- 慣性信号の周波数解析：Frequency analysis of Inertial Signals (FIS)

	加速度成分	角速度成分
鉛直方向軸 (ヨー軸)	歩行周波数	歩行周波数 × 1/2
左右方向軸 (ピッチ軸)	歩行周波数 × 1/2	歩行周波数
進行方向軸 (ロール軸)	歩行周波数	歩行周波数 × 1/2

歩行動作が引き起こす加速度・角速度成分のピーク周波数の表

各軸の成分について、特徴的なピーク周波数が現れる。

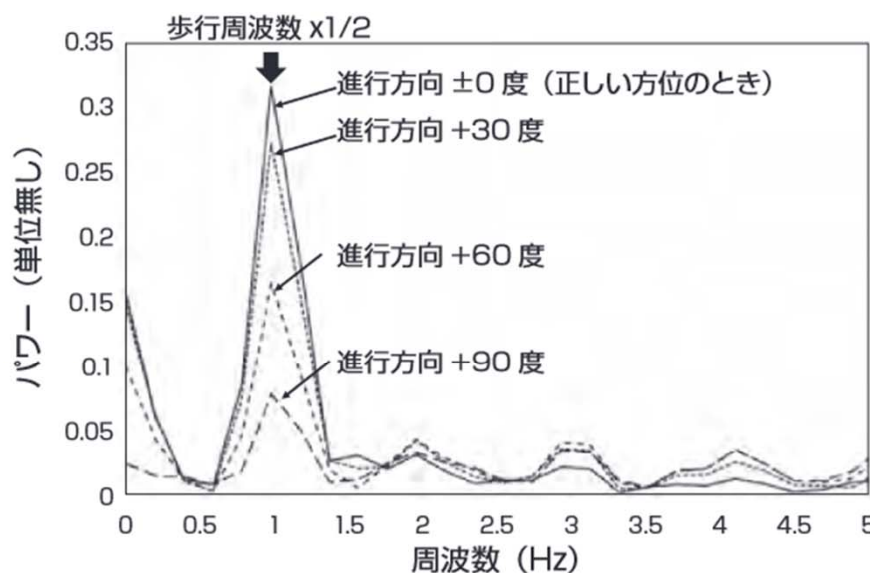
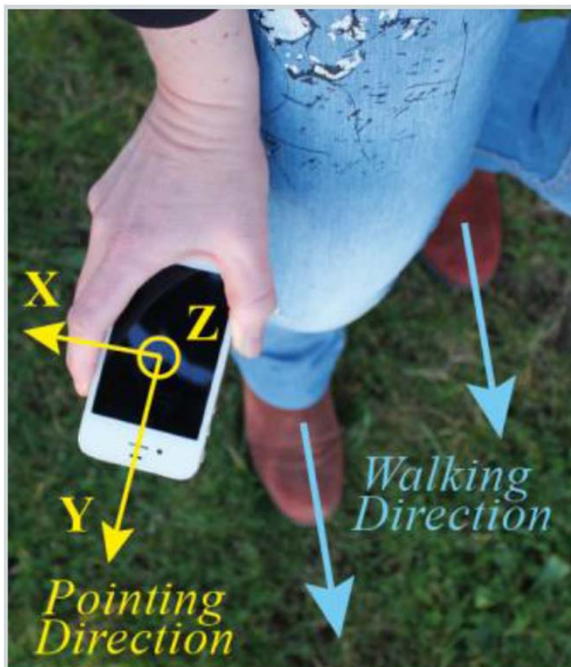


図 方位角探索とパワースペクトラムの関係の一例

この例では歩行周波数の半分の周波数において、正しい進行方向のときパワーが相対的に大きな値を取る様子が見て取れる。

M. Kourogi, T. Kurata, A method of pedestrian dead reckoning for smartphones using frequency domain analysis on patterns of acceleration and angular velocity, IEEE/ION PLANS 2014, pp.164-168.

PDR: 進行方向推定



- Overall experimental results in Motion Lab (see previous videos)
 - Swinging mode : error <math>< 10^\circ</math>
 - Texting mode: mean error <math>< 30^\circ</math>

Parasite oscillations

Gait Analysis

Large hand/arm motion

- PCA Principal Component Analysis

- sensitive to oscillations

- FLAM Forward and Lateral Acc. Modeling

- need a large database
- IMU carrying mode dependent
- Person dependent (gender, weight, etc.)

- FIS Frequency analysis of Inertial Signals

- globally more robust
- Gait Analysis dependent
- Accuracy is not sufficient



Combettes et al., Comparison of misalignment estimation techniques between handheld device & walking directions, IPIN, 2015.

Valérie Renaudin© – 13/10/2015 – IPIN, 2015 – Banff Canada



IFSTTAR
(France)

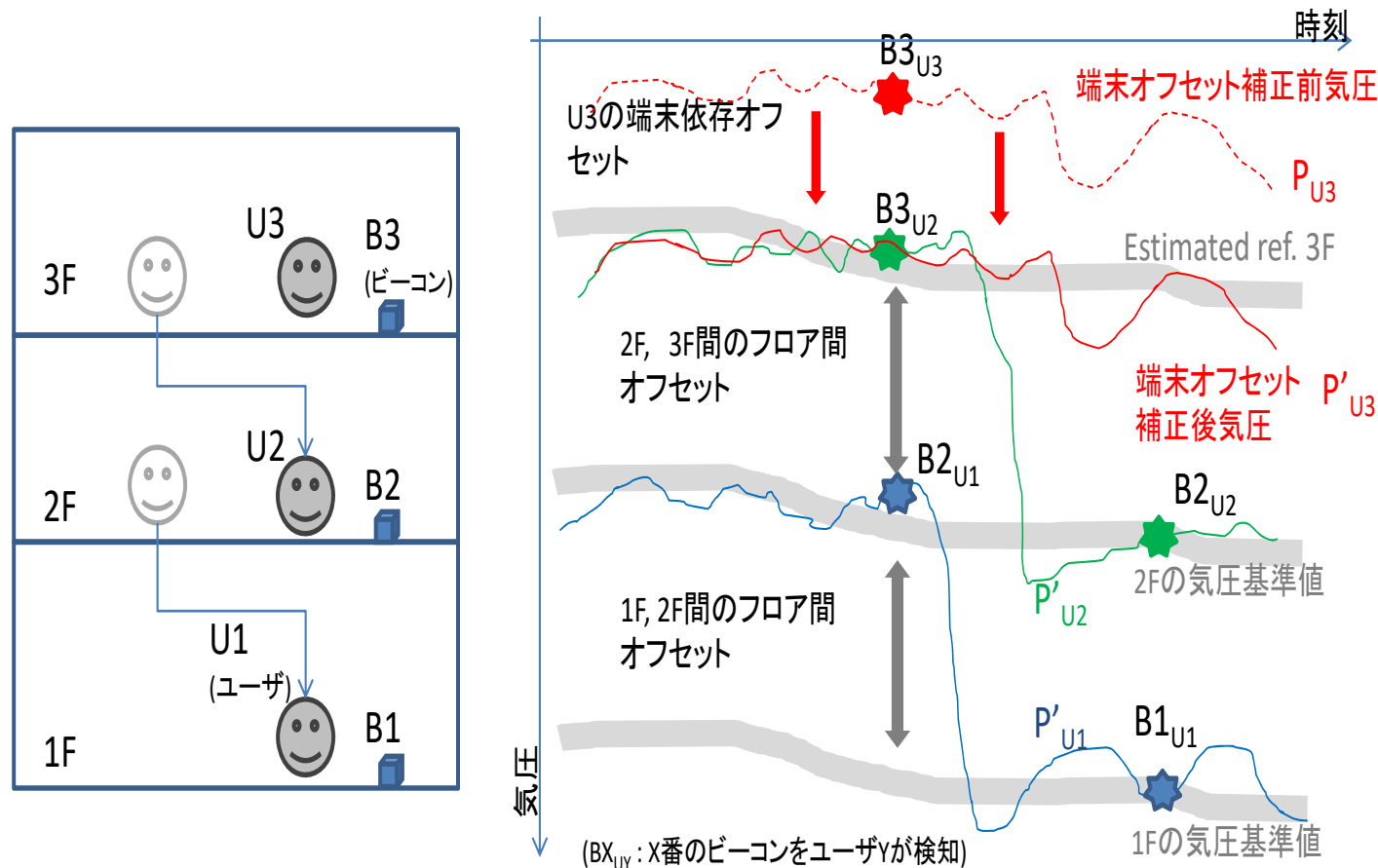
79

“Globally, the FIS method provides better results than the other two methods.”

- Tutorial: Personal Navigation with Handheld Devices by Valerie Renaudin, IPIN 2015.
- Long Paper: Christophe Combettes, Valerie Renaudin, Comparison of Misalignment Estimation Techniques Between Handheld Device and Walking Directions, IPIN 2015.
- FIS was proposed by Kouroggi and Kurata in PLANS 2014.
- ただし、センサを固定できるなら進行方向推定は簡略化できる

気圧に基づく滞在フロア判定： ユーザ間連携（クラウドソーシング）

- PDRの高さ方向追跡能力強化（9軸PDR→10軸PDR）
- 位置計測インフラを併用した高さ気圧を対応テーブル構築
- 端末依存誤差・環境気圧変化を補正した気圧からの高さ推定



産総研でのxDR研究の歴史

実用化

- * Innovation Leaders Summit (ILS) TOP100 STARTUPS, 2018-2019.
- * 第1回めがきビジネスアワード奨励賞, 2017.
- * G空間EXPO2016測量新技術賞, 2016.
- * LBJ2015 Best of Show Award審査員特別賞, 2015.



国内初 PDR組込モジュール
世界初 VDR組込モジュール
世界初 PDR腕時計型モジュール



2011-



産総研技術移転ベンチャー



2014-



600箇所の地下街・
地下鉄構内で利用可能
(2021.5現在)



2015-

スマートフォン・リストバンド・社員証等
への組込展開



2015-2018

学術活動

IPIN2017~IPIN2020
UbiComp/ISWC 2015

xDR Challenge シリーズ (国際屋内測位コンペ) 開催

産総研

平成28年度理事長賞「研究」



G空間EXPO2016

PDRからVDRへ拡張 (**世界初**)

IPIN2015, 2016

10軸PDR、統合測位の時系列部分最適化

PDRベンチマーク標準化委員会

2014年設立(2020.5現在**44組織**加入)

PLANS2014

ハンドヘルドPDR(進行方向推定)
(仏IFSTTARの比較評価で最高性能[IPIN2015])

ICServ2013

PDRによるサービス改善支援研究でベストペーパー賞

PLANS2010

PDRplus (PDR + 動作認識)

G空間EXPO2010

スマートフォンPDRデモ (**世界初**)

ICAT2006

PDR + GPS + RFID

ISMAR2003

画像の位置合わせ + PDR (**世界初**)

PDR: Pedestrian Dead Reckoning
VDR: Vibration-based/Vehicle
Dead Reckoning
SDF: Sensor Data Fusion
(Integrated Positioning)
RFID: Radio Frequency Identifier
GPS: Global Positioning System

HARCS2021

人間拡張技術とは「人に寄り添い、人を高める技術」であると考えています。ヒューマンセンシングにVR/ARやロボット技術を統合して、人の身体能力やコミュニケーション能力を高め、さらには、モチベーションやエンゲージメントを向上させる研究を始めています。人間拡張研究センターでは、これらの技術開発にサービス工学やデザイン研究のメンバーを加えて、センシング技術からサービス産業創出までのフルセットの研究体制を作りました。

人間拡張研究センター設立後第3回目となる本シンポジウムでは、「ウェアラブルセンシングとXRによる人間拡張」をテーマとして、魅力的な各分野の講演者の方々をお招きするセッションを企画しております。また、人間拡張研究センターで進めている個別の研究テーマについて各研究者とディスカッションできる場もセットいたします。最新技術の動向と新しい産業の可能性を知っていただく機会としていただければと思います。

開催概要

日時: 2021年11月29日(月) 9:20~18:00

場所: オンライン開催 (ZoomとoViceによる開催を予定)

参加費: 無料

プログラム抜粋
(その他、招待講演数件 +
ポスター発表あり)

9:30~9:40	開会挨拶 関口 智嗣 (産業技術総合研究所 理事/情報・人間工学領域領域長)
9:40~10:10	センター長挨拶 持丸 正明 (人間拡張研究センター 研究センター長)
10:10~11:00	基調講演 1 「ウェアラブルデバイスの最新技術動向」(仮) 染谷 隆夫 氏 (東京大学大学院工学系研究科電気系工学専攻 教授)
13:00~13:50	基調講演 2 「XR技術の最新技術動向」(仮) 清川 清 氏 (奈良先端科学技術大学院大学先端科学技術研究科 教授)