

従業員とフォークリフトの屋内測位 国際競技会を通じた精度評価指標の設計 ～ xDR Challenge in Manufacturing 2020 ～



一刈良介（産総研），霜村瞭，太田望，長江五月（筑波大），
興梠正克，蔵田武志（産総研）

屋内測位技術のベンチマーク

- GNSS(GPS等)が利用できない屋内環境で測位を行うためには、独自に屋内向け測位手法を導入する必要あり
 - Wi-Fi/Bluetooth測位：絶対的な位置を計測，離散的
 - xDR（自律航法）：相対測位，連続的な測位，補間向き
 - 統合測位：複数の測位技術や環境制約を組み合わせで測位
- 屋内測位技術は，状況に応じて性能が大きくことなり，性能の比較が難しい
- 仕様書や論文に、どのように性能を表記すればよいかを統一していく必要性
- [PDRベンチマーク標準化委員会を組織](#)
- 測位コンペティション：主催者側が共通したテスト環境を提供して，参加者の測位手法を評価する競技会

Benchmarking
Process

+

Benchmark
Indicators

+

Trial Set
(Dataset)

PDR/xDR Challengeの位置づけ

- 既存の測位競技会: 正確な位置計測精度評価が主眼
- PDR/xDR Challenge: 実用(産業)シナリオでの測位技術評価
 - 実現現場でのデータ計測と統合性能評価基準が特徴

	PDR Challenge in Warehouse Picking 2017 	xDR Challenge for Warehouse Operations 2018 	xDR Challenge in Industrial Scenarios 2019 	xDR Challenge in Manufacturing 2020 
シナリオ	物流倉庫内のピッキング作業 (特定の産業シナリオ)	ピッキングやフォークリフト運転などの物流倉庫作業	製造業・外食業における業務中の動作	製造業の作業員とフォークリフトの導線計測
想定される対象の動作	歩行だけでなくピッキング業務に纏わる様々な動作を含む	歩行だけでなく物流倉庫におけるピッキング, フォークリフト運転業務中の様々な動作を含む	製造業における製造ラインで行われる作業・移動, 外食業での接客に含まれる作業	製造業の工場でのラインでの作業と運用されるフォークリフト
コンペ形式	オフサイト	オフサイト	オフサイト	オフサイト
対象の手法	PDR+BLE+MAP+WMS	PDR/VDR+BLE+MAP+WMS	PDR+BLE+MAP, エリア分析動作認識	PDR/VDR+BLE+MAP
人数・試行数	8人, 8試行	34人+ フォークリフト6台, 170試行(PDR) + 30試行(VDR)	製造業部門: 8試行(4名) 飲食部門: 10試行(10名)	作業員: 7試行(3名) フォークリフト: 2試行(2台)
各データの長さ	作業員: 約3時間	作業員: 約8時間 フォークリフト: 約8時間	製造業部門: 約3時間 飲食部門: 約6時間	作業員: 約2時間~7時間 フォークリフト: 約15分
評価指標	統合誤差評価 (測位精度, 軌跡の自然さ, 物流倉庫特有の評価の項目)	統合誤差評価 (測位精度, 軌跡の自然さ, 物流倉庫特有の評価の項目)	統合誤差評価 (測位精度, 軌跡の自然さ, エリア判定(製造), 行動認識(外食))	統合性能評価 (誤差絶対量, 誤差のXY分布, 誤差累積量, 移動速度, 障害物判定)
備考	PDRだけでなく, BLEやWMS, MAPを用いた統合測位を用いて, 物流倉庫での実用性能を競う	PDR部門とVDR部門の2部門構成, 物流倉庫の典型的動作を紹介する動作をMoCapで計測してCG動画で紹介	製造業と外食部門の2部門構成, 現場分析に活用する情報として滞在エリアと行動内容の評価を評価項目に採用	製造業におけるラインでの業務における従業員とフォークリフトの測位性能を判定において, 新たな評価指標を導入. 評価スクリプトも整備

xDR Challenge in Manufacturing 2020

(PDRベンチマーク標準化委員会主催)

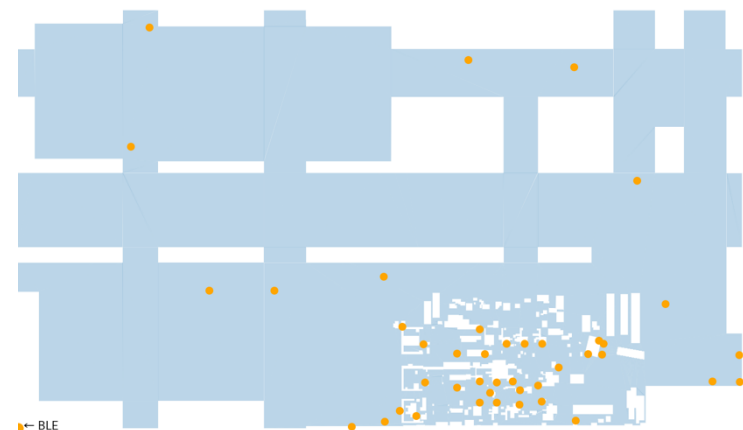
- 今年度は製造業を対象としたコンペを開催
- IPIN2020のオンラインコンペトラックとして開催予定(IPIN2020@北京は中止)
- PDR(作業員)とVDR(フォークリフト)の2つのサブトラックにわけて開催
- Android端末で計測したセンサデータ, MAP, 補正点データ, BLEビーコン配置情報等を公開(xDRとBLEを用いた統合測位手法を想定)
 - BLE ビーコン: PulsarGum (FUJITSU)
バッテリーフリー, 信号発信間隔1.26秒以上(光発電に依存)
 - 計測端末: BL-02 (BIGLOBE)
- オーガナイザー: 一刈, 霜村, 長江, 太田, 蔵田, Antonio Ramon Jimenez Ruiz (CSIC-UPM, スペイン), Soyeon Lee (ETRI, 韓国)
- スポンサーの支援で賞品・賞金授与



PulsarGum



BL-02

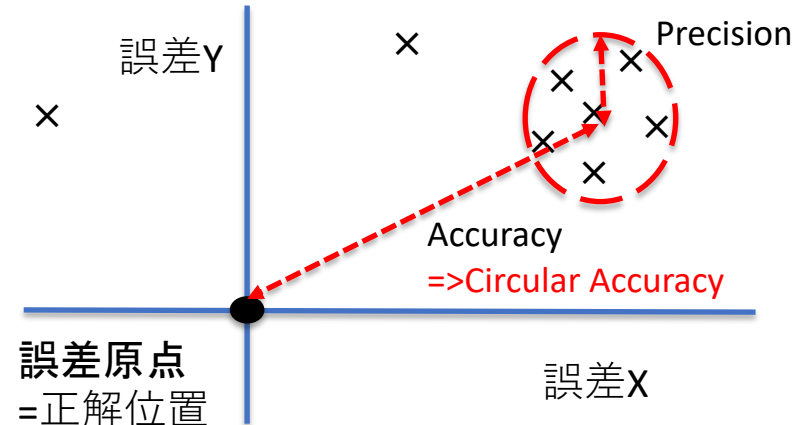
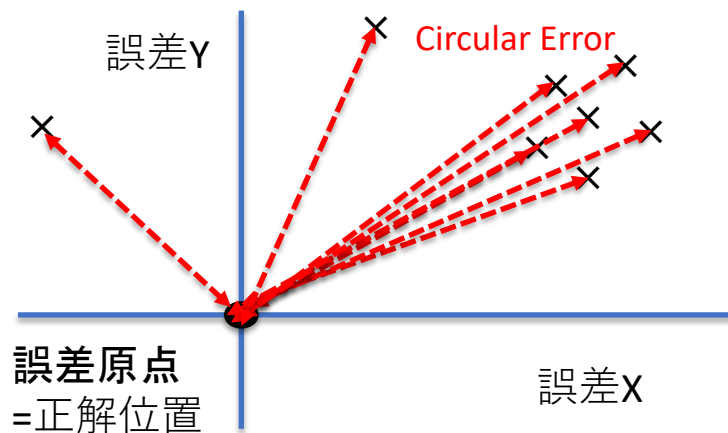


対象の工場とBLE配置 (140m × 80m)



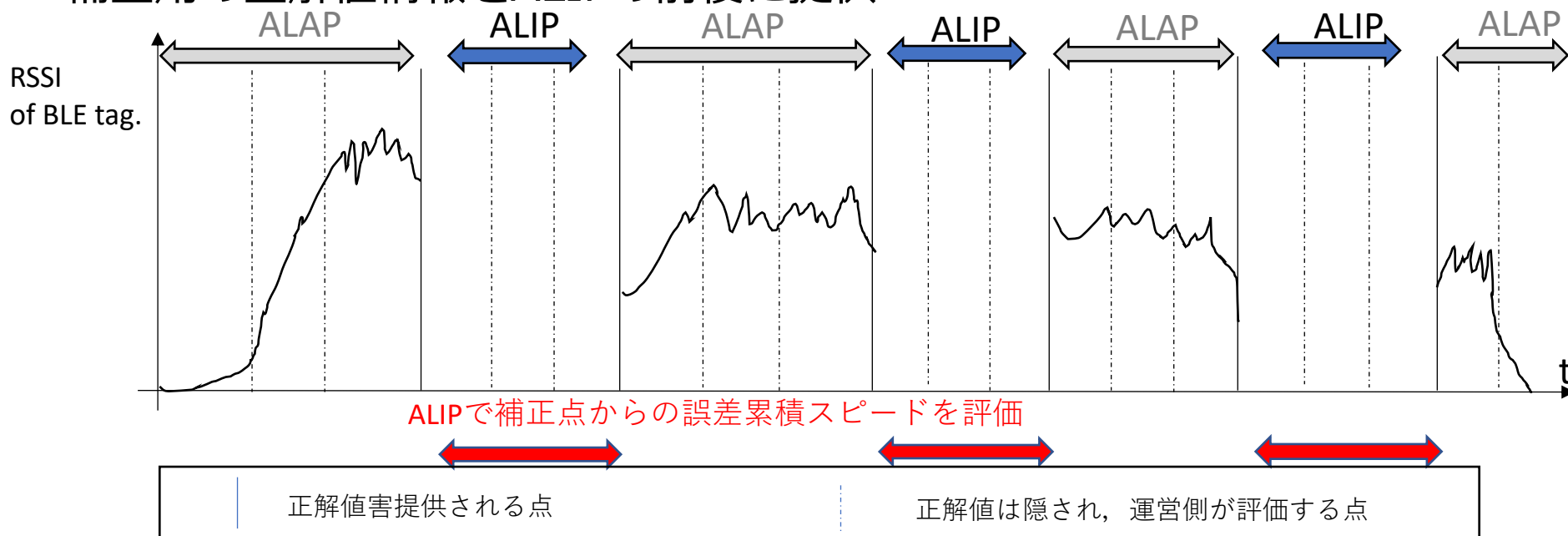
測位におけるAccuracyとPrecision

- 産業現場分析の観点から：ヒートマップやエリア分析時の推定位置投票のズレを把握したい
 - 測位誤差は， Accuracy（正確度） Precision（精度）とに分けられる
 - Accuracy: 推定位置の正しさ→真値と確率密度分布のピークのズレ
 - Precision: 推定位置の広がり， バラつき
 - 既存の正解値と絶対誤差は（Circular Error） ， PrecisionとAccuracyの両方の要素を含む
 - ISO18305では2次元絶対位置誤差はCEと呼ぶことから， CEという指標名を採用
 - Circular Accuracy(CA)により， 正確度（推定のズレ） も評価
 - ISO18305のAccuracy 関係指標： The mean of the error vector
- (参考)ISO180305のPrecision関係指標： Variances of magnitudes of various errors



ALIP (Absolute Localization Inapplicable Period) による誤差蓄積の評価

- 自律航法などの相対測位手法特有の誤差累積のスピードを評価したい
- データセットには統合測位用の補正情報が含まれる
⇒ BLE信号を部分的に意図的に削除
- 絶対位置測位(AL)が適用不能な区間:ALIP (AL Inapplicable period)
⇔ 絶対位置測位が利用可能な区間:ALAP (AL Applicable period)
ALIPの例: センサデータからBLE受信情報のみを消した区間
- 補正用の正解値情報をALIPの前後に提供



xDR Challengeにおける 測位技術の評価項目

- 3つの評価指標（誤差に関係）：
 - 誤差絶対量：**CE**（Circular Error）, 単位：m
 - 誤差分布偏移：Circular Accuracy (**CA**), 単位：m
 - 誤差累積勾配：**EAG**（Error Accumulation Gradient）, 単位：m/s
- 3つのネガティブチェック
 - 移動速度基準：速度が基準値以下かをチェック
 - 軌跡経路基準：軌跡の経路（座標）が移動可能領域かをチェック
 - カバー率：データセットに対して位置推定結果が提出されているかチェック

xDR Challenge 2020の評価項目案

精度評価（誤差評価指標による評価）

- I_{ce} : 測位技術の誤差絶対量(circular error)の評価（CE50利用）
- I_{ca} : 測位技術の誤差空間的分布(circular accuracy)を評価（CA利用）
- I_{eag} : xDRの誤差累積速度を評価（EAG50利用）

軌跡の自然さに関する評価（ネガティブチェック）

- $I_{velocity}$: 歩行速度に関する評価（1.5m/s.移動速度基準を利用）

様々な産業現場に共通する一般的な評価（ネガティブチェック）

- $I_{obstacle}$: 軌跡と障害物の衝突に関する評価（軌跡経路基準を利用）

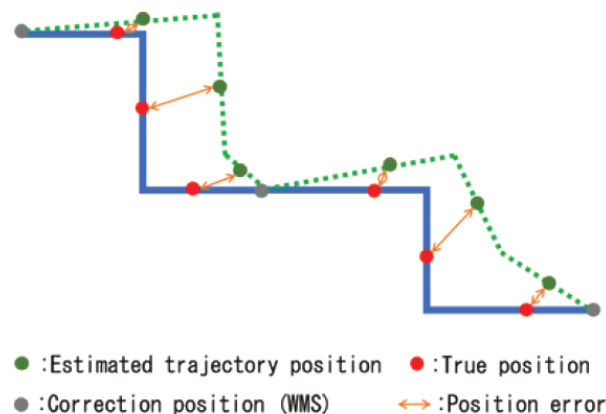
位置推定の継続性の評価（ネガティブチェック）

- $I_{coverage}$: 評価点に対応する軌跡提出があるかどうか

$$\text{最終スコア} = I_{coverage} (0.25 I_{ce} + 0.2 I_{ca} + 0.25 I_{eag} + 0.15 I_{velocity} + 0.15 I_{obstacle})$$

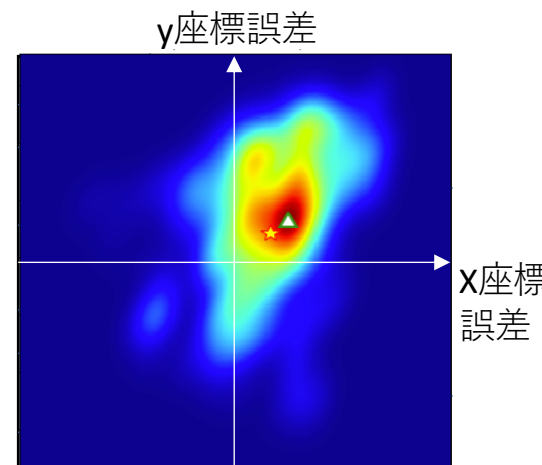
評価指標1：誤差絶対量

- 誤差絶対量：CE (Circular Error)
 - 説明：正解値と比較した誤差絶対量
 - 定義：正解座標データ（2次元）と時間的最近某の軌跡の（2次元）ユークリッド距離
 - 単位：m
 - 評価指標例：CE50（誤差絶対量の中央値）



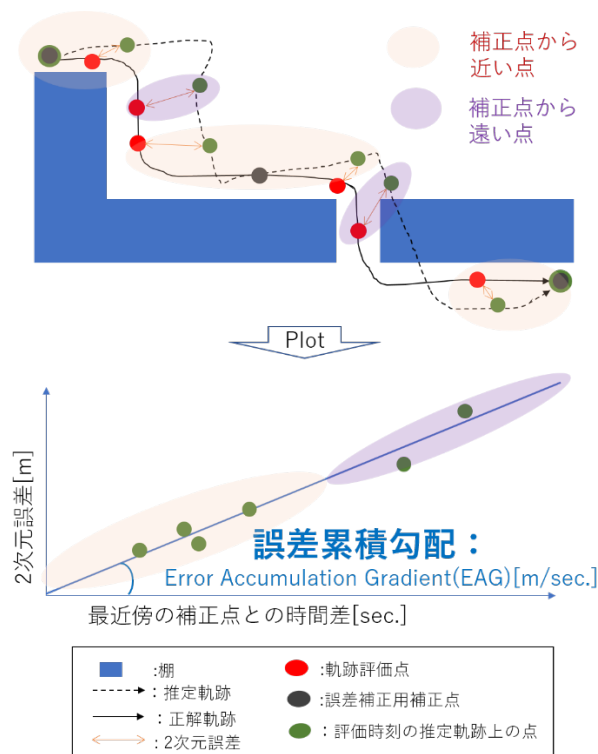
評価指標 2 : 誤差分布偏移

- 誤差分布偏移 : CA (Circular Accuracy)
 - 説明 : 誤差のXY分布傾向がどれくらい偏っているか
 - 定義 : 誤差XY分布の最頻値座標と誤差原点(0, 0)までの距離
 - 単位 : m
 - 評価指標例 : Area-Weighted CA (エリア毎のCAの加重和)



評価指標 3 : 誤差累積勾配

- 誤差累積勾配 : EAG
(Error Accumulation Gradient)
 - 説明 : 正解値が公開されたデータからの誤差の累積スピード
 - 定義 : ALIP内の評価点と時間的最近某の座標公開点(ALIP境界)との時間差に対する誤差絶対量の割合
 - 単位 : m/s
 - 評価指標例 : EAG50 (誤差累積勾配の中央値)
 - ISO18305にはない独自概念

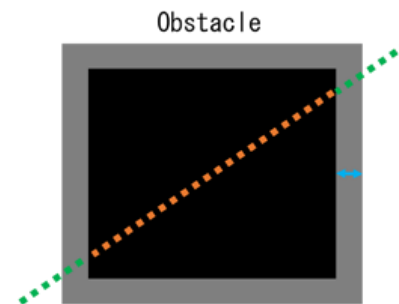


ネガティブチェック1：移動速度基準

- 移動速度基準：Requirement for moving velocity
 - 説明：測位軌跡中の局所的な歩行速度が適正範囲であるかの基準
 - 定義：測位軌跡を構成する構成点の局所的な歩行速度（局所移動量/ ΔT ）が歩行者速度基準閾値以下かを確認
 - 具体例：1.5m速度基準

ネガティブチェック2：軌跡経路基準

- 軌跡経路基準: Requirement for Validity of Trajectory
- 説明：提出軌跡のうち歩行可能なエリアを通るかを確認
 - 定義：軌跡を構築するすべての点のうち，通行可能エリアにいるかをチェック



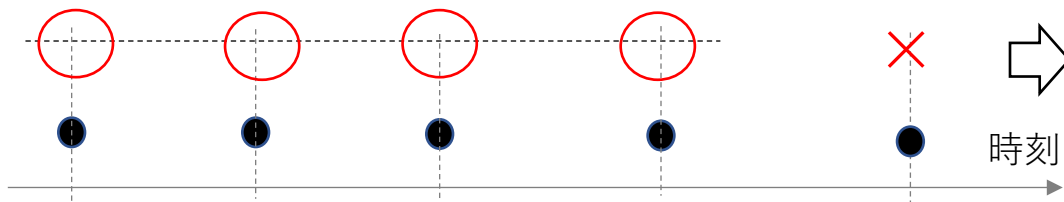
ネガティブチェック3：カバー率

- 参加者には評価点の時刻を隠しているため、参加者は高い時間分解能で位置推定を行うことが得策
→ 提出頻度基準を本年度は削除
- 軌跡の時間長が短い場合はスコアを減点する必要あり
- 各評価項目のスコアを減点してしまうと、評価項目のスコアが悪いのか、軌跡が短いのか区別できない
- 軌跡時間長を評価するカバー率を求め統合スコアに乗算
 - $I_{coverage}$ (カバー率) : 各評価点の時刻に対応する推定結果があったかどうかの割合
 - 判定法 : 評価点の前後1秒以内に推定結果があるかどうか

(例)

提出軌跡

評価点



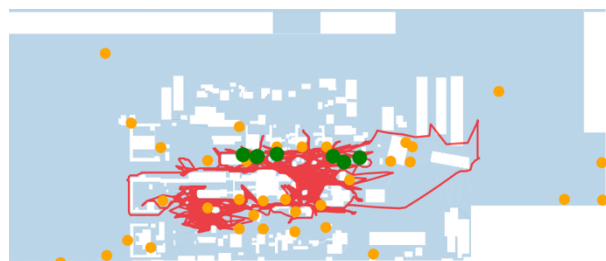
$I_{coverage}$
(カバー率) : 80%

申し込み, 参加チーム

- 仮登録(サンプル提供のための問い合わせ数) : 9チーム
(アイルランド, 日本3, 中国3, ポルトガル1, アメリカ1)
- 本登録(コンペデータ提供数) : 4チーム
(日本2, 中国1, ポルトガル1)
- 結果提出 : 2チーム
(日本2)
 - TEAM 1
 - TEAM 2

提出軌跡比較の一例

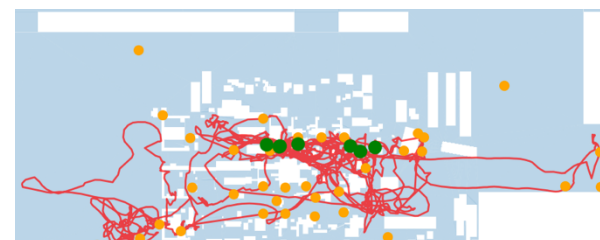
作業員動線 (PDR_No.5)



Team1

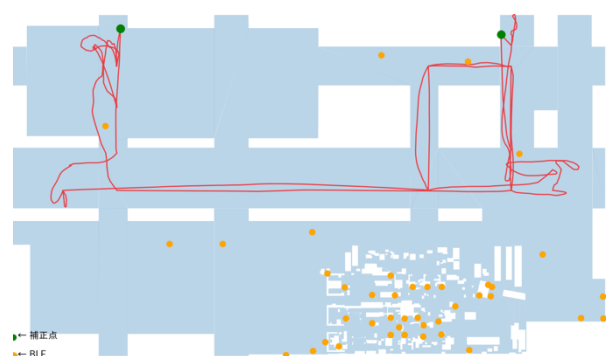


Team2

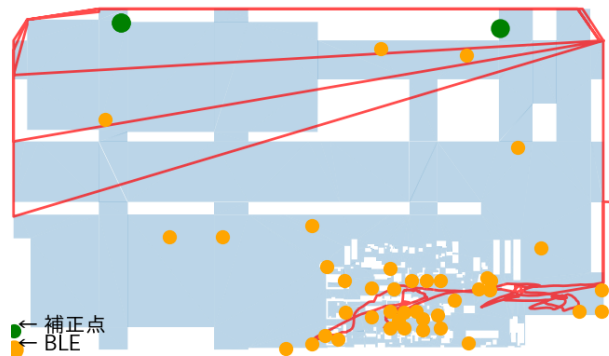


産総研軌跡(参考)

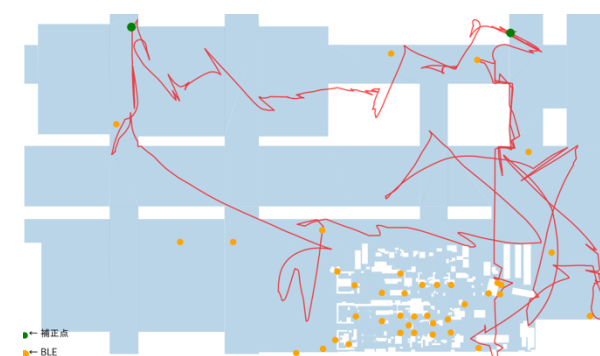
フォークリフト動線 (VDR_No.2)



Team1



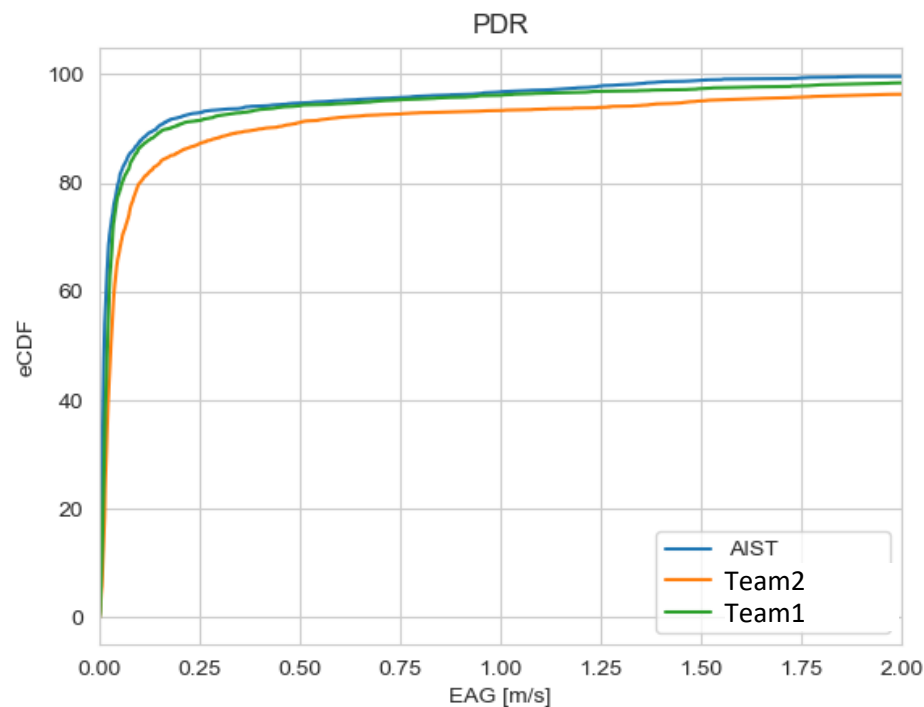
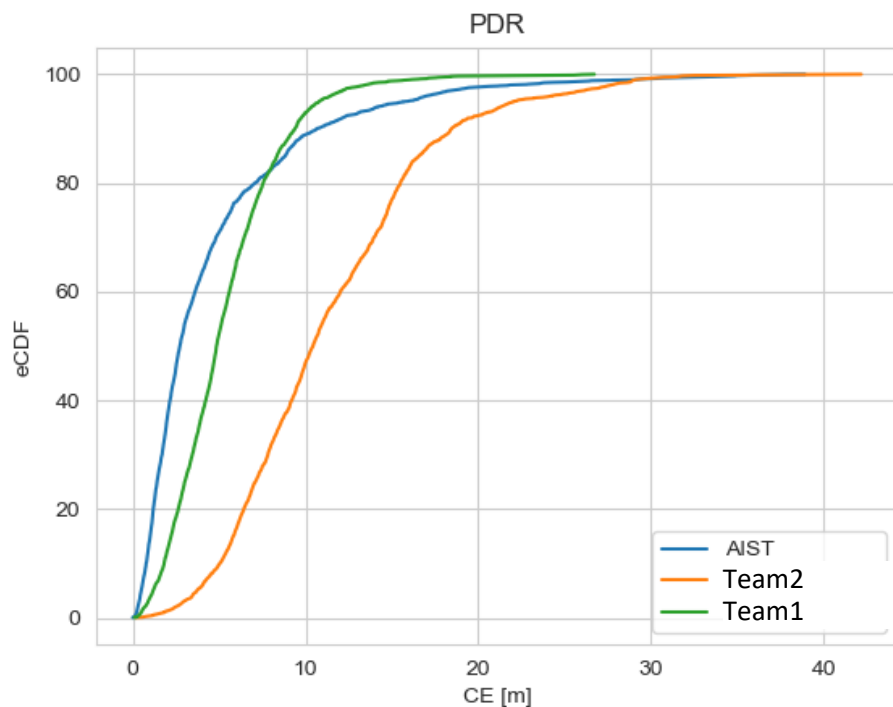
Team2



産総研軌跡(参考)

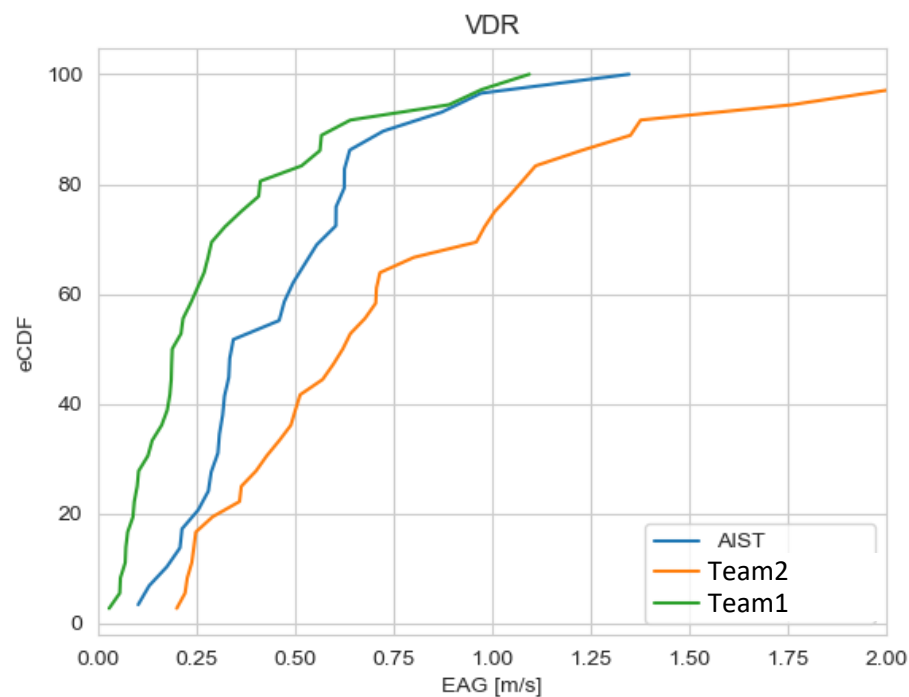
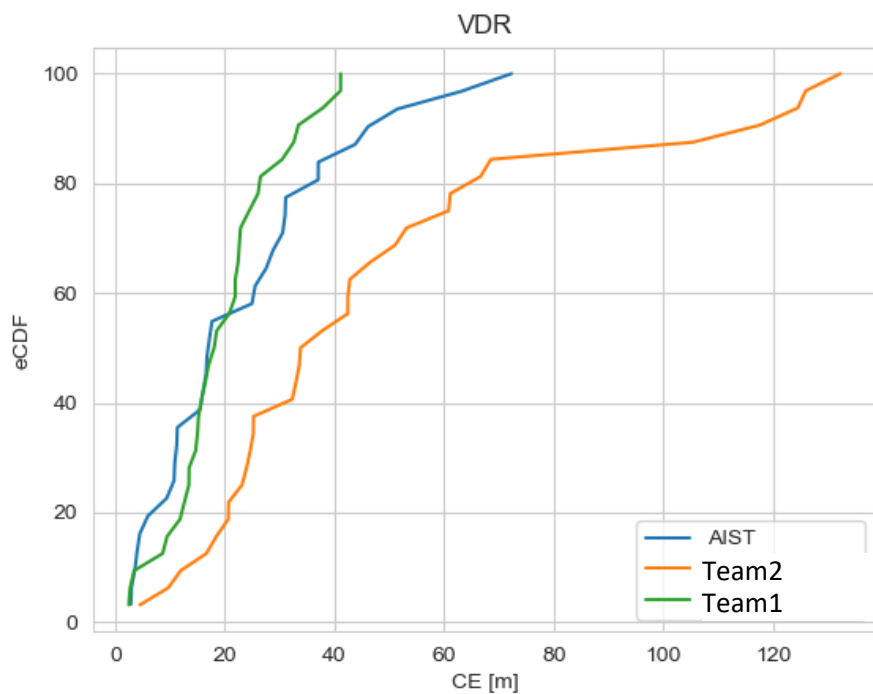
eCDF(経験的累積分布関数)

作業員 (PDR)



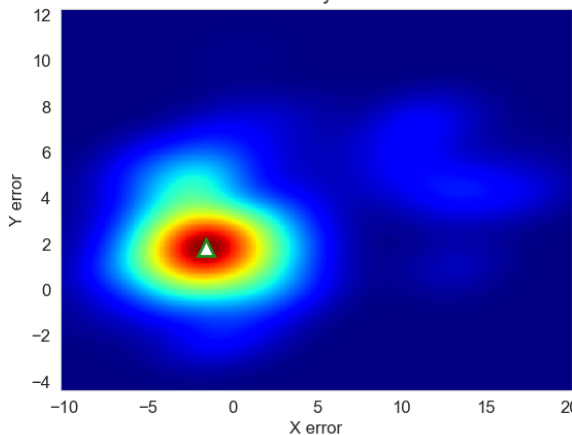
eCDF(経験的累積分布関数)

フォークリフト (VDR)

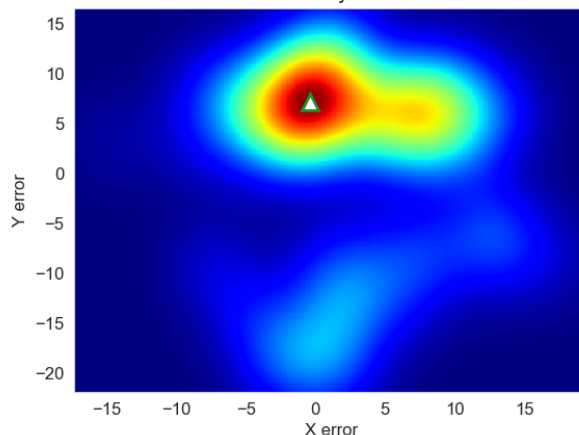


CA用の誤差分布比較の一例 (評価スクリプトで生成)

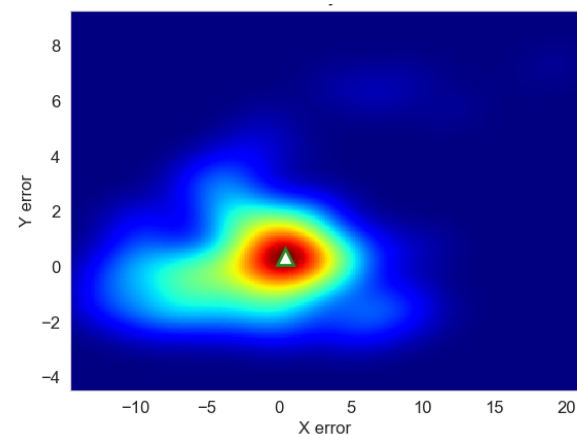
作業員動線 (PDR_No.5, エリア3)



Team1

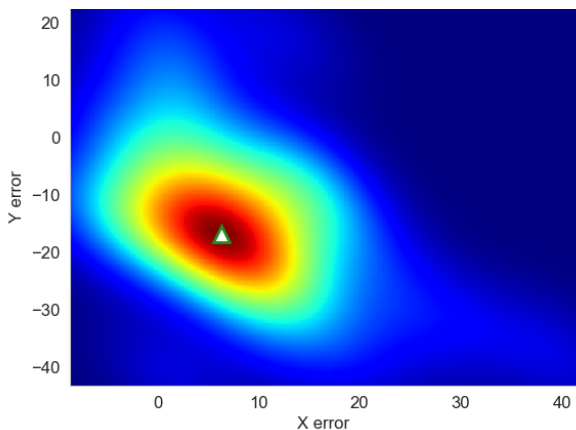


Team2

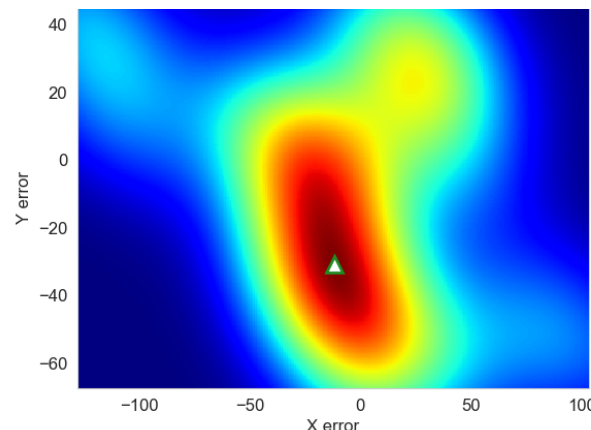


産総研軌跡(参考)

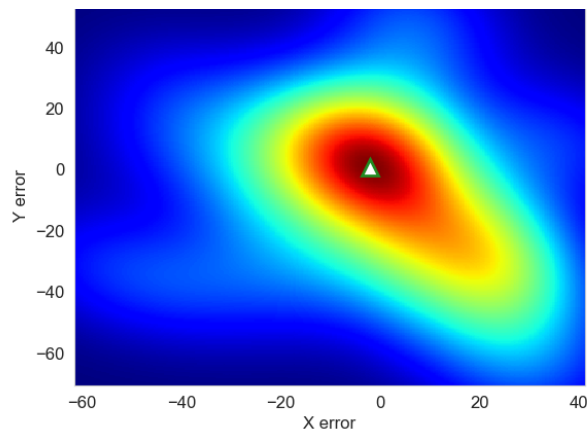
フォークリフト動線 (VDR_No.2)



Team1



Team2



産総研軌跡(参考)

最終スコアと評価指標(作業員, 平均値)

PDRサブトラック(作業員動線)

Team	I_ce (CE50)	I_ca (CA)	I_eag (EAG50)	I_ velocity	I_ obstacle	I_ coverage	Final
Team1	87.00 (4.77m)	60.89 (3.91m)	99.84 (0.026m/s)	99.52	99.80	100	88.79 (Winner)
Team2	68.18 (10.23m)	21.90 (8.99m)	99.89 (0.033m/s)	94.51	93.45	100	74.59
AIST (参考)	90.61 (3.72m)	65.80 (3.42m)	100 (0.018m/s)	98.12	99.21	99.94	90.36

最終スコア表と関連評価指標 (フォークリフト, 平均値)

VDRサブトラック(フォークリフト動線)

Team	l _{ce} (CE50)	l _{ca} (CA)	l _{eag} (EAG50)	l _{velocity}	l _{obstacle}	l _{coverage}	Final
Team1	34.24 (20.07m)	0 (18.58m)	92.01 (0.206m/s)	89.11	100	100	59.93 (Winner)
Team2	0 (34.63m)	0 (26.83m)	70.55 (0.624m/s)	79.55	73.47	100	40.59
AIST (参考)	39.02 (18.69m)	40.71 (5.93m)	86.86 (0.306m/s)	72.92	95.73	100	64.91

IPIN Competitionのオンラインイベントで結果発表

- 日本時間12/14 17:30 – IPIN 公式オンラインイベントで結果発表
- Zoom Webinar 参加者約60人

The screenshot shows a Zoom webinar interface. The main content is a slide titled "xDR Challenge in Manufacturing 2020 (Off-site Competition)". The slide lists the following details:

- Target industry:** Manufacturing
- Two sub-tracks**
 - PDR sub-tracks for tracking operators
 - VDR sub-tracks for tracking forklifts
- Dataset:** Sensor data measured by Android devices MAP, Reference pos. data, BLE beacon pos. data (for localization with xDR and BLE)
- Devices:**
 - BLE beacon: PulsarGum (FUJITSU) Battery Free, Interval of signal emission: longer than 1.26sec.
 - Sensor measurement: BL-02 (BIGLOBE)
- Organizers:** Ryosuke Ichikari, Ryo Shimomura, Satsuki Nagae, Nozomu Ohta, Takeshi Kurata (AIST, JP), Antonio Ramon Jimenez Ruiz (CSIC-UPM, ES), Soyeon Lee (ETRI, KR)
- Sponsors:** J-Power Systems, SUMITOMO ELECTRIC, SSGI, CLM NEXT, and others.

The slide also includes images of a forklift operator, a hand holding a PulsarGum device, and a hand holding a BL-02 device. At the bottom, there is a floor plan and position of BLE beacon (Size: 140m×80m).

IPIN Competition 2020 - Final event
14 December 9.30 AM (Central European Time - CET)
Zoom webinar
 The webinar link has been sent on the contest@evaal.aaloo.org mailing list
 Look for the link in the [contest list archives](#) or ask the track chairs or the workshop organizers (see at bootm)
Program:
9.30 Opening Session
 Francesco Potorti (ISTI-CNR) - General chair competition
 Paolo Barsocchi (ISTI-CNR) - Workshop chair
9.45 Track 3 - Smartphone
 - Track presentation (15 minutes):
 Joaquín Torres-Sospedra (UBIK, University Jaume I), Antonio R. Jiménez Ruiz (CSIC)
 - winner's presentation (15 minutes)
10.15 Track 4 - Foot-mounted IMU
 - Track presentation (15 minutes):
 Miguel Ortiz, Johan Perul (GEOLOC Team, Ifsttar)
 - winner's presentation (15 minutes)
Break (15 minutes)
11.00 Track 5 - xDR in manufacturing
 - Track presentation (15 minutes):
 Ryosuke Ichikari, Ryo Shimomura (AIST and University of Tsukuba)
 - winner's presentation (15 minutes)

[イベントのWebサイト]

コンペ結果の所感・総括

- 広く浸透させたい評価指標(CE,CA,EAG)を明確にし, コンペにおいて運用できた
- EAGはあまり指標として機能していなかった
 - ALIPが長すぎた?
- フォークリフトの測位は精度が想定より悪い
 - VDR測位自体の難しさと認知度
 - 空間あたりのBLEの配置数が少ない
 - CAやCEのスコア算出用パラメータは要検討
- 測位評価方法に関する透明性, 再現性の向上
 - ウェイトの変更やカバー率の追加はあったが, 事前公開スクリプトと評価用スクリプトをほぼ同じにできた

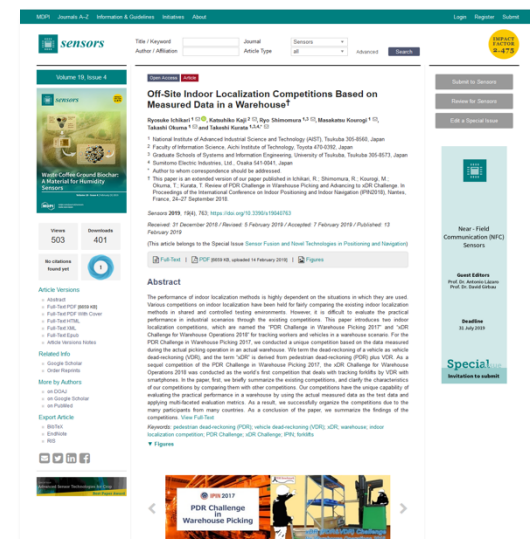
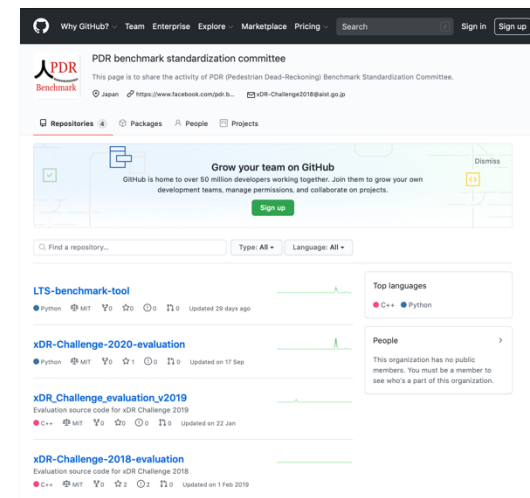
評価用スクリプトと論文の公開

• 評価用プログラム

- GitHubで公開
- 評価方法の確認や参加者への試行錯誤機会の提供, 評価法の普及・標準化にむけて
- <https://github.com/PDR-benchmark-standardization-committee/>

• オープンアクセス誌 (Sensors) でコンペ結果を総括した論文を公開

- 既存のコンペのサーベイも紹介
- <https://www.mdpi.com/1424-8220/19/4/763>
- HCGシンポジウム(2016, 2018, 2020)でも発表



ご清聴ありがとうございました。

Contact:

一刈良介 (r.ichikari@aist.go.jp)

PDRベンチマーク標準化委員会の会員も随時募集しております（参加費無料）