

令和7年度豊橋市大学研究活動費補助金成果報告会  
2026.4.20 11:25~11:40  
emCAMPUS STUDIO TUTサテライトオフィス



# 図書館業務のDX化を支援する 自律巡回型配架チェックロボットシステムの研究開発



高橋 淳二, Ph.D.

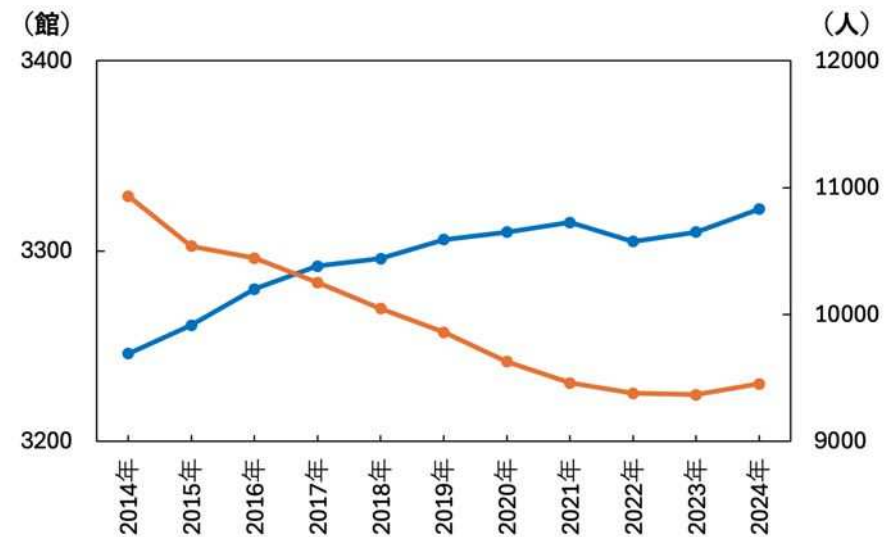
日野 綾瀬, 博士前期課程1年  
豊橋技術科学大学 機械工学系



# 図書館業務を取り巻く現状

- 配架・蔵書点検は**人手中心の作業**
  - 豊橋市中央図書館  
蔵書：100万冊、貸出数：80万冊/年（2300冊/日）

- この10年で
  - 図書館数：増加
  - 職員数：減少傾向
- 結果として
  - 現場負担の**増大**
  - サービス品質維持が困難に



日本図書館協会 (2024)  
「日本の図書館統計 - 2024公共図書館 (経年変化)」のデータをグラフ化



# 図書館に求められる役割の変化

- 図書館員には、**より高度な業務**が期待されている
  - 教育・研究支援、情報リテラシー支援
  - サービス企画（アウトリーチ）
  - エンベッディッド・ライブラリアン
- しかし現状は
  - ルーチン作業に多くの時間を消費
  - **本来注力すべき業務**に十分な時間を避けない



## 図書館業務の**効率化**が不可欠

- **配架確認**
- **蔵書点検**
- **日常巡回業務**
- これらを自動化・省力化（DX化）するには**自律巡回ロボット**が最適



# 配架チェックロボットの従来研究

シンガポール公立図書館

- 2D-LiDAR SLAM
- RFID



<https://www.youtube.com/watch?>

平泉町立図書館 (ugo)

- 2D-LiDAR SLAM
- カメラ



<https://corp.ugo.plus/news/2024/09/13/20240913>

泉大津市立図書館

- 2D-LiDAR SLAM
- -



<https://www.youtube.com/watch?v=e>

SHELF EYE (京セラ)

- -
- カメラ+背表紙DB



<https://www.kyocera.co.jp/intellectual-property/news/2024/07-01-176.html>

- 2D-LiDAR SLAM方式は、**センサコスト**、**運用コスト**が大きく、導入障壁となる
- RFID方式は、**読取精度**、**消費電力**、**センサ重量**、などが
- カメラ+DBは、DataBase 作成のための**事前撮影**が大きな手間



# 研究目的

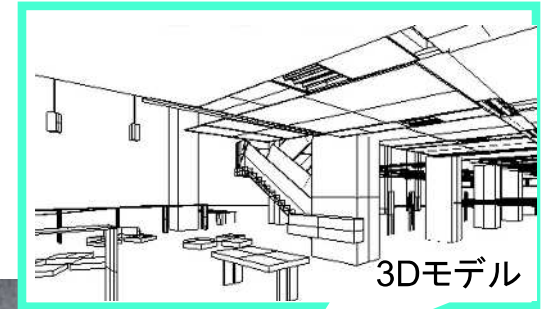
## 低コストで運用できる自律巡回型の 配架チェックロボットシステムの構築

- ナビゲーション
    - 位置推定、経路生成、経路追従、障害物回避
  - ロボットシステム
    - カメラ配置、センシングスキーム
  - 配架チェック
    - 画像による書籍の検出、背ラベルの読取、
    - 誤配架箇所への提示
- ➡ コア技術①
- ➡ コア技術②
- ➡ コア技術③



# システム全体像

- ① Ceiling-VGMの導入
- ② ロボットシステムの開発
- ③ 書籍検出・ラベル読取



3Dモデル



③



①



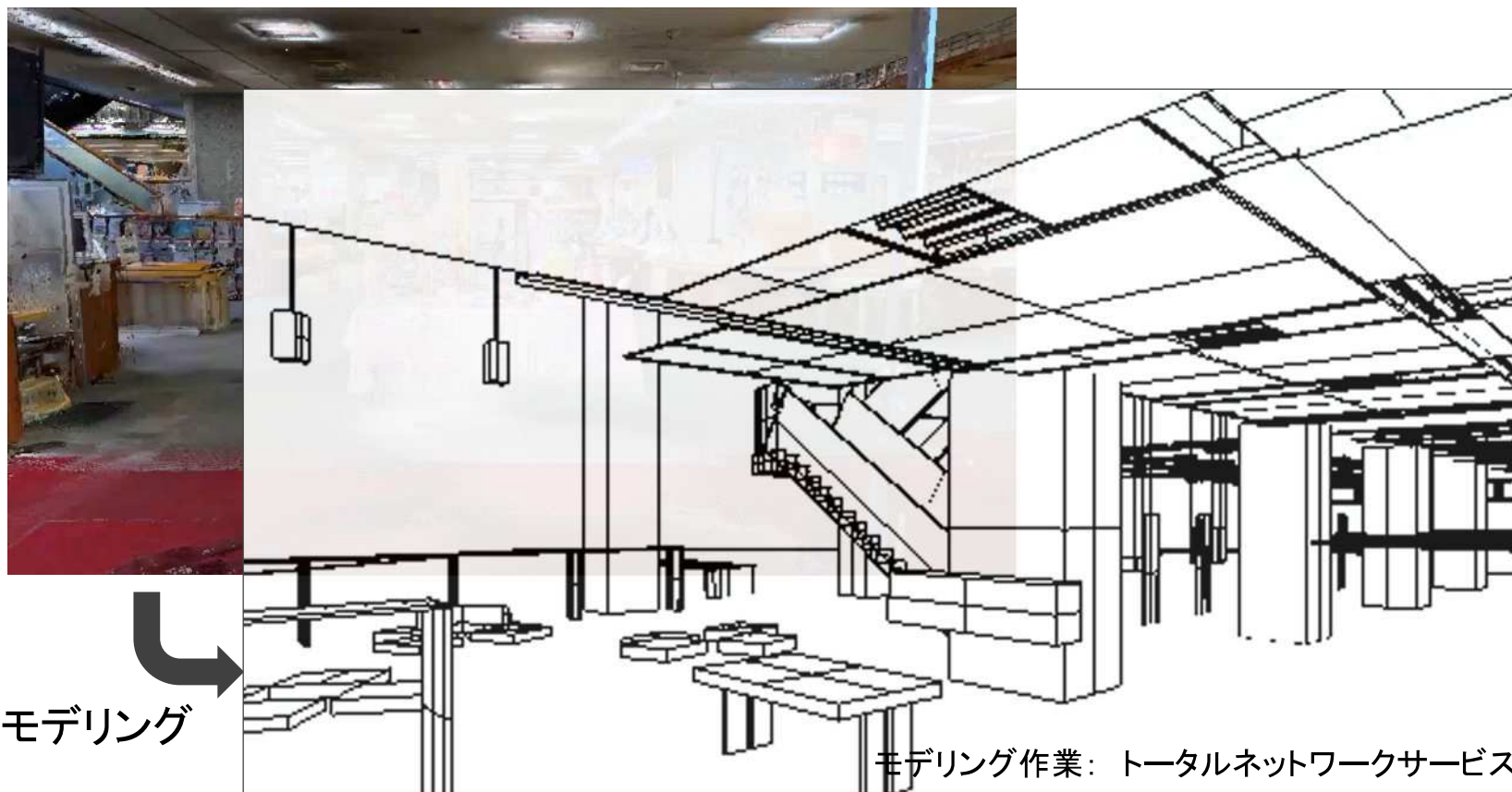
VGMサーバ

②

# コア技術①: Ceiling-VGM 位置推定 (1/2)



TLS計測、統合



モデリング

モデリング作業: トータルネットワークサービス

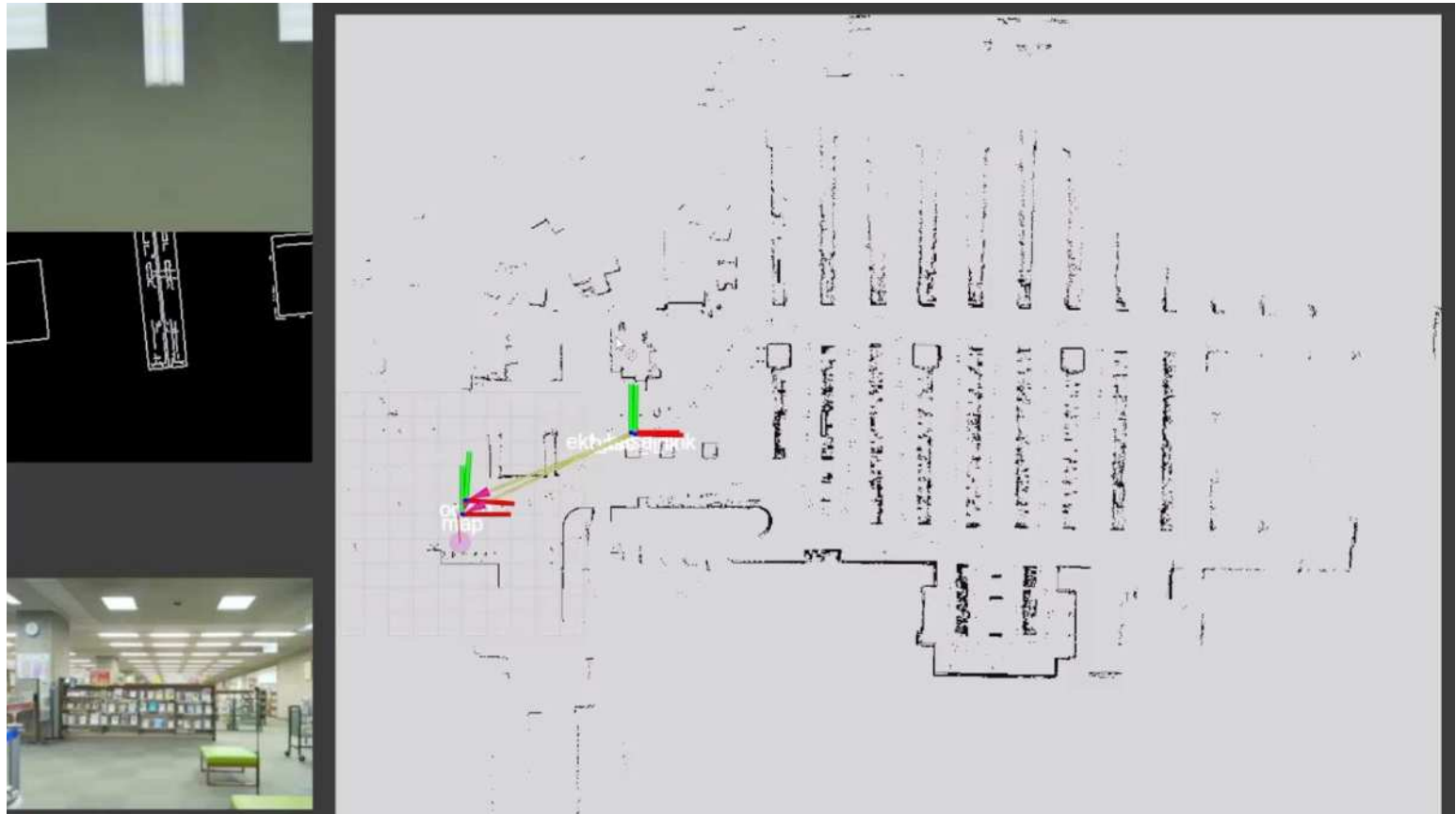


# コア技術①: VGM位置推定(2/2)

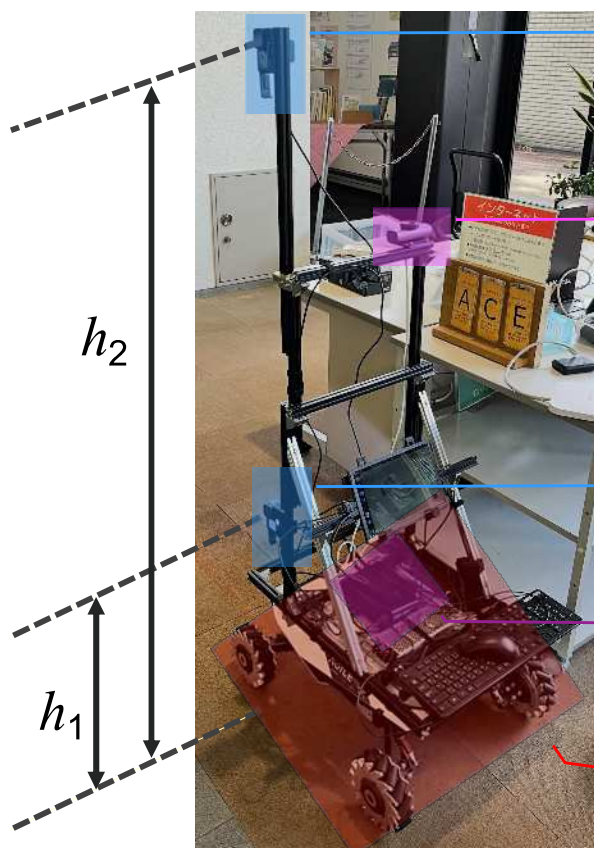
Ceiling-VGM開発用のデータ取得完了

- ◆ マップ用3Dモデル
- ◆ rosbagデータ
  - ・ホイールエンコーダ
  - ・Ceiling Camera
  - ・Front Camera
  - ・2D-LiDAR(比較用)

- Cannyパラメータ
- 3Dモデルの調整、改良中...



## コア技術②: 本棚計測ロボットシステム (1/2)



Hero 12  
(GoPro)

MX Brio  
(Logi)

Orin NX 16GB  
(NVIDIA)

Scout mini w/ Omni Wheel  
(Agile X Robotics)

カメラ選定、配置の要件

- ✓ 1つの本棚を1回の走行で計測
- ✓ ラベル1文字あたりの画素数を確保
- ✓ Auto Focus、耐ブレ性能



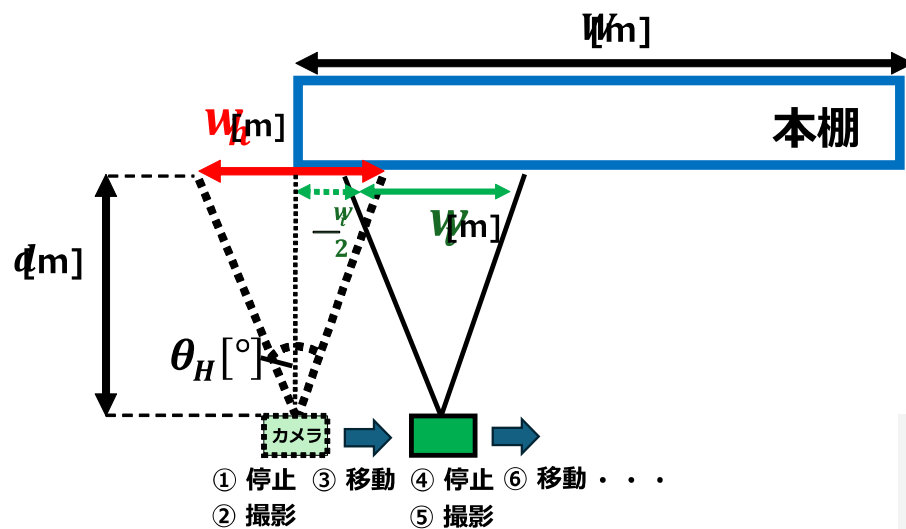
GoPro 2台を縦設置

- HFOV : 56 [degree]
- 解像度 : 4872×5568
- 18 pixel / 文字
- $h_1 = 0.498$  [m]
- $h_2 = 1.442$  [m]



## コア技術②: 本棚計測ロボットシステム (2/2)

- ストップ&ショット方式 による計測



- 撮影範囲:  $w_h$  に対して使用範囲:  $w_i$  を実験的に決定



撮影距離  $d$  [m], 水平視野角  $\theta_H$  [deg], 使用率  $p$  [%],

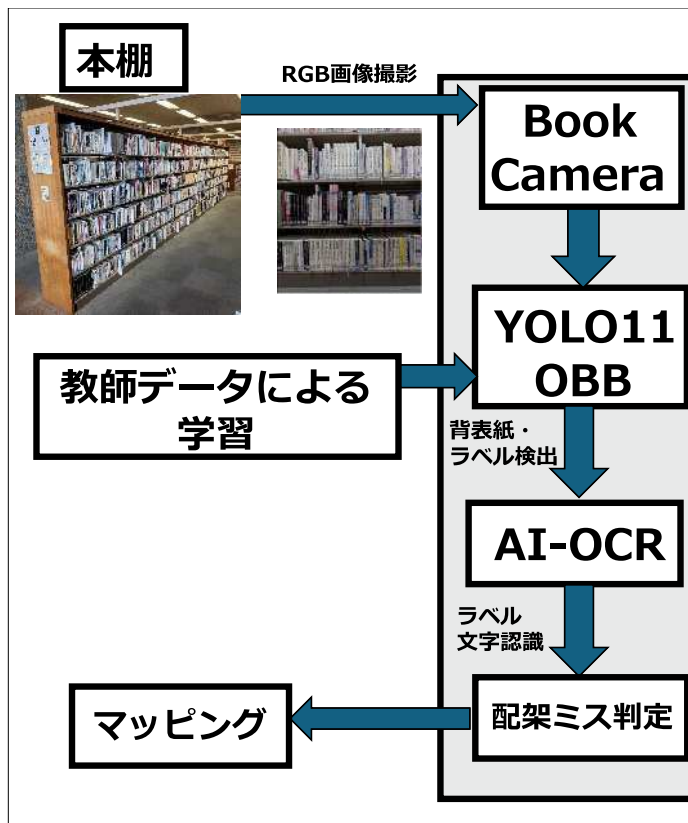
視認幅  $w_h = 2d \tan\left(\frac{\theta_H}{2}\right)$  [m], 有効領域  $w_i = \frac{p}{100} \times w_h$  [m]

◆ **ブレ**を抑えるために、撮影時はロボットの移動を停止

◆ **投影変形**と**遮蔽**の影響を抑制するために、**使用率  $p$  %** を設定



## コア技術③：書籍検出・認識(1/4)



### ◆検出器の学習

<教師データ>

撮影した画像を手動でアノテーション

単純加工を加え、最終的に約5,300冊分のデータ



撮影画像



アノテーション画像

<学習条件>

教師データ: 5,300冊 (学習: 4,600冊、検証: 700冊)

モデル: YOLO11x-obb

学習回数: 100回

## コア技術③: 書籍検出・認識(2/4)

### ◆書籍検出器の性能評価実験

- 撮影: ストップ & ショット (使用率:  $p = 40, 60, 80\%$ )
- 速度:  $v = 0.4 \text{ m/s}$ , 停止:  $t_{stop} = 3.0 \text{ s}$
- 対象: 本棚8A (6段×6m 約2,800冊)



$p = 40\%$   
(60枚/棚)



$p = 60\%$   
(40枚/棚)

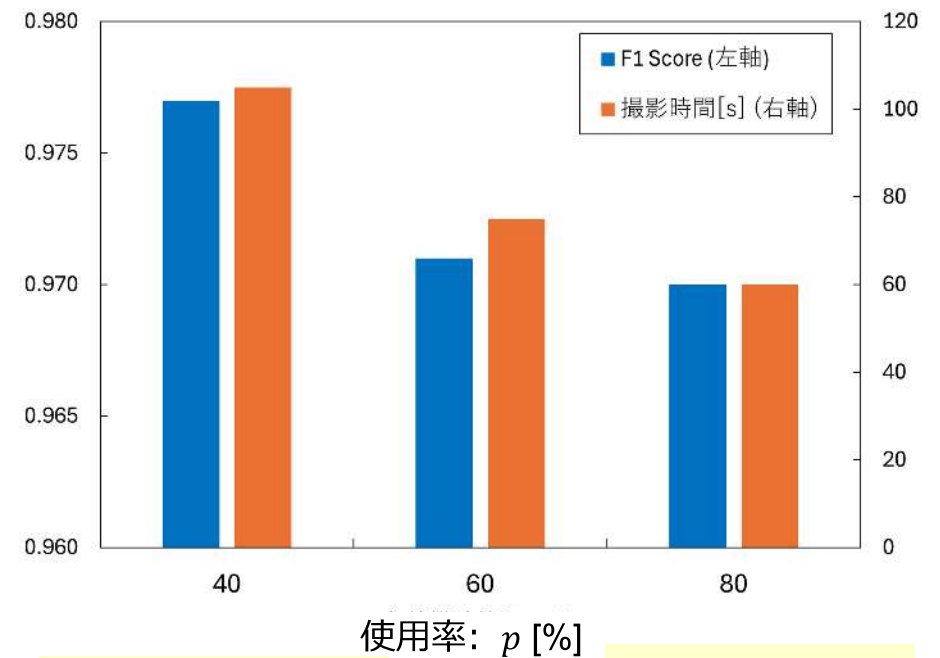
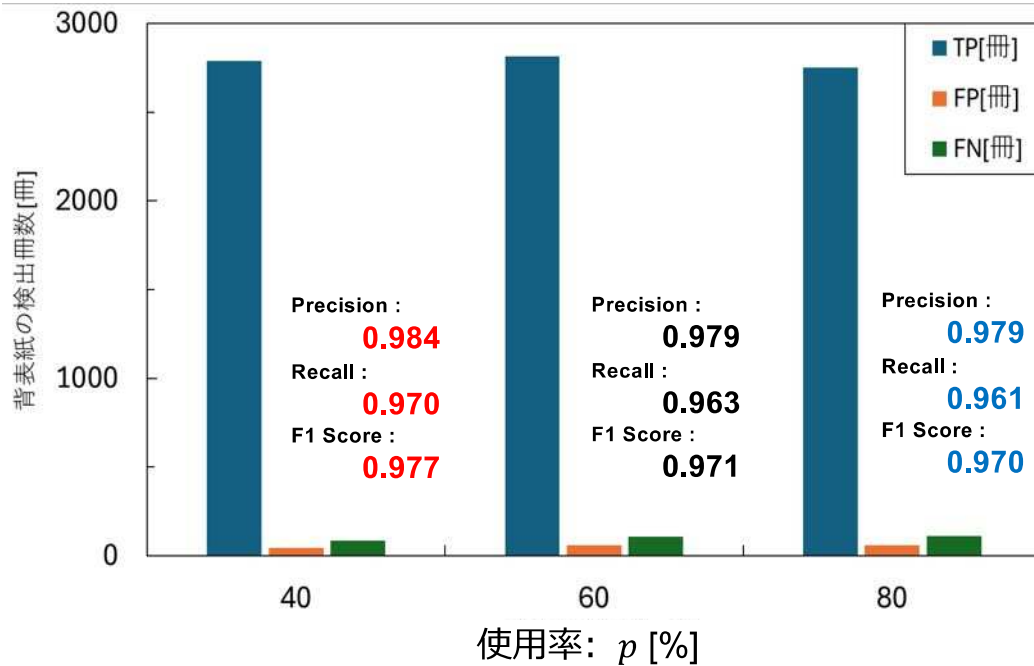


$p = 80\%$   
(30枚/棚)



# コア技術③：書籍検出・認識(3/4)

## ◆検出結果



- ✓ F1 Score はいずれも0.970以上
- ✓ 正確さと計測時間はトレードオフの関係

F1=0.984  
105 seconds



F1=0.979  
60 seconds



# コア技術③: 書籍検出・認識(4/4)

## ◆検出結果

手動トリミングした20枚の背ラベル画像を検証



AI-OCR: Gemma3

番号		分類記号	著者記号	番号		分類記号	著者記号
No.1	実際の請求記号	289.1	シ	No.11	実際の請求記号	331.1	ケ
	出力結果	289.1	シ		出力結果	331.1	ケ
No.2	実際の請求記号	115	セ	No.12	実際の請求記号	336.1	フ
	出力結果	115	セ		出力結果	336.1	テ
No.3	実際の請求記号	107	テ	No.13	実際の請求記号	366.29	ア
	出力結果	107	ナ		出力結果	366.29	ナ
No.4	実際の請求記号	159	ニ	No.14	実際の請求記号	361.45	メ
	出力結果	159	ク		出力結果	361.45	シ
No.5	実際の請求記号	159.8	チ	No.15	実際の請求記号	108	ウ
	出力結果	159.8	テ		出力結果	108	ウ
No.6	実際の請求記号	302.2	ジ	No.16	実際の請求記号	134	ソ
	出力結果	302.2	サ		出力結果	134	ニ
No.7	実際の請求記号	316.8	ル	No.17	実際の請求記号	150	ミ
	出力結果	310.8	レ		出力結果	150	ミ
No.8	実際の請求記号	309	ラ	No.18	実際の請求記号	121	コ
	出力結果	309	ラ		出力結果	121	コ
No.9	実際の請求記号	320	オ	No.19	実際の請求記号	289.3	シヤ
	出力結果	320	カ		出力結果	289.3	シヤ
No.10	実際の請求記号	319.5	タ	No.20	実際の請求記号	289.3	スタ
	出力結果	319.5	タ		出力結果	289.3	スタ

分類記号 : 正解率 **0.95**      著者記号 : 正解率 **0.50**

## まとめと今後の課題

- 自律巡回型配架チェックロボットシステムを開発した
  - Ceiling-VGM 動作確認、パラメータ調整、経路生成・追従
  - GoProカメラ2台の縦配置、ストップ & ショット方式
- YOLO11-obb、Gemma3を実装
  - 書籍検出  $F1=0.984$ 、
  - 文字認識正解率: 分類記号 0.95、著者記号 0.50

### 今後の課題

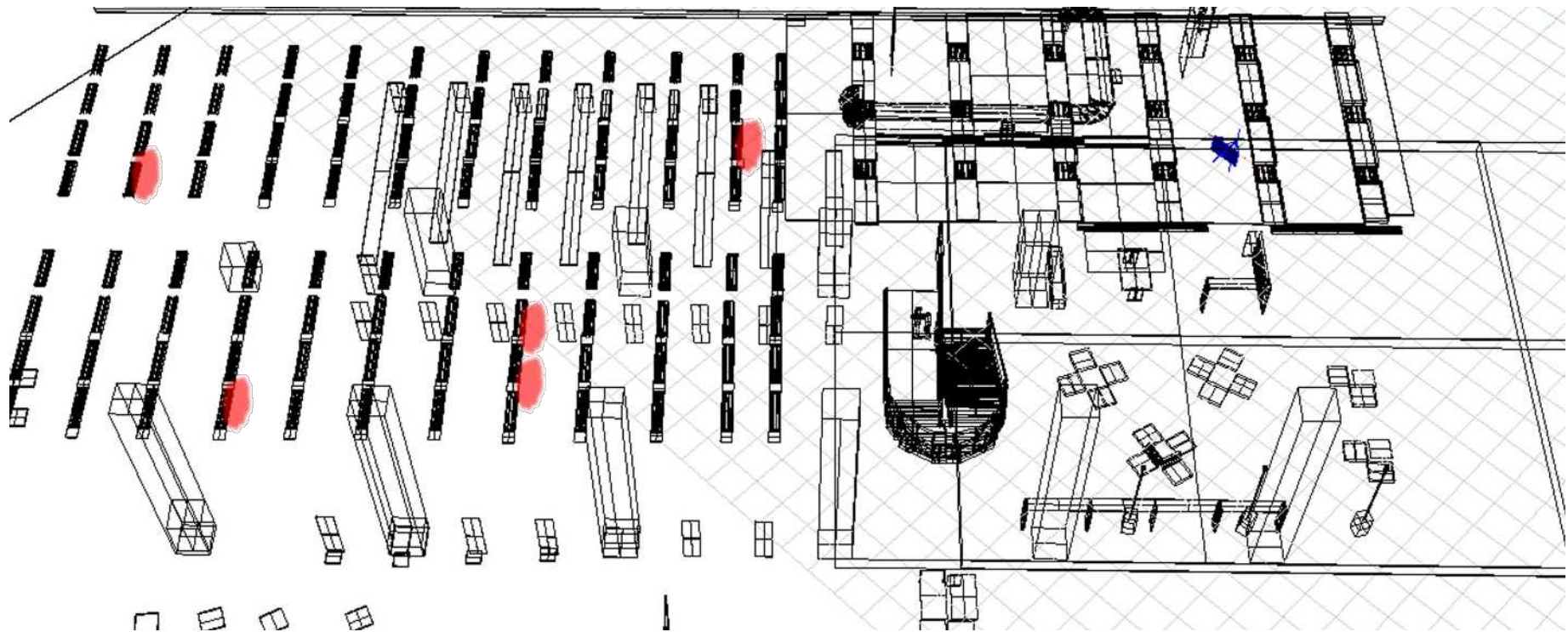
- 人・ロボット協調による効率的な配架方法
  - 科研費C採択 “配架・蔵書点検支援ロボット導入を契機とした司書業務の再編と新しい図書館像の提示”





# 想定する誤配架書籍の提示・マッピング

 : 誤配架ポイント



# 想定する誤配架書籍の提示・マッピング



ラベルの一貫性から誤配架箇所を推定し、  
配架作業者に分かりやすく提示する

 : 誤配架ポイント





# 謝辞

本研究は本補助金の支援のもと，中央図書館における実験フィールドの提供およびスタッフの皆様のご協力により実施されました。

心より感謝申し上げます。

ご清聴ありがとうございました。

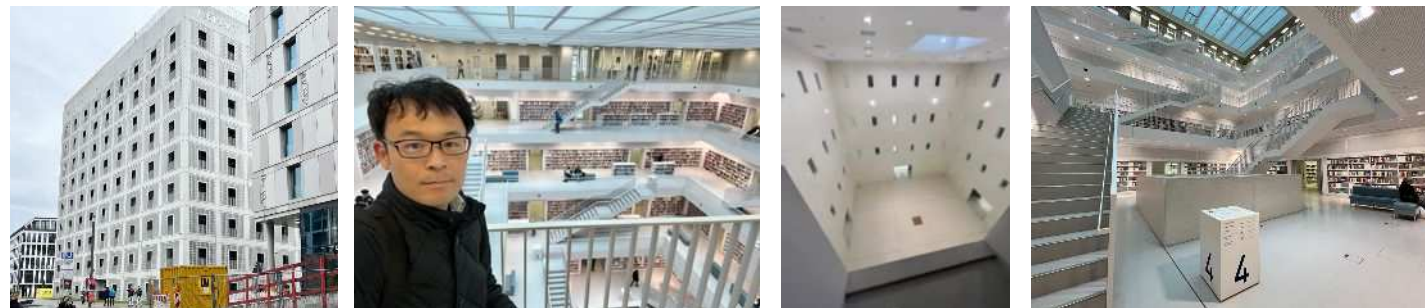


# 各地の図書館



富山市立図書館本館

中国国家図書館



Stuttgart City Library