

遠赤外線画像へのGANの適用と自律移動ロボットの制御

MATLAB EXPO Japan 2020
令和2年9月29日

防衛装備庁
先進技術推進センター
防衛技官 丹羽雄一郎

- 遠赤外線画像の利点と活用
- GANを用いた遠赤外線画像処理
 - 可視(カラー)画像の生成
 - 生成手順及び結果
 - 遠赤外線画像の温度変化に対する汎化手法
 - 応用
 - カラー画像から遠赤外画像の生成
 - 領域分割画像の生成
- 自律移動ロボットの制御
 - ロボットへの適用
 - 遠赤外線画像のみを用いた人の検知、障害物回避制御
- まとめ

遠赤外線画像の利点と活用(遠赤外線とは)



可視光画像(波長約0.4~0.7 μm)

反射光により物体を視認
(陰影により物体の形状把握
反射率の違いにより文字の視認可能)



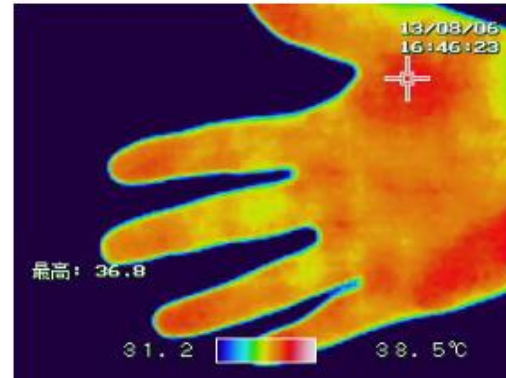
近赤外線画像(波長約0.7~2.7 μm)

反射光により物体を視認
(陰影により物体の形状把握
LIDAR等も視認可能)

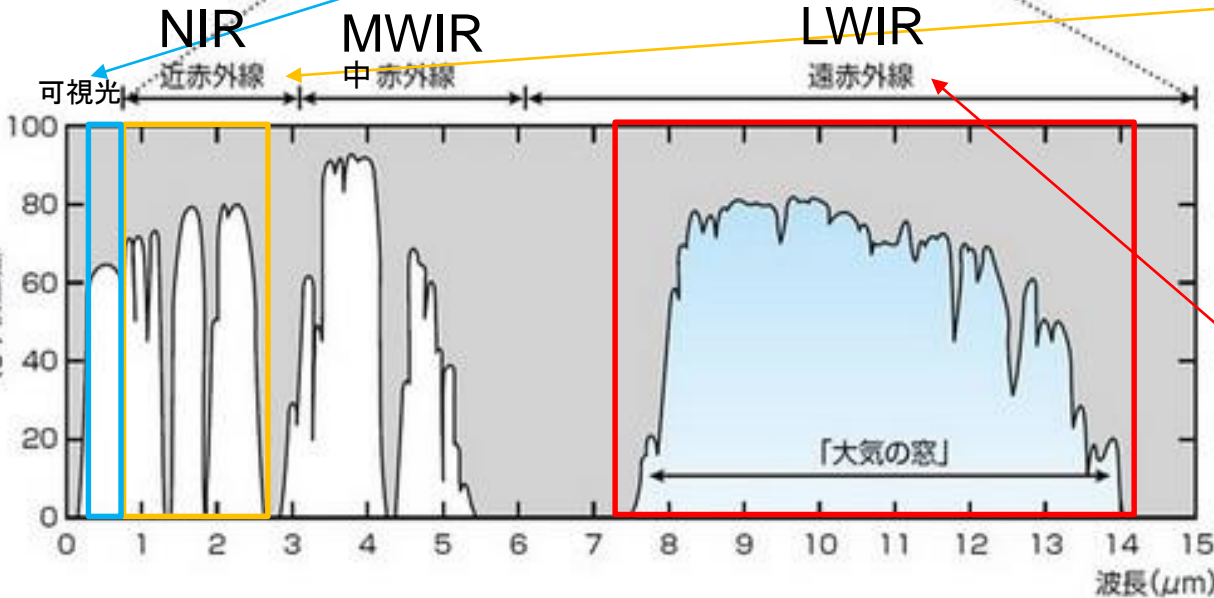


遠赤外線画像(波長約8~12 μm)

主に赤外線(熱赤外)放射により物体を視認
(熱源の探知に有効、物体の形状把握等には向かない)



<http://erg-ventures.co.jp/2014/10/09/0046/>



大気における赤外線透過率

<https://www.daiichi-kagaku.co.jp/blog/labo/?p=264>

- 可視光画像の欠点

- 照度変化に弱い
- 暗所では均一な照明が必要

→ センサとして、
継続的で安定的な運用が難



<http://qa.jaf.or.jp/drive/careful?page=2&sort=Question.count&direction=DESC>

- 遠赤外線画像の利点

- 外光(日照や照明)の変化に影響なし
- 放射のため照明を必要としない

→ センサとして
継続的で安定的な環境認識が可能

可視



FLIR

防衛用途で多用される遠赤外線センサ



車両搭載



ミサイルシーカ



ヘリコプター搭載



艦船搭載



航空機搭載



無人機搭載



個人携行

一般的な環境認識に使用されるセンサ

- RGBカメラ、近赤外線カメラ
 - 屋内や暗所ではライトが必要で、その存在が暴露してしまう問題
 - 照明環境の変化に脆弱
 - 対向するライトによるハレーション
- LIDAR、Depthセンサ
 - 近赤外光レーザー、パターン投光を使用
 - 通常のカメラや暗視ゴーグルを利用すれば、その所在が暴露してしまう
- 隠密行動、秘匿行動が出来ない



- **完全な受動(パッシブ)センサが必要**

=遠赤外線画像の活用

1. 視認性が低い

- 熱赤外放射をセンサで捉えているため、可視光画像に比べ分解能が悪く、ボケた画像となる
- 物体の温度分布が色調と異なるため、可視光画像と同一の物体として認識が難しい



<https://arxiv.org/pdf/1801.05944.pdf>

路上の人



<https://shanxiliuxiaofei.github.io/#>

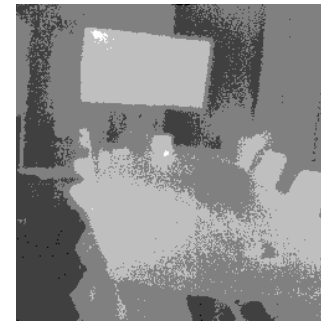
道路上の車両(真上から撮影)



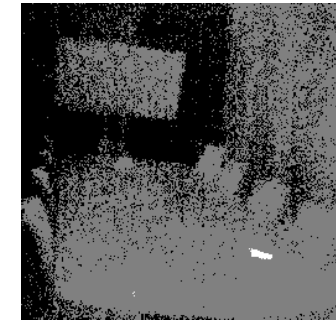
- DNNを用いて遠赤外画像をカラー化(生成)
- DNNを用いて物体認識(セマンティックセグメンテーション)

2. 環境温度が変化する

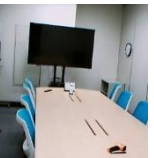
- 季節変化や空調設備により、環境温度が変化するため、遠赤外線画像の物体温度のシフト、または物体間の温度序列が反転する



冬季に暖房をつけた室内



冬季に暖房をつける前の室内



- DNNのファインチューニングにより対象物の温度変化に対応

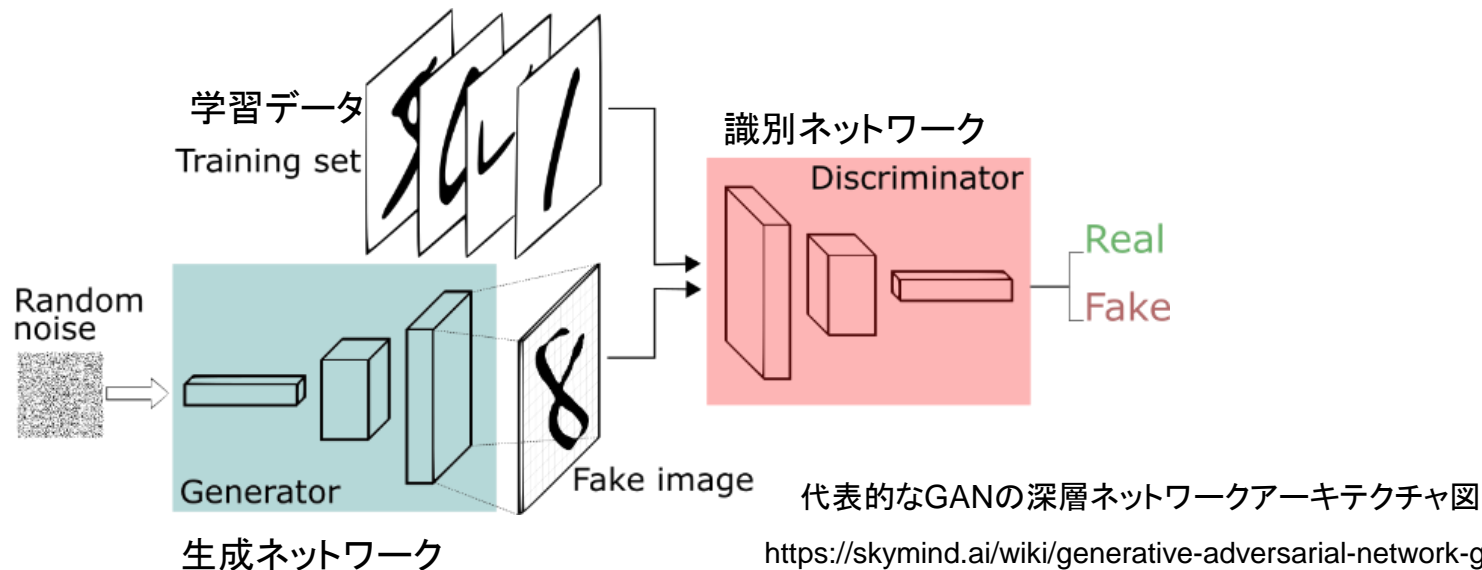
GANを用いた遠赤外線画像処理

- 敵対的生成ネットワーク(Generative Adversarial Networks; GAN)を利用した、白黒画像からのカラー画像生成の研究を応用
 - GANは生成ネットワーク(generator)と識別ネットワーク(discriminator)の2つのネットワークから構成
 - 生成側は識別側を欺こうと学習し、識別側はより正確に識別しようと学習
 - 学習により生成ネットワークが、学習データと類似した画像を生成可能となる



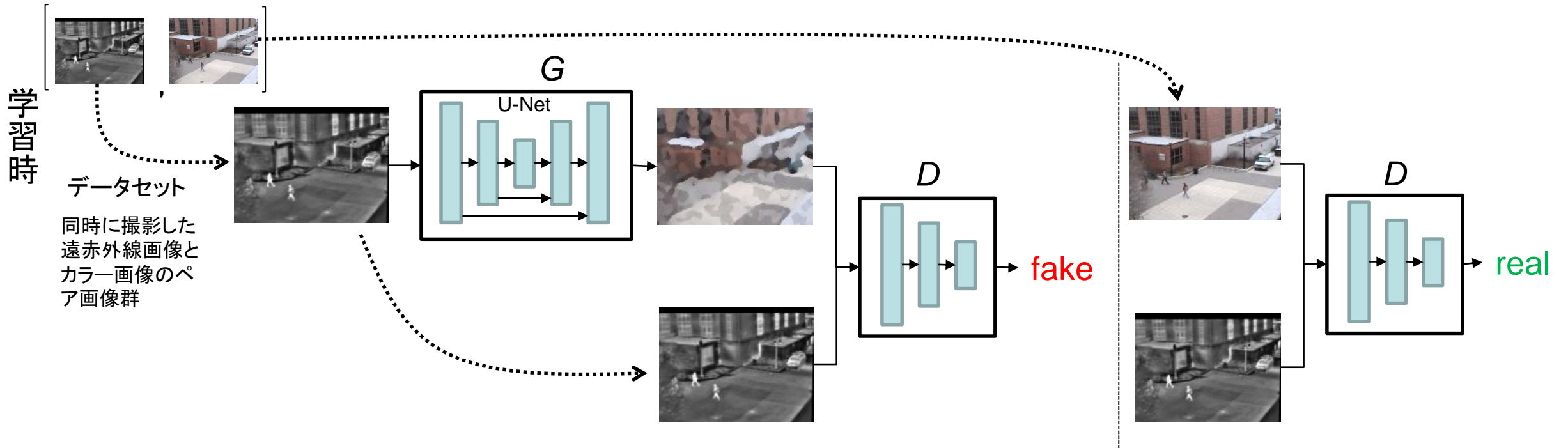
<https://www.youtube.com/watch?v=z-HjyQh6nAA>

白黒画像からカラー画像を生成するGANの例

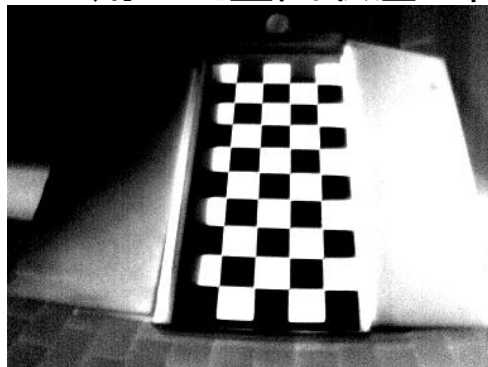


GANについて詳しい説明は以下参照
 画像の認識・理解シンポジウム2019
 (MIRU2019) チュートリアル
 Generative Adversarial Networksの基礎・発展・応用
 金子 卓弘 (NTTコミュニケーション科学基礎研究所)
http://www.kecl.ntt.co.jp/people/kaneko_takuhiro/slides/miru2019/Kaneko_GAN_Tutorial_MIRU2019.pdf

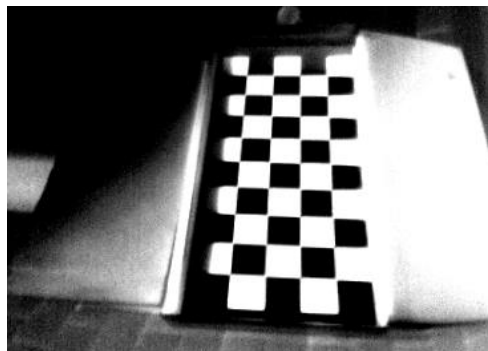
Philip Isola, Jun-Yan Zhu, Tinghui Zhou, Alexei A. Efros, "Image-to-Image Translation with Conditional Adversarial Networks", CVPR2017, arxiv 1611.07004(21 Nov 2016) 通称 pix2pix



- Reshet Graf社の製品Passive Thermal Targetsに用いられている遠赤外線反射塗料及び印刷技術を用いた、熱源を利用しない遠赤外・可視カメラ用チェッカーボードを作成使用
- OpenCVに実装されているチェッカーボードを用いた歪曲収差の除去手法



補正前



補正後



遠赤外線カメラ 可視カメラ

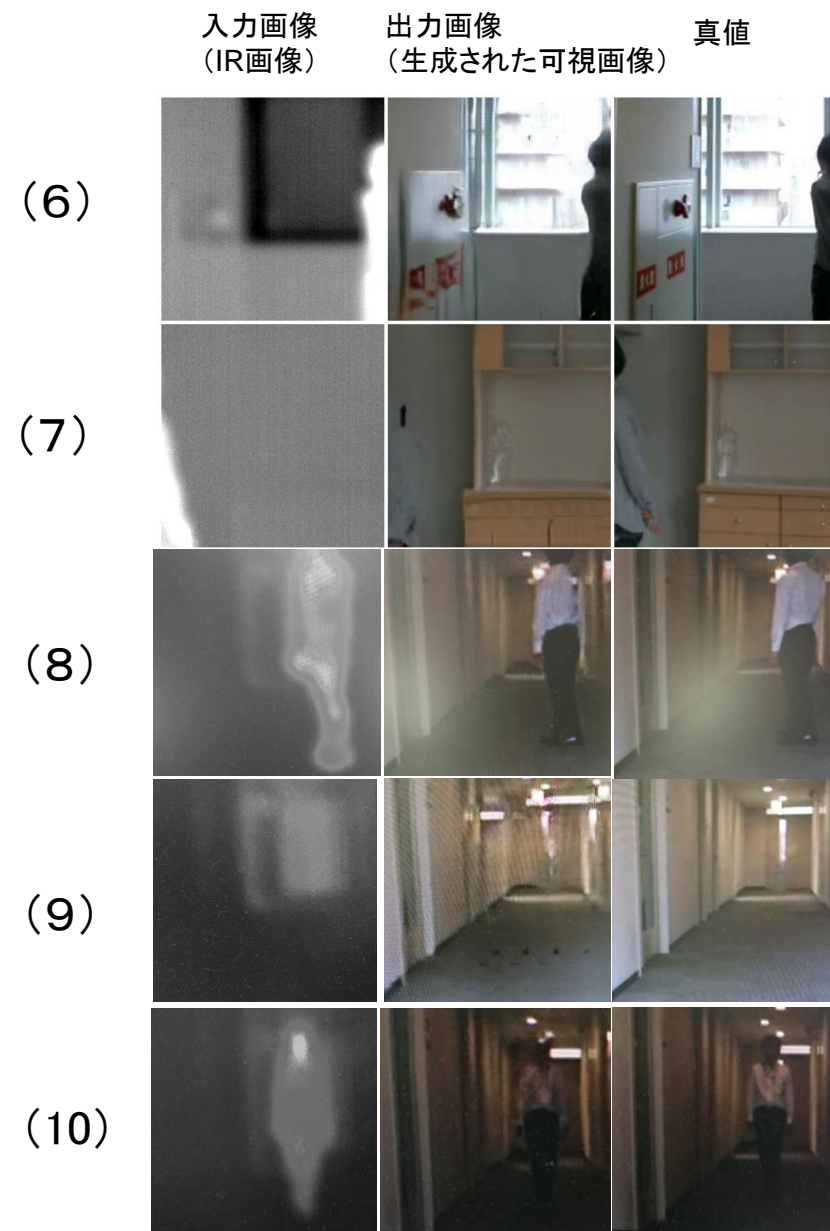
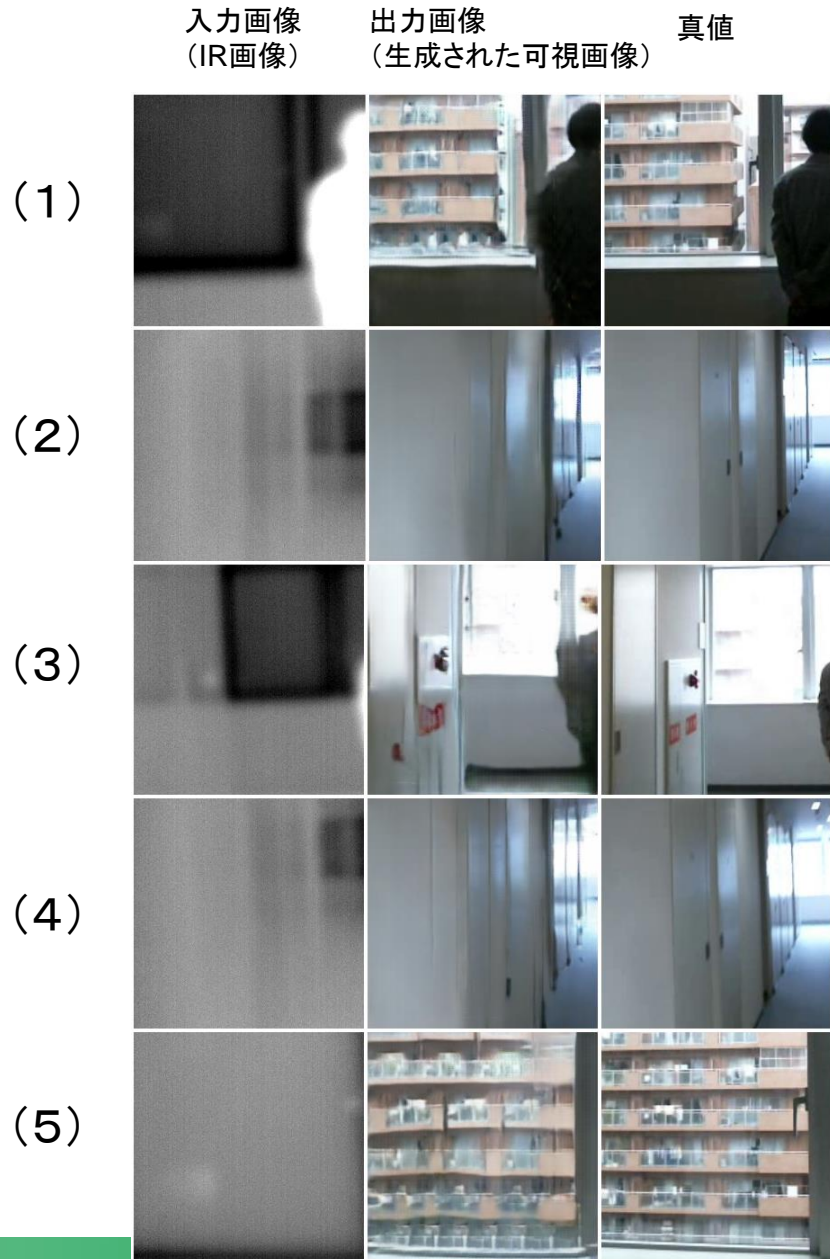
USB

USB

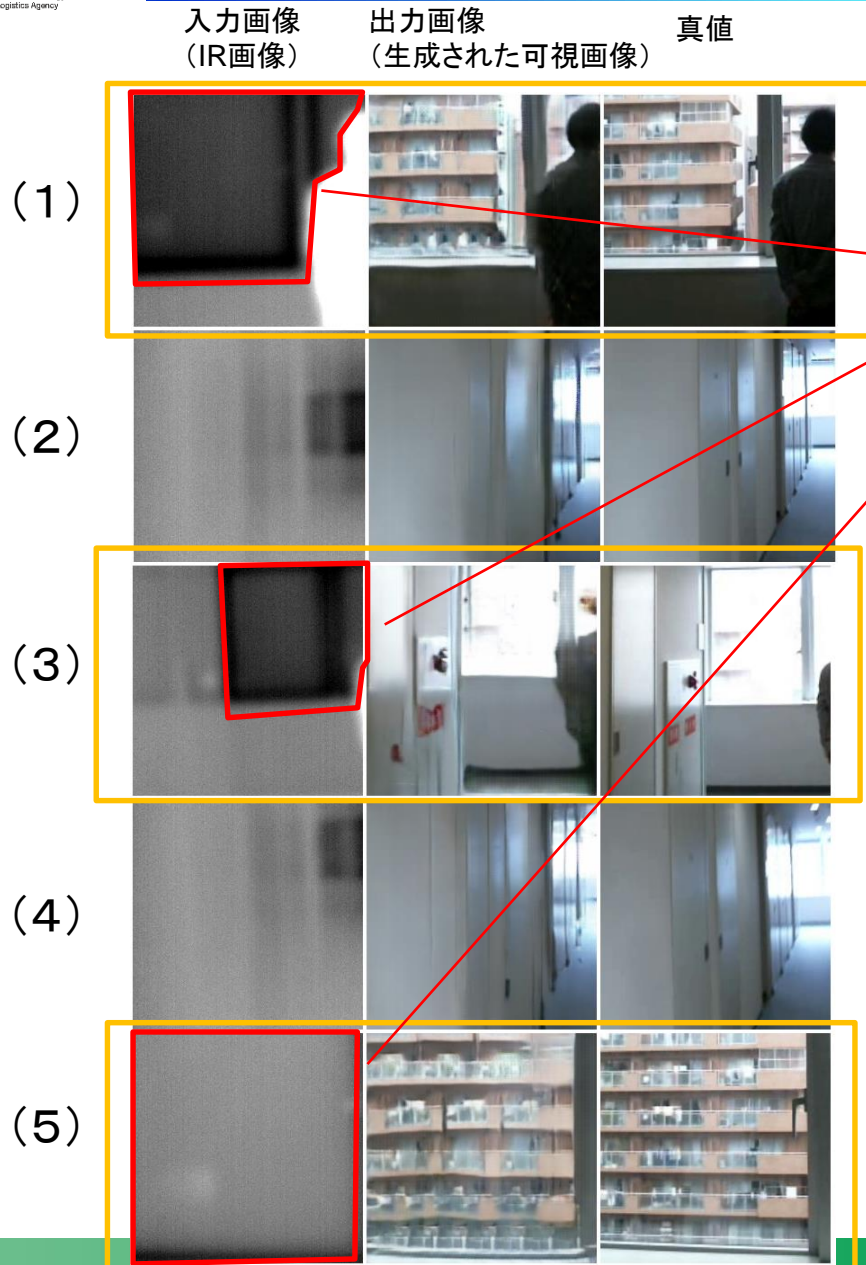


キャプチャソフトで同時に撮影
(ビデオを撮影する程の工数で作成、
ほぼ同時刻のフレームを切り出す
ことでデータセットを作成可能)

遠赤外画像からカラー画像の生成(結果)



遠赤外画像からカラー画像の生成(興味深い結果)



遠赤外線は、**ガラスを透過できない**



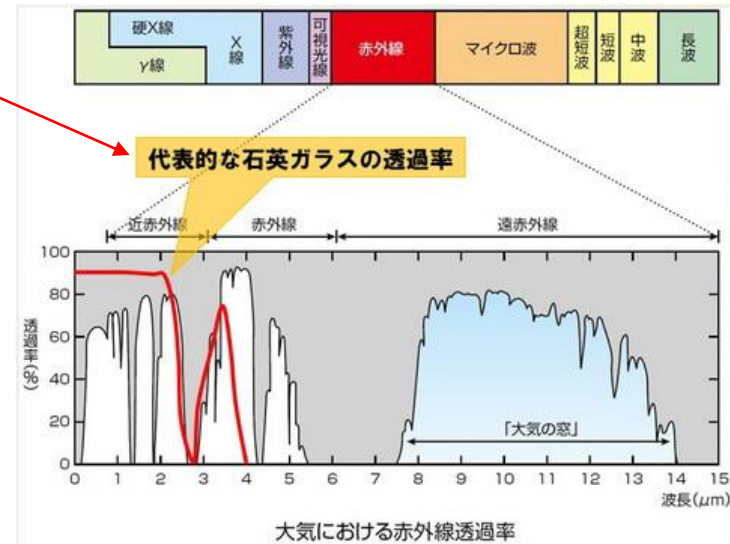
窓ガラス(赤枠)の遠赤外線画像部分には、**窓の外にある建物の情報は入っていない**



しかしながら、生成されたカラー画像は、真値と僅かに異なるが**建物が生成されている!**



分析の結果、ガラス面に付近の電灯や撮影者の熱赤外の反射像が映り込んでおり、その情報により窓の外の画像を生成できたものと考えられる(過学習ではない)



撮影に使用した遠赤外線カメラ
ビジョンセンシングVIM-384

ULIS社(現LYNRED社)PICO384

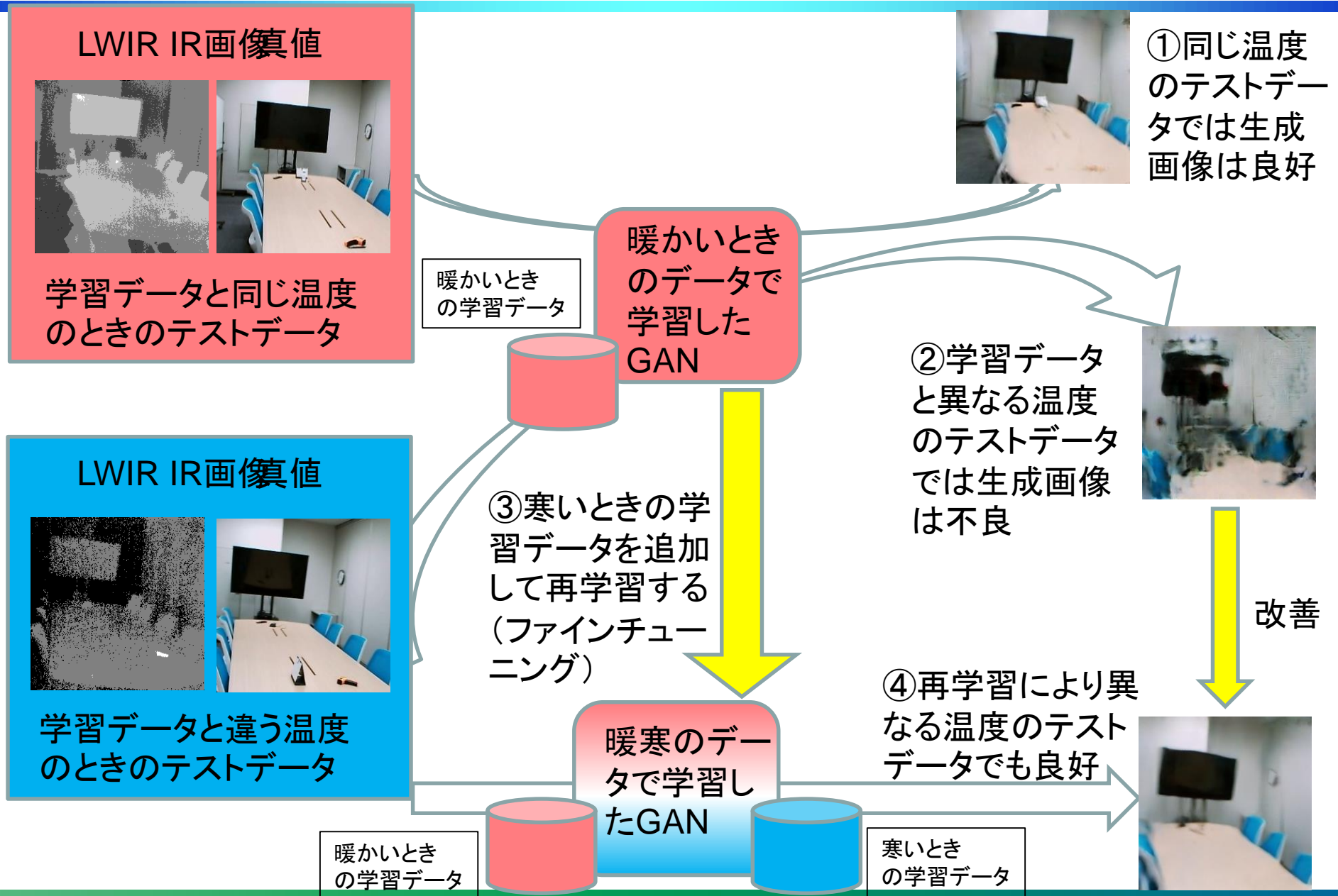
イメージセンサ使用

384x288画素

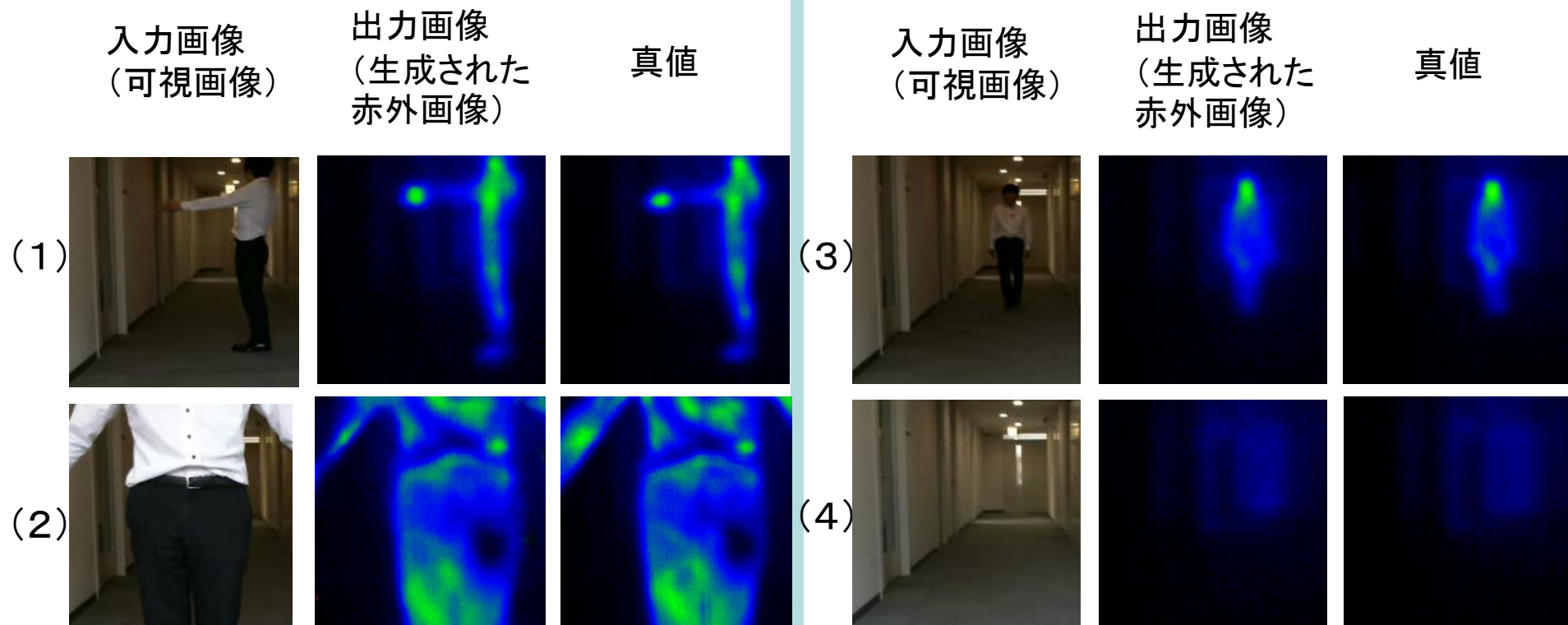
画素熱分可能(NETD) 0.055度

- 温度分解能が高いため、人の認識できない温度差も計測可能
- CNNは物体表面の温度のムラ(テクスチャ)を特徴量として活用可能

遠赤外線画像の温度変化に対する汎化手法

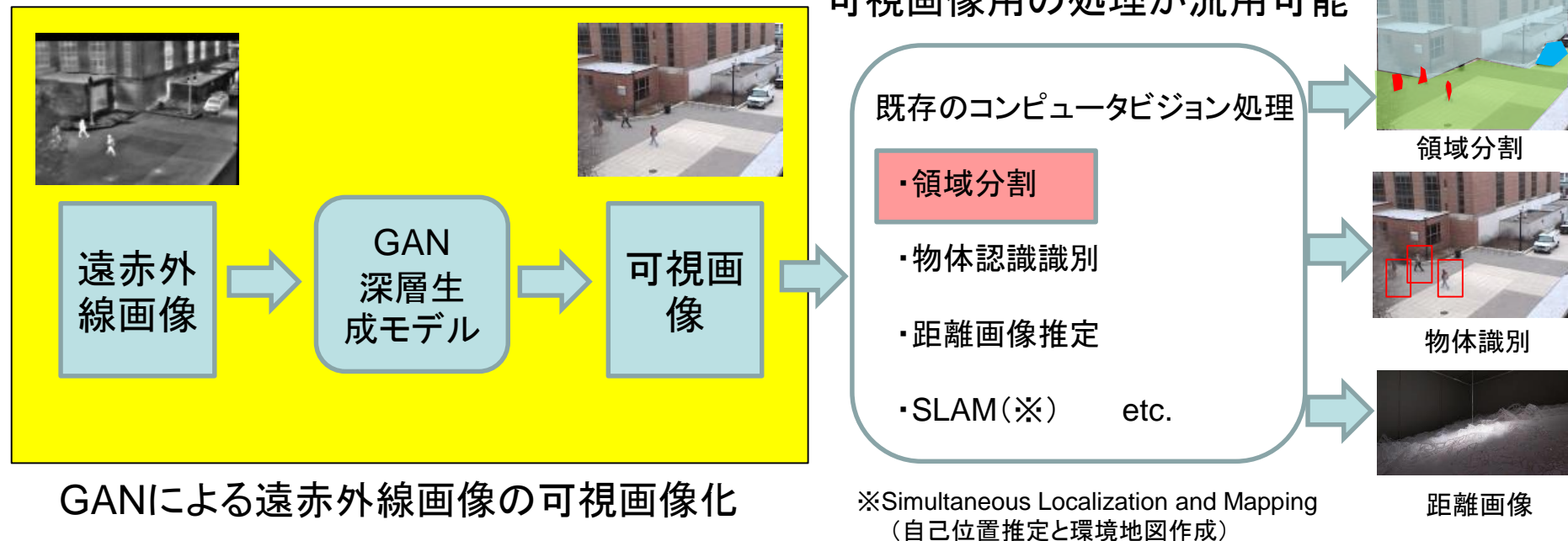


- カラー画像から生成ネットワークが生成した遠赤外線画像と、真の遠赤外線画像が一致するように学習させたGAN生成ネットワークは、カラー画像から遠赤外線画像を生成するネットワークとして機能
- 応用事例としては、ロボットのシミュレータにおいて、従来不可能であった遠赤外線画像シミュレーションが可能となる。

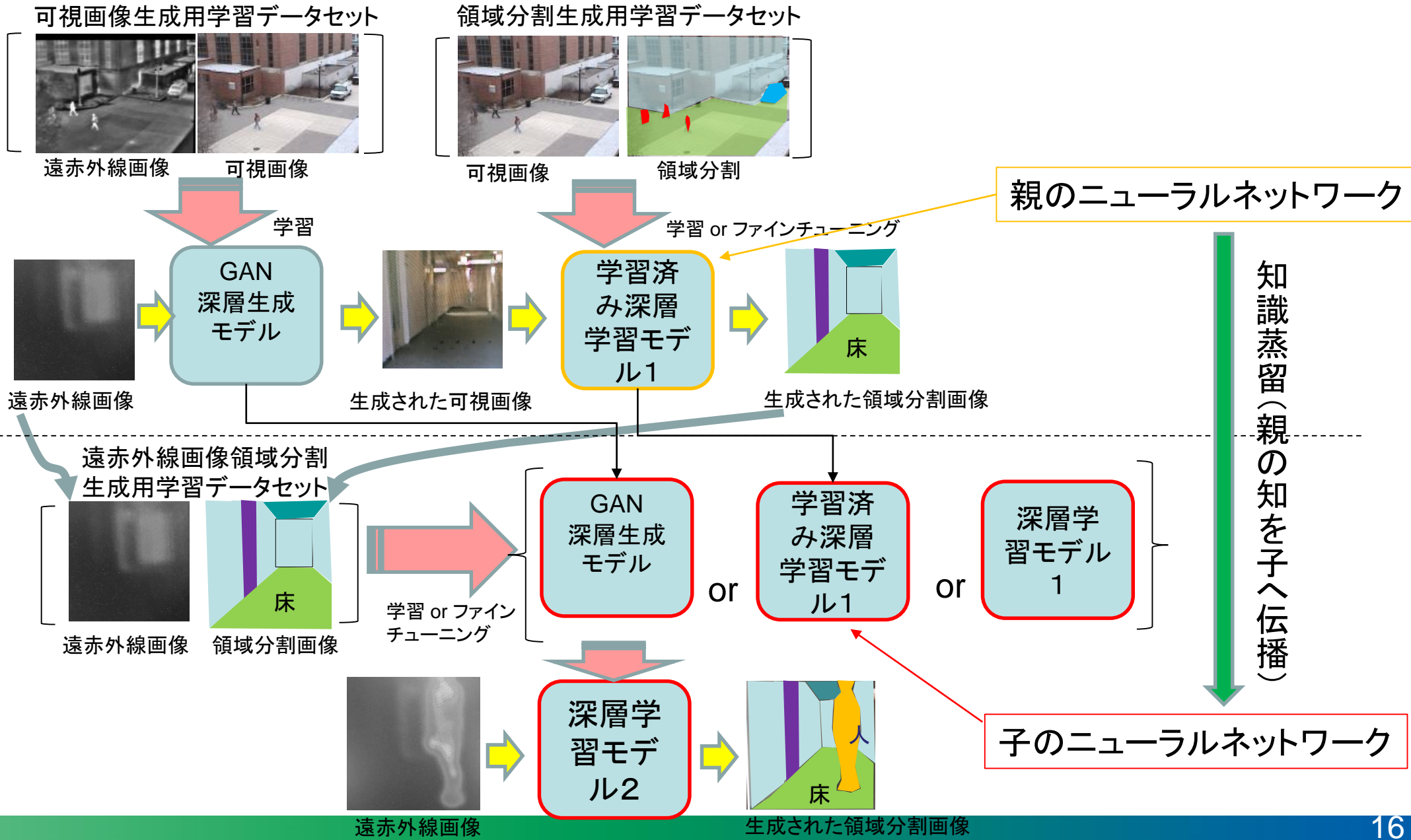


応用: 遠赤外線画像からの可視画像生成手法の用途

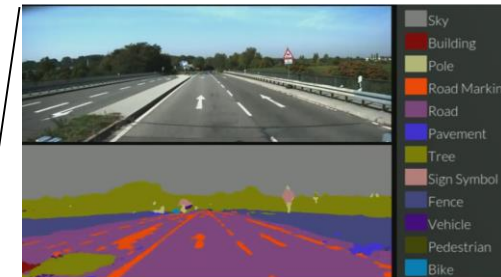
- 遠赤外線画像から可視(カラー)画像を生成することで、従来研究開発された可視画像用の処理を流用することができる。
- これにより、新たに学習用の教示データを作成すること無く、遠赤外線画像の領域分割、物体認識識別、ステレオ視、SLAM等を構築することができる。
- 又、判読しづらかった遠赤外線画像をカラー画像化することにより、画像読解者のワークロードを低減することが可能となる。



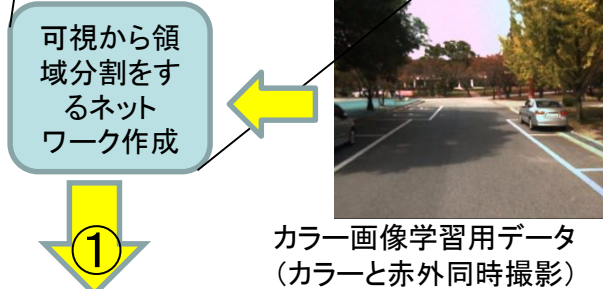
応用:遠赤外線画像からの領域分割(セマンティックセグメンテーション) (クロスドメイン蒸留法による学習手法)



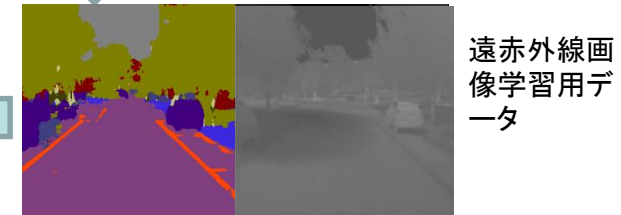
1. 既存の学習済みの領域分割ネットワーク(Segnet)を利用し、KAIST学習用データセットの可視画像から領域分割画像を生成
2. 生成された領域分割画像と、上記可視画像と同時に撮影された遠赤外線画像をペアにし、領域分割の学習データとする
3. 上記の学習データを使用し、遠赤外線画像から領域分割画像を生成するネットワークを学習する
4. 3項で学習させたネットワークへ、KAISTテスト用遠赤外線画像を入力することで、その画像に対応した領域分割画像が生成されることを確認した



カラー画像から領域分割する学習済みネットワークを利用



カラー画像学習用データ (カラーと赤外同時撮影)



② 領域分割画像用の学習データの作成 (領域分割と赤外画像セット)

人(ロボットに対する移動障害物)
道路(ロボットに対する移動可能領域)

④ 遠赤外線画像から直接生成された領域分割画像



参考: 下赤外と同時に撮影したカラー画像

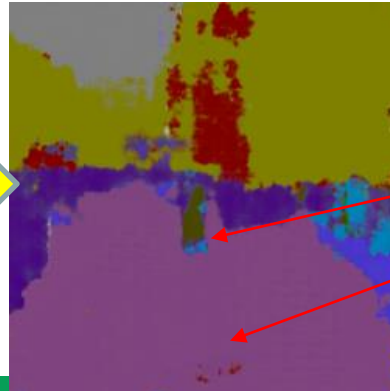


入力 (遠赤外)

③ 学習

赤外から領域分割をするネットワーク作成
今回はGANを使用

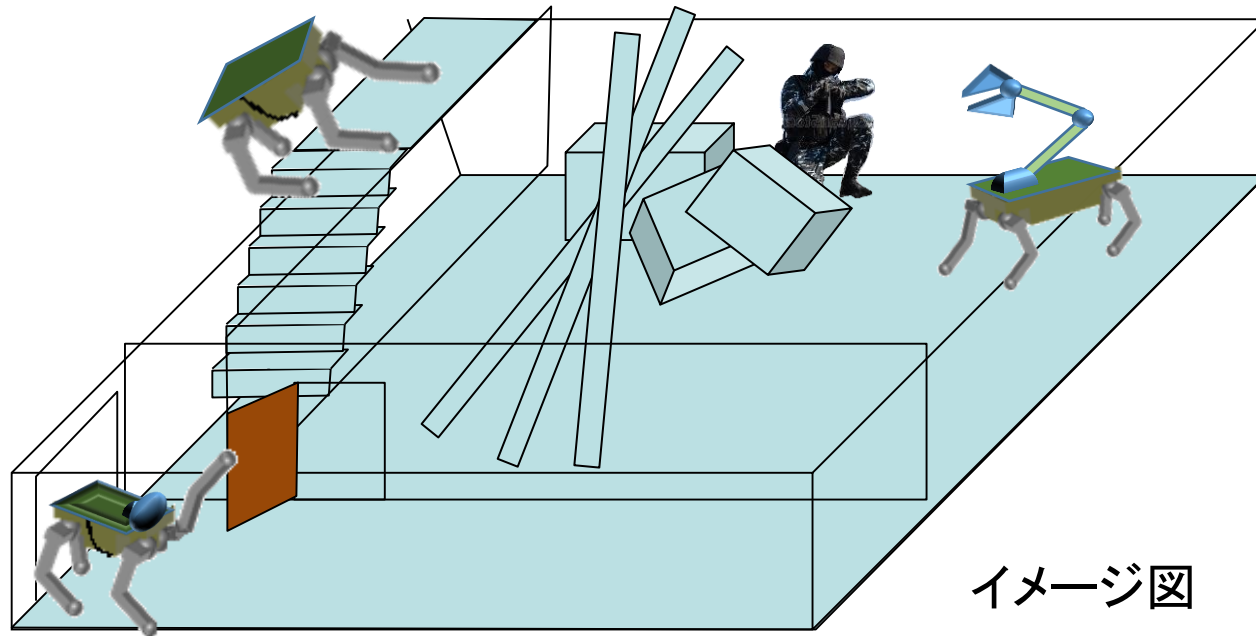
出力 (領域分割)



自律移動ロボットの制御

目的

主に市街地環境における巡回偵察監視等を行う自律移動ロボット



イメージ図



LIDARによる環境認識



遠赤外線カメラによる環境認識

- 一般的なロボットの環境認識に使用される外界センサ (RGBカメラ、近赤外線カメラ、LIDAR、Depthセンサ) は、照明投光、近赤外光レーザー、パターン投光をするため、通常のカメラや暗視ゴーグルを利用すれば、その**所在が暴露**してしまう = 隠密行動、秘匿行動が出来ない問題点
- **完全パッシブな外界センサ**を利用した環境認識が必要 = 遠赤外線カメラを用いた環境認識技術

本自律移動ロボットのタスクの定義とアーキテクチャ設計

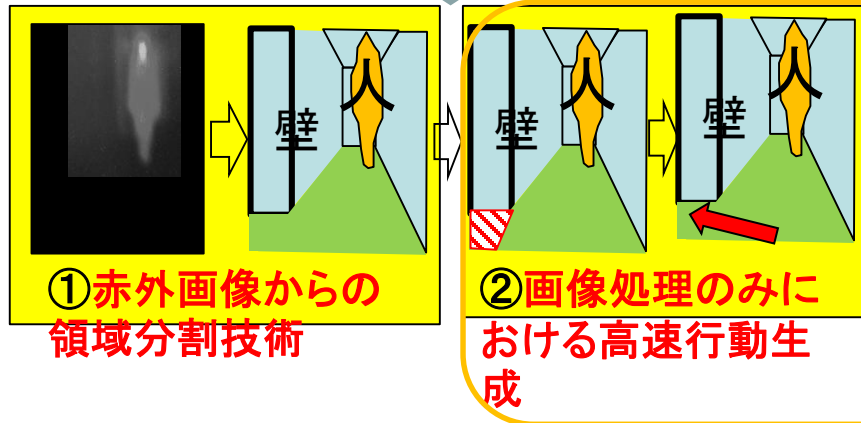
本自律偵察用ロボットの基本タスク

- (1) 移動可能な領域を認識し移動する
- (2) 壁などの障害物を検知し回避する
- (3) 人を検知し、人の方向から離れる



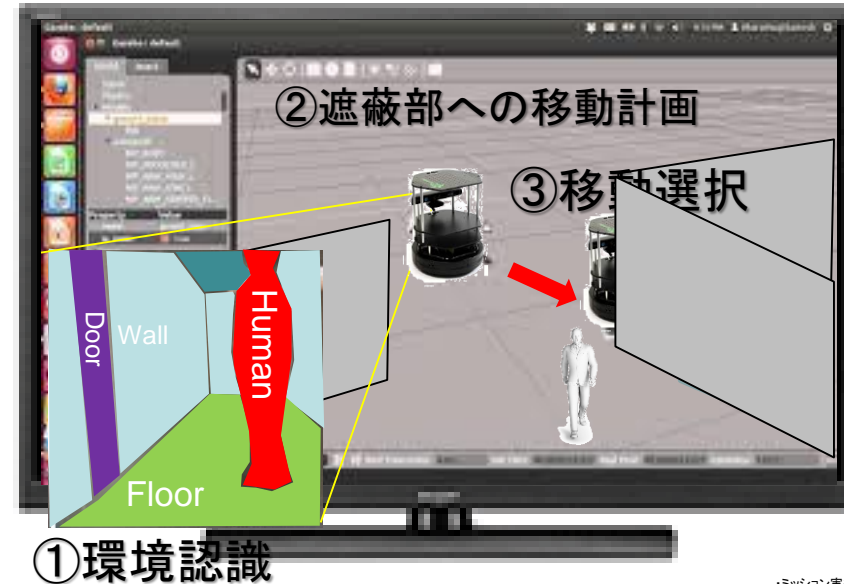
基本タスク実現の方法

- ① 赤外面像の領域分割による物体検知及び認識
- ② 床領域が移動可能領域として進行、至近の壁領域は障害物として回避、人領域が検知された場合、検知された反対方向へ移動

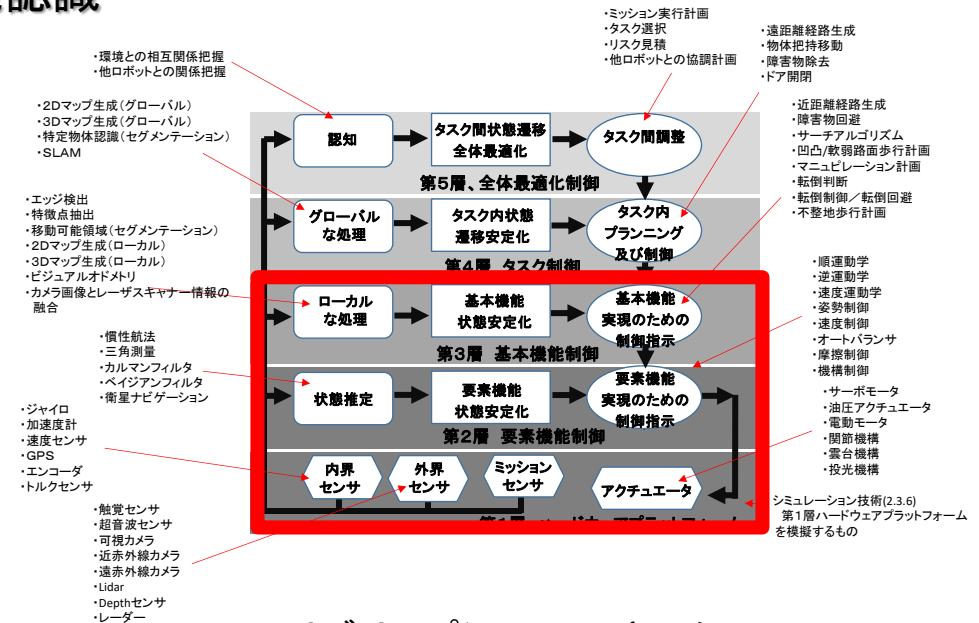


MATLABを活用し開発した自律ロボットの高速障害物回避制御 (IROS2004) の手法を利用

右に示す自律移動ロボットアーキテクチャの第3層までを実装

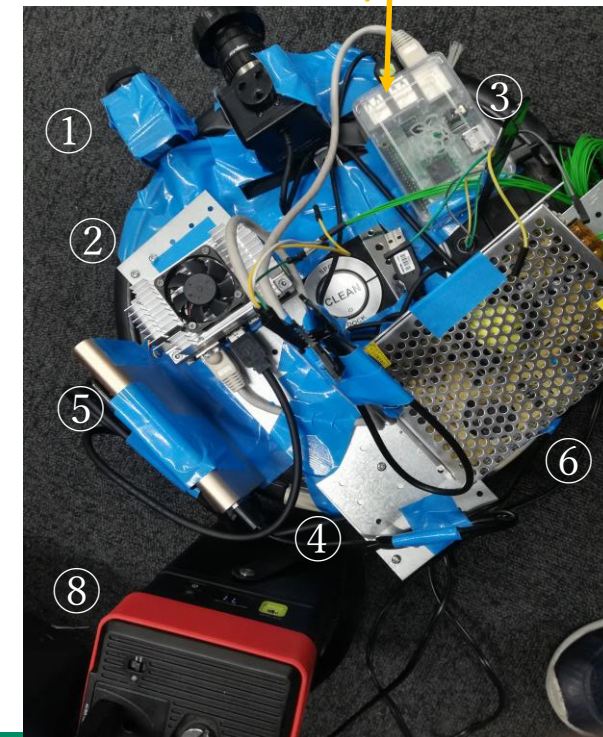
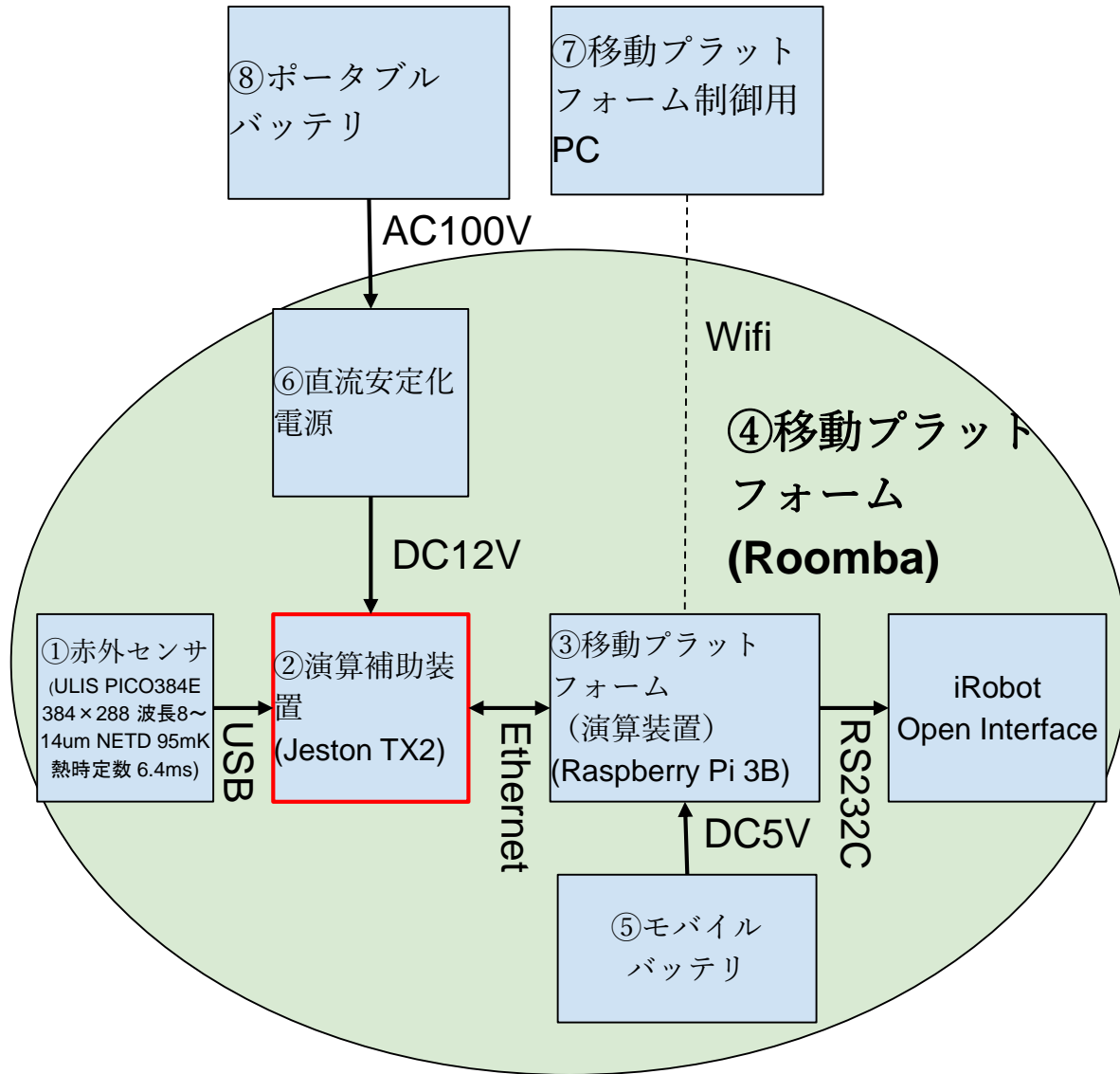


環境認識及び障害物回避制御の機能の他のロボットでの活用を鑑みROSにてパッケージング

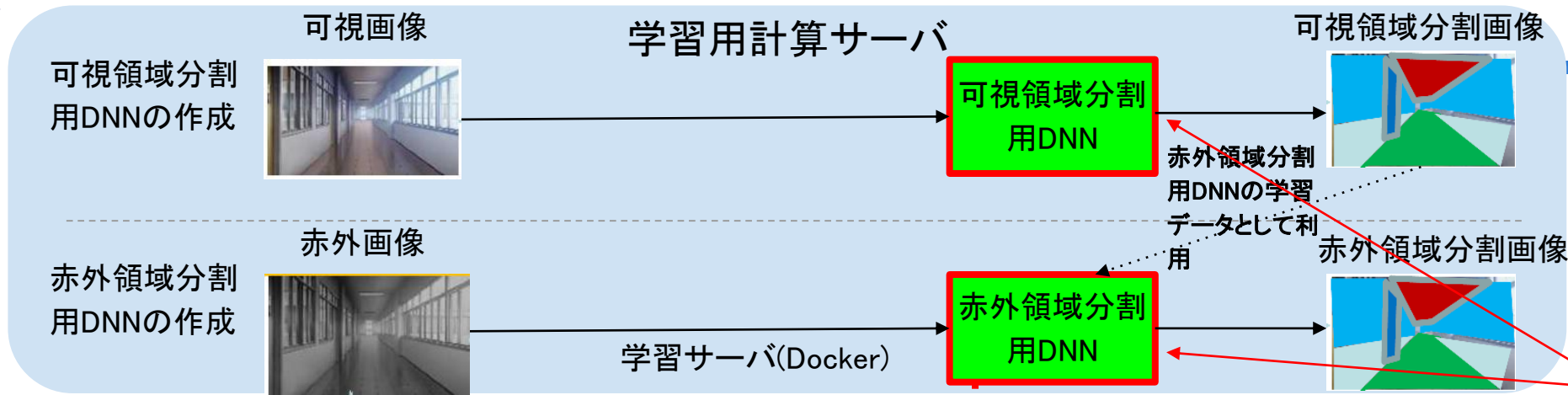


サブサンプリングアーキテクチャ

自律移動ロボット(ハードウェア構成)



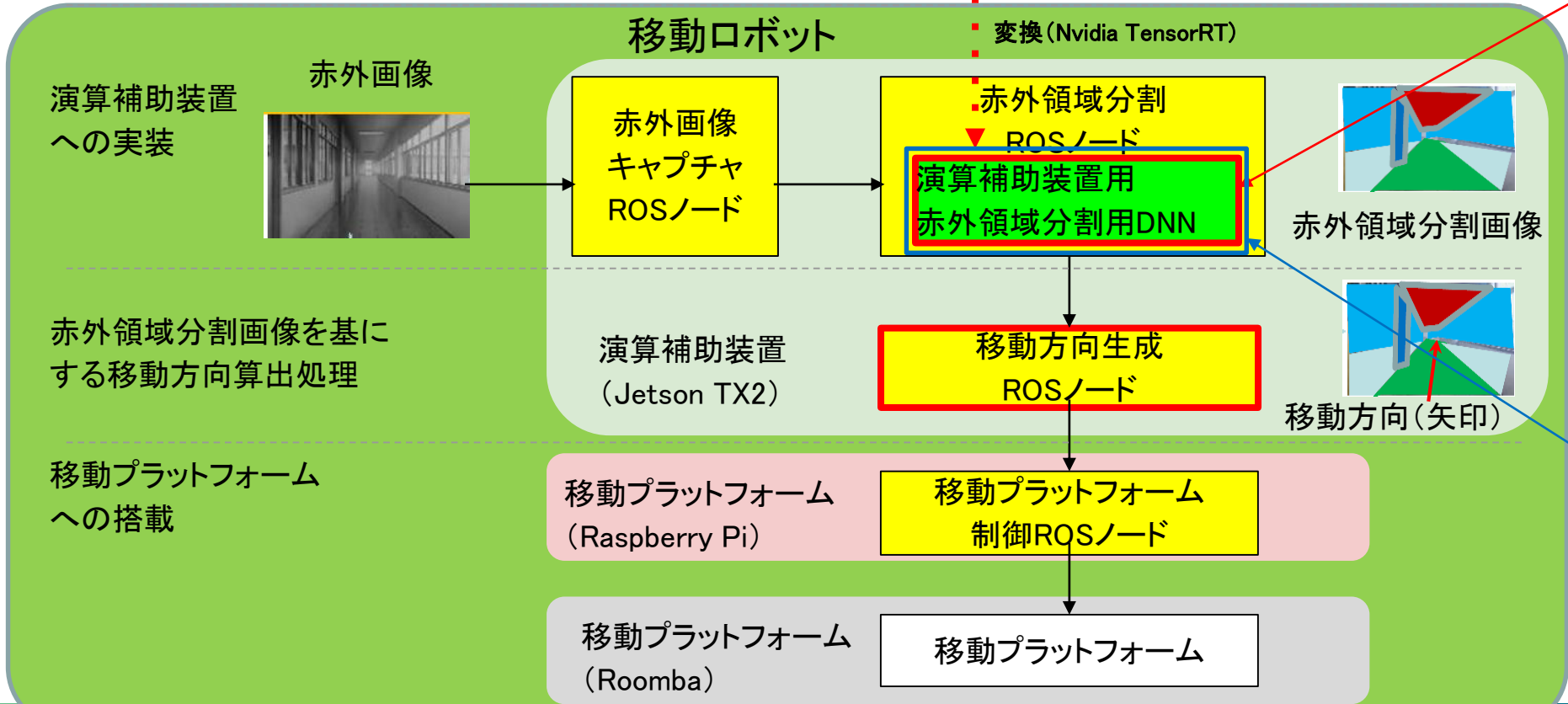
自律移動ロボット(ソフトウェア構成)



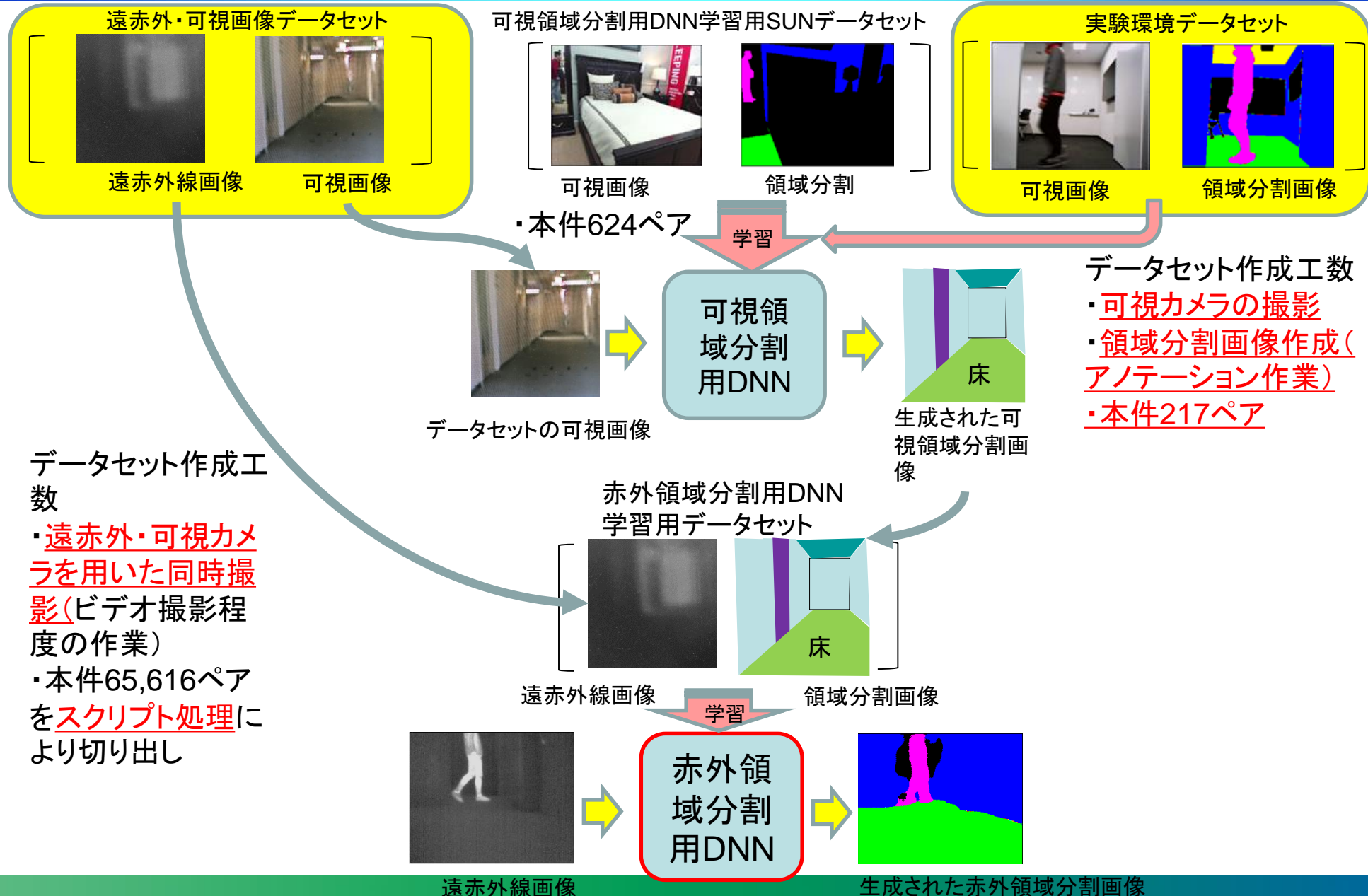
領域分割用DNNとして、当時(2018)高精度、高速推論かつ省ネットワークサイズなERFNetを選択した

(E.Romera, J.Alvarez, L.Bergasa, R.Arroyo, "ERFNet: Efficient Residual Factorized ConvNet for Real-Time Semantic Segmentation", IEEE Trans.on Intelligent Transportation Systems, Vol.19, Iss.1, Jan.2018)

ただし、Jetson TX2へ実装したDNNは、nVIDIA TensorRTにより推論演算に関して縮小最適化されている



データセットの構築



赤外領域分割画像の評価

評価値IoU(Intersection over Union)は、物体認識の分野で領域の一致具合を評価する指標。元画像のあるラベル付けされたクラスの面積を集合A、領域分割後の面積を集合Bとしたとき、次式で定義される。

$$\text{IoU} = \frac{A \cap B}{A \cup B}$$

Average IoU: 各クラスの平均IoU。 Mean Iou: Average IoUの平均値。

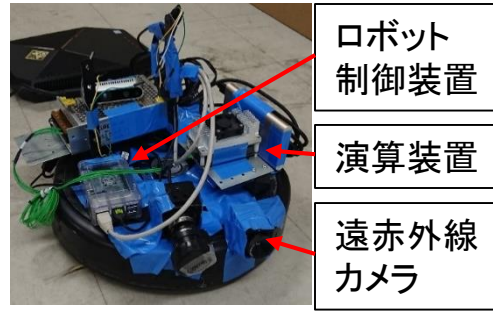
class	学習サーバ(AverageIoU)	演算補助装置(AverageIoU)
0: Person(人)	0.15782	0.20735
1: Wall(壁)	0.75657	0.81972
2: Floor(床)	0.75019	0.8432

計算リソースの評価 (nVIDIA Jetson TX2)

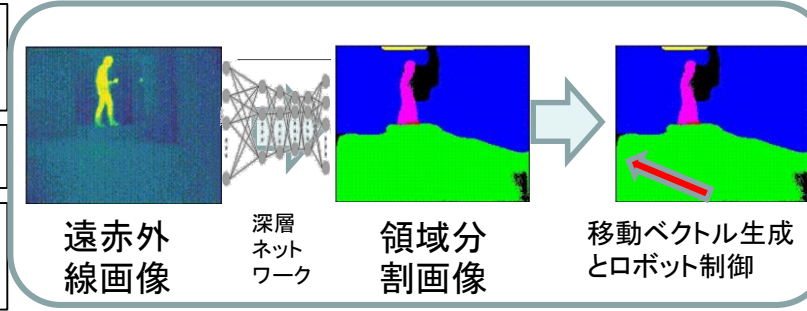
Process	CPU [%]	Memory [%]	GPU(%)	Time(msec)
segmentation node	32.6	12.7	99.9	233
image capture node	2.6	0.3		34
main controller node	0.3	0.2		
roscore	0.3	0.7		



テスト環境(照明無し)



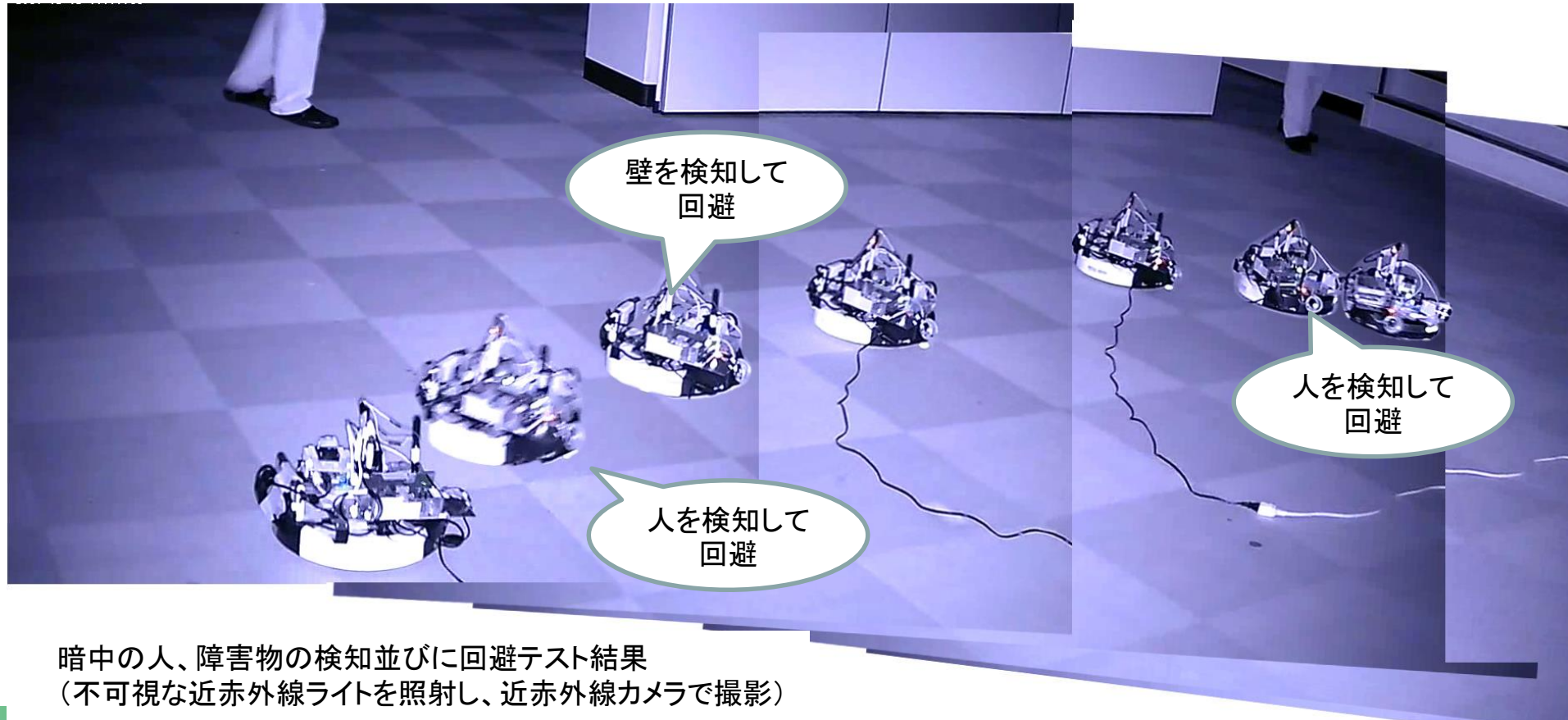
供試体(小型ロボット)



処理フロー

成果

- 暗所室内において、無照明、無投光下での移動ロボットの障害物検知及び回避の実現
- 外界センサに遠赤外線カメラのみを利用した障害物検知及び回避の実現
- 遠赤外線画像の領域分割処理 4.3Hz
- ロボット制御周期 3Hz



暗中の人、障害物の検知並びに回避テスト結果
(不可視な近赤外線ライトを照射し、近赤外線カメラで撮影)

- 遠赤外線画像の利点と活用
- GANを用いた遠赤外線画像処理
 - 可視(カラー)画像の生成
 - 領域分割画像の生成
 - ロボットへの適用

現状

- 推論速度の高速化を目指し、領域分割ネットワークのFPGA実装を実施
- 100fps以上の遠赤外線画像の領域分割を達成

- 遠赤外線画像等データセットの作成方法、学習方法
 - 丹羽雄一郎, “GANによる遠赤外線画像による可視画像生成の実用化への検討”, 第25回画像センシングシンポジウム(SSII2019)
- 本自律移動ロボットに関する内容
 - 丹羽雄一郎, “移動ロボットの遠赤外線画像による物体検知識別と回避”, 第37回日本ロボット学会学術講演会
 - 丹羽雄一郎, 木村正成, 佐藤利鷹理(株式会社Ridge-i) “深層学習を用いた遠赤外線画像の意味論的領域分割”, 第37回日本ロボット学会学術講演会
- 深層学習のロボットビジョンへの適用に関する考察
 - 丹羽雄一郎, “自律移動ロボット環境認識に必要な深層学習に関する一考察
実環境に適応可能な環境認識技術をめざして”, 第22回画像の認識・理解シンポジウム(MIRU2019)
- 移動可能領域から移動経路算出
 - Y.Niwa,S.Yukita,H.Hanaizumi, ”Depthmap-based Obstacle Avoidance on Rough Terrain”, Proc.IROS,2004