

AIと自動運転技術による インフラ内部自動点検ロボット

仙台高等専門学校 総合学科
教授 園田 潤

2021年7月6日

新技術のポイント

- インフラ内部自動点検ロボットの実現
 - AIによる地中レーダ画像の物体識別(教師あり・教師なし学習)
 - 高精度測位技術等による自動走行化(地図情報を入力, 自動走行し無人で点検調査可能)



堤防道路空洞調査への適用例

従来技術の原理と特長

- ・ 地中レーダ：数百MHz の電波を地中に入射し，地中の誘電率の相違による反射波を地上で観測（地中の様子を画像化可能）
- ・ 特長：非破壊検査が可能で，道路空洞やコンクリート亀裂など社会インフラ点検，堤防や地盤など防災・減災にも有効



堤防のり面調査



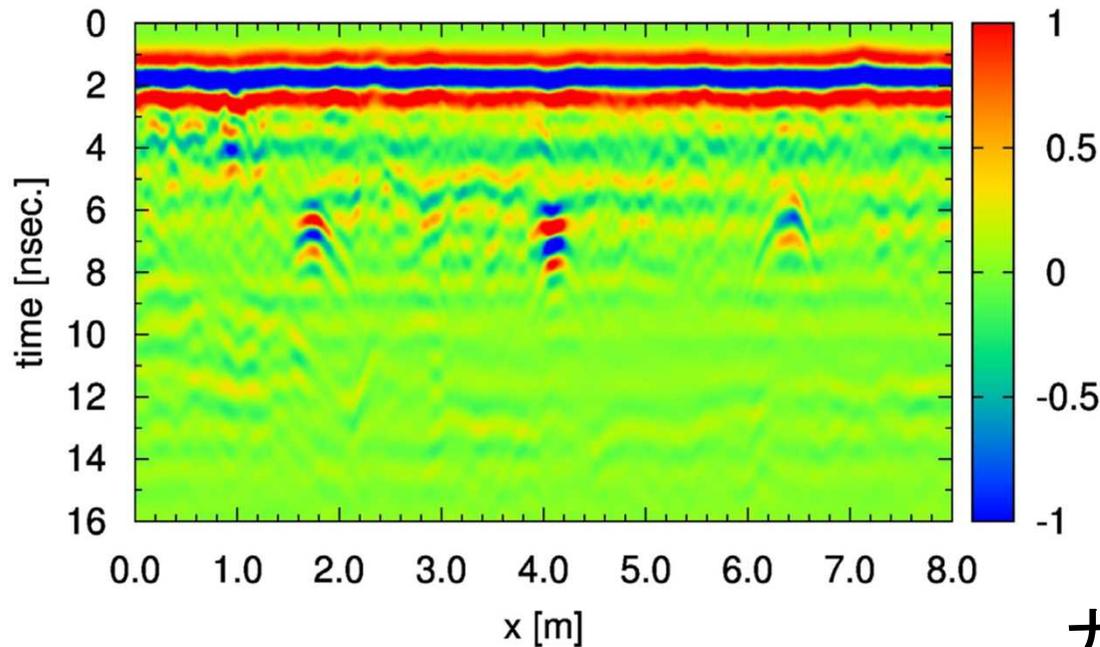
道路空洞調査

従来技術の問題点

- 地中レーダの問題点:

- 地中レーダ画像からの物体識別 (熟練技術者による判読が**必要**)

- 自動走行 (カート型や自動車搭載型で人が操作、無人操作が**NG**)



地中レーダ画像の例



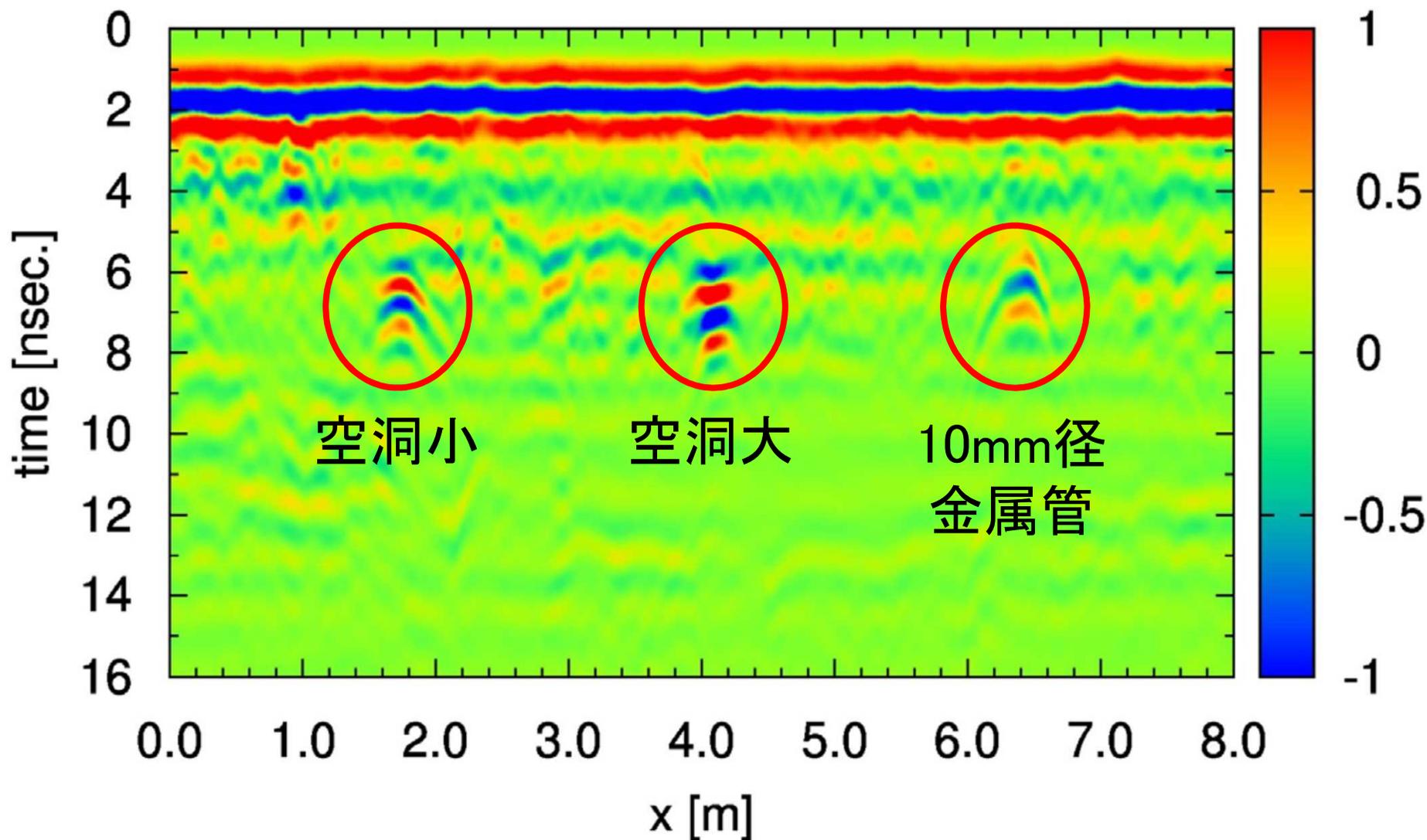
カート式地中レーダ (GPR2018より)

<https://www.gpr2018.hsr.ch/>

地中レーダ画像の例

レーダの移動距離 

電波の反射時間

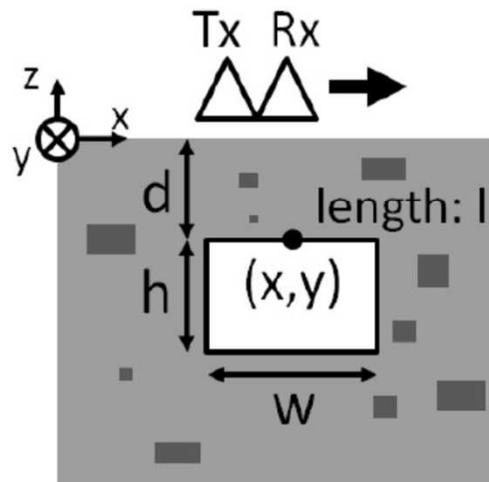


先行研究例

- ニューラルネットワークによる機械学習で自動識別（手書き文字などの画像ベースと同じ発想）
- 埋設管・地雷の自動識別などの研究：P. Gamba et al. 2000, S.Carosi et al. 2005, J.S. Kobashigawa et al. 2011など⇒物体の有無程度でも識別率8割程度，学習データ100 程度
- 学習用データ生成の問題：条件を変えての実験は困難
⇒ 数値シミュレーションで学習用レーダ画像を大量生成
（教師あり学習，園田・木本，特許第 6737502 号）

従来技術：教師データ生成

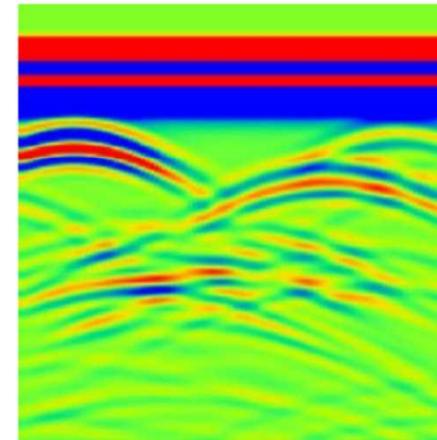
- 物体の大きさや位置(3次元問題)・材質, 周囲の不均質性, レーダ周波数などをパラメータにモデリング
- **FDTD 法: GPUクラスタで高速化⇒教師用レーダ画像生成**



モデル



GPUサーバ

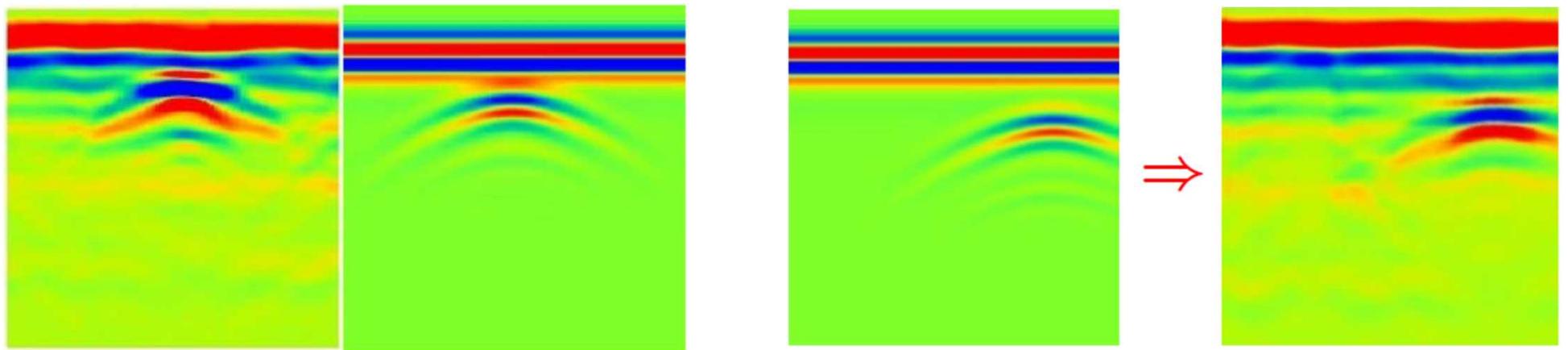


教師用レーダ画像

新技術：2段階のAI適用

- 畳み込みニューラルネットワークCNNで学習し識別（従来）
- シミュレーション画像と実験画像の相違：敵対的生成ネットワークGANでシミュレーション画像を疑似実験画像へ変換
- 実験画像4分類の識別精度：CNNで75%，**CNN-GANで95%**

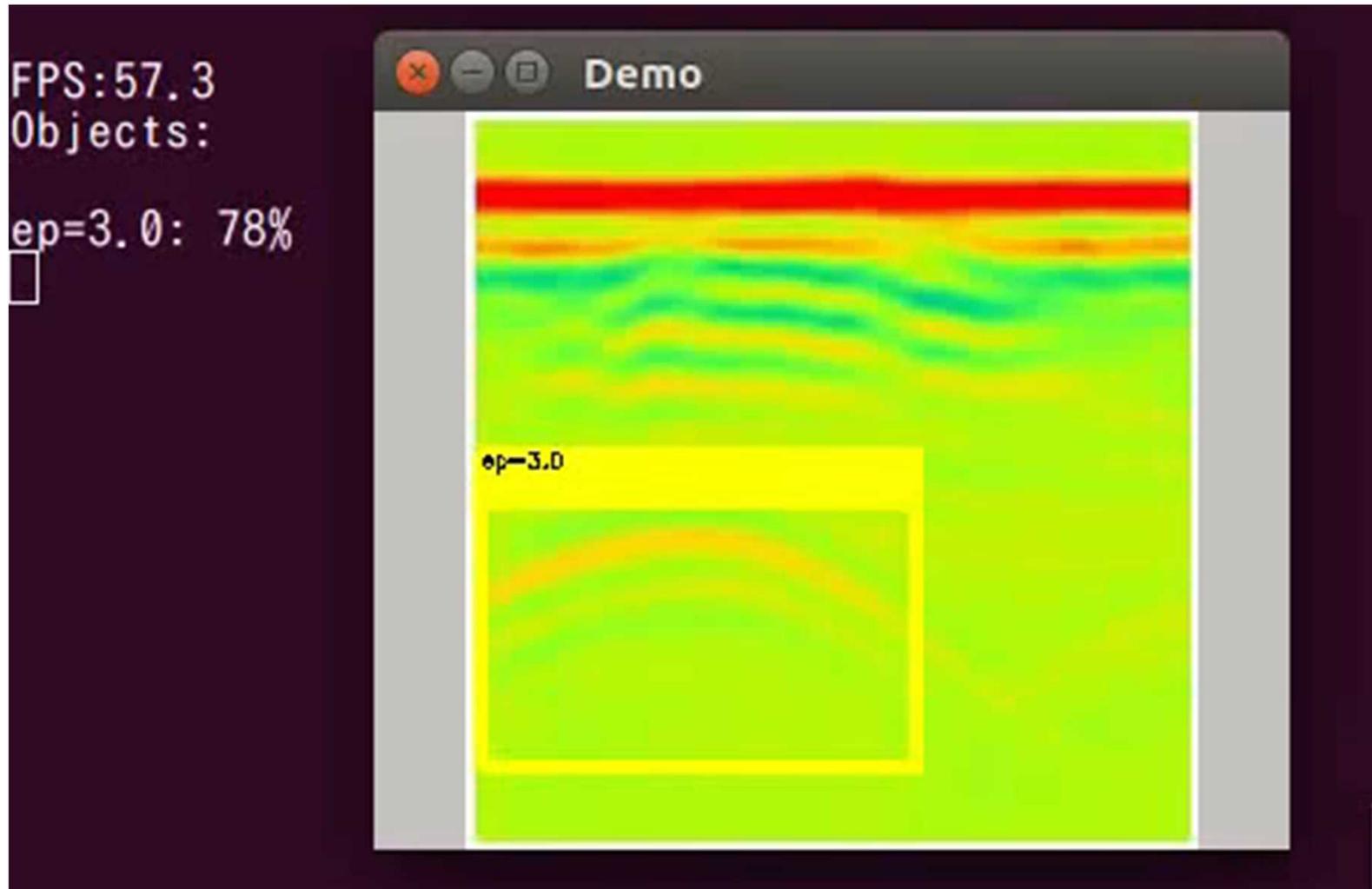
（2段階のAI適用で精度向上）



実験（左）とシミュレーション（右）

疑似実験画像への変換例

リアルタイムレーダ画像識別例

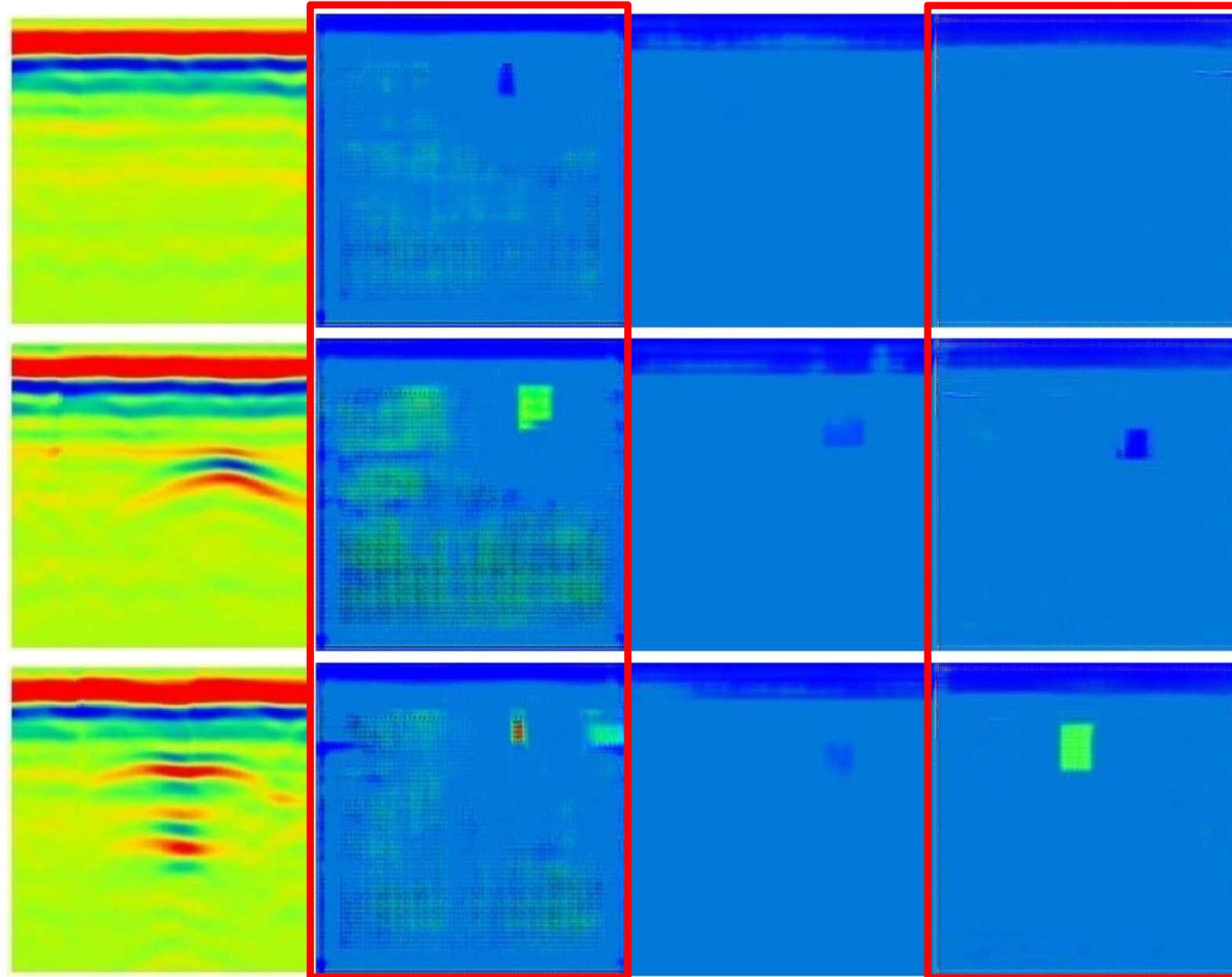


リアルタイムで自動識別(材質・大きさ)

構造内部をイメージング可能

従来技術

新技術



位置・材質の
推定精度向上

左から入力実験画像, GAN, StackGAN1, StackGAN2

地中を直接イメージングも可能

新技術：教師なし学習

- 教師あり学習：学習用の教師データが必要（シミュレーションで生成することで問題解決）
- 教師なし学習：ラベル（答え）なしデータで特徴抽出し学習
- 保有する大量のレーダ画像の有効利用：道路空洞など

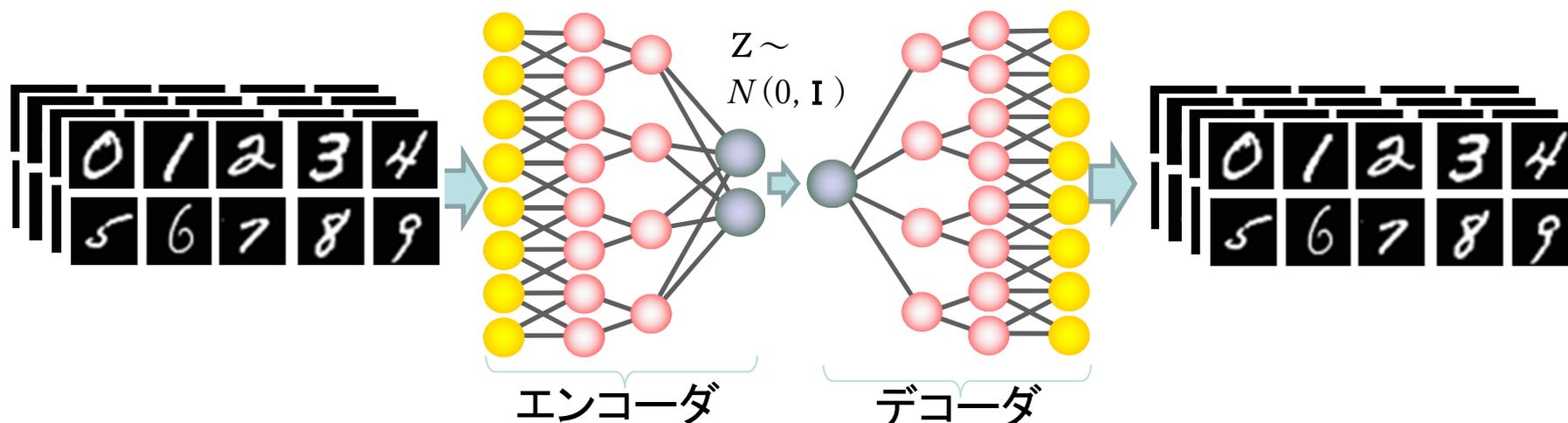


道路空洞調査



災害時の行方不明者搜索

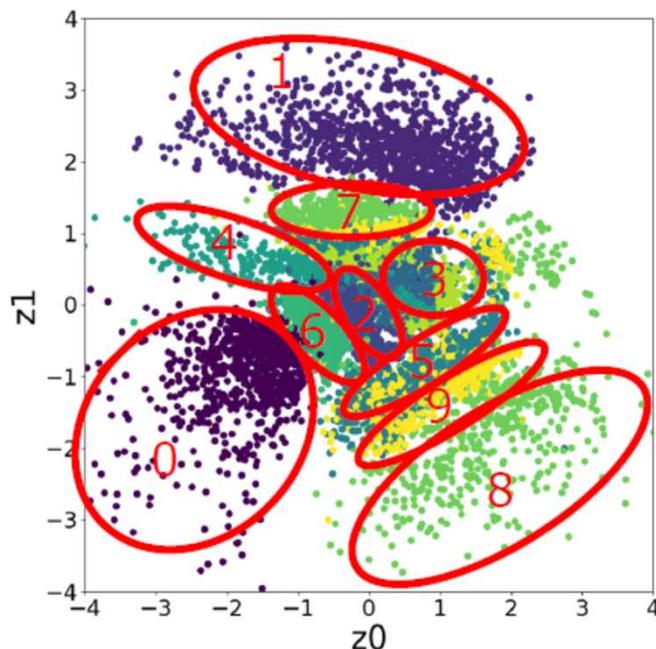
新技術：教師なし学習の原理



手書き文字
($28 \times 28 = 784$ 次元)

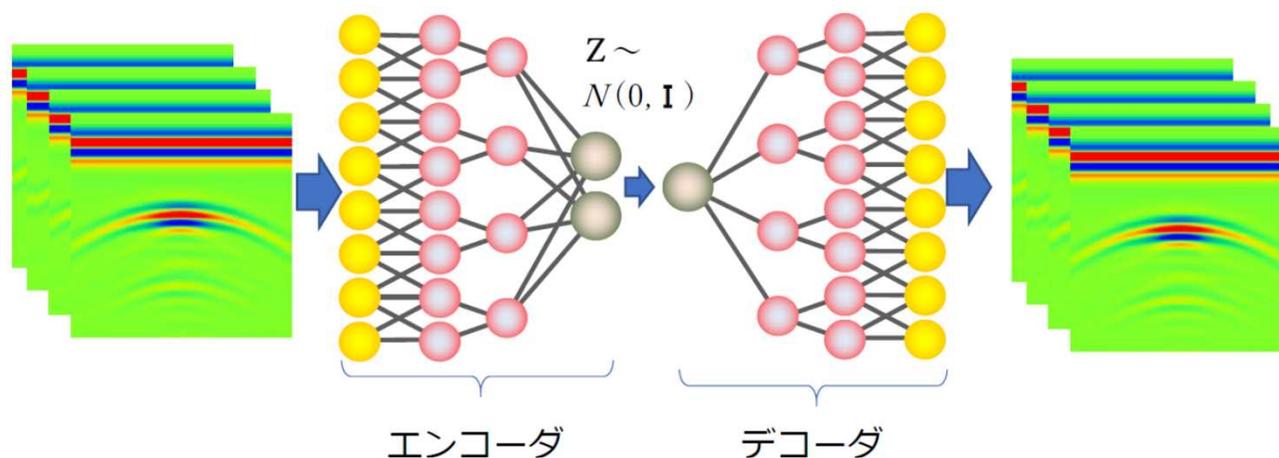
⇒ 低次元の潜在変数 z ⇒

手書き文字
($28 \times 28 = 784$ 次元)

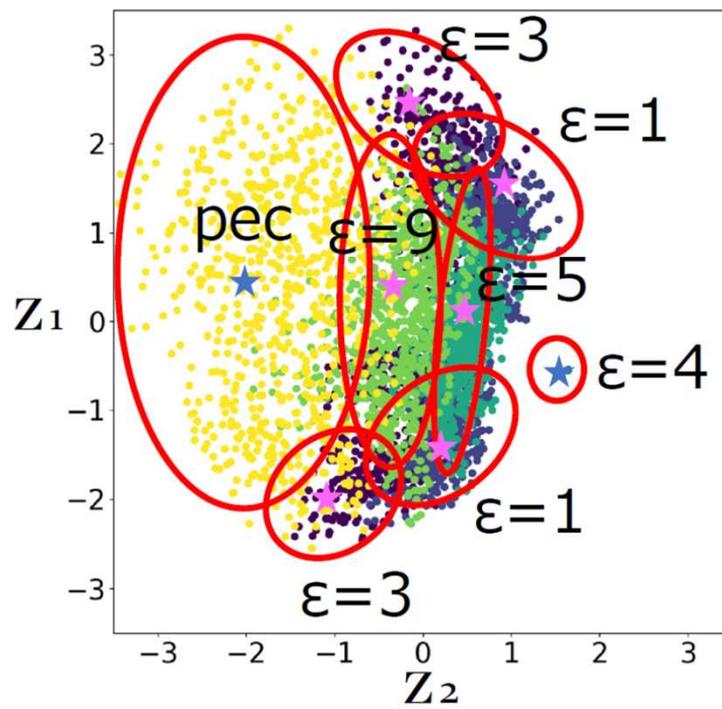


正解ラベルを使わなくても
クラスタリング可能

教師なし学習によるレーダ画像識別



レーダ画像 (128 × 128 = 16384次元) ⇒ 低次元の潜在変数z (6次元) ⇒ レーダ画像 (128 × 128 = 16384次元)



レーダ画像でも
教師なし学習が可能

新技術の成果

- シミュレーション画像(6分類)での検証:教師なしでも分類可能
- 道路空洞や埋設管調査などは2分類程度で, **空洞や埋設管は分類しやすい**
- **保有する実データで教師なし学習が可能で, 現場の実データで高精度分類も可能⇒教師データ作成のコストを大幅削減**

新技術：自動走行化

- 実データ持っていない場合：地中レーダで取る必要がある
- 現在のレーダはカート式や牽引式が主流で、測線引きや人による牽引などが必要で高コスト
- 地中レーダ調査の自動化



道路空洞調査



災害時の行方不明者搜索

新技術：自動走行地中レーダ

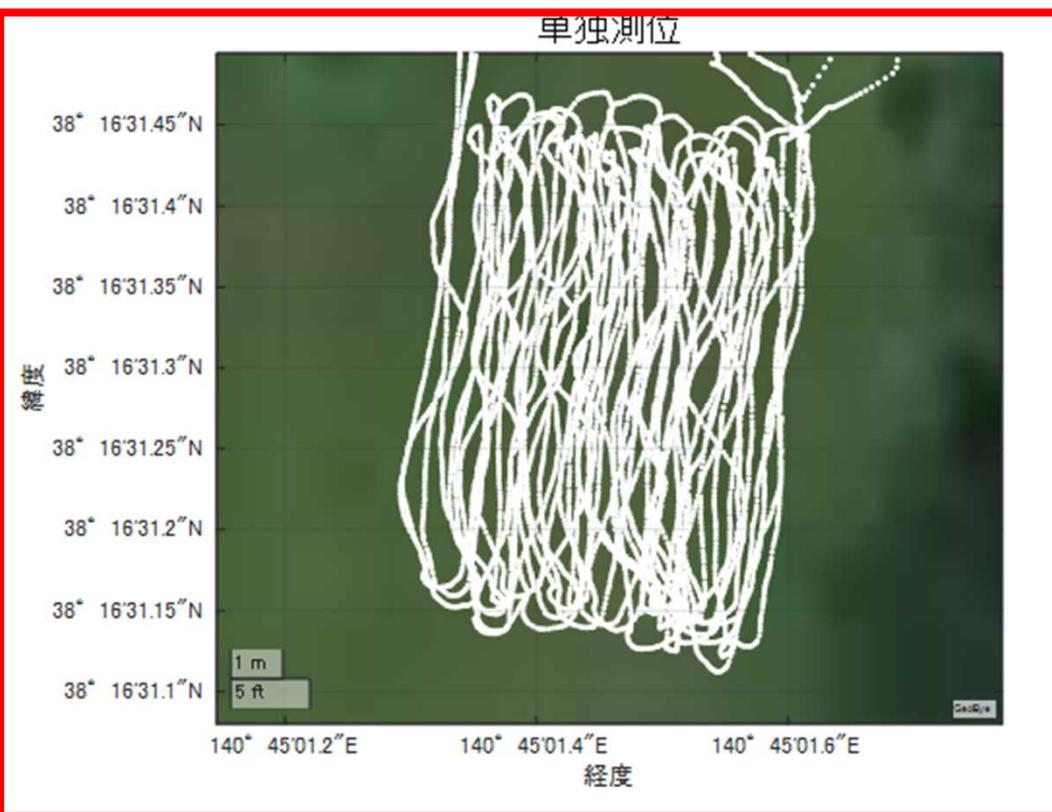
- クローラ型自動走行地中レーダ
 - 足回りはクローラ：CuboRex社CuGoなど
 - 位置測位：RTKやCLASなどの高精度衛星測位と、姿勢センサ・方位センサなど複数センサの組み合わせ



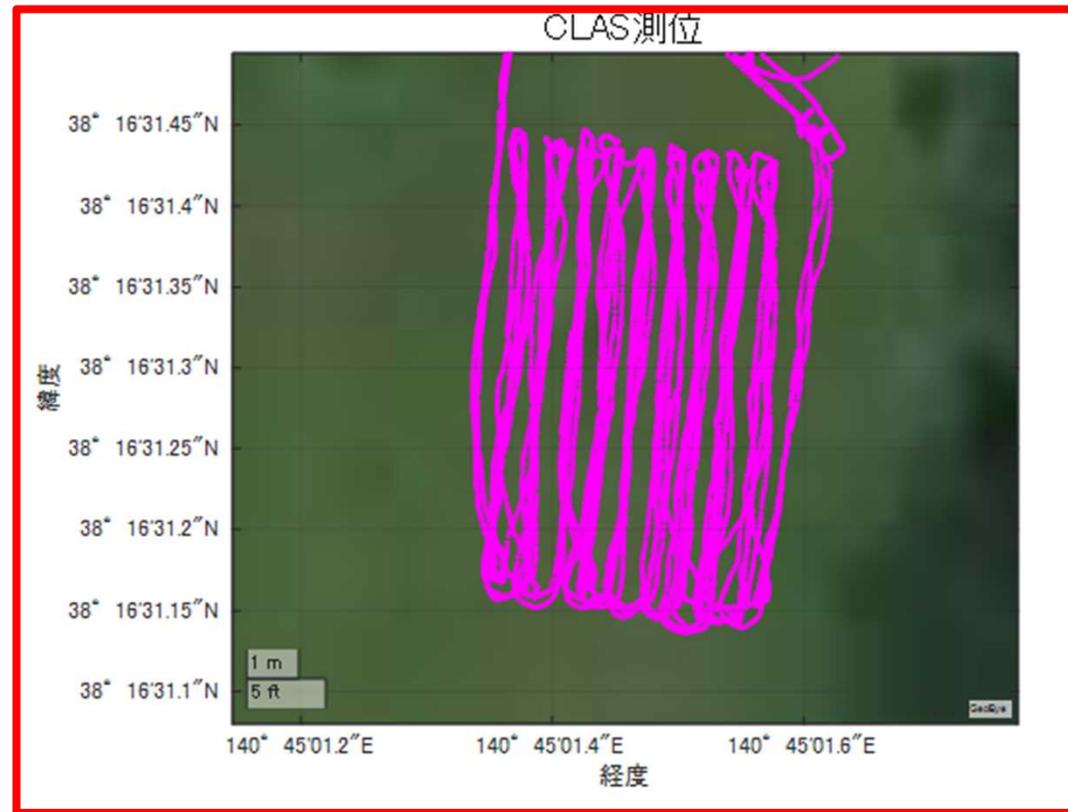
開発中の自動走行地中レーダ

新技術による走行精度向上

従来技術



新技術



従来手法(左)と新技術(右)の走行軌跡の比較
※ 指定経路を3回走行した軌跡

新技術の走行精度向上・コスト削減



複数測線による3次元調査の実証実験

測線引きや人による牽引不要で大幅にコスト削減可能

新技術の走行精度向上・コスト削減



河川堤防における異常箇所検出の実証実験
測線引きや人による牽引不要で大幅にコスト削減可能

新技術の成果

- 地中レーダの自動走行を実現
- 調査点検業務の他、学習データ収集装置としても使用可能
- 測線引きや人による牽引不要で調査点検のコストを大幅削減
- 道路や河川堤防等のインフラ自動点検等の内部点検調査の自動化が可能に(これまでは表面点検調査のみ)

想定される用途

- 道路や床版など地中やコンクリート内部のインフラ点検(インフラ・社会基盤)
- 災害時の行方不明者捜索(自然災害)
- 砂浜沈下の海洋プラスチックの検出・定量化(環境問題)
- 古墳などの遺跡探査(考古学)



道路空洞調査



災害時の行方不明者捜索

実用化に向けた課題

- 実際のインフラ点検データへの適用のためのデータ取得・解析: シミュレーションやモデル実験での精度は検証済み
- 現場でのリアルタイム処理: 市販のレーダへの組み込み, ハードウェア+AIセットでの開発

企業への期待

- **実際の現場での検証**: 株式会社建設環境研究所とともに河川堤防点検
- **現場での実データ収集**: 株式会社ミライトとともに道路埋設管のデータ収集を開始
- **ハードウェア・ソフトウェア開発**: レーダ装置やAIアプリ等の開発



株式会社建設環境研究所との堤防樋管共同実験



株式会社ミライトによる学内実験フィールド

本技術に関する知的財産権

- 発明の名称 : 特許学習データ生成方法およびこれを用いた対象空間状態認識方法
- 特許番号 : 6737502
- 出願人 : 国立高等専門学校機構
- 発明者 : 園田潤, 木本智幸

特許の内容: 教師データ生成法と学習法(教師あり学習)

本技術に関する知的財産権

- 発明の名称 : 電磁波レーダ装置および電磁波レーダ装置の学習方法
- 出願番号 : 特願2021-42833
- 出願人 : 国立高等専門学校機構
- 発明者 : 園田潤, 木本智幸

特許の内容: 学習データ収集装置と学習法(教師なし学習)

産学連携の経歴

- 2010年- 株式会社建設環境研究所と共同研究実施
- 2011年-2012年 JST A-STEP FSステージ 探索タイプ採択
- 2012年-2013年 JST A-STEP FSステージ 探索タイプ採択
- 2012年-2014年 科研費・基盤研究(C) 採択
- 2015年-2016年 JST A-STEP機能検証フェーズ採択
- 2015年-2018年 科研費・基盤研究(B) 採択
- 2016年-2019年 総務省SCOPEに採択
- 2019年- 株式会社ミライトと共同研究実施
- 2020年- 科研費・基盤研究(B) 採択
- 2020年- 科研費・挑戦的研究(萌芽)採択
- 2020年- 大学発ベンチャー設立
- 2021年- 情報通信研究機構委託研究採択

メディア報道例

2018/10/2

災害救助を効率的に、地中のヒトやモノを深層学習で識別 | 日経 XTECH (クロステック)



日経 XTECH

記事URL: <https://tech.nikkeibp.co.jp/atcl/nxt/column/18/00001/00966/>
 このページに掲載されている記事・写真・図表などの著作権を認めます。著作権は日経BP社、またはその情報提供者に帰属します。掲載している情報は、記事執筆時点のものであります。

2018/09/07 07:00

ニュース解説

災害救助を効率的に、地中のヒトやモノを深層学習で識別

内山 祥海 - 日経 XTECH

日経 XTECH

仙台高等専門学校と大分工業高等専門学校のグループは、地中に埋まった物体の材質をディープラーニング（深層学習）で識別する技術を、「イノベーション・ジャパン2018」（2018年8月30～31日、東京ビッグサイト）で見せた。地中やコンクリート内部を非破壊で探査できる「地中レーダー」の画像を解析して、埋没物の位置や大きさ、材質を識別する。災害時の救助活動での活用を目的のほか、橋梁などのコンクリート建築物内部の劣化状態検査にも応用できるとみる。

地中レーダーは、地中に電波を送信して得られる反射波を解析して地下の埋没物や内部構造を計測する装置である。東日本大震災の被災地では、警察やボランティアが地中レーダーを用いて行方不明者の捜索を実施している。仙台高等専門学校 総合工学科 知能エレクトロニクス工学科 教授の園田亮氏によれば、地中の物体が何であるかをレーダー画像から目視で見分けるのは困難で、行方不明者捜索の現場では「レーダーがモノを検知したら、それが何か分からなくても、とにかく掘る」という運用が一般的だという。

2018年10月 日経新聞XTECH掲載

<https://xtech.nikkei.com/atcl/nxt/column/18/00001/00966/>

メディア報道例

仙台高専教授、不明者捜索ロボット開発 埋設物、AIで識別 災害現場での応用期待 /宮城

暮らし・学び・医療 | 学び・教育・入試 | 宮城

毎日新聞 | 2021/3/27 地方版 有料記事 720文字



ロボットの走行を確認する仙台高専の園田潤教授（左）と学生＝宮城県名取市の関上浜で2021年2月12日、菊池陽南子撮影

仙台高専の園田潤教授（電磁波工学）が、地中の埋設物を自動で認識するロボットを開発した。名取市関上（ゆりあげ）の海岸で東日本大震災の行方不明者の捜索に活用。今後は各地の災害現場での応用も期待されている。

ロボットは自動走行する台車に地中レーダーを取り付け、埋まっている物体にレーダーを当てて人工知能（AI）で解析するというもの。地中レーダーは道路工事や遺跡発掘などで使われ、反射する波形によって

2021年3月 毎日新聞（他，朝日新聞，読売新聞，河北新報，NHK，民放）

<https://mainichi.jp/articles/20210327/ddl/k04/100/235000c>

メディア報道例

朝日新聞
DIGITAL

速報 朝刊 夕刊 連載 特集 ランキング

トップ 社会 経済 政治 国際 スポーツ オピニオン IT・科学 文化・芸能

朝日新聞デジタル > 記事

飛島の海ごみ回収ロボ、NICTの研究に採用

鶴沼照都 2021年5月21日 9時00分

シェア ツイート Bブックマーク スクラップ メール 印刷



飛島に漂着したごみの回収作業。毎年多くの人手が必要だった=2019年5月25日午前10時5分、山形県酒田市の飛島、鶴沼照都撮影

山形県 唯一の離島・飛島（酒田市）に流れ着く大量の海ごみをロボットで回収できないか。仙台高専などが進めるそんな研究が、国立研究開発法人 情報通信研究機構（NICT）の支援を受けることになった。人手の省力化が新型コロナ 対応につながる」と評価された。

日本海に浮かぶ飛島には流木など大量のごみが流れ着き、かつては一部を燃料に使っていた時代もあったという。だが、昨今はプラスチックのごみが増え、景観の悪化だけでなく、マイクロプラスチックとし

2021年5月 朝日新聞掲載

<https://digital.asahi.com/articles/ASP5N6SJ5P2MUZHB009.html>

メディア報道例

研究成果展示事業
A-STEP 機能検証フェーズ
(旧・地域産学バリュープログラム)

メールマガジン サイトマップ 文字サイズ 大 中 小
Google カスタム検索

ホーム 制度概要 マッチングプランナー 公募情報 Q&A 探択課題 **研究開発成果** 事後評価 事務局等書類のダウンロード お問い合わせ

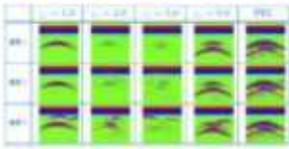
JST トップ > A-STEP機能検証フェーズトップ > 研究開発成果 > 社会インフラ劣化高精度診断のための地中レーダシミュレーションの開発

研究開発成果

社会インフラ劣化高精度診断のための地中レーダシミュレーションの開発 [印刷はこちら \(PDFファイル\)](#)



岡上浜ほか（高知県）での地中レーダ探査



GPUクラスターで大量高速生成したレーダ画像の例

研究開発概要

- ・熟練技術者でなくても異常箇所が判断できるよう、社会インフラ（道路・橋脚・堤防など）点検の際に用いる、異常箇所判定の定量化・客観的診断ツールの開発を目指し、研究開発を実施した。
- ・具体的には、
 - ①地中レーダのシミュレーション結果と実測の精度検証を行う。
 - ②シミュレーションの高精度化に向けたシステム開発（パラメータの最適化、プログラム開発、画像DBの構築）を推進する。

成果

JSTホームページおよび研究成果紹介冊子で掲載

https://www.jst.go.jp/mp/seika_04.html

お問い合わせ先

**国立高等専門学校機構
本部事務局 研究推進課**

TEL 03-4212-6832

FAX 03-4212-6810

e-mail KRA-contact@kosen-k.go.jp