



AI 応用研究所 報告書

令和5年3月31日

目次

AI を用いた IoT 講習会の実践	・・・1
AI 応用研究所 千田陽介, (株)久留米リサーチパーク 寺島 祐二, 権藤 孝雄	
Generative AI を活用した美容室におけるヘアスタイル画像生成 ～地域課題解決型 AI 教育プログラムにおける実践報告～	・・・5
情報ネットワーク工学科 和泉, 河野央	
AI 応用技術を用いた建物のエネルギー削減技術の開発	・・・10
AI 応用研究所 特任講師 呉 濟元	

AI を用いた IoT 講習会の実践

AI 応用研究所 千田 陽介

(株) 久留米リサーチパーク 寺島 祐二, 権藤 孝雄

令和5年3月

1. 講習会の目的

Python は優秀なライブラリを簡単に使えることが特徴であり、AI やデータサイエンス、画像処理などで活躍している。Python は適切なライブラリを用いればコーディング（コンピュータアーキテクチャ）に関する深い造詣が無くても AI を活用したプログラムを組むことができる。AI 活用プログラムは今の表計算ソフト（Excel）や ワードプロ（Word）と同じく、様々な者が気楽にそれを利用するようになっていくかもしれない。一方で IoT（Internet of Things）と呼ぶ概念が提唱されて久しい。環境のあちこちにネットワークに繋がるセンサ端末を備え、事象を計測しネットワーク上のクラウドに結果を伝える。IoT は電子回路の小型化・省電力化に伴いますます重要度が増してきている。IoT も AI 活用プログラム同様、ユーザが気楽に設置・運用しくことになるかもしれない。

そういった近年の AI、IoT 技術の発展に乗り遅れてはならないという危機感は、当学がある久留米・筑後地方の企業の方々も持っている。そのような地域のニーズに応え、2022 年 11 月に地元企業の人材育成講座（講習会）を開催した。当報告書はその立案と実施に関するものである。

2. カリキュラム

この講座で目標とする技術を図 1 に示す。図のように予め PC で行った学習結果を組み込み Linux に入れ込み、そこでカメラ画像の物体認識を行い、目的の物体が認識されたら、その結果をクラウドに通知ものである。本講習会では学習とその活用という一連の作業を修得することを目的とした。実際に各企業が業務を通して認識させたい物体は異なる。満足する性能を得るために必要な教師データ数や学習時間も異なる。講習会という限られた時間でそれら全てに応えることは難しい。そこで一通りのやり方と勘所を伝えることに重点を置き、実用は各自持ち帰って進めるというスタンスにした。ク

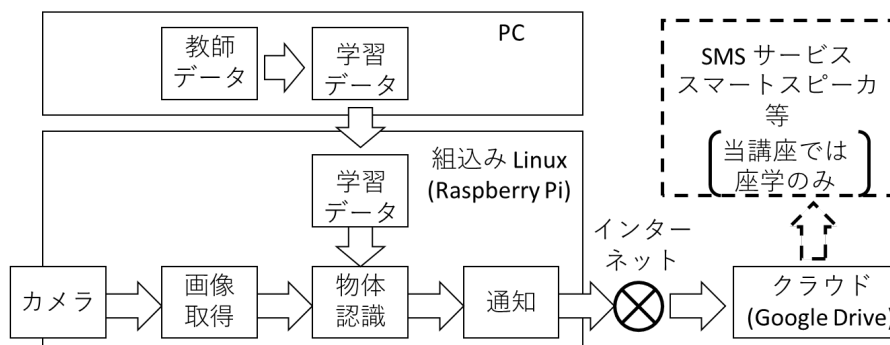


図1: 当講座の内容

ラウドへの通知も Google Drive へのアップロードまでとした。認識したという情報をスマートスピーカや SMS サービス等を通じてユーザへ伝えなければ IoT 機器の実用性は無い。しかしそれも各企業によってやりたいことが異なるため、今回は代表的なサービスの実装法を座学で述べるに留めた。組み込み Linux は入手性と価格の観点から Raspberry Pi を用いた

講習会は 1 回 4 時間程度を 4 回行った。以下簡単に各回の講習内容を示す。

1 日目: Raspberry Pi OS のインストールと簡単な Linux オペレーション

当講座の最終目標（図 1）と流れを通した後、SD カードに Raspberry Pi OS をインストールすることから始める。当講座では主にスペースの関係から Raspberry Pi を VNC を経由して PC から操作する形態を取った。しかし VNC を用いるためには IP アドレスを設定する必要があり、その設定を終えるまではディスプレイとキーボード、マウスを要する。その間だけ使うディスプレイを人数分用意することはパフォーマンスが悪い。そこで間には HDMI 信号を USB カメラに変換するビデオキャプチャで代用した。VNC 接続後、幾つかの基本的コマンドやパーミッション等、Linux のオペレーションの実習を行った。

2 日目: Python プログラム

2 日目は主に Python プログラムの説明を行った。プログラム自体は変数の概念と if 文, for 文, while 文程度にとどめた。受講者の多くは過去なんらかのプログラミング言語を体験したであろうという予想からこの部分はスピーディに進めた。Python プログラムの利点はライブラリの種類である。そこでそれらのインストール方法やインポート、活用法については時間をかけて実習を行った。

3 日目: 画像処理とクラウド連携

3 日は図 1 の下半分に相当する Raspberry Pi 上でのカメラからの画像取得、物体認識及び認識結果のクラウド通知の実装演習である。この機能の実現には、A. カメラ画像の取得、B 物体認識、C クラウド通知という三つの機能が必要である。それらを個々に説明・演習を行った。

まず行ったのは C のクラウド通知部分である。Pydrive2 ライブラリを用いて任意の文字列を google drive のファイルとしてアップロードする。ここで pydrive2 を用いるには google の開発者用アカウントが必要となる。受講者には事前に通常の (gmail や google drive が使える) アカウントを用意しておくように伝えておき、そこから開発者用アカウントを作り、google drive API を作成し、そこでファイルアップロード機能をプログラミングしてもらった。

次に行ったのは A のカメラ画像の取得である。これには opencv ライブラリを用いた。A の演習ではカメラ画像の取得のみならず、簡単な

画像加工やファイル保存等も説明した。
最後の B の物体認識は yolo ライブラリを使った。yolo 付属の detect.py はオプションにより様々な機能を活用できるが長く複雑なコードになっている。今回必

```

1: import torch
2: import cv2
3:
4: cap = cv2.VideoCapture(0)
5: model = torch.hub.load('ultralytics/yolov5', 'yolov5s')
6:
7: _,img = cap.read()
8: results = model(img)
9: results.print()
10:
11: cap.release()

```

図 2: 物体認識プログラム

要な機能だけ抜粋すると図2のような短くシンプルなコードになる。このコードは7行目でカメラを取得し、8行目で解析9行目で結果を出力している。実はこの9行目は様々な情報が出力されるため活用しにくい。resultの中に何がどれくらいの確度で認識されたかという情報が含まれるので、上手く抜粋し適当なif文で何かを得られた時のみ結果を出すように改造する。その後7~9行目をループさせ、if文の先で最初に演習したCの内容を組み込みgoogle driveへ認識結果やその時の画像を送付するようにする。

4日目：機械学習

4日は図1の上半分、PCを用いて学習データを作る演習を行う。具体的にはPCにもpythonをインストールし、教師データを用いてアノテーションを行った後、学習データを作る。作った学習データはUSBメモリを用いてRaspberry Piに移動させ活用する。学習自体はRaspberry Piでも行わせることができる。しかしRaspberry Piは計算能力が低いため、一連の作業をノートPCで行った。しかしそれでも機械学習を行うに十分な性能を

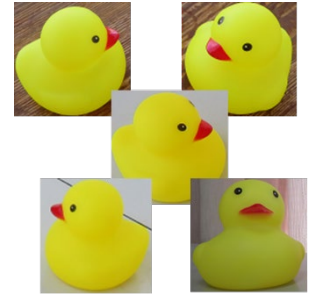


図3：ラバーダック

持っているとは言い難く、実用的な演習をターゲットにすると講習会の時間内に終わらせることが出来ない。そこで今回は体験と割り切り図3のようなラバーダックを用いた。教師データの例を図4に示す。演習ではこのようなデータを5枚程使い、一般的なノートPCで10分程かけて認識率80%程度の学習データを得た。

ノートPCを用いたのは、あくまで目の前の計算機ですべて計算できることを示すためである。演習後の座学ではgoogle colabory を用いてGPUを活用して計算すると同じ計算が数十秒で終わることを実演し、なぜAIに高性能PCが求められているのか説明を行った。

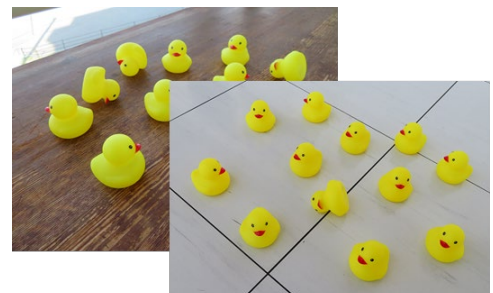


図4：教師データ

3. SDカードの複製

当演習において、前半2回はRaspberry PiにどうOSやソフトウェアをインストールしていくのか体験してもらうため、空のSDカードからのシステム構築を行った。後半に入ると実際にyoloといったソフトウェア活用するが、演習に必要なソフトウェアを受講中に各自インストールさせると時間がかかる。そこで事前に必要なソフトウェアをインストールしたシステムを一つ作成し、resize2fsとddコマンドでSDカードを複製・配布した。なお複製（イメージ展開）と同時に/etc/dhcpd.confにある静的IPアドレス設定を行うことで受講者のRaspberry Pi間のIPアドレスのバッティングを防いだ。

4. 講習会の内容と評判

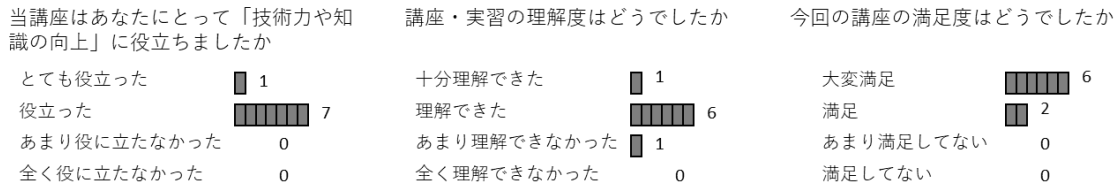
以上のような準備を行い2022年11月に4回に渡って講習会を開催した。受講者は久留米・筑後

地方の企業や団体の技術者 8 名である。講習会の様子を図 5 に示す。

講習会参加者へのアンケート結果を図 6 に示す。図のように結果は概ね良好であったが、Python プログラムが難しかった、AI で出来ることの具体的な例がもう少し欲しいなどの意見もあり、以後の講習会で気に掛けなければならぬ課題が見えてきた。



図 5: 講習会の様子



この講座に参加してみてものご感想、ご意見をお聞かせください

- 今回のセミナーを通して自力で解決出来ない部分もありましたが会社に帰ってやってみよう、試してみようという機会があれば色々チャレンジしていきたい。
- 便利だった、そして沢山学びました。
- プログラムなど今まで経験がなかったことに取組むことが出来て大変いい勉強になりました。
- 正直、学んだことを再現するのは難しいですが、自分で勉強してみます。
- とても勉強になりました。AIで出来ることの具体例をもう少し知りたい。
- 4日間で全てを理解するには厳しいですが今回体験出来たことは良い経験になりました。テキストもあるので自主学習しながら今後の業務に活かせる様にしていきたい。
- 講座をきっかけとして自身のスキルアップのための学習をしていきたい。基本の部分を学べただけでも難しく感じました。
- 全くの専門外の分野でしたので基礎的な内容から教えて頂き助かりました。また、環境構築の部分で上手く行かないケースもありましたが、これらの環境構築の部分について触れて頂くのも非常に助かりました。

図 6: 頂いた感想

5. まとめと今後の計画

「AI」という語感是非常に浸透し、どういふものか知りたい、業務に使えるか検討したいというニーズが産業界に広がっている。当講座はそれに応じて開催したものである。通り一遍の体験講座ではなく、受講者が自分の企業・団体に持ち帰って何か試してみようとするときの第一歩になればという目標で講座内容を作成した。その時、おそらく一番のハードルとなるのは Linux のオペレーションと考えた。そこで Linux の操作にかなりの時間を割いた。次にハードルとなるのは Python のプログラムだとも予想できたが、当講座はプログラミング講座でないこと、Python はライブラリの使い方さえ知っていれば、俗に言うベタ書きでも実用性のあるコードが作れることから、簡単な命令のみに留めた。この内容が十分だったのかどうかは今後追跡調査する必要があるであろう。

本稿執筆時点で「ChatGPT」という技術が注目を集めている。今後 ChatGPT 等の生成系 AI が業務に使えるかというニーズが産業界に広がっていくであろう。ネット上では ChatGPT を用いてゲームを作らせたという報告が多々ある。生成系 AI で IoT プログラムの雛型を作り、開発者が微調整するという開発を行いたいというニーズが出てくると思われる。技術が幾ら発達してもベースは同じであろう。そのため当講座 1, 2 回の内容よりも、3 回目、4 回目について生成系 AI を活用できるか検討を進めている。

Generative AI を活用した美容室におけるヘアスタイル画像生成 ～地域課題解決型 AI 教育プログラムにおける実践報告～

情報ネットワーク工学科 和泉 朋希, 河野 央

令和5年3月

1. 研究の目的

本研究は、地域の美容室チェーン店を展開する株式会社 SIC より本学 AI 応用研究所へ「顧客サービスや店舗経営への AI 活用」について相談があり、AI 活用演習選抜クラスの PBL における地域課題解決として「顧客へのヘアスタイル提案の実装」を目指した。

2. 期待される効果

画像を介したヘアスタイル提案が実現すれば、店員・顧客双方が完成形のヘアスタイルに対する同一イメージを共有でき、言語化が困難なヘアスタイルの注文が容易になることで顧客の満足度の向上が期待できる。また、敵対的生成ネットワーク (GAN) の一種である StyleGAN は写真のようリアルな画像を生成することができるが、画像編集で望ましいとされる直感的な制御についての問題点を具体的に示すことができる。

3. 研究の経過及び結果

3.1 昨年度までの成果について

ヘアスタイルの画像生成には StyleGAN[1]を利用した。この深層学習の手法を用いる場合、ヘアスタイル生成に関連する特徴としては、潜在変数と呼ばれる生成パラメータを操作することで、生成画像の制御が可能である。実装した結果、髪の長さを変えることが可能になったが、それ以外の、例えば髪型をウェーブさせたりセンター分けしたりといった実用的なヘアスタイル制御は、潜在変数の生成結果への関係性を特定する必要があった。さらに髪の長さを変更すると顔のパーツの生成および表示に影響を受けてしまい、元の本人画像と顔が異なり違和感が生じてしまうという問題点があった。前者については継続課題としたが、後者については、Web カメラから取り込んだ顔画像に対して、長髪・短髪の生成後に元の本人画像を合成する単純な方法を組み入れ、実装済みである (図1)。



図1: 顔画像入力を実装したアプリと生成結果の表示 [2]

3.2 今年度の取り組み内容について

3.1で課題として示した潜在変数の役割の特定について取り組み、ヘアスタイルの制御の自由度を高めることを検討した。また、学習データについても一般的な顔画像ではなく、美容室のヘアスタイル画像を利用することで生成結果を美容室のカタログに近いイメージで出力できるように試みた。

3.3 StyleGANにおける学習と画像生成

Google Colaboratoryを開発環境として使用し、nVidia社が公開しているStyleGANのソースコード「StyleGAN2-ADA」をカスタマイズし、新たな学習データセットを作成し学習を行った。学習データセットは、778枚のヘアスタイルカタログのような画像を学習データとし、学習する画像の総計が900k枚で学習を終了した。学習データ数は少ないもののStyleGANに取り入れられているアルゴリズム上の工夫による効果が出たのか、StyleGANのオリジナルデータセットでは生成できないようなヘアスタイル画像(図2)が生成できた。



図2: ヘアスタイル画像の生成結果の例[3]

3.4 潜在変数の推定

StyleGANの潜在変数は、512次元のノイズ z が8つの全結合層を通して512次元ベクトル w に変換されたものである。どの次元の潜在変数が髪型のどの部分の生成に関与しているのかが明らかになれば、画像の生成における操作・編集が可能となる。

はじめに、髪型の比較を行うために生成結果を特定の画像で固定するためにseed値を固定し、図3のような元となるヘアスタイル画像を生成した。



図3: 潜在変数推定のための元画像（男性・女性それぞれの seed 値を固定）

次に、潜在変数を100の値に固定したまま、1次元ずつ潜在変数の値を変更し、男女別で画像の出力を行った。最後に出力画像の違いを確認し、1次元ずつ潜在変数の役割を推定していった。髪型に關与していると判断したもののうち、一部抜粋したものを表1に示す。

表1 次元別男女の髪型の変化（一部抜粋）

次元	33	125	257	348	434	510
男性	左前髪ボリューム	前髪ボリューム 左髪ボリューム	前髪ボリューム 左髪ボリューム	右前髪ボリューム	左前髪ボリューム	前髪ボリューム 左髪ボリューム
女性	左髪ボリューム	左右ロング	右髪ストレート	右髪ストレート	右髪ストレート 左髪ボリューム	左髪ロング 左前髪

3.5 潜在変数による画像生成の制御

表1の推定結果によって、例えば右側の髪のストレートに影響する潜在変数は複数存在する。そこで、画像における特定の同一部位に対して作用するような同じ役割を持つ複数の潜在変数をクラスター化した。男性においては、横髪のボリューム SideVol・前髪のボリューム FrontVol・前髪のストレート FrontSt を、女性においてはロング Long・ショート Short・ストレート Straight・髪のボリューム Volume を調整する潜在変数の値を操作できるようにした（図4）。

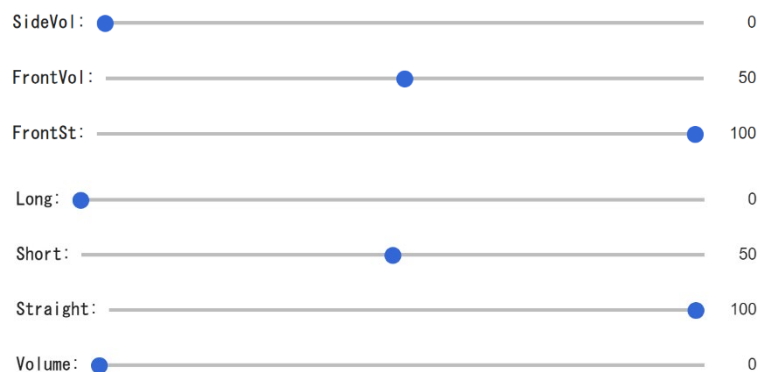


図4: 画像における特定の同一部位に關与する潜在変数群を操作するUI

3.6 潜在変数の制御による生成結果

図5および図6に、男性と女性それぞれの出力結果を示す。なお、顔の向きや外観が変わる現象は元々のStyleGANで見られる現象であり、この点は昨年度に解決しているため、ここでは特に言及しない。

男性における出力結果は、横髪のボリューム生成については実現できているが、潜在変数が特定のセマンティック領域と1対1対応しているわけではないため、前髪の操作は全体的なボリュームに影響が出てしまっている。これは、学習データセットにおいて男性と女性が混在している影響もあると考えられる。

女性における生成結果はショートヘアスタイル以外は比較的属性通りの制御が出来ていると見受けられた。学習データセットにおいても女性のヘアスタイルの方が豊富で画像も多いことも要因になっている可能性がある。

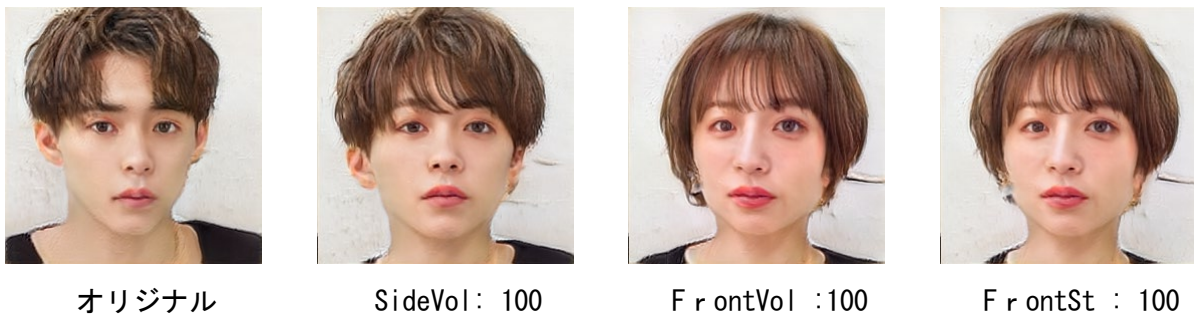


図5 男性における髪型編集の結果



図6 女性における髪型編集の結果

3.7 考察

以上のような結果から、髪型を制御する潜在変数は存在し、それらを明らかにすれば髪型を制御することは可能である。しかし、StyleGANの潜在変数は数百から数千・数万の次元を持つベクトルであり、それらすべての意味解釈を行うことは難しい。また、幾つかの潜在変数を変化させることにより髪型の生成結果も変化するが、同時に別の箇所の髪や顔の外観が変化していることから、特定のセマンティック領域に影響する潜在変数は複数あり、それぞれの影響度の重みも異なっている

ことは明らかである。従って、潜在変数のそれぞれのセマンティック領域に対する重みを推定する必要もある。

4. まとめと今後の計画

本研究は、地域課題解決型 AI 教育プログラムの実践および研究室学生の卒業研究として取り組んだ結果をまとめた。この実践課題において、StyleGAN における潜在変数を制御することで髪型を調整できることを示した。その結果、潜在変数を制御することで髪型の領域は調整できるが、一般ユーザーが簡単な操作でヘアスタイルを調整するためには、潜在空間の更なる拡張とそれらの役割および画像の特定領域への関与度の推定が必要である。

StyleGAN は、その生成結果はリアルで高画質な画像であるが、画像編集という点では課題が多く、画像編集のためには、潜在変数空間の意味解釈をしなければならない。Shen らの InterFaceGAN[5]では潜在変数の各次元が特定の属性に対応するように GAN モデルを微調整し、結果的に特定の属性に対応した潜在変数が得られている。このような手法を参考にすれば、髪型の特定領域を直感的に制御できるだろう。

参考文献

- [1] Tero Karras, et al., “A Style-Based Generator Architecture for Generative Adversarial Networks”, arXiv:1812.04948,
- [2] 田村元, StyleGAN を用いたヘアスタイル提案アプリの開発, 久留米工業大学工学部情報ネットワーク工学科 2021 年度卒業論文.
- [3] 井上琴未, 日高皓律, 藤原ひかる, 稲形宙大, AI×美容室 もう迷わない理想の髪型, 2022 年度 AI 活用演習選抜クラス.
- [4] Yujun Shen, Jinjin Gu, Xiaoou Tang, Bolei Zhou, Interpreting the Latent Space of GANs for Semantic Face Editing, [online]<https://genforce.github.io/interfacegan/>, 2023 年 3 月アクセス.

AI 応用技術を用いた建物のエネルギー削減技術の開発

AI 応用研究所 特任講師 呉 濟元

令和5年3月

1. 研究の目的

本研究では、カメラの情報に基づき、AI 応用技術と組合せた省エネ行動支援（Nudge, 行動変容）手法の開発と、AI 応用技術の骨格認識、物体認識、画像処理などを用いて室内の環境解析が可能な手法を開発する。本報告書では、AI 応用技術の骨格認識と画像処理を用いて窓の開閉動作検知及び開閉状況判別手法について報告する。

2. 研究の必要性及び従来の研究

建築分野は、2050年カーボンニュートラル脱炭素社会を実現するため、大幅なエネルギーの削減が必要である(1)。しかし、建築物は一度建築されると次の改修や建替えが数十年先で、既存建物の省エネルギー対策が不可欠である。近年、BI-Tech(Behavioral Insights×Technology)が注目され、個人/世帯のエネルギー使用実態、在/不在など様々な情報が得られる(2)。こういった情報を利活用し、既存建物への省エネルギー対策に貢献する手法の開発が必要である。今までの既往研究では、高木ら(3)は監視カメラの映像から空間内の歩行者数を推定する方法を提案し、幸田ら(4)はディープラーニングと画像処理の技術を組み合わせた天井の画像データから損傷度の自動判定、岩本ら(5)はセグメンテーションを用いた建物の床、壁、天井、柱、梁、窓、階段、扉、手摺、照明の10ヶ所の特徴を検出、肥田ら(6)及びLuら(7)はディープラーニングを用いて無被害及び有被害建物の特徴部分を抽出手法の開発、Maら(8)はCanny法を用いた建物の幾何学模様の特徴とそれに対応する空間環境に現れる視覚的複雑さを総合的に表現する方法を検討した。このような建築分野においてはAI技術を応用した様々な事例がある。

3. 期待される効果

近年、DX(Digital Transformation)、GX(Green Transformation)が注目されており、建築分野においてはBEMS(Building Energy Management System)・HEMS(Home Energy Management System)など建物の多様なデータを蓄積している。このようなデータを用いて建築分野におけるAI技術の利活用の提案、脱炭素社会の実現に向けた省エネルギー対策手法を開発する。

4. 研究の経過及び結果

本研究では、久留米工業大学 AI 応用研究所を対象に、AI 応用技術を用いた在室者の窓の開閉動作の検知、窓の開閉状況の判別する手法を開発した。図1に示したようにRaspberryPIを用いて室内の情報を収集した。撮影した画像を用いて骨格認識による窓の開閉動作検知、画像処理による窓の開閉状況を検討した。窓を開閉する動作は骨格認識を用いて検知した(図2)。今回使用した骨格認識は25ヶ所を検知するモデルを用いた。本実験では、実験者の左腕を動かして窓の開閉を行った。本実験を通して窓を開閉する際には、肩、肘、手首の座標が変化することが分かった。この3つの座標データから窓の開閉動作を分析した(図3)。窓前に立っている状態を準備として肩、肘、手首の座標が左側に化するタイミングに応じて人の動きが検知できた。そこで、図3(b)のような3パターンの分析ができた。



図1 Raspberry PI を用いた室内の情報収集

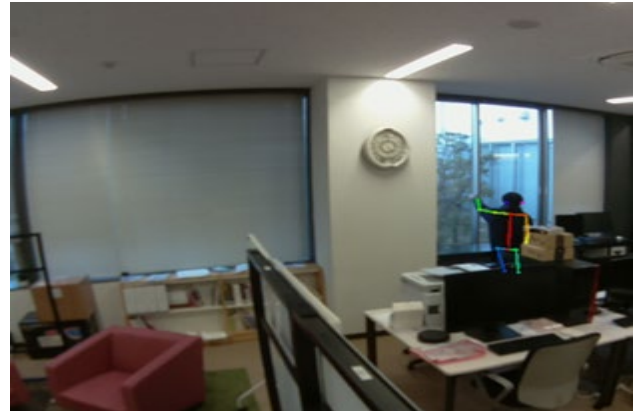
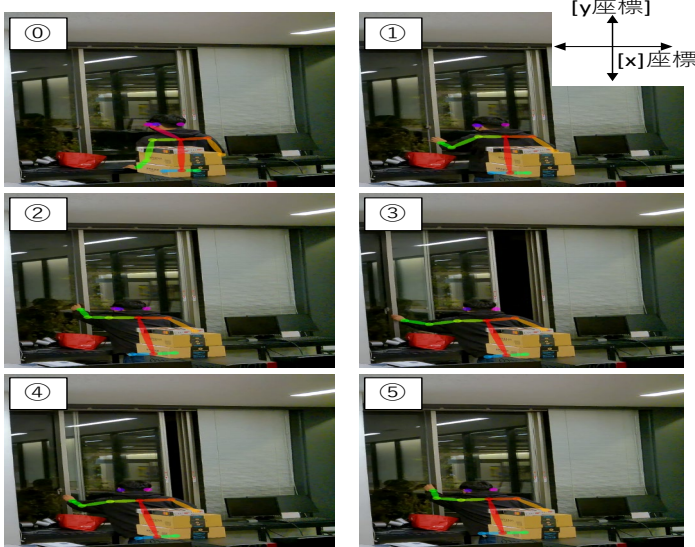


図2 骨格認識を用いた窓の開閉動作検知



(a) 人の動きに応じた骨格認識



(b) 座標データに基づく行動パターン

図3 骨格座標データの解析

窓の開閉状況は、窓のサッシに貼り付けたステッカーの距離によって判別する(図4)．ステッカーの色検出は、画像処理のHSVを用いる．次に、検出した色の中心座標から直線距離のピクセルを数え、距離を算出する．窓が閉まっている状態を基準として、各ステッカーの距離がどれほど離れているかに応じて開閉状況を判別する(図5)．本実験では、ステッカーの大きさにおける検出精度も含めて検討を行った．しかし、色検出精度は光環境が最も重要であることが分かった．

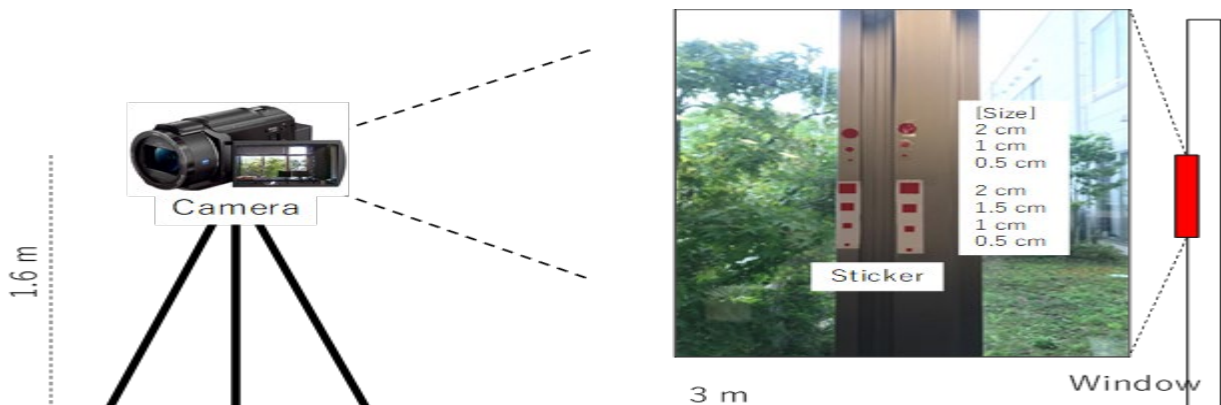


図4 窓の開閉判別実験



図5 画像処置を用いた窓の開閉判別

5. 今後の計画

今後は、省エネルギーに直接関連する空調設備の ON/OFF、照明の ON/OFF する姿を中心に検知を行う。

6. 研究成果の発表

〈査読付き論文〉

[1] 呉濟元, 住吉大輔, 小田まり子, 新井康平, 千田陽介, 八坂亮祐: AI を用いた空調用エネルギー削減技術の検討 (AI の画像認識技術を用いた在室者の行動検知と空調設備システムの性能検討), 久留米工業大学研究報告, 第 44 号, 2022. 03

[2] 呉濟元, 住吉大輔, 春田大河, 小田まり子, 千田陽介, 八坂亮祐, 新井康平: AI 検知と画像処理を用いた建物のエネルギー削減技術の検討, 久留米工業大学研究報告, 第 45 号, 2023. 03

〈発表論文〉

[1] 呉濟元, 住吉大輔, 山本高広, 上野貴広: 人工知能を用いた建物のエネルギー削減技術の開発ーAI 応用技術を用いた窓の開閉検知システムの開発ー, 日本建築学会九州支部, 第 62 回, 2023. 03

〈助成金〉

[1] 住吉大輔, 山本高広, 呉濟元, 上野貴広: BI-Tech による建物省エネ性能診断・ナッジシステムの開発, 国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO), 2022. 04~2025. 03

【参考文献】

- (1) 環境省, 2050 年カーボンニュートラルの実現に向けて, https://www.env.go.jp/earth/2050carbon_neutral.html (参照 2023. 3)
- (2) 環境省, 「行動インサイト」×「AI/IoT 等先端技術」(BI-Tech) を活用した行動変容の促進について, <http://www.env.go.jp/earth/ondanka/nudge/BI-Tech.pdf> (参照 2023. 3).
- (3) 高木 尚哉, 瀧澤 重志, カメラ映像を用いた地下街歩行者の分布推定方法に関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (近畿), pp. 127-128, 2014. 9
- (4) 幸田 雄太, 王 璞瑾, 川口 健一, 画像処理と深層学習による天応による天井落下の損傷度判定を目指した基礎的研究 その 2, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (北陸), pp. 1037-1038, 2019. 9
- (5) 岩本 祐來, 志手 一哉, 深層学習を用いた建物部位の検出に関する研究ーセマンティックセグメンテーションによる認識ー, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (関東), pp. 231-232, 2020. 9
- (6) 肥田 剛典, 八百山 太郎, 高田 毅士, ディープラーニングによる地震時建物被害判定と被害の地理的分布推定手法, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (中国), pp. 417-418, 2022. 8

- (7) Youcun Lu, Lin Duanmu, Zhiqiang (John) Zhai, Zongshan Wang, Application and improvement of Canny edge-detection algorithm for exterior wall hollowing detection using infrared thermal images, Energy and Buildings, 274, 2022.8
- (8) Lan Ma, Hua Zhang, Mingzhen Lu, Building's fractal dimension trend and its application in visual complexity map, Building and Environment Volume 178, pp.1-10, 2020.4