

3 パーソナル空調の取り組み

個人の快適性と省エネを両立したパーソナル空調

オフィスの空調制御は画一的であり、人によって快適ではない場合がある。そこで NTT コンピュータ&データサイエンス研究所（以下、CD 研）では、個人の好みに合った温度の空調を実現することで、快適でパフォーマンスを発揮しやすいオフィスの実現をめざしている。本稿では消費エネルギーの削減と快適性を両立する空間制御の取り組みを紹介する。

個人の好みとエネルギー削減を両立するパーソナル空調技術の研究開発

廊下やロビーなど、ビルの共用部では人が長時間留まることが少なく、多くの人が入れ替わり立ち替わり通行するため、多数の人が快適と感じられる環境作りが重要と考えられる。一方でオフィスなど各テナントの専有部では利用者が長時間滞在する。そのため個人の温度に対する感じ方の違いや不満が、共用部に比べて快適性に影響しやすいと考えられる。加えて、個人作業や複数人での会議など利用者の行動やオフィス内での滞在場所はさまざまに変化することがあり、快適な空調制御を柔軟に提供し一人ひとりが満足する環境を提供することが重要と考えられる。

ビルの消費エネルギーはその半分近くが空調によるものである^{*1}。そして、一般的に快適性を追求するために空調を強めると、消費エネルギーが大きくなる傾向にある。すなわち快適性のみを追求すると消費エネルギーの増加につながりやすい。このようなことから CD 研では、専有部においては消費エネルギーの削減と個人の快適性を両立することが

必要だと考えており、個人の好みとエネルギー削減を両立するパーソナル空調技術を確立しようとしている。

従来のビル空調制御と CD 研による空調技術の比較

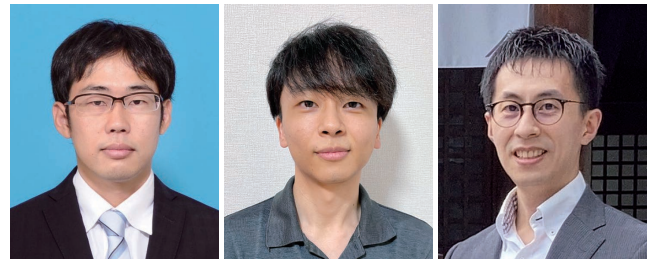
1. 従来の一般的なビル空調制御

一般的なオフィスでは部屋全体または区画ごとに均一な温度を目指した空調制御が行われる。そのため、作業内容や好みの温度の違いもあり、すべての人に快適な環境を提供できているとは言い難い。また、リモートワークの普及により、出社人数が減ったことで使われていない座席やエリアは増えている。

このような事情から、専有部で均一に温度を維持する従来技術は、エネルギー消費量削減の余地がある。

2. 空調最適制御シナリオ算出技術 (PMV 空調技術)

CD 研は、共用部の空調をターゲットに、快適性と省エネを両立する空調最適制御シナリオ算出技術（以下、PMV 空調技術）^{*2} を確立した。ここで、PMV (Predicted Mean Vote :



NTT コンピュータ&データサイエンス研究所
スマートデータサイエンス研究プロジェクト
(左から) 研究主任 三枝 知史 氏 研究員 酒井 聡太 氏
主任研究員 秦 崇洋 氏

予想平均温冷感申告) とは人の快適性を示す指標であり、温度や湿度、放射、気流、活動量や着衣量から算出される。PMV 空調技術により、多くの人が行き交う共用部において PMV の値を推奨快適範囲に保ちつつ、人の増減を予測した無駄のない空調の運転計画を AI によって導出することで、最大 50% の消費エネルギー削減を達成した^{*3}。

3. パーソナル空調技術

パーソナル空調技術は、専有部において一律な温度を目指して空調を動作させるのではなく、個人の好みと現在地を考慮して空調を強める場所と弱める場所を作る (図 1) ことで、あえて水平方向の温度のむらを作り個人の快適性と消費エネルギーの削減の両立をめざす技術である。

本技術は個人の好みの温度を反映

街づくりDTCによる新たな価値提供に取り組む NTTコンピュータ&データサイエンス研究所

した理想的な温度分布を算出し、その理想温度分布を再現する空調の運転計画をAIにより導出する。この運転計画は空調システムが複数の吹き出し口の風量や温度をどのように設定するか時刻毎に示したもので、特に本技術で導出した運転計画を、以降では空調制御シナリオと呼ぶことにする。この空調制御シナリオの導出には前節で述べたPMV空調技術で検討してきたAIによる空調制御のノウハウを活かしており、シナリオ通りに空調を自動制御することで消費エネルギーの削減と快適性の両立を目指す。

パーソナル空調技術の概要

パーソナル空調技術は、図2に示す通り大きく3つの部品で構成される。

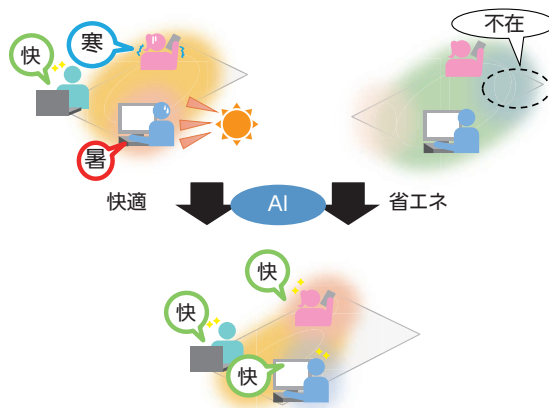


図1 パーソナル空調技術による空調制御

温度分布生成部

各利用者の出社状況と温度嗜好に応じ、実現すべき理想温度分布を算出する。利用者が出社したタイミングから温度嗜好を反映した温度分布の生成を行うには、まず出社するかどうかの把握が必要である。そのため出社履歴を学習データとして蓄積し一人ひとりの利用者が出社するかどうかの予測を行う。また温度嗜好は外気温などにより変化する可能性も考慮し、利用者が滞在する場所の温度と暑い(涼しく)や寒い(暖かく)

といった温度希望の履歴情報から予測する。そして予測した出社状況と温度嗜好、オフィス内の各場所の温まりやすさ/冷えやすさを分析した居室特性情報、およびそのときの温度分布を利用して、オフィス内で実現すべき理想温度分布を算出する。

空調エージェント部

オフィスの環境を再現した環境シミュレータを利用し、強化学習により理想温度分布を再現するための空調制御シナリオを出力する。まず流体の運動に関する方程式をコンピュータで解くことで温度や気流など流体の動きをシミュレーションするCFD(Computational Fluid Dynamics: 数値流体力学)を用い、オフィス環境を再現する。CFDには複雑なパラメータ設定が必要だが、専有部内に複数の温度センサを配置しパラメータ推定を行うことで対応している。

これまでPMV空調技術においても環境シミュレータと強化学習により空調制御シナリオを算出し、制御

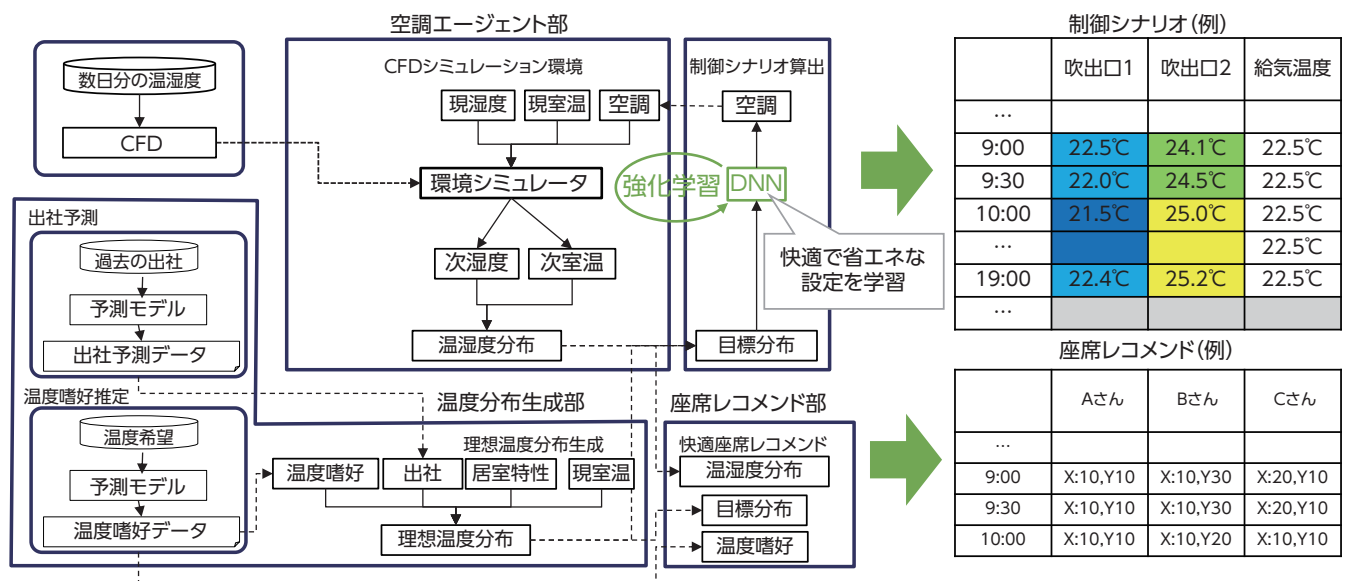


図2 パーソナル空調技術の構成

制御シナリオ(例)

	吹出口1	吹出口2	給気温度
...			
9:00	22.5°C	24.1°C	22.5°C
9:30	22.0°C	24.5°C	22.5°C
10:00	21.5°C	25.0°C	22.5°C
...			22.5°C
19:00	22.4°C	25.2°C	22.5°C
...			

座席レコメンド(例)

	Aさん	Bさん	Cさん
...			
9:00	X:10,Y10	X:10,Y30	X:20,Y10
9:30	X:10,Y10	X:10,Y30	X:20,Y10
10:00	X:10,Y10	X:10,Y20	X:10,Y10



学習データの生成

図3 温度分布のサンプリング

を行ってきた。パーソナル空調技術では、温度センサを細かく配置してシミュレーション環境を詳細に構築すること、利用者の座席ごとに制御目標となる温度を設定した目標温度分布を用意し給気温度、吹き出し温度（風量）、気流装置といった複数の制御対象を組み合わせ強化学習をすることで、個人の快適性を満たし省エネとなる空調制御を実現する。

このとき、さまざまな目標温度分布に対する最適な空調制御を探索する計算コストの大きさが問題となる。計算コスト削減のため座席など利用者の滞在が想定される場所のサンプリングをすること、また各サンプリング点で再現された温度と目標温度の差分を学習の入力として利用すること、といった工夫を行っている（図3）。

座席レコメンド部

利用者の温度嗜好、オフィス内での温度変更希望、現在と将来の居室内に再現される予定の温度分布を利用し、各利用者が居室内で快適に過ごせる場所をレコメンドする。

・現在の温度分布

利用者が移動したいタイミングでオフィス内の最適な座席や場所を提案するためには、その時点の温度分布が必要となる。しかし専有部内のすべての座席や場所に温度センサを設置して温度を計測することは、コストや設置場所の確保を考えると難しい。

そこで離散的に配置された複数の温度センサで温度を計測し、各温度センサ情報の履歴からオフィス内の温度予測モデルを生成する。これにより温度センサが配置されていない場所の温度を予測して、オフィス内全域の現在の温度分布を取得している。

・将来の温度分布

利用者が入社したとき、また座席を移動するときに座席を提案するには、将来のオフィス内の温度分布が必要になる。そこで空調エージェント部により算出した運転シナリオとシミュレーション環境での空調制御をもとにして、将来の各時刻の温度分布を求めている。

・快適座席レコメンド

他の利用者の快適性への影響がある場合や、空調のエネルギー効率を悪化させる場合などには、空調を大きく変化させるよりも人を動かすほうが多くの利用者の快適性を満たし、かつ消費エネルギーの削減に適切な場合がある。そこで、オフィス内の温度分布と将来予定される温度分布から長期的に利用者の温度嗜好を満たす場所を算出し、利用者の温度嗜好に合う場所をレコメンドする。

課題と今後の展望

CD研では近くユーザの嗜好温度に合わせたオフィス内座席レコメ

ンド、および実際の利用者の行動に合わせた空調制御の検証を進める予定である。一方でパーソナル空調技術の実現に向けては、大きく2つの課題があると考えている。1点目は「利用者の屋内移動予測」である。現在は出社の有無を予測しているが、利用者の移動に合わせて空調を制御するためには、利用者の居室内での滞在場所を予測し、理想温度分布に反映することが必要と考えている。

2点目は「再現する温度分布の高解像度化」である。つまり複数の利用者の温度希望をピンポイントに制御するためには、空調に作用する制御対象を増やすなどの方策により、温度分布を空間方向および時間方向に高解像度化する必要があると考えている。

こうした課題の解決に取り組むと同時に、オフィスなどで過ごす人への新たな価値提供に向けた検討をさらに進めていく予定である。

※1：一般社団法人省エネルギーセンター、「オフィスビルのエネルギー消費の特徴」
https://www.eccj.or.jp/office_bldg/01.html（最終閲覧日：2021.10.7）

※2：NTT R&D Forum2021「快適性と省エネを両立する空調最適制御シナリオ算出技術」
https://www.rd.ntt/_assets/pdf/forum/2021/C18_j.pdf

※3：NTT ニュースリリース「少量学習によるフィードフォワード型のAI空調制御により、省エネと快適環境の両立を実証」
<https://group.ntt.jp/newsrelease/2021/11/01/211101a.html>