

世界初！デジタルテクノロジーを活用した空調制御技術「AI スマート空調」
Cooling&Heating technology "AI smart air control" utilizing digital technology

神戸大学 産官学連携本部 社会実装デザイン部門 超スマート社会推進室
Kobe university, collaboration office, Sustainable & Smart Community Lab,
長 廣 剛
Tsuyoshi NAGAIRO

キーワード：AI、空調(Cooling & Heating)、デジタルテクノロジー(digital technology)、IoT、空調
設計基準(Design guideline)

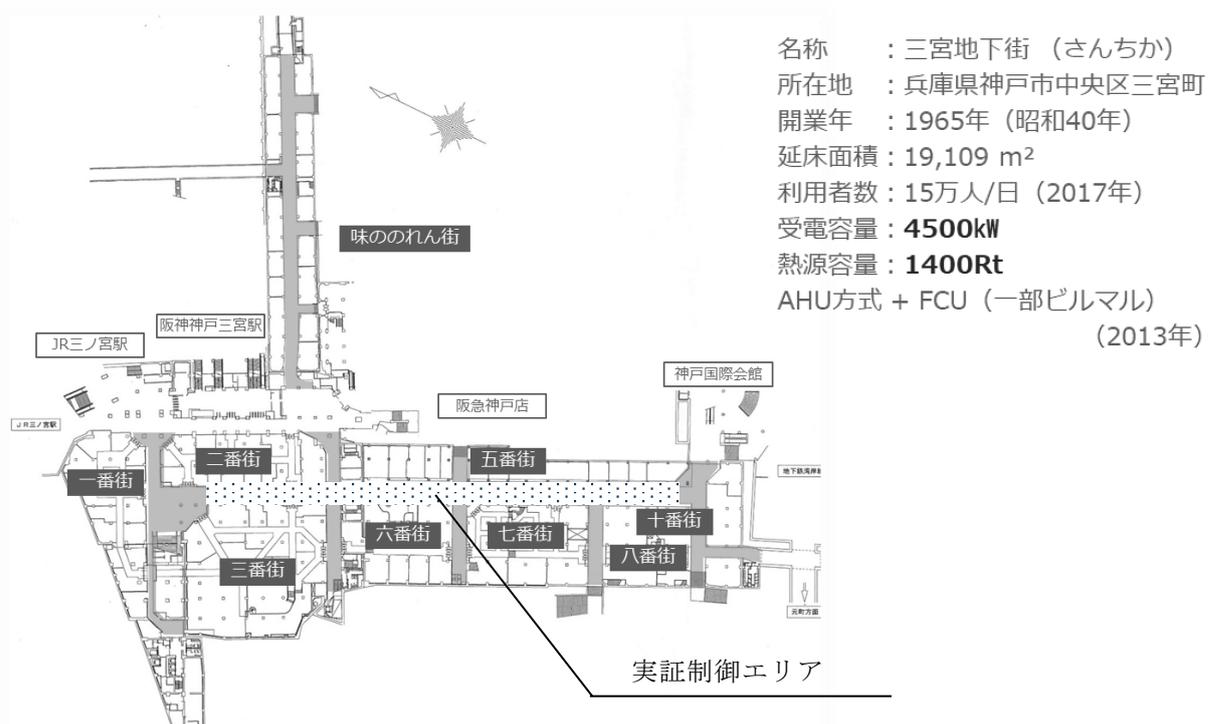
1. はじめに

今回紹介する「AI スマート空調」は、環境省 CO2 排出削減対策強化誘導型技術開発・実証事業（FY2017～2020）の採択を受け、(株)日建設計総合研究所、(株)創発システム研究所、神戸地下街(株)、神戸市の協力のもと開発した技術で、AI や IoT の進歩に伴い建築空間の利用状態を把握できることから、実体的な使われ方に応じて空調を制御するといった技術です。

今までの空調との相違点は、「人流」を予測し計画運転することと、建築設備以外で発生する熱を空調に利用することです。さらに、近年のコロナ禍を受け、「人が居る場所に快適な風を運ぶ AI スマート空調技術」は、「人が居る場所にウイルスを不活化する風を人に安全に運ぶ技術」へと進化しつつあります。これらの開発技術について導入事例を交えて本文で紹介したい。

2. AI スマート空調の開発実証

開発・実証対象とした施設は、神戸市の中心市街地である三宮に位置する地下街「さんちか」でコロナ禍前は、1日約15万人が利用していた。この施設の課題は、屋外開放部が10か所あり、人の行動特性が複雑且つ曜日や時間変化が激しいことと、通路と店舗が解放接続し設定温度も異なることから単位面積当たりの空調消費熱量が全国平均百貨店レベルの約2倍もあったことある。以下に概要を示す。



【 図 1 】

実証概要は、「人流・気流を用いた屋外への開放部を持つ空間の空調制御手法の開発・実証」で、人流の時空間変化特性をAI学習し予測を用いて、空調・換気が必要な場所と時間及び、場所毎の設定温度、風量等を制御すること、環境状態（人の行動や空気・温熱環境等）を計測し、その結果に基づき、上下温度差や用途別温度差によって発生する余剰熱を気流を用いてカスケード的に再利用すると共に、往・還温度差から熱源送水温度を緩和することによって冷暖房消費を最小化することで、商業施設全域の低炭素化（-50%）を目的としたが、新技術の実証実験エリアはテナントへの影響を配慮し通路部分に限定された。以下に概念図を示す。

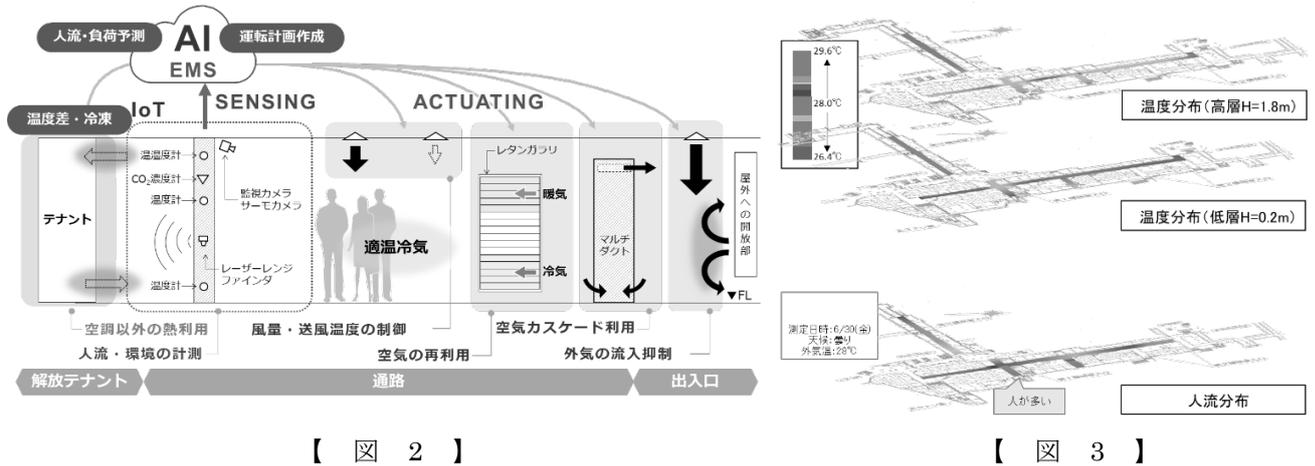
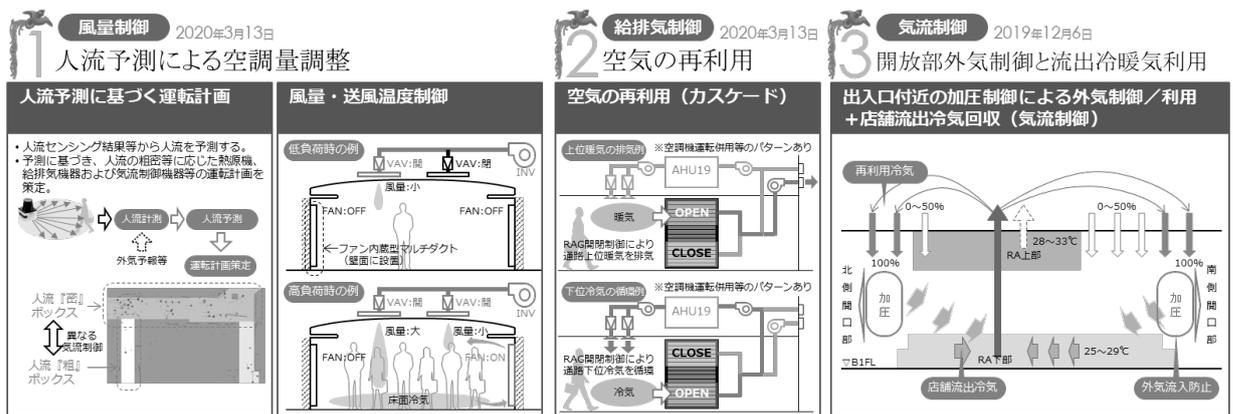


図3は、実証開始前に計測した上下温度差分布と人流分布を可視化したものである。この図は、冷房として利用可能な空気が足元に滞留していることを示している。要因として設定温度が低いテナントから冷気が漏洩していることを示唆している。また、空調が必要な「人が居る場所」は、時間変化し偏っていることも明らかであった。

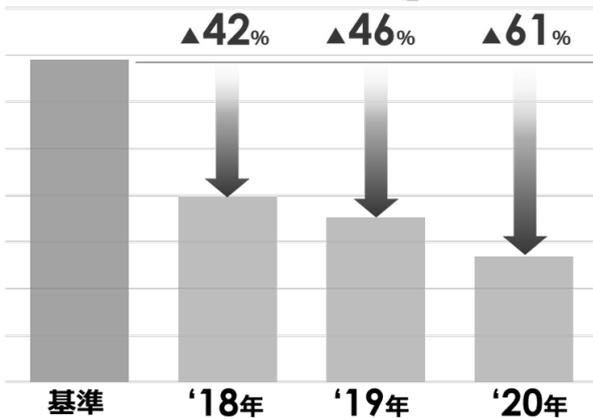
これらを利用し低炭素化する手法として、①人流予測による空調量調整、②空気の再利用、③開放部外気制御と流出冷暖気利用（回収）技術を開発し特許取得に至った。



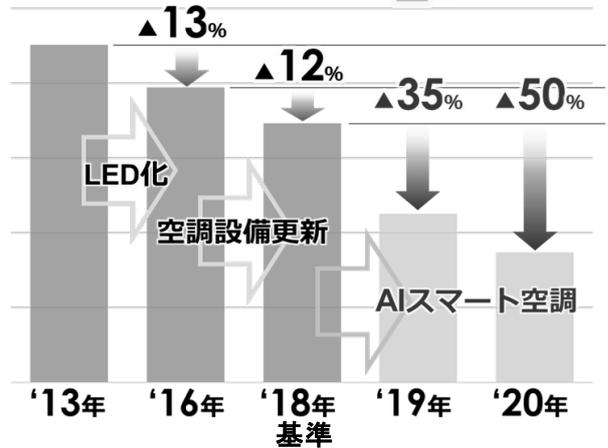
3. 実証事業の成果

低炭素（省エネ）効果検証として、2018年はAI学習モデルの親データとなる運転データを手動制御で構築し約42%の削減効果を得た。この運転方法を学習することで、2019年にはAI制御による自動運転で約46%の削減効果を得た。また、快適性においても循環空気を増加させ、外気流入を抑制したことで店舗の冷涼な漏出し空気を通路空調に利用したことから通路温度は、平均で-3℃程度（29℃→26℃）となった。ここで面白いことが判明した。実証設備を導入していないテナントを含む地下街全体の空調消費が約35%削減されたことだ。要因は、通路を介して開放部からテナントに流入する外気が抑制されたことと推定している。下図に年度別の効果を示す。

夏季代表日における
南北通路の空調電力量



夏季代表日における
地下街全体の空調電力量

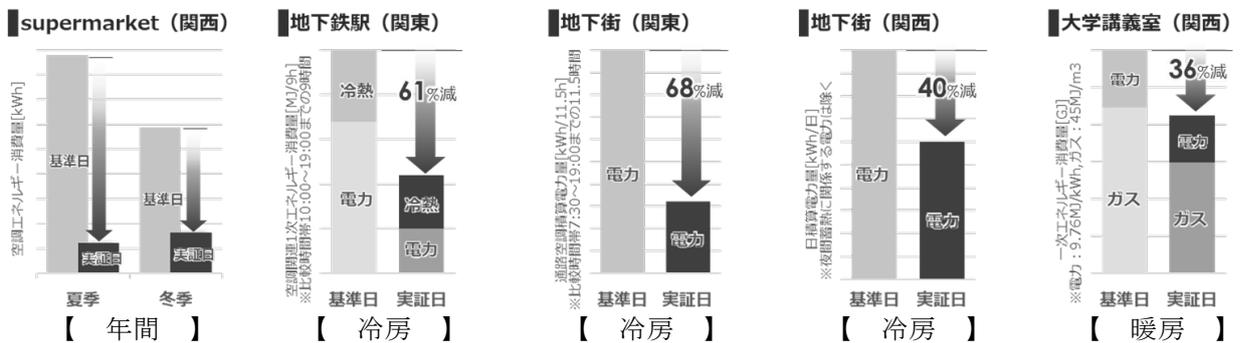


【 図 5 】

右グラフに示す通り、2018年の一般的な低炭素化を全て完了した時点を経験として2020年には、約50%の低炭素化を実証した。つまり、一般的な低炭素化手法の到達点を基準に空調消費を半減させたことになる。この結果に伴い受電電力は、4500kW→3100kW、実際に利用している熱源量は、1400Rt→600Rtとなった。

この成果が神戸新聞に掲載されYahooトップニュースにも載ることになった。その結果、今では全国的に十数か所で導入が進んでいる。

他の施設における2021年の実証結果を幾つか示す。



【 図 6 】

他の施設においても同等以上の効果を実証できた。多種多様な業態へ導入検討を行ったことによりスマート空調技術の新たな応用も始まっている。その一つがAIスマート空調技術を応用した感染症対策である。

4. ウイルスフリー

AIスマート空調は、人が居る場所の人流特性を学習し、環境状態を計測して必要な空調空気を供給する技術である。この特徴を利用し、人密度が集中したところに感染リスクが高まると推定、空調空気を低濃度オゾン化して、人体に影響を及ぼさずウイルスを不活化させる空気を供給する技術へと進化した。

この技術が開発された背景は、感染症対策としての換気が多くの施設で推奨され扉を開放して空調する事態となりOA供給も過多となる運用を余儀なくされていたことで、AIスマート空調導入1号店となったイオンスタイル海老江もその一つだった。しかし、AIスマート空調を導入した本施設では、来客数がカウントされていたのでソーシャルディスタンスを確保した店舗では、推奨換気量を導入しても従前の換気量を抑制できることが解った。試算例を以下に示す。

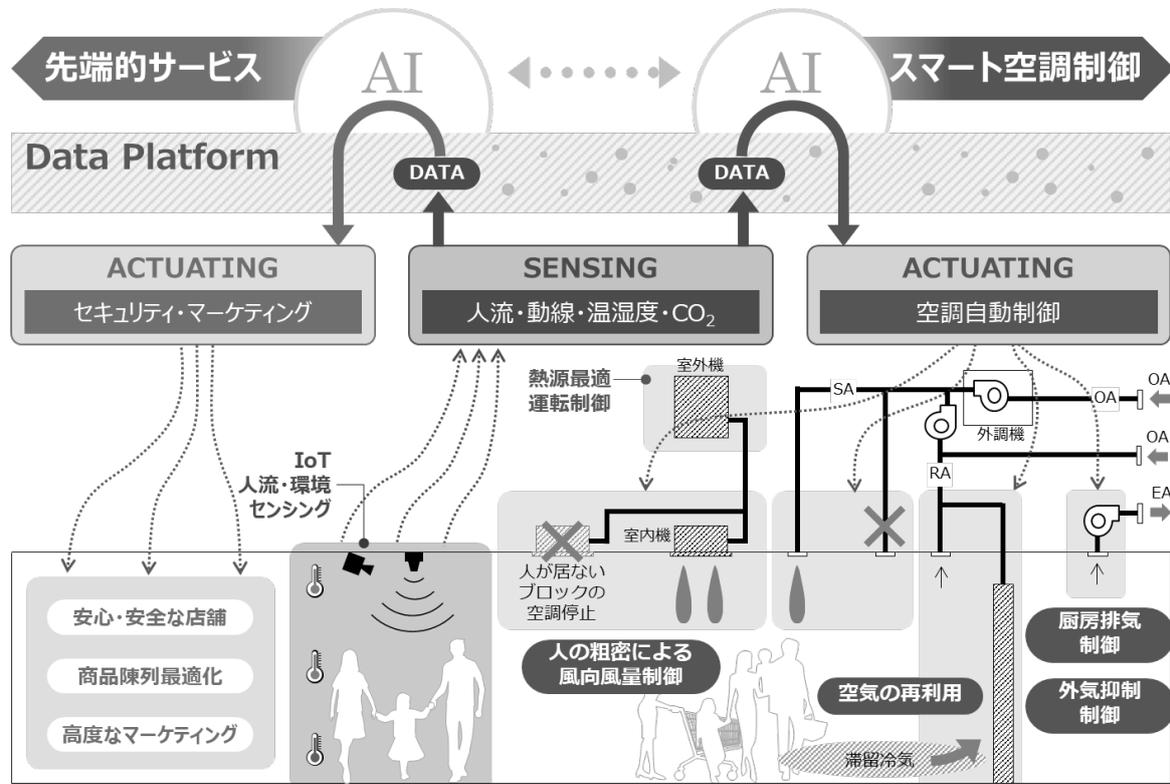
換気量 $20 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \text{人} \times \text{設計人数 } 10 \text{ 人} = 200 \text{ m}^3/\text{h} > \text{推奨換気量 } 30 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \text{人} \times 5 \text{ 人} = 150 \text{ m}^3/\text{h}$

(本施設の単位面積当たりの設計人数は、 $0.4 \text{ 人}/\text{m}^2$ であったが実測では $0.2 \sim 0.01 \text{ 人}/\text{m}^2$ であった。スーパーマーケットの場合、商品陳列の関係から設計人数が過剰であることも判明した。)

また、足元冷氣や天井面暖気を RA として回収するダクトを分散配置していたので、このダクト内にウイルスを不活化する UVC-CCFL 光源を追加しオゾンも発生させた。オゾン発生に CCFL 光源を用いることで光源電力のインバータ制御によってオゾン量を人体に安全とされる 0.1 ppm 以下に制御することにも成功した。さらに、ミストによる旧約効果と共に低濃度オゾンを供給することで机や椅子表面のアルコール等による拭き取り作業も不要とすることが可能となった。この技術に気流制御を加えることでかごやカートといった複雑な構造の表面ウイルス除去にも有効となった。また、開発中だが羽田空港では大空間の人流特性にあわせた効果的な冷暖気回収とウイルス不活化の実証も行っている。京都ポルタにおいては、可視可能なミストにウイルス不活化性能を持たせて空調吹出口から供給し、人が興味をもって近づくことで感染症リスクを低減するといった行動変容を促す実証実験も開始した。また、可搬可能なウイルスフリーユニットを試作し、RA 付近に設置することで対象空間の空調吹出口から殺菌空気を供給する実験も行っている。

5. イオンそよら海老江 (イオンスタイル海老江)

2020 年 3 月に竣工した海老江のイオンスタイルが、社会実装 1 号施設となった。この施設では、イオン店舗の普及モデル開発を目的として、関西電力㈱、オプテージ、日建総研、神戸大学が共同で取り組む。導入設備は、従来の空調設備と AI スマート空調の併設であり、従来運転とスマート運転を比較検証することで効果を実測している。概要を以下に示す。



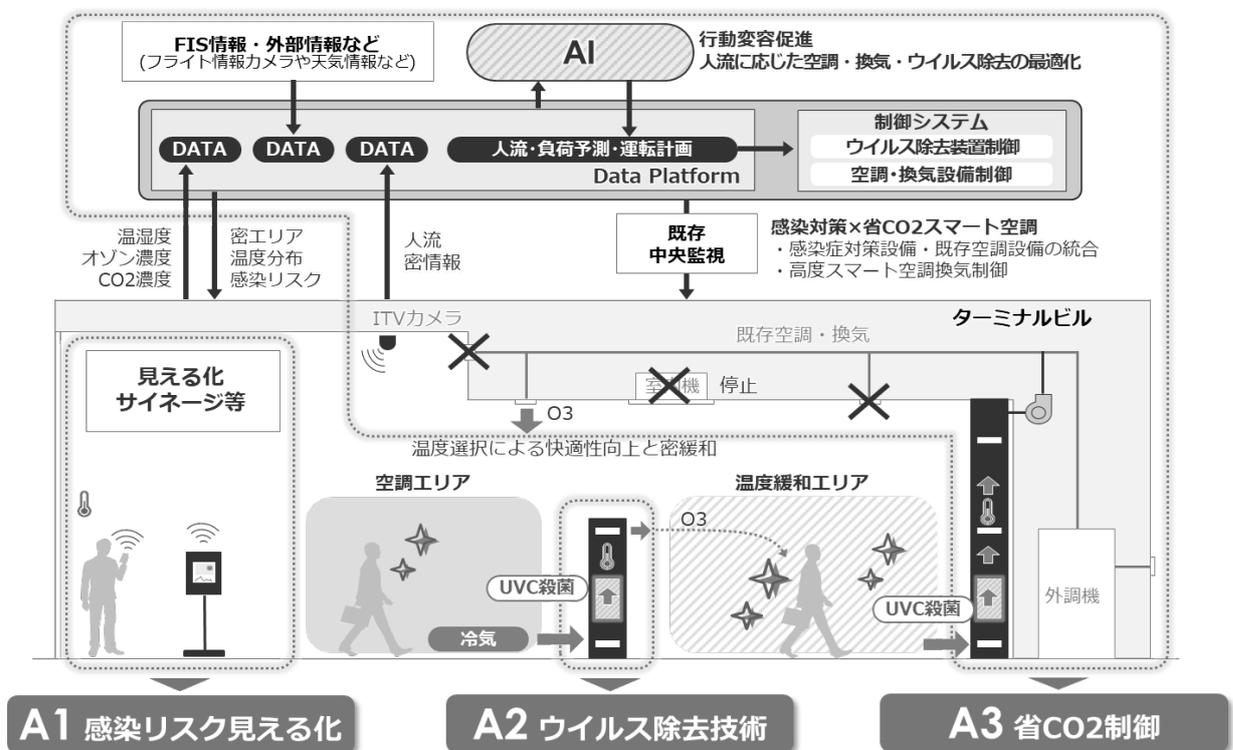
【 図 7 】

さらに、この施設では AI スマート空調の人流予測を利用して、仕入れやアルバイト人数を最適化する新たな取り組みも始まっているのだが紹介するのは、またの機会にしたい。

AI スマート空調の実証が1年を経過し、空調技術としての練度が向上した。スーパーマーケットにおける単位面積当たりの設計概算空調負荷は、100W/m²であったのだが、この冷熱相当分は、冷蔵陳列台から漏洩していることが明らかとなった。ここで、空調機で冷房した方が高 COP となるのではないかという疑問があると思う。この疑問を解明すべく実証した。結果、0℃～10℃程度で冷却されている冷房陳列台に、13℃～18℃程度の冷房吹出空気は、冷蔵ケースを暖めることとなり、より多くの空調・冷蔵エネルギーが消費されることが判明した。よって、総合的に評価した場合、冷蔵陳列台の漏洩冷気を回収し空調利用した方が省エネ効果が高い。一方、人流についてもスーパーマーケットは、人が集中する場所がレジ、サッカー台に定常化されることが判明したので、出入り口の人数カウントのみで AI スマート空調が成り立つことが解ってきた。よってスマート空調は、漏洩冷気を回収し出入り口付近のレジ、サッカー台付近に供給しエアフローを用いて施設全体に行き渡らせる方式が、イニシャルコストにおいても有用であると考えている。低炭素効果は、まだ公表できないが1年の実証結果からスーパーマーケットには、空調機器は不要であると結論付けるに至っている。加えて、年間冷蔵している冷蔵陳列台の排熱を暖房に利用することや、低温域を利用した除湿などの新たな技術開発も進めている。

6. カーボンニュートラル&ウイルスフリー

関西空港をフィールドとして、環境省の革新的な省 CO₂ 型感染症対策技術等の実用化加速のための実証事業の採択を受け「空港等における感染リスク見える化と殺菌性能を付与した高度スマート空調技術開発・実証」が開始された。実施体制は、関西エアポートを代表者として神戸大学や日建設計総合研究所らで、ターミナル2全域を実証対象とし、低炭素化・50%、ウイルス感染症リスク・95%を目標に2年間の事業として進めている。概要を以下に示す。



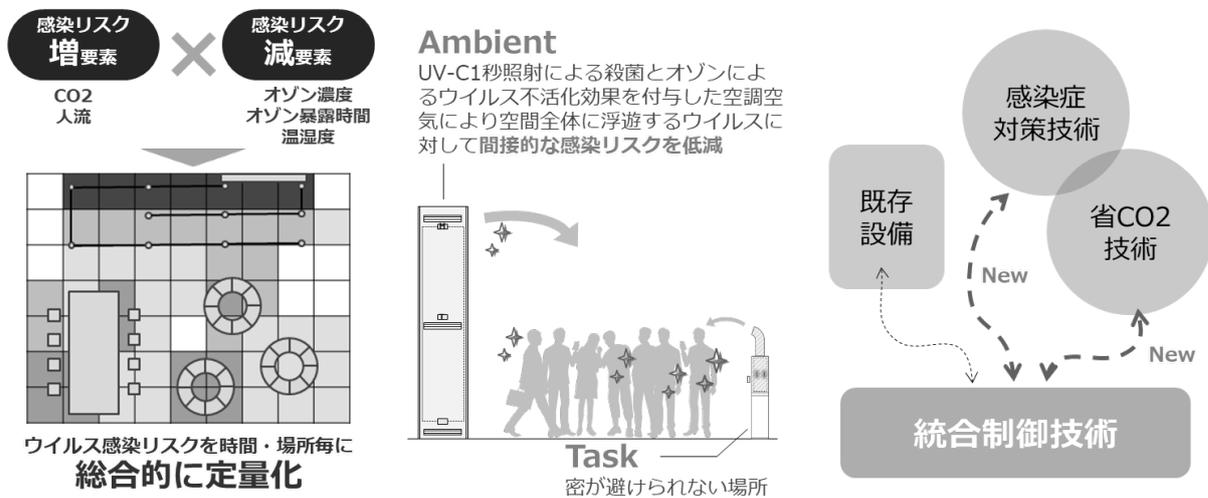
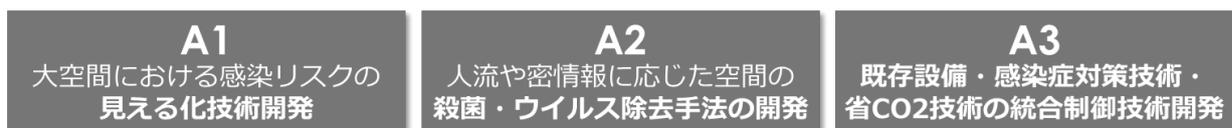
【 図 8 】

開発項目は、

A1：大空間における感染リスクの見える化技術開発

A2：人流や密情報に応じた空間の殺菌・ウイルス除去手法の開発

A3：既存設備・感染症対策技術・省 CO₂ 技術の統合制御技術開発である。



【 図 9 】

ウイルス感染リスクは、大きく直接（接触）感染と間接（空気等）感染に分けられる。本技術開発では、人流や温湿度等とウイルス感染リスクの関係を時空間分布として明らかにし、デジタル技術を用いて来場者に見える化することで行動変容を促すことで接触感染リスクを低減する。空気感染リスクは、低濃度オゾンを用いた空調によって低減すると共に密が避けられない場所については、ミストとオゾンを用いたウイルス除去によって同濃度のオゾンでも効果的にウイルスを不活化する。

低炭素技術としては、意図的に空間の温度分布を複数段階で構築し、見える化することで来場者が好みの温度域の場所を選択できるようにする。これは、行く先に応じて着衣量が異なる空港の人流特性に応じた温度緩和技術となり新たな省エネ技術として期待できる。さらに、空港は、高さ5m以上の空間を空調してるので、空調高さ1/3化、空調面積は、1/2（人流分布に応じて空調量と空調する場所を最適化、空調空気のカスケード利用も含む）、時間的には、もフライト情報に応じて空調する時間やタイミングを調整する。加えてテナント部からの漏洩冷気の再利用や同一空間内温度分布空調も行い、これらの技術と既存設備を統合する。

これらの技術開発がフェーズ1であり、2023年には実用化したい。またフェーズ2では、周囲の海洋域を利用して海水熱や波力、浮力などによる低炭素化技術開発を検討している。フェーズ3では、最後に絞り切れなかった炭素排出量をブルーカーボンに吸着することでカーボンニュートラルの2030年実現を目指したい。

7. まとめ

今回の発表は、AIスマート空調の紹介を行なう目的で作成したが、本研究は多面的な研究成果を創出しており、次の機会では技術的知見やイノベーション創造手法、大学と社会の新たな関係や社会人ドクターを中心としたオンジョブでのスキルアップ教育手法などについても順次発表してゆきたい。最後に、本技術開発にご協力・ご支援いただいた環境省及び、関西電力グループ、東京電力グループ、ダイガスグループ、イオンリテール(株)、神戸地下街(株)、京都ステーションセンター(株)、横浜高速鉄道(株)、関西エアポート(株)、日本空港ビルデング(株)らプレス発表した方のみ記載しましたが、プレス発表していない企業を含む多数の皆さまのご尽力によってこれらの知見を得ることができましたこと心から感謝して結びの言葉とさせていただきます。