

3章 暑熱対策技術の導入検証事業実施のための基礎検討

本事業において検証した暑熱対策技術の導入効果の関係性を図 3.1 に示す。

暑熱対策技術の導入による暑熱ストレスの軽減は、厳しい暑熱環境の改善による健康リスクの軽減や、利用者の快適性の向上を目的に行われる場合が想定される。熱環境を評価する指標として、温熱要素や体感温度指標のほか、必要に応じて生理反応や主観申告を扱った。体感温度指標は、快適性を表す指標として広く用いられる「SET*」⁴⁹や、熱中症予防の指標として普及している「WBGT」⁵⁰を用いることとした。

一方で、暑熱対策技術の導入により、外出の増加や冷房エネルギー消費量の抑制、ライフスタイルの変化が起き、CO₂排出量の削減が期待できる。熱環境と人の行動についての既往研究を収集し、得られた知見をもとにCO₂排出量削減メカニズムを平成27年度に検討した。検討内容の詳細は参考資料1として巻末に付した。検討の結果、暑熱対策施設を設置することにより、「空調利用代替型」と「屋外利用促進型」により空調エネルギー消費量を抑制、もしくは空調エネルギー消費量の増大を回避することで、CO₂排出量削減に繋がると想定した。

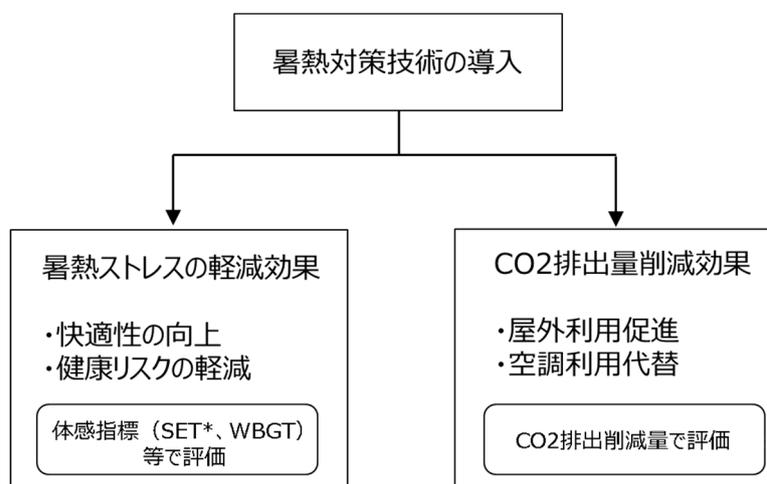


図 3.1 暑熱対策技術の導入効果の関係

3.1 CO₂排出量削減メカニズムの想定と評価の枠組みの検討

1) CO₂排出量削減効果メカニズムの想定

平成27年度の検討の結果、想定したCO₂排出量削減効果のメカニズムは下記の2通りである。

① 空調利用代替型

バスや電車の待合場所など、ある程度の時間、人が滞在する場所において空調室の導入が進め

⁴⁹ 標準有効温度 SET*：温熱4要素（気温・風速・湿度・MRT）及び人の代謝量・着衣量から熱収支計算により算出する体感温度指標のひとつ。

⁵⁰ 湿球黒球温度 WBGT：人の耐暑限界を知るために開発された指標。屋内外の熱中症予防の指標として普及し、WBGT28℃以上で「嚴重警戒」といった指針も示されている。

られているが、電力消費による CO₂ 排出量の増大が懸念される。そこで、空調を使わない暑熱対策施設を設置することで、空調を使わずに温熱的に受容できる空間を確保できれば、空調室の導入をせずに、CO₂ 排出量の増加を回避できると考えた。暑熱対策施設内が受容できる熱環境であるかどうかについては、施設内の SET* の値で判断をすることとした。既往研究⁵¹で、空調を前提としない半屋外空間での熱的受容域の上限が SET*32°C であることが指摘されている。本事業での評価では、この熱的受容域の上限を用いて、屋外または半屋外空間に設置した暑熱対策施設内が SET*32°C を下回る環境であれば、利用者が受容できる熱環境であり、空調利用を代替できるとした。

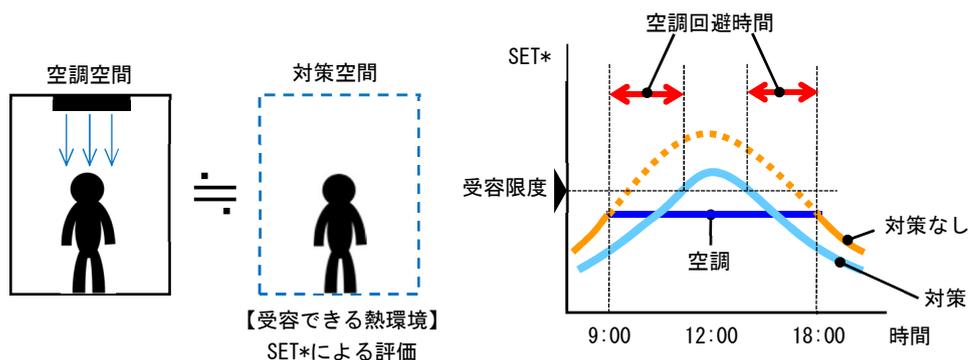


図 3.2 空調利用代替型の考え方

② 屋外利用促進型

屋外休憩スペース利用人数や利用時間は当該スペースの熱環境に影響され、厳しい暑熱環境では利用が減少することが指摘されている⁵²。そこで、オフィスビルなどに隣接する屋外休憩スペースで、現状では暑熱対策が施されていない場所に暑熱対策施設を設置することで熱環境が改善され、屋外の利用が増加することが見込まれる。オフィスビルなどの室内滞在者が、休憩時間や執務時間に屋外を利用することで、オフィスビルの空調負荷や照明などの電力消費量が削減され、CO₂ 排出量削減につながると考えた。

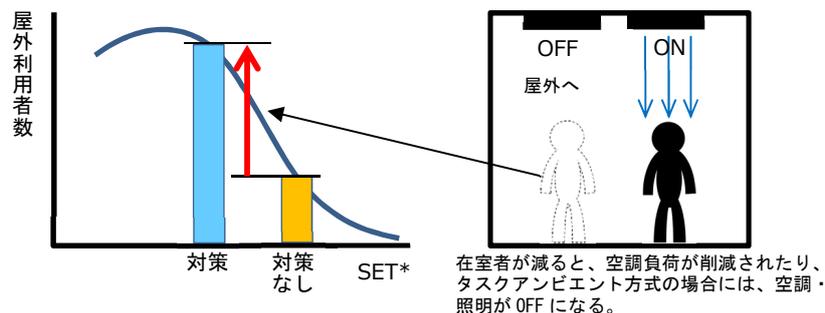


図 3.3 屋外利用促進型の考え方

⁵¹ 中野ほか、環境適応研究の半屋外空間温熱環境計画への展開—鉄道駅舎における熱的快適行きと熱的受容域、日本建築学会大会学術講演梗概集（近畿）、2014

⁵² 安藤ほか、人が利用する屋外空間における環境評価に関する研究 その3 屋外アメニティ空間の利用状況に関する考察と秋季温熱環境、日本建築学会大会学術講演梗概集、2012

2) 想定メカニズムの適用と評価の枠組みの検討

本事業の実施場所ごとにそれぞれ適用する CO₂ 排出量削減メカニズムを表 3.1 に示した。

表 3.1 実施場所と適用する CO₂ 排出量削減効果メカニズム

実施場所	特長	適用するメカニズム
東京ビッグサイト前海上公園（「ビッグサイトモデル」という）	オフィスビルに隣接する公園内の屋外休憩スペース	空調利用代替型 屋外利用促進型
大阪ビジネスパーク（「OBPモデル」という）	オフィスビルの公開空地内の屋外コミュニティスペース	空調利用代替型 屋外利用促進型
JR 前橋駅（「前橋モデル」という）	鉄道駅コンコース、非空調の半屋外空間	空調利用代替型
熊谷市役所前バス停（「熊谷モデル」という）	市役所前の屋外バス停	空調利用代替型
堺市綾之町電停（「綾ノ町モデル」という）	路面電車の屋外電停	空調利用代替型

事業実施場所では、各暑熱対策施設の熱環境改善効果の違いだけでなく、それぞれの立地条件や気象条件が異なるため、施設の稼働時間や熱環境改善効果に違いが生じる。そこで、本事業では、各暑熱対策施設が本来有する熱環境改善効果を評価できるように統一的な評価条件を設定した。CO₂ 排出量削減効果を算出する上では、各モデルから得られる効果を比較できるように、評価方針の統一を検討した。

CO₂ 排出量削減効果の評価期間は6月から9月とし、一日のうちの対象時間は、屋外施設で暑熱対策技術の効果が見込まれる時間帯を想定して9時から17時の8時間とした。ただし、半屋外空間であるために早朝・夜間などの、日中以外にも利用が見込まれる鉄道駅については4時から25時の21時間とした。また、評価期間中の暑熱対策施設の稼働に要するエネルギー消費による CO₂ 増加分も考慮して評価した。暑熱対策施設の稼働に要するエネルギーは、ポンプやファンなどの機器稼働のための動力源としての電力と、水の使用に上水を用いた場合の上水利用が該当する。検証事業実施場所の制約から、上水を用いた場合も、仮に地下水を用いたと想定した CO₂ 排出量も算定することとした。なお、暑熱対策施設の製造・運搬・施工・撤去・廃棄等の過程において発生する CO₂ 排出量は対象としない。

CO₂排出削減量[kg-CO₂/年]=

$$\begin{array}{c}
 \boxed{\begin{array}{l} \text{暑熱対策技術より} \\ \text{屋外利用促進、または空調利用代替} \\ \text{することで削減できた電力消費量} \\ \text{[kWh]} \end{array}} \times \boxed{\begin{array}{l} \text{電力} \\ \text{排出係数} \\ \text{[kg/kWh]} \end{array}} - \left(\boxed{\begin{array}{l} \text{技術稼働に} \\ \text{係る電力量} \\ \text{[kWh]} \end{array}} \times \boxed{\begin{array}{l} \text{電力} \\ \text{排出係数} \\ \text{[kg/kWh]} \end{array}} + \boxed{\begin{array}{l} \text{技術稼働に} \\ \text{係る水量} \\ \text{[m}^3\text{]} \end{array}} \times \boxed{\begin{array}{l} \text{上水} \\ \text{排出係数} \\ \text{[kg/m}^3\text{]} \end{array}} \right)
 \end{array}$$

図 3.4 CO₂ 排出削減量の算出イメージ

CO₂ 排出原単位は、5つのモデルで共通に電力は「0.550kg-CO₂/kWh」⁵³、上水は「0.348kg-CO₂/m³」⁵⁴を用いる。

また、事業実施場所の熱環境を測定値には、場所の特性や気象条件などの違いが大きく影響するが、これらの影響を排除するために同一の気象条件にあると想定して、熱環境シミュレーションや実測から把握した効果の傾向から、SET*等の暑熱ストレス低減量を算出した。統一する気象条件としては、2010年東京の気象を用いた。

3.2 CO₂ 排出削減量算出手順の検討

CO₂ 排出量削減効果メカニズムごとに、CO₂ 排出削減量を導く手順を検討した。

1) 空調利用代替型

空調利用代替型の CO₂ 排出削減量算出手順のイメージを図 3.5 に示した。以下文中の[数字]は図中に記載した数字を示す。

熱環境を測定することにより、暑熱対策施設による熱環境改善効果を把握する。そして、同じ施設が 2010 年東京の気象条件下にあると想定して、対策の有無それぞれでの SET*を算出する[1]。熱環境に対する人の受容限度 (SET*32°C) を設定し[2]、暑熱対策施設を設置することによって、受容限度を下回る時間数を求める[3] (例えば対策なしの場合は朝 9 時から 17 時の 8 時間空調をしていたが、暑熱対策により 9 時～12 時、14 時～17 時の間が受容限度以下の暑熱環境となると、6 時間空調利用を代替できると考える)。空調が利用された場合を想定したエネルギー消費量を求め[4] (後述)、空調利用を代替した時間を掛けあわせて、対策による削減分とする[5]。一方で、対策施設稼働に電気や上水を使用した場合は実測をもとに CO₂ 排出量の増加分を算出する[6]。削減分と増分の差し引き分を CO₂ 排出削減量として求めた。

なお、各事業実施場所で対策施設導入面積は異なるが、最終的に 5 つのモデルを比較できるように、単位面積当たり (m²あたり) で CO₂ 排出削減量を算出した。

⁵³ 環境省「地球温暖化対策事業効果算定ガイドブック」平成 25 年度電力排出係数代替値 (総合エネルギー統計における外部用発電 (卸電気事業者供給分) と自家用発電 (自家消費分及び電気事業者への供給分) を合計した排出係数の直近 5 年平均を算出した値)

⁵⁴ カーボンフットプリントコミュニケーションプログラム「カーボンフットプリント制度試行事業 CO₂ 換算量共通原単位データベース ver. 4.01」(H22)

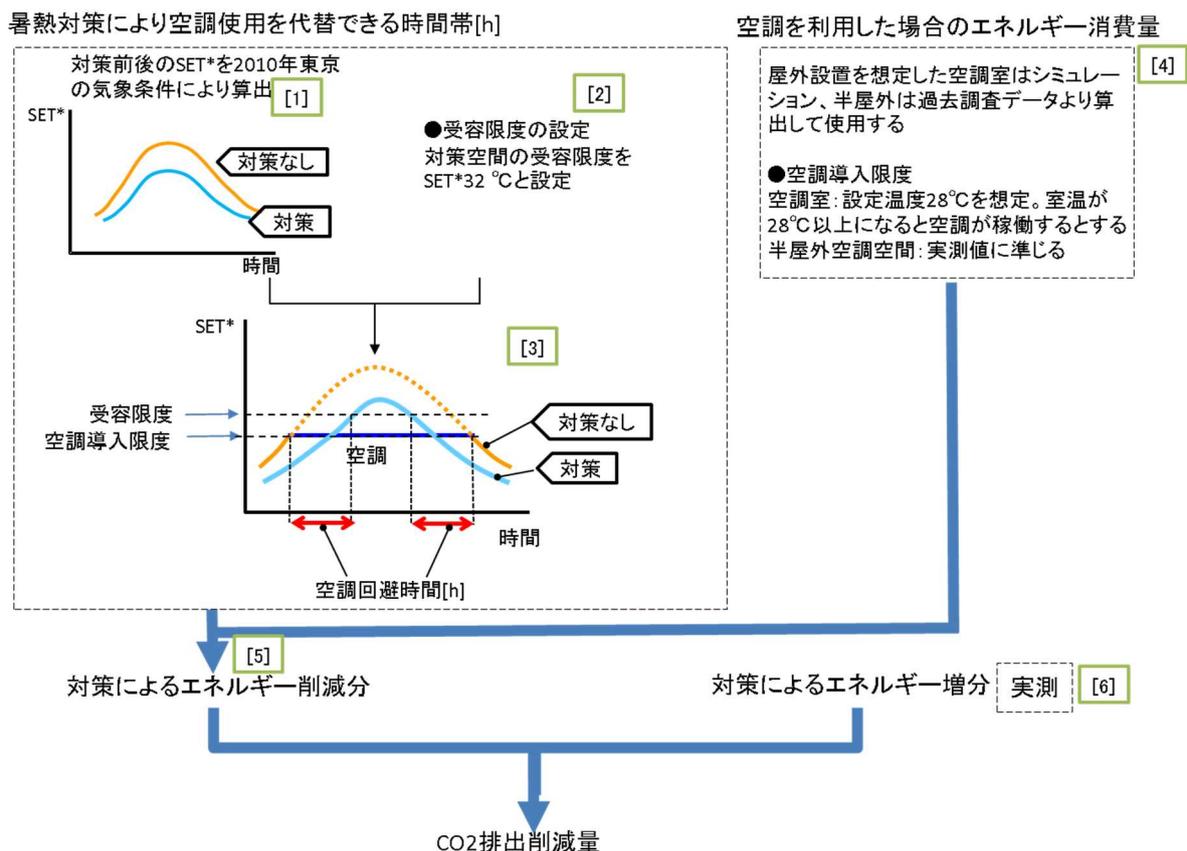


図 3.5 空調利用代替型の CO₂ 排出削減量算出手順のイメージ

[4]で求める空調を利用した場合のエネルギー消費量は、各事業実施場所で同じ値を用いる。ただし、屋外空間に空調室を設置する場合と、半屋外空間で空調を利用する場合とでは空調負荷が異なると考えられるため、屋外空間である4モデル（ビッグサイト・OBP・熊谷・綾之町）で空調熱負荷シミュレーション⁵⁵により統一的な値を計算し、半屋外空間の場合（前橋）は既往の測定事例の値を用いた。

屋外空間に空調室を設置する場合の空調設定温度は28℃とし、室温が28℃以上になると空調が稼働するという条件でシミュレーションを行っているため、室温が28℃に満たない気象条件下では電力消費が発生していない。具体的な導出方法は参考資料2に示した。各月の電力量の経時変化(Wh)を単位面積(m²)あたりで算出し、空調空間での電力消費量データとして用いた。

また、半屋外空間で空調を使用した場合の電力消費量は過去の鉄道駅における実測調査データ⁵⁶を参考に推計した。具体的な導出方法は6章に示した。

⁵⁵ 計算プログラム LESCOM-mint を使用し、1分間隔年間計算を行った。

⁵⁶ 大石ほか、大規模空調空間を有する駅舎の電力使用量の実態に関する研究、(第1報 夏季空調用電力使用量の实測調査結果)、空気調和・衛生工学会大会、学術講演論文集、2016-09

2) 屋外利用促進型

屋外利用促進型を適用する事業実施場所での CO₂ 排出削減量算出手順のイメージを図 3.6 に示した。以下文中の[数字]は図中に記載した数字を示す。

熱環境を測定することにより、暑熱対策による熱環境改善効果を把握する。そして、同じ施設が 2010 年東京の気象条件下にあると想定して、対策の有無それぞれでの SET* を算出する [1]。合わせて、利用人数調査を行い、後述する SET* と利用人数の関係式を定め [2]、屋外利用者増加数を推定する [3]。オフィスビルからの退室一人あたりの空調使用等によるエネルギー消費量 [4] (後述) を用いて、得られた利用者増加数分のエネルギー消費量を求め、対策による削減分とする [5]。一方で、対策施設稼働に電気や上水を使用した場合は実測をもとに算出する [6]。削減分と増加分の差し引きを CO₂ 排出削減量として求めた。

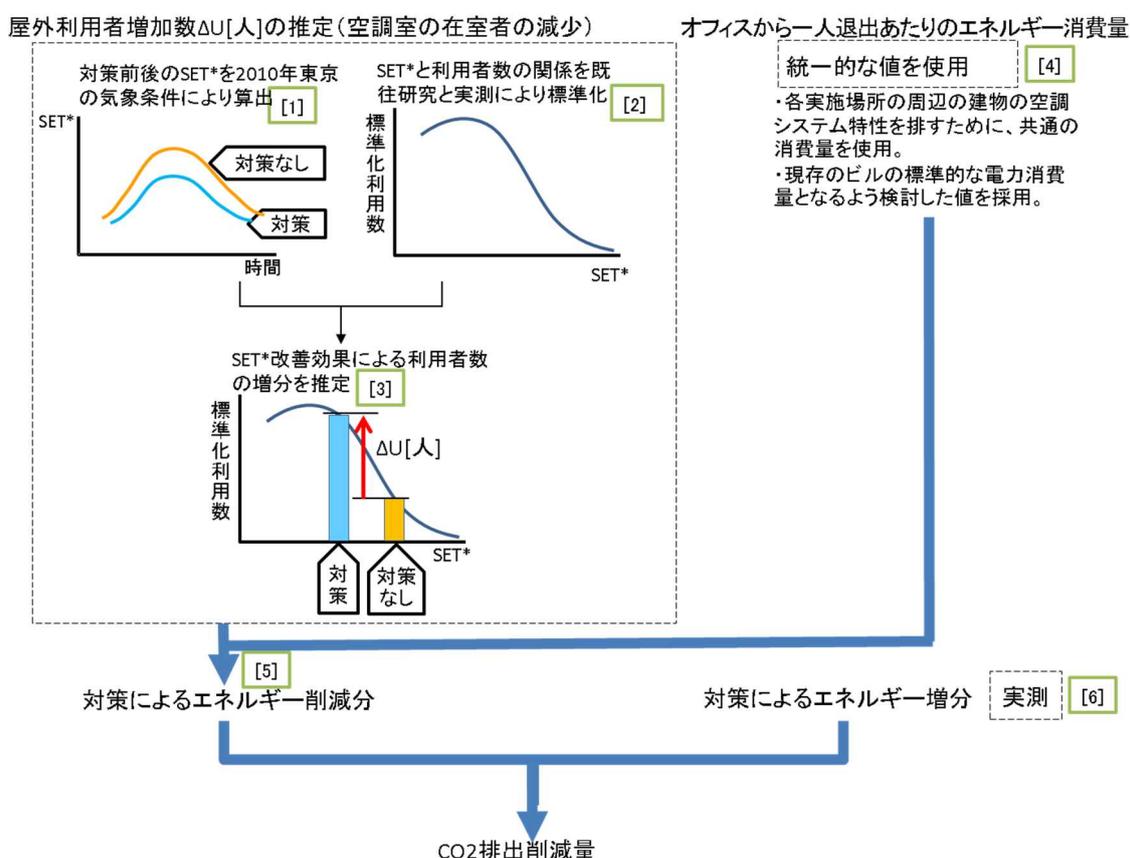


図 3.6 屋外利用促進型の CO₂ 排出削減量算出手順のイメージ

[2] の過程で考える熱環境の違いによる利用者数の増減傾向については、既往調査を参考に SET* と利用者数の関係を標準化する方法を検討した。さらに、平成 28 年度の検証で東京ビッグサイト前海上公園及び大阪ビジネスパークの複数地点・複数測定日で調査された SET* と利用者数調査データを集約し、曲線で回帰させた。得られた曲線と関係式は図 3.7 のように表わされ、SET* 28.1℃ をピークとする曲線となった。具体的な導出方法は参考資料 3 に示した。

$$f(x) = A \frac{\delta}{\lambda \sqrt{2\pi} \sqrt{\left(\frac{x-\varepsilon}{\lambda}\right)^2 + 1}} \exp \left[-\frac{1}{2} \left\{ \gamma + \delta \sinh^{-1} \left(\frac{x-\varepsilon}{\lambda} \right) \right\}^2 \right]$$

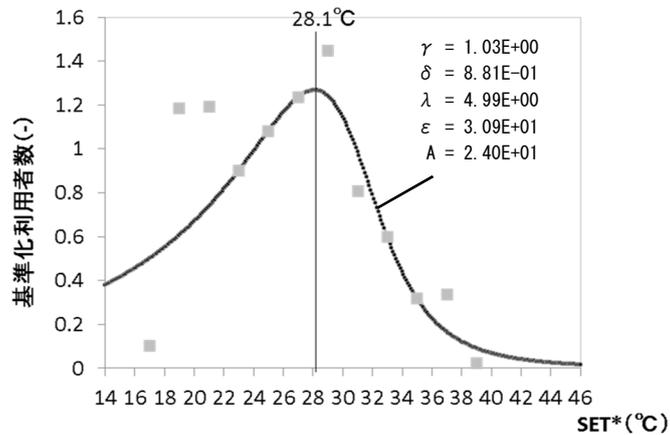


図 3.7 基準化利用者数と SET*の関係式

[3]の過程では、[1]の過程で求めた月ごと日ごと時間ごとに出した対策前・対策後の SET*を [2]で導出した関係式に代入し、基準化利用者数の変化量を求めた。さらに、時間帯ごとの平均利用者数を乗じて利用者の変化量（人/時）とした。

[4]にあたるオフィスビルからの退出一人あたりのエネルギー消費量は、各事業実施場所の周辺の建物の空調システム特性を排すために、屋外利用促進型を適用する実施場所2箇所（東京ビッグサイト前海上公園・大阪ビジネスパーク）で同じ値を用いた。ビルの設備性能により異なるものではあるが、現存のビルの標準的な電力消費量となるよう検討した。具体的な導出方法は参考資料4に示した。