



# HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	放射・対流解析による半屋外歩行者デッキの温熱環境解析
Author(s)	佐藤, 信孝; 羽生, 太; 村上, 周三 他
Description	第3回衛生工学シンポジウム (平成7年11月9日 (木) -10日 (金) 北海道大学学術交流会館) . 3 モデリング、情報管理 . 3-3
Citation	衛生工学シンポジウム論文集, 3, 151-156
Issue Date	1995-11-01
Doc URL	<a href="https://hdl.handle.net/2115/7900">https://hdl.handle.net/2115/7900</a>
Type	departmental bulletin paper
File Information	3-3-3_p151-156.pdf



3-3

放射・対流解析による半屋外歩行者デッキの温熱環境解析

○佐藤 信孝(日本設計) 村上 周三(東京大学生研 教授・工博)

羽生 太(元東大生研受託研究員トコ理研) 加藤 信介(東大生研 助教授・工博)

1. 序論

都市開発において、多数の建物が屋外の歩行者デッキで連結されることが多い。これら屋外通路に対しては、部分的に屋根が設けられることも多く、このような半屋外通路の温熱空気環境は、日射、気流、伝導、放射等の各要素及び自由な外気の流動とが絡み合って複雑なシステムを構成している。日射熱取得シミュレーション、長波放射・対流熱輸送シミュレーションを総合した温熱環境解析は、このような複雑な環境場を予測・解析する有効な手段となる。

本報では、ガラスの屋根をもつ半屋外歩行者デッキ及びこれに連結するアトリウム空間内の温熱環境を、日射、長波放射、流れ場、温度場の総合的なシミュレーションで解析した例を示す。

2. 数値解析の目的(図1, 2, 3)

解析対象を図1, 2, 3に示す。半屋外の渡り廊下(ここではスカイウェイと呼ぶ)は、傾斜した屋根に短冊形のガラスとPC板が交互に設置された構造で構成される(図2)。スカイウェイは南北方向に伸び(図1)、この屋根は西に面するので、スカイウェイの歩行者通路部(以降便宜的に居住域と呼ぶ)は日射による影響を受ける。従ってスカイウェイの環境悪化が懸念される。またスカイウェイに連結されたアトリウム部(図3)では、外気の侵入により空調環境が脅かされる可能性が考えられる。以上のことから、半屋外のスカイウェイ部やこれに連結するアトリウム空間に関して、日射熱取得解析、長波放射解析、CFDにより温熱環境解析を行い検討する。

3. スカイウェイ・アトリウム空間

スカイウェイは南北に長い敷地に沿って連なる5棟の建物の連絡通路として、2階レベルに位置する(全長290m、幅員6m)。屋根頂部と手すりの上部は大気に開放され、屋根面のガラス部分からの透過日射の影響も強く受ける。日射及び室内一様を仮定する放射・伝導・対流熱伝達解析の対象空間は、1スパン分(15.6m(間口)×9.6m(奥行)×8.1m(高さ))とする。

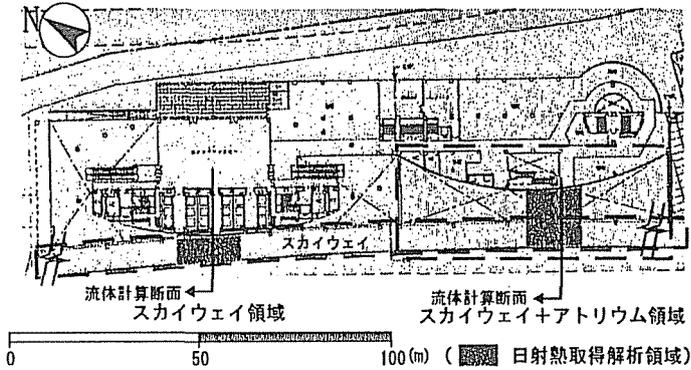
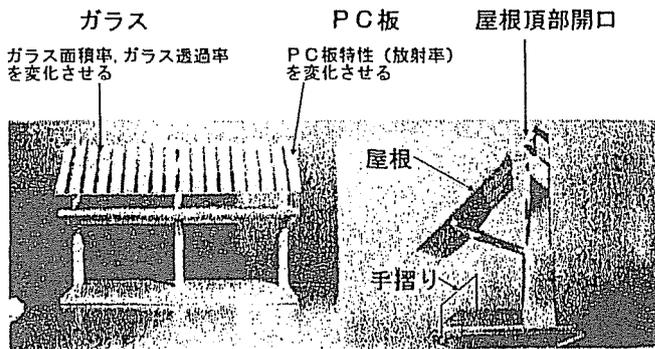


図1 平面概要(東京都港区注1))



(正面図) (側面図) 図2 スカイウェイ概要(模型写真)

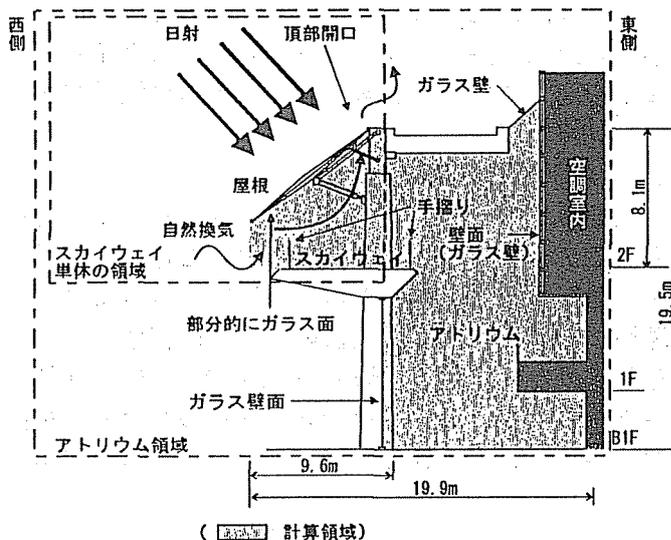


図3 スカイウェイとアトリウム空間の概要

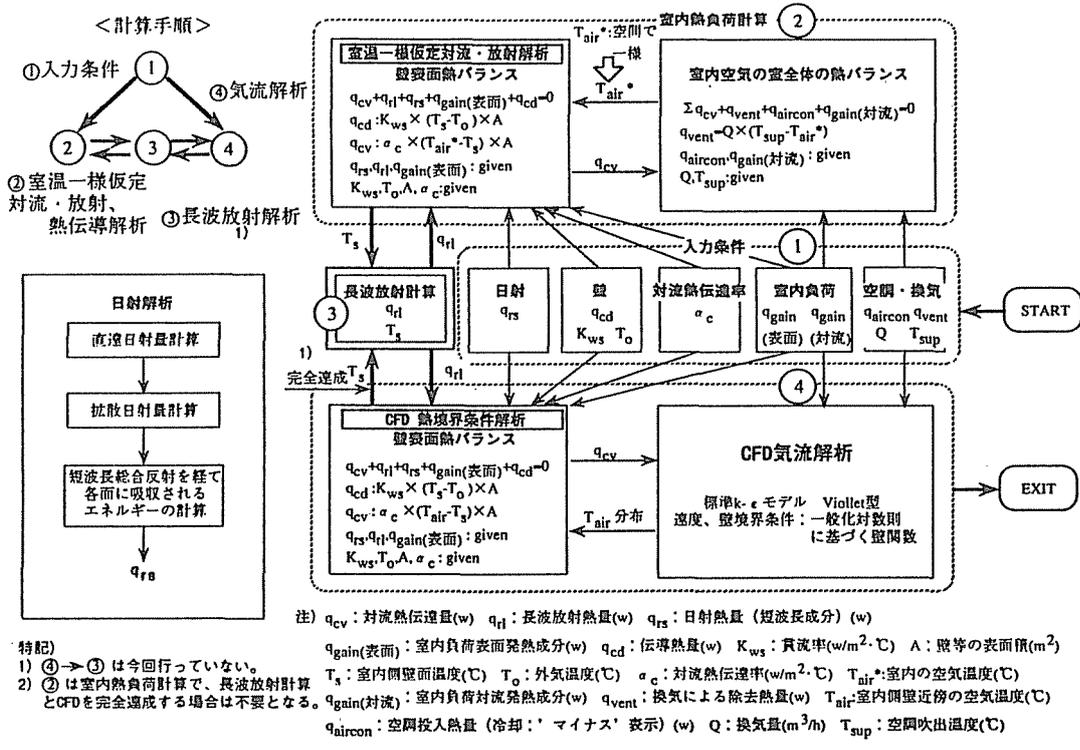


図 4 計算解析フロー

スカイウェイに開放されたアトリウム領域(78m(間口)×19.9m(奥行)×19.5m(高さ))は、中心部の1スパン分(15.6m(間口)×19.9m(奥行)×19.5m(高さ))に対して日射熱取得解析を行う。日射熱取得解析の後、通路内の温度を一様と仮定し、通路内の長波放射場及び定常熱伝導解析を行う。更に得られた結果に基づき、通路内の流れ場解析を行う。この流体解析に関しては日射熱取得解析を行った領域の中心となる東西断面について二次元解析を行う。図3に示されるようにアトリウムとスカイウェイとは、手すり(高さ2m)により仕切られている。この手すり上部は完全に開放され、外部はスカイウェイを通してアトリウム空間内を自由に流動できる構造となっている。

表 1 計算ケース

Case NO.	ガラス面積率(%)	ガラス透過率(sc)	PC板放射率(%)	頂部開口幅(m)	備考
Case 1	25	0.62	0.9	1.5	本報基本ケース
Case 2	25	0.62	0.5	1.5	Case 1の1階開口幅拡大
Case 3	25	0.46	0.9	1.5	Case 1のガラス透過率縮小
Case 4	25	0.46	0.9	1.5	Case 3の冬期暖房
Case 5	100	1.0	0.9	1.5	屋根全体をガラス(透過率100%)
Case 6	100	0.001	0.9	1.5	屋根面を完全日射遮断
Case 7	33	0.85	0.9	1.0	次報基本ケース
Case 8	33	0.85	0.9	1.5	Case 7の1階開口幅拡大
Case 9	25	0.85	0.9	1.0	Case 8のガラス面積率縮小
Case 10	25	0.62	0.9	1.0	Case 9のガラス透過率縮小
Case 11	25	0.62	0.5	1.0	Case 10のPC板放射率を縮小
Case 12	25	0.62	0.5	1.5	Case 11の頂部開口幅を拡大
Case 13	25	0.46	0.9	1.5	Case 10のガラス透過率縮小

注) 1. Case 1~3は本報の夏期冷房のケース、Case 4はCase 3の冬期暖房のケース。  
 2. Case 5~13は次報の夏期冷房のケース。

4. 計算概要

4.1 解析種類(表1)

夏期の日照時を対象とする。スカイウェイの方位から、日射の影響が最も激しくなると予測される7月21日午後3時(東京)を選定。定常を仮定して検討を行う。半屋外のスカイウェイに連結されるアトリウムは、冷房を行っている。スカイウェイの屋根の性能は、この部分の環境に影響を及ぼす。屋根のガラス面積率を25%、屋根頂部の開口条件(ガラリ幅)を1.5mに固定し、ガラス特性(透過率62%と46%)と屋根PC板の屋内側の長波吸収率(0.9と0.5)をパラメーターにして、表1に示すCase1~3の3ケースに関して検討を行う。冬場の暖房時において、環境悪化が懸念されるので、冬期日射無し暖房条件で1ケース検討を行う。なお、表1にはスカイウェイ単独の温熱環境に関する検討ケースも合わせて示す。

4.2 シミュレーション概要(図4, 5)

シミュレーションのフローを図4に示す。解析空間内の直達及び拡散日射による各壁面の熱取得は日射シミュレーションプログラム(文1)により7月21日15時の条件で解析する。得られた



対してのみ行われているのに対し、室温一様仮定のため上部のスカイウェイ部やアトリウム空間上部でも、冷房 airflow がよく混合する条件で解析された結果となっている。スカイウェイ単体の場合の計算結果についても（表3 Case5~13）に示す。図6にはCase3における表面温度の解析結果を示す。

## 5.2 気流解析結果（図7）

### (1) 夏期冷房ケース（Case3）

#### ① 気流性状（図7(1)）

アトリウム下部では、吹出し冷気の下流及び対向壁（西側）面での発熱（主に日射熱取得）による温度上昇により、活発な時計回りの循環流が見られる。これに対し、アトリウム空間中央部の領域は停滞し、顕著な気流は観察されない。スカイウェイ部の気流は、西側開口より流入した外気が室温より低いため、手すりを越えた地点から負の浮力による下降流となり、また東側手すり近傍に循環流が観察される。屋根に沿って上昇流もある。

#### ② 温度性状（図7(2)）

アトリウムの上下温度差は約21℃になっているが、水平方向（各壁面近傍を除く）の温度差は極めて小さい。空間内には安定した温度成層が形成されている。アトリウム中央から下部にかけてかなり強い温度勾配が観察される。アトリウム上部は、スカイウェイ部と同一温度となる。居住域であるB1階空間では冷気が停滞し、約23℃を示し良好な居住域冷房が実現されている。

### (2) 冬期暖房ケース（Case4）

#### ① 気流性状（図8(1)）

吹出口から供給された暖気は、強い浮力のために直ちに上向きの流れに変化する。アトリウム空間の東側壁面に上昇流、西側壁面に下降流が観察され、空間全体にはこれらによる大循環流が見られる。西側のスカイウェイ開口部から進入した外気は、アトリウム

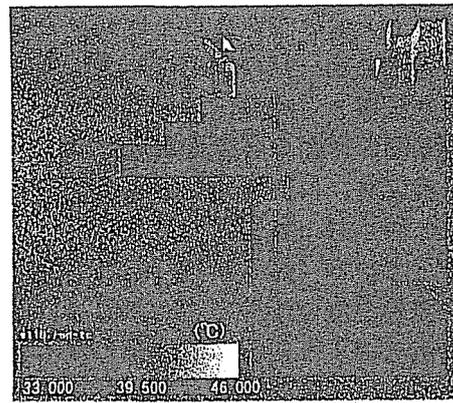
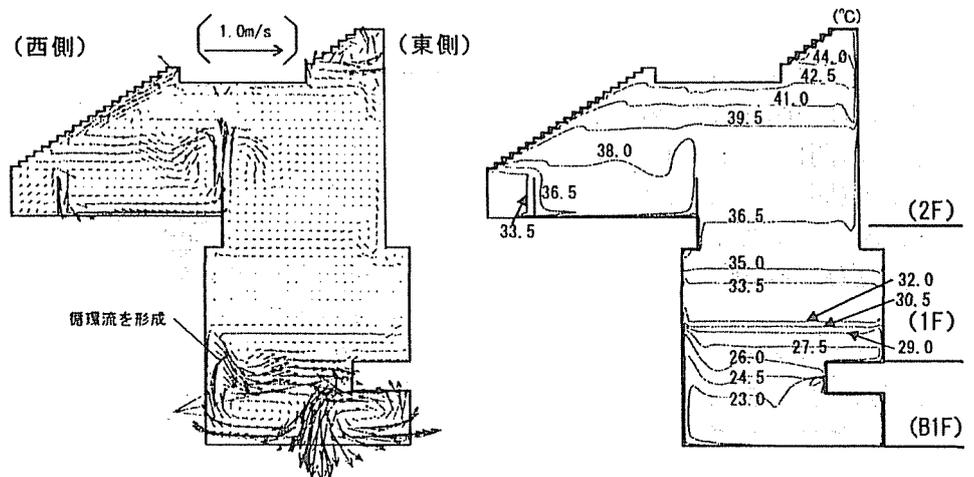


図6 表面温度

（Case3の放射・対流熱伝達解析結果、室温一様仮定）



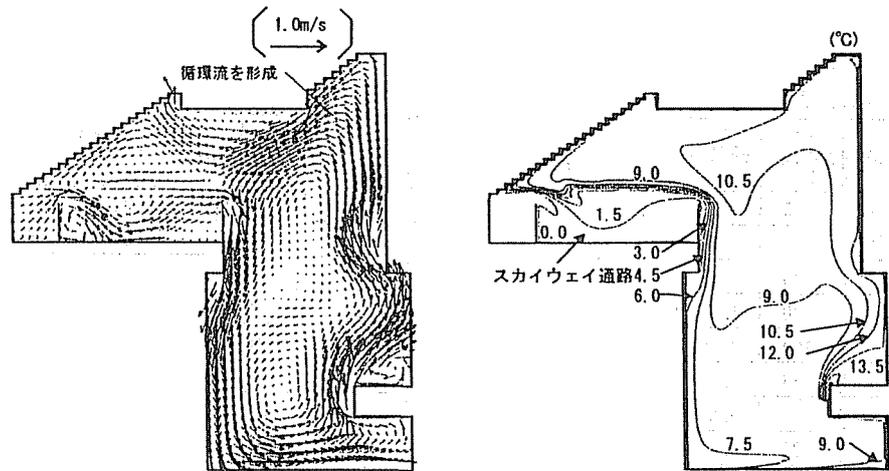
(1) 速度分布

(夏期)

(2) 温度分布

(夏期、外気温度 T=33.4℃)

図7 Case3の解析結果



(1) 速度分布

(冬期)

(2) 温度分布

(冬期、外気温度 T=0.5℃)

図8 Case4の解析結果

ム空間内に流入して下降流となり、B1～1階のガラス壁面で再度冷却されて強い下降流となる。一方吹出気流は浮力による上昇する流れとなり、更に2階以上の東側壁面が暖房される居室に接するため、これによる貫流熱によって加温され、より強い上昇流となっている。

②温度性状(図8(2))

アトリウム下部の居住域は、外気に開放されているにも関わらず、床暖房(130W/m<sup>2</sup>)により9.0℃程度の温度になっている。1、2階の吹き抜け空間の空間温度も9.0～10.5℃となり、空間全体でも約3.0℃の上下温度差に留まり、アトリウム空間内は比較的一様な温度分布となっている。スカイウェイの歩行者用通路部は、外気の影響で比較的低い温度環境になっている。

(3) 夏期冷房ケース (Case5: 屋根 全面透過率100%のガラス)

①気流性状(図9(1))

スカイウェイ西側開口より流入した外気の多くは、屋根面からの大きな対流熱伝達熱により加熱され、屋根面に沿った上昇流となり頂部開口より流出する。空間上部では下降流が観察される。この下降流は床面に到達し、床面に沿う時計廻りの活発な循環流と、東側壁面からの対流熱伝達により加熱され上昇して頂部開口から流出する流れの二つに分かれる。このケースは他のケースに比べて、空間内の流れが速くなっている。これは室温が相対的に高く浮力換気による換気量が高いこと、屋根面直下及び各壁面近傍で大きな対流熱伝達を受けて加熱され、浮力による加速が相対的に強くなることに起因している。

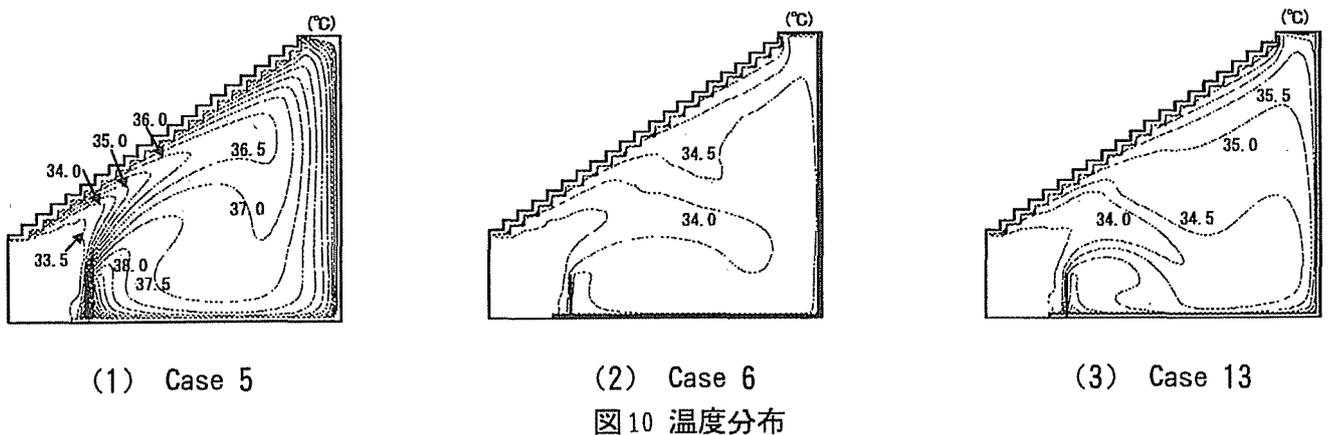
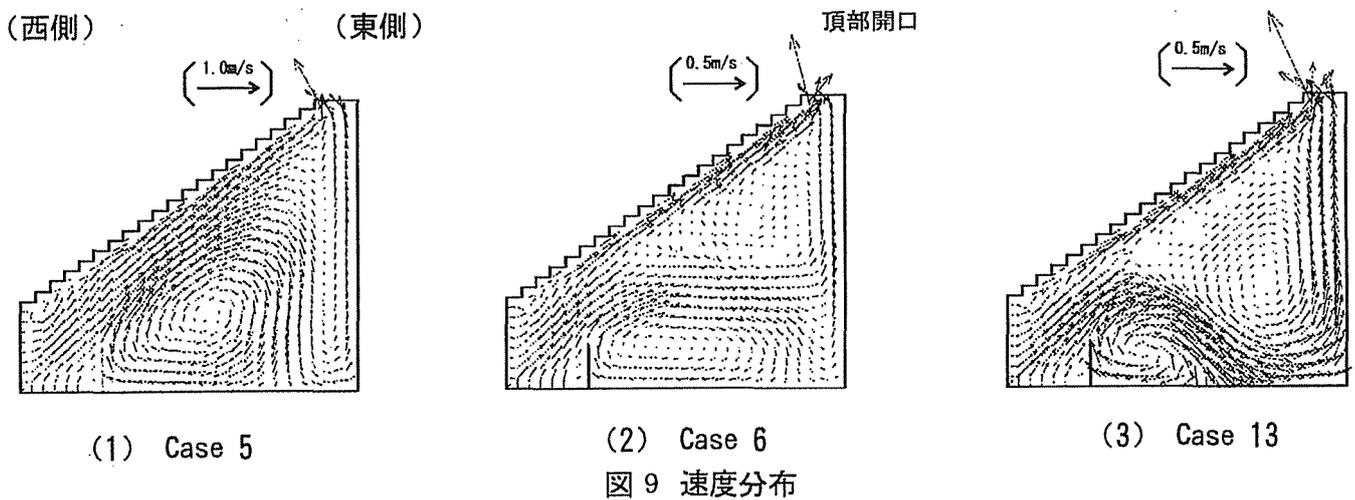
②温度性状(図10(1))

屋根面直下、床面、東側壁面近傍において、大きな温度勾配見られる。これは東側壁面、床面が放射熱取得により強く加熱されることに対応する。流入外気は屋根面に沿って順次加熱されている。居住域はかなり高温となり、外気温より4～6℃高い値を示す。

(4) 夏期冷房ケース (Case6: 屋根 全面日射遮蔽)

①気流性状(図9(2))

流入外気の多くが水平に流れるのは、屋根面からの対流熱伝達熱が相対的に少なく、加熱による浮力が相対的に少なく加速されにくい為と考えられる。また屋内空気より低温の流入風は



加熱されることが少なく風速も小さいため、空間上部の高温域に上昇しないものと考えられる。Case5に比べCase6の気流は全体に穏やかな流れとなっている。

## ②温度性状(図10(2))

屋根面からの貫流入熱により室内上部には多少の温度上昇が見られるものの、空間内はほぼ一様な温度分布が観察される。居住域は外気温より0.5~1.0℃高い程度に保たれている。

## (5) 夏期冷房ケース(Case13:日射遮蔽が良好な場合)

### ①気流性状(図9(3))

スカイウェイ西側開口より流入した外気は、室温より低温なため、手すりを越えた地点から負の浮力により下降する。この流れは床面に沿って東側壁面に到達する流れと、手すり近傍で時計廻りの渦を巻く流れとなる。屋根面直下及び東側壁面近傍では、大きな対流熱伝達熱により上昇流が生じ頂部開口より流出する。又空間中央部から上部にかけて緩やかな反時計回りの循環流が観察される。

### ②温度性状(図10(3))

Case6と比べ日射熱取得が大きく、室内は上下温度差がやや大きくなる。しかし下部の居住域は34.0~35.0℃となり、Case6の居住域とあまり大きな温度差は見られない。これは、室温より相対的に低い流入外気が下降し効率よく居住域をカバーしているためである。

## 5.3 考察

暖房時の外気に開放されているアトリウム空間内の温熱環境を更に改善する為には、①吹出風速を大きくして吹出し気流の浮力による上昇を減少させる。②西側ガラス面に吹出し気流を到達させガラス面のコールドドラフトを防ぐ。③スカイウェイとアトリウム空間上部を部分的にガラス等で仕切り、スカイウェイから低温の外気がアトリウム内に直接侵入しないようにすること等が有効になると考えられる。

## 6. 結論

- (1) 夏期のアトリウム居住域は、冷風が下部に停滞し、効率の良い居住域冷房が実現されている。
- (2) 夏期アトリウムにオープンに開かれているスカイウェイ部分は、西側開口より流入した外気が室内より低温なため、手すりを越えた地点から負の浮力による下降流となり、また東側手すり近傍の循環流が観察される。また空間内の上下温度差が大きい等の結果を示す。
- (3) 夏期のスカイウェイは、適切な日射制御(ガラス面積率の縮小、透過率の低下)を行えば、ガラス屋根からの日射熱取得にも関わらず、上下の開口による自然通風により内部の熱気は効率よく除去され、内部の温度上昇はわずかである。
- (4) 冬期アトリウム内は外気開放の影響を強く受けるが、床暖房により9.0℃前後の居住域温度が確保されている。

### <参考文献・注>

文1)大森・村上他、屋外・屋内複雑解析格子を用いる複雑形状建物の日射・放射総合シミュレーション 空調・衛生工学会学術講演論文集 1994

文2)持田・村上他、日射の影響を考慮した市街地の風環境予測・評価法に関する基礎的研究(第1報) 空調・衛生工学会学術講演論文集1994

文3)佐藤・村上他、放射対流解析による半屋外歩行者デッキの温熱環境解析(その1)(その2) 空調・衛生工学会学術講演論文集 1995

注1)対象建物は、東京都港区港南2丁目(仮称)興和品川東口ビルにおけるスカイウェイ及びD棟である。

注2)図中の熱流は各面の日射、長波放射及び内部発熱による熱取得量を表している。流体解析の境界条件は、これらの熱取得を固定し(即ち本研究では放射計算は対流計算と連成させていない)、解析を行っている。但し壁貫流熱量は、流体解析と連成させている。即ち室内側表面温度及び対流熱伝達量を未知として、熱流に関する二つの方程式を解き、対流熱伝達量を境界条件として流れ場を解析している。熱流に関する二つの方程式は①壁表面における熱バランス(表面における対流・放射・貫流熱の合計が0)及び②対流熱伝達量に

関する式、即ち既知の $\alpha$ (ここでは $6W/m^2C$ )及び室温と表面温度の差で評価される式の2式である。本研究では放射熱取得は固定しており、貫流熱のみ室内側表面温度により変化する。壁の貫流率 $K$ 及び外側表面温度 $T_w$ は境界条件として与えられる。放射・対流完全連成解析では室内側表面温度により放射熱量を変化させることになるが、本研究ではその効果があまり顕著でないので省略した。

注3)なお、今回の解析では連成計算をしてもあまり室内の温度、流れ場性状が変わらないため、放射と対流の完全連成は行っておらず、放射解析による室内の放射熱授受計算は1回のみ行っている。

注4)本解析はHarwell Flow3Dを使用。

注5)赤外線放射・熱伝導・対流熱伝達シミュレーションは室温を一定として計算を行うため、スカイウェイを含むアトリウム空間全体に対して一様に空調除去熱が差し引かれる結果となり、室内の温度分布が考慮されない計算となっている。このため、図7の資料の解釈には注意が必要である。