アトリウムの温熱環境に関する文献調査

垂直温度分布と空間構成の関連

TREND IN THERMAL ENVIRONMENTAL DESIGN
OF ATRIUM BUILDINGS IN JAPAN

吉野 博*, 伊藤邦明*, 青笹 健**

Hiroshi YOSHINO, Kuniaki ITO and Ken AOZASA

Various kind of atrium buildings have been constructed in Japan since 1982. Recently, there have been some measured data on thermal environment of atriums. This paper firstly describes the trends in the design and construction of atrium buildings, based on the design magazines. Secondly, the design methods of thermal environmental control of 21 atriums are classified, and measured data on vertical temperature profiles in the atrium are compared, referred to the technical papers. In summer, there is high temperature rise such as 60℃ in the top of the atrium. The temperature profiles except below-roof area can be divided into three groups, as follows: 1) Little temperature gradient in case of the courtyard type with high ceiling. 2) High temperature gradient in cases of the greenhouse type with large glass area. 3) Moderate temperature gradient in other cases. In winter, there is little temperature for whole enclosure in all cases. But in many cases, the temperature decrease in the floor level area appears due to stack effect.

Keywords: Atrium, Vertical temperature gradient, Type of atriums, Literature survey

アトリウム, 垂直温度分布, 空間構成, 文献調査

1. はじめに

1980年代に入り、わが国においても様々なアトリウムを有する建物が建設されてきた。現在ではその総数も、200件以上にのぼる。こうしたアトリウムに関して、環境工学的には以下のような特徴を挙げることができる。

1) 屋根、外壁にガラスが多用され、日射を始めとする外部環境の影響を受け易い。そして、低い断熱性から、コールドドラフトを生じるなど、冷暖房負荷が大きくなる。
2) 大空間であることが多く、上下温度差が大きくなり易い。夏期にはアトリウム上部の温度上昇、冬期には煙突効果による居住域環境の悪化が懸念される。

また、アトリウムでは、空間上部にまで執務空間などが隣接することも多く、隣接空間への影響も懸念される。近年はこうしたアトリウムについて、実測調査などが盛んに行われ、温熱環境に関する資料も蓄積されてきている。しかし、アトリウムの形態は、規模、ガラス面のあり方など様々であり、外部環境からの影響の程度、環境調整手法なども異なり、一律に比較することは難しい。

そこで、本報では、温熱環境に関する資料の得られる21件の事例を対象として、アトリウムの空間構成に関して分類を行い、それぞれについて環境調整手法、垂直温度分布を比較する。そして、空間構成、環境調整手法と垂直温度分布の関連を検討し、アトリウムの温熱環境の特性を明らかにする事が本報の目的である^{注1}。また、アトリウム実施例の動向を把握し、本報で対象とする事例の位置づけを行うために、建築専門誌^{注2}に基づき、空間構成等に関する調査も行った。

2. アトリウム実施例の動向

2.1 調査概要

1981年11月から1994年4月までの建築専門誌^{注2}に掲載されたアトリウム事例について、表1に示す内容で調査を行った。アトリウムを有する建物の総数は202件、また複数のアトリウムを有する建物もあり、アトリウム自体の総数は216件であった^{注3}。

* 東北大学工学部建築学科 教授・工博

Prof., Dept. of Architecture, Faculty of Engineering, Tohoku Univ., Dr. Eng.

** 東北大学工学部建築学科 大学院生

Graduate Student, Dept. of Architecture, Faculty of Engineering, Tohoku Univ.

表1 調査項目

1: 名称
2: 所在地
3: 建物用途
4: 竣工年
5: アトリウムの空間構成 (形態, ガラス壁面数, 断面形式, 頂部形式)
6: アトリウム利用目的
7: 外部空間との開閉
8: アトリウムの規模 (容積, 床面積, 天井高, ガラス面積)

2.2 建物用途、利用目的

アトリウムを持つ建物の主用途を図1に示す。事務所が最も多く、全体の20%を占める。次いで、複合施設、宿泊施設、公共施設が多く、以下、商業施設、研究・研修施設と続く。図2は、アトリウムの利用目的を示したものである。アトリウムの利用目的を一つに断定することは難しいが、ここでは便宜的に六つに分類している。エントランスホールとして利用される場合が最も多く、以下広場、ラウンジと続き、不特定多数の人々が特に目的を持たずに利用するケースが多いようである。

2.3 建設数

図3に1981年から1993年までのアトリウム建設数の経年変化を示す。1980年代は、年々建設数が増加していたが、近年では横ばいとなっており、アトリウムを持つ建物数で年30件前後となっている。

図3 アトリウム建設数の経年変化

図4 アトリウムの形態

2.4 アトリウムの形態、ガラス壁面の方位

R.サクソンは著書³³⁾の中で、アトリウムの形態を九つに分類しているが、本調査は国内事例を対象としており、アトリウムの温熱環境との関連を検討することなどを考慮して、アトリウムと主建物の関係、ガラス面のあり方から図4に示す七つに分類した。また図4には、それぞれの割合も併せて示す。約40%は主建物がアトリウムを囲む中庭型となっている。次いで、アトリウムを主建物が「コの字」に囲む重合型と、二つの建物をアトリウムがつなぐ接続型が多くなっている。図5は、ガラス外壁の設けられた方位を示したものである。ガラス壁面数が1面の場合、北、東が多く、南がそれに続く。2面では、北・南、東・西と対に配されることが多く、3面では南を中心とした事例が最も多くなっている。しかし、環境的には不利とされる北あるいは、西面に大きなガラス面を設けている事例も見られる。

2.5 アトリウムの規模

アトリウムの床面積と容積、天井高の関係について図6に示す。多くの事例は、床面積3000m²以下、容積は20000m³以下となっている。天井高については10~30mの5階前後の比較的低層のものが多くなっている。なお二重丸で示したものは、次章以降で取り上げる21件の事例である。

図5 ガラス外壁面の方位

図6 アトリウムの規模

図7 断面形式による分類

3. アトリウムの温熱環境

3.1 調査概要

本章では実施例の内、実測調査の結果が公表され、温熱環境に関するデータの得られる 21 件のアトリウム^{注4}を対象とする。この 21 件のアトリウムに関して、1)建築専門誌^{注2}による空間構成の分類、2)建築設備関連雑誌^{注5}による環境調整手法の分類を行い、3)実測調査に関する文献^{注6}により夏期・冬期の垂直温度分布を比較し、空間構成との関連を検討した。なお、対象事例の建物概要を表2にまとめる。

3.2 空間構成の分類

まず対象事例の規模に関して、床面積と容積、天井高の関係を図6に二重丸で示す。対象事例は比較的大規模なものが多く、特に、事例1、6、11は国内最大級の規模となっている。

また、アトリウムの形態を図4に従い分類すると、表2の中に示したようになるが、同じ中庭型の形態でも、高層の事例と低層の事例とでは、日射の影響は異なるように、規模の違いもアトリウム内の環境に影響していると考えられる。そこで、アトリウムの規模に関して、図6の分布状態をもとに、以下に示すように分類した。

Tower type: 天井の高い塔状のアトリウム

Large type: 床面積、容積の大きなアトリウム

Small type: 比較的低層で小規模なアトリウム

一方、アトリウムと隣接空間との関係については、仕切りの位置や有無により図7に示す通り四つに分類した。

3.3 環境調整手法

アトリウムでは、前述のように上下温度差がつきやすい。そこで、アトリウムの環境調整では、省エネルギーといった点から、ある程度の上下温度差を許容し、頂部にはあらかじめ、熱だまりとするための空間を設け、空調は底部の居住域のみとする場合が多い。そして、排熱

表2 対象事例の建物概要

事例 No	所在地	主用途	形態	ガラス 壁面数	利用目的、その他
1	東京	事務所	中庭型	0	イベント広場として利用するエントランスホール。休憩スペース有。
2	東京	庁舎	中庭型	0	床、壁面に木材を使用したエントランスホール。
3	秋田	複合施設	中庭型	(1)*	居住域はB1Fでイベント広場。1Fでエントランスとつながる。
4	東京	事務所	中庭型	0	9Fより上部は南面にガラス壁。
5	東京	事務所	中庭型	0	居住域はB1Fで休憩スペース有。1Fでエントランスとつながる。
6	東京	事務所	中庭型	0	L字型の平面を持ち、一方は受付のあるエントランスホール、もう一方は打ち合わせスペース。
7	浦安	宿泊施設	中庭型	0	レストラン、店舗の配されたラウンジ。
8	東京	事務所	中庭型	0	エントランスホールとエレベーターホールをつなぐ受付の配された通路空間。
9	浜松	複合施設	重合型	1	イベント広場として利用するエントランスホール。東面がガラス壁。
10	東京	事務所	接続型	2(4)*	各種店舗と接する広場空間。妻側の南北面と、平側の東西面の一部がガラス壁。
11	東京	事務所	貫通型	1	底面はB1Fで、1Fでエントランスとつながる通路空間。東面がガラス壁。
12	東京	複合施設	接続型	2	イベント対応型の広場空間。東、南面の一部がガラス壁。
13	東京	事務所	重合型	1	アトリウム内2Fにラウンジのあるエントランスホール。東面はガラス壁。
14	横浜	事務所	中庭型	0	エントランスホール。
15	大阪	事務所	付加型	3	エントランスのある広場空間。西、南北面はガラス壁。
16	東京	複合施設	付加型	4	休憩スペースのある通路空間。西面は全面、南北面は半面、東面は3F以上がガラス壁。
17	北海道	庁舎	中庭型	0	エントランスホール。
18	千葉	複合施設	接続型	2	エントランスホール。妻側の北東、南西面がガラス壁。
19	横浜	独身寮	中庭型	0	エントランスホール。
19H	千葉	事務所	中庭型	0	途中階に中空庭園、中央にエレベーターシャフトのある通路空間。
19L	千葉	事務所	中庭型	0	中央にエレベーターシャフトのある通路空間。
20	千葉	商業施設	中庭型	(4)*	ラウンジ。FL11.1m以上の部分は総ガラス張り。*:ガラス壁面数のカッコ書きは、ガラス壁面が一部であることを示す。
21	大阪	事務所	付加型	2	東、南面にガラス壁を持つ休憩スペース。

のための頂部の換気、日射遮蔽などの手法も併用される。アトリウムの環境調整手法は以下のように分類することができる。また図8は、環境調整手法をモデル化したもので、表3に各事例の調整手法をまとめた。なお、表中のアルファベットは、図8における各手法を示す。

3.3.1 居住域の環境調整

居住域の環境調整は主に、図のa～cの手法によって行われる。また、それぞれの手法を併用している事例も多い。特に、冬期については多くの事例で床暖房が併用されている。

3.3.2 頂部における環境調整

頂部では、熱だまりの熱を排出するために、温度差を活かした自然換気、あるいはファンによる機械換気が行われることが多いが、事例4、7では、ファンコイルユニットによる冷房を行っている。また、事例16、18、21では頂部の排熱のみならず、アトリウム全体の環境調整に自然換気を活用している。

3.3.3 日射遮蔽

透過日射を低減するため、ガラス屋根の内側にブラインド、遮光板、あるいは垂れ幕などが設置される。日射遮蔽は外部で行う方が効果は大きい、事例21のみ屋根、壁面の外部に遮蔽幕が設置されており、他の事例はアトリウム内に設置されている。また事例15、19Lはガラス屋根を持たない遮蔽型のアトリウムである。

居住域の環境調整

a: アトリウム壁面、隣接空間天井からの吹出

b: 床暖冷房

c: 自立型空調機によるスポット空調

頂部の環境調整

d: 自然換気

e: 機械換気

f: FCU冷房

日射遮蔽

g: ブラインド

h: 垂れ幕、遮蔽幕

その他

i: アトリウムサイドの吹出（エアカーテン）

j: 中間階での横向き吹出

k: ガラス面への温風吹出

図8 アトリウムの環境調整手法

表3 対象事例の環境調整手法 (表中のアルファベットは図8の各手法を示す。)

事例 No	夏期				冬期		開口部、その他
	居住域	頂部	遮蔽	その他	居住域	その他	
1	—	(d)* ¹	—	—	b*	—	頂部に換気口有。*余熱による床暖房のみ。
2	a	d	—	—	a	—	頂部に自然換気用ダクト有。
3	a	(d)	—	—	a,b	—	1F部に給気口,頂部に排気口有。
4	a	(d),f	—	—	a,b	—	中層部(18~32m),上部(81m)に開口有。 屋根面の一部に和紙入りガラスを使用。
5	a	e	—	i	a	j	頂部に排気ファン有。
6	a	d	h	i, 冷水池	a,b	—	頂部に排気ダンパー有。
7	a	(d),f	—	—	a	—	頂部に排煙口有。
8	c	(d)	—	i	c	—	頂部に排煙窓有。
9	b,c	(d)	g	—	b,c	—	頂部に排煙口有。スポット空調。
10	a	—	g	i	a,b	—	熱だまりのための空間なし。
11	a,b	e	h	—	a,b	—	25,000m ³ /hの第一種換気。
12	a	(d)	—	i (8F)	a	k	頂部に換気口有。
13	a	e	g	i (最上部)	a,b	—	頂部で第一種換気。熱だまりのための空間なし。
14	a,c	d,e	—	—	a,c	—	側壁に排煙口,頂部に排気ファン有。
15	a	e	遮蔽	i (5F)	a	—	天井に排気ファン有。ガラス屋根の無い遮蔽型。
16	—	d	—	—	a*	—	上部に排煙口有。*補助的な暖房のみ。
17	a	(d)	h	—	a	—	頂部に排煙窓有。
18	a	d	—	—	a,b	—	トップライト部開放可。夏期は1F給気口,トップライト部による自然換気を主とし,冷房は補助的とする。熱だまりのための空間なし。
19H	a,c	(d)	—	—	a,c	—	頂部に換気口有。
19L	a	—	遮蔽	—	a	—	ガラス屋根の無い遮蔽型。
20	a,b	f	g	冷水池	a,b	k	11Fの一部にスポット空調。
21	—	d	h (外)	—	—	—	外部に遮蔽幕を設置。自然換気を主とする環境調整。

*1: カッコ書きは、頂部の開口部を開放することで、自然換気が可能であることを示す。

3.3.4 その他の手法

廊下一体、居室一体型といった断面形式のいわゆるオープンタイプのアトリウムでは、エアカーテンとして手法iを併用することが多い。また手法jは、上昇流を抑制するために、手法kは、ガラス面でのコールドドラフト、結露を防止するために行われる。

以上のように環境調整は機械設備に負うところが大きい。中には、自然換気や、建築的工夫を活用して環境調整を行う事例も見られる。事例1では、基本的に環境調整は行わず、余熱による床暖房のみで、環境は成りゆきとしている。事例18では、夏期については自然換気を主とし、空調は簡易的なものとなっている。また事例16は北海道に位置しており、冬期は補助的な暖房を行っているが、夏期は、自然換気による環境調整のみである。事例21は大阪に位置し、外部と同程度の環境を目標としており、夏期は外部遮蔽幕による日射遮蔽と自然換気による環境調整のみ、冬期は成りゆきとしている。

3.4 垂直温度分布の特徴

3.4.1 夏期

夏期の垂直温度分布について、各事例の最も温度が低下している夜間(0:00~7:00)と、最も温度が上昇している日中(12:00~15:00)とに分けて、図9、10に示す。図中には、夜間については測定時刻を、日中についてはアトリウム形態、測定条件を事例番号と共に示す。また空調の有無、あるいは自然換気の有無といった状態で測定

が行われている事例もあり、それぞれ図11に示す。これらの垂直温度分布は、いずれも文献から得られるデータをもとに描いたものである。

(1)夜間 図9(a)~(c)に夜間の垂直温度分布の比較を示す。ほとんど上下温度差がなく、ほぼ一直線の温度分布となっている事例が多い。その中で事例12は、頂部の温度が上昇しているが、これは測定時刻が0:00であり、日中暖められた空気が上部にたまっているためで、明け方にかけて温度は低下していくものと考えられる。また、事例8、9は、上下温度差が多少大きくなっているが、共にガラス面の割合が大きく、測定時刻が7:00であるため、日射の影響を受けているのではないかと考えられる。

(2)日中 日中の垂直温度分布の比較を各形態ごとに、図10(a)~(d)に示す。各事例とも通常の使用状態(空調、換気など)での測定結果である。なお、図中のカッコ内の中0、付3等はアトリウム形態とガラス壁面数を示す。また、AC、NV、MV、SCはそれぞれ空調運転、頂部での自然換気、機械換気、日射遮蔽が行われていることを表わし、SHはガラス屋根のない遮蔽型のアトリウムを意味する。夜間の温度分布に比べ、どの事例も大きな上下温度差が生じており、ばらつきも大きくなっている。多くの事例は、頂部で温度が急上昇しており、熱だまりの形成が確認できる。また、居住域の温度は、空調のない事例21を除き、25℃前後となっている。次に、各Typeごとに考察する。

図9 夏期垂直温度分布 (夜間)

図10 夏期垂直温度分布 (日中)

図11 空調の有無、自然換気の有無

表 4 高温域における隣接空間との関係

事例 No	空間構成				30℃以上と なる位置	30℃以上となる位置での 隣接空間との関係	参考文献 番号
	形態	規模	断面	階数			
1	中0	T	Ⅱ	1-30	28F	4F以上は閉鎖	1
2	中0	S	I	1-4	4F	3F以上は閉鎖	2
3	中0	T	Ⅱ	B1-12	11F	3F以上は閉鎖	3,4
4	中0	T	Ⅱ	1-14	—	—	5
5	中0	S	Ⅳ	2-5	熱だまり	—	6
6	中0	L	Ⅱ	3-12	7F	7F以上は閉鎖	7,8
7	中0	T	Ⅲ	1-21	熱だまり	—	9,10
8	重1	L	Ⅳ	1-8	5F	各階通路とは吹出空気により分離 5,6Fにイベント時に客席となるテラスあり	11
9	連2	L	Ⅱ	1-4	3F	2F以上は閉鎖 2Fに通路と休憩スペース、3Fに通路あり	12
10	貫1	T	Ⅳ	B1-21	熱だまり	—	13,14,15
11	連2	L	Ⅱ	1-7	4F	1面は閉鎖、他の壁面は4F以上が閉鎖	16
12	重1	L	Ⅳ	1-9	熱だまり	—	17,18
13	中0	S	Ⅲ	1-4	熱だまり	—	19,20
14	付3	L	Ⅱ	1-5	2F	2Fに通路あり	21
15	付4	S	I	1-5	3F	2,5Fにブリッジあり	22
16	中0	S	Ⅲ	1-4	4F	各階とも一部がアトリウムに開放	23
17	連2	S	I	1-5	4F	2F以上は閉鎖	24
18	中0	S	Ⅲ	1-5	5F	各階廊下がアトリウムに開放	25,26
19H	中0	T	I	15-26	23F	各階とも閉鎖	27,28
19L	中0	L	I	2-9	なし	—	27,28
20	中4	S	Ⅳ	9-11	熱だまり	—	29
21	付2	S	I	1-2	1F	2Fにブリッジあり、各階とも閉鎖	—

まず、Tower type の事例について、事例 10 はスリット状のガラス面を 1 面持つが、その他は中庭型の形態である。頂部温度は、60℃を越える事例 1 を始めとしてかなりの高温となっているが、頂部の熱だまり以外は、上下温度差が小さく安定している。これは、空間上部より下の位置には日射が到達しにくいこと、アトリウムの周囲を執務空間のような空調空間に囲まれていることなどによるものと思われる。

次に、Large type は、頂部の熱だまりでは Tower type と同様に、高温となっているが、熱だまり以外の部分においても、温度が上昇して温度勾配がついている事例が多い。特に、接続型、付加型の形態である事例 9、14 は、空間全体に渡って、大きな温度成層が生じている。一方、事例 12 は熱だまり以外の温度差が小さく安定しているが、これはオープンタイプのアトリウムであるために空調空間との空気の混合や、台形の断面を持つ形状で頂部の面積が小さいことなどによるのではないと思われる。また、事例 19L はガラス屋根のない遮蔽型のアトリウムであり、ほぼ上下温度差のない環境になっており、事例 11 は頂部温度の上昇が抑えられているが、これは第一種換気や日射遮蔽の効果と推定される。

そして、Small type の事例についても、頂部で温度が急上昇しているが、頂部の換気を行っている事例も多く、事例 20 を除けば 40℃以下であり、他の Type に比べると温度上昇が抑えられている。頂部以外についてみると、

中庭型の内、事例 2、5 は、空調域で温度差が小さく安定しているが、その他の事例は、緩やかな温度勾配が付いている。また、付加型の事例について、事例 15 は、アトリウム全体の温度勾配が大きくなっているが、天井はガラスではなく、天井部で機械換気を行っているため、頂部温度の上昇は比較的抑えられている。一方、事例 21 は、日射遮蔽と自然換気のみで空調設備が無く、空間全体の温度が、高温側へシフトしているが、居住域は、外気と同等か、やや低い温度となっている。

(3)空調の有無、自然換気の有無による比較 日中の垂直温度分布に関して、空調の有無、自然換気の有無による比較を図 11 に示す。事例 2、7、10、18 では、空調を停止した状態での実測が行われており、事例 16、21 は空調設備のないアトリウムである。空調停止時、事例 2 では上部温度に変化はないが、下層部の温度は上昇し、高さに応じた温度成層が生じている。事例 7^{註7}では下層部に違いはみられないが、熱だまりとなる高さが低下している。事例 10 は、アトリウム中間階に防火区画のため網入りガラスが設置され、アトリウムは上下二つに分けられている。その内下層階は通常空調、上層階が非空調となっており、上層階では全体的に 10℃程上昇している。

次に、自然換気の有無に関して、事例 3、8、9、14、17、18 では、頂部の排煙口や換気口による自然換気を行った状態での測定が、事例 16、21 では自然換気のない状態での測定が行われている。自然換気を行った場合には、

ほとんどの事例で上層部の温度が低下している。特に事例 3 では、頂部温度が約 40℃から 30℃に、事例 9 では約 60℃から 35℃まで低下しており、自然換気が熱だまりの排熱に有効であることが分かる。自然換気により上層部の温度は低下するが、事例 3、9、17、18 の場合、下層部の温度の変化は小さい。これに対し事例 14、21 では、アトリウム全体の温度が低下するものの、底部の居住域では逆に温度が上昇している。また事例 8 は、開口部が熱だまりよりも低い位置にあり、開口部付近の温度は低下するが、熱だまりの温度は大きな変化がない。このように、頂部での自然換気は、熱だまりの緩和に有効であると言えるが、開口部より高い位置にある空間への影響が小さく、また、居住域近くに開口部がある場合、外気侵入により居住域温度の上昇を招くこともあり、自然換気を行う際には開口部の位置に配慮する必要があるといえる。また、事例 18 では、空調運転時、空調停止時、そして自然換気のみ行っている場合に、それぞれ測定が行われているが、空調停止時は、アトリウム内の温度が全体的に高温側へシフトしており、居住域は約 30℃、頂部は 45℃を越える。一方、自然換気を行った場合、頂部温度は 35℃以下にまで低下し、居住域においても、若干温度が下がる。

(4)高温域におけるアトリウムと隣接空間との関係 アトリウムでは、ホール、体育館といった大空間に比べ、高温となる上層部の周囲にも居住空間が配されることが多い。そのため、隣接空間の環境に悪影響を及ぼすことも考えられる。特に、オープンタイプアトリウムの場合、アトリウムから隣接空間へ直接、熱気が侵入することも懸念される。そこで、図 8 に示した夏期の垂直温度分布から、各事例の 30℃以上となる高さを調べ、高温域でのアトリウムと隣接空間との関係について検討する。表 4 に各事例の空間構成とともに調査結果を示す。事例 5、7、10、12、13、20 は、いずれもオープンタイプのアトリウムであるが、30℃以上となる位置は熱だまりの中である。その他の事例は、周囲に隣接空間のある高さで 30℃以上となっているが、その多くは壁、ガラス窓によってアトリウムと隣接空間とは分離されている。また、事例 8 はオープンタイプであるが、隣接空間とはエアカーテンによって分離されている。これに対し、事例 16 では、30℃以上となる空間でも一部がアトリウムに開放されている。

アトリウム内には通路、ブリッジなどが設けられることも多く、事例 8 ではイベント時に客席となるテラスが、事例 9、15、18 では廊下、ブリッジが 30℃となる高さ以上の位置に設けられている。また事例 21 は、空調設備がなく、外部と同程度の環境を実現するという環境設計がなされているため、アトリウム全体が 30℃以上となっているが、これらは居住空間とすると、やや不快であると言える。事例 6 では、30℃となる高さによって、ガラス窓

の開閉を決定しているが、こうした断面形式の決定は防災上の問題の方が大きいように思われる。

3.4.2 冬期

冬期の垂直温度分布についても、夏期同様、夜間（0:00～7:00）と日中（12:00～15:00 に分けて、図 12、13 に示す。なお、夜間については、事例番号と測定時刻を、日中については、事例番号とアトリウムの形態、測定条件（FH は床暖房を示す）を図中に示す。

(1)夜間 多くの事例で、アトリウム中層部には上下温度差がなく、頂部、下部の温度がそれよりも低下する「弓形」の温度分布となっている。事例 9 はこうした温度分布の典型的な形である。これに対し、事例 1、17 などは、アトリウム下部から高さとともに温度が低下する温度分布となっており、事例 4 ではアトリウム下部の温度のみ若干高くなっている。また事例 7 の下層部、事例 14 では他の事例に比べ、温度低下が著しいが、事例 7 の測定は月曜日に行われており、休日の間に空間が冷やされたため、そして、事例 14 は 3 面がガラスで覆われた付加型のアトリウムであるためと思われる。

(2)日中 夏期に比べ、各事例とも上下温度差が小さくなっている。頂部温度は、夏期ほどではないが、事例 1、6、7、9、14、19H、20 のようにやや上昇する場合と、夜間同様低下する場合とがみられる。前者は、夏期においても頂部温度がかなりの高温となる事例である。そして、頂部以外についてみると、中層部から上層部についてはほとんど上下温度差のない環境となっている。これは、暖められた空気が上昇し、頂部で冷却され下降するという循環が起こっているためと考えられるが、Small type のように比較的天井高の低いアトリウムでは、中層部にも温度勾配がついており、日射の影響が伺える。一方、居住域の温度は、20℃前後の事例が多くなっているが、中には 15℃あるいは 25℃近い事例も見られ、夏期に比べて、冬期の方が使われ方に幅があるのではないかと考えられる。また、多くの事例で居住域温度が、他の部分に比べ低下しており、煙突効果の影響と考えられるが、特に事例 1、5、7、12、14、18 での温度低下が目につく。これらのアトリウムは、エントランスホールなど人の出入りの多い空間であり、外気侵入の影響だと思われる。また事例 3 では、2 階部分の温度が低下している様子がみられるが、これはこの位置にエントランスがあり、外気侵入の影響である。

4. まとめ

本研究によって得られた知見を以下にまとめる。

(1)1981 年 11 月～1994 年 4 月までの建築専門誌に基づく、実施例の調査では、アトリウム総数は 216 件であった。アトリウムの設けられた建物の用途は、事務所、複合施設、宿泊施設、公共施設が多くなっている。全体の約 40%

図 12 冬期垂直温度分布 (夜間)

図 13 冬期垂直温度分布 (日中)

は、中庭型の形態となっている。

(2)アトリウム環境調整手法は、居住域空調、頂部での排熱、ブラインド・遮蔽幕といった日射遮蔽が中心となっており、機械設備に負うところが大きい。その一方で、街路的空間とみなして、スポット空調とすることで空調容量を低減している例や、自然換気の積極的な活用や建築的な工夫によってのみ環境調整を行っている例も見られた。

(3)各事例の垂直温度分布の比較により、夏期の日中には以下のような特徴がみられた。

- 中庭型のアトリウムの内、高層の事例は、頂部がかなりの高温となるものの、熱だまり以外は、温度差が小さく安定している。一方、低層の事例では、熱だまり以外にも、緩やかな温度勾配が付く。
- ガラス面の割合の大きな連接型、付加型のアトリウムでは、アトリウム全体に渡って大きな温度成層が生じる。
- 比較的低層で小規模な事例では、頂部での換気が行わ

れる事も多く、頂部温度の上昇は、比較的抑えられる。

d: 日射遮蔽、頂部での換気により、熱だまりにおける温度上昇はかなり緩和される。

一方、冬期については、上下温度差がかなり小さくなるが、多くの事例で、居住域での温度低下が見られる。特に、エントランスホールなど人の出入りの多い事例で、温度低下が大きくなっている。また、比較的低層の事例では、空間中部にも緩やかな温度差が付いており、日射の影響が伺える。

注釈

- 本報は、日本建築学会大会学術講演梗概集に発表した内容³⁰⁾を修正・加筆したものである。
- 新建築、建築文化、日経アーキテクチュア、ディテール。但し、掲載される事例に偏りがある点を考慮する必要がある。
- データの揃わない事例については除いている。
- 事例19には、高層階、低層階に二つのアトリウムがあるため、それぞれ19H、19Lとしている。

5) 建築設備 BE、空調調和・衛生工学

6) 参考文献 1)~29)。但し、事例 21 は、筆者らの実測による。

7) 空調なしの状態では、最上部の温度を文献^{9),10)}から読み取ることができなかった。

参考文献

- 1) 井上宇市ほか：吹抜大空間における温熱環境に関する研究 第一報 実態調査, 空気調和・衛生工学会学術論文集, pp.293~296, 1984.10
- 2) 小坂千里ほか：アトリウム空間における熱環境の実測調査, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.807~808, 1989.10
- 3) 小林信行ほか：寒冷地におけるアトリウム環境の実測調査(その 1) 実測調査の概要, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.601~602, 1991.9
- 4) 菊池世政啓ほか：寒冷地におけるアトリウム環境の実測調査(その 3) アトリウムの鉛直温度分布, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.605~606, 1991.10
- 5) 坂本宏治：アトリウムの温熱および光環境計画, 空気調和・衛生工学, VOL.63, NO.9, pp.9~16, 1989
- 6) 戸河里敏ほか：オープントイプ・アトリウムの熱環境 (その 1) 空調計画と熱環境実測の概要, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.591~592, 1991.9
- 7) 高橋紀行ほか：大規模アトリウムの環境実測と評価 (その 1) 東京ベイホテル東急における実測結果 (夏期), 空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集, pp.509~512, 1991.10
- 8) 船津正義ほか：大規模アトリウムの環境実測と評価 (その 2) 東京ベイホテル東急における実測結果 (冬期), 空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集, pp.513~516, 1991.10
- 9) 石野久彌ほか：アトリウムをもつ建物の環境実測研究 第 2 報 アトリウム上下温度分布と回廊部温熱環境, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.817~818, 1992.8
- 10) 石野久彌ほか：アトリウムをもつ建物の環境実測研究 第 3 報 排気口, F C U 冷却特性と採光特性, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.819~820, 1992.8
- 11) 有吉淳ほか：アトリウムの温熱環境 夏期における内部温熱環境実測調査, 空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集, pp.521~524, 1992.10
- 12) 百瀬隆ほか：アトリウムの温熱環境に関する研究 建物概要と実測, 温熱環境制御, 空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集, pp.525~528, 1992.10
- 13) 相賀洋ほか：オープントイプアトリウムをもつ建物の温熱環境に関する実測研究 第 1 報 建物特性と実測モード, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.1463~1464, 1993.9
- 14) 谷口雄樹ほか：オープントイプアトリウムをもつ建物の温熱環境に関する実測研究 第 2 報 夏期におけるアトリウム上下温度分布及び日射熱取得, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.1465~1466, 1993.9
- 15) 伊藤直樹ほか：オープントイプアトリウムをもつ建物の温熱環境に関する実測研究 第 3 報 冬期におけるアトリウム上下温度分布及び空気流入出性状, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.1467~1468, 1993.9

16) 武田仁ほか：大森ベルポートアトリウムにおける環境測定と評価 第 1 報 居住域における外部の影響と垂直温度分布の実測調査, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.1599~1600, 1993.9

17) 近藤靖史ほか：オープン型アトリウムの温熱環境実測 (その 1) 夏期の温・湿度分布, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.881~882, 1993.9

18) 永瀬修ほか：オープン型アトリウムの温熱環境実測 (その 2) 冬期の温・湿度分布, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.883~884, 1993.9

19) 鯉淵健造ほか：低層建物におけるアトリウム環境の実測調査 (その 2) 通常の空調時の温熱環境, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.871~872, 1993.9

20) 田中良和ほか：低層建物におけるアトリウム環境の実測調査 (その 3) 条件を変えた場合の温熱環境, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.873~874, 1993.9

21) 西口賢一ほか：ガラス張りアトリウム空間における熱環境実測調査, 空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集, pp.165~168, 1993.10

22) 原田剛ほか：西向きアトリウムの温熱環境実測及び数値計算との対比 (その 1 概要および実測結果), 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.631~632, 1994.9

23) 米田徳仁ほか：自然温度型アトリウムの熱環境 その 1 温度計画と空気温度分布の実測結果, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.635~636, 1994.9

24) 中川浩之ほか：アトリウムの冷房・暖房時の温熱環境実測調査, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.933~934, 1994.9

25) 梅津雅彦ほか：独身寮のアトリウム温熱環境の実測調査 (その 4) 夏季・秋季・冬季の温熱環境, 空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集, pp.833~836, 1994.10

26) 高橋雄司ほか：独身寮のアトリウム温熱環境の実測調査 (その 5) 夏期の自然換気及び冬期の床暖房空調時の温熱環境, 空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集, pp.837~840, 1994.10

27) 吉村正孝ほか：密閉型アトリウムにおける温熱環境の解析と測定 第二報 夏季アトリウム内温熱環境測定, 空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集, pp.821~824, 1994.10

28) 吉村正孝ほか：密閉型アトリウムにおける温熱環境の解析と測定 第三報 冬季アトリウム内温熱環境測定, 空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集, pp.825~828, 1994.10

29) 平野功ほか：アトリウム温熱環境実測調査 (夏期冬期実測結果及び PMV 制御の検証), 空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集, pp.829~832, 1994.10

30) 青笹健, 吉野博：アトリウムの温熱環境に関する事例調査 垂直温度分布と空間構成との関連, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.1269~1270, 1994.9

31) 吉野博：アトリウムを斬る, 建築雑誌, VOL.109, NO.1358, pp.20~21, 1994.6

32) 日本建築学会編：アトリウムの環境設計, 彰国社, 1994.1

33) リチャード・サクソン：アトリウム建築—発展とデザイン, 鹿島出版会, 1988.10

(1995年7月10日原稿受理, 1995年12月14日採用決定)