熱画像を用いた建物外表面からの顕熱流量の解析

ANALYSIS OF THE SENSIBLE HEAT FLUX FROM THE EXTERNAL SURFACE
OF A BUILDING USING THERMOGRAPHY

梅干野 晃*, 浅野 耕一**, 金丸 剛久***

Akira HOYANO, Kohichi ASANO and Takehisa KANAMARU

In this study, the distribution of surface temperature on the surface of two buildings was measured using a thermal infrared camera. Two buildings having different characteristics were selected and surveyed in summer and winter for comparison with difference of weather conditions, especially solar radiation. Using time sequential thermography, the heat characteristics of each building were investigated and the surface temperature of each element of the building, which was classified according to temperature, shape, material and position, was obtained throughout the day. The sensible heat flux from whole observed building surfaces were calculated based on these measurements and the areas of all elements which was obtained from a blue print of the buildings.

Keywords : thermal infrared camera, thermography, external building surface, surface temperature, sensible heat flux
赤外線放射カメラ, 熱画像, 建物の外表面, 表面温度, 顕熱流量

1. はじめに

建物外表面の熱収支特性と屋外の微気候や都市気候との関連性を検討することは、熱環境の観点から快適な都市を計画する上で重要である。しかし、都市気候の数値計算モデルに対し、建物の空間形態の細部をどの程度まで考慮すべきかについては、実用的な指針が得られるに到っていない。その大きな要因の一つは、建物外表面の熱収支に対する実態の解明が、その非常に複雑な様相が故に、十分に進行していないためと考えられる。建物外表面の熱収支が複雑な様相を示すのは、建物外部における多様な空間形態や材料の熱的特性が、外表面の日射吸収や天空への放射冷却、対向面との放射授受、近傍の気流分布等の外界条件と深い関わりを持ち、屋内における冷暖房も大きく影響しているからである。

筆者らは既に、都市スケールでの地表面の熱収支を分析するため、単純な矩形の建物を都市気候の数値計算モデルに組み込む試みを行っている¹⁾。また、航空機よりスキャナーを用いて地上を鉛直下向き及び斜め下向きに見ることで、建物全表面の温度分布を捕らえ、GISデータを併用することで、地域レベルでの顕熱流量を試算している²⁾³⁾。その結果の一つとして、同じRC造建物地区又は木造建物地区どうしを比較しても、個体差が大きく現れることが確認された。個々の建物に対する材料や形態の差異が反映された結果と言える。しかし、複雑な形態や材料構成の建物における外表面からの放熱特性について詳細な実測調査結果の報告はほとんどみあたらない。そこで本報では、多様な形態や材料を有する建物からの顕熱流量の特性について実測調査を行う。調査結果は、都市気候の数値計算モデルに組み

込むべき建物モデルを検討する上での基礎資料となる。

顕熱流量の計測手法には、斉藤らのSAT計⁴⁾や、松尾らによる対流熱伝達率測定器の試作例⁵⁾が挙げられる。これらの手法は、顕熱流量を直接求められる利点を持つ。しかし、外表面上の一部分からの顕熱流量を求める装置であるため、これらを用いて建物全表面からの顕熱流量を求めることは困難である。そこで、面的情報を得られる赤外線放射カメラに着目する。筆者らは既に、赤外線放射カメラを用いた計測手法について検討してきた⁶⁾。本報ではこれらの知見をもとに建物全表面の温度分布を計測し、それらの結果から顕熱流量を算出する。

2. 実測概要

2.1. 実測対象建物の概要

測定対象には研究の第1歩として、材料構成や形態の全く異なる建物を2件選定した。これらの建物の共通点は外表面の形態や材料構成によるパッシブな手法で、屋根や外壁すなわち外表面の熱収支を調節することが設計の過程で考慮されていることである。特に日射調整の工夫が全体的に取り入れられている。

N建物は大阪市内の市街地にある実験集合住宅(地下1階, 地上6階建て)で、全18住戸から構成される。構造体は、鉄筋コンクリートの柱梁構造で表面は打ち放しである(以下、スケルトンと呼ぶ)。屋根・壁等の主な材料構成を付表1に示す。この建物は景観向上のため、中庭や屋上が植栽で覆われている。また、立面の各階には立体外廊下が設けられている。周囲には高層建築も見られるが、ほとんどが2階建ての木造家屋である。図

* 東京工業大学 教授・工博

** 東京工業大学 大学院生・修士(工学)

*** 東京工業大学 大学院生

Prof., Tokyo Institute of Technology, Dr. Eng.

Graduate Student, Tokyo Institute of Technology, M. Eng.

Graduate Student, Tokyo Institute of Technology

1(a)にN建物の外観、図3に5階平面図を示す。

F建物は、福島県いわき市にある住宅展示場内の木造2階建てのモデルハウスである。南側には8階建てのビル、北側は広場がある。屋根面の芝生や自然換気用の天窗・床下ピットが特徴的である。屋根・壁等の主な材料構成を付表2に示す。夏季は1階事務室(図2参照)のみ冷房運転し、冬季は温風と床暖房を併用している。図1(b)にF建物の外観、図4に断面図を示す。

2.2. 熱画像の収録条件

熱画像の収録には、2台の赤外線放射カメラを用いた^{#1}。1台は固定した状態での俯瞰撮影に用い、もう1台は俯瞰撮影で死角となる部位(軒裏、天井等)の移動計測に用いた。俯瞰撮影は建物の表面温度変化と日射や気温変動との詳細な対応を観測するため、1分間隔で24時間以上行った。図2に実際に行った俯瞰撮影の概念図を示す。

移動計測の時間帯は、外気温が最低となる日の出時の直前、表面温度が全体的に最も高くなる正午前後、躯体の蓄熱量の違いによる温度差が表れ始める日没直後に行った(表1)。日の出・日没時刻は実測現場での太陽の出没時刻を採用した。移動計測は、1時間以内に完了するようにした。移動計測対象のほとんどは日中に日影となるため温度変化が緩やかであり、計測結果の時刻補正は行っていない。図5にデータに用いた測定日の外気温・水平面全天日射量及び風速を示す。

(a) N建物(南立面)

(b) F建物

図1 測定対象とする建物の外観

図2 実測の概念図(熱画像の俯瞰撮影)

図3 N建物の5階平面図

図4 F建物の断面図

(イ) N建物における熱画像収録条件

俯瞰撮影は、立体外廊下を有する南立面が一望できるよう、道路を挟み向かい側の5階建てのビルの屋上から行った。顕熱流量の算出は、立体外廊下の日射調整効果等を把握するため、中庭に面した5階全表面（4階天井面～6階床面）を対象として行う（図3）。解析対象日の気象条件は、夏季の場合、気温が最高34.9・最低27.2・平均30.2℃、屋上風速は夕方に約7m/s近くまで達する場合もあるが、日中から夜間にかけては約3 m/s前後、深夜から明け方にかけては約1 m/s前後であった。冬季の場合は気温が最高12.1・最低1.4・平均6.7℃で、屋上風速は日中か

表1 移動計測を行った時間帯

	測 定 日	移 動 計 測 時 間 帯		
		日の出	正 午	日 没
N建物	夏季 1995.8.9	4:00～5:00	12:00～13:00	19:00～20:00
	冬季 1996.1.13	6:00～7:00	12:00～13:00	18:00～19:00
F建物	夏季 1995.7.28	4:30～5:00	12:30～13:00	19:00～19:30
	冬季 1996.2.7	6:30～7:00	12:30～13:00	18:30～19:00

図5 解析対象日の気象条件

ら夜間にかけては約2 m/s前後、深夜から明け方にかけては約1 m/s前後であった。屋内気温は、夏季は自然室温で28～31℃、冬季は終日暖房運転を行い20℃前後に保たれていた。

(ロ) F建物における熱画像収録条件

俯瞰撮影は、建物の前に設置した観測車の伸縮ポール先端（高さ7m）より、屋根面・南立面・西立面が一望できるように行った。撮影位置は日射による温度変化が大きいこと等を考慮して決定した。顕熱流量の算出は建物の全表面を対象とする。解析対象日の気象条件は、夏季の場合、気温が最高31.4・最低23.9・平均27.4℃、屋上風速は夕方に約6m/s近くまで達する場合もあるが、日中は約4～5 m/s、夜間は約1～2 m/sであった。冬季の場合は気温が最高7.8・最低1.3・平均3.3℃で、屋上風速は終日約1～3 m/sであった。F建物の空間構成は、一階の西側にある事務室以外は、ほぼ全ての部屋が空間的に連続しており（図4）、従って屋内気温も2種類に大別される。夏季は一階事務室（図2 b参照）で日中に冷房運転を行い28℃前後、それ以外の部屋は自然室温で27～29℃であった。冬季は一階事務室は空調をしており24℃前後に、その他では床暖房を行い23～25℃前後に保たれていた。

3. マルチテンポラル熱画像による考察

3.1. マルチテンポラル熱画像の作成方法

建物の外表面温度分布の日変化、すなわち3つの時刻における熱画像を一枚のRGB画像に合成した。本報ではこれをマルチテンポラル熱画像（MT熱画像）と呼ぶ。この画像により、外表面温度分布の日変化の特徴を、建物や季節の間で視覚的に比較する事が容易となる。MT熱画像の作成は以下の手順に従った。

- 1) 日の出・正午・日没後の各熱画像のヒストグラムを作成する。
- 2) ヒストグラムの累積比率を求め、5～95%を採用する。
- 3) 温度スケールの中央値を外気温とし、それに応じて温度表示範囲を決定する。
- 4) 早朝を青、正午を赤、日没後を緑とし、各熱画像を単色スケールで表現する。スケールは明度が大きいほど高温とする（具体的な時刻は図8・9の注釈を参照）。
- 5) 4で作成した3色の画像を加算混合する。

図6に温度スケールの決定方法をヒストグラムで示した。図7は参考までに上記の手順3を省いて作成したMT熱画像である。この一枚の画像より、日の出・正午・日没時の放射温度分布を把握できるが、放熱状況を知ることはできない。手順3で温度スケールの中央値を外気温に設定することで、建物外表面の温度が外気温より高いか低い、すなわち放熱か吸熱状態かを、色度より判断できる。図8はN建物の夏・冬におけるMT熱画像、図9はF建物の夏・冬におけるMT熱画像である。図9の右下に放熱状況を判断するためのカラースケールを示す²⁾。

3.2. MT熱画像に対する考察

(イ) N建物のMT熱画像に対する考察

夏季と冬季のMT熱画像を比較すると、夏季は全体的に色度が低く、冬季は全体的に色度が高い。この季節間の違いの主要

図6 MT熱画像における温度スケールの決定方法
(本文中の手順1～3に対応)

因には、直達日射の入射状況や暖房運転の有無が挙げられる。

夏季の画像で赤い部分のほとんどが、日除けが設けられていない立面である。これらは日中に直達日射を受けて外気温より高温になるが、夜間は天空への放射により冷却される部位である。立体外廊下内部は青系統の色を示している。日中に直達日射を受けず、外気温と同等かそれ以下の表面温度に留まるが、夜間の天空への放射による冷却が促進されず、日の出時には外気温より高くなったことを意味している。スケルトンは全体的に白に近い。コンクリート打ち放しのため、日中に受けた日射熱が夜間も蓄熱されているためである。

冬季は立体外廊下内部を含む大部分が淡色である。これは低い高度からの直達日射を受けて受熱日射量が増大し、更に暖房運転の影響も加わり、終日に渡り放熱する結果となった事を意味する。立体外廊下内部が淡青色を示す要因は、直達日射のあたらない部分が依然と存在することや、夏季と同様、夜間の天空への放射による冷却がほとんど行われないことである。

(ロ) F建物のMT熱画像に対する考察

夏季は1階西立面が濃い緑、それ以外の部位は濃い赤を示した。一階西側の事務室の部分が濃い緑を示したのは、日中は日影で且つ冷房運転の影響で低温にあり、夕方の西日で高温化するが、日没時には再び外気温との温度差が縮まったためである。また、濃い赤を示した部位は木の板張りの外壁面であり、比較的热容量が低く、日中は高温化するが夜間まで蓄熱されにくい。

これに対して冬季は屋根面を除くほとんど全ての部位が白に近く、終日に渡り放熱していたことが分かる。特に天窓や軒裏・開口部・布基礎等が淡青であることから、暖房運転の熱が屋内から外に流れている現象が読みとれる。次章以降では、本章で考察した現象を定量化し、建物の放熱現象の実態を明らかにする。

4. 建物外表面の分割と温度抽出

4.1. 建物外表面の分割方法

建物外表面からの顕熱流量と、建物の材料・形態との関係を考察するため、外表面を分割して部位毎に表面温度を抽出する。建物外表面をどの程度詳細に分割して扱うかは、各部位の形態・材料等から検討する。部位のスケールは、a)全体を包括する形態、b)架構(柱・梁等)の構成に基づく凹凸、c)開口部周りの凹凸、d)躯体への付設部位、e)表面のテクスチャの5段階に分ける。

これらのうち、a～cについては、日射や天空への放射による加熱・冷却効果が表面温度に反映される要素として無視できない。dの付設部位には、手摺・屋外階段・照明装置や室外機等が挙げられる。これらのうち、総表面積の大きい手摺・屋外階段、面積は小さいが表面温度の大きい照明装置や室外機は考慮する。eの要素における表面のテクスチャは、本報は考慮しない。波形スレート等に対しては考慮すべきだが、本報はそのような部位がなかったためである。よって本報では、建物の外表面をa～c及びdにおける手すり・屋外階段・照明装置まで扱う。なお、表面積は縮尺100分の1の設計図面より算出した。測定対象とする外表面の総面積はN建物(5階南立面)で721m²、F建物(全面)で649m²であった。

4.2. 各部位の表面温度抽出方法

各部位の材料や形態等と外表面温度との関係を検討するため、まずはじめに、特定の部位毎に温度を抽出した。建物外表面の部位への分割は材料や形態の違いに基づいて行った。抽出する表面温度は各部位に対応したポリゴン毎の画素値の平均とした。

俯瞰撮影による熱画像からの表面温度抽出方法を以下に示す。

- 1) 熱画像の収録時に生じる広角レンズの歪み、走査による歪みを補正する。
- 2) 熱画像に写された建物を、各部位に対応したポリゴンで分割し、表面温度を抽出するためのレイヤーを作成する。
- 3) 2で作成したレイヤーを俯瞰撮影した熱画像に重ね、各部位の画素値を平均して抽出し、表面温度とする。

俯瞰撮影した熱画像の空間分解能を下回る大きさであったり、死角で見えない部位の表面温度は、移動計測で得た熱画像から部位をポリゴンで囲み、その中の平均温度を用いる。表面温度を得るために分割した部位の総数は、N建物で185個、F建物で182個である。図10に各部位の温度を抽出するために用いたレイヤーを示す。

4.3. 建物外表面温度の日変化

図11に建物の各部位における表面温度の外気温との差の日変化を示す。a・bはN建物、c・dはF建物における計測値である。俯瞰撮影された熱画像に基づいているため、建物の全表面を対象としていない。外界気象条件や建物の条件が表面温度に比較的反映されやすい立面として、N建物は南面、F建物は南・西・屋根面の値を表している。

(イ) N建物における外表面温度の日変化

方位や部位は限られているが、夏季は冬季と比べると全ての部位で外気温との差が極めて小さい。外廊下のある壁面の値は、

(a) 夏 R (27, 42) G (28, 32) B (24, 29)

(b) 冬 R (7, 31) G (7, 15) B (1, 9)

図7 N建物のマルチテンポラル熱画像 (括弧内は表示温度の最小・最大値)

(a) 夏 R (24, 33, 42) G (28, 31, 34) B (24, 27, 30)

(b) 冬 R (-9, 11, 31) G (3, 9, 15) B (-5, 2, 9)

図8 気温を中央値としたN建物のマルチテンポラル熱画像 (括弧内は表示温度の最小・中央・最大値)

(a) 夏 R (18, 32, 46) G (23, 29, 35) B (20, 24, 28)

(b) 冬 R (-11, 6, 23) G (-1, 3, 7) B (-2, 2, 6)

図9 気温を中央値としたF建物のマルチテンポラル熱画像 (括弧内は表示温度の最小・中央・最大値)

※図8・9におけるカースケール

各季節と時刻を左図のように割り当て、各RGBの温度表示範囲を決定する。更に、各時刻の気温を中央値とし、各RGBの温度範囲を表す。単位は℃である。右図において+は放熱側を、-は吸熱側を表す。(注2)

(a) N 建物

(b) F 建物

図10 熱画像上に示した部位毎の表面温度を得るための主なレイヤー
(図中の番号は同じ建物において図11の番号に対応)

(a) N 建物—夏季

(b) N 建物—冬季

(c) F 建物—夏季

(d) F 建物—冬季

図11 建物の各部位における"表面温度－外気温"の日変化
(図中の各番号は図10の各番号に対応)

外廊下が直達日射を遮るため、日中でも $\pm 2^{\circ}\text{C}$ 以内におさまった。夜間はほとんど全ての部位が $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 以内であった。

冬季は直達日射が外廊下内の外壁面まで到達し、室内は終日暖房運転もしていたため、ほとんど全ての部位の表面温度が終日気温より高く、その差は最大で夜間に 5°C 、昼間には 25°C 以上であった。

(ロ) F建物における外表面温度の日変化

方位・部位の対象範囲が広いので、N建物と比べて変動幅が大きいのが特徴である。夏季は日中の午前に直達日射の当たらない西面1階の漆喰壁や基礎部分の表面温度が外気温より 7°C ほど低く、午後になると全部が外気温より高くなった。夜間には壁面の熱容量が小さいことが反映され、全ての面が外気温より低くなった。

冬季も夏季と同様、午後に全ての部位が外気温より高くなった。その差は最小で 3°C 、最大で 23°C であった。午後4時になると、F建物の南側に位置するオフィスの日影となり、全ての部位が5時までには外気温との差が 5°C 以下になるまで冷却された。夏季の夜間に外気温以下だった基礎部分や開口部周辺は、暖房の影響により、冬季の夜間には常に外気温より 5°C 程度高かった。

5. 建物の全表面からの顕熱流量

5.1. 顕熱流量の算出方法

熱画像より得た各部位の表面温度と、設計図面より得た面積をもとに、N建物の5階における全表面及びF建物全体の全表面からの顕熱流量を求めた。対流熱伝達率及び外気温には全ての部位に対して一定値を適用した。本報での解析対象は比較的弱風の条件下にあったため、対流熱伝達率の誤差の影響が相対的に小さく、上記の仮定の下でもある程度の考察は可能とした。対流熱伝達率の算出には、屋上風速とユルグスの式を用いている。すなわち、顕熱流量の算出結果は各部位毎の局所熱伝達率

を考慮していない。実際の建物の外表面における対流熱伝達率には分布が存在するが、現在の技術ではそれを計測することは不可能なため、今後の重要な研究課題の一つである。

図12にN建物、図13にF建物のそれぞれ夏季及び冬季における顕熱流量の日変化を示す。図中の凡例は、前述の細かく分割した部位をそれぞれのカテゴリーで類型化した結果であり、各部位ごとに算出した顕熱流量はカテゴリーごとに積算した値で示している。図12における付設部位は手摺を含む屋外階段の全表面を示している。グラフ下部の「 $\alpha =$ 」に続く数値は、各時刻に対して用いられた対流熱伝達率 ($\text{W/m}^2\text{K}$) である。

5.2. 顕熱流量の日変化に対する考察

前章までの結果で示したとおり、N建物では、主に立体外廊下による日射の調節・及び冬季の暖房運転の影響が、外表面からの放熱状況に大きく影響している。F建物では、主に外表面が全体的に熱容量の小さい材料で構成されていること、冬季の暖房運転の影響が放熱状況に大きく影響している。本章ではこれらの要素を中心に、各建物からの顕熱流量の日変化との関連性を考察する。

(イ) N建物の5階南立面からの顕熱流量

5階壁面は立体外廊下内にあるため、夏季の高い高度からの直達日射をほとんど受けず、顕熱流量は吸熱方向に 1 kW であった。立体外廊下による日射遮蔽のない6階床面が 8 kW もの放熱量であった事と対照的である。冬季は低い高度からの直達日射を受けて受熱日射量が増大し、更に暖房運転の影響も加わった結果、終日にわたって全表面から放熱していた。その量は夏季の10倍以上もあり、正午には5階壁面からの顕熱流量だけで、夏季の全放熱量を上回る 25 kW となった。立体外廊下による直達日射の調節機能が非常に効果的に働いている。しかし、日の出時の顕熱流量が夏・冬とも正午の半分近くにも達している。実際、深夜から早朝にかけての立体外廊下内部は、体感的にもかなり蒸し暑くなっていた。日の出時の屋上風速が約 1 m/s と弱風であ

図12 N建物からの顕熱流量

ることや、立体外廊下が天空への放射による冷却を妨げていることが要因と言える。

夏季の日没時に全部位が吸熱に転じているが、その理由は、外気温が外表面温度よりも緩やかに低下していたためである。しかし、移動計測直後の午後8時頃から外気温が大きく低下し、一部の部位は放熱側に転じた。なお、外部の照明器具からの顕熱流量は全体の2%に満たないため、グラフからは除いた。

(ロ) F建物の全表面からの顕熱流量

全体的に熱容量の小さい建物であることが顕熱流量に反映されている。夏季の日の出時には夜間の天空への放射冷却により、全ての部位からの顕熱流量が吸熱方向であったが、正午には直達日射を受けて全て放熱側に転じた。冬季は暖房の影響で、3つの時間帯とも付設部位と屋根面を除く全ての部位から放熱していた。両季節のどの時間帯においても、放熱・吸熱量ともに屋根面の占める割合が一番大きい。夏季と冬季を比較すると、夏季の日の出時は、終日暖房運転の行われた冬季の日の出時と比べ、3倍もの吸熱量であり、両季節の日の出・日没時の中で最大値を示した。夏季の正午には日射の影響で放熱量が冬季の正午の1.5倍になった。

6. まとめ

材料・形態的特徴の異なる2つの建物として、立面に凹凸を有するRC造建物(N建物)と、比較的単純な形態の木造建物(F建物)を選定し、赤外線放射カメラを用いて表面温度分布^{注1)}を計測した。N建物については5階の南立面、F建物については全表面を対象に、夏季と冬季における顕熱流量の日変化を求め、立面の凹凸や材料の熱容量、暖房運転の有無等が顕熱流量に与える影響を考察した。

本報は特定の建物を対象としており、気象条件も夏季と冬季の晴天日に限られているが、実測データをもとに建物の全外表面からの顕熱流量を詳細に求めた初めての試みであり、都市気候の数値計算モデルに組み込むべき建物モデルを検討する上での基礎資料を得ることができた。今後は更に計測を重ね、資料の蓄積をしていきたい。

おわりにあたり、N建物の実測には、大阪ガス(株)の勝瀬進氏、F建物の実測には岩村アトリエの岩村和夫氏・(株)いわきニュータウンセンターの方々、赤外線放射カメラの使用については日本電気三栄(株)の松永徹志氏の協力を得たことをここに記して深謝の意を表す。

注1) 熱画像の取り扱いについて

熱画像で得られる温度は放射温度であるが、表面温度への変換は現時点の研究段階では困難である。そこで放射率が極めて小さい部位を除き、放射温度をそのまま表面温度とみなして取り扱う。俯瞰撮影では遠隔から空間分解能の高い画像を得る必要があったため、赤外線放射カメラの測定波長帯は大気窓領域である8~12μm帯を用いた。移動計測では、ガラスの放射温度を主に計測するため、ガラスの単色放射率が0.95以上となる6~8μm帯のカメラを用いた。この波長帯は水蒸気吸収帯であるが、数mの近距離から計測したため大気補正は不要とみなした。

熱画像によるガラスの放射温度計測、及び赤外線放射カメラの仕様の詳細については文献6を参照のこと。

注2) RGBの加算混合による画像について

合成画像上の色光Cは、各色R・G・Bの刺激量を表す $r \cdot g \cdot b$ を用いて $C=rR+gG+bB$ と表すことができる。このことから3原色を3軸とする直交座標(色度座標)によって色Cを表現すると、色の違いはベクトルの方向の違いで表現され、ベクトルの長さは色光の明るさに対応する。なお、気温を基準に合成した画像では、刺激量の中央を境に $r \cdot g \cdot b$ が大きくなると放熱側に、小さくなると吸熱側となり、1日を通した建物からの熱の移動方向を一枚の画像から知ることができる。

注3) 本論文は文献7・8・9に発表した内容を、加筆・修正したものである。

付表1) N建物の主な構成材料(数値の単位はmm)

構造体	コンクリート打ち放し(立体外廊下スラブ厚180)
外壁仕上	アスロックタイル又はステンレスパネル
外壁下地	ALC板厚100又はアスロック厚60
断熱材	グラスウール厚75
	及び発泡ウレタンフォーム厚50
窓	二重ガラス(ガラス厚3, 空気層厚12/6), アルミサッシ

付表2) F建物の主な構成材料(数値の単位はmm)

屋根	芝生植栽, 盛り土厚70~80, 保水・排水用パネル厚50, 杉縁甲板厚38
外壁仕上	杉縁甲板厚15又は漆喰+合板厚12
外壁下地	通気層厚16及び通気シーリングボード厚12
断熱材	グラスウール厚100
窓	ガラス厚3, アルミサッシ

引用文献

- 1) Akinaru Iino and Akira Hoyano: "Development of a method to predict the heat island potential using remote sensing and GIS data," Energy & Building, 23, pp.199-205, 1996
- 2) 梅干野晃, 古賀和博他: サイドルッキング航空機MSSデータを用いた丘陵開発地域の顕熱流量の解析, 日本建築学会計画系論文報告集, 第462号, pp49-58, 1994年8月
- 3) 梅干野晃, 飯野秋成他: サイドルッキング航空機MSSデータを用いた丘陵開発地域のヒートアイランドポテンシャルの計量及び土地被覆との関係の検討, 日本建築学会計画系論文報告集, 第471号, pp29-37, 1995年5月
- 4) 斉藤平蔵: 相当外気温度, 日本建築学会環境工学委員会熱分科会第8回熱シンポジウム, pp29-36, 1978年
- 5) 中嶋まどか, 永田明寛他: 建物外表面の対流熱伝達率に関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 環境工学II, pp157-158, 1995年8月
- 6) 梅干野晃, 内山一雄他: 多重分光熱画像を用いた建築外部空間における放射温度計測に関する基礎的研究, 日本建築学会計画系論文報告集, 第459号, pp17-25, 1994年5月
- 7) 梅干野晃, 浅野耕一他: 熱画像を用いた凹凸を有する建物立面の放射温度分布特性の解析, 日本リモートセンシング学会第19回学術講演会論文集, pp227-230, 1995年11月
- 8) 金丸剛久, 梅干野晃他: 立体外廊下等の凹凸を有する建物立面における夏冬の顕熱, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 環境工学II, pp127-128, 1996年9月
- 9) 梅干野晃, 金丸剛久他: マルチテンポラル熱画像を用いたRC造建物外表面からの顕熱, 日本リモートセンシング学会 第21回学術講演会論文集, pp181-184, 1996年11月

(1997年1月10日原稿受理, 1997年5月15日採用決定)