

# 金属部品工場におけるスチールシャッターの 断熱性の向上に関する研究 —金属部品製品の表面結露の防止対策—

飯野 秋成\*, 近藤 拓也\*\*

(平成 28 年 10 月 31 日受理)

Improvement of thermal insulation properties of steel shutters of a factory  
- To prevent dew condensation on metal components' surfaces -

Akinaru IINO\* and Takuya KONDO\*\*

In this study an ability to improve thermal insulation properties of steel shutters installed at factories was considered. At the first stage heat transmission coefficient of a steel shutter with inward air layer constructed using thin vinyl sheet, were calculated with measured data of air temperatures in and around a steel storeroom and amount of heat flow. And also the effect of inward air layer to prevent the dew condensation on metal components' surfaces in a factory was verified with measured data of winter thermal environment.

Key words: Factory, Shutter, Thermal insulation properties, Thermal transmittance

## 1. はじめに

わが国における中小工場の多くは、鉄骨造を基本に作られている。工場の屋根や壁は簡易な断熱が施される場合が多いが、近年では、空調のランニングコスト削減、および従業員の温熱快適性の確保のために、屋根の遮熱性を高めたり、壁の断熱性を高めたりする例も多くみられるようになってきた<sup>1)</sup>。しかし、搬出入口の開閉に用いられるスチールシャッター部分の断熱性については、労働条件の改善という観点ではさほど重要視されるものではない、という考え方から、断熱性向上のための工夫は現状あまりみられない。

中小工場の中で、特に金属部品の製造を主とする工場に注目すると、仕上がった金属部品製品は、その熱容量の大きさから、1 年を通じて室内空気との温度差が生じやすい状況にある。工場内の温湿度調節が適切でない場合は金属部品に結露が生じ、製品の品質に重大な影響を与えることも懸念される。特に、冬季の年末年始の休業期間中では、工場内の

---

\* 新潟工科大学工学部工学科教授 Professor, Department of Engineering, Niigata Institute of Technology

\*\* 株式会社阿部建設 Abekensetsu Co.

暖房停止の継続によって、室内の絶対湿度が高く保たれたままに室温が大きく下がることで、金属部品製品の表面結露が錆を招く事態も起こっており、製品に防錆剤を塗布するなどの手間をかけている工場も多くみられる[2],[3]。

このように、金属部品製品の表面結露防止という観点から考えれば、少なくとも冬季の休業期間の数日間～十数日間の間も空調を徹底することは有効であるが、そのランニングコストを考えれば、むしろその期間の室温の低下を建物全体の断熱性を向上させることで緩やかにする方策の方がより望ましい。その意味において、天井や内壁の断熱性だけでなく、工場の室内側総面積に占める割合が比較的大きくなるスチールシャッターの断熱性[4]を簡易に向上させることの効果も、検討の余地がある。

本研究では、コストや作業の観点から、スチールシャッター自体を断熱性の高いものに交換するのではなく、シャッターの室内側に空気層を形成することによる工場内の温熱環境を改善することの可能性を検討した。このとき、シャッターの開閉を妨げない方法とする、という点も配慮した。まず予備実験として、金属製の簡易物置を用い、スチールシャッターの室内側に独立して開閉できるシートの敷設、および気泡緩衝材の貼付などにより空気層を確保する方法を主軸として複数のケースを設定して、熱貫流率を算出した。次に、実際の金属部品工場における室内気温分布やスチールシャッター周辺の表面温度分布を、12月～1月の冬季休業期間を挟んで継続的に測定し、スチールシャッターの断熱性の確保による金属部品の表面結露防止の可能性を考察した。

## 2. スチールシャッターの断熱性に関する実測調査

### 2.1 実測の方法

写真 1 に示す金属製の簡易物置を工場に見立てて、スチールシャッター、空気層、室内側シートの組み合わせた場合について、冬季の断熱性を熱貫流率で評価することを試みた。簡易物置の平面図と断面図、および測定機器の設置場所を図 1 に示す。スチールシャッターは南東に面しており、4つのブースが直列している。このことを利用して、ブース間を発砲断熱材で区切り、4ブース内の空気をそれぞれヒーターで温めながら、中央2ブースのスチールシャッターの法線方向の一次元熱流と表面温度、空気層温度等を計測した。そして、ヒーターの発熱が極端な室温分布を生じないように、室内各表面の熱伝達率に影響のない電池式小型ファンで、緩やか



Photo 1 Storeroom for experiment  
(Kashiwazaki, Niigata, JPN)

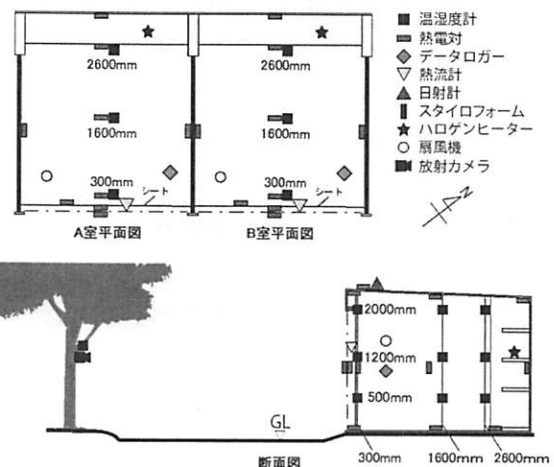


Fig.1 Plan and section of storeroom  
and measurement points

に室内空気を攪拌した。

計測期間、時間帯、測定項目、および測定 CASE の一覧を表 1 に示す。計測は夕方から明け方までの間とした。そして、スチールシャッター単独の場合 (CASE1) を比較対象として、空気層を設けた場合 (CASE2)、スチールシャッターまたはビニールシート (厚さ約 0.25[mm]) の空気層側にアルミ箔を組み合わせた場合 (CASE3,4,5)、気泡緩衝材などを直接貼り付けた場合 (CASE6,7) のそれぞれについて、熱貫流率を求めることとした。なお、スチールシャッターは内側収納となっており、天井面に凹凸があって完全密閉が困難であったため、シートの上部を天井から 250[mm]、下部を床 50[mm] の位置から設置して、空気層の厚さ約 150 [mm] の半密閉の状態を形成した<sup>注 1)</sup>。このため、空気層内の温度成層の条件により、空気層内の空気が上昇または下降することもある<sup>注 2)</sup>。

2.2 実測結果および考察

計測期間中の日照時間、および日平均外気温を図 2 に示す。日照時間は 12 月 17 日を除いてほぼ直射のない期間となっている。金属製の簡易物置の熱容量及びスチールシャッターの向く方角を考えると、夕方以降に太陽熱の影響が残る状況ではなかった。また、天気は期間を通じて曇りであった。

12 月 20 日におけるスチールシャッター付近の室温の水平分布と鉛直分布、および表面温度の日変化の例を図 3 に示す。19:00 に室内のヒーターを ON にしたところ、22:00 頃には外気温、室温およびシャッターの法線方向の温度分布はほぼ定常状態となった。また、内外の気温差に注目すると、CASE1 より CASE 2 の方が約 2.0[K]大きく、シートにより室内側に空気層を設ける効果は大きい。さらに空気層側を向く両面にアルミ箔を貼り付けた場合には、内外温度差は 2.5[K]となった。シャッターの外表面温度は、CASE1,

Table 1 Measurement schedule and cases

| CASE        | CASE1  | CASE2                         | CASE3                                       | CASE4                           |
|-------------|--|-------------------------------|---|---------------------------------|
| シャッター       | B室   | A室                            | B室  | A室                              |
| 調査内容        | シャッターのみ<br>厚さ0.5mm(スチール組合せ)  | シート厚: 0.25mm<br>空気層厚: 150mm   | シート+アルミ箔(空気層<br>厚のみ)、空気層厚: 150mm            | シャッターの空気層側に<br>アルミ箔、空気層厚: 150mm |
| CASE        | CASE5  | CASE6                         | CASE7                                       |                                 |
| シャッター       | A室   | B室                            | B室  |                                 |
| 調査内容        | シャッター・シート間に<br>空気層側にアルミ箔、<br>空気層厚: 150mm   | シャッターに気泡緩衝材<br>貼付、ダンボール厚: 2mm | シャッターに気泡緩衝材貼付<br>気泡緩衝材の仕様:<br>厚さ10mm、長さ50mm |                                 |
| 測定項目と設置場所   | 1) 気温・相対湿度: シャッターから室内方向および屋外方向の水平分布、および室内の鉛直分布 (小型温度湿度計)<br>2) 表面温度: シャッター近傍の床面および天井面、倉庫壁面、シャッター面、シート (熱電対)<br>3) 放射温度 (熱画像機): シャッター面 (赤外線放射カメラ)<br>4) 熱流: シャッターの室内側表面 (熱流計) |                               |   |                                 |
| 室内の暖房方法     | 左の各日程において、19:00から22:00の3時間、ヒーターをONにする。あわせて、電池式小型ファンにて室内空気の攪拌を行う。   |                               |   |                                 |
| 日付          | シャッター  | A室                            | B室  |                                 |
| 2013年12月13日 |  | CASE4計測                       | CASE6計測                                     |                                 |
| 2013年12月14日 |  | CASE5移行                       | CASE7移行                                     |                                 |
| 2013年12月16日 |  | CASE5計測                       | CASE7計測                                     |                                 |
| 2013年12月17日 |  | CASE1移行                       | CASE2移行                                     |                                 |
| 2013年12月18日 |  | CASE1計測                       | CASE2計測                                     |                                 |
| 2013年12月19日 |  | CASE3移行                       |   |                                 |
| 2013年12月20日 |  | CASE3計測                       |   |                                 |

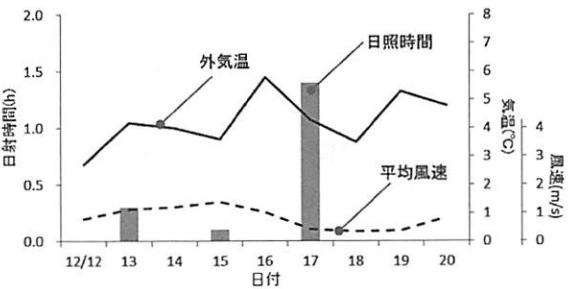


Fig.2 Weather conditions (Dec.12 - 20, 2013)

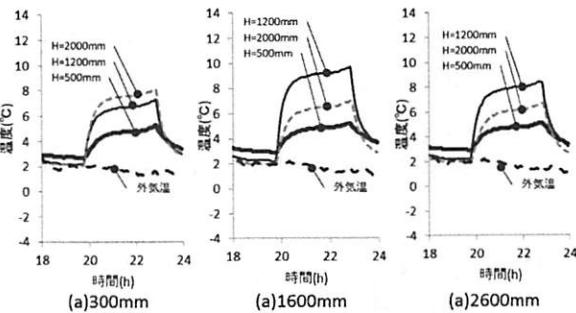


Fig.3 Air temperature distribution at each distance from steel shutter surface, and at each height

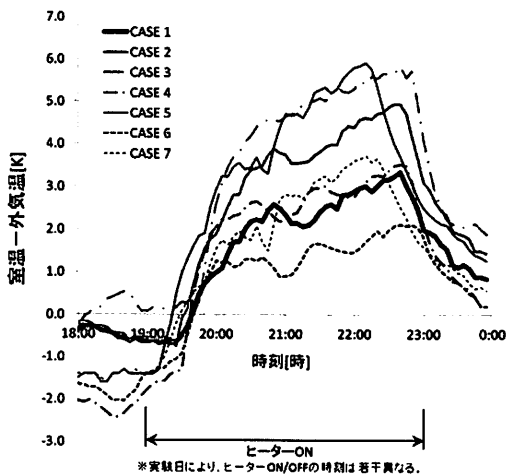


Fig.4 Difference between indoor air temperature at each distance from steel shutter surface and outdoor air temperature at each case

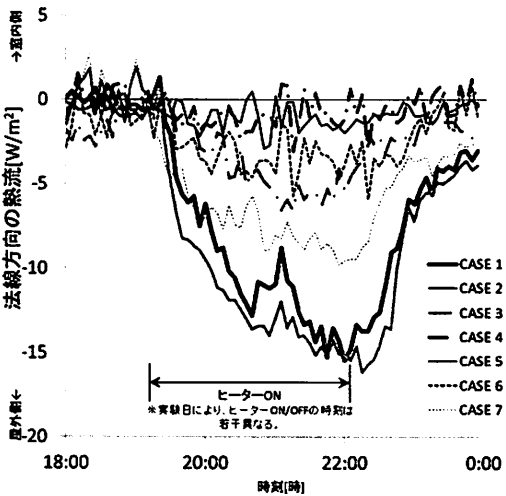


Fig.5 Changes of amount of heat flow on steel shutter surface

6, 7に比べて、その他のケースで 1.0～3.0[K]低く、室内の暖房の影響がより小さくなった。

図 4 に、シャッターから室内側 300[mm]の位置における室温に注目し、外気温との差を示した。空気層のない CASE1 では最大約 3.2[K]となっているが、空気層を設けた CASE2 では約 4.8[K]、アルミ箔をシート側に貼った CASE3 と、空気層を向く両面に貼った CASE5 では約 5.5[K]となった。外気温が異なる条件であることを考慮しても、空気層とアルミ箔の断熱効果が明確に表れている。また、シート側にアルミ箔を設けた CASE4 と、ダンボールや気泡緩衝材を用いた CASE6,7 のいずれも、CASE1 との大きな差は見られなかった。

さらに、シャッター面における法線方向の熱流の変化を図 5 に示す。ヒーターON とともに、CASE1,2,7 で屋外方向の熱流が急激に大きくなり、CASE1 と 2 で最大約 16.0[W/m²]、CASE7 で最大約 10.0[W/m²]まで到達した。CASE3,4,6 では、外気温が他の CASE に比べて 2～3[K]低かったが、熱流は屋外方向にそれぞれ約 2.0[W/m²]、約 5.0[W/m²]と比較的小さい値であった。

以上の測定データを用いて、CASE ごとの熱貫流率を算出することを試みた。熱貫流率の算出にあたっては、熱流の時間変動が小さく、かつシャッター近傍の外気温及び室温の変動も小さい時間帯を抽出し、熱流を内外気温差で除すことによって求めた。結果を表 2 に示す。現状のスチールシャッターのみの CASE1 では 7.36[W/m²K]となったが、シートを設置して空気層を設けた CASE2 では 3.42[W/m²K](CASE 1 の約 46%)、シャッターとシートの両面にアルミ箔を貼付した CASE5 では 0.72[W/m²K](同約 10%)となった。また、気泡緩衝材をシャッターの室内側に直貼りした CASE7 では 3.51[W/m²K](同約 48%)となった。熱貫流率

Table 2 Heat transmission coefficient at each case

|       | 室内側温度 $\theta_r$<br>(°C) | 外気側温度 $\theta_o$<br>(°C) | 熱流 $q$<br>(W/m²) | 熱貫流率 $K$<br>(W/m²K) |
|-------|--------------------------|--------------------------|------------------|---------------------|
| CASE1 | 6.2                      | 4.1                      | 15.46            | 7.36                |
| CASE2 | 7.6                      | 4.1                      | 11.96            | 3.42                |
| CASE3 | 6.5                      | 1.9                      | 6.57             | 1.43                |
| CASE4 | 5.4                      | 2.2                      | 6.03             | 1.88                |
| CASE5 | 9.8                      | 5.1                      | 3.38             | 0.72                |
| CASE6 | 4.1                      | 2.2                      | 12.87            | 6.77                |
| CASE7 | 7.9                      | 5.1                      | 9.82             | 3.51                |

の差で考察すると、シャッターの室内側に密閉が完全ではない空気層を設けた場合には熱貫流率は約  $3.9[\text{W}/\text{m}^2\text{K}]$  小さくなり、また空気層側に向く両面にアルミ箔を貼ることによって熱貫流率はさらに約  $2.7[\text{W}/\text{m}^2\text{K}]$  小さくなることが示された。また CASE7 の気泡緩衝材の断熱性は、CASE2 の空気層の断熱性とほぼ等しいことが示された。

3. 金属部品工場内の冬季の温湿度環境に関する実測調査

3.1 冬季実測の方法

新潟県小千谷市内にある D 社の金属部品工場を対象として、室内温湿度の実測調査を行った。工場の外観を写真 2、平面図と断面図、および工場内の温湿度計の設置位置を図 6 に示す。工場の天井高は約  $4,200[\text{mm}]$  であり、天井裏には約  $600[\text{mm}]$  の空気層がある。また、主要な搬入口は東側に位置し、この入り口のスチールシャッターの室内側には、手で巻く方法によって開閉できるポリエチレンのシート（厚さ約  $0.25[\text{mm}]$ ）が取り付けられている。

工場内の温湿度は、床上  $500[\text{mm}]$  から天井付近  $4,000[\text{mm}]$  までの鉛直分布および東西方向の水平分布に注目し、垂直のポールに小型温湿度計を接着して自動計測した。工場の中央のポール（図 6 記載の測定点の⑨～⑬）、およびシャッター付近のポール（同⑭～⑯）の間には棚が設置されており、金属部品製品がむき出しでストックされている。北東側の事務室は独立した空調空間となっており、工場内の温湿度への直接的な影響は小さいと考えられる。

測定期間は 2013 年 12 月 29 日～2014 年 1 月 5 日であり、2013 年 12 月 30 日 18:00～2014 年 1 月 2 日 18:00、および 2014 年 1 月 3 日 23:00～2014 年 1 月 5 日 2:00 は冬季休業期間中であり、暖房は停止していた。スチールシャッターの室内側のシートの有無による金属部品製品への影響を考察するため、12 月 29 日正午から 1 月 2 日正午まではシートを外し、それ以外の期間はシートを設置した。



Photo 2 Factory for measurement (Odiya, Niigata, JPN)

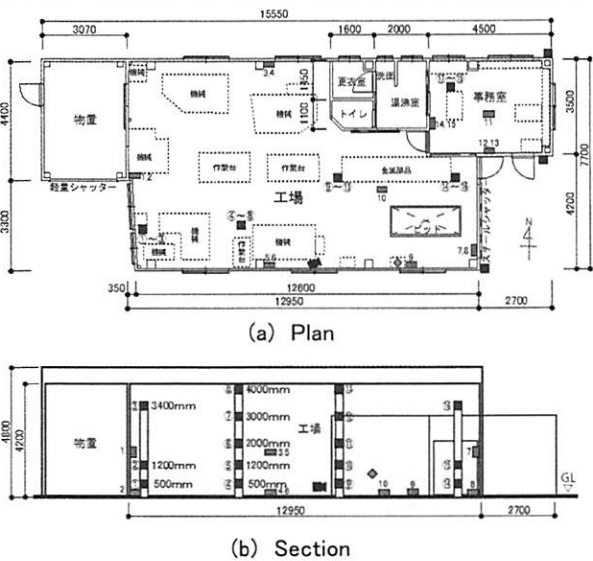
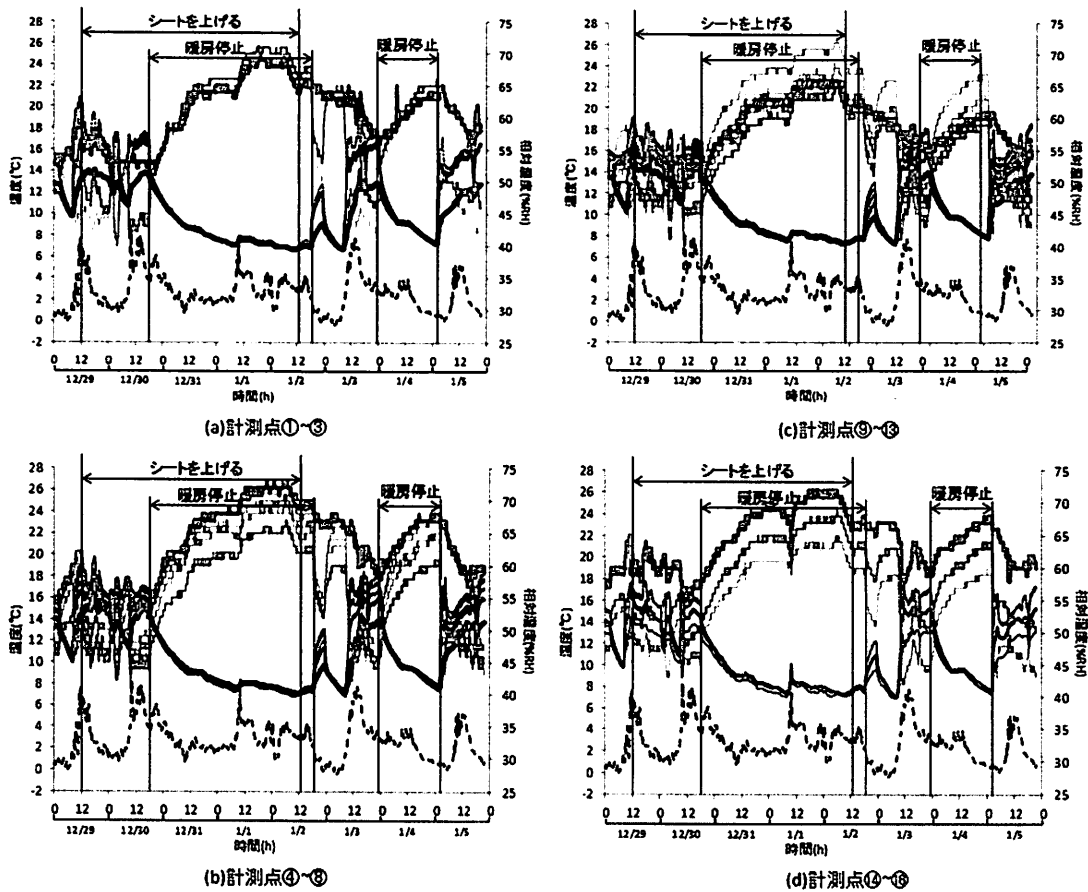


Fig.6 Plan and section and measurement points



※黒実線は室温、灰実線は相対湿度であり、いずれも高いほど計測高度が高い。点線は外気温を示す。

Fig.7 Changes of air temperature and relative humidity in factory during winter holidays

### 3.2 実測結果と考察

測定期間中の工場内の温湿度の変化を図7に、工場内各所の表面温度の変化を図8に示す。

まず、シートを外している場合においては、暖房停止期間中は金属部品がストックされている高さの⑨～⑪の室温は、それ以上の高さ⑫、⑬より約2.0[K]低かった。暖房運転期間中は鉛直方向の室温差は、例えば測定点⑨と⑬で最大約3.0～4.0[K]と大きくなっており、金属部品の表面温度はその近傍⑨～⑪の室温より約1.0[K]高くなった。ただし、暖房を停止後約半日～1日経過すると約1.0[K]低くなる。暖房停止期間中の開口部はすべて閉じており、工場内の空気中の水蒸気量が一定のまま室温が大きく下がることになる。すなわ

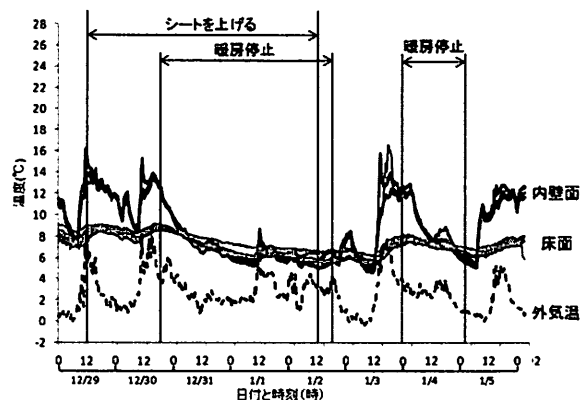


Fig.8 Changes of surface temperature of inward wall surfaces and floors in factory

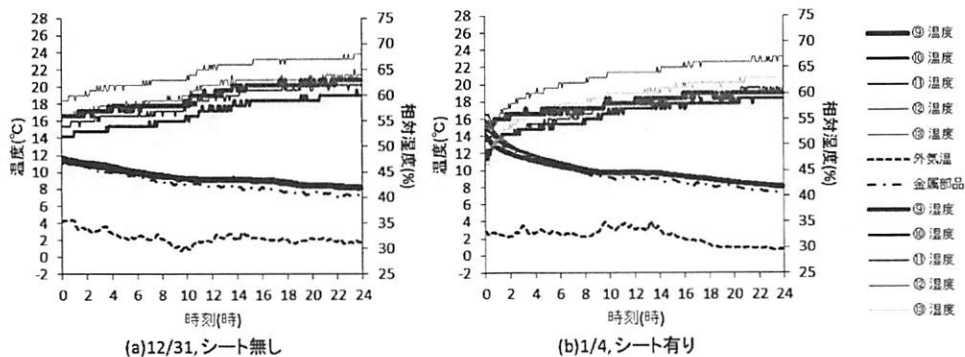


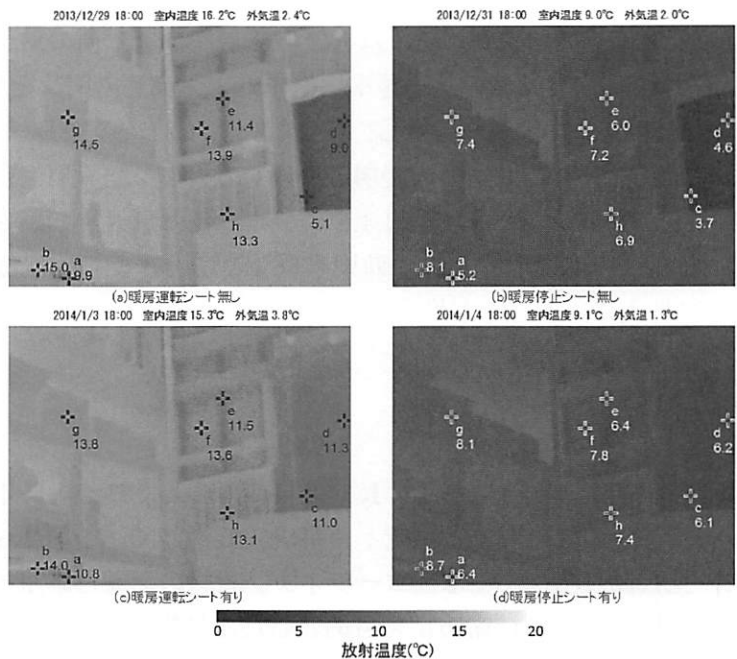
Fig.9 Air temperatures and surface temperatures of metal components' stocks during winter holidays

ち、冬季休業期間が長くなると、結露のリスクが高まる状況にあることが推察される。なお、図8によると、工場の内壁の表面温度は外気温の変動に短時間で追従しているのに対して、床面は変動の周波数、変動幅共に小さかった。

次に、シートを外した場合と設置した場合の金属部品の温度変化と、周囲の温湿度（測定点⑨～⑬）の変化を図9に示す。室温と外気温との温度差は、シート無では約6.0[K]、シート有では約8.0[K]であり、シートを設置することによる断熱の効果が表れた。また、室温と金属部品の表面温度との差は、暖房停止後約1日で約1.0[K]である。また、暖房運転時および停止時における、シートの有無の様子を熱画像で図10に示す。室温と金属部品製品の放射温度（各画像の左下のa, b）との温度差に注目すると、シートを設置することによる効果は、暖房運転時は約6.0[K]が約5.0[K]に、また暖房停止時は約4.0[K]から約3.0[K]に、ともに小さくなった。

4. 結論

1) 金属製の簡易物置を用いて、スチールシャッターの室内側にシートを敷設するなどの空気層を形成するいくつかの方法を考案し、冬季の室内外の温湿度およびスチールシャッター部分の熱流の測定値を用いて、熱貫流率を算出した。スチールシャッターのみの熱貫流率が約7.4[W/m<sup>2</sup>K]であったが、シートを敷設すると約



※各画像左下の点a,bは金属部品製品の表面を示す。  
Fig.10 Thermal images acquired in factory



3.4[W/m<sup>2</sup>K], 空気層に向く両面にアルミ箔を貼った場合に約 0.7[W/m<sup>2</sup>K]となった。

- 2) 新潟県小千谷市内の金属部品工場において、冬季休業期間 3 日間の室内外の温湿度の分布と、室内の熱画像を時系列で収録した。計測期間中に金属部品製品の表面結露は発生しなかったものの、シャッター付近に保管された製品の表面温度が近傍の室温に比べて約 1.0[K]低くなった。また、シャッターの室内側にシートを設置することによって室温の低下は緩やかになるとともに、室温に対して製品の表面温度が大きく下回ることを防ぐことができた。

## 謝辞

調査・実験にご協力をいただきました、小千谷市の金属部品製造会社 D 社の大平様に厚く感謝申し上げます。

## 注

Appendix table 1 Estimated results of heat transfer coefficient on steel shutter surfaces facing air layer

|   | CASE2 | CASE3 | CASE4 | CASE5 |
|---|-------|-------|-------|-------|
| 熱貫流率K(W/m <sup>2</sup> K)                       | 3.42  | 1.43  | 1.88  | 0.72  |
| 室内側の熱伝達率 $\alpha_i$ (W/m <sup>2</sup> K)        | 9.0   | 9.0   | 9.0   | 9.0   |
| 風速v(m/s)  | 2.3   | 3.3   | 5.2   | 3     |
| 屋外側の熱伝達率 $\alpha_o$ (W/m <sup>2</sup> K)        | 14.8  | 18.7  | 25.8  | 17.5  |
| シートの空気層側の熱伝達率 $\alpha_A$ (W/m <sup>2</sup> K)   | 17.6  | 3.74  | 5.23  | 1.64  |
| シャッターの空気層側の熱伝達率 $\alpha_B$ (W/m <sup>2</sup> K) |       |       |       |       |

- 1) シート設置の困難さから、当実験においては建物の壁体内に設けられる一般的な空気層の厚さ(20～40[mm])に比較してやや厚みがある条件となっている。

- 2) 空気層内における気流発生の影響を把握するため、空気層を向く面の熱伝達率の算出を試みた。付

表 1 にその結果を示す。なお、空気層を向く両面の熱伝達率はともに等しいとし、また室内側、屋外側の熱伝達率は室内外の気流速の関数として推算している。このとき、CASE2 の熱伝達率に対し、CASE3 は約 21%,CASE4 は 30%,CASE5 は約 9%となった。CASE2 では室内の暖房の影響を受けて、空気層内に上昇気流が少なからず発生したと考えられる。CASE3,4,5 のアルミ箔は放射熱伝達を抑え、またシャッター側の表面温度の温度上昇を防ぐ効果も重なることにより、空気層内の空気の温度上昇を顕著に抑えていることが推察される。

## 文献

- [1] 古賀純子ほか：建築物の長期使用に対応した外装・防水の品質確保ならびに維持保全手法の開発に関する研究；建築研究資料，No.145，2013.8.
- [2] 三代澤良明ほか：水性コーティング材料の開発と応用；シーエムシー出版．2010.
- [3] 坪田実ほか：結露防止を目的とした水性塗装系の開発--発熱用導電性塗料と断熱性塗料の壁面施工；塗装工学，41(12)，pp.420-427，2006.
- [4] 日本建材・住宅設備産業協会：窓の断熱性計算方法に関する標準化成果報告書；平成 24 年度国際標準開発事業成果報告書，pp.33-75，2013.3