

(解説)

当社の熱制御鋼板

Thermal Control Steel Sheets of Kobe Steel



平野康雄*¹ (Ph.D.)
Dr. Yasuo HIRANO



渡瀬岳史*¹
Takeshi WATASE



箕輪 剛*¹
Takeshi MINOWA



岩 辰彦*¹
Tatsuhiko IWA

We developed a heat dissipation steel sheet in order to contribute to thermal management in electrical and electronic equipments. In recent years we have developed a white heat dissipation steel sheet to expand the use of steel sheets to LED lighting. In addition to the heat dissipation, Kobe Steel's thermal control steel sheets can reduce the energy consumption by keeping the internal heat generated by electric apparatuses. Also, they prevent dew condensation by keeping the surface temperature higher.

ま え が き = 鋼板は実使用時に求められる特性に応じて様々な表面処理が施される。例として、めっき、化成処理、塗装などを挙げることができるが、これらは耐久性や外観意匠性の付与が目的である。一方、熱という観点で鋼板の表面処理を考えると、伝熱の3機構である熱伝導、熱伝達、熱放射のいずれも表面に関わることが分かる。なかでも、熱放射は表面によりほぼ決定される伝熱現象である。表面の熱放射特性を制御することにより、鋼板製品に関わる種々の伝熱をコントロールすることが可能となる。

伝熱のコントロールにより発現できる機能として、結露を防止する、保温する、人が触れる部分の温度を下げる、発熱体や機器内部の温度を下げる、などが考えられる。本稿ではこれらの機能を発現させるための熱放射率コントロールの考え方と事例を紹介する。

1. 熱放射率のコントロールと機能発現の考え方

鋼板を用いた製品が使用される温度はおおむね-50℃から150℃の範囲にあるといえる。この温度域における熱放射による伝熱量（黒体の分光エネルギー密度）を図1に示す¹⁾。上記の温度範囲において、放射により実質的な伝熱が生じ得ることを示唆している。以下においてこの放射伝熱を鋼板に活用した例を紹介する。

図1より、この温度域においては数 μm から数十 μm の波長の電磁波（近赤外線から遠赤外線）が放射されることが分かる。この波長域の電磁波は、主として有機化合物またはセラミックを構成する化学結合（共有結合）の振動エネルギー状態の変化により放射されることが多い。金属は一般にこの波長域の電磁波を放射する性質を有していない。物質表面の熱放射効率、黒体表面の効率に対する割合として定義される放射率 ε により表現す

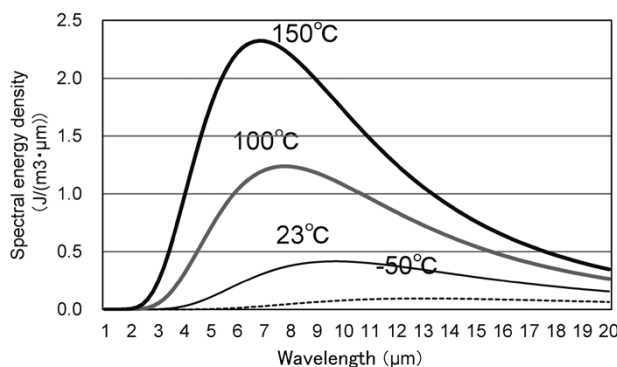


図1 熱放射による伝熱量¹⁾
Fig. 1 Spectral energy density of blackbody emission¹⁾

ることができる。 ε は0~1の間の数値をとる。金属表面の ε は通常0.1程度であるのに対し、有機物またはセラミック表面の ε は一般に0.5以上となる。

また、物質表面は到達する電磁波を吸収することができるが、その効率を吸収率 σ ($0 < \sigma < 1$)として表すと、

$$\varepsilon = \sigma$$

の関係が成り立ち、キルヒホッフの法則として知られている。これより、熱放射性の高い表面は熱吸収性も高いことが期待される。

2. 鋼板表面の放射率による伝熱量と鋼板温度の制御

電子機器装置の内部と外部のような、鋼板で仕切られた温度の異なる二つの空間を考える。図2は温度25℃の空間（低温室）と、温度60℃の空間（高温室）を鋼板と断熱壁で仕切った系を示している。鋼板の表裏面の放射率を所定の値とした時に、鋼板を通過する伝熱量および鋼板温度を計算により求めた。計算は熱伝導、熱伝達、熱放射を考慮し、鋼板の熱伝導率は $54\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ 、鋼板

*¹ 鉄鋼事業部門 技術開発センター 薄板開発部

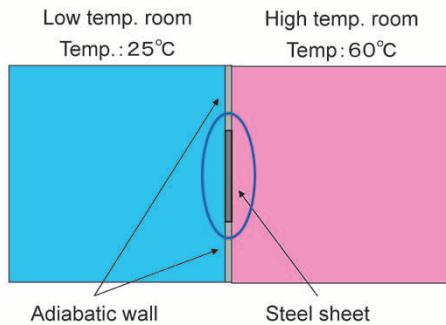


図2 低温室と高温室を鋼板で仕切った系

Fig. 2 System of low temp. and high temp. room partitioned by steel sheet

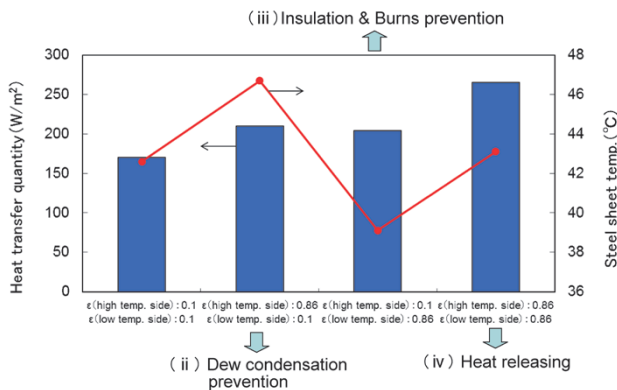


図3 鋼板表裏面の放射率が伝熱量および鋼板温度に及ぼす影響

Fig. 3 Influence of emissivity of the front and rear surfaces of the steel sheet on heat transfer quantity and steel sheet temperature

表面の自然対流熱伝達率を $9 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$ とした。結果を図3に示す。

- (i) 高温側と低温側の放射率がともに0.1の場合
この場合は伝熱量が相対的に低いことがわかる。断熱目的には表裏の放射率の低い鋼板の適用が有効であるといえる。
 - (ii) 高温側の放射率が0.86, 低温側が0.1の場合
この場合, 鋼板の温度を高めることに繋がることがわかる。例えば, 鋼板製のカバーなどに結露が発生する場合の防止に有効であると期待できる (結露防止鋼板)。
 - (iii) 高温側の放射率が0.1, 低温側が0.86の場合
この場合, 比較的伝熱量を抑制し, また鋼板の温度を下げることに繋がることがわかる。例えば, 鋼板カバーにおける断熱性を高めたい場合や接触時の熱さを緩和できる可能性がある (断熱, 耐感熱性鋼板)。
 - (iv) 高温側と低温側の放射率がともに0.86の場合
この場合は伝熱量が高いことがわかる。例えば機器内部で発生した熱を効率よく外部に放散する目的に適した鋼板であると考えられる (放熱性鋼板)。
- 上記 (ii) ~ (iv) の場合について, 次章以降において詳細に説明する。

3. 結露防止鋼板

結露とは, 固体表面が露点温度以下になった時に水蒸気はその表面に凝縮する現象である。図4に湿度が80%の時の環境温度と露点温度との関係を示す。露点温度は

環境温度よりも3~4°C低いことがわかる。したがって, 結露を防止するための条件は, 鋼板表面と環境との温度差を3~4°C以内とすることといえる。

例えば, 内部に冷風が通る機器を高温高湿環境に設置した場合, 機器カバー表面に結露が生じる可能性がある。このような場合には鋼板の内部側に断熱材が積層されることがある。そのモデルを図5に示す。鋼板が高温側に, 断熱材が低温側にあるとする。ここでは高温側の温度を32°C, 低温側の温度を10°Cとした。鋼板の高温側表面の放射率が0.86および0.1の場合において, 断熱材の厚さを種々変化させた時の鋼板表面の温度を図6に示した。この条件下における露点温度は28.2°Cであることから, 結露を防止するための断熱材の厚さは, 放射率が0.86の場合は11mm, 放射率が0.1の場合は17mmである

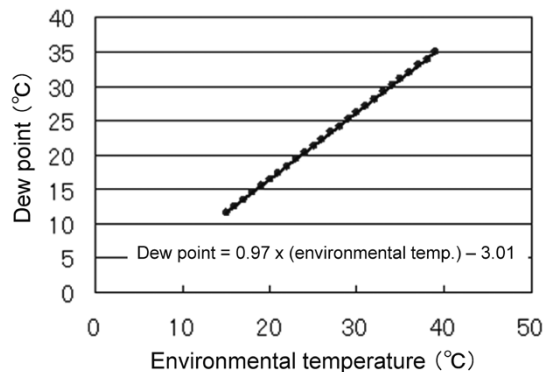


図4 湿度が80%の時の環境温度と露点温度との関係
Fig. 4 Relationship between environmental temperature and dew points at relative humidity of 80%RH

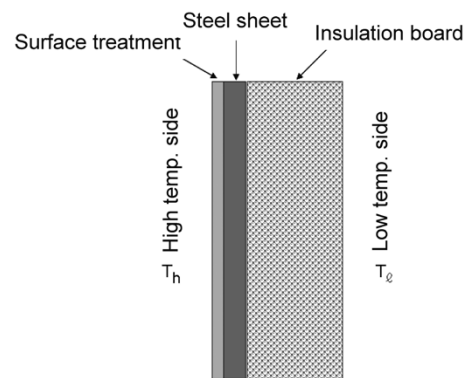


図5 鋼板と断熱材の積層体

Fig. 5 Lamination model of steel sheet and insulation board

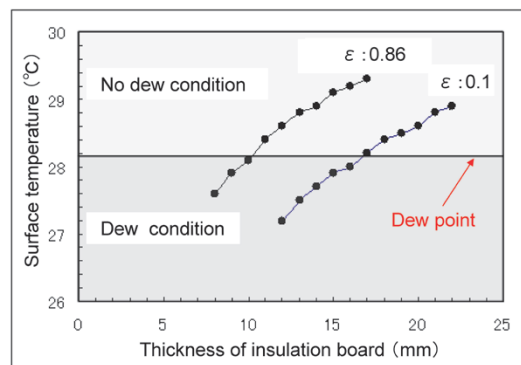


図6 断熱材の厚さを変えた時の高温側の鋼板表面温度
Fig. 6 Surface temperature of steel sheet on high temperature side for various thickness of the insulation board

ことが分かる。すなわち断熱材の厚さを6mm低減できる可能性を示唆している。

4. 断熱性鋼板

断熱性鋼板の皮膜構成例を図7に示す。カラー塗装の放射率は0.7~0.86程度に設定することが可能である。また、反対面の樹脂皮膜の放射率は0.1~0.2程度に設定することが可能である。この鋼板を、高温環境33℃、低温環境23℃の仕切り板として設置した場合の鋼板を通過する伝熱量と鋼板温度を図8に示す。この図より、一般の塗装鋼板と比較して3割程度の伝熱量の抑制(断熱)が実現できることが期待される。このため、例えば機器内部のエネルギーを保持し、高温を保持するためのエネルギーを低くしたい場合に適用が可能である。

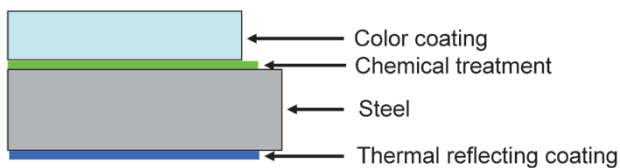


図7 断熱性鋼板の皮膜構成
Fig. 7 Coating structure of insulating steel sheet

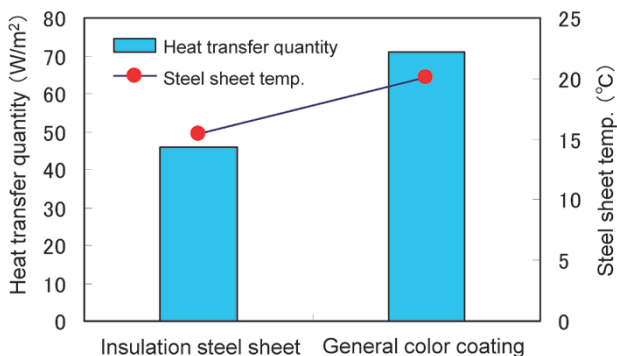


図8 鋼板を通過する伝熱量と鋼板温度
Fig. 8 Heat transfer quantity through steel sheet and sheet temperature

5. 耐感熱性鋼板

パワーアンプを始めとする発熱量の大きい電子機器では、筐(きょう)体上面が室温+40℃程度にまで上昇し、安全上の配慮から5~10℃下げたい場合がある。多くの製品では、筐体上面に樹脂シート加工品を貼り付けるなどの工夫によって身体と筐体との直接接触を回避しているが、コストアップとなるのは否めない。

そこでここでは、高温側の放射率を低く、低温側の放射率を高く設定することによって筐体上面の温度を低下させ、人体に触れた場合のやけどを回避することを目指した検討を紹介する。

このような表面処理鋼板の熱制御効果を確認する実験を行った。温度が制御できる熱板の上に高放射材料板を設置し、断熱材により所定の空隙(20mm)を設けてサンプル鋼板を置いた(図9)。この状態にあるサンプル鋼板の表裏面の熱放射率を制御した時の鋼板温度を求めた(図10)。図10には一般に使用されている黒色塗装鋼板の結果も示した。黒色塗装鋼板は高温側の放射率が

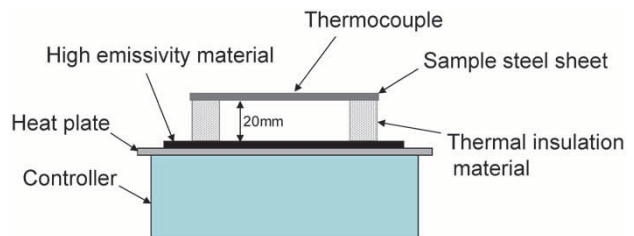


図9 耐感熱性鋼板の効果を確認する実験
Fig. 9 Experiment for measuring effects of burns prevention steel sheet

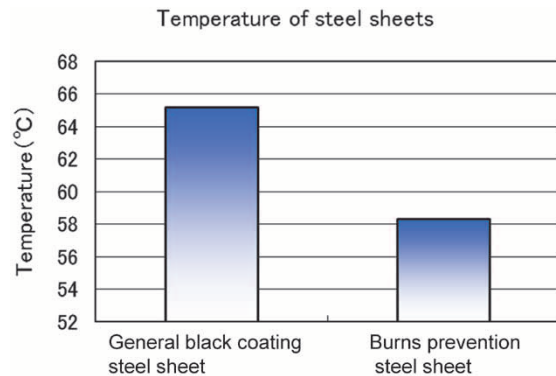


図10 耐感熱性鋼板の効果
Fig. 10 Effects of burns prevention steel sheet

0.2、低温側の放射率が0.8であり、耐感熱性鋼板は高温側の放射率が0.05、低温側の放射率が0.8である。耐感熱性鋼板は黒色塗装鋼板に比べて約7℃低下していることが分かる。

6. 放熱性鋼板

当社では、鋼板表面の放射率による熱制御能力にいち早く着目し、表裏高放射率の製品「コーベホーネット[®]」を上市した²⁾。DVDやHDDのカバー、車載用電子機器のカバーなどに活用されている。しかし、コーベホーネットの高放射皮膜は黒色であり、白色が好まれるLED照明機器などの部材としては使用が難しい。そこで白色高放射率のコーベホーネットの開発に取り組んだ。

図11に一般の白色塗装を施した鋼板の放射率(赤線)の波長依存性を示す。6.5μmを超えると放射率はおおむね0.8程度以上あるが、4.5~6.5μmでは放射率は0.3~0.8程度である。一方、図1において100℃あるいは150℃で

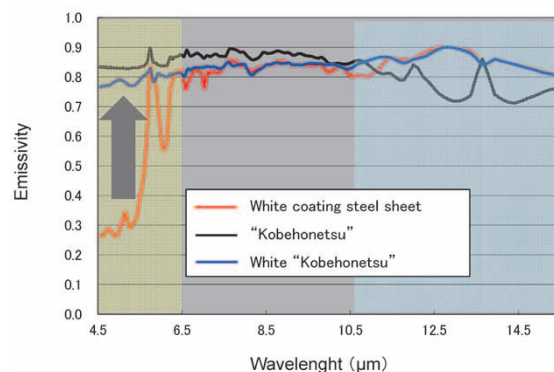


図11 白色コーベホーネットの放射率
Fig. 11 Emissivity of white "Kobehonetsu"

脚注) コーベホーネットは当社の登録商標(第4609831号)である。

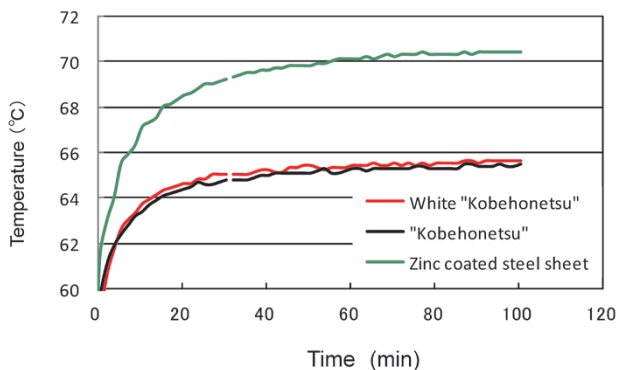


図12 白色コーベホーネツの放熱効果³⁾
 Fig.12 Heat releasing effects of white "Kobehonetsu"³⁾

の分光エネルギー密度を見ると、約半分のエネルギーが6.5 μ m以下で放射されている。そこで、白色意匠を維持しつつこの波長領域での放射率を高めた。開発した白色コーベホーネツの放射率の波長依存性を図11に青線で示す。

また、図12に示した放熱特性評価結果から、白色コーベホーネツは黒色コーベホーネツと同等の放熱特性を有することが確認された。

むすび=ここまで、結露防止性、断熱性、耐感熱性、白色意匠と放熱性を有した鋼板を紹介した。これらは主として電機製品のカバーとして使用された場合の機能である。このほかにも、鋼板の放射率を活用した熱制御鋼板の用途としてヒートシンクなどを挙げることができる。この技術を駆使することにより、冷却ファンなどの熱対策部品を省略できる可能性もある⁴⁾。また、熱制御性能に加えて電磁波シールド性も併せ持つ製品の開発にも取り組んでいる⁵⁾。

当社は、2002年に放熱性鋼板コーベホーネツを上市して以来、お客様の熱対策に貢献することを目的に鋼板表面の放射率を活用した熱制御鋼板に取り組んできた。今後も熱を中心にお客様のニーズを抽出し、課題解決のお役に立てる製品の提供を目指していく所存である。

参 考 文 献

- 1) 平野康雄. 第186・187 回西山記念技術講座. 日本鉄鋼協会, 2005, p.191.
- 2) 平野康雄ほか. R&D 神戸製鋼技報. 2002, Vol.52, No.2, p.107.
- 3) 平野康雄ほか. R&D 神戸製鋼技報. 2004, Vol.54, No.1, p.58.
- 4) 平野康雄ほか. R&D 神戸製鋼技報. 2011, Vol.61, No.2, p.80.
- 5) 平野康雄ほか. R&D 神戸製鋼技報. 2009, Vol.59, No.1, p.50.