



〈解説〉

JIS A9501 保温保冷工事施工標準の改正点について

工事業本部 工事技術部 第一技術チーム 立見 堯 夫

1. はじめに

JIS A9501 保温保冷工事施工標準（以下保温JISと称す）が改正され、2001年版が発行された。すでに改正された保温JISをご覧になった読者もいると思うが、今回の改正はどこに主眼が置かれているのか改正された要点についてここに紹介する。また、まだご覧になっていない読者には今後の参考とされたい。

2. 保温JISの誕生と過去の改正経緯

現在の改正点を述べる前に、保温JIS自身の誕生と過去の改正経緯を知っておけば今回の改正の理由が容易に理解されるので、まず誕生の経緯から述べる。

この保温JISは昭和27年に制定された。当時は第二次世界大戦後であり、経済の復興と産業の発展に伴うエネルギーの消費増大に備えて、熱の効率的使用とその管理の重要性が指摘されるようになった。この観点に立って利用されるエネルギーの一種である熱エネルギーの管理が着目された。そして熱エネルギーを使用する装置、設備などの熱エネルギーの効率的利用を計るために、その保温工事仕様の統一化及び標準化を目的としてこの保温JISは誕生した。その時々々の技術革新やエネルギー環境の変化に対応して概ね3年から5年毎に改正が行われ、昭和30年（1955年）第1回改正から平成7年（1995年）までに12回の改正が行われてきた。保温JISも時代と共に発展してきたと言える。

3. 今回の保温JISの改正経緯

現在までの改正は、どちらかと言えば日本国内の変化に対応して改訂されてきた。しかし、今回は国外からの要因が大きい。平成7年（1995年）に政府の基本政策として「規制緩和推進計画」が策定された。その具体策の一つとしてJISの国際規格との整合化の推進が決定された。これに基づいて保温・断熱関係のJISの国際規格（ISO）との整合化作業が開始された。現在も各種の規格の整合化作業が進行中である。このうち保温JISに関係する熱計算の国際規格が平成10年（1998年）に制定された。これがISO 12241：1998（E）Thermal insulation for building equipment and industrial installations-Calculation rulesである。このISOとの整合化を第一義としている。これまでの保温JISが経済性及び効率性の視点から省エネルギーに主眼を置いていたのに対し、近年、地球環境問題としてクローズアップされている地球温暖化対策における燃焼ガス中の二酸化炭素の排出抑制に配慮した省エネルギーも今回の改正項目に加味されている。

4. ISO 12241：1998（E）の概要

整合化対象のISO 12241をここで概略紹介する。ISO 12241においては一般論としての保温材の厚さを求める方法ではなく、工業用として実際に使用できる方法を述べている。

4.1 放散熱量を求める場合

(1) 熱伝導率

保温材を実際に施工する場合、一層施工もあれ

ば多層（2層以上）施工もある。

保温材の熱伝導率はその内面と外面との温度差によって変動する。従って、各層毎に熱伝導率は違うと言える。通常は層間の熱抵抗は計算が複雑となるので計算上に含めないが、ここではより正確に計算できる様に計算式を示している。

更に、平面、円筒、球形及び角ダクトを例として計算式を示して利便性を計っている。

(2) 表面熱伝達率

表面熱伝達率は放射と対流に依存する。放射は温度と表面の放射率によって変化する。対流は通常風速、温度、表面の傾き及び表面材の種類などによって変わる。従って、実際の保温工事の施工仕様によって各施工法ごとに保温施工部の表面熱伝達率を算出することが必要である。放射はその算出式を示している。また、対流は屋内と屋外では異なり、さらに、配管と機器でも違う。それぞれについて式を示して利便性を計っている。

(3) その他

熱通過率は熱抵抗の逆数であり、平面、配管、中空及び角ダクトのための式を示している。また、各層間の熱抵抗と総熱抵抗との比率が各層間の温度差と総温度差との比率と比例する。従って、界面温度は平面、配管及び中空の熱抵抗算出式を用いることで求めることができる。

4.2 配管、機器及び容器の温度変化の計算

(1) 保温施工していない配管内の流体の温度降下

流体が液体または気体であっても採用できる計算式を示している。

保温施工しない配管であるので、詳細は省略する。

(2) 静止流体の温度降下と凍結時間

たとえ保温施工されていても時間が経過すればいつか内部温度は低下し、周囲の温度と同じになる。周囲が静止流体の凍結温度以下であれば凍結することになる。

凍結が始まる時間を求める式を示している。また、完全に凍結するまでの時間も求められるが、配管ではバルブや付属物の近傍では断面積が小さくなる場合が多く、従って、温度降下時間と完全凍結時間は25%短縮して設計することを推奨している。

4.3 熱橋

配管、機器などに付属するサポートや付属物は熱橋となり、通常の計算式では求められない。熱橋からの放散熱量はかなり大きいので、保温厚さを考慮することを示唆し、詳細を述べているが、ここでは省略する。

4.4 埋設管

土中に埋設された配管やピットに施工された配管は保温するかまったくしないかどちらかである。裸で埋設された配管と保温された配管の放散熱量の計算式が説明されている。あまり、利用されないので、説明は省略する。

以上がISO 12241の概要である。興味のある読者はISO 12241を読むことをお勧めしたい。

5. 保温JISの改正点

JIS A9501-2001の改正趣旨は前項2及び3で理解していただいたと思う。

ISO 12241との整合化は保温厚さを計算する場合の考え方の整合化である。

計算方法が変わる訳ではない。保温JISの項目に沿って要点を解説する。

5.1 序文

今回から序文を設けている。ここでISOとの整合化を明文化している。そして、その整合化の程度も述べている。

5.2 引用規格

JIS A0202断熱用語が2000年度に制定されたので、加えられている。また、ビル設備関係で使用頻度が高くなってきた副資材関係のJIS G3317溶融亜鉛-5%アルミニウム合金めっき鋼板及び鋼帯、JIS G3318塗装溶融亜鉛-5%アルミニウム合金めっき鋼板及び鋼帯、JIS G3547亜鉛めっき鉄線及びJIS Z1702包装用ポリ塩化ビニル粘着テープが加えられている。

5.3 定義

保温材の定義を $0.15\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ と定義していたが、ISO 6229（断熱用語）附属書Aに整合化して $0.065\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ に変更された。

5.4 施工厚さ及び厚さ算出式

(1) 環境問題を常に考慮して設計条件の中に省エネルギー（地球温暖化防止、CO₂削減）を

考慮するよう求めている。

- (2) 経済的保温厚さを求める場合は、ISOには規定されていないが日本ではすでに慣習的に使用されているので、残している。
- (3) 量記号及び添え字はISOに準拠したため、前回の保温JISとはまったく違う記号になっている。JIS本文では比較すると混乱する恐れがあるので、省略している。

参考までに記号の比較を表1に示す。

5.5 伝熱計算の式

- (1) ISOに整合化するため多層の場合の式を加えている。

平面の場合の伝熱計算は施工厚さの設計条件に従って、従来は一層及び多層構造に関係なく次の式で求めた。放散熱量 (q) は次の式による。

$$q = U \cdot (\theta_{si} - \theta_a) \quad (\text{W/m}^2) \quad \dots (1)$$

$$\frac{1}{U} = R_T = R + R_{se} = \frac{d}{\lambda} + \frac{1}{h_{se}} \quad (\text{m}^2 \cdot \text{K/W}) \quad \dots (2)$$

表1 記号の対比

項 目	2001年版	1995年版	単位(例)
放散熱量(平面の場合)	q_f	Q	W/m ²
放散熱量(管の場合)	q_l	Q	W/m
熱力学温度	T		K
セルシウス温度			
温度差			K,
熱伝導率			W/(m·K)
表面熱伝達率	h		W/(m ² ·K)
保温材の熱抵抗(平面の場合)	R	-	m ² ·K/W
保温材の熱抵抗(管の場合)	R_l	-	m·K/W
表面熱抵抗(平面の場合)	R_{se}	-	m ² ·K/W
表面熱抵抗(管の場合)	R_{sl}	-	m·K/W
熱通過率(平面の場合)	U	-	W/(m ² ·K)
熱通過率(管の場合)	U_l	-	W/(m·K)
定圧比熱	C_p	C	kJ/(kg·K)
厚 さ	d	t	m
直 径	D	d	m
温度係数	τ	-	K ²
放射係数	C_r	-	W/(m ² ·K ⁴)
放射率		-	-
ステファン・ボルツマン定数		-	W/(m ² ·K ⁴)
高 さ	H	-	m
長 さ	l	-	m
厚さのパラメータ	C'	-	m
面 積	A	F	m ²
速 度		-	m/s
時 間	t	h	s
質 量	m	w	kg
流 量	m'	-	kg/h
密 度			kg/m ³
凝固熱	h_{fr}	-	kJ/kg
風 速	w	-	m/s

そして、保温保冷厚さ (d) は次の式で求めた。

$$d = \frac{\lambda}{h_{se}} \cdot \frac{\theta_{si} - \theta_{se}}{\theta_{se} - \theta_a} \quad (\text{m}) \dots\dots\dots (3)$$

保温保冷施工後の保温保冷材の外表面温度 (θ_{se}) は、次の式で求めた。

$$\theta_{se} = \frac{q}{h_{se}} + \theta_a \quad (^\circ\text{C}) \dots\dots\dots (4)$$

今回、多層の場合を区別して計算できるように次の式をISOに従って明記している。

多層の場合、式(2)は次の式になる。

$$R_T = R' + R_{se} = \sum_{j=1}^n \frac{d_j}{\lambda_j} + \frac{1}{h_{se}} \quad (\text{m}^2 \cdot \text{K} / \text{W}) \dots\dots (5)$$

式(4)の保温保冷材の外表面温度 (θ_{se}) を求める式は次の式である。

$$\left. \begin{aligned} \theta_{si} - \theta_1 &= \frac{R_1}{R_T} \cdot (\theta_{si} - \theta_a) \\ \theta_1 - \theta_2 &= \frac{R_2}{R_T} \cdot (\theta_{si} - \theta_a) \\ &\vdots \\ \theta_{se} - \theta_a &= \frac{R_{se}}{R_T} \cdot (\theta_{si} - \theta_a) \end{aligned} \right\} (^\circ\text{C}) \dots\dots\dots (6)$$

- ここに、 R' : 多層保温保冷材の熱抵抗 $\text{m}^2 \cdot \text{K} / \text{W}$
- q : 放散熱量 W / m^2
- U : 熱通過率 $\text{W} / (\text{m}^2 \cdot \text{K})$
- R_T : 全体の熱抵抗 $\text{m}^2 \cdot \text{K} / \text{W}$
- R : 保温保冷材の熱抵抗 $\text{m}^2 \cdot \text{K} / \text{W}$
- R_{se} : 表面熱抵抗 $\text{m}^2 \cdot \text{K} / \text{W}$
- d : 保温保冷材厚さ m
- λ : 保温保冷材熱伝導率 $\text{W} / (\text{m} \cdot \text{K})$
- h_{se} : 表面熱伝達率 $\text{W} / (\text{m}^2 \cdot \text{K})$
- θ_{si} : 保温保冷材内側温度 $^\circ\text{C}$
- θ_{se} : 保温保冷材外側温度 $^\circ\text{C}$
- θ_a : 周囲温度 $^\circ\text{C}$

2) 表面温度と表面熱伝達率の項目を設けて詳しく説明している。

従来の保温JISでは保温保冷材の表面温度や表面熱伝達率について詳細な記述がなかった。今回は表面温度と表面熱伝達率を説明することによ

り、保温JISを利用して保温保冷材の厚さを求める場合に、設計条件を多様化することができ、利便性が改善された。

(1) 表面温度

施工厚さを求める設計条件として、表面温度が規定される場合がある。しかし、近似的計算は可能であっても、この条件での設計は必ずしも現実的でないと説明されている。多角的な設計手段の一つとすべきであると説明されている。

(2) 表面熱伝達率

保温施工された外表面温度は外気温度との温度差、表面積、時間などの変化によって伝達される熱量が変わる。単位温度差、単位面積及び単位時間当たりでの伝導される熱量割合を表面熱伝達率と言う。そしてこの表面熱伝達率は材料によっても、その表面の状態によっても影響される。従来は平均的に決めていたが、今回からは保温JISを利用し計算できるようにしてある。以下に保温JISを抜粋して述べる。

一般に、表面熱伝達率 (h_{se}) は、次式で表される。

$$h_{se} = h_r + h_{cv} \quad \text{W} / (\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

ここに、 h_r :放射による表面熱伝達率で、温度と表面の放射率に依存する。

h_{cv} :対流による表面熱伝達率で、風速、面の傾き、材質その他に依存する。
 $\text{W} / (\text{m}^2 \cdot \text{K})$

1) 放射による表面熱伝達率 h_r

$$h_r = \epsilon_r \cdot C_r \quad \text{W} / (\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

$$\epsilon_r = \frac{(T_{se})^4 - (T_a)^4}{T_{se} - T_a} \quad \text{K}^3$$

ここに、 C_r : 放射係数 $\text{W} / (\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$

$$C_r = \epsilon \cdot \sigma$$

σ : ステファン・ボルツマン定数 $5.67 \cdot 10^{-8} \text{W} / (\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$

ϵ : 放射率

ϵ_r : 温度係数 K^3

ただし、温度差が200K以下の場合、次の近似

式を温度係数として使用することができる。

$$r = 4 \cdot \left(\frac{T_{se} + T_a}{2} \right)^3 \quad K^3$$

ここに、 T_{se} : 表面温度 K

T_a : 周囲温度 K

参 考

放射率 (ε) は、表面材料面の種類及び加工、経過年数によって異なる。保温保冷工事で外装となる材料の放射率の概数は、次の値が参考となる。

アルミニウム板 (ロール掛けなどの加工)	0.22
ステンレス鋼板 (ロール掛けなどの加工)	0.30
塗装溶融亜鉛めっき鋼板	
(ロール掛けなどの加工)	0.50
仕上げセメント、布類	0.94

2) 対流による表面熱伝達率 h_{cv}

・上向き平面

$$h_{cv} = 3.26 \cdot \Delta\theta^{0.25} \cdot \left\{ \frac{(w+0.348)}{0.348} \right\}^{0.5} \dots\dots\dots (7)$$

・下向き平面

$$h_{cv} = 2.28 \cdot \Delta\theta^{0.25} \cdot \left\{ \frac{(w+0.348)}{0.348} \right\}^{0.5} \dots\dots\dots (8)$$

・垂直平面及び管

$$\Delta\theta \geq 10K \quad h_{cv} = 2.56 \cdot \Delta\theta^{0.25} \cdot \left\{ \frac{(w+0.348)}{0.348} \right\}^{0.5} \dots\dots (9)$$

$$\Delta\theta < 10K \quad h_{cv} = (3.61 + 0.094 \cdot \Delta\theta) \cdot \left\{ \frac{(w+0.348)}{0.348} \right\}^{0.5} \dots\dots\dots (10)$$

・水平管

$$h_{cv} = 1.19 \cdot (\Delta\theta/D)^{0.25} \cdot \left\{ \frac{(w+0.348)}{0.348} \right\}^{0.5} \dots\dots (11)$$

ここに、 $\Delta\theta$: 温度差 (= $|\theta_{se} + \theta_a|$) K, $^{\circ}C$

w : 風速 m/s

備考1. 式(7)～式(11)は強制対流の簡易式であるが、自然対流は風速を0m/sとして計算できる。

備考2. 保温保冷厚さを表として求める場合は、式(9)又は式(10)を代表値の計算に使用することを推奨する。

5.6 配管、機器、容器の温度変化の計算及び静止流体の温度降下及び凍結時間

ISOに整合化して追加してある。

1) 管内輸送流体の温度降下

管内を流れる流体、すなわち、液体、気体の温度降下を正確に求めるには、次式を使用する。

$$|\theta_{im} - \theta_a| = |\theta_{im} - \theta_a| \cdot e^{-a \cdot l}$$

$$= \frac{U_i \cdot 3.6}{m' \cdot c_p} \quad m^{-1}$$

ここに、 θ_{im} : 流体の入口温度 $^{\circ}C$

θ_{fm} : 流体の出口温度 $^{\circ}C$

θ_a : 外気温度 $^{\circ}C$

C_p : 流体の定圧比熱 kJ/(kg \cdot K)

m' : 流量 kg/h

l : 管の長さ m

U_i : 管の熱通過率 W/(m \cdot K)

2) 機器、容器の時間に対する温度変化

与えられた温度に対する温度降下に要する時間は、次式による。

$$t_v = \frac{(\theta_{im} - \theta_a) \cdot (m \cdot C_p) \cdot \ln \frac{(\theta_{im} - \theta_a)}{(\theta_{fm} - \theta_a)}}{q \cdot 3.6 \cdot A} \quad h \dots\dots (12)$$

$$q = \frac{(\theta_{im} - \theta_a)}{\frac{d}{\lambda} + \frac{1}{h_{se}}} \quad W/m^2$$

ここに、 θ_{im} : 内容物の初期温度 $^{\circ}C$

θ_{fm} : 内容物の t_v 時間後の温度 $^{\circ}C$

θ_a : 外気温度 $^{\circ}C$

q : 放散熱量 W/m 2

A : 機器、容器の表面積 m 2

t_v : 温度降下に要する時間 h

m : 内容物の質量 kg

C_p : 定圧比熱 kJ/(kg \cdot K)

備考1. この項の温度変化計算は、内容物の熱容量だけで機器、容器の熱容量は計算に入っていない。小さな機器、容器に対して

は、式(12)に式(13)と類似の項（機器、容器の熱容量）が加わる。

3) 管内水の凍結防止のための保温厚さ及び温度降下時間

内部流体（一般的に水）は停止すると同時に温度は下がり始め、保温厚さを幾ら増しても一定時間後には必ず管内水は凍結し、これを防ぐことはできない。凍結を開始するまでに要する時間は、次式によって求める。

$$t_{wp} = \frac{(\theta_{im} - \theta_a) \cdot (m_w \cdot c_{pw} + m_p \cdot c_{pp}) \cdot \ln \frac{(\theta_{im} - \theta_a)}{(\theta_{fm} - \theta_a)}}{q_{1p} \cdot 3.6 \cdot l} \quad \text{h} \quad \dots\dots\dots (13)$$

$$q_{1p} = \frac{(\theta_{im} - \theta_a)}{\frac{\ln(D_e/D_i)}{2 \cdot \pi \cdot \lambda} + \frac{1}{h_{se} \cdot \pi \cdot D_e}} \quad \text{W/m} \quad \dots (14)$$

ここに、 θ_{im} : 初期水温 $^{\circ}\text{C}$
 θ_{fm} : 凍結温度 $^{\circ}\text{C}$
 θ_a : 外気温度 $^{\circ}\text{C}$
 q_{1p} : 放散熱量 W/m
 t_{wp} : 凍結開始までの時間 h
 l : 管の長さ m

m_w : 管内水の質量 kg
 m_p : 管の質量 kg
 C_{pw} : 管内水の定圧比熱 $4.2\text{kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$
 C_{pp} : 管の定圧比熱 $\text{kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$
 h_{se} : 表面熱伝達率 $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
 D_i : 保温材の内径 m
 D_e : 保温材の外径 m

備考1. 実際上、保温した配管の放散熱量計算で表面熱抵抗は除外した方がよい。式(14)は次式となる。

$$q_{1p} = \frac{(\theta_{im} - \theta_a) \cdot 2 \cdot \pi \cdot \lambda}{\ln(D_e/D_i)} \quad \text{W/m}$$

備考2. 裸の配管は保温した配管と異なり、表面熱伝達率の熱抵抗を考慮する。放散熱量の計算は、次式となる。

$$q_1 = h_{se} \cdot (\theta_{im} - \theta_a) \cdot 2 \cdot \pi \cdot D \quad \text{W/m}$$

また、温度降下に要する時間は、近似的に次式で表される。

$$t_{wp} = \frac{(m_w \cdot c_{pw} + m_p \cdot c_{pp}) (\theta_{im} - \theta_{fm})}{q_1 \cdot 3.6 \cdot l} \quad \text{h}$$

ここに、 q_1 : 裸配管の放散熱量 W/m
 D : 配管径 m

4) 管内水の凍結に要する時間

管内水の凍結に要する時間は、次式によって求める。

$$t_{fr} = \frac{f}{100} \cdot \frac{\rho_{ice} \cdot \pi \cdot D_{ip}^2 \cdot h_{fr}}{q \cdot 3.6 \cdot 4} \quad \text{h}$$

$$q_{fr} = \frac{(-\theta_a) \cdot 2 \cdot \pi \cdot \lambda}{\ln(D_e/D_i)} \quad \text{W/m}$$

ここに、 f : 管内水の凍結割合 $\%$
 D_{ip} : 管の内径 m
 h_{fr} : 水の凝固熱 $334\text{kJ}/\text{kg}$
 ρ_{ice} : 0°C での氷の密度 $920\text{kg}/\text{m}^3$

備考1. 設計条件の管内水の凍結割合は、25%以下を推奨する。

備考2. 配管系にある弁、栓、継ぎ手などによる管内断面積の減少によって、冷却時間及び凍結時間も減少するため、凍結開始までの時間及び凍結に要する時間についても、減少を見込み計算値の75%以下にすることを推奨する。

5.7 その他

- (1) 保温・保冷材の種類及び主な物性は附属書となっている。大きく改正された点はけい酸カルシウム保温材の熱伝導率が多点表示となったことである（表2参照）。
- (2) 参考図及び計算例は解説の中で述べられている。また、従来、本文中に記載されていた保温厚さ、表は、すべて解説の中に記載されている。凍結防止厚さは -5°C 、 -10°C 、 -15°C 及び -20°C とし、凍結割合を0%、25%の2点で算出してある。

6. おわりに

JIS A9501-2001の改正点を説明してきた。改正

表2 保温・保冷材の種類及び主な物性 (JIS A9510無機多孔質保温材)

種 類		密度 kg/m ³ 以下	使用温 度C以 下 ⁽¹⁾	熱伝導率 W/(m·K) 以下 (平均温度C)		曲げ強さ N/cm ² 以上	熱伝導率算出参考式 W/(m·K) : 温度 (°C) ⁽²⁾
けい酸カルシウム 保温材	保温板(筒)1号-13	135(°)	1000	100	0.054	20	0.0407 + 1.28 × 10 ⁻⁴ · (0 300) 0.0555 + 2.05 × 10 ⁻⁵ · + 1.93 × 10 ⁻⁷ 2(300 < 800)
	保温板(筒)1号-22	220	1000	100	0.065	30	0.0535 + 1.16 × 10 ⁻⁴ · (0 300) 0.0612 + 3.38 × 10 ⁻⁵ · + 1.95 × 10 ⁻⁷ 2(300 < 800)
	保温板(筒)2号-17	170	650	100	0.058	20	0.0465 + 1.16 × 10 ⁻⁴ · (0 200) 0.0570 - 9.36 × 10 ⁻⁶ · + 3.74 × 10 ⁻⁷ 2(200 < 800)
	保温板(筒)2号-22	220	650	100	0.065	30	0.0535 + 1.16 × 10 ⁻⁴ · (0 300) 0.0612 + 3.38 × 10 ⁻⁵ · + 1.95 × 10 ⁻⁷ 2(300 < 800)
はっ水性 パーライト 保温材	保温板(筒)3号-25	250	900	70	0.072	25	0.0632 + 1.26 × 10 ⁻⁴ · + 2.67 × 10 ⁻⁸ 2(0 800)
	保温板(筒)4号-18	185	650	70	0.056	20	0.0483 + 1.27 × 10 ⁻⁴ · + 3.70 × 10 ⁻⁸ 2(0 800)

注⁽¹⁾ けい酸カルシウム保温板1号-13及び保温筒1号-13の厚さ30mm以下の寸法のものについては、密度を155kg/m³以下としてもよい。

の要点のみであるので、JIS A9501-2001のすべてを説明していない。この要約が新しい保温JISを読者各位がより深く理解する助けになれば幸いである。

参考文献

- 1) JIS A9501-1995及びJIS A9501-2001「保温保冷工事施工標準」
- 2) ISO12241: 1998 (E) Thermal insulation for building equipment and industrial installations-Calculation rules
- 3) 保温JIS 解説 平成7年9月20日版

筆者紹介



立見 堯夫

工事業本部 工事技術部
第一技術チーム