

南極望遠鏡 真空断熱材 BOX 実験

目的

- ・ 南極の低温下で装置を保護する箱を作る。
- ・ 断熱材の性能を調べる。

使用機器

- ・ 真空断熱材 U-Vacua (Panasonic) 約 18cm × 18cm × 0.5cm + ひだ
- ・ 発泡スチロール
- ・ シリコン充填剤
- ・ 絶縁テープ、アルミテープ
- ・ ヒーター (最大 25W)
- ・ Pt100J (温度測定のため)
- ・ KEYENCE NR (測定表示機器)
- ・ 冷凍庫

～実験1～対流なし、熱伝導率を調べる

実験方法

- ・ 断熱材 6 枚で立方体の箱を作る(発泡スチロールで厚さ 2cm の骨組みを作り、周りに断熱材を貼り付け、隙間をシリコン充填剤で埋め、ひだをテープで留める)。
- ・ 箱の中にヒーターを吊るす。
- ・ Pt100J を箱の内部(宙吊り)、内壁、外壁につける。
- ・ 箱を約-80 まで冷やし、ヒーターの熱を逃がさずどれだけ箱の中に留めておけるかを調べる。



設定

- ・ ヒーター：約 10.8W(18V×0.6A)
注)一年間で約 340MJ、重油約 7.3～8kg
- ・ KEYENCE：サンプリング周期 10s

実験結果

温度変化 次ページ温度変化グラフ 1

- ・ -80 に冷やすと、内部は約-10、内壁は約-13、外壁は約-71 で一定になった。
- ・ 取り出しの際、箱に触ってみると、蓋周りが少し暖かった。面は冷たかった。

熱の移動

熱の伝わり方には、熱伝導・放射・対流、の3つがあるが、今回対流はないとして、熱伝導と放射で考える。放射で失う熱を計算し、それを全体の熱 10.8W から引いたものを伝導で失う熱と考え、真空断熱材の熱伝導率を求める。

・放射

T_1 、 ϵ_1 、 S_1 : 箱外壁の温度、放射率、表面積

T_2 、 ϵ_2 、 S_2 : 冷凍庫内壁の温度、放射率、表面積

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

放射で失う熱 E_{RAD} は、

$$E_{\text{RAD}} = \sigma S_1 (T_1^4 - T_2^4) / \{1/\epsilon_1 + (\epsilon_2 - 1) \cdot S_1/S_2\}$$

$$T_1 = -71 \text{ }^\circ\text{C} = 202\text{K}, T_2 = -80 \text{ }^\circ\text{C} = 193\text{K}$$

$$\epsilon_1 = \epsilon_2 = 0.1$$

$$S_1 = 0.18 \times 0.18 \times 6 = 0.1944\text{m}^2$$

$$S_2 = 1.04 \times 0.685 \times 2 + 0.49 \times 0.685 \times 2 + 1.04 \times 0.49 \times 2 = 3.1153\text{m}^2$$

とすると、

$$E_{\text{RAD}} = 0.36\text{W}$$

・伝導

λ : 断熱材の熱伝導率 [$\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$]

T_3 : 箱内壁の温度

d : 断熱材の厚さ

伝導で失う熱 E_{COND} は、

$$E_{\text{COND}} = \lambda S_1 (T_3 - T_1) / d$$

$$E_{\text{COND}} = 10.8 - E_{\text{RAD}} = 10.44\text{W}$$

$$T_3 = -13 \text{ }^\circ\text{C} = 260\text{K}$$

$$d = 0.005\text{m}$$

とすると、

$$\lambda = \underline{0.0046\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})}$$

* 発泡スチロールの箱で同様に実験したところ、発泡スチロールの λ は真空断熱材より一桁大きかった。

～実験2～対流の効果を調べる、より精度のよい箱を作る

実験方法

- ・ 実験1の箱の蓋を改良する(蓋の上にさらに四辺の端を隠すように、断熱材を折り曲げてかぶせる)。
- ・ ファンを使い冷凍庫内に対流をおこす ファンを回さない時と比較して対流の効果を調べる。
- ・ 箱の中のヒーターは、-80 になってからつける 熱源がない箱の中で、室温をどれだけ保持できるかを調べる。



設定

- ・ ヒーター：約 10.8W
- ・ KEYENCE: サンプルング周期 10s

実験の流れ

時刻	ヒーター	ファン	作業	備考
11/27 11:10	×		冷却スタート	対流あり
11/28 10:23			ヒーターON	
17:07			一時冷凍庫 OPEN	
20:10			一時冷凍庫 OPEN	
11/29 11:30	×		ヒーターOFF	
14:36	×	×	ファン OFF	対流なし
15:20		×	ヒーターON	
22:11	×	×	ヒーターOFF	
11/30 13:03	×	×	冷却終了	

ON × OFF 回っているが回転速度が遅くなっている

一時冷凍庫 OPEN まで冷凍庫内蓋をしていなかったため、冷凍庫内の温度は-75 までしか下がらなかった。

実験結果

温度変化 次ページ温度変化グラフ2

ヒーター近くの蓋の面が少し温かった。

熱の移動

ファンを回していない時、実験 1 と同様に対流がないと考え、真空断熱材の熱伝導率を計算すると、やはり実験 1 と同様の値が出た。

・放射

$$T_1 = -66 \text{ } = 207\text{K}, T_2 = -80 \text{ } = 193\text{K}$$

$$E_{\text{RAD}} = 0.47\text{W}$$

・伝導

$$T_3 = -9.3 \text{ } = 263.7\text{K}$$

$$E_{\text{COND}} = 10.8 - E_{\text{RAD}} = 10.33\text{W}$$

$$0.00468\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$$

ファンを回して対流を起こした時、熱伝導率に上の値を用いて伝導による熱の移動を計算し、10.8W から放射と伝導による熱量を引いて、対流による熱の移動を考える。

・放射

対流を起こさない時と同じ温度であった。

$$E_{\text{RAD}} = 0.47\text{W}$$

・伝導

$$T_3 = -13.5 \text{ } = 259.5\text{K}$$

$$= 0.00468\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$$

$$E_{\text{COND}} = 9.56\text{W}$$

・対流

$$E_{\text{CONV}} = 10.8 - 0.47 - 9.56 = 0.77\text{W}$$

以上より

改良後は改良前の隙間をなくしたが、改良前後で実験結果に基づいて計算された熱伝導率があまり変わっていない。触って温かかったのは、伝導によるものだと考えられる。本実験で測定できた真空断熱材の熱伝導率は、 $0.0046\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ である。真空断熱材 Box 中の熱の移動は、伝導 > 対流 > 放射の順に影響される。