

# 環境負荷低減に役立つ

—Pca製品型枠の新養生法—

商品名

## 「ゲルマスティック」 (ゲルマヒーター)

ゲルマヒーターとは、  
新素材(半導体・酸化金属等の混合体)による発熱体です。

電磁波放射無し破れによる漏電の心配もありません

超薄型面状発熱体で曲面にも柔軟に貼り付けられます

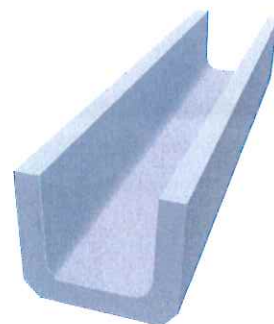
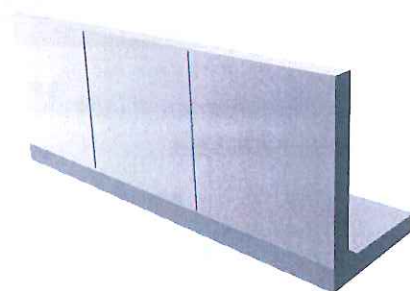
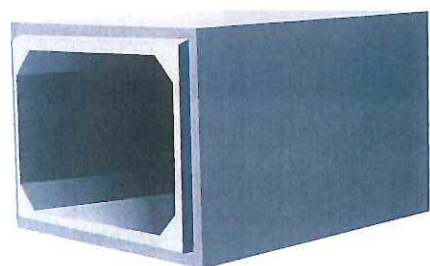
低電圧AC/DC 3V~400V

熱放射が少なく昇温、降温が早く温度調整は自由自在

最小15mm四方 ~ 最大600mm×3,000mm

【採用実績】

高架橋凍結防止、覆工コンクリート養生





ホーム 技術広報誌 ET 2016年 面状発熱体を用いた覆工コンクリートの高品質化

## 面状発熱体を用いた覆工コンクリートの高品質化

庄司淵トンネル工事

東北支店 工事事務所 増田 丑太郎 / 木佐一 伸 本社 土木技術部 福井 正規

### はじめに

庄司淵トンネルは、東日本大震災の復興支援道路である全長約45kmの相馬福島道路の一部として、福島県伊達市に建設している延長929mの山岳トンネルで、冬の寒さが厳しい阿武隈高地の標高約400m地点に位置しています(写真-1)。ここでは、覆工コンクリートの寒中施工におけるひび割れやはく離の発生を抑制して、品質を向上させるために当工事で導入した面状発熱体(写真-2)について紹介します。



写真-1 冬の庄司淵トンネル



写真-2 面状発熱体

### 覆工コンクリート打設と養生

覆工コンクリートの施工においては、鋼製の移動式型枠(写真-3)を使用して厚さ40cm、周長25m、延長10.5mの無筋コンクリート(両坑口部は補強鉄筋入り)を打設し、2日に1回のペースで打設と脱型のサイクルを繰り返します。型枠の取外しは、一般に打設後12~20時間の若材齢で行われていますが、早すぎる型枠の取外しは、コンクリートのひび割れや角欠け、表面はく離などのおそれがあるため、一軸圧縮強さで2~3N/mm<sup>2</sup>を確保する必要があります。

積雪寒冷地域におけるトンネルの坑内温度は、坑内換気やトンネル貫通後の外気の通風による影響を受けやすく、冬期には坑内温度が0℃近くまで下ります。脱型に必要な強度を早期に確保するため、通常はジェットヒーターやシート養生を組み合わせで型枠脱型前の養生を行います。冷気の侵入や暖気の上昇により温度分布に偏りが生じ、温度ひび割れの原因となったり、温度の上がらない部分に表面はく離が生じたりするなどの問題がありました。特にクラウン部(トンネルアーチの頂部)付近は高温になりやすく、急激な乾燥が生じる場合があります。そこで、当工事では、接地面を均一に加熱することができる面状発熱体で型枠を直接加温する方法を採用しました。



写真-3 移動式型枠

### 面状発熱体の特徴と効果

#### ○面状発熱体の特徴

面状発熱体とは、通電により発熱する幅150mm、長さ300～1,400mm、厚さ約5mmの面状のヒーターです。曲面にも密着して設置することができ、サーモスタットにより容易に設置面の温度調整ができます(設定温度0℃～60℃)。

#### ○面状発熱体の設置

面状発熱体は、打設窓や補剛材を除くセントル内側のほぼ全面に一様に配置しました(図-1)。型枠背面にマグネットシートで面状発熱体を貼り付け、その上から気泡緩衝材で覆い、放熱を防止しました(写真-4、図-2)。

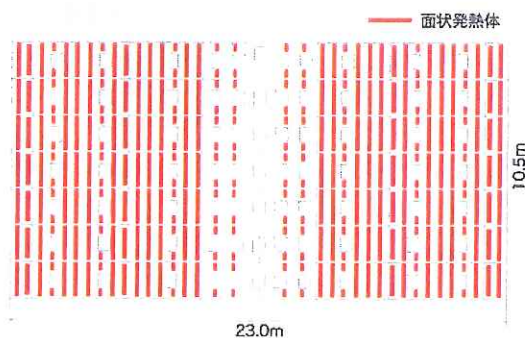


図-1 面状発熱体の配置展開図





写真-4 型枠への設置状況



図-2 面状発熱体設置断面

○面状発熱体の効果

①品質:従来は、ジェットヒーターの台数を増減して温度をおおまかに調整していましたが、面状発熱体を用いると、設定温度を変更することで、0.5℃単位で目標とする温度に近づけることができます。また、設定温度以上になると自動で保温を停止するため、温度ムラを抑制し、温度ひび割れや加温不足によるはく離を防止できました。効果検証のため、型枠の半分を加温(設定温度:30℃)、残り半分を無加温として行った試験では、表面強度と透気係数などの表層品質が向上することや、脱型後の温度ムラが少ないことなどがわかりました(表-1、図-3)。

測定項目	平均表面強度 (N/mm <sup>2</sup> )		平均透気係数 ( $\times 10^{-16} \text{m}^2$ )
	$\sigma_3$	$\sigma_7$	
加温	11.9	17.0	0.65
無加温	9.2	15.7	1.33

表-1 各種試験結果

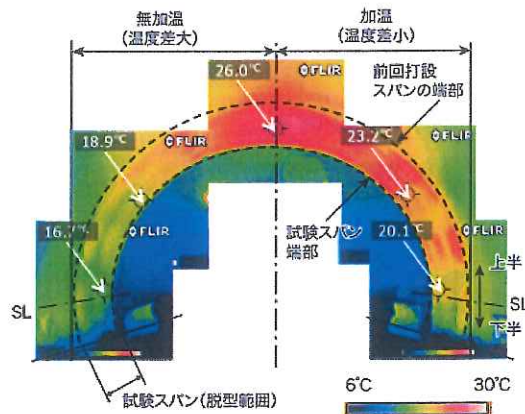


図-3 脱型1時間後の表面温度

②安全性:従来は、灯油を燃料とするジェットヒーターの直火で空気を加温するため、周囲の可燃物への引火や、密閉された養生空間内での酸欠が懸念されます。面状発熱体は電気で加温するため、引火や酸欠のおそれがなく、安全性が向上しました。

③省力化:従来の方法では給油やヒーターの移動が必要ですが、面状発熱体ではこれらの手間が一切掛からず、燃料切れの心配もなく、省力化が図られました。

④環境:従来の方法では、大量の灯油を燃やすことから、大気中に多くのCO<sub>2</sub>を排出し、燃焼時には灯油特有の異臭が発生します。面状発熱体を用いると、CO<sub>2</sub>の排出量を抑制でき、異臭もなく作業環境を改善できました。

おわりに

当工事では、平成28年7月14日に覆工コンクリート工が無事完了しました(写真-5)。面状発熱体を採用した寒中施工区間において温度ひび割れや表面はく離が抑制され、均質な品質を確保することができました。本技術はまだ施工実績の

少ない技術であり、当工事での知見を活かして今後も改良を重ね、より高品質なトンネルの施工に取り組んでまいります。



写真-5 覆工コンクリート施工完了

工事概要

工事名称	国道115号 庄司測トンネル工事
工事場所	福島県伊達市霊山町石田地内
発注者	国土交通省 東北地方整備局
施工	(株)鴻池組
工期	平成26年2月～平成28年10月
工事概要	トンネル延長 L=929m 掘削断面積 101m <sup>2</sup> 施工法 NATM 掘削方式 発破掘削 掘削工法 補助ベンチ付全断面工法 / 上半先進ベンチカット工法 主要工事数量 トンネル掘削・支保工: 927.6m 覆工コンクリート・防水工: 927.6m インパート工: 234m 坑門工: 2基 道路土工: 3460m <sup>3</sup> 吹付法砕工: 121m <sup>2</sup> 軽量法砕工: 232m <sup>2</sup>

排ガス4次規制対応の大型ホイールローダーを国内初導入

山岳トンネル工事の早期完成のためには、掘削工程のサイクルタイムを短縮することが必要となります。当工事では大断面トンネルであることを活かし、繰り返し作業である掘削工のうちズリ搬出作業の迅速化を図るべく、5m級の大型ホイールローダー(コマツ製WA500-7フロンショベル)を導入しました。今回導入した大型ホイールローダーは、排ガス4次規制(2011年改正基準)対応の機械で、トンネル工事においては国内初導入となります。

これにより積込回数を半減することが可能となり、サイクルタイムを大幅に短縮することができました。また、ロード&キャリアの回数減により路盤整備・補修が軽減されたほか、4次規制基準クリアの排ガスによる坑内環境の改善や、ダンプトラックを含む使用機械の燃料費、修理費の軽減など、様々な面で改善効果が得られました。



483号(2016年10月01日)

面状発熱体を用いた覆工コンクリートの高品質化

中山道の街並みをモチーフにした波状の屋根をもつ校舎の施工

JOG工法による不同沈下建屋の復元

## 特徴および内容

2011/7/22

### 特 徴

ゲルマヒーターは、テフロンに、金属原子、非金属原子を加えて、テープ状に成型した発熱体です。  
また、それらの元素の配合を組み合わせ、同じ大きさでも異なる7種類の発熱体を用意しています。  
発熱速度が速い。穴を開けても発火しない。突入電力がない。

32x1000 mm	A 帯	900~1000Ω
32x1000 mm	B 帯	1000~1200Ω
32x1000 mm	C 帯	1200~1400Ω
32x1000 mm	D 帯	1400~1600Ω
32x1000 mm	E 帯	1600~1800Ω
32x1000 mm	F 帯	1800~2000Ω
32x1000 mm	G 帯	3000Ω

**設 計 電 圧** AC/DC とも 3V~400Vまで、設計できます。

**設 計 温 度** 環境温度を 20°C時、30°Cから 200°C(環境温度 0°C時の場合 10°C~200°C)

**設 計 面 積** 最小 15×15 mm~最大幅 600 mm×最大長さ 3000 mm

※15×15などの寸法が小さい場合 印加電圧に制限があります。

**破 壊 温 度** 250°C以上(母材のテフロン、ラミネートの接着剤が破壊するため)

**ラ ミ ネ ー ト** ポリエステル(UL510)130°Cまで、アセテート(UL510)130°Cまで、ポリイミド(UL510)200°Cのいずれか

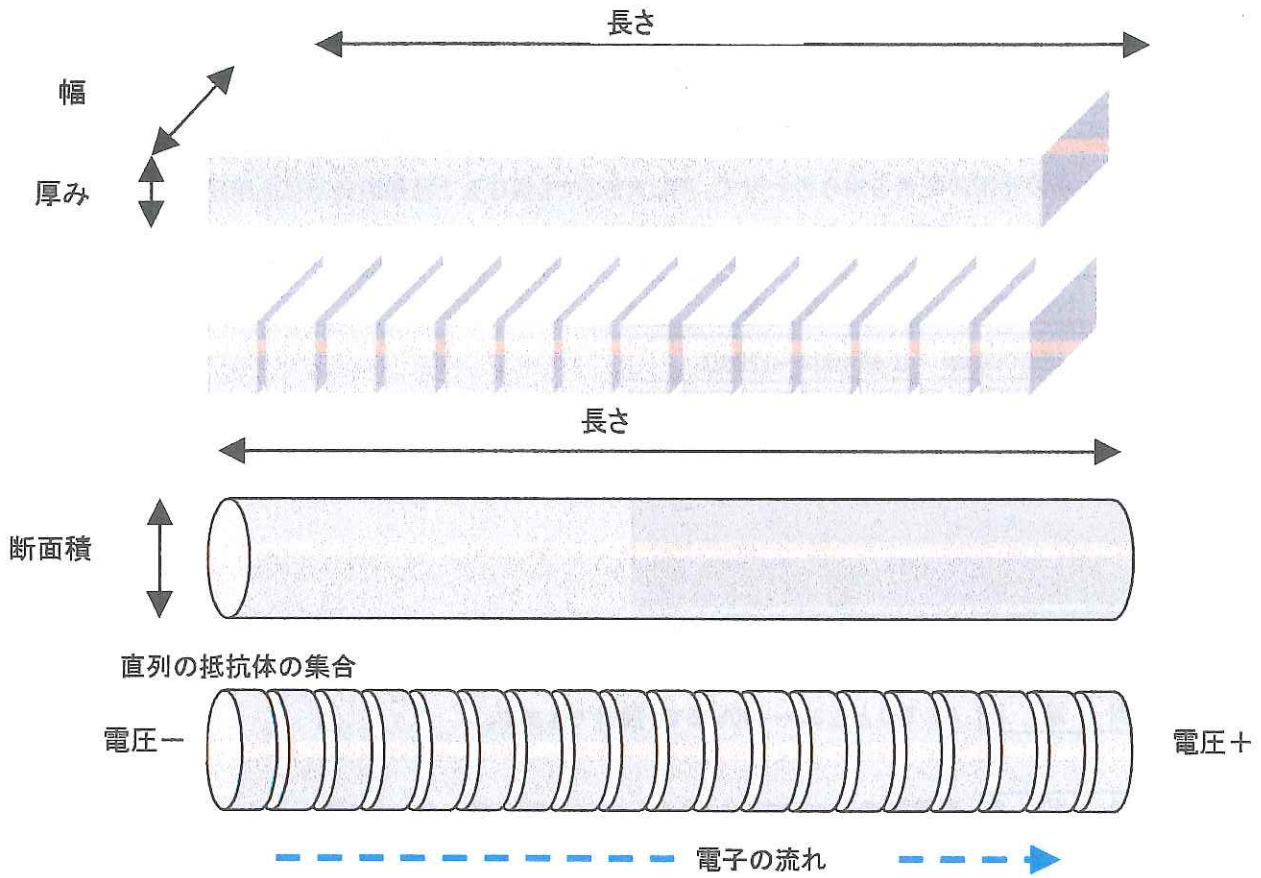
**混 合 物 の 区 分** 金属元素、非金属元素の混合物 RoHs対応

**成 分** (C)・(F)・(S)・(O)・(H)・(Al)・(Si)・(Na)・(Cl)・(Mg)

**含 有 率** 非公開

**自主的試験データ** 鉄道車両用軌材燃焼試験( 社団法人・日本鉄道車両技術協会 )  
本体分析結果報告書 ( 財団法人・当会技術センター )

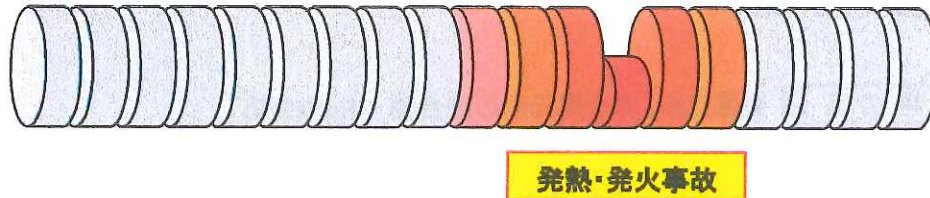
## 熱線一般ヒーターの抵抗



上記とおり長さ(面積)に応じて抵抗値を決定する。

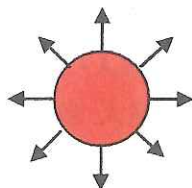
## 事故の検証

キズ、打痕などのダメージを受けると 断面積が減少する  
結果発火事故が発生する。



このことにより一般の発熱体は下記のような小さい抵抗体の直列配列である。

1Ωの抵抗体の姿図

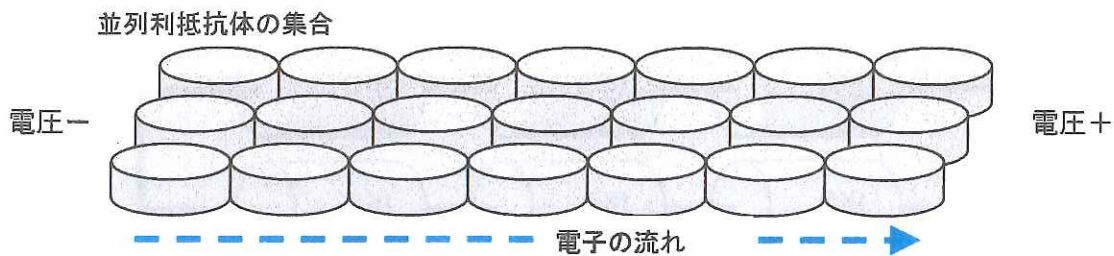
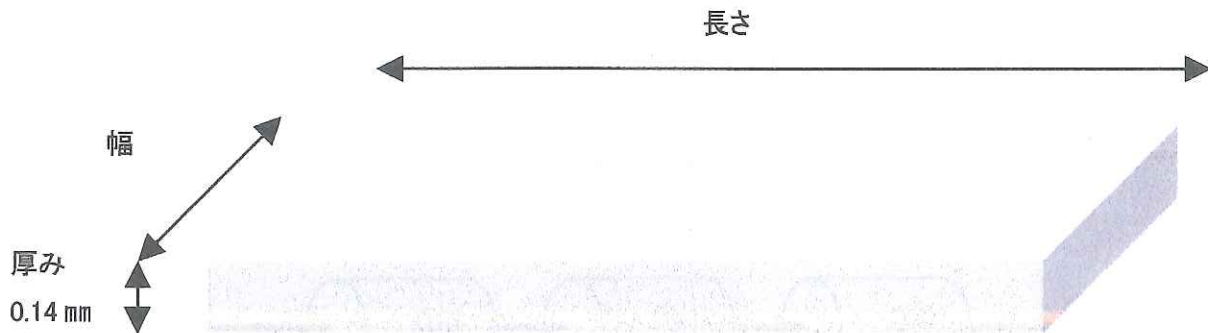


熱の種類は近赤外線

熱線ヒーターの発熱方向 面より直角放出



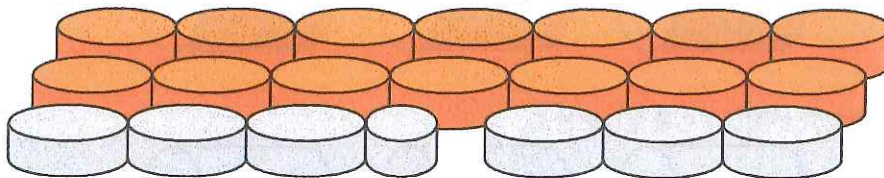
## ゲルマヒーターの抵抗



上記とおり長さ(面積)に応じて抵抗値を決定するが、ゲルマヒーターは、ページ 4 に記載されているように 同じ面積でも成分の比率を変えて いくつかの抵抗体を製造する技術を持つ。

## 事故の検証

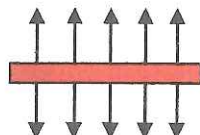
キズ、打痕などのダメージを受けると ダメージ部分だけ断面積が減少する  
断面積が減少するとその部分だけ発熱をしない。



正常な部分だけ作動

このことによりゲルマヒーターは下記のような小さい抵抗体の並列配列である。

1Ω の抵抗体の姿図



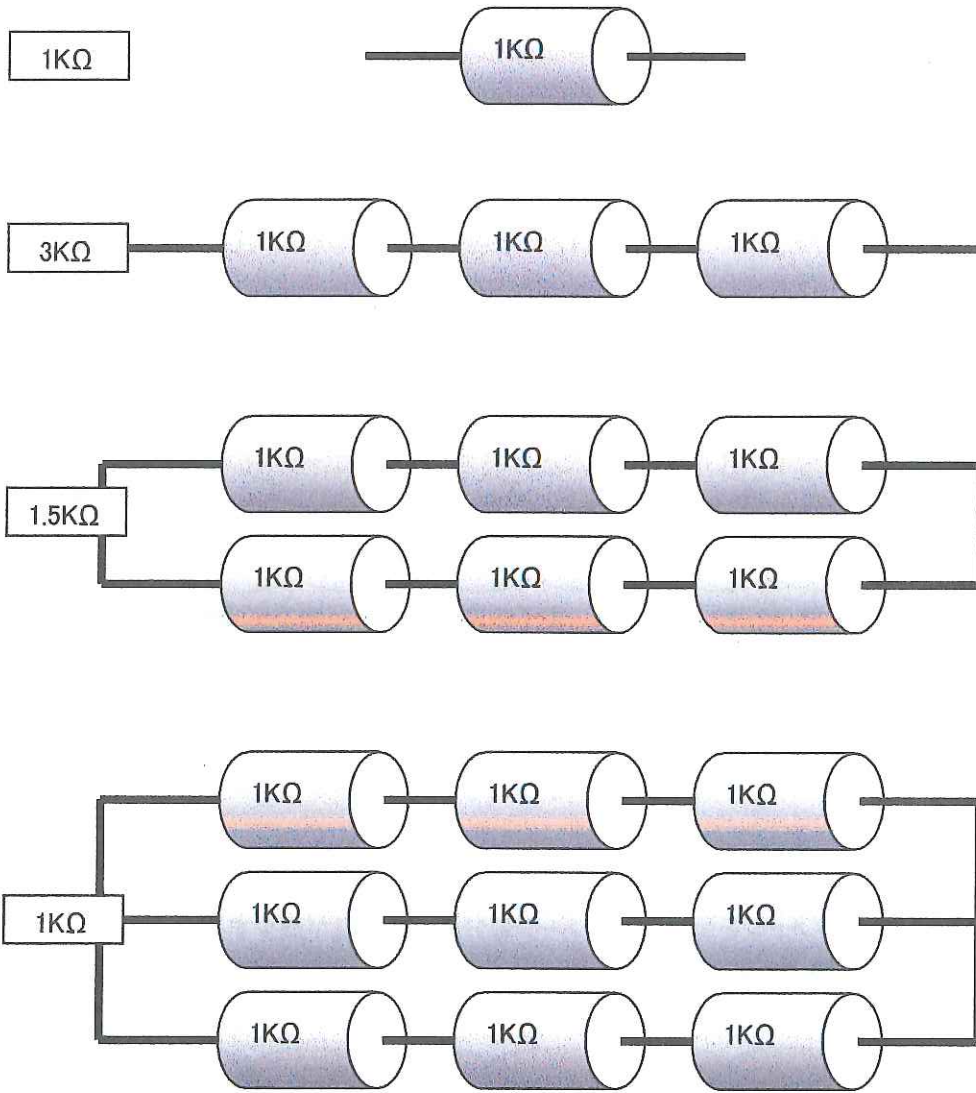
熱の種類は 遠を含む赤外線

熱線ヒーターの発熱方向 面より直角放出

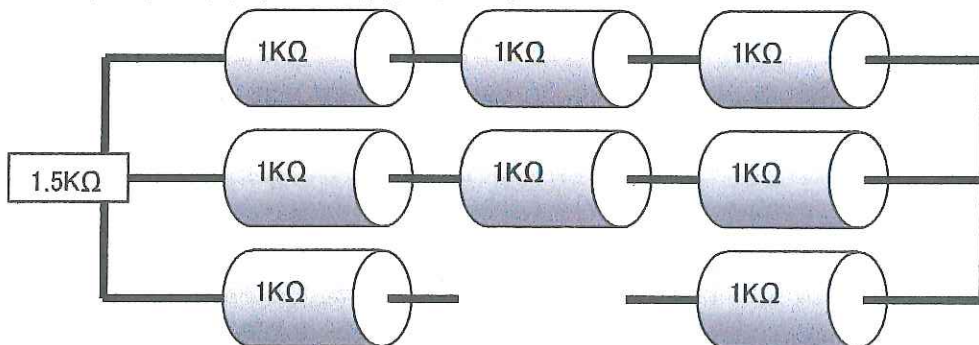
## 検証

抵抗を使った実験での立証

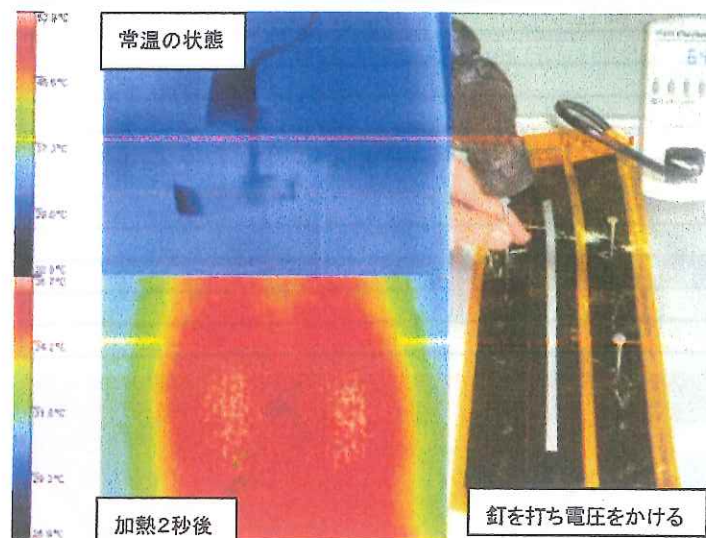
ゲルマヒーターは下記図のような並列集合体である。



このような原理で穴が開いても暴走しません。



## 安全性



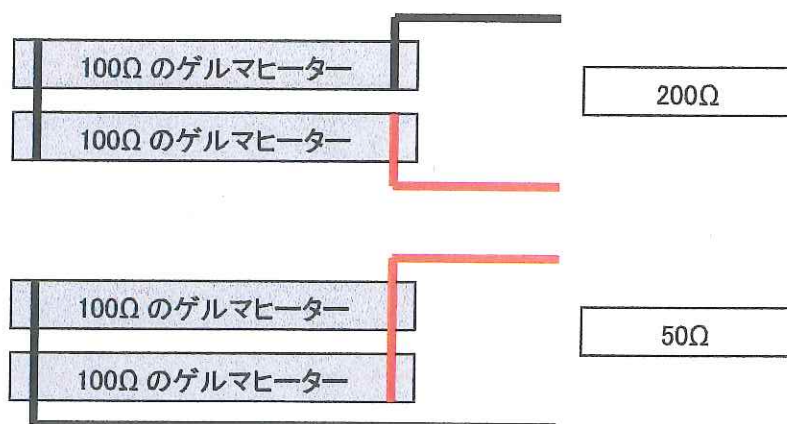
※釘打ちはあくまでもテストです。

## エコ

ゲルマヒーターは、半導体の性質を持っています。ヒーターに断熱材を施すことで、ヒーターパワーが更に向上いたします。パソコンの排気口をふさぐのと同じ原理です。

## 配列

ゲルマヒーターはヒーターの種類だけでなくその配列を組み合わすことで、希望の設計が可能です。

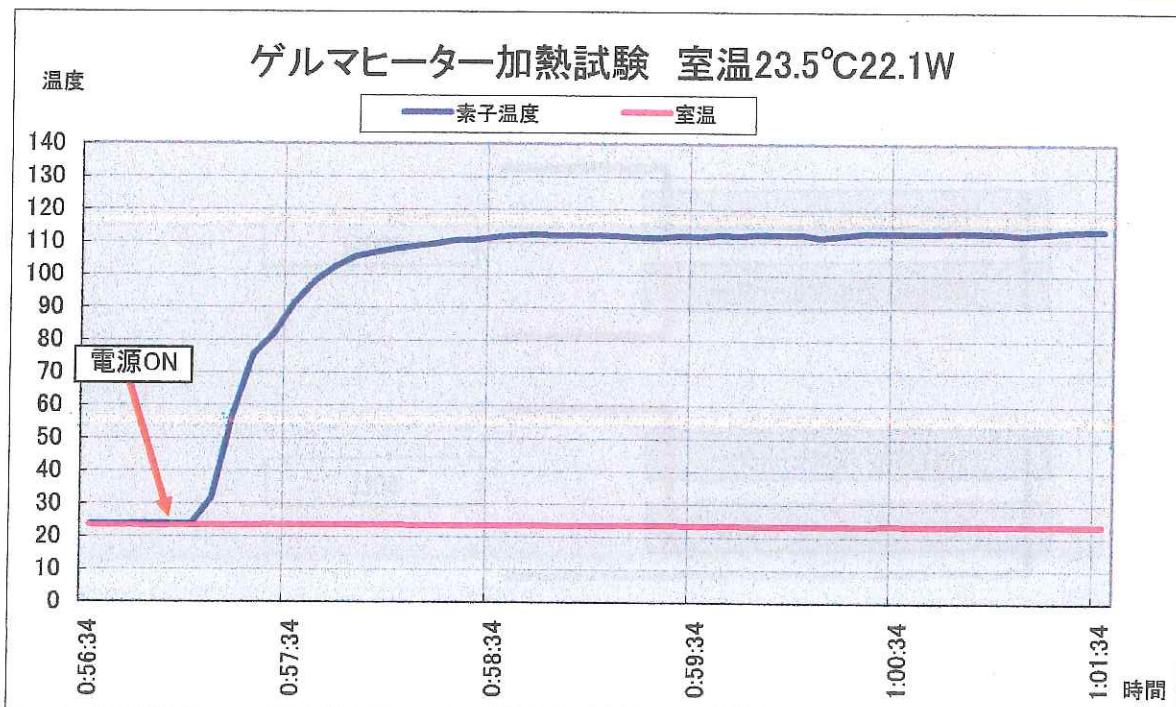
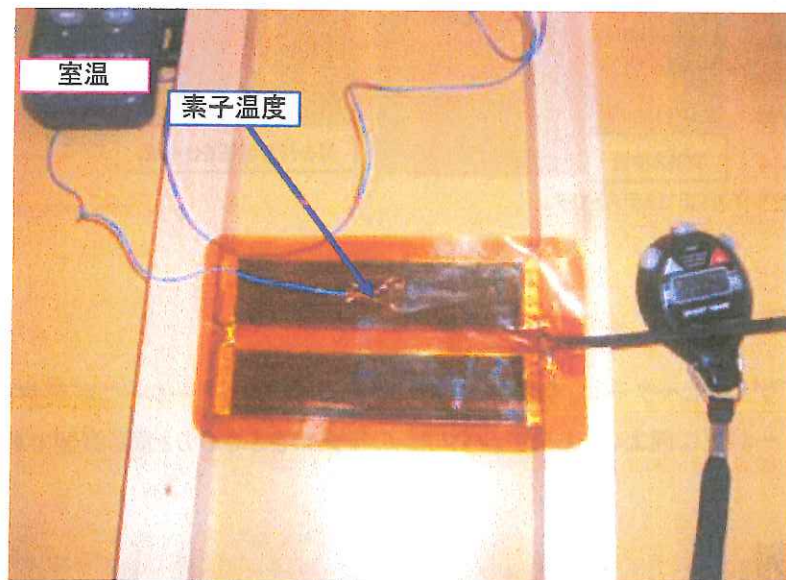


## ゲルマヒーター加熱試験 室温24°C素子22.4W

日本ゲルマヒーター株式会社

試験要項	ゲルマヒーターを空中にて表面温度を計測
ヒーター温度	110°C(空中測定 室温20°C時)
測定場所	日本ゲルマヒーター株式会社
測定日	平成18年10月28日
開始時間	0時56分34秒
終了時間	1時01分34秒
測定者	竹元嘉雄
室温	平均23.5°C
供給電圧	AC-100V
測定器	デジタルサーモ測定器 6秒間ロガー測定
加熱物	
素子抵抗値	消費量22.1W

測定ポイント

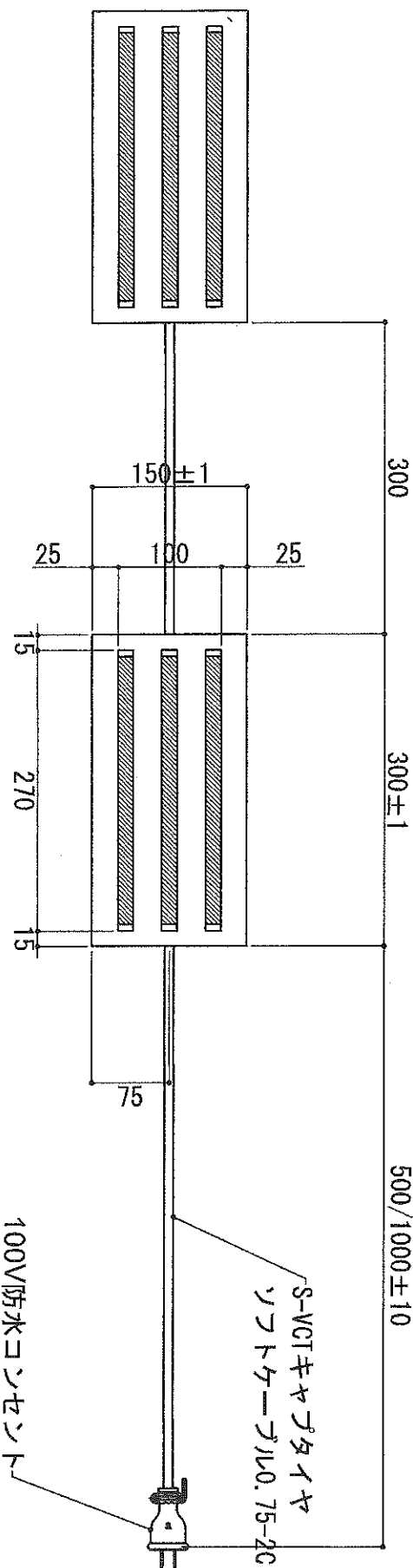
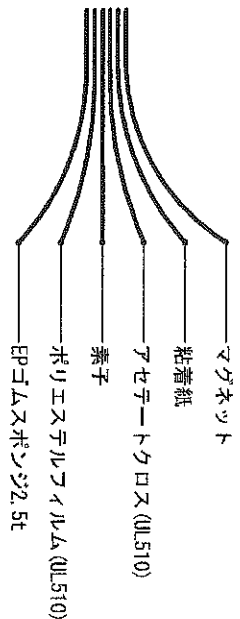


空中放置温度70~80°C(環境温度20°C時)

AC100V 20.4Wx2

仕様表

NO	名 称	規 格
1	表面仕上げ	ポリエスチルフィルム631#25BK/C
2	ゲルマニウム	15×270×0.14(mm)G
3	電圧	100V
4	保護テープ	ポリイミドフィルム650S #25
5	配線	平編線 0.5sq
6	銅箔	導電補助端子
7	電線	
8	消費電力	20.4Wx2
9	電流値	204mA(490Ω)
10	温度	空中放置70~80°C (環境温度20°C時)
11	絶縁耐圧	AC1500V 60秒
12	絶縁抵抗	DC500V 100MΩ以上



単位(ミリ) 特記※掲載の製品は仕様及び外觀を改善のため、予告なく変更する場合がありますのであらかじめご了承ください。

File name	Sheet no.	Total sheet	Size (mm)	SCALE
		1/12	W300 X D150 X H 0.64	1/12
			Revision history	
			2016.10.07	
			Checked by	
			Drawn by	

16-10-07-001



## ・ゲルマヒーター電力消費比較調査

### 1. 概要

- ・今回の調査では白熱電球を使用した投光器と、ゲルマヒーターとの消費電力の違いを調査、比較する。

### 2. 調査方法

- ・比較対象として、300Wの白熱電球を使用した投光器を使用する。
- ・計測は屋内で行い、電源は商用AC100Vで使用する。
- ・電力計を使用して、その瞬時値を計測してその平均値を調べる。

### 3. 調査結果

#### ・投光器(電球300W)調査結果

	瞬時値					平均値
	計測1	計測2	計測3	計測4	計測5	
電圧(V)	98.3	98.1	98.2	98.0	98.1	98.1
電流(A)	2.23	2.23	2.23	2.23	2.23	2.23
電力(W)	190	189.8	189.8	189.4	189.6	189.7

#### ・ゲルマヒーター調査結果

	瞬時値					平均値
	計測1	計測2	計測3	計測4	計測5	
電圧(V)	100.5	100.7	100.6	100.8	100.9	100.7
電流(A)	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38
電力(W)	33.02	33.00	32.99	33.07	33.17	33.05

- ・電力量料金の単価を1kWh=17円(参考値)としたときの、1日8時間使用した場合の1カ月(30日)の電力量料金比較

投光器  $17 \times 0.1897 \times 8 \times 30 = 774$ (円)

測定物  $17 \times 0.03305 \times 8 \times 30 = 135$ (円)

投光器の約1/5.7

### 4. まとめ

- ・ゲルマヒーターは投光器(300W)と比べて約150W低い結果となった。
- ・電力量料金は、各電力会社や料金プランで単価が変動しますが、大幅に安くなることが分かった。