

抵抗発熱体

(1923年～現在)

Key-words : ニクロム、黒鉛、炭化けい素、二珪化モリブデン

注1 抵抗R(Ω)の物体にI(A)の電流を流した時に発生する熱量。「 $Q=I^2R$ 」で計算でき、この式はジュールの法則と呼ばれる。

一般的な加熱用熱源としては、抵抗加熱(抵抗発熱体)、アーク加熱、誘導加熱、誘電加熱(マイクロ波)、赤外加熱、レーザー加熱、ヒートポンプ加熱、ガス加熱など多くの種類が存在する。この中で抵抗発熱体は電気をエネルギー源として発生するジュール熱^{注1)}で加熱するものであり、長く活用されている。民生用としては、遠赤外線ヒーターやポット等に使用されているが、多くは工業用途で使用されている。今回はこの工業用として使用する抵抗発熱体についてご紹介する。

1. 製品適応分野

工業炉用電気発熱体として、金属熱処理、電子部品、窯業などさまざまな産業で使用されている。代表的なものとしてMLCC(積層セラミックコンデンサ)、ガラスなどを製造するための発熱体として使用されており、これらはパソコン・スマートフォン・液晶テレビ・自動車・太陽光発電装置など現代社会では欠かすことのできない製品の製造工程に使用されている。また、近年ではLiB(リチウム二次電池)の製造工程でも使用されている。

2. 適応分野の背景と製品の特徴

抵抗発熱体には数多くの種類が存在するが、抵抗発熱体の中で大きく区分すると金属発熱体・非金属発熱体の2つに区分される。金属発熱体には、Ni-Cr系、Fe-Cr-Al系、モリブデン、タングステン、白金、二珪化モリブデンなどの種類がある。また一方非金属発熱体には炭化けい素、黒鉛、ジルコニア、ランタンクロマイドなどがある。本稿では代表的な発熱体4つを紹介する。

(1) Ni-Cr系発熱体

Ni-Cr発熱体は金属発熱体の代表的なものであり、安価・加工が容易などの長所があり最もポピュラーな発熱体といえる。組成としては、Ni80% Cr20%およびNi60% Cr17% (残りFe)の2種類が広く使用される。発熱体表面に酸化膜(Cr₂O₃)が生成され保護膜とした機能する。

(2) 二珪化モリブデン発熱体は、MoSi₂という金属材料の表面にSiO₂(ガラス)膜を生成して使用する発熱体である。このSiO₂膜は保護膜として機能を発揮し、高温まで使用できるものとなっている。そのため金属発熱体にも関わらず大気中で1900℃という高温まで使用できる特徴を持っている。ただし還元雰囲気・真空度の高い雰囲気ではSiO₂が損傷されるので使用温度が低くなる。また欠点としては、常温で脆くまた熱

衝撃に弱く高温域で軟化変形しやすいことである。形状としてはU・W型が主体。

(3) 炭化けい素(図1)

炭化けい素発熱体は非金属発熱体の代表的な商品であり、高い耐熱性・耐食性を示す発熱体である。電気的性質としては600℃付近までは負特性を示し、それ以上の温度では正特性を示す。使用温度としては最高1600℃まで使用でき、汎用性の高い温度域で使用できる発熱体である。この炭化けい素発熱体も二珪化モリブデンと同じく素体表面にSiO₂膜を生じ、保護膜として機能を発揮するものである。

表1 代表的な発熱体とその特性

名称	標準組成	最高使用温度(発熱体表面温度)℃	固有抵抗Ωcm	融点・分解温度℃	密度g/cm ³
ニクロム	Ni-Cr	1,000℃(大気)	112×10 ⁻⁶	1400	8.25
炭化けい素	SiC	1650℃(大気) 1300℃(水素) 1450℃(窒素)	0.02~0.1 (1000℃)	2400℃以上	3.2
黒鉛	C	2600℃(非酸化雰囲気) 2200℃(真空)	8×10 ⁻⁶ (20℃)	3500℃	2.2
二珪化モリブデン	MoSi ₂	1900℃(大気) 1350℃(水素) 1600℃(窒素)	0.3×10 ⁻⁶ (20℃)	2030℃	5.5

各発熱体の特性を基に発熱体選定を行う。ここでは最高使用温度、固有抵抗、密度を示す。



図1 炭化けい素発熱体の形状と発熱の様子

図の発熱体はSiC発熱体の中で高出力が賄える発熱体であり、名称はスパイラル型発熱体(SGR)。最高使用温度は1600℃であり、ガス燃焼に変わるクリーンな熱源として注目を集めている。

ただし使用に従い徐々に抵抗増加し寿命に至る。形状は棒状、U、W、スパイラル型などが使用されている。

(4) 黒鉛

最も高温域まで使用される発熱体であり、不活性ガス等の非酸化雰囲気で2,600℃程度まで使用できることが大きな特徴である。ただし酸素・水蒸気などと400℃から急速に反応するため、酸化雰囲気での使用はできない。加工が容易であり様々な形状に加工され、棒状、管状、U型、W型、ラセン型などが使用されている。高純度化にも対応でき、半導体用としても使用される。また黒鉛発熱体は、抵抗加熱だけでなくアーク加熱用としても使用されており、製鋼用電極としても需要が高い。

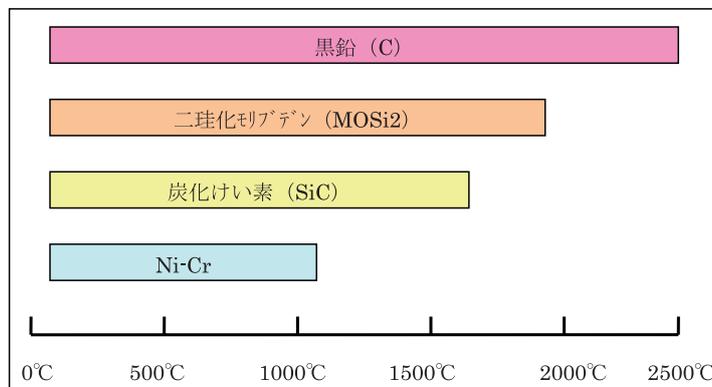


図2 使用温度と発熱体の使用範囲

Ni-Cr<炭化けい素<二珪化モリブデン<黒鉛の順に使用温度が高くなっており、発熱体選定の重要な要因となる。

(2) 有害な物質

また発熱体にとって有害な物質については留意する必要がある。

- ①硫黄：ニッケルと反応して低融点化合物を生成するので注意が必要。
- ②ハロゲン^{注2)}：塩素・フッ素などのハロゲン元素は、保護被膜と反応して被膜の生成を妨げ、発熱体の短寿命化を引き起こす。ハロゲン元素は、活性が高く発熱体にとって最も注意が必要な元素といえる。
- ③アルカリ金属^{注3)}・低融点金属：ナトリウム・カリウムなどのアルカリ金属や亜鉛・鉛・錫などの低融点金属は保護被膜と反応して低融点化する。
- ④酸・アルカリ：セラミック発熱体であるSiCやCは耐性が強いが、金属と反応するため金属は注意が必要。

3. 発熱体選定の注意点

(1) 材質の選定

発熱体を選定するに当たり、必要な事項としては①使用温度、②雰囲気、③処理物からの揮発物、④発熱体の価格、⑤バッチ式か連続式か、⑥処理量、⑦処理品の熱容量、⑧処理品を積載する治具の重量・熱容量、⑨昇温速度、・・・などの事項を考慮する必要がある。ただし①～④の条件でおおよその発熱体選定を行い、⑤以降の事項で発熱体の数量や寸法などの事項を選定することが多い。

注2 周期表において第17族に属する元素の総称。フッ素 (F)、塩素 (Cl)、臭素 (Br) などが該当する。

注3 第1族元素の中において、元素の持つ化学的性質の共通部分について与えられた名称がアルカリ金属である。Na, Kなどが該当する。

- ⑤水蒸気：雰囲気中の水蒸気は酸化劣化を促進するため、できるだけ低温域にて炉外に排出することが望ましい。

4. 将来展望

これらの発熱体は、素材として以前から使用されてきているものである。近年は環境負荷低減の観点から、新たな製造過程に展開されてきている状況となり、発熱体に対する要求性能も更に多種多様になりつつある。材質性能に加え、SDGs (省電力化) へ関ることができれば、今後更に拡大していくことが予想される。

文献

日本電熱協会発行「エレクトロヒート 2003No.128 坂本和久「抵抗発熱体」

日本電熱協会発行「エレクトロヒート 2003No.128 坂本和久 [連絡先] 山本 将隆
東海高熱工業(株) 仙台工場
〒989-1612 宮城県柴田郡柴田町中名生字佐野 34-1