

## 《解 説》

## 天然ゼオライトの遠赤外放射材料への応用

秋田大学鉱山学部 吉村 昇

## 1. はじめに

秋田県における天然ゼオライトは県北部を中心に、全国の生産量の2割を占めており、その埋蔵量は約800万トンとも言われている。しかしながらその利用範囲は農業利用（土壌改良剤、農業キャリア、畜産飼料等）などに限られ、有用な産業資源としては利用が限定されているのが現状である。

そこで天然ゼオライトの成分に含まれている $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ が遠赤外線を良く放射する材料であることから、天然ゼオライトの持つ遠赤外放射特性に着目し、その天然産品をそのまま遠赤外放射材料として利用できないかを検討することで、その高度利用化の実現をねらっている。

ここでは、天然ゼオライトにおける遠赤外域の分光放射率と遠赤外放射による加熱特性について述べると共にその有用性に関して紹介する。

## 2. 遠赤外線とは

従来、遠赤外線の応用分野として、工業や農業、食品、さらに医療の分野など広い範囲にわたって利用されており、最近家庭用の暖房器具や調理器具にも遠赤外線が利用され始めている。その「遠赤外線」とは、電磁波の一種であり、約 $4\mu\text{m}\sim 1\text{mm}$ の波長の電磁波と考えられている（この波長区分は確定したものがないのが現状であるが、IEC（国際電気標準会議）の国際電気標準用語として $4\mu\text{m}\sim 1\text{mm}$ が標準化されている<sup>1)</sup>）。その遠赤外線は、エネルギー的に強力でないため化学的な変化を伴わず加熱乾燥や加工が可能で、加熱・加工後の仕上がりや品質が良好であるという特徴を持っている。これらの遠赤外放射を利用した加熱法は、新しい技術ではなく古くから日常生活に利用されており、例えば石焼き芋なども一種の遠赤外加熱である。

## 3. 遠赤外放射体の基本事項

絶対零度でない限りどんな物質でも持っている熱エネルギーを電磁波のエネルギーに変換して、外部

へ放出するという性質がある。この性質のことを「熱放射」というが、熱エネルギーをエネルギーの損失なく電磁波のエネルギーに変換する物質を「黒体」といい、温度による放射強度と波長特性がプランクの法則より求めることができる。図1にプランクの法則から得られた黒体の分光分布を示す。

実在の物体には黒体に近いエネルギー変換を行う

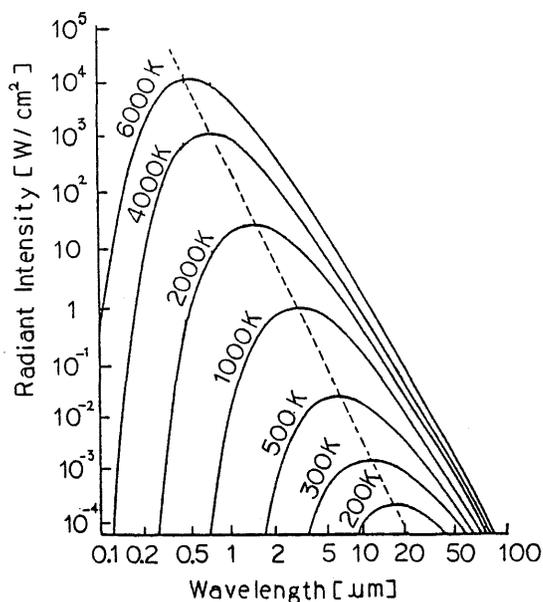


図1 各種温度における黒体放射のエネルギー密度

表1 各種材料の放射率の例<sup>2)</sup>

材 料	対象温度(℃)	放射率(ε)	
Al {	200～600	研磨面	0.039～0.055
		粗 面	0.055～0.08
		酸化面	0.01～0.65
$\text{Al}_2\text{O}_3$	100～1000	0.59～0.78	
$\text{ZrO}_2$	800	0.74	
SiC	800～1600	0.90	
炭 素	1500～3000	0.78～0.84	
煉 瓦	800～1500	0.90～0.95	

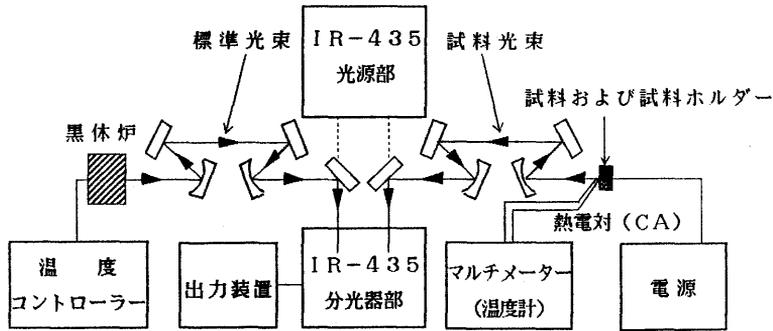


図2 分光放射率の測定系

ものから、変換能率の低いものまで多種多様にある。実在の物体について、このエネルギー変換の過程における理想状態からのずれを「放射率」という。つまり、物体の放射率( $\epsilon$ )は黒体を1とした比率で表され、通常  $0 < \epsilon < 1$  の値をとる。表1に放射率の大小についてまとめた結果を示す<sup>2)</sup>。

#### 4. 分光放射率の測定

##### 4.1 実験装置・方法

遠赤外放射材料を評価する方法としては、分光放射率を測定するのが一般的である。そこで、本研究では光学的零位法を原理とする赤外分光光度計(島津製作所 IR-435 型)を基本とした装置を測定に用いた。その測定系を図2に示す。本装置は標準光源として温度コントローラー(Shimaden製, SR-22)を備えた黒体炉を用いている。試料を設置・加熱する試料ホルダーには試料表面の放射面積を一定にする役割を持つ直径10mmの窓が設けてある。ホルダーの加熱系へ印加する電圧はスライダックによって調節し、発生熱量をコントロールした。圧着した放射体試料の表面温度は、熱電対(CA)とマルチメーター(アドバンテスト製, TR2114)で測定した。試料表面からの放射は4枚のミラーによって分光光度計分光器部に導かれ、ここで同じように導かれた黒体炉の放射と比較した。分光光度計出力部には、黒体炉の放射強度を100%としたときの試料表面の放射強度が表示される。本装置の分光光度計は熱電形の検出器を用いているために、その性能を生かすには入射光のエネルギーをある程度大きくする必要がある。本研究では、装置の応答性などを考慮して黒体炉内部と試料表面の温度を400℃に設定して測定を行った。装置の校正は、基準となる数種類の試料を長野県工業試験場の分光放射特性測定装置で測定し、得られたデータを基準に本装置のセッティング

を行った。なお、本装置では2.5 $\mu$ m~25 $\mu$ mの領域で測定が可能である。

##### 4.2 実験結果

本研究で使用した天然ゼオライトは以下のプロセスで作製したものを用いた。まず、天然ゼオライトの粉体(平均粒径6 $\mu$ m)にバインダーとしてPVA樹脂を加え、2 ton/cm<sup>2</sup>の圧力で、直径14 mm~16 mm、厚さ1 mm~3 mmの円盤状の試料とし、空气中で1050℃で焼成させたものを使用した。また、天然ゼオライトとの特性比較のため酸化物セラミックスとして同じプロセスで作製したAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、TiO<sub>2</sub>(焼成温度はそれぞれ1400℃、1300℃)を用いることにした。

測定結果として、表面温度を400℃に設定したときの天然ゼオライト、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、TiO<sub>2</sub>の分光放射率測定結果を図3に示す。天然ゼオライトは10 $\mu$ m付近に放射率の落ち込みが見られるものの、測定した波長領域では全体的に放射率が高く、また波長に対する放射率の変化が小さいといえる。一方、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、TiO<sub>2</sub>の場合は、その分光放射率に大きな落ち込み

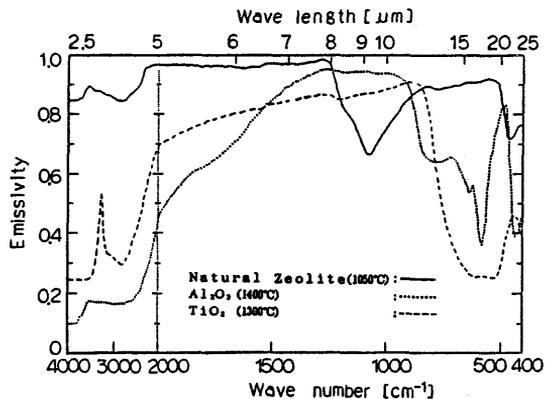


図3 各種放射体の分光放射率 (放射体表面温度:400℃)

の存在することが確認された。

赤外放射を利用するニーズ側から放射体の分光放射率を考慮した場合、赤外放射の作用効果を利用しようとする物質の赤外吸収特性と整合のとれた赤外放射が最も望ましいといえる。そのため、一般の物質では各波長に対する放射率の値が平坦ではないため、放射率と温度とによって決定される放射エネルギー分布と、被加熱物の赤外吸収特性とがなるべく一致するように、放射体と使用温度を選定しなければならない(選択放射である)。一方、天然ゼオライトのように理想黒体に近い分光放射率を持つ放射体では、加熱に使う波長域を選択してやる必要がなく、すべての波長で高い放射エネルギーを得ることができる。つまり、赤外吸収特性の異なる被加熱物の加熱の際、それに適した放射体を選択してやる必要がなく、1つの放射体で被加熱物に対し最大の放射が可能となる。これらのことから、天然ゼオライトは最適な放射体材料であると考えられる。

### 5. 天然ゼオライトの遠赤外加熱実験

天然ゼオライトはその分光放射特性に他の酸化物セラミックスに比べ、優れた特性を持っていることを前項で述べた。さて、この特性が天然ゼオライトをヒータとして用いた場合に、加熱効果にどう現われるか、実際に加熱を行い温度上昇の様子を赤外線カメラを用いて計測を行った。

#### 5.1 ヒータ

測定に使用したヒータは1050℃で焼成した天然ゼオライト(直径47mm)を加熱板に密着させ、裏面から温度上昇させる方法で、セラミックス表面温度を400℃に設定して測定を行った。セラミックスの放射部には、放射面積を一定にする役割を持つ直径40mmの窓を設けてある。さらに、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{TiO}_2$ (焼成温度はそれぞれ1400℃、1300℃)のヒータについても加熱実験を行った。

#### 5.2 被加熱物

遠赤外放射による加熱を食品、人体等へ応用する場合、その成分に含まれる水に対する加熱効果を定量的に評価することが非常に重要である。そこで本研究では水の加熱効果を評価する上で比較的含水量の多い寒天を選んだ。水は遠赤外域に大きい吸収を持つ物質である。

#### 5.3 測定結果

まず、濃度2wt%の寒天10mlをプラスチックシャーレに入れ、寒天面より80mmの間隔をあげた上

方に上述のヒータをセットし、各種ヒータにより寒天の表面温度上昇を上部にセッティングした赤外線カメラでもって比較測定した。セラミックス表面温度はすべて400℃である。測定中は室温を一定に保存し測定を行った。温度上昇の結果を図4に示す。図5は加熱時間10分における上昇温度の結果であり、金属の例としてアルミ板の結果も併記した。

図4より、放射体温度を400℃に設定して寒天を上部から加熱してやると、4.2で述べた分光放射特性の違いが加熱効果にはっきりとした違いとなって現われ、天然ゼオライトが優れた加熱効果を示すことがわかる。水(寒天のほとんどは水である)は遠赤外域の電磁波を非常に良く吸収するため、天然ゼオライトのような黒体放射に近い放射体の場合、含水量の多い食品等の加熱に有効であると言える。さらに、エネルギー的に見ても省エネルギーである。図

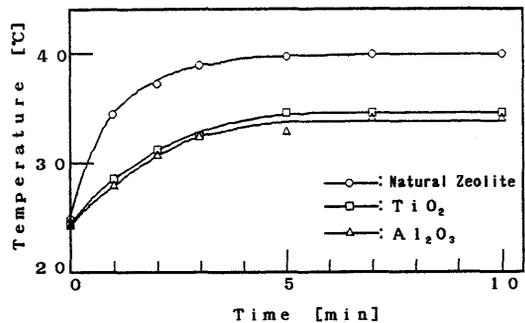


図4 寒天加熱実験結果(表面)  
(放射体温度:400℃)

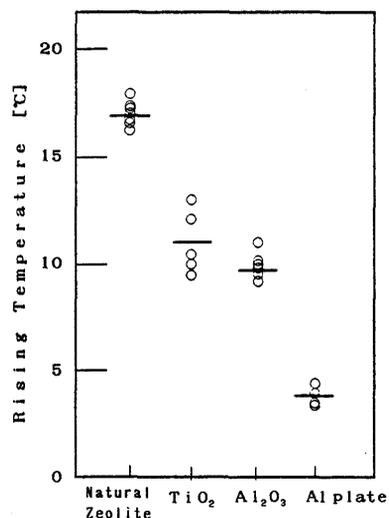


図5 各種放射体による寒天の表面温度上昇結果  
(初期温度:21.0~23.5℃,加熱時間:10分)

5は遠赤外放射セラミックスと通常の金属板のヒータとの加熱効果の比較であるが、遠赤外放射セラミックスは金属板のヒータに比べ、加熱に著しい違いが認められ、遠赤外加熱の有用性を示唆している。

#### 6. あとがき

以上、天然ゼオライトの高度利用として遠赤外放射材料への応用について紹介してきた。天然ゼオライトは天然産品であるために不純物の混入や純度のバラツキのため、高度利用化に際してはこれがネックとなり工業分野に利用されにくいという問題がある。その点、遠赤外放射材料への応用は、天然ゼオライト岩を粉碎・焼成するだけで良好な遠赤外放射

特性が得られることより、非常に安価で量産できるという利点を持っている。

今後は一次、二次精製することにより、発酵工学などバイオ工学への利用やエレクトロニクス部品への活用が期待される。

最後に、本研究を遂行するにあたり、御援助下さった秋田県商工労働部資源エネルギー課、TDK(株)セラミック事業部及び本学大学院生佐々木芳宏君に感謝の意を表します。

#### 文 献

- 1) 河本康太郎, セラミックス, **23**(4), 327(1988).
- 2) 河本康太郎, セラミックス, **22**(9), 816(1987).