

高効率赤外線放射体の厚膜形成と評価

天野和男 丹羽智子* 山田義和

Fabrication and Characterization of Thick Infrared Radiation Films
with High Emissivity Rate in Wide Wave Length

Kazuo AMANO, Tomoko NIWA and Yoshikazu YAMADA

セラミックスの機能的な付加価値を高めるため、高効率赤外線放射体を減圧プラズマ溶射法及び無電解複合めっき法によりコーディエライト基板に被覆した。赤外線放射体としてアルミナ-チタニア系溶射材料と無電解ニッケル-りんめっきを取り上げ、これらに炭化けい素などを混合した。赤外線分光放射率を間接測定法と直接測定法により測定し、両者を比較した。その結果、次のことが明らかになった。

溶射皮膜は鋼材基板と同様の溶射条件で容易に形成され、微細なひび割れを生じたが繰り返し500℃加熱を行っても剥離しなかった。アルミナにチタニアを少量含有すると、全放射率が78~87%の高効率赤外線放射体となった。しかし、含有量が増えても全放射率は変わらなかった。炭化けい素を混合すると全放射率は数%高くなったが、皮膜のひび割れが著しくなり、あまり効果的でなかった。

無電解めっき皮膜は、めっきが基材の中に浸透して金属光沢がない試料となり、それ自身で全放射率82~88%の高効率赤外線放射体となった。無電解複合めっきは共析粒子の効果がそれほど顕著に現れなかったが、炭化けい素を共析させた試料の直接測定法では全放射率93%が得られた。

間接測定法は、分光放射率スペクトルが直接測定法とほぼ同じ傾向を示しており、手軽で確実な測定手段となることが期待される。

1. 緒言

遠赤外線は加熱や乾燥の高速化、均質化、生体加熱などにその有効性が認識されて、これまでに多くの研究が行われてきた。最近では、加熱効率の向上、排出物質の削減などが、省エネルギーや地球環境の保全に貢献するとして新たな期待が寄せられている。そして、産業用の発熱体や炉壁の他に、繊維や家電品など身近な製品にも幅広く取り上げられるようになった¹⁾²⁾。一般にセラミックスは金属に比べて遠赤外線領域における放射率が高く、その中でも特性の優れた材料を選択して焼成したものがよく用いられている。一方、陶磁器などの素地表面に、近赤外から遠赤外にわたる赤外線領域の広範囲で高い分光放射率を示す高効率赤外線放射体を被覆すれば、機能的な付加価値を高めることができ、陶磁器産業分野でも利用の拡大が予想される。

本研究では、セラミックスに赤外線放射体を被覆する方法、高効率赤外線放射体の材料選択、赤外線放射特性評価について検討した。

2. 実験方法

2.1 皮膜形成方法

赤外線放射体を陶磁器などの表面に被覆する方法は、施釉、塗布、溶射³⁾、めっきなどがある。ここでは、膜厚100 μm以上のセラミックス皮膜を短時間に形成できる減圧プラズマ溶射法を採用した。さらに、導電性のないセラミッ

クスでもめっき可能な無電解めっきに微細な粒子を共析させる技術を応用した無電解複合めっき法を行った。

2.1.1 減圧プラズマ溶射法

プラズマ溶射法は、アーク放電によりアルゴンなどをプラズマジェット状態にして、その中に原料粉末を投入する溶射法であり、大気圧下あるいは減圧容器内で行うことができる。図1にプラズマ溶射の原理図を示す。溶射ガンから噴出するプラズマジェットは、中心部では速度が音速に近く、温度が数百度に達する。その長さは大気圧下では50 mm以下であるが、1/10気圧程度の減圧下では200mm以

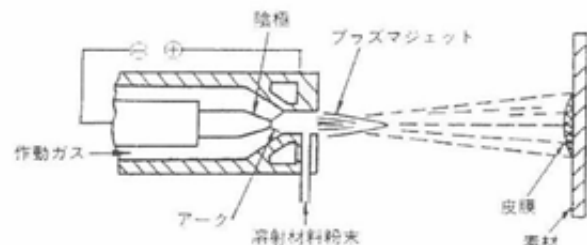


図1 プラズマ溶射の原理図

上になり、セラミックスを溶融させるのに適した温度域や速度域が広がる。

原料粉末は、ジェット内を飛行中に溶融あるいは半溶融状態に加熱され、前方に置かれた基板に高速で衝突する。そのとき個々の粒子は細かく分裂したり、あるいはそのま

* 現環境調査センター

ま扁平になり、層状に堆積して皮膜を形成する。容器の内部を不活性ガス雰囲気にする、非酸化物セラミックスでも酸化させることなく溶射することができる。

セラミックス基板にセラミックスを溶射する場合の溶射条件として、鋼材を基板に用いたときと同様の条件¹⁾を適用した。減圧プラズマ溶射装置の操作条件は数多くあるが、代表的な条件を挙げると、出力を装置の最大能力の1000A-36V、雰囲気圧力を27kPa(約1/4気圧)、溶射ガンと基板との距離を200mmとした。膜厚は約100 μ mになるように積層数を調整した。皮膜と基板の密着力を保つため、鋼材基板の場合は、表面をショットブラストにより粗面にしてアンカー効果を高める前処理を行う。本研究で用いたコーディエライト基板にショットブラストを行ったところ激しく摩耗したので、前処理は省略した。

2.1.2 無電解複合めっき法

無電解めっきは、外部から通電することなく、金属の他にセラミックスやプラスチックのような導電性のないものにも均一な厚みでめっきできる。無電解めっき浴に粒子を添加すると、粒子はめっきが進行する過程で皮膜に物理的に取り込まれて共析する。これを無電解複合めっきという。試料をめっき浴の中に浸漬するだけでよく、マグネットスターラなどで浴を攪拌すると粒子が効率よく析出する。また浴温度を高温に保つとめっき性状がよくなる。

ここでは無電解ニッケルめっきを行った。無電解めっき浴は金属イオン、還元剤、錯化剤からなる。浴組成²⁾は、硫酸ニッケル:0.1mol/L、次亜りん酸ナトリウム:0.3mol/L、グリシン:0.1mol/L、くえん酸ナトリウム:0.1mol/L、硝酸鉛:2mg/L、めっき液pH6.0とした。浴温度は80 $^{\circ}$ Cに保った。めっきの反応は金属イオンの還元析出、水素の発生、還元剤の析出の三者の競争反応で進行する。還元剤に次亜りん酸ナトリウムを用いたことから、皮膜にはニッケルの他にりんが含まれる。

無電解複合めっきでは浴に添加した粒子が皮膜に取り込まれるが、大きな粒子は膜厚との関係で皮膜内に留まることができない。そこで、平均粒子径1 μ m以下の粒子を用いて、約10 μ mの厚さを目標にめっきした。試験片は、めっき後水洗、乾燥した。

2.2 赤外線放射体材料

2.2.1 皮膜材料

複数の材料を混合した新材料は、原材料のそれぞれの性質を併せ持つことが期待される。そこで、近赤外や遠赤外の各領域で高い分光放射率を示すセラミックスを混合して高効率赤外線放射体にすることを試みた。

膜形成方法に溶射法を用いたので、溶射が容易にでき、基板との密着性も良好で、赤外線放射特性にも優れているアルミナ-チタニア(Al_2O_3 - TiO_2)系溶射材料⁶⁾を取り上げた。 Al_2O_3 に TiO_2 を2.3%、13%、40%含有した Al_2O_3 - TiO_2 を用いた。いずれも粒度分布10~50 μ mの通常の市販品である。X線回折によると、 Al_2O_3 - TiO_2 は Al_2O_3 とチタン酸アルミニウム(Al_2TiO_5)の化合物からなり、原料粉末の Al_2O_3 -2.3% TiO_2 は Al_2TiO_5 の回折ピークがほと

んど確認されないほどに大部分が Al_2O_3 であった。 Al_2O_3 -40% TiO_2 はほぼ Al_2TiO_5 に相当していた。

また、溶射材料としては使用されないが、非酸化物セラミックスの中では特殊な赤外線放射特性挙動を示す炭化けい素(SiC)に着目し、後述するように単独では皮膜を形成しなかったため、 Al_2O_3 -40% TiO_2 と混合する複合化を試みた。

めっき法では、無電解ニッケル-りん(Ni-P)めっきに、共析粒子として溶射法で用いた Al_2O_3 -40% TiO_2 とSiCを取り上げ、さらに、高硬度で融点の高い非酸化物セラミックスのTiN、TiCも参考に用いた。

2.2.2 基板材料

基板には耐熱衝撃性が高く、遠赤外線放射特性にも優れたコーディエライトを用いた。溶射法では、プレス成形した ϕ 50 \times 5mmの面粗さの粗い円板、及びドクタブレード法で成形した40 \times 40 \times 2mmの面粗さが滑らかな角板の2種類を用いた。めっき法では、上述のコーディエライト円板の他に、参考として40 \times 40 \times 1mmの鋼板も用いた。

2.2.3 赤外線放射体試料

作製した赤外線放射体試料の形成方法、基板材料、皮膜材料を表1に示す。

表1 作製した赤外線放射体試料の種類

形成方法	減圧プラズマ溶射法		無電解・複合めっき法	
	コーディエライト		コーディエライト	鋼板
基板材料	Al_2O_3		Ni-P	Ni-P
	Al_2O_3 -2.3% TiO_2		Ni-P+SiC	Ni-P+SiC
	Al_2O_3 -13% TiO_2		Ni-P+ Al_2O_3 -40% TiO_2	Ni-P+TiN
	Al_2O_3 -40% TiO_2		Ni-P+ Al_2O_3 -40% TiO_2 +SiC	Ni-P+TiC
皮膜材料	Al_2O_3 -40% TiO_2		Ni-P+TiN	
	Al_2O_3 -40% TiO_2 +SiC			

2.3 繰り返し加熱耐久性試験

黒体の赤外線放射特性はプランクの法則に従い、放射されるエネルギー密度は温度が高くなるほど増加するので、実製品の赤外線放射体は加熱して使用される場合が多い。そこで、作製した試料の繰り返し加熱耐久性を調べた。試料を500 $^{\circ}$ Cの電気炉内に3時間以上保持した後空冷する操作を50回繰り返し行い、皮膜の状態を観察した。

2.4 赤外線分光放射率の測定

赤外線放射特性の評価方法には二つの方法がある。一つは直接測定法であり、目的の温度に加熱した試料と黒体炉の分光赤外線放射発散度をそれぞれ測定して、分光放射率を求める。他は間接測定法であり、FT-IR装置を用いて室温における分光反射率を測定して、目的の温度の分光放射率を算出する。

2.4.1 間接測定法⁷⁾

間接測定法は、積分球反射測定装置(Labsphere社製、RSA-PE-200-ID)を装備したFT-IR装置(Perkin Elmer社製、System 2000 FT-IR)により行った。大気中の水分や二酸化炭素の影響を避けるため、光路を乾燥窒素ガス雰囲気中で置換した。測定条件は、入射ビームスリット ϕ 16mm、試料測定範囲 ϕ 24mm、測定繰り返し数100回とし

た。なお、分光器の最大測定波数領域は $370\sim 7800\text{cm}^{-1}$ であるが、 500°C における黒体の分光放射エネルギー密度が 6000cm^{-1} 以上の領域ではほとんどゼロとなり、分光放射率の計算誤差が非常に大きくなることから、解析に使用した波数領域は $400\sim 6000\text{cm}^{-1}$ とした。

まず、試料の反射スペクトルを参照反射スペクトルで割って分光放射率を求めた。次に不透明体における(放射率 $=1$ -反射率)の関係を用いて分光放射率に変換した。測定した試料は無機物であり、数百 $^\circ\text{C}$ まで加熱しても分子振動スペクトルがほとんど変化しないと考えられることから、室温の分光放射率は 500°C でも同様と推定できる。そこで、 500°C の黒体の分光赤外線放射発散度と対比させて、 500°C における全放射率を算出した。

2.4.2 直接測定法

測定は赤外線放射測定装置(日本電子製、SPIR-IRR200)により行った。測定条件は、測定波数領域 $500\sim 5000\text{cm}^{-1}$ 、繰り返し数100回とした。まず、黒体炉を 400°C に設定して分光赤外線放射発散度を測定し、別の加熱炉で試料の分光赤外線放射発散度を測定して、両者の比から設定温度における分光放射率を求めた。次に、この試料に放射率既知の塗料を塗布して同じ条件で加熱し、得られた分光赤外線放射発散度と文献値の比較から測定温度を決定した。さらに、これらのデータから 500°C における全放射率を算出した。

3. 実験結果及び考察

3.1 皮膜の状態

3.1.1 溶射皮膜

Al_2O_3 - TiO_2 系のいずれの溶射材料も、表面粗さの異なる2種類のコーディエライト基板に対して、溶射中あるいは終了後に剥離することなく、密着性の良好な皮膜が得られた。前処理のショットブラストを省略しても溶射できたのは、セラミックス基板の表面には緻密に焼成したものであるが微細な凹凸が存在していることと、皮膜と基板の界面のぬれ性が鋼材の場合より良いことが考えられる。

一方、皮膜を研磨して観察すると、写真1に示すような網目状の割れがみられた。基板が鋼材の場合は、個々の扁平粒子の内部に微細なクラックが発生することはあったが、

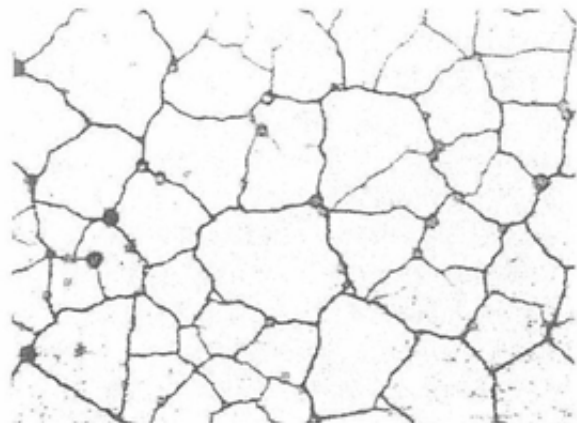


写真1 溶射皮膜に生じたひび割れ

粒子や皮膜を貫通するような大きな割れは認められなかった。

溶射皮膜は、融点前後の高温から急激に冷却するので、全体が収縮する。これに対して、基板は溶射中に火炎や衝突した粒子で加熱されるが、熱伝導度の小さいセラミックスの場合は温度上昇が表面近傍に限られて膨張が拘束されるので、溶射終了後の基板全体の収縮量が少ない。このため、相対的に薄い皮膜側に大きな引張残留応力が発生して、脆性材料であれば割れる。参考までに金属材料を溶射したところ、溶射中に積層数が増してある程度の膜厚になると部分的に大きく捲れて除去され、厚膜が得られなかった。延性材料では残留応力が密着力以上になると、割れないで剥離する。

SiC を溶射材料として皮膜形成を試みた。しかし、一般的に溶射に適した粒子径である平均粒子径 $50\mu\text{m}$ の研磨材用の SiC を溶射したところ、皮膜として堆積することなく、逆に基板が摩耗した。これは、 SiC は共有結合性が強く、分解温度が 2400°C と高いため、加熱された粒子が溶融あるいは軟化することなく高速度で基板に衝突して、ショットブラストと同じ作用をしたものと思われる。

そこで、比較的融点が低く、靱性もあり、容易に溶射できる Al_2O_3 - $40\%\text{TiO}_2$ に平均粒子径 $1.2\mu\text{m}$ の SiC を10:5(質量比)の割合で混合したものを溶射した。皮膜は容易に形成されたが、 Al_2O_3 - $40\%\text{TiO}_2$ 単独のときより割れが顕著になった。電子顕微鏡による表面観察及びSiの面分析では、一部に SiC 粒子の塊もあったが、写真2にみられるように、扁平な Al_2O_3 - $40\%\text{TiO}_2$ 粒子に細かい SiC 粒子が分散していた。この状態は、 Al_2O_3 - $40\%\text{TiO}_2$ マトリックスの靱性が低下して割れが顕著になった原因であるが、赤外線放射体としては好ましいと思われる。

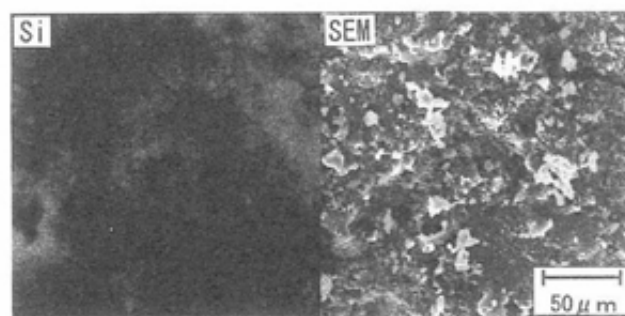


写真2 Al_2O_3 - $40\%\text{TiO}_2$ + SiC 溶射皮膜表面のSiの分布状態

平均粒子径や比重の異なる原料粉末を混合して溶射した場合、各成分はそれぞれ異なった経路、速度で飛行して基板に達し、堆積状態も異なるので、原料粉末の混合比と同じ割合では皮膜を形成しない。蛍光X線分析法により皮膜に含まれる SiC の割合を求めると、混合比から計算した値の約 $1/2$ であった。平均粒子径 $0.6\mu\text{m}$ の SiC を用いて作製した皮膜を比較したところ、細かい粒子を少量混合すると、粒子は効率よく皮膜に取り込まれる傾向にあった。

3.1.2 めっき皮膜

表面粗さの粗いコーディエライト基板のめっきは、鋼材

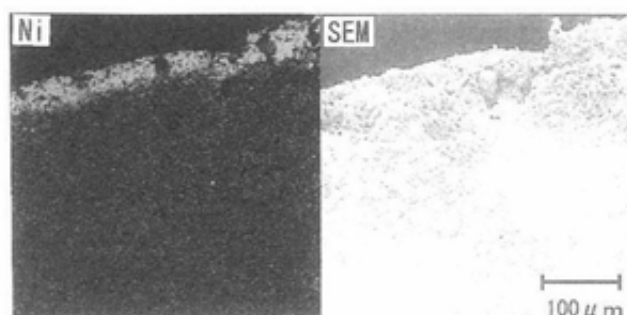


写真3 無電解Ni-Pめっき皮膜断面のNiの分布状態

基板にめっきしたような金属光沢がなかった。

めっき試料の表面を電子顕微鏡観察したところ、コーディエライト基板とほぼ同じ状態であった。さらに、破断面におけるNiの分布を観察すると、写真3にみられるように、表面から約75 μm内部までNiが分布していた。当初約10 μmの皮膜が形成されることを予想したが、めっきは基板の隙間に浸透して、粒子の表面に非常に薄い皮膜を形成した。

めっきの化学組成の蛍光X線分析結果を表2に示す。数値は表に記した成分元素の構成比である。網点は共析粒子である。無電解Ni-Pめっき皮膜には約15%のりんが析出していた。分析装置の出力が高く、まためっき厚も薄いので、分析値には基板のコーディエライトの影響が現れた。無電解複合めっきでは、共析粒子の元素の数値が増加しており、いずれも粒子が取り込まれていることが分かる。

無電解Ni-Pめっきはりん含有量が8~10%以上で非晶質構造になると言われており、X線回折により非晶質構造を確認した。

表2 めっき皮膜の組成 (コーディエライト基板)

めっき材料	構成比 (mass%)					
	Ni	P	Si	Al	Ti	Mg
Ni-P	77.4	14.4	3.2	3.5	0.2	1.2
Ni-P + SiC	65.0	15.1	9.8	7.6	0.3	2.2
Ni-P + Al ₂ O ₃ -40%TiO ₂	69.8	16.8	1.2	8.1	3.7	0.4
Ni-P + Al ₂ O ₃ -40%TiO ₂ + SiC	69.4	11.9	9.6	6.9	0.2	2.0
Ni-P + TiN	78.7	9.3	1.5	1.4	8.8	0.3
コーディエライト基板	0.0	0.0	50.6	36.9	1.3	9.1

3.2 繰り返し加熱耐久性

Al₂O₃-40%TiO₂溶射試料を電気炉で1100℃に加熱、保持した後、かから取り出して空冷する操作を繰り返したところ、3回目で皮膜は細かく剥離した。X線回折により調べた結果、Al₂TiO₅の一部がAl₂O₃とTiO₂に分解していた。Al₂TiO₅は900~1200℃の範囲では不安定で、分解反応が起こる。そこで、加熱温度を500℃に変更して、Al₂O₃-40%TiO₂、Al₂O₃-40%TiO₂+SiC溶射皮膜及びNi-P、Ni-P+SiCめっき皮膜について繰り返し加熱を行った。いずれも50回の操作では皮膜の剥離は起こらなかった。しかし、溶射試料のAl₂TiO₅の分解は生じなかったが、めっき試料はNiO、Ni₃Pのピークが現れ、酸化と結晶化が進行していた。

表3 間接測定法及び直接測定法から求めた全放射率 (500℃)

分類	試料名	全放射率 (%)	
		間接測定法	直接測定法
基板	コーディエライト	56.7	59.1
アルミナ-チタニア系 溶射皮膜	Al ₂ O ₃	63.3	63.1
	Al ₂ O ₃ -2.3%TiO ₂	78.4	87.5
	Al ₂ O ₃ -13%TiO ₂	77.9	-
	Al ₂ O ₃ -40%TiO ₂	78.2	86.4
炭化けい素複合 溶射皮膜	Al ₂ O ₃ -40%TiO ₂ +SiC	82.7	89.6
無電解・複合 めっき皮膜 (コーディエライト基板)	Ni-P	82.2	88.8
	Ni-P+SiC	76.1	93.2
	Ni-P+Al ₂ O ₃ -40%TiO ₂	85.2	-
	Ni-P+Al ₂ O ₃ -40%TiO ₂ +SiC	81.7	-
	Ni-P+TiN	49.3	-
無電解・複合 めっき皮膜 (鋼材基板)	Ni-P	21.0	-
	Ni-P+SiC	35.4	-
	Ni-P+TiN	30.7	-
	Ni-P+TiC	52.3	-

3.3 赤外線分光放射率の評価

3.3.1 間接測定法による分光放射率

表1の試料について、間接測定法により測定した分光放射率スペクトルの代表例を図2~図5に示す。また、500℃における全放射率を直接測定法とともに表3に示す。

図2のAl₂O₃溶射皮膜は、約1500cm⁻¹より高波数の中赤外線領域で放射率が低く、全放射率も63%であった。このスペクトル形状はコーディエライト基板でもみられ、遠赤外線放射体の一般的な形状である。これに対して、Al₂O₃にTiO₂を含有すると、図3のAl₂O₃-2.3%TiO₂溶射皮膜に示されるように、高波数側でも放射率が高くなって高効率赤外線放射体のスペクトル形状を示し、全放射率が78%になった。しかし、TiO₂含有量が増加してもほとんど同じであった。

参考までに、焼結したAl₂TiO₅を用いて同様に測定して得られたスペクトルは、Al₂O₃溶射皮膜とあまり変わらなかった。この両者とコーディエライト基板は白色であり、Al₂O₃-2.3%、13%、40%TiO₂溶射皮膜はいずれも濃い灰色であったことから、分光放射率が色彩の影響を受けることも考えられる。この点は今後検討する。

SiCを混合したAl₂O₃-40%TiO₂+SiC溶射皮膜は、Al₂O₃-40%TiO₂や図3と比較すると、スペクトル形状は変わらずに全放射率が数%大きくなり、複合化の効果が認められた。しかし、溶射時に発生する皮膜のひび割れが顕著になったことから、SiCを混合することはそれほど効果的でないと言える。

図4に、コーディエライト基板にNi-Pめっきした試料の分光放射率スペクトルを示す。分光放射率は測定した全波数領域にわたり一様で、全放射率は82%であった。一方、鋼材基板にめっきした試料は、図5に示すように、右下がりな平坦なスペクトル形状で、全放射率が21%と低い値になった。この状態は、金属を測定した場合に一般的にみられる傾向である。無電解Ni-Pめっきは非晶質構造である

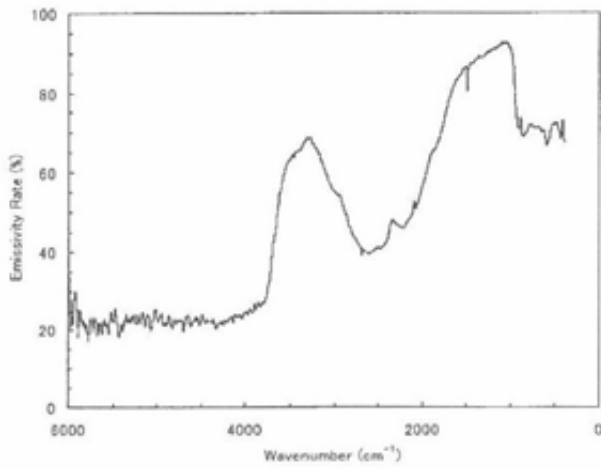


図2 Al_2O_3 溶射皮膜の分光放射率（間接測定法）

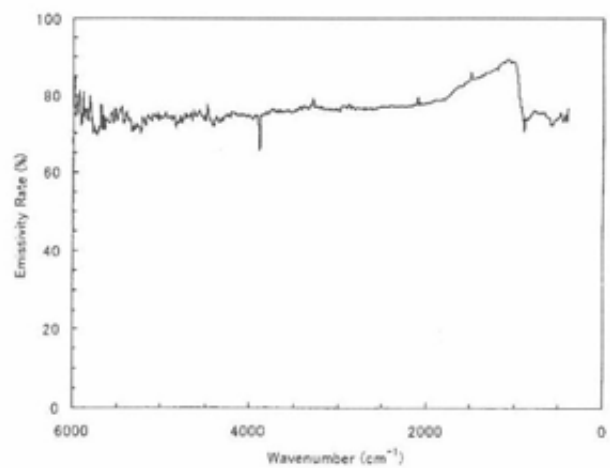


図3 $\text{Al}_2\text{O}_3-2.3\%\text{TiO}_2$ 溶射皮膜の分光放射率（間接測定法）

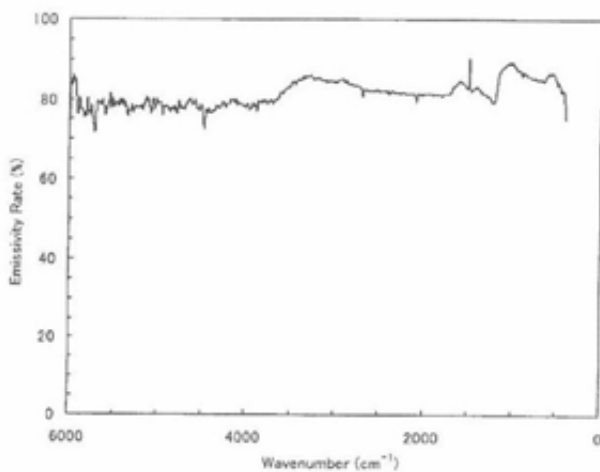


図4 コーディエライト基板のNi-Pめっき皮膜の分光放射率（間接測定法）

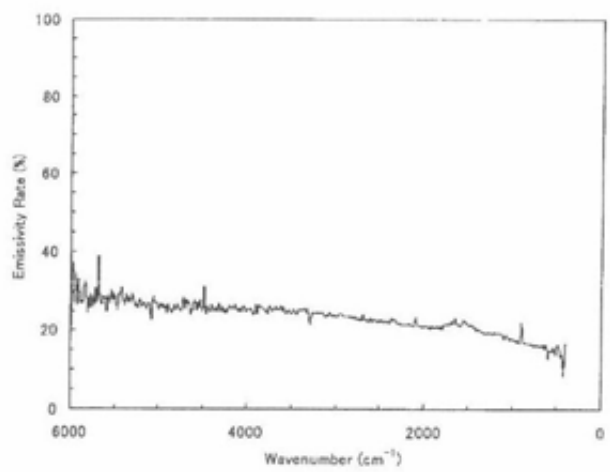


図5 鋼材基板のNi-Pめっき皮膜の分光放射率（間接測定法）

が、金属的性質に支配されるので、図5のスペクトルが一般的である。コーディエライト基板にめっきした試料の外観が光沢のない濃い茶色を呈していたことから、酸化していることが考えられた。しかし、X線回折で調べたところ、皮膜が薄いことから、基板のコーディエライトは認められたが、ニッケルなどの酸化物は検出されなかった。

共析粒子を添加した複合めっきは、表3をみると、鋼材基板では効果が認められ、いずれも全放射率が増加した。特にTiCは2倍以上になった。一方、コーディエライト基板では、添加前の皮膜が高い放射率を示したため、効果が顕著に現れなかった。逆にTiNは著しく減少した。

3.3.2 直接測定法による分光放射率

直接測定法は、 Al_2O_3 、 $\text{Al}_2\text{O}_3-2.3\%\text{TiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3-40\%\text{TiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3-40\%\text{TiO}_2+\text{SiC}$ 各溶射皮膜、Ni-P、Ni-P+SiC各めっき皮膜、及びコーディエライト基板について行った。代表例として、図6、図7、図8に Al_2O_3 、 $\text{Al}_2\text{O}_3-2.3\%\text{TiO}_2$ 溶射皮膜及びコーディエライト基板のNi-Pめっき皮膜の分光放射率と、 500°C における黒体と試料の分光赤外線放射発散度の計算結果を示す。

これらを図2、図3、図4と比較すると、スペクトル形状はよく似ている。その他の試料も同様であった。表3の全放射率をみると、コーディエライト基板と Al_2O_3 溶射皮膜はほぼ同じ値であり、その他は、Ni-P+SiCを除き、6

～12%高い値を示した。直接測定法は黒体と試料の各測定温度や光路条件をそれぞれ同一にする必要があり、また、高温の試料表面温度を定めなければならない。一方、間接測定法は室温測定したスペクトルと高温のスペクトルと間の同一性が直接確認されていないなどの問題点があり、それらが差として現れたと思われる。Ni-P+SiCについては、このような違いが生じた原因は不明である。

室温で測定できる間接測定法は、操作が簡単であり、直接測定法との間に著しい差がないことから、赤外線放射率測定法として有効であると言える。

4. 結 論

セラミックスの機能的な付加価値を高めるため、赤外線領域の広範囲で高い分光放射率を示す高効率赤外線放射体の被覆を試みた。

被覆方法には、セラミックス皮膜の形成が可能な減圧プラズマ溶射法、及び無電解めっきに微細な粒子を共析させる技術を適応した無電解複合めっき法を採用した。赤外線放射体材料として、 $\text{Al}_2\text{O}_3-\text{TiO}_2$ 系溶射材料と無電解Ni-Pめっきを取り上げ、これらにSiCなどを混合した。基板にはコーディエライトを用いた。赤外線放射特性の評価は、FT-IR装置を用いて測定した室温の分光放射率から目的温度の分光放射率を算出する間接測定法と、加熱した試料と

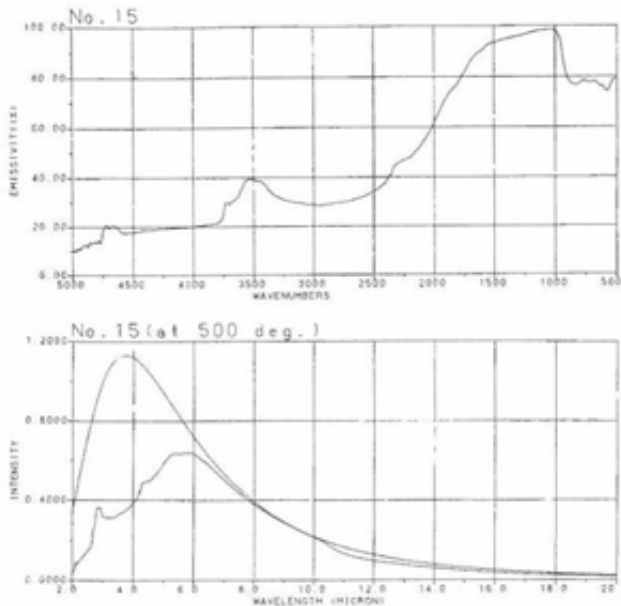


図6 Al_2O_3 溶射皮膜の分光放射率と分光放射発散度（直接測定法）

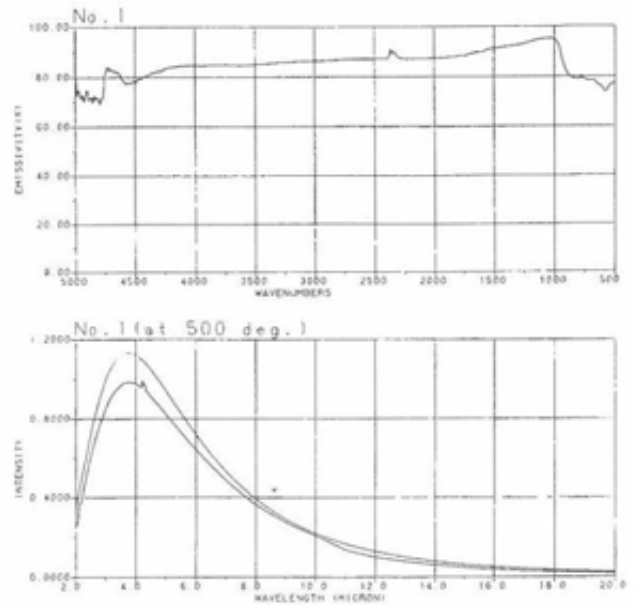


図7 Al_2O_3 -2.3% TiO_2 溶射皮膜の分光放射率と分光放射発散度（直接測定法）

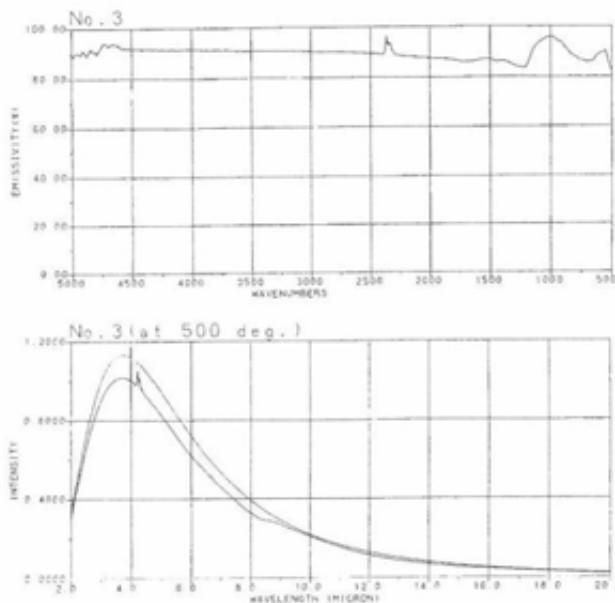


図8 コーディエライト基板のNi-Pめっき皮膜の分光放射率と分光放射発散度（直接測定法）

黒体からの分光赤外線放射発散度をそれぞれ測定して分光放射率を求める直接測定法を行い、両者を比較検討した。

溶射皮膜は、前処理のショットブラストを省略しても、溶射中あるいは終了後に剥離することなく容易に形成された。皮膜は引張残留応力のため微細なひび割れを生じたが、繰り返し500℃加熱を行っても剥離しなかった。 Al_2O_3 -2.3% TiO_2 溶射皮膜は、全放射率が78～87%の高効率赤外線放射体となった。しかし、 TiO_2 含有量が増加しても全放射率は変わらなかった。これにSiCを混合したものは、全放射率が数%高くなったが、皮膜のひび割れが著しくなり、あまり効果的でなかった。

無電解Ni-Pめっき皮膜は、めっきが基材の中に浸透して金属光沢がない試料となり、それ自身で全放射率82～88%の高効率赤外線放射体となった。これに添加粒子を共析

させた無電解複合めっきは、マトリックスの全放射率が高いため、効果がそれほど顕著でなかったが、SiCを共析させた試料の直接測定法では全放射率93%が得られた。

間接測定法は、温度設定が不要であり、試料の分子構造が変化しない温度範囲では計算だけで異なる温度の放射率が算出できる、FT-IR装置を使用するので精度良く測定できるなどの利点があり、手軽で確実な測定手段となることが期待される。

付 記

本研究は、平成11年度先端技術共同研究推進事業として、(財)ファインセラミックスセンターとの共同研究で実施したものである。実施にあたり、試料の作製にご協力いただいた愛知県工業技術センター加工技術部の皆様、並びに赤外線放射率の測定にご協力いただいた三重県工業技術総合研究所に謝意を表します。

文 献

- 1) 高嶋廣夫著，“やさしい遠赤外線工学増補版”，(株)工業調査会(1996) pp.124-190
- 2) 日本電熱協会遠赤外線委員会編，“遠赤外線加熱の理論と実際”，オーム社(1991) pp.134-228
- 3) 高島満夫，木田音次郎，旭硝子研究報告，35(2)，261-269(1985)
- 4) 天野和男，片岡康弘，愛知県工業技術センター報告，28，23-28(1992)
- 5) 野口裕臣，松田喜樹，小谷勇，愛知県工業技術センター報告，28，45-49(1992)
- 6) 白井勝之，溶接技術，別冊，48-54(1987)
- 7) (財)ファインセラミックスセンター，愛知県瀬戸窯業技術センター，“愛知県平成11年度先端技術共同研究推進事業補助，平成11年度高効率赤外線放射体の開発，成果報告書”