



特集記事 ● 6 鉄鋼材料への機能性付与
各論 用途別機能性付与(4) 電機・通信

電子レンジ用耐熱塗装鋼板

Heat-Resisting Precoated Steel Sheets for Microwave Ovens

福本博光

Hiromitsu Fukumoto

日新製鋼(株) 技術研究所
塗装・複合材料研究部 部長

1 電機・通信 (家電・エレクトロニクス)

電気機械の分野では、毎月17万トンの鉄鋼材料が使用されている¹⁾。他分野と比較すると、使用量は少ないが、家電製品の顔とも言える筐体のほとんどが、プレコート鋼板であり、鉄鋼材料を有効に活用されている分野の1つと考えられる。

ここでは、鋼板に表面処理(塗装・プレコート)をして特性を付与し、「耐熱性と非粘着性」の二つの機能を発現させた「電子レンジ用耐熱塗装鋼板」の実用化事例を紹介する。

ユーザーの方に執筆を依頼したが、客観的かつ鉄鋼材料の機能付与の立場から執筆することは難しいと、執筆依頼を断られた。そこで、文献を参照しながら、メーカー側からの視点で、まとめることにした。

1.1 電子レンジの概要

電子レンジは、2450 MHzの電波を用いて食品を加熱する調理機器である。この周波数帯域は、テレビのUHF(300 MHz~3,000 MHz)帯にもあたる。1966年に家庭用電子レンジが発売されて以来、今日では家庭の約80%に普及しており、家電製品の必需品の1つである²⁾。近年、ヒーターによる加熱機能を加えた多機能電子レンジも開発され、活用範囲も拡大している。

電子レンジの構造の例を図1²⁾、図2³⁾に示す。電子レンジの主要な機能部品は、①マグネトロンおよびその駆動電源、②加熱室、③自動調理を実現するためのセンサー類および制御回路、の3ブロックに大別される³⁾。

この電子レンジの②加熱室の機能を支えているのが「電子レンジ用耐熱塗装鋼板」であり、ここでは、加熱室のみを取り上げて紹介する。

2 電子レンジの加熱室

電子レンジの加熱室を構成する材料は、温めるだけの「単機能電子レンジ」と、オープン調理やグリル調理などが可能な「多機能電子レンジ」とでは異なる。

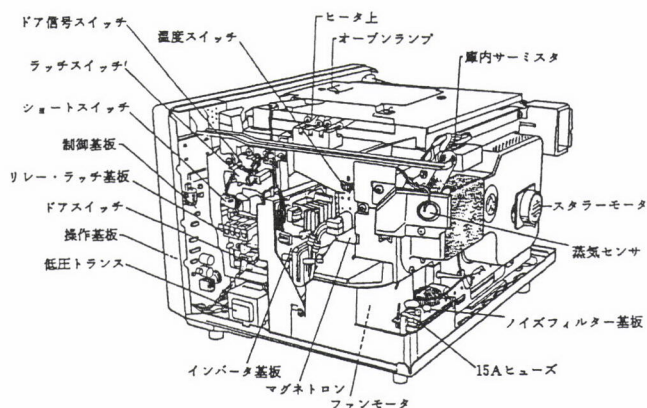


図1 電子レンジの構造図²⁾

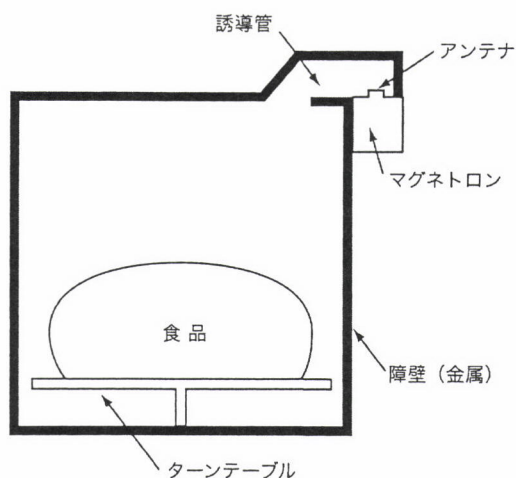


図2 電子レンジの構造図(概念図)³⁾

2.1 単機能電子レンジの加熱室

単機能電子レンジでは、庫内温度が最高100℃程度にしかない。したがって、オープン庫内の材料(内箱材)には、Znめっき鋼板、Alめっき鋼板が使われてきた³⁾。

調理時に食品を入れる庫内には、機能として清浄性が求められる。塩水や調味料などの付着した環境下で、めっき鋼板は耐食性を保持することは難しく、この耐食性を保持するために、一般的に、エポキシ粉体塗装が施される。筐体を組み立てた後、エポキシ粉体塗料を静電塗装する方式である³⁾。

従来から、この内箱材にプレコート鋼板を適用する検討がなされてきたが、食品から発生する蒸気を換気するために開けられる換気穴周辺で、めっき鋼板の端面腐食の発生が懸念され、実用化に至っていないのが現状である。

プレコート鋼板において、塗料をポリエステル樹脂系から、化学的に安定なふっ素樹脂系にすること、さらに、下塗り塗料の防錆顔料(ストロンチウムクロメートなど)を工夫することにより、パンチング穴部での端面腐食を抑制することができる。しかしながら、海外生産されるポストコート品に比べコスト的に高くなることから、プレコート方式が採用されていない。

2.2 多機能電子レンジの加熱室

多機能電子レンジでは、庫内が300℃程度までになる。加熱室の内箱材にはステンレス鋼板が使われてきた。また、多機能電子レンジでは、オープン調理*1、グリル調理*2を行うため、単機能タイプより庫内の汚れが激しくなる。

これまで、庫内の汚れを除去しやすくする方法として、様々な工夫がなされてきた。

ひとつは、欧米で実施されている「燃焼焼き切り式セルフクリーニング」である。肉料理などの汚れや臭いを、500℃以上の温度で2時間以上加熱して焼き切る方式である。ただ、調理器を高温にするため、大容量の電力と断熱・防爆などの安全設計が必要となり、結果として、非常に高価な調理器になり、国内では、ほとんど採用されていない³⁾。

また、「赤外線輻射被覆によるセルフクリーニング」がある。ヒーター面など500℃を超える高温部には、ポロシロキサン樹脂をバインダーとして、ZrO₂などのセラミックス粉末を分散した塗料を被覆する。この被膜には、Fe、Mn、Cuなどの酸化物が含まれており、油汚れなどの熱分解を促進する触媒効果でセルフクリーニングができる方式である。この方式はヒーターには適用されているが、300℃程度にし

かならない庫内では、この方法も無力である³⁾。

現在、ほとんどのオープン電子レンジの内箱材に、非粘性ふっ素樹脂被覆が適用されている。セルフクリーニングはできないが、汚れが焼き付かず、拭取り易く、手入れし易い機能が採用されている理由である。また、フライパンでのふっ素加工が常識的になり、その機能に対する信頼性が定着し、ふっ素塗膜特有の柔らかい塗膜の取り扱い上の注意にも慣れてきたことも、採用された理由のひとつである。

初期には、炊飯器、ホットプレート、フライパンなどと同様に、ふっ素樹脂系塗料がポストコートされていた。最近では、大部分が「非粘性耐熱プレコート鋼板⁴⁾」に置き換わっている。

非粘性耐熱プレコート鋼板は、ステンレス鋼板、アルミめっき鋼板、55%Al-Znめっき鋼板などをベースに、下塗りにポリエーテルサルホン樹脂(PES)を主成分とする耐用300℃耐熱プレコート鋼板⁵⁾用塗料を塗装し、その上に、PESをバインダーとしたふっ素樹脂粒子(PTFE、PFAなど)*3を分散した塗料が塗装されている。

上塗りに使用するふっ素-PES系塗料は、塗料の状態では、ふっ素樹脂粒子がPES塗料の中に均一に分散された状態になっていて、通常のプレコート鋼板と同様のロールコーター方式で塗布することが可能である。この塗膜を乾燥する工程で、従来の塗料の場合よりも高温で、かつ、長時間の乾燥を行うと、図3⁵⁾、図4⁵⁾に示すように、表面張力の差で、塗膜表面には表面張力の低いふっ素樹脂粒子が移行してふっ素樹脂リッチ層を形成し、下塗り(PES)側にはふっ素樹脂欠乏層が形成され、ふっ素濃度の傾斜がある塗膜層が形成される。結果として、鋼板に対して密着性に優れたふっ素樹脂被覆層を形成することができる。

採用当初は、ふっ素樹脂の弱点である柔らかさから、塗膜に傷が付き易いことが懸念され、鱗片状アルミ粉末を配合するなどの工夫をした。最近では、先にも述べたが、ふっ素塗

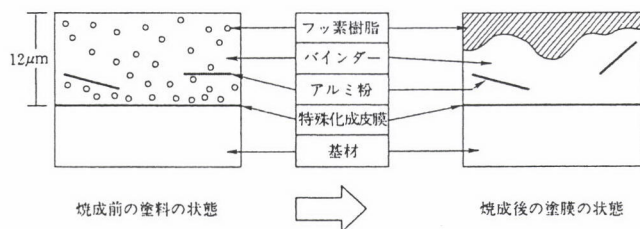


図3 非粘性耐熱プレコート鋼板の塗膜構造 (模式図)⁵⁾

*1 オープン調理：庫内の上下にあるヒーターで食品を直接加熱する方式で、庫内温度は160～180℃程度になる³⁾。

*2 グリル調理：主に輻射熱を利用して食品を焼くので、庫内温度は300℃近くになる³⁾。

*3 ふっ素樹脂：ふっ素樹脂は化学的に安定であり、基本的には溶剤に溶けない。したがって、塗料化することが難しく、金属に密着性良く被覆することにも工夫が必要となる。その工夫の1つがPESをバインダーにすることである。

膜の傷付き性は、フライパンのふっ素加工で十分にトレーニングをされたのか、組み立て加工時の取り扱い傷以外は、心配する必要がなくなってきた。本材料のオープン電子レンジの内箱材への普及率は、80%を越えている。

2.3 非粘着性耐熱プレコート鋼板の非粘着性

(1) 表面張力

電子レンジの内箱材の汚れは、材料表面と食料品（油、醤油など）との、ぬれ性および化学的反応性に左右される。非粘着性耐熱プレコート鋼板の表面張力*4は、水とヨウ化メチレンの接触角から算出すると、17 mN/mであり、ふっ素樹脂粒を含まないPES系耐熱プレコート鋼板では44 mN/mである4)。明らかに、ふっ素樹脂層の方が表面張力が低く、はっ水性を呈することが分かる。

(2) こげつき試験

また、食品のこげつき試験を実施した。こげつき試験は、卵：醤油：砂糖の分量が1：1：1で混合した調味料を、供試材の表面に同量を塗布し、260℃、1時間で加熱乾燥させた後、ティッシュペーパーで拭取る方法で行った。その結果、図6⁵⁾に示したように、非粘着性耐熱プレコート鋼板の表面では、塗布物が完全に除去できたが、無垢のステンレス鋼板(SUS430BA仕上げ材)、PES系耐熱プレコート鋼板の表面では、塗布物を完全に除去することはできなかった。

こげつき試験後のサンプル断面部をEPMAで分析してみ

ると、図7⁵⁾に示したように、非粘着性耐熱プレコート鋼板では、食品に含まれる塩分（主にNaCl）に起因するCl元素が全く観察されなかったが、PES系耐熱プレコート鋼板では、PES塗膜中にCl元素が観察された。食品中の塩分が塗膜と化学反応したか、物理的に塗膜中へ拡散したものと推察される。

(3) 耐薬品性

表1⁵⁾に、耐薬品性、耐洗剤性などの性能評価結果の一例を示す。どの試験でも、裸の金属ではNG評価となるような厳しい「痛めつけ試験」で、非粘着性耐熱プレコート鋼板は、問題なく耐えている。

以上のように、ふっ素樹脂塗膜のぬれ性と化学的不活性な性質が、食品に対する高温下での非粘着性を発現させているものと推察される。

めっき鋼板が、ふっ素樹脂系塗装されることにより、耐熱性、非粘着性を付与され、電子レンジの加熱室内箱材に採用されている。

3 電子レンジ用塗装鋼板の今後の課題

電子レンジ用塗装鋼板の今後の課題は、電子レンジの機能アップの要求に追随する形で顕在化してくる。最近、電子レ

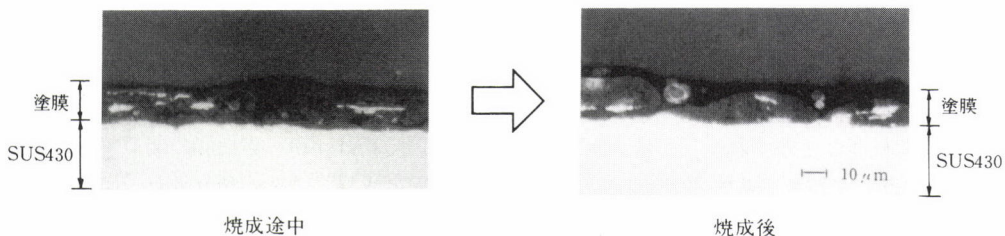


図4 非粘着性耐熱プレコート鋼板の塗膜構造 (断面写真)⁵⁾

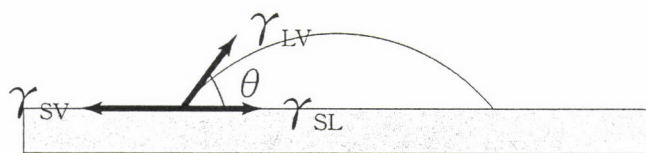
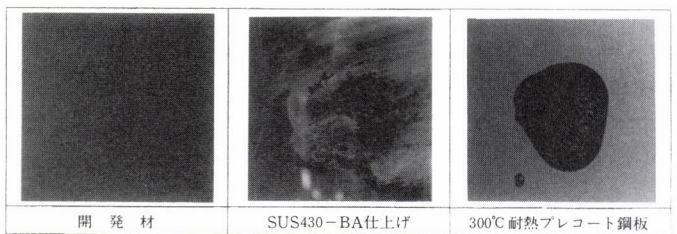


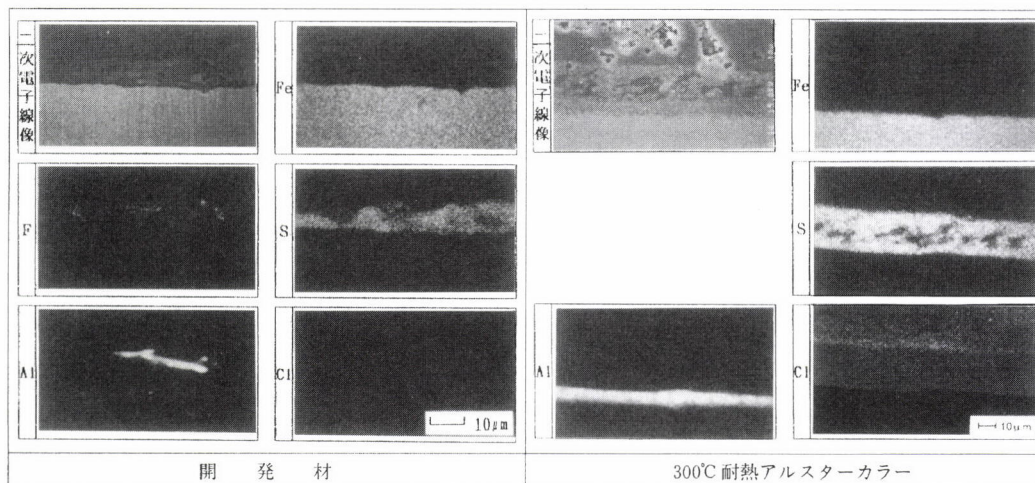
図5 固体表面の液滴にかかる張力



[卵：醤油：砂糖＝1：1：1を塗布し、260℃で1時間加熱後、ティッシュペーパーで拭き取る]

図6 こげつき試験後の外観⁵⁾

*4 接触角と固体の表面張力：固体表面の液滴がSLGが共存し、図5のように、平衡している場合、Youngの式 ($\gamma_{SV} = \gamma_{SL} + \gamma_{LV} \cos \theta$) が成立する。表面張力の異なる液体で接触角 θ を測定し、Youngの式から固体の表面張力を算出する。

図7 こげつき試験後の塗膜の断面 (EPMAによる元素分析結果)⁵⁾表1 非粘着性耐熱プレコート鋼板の耐薬品性⁵⁾

試験項目 材料	耐薬品性*		耐洗剤性*		耐溶剤性**	食品安全性***
	5 mass% H ₂ SO ₄	5 mass% NaOH	マレモン	マジックリン	エタノールラビング	
開発材	100/100	100/100	100/100	100/100	素地露出無し	食品衛生法適合

* 24時間浸漬後ゴバン目テープはくり試験後の塗膜残存数を測定

** 2 kg 荷重のスポンジタワシで10,000回往復ラビング試験後の表面摩耗状態を観察

*** 一般合成樹脂規格試験 (材質試験, 溶出試験)

レンジ内箱内を加湿した機種や、高温に加熱した水蒸気で食品を加熱する機種が、食品調理機器として売り出されている。高温多湿は、金属材料にとって厳しい腐食環境であり、塗装鋼板にとっては塗膜と金属との密着性を低下させる環境である。環境対応としてのクロメートフリーの動きの中で、クロメートフリーを達成しつつ、高温多湿環境での塗膜密着性を保持する技術・材料が求められることになる。プレコート鋼板の基本的機能である「塗膜と金属との密着性」を、更に高度に高めたプレコート鋼板の開発が必要とされることになる。課題はエンドレスである。

参考文献

- 1) (社)日本鉄鋼連盟：鉄鋼需要統計月報，(2005.10) 498, 12.
- 2) 海老澤満男，磯谷 守：新版接合技術総覧
- 3) 牧 正雄：NIKKEI MATERIALE 1992年3月30日号
- 4) 菅原広志，坂井哲男，福本博光，前田靖治，森本昌孝，竹尾 学：日新製鋼技報，67 (1993) 134.
- 5) 菅原広志，森本昌孝，山吉和雄，福本博光，村上敏則，増原憲一：日新製鋼技報，60 (1989) 131.

(2005年9月1日受付)