

# ボイラ空気予熱器耐水腐食エレメントの開発

## Development of a New Water Dew Corrosion Resistant Steel Element for Air Pre-heaters at Natural Gas Fired Power Plants

宇佐見 明\*<sup>(1)</sup>  
Akira USAMI  
楠 隆\*<sup>(5)</sup>  
Takashi KUSUNOKI

野口 正\*<sup>(2)</sup>  
Tadashi NOGUCHI

手塚 英志\*<sup>(3)</sup>  
Hideshi TEZUKA

西村 哲\*<sup>(4)</sup>  
Satoshi NISHIMURA

### 抄 録

ガス焼きボイラ空気予熱器の低温層エレメントで生じる水腐食を明らかにし、0.01C-7%Cr系の耐水腐食エレメントを開発した。開発エレメントは次の特長を有することを実証試験で確認した。(1)従来の耐食低合金鋼(CRLS)製エレメントの3倍程度の耐食寿命を有する。(2)剥離性の浮錆量もCRLSの1/7と少なく、錆による閉塞現象を緩和する。(3)ガス焼き低温層の水腐食対策のほか、中・高温層での停止時の錆による閉塞対策としても保守管理上有利である。(4)CRLSと同様の製造、維持管理、管理基準をそのまま適用できる。2000年に世界で初めてガス焼き火力発電プラントに採用されて以来、順調な運転を続けており、設備の寿命延長、維持管理費の低減に貢献できると考えている。

### Abstract

A corrosion resistant new steel element for air pre-heaters at natural gas fired power plants was developed against water dew corrosion. 25-month-long field tests proved that the new steel element, containing 7% Cr, has the following excellent characteristics: (1) corrosion rate of the 7%Cr steel element was one third of that of conventional CRLS (Corrosion Resistant Low Alloy Steel), (2) corrosion products formed on the 7%Cr steel elements was more adhesive and less voluminous, which suggests that the 7%Cr steel elements can mitigate blockade troubles by rusts at intermittent operations, (3) the same manufacturing process, set up, operation and maintenance methods can be applied for the new steel elements as for the conventional CRLS elements. Since 2000, the new steel element has been successfully used for not only the cold layers at natural gas fired power plants, but also the middle and hot layers at oil fired power plants. The developed new steel element will contribute to improve reliability of power plants and to reduce maintenance costs.

### 1. はじめに

ボイラ排ガスと燃焼用空気の熱交換によって廃熱を回収する装置としては、回転再生式空気予熱器(ユングストローム式)が代表的である(図1)<sup>1)</sup>。同装置では、伝熱エレメントとして波状に加工、積層した冷間圧延鋼板が使用される。エレメントは燃料種を問わず、低温腐食環境に曝されるため耐食性が要求される。

石油を燃料とする場合の低温腐食は、燃料中の硫黄分に起因した“硫酸露点腐食”であり<sup>2)</sup>、腐食対策として、Cr、Cu等の耐食元素を微量添加したCOR-TEN鋼に代表される低合金耐食鋼板(CRLS: Corrosion Resistant Low-alloy Steel)が従来から使用されている。石油焼き空気予熱器の低温層で生じる硫酸露点腐食に対して、CRLSは十分な耐食性を示し、腐食課題はほぼ解決されている。

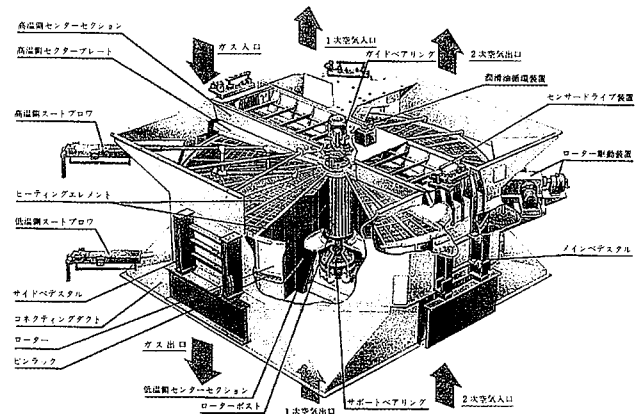


図1 回転再生式空気予熱器(ユングストロームタイプ)

\*<sup>(1)</sup> 鉄鋼研究所 鋼材第一研究部 耐食鋼材グループ 主任研究員  
千葉県富津市新富20-1 ☎293-8511 ☎0439-80-3099

\*<sup>(2)</sup> アルストム株式会社 技術開発部 参事

\*<sup>(3)</sup> 東京電力株式会社 技術開発研究所 材料技術グループ 主任研究員  
工博

\*<sup>(4)</sup> 八幡製鐵所 薄板部 薄板管理グループ マネジャー

\*<sup>(5)</sup> 厚板営業部 厚板商品技術グループ マネジャー

一方、近年、火力発電の主流を占めつつあるLNG(液化天然ガス)を燃料とする場合は、燃料中に硫黄分を含まないため、いわゆる水腐食が発生している。しかしCRLSは水腐食環境では、硫酸露点腐食環境ほど十分な耐食性を示さず、新たな耐凝縮水腐食鋼板が求められていた。また、水腐食特有の高体積の錆による流路の閉塞から圧力損失の増大を招くため、耐食性に加えて錆による閉塞が少ない材料が求められていた。

これらの特性を満たしうる有望な既存材料としては、エナメル被覆鋼板やステンレス鋼板が挙げられる<sup>2)</sup>。エナメル被覆鋼板は、硫酸露点腐食環境や水腐食環境で優れた耐食性を示し、実績も多い。水腐食に限ればステンレス鋼板も優れた耐食性を示す材料である。

著者らは、(1)これらの既存材料よりも経済性に優れ、(2)実機の水腐食環境で十分な耐食寿命を有し、(3)浮き錆による圧力損失を緩和でき、(4)従来のCRLSと同じ製作、維持管理方法が適用できる、ガス焼きボイラの空気予熱器用新耐食エレメントを、実機による実証試験を経て開発した<sup>3,6)</sup>。本報では、実機で生じる水腐食の概要と、新耐食エレメントの特性について紹介する。

## 2. 耐水腐食エレメント

表1に耐水腐食エレメントの化学組成例を示す。エレメント材として要求される加工性や耐食性などを考慮して低C-低Si-7%Cr系としている。

## 3. ガス焼き空気予熱器低温層の腐食事例と環境

図2は、ガス焼き空気予熱器の低温端部メタル平均温度(CMT)の変化を夏季と冬季の定格負荷と1/2負荷について調査したものである。排ガス中の水分は約17vol%(露点:57℃)であった。図は

表1 耐水腐食エレメントの化学組成例 (mass%)

	C	Si	Mn	P	S	Cr	Al
開発剤	0.01	0.02	0.28	0.005	0.005	7.1	0.025

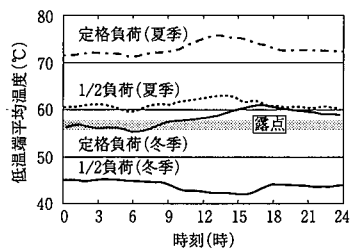


図2 LNG缶低温端平均温度(CMT)の推移例

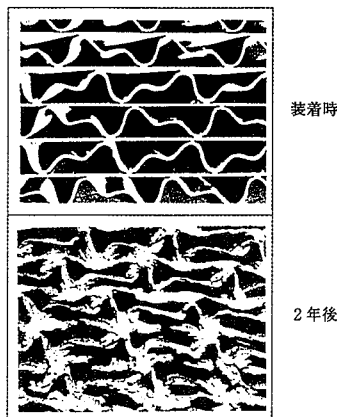


写真1 CRLS製エレメント低温端の水腐食状況

CMTがボイラ負荷や季節により常時または一時的に露点以下となり、凝縮水が発生し、水腐食が生じていることを示唆している。

写真1は、ガス焼き空気予熱器で約2年間使用したCRLS製エレメントの外観変化である。低温端部から徐々に腐食減肉するとともに比較的厚い錆が咲状に発生する。X線回折の結果、CRLS製エレメントの錆は $\alpha$ -FeOOHが主体で、次いで $\beta$ -、 $\gamma$ -FeOOH及び $Fe_3O_4$ であった。また、錆中に有意の塩化物イオン(0.22mass%)が認められた。これらの特徴は、海岸大気環境で生成する鉄錆に一致していた。また、ドレイン水はpH4~6であった。これらの結果から、ガス焼き空気予熱器低温層エレメントの腐食は、塩化物イオン等の環境中の腐食性物質と排ガスを溶解した燃焼排気ガスの凝縮水による水腐食と推定される。

## 4. 実験室腐食試験、実機クーポンテストでの検討<sup>4)</sup>

実験室にて燃焼排ガス組成のガスを通気させながら、凝縮水の組成を再現した試験溶液を使って乾湿繰り返し試験を実施し、耐食性に及ぼす化学成分の影響を検討した。腐食速度に及ぼすCr添加の影響(実験室試験結果)を図3に示す。また、平板の小型試験片を2台のガス焼き空気予熱器低温端部に取り付け、最長20か月の実機曝露試験を実施した。用いた材料は、低C-低Si-5~10%Cr系、低C-P-Cu-Ni系及び現行CRLSである。図4にCRLSと7%Cr鋼の実機での腐食曲線を示す。低C-P-Cu-Ni系の耐食性は、ボイラによっては現行CRLSと有意差がなかったが、5~10%Cr系では実験室試験と腐食速度、付着錆重量ともにより対応を示し、7%Cr系はCRLSの3倍の耐食性を示すことが確認された。

## 5. 7%Cr鋼板のエレメント製造性評価、実機適用試験

実機曝露試験で良好であった7%Cr鋼板(高さ300mm、巾200mm、厚さ1.1mm)に波形のクリンピング加工を施し、エレメントの製造性を調査した。7%Cr鋼は、波形プロファイル精度を含めた加工性は良好で、CRLSと遜色なく、生産性への負担もないことが確認された。また、多様なエレメント型式(NF, DU, FNC等)の製作にも問題なかった。

次に、ガス焼きボイラの空気予熱器の低温層に装着して実エレメント部材としての耐久性を調査した。図5に各材質の腐食曲線を示す。エレメント形状でも平板小型試験片と同様に、5%Cr、更には

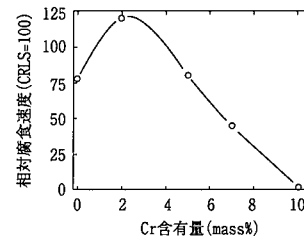


図3 腐食速度に及ぼすCr添加量の影響(実験室実験)

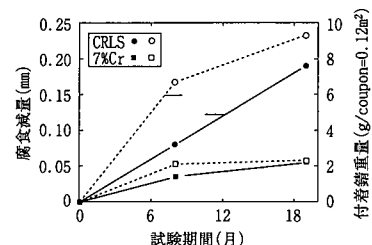


図4 7%Cr鋼板, CRLSの曝露試験結果(LNG缶)

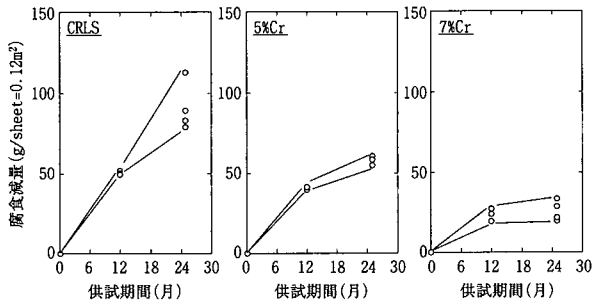


図5 テストエレメントの腐食減量—時間曲線

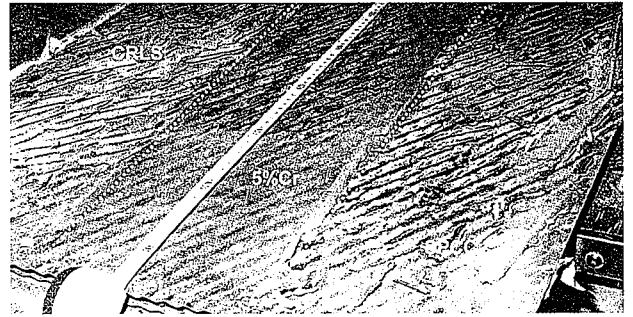


写真3 各材質の点検停止中発錆状況

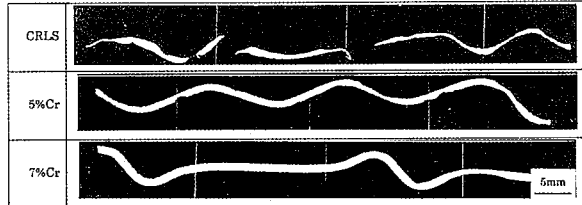


写真2 テストエレメント断面(低温端+10mm)

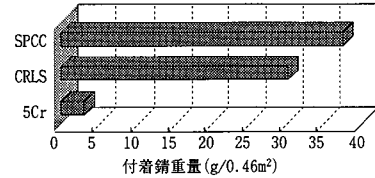


図7 中温層での発錆重量

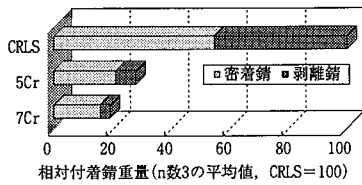


図6 耐水腐食エレメントの付着錆重量

7%Cr系は腐食減量が少なく、CRLSの約3倍程度の耐食性が得られている。

写真2に低温端から10mmの切断面を示す。CRLS製は凹凸を持つ全面腐食で板厚が著しく減少しているが、Cr系鋼製は局部的な減肉が支配的で腐食孔以外の板厚減少は少ないことが分かる。

また、ガス流路の耐閉塞性の指標として25か月使用したテストエレメントの付着錆重量を図6に示す。7%Cr系製はCRLS製比で約1/7の剥離錆量と良好であった。

これらの結果から、7%Cr鋼製エレメントは、CRLS製の3倍程度の耐食性を有し、閉塞原因である剥離性錆の生成が1/7程度に少ない特長が確認された。

## 6. 水に起因する腐食環境用途への応用

回転再生式空気予熱器の高温層は、燃料種を問わず、露点腐食環境にないため、薄板厚(標準0.6mm)の冷間圧延鋼板(SPCC)が使用されている。

SPCCでは、運用中は腐食環境にないものの、ガス焼き空気予熱器を除いて停止時(定期検査等)には水洗が実施され、腐食が生じる。また、水洗後の停止保管中には大気中水分の結露による腐食が生じる。水洗しないガス焼き空気予熱器でも、停止中に中~高温層で吸湿による腐食が発生した事例も報告されている。これらの腐食では、腐食減肉よりも錆による閉塞で長期停止後の再起動時に差圧が上昇することが安定運用上の課題である。このような停止中に発生する錆に対しては、水洗やストブローでは十分解決しない場合が多い。

そこで、ガス焼き空気予熱器中温層にCRLS/低C-5%Cr系/SPCC製エレメントを点溶接で1枚に接合した板を挿入し、15か月間運用後、停止1か月後の発錆状況を調査した(写真3)。CRLSとSPCCではフレーク状の錆が発生しているが、5%Cr系ではほとんど発生していない。また、付着錆重量で比較すると(図7)、5%Cr系の付着錆重量は極めて少なく、これら停止中に生じる結露・吸湿腐食による錆の閉塞対策に有望であることが分かる。

## 7. まとめ

ガス焼きボイラの燃焼排気ガスに起因した空気予熱器の水腐食対策に、低C-7%Cr鋼の耐水腐食鋼製エレメントを開発した。開発鋼は十分なエレメント加工性を有し、耐食性は従来材(CRLS)の3倍程度であることが期待される。また、5%Cr系及び7%Cr系エレメントは、ガス焼き低温層の水腐食対策に加えて、燃料種を問わず、停止中の高温・中温層で生じる水に起因した腐食による錆の閉塞対策としても有効であることが確認された。開発した耐水腐食エレメントは、2000年にガス焼きボイラの空気予熱器の低温層で採用されて以来、順調に運転を続けている。続いて、2001年にガス焼きの中温層にも採用された。今後、(1)ガス焼きボイラ空気予熱器低温層の水腐食対策材、(2)中温・高温層での停止時の錆による閉塞対策材として適用が増え、エレメントの長寿命化、設備の維持管理費低減に寄与するものと期待される。

### 参考文献

- 1) 火力原子力発電技術協会入門講座、火力原子力発電、42(8)、1075(1991)
- 2) 手塚英志、野口正:材料とプロセス、9、1449(1996)
- 3) 宇佐見明、井上尚志、田辺康児、間瀬秀里、手塚英志、野口正:腐食防食'96講演集、1996、p.135
- 4) 宇佐見明、井上尚志、田辺康児、間瀬秀里、手塚英志、野口正:材料とプロセス、9、1450(1996)
- 5) 手塚英志、野口正、宇佐見明:火力原子力発電、49(7)、991(1998)
- 6) 野口正:配管と装置、(6)、30(1998)