

[研究報告]

ごみ焼却炉ボイラ管の 高温腐食に関する調査研究*

Investigation on Fire-side Corrosion of Boiler Tubes in Waste-To-Energy Plants

持田 武信** 田中 一幸** 藤吉 秀昭**

Takenobu MOCHIDA** Kazuyuki TANAKA** Hideaki FUJIYOSHI**

キーワード：高温腐食、腐食速度、ボイラ、ごみ発電、過剰酸素濃度

1. 研究目的

我が国では、廃棄物発電におけるボイラ伝熱管の高温腐食防止への基本的対応は、最近まで高圧高温化を回避することであった。従って著しい高温腐食事例は少なく、またその詳細データも少ない。特に火炉水冷壁管については、過熱器管に比べて遙かに複雑な腐食環境に置かれていることもあって、腐食速度を予測するための体系的研究が無く、その結果腐食防止対策についても、過熱器に関するほど論議されていないのが現状である。一方、廃棄物発電効率向上のためのボイラ高圧高温化に伴う伝熱管メタル温度の上昇や、更にガス化溶解に伴う周囲ガス温度の上昇と過剰酸素の低下など、高温腐食を助長する諸条件への効果的な対応の確立に迫られており、巧遅を待たず拙速でもこの課題に応えるべく「腐食速度推定法」の考案が期待される。そこで、国内廃棄物発電におけるボイラ管高温腐食の実態を明らかにし、簡易に腐食速度を推定する方法を見出すことを目的として調査を実施した。

2. 研究方法

全国のごみ焼却施設に対するアンケート調査により実態調査を実施した。ここで、平成7年度以前に運転開始した144施設のボイラを対象とし、必要な項目について記入例を付したアンケート用紙を各施設の管理者に（BT主任経由で）送付し、昭和61年度以降平成7年度までのデータの記入をお願いする方法で行った。主な調査項目は表1

に示すとおりである。調査期間は平成8年8月～12月であり、表2に示す119施設（回収率82.6%）についての有効な回答を得た。

表-1 アンケートによる主要調査項目

| 伝熱管の減肉データ | 腐食因子データ |
|--|---|
| 火炉水冷壁管 スクリーン管 蒸発管群 過熱器管 節炭器管 | 火炉出口排ガス温度 ボイラ出口酸素濃度 2次空気量 2次空気送入方法 ごみ質 炉形状 |

なお比較的高圧のボイラについては、その数が少ない上運転開始後の経過年数が短く、アンケートのみでは必要な情報の収集が難しいため可能な限りプラントメーカーへのヒヤリングを行った。また、高圧ボイラのデータを補完するために、文献に発表されている海外プラントの腐食発生事例を加えて検討した。本研究は特に火炉水冷壁管について調査したもので、その腐食速度を年率の腐食量で表し、腐食に影響を及ぼす各因子の運転データとの関連を検討した。なお、各データとも時系列的に大きな変動や計測位置によるばらつきのある場合が多いが、減肉量については複数年の平均減肉から年率を求めるなど、変動幅を圧縮して概略を示す代表値として採用することとした。

腐食速度の推定法に関しては、多くの実験室試験結果からいくつかの仮説を基に求めた「炭素鋼の高温腐食速度」の特性¹⁾として示されたものがあり、今回の調査結果を用いてその妥当性の検証も併せて実施することとした。

* この調査は、当センターの研究奨励金により実施した。

** (助) 日本環境衛生センター東日本支局環境工学部
Dept. of Environment Engineering, East Branch,
Environmental Sanitation Center

表-2 ごみ焼却発電ボイラ火炉水冷壁管腐食調査回答施設一覧

| 県名 | 事業主体 | 施設名 | 稼働年 処理量×炉数 | | (続き) | | 施設名 | 稼働年 処理量×炉数 | |
|------|----------------|-----------------|------------|---------|------|----------------|-----------------|------------|---------|
| | | | (1990) | (t/日) | 県名 | 事業主体 | | (1990) | (t/日) |
| 北海道 | 札幌市 | 厚別清掃工場 | 74 | 300 × 2 | 長野県 | 長野市 | 清掃センター | 81 | 150 × 3 |
| 北海道 | 札幌市 | 藤井清掃工場 | 80 | 300 × 2 | | | | | |
| 北海道 | 札幌市 | 駒岡清掃工場 | 86 | 300 × 2 | 岐阜県 | 大垣市 | クリーンセンター | 95 | 80 × 3 |
| 北海道 | 札幌市 | 発寒清掃工場 | 92 | 300 × 2 | | | | | |
| 北海道 | 函館市 | 日之出清掃工場(3号炉) | 92 | 180 × 1 | 静岡県 | 静岡市 | 西ヶ谷清掃工場 | 82 | 200 × 2 |
| 北海道 | 苫小牧市 | 清掃センター | 82 | 200 × 1 | 静岡県 | 静岡市 | 新沼上清掃工場 | 95 | 200 × 3 |
| | | | | | 静岡県 | 富士市 | 環境クリーンセンター | 86 | 150 × 2 |
| 宮城県 | 仙台市 | 環境局施設部今泉工場 | 85 | 200 × 3 | | | | | |
| 宮城県 | 仙台市 | 環境局施設部葛岡工場 | 95 | 300 × 2 | 愛知県 | 名古屋 | 南陽工場 | 77 | 300 × 3 |
| | | | | | 愛知県 | 豊橋市 | 資源化センター | 91 | 115 × 2 |
| 秋田県 | 秋田市 | 環境部御所野事業所 | 83 | 200 × 1 | 愛知県 | 岡崎市 | 中央クリーンセンター | 89 | 120 × 2 |
| | | | | | 愛知県 | 岡崎市 | クリーンセンター | 91 | 75 × 2 |
| 福島県 | 福島市 | あぶくまクリーンセンター | 88 | 120 × 2 | 愛知県 | 春日井市 | クリーンセンター | 91 | 130 × 2 |
| | | | | | 愛知県 | 尾張東部衛生組合 | 橋元センター | 92 | 150 × 2 |
| 茨城県 | 水戸市 | 小吹清掃工場 | 84 | 130 × 3 | 愛知県 | 小牧市衛生組合 | 環境センター | 84 | 150 × 2 |
| 茨城県 | 常総地方広域市町村圏事務組合 | 常総環境センター | 89 | 117 × 3 | | | | | |
| 群馬県 | 前橋市 | 六供清掃工場 | 91 | 135 × 3 | 京都府 | 京都市 | 東部環境事業センター東清掃工場 | 80 | 200 × 3 |
| 群馬県 | 高崎市ほか4町村衛生施設組合 | 高浜クリーンセンター | 88 | 150 × 3 | 京都府 | 京都市 | 南清掃工場第一工場発電所 | 86 | 300 × 2 |
| | | | | | | | | | |
| 埼玉県 | 川口市 | 戸塚環境センター | 90 | 150 × 1 | 大阪府 | 大阪市 | 環境事業局南港工場 | 78 | 300 × 2 |
| 埼玉県 | 川口市 | 戸塚環境センター | 94 | 150 × 1 | 大阪府 | 大阪市 | 環境事業局大正工場 | 80 | 300 × 2 |
| 埼玉県 | 大宮市 | 東部環境センター | 84 | 100 × 3 | 大阪府 | 大阪市 | 環境事業局住之江工場 | 88 | 300 × 2 |
| 埼玉県 | 大宮市 | 西部環境センター | 93 | 100 × 3 | 大阪府 | 大阪市 | 環境事業局西淀工場 | 95 | 300 × 2 |
| 埼玉県 | 埼玉東部清掃組合 | 第1工場 | 95 | 200 × 4 | 大阪府 | 吹田市 | 環境事業局八尾工場 | 95 | 300 × 2 |
| 埼玉県 | 埼玉清掃組合 | ごみ処理施設 | 94 | 133 × 3 | 大阪府 | 高槻市 | 北工場 | 80 | 150 × 3 |
| | | | | | 大阪府 | 箕面市 | 新島クリーンセンター第2工場 | 95 | 180 × 2 |
| | | | | | 大阪府 | 豊中市伊丹市 | 市立環境クリーンセンター | 92 | 135 × 2 |
| | | | | | 大阪府 | 豊中市伊丹市 | クリーンランド | 75 | 225 × 3 |
| 千葉県 | 千葉市 | 新港清掃工場 | 74 | 150 × 3 | 大阪府 | 豊中市伊丹市 | クリーンランド | 95 | 195 × 1 |
| 千葉県 | 市川市 | クリーンセンター | 94 | 200 × 3 | 大阪府 | 柏市 | クリーンセンター | 92 | 150 × 3 |
| 千葉県 | 船橋市 | 南港清掃工場 | 89 | 125 × 3 | 大阪府 | 東大阪都市清掃施設組合 | 第四工場 | 81 | 300 × 2 |
| 千葉県 | 船橋市 | 北部清掃工場 | 92 | 145 × 3 | 大阪府 | 南河内清掃施設組合 | 清掃工場 | 86 | 150 × 2 |
| 千葉県 | 松戸市 | 和名ヶ谷クリーンセンター | 95 | 100 × 3 | | | | | |
| 千葉県 | 市原市 | 福増クリーンセンター | 94 | 110 × 2 | | | | | |
| 千葉県 | 浦安市 | クリーンセンター | 95 | 90 × 3 | 兵庫県 | 神戸市 | 港島クリーンセンター | 84 | 150 × 3 |
| 千葉県 | 佐倉市・酒々井町清掃組合 | 酒々井リサイクル文化センター | 90 | 100 × 1 | 兵庫県 | 神戸市 | 河津島クリーンセンター | 90 | 200 × 3 |
| 千葉県 | 印旛地区環境整備事業組合 | 印西クリーンセンター | 86 | 100 × 2 | 兵庫県 | 神戸市 | 環境事業部西クリーンセンター | 95 | 200 × 3 |
| | | | | | | | | | |
| 東京都 | 東京都 | 世田谷清掃工場 | 68 | 300 × 3 | 兵庫県 | 姫路市 | 市川美化センター | 92 | 165 × 2 |
| 東京都 | 東京都 | 大井清掃工場 | 70 | 300 × 4 | 兵庫県 | 尼崎市 | 市立クリーンセンター第1工場 | 90 | 175 × 1 |
| 東京都 | 東京都 | 多摩川清掃工場 | 73 | 300 × 2 | 兵庫県 | 宝塚市 | クリーンセンター | 88 | 160 × 2 |
| 東京都 | 東京都 | 江東清掃工場 | 74 | 300 × 6 | | | | | |
| 東京都 | 東京都 | 葛飾清掃工場 | 76 | 400 × 3 | 和歌山県 | 和歌山市 | 青洋エネルギーセンター | 85 | 200 × 2 |
| 東京都 | 東京都 | 足立清掃工場 | 77 | 250 × 4 | | | | | |
| 東京都 | 東京都 | 杉並清掃工場 | 82 | 300 × 3 | 岡山県 | 岡山市 | 当新田環境センター | 94 | 150 × 2 |
| 東京都 | 東京都 | 光が丘清掃工場 | 83 | 150 × 2 | 岡山県 | 倉敷市 | 水島清掃工場 | 94 | 150 × 2 |
| 東京都 | 東京都 | 大田清掃工場第一工場 | 90 | 200 × 3 | | | | | |
| 東京都 | 東京都 | 大田清掃工場第二工場 | 89 | 200 × 3 | 広島県 | 広島市 | 環境事業局中清掃工場 | 76 | 200 × 2 |
| 東京都 | 東京都 | 目黒清掃工場 | 91 | 300 × 2 | 広島県 | 広島市 | 環境事業局安佐南工場 | 83 | 100 × 2 |
| 東京都 | 東京都 | 練馬清掃工場 | 92 | 300 × 2 | 広島県 | 広島市 | 南工場 | 83 | 150 × 2 |
| 東京都 | 東京都 | 有明清掃工場 | 94 | 200 × 2 | 広島県 | 広島市 | 安佐北工場 | 89 | 100 × 2 |
| 東京都 | 東京都 | 破神ごみ処理施設 | 92 | 180 × 1 | 広島県 | 呉市 | 焼却工場 | 80 | 150 × 2 |
| 東京都 | 日野市 | クリーンセンター | 87 | 110 × 2 | | | | | |
| 東京都 | 東京都 | 神泉園組合 | 87 | 120 × 2 | 山口県 | 下関市 | 環境センター奥山工場 | 88 | 220 × 1 |
| | | | | | | | | | |
| 神奈川県 | 横浜市 | 環境事業局港南工場 | 74 | 380 × 3 | 香川県 | 高松地区西部広域衛生施設組合 | クリーンセンター | 88 | 140 × 2 |
| 神奈川県 | 横浜市 | 環境事業局保土ヶ谷工場 | 76 | 500 × 3 | | | | | |
| 神奈川県 | 横浜市 | 環境事業局保土ヶ谷工場 | 80 | 400 × 3 | 愛媛県 | 松山市 | 西クリーンセンター | 82 | 150 × 2 |
| 神奈川県 | 横浜市 | 環境事業局東工場地 | 84 | 400 × 3 | 愛媛県 | 松山市 | 南クリーンセンター | 94 | 100 × 3 |
| 神奈川県 | 横浜市 | 環境事業局鶴見工場 | 95 | 400 × 3 | | | | | |
| 神奈川県 | 川崎市 | 臨海センター | 74 | 200 × 3 | 福岡県 | 北九州市 | 泉岳崎工場 | 75 | 200 × 3 |
| 神奈川県 | 川崎市 | 厚島処理センター | 95 | 300 × 3 | 福岡県 | 北九州市 | 新門司工場 | 77 | 300 × 2 |
| 神奈川県 | 横浜賀市 | 南部処理工場 | 83 | 200 × 3 | 福岡県 | 北九州市 | 環境局日明工場 | 91 | 200 × 3 |
| 神奈川県 | 藤沢市 | 石名坂環境事業所 | 84 | 130 × 3 | 福岡県 | 福岡市 | 東部工場 | 76 | 300 × 2 |
| 神奈川県 | 相模原市 | 北清掃工場 | 91 | 150 × 3 | 福岡県 | 福岡市 | 西部工場 | 81 | 300 × 2 |
| 神奈川県 | 厚木市 | 環境センター | 87 | 109 × 3 | 福岡県 | 福岡市 | 環境局施設部西部清掃工場 | 92 | 250 × 3 |
| 神奈川県 | 大和市 | 環境管理センター | 94 | 150 × 3 | | | | | |
| | | | | | 長崎県 | 長崎市 | 東工場 | 88 | 150 × 2 |
| 新潟県 | 新潟市 | 新田清掃センター | 86 | 120 × 3 | 熊本県 | 熊本市 | 東部環境工場 | 94 | 300 × 2 |
| | | | | | | | | | |
| 富山県 | 富山地区広域圏事務組合 | 富山地区広域圏クリーンセンター | 79 | 200 × 3 | 大分県 | 大分市 | 東部清掃センター清掃工場 | 86 | 150 × 2 |
| | | | | | | | | | |
| 石川県 | 金沢市 | 西部クリーンセンター | 80 | 175 × 2 | | | | | |
| 石川県 | 金沢市 | 東部クリーンセンター | 91 | 125 × 2 | 宮崎県 | 宮崎市 | 南部環境美化センター | 82 | 150 × 2 |
| | | | | | | | | | |
| 福井県 | 福井市 | クリーンセンター | 91 | 115 × 3 | 鹿児島県 | 鹿児島市 | 南部清掃工場 | 94 | 150 × 2 |
| | | | | | | | | | |
| 山梨県 | 甲府市 | 環境センター | 95 | 120 × 3 | | | | | |

3. 調査結果

3・1 国内低圧ボイラにおける高腐食発生の実態

国内には高圧ボイラの長期間運転実績が殆どないので著しい腐蝕発生事例はないが、腐食速度 $>0.2\text{mm/年}$ (ないしは $>0.1\text{mm/年}$) を高腐食として、その発生状況概要を記すと次の通りである。

① 時系列的变化 (図1): 運転開始年度を基準にして5年ごとの推移を見ると、高腐食発生率と稼働開始年度との間に直接的な関係は認められない。

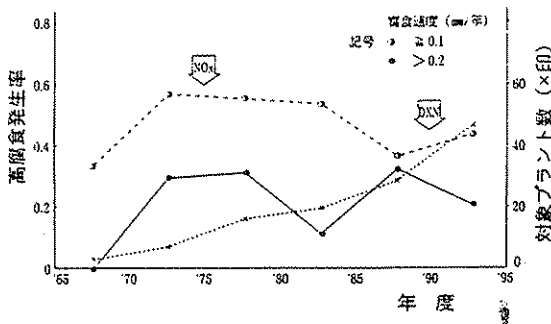


図-1 高温腐食発生率の推移

② 地域的分布 (図2): ボイラ蒸気条件等の如何に拘わらず、高腐食発生が一部地域 (関西、北九州、北海道) に偏在している。これはごみ収集方法の差に伴うごみ質の差が影響している可能性があるものと考えられる。

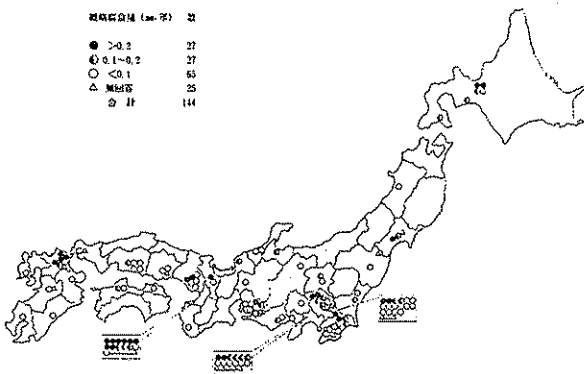


図-2 ごみ焼却炉ボイラ水冷壁管腐食速度の地域分布

③ 水冷壁のキャストブル保護による効果 (図3): 各腐食支配因子と腐食速度の間に強い相関を見ることができなかったが、どの因子も腐食速度

の最大値との間にはある程度の相関を示している (3-2 参照)。このことは、水冷壁の保護対策や燃焼条件の改善によって腐食抑制が可能であることを示している。即ち、水冷壁保護のライニングが適切であれば 0.2mm/年 を超える高腐食の発生割合は 10%未満となっている。

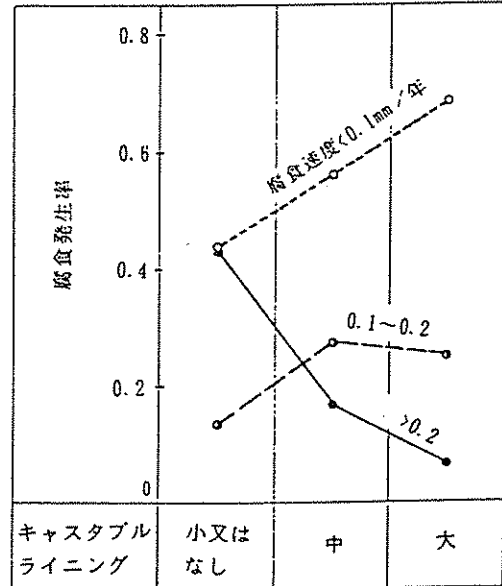


図-3 キャスタブルライニング範囲と腐食速度の関係

3・2 腐食速度と各因子との相関

(1) ごみ処理能力

ごみ処理能力と腐食速度の関係を図4に示す。これを見ると 100t/日 以下の小型炉で腐食が少ない点特徴的である。小型炉の場合一般に圧力の低いボイラが多いことが一つの要因になっていると考えられる。

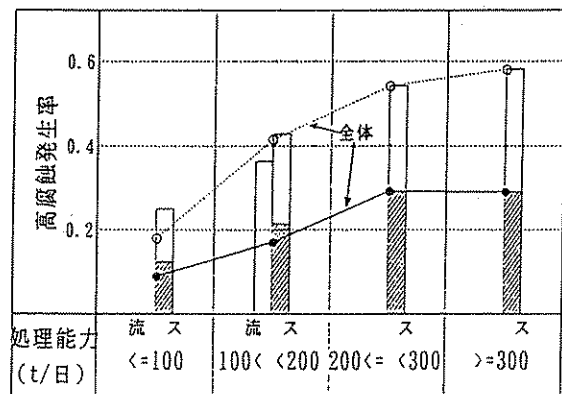


図-4 ごみ処理能力と腐食速度

(2) ドラム蒸気圧力（水冷壁管メタル温度）

国内のごみ発電ボイラは、高温腐食防止の立場からそのほとんどが低圧であり、今回回答を得た 119 施設のうちでも 30kg/cm² 以上のものは 2 施設、25kg/cm² 以上としても 8 施設にとどまる。したがって高圧における統計値としての信頼性の向上については今後の高圧ボイラの多数実用化を待つ必要がある。高腐食発生率と蒸気圧力の関係を図 5 に示す。データ数が少ないものの蒸気圧力が 30kg/cm² 以上のものでは腐食速度の増大が認められる。

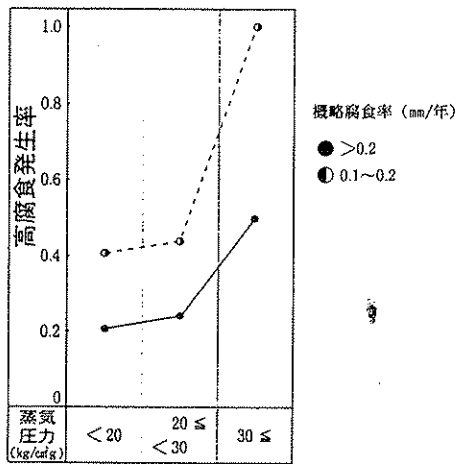


図-5 蒸気圧力と腐食速度

(3) 火炉出口ガス温度

火炉出口排ガス温度は、施設によって定義が異なっており、また通常変動幅も大きいことから正確に把握することは困難である。ガス温度の概略値と腐食速度の関係を図 6 に示す。この図からも両者には一見ほとんど相関が見出せない。

図中の参考線は、管壁温度を約 250℃、付着飛灰中の重金属 (Pb、Zn) 濃度を約 2% 程度の標準的低圧ボイラとした時の炭素鋼の高温腐食速度に関する一つの予測線¹⁾を示している。データのばらつきは大きいものの調査結果は概ねこの予測線を最大値としてそれ以下に収まっている。

(4) ごみ質（ごみ中の Cl、重金属含有率およびプラスチック成分割合）

ごみ中の Cl 含有率分析を実施している施設は、10 年間に 1 回のみという場合も含めて 50 施設であった。したがって、腐食因子の一つの

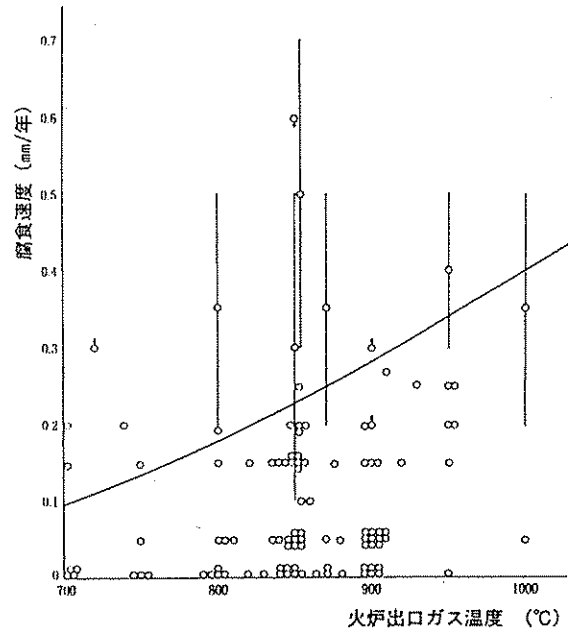


図-6 火炉出口ガス温度と腐食速度の相関

パラメータとして Cl の影響を云々するだけのデータ数には及ばないが、各施設における Cl の最大値と腐食速度との関係を単純にプロットすると図 7 のとおりである。この図においてもデータの分散は非常に大きく、一見両者の相関は認めがたい。しかし、Krause²⁾の報告における腐食速度と Cl 含有率との関係を、メタル温度を 250℃として単位換算の上図中に参考線として示すと、Cl についても実炉における腐食速度はこの基礎実験結果を最大値として分散していることがわかる。即ち、腐食速度は Cl 含有率に左右されるが、実炉ではキャスタブルライニング保護対策により腐食が抑制された結果と推定される。なお、ここで Cl 含有率の変動幅は広範囲に及んでいるが、本図にプロットした Cl 値はその最大値であることを考慮して、参考線は Krause の実験結果における Cl 値を 2 倍に設定して表してある。

また重金属の含有率については分析値が殆どなく、今回の実態調査結果からは腐食速度との相関は捉え難い。

一方、プラスチックは、上記 Cl と重金属成分の有力な供給源であるから、腐食速度とプラスチック成分との相関が得られれば、腐食速度を事前に予測する安直な一つの手だてとなりうることに着目し、図 8 にこの相関を示した。本図でも、データは今まで見てきた各腐食影響因

子と同じく広範囲に分散しているが、最大値との間には或程度の相関が見出だされることから、腐食に及ぼすCl及び重金属の影響を間接的に示しているものと考えられる。

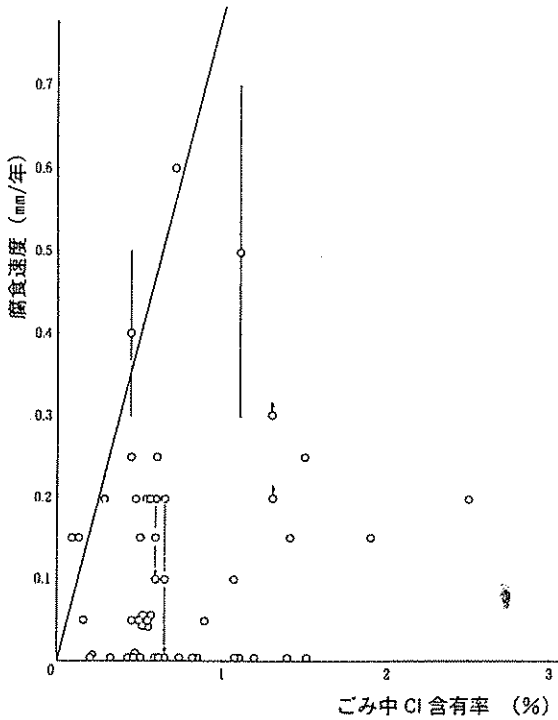


図-7 ごみ中Cl含有率と腐食速度の相関

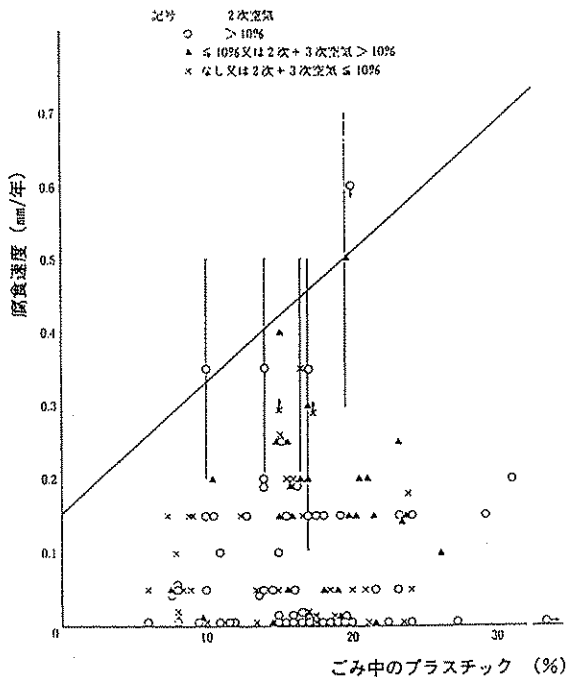


図-8 ごみ中のプラスチックと腐食速度の相関

(5) 燃焼ガス中の過剰酸素濃度

過剰酸素のデータとして重要な値はボイラ出口の酸素濃度であるが、この値は計測されていない例が多く、今回回答を得られたのは119施設中47施設であった。ボイラ出口の酸素濃度と腐食速度の関係を図9に示す。これをみると酸素濃度の増加に伴い腐食速度が低下する傾向が認められる。なお、排ガス中の過剰酸素濃度の低下が鋼の高温腐食を助長するとする占部らの報告³⁾をもとに腐食速度の概算値を参考線として示したが、概ね今回の調査結果の中央値を示していると見ることができる。

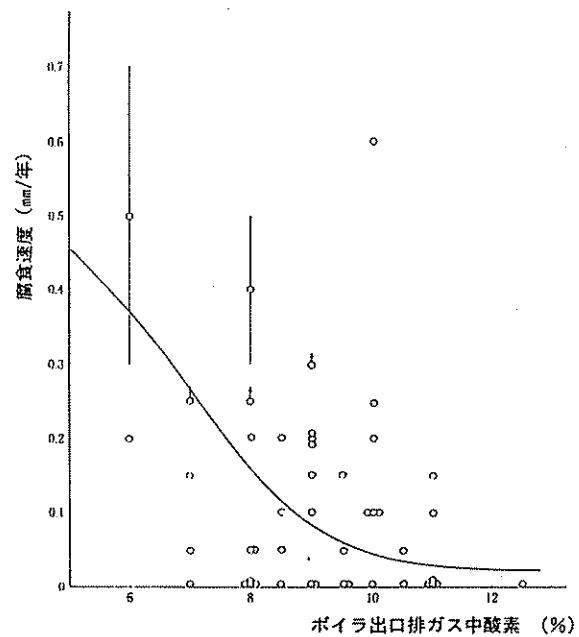


図-9 排ガス中過剰酸素と腐食速度の相関

(6) 2次空気の送入手法

過剰酸素が腐蝕抑制に有効であることに加えて、2次空気の送入手法が、特に低酸素において効果的であることが判った(図10)。

(7) 火炉形状と火炉熱負荷

火炉形式を流動床式とストーカ式に大別し、更にストーカ式の炉形状を火炉内放射の遮断効果の大小で4群に分けて腐蝕速度への影響を見たのが図11である。放射の断熱効果が大きい程僅かながら腐蝕が軽減される傾向が見られるものの、有意な差があるとは言い難いのに対し、流動床炉では腐蝕が極めて軽微であるのが特筆される。また、水冷壁の熱流束に代わる指標と

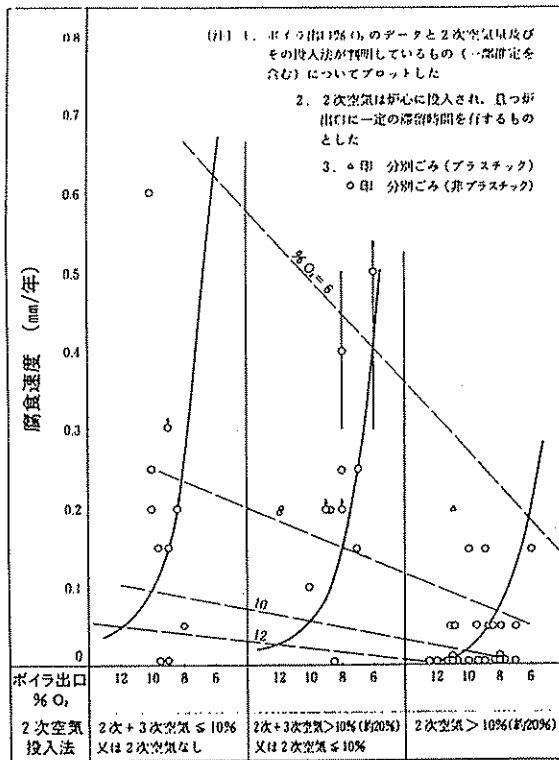


図-10 腐食速度に及ぼす燃焼空気の投入量および投入法の影響

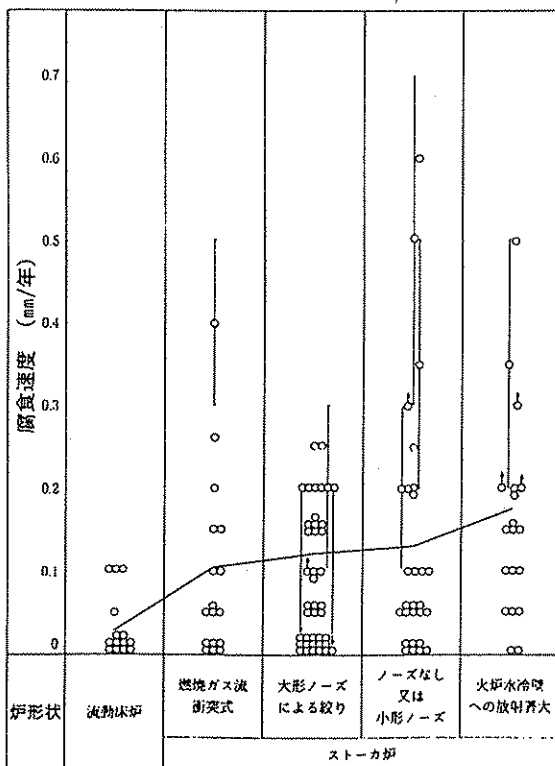


図-11 炉形状と腐食速度の相関

して火炉熱負荷との関係を見たが、相関は見られなかった。

(8) ごみ発熱量と処理負荷率

ごみ発熱量については、発熱量自体ではなく当初の計画値(高質ベース)に対する比として捉えるべきと考えられるので、これを「発熱量指数」として腐蝕速度との相関を見たのが図12である。

また同様に処理負荷率について見たのが図13である。いずれも前項同様最大腐食量との間にはある程度の相関が見られる程度である。発熱量や処理負荷率の変化は、周囲ガス温度乃至は過剰酸素濃度の変化を伴い、これを通じて腐食速度に影響を与えるためと考えられる。

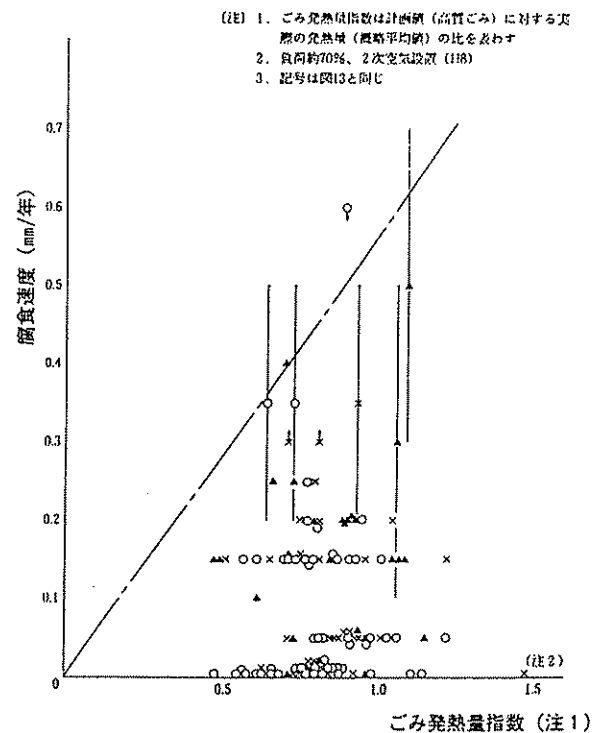


図-12 腐食速度に及ぼすごみ発熱量の影響

3.3 海外高圧ボイラの事例

国内施設には高圧ボイラの長期間運転実績がないため、紙上等に発表されている2, 3の高温腐食事例⁽⁴⁾⁽⁵⁾を表3に示す。プラントA, B, CはいずれもフラフRDFを燃焼させる高圧ボイラで、稼働当初には火炉壁にライニング等の保護対策は施しておらず、表中「腐食速度」の欄に記載のごとく著しい腐食速度を示しており、腐食発生後に超合金の溶接肉盛り等の対策を実施している。

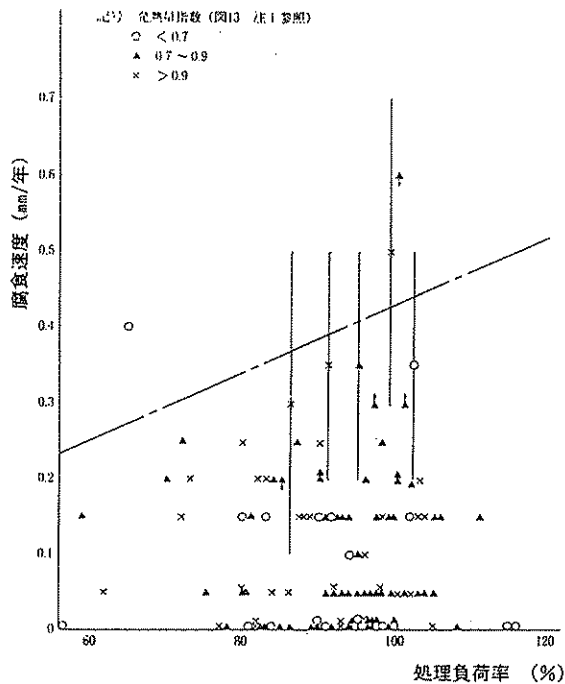


図-13 処理負荷率と腐敗速度の関係

表-3 高圧ボイラの高温度腐食事例

| プラント | 蒸気圧力 (atg) | ごみ中Cl (%) | 飛灰中Pb+Zn (%) | 腐食速度 (mm/年) | 暴露時間 |
|------|------------|-----------|--------------|-------------|--------|
| A | 約45 | 1.03 | — | 約1.3 | 約1年 |
| B | 約42 | — | 約6 | 1.6~3.0 | 約2000h |
| C | 約63 | 0.5~2.0 | 約5 | 8~13 | 約2000h |
| D | 約20 | — | 約14/20 | 0.5~1.0 | 約1年 |

なおプラント D は、低圧であるが付着飛灰中の重金属含有量が非常に高いために、高腐食が発生した国内プラントの事例である。

4. 考察

4.1 ごみ燃焼排ガス中における高温腐食のメカニズム

ごみ焼却炉ボイラ伝熱管の高温腐食は、様々の要因の複合による複雑な反応の結果であり、Krause 等によってそのメカニズムが提唱されている。ここではプラント C に関する報告者である French の説明を図に表現すると図 14 に示すとおりであり、(1) 還元雰囲気と、(2) 重金属塩化物のフラックス効果による金属酸化物（保護膜）の消失が、腐食進行の二つの大きな原因であるとしている。即ち本図の左半分については過剰酸素が、右半分についてはごみ（ひいては燃焼ガス及び付着飛灰）中の Cl と重金属（特に Pb、Zn）が重要な腐食助長因子である。このことは前出実態調査結果で、酸素不足とごみ質が腐食助長の主役とする見方と一致している。これら化学的条件に対して、一方では物理的条件として腐食環境を決定付けるのが温度であり、設計上の選択肢である「温度」を変数として腐食速度を整理することができれば、腐食速度推定に有効な手段となるものと考えられる。

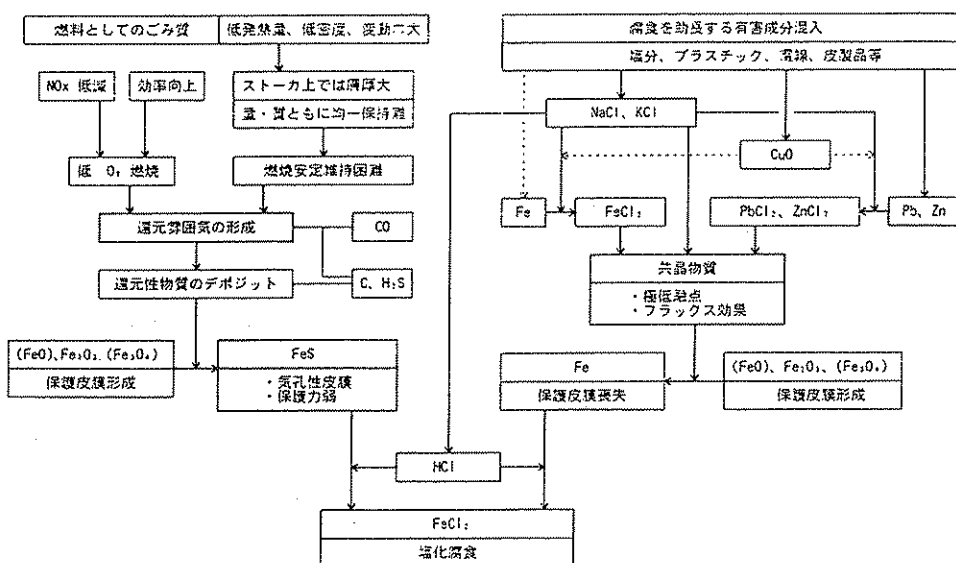


図-14 ごみ焼却炉ボイラ伝熱管高温腐食のメカニズム

4・2 腐食速度推定法の検討

ごみ燃焼排ガスまたはこれを模擬した人工ガス(及び人工灰)による多くの腐食試験結果がある。筆者らはこれらを総括し、腐食速度推定のための一つの方法として、腐食速度をメタル温度と周囲ガス温度の関数として表すことを提案している¹⁾。ここで、腐食速度を年率の減肉量と定義し、これが暴露時間の平方根に逆比例するものと仮定し¹⁾、8000h/年と見て年率に換算して表したのが図15である。なお、付着灰中の重金属については、その含有量が不明の場合も含まれているが、平均的重金属量として4%を採り、含有量と腐食速度がほぼ比例するとの仮定の下に作成してある。

また、図15には上記3-1、3-2、3-3の調査結果、すなわち海外プラントの事例を含めてプロットしてある。国内施設のボイラでは119プラントの殆どでメタル温度が230℃前後の範囲内にあり(図中斜線部)、これを超えるものはそのうち10プラントに満たないことに加え、殆どのボイラには水冷壁保護のキャストブライニングが施されていることから、過半の施設において腐食速度は0.1mm/年を下回る結果となっている。これに対

して海外プラントA、B、Cの場合は、蒸気条件が高圧のためメタル温度が300℃前後となっており、且つフラフRDF浮遊燃焼のため空気過剰率が低く、その上に水冷壁保護対策を採っていなかったため高温燃焼火災(約1200℃)からの直接放射を受けた結果、腐食速度は1mm/年前後と、一段と高い値となっている。なお、これらA、B、Cプラントではいずれも腐食発生後改造を行い、Niベース超合金の溶接肉盛りまたはSiCキャストブライニングにより腐食抑制を達成したとしている。いま、キャストブライニングの範囲(図3参照)の大小と、ライニング域出口直上部のガス温度 t_g を概略対応させて表4の如く表現できるものとする、低圧から高圧までの広範囲のボイラで、腐食速度の実態が図15から求められる推定値と概ね一致していると見ることができる。

表-4 ライニング範囲と燃焼温度の対比

| 燃焼方式 | ライニング | ガス温度 (t_g) |
|--------|-----------------|-----------------------------|
| マスバーン | 大 中 小又はなし | 800℃未満 900℃未満 1000℃未満 |
| 777RDF | なし | 約1200℃ |

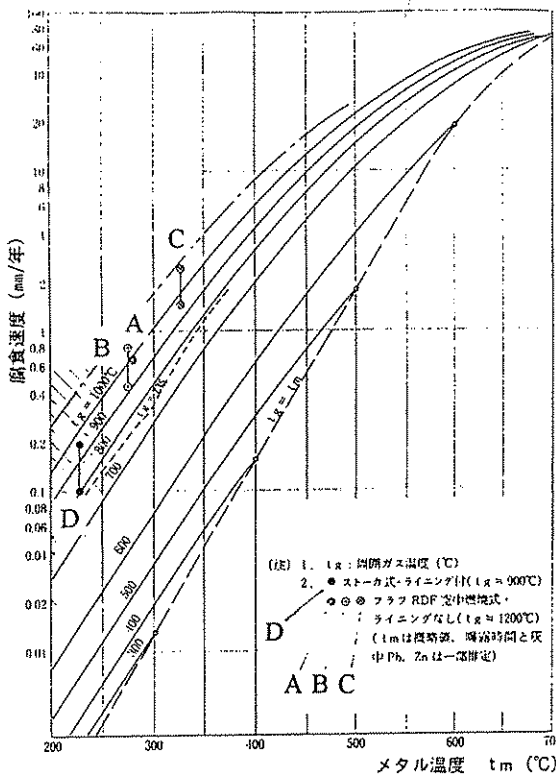


図-15 実炉における高圧ボイラ火炉水冷壁管の腐食速度

一方腐食速度はごみ質(Cl、重金属)の影響を受けるから、上記腐食速度推定法を適用するにはその修正が必要であるが、このデータが整っていることはむしろまれである。従って実用的な立場からは、これに代わるいわゆる代用機能としての適切な指標を見出すことが予測精度向上の鍵である。前出図2に示すとおり、高腐食発生の確率が地域的に偏在していることに着目すると、ごみ分別収集形態の差、換言すれば、Cl及び重金属含有量と相関があると見なすべきであり、且つ高発熱量のため局所酸素濃度の不足を招来しやすいごみ中のプラスチック分が、この点で有力な候補となりうるものと考えられる。

5. ま と め

今回の調査は、より多くの実炉の実態調査を目的とした。しかし調査内容の性格上専門性が高く、且つ膨大な肉厚計測点と関連運転データの長期間

に亘る調査であるため、回答の正確性を求めるには限界があり、情報入手に課題を残した。しかし、腐食速度について、(1) 各種腐食助長因子との間に顕著な相関が認められないこと、(2) 燃焼空気の供給法が腐食防止の有効な対策となりうることなど、文献紙上では得られない貴重な実態が把握できた。また、(3) 主に実験室結果による腐食速度に関する文献から導出した腐食速度推定法¹⁾では実態よりも高い値が得られるなど信頼性に課題を残しているものの、火炉水冷壁管の腐食速度を推定するための一つの手だてとなりうる可能性のあることが示唆された。

今後は、更なるデータ収集と、詳細確認による統計値としての信頼性向上が重要であり、またそのためには記録に残すべき測定値の標準化(O₂の計測位置、2次空気量の記録、ガス温度の計測位置など)と、その実行が必須の要件である。

最後に、本調査に当たり膨大な運転記録の整理、作成および調査にご協力いただいた自治体をはじめ、プラントメーカーのご関係者各位に感謝の意を表す次第です。

参考文献

- 1) 持田、田中、藤吉：ごみ焼却炉ボイラ管の高温腐食について、日本環境衛生センター所報 No.23、48-59(1996)
- 2) Krause H.H. : Chlorine corrosion in waste incineration, Corrosion 87, Paper 401, 1-11(1987)
- 3) 占部武生、基 昭夫、本田 正、杉山文武：平成2年度東京都清掃研究所研究報告(1990)
- 4) French D.N. : Water wall corrosion in RDF fired boilers, Incinerating Municipal and Industrial Waste, Hemisphere Publishing Corp., 359-368
- 5) Plumley A.L. et al: Water wall and superheater performance in an RDF-fired resource recovery steam generator, Incinerating Municipal and Industrial Waste, Hemisphere Publishing Corp., 373-404