

技術解説

Technical Review

廃棄物処理プラント材料の開発動向

-エネルギー供給拠点としての機能と課題-

吉葉正行*

State-of-Art about Material Development for Waste Treatment Plant
-Function and Subjects as Foothold for Supplying Energy-

Masayuki Yoshiba

Synopsis

High efficiency waste power generation technology has been developed so much in Japan since the 1990s, mainly through highly corrosion-resistant material development against complicated corrosive environments of waste-to-power boilers. In the present study, a historical background is reviewed of the waste power generation technology, and the corrosive environment is characterized by the dominating oxy-chlorination reaction. Then, countermeasures against the corrosive attack are demonstrated from the various viewpoints of boiler design, control of the combustion environmental condition and development of the corrosion-resistant materials. Namely corrosion-resistant steels and alloys developed in Japan are demonstrated together with the alloy design concept. Furthermore, future prospects and subjects are referred to.

1. はじめに

廃棄物やバイオマスからのエネルギー変換効率の向上を目指して、発電プラントの高温高圧化が進んでいる。この背景には、CO₂排出削減を中核とした地球温暖化対策や、「電気事業者による新エネルギー等の利用に関する特別措置法（Renewable Portfolio Standard, RPS法）」に基づく新エネルギー利用促進などにおけるバイオマス系エネルギー資源への熱い期待など、今世紀に入り廃棄物・バイオマスが保有する多様な価値の高度利活用の機運が高まっていることがある。特に、廃棄物の熱エネルギー利用の高度化技術に関しては、1990年代に当時の通産省（MITI）-（独）新エネルギー産業技術総合開発機構（NEDO）をはじめとする関係省庁において

精力的に展開された500℃-9.8MPaクラスの過熱蒸気利用による廃熱ボイラ開発を頂点とする高効率廃棄物発電技術研究開発の成果によるところが大きい。ここでは、廃棄物発電ボイラ環境特有の塩化-酸化反応を中心とした複合型高温腐食損傷に対して優れた抵抗力をもつ高耐食性合金の開発がキーテクノロジーと位置づけられ、新合金の研究開発と実用化導入が精力的に行われた^{1)~4)}。その結果、廃棄物発電における発電出力（供給能力）は1995年以降急速に増加し、現在では一般廃棄物と産業廃棄物の処理プラント合計で200万kW以上（ただし、総出力ベース）に達し、火力、原子力、水力発電に次ぐ第四の電力供給源となっている。また、2005年に改訂された供給サイドの新エネルギー導入目標によれば、新エネルギーとしての廃棄物・バイオマス発電に対する期待は太陽光発電に次いで非常に大きい⁵⁾。さらに、2011

2012年5月25日受付

*首都大学東京大学院理工学研究科，工博（Dr., Eng., Graduate School on Science and Engineering, Tokyo Metropolitan University）

年3月11日に発生した東日本大震災と津波に起因した福島第一原子力発電所の一連のトラブルにより顕在化した政府の安全管理システムも含めた我が国の原発至上主義の破綻問題を契機として、将来のエネルギー政策における廃棄物・バイオマス発電の重要性が著しく増大している。しかしその一方で、廃棄物処理プラントにおける技術課題は、腐食や摩耗などの部材表面問題に集約されるといっても過言ではないほど複雑かつ多様な損傷の様相を呈し、プラントを構成する各部材において遭遇する多様な腐食・摩耗等に起因する損傷との格闘の歴史でもある。さらに今後、廃棄物・バイオマスが有する資源エネルギー価値の利活用技術の高度化に際しては、国民の理解や行政面での対応など多くの面で課題が残されている。

本稿では、1990年以降に精力的に展開され、実用化が現在も進んでいる廃棄物発電の高効率化を支えるプラント技術と耐熱・耐食ボイラ過熱器管(SH)材料の研究開発動向を中心に紹介する^{6)~9)}。なお、廃棄物焼却処理におけるダイオキシン類(DXNs)など健康リスク物質に対する環境負荷低減を目指した安全・安心技術の研究開発も当時平行して精力的に展開されたが、この観点の詳細については他の解説等に譲りたい^{7), 8), 10)}。

2. 廃棄物発電プラントの高効率化技術動向と部材の高温腐食問題

2. 1 各種高効率化技術動向

廃棄物焼却余熱利用によるサーマルリカバリーの高度化を主眼として、廃棄物発電の高効率化を目指した技術研究開発が1990年代に活発に展開され大きな成果を挙げたが、当時廃棄物行政を所管した厚生省をはじめ複数の関係省庁の取組み状況を反映して、以下に示すような各種高効率化技術が提案、その多くが現在実用化されている^{6)~9)}。

(1) ボイラ過熱器高温高圧型

[ごみ固形化燃料(Refuse Derived Fuel, RDF)による高温高圧型を含める](当時、厚生省、通産省)

(2) 外部独立過熱器高温高圧型

(3) ガスタービン(GT)複合型

[スーパーごみ発電](当時、自治省)

このような国家プロジェクトを中心とした研究開発の結果、廃棄物発電ボイラの過熱蒸気温度と発電端効率それぞれ Fig. 1, Fig. 2 に示すように1995年以降大幅

に改善され、大型プラントでは現在400℃-4MPaクラスの過熱蒸気利用により20%以上の発電効率が標準仕様となっている。これら最近の高温高効率型プラントの内、群馬県高崎市を中核とする高浜クリーンセンター、北九州市、千葉市などに設置されたプラントは上記(3)におけるGT発電との複合化による、いわゆるスーパーごみ発電方式であるが、高効率ではあるもののGT発電における燃料費(天然ガス)が余分に必要となるうえ、GT排ガスによる追い焚き(リパワリング)前の廃熱ボイラの蒸気条件は従来レベルと大差ない。それゆえ、GTとの複合システム化と、GT排ガス利用による過熱蒸気のリパワリングを組合わせたシステムイノベーションとしての魅力にとどめざるをえない。

一方、大牟田市や福山市などでは、RDF化した廃棄物(燃料)の広域移動とプラントの大型化による積極的な高温高効率発電を可能とした技術であるが、RDF化に伴う処理コスト上昇分を売電収益増により相殺できるか否かのバランスシートの問題が今後のさらなる普及の成否を決めることになる。これに対して、RDF方式によらないマスバーン方式での高温高効率化プラント技術(1)に関しては、従来型よりも高温高圧の過熱蒸気を廃熱ボイラで得た後、全量を蒸気タービンに導入して電力供給に利用し、その後、所内外での熱供給など多目的用途にカスケード利用を図る方式が基本である。NEDOが1991~2000年度にわたり展開してきた「高効率廃棄物発電技術開発」プロジェクトでは、最も基本的かつ単純な本方式による高効率型プラントを開発し、500℃-9.8MPa(100atm)蒸気利用により大型炉換算で30%相当の発電端効率を目標とした。プロジェクト研究前半に得られた基盤的成果に基づいて神奈川県津久井郡(現在、相模原市)に建設された Fig. 3 のシステムフローによる50t/日規模の実証プラントにおいて1997年から高耐食性SH管材料の開発と性能評価をはじめ、環境評価技術や経済性をも考慮した最適トータルシステムなどの評価研究が実施された⁸⁾。その後、津久井プラントは相模原市に移管され、450℃レベルの蒸気条件により安定操業が行なわれてきたが(Fig. 1)、市内に最近新設された熱分解ガス化溶解方式による先進型大型プラントが本稼動を開始したため、2010年4月で廃炉となり、その役割を終えている。

2. 2 ボイラの高温化と高温腐食問題

石油や石炭など化石燃料による超々臨界圧(USC)型ボイラや、さらには現在開発が進められている先進型

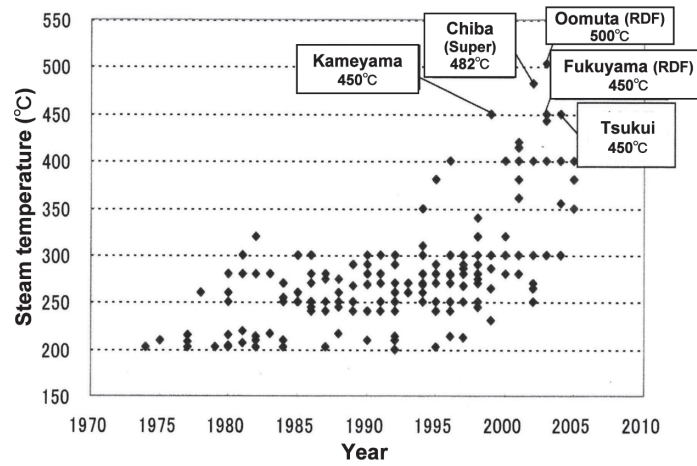


Fig. 1. Change in superheated steam temperature for waste power generation.⁹⁾

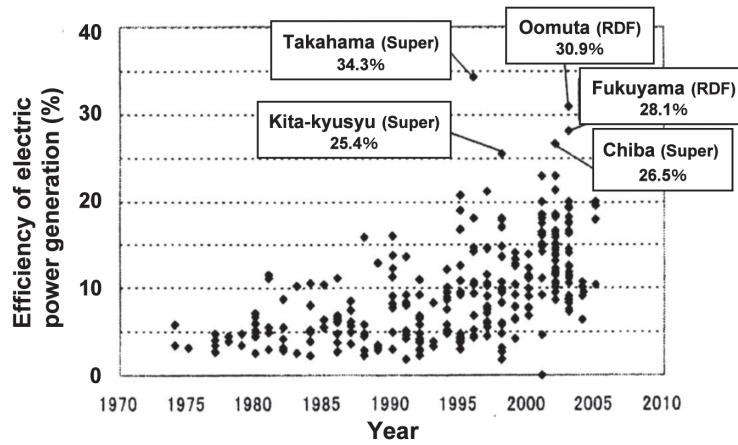


Fig. 2. Change in efficiency of waste power generation.⁹⁾

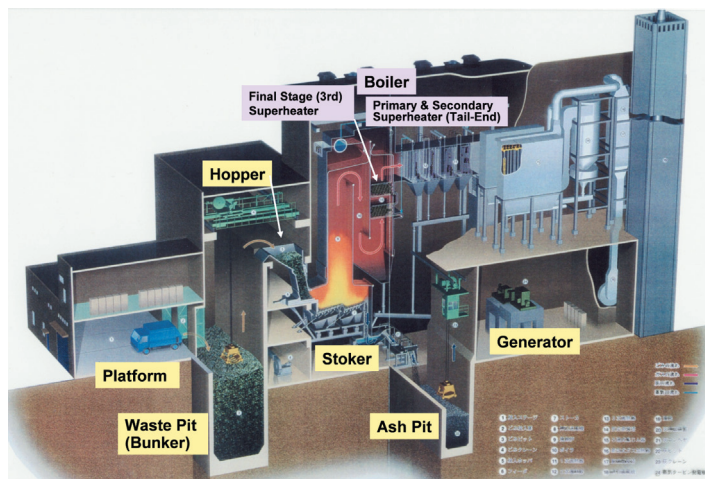


Fig. 3. Schematic drawing of high efficiency waste power generation plant system; typical example of Tsukui plant for NEDO proof test.

超々臨界圧 (A-USC) ボイラでは、650～700℃クラスの過熱蒸気利用により引張強さやクリープ抵抗性を設計の基本仕様とし、高温耐食性に関しても硫化-酸化反応主体の耐環境特性を保証することが求められる。これに対して廃棄物焼却廃熱ボイラでは、過熱蒸気条件がせいぜい500℃-10MPa程度以下と低いため、耐力または引張強さが基本的要求特性であり、強度面だけからみれば普通(炭素)鋼でも十分通用する温度-圧力条件である。したがって、廃棄物焼却特有の極めて過酷な腐食環境で長時間運用されるボイラではむしろ、SH材料の耐用寿命が腐食減肉によって決定される場合が多い。

廃棄物焼却プラント環境における炭素鋼伝熱管の腐食速度の温度依存性は Fig. 4¹¹⁾ に示すようになり、従来型プラントのように管壁温度が320℃程度以下に抑えられていれば普通鋼クラスであっても高温腐食は基本的に問題にならないが、約350℃以上になると管壁への飛灰成分の付着堆積に起因した熔融塩腐食が温度上昇に伴って急激に深刻化するため高耐食性合金が不可欠となる。

特に、廃棄物焼却生成物特有の低融点塩化物共晶系化合物が約350℃以上では熔融状態で保護酸化皮膜の溶解反応を誘発して腐食に直接関与するという特徴がある。当該プラント環境で問題とすべき各種塩化物共晶系化合物の融点を Table 1 に示したが¹²⁾、これら二元系共晶体よりもさらに多元系化合物になれば融点は当然低下する。一方、焼却処理されるごみ質やプラントの性能と規模、燃焼条件などによっては燃焼ガス中に500～1000ppm程度の高濃度HClを含むために腐食性が相当強く、それゆえ高温化ボイラSHでは熔融塩と流動燃焼ガスとの競合による複合腐食が深刻な問題となる¹²⁾。廃棄物焼却プラントのボイラなど主要部位における種々の灰の付着堆積などに関連した複合腐食環境構築の諸要因と腐食損傷シナリオ(経時変化)に関する概念図を Fig. 5 に示す^{8), 13)}。このうち、保護皮膜の溶解反応と再生が繰り返される結果、全般的にはタイプIのような擬放物線的な腐食の経時変化を示す高耐食性材料が基本的に要求される。

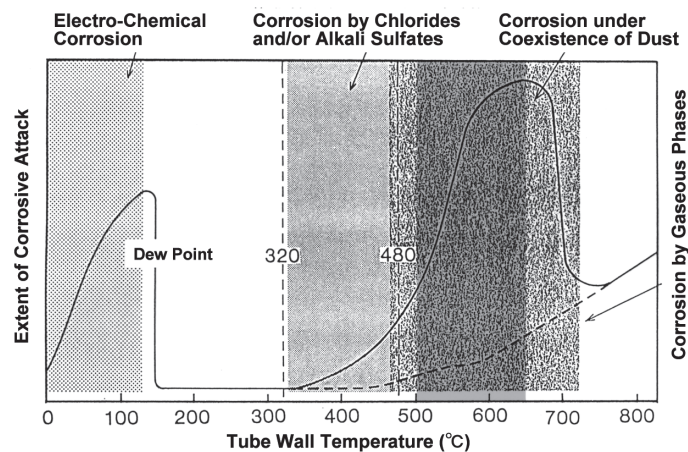


Fig. 4. Temperature dependent of corrosive damage for carbon steel heat exchanger tube in waste incineration plant environment.¹¹⁾

Table 1. Different kinds of eutectic chloride compounds and melting points.¹²⁾

Eutectic mixture, mole%	Melting point, °C (°F)
25NaCl-75FeCl ₃	156 (313)
37PbCl ₂ -63FeCl ₃	175 (347)
60SnCl ₂ -40KCl	176 (349)
70SnCl ₂ -30NaCl	183 (361)
70ZnCl ₂ -30FeCl ₃	200 (392)
20ZnCl ₂ -80SnCl ₂	204 (400)
55ZnCl ₂ -45KCl	230 (446)
70ZnCl ₂ -30NaCl	262 (504)
60KCl-40FeCl ₂	355 (671)
58NaCl-42FeCl ₂	370 (698)
70PbCl ₂ -30NaCl	410 (770)
52PbCl ₂ -48KCl	411 (772)
72PbCl ₂ -28FeCl ₂	421 (790)
90PbCl ₂ -10MgCl ₂	460 (860)
80PbCl ₂ -20CaCl ₂	475 (887)
49NaCl-50CaCl ₂	500 (932)

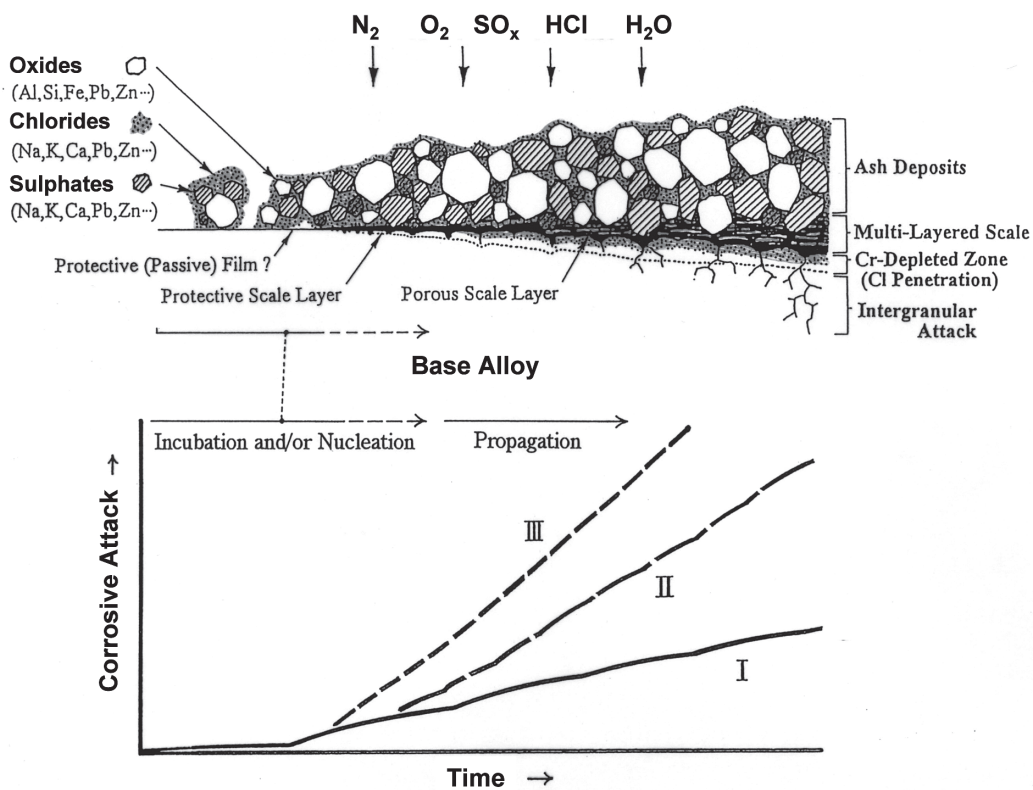


Fig. 5. Schematic illustration showing development of corrosion environment by both different kinds of ash deposition and flue gaseous species, together with different types of possible corrosion scenario (kinetics).

3. 高温高効率ボイラの設計指針と高耐食性耐熱合金開発

3. 1 高温腐食抑止のためのボイラ設計指針

上述のように極めて過酷な複合腐食環境のため、500℃程度の過熱蒸気温度を目指した高温高効率廃棄物発電に対して高耐食性材料の開発と実用化のみで問題解決が図れるほど単純ではない。高温腐食損傷問題解決のためには、従来の化石燃料プラント等での腐食トラブルから得られた教訓なども参考にして、環境側と材料側双方からのアプローチにより総合的な腐食抑止策を講ずる必要がある。このため、1990年代当時の検討結果を要約して、400～500℃クラスのボイラにおいて有効と考えられる腐食軽減策と具体的なガイドラインを列挙すると以下のようになり、現在も多くのプラントがこの条件を満たすよう設計されている^{3),14)}。これらの対策はまたDXNs抑止策からみても好条件を与える。

- (1) ボイラ構造設計の改善による腐食環境の緩和
 - 特に灰付着堆積の抑止—
 - ・ 燃焼ガス流の水平化と吊下式過熱器管（テールエンド型ボイラ）の採用
（Fig. 3の第1次、第2次SHの部位）
 - ・ 燃焼ガス温度の高温域における燃焼ガス流 - 過熱蒸気の平行流化
 - ・ 大口径煙道による燃焼ガス流速低減
約3～5 m/s以下
 - ・ 熱交換用燃焼ガス温度域の低減：
SH部入口で約620～650℃以下
 - ・ 燃焼ガス流の整流化：整流板の設置など
 - ・ 堆積灰除去システムの最適化：
プロテクタの設置、機械的ラッピングなど
- (2) 燃焼制御によるガス雰囲気条件の改善
 - 特にS分圧の増加—
 - ・ 熱化学的に安定な固相硫酸塩の生成：
熔融塩化物誘起腐食の抑止^{8),15)}
- (3) 高耐食性材料システムの設計開発評価

このうち特に（1）の燃焼ガスの流速と温度における制御（低減化）技術の導入は、我が国における廃棄物焼却プラントボイラ構造設計思想を根本的に変革するほどの重要な転機となり、これにより初めて高温高効率発電用材料における選択の余地が広がった。1990年代当時

の東京都におけるプロジェクト研究成果に基づいて提案された所要の蒸気温度と燃焼ガス温度との組合せ条件を示すガイドラインの例として、310（Fe-25Cr-20Ni系）クラスのステンレス鋼における耐食性要件（腐食減肉速度が0.6 mm/年以下）に基づいたボイラ設計指針をFig. 6に示す^{7),16)}。

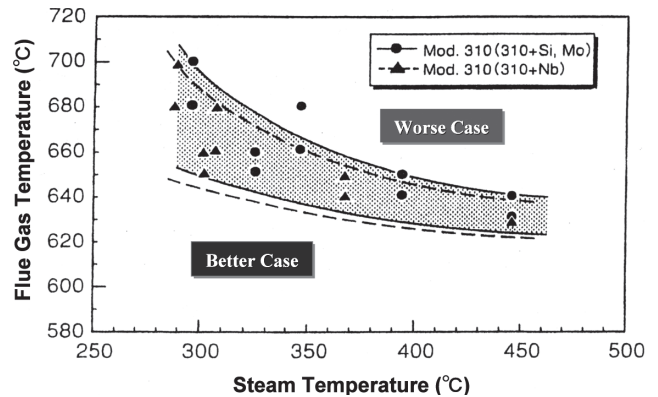


Fig. 6. Guideline for waste-to-power boiler design to control corrosion metal loss rate with less than 0.6 mm/year for 310 class stainless steels.

3. 2 高耐食性耐熱鋼・耐熱合金の開発と実用化

上記対策のうち特に（3）の材料技術に関しては、ボイラSH合金を中心とした研究開発における進歩が1995年以降目覚ましく、厳しい腐食環境で適用可能な材料の提案が相次いだ。当時の高効率廃棄物発電の目標であった500℃程度の蒸気温度域では、設計上の配慮などにより環境の腐食性が相当軽減できたとしても、NiとCrを中心とする高合金化が不可避の状況にあることが判明している。また、ここで特徴的な現象として、高純度Crや酸化性雰囲気中で最高レベルの耐食性を発揮できる50Ni-50Cr合金も高温域では相当激しい腐食損傷を受けることが明らかになったことである。これは、塩素を含んだ酸化性雰囲気中ではCr₂O₃がオキシクロリネーション反応により揮発性の高いCrO₂Cl₂のような酸塩化物に変質して保護皮膜の機能が劣化するためと考えられる。

また、二相系の 50Ni-50Cr 合金における高温腐食損傷は Fig. 7 に示すように、むしろ Cr-rich の α' [Cr] 相に沿ってオキシクロリネーション反応に基づく選択的侵食の様相を呈するため¹²⁾、これよりも低 Cr の γ 相 (Ni-Cr 固溶体) はもとより通常の Ni 基合金と比較しても局所的な侵食深さがかえって増加する傾向にある。したがって Fe 基合金と Ni 基合金の双方とも、Cr を中心とする有効な合金元素添加による耐食性の保証 (保護酸化皮膜の形成) が必須であるが、高温になるほど Cr 系酸化皮膜 (Cr_2O_3) 形成のみによる単純な耐食性向上策では腐食リスクが増大する。ここに合金設計の妙味がある。

以上のような種々の検討結果を踏まえて、400~500℃クラス過熱蒸気耐用の高効率廃棄物発電ボイラ SH 材として開発導入が進んでいる耐熱鋼・耐熱合金を列挙すると Table 2 のようになり、日本発信の材料提案が当時相次いだ⁸⁾。このうち、450℃程度以下の過熱蒸気耐用 SH 材としては、ボイラ設計を誤らなければ 310 クラスのステンレス鋼でも適用性が十分あるが、500℃クラス蒸気になると Cr を 20% 以上含有する Ni 基合金が基本的に必要となる。したがって、この温度域で適用可能でコストパフォーマンスにも優れた高耐食性耐熱鋼・耐熱合金の開発と実用化導入が今後の課題である。

Table 2. Different kinds of corrosion-resistant steels and alloys for superheater tube applicable to 400 and 500 °C class steam.

for 400 to 450°C Class Steam	
Item	Principal Alloy Chemistry (mass%)
SUS 310	Fe-25Cr-20Ni
HR 3C (SUS 310J1)*	Fe-25Cr-20Ni-0.4Nb-N
NF 709R (SUS 310J2)*	Fe-22Cr-25Ni-1.5Mo-0.15Nb-N-low C
QSX 5*	Fe-25Cr-23Ni-3Si-1.2Mo-Nb-N-low C
QSX 3*	Fe-25Cr-23Ni-3Si-Nb-N-low C
YUS 170 (SUS 309J1)*	Fe-25Cr-13Ni-1Mo-N-low C
HR 2M (SUS 309J2)*	Fe-22Cr-14Ni-1.5Mo-N-low C
HR 30M*	Fe-28.5Cr-30Ni-1Mo-N-low C
HR 11N*	Fe-28.5Cr-40Ni-1Mo-N-low C
Alloy 825	Fe-22Cr-42Ni-3Mo-3Cu-0.8Ti

for 500°C Class Steam	
Item	Principal Alloy Chemistry (mass%)
Alloy 625	Ni-21Cr-9Mo-4Nb-3.5Fe
Alloy C22	Ni-22Cr-13Mo-3W-2.5Co-4Fe
JHN 24*	Ni-20Cr-18Mo-0.7Nb-2.5Fe
MAC-N*	Ni-26Cr-3.5Si-0.3Nb-11Fe
MAC-F*	Fe-38Ni-23Cr-3.8Si-0.3Nb

* Steels and Alloys newly developed in Japan

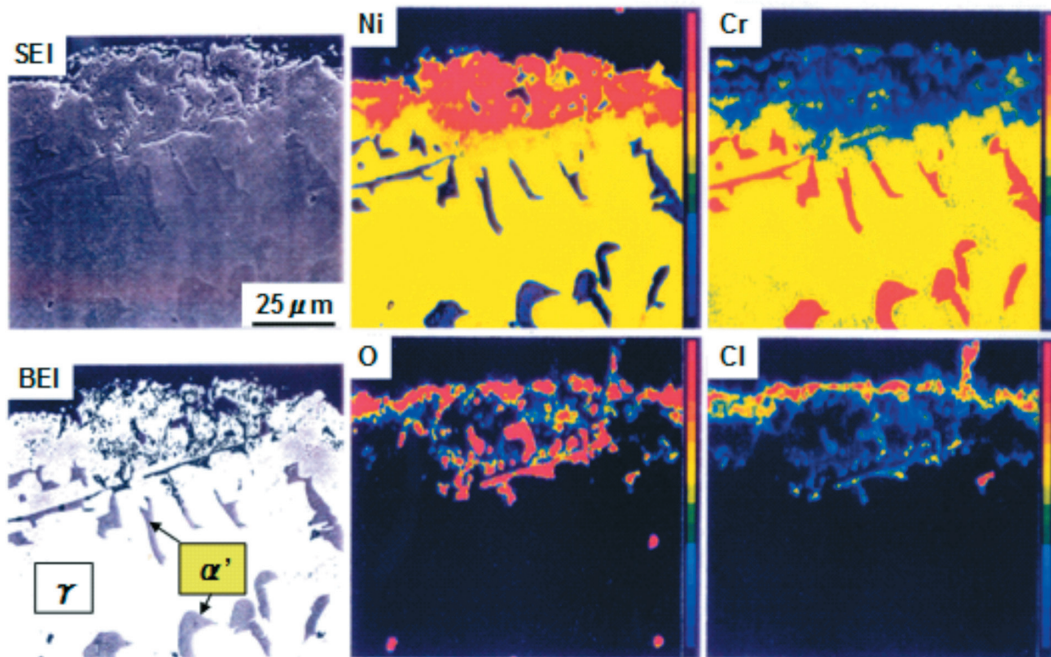


Fig. 7. Secondary electron image (SEI), backscattered electron image (BEI) and characteristic x-ray images by EPMA of both major alloying elements and environmental elements penetrated into alloy substrate of 50Ni-50Cr alloy subjected corrosion test in gas flow environment of actual plant at 660 °C for 96 h.

一方、SHへの適用を目指した肉盛溶接や溶射等のコーティングの応用研究もNEDOプロジェクトを中心に展開され⁸⁾、二重管の採用も含めて今後も導入拡大が期待される。ここでは例えば、溶射皮膜内に貫通き裂のような巨視的欠陥がなくても、コーティング層内に取込まれている気孔(pore)や酸化物界面領域を短絡経路としてCl先導型の侵食がコーティング/基材合金界面に容易に到達し、コーティングの防食効果を減退させると同時に、はく離の誘因にもなるなど、溶射のプロセス技術や後熱処理条件などに依存したコーティング層の性状や欠陥等の相違が耐食性やコーティングシステムの損傷劣化挙動に重大な影響を及ぼすことが明らかになっている¹²⁾。それゆえ、例えば減圧プラズマ溶射(LPPS)や高速フレイム溶射(HVOF)のように緻密なコーティング層の形成可能なプロセス技術の適用と組織制御が必須要件となる。

さて、1990年代に展開されたNEDOの「高効率廃棄物発電技術開発」プロジェクト研究で得られた、当時の貴重な科学技術遺産ともいべき津久井プラントにおける高温高効率型ボイラの第3次SH入口(蒸気温度450℃の部位)で約5年間(37,000h)実証試験に供されたAlloy 625(Table 2の化学組成参照)の複合型高温腐食状況をフィールドエミッション(Field Emission)型の最新鋭FE-EPMAにより損傷解析する機会を最近得たので、その腐食形態の一例をFig. 8に示す^{17), 18)}。

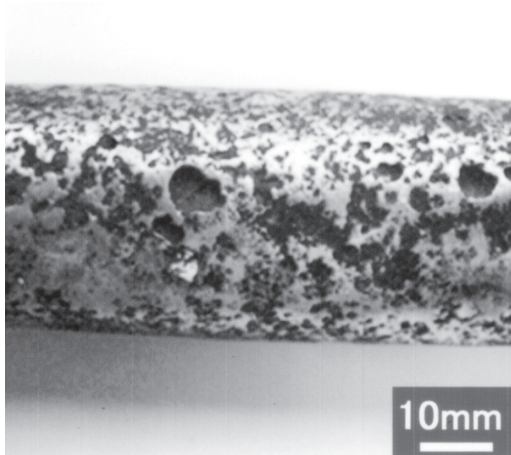


Fig. 8. Surface appearance of Alloy 625 superheater tube subjected to pitting like hot corrosion attack for ca. 5 years (37000 h) in NEDO proof test at Tsukui waste-to-power generation plant.

前述のように、環境諸条件の制御が相当難しい小規模プラントの場合には、Alloy 625といえども1mm/年程度の減肉速度で孔食状の腐食形態により消耗する可能性の高いことがわかる。したがって、このように過酷な腐食環境中で長時間にわたりプラントの耐久性を保証するためには、設計や燃焼管理等と連携して高耐食性材料の運用を考慮することが重要である

なお、このような廃棄物発電プラント環境特有の固液相共存状態の付着堆積灰による高温腐食環境を的確にシミュレーションできる耐食性評価用ラボ試験法として、“塩埋没試験方法”が塩浸せき試験方法の一部として、高温腐食試験方法通則、高温ガス腐食試験方法、塩塗布試験方法、電気化学的試験方法など一連の高温腐食試験方法と並び、2004年度にJIS規格として制定され、現在さらにISO化に向けたアプローチが進められている⁸⁾。

4. 廃棄物・バイオマス-エネルギー変換の将来技術動向と課題

従来のような燃焼方式によらず、廃棄物からの高度なマテリアルリサイクルとサーマルリカバリーを共に可能にする次世代型廃棄物処理技術の中核として、ヨーロッパ各国の主要企業からの技術導入による「熱分解ガス化溶解」システムが1995年以降導入されてきており、これの成熟化に向けた技術研究開発と同時に、全国的に約60箇所以上の施設への導入設置が進んでいる^{3), 5)}。現在までに地方自治体や産業廃棄物処理施設への導入が進んでいる主要なガス化溶解システムとしては、高炉(シャフト炉)方式による直接ガス化溶解システム、流動床方式あるいはロータリーキルン方式による熱分解ガス化溶解システムの3種類があり⁸⁾、これらに共通して、金属やスラグのリサイクル資源化はもとより、約1300℃に達する灰溶解炉ガス的高温熱源等を利用して高効率廃棄物発電が可能であるなど、多くのメリットがある¹⁰⁾。Fig. 1とFig. 2に示した福山リサイクル発電所では、RDFをシャフト炉方式により熱分解ガス化溶解するプラント新技術が採用されている。一方、地方の中小規模の焼却プラントやバイオマス発電プラントでは、大規模プラントで常用されるボイラー蒸気タービンの組合せによる発電ではシステム効率上のメリットが小さいために有利とはいえない。そこで、例えば廃棄物からの熱分解ガス、あるいは灰溶解炉出口ガスの改質・精製(特に塩素濃度低減)によりグレードアップさせた改質

ガスを燃料としてガスエンジンを作動させる「ガス変換発電」システムの導入などが提案されており¹⁹⁾、最近導入が進んでいる家畜糞尿など酪農系から得られるバイオガス利用によるエネルギー変換技術をも含めて、小規模の環境調和型地域分散電源としての重要性は今後ますます増大するものとみられる²⁰⁾。

しかし一方では、廃棄物の熱分解ガス化溶解システムやガス改質・変換システムなどのプラント新技術に関する我が国の研究と実用化導入は次第に定着しつつあるものの、特に伝熱管材料の高温耐環境性を中心とした耐久性をはじめ、プラントの長期連続操業において求められる安定性・安全性に対する品質保証やエネルギー変換効率のさらなる向上など多くの面で今後早急に解決すべき技術課題も山積していることも事実である^{5)、10)}。このような技術問題の根源に関しては、別誌で筆者の見解を述べているので、それを参照されたい⁸⁾。

また、我が国の廃棄物処理施設の大半を占める約200t/日以下の中小プラントでは現在、その大部分が発電設備を保有せず、それゆえ発電に有効利用されていない一般廃棄物量がまだ約半分を占めているという現実が未だある。例えば、燃焼によるエネルギー利用可能な産業廃棄物をも含め、これらの未利用廃棄物が発電に利用されると仮定した場合の潜在的発電出力としては、現在新設されている大規模プラントの平均的発電効率である20%に基づいて見積ると約9400MWに達し、標準的規模の原子力発電プラント10基分に相当するとの試算データもある²¹⁾。したがって、これら各種廃棄物とバイオマスを中心とした持続可能性の高いリサイクル型のエネルギー利用による発電の高効率化は、是非とも早期に達成すべき技術課題であり、その中で耐熱耐食材料技術がキーテクノロジーの主要部分を占めている。

ところが、廃棄物やバイオマスの利活用や安全管理に関する所管行政省庁は環境省、経産省、農水省、国交省など多く、それぞれの部分最適を目指した縦割行政が展開されているという現実もある。それゆえ、この行政の壁の弊害を今後早急に取り除き、「都市鉱山」²²⁾の名で形容され付加価値の高い資源・素材の抽出利用から高効率エネルギー利用までを通観した資源エネルギーの一元管理と高度カスケード利活用の実現に向けたグランドデザインを描くべき段階に現在来ている。このような観点からのインセンティブ導入措置の一環として、例えば環境省では「高効率廃棄物発電」施設のさらなる高度化技術提案に対して交付金交付率を二分の一に引き上げ、導入促進を図る政策を現在展開中であるが、安易なハード

ル設定のために技術革新の実効性において問題が多い。

一方、東京二十三区清掃一部事務組合が所管する東京都区部の約20箇所の清掃工場における最近の売電収益は年間約50億円以上に上り、自治体の事業面での貴重な財源になっている。このような状況を考えると、廃棄物・バイオマス発電を中心とする「環境調和型地域分散電源」は、地方自治体の財源確保にも有効であり、「地域主権」の切札的存在にもなりうる。ただし、これの推進に際しては、国民の意識を「ごみは貴重なエネルギー資源」に改めるための十分な説明努力が必要である。このような価値認識が定着すれば、廃棄物・バイオマス発電は「環境（保全）」－「資源・エネルギー（保存・創成）」－「経済（発展）」からなる「トリレンマ問題」解決の切札的存在と位置づけることができるかも知れない。

5. おわりに

東日本大震災と津波により発生した約1,880万トン^{*(脚注)}に上る膨大な災害廃棄物の迅速な適正処理が復興のシンボリックな事業の一つとして現在の最重要課題となっている。本来ならば、被災現地での集中処理が基本であるが、被災した現地のプラントも多いために、それでは長期間を要するうえ、復興や新たな街づくりの障害にもなるため、廃棄物処理に対して余力のある全国自治体に対し政府が支援を要請し、受入れを表明する自治体が次第に増加している。しかし、ここで残念なことは、被災地域に急遽建設されている災害廃棄物対応の処理施設に発電設備が設計上は考慮されているものの実装されておらず、原子力発電所が全基停止した2012年5月5日以降の電力エネルギー供給基地としての機能を全く果たしていない点である。災害廃棄物の中で木屑など木質系可燃物は相当多量に供給可能であり、放射能問題をクリアできれば良質のバイオマス系燃料であるだけに非常に勿体ない。一方、受入れを表明している東京都など大型発電施設保有の自治体では、廃棄物・バイオマス発電の高効率化を実践できる絶好の機会とみることができる。

また、2011年8月に制定された全量固定価格買取制度に関する「再生可能エネルギー特措法」における買取価格の確定値が大変気になるところであるが、この中で廃棄物発電の置かれた位置付けは微妙な状況にある。そして、これの根源には政治力や行政力の衰退化が強固絡んでいるといわざるを得ない。原発再稼働の展望が非常に難しい現在、将来に向けたエネルギー政策の策定に廃棄物・バイオマス発電を含めたエネルギー-環境戦略を

盛り込み, その中で基盤技術として重要な材料技術をはじめとする「革新的技術」を政策・施策面に十分反映させるための賢明な行政執行がいつそう強く望まれる。そうでなければ, 我が国のお家芸であるエネルギー-環境プラントや材料技術分野における「ものづくり」技術は単なる「宝の持ち腐れ」で終わってしまうことになる。

終わりに, 我が国の将来のエネルギー-環境-材料関連技術とマネジメントの発展に向けて, 本稿が何らかの参考になれば幸いである。

(脚注)* 環境省は, 岩手・宮城両県におけるこれまでの震災廃棄物の処理実績に基づいて, 当初公表していた2250万トンから2012年5月21日付で下方修正した。

(文 献)

- 1) 吉葉正行: 日本機械学会 第9回動力・エネルギー技術シンポジウム講演論文集, No. 04-2, (2004), 401.
- 2) 吉葉正行: 高温学会誌, **28**(2002), 188.
- 3) 吉葉正行: 学振123委研究報告, **41**(2000), 329.
- 4) 吉葉正行: 学振123委研究報告, **44**(2003), 255.
- 5) 藤吉秀昭: 日本粉体工業技術協会 環境エネルギー・流動化分科会 第37回分科会「第3回ガス化溶融炉事例シンポジウム」講演資料, (2006) .
- 6) 小川紀一郎, 村野安治, 吉葉正行, 篠田淳司(編集): 環境施設(座談会), No. 99, (2005), 8.
- 7) 吉葉正行: 廃棄物学会誌, **13**(2002), 38.
- 8) 吉葉正行: 日本鉄鋼協会 第194/195回西山記念技術講座テキスト, (2008), 117.
- 9) 吉葉正行: 高圧ガス, **46**(2009), 836.
- 10) 吉葉正行: 日本金属学会会報「まてりあ」, **39**(2000), 336.
- 11) V. K. Fassler, H. Leib and H. Spahn: *Mitteilungener VGB*, **48**(1968), 126.
- 12) 吉葉正行: 日本金属学会会報「まてりあ」, **38**(1999), 203.
- 13) M. Yoshiba, H. Notani, S. Ono and N. Hirayama: *Proc. 13th Int'l. Corrosion Conf., ACA*, (1996), 1384.
- 14) G. Sorell: *Mater. at High Temperatures*, **14**(1997), 137.
- 15) H. H. Krause: *High Temperature Corrosion in Energy Systems*, ed. by M. F. Rothman, TMS-AIME, (1985), 83.
- 16) 永島公明, 鈴木貞夫, 吉葉正行, 平山直道: 第10回廃棄物学会研究発表会講演論文集, (1999), 743.
- 17) 吉葉正行: 日本金属学会 関東支部平成23年度講習会テキスト, (2011), 5-1.
- 18) 森田拓之, 吉葉正行, 鈴木康夫, 高倉 優: 学振123委研究報告, **52**(2011), 299.
- 19) NEDO: 高効率廃棄物発電技術開発・高効率廃棄物ガス変換発電技術開発資料, (2001), 5.
- 20) 吉葉正行, 篠田淳司: 環境施設, 第125号(2011), 31.
- 21) 新エネルギー財団: 廃棄物発電導入促進検討の手引き, (2003), 9.
- 22) 吉葉正行: 高圧ガス, **31**(1994), 292