

# ごみ焼却炉用水冷火格子の実炉適用

## Actual Application of the Water-cooled Grate for Refuse Incinerator

土井 茂行	環境技術部	燃焼機器設計室	統括スタッフ	Shigeyuki Doi
横山 隆	環境技術部	燃焼機器設計室	室長	Takashi Yokoyama
永関三千男	環境技術部	燃焼機器設計室	主査	Michio Nagaseki

ストーカ式ごみ焼却炉において、ダイオキシン類排出抑制の観点より燃焼室ガス温度の高温化とともに、今後のごみ焼却炉に求められる低空気比燃焼や高温燃焼による高効率化、低公害化、さらには廃プラなどの高発熱量ごみの焼却などにより更なる高温化が求められている。こうした状況下に対応する耐久性の高い火格子として、水冷化技術を導入し、ごみ焼却炉用水冷火格子を開発するとともに実炉へ適用した。

*From the viewpoint of reduced dioxin emission and high gas temperature in the furnace, this newly researched stoker-type refuse incinerator was applied. This incinerator has ratio and a high performance and low pollution emission due to low combustion air ratio and high incineration temperature. In addition to this, a high calorific value refuse such as scrap plastics are charged into the incinerator to create high temperature condition. Corresponding to the situation mentioned and considering the durability of the grates, this water cooling technology is being introduced. The cooling performance of the water-cooled grate was confirmed as a result of the research and its actual application to the plant which be discussed below.*

### 1. はじめに

近年、ごみ焼却施設からのダイオキシン類（DXN 類）排出が大きな社会問題となり、完全燃焼の指標である一酸化炭素（CO）濃度の低減を始め、燃焼室ガス温度の高温化などの対策が求められている。また、ごみの排出量は、減量化および広域化により減少傾向にあるものの、ごみ発熱量は、現状でも高いレベルであり、今後とも維持して行くものと予想されている。

こうした状況下におけるごみ焼却設備の運転は、非常に過酷な状態であり、特に、ごみ焼却炉用火格子の耐久性低下は顕著で、プラント設備の性能低下にもつながっている。

火格子の耐久性低下を解消し、安定操業の確保とともに、ダイオキシン類（DXN 類）排出規制の更なる高まりに対応するための低空気比燃焼や高温燃焼による高効率化と低公害化、さらには廃プラ、リサイクル残渣、ごみ固形化燃料（RDF）などを含む高発熱量ごみに対する焼却が今後のごみ焼却炉に求められている。こうした要求に対応できる耐久性の高い火格子が求められている。

当社では、欧州にて数多くの実績を有する火格子水冷化技術を 2000 年 6 月、Noell（現 BBPE）社から技術導入し、当社独自技術であるハイパー火格子に適用した水冷火格子と冷却水を安定供給するための冷却水システムを開発し、2001 年実炉に適用した。

本稿では、当社の水冷火格子開発経緯と実炉での負荷運転試験結果について以下に報告する。

### 2. 火格子水冷化技術

#### 2.1 水冷化技術

ごみ焼却炉用火格子の主要な水冷化技術は、技術導入先である Noell（現 BBPE）社を始め Stiefel 社あるいは ABB 社の水冷化技術が日本国内にて特許出願されているが、火格子の材質と構造あるいは冷却装置の構造と冷却方法などに特徴がある。

以下に Noell（現 BBPE）社の水冷化技術の特徴を示す。

- (1) 過圧状態で運転され、閉じられた冷却装置を配置している。
- (2) 加圧水冷システムで、流路内での蒸気発生を防止する。
- (3) 冷却水の漏れが発生した場合、空冷で代用でき、また熱負荷の小さい場合は、空冷を主体とした運転が可能である。
- (4) 火格子内流路は、幅方向で 2 分割の U ターン構造である。

この水冷化技術は、当社独自技術として数多くの実績があるハイパー火格子に水冷機能を付加する条件として最適な技術であり、特に、空冷火格子との併用方式に特徴がある。

#### 2.2 NKK 水冷化技術

##### 2.2.1 NKK 水冷化技術の特徴

当社の水冷化技術は、独自開発であるハイパー火格子に水冷機能を付加した互換性の高い水冷火格子と冷却水を安定供給する冷却水システムで構成している。

この水冷火格子は、火格子内を直接冷却することにより高い冷却性能を発揮する。また、冷却水システムは、膨張タンクの圧力維持による加圧水循環方式と高温水による効率的な熱回収が実現できる。

以下に、NKK 水冷化技術の特徴を示す。

- (1) 水冷火格子は、シンプルな中空一体構造である。
- (2) 加圧水により火格子内部を直接冷却し、その冷却システムはコンパクトである。
- (3) 高い冷却効率で熱損傷がなく、火格子の耐久性が高い。
- (4) 高発熱量ごみでの寿命を大幅に向上し、メンテナンスコストの低減が可能である。
- (5) 冷却に必要な空気が不要で、火格子下からの燃焼空気を最適化（低空気比）できる。

### 2.2.2 水冷火格子の構造

水冷火格子の構造を図1に示すが、その材質はハイパー火格子同様、高クロム耐熱耐摩耗鋳鋼製で、中空一体型の高耐圧で水漏れのない火格子である。

冷却水は火格子支持端から給排水し、その冷却水路は、ごみ燃焼に伴う火格子受熱面全域を通水させる U ターン形の構造である。各火格子は、分割軽量化し、隣り合う火格子を連結管（フレキシブルホース）で接続し、ごみ流れ方向の可動および固定火格子各段にて冷却水システムが独立している。

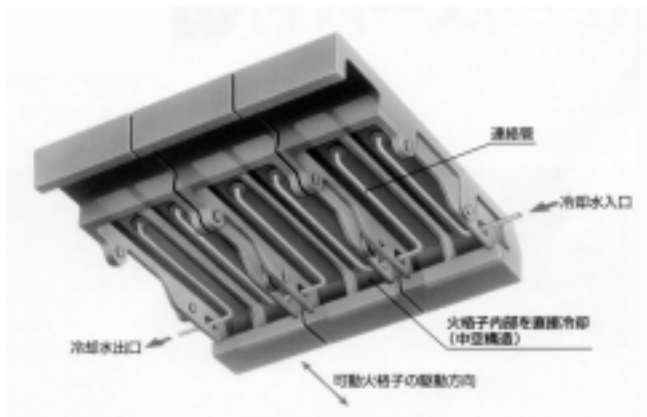


図1 水冷火格子構造

### 2.2.3 冷却水システム

火格子冷却水システムの実施例を図2に示すが、その構成は、加圧水による循環回路とし、循環水冷却ポンプにより各段火格子系統へ冷却水を定量供給する。

循環冷却水は、ごみ燃焼に伴う火格子からの取熱により高温水となるが、システム回路全体の加圧化により火格子内での蒸気化を防止するとともに、循環冷却水量を最小化し、コンパクトな冷却水システムを実現している。

冷却水システム圧力は、循環回路と接続した膨張タンク内に封入する窒素ガス圧力にて維持している。

また、システム内保有水の水温上昇に伴う体積膨張による水位上昇、あるいは回路内空気抜きブローによる水位低

下に対し、逃し弁および補給水ポンプにより膨張タンク内の水位を自動制御している。

火格子から排水された高温水は、火格子出口側の冷却器により適度な水温に冷却された後、火格子へ循環供給される。

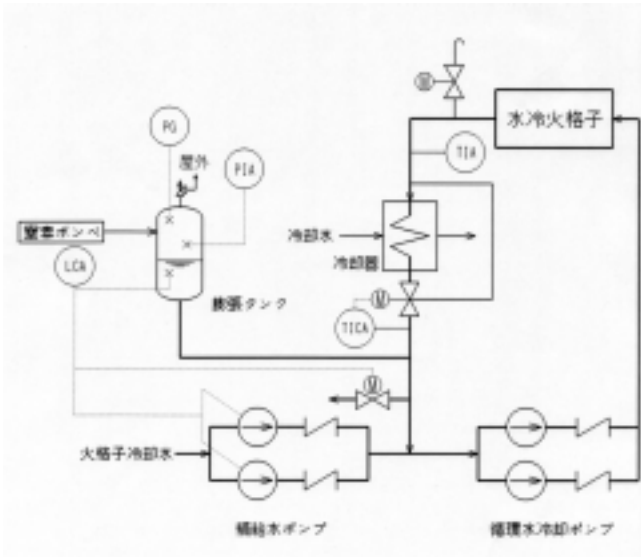


図2 冷却水システムの実施例

## 3. 水冷設備の実施設計例

### 3.1 水冷火格子の実炉適用

水冷火格子は、ごみ焼却炉用火格子としてごみの移送および攪拌性能を確保することはもちろん、耐久性向上効果として最も重要である火格子温度の低減に対し、冷却水による高効率の冷却性能が求められる。一方、水冷火格子を国内のごみ焼却炉へ適用する場合は、水冷火格子の特徴であるこの冷却効率の高さを考慮する必要がある。

つまり、冷却効率が高い反面、ごみ燃焼に伴う発生熱量を吸収するため、後燃焼域での焼却灰の高温維持が不利となり、比較的ごみ発熱量の低い日本国内の多くのごみ焼却炉では、後燃焼域を空冷火格子とする併用方式が望ましい。

今回、水冷火格子設備を実炉に適用した焼却炉は、当社で建設し、現在稼動中で、ハイパー火格子と2回流炉を組み合わせた炉形式である。

水冷火格子は、ごみ流れ方向上流域の約 2/3 の範囲に相当する主燃焼域に設置し、後燃焼域に相当する部分は空冷火格子である既存のハイパー火格子のままとした。

また、本焼却炉の燃焼室は、廃熱ボイラと一体化した水冷壁構造を採用し、燃焼装置は、プッシャー式給じん装置と水平炉床で可動と固定火格子がごみ流れ方向に交互に配列された当社独自の火格子駆動装置で構成している。

### 3.2 水冷設備の実施設計データ

実炉に適用した水冷設備は、焼却炉基本仕様であるごみ発熱量とごみ処理量および火格子面積などの条件に基づき設計した。

その設計データを、表 1 および表 2 に示す。

(1) 水冷火格子と冷却水系統

水冷火格子は、炉幅方向全数である 14 個とごみ流れ方向の約 2/3 に相当する 12 段分の合計 168 個とし、その冷却水系統は、炉幅方向左右の 7 個とごみ流れ方向 2 段（合計 14 個の直列接続）の固定あるいは可動をおのこの直列接続の系統とした全 12 系統の独立した冷却水系統とした。

(2) 火格子冷却水量

水冷火格子相当面積と火格子出入口水温差から、火格子に供給する冷却水循環ポンプ容量を 16t/h とした。

したがって、各冷却系統には約 1300kg/h の冷却水が供給される。

(3) 冷却水温

既存設備であるボイラ復水の分岐使用から火格子入口水温を 80 とし、火格子出口水温は 110 とした。

(4) システム圧力

火格子出口水温 + 40 の飽和水圧力 0.4 ~ 0.6MPa がシステム圧力となる膨張タンク圧力とした。また、膨張タンク容量は、システム内保有水量の体積膨張分の 2 倍以上とした。

表 1 焼却炉基本仕様

焼却量能力	100t/d
ごみ発熱量	最高 3100kcal/kg
	平均 2000kcal/kg
	最低 1200kcal/kg
焼却炉幅	3.2m

表 2 水冷設備仕様

火格子段数（水冷段数）	18 段（12 段）
循環冷却水質	ボイラ水
循環冷却水温	約 80
火格子循環水ポンプ容量	16t/h × 0.6MPa
循環水システム圧力	0.4 ~ 0.6MPa
冷却器容量	75 × 10 <sup>4</sup> Kcal/h
膨張タンク容量	1 m <sup>3</sup> × 1.5MPa

4. 熱負荷試験

前記、水冷火格子実施設計例を参考に、水冷火格子表面を電気ヒータにて加熱した場合の諸データを計測した。

4.1 試験装置概要

水冷火格子は、ごみ流れ方向 2 段、幅方向に直列接続した 7 個の合計 14 個を設置し、冷却水は各段で独立させた。

火格子への冷却水は、給水ポンプで供給し、火格子出入口には水温計と圧力計を設置した。

4.2 試験条件

水冷火格子表面を加熱する電気ヒータ容量と火格子へ供給する冷却水量をパラメータとして計測した。

その条件を表 3 に示す。

表 3 試験条件

条件	電気ヒータ容量	冷却水量
1	73.6kw	600kg/h
2	54.4kw	900kg/h
3	33.6kw	1200kg/h

4.3 試験結果

前記の試験条件における水冷火格子冷却性能および圧力損失などの計測データを以下に示す。

(1) 水冷火格子出入口水温計測データ

電気ヒータ容量と冷却水量の各パラメータにおける火格子出入口水温の計測データを図 3 に示す。各ヒータ容量とも水温差の変化は同様で、その変化量は冷却水量に対し比例関係にあり、冷却水量が少ないほど、水温差が大きくなる傾向にある。

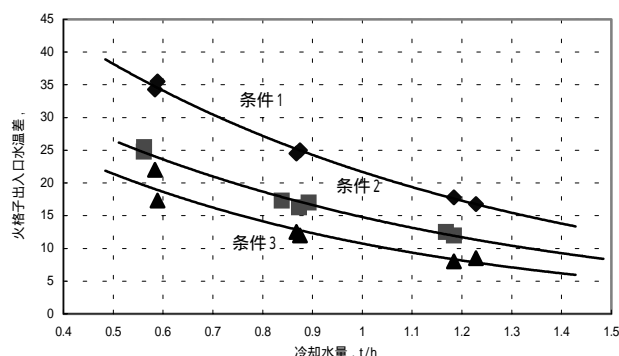


図 3 水冷火格子出入口水温差計測データ

また、冷却水量と水温差から算出される火格子持出熱量は、試験条件範囲内において冷却水量変化に対する変化がほとんどなく、冷却水量の変化は、水温差の変化に等しくなると言える。

(2) 水冷火格子表面温度計測データ

電気ヒータ容量と冷却水量の各パラメータに対する水冷火格子 14 個の平均表面温度の計測データを図 4 に示す。

温度計測位置は、冷却水流路の範囲で、ハイパー火格子の表面温度計測位置と同様の火格子先端側上面とした。

火格子表面温度は、各ヒータ容量に対してほぼ比例し、冷却水量の低下に対し表面温度が多少上昇しているが、その変化は約 5 程度である。これは、水温差 40 の範囲では、火格子表面温度への影響はほとんどないものと言える。

(3) 水冷火格子圧力損失計測データ

火格子直列接続の数量と冷却水量に対する水冷火格子圧力損失の計測データを図 5 に示す。

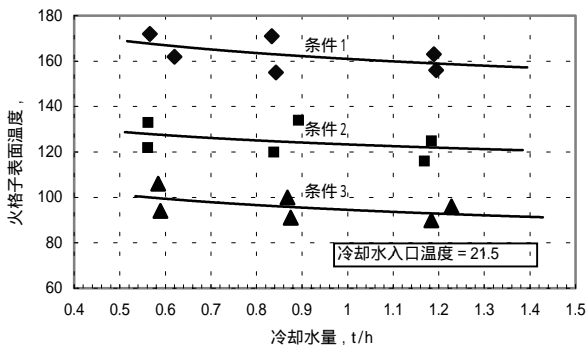


図4 水冷火格子表面温度計測データ

火格子圧力損失は、冷却水量に対し比例し、その値は指数的に上昇し、実炉と同様の14個直列条件では約0.5MPaである。

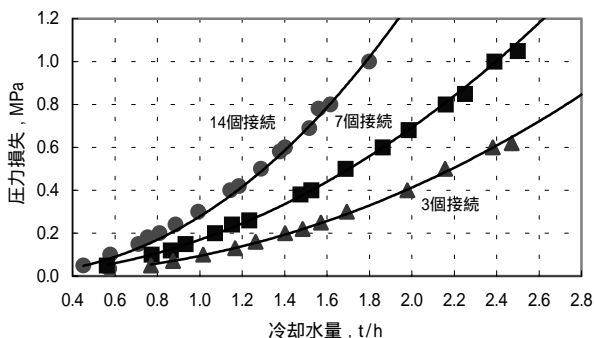


図5 水冷火格子圧力損失計測データ

### 5. 実炉熱負荷試験

実炉に水冷火格子設備を設置し、焼却炉運転をした場合の焼却炉および水冷火格子の計測データを収集した。

#### 5.1 焼却炉運転データ

水冷火格子データ計測時における焼却炉の24時間データを表4に示す。ごみ発熱量は、本工場におけるほぼ平均的な値であるが、処理量は115%の高負荷運転となっている。

表4 焼却炉計測データ

項目	24時間計測データ	
ごみ処理量	約115t/d	
ごみ発熱量計算値 (kcal/kg)	平均 2400	1800 ~ 2800

#### 5.2 水冷火格子計測データ

実炉での熱負荷運転時における水冷火格子設備の計測データを以下に示す。

##### (1) 水冷火格子出入口水温計測データ

水冷火格子へ供給する冷却水は、ごみ流れ方向各段の固定あるいは可動段2段分を独立した冷却システムとしているが、各システムの合流後の火格子出入口水温および炉出口排ガス温度の24時間計測データを図6に示す。

火格子入口水温は、冷却器による水温制御により80と安定しているが、出口水温はごみ発熱量およびごみ処理量などによる燃焼変動と思われる変化が認められ、平均で9.3、最大で15である。

また、ごみ燃焼量変化の指標と思われる炉出口排ガス温度は火格子出口水温との相関がほとんどなく、安定している。

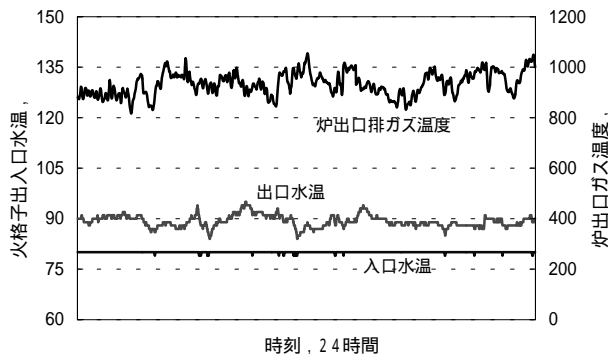


図6 水冷火格子出入口水温計測データ

##### (2) 水冷火格子熱負荷計測データ

ごみ燃焼に伴う火格子表面からの吸収熱量を水冷火格子単位面積当たりの火格子熱負荷として算出した24時間の計測データを図7に示す。

火格子熱負荷の変化は、前記火格子出口水温の変化と同様であり、最大で約23kW/m<sup>2</sup>、平均で約15kW/m<sup>2</sup>である。

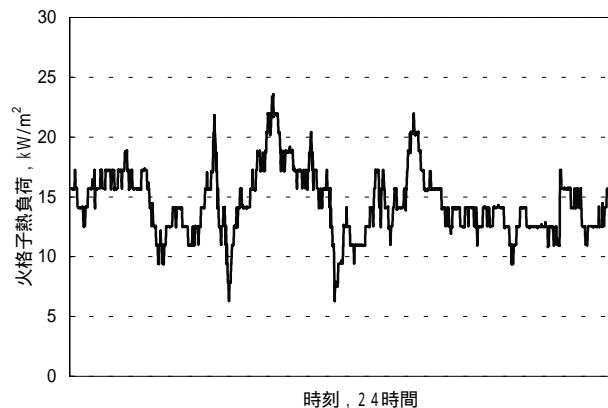


図7 水冷火格子熱負荷計測データ

##### (3) 火格子表面温度計測データ

ごみ焼却炉の主燃焼域であるごみ流れ方向上流側より8段目の空冷火格子と水冷火格子表面温度および後燃焼域である16段目の空冷火格子表面温度の24時間計測データを図8に示す。

また、空冷火格子の表面温度計測位置は、熱負荷試験での水冷火格子と同様、先端側上面であるが、水冷火格子は温度計取り付け上の点から冷却水流路範囲外となる先端側下面である。

空冷火格子平均温度 274 に対し、水冷火格子平均温度は 127 と温度低下が著しく、後燃焼域空冷火格子温度 152 と同等以下で、温度低減効果が顕著である。

この火格子温度計測結果は、温度計測位置および入口水温の違いがあるが、4 項の熱負荷試験結果と同等である。

また、後燃焼域の空冷火格子損耗実績データより、6 年経過後においてもほとんど損耗がない点から、水冷化による火格子耐久性向上効果は非常に大きいと推測される。

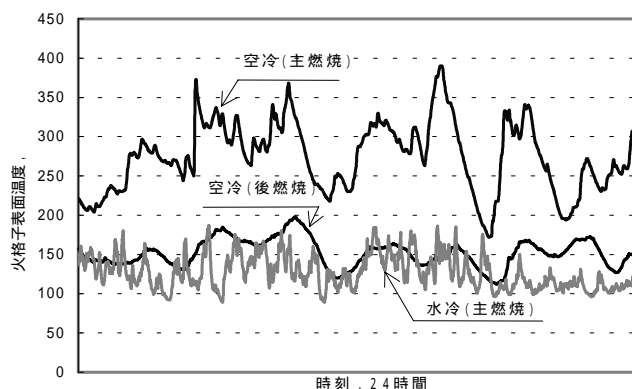


図 8 空冷および水冷火格子表面温度計測データ

#### (4) 水冷火格子圧力損失計測データ

直列に接続された 14 個の水冷火格子出入口圧力の 24 時間計測データは、補給水ポンプ起動あるいは空気抜きブローによる膨張タンク水位変動の影響にて圧力が変動しているが、火格子出入口圧力差である圧力損失は、約 0.6MPa であり、配管圧損を考慮すると 4 項の熱負荷試験結果と同レベルと言える。

## 6. まとめ

実炉適用における実施設計と熱負荷あるいは実炉熱負荷試験を通じて水冷火格子設備の設計仕様を確認するとともに、ごみ発熱量約 2400kcal/kg における水冷化による火格子耐久性向上効果を始め以下の点が確認できた。

- (1) 水冷化による火格子表面温度は、約 200 以下に低減することが可能であり、後燃焼域に設置されている空冷火格子同様 6 年以上の耐久性向上が期待できる。
  - (2) 火格子出入口水温差は、最大で 15 ，平均で 9.3 であり、水温差 40 程度まで火格子温度への影響がないという熱負荷試験での知見より、冷却水量の低減が可能である。
  - (3) 直列接続の火格子数 14 個の圧損は 0.6MPa であり、過大な接続数は冷却水システム圧力のアップ要因となる。
- 以上より、水冷設備の設計仕様および火格子耐久性向上効果を確認するとともに、現状のごみ質範囲では、冷却水量の低減あるいは火格子接続数の増加など、水冷火格子設備のコンパクト化が可能と思われる。

今後、火格子減耗寸法などの計測による耐久性向上の確認とともに、季節変動あるいは経年変化などごみ質の変化に対する長期的データの収集と解析、さらに、今回の実炉熱負荷試験での水冷火格子からの回収熱量は、ごみ焼却に伴い発生する総発熱量の約 1.3% で、熱量では約 146000kcal/h と比較的小さいが、焼却炉燃焼状態に対する影響も焼却性能試験により検証して行く所存である。

また、水冷火格子実炉設備として付加価値を高めるべく、火格子からの回収熱の有効利用として、火格子出口水温のアップあるいは更なる高温水循環による運転データの収集、解析も併せて実施して行く所存である。

<問い合わせ先>

環境技術部 燃焼機器設計室

Tel. 045 (505) 7681 土井 茂行

E-mail address : dois@eng.tsurumi.nkk.co.jp