

放射性有機廃液焼却装置の改良

—安定燃焼させるための助燃ガス量自動制御装置の開発—

○近藤真理^{A)}，杉本勇二^{B)}，小島久^{A)}，柴田理尋^{C)}，西澤邦秀^{C)}

^{A)} 共通基盤技術支援室 安全管理技術系

^{B)} 株式会社イング

^{C)} アイソトープ総合センター

概要

アイソトープ総合センターでは、放射性同位元素（R I）を含む有機廃液の一部を焼却処分している。焼却装置は助燃ガスを燃焼させた炉内に廃液を噴霧する自動運転方式である。しかし、時間当たりの焼却量及びガス消費量の最適化、未送液等のトラブル対策に対しては、運転中の熟練者による経験的な調整が必要であり、拘束時間、労力の両面から極めて作業効率が悪かった。そこで、焼却作業の最適化を含めた自動化に向けて、温度記録計を用いて炉内温度変動と装置の動作特性の関係を調査し、燃焼パターンの類型化を行った。助燃ガス量調整により、燃焼の安定化、焼却時間の短縮、ガス消費量の節約が可能となる見通しを得た。ガス管に電動弁を設置し、炉内温度をフィードバックさせて電動弁を適正に自動制御することによって、安定かつ効率よく燃焼させることが可能となり、作業効率を大幅に向上できた。

1 はじめに

R I 汚染有機廃液の一部は、全国の事業所内の焼却装置で処理されている。アイソトープ総合センターで使用している焼却装置は、炉内で助燃ガスを燃焼させて廃液を噴霧する自動運転方式の装置である。ところが、廃液の時間当たりの処理量が少なかったり、送液トラブルにより処理されていなかったりすることが頻発し、自動運転であっても頻繁に調整する必要があった。その方法も熟練者の経験に頼るものであった。

温度記録計を設置して炉内の温度変動を観測したところ、燃焼中の温度変動には規則性があることが判った。そこで、焼却作業の効率化を図ることを目的として研究開発を行った。その手順として、最初に温度変動を類型化すること、焼却装置の動作特性を理解して温度記録結果とを関連づけることを行った。それらに基づいて、燃焼効率向上のための調整方法を検討した。さらに自動調整装置を開発することにより、燃焼効率を向上させるだけでなく、作業に係る労力の軽減も含めての焼却作業全般の効率化を行った。

2 実験装置，材料及び方法

温度変動の類型化、焼却装置の動作との関連を明らかにするために用いたのは、有機廃液焼却装置（富士工業社製 FRB-30S）、温度記録計（CHINO 社製 ES610-01）である。自動調整装置開発のために追加して用いたのは、ガス自動調整弁（日本バルブコントロール，CM1-030）、熱電対変換器（日本シンテック，SAE-0）、制御 P C 一式及び L A N である。焼却廃液には、模擬廃液として R I で汚染されていないキシレンとメタノール、及び利用者から排出された実廃液を使用した。

焼却装置の概要を図 1 に示す。焼却装置は主に、炉、廃液タンク、ガス管、制御盤から成る。炉の上部に熱電対センサーが付いている。温度記録計は、制御盤の熱電対センサー情報受信部に接続した。炉内温度は、

800℃～1,000℃に設定した。下限設定温度は，平成 11 年科学技術庁（現文部科学省）通知により 800℃以上で焼却する必要があったことから決定した^[1]。上限設定温度は，炉の劣化を防ぐためにメーカーから推奨された温度に決定した。廃タンクから炉への送液管には電磁弁があり，設定温度内でのみ開くように制御されている。助燃ガスを供給するガス管は 3 本の管から成る。最も太いガス管（主ガス管）には電磁弁があり，焼却開始時及び炉内が設定温度以下に降温した場合のみ加熱のために開く。残りの 2 本のガス管（バイパスガス管）は装置運転中に常時開いている。2 本のバイパスガス管は太さが異なり，それぞれに手動弁がついており，ガス量を調整することができる。

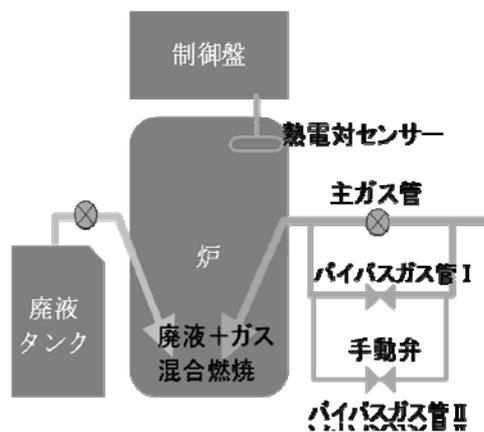


図 1. 焼却装置の概要図

従って，焼却装置の運転開始時には，主ガス管及びバイパスガス管両方からのガスが供給されて炉内で燃焼する。800℃を超え，設定温度範囲に至った時に廃液が噴霧されて，混合燃焼する。上限設定温度に至ると，主ガス及び廃液の供給が停止する。その後，廃液は設定温度内でのみ噴霧され，主ガスは下限設定温度以下に降温した場合にのみ供給されるが上限設定温度到達時に停止する，という動作をする。

3 結果及び考察

3.1 燃焼パターンの類型化

図 2 (1)～(4)は，それぞれキシレン，メタノール，実廃液 1，実廃液 2 を焼却した時の温度記録結果である。縦軸が炉内温度，横軸が経過時間を表している。

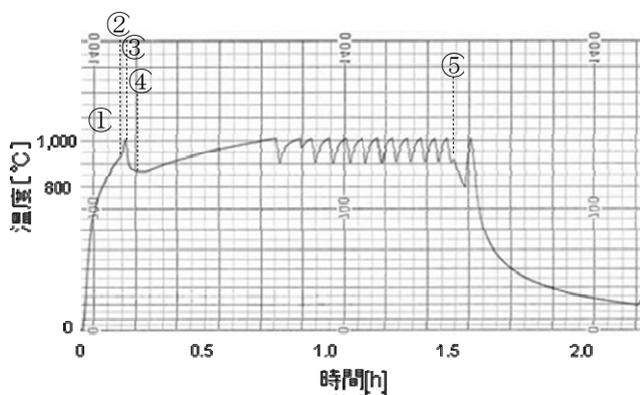


図 2 (1). 温度記録結果（キシレン）

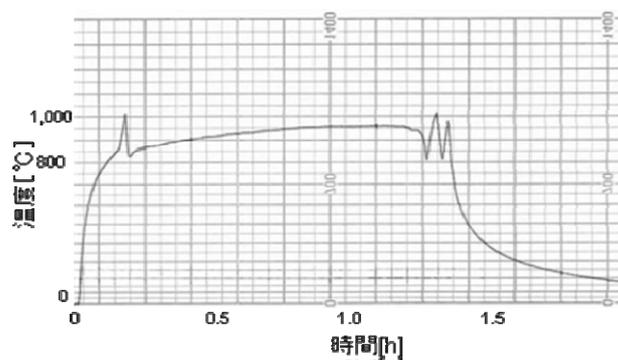


図 2 (3). 温度記録結果（実廃液 1）

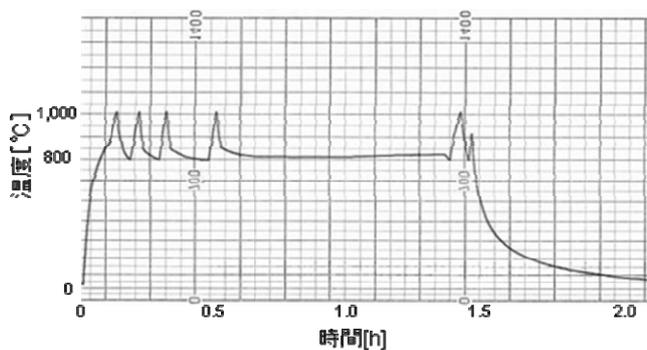


図 2 (2). 温度記録結果（メタノール）

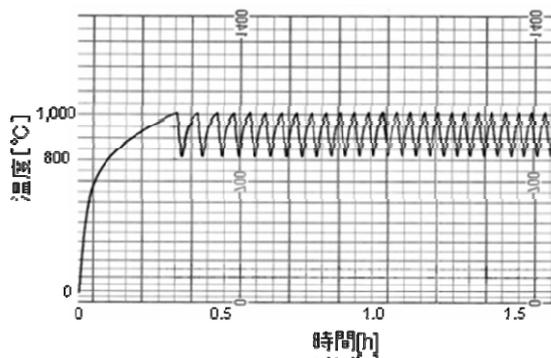


図 2 (4). 温度記録結果（実廃液 2）

図2(1)のキシレンでは、①装置起動後、主ガス及びバイパスガスによる炉の予熱燃焼のために、炉内温度が上昇した。②設定温度範囲内に至り約900℃の付近で廃液が噴霧され、温度勾配に変化がみられた。廃液、主ガス及びバイパスガスの混合燃焼が行われた(混合燃焼Ⅰ)。③上限設定温度に到達すると廃液及び主ガスの供給が停止し、バイパスガスだけの燃焼となったために、降温した。④設定温度範囲内まで降温後、廃液が再噴霧し、廃液及びバイパスガスの混合燃焼が行われた(混合燃焼Ⅱ)。キシレンは高熱量液体であるために、混合燃焼Ⅱにおいて再び昇温し、上限設定温度に到達した。その後は混合燃焼Ⅱと上限設定温度到達を繰り返した。⑤約1.5時間の時点で、下限設定温度と上限設定温度の間を昇降した。これは焼却装置が廃液終了後も残液処理のためにガスのみで十数分燃焼する仕様であるために、バイパスガスのみが供給されて燃焼する場合には降温し、下限設定温度に到達すると炉を加熱するために主ガスが供給されて上限設定温度に昇温したためであった。残液処理のためのガス供給が停止した後、炉を冷却して焼却作業終了となった。

図2(2)のメタノールでは、焼却開始から最初の上限設定温度に到達するまで及び残液処理から焼却終了まではキシレンと同様であった。混合燃焼Ⅱにおいて、メタノールが低熱量液体であるために、下限設定温度まで降温した。そこで炉の加熱のために主ガスが供給されて上限設定温度に到達した。再び設定温度内となり混合燃焼Ⅱとなった。こうして、混合燃焼Ⅱ、下限設定温度到達、上限設定温度到達を繰り返した。

図2(3)の実廃液1では、焼却開始から最初の上限設定温度に到達するまで及び残液処理から焼却終了まではキシレン及びメタノールと同様であった。混合燃焼Ⅱにおいては、設定温度範囲内で安定燃焼した。

図2(4)の実廃液2では、装置起動後、上限設定温度に到達する間に温度勾配の変化が見られなかった。その後、上限設定温度と下限設定温度を昇降した。これは、図(1)~(3)の残液処理の動作と同様であった。したがって、ガスのみで燃焼して廃液が供給されていないと考えられる。

以上から、混合燃焼Ⅱでは、廃液の燃焼熱量に依存して燃焼パターンが異なった。キシレンのように混合燃焼Ⅱにおいて頻繁に上限設定温度に到達するパターンを昇温型、メタノールのように下限設定温度に到達するパターンを降温型、実廃液1のように設定温度範囲内で安定燃焼するパターンを安定型、廃液が噴霧されていないパターンを振動型とした。燃焼パターンは、これらの4型及びそれらの複合型に分類できた。¹²⁾

3.2 燃焼効率の向上の検討

表1に、各燃焼パターンの時間当たりの焼却処理量、ガス消費量の特徴をまとめた。安定型が焼却処理量、ガス消費量共に最良であるので、安定型以外の型を安定型化することによって、燃焼効率を向上させることができる。振動型は廃液が供給されていない原因を除去することにより、昇温型、降温型、安定型のいずれか3型またはその複合型となる。そこで、昇温型または降温型を安定型化することを検討する。これら

表1. 燃焼効率の比較

型	焼却量/時	ガス消費量
昇温型	減	○
降温型	減	多
安定型	○	○
振動型	未処理	多

の型は、混合燃焼Ⅱの燃焼パターンを分類したものであったので、廃液及びバイパスガスの混合燃焼時の総燃焼熱量に依存する。廃液量を減少させて調整する場合、廃液量が減少すると総燃焼熱量への影響が減少する。しかし、廃液量自体が減少するので、時間当たりの焼却処理量も減少し、燃焼効率向上にはならない。バイパスガス量を調整する場合には、廃液の燃焼熱量が低い場合はガス量を増加させ、廃液の燃焼熱量が高い場合はガス量を減少させることによって、総燃焼熱量を調整することができる。したがって、助燃ガスのうち、バイパスガス量の調整を行うこととした。

3.3 バイパスガス量の手動調整

図1の概要図中のバイパスガス管Ⅱに付属する手動弁を開閉することによってバイパスガス量を調整し、

燃焼の安定化を図った。

図3は、実廃液3の焼却中にバイパスガス量の
手動調整を行った結果である。焼却開始後、昇温
型が見られたが、約1.2時間の時点でガス量を減
少させたところ、安定型となった。

3.4 バイパスガス量の自動調整

バイパスガス量の手動調整により、燃焼の安定
化を可能とする見通しを得たが、複合型の場合は
途中で型が変化するために、定期的に焼却状態を
監視して手動調整を行う必要があった。また、バ
イパスガス手動弁の開閉も経験的なものであった
ため、熟練者の作業に頼るところが大きかった。そ
こで、温度変動を読み取り、バイパスガス量を調
整する作業を自動化することによって、作業の労
力の軽減を図った。

図4は、自動制御装置を含めた概要図である。

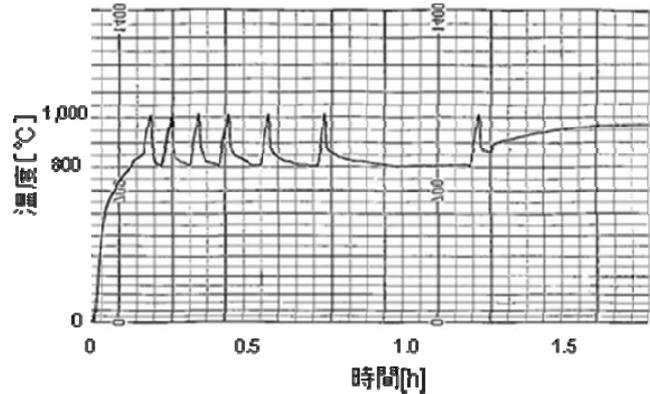


図3. ガス量手動調整結果（実廃液3）

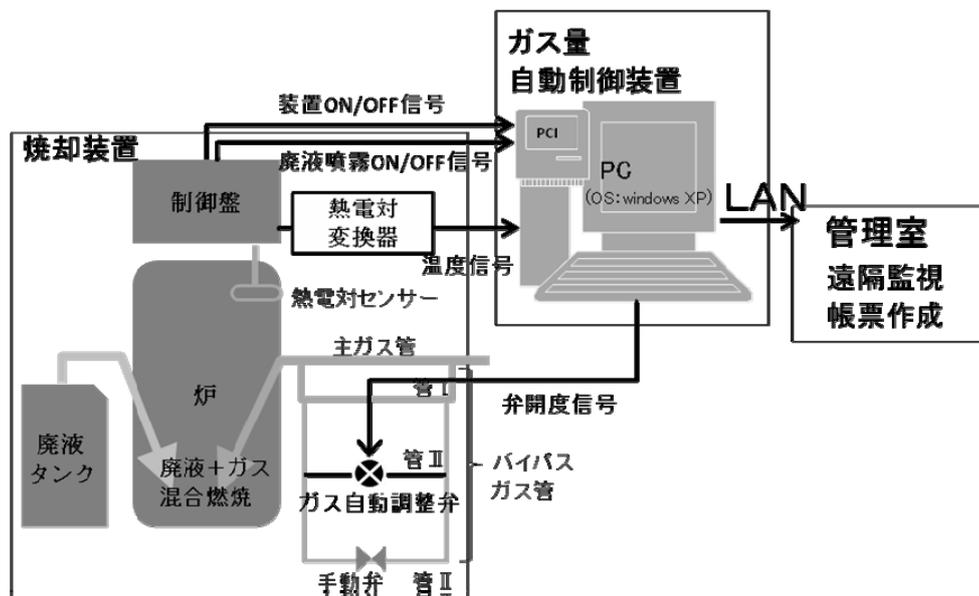


図4. ガス量自動制御装置の概要図

炉内温度情報は熱電対変換器を通してPCへ送信される。PCにおいて、ガス自動調整弁の開度を計算して、調整弁へ開度信号を送信する。この一連の作業を15秒ごとに行う。開度計算には、次式を用いた。

$$y = a (t - t_0) + b \quad (1)$$

yは弁の全開時を100%とする相対値、tは炉内温度、t₀は安定燃焼させる基準となる温度、a、bは任意の定数である。t₀、a、bは随時変更可能であるが、今回は一律、

$$y = -0.4 (t - 900) + 40 \quad (2)$$

を用いた。

図5は、昇温型廃液を手動調整及び自動調整により焼却した結果である。縦軸が炉内温度及びガス調整弁の開度、横軸が経過時間を表している。手動調整では、約25分の時点で開度を減少させたが、再び昇温型となった。自動調整では、15秒ごとにガス量を自動調整したために、温度上昇を抑えることができ、安定型となった。ガス消費量も手動調整の約26%に節約された。

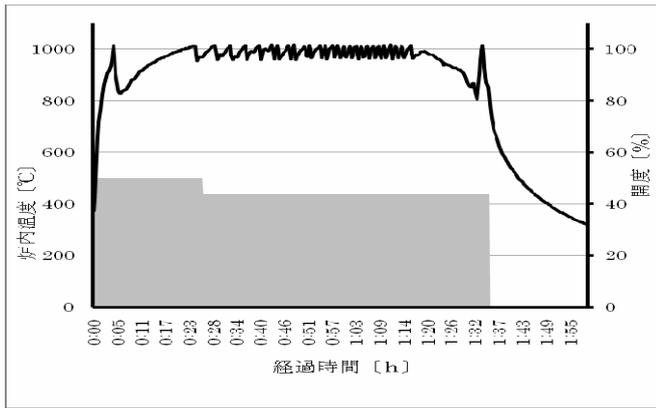


図5(1). ガス量手動調整結果 (昇温型廃液)

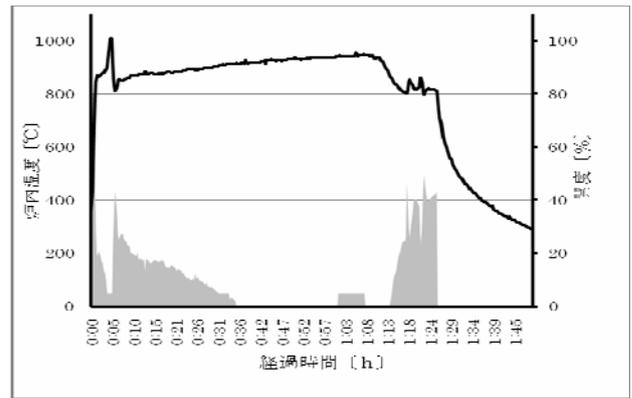


図5(2). ガス量自動調整結果 (昇温型廃液)

降温型廃液においても、自動調整により安定型化ができ、ガス消費量を節約することができた。安定型廃液では、安定型化のためのガス量調整の必要はないが、自動調整によりガス消費量を節約することができた。

したがって、バイパスガス量の自動調整によって、燃焼の安定化及びガス消費量の節約が可能となった。LAN 経由で自室から遠隔監視等を行うことも可能となったために、装置の起動及び終了作業、振動型が見られた場合の廃液が供給されない原因の除去を手動で行う以外は自動化することができ、労力の軽減も含めた焼却作業全般の効率化が実現した。

今後の課題は、開度式の検討である。今回は一律(2)式を用いたが、廃液毎に最適値を決定すること、あるいは開度式に補正項の導入、一次式以外の検討をすることにより、より最適な状態での燃焼の安定化が図れるものと推測する。最適な式を決定した後、その式をパターン登録することにより、作業環境測定使用後の廃液等の毎回同組成で排出される廃液に対して、最適値を選択できるようにする予定である。

4 結論

温度記録計を設置することによって、温度監視だけでなく廃液噴霧点、助燃ガスと廃液の混合燃焼時の状態等、装置の動作特性を明らかにした。温度変動は、廃液及びバイパスガスの混合燃焼時の総燃焼熱量に依存し、4つの型とその複合型に分類することができた。時間当たりの焼却量が最も多く、ガス消費量が最も少ないのは、安定型であった。バイパスガス量を調整することにより、降温型、昇温型を安定型化することができた。ガス量自動調整装置の導入により、焼却効率の向上だけでなく、作業の労力を含めた焼却作業全般の効率化を実現した。

参考文献

- [1] 日本アイソトープ協会編，“液体シンチレーター廃液の焼却に関する安全管理について”，アイソトープ法令集(I)2002年版，平成14年，P429-P433
- [2] 近藤真理，小島久，西澤邦秀，“放射性有機廃液焼却装置の動作に及ぼす温度変動の影響”，日本放射線安全管理学会誌第4巻第2号，平成17年10月，P109-P114
- [3] 近藤真理，杉本勇二，小島久，柴田理尋，西澤邦秀，“放射性有機廃液を持続燃焼させるための助燃ガス量自動制御装置の開発”，日本放射線安全管理学会第6回学術大会ポスター，平成19年12月