

◇報告◇

実用化したTTR[®]技術とその応用技術の紹介Introduction of Commercialized TTR[®] Technologies
and Their Application Technologies

山本 泰史*

YAMAMOTO, Yasushi*

要 旨

セメントの予熱原料を熱源として利用し、下水汚泥を乾燥する装置（TTR[®]-D）および廃プラスチック等の可燃物をガス化する装置（TTR[®]-G）を商用化したので、その技術ならびに成果について主に報告する。また、TTR[®]技術は加熱、分離技術に応用できるので、今後の応用技術についても簡潔に紹介する。

キーワード：TTR[®]、予熱原料、下水汚泥、乾燥、廃プラスチック、ガス化、廃棄物利用、代替燃料、Co-processing、水銀除去、脱硝、脱硫

*太平洋エンジニアリング株式会社 エンジニアリング本部 コンサルティング部 参与 部長
General Manager, Consulting Service Dept. Engineering Div. Taiheiyo Engineering Corporation

ABSTRACT

A sewage sludge drying system (TTR[®]-D), which uses hot meal extracted from a cyclone preheater as a heating source, and a waste plastics gasification system (TTR[®]-G), which also utilizes hot meal, have been commercialized by Taiheiyo Engineering Corporation. This paper describes the two systems, including the technologies and the results we developed.

The TTR[®] technology can be applied to heating and separation technologies, and a brief introduction is also given about such future applications.

Keywords : TTR[®], Hot meal, Sewage sludge, Drying, Waste plastics, Gasification, Waste utilization, Alternative fuels, Co-processing, Mercury removal, Denitration, Desulfurization

1. はじめに

当社（太平洋エンジニアリング株式会社）では海外ビジネスを強化するために顧客のニーズが高い新商品の開発に取り組み、2018年には下水汚泥混合装置 (TTR[®]-D) を、2021年には廃プラガス化装置 (TTR[®]-G) を実用化した。

本論では、これらTTR[®]-D、TTR[®]-GおよびTTR[®]-Gに付随した脱硝技術について主として説明する。また、TTR[®]シリーズとして、すでに特許出願済みの乾燥ガス化技術 (TTR[®]-DG)、水銀除去技術 (TTR[®]-HR)、脱硫技術 (TTR[®]-DS) についても簡潔に述べる。このようにTTR[®]装置は各種反応（加熱・分離）へ応用できることから、“Reactor”と命名し、Taiheiyo Thermal Reactorの頭文字をとったTTR[®]（ティーティアル）で商標登録し、現在国内外へ拡販中である。Fig. 1に外国書誌へ広告掲載中のTTR[®]の概観図を示す。



Fig.1 TTR[®]
(ティーティアル)

2. TTR[®]-D (TTR for Drying) 開発概要

2.1 開発コンセプト

セメントキルンにおける下水汚泥の一般的な処理方法は仮焼炉やライザー部への直接投入であり、高含水の下水汚泥がセメント原料の脱炭酸ゾーンに投入される。このシステムでは、水分蒸発に多量の熱量を要し、水分が蒸発する場所や時間も一定ではなく、排ガス量の変動や焼成温度の急激な低下を招き、キルンの安定運転を阻害し、セメントの生産量や品質を低下させるなどの問題がある。このため、下水汚泥の有効利用量は制限される。これらの問題を解決するために気流乾燥機を用いて高温ガスで下水汚泥を直接乾燥させることも可能である。しかしながら、汚泥から発生する悪臭を分解するためには酸素を含む乾燥後の排ガスを800℃以上で再加熱する必要がある、熱量損失の増加や爆発の危険性がある。また、水蒸気・油・高温ガスを熱媒体とし、間接加熱により下水汚泥を乾燥することも可能であるが、伝熱効率が悪く、大型の乾燥機が必要となる。上記問題点を踏まえ、TTR[®]-Dの開発コンセプトと目標を以下のように設定した。

- 下水汚泥の利用：>150t/d
(リアクター1基あたり)
 - 高伝熱効率かつコンパクトなリアクター
 - セメントキルンへの悪影響が少ない
(熱量損失およびクリンカー減産率が最小)
 - 安全なシステム
- 上記コンセプトより、プレヒータから予熱原料を

抽出し、その顕熱を利用する直接加熱方式を採用する方針とした。この方法では、表面積が大きい高温の予熱原料を利用することにより伝熱効率が高くなるため、リアクターのコンパクト化が可能となる。開発はラボスケールテストにて高温予熱原料の伝熱効果を検証後、実機設備を設置・商用化した。その結果を以下に説明する。

2.2 模擬汚泥乾燥ラボ試験結果

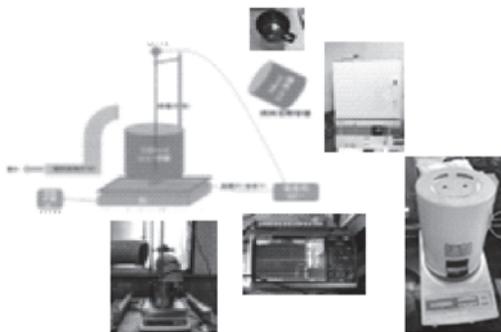
予熱原料による下水汚泥の乾燥速度を評価するためにラボ試験を実施した。

2.2. (1) 試験方法及び試験装置

500mlのステンレス容器にセメント原料を所定量入れ、電気炉により加熱した。電気炉上部から熱電対を挿入して、原料温度を測定し、原料温度が所定温度に達した後、電気炉から取り出し、あらかじめ計量した模擬汚泥 (Fig. 2) を入れた別の1000mlのス



Fig.2 Materials under test (cement raw meal and simulated sewage sludge made from dog foods blended with water) (供試原料 (ドッグフードと水を混合した模擬汚泥とセメント原料))



KETT

Fig.3 Test devices (Electric furnace, Electric scale, Mixer, Data logger, KETT (moisture meter) (試験装置 (電気炉、熱天秤、ミキサー、データロガー、KETT 水分計))

テンレス容器 (天秤上に設置) に予熱原料を投入した。その後、容器内の模擬汚泥と予熱原料をさじで攪拌することで水分を蒸発させた。原料温度、容器下部の温度、混合後の質量変化はデータロガーで自動計測し、質量減少が認められなくなった時点で試験を終了した。試験終了後、直ちに容器から混合原料の一部を取り出して、残存する水分量を水分計 (KETT) で計測した。 (Fig. 3)

2.2. (2) 試験結果

模擬汚泥の乾燥試験結果を配合条件とともに Table 1 に示す。水蒸気爆発などの安全性を確認する必要があったので、予熱原料の温度を低温 (400℃)

Table 1 Amount of calcium carbonate in slurry solids (80%水分含有模擬汚泥の乾燥試験結果)

	Unit	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6
Type of sss		dog foods					0.3% paper
SSS: simulated sewage sludge							+ dog foods
Temperature of raw meal	℃	400	500	600	700	700	800
Raw meal weight	g	300	230	180	130	130	130
SSS weight	g	100	100	100	100	30	30
Water weight in sss	g	70	70	70	70	21	21
Termination time of drying	min	7.0	3.0	4.5	4.5	3.0	3.0
Temperature after drying	℃	54	67	56	53	78	68
Weight after drying	g	345	289	226	189	120	103
Loss weight (water+dust)	g	55	41	54	41	40	55
Water content after drying	%	9.0	14.6	18.6	25.4	0.5	0.3
Water weight after drying	g	31.1	42.2	42.0	48.0	0.6	0.3
Vaporized water weight	g	39.0	27.8	28.0	22.0	20.4	20.7
Vaporized water rate	%	55.6	39.7	39.9	31.4	97.1	98.5
Flying dust weight	g	16.1	13.2	26.0	19.0	19.6	34.3
Flying dust rate	%	4.9	5.1	12.4	11.9	14.1	25.0
	Unit	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6
Type of sss		dog foods					0.3% paper
SSS: simulated sewage sludge							+ dog foods
Temperature of raw meal	℃	400	500	600	700	700	800
Raw meal weight	g	300	230	180	130	130	128
SSS weight	g	100	100	100	100	30	30
Water weight in sss	g	70	70	70	70	21	21
Termination time of drying	min	7.0	3.0	4.5	4.5	3.0	3.0
Temperature after drying	℃	54	67	56	53	78	68
Weight after drying	g	345	289	226	189	120	103
Loss weight (water+dust)	g	55	41	54	41	40	55
Water content after drying	%	9.0	14.6	18.6	25.4	0.5	0.3
Water weight after drying	g	31.1	42.2	42.0	48.0	0.6	0.3
Vaporized water weight	g	39.0	27.8	28.0	22.0	20.4	20.7
Vaporized water rate	%	55.6	39.7	39.9	31.4	97.1	98.5
Flying dust weight	g	16.1	13.2	26.0	19.0	19.6	34.3
Flying dust rate	%	4.9	5.1	12.4	11.9	14.1	25.0

Moisture almost evaporated

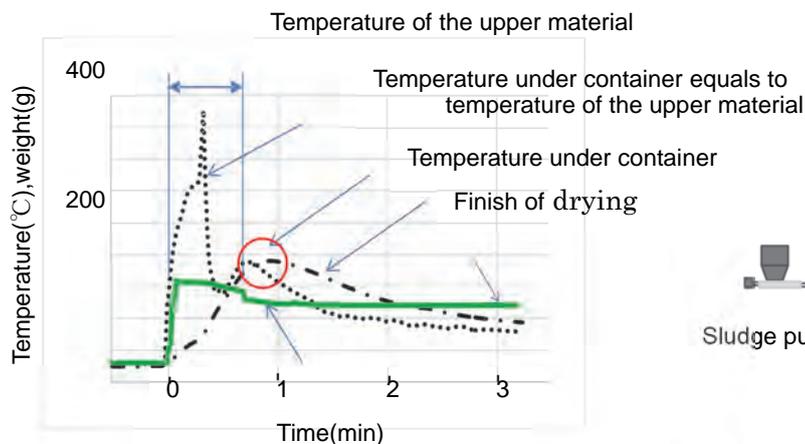


Fig.4 After mixing hot meal and simulated sewage sludge, change over time of weight and temperature at each part.
(予熱原料と模擬汚泥を混合した後の重量及び各部温度の経時変化)

から上げていったが、水蒸気の蒸発により混合後の温度がただちに低下することから、水蒸気爆発には至らないことを確認できた。水準5、6ではより実際の下水汚泥に近づけるためトイレットペーパーを0.3%添加した。原料量/模擬汚泥量が1.3から3.0、予熱温度が700℃までの水準1から4では、試験終了後の含水率が9%以上と高く乾燥不足であった。そこで、水準5および6では原料量/模擬汚泥量を4.33まで増加して乾燥状態を確認した。その結果、乾燥終了時間も3minまでに短縮し、水準5および水準6の乾燥後の水分は、それぞれ0.5%および0.3%となった。汚泥単独換の水分は、それぞれ2.7%および1.6%となる。

Fig.4に水準5における質量、材料温度、容器下（容器内は最初に模擬汚泥を投入済み）の温度の経時変化を示す。予熱原料を投入後、攪拌開始とともに材料の上部温度、容器下の温度が上昇している。材料の上部温度は約20sec後にピークの425℃に達し、その後低下している。容器下の温度はおよそ1min.後にピークに達し、ほぼ上部温度と同じ温度となり、その後低下している。したがって、攪拌の開始からおよそ1min.で下水汚泥と予熱原料とが均一に混合されたと考えられる。水分蒸発による質量減量カーブをみると、混合が均一になった40secから1min.後で減量が大きく、その後は緩やかに減量して、3min.後に終了した。上記から、下水汚泥の水分蒸発は予熱原料との混合が律速していると考えられる。

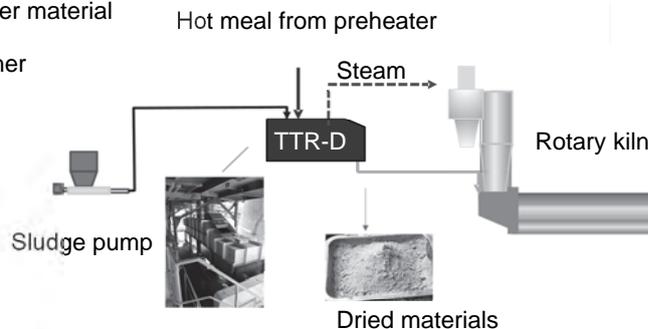


Fig.5 Commercialized process flow of TTR®-D installed in Dairen, China
(中国大連市に設置したTTR®-Dの実機フロー図)

本試験結果から実機は下水汚泥処理量150t/d(6.25t/h)、予熱原料分取量26.3t/hで最大3min.の滞留時間が取れる設備であれば、下水汚泥を十分乾燥可能と考えられた。

2.3 TTR®-D実証試験結果^{1), 2), 3), 4), 5)}

開発した実機設備のフロー図をFig.5に、運転結果をTable 2に示す。Fig.5より、含水率80%の下水汚泥はプランジャーポンプにより、また750℃のセメント予熱原料はプレヒータサイクロンシュートから分取装置にて分取され、リアクターに供給される。下水汚泥はリアクター内で予熱原料によって混合乾燥され、乾燥後の含水率は3%未満となった。その後、セメント予熱原料と下水汚泥とからなる乾燥物はプレヒータの仮焼炉に供給され、リアクターから発生する悪臭ガスを含む水蒸気は仮焼炉でなく、ボトムサイクロン出口に供給することで悪臭を分解するとともに熱量損失を回避する。TTR®-D導入以前の下水汚泥をライザー部へ直接投入するシステムで

Table 2 Introduction effect of TTR®-D
(Comparison of Direct feeding system and TTR®-D system)
(TTR®-D導入効果(直接投入方式とTTR®-D方式の比較))

	unit	No sewage sludge (Benchmark)	Direct feeding of sewage sludge to kiln	TTR®-D	
Feeding rate of sewage sludge	t/d(WB)	0	90	172	200
Clinker output	t-clinker/d	4370	4141	4370	4162
Increase of heat consumption	kJ/kg-clinker	-	148	98	138

は、クリンカーの減産を回避するため下水汚泥の最大有効利用量は90t/dであった。TTR[®]-Dの導入後は200t/d以上の下水汚泥をわずか19.8m²の投影面積のリアクター内で熱損失を最低限にして乾燥することができた。さらにIDF回転数に余力があるケースではクリンカー生産量の減産も回避できる。

2.4 TTR[®]-Dとロータリドライヤの比較

TTR[®]-Dの乾燥能力をロータリドライヤの能力とTable 3により比較する。同一条件ではないが、比較対象としたロータリドライヤは、50-60mmに破碎されたパーム椰子の空果房 (EFB: Empty Fruits Bunch) を乾燥するために当社がマレーシアに設置したものである。

高温の気流で乾燥するロータリドライヤではEFBの可燃分が着火するため、入口ガス温度が制約されるが、TTR[®]-Dはリアクター内に酸素がなく、原料および水蒸気で充満されているため全く着火の危険がない。このため、750℃の高温予熱原料を熱源として利用することができ、伝熱面積が大きく、乾燥速度が速く、細胞の中まで乾燥することが可能である。この結果、TTR[®]-Dの単位体積当たりの処理能力が833kg/m³hと非常に大きいのが特徴である。また、原料の乾燥時間が1-3min.と短く、応答が短時間のためTTR[®]-D出口温度制御が容易である。以上のようにTTR[®]-Dは当初掲げた目標をすべて達成でき、新商品として販売可能となった。

Table 3 Comparison of TTR[®]-D and Rotary dryer as a drying device
(TTR[®]-D とロータリドライヤの比較)

	Unit	TTR [®] -D	Rotary Dryer
Dryer	-		
Processed Object	-	Sewage sludge	EFB(Empty Fruits Bunch)
Dimension	mm	1330W× 5600L× 2070H	φ3500/4900×23500L
Motor power	kW	44(22×2)	90
Maximum output	t/h	10	6
Inlet moisture	%	80	60
Outlet moisture	%	1	20
Inlet temperature	℃	750	180
Outlet temperature	℃	120	110
Retention time	min	1-3	30
Inner volume	m ³	12	339.4
Volume load	kg/m ³ h	833	18

3. TTR[®]-G (TTR for Gasifying) 開発結果^{6),7)}

3.1 ハラセメント社との共同開発

2.章ではプレヒータで予熱された高温のセメント原料と下水汚泥を混合する技術について紹介したが、ほぼ同じ形状のTTR[®]を利用して、高温原料と廃プラスチックを混合し、ガス化して仮焼炉燃料として有効利用した技術について紹介する。本技術開発は韓国ハラセメント社と‘20.10月に共同開発を開始し、’21.4月に同社のOkgye工場2号キルンに実証設備の設置が完了し、現在稼働中である。

3.2 TTR[®]-G 実証試験結果

ガス化対象となるSSW (shredded solid waste) の概観をFig. 6に示すが、廃プラスチックが70%、木屑30%で構成されており、比重0.1、水分20%、低発熱量は20100kJ/kgで、50mm以下のサイズに破碎されたものである。



Fig.6 Shredded Solid Waste (SSW)

- Constituent Plastics:Wood=7:3
 - Specific gravity 0.1
 - Water content 20%
 - LCV 20100kJ/kg
- (破碎した固体廃棄物、
構成：プラスチック：木=7:3、
比重：0.1、水分：20%
低発熱量：20100kJ/kg)

Fig. 7にTTR[®]-Gのフロー図を示す。SSWは既設のバケットエレベータからロータリバルブを経由してTTR[®]-Gに供給される。一方、高温の予熱原料は下から二段目のサイクロンシュートから分取され、TTR[®]-Gに入る。TTR[®]-Gで処理された混合原料と可燃性ガスは別ルートからそれぞれ排出されるが、再び合流してライザーダクト部へ供給される。ガス化した可燃性ガスはキルン排ガスと合流し、キルン排ガスに

含まれるNO_xを還元し、仮焼炉の内部で3次空気により燃焼される。また、混合原料もライザーダクト部から仮焼炉に吹き上げられる。TTR[®]-G出口温度は原料分取量により520℃で制御されるが、下から二段目のサイクロンシュート原料も仮焼炉へ入るので、行き先が同じであり、原料分取量が変動してもキルン運転へ影響がないことが特徴である。

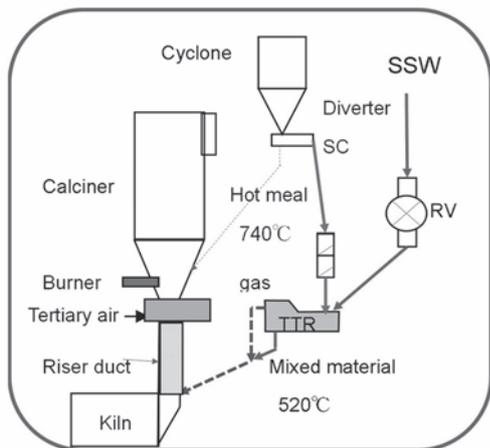


Fig.7 Commercialized process flow of TTR[®]-G installed in Korea
(韓国に設置したTTR[®]-Gの実機フロー図)

ハラセメント社ではTTR[®]-G実証試験の以前からSSWを仮焼炉に直接投入する方法で処理しており、その直接投入方式とTTR[®]-Gを使用した場合の石炭削減効果について比較する。

Table 4にSSW10t/hをTTR[®]-Gで処理した場合とブランク(SF仮焼炉直接投入)との比較を示す。ガス化することで、燃焼性が改善し、COが低減でき、IDFガス量及び温度が低減できた結果、熱量削減効果は190.5kJ/kg-cli(Coal 1.64t/h相当)であった。また、試験運転中にSSWを仮焼炉投入から急にTTR[®]-G投入へ切り替えたケースがあった。その際にボトムサイクロン原料温度が80℃急激に上昇した。この結果からもTTR[®]導入により燃焼改善できたことが説明できる。

Table 4 Introduction effect of TTR[®]-G

(Comparison of Direct feeding system and TTR[®]-G system)
(TTR[®]-G導入効果(直接投入方式とTTR[®]-Gシステムの比較))

SSW feed place	SSW feed rate	IDF exhaust gas			Specific heat	Heat loss of gas	CO	Heat loss of CO	Total heat loss
		volume	Temp.						
Unit	t/h	m ³ /min	m ³ /kg-cli	℃	kJ/m ³ N ^c	kJ/kg-cli	ppm	kJ/kg-cli	kJ/kg-cli
Calciner	10	6209	1.74	341	1,504	891.8	6436	144.5	1036.3
TTR [®] -G	10	5844	1.59	316	1,495	752.8	4519	93.0	845.8
Difference	0	365	0.14	25	-	139.0	1917	51.5	190.5

3.3 TTR[®]-GとDe-NO_xバーナによる低NO_x化

TTR[®]-Gを導入するメリットは石炭削減効果とともに発生する還元ガスによるNO_x低減効果も当初より想定していた。ラボ試験の結果ではSSWから発生する還元ガスにより脱硝率77%が得られている。しかしながら、実機ではキルン排ガス中のNO_xに対して十分な量の還元ガスがあるものの、還元ガスの拡散が悪く、NO_x低減量は57-65ppm(20%削減)にとどまった。韓国ハラセメント社がTTR[®]-Gを導入した主目的はNO_x低減であったが、TTR[®]-G導入だけではNO_x低減量が目標未達であった。そこで、還元ガスの拡散を促進させる目的でDe-NO_xバーナを設置した。以下De-NO_xバーナとTTR[®]-Gの併用効果について説明する。

この工場では2号キルンにTTR[®]-Gを導入したが、3号キルンには、同じくNO_x低減を目的としてすでに当社製のDe-NO_xバーナシステム⁸⁾を導入済みであった。De-NO_xバーナシステムとは仮焼炉燃料の一部を分取しDe-NO_xバーナから、低酸素濃度条件下にあるライザーダクト部に吹き込むことで還元領域を形成し、キルンからの燃焼ガス中のNO_xを還元する。また石炭を仮焼炉で燃焼させないため仮焼炉で発生するNO_xも同時に低減するものである(Fig.8(a))。

3号キルンにはライザーダクト部に4本のDe-NO_xバーナとライザーダクト内のコーチング付着を防止する目的でミールカーテン(TCS)を導入した。

Table 5に2号キルンおよび3号キルンの設備付帯条件、操業条件および煙突排気ガスのNO_x濃度などを示す。韓国のNO_x規制値はO₂換算13%で189ppmであり、3号キルンでのDe-NO_xバーナの実証結果ではライザーダクト部にコーチング付着を抑制することができず、仮焼炉燃料の50%までしかDe-NO_xバーナ側に振り分けることができなかった。このため煙突NO_xを189ppmまで低下するには、尿素噴霧によるNO_x低減策を併用せざるを得なかった。

Table 5 NO_x reduction effect by installation of TTR[®]-G and De-NO_x burner
(TTR[®]-GとDe-NO_xバーナ設置によるNO_x低減効果)

NO _x reduction effect		No.3 kiln			No.2kiln	
NO _x (at O ₂ =13%)	Regulatory value	Operating data				
		Before modification	2021/4/1-14	2021/4/15	2022/5/10-15	
Stack NO _x	ppm	189	240	189	179	167
Urea	lit-cl	2.2	2.9	0.65	0	0
Fuel ratio of De-NO _x burner	%	0	50	66.8	100	100
Coating adhesion in a riser duct		○	△	×	○	○
NO _x reduction method		4 De-NO _x burners with TCS			4 De-NO _x burners with TTR [®] -G	

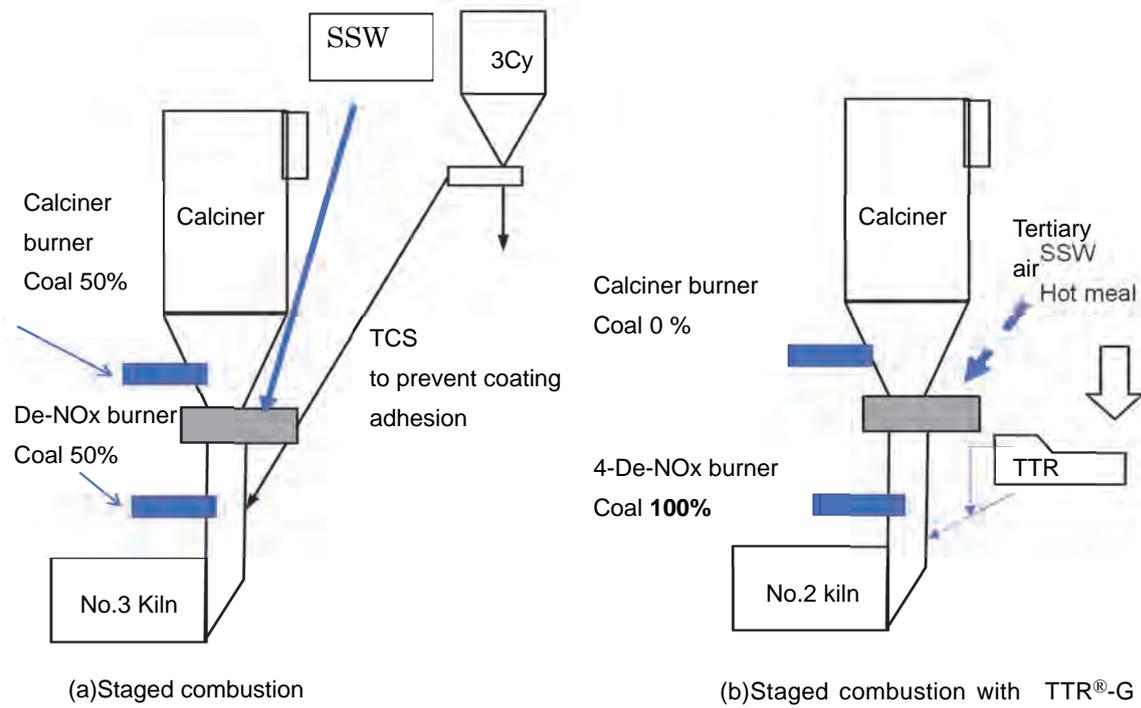


Fig.8 Comparison New De-NOx system (staged combustion with TTR®-G) and conventional staged combustion system
 (従来の二段燃焼設備 (a) と二段燃焼と TTR®-G を組み合わせた新脱硝システム (b) の比較)

一方、TTR®-GとDe-NOxバーナとを併用した2号キルンの結果についてみるとTTR®-Gで発生する520℃のガスと原料をライザーダクト部に供給することとSSWを仮焼炉に直接投入しないことによりコーティング付着の問題がなくなり、仮焼炉石炭100%をDe-NOxバーナで燃焼することが可能となった。その結果、尿素を噴霧することなく煙突排ガスのNOxは167ppmとなり、韓国の規制値を満足した。

上述のようにTTR®をガス化に応用した技術(TTR®-G)は廃棄物の燃焼効率を上げる有効な技術であり、ライザーダクト部にTTR®-Gから排出されるガスと原料をライザーダクト部に供給することで、コーティング付着が防止でき、同時にNOxを低減できることが実証された。

廃棄物を仮焼炉で効率的に燃焼する他社の方法は、Pyrorotor[®] (KHD社)等にみられるように、1次空気や3次空気を導入して、廃棄物を部分燃焼させる方式であり、燃焼を完結させるためにループダクトも必要であり、設備が大型化するという不利がある。これに対して、当社のTTR®-Gは空気を導入しないガス化方式であるため混合伝熱が速く設備がコンパクトになり、ガスの保有するカロリーも高いことが差別化の重要なポイントである。

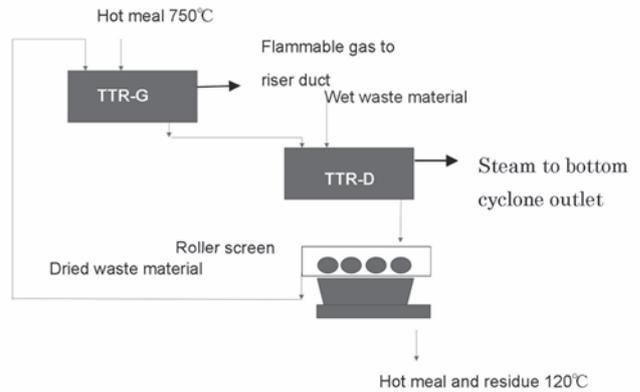


Fig.9 TTR®-DG (Drying and Gasification)
 (TTR®-DG(乾燥とガス化))

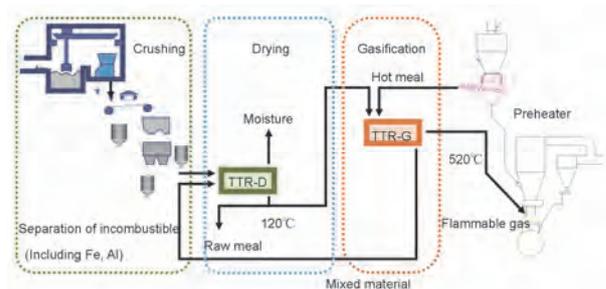


Fig.10 Co-processing flow diagram
 (セメント工場での廃棄物処理フロー図)

4. 今後のTTR[®]応用技術

4.1 TTR[®]-DG(乾燥ガス化)¹⁰⁾

TTR[®]ではセメントの予熱原料を高温のまま排出させる操作も可能であるため、前段でTTR[®]-Gにより廃プラスチック等の可燃分のガス化を行い、後段でTTR[®]-Dにより水分の多いバイオマスなどの乾燥処理を行うことも可能である。このようなTTR[®]を2台組み合わせたシステム構築例をFig. 9に示す。

本方式ではTTR[®]-Gで乾燥した可燃分が高温の予熱原料により、無酸素状態でガス化され、高カロリーのガス化燃料として利用される。一方、TTR[®]-Gからは約520℃の予熱原料が排出されるため、この顕熱を乾燥熱源としてTTR[®]-Dにより高含水の廃棄物を乾燥させることができる。乾燥後の残渣はローラスクリーンでセメント原料と可燃分とを分離し、可燃分はTTR[®]-Gに、原料はキルンへ戻す。

このようにTTR[®]を2台利用して、水分の多いバイ

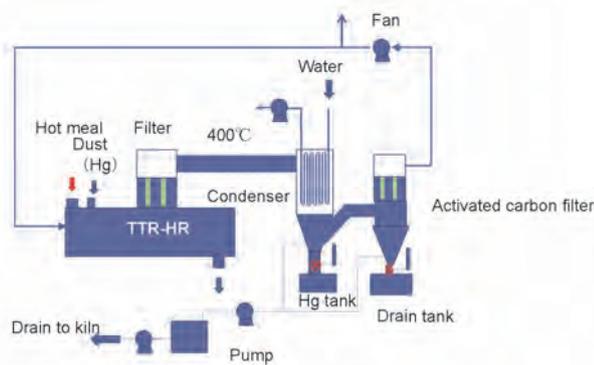


Fig.11 TTR[®]-HR (Hg removal system)
(TTR[®]-HR (水銀分離装置))

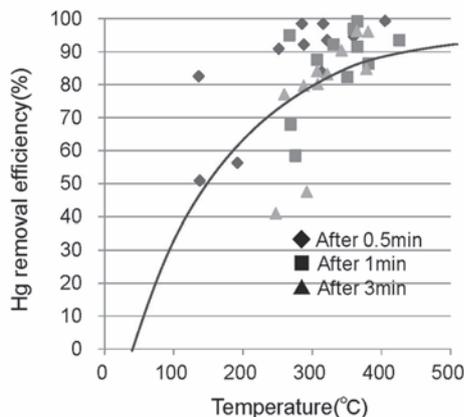


Fig.12 Test result of mercury removal from kiln dust (Changeover time)
(キルンダストから水銀を分離した試験結果 (経時変化))

オマス、廃プラスチック等の可燃分を対象として乾燥とガス化とを同時に実現する方法も特許化済みである。

また、インドネシアや中国ですでに実施されているごみを前処理してセメントキルンで焼却するCo-processing (現在の主な手法はダイジェスター方式) へFig. 10に示すように鉄やアルミの分離などの前処理装置と組み合わせたTTR[®]-DGの応用展開も考えている。

4.2 TTR[®]-HR (Hg Removal; 水銀分離)¹¹⁾

TTR[®]は高温のセメントの予熱原料の顕熱を利用した加熱装置であるため、水銀の揮発分離にも応用することができる。水銀含有ダストから水銀を分離する装置 (TTR[®]-HR) をFig. 11に示すとともに、水銀含有ダストと高温予熱原料を混合して水銀を揮発分離したラボ試験の結果をFig. 12に示す。

ラボ試験の結果より、水銀は400℃以上に加熱することで、95%以上が分離できることが実証された。経過時間とともに分離効率が低下しているが、これは水銀の蒸発量が微量なため原料の温度低下とともに原料に再吸着しTTR[®]-HRから容易に排出されないことを示している。このため、実機的设计にあたっては、水銀を容器から排出可能なようにTTR[®]-HR排ガスを再循環することが必要である。実機ではTTR[®]-HRから高温フィルターでダストを分離し、水銀を含むエアを冷却し、水銀を分離し、タンクで回収する。排ガスは活性炭フィルターで残存水銀を吸着後、排出する。一部は上述の通りアシストエアとして、TTR[®]-HRへ再循環する。

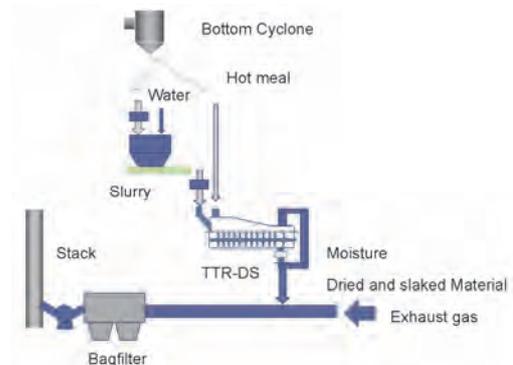


Fig.13 TTR[®]-DS (Desulfurization system)
(TTR[®]-DS (脱硫システム))

4.3 TTR[®]-DS

(Desulfurization System; 脱硫剤製造および脱硫装置)¹²⁾

本装置は生石灰 (CaO) を多量に含むボトムサイクロン原料の一部を抽出し、スレーキングおよび乾燥を TTR[®]-DS 装置で行い、脱硫剤を製造して、キルンバグフィルター入口に吹込みセメントキルン排ガス中の SO_x を脱硫する方法である。

Fig. 13 に示すようにボトムサイクロン原料を分取後、2分割し、一方はスラリーとし、TTR[®]-DS に投入される。他方は熱源として直接 TTR[®]-DS に投入される。

TTR[®]-DS 内で水蒸気が充満した雰囲気下でスラリーの水分により、他方のボトムサイクロン原料が消化するとともにスラリーは乾燥される。このようにして乾燥されたハンドリング性の良い脱硫剤が得られ、水蒸気とともに脱硫剤がバグフィルターに投入され、バグフィルター内でキルン排ガスに含まれる SO_x が脱硫される。

TTR[®]-DS で製造する消石灰 (Sample) の脱硫性能を確認するため、ボトムサイクロン原料から試製した消石灰 (Sample) と特号生石灰から試製した消石灰 (slaked lime) とを Ca/S 比を変えて、管状電気炉に充填し、SO_x を流通して、SO_x の吸着試験を実施した。実験結果を Fig. 14 に示すが、試製した sample は slaked lime と比較して、ほぼ同等量の SO_x が吸収されることが示された。

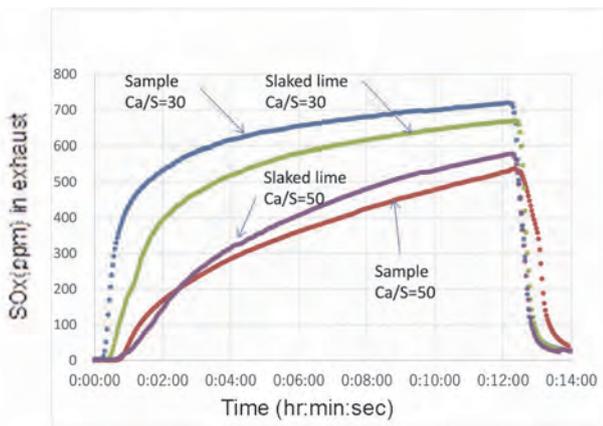


Fig.14 Test result of SO_x absorption by sample made from cement meal and slaked lime (Change over time)
(消石灰とボトム原料から製造した消石灰の SO_x 吸収試験結果 (経時変化))

5. ま と め

TTR[®]-D および TTR[®]-G はセメントのプレヒータ予熱原料の顕熱を利用する技術で、安全性・性能・経済性の面で他社技術よりも優れており、すでに商品化し、現在、国内外に拡販中である。他の TTR[®] シリーズは基礎研究を終えた段階にあり、今後実証試験により性能を確認後、順次商品化する計画である。

謝 辞

本報告を執筆するにあたり、本開発の基礎研究すべてに協力いただいた株式会社太平洋コンサルタント社の村岡義正氏ほか、多数の関係者の方にこの場をお借りして御礼を申し上げます。

参 考 文 献

- 1) Yasushi Yamamoto. Drying sewage sludge with preheated raw meal. International Cement Review. 2020, (9), p. 79-80.
- 2) Yasushi Yamamoto. No time to waste. World Cement. 2021, (6), p. 51-54.
- 3) 山本泰史, 寺崎淳一, 木村貴之ほか. Taiheiyo Thermal Reactor を利用した環境ソリューション. セメント技術大会講演要旨 (CD-ROM). 2021, 75, e2101.
- 4) 山本泰史, 木村貴之, 鎌田浩司ほか. 有機汚泥の処理装置及び処理方法. WO 2019193938. 2019-10-10.
- 5) 山本泰史, 前田良昭, 山口和彦ほか. 分取装置. WO 2019193672. 2019-10-10.
- 6) Yasushi Yamamoto. Gasification technology for shredded solid waste. International Cement Review. 2022, (11), p. 65-66.
- 7) 山本泰史. 可燃物の処理方法及び処理装置. WO 2021024386. 2021-02-11.
- 8) 山本泰史, 廣瀬敏章. セメントキルン排ガスの脱硝方法. 特許第 7202467 号. 2023-01-11.
- 9) Heiko Schürmann; Norbert Streit. Not simply calcining. International Cement Review. 2018, (1), p. 61-64.
- 10) 山本泰史. 廃棄物の処理装置及び処理方法. PCT/JP 2022/032341. 2022-08-29.
- 11) 山本泰史. セメントキルン排ガスの水銀低減方法及びその装置. WO 2018131277. 2018-07-19.

- 12) 山本泰史. 脱硫剤製造方法及び製造装置並びにセメントキルン排ガスの脱硫方法. WO 2021019754. 2021-02-04.
- 13) 太平洋エンジニアリング. “二段燃焼システム”. <https://www.taiheiyo-eng.co.jp/engineering/two-staged-combustion.html>, (accessed 2023-11-28)