

流動層による水産廃棄物の焼却処理

北口 敏弘, 岡 喜秋, 上出 光志
山越 幸康

Incineration Processing of Fisheries Wastes by Fluidized Bed

Toshihiro KITAGUCHI, Yoshiaki OKA, Mitsushi KAMIDE
Yukiyasu YAMAKOSHI

抄 録

北海道で年間 8 ~ 9 万 t 排出されるホタテガイ中腸腺等の軟体物を処理するため流動層焼却処理装置を試作し、この装置を用いてウロの乾物、湿物の燃焼特性に関する試験と一部気化すると考えられる Cd の物質収支について検討を行った。

その結果、ウロのそれぞれの状態における燃焼特性が把握できたほか、今回の試験の範囲内では Cd は排ガスに同伴されるフライアッシュに総投入量の 4 割以上濃縮し、砂に 3 割弱残留することが推定された。

また、排ガスによって系外へ排出される Cd は 1 割程度でその濃度は $0.38\text{mg}/\text{Nm}^3$ であった。

キーワード：流動層，ホタテウロ，焼却処理，Cd

1. はじめに

北海道におけるホタテガイの漁業生産は平成 9 年度に 37 万トンに達し、そのうち水産加工会社から加工残滓として排出されるウロなどの軟体部の排出量は全体の 20% 強にあたる 8 ~ 9 万トンと推定されている。排出されたウロは現在、ウロ中に含まれる Cd などの重金属を電解法で除去した後脱脂、乾燥、造粒行程を経て肥料や餌料、飼料などに有効利用されつつある。しかし、その大部分は産業廃棄物として焼却によって減容化した後埋め立て処理されているのが現状である。

流動層は流動媒体として砂などを用い、下部より流体を送り分散板上の固体粒子を浮遊流動させ、流体に似た状態にて乾燥、燃焼反応等を行わせるもので、対象物が粒子間に分散されるので流動層内の反応は均一化され、かつ、促進される。また、流動媒体の熱容量が大きいので、再起動時の起動時間が短くできるなどの特長を有している。

したがって、ホタテガイ中腸腺（ウロ）のように約 80% の高い水分を有するものの焼却減容化処理を行う場合、熱容量の大きい流動層は砂層内で乾燥、焼却が同時に進行することが可能で、最も適したウロの焼却装置の一つといえる。

本研究では試作した流動層焼却装置を用いてホタテガイのウロを焼却処理した際の排ガス性状、Cd の物質収支について検討したので以下に報告する。

2. 試験装置および供試焼却物

2.1 流動層焼却装置

図 1 および図 2 に流動層焼却装置の概要と写真を示す。流動層焼却装置はおもに本体、予燃焼室、サイクロンおよび焼却物供給装置（スクリーフィーダ）から構成される。

本体はステンレス鋼管（SUS304）製で、鋼管の内側に厚さ約 20mm の耐火キャストブルを施し、さらに鋼管の外側に厚さ約 25mm の保温材を巻いた。分散板から本体出口までの高さは 1300mm であり、高さ方向の温度分布計測用熱電対を本体に 8 点、サイクロン出口に 1 点の計 9 点設置した。また、本体の 8 点の熱電対位置には圧力分布が測定できるよう圧力計測座を設けた。

分散板は板厚 3 mm のステンレス（SUS304）板に径 ϕ 1 mm の穴を千鳥配列で 175 個開け、開口比を 1.3% とした。

予燃焼室はスタートアップ時の焼却炉本体の昇温と焼却物（ウロ）燃焼時の温度維持用に設けたもので LP ガスとプロ

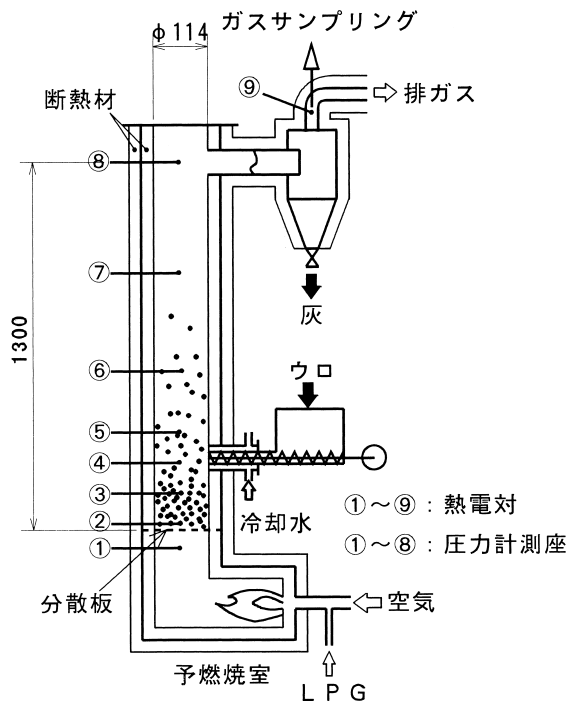


図1 流動層焼却装置

ワによって昇圧された空気が供給される。

スタートアップ時には予燃焼室から送られる熱風によって分散板上の砂とともに本体が徐々に熱せられ、砂層温度が所定の温度に達したところで乾燥あるいは生ウロをスクリーフフィーダによって供給する。供給口の高さは分散板から300mmの位置とした。供給口付近はふく射等によりウロが固着しないよう水冷ジャケットとし、中空の回転軸の軸内に冷却空気あるいは窒素を流すことができる構造とした。

燃焼排ガスに同伴されて炉外に運ばれる灰はサイクロンによって排ガスと分離、捕集される。

2.2 供試焼却物

試験に供したホタテガイのウロの工業分析値と元素分析値を表1および表2に示す。表2にはウロの総発熱量も併記している。今回用いたウロは10月に噴火湾で水揚げされ、水産加工会社において煮沸処理後加工残滓として排出されたおもに中腸腺と生殖腺が混合されたものである。

工業分析の結果から揮発分は90%近くを占め、非常に高い値を示していることがわかる。Gray-Kingの乾留試験の結果では260℃～450℃の間でタール分の流出が認められ、その割合は47.8%であった。このことから揮発分の半分以上がタール分であることがわかる。また、生物系の残滓であるため窒素分が9%程度と高い値を示しているのが特長である。

発熱量は23.35MJ/kgであり乾燥状態は十分自燃するが、産業廃棄物として排出されたウロは水分が70～80%前後と多

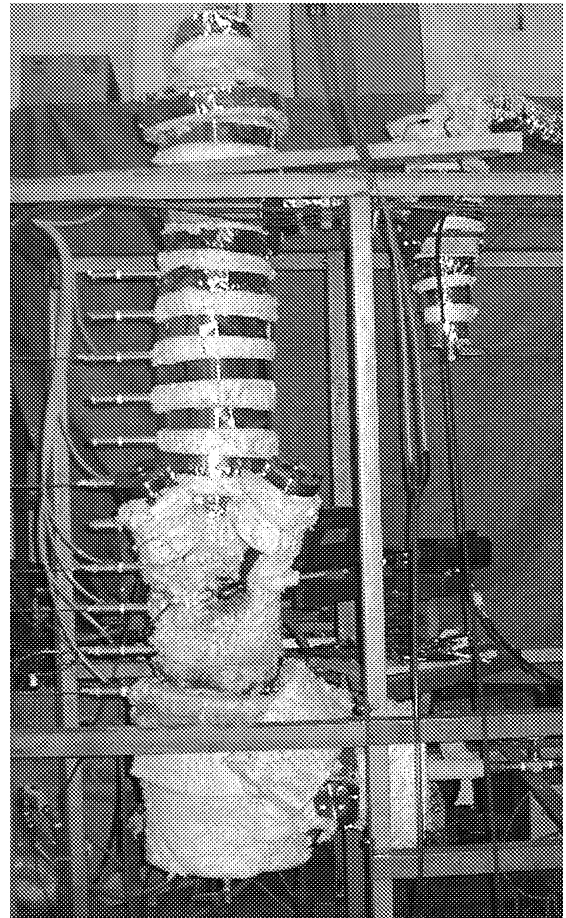


図2 流動層焼却装置(写真)

表1 工業分析結果

	無水	湿りウロ	備考
灰分	5.44	1.09	
揮発分	89.55	17.91	
固定炭素	5.01	1.00	
水分	—	80.00	

単位%

表2 元素分析結果および発熱量

	無水	湿りウロ	備考
H	7.50	1.50	
C	53.59	10.72	
N	9.21	1.84	
S	0.93	0.19	
O	23.33	4.66	
灰分	5.44	1.09	
水分	—	80.00	
総発熱量	23.35MJ/kg	—	

単位%(発熱量を除く)

く自燃は不可能であるので助燃が必要である。

今回の試験ではウロを105℃で乾燥し、粉碎機によって粗砕した水分1.33%の乾きウロ(図3)とウロをマスコロイダーでゲル状に粉碎した水分80.00%の湿りウロ(図4)を用いて焼却試験を行った。スクリーフィーダの軸径が小さいため乾物、湿物双方とも破碎機による粉碎処理を行っている。

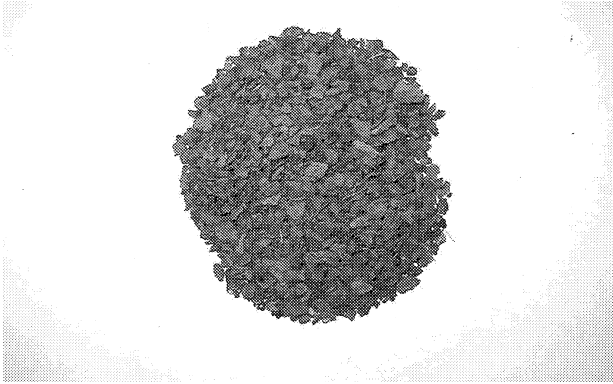


図3 乾きウロ



図4 湿りウロ

2.3 流動媒体

流動媒体は5号珪砂を用いた。粒径分布を図5に示す。平均粒径は約490 μm である。

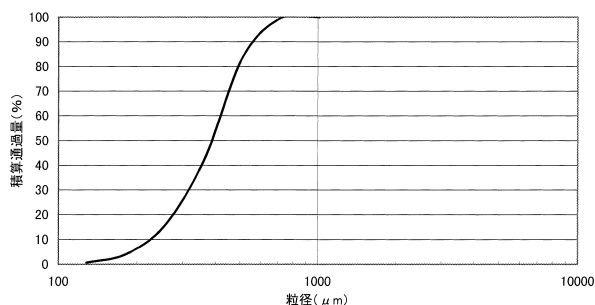


図5 粒径分布

3. 試験方法

3.1 流動層焼却炉の操作方法

予燃焼室から送られた熱風によって分散板上の砂および炉本体を熱し、砂層温度が600℃に達した後、乾きウロを供給した。乾きウロの焼却熱によって層温度が上昇し、700℃を超えた時点で一旦、LPガスの供給を止め消火させた後、再びLPガスを供給するとLPガスの燃焼を砂層へと移行させることができる。

砂層内の温度がNaClの融点である800℃を超えると流動状態に悪影響を及ぼすことが報告されている¹⁾ため、試験は乾きウロおよび湿りウロのどちらの場合も砂層内の温度が750℃前後となるようLPガス流量を手動にて調節しながら行った。

3.2 測定項目および運転条件

3.2.1 流動層内温度分析および排ガス濃度測定

流動層内温度分布および排ガス濃度測定を以下の運転条件において行った。

ウロの投入量は乾きウロが0.2~0.7kg/h、湿りウロが2.0~3.5kg/hの範囲で、排ガスO₂濃度は3%~12%の範囲で行った。静止層高は11cmとした。また、空塔速度は0.8~2.0m/sとした。

3.2.2 Cdの物質収支

Cdの物質収支を検討するための試験は乾きウロ0.4kg/h、LPガス流量0.9l/min、排ガスO₂濃度12.4%の条件で1時間45分連続運転し、その間に各部よりサンプリングを行った。

3.3 Cdのサンプリング方法

サイクロン出口において排ガスを等速吸引し、排ガス中のCdを円筒ろ紙を用いてサンプリングを行った。方法はJIS Z8808煙道排ガス中のばいじん量の測定方法に準じ、円筒ろ紙ホルダー部が煙道の外部にあるⅡ形を採用した。排ガスサンプリング中にサンプルガスが結露しないようガスサンプリング管には保温用のヒータを施した。

また、サイクロンによって排ガスから分離、捕集された焼却灰と分散板上の砂および焼却処理に用いた乾きウロのCd含有量を発光分光分析装置(ICP)によって分析した。

4. 試験結果および考察

4.1 流動層内温度分布試験

図6、7に流動層内の温度分布の一例を示す。また、そのときの試験条件を表3、4に示す。

図6、7は横軸に各部の炉内温度、縦軸に分散板からの高さをとっているため0mmは分散板の高さ、1300mmは炉出

表3 乾きウロ試験条件

乾きウロ供給量	LPG流量	排ガスO ₂ 濃度
kg/h	l/min	%
0.2	2.36	11.2
0.3	2.09	11.0
0.4	1.18	11.3
0.7	0.64	7.8

表4 湿りウロ試験条件

湿りウロ供給量	LPG流量	排ガスO ₂ 濃度
kg/h	l/min	%
2.0	2.09	6.3
2.8	2.90	3.8
3.5	3.45	3.4

口を意味する。ウロは300mmの高さから供給されている。

乾きウロおよび湿りウロともに高さ0～150mmの砂層内温度は750℃前後となるようLPガス流量を調節している。

図6の供給量0.2kg/hでは高さ230mmと330mm間でやや急に温度が低下し高さが増すに従って炉壁からの放熱により直線的に温度が低下している。供給量0.3kg/hおよび

0.4kg/hでは全体的傾向としては0.2kg/hの場合と同じであるが、供給量が増すに従い炉内温度が上昇し、230mm付近で小さなピークがみられる。また、そのピークは0.7kg/hの場合もみられる。これは供給されたウロが砂層部で加熱され揮発分が揮発し、砂層部直上で燃焼しているものと思われる。ウロ供給量0.7kg/hでは高さ530mm付近にもう一つのピークが存在するが、これは未燃の揮発分が相対的に多いためその高さまで燃焼が継続しているものと思われる。また、高さ330mmにおける温度の落ち込みはスクリーフィードの水冷ジャケットの影響によるものと考えられる。

湿りウロでは高さ30mmから炉上部に向けて炉内温度が上昇し330mmでピークを迎え、その下流では徐々に温度が低下している傾向にある。炉内に投入するウロの熱量が湿りウロと乾きウロで同等となる供給量は湿りウロ2.0kg/hに対し乾きウロ0.4kg/hである。それらと比較すると湿りウロの炉内温度のピーク値は乾きウロと比べて下流側にずれていることがわかる。これは、湿りウロの場合はウロ乾燥のための助燃用LPガスが約1.8倍必要であり、かつ水蒸気が多く存在するため、ガス流速が約2倍と速く揮発分の燃焼域が下流側にずれていることが一因と思われる。

4.2 排ガス性状について

乾きウロおよび湿りウロを流動層焼却炉で焼却した際の各

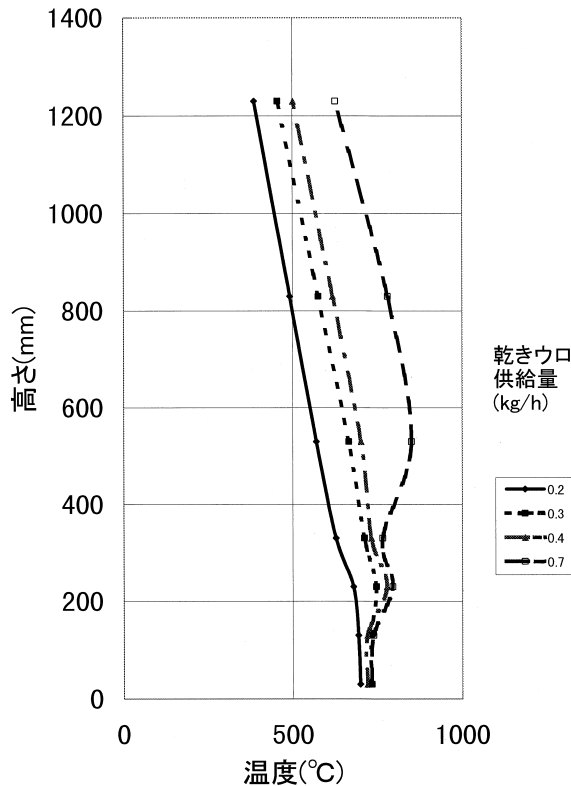


図6 温度分布(乾きウロ)

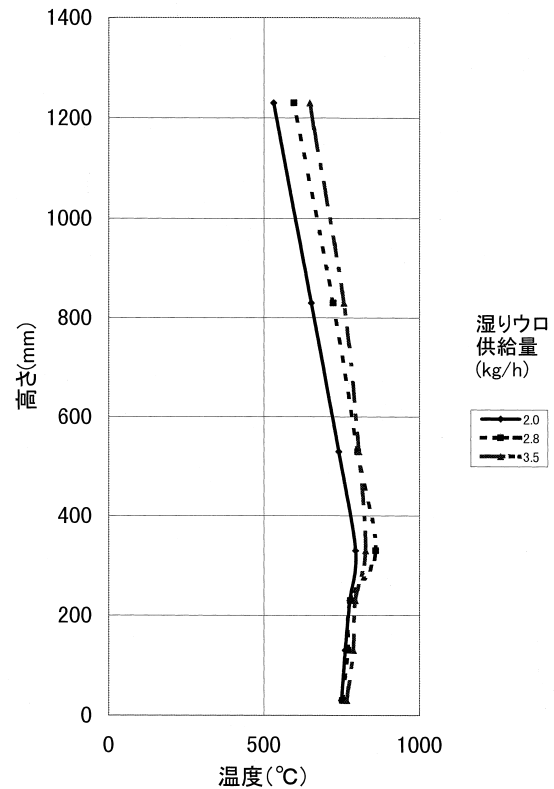


図7 温度分布(湿りウロ)

負荷における排ガス性状 (NO_x, SO₂, CO) を図8および図9に示す。各試験条件は表3および表4に示すとおりである。

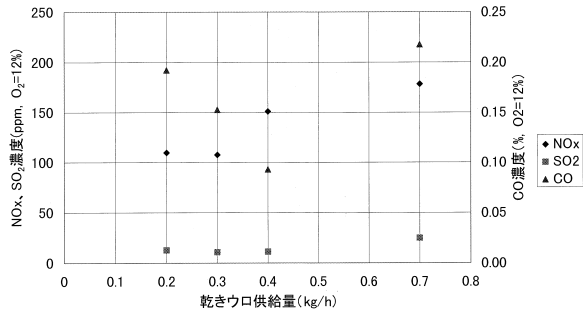


図8 負荷～排ガス濃度 (乾きウロ)

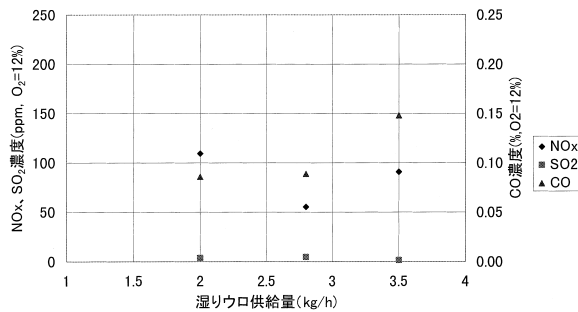


図9 負荷～排ガス濃度 (湿りウロ)

排ガス中の NO_x 濃度は乾きウロで110ppm から180ppm, 湿りウロで60ppm から110ppm といずれも一般的な排ガスの排出規制値と比べると低い値であった。これは、ウロ中の窒素分が9.21%と石炭等と比較すると非常に高い値であったにもかかわらず、炉内の温度が最も高いところで900℃未満と必ずしも高くなかったことによると思われる。

一方、排ガス中 CO 濃度は乾きウロで0.09～0.22%, 湿りウロで0.09～0.15%と高く推移した。CO 濃度はダイオキシン排出の目安とされており、ダイオキシン排出抑制を考慮した場合には50～100ppm 以下が望ましく、これらの値はかなり高いといえよう。この要因としては装置が小型のため砂層部上のフリーボードでの放熱量が大きく高温を維持できなかったこととフリーボード部の燃焼ガスの滞留時間を十分確保できなかったことが上げられる。実際の焼却施設においてはこれらの点に十分留意しなければならない。

排ガス中 CO 濃度を乾きウロと湿りウロとで比較した場合、乾きウロの方が排ガス O₂濃度が高いにもかかわらず全体的に高い値を示している。乾きウロは生ウロを乾燥後、粗砕して用いているが、粗砕したウロには微細な粒子が含まれており、ウロが炉内に投入された際に微細な粒子が砂へ落下

せず、燃焼ガスの気流とともに運ばれ十分燃え切らないまま炉外へ排出されたものと考えられる。

排ガス中の SO₂濃度は乾きウロ, 湿りウロともに数 ppm から30ppm と低い値を示した。ウロ中には0.9%程度の硫黄が含有されているため、燃焼によって計算上200～300ppm の SO₂が排出されると思われる。排ガス煙道にはタール状の未燃分やそのタールに付着した未燃分を含んだ灰が数ミリ程度付着しているのを確認している。SO₂は煙道を通る際にその未燃分や灰に捕捉される可能性があると考えられるが詳細は不明である。

4.3 カドミウムの物質収支

ホタテガイのウロには Cu, Zn, Cd などの金属類が含まれていて、特に Cd は低沸点であるので一部気化している可能性がある。古崎²⁾は湿りウロをるつぼに入れ電気炉中で焼却した際の Cd の物質収支について報告しているが、ここでは実際の流動層焼却炉で乾きウロを焼却したときの Cd の挙動について検討を行った。

3.2.2で示した試験条件における炉内の温度分布を図10に示す。砂層温度は約760℃, サイクロン出口の排ガス温度は約350℃であった。

表5に珪砂, 乾きウロ, フライアッシュおよび排ガス中 Cd の分析結果を示す。また, 図11に Cd の物質収支図を示す。

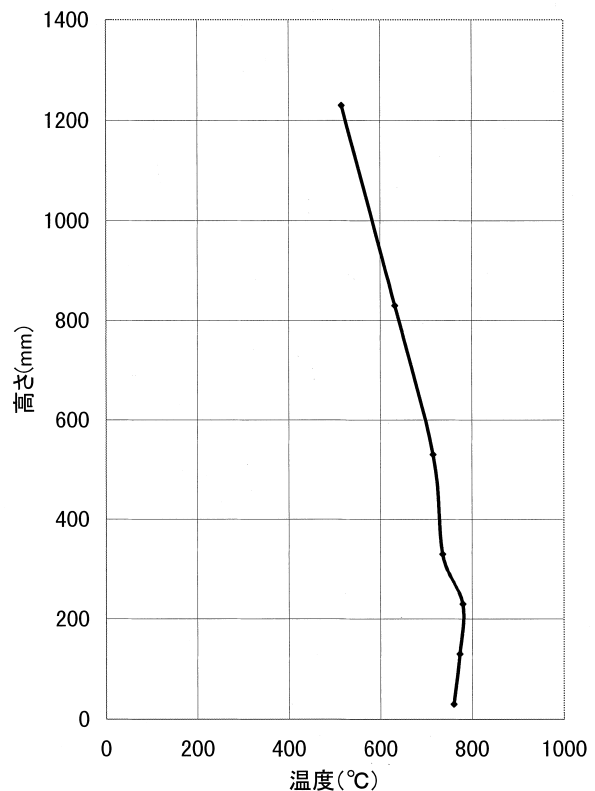


図10 温度分布 (Cd 物質収支試験時)

表5 Cd 分析結果

乾きウロ	焼却灰 (フライアッシュ)	珪砂	円筒ろ紙 (排ガス中Cd)
mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/Nm ³
63.5	459	10.3	0.38

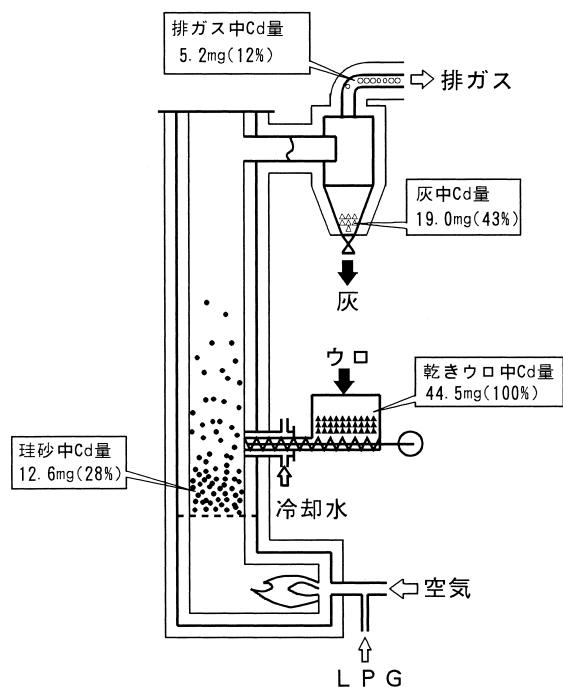


図11 Cdの物質収支図

乾きウロのCd濃度は63.5mg/kgであった。湿物基準では12.7mg/kgで、中腸腺と生殖腺の混合物としては従来の試験結果³⁾相当の値であるといえる。乾きウロの試験中の総投入量は0.7kgであるので炉内へのCd総投入量は44.5mgである。

一方、珪砂に残留したCdの濃度は10.3mg/kgであった。本装置は砂層内の異物を除去する機構を有していないので、珪砂に残留するCd濃度は試験の経過とともに増加するものと思われる。試験は乾きウロ投入後定常状態に達してから実施しているので、定常状態前に珪砂内に残留したCdを補正しなければならない。ここでは乾きウロ投入前の珪砂のCd濃度を0 mg/kg、試験後のCd濃度を10.3mg/kgとし、乾きウロ投入中の珪砂Cd濃度は乾きウロ投入量に応じてリニアに上昇すると仮定して珪砂中Cd濃度を補正した。その結果、試験開始前の珪砂のCdの濃度は3.5mg/kg、試験中に珪砂内に残留したCdの総量は12.6mgと推算され、その残留率は約28%であった。

また、サイクロンで捕集された灰(フライアッシュ)のCd濃度は459mg/kg、灰中未燃分は10.9%であった。投入し

た乾きウロ中の灰がすべてフライアッシュとしてサイクロンで捕捉されたと仮定すると工業分析値、灰中未燃分、乾きウロ投入量および灰のCd濃度から捕捉灰中には19.0mg、全量の43%のCdが濃縮されたと考えることができる。

排ガス中のCd濃度は0.38mg/Nm³、Cd総排出量は5.2mgであった。全量に対して12%のCdが排ガスに同伴されたと考えられる。しかし、試験終了後、円筒ろ紙内を観察すると内壁に様に黒っぽい微粒子が付着しており、サイクロンでのダスト除去が不十分であったと思われる。ダストには高濃度のCdが濃縮されているので、ダスト除去性能の向上により排ガスによる系外への排出が抑制できるとと思われる。

総投入量の17%にあたる7.7mgのCdについては不明であるが古崎²⁾の結果同様、装置の管壁等に付着しているものと思われる。

5.まとめ

水産廃棄物であるホタテガイのウロを試作した流動層焼却炉で焼却処理した結果、以下知見を得た。

- ① 乾きウロ、湿りウロの双方について焼却時の炉内温度分布、排ガス性状などの燃焼特性を把握した。
- ② 今回の試験の範囲内においては炉内に投入されたCdはその4割以上がフライアッシュに濃縮されるほか珪砂などの流動媒体には30%程度が残留し、排ガスによって系外へ排出されるCdは1割程度でその濃度は0.38mg/Nm³であった。

引用文献

- 1) 根岸契ら：高温流動層内での凝集体形成と流動化停止，第3回流動層シンポジウム，pp.316-322,(1997)
- 2) 古崎陸：ホタテ貝中腸腺の焼却処理における含有重金属の物質収支，分析化学，Vol.48, No.9, pp829-834 (1999)
- 3) 作田ら：ホタテガイ副産物の処理・利用技術に関する研究開発(第1報)－ホタテガイの成長に伴う重金属含有量の変化－，北海道立工業試験場報告，No291, pp13-20, (1992)