

ホタテガイ副産物の有効利用システムの開発（第3報）

－電解法によるカドミウム除去技術の検討－

作田 庸一, 長野 伸泰, 富田 恵一
 斎藤 隆之, 若杉 郷臣, 北崎 俊盛*
 長谷川 誠*, 服部 裕行*, 板倉 忠*

Development of Systems for Utilization of Waste Products from Scallop Processing (Part 3)

- Effects of Various Factors on Cadmium Removal Efficiency by Electrochemical Method-

Youichi SAKUTA, Nobuhiro NAGANO, Keiichi TOMITA

Takayuki SAITOH, Motoomi WAKASUGI, Toshimori KITAZAKI*

Makoto HASEGAWA*, Hiroyuki HATTORI*, Tadashi ITAKURA*

抄 録

ホタテガイ加工残さを飼肥料として有効利用するには、中腸腺に蓄積されている有害カドミウムを除去して飼肥料としての規制値以下の含有量にする必要がある。

本研究では中腸腺などを低濃度酸性溶液に浸漬しながら電解操作を行うことによるカドミウム除去方法において、カドミウム除去効率に影響を及ぼすと思われる諸因子について検討し、その成果をもとにカドミウム除去パイロットプラントの試作・運転試験を行った。

その結果、酸浸漬－電解法におけるカドミウム除去効率に及ぼす諸因子の影響を明らかにするとともに、パイロットプラントを試作運転し、改良を加えることにより実プラント建設への見通しを得た。

1. はじめに

ホタテガイ加工場から排出されるホタテウロなどの加工残さは年々増加し、現在行われている陸上埋立処分では限界に達していることから、その代替処理として、有害な重金属を酸浸漬－電解法により除去し、飼肥料として有効利用する方法について検討した。

酸浸漬－電解法によるホタテウロからのカドミウム除去効率に影響を及ぼす因子は前報¹⁾で特性要因図を示したように、大きく分けてカドミウム浸出プロセスとカドミウム析出プロセスに関わる因子が考えられ、これまで主な因子についてその影響を検討してきた。

本報ではカドミウム析出プロセスに関わる因子のうち、カドミウム析出に妨害が懸念される共存成分について検討した。また、ウロの形状についてはこれまでは処理後の固液分離性、電解液の汚濁抑制等を考慮してボイルした原形のままで処理方法について検討してきたが、電解時間の短縮化を

図るために、ウロを乾燥粉末化またはボイルウロを粉砕してスラリー化して電解処理する方法についても基礎的な検討を行った。

また、最終的な重金属の処理システムを確立するために、陰極板上の析出物を酸性溶液中に再溶解した後、沈殿分離して乾燥物を得る方法について検討した。

さらに、上記の基礎研究成果をもとに、ホタテガイ副産物からの重金属除去パイロットプラントを設計・試作して運転実験を行い、カドミウム除去効率改善のための装置改良および最適処理システムの確立を図った。

2. 実験方法

2.1 カドミウム析出に及ぼす妨害成分の検討

(1) 銅イオンの影響

前報¹⁾では白金陽極を用いた際、白金が共存する塩化物イオンとの反応により電解液中に溶出して、陰極板に析出したカドミウムを再溶解させる現象が生じることを報告した。

*三英理工株式会社

試作カドミウム除去パイロットプラントでの電極棒の材質が銅であることから、一部銅が電解液中に溶解する現象が見られる。溶解した銅の大部分は電解により陰極に析出するが、電解液中にも残存し、カドミウム折出の障害が懸念されることから、その影響を調べた。

実験はウロを 1vol% 硫酸溶液に 24 時間浸漬して、カドミウムを十分浸出させた溶液 (Cd 濃度：8.8mg/L) を用いて表 1 に示す条件で電解を行い、電解 16 時間後 1,000mg/L 銅溶液 (CuSO₄・0.1M HNO₃) を 10ml 添加して、電解液中のカドミウム濃度変化を調べた。

表1 電解条件 (1)

電極面積 (cm ²)	80
極間距離 (mm)	80
電解液量 (L)	1
電 圧 (V)	4.0
電 流 (A)	0.5~0.8

(2) ウロ中の脂質濃度の影響

ウロ中に含まれる脂質は乾燥などの資源化工程で酸化され、飼料への利用に当たっては品質低下を招くことから、前段で脱脂する必要があることを昨年度報告している²⁾。

また、脂質濃度が高いとカドミウム除去工程においても、陰極板が汚れてカドミウム除去効率に悪影響を及ぼすことが懸念される。

そこで、M 社で脱脂処理したウロを用いて、表 2 に示す電解条件でカドミウム除去処理を行い、脂質濃度の除去率に及ぼす影響を調べた。

表2 電解条件 (2)

ウ ロ (g)	300
電解液 (ml)	900 (1vol. %H ₂ SO ₄)
電 流 (A)	1
電 圧 (V)	2.5~3.5
液 温 (°C)	25~33
時 間 (h)	24

2.2 カドミウム除去効率に及ぼすウロ形状の影響

本研究ではこれまでカドミウム除去処理の原料として、加工場から排出される形態で最も多いボイルした原形のウロを対象として検討を進めてきた。しかし、更に電解時間の短縮化を図るために、予め、ウロを乾燥粉末化またはボイルウロ

を粉碎スラリー化して電解処理する方法について検討した。

ウロの乾燥粉末化は約 60kg のボイルウロを乾燥機で 90℃×72h 乾燥後、コロイダルミルで粉碎した。得られた乾燥粉末の粒度分布は図 1 に示すように 300~1,000 μm の範囲に約 75% 存在している。

用いた実験装置は図 2 に示すように 1 槽式 (有効内容積 1.6L) で、ウロと硫酸溶液を混合した中に電極板を挿入し、ウロと硫酸液が極板の周りを循環するように、空気を水槽底部から吹き込んだ。

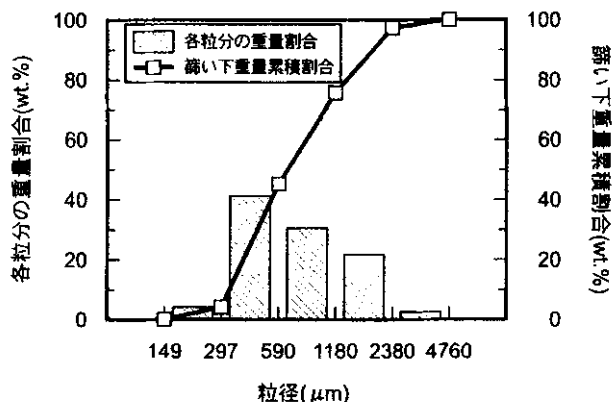


図1 ホタテウロ乾燥・粉碎物の粒度分布

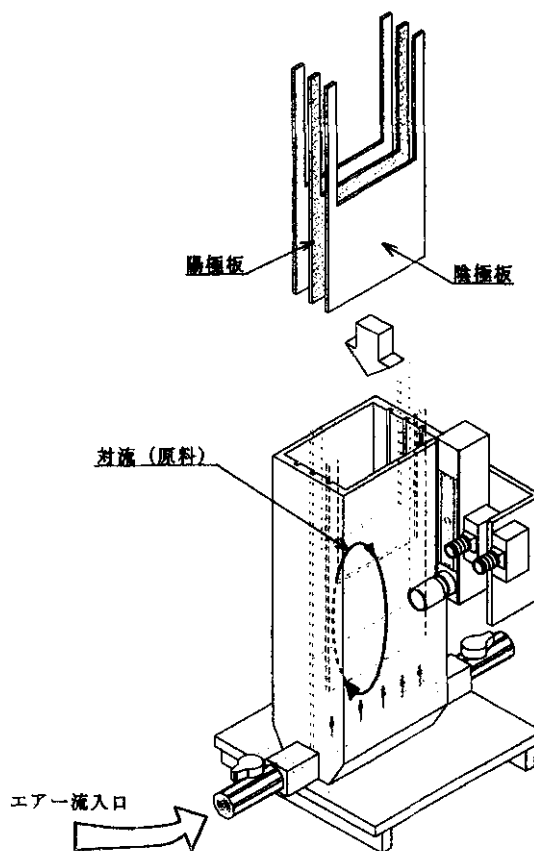


図2 電解実験装置 (スラリー状ウロ用)

実験条件は表3に示すように、乾燥粉末化したウロ 240g (湿重量では、水分75%と仮定すると960gになる)に1 vol.% 硫酸 1,200mlを加えて電解処理し、時間毎にピペット (20ml) で固液毎採取して、遠心分離 (2,000rpm×20min.) 後、液とウロ中のカドミウムを分析した。装置概観写真を図3に示す。

ボイルウロを粉碎スラリー化する方法は、ボイルウロ 700gに1vol%硫酸 700ml加えてミキサーで約10分間粉碎してスラリー状態にした後、上記の装置を用いて同様のカドミウム除去処理を行った。

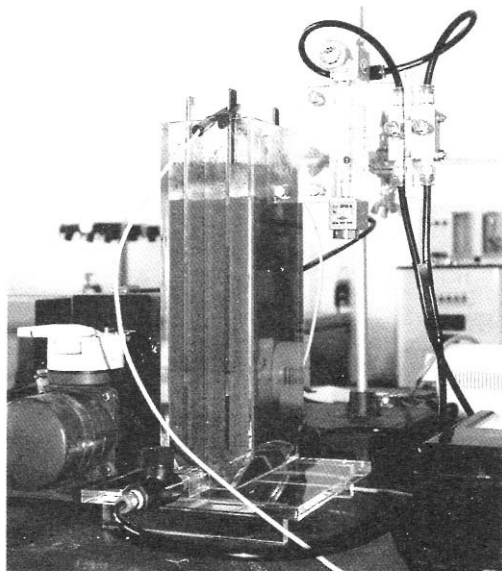


図3 乾燥粉末用電解装置

表3 電解条件 (3)

電流 (A)	1
電圧 (V)	4.2~6.2
陰極面積 (cm ²)	80
極間距離 (mm)	33
空気流量 (L/h)	200

2.3 陰極板上の析出物の回収

陰極板上の析出物については、金属カドミウム以外に亜鉛、銅などが含まれていることをX線析出により確認している¹⁾。これら重金属の処理方法としては陰極板を定期的に酸溶液に浸漬して、析出物を酸溶液中に溶かし込み、高濃度の溶液を得てから、アルカリを加えて水酸化物として沈殿分離する方法が最も簡便と思われる。また、析出物の陰極板上への付着力もあまり強固でないことから、定期的に析出物を除去して極板の素地を出した方がカドミウム除去効率の点からも有利

である。

実験は試作したカドミウム除去パイロットプラントで合計21回(ウロ処理量にして合計2.5t)の実験中、数回陰極板を5 vol.% 硫酸溶液 (148L) に浸漬した液を用いて、図4に示すフローに従って沈殿処理を行い、その後沈殿物を乾燥して、蛍光X線分析装置((株)リガク製 RIX3000)で半定量分析を行った。また、浸漬液についても誘導結合プラズマ質量分析装置(横河アナリティカルシステムズ(株)製 HP4500)を用いて半定量分析を行った。

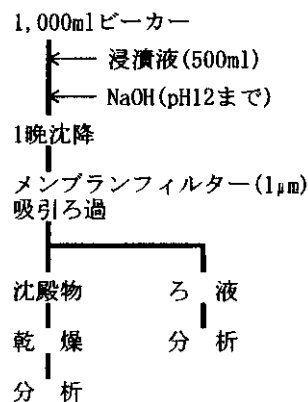


図4 陰極板浸漬液の沈殿処理フロー

2.4 カドミウム除去パイロットプラントの設計・試作および運転実験

カドミウム除去パイロットプラントの設計・試作は、次のような基本的なコンセプトに基づいて行った。

- ①処理能力は 100kg / バッチ程度とする。
- ②カドミウム除去処理後の中腸腺などのカドミウム濃度は 5 mg/kg 乾燥重量あたり(以下, mg/ 乾 kg と表示)以下とする。
- ③水槽などは耐食性を考慮して FRP 製とする。
- ④本体は作業性を考慮して、中腸腺などからカドミウムを浸出させる浸漬槽と浸出したカドミウムを析出させる電解槽は分離し、電解溶液は浸漬槽と電解槽をポンプにより循環させるセパレートタイプとする。

(1) ウロ処理量の検討

試作パイロットプラントは1 バッチ 100kg のウロ処理を目標に設計試作したが、電解槽のデットスペースが大きかったり、種々の実験を想定したため、配管距離が長くなり、電解液を浸漬槽と電解槽の間で循環させるのに 550L の電解液が必要となった。これまでのビークスケールの実験結果では固液比が 1 : 3(ウロ : 電解液) で、良好なカドミウム除去結果が得られていることから、固液比を考慮して、1 バッチでの処理量を増やす検討を行った。

実験は 1 バッチの処理量を 100, 120 および 150kg とし、

表 4 に示す条件 (1) で行った。

表4 電解条件

	条件 (1)	条件 (2)	条件 (3)
電 圧 (V)	4.7	4.7~6.7	4.7
電 流 (A)	132~163	127~284	125~132
液 温 (°C)	30	30	30
電解液量 (L)	550	550	550
循環速度 (L/min.)	70	70 (浸漬時) 100 (電解時)	50 (浸漬時) 70 (電解時)

(2) 連続カドミウム除去実験

電解液や極板の汚れがカドミウム除去率に及ぼす影響を調べるために、同一溶液による連続カドミウム除去実験を行った。実験方法は基本的には 24h 浸漬-24h 電解を 10 回行ったが、実験が休日にまたがる時はそれぞれ処理時間を延長した。1 回のウロ処理量は 120kg とし、表 4 に示す条件 (2) で行った。

(3) 浸漬-電解の繰り返しによるカドミウム除去実験

電解の効率化を図るために、前半 12~24 時間はウロの浸漬だけを行い、硫酸溶液中のカドミウム濃度が高くなった時点で電解を併用する方法を検討した。

また、インターバルを短くして、4h 浸漬-4h 電解を 4 回繰り返し、その効果を調べた。実験は、試作プラントは電解槽 1 つに対して 2 つ浸漬槽(A, B 槽) から成ることから、最初 A 槽にウロを投入して 4 時間浸漬だけを行い、その後 4 時間電解し、再び浸漬を 4 時間行った。一方、B 槽では同量のウロで 4 時間遅らせて実験を開始して、A 槽とは互い違いに浸漬-電解を繰り返した。電解は表 4 に示す条件 (3) で行った。

(4) カドミウム除去に及ぼす電解液循環速度の影響

これまでピーカースケール実験においてカドミウム浸出および析出に及ぼす電解液循環速度の影響について検討してきた。その結果、循環速度は浸出プロセスにはあまり影響がないが、析出プロセスに対しては影響が大きく、最適速度が存在することが明らかになった¹⁾。

実験はパイロットプラントを用いて表 5 に示す条件で、ピーカースケール実験と同様にカドミウムの浸出プロセスと析出プロセスを別々に分けて確認実験を行った。

表5 実験条件

浸 出		析 出	
ウ ロ (kg)	120	電解液 (L)	540
電解液 (L)	550	液 温 (°C)	30
液 温 (°C)	30	電 圧 (V)	4.7
循環速度 (L/min.)	50, 70, 100	循環速度 (L/min.)	50, 150, 240

3. 実験結果および考察

3.1 カドミウム析出に及ぼす妨害成分の検討

(1) 銅イオンの影響

図 5 に結果を示すように、電解液中のカドミウム濃度は電解 16 時間で 0.25mg/L まで減少し、銅溶液を添加した後も更にカドミウム濃度は減少し、銅イオンによる妨害は認められなかった。

白金溶液を添加した場合はカドミウムは白金よりイオン化傾向が大きいために、通電中にも関わらず、析出したカドミウムの再溶解現象が見られた。一般的に純金属ではカドミウムは銅よりもイオン化傾向が大きいと言われていたが、本実験では再溶解現象が認められなかった。

これは陰極板上への析出物は単金属だけではなく、多種類の金属が単体あるいは化合物として析出しているために、純金属におけるイオン化傾向の順位と異なることによると思われる。

なお、比較のために共存する亜鉛濃度の変化も調べたが、銅イオンの影響はカドミウムと同様に全く認められなかった。

したがって、電極棒から銅が電解液中に溶け込むことがあっても、カドミウム析出に対してなら悪影響を及ぼさないことが判った。

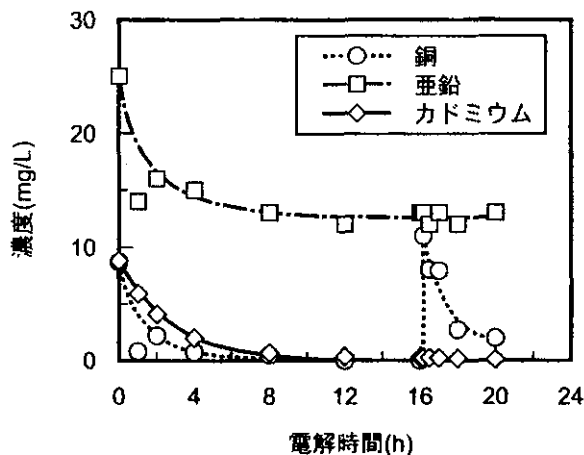


図5 カドミウム析出に及ぼす銅イオンの影響

(2) ウロ中の脂質濃度の影響

表6に結果を示すように、24時間処理後のカドミウム濃度はいずれの脂質濃度においても3mg/乾kg前後でありあまり差はなく、除去率も3者とも96～97%と高く、脱脂前後でカドミウム除去率に対する有意差は認められなかった。

ただし、今回は、それぞれ1回の実験であったために、有意差は現れなかったが、連続運転を行った場合にはその差が現れる可能性もあり、さらに検討の必要はあると思われる。

表6 脱脂処理のカドミウム除去への影響

	脂質分 (%)	Cd濃度 (mg/kg)		Cd除去率 (%)
		除去前	除去後	
原料ウロ	26.4	65.3	2.58	96.0
脱脂ウロ①	17.9	103	3.05	97.0
脱脂ウロ②	8.4	103	4.46	95.7

※脂質分、Cd濃度は乾重量ベース

3.2 カドミウム除去効率に及ぼすウロ形状の影響

(1) 乾燥粉末化したウロ

電解時間によるウロおよび電解液中のカドミウム濃度変化を図6に示す。電解液中のカドミウム濃度は実験開始30分後で12mg/Lに達し、粉碎することによりカドミウム浸出速度が非常に速まっていることが伺える。計算によると原料中のカドミウムがすべて浸出すると液中濃度は13mg/Lになることから、カドミウムの浸出反応は30分ではほぼ平衡に達していると推定される。

ウロの微細化によるカドミウム浸出速度の促進は嶋影らによって理論的に検討されていて、その理由として、ウロに含まれるカドミウム浸出反応の律速段階が、有機物内に存在するカドミウム表面における化学反応過程によることを示唆している³⁾。

一方、浸出速度の増大に伴いウロ中のカドミウム除去速度も早まり、電解8時間で5mg/乾kgまで減少している。これをウロ原形のままでのカドミウム除去実験と比較すると、電流密度および酸濃度以外の条件は装置が異なるために必ずしも同一条件ではないが、原形で処理した場合は5mg/乾kgまで減少するのに15時間要しているのに対して大幅に処理時間が短縮された。

ただし、この方法についてはカドミウム除去処理後の固液分離法の検討および最終的な乾燥物の飼肥料としての品質評価などの検討課題が残されている。

(2) ボイル後粉碎スラリー化したウロ

図7に実験結果を示すように、カドミウム除去速度はウロをスラリー化することにより更に早まり、処理量は異なるが電解5時間で5mg/乾kgに達している。これは、ミキサーで粉碎することによりウロが一層微細化されたことによると思

われる。

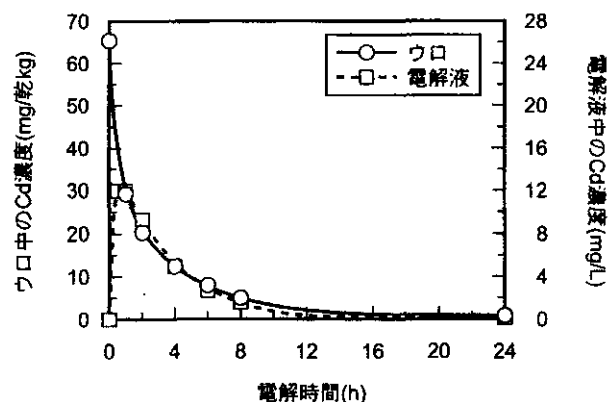


図6 乾燥粉末化したウロの電解実験

ただし、電解後のウロはどろどろになり、固液分離がかなり困難な状態となっている。また、スラリーが陰極板上に付着する現象が一部見られ、連続運転における除去率低下が懸念されることから、実用機においてはスラリーの付着防止法を検討する必要がある。

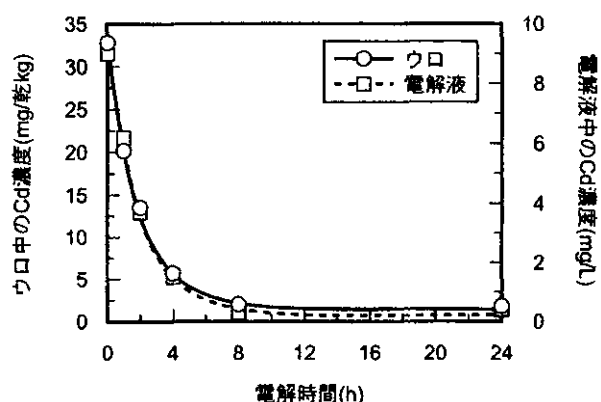


図7 ボイル後粉碎スラリー化したウロの電解実験

3.3 陰極板上の析出物の回収

陰極板上の析出物を溶かし込んだ硫酸溶液中の各元素濃度は表7に示すように、カドミウム濃度は340mg/Lであった。その他の元素として析出物である亜鉛、陰極板材料のステンレス鋼鉄の成分である鉄、ニッケル、クロムおよび電極棒の銅などが主な成分として検出された。

この溶液に水酸化ナトリウムを加えてpH12で重金属を水酸化物として沈殿分離させた後の上澄み液中のカドミウム濃度は0.0634mg/Lと排水基準(<0.1mg/L)以下であった。

また、乾燥物の組成は表8に示すようにカドミウム含有量は16.7%であった。一般にカドミウム製錬の対象となっている閃亜鉛鉱のカドミウム含有量は0.1～1.3%であることから、得られた沈殿物はかなり高品位な“カドミウム都市鉱物”と言えよう。また、この品位は析出物の溶解回数を増やすことにより更に向上することが期待できる。

表7 陰極板浸漬液 (mg/L)

	原液	処理後
Cd	340	0.0634
Fe	237	
Cu	170	
Zn	155	9.52
Cr	68	
Na	40	
Ni	35	
Ca	31	
Mg	9.1	
Pb	7.9	
Mn	3.9	
B	1.2	

表8 沈殿生成物 (%)

O	33.0
Cd	16.7
Fe	10.5
S	8.4
Cu	7.4
Na	6.6
Zn	6.6
Cr	2.7
K	2.4
C	1.8
Ni	1.4

(乾重量ベース)

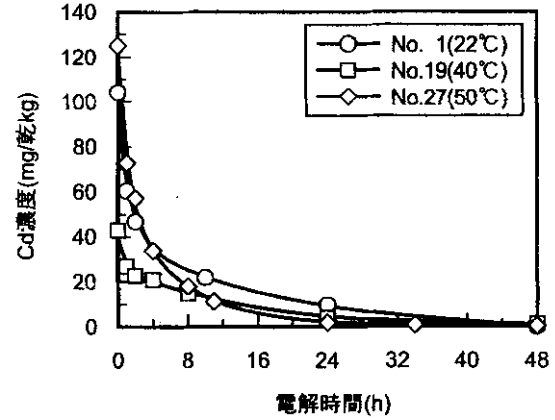


図9 カドミウム除去に及ぼす液温の影響

3.4 試作パイロットプラントの試運転

試作パイロットプラントの概観を図8に示す。パイロットプラントは試運転を行い、整流波形および浸漬槽底部の酸溶液吹き出し部などの改良並びに加温装置および消泡装置の追加などを行いカドミウム除去効率の改善を図った。

図9に硫酸溶液の液温を変えた時の実験結果を示す。原料ウロ中の初期カドミウム濃度が異なるために正確な比較はできないが、液温 22℃(No.1)では 24 時間処理で 9.58mg/乾kg までしか低減しなかったのに対して、41℃(No.19)では 4.12mg/乾kg, 50℃(No.27)にすると、初期濃度が 125mg/乾kg と非常に高かったにもかかわらず 24 時間電解後のカドミウム濃度は 1.85mg/乾kg と、最も低濃度であった。

このように加温による効果は顕著であるが、加温のためのエネルギーと装置に保温性を付与するなどのコストがかかるので、それらを考慮した総合的な検討が必要となる。

(1) ウロ処理量の検討

図10に結果を示すように、100kg 処理では 24 時間で 4.6mg/乾kg と当初目標値はクリアしているが、120, 150kg 処理ではそれぞれ 6.2, 6.4mg/乾kg と僅かに目標に到達していない。しかし、ピーカースケール実験において

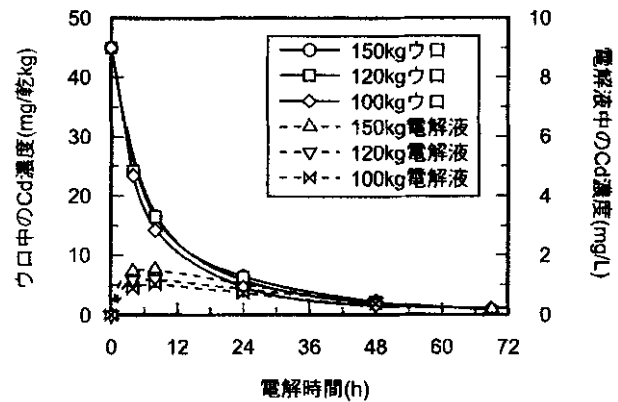


図10 ウロ処理量の影響

は固液比 1:2 でも良好な除去率が得られていることから、電解液の循環速度を早くするなど固液の接触効率を改善することにより 150kg 処理も可能と思われる。

(2) 連続カドミウム除去実験

図11に電解開始時からの原料中カドミウム濃度に対するカドミウム除去率を示す。カドミウム除去率は回数を重ねるにつれて少しずつ低下し、8 回目 (No.82) からその傾向は顕著になり、9 回目 (No.83) には除去率は大幅に低下した。そこで、極板を取り外して表面状況を調べた結果、図12に示すように陰極板上に微細なスラリー状のウロが付着していたので、陰極板を洗剤で洗浄して、再び 10 回目の実験 (No.84) を行ったところ除去率はかなり回復した。

このことから、連続処理中におけるカドミウム除去効率の低下は、電解液中の微細に破碎されたウロなどの懸濁物質が陰極板上に付着して、カドミウム析出サイトが減少すること、析出したカドミウムが付着物の存在のために陰極板との密着力が弱くなり、剥離しやすくなることに起因すると考えられる。

スラリー状ウロの陰極板上への付着は原料ウロの壊れ易さや、電解液の循環速度により異なると思われるが、効率的な

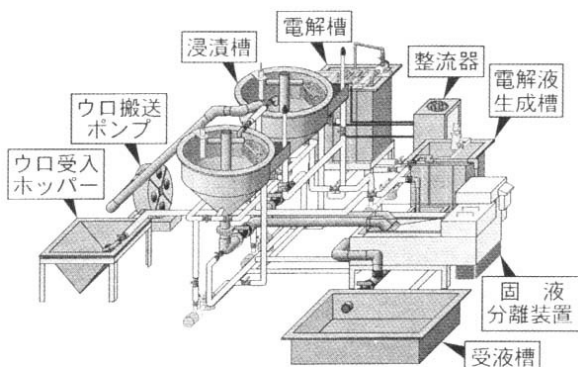


図8 試作パイロットプラントの概略図

カドミウム除去を維持するためには定期的（例えば5回に1回）に陰極板を清掃して付着物を取り除くとともに、析出した重金属も除去することが望ましい。

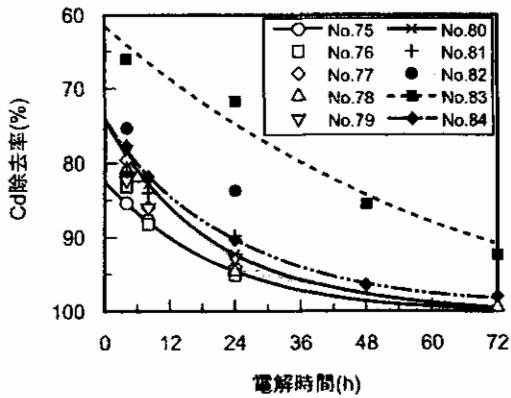


図11 連続カドミウム除去実験

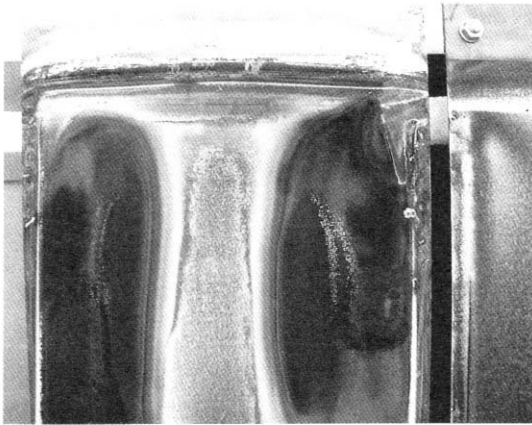


図12 9回連続実験後の陰極板

(3) 浸漬－電解の繰り返しカドミウム除去実験

図13,14に電解液およびウロ中のカドミウム濃度を示すように、実験No.2は24時間浸漬で液中カドミウム濃度はほとんど平衡に達し、その後の24時間電解処理でウロ中のカドミウム濃度を3.54mg/乾kgまで低減することができた。

一方、実験No.23,24は両者の原料中のカドミウム濃度が3倍以上違うが、12時間浸漬で両者とも液中のカドミウム濃度は平衡には達していない。しかし、その後の24時間電解処理でそれぞれ5.8,3.4mg/乾kgまで低下した。

4h浸漬－4h電解の繰り返し実験結果は図15に示すように、処理前半にはかなり効果が見られ、特に電解液中のカドミウム濃度に顕著にその効果が認められる。

本実験は条件を変えて2回行い、第1回（No.26）は処理量100kgで液温40℃であったのに対して、第2回（No.68）は処理量120kg、液温30℃と処理条件としては不利であったが、ほぼ同等の結果が得られ、最終的には16時間電解後（合計処理時間としては32時間）100kg処理で

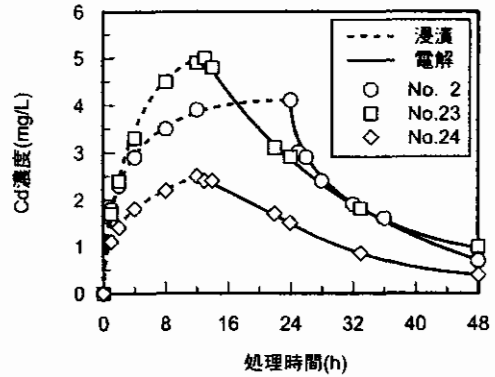


図13 浸漬－電解によるカドミウム除去（電解液中のCd濃度）

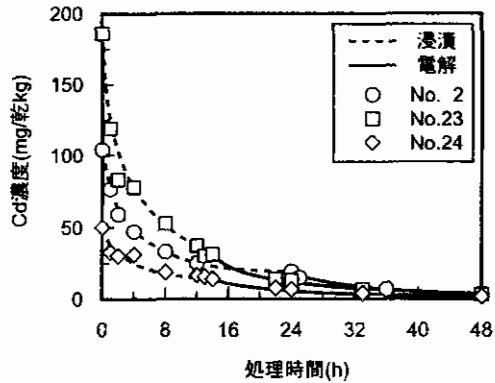


図14 浸漬－電解によるカドミウム除去（ウロ中のCd濃度）

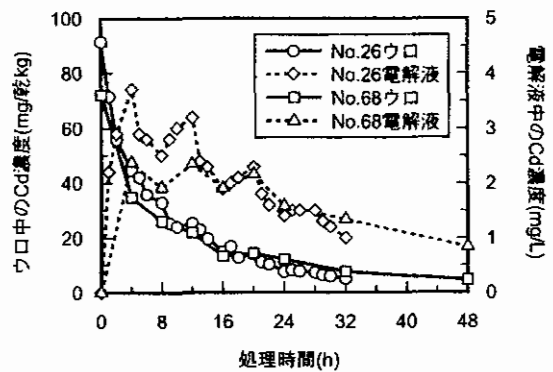


図15 4h浸漬－4h電解処理実験

5.1mg/乾kg、120kg処理で7.6mg/乾kgまで低減することができた。

ただし、本法は処理の前半は効果も顕著で消費電力節減に有効と思われるが、後半除去が進みカドミウムが低濃度になると、浸出速度が遅くなり、浸漬－電解の繰り返し効果も薄れることから、後半は通電して浸出と析出プロセスを同時に進行させる方が時間的に有利と思われる。

(4) カドミウム除去に及ぼす電解液循環速度の影響

カドミウム浸出に及ぼす循環速度の影響は図16に示すように、50～100L/min.の範囲では影響はなく浸出速度はいずれも同じであった。しかし、析出速度に対しては図17に示すようにピーカースケール実験で得られた結果と同様に影響があり、最適循環速度が存在することを確認した。

このように最適速度が存在するのは、循環速度が遅いと陰極板へのカドミウムの供給速度が遅くなるために析出効率が悪くなるが、循環速度があまり速くなると析出物の付着力はそれほど強固でないために水流により機械的に析出物が剥離してしまうためと推定される。

今回は実験数が少なく、厳密ではないが、パイロットプラントにおける最適循環速度は150L/min.で、これは極間での流速にすると0.04m/sとなり、ピーカースケール実験で得られた結果0.02m/sの2倍の速度となっている。

これはピーカースケール実験での極間距離が35mmであったのに対して、パイロットプラントでは45mmと広いことに関連すると思われるが、原因は不明である。

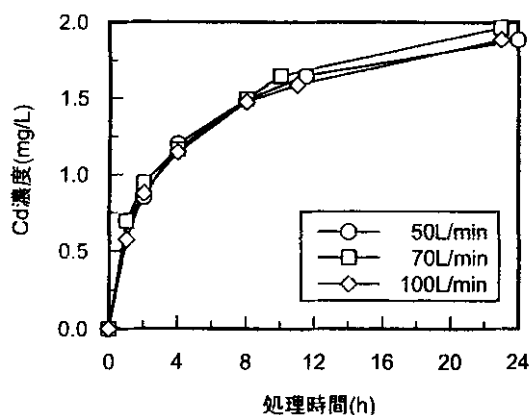


図16 カドミウム浸出に及ぼす循環速度の影響

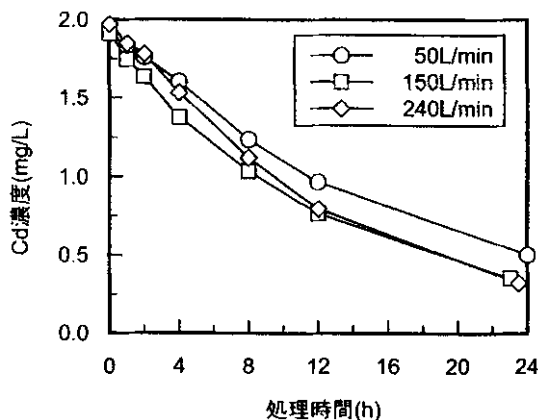


図17 カドミウム析出に及ぼす循環速度の影響

4.まとめ

以上の検討結果を要約すると次のようになる。

- ①電解法でのカドミウム除去において、妨害が懸念された無機物の銅イオンおよび有機物である脂質分はともに妨害は認められなかった。
- ②ウロを乾燥粉末化またはボイルウロを粉碎スラリー化して電解処理することにより、カドミウム浸出速度が早まり、大幅な処理時間短縮化の可能性が見出された。ただし、本法の実用化については処理後の固液分離など幾つかの検討課題が残されている。
- ③陰極板上への析出物は、希硫酸中に溶け込ませた後、沈殿分離して回収することにより、高品位なカドミウム都市鉱物が得られた。
- ④試作したカドミウム除去プラントでの運転試験の結果、幾つかの改良を加えることにより、実験室での実験結果を再現した。また、本プラントでは最大150kgのウロ処理が可能であることが示唆された。
- ⑤連続カドミウム除去実験の結果、スラリー状になったウロが陰極面上に付着すると、カドミウムの析出状態が悪くなり、除去率が低下することから、効率的なカドミウム除去を行うためには定期的に陰極板を清掃することが望ましい。
- ⑥(4時間浸漬-4時間電解)を繰り返す方法は、処理前半は効果が顕著に認められて処理コスト低減に有効であることを確認した。ただし、処理後半は浸出、析出両反応とも速度が遅くなり効果が薄れることから、後半は通電して、両反応を同時に進行させる方が時間的に有利と思われる。
- ⑦電解液循環速度はカドミウム浸出にはあまり影響はないが、析出に対しては影響があり、最適速度が存在することをパイロットプラントにおいても確認した。

謝辞

最後になりましたが、本実験を行うにあたり噴火湾海域漁業振興連絡協議会(会長長谷砂原町長)には原料ウロを手配していただいた。また、室蘭工業大学材料物性工学科嶋影和宜教授には電気化学の基礎理論をご指導いただいた。この場を借りて厚くお礼申し上げます。

参考文献

- 1) 作田庸一, 長野伸泰, 富田恵一, 斎藤隆之, 若杉郷臣: 北海道立工業試験場報告, No.297,p1-7,(1998)
- 2) 萺嶋裕典, 鎌田樹志, 内山智幸, 松嶋景一郎, 佐々木雄真, 尾谷賢, 浅野孝幸, 三津橋浩行, 清水英樹, 河野慎一, 秋葉 隆, 百島 敦, 明井 孝, 打田 悦, 藤江裕司: 北

- 海道立工業試験場報告, No.297,p111-117,(1998)
- 3) 嶋影和宜, 平井伸治, 戸田茂雄, 工藤孝敏:資源・素材
' 97 (秋季大会), 資源・素材学会, 平成9年9月