

平成18年2月14日

中央環境審議会水環境部会
第4回水生生物保全排水規制等専門委員会

我が国の鉍害防止施策について

経済産業省
原子力安全・保安院鉍山保安課

目次

1. 我が国の鉱山の現状
2. 鉱害防止対策の概要
3. 金属鉱業等鉱害対策特別措置法
4. 休廃止鉱山鉱害防止等工事費補助金
5. 改正鉱山保安法の概要

1. 我が国の鉱山の現状

奈良の大仏

建設：752年

高さ：15m、幅：12m

銅：499 ton

錫：8.5 ton

水銀：2.5 ton

金：440 kg

自由の女神

高さ46m、重さ：225ton



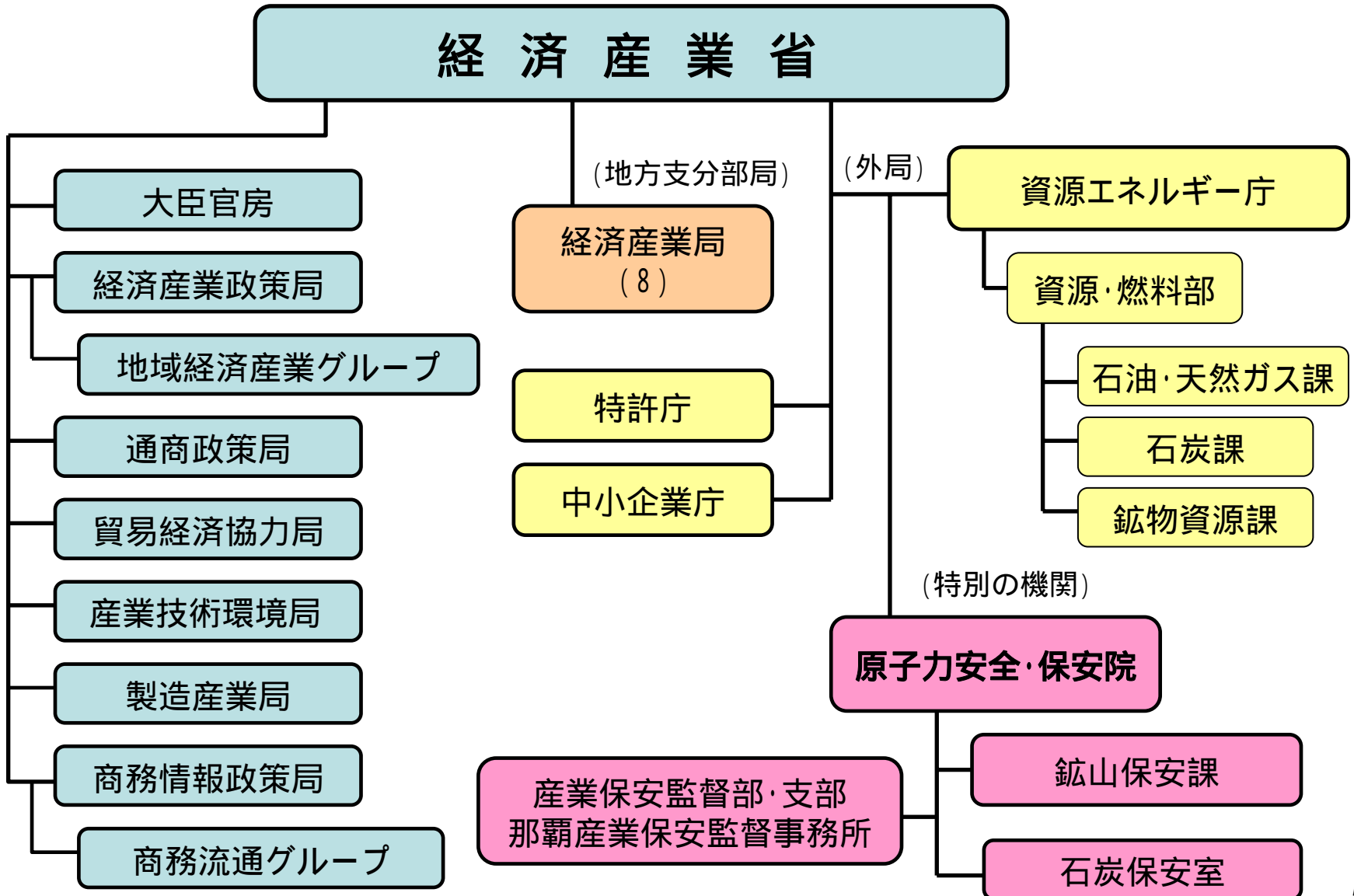
(1) 鉱種別鉱山数、鉱山労働者数

平成16年12月末現在

鉱種	稼行鉱山数	鉱山労働者数	休廃止鉱山数
金属	68	2,124	322
非金属	188	1,850	148
石灰石	292	7,483	55
石油・天然ガス	71	1,557	49
石炭・亜炭	16	902	51
合計	635	14,242	625

- (注) 1. 稼行鉱山数及び鉱山労働者数の数値は、鉱山保安統計年報(平成16年1月～12月)による。
2. 休廃止鉱山数は、休廃止鉱山のうち産業保安監督部が監督する必要があると認めた鉱山等の数値

(2) 経済産業省の組織図



2. 鉱害防止対策の概要

発生源対策

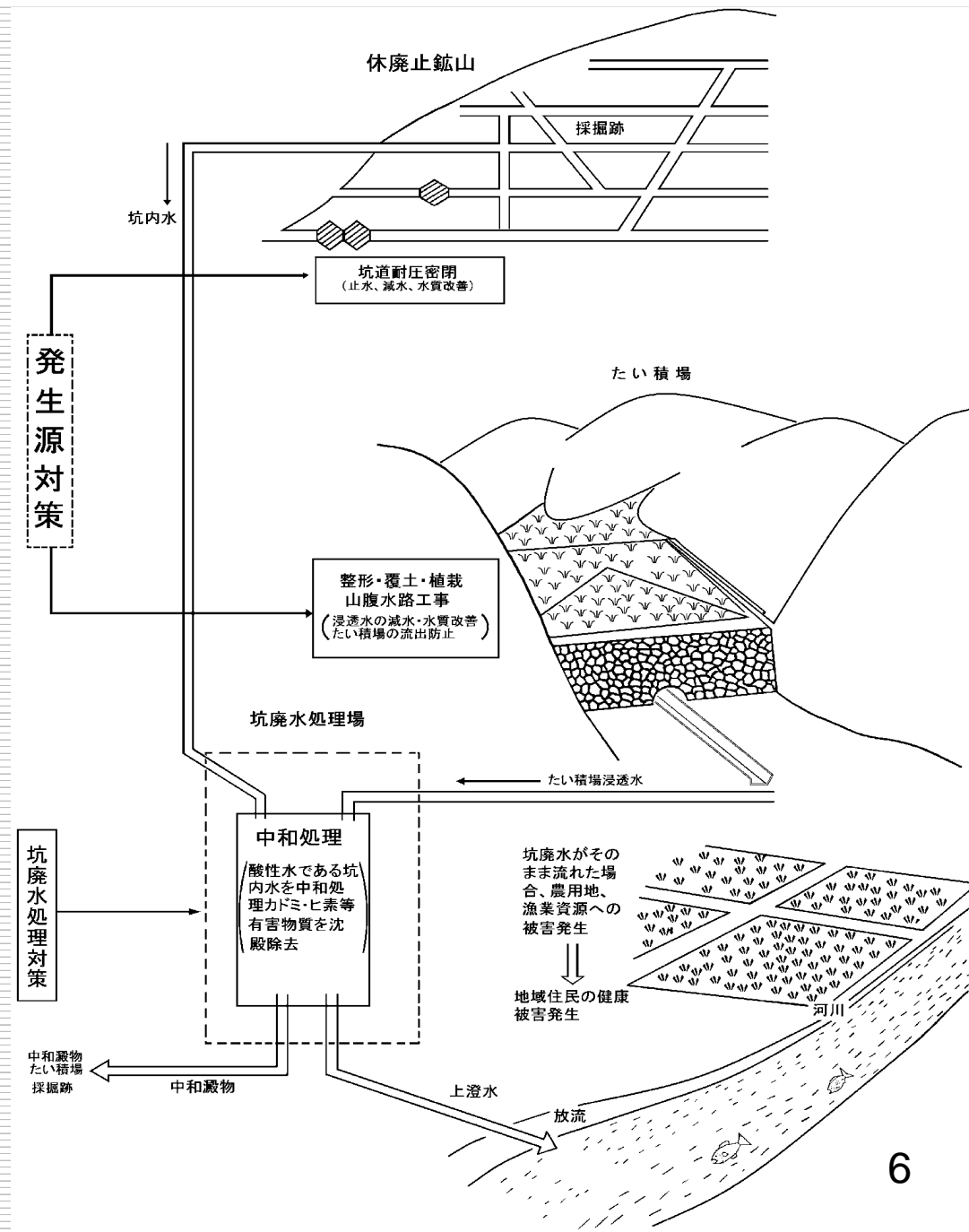
- ・坑廃水の流出を削減するための工事
(坑口閉そく、山腹水路、覆土植栽等)
- ・たい積物の流出防止工事
(かん止堤、擁壁の築造 等)

坑廃水処理事業

- ・坑廃水処理施設の設置
- ・坑廃水の中和処理

農用地土壌汚染対策

- ・たい積物及び坑廃水の流出に伴う汚染
農用地の復元
(上乗客土、排土客土、反転 等)
- ・地目変換(宅地、工場等に転換)



3. 金属鉱業等鉱害対策特別措置法

昭和48年(1973年)に制定

目的: 金属鉱業等の閉山後の鉱害防止の措置を計画的、かつ、確実な(永続的な)実施を図ること

内容

鉱害防止事業の実施に関する基本方針

鉱害防止積立金制度

鉱害防止事業基金制度

指定鉱害防止事業機関

鉱害防止事業の実施に関する基本方針

経済産業大臣の制定・公表

- 環境大臣への協議
- 中央鉱山保安協議会の意見聴取

基本方針で定める内容

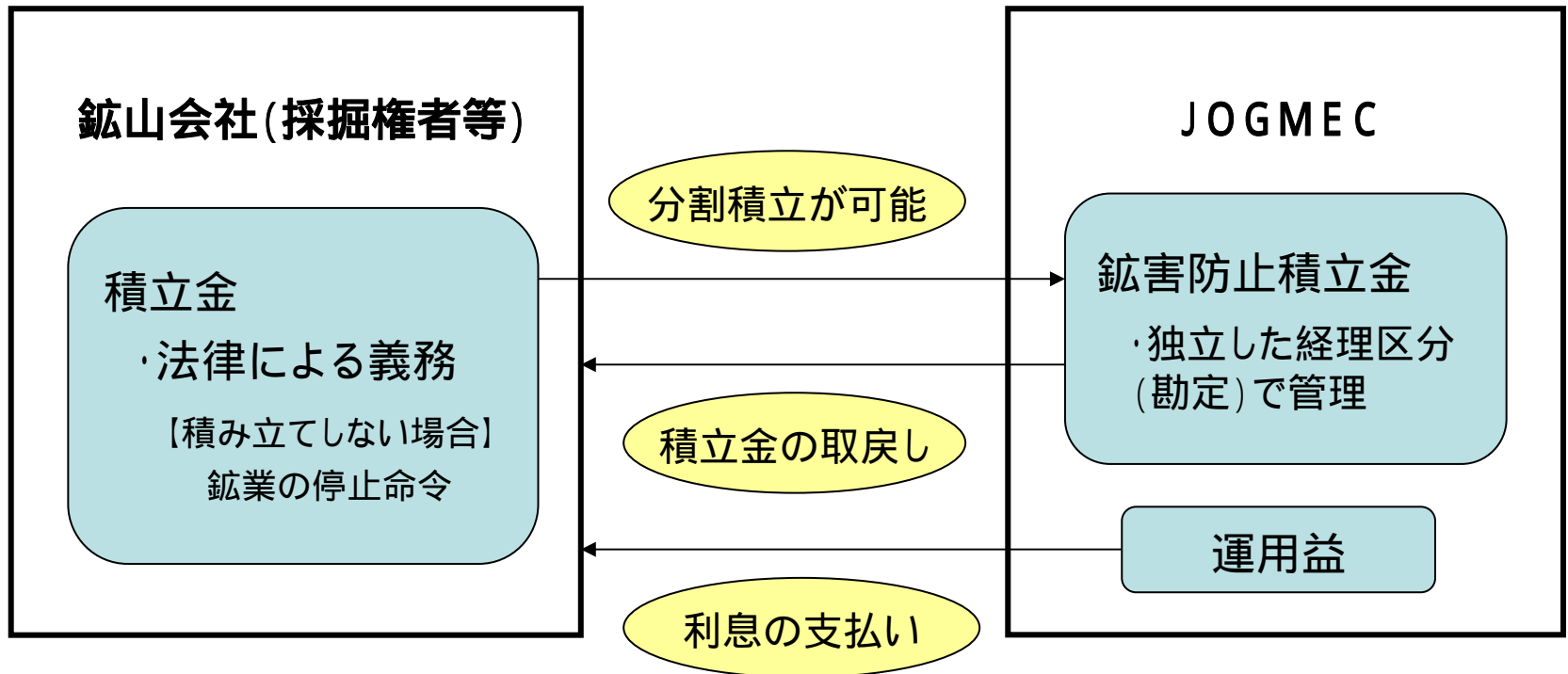
- 鉱害防止事業の実施の時期と事業量、鉱害防止事業の計画的な実施を図るため必要な事項

現行の基本方針

- 実施期間：平成15年度～平成24年度

鉱害防止積立金制度

金属鉱山等の採掘権者等は、施設(坑道及び集積場)の使用終了後に実施する鉱害防止事業に必要な費用を、あらかじめ(鉱山の操業中に)鉱害防止積立金として、積み立てることが義務づけられている。

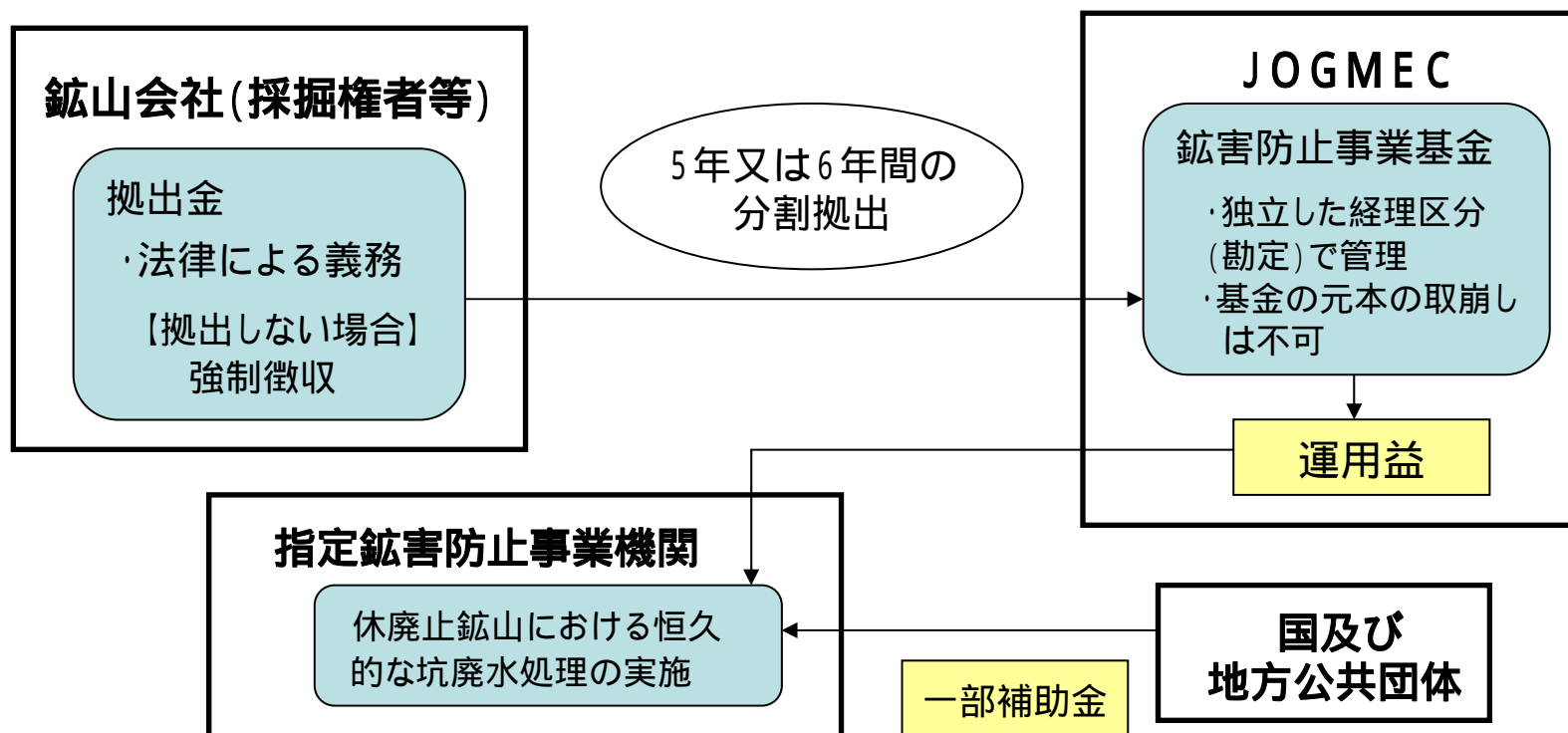


鉱害防止積立金の積立状況(平成17年3月末現在)

積立金累計額: 50億円、取戻累計額: 26億円、積立金管理額: 24億円

鉱害防止事業基金制度

金属鉱山等の採掘権者等は、鉱害防止事業を実施した後においても、坑廃水処理を実施しなければならない特定施設ごとに、当該鉱害防止業務を永続的に実施するために必要な費用の拠出が義務づけられている。



鉱害防止事業基金に拠出した又は拠出中の鉱山数: 22鉱山

鉱害防止事業基金管理額: 47億円(平成17年3月末現在)

指定鉱害防止事業機関

指定機関は、鉱害防止事業基金の運用収入により採掘権者等に代わり、坑廃水処理事業を実施する

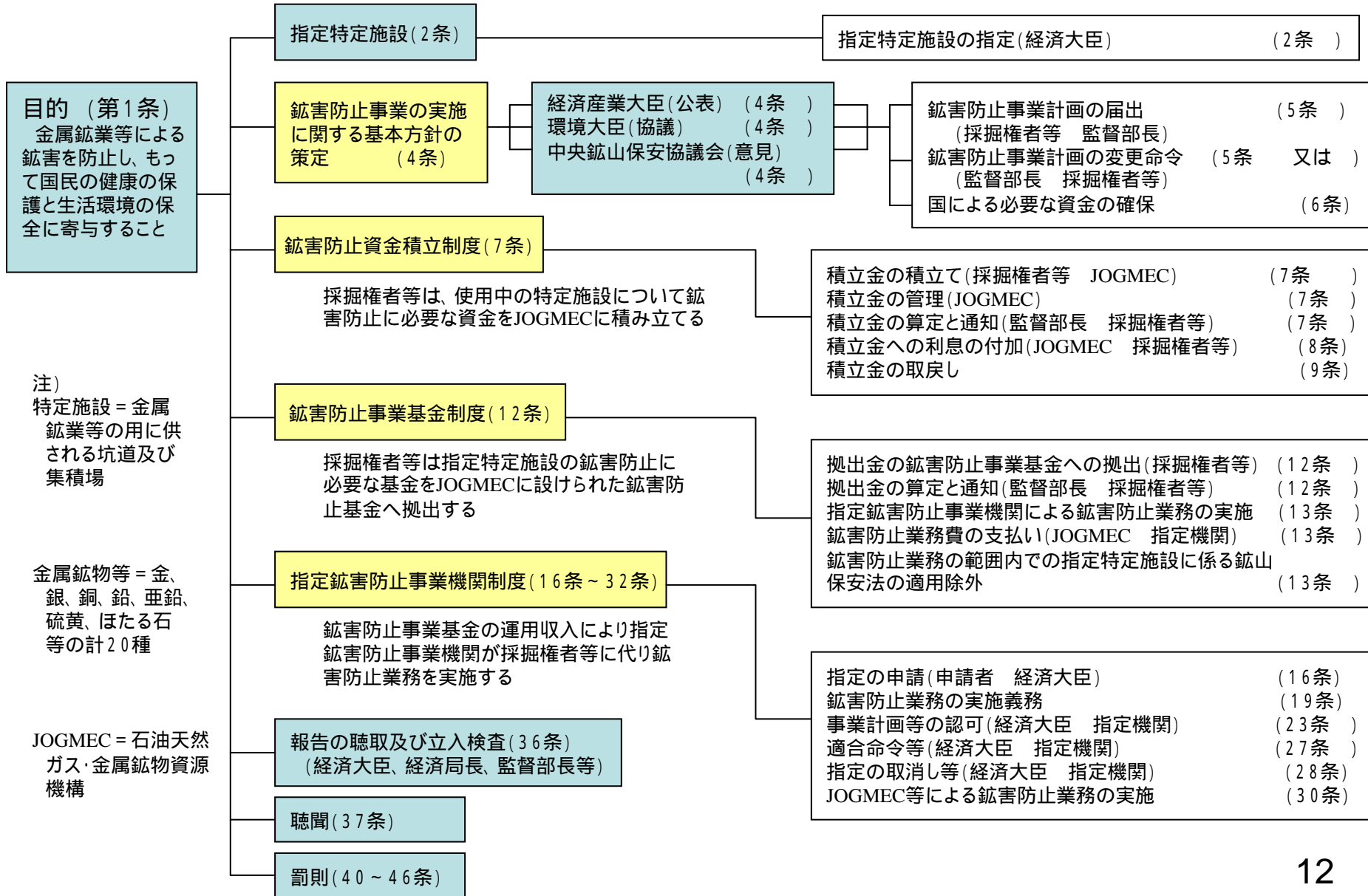
指定機関は、業務規程（経済大臣の認可事項）により鉱害防止業務を実施する

指定機関が鉱害防止業務を実施している範囲内において、採掘権者等には鉱山保安法の規定は適用しない

指定機関：財団法人資源環境センター

- 平成4年12月に設立
- 現在、21鉱山で坑廃水処理事業を実施中

金属鉱業等鉱害対策特別措置法の概要



4. 休廃止鉱山鉱害防止等工事費補助金制度

地方公共団体及び鉱害防止義務者(鉱業権者等)が行う鉱害防止事業に対して補助金の交付を実施

昭和46年度に創設

補助対象工事

義務者不存在分

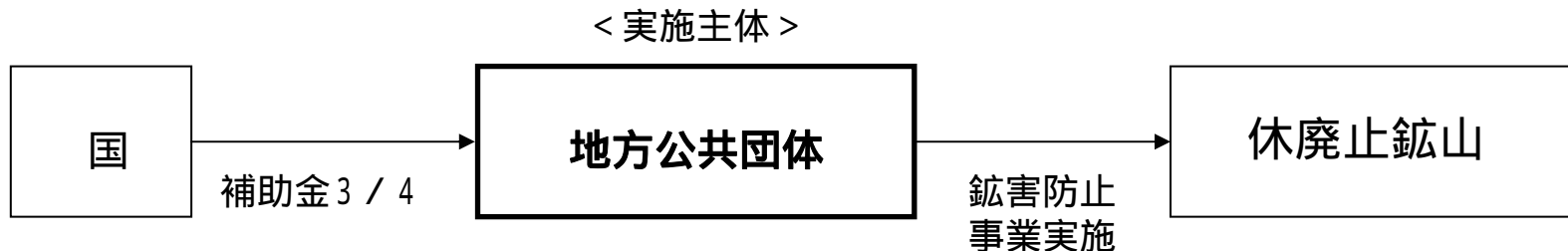
鉱害防止義務者が不存在又は無資力の休廃止鉱山について、地方公共団体が実施するたい積場の覆土・植栽、坑口の閉そく、坑廃水処理等の事業に対して補助金を交付

義務者存在分

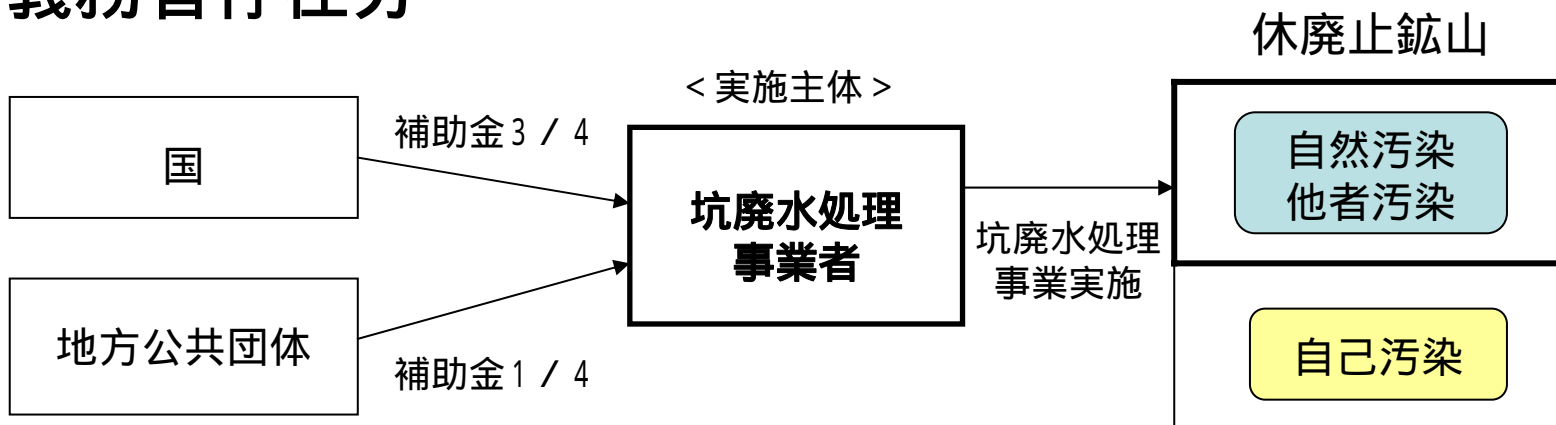
鉱害防止義務者が存在する休廃止鉱山について、鉱害防止義務者が実施する坑廃水処理事業のうち、原因行為のない汚染分(自然汚染、他者汚染)の処理費用に対して補助金を交付

休廃止鉱山鉱害防止工事費補助金のスキーム

義務者不存在分



義務者存在分



平成17年度予算額: 2,220 百万円

義務者不存在分 1,577 百万円

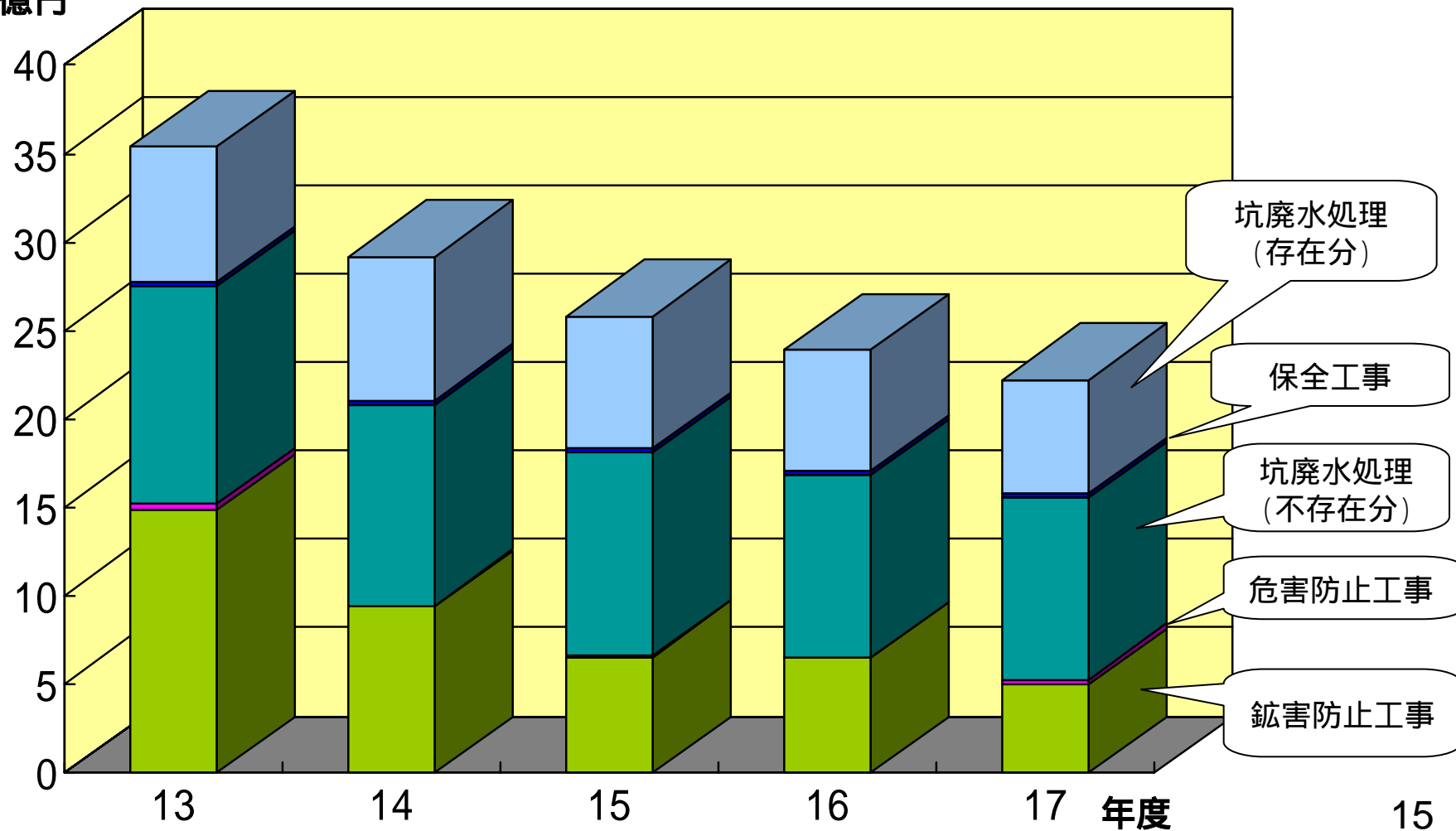
義務者存在分 643 百万円

 : 補助対象

最近の予算額の推移

亜炭鉱放置鉱口閉そく工事費を除く

億円



5 . 改正鉱山保安法の概要

(1) 鉱山保安を巡る状況の変化

	1964年	2004年
鉱山数	1 / 4 (2,451)	635)
うち石炭鉱山	1 / 20 (295)	14)
鉱山労働者数	1 / 20 (283,959)	14,242)
災害発生件数	1 / 940 (49,628)	53)
り災者数	1 / 1,320 (49,990)	38)

災害事由として、落盤など鉱山特有なものも残っているが、多くは鉱山労働者の不注意による墜落、転倒、機器の取扱中の事故であり、他産業でも見られるもの

直近5年間の災害の発生状況を見ると、鉱山の8割が無災害

災害率の改善状況は、昭和50年代に入り鈍化し、昭和60年代以降現在まで、ほぼ横ばいが続いており、更に保安を向上させるためには新たな手法が必要

(2) 法律改正のポイント

坑内掘り石炭鉱山の大幅な減少や保安水準の向上など
鉱山保安を巡る状況変化を踏まえ、

リスク・マネジメント手法の導入

- 鉱業権者が行う保安上の危険の把握とこれに対する対策の実施・見直し（リスク・マネジメント）を促し、鉱山に応じた適切かつ確実に保安を確保させるための制度を新たに導入

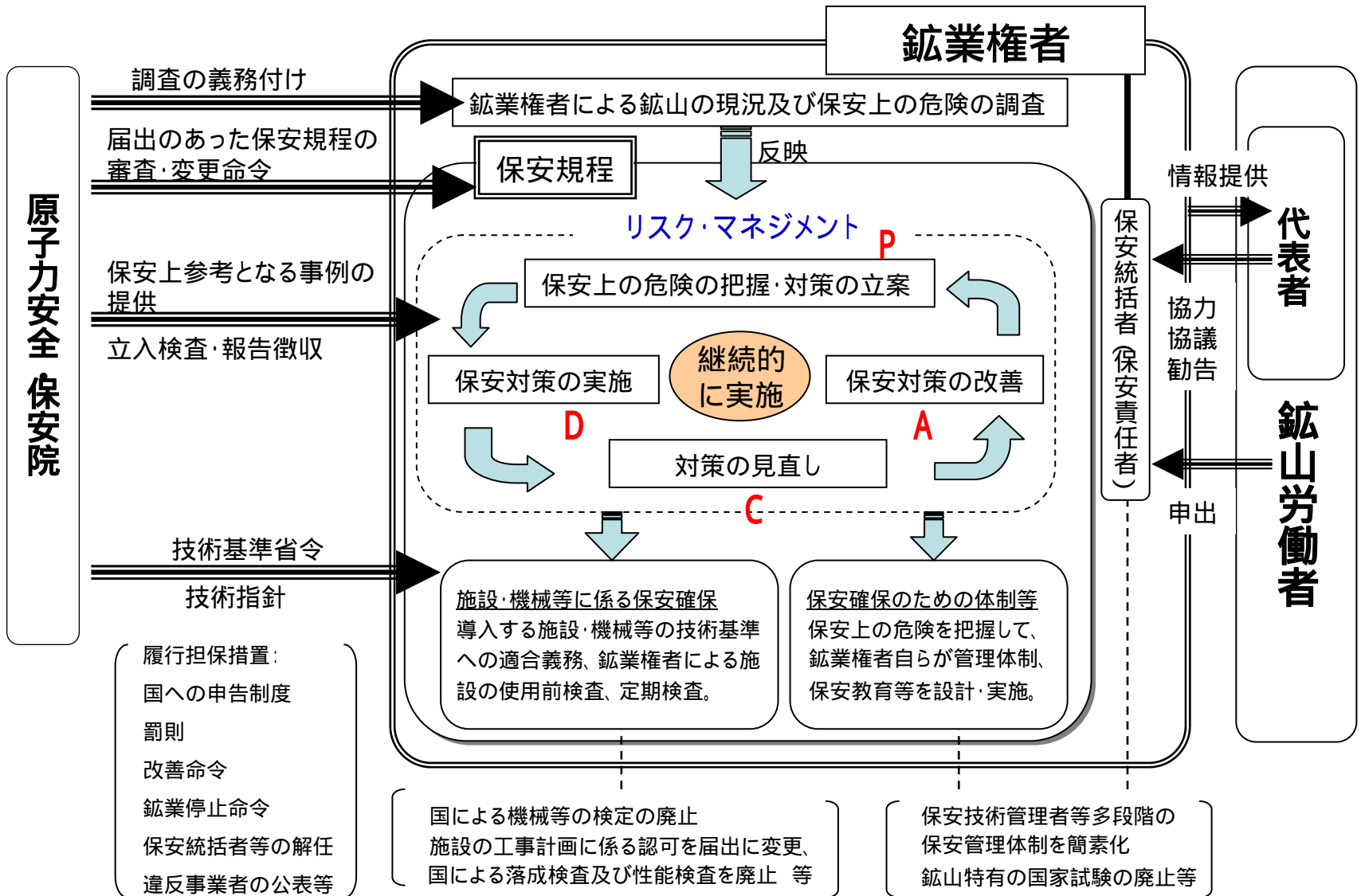
一律・事前の規制の大幅な整理・合理化

- 事前規制から事後規制へ
鉱山坑内用品検定制度、保安技術職員国家試験制度の廃止

規制の大括り化、性能規定化

- 災害の発生防止の観点から、詳細に規制を追加してきた鉱山保安規則（省令）を、実態に即して大括り化し規制の実効性を高める

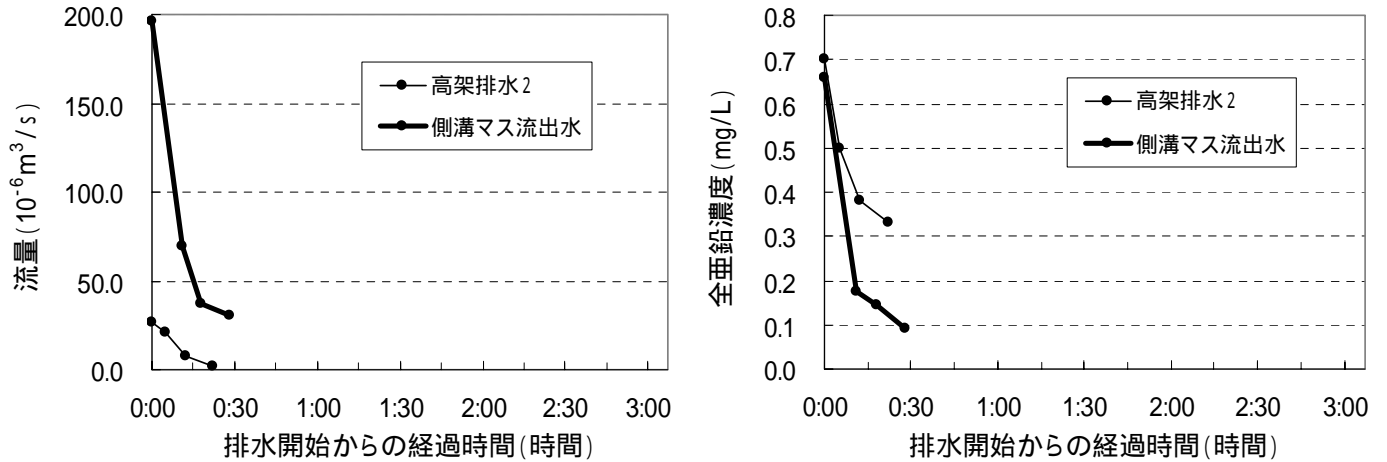
(3) 改正鉱山保安法の規制体系



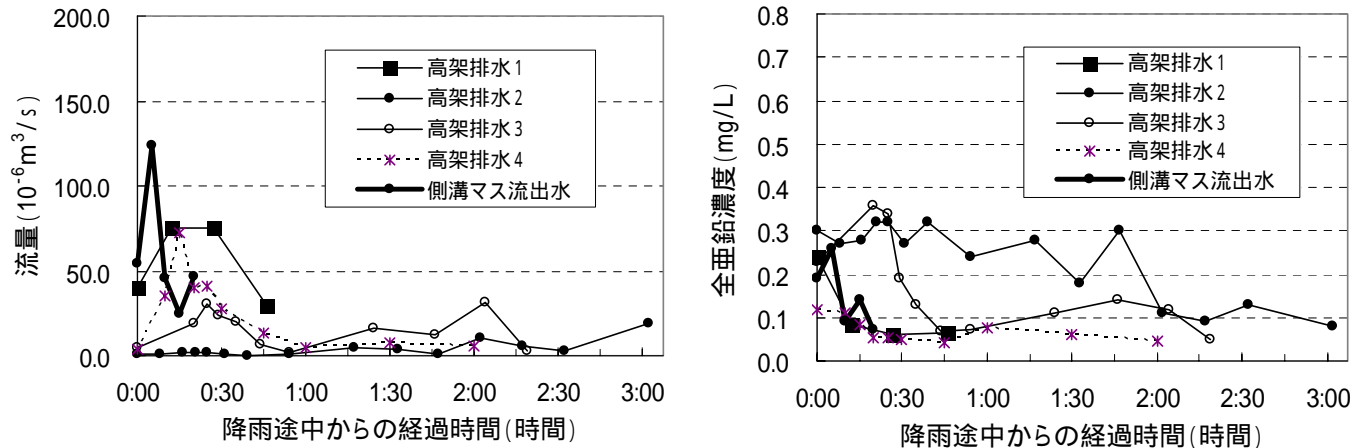
路面排水における亜鉛濃度

交通量が異なる5種類の道路(主要地方道および一般県道)を対象に、降雨時(降雨量の異なる時期2回)における路面排水の亜鉛濃度を調査した。サンプリングは、雨水のみが流出している雨水管排出口等において行った。

【一時的な降雨時における降り始めからの濃度変化】
(総降水量 0.71mm : 1時間換算 1.06mm)



【断続的な降雨時における降雨途中からの濃度変化】
(1時間降水量最大 4.5mm)



至近の道路交通センサス等に基づく道路交通量(平日昼間12時間合計)

高架排水1	: 13, 567台	高架排水2	: 12, 350台
高架排水3	: 1, 630台	高架排水4	: 125台
側溝マス流出水	: 3, 920台		

上記の道路交通量は、排水に寄与する車線に係る換算を便宜的に行っている。例えば、排水に寄与する車線が片側のみの場合、上下線ともに交通量が同等であると仮定し、便宜的に半分の交通量としている。

公共用水域における農薬類の検出状況

($\mu\text{g/L}$)

物質名	実施年度 * 2	検出数/検体数	検出範囲	検出限界
マンゼブ * 1	H 1 0	0 / 7 4 7	ND	0. 2
ジネブ	H 1 2	1 / 5 0	ND~0. 1	0. 1
ジラム	H 1 0	0 / 7 4 7	ND	0. 2
	H 1 2	1 / 2 5	ND~0. 2	0. 1

- * 1 検出状況はマンゼブ、マンネブ、ジネブをナトリウム塩にした後、誘導体化し含量したものを標記
- * 2 「環境ホルモン戦略 SPEED' 98 関連の農薬等の環境残留実態調査の結果について」(環境庁水質保全局土壌農薬課) 及び「平成 12 年度農薬の環境動態調査の結果について」(環境省環境管理局水環境部土壌環境課農薬環境管理室) から抜粋

1. 「環境ホルモン戦略 SPEED' 98 関連の農薬等の環境残留実態調査の結果について」 (環境庁水質保全局土壌農薬課)

○概 要

- ・全国 2 4 9 地点で年間 3 回測定しており、検体数は 7 4 7 検体。
- ・採取時期は採取地点により若干異なっているが、概ね 7 月、9 月、11 月の計 3 回実施している。

2. 「平成 12 年度農薬の環境動態調査の結果について」

(環境省環境管理局水環境部土壌環境課農薬環境管理室)

○概 要

- ・農薬の使用時期及び地域性を考慮して調査を実施。
- ・マンゼブ、ジネブについては埼玉県と和歌山県で、ジラムについては埼玉県で実施。

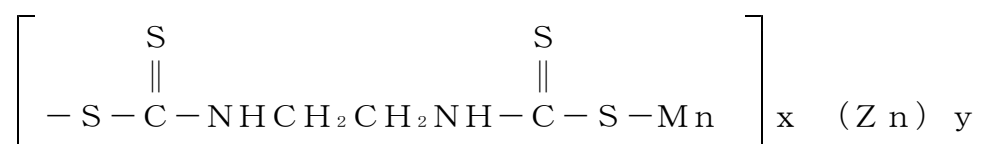
- ・調査箇所は、1 県につき 5 地点で実施。
- ・試料採取時期としては、6 月下旬～7 月上旬、7 月、8 月、9 月、11 ～ 12 月の 5 つの時期で実施。
- ・農薬使用時期としては、マンゼブ、ジネブについては、果樹を対象に埼玉県で 5 ～ 7 月、和歌山県で 4 ～ 8 月、ジラムについては、果樹を対象に 5 ～ 6 月となっている。

(参考)

○マンゼブについて

N,N' -エチレンビス (ジチオカルバミン酸) マンガンと N,N' -エチレンビス (ジチオカルバミン酸) 亜鉛の錯化合物の別名

構造式



マンゼブについて (化学物質ファクトシート 2003年度版 環境省より抜粋)

- ・マンゼブは、果樹や野菜、花卉類などの病害防除に使われる殺菌剤です。一般的には水和剤として製品化されたものを、水で希釈して使用します。
- ・2002年度のPRTRデータでは、環境中への排出量は約2,900トンでした。ほとんどが農家から排出されたもので、ほとんどが土壌へ排出されました。

用途

マンゼブは1961年にアメリカで開発された、果樹や野菜などの病害防除に使われる殺菌剤です。水に溶けにくい粉末で、白色あるいは黄色を帯びた色をしています。一般的には、微粒子状のマンゼブに界面活性剤などを加えた水和剤として製品化されており、水に希釈させて使用します。日本では1964年に農薬登録がされています。

べと病、さび病、黒点病、黒星病、炭そ病、黒斑病、つる枯病など広範囲の病害の防除を目的として、りんご、ぶどう、なし、かき、かんきつ類などの果樹や、メロン、キュウリ、スイカ、キャベツ、ネギ、トマトなどの野菜、イモ類、マメ類、花卉類などの幅広い作物に適用されています。マンゼブ単独で使用されるほか、ほかの農薬と混合されて使用されることもあります。なおマンゼブの病害防除は、散布された薬剤が植物の表面を覆って皮膜をつくり、病原菌の侵入を防ぐことによるものであるため、一般に病原菌に感染する前に散布する方法がとられています。

排出

2002年度のPRTRデータによれば、約2,900トンが環境中へ排出されたと見積もられています。ほとんどが農家から排出されたもので、ほとんどが土壌へ排出されました。

排出量 (2002年度 PRTRデータ)	環境排出量：約2,900トン		廃棄物への移動量：約0.3トン		届出排出量構成比 (上位5業種、%)
	排出源の内訳(%)		排出先の内訳(%)		
	事業所(届出)	0	大気	0	全体の届出排出量が約6kgのため省略します
	事業所(届出外)	0	公共用水域	-	
	非対象業種	100	土壌	100	
	移動体	-		-	
	家庭	-	(届出以外の排出量も含む)		

注) 排出量の内訳で「-」は排出量がないこと、「0」は排出量はあるが少ないことを表しています。

環境中での動き

環境中での動きについてはデータがありません。殺菌剤として果樹、野菜などに散布された後、土壌に吸着されるものと考えられます。土壌中では70日で半分の濃度になるとされています。また、水中では17時間で半分の濃度になるとされています。

亜鉛の処理技術について

亜鉛などの重金属の処理法は大別すると、金属イオンを水酸化物や硫化物などの難溶性塩として沈殿除去する「凝集沈殿法」と、イオン状態のままイオン交換樹脂や活性炭などの吸着剤で処理する「吸着法」がある。

凝集沈殿法は、処理操作や処理設備が簡単であるため、適用例は最も多い。

シアノ錯体を形成している場合は、酸化分解の前処理が必要である。

重金属キレートを形成している場合は、単純な水酸化法での処理は困難であり、凝集沈殿法の一つである共沈や置換法が有効なこともある。

吸着法のうち、「イオン交換樹脂法」は一般には、同時にすべてのイオンが除去されるため水回収に適用される。また、キレート樹脂は特定金属を選択的に処理できるため、凝集沈殿処理水の高度処理に適用されている。

(a) 凝集沈殿法

7. 水酸化物法

排水にカセイソーダ(NaOH)や消石灰(Ca(OH)₂)あるいはソーダ灰(Na₂CO₃)などのアルカリ剤を添加してアルカリ性にしたとき、水酸化物あるいは塩基性炭酸塩が析出する。本法を用いる場合、沈殿 pH 領域や処理到達値の予測あるいは必要薬品量の算定に必要な溶解度積に留意しなければならない。ただし、単一金属イオンが排水中に溶存することはまれであり、2～3種以上が共存することが多い。このような排水では、共沈現象や共通イオンの効果により溶解度積から予測される pH より低い pH で沈殿が生じる。

本法は、

- 1) 薬注制御が pH 計で可能であり、共沈効果が期待できる。
- 2) 処理薬剤の入手が容易。
- 3) ランニングコストが安い。
- 4) 亜鉛の場合、水酸化物の析出に適した pH の範囲は 9～10.5 である。
- 5) pH を 11 以上にすると水酸化亜鉛は再溶解する。
- 6) 凝集沈殿では小さなフロックは必ず発生するので、キャリアーオーバー分の捕集にろ過設備が必要である。

1. 置換法

めっき工場、電子部品・機械部品製造工場、自動車工場からの排水には、クエン酸、グルコン酸などの有機酸、EDTA、シアン、アミン、アンモニア及びポリリン酸など錯生成能力を持つ化合物が含まれ、水酸化物法では処理できない事例が多くなっている。

置換法は、重金属錯体を含む排水に、無害な対イオンを添加して、重金属と置換し、重金属を水酸化物として分離する方法である。置換に使用する薬剤としては、カルシウム、マグネシウムなどのアルカリ土類金属が使用されるが、鉄塩を併用すると効果的な場合もある。

置換法は、有機酸錯体、EDTA 錯体には有効であるが、アルカリ土類金属と錯体を形成しないキレート剤、例えばアンモニア、アミン類に対しては効果の低い場合もある。

クエン酸 1000mg/L と各種重金属をそれぞれ 20mg/L 含む合成排水を、消石灰だけで pH 調整した場合と鉄塩 + 消石灰で処理した場合の比較例、及び、自動車工場における塗装実排水を各種沈殿法で処理した例を示す。

クエン酸錯体の処理 (pH11)

(単位: mg/L)

処理水 処理方法	Cd	Ni	Zn	Cu	Pb	Cr
消石灰中和法	4.5	11.1	4.4	16.5	2.6	14.9
塩化鉄()併用法*	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.32

(注) *塩化鉄()添加量1000mg/L (鉄として)

自動車塗装排水の凝集沈殿処理

(単位: mg/L、pHを除く。)

処理水		pH	COD	Zn	Cu	Ni	Fe
原水		6.0	140	68.4	3.0	7.5	4.5
アルカリ沈殿法	NaOH中和	11.0		15.5	<0.1	2.2	0.3
鉄共沈法	Fe ³⁺ 200mg/L併用	11.0		10.8	<0.1	1.2	7.7
Fe+Ca法	NaOH中和						
	Fe ³⁺ 200mg/L併用	11.0	98	0.23	<0.1	<0.1	<0.1
Mg法	Ca(OH) ₂ 中和						
	Mg ²⁺ 200mg/L併用	11.0	96	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
	NaOH中和						

ウ. 液体キレート法

亜鉛等の重金属類含有排水に対して液体キレート剤(高分子重金属捕集剤)を添加し、水に不溶な塩を形成させて、これを無機凝集剤や高分子凝集剤を用いて凝集・除去する方法である。液体キレート剤は、広い pH(4 ~ 10)で適用可能であり、中性付近で処理が可能という特徴を持つ。

ただし、水酸化物法と同様に、共存物質(アンモニウムイオン、シアニオン等)を含有する排水では、これらの成分による阻害を受ける。

砂ろ過の前段の凝集沈殿処理において、液体キレートで凝集状況を改善し、キャリアー分の低減や、ろ過への負荷軽減を図る場合があるが、あくまでも補足的な使用であり、最初からキレート剤を入れるのではなく、事前に鉄等で十分濃度を下げてから添加する。

I. 硫化物法

水に極めて難溶な硫化物として沈降分離する方法である。硫化物の沈殿物は一般に沈降性が悪いため、ポリ塩化アルミニウムや塩化鉄などの凝集剤を加える。

硫化物法は、pH 中性領域での処理が可能など有害金属処理法として優れた一面がある。また、金属硫化物の溶解度積はその水酸化物よりも小さく、硫化物沈殿の生成によって水酸化物法よりも低い残留濃度まで重金属イオンを除去できることが期待される。しかし、硫化水素の毒性、腐食性、強烈な臭気のため、排水処理に適用される例は少ない。

(b) 磁気分離法(フェライト法)

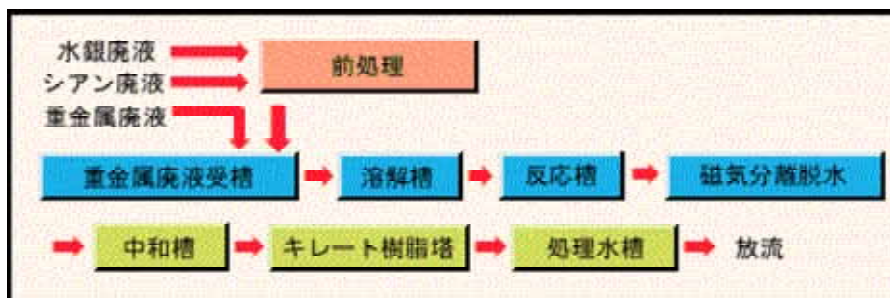
マグネタイトは $M\text{O} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ (M: Fe、Co、Mn、Ni、Cu、Mg、Zn、Cdなど)で表されるスピネル形結晶を持つフェライト固溶体の総称である。鉄()イオンを含む溶液にアルカリを加え、酸化処理を行うと、強磁性であるマグネタイトが生成する。

この反応は、他の重金属が共存する場合も同様に起きる。一度水酸化物の沈殿が生じ、次いでこれが再溶解、酸化、縮合、脱水反応を経て、最終的に黒色のスピネル構造を持つフェライトが生成する。

マグネタイトの最適生成条件は、反応温度60 以上、 $2\text{NaOH}/\text{FeSO}_4 = 1$ (モル比)、pH9 以上のアルカリ性である。フェライト処理は、各種重金属の一括処理が可能、フェライトの結晶構造に取り込まれた重金属は、スラッジから溶出しにくい。また強磁性体であるため、磁気分離機でスラッジと処理水の分離が可能などの特徴がある。分離されたスラッジは副成フェライトとして、制振材料(防音、防振)、磁気標識(標識、誘導)、電波吸収体(反射防止、漏えい防止)などの材料として有効利用できることなどの理由から、濃厚重金属廃液の処理に適している。

重金属の一括処理が可能なフェライト法においても、共存物質の種類によっては付帯設備あるいは前処理が必要となる。例えば、EDTA や有機酸のようなキレート剤が共存する場合は処理不全となるため、前処理として酸化処理が必要である。

フェライト法処理工程概略



(c) 吸着法

ア. イオン交換樹脂法

イオン交換樹脂は、水中のイオンを交換吸着するものである。一般的にイオン交換樹脂は比較的高価であるので、再生して使用することが前提であるが、その再生に薬剤費が必要なため、特別な場合を除いて有価金属の回収や工程水の回収などの目的に使用される場合が多い。したがって、他の重金属処理方法と比較して、対象イオンの濃度が低く、排水量が大きい場合に有用な方法である。

処理水質が安定しているが、原水に共存する同電荷のイオンが多量に存在すると、目的のイオンが除去できないときがある。このような場合、目的のイオンだけを選択的に吸着するキレート樹脂を用いることがある。代表的なキレート樹脂には配位基によりイミノ二酢酸形、ポリミアン形、アミドキシム形などがあり、それぞれ吸着する金属の選択性を有している。

重金属除去に用いられる代表的なキレート樹脂

配位基	選択性
イミノ二酢酸形	$Fe^{3+} > Cu^{2+} > Al^{3+} > Ni^{2+} > Pb^{2+} > Zn^{2+}$ $> Ca^{2+}, Mg^{2+} > Na^+$
ポリミアン形	$Au^{3+}, Pt^{2+}, Pb^{2+}$ を選択的に吸着
アミドキシム形	$Cu^{2+} > Ni^{2+} > Co^{2+} > Zn^{2+} > Mn^{2+}$
グリカミン形	Bo_3^{2-} を特異的に吸着
アミノリン酸形	$Fe^{3+}, In^{3+}, Bi^{2+}, Sb^{3+} > Cu^{2+}, Al^{3+}$ $> Cd^{2+} > Ni^{2+}, Zn^{2+} > Ca^{2+}, Mg^{2+} > Na^+$

1. 鉄粉法

鉄片を酸性溶液に接触させると表面が溶解し、新鮮な金属面が現れる。この金属表面は、活性に富んでおり、共存重金属はイオン化傾向の差により還元析出する。この原理は、鉱山排水においてはドライコ法と呼ばれ、くず鉄を利用して銅の回収 ($\text{Fe}^0 + \text{Cu}^{2+} \rightarrow \text{Fe}^{2+} + \text{Cu}^0$) に適用されていた。

鉄粉法は、重金属含有排水の処理に上記の金属鉄の還元作用と、溶出した鉄イオンの共沈作用を応用したものであるが、多孔性で比表面積の大きい特殊鉄粉の使用により、化学的・物理的吸着機能が付加され、イオン化傾向からは処理が困難と考えられていた Zn^{2+} 、 Cd^{2+} 、 Ni^{2+} なども処理可能となっている。

工程としては、酸性側での還元・吸着工程と、アルカリ側での凝集沈殿工程から成り、弱アルカリでは生成する水酸化鉄が共沈剤として作用する。

鉄粉法は沈降性・脱水性が良く、汚泥容積が小さく、有害物質の一括処理ができることから、研究室や実験設備の排水の処理に適用される例が多い。

欠点としては、

生成するスラッジが多いこと

重金属濃度が高すぎると還元吸着作用が効果的でなくなること

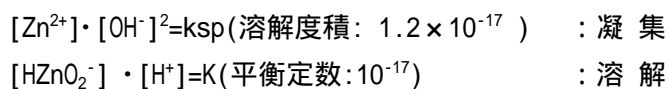
キレート剤を含む場合はあらかじめ、酸化分解処理しなければならないことなどがある。

参考文献

- 1) (社)産業管理協会(1995)「水質関係有害物質処理技術」(「公害防止の技術と法規水質編 p235-247」)
- 2) 三好康彦(2002)「重金属物質処理技術」(「汚水・排水処理の知識と技術」p172-184 オーム社)
- 3) (財)日本下水道協会(2002)「第23節 亜鉛の処理」(「事業場排水指導指針」p357-363)
- 4) 小林・徳野・府中(2003)「水質規制物質の処理技術(その2)重金属類の処理技術(1)」(工業用水 538 P29-42)

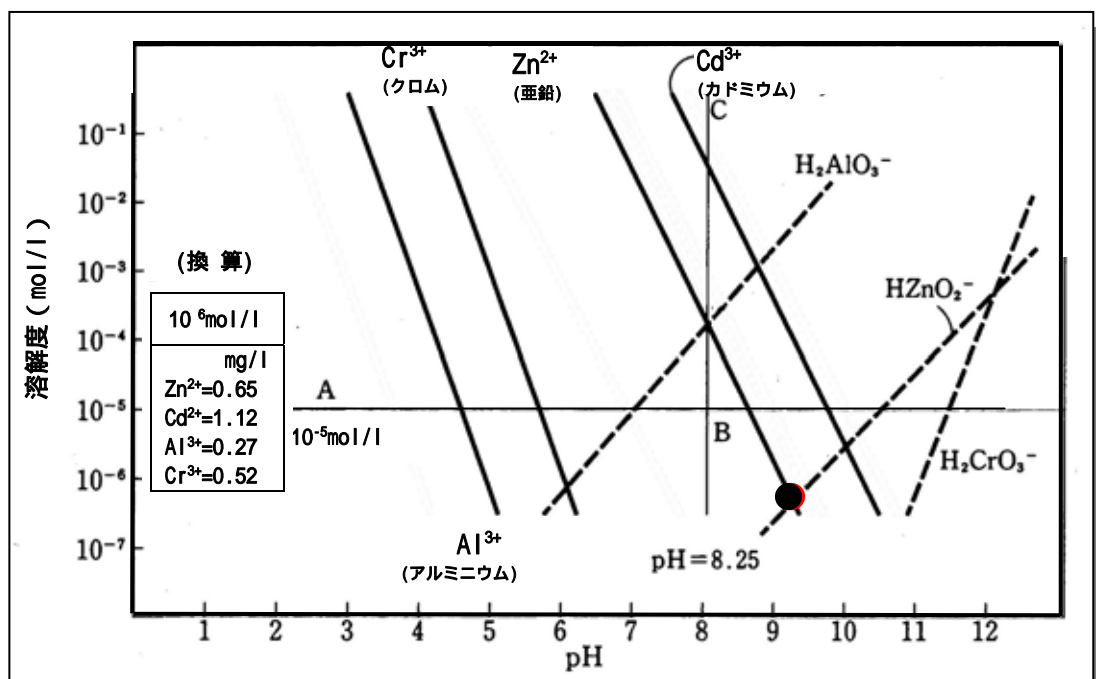
アルカリ凝集沈殿法における理論上の亜鉛濃度低減レベル

- 金属イオンを含む排水は、一般に酸性であり、これにアルカリを加えてpHを上げていくと水酸化物イオンの濃度が高くなり、金属イオンの溶解度が小さくなる。
- 亜鉛の水酸化物は両性化合物であり、高いpHにおいては過剰の水酸化物イオンと反応して金属錯イオンとなって再溶解する。



- 従って、アルカリ凝集沈殿法における理論上の亜鉛濃度低減レベルは下図2直線の交点(図中の●)が理論上の最低濃度*であり、約 $5 \times 10^{-7} \text{ mol/L}$ 0.033mg/L となる。

(*) 金属イオンの溶解度とpHの関係は、無機化学上の理論値であり、実排水は他金属イオンや有機化合物等を含むため現実の挙動とは異なる。



金属イオンの溶解度とpHの関係

(引用文献:「公害防止の技術と法規」(通産省監修)より改変)

各錯体に対する各処理法の有効性と前処理

処理法 錯体の形態	水酸化物法	置換法	液体キレート法	硫化物法 ^{***}	フェライト法	キレート樹脂法
シアノ錯体	次亜塩素酸で酸化分解 シアンの分解 + 水酸化塩として析出					
EDTA			次亜塩素酸で酸化分解		フェライト法において、EDTA や有機酸のようなキレート剤が共存する場合は処理不全となるため、前処理として酸化処理が必要である。	
有機酸 (クエン酸、リンゴ酸、グルコン酸)	鉄共存下で過酸化水素やオゾンを追加し有機物を酸化分解する (フェントン処理 [*])	カルシウム塩やマグネシウム塩を追加して対象となる重金属と置換し、重金属を水酸化物として分離する。 鉄塩を併用すると効果的な場合もある。				
リン酸塩 (ピロリン酸、ポリリン酸)	リン酸はカルシウムと不溶性塩を生成するためカルシウムを酸性下 (pH2~3) で添加し、Ca(OH) ₂ で pH9-10.5 に調整する					
クロロ錯体	Cl-錯体は OH-錯体よりも金属イオンとの結合が弱いため、水酸化ナトリウムの添加で水酸化物沈殿を生成することができる					
アンモニア (アミン) 錯体	アンモニアが高濃度で存在する場合はアンモニア濃度を下げないと亜鉛の除去は困難 ^{**}	アルカリ土類金属と錯体を形成しないキレート剤、例えばアンモニア、アミン類に対しては効果の低い場合もある	次亜塩素酸で酸化分解			キレート樹脂やイオン交換樹脂を用いれば除去可能