

## 2) 研究内容

平成 10 年度に行った研究内容を以下に示す。

### (1) 溶融飛灰性状調査

内容：各社提案の次世代型ごみ焼却炉（ガス化溶融炉方式）の実証施設から得られる溶融飛灰の性状調査を行い、灰溶融炉の溶融飛灰との比較等を行った。さらに溶融飛灰の重金属抽出基礎試験を行い、性状データも含めて非鉄製錬業界（日本鋳業協会）に提示し、重金属資源として評価を求めた。

成果：ガス化溶融炉方式での溶融飛灰中の高濃度の成分は塩素、カルシウム、カリウム、ナトリウムであり、重金属類は亜鉛、鉛、銅が濃縮されている。各実証炉から得られた 11 種類の溶融飛灰の性状の差異は比較的少なかった。灰溶融炉との比較では、重金属濃度が低めであり、スラグへ移行すべき成分（カルシウム、珪素、アルミニウム）が高めである。

10 種類の溶融飛灰の重金属抽出特性試験を行ったが、精製水による抽出では、鉛、亜鉛、銅の抽出率は 20%以下と低く、pH の依存性がある。塩酸や硫酸（pH 1, 3）では亜鉛は 70~50%以上と高いが、鉛、銅の抽出率は飛灰の種類により差がある。

非鉄製錬業界より、技術的には、ガス化溶融炉方式での溶融飛灰は重金属濃度がやや低く塩素が高く、直接製錬工程に受け入れられないものの、灰溶融と同様に逆有償で受入れ可能であるとの見解を得た。

### (2) 重金属回収試験

内容：ごみ処理施設サイドに回収技術を付加することも考慮して、炉形式の異なる 3 種類の溶融飛灰を用いて酸抽出法による重金属回収試験を行った。そして、重金属回収物の非鉄製錬原料としての評価を実施した。

成果：各々の溶融飛灰について、酸溶解、第一硫化物生成、第二硫化物生成工程での試験条件を予備検討により設定し試験を行った。各試料の分配率から判断した場合、目標重金属回収はほぼ達成したが、全般的に回収物中の珪素、カルシウム、アルミニウム濃度が高いため、目標重金

属濃度が相対的に低くリサイクル原料としての付加価値は低い。

非鉄製錬業界よりは、一部試料を除き、有価のリサイクル原料として評価はできず、逆有償で受入れ可能との見解を得た。

### (3)溶融飛灰資源化の留意点

内容：上記(1)(2)の各種検討結果や非鉄製錬業界での評価を踏まえ、溶融飛灰を資源化するための技術及び社会システム上の留意点について整理した。

成果：技術上の留意点としては、溶融飛灰の重金属再利用において、塩素等の除去や目的重金属の濃縮を目的とした前処理が必要となる可能性があり、また輸送・貯留も含めた資源化工程において二次公害を起こさないことが重要である。

社会システム上の留意点としては、受入れ側の非鉄製錬業界と自治体による効率的なシステムを構築することが重要で、資源化の確実な実施の監視と管理ができるシステム作り（コントロールカード等）が不可欠である。

### (4)溶融飛灰の無害化処理調査

内容：今回の実証炉から得られる溶融飛灰について、各種無害化処理を行い溶出試験（環告13号）による評価を行った。

成果：いずれの溶融飛灰についてもキレート等薬剤添加によって、埋め立て基準を十分満足することを確認した。薬剤量については飛灰の種類により大きく異なる。

#### 4.1.2 溶融飛灰性状調査

##### 1) 研究目的

溶融飛灰は人体に有害な重金属類を高濃度に濃縮含有しているため、従来の埋立て処分を想定した無害・安定化という手法では、長期的な安全性が懸念される。

一方、資源として見た場合、重金属類を高濃度に含む溶融飛灰は、有用な非鉄原料とみなすことができるため、環境負荷の軽減に加えて非鉄金属資源の節約の面からも、再利用を積極的に図る必要がある。

以上の観点から、溶融飛灰の具体的資源化手法の足掛かりを得るため、「灰溶融飛灰との比較」、「重金属抽出基礎試験」、及び「重金属資源としての評価」について検討した。

##### 2) 灰溶融飛灰との比較

表4.1.1に本分科会の構成メンバーであるプラントメーカ12社の試験設備より得られたガス化溶融飛灰の性状をまとめた(試験設備の排ガス処理に消石灰を添加したデータの場合は、添加前の溶融飛灰に推算し直したデータも併記した)。

前述したように、溶融飛灰中には、鉛、亜鉛、銅等の重金属が濃縮された状態で含まれている。そのため、先行技術である灰溶融システムにおいては、溶融飛灰を非鉄金属資源とみなし、再利用に向けて種々の検討が進められている。そこで、資源化の観点から、今回得られたガス化溶融飛灰のデータと、既報<sup>1)</sup>の灰溶融飛灰のデータを比較検討した。

なお、比較に当たっては、消石灰を添加したデータは飛灰本来の性状を表していないため、添加前のデータを採用した。

また、ガス化溶融システムは開発の緒にすぎたばかりであり、これらのデータが将来わたって代表するものであるとは言いがたい。従って、以下の検討は、あくまでも現時点での評価であることを付言しておく。

(1)化学的性状

表4.1.2にガス化溶融飛灰と灰溶融飛灰の主要元素の含有率を示し、図4.1.1と図4.1.2にこれらのデータの分布図を示す。また、図4.1.3にガス化溶融飛灰と灰溶融飛灰の平均値を対比して示す。

表4.1.1 実証炉の飛灰データ

| メーカー              | A                 |        | B      |        | C      |        | D      |        |        | E      |        | F**    |        | G      |        | H      |         | I      |        |        |        | J      |        | K      |        | L      |        |        |        |        |        |        |        |        |  |
|-------------------|-------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--|
| 実証炉の規模(t/d)       | 20                |        | 20     |        | 24     |        | 20     |        |        | 20     |        | 20     |        | 20     |        | 20     |         | 32     |        |        |        | 20     |        | 20     |        | 10     |        |        |        |        |        |        |        |        |  |
| カス化炉形式            | キルン式              |        | 流動床式   |        | 流動床式   |        | 流動床式   |        |        | シャフト炉式 |        | 流動床式   |        | キルン式   |        | 流動床式   |         | シャフト炉式 |        |        |        | キルン式   |        | 流動床式   |        | 流動床式   |        |        |        |        |        |        |        |        |  |
| 溶融炉形式             | 表面溶融              |        | 旋回溶融   |        | 旋回溶融   |        | 旋回溶融   |        |        | 直接溶融   |        | キルン溶融  |        | 旋回溶融   |        | 旋回溶融   |         | 直接溶融   |        |        |        | 旋回溶融   |        | 旋回溶融   |        | 旋回溶融   |        |        |        |        |        |        |        |        |  |
| 集じん方式             | 1段BF              |        | 1段BF   |        | 2段BF   |        | 1段BF   |        |        | 1段BF   |        | 1段BF   |        | 2段BF   |        | 1段BF   |         | 1段BF   |        |        |        | 2段BF   |        | 2段BF   |        | 1段BF   |        |        |        |        |        |        |        |        |  |
| 飛灰の種類             | BF灰               |        | BF灰    |        | No2BF灰 |        | No1BF灰 |        | BF灰    |        |        | BF灰    |        | No2BF灰 |        | No1BF灰 |         | BF灰    |        | BF灰1   |        | BF灰2   |        | BF灰1   |        | BF灰2   |        | No1BF灰 |        | No2BF灰 |        | No1BF灰 |        | BF灰    |  |
|                   | 消石灰無添加            | 消石灰無添加 | 消石灰無添加 | 消石灰無添加 | 消石灰無添加 | 消石灰無添加 | 消石灰無添加 | 消石灰無添加 | 消石灰無添加 | 消石灰無添加 | 消石灰無添加 | 消石灰無添加 | 消石灰無添加 | 消石灰無添加 | 消石灰無添加 | 消石灰無添加 | 消石灰無添加  | 消石灰無添加 | 消石灰無添加 | 消石灰無添加 | 消石灰無添加 | 消石灰無添加 | 消石灰無添加 | 消石灰無添加 | 消石灰無添加 | 消石灰無添加 | 消石灰無添加 | 消石灰無添加 | 消石灰無添加 | 消石灰無添加 | 消石灰無添加 | 消石灰無添加 | 消石灰無添加 | 消石灰無添加 |  |
| 消石灰添加量(kg/hr)     | -                 | -      | 30     | -      | -      | -      | -      | -      | 9.1    | 23     | -      | -      | -      | -      | 8.6    | -      | -       | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |        |  |
| 消石灰+活性炭添加量(kg/hr) | 204*              | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | 2.08   | -      | -      | 15.2   | -      | -       | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | 2.2    | -      |        |  |
| 当量比               | 3.3               | -      | 2      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | 1.5    | -      | -      | 1.65   | -      | -       | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |        |        |  |
| 飛灰発生量(kg/h)       | 8.74              | 0.83   | 39     | -      | 14.5   | 15.7   | 26.9   | 28.8   | 13.8   | 12.27  | 10.19  | -      | -      | 10.20  | 17.60  | -      | 56.9    | 25.0   | 44.2   | 12.2   | 79     | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | 3.9    | -      |        |        |  |
| 飛灰発生量(kg/こみ)      | -                 | 7.6    | 40     | 15.5   | 13     | 21     | 28.2   | 19.4   | 12.4   | 14.4   | 12.0   | -      | -      | 23.0   | 79.3   | 2.4    | 27.8    | 22.6   | 17.6   | 11.8   | 79     | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | 3.9    | -      |        |        |  |
| 成分                | Si                | %      | 0.65   | 4.67   | 1.2    | 5.7    | 0.32   | 5.33   | 3.68   | 4.34   | 4.58   | 4.22   | 5.08   | 0.32   | 7.30   | 12.7   | 17.02   | 6.33   | 3.78   | 8.15   | 7.76   | 12     | 12.2   | 22.9   | 7.90   | 15.4   | -      | -      | -      | -      | -      | -      |        |        |  |
|                   | Ca                | %      | 28.0   | 9.6    | 43.3   | 11.2   | 40.2   | 8.34   | 22.74  | 21.18  | 14.35  | 17.99  | 10.64  | 0.41   | 30.00  | 14.5   | 0.53    | 27.81  | 29.1   | 22.2   | 20.3   | 13     | 32.2   | 9.36   | 14.5   | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |        |  |
|                   | Al                | %      | 0.22   | 2.91   | 0.80   | 6.2    | 0.17   | 3.42   | 2.12   | 2.81   | 3.41   | 3.17   | 3.82   | 0.77   | 1.50   | 7.2    | 11.90   | 1.64   | 1.05   | 2.11   | 2.16   | 5.9    | 1.18   | 7.07   | 5.65   | 11.0   | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |        |  |
|                   | Fe                | %      | 0.18   | 7.4    | 0.18   | 1.4    | 0.17   | 1.27   | 0.6    | 0.65   | 0.67   | 0.57   | 0.69   | 9.08   | 0.14   | 0.88   | 6.92    | 0.34   | 0.79   | 0.49   | 1.62   | 1.8    | 1.39   | 4.07   | 0.946  | 1.84   | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |        |  |
|                   | K                 | %      | 4.8    | 7.2    | 1.95   | 6.1    | <0.01  | 9.82   | 3.75   | 5.29   | 7.63   | 4.83   | 5.82   | 14.5   | 0.10   | 4.30   | -       | 3.1    | 3.43   | 3.99   | 7.04   | 4.4    | 0.38   | 2.04   | 6.72   | 13.1   | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |        |  |
|                   | Na                | %      | 7.5    | 9.6    | 1.59   | 9.9    | 0.02   | 10.7   | 4.95   | 6.41   | 8.7    | 4.90   | 5.9    | 14.3   | 0.21   | 4.90   | 0.15    | 4.14   | 4.64   | 5.33   | 9.53   | 4.9    | 0.24   | 1.94   | 3.78   | 7.37   | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |        |  |
|                   | P                 | %      | 0.34   | 2.0    | 0.27   | -      | 0.02   | 0.88   | 0.56   | 0.63   | 0.76   | 0.42   | 0.51   | 0.03   | 0.03   | 1.70   | -       | <0.01  | -      | <0.01  | -      | 1.1    | 0.09   | 0.66   | 1.42   | 2.77   | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |        |  |
|                   | Mg                | %      | 0.23   | 0.34   | 0.57   | 1.6    | 0.32   | 1.12   | 0.79   | 0.92   | 0.99   | 1.02   | 1.23   | 0.06   | 0.18   | 2.0    | -       | 2.42   | 0.97   | 3.11   | 1.99   | 1.8    | 1.04   | 1.7    | 1.13   | 2.20   | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |        |  |
|                   | Ti                | %      | 0.017  | 0.56   | 0.21   | -      | 0.02   | 0.95   | -      | -      | -      | 0.53   | 0.64   | 0.056  | -      | -      | -       | 0.06   | -      | 0.08   | -      | 1.2    | 0.08   | 0.96   | 0.603  | 1.18   | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |        |  |
|                   | Total-C           | %      | 0.03   | 0.14   | -      | -      | 2.7    | 0.4    | -      | -      | -      | 1.90   | 2.29   | 1.50   | 0.50   | <0.01  | -       | 0.89   | 8.27   | 1.15   | 17.0   | 0.07   | -      | -      | 10.3   | 20.1   | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |        |  |
|                   | Total-S           | %      | 1.6    | 6.1    | 0.55   | -      | 0.19   | 2.84   | 6.38   | 6.57   | 6.19   | 2.00   | 2.41   | 0.63   | 8.30   | 0.29   | 0.05    | 1.23   | 1.2    | 1.58   | 2.46   | 1.5    | -      | -      | 16.7   | 14.6   | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |        |  |
|                   | SO4               | %      | -      | -      | -      | 5.7    | 0.43   | 8.53   | -      | -      | -      | 2.57   | 3.09   | -      | -      | -      | -       | 3.68   | -      | 4.74   | -      | 4.4    | 1.08   | 2.58   | 4.81   | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |        |  |
|                   | Cl                | %      | 24     | 12     | 12.1   | 30.8   | 18.9   | 23.9   | 18.5   | 15.8   | 18.5   | 22.8   | 27.46  | 36.05  | 21.30  | 11.20  | 0.62    | 12.51  | 15.63  | 9.22   | 4.91   | 12     | 7.82   | 2.39   | 9.96   | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |        |  |
|                   | Pb                | mg/kg  | 5,100  | 14,000 | 1,000  | 33,500 | 14     | 8,630  | 1,300  | 1,400  | 2,200  | 7,800  | 9,393  | 24,500 | 0.9    | 1,900  | 76,800  | 5,190  | 679    | 6679   | 1,394  | 11,000 | 500    | 1,800  | 780    | 1,521  | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |        |  |
|                   | Cr                | mg/kg  | 140    | 550    | 162    | -      | 14     | 410    | 250    | 620    | 380    | 142    | 171    | 12,100 | -      | -      | 220     | 70     | 152    | 90     | 312    | 1,100  | 200    | 1,300  | 859    | 1,675  | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |        |  |
|                   | Mn                | mg/kg  | <100   | 550    | 100    | -      | <100   | 700    | 190    | 200    | 200    | 660    | 795    | 1,200  | <50    | 690    | -       | 2,700  | 631    | 3,475  | 1,296  | 1,100  | 800    | 3,500  | 403    | 786    | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |        |  |
|                   | Cu                | mg/kg  | 990    | 1,700  | 1,000  | 25,400 | <100   | 16,100 | 3,600  | 6,300  | 8,500  | 1,300  | 1,565  | 5,300  | <20    | 760    | 27,000  | 1,780  | 200    | 2,291  | 411    | 2,300  | 1,000  | 3,600  | 744    | 1,451  | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |        |  |
|                   | Zn                | mg/kg  | 16,000 | 29,000 | 1,500  | 23,500 | <100   | 20,300 | 5,200  | 9,100  | 11,800 | 24,200 | 29,142 | 19,700 | 32.0   | 8,300  | 217,000 | 17,000 | 16,900 | 21,878 | 34,701 | 10,000 | <100   | 4,800  | 6,050  | 11,798 | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |        |  |
|                   | Ni                | mg/kg  | -      | -      | 11     | -      | <100   | 200    | 120    | 110    | 100    | 107    | 129    | 5,000  | <20    | 40     | -       | 40     | -      | 51     | -      | 120    | <100   | 400    | 116    | 226    | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |  |
|                   | Cd                | mg/kg  | 50     | 49     | 13     | -      | 0.43   | 120    | 10     | 30     | 50     | 200    | 241    | 2,250  | 2.10   | 39     | 100     | 100    | 423    | 129    | 869    | 4.1    | <100   | <100   | 17.6   | 34.3   | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |        |  |
| As                | mg/kg             | 17     | 8.9    | 11     | -      | 1.2    | 18     | 7.5    | 8.3    | 11.7   | 31.8   | 38.3   | <10    | 0.70   | 15.2   | 8.3    | 22      | -      | 28.3   | -      | 5.4    | 2.4    | 35.6   | 1.70   | 3.32   | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |        |        |  |
| Hg                | mg/kg             | 5.3    | 0.72   | 0.07   | -      | 1.3    | 2.8    | 2      | 0.98   | 2.23   | 14.1   | 17.0   | 5.1    | 0.04   | 5.40   | 0.26   | 0.76    | -      | 0.98   | -      | <0.05  | 0.17   | 2.97   | 2.81   | 5.48   | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |        |        |  |
| Se                | mg/kg             | 1.2    | 2.1    | <0.2   | -      | <1     | 1.5    | 1.69   | 2.2    | 2.5    | <0.1   | <0.1   | <10    | <0.2   | 5.20   | 0.9    | <5      | -      | <5     | -      | <0.1   | <1.0   | <1.0   | 0.36   | 0.7    | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |        |        |  |
| Sn                | mg/kg             | -      | -      | -      | -      | <10    | 2,610  | 550    | 890    | 1,100  | 586    | 706    | 44     | -      | -      | 11,600 | 190     | -      | 245    | -      | 22     | -      | -      | 38.4   | 74.9   | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |        |  |
| Sb                | mg/kg             | -      | -      | 66     | -      | <1     | 770    | 170    | 480    | 900    | 173    | 208    | 280    | -      | -      | -      | 350     | -      | 450    | -      | 22     | -      | -      | 50.7   | 98.9   | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |        |  |
| F                 | mg/kg             | -      | -      | -      | -      | 390    | 1,140  | -      | 797    | 1,100  | 851    | 1,025  | -      | -      | -      | -      | 1,100   | -      | 1,416  | -      | 1,700  | 212    | 751    | 946    | 1,845  | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |        |  |
| B                 | mg/kg             | -      | -      | -      | -      | <0.01  | 300    | 28     | 180    | 230    | 0.03   | 0.04   | -      | -      | -      | -      | 130     | -      | 167    | -      | 87     | -      | -      | 240    | 468    | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |        |  |
| 水分                | %                 | 0.13   | -      | 0.2    | -      | 2.43   | 0.25   | 2.5    | 2.09   | -      | 0.9    | -      | -      | -      | -      | 0.12   | 0.3     | -      | 0.3    | -      | 0.77   | <0.01  | <0.01  | 3.2    | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |        |  |
| かさ密度              | g/cm <sup>3</sup> | 0.55   | -      | 0.7    | -      | 0.34   | 0.23   | 0.47   | -      | -      | 0.40   | -      | -      | -      | -      | 0.68   | 0.48    | -      | -      | -      | 0.716  | 0.44   | 0.60   | 0.359  | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |        |  |
| 真比重               | g/cm <sup>3</sup> | -      | -      | 2.3    | -      | 2.29   | 2.53   | 2.42   | -      | -      | 2.38   | -      | -      | -      | -      | -      | 3.73    | -      | -      | -      | 2.51   | -      | -      | 2.3    | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |        |  |
| 粒度分布              | d50 μm            | -      | -      | 6.12   | -      | 7.42   | 3.47   | 8.22   | 20.55  | -      | 6.5    | -      | -      | -      | -      | 6.2    | 7.0     | -      | -      | -      | 10     | -      | -      | 9.03   | 4.15   | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -      |        |  |

注) \*消石灰無添加のデータは、推算値を示す。

注) \*\*FはRDFを原料としたパイロットプラントのデータであり、本報告書の性状調査対象に含まれない。

表4.1.2 ガス化溶融飛灰と灰溶融飛灰の化学組成

| 元素       | ガス化溶融飛灰 |        |         |       | 灰溶融飛灰 |        |         |        |
|----------|---------|--------|---------|-------|-------|--------|---------|--------|
|          | データ数    | 平均     | 最大      | 最小    | データ数  | 平均     | 最大      | 最小     |
| Si %     | 12      | 10.11  | 22.9    | 4.58  | 40    | 2.07   | 11.3    | <0.05  |
| Ca %     | 11      | 12.18  | 22.2    | 0.53  | 40    | 2.44   | 16.0    | 0.10   |
| Al %     | 12      | 5.59   | 11.9    | 2.11  | 40    | 0.91   | 8.35    | 0.05   |
| K %      | 11      | 6.49   | 13.1    | 2.04  | 40    | 12.9   | 24.0    | 2.84   |
| Na %     | 12      | 6.58   | 10.7    | 0.15  | 40    | 12.6   | 21.8    | 2.36   |
| Cl %     | 10      | 13.9   | 30.8    | 0.62  | 40    | 29.7   | 52.0    | 7.60   |
| Pb mg/kg | 12      | 14,068 | 76,800  | 1,394 | 40    | 33,400 | 150,000 | 4,400  |
| Cu mg/kg | 12      | 7,590  | 27,000  | 411   | 40    | 5,700  | 21,400  | 300    |
| Zn mg/kg | 12      | 35,185 | 217,000 | 4,800 | 40    | 81,600 | 214,000 | 25,000 |

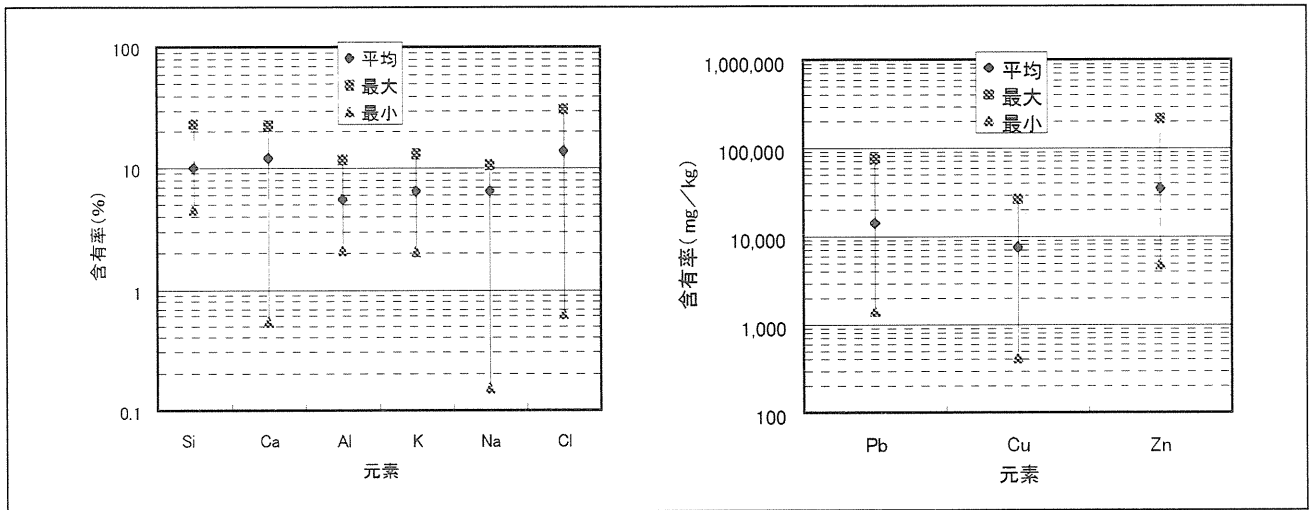


図4.1.1 ガス化溶融飛灰の元素含有率

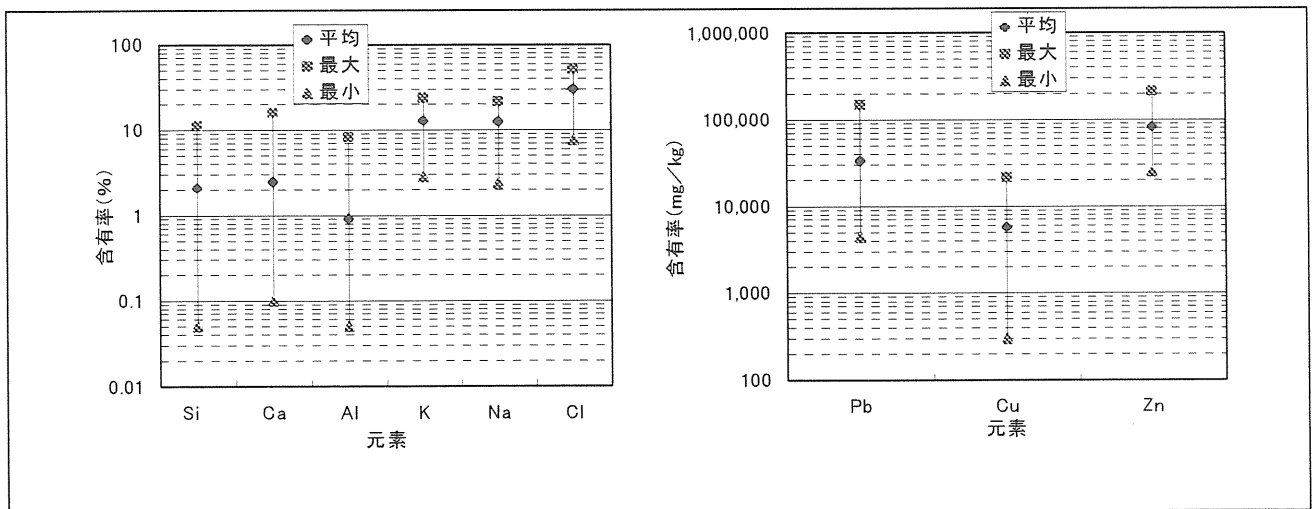


図4.1.2 灰溶融飛灰の元素含有率

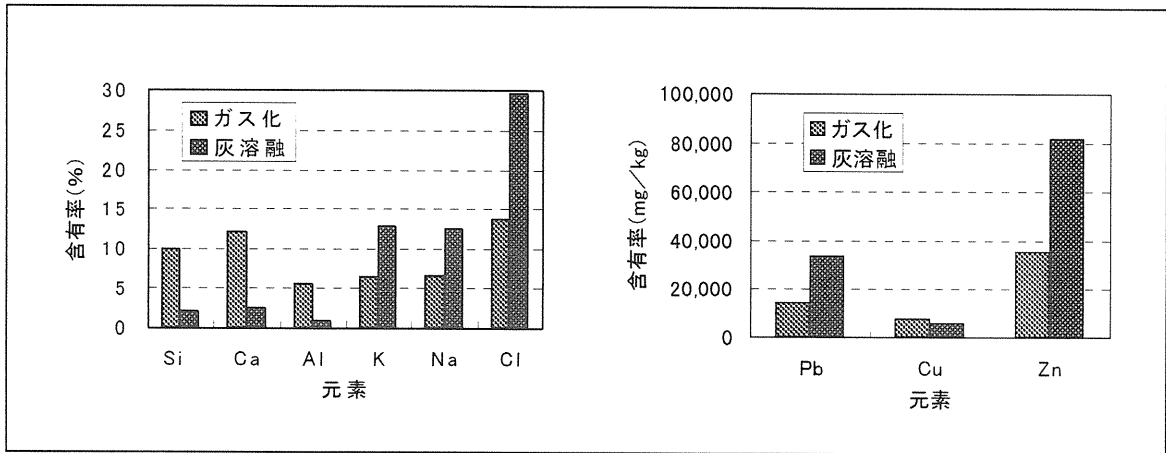


図4.1.3 ガス化溶融飛灰と灰溶融飛灰の元素含有率の比較

① 高濃度成分

灰溶融飛灰の高濃度成分はカリウム (K)、ナトリウム (Na)、塩素 (Cl) であるのに対し、ガス化溶融飛灰は、ケイ素 (Si)、カルシウム (Ca)、塩素 (Cl) であり、それぞれの順位は次のとおりとなる。

ガス化溶融飛灰：塩素 (Cl) > カルシウム (Ca) > ケイ素 (Si)

灰溶融飛灰：塩素 (Cl) > カリウム (K) > ナトリウム (Na)

② 重金属類

資源化の対象となる重金属類は、灰溶融飛灰、ガス化溶融飛灰のいずれとも、亜鉛 (Zn) > 鉛 (Pb) > 銅 (Cu) の順に濃縮されている。但し、ガス化溶融飛灰は灰溶融飛灰に比べて濃縮度が低く、鉛 (Pb) と亜鉛 (Zn) は灰溶融飛灰の約 1/2 の濃度である。従って、資源化のためにはさらに濃縮度を高める方が望ましい。

③ データの類型化による比較

焼却灰の主成分であるケイ素、アルミニウム、カルシウムは、難揮発性元素であり、本来、スラグ中に移行すると考えられる。これらの成分の溶融飛灰への混入率が高いほど、相対的に重金属の濃縮度が低下する。そこで、溶融飛灰のデータを表4.1.3のようにランク化して比較した。灰溶融飛灰は、40 試料中 8 試料がランク A であるのに対し (全試料中 20% に相当)、ガス化溶融飛灰はランク A が存在せず、全てランク B であることが分かった。ガス化溶融システムは灰溶融システムに比べて、排ガスに同伴される未溶融成分

が多いことが示唆される。

表 4.1.3 溶融飛灰データの分類

| ランク | 基準                  | ガス化溶融飛灰<br>データ数 | 灰溶融飛灰<br>データ数 |
|-----|---------------------|-----------------|---------------|
| A   | Si+Al+Ca=1.5 (%) 未満 | 0               | 8             |
| B   | Si+Al+Ca=1.5 (%) 以上 | 12              | 32            |
| 合計  |                     | 12              | 40            |

(2)物理的性状

溶融飛灰の物理的性状の把握は、その処理や資源化を計画する上で非常に重要である。そこで、表 4.1.4 と表 4.1.5 に消石灰添加前と添加後のガス化溶融飛灰の水分、かさ密度、真比重、及び粒度分布について示す。データ数が少ないため消石灰の有無による比較評価は困難と思われるので、全体としてまとめると次の通りとなる。

いずれの溶融飛灰も乾灰として取り出しているため概ね 3% 以下の低水分であり、また、かさ密度は約 0.5 g/cm<sup>3</sup>、真比重は約 2.5、50% 平均粒径は概ね 4 ~ 20 μm の範囲となる。

表 4.1.4 消石灰添加前のガス化溶融飛灰の物理性状

| 物理性状                   | データ数 | 平均   | 最大   | 最小    |
|------------------------|------|------|------|-------|
| 水分 %                   | 5    | 0.29 | 0.77 | <0.01 |
| かさ密度 g/cm <sup>3</sup> | 3    | 0.56 | 0.72 | 0.23  |
| 真比重                    | 2    | 2.51 | 2.53 | 2.51  |
| 粒度分布 d50 μm            | 2    | 4.83 | 6.2  | 3.47  |

表 4.1.5 消石灰を添加したガス化溶融飛灰の物理性状

| 物理性状                   | データ数 | 平均   | 最大    | 最小    |
|------------------------|------|------|-------|-------|
| 水分 %                   | 9    | 1.31 | 3.2   | <0.01 |
| かさ密度 g/cm <sup>3</sup> | 7    | 0.47 | 0.7   | 0.34  |
| 真比重                    | 6    | 2.57 | 3.73  | 2.29  |
| 粒度分布 d50 μm            | 7    | 8.57 | 20.55 | 4.15  |



### 3) 重金属抽出基礎試験

#### (1) 試験目的

本試験は、次世代型ごみ処理設備（ガス化溶融方式）において発生する飛灰について、飛灰が含有する重金属の抽出分離の可能性を検討するための基礎データの収集を目的とした。本試験では、各社の実験設備などから採取した飛灰を供試した基礎試験により、飛灰の抽出性能に関わる主要元素の含有特性と抽出特性について調査した。

#### (2) 試験方法

##### ① 供試飛灰

基礎試験に供試した10種類の飛灰を表4.1.6に示す。これらの飛灰は、各社の次世代型ごみ処理設備（ガス化溶融方式）の実証プラントなどから採取したもので、供試飛灰として各社から1～3kgの提供を受けた。なお、供試飛灰は前述の‘4.1.2 2) 飛灰性状調査’の飛灰とは別採取であり、採取条件は消石灰噴霧の有無などが異なるケースもある。

表4.1.6 供試飛灰

| 記号 | 炉形式        | 飛灰種類          | 助剤添加物 |
|----|------------|---------------|-------|
| A  | キルンガス化方式   | B F 捕集飛灰      | なし    |
| B  | 流動ガス化方式    | B F 捕集飛灰      | 消石灰噴霧 |
| C  | 流動ガス化方式    | NO.1 B F 捕集飛灰 | なし    |
| D  | 流動ガス化方式    | B F 捕集飛灰      | 消石灰噴霧 |
| E  | シャフト炉ガス化方式 | B F 捕集飛灰      | 消石灰噴霧 |
| G  | キルンガス化方式   | B F 捕集飛灰      | なし    |
| I  | シャフト炉ガス化方式 | B F 捕集飛灰      | 消石灰噴霧 |
| J  | キルンガス化方式   | NO.1 B F 捕集飛灰 | なし    |
| K  | 流動ガス化方式    | NO.1 B F 捕集飛灰 | なし    |
| L  | 流動ガス化方式    | B F 捕集飛灰      | 消石灰噴霧 |

##### ② 試験内容

表4.1.6に示した飛灰の含有特性試験と抽出特性試験を実施した。これらの試験では、飛灰の抽出処理で注目される〔重金属元素〕鉛、亜鉛、銅と〔塩類元素〕カルシウム、ナトリウム、カリウム、塩素の含有量と抽出率な

どについて調査した。

#### ア．元素含有特性試験

表4.1.6に示した飛灰について、鉛、亜鉛、銅、カルシウム、ナトリウム、カリウム、塩素の含有量を分析した。各元素の分析方法を表4.1.7に示す。なお、飛灰の元素含有量は各社から別途提示されているが、分析機関や分析装置等の違いによる誤差を排除し、評価試験の精度を統一するため、同一条件の下において元素含有量を分析した。

表4.1.7 含有量の分析方法

| 元素 | 検液調整（前処理方法）      | 測定法                           |
|----|------------------|-------------------------------|
| Pb | 塩酸，硝酸溶解（低湿調査法）   | フレイム原子吸光光度法 J I S K 0102 54.1 |
| Zn | 塩酸，硝酸溶解（低湿調査法）   | フレイム原子吸光光度法 J I S K 0102 53.1 |
| Cu | 塩酸，硝酸溶解（低湿調査法）   | フレイム原子吸光光度法 J I S K 0102 52.2 |
| Ca | 塩酸，硝酸溶解（低湿調査法準拠） | フレイム原子吸光光度法 J I S K 0102 50.2 |
| Na | 塩酸，硝酸溶解（低湿調査法準拠） | フレイム原子吸光光度法 J I S K 0102 48.2 |
| K  | 塩酸，硝酸溶解（低湿調査法準拠） | フレイム原子吸光光度法 J I S K 0102 49.2 |
| Cl | 温水抽出             | イオンクロマト法 J I S K 0102 35.3    |

#### イ．抽出特性試験

##### ア)抽出試験

表4.1.6に示した飛灰について、精製水、塩酸、硫酸による抽出試験を実施した。抽出試験のフローを図4.1.4に示す。精製水による抽出試験では、飛灰80gを精製水800mlに混合し、2時間攪拌したのち濾過分離により抽出液を得た。塩酸、硫酸による抽出試験では、飛灰80gを精製水800mlに混合したのち、混合液のpHを1あるいは3に塩酸液、硫酸液で調整しながら2時間攪拌し、濾過分離により抽出液を得た。濾過分離には、捕捉粒子径1 $\mu$ mのグラスファイバ濾紙を用いた。また、pH調整には、6規定に調製した塩酸液、硫酸液を使用し、添加量を計測した。得られた抽出液は、pHを測定したのち成分分析した。濾過ケーキ（残渣）は105 $^{\circ}$ Cで乾燥し、重量を計測した。

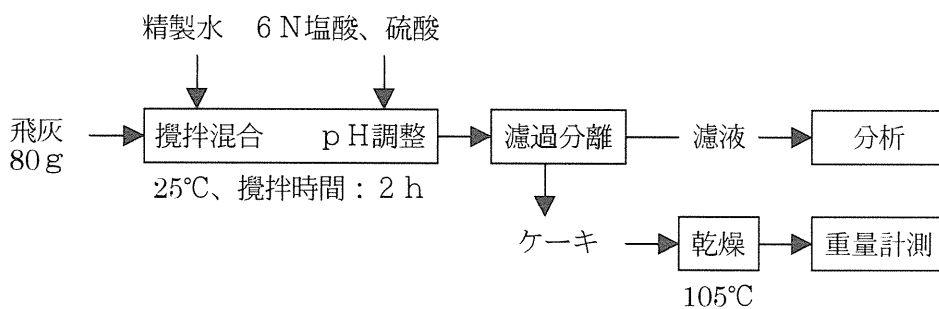


図4.1.4 抽出試験フロー

1) 抽出液の分析

抽出試験で得た抽出液の鉛，亜鉛，銅，カルシウム，ナトリウム，カリウム，塩素，蒸発残留物の濃度を計測した。各元素等の分析方法を表4.1.8に示す。

表4.1.8 抽出液の分析方法

| 元素    | 測定法                           |
|-------|-------------------------------|
| Pb    | フレイム原子吸光光度法 J I S K 0102 54.1 |
| Zn    | フレイム原子吸光光度法 J I S K 0102 53.1 |
| Cu    | フレイム原子吸光光度法 J I S K 0102 52.2 |
| Ca    | フレイム原子吸光光度法 J I S K 0102 50.2 |
| Na    | フレイム原子吸光光度法 J I S K 0102 48.2 |
| K     | フレイム原子吸光光度法 J I S K 0102 49.2 |
| Cl    | イオンクロマト法 J I S K 0102 35.3    |
| 蒸発残留物 | 蒸発残量計量 J I S K 0102 14.2      |

(3) 試験結果

① 含有特性試験

表4.1.6に示した飛灰の成分分析による含有特性試験の結果を表4.1.9に示す。

表4.1.9 含有試験結果

| 項目  | 含有濃度[mg/kg] |        |        |         |        |        |         |
|-----|-------------|--------|--------|---------|--------|--------|---------|
|     | Pb          | Zn     | Cu     | Ca      | Na     | K      | Cl      |
| A   | 2,530       | 10,400 | 670    | 165,000 | 37,800 | 32,200 | 71,700  |
| B   | 1,300       | 2,160  | 1,480  | 324,000 | 25,800 | 27,900 | 139,000 |
| C   | 9,040       | 23,100 | 12,700 | 78,000  | 99,900 | 81,500 | 169,000 |
| D   | 2,390       | 5,100  | 3,060  | 132,000 | 64,800 | 58,100 | 189,000 |
| E   | 4,940       | 32,200 | 1,510  | 163,000 | 64,200 | 49,800 | 251,000 |
| G   | 2,470       | 7,070  | 770    | 138,000 | 69,000 | 58,100 | 141,000 |
| I   | 6,520       | 18,300 | 1,900  | 273,000 | 43,100 | 33,600 | 135,000 |
| J   | 10,000      | 7,690  | 2,890  | 132,000 | 61,800 | 59,100 | 123,000 |
| K   | 7,450       | 5,120  | 5,670  | 102,000 | 27,000 | 18,900 | 34,900  |
| L   | 934         | 5,350  | 1,100  | 130,000 | 43,200 | 71,100 | 120,000 |
| 最小値 | 934         | 2,160  | 670    | 78,000  | 25,800 | 18,900 | 34,900  |
| 最大値 | 10,000      | 32,200 | 12,700 | 324,000 | 99,900 | 81,500 | 251,000 |
| 平均値 | 4,760       | 11,600 | 3,180  | 164,000 | 53,700 | 49,000 | 137,000 |

## ② 抽出特性試験

精製水による抽出試験の結果を表4.1.10に示す。塩酸による抽出試験の結果を表4.1.11と表4.1.12に示す。硫酸による抽出試験の結果を表4.1.13と表4.1.14に示す。

表4.1.10 精製水による抽出特性[S/L=80g/800ml]

| 試名  | 抽出液<br>pH | 含有濃度[mg/l] |      |      |       |       |       |        |        | 残渣量  |          |
|-----|-----------|------------|------|------|-------|-------|-------|--------|--------|------|----------|
|     |           | Pb         | Zn   | Cu   | Ca    | Na    | K     | Cl     | 蒸発残留物  | [g]  | [g/灰-kg] |
| A   | 9.9       | <0.1       | <0.1 | 0.19 | 1,700 | 2,540 | 1,990 | 8,100  | 20,000 | 27.6 | 345      |
| B   | 13.2      | 15.3       | 0.5  | 0.8  | 5,400 | 2,340 | 2,310 | 13,000 | 29,000 | 31.8 | 398      |
| C   | 7.0       | 8.8        | 440  | 3.1  | 2,220 | 9,130 | 5,480 | 18,500 | 48,000 | 38.2 | 478      |
| D   | 12.7      | 9.5        | 5.3  | 1.4  | 6,100 | 5,410 | 4,270 | 18,700 | 39,000 | 34.8 | 435      |
| E   | 11.0      | 0.6        | 0.5  | 0.2  | 8,100 | 5,560 | 4,670 | 23,800 | 50,000 | 32.8 | 410      |
| G   | 11.0      | 0.1        | <0.1 | <0.1 | 2,100 | 5,800 | 4,750 | 13,700 | 31000  | 42.6 | 533      |
| I   | 12.8      | 18.1       | 1.9  | <0.1 | 3,400 | 3,230 | 1,720 | 12,900 | 27,000 | 33.7 | 421      |
| J   | 6.0       | 18.9       | 100  | 11.1 | 2,900 | 4,060 | 4,340 | 12,600 | 28,000 | 46.7 | 584      |
| K   | 8.6       | 0.2        | 0.9  | 0.6  | 1,080 | 1,400 | 1,380 | 3,250  | 29,000 | 48.4 | 605      |
| L   | 12.8      | 8.6        | 0.34 | <0.1 | 2,340 | 2,500 | 3,940 | 11,500 | 24,000 | 38.1 | 476      |
| 最小値 | 6.0       | <0.1       | <0.1 | <0.1 | 1,700 | 1,400 | 1,380 | 3,250  | 20,000 | 27.6 | 345      |
| 最大値 | 13.2      | 18.9       | 440  | 11.1 | 8,100 | 9,130 | 5,480 | 23,800 | 50,000 | 48.4 | 605      |
| 平均値 | 10.5      | 8.01       | 54.9 | 1.74 | 3,530 | 4,200 | 3,490 | 13,600 | 32,500 | 37.5 | 468      |

表4.1.11 塩酸による抽出特性[ p H3、 S/L=80g/800ml +6N-HCl 液]

| 試名  | 抽出液<br>pH | 含有濃度[mg/l] |       |      |        |        |       |        | 残渣量  |       | 酸添加量 |           |
|-----|-----------|------------|-------|------|--------|--------|-------|--------|------|-------|------|-----------|
|     |           | Pb         | Zn    | Cu   | Ca     | Na     | K     | Cl     | [g]  | g/灰kg | [g]  | [ml/灰-kg] |
| A   | 3.3       | 96.8       | 376   | 24.2 | 11,900 | 2,990  | 2,540 | 31,000 | 23.0 | 288   | 99   | 1,238     |
| B   | 3.0       | 94.9       | 143   | 91.3 | 28,600 | 2,130  | 2,340 | 50,200 | 16.2 | 203   | 174  | 2,175     |
| C   | 3.3       | 120        | 1160  | 854  | 5,300  | 10,500 | 6,890 | 28,700 | 28.1 | 351   | 41   | 513       |
| D   | 2.9       | 43         | 248   | 89.7 | 12,200 | 5,750  | 4,690 | 36,200 | 23.7 | 296   | 80   | 1,000     |
| E   | 3.2       | 31.2       | 2,050 | 7.5  | 14,700 | 5,600  | 4,710 | 42,800 | 19.9 | 249   | 87   | 1,088     |
| G   | 3.0       | 91.4       | 290   | 39.4 | 11,800 | 6,290  | 4,810 | 36,300 | 32.5 | 406   | 93   | 1,163     |
| I   | 3.1       | 94.8       | 750   | 98.6 | 20,700 | 2,990  | 2,100 | 50,300 | 19.2 | 240   | 186  | 2,325     |
| J   | 3.0       | 92.3       | 291   | 194  | 10,900 | 5,340  | 4,870 | 22,800 | 32.0 | 400   | 54   | 675       |
| K   | 3.0       | 19.6       | 250   | 4.5  | 7,720  | 2,250  | 1,660 | 26,800 | 44.1 | 551   | 96   | 1,200     |
| L   | 3.1       | 33         | 160   | 41.7 | 9,960  | 3,150  | 5,280 | 28,700 | 28.9 | 361   | 77   | 963       |
| 最小値 | 2.9       | 19.6       | 143   | 4.5  | 5,300  | 2,130  | 1,660 | 22,800 | 16.2 | 203   | 41   | 513       |
| 最大値 | 3.3       | 120        | 2,050 | 854  | 28,600 | 10,500 | 6,890 | 50,200 | 44.1 | 551   | 186  | 2,325     |
| 平均値 | 3.1       | 71.7       | 572   | 145  | 13,400 | 4,700  | 3,990 | 35,400 | 26.8 | 335   | 99   | 1,234     |

表4.1.12 塩酸による抽出特性[ p H1、 S/L=80g/800ml +6N-HCl 液]

| 試名  | 抽出液<br>pH | 含有濃度[mg/l] |      |      |        |        |       |        | 残渣量  |       | 酸添加量 |           |
|-----|-----------|------------|------|------|--------|--------|-------|--------|------|-------|------|-----------|
|     |           | Pb         | Zn   | Cu   | Ca     | Na     | K     | Cl     | [g]  | g/灰kg | [g]  | [ml/灰-kg] |
| A   | 1.2       | 150        | 771  | 42   | 12,300 | 2,850  | 2,680 | 43,500 | 16.2 | 203   | 168  | 2,100     |
| B   | 1.0       | 120        | 185  | 115  | 27,400 | 2,030  | 2,140 | 61,300 | 11.5 | 144   | 253  | 3,163     |
| C   | 1.1       | 367        | 1670 | 1030 | 5,420  | 12,000 | 6,500 | 4,400  | 23.2 | 290   | 111  | 1,388     |
| D   | 1.1       | 130        | 335  | 150  | 12,600 | 5,930  | 4,700 | 46,000 | 19.9 | 249   | 121  | 1,513     |
| E   | 1.0       | 407        | 2130 | 12.3 | 15,100 | 5,850  | 4,840 | 52,100 | 12.4 | 155   | 128  | 1,600     |
| G   | 1.0       | 186        | 435  | 56.9 | 9,950  | 5,630  | 4,770 | 56,900 | 19.7 | 246   | 212  | 2,650     |
| I   | 1.1       | 310        | 1020 | 121  | 20,400 | 3,700  | 2,340 | 60,900 | 11.8 | 148   | 241  | 3,013     |
| J   | 1.1       | 197        | 561  | 220  | 11,800 | 6,000  | 4,770 | 52,000 | 22.5 | 281   | 180  | 2,250     |
| K   | 0.9       | 61.2       | 348  | 8.6  | 7,400  | 2,150  | 1,490 | 39,700 | 32.2 | 403   | 159  | 1,988     |
| L   | 1.0       | 66         | 364  | 65.1 | 10,900 | 3,070  | 4,530 | 49,500 | 15.9 | 199   | 179  | 2,238     |
| 最小値 | 0.9       | 61.2       | 185  | 8.6  | 5,420  | 2,030  | 1,490 | 39,700 | 11.5 | 144   | 111  | 1,388     |
| 最大値 | 1.2       | 407        | 2130 | 1030 | 27,400 | 12,000 | 6,500 | 61,300 | 32.2 | 403   | 253  | 3,163     |
| 平均値 | 1.1       | 199        | 782  | 182  | 13,300 | 4,920  | 3,880 | 50,600 | 18.5 | 232   | 175  | 2,190     |

表 4.1.13 硫酸による抽出特性[ pH1、 S/L=80g/800ml +6N-H2SO4 液]

| 試料名 | 抽出液<br>pH | 含有濃度[mg/l] |       |      |       |        |       |        | 残渣量  |         | 酸添加量 |           |
|-----|-----------|------------|-------|------|-------|--------|-------|--------|------|---------|------|-----------|
|     |           | Pb         | Zn    | Cu   | Ca    | Na     | K     | Cl     | [g]  | g/灰-kg] | [g]  | [ml/灰-kg] |
| A   | 3.2       | 18.3       | 480   | 30.6 | 1,290 | 2,710  | 2,440 | 7,300  | 39.4 | 493     | 172  | 2,150     |
| B   | 3.1       | 21.6       | 130   | 81.1 | 2,500 | 1,920  | 2,170 | 10,500 | 61.0 | 763     | 358  | 4,475     |
| C   | 3.3       | 18.9       | 1,170 | 896  | 739   | 11,300 | 7,310 | 15,500 | 33.9 | 424     | 69   | 863       |
| D   | 2.9       | 11.6       | 276   | 118  | 2,000 | 5,880  | 4,830 | 17,300 | 55.3 | 691     | 79   | 988       |
| E   | 3.1       | 19.1       | 1,610 | 5.2  | 2,540 | 5,980  | 4,500 | 22,200 | 58.8 | 735     | 99   | 1,238     |
| G   | 3.1       | 15.6       | 321   | 41.2 | 1,480 | 6,310  | 4,370 | 13,000 | 48.3 | 604     | 72   | 900       |
| I   | 3.2       | 17.4       | 525   | 85.3 | 1,790 | 2,560  | 1,940 | 10,700 | 71.0 | 888     | 314  | 3,925     |
| J   | 3.1       | 24.3       | 314   | 202  | 1,720 | 5,590  | 4,950 | 13,400 | 47.3 | 591     | 50   | 625       |
| K   | 3.1       | 4.9        | 293   | 3.5  | 89.1  | 2,030  | 1,640 | 3,250  | 68.1 | 851     | 119  | 1,488     |
| L   | 3.1       | 5.4        | 280   | 50.1 | 2,330 | 3,090  | 4,840 | 11,700 | 65.3 | 816     | 83   | 1,038     |
| 最小値 | 2.9       | 4.9        | 130   | 3.5  | 89.1  | 1,920  | 1,640 | 3,250  | 33.9 | 424     | 50   | 625       |
| 最大値 | 3.3       | 24.3       | 1,610 | 896  | 2,540 | 11,300 | 7,310 | 22,200 | 71.0 | 888     | 358  | 4,475     |
| 平均値 | 3.1       | 15.7       | 540   | 151  | 1650  | 4,740  | 3,900 | 12,500 | 54.8 | 686     | 142  | 1,770     |

表 4.1.14 硫酸による抽出特性[ pH1、 S/L=80g/800ml +6N-H2SO4 液]

| 試料名 | 抽出液<br>pH | 含有濃度[mg/l] |       |      |       |        |       |        | 残渣量  |         | 酸添加量 |           |
|-----|-----------|------------|-------|------|-------|--------|-------|--------|------|---------|------|-----------|
|     |           | Pb         | Zn    | Cu   | Ca    | Na     | K     | Cl     | [g]  | g/灰-kg] | [g]  | [ml/灰-kg] |
| A   | 1.1       | 15.4       | 621   | 43.8 | 790   | 2,930  | 2,600 | 6,300  | 49.7 | 621     | 282  | 3,525     |
| B   | 1.0       | 26.0       | 160   | 88.6 | 1,050 | 1,850  | 1,930 | 10,100 | 73.1 | 914     | 401  | 5,013     |
| C   | 1.0       | 21.4       | 1,600 | 925  | 680   | 10,800 | 6,450 | 14,100 | 46.0 | 575     | 229  | 2,863     |
| D   | 1.0       | 39.5       | 343   | 165  | 967   | 5,710  | 4,890 | 1,670  | 69.1 | 864     | 129  | 1,613     |
| E   | 1.1       | 51.8       | 1,480 | 5.6  | 1,420 | 5,930  | 4,420 | 20,800 | 66.8 | 835     | 135  | 1,688     |
| G   | 1.0       | 12.1       | 487   | 57.8 | 810   | 5,640  | 4,620 | 11,800 | 56.7 | 709     | 188  | 2,350     |
| I   | 1.0       | 21.3       | 731   | 91.0 | 1,240 | 2,600  | 1,800 | 10,200 | 83.1 | 1,039   | 394  | 4,925     |
| J   | 1.0       | 17.2       | 540   | 217  | 1,270 | 5,650  | 4,430 | 10,200 | 54.2 | 678     | 192  | 2,400     |
| K   | 1.2       | 6.8        | 367   | 2.7  | 58.3  | 1,890  | 1,600 | 3,270  | 75.6 | 945     | 186  | 2,325     |
| L   | 0.9       | 8.4        | 341   | 76.8 | 1,020 | 3,500  | 5,670 | 9,700  | 77.1 | 964     | 147  | 1,838     |
| 最小値 | 0.9       | 6.8        | 160   | 2.7  | 58.2  | 1,850  | 1,600 | 3,270  | 46.0 | 575     | 129  | 1,613     |
| 最大値 | 1.2       | 51.8       | 1,600 | 925  | 1,420 | 10,800 | 6,450 | 20,800 | 83.1 | 1,039   | 401  | 5,013     |
| 平均値 | 1.0       | 22         | 667   | 167  | 931   | 4,650  | 3,840 | 11,300 | 65.1 | 814     | 228  | 2,854     |

(4)試験結果の整理

① 含有特性

表 4.1.6 の供試飛灰の鉛、亜鉛、銅含有量の分布を図 4.1.5 に示し、カルシウム、ナトリウム、カリウム、塩素含有量の分布を図 4.1.6 に示す。

図 4.1.5、図 4.1.6 から、次の知見を得た。

- ・ 亜鉛は鉛、銅に較べて含有量が多く、分布幅も広がった。

- ・亜鉛含有量は 2,000~32,000mg/kg であり、鉛、銅含有量は数 100~13,000mg/kg であった。
- ・カルシウム、ナトリウム、カリウム、塩素は鉛、亜鉛、銅に較べて含有量が多く、数 10,000~320,000mg/kg であった。
- ・カルシウムと塩素はナトリウム、カリウムに較べて含有量が多く、分布幅も広がった。

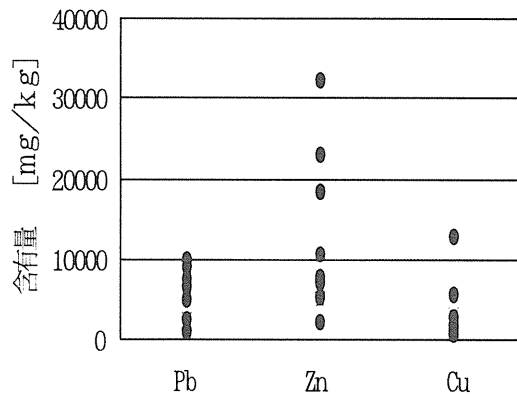


図4.1.5 Pb、Zn、Cuの含有量分布

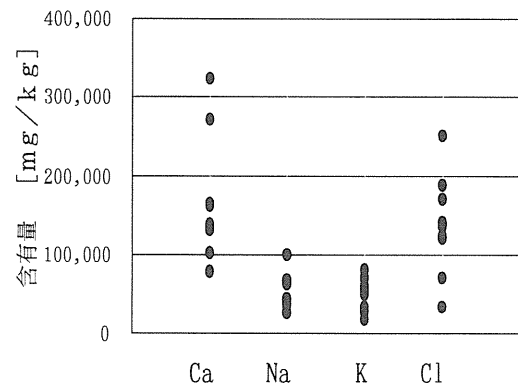


図4.1.6 Ca、Na、K、Clの含有量分布

## ② 抽出特性

### ア. 各元素の抽出率

鉛、亜鉛、銅、カルシウム、ナトリウム、カリウム、塩素の抽出率を、表4.1.9に示した含有試験結果と表4.1.10~4.1.14に示した抽出試験結果から、次の式により求めた。

精製水による各元素の抽出率を表4.1.15に示す。塩酸によるpH3、pH1における各元素の抽出率を表4.1.16、表4.1.17に示す。硫酸によるpH3、pH1における各元素の抽出率を表4.1.18、表4.1.19に示す。

$$\text{抽出率} [\%] = (\text{抽出液濃度} \times \text{液量}) / (\text{含有濃度} \times \text{飛灰量}) \times 100$$

注 1) 液量は精製水量 (800ml) + 添加酸量とし、飛灰量は 80 g とした。

注 2) 塩酸抽出における塩素抽出率は、添加塩酸の塩素量を補正し、つぎの式から求めた。

$$\text{Cl 抽出率} [\%] = (\text{抽出液濃度} \times \text{液量} - 213\text{mg} \times \text{添加塩酸量}) / (\text{含有濃度} \times \text{飛灰量}) \times 100$$

ここで、6 規定塩酸の塩素含有量は、塩素の分子量は 35.5 g/mol とし、次のように計算され、添加塩酸に対する塩素量を補正しました。

$$6 \text{ mol} [\text{Cl}] / \text{l} = 6 \times 35.5 \text{ g} / \text{l} = 213 \text{ g} / \text{l} = 213 \text{ mg} / \text{ml}$$

表 4.1.15 精製水による抽出率

| 試料名 | 抽出液<br>pH | 抽出率[%] |     |     |     |     |    |     | 残渣量<br>[g/灰-kg] |
|-----|-----------|--------|-----|-----|-----|-----|----|-----|-----------------|
|     |           | P b    | Z n | C u | C a | N a | K  | C l |                 |
| A   | 9.9       | 0      | 0   | 0   | 10  | 67  | 62 | 113 | 345             |
| B   | 13.2      | 12     | 0   | 1   | 17  | 91  | 83 | 94  | 398             |
| C   | 7.0       | 1      | 19  | 0   | 28  | 91  | 67 | 109 | 478             |
| D   | 12.7      | 4      | 1   | 0   | 46  | 83  | 73 | 99  | 435             |
| E   | 11.0      | 0      | 0   | 0   | 50  | 87  | 94 | 95  | 410             |
| G   | 11.0      | 0      | 0   | 0   | 15  | 84  | 82 | 97  | 533             |
| I   | 12.8      | 3      | 0   | 0   | 12  | 75  | 51 | 96  | 421             |
| J   | 6.0       | 2      | 13  | 4   | 22  | 66  | 73 | 102 | 584             |
| K   | 8.6       | 0      | 0   | 0   | 11  | 52  | 73 | 93  | 605             |
| L   | 12.8      | 9      | 0   | 0   | 18  | 58  | 55 | 96  | 476             |
| 最小値 | 6.0       | 0      | 0   | 0   | 10  | 52  | 51 | 93  | 345             |
| 最大値 | 13.2      | 12     | 19  | 4   | 50  | 91  | 94 | 113 | 605             |
| 平均値 | 10.5      | 3      | 3   | 1   | 23  | 75  | 71 | 99  | 468             |



表4.1.16 塩酸による抽出率[pH3]

| 試料名 | 抽出液<br>pH | 抽出率[%] |    |    |     |     |     |     | 酸添加量<br>[ml/灰-kg] | 残渣量<br>[g/灰-kg] |
|-----|-----------|--------|----|----|-----|-----|-----|-----|-------------------|-----------------|
|     |           | Pb     | Zn | Cu | Ca  | Na  | K   | Cl  |                   |                 |
| A   | 3.3       | 43     | 41 | 41 | 81  | 89  | 89  | 118 | 1,238             | 288             |
| B   | 3.0       | 89     | 81 | 75 | 107 | 101 | 102 | 106 | 2,175             | 203             |
| C   | 3.3       | 14     | 53 | 71 | 71  | 110 | 89  | 114 | 513               | 351             |
| D   | 2.9       | 20     | 53 | 32 | 102 | 98  | 89  | 98  | 1,000             | 296             |
| E   | 3.2       | 7      | 71 | 6  | 100 | 97  | 105 | 97  | 1,088             | 249             |
| G   | 3.0       | 41     | 46 | 57 | 95  | 102 | 92  | 112 | 1,163             | 406             |
| I   | 3.1       | 18     | 51 | 64 | 93  | 86  | 77  | 92  | 2,325             | 240             |
| J   | 3.0       | 10     | 40 | 72 | 88  | 92  | 88  | 81  | 675               | 400             |
| K   | 3.0       | 3      | 55 | 1  | 85  | 93  | 98  | 128 | 1,200             | 551             |
| L   | 3.1       | 39     | 33 | 42 | 84  | 80  | 81  | 91  | 963               | 361             |
| 最小値 | 2.9       | 3      | 33 | 1  | 71  | 80  | 77  | 81  | 513               | 203             |
| 最大値 | 3.3       | 89     | 81 | 75 | 107 | 110 | 105 | 128 | 2,325             | 551             |
| 平均値 | 3.1       | 28     | 52 | 46 | 91  | 95  | 91  | 104 | 1,234             | 335             |

表4.1.17 塩酸による抽出率[pH1]

| 試料名 | 抽出液<br>pH | 抽出率[%] |     |     |     |     |     |     | 酸添加量<br>[ml/灰-kg] | 残渣量<br>[g/灰-kg] |
|-----|-----------|--------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------------------|-----------------|
|     |           | Pb     | Zn  | Cu  | Ca  | Na  | K   | Cl  |                   |                 |
| A   | 1.2       | 72     | 90  | 76  | 90  | 91  | 101 | 110 | 2,100             | 203             |
| B   | 1.0       | 122    | 113 | 102 | 111 | 104 | 101 | 96  | 3,163             | 144             |
| C   | 1.1       | 46     | 92  | 92  | 79  | 137 | 91  | 122 | 1,388             | 290             |
| D   | 1.1       | 63     | 76  | 56  | 110 | 105 | 93  | 110 | 1,513             | 249             |
| E   | 1.0       | 96     | 77  | 9   | 107 | 106 | 113 | 105 | 1,600             | 155             |
| G   | 1.0       | 95     | 78  | 93  | 91  | 103 | 104 | 110 | 2,650             | 246             |
| I   | 1.1       | 62     | 73  | 83  | 97  | 112 | 91  | 112 | 3,013             | 148             |
| J   | 1.1       | 24     | 89  | 93  | 110 | 119 | 99  | 128 | 2,250             | 281             |
| K   | 0.9       | 10     | 81  | 2   | 87  | 95  | 95  | 151 | 1,988             | 403             |
| L   | 1.0       | 86     | 83  | 72  | 103 | 87  | 78  | 108 | 2,238             | 199             |
| 最小値 | 0.9       | 10     | 73  | 2   | 79  | 87  | 78  | 96  | 1,388             | 144             |
| 最大値 | 1.2       | 122    | 113 | 102 | 111 | 137 | 113 | 151 | 3,163             | 403             |
| 平均値 | 1.1       | 68     | 84  | 68  | 99  | 106 | 96  | 115 | 2,190             | 232             |

表4.1.18 硫酸による抽出率[pH3]

| 試料名 | 抽出液<br>pH | 抽出率[%] |    |    |    |     |     |     | 酸添加量<br>[ml/灰-kg] | 残渣量<br>[g/灰-kg] |
|-----|-----------|--------|----|----|----|-----|-----|-----|-------------------|-----------------|
|     |           | Pb     | Zn | Cu | Ca | Na  | K   | Cl  |                   |                 |
| A   | 3.2       | 9      | 56 | 55 | 9  | 87  | 92  | 124 | 2,150             | 493             |
| B   | 3.1       | 24     | 87 | 79 | 11 | 108 | 113 | 109 | 4,475             | 763             |
| C   | 3.3       | 2      | 55 | 77 | 10 | 123 | 97  | 100 | 863               | 424             |
| D   | 2.9       | 5      | 59 | 42 | 17 | 100 | 91  | 101 | 988               | 691             |
| E   | 3.1       | 4      | 56 | 4  | 18 | 105 | 102 | 99  | 1,238             | 735             |
| G   | 3.1       | 7      | 49 | 58 | 12 | 100 | 82  | 100 | 900               | 604             |
| I   | 3.2       | 4      | 40 | 63 | 9  | 83  | 80  | 110 | 3,925             | 888             |
| J   | 3.1       | 3      | 43 | 74 | 14 | 96  | 89  | 116 | 625               | 591             |
| K   | 3.1       | 1      | 66 | 1  | 1  | 86  | 100 | 107 | 1,488             | 851             |
| L   | 3.1       | 6      | 58 | 50 | 20 | 79  | 75  | 108 | 1,038             | 816             |
| 最小値 | 2.9       | 1      | 40 | 1  | 1  | 79  | 75  | 99  | 625               | 424             |
| 最大値 | 3.3       | 24     | 87 | 79 | 20 | 123 | 113 | 124 | 4,475             | 888             |
| 平均値 | 3.1       | 7      | 57 | 50 | 12 | 97  | 92  | 107 | 1,770             | 686             |

表4.1.19 硫酸による抽出率[pH1]

| 試料名 | 抽出液<br>pH | 抽出率[%] |     |    |    |     |     |     | 酸添加量<br>[ml/灰-kg] | 残渣量<br>[g/灰-kg] |
|-----|-----------|--------|-----|----|----|-----|-----|-----|-------------------|-----------------|
|     |           | Pb     | Zn  | Cu | Ca | Na  | K   | Cl  |                   |                 |
| A   | 1.1       | 8      | 81  | 88 | 6  | 105 | 109 | 119 | 3,525             | 621             |
| B   | 1.0       | 30     | 111 | 90 | 5  | 108 | 104 | 109 | 5,013             | 914             |
| C   | 1.0       | 3      | 89  | 94 | 11 | 139 | 102 | 107 | 2,863             | 575             |
| D   | 1.0       | 19     | 78  | 63 | 9  | 102 | 98  | 103 | 1,613             | 864             |
| E   | 1.0       | 12     | 54  | 4  | 10 | 108 | 104 | 97  | 1,688             | 835             |
| G   | 1.1       | 6      | 85  | 93 | 7  | 101 | 98  | 103 | 2,350             | 709             |
| I   | 1.0       | 5      | 60  | 71 | 7  | 90  | 80  | 113 | 4,925             | 1,039           |
| J   | 1.0       | 2      | 87  | 93 | 12 | 113 | 93  | 103 | 2,400             | 678             |
| K   | 1.2       | 1      | 88  | 1  | 1  | 86  | 104 | 115 | 2,325             | 945             |
| L   | 0.9       | 11     | 75  | 83 | 9  | 96  | 94  | 96  | 1,838             | 964             |
| 最小値 | 0.9       | 1      | 54  | 1  | 1  | 86  | 80  | 97  | 1,613             | 575             |
| 最大値 | 1.2       | 30     | 111 | 94 | 12 | 139 | 109 | 119 | 5,013             | 1,039           |
| 平均値 | 1.0       | 10     | 81  | 68 | 8  | 105 | 99  | 106 | 2,854             | 814             |

イ. 各元素の抽出率の分布

鉛, 亜鉛, 銅, カルシウム, ナトリウム, カリウム, 塩素の抽出率分布を図4.1.7 (精製水)、図4.1.8、図4.1.9 (塩酸)、図4.1.10、図4.1.11 (硫酸) に示す。

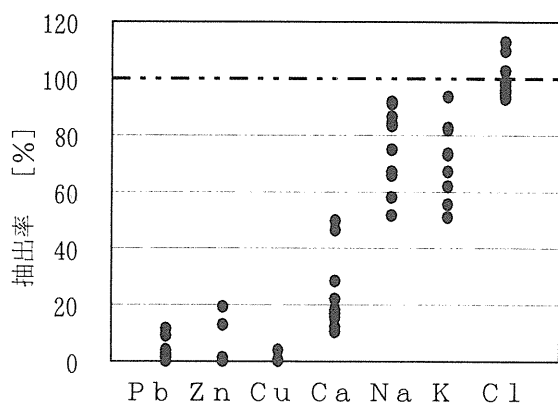


図4.1.7 精製水抽出における抽出率分布

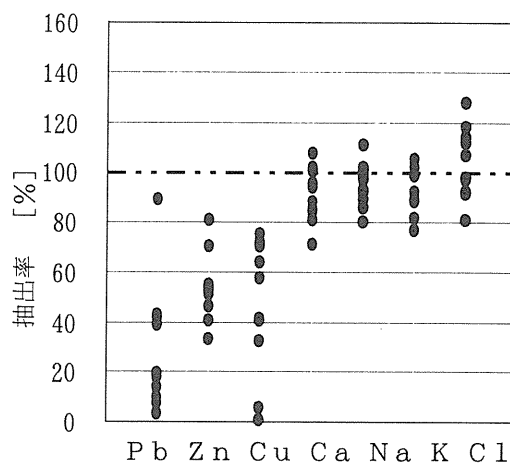


図4.1.8 塩酸抽出(pH3)の抽出率分布

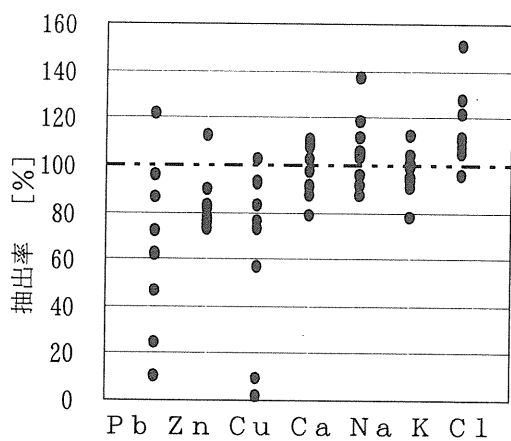


図4.1.9 塩酸抽出(pH1)の抽出率分布

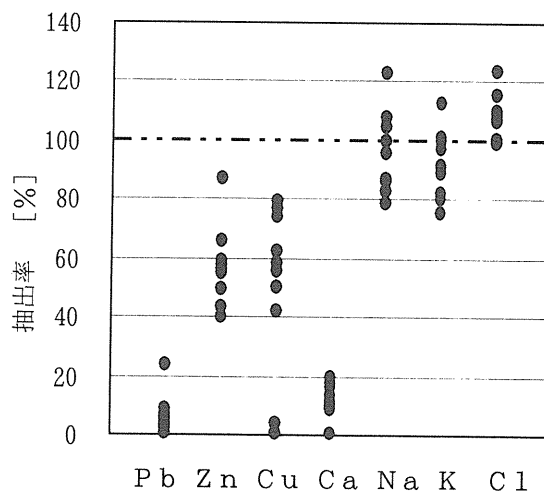


図4.1.10 硫酸抽出(pH4)の抽出率分布

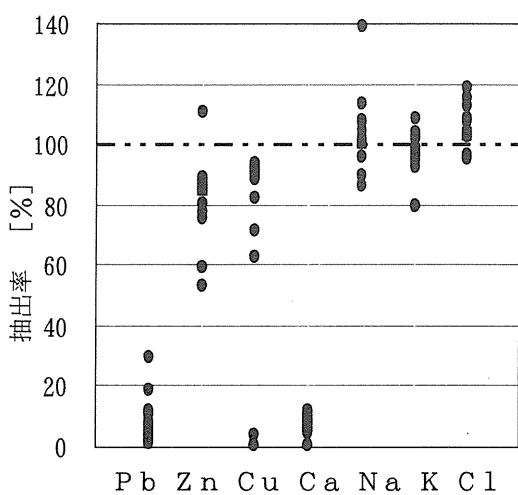


図4.1.11 硫酸抽出(pH1)の抽出率分布

#### ウ. 各元素の抽出特性

表 4.1.10～4.1.14、図 4.1.7～4.1.11 から各元素の抽出特性について、つぎの知見を得た。

##### ア) 精製水抽出における抽出率

- ・鉛、亜鉛、銅の抽出率は 20%以下であり、抽出率は抽出液の pH に依存した。抽出液 pH は消石灰噴霧の条件に関わると思われる。
- ・鉛抽出率は pH 13 付近で 10%であり、亜鉛抽出率は pH 6～7 で 10～20%であった。
- ・ナトリウム、カリウム、塩素の抽出率は 50%以上であった。
- ・ナトリウム、カリウム、塩素の多くは塩化ナトリウム、塩化カリウムとして存在していると思われた。
- ・塩素の抽出率はほぼ 100%であり、塩素は水洗により高率に抽出できることが判った。
- ・カルシウムの抽出率は 50%以下であり、抽出率が 40～50%のグループと 10～20%程度のグループが存在した。

##### イ) 塩酸抽出における抽出率

- ・亜鉛の抽出率は 30～100%にあり、pH 1 の条件では 70%以上であった。
- ・鉛の抽出率は 3～100%と広く分布した。
- ・銅の抽出率は 1～100%と広く分布した。抽出率が極めて低い (1～9%) 飛灰が 2 種あった。
- ・カルシウム、ナトリウム、カリウム、塩素の抽出率は 70%以上であった。

##### ウ) 硫酸抽出における抽出率

- ・鉛とカルシウムの抽出率が 30%以下と低かった。難溶性化合物である硫酸鉛  $PbSO_4$ 、硫酸カルシウム  $CaSO_4$  の生成によるものと思われる。
- ・亜鉛の抽出率は 40～100%にあり、pH 1 の条件では 50%以上であった。
- ・銅の抽出率は 1～94%と広く分布した。抽出率が極めて低い (1～4%) 飛灰が 2 種あった。
- ・ナトリウム、カリウム、塩素の抽出率は 70%以上であった。
- ・亜鉛、銅、ナトリウム、カリウム、塩素の抽出挙動は、ほぼ塩酸抽出と同じであった。