

5.2 ひ素

5.2.a 水素化物発生原子吸光法

(1) 概要

この試験法は肥料に適用する。この試験法の分類は Type B であり、その記号は 5.2.a-2017 又は As.a-1 とする。

分析試料を硝酸－硫酸－過塩素酸で前処理した後、塩酸酸性下でテトラヒドロほう酸ナトリウムを加えて水素化ひ素を発生させ、アルゴンガスで加熱吸収セルに導き、ひ素による原子吸光を波長 193.7 nm で測定し、分析試料中のひ素(As)を求める。なお、この試験法の性能は備考 7 に示す。

(2) **試薬等** 試薬及び水は、次による。

- a) **水**: JIS K 0557 に規定する A3 の水。
- b) **硝酸**: 有害金属測定用、精密分析用又は同等の品質の試薬。
- c) **硫酸**: 有害金属測定用、精密分析用又は同等の品質の試薬。
- d) **過塩素酸**: 有害金属測定用、精密分析用又は同等の品質の試薬。
- e) **塩酸**: JIS K 8180 に規定するひ素分析用若しくは有害金属測定用、精密分析用又は同等の品質の試薬。
- f) **よう化カリウム溶液**⁽¹⁾: JIS K 8913 に規定するよう化カリウム 20 g を水に溶かして 100 mL とする。
- g) **水酸化ナトリウム**: JIS K 8576 に規定する特級又は同等の品質の試薬。
- h) **テトラヒドロほう酸ナトリウム溶液**⁽¹⁾: 原子吸光分析用のテトラヒドロほう酸ナトリウム(NaBH₄) 10 g を水酸化ナトリウム溶液(4 g/L)に溶かして 1000 mL とする。
- i) **ひ素標準液(As 100 µg/mL)**: 国家計量標準にトレーサブルなひ素標準液(As 100 µg/mL)。
- j) **ひ素標準液(As 1 µg/mL)**⁽²⁾⁽³⁾: ひ素標準原液(100 µg/mL)の一定量を塩酸(1+100)で正確に希釈し、ひ素標準液(As 1 µg/mL)を調製する。
- k) **ひ素標準液(As 0.1 µg/mL)**⁽²⁾⁽⁴⁾: ひ素標準液(As 1 µg/mL)の一定量を塩酸(1+100)で希釈し、ひ素標準液(As 0.1 µg/mL)を調製する。

注 (1) よう化カリウム溶液及びテトラヒドロほう酸ナトリウム溶液の濃度は、使用する装置によって異なる。

(2) 調製例であり、必要に応じた量を調製する。

(3) 冷蔵庫で保存し、調製後 6 ヶ月間以上経過したものは使用しない。

(4) 冷蔵庫で保存し、調製後 1 ヶ月間以上経過したものは使用しない。

備考 1. (2)のひ素標準液に換えて、国家計量標準にトレーサブルなひ素標準液(As 1000 µg/mL 又は 10 000 µg/mL)を用いて検量線用ひ素標準液を調製することもできる。

(3) **装置** 装置は、次のとおりとする。

- a) **原子吸光分析装置**: JIS K 0121 に規定する原子吸光分析装置に、水素化物発生装置、次の部品等を連結する。また、水素化物発生装置が内蔵されている原子吸光分析装置を用いることができる。
 - 1) **光源部**: ひ素中空陰極ランプ又はひ素高輝度ランプ。
 - 2) **原子化部**: 加熱吸収セル⁽⁵⁾
 - 3) **ガス**: 加熱吸収セル加熱用ガス

- ① 燃料ガス: アセチレン
- ② 助燃ガス: 粉じん及び水分を十分に除去した空気
- b) 水素化物発生装置:** JIS K 0121 に規定するバッチ式又は連続式水素化物発生装置。連続式水素化物発生装置には、試料溶液、塩酸、テトラヒドロほう酸ナトリウム溶液の他によ化カリウム溶液をオンラインで導入する方式がある。
- 1) **アルゴン:** JIS K 1105 に規定するアルゴン 2 級又は同等品。
- c) ホットプレート又は砂浴:** ホットプレートは表面温度 350 °C まで調節できるもの。砂浴は、ガス量及びけい砂の量を調整し、砂浴温度を 300 °C 以上にできるようにしたもの。

注(5) セルの加熱には電氣的に加熱する方式とフレームで加熱する方式がある。

(4) 試験操作

(4.1) 抽出 抽出は、次のとおり行う。

- a)** 分析試料 1 g~2 g を 1 mg の桁まではかりとり、200 mL~300 mL トールビーカーに入れる。
- b)** 硝酸約 10 mL 及び硫酸約 5 mL を加え、トールビーカーを時計皿で覆い、一夜放置する。
- c)** 170 °C~220 °C のホットプレート又は砂浴上で穏やかに 30 分間以上加熱し、泡が生じなくなった後、ホットプレート又は砂浴の温度を 300 °C 以上にして窒素酸化物(黄褐色煙)の発生が収まるまで加熱する⁽⁶⁾⁽⁷⁾。
- d)** 放冷後、過塩素酸約 5 mL を加える。
- e)** トールビーカーを時計皿で覆い、300 °C 以上のホットプレート又は砂浴上で 2 時間~3 時間加熱して分解する⁽⁸⁾。
- f)** 時計皿をずらし⁽⁹⁾、ホットプレート又は砂浴上で加熱を続けて液量が 2 mL 以下になるまで濃縮する⁽¹⁰⁾。
- g)** 放冷後、塩酸(1+10)約 5 mL 及び水約 20 mL を加え、トールビーカーを時計皿で覆い、穏やかに加熱して溶かす。
- h)** 放冷後、水で 100 mL 全量フラスコに移し入れ、標線まで水を加え、ろ紙 3 種でろ過し、試料溶液とする。
- i)** 空試験として、別のトールビーカーを用いて **b)~h)** の操作を実施し、空試験溶液を調製する。

注(6) 硝酸が残存しない状態での加熱は硫酸による有機物の炭化(分解)が始まる。この状態では As^{5+} は As^{3+} に還元されて揮散するおそれがあるため、窒素酸化物(黄褐色煙)の発生が収まったら速やかに加熱を止める。

- (7) 過塩素酸による有機物の酸化反応は極めて急激で爆発的に進行する。このため、危険のないように硝酸による有機物の分解を十分に行ってから過塩素酸を添加する。
- (8) 過塩素酸白煙が発生したとき、溶液に黒褐色、褐色等の着色が認められる場合は直ちに加熱を止め、放冷後、硝酸を加え、再び加熱して残存する有機物を分解する。
- (9) 時計皿を外してもかまわない。
- (10) 硝酸が存在すると水素化ヒ素の発生が阻害されるので、硫酸の白煙を十分に発生させて硝酸を除去する。

備考 2. (4.1) の操作で得た試料溶液は、附属書 B に示した成分にも適用できる。ただし、5.5.c の(4.1)a) の操作の分析試料の採取量は 1 g である。

備考 3. (4.1)b) の操作において分析試料が固結する場合は、必要に応じて予め少量の水で分析試料を潤

す。

備考 4. 有機物を含有しない肥料の場合には、(4.1)b)の「一夜放置する」操作を実施しなくてもよい。

(4.2) **測定** 測定は、JIS K 0121 及び次のとおり行う。具体的な測定操作は、使用する原子吸光分析装置の操作方法に従う。なお、連続式水素化物発生装置の測定操作の二例を次に示す。

(4.2.1) **測定(A)**: よう化カリウム溶液を加えた後放置する方法

a) **原子吸光分析装置の測定条件** 原子吸光分析装置の測定条件は、以下を参考にして設定する。

分析線波長: 193.7 nm

b) **検量線の作成**

- 1) ひ素標準液(As 0.1 µg/mL) 2.5 mL~10 mL を 50 mL 全量フラスコに段階的にとる。
- 2) 塩酸 5 mL 及びよう化カリウム溶液 5 mL を加えて約 15 分間放置した後、標線まで水を加え、5 ng/mL~20 ng/mL の検量線用ひ素標準液とする。
- 3) 別の 50 mL 全量フラスコについて、2)の操作を行って検量線用空試験液とする。
- 4) アルゴンを流しながら、各段階の検量線用ひ素標準液及び検量線用空試験液をそれぞれ導入し、更に塩酸(1+1)及びテトラヒドロほう酸ナトリウム溶液を水素化物発生装置に導入し、水素化ひ素を発生させる。
- 5) 発生した水素化ひ素と廃液を分離した後、水素化ひ素を含む気体を加熱吸収セルに導入し、波長 193.7 nm の指示値を読み取る。
- 6) 検量線用ひ素標準液及び検量線用空試験液のひ素濃度と指示値との検量線を作成する。

c) **試料の測定**

- 1) 試料溶液の一定量を 50 mL 全量フラスコにとり、b)2)及びb)4)~5)と同様に操作して指示値を読み取る。
- 2) 空試験溶液の一定量を 50 mL 全量フラスコにとり、b)2)及びb)4)~5)と同様に操作して指示値を読み取り、試料溶液について得た指示値を補正する。
- 3) 検量線からひ素量を求め、分析試料中のひ素(As)を算出する。

(4.2.2) **測定(B)**: オンラインでよう化カリウム溶液を導入する方法

a) **原子吸光分析装置の測定条件** 原子吸光分析装置の測定条件は、以下を参考にして設定する。

分析線波長: 193.7 nm

b) **検量線の作成**

- 1) ひ素標準液(As 0.1 µg/mL) 5 mL~25 mL を 50 mL 全量フラスコに段階的にとり、標線まで水を加え、10 ng/mL~50 ng/mL の検量線用ひ素標準液とする。なお、水を検量線用空試験液とする。
- 2) アルゴンを流しながら、各段階の検量線用ひ素標準液及び検量線用空試験液をそれぞれ導入し、更によう化カリウム溶液、塩酸(1+1)及びテトラヒドロほう酸ナトリウム溶液を水素化物発生装置に導入し、水素化ひ素を発生させる。
- 3) 発生した水素化ひ素と廃液を分離した後、水素化ひ素を含む気体を加熱吸収セルに導入し、波長 193.7 nm の指示値を読み取る。
- 4) 検量線用ひ素標準液及び検量線用空試験液のひ素濃度と指示値との検量線を作成する。

c) **試料の測定**

- 1) 試料溶液の一定量を 50 mL 全量フラスコにとり、標線まで水を加え、b)2)~3)と同様に操作して指示値を読み取る。

- 2) 空試験溶液の一定量を 50 mL 全量フラスコにとり、標線まで水を加え、b) 2)～3)と同様に操作して指示値を読み取り、試料溶液について得た指示値を補正する。
- 3) 検量線からひ素量を求め、分析試料中のひ素(As)を算出する。

備考 5. 鉄、ニッケル、コバルトはそれぞれひ素の 5、10、80 倍量程度を超えて共存すると水素化ひ素の発生を阻害する。しかし、よう化カリウム溶液の添加又は導入によって、1000 倍量の鉄が共存する場合でも水素化ひ素の発生を除去できる。

備考 6. c) 2)の補正方法に換え、空試験におけるひ素量を求めて分析試料中のひ素(As)を補正してもよい。

備考 7. 工業汚泥肥料、汚泥発酵肥料(3 点)及びし尿汚泥肥料を用いて回収試験を実施した結果、ひ素(As)として 50 mg/kg 及び 5 mg/kg の濃度レベルでの回収率は 94.6 %～100.6 %及び 99.9 %～103.3 %であった。また、加工鉍さいりん酸肥料、大豆油かす、なたね油かす、化成肥料及び硫酸加里苦土肥料を用いて回収試験を実施した結果、50 mg/kg 及び 5 mg/kg の濃度レベルでの回収率は 98.5 %～109.8 %及び 103.5 %～108.6 %であった。

試験法の妥当性確認のための共同試験の成績及び解析結果を表 1 に示す。

なお、この試験法の定量下限は 0.1 mg/kg 程度と推定された。

表1 ひ素試験法の妥当性確認のための共同試験の成績及び解析結果

試料の種類	試験室数 ¹⁾	平均値 ²⁾ (mg/kg)	RSD_r ³⁾ (%)	RSD_R ⁴⁾ (%)
下水汚泥肥料	11(1)	6.42	3.5	10.7
し尿汚泥肥料	10(2)	4.62	4.9	7.0
工業汚泥肥料	12(0)	0.632	5.7	19.7
焼成汚泥肥料	12(0)	5.08	4.1	9.5
汚泥発酵肥料	10(2)	1.23	6.1	11.4

1) 有効試験室数(外れ値を報告した試験室数)

3) 併行相対標準偏差

2) 平均値(n =有効試験室数×試料数(2))

4) 室間再現相対標準偏差

参考文献

- 1) 浅尾直紀, 石田有希恵, 井塚進次郎, 齊木雅一: 汚泥肥料中のひ素測定 ー分解方法の改良ー, 肥料研究報告, **1**, 74~81 (2008)
- 2) 浅尾直紀, 井塚進次郎, 引地典雄: 汚泥肥料中のひ素測定 ー共同試験成績ー, 肥料研究報告, **1**, 82~89 (2008)
- 3) 杉村 靖, 浅尾直紀, 井塚進次郎: 肥料中のひ素測定 ー改良分解法の適用範囲拡大ー, 肥料研究報告, **2**, 18~24 (2009)

(5) ひ素試験法フローシート 肥料中のひ素試験法のフローシートを次に示す。

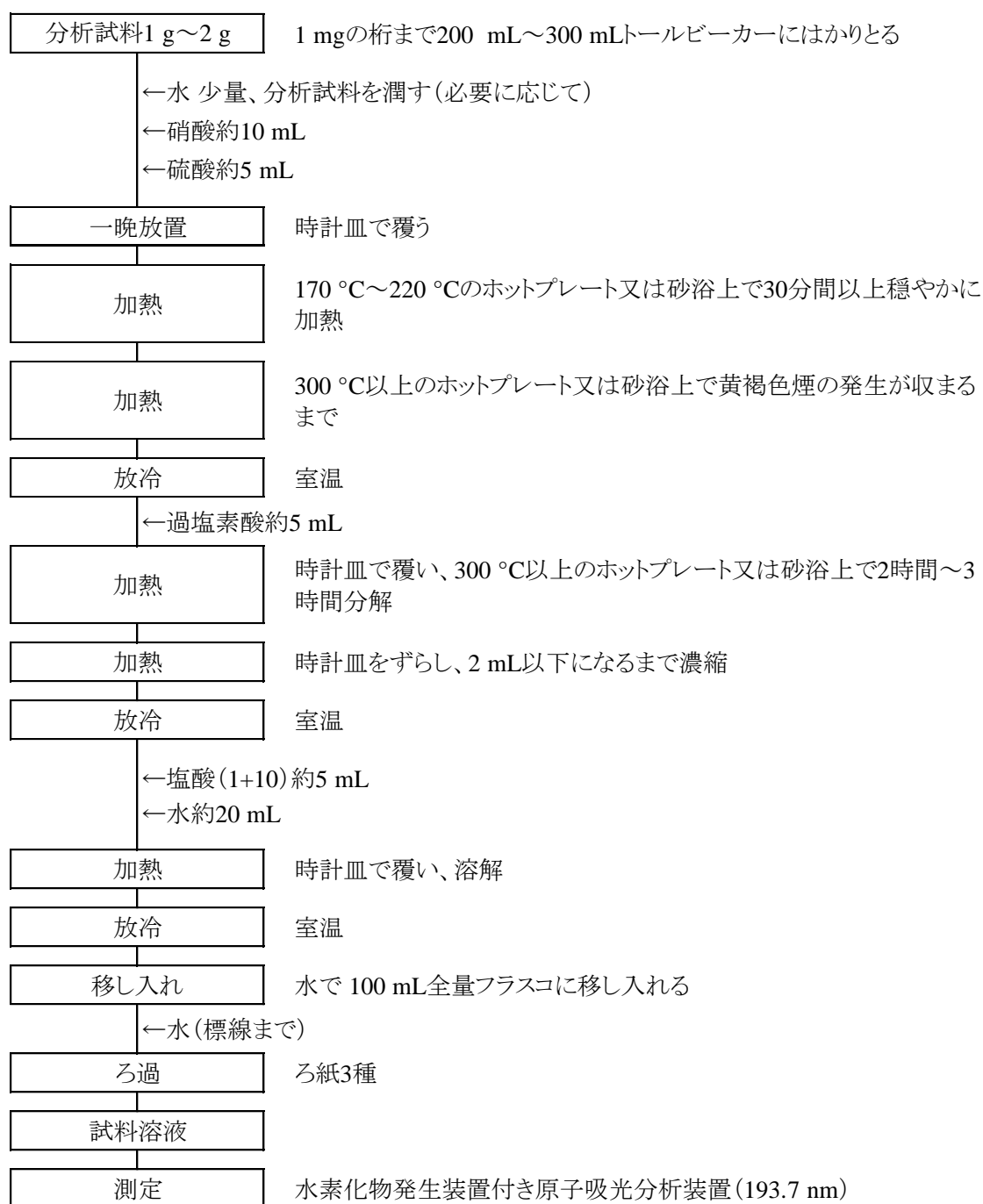


図 肥料中のひ素試験法フローシート

5.2.b ジエチルジチオカルバミド酸銀吸光光度法

(1) 概要

この試験法は硫黄及びその化合物以外の肥料に適用する。この試験法の分類は Type E であり、その記号は 5.2.b-2017 又は As.b-1 とする。

分析試料を硝酸－硫酸－過塩素酸で前処理した後、その一定量を水素化ひ素発生瓶にとり塩酸酸性下でよう化カリウム溶液、塩化すず溶液、亜鉛を順次加え水素化ひ素を発生させ、ピリジン中のジエチルジチオカルバミド酸銀と反応させる。その発色液であるジエチルジチオカルバミド酸銀溶液の吸光度を波長 510 nm で測定し、分析試料中のひ素(As)を求める。

(2) 試薬等 試薬及び水は、次による。

- a) **水**: JIS K 0557 に規定する A3 の水。
- b) **硝酸**: 有害金属測定用、精密分析用又は同等の品質の試薬。
- c) **硫酸**: 有害金属測定用、精密分析用又は同等の品質の試薬。
- d) **過塩素酸**: 有害金属測定用、精密分析用又は同等の品質の試薬。
- e) **塩酸**: JIS K 8180 に規定するひ素分析用若しくは有害金属測定用、精密分析用又は同等の品質の試薬。
- f) **よう化カリウム溶液**: JIS K 8913 に規定するよう化カリウム 20 g を水に溶かして 100 mL とする。
- g) **塩化すず(II)溶液**: JIS K 8136 に規定する塩化すず(II) 二水和物 15 g を塩酸(1+1) 100 mL に溶かしたのち、JIS K 8580 に規定する少量の粒状すずを加えて着色瓶に貯蔵する。
- h) **アスコルビン酸**: JIS K 9502 に規定する特級又は同等の品質の試薬。
- i) **亜鉛**: JIS K 8012 に規定するひ素分析用又は同等の品質の試薬。(粒径 1 mm～1.5 mm)
- j) **酢酸鉛ガラス綿**: ガラス綿を JIS K 8374 に規定する酢酸鉛(II) 三水和物 10 g を水に溶かして 100 mL とした溶液で潤したのち風乾したもの。
- k) **ジエチルジチオカルバミド酸銀溶液**: JIS K 9512 に規定する N,N-ジエチルジチオカルバミド酸銀 0.5 g を JIS K 8777 に規定するピリジン 100 mL に溶かして冷暗所に貯蔵する。
- l) **ひ素標準液(As 100 µg/mL)**: 国家計量標準にトレーサブルなひ素標準液(As 100 µg/mL)。
- m) **ひ素標準液(As 1 µg/mL)⁽¹⁾⁽²⁾**: ひ素標準液(As 100 µg/mL)の一定量を塩酸(1+100)で正確に希釈し、ひ素標準液(1 µg/mL)を調製する。

注(1) 調製例であり、必要に応じた量を調製する。

(2) 冷蔵庫で保存し、調製後 6 ヶ月間以上経過したものは使用しない。

備考 1. (2)のひ素標準液に換えて、国家計量標準にトレーサブルなひ素標準液(As 1000 µg/mL 又は 10000 µg/mL)を用いて検量線用ひ素標準液を調製することもできる。

(3) 装置 装置は、次のとおりとする。

- a) **水素化ひ素発生装置**: JIS K 0102 の 61.1 に示された水素化ひ素発生装置又はこれと同等の装置
- b) **分光光度計**: JIS K 0115 に規定する分光光度計。
- c) **ホットプレート又は砂浴**: ホットプレートは表面温度 350 °C まで調節できるもの。砂浴は、ガス量及びけい砂の量を調整し、砂浴温度を 300 °C 以上にできるようにしたもの。

(4) 試験操作

(4.1) 抽出 抽出は、次のとおり行う。

- a) 分析試料 1 g～2 g を 1 mg の桁まではかりとり、200 mL～300 mL トールビーカーに入れる。
- b) 硝酸約 10 mL 及び硫酸約 5 mL を加え、トールビーカーを時計皿で覆い、一夜放置する。
- c) 170 °C～220 °C のホットプレート又は砂浴上で穏やかに 30 分間以上加熱し、泡が生じなくなった後、ホットプレート又は砂浴の温度を 300 °C 以上にして窒素酸化物(黄褐色煙)の発生が収まるまで加熱する⁽³⁾⁽⁴⁾。
- d) 放冷後、過塩素酸約 5 mL を加える。
- e) トールビーカーを時計皿で覆い、300 °C 以上のホットプレート又は砂浴上で 2 時間～3 時間加熱して分解する⁽⁵⁾。
- f) 時計皿をずらし⁽⁶⁾、ホットプレート又は砂浴上で加熱を続けて液量が 2 mL 以下になるまで濃縮する⁽⁷⁾。
- g) 放冷後、塩酸(1+10)約 5 mL 及び水約 20 mL を加え、トールビーカーを時計皿で覆い、穏やかに加熱して溶かす。
- h) 放冷後、水で 100 mL 全量フラスコに移し入れ、標線まで水を加え、ろ紙 3 種でろ過し、試料溶液とする。
- i) 空試験として、別のトールビーカーを用いて **b)**～**h)** の操作を実施し、空試験溶液を調製する。

注(3) 硝酸が残存しない状態での加熱は硫酸による有機物の炭化(分解)が始まる。この状態では As^{+5} は As^{+3} に還元されて揮散するおそれがあるため、窒素酸化物(黄褐色煙)の発生が収まったら速やかに加熱を止める。

- (4) 過塩素酸による有機物の酸化反応は極めて急激で爆発的に進行する。このため、危険のないように硝酸による有機物の分解を十分に行ってから過塩素酸を添加する。
- (5) 過塩素酸白煙が発生したとき、溶液に黒褐色、褐色等の着色が認められる場合は直ちに加熱を止め、放冷後、硝酸を加え、再び加熱して残存する有機物を分解する。
- (6) 時計皿を外してもかまわない。
- (7) 硝酸が存在すると水素化ヒ素の発生が阻害されるので、硫酸の白煙を十分に発生させて硝酸を除去する。

備考 2. (4.1) の操作で得た試料溶液は、附属書 B に示した成分にも適用できる。

備考 3. (4.1) **b)** の操作において分析試料が固結する場合は、必要に応じて予め少量の水で分析試料を潤す。

備考 4. 有機物を含有しない肥料の場合には、(4.1) **b)** の「一夜放置する」操作を実施しなくてもよい。

(4.2) 反応 反応は、次のとおり行う。

- a) 試料溶液の一定量(As として 1 µg～20 µg 相当量、液量は 40 mL 以下)をとり、水素化ヒ素発生瓶に入れる。
- b) 水を加えて液量を約 40 mL とする。
- c) 塩酸約 10 mL を加える。
- d) よう化カリウム溶液約 2 mL を加え、振り混ぜて数分間放置する。
- e) 塩化すず(II)溶液約 1 mL を加え、振り混ぜて約 10 分間放置する⁽⁸⁾。
- f) 水素化ヒ素発生瓶、あらかじめ酢酸鉛ガラス綿を軽く詰めたガラス導管及びジエチルジチオカルバミド酸

銀溶液 5 mL を連結し⁽⁹⁾、亜鉛 2.5 g を水素化ひ素発生瓶に手早く投入する。

- g) 常温(15 °C~25 °C)で約 45 分間放置し、発生した水素化ひ素をジエチルジチオカルバミド酸銀溶液に吸収させて発色させる。
- h) 空試験溶液の一定量を取り、水素化ひ素発生瓶に入れ、b)~g)と同様に操作して発生した水素化ひ素をジエチルジチオカルバミド酸銀溶液に吸収させて発色させる。

注(8) 鉄を多量に含有する場合は、e)の操作に代えてアスコルビン酸 1 g 及び塩化すず(II)溶液 2 mL を加え、振り混ぜて約 10 分間放置する。

(9) 水素化ひ素発生瓶、ガラス導管、水素化ひ素吸尿管は気密性を保つため、すり合わせ部分にシリコングリース等を少量塗布する。

(4.3) 測定 測定は、JIS K 0115 及び次のとおり行う。具体的な測定操作は、使用する分光光度計の操作方法に従う。

a) **分光光度計の測定条件** 分光光度計の測定条件は、以下を参考にして設定する。

分析波長：510 nm

b) **検量線の作成**

- 1) ひ素標準液(1 µg/mL) 2.5 mL~20 mL を水素化ひ素発生瓶に段階的にとる。
- 2) (4.2)b)~g)と同様の操作を行って反応させる。
- 3) 別の水素化ひ素発生瓶について、2)と同様の操作を行った時のジエチルジチオカルバミド酸銀溶液を検量線用空試験液とする。
- 4) 検量線用空試験液を対照として検量線用ひ素標準液のジエチルジチオカルバミド酸銀溶液の波長 510 nm の吸光度を測定する。
- 5) 検量線用ひ素標準液及び検量線用空試験液のひ素濃度と指示値との検量線を作成する。

c) **試料の測定**

- 1) (4.2)g)のジエチルジチオカルバミド酸銀溶液について、b)4)と同様の操作を行って吸光度を測定する。
- 2) (4.2)h)のジエチルジチオカルバミド酸銀溶液について、b)4)と同様の操作を行って吸光度を測定し、試料溶液について得た吸光度を補正する。
- 3) 検量線からひ素量を求め、分析試料中のひ素(As)を算出する。

備考 5. c)2)の補正方法に換え、空試験におけるひ素量を求めて分析試料中のひ素(As)を補正してもよい。

参考文献

- 1) 越野正義：第二改訂詳解肥料分析法，p.270~273，養賢堂，東京(1988)
- 2) 杉村 靖，浅尾直紀，井塚進次郎：肥料中のひ素測定 —改良分解法の適用範囲拡大—，肥料研究報告，2，18~24 (2009)

(5) ひ素試験法フローシート 肥料中のひ素試験法のフローシートを次に示す。

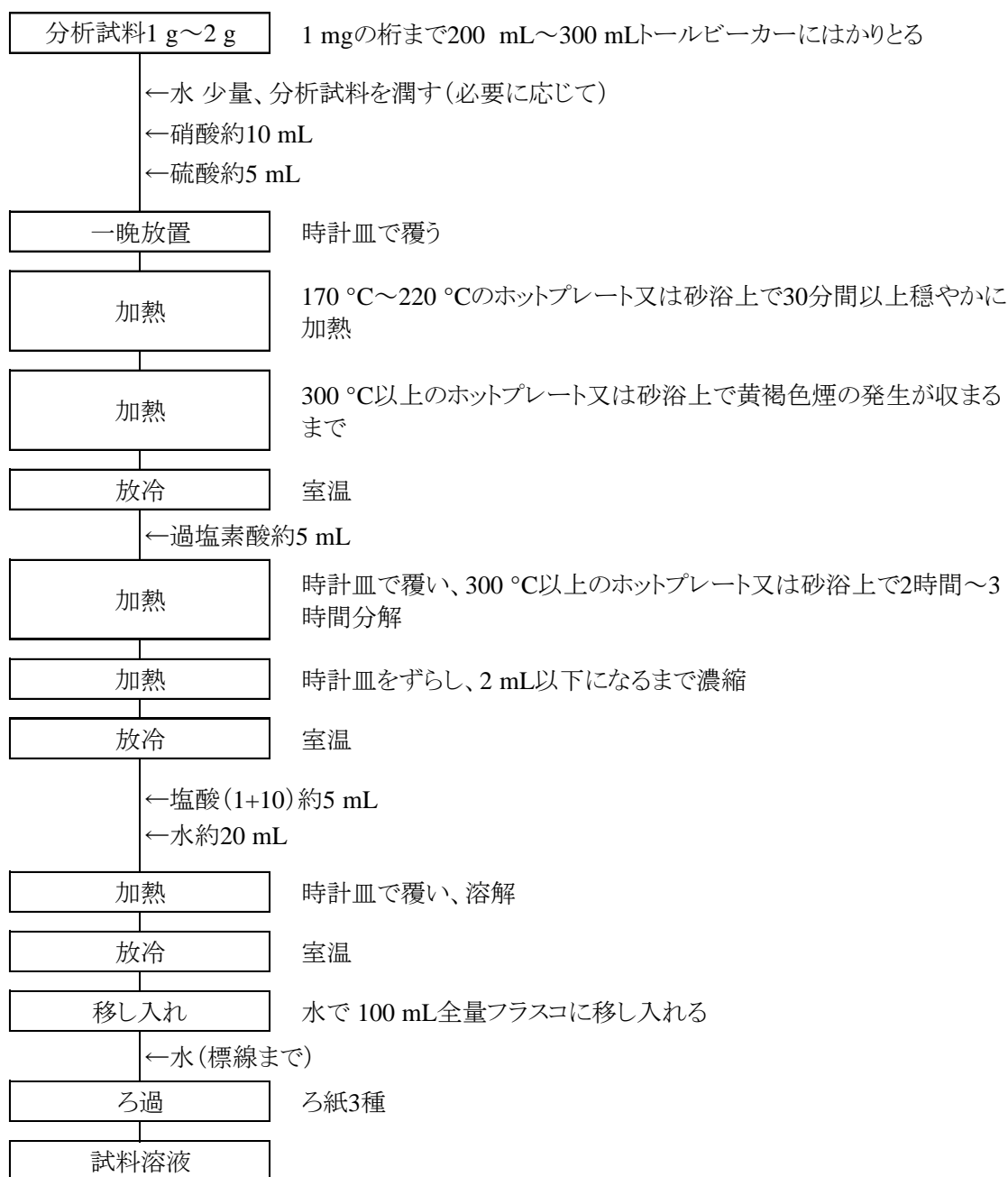


図1 肥料中のひ素試験法フローシート(抽出操作)

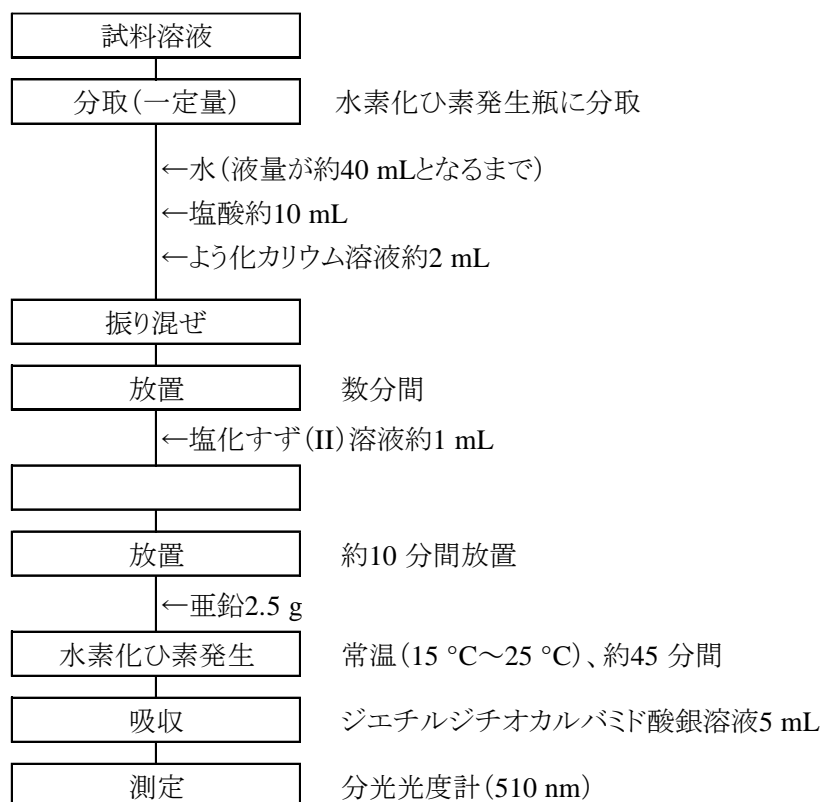


図2 肥料中のひ素試験法フローシート(反応及び測定操作)

5.2.c ICP 質量分析法

(1) 概要

この試験法は肥料に適用する。この試験法の分類は Type D であり、その記号は 5.2.c-2021 又は As.c-2 とする。

分析試料に硝酸一過酸化水素を加え、マイクロ波照射により加熱分解し、ICP 質量分析計(ICP-MS)に導入し、ひ素及び内標準元素(テルル)のそれぞれの質量/電荷数(m/z)における指示値を測定し、ひ素の指示値と内標準元素の指示値との比を求め、分析試料中のひ素(As)を求める。なお、この試験法の性能は備考 8 に示す。

(2) 試薬等 試薬及び水は、次による。

- a) 水: JIS K 0557 に規定する A4 の水。
- b) 硝酸: 有害金属測定用、精密分析用又は同等の品質の試薬。
- c) 硝酸: 標準液及び試料溶液の希釈に使用する硝酸は JIS K 9901 に規定する高純度の試薬。
- d) 過酸化水素: JIS K 8230 に規定する特級又は同等の品質の試薬。
- e) テルル標準液(Te 1000 µg/mL): 国家計量標準にトレーサブルなテルル標準液(Te 1000 µg/mL)。
- f) テルル標準液(Te 5 µg/mL)⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾: テルル標準液(Te 1000 µg/mL)の一定量を硝酸(1+19)で希釈し、テルル標準液(Te 5 µg/mL)を調製する。
- g) テルル標準液(Te 100 ng/mL)⁽¹⁾⁽³⁾: テルル標準液(Te 5 µg/mL)の一定量を硝酸(1+19)で希釈し、テルル標準液(Te 100 ng/mL)を調製する。
- h) ひ素標準液(As 1000 µg/mL): 国家計量標準にトレーサブルなひ素標準液(As 1000 µg/mL)。
- i) ひ素標準液(As 200 ng/mL)⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾: ひ素標準液(As 1000 µg/mL)の硝酸(1+19)で希釈し、ひ素標準液(As 200 ng/mL)を調製する。
- j) 検量線用ひ素標準液(As 4 ng/mL~20 ng/mL)⁽¹⁾⁽³⁾: ひ素標準液(As 200 ng/mL)の 2 mL~10 mL を 100 mL 全量フラスコに段階的にとり、標線まで硝酸(1+19)を加える。
- k) 検量線用ひ素標準液(As 0.2 ng/mL~2 ng/mL)⁽¹⁾⁽³⁾: ひ素標準液(As 20 ng/mL)の 1 mL~10 mL を 100 mL 全量フラスコに段階的にとり、標線まで硝酸(1+19)を加える。
- l) 検量線用空試験液⁽¹⁾⁽³⁾: f)、g)、i)、j)及びk)の操作で使用した硝酸(1+19)。

注(1) 調製例であり、必要に応じた量を調製する。

(2) 冷暗所で保存し、調製後 6 ヶ月間以上経過したものは使用しない。

(3) 調製・保存する場合は、ひ素を含まないポリプロピレン等の材質で密閉できる容器を用いる。

備考 1. (2)のテルル標準液に換えて、国家計量標準にトレーサブルなテルル標準液(Te 100 µg/mL 又は 10 000 µg/mL)を用いて調製することもできる。

備考 2. (2)のひ素標準液に換えて、国家計量標準にトレーサブルなひ素標準液(As 100 µg/mL 又は 10 000 µg/mL)を用いて検量線用ひ素標準液を調製することもできる。

備考 3. ICP-MS の測定において試料溶液又は検量線用標準液と内標準液を同時に導入しない場合は、j)、k)及びl)の操作において各溶液を調製する際、その溶液の容量の 1/10 容量のテルル標準液(Te 100 ng/mL)を加える。

備考 4. ICP-MS の検出方法としてパルス検出方式及びアナログ検出方式がある。それらを組み合わせた検

出方式の機種があるが、その切り替えにおいて測定値に影響がある場合、一方の検出方式で測定できるように適宜標準液と内標準液の濃度を変更してもよい。

(3) **装置** 装置は、次のとおりとする。

- a) **ICP 質量分析計**: JIS K 0133 に規定する高周波プラズマ質量分析計であり、コリジョン・リアクションセルを付属したもの。
- 1) **ガス**: JIS K 1105 に規定する純度 99.995 %以上のアルゴンガス
- b) **圧力容器分解装置**: 分解容器に酸等を入れて加熱することにより容器内部を加圧状態にし、加熱、加圧及び酸の相互作用によって試料の分解を行うことができ次の要件を満たすもの。
- 1) **分解装置本体**: マイクロ波を用いて加熱する方法では、工業用周波数設備として許可されている周波数を用いて高周波を発生させることができる装置であること。装置内のセンサーで分解容器内の圧力や温度等がモニターできることが望ましい。装置内は耐酸加工され、高温に耐えられる耐久性をもち、高い安全性を有するもの。
- 2) **排気システム**: 耐酸仕様の排気ファンを持ち、一定の風量で装置内を空冷し、作動温度を一定以下に保つ機能を有するもの。
- 3) **分解容器**: 微小粒子の分解に必要な耐熱性、耐圧性、耐久性を有し、内部汚染しにくいもの。耐圧限界を超えた場合、過熱防止弁が作動し、ガスの放出により内部圧力を低下させ、酸の突沸を防ぐなどの安全機能を有するもの。
- c) **遠心分離機**: 約 $1700 \times g$ で遠心分離可能なもの。

(4) **試験操作**

(4.1) **抽出** 抽出は、次のとおり行う。

(4.1.1) **液状の汚泥肥料**

- a) 分析試料 20 g⁽⁴⁾を 10 mg の桁まではかりとり、分解容器に入れる。
- b) 硝酸 2.5 mL、過酸化水素 2 mL を徐々に加える。
- c) 分解容器を密閉し分解装置本体に入れ、マイクロ波を用いて加熱する。
- d) 180 °C~220 °C で 10 分以上加圧・強熱⁽⁵⁾して分解する⁽⁶⁾。
- e) 放冷後、溶解液を水で 50 mL 全量フラスコ⁽⁷⁾に移し入れる。
- f) 標線まで水を加え、50 mL 共栓遠心沈殿管⁽⁷⁾に 50 mL 程度とる。
- g) 遠心力約 $1700 \times g$ で約 5 分間遠心分離し⁽⁸⁾、上澄み液を試料溶液とする。
- h) 空試験として、別の分解容器を用いて b) ~g) の操作を実施し、空試験溶液を調製する。

(4.1.2) **液状の汚泥肥料以外の肥料**

- a) 分析試料 0.2g を 1 mg の桁まではかりとり、分解容器に入れる。
- b) 硝酸 10 mL、過酸化水素 1 mL を徐々に加える。
- c) 分解容器を密閉し分解装置本体に入れ、マイクロ波を用いて加熱する。
- d) 180 °C~220 °C で 10 分以上加圧・強熱⁽⁵⁾して分解する⁽⁶⁾。
- e) 放冷後、溶解液を水で 50 mL 全量フラスコ⁽⁷⁾に移し入れる。
- f) 標線まで水を加え、50 mL 共栓遠心沈殿管⁽⁷⁾に 50 mL 程度とる。
- g) 遠心力約 $1700 \times g$ で約 5 分間遠心分離し⁽⁸⁾、上澄み液を試料溶液とする。

h) 空試験として、別の分解容器を用いて b)～g) の操作を実施し、空試験溶液を調製する。

注(4) 水分含有量から換算して分析試料採取量 20 g 中の固形分含有量は 0.5g 程度を上限とする。固形分含有量が上限を超えるおそれのある場合は、分析試料採取量を適宜減らす。

(5) マイクロ波分解装置条件設定例は表 1 のとおり。

時間(min)	温度(°C)	出力(W)
0	-	0
20	200(昇温)	1400
10	200	1400
40	室温	0

(6) 着色した沈殿物など有機物の残存が認められる場合は硝酸 2 mL、過酸化水素 1 mL を加え、(4.1) c)～d) の操作を繰り返す。

(7) ポリプロピレン製の容器で測定に影響しないもの。

(8) 半径 16.5 cm 及び回転数 3000 rpm で遠心力 1700×g 程度となる。

備考 5. (4.1) の操作で得た試料溶液は、附属書 B に示した成分にも適用できる。

(4.2) **測定** 測定(内標準法)は、JIS K 0133 及び次のとおり行う。具体的な測定操作は、測定に使用する ICP 質量分析計の操作方法による。

a) **ICP 質量分析計の測定条件** ICP 質量分析計の測定条件は、以下を参考にして設定する。

ひ素：質量/電荷数(m/z)：75

テルル：質量/電荷数(m/z)：125

コリジョンセル：He-KED(運動エネルギー弁別)モード⁽⁹⁾

b) **検量線の作成**

1) 検量線用ひ素標準液及び検量線用空試験液をテルル標準液(Te 100 ng/mL)と共に誘導結合プラズマ中に噴霧し⁽¹⁰⁾、測定対象元素と内標準元素のそれぞれの質量/電荷数における指示値の比を読み取る。

2) 測定対象元素の濃度と指示値の比で検量線を作成する。

c) **試料の測定**

1) 試料溶液 2.5 mL 以下を 50 mL 全量フラスコ⁽⁷⁾にとり、硝酸(1+19)となるように硝酸を加え、標線まで水を加える⁽¹¹⁾。

2) b)1)と同様に操作して指示値の比を読み取る。

3) 空試験溶液を 1)～2)と同様に操作し、測定溶液について得た指示値の比を補正する。

4) 検量線からひ素量を求め、分析試料中のひ素(As)を算出する。

注(9) He-H₂ 混合ガスを用いた場合は H₂ と As が反応することにより As の指示値が低下し、測定に影響を及ぼす可能性があるため注意すること。

(10) 検量線用標準液または検量線用空試験液の容量の 1/9 容量の内標準液を同時に導入する。

(11) 試料溶液中のひ素濃度が検量線の上限を超えるおそれのある場合は、試料溶液の採取量を小さくするか、硝酸(1+19)で希釈する。

備考 6. c)3)の補正方法に換え、空試験におけるひ素濃度を求めて分析試料中のひ素濃度を補正してもよい。

備考 7. 2価イオンの ^{150}Sm 及び ^{150}Nd が ^{75}As のスペクトル干渉となる。装置の分解能によっては分析値に影響を及ぼすため、事前に装置の分解能及び分析値に影響を及ぼすSm及びNd濃度及び指示値を把握し、それを超える試料の場合には水素化物発生原子吸光法等により分析を行うこと。

備考 8. 真度評価のため、混合堆肥複合肥料及び液状の汚泥発酵肥料を用いて3点併行で添加回収試験を実施した結果、ひ素(As)として1 mg/kg～50 mg/kgの濃度レベルでの平均回収率は102%～112%であった。

下水汚泥肥料(2点)、し尿汚泥肥料(5点)、工業汚泥肥料(1点)、混合汚泥肥料(1点)、焼成汚泥肥料(3点)、汚泥発酵肥料(12点)、水産副産物発酵肥料(1点)、過りん酸石灰(1点)、重過りん酸石灰(1点)、加工りん酸肥料(2点)、副産動物質肥料(1点)、化成肥料(13点)、配合肥料(3点)、液状複合肥料(1点)、被覆複合肥料(2点)、成形複合肥料(2点)、副産複合肥料(2点)、混合堆肥複合肥料(1点)、鉍さいけい酸質肥料(1点)、副産苦土肥料(1点)、混合微量元素肥料(1点)流通肥料(58点)を用いてICP-MSの分析値(y_i : 0.06 mg/kg～40.2 mg/kg)及び水素化物発生フレーム原子吸光分析装置の分析値(x_i)を比較した結果、回帰式は $y = -0.0982 + 0.9987x$ であり、その相関係数(r)は0.993であった。

汚泥発酵肥料及び標準液を添加した化成肥料を用いた日を変えての分析結果について、一元配置分散分析を用いて解析し、中間精度及び併行精度を推定した結果を表2に示す。

なお、この試験法の定量下限は、液状の汚泥肥料で0.01 mg/kg程度、それ以外の肥料で1 mg/kg程度と推定された。

表2 ひ素の日を変えた試験成績の解析結果

試料名	日数 ¹⁾ T	平均値 ²⁾ (mg/kg)	併行精度		中間精度	
			s_r ³⁾ (mg/kg)	RSD_r ⁴⁾ (%)	$s_{I(T)}$ ⁵⁾ (mg/kg)	$RSD_{I(T)}$ ⁶⁾ (%)
汚泥発酵肥料	5	3	0.1	3.0	0.2	5.8
化成肥料	5	53	0.7	1.3	0.7	1.3

1) 2点併行分析を実施した日数

2) 平均値(日数(T)×併行数(2))

3) 併行標準偏差

4) 併行相対標準偏差

5) 中間標準偏差

6) 中間相対標準偏差

備考 9. ICP-MSでは多元素同時測定が可能である。その場合は、附属書C2表1を参考に標準液等を調製し、(4.2b)～c)と同様に操作し、分析試料中の各元素濃度を算出する。

なお、標準液と内標準液の濃度は、**備考 4**により、適宜変更してもよい。

参考文献

- 1) 八木寿治: ICP 質量分析計(ICP-MS)及び還元気化原子吸光光度計(CV-AAS)による液状汚泥肥料中の重金属等の測定, 肥料研究報告, **8**, 26~37 (2015)
- 2) 八木寿治, 佐久間健太, 橋本良美: ICP-MS による汚泥肥料中の重金属の測定, 肥料研究報告, **9**, 52~68 (2016)
- 3) 坂井田里子, 大島舞弓, 青山恵介, 白井裕治: ICP-MS 法による肥料中の有害成分の測定, 肥料研究報告, **12**, 21~31 (2019)
- 4) 山西正将, 沼寄佳奈子, 白井裕治: ICP-MS を用いた肥料中のひ素等の分析法の開発, 肥料研究報告, **14**, 53~69 (2021)

(5) **ひ素試験法フローシート** 液状汚泥肥料中のひ素試験法のフローシートを次に示す。

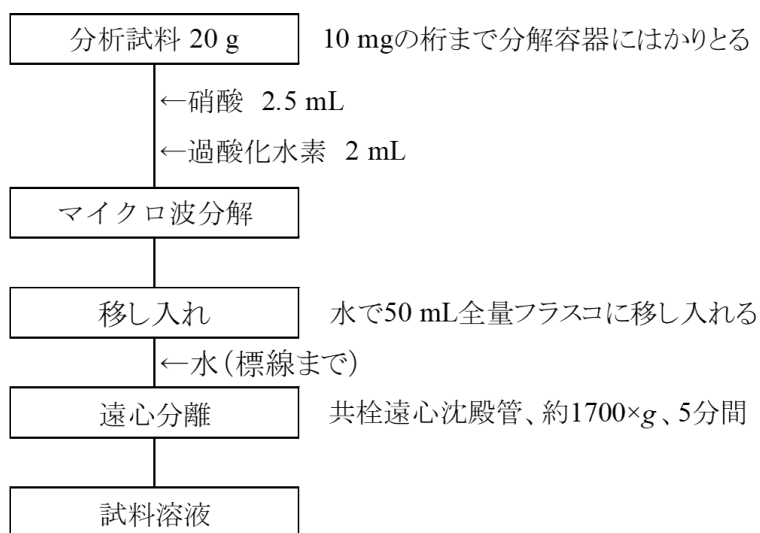


図1 液状の汚泥肥料中のひ素試験法フローシート(抽出操作)

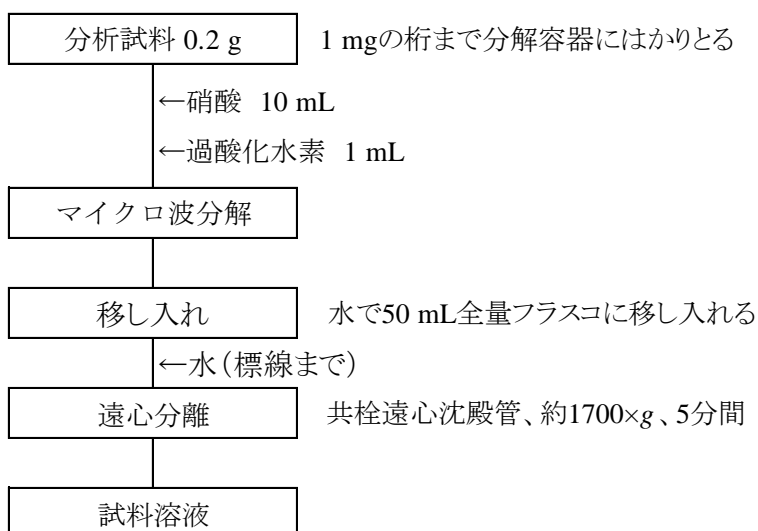


図2 液状の汚泥肥料以外の肥料中のひ素試験法フローシート(抽出操作)

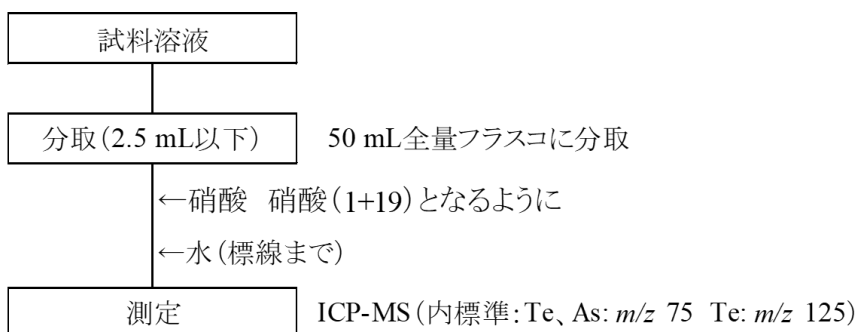


図3 肥料中のひ素試験法フローシート(測定操作)